令和３年度

水力発電の導入・運転人材育成研修

テ キ ス ト

経済産業省 資源エネルギー庁

本テキストについて

「エネルギー基本計画（2021 年 10 月 22 日閣議決定)」において、水力は、「純国産で、渇水の問題を除き、天候に左右されない優れた安定供給性を持ち、長期的に活用可能なエネルギー源である。また、地域共生型のエネルギー源としての役割を拡大していくことが期待される。このうち、一般水力（流れ込み式）については、運転コストが低く、ベースロード電源として、揚水式については、再生可能エネルギーの導入拡大に当たっても必要な調整電源として重要な役割が期待される。」とあります。再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT 制度）の開始を受け、既設水力発電のリプレイスを中心に中小水力発電の開発が多く進んできていますが、開発リスクが高く、新規地点の開拓が難しいことに加え、河川環境に関連する地域の合意や系統制約などの課題が存在しています。

このような中で今後のさらなる水力発電の開発・更新等のプロジェクト推進のためには、地域の自然環境を適切に把握したうえで、個々の地点に合わせた最適な発電所の建設や、社会・自然環境等の変化に合わせた設備の改良を行う必要があります。本テキストの作成は、これからの水力発電事業を担う人材を育成するための様々な取り組みの一環として行われるものです。本テキストが水力発電事業を志す方々に広く活用され、水力発電のさらなる導入拡大が進むことを期待します。

※　本テキストにおける留意点

- 水力発電に関する技術的に高度な研修やテキストはすでに内容が充実したものがあることから、本テキストは、１）これから水力発電事業を検討する方、２）水力発電事業に興味がある方、３）水力発電事業にこれから従事する方（経験がまだ浅い方）といった方々を想定して作成しました。このため、内容的に水力発電事業とそれに関連する技術の初歩的な部分に焦点をあてたものになっています。ただし、本テキストの５章「各種詳細設計」では専門的な内容にも触れていますので、必要に応じて活用してください。
- 公表されているテキストに既に記載がある事項は、本テキストではその内容を引用して紹介しています。そこの部分についてさらに詳しい内容を知りたい方は、その引用先を参照してください。
- 本テキストの内容から更に専門知識を深めたい方は、他の機関で実施されている専門性が高い研修の受講や、関連するテキストの入手により、さらなる技術・知識の研鑽を目指してください。それら研修や水力発電に関する基準類、助成制度については本テキスト８章「水力発電に関する研修・基準類・助成制度について」で紹介します。

目　次

1．水力発電事業の意義、事業立案 ----------1-1

1.1　水力発電の理解----------1-3

1.1.1　水力発電の原理と基本的事項----------1-3

1.1.2　我が国における水力発電の歴史と現状----------1-7

1.1.3　中小水力発電開発の今日的課題 ---------- 1-10

1.2　水力発電事業の意義、目的 ---------- 1-11

1.2.1　第６次エネルギー基本計画における
再生可能エネルギー・水力発電への期待---------- 1-11

1.2.2　水力発電の市場価値とニーズ ---------- 1-14

1.2.3　水力発電事業立案における目的の整理---------- 1-15

1.3　水力発電事業の進め方 ---------- 1-30

2．水力発電開発地点の机上調査----------2-1

2.1　水力発電設備と設置箇所----------2-3

2.1.1　発電方式----------2-3

2.1.2　発電所の設置箇所----------2-6

2.2　地形・地質 ---------- 2-12

2.2.1　地形の基礎知識 ---------- 2-12

2.2.2　地質の基礎知識 ---------- 2-23

2.3　流量 ---------- 2-35

2.3.1　日本の河川流量 ---------- 2-35

2.3.2　流量データーの入手 ---------- 2-39

2.4　最大出力、概算コストの整理 ---------- 2-43

2.5　河川法・水利権---------- 2-47

2.5.1　河川法、及び水利権とは ---------- 2-47

2.5.2　河川の種類 ---------- 2-50

2.5.3　河川区域及び河川保全区域 ---------- 2-52

2.5.4　河川協議（水利権協議）の原則 ---------- 2-53

2.5.5　水利権申請または登録が必要となる場合 ---------- 2-54

2.5.6　水利権の分類と許認可権者 ---------- 2-56

2.5.7　申請の窓口と事前相談 ---------- 2-58

2.5.8　維持流量---------- 2-60

2.5.9　河川協議の審査内容 ---------- 2-69

2.6　電力系統 ---------- 2-73

2.6.1　系統連系の流れ ---------- 2-73
2.6.2　系統連系における先着優先ルール ---------- 2-75
2.6.3　系統接続にあたる費用負担について ---------- 2-76
2.6.4　日本版コネクト＆マネージ ---------- 2-78
2.7　環境保全関係法令 ---------- 2-84
2.7.1　自然公園法 ---------- 2-85
2.7.2　自然環境保全法 ---------- 2-93
2.7.3　鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律 ---------- 2-98
2.7.4　文化財保護法---------- 2-100
2.8　保安林---------- 2-102
2.9　環境への配慮 ---------- 2-110
2.9.1　一般的事項 ---------- 2-110
2.9.2　水力発電事業における環境の保全について---------- 2-111
2.9.3　希少猛禽類 ---------- 2-117
2.10　事業用地---------- 2-122
2.11　事業化判断（第 1 ゲート）---------- 2-124
3．水力発電所の基本設計 ----------3-1
3.1　地質に関する F/S 調査----------3-3
3.1.1　地質的リスクの基礎知識----------3-4
3.1.2　発電サイトの地質的評価 ---------- 3-38
3.2　流量調査 ---------- 3-46
3.2.1　流量観測の基本 ---------- 3-46
3.2.2　水位・流量観測所の位置 ---------- 3-49
3.2.3　水位観測機器---------- 3-51
3.2.4　流速の計測 ---------- 3-53
3.2.5　水位～流量曲線の作成 ---------- 3-57
3.2.6　年間流量の整理 ---------- 3-60
3.3　水力発電所の基本設計（水路ルートの検討）---------- 3-62
3.3.1　基本設計（水路ルート検討）の手順 ---------- 3-62
3.3.2　水路ルートの構造物 ---------- 3-64
3.4　水路ルートの検討 ---------- 3-73
3.5　現地調査 ---------- 3-77
3.6　流量データーの整理---------- 3-78
3.7　落差の算出---------- 3-82
3.8　最大使用水量の決定---------- 3-84
3.9　水車・発電機の選定---------- 3-86

3.10　発電出力の算定 ---------- 3-95
3.11　発電電力量の算定---------- 3-96
3.12　概算工事費の算定---------- 3-99
3.13　最適発電規模の決定 ---------- 3-100
3.14　年間収入・経費の算定---------- 3-102
3.15　経済性の評価---------- 3-104
3.16　F/S 調査全体で重要となるポイント---------- 3-106
3.17　委託先 ---------- 3-107
4．事業化判断----------4-1
4.1　事業スキームの検討----------4-3
4.1.1　プロジェクトメンバー ----------4-3
4.1.2　ファイナンス（資金調達） ----------4-4
4.1.3　キャッシュフロー----------4-6
4.1.4　事業リスク ----------4-8
4.2　事業化判断（第 2 ゲート） ---------- 4-12
5．各種詳細設計 ----------5-1
5.1　測量 ----------5-1
5.2　地質調査 ----------5-8
5.2.1　各種構造物設計で必要となる地質情報----------5-8
5.2.2　地質調査手法及び調査手法選定のポイント---------- 5-16
5.2.3　地質調査や試験の選定ポイント ---------- 5-34
5.3　水車の設計---------- 5-39
5.3.1　水車の性能に関する事項---------- 5-39
5.3.2　ペルトン水車---------- 5-52
5.3.3　ターゴ水車 ---------- 5-57
5.3.4　クロスフロー水車---------- 5-58
5.3.5　フランシス水車 ---------- 5-61
5.3.6　カプラン水車---------- 5-66
5.3.7　バルブ水車 ---------- 5-69
5.3.8　S 形チューブラ水車 ---------- 5-71
5.3.9　デリア水車 ---------- 5-73
5.3.10　水車の構造---------- 5-75
5.3.11　入口弁---------- 5-79
5.4　発電機の設計 ---------- 5-82
5.4.1　電気設計---------- 5-82
5.4.2　発電機の種類---------- 5-86

5.4.3　発電機の構造---------- 5-87
5.4.4　冷却方法---------- 5-91
5.5　水車発電機の制御装置 ---------- 5-92
5.5.1　主回路 ---------- 5-92
5.5.2　系統連系---------- 5-94
5.5.3　運転方法---------- 5-96
5.6　土木・建築・機械設計 ---------- 5-98
5.6.1　取水設備---------- 5-99
5.6.2　取水口 ----------5-127
5.6.3　導水路 ----------5-131
5.6.4　沈砂池 ----------5-133
5.6.5　余水吐き----------5-133
5.6.6　水槽（ヘッドタンク） ----------5-138
5.6.7　水圧管路----------5-139
5.6.8　放水設備----------5-143
5.6.9　損失水頭----------5-145
5.6.10　建築設備 ----------5-147
5.6.11　機械設備 ----------5-170
6．建設工事 ----------6-1
6.1　設計・調達・建設（EPC）の実施主体の選定----------6-1
6.2　水車メーカーの選定----------6-3
6.3　試運転、竣工検査の実施----------6-5
7．発電所の運用と維持管理----------7-1
7.1　電気事業法の手続き----------7-1
7.2　発電所の維持管理 ----------7-6
7.3　電気保安のスマート化 ---------- 7-13
8．水力発電に関する研修・基準・助成制度----------8-1
8.1　水力発電に関する研修 ----------8-1
8.2　参考となる水力発電に関連する基準類、データベース----------8-5
8.3　主な助成制度 ----------8-8

1章　水力発電事業の意義、事業立案

再生可能エネルギーによる発電事業には様々なものがありますが、水力発電事業の特徴や留意点としては以下のものが挙げられます。

水（流水）が必要なこと

水力発電は字のごとく「水力」を利用する発電です。つまり、水の流れがその源泉となります。このため、自然・人工的にかかわらず何らかの水の流れがあるところに設置箇所が限定されます。太陽光発電は日射が得られる場所であれば川のそばでも、川から離れたところでも特に設置場所を問わないのと対象的です。

また、太陽光発電はその源泉となる「太陽の光」を利用することそのものについては、特に関係省庁から許認可を受ける必要はありませんが、特に「川の水」を利用する場合、この「水」はきわめて公共性が高いものであることから、関係省庁からの許認可が必要になることも水力発電の特徴の一つと言えます。

落差が必要なこと

水力発電は水の流れに加えて、落差（高いところから低いところへ水が流れることの源泉）も必要になります。水力発電所が山間部に設置されることが多いのは、山の方が地形の勾配が急峻なため落差を稼ぎやすいためです。また、ダムであればその構造物自体でこの落差を確保できるため、ダムと併せて発電設備が設定されることも多くなっています。いずれにせよ、このダムも山間部に設置されることが基本であることから、水力発電所は山間部に設置されることが一般的となっています。

送電しなければならないこと

これは水力発電に限ったことではありませんが、発電した電気は送電網へ接続する必要があります。特に送電事業者の系統へ接続する場合は、その接続先の空きがあるかで発電所を設置できるかの可否が決まります。

多くの許認可手続きが必要

水力発電は上記で述べたとおり山間部、つまり自然豊かな地域に設置されることが多いことから自然に関連する法律（自然公園法、保安林など）、及び川の水を利用する場合は河川に関する法律（河川法）の許認可が必要となります。また、送電網への接続についても電力会社と協議を行う必要があります。電力会社との協議については他の再生可能エネルギーと同様ですが、それ以外の法律、特に河川法協議が必要になることが水力発電の特徴といえます。

ステークホルダーへの配慮が必要

特に水力発電の場合は公共性が高い「川」に設置されることが多いことから、例えば川に生息する魚類を生活の糧としている関係者（漁業関係者など）、及び同じように川の水を利用している事業者（農業関係者、水道事業者など）に対して、発電所の設置後もこれまですでに実施しているステークホルダーの各事業へ支障が無いように配慮する必要があります。

上記のような特徴がある水力発電事業について、その基本的な原理や、これまでとこれからの水力をとりまく環境、その意義、そして事業全体の進め方を次ページ以降で概説します。

1.1 水力発電の理解

1.1.1 水力発電の原理と基本的事項

(1) 発電力[kW]

水力発電は、標高差のある地点にある水の位置エネルギーを水車の回転力を介して電力に変えるもので、自然の流水を活用した再生可能エネルギーで、安定して流水が確保できる取水地点と大きな落差を得ることができる放水地点を適切に確保することで大きな出力を得ることが出来ます。得られる発電力は、一般に以下の式で算定されます。

理論出力［kW］　＝質量［kg］・重力加速度［m/s²］・高さ［m］
＝水の密度［1,000kg/m³］・流量［m³/s］・9.8［m/s²］・高さ［m］
＝9．8［1,000kg/m²/s²］×Q［m³/s］×H［m］

ここに、Q は流量、H は落差です。ただし、この理論式において、導水時の摩擦損失、位置エネルギーを水車の回転に変換する際の損失、電気に変換する際の損失があることから、発電力はそれを補正した以下の式を用います。

有効出力［kW］　＝9．8［1,000kg/m²/s²］×Q［m³/s］×H_e［m］×η_t×η_g

ここに、H_e：有効落差、η_t：水車効率、η_g：発電機効率です。上記から分かるように、水力発電の規模の大小は、流量と落差で決まることが分かります。

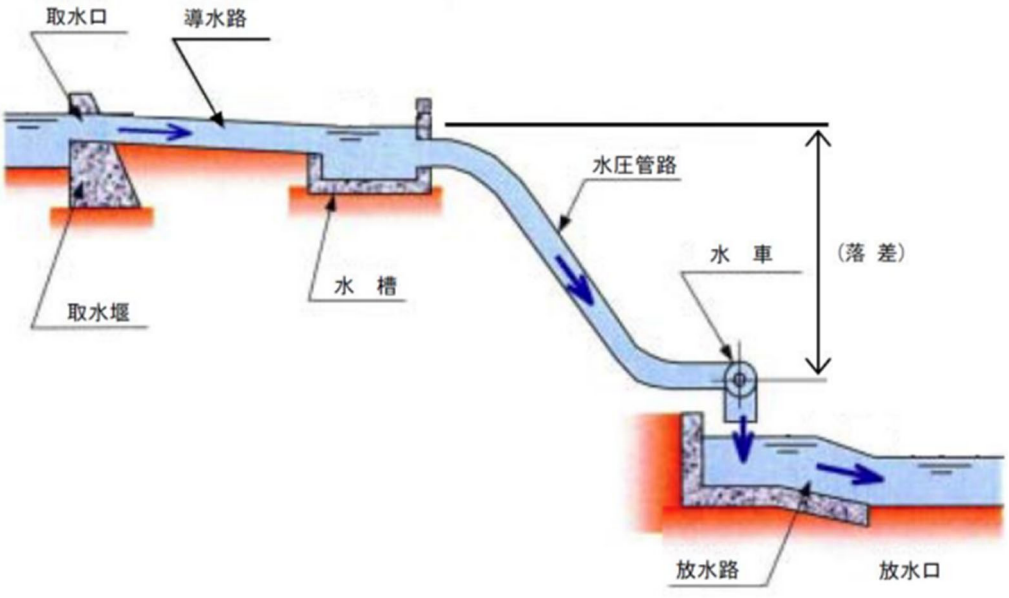


図-1.1.1 水力発電のしくみ[1]

[1] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 p.3-1 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf>（202.1.31 閲覧）

(2) 発電電力量[kWh]

前項で記載した発電力［kW］は、一般に発電所の最大出力（発電所の能力）を表しますが、発電電力量［kWh］は発電が継続した時間を乗じて算出されます。

発電電力量［kWh］＝有効出力［kW］×発電継続時間［時間（h)］×設備利用率［%］

有効落差は著しく変化することはありませんが､流量Qは河川の流量変化に伴い変化するので、安定して流量を確保することが重要になります。

水力発電は流水がもつ「高いところから低いところへ流れエネルギーを水車によって機械エネルギーへ変換して、発電機によって電気エネルギーをつくるものです。つまり、流量が多く、かつ落差が大きいところほど、発電電力量が増加します。
水力発電事業の計画においては、できるだけ沢山の流量を確保出来て、かつ、大きな標高差が得られるような地点を探すことが重要となります。

(3) 水力発電のタイプ

前項で記載のとおり、安定した発電電力を得るためには、安定して流量を確保することが重要なことが分かります。安定した流量確保のために、水力発電のタイプが次のように分類することが出来ます。

(a) 貯水池式

我が国の降水量は夏場に多く、冬場が少ないなど季節変化をすることから、河川流量に季節変化が生じます。水量が豊富な時期に流水を貯水池にため込み、年間通じて安定して流量を確保できるようにする方式です。ただし、貯水池を建設することが出来る地点であることが必要になります。当然ながら、発電所の規模としては大きなものになります。

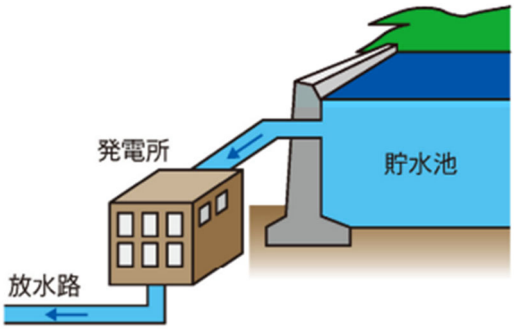


図-1.1.2 貯水池式概略図[2]

[2] 出典）NEDO「NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版 第 8 章 中小水力発電」2014 年 2 月 p.5
<http://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(b) 流れ込み式

河川を流れる水を貯めることなく、そのまま導水し発電に利用する方式をいいます。貯水池式とくらべ、発電の状況は河川の流水の影響（自然河川の場合は流況特性、上流にダムがある場合はダムの運用状況）を直接うけることになります。

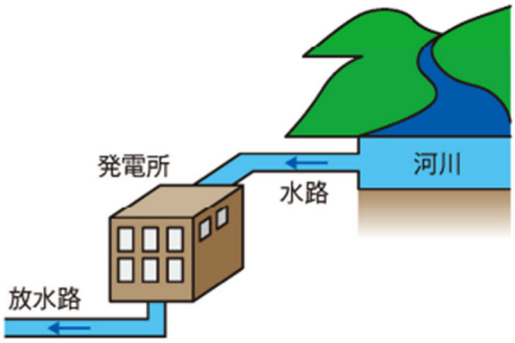


図-1.1.3 流れ込み式概略図[3]

(c) 揚水式

上池、下池、ポンプ、発電機から構成されるシステムで、電力需要は 1 日の間でも日中と夜間で変わり得ることから、夜間に余剰が発生した電力を用いて下池の水を上池に汲み上げておき、電力需要が高まった際に上池の水を放水して発電するものです。発電所単体というよりは電力系統全体の有効利用という観点で利用されるものです。

図-1.1.4 揚水式概略図[4]

(4) 発電地点の選択

上記で述べたように、有利な水力発電を行うためには、大きな落差を確保し、安定した流量を確保できる地点を選定することが重要になります。落差の確保は地形図を見ながら取水地点と放水地点の水平距離が短く、大きな落差が確保できる場所を地形図で選定します。貯水池を建設する場合を除いて、流れ込み式で計画する場合は、安定して確保できる流量を適切に見極める必要があります。水車発電機が効率よく発電できる流量の範囲には限界があるため、設計流量を見極

---

[3] 出典）NEDO「NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版 第 8 章 中小水力発電」2014 年 2 月 p.5 <http://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[4] 出典）NEDO「NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版 第 8 章 中小水力発電」2014 年 2 月 p.5 <http://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>（2022.1.31 閲覧）

め、発電出力を定める必要があります。確保できる流量の見極めには、以下に示すような流況曲線を作成し、水車発電機の利用効率が高くできる設計流量を選定します。

流況曲線は、流況観測の結果に基づき、1 年（365 日）分の日平均流量［m^3/s］並べ安定して発電できる出力を定めるためのものです。

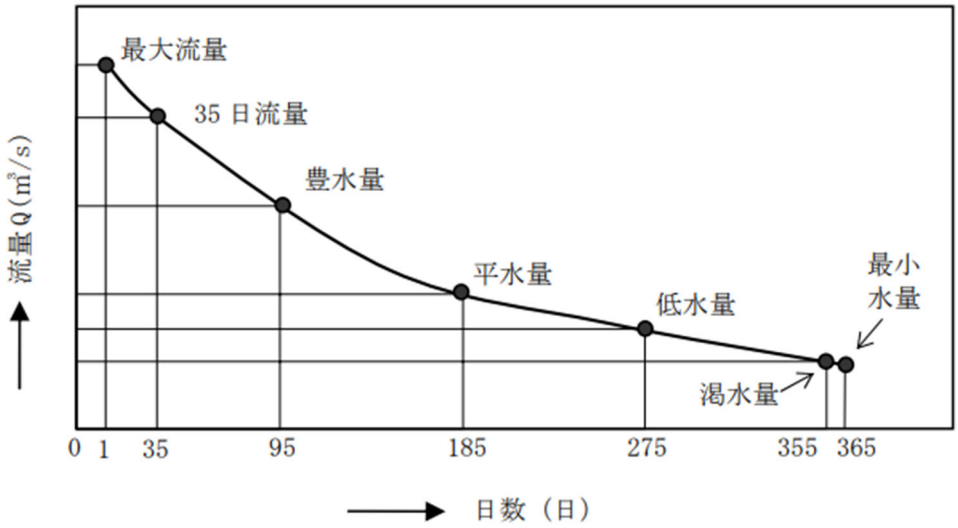


図-1.1.5　流況曲線の例[5]

[5] 出典）NEDO「NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第 2 版 第 8 章 中小水力発電」2014 年 2 月 p.5 <http://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>（2022.1.31 閲覧）

1.1.2 我が国における水力発電の歴史と現状

我が国の水力発電開発の歴史は表-1.1.3 に示すとおり「水力開発の幕開け」、「大規模水力開発の時代」、「環境に配慮した水力開発の時代」に分けられます。その概要を以下で概説します。

(1) 水力開発の幕開け

我が国初の電力会社である東京電灯会社が開業したのは 1886 年です。この後全国で電力会社の開業が続き、1890 年には 8 社、1900 年には 53 社、1905 年には 79 社となりました。電力事業草創期の 1900 年初期の電源構成は火力が中心でしたが、表-1.1.1 に示すとおり 1907 年東京電灯駒橋発電所（山梨県桂川水系）の竣工を契機とした遠距離高圧送電技術の導入とともに水力の構成比率が高まり、1907 年に 33%だったものが 1921 年に 62%、1931 年に 66%と急拡大で推移しています。

表-1.1.1 動力別発電力(1907 年～1931 年)[6]

年末	発電力（kW）		
	1907 年	1921 年	1931 年
水力	38,622	852,823	3,056,936
火力	76,290	506,926	1,599,588

水力発電が誕生して以降、当時は工場や鉱山に必要な大電力を確保するための自家用として運用されており、土木技術と長距離送電技術の発達により大規模水力開発を進められ、発電方式も水路式からダム式へ拡大しました。

(2) 大規模水力開発の時代

戦後は、急速な電力需要を満たすため、国の施策として発電用および多目的ダムの開発が進められ、ダム施工技術の発展により多くの大規模水力発電所（例：佐久間 1956 年、黒部川第四 1965 年）が建設されました。これに伴って表-1.1.2 に示すとおり我が国の電力構成に占める水力の割合が大きい「水主火従」の状況となりました。

表-1.1.2 動力別発電力(1940 年度～1950 年度)[7]

年度	発電力（千 kW）		
	1940 年	1945 年	1950 年
水力	5,127	6,435	6,763
火力	3,946	3,950	4,008

開発に有利な適地が少なくなってきたこと、ダムの建設には巨額の資金と長い時間を必要とすること、ダム開発に伴う環境問題や地元との合意形成が困難となってきたことから、水力発電では急激な電力需要の高まりに対応することが難しくなってきました。

---

[6] 出典）橘川武郎 著「日本電力業発展のダイナミズム」2004 年 p.65

[7] 出典）橘川武郎 著「日本電力業発展のダイナミズム」2004 年 p.174

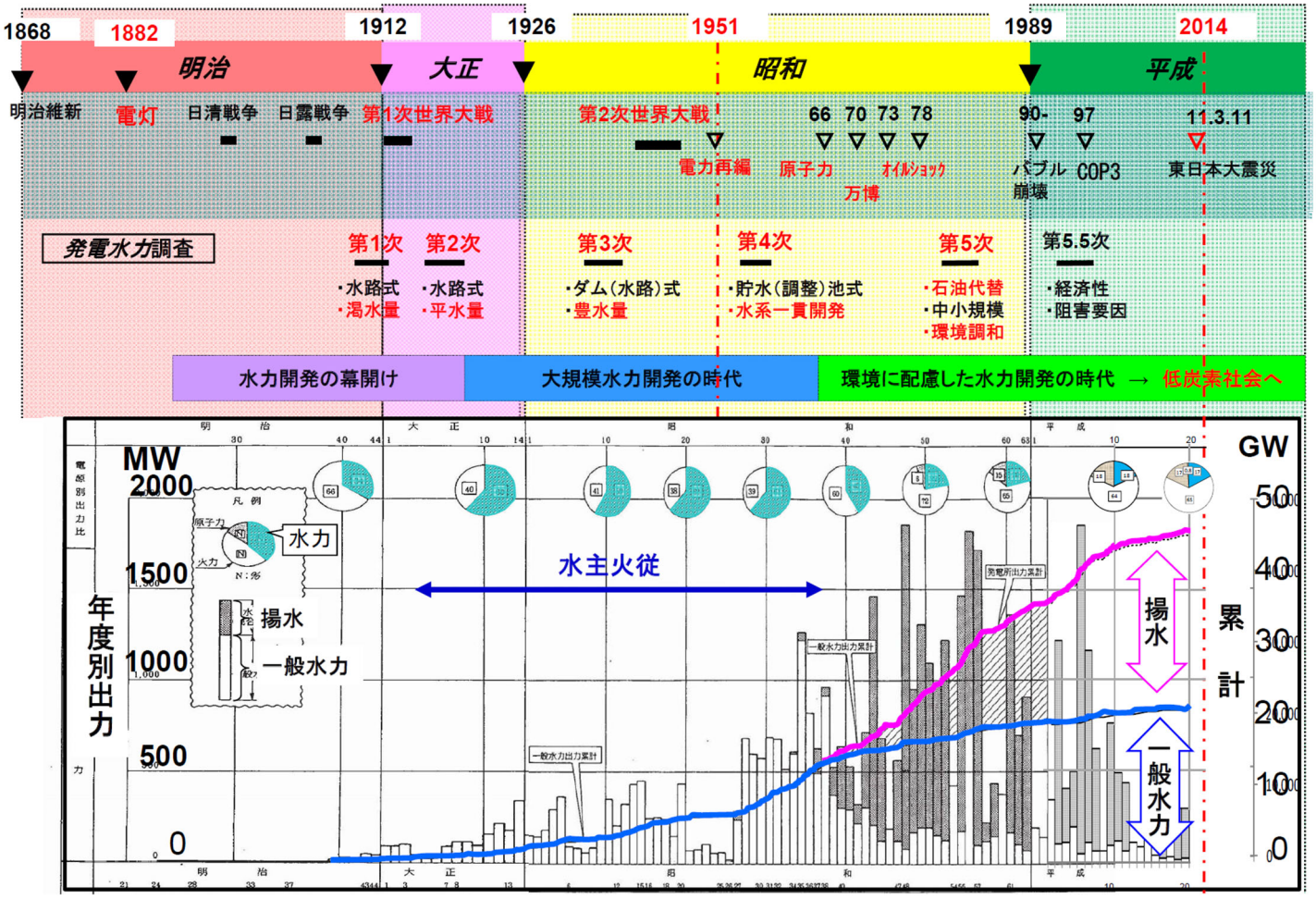
このため、1955 年から 65 年にかけて、水力より建設費が安く比較的短期間で完成する大規模火力発電所が次々に建設されることになりました。また原子力発電が本格的に導入されて以降、発電の主体は水力から火力・原子力に移ることとなり、「火主水従」とよばれる時代になりました。この間、水力発電の担うべき役割は大きく変化し、電力の需給バランスを調整するうえで電力の安定供給において重要な役割を担う揚水発電所の開発が進められることとなりました。

(3) 環境に配慮した水力開発の時代

大規模と比較して開発適地が残っている中小水力の開発促進が進められており、河川の流水を利用する以外にも、農業用水や上下水道の未利用落差の活用が進められています。特に、2012 年から始まった FIT 制度以降、中小水力発電の導入拡大が進んでおり、2021 年 6 月末時点の FIT 認定量は 158 万 kW、導入量は 77 万 kW に達しました。

なお、2021 年 10 月に閣議決定した第 6 次エネルギー基本計画において新たに示された 2030 年度におけるエネルギー需給の見通しでは、現時点導入量が中小水力、大水力、揚水含めた全体で 50GW、819 億 kWh となっているところを野心的な水準として、2030 年までに 50.7GW、980 億 kWh まで実現を目指すこととしており、現時点で想定できないような取組が進み、早期にこの水準に到達した場合は更なる高みを目指すとしております。

表-1.1.3 我が国の水力発電開発の経緯[8]



[8] 出典）JCRE フォーラム：「中小水力・未利用エネルギー分野（分科会 12)」 ～日本の水力発電の歴史・意義と IEA 水力実施協定における国際活動～ 平成 27 年 7 月 31 日　新エネルギー財団　水力地熱本部　水力国際・技術部　秋山隆（IEA　Annex―XI　OA）　p3

1.1.3 中小水力発電開発の今日的課題

水力発電に関する調査によれば、表-1.1.4 に示すとおり我が国においては約 1,200 万 kW の包蔵水力があるとされています。しかし、2021 年 10 月に閣議決定された第 6 次エネルギー基本計画によると、水力発電は『開発リスクが高く、新規地点の開拓が難しいことに加え、河川環境に関連する地域の合意や系統制約などの課題が存在する。地域の治水目的などと併せて地域との共生やコスト低減を図りつつ、自立化を実現していくためには、こうした課題を克服していく必要がある。』としています。

表-1.1.4 我が国の水力発電ポテンシャル[9]

出力区分	既開発			工事中			未開発		
(kW)	地点	出力(kW)	電力量(MWh)	地点	出力(kW)	電力量(MWh)	地点	出力(kW)	電力量(MWh)
1,000未満	622	254,821	1,544,227	33	16,154	76,801	349	231,228	1,165,133
1,000～3,000	422	749,770	4,153,062	7	11,650	66,428	1,204	2,212,600	8,977,134
3,000～5,000	162	606,136	3,173,949	7	26,010	122,466	513	1,925,000	7,717,712
5,000～10,000	278	1,891,428	9,547,398	15	97,600	520,506	336	2,266,300	9,067,250
10,000～30,000	350	5,907,165	26,884,249	24	380,726	1,841,206	203	3,204,000	11,993,510
30,000～50,000	86	3,257,900	14,362,125	1	40,000	171,950	21	801,900	2,610,500
50,000～100,000	66	4,321,350	16,973,722	3	195,400	830,213	13	782,100	2,132,400
100,000以上	25	4,926,100	13,571,252	2	261,000	1,219,757	2	236,000	464,000
計	2,011	21,914,670	90,209,984	92	1,028,540	4,849,327	2,641	11,659,128	44,127,639
平均	-	10,897	44,858	-	11,180	52,710	-	4,415	16,709

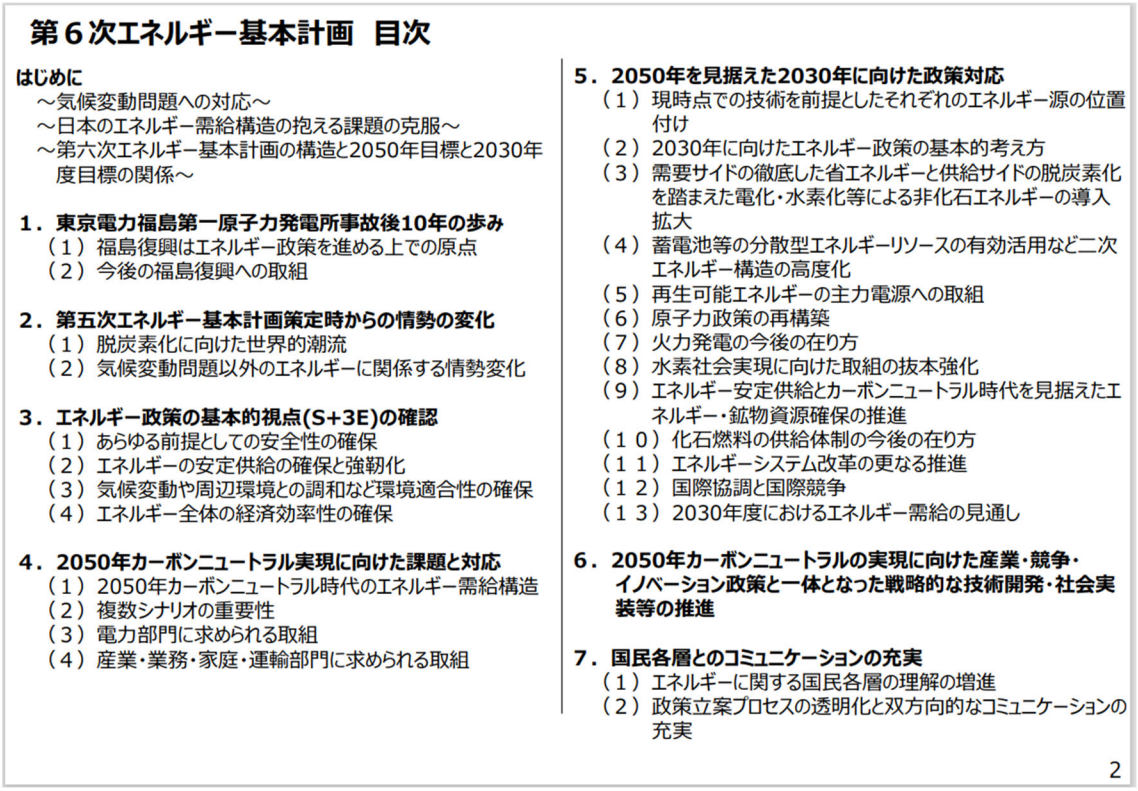
[9] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「日本の水力エネルギー量」
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/database/energy_japan006/>
（2022.1.31 閲覧）

1.2 水力発電事業の意義、目的

1.2.1 第 6 次エネルギー基本計画における再生可能エネルギー・水力発電への期待

2021 年 10 月に閣議決定された第 6 次エネルギー基本計画[10](図-1.2.1)は、①2020 年 10 月に表明された「2050 年カーボンニュートラル」や、2021 年 4 月に表明された、2030 年度の 46%削減、さらに 50%の高みを目指して挑戦を続ける新たな温室効果ガス排出削減目標の実現に向けたエネルギー政策の道筋を示すこと、②気候変動対策を進めながら、日本のエネルギー需給構造が抱える課題の克服に向け、安全性（Safety）の確保を大前提に安定供給（Energy Security）の確保や経済効率性の向上（Economic Efficiency）による低コストでのエネルギー供給を実現し、同時に、環境への適合（Environment）を図る、S+3E の視点を持った取組を示すこと、の 2 つを重要なテーマに掲げています。

以下では、2050 年を見据えた 2030 年に向けた対応をしていく上で、今次エネルギー基本計画では、再生可能エネルギー、とりわけ水力発電をどう位置づけ、どれほど期待されているのか、さらなる導入拡大のために何が必要とされているかを確認します。



第６次エネルギー基本計画　目次

はじめに
～気候変動問題への対応～
～日本のエネルギー需給構造の抱える課題の克服～
～第六次エネルギー基本計画の構造と2050年目標と2030年度目標の関係～

１．東京電力福島第一原子力発電所事故後10年の歩み
（１）福島復興はエネルギー政策を進める上での原点
（２）今後の福島復興への取組

２．第五次エネルギー基本計画策定時からの情勢の変化
（１）脱炭素化に向けた世界的潮流
（２）気候変動問題以外のエネルギーに関係する情勢変化

３．エネルギー政策の基本的視点(S+3E)の確認
（１）あらゆる前提としての安全性の確保
（２）エネルギーの安定供給の確保と強靭化
（３）気候変動や周辺環境との調和など環境適合性の確保
（４）エネルギー全体の経済効率性の確保

４．2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応
（１）2050年カーボンニュートラル時代のエネルギー需給構造
（２）複数シナリオの重要性
（３）電力部門に求められる取組
（４）産業・業務・家庭・運輸部門に求められる取組

５．2050年を見据えた2030年に向けた政策対応
（１）現時点での技術を前提としたそれぞれのエネルギー源の位置付け
（２）2030年に向けたエネルギー政策の基本的考え方
（３）需要サイドの徹底した省エネルギーと供給サイドの脱炭素化を踏まえた電化・水素化等による非化石エネルギーの導入拡大
（４）蓄電池等の分散型エネルギーリソースの有効活用など二次エネルギー構造の高度化
（５）再生可能エネルギーの主力電源への取組
（６）原子力政策の再構築
（７）火力発電の今後の在り方
（８）水素社会実現に向けた取組の抜本強化
（９）エネルギー安定供給とカーボンニュートラル時代を見据えたエネルギー・鉱物資源確保の推進
（１０）化石燃料の供給体制の今後の在り方
（１１）エネルギーシステム改革の更なる推進
（１２）国際協調と国際競争
（１３）2030年度におけるエネルギー需給の見通し

６．2050年カーボンニュートラルの実現に向けた産業・競争・イノベーション政策と一体となった戦略的な技術開発・社会実装等の推進

７．国民各層とのコミュニケーションの充実
（１）エネルギーに関する国民各層の理解の増進
（２）政策立案プロセスの透明化と双方向的なコミュニケーションの充実

2

図-1.2.1　第 6 次エネルギー基本計画　目次[11]

---

[10] 出典）経済産業省「第 6 次エネルギー基本計画」
＜https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf＞（2022.1.31 閲覧）

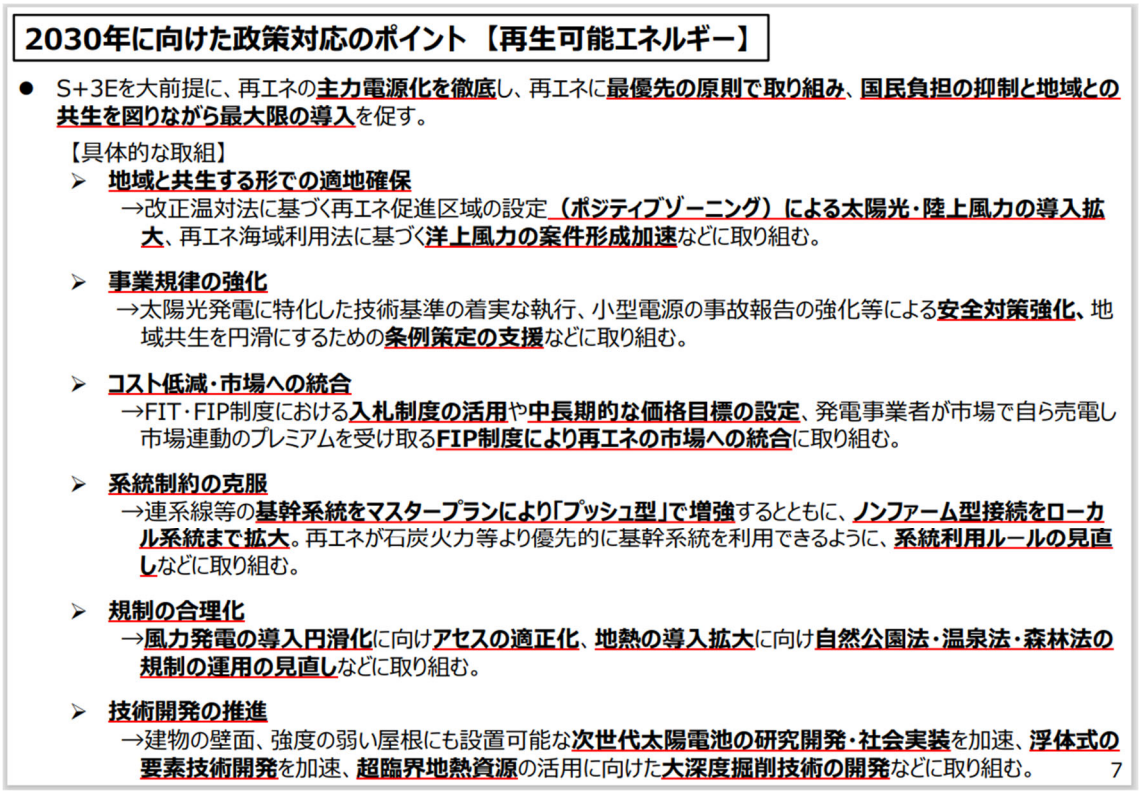
[11] 出典）経済産業省「第 6 次エネルギー基本計画の概要」p.2
＜ https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-2.pdf ＞（2022.1.31 閲覧）

(1)　再生可能エネルギーの主力電源への取組

再生可能エネルギーは、「温室効果ガスを排出しない脱炭素エネルギー源であるとともに、国内で生産可能なことからエネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な国産エネルギー源」であるとして、「S+3E を大前提に、再生可能エネルギーの主力電源化を徹底し、再生可能エネルギーに最優先の原則で取り組み、国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入を促す。」としています。

また、国民負担の抑制や、電力システム全体での安定供給の確保、地域と共生する形での事業実施を確保しつつ、導入拡大を図っていくため、「地域と共生する形での適地確保、コスト低減、系統制約の克服、規制の合理化、研究開発などを着実に進めていく。」としています。

2030 年に向けた再生可能エネルギーに関する政策対応として、図-1.2.2 に示すポイントが掲げられています。



2030年に向けた政策対応のポイント【再生可能エネルギー】

- S+3Eを大前提に、再エネの**主力電源化を徹底**し、再エネに**最優先の原則で取り組み**、**国民負担の抑制と地域との共生を図りながら最大限の導入**を促す。

【具体的な取組】

- **地域と共生する形での適地確保**
  →改正温対法に基づく再エネ促進区域の設定（**ポジティブゾーニング**）**による太陽光・陸上風力の導入拡大**、再エネ海域利用法に基づく**洋上風力の案件形成加速**などに取り組む。
- **事業規律の強化**
  →太陽光発電に特化した技術基準の着実な執行、小型電源の事故報告の強化等による**安全対策強化**、地域共生を円滑にするための**条例策定の支援**などに取り組む。
- **コスト低減・市場への統合**
  →FIT・FIP制度における**入札制度の活用**や**中長期的な価格目標の設定**、発電事業者が市場で自ら売電し市場連動のプレミアムを受け取る**FIP制度により再エネの市場への統合**に取り組む。
- **系統制約の克服**
  →連系線等の**基幹系統をマスタープランにより「プッシュ型」で増強**するとともに、**ノンファーム型接続をローカル系統まで拡大**。再エネが石炭火力等より優先的に基幹系統を利用できるように、**系統利用ルールの見直し**などに取り組む。
- **規制の合理化**
  →**風力発電の導入円滑化**に向け**アセスの適正化**、**地熱の導入拡大**に向け**自然公園法・温泉法・森林法の規制の運用の見直し**などに取り組む。
- **技術開発の推進**
  →建物の壁面、強度の弱い屋根にも設置可能な**次世代太陽電池の研究開発・社会実装**を加速、**浮体式の要素技術開発**を加速、**超臨界地熱資源**の活用に向けた**大深度掘削技術の開発**などに取り組む。

7

図-1.2.2　第 6 次エネルギー基本計画　2030 年に向けた政策対応のポイント（再エネ）[12]

[12] 出典）経済産業省「第 6 次エネルギー基本計画の概要」p.7
< https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-2.pdf >（2022.1.31 閲覧）

(2) 水力発電への期待

水力発電については、「純国産で、渇水の問題を除き、天候に左右されない優れた安定供給性を持ち、長期的に活用可能なエネルギー源である。また、地域共生型のエネルギー源としての役割を拡大していくことが期待される。」「一般水力（流れ込み式）については、運転コストが低く、ベースロード電源として、揚水式については、再生可能エネルギーの導入拡大に当たっても必要な調整電源として重要な役割が期待される。」と期待感が示されています。なお、以下のような取り組みを行うこととしております。

- 中小水力発電の導入検討段階等で必要となる流量調査や基本・詳細設計の作成、地元理解の促進等への支援による新規事業者の参入促進
- 産業界におけるコスト低減の促進
- 既往関係者が収集したデータの複数関係者間での共有
- 地域との連携の観点からの地元自治体との一層の連携への配意
- 自治体主導下での新規開発を促進する有望地点・水系情報を積極的に活用する枠組の構築
- デジタル技術の活用等による、設備・地域の安全を確保した上でのダム・導水路などの発電における環境負荷や費用の低減化
- 既存設備のリプレイス等による最適化・高効率化や発電利用されていない既存ダムなどへの発電機の設置等による発電電力量の増大化
- 現在研究が進められている長時間流入量予測などのデジタル技術を活用した効率的な貯水運用による水力エネルギーの有効活用の推進
- 関係者が明確なスケジュール、役割分担の下で連携して取り組むことができるよう、水力発電の利活用改善に関する方向性を示す

1.2.2 水力発電の市場価値とニーズ

(1) 電源構成と水力の役割

電気が安定して利用されるためには発電量と需要量がバランスしている必要があります。発電に使われるエネルギー種ごとの特性に応じて図-1.2.3 に示すような役割があります。太陽光は日中しか発電できないこと、風力も気象状況に依存するなど変動電源として位置付けられます。水力は、原子力、地熱と同様、ベースロード電源として位置づけられます。火力は他のエネルギー種の発電量と需要量のバランスを取るための調整電源として位置づけられます。

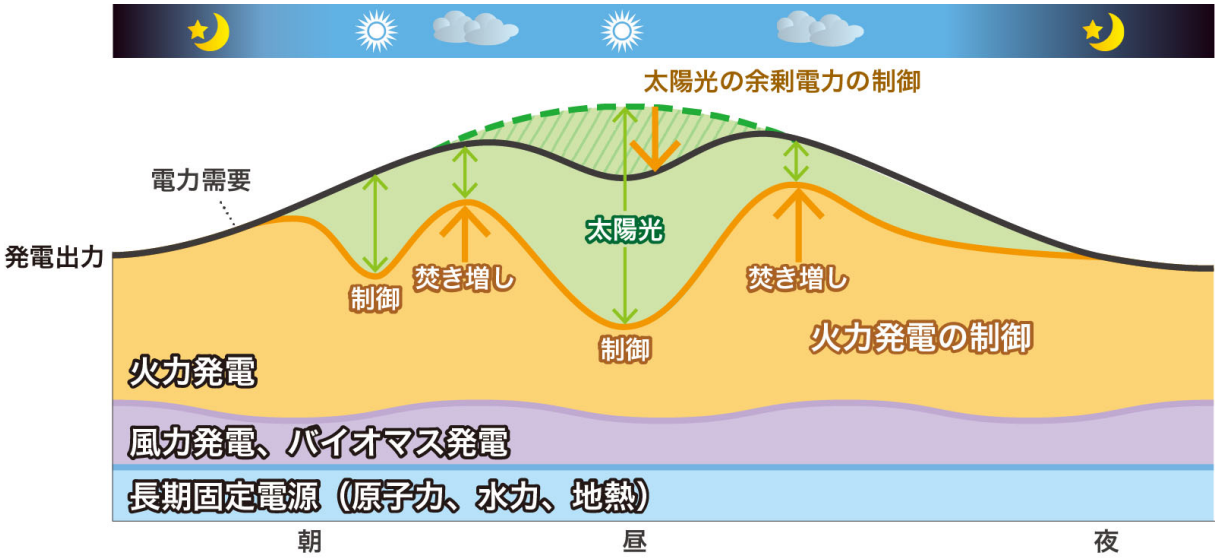


図-1.2.3 電力の需給イメージ[13]

(2) 水力発電の特性

水力発電は水車の回転力を電気に変える方式であることから、以下のような特性があります。特に三つ目は水力発電固有の特性です。

- 慣性力を有する
- 系統への同期化力を有する
- 無効電力供給能力を有する

これらのことから、水力発電には系統に対する安定性確保の役割が期待されています。2018 年 9 月に発生した北海道胆振地震を原因として北海道全域がブラックアウトする事態が発生しました。火力発電所の停止、地震動による送電線事故が重なり、水力発電等が有する周波数調整能力が機能しなくなったことにより、周波数を安定的に保つこと（系統安定度を維持すること）が困難となったことがブラックアウトの複合要因とされています。

---

[13] 出典）資源エネルギー庁「日本のエネルギー 2020 年度版」p.14
< https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2020.pdf >（2022.1.31 閲覧）

1.2.3 水力発電事業立案における目的の整理

水力発電事業を進める今日的目的として以下の特性を活かす事項が挙げられます。

（非化石国産エネルギーの活用）

発電の際に二酸化炭素を発生させないクリーンな電源であると同時に純国産のエネルギーであること、開発にかかる課題は抱えているものの大きな賦存量を要しています。

（カーボンニュートラルの目標達成に向けた活動）

国際的な温暖化対策の枠組みと連動して我が国が定めたカーボンニュートラルの目標達成に向けて貢献する必要があります。温対法改正を背景に全国あらゆるところで脱炭素の取り組みが加速する必要があり、水力発電を通して貢献することが求められます。

（電力系統安定への貢献）

再エネ電源は他にもありますが、水力発電は水車の回転力を電気に変える方式であることで備わっている慣性力、同期化力、無効電力供給力が系統安定に貢献できるのが大きな特徴です。

上記のような特性を踏まえつつ、水力発電事業実施の目的を以下概説します。

(1) 水力発電事業実施による売電収益

水力発電所を建設することで生み出される電力を売電することで収益を得ることを目的として事業を実施することは発電事業における一般的な目的の一つといえます。この電気の売り先としては小売り電気事業者をはじめ、卸電力取引所（JEPX）への販売、特定企業と相対契約など様々な選択肢がありますが、中でもよく耳にするのが「固定価格買取制度」いわゆる FIT（Feed-in Tariff）と言われる制度ではないでしょうか。この FIT 制度は 2012 年 7 月より開始され、これにより太陽光発電所をはじめとした再生可能エネルギーの設備導入が大きく進みました。

また、なお、2022 年 4 月から電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法の改正に伴い、下記のとおり FIP（Feed-in Premium）制度も開始となります。

> 令和 4 年 4 月 1 日より、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法は改正され、再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法となります。改正の概要は以下のとおりです。（中略）
>
> ＜市場連動型の導入支援＞
>
> 再生可能エネルギー発電事業者の投資予見可能性を確保しつつ、市場を意識した行動を促すため、固定価格で買い取る制度（FIT 制度）に加えて、新たに、市場価格をふまえて一定のプレミアムを交付する制度（FIP 制度）を創設します。
>
> 出典：経済産業省 資源エネルギー庁 HP[14]より

[14] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「なっとく！再生可能エネルギー」再エネ特措法改正情報 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/FIP_index.html#fip_seido>（2022.1.31 閲覧）

a. FIT 制度

FIT 制度の仕組みは資源エネルギー庁の HP に詳しくまとまっています。ここではその HP を基に概説します。

固定買取制度の仕組み

「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」は、再生可能エネルギーで発電した電気を、電力会社が一定価格で一定期間買い取ることを国が約束する制度です。電力会社が買い取る費用の一部を電気をご利用の皆様から賦課金という形で集め、今はまだコストの高い再生可能エネルギーの導入を支えていきます。この制度により、発電設備の高い建設コストも回収の見通しが立ちやすくなり、より普及が進みます。

経済産業省 資源エネルギー庁 HP より[15]

上記のとおり FIT 制度は、発電した電気を電力会社経由で国が一定期間固定価格で買い取ることを約束する制度です。これにより発電事業者は長期間にわたり一定の収入が担保されることから、コストが高い再生可能エネルギー設備の導入が促進されます。この FIT 制度の対象となるには以下の条件があります。

対象となる再生可能エネルギー

「太陽光」「風力」「水力」「地熱」「バイオマス」の 5 つのいずれかを使い、国が定める要件を満たす事業計画を策定し、その計画に基づいて新たに発電を始められる方が対象です。発電した電気は全量が買取対象になりますが、住宅の屋根に載せるような 10kW 未満の太陽光の場合やビル・工場の屋根に載せるような 10～50kW の太陽光の場合は、自分で消費した後の余剰分が買取対象となります。

経済産業省 資源エネルギー庁 HP より[16]

FIT 制度の買取価格は「調達価格算定委員会[17]」で議論され、最終的な価格は経済産業省資源エネルギー庁の HP[18]（なっとく！再生可能エネルギー）にて公表されます。なお、参考として水力発電に関する調達価格（2022 年度以降）について「調達価格算定委員会」による委員長案が表-1.2.1 のように示されています。

---

15 出典）経済産業省資源エネルギー庁「なっとく！再生可能エネルギー　固定買取制度」
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/surcharge.html>（2022.1.31 閲覧）

16 出典）経済産業省資源エネルギー庁「なっとく！再生可能エネルギー　固定買取制度」
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/surcharge.html>（2022.1.31 閲覧）

17 出典）経済産業省「審議会・研究会 調達価格算定委員会」
<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/>（2022.1.31 閲覧）

18 出典）経済産業省資源エネルギー庁「なっとく！再生可能エネルギー お知らせ」
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/>（2022.1.31 閲覧）

表-1.2.1(1)　FIT 制度の調達価格についての委員長案（水力発電）[19]

令和4年度以降（2022年度以降）の調達価格等についての委員長案　11

⑳水力（200kW未満） 新設：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度 ※FIT/FIPが選択可能	（参考）2023年度 ※FIT/FIPが選択可能	2024年度 ※FIT/FIPが選択可能
FIT調達価格（注9）	34円/kWh+消費税	34円/kWh+消費税	34円/kWh+消費税	34円/kWh+消費税
FIP基準価格		34円/kWh	34円/kWh	34円/kWh
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間	20年間

㉑水力（200kW未満）既設導水路活用型：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度 ※FIT/FIPが選択可能	（参考）2023年度 ※FIT/FIPが選択可能	2024年度 ※FIT/FIPが選択可能
FIT調達価格（注9）	25円/kWh+消費税	25円/kWh+消費税	25円/kWh+消費税	25円/kWh+消費税
FIP基準価格		25円/kWh	25円/kWh	25円/kWh
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間	20年間

㉒水力（200kW以上1,000kW未満） 新設：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度 ※FIT/FIPが選択可能	（参考）2023年度 ※FIT/FIPが選択可能	2024年度 ※FIT/FIPが選択可能
FIT調達価格（注9）	29円/kWh+消費税	29円/kWh+消費税	29円/kWh+消費税	29円/kWh+消費税
FIP基準価格		29円/kWh	29円/kWh	29円/kWh
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間	20年間

㉓水力（200kW以上1,000kW未満）既設導水路活用型：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度 ※FIT/FIPが選択可能	（参考）2023年度 ※FIT/FIPが選択可能	2024年度 ※FIT/FIPが選択可能
FIT調達価格（注9）	21円/kWh+消費税	21円/kWh+消費税	21円/kWh+消費税	21円/kWh+消費税
FIP基準価格		21円/kWh	21円/kWh	21円/kWh
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間	20年間

（注9） 2022年度～2024年度の1,000kW未満については、自家消費/地域消費・地域一体型の地域活用要件を満たすもののみ、FIT制度を適用。
ただし、沖縄・離島等供給エリアは、地域活用要件を求めないこととする。

表-1.2.1(2)　FIT 制度の調達価格についての委員長案（水力発電）[20]

令和4年度以降（2022年度以降）の調達価格等についての委員長案　12

㉔水力（1,000kW以上5,000kW未満）新設：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度	2023年度
FIT調達価格	27円/kWh+消費税		
FIP基準価格		27円/kWh	27円/kWh
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間

㉕水力（1,000kW以上5,000kW未満）既設導水路活用型：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度	2023年度
FIT調達価格	15円/kWh+消費税		
FIP基準価格		15円/kWh	15円/kWh
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間

[19] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「調達価格等算定委員会 令和 4 年度以降の調達価格等に関する意見について」<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/20220204_report.html>（2022.1.31 閲覧）

[20] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「調達価格等算定委員会 令和 4 年度以降の調達価格等に関する意見について」<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/20220204_report.html>（2022.1.31 閲覧）

表-1.2.1(3)　FIT 制度の調達価格についての委員長案（水力発電）[21]

令和4年度以降（2022年度以降）の調達価格等についての委員長案　13

㉖水力（5,000kW以上30,000kW未満）新設：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度	2023年度
ＦＩＴ調達価格	20円/kWh+消費税		
ＦＩＰ基準価格		20円/kWh	16円/kWh
資本費	69万円/kW	2021年度の想定値を据え置き	51万円/kW
運転維持費	0.95万円/kW/年	2021年度の想定値を据え置き	2022年度の想定値を据え置き
設備利用率	45%	2021年度の想定値を据え置き	2022年度の想定値を据え置き
IRR（税引前）（法人税等の税引前の内部収益率）	7%	2021年度の想定値を据え置き	2022年度の想定値を据え置き
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間

㉗水力（5,000kW以上30,000kW未満）既設導水路活用型：

	（参考）2021年度	（参考）2022年度	2023年度
ＦＩＴ調達価格	12円/kWh+消費税		
ＦＩＰ基準価格		12円/kWh	9円/kWh
資本費	34.5万円/kW	2021年度の想定値を据え置き	26万円/kW
運転維持費	0.95万円/kW/年	2021年度の想定値を据え置き	2022年度の想定値を据え置き
設備利用率	45%	2021年度の想定値を据え置き	2022年度の想定値を据え置き
IRR（税引前）（法人税等の税引前の内部収益率）	7%	2021年度の想定値を据え置き	2022年度の想定値を据え置き
調達期間/交付期間	20年間	20年間	20年間

水力発電所においてFIT制度を活用する場合は、地域活用要件が必要となる場合があるため注意が必要です。

※ 次ページ参照

[21] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「調達価格等算定委員会 令和４年度以降の調達価格等に関する意見について」<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/20220204_report.html>（2022.1.31 閲覧）

▶地域活用要件について

再エネの地域における活用を促すため、以下の電源にはFIT認定基準として地域活用要件を設定します。

事業用太陽光（10-50kW）	▷ 2020年度から自家消費型の要件を設定します。
地熱 中小水力 バイオマス	▷ 2022年度から自家消費型、地域消費型及び地域一体型の要件を設定します。 ▷ 2022年度に地域活用要件を設定する規模：地熱1,000kW未満／中小水力1,000kW未満／バイオマス10,000kW未満 ※地熱・中小水力の対象規模は、2023年度も同じとなります。

＜事業用太陽光（10-50kW）に設定される自家消費型の要件＞

以下の①～②の要件をすべて満たすことが必要となります。

① 当該再エネ発電設備の設置場所を含む一の需要場所において、発電電力量の少なくとも30%の自家消費等を行うこと。
- ▶ 自家消費等が可能な配線構造となっていることに加え、自家消費等計画を策定することが必要となります。
- ▶ 買取電力量を確認し、制度上想定している自家消費比率を構造的に満たし得ないと疑われる案件については、再エネ発電事業の具体的な状況を確認した上で、認定取消し等の厳格な措置を講じます。
- ▶ 具体的な状況の確認が実施できるよう、小売電気事業者との需給契約に係る電気料金請求書等・検針票を保存するとともに、発電電力量の記録を行う必要があります。

② 災害時に活用するための最低限の設備を求めるものとして、災害時のブラックスタートが可能であることを前提とした上で、給電用コンセントを有し、当該給電用コンセントの災害時の利活用が可能であること。
- ▶ 少なくとも10kW相当分のPCSに自立運転機能を具備させ、1.5kWの自立運転出力を確保する必要があります。

※営農型太陽光発電であり、農地に立てる支柱に係る農地転用許可の期間が3年を超えるものについては、②の要件のみ満たせば、FIT認定の対象となります。
この場合、FIT認定後、3年以内に農地転用許可を得る必要があります。

＜地熱・中小水力・バイオマスに設定される地域活用要件＞

※2022年度・2023年度の地熱・中小水力・バイオマスに設定される地域活用要件については、調達価格等算定委員会「令和3年度以降の調達価格等に関する意見」において、以下の内容が取りまとめられています。

以下の①～②の要件のいずれかを満たすことが必要となります。（新設・リプレースを問わない）

① 自家消費型・地域消費型の地域活用要件（以下のいずれか）
- ▶ 当該事業計画に係る再生可能エネルギー発電設備により発電される電気量の少なくとも3割を自家消費※するもの。すなわち、7割未満を特定契約の相手方である電気事業者に供給するもの。
- ▶ 当該事業計画に係る再生可能エネルギー発電設備による電気を再生可能エネルギー電気特定卸供給により供給し、かつ、その契約の相手方にあたる小売電気事業者または登録特定送配電事業者が、小売供給する電気量の5割以上を当該発電設備が所在する都道府県内へ供給※※するもの。
- ▶ 当該事業計画に係る再生可能エネルギー発電設備により産出された熱を、原則として常時利用する構造を有し、かつ、当該発電設備により発電される電気量の少なくとも1割を自家消費※、すなわち、9割未満を特定契約の相手方である電気事業者に供給するもの。

② 地域一体型の地域活用要件（以下のいずれか）
- ▶ 当該事業計画に係る再生可能エネルギー発電設備が所在する地方公共団体の名義（第三者との共同名義含む）の取り決め※※※において、当該発電設備による災害時を含む電気又は熱の当該地方公共団体内への供給が、位置付けられているもの。
- ▶ 地方公共団体が自ら事業を実施または直接出資するもの。
- ▶ 地方公共団体が自ら事業を実施または直接出資する小売電気事業者または登録特定送配電事業者に、当該事業計画に係る再生可能エネルギー発電設備による電気を再生可能エネルギー電気特定卸供給により供給するもの。

※自家消費では、自家消費比率を把握するため、発電電力量を記録することが求められます。
※※小売供給の状況については、小売電気事業者または登録特定送配電事業者の協力によって必要な書類の添付等をすることが求められます。
※※※当該取り決めには、法律に基づいて当該発電設備に係る認定を地方公共団体が行うものを含みます。

注1：地域活用要件を満たさなくなった場合は、FIP制度の対象となりうる場合はFIP制度への移行認定を申請いただくか、または、認定基準違反により改善命令・認定の取消しの対象となります。ただし、沖縄地域・離島等供給エリアは、地熱発電・中小水力発電・バイオマス発電について、地域活用要件を求めません。
注2：地域マイクログリッド（平時は既存の系統配線電線を活用し、緊急時にはオフグリッド化して地域内に電力供給を行う方法）については、その方法が確立した時点で、地域一体型の地域活用要件として認めます。

15

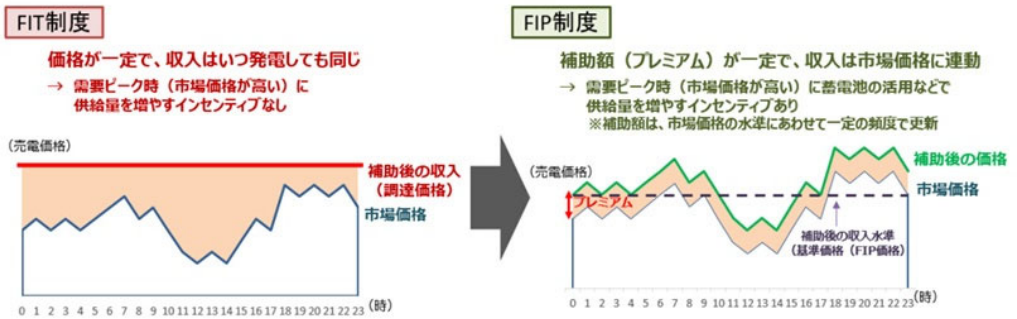
FIT 制度における地域活用要件について[22]

[22] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「固定買取制度等ガイドブック」p.15
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2021_fit.pdf>（2022.1.31 日閲覧）

b. FIP 制度

FIP 制度とは下記のとおり FIT 制度から他電源と共通の環境下で競争するまでの途中経過として位置づけられるものです。

FIP 制度は、再エネ自立化へのステップとして、電力市場への統合を促しながら、投資インセンティブが確保されるように支援する制度。そのため、FIP 制度を構成する各要素について、FIT 制度から他電源と共通の環境下で競争するまでの途中経過として位置づけ。



出典：経済産業省 資源エネルギー庁 HP[23]より

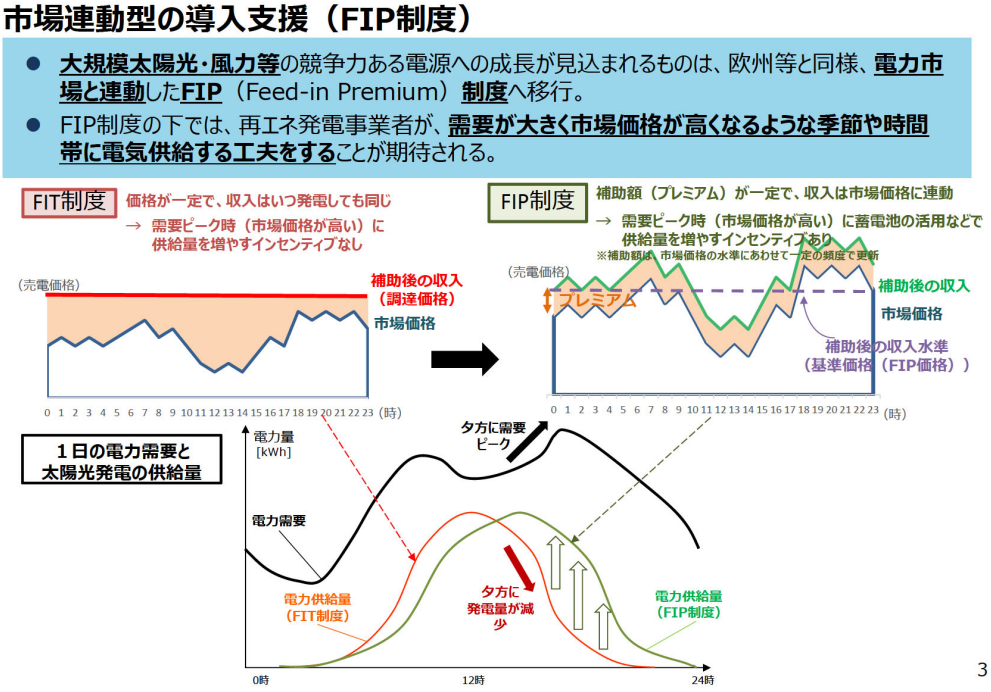


図-1.2.4 FIP 制度の概要[24]

---

[23] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「なっとく！再生可能エネルギー 再エネ特措法改正関連情報」<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/FIP_index.html#fip_more>（2022.1.31 閲覧）

[24] 出典：経済産業省資源エネルギー庁「FIP 制度について」2021 年 9 月 17 日 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/dl/fip_2020/fip_document02.pdf>（2022.1.31 閲覧）

FIT 制度と FIP 制度の比較したものを表-1.2.2 に示します。

表-1.2.2 FIT 制度と FIP 制度

	FIT 制度	FIP 制度
事業タイプ	依存型	自立型
買取価格	固定価格	変動価格 （電力販売＋プレミアム）
販売先	一般送配電事業者	卸電力取引所 小売電気事業者 等
環境価値の保有	できない	できる
バランシング責務	なし	あり
発電計画の作成・提出	必要ない	必要

FIT 制度と FIP 制度は、売電の仕組みと再エネ発電事業者の責務に違いがあります。FIP 制度では、発電事業者が自ら販売先を決めたり、発電の計画を作成して計画どおりに発電したりする必要があります。また、再エネ電源の環境価値は発電事業者が保有します。プレミアム価格は電力取引市場価格に連動し、毎月更新されます。

FIP 制度については、以下の URL で詳しい内容を紹介していますので、参考にしてください。

【経済産業省 資源エネルギー庁】

「なっとく！再生可能エネルギー　再エネ特措法改正関連情報」

　制度の詳細　-　市場連動型の導入支援（FIP 制度）

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/FIP_index.html

(2) 再エネ電気の環境価値取引

再生可能エネルギーには電気として価値に加えて、CO_2を排出しない電気としての「環境価値」が内在します。この再エネ電気の環境価値を取引する際に用いられるものがJ-クレジット、グリーン電力証書、非化石証書と呼ばれるものです。ここではそれらの概要について概説します。こういった環境価値を購入することで企業の脱炭素経営（RE100の達成など）に活用することができるため、近年ではその取引が活発化しています。

① J-クレジット制度

J-クレジット制度についてJ-クレジット制度HPでは以下のように説明されています。

> J－クレジット制度とは、省エネルギー設備の導入や再生可能エネルギーの利用による CO2 等の排出削減量や、適切な森林管理による CO2 等の吸収量を「クレジット」として国が認証する制度です。本制度は、国内クレジット制度とオフセット・クレジット（J-VER）制度が発展的に統合した制度で、国により運営されています。本制度により創出されたクレジットは、経団連カーボンニュートラル行動計画の目標達成やカーボン・オフセットなど、様々な用途に活用できます。
>
> J-クレジット制度HPより[25]

図-1.2.5にJ－クレジット制度の仕組みについて示します。このテキストで紹介する3つの証書（J-クレジット、グリーン電力証書、非化石証書）のうち、このJ-クレジットのみが転売が可能な証書となります。

なお、J-クレジットについては表-1.2.3に示すとおりその活用に制限があることから、活用には注意が必要です。

[25] 出典）J-クレジット制度「J-クレジット制度とは？」<https://japancredit.go.jp/about/outline/>（2022.1.31閲覧）

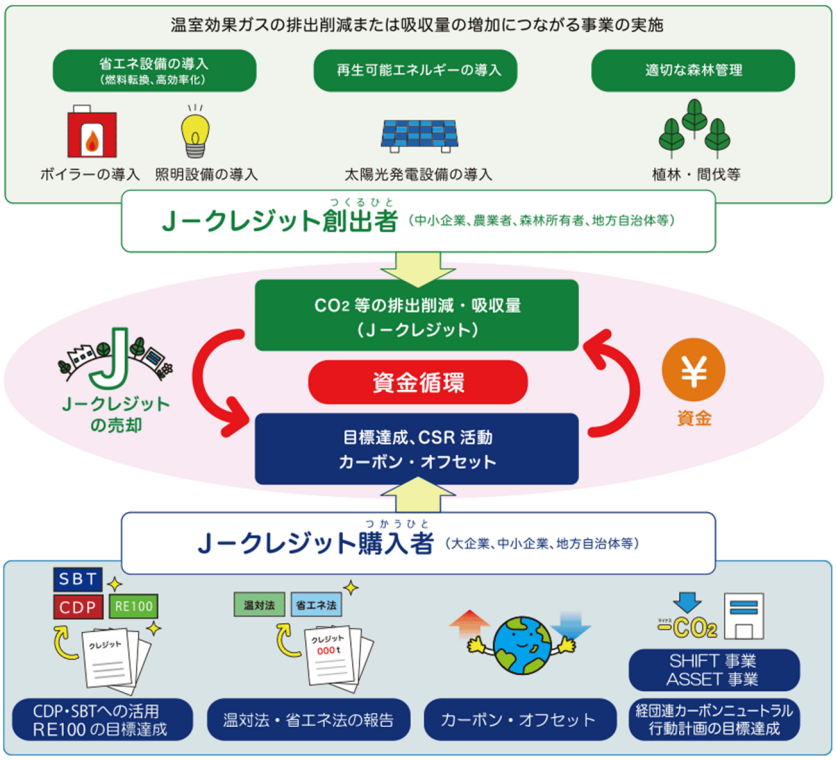


図-1.2.5　J-クレジット制度の概要[26]

表-1.2.3　J-クレジットの活用方法[27]

	再生可能エネルギー（電力）由来クレジット	再生可能エネルギー（熱）由来クレジット	省エネルギー由来クレジット	森林吸収由来クレジット	工業プロセス、農業、廃棄物由来クレジット
温対法での報告（排出量・排出係数調整）	○	○	○	○	○
省エネ法での報告（共同省エネルギー事業に限る）	×	×	○※1	×	×
カーボン・オフセットでの活用	○	○	○	○	○
CDP質問書での報告	○※1※2	○※1※3	×※4	×※4	×※4
SBTでの報告	○※1※2	○※1※3	×	×	×
RE100での報告	○※1※5	×	×	×	×
SHIFT事業・ASSET事業の目標達成	○	○	○	○	○
経団連カーボンニュートラル行動計画の目標達成	△※6	△※6	△※6	○	△※6

※1 報告可能な値はプロジェクトごと、認証回ごとに異なります。
※2 他者から供給された電力（Scope2）に対して、再エネ電力由来のＪ－クレジットを再エネ調達量として報告することができます。
※3 他者から供給された熱（Scope2）に対して、再エネ熱由来のＪ－クレジットを再エネ調達量として報告することができます。
※4 CDP気候変動質問書2021の設問C11.2にのみ、報告対象期間内の創出・購入量を報告可能です。
※5 自家発電した電力（Scope1）と他者から供給された電力（Scope2）の両方に使用可能です。
※6 経団連カーボンニュートラル行動計画に参加している事業者が創出したクレジットは対象外です。
制度記号が「JCL」のクレジットが使用可能です。詳しくはこちらをご確認ください。

[26] 出典）J-クレジット制度「J-クレジット制度とは？」<https://japancredit.go.jp/about/outline/>（2022.1.31 閲覧）

[27] 出典）J-クレジット制度「J-クレジットの活用方法」＜https://japancredit.go.jp/case/outline/＞（2022.1.31 閲覧）

② グリーン電力証書制度

グリーン電力価値の証書制度（グリーン電力証書制度）とは、日本品質保証機構（JQA）の HP には以下のように説明されています。

> グリーン電力価値の証書制度（グリーン電力証書制度）とは、自然エネルギーにより発電された電気のもつグリーン電力の環境価値の保有を希望する需要家が、電気自体とは切り離されたグリーン電力価値を証書等の形で保有し、その事実を広く社会に向けて公表できる仕組みです。この制度の目的は、以下の通りです。
>
> ✓ 本制度を通じてグリーン電力価値を保有することにより、グリーン電力発電設備を自ら保有することが困難な企業・自治体等の環境対策に貢献する。
>
> ✓ 発電者が保有するグリーン電力価値が移転されることを通じて、グリーン電力発電設備の建設・維持・拡大に貢献することとなり、ひいては日本におけるグリーン電力の導入に貢献する。
>
> グリーン電力証書制度の広がりの中で最も重要なことは、「特定の基準を充たした発電設備」によって取引されるグリーン電力価値が、「実際に発電」されていることを、「公平な立場の機関」が「認証」することです。この役割を担うのが当機構です。
>
> 日本品質保証機構 HP より[28]

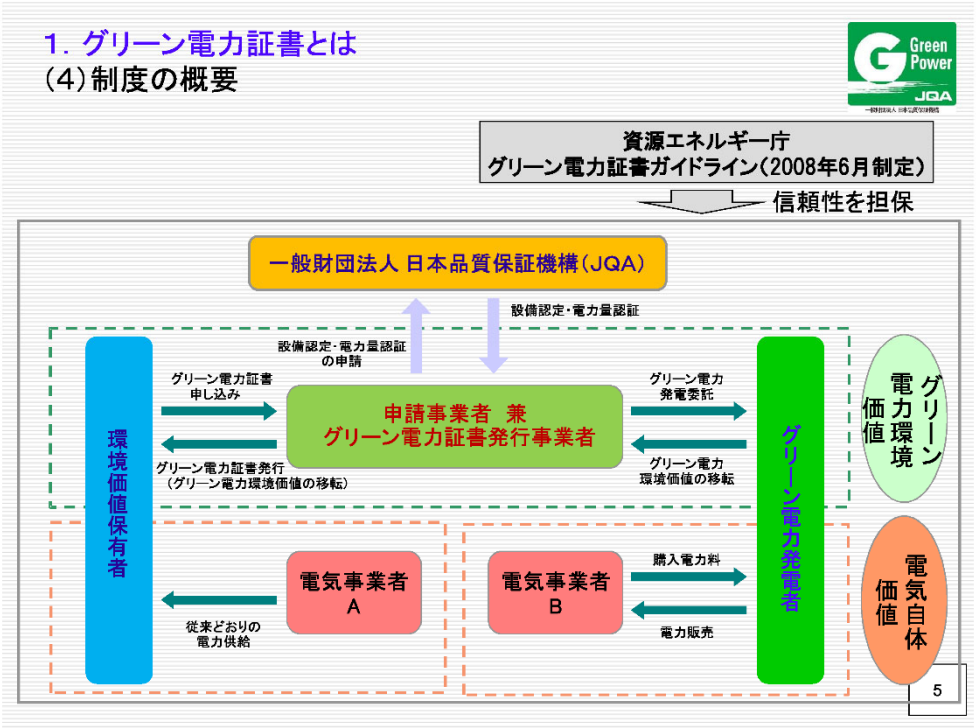


図-1.2.6 グリーン電力証書 制度の概要[29]

---

[28] 出典）JQA 日本品質保証機構「グリーン電力」
<https://www.jqa.jp/service_list/environment/service/greenenergy/>（2022.1.31 閲覧）

[29] 出典）JQA 日本品質保証機構「グリーン電力証書の概要について」2018 年 4 月 p.4
<https://www.jqa.jp/service_list/environment/service/greenenergy/file/index/outline.pdf?>（2022.1.31 閲覧）

グリーン電力証書に対する需要の高まりを受けて、2019 年に卒 FIT 住宅用太陽光を対象としたプログラム型の取り扱いや廃棄物発電（バイオマス発電）の取り扱いを開始するなど、グリーン電力証書の供給力強化に向けた取り組みが進められています。

グリーン電力証書の特徴として、その再エネ電源の情報（どこの発電所の再エネ電源なのか）が明確になるということがあります。このため特に再エネ電源の地産地消をアピールしたい需要家等のニーズにマッチします。環境価値は年度繰り越し可能ですが転売は認められていません。また、その購入価格も他の環境価値証書よりも高めとなっています。

③ 非化石証書

非化石証書は図-1.2.7 に示すとおり CO_2 を出さない電気について電気とは別にその環境価値を分離して再エネ価値取引市場で売買されるものです。この非化石証書には FIT 証書と非 FIT 証書の 2 種類があり、それぞれで対象とする電源や購入できる対象者が異なります。

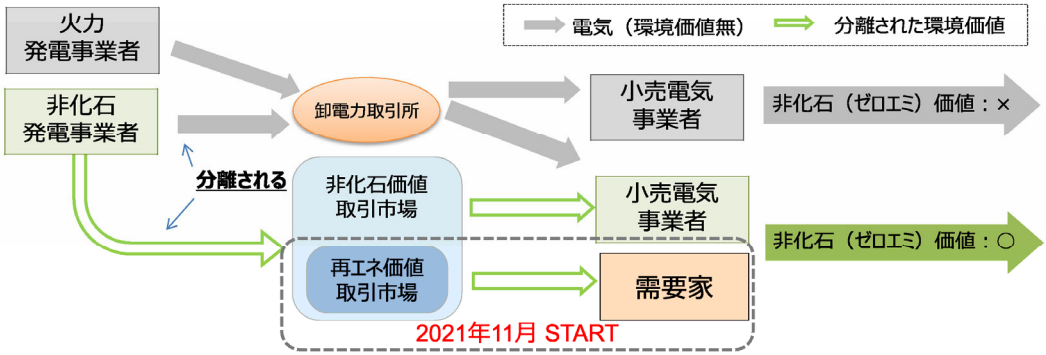
まず FIT 証書は FIT により発電された電気を対象としています。これまで FIT 証書は小売電気事業者だけが購入可能でしたが、RE100 等の再エネ電気に対する需要の高まりを受けて需要家も直接購入できるように 2021 年から再エネ価値取引市場が開設されました。また、これまでは電源証明が行えなかったため RE100 に活用できませんでしたが、2021 年度から全量トラッキングを行う方針が決まったため、これにより RE100 への活用が可能になりました。こういった FIT 証書の制度改正によって需要家や小売電気事業者が安価に環境価値を入手できるようになる一方で、価格の極端な低下により発電事業者や証書取り扱い事業者にとっての投資インセンティブが低下し、逆に再生可能エネルギーの普及を妨げかねないという意見もあることから、今後更なる整理が行われていくと予想されます。

一方の非 FIT 証書は原子力、大型水力発電、卒 FIT 電気といった FIT 対象外の自然エネルギー由来の電源の環境価値が対象です。非 FIT 証書は小売電気事業者の CO_2 排出係数の低減を目的とする高度化法に対応することを目的としているため、高度化法に基づく市場で小売電気事業者のみが購入できます。

非化石証書はグリーン電力証書や J－クレジットと違い、年度繰り越しができないことや、オークションにより調達する必要があるといったことについて留意が必要です。

非化石価値とは

- CO2を出さない電気には、**「環境価値」**があります。その**環境価値のひとつである「非化石価値」**を取り出し、証書のかたちにして売買を可能にしたのが**「非化石証書」**です。
- 非化石電源を使って電気をつくる発電事業者は、この証書を取引市場でオークションにかけます。再エネ価値取引市場では固定価格買取制度（FIT）対象となっている電源が対象で、市場の売上金は国民のFIT賦課金の軽減に使われます。
- 従来は電気を小売する事業者のみがこの証書を購入することができましたが、昨今の世界的な脱炭素化の流れの中で、今後カーボンニュートラルの実現に向けて需要家に非化石証書調達手段の多様化が求められることを踏まえ、**11月からは需要家が直接「非化石証書」を市場において購入することができるようになります。**



1

図-1.2.7　非化石価値の取引について[30]

[30] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「非化石市場取引について」2021 年 9 月 24 日 <https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/seido_kento/pdf/057_03_01.pdf>（2022.1.31 閲覧）

具体的な最低価格について①

第57回 制度検討作業部会
（2021年9月24日）資料3-1より抜粋

- 今回の制度見直しに当たっては、世界的に脱炭素への取組が急務となる中、**需要家による電気の再エネ価値へのニーズが急速に拡大していることを踏まえ、再エネ価値に対する需要家のアクセス環境や利便性向上**のための新たな市場創設を議論してきた。
- これまでに御議論されてきたとおり、新たに創設する市場における証書の価格形成は、需要家のニーズを反映した価格シグナルとして、**本来、需給バランスにより決まることが望ましい**。他方、足元では供給が需要を大幅に上回ると見込まれるため、**需給がバランスするまでの当面の措置**として、最低価格を設定することとしている。
- その際、グローバル競争にさらされる需要家にとって脱炭素化への取組状況が競争力に影響しかねない状況を踏まえると、再エネ価値の価格は、**海外の類似制度（0.1～0.2円/kWh）に対して遜色ない水準が求められる**。
- また、市場設計の在り方を考えた場合、新たな市場におけるFIT証書の供給量の急速な拡大が見込めない中、**需要量は価格に応じて大きく変動する可能性が高い**以上、新たな市場における価格形成を速やかに望ましい姿に近づけていくためには、**需要の拡大に重きを置くことが最も重要**となる。
- この点、先般実施した需要家アンケートの結果においても、0.1円～0.3円/kWhと0.4円～0.6円/kWhで潜在的な需要量に大きな差異があることが窺える。
- これらの事情を勘案し、新たな市場におけるFIT証書の最低価格については、**取引開始当初の暫定措置として、0.3円/kWhとしてはどうか**。

20

具体的な最低価格について②

第57回 制度検討作業部会
（2021年9月24日）資料3-1より抜粋

- なお、FIT証書の価格水準が低くなると**再エネ投資にネガティブな影響**があるとの懸念もある。しかし、再エネ電気の利用拡大を目指す需要家が、自ら再エネ投資を行うか、証書の調達により対応するかは、中長期も見据えた個別の経営・事業戦略によるところも大きいと考えられ、**必ずしも証書価格の水準のみによる判断とも限らない**。
- また、Ｊクレジット等の**類似の制度の価格水準への影響**については、各制度の取引の対象や需要家のニーズが異なるため、必ずしも直接的に及ぶものではなく、これまでと同様、**それぞれの役割・価値に応じた価格が今後も形成される可能性が高い**と考えられる。

図-1.2.8　非化石価値の取引について[31]

[31] 出典）資源エネルギー庁「非化石市場取引について」2021 年 10 月 20 日
<https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/036_s01_00.pdf>
（2022.1.31 閲覧）

上記のとおり再生可能エネルギー事業は電気を売って収益を稼ぐ以外にも、再エネ環境価値を取引することで収益を上げたり、それを自社のカーボンニュートラルの達成に活用したりと再生可能エネルギーには様々な活用方法があります。
こういった様々な状況を踏まえつつ、事業者として、まず水力発電に取り組む際に主たる目的を何にするのか、そしてその必要となる発電規模はどのくらいなのかをよく吟味することが事業化の第一歩となります。

1.3 水力発電事業の進め方

水力発電事業は様々な許認可協議、及び地元ステークホルダーとの調整が必要になることから、技術的な調査や検討とこれら許認可や調整を並行作業で進めることが効率的です。水力発電事業全体の流れを整理したものを図-1.3.1 に示します。各段階の概要を整理したものを表-1.3.1 に示します。以下その要点を整理して記載します。

① 事業立案段階

まず事業立案段階として「何のために水力発電事業を行うのか」「事業を実施できそうな適地があるか」「必要な許認可手続きは何か」を検討します。この結果により許認可が得られる見込みがあり、かつ発電規模が目的に合致できそうかを判断して（Gate 1 での判断をして)、次の事業実施段階へ進みます。

② 事業実施段階

ある程度の資金を投入して、地質や流量といった基礎調査を実施します。また、発電設備の基本設計（取水位置、発電位置、コスト、電力量などの算定）を行った上で、キャッシュフローの検討により事業採算性があるかを判断します。また、詳細設計や施工、維持管理への対応の可否（プロジェクトメンバーの組成の可否)、ファイナンスの協議結果を総合的に勘案して、詳細設計に着手するのかを最終判断する（Gate 2 での判断を下す）段階です。なお、この段階で各種許認可、及び地元ステークホルダーとの合意の目処をつける必要があります。

③ 事業建設段階

詳細な測量や地質調査、及び土木・機械・電気の詳細設計を実施し工事発注を行います。更には実際の施工を経て運用開始に至るまでの段階です。この段階は基本的に各専門業者（測量業者、地質調査会社、建設コンサルタント、水車発電機メーカー、建設会社など）へ調査設計や工事等を依頼することが基本となります。

④ 発電所運用段階

発電所の運用、及び維持管理を行う段階です。水力発電設備は長期間に亘って運用されることが多いことから、世代を超えて事業が継続できる体制の構築が必要となります。

このテキストでは上記各段階にそって必要となる検討事項等を説明する流れとします。

表-1.3.1 事業段階毎の主たる検討内容

事業段階	主たる検討内容	該当する 本テキストの章
事業立案段階	● 事業者が水力発電事業を実施する目的と意義を検討して決定する段階 ● 上記の事業目的と意義を基に、必要となる大凡の水力発電の規模を想定する段階 ● 机上調査により想定する大凡の水力発電規模の適地を探す段階 ● 上記の調査で得られた適地において、発電所建設に大きな支障が無いかを確認する段階	2 章
事業実施の判断 【第 1 ゲート】	事業立案段階における調査結果により、事業実施段階へ進むか撤退するかを判断する時点	
事業実施段階	● ある程度のコストをかけて調査・設計を行い水力発電所の基本諸元、構造、概算コスト等を整理する段階 ● 水力発電の原資となる流量の調査を開始する段階 ● プロジェクトスキーム、座組（メンバー)、経済性（キャッシュフロー)、ファイナンスの計画を立案する段階	3 章 4 章
事業建設の判断 【第 2 ゲート】	事業実施段階の調査で得られた結果を基に、事業建設段階に進むか撤退するかを判断する時点	
事業建設段階	● 詳細な測量や地質調査を実施する段階 ● 土木、機械設備、電気設備の詳細設計を実施する段階 ● 発電所建設工事を行う段階 ● 試運転を経て運用を開始する段階	5 章 6 章
発電所運用段階	発電所の運用と維持管理を継続して行う段階	7 章

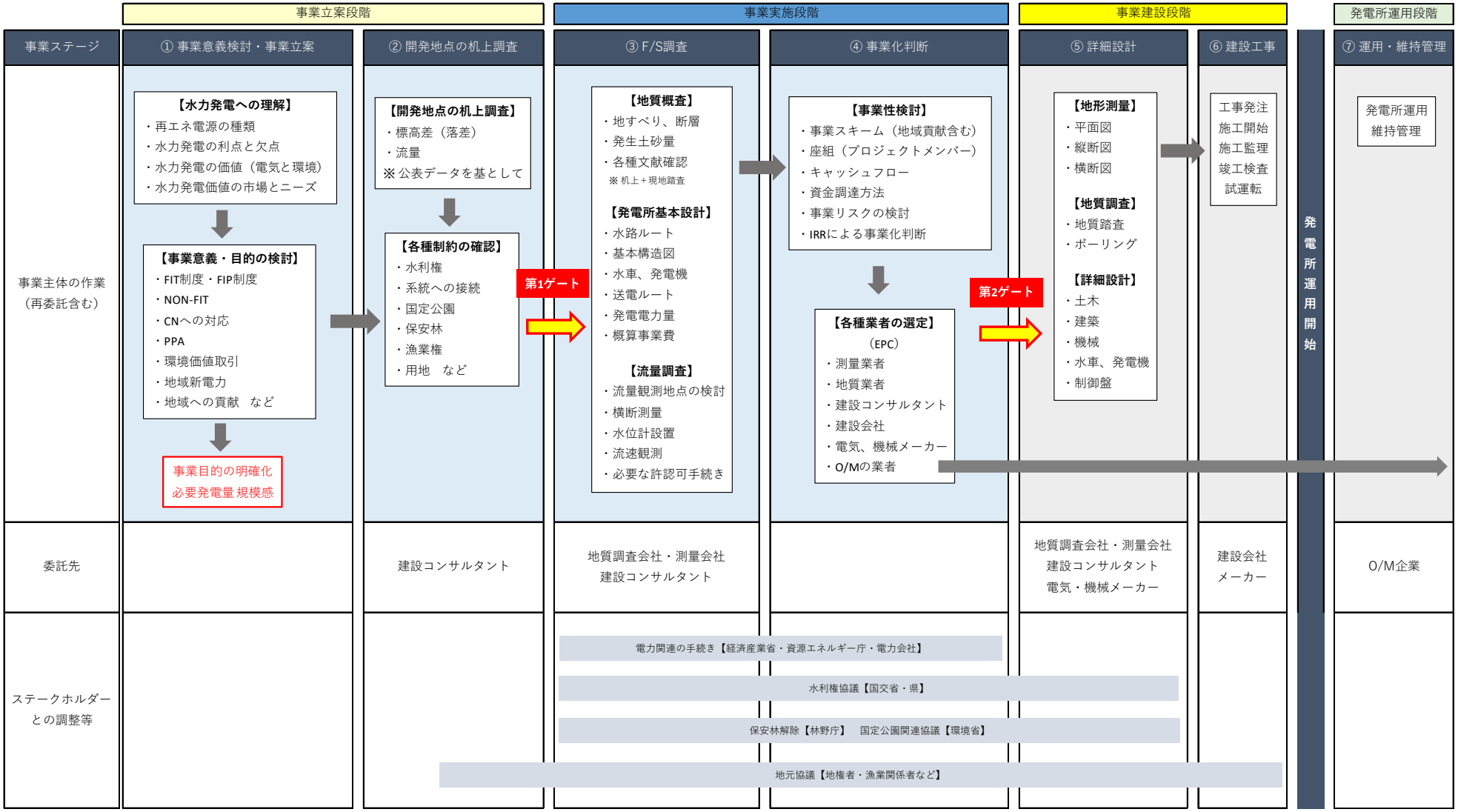
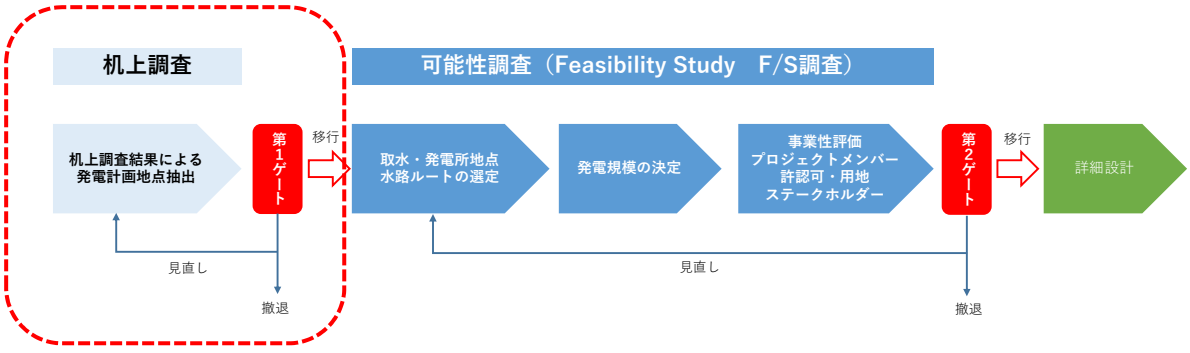


図-1.3.1　水力発電事業実施の流れ

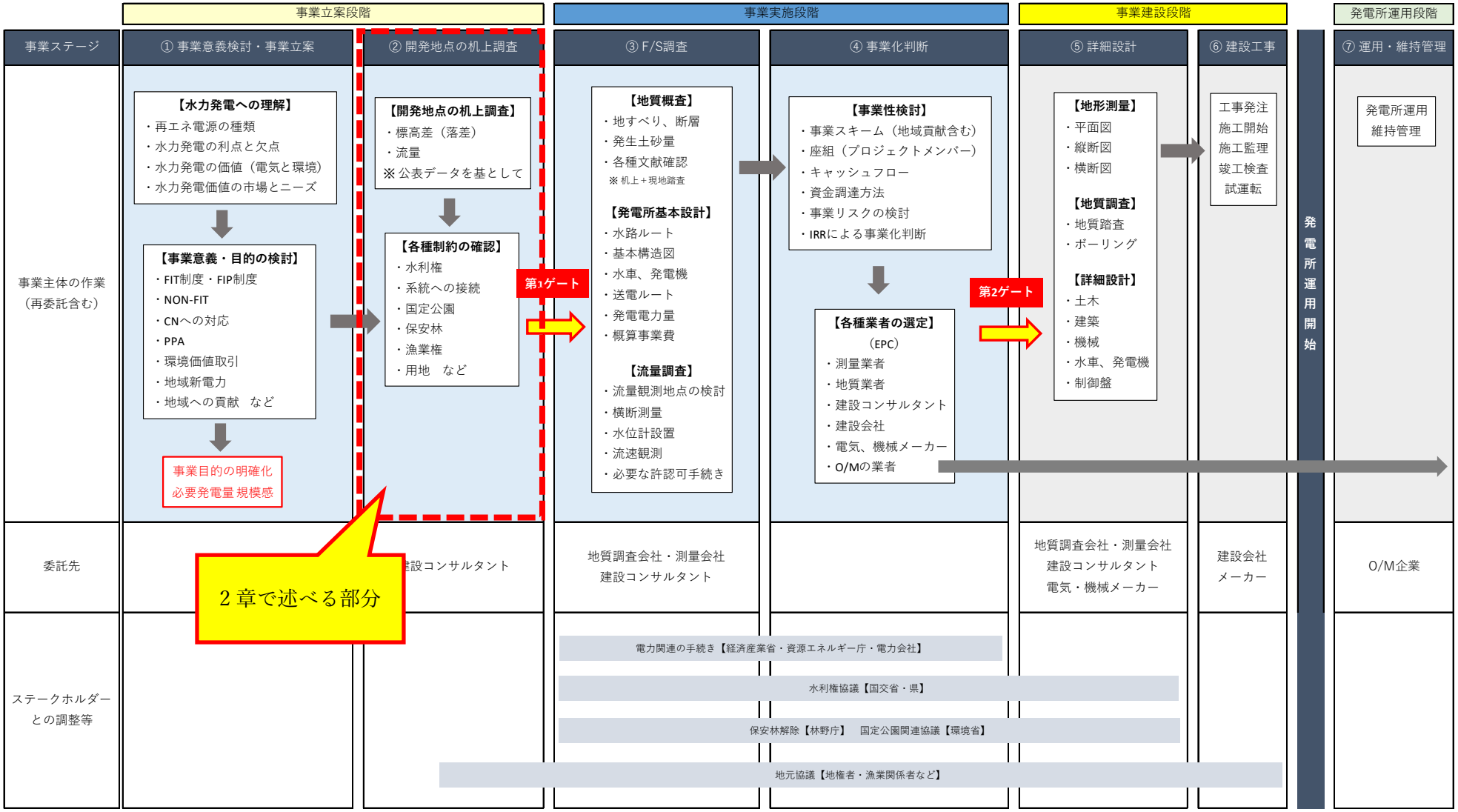
2章　水力発電開発地点の机上調査

本章では水力発電設備の事業実施の前段階として、発電方式や地質、流量といった技術的な基礎知識及び必要となる各種許認可の内容、及び事業実施段階へ進むべきかの判断の内容について述べることとします。



2章で述べる内容

本章で述べる内容



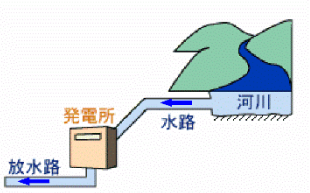
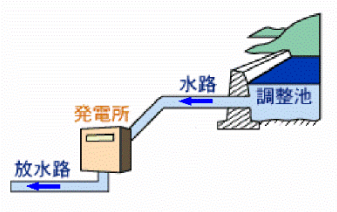
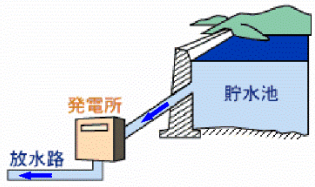
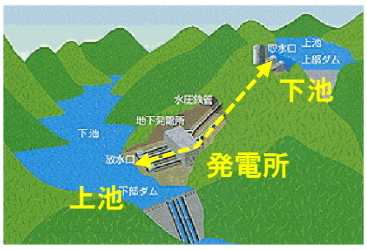
水力発電事業実施の流れ

2.1 水力発電設備と設置箇所

2.1.1 発電方式

水の利用面からみた水力発電の方式としては、表-2.1.1 に示す 4 つの手法があります。このうち中小水力発電で採用されるのは大規模な貯水池を必要としない「流れ込み式」が多くなっています。

表-2.1.1 水の利用面からみた発電方式[1]

概要図	発電方式の説明
（流れ込み式） 	河川を流れる水をためることなく、そのまま発電に利用する方式を**「流れ込み式」**といいます。河川の水は季節あるいは天候によって流れる量が変動します。このため、発電出来る量もそれに応じて変動します。
（調整池式） 	電力の消費量は 1 日の間、あるいは 1 週間の間にも変化します。このため、夜間や週末の電力消費の少ない時に発電を控えて河川の水を池にため込み、消費電力の増加に合わせて水量を調整しながら発電する方式を**「調整池式」**といいます。
（貯水池式） 	河川を流れる水の量は季節的に大きく変化します。このため、水量が豊富で電力の消費量が比較的少ない春先や秋口等に河川の水を大きな池にため込み、電力が多く消費される夏期や冬期にこれを使用する年間運用の発電方式を**「貯水池式」**といいます。
（揚水発電方式） 	1 日の電力消費量のうち、ピーク時に対応する発電方式です。上池と下池とその間の発電所から構成され、昼間のピーク時には上池に貯めた水を下池に落として発電し、電力消費の少ない夜間には下池に貯まった水を電気により上池に汲み上げ、再びピーク時（昼間）の発電に備えます。こういった揚水式は池の水を揚げ下げして繰り返し使用する発電方式を**「揚水発電方式」**といいます。

[1] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 P. 3-2 より作成
<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

写真-2.1.1　流れ込み式発電所の取水堰

（砂防堰堤を利用した例　山梨県企業局　重川発電所）

写真-2.1.2　揚水式発電所の事例（厳木ダム HP より[2]）

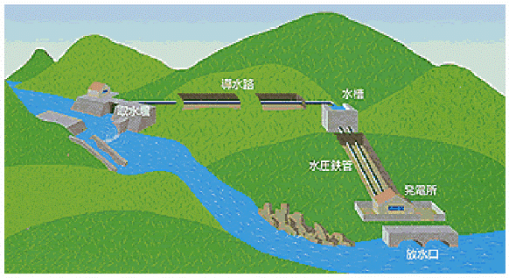
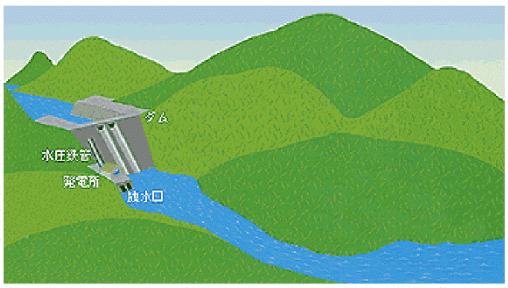
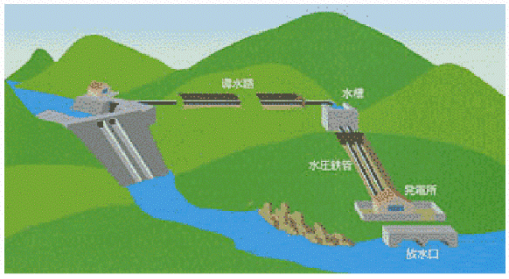
流れ込み式以外の発電方式は、ダム建設といった大規模な土木工事が必要となるため、この方式による事業実施には費用と長い時間がかかる傾向にあります。更には水の放流や貯留といったきめ細かい維持管理と運用操作が必要になります。

---

[2] 出典）国土交通省 九州地方整備局 武雄河川事務所 厳木ダム管理支所「揚水発電所のしくみ」<http://www.qsr.mlit.go.jp/kyuragi/yakuwari/hatsuden.html>（2022.1.31 閲覧）

また、構造面からみた発電方式を表-2.1.2 に示します。中小水力発電で採用されることが多い「流れ込み式」は水路式と組み合わせて実施されることが多くなっています。

表-2.1.2　構造面からみた発電方式[3]

概要図	発電方式の説明
（水路式） 	水路式は河川の上流に堰を造って取水口から取水し、勾配の穏やかな水路（導水路）で適当な落差の得られる地点まで導いて、水槽から急勾配の水圧鉄管を通し、下に貼る発電所内の水車に落ちる水の力で発電する方式です。 この方式は、流れ込み式と組み合わされることが一般的です。
（ダム式） 	ダムにより河川を堰き止めて池（調整池または貯水池）を造り、ダム直下に設けた発電所との落差を利用して発電する方式です。なお、高さが 15m 以上のものを「ダム」といい、それ未満のものは「堰」といいます。 この方式は、調整池式、貯水池式と組み合わされることが一般的です。
（ダム水路式） 	ダム式と水路式を君合わせた発電方式で、両方の特性を兼ね備えた地点に適しており、各々単独の方式とした場合に比べてより大きな落差を得ることが可能です。 この方式は、調整池式、貯水池式および揚水式と組み合わされることが一般的です。

流れ込み式は水路式として組み合わされることが多いのですが、取水堰と発電所の距離が離れれば離れる程、落差が増加するので発電出力が大きくなります。一方で、その距離が離れる程減水区間（従来より水量が減ってしまう区間）が増えることから、環境への影響面とのバランスに注意する必要があります。

[3] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 P. 3-3 より作成
<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf>（202.1.31 閲覧）

2.1.2 発電所の設置箇所

水力発電設備には「水の流れ（流量)」と「落差」が必要になります。まず、発電所を設置するには水の流れがあるところが必須となりますが、これには通常の河川もさることながら、水の流れが常にある水道設備や農業用水路といった箇所を利用することも可能です。ここでは、中小水力発電が設置されることが多い箇所について以下で紹介します。

(1) 渓流水利用

渓流水利用について、ハイドロバレー計画ガイドブックでは以下のとおり説明されています。

> 渓流に堰（河川や水路に横断して設置される構造物）を設けて取水し、沈砂池・導水路・水槽・水圧管路により発電所まで導水し、発電後に再び河川に放流するものです。設備の基本レイアウトは開渠（自由水面を持つ導水路）を山腹沿いに設置し、導水路下流端に設置した水槽から発電所までの落差（水位の標高差）を利用して発電するものであり、山腹傾斜が比較的緩い地点に適しています。（図-2.1.1）
>
> 山腹斜面が急な場合や地形的に水路を水平に設置することが困難な場合には、取水地点の沈砂池（水槽兼用）から導水路を省略し、川沿いに長い水圧管路（水路を満水状態で水を流す水路）を敷設するレイアウトもあります。(図-2.1.2)
>
> 取水方法としては経済性の観点から、また、自然環境保全の観点から、できる限り新たに取水堰等を設置することなく、河川に自然に形成された淵等を活用することや砂防えん堤などの既設構造物を利用することを考えます。
>
> ハイドロバレー計画ガイドブックより[4]

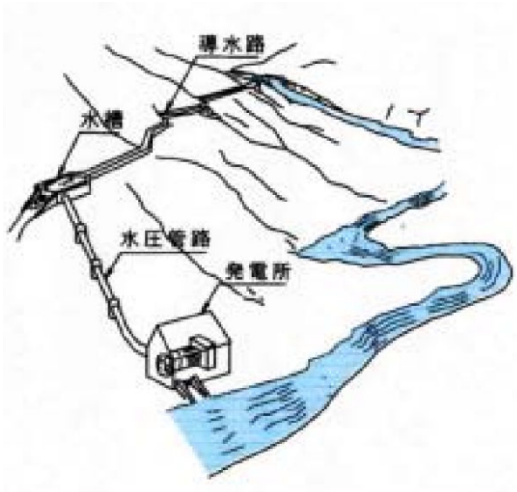


図-2.1.1 渓流水利用の設備レイアウト

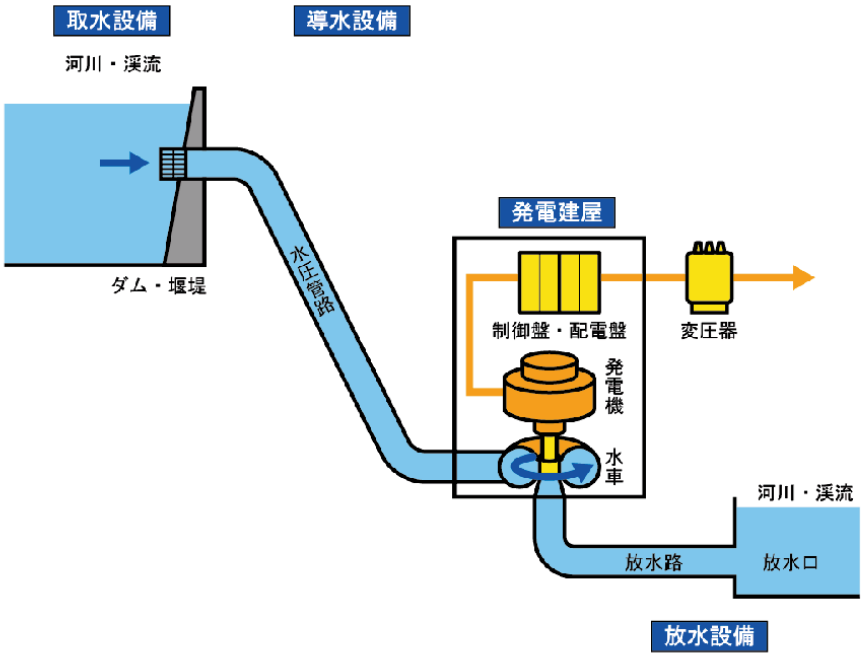
図-2.1.2 水圧管路の敷設する場合

---

[4] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 P. 4.2 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf>（202.1.31 閲覧）※図番号は本テキストに合わせて変更

取水方法としては経済性の観点から、また自然環境保護の観点からできる限り新たに取水堰などを設置することなく、河川に自然に形成された淵等を活用することや、砂防えん堤などの既設構造物を利用することを考えます。砂防えん堤を利用した中小水力発電については国交省よりガイドライン[5]がでているので参考にしてください。

山間部の砂防堰堤は中小水力発電の取水堰として利用することが可能ですが、一方で堆積土砂の除去といった定期的な維持管理が必要となります。また、砂防堰堤の一部を改造する必要があることから、施設管理者との事前の協議が必要となります。



砂防堰堤を利用した水力発電の設備レイアウト[6]

[5] 国土交通省「既設砂防堰堤を活用した小水力発電ガイドライン(案)」平成 22 年 2 月 <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/sabo_shosui.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[6] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」平成 26 年 2 月 p.3-3

事例1

⑤ 発電の概要および事業効果

・ 発電実績

○ 平成 20 年度までの過去 5 ヶ年の年平均発生電力量は1，008kWh。全て公園の照明施設に使用している。

・ 事業の効果

○ 渓流の夜間監視用照明及び滝沢砂防公園内の夜間ライトアップに使用され、景観の向上が図られたことにより多くの観光客らが訪れ、地域の活性化に貢献している。

⑥ 現地の様子

取水口(本堤上流側)

水圧管路

発電施設

発電した電力は公園内のライトアップに使用

照明施設

2-4

砂防堰堤を利用した中小水力発電所（滝沢川砂防施設管理用発電所）[7]

[7] 出典）国土交通省「既設砂防堰堤を活用した小水力発電ガイドライン（案）」平成 22 年 2 月 p.2-4 <https://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/sabo_shosui.pdf>（2022.1.31 参照）

(2) 農業用水利用

既設農業用水路においては、地形の関係で短い距離で段差を設けて水を流下させる落差工が多く見られます。この落差工の落差を利用し、発電することも可能です。

落差工の落差が低い所で、農業用水を安定的に利用できるならば、既設水路に水中式発電機一体型水車、あるいは投げ込み式発電機一体型水車を設置して発電できます。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

写真-2.1.1 農業用水路に設置された水中式発電機一体型水車
（神奈川県開成町 文命用水中小水力発電所）

また、連続した落差工あるいは急流工など、水路の途中に大きな落差が得られる場合や水路ルート上で水路に高低差が得られる場合には、落差工をバイパスする形で取水したり、ルートをバイパスしたりすることによって落差を得て、発電後に既設水路に再び水を戻すことも可能です。

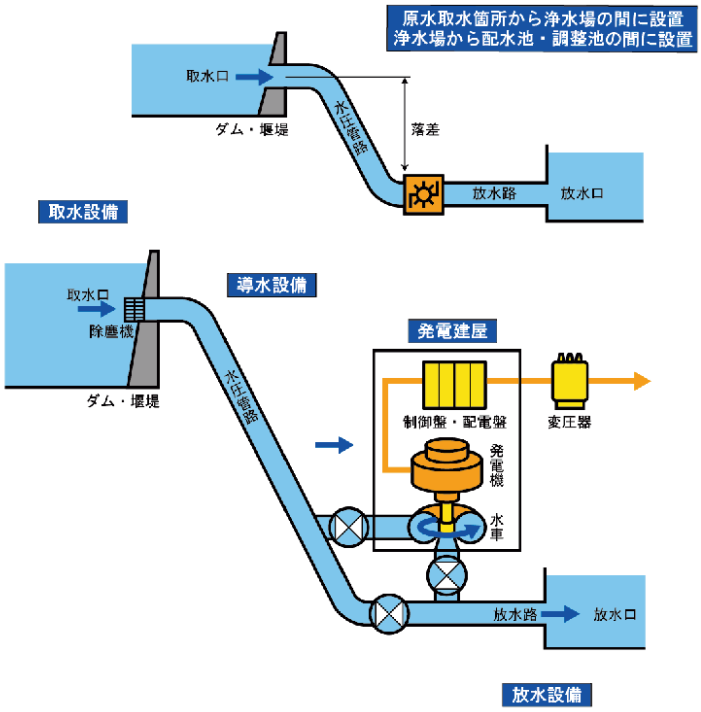
農業用水を活用した中小水力発電については、農林水産省から水力発電設備導入についての手引き・事例集[8]が示されているのでそちらも参考にしてください。

(3) 上水道水、工場やビル内水利用

上水道を利用する発電は、原水取水箇所から浄水場、または浄水場から配水池、あるいは調整池までの間で得られる落差を利用する方式が考えられます。これらの送水過程では通常管路末端部に水圧を減圧するための減圧用バルブ等が設置されており、この減圧する水圧を水力発電に有効利用することができます（写真-2.1.2）。

---

8 農林水産省「農業水利施設等を活用した小水力発電施設導入の手続き・事例集」令和３年９月
<https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/shousuiryoku/attach/pdf/rikatuyousokushinn_teikosuto-105.pdf>
（2022.1.31 閲覧）



上水道施設を利用した水力発電設備の構成例[9]

写真-2.1.2　上水道施設に設置された事例（塩川第二発電所[10]**）**

---

[9] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」平成 26 年 2 月　p.3-4

[10] 出典）山梨県企業局 発電総合制御所「塩川第二発電所」
<https://www.pref.yamanashi.jp/hatsuden/kanrisisetu.html>（2022.1.31 閲覧）

上水道用水やビル内の循環水を活用した中小水力発電は通常の渓流といった河川水を利用する場合よりもゴミや土砂の影響が無く、かつ水量も安定している（変動が小さいため、高効率の水車の設計が行い易い）といった利点があります。ただし、一般的に使用している水量自体が小さいため、大規模な出力を生み出せる地点は限られていると言えます。
また、一般的に水道用水やビル内の循環水は停止できる時間が限られていることから、既設の設備に後付けする場合は断水の可否を含め、施工方法を慎重に検討する必要があります。

上記の設置箇所の特徴については、環境省の手引きにも以下のように整理されているので参考にしてください。

水利用形態による特徴[11]

	渓流水利用	農業用水利用	上水道施設利用	下水道施設利用 ビル・工業循環水利用
流況の把握	河川によってはデータがなく、測定や検証が必要	施設管理者が観測データを有しており把握が容易	施設管理者が観測データを有しており把握が容易	施設管理者が観測データを有しており把握が容易
水利権の取得	必要	当該用水の利権者が実施する場合には不要	不要 （従属発電）	不要 （従属発電）
流量の季節変動	天候や季節によって変動 （砂防堰堤：河川と同様だが河川から直接取水するよりも安定傾向）	【春・夏】 灌漑期・非灌漑期 で変動 【秋・冬】 減少	年間を通じて安定	年間を通じて安定
ごみの混入	落ち葉や土砂等の除去が必要	落ち葉や土砂等の除去が必要	ない	ない

[11] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」Ver4.1 ~小水力発電事業編~ 2019 年 3 月 p.45
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.2 地形・地質

日本は世界的に見て地形や地質構造が複雑で、土砂災害などのリスクが高いと言われています。水力発電事業において地すべりや土石流といった地形・地質的にリスクが小さい箇所を発電サイトとして選定することは安定した事業運営の面で重要な事項と言えます。一方で、地形や地質の評価は高度な専門知識が必要になることから、関連する調査は専門業者へ委託することが望ましいと言えます。とはいえ、事業主が地形や地質の基礎知識を持つことは決して無駄ではありません。本章では地形や地質の基礎知識について各種文献を引用して紹介します。

水力発電での適地となる“水の量が多いところ、落差が大きいところ”は、地形および地質と密接に関連します。特に谷密度が低い地域では、地山の透水性が高く地下水賦存量が多くなります。それらの流域では渇水比流量が多く、安定した水量確保が期待できます。そのような地域は地質構造的な条件より、第四紀火山岩類と花崗岩類からなる流域に多くみられます。

2.2.1 地形の基礎知識

地形は山頂より両側に低くなる“尾根線”と、逆に両側に高くなる“谷線”の傾斜方向急変線と、尾根線から谷線をつなぐ“斜面”、そして“平坦面に”大きく分類できます。また、斜面の傾斜が変化する傾斜急変線を下方に急傾斜となる箇所は「遷急線」、逆に緩くなる場合は「遷緩線」として区分します。さらに地形点として、山頂、山脚、鞍部、合流点、凹点などがあります。これらの分類は表-2.2.1 に示すとおりまとめられています。

表-2.2.1 地形の分類[12]

大分類	中分類	小分類	定義	例または別称
地形線（地性線）	傾斜方向急変線	尾根線(凸線)	両側に低くなる線(落水線の発散線)	山稜，稜線，尾根筋，流域界
		谷線(凹線)	両側に高くなる線(落水線の収斂線)	谷筋，沢筋
	傾斜角急変線	遷急線	下方が不連続的に急傾斜になる線	浸食前線，滝頭(遷急点)
		遷緩線	下方が不連続的に緩傾斜になる線	山麓線，段丘崖麓線，滝壺(遷緩点)
	地形点（傾斜方向と傾斜角の両者が一点の周囲で急変する点）	山頂(凸点)	四周に低くなる点(落水線の発散点)	普通の山頂，尾根上の突起
		山脚	一方に高く，三方に低くなる点	切断山脚(断層三角末端面の頂など)
		鞍部	二方に低く二方に高くなる点	峠，乗越
		合流点	一方に低く三方に高くなる点	谷線の分岐点，落合
		凹点	四周に高くなる点(落水線の収斂点)	凹地と湖盆の最低点

図-2.2.1 に示すとおり平坦地には河川や海岸近くに平野を形成する低地や、周囲の低地に比べて盛り上がって卓状の平坦面を形成する台地があります。河川や海の侵食および堆積

[12] 出典）大島洋志「トンネル技術者のための地相入門」2014 年 土木工学社 p.19

作用で形成される段丘平坦面は台地に含まれます。また、台地には火山の噴出物である火砕流堆積物や溶岩により形成されるものもあります。

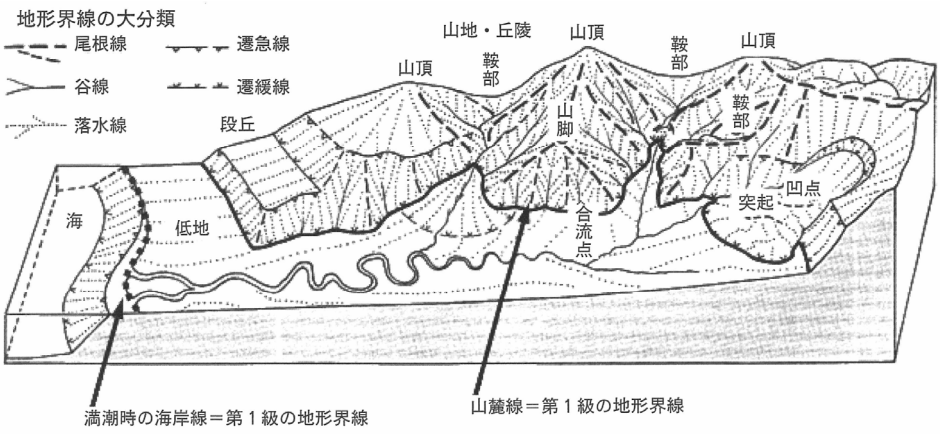


図-2.2.1 地形の大分類[13]

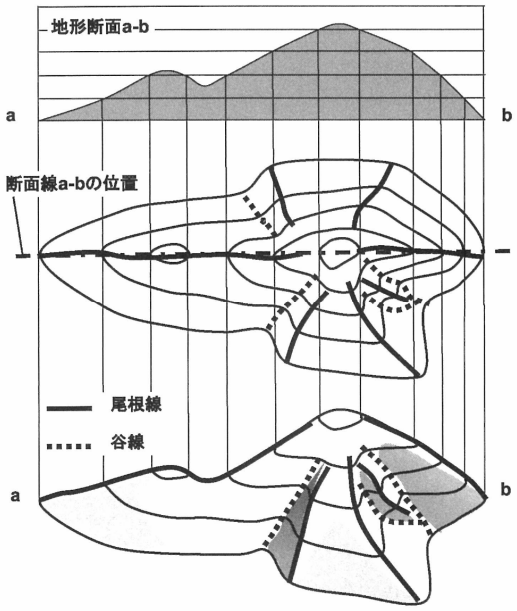


図-2.2.2 地形に対応する等高線[14]

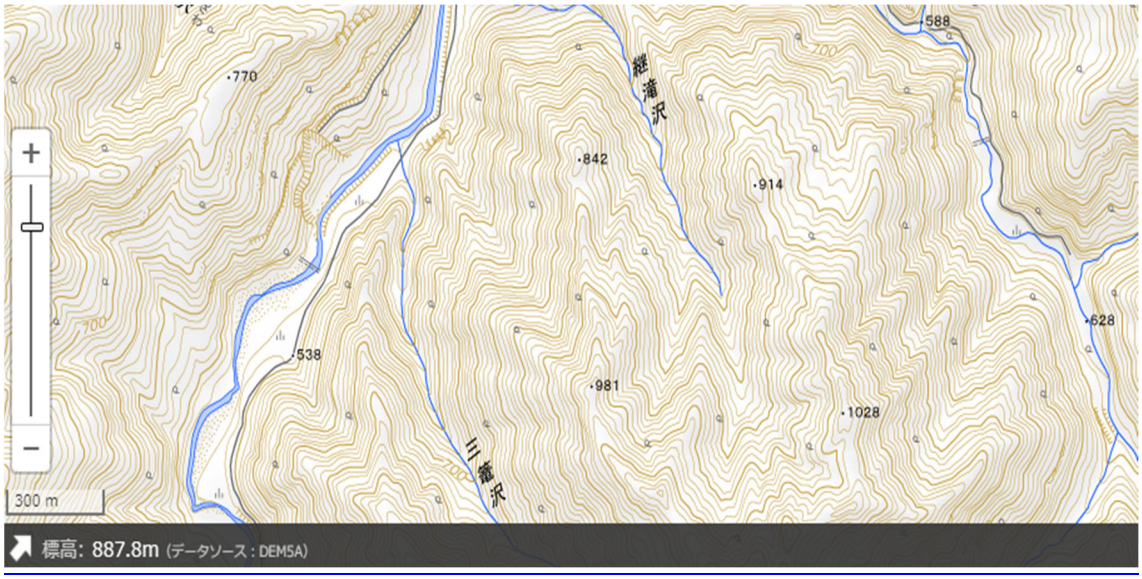
地形を知るには、地形図が有効です。地形図には地形の凹凸や水系以外にも、道路や建物などの人工物、植生などの土地利用状態、都市・集落やその名称など、地表物と地形の関係も把握できます。水力発電での適地選定は、候補地の地形図を見比べることから始まります。

---

[13] 出典）大島洋志「トンネル技術者のための地相入門」2014 年 土木工学社 p.19

[14] 出典）大島洋志「トンネル技術者のための地相入門」2014 年 土木工学社 p.19

地形の高低(標高)を平面図上に等高線として表したのが地形図です。前掲した図-2.2.2 のとおり山頂より両側に低くなる尾根線は標高の下がる方向に凸形状を示し、両側に高くなる谷線では凹形状となり識別できます。1/25,000 地形図は国土地理院の WEB サイト[15]「地理院地図」で閲覧可能です。



地理院地図で閲覧できる地形図の例 （地理院地図 WEB サイトの画面）

【地理院地図の主なコンテンツ】

・電子国土基本図、オルソ画像(2007 年～)
・数値地図 25000
・土地条件図
・火山基本図、火山土地条件図
・空中写真(1928 年頃から各年)
・地形解析図(色別標高図、デジタル標高地形図、アナグリフ、陰影起伏図、傾斜量図)
・活断層図(都市圏活断層図)
・火山地形分類データ
・治水地形分類図
・宅地利用動向調査成果　等

[15] 国土交通省 国土地理院「地理院地図 電子国土 Web」
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.075684/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
（2022.1.31 閲覧）

地形図には、等高線以外に、海岸線、川、崖など狭義の地形およびその名称や、地表面にある、図-2.2.3 に示すとおり目印になりやすい道路や建物などの人工物、植生などの土地利用状態、都市・集落やその名称など、地表物と地形の位置関係がわかるようになっています。

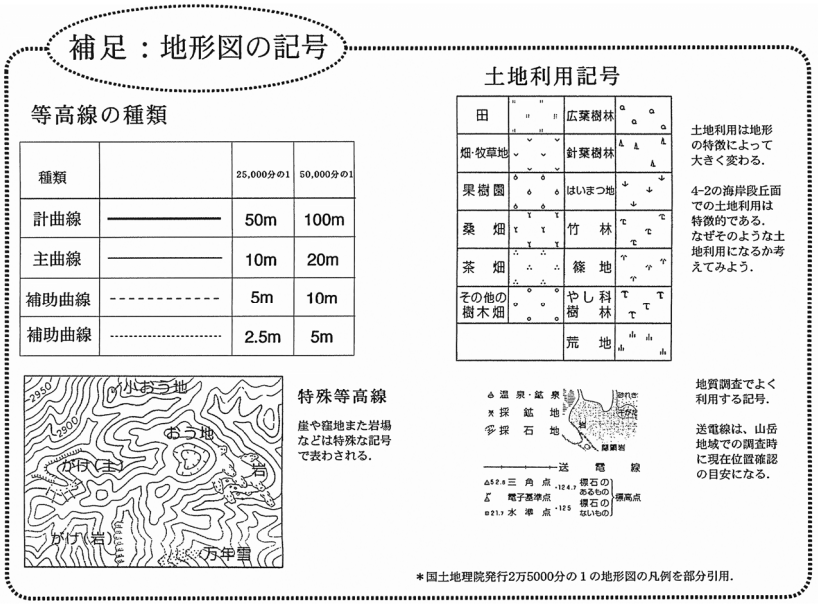


図 2.2.3 地形図の記号[16]

以下、地形図の見方やみえかた、及び日本の地形の特色などを次ページ以降で参考に紹介します。

(1) 地形図の見方

地形図の等高線は、高低差が大きい(急斜面)ほど間隔が狭くなり、高低差が小さい(緩斜面)ほど間隔が広がり、図-2.2.4 に示すとおり等高線の標高間隔と地形図の縮尺またはスケールより傾斜度の把握も可能です。

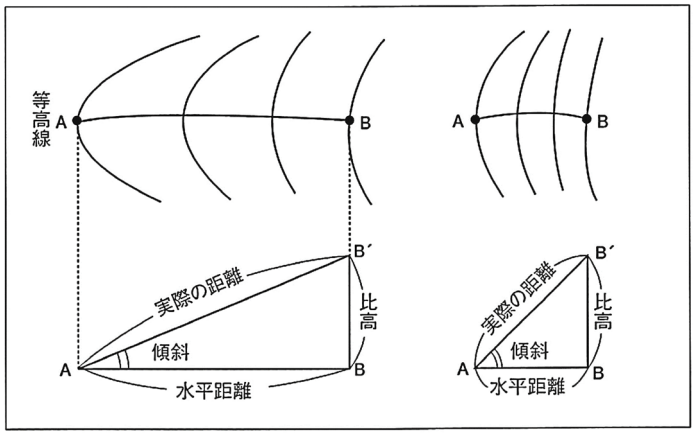


図-2.2.4 地形図等高線の見方[17]

---

[16] 出典）岡本隆・堀利栄「地質図学演習」2003 年 古今書院 p.7

[17] 出典）青木正博・目代邦康「岩石・地層・地形から地球の成り立ちや活動を知る 増補改訂版 地層の見方がわかるフィールド図鑑」2017 年 誠文堂新光社 p.223

(2) 等高線の見え方

地形図において高低差(落差)の大きい地域ほど等高線が密になり(図-2.2.5)、平坦地では等高線が粗くなります(図-2.2.6)。

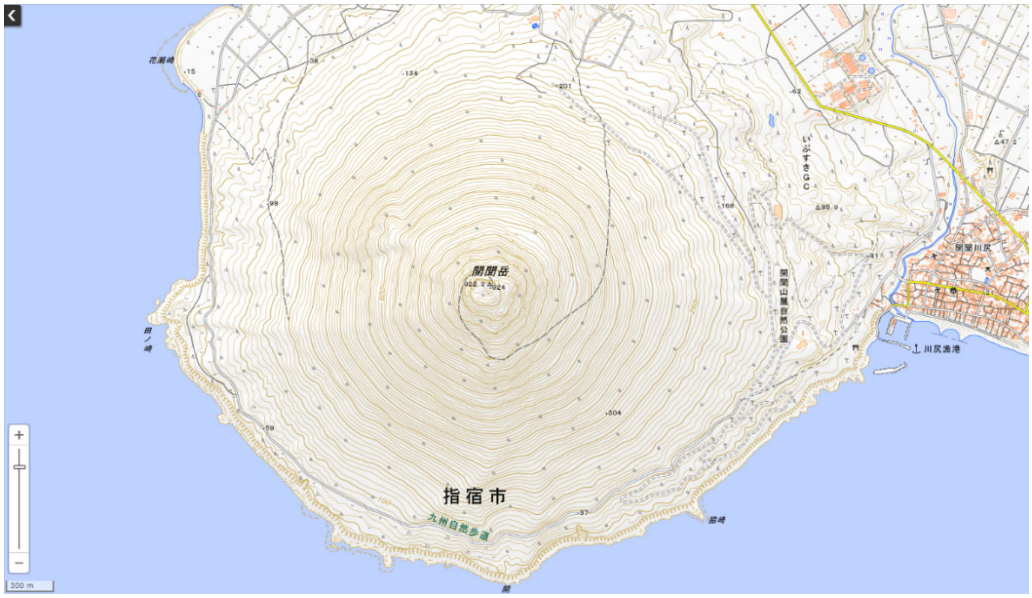


図-2.2.5 山地の地形図[18]（鹿児島県指宿市開聞岳）

図-2.2.6 平野の地形図[19]（鹿児島県指宿市開聞温泉）

---

18 出典）国土交通省 国土地理院「地理院地図 電子国土 Web」
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.075684/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
（2022.1.31 閲覧）

19 出典）国土交通省 国土地理院「地理院地図 電子国土 Web」
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.075684/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
（2022.1.31 閲覧）

地形図では山頂や尾根線、沢筋等が把握できます。登山者などは地形図とコンパスがあれば、図-2.2.7 に示すとおり周囲の山頂や尾根筋の景色と見渡すことで、地形図上での自分の位置を知ることができます。

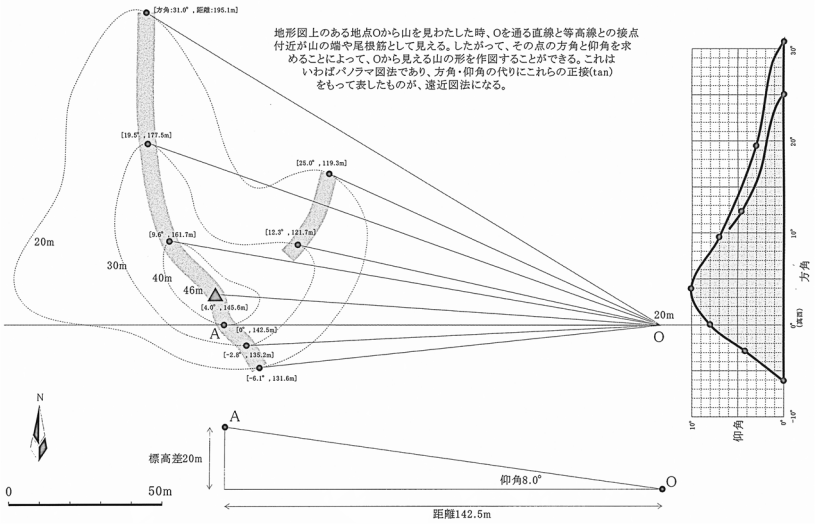


図-2.2.7 地形図と景色[20]

(3) 日本列島の地形

日本列島の地形の大区分を図-2.2.8 に示します。日本列島の地形は起伏に富み、火山地・丘陵地を含めた山地が占める割合は、国土の約 75%にもなります。

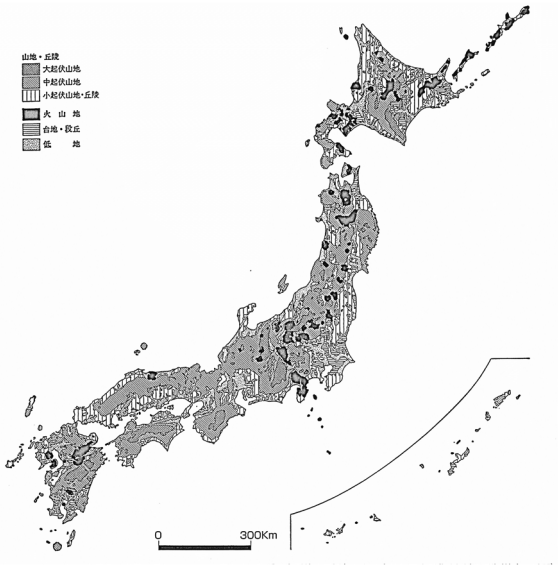


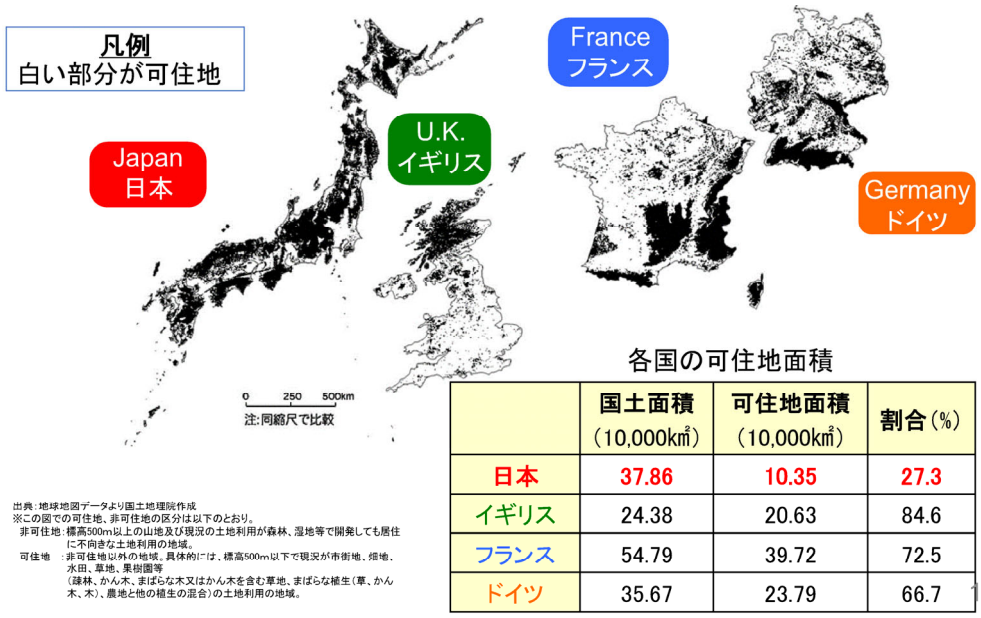
図-2.2.8 日本の地形の大区分[21]

これを欧州主要国と日本での可住地(標高 500m 以下で、現況が市街地、畑地、水田、草地、果樹園等の土地利用の地域)分布として比較したものを図-2.2.9 に示します。これを見

[20] 出典）岡本隆・堀利栄「地質図学演習」2003 年 古今書院 p.3

[21] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.12

ると日本の山地割合が世界的にも多く占めていることがわかります。国土面積がほぼ同程度のドイツと比較しても可住地面積は 2 分の 1 未満で、フランスの可住地は日本の約 4 倍にもなります。



各国の可住地面積

	国土面積（10,000㎢）	可住地面積（10,000㎢）	割合（%）
日本	37.86	10.35	27.3
イギリス	24.38	20.63	84.6
フランス	54.79	39.72	72.5
ドイツ	35.67	23.79	66.7

図-2.2.9　日本と外国との可住地分布の比較[22]

(4) 日本の山地の地形

日本の各都道府県での山地や火山地の分布を把握するには、「帝国書院 都道府県の姿」が参考になります。この資料から長野県について抜粋したものを図-2.2.10 に示します。

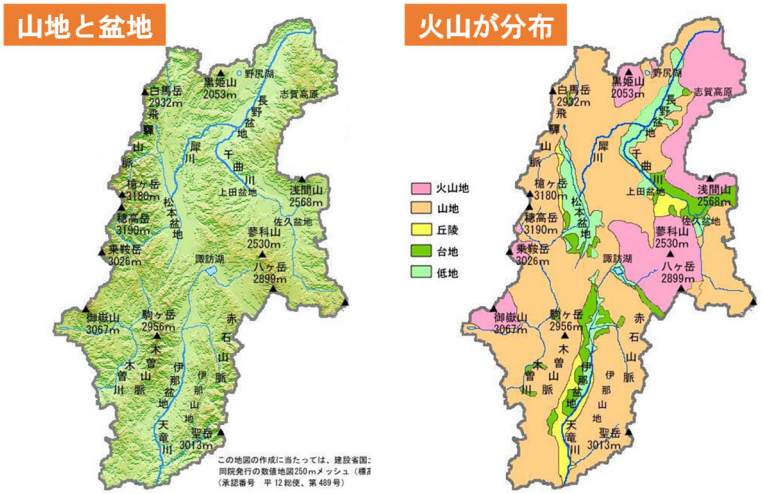


図-2.2.10　都道府県の地形区分[23]**（例：長野県）**

---

[22] 出典）国土交通省「国土が抱える災害リスク」p.10
<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/library/pdf/kokudo.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[23] 出典）帝国書院「都道府県の姿 長野県」地形 1 ・地形 2
<https://www.teikokushoin.co.jp/statistics/japan_world/japan/index20.html>（2022 年 1 月 31 日閲覧）

(5) 谷、沢の地形、及び水系の形状

谷や沢の地形には特徴があり、水系型と呼ばれます。各水系型において、想定される地質構造上の制約は表-2.2.2 に示すとおり分類され、水系の形状よりおおよその地質構造を推定することも可能です。このような水系の形状は図-2.2.11 に示すとおり A.樹枝型、B.平行状、C.放射状、D.梨棚状・格子状、E.直角状または短冊状、F.環状、G.求心状などに分類されます。事例として水系型のうち平行状水系の地形図を図-2.2.12 に、直角・短冊状の水系の地形図を図-2.2.13 に示します。

これらの水系型は、その土地の気象条件や地形、基盤岩石、地質構造など様々な要因によって形つくられます。日本列島においては地質構造が複雑でモザイク様を示すため、ある程度の広がりをもった地域では、複数種の水系型が混在することがあります。同一河川流域で水系型が変わるようであれば、地質構造が異なっている可能性が高いともいえます。

表-2.2.2 地質構造と関連した水系型の分類[24]

水系型	水系パターンの特徴	地質構造制約
A. 樹枝	・樹木の枝のように広がる ・流路は明瞭な一方向性をもたない	・水平堆積層または同質の結晶片岩 ・一様の抵抗性を有する岩石で構造の制約はない
B. 平行状	・主流路は等間隔で互いに平行 ・支流は非常に小さい鋭角で合流	・近接した複数の断層、単斜構造、等斜褶曲
C. 放射状	・中心から外側へ流れる	・火山ドーム、火山丘
D. 梨棚状または格子状	・流路は一方向に卓越し、それに直交する方向の流路も目立つ。主たる支流は本流と直角に合流。支流の支流は本流と平行	・傾動または褶曲した軟岩・硬岩の堆積岩互層
E. 直角状または短冊状	・二方向性を有する水系で、二方向は互いに直交し、同程度に卓越する	・節理もしくは断層
F. 環状	・主流路は円形パターンを示し、支流路が主流路に直角に合流する	・軟岩・硬岩の堆積岩互層からなる侵食の進んだドーム
G. 求心状	・中心へ向かって内側へ流れる	・カルデラ、クレーター、構造性（陥没）盆地

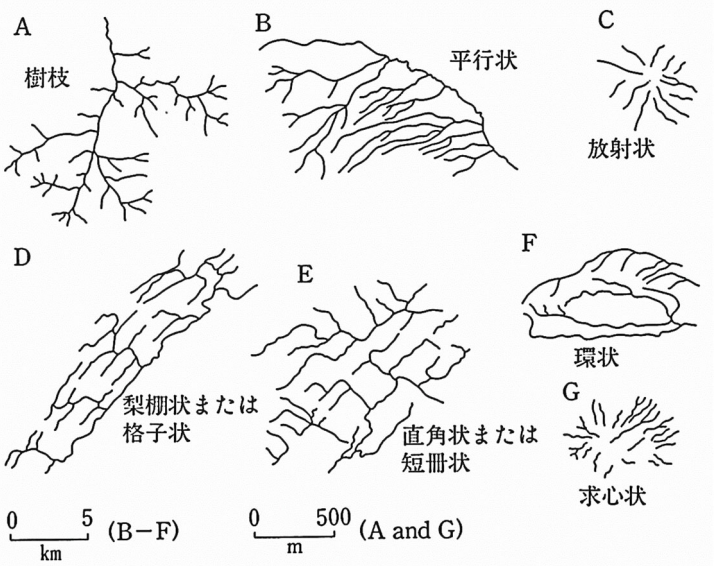


図-2.2.11 水系型の模式図 [19]

[24] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.49

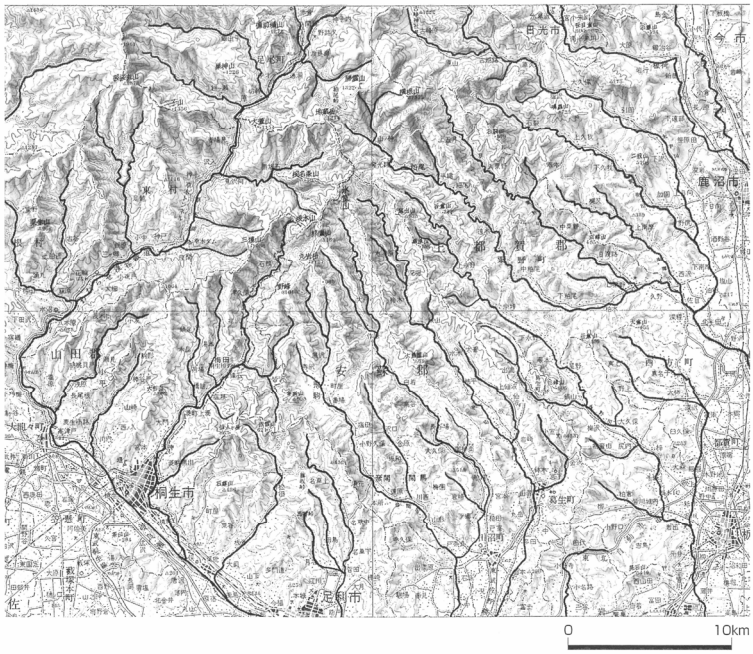


図-2.2.12 平行状水系[25]（足尾山地の南向き斜面）

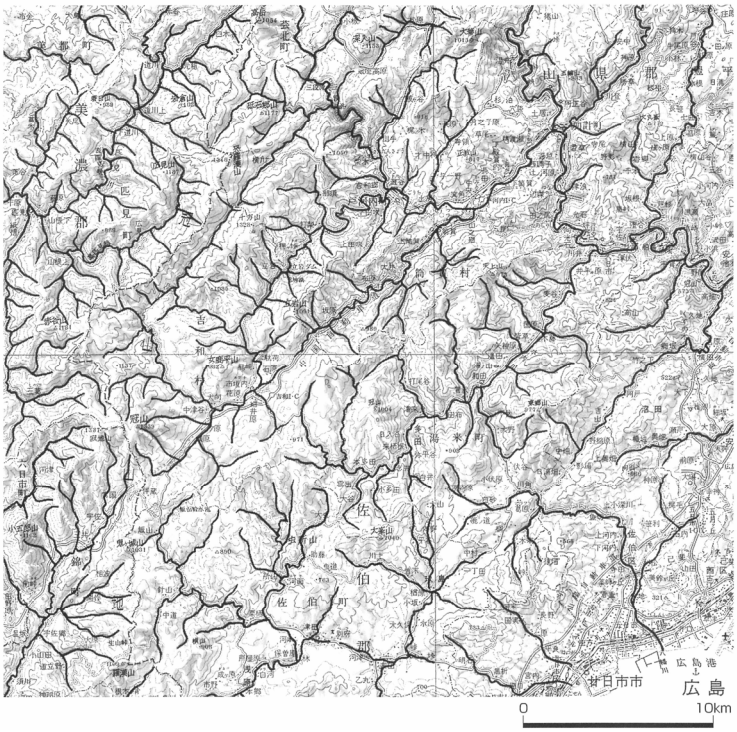


図-2.2.13 直角状または短冊状水系[26]（広島三段峡周辺）

[25] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.51

[26] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.53

(6) 沢地形と透水性

地形図に示される沢の谷密度や起伏量をそれぞれの地域で比較することで、基盤岩の硬軟や透水性を推測することが可能です。沢の起伏量(高低差)と、基盤岩の強度(硬さ)との関係を図-2.2.14 に示します。硬い基盤岩では起伏量が大きくなり、軟らかい基盤岩では、全体に風化侵食の影響を受けやすく、起伏量が小さくなります。また、谷密度は基盤岩の透水係数と密接な関係があり、沢の発達する基盤岩は透水性が低く、沢地形が不明瞭な個所は地山の透水性が高く、地下水の涵養が多くなります。

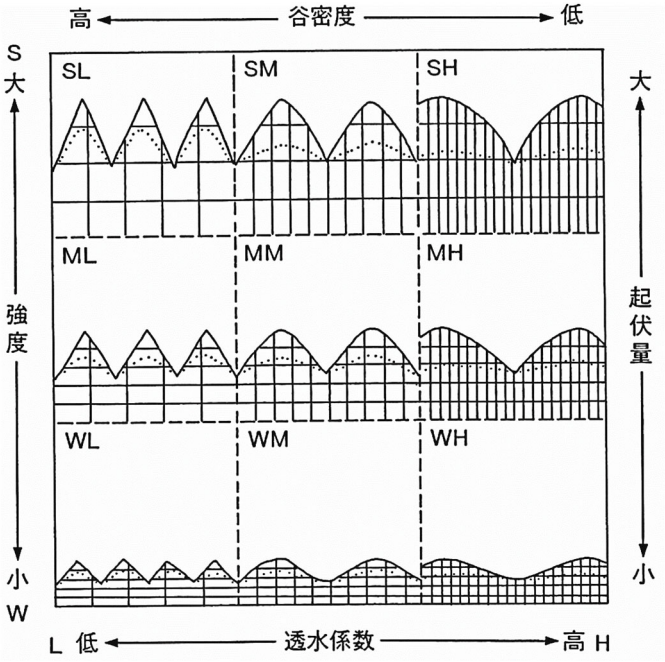


図-2.2.14 地形(谷密度・起伏量)と強度と透水性の関係[27]

このような沢地形と地質の関連は、谷の形成過程にも影響を与えています。谷の深さは力学的な基盤岩の硬さより透水性の影響を強く受け、図-2.2.15 に示すとおり谷の横断形状の差異は基盤岩の力学的強度と透水性によって説明できるとされます。一般的には透水係数が低い地山ほど河床勾配は急に(高低差が大きく)なり、透水係数が高い地域ほど河床勾配は緩やかに(高低差が小さく)なります。

[27] 出典) 日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.41

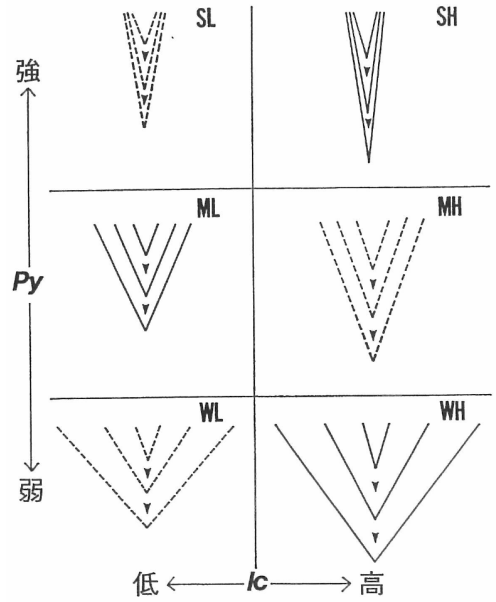


図-2.2.15 基盤岩の強度(Py)と透水性(Ic)の関係[28]

[28] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.41

2.2.2 地質の基礎知識

日本列島の地質は複雑で、イギリスと日本の地質図を比較すると図-2.2.16 のようになります。一見して日本の地質図はツギハギのパッチワーク模様にみえます。イギリスの地質は、北西から南東に向かい綺麗な色のグラデーションがみえます。これは地質の形成年代が北西から南東に向かって規則的に形つくられたことを意味しています。一方、日本の場合はモザイク状であり、年代の異なる細切れの雑多な地質がパッチワークの様に集合してできたことを示しています。

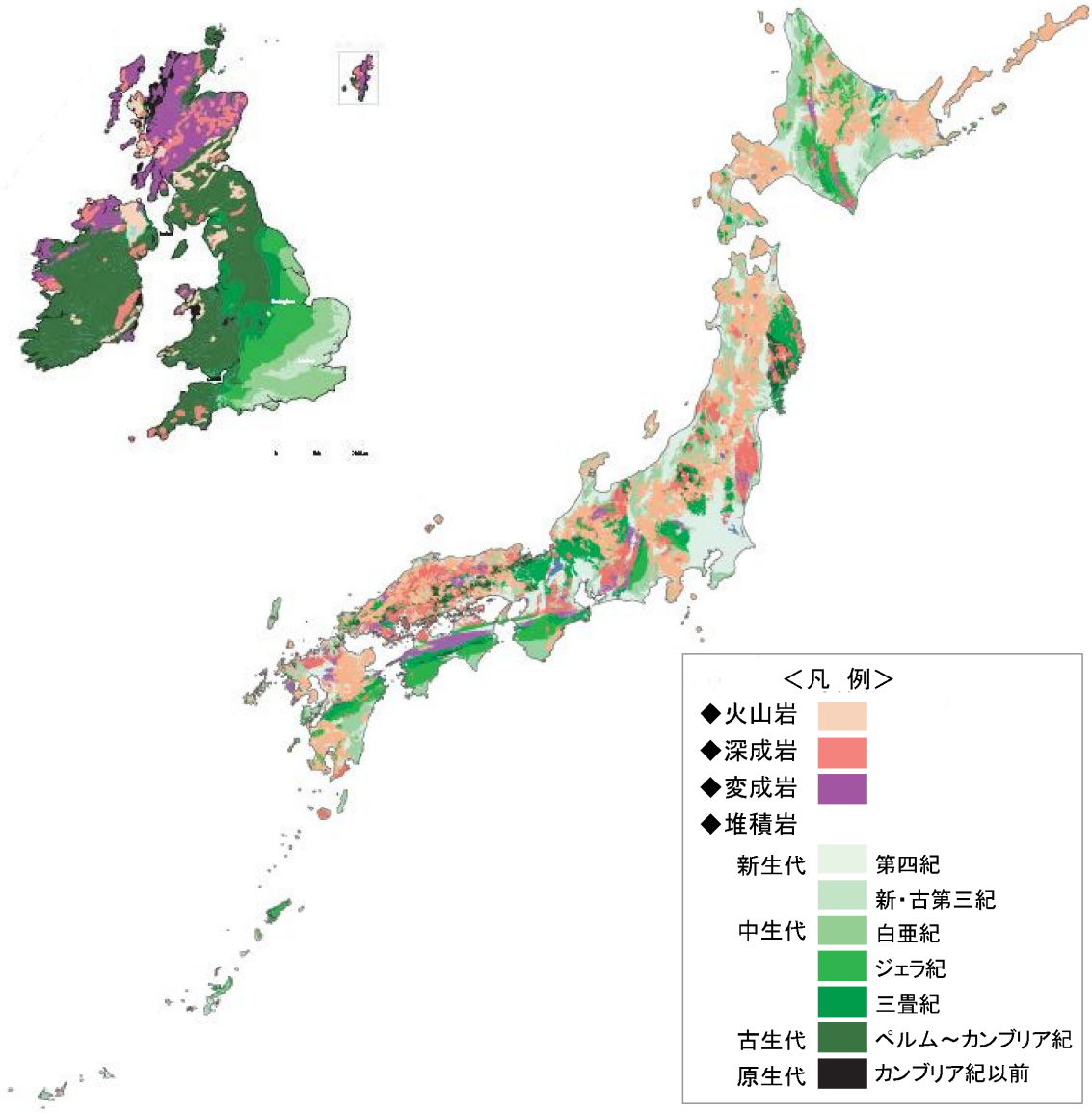


図-2.2.16 日本の複雑な地質構造[29]（イギリスとの比較）

[29] 出典）国土交通省「国土が抱える災害リスク」p.11
< https://www.mlit.go.jp/river/bousai/library/pdf/kokudo.pdf>（2022.1.31 閲覧）

地質を知ると、地形をより深く理解することができます。現在の地形は、地質的な条件より長い年月を経て今の姿となっています。さらに地質的成因より亀裂の多い山体では、地山の透水性が高いため降雨の浸透性が良く、地下水の涵養が多くなります。そのような地質特性を持つ流域では、安定した水量確保が期待できます。

独立行政法人 産業技術総合研究所では、地質情報を誰もが閲覧できるウェブサイトとして“地質図 Navi”を公開しています。地質図 Navi では、数多くの地質図を表示するとともに、活断層や第四紀火山などの地質情報を地質図と合わせて表示することができます。

【URL】https://gbank.gsj.jp/geonavi/

【主なコンテンツ】

・地質図：1/5 万分の地質図幅、火山地質図、水理地質図 等
・活断層データ、地すべり地形分布図
・赤色立体図、陰影起伏図 等
・防災関連法令：国土交通省指定危険個所及び警戒区域
（急傾斜地崩壊、地すべり、土石流、雪崩[危険個所のみ]）

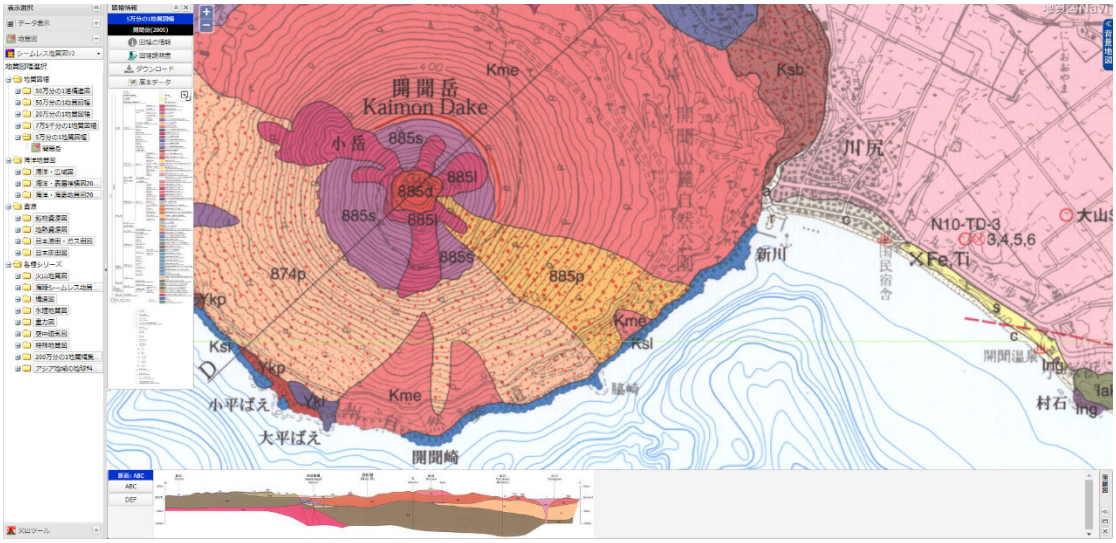


図-2.2.17 シームレス地質図（地質図 Navi 5万分の1地質図幅 開聞岳周辺）[30]

[30] 出典）国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター「地質図 Navi」<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>（2022.1.31 閲覧）

(1) 地質を構成する岩石

地質を理解するには地質を構成するもの、つまり“岩石”のことを知る必要があります。地質を構成する岩石は、おおまかに「火成岩」、「堆積岩」、「変成岩」の三つに分類できます。これら岩石の分類を図-2.2.18 に、岩石の生成過程を図-2.2.19 に示します。

- 「火成岩」は、マグマが冷え固まって岩石になったものです。マグマの冷え方の違いにより、地上で冷えた火山岩、地下で冷えた深成岩の大きく二つに分けられます。
- 「堆積岩」は、泥や砂や石ころが溜まった地層となり、長い年月をかけて固まったものです。溜まって固まったものにより名前がつきます。泥が固まったものを泥岩、砂が固まったものを砂岩、火山灰が固まれば凝灰岩となります。
- 「変成岩」は、堆積岩や火成岩が、マグマとの接触で変化したり、地下深くの場所で強い圧力を受け、別の岩石に変わってしまったりしたものです。マグマに焼かれた変成岩の代表例は大理石で、昔のサンゴが固まってできた石灰岩が変化したものです。地下の圧力を受けたものは、地下深くにおいて押されるため、紙を重ねたようにペラペラとはがれやすい泥質片岩や縞模様がきれいな結晶片岩などになります。

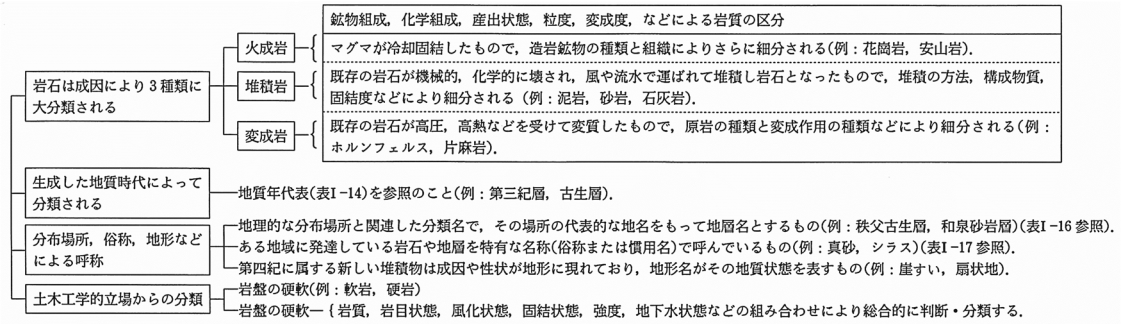


図-2.2.18 岩石の分類[31]

岩石はまずマグマが冷え固まって結晶化することで生まれます。急速に冷え固まったものが「火山岩」、ゆっくりと冷え固まったものが「深成岩」で、いずれにせよ岩石の起源の大本は「火成岩」です。こうしてできた岩石はやがて地表で侵食、風化して水や風の影響によって堆積し、堆積物となります。こうした堆積物が圧力を受けたり、炭酸カルシウムなどの物質の影響を受けたりして化学的に変化し、再び固まったものが「堆積岩」です。こうしてできた火成岩や堆積岩が、熱や圧力などといった変成作用を受けて変質したものが「変成岩」で、より強い高熱にさらされ完全に溶融し冷やされれば再び火成岩となります。このように、長い時間の間に岩石やそれを構成する物質は互いに移り変わって(輪廻して)います

[31] 出典）大島洋志「わかりやすい土木地質学」2000 年 土木工学社 p.12

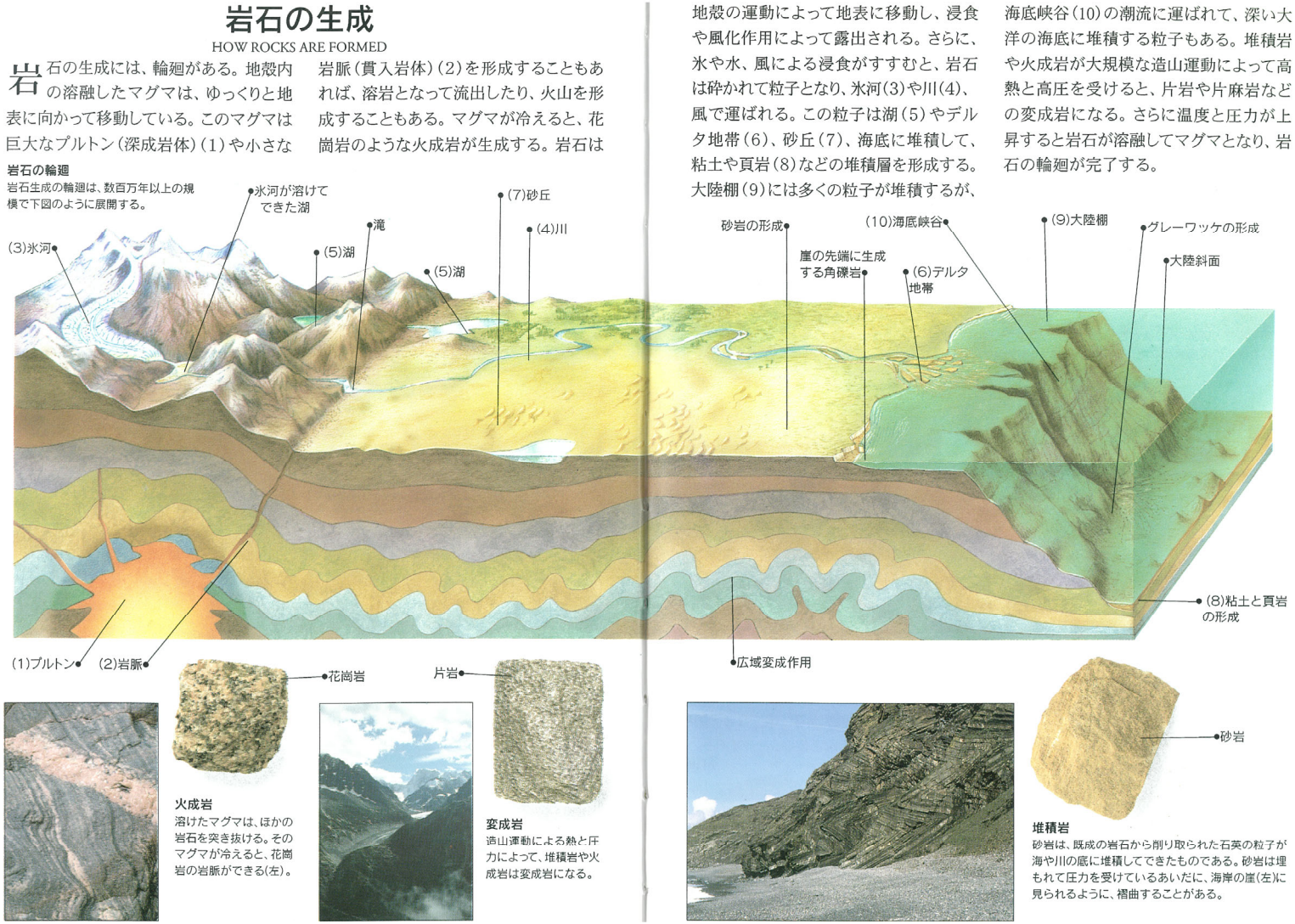


図-2.2.19　岩石の生成過程[32]

[32] 出典）Chris Pellant「岩石と鉱物の写真図鑑」1997 年 砂川一郎 日本ヴォーグ社 p.30、p.31

(2) 地質層序

一般に地層は上位のものほど新しく、下位のものほど古い(地層累重の法則)ので、露頭観察から得られた地層の重なりは、古い地層から新しい地層へと積み上げ、柱状図のように表現できます。しかし、地層の重なり方は、断層・褶曲・不整合があり、見かけの上下と地層の新旧が逆転していることもあります。離れた地点の地層を対比する場合は、火山灰層や凝灰岩のように広範囲にわたって同時に堆積した地層や、同年代の化石などを鍵として全体の層序を検討します。地層の対比をもとに地層や火山岩体の新旧関係、不整合、断層、褶曲など地殻変動の起こった順序を示したのが地質構造図です。図-2.2.20 では以下のような地質史が推定できます。

① 浅海底に砂・泥などが堆積
② 褶曲運動を受けて陸化
③ 花崗岩の貫入があり地層の一部が捕獲岩としてとして取り込まれ、熱変成を受ける
④ 沈降して再び浅海底になり、砂岩・泥岩などが堆積
⑤ 再び隆起し陸化するとともに地殻内にマグマが上昇してきてマグマだまりをつくり、その一部は岩脈となって地層に貫入、またこの時期に断層運動がおこり地層や花崗岩にズレが生じる
⑥ マグマだまりから溶岩が噴出して火山を形成

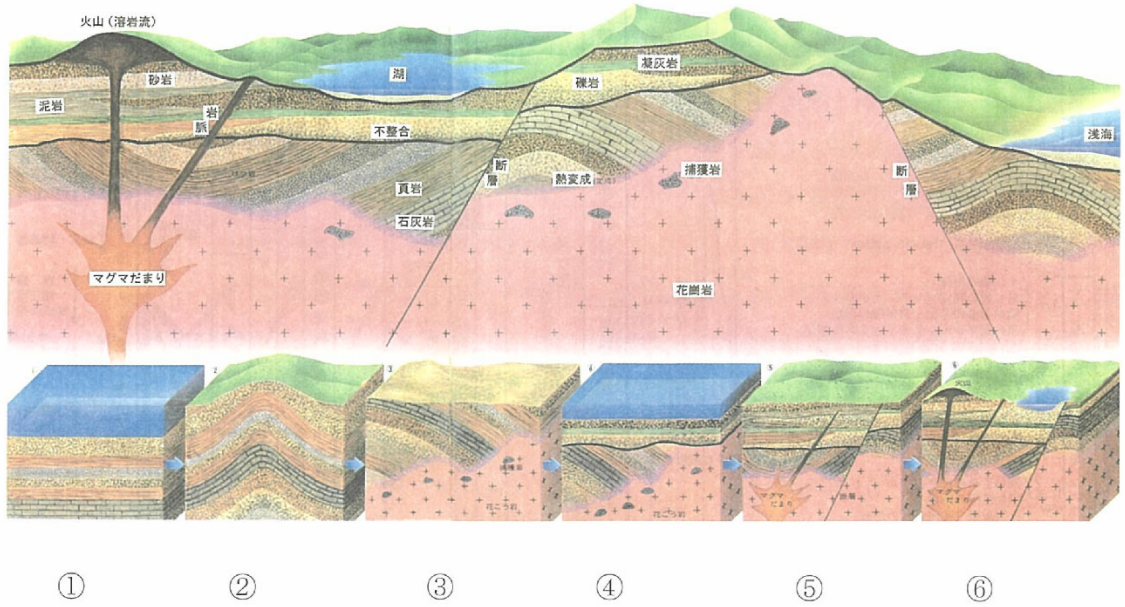


図-2.2.20 地層や火成岩体の新旧、地殻変動の順序[33]

[33] 出典）関東地質調査業協会技術委員会「第一回改訂版　地盤調査の実務,関東地質調査業協会技術委員会」2005 年 p.33

(3) 地質年代

岩石は長い年月を経て生成されますが、その歴史を表現するために表-2.2.3 に示すとおり地質年代が命名されています。その地質年代は、おもな生物種族の生存期間に基づいて区分されており、古いほうから順に，始生代、原生代，古生代，中生代，新生代に大きく区分されます。

表-2.2.3 国際年代層序表[34]（古生代石炭紀以降）

図3-4 国際年代層序表の一例

(累)界/代	界/代	系/紀	統/世	階/期	年代/百万年前
顕生(累)界/代	新生界/代	第四系/紀	完新統/世	メガラヤン	現在
				ノースグリッピアン	0.0042
				グリーンランディアン	0.0082
			更新統/世	上部/後期	0.0117
				チバニアン	0.129
				カラブリアン	0.774
				ジェラシアン	1.80
		新第三系/紀	鮮新統/世	ピアセンジアン	2.58
				ザンクリアン	3.600
			中新統/世	メッシニアン	5.333
				トートニアン	7.246
				サーラバリアン	11.63
				ランギアン	13.82
				バーディガリアン	15.97
				アキタニアン	20.44
		古第三系/紀	漸新統/世	チャッティアン	23.03
				ルペリアン	27.82
			始新統/世	プリアボニアン	33.9
				バートニアン	37.8
				ルテシアン	41.2
				ヤプレシアン	47.8
			暁新統/世	サネティアン	56.0
				セランディアン	59.2
				ダニアン	61.6
	中生界/代	白亜系/紀	上部/後期	マーストリヒチアン	66.0
				カンパニアン	72.1±0.2
				サントニアン	83.6±0.2
				コニアシアン	86.3±0.5
				チューロニアン	89.8±0.3
				セノマニアン	93.9
			下部/前期	アルビアン	100.5
				アプチアン	~113.0
				バレミアン	~125.0
				オーテリビアン	~129.4
				バランギニアン	~132.6
				ベリアシアン	~139.8
					~145.0

(累)界/代	界/代	系/紀	統/世	階/期	年代/百万年前
					~145.0
顕生(累)界/代	中生界/代	ジュラ系/紀	上部/後期	チトニアン	152.1±0.9
				キンメリッジアン	157.3±1.0
				オクスフォーディアン	163.5±1.0
			中部/中期	カロビアン	166.1±1.2
				バトニアン	168.3±1.3
				バッジョシアン	170.3±1.4
				アーレニアン	174.1±1.0
			下部/前期	トアルシアン	182.7±0.7
				プリンスバッキアン	190.8±1.0
				シネムーリアン	199.3±0.3
				ヘッタンギアン	201.3±0.2
		三畳系/紀	上部/後期	レーティアン	~208.5
				ノーリアン	~227
				カーニアン	~237
			中部/中期	ラディニアン	~242
				アニシアン	247.2
			下部/前期	オレネキアン	251.2
				インドゥアン	251.902±0.024
	古生界/代	ペルム系/紀	ローピンジアン	チャンシンジアン	254.14±0.07
				ウーチャーピンジアン	259.1±0.5
			グアダルピアン	キャピタニアン	265.1±0.4
				ウォーディアン	268.8±0.5
				ローディアン	272.95±0.11
			シスウラリアン	クングーリアン	283.5±0.6
				アーティンスキアン	290.1±0.26
				サクマーリアン	293.52±0.17
				アッセリアン	298.9±0.15
		石炭系/紀	ペンシルバニアン亜系/紀	上部/後期 グゼリアン	303.7±0.1
				カシモビアン	307.0±0.1
				中部/中期 モスコビアン	315.2±0.2
				下部/前期 バシキーリアン	323.2±0.4
			ミシシッピ亜系/紀	上部/後期 サープコビアン	330.9±0.2
				中部/中期 ビゼーアン	346.7±0.4
				下部/前期 トルネーシアン	358.9±0.4

[34] 出典）橋本純「教養としての『日本列島の地形と地質』」2022 年 PHP 研究所 p.44

(4) 地層の分布面

地質は岩種や形成年代の異なった地層が複雑に堆積し、色々な種類の面が存在します。地層の種類が異なることで把握できる層理面や、地層が分断しズレが生じた断層面、地質形成年代に隔たりを示す不整合面、火成岩が冷却する際にできる節理面など多種多様で、図-2.2.21 に示すとおり見た目や物性値の異なる不連続面として認識できます。

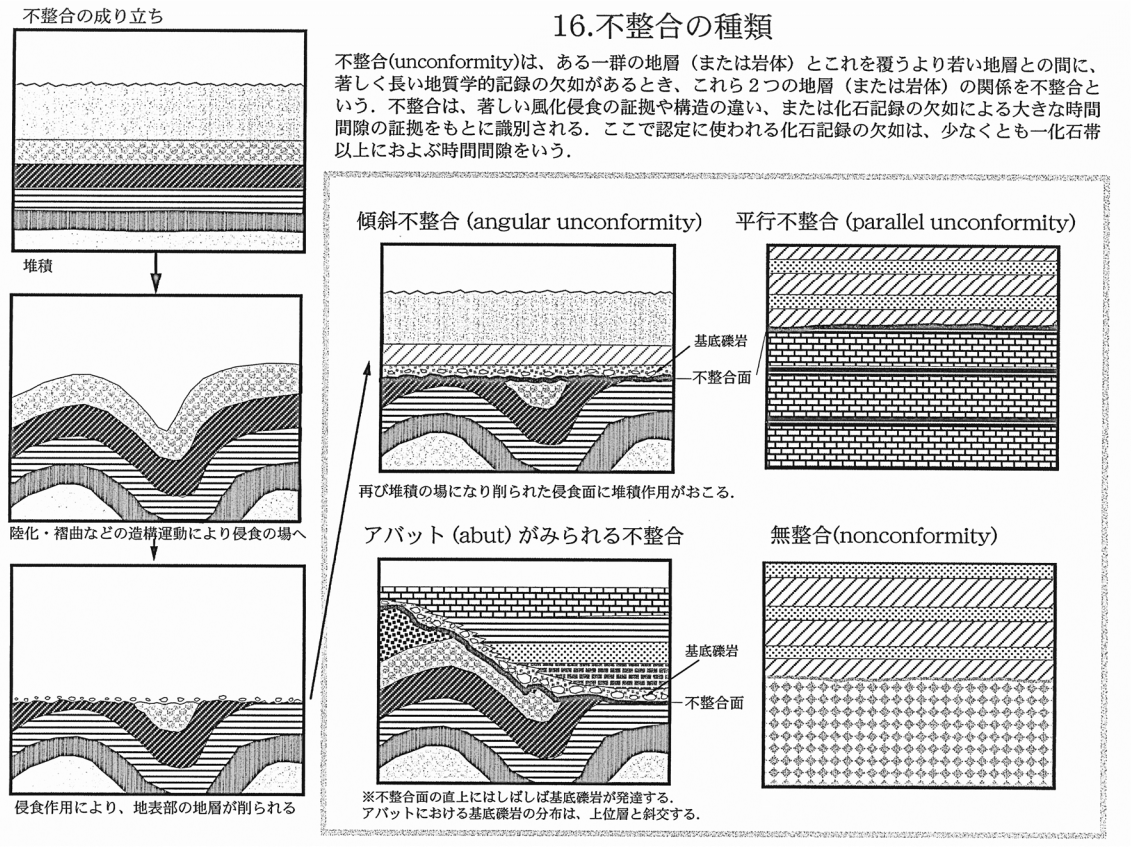
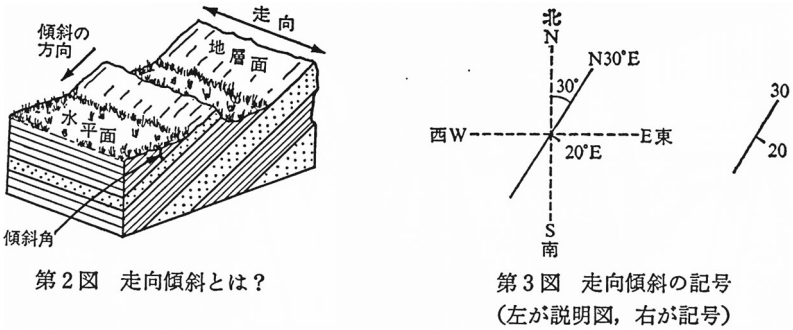


図-2.2.21　多様な不整合面[35]

そのような地質構造を把握するのに、地層の走向傾斜を知ることが役に立ちます。走向傾斜とは、図-2.2.22 に示すとおり地質の不連続面の広がりを推定するための重要な鍵となるものです。

[35] 出典）岡本隆・堀利栄「地質図学演習」2003 年 古今書院 p.24



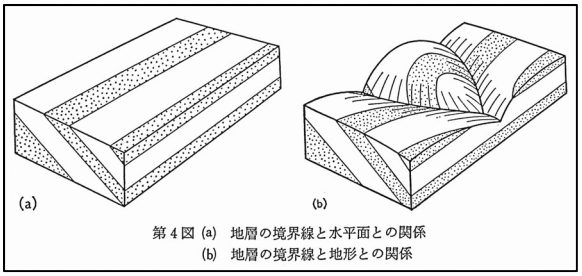
第2図　走向傾斜とは？

第3図　走向傾斜の記号
（左が説明図，右が記号）

図-2.2.22　地層の走向傾斜[36]

(5) 地質図の見方、見え方

日本列島の形成は複雑な過程を経ているため、地質構造の不連続面は水平であることが少なく、様々な傾斜や歪みを持っています(褶曲などによりもともとの地層形成時の上下が逆転している場合もあります)。これらの面は、図-2.2.23 に示すとおりその傾斜と現地形面の形状よりさらに複雑な模様を示します。



第4図 (a)　地層の境界線と水平面との関係
(b)　地層の境界線と地形との関係

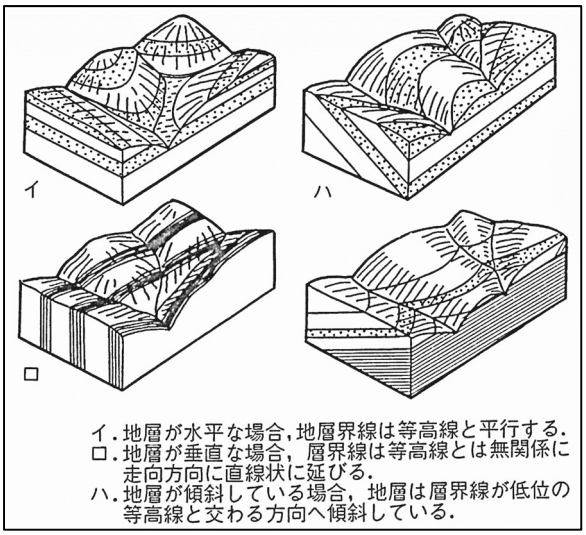


図-2.2.23　地層の見え方（上段[37]　下段[38]）

---

[36] 出典）藤田和夫・池辺穣・杉村新・小島丈児・宮田隆夫（1984）「新版 地質図の書き方と読み方」1984 年 古今書院 p.7

[37] 出典）藤田和夫・池辺穣・杉村新・小島丈児・宮田隆夫（1984）「新版 地質図の書き方と読み方」1984 年 古今書院 p.7

[38] 出典）大島洋志「わかりやすい土木地質学」2000 年 土木工学社 p.107

(6) 地下水の涵養

地表の水が地下浸透して帯水層に水が供給されることを地下水涵養といいます。地下水となる水の供給源を涵養源、供給元なっている流域を涵養域といい、地下水が河川や海に流出する場所を流出域といいます。山に降った雨は地表面から浸透し、地下水として流動した後に、湧水として再び地表面に湧出し、そこから谷に沿って、渓流や河川として地表面を流下するといった流れがあります。河川が山地から扇状地に至ると、河川水の一部は地中に再度浸透して地下水となって流動し、また河川水の一部はかんがい用水として農地に流されて、そこから地中に再度浸透して地下水となる場合もあります。扇状地から平野に地中をゆっくりと流動した地下水の一部は河川に流出し、河川水として海に流出したり、河川に流出しなかった地下水の一部は、そのまま地下水として海に流出したりします。山地においては、基盤岩中に割れ目が存在しており、涵養域での割れ目を介した浸透(透水性)による地下水流動特性が、河川等の流出域へ大きな影響を与えます。

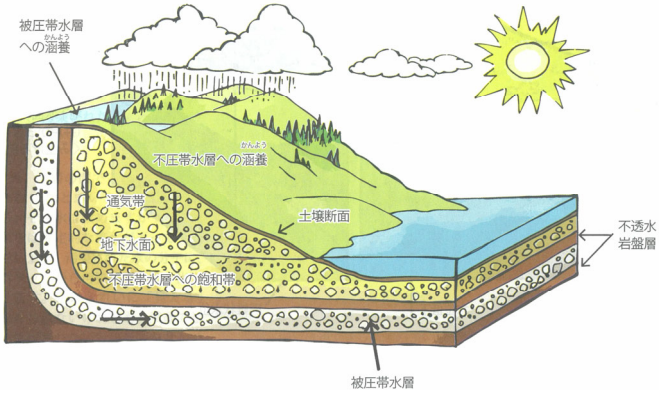


図-2.2.24 地下水の循環について[39]

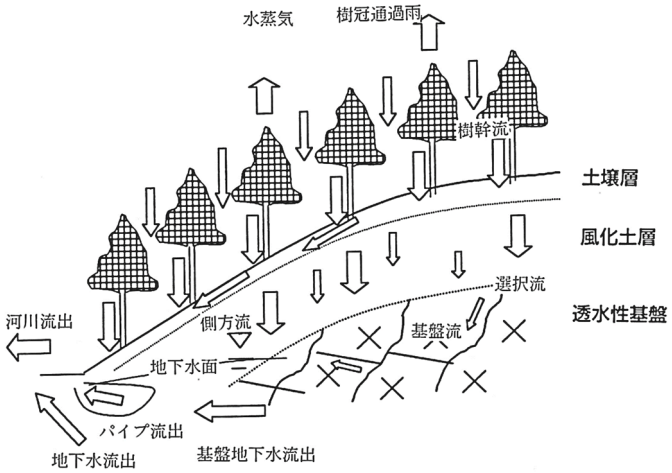


図-2.2.25 山地森林流域における地下水涵養過程の概念図[40]

---

[39] 出典）Project WET Foundation（2013）「プロジェクト WET カリキュラム アンド アクティビティガイド 2.0」2013 年 公益財団法人河川財団 p.177

[40] 出典）日本地下水学会 編「21 世紀の地下水管理 雨水浸透・地下水涵養」2001 年 理工図書 p.130

(7) 地下水の流れ

地下水の流れる速さは、速くても毎秒 0.01cm～0.1cm(1 日に 10m～100m 程度)で、土壌や地質条件によっては毎秒 0.001cm 未満(１日に 1m 未満)の場合もあります。この地盤中の地下水の流れやすさを示す係数として透水係数があります。透水係数はダルシーの法則を q=KI で表したとき、q を比流束(またはダルシー流速)、I を動水勾配、比例定数 K が透水係数として定義されます。

表-2.2.4 土の透水係数[41]

透水係数 k (m/s)

	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^{0}
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い		中位		高い			
対応する土の種類	粘性土 (C)		細砂，シルト，砂－シルト－粘土混合土 (SF) (S-P) (M)				砂及びれき（礫） (GW) (GP) (SW) (SP) (G-F)		清浄なれき (GW) (GP)			
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験		変水位透水試験				定水位透水試験		特殊な変水位透水試験			
透水係数を間接的に測定する方法	圧密試験結果から計算				なし		清浄な砂及びれきは，粒度と間隙比とから計算					

透水係数は一般に粒径のそろった粗粒な地層ほど大きく、細粒で混合粒径の地層ほど小さくなります。一般的に粘性土は難透水層、砂および砂礫は透水層と考えられます。一般に、土や砂の粒子の粒径が小さいほど透水性が小さく(透水係数は小)、粒径が大きいほど透水係数は大きくなります(イメージは図-2.2.26)。

堆積(たいせき)層の透水係数は、土粒子の配列構造や地層の層構造のため、一般に水平方向の透水係数が垂直方向のそれよりも大きく、異方性を示します。

---

[41] 出典）地盤工学会室内試験規格・基準委員会 編「地盤材料試験の方法と解説［第一回改訂版］」二分冊の一」2020 年 地盤工学会 p.468

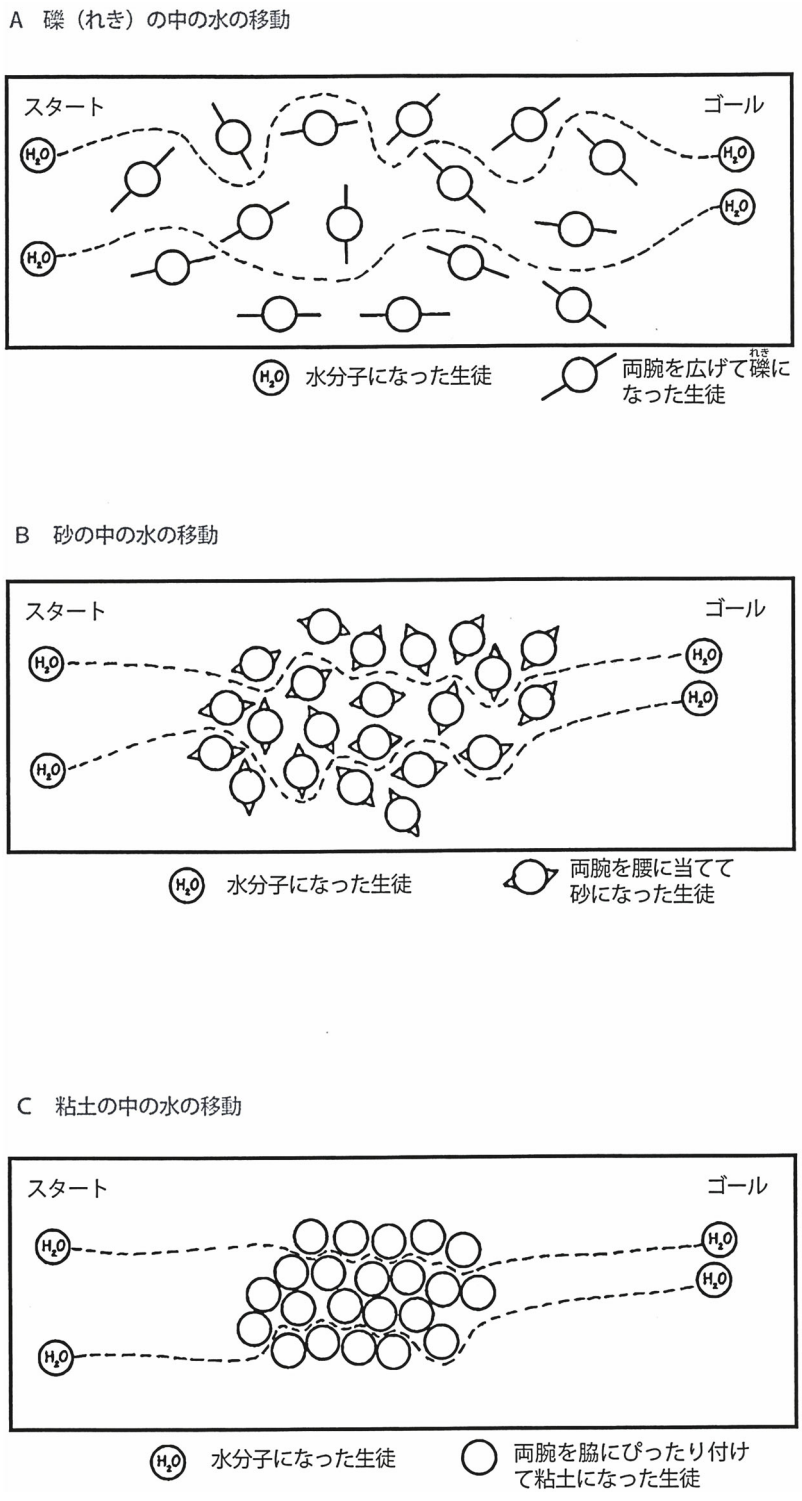


図-2.2.26 地下水の流れやすさ[42]

[42] 出典）Project WET Foundation（2013）「プロジェクト WET カリキュラム アンド アクティビティガイド 2.0」2013 年 公益財団法人河川財団 p.175

2.3 流量

水力発電の源泉となる流量について、事業立案段階では公表されているデータを用いて概略で出力規模等を掴むことが効率的です。近年ではインターネットにより全国の色々な地点の流量データを得られるようになっています。

2.3.1 日本の河川流量

日本列島は多種多様な地形と地質を持ちますが、それにより河川流量(流況)にも変化をもたらします。河川の流況とは、1 年を通じた河川の流量の特徴を示し、豊水、平水、低水、渇水の流量を指標にします。各流量は、河川で観測される 365 日分の流量データを大きい順に並べて以下とされています。

95 番目流量：豊水流量（1 年を通じて　95 日はこれを下回らない流量）
185 番目流量：平水流量（1 年を通じて 185 日はこれを下回らない流量）
275 番目流量：低水流量（1 年を通じて 275 日はこれを下回らない流量）
355 番目流量：渇水流量（1 年を通じて 355 日はこれを下回らない流量）

流況を支配する要因として、気候、地形、地質、植生、その他（土地利用、被覆状況、人工的操作など）が上げられますが、特に渇水流量は地質条件に支配されます。

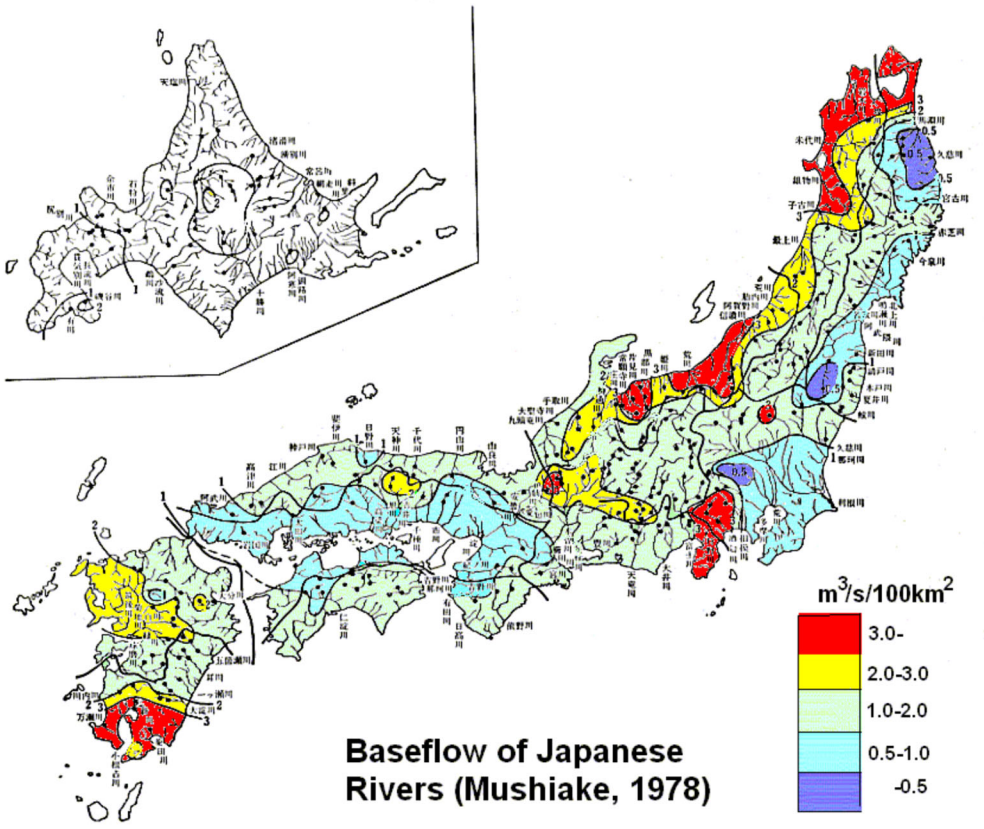


図-2.2.24　日本における渇水比流量の分布[43]

[43] 出典）虫明巧臣「流出現象の地域性をどうみるか」高橋裕編「河川水文学」1978 年 共立出版 p.170

「比流量」とは各流域から流れ出る沢の流量を流域面積で除した値。単位は $m^3/s/100km^2$（流量/時間/単位面積）が一般的ですが、$1km^2$ あたりの流量（$m^3/s/km^2$）で表現することもあります。
物理的な条件が、まったく同じであればどの大きさの流域も降った雨が同じように流れ込み出てくるので単位面積あたりの「比流量」は同じになりますが、実際には地質構成、地表の形状、植生、断層などの地質構造など様々な条件が異なるため「比流量」は一致しません。これらを比較することで各流域の特徴などを把握することが可能となります。
また、発電計画地点での流量データが得られない場合、他の観測所地点の流量を比流量に換算し、それを発電計画地点の面積按分で補正して当該計画地点の流量データとして整理することができます（下記の事例を参照）。

・A 地点観測流量　$0.52m^3/s$（流域面積 $15.1km^2$）
　比流量　$0.52m^3/s$ ／ $15.0km^2$ ＝ $0.034m^3/s/km^2$
・B 地点（発電計画地点）の流域面積　$6.3km^2$

上記より B 地点（発電計画地点）の流量
＝ $0.034m^3/s/km^2$ × $6.3km^2$ ＝ $0.189m^3/s$

なお、流量データの整理方法については、ハイドロバレー計画ガイドブック（次ページ参照）に詳しく記載がありますので、そちらも参考にしてください。

発電に利用できる流量は、河川の維持流量を差し引いたものとなります。維持流量については本テキストの 2 章 5 節 8 項を参照願います。

5.3　河川等流量資料の整理

発電計画を立案する上で最も重要な流量資料を整備する方法として、

①　取水地点で流量測定を行って流量資料を整備する方法

②　近傍の測水所(流量観測所)からの流域面積比により流量資料を整備する方法

があります。

取水計画地点での流量資料がない場合には、計画取水地点で流量観測を少なくとも１ヶ年以上実施して、他地点の流量資料との相関関係により計画地点の流量資料を整備する必要があります。ここでは、「②近傍の測水所からの流域面積比により流量資料を整備する方法」について説明します。

取水口の位置が決まれば、取水地点の流域面積Ｂ(㎢)を求めます。取水地点での流域面積は、国土地理院の1/25,000の地形図を利用し、取水地点から上流側の尾根を結んで囲んだ範囲の面積で、プラニメータを使用して求め、数回測定した平均値をとります。

同一河川あるいは近傍河川の測水所の流域面積Ａ(㎢)との流域比Ｃ（＝Ｂ／Ａ）を、測水所の流量に乗じたものを取水地点の流量とします。ここで、流域比が0.5～1.50の範囲と指導されていますが、この制約を念頭におきながら、はなはなだしく河川特性が異なる場合を除いて、次式によって求めることができます。

［取水地点流量］＝［測水所流量データ］×［流域比Ｃ］

なお、水力発電を設置することにより図 5.3.1 に示すように、取水地点下流において河川に減水区間が生じる場合があります。このような場合は、河川環境保全の目的で減水区間の河川流量を確保するために、取水地点より下流へ河川維持流量分を放流する必要があります。更に、灌漑用水等の取水が行われている場合は、これら必要水量の放流も必要となります。これらの放流は発電計画に与える影響が大きいので、あらかじめこれを差引いて流況曲線図を作成する必要があります。

出典：ハイドロバレー計画ガイドブック[44]

[44] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 5-4 頁 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf>（202.1.31 閲覧）

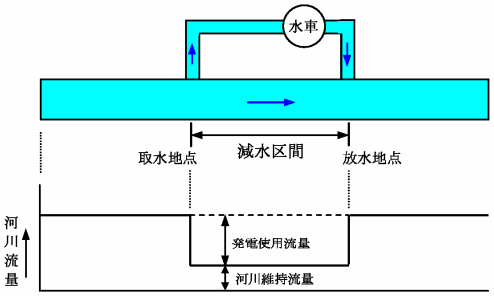


図 5.3.1　河川維持流量と発電使用流量の関係

発電計画の取水地点における流況曲線図を、河川維持流量等を差引いた河川流量データより作成します。流況曲線図とは、縦軸に流量、横軸に日数をとり、１年間の日流量データを順番に並び替えしたものであり、図 5.3.2 に示すように図化したものです。

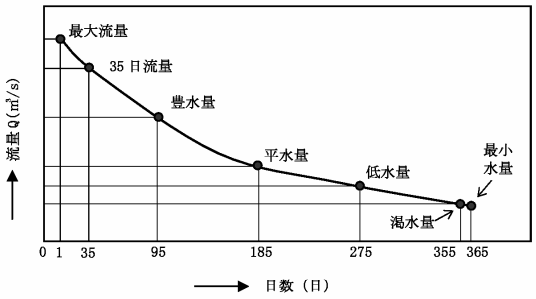


図 5.3.2　流況曲線

ここで、図 5.3.2 における各水量の意味を表 5.3.1 に示します。

表 5.3.1　流量に関する用語の説明

用　　語	説　　明
最小水量	１年中の最も少ない流量
渇 水 量	１年を通じて 355 日間はこの流量より下がらない流量
低 水 量	１年を通じて 275 日間はこの流量より下がらない流量
平 水 量	１年を通じて 185 日間はこの流量より下がらない流量
豊 水 量	１年を通じて 95 日間はこの流量より下がらない流量
35 日流量	１年を通じて 35 日間はこの流量より下がらない流量
最大流量	１年中の最も多い流量

出典：ハイドロバレー計画ガイドブック[45]

[45] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 5-5 頁 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf>（202.1.31 閲覧）

2.3.2 流量データの入手

水力発電の源泉となる「流量」について、近年ではインターネットから様々な地点の流量データの入手が可能となっています。ここでは、流量データやその地点の水力発電ポテンシャルを知ることができるウェブサイトを紹介します。

(1) 国土交通省　水文･水質データベース

国土交通省が所管する観測所のデータベースで、国交省の観測所に加えて都道府県の観測データも閲覧可能です。閲覧できるデータ河川及びダムの流量、水位、水質データ（BOD や pH など）ですが、都道府県の観測所では流量は計測されていない場合が多くなっています（水位のみ閲覧可能）。ただし、都道府県が管理するダムでは流量データの閲覧が可能です。

観測所は全国から任意で抽出可能で、観測期間にはばらつきがありますが、地点によっては長期間の流量データをテキストファイルでダウンロード可能です。水力発電所を計画する地点の近傍の流量データを用いて面積換算などで発電所地点の流量を概略で把握するのに便利です。

国土交通省　水文水質データベース[46]

---

[46] 出典）国土交通省「水文水資質データベース」<http://www1.river.go.jp/>（2022.1.31 閲覧）

(2) 新エネルギー財団　流量･流況データベース

新エネルギー財団が中小水力発電支援として運営している支援サイトです。国交省のデータベースに対して水力発電の計画利用に特化したデータベースなので、単純な流況だけでなく、発電規模を概算で計算できたり、水利権の情報などを得ることができたりと、開発地点を定める上で便利な支援サイトです。ただし、このツールで得られる各種数値（発電電力量など）はあくまで机上の計算値であるため、数値の妥当性判断などはあくまで利用者が行うことになります。データベースには取扱注意事項が記載されているため、その内容を確認の上で利用する必要があります。

一般財団法人　中小水力発電支援サイト　流量･流況データベース[47]

(3) 環境省　REPOS（再生可能エネルギー情報提供システム）

「再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS)」は、全国・地域別の再生可能エネルギー導入ポテンシャルの情報（太陽光、風力、中小水力、地熱、地中熱、太陽熱）や、導入に当たって配慮すべき地域情報・環境情報・防災情報などについて、環境省より提供されているツールです。このうち中小水力発電の導入ポテンシャルは、河川の合流点に仮想発電所を設置すると仮定し、全国の約 300 の河川流量観測地点の実測値から流況を分析して年間使用可能水量を推計した上で、仮想発電所毎に設備容量（kW）と年間発電電力量（kWh）を求めるシステムになっています。

REPOS では水力のポテンシャルがありそうな河川、沢、農業用水路の区間を設備容量ごとに色分けして明示できますが、ピンポイントで開発地点を指定して、その地点における発電容量（最大出力など）を算定する機能は付加されていません。

上記より、REPOS はどちらかというと開発の可能性があるか否かを広範囲で俯瞰的に探

---

47 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「流量・流況データベース」<https://ryuryodatabase.nef.or.jp/>（2022.1.31 閲覧）

すような使い方、もしくはエリアにおける賦存量を求めるといった使い方が適したシステムと言えます。

環境省　再生可能エネルギー情報提供システム　[REPOS(リーポス)][48]

REPOS による中小水力ポテンシャルの表示例[49]

ポテンシャルがある区間が設備容量（出力）ごとに色分して表示される

---

[48] 出典）環境省「再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS）」
<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/>（2022.1.31 閲覧）

[49] 出典）環境省「再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS）」※群馬県渋川市周辺を表示
<https://www.renewable-energy-potential.env.go.jp/RenewableEnergy/gis.html?energy=water>（2022.1.31 閲覧）

(3) 水道用水

水道用水に水力発電所を設置する場合の使用水量は、その水道設備の能力と等しくなります。この設備の能力については設備管理者の HP に記載がある場合もありますが、正確な数値を得たい場合は、公益社団法人日本水道協会が発刊している「水道統計」で調べることも有効です。インターネットでの購入[50]も可能なので、必要であれば利用すると良いでしょう。

上記で紹介した各種支援 WEB サイトは、事業立案段階での概略での流量資料等の把握を行えるものです。
事業実施段階に進んだ段階では、詳細な流量調査（現地での観測、または設備流量の実績使用データの入手）が必要となります。

[50] 出典）公益社団法人日本水道協会「発行図書目録」<http://jwwa.or.jp/syuppan/hakkou.html>（2022.1.31 閲覧）

2.4 最大出力、概算コストの整理

上記の地形や流量データを基に、開発地点の大まかな発電出力を整理します。発電の出力は以下の算定式で求めます。

$Pe = 9.8 \times Qp \times He \times \eta t \times \eta g$

ここで、Pe：発電出力［kW］

Qp：使用水量［m^3/s］

He：有効落差［m］

ηt：水車効率

ηt：発電機効率

事業実施段階では 3 章 6 節で説明する方法で最大使用水量などを詳細に検討しますが、ここの事業立案段階では超概算で以下の方法で仮定します。

① 得られたデータ（1 年間）の流量を大きい順に並び替える

② そのうち平水流量（185 日目の流量）を最大使用水量と仮定する。

③ 水車効率を 0.8、発電機効率を 0.9 と仮定する。

④ 国土地理院地の Web サイト[51]などから概略で落差（総落差）を推定する。

⑤ 総落差の 90%を有効落差と仮定する。

例えば、平水流量（185 日目の流量）が $0.50m^3/s$、総落差が 50m とすると、最大出力は概ね 160kW となります。

$Pe = 9.8 \times 0.50 \times (50 \times 0.9) \times 0.8 \times 0.9 = 159 \fallingdotseq 160kW$

上記をもとに、超概算の発電電力量、イニシャルコストを表以下の方法で推定します。

① 以下の式で可能発電電力量を推定する。

可能発電電力量（kWh）＝ 最大出力（kW）× 365 日 × 24 時間 × 設備利用率

ここで、設備利用率は流れ込み式の一般値である 60%と仮定する。

② 水力発電設備の資本費（イニシャルコスト）は以下の表-2.4.1(200kW 未満、新設区分の平均値 170 万円/kW)より推定する。

先程の事例（最大出力 160kW）の場合、可能発電電力量と資本費は以下のとおりです。

（年間）可能発電電力量 ＝ 160×365×24×60% ＝ 840,960 ≒ 841MWh

イニシャルコスト ＝ 160kW×170 万円/kW ≒ 272 百万円

1kWh あたり単価 ＝ 272,000,000 円／840,960kWh ≒ 323 円/kWh

---

[51] 国土交通省 国土地理院「地理院地図 電子国土 Web」
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.075684/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
（2022 年 1 月 31 日閲覧） ※ 本テキスト図-2.4.2 参照

表-2.4.1 水力発電設備の資本費の平均値[52]

出力	区　分	資本費の平均値* （万円/kW）
200kW 未満	新設区分	170
	既設導水路活用型区分	169
200kW 以上 1,000kW 未満	新設区分	117
	既設導水路活用型区分	75
1,000kW 以上 5,000kW 未満	新設区分	91
	既設導水路活用型区分	46
5,000kW 以上 30,000kW 未満	新設区分	51
	既設導水路活用型区分	26

* 300 万円/kW 以上の高額案件等を除く

仮にこの電力を FIT 買取価格（表-1.2.2 参照）である 200kW 未満の 34 円/kWh で売電した場合、年間の売電収入額は以下のとおり約 2,900 万円となります。

発電電力量　841MWh　×　34 円/kWh　＝　28,594 千円　≒　29,000 千円

上記はあくまで概算の数値となりますが、事業立案段階（F/S の手前）ではこういった簡易な方法で必要となる設備コストや収益規模を推定した上で、必要となる事業規模を満足しているのかを掴むことが重要です。

皆さんが投資出来る資金の規模感、及び希望する売電収入額や電力料との乖離をこの段階で掴んでおくことが重要です。もちろん上記は超概算ですので、あくまで目安として考える必要があります。推定した数値が想定する皆さんの事業規模感に対してオーダーが違う（桁が違う）ようであれば、別の開発地点に変更することも視野に入れた方がいいでしょう。

なお、参考として国土交通省がとりまとめた kWh あたり単価の資料を図-2.4.1 に示します。これは用いているデータが平成 20 年度と古いため、あくまで参考値となりますが、計画する発電所の kWh あたり単価が全国的な平均値に対してどの位置にあるのかを、こういった方法で確認しておくことも重要です。

[52] 出典）経済産業省「調達価格等算定委員会」令和 4 年度以降の調達価格等に関する意見 p.52 より作成
< https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/pdf/20220204_1.pdf（2022.3.25 閲覧）

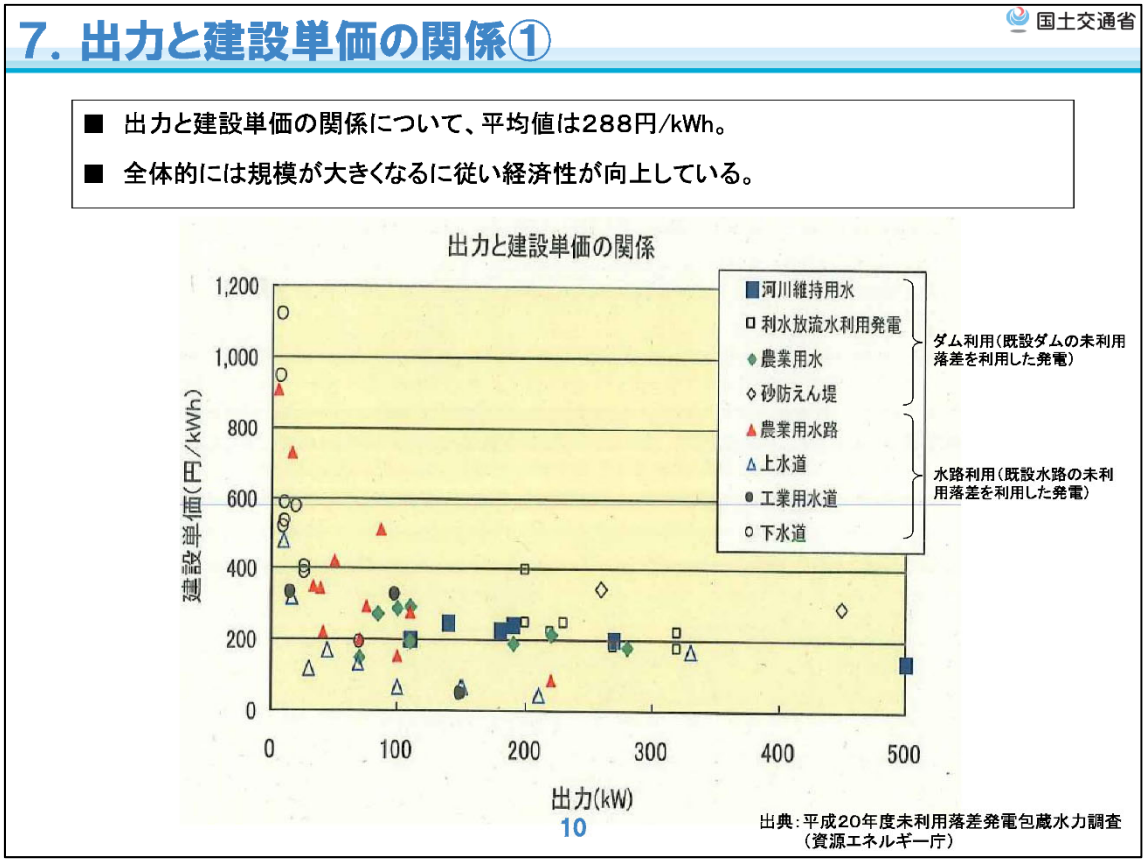


図-2.4.1　中小水力発電所　kWh あたり単価の実績[53]

※　作成の基となっているデータは平成 20 年度

なお、WEB に接続したパソコンがあれば、国土地理院の地理院地図（電子国土 Web）を用いることで、取水地点の集水面積、落差算定や埋設管の要否といった、水路ルートの検討をどなたでも簡単に行うことが可能です（次頁参照）。

[53] 出典）国土交通省「資源としての河川利用の高度化に関する検討会」第一回配布資料 資料 7 p.10 <https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shigenkentou/dai01/pdf/s07.pdf>（2022.1.31 閲覧）

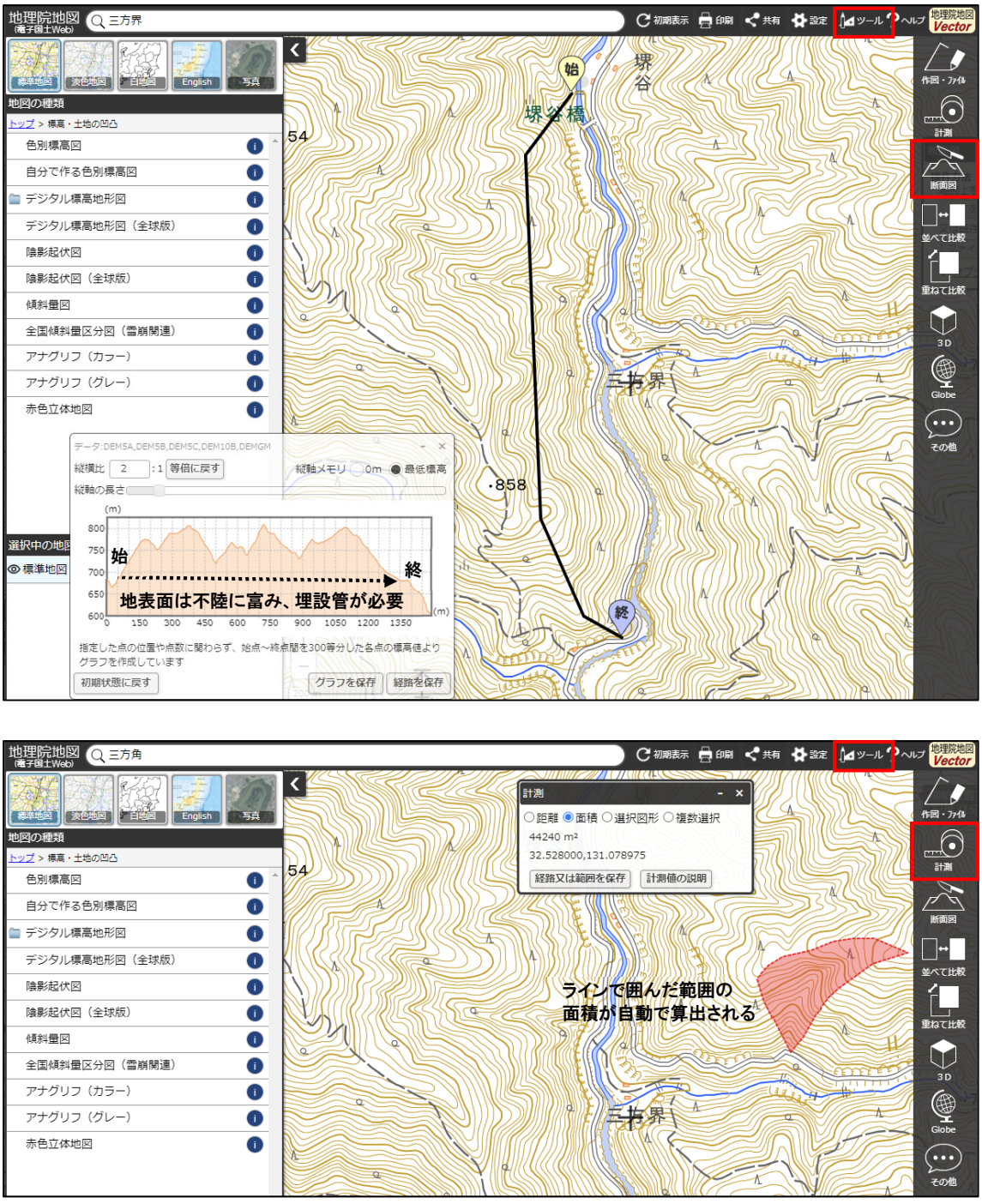


図-2.4.2　WEB 地図アプリケーションを活用したルート検討事例[54]

上段：断面図の作成例、下段：集水面積の算出例

[54] 出典）国土交通省 国土地理院「地理院地図 電子国土 Web」
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.075684/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
（2022.1.31 閲覧）

2.5 河川法・水利権

2.5.1 河川法、及び水利権とは

流量を源泉とする水力発電設備は、その特性上河川、または河川から取水された水路などに設置されることが多いという特徴があります。この河川、及び取水後の流水については、治水・利水・環境の側面から適正に利活用がされることを主旨とした「河川法」によってその利用や開発の行為などが規制されています。

> 河川法　第一章　総則
> （目的）
> 第一条　この法律は、河川について、洪水、津波、高潮等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、流水の正常な機能が維持され、及び河川環境の整備と保全がされるようにこれを総合的に管理することにより、国土の保全と開発に寄与し、もつて公共の安全を保持し、かつ、公共の福祉を増進することを目的とする。
>
> e-Gov より[55]

水力発電設備を設置しようとした場合、その取水地点の立地条件によっては主として以下について河川管理者から許可を得る必要があります。

・河川法　第 23 条　流水の占用の許可
・河川法　第 24 条　土地の占用の許可
・河川法　第 26 条　新築等の許可

なお、一般に用いられている「水利権」の定義について、国土交通省では以下のように説明がなされています。一般的に水利権とは、上記河川法第 23 条やその他条項において流水の占用、及びその設備設置の許可を得た「水を取水できる権利」のことを指します。

> 水利権とは、特定の目的（水力発電、かんがい、水道等）のために、その目的を達成するのに必要な限度において、流水を排他的・継続的に使用する権利のことをいいます。
> 「水利権」という用語は、法律上のものではなく、水利権について規定している法律である河川法の中には出てきません。水を利用する権利として従来よりこの呼び方が定着しているものです。
>
> 国土交通省 HP より[56]

河川法許可に基づく申請は「水利使用の申請」または「水利権申請」、その協議は「水利使用協議」、「水利権協議」と呼ばれることが多いです。

---

[55] 出典）e-GOV「法令検索 河川法」<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=339AC0000000167>（2022.1.31 閲覧）

[56] 出典）国土交通省「水利権について」<https://www.mlit.go.jp/river/riyou/main/suiriken/index.html>（2022.1.31 閲覧）

※　河川法より一部抜粋[57]

（流水の占用の許可）

第二十三条　河川の流水を占用しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。ただし、次条に規定する発電のために河川の流水を占用しようとする場合は、この限りでない。

（流水の占用の登録）

第二十三条の二　前条の許可を受けた水利使用（流水の占用又は第二十六条第一項に規定する工作物で流水の占用のためのものの新築若しくは改築をいう。以下同じ。）のために取水した流水その他これに類する流水として政令で定めるもののみを利用する発電のために河川の流水を占用しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の登録を受けなければならない。

（登録の実施）

第二十三条の三　河川管理者は、前条の登録の申請があつたときは、次条の規定により登録を拒否する場合を除き、政令で定める事項を第十二条第二項の水利台帳に登録しなければならない。

（登録の拒否）

第二十三条の四　河川管理者は、第二十三条の二の登録の申請が次の各号のいずれかに該当する場合には、その登録を拒否しなければならない。

一　申請者がこの法律の規定に違反して罰金以上の刑に処せられ、その執行を終わり、又はその執行を受けることがなくなつた日から二年を経過しない者であるとき。

二　申請者が第七十五条第一項の規定により許可、登録又は承認の取消しを受け、その取消しの日から二年を経過しない者であるとき。

三　申請者が法人又は団体であつて、その役員が前二号のいずれかに該当する者であるとき。

四　第二十三条の許可を受けた水利使用のために取水した流水を利用する発電のために河川の流水を占用しようとする場合において、申請者と当該許可を受けた者とが異なるときは、当該申請者が当該申請に係る流水の占用について当該許可を受けた者の同意を得ていないとき。

五　前各号に掲げるもののほか、国土交通省令で定める場合に該当するとき。

（土地の占用の許可）

第二十四条　河川区域内の土地（河川管理者以外の者がその権原に基づき管理する土地を除く。以下次条において同じ。）を占用しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。

（工作物の新築等の許可）

第二十六条　河川区域内の土地において工作物を新築し、改築し、又は除却しようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。河川の河口附近の海面において河川の流水を貯留し、又は停滞させるための工作物を新築し、改築し、又は除却しようとする者も、同様とする。

２　高規格堤防特別区域内の土地においては、前項の規定にかかわらず、次に掲げる行為については、同項の許可を受けることを要しない。

一　基礎ぐいその他の高規格堤防の水の浸透に対する機能を減殺するおそれのないものとして政令で定める工作物の新築又は改築

二　前号の工作物並びに用排水路その他の通水施設及び池その他の貯水施設で漏水のおそれのあるもの以外の工作物の地上又は地表から政令で定める深さ以内の地下における新築又は改築

三　工作物の地上における除却又は工作物の地表から前号の政令で定める深さ以内の地下における除

[57] 出典）e-GOV「法令検索 河川法」<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=339AC0000000167>（2022.1.31 閲覧）

却で当該工作物が設けられていた土地を直ちに埋め戻すもの

3　河川管理者は、高規格堤防特別区域内の土地における工作物の新築、改築又は除却について第一項の許可の申請又は第三十七条の二、第五十八条の十三、第九十五条若しくは第九十九条第二項の規定による協議があつた場合において、その申請又は協議に係る工作物の新築、改築又は除却が高規格堤防としての効用を確保する上で支障を及ぼすおそれのあるものでない限り、これを許可し、又はその協議を成立させなければならない。

4　第一項前段の規定は、樹林帯区域内の土地における工作物の新築、改築及び除却については、適用しない。ただし、当該工作物の新築又は改築が、隣接する河川管理施設（樹林帯を除く。）を保全するため特に必要であるとして河川管理者が指定した樹林帯区域（次項及び次条第三項において「特定樹林帯区域」という。）内の土地においてされるものであるときは、この限りでない。

5　河川管理者は、特定樹林帯区域を指定するときは、国土交通省令で定めるところにより、その旨を公示しなければならない。これを変更し、又は廃止するときも、同様とする。

2.5.2 河川の種類

日本の河川は表-2.5.1 に示すとおり区分されています。このうち「河川法」の許可が必要となるのは 1 級河川、2 級河川、及び準用河川です。普通河川に水力発電設備を設置する場合には河川法協議が不要となりますが、管理者（都道府県や市町村）が独自に管理条例を定めていることもあるため、事前に確認しておくことが望ましいと言えます。

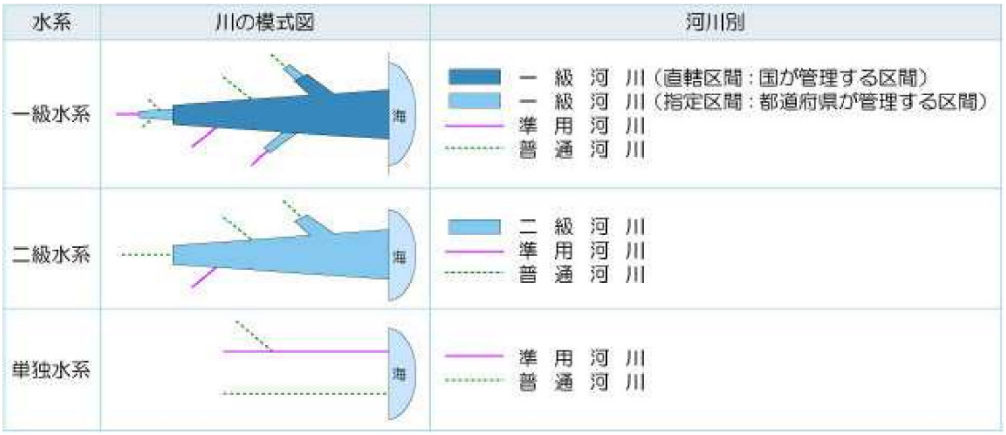
表-2.5.1 日本における河川の種類[58]

一級河川は一級水系に係わる河川で、国土交通大臣が指定した河川です。全国で 14,048 河川が一級河川に指定されています。（平成 24 年 4 月 30 日現在）

二級河川は二級水系に係わる河川で、都道府県知事が指定した河川です。全国で 7,081 河川が二級河川に指定されています。（平成 24 年 4 月 30 日現在）因みに、一級水系の中に二級河川はあり得ません。

準用河川は河川法の規定の一部を準用し、市町村長が管理する河川です。一級水系，二級水系，単独水系にかかわらず設定されます。

普通河川は一級河川，二級河川，準用河川以外の小河川を普通河川と呼びます。実際の管理は、市町村などが行っています。



上記のうち、各河川の管理者は図-2.5.1、表-2.5.2 に示すとおりとなります。

表-2.5.2 各河川の管理者

種別	管理者	管理担当機関
一級河川（直轄区間）	国土交通大臣	国交省の出先機関（河川事務所）
一級河川（指定区間） 二級河川	都道府県知事	都道府県の出先機関
準用河川 普通河川	市町村長	市役所、町村役場

58 出典）新潟県「河川関係用語集」p.2 <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/54317.pdf>（2022.1.31 閲覧）

河川		管理	凡例
一級河川	直轄区間	国土交通省	
	指定区間	都道府県（一部の区間は政令指定都市）	
二級河川		都道府県（一部の区間は政令指定都市）	
準用河川		市町村	
普通河川（河川法適用外）		市町村	

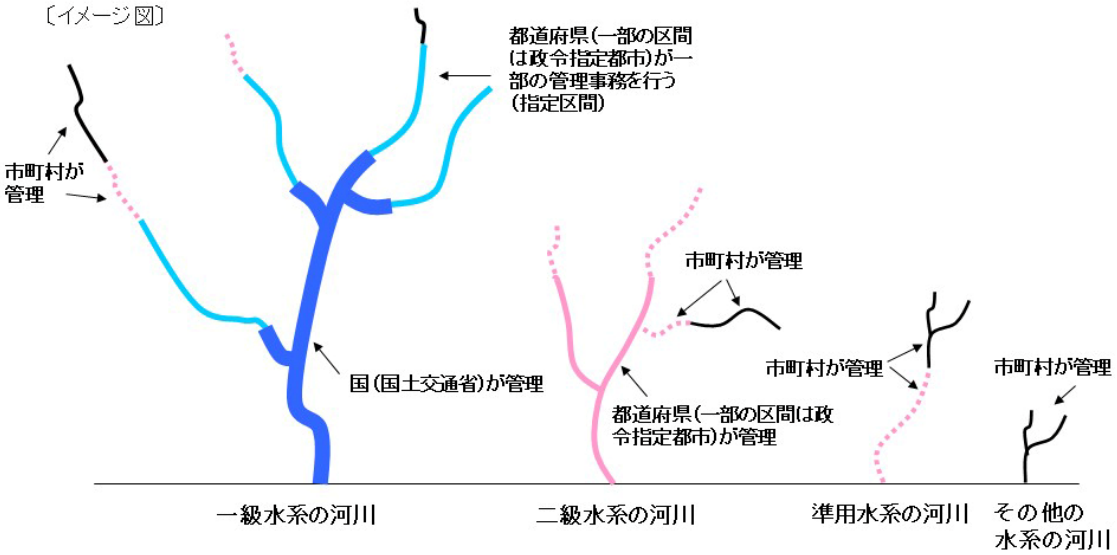


図-2.5.1　河川管理の区分[59]

各河川とも管理者毎の管理の起点と終点が決まっており、発電所の取水口や放水口がどこになるかによって管理者が異なります。なお、その起点と終点の位置について国土交通大臣が管理する一級河川の直轄管理区間及び、政令指定都市の管理区間については、国土交通省の HP[14] で具体の位置が公開されているので参考にしてください。

また、一級河川の指定区間（都道府県が管理する区間）、二級河川、及び準用河川の場合はインターネットで公表されていない河川もあるため、適宜各管理者の出先機関へ直接問い合わせるようにしてください。

[59] 出典）国土交通省「河川の管理区分について」<https://www.mlit.go.jp/river/riyou/kubun/index.html>（2022.1.31 閲覧）

2.5.3 河川区域及び河川保全区域

河川法第 24 条（土地の占用）、及び河川法第 26 条（工作物の新築）は河川区域内で工事が行う場合に必要となります。河川区域は図-2.5.1 に示すとおり 1 号地～3 号地の範囲を指します。この区域で工事等を行う際には河川法の許可が必要になるため注意が必要です。また、同様に河川保全区域では河川法第 55 条で行える行為が制限されています。河川区域、及び河川保全区域について具体の境界線の確認が必要な場合は、適宜各管理者の出先機関へ直接問い合わせるようにしてください。

河川を管理するために必要な区域で、基本的には堤防と堤防に挟まれた間の区間をいいます。河川区域は大きく分けて、以下の 3 種類に分かれています。

1　通常水が流れている土地（一号地）
2　堤防や護岸など、河川を管理するための施設（二号地）
3　一号地と二号地に挟まれている土地で、一号地と一体化して管理を行う必要のある土地[河川敷]（三号地）

図-2.5.1 河川区域の説明[60]

河川法第５５条（河川保全区域における行為の制限）

河川保全区域内において、次の各号の一に掲げる行為をしようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、河川管理者の許可を受けなければならない。ただし、政令で定める行為については、この限りでない。

一　土地の掘さく、盛土又は切土その他土地の形状を変更する行為
二　工作物の新築又は改築

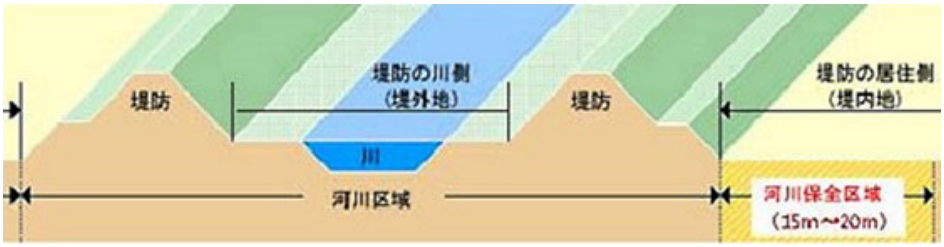


図-2.5.2 河川保全区域の説明[61]

[60] 出典）国土交通省 荒川上流河川事務所「河川の利用案内　河川区域とは？」<https://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/arajo00502.html>（2022.1.31 閲覧）

[61] 出典）国土交通省 荒川上流河川事務所「河川の利用案内　河川保全区域とは？」

2.5.4 河川協議(水利権申請)の原則

河川法に関する許認可協議（一般的に水利権協議と言われることが多い）にはいくつかの原則があるので注意が必要です。ここでは国土交通省の HP を基にそのルールを説明します。

① 事前申請の原則

下記のとおり流水の占用については河川法第 23 条で事前申請が原則とされています。先に取水設備工事等を行った後で水利権を事後申請することは認められません。

> 流水の占用（水利権）の許可は、流水を占用しようとする者の申請に基づいて行われます。そのために、流水を占用（具体的には取水など）しようとする者は、あらかじめ河川管理者に対して流水占用の許可の申請を行わなければなりません。
>
> 国土交通省 HP より[62]

② 同時申請の原則

下記のとおり流水の占用に絡む必要な手続きは全て同時に申請する必要があります。例えば先に河川法第 24 条（河川の占用)、第 26 条（工作物の新築）を申請し、その後に遅れて第 23 条（流水の占用）を申請するといったことは認められません。

> 通常流水を占用するには、河川区域内に、ダム、堰等の施設を設けて行われます。また、河床を掘削し、ダム等の基礎地盤の掘削によって生じた土石を河川区域内に捨てる場合もあります。このような場合、河川法上、流水の占用の許可（河川法第 23 条）の外、土地の占用の許可（河川法第 24 条)、工作物の新築等の許可（河川法第 26 条)、河川保全区域における行為の許可（河川法第 55 条第 1 項）などを受ける必要があります。
>
> これらの一連の許可は、流水の占用を行うために必要な手続であり、流水の占用及びこれらの行為の全体は一つの事業であること、更に河川管理上からも同時に進める必要があることから、河川法施行規則第 39 条により、全て同時に申請を行わなければならないとする同時申請の原則を明らかにしています。
>
> 国土交通省 HP より[63]

③ その他の原則

先程述べたとおり、河川法が適用されない普通河川は水利権の対象とはなりません。ただし伏流水であっても河川の流水が一部伏流しているものは水利権の対象となります。また、取水後の流水によっても条件によっては同様に対象となります。これについては次の 2 章 5 節 5 項「水利権申請または登録が必要となる場合」で説明します。

> 水利権は、河川法上の河川の流水を占用する権利に限定されています。従って、河川法上の河川でない普通河川や溜池からの取水、地下水（取水による河川への影響が明らかに認められるものは除く）や海水の取水は水利権の対象となりません。ただし、河川の流水は表流水に限られるものでなく、伏流水であっても河川の流水が一時的に伏流しているものは、河川区域の内外を問わず水利権の対象となります。また、河口に近い感潮区域の取水についても、河川の流水も取水するものであるから、水利権の対象となります。なお、水力発電に使用した流水を河川に還元される以前に再度使用する場合、河川区域外の取水であっても水利権の対象としています。これは水力発電の水利用が、農業用水や都市用水の水利用と違って、水を消費するものではなく、単に水の位置エネルギーを利用するに過ぎないものであり、発電に使用した後の水利用も河川の流水の利用として取り扱う必要があるためです。
>
> 国土交通省 HP より[64]

<https://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/arajo00502.html>（2022.1.31 閲覧）

62 出典）国土交通省「水利権申請の手続きにおける原則」
< https://www.mlit.go.jp/river/riyou/main/suiriken/sinsei/index.html>（2022.1.31 閲覧）

63 出典）国土交通省「水利権申請の手続きにおける原則」
< https://www.mlit.go.jp/river/riyou/main/suiriken/sinsei/index.html>（2022.1.31 閲覧）

64 出典）国土交通省「水利権申請の手続きにおける原則」
< https://www.mlit.go.jp/river/riyoumain/suiriken/sinsei/index.html>（2022.1.31 閲覧）

2.5.5 水利権申請または登録が必要となる場合

前述のとおり一級河川、二級河川、及び準用河川からの取水や河川区域内に構造物の新設などを行う場合は河川法に基づく手続きが必要となります。ただし、河川か取水した後の農業用水路などにおいてはこの手続きが不要となる場合があります。

河川法に基づく手続きは時間がかかる場合があります。このため、まず発電所を設置する箇所がその手続きが必要なのかを確認する必要があります。これら手続きについて詳しくまとめられたガイドブック[65]が国土交通省より公開されているので、まずはそれを一読しましょう。

河川法に基づく手続きが必要か否かについて図示したものを図-2.5.3 に示します。この図の水色の部分は河川法による協議は不要となります。

河川法協議のうち特にハードルが高いと言われるのはいわゆる「流水の占用の許可」といわれる第 23 条です。河川から水を取水する場合、当然その取水地点から下流へ流れる水の量が減少しますが、その流量の減少について、1）河川環境上問題無いこと、2）下流の既得水利権（既にある取水設備）へ影響が無いこと、を技術的に証明するか、または発電利用により減ってしまった流量をダム等の補給設備から補給することが必要になります。高度に利用が進んでいる現在の日本の河川では、新規に水を取水しても環境や水利用に対して問題無いといった技術的な証明については詳細な検討が求められます。

一方で、近年の河川法改正により既に第 23 条（流水の占用）の許可を得た取水（農業用水など）について、その取水後の流水を発電に利用する場合は新たな第 23 条の許可が不要となり、いわゆる「登録」を行うことで使用が認められるようになりました。この登録であれば比較的手続きも簡素化されることから、河川法協議の労力を緩和することが出来ます。

河川法協議は河川管理者の技術的な見解によっては時間がかかる場合もあることから、いずれにせよ発電地点がある程度定まった段階で、どのような協議が必要となるのかについて、早めに当該地点の河川管理者（国土交通省、または県）へ事前相談を行うことが有効です。

---

[65] 出典）国土交通省「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」平成 26 年 8 月 <http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/sogo/shousuiryoku/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

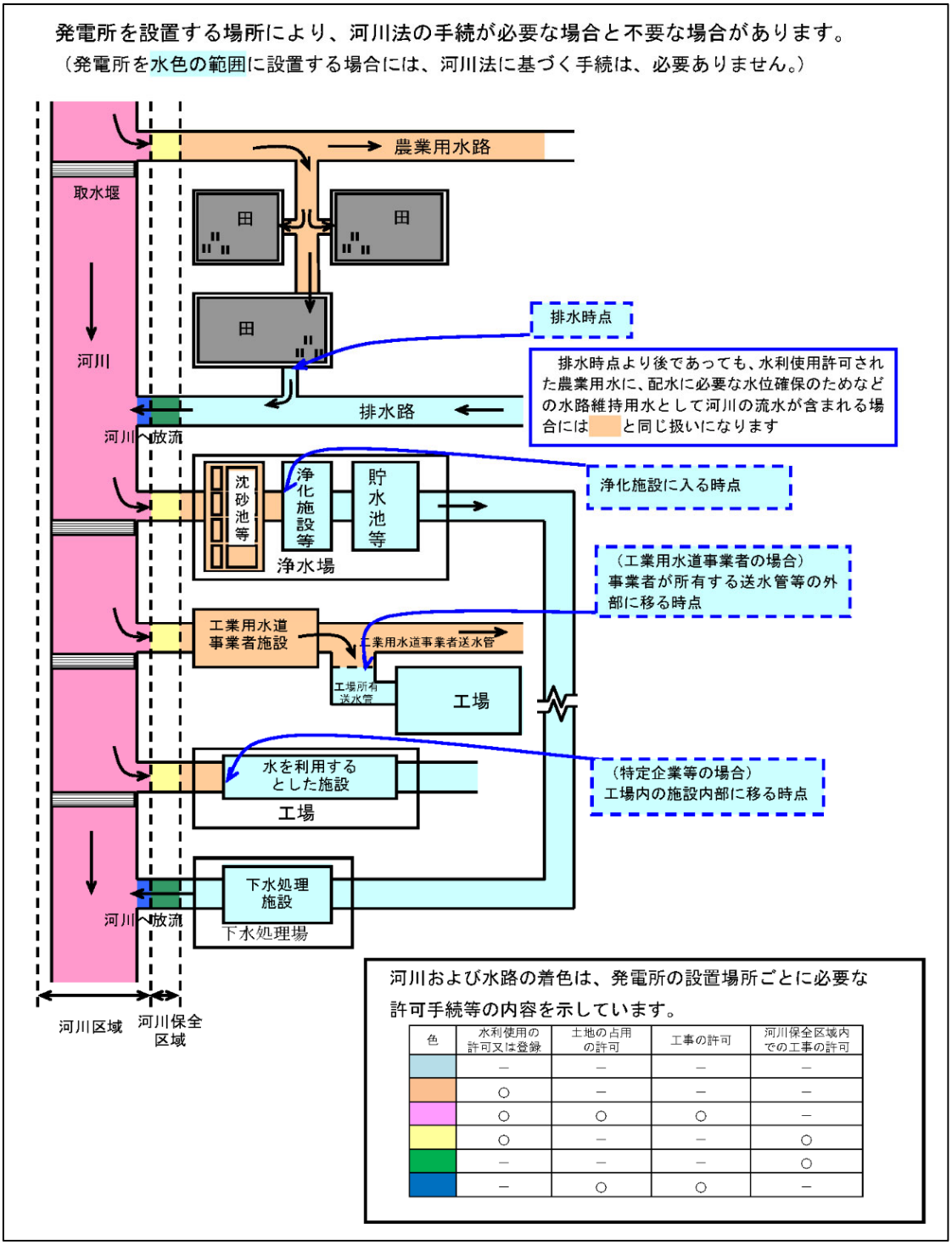


図-2.5.3　河川法に基づく手続きの種別

（小水力発電を行うための水理使用の登録申請ガイドブック[66]より抜粋）

[66] 出典）国土交通省「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」平成 26 年 8 月 p.4 <http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/sogo/shousuiryoku/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.5.6 水利権の分類と許認可権者

水利権はいくつか種類があり、表-2.5.3 に示すような水利使用に区分されています（特に水力発電に関連する部分にアンダーラインを引きます)。

表-2.5.3 水利使用の種類（水力発電以外を含む）

種　類	内　容
特定水利使用 （河川法施行令第 2 条第 3 号）	イ） 出力が最大 1,000kW 以上の発電のためにするもの。ただし、法第 23 条の 2 の登録の対象となる流水の占用に係るものを除く ロ） 取水量が 1 日につき最大 2,500m3 以上又は給水人口が 10,000 人以上の水道のためにするもの ハ） 取水量が 1 日につき最大 2,500m3 以上の鉱工業用水道のためにするもの ニ） 取水量が 1 秒につき最大 1m3 以上又はかんがい面積が 300ha 以上のかんがいのためにするもの ホ） 法第 23 条の 2 の登録の対象となる流水の占用に係るものであってイからニまでに掲げる水利使用のために貯留し、又は取水した流水を利用する発電のためにするもの
準特定水利使用 （河川法施行令第 20 条の 2）	一） 出力が最大 200kW 以上の発電のためにするもの 二） 取水量が 1 日につき最大 1,200m3 以上又は給水人口が 5,000 人以上の水道のためにするもの 三） 取水量が 1 秒につき最大 0.3m3 以上又はかんがい面積が 100ha 以上のかんがいのためにするもの 四） 取水量が 1 日につき最大 1,200m3 以上の水利使用であって、発電、水道又はかんがい以外のためにするもの
その他の水利使用	特定水利使用、準特定水利使用以外の水利使用

上記水利使用毎の許認可権者（申請を受け付けて最終的に認可する責任者）は表-2.5.4 に示すとおりです。平成 25 年 4 月 1 日より一級河川の指定管理区間で 1,000kW 未満の水力発電は都道府県知事が許可を行うことに変更されました（それまでは国土交通大臣が許認可権者でした)。

二級河川での出力 1,000kW 以上の水力発電に関する水利権の認可は都道府県知事が行いますが、その内容について国土交通大臣の同意も併せて必要となりますので注意して下さい。
なお、従属発電（ダムの放流水や農業用水の流水を利用する発電）の水利使用の区分は、従属元の区分に準じることになります。

表-2.5.4 水利使用毎の許認可権者（水力発電に関する水利使用）

河川の種類		水利使用の種類（水力発電）		許認可権者
1級河川	直轄区間	特定水利使用	出力 1,000kW 以上	【認可】国土交通大臣
		特定水利使用外	出力 1,000kW 未満	【認可】地方整備局長（北海道以外） 【認可】北海道開発局長（北海道）
	指定区間	特定水利使用	出力 1,000kW 以上	【認可】国土交通大臣
		準特定水利使用	出力 1,000kW 未満	【認可】都道府県知事 【認可】指定都市の長
		その他水利使用	出力 200kW 未満	
2級河川		特定水利使用	出力 1,000kW 以上	【認可】都道府県知事 （同意）国土交通大臣
		特定水利使用外	出力 1,000kW 未満	【認可】都道府県知事 【認可】都道府県知事
準用河川		すべて		【認可】市町村長
普通河川		河川法の適用外		

水利使用に関する処分権者一覧[67]

区分		特定水利使用（最大出力1,000kW以上）			特定水利使用以外（最大出力1,000kW未満）		
		処分権者	認可等	協議等	処分権者	認　可	意見聴取
一級河川	直轄区間	国土交通大臣（法9①） 整備局長（法98）（令53①）（規則37の2）（令53②）	－	関係行政機関の長協議（法35①） 関係都道府県知事意見聴取（法36①）	整備局長（法98）（令53①）	－	－

区分		特定水利使用（最大出力1,000kW以上）			準特定水利使用（最大出力200kW以上1,000kW未満）			その他（最大出力200kW未満）		
		処分権者	認可等	協議等	処分権者	認　可	意見聴取	処分権者	認　可	意見聴取
一級河川	指定区間	国土交通大臣（法9①） 整備局長（法98）（令53①）（規則37の2）（令53②）	－	関係行政機関の長協議（法35①） 関係都道府県知事意見聴取（法36①）	都道府県知事（法9②）	整備局長認可（法79①）（令45四）（令53③二）（令2の2）	－	都道府県知事（法9②）	－	－
					指定都市の長（法9⑤）		指定都市の長が関係都道府県知事意見聴取（法36③）（令20の2）	指定都市の長（法9⑤）		

区分		特定水利使用（最大出力1,000kW以上）			特定水利使用以外（最大出力1,000kW未満）		
		処分権者	認可等	協議等	処分権者	認　可	意見聴取
二級河川		都道府県知事（法10①）	国土交通大臣同意付協議（法79②四）（令47）	（大臣が）関係行政機関の長協議（法35①）（知事が）関係市町村長意見聴取（法36②）（令20）	都道府県知事（法10①）	－	－
		指定都市の長（法10②）	整備局長同意付協議（法98）（令53③三）（規則37の2）	（指定都市の長が）関係都道府県知事及び関係市町村長意見聴取（法36④）（令20の3）	指定都市の長（法10②）		

注）1. 表中、整備局長とあるのは地方整備局長および北海道開発局長のこと
2. 一級河川の特定水利使用で地方整備局長および北海道開発局長に委任されるもの
（令53①、規則37の2）…①二以上の地方整備局の管轄区域内の水系に属する河川に係るものであって、一体的に行われるもの
②一の地方整備局の管轄区域内の水系に属する河川に係るものであって、当該地方整備局の管轄区域外の地域における水の需要に対応するもの
③国又は国の行政機関とみなされる法第95条の規定が準用される法人が行うもの
④水資源開発基本計画に基づく事業を実施する者が行うもの以外の水利使用
（令53②）……流水の占用の場所の変更または許可期間の更新のみに係るもの等

[67] 出典）国土交通省「水力発電水利審査マニュアル（案）」平成 25 年 4 月第二版 p.4
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suirisinsa/pdf/manual.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.5.7 申請の窓口と事前相談

水利使用の申請の窓口は以下のとおり国交省のガイドブックに記載がありますので参考にしてください。

水利権申請･登録の窓口[68]

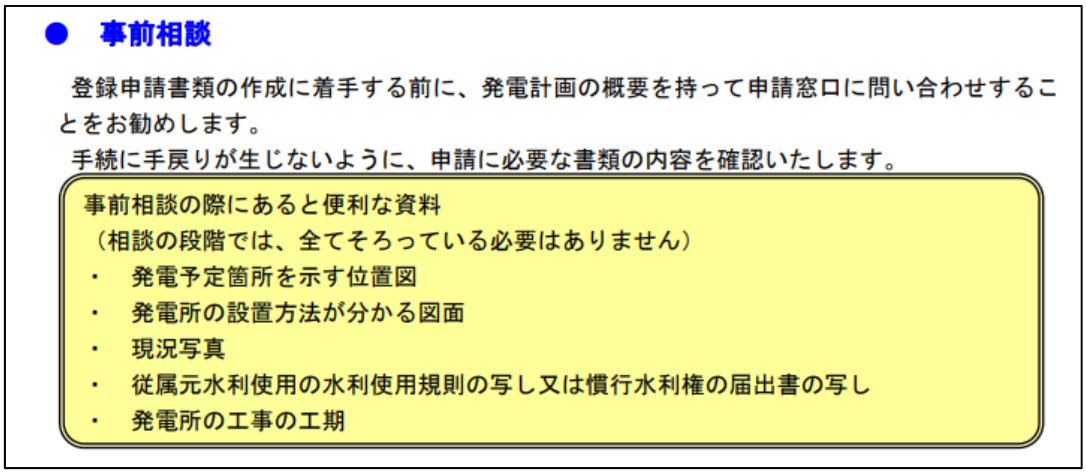
河川の種類	登　録　申　請　窓　口
一級河川	**国土交通省の河川事務所（地域により、河川国道事務所、ダム管理所など名称は異なります）又は都道府県・政令指定都市の土木事務所（地域により県土整備事務所など名称は異なります）** **従属発電のうち、** **①既に許可を受けた水利使用（従属元水利使用）のために取水又は貯留された流水に従属する発電の場合は、当該従属元水利使用の処分庁への登録・許可申請が必要です（②の流水が混在する場合を含む。）。** **従属元水利使用の許可を都道府県知事又は政令指定都市の長が行っている場合は、従属発電の処分権者も都道府県知事等となります。** **②ダム等から放流される維持流量又は洪水調節のみを利用する発電の場合は、当該河川を管理する河川管理者の事務所となります。** **③慣行水利権に従属する発電の場合は、河川法第 88 条又は河川法施行法第 20 条の届出書の提出先となります。** **直轄区間であれば国土交通省、指定区間であれば都道府県又は政令指定都市です。**
二級河川	**都道府県又は政令指定都市の土木事務所（地域により県土整備事務所など名称は異なります）**
準用河川	**市町村役場**
普通河川	**河川法の適用外ですが、都道府県、政令指定都市又は市町村が管理条例などを定めている場合がありますので、手続の方法はその普通河川の管理者にお問い合わせください。**

ガイドブック[19]には以下のとおり窓口が不明な場合は国土交通省の河川事務所で窓口を紹介するとのことですので、必要に応じて相談すると良いでしょう。

> 申請窓口が不明な場合には、水力発電を行おうとしている場所の住所、河川や水路の名前を確認し、お近くの国土交通省の河川事務所等へ問い合わせてください。申請窓口を確認し紹介します。

[68] 出典）国土交通省「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」平成 26 年 8 月 p.11 より抜粋 <http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/sogo/shousuiryoku/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

また、手戻り防止の観点から、詳細な水利権申請資料を作成する前に発電計画の概要を持って申請窓口に問い合わせをすることが望ましいでしょう。以下のとおり事前相談に必要となる書類の目安が、以下のとおりガイドブックに記載されているので参考にしてください。



● **事前相談**

登録申請書類の作成に着手する前に、発電計画の概要を持って申請窓口に問い合わせすることをお勧めします。

手続に手戻りが生じないように、申請に必要な書類の内容を確認いたします。

事前相談の際にあると便利な資料
（相談の段階では、全てそろっている必要はありません）

- 発電予定箇所を示す位置図
- 発電所の設置方法が分かる図面
- 現況写真
- 従属元水利使用の水利使用規則の写し又は慣行水利権の届出書の写し
- 発電所の工事の工期

出典：小水力発電を行うための水理使用の登録申請ガイドブック[69]

[69] 出典）国土交通省「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」平成 26 年 8 月 p.12 より抜粋 <http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/sogo/shousuiryoku/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.5.8 維持流量

(1) 減水区間と維持流量

水力発電は取水した水を導水路でバイパスし、下流で放流して（落差を稼いで）発電することから、バイパスされる間の河川は発電所建設前に比べて流量が減少します。この流量が減少する区間を「減水区間」といいます。

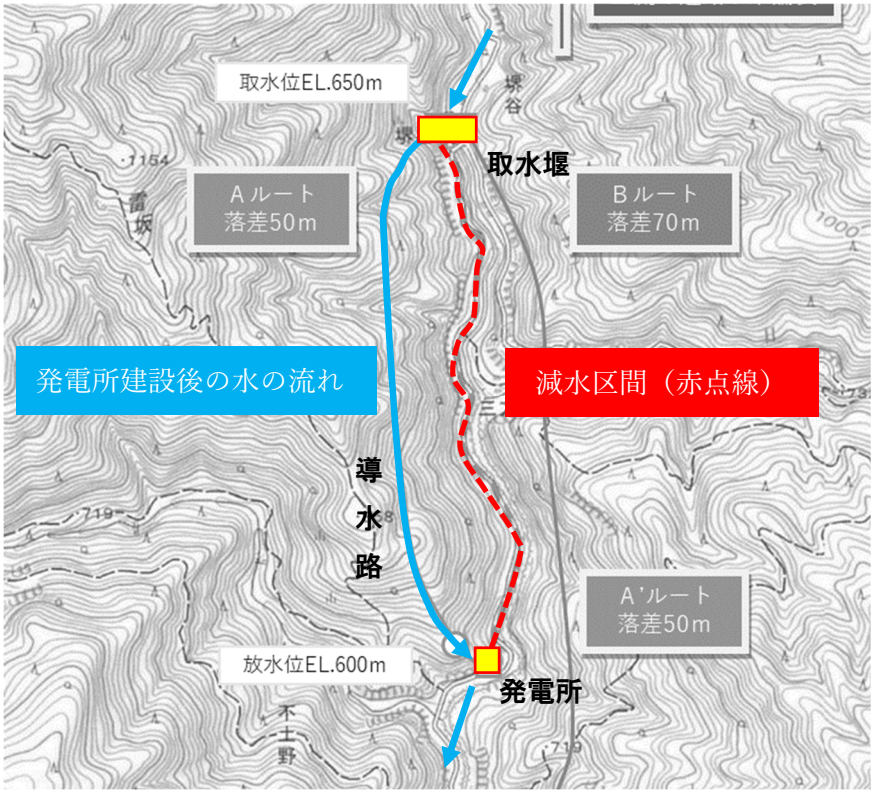


図-2.5.4 減水区間のイメージ

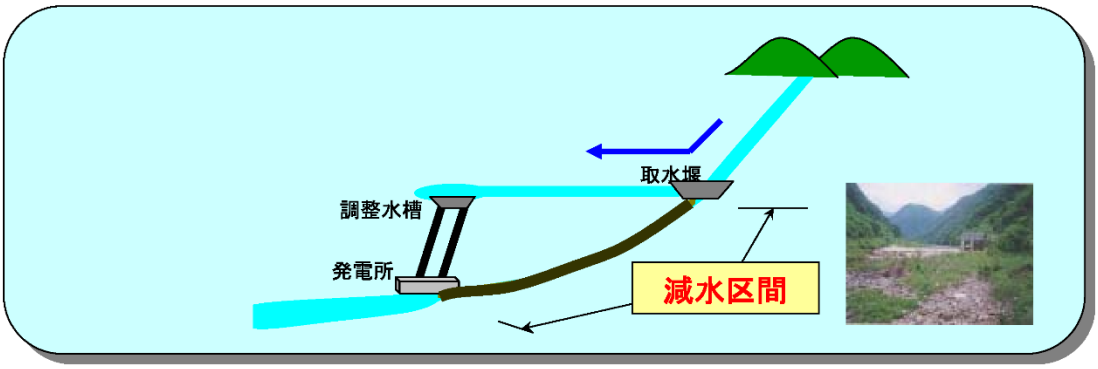


図-2.5.5 減水区間のイメージ[70]

[70] 出典）国土交通省「発電ガイドラインについて」平成 15 年 7 月 18 日 資料-5 より抜粋
<https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/kihonhoushin/030718/pdf/s5-1.pdf>（2022.1.31 閲覧）

減水区間の事例[71]（相俣ダム下流）

減水区間の事例[72]（猿谷ダム下流）

減水区間の事例[73]（小国発電所筑後川取水堰下流）

---

[71] 出典）国土交通省「河川環境改善のための水利調整」平成 15 年 3 月 p.26 より抜粋 <https://www.mlit.go.jp/common/000043146.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[72] 出典）国土交通省「河川環境改善のための水利調整」平成 15 年 3 月 p.29 より抜粋 <https://www.mlit.go.jp/common/000043146.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[73] 出典）国土交通省「河川環境改善のための水利調整」平成 15 年 3 月 p.32 より抜粋 <https://www.mlit.go.jp/common/000043146.pdf>（2022.1.31 閲覧）

一方、例えば魚類が河川を上下流に移動（泳ぐ）場合は、当然一定の水深が必要となります。また、河川が本来持つ景観を呈するためにも、一定量の水の流れが必要となります。このように当該河川の機能（魚類生息や景観の確保など）が満足される流量を「維持流量」と言います。維持流量は正常流量の手引きによれば、以下のとおり定義されています。

> 正常流量とは、流水の正常な機能を維持するために必要な流量であって、維持流量と水利流量の双方を満足する流量をいう。ここに、維持流量とは、舟運、漁業、観光、流水の清潔の保持、塩害の防止、河口の閉塞の防止、河川管理施設の保護、地下水位の維持、景観、動植物の生息地又は生育地の状況、人と河川との豊かな触れ合いの確保等を総合的に考慮し、維持すべきであるとして定められた流量をいい、水利流量とは、流水の占用のために必要な流量をいう。
>
> 出典：正常流量の手引き[74]

ここで述べられている舟運、漁業、観光、流水の清潔の保持、塩害の防止などに必要となる流量をそれぞれ検討し、その最大値をもって当該河川の維持流量として設定するのが通常です。これら項目における維持流量の検討方法については「正常流量の手引き」を参照してください。

[74] 出典）国土交通省「正常流量の手引き（案）」平成 19 年 9 月 p.2 より抜粋　※赤線を加筆
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/ryuuryoukentou/tebiki.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(2) 発電ガイドラインにおける維持流量

20 世紀初頭以降の日本の経済発展は工業生産の飛躍的な増大に大きく依存してきましたが、それに必要となる電力需要の一部は水力発電によって賄われてきた歴史があります。しかし、前述のとおり水力発電は河川水をバイパスすることから、取水地点から発電所放水口までの河川区間はきわめて水が少ない状態（いわゆる水無川＝減水区間）となっていました。

こうした状況に対して、河川環境に関する国民意識の変化に伴って水無川における清流やせせらぎの回復を求める国民の声が高まったため、河川環境の回復を目指して、河川管理者である国土交通省（当時建設省）と発電事業の監督省庁である経済産業省（当時は通商産業省）で協議・調整が行われて昭和 63 年 7 月に「発電水利権の期間更新時における河川維持流量の確保について」が両省で合意されました。

この合意された「発電水利権の期間更新時における河川維持流量の確保について」が、いわゆる「発電ガイドライン」と言われるものです。この発電ガイドラインに関する事務連絡（昭和 63 年 7 月 14 日付け）を次ページに示します。

この事務連絡には河川維持流量について以下のとおり 100km^2 あたり 0.1～0.3m^3/s 程度とされています。このため維持流量の最初の設定値としては上記を参考にしておくと良いでしょう。ただし、河川法第 23 条の申請が必要となる発電計画の場合、あくまで維持流量の設定は河川管理者による指導で決まります。維持流量が決まらないと最大出力や発電電力量が決まらないため、計画の最終決定が出来ません。

二．通達記の二．について

(1) 河川維持流量の大きさについては、発電取水口等における集水面積 100㎢ 当り概ね 0.1～0.3㎥/s 程度とするものとする。ただし、上記一．(5)に該当する場合等において、河川管理者が当該流量以下でやむを得ないと認めたとき又は当該流量以上必要があると認めたときには、これによらないことができるものとする。

(2) 河川維持流量は、原則として年間を通じて同量を確保するものとするが、豪雪地又は寒冷地の冬期間等当該地方の状況により特別の事情が存する場合には、これによらないことができるものとする。

(3) 上記一．(1)に該当する場合においては、分水を受けている水系に属する河川における水利利用（発電に係るものを除く。）に支障をきたさない範囲で、当該発電取水口等から下流の維持流量を確保するものとする。

出典：国土交通省　河川環境改善のための水利調整　平成 15 年 3 月
（昭和 63 年 7 月 14 日付けの事務連絡より一部抜粋）[75]

維持流量は発電電力量や最大出力などの発電計画諸元に大きく影響することから、慎重に検討や協議を進めることが重要です。

[75] 出典）国土交通省「河川環境改善のための水利調整」平成 15 年 3 月 p.5 より抜粋　※赤線を加筆
<https://www.mlit.go.jp/common/000043146.pdf>（2022.1.31 閲覧）

発電水利権の期間更新時における河川維持流量の確保について

昭和 63 年 7 月 14 日

事　務　連　絡

北海道開発局建設部建設行政課長
建設省河川局水政課課長補佐から　地方建設局河川部水政課長
建設省河川局開発課建設専門官　　沖縄総合事務局開発建設部建設行政課長
都道府県土木部河川課長　あて

標記については、昭和 63 年 7 月 14 日付け建設省河政発第 63 号及び河開発 80 号において、水政課長、開発課長から通達したところであるが、その運用に当たっては、当分の間、下記により行うこととされたい。

記

一．通達記の一．について

「河川管理上の支障の著しい発電水利使用等」とは、原則として、次の各号のいずれかに該当するものをいう。ただし、当該地域の状況により特別の事情が存する場合には、この限りでない。

(1) 流域変更により、発電取水口又は発電ダム（法河川に存するものに限るものとし、以下「発電取水口等」という。）の存する河川が属する水系以外の水系に分水し、又は海に直接放流するもの。

(2) 減水区間の延長（発電取水口等が複数存する場合には、各発電取水口等に係る減水区間の延長の総和）が 10km 以上のもので、かつ、次の用件のいづれかに該当するもの。

① 発電取水口等における集水面積が 200km² 以上のもの。

② 減水区間の全部又は一部が自然公園法の区域に指定されているもの。

③ 減水区間の沿川が観光地又は集落として相当程度利用されているもの。

(3) 減水区間の水質が環境基準を満たしていないもの。

(4) 既に水利使用規則又は命令書において放流が義務付けられているもので、流量に関する具体的数値を欠くもの。

(5) 減水区間に係る地元市町村等との合意等により、発電水利使用者が運用により放流を行い、又は行おうとしているもの。

二．通達記の二．について

(1) 河川維持流量の大きさについては、発電取水口等における集水面積 100km² 当り概ね 0.1～0.3m³/s 程度とするものとする。ただし、上記一．(5)に該当する場合等において、河川管理者が当該流量以下でやむを得ないと認めたとき又は当該流量以上必要があると認めたときには、これによらないことができるものとする。

(2) 河川維持流量は、原則として年間を通じて同量を確保するものとするが、豪雪地又は寒冷地の冬期間等当該地方の状況により特別の事情が存する場合には、これによらないことができるものとする。

(3) 上記一．(1)に該当する場合においては、分水を受けている水系に属する河川における水利利用（発電に係るものを除く。）に支障をきたさない範囲で、当該発電取水口等から下流の維持流量を確保するものとする。

三．通達記の三．について

維持流量の設定又は変更に伴い、水利使用規則における常時使用水量の変更を行うものとする。

四．その他

河川維持流量の設定又は変更を行うため、発電水利使用者が放流口の新設又は改築を行う必要が生ずる場合においては、当該新設又は改築に要する費用が過大となることとならないよう、河川管理者は技術的な配慮を行うものとする。

出典：国土交通省　河川環境改善のための水利調整　平成 15 年 3 月[76]

[76] 出典）国土交通省「河川環境改善のための水利調整」平成 15 年 3 月 p.5 に赤枠を加筆
<https://www.mlit.go.jp/common/000043146.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(3) 維持放流の実態

全国の電気事業用水力発電所における減水区間に対する維持流量等の放流、河川環境の形態維持等について、平成 15~16 年に一般社団法人電力土木技術協会が事業用の全水力発電所 1,603 箇所を対象に悉皆調査を行っています。ここでは参考としてこの調査結果[77]の内容を紹介します。

① 維持流量の比流量

減水区間がある発電所は 1,349 箇所あり、そのうち維持放流を行っているのは 558 箇所で、放流の目的についての回答は 635 件（複数回答）ありました。維持放流を行っていると回答があった 558 件の放流量を比流量で比較すると表-2.5.5 及び図-2.56 に示すとおり 0.3m^3/s/100km^2 台が卓越していて多く全体の約 28%を占め、その前後 0.25~0.35m^3/s/km^2 まで含めると約半数がこの範囲に入ります。1988 年に当時の建設省から出されたガイドライン[78]による数値による影響が顕れ、このような結果になったものと思われます。

② 水利権の更新年代別維持流量

水利権の更新年代別を回答してきた所が 400 箇所あり、これらについて維持放流の比流量を見てみると表-2.5.6 及び図-2.5.7 に示すとおり 1980 年代以前の方がむしろ高くなっていて、1981 年以降に更新のものは平均して 0.3m^3/s/100km^2 前後を中心にそれ以下のものが多くなっています。

③ 維持流量の水深と流速

維持流量の水深、流速の規模別設定件数を表-2.5.7 及び図-2.5.8 に示します。水深については、最小の 10cm から最大 40cm まであり、20cm が約半数の 74 件、次いで 30cm が 19 件となっており、20cm から 30cm に範囲が全体の約 8 割を占めています。

流速については表-2.5.7 に示すとおり、最小 10cm/s から最大 41cm/s までで、30cm/s というのが一番多く約 6 割を占める 24 件、次いで 20cm/s が 11 件となっています。

---

77 出典）一般社団法人新エネルギー財団・電力土木技術協会「水力発電人材育成研修会 テキスト」p.5-22 を基に作成

78 国土交通省「発電ガイドラインについて」平成 15 年 7 月 18 日
<https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouiinkai/kihonhoushin/030718/pdf/s5-1.pdf>（2022.1.31 閲覧）

表-2.5.5 100km² 当たり維持流量

比流量 (㎥/s/100 ㎢)	件数	件数比 (%)	比率累計 (%)
0.05 以下	20	3.6	3.6
0.05 を超え～ 0.1 以下	38	6.8	10.4
0.1～0.15	35	6.3	16.7
0.15～0.2	44	7.9	24.6
0.2～0.25	56	10.0	34.6
0.25～0.3	155	27.8	62.4
0.3～0.35	59	10.6	73.0
0.35～0.4	28	5.0	78.0
0.4～0.5	33	5.9	83.9
0.5～0.6	33	5.9	89.8
0.6～0.7	20	3.6	93.4
0.7～0.8	9	1.6	95.0
0.8～0.9	6		
0.9～1.0	8		
1.0 を超えるもの	14		
計	558		

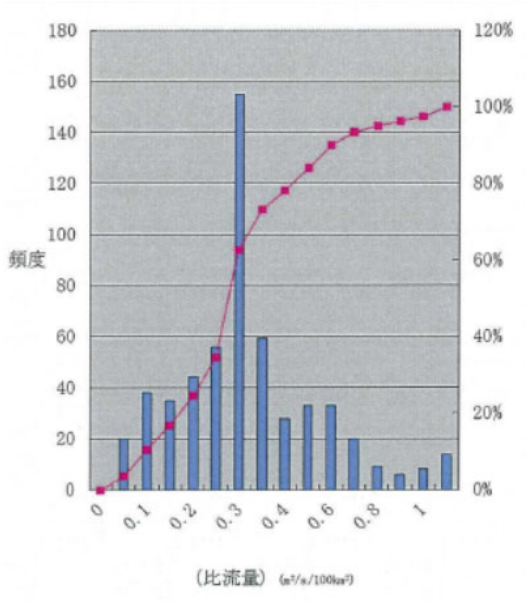


図-2.5.6 100km² 当たり維持流量

表-2.5.6 更新年代別比流量表

更新年代	箇所数	比流量
1966～1970	5	0.35
1971～1975	10	0.42
1976～1980	23	0.90
1981～1985	35	0.23
1986～1990	46	0.23
1991～1995	100	0.21
1996～2000	123	0.24
2001～	49	0.23
平均	400	0.29

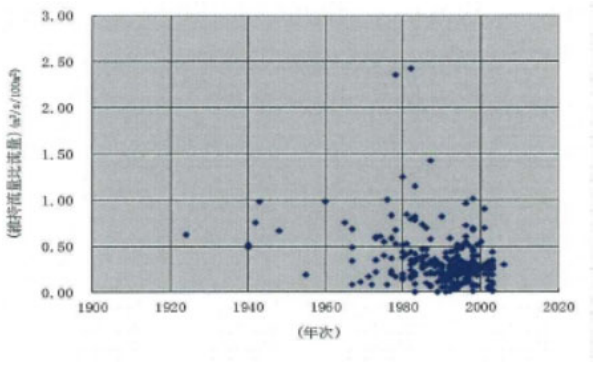


図-2.5.7 維持放流比流量 年代別分散

表-2.5.7 水深と流速

水深（cm）		流速（cm/s）	
水深	件数	流速	件数
10	13	10	1
11	1	15	1
15	11	20	11
20	74	30	24
22	4	40	2
24	1		
25	4		
29	9		
30	19		
40	1		
計	137		39

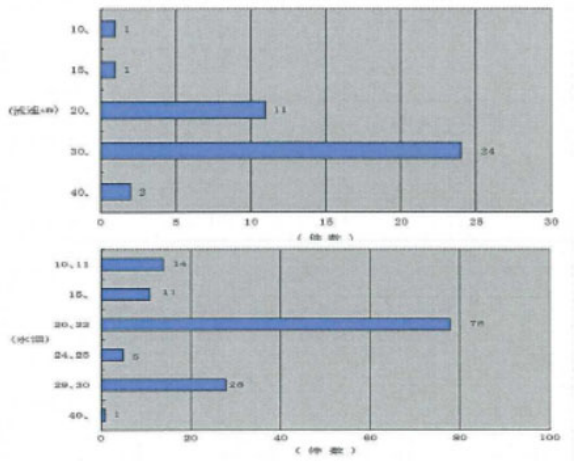


図-2.5.8 流速と水深設定状況

※ 本頁の図表の出典：水力発電人材育成研修会 テキスト[79]

[79] 出典）一般社団法人新エネルギー財団・電力土木技術協会「水力発電人材育成研修会 テキスト」p.5-22 を基に作成

④ 維持放流の目的（維持流量が設定された根拠）

維持放流の目的別の内訳・根拠を表-2.5.8 及び図-2.5.9 に示します。この結果をみると「魚類等の水生動植物類の保護」を目的とするものが約半数を占める 317 件あり、対象魚種としては、東日本ではオショロコマ、カジカ、ヤマメ、イワナ、アメマス等が多く、西日本ではアマゴ、カワムツ、ハゼ等が多く挙げられている。そのほかウグイ、オイカワ、ヨシノボリなどは全国的に挙げられています。続いて「景観の保持、観光対策」とするものが約 26%の 165 件で、この二つで全体の 4 分の 3 を占めています。

そのほか維持放流設定の根拠として「比流量」、「基準流量」、「渇水量」等の流量がらみ、「水利使用規則」、「地元との協定」、「ガイドライン」準拠等の約束ごと、「かんがい用水等既得利水権」、「内水面漁業」対応と続いています。

一方、慣習放流[80]については 232 箇所で行われていますが、そのうち 111 箇所から目的を特定して回答が得られ、回答件数は 123 件（複数回答）あった。「かんがい用水」に対するものが一番多く 51 件で全体の 41.5%を占め、続いて「動植物の保護」が 42 件で 34.2%となっていますが、そのほかは維持放流量と同様の傾向です。

慣習放流量は「動植物の保護」、「景観、観光」など利用権とは結びつかない自然環境対策等の要請から放流されるものもありますが、本来の利用権に対し義務的に放流されている「かんがい用水」等に対するものが一番多いのは権利外の特別の放流を地元の要請、かんがい組合等との協定等で行っている実態等が顕れていると考えられます。続いて多い「魚類など動植物の保護」42 件の多くは魚道への放流となっています。

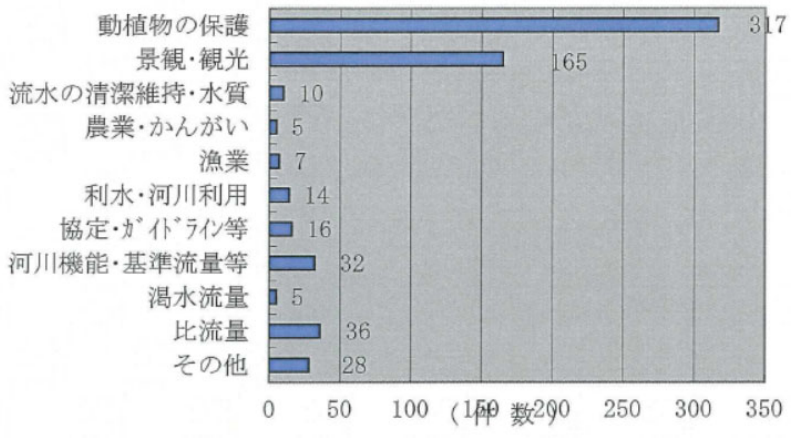


図-2.5.9 維持放流の目的・根拠[81]

[80] 過去より地元関係者との取り決め等によって慣習的に発電所から行われてきた放流

[81] 出典）一般社団法人新エネルギー財団・電力土木技術協会「水力発電人材育成研修会 テキスト」p.5-24

表-2.5.8 維持放流の目的･根拠[82]（複数回答）

放流の目的・根拠	維持放流		慣習放流	
	件数	比率(%)	件数	比率(%)
魚類など動植物の保護	317	49.9	42	34.2
景観、観光	165	26.0	10	8.4
流水の清潔の維持、水質保全	10	1.6	1	0.8
農業、かんがい用水	5	0.8	51	41.5
内水面漁業	7	1.1	3	2.4
各種利水権、河川利用	14	2.2	8	6.5
水利使用規則、協定、ガイドライン等	16	2.5	6	4.6
河川機能の維持、事故防止、基準流量	32	5.0	1	0.8
渇水流量、比流量等	41	6.5	1	0.8
その他（特定できず、不明等）	28	4.4		
計	635	100.0	123	100.0

[82] 出典）一般社団法人新エネルギー財団・電力土木技術協会「水力発電人材育成研修会 テキスト」p.5-24 を基に作成

2.5.9 河川協議の審査内容

河川協議は基本的に水利権の申請者が審査に必要な書類を作成した上で、水利権の窓口機関へ提出し、その内容を各機関の担当者が確認して疑義などがあれば申請者へ質問します。申請者はその質問への回答を行い、最終的に担当者が内容を了承すると、各機関での内部決済手続きへ進みます。詳細な審査の内容は「水力発電水利審査マニュアル（案)」に詳しく記載されているので、そちらを参照してください。以下、主立った内容を同審査マニュアルから抜粋して記載します。

(1) 審査基準

河川協議（水利使用審査）の基準を整理すると表-2.5.9 に示すとおりです。

表-2.5.9 河川協議(水利審査)の基準[83]

審査項目		主たる審査の概要
公共の福祉の増進		水利使用の目的と事業内容が国民経済の発展及び国民生活の質の向上に繋がるものであるか
実行の確実性	事業計画の妥当性	事業計画が関係法令の許可等をうけているか、または受ける見込みが確実か 関係する事業計画との整合性に問題はないか
	事業の遂行能力	水利使用の申請者が事業を遂行する能力と信用を持ち得ているか
	合理的な根拠に基づく取水量の設定	取水量の算定方法の根拠の合理性と妥当性に問題はないか
	他の水利使用、漁業等との調整	他の水利使用、及び漁業との調整がなされているか 当該水利使用により損失を受ける者がいないか 関係する水利使用関係者の同意を得ているか
河川流量と取水量との関係		河川流量の算出根拠は妥当か 正常流量、維持流量の設定は妥当か[84] 1/10 渇水流量が発電取水後の流量が正常流量を満足するか [22]
公益上の支障の有無		新築または改良する工作物が河川管理施設等構造令の基準を満たしているか 工作物新設等による地形の改変が最小限となっているか

[83] 出典）国土交通省「水力発電水利審査マニュアル（案)」平成 25 年 4 月第二版より作成
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suirisinsa/pdf/manual.pdf>（2022.1.31 閲覧）
[84] 維持流量については 2 章 5 節 8 項を参照

(2) 申請書の添付図書

水利権の許可申請においては、河川法施行規則に則り定められた図書を提出する必要があります。その内容について整理したものを表-2.5.11 に示しますが、詳細は「水力発電水利審査マニュアル（案）[85]」を参照願います。

水利使用の登録（＝既に水利使用許可をもっている流水に従属する場合など）となる場合は「中小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」も併せて参照してください。新規の水利使用の申請に対して、一部図書の省略が可能となる場合があります。

(3) 標準処理時間

水利権の審査に係る標準処理時間は水力発電水利審査マニュアル（案）では表-2.5.10 に示すとおりとされています。なお、都道府県知事や市町村長が許認可権者の場合の処理時間は公表されていないため、各地域の出先機関や役所で個別に確認が必要となります。

表-2.5.10 水利権申請の標準処理時間[86]

河川の種別		許認可権者	水利使用の種類	標準処理時間
1 級河川	直轄管理区　間	国土交通大臣	特定水利使用（出力は関係なし）	10 ヶ月
		地方整備局長 北海道開発局長	特定水利使用外	6 ヶ月
	指定管理区　間	国土交通大臣	特定水利使用（出力 1,000kW 以上）	10 ヶ月
		都道府県知事	特定水利使用外（出力 1,000kW 未満）	個別に確認が必要
2 級河川		国土交通大臣	特定水利使用（出力 1,000kW 以上）	10 ヶ月
		都道府県知事	特定水利使用外（出力 1,000kW 未満）	個別に確認が必要
準用河川		市町村長	すべて	

[85] 出典）国土交通省「水力発電水利審査マニュアル（案）」平成 25 年 4 月第二版より作成
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suirisinsa/pdf/manual.pdf>（2022.1.31 閲覧）
[86] 出典）国土交通省「小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック」平成 26 年 8 月より作成
<http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/sogo/shousuiryoku/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

表-2.5.11 水利権申請に必要となる添付図書の内容[87]

	項　目	主な内容	図書の省略
1	水利使用に係る事業の計画の概要	水力発電事業全体の概要がわかる資料（図面含む）	不可
2	使用水量の算出根拠	最大使用水量、常時使用水量などの計画取水量の設定根拠資料	不可
3	河川の流量と申請に係る取水量及び関係河川使用者の使用量との関係を明らかにする計算	当該水力発電所の流量データの整理内容（実測、他観測所からの補填含む）、流水の正常な機能の維持（正常流量）の設定根拠、水収支計算結果	取水条件によっては全部、または一部の図書を省略できる
4	水利使用におる影響で次に掲げる事項に関するもの及びその対策の概要	下記括弧書きの項目について発電取水による影響が無いことの説明資料（治水、第 23 条、第 24 条、第 25 条、第 26 条第 1 項、第 27 条、第 29 条の許可受者による河川の利用、竹林の流送又はいかだの通航、漁業、史跡、名称及び天然記念物）	括弧書きのうち、当該河川に該当がない項目は省略できる
5	貯水池となるべき土地の現況及び当該ダムによる流水の貯留により損失を受ける者に対する措置の概要	ダム築造により出現する貯水池により損失を受ける者に対する措置の内容を示す資料（例：家屋移転といった家屋補償や生活補償の内容）	発電所設置により貯水池が出現しない場合は省略できる
6	工事計画に関わる図書	設置する工作物が各種基準（河川管理施設等構造令など）を満足していることを示す資料（図面、構造計算書など）	河川管理者が設計施工を行う場合は省略できる
7	当該水利使用を行うことについての同意書	水利使用により損失を受ける者が当該の水利使用について同意したことを証明する書面（同意書）	当該水利使用による損失を受けないと判断された者については、河川法第 38 条による関係河川使用者への通知は不要
8	申請者が権原を有すること又は権原を取得する見込みが十分であることを示す書面	水利使用に係る事業計画が、関係法令に基づく許可等を受けているか、または受ける見込みが確実であり、かつ、当該水利使用の内容が関係法令による許可等に係る事業内容と整合がはかられていること、を確認できる資料	不可
9	必要となる他の行政庁の許可、許可その他の処分を受ける見込みについての書面	水利使用に係る事業計画が、関係法令に基づく許可等を受けているか、または受ける見込みが確実であり、かつ、当該水利使用の内容が関係法令による許可等に係る事業内容と整合がはかられていること、を確認できる資料	不可
10	（水利権申請を同時にできない場合）同時に行うべき他の許可の申請の経過又は予定を記載した書面	水利権申請は第 23 条、24 条、26 条の同時申請が原則であるが、それを分離して申請（水工分離で申請）する場合における、他の許可申請の経過や見込みを説明する資料	水工分離で申請しない場合は省略できる
11	その他参考資料	適切な取水量管理の方法など、水利使用を許可できる状況であることを確認するための資料	許認可権者から求められない場合は省略できる

[87] 出典）国土交通省「水力発電水利審査マニュアル（案）」平成 25 年 4 月第二版より作成　<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suirisinsa/pdf/manual.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(4) 委託について

水利権の申請に付随する協議（河川管理者への資料説明)、及び図書の作成は技術的な知識が必要になります。もし事業者自らで技術的な対応が難しい場合は、経験を有する測量業者や建設コンサルタントへ委託することも検討しましょう。

建設コンサルタントなどの委託先については、本テキストの 3 章 17 節「委託先」で紹介しているので参考にしてください。

2.6 電力系統

電力会社の送電網や配電網は「系統（けいとう)」と呼ばれています。この系統に新たな事業者が発電設備で生み出した電気を接続すること（系統へ電気を流すこと）を「連系（れんけい)」といいます。水力発電所に限らず、発電した電気を電力会社の系統に接続する（系統連携する）場合は、事前に様々な協議、確認が必要となります。

2.6.1 系統連系の流れ

発電事業者が FIT 事業計画認定を取得する場合は、電力会社と系統への接続契約（連系契約）を締結していることが認定の要件となります。この連系までのフローは図-2.4.1 に示すとおりです。また、各段階でのやりとりの概要を以下に記載します。

■ 系統への接続検討に先立つ事前相談（任意）

系統への事前相談は、発電事業者が提出した電設備の容量および発電設備設置地点の地図から、容量面で評価した連系制限の有無や連系地点までの距離等について一般送配電事業者から発電事業者へ回答してもらうサービスです。事前相談は無料なので、まず机上調査の段階で系統制限の有無を確認することが望ましいといえます。

この事前相談はあくまで「相談」であることから一般送配電事業者から「系統への制限なし」という回答を得たとしても、連系が確約されるわけではないことに注意して下さい。とはいえ計画段階で連系の有無を確認することでその後の調査や設計の手戻りを回避できることから、このサービスを有効に活用しましょう。なお、一般送配電事業者からの回答には通常１ヶ月程度かかることが一般的です。

■ 系統への接続検討申込み･検討結果の回答

系統連系の希望者（発電事業者）からの接続検討申込み受付後、一般送配電事業者が申込み内容に応じた電力系統への影響や送配電設備の新設・増強工事の必要性等について技術検討をし、連系可否や工事概要などを一般送配電事業者から発電事業者へ回答します。

■ 接続契約申込み･連系承諾･工事費負担金契約の締結

一般送配電事業者からの接続検討結果の回答を踏まえて、発電事業者（系統連系の希望者）が一般送配電事業者に契約の申込みを行います。申し込み受付後、一般送配電事業者が工事設計の詳細等を検討のうえで連系承諾を行い、発電事業者と工事費負担金契約を締結します。

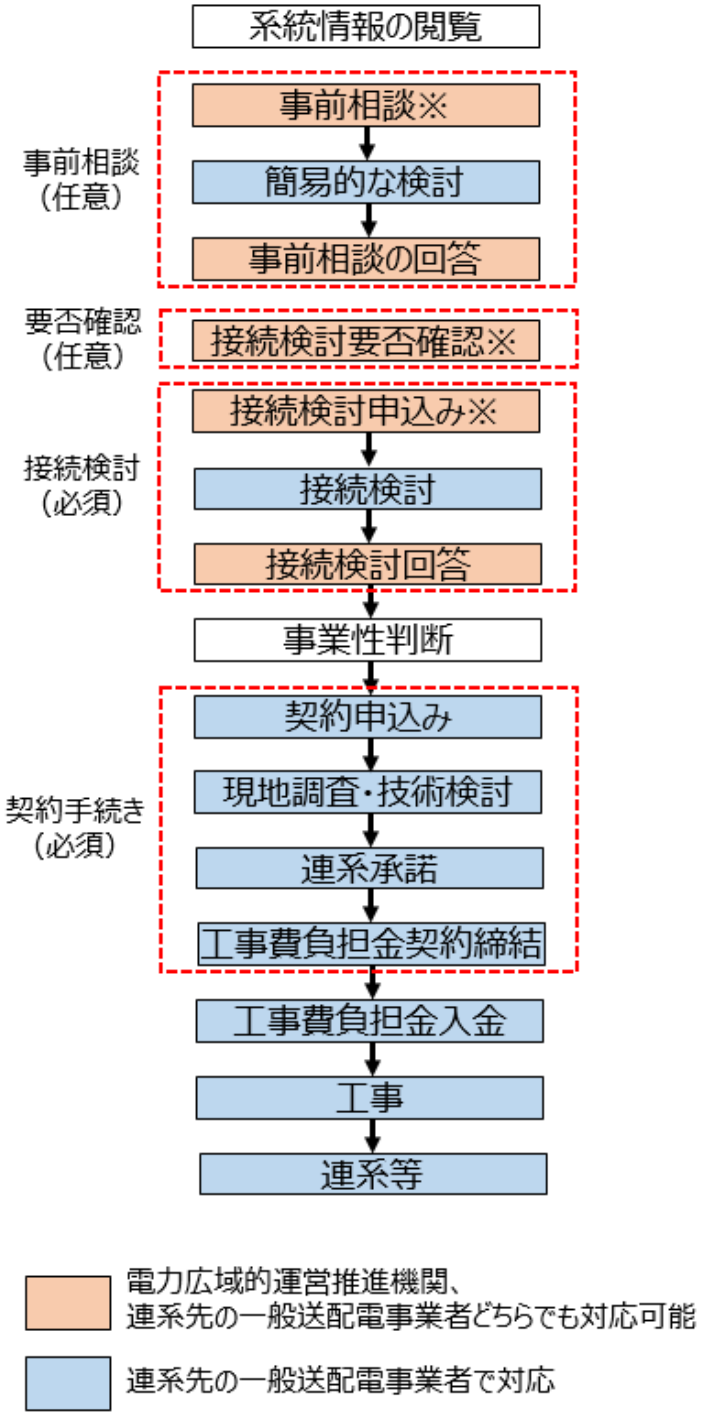


図-2.6.1　発電設備等系統アクセス業務の流れ[88]

[88] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「なるほど！グリッド」系統接続までのフロー
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/grid/01_setsuzoku.html#setsuzoku01>
（2022.1.31 閲覧）

2.6.2 系統連系における先着優先ルール

電力会社は系統連系協議後の接続契約の申し込み順（太陽光や風力も含めて全電源共通）に系統の枠（連系枠）を押さえていくため、系統連系協議の終了後、可能な限り迅速に特定契約、接続契約の申込みを行うことが重要となります。例えば近隣地域において同時期に協議案件があった場合、その案件が先に接続契約の申込みを行ったために系容量が不足して次の発電事業者が系統へ接続できなくなるといった可能性が生じます。

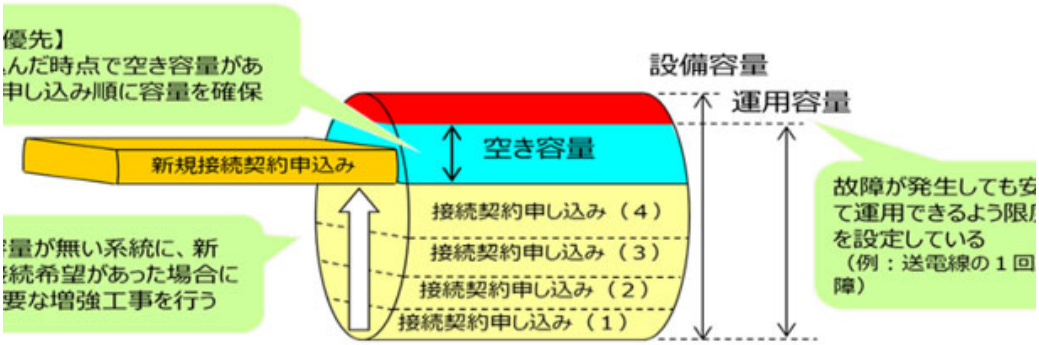


図-2.6.2 送電線利用ルール(イメージ図)[89]

選定した地点が山間部等で送電と配電線の容量が少ない場合は、発電出力の制限を受ける可能性があることから、電力会社との系統連系協議において必要な連系容量が確保できるのかを事前に確認を行うことが必要です。

[89] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「なるほど！グリッド」系統接続における先着優先ルール <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/grid/01_setsuzoku.html#setsuzoku01>（2022.1.31 閲覧）

2.6.3 系統接続にあたる費用負担について

系統接続に要する工事費負担金については、電源線と一般送配電事業者側の送配電等設備で異なります。この工事負担金には系統連系希望者が負担する「特定負担」と、一般送配電事業者が負担をしたうえで供給エリアの需要家側から託送料金として回収する「一般負担」があります。

図-2.6.3 に示すとおり、電源線については系統連系希望者（発電事業者側）が全額負担する特定負担となっています。他方で、基幹系統およびローカル系統については、エリア内の上位 2 電圧の基幹系統は原則一般負担とし、それより下位のローカル系統は増強による受益に応じて一般負担と特定負担の割合が決められることとされています。このため、仮に系統接続にあたって空き容量がない場合は、設備増強や系統安定化に必要な対策工事について系統連系希望者（発電事業者）側で行う必要があります。

例えば電源線やローカル系統設備を増強する費用について、数百 kW の発電設備を連系するために特定負担額が億円単位となるケースや、基幹系統の設備増強工事に数年間必要といったケースも想定され、系統連系希望者（発電事業者）にとって大きなリスクとなることがあります。

上記のとおり、系統制約状況によっては多額の費用負担が必要になることから、場合によって発電事業計画を断念もしくは中断しなければならなくなります。
系統接続の費用が高額のため、採算が見込めないという事例が多々あることから、事前相談の回答の段階から可能な限り費用を推計していくことが重要です。

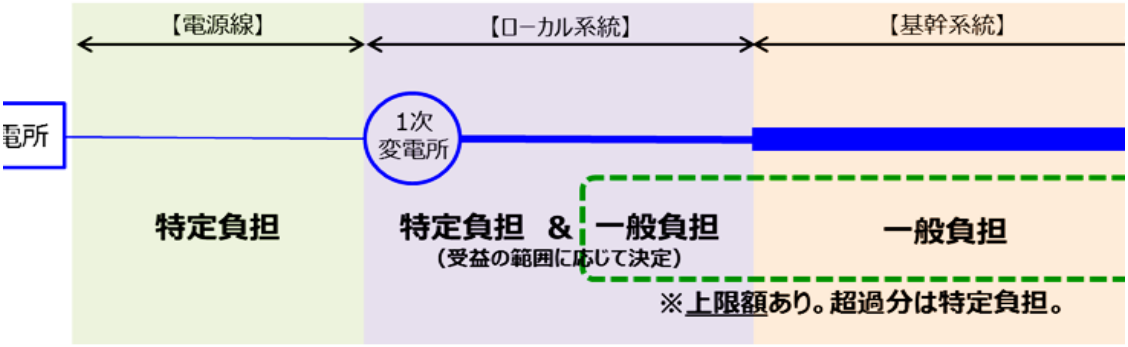


図-2.6.3 系統設備形成における費用負担[90]

また、系統連系希望者が負担する電源線については、電力会社との系統接続を考慮し、設

[90] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「なるほど！グリッド」系統接続にあたる費用負担について
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/grid/01_setsuzoku.html#setsuzoku01>
（2022.1.31 閲覧）

置場所から配電用変電所までの距離を把握することが重要となります。配電用変電所までの距離は系統連系に当たってのコストに大きく影響することに加えて、電力会社が送電線ルートの用地交渉に難航した場合は運転開始時期に影響することも考えられます。電力広域的運営推進機関が公表している「送変電設備の標準的単価」より、工事費負担金に含まれる送配電設備の標準的な単価について一例を表-2.6.1 に示します。

表-2.6.1 送変電設備の標準的単価の一例（高圧架空線）[91]

標準的単価（架空線） 12

設備区分	項目		標準的単価［万円］	標準的単価に影響を及ぼす項目
架空線（１回線）	支持物（電柱）（１本あたり単価）［万円／本］	コンクリート柱	5.0～52.0	［支持物］ ・柱長：短い（安）～ 長い（高） ・荷重：小（安）～ 大（高） ［電線・ケーブル太さ］ ・細い（安）～ 太い（高） ［ルート］ ・山間地（安）～ 都市域（高） ・弱風地域（安）～ 強風地域（高） ［開閉器定格電流］ ・小（安）～ 大（高） ［変圧器容量］ ・小（安）～ 大（高） ［塩雪害対策等］ ・降雪量少（安）～ 多（高） ・海岸から遠い（安）～ 近い（高） ［その他］ ・付属品の設置を含みます（装柱や工法によって必要な付属品は異なります）
		複合柱 鋼管柱	10.0～65.0	
	高圧線・高圧引込線（延長１ｍあたり単価）［万円／ｍ］	架空電線 架空ケーブル	0.1～0.9	
	開閉器（１台あたり単価）［万円／台］	手動開閉器	9.0～58.0	
		自動開閉器	32.0～182.0	
	変圧器（kVA）（１台あたり単価）［万円／台］	柱上変圧器	7.0～64.0	
	低圧線（延長１ｍあたり単価）［万円／ｍ］	架空電線 架空ケーブル	0.1～0.9	
	低圧引込線（亘長１ｍあたり単価）［万円／ｍ］	架空電線 架空ケーブル	0.1～3.2	

［留意事項］
・接続検討の結果、個別地点の事情（例：岩盤掘削等の特殊工事が必要な場合）等により実際の工事費と標準的単価に差異が生じる場合があります。
・標準的単価に含まれる一般的な設備仕様については、シート15参照。

設置する水力発電所から配電用変電所までの距離は系統連系に当たってのコストに大きく影響することに加えて、電力会社が送電線ルートの用地交渉に難航した場合は運転開始時期に影響することも考えられますので、特に注意が必要です。

[91] 出典）電力広域的運営推進機関「送変電設備の標準的な単価の公表について」平成 28 年 3 月 29 日 p.12 <https://www.occto.or.jp/access/oshirase/2015/files/20160329_tanka_kouhyou.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.6.4 日本版コネクト＆マネージ

電力系統は、需給のバランスがくずれてしまうと周波数に乱れが生じ、発電所の発電機や工場の機器に悪い影響を与え、最悪の場合は大規模停電につながってしまうことから、主に火力発電などが発電量を調整して常に需要と供給の量がバランスするようコントロールしています。再生可能エネルギー電源は、気象状況（日照・風況・雨量）に合わせて常に変動していることから、近年では再生可能エネルギーの発電事業を計画しても先着優先ルールにより系統の空き容量がないために、系統につなぐこと（系統接続）ができないといった問題が発生しています。

系統の空き容量を増やすためには設備増強（新設や容量の大きな設備などに取り替えること）を行う必要があります。しかしこの設備増強には長期間かつ多額な費用を要するケースもあることから、早期の再エネ導入を進めるための方策の１つとして「日本版コネクト＆マネージ」と呼ばれる既存送変電設備を最大限活用するため「想定潮流の合理化」、「N-1 電制」、「ノンファーム型接続」の対策を実施しています。

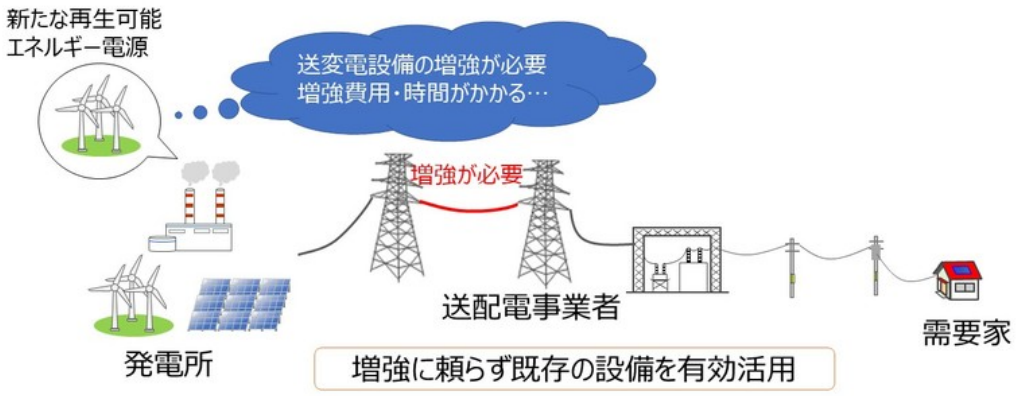


図-2.6.4 日本版コネクト＆マネージ[92]

(1) 想定潮流の合理化

想定潮流の合理化とは、実際の利用状態に近い考え方で想定した潮流に基づき、系統の空き容量を算定する手法です。

従来は接続されている電源が全てフルに稼働すること（設備利用率が 100%となること）を前提に空き容量が確保されていましたが、実際そのようなケースは殆どなく、過度に空き容量を確保する要因となっていました。

このため、現状の供給信頼度や電源運用の自由度を大きく低下させることのない範囲で、実態をより反映した電源稼働を前提とすることによって想定潮流の合理化を図り、より緻密に空き容量を算定する方法を「想定潮流の合理化」と呼んでおり、2018 年 4 月から統一した算定ルールにより全国で適用が開始されています。

---

[92] 出典）電力広域的運営推進機関「電力ネットワーク利用の改革」日本版コネクト&マネージ <https://www.occto.or.jp/grid/public/riyoukaikaku.html>（2022.1.31 閲覧）

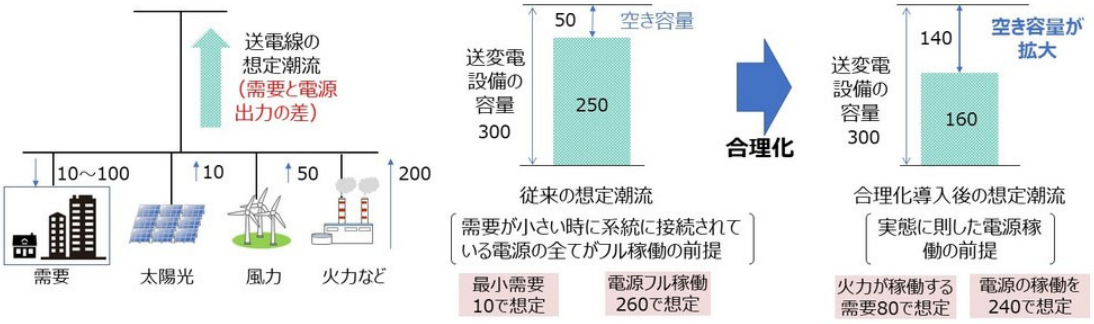


図-2.6.5 想定潮流の合理化[93]

(2) N-1 電制

数(N)ある設備のうち 1 台が故障(-1)することを「N-1」故障と呼び、N-1 故障が起きても電力供給に支障を起こさないという考え方を「N-1 基準」といいます。送電線が停止する事故や故障は落雷などの自然現象や飛来物などが原因で一定の頻度で発生するため、ほとんどの送電線はこの N-1 基準に基づき 1 回線が故障しても、もう 1 回線で送電を継続できるように 2 回線以上（ほとんどは 2 回線）で構成されています。

これに対し「N-1 電制」は、送電線の最大容量（2 回線分）を上限に送電線への電源接続を認める一方で、送電線の事故が発生した場合に 1 回線分の容量まで電源を制限することで、既設の送電設備を最大限活用しながら電源の接続可能量を拡大する仕組みです。この N-1 電制の仕組みは 2018 年 10 月から一部実施されています。

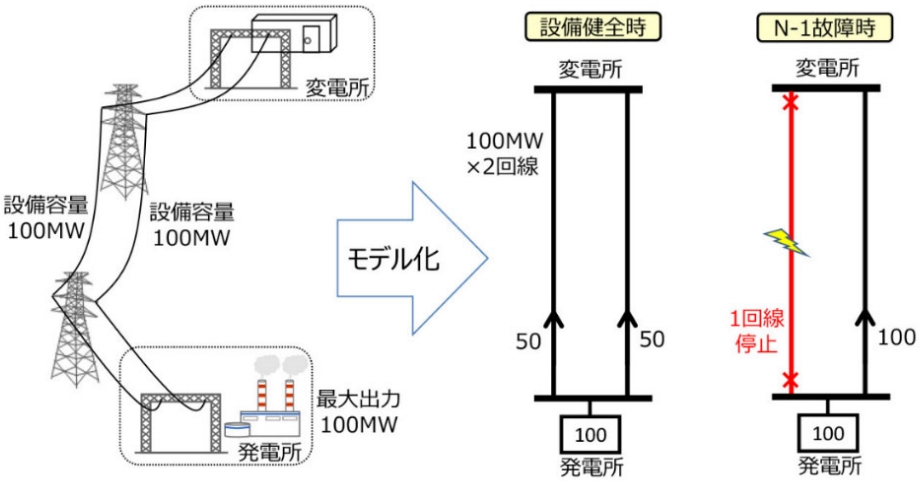


図-2.6.6 N-1 電制[94]

---

[93] 出典）電力広域的運営推進機関「電力ネットワーク利用の改革」日本版コネクト&マネージ <https://www.occto.or.jp/grid/public/riyoukaikaku.html>（2022.1.31 閲覧）

[94] 出典）電力広域的運営推進機関「電力ネットワーク利用の改革」日本版コネクト&マネージ <https://www.occto.or.jp/grid/public/riyoukaikaku.html>（2022.1.31 閲覧）

(3) ノンファーム接続

平常時に発電するために必要な容量が確保されている（Firm：ファーム）従来の接続方式を「ファーム型接続」と呼んでいる一方で、必要な容量が確保されていない（non-firm：ノンファーム）接続方式を「ノンファーム型接続」と呼んでいます。

つまり、ノンファーム接続とは送電線混雑時の出力制御を条件に新規接続を許容するものであり、送変電設備の空いている容量を活用することから送変電設備の事故や故障などがない平常時であっても、空いている容量に合わせて出力制御が行われます。

ノンファーム型接続の適用を開始したエリアでは、空き容量の無い基幹系統やその基幹系統と接続するローカル系統及び配電系統に接続する電源(10kW 以上)は、原則ノンファーム型接続となります。

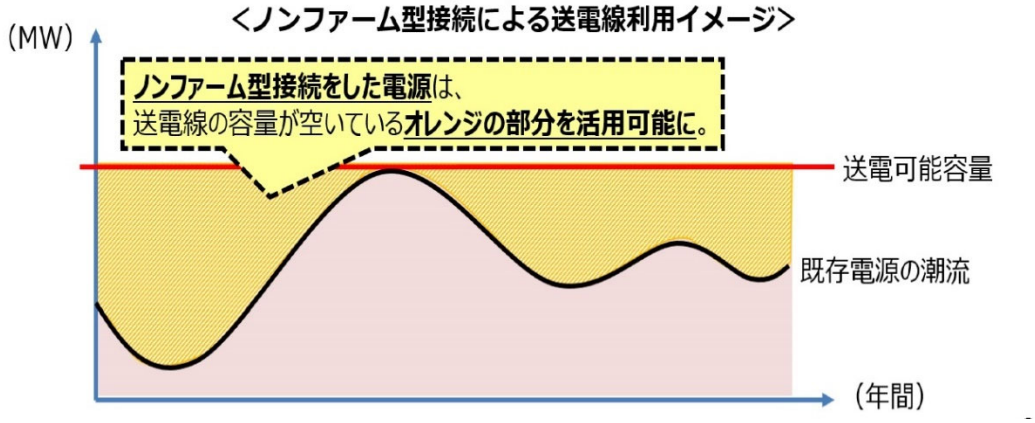


図-2.6.7 ノンファーム型接続による送電線イメージ[95]

「ノンファーム型接続」となった場合、系統混雑時の無補償での出力制御（オンライン制御）を前提に、「出力制御機能付 PCS」を設置するなどの対応が必要となります。

ノンファーム型接続となる場合は、オンライン制御のためのネットワーク接続が必要となるなど通常の発電設備の構成に追加するものが生じる可能性があります。このため当該エリアにおける接続方法については事前に確認しておく必要があります。

[95] 出典）経済産業省「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会」第 20 回 資料 2 p.8 <https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/020_02_00.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(4) 再給電方式（出力制御ルールの見直し）

系統が混雑した場合、前述の先着優先の考え方の下ではノンファーム型接続をした電源が一律で出力抑制され、従前から接続されている電源（ファーム型）が優先されます。この場合、ノンファーム型接続をした電源は限界費用（運転コスト）が安い再エネ電源が多く含まれていると想定されることから、限界費用が安い再エネ電源の価値を活用しきれていない状況となっています。

このため、限界費用の高い発電所の出力を下げる代わりに、混雑していない系統の発電所の出力を上げる運用により、空き容量がない系統においても CO_2 の発生が少なく、運転費用の安い電源を優先的に発電することが可能になるように一般送配電事業者（電力会社の送配電部門）が一定の順序で電源の調整を指示する方式を「再給電方式」といいます。

現在、2022 年中までに再給電方式を一部開始することを目指し、関係機関が検討を進めています。

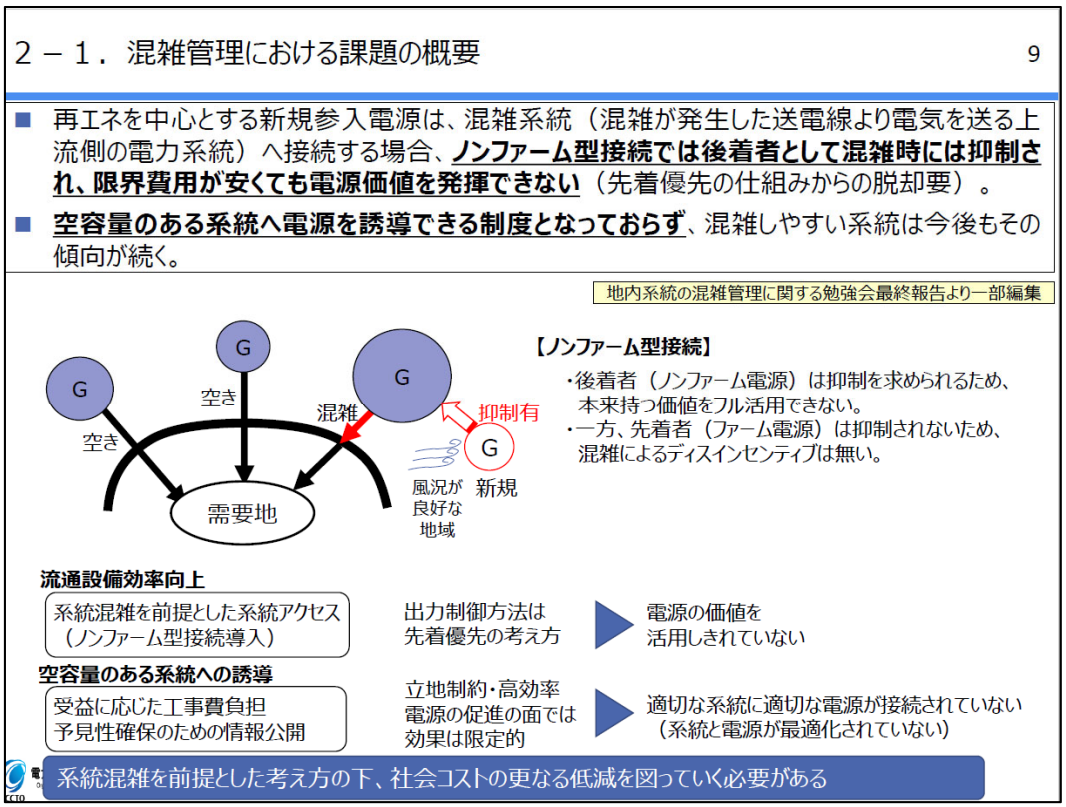


図-2.6.7　系統混雑における課題[96]

---

[96] 出典）電力広域的運営推進機関「第 52 回広域系統整備委員会」資料 3 p.9
<https://www.occto.or.jp/iinkai/kouikikeitouseibi/2020/files/seibi_52_03_01.pdf>（2022.1.31 閲覧）

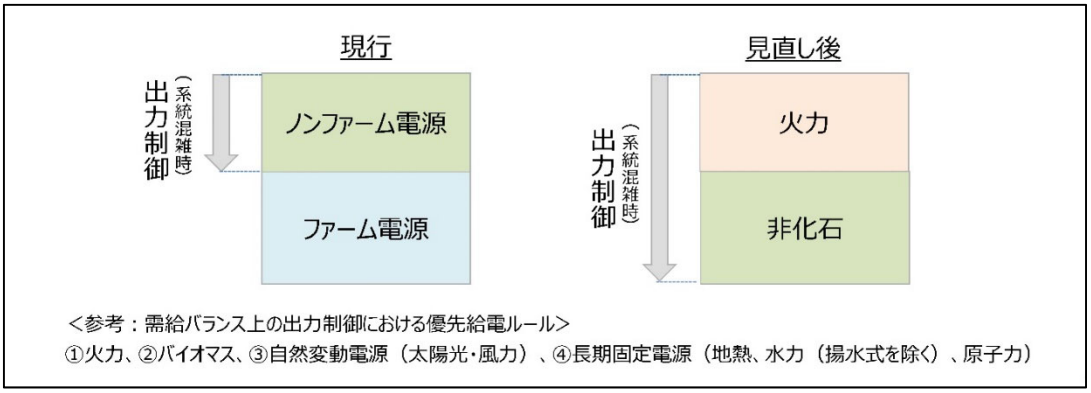


図-2.6.8　再給電方式[97]（出力制御ルールの見直し）

また、2021 年 11 月 30 日に行われた「総合エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会／電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会（第 37 回）」の資料 2[98]より、関連する部分を抜粋して以下に示します。

（２）課題①：出力制御順

- 再給電方式においては、ファーム型接続適用の非FIT電源である火力等について、当面経過措置を設定しない方針とした。このため系統混雑時には、**ファーム型・ノンファーム型を問わず、火力等はまず最初に出力制御される**。
- また、需給バランス維持のための出力制御ルールと同様、ノンファーム型接続適用の非化石電源の中では、当面は**バイオマス電源を制御した上で、自然変動電源を出力制御**することとした。
- その他のノンファーム型接続適用の非化石電源（※）は、上記の非化石電源を全て出力制御した上で、なお混雑解消に必要な場合に限り、出力制御されることとなる。

※地域資源バイオマス電源（出力制御困難なもの）及び長期固定電源（原子力、地熱、 水力（揚水式を除く））

【再給電方式（一定の順序）による出力制御のルール】

1. 一般送配電事業者があらかじめ確保する**調整力（火力等）（電源Ⅰ）**及び一般送配電事業者からオンラインでの調整ができる**火力発電等（電源Ⅱ）**の出力制御、**揚水式発電機の揚水運転**及び需給バランス改善用の**電力貯蔵装置の充電**
2. 一般送配電事業者からオンラインでの調整ができない**火力発電等（電源Ⅲ）**の出力制御
3. **ノンファームバイオマス（専焼バイオマス、地域資源バイオマス（出力制御が困難なものを除く））電源**の出力制御
4. **ノンファーム自然変動電源（太陽光・風力）**の出力制御
5. **その他のノンファーム電源（※）**の出力制御

※地域資源バイオマス電源（出力制御困難なもの）及び長期固定電源（原子力、地熱、水力（揚水式を除く））

- **S＋3Eを大前提に、例えば、以下の場合においては、一定の順序以外の方法で出力制御できるものとしてはどうか。**

・混雑解消に効果の低い電源を先に制御する場合（例：ループ系統の場合）
・安定供給に支障が生じる可能性がある場合

25

[97] 出典）経済産業省「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会」第 22 回 資料 1 p.36 <https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/022_01_00.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[98] 出典）経済産業省「再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会」第 37 回 資料 2 p.25~27 <https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/037_02_00.pdf>（2022.1.31 閲覧）

（参考）④出力制御ルール

（出所）再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会
電力ネットワークの次世代化に向けた中間とりまとめ（2021年9月）

- 送電容量上の制約における出力制御ルールについては、本小委員会において、市場を活用する新たな仕組みを長期的な視点で議論しながら、速やかに対応するための当面の出力制御ルールの大枠として、**火力電源を非化石電源より先に出力制御する方針**とした。
- 非化石電源より先に出力制御する火力電源については、需給調整バランス維持のための優先給電ルールは、出力制御における実務負担等を踏まえ、オンライン制御可能な電源を優先的に出力制御することとしていることに鑑み、**送電容量上の制約における出力制御ルールについても、同様に、オンラインで制御可能な調整電源を優先的に出力制御する方針**とした。その上で、**コストの高い順で出力制御する方針**とした。
- また、非化石電源の出力制御を行う場合には、バイオマス電源の燃料費の大きさや、長期固定電源を制御する際の技術的困難さや、追加コストの大きさなどを考え、市場を活用する新たな仕組みを長期的な視点で議論しつつ、**現行の需給バランス維持のためのルールと同様、当面はバイオマス電源を制御した上で、自然変動電源から出力制御する**こととした。

※仮に、今後、現行の需給バランス維持におけるルール（優先給電ルール）が見直された場合には、再給電方式における出力制御順も変わり得る。

需給バランス維持のための優先給電ルール

出力制御順

1. 一般送配電事業者があらかじめ確保する調整力（火力等）（電源Ⅰ）及び一般送配電事業者からオンラインでの調整ができる火力発電等（電源Ⅱ）の出力制御、揚水式発電機の揚水運転及び需給バランス改善用の電力貯蔵装置の充電
2. 一般送配電事業者からオンラインでの調整ができない火力発電等（電源Ⅲ）の出力制御
3. バイオマス電源（注1）の出力制御
4. 自然変動電源（太陽光・風力）（注2）の出力制御
5. 長期固定電源（原子力、地熱、水力（揚水式を除く））の出力制御

注1 バイオマス電源は、優先給電ルールと同様に、専焼バイオマスを出力制御した後に地域資源バイオマスの出力制御（出力制限が困難なものを除く）の出力制御を行う。
注2 FIT対象電源、FIT対象外電源は同列に扱う。ただし、FIT対象電源内の順序については、FIT関連法令の規定に従うものとする。

26

（参考）再給電方式における経過措置について

（出所）再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会
電力ネットワークの次世代化に向けた中間とりまとめ（2021年9月）

- 再給電方式の費用負担が一般負担の場合、ファーム型接続の非FIT電源である火力・揚水等については、下げ調整の対価を精算する契約等に基づき、**現状の契約から不利益変更とならない見込みから当面経過措置を設定せず**、系統増強費用の特定負担者への配慮を含め、不利益変更となりうる**市場主導型に向けた検討などの中で改めて議論**する。
- 他方、ノンファーム型接続をしているFIT電源については、送電容量制約による出力制御は無補償であるが、**ファーム型接続をしたFIT電源はFIT認定取得時に、無補償で制御されるような利用ルールの見直しを想定していない**。このため、調達期間において投資回収を可能とする制度趣旨を鑑み、再給電方式の導入に際して、不利益変更とならないようにすることが重要。
- この点、FIP電源が下げ調整の対価を精算する契約を結ぶような仕組み（バランシングメカニズム）が整えば、既存のFIT電源もFIP電源となることで不利益変更とならない可能性があるが、そのための検討には一定の時間が必要となる。
- このため、**当該仕組みの整備もしくは調達期間終了のどちらかが到来するまでは**、出力制御が可能な電源のうち、非FIT電源（調整電源等）やノンファーム型接続をしたFIT電源を全て出力制御しても混雑が解消されない場合※を除き、**出力制御を原則行わない**こととし、当該仕組みの議論の中で継続検討する。

※東北北部エリア募集プロセスの暫定連系など

<各電源のFIT調達期間>

電源種	事業用太陽光（10kW以上）	住宅用太陽光（10kW未満）	風力	バイオマス	地熱	水力
調達期間	20年	10年	20年	20年	15年	20年

27

2.7 環境保全関係法令

水力発電所の設置が環境保全を目的として開発行為を規制する諸法令の指定地域、地区等となる場合には、所定の許可申請、届出等の手続きが必要となります。環境関連法令の一覧を表-2.7.1 に示します。以下、水力発電所を設置する場合に関連する環境関連法規類の主なものの内容を概説します。

本章においては、各法令の条項を以下のように表記します。例えば「○○法第 1 条第 2 項第三号」は「法§1②三」と表記します。

・法律⇒「法」
・施行令（政令）⇒「令」
・施行規則（省令）⇒「則」
・条⇒「§」
・項⇒「○囲み数字」
・号⇒「漢数字」
・文中“　”で囲まれた部分は法令文をそのまま引用した箇所

表-2.7.1 環境関連法令一覧

項目	根拠
指定文化財、天然記念物	文化財保護法
重要な動植物	絶滅の恐れのある野生動植物の種の保存に関する法律、都道府県野生生物保護条例等
指定文化財	文化財保護法、各自治体文化財保護条例
用途指定地域	都市計画法
漁場	内水面漁業調整規則(各都道府県)
水質汚濁防止法第三条第三項の規定による排水基準が定められた区域	水質汚濁防止法
水質汚濁防止法第四条の二第一項に規定する指定地域	水質汚濁防止法
湖沼水質保全特別措置法第三条第二項により規定された指定湖沼及び指定地域	湖沼水質保全特別措置法
排水基準を定める省令別表第二の備考七に規定する湖沼	排水基準を定める省令
騒音に係る類型指定AA類型	環境基本法
道路交通騒音	騒音規制法
特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準指定区域	騒音規制法
道路交通振動	振動規制法
特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準指定区域	振動規制法
悪臭	悪臭防止法
地盤沈下	工業用水法
土壌汚染要素地区域	土壌汚染対策法
自然環境保全地域・県自然環境保全地域	自然環境保全法
国立公園および国定公園	自然公園法
県立公園	自然環境保全条例（各都道府県）
鳥獣保護区	鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律
公衆の保健(保健保安林)及び名所又は旧跡の風致の保存(風致保安林)のために指定された保安林	森林法
公衆の保健(保健保安林)及び名所又は旧跡の風致の保存(風致保安林)以外の保安林	森林法
砂防指定地	砂防法
急傾斜地崩壊危険区域	急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律
地すべり防止指定区域	地すべり等防止法
土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域	土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律
流水の正常な機能の維持	河川法

2.7.1 自然公園法

(1) 概要

自然公園法は“優れた自然の風景地を保護するとともに、その利用の増進を図ることにより、国民の保健、休養及び教化に資するとともに、生物の多様性の確保に寄与すること”を目的としています（法§1)。この法律の対象となる自然公園には次の 3 種類（法§2）の公園があります。これらの自然公園の面積は表-2.7.3 に示すとおり約 556 万 ha 強に及び、我が国の国土面積の約 14.7%を占めています。

表-2.7.2 日本における自然公園

種　類	内　容
国立公園	我が国の風景を代表するに足りる傑出した自然の風景地であって、環境大臣が指定したもの
国定公園	国立公園に準ずる優れた自然の風景地であって、環境大臣が指定したもの
都道府県立自然公園	優れた自然の風景地であって、都道府県知事が指定したもの

表-2.7.3 自然公園と面積

区　分	箇所数	面積(ha)	対国土面積割合（%）
国立公園	34	2,190,792	5.8
国定公園	56	1,409,727	3.7
都道府県立自然公園	311	1,967,324	5.2
計	401	5,567,843	14.7
国土面積		37,797.389	

※　平成 30 年 3 月 31 日現在

自然公園区域は山間など自然豊かな場所にあり、自然環境を守るためにこれらの地域の中での開発行為に対し諸々の禁止、制約が課せられています。水力発電所の適地が自然公園地域内となる場合、自然公園に係る諸規制、制約に対する対応（許認可協議）が必要になります。

それぞれの自然公園内において、地域の自然の風致を守る観点から環境保全の状況、重要性の度合い等を勘案して表-2.7.4 に示すような種別に区分がされています。

表-2.7.3 自然公園の指定区分

指定区分	概　要
特別保護地区 （原生状態を保持）	公園の中で最も中心となる景観地が指定され、現状維持を原則とし落葉、落枝の採取も規制される厳格な管理が行われ、地区内での行為はほとんど禁止されていている。
第一種特別地域 （現在の景観を極力維持）	特別保護地区に準ずる地域で、現在の景観を極力維持する必要のある地域。
第二種特別地域 （農林漁業活動に努めて調整）	良好な自然状態を保持している地域で、農林漁業との調和を図りながら自然景観の保護に努めることが必要な地域。
第三種特別地域 （通常の農林漁業活動は容認）	特別地域の中では風致を維持する必要が比較的低い地域であり、通常の農林漁業活動については風致の維持に影響を及ぼすおそれが少ない地域。
普通地域（景観の維持を図る）	特別地域と一体的に風景の保護を図ることが必要な地域。普通地域は特別地域の緩衝地帯として、一定の行為については事前の届出が必要。

(2) 自然公園内での規制行為

① 国立公園・国定公園　特別保護区・特別地域・普通地域

特別保護区、特別地域内において以下のような行為を行う場合は、国立公園にあっては環境大臣、国定公園にあっては都道府県知事の「許可」が必要となります（法§20③）。また、普通地域においては同様に「届出」が必要となります。

② 国立公園・国定公園　利用調整地区

当該公園の風致又は景観の維持とその適正な利用を図るため、特に必要があるときは環境大臣は国立公園について都道府県知事は国定公園について特別地域又は海域公園地区内に「利用調整地区」を指定することができることとなっています（法§23①）。利用調整地区内には何人も環境大臣が定める期間内は、1）非常災害のために必要な応急措置を行うため、2）公園事業を執行するため、3）認定生態系維持回復事業等を行うため等以外は「立入禁止」となっています（法§23①）

③ 都道府県立自然公園

都道府県知事は、区域を定めて条例で「都道府県立自然公園」を指定することができることとなっています（法§72）。都道府県知事は、都道府県立自然公園の風致を維持するため区域内に「特別地域」、特別地域内に風致の維持とその適正な利用を図るための「利用調整地区」、以上に含まれない「普通地域」を設定し、それぞれにおける行為について、国立公園及び国定公園における行為規制を定める法§20～§27 の規定の範囲内で、条例を定めて規制することができることとなっています（法§73①）。

表-2.7.4 自然公園内の規制行為

指定区分	許可 届出	規制行為
特別保護区	許可	1. 工作物の新・改・増築 2. 木竹の伐採 3. 鉱物の掘採、土石の採取 4. 河川湖沼等の水位又は水量に増減を及ぼさせること 5. 指定湖沼、湿原及びその周辺 1km の区域内においてその水域等に汚水、廃水を排水設備を設けて排出すること 6. 広告物等の掲出、設置又は工作物等への表示 7. 水面の埋立、干拓 8. 土地の開墾、その他土地の形状変更 9. 屋根、壁面、塀、橋、鉄塔、送水管等の色彩の変更 10. 湿原等のうち指定区域内への指定期間内の立入 11. 木竹の損傷 12. 木竹の植栽 13. 動物を放つこと 14. 屋外における物の集積、貯蔵 15. 火入れ、たき火 16. 木竹以外の植物の採取・損傷、落葉落枝の採取 17. 木竹以外の植物の植栽、播種 18. 動物の捕獲・殺傷、動物の卵の採取・損傷 19. 道路、広場以外の地域内の車馬、動力船の使用又は航空機の着陸 20. 前各号のほか、特別保護地区の景観の維持に影響を及ぼすおそれがある行為
特別地域 (第１種~第３種)	許可	1. 工作物の新・改・増築 2. 木竹の伐採 3. 環境大臣が指定する区域内での木竹の損傷 4. 鉱物の掘採、土石の採取 5. 河川湖沼等の水位又は水量に増減を及ぼさせること 6. 指定湖沼、湿原及びその周辺 1km の区域内においてその水域等に汚水、廃水を排水設備を設けて排出すること 7. 広告物等の掲出、設置又は工作物等への表示 8. 土石その他の環境大臣が指定する物の集積、貯蔵 9. 水面の埋立、干拓 10. 土地の開墾、その他土地の形状変更 11. 高山植物等の指定植物の採取、損傷 12. 指定区域内での指定植物の植栽、播種 13. 指定動物※2 の捕獲殺傷又は卵の採取損傷 14. 指定区域内で指定動物を放つこと（家畜を含む） 15. 屋根、壁面、塀、橋、鉄塔、送水管等の色彩の変更 16. 湿原等のうち指定区域内への指定期間内の立入 17. 道路、広場、田、畑、牧場、宅地以外の指定地内の馬車・動力船使用、航空機着陸 18. 前各号のほか、特別地域の風致の維持に影響を及ぼすおそれがある行為
普通地域	届出	1. 次の基準を超える工作物の新・改・増築 ① 建築物：高さ 13m 又は延べ面積 1000 平方メートル ② 送水管：長さ 70m ③ 鉄塔：高さ 30m ④ 船舶の係留施設：長さ 50m ⑤ ダム：高さ 20m ⑥ 鋼索鉄道：延長 70m ⑦ 索道：長さ 600m 又は高低差 200m ⑧ 別荘地用道路：幅員 2m ⑨ 遊戯施設（建築物以外）：高さ 13m 又は水平投影面積 1000 平方メートル 2. 特別地域内の河川、湖沼等の水位又は水量に増減を及ぼさせること 3. 広告物等の掲出、設置又は工作物等への表示 4. 水面の埋立、干拓 5. 鉱物の掘採、土石の採取 6. 土地の形状変更

(3) 許可、届出

それぞれの地域、地区内で規制されている行為、許可基準に係る条項と、許可申請、届出先等をまとめたものを表-2.7.5 に示します。

表-2.7.3 地域・地区別の規制行為、許可届出、許可基準等に関する条項一覧出

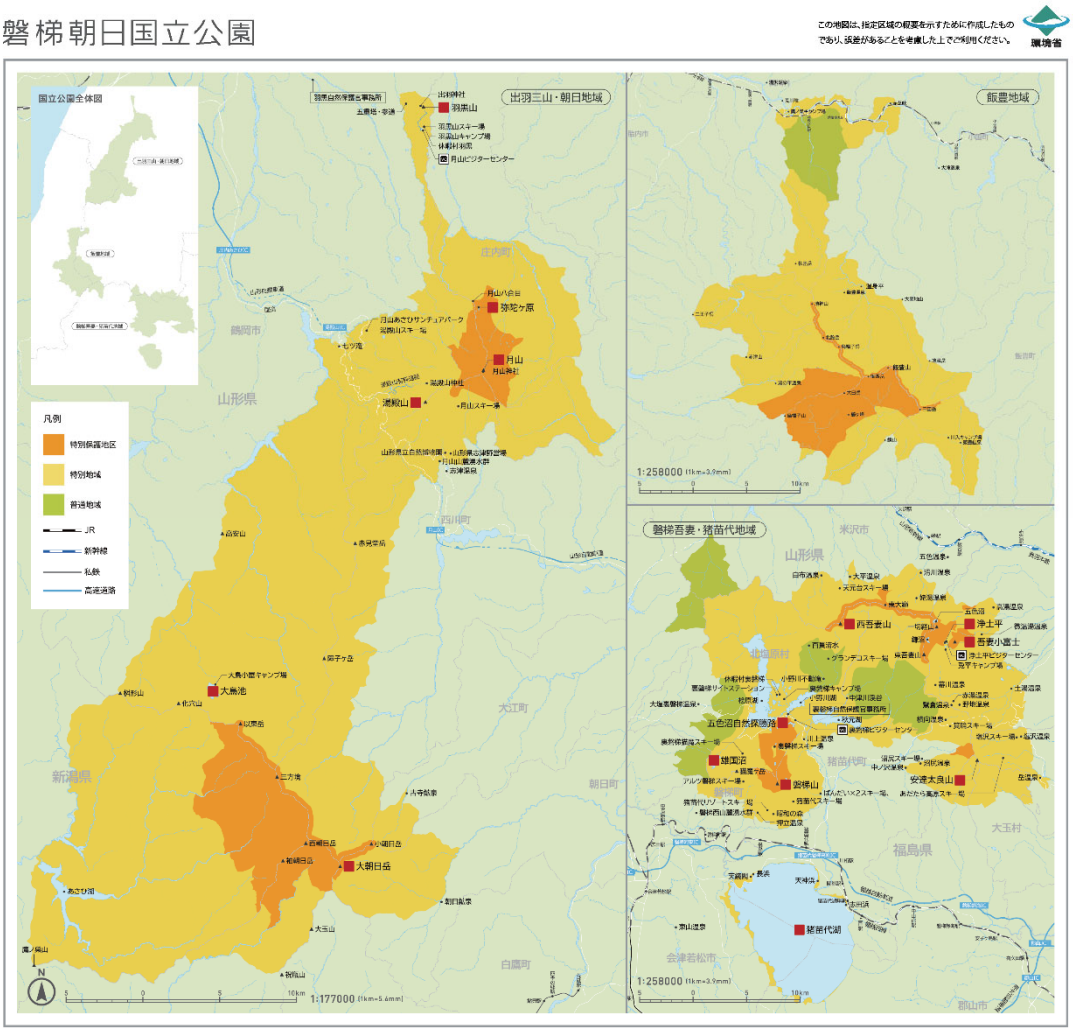
行為区分	対象地域	該当条項	主な規制行為	許可基準
許可	特別地域	法§20③	工作物設置、木竹伐採、水量・水位変動等	則§11①～㉙
	特別保護地区	法§21③	同条、ただし殆ど禁止	則§11㉚～㉜
	海域公園地区	法§22③	（省略）※	
	利用調整地区	法§23①	立ち入り不可	
	普通地域			
届出	特別地域	法§20⑥⑦⑧	既設・既着工、災害時の応急対策、自然保護・景観等を妨げないもの等	
	特別保護地区	法§21⑥⑦		
	海域公園地区	法§22⑥⑦		
	普通地域	法§33①	土地の改変、水位水量の増減、他法令基準準拠等	則§14 一～三
不要	特別地域	法§20⑨	溝、井堰等軽微な増改築	則§12 一～三一
	特別保護地区	法§21⑧	動植物、鳥獣の保護等	則§13 一～二八
	海域公園地区	法§22⑧	（省略）※	則§13-3 一～二八
	普通地域			則§15 一～一七
上表各行為別の許可申請先、届出先 国立公園：環境大臣 国定公園及び都道府県立自然公園：都道府県知事（法§73①）				

※　水力発電に関連しない項目なので記載を省略している

発電所の位置が概ね決まったら、環境省や都道府県のホームページで自然公園エリアを公表しているので、当該地点が自然公園、区域に該当するかを確認することが望ましいでしょう（次ページを参照）

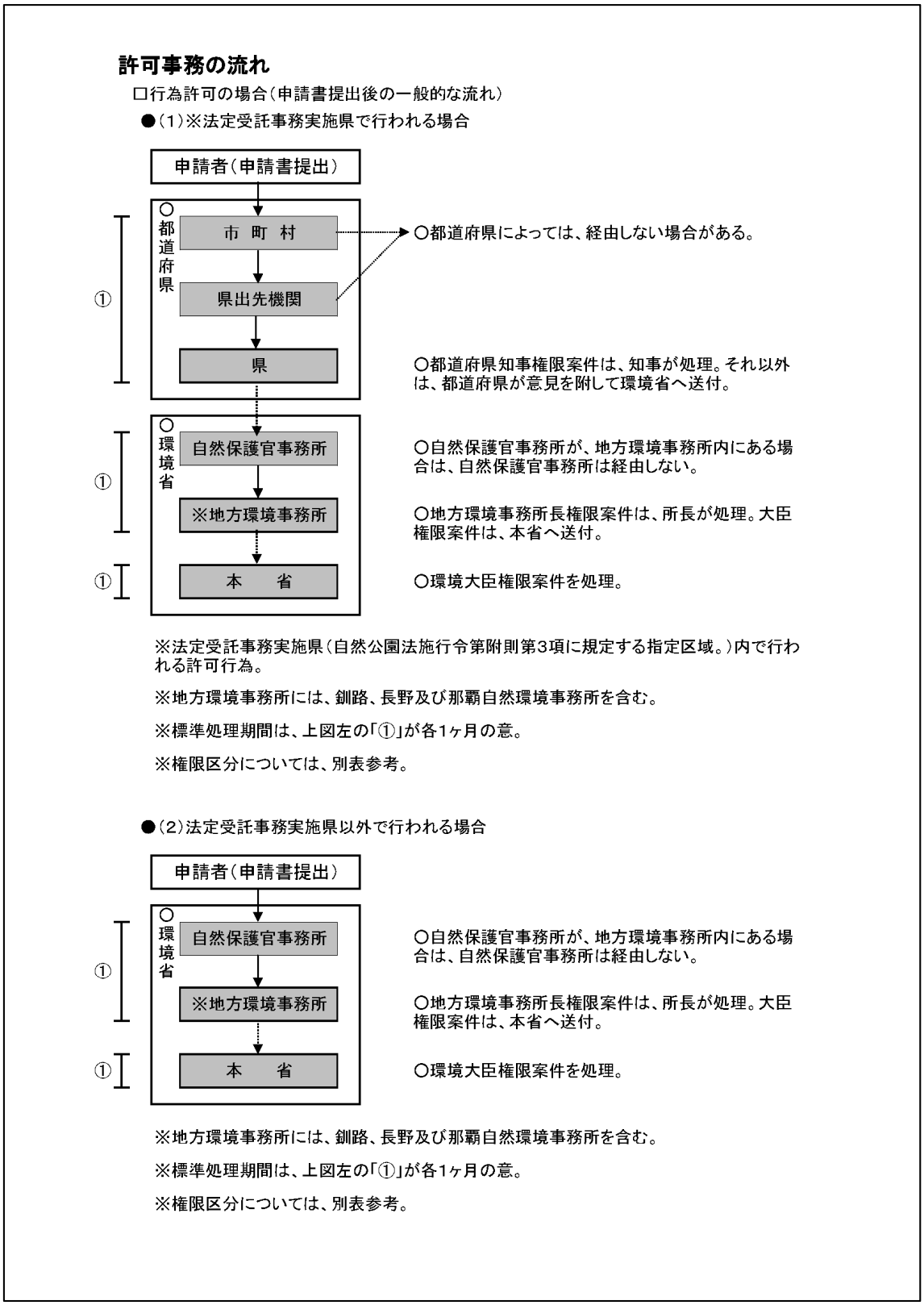
環境省ホームページ[99]（国定公園の紹介）

[99] 出典）環境省「日本の国立公園」国立公園一覧
<https://www.env.go.jp/park/parks/index.html>（2022.1.31 閲覧）



（例として）磐梯朝日国立公園の範囲 （環境省ホームページ[100]より）

100 出典）環境省「日本の国立公園 磐梯朝日国立公園」
<https://www.env.go.jp/park/common/data/09_bandai_map_j.pdf>（2022.1.31 閲覧）

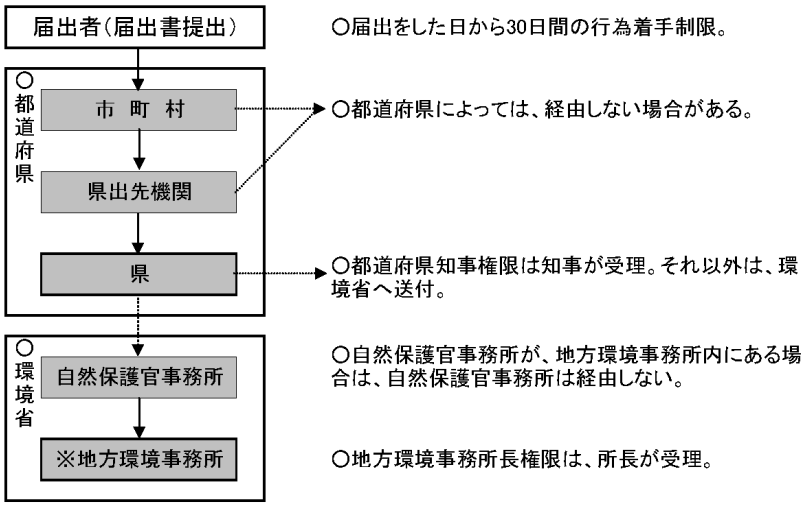


自然公園法　許可事務の流れ[101]

[101] 出典）環境省「日本の国立公園」届出・申請 <http://www.env.go.jp/park/apply/basic/04.pdf>（2022.1.31 閲覧）

□届出行為の場合（届出提出後の一般的な流れ）

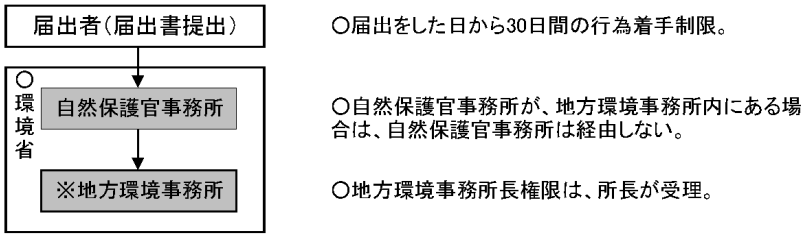
●（1）法定受託事務実施県で行われる場合



※法定受託事務実施県（自然公園法施行令第附則第3項に規定する指定区域。）内で行われる届出行為。

※地方環境事務所には、釧路、長野及び那覇自然環境事務所を含む。

●（2）法定受託事務実施県以外で行われる場合



※地方環境事務所には、釧路、長野及び那覇自然環境事務所を含む。

自然公園法　許可事務の流れ[102]

[102] 出典）環境省「日本の国立公園」届出・申請 <http://www.env.go.jp/park/apply/basic/04.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.7.2 自然環境保全法

(1) 自然環境保全地域の概要

自然環境保全法は“その他の自然環境の保全を目的とする法律と相まって、自然環境を保全することが特に必要な区域等の生物の多様性の確保その他の自然環境の適正な保全を総合的に推進することにより、広く国民が自然環境の恵沢を享受するとともに、将来の国民にこれを継承できるようにし、もって現在及び将来の国民の健康で文化的な生活の確保に寄与すること”を目的としています（法§1)。

この「自然環境保全地域」は、原生の状態を維持している地域や優れた自然環境を維持している地域を今後も極力人為を加えずに後世に伝えることを目的として指定されている地域です。「自然公園」は、自然風景地の保護とともに自然とのふれあいを図ることを目的として指定される地域であり、計画的に整備され快適で適正な利用、質の高い自然を活かした環境教育の場として保全と整備が行われています。

自然環境保全法による区域の指定と要件を整理すると表-2.7.4 に示すとおりとなります。また、現在自然環境保全地域に指定されている地域数、面積を表-2.7.5 に示します。

表-2.7.4 支援環境保全法による地域の指定と要件

地　域	地　区	要　件
原生自然環境保全地域	立入制限地区	人の活動の影響を受けることなく原生の状態を維持している地域（1,000ha 以上、島嶼は 300ha 以上）
自然環境保全地域	特別地区 野生動植物保護地区 海域特別地区 普通地区	1. 高山・亜高山性植生（1,000ha 以上)、 2. 優れた天然林（100ha 以上） 3. 特異な地形・地質・自然現象（10ha 以上） 4. 優れた自然環境を維持している湖沼・海岸・湿原・河川（10ha 以上） 5. 優れた自然環境を維持している海域（10ha 以上） 6. 植物の自生地･野生動物の生息地のうち、1.~5.と同程度の自然環境を有している地域(10ha 以上）
都道府県 自然環境保全地域		自然環境保全地域（上記）に準ずる自然環境を維持している）地域（ただし、海域を除く）

表-2.7.5 自然環境保全地域数と面積

区　分	箇所数	面積(ha)	対国土面積割合（%）
原生自然環境保全地域	5	5,631	0.015
自然環境保全地域	10	21,593	0.057
都道府県自然環境保全地域	537	76,403	0.202
計	552	103,627	0.274
国土面積		37,797.389	

(2) 規制行為

① 原生自然環境保全地域

「原生自然環境保全地域」は“自然環境が人の活動によって影響を受けることなく原生の状態を維持しており、かつ政令で定める面積、要件等を備えた区域で、当該自然環境を保全することが特に必要なもの”として環境大臣が指定する地域をいいます（法§14、令§1)。原生自然環境保全地域内においては、自然生態系に影響を与える行為は原則として禁止されており、次の各号のような行為は許可が必要です（法§17①)。

1. 建築物その他の工作物の新築、改築、増築
2. 宅地造成、土地の開墾、土地の形質変更
3. 鉱物掘採、土石採取
4. 水面埋立て、干拓
5. 河川・湖沼の水位・水量の増減
6. 木竹の伐採、損傷
7. 木竹以外の植物の採取、損傷、落葉・落枝の採取
8. 木竹の植栽
9. 木竹以外の植物の植栽、種子蒔き
10. 動物の捕獲、殺傷、動物の卵採、損傷
11. 動物の開放、家畜の放牧
12. 火入れ、たき火
13. 廃棄物投棄、放置
14. 屋外での物の集積、貯蔵
15. 車馬・動力船の使用、航空機の着陸
16. そのほか、原生自然環境保全地域の自然環境の保全に影響を及ぼすおそれがある行為

② 立入制限地区

「立入制限地区」は、原生自然環境保全地域のうち自然環境の保全のために特に必要があると認め、原生自然環境保全地域に関する保全計画に基づいて環境大臣が立入を制限している地区をいいます（法§19①)。立入制限地区には、学術研究その他公益上の事由、非常災害のために必要な応急措置のため以外、何人も立ち入ることはできません（法§19③)。

③ 自然環境保全地域

「自然環境保全地域」は、“原生自然環境保全地域以外の区域で次の各号のいずれかに該当するもののうち、自然的社会的諸条件からみてその区域における自然環境を保全することが特に必要なものと認め”環境大臣が指定した地区で、一定の要件を備えたもの“をいいます（法§22①、令§4①～④)。ただし自然公園法に規定する自然公園の区域は、自然環境保全地域の区域には含まれません（法§22②)。

④ 特別地区

「特別地区」は、“自然環境保全地域に関する保全計画に基づいて、環境大臣が指定した地区をいいます。特別地区内においては、次に掲げる行為は、環境大臣の許可を受けなければ“行うことが禁止されています（法§25④)。

1. 法§17①一～五号に掲げる行為※

2.　木竹の伐採
3.　木竹の損傷
4.　本来の生育地でない植物の植栽、種まき
5.　本来の生息地でない動物の開放、家畜の放牧
6.　湖沼・湿原及び周辺 1km 区域内の排水設備の設置・排出
7.　道路、広場、田、畑、牧場、宅地以外の地域で車馬・動力使用、 航空機の着陸
8.　そのほか、特別地区の自然環境の保全に影響を及ぼすおそれがある行為
※　法§17①一～五号に掲げる行為
イ）　建築物その他の工作物の新築、改築、・増築
ロ）　宅地位造成、土地の開墾、土地の形質変更
ハ）　鉱物の掘採、土石採取
ニ）　水面埋立て、干拓
ホ）　河川・湖沼の水位・水量の増減

⑤　野生動植物保護地区

環境大臣が“特別地区内における特定の野生動植物の保護のために特に必要があると認めるときは、自然環境保全地域に関する保全計画に基づいて、その区域内に、当該保護すべき野生動植物の種類ごとに、「野生動植物保護地区」を指定することができる”こととなっていています（法§26①）。この野生動植物保護地区内においては、当該野生動植物保護地区に係る野生動物（動物の卵を含む）の捕獲、殺傷、野生植物の採取、損傷が禁止されています（法§26③）

⑥　普通地区

自然環境保全地域の区域のうち特別地区及び海域特別地区に含まれない区域を「普通地区」といいます。「普通地区」において“次の各号に掲げる行為を行う場合は、環境大臣に対し、環境省令で定めるところにより、行為の種類、場所、施行方法及び着手予定日その他環境省令で定める事項を届け出”が必要となります（法§28①）。

1.　環境省令で定める基準※をこえる建築物その他工作物の新築、改築、増築
2.　宅地造成、土地の開墾、土地の形質変更
3.　鉱物掘採、土石採取
4.　水面埋立て、干拓
5.　河川・湖沼の水位・水量の増減
※　環境省令（則§27）で定める基準
イ）　建築物　高さ 10m 又は床面積 200 ㎡
ロ）　道路　幅員 2m
ハ）　鉄塔、煙突、電柱等　高さ 30m
ニ）　ダム　高さ 20m
ホ）　送水管、ガス管等　長さ 200m 又は水平投影面積 200 ㎡
ヘ）　その他の工作物　高さ 10m 又は水平投影面積 100 ㎡

⑦　都道府県自然環境保全地域

都道府県が“その区域における自然環境が自然環境保全地域に準ずる土地の区域で、その区域の周辺の自然的社会的諸条件からみて当該自然環境を保全することが特に必要なもの”として条例で指定した地域を「都道府県自然環境保全地域」といいます（法§45①）。ただ

し、自然公園の区域は都道府県自然環境保全地域の区域に含まれません（法§45②）。都道府県自然環境保全地域における自然環境を保全するため、都道府県が条例で「特別地区（野生動植物保護地区を含む。）」として指定し、当該特別地区における行為を規制することができます。

都道府県自然環境保全地域の区域のうち特別地区に含まれない区域内を「普通地域」とし、当該地域における行為についても規制することができます。それぞれの規制は、自然環境保全地域の特別地区（野生動植物保護地区を含む。）、普通地区における行為に関する規定による規制の範囲内において必要な規制を定めることができます。この場合、“当該地域に係る住民の農林漁業等の生業の安定及び福祉の向上に配慮しなければならない”こととなっています（法§46①）。

(3) 許可、届出

それぞれの地域、地区における指定の要件、許可申請先、規制の原則などをまとめたものを表-2.7.6 に示します。

表-2.7.6 自然環境保全地域の指定の要件、及び規制について[103]

地域の種類	指定等	行為の規制
原生自然環境保全地域 （法§14～§21）	【地域の指定】　環境大臣 【指定要件】　以下のとおり ・原生状態を維持 ・面積 1,000ha 以上（島嶼の場合は 300ha 以上）の土地の区域 ・国公有地（保安林を除く）※ 自然公園の区域を除く 【規制又は施設に関する保全計画の決定】　環境大臣	【全域】 ・自然生態系に影響を与える行為は原則禁止 ・工作物の新改増築、土地の変質変更等も原則禁止 （環境大臣が許可した場合等を除く） 【立入制限地区】 ・立入は原則禁止（環境大臣が許可した場合を除く）
自然環境保全地域 （法§22～§35）	【地域の指定】　環境大臣 【指定要件】　以下のとおり 1. 高山・亜高山性植生（1,000ha 以上） 2. 優れた天然林（100ha 以上） 3. 特異な地形・地質・自然現象（10ha 以上） 4. 優れた自然環境を維持している湖沼・海岸・湿原・河川（10ha 以上） 5. 優れた自然環境を維持している海域（10ha 以上） 6. 植物の自生地・野生動物の生息地のうち、上記と同程度の自然環境を有している地域（10ha 以上） 【規制又は施設に関する保全計画の決定】　環境大臣	【特別地区】 ・工作物の新改増築、土地の変質変更等は環境大臣の許可が必要 ・各種行為は一定の基準に合致するもののみ許可 【野生動植物保護地区】 ・特定の野生動植物の捕獲、殺傷、採取等は原則禁止 （環境大臣が許可した場合等を除く） 【海域特別地区】 ・工作物の新改増築、海底の形質変更、指定動植物の採捕・殺傷等は許可が必要 【普通地区】 ・一定規模以上の工作物の新改増築、土地の形質変更等は環境大臣への届出が必要
都道府県自然環境保全地域 （法§45～§50）	都道府県知事が条例で定めるところにより、自然環境保全地域に準ずる土地の区域を指定	・特別区域（野生動植物保護地区を含む）の指定が可能・自然環境保全地域における規制の範囲内で、条例で定めるところにより規制が可能 ・普通地区における各種行為は届出 ・規制された行為に対する許可は都道府県知事

[103] 出典）環境省「自然環境保全法の概要」より作成 <https://www.env.go.jp/nature/hozen/law.html>（2022.1.31 閲覧）

2.7.3 鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律

水力発電開発において留意すべき法規定による行為規制地域として、鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律に基づく「鳥獣保護区」があります。鳥獣保護区は“鳥獣の保護及び管理を図るための事業を実施するとともに、猟具の使用に係る危険を予防することにより、鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化を図り、もって生物の多様性の確保、生態系の保護、生活環境の保全及び農林水産業の健全な発展に寄与することを通じて、自然環境の恵沢を享受できる国民生活の確保及び地域社会の健全な発展に資すること“を目的としています（法§1）

(1) 鳥獣保護区の概要

鳥獣保護区は、鳥獣の保護の見地から環境大臣が指定する「国指定鳥獣保護区」と、都道府県知事が指定する「都道府県指定鳥獣保護区」があります。鳥獣保護区の区域内で特に鳥獣の保護又はその生息地の保護を図るため特に必要があると認められる区域については、環境大臣又は都道府県知事は、それぞれの鳥獣保護区内に「特別保護地区」に指定することができ狩猟が認められません。そのほか特別保護地区内においては一定の開発行為が規制されます。

(2) 規制行為

「鳥獣保護区」の区域内にある土地又は木竹について“所有権その他の権利を有する者は、正当な理由がない限り、環境大臣又は都道府県知事が当該土地又は木竹に鳥獣の生息及び繁殖に必要な営巣、給水、給等の施設を設けることを拒んではならない”（法§28⑪）とされています。「特別保護地区」の区域内において次に掲げる行為は法§29①の規定により環境大臣が指定する「国指定特別保護地区」にあっては環境大臣の、同項の規定により都道府県知事が指定する「都道府県指定特別保護地区」あっては都道府県知事の許可を受けなければはなりません。

1. 建築物その他の工作物の新築、改築、増築※1
2. 水面の埋立て、干拓※1
3. 木竹伐採
4. 特別保護地区内の鳥獣の保護に影響を及ぼすおそれがある行為として政令で定めるものを行うこと（法 29§⑦、令§2）※2

※1 1ha 以下の埋立、干拓、住宅の設置等、鳥獣の保護に支障がない行為
※2 許可を要する行為（法§29⑦四により令§2 で定める以下の行為）
イ） 木竹以外の植物の採取・損傷、落葉の採取、動物の捕獲・殺傷・卵採取
ロ） 火入れ・たき火
ハ） 車馬の使用
ニ） 動力船の使用
ホ） 犬その他鳥獣に害を加えるおそれのある動物の開放
ヘ） 鳥獣の営巣に影響を及ぼすおそれのある撮影・録画・録音
ト） 球具その他の器具を使用する野外スポーツ・野外レクリエーション

(3) 許可、届出

前述した各種行為について許可を受けようとする場合は、国指定特別保護地区にあっては環境大臣に、都道府県指定特別保護地区にあっては都道府県知事にそれぞれ許可の申請を行う必要があります（法§29⑧、則§38①一～四）。環境大臣又は都道府県知事は、前項各号の許可の申請があったときは当該申請に係る行為が下記の各号のいずれかに該当する場合を除き許可を行うことができます。

“一　当該行為が鳥獣の保護に重大な支障を及ぼすおそれがあるとき。
二　当該行為が鳥獣の生息地の保護に重大な支障を及ぼすおそれがあるとき。
ただし、鳥獣の保護又は鳥獣の生息地の保護を図るため必要があると認めるときは、許可に条件を付することができる“（法§29⑨⑩）とされています。

これらの制度や規制等について整理したものを表-2.7.7 に示します。

表-2.7.7　鳥獣保護区制度の概要

区分	制度の概要	規制の概要	存続期間
鳥獣保護区 （法§28）	鳥獣の保護を図るため、必要があると認められる地域	狩猟が認められない	20 年以内 （期間更新可能）
特別保護地区 （法§29） 特別保護指定区域 （令§2）	鳥獣保護区の区域内において、鳥獣の保護及びその生息地の保護を図るため、必要があると認められる地域	許可を要する行為 ・工作物の新築等 ・水面の埋立、干拓 ・木竹の伐採 *1ha 以下の埋立、干拓、住宅の設置等、鳥獣の保護に支障がない行為は許可を要しない	鳥獣保護区の存続期間の範囲内

2.7.4 文化財保護法

文化財保護法の目的は“文化財を保存し、且つ、その活用を図り、もって国民の文化的向上に資するとともに、世界文化の進歩に貢献すること”とされています（法§1)。水力発電開発において留意すべき規定としては、「埋蔵文化財」(法§92～§108)、「史跡名勝天然記念物」(法§109～§133)、「重要文化的景観」(法§134～§142) 等に係る規定があります。それぞれの規制内容、許可手続き等については、ほぼ同様の規定なので、これらを代表して最も該当する場合が多いと考えられる「埋蔵文化財」、「史跡名勝天然記念物」にかかる規定について概説します。

■ 理蔵文化財

(1) 概要

埋蔵文化財とは、その名の通り土地に埋蔵されている主に古墳、遺跡、貝塚等を指し、その取扱い方は「文化財保護法」で定められています。

(2) 規制行為

既に周知の埋蔵文化財包蔵地において土木工事などの開発事業を行う場合には、着手の60日前までに文化庁長官に届出る必要があります (法§93①)。工事の過程で新たな遺跡など埋蔵文化財に該当するような遺物が発見された場合は、直ちに上記同様の機関に届け出なければなりません（法§96①)。併せて、出土した遺物は所有者が明らかな場合を除き、発見者が所管の警察署長へ提出する必要があります（法§100)。

届出を受けた警察署長は都道府県・政令指定都市等の教育委員会に提出し、発掘物が文化財として認められるか否かの鑑査を行い（法§102）その取り扱い方法を協議して決めることとなっています。その間、遺跡部分の工事は中断して現状を保存する必要があるので注意が必要です（法§96)。出土品は原則としては遺失物の取り扱いとなり「遺失物法」の適用となりますが、鑑査の結果これが文化財として認められる場合は届出を受けた都道府県・政令指定都市及び中核市の教育委員から所管の警察署長への通知のみでよく、所有者が判明しないものは原則として都道府県の帰属となります。

(3) 許可、届出

埋蔵文化財について届出があった場合、文化庁長官は“当該届出に係る遺跡が重要なものであり、かつ、その保護のため調査を行う必要があると認めるときは、その土地の所有者又は占有者に対し、期間及び区域を定めて、その現状を変更することとなるような行為の停止又は禁止を命ずることができることとなっています（法§96)。届け出があった場合は、文化庁長官はあらかじめ関係地方公共団体の意見を聞き、届出があった日から起算して 1 ヶ月以内に禁止の命令をしなければならず、禁止区間は最大3月以内とされています(法§96)。出土した理蔵文化財が”歴史上又は学術上の価値が特に高く、かつ、その調査が技術的に困

難なため国において調査する必要があると認められる埋蔵文化財については”文化庁長官は“その調査のため土地の発掘を施行することができる”（法§98）とされています。同様に、以上のほか地方公共団体が土地の発掘を施行することができます。(法§99)

■　史跡 名勝 天然記念物

(1)　概要

文化財保護法で規定される「史跡名勝天然記念物」として対象になるものは表-2.7.8 に示す文化財をいいます（法§2)。そのうち特に重要なものについては、それぞれ「特別史跡」、「特別名勝」、「特別天然記念物」に指定されています（法§109②)。

表-2.7.8 文化財保護法で規定される史跡名勝天然記念物

種　別	内　容
史跡	貝塚、古墳、都城跡、城跡、旧宅等の遺跡で我が国にとって歴史上または学術上価値の高いもの
名勝	庭園、橋梁、峡谷、海浜、山岳等の名勝地で我が国にとって芸術上または鑑賞上価値の高いもの
天然記念物	天然記念物：動物、植物及び地質鉱物で我が国にとって学術上価値の高いもの

(2) 規制行為

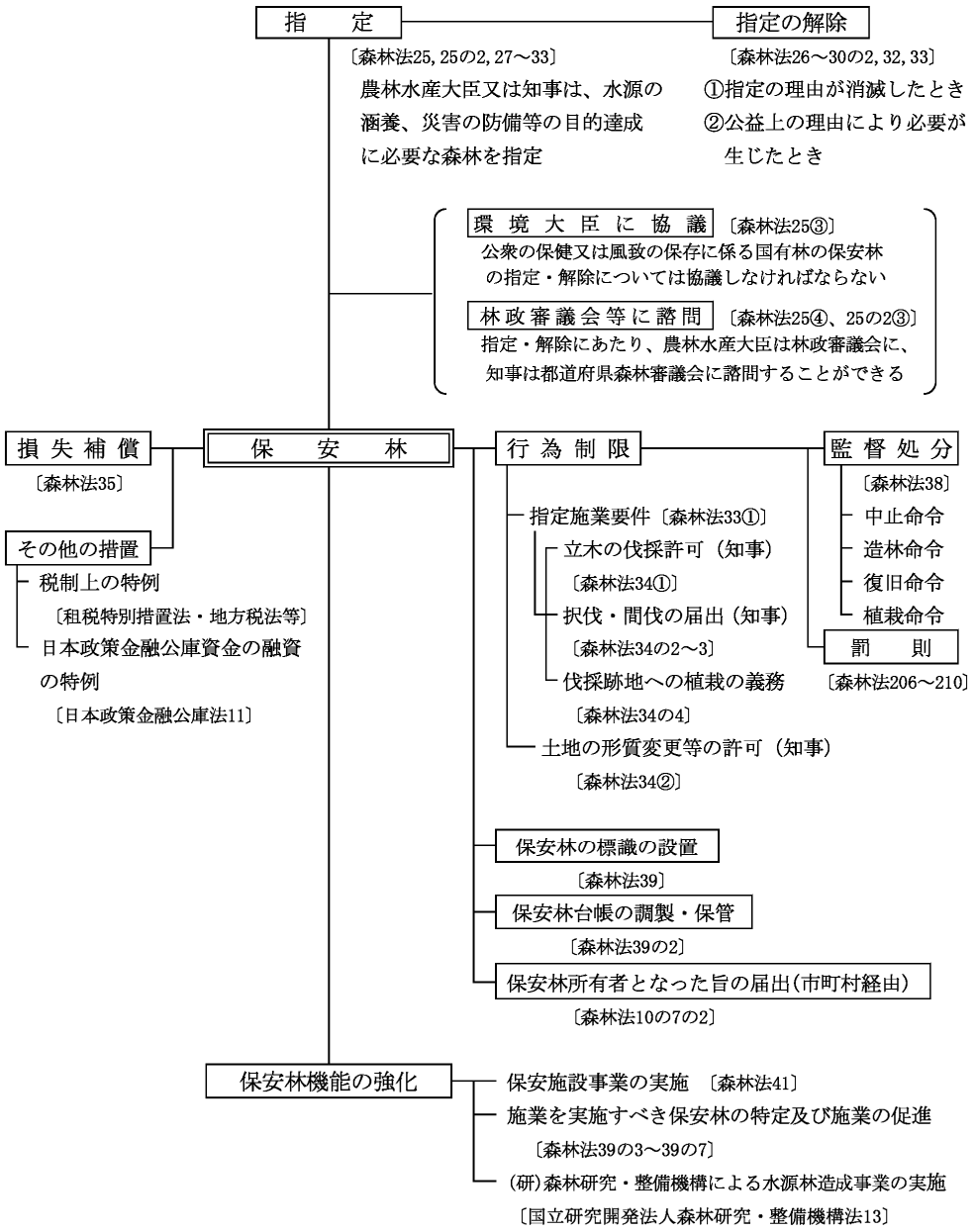
“史跡名勝天然記念物に関しその現状を変更し、又はその保存に影響を及ぼす行為をしようとするときは、文化庁長官の許可”が必要となります。例外的に、“現状変更については維持の措置又は非常災害のために必要な応急措置を執る場合、保存に影響を及ぼす行為については影響の軽微である場合”は許可を必要としません。(法§125)。

(3) 許可

文化庁長官は、特に“史跡名勝天然記念物の保存のため必要があると認めるときは、地域を定めて一定の行為を制限し、若しくは禁止し、又は必要な施設をすることを命ずることができる”こととなっており、命令が出されて場合はそれに従った所要の措置を講じなければなりません（法§128)。

2.8 保安林

保安林とは、水源の涵養、土砂の崩壊その他の災害の防備、生活環境の保全・形成等、特定の公益目的を達成するため、農林水産大臣又は都道府県知事によって指定される森林です。保安林では、それぞれの目的に沿った森林の機能を確保するため、立木の伐採や土地の形質の変更等が規制されます。



注：〔 〕は根拠法及び規定条文

図-2.8.1 保安林制度の体系[104]

[104] 林野庁「保安林制度」<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/attach/pdf/con_2-2.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(1) 保安林の種類

保安林の種類別の指定目的を整理すると表-2.8.1 に示すとおりとなります。

表-2.8.1 保安林の種類別の指定目的[105]

保安林の種別	指定の目的
水源かん養保安林	流域保全上重要な地域にある森林の河川への流量調節機能を安定化し、その他の森林の機能とともに、洪水、渇水を緩和したり、各種用水を確保したりします。
土砂流出防備保安林	下流に重要な保全対象がある地域で土砂流出の著しい地域や崩壊、流出のおそれがある区域において、林木及び地表植生その他の地被物の直接間接の作用によって、林地の表面侵食及び崩壊による土砂の流出を防止します。
土砂崩壊防備保安林	崩落土砂による被害を受けやすい道路、鉄道その他の公共施設等の上方斜面等において、主として林木の根系の緊縛その他の物理的作用によって林地の崩壊の発生を防止します。
飛砂防備保安林	海岸の砂地を森林で被覆することにより飛砂の発生を防止し、飛砂が海岸から内陸に進入するのを遮断防止することにより、内陸部における土地の高度利用、住民の生活環境の保護をはかります。
防風保安林	林冠をもって障壁を形成して風に抵抗してそのエネルギーを減殺・撹乱することにより風速を緩和して風害を防止します。
水害防備保安林	河川の洪水時における氾濫にあたって、主として樹幹による水制作用及びろ過作用並びに樹根による侵食防止作用によって水害の防止・軽減をはかります。
潮害防備保安林	津波又は高潮に際して、主として林木の樹幹によって波のエネルギーを減殺するほか、空気中の海水塩分を捕捉して塩害を防止します。
干害防備保安林	洪水、渇水を緩和し、又は各種用水を確保する森林の水源涵養機能により、局所的な用水源を保護します。
防雪保安林	飛砂防備保安林や防風保安林と同様の機能によって吹雪（気象用語では「飛雪」といいます。）を防止します。
防霧保安林	森林によって空気の乱流を発生させて霧の移動を阻止したり、霧粒を捕捉したりすることで霧の害を防止します。
なだれ防止保安林	森林によって雪庇の発生や雪が滑り出すのを防いだり、雪の滑りの勢いを弱めたり、方向を変えたりすること等により雪崩を防止します。
落石防止保安林	林木の根系によって岩石を緊結固定して崩壊、転落を防止したり、転落する石塊を山腹で阻止したりすることで、落石による危険を防止します。
防火保安林	耐火樹又は防火樹からなる防火樹帯により火炎に対して障壁を作り、火災の延焼を防止します。
魚つき保安林	水面に対する森林の陰影の投影、魚類等に対する養分の供給、水質汚濁の防止等の作用により魚類の生息と繁殖を助けます。
航行目標保安林	海岸又は湖岸の付近にある森林で地理的目標に好適なものを、主として付近を航行する漁船等の目標とすることで、航行の安全をはかります。
保健保安林	森林の持つレクリエーション等の保健、休養の場としての機能や、局所的な気象条件の緩和機能、じん埃、ばい煙等のろ過機能を発揮することにより、公衆の保健、衛生に貢献します。
風致保安林	名所や旧跡等の趣のある景色が森林によって価値づけられている場合に、これを保存します。

[105] 林野庁「保安林の種類別の指定目的」より作成
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2_2_3.html>（2022.1.31 閲覧）

(2) 保安林における制限

保安林に指定されているエリアで立木の伐採や土地の改変などの行為を行う場合は、権限者からの許認可を得る必要があります。これら制限を整理したものを表-2.8.2 に示します。なお、伐採跡地へは指定施業要件[106]に従って植栽をしなければなりません。

表-2.8.2 保安林における制限[107]

制限の種類	許可の権限者	許可要件
立木の伐採	都道府県知事	伐採の方法が、指定施業要件（注）に適合するものであり、かつ、指定施業要件に定める伐採の限度を超えないこと（間伐及び人工林の択伐の場合は、知事への届出が必要）
土地の形質の変更	都道府県知事	保安林の指定目的の達成に支障を及ぼさないこと

(3) 保安林の指定・解除の権限者

保安林の指定及び解除の権限は、民有林のうち国土保全の根幹となる重要流域にある流域保全のための保安林（水源かん養保安林、土砂流出防備保安林及び土砂崩壊防備保安林）及び国有林の保安林にあっては農林水産大臣、その他の民有保安林にあっては都道府県知事となっています。

表-2.8.3 保安林の指定と解除の権限者[108]

所有区分	保安林の種類	流域区分※	指定・解除の権限者
国有林	全ての保安林	全流域	農林水産大臣
民有林	水源かん養保安林 土砂流出防備保安林 土砂崩壊防備保安林	重要流域内	農林水産大臣
		重要流域外	都道府県知事 （法定受託事務）
	その他の保安林	全流域	都道府県知事 （自治事務）

※ 重要流域：2 以上の都府県の区域にわたる流域その他の国土保全上又は国民経済上特に重要な流域で農林水産大臣が指定したもの

106 保安林の指定目的を達成するため、個々の保安林の立地条件等に応じて、立木の伐採方法及び限度、並びに伐採後に必要となる植栽の方法、期間及び樹種が定められています。

107 出典）林野庁「保安林における制限」より作成
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2.html>（2022.1.31 閲覧）

108 林野庁「保安林の指定・解除の権限者」
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/con_2.html>（2022.1.31 閲覧）

(3) 保安林の解除

保安林指定がかかっているエリアで水力発電設備の工事を行う場合は、その転用解除の手続きが必要になります。林野庁ホームページではその解除の方針について以下のように述べられています。

保安林の転用解除の審査に当たっては、まず、対象保安林を「第 1 級地」と「第 2 級地」に区分します。第 1 級地と以下にいずれかに該当する保安林で、原則として解除は行わないこととしています。

イ） 治山事業施工地
ロ） 傾斜度が 25 度以上のもの、その他地形、地質等から崩壊しやすいもの
ハ） 人家、校舎、農地、道路など国民生活上重要な施設等に近接する保安林であって、当該施設等の保全又はその機能の維持に直接重大な関係があるもの
ニ） 海岸に近接するもので、林帯の幅が 150m 未満（本州の日本海側及び北海道の沿岸は 250m 未満）
ホ） 保安林の解除に伴い残置し又は造成することとされたもの

第 2 級地とは第 1 級地以外の保安林としています。第 2 級地については、保安林の配備状況や転用の目的、規模等を考慮の上、やむを得ざる事情があると認められ、かつ保安林の指定の目的に支障がない場合は解除を行います。なお、第 1 級地と第 2 級地の区分は保安林ごとに定められているものではなく、転用計画に基づき現地調査の上決定されます。

保安林の転用解除に当たっては、級地区分に加えて、地域の公的な土地利用計画に即したものであり、他に適地を求められないことや、必要最小限のものであること、事業の実現確実性など、一定の要件を満たしているかを審査の上判断されることとなります。

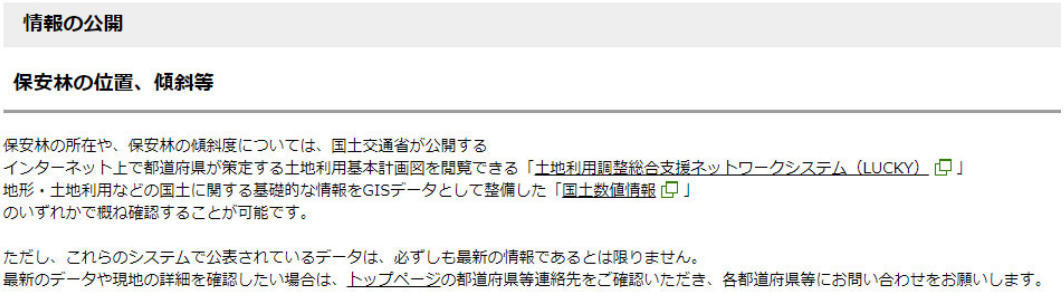
出典：林野庁 HP より[109]

保安林解除に必要となる手続きや作成図書は、各都道府県でマニュアルが整備されているため、インターネットで入手するかまたは各機関の相談窓口へ問い合わせると良いでしょう。また、林野等のホームページでは保安林の位置や傾斜などを公開しているので、発電計画サイトがその範囲内にあるかを確認しましょう。

（保安林の位置情報）

保安林の大まかな位置は、以下のウェブサイトから閲覧可能です。

林野庁ホームページ　https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/h_kaijyo.html



情報の公開

保安林の位置、傾斜等

保安林の所在や、保安林の傾斜度については、国土交通省が公開する
インターネット上で都道府県が策定する土地利用基本計画図を閲覧できる「土地利用調整総合支援ネットワークシステム（LUCKY）」
地形・土地利用などの国土に関する基礎的な情報をGISデータとして整備した「国土数値情報」
のいずれかで概ね確認することが可能です。

ただし、これらのシステムで公表されているデータは、必ずしも最新の情報であるとは限りません。
最新のデータや現地の詳細を確認したい場合は、トップページの都道府県等連絡先をご確認いただき、各都道府県等にお問い合わせをお願いします。

[109] 出典）林野庁「保安林の転用解除に係る情報　解除の方針」
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/h_kaijyo.html>（2022.1.31 閲覧）

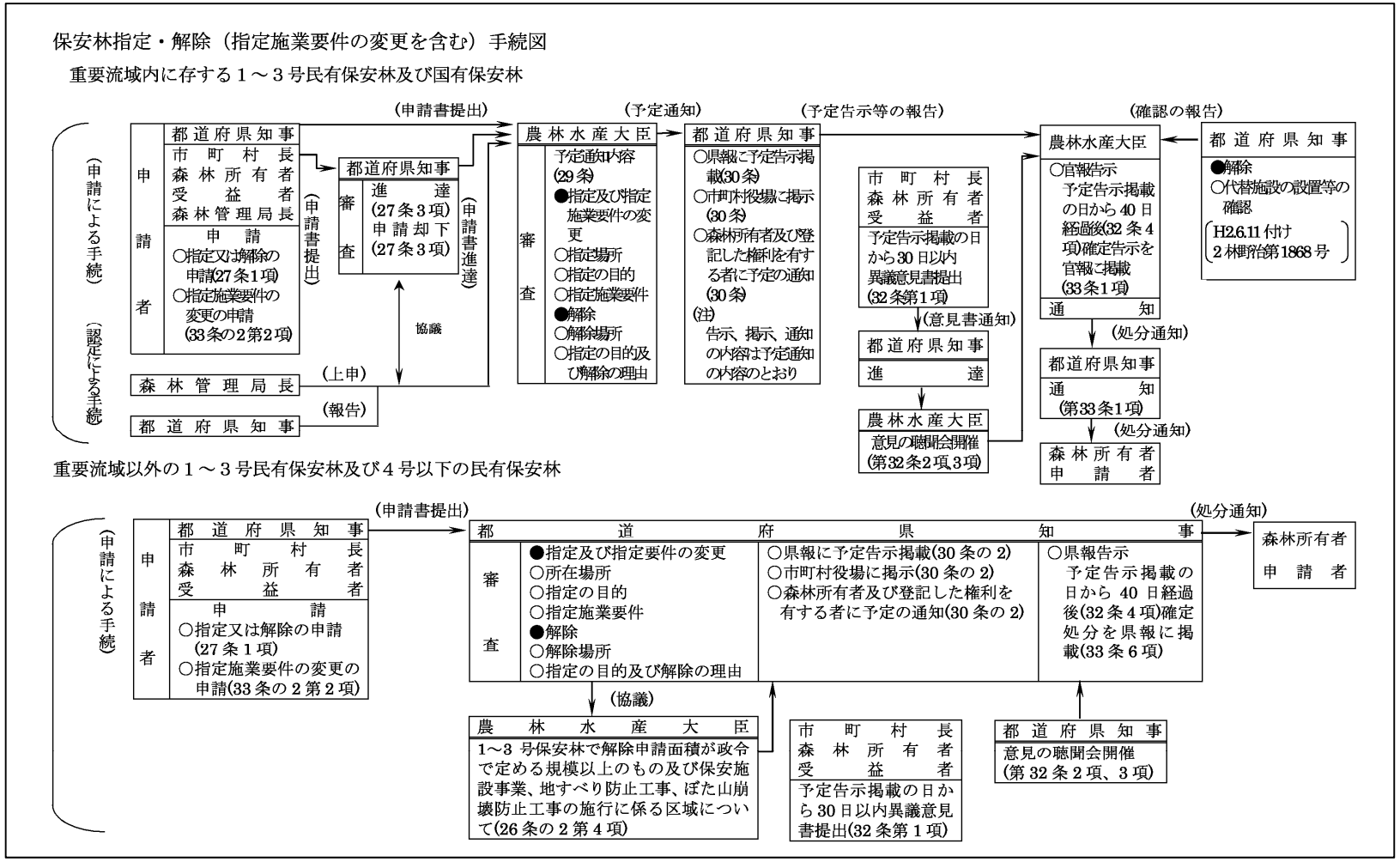


図-2.8.2　保安林指定・解除の手続図の例（岩手県　保安林解除の手引き[110]より）

110　岩手県農林水産部森林保全課「保安林解除の手引き」令和３年10月 p.8
<https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/405/kaijyonotebiki0310.pdf>（2022.1.31 閲覧）

表-2.8.4 保安林解除申請に必要となる書類の例
（岩手県 保安林解除の手引き[111]より）

４　転用に係る保安林解除申請書類等の編さん順序

- 下記書類は標準的な案件に対する添付書類であり、個々の解除案件により追加及び省略するものがあるので、申請書類作成の際は各広域振興局に必ず相談すること。
- ※印がついている書類については、解除権限者が農林水産大臣の場合に該当し、県庁森林保全課が作成する。

①国又は地方公共団体が行う専ら道路等		②左記以外
事業者が県の機関以外	事業者が県の機関	
１．　進達書※ ２．　知事意見書※ ３．　保安林解除調書 ４．　保安林解除位置図 ５．　保安林解除調査地図 ６．　保安林解除図（地積測量図） ７．　保安林解除申請書 ８．　事業計画図 ・事業施設配置図（兼）代替施設配置図 ９．　写真 １０．実施設計図（標準断面図、構造図） １１．事業計画書 １２．代替施設計画書 １３．他法令による許認可証書等の写し １４．直接利害関係者の証書等 １５．土量計算書（集計表のみ）	１．　保安林解除申請書※ ２．　保安林解除調書 ３．　保安林解除位置図 ４．　保安林解除調査地図 ５．　保安林解除図（地積測量図） ６．　保安林解除依頼書（又は保安林解除申請書） ７．　事業計画図 ・事業施設配置図（兼）代替施設配置図 ８．　写真 ９．　実施設計図（標準断面図、構造図） １０．事業計画書 １１．代替施設計画書 １２．他法令による許認可証書等の写し １３．直接利害関係者の証書等 １４．土量計算書（集計表のみ）	１．　進達書※ ２．　知事意見書※ ３．　保安林解除調書 ４．　保安林解除位置図 ５．　保安林解除調査地図 ６．　保安林解除図（地積測量図） ７．　保安林解除申請書 ８．　事業計画図 ・現況図 ・事業施設配置図 ・土量配分計画平面図 ・土捨場平面図 ９．　写真 １０．代替施設計画図 ・代替施設配置図 ・集水区域図 ・排水計画平面図 ・流末処理排水計画図 ・流出土砂貯留施設平面図 ・洪水調節施設平面図 １１．実施設計図 １２．事業計画書 １３．代替施設計画書 １４．他法令による許認可証書等の写し １５．法人等に関する書類 １６．直接利害関係者の証書等 １７．予算関係書類 １８．土量計算書

111 岩手県農林水産部森林保全課「保安林解除の手引き」令和 3 年 10 月 p.17
<https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/405/kaijyonotebiki0310.pdf>
（2022.1.31 閲覧）

（都道府県窓口）

林野庁 HP には各都道府県の問い合わせ窓口が紹介されているので参考にしてください。

保安林制度及び林地開発許可制度の都道府県窓口一覧

令和3年6月時点版

都道府県	制度	課（室）	直通電話	制度のサイトURL
北海道	保安林制度	治山課	011-204-5511	http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/tsn/ho/hoanrin.htm
	林地開発許可制度			http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/tsn/rin/rinkai.htm
青森県	保安林制度	林政課	017-734-9522	https://www.pref.aomori.lg.jp/sangyo/agri/hoanrin.html
	林地開発許可制度		017-734-9509	https://www.pref.aomori.lg.jp/sangyo/agri/rintikaihatsu.html
岩手県	保安林制度	森林保全課	019-629-5801	https://www.pref.iwate.jp/sangyoukoyou/ringyou/hozen/hoanrin/1008402.html
	林地開発許可制度		019-629-5803	https://www.pref.iwate.jp/sangyoukoyou/ringyou/hozen/rinchikaihatu/1008409.html
宮城県	保安林制度	森林整備課（保安林班）	022-211-2325	https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/sinrin/sinseih.html
	林地開発許可制度	自然保護課	022-211-2676	https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/sizenhogo/rintikaihatunokyokasinsei.html
秋田県	保安林制度	森林整備課(森林管理班)	018-860-1942	https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/742
	林地開発許可制度			https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/745
山形県	保安林制度	森林ノミクス推進課	023-630-2529	https://www.pref.yamagata.jp/140023/sangyo/nourinsuisangyou/ringyo/yhoanrin.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.yamagata.jp/140023/sangyo/nourinsuisangyou/ringyo/rinchikaihatu.html
福島県	保安林制度	森林保全課	024-521-7442	http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36055d/hoanrin.html
	林地開発許可制度			http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36055d/rintikaihatsu.html
茨城県	保安林制度	林業課	029-301-4056	https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/ringyo/rinchi/rringyo_hoanrin.html
	林地開発許可制度	林政課	029-301-4031	https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/rinsei/keikaku/keikaku/contents/rinchi-kaihatsu/index.html
栃木県	保安林制度	森林整備課	028-623-3288	http://www.pref.tochigi.lg.jp/d08/hoanrin1.html
	林地開発許可制度			http://www.pref.tochigi.lg.jp/d08/eco/shinrin/hozen/1235728796854.html
群馬県	保安林制度	森林保全課	027-226-3255	https://www.pref.gunma.jp/04/e4210001.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.gunma.jp/04/e4210020.html
埼玉県	保安林制度	森づくり課	048-830-4313	https://www.pref.saitama.lg.jp/a0905/hoanrin.html
	林地開発許可制度		048-830-4313	https://www.pref.saitama.lg.jp/a0905/kaihatu.html
千葉県	保安林制度	森林課	043-223-2962	https://www.pref.chiba.lg.jp/shinrin/shinrin/hoanrin.html
	林地開発許可制度		043-223-2955	https://www.pref.chiba.lg.jp/shinrin/rinchikaihatsu/index.html
東京都	保安林制度	森林課	03-5320-4856	https://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.lg.jp/nourin/ringyou/hozen/hoanrin/
	林地開発許可制度	緑環境課	03-5388-3551	https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/nature/natural_environment/rinchikaihatsu/index.html
神奈川県	保安林制度	水源環境保全課	045-210-4355	http://www.pref.kanagawa.jp/docs/pb5/cnt/f537128/
	林地開発許可制度			http://www.pref.kanagawa.jp/docs/pb5/cnt/f6994/
新潟県	保安林制度	治山課	025-280-5331	https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/chisan/1203267664630.html
	林地開発許可制度			
富山県	保安林制度	森林政策課	076-444-3393	http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1603/kj00021738.html
	林地開発許可制度			http://www.pref.toyama.jp/cms_sec/1603/kj00020202.html
石川県	保安林制度	森林管理課	076-225-1644	https://www.pref.ishikawa.lg.jp/shinrin/hoanrin_hoanrinseigen1.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.ishikawa.lg.jp/shinrin/hoanrin_rinchikaihatsu.html
福井県	保安林制度	森づくり課	0776-20-0443	https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/moridukurika/hoanrin/hoanrin.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/moridukurika/rinntikaihatu.html
山梨県	保安林制度	治山林道課	055-223-1660	https://www.pref.yamanashi.jp/chisan/22909740166.html
	林地開発許可制度	森林整備課	055-223-1645	https://www.pref.yamanashi.jp/shinrin-sb/rinchihozen.html
長野県	保安林制度	森林づくり推進課	026-235-7275	https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/hozen/hoanrin/index.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/hozen/todokedesho.html
岐阜県	保安林制度	治山課	058-272-8528	https://www.pref.gifu.lg.jp/page/4276.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.gifu.lg.jp/page/4609.html
静岡県	保安林制度	森林保全課	054-221-2643	http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-640/hozennka-top-hoannrintop.html
	林地開発許可制度			http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-640/hozennka-top-rinntikaihatutop.html

出典：林野庁ホームページ[112]より

[112] 出典）林野庁「保安林ポータル都道府県連絡先」p.1
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/attach/pdf/h_portal-1.pdf>（2022.1.31 閲覧）

保安林制度及び林地開発許可制度の都道府県窓口一覧

令和3年6月時点版

都道府県	制度	課(室)	直通電話	制度のサイトURL
愛知県	保安林制度	森林保全課	052-954-6452	https://www.pref.aichi.jp/soshiki/shinrin/0000002622.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.aichi.jp/soshiki/shinrin/0000070370.html
三重県	保安林制度	治山林道課	059-224-2573	https://www.pref.mie.lg.jp/ONORIN/HP/38737024072.htm
	林地開発許可制度			https://www.pref.mie.lg.jp/SHINRIN/HP/mori/13077015106.htm
滋賀県	保安林制度	森林保全課	077-528-3931	http://www.pref.shiga.lg.jp/kensei/gaiyou/soshiki/biwakokankyoubu/shinrinhozenka/index.html
	林地開発許可制度		077-528-3935	
京都府	保安林制度	森の保全推進課	075-414-5021	http://www.pref.kyoto.jp/shinrinhozen/hoanrin.html
	林地開発許可制度			http://www.pref.kyoto.jp/shinrinhozen/1318296341668.html
大阪府	保安林制度	森づくり課	06-6210-9554	http://www.pref.osaka.lg.jp/midori/midori/hoanrin.html
	林地開発許可制度		06-6210-9560	http://www.pref.osaka.lg.jp/midori/midori/rinpatsu.html
兵庫県	保安林制度	豊かな森づくり課森林保全室	078-362-3473	https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk22/af17_000000002.html
	林地開発許可制度			https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk22/af17_000000006.html
奈良県	保安林制度	森林資源生産課	0742-27-7473	http://www.pref.nara.jp/4021.htm
	林地開発許可制度	森と人の共生推進課	0742-27-7475	http://www.pref.nara.jp/4022.htm
和歌山県	保安林制度	森林整備課	073-441-2970	https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070700/hoanrin/seido.html
	林地開発許可制度		073-441-2979	https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/070700/kaihatsukyokaseido/index.html
鳥取県	保安林制度	森林づくり推進課	0857-26-7335	https://www.pref.tottori.lg.jp/100822.htm
	林地開発許可制度		0857-26-7304	https://www.pref.tottori.lg.jp/100825.htm
島根県	保安林制度	森林整備課	0852-22-5169	https://www.pref.shimane.lg.jp/infra/river/chisan/hoan_rin/
	林地開発許可制度			https://www.pref.shimane.lg.jp/infra/river/chisan/kaihatsu_kyoka/
岡山県	保安林制度	治山課	086-226-7456	https://www.pref.okayama.jp/page/detail-73065.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.okayama.jp/page/detail-5887.html
広島県	保安林制度	森林保全課	082-513-3706	https://www.pref.hiroshima.lg.jp/site/hoanringaiyou/
	林地開発許可制度			https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/87/rinpatu.html
山口県	保安林制度	森林整備課	083-933-3480	https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a17800/hoanrin/hoannrinn.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a17800/rintikaihatsu/rinchikaihatu.html
徳島県	保安林制度	森林整備課	088-621-2450	https://www.pref.tokushima.lg.jp/jigyoshanokata/sangyo/ringyo/2010110100093
	林地開発許可制度		088-621-2481	https://www.pref.tokushima.lg.jp/jigyoshanokata/sangyo/ringyo/2010110100116
香川県	保安林制度	みどり保全課	087-832-3221	https://www.pref.kagawa.lg.jp/midorihozen/hozen/hoanrin.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.kagawa.lg.jp/midorihozen/hozen/hozen.html
愛媛県	保安林制度	森林整備課	089-912-2598	https://www.pref.ehime.jp/h35900/shinrinhozen.html
	林地開発許可制度			
高知県	保安林制度	治山林道課	088-821-4581	https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030601/hoanrin2.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/030601/rinch.html
福岡県	保安林制度	農山漁村振興課	092-643-3546	https://www.shinsei.elg-front.jp/fukuoka/navi/procList.do?fromAction=10&govCode=40000&keyWord=586
	林地開発許可制度			
佐賀県	保安林制度	森林整備課	0952-25-7136	https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00366767/index.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00365194/index.html
長崎県	保安林制度	林政課	095-895-2984	https://www.pref.nagasaki.jp/download/ApplicationList.php?div_code=42000-07090&dep_code=42000-07&divname=%E6%9E%97%E6%94%BF%E8%AA%B2&depname=%E8%BE%B2%E6%9E%97%E9%83%A8&flg=2
	林地開発許可制度			
熊本県	保安林制度	森林保全課	096-333-2451	https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/93/1872.html
	林地開発許可制度		096-333-2450	https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/93/50614.html
大分県	保安林制度	森林保全課	097-506-3867	https://www.pref.oita.jp/soshiki/16200/hoanrin.html
	林地開発許可制度		097-506-3863	https://www.pref.oita.jp/soshiki/16200/rintikaihatukyokaseido.html
宮崎県	保安林制度	自然環境課	0985-26-7163	http://202.75.8.137/kense/shinse-todokede/shinsesho/shizenkankyo/index.html
	林地開発許可制度			http://202.75.8.137/kense/shinse-todokede/shinsesho/shizenkankyo/rinchikaihatsu/index.htmlhttp://202.75.8.137/kurashi/shizen/rinchikaihatsu.html
鹿児島県	保安林制度	森づくり推進課	099-286-3390	https://www.pref.kagoshima.jp/ad07/sangyo-rodo/rinsui/shinrin/hoanrin/g0317.html
	林地開発許可制度		099-286-3392	https://www.pref.kagoshima.jp/ad11/rintikaihatu.html
沖縄県	保安林制度	森林管理課	098-866-2295	https://www.pref.okinawa.jp/site/norin/shinrin/hozen/hoanrinnokanri.html
	林地開発許可制度			https://www.pref.okinawa.jp/site/norin/shinrin/hozen/rinchikaihatunokyoninka.html

出典：林野庁ホームページ[113]より

[113] 出典）林野庁「保安林ポータル都道府県連絡先」p.2
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/attach/pdf/h_portal-1.pdf>（2022.1.31 閲覧）

2.9 環境への配慮

2.9.1 一般的事項

水力発電事業を円滑に進めるためには、環境・近隣に及ぼす影響に関して詳細な事前調査・検討を行うとともに、地域との合意形成に努めることが重要です。水力発電事業を計画している場合は、簡易的であっても必ず環境影響調査を行うことが望まれます。用地開発や水力発電設備の設置に伴う環境影響として、騒音の発生、景観の劣化、造成・設置による生態系への影響等が挙げられ、これらの事象が発生する場合は、事業計画の変更等の予防策が必要となります。

水力発電設備は山間部に設置されるケースが多く、また発電設備も小屋程度の大きさとなるため騒音や景観の劣化が深刻な問題になることは現状ではさほど多くないと言えます。しかし、これらの事象が発生しているにもかかわらず適切な改善策が講じられない場合は、近隣住民等からの訴訟等トラブルが拡大することも想定され、最悪の場合には事業中止に至ることもあり得ます。地元関係者との信頼関係が崩れてしまった場合、再構築には時間がかかることから、環境への配慮については慎重に対応することが重要です。

また、生態系への影響を最小限に抑えるため、減水量に配慮し、河川法の水利使用規則にて定められている河川維持流量[114]を確保することが必要です。なお、維持流量の決定については、河川管理者、漁業協同組合、地域住民等と十分に調整・議論して決定します。

(1) 事業者が行う対応策（関係者との協議）

- 近隣住民や水利関係者に対し、事業計画について十分に納得が得られるよう説明・意見交換を行う。
- 地方自治体と、設置工事について問題がないかどうか、事前に協議・確認を行う。
- 地方自治体と連携した事業とする。

(2) 事業者が行う対応策（技術面）

- 発電設備の建屋の防音性能を十分に持たせる。
- 設置前の騒音（川の流れる音等）を測定し、その音量を超えないような設計とする。
- 中小水力発電設備と近隣住民の生活空間との間に十分な距離を設ける。
- 建屋の色や設計に配慮し、周辺環境に馴染むデザインにする。
- 減水区間が少なくなるような設計とする。
- 魚が退避できる深みを作る等の工夫を行う。

---

[114] 本テキスト２章５節８項「維持流量」参照

2.9.2 水力発電事業における環境の保全について

水力発電は自然に循環する水の落差を利用して発電を行うためその発電過程で有害な物質の発生や排出がないため優れたクリーンエネルギーと言えます。しかしながら水力発電所が配置される立地箇所は自然環境が豊かであることが多く、2.9.1 で述べたとおり発電所建設に際して自然環境への配慮等を地元関係者から要望される可能性があります。このため、発電所建設に伴いどのような環境への影響が生じる可能性があるのか、早い段階で把握しておくことが需要です。以下、水力発電事業による環境への影響等について概説します。

(1) 水力発電事業による環境への影響について

水力発電所の設置、運用に伴い河川環境へ影響がある事項として表-2.9.1 に示すようなことが挙げられます。

表-2.9.1 水力発電事業により環境へ与える影響について

項目	想定される影響
ダム、発電所など大規模の土木構造物の設置、ダム・貯水池の設置による土地の改変、水没による植生の消滅、動物の生息域に及ぼす影響	➢ ダム等の大規模構造物、発電所等の設置に伴う、地形改変、植生の伐採、貯水池の湛水に伴い、動植物の生息・生育環境が消滅、または、減少し、そこに生息・生育する生物の個体数、生物種の減少、消失等の影響が生じる。 ➢ 生物の個体数、種の減少、消失に伴う、影響を受けた生物を捕食する生物が影響を受け、食物連鎖の変化に伴う、地域の生態系に影響を与える。 ➢ 河川域では、ダムの設置により魚類移動への障害が生じ、河川環境の連続性が分断される。
貯水池、調整池等の設置に伴う停滞水域の発生による水温・水質への影響※	➢ ・冷水放流問題：流入水の貯留に伴う中低層水の水温が低下し、この冷水放流による、下流域の魚類の生息環境、稲作の成長等に影響を及ぼす。 ➢ 温水放流問題：流入水の貯留に伴う表層水の水温が上昇し、この温水放流により、主に下流域の魚類の生息環境等に影響を及ぼす。 ➢ 放流濁水の長期化問題：洪水時等に流入する濁水を貯留、放流することによる下流域の濁水の長期化に伴う魚類の生息環境や、かんがい、都市用水等の水利用に影響を及ぼす。 ➢ 富栄養化現象の問題：流入する窒素、リン等の栄養塩類が、これを栄養源とする植物プランクトンが貯留水の滞留や気象条件等により、異常増殖し、水の華、アオコ等が発生することで、貯水池の景観障害、異臭の発生や、これら貯留水を放流することによる魚類の生息環境への影響、都市用水等の浄水障害、異臭味障害が発生する。
発電所の運用に伴う自然環境、生活環境への影響	➢ 水路式発電所の設置、運用に伴い、発電取水口から放水口までの間の河川区間が減水することによる河川景観、水生生物、水質等に影響を及ぼす。 ➢ 水車、発電機等の回転等による騒音、振動、低周波振動等が発生することがある。 ➢ 発電所及び水槽、水圧鉄管など発電用設備の設置による自然景観へ影響が生じる。
工事中の自然環境、生活環境への影響	➢ 発電所の設置工事に伴う濁水、騒音、振動等の発生、工事用資機材、発生土の運搬による地域の生活環境、交通等に影響を及ぼす。 ➢ 発電所の設置工事や工事用道路の設置に伴う濁水、騒音、振動が周辺に生息する動植物の生息に影響を及ぼす。

※ ダム式の水力発電所など、貯水池が形成される場合

現実には、設置地点の地形、自然環境、地域社会等の状況、特性等により影響の程度、範囲、性質が異なるものの、水力発電事業により周辺環境に対して何らかの影響を与えることは避けられません。水力開発は環境保全上特に配慮が求められる自然環境が豊かな山間部で行われることが多く、自然環境の保全、調和には十分な配慮が必要とされます。また、最近は、開発地点も上流山間部から中下流域に広がり人の生活圏の近傍で開発されることも多くなり、相応の対策も必要となってきました。

表-2.9.4 は水力発電所の主要な発電方式毎に想定される供用時及び工事中の自然環境、生活環境等への影響を示したものです。これら、各発電方式を踏まえて、予め想定される環境への影響について把握し、環境への配慮を検討していくことが事業を円滑に進める上では重要となります。

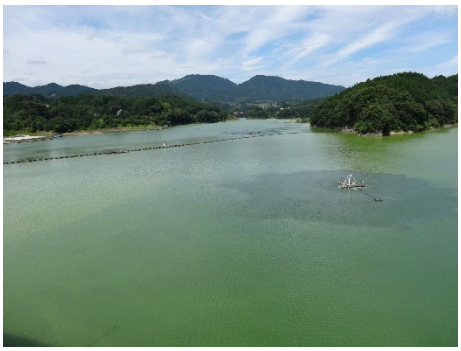
河川環境への影響は発電地点によって様々要因があり容易に予測することは難しいといえます。発電計画地点が概ね定まった段階で、河川環境の分析に長けている環境調査会社または建設コンサルタントへ、河川環境への影響把握、及びその対策について事前に相談することも有効です。

表-2.9.2 環境への影響について（減水区間の出現事例）

<table>
<tr><th>項目</th><th colspan="2">環境への影響</th></tr>
<tr><td rowspan="4">ダムや取水堰下流の減水区間の発生</td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">ダム下流の河道には放流が無く、減水区間となっている。</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">発電取水堰下流の河道には殆ど放流が無く、減水区間となっている。</td></tr>
</table>

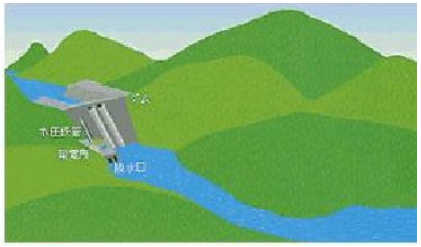
※ 写真撮影；八千代エンジニヤリング株式会社

表-2.9.3 環境への影響について（ダム貯水池式の事例）

<table>
<tr><th>項目</th><th colspan="2">環境への影響</th></tr>
<tr><td rowspan="2">冷水放流</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">水温差があることで、河川に放流後も暫く混合することができない。
（この事例は、濁水による密度差の影響も含まれる）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">濁水放流
放流濁水の長期化</td><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">清澄な河川に濁度の高い発電放流水が長期にわたり放流され、河川を濁水化する。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">富栄養化</td><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">貯水池の富栄養化により植物プランクトンが異常増殖し、アオコが発生</td></tr>
</table>

※ 写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

表-2.9.4 発電方式毎の環境へ与える影響について

方式	ダム式	ダム水路式	水路式
概略図			
概要	河川をせき止めて流水を貯留しダム直下に設置した発電所に水圧管路を通して貯留水の落差を利用して発電する。発電に使用した水はダム直下の発電所から下流河川に放流される。	河川をせき止めて流水を貯留し、貯水池から取水した水を導水路や水圧管路を通してダム下流河川等に設置した発電所で貯留水の落差を利用して発電する。発電に使用した水は、発電所から下流河川に放流される。このため、ダム～発電所の間の河川は減水区間となる。	河川を堰上げして取水した水を導水路や水圧管路を通して、下流河川等に設置した発電所で、河川勾配で生じた落差を利用して発電する。発電に使用した水は発電所から下流河川に放流される。このため取水堰～発電所の間の河川は減水区間となる。
想定される環境影響	【供用時】 ・発電施設の設置に伴う動植物等周辺自然環境、生態系への影響 ・ダムによる河川環境の連続性の分断 ・ダムによる貯留に伴う冷水放流、温水放流、放流濁水の長期化及び富栄養化に伴う水質障害による河川環境、水利用への影響 ・発電施設の運転に伴う騒音、振動、低周波振動等による周辺の生活環境への影響 ・発電所、水圧鉄管、調整槽等の発電施設の存在による、景観への影響 【工事中】 ・発電所の設置工事に伴う濁水、騒音、振動等の発生、工事用資機材、発生土の運搬による地域の生活環境、交通等への影響 ・発電所の設置工事や工事用道路の設置に伴う濁水、騒音、振動が周辺に生息する動植物の生息への影響	【供用時】 ・発電施設の設置に伴う動植物等周辺自然環境、生態系への影響 ・ダムによる河川環境の連続性の分断 ・ダムによる貯留に伴う冷水放流、温水放流、放流濁水の長期化及び富栄養化に伴う水質障害による河川環境、水利用への影響 ・発電施設の運転に伴う騒音、振動、低周波振動等による周辺の生活環境への影響 ・ダム～発電所が減水区間となり、河川景観、水生生物、水質及び河川利用等への影響 ・発電所、水圧鉄管、調整槽等の発電施設の存在による、景観への影響 【工事中】 ・発電所の設置工事に伴う濁水、騒音、振動等の発生、工事用資機材、発生土の運搬による地域の生活環境、交通等への影響 ・発電所の設置工事や工事用道路の設置に伴う濁水、騒音、振動が周辺や下流河川に生息する動植物の生息環境、水利用への影響	【供用時】 ・発電施設の設置に伴う動植物等周辺自然環境、生態系への影響 ・取水堰による河川環境の連続性の分断 ・発電施設の運転に伴う騒音、振動、低周波振動等による周辺の生活環境への影響 ・取水堰～発電所が減水区間となり、河川景観、水生生物、水質及び河川利用等への影響 ・発電所、水圧鉄管、調整槽等の発電施設の存在による、景観への影響 【工事中】 ・発電所の設置工事に伴う濁水、騒音、振動等の発生、工事用資機材、発生土の運搬による地域の生活環境、交通等への影響 ・発電所の設置工事や工事用道路の設置に伴う濁水、騒音、振動が周辺や下流河川に生息する動植物の生息環境、水利用への影響

※　概略図はハイドロバレー計画ガイドブック[115]より

[115] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 P. 3-3
<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf>（202.1.31 閲覧）

表-2.9.5 各発電所の環境への対応実績（維持放流）

	ダム式	ダム水路式	水路式
事業者	秋葉ダム（電源開発(株)） 秋葉第二、秋葉第三発電所（電源開発(株)）	佐久間ダム（電源開発(株)） 佐久間発電所（電源開発(株)）	樫尾取水堰（関西電力） 吉野発電所（関西電力）
概況	 ダム直下の発電所から河川に維持放流を行う。	 貯水池の取水設備から取水してダム下流の発電所から維持放流を行う。	 取水堰から取水して下流の発電所から維持放流を行う。
事業者	緑川ダム（国土交通省） 緑川第一発電所（熊本県企業局）	高遠ダム（長野県企業局） 春近発電所（長野県企業局）	水窪取水堰(電源開発) 水窪発電所(電源開発)
概況	 ダム直下の発電所から河川に維持放流を行う。	 ダムサイト左岸の取水口より取水してダム下流の発電所から維持放流を行う。	 取水堰から取水して下流の発電所から維持放流を行う。

※ 写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

2.9.3 希少猛禽類

発電設備の設置において、取水堰をはじめ沈砂池、導水路、ヘッドタンク、水圧管路、発電所、放水路の築造の際に森林伐採、地形改変を実施する場合、周辺環境への配慮事項として、希少猛禽類の生息の可能性について把握する必要があります。

特に、山間部ではイヌワシ、クマタカ等の種の保存法による国内希少野生動植物種に指定され、環境省レッドリストにおいても絶滅危惧ＩＢ 類等のカテゴリーの高いランクに指定されている猛禽類の営巣地が近傍に存在する場合、最低でも２繁殖期以上の現状把調査が必要となり、工事中の繁殖活動への配慮なども含めて事業工程に影響を与えます。また、猛禽類においては自然保護団体、愛護団体等の活動も活発な場所もあり、場合によっては発電所建設地点の見直し、計画規模の変更を含めた撤退の判断が必要になります。

表-2.9.6 猛禽類の行動圏と事業計画の関係

行動圏	事業計画との関係
営巣中心域	営巣場所から概ね 500m の範囲。森林伐採、地形改変等の行為は極めて難しい。また、工事を行う際も、繁殖期（営巣期）の工事は中断が必要となる。
高利用域	繁殖期（営巣期）の工事は、繁殖行動を確認しつつ、中断、コンディショニング等の保全措置が必要で、工事工程に影響する。

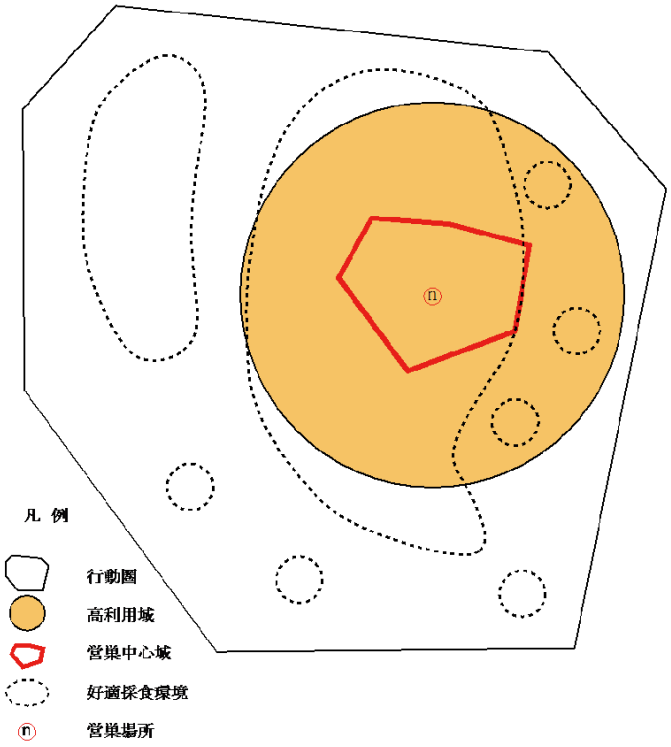


図-2.9.1 オオタカの行動圏の模式図[116]

[116] 環境省「猛禽類保護の進め方（改訂版）」平成 24 年 12 月 p.30
<https://www.env.go.jp/nature/kisho/guideline/pdf/guide_h2412.pdf>（2022.1.31 閲覧）

イヌワシ、クマタカ、オオタカといった希少猛禽類の生息環境は環境省の「猛禽類保護の進め方」では概ね以下のとおり[117]とされています。

（イヌワシ）

- 山岳帯を中心とする地域に生息
- 営巣場所は、特に地形が急峻な場所で、切り立った岩場や大木等巣をかけるのに適した環境
- 積雪の多い地方では、ほとんど全てが岩場の巣であり、岩がオーバーハングしていたり、岩穴になっていたりして、雪や雨が直接入らないようになっている岩棚
- 巣のある斜面は南向きが多い傾向があるものの、地形的な条件に左右される場合も多く、必ずしも一定していない。
- 営巣に適した岩場のない地域では、樹木に営巣する場合がある。

図-2.9.2　日本におけるイヌワシの分布[118]

[117] 環境省「猛禽類保護の進め方（改訂版）」平成 24 年 12 月 より作成
<https://www.env.go.jp/nature/kisho/guideline/pdf/guide_h2412.pdf>（2022.1.31 閲覧）
[118] 環境省「猛禽類保護の進め方（改訂版）」平成 24 年 12 月 p.16
<https://www.env.go.jp/nature/kisho/guideline/pdf/guide_h2412.pdf>（2022.1.31 閲覧）

（クマタカ）

- クマタカの生息環境は森林地帯であり、山地の中下部に営巣可能な大径木が存在することが重要である。
- クマタカの営巣場所の標高については、300～800ｍあるいはその前後に収まることが一般的である。ただし、地域によっては低いところで 50ｍ前後といったほとんど平地に近い場所や、逆に高いところでは 1,500m 付近といった高地に巣を構えることもある
- クマタカはすべて樹上に巣を造るが、その営巣木の生えている位置は谷の急斜面であることがほとんどであり、その斜度は 20～50 度程度であることが多い
- 営巣木のある斜面の向きについては、地域によっては南向きが多いものの、基本的には営巣に向くような地形や植生（営巣に適した樹木の存在等）に左右されるため、必ずしも一定しているわけではない

図-2.9.3　日本におけるクマタカの分布[119]

[119] 環境省「猛禽類保護の進め方（改訂版）」平成 24 年 12 月 より作成 p.24
<https://www.env.go.jp/nature/kisho/guideline/pdf/guide_h2412.pdf>（2022.1.31 閲覧）

（オオタカ）

- 日本では、山地から都市緑地、海岸林まで幅広い環境に生息
- なかでも平地から丘陵地帯にかけての農耕地などの開けた環境と樹林が混在する環境が主な生息地
- 営巣環境は、孤立林から大面積の森林、針葉樹林、落葉樹林、照葉樹林まで様々
- 地形的な特徴としては、傾斜地では、尾根のような高い場所よりも、谷などの低い位置に営巣することが多い
- 林内構造としては、密生した林ではなく、林内空間のあいた林に営巣することが多い

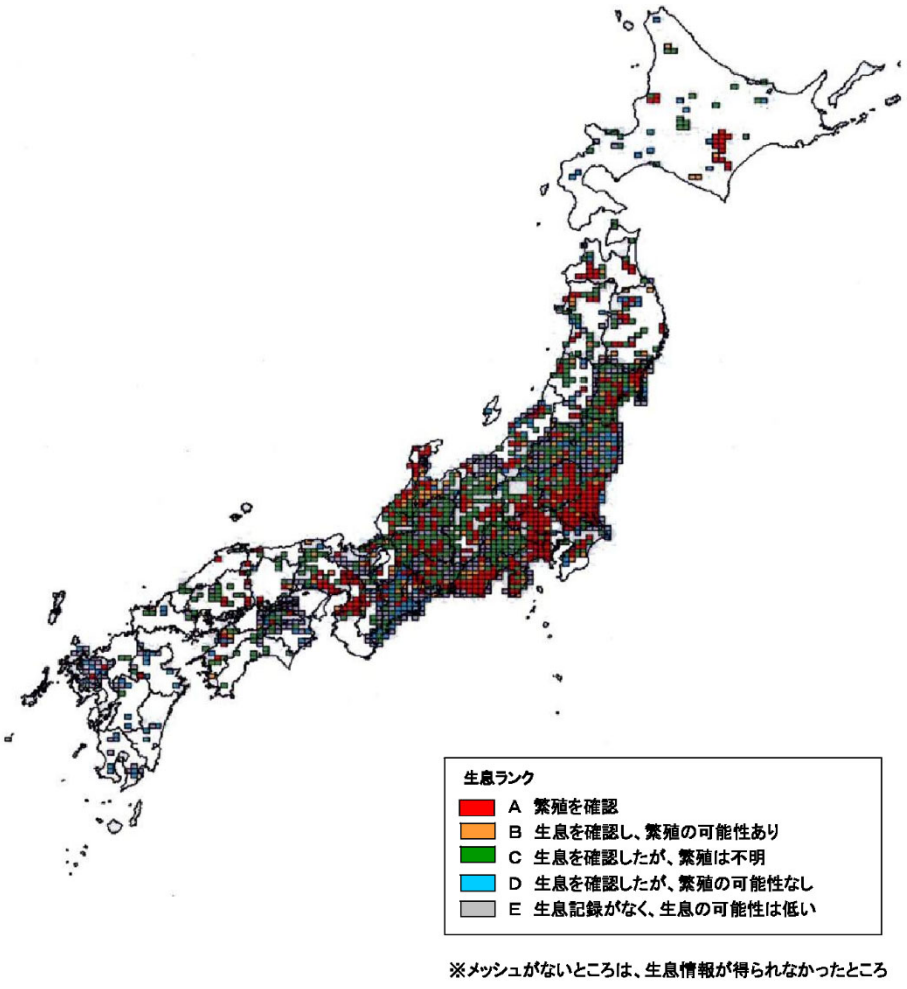


図-2.9.4 日本におけるオオタカの分布[120]

[120] 環境省「猛禽類保護の進め方（改訂版）」平成 24 年 12 月 より作成 p.26
<https://www.env.go.jp/nature/kisho/guideline/pdf/guide_h2412.pdf>（2022.1.31 閲覧）

希少猛禽類の営巣などの有無は、発電事業のスケジュールへの影響が生じる場合もあります。発電計画地点における希少猛禽類の存在の有無については、あらかたの発電設備の位置が決まった段階で、事前に専門家へ相談してみるのも良いでしょう。

2.10 事業用地

水力発電事業は、少なくとも 20 年以上の長期にわたり事業を継続することが前提であり、水力発電用地の使用権原を保有し続ける必要があります。また、水力発電の場合は発電用地のみでなく、取水地点や導水設備等の水路ルート（取水設備、沈砂施設、導水路、ヘッドタンク、水圧管路、水車、放水路）すべてにおいて土地使用権原の確保が必要となります。これらの土地は民地や共有地の他にも、公有地（国有林、林道、河川区域等）であることが多いため、行政や自治体から土地使用許可等を得る必要があります。

なお、FIT 事業計画認定の取得にあたっては、認定基準として、「再生可能エネルギー発電設備を設置する場所について所有権その他の使用の権原を有するか、又はこれを確実に取得することができると認められること」とされており、土地の使用権原を証する以下の書類が必要となるため注意が必要です。

【発電設備を設置する場合の必要書類】

① 土地の登記簿謄本（全部事項証明書）※1
　①の土地の登記簿謄本（全部事項証明書）に記載される権利者と、申請者が異なる場合には以下②、③も必要。ただし、10kW 未満太陽光発電設備の場合は③は不要。

② 売買契約書の写し、賃貸借契約書の写し、地上権設定契約書の写し等※2で①の土地の使用の権原を有すること又はこれを確実に取得することができることをする書類※3
　（契約書は停止条件付でも可）

③ 契約当事者双方の印鑑証明書※1（地方公共団体等の場合は公印規程または公印台帳）

※1 申請日より 3 か月前から当該申請日までの間に発行された原本とする。なお、申請日は紙申請及び 50kW 未満太陽光発電設備以外の電子申請の場合は、申請書類が担当部署へ到達した日、50kW 未満太陽光発電設備の電子申請であれば申請状態が「設置者承諾済」になった日とする。

※2 土地・建造物を無償で使用することで同意が得られている場合は、「土地・建造物の【屋根／屋上】の無償使用に関する同意書」の提出でも可とする。なお、①の登記簿謄本及び③の印鑑証明書に記載される権利者、地番・住居表示と同一であることが確認できない場合は、同一であることを証明できる書類を別途添付すること。

※3 10kW 未満太陽光発電設備の場合を除き、原則として売主・貸主（所有者）と買主・借主（申請者）双方の実印の押印が必要。ただし、既に認印により契約を締結した場合又は契約後に印鑑登録を変更した場合には、「押印証明書（契約書等に認印を押印した場合）」又は「押印証明書（印鑑登録を変更した場合）」を作成し、実印が押印されたものを提出していただくことで当該申請が適切であると判断する。

水力発電所の立地は一般的に山間奥地が多く、水路ルートの延長が数キロにも及ぶ場合もありますが、前述のとおり FIT 事業計画認定の取得にあたっては該当するすべての土地

権原を確保する必要があります。一方で、山間地（地目が「山林」）であることから、これまで公図の整備や相続登記が行われず、所有者不明となっている土地が多い傾向にあります。また、用地が国有林の場合には所管の森林管理署と国有林野法及び森林法に基づく手続きについて事前打ち合わせを行う必要もあります。

このように、土地調査（用地境界の調査）を含めて、土地権原の取得には相手先が多数存在することもあり、多大な労力と相当の期間が必要となることから、早期の段階から検討・交渉を行う必要があります。

土地調査（用地境界の調査）を含めて、土地権原の取得には多大な労力と相当の期間が要することとなるため、早期の段階から検討・交渉を行う必要があります。特に所有者が点在している場合は権原の取得に長期間を要することから、早めに土地調査家屋士へ相談することが有効となってきます。

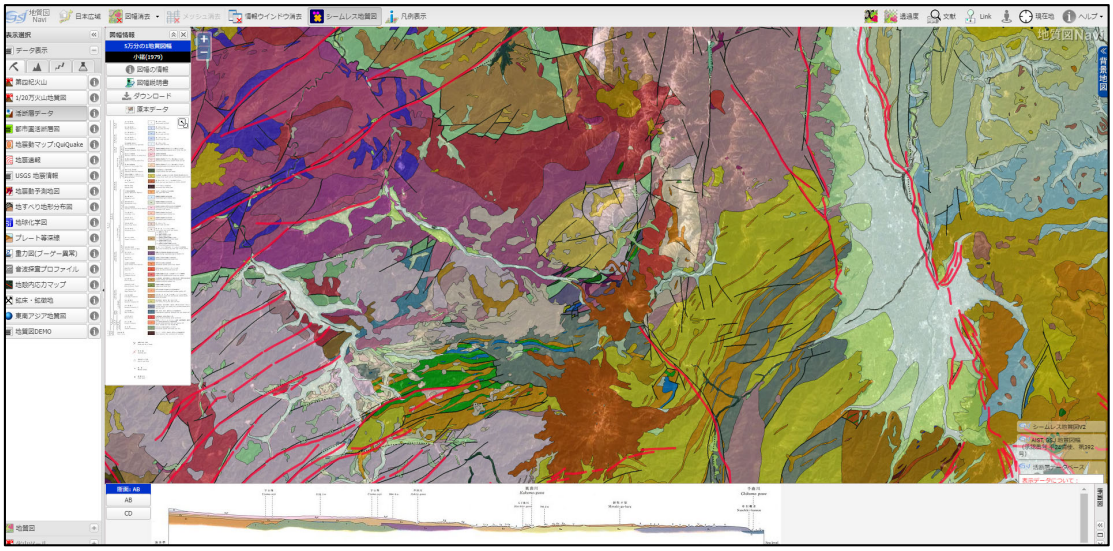
2.11 事業化判断（第 1 ゲート）

これまで机上調査によるさまざまな検討や確認の方法を概説しましたが、ここでではその結果を基に次の事業段階（F/S 調査を実施する段階）に進むか否かの判断について説明します。次の F/S 調査に入った段階では測量、地質、および設計業者（建設コンサルタント、メーカーなど）への委託を行う場合もあることから、ある程度のコストがかかりますが、折角こういったコストをかけて調査や設計を進めても、最終的に各種許認可の取得ができなかったり、可能な発電規模が想定より少なかったりすると、そこで大幅な計画の見直しが必要になり手戻りが生じてしまいます。このため、机上調査結果による精度とはいえ、この第 1 ゲートでの判断も重要になります。

(1) 地形、地質リスク

地形・地質的なリスクとして、活断層や防災関連の危険箇所、法令上の警戒区域（地すべり、雪崩、土石流など）といったものがあります。これらの詳細は F/S 調査時点で現地踏査等により確認をすることになるため、机上調査段階で、これらに該当するエリアだからと言って即座に“事業撤退”という判断まで至る必要ありません。しかしながら、事業者として机上調査の段階で「このエリアにはリスクがあるのだな」という意識を持っておくことは重要です。

こういったリスクを簡易的に確認するには、本テキストで紹介した「地質図 Navi」や「土砂災害警戒区域等マップ」など、自治体が公開している WEB サイトを積極的に活用すると良いでしょう。



地質図 Navi[121]の画面　※赤い線が活断層

121 出典）国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター「地質図 Navi」<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>（2022.1.31 閲覧）

(2) 流量、最大出力、発電電力量、概算コスト

近頃では全国各地の流量データの公表が進んでいて、インターネットにより比較的容易に全国各地の流況を確認することができます。また、国土地理院の電子地図（電子国土 Web）を利用して落差も確認ができることから、簡易的に出力や年間発電電力量を算定できます。これに加えて環境省の手引きなどを基に概算コストを出すことで、おおむねの事業規模を求めることが可能です（これら手順については 2 章 3 節、2 章 4 節を参照してください）。事業者として得たい発電電力量の規模や、投入できる資金規模などがこの段階で大きく違っていないか（桁が違うほどずれていないか）をこの段階で確認しておきましょう。

なお、上記については新エネルギー財団の「流量・流況データベース[122]」であれば流況算定から発電出力の計算までを一貫して支援してくれますので是非活用してください。

(3) 河川協議（水利権協議）

水力発電の計画地点が河川協議の対象となる（発電設備の設置エリアが河川区域内にある）場合、概略の発電設備の位置や取水量を決めた段階で、河川管理者（国または県）へ事前相談を行いましょう。そしてその結果より、河川管理者から求められる許認可の条件を確認の上で、そのハードルのレベル感を吟味します。この吟味の際には専門知識が必要になることから場合によっては専門業者（建設コンサルタント等）へ相談することが望ましいと言えます。特に河川法第 23 条の流水の占用については、維持流量の取り扱い、発電取水による河川環境への影響（悪影響が無いか）、といったところについて技術的な整理が求められることから、そのことへの対応の実現性（河川管理者からの技術的なリクエストに事業者として対応できるか否か）をよく見極めることが重要です。

その他の事項含めて水利権申請には時間がかかることが多いことから、仮に河川協議が難航することが予想される（許認可への技術的検討のハードルが高い、関連するステークホルダーとの調整に時間がかかることが予想される等の）場合は、開発地点の変更も視野に入れることを併せて検討したほうが良いでしょう。

(4) 電力系統

発電した電気を系統へ接続する場合（連係する場合）は、送配電事業者との調整が必要になります。特に系統容量の空きが無い場合はその時点で連係が不可となり事業化が困難になります。このため、まずは本テキストで紹介した送配電事業者への事前相談の制度を活用しましょう。また、系統接続にあたって必要となる費用負担についても、小規模の出力の連係であってもローカル系統や電源線の増強に数億円単位の負担が生じるケースもあることから、事前相談の段階で可能な限り必要となる事業者側の費用負担額を推算することが重要です。これら検討結果より、系統の空きが無い、または多額の費用負担が生じる場合は、

---

[122] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「流量・流況データベース」<https://ryuryodatabase.nef.or.jp/>（2022.1.31 閲覧）

開発地点の変更等を視野にいれることも検討しましょう。

(5) 環境保全関係法令

本テキストで紹介したとおり環境保全関連の法令に基づき、当該エリア内に発電所の設備が設置される場合は、河川協議同様、管理者との協議・申請が必要となります。特に自然公園のうち特別保護区、第一種から第三種特別地域は管理者に対する許認可の申請協議が必要になることから、許認可までに時間がかかる場合があります。

上記より、あらかたの発電所の計画位置等が定まった段階で水利権協議と同様に事前相談を行い、許認可までの各種対応にかかる時間、コストなどを念頭に同地点で事業を進めるか、その他の開発地点へ変更するかの判断を行うことが重要となります。

(6) 保安林

発電設備の設置箇所が保安林指定されている場合は、必要に応じて解除申請が必要になります。保安林解除についてもその重要度に応じて許認可にかかる時間が長くなることから、環境保全関係法令、水利権協議と同様に事前協議によりそのあたりの時間と労力を見据えつつ事業を進める必要があります。

(7) 環境の保全

水力発電所の設置に伴う河川からの取水により一部区間で流量が減少したり、新たに取水堰を新設する場合は河川に落差がついたりすることから、特にその河川に生息する魚類への影響が大きくなります。この魚類についての当該河川のステークホルダーとしては主として地元の漁協組合等が対象となりますし、農業用水路に設置する場合は地元の土地改良区、水道施設なら水道事業者（市町村、事業団など）がステークホルダーとなります。この机上調査の段階で、発電所設置に関してどういった利害関係者が存在するのか、および魚類を含めた貴重種の有無などについて、F/S 調査への移行がスムーズに行えるように、公表されている資料にて様々確認しておいた方がいいでしょう。また、必要に応じてステークホルダーへ事前の説明を行い、合意形成に向けた双方の信頼関係の構築を始めておくことも有効です。ただし、この段階で既に相手側との合意が難しいようなケースでは、計画地点の見直し等の判断を視野に入れる必要があります。

発電計画地点で希少猛禽類の存在が明らかになった場合（または可能性が高い場合）は、その対応として長期間の調査や施工段階での工事工程の調整などが必要になることから、場合によっては事業が長期化する可能性があります。このため、猛禽類については地形的や周辺環境的にその生息の可能性が考えられる場合は、事前に専門家へ相談することも有効です。

(8) 事業用地

発電設備を設置する場合、取水堰をはじめ沈砂池、導水路、ヘッドタンク、水圧管路、発電所、放水路、と広範囲に用地が必要になります。たとえば FIT 認定をとる場合は「用地（権原）を取得、または明確な目処がたっていること」が求められますし、水利権の取得についても同様です。テキストにも記載したとおり、水力発電所は山間部に設置されることが多いため、相続登記が行われず所有者が不在のケースも多いことから、ここで述べた他の項目（許認可など）の状況を勘案しつつ、この机上調査の段階で、用地取得の具体的な作業にとりかかることが望ましいでしょう。仮にこの作業によって用地取得が難しいという結論に至った場合は撤退や開発地点の変更を含めた判断が必要になります。

以上の項目を整理したものを表-2.11.1 に示します。これはあくまで一般論となりますので、個別の事業においては現地の状況（協議を含む）を踏まえつつ、事業継続か撤退または計画地点の見直しの判断を行うことが重要です。

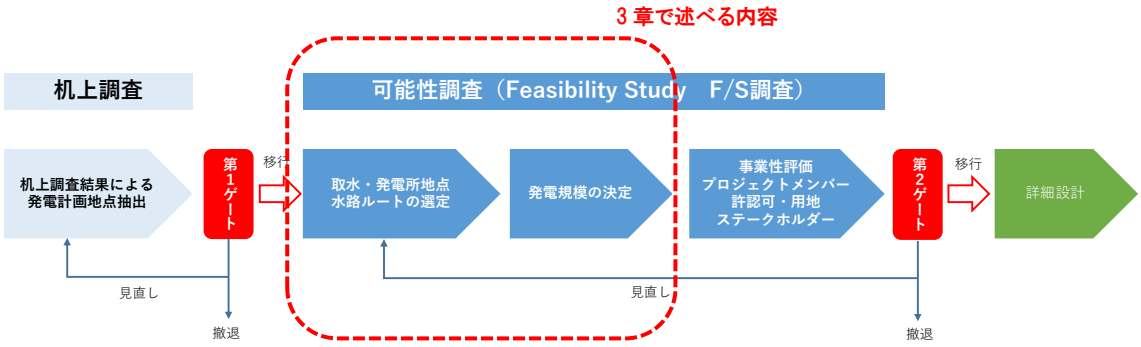
表-2.11.1 事業判断(第 1 ゲート)のまとめ

項　目	机上調査における要点	判　断
地形・地質	公開情報ベースで大きなリスクの有無を確認しておく	特別警戒区域および砂防指定地や地すべり防止区域では、開発行為に対する許可や建築物の構造規制、区域内の行為制限等があり留意が必要
流量、最大出力、 発電電力量、概算コスト	公開情報ベースで事業規模(電力量とコスト）を確認する	事業規模が見合わない場合は撤退、または開発地点の見直しを行う
河川協議 （水利権協議）	事前協議により許認可取得への課題を把握する	許認可を得る見込みが立たない場合は撤退、または開発地点の見直しを行う
電力系統	事前相談により系統の空きの有無、系統接続費用の推算	容量の空きがない、または接続費用に多額のコストがかかる場合は撤退、または開発地点の見直しを行う
環境保全関係法令	事前協議により許認可取得への課題を把握する	許認可を得る見込みが立たない場合は撤退、または開発地点の見直しを行う
保安林	事前協議により許認可取得への課題を把握する	許認可を得る見込みが立たない場合は撤退、または開発地点の見直しを行う
環境の保全	関係するステークホルダー、貴重種の有無などを把握する 文献調査や現地確認により猛禽類の生息や営巣の可能性を把握しておく	必要に応じて事前説明を行い、合意形成の実現性によっては撤退、または開発地点の見直しを行う 猛禽類の生息が想定される場合は、詳細な生息確認の調査、及び工事までの各種対応の作業量を吟味した上で、撤退、または計画の見直しを行う
事業用地	他の検討項目を総合的に勘案して、事業化できる可能性が高い場合は、用地取得に向けた具体の調査を開始する	用地を取得できる見込みが立たない場合は撤退、または開発地点の見直しを行う

3章　水力発電所の基本設計

本章では 1 章 3 節で述べた「水力発電事業の進め方」のうち第 1 ゲート[1]を通過した後の事業実施段階における F/S 調査（＝Feasibility Study 調査、プロジェクトの実現可能性調査）について、その実施手順と留意点を説明します。

第 1 ゲートにおいて求める水力規模を得ることができる可能性があり、かつ水利権等の法規制の認可、及び規制解除の見通しや系統容量の空きといった電力系統の制約をクリア出来る地点である場合は事業実施段階へ移行し、本章で説明する F/S 調査（および 4 章で述べる経済的評価を実施して、その結果をもとに実際の施工を行うフェーズ（事業建設段階）へすすむか否かの判断（第 2 ゲートでの判断）を行うことになります。

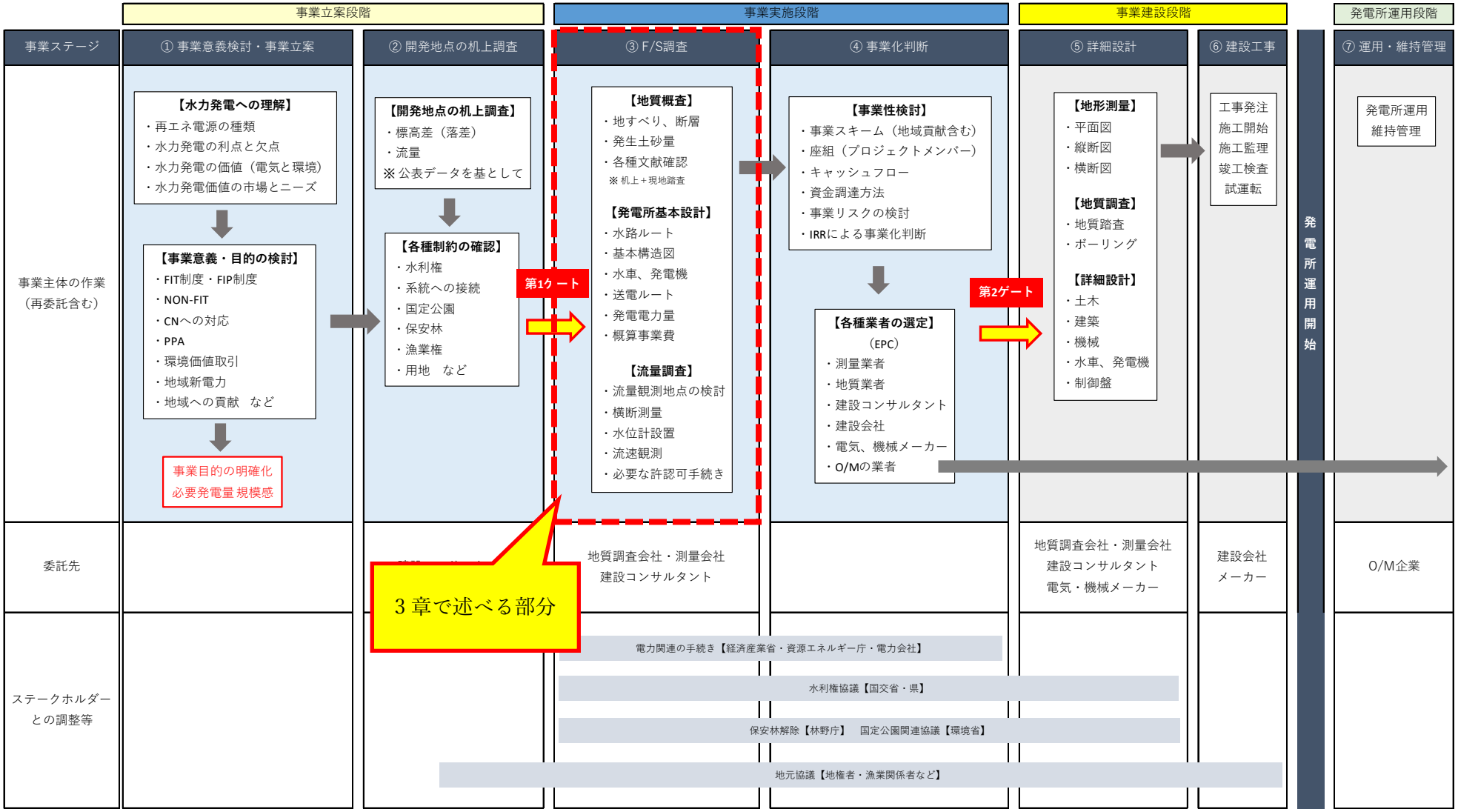


本章で述べる内容

第 2 章で探し出した開発地点に対して、この 3 章ではもう少し細かな発電設備の配置計画を検討します。特にこの 3 章で検討する最大使用水量（発電に用いる最大の流量）や取水地点と発電所の位置関係は事業採算性に大きく影響するため、慎重な検討が必要です。

この基本設計段階になると技術的な専門知識が必要になってくることから、必要であればその分野の専門家に委託することも視野に入れると良いでしょう。この委託先については 3 章 17 節で紹介します。

[1] 本テキスト 2 章 11 節「 事業化判断（第 1 ゲート）参照」



水力発電事業実施の流れ

3.1 地質に関するF/S調査

日本列島は、大陸プレートと海洋プレートがひしめくその場所と、海に囲まれた気象条件により、図-3.1.1に示すとおり地質的なリスクが非常に大きい地域で、山は不安定かつ沢は危険な箇所となります。

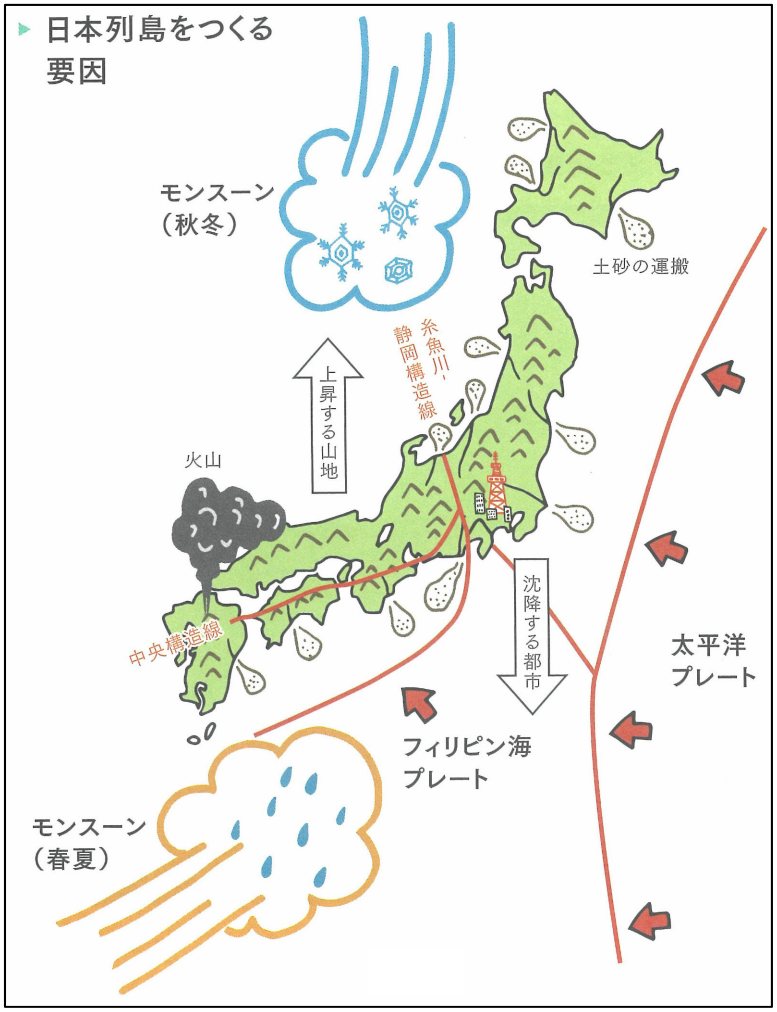


図-3.1.1 日本列島が受ける作用[2]

ここでは、F/S調査段階で把握しておくべく地形や地質のリスクを紹介します。そしてそのリスクの要因となる日本列島が受けるプレートの影響として、日本列島の成立ち、そして地震、火山、また気象条件としての風水害について概説します。

[2] 出典）目代邦康・笹岡美穂（2018）「やさしいイラストでしっかりわかる 縞模様はどうしてできる？岩石や化石から何がわかる？地球の活動を読み解く地層の話 地層のきほん」2018年 大熊整美堂 p.89

3.1.1 地質的リスクの基礎知識

日本列島がもつ地質リスクの主な要因は、“プレート運動”と“気象条件”です。プレート運動により日本列島は形成され、地震や火山噴火も引き起こします。そして風水害の多い気象条件が重なり、土砂災害や風化により地盤が脆弱化することで、構造物建設における様々な地質的リスクを内在するようになります。

(1) 日本列島の成り立ち

日本列島は、もともとはユーラシア大陸の一部でした。しかし、大陸プレートと海洋プレートの影響を受け、現在の日本列島が形つくられました（図-3.1.2）。日本列島の形成について、産業技術総合研究所の研究成果「能登半島北部周辺に刻まれた日本海発達の歴史」をもとに以下に示します。

図-3.1.2 日本列島の形成モデル[3]（回転拡大説）

[3] 出典）橋本純「教養としての『日本列島の地形と地質』」2022 年 PHP 研究所 p.34

Ⅰ．漸新世～前期中新世中頃(約 3,000～1,800 万年前)

日本列島が分離する前のユーラシア大陸では、大陸に直接海洋プレートが沈み込んでいたと考えられています。海洋プレートは海水で冷やされているため、冷たくて重く、マントル深部へ落ち込みます。その反動で深部の高温のマントルが大陸の下に湧き上がりだします。高温のマントルが地下から湧き上がってきたことで、地面が盛り上がり、陸地は左右に引き裂かれながら広がっていきます（図-3.1.3)。同時にマントルの熱で岩石が溶け、それによってできたマグマが火山活動を起こします。

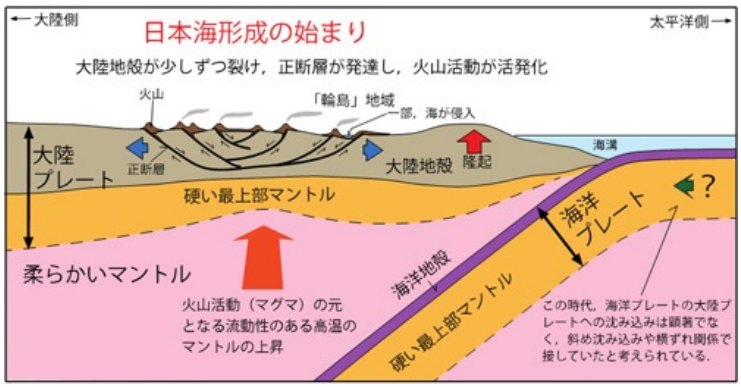


図-3.1.3　日本列島の形成過程[4] Ⅰ

Ⅱ．前期中新世末～後期中新世末(約 1,800～600 万年前)

引き伸ばされた陸地は、薄くなって沈下していき、海水が侵入して海になり日本海が形成されます（図-3.1.4)。日本海が広がる力に押されるように、大陸縁辺部は太平洋側へ動き日本列島が形つくられます。日本海はなおも引き続き引き裂かれ、火山活動が続き、あちこちで海底火山が噴火します。この時期に海底に溜まった泥や砂の地層や海底火山の地層は、のちに日本列島の陸地の一部となります。繰り返し火山活動が続くと、初期につくられた海底火山の地層が、その後の火山活動の影響で変質します。日本列島の各地に分布する緑色変質した凝灰岩(グリーンタフ)はこの時期に形成されたものです。

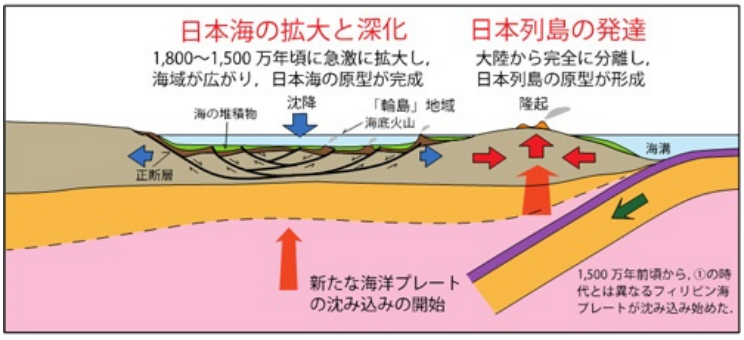


図-3.1.4　日本列島の形成過程[5] Ⅱ

---

[4] 出典）産業技術総合研究所「能登半島北部周辺に刻まれた日本海発達の歴史」
<https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2019/nr20190823/nr20190823.html>（2022.1.31 閲覧）

[5] 出典）産業技術総合研究所「能登半島北部周辺に刻まれた日本海発達の歴史」

Ⅲ．後期中新世末～第四紀(約 600 万年前～現在)

日本海拡大の時代が約 1000 万年続いたあとの約 600 万年前以降は、一転して海洋プレートからギュウギュウと押される時代になります。押された結果、日本海の一部が盛り上がって日本列島の一部になり、日本列島の中心付近も隆起し、山地を形成します（図-3.1.5)。この山地形成時には、隆起しない部分で盆地や湾が形つくられました。

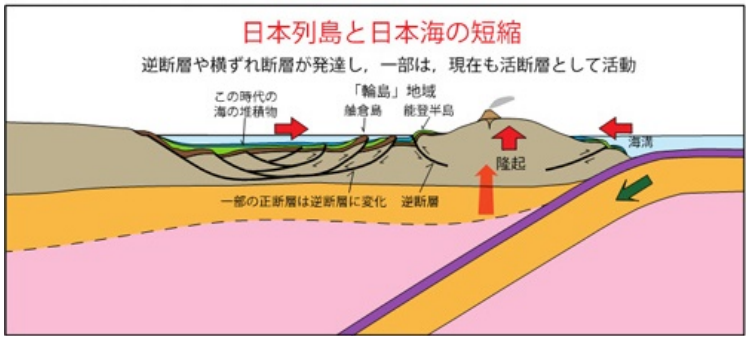


図-3.1.5　日本列島の形成過程[6]Ⅲ

日本列島は、もともとはユーラシア大陸の一部だとされます。その後約 3,000 万年の年月を経て、大陸プレートと海洋プレートの押し合う影響から現在の日本列島が形つくられました。そのようなプレート圧縮場での日本列島の形成は、地質の複雑化とともに断層や褶曲などのたわみやひずみを内在させています。

<https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2019/nr20190823/nr20190823.html>（2022.1.31 閲覧）

[6] 出典）産業技術総合研究所「能登半島北部周辺に刻まれた日本海発達の歴史」
<https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2019/nr20190823/nr20190823.html>（2022.1.31 閲覧）

(2) 地震

日本列島はプレート運動により形成されましたが、このプレートとプレートのせめぎ合いの過程で地震が起こります。日本列島には図-3.1.6 に示すとおり二つの大陸プレート(ユーラシアプレートと北米プレート)と二つの海洋プレート(太平洋プレートとフィリピン海プレート)の四つのプレートがひしめく、世界的にも特異な場に存在します。このため、日本列島は地震の巣となっています。

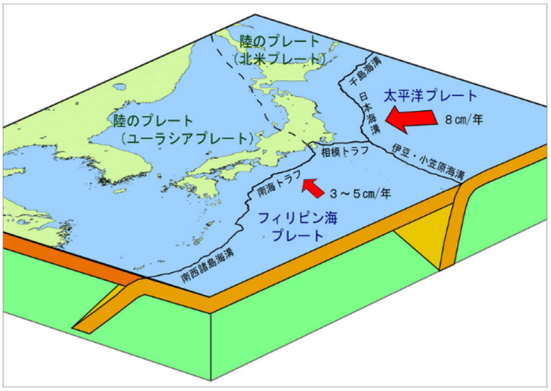


図-3.1.6 日本周辺のプレート[7]

図-3.1.7 に日本におけるマグニチュード 5 以上の地震を示します。これをみるとプレート境界で無数の地震が発生していることがわかります。平成 26 年の防災白書では 2003 年から 2013 年の間に世界中で発生したマグニチュード 6 以上の地震は 1,758 回で、そのうち日本での地震は 328 回を記録しており世界の発生回数の 18.5%を占めています。

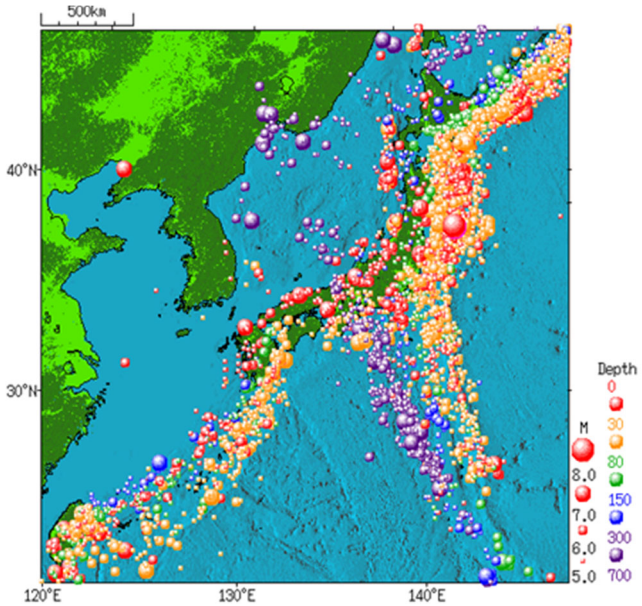


図-3.1.7 日本で発生した地震[8]

---

[7] 出典）国土交通省 気象庁「地震発生のしくみ」日本周辺で地震の起こる場所
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about_eq.html>（2022.1.31 閲覧）

[8] 出典）国土交通省 気象庁「地震発生のしくみ」日本周辺で地震の起こる場所

これら 4 つのプレートの相互作用の結果、図-3.1.8 に示すとおり日本列島では海溝型地震と内陸型地震(または直下型地震、活断層型地震)の二種類の地震が発生します。

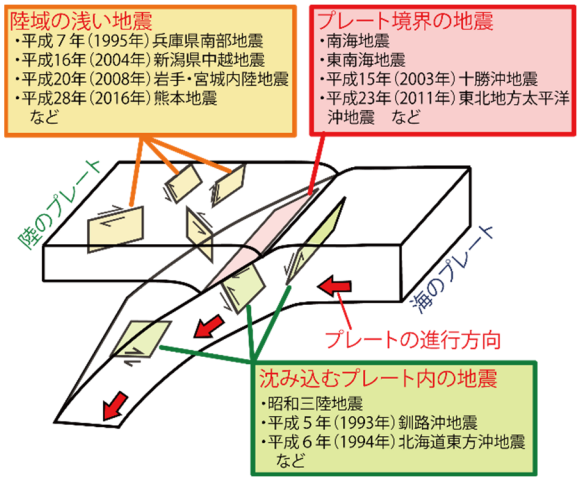


図-3.1.8　日本で発生する地震[9]

海溝型地震は大陸プレートと海洋プレートの境界のズレで発生します。代表例でいえば東日本大震災を引き起こした東北地方太平洋沖地震(2011 年)が上げられます。また発生が危惧される東南海地震も海溝型で、震源は遠いのですが、規模が大きいと被害は甚大で、津波の危険性も高くなります。

内陸型地震は、日本列島をつくっている地盤中の活断層やその周辺がズレて起こる地震です。地震としての規模(マグニチュード)は大きくない場合でも、すぐ下が震源なので揺れが強く、大きな地盤の変位を伴う場合があります。直近では北海道胆振東部地震(2018 年)や熊本地震(2016 年)があり、岩手・宮城内陸地震(2008 年)、新潟県中越地震(2004 年)、兵庫県南部地震(1995 年)なども内陸地震です。

図-3.1.9 に示すとおりプレートの力を受け地盤が破壊しズレた断層について、地下深部で地震を発生させた断層を“震源断層”、地震時に断層のずれが地表まで到達して地表にずれが生じたものを“地表地震断層”と呼んでいます。

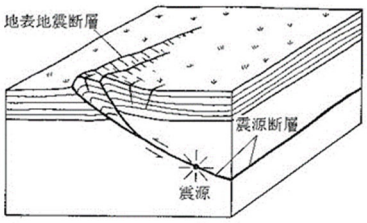


図-3.1.9　地震断層と震源断層[10]

<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about_eq.html>（2022.1.31 閲覧）

[9] 出典）国土交通省 気象庁「地震発生のしくみ」日本周辺で地震の起こる場所
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about_eq.html>（2022.1.31 閲覧）

[10] 出典）松田時彦「活断層」1995 年 岩波書店 p.242

断層のうち、特に数十万年前以降に繰り返し活動し、将来も活動すると考えられる断層のことを“活断層”といいます。現在、日本では 2 千以上もの活断層が見つかっていますが、地下に隠れていて地表に現れていない活断層もたくさんあります。国の研究機関や大学では、この活断層に関する各種調査を行っていますが、国土地理院では地表における活断層の位置と形状を詳細に調査して、活断層図(都市圏活断層図)として公開[11]しています。国土地理院 HP によると、活断層の特徴として以下が示されています。

Ⅰ．一定の時間をおいて、繰り返して活動する

活断層は普段はじっとしています（断層面が固着している）が、断層面を挟む両側の岩盤には常に大きな力（ひずみ）がかかっています。そしてこのひずみが限界に来た時に岩盤が破壊され、断層に沿って両側が互いに反対方向にずれ動きます。この動きで地震が発生し、ひずみは解消されます。その後、活断層は長く動きを止め、次にひずみの限界が来るまでじっとしています。

Ⅱ．いつも同じ向きにずれる

活断層にかかる力のもとはプレート運動で、その運動の向きや速さは長期的には変化しないので、活断層にかかる力も長期的には変わりません。このため、活断層の活動は基本的には同じ動きが繰り返されます。活断層周辺の地形は、このように繰り返された動きの累積により形成されたもので、地形を見ることで活断層の動きの特徴を把握することができます。

Ⅲ．ずれの速さは断層ごとに大きく異なる

活断層が 1 回動いて生じるずれが数mであっても、それが繰り返されると、ずれの量は累積して次第に増加します。この増加していく速さ（平均変位速度）は断層ごとに大きな差があります。「平均変位速度」は、長期的に見た場合の活断層の平均的なずれ量を速度で示したもので、通常は 1000 年あたりのずれの量で表します。これによりその活断層の活動度が分かります。

Ⅳ．活動間隔は極めて長い

私たちが住んでいる日本は、しばしば直下型の大地震に見舞われるため、活断層が頻繁に動く印象を与えていますが、これは日本に活断層の数が多いためで、実は 1 つの活断層による大地震発生間隔は 1000 年から数万年と非常に長いのが特徴です。一方、海溝型地震の発生間隔はこれよりずっと短く、例えば南海トラフを震源とする地震の発生間隔は 100 年程度で、歴史時代に巨大地震（南海地震、東南海地震）を何回も発生させてきています。

Ⅴ．長い断層ほど大地震を起こす

断層の長さが長いものほど、大きな地震を起こす可能性があります。これまでの日本の内

---

[11] 国土交通省 国土地理院「地理院地図（電子国土 Web）土地の成り立ち・土地利用 活断層図 <http://maps.gsi.go.jp/#6/38.419166/137.548828/&base=std&ls=std%7Cafm%7Cafm_spec&blend=0&disp=111&lcd=afm_spec&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m>（2022.1.31 閲覧）

陸直下地震の例では、M7 級の地震では長さ 20km 程度、M8 級の地震では長さ 80km 程度の範囲にわたって地表のずれ（地表地震断層）が現れている例があります。

活断層は、断層運動の変位様式によって表-3.1.1、及び図-3.1.10 に示すようなタイプがあります。

表-3.1.1 断層の基本タイプ

断層の種類	特　徴
正断層	傾斜した断層面に沿って上盤(断層面より上側の地盤)が、“ずり下がった”もの
逆断層	傾斜した断層面に沿って上盤(断層面より上側の地盤)が、“ずり上がった”もの
右横ずれ断層	相対的な水平方向の変位で断層線に向かって手前側に立った場合、向こうの側の地盤が“右にずれ”たもの
左横ずれ断層	相対的な水平方向の変位で断層線に向かって手前側に立った場合、向こうの側の地盤が“左にずれ”たもの

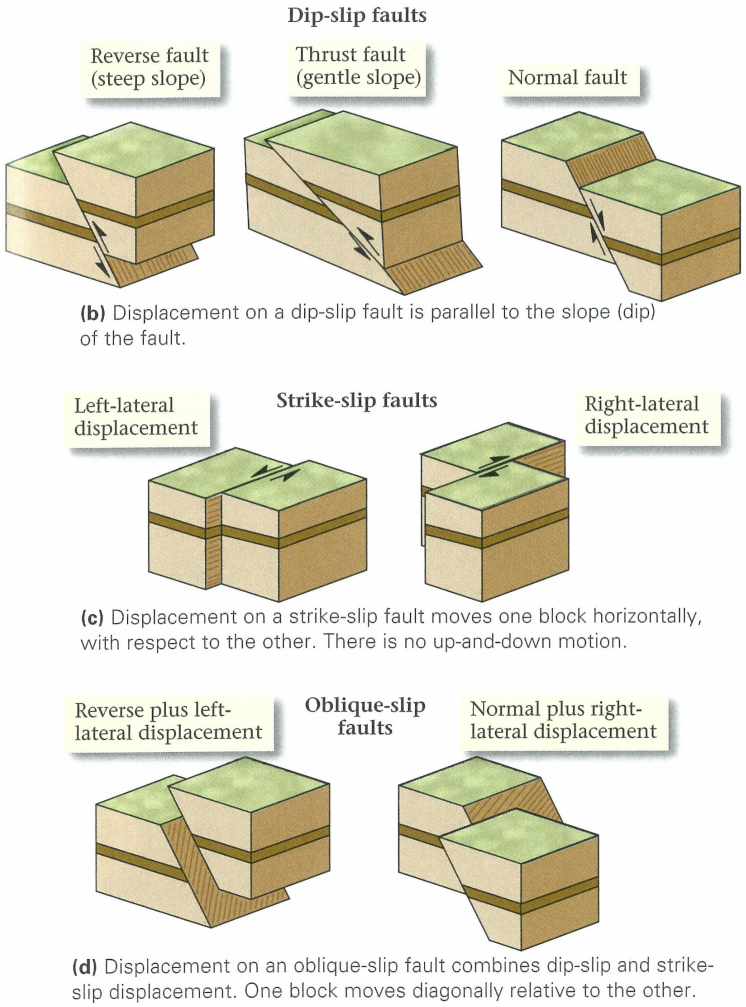


図-3.1.10 断層の種類[12]

[12] 出典）MARSHAK「ESSENTIALS OF GEOLOGY」NORTON p.249

日本列島はプレート運動により形成されましたが、このプレートとプレートのせめぎ合いの過程で地震が起こります。世界的にも地震の巣となる日本列島では、海溝型地震と内陸型地震の二種類の地震が発生し、内陸型地震では、繰り返し活動し、将来も活動すると考えられる“活断層”のリスクも懸念されます。

(3) 火山噴火

火山噴火もまた、プレート運動の影響により引き起こされています。火山噴火は小規模なものから大規模なものまでありますが、小規模だとしても近隣の火山が噴火した場合は被災してしまいます。長野県と岐阜県にまたがる御嶽山の噴火(2014 年)では、登山中の多数の方々が噴石の被害で亡くなっています。長崎県の雲仙普賢岳の噴火(1991 年)では、火砕流により多くの人が亡くなっています。東北地方太平洋沖地震(2011 年)以降、日本列島の火山活動は活発化しており、2021 年 10 月には阿蘇山の噴火（図-3.1.11）のほか、2021 年 8 月に発生した小笠原諸島・福徳岡ノ場の海底火山噴火では、噴火に伴い噴出した軽石（図-3.1.12）が沖縄周辺に押し寄せ、船舶の航行、漁業、観光等に対する様々な被害が生じています。

図-3.1.11 阿蘇山で発生した噴火[13]

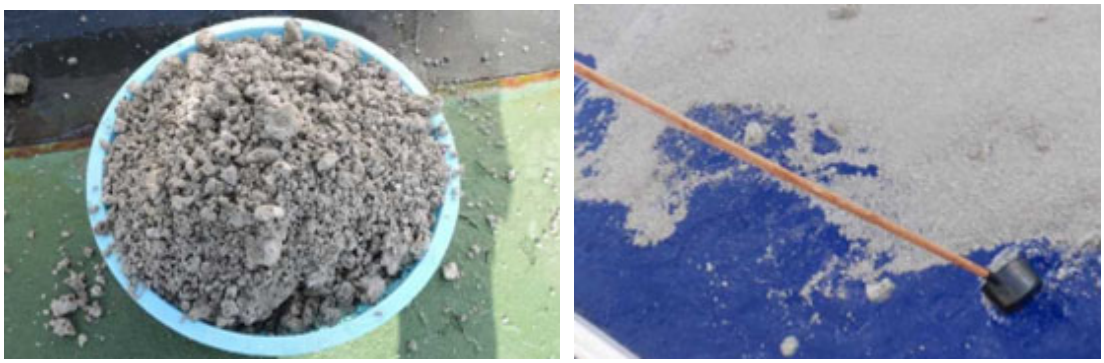


図-3.1.12 小笠原諸島・福徳岡ノ場の海底火山噴火で噴出した軽石14

日本列島には図-3.1.13 に示すとおり噴火の可能性がある活火山が多数あります。大規模な噴火が起こった場合、直近の都市部が被害に遭うだけでなく、火山灰が広域に降ってしまうと公共交通網や航空施設を完全にマヒさせ、火力発電所も機能しなくなるなど、経済活動にも甚大な二次被害をもたらします。

---

[13] 出典）国土交通省 気象庁「監視カメラ画像（阿蘇山 草千里)」
<https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/volcam/volcam.php?VC=50301>（2021.10.20 閲覧）

[14] 出典）国土交通省 気象庁「福徳岡ノ場の軽石漂流の関連情報」
<https://www.jma.go.jp/jma/menu/R03_karuishi-menu.html>（2022.1.31 閲覧）

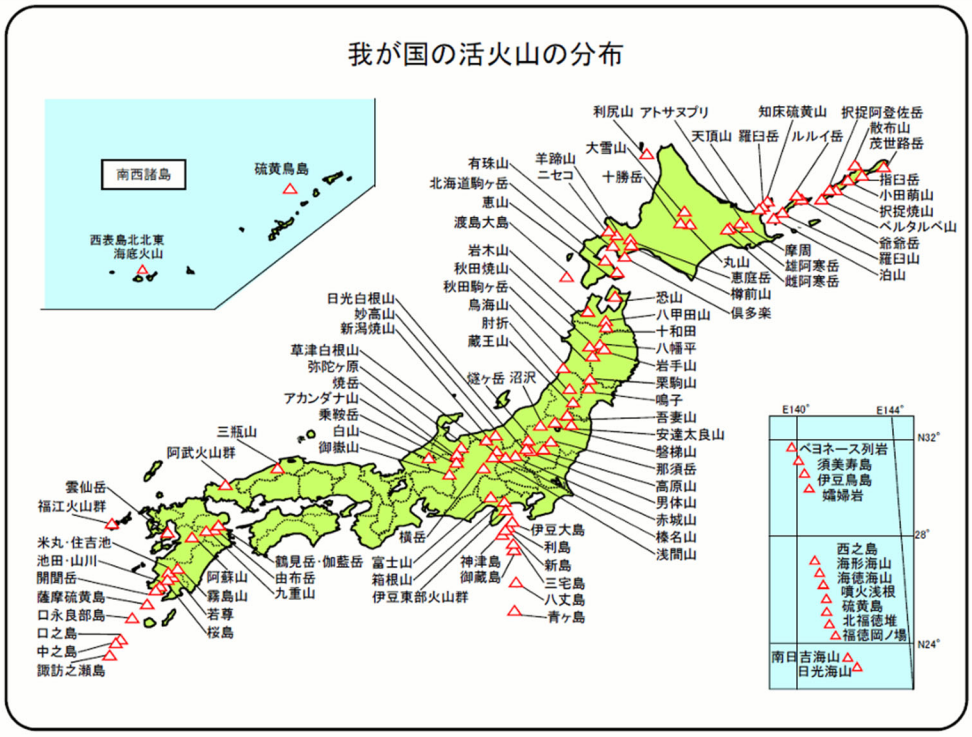


図-3.1.13　日本の活火山の分布[15]

災害の要因となる主な火山現象には、図-3.1.14 に示すような大きな噴石、火砕流、融雪型火山泥流、溶岩流、小さな噴石・火山灰、火山ガス等があります。また、火山噴火により噴出された岩石や火山灰が堆積しているところに大雨が降ると土石流や泥流が発生しやすくなります。

図-3.1.14　火山による被害について[16]

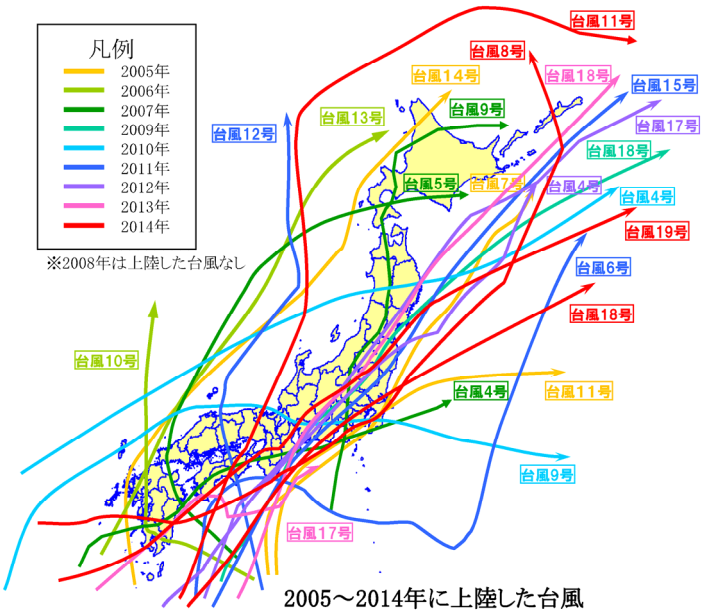
[15] 出典）国土交通 省気象庁「知識・解説 活火山とは」
<https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.html>（2022.1.31 閲覧）

[16] 出典）内閣府大臣官房 政府広報室「政府広報オンラインページ」暮らしに役立つ情報
<https://www.gov-online.go.jp/useful/article/201502/1.html#anc02>（2022.1.31 閲覧）

火山噴火もまた、プレート運動の影響により引き起こされています。日本列島には活火山が多数あり、大きな噴石、火砕流、融雪型火山泥流、溶岩流、小さな噴石・火山灰、火山ガス等の発生が想定されます。さらに火山噴火により噴出された岩石や火山灰が堆積しているところに大雨が降ると土石流や泥流のリスクも高まります。

(4) 風水害

日本列島は世界的に見て雨や雪が非常に多く発生する地域です。日本周辺では図-3.1.15に示すとおり一年間に平均 22.8 個の台風が発生し、11 個の台風が日本に接近、2.2 個の台風が日本に上陸しています。また、年降水量も台風と同様に諸外国に比べて多い傾向にあり、図-3.1.16 に示すとおり降水量に対する人口割合も高くなっています。



2005～2014年に上陸した台風

2005～2014年（10年間）の台風

年	発生数	接近数※1	上陸数※2
2014	23	12	4
2013	31	14	2
2012	25	17	2
2011	21	9	3
2010	14	7	2
2009	22	8	1
2008	22	9	0
2007	24	12	3
2006	23	10	2
2005	23	12	3
平均	22.8	11.0	2.2

※1 接近：台風の中心がそれぞれの地域のいずれかの気象官署から300km以内に入った場合
※2 上陸：台風の中心が北海道、本州、四国、九州の海岸線に達した場合

（出典：気象庁「台風の統計資料」、http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/index.htmlより作成）

図-3.1.15　日本における台風発生や通過などの実績[17]

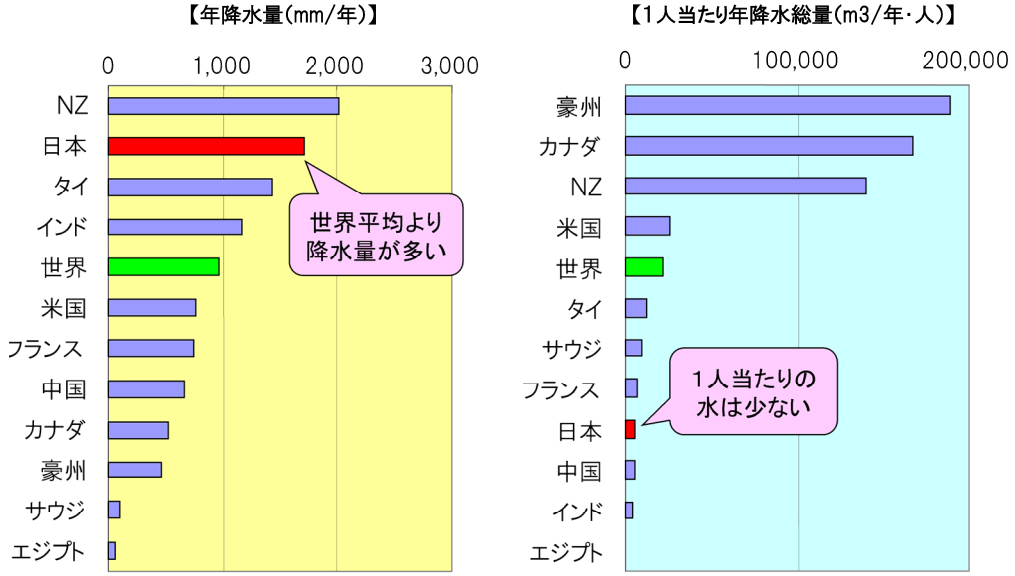


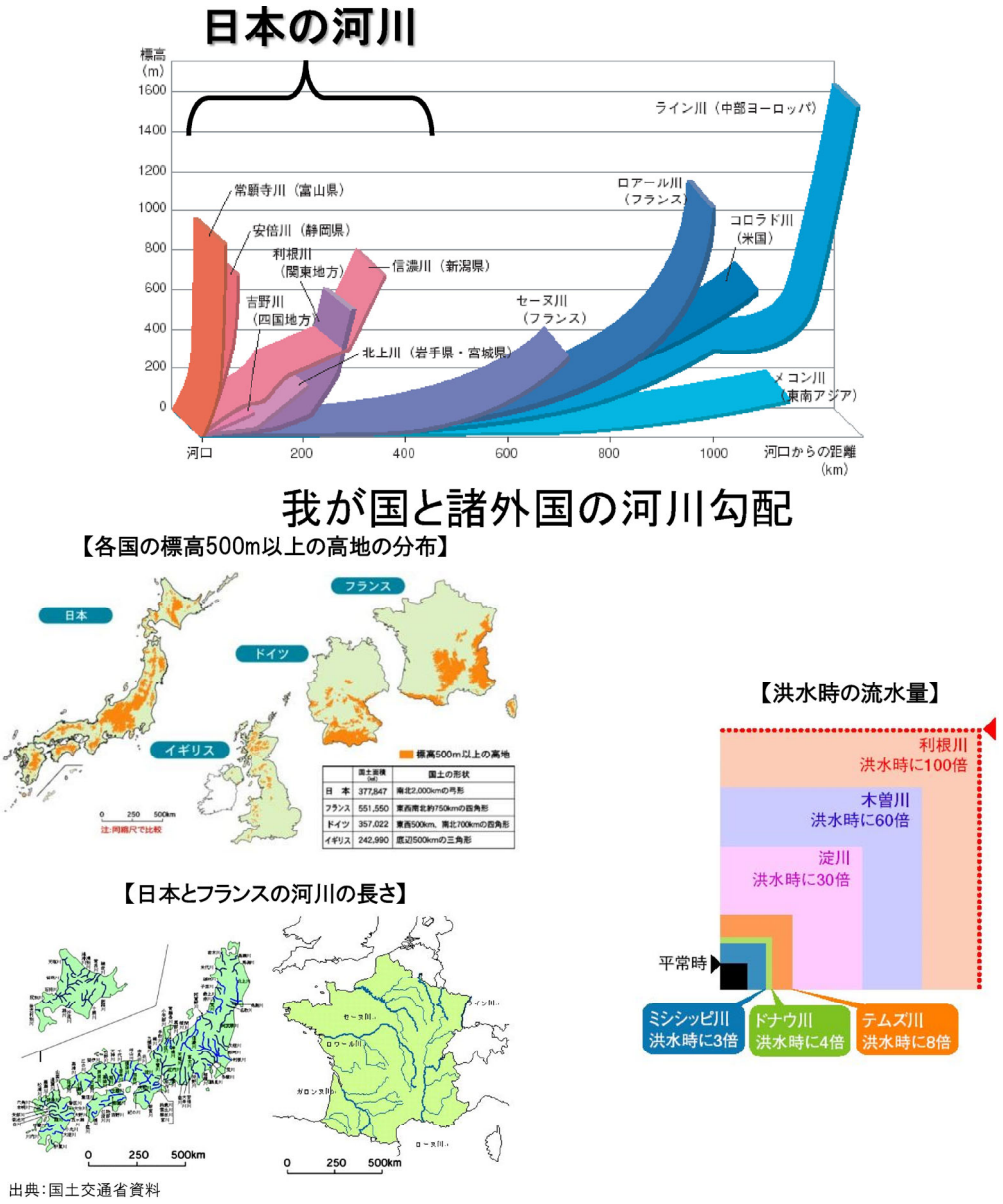
図-3.1.16　日本と諸外国の降水量の比較[18]

---

[17] 出典）国土交通省「国土が抱える災害リスク」p.6
<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/library/pdf/kokudo.pdf>（2022.1.31 閲覧）
[18] 出典）国土交通省「国土が抱える災害リスク」p.7

降水量が多い日本列島では、雨や雪解け水で河川水が多くなるため、必然的に山が削られ、乾湿が繰り返されることで基盤岩は脆くなり、崩れやすくなっていきます。また、日本国土は、北東から南西に細長く伸びる地形より、欧州の主要国と比べて山地の面積が多いのに河川の長さが非常に短い特徴があります。図-3.1.17 に示すとおり洪水時は平常時の 10～100 倍の流水量となり、日本は洪水リスクが高いことがわかります。

上記のような日本ならではの特徴に加え、世界的な気象変動に伴い日本における風水害のリスクはさらに高まっており、毎年どこかで土砂災害や水害が発生しているのが現状です。



出典：国土交通省資料

図-3.1.17　世界的に見た日本の河川[19]（地形と河床勾配、洪水流量の比較）

<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/library/pdf/kokudo.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[19] 出典）国土交通省「国土が抱える災害リスク」p.8、p.9

日本列島は世界的に見て雨や雪が非常に多い地域です。降水量が多いと、雨や雪解け水で河川水が多くなるため、必然的に山が削られ、乾湿が繰り返されることで基盤岩は脆くなり、崩れやすくなっていきます。さらに日本の河川は急流で、豪雨時の流水量が平常時の 10～100 倍にもなり、洪水リスクにさらされている地域です。

<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/library/pdf/kokudo.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(5) 土砂災害

日本列島の山地部では、図-3.1.18 に示すとおり土砂災害として崖崩れ、土石流、地すべりの三つが想定されます。またこの三つの災害は、一つの災害に誘発され複合的に発生したり、複数の災害が同時多発的に発生したり、同一地質帯で群発的に発生したりします。

図-3.1.18　日本における土砂災害[20]

日本列島の山地部では風水害に伴う土砂災害として、崖崩れ、土石流、地すべりの三つの災害が懸念されます。この三つの災害は、一つの災害に誘発され複合的に発生したり、複数の災害が同時多発的に発生したり、同一地質帯で群発的に発生したりするリスクもあわせ持ちます。

[20] 出典）高知地盤情報利用連絡会「こうち地盤情報公開サイト　地質や地盤の Q and A」Q3 <https://publicweb.ngic.or.jp/etc/kochi/documents/qanda04.html>（2022.1.31 閲覧）

a. 崖崩れ（崩壊）

崖崩れは急斜面が突然崩れ落ちる現象です。大雨や雪解け水、地震が原因で起こります。また、河川沿いのがけ崩れは土石流の起因となる場合があります。崖崩れには、発生場所や規模により図-3.1.19 のようなタイプに分類されます。

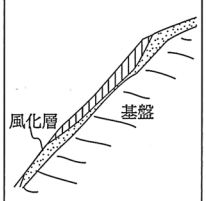
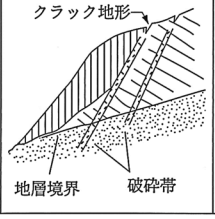
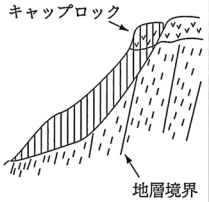
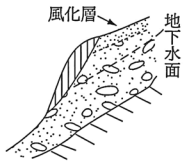
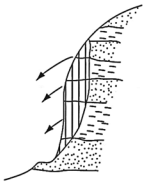
崩壊の種類	表層崩壊	岩盤崩壊	大規模崩壊	崖崩れ	トップリング
頻度	多い	あまり多くない	まれ	多い	まれ
崩壊部の特徴	表層の風化部やシラスなど未固結層が薄く崩れる。	基盤岩中の断層，破砕帯，節理，地層境界などの不連続面にそって，深く崩れる。	深層風化部または岩盤中の不連続面にそって，不安定なブロックが大規模に崩れる。	人工的な崖，台地の縁辺斜面，山すその崖錐が小規模に崩れる。	急崖で，縦方向の節理，割れ目が発達した岩盤が前のめりに崩れる。
規模	小～中 （高さ 10 m～数 10 m）	中～大 （高さ数 10 m～100 m）	大 （高さ 100 m～）	小～中 （高さ数 m～数 10 m）	小～中 （高さ数 10 m）
事例	平成５年鹿児島豪雨災害	平成８年豊浜トンネル崩壊	昭和59年御岳くずれ	平成７年西宮仁川崩壊	平成７年越前海岸崩壊
断面図					

図-3.1.19 斜面崩壊のタイプ[21]

崖崩れの素因としては、プレート運動による傷跡として断層(図-3.1.20)や褶曲(図-3.1.21)が挙げられます。

写真８ 正断層．断層面に対して右側のブロックが下にずれています．

写真９ 逆断層．正断層とは逆に，断層面に対して右側のブロックが上にずれています．

図-3.1.20 崖崩れの素因となる断層の例[22]

[21] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.40

[22] 出典）青木正博・目代邦康「岩石・地層・地形から地球の成り立ちや活動を知る 増補改訂版 地層の見方がわかるフィールド図鑑」2017 年 誠文堂新光社 p.18

写真11　砂岩泥岩互層の褶曲

この地層は，約１億５千万年前，海底にたまったときには水平でした．約１億年前に水平方向に押されて，このように変形してしまいました．このような地層の変形を褶曲といいます．（宮城県牡鹿半島牧の崎，正井義郎撮影）

図-3.1.21　崖崩れの素因となる褶曲の例[23]

また、図-3.1.22 や図-3.1.23 に示すとおり、山の斜面を形成する岩盤(地山)が自らの重さによって風化部や地質的構造的な弱面にゆるみや変形を生じ、重力によって断続的に斜面下方に移動・変形する“岩盤クリープ”も挙げられます。このような岩盤クリープが深部に進行すると、図-3.1.24 に示すとおり深層崩壊や地すべりに発展し、大規模な災害をもたらす場合があります。

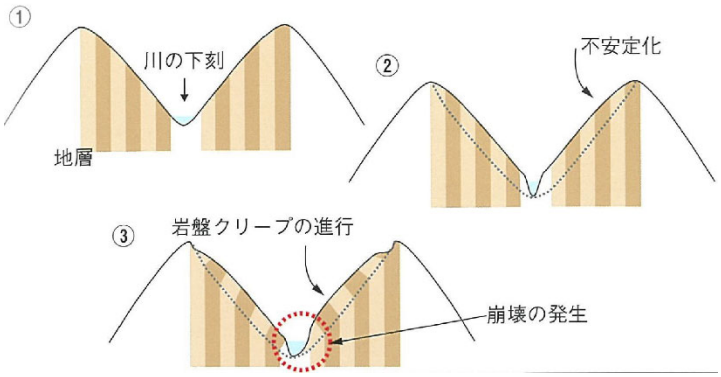


図-3.1.22　岩盤クリープの進み方[24]

[23] 出典）青木正博・目代邦康「岩石・地層・地形から地球の成り立ちや活動を知る 増補改訂版 地層の見方がわかるフィールド図鑑」2017 年 誠文堂新光社 p.19

[24] 出典）青木正博・目代邦康「岩石・地層・地形から地球の成り立ちや活動を知る 増補改訂版 地層の見方がわかるフィールド図鑑」2017 年 誠文堂新光社 p.33

図-3.1.23　岩盤クリープの事例[25]

日本列島はプレート運動により形成されましたが、このプレートとプレートのせめぎ合いの過程で、断層や褶曲などのたわみやひずみが内在しています。さらに降雨や降雪により乾湿が繰り返されることで基盤岩は脆くなり、崩れやすくなっています。よって、不安定な急傾斜地では斜面崩壊リスクが伴います。

[25] 出典）青木正博・目代邦康「岩石・地層・地形から地球の成り立ちや活動を知る 増補改訂版 地層の見方がわかるフィールド図鑑」2017 年 誠文堂新光社 p.32

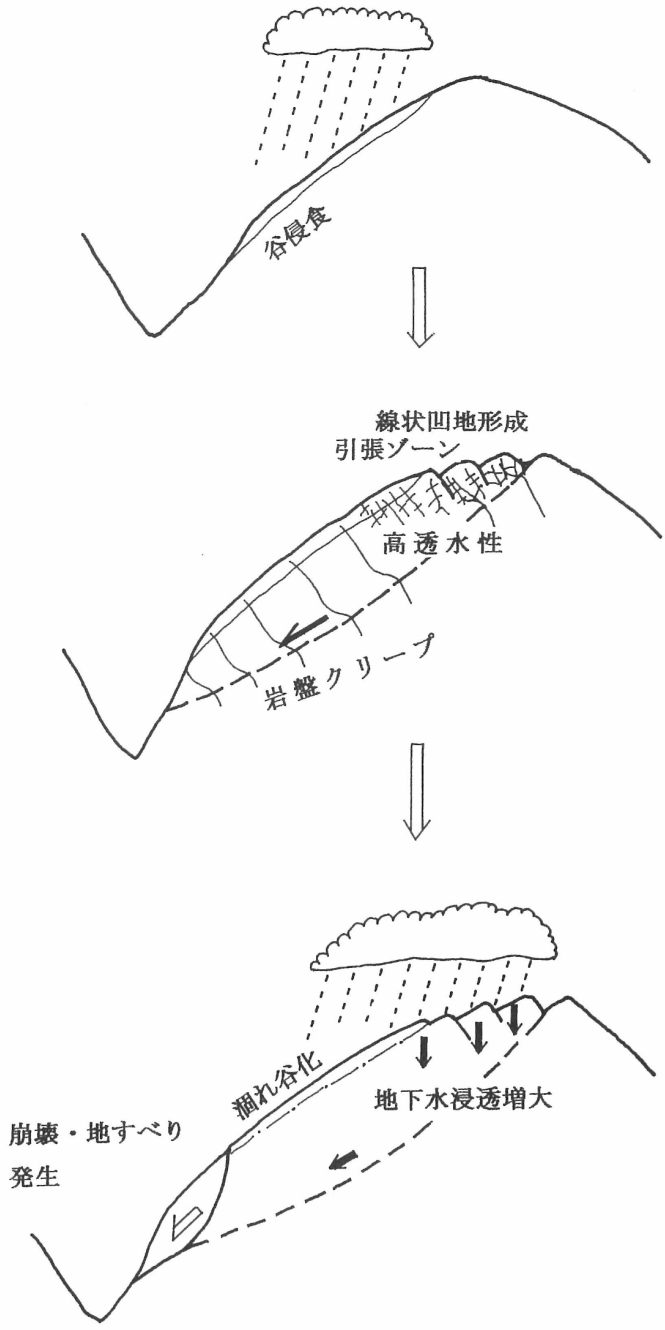


図-3.1.24 山地の岩盤クリープの進展[26]

[26] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p141

b. 土石流

土石流は、地すべりや崖崩れで出た土砂や、もともと川に溜まっていた土砂等が河川水と混ざって一気に流れ下る現象です。流下速度は時速 20～40km にまで達します。豪雨や雪解け水などが原因で起こるのが一般的ですが、地震で起こる地すべりや崖崩れの土砂が原因で発生する場合もあります。近年発生した土石流の例を図-3.1.25、図-3.1.26 に示します。

図-3.1.25(1) 土石流災害の事例[27]（紀伊半島大水害 2011.9 台風 12 号豪雨）

図-3.1.25(2) 土石流災害の事例[28]（北海道支笏湖災害 2014.9 低気圧豪雨）

土石流の模式的な形態では渓床勾配が 15° 以上の箇所が発生域とされます。渓床勾配が 10° 以下になると、流下駆動力が低下して岩や礫の間の接触抵抗が大きくなり、土石流堆積域となって流動性は低下して土石流は減速しはじめ、勾配がおよそ 2～3° までのところで土石流本体は停止します。この減速・停止域では図-3.1.27 に示すように砂礫が堆積して扇状地のような堆積地形がつくられます。

---

[27] 出典）国土交通省近畿地方整備局「災害写真ライブラリー」平成 23 年(2011 年)台風 12 号 紀伊半島大水害 <https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/saigairaiburari/2011_t12/2011_t12_0004.html>（2022 年 1 月 31 日閲覧）

[28] 出典）国土交通省国土技術政策総合研究所 国立研究開発法人土木研究所 「平成 26 年（2014 年）北海道地方被災橋梁等調査報告」2015 年 10 月 p.12 <https://www.pwri.go.jp/jpn/results/db/doken_kankoubutu/doken_shiryou/files/doken_shiryou_4307_00.pdf>（2022.1.31 閲覧）

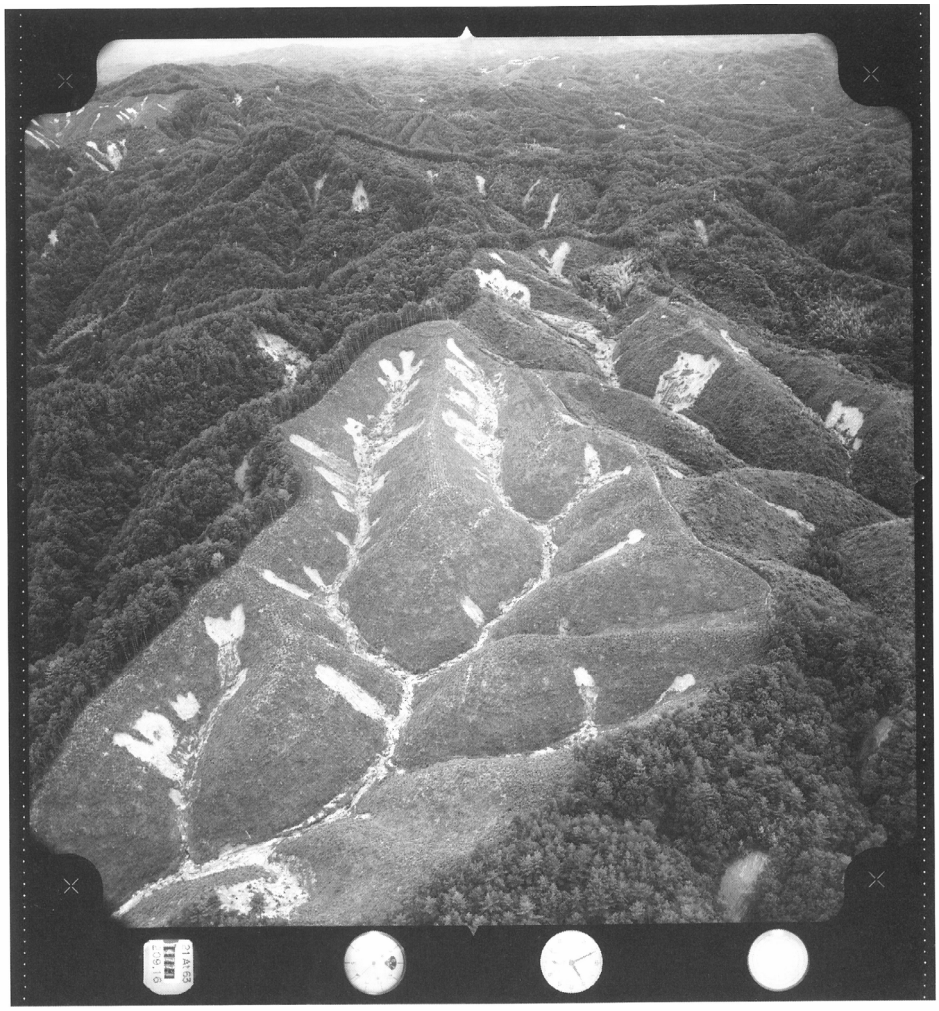


図-3.1.26 山陰豪雨災害時(昭和 58 年 7 月)の花崗岩地域における樹枝状崩壊[29]

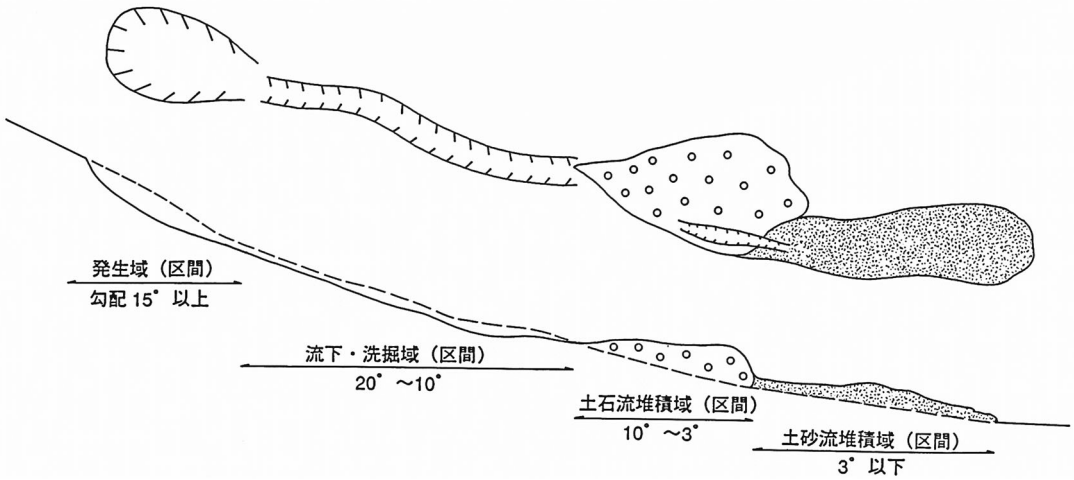


図-3.1.27 土石流の形態区分図[30]

[29] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.195

[30] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.194

河川流域では、河床勾配により土石流をはじめとした土砂災害や洪水被害が想定されます。図-3.1.28 では、土石流堆の停止する河川縦断勾配と、礫の運搬堆積がおよぶ勾配の最小値がそれぞれ 80/1000 と 1/1000 になることを示しています。河床勾配が 80/1000 より急になると土石流の発生が懸念され、河床勾配が 1/1000 より緩い区間では洪水が想定されます。

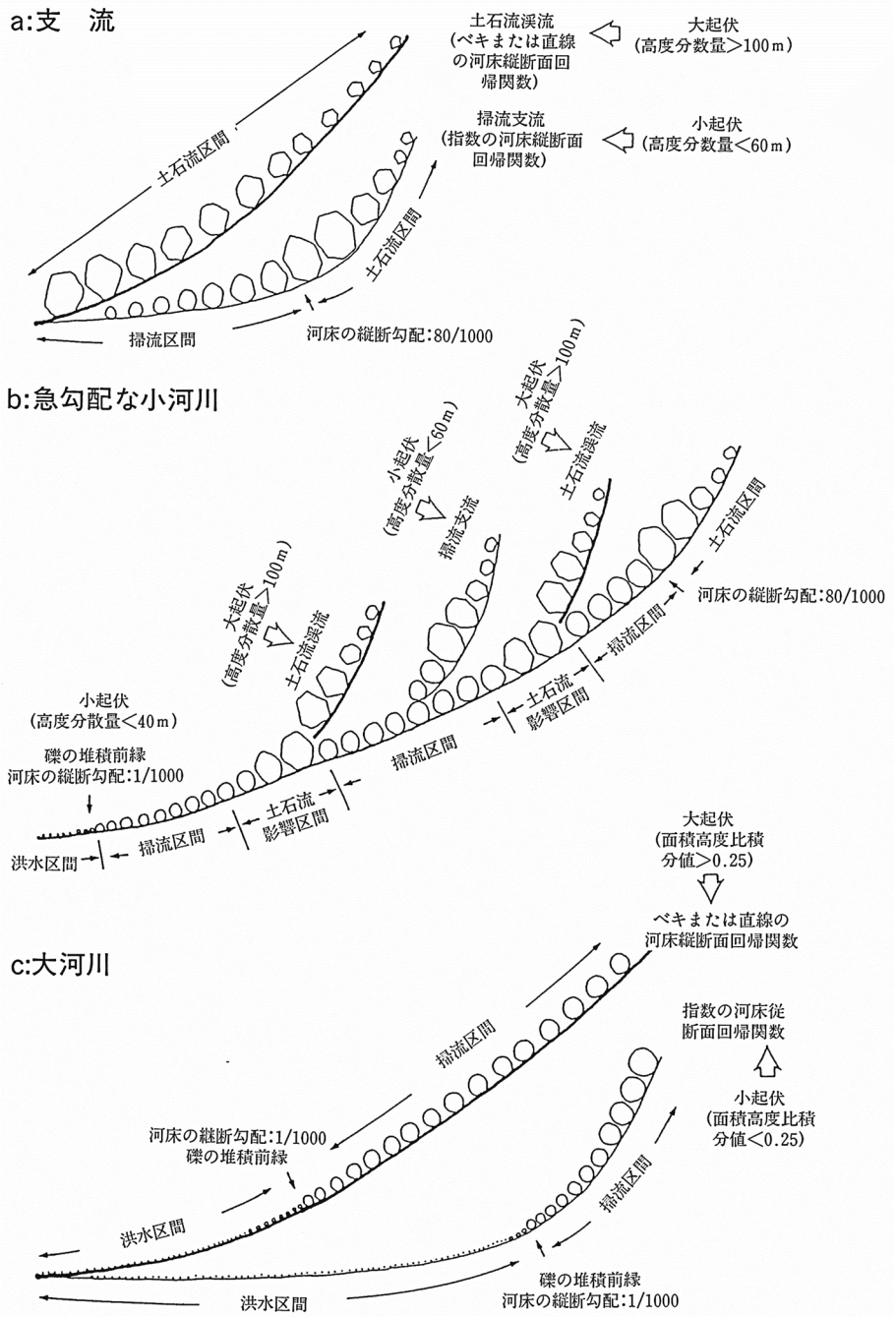


図-3.1.28 河床勾配と流域起伏等による災害リスク[31]（土石流、掃流、洪水）

[31] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p.59

なお、日本列島の各河川における土砂流出量については、図-3.1.29 に示す国土数値情報の地形・地質データとダム堆砂実績データから算出した流入土砂量との関係から土砂生産量強度マップが示されていますので参考にしてください。

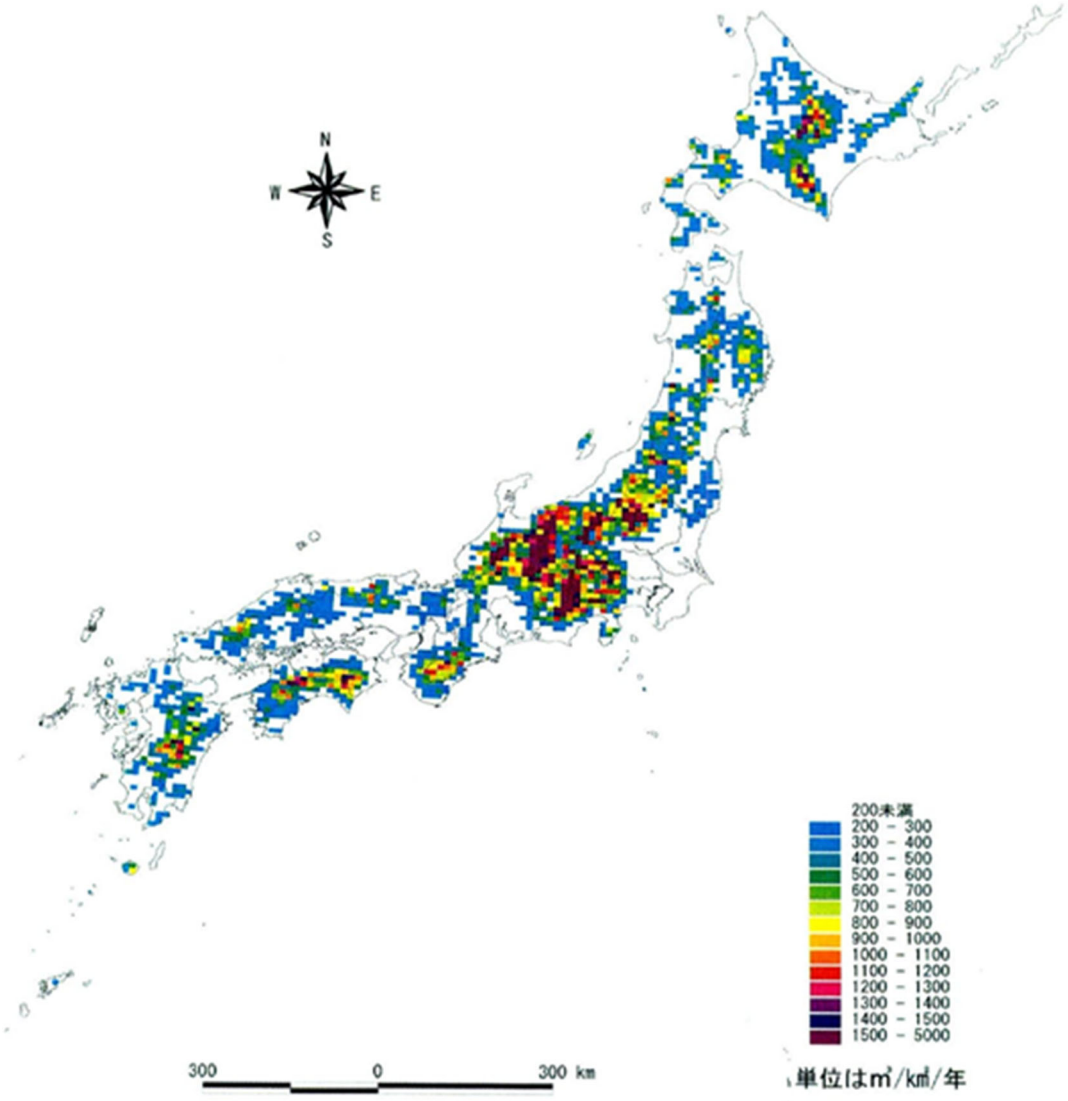


図-3.1.29 土砂生産量強度マップ全国版[32]（沖縄除く）

日本の河川勾配は非常に急で、洪水時は平常時の 10～100 倍の流出量となります。さらに河床勾配が急な山地部の河川や渓流では、地すべりや崖崩れで出た土砂や、もともと川に溜まっていた土砂等が、河川水と混ざって一気に流れ下る土石流のリスクが非常に高くなります。

[32] 出典）岡野他「ダム貯水池流入土砂量に基づく堆砂管理についての考察」2004 年 ダム工学 14(3) 167-176,2004

c. 地すべり

地すべりは、斜面中の土塊が一体となってズレ動く現象です。ジワジワと動き、移動する土塊のスピードは速いもので年間 1m に達します。移動土塊は建物や道路、橋梁などへ被害を及ぼし、崖崩れや土石流等の二次被害をもたらす場合があります。一般的な地すべりの場合は、同じ箇所が遠い昔から何度も繰り返し動きます。図-3.1.30 に特徴的な地すべり地形を示します。地すべりには豪雨や融雪が原因で起こるものと、地震を起因とするものがあります。地形に痕跡を残した地すべりの例を図-3.1.31 に示します。

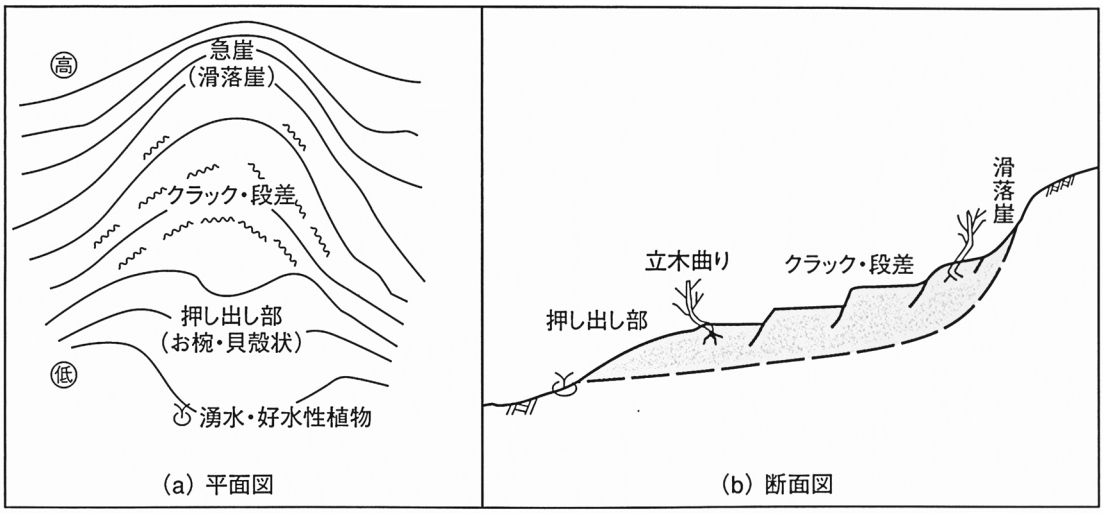


図-3.1.30 地すべり地形の説明[33]

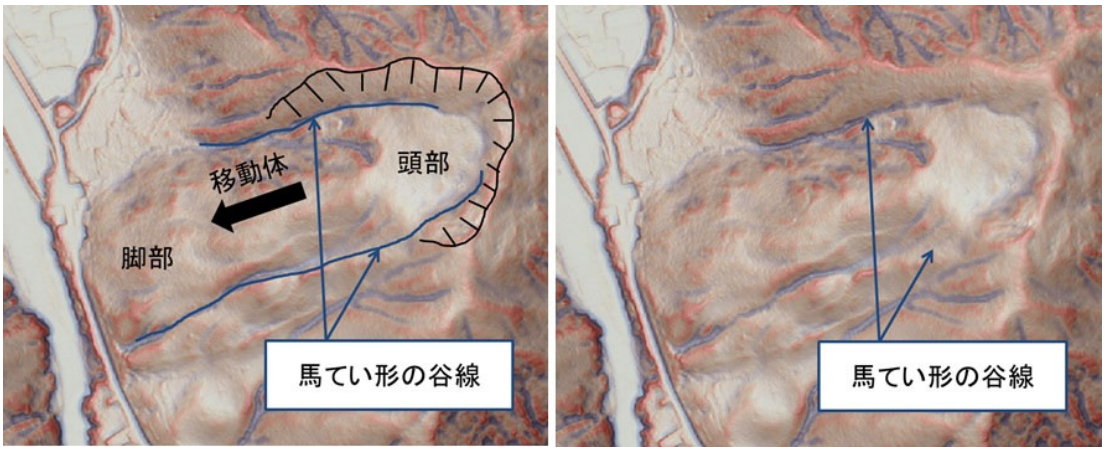


図-3.1.31 地すべり地形判読の例[34]

---

[33] 出典）田中芳則・古部浩「建設工事と地盤地質」2000 年 技術書院 p.29

[34] 出典）岐阜県森林研究所「崩壊危険地がわかりやすい地図を道づくりに活用する（その３）」和多田友宏 <https://www.forest.rd.pref.gifu.lg.jp/rd/shigen/mori180501.html>（2022.1.31 閲覧）

地すべりは、図-3.1.32 に示すように地すべり微地形の形状や移動体の地質により運動形式が分類され、運動形態に対応した対策が必要となります。

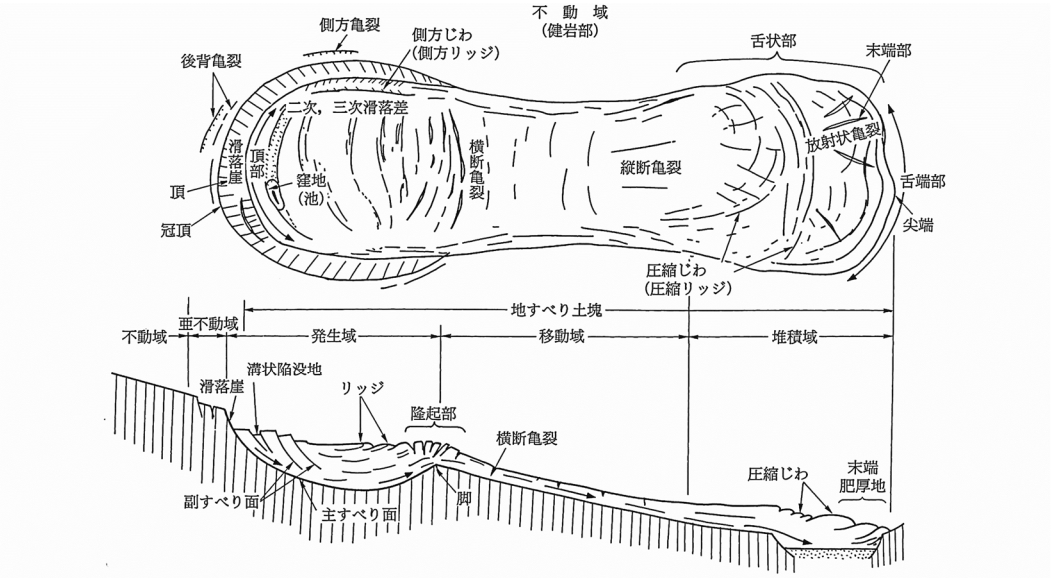
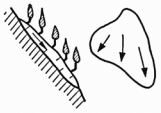
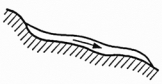
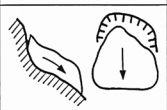


図-4.2.1 地すべり地の一般的な微小地形（今村[4]）

表-4.2.2 地すべりの平面形状による区分と一般的な変動形式（今村・塚本[5]）

	形状		変動形式		規模	発生場所の地質状況	すべり塊の状況	識別の難易	
	縦断形	平面形						現地踏査	写真判読
Ⅰ	 (形は一様ではない)		崖錐クリープ(creep)性すべり*	崖錐や風化表層部が，普通平面的に緩慢に動くが，動くにつれ粘土化が進むため，一層動きが大きく継続的となる傾向がある	小さいものから大きいものまであるが，「地すべり塊」としてはなかなかつかみにくい。厚さは 5～10 m 程度	崖錐部分や大きい地すべりの滑落跡あるいは末端部などに発生しやすい	すべり土塊は著しく乱されており，これが水で飽和されると一層活動しやすくなる	かなり難しい	難しい
Ⅱ			流動型すべり(flow)	はじめ豪雨などのとき，一気に水と流下するものと思われる。一度停止したあとは，すべり土塊内での多少の移動はあるようだが，著しく動くことはない	比較的大規模なものが多い（長さ100～数百 m）厚さは 5 ～10 m 程度	凝灰岩，凝灰角礫岩などの地域に多いようである	すべり土塊全体が著しく乱されており，溶岩流と同様，流下方向に平行した「しわ」ができている。末端は少し丸く盛り上がっている	比較的容易	容易
Ⅲ			弧状すべり(slump)	円弧すべりをなす。すべりは比較的緩慢であるが，連続降雨や融雪などを機にかなり急激に動くことも多い	厚さ 10～15 m，長さ 30～50 m 程度のものを slump，厚さ 15～30 m 程度でいくつものブロックに分かれて運動するような大規模なものを slide として区分することがある	砂質礫岩，シルト岩，凝灰質砂岩，泥岩などの風化した第三紀層地域あるいは結晶片岩類，緑色岩類などの変成岩地域などの，流れ盤部分に発生しやすい	すべり土塊の末端部は比較的乱されないことも多いが，中～先端は土塊が回転運動をしているため，著しく乱されている	比較的容易	容易
Ⅳ	 (先が広がった舌状) (椅子状)		岩盤すべり(rock glide)	岩盤中の層理面や節理面，断層面などからはずれ落ちるようにしてすべる。すべりは突発的で急激である	長さ 30～50 m，厚さ 10～30 m 程度と大きさのわりに厚いのが特徴	断層や破砕帯の多い所あるいは貫入岩の多い所などの岩盤地域に発生しやすい	すべり岩塊はほとんど乱されずただずり落ちた感じである。椅子のようなすべり面をなすのが特徴	難しい	容易

* ここでは崖錐クリープ性のすべりを中心に取り上げる

図-3.1.32 地すべり地での微地形と変動形式[35]

[35] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.39

地すべりの素因として地質は関連性が強く、特定の地質で地すべりが群発する地域特性がみられます。図-3.1.33 に示すとおり四国地方では和泉層群や三波川帯の地質分布域での地すべりが数多く認められます。

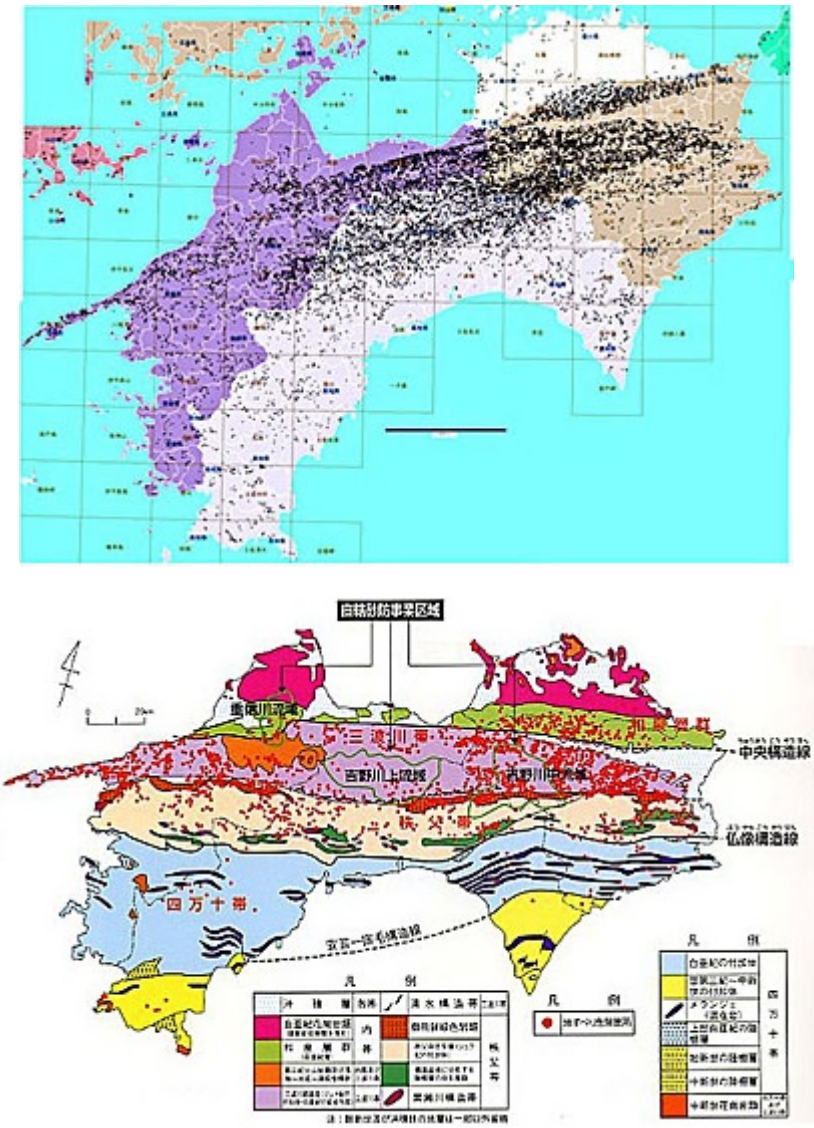


図-3.1.33 四国地方の地すべり分布図[36]

日本列島には、泥岩や凝灰岩など乾湿繰り返しに弱い岩石が多く分布します。そのような地質帯では豪雨時や融雪期の地下水位上昇により、斜面中の土塊が一体となってズレ動く地すべりが各地で認められます。何度も繰り返し動いている地域は、地形的特徴が明瞭ですが、地すべり移動体が分化すると、移動方向が変化したり、各移動体が連動し大規模化するなどのリスクにも留意が必要です。

[36] 出典）高知地盤情報利用連絡会「こうち地盤情報公開サイト 地質や地盤の Q and A」Q3 <https://publicweb.ngic.or.jp/etc/kochi/documents/qanda04.html>（2022.1.31 閲覧）

(6) 風化による地盤の脆弱化

日本列島では、素因的に不連続面の発達する地層であることにくわえて、降水量の多い気象条件を誘因として岩盤が風化しやすい環境です。風化作用は、岩石が地表にさらされてルーズな含水物質に変化する過程をいいます。一般的に、風化作用は物理的風化と化学的風化の二種類に分けられます。

○　機械的に破片化する物理的（機械的）風化作用

○　変質して粘土を生成する化学的風化作用

岩盤の風化作用では図-3.1.34 に示す形態を示し、風化程度により段階的な工学的強度低下がみられ、最終的には土砂化していきます。また、岩盤の風化は侵食や崩壊を引き起こし、それらの崩土の堆積により地形を変遷させます。一般には図-3.1.35 に示すとおり地表に露出していた時間が長いほど、岩石は風化を受けるため、高位段丘や山頂部の緩斜面等では風化が厚くなっていきます。

図-3.1.34　岩盤の風化[37]

[37] 出典）大島洋志「わかりやすい土木地質学,土木工学社」2000 年 p.177

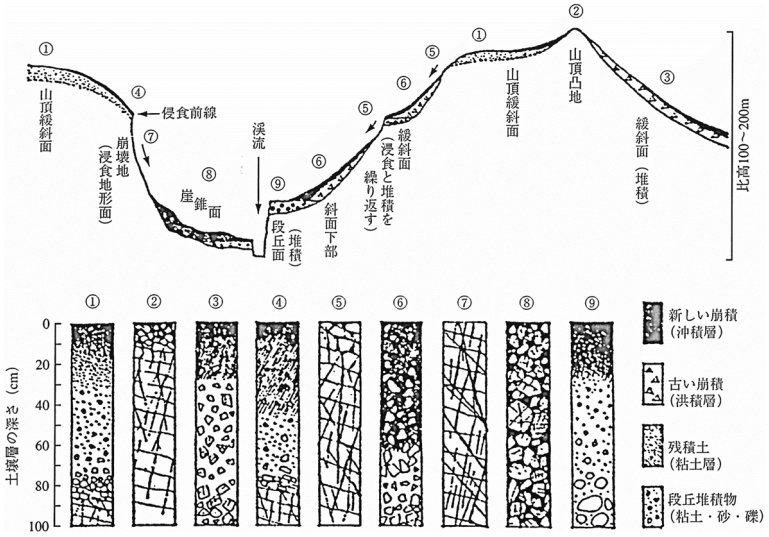


図-3.1.35 山地の地形面と堆積形態模式図[38]

地形をつくり変化させる作用を地形営力または地形過程といいます。地形変化のプロセスは、表-3.1.2 に示すとおり大きく外営力と内営力に分類できます。日本列島にいて卓越する外営力には、降水、表流水が挙げられます。一方内営力では地質、火山、断層運動(地震)が挙げられます。地形過程における風化過程や削剥過程では、表-3.1.3 のとおり岩石の成因的性質や物理的性質、力学的性質、水に対する耐性、地質構造など様々な要因が関係します。

表-3.1.2 主な営力と地形の変化プロセス[39]

営力の種類		地形の変化プロセス		
		山地・斜面	低地	海岸・海底
外営力	日照	水分の蒸発、岩石の熱膨張、氷の融解	水分の蒸発、氷（凍土）の融解	温度差による対流・沿岸流・海流、海水の蒸発
	降水	雨滴侵食、山崩れ、地すべり		
	表流水(河川水)	ガリー侵食、土石流、掃流	洪水による土砂運搬・堆積	
	地下水	溶食（石灰岩）		
	雪	雪食、雪による被覆		
	霜	ソリフラクション	凍土の形成	
	氷	くさび作用、氷食、氷河による運搬		氷河性アイソスタシー
	風	風食、細粒物質の運搬	飛砂、風食	飛砂、風食、波浪の発生
	潮流	―		漂砂、海岸侵食、底質の運搬
	波浪	―		波食、底質の運搬
	津波	―	表層物質の運搬	波食、底質の運搬
	人間活動	切土、盛土、ダム堆砂	盛土、埋土	埋立て、護岸の設置、海底掘削
内営力	地震	山崩れ、地すべり、地割れ	地割れ、噴砂（液状化）	海食崖の崩壊、海底の断層
	火山	火山体の形成、火山噴出物の堆積	火山灰の堆積	火山灰の堆積、海底火山の形成
	隆起	起伏の増加	微高地の形成	段丘化、海膨の形成
	沈降	盆地の形成	凹地、堆積盆地の形成	海盆舟状海盆の形成
	断層運動	破砕帯・断層崖・断層などの形成	低断層崖、たわみ岩の形成	海底谷、舟状海盆、海溝の形成

[38] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p14

[39] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p14

表-3.1.3 種々の風化過程および削剥過程を制約する岩石鉱物の主な性質[40]

風化過程および削剥過程 ＼ 岩石物質の性質				成因的性質				物理的性質				力学的性質			水に対する性質			地質構造					
				成因的種類（岩石名）	鉱物組成	化学成分	組織（流理・片理等）	鉱物粒・岩片の粒径	単位体積重量	空隙率・比表面積	熱伝導率・熱膨張係数	破壊強度・粘着力	弾性係数	内部歪	透水係数	含水比・含水量	間隙水圧	乾湿歪特性	成層岩 傾斜	対地表傾斜・走行	単層の厚さ	互層状態	割れ目など 断層・破砕帯	節理系・節理密度	不整合面
風化過程			圧力変化	○	○		○	○		○		◎	◎	◎		○	○		○	◎	○	○	○	◎	
			含水比変化	○	○	○	○	○		◎	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○
			温度変化	○	○		○	○		○	◎	◎	◎	○		○		◎	○		○	○		◎	
			化学的変化	◎	◎	◎	○	○		◎					◎	◎	○						○	◎	○
			生化学的変化	○	◎	◎		○		◎					○	○							○	○	
削剥過程	侵食	地山からの岩屑の離脱	化学的溶解	○		◎				○					○	◎							○	○	○
			雨、表面流出	○			○	◎	◎			○			○	◎							○	○	
			地下水	○		○	○	◎	○	○		○			○	◎	◎		○			○	◎	◎	○
			河流、波	○			○	◎	○			◎	○							◎	○	◎	◎	◎	
			風（飛砂）				○	○	○			◎				○				○		○		◎	
			周氷河作用	○			○	◎		◎	◎				○	◎	◎	○	○	○	○	○		◎	
			氷河																						
		岩屑の運搬	表面流出					◎	◎						◎	○									
			河流、波、風					◎	◎																
			氷河																						
	集団移動		匍行（クリープ）	○				○	○			◎				○			○					◎	
			地すべり	◎	○	○			○			◎	○	○	○	◎	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	◎	○
			土石流					○	○			◎			○	◎	◎			○	○				
			崩落				○	○	○			◎	○		○	○	○		○	○	○	○	○	◎	

個々の風化・削剥過程からみて、特に重要な岩石物質の性質を◎、関係のある性質を○、直接的関係のない性質を空欄として示してある。

土壌化では、岩盤の物理的および化学的風化作用に加えて、生物的要因による風化作用や植物が腐食し堆積する植物腐朽作用も加わります。植物腐朽作用では図-3.1.36 に示すように軟弱地盤で特に問題となる泥炭や黒泥等が形成されます。一般的な土壌生成においては、岩石から礫・砂・シルトなどの細分化には物理的風化作用が主体的となり、粘土化には化学的風化作用が大きく働きます。

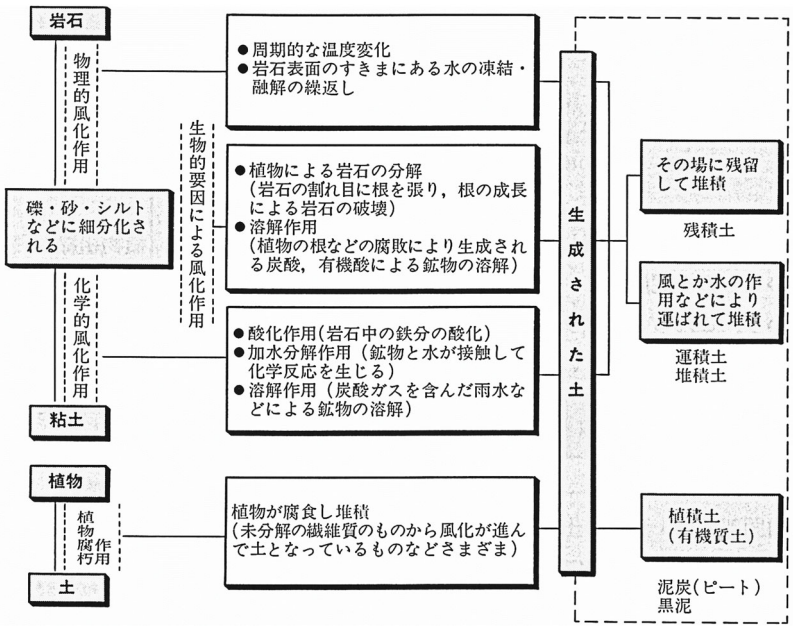


図-3.1.36 風化作用と土の生成[41]

[40] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p13

[41] 出典）安川郁夫・今西清志・立石義孝「絵とき 土質力学（改訂 2 版）」1998 年 オーム社 p.5

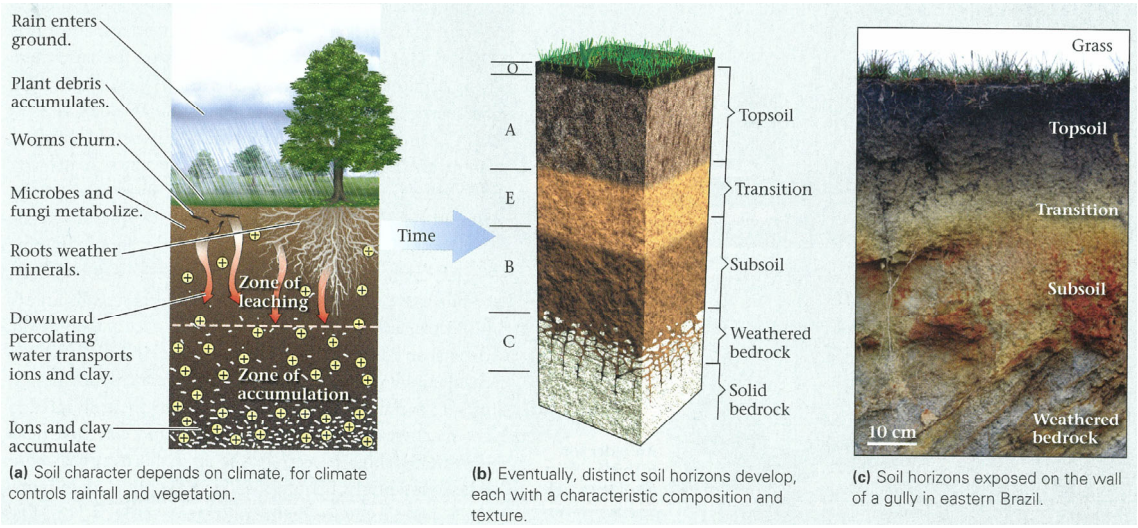


図-3.1.37　土壌層の形成[42]

地球上の岩石は輪廻生成されており、水や風の影響によって風化し土砂化します。日本列島では、素因的に不連続面の発達する地層であることにくわえて、降水量の多い気象条件を誘因として岩盤が風化しやすい環境です。風化作用は、岩石が地表にさらされてルーズな含水物質に変化するので、その過程で工学的な強度や性状も漸移するため留意が必要です。

[42] 出典）MARSHAK「ESSENTIALS OF GEOLOGY」NORTON p.147

(7) 山地での地質リスク

山地・丘陵地などの地形・地質条件において、建設工学上、表-3.1.4 に示すような事項について問題となることが考えられます。また、岩質による性状において、工学的に問題となる点は表-3.1.5 に挙げられます。

表-3.1.4 山地・丘陵地などの地形・地質条件と建設工学上の関連事項[43]

地形・地質条件		地形特徴	地質概要	問題事項
山地	風化土	比較的緩傾斜の山地	岩塊、玉石まじり土砂（まさ土など）	豪雨などによる崩壊性、硬軟不同
	崖錐	急崖下の30～40°斜面	未固結、角礫、土砂	斜面クリープ、崩壊性、ゆう水、漏水
	地すべり	地すべり地形	不均質崩壊土砂、岩塊	クリープ移動、崩壊性
	断層	各種断層地形	破砕岩石、断層粘土	崩壊性、ゆう水、漏水、活断層のときは地震時相対変位の可能性
	膨張性岩	地すべり地形、ただし伏在しているときは不明	蛇紋岩、変朽安山岩、一部の泥岩	膨張性、土圧
	石灰岩	カルスト地形	石灰岩、テラロッサ、地下空洞	硬軟急変、地下空洞、漏水
火山	火山岩地帯	火山地形、火山侵食地形	火山岩類、未固結火山砂礫、火山灰	地質不均質、多量の地下水伏在、漏水、温泉
	火山山ろく（麓）	火山すそ野、火山扇状地	火山砂礫、火山灰層、溶岩流	不均質な地形、未固結土層、高い被圧地下水
丘陵地	新期地層	200～300 m 程度の丘陵地	洪積層、新期第三紀層	崩壊性、一部泥岩の膨張性
	古期地層	同上	厚い風化土層、大玉石、岩塊	崩壊性、硬軟不同
台地	段丘層	河成段丘、海成段丘	未固結砂礫	崩壊性

表-3.1.5 岩質による性状および工学的問題点[44]

予測される性状・問題点 ＼ 岩種		火成岩						堆積岩														変成岩		凡例		
								中・古生層						古第三紀層				新第三紀層			四紀					
		花閃岩	花ひ岡はん岩	流石英紋粗面岩	安玄山武岩	輝はん緑れい岩	蛇紋岩	礫砂岩	粘頁板岩	輝緑凝灰岩（シャールスタイン）	ホルンフェルスチャート	石灰岩	礫砂岩	頁岩	泥凝灰岩	角集礫凝塊灰岩岩	礫砂岩	泥凝灰岩	角集礫凝塊灰岩岩	熔結凝灰岩	結晶片岩	花岡片麻岩	●可能性大 ○可能性あり 可能性小 ×可能性なし ＊類似の現象		
岩石の硬軟	新鮮部は硬岩である	●	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●			○	×	×	○	●	○	●	施工対象		
	新鮮部は中硬岩である			○			●		●				○	●	○	●		○	●	○	●		○関連が強い △やや関連する ×関連しない		
	新鮮部は軟岩である	×	×		×	×	○	×		×	×	×		○	●		●	●	○			×			
岩盤状況	層理・片理が発達している	×	×	○*	×	×	×	○	●		●		○	●	○						●	○*			
	節理が発達している	●	○	○	●	○	○	●	○	○	○		○			○				●	○	●		ダム	地下空洞トンネル	明かり土工掘削法面
	断層が発達している	○		○		○	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○					●	○				
	塊状を呈する	●	○	○	○	○		●		●	○	●	●		○	●	●	●	●	●	○	●				
	破砕している	○	○		○		○		○	○	○			○		○				○	○					
	深層まで風化している	●	○	○		●		○		●			○								○	●				
施工上の問題点	新鮮部でもコンクリート骨材として不向きである		○	○	○		●		●		○		○	●	●	●	●	●	●	●	●		○	△	×	
	基礎としての強度・変形性が低い						●		○					○	●	○	●	●	○		○		○	△	△	
	空洞が存在する				○							●	○*	○*	○*	○	○*	○*	○				○	○	△	
	漏水する		○		●			○				●				○			○	●			○	×	×	
	グラウチングの限界圧力が低い						○		○					○	○	○	●	●	●		○		○	△	×	
	切羽が自立しない		○				●		○		○			○	○	○	●	○	○		●		×	○	×	
	山はねを起こす	●				○		○		○											○	●	×	○	×	
	湧水が多い	○	●	○	●	○	○	●		○	○	●	●			○	●		○	●	○		△	○	△	
	膨潤性・スレーキング性を有する	×	×		×	○	●	×		×	×	×	×	●	●	○		●	○	×		×	○	○	○	
	有毒ガスが存在する	×	×			×	×			×	×	×	○	●	●	○	○	●	○		×	×	○	○	×	
	余掘りが大きくなる	●		○	●			○		●	●		○			○			○	●	●	●	△	○	△	
	掘削ずりが大塊となる	●			●	○		●		○	○		○			○	×	×	○	●	○	●	△	○	△	
	火薬量が多くなる					●	○			○						○	×	×					△	○	△	
	路盤が泥ねい化する					○	●		●					●	●	○	●	●	○		●		△	○	○	
	地すべりを起こす				○		●		●					●	●	○	○	●	○		●		△	△	○	
	流れ盤すべり・トップリングを起こす	○	○	●	●	○		○	●		●		○	●	○	○		○		●	●	○	△	△	○	
	リッピングが困難である	●	○	●	●	●	○	○		●	●	●	○			○						●	×	×	○	
	盛土材として不安定である						●		○					○	●	○	●	●	○		●		△	△	○	

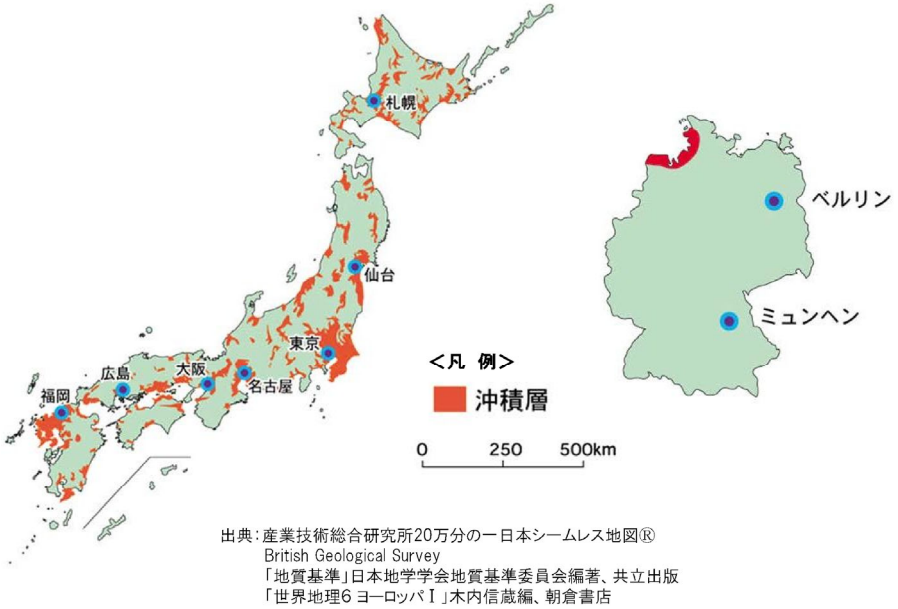
[43] 出典）日本応用地質学会「山地の地形工学」2000 年 古今書院 p11

[44] 出典）田中芳則・古部浩「建設工事と地盤地質」2000 年 技術書院 p.19

日本の山地では、降水、表流水などの外的地形営力や地質、火山、断層運動（地震）などの内的地形営力が大きく作用し、災害や工学的問題が発生した場合は、事業への影響が大きくなります。山地での地質リスク把握においては、岩石の成因的性質や物理的性質、力学的性質、水に対する耐性、地質構造など様々な要因を総合的に判断することが重要となります。

(8) 平地での地質リスク

日本列島は丘陵地を含めた山地が約 75%を占めますが、残された平地のほとんどは、図-3.1.38 に示すとおり軟弱な地盤を呈することの多い沖積平野となります。沖積平野直下での地質は図-3.1.39 に示すとおり山地より生成された礫や砂や泥の堆積物からなります。沖積層は約 2 万年前より新しい時代に溜まったもので新しく軟らかく、平坦で湿地が多いため水分を多く含み、いわゆる軟弱地盤とよばれるような脆弱な地質を示します。



出典：産業技術総合研究所20万分の一日本シームレス地図®
British Geological Survey
「地質基準」日本地学学会地質基準委員会編著、共立出版
「世界地理6 ヨーロッパⅠ」木内信蔵編、朝倉書店

図-3.1.38 軟弱な地盤の分布[45]

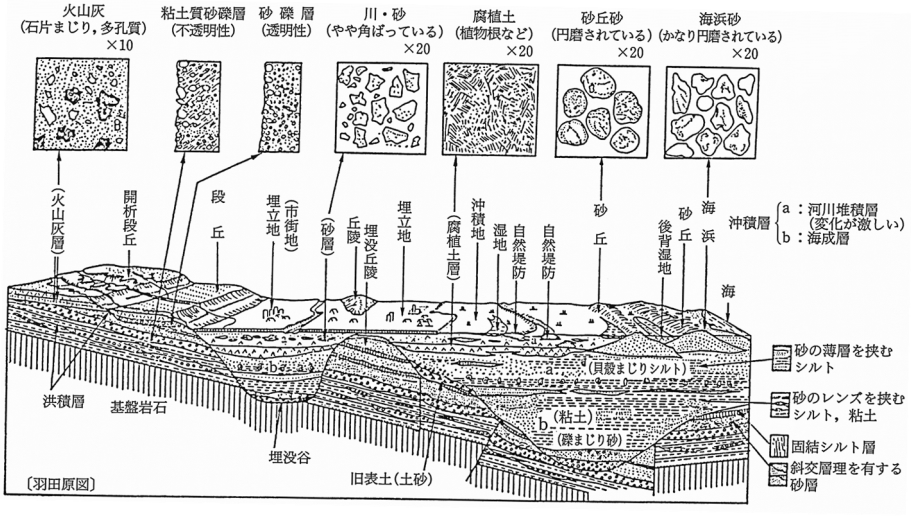


図-3.1.39 沖積平野直下の構造と地層のいろいろ[46]

---

[45] 出典）国土交通省「国土が抱える災害リスク」p.11
<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/library/pdf/kokudo.pdf >（2022.1.31 閲覧）

[46] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.22

沖積平野にみられる地形において、軟弱地盤として問題となる地盤は、表-3.1.6 に示すとおり泥炭質地盤(N 値 1 以下)、粘土質地盤(N 値 4 以下)、砂質地盤(N 値 10～15 以下)となります。このような沖積低地の地形・地質条件では、建設工学上、表-3.1.7 に示す事項が問題となります。

表-3.1.6 軟弱地盤の区分と一般的な土質[47]

地形的分布地域	地盤区分	土層・土質 区分			土質 wn (%)	土質 e_n	土質 qu (kN/m²)	土質 N値
枝谷 後背湿地	泥炭質地盤	高有機質土 {Pt}	ピート (Pt)	繊維質の高有機質土	300 以上	7.5 以上	40 以下	1 以下
			黒泥 (Mk)	分解の進んだ高有機質土	300 ～200	7.5 ～5		
小おぼれ谷 三角州低地 臨海埋立地	粘土質地盤	細粒土 F	有機質土 {O}	塑性図のA線の下，有機質土	200 ～ 100	5 ～ 2.5	100 以下	4 以下
			火山灰質粘性土(V)	塑性図のA線の下，火山灰質二次堆積粘性土				
			シルト {M}	塑性図のA線の下，ダイレイタンシー大	100 ～ 50	2.5 ～ 1.25		
			粘性土 {C}	塑性図のA線の上またはその付近，ダイレイタンシー小				
自然堤防 海岸砂州	砂質地盤	砂粒土 S	砂質土 {SF}	74μm以下15～50%	50 ～30	1.25 ～0.8	—	10 ～15 以下
			砂 {S}	74μm以下15%未満	30 以下	0.8 以下		

注） 1．W_nは含水比、e_nは間隙比、q_uは一軸圧縮強度、N値は標準貫入試験による。
2．砂質地盤は、地震時の液状化が問題となる。盛土の耐震検討は道路の重要度，近接構造物などに応じて、実施の有無を検討する。

表-3.1.7 沖積低地の地形・地質条件と建設工学上の問題事項[48]

地形・地質条件		地形特徴	地質概要	問題事項
沖積低地	扇状地	偏平な半円錐状，網状流，伏流	粗大な分級不良な厚い砂礫層	流路不安定，被圧地下水，洗掘
	自然堤防	微高地の帯状配列	砂質土	地震時液状化の可能性
	後背湿地	自然堤防背後の低湿地（一般に水田化）	軟弱な粘土，シルト，細砂，ピート	軟弱地盤，洪水帯水
	三角州	静かな内湾の河口部	軟弱な細砂，粘土層の厚い堆積	深い軟弱地盤，表層砂質土の地震時液状化
	小おぼれ谷	丘陵，台地間などの狭長低平な谷地	極軟弱なピート，粘土，シルト	極軟弱地盤
	潟湖跡	海岸砂州，背後の低湿地（水田化）	軟弱なピート，シルト，粘土	極軟弱地盤
	海岸砂州	海岸に平行した帯状の微高地	砂，砂礫	地下水の高い箇所は地震時液状化
	海岸砂丘	海岸砂州上の風成砂丘	均等粒径の砂	均等粒径の砂，地形不安定

日本列島の平地のほとんどは、新しい時代に溜まった堆積物で、非常に軟らかく、多くの水分を含み、いわゆる軟弱地盤とよばれるような脆弱な性状を示します。平地での地質リスクでは、そのような軟弱地盤の分布特定が重要となり、平面かつ深度方向の三次元的分布により対応が異なってきます。

---

47 出典）北陸地方整備局「設計要領〔道路編〕第 16 章 地質調査の手引き(案)」2020 年 p.16-11

48 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.34

3.1.2 発電サイトの地質的評価

発電サイトにおける地質リスクでは、構造物を支える、土を掘る、土を留める、土で構造物をつくる等において、①基礎地盤としての問題、②安定性の問題、③材料としての問題などが発生します。事業規模を踏まえて、文献・資料調査、微地形判読等により、地質リスクを的確に想定することが重要になります。

(1) 想定されるリスク

水力発電計画サイトの地質的リスクを踏まえると、設備の建設に際して表-3.1.8 に示すような課題が想定されます。特に構造物建設時には、①構造物を支える、②土を掘る、土を留める、③土で構造物をつくる等において、図-3.1.40 に示すとおり、①基礎地盤としての問題、②安定性の問題、③材料としての問題などが発生します。

表-3.1.8 水力発電設備建設における地質的リスク

水力発電施設等		水力発電の適地	適地での想定地質リスク
取水域	集水域	広水域(透水性地山)	崩壊、地すべり
	取水施設	堅固地盤(急斜面)	崩壊、土石流、雪崩
水路ルート	渓流勾配	急勾配(急斜面)	土石流、落石、崩壊、雪崩
	トンネル	火山地帯	掘削土の自然由来重金属
発電施設	基礎地盤	緩斜面～平坦地	地すべり、軟弱地盤、 支持層の不陸
	立地	渓流出口周辺	土石流、雪崩

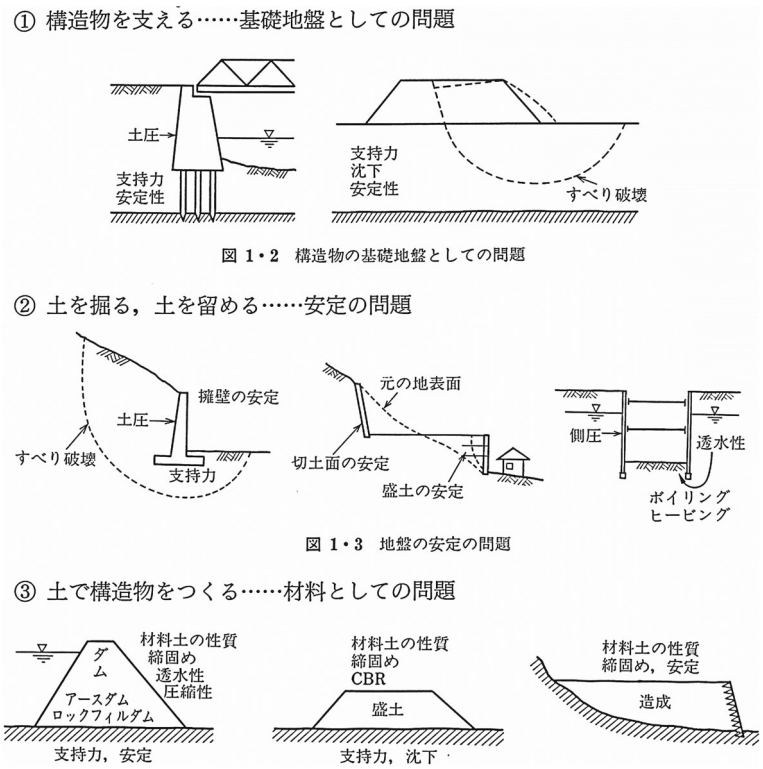


図-3.1.40 土を材料として用いる場合の問題[49]

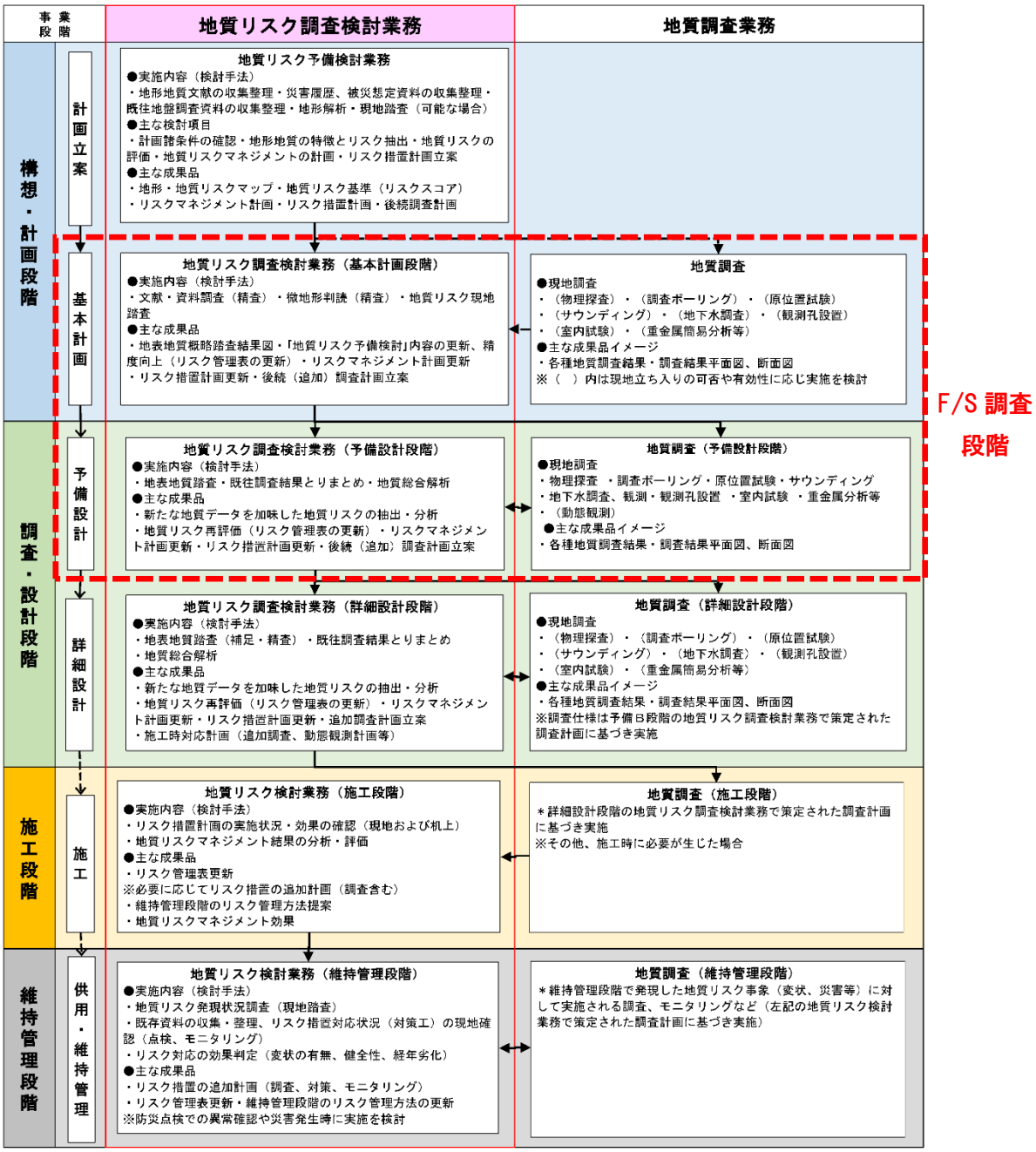
[49] 出典）安川郁夫・今西清志・立石義孝「絵とき 土質力学(改訂 2 版)」2000 年 オーム社 p.3

発電サイトにおける地質リスクでは、構造物を支える、土を掘る、土を留める、土で構造物をつくる等において、①基礎地盤としての問題、②安定性の問題、③材料としての問題などが発生します。事業規模を踏まえて、文献・資料調査、微地形判読等により、地質リスクを的確に想定することが重要になります。

（2）リスク把握のための地質調査手法

事業の各段階における地質リスク把握には表-3.1.9 に示す検討が想定されますが、F/S 調査においては、基本計画～予備設計の段階に相当すると考えられます。地質リスクの検討として、机上調査(文献・資料調査、微地形判読等)を経て、現地確認(地質リスク現地踏査)を行い、事業規模に見合う合理的な適地選定が重要となります。

表-3.1.9　事業の各段階における地質リスク調査検討業務の実施方針[50]



[50] 出典）全国地質調査業協会連合会「地質リスク調査検討業務の手引き」2021 年 7 月 p.18
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf>（2022.1.31 閲覧）

F/S 調査段階においては、表-3.1.10 に示す文献・資料等により、地すべり、落石、土砂崩壊、雪崩等の危険性把握が必要となります。特にレーザープロファイラデータによる三次元地形情報は、地質リスク検討以外にも、施設予備設計に活用できるため有用です。

表-3.1.10 地質リスク検討に際し収集すべき文献・資料一覧[51]

文献・資料名内容	文献・資料名内容
1 地形図	国土地理院、都市計画図、森林基本図、古地図
2 空中写真	国土地理院
3 三次元地形情報	航測レーザー測量データ等
4 地質図	産業技術総合研究所所管地質図、地方土木地質図、日本地質学会、地学団体研究会等
5 地盤図	産業技術総合研究所所管 都市域地盤図等
6 土地利用図	国土地理院、地方公共団体
7 土地条件図	国土地理院、地方公共団体
8 ボーリング情報	国土地盤情報検索サイト(Kunijiban) 国土地盤情報センター検索サイト 等
9 既存調査結果	周辺事業や同類地形地質の調査結果
10 工事記録	周辺事業や同類地形地質の工事記録
11 災害記録	周辺の災害記録、道路防災点検結果
12 地質文献資料	活断層分布図、地すべり地形分布図、日本地方鉱床、学会誌等
13 その他	指定地(砂防、地すべり、急傾斜)等

■ 地質に関する科学的な事、郷土の地史・地学など

国立研究開発法人 産業技術総合研究所　地質調査総合センター

【URL】

https://www.gsj.jp/inquiries/consul.html

[51] 出典）全国地質調査業協会連合会「地質リスク調査検討業務の手引き」2021 年 7 月 p.23
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(3) 想定されるリスクへの対応について

前述の表-3.1.8 に示した建設事業における地質リスクについて、さらに細分化したものを表-3.1.11 に示します。

表-3.1.11 建設事業における地質リスクの発現事例[52]

建設事業	構造物	地質リスク発現事例	リスク要因
道路・鉄道	切　土	切土崩壊	適正勾配、地質構造（節理・層理・断層）
		掘削土の重金属汚染	試料採取箇所、風化
		のり面保護工の劣化	スレーキング、膨潤、水質特性
		豪雨時の表層崩壊	累加降雨量、時間雨量
	盛　土	材料劣化	スレーキング、膨潤、地下水特性
		基礎地盤沈下	軟弱粘土の圧密特性、腐植土、地下水低下
		基礎地盤の液状化	地盤の動的強度特性、粒度特性、地下水
	橋　梁	基礎の不等沈下・傾動	支持層深度の急変や不陸、地盤特性
	山岳トンネル	異常出水	断層、不透水層、地下水分布・量
		掘削土の重金属汚染	試料採取箇所、風化
		切羽崩壊	地質の不均質性、地下水、膨張性地山
		井戸の枯渇	地下水低下、井戸分布
	都市トンネル	構造物の変形	地盤の不均質性、地下水低下
		地表面沈下、陥没	地下水低下、施工時振動
河川・海岸	堤防	すべり破壊	軟弱地盤の強度特性、鋭敏性
		浸透破壊	パイピング特性、地盤の不均質性
砂　防	地すべり	対策後・概成後の再活動	古地すべり、地下水劣化、深部すべり面
	がけ崩れ	のり面保護工の劣化	スレーキング・膨潤、崩壊地周辺緩み
建　築	宅　地	降雨時の沈下	盛土材料劣化、吸出し
		建屋・構造物の沈下・変形	支持層急変、軟弱地盤特性、液状化

さらに上記想定される地質リスク要因について整理事例を表-3.1.12 に示します。

地質リスクへの対応方針は、発現の可能性の高さと発現した際の影響度（地質、地盤、地下水などに係る不確実性が建設事業費や安全性におよぼす影響）を評価し決定します。事業規模を踏まえて、リスクを回避、低減、保有により事業のコストや工期の最適化を図ることが重要となります。

[52] 出典）全国地質調査業協会連合会「地質リスク調査検討業務の手引き」2021 年 7 月 p.24
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf>（2022.1.31 閲覧）

表-3.1.12 地質リスク要因整理の事例[53]

地質リスク要因	切　土	盛　土	橋　梁	トンネル
地すべり等 （岩盤崩壊、深層崩壊）	法面の不安定化 滑動誘起	滑動誘起 地下水位上昇	滑動誘起	坑口斜面の不安定化 断面変形、滑動誘起
崩壊地形 崖錐堆積物など	法面の不安定化	地すべりの誘発	支持層の不陸による強度不足	坑口斜面の不安定化
風化帯・ゆるみ帯	法面の不安定化	地すべりの誘発	支持層の不陸による強度不足	坑口斜面の不安定化
表流水、湧水、地下水	法面の不安定化 利水への影響	湿潤によるすべりの発生	仮設切土法面の不安定化、ｸﾞﾗｳﾁﾝｸﾞ材の流出、利水への影響	切羽の崩壊 利水への影響
集水地形	法面の不安定化 土砂水の流入	湿潤によるすべりの発生	―	坑口斜面の不安定化 土砂水の流入
浮石、転石	自然斜面からの落石	自然斜面からの落石	自然斜面からの落石	坑口への落石
流れ盤構造（断層、層理面、 節理面、スラスト、低角度断層）	法面の不安定化	地すべりの誘発	仮設切土法面の不安定化	坑口斜面の不安定化 切羽の崩壊
高角度の受盤 （見かけ傾斜60°以上など）	法面の不安定化	―	仮設切土法面の不安定化	坑口斜面の不安定化
断層破砕帯、熱水変質脈、岩脈などの不連続面	法面の不安定化	地すべりの誘発 不等沈下	支持層深度の急変、不等沈下 仮設切土法面の不安定化	出水による切羽の不安定化 利水への影響
特異な水理地質構造 （水ミチなど）	法面の不安定化	湿潤によるすべりの発生	仮設切土法面の不安定化	出水による切羽の不安定化 利水への影響
スレーキング	法面の不安定化 （遅れ破壊）	法面の不安定化 不等沈下	―	覆工の変状 路盤の膨張
軟弱地盤	―	沈下、側方流動 液状化	沈下、側方流動、液状化 地盤改良範囲、工法の変更	坑門工の沈下 側方流動 液状化
支持層分布 （土軟硬分布）	法面の不安定化 （不適切な切土勾配）	不等沈下	定着不足	支保の大幅変更
土石流堆積物 （渓床・渓岸堆積物など）	土石流・土砂水の流入	土石流・土砂水の流入 横断管閉塞による排水不良	物性値のバラつき 玉石等による施工機械の不適合	坑口法面の不安定化
有害物質 （硫化鉄物、重金属含有鉱物）	土壌汚染材料の拡散 植生不良	土壌汚染 地下水汚染	―	土壌汚染材料の拡散

上記で整理した地質リスク要因について、発現の可能性の高さと発現した際の影響度を評価し地質リスクへの対応方針を決定します。地質リスク評価には表-3.1.13 に示すような一般的なリスクマネジメント方法の影響度と可能性の掛け合わせで算出されるリスクスコ

[53] 出典）全国地質調査業協会連合会「地質リスク調査検討業務の手引き」2021 年 7 月 p.25
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf>（2022.1.31 閲覧）

アで評価されることが多くなっています。

リスクスコアR(リスク程度の大きさ) ＝ 影響度E × 可能性の高さL

表-3.1.13 リスクスコアと地質リスクランクの設定例[54]

			可能性の高さ(発生確率) L				
			非常に低い 評点:1	低い 評点:2	中程度 評点:3	高い 評点:4	非常に高い 評点:5
影響度 E	非常に高い 評点:5	事業の継続不能となる影響	B (R=5)	A (R=10)	A (R=15)	AA (R=20)	AA (R=25)
	高 い 評点:4	事業が中断または大幅な遅延となる影響	C (R=4)	B (R=8)	A (R=12)	A (R=16)	AA (R=20)
	中程度 評点:3	大きな損失を受けるが事業は継続可能で遅延がある	C (R=1)	B (R=6)	B (R=9)	A (R=12)	A (R=15)
	低 い 評点:2	軽微な修復で事業継続可能となる影響	C (R=1)	C (R=4)	B (R=6)	B (R=8)	A (R=10)
	非常に低い 評点:1	事業の継続に影響を与えない	C (R=1)	C (R=2)	C (R=3)	C (R=4)	B (R=5)

表中(R=)は、リスクスコア(R=E×L)
－地質リスクランク(AA～C)の定義とリスクスコアR－
AA:回避:リスクを回避することが望ましいリスク事象(R=20以上)
A :回避・低減:回避または詳細な地質調査を実施して、完全なリスク低減対策を講じるべきリスク事象(R=10～19)
B :低減:地質調査を行い、調査結果に応じた適切なリスク低減対策を講じるべきリスク事象(R=5～9)
C :保有:リスク回避や低減対策を必要とせず、施工段階へリスクを保有することが可能な事象(R=5未満)

地質リスクへの対応は、回避、低減、保有の三つに大別できます。

地質リスクへの対応方針
・リスク回避：地質リスクを生じさせる要因そのものを取り除く、原因の完全除去
・リスク低減：地質リスクの発現可能性や顕在化した際の影響の大きさを小さくする
・リスク保有：特に対策をとらず、その状態のままリスクを受け入れる

建設事業における地質リスクは、地質、地盤、地下水などに係る不確実性(バラツキや情報不足)が建設事業費や安全性におよぼす影響のことです。よって、建設事業のコストや工期の最適化を図るもので、地質リスクの回避および低減への適切な対策費検討により対応方針を決定する必要があります(表-3.1.14)。

表-3.1.14 主な地質リスク対策費の目安 (200㎡≒約60坪規模で想定)

想定対策工(概略数量等)		概算工事費 (直接工事費,千円)
地すべり対策	水抜き工(孔長=30m×5本)	3,000
	アンカー工(アンカー長=20m×15本)	7,000
	抑止工(杭長=16m×25本)	5,000
落石対策	落石防護柵(落石径0.5m以下、敷設延長=20m)	4,000
	落石防護柵(落石径0.5m超、敷設延長=20m)	10,000
	浮石・転石除去(除去面積=10㎡)	500
軟弱地盤対策	軽量盛土(盛土体積=50㎥)	1,400
	地盤改良_浅層混合処理工法(改良深度2m、改良体積=100㎥)	200
	地盤改良_中層混合処理工法(改良深度5m、改良体積=250㎥)	2,500

*地質条件や現場条件で数量や費用は変化するため概算工事費はあくまで参考
*各種条件で各工事費は逆転する場合もあり

[54] 出典) 全国地質調査業協会連合会「地質リスク調査検討業務の手引き」2021年7月 p.26
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf> (2022.1.31閲覧)

地質リスクの回避および低減への適切な対策検討には、表-3.1.15 に示すようなより詳細な地質調査が必要な場合があります。この際も調査費と対策費のバランスを検討し、調査内容を検討する必要があります。

表-3.1.15 代表的な地質調査方法と得られる地質・地盤情報[55]

分 類	代表的な地質調査方法(略称)	得られる主な地盤情報	調査結果の主な用途
机上調査	資料調査	地形・地質情報など	調査計画の立案、設計・施工上の問題点の抽出
	空中写真判読	地形要素	微地形、地すべり、土地利用、活断層などの検出
現地調査	地表地質踏査	ルートマップ、観察記録	地質構造の把握、岩盤分類、割れ目系の表示など
	トレンチ調査	スケッチ、写真	地質構造、活断層の位置、活動時期の把握
物理探査	弾性波探査（屈折法）	弾性波速度 V_p	弾性波速度構造、切土のり面安定評価、岩盤分類など
	電気探査	見かけ比抵抗値 ρ_a	破砕帯、断層、基盤岩分布などの地質構造の解明
	音波探査	反射断面図	海底地形、海底下の地盤構造
物理検層	速度検層（ＰＳ検層）	V_p、V_s、動ポアソン比	動的地盤モデル作成、地震応答解析の物性
	電気検層	見かけ比抵抗値 ρ_a	帯水層、難透水性層、亀裂や薄層などの地層検出
	密度検層	地層の密度 ρ_t	連続的な深度分布、土被り圧などの算定など
ボーリング	機械ボーリング	柱状図	詳細な地質構造の把握、岩盤分類のための地質情報
原位置試験・サウンディング	スウェーデン式サウンディング	W_{sw}、N_{sw}	概略の地層構成、N 値の推定、小規模建築物の地耐性
	ポータブルコーン貫入試験	表層地盤の q_c	軟弱な粘性土地盤の層厚確認、粘着力の推定
	オランダ式二重管コーン貫入試験	q_c	地層構成と硬さ、基礎の支持力と沈下検討（砂地盤）
	電気式静的コーン貫入試験	q_t、f_s、u	詳細な土層判別、強度推定、基礎の支持力と沈下検討
	原位置ベーンせん断試験	軟弱地盤のせん断強度 τ_v	鋭敏比の把握、安定解析などで利用
	標準貫入試験	N 値、試料観察記録	地盤の硬さ、地盤定数の推定、支持力や液状化判定など
	動的コーン貫入試験	N_d 値	支持層の深さや軟弱な土層の層厚確認、N 値の推定
地下水調査	間隙水圧測定	地下水位、間隙水圧 p_w	排水計画、沈下検討、土圧や有効土被り圧の算定など
	現場透水試験	地下水位、透水係数 k	排水計画、浸透流解析などの地下水解析
	湧水圧試験（JFT）	平衡水位、透水係数 k	深い根切の排水計画、トンネル湧水量の予測など
	ルジオン試験	p～q 線、L_u、L_u' など	岩盤の透水性評価、グラウチング計画
	揚水試験	透水係数 k、貯留係数など	大規模な排水工法検討、地下水影響予測など
載荷試験	孔内水平載荷試験	変形係数 E、p_0、p_y、p_l	地盤反力係数算定と杭の水平抵抗の検討
	地盤の平板載荷試験	地盤係数 k_v、極限支持力	基礎の沈下と支持力の検討、変形係数や粘着力の推定
	道路の平板載荷試験	地盤係数 k_s	路盤の設計と品質管理、基礎の支持力管理
施工管理試験	現場 CBR 試験	CBR 値	舗装設計、路盤の施工管理、変形係数や粘着力の推定
	現場密度試験	湿潤密度 ρ_t、乾燥密度 ρ_d	盛土の転圧などの品質管理、岩石質材料の密度把握
現地計測	変位測定（地表・地中）	変位量、傾斜変動量など	沈下管理、盛土の安定管理、斜面崩壊予測など
	応力・荷重（土中・壁面）	土圧、水圧、応力、軸力など	構造物の安定管理、施工管理など
室内試験	物理試験（含水、粒度試験など）	w、粒度分布、I_p、ρ_t など	物理的性質の把握、有効土被り圧算定、液状化判定など
	地質学的試験（堆積環境）	微化石、火山灰、地質時代など	地層対比など、堆積環境の判定や評価
	締固め試験	ρ_{dmax}、w_{opt}、ρ_d～w 曲線	盛土における品質管理と施工管理
	せん断試験 （一軸・三軸圧縮試験）	q_u、c、ϕ、変形係数 E など	基礎の支持力解析や変形解析、安定解析などの各種検討
	圧密試験	e-log$p$、p_c、C_c、c_v など	圧密沈下量と圧密時間の算定、圧密促進工法の検討
	透水試験	透水係数 k	掘削時の排水計画、浸透流解析などの地下水解析
	繰返し非排水三軸試験	$\sigma_d/2\sigma_c'$～N_c、N_c95 など	液状化判定（繰返しせん断強度比）
	動的変形試験	G～γ関数、h～γ関数	地震応答解析用の物性値

[55] 出典）全国地質調査業協会連合会「地質リスク調査検討業務の手引き」2021 年 7 月 p.47
<https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf>（2022.1.31 閲覧）

3.2 流量調査

3.2.1 流量観測の基本

これまで繰り返し述べたとおり、水力発電の源泉は「水の流れ」です。この水が流れる量を指す言葉として「流量（りゅうりょう）」があります。流量は単位時間毎に川を通過する堆積を指し、その単位時間は水力発電計画では一般的に「m^3/s」、つまり単位時間を 1 秒として、1 秒あたりに流れる体積（m^3 ＝ 1 立方メートル）で表記されるのが一般的です。この流量の定義について国土交通省の HP[56]では以下のとおり記載されています。

> 流量とは、単位時間に河川のある横断面を流過する水の体積です。例えば、左右岸の堤防の間の横断面（下図、断面積 A）を 1 秒間に通過する水の体積のことで、流速（流れの速さ）と断面積を掛けると流量が計算できます。測定単位は、立方メートル毎秒（m^3/s）です。
>
> 国土交通省　川の防災情報　HP より

上記より流量は以下の式で表されます。

Q ＝ A × V

ここで、Q：流量（m^3/s）

A：断面積（m^2）

V：流速（m/s）

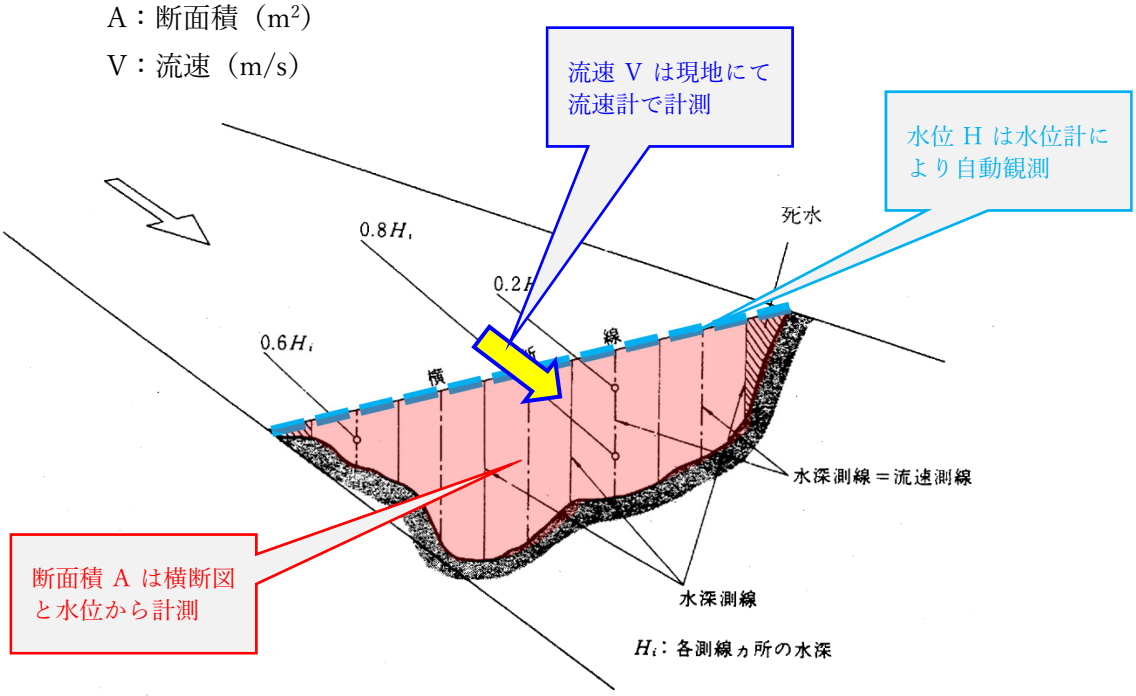


図-3.2.1 流量の定義について[57]

---

[56] 出典）国土交通省「川の防災情報」<https://city.river.go.jp/kawabou/reference/index03.html>（2022.1.31 閲覧）

[57] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.121 に加筆

流量を観測する必要性は以下のとおりです。

- **実測の流量データにより発電電力量の計算精度を高めることで、事業収益性の低下リスクをヘッジするため**
- **水利権協議[58]が必要となる場合は、実測の流量データの提示が求められることがあるため**

一般の河川における流量観測の流れを整理すると下のとおりとなります。

① 流量観測を行う位置（観測地点、という）を決めて、同地点の河川横断測量を実施する。
② 観測地点に水位計を設置する（水位観測は年間を通じて行う）
③ 定期的に現地で流速を計測する。
④ ③流速の計測時の水位に対応する断面積（A）を算定する。
⑤ ③流速と④断面積の関係をプロットして、水位～流量曲線（一般的に HQ 曲線とも呼ばれる）を作成する。
⑥ ②年間で計測した水位データより、水位～流量曲線を用いて「年間の流量」を整理する。

ここでは上記の手順に沿って次頁以降で流量観測の要点を概説します。

このテキストでは流量観測の基本的事項について概説しますが、各項目の技術的な検討や調査内容の詳細は「水文観測」[59]にくわしく説明がありますので、そちらを参考にしてください。

流量観測に関する計測や検討には専門技術が必要となります。このため事業者自らが実施出来ない場合は、専門の業者へ委託することが望ましいでしょう。流量観測はある程度のスパン（半年以上）での実施が必要になるため、長期間で対応してもらえる委託先を見つけることが重要となります。

---

58 本テキスト 2 章 5 節「河川法・水利権」を参照

59 国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会

この節で述べたとおり、流量の単位は“㎥/s”ですが、例えば 10㎥/s は「10 トン」と“トン”を付けて呼ばれることが一般です。これは水の密度が 1t/㎥ であることが由来しています。国土交通省の HP にも以下のとおり記載がありますので参考にして下さい。
打合せなどで「トン」という言葉が出来てきたら流量のことだな、と思って下さい。

> 水の容量は一般的に 1 立方メートルまたは 1m³ であらわす。ただ、水の場合の 1 立方メートルは約 1 トン（1,000kg）の重さなので、略して 1 トンと呼ぶことが多い。
>
> 国土交通省 HP[60]より

[60] 出典）国土交通省「パンフレット・事例集 防災 毎日の水」
<https://www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/tisiki/kassui/kassui_1.html>（2022.1.31 閲覧）

3.2.2 水位・流量観測所の位置

流量は断面積と流速を掛け合わせることで求められます。このことから、観測所の位置を決める時は以下に留意する必要があります。

① 常に一定の「水深」があるところ

流量を計測するには、水位を測る → 水位に応じた断面積と流速を計る → それぞれをかけ算する、で求められます。つまり「水位を測ることが出発点」です。このため観測所は常に安定して水位を計測できなければなりませんから、1 年間を通じて常時水が安定して流れている＝「年間を通じて水深が安定してある」ところを観測所としなければなりません。

② 常に一定の「流れ」があるところ

流量を求めるには流速を計る必要があるため、水深に加え安定して水が流れているところ＝「年間を通じて安定して流速があるところ」を観測所とする必要があります。このため、淵（淀み）、貯水池（ダム、堰の上流）、本川の背水の影響を受ける区間（本川との合流点付近）などは避けるようにしましょう。

③ 河床が変動しにくいところ

流量を求めるには断面積を計る必要があります。この断面積は測量横断図を基に算定することになります。しかし、河床変動や土砂の堆積が激しいところでは図-3.2.2 に示すとおり水位と断面積の関係性が保てないため、同じ水位でも断面積が異なってしまい、結果的に流量も異なってしまいます。このため流量データの精度が落ちることが懸念されます。

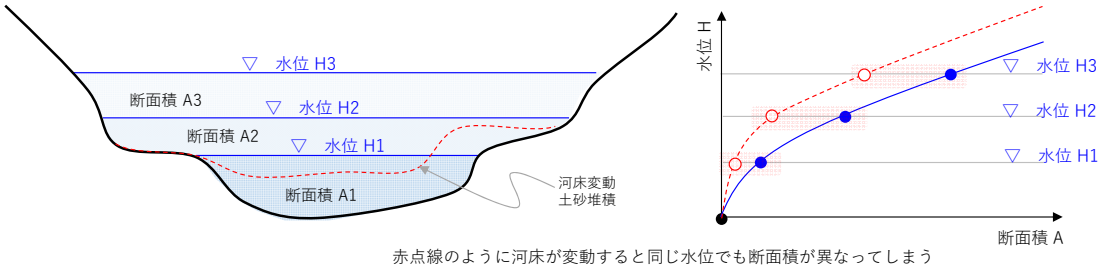


図-3.2.2 水位と断面積に対する河床変動・堆積の影響

このため、可能な限り堅い岩盤が河床となっている箇所やコンクリート水路などを観測所とすることが望ましいといえます。

山地河川では上記の条件に合致する箇所が多くないことから、近年では砂防ダムの水通しで水位を観測するケースが増えています。砂防ダムの水通しはコンクリートであるため河床変動の面では有利となりますが、水深があまりとれないことや、流速観測時の安全性（転落の危険性）など懸念事項があるため、測量業者や建設コンサルタントに相談の上で位置を決めることも有効となります。

④ 維持管理がしやすいところ

水位計にゴミが絡んだりするとデータが取れない可能性があります。そういった塵芥を除去するなど維持管理がしやすい場所が望ましいといえます（アプローチ道路がある、冬期に除雪される、作業中に転落などの恐れがない等）。

水位観測地点が河川区域や河川保全区域に入る場合は、河川法による許可（2 章 5 節 3 項参照）が必要となる場合があります。また、砂防施設を利用する場合も施設管理者の了解を得る必要がありますので注意して下さい。

3.2.3 水位観測機器

水位観測の機器にはフロート式、圧力式、気泡式など様々な種類がありますが、中小水力発電のための水位観測としては圧力式が最もポピュラーです。ここではこの圧力式の水位計について主たる機器形式を概説します。

水圧式水位計は水位の変化に伴い水中に設置された受圧部の受ける水圧の変化を機械的に測定する他、感圧素子によって電気信号に変換して水深を測り水位を観測するものです。水圧式水位計の構成を図-3.2.3 に示します。

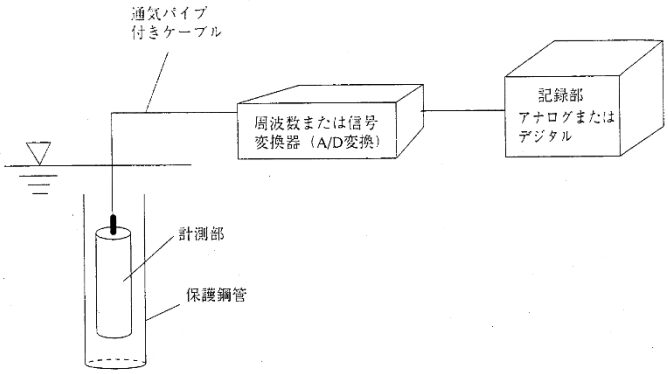


図-3.2.3 水圧式水位計の構成図[61]

また、砂防えん堤を利用した中小水力発電の F/S 調査のために設置された水位観測機器の事例を図-3.2.4 に示します。観測された水位はデータロガーに記録され、SD カードなどに書き出して利用することが出来ます。SD カードなどの記憶媒体は半年程度で交換するのが一般的です。観測記録の時間刻みは任意で設定できます。

図-3.2.4 圧力式水位計の設置事例[62]

また、近年では簡易型の圧力式水位計として図-3.2.5 に示すような製品（簡易水位計）も登場しています。この製品は SD カードが躯体に内蔵されているため、河床部に流されない

---

[61] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版
社団法人全日本建設技術協会 61 頁

[62] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「水力関連補助事業 中野川水系砂防堰堤を利用した小水力発電事業性評価・発電事業者公募事業」平成 30 年 2 月
<https://suiryokuhojo.nef.or.jp/evaluation_support/pdf/h30/lo01.pdf>（2022.1.31 閲覧）

ように重しとセットで固定して沈めておき、定期的に引き上げてカードからデータを抜き取れば水位を得ることが可能です。この水位計は電池式でその寿命も長いことから頻繁な電池の取り替えは不要です。なお、大気圧補正用として大気圧を同期間で観測する必要があります。ただし、これは簡易水位計をもう１つ大気中に置いておけば問題ありません。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

図-3.2.5　簡易的な圧力式水位計

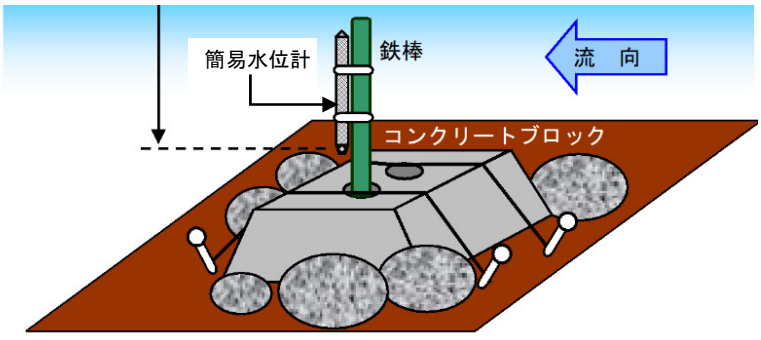


図-3.2.6　簡易的な水位計の設置事例

3.2.4 流速の計測

水位は水位計を設置して自動計測しますが、流速は基本的に現地にて人力により計測します。流速は川幅に応じて河川の横断方向に側線を区分して、その側線毎で流速計を水にいれて直接計測します。水深側線と測線間隔は図-3.2.7 に示すとおりです。流速は船にのったり橋の上から計ったりと様々ありますが、中小水力発電の場合は図-3.2.8 に示すとおり徒歩での観測が一般的です。

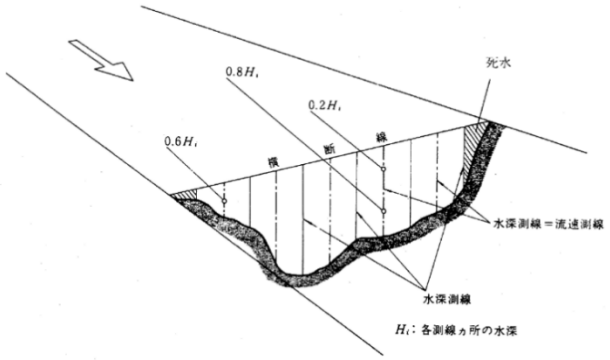


図４・３・５　水深測線と流速測線の配置

表４・３・３　測線間隔

水面幅(m)	水深測線間隔(m)	流速測線間隔(m)
10以下	水面幅の10～15%	左に同じ
10～20	1	2
20～40	2	4
40～60	3	6
60～80	4	8
80～100	5	10
100～150	6	12
150～200	10	20
200以上	15	30

図-3.2.7　流速観測の水深測線と測線間隔[63]

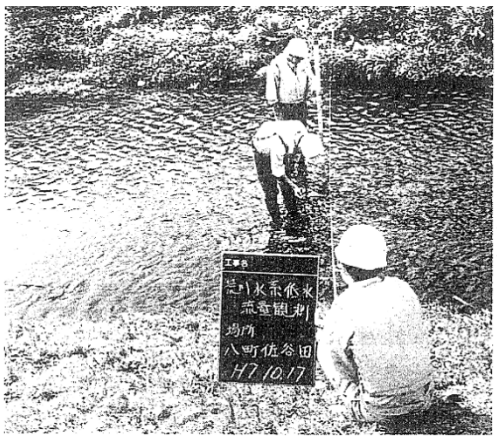


図-3.2.8　徒歩による流速の計測[64]

---

[63] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.121

[64] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.101

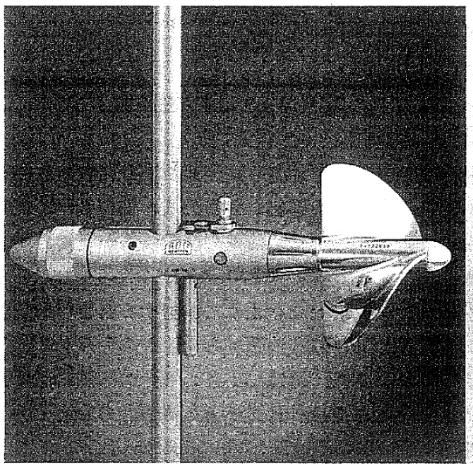


写真４・３・８　オット式流速計

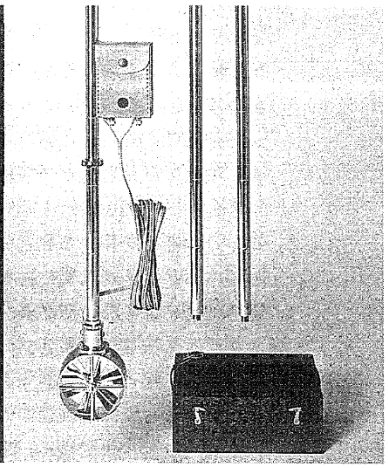


写真４・３・９　広井式流速計

図-3.2.9　流速計の例[65]

なお、洪水時の流量は安全性の観点から流速計による直接観測は難しく、浮子による観測や画像解析などが一般的です。なお、水力発電事業における流量観測は通常時（平常時）の流量を対象とするため本テキストでは洪水時の観測は記載しませんが、必要であれば水文観測[66]に詳述されていますので参考にしてください。

流速の観測頻度は月 3 回以上が望ましいとされています[67]が、後述する水位～流量曲線作成の観点から、計測頻度は高ければ高いほど良いと言えます。費用が許す限りなるだけ多く観測するようにしましょう。

流速の計測方法には細かなルールが決められていますので、実際に実施する際は「水文観測」の熟読、または専門業者への委託も有効です。
使用する流速計についても、データの有効性確保の観点から所定の検定を受けた機器による観測でないと資料として認めてもらえない場合もありますので、注意が必要です。

---

65 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.107

66 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.132

67 国土交通省 四国地方整備局「水文観測の手引き案 低水流量観測編」平成 16 年 3 月 p.13 <https://www.skr.mlit.go.jp/kasen/mizu/reports/tbk04.pdf>（2022.1.31 閲覧）

流量の計測には流速に加えて、水位に対応する「断面積」が必要です。このため、流量観測地点では「横断測量」が必要になります。また、横断測量の高さ（標高）と水位計の高さは一致していなければならないことに注意して下さい。

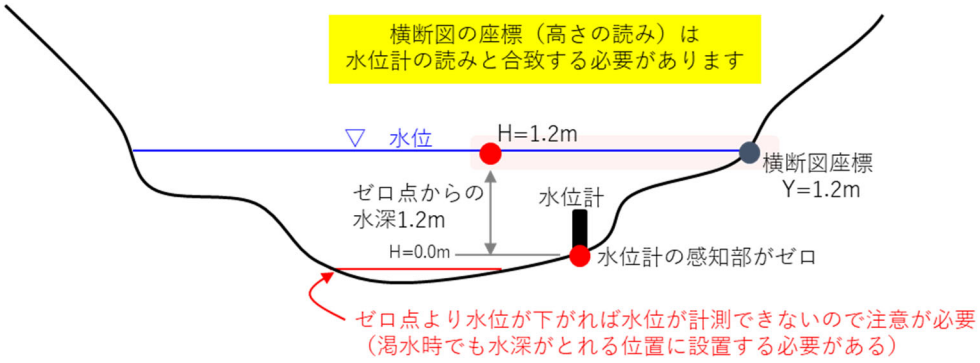


図-3.2.10　水位計と横断図の高さの読みについて

圧力式水位形の場合、圧力感知部の位置が変わるとゼロ標高が変わってしまい、それまでの計測データ（水深の値）との整合がとれなくなりますので、設置においては感知部が動かないような配慮が必要です。

【参考】流量計算の方法

② 流量計算

流量は，横断の各区分断面積にその面積を代表する平均流速を乗じて，各区分断面の流量とし，これを全断面について合計して求める。

(a) 相隣り合う２つの水深測線間は台形として面積を求める。

(b) １つの流速測線の受け持つ断面積は，これと相隣り合う両側の流速測線とのそれぞれの中央までとする。

(c) 最外側の流速測線にあっては，水際（死水域のあるときは流水域と

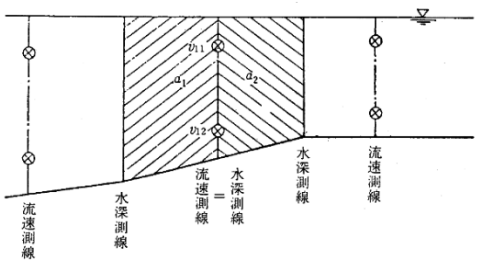


図４・３・６　区分断面流量算出の例

の境）まで全部を受け持つものとする。

(d) 最外側の測線間隔は水位変化によって一定せず，一般に他の測線間隔に比べ小さくなることが多い。

(e) 水際の水深は，垂直な河岸または構造物に接している所ではそこの水深，死水域があって断面を打切るような場所ではその境の水深，水際まで流水域であれば水際の水深を「０」としてそれぞれを採用する。

解　説

流量観測野帳の記入及び計算要領は次のとおりである。

〔１〕 観測，計算

① 流速は水深測線上１本おきに測定する。ただし，水面幅10m 以下では，水深測線と流速測線は共通とする。

② 距離（第２列）：左右岸何れかの補助杭から測った累加値とし，左右のうち使用した方に○印を付ける。

③ 水深（第３～５列）：往復の測定値を記入しその平均を計算する。

④ 器深（第６列）：水面より流速計カップの中心までの深さを記入する。２点法による場合の器深は２段書きとする。

⑤ 点流速（第11列）：音数（第７列）と平均時間（第10列）から回転速度を求め流速計検定式に当てはめると点流速の値が得られる。

⑥ 測線平均流速（第12列）：２点法には，点流速（第11列）を平均し，この欄に記入する。

⑦ 平均水深（第13列）：相隣る測線間について水深を平均したものを平均水深という。この行は，２つの測線にまたがっている。

⑧ 区分幅（第14列）：平均水深を求めた測線の幅を区分幅という。

⑨ 区分断面（第15列）：平均水深と区分幅を掛けたものをいう。

⑩ 合計（第16列）：流速測線の両側の区分断面（第15列）を加え合わせたものを記入する。

⑪ 流量（第17列）：断面積合計（第16列）と同じ行の測線流速（第11列あるいは第12列）とを掛けたのが流量である。

⑫ 第12行の計算：第12行の流速測線の支配する面積を求めるのに次の測線間の平均水深（第５列）が必要なので次頁から第13行に移記する。

出典：水文観測[68]

[68] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.129、p.130

3.2.5 水位～流量曲線の作成

上記で述べた調査を行った後、得られたデータを用いて水位～流量曲線（HQ 曲線といいます）を作成します。この曲線を作成することで、通年で計測する水位を流量に変換して、流量年表を作成することが可能となります。水位～流量曲線の例を図-3.2.11 に示します。

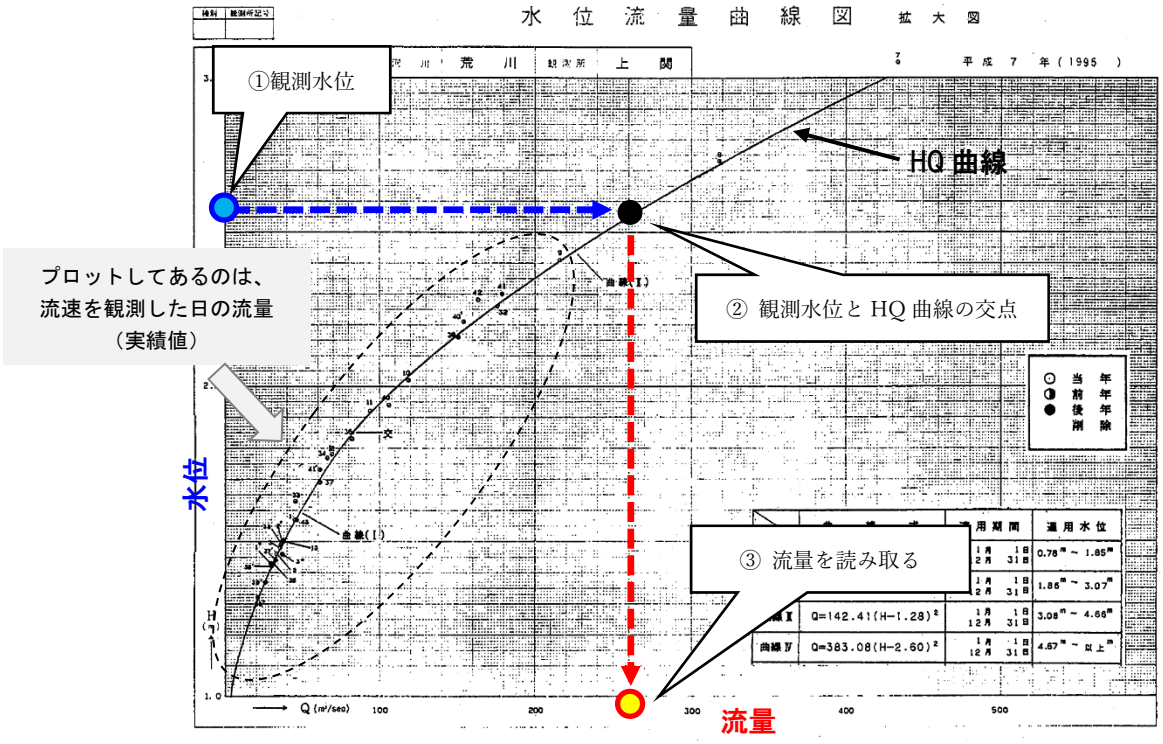


図-3.2.11 水位～流量曲線の例[69]

一般的に HQ 曲線は以下の式（二次曲線式）で表します。

$$Q = a \times (H+b)^2$$

ここで、Q：流量（m^3/s）

a：係数

H：観測水位（m）※ 標高（EL.m）とする場合もあります

b：係数

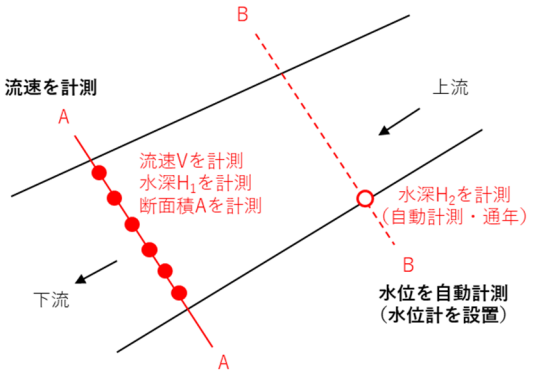
上記より、係数の a と b が決まれば、あとは観測した水位 H を代入することで、流量 Q を求めることができます。この HQ 曲線式の a と b の求める方法を以降で概説します。

---

[69] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.222 に加筆

① 流速計測時の流速観測地点の水深 H_1（m）を整理します。
② 流速計測時（①と同じ時刻）の水位観測地点の水深 H_2（m）を整理します。

水位データは 2 種類使い分ける必要があります。H_1 は流量を算定するための水深で、流速計で計測した際の同地点の水深となります。一方、最終的に HQ 曲線で流量に換算する際の基となる水位は自動観測する水位 H_2 となることに注意して下さい。以下の図でいくと B 測線の水位が H_2、A 測線が H_1 となります。



以下で述べる計算において、この H_1 と H_2 を取り違えないように注意してください。ただし、水位計設置箇所と流速の計測地点が同じであれば H_1=H_2 として問題ありません。

③ 現地で計測した流速を V（m/s）整理します。
④ 流速計測地点の横断測量図面、または現地での計測結果から①の水深 H_1 に対する断面積 A（m^2）を算定します。
⑤ ③断面積 A×②流速 V で流量 Q（m^3/s）を整理します。
⑥ ①～⑤を流速観測日毎に繰り返して、流速観測日毎の流量（Q）と水位（H_2）を整理します。

上位の①～⑥をもちいて HQ 曲線式の係数 a と b を計算します。その計算方法を水文統計から抜粋して以下に示します。

(2)　2 次曲線式の定数算定

2 次曲線式の定数は観測資料群に最小自乗法を適用することにより求める。

解　説

H_2 を用いること！

① $\sqrt{Q}$ と H を方眼紙にプロットしてほぼ直線になれば本式を適用でき，a，b を最小自乗法により求める。ここに Q，H は観測流量とそれに対応する水位である。

② 2 次曲線式を $\sqrt{Q}=\sqrt{a}(H+b)$ と変形して，$a'=\sqrt{a}$，$b'=b\sqrt{a}$ とおけば

$$\sqrt{Q}=a'H+b'$$

となり，ここで V_{err} を観測流量と推算流量との差とすれば次式となる。

$$V_{err}=\sqrt{Q}-a'H-b'$$

今，資料数を N とし，各観測値の和を〔　〕で表わし，最小自乗法の正規式は次のようになる。

$$[\sqrt{Q}]-[H]a'-Nb'=0$$

$$[H\sqrt{Q}]-[H^2]a'-[H]b'=0$$

上式を a′，b′ について解けば，

$$a'=\frac{N[H\sqrt{Q}]-[H]\cdot[\sqrt{Q}]}{N[H^2]-[H]^2}$$

$$b'=\frac{[H^2]\cdot[\sqrt{Q}]-[H][H\cdot\sqrt{Q}]}{N\cdot[H^2]-[H]^2}$$

$Q=a\times(H+b)^2$
$a=a'^2$
$b=b'/a'$

となる。従って

$$Q=a'^2(H+b'/a')^2$$

として求まる。

③ 有効数字のとり方は，各々小数以下 4 位（小数 5 位を 4 捨 5 入）まで計算しておき，a，b は小数 3 位を 4 捨 5 入し，2 位までを有効数字として算出する。特に小河川の場合には，有効数字を 1 位または 2 位下げて計算し，a，b の有効数字を小数点以下第 3 位までとした方が良い時もある。

出典：水文観測[70]

上記で計算する際の水位 H は水位 H_2 となりますので注意して下さい。ただし、水位観測機器の設置箇所と流速の計測地点が同じであれば $H_1=H_2$ として問題ありません。

[70] 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 p.232 に加筆

3.2.6 年間の流量の整理

前項で作成した HQ 曲線を用いて、年間計測した水位を基に年間流量を整理します。自動観測した水位データ（H_2）を日毎に整理します。日水位データ（H_2）は午前 1 時～翌 24 時の正時水位総計を 24 で除した水位とします[71]。

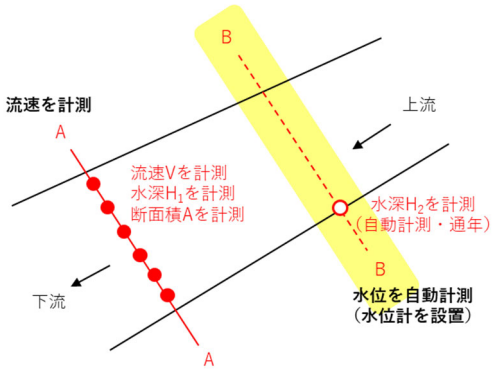


図-3.2.12 年間の流量の整理に使用する水位（黄色網掛け H_2）

上記で整理した日平均水位データを基に、前項で算定した HQ 曲線式により流量に変換したものが年間の流量となります。この流量を大きい順番に並び替えることで流況の整理[72]が可能となります。なお、流量に変換したデータの妥当性確認として、近傍の流量観測所との比流量の比較を行うことも有効です。図-3.2.13 は観測した流量を大きい順番に並び替えたものと、近傍のダムの流量データとの比較です。Y 軸の単位は比流量（$m^3/s/km^2$）で揃えてあります。これを見ると発電計画地点の流況データは概ね A ダムと B ダムの比流量の間のレンジに入っていることが確認できます。

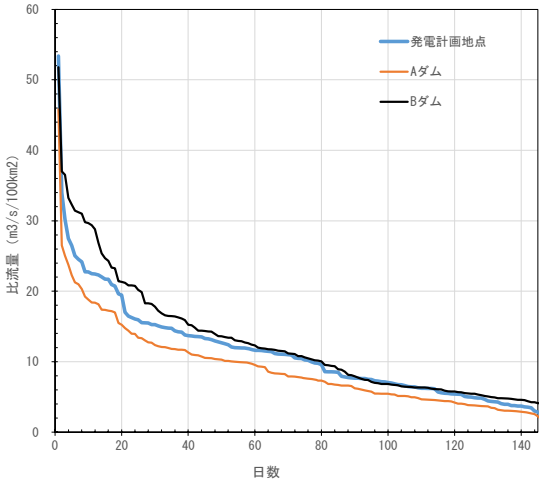


図-3.2.13 比流量の比較について

---

71 出典）国土交通省河川局監修 独立行政法人土木研究所編著「水文観測 水文観測業務規定細則」平成 14 年度版 社団法人全日本建設技術協会 参-11 頁

72 本テキスト 3 章 6 節「流量データの整理」を参照

ここで述べたとおり流量データの計測や算定にはかなりの手間がかかりますが、発電計画の精度向上（事業収益性検討の精度向上）には精度良い流量データが必要です。このため、なるだけ長い期間で水位・流量データを蓄積してその妥当性を吟味することが重要です。

水位観測（水位計）については例えば１年間の計測が終わったら直ぐ撤去するのではなく、少なくとも発電所工事が始まるまでは可能な限り計測を継続するようにしましょう。

3.3 水力発電所の基本設計 （水路ルートの検討）

3.3.1 基本設計(水路ルート検討)の手順

水力発電所の導入検討から具体的な詳細設計までの流れは図-3.3.1 に示すとおりです。事業立案段階の机上調査で抽出した発電計画地点[73]を対象に、取水設備と発電設備、および水路ルートの選定と発電規模事業性の評価を行い、最終的に水力発電事業としての事業性があるかの判断（ゲート 2）を経て、次のステップである事業建設段階に進み、詳細設計を行うことになります。

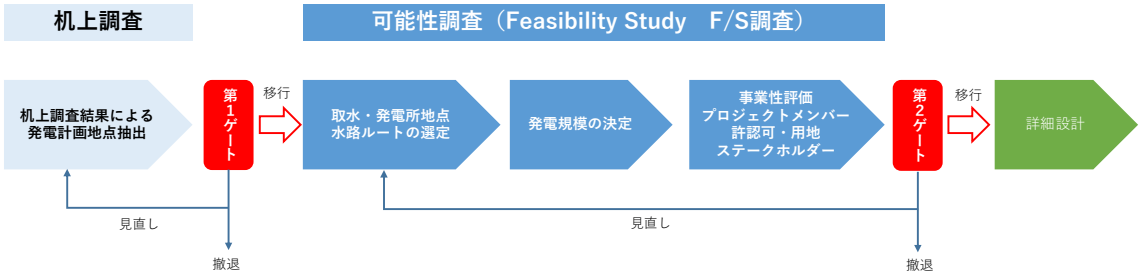


図-3.3.1 机上調査から詳細設計までの流れ

各設計段階における検討内容と必要となる地形図（測量）精度は表-3.3.1 に示すとおりです。実現性の見通しが高くなるほど精度を高めていくことになるため形測量の精度も高いものが求められます。また、これに付随して各段階の測量や調査設計にかかるコストも増大します。

表-3.3.1 各種設計段階における検討内容

テキスト	設計レベル	地形図の精度	検討内容
2 章	机上調査 （可能性調査）	1/50,000～1/25,000 （国土地理院）	開発地点の選定
3 章 （本章）	F/S 調査 （基本設計）	1/10,000～1/5,000 （国土基本図）	発電所の諸元の検討 水路ルートの決定 測量範囲の決定
5 章	詳細設計	1/500～1/100 （現地測量の実施）	工事発注用図面レベル 許認可申請用の図面となる

[73] 本テキスト 2 章「 開発地点の机上調査」参照

上記のとおり本章で述べる基本設計は、発電所の基本諸元（最大出力、有効落差、最大使用水量）の決定、水路ルートの決定（取水口、導水路、発電所の位置決め）、それに応じた測量範囲の決定、が主たる作業の目的となります。

表-3.3.2 基本設計で決める発電所の主たる諸元

諸元項目	単位	内容
取水地点の流域面積	km^2	取水地点において雨が集まる面積（集水面積）。一般的に面積が大きいほど流量が豊富とされ発電電力量も大きくなり事業性で優位となります。
取水位	EL.m	取水地点での水位
放水位	EL.m	発電所から放流する際の水位
総落差	m	取水位から放水位を差し引いたもの。落差が大きい程出力が大きくなります。
有効落差	m	総落差から損失水頭（ロス）等を差し引いたもの。
最大使用水量	m^3/s	発電所で最大利用する水の量。この量によって発電出力や設備規模と事業費が大きく変わることから、重要な項目となります。
最大出力	kW	最大使用水量に有効落差を乗じ、更に設備の効率を乗じたもの。水車発電機の設計において重要な要素となります。また、FIT 認定などランク区分の閾値にもなります。
年間発電電力量	kWh	1 年間で発電所が発電できる電気の量。これに売電単価（円/kWh）を乗じたものが、発電所の年間収入額となります。

水力発電で生み出される電力は主に「有効落差」と「最大使用水量」で決まります。これらの値が大きい程生み出される電力は大きくなりますが、連動して設備規模が大きくなることから付随して建設コストも増加します。この「電力量」と「建設コスト」の最適なバランスを求めるのが、基本設計の重要な目的となります。

3.3.2 水路ルートの構造物

水力発電は水の流れ（河川など）の上流側のどこかで発電用として水を取水し、それを下流側の水車まで導水して発電した後、その水を河川などへ戻すことで１サイクルが終わります。この「取水口」から「河川などへ水をもどす」ところまでの一連のルートを「水路ルート」と呼びます。水力発電においてはこの水路ルートに様々な設備が配置されることになります。水路ルートの構造物の配置は図-3.3.2 に示すとおりです。これは２章で述べた水力発電の種別における「流れ込み式」とよばれる場合のものになります。

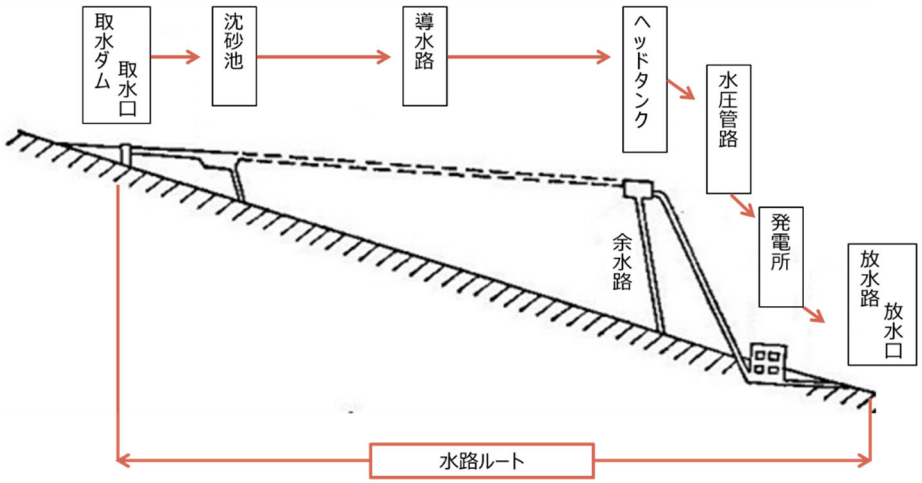


図-3.3.2 水路ルートの概略図

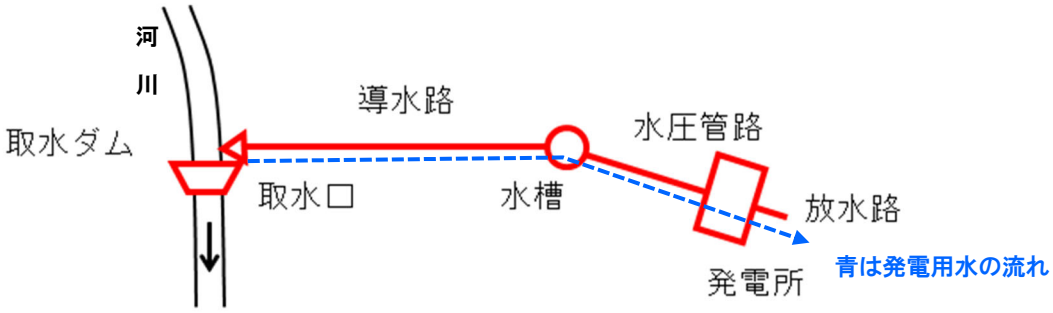


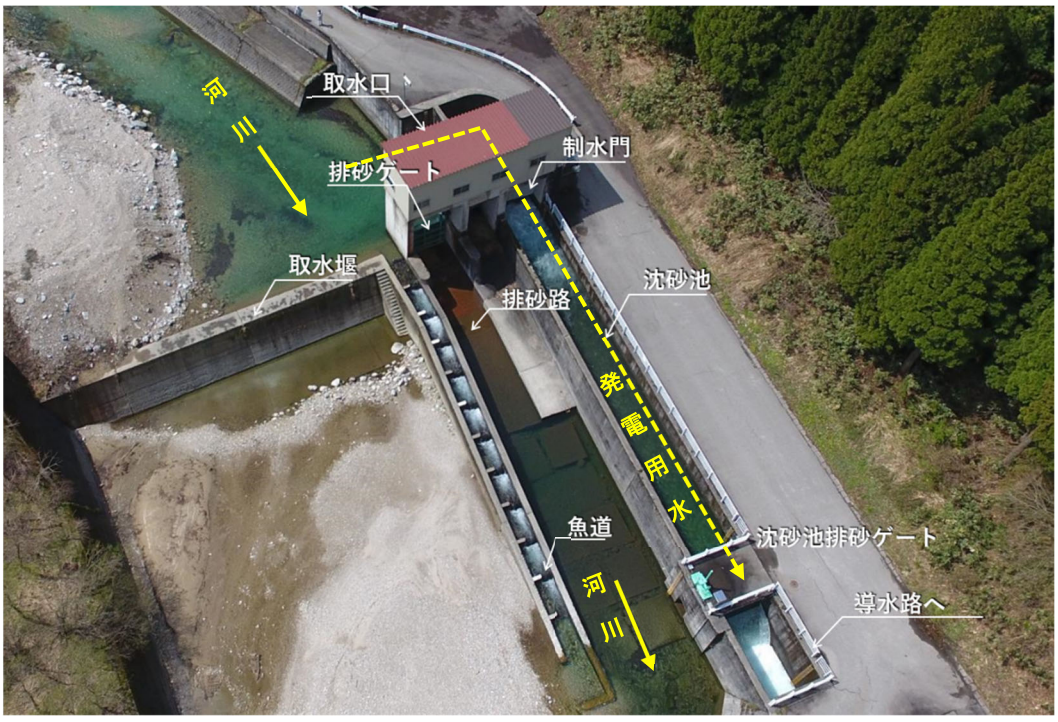
図-3.3.3 水力発電計画書によくみられる水路ルートのシンボル図

(1) 取水設備(水路式発電方式の場合)

水路式発電方式の取水設備の事例を写真-3.3.1 に示します。上流から流れてきた河川水を取水堰によって堰き止めを行い、取水口から流れ込んだ水は制水門から沈砂池へ流入し、その後導水路へ流入します。

事例の設備は取水口付近に排砂ゲートが設置されており、洪水などによって取水口付近に堆積した土砂を下流へ排出する機能がついています。また、取水した水の砂分を沈殿させる沈砂池もその機能上土砂が堆積することから、定期的な排砂を行うための沈砂池排砂ゲートも併せて設置されています。また、取水堰を設置することで川に落差が生じ、魚類の移動に影響がでることから、事例では魚類の移動の連続性に配慮した魚道も設置されています。

このように発電の取水設備は、1）安定して発電用の水を導水路へ導くこと、2）安定取水のため河川や沈砂池の土砂を排出できること、3）魚の移動に配慮できること、といった様々な機能を満足するように設計を行う必要があります。

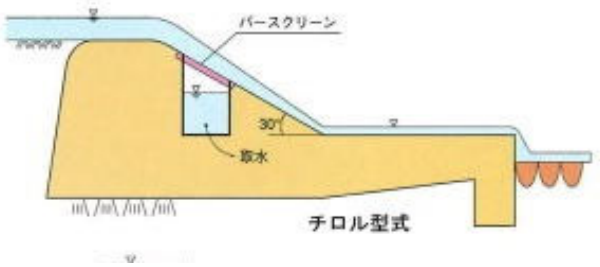


写真提供：富山県企業局 新大長谷第一発電所

写真-3.3.1 取水設備の事例（水路発電方式）

表-3.3.3 取水設備の構成

設　備	説　明
取水堰 （ダム）	・　河川を堰き止め水を取り入れるための設備です。 ・　既存砂防堰堤を活用する場合もあります。 ・　河川法では、堤高（基礎岩盤から堤頂又は天端までの高さ）１５m以上の物を「ダム」と呼びますが、電気事業法上は堤高に関わらずすべて「ダム」として取り扱われます。（ただし、ヘッドタンクや農業用水路等内の堰は除きます）
取水口	・　水を取り入れる設備です。 ・　取水堰の堤頂部（または既存砂防堰堤の水通し部）から取水する水平スクリーン（チロリアン方式）も挙がれます。 ・　前面にスクリーンに設置して、比較的大きなゴミが流れ込むのを防ぎます。 ・　保守点検および流量調整用にゲート（制水門）を設けます。
排砂路 排砂ゲート	・　流入する排砂時や保守点検時に水路から水を抜く設備です。
沈砂池	・　取水した水から砂を沈殿させて導水路内への土砂流入を防ぐ設備です。 ・　中小水力の場合は水槽と兼用する場合も多く、取水口スクリーンでは取り除くことができないような小さなゴミを自動で取り除くための除塵機を設置します。
導水路	・　取水口より取水した水を水槽まで導水する構造物で、自由水面で流れる無圧式と、内部に全体に水圧のかかった圧力式に分類されます。構造別に分類すると、無圧式として用いられているものには、開渠、蓋渠、暗渠等があり、圧力式として用いられているものには、鋼管、強化プラスチック管（FRP 管）等があります。



渓流での取水方式 チロリアン取水（水資源機構 三重用水 HP より[74]）

取水設備（取水堰、取水口）については新しく河川に設置する場合と、写真-3.3.2 の左に示すような既設の砂防堰堤を利用してそれを取水設備とする方法があります。なお、既設の砂防堰堤を利用する場合は砂防施設管理者や河川管理者との協議が必要になります。

また、新規に取水堰を設置する場合は縦断的にみて川に落差が生じるため、魚類の移動（遡上や下降）に支障がでる場合があります。特に内水面漁業権が設置されている河川では、取水設備を設ける必要がある場合は計画の段階で河川環境面への配慮[75]について漁業組合、またその他ステークホルダーへの丁寧な説明により理解を得る必要があります。

[74] 出典）独立行政法人水資源機構 三重用水管理所「渓流取水について」
<https://www.water.go.jp/chubu/mieyosui/keiryuu/index.html>（2022.1.31 閲覧）

[75] 本テキスト 2 章 9 節「環境への配慮」を参照

山間部に設置する水力発電所は洪水時に土砂が堆積しやすいため、安定した発電を行うため（取水を行うため）には適切に土砂を排除しなければなりません。このため必要に応じて排砂設備を設ける必要があります。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

写真-3.3.2　水力発電所の排砂設備の事例（山梨県企業局　重川発電所）

沈砂池は導水路流入前に設置して、発電用水に含まれる砂を沈殿させて除去する機能をもたせます。砂分の流入の懸念がない発電所であれば沈砂池を省略する場合もあります。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

写真-3.3.3　水力発電所の沈砂池の事例（山梨県企業局　重川発電所）

導水路が山間部に設置される場合は、導水路背面の土砂崩れ、及び降雪地域では積雪時の氷塊が水路に入って閉塞することもあるため、必要に応じて水路に蓋を設置するといった対応も必要になります（ただし蓋を設置することでコストが増加します）。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

写真-3.3.4　導水路(トンネル式)の事例（山梨県企業局　小屋敷第一発電所）

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

写真-3.3.5　導水路(開渠)の事例（徳島県企業局　田井発電所）

※ 右側の写真は、導水路に蓋がしてある区間

取水設備関連の中で土木工事費に占める割合が大きいと言われるのが「導水路」です。導水路を長くするほど落差が大きくなり発電量も増加しますが建設コストも比例して増加します。水力発電事業ではこの導水路の型式と長さを適切に決めることが重要です。

(2) 水槽・水圧管路・余水路・発電所・放水口

導水路で水槽（ヘッドタンク）まで導かれた水は、水槽にて一旦圧力を解放されて、そこから水圧管路を経て発電所内の水車に流入し、発電を行ったのちに河川などへ放流されます。

写真提供：富山県企業局 新大長谷第一発電所

写真-3.3.6 水槽・水圧管路・余水吐き・発電所・放水口

表-3.3.4 各設備の内容

設　備	説　明
水槽	・　導水路により流水を貯留して、水車で使用する水量を調整するための設備で、十分な水深・容量を確保します。
水圧管路	・　露出管路と埋設管路に分けられます。 ・　材質は鋼管のほかにも、強化プラスチック複合管（FRPM 管）や耐圧ポリエチレンリブ管（ハウエル管）などの一般市販管が使用可能です。継手部の設計曲げ角度内の曲げ配管も可能となるため、近年積極的に採用されています。
余水路	・　水車が急に停止した場合（負荷遮断時）に水槽の余水吐きから越流した流水を河川に放流させる設備です。
発電所	・　発電所の平面寸法は、機器の配置、分解点検時の部品仮置スペースを考慮して決定します。 ・　機器の据付用に天井クレーンやホイスト設備などの吊り設備が設けられますが、中小水力の場合は、省略する傾向にあります。
放水路	・　発電した水を河川（または用水）に戻す設備です。

写真-3.3.7　水槽の事例[76]（八ツ沢発電所）

水圧管路については利出管路（写真-3.3.8）に対して、管路を埋設する方法もあります。写真-3.3.9 は既設道路に埋設する工事のものですが、この場合は道路管理者の許可を得る必要があります。

写真提供：山梨県企業局 笛吹川水系発電管理事務所

写真-3.3.8　水圧鉄管路（露出管路、山梨県企業局 袖ノ木発電所）

写真-3.3.9　埋設管路工事（既設道路に埋設）

---

[76] 出典）文化庁「国指定文化財データベース 国宝・重要文化財（建造物）」
<https://kunishitei.bunka.go.jp/heritage/detail/102/00003965>（2022.1.31 閲覧）

一般に水車と発電機、及び各種電気制御盤などが格納される建物は発電所「建屋（たてや）」と呼ばれます。発電所建屋の構造は様々ありますが、近年では自然に調和させるために木材を利用することもあります。また、河川への発電用水の放流高さによっては、地下埋設構造（地下式、半地下式の建屋）となる場合もあります。地下式の発電所建屋は、地上式の建屋よりもコストがかかります。また、発電所建屋は設置場所によって建築基準法を満足しなければならない可能性もあるため、計画時で当該地区の行政機関へ事前に確認しておいた方が良いでしょう。

写真-3.3.10　発電所建屋の事例（地上式、長野県町川発電所[77]）

写真提供：山梨県企業局 発電総合制御所

写真-3.3.11　発電所建屋の事例（半地下式、山梨県企業局 重川発電所）

[77] 出典）長野県「小水力発電施設の実施事例 町川発電所」
<https://www.pref.nagano.lg.jp/nochi/kurashi/ondanka/shizen/hatsuden/ichiran/machikawa.html>（2022.1.31 閲覧）

放水路は、水車により発電に利用されてその目的を終えた流水を河川などへ還元する水路です。常に自然排水する必要があることから、放流先の河川などの水位を考慮して放水路の水位（放水位）を決定する必要があります。特にダムの直下流に設置する場合は、洪水時のダムの放流へ影響を与えないようにする必要があります。

写真提供：山梨県企業局　早川水系発電管理事務所

写真-3.3.12　放水路の事例（山梨県企業局　湯島発電所）

写真提供：富山県企業局

写真-3.3.13　放水路の事例（富山県企業局　新大長谷第一発電所）

以上で述べた「取水設備」から「放水口」までの設備の配置を複数案で検討し、それにより生み出される電力（収益）と建設コストを算定して最適な組み合わせを求めることを「水路ルートの検討」といいます。具体的な検討手順は次の項で説明します。

3.4 水路ルートの検討

水力発電のポテンシャルは水量と落差で決まりますが、発電に使用できる水量は概ね流域面積に比例して増加します。図-3.4.1 を例とすると、B ルートの方が下流に発電所があり、右側（東側）の渓流も取水できるため、水量と落差を多く得ることができますが、水路ルートの延長も増大することや、導水路がトンネルとなることでコストアップに繋がります。また、一般的に取水地点を河川の上流に位置するほど落差を大きくなりますが、集水面積が減少するため得られる落差に反比例して使用水量は減少することになります。このため、発電ポテンシャル（または発電電力量）とコストのバランスを重視することが重要となります。

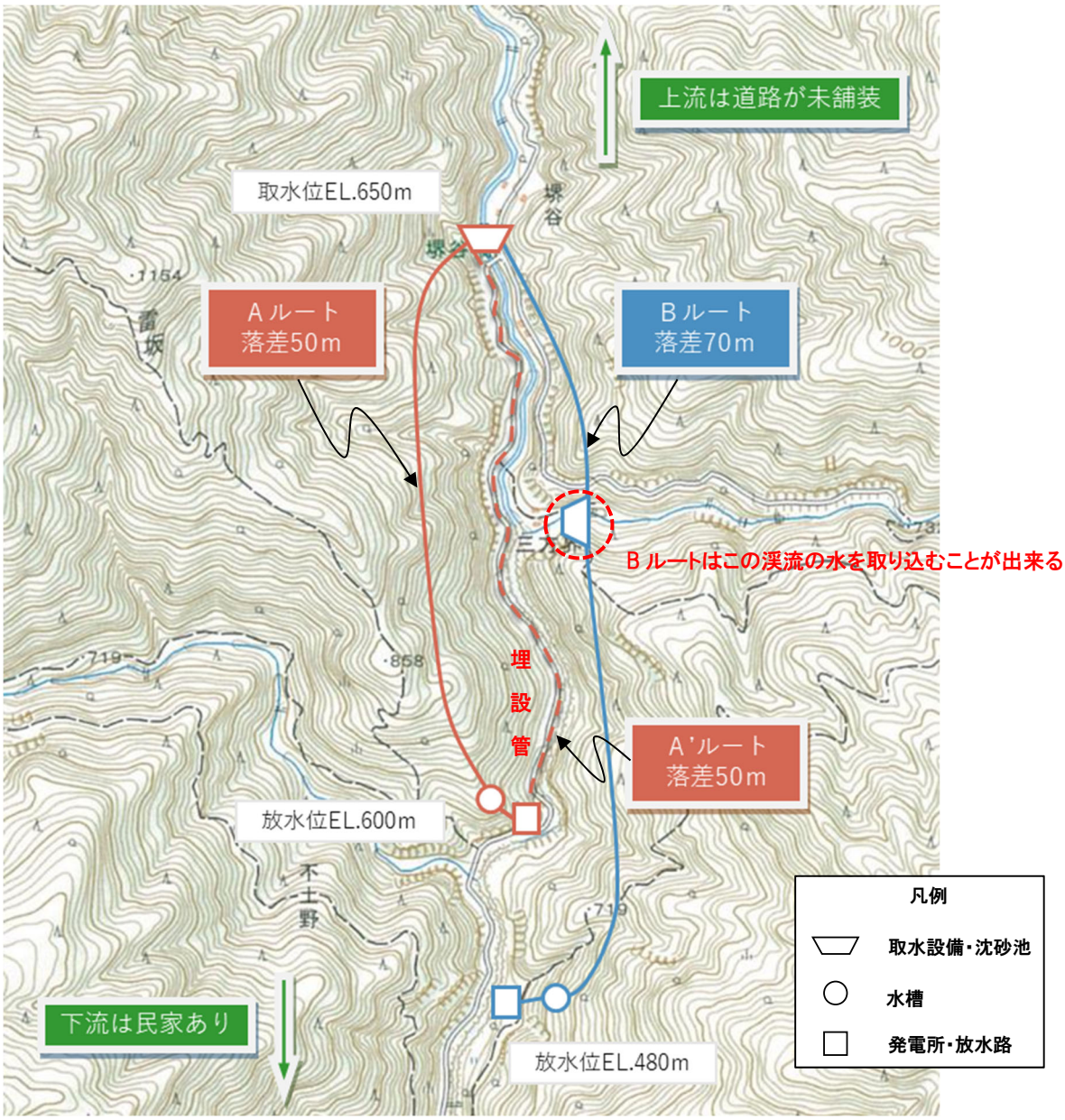


図-3.4.1 水路ルートの検討事例

水圧管路は、露出管路と埋設管路に分けられます。図-3.4.1 を例とすると、A ルートの水槽～発電所間は露出配管となり、A'ルートは取水設備から発電所まで道路に沿った埋設管路となります。この場合、埋設管の方が露出管路よりコスト面で有利となります。

水圧管の管径は建設費と損失落差（ロス)の変化に伴う発電電力量の変化を踏まえて、最も経済的な管径を選定します。水圧管路の管径は摩擦損失を極力抑えるため、管内流速を 2～4m/s 程度として設計されるのが一般的です。低落差の場合には管径を大きく（管内流速を小さく）し、高落差の場合には程度有効落差を犠牲にしても、管径を小さくするほうが発電ポテンシャル（または発電電力量）とコストのバランス面で有利となるケースもあります。

基本設計では、発電使用水量と落差を増減させることにより、図-3.4.1 に示したような一つの候補地点に対して 2～3 通りの水路ルートを選定して比較検討案を作成します。

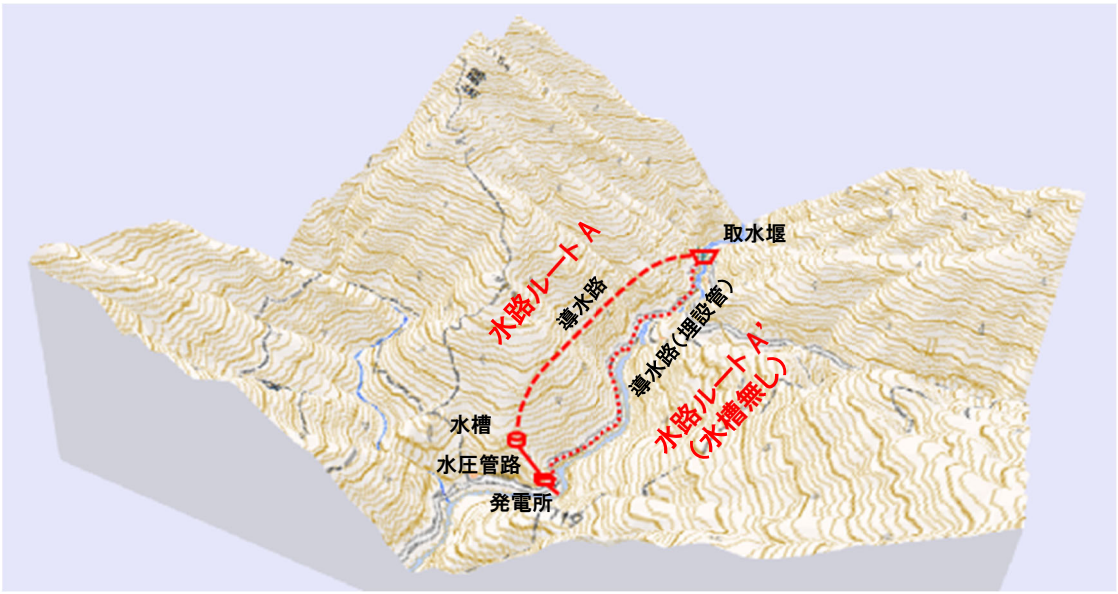


図-3.4.2　水路ルート A と A'を鳥瞰的に見た場合

水路ルートを選定する際に着目するポイントは表-3.4.1 に示すとおりです。

水路ルートは取水設備と発電所の位置を先に決めて、その間の導水路と水槽、水圧管路の組み合わせを複数考えることが効率的です。特にこの取水堰と発電所の位置は実際に現地調査[78]を行った上で施工（設置）が可能なのかを確認しておくことも重要です。

[78] 本テキスト 3 章 5 節「 現地調査」を参照

表-3.4.1　水路ルートを選定する際に着目するポイント

項　目	着目するポイント
取水設備 （取水口～沈砂池）	・　流域面積を有効に利用できる支流の合流点に注目します。 ・　川の流れが直線的で河川に直角かやや上流向きに設けます。 ・　取水堰をコンパクトにするために、河幅（谷幅）がせばまり、両岸が露岩している箇所に注目します。
水路ルート （導水路～水槽～水圧管路）	・　できるだけ短い導水路で高落差を得ることができるよう等高線が狭い箇所に注目します。 ・　水圧管路は既設の林道等に埋設することで、河川や森林に対する影響を最小限に抑え、コストダウンを図ります。 ・　農業用水を利用する場合はいくつかの連続した落差工の区間に対して、比較的短い水路で大きな落差が得られる地点に発電設備を設置します（写真-3.4.1）。
発電所 （発電所～放水口）	・　発電所の設置標高を低くすれば落差が増大して収益性が増す一方で、洪水時に冠水する恐れがあるため低くしすぎないようにします。(反動水車の場合は吸出し高さを利用します) ・　発電所は基本的に河川区域内に設置することは認められていません。 ・　系統連系点および近隣民家との距離（騒音への配慮）に注意が必要です。

写真提供：富山県企業局　仁右エ門用水発電所

写真-3.4.1　連続する既設用水の落差工を利用した事例

農林水産省では令和 3 年 3 月 23 日に閣議決定された土地改良長期計画で「土地改良施設の使用電力に対する農業水利施設を活用した中小水力発電等再生可能エネルギーによる発電電力量の割合（目標：約 4 割以上）」を重要業績指標の 1 つとして掲げています。この取組の一環として農業水利施設等を活用した小水力発電施設導入の手続き・事例集[79]がまとめられています。

水路ルートの検討においては、GIS ソフトを用いることで精度良く効率的に作業を進める事が可能です。GIS ソフトは市販のものや、簡易的な機能だけならフリーソフト（無料でインターネットからダウンロードして利用可能なソフト）もあります。

[79] 農林水産省「農業水利施設等を活用した小水力発電施設導入の手続き・事例集」令和 3 年 9 月 <https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/shousuiryoku/rikatuyousokushinn_teikosuto.html>（2022.1.31 閲覧）

3.5 現地調査

水路ルートの机上検討を補完するためにも現地調査（現地踏査）を実施し、計画の精度向上を図ることが必要です。現地調査を実施するに当たっては以下に示す項目等に着目し、その調査結果を計画の再検討にフィードバックさせることが必要です。

表-3.5.1 現地調査の着目ポイント

項　目	着目するポイント
水路ルート	・ 既得水利権、河川を利用したレクリエーション施設等の有無について確認します。 ・ 文化財等の立札、看板の有無、減水区間における人家、田畑の状況について確認します。
取水・発電所予定地点	・ 水面幅、水深、水面勾配、流量、河床状況、河床堆積物、河岸勾配、植生、露頭している岩の岩質・岩種等に着目します。 ・ 取水・発電所地点へのアクセスや土地所有者区分を確認します。
既存電力系統状況	・ 既設系統の有無、電圧・容量・発電所からの距離等を確認します。
法規制等	・ 河川法、自然公園法、自然環境保全法、国有林野法、森林法、砂防法他を確認します。 ・ その他の開発計画（宅地開発、道路計画、観光開発等の有無）について確認します。

3.6 流量データの整理

水力発電のエネルギーの源泉は川や農業用水路を流れる「水」、すなわち流量です。この流量のデータの取扱如何では、発電計画の収支が大きく狂うことになるため、慎重かつ可能な限り精度良く流量データを整理・吟味することが重要となります。

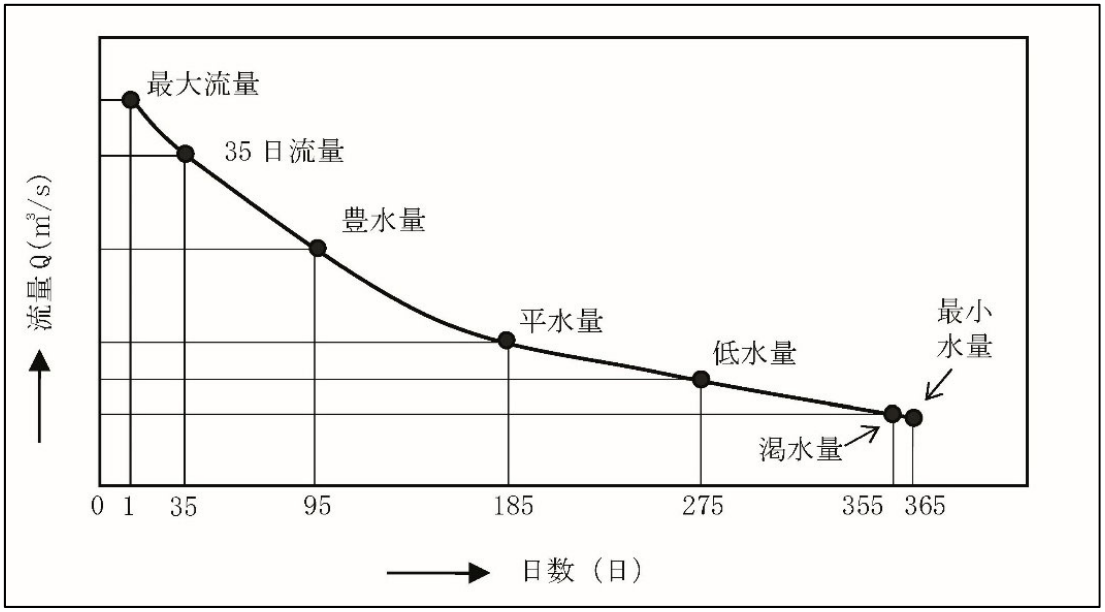
(1) 河川や渓流から取水する場合

発電に利用する流量は年によって利用可能な流量にばらつきがあるため、原則として取水地点における 10 カ年の河川流量データから平均流量を求め、これをもとに発電使用水量の算定を行う必要があります。仮に取水計画地点での 10 カ年分の流量資料がない場合には、計画取水地点で流量観測を少なくとも 1 ヶ年以上実施して、他地点の流量資料との相関関係により計画地点の流量資料を整備する必要があります。流量資料作成にあたってのポイントとしては以下のとおりです。

流量資料作成にあたってのポイント
① 原則として、取水口地点直近の至近 10 ヶ年以上の実測流量（日平均流量）が必要となります。
② 取水口地点直近に測水所が無い場合は、近傍の測水所から流域面積比により算定します。この場合の流域面積比は 0.5～1.5 の範囲とします。
③ 流域面積比が上記の範囲外となる場合は、あらためて取水口付近に測水所を新設します。
④ 取水口付近への測水所の新設が困難な場合は、取水口地点流域面積の 2/3～2 倍の範囲に測水所を新設します。
⑤ 新設測水所の観測期間が 10 ヶ年に満たない場合は、少なくとも 1 年以上の流量観測を行い、近傍測水所との相関解析により相関があると認められた場合、回帰式により不足期間を補完します。

また、発電に使用できる水量に大きく影響を与える既得水利権、慣行水利権、漁業権についても調べておく必要があります。後述する最適な発電規模の検討において最大使用水量を複数設定し比較検討を行いますが、この最大使用水量の設定においては流量資料を基に「流量曲線図」を作成、整備することが重要です。

この「流量曲線図」とは、縦軸に流量、横軸に日数をとり、流量の大きいものから順に年間の日平均流量を並び替えた曲線であり、図-3.6.1 に示すような曲線となります。流量資料は発電計画の事業性を評価するための極めて重要な基礎資料となりますので、概略検討時点で可能な限り精度を上げておく必要があります。



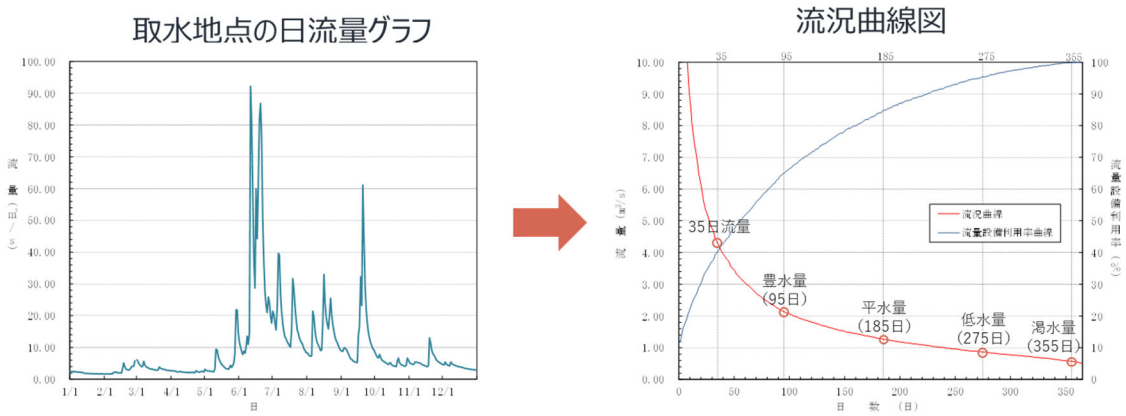


図-3.6.1　流量曲線図[80]

図-3.6.1 に示したとおり、日本の河川流量の特性を判断する指標として流量を年間で大きい順に並べ替えを行い、表-3.6.1 に示す日数で区別・定義したものが前述の「流量曲線図」となりますが、「流況（りゅうきょう）」と呼ばれることもあります。

[80] 出典）通商産業省(当時）資源エネルギー庁・一般社団法人新エネルギー財団「流量算定マニュアル」平成 3 年 3 月

表-3.6.1　流量(年間降順)の日数区別と定義（流況の定義）

指　標	説　明
最大流量	1 年中の最も多い流量
35 日流量	1 年を通じて 35 日間はこの流量より下がらない流量
豊水量	1 年を通じて 95 日間はこの流量より下がらない流量
平水量	1 年を通じて 185 日間はこの流量より下がらない流量
低水量	1 年を通じて 275 日間はこの流量より下がらない流量
渇水量	1 年を通じて 355 日間はこの流量より下がらない流量
最小水量	1 年中の最も少ない流量

なお、水力発電を設置することにより図-3.6.2 に示すように、取水地点下流において河川に減水区間が生じる場合があります。このような場合は、河川環境保全の目的で減水区間の河川流量を確保するために、取水地点より下流へ河川維持流量分を放流する必要があります。更に、農業用水等の取水が行われている場合は、これら必要水量の放流も必要となりますので、あらかじめこれを差引いて流況曲線図を作成する必要があります。

これらの放流は発電計画に与える影響が大きいので、計画の実施に際しては、地元関係者や河川管理者との十分な協議を行って河川維持流量[81]を決定する必要があります。

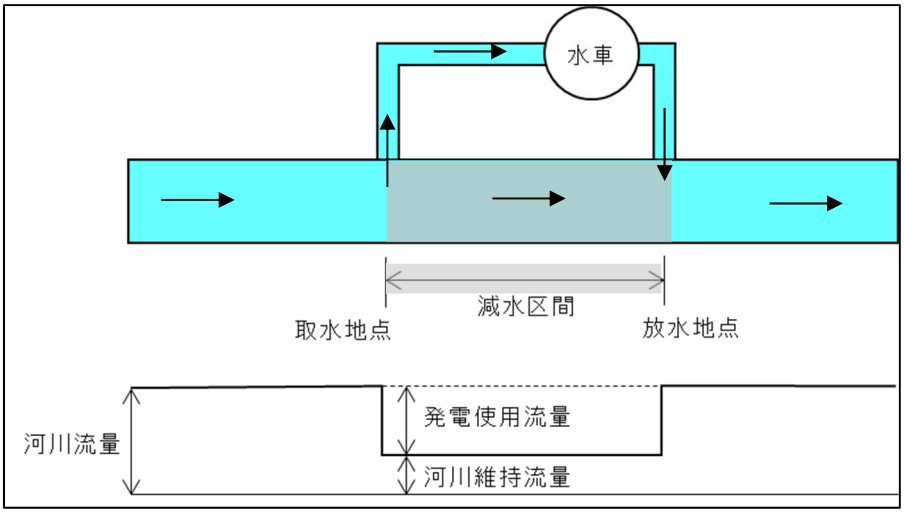


図-3.6.2　発電取水による減水区間のイメージ[82]

[81] 本テキスト 2 章 5 節 8 項「維持流量」を参照

[82] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」p.4-6 に加筆

(2) 農業用水を発電に利用の場合

農業用水は、かんがい期、非かんがい期の期別に異なる水量で水利権の許可を受けているため、期別に整理する必要があります。発電での使用水量が農業用水（図-3.6.3 に示す青線）以下で計画する場合は、従属水利権として申請が可能で、登録制となるため申請手続[83]の簡素化（慣行水利権の従属発電の登録制）が図られています。

一方で、発電での使用水量が農業用水を超えて計画する場合は、その超える部分の使用水量について新規の水利権として河川管理者の許可を得る必要があり、河川の流量や発電に必要な取水量を基に、他の水利使用や河川使用者への影響を検討した書類等の整理が必要となります。

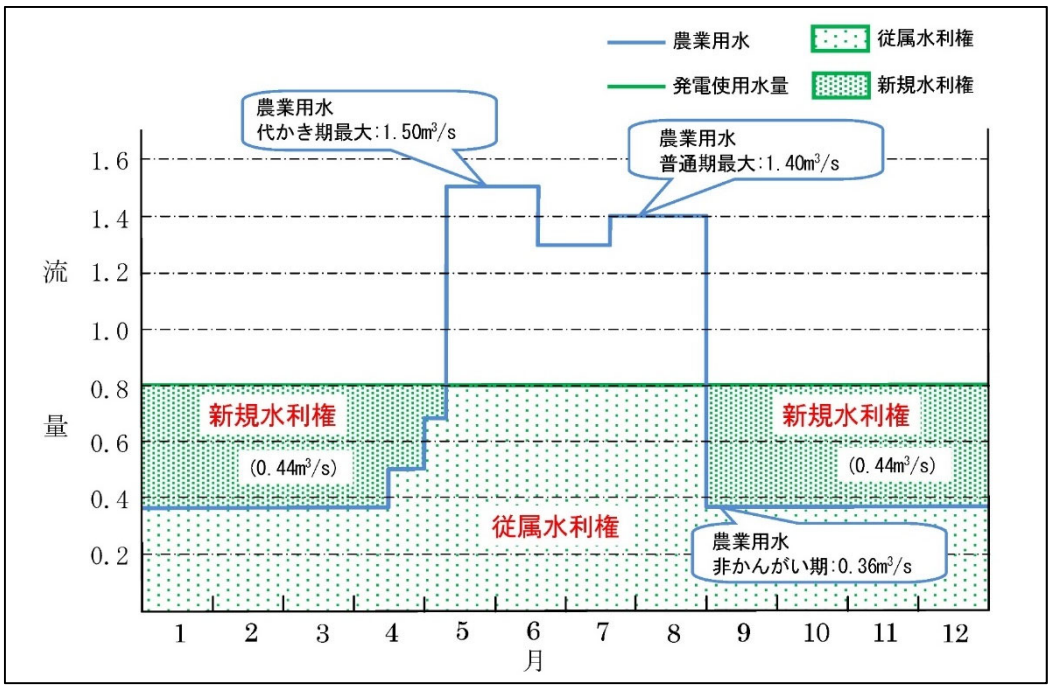


図-3.6.3 期別取水量パターン図[84]（例）

本項で述べた流量の整理方法については「ハイドロバレー計画ガイドブック」[85]の 13-1 頁（ケーススタディ、河川流量の整理）にわかりやすくまとめられているので参考にしてください。

---

83 本テキスト 2 章 5 節 5 項「水利権申請または登録が必要となる場合」参照

84 出典）農林水産省農村振興局 整備部設計課「鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電編）」平成 26 年 12 月 農業土木機械化協会

85 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）

3.7 落差の算出

発電電力量の算定に用いられる落差は、総落差から損失水頭を差し引いた有効落差を使います。この落差の概念図を図 3.1.2 に示します。総落差は既設施設図(砂防堰堤やダム等)や地理院地図（電子国土 WEB）[86]、市町村の管内図等により取水位と放水位を把握し総落差を求めます。

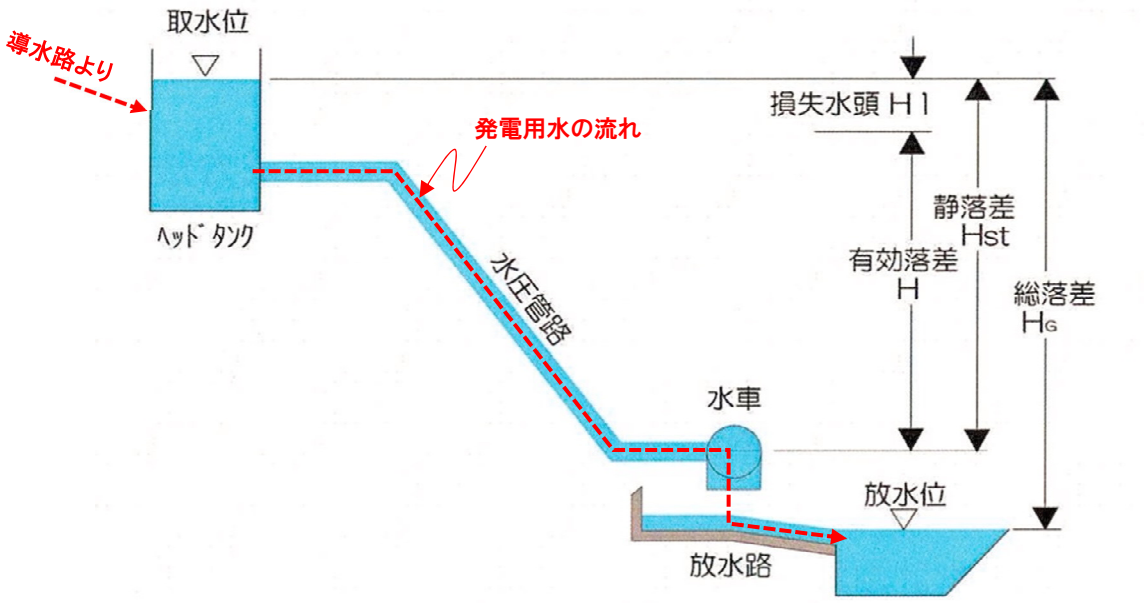


図-3.7.1 有効落差の概念図

有効落差 H は、取水位と放水位の差（＝総落差 HG）から、損失水頭 H_1（「ロス」と呼ばれることが多い）を差し引くことで算出します。

有効落差 H (m) ＝ 総落差 HG (m) ― 損失水頭 H_1 (m)

ただし、ペルトン水車などの衝動水車[87]の場合の有効落差は、静落差から損失水頭を差し引いたものとなります。ここで、損失水頭とは導水路の勾配や水圧管の摩擦などによる損失等で、正確には水理計算により算出しますが、概略設計時点では以下の概略式を用います。

損失水頭略算式 $H_1 = a \times L1 + b \times L2 + c \times L3 + \Delta hL$

---

[86] 出典）国土交通省 国土地理院「地理院地図 電子国土 Web」
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.102376/140.075684/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>
（2022.1.31 閲覧）

[87] 本テキスト 3 章 9 節「水車・発電機の選定」参照

ここで、H1：損失落差（m）

L1：導水路延長（m）

L2：水圧管路延長（m）

L3：放水路延長（m）

⊿hL：その他損失落差 ＝ 0.5m＋α

$$a = c = \begin{cases} 1/700\text{（圧力水路）} \\ 1/1{,}000\text{（無圧水路）} \end{cases}$$

$$b = \quad 1/200\text{（水圧管路）}$$

損失水頭（ロス）が小さいほど落差が大きくとれるため発電量としては有利になるわけですが、水路ルートで最もロスが大きいのは導水路（圧力管）または水圧管路の摩擦損失水頭です。摩擦損失水頭は管内流速が速い程大きくなるため、流量に対して管径は大きい方が有利です。ただし、その一方で管径が大きいとその分建設コストも上がりますので、管径もまた電力量と建設コストのバランスをみて慎重に決める必要があります。

損失水頭（ロス）について、ここでは概略の計算方法を紹介しましたが、ロスの詳細な計算方法は様々な文献で紹介されています。その代表的なものに「水理公式集[88]」がありますので、そちらも参考にしてください。また、本テキスト 5 章 6 節 9 項「損失水頭」でも説明しています。

[88] 土木学会発行「水利公式集 第 4 章 水圧管路とサージタンク 4.1.1 損失水頭」平成 11 年度版

3.8 最大使用水量の決定

(1) 流れ込み式における基本的な考え方

発電計画の取水可能量は、取水地点の河川流量から河川維持流量あるいは減水区間の責任放流量を控除した流量となります。

取水可能量（河川流量から責任放流量を控除した流量）
＝　取水地点の河川流量　－　河川維持流量

使用水量は，最大使用水量と常時使用水量の 2 つがあります。最大使用水量は発電所で使用する最大の水量で、最大出力はこれによって定まります。常時使用水量は 1 年中を通じて常時使用しうる流量（流れ込み式にあっては年間の流量が大きい順に並び替えて 355 日はこれより下がらない流量＝渇水流量[89]）で、常時出力はこれによって定まります。

最大使用水量　＝　発電所で使用する最大の水量
（最大出力時の使用水量）
常時使用水量　＝　1 年中を通じて常時使用しうる流量
（流れ込み式にあっては渇水流量）

(2) 最大使用水量決定の考え方

一般的な流れ込み式であれば、最適な発電規模が流量設備利用率 45～60%の範囲内となる場合が多いので、まずはこの範囲を目安として複数の最大使用水量を設定します。ここで、「流量設備利用率」とは、年間を通じて最大使用水量で使えるとした場合の水の総量に対し、河川の変動する流量の中で実際に取水できる水の総量が占める割合となります。

また、水車にはその特性（型式、比速度等）に応じて発電を可能とする範囲があり、最大使用水量に対し使用水量が少なすぎると水車に損傷（キャビテーション）を与えることになるため、このような水量のときは発電を停止することになりますので、この範囲を考慮して最大使用水量を検討します。

流量設備利用率はその割合が高い程発電稼働日数が増えますが、一方で水車の効率が悪いところで発電する日が増えるため、年間でみると電力量が小さくなるケースもあるため注意が必要です。なお、簡易的に最大使用水量を仮定する方法として豊水流量（95 日流量）前後を目安に設定する方法もあります。

[89] 本テキスト 3 章 6 項「流量データの整理」表-3.6.1

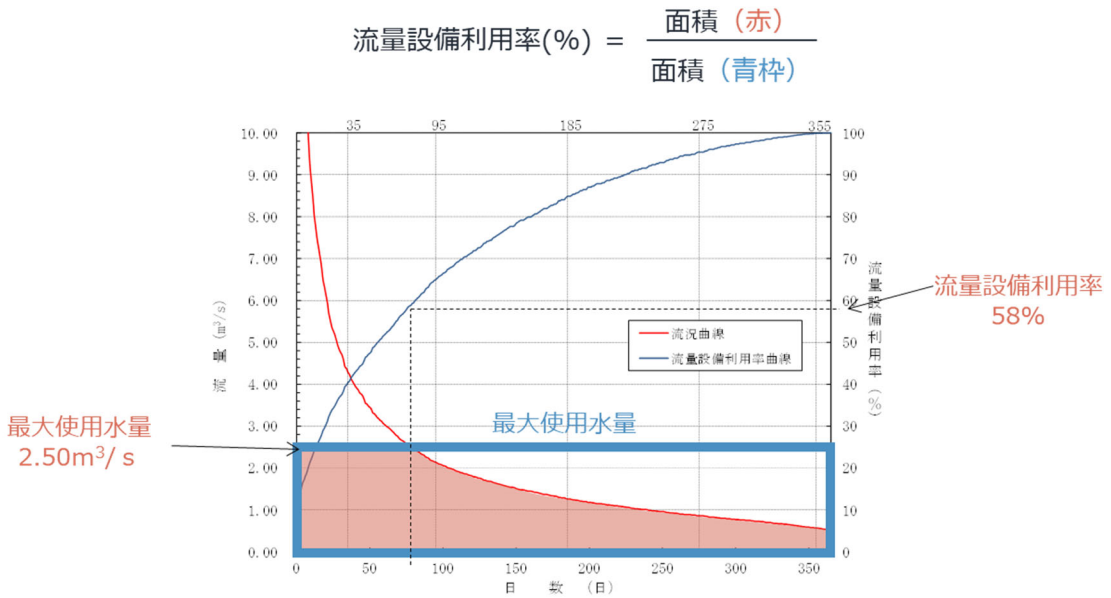


図-3.8.1　流量設備利用率の考え方

ここで述べた流量設備利用率は、通常の河川（降雨量に応じて流量が増減する河川）を対象としています。例えば水道設備や農業用水などの流れる流量が変動しない箇所での発電における最大使用水量はそれら設備の能力（＝設備の使用流量）とイコールになります。

流量設備利用率は水力発電計画にとって重要な諸元となりますが、ハイドロバレー計画ガイドブック[90]の 5-8 頁には計算の考え方がより詳しく記載されているので参考にしてください。

[90] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）

3.9 水車・発電機の選定

導水路や水槽を経て発電所建屋に到着した発電の用水は、水車に流れ込んで羽根（ランナ）を回すことで発電機を介して電力を発生することができます。この水車は流量と有効落差に応じて様々なタイプが存在しています。ここではその基本的な事項を紹介しますが、実際の事業実施においては各水車メーカーに相談しながら事業を進めるのが有効となります。

(1) 水車の選定

水力発電用の水車は最大使用水量と適用落差に応じ様々な水車の中から形式別の比速度の上限値、適用落差、比速度の範囲、流量及び出力等を勘案して形式を選定します。一般に水車形式は衝動水車、反動水車の 2 つに大別され、採用事例は少ないですがこれに重力式水車が加わる形でとおり整理されます。

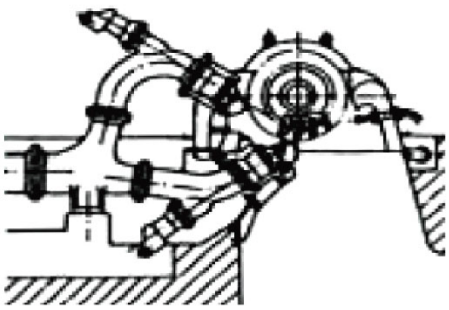
表-3.9.1 水車の種類

<table>
<tr><th colspan="4">水車の種類</th><th>落差</th></tr>
<tr><td rowspan="10">水車の種類</td><td rowspan="3">衝動水車</td><td colspan="2">ペルトン水車</td><td rowspan="10">高い

低い</td></tr>
<tr><td colspan="2">ターゴインパルス水車</td></tr>
<tr><td colspan="2">クロスフロー水車</td></tr>
<tr><td rowspan="5">反動水車</td><td colspan="2">フランシス水車</td></tr>
<tr><td rowspan="4">プロペラ水車</td><td>斜流（デリア）水車</td></tr>
<tr><td>カプラン水車</td></tr>
<tr><td>ストレートフロー水車</td></tr>
<tr><td>らせん水車</td></tr>
<tr><td rowspan="3">重力水車</td><td rowspan="3">開放型水車</td><td>上掛け水車</td></tr>
<tr><td>胸掛け水車</td></tr>
<tr><td>下掛け水車</td></tr>
</table>

（衝動水車）

圧力水頭を持つ水をノズルから噴出させて、すべて速度水頭にかえ、噴出水の衝動によりランナを回転させる構造の水車

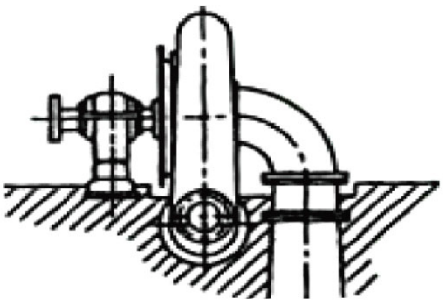


衝動水車の事例[91]（ペルトン水車）

[91] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」平成 26 年 2 月 p.3-19

（反動水車）

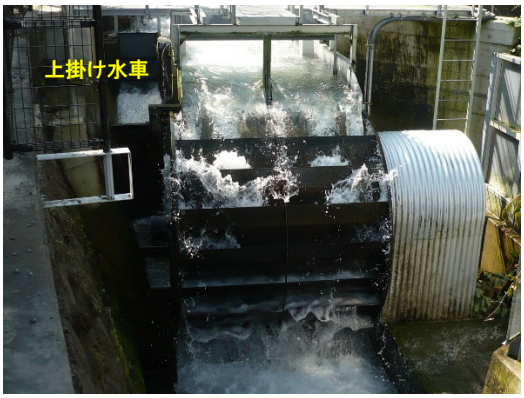
圧力水頭を持つ流水の水圧をランナに作用させる構造の水車



反動水車の事例[92]（フランシス水車）

（重力水車）

水車の翼又は水車水受けを持つ羽根車の上部に水を乗せて水の重量によって回転させる構造の水車



写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社（両方とも）

重力水車の事例

（左：山梨県都留市　元気君2号　右：東筑摩郡波田堰土地改良区　波田発電所）

(2) 水車選定図による選定

水車形式の選定の目安として図-3.9.1 に示す水車選定図があります。発電計画地点の有効落差と流量の交点について、該当範囲内にある水車について検討を行います。各水車の型式と特徴を図-3.9.2 に示します。水車は、最大出力、発電電力量のほか、コストや保守性、施工性（建屋スペース）を勘案して候補を選定した上で、コストや納期、メンテナンス及びメーカー対応の容易性などを総合的勘案して導入する水車型式を決定します。

---

[92] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」平成 26 年 2 月 p.3-21

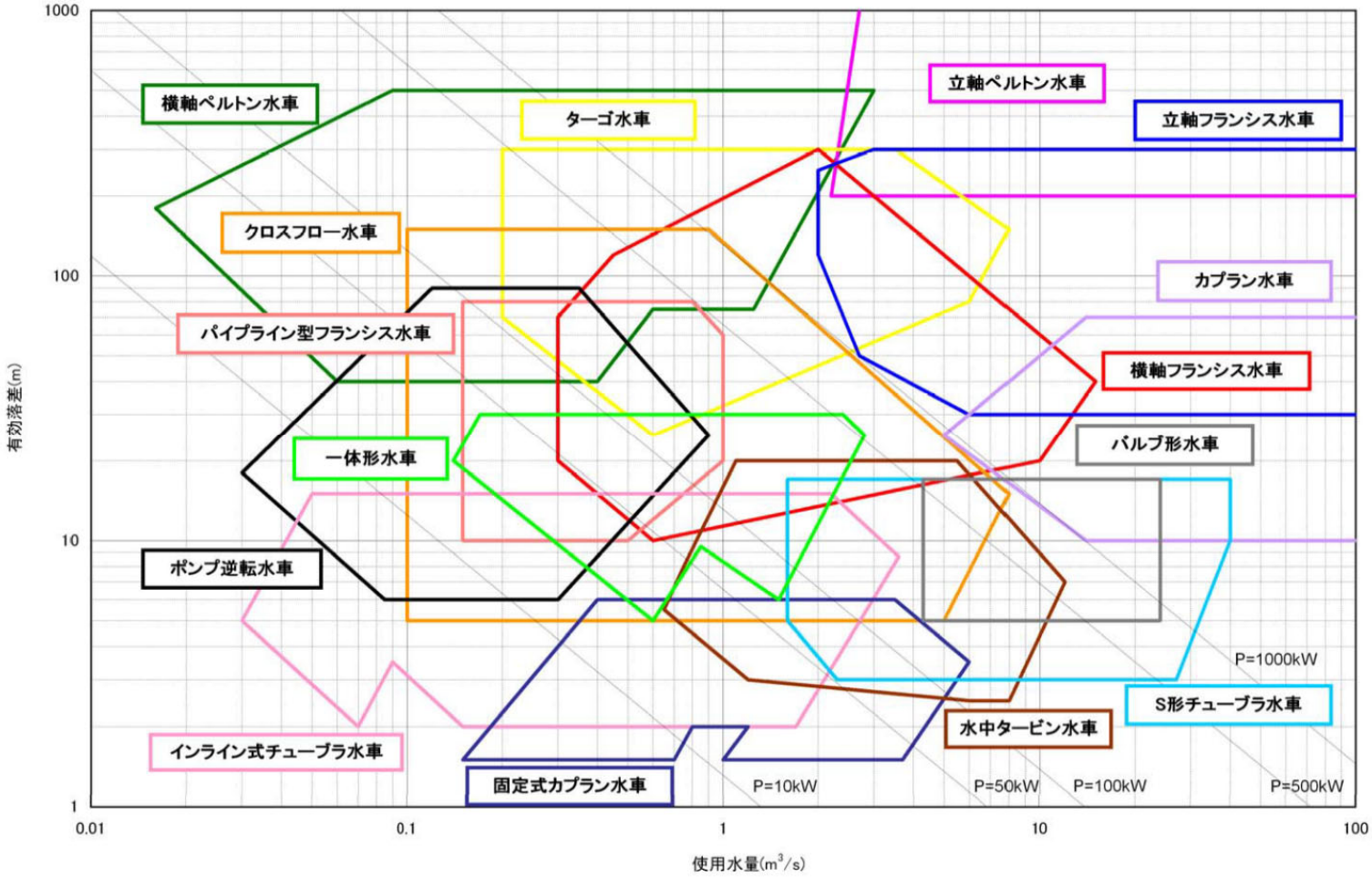
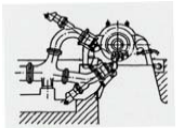
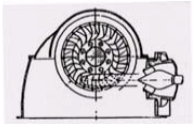
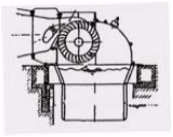
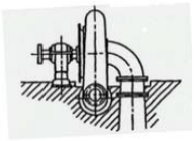
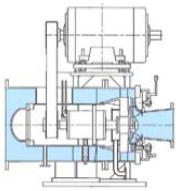


図-3.9.1　水車選定図[93]

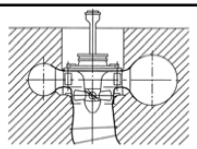
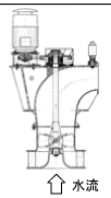
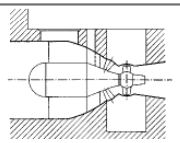
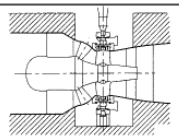
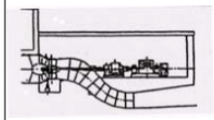
[93] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」平成 25 年 3 月　「3 電気設備選定の手引き」p.8

表-3.9.2 (1/3) 水車の型式と特徴[94]

形式		概略図	構造概要	適用範囲	部分負荷特性	変落差特性	備考
衝動水車	ペルトン水車		ノズルから流出するジェットをランナ周辺バケットに作用させる構造のもの。ランナは左右対称の２つのわん形状のバケットをもつ。	出力:0.5～4,000kW 程度 落差:17～500m 程度 流量:0.01～2m³/s	流量が変化しても効率低下は比較的小さい。	落差変化が大きいと効率が低下する。	回転速度が低いため，機器体格が大きい。
	ターゴ水車		ノズルから流出するジェットをバケットに斜めに作用させる構造のもの。ランナは１つのわん形状のバケットをもつ。	出力:100～8,000kW 程度 落差:25～300m 程度 流量:0.2～8m³/s	最大効率ではやや劣るが，軽負荷特性は良好。15％程度の負荷でも運転可能。２ﾉｽﾞﾙ方式の場合，流量に応じてﾉｽﾞﾙ数切替。	落差変化が大きいと効率が低下する。	構造が簡単。
	クロスフロー水車		衝動水車及び反動水車の特性を併せもち，流水が円筒形ランナに軸と直角方向に流入し，ランナを貫通して流出するもの。	出力:10～1,000kW 程度 落差:5～200m 程度 流量:0.1～8m³/s	最大効率ではやや劣るが，軽負荷特性は良好。２ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ方式の場合、15％程度の負荷でも運転可能。	落差変化が大きいと効率が低下する。	構造が簡単。
反動水車	フランシス水車		流水がランナ外周から半径方向に流入し、ランナ内において軸方向に向きを変えて流出するもの。	出力:50～4,000kW 程度 落差:10～300m 程度 流量:0.3～10m³/s	軽負荷になると効率低下が大きくなる傾向にある。	落差変化に対しては，効率低下が少ない。	ﾏｲｸﾛ水車用として1kW 程度の汎用品も製作されている。
	パイプライン型フランシス水車		ガイドベーン操作機構部を簡素化し、円筒型ケーシングを採用した，新しいタイプのフランシス水車。水車上に発電機を搭載し，水車回転部と発電機をﾍﾞﾙﾄで直結した「ベルト掛け方式」の他に「直結方式」がある。	出力:10～500kW 程度 落差:10～80m 程度 流量:0.15～1m³/s	電動サーボモーターによるガイドベーン操作方式を採用することで、流量変化にも対応できる。	一般的なﾌﾗﾝｼｽ水車に比べ、落差変化に対する効率低下が大きい。	渦巻形ケーシングを持たないため、機器本体が小さい。

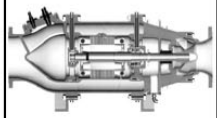
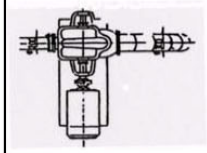
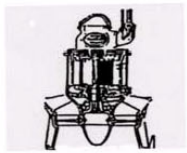
[94] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」平成 25 年 3 月 「3 電気設備選定の手引き」p.9

表-3.9.2 (2/3) 水車の型式と特徴[95]

形　式		概略図	構造概要	適用範囲	部分負荷特性	変落差特性	備　考
反動水車	カプラン水車		反動水車の一種であり、流量に対してﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝの角度を変えることにより、常に最適の羽根角度となるように調整されている。	出力:1,000～100,000kW 程度 落差:10～60m 程度 流量:10m³/s ～	流量が変化しても効率低下は小さい。	落差が変化しても効率低下は小さい。	中小水力には、経済性の理由から採用されるケースが少ない。
	固定式 カプラン水車		円筒立軸の固定羽根水車である。 サイフォン取水できるようなランナ形状になっている構造のものもある。	出力:1～200kW 程度 落差:1.5～7m 程度 流量:0.1～4.0m³/s	ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ及びﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが固定であるため，流量変化に対しては台数制御にて対応。	落差変化が大きいと効率が低下する。	水車・発電機間に駆動軸がないために構造が簡単。流量調整機能省略。制水弁で運転・停止機能を兼用。
	バルブ形水車		発電機が水車上流側流水路中の電球形状をしたハウジング内に設置される構造。	出力:150～3,000kW 程度 落差:5～20m 程度 流量:4～25m³/s	ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ、ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ共に可動にして流量と落差の変動に対応できる。	落差変化に対しては，効率低下が少ない。	バルブ内に発電機を収納しているため、はずみ車効果 GD² に限界がある。
	一体形水車		発電機がランナ外周に設置される構造で、発電機ロータはランナ外周で支えられ、ランナとともに回転する。	出力:10～600kW 程度 落差:5～30m 程度 流量:0.2～3m³/s	ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝ及びﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが固定であるため，流量変化に対しては台数制御にて対応。	落差変化が大きいと効率が低下する。	水車のランナ外周に発電機ロータが取り付いているため、コンパクトである。
	S 形ﾁｭｰﾌﾞﾗ水車		円筒ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車(ﾗﾝﾅを通過する流水の方向が軸方向のもの)のうち，発電機を流水路の外に設置するため，流水路を屈曲させる構造のもの。	出力:50～5,000kW 程度 落差:3～18m 程度 流量:1.5～40m³/s	ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが可動なものは，10～100%運転。ﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝ固定のものは，80～100%運転。	落差変化に対しては，効率低下が少ない。	低落差で流量の多い場合に適用。

[95] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」平成 25 年 3 月「3 電気設備選定の手引き」p.10

表-3.9.2 (3/3) 水車の型式と特徴[96]

形　式		概略図	構造概要	適用範囲	部分負荷特性	変落差特性	備　考
反動水車	インライン式 チューブラ水車		円筒ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車の一種である。 水車軸に発電機を直結(流水路内)したタイプと、水車上に発電機を搭載し，水車回転部と発電機をﾍﾞﾙﾄで直結(流水路外)したタイプがある。	出力：1～200kW 程度 落差：2.0～150.0m 流量：0.01～3.0m³/s	基本的にﾗﾝﾅﾍﾞｰﾝが固定であるため，流量変化に対しては台数制御にて対応。	落差変化が大きいと効率が低下する。	従来のﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車を簡素化し，低落差，小流量領域でも対応可能としたもの。
	ポンプ逆転水車		標準横軸(立軸)ﾎﾟﾝﾌﾟを逆転させて使用。 ﾗﾝﾅ固定用ﾈｼﾞを標準ﾎﾟﾝﾌﾟに対し逆に切る必要がある。流入方向がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と比較して反転するため，ﾗﾝﾅ形状がﾎﾟﾝﾌﾟの場合と逆になる(ｷｬﾋﾞﾃｰｼｮﾝ発生の可能性有り)。	出力:1～200kW 程度 落差:6～80m 程度 流量:0.02～1m³/s	ｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝを有さず，一定流量のみ。最高効率が 80%未満と低い。流量変化に対しては台数制御にて対応。	落差変化が大きいと効率が低下する。	ｷｬﾋﾞﾃｰｼｮﾝ特性が厳しく，羽根形状の修正が必要。軸受や封水部の寿命が短い。無拘束速度対策が必要。
	水中タービン水車		標準水中ﾎﾟﾝﾌﾟ型水車の一種。 円筒形のユニット内部には、水車・発電機が一体化されており、シール機構により水中での運転が可能。流量変化に対しては、ランナブレード角度を手動にて調整することで対応可能。	出力:10～500kW 程度 落差:2.8～20m 程度 流量:0.4～10m³/s	最大効率がやや劣る。一般的には固定羽根であり，軽負荷時の効率低下が大きい。流量変化に対しては台数制御にて対応。	落差変化が大きいと効率が低下する。	発電機が直結され，ｺﾝﾊﾟｸﾄ化が可能。流量を調整するｶﾞｲﾄﾞﾍﾞｰﾝがなく，補機類の省略が可能。水中型のため，軸受や封水部の寿命が短い。無拘束速度対策が必要。

[96] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」平成 25 年 3 月「3 電気設備選定の手引き」p.11

(3) 発電機の選定

発電機については、同期発電機（永久磁石同期発電機)、誘導発電機などがあり、システム構成、系統連系の有無、および経済性を考慮して選定を行いますが、誘導機は同期機に比べて、構造が簡単で励磁装置及び自動同期装置等の付属装置が不要で、コストが低廉で保守も容易であることから、中小水力発電所には一般的に誘導発電機が採用されています。

一方で、災害時や停電時における地域への電力供給を想定して、自立運転が可能である同期機を採用する事例も一部で見られます。同期発電機と誘導発電機の特徴を表-3.9.3 に示します。

なお、50kW 未満の低圧連系で発電する場合は、系統連系規程（JEAC9701-2019）により、逆変換装置の設置が義務付けられていますので、風力発電等の低圧連系において一般的に採用されている同期発電機（永久磁石同期発電機）＋逆変換装置方式を採用します。

表-3.9.3 同期発電機と誘導発電機の特徴

項　目	同 期 発 電 機	誘 導 発 電 機
回転子の構造	界磁巻線及び交流励磁機（又はスリップリング）を持ち複雑	かご形回転子で簡単
励磁装置	必要	不要
保守	界磁巻線や励磁装置等の保守が必要	構造が簡単で保守が容易
価格	誘導発電機よりは高価	安価であるが低速機は割高
効率	良い	良いが低速機は悪くなる
容量	大容量機でも問題ない	大容量機は製作困難、数千 kW 以下が適当
並入時の同期合わせ	必要	不要
並入時の突入電流	同期を合わせて並列に入れるので過渡電流は小さく系統の電圧降下に問題ない	強制並列なので大きな過渡電流が流れる。系統の電圧降下を抑えるためにリアクトルが必要となる場合がある
無効電力	定格力率以内は負荷に合わせて供給可能	無効電力を供給できないうえに、励磁電流分を系統から取り込む必要がある
力率	通常、定格力率 0.90～0.98（遅れ）とする	力率が悪いため、力率改善コンデンサが必要となる場合が多い
自 立 運 転	可能	通常はできない

(4) その他留意事項

① 水車メーカーへの設計や製品の相談について

概略設計時点でどのような水車発電機が適しているのかについては、主として以下の事項の概略諸元が決まった段階でメーカーへ相談することが効率的です。

設計や製作時に必要となる事項

項　目		内容
設計	製品作製仕様	水理条件（有効落差、最大使用水量） 系統連係仕様（電圧、周波数） ※上記が決まっていればメーカー側で水車発電機の概略設計が可能
	上記以外の要求仕様	制御方法、機器単体の要求事項など
製品発注	発注仕様書	水理条件、連系場所の電圧/周波数、制御方式(特殊な制御がある場合）引渡し条件(据付調整渡し等の条件)、 機器の詳細な要求事項を示した技術仕様
	関係する図面	水圧管、水槽の設計図面、建築設計図面（発電所建屋)、建屋内部の機器配置図など
	その他	契約約款、設計と施工における責任分解点（建設会社との役割分担）など

② 水車メーカーへの製品注時の注意事項

概略設計を経て詳細設計および製品をメーカーへ発注する場合、以下点に注意する必要があります。

水車発電機の発注時の注意事項

項　目	注意事項
仕様	水理条件、連系場所の電圧/周波数、制御方式(特殊な制御がある場合）引渡し条件(据付調整渡し等の条件)、 機器の詳細な要求事項を示した技術仕様を明確にする。
保証事項	発電効率などの製品機器の保証事項を明確にする。
支払い条件	前払い金の有無、分割払の条件などを明確にする。
他発注品との 取り合いの明確化	製品や部品の供給、および施工の責任分解点（土木工事（建設会社）とのデマケーション）を明確にする。
官公庁届出 許認可申請	工事着手前に必要な許認可等が得られているかを確認する。（工事計画(経産省)、林地開発(森林地帯の場合)、消防届出、一般送配電事業者等との接続検討など）

③ 海外製水車[97]

水力発電のニーズの高まりを受けて国内製水車は需要に対して供給が追いついておらず、

[97] 本テキスト 6 章 2 節「水車メーカー等の選定」参照

製品の納期が長くなる傾向にあります。このため、最近では海外製水車を導入する発電所も増えてきました。海外製水車には以下のようなメリット、デメリットがありますので、実際の導入にあたってはコスト、納期、および施工時と完成後のリスクを総合的に勘案して導入の判断を行う必要があります。

海外製水車の国内製に対するメリット･デメリット

項　目	メリット	デメリット
コスト	安価となるケースがある	運転維持費が高価となる傾向にある
納期	短くなるケースがある	
契約の遵守	契約に対して忠実である	
製品の細部仕様の変更		対応を拒否されることがある
対応言語		マニュアルなどはすべて外国語
補機		補機の納期が長い傾向にある
アフターサービス		国内製メーカーの方が対応がはやい傾向にある

写真提供：山梨県企業局　発電総合制御所

海外製水車の事例（山梨県企業局　重川発電所）
インド製　フローベル水車を導入

水車や発電機については機械や電気の高度な専門知識が必要となることから、落差や流量及び使用用途（非常時の電源とするか等）をイメージした段階で、どのような設備構成が良いのか、水車発電機メーカーや建設コンサルタント等に相談することも有効です。

3.10 発電出力の算定

発電出力 P は、最大使用水量、有効落差、水車・発電機効率から下式により求めます。

P[kW] ＝ 9.8×Q×He×η×設備利用率（%）

Q：最大使用水量(m3/s)

He：有効落差（m）

η：総合効率（%）

η＝ηt(水車効率)×ηg（発電機効率）

ここで、水車効率ηt とは、水のエネルギー（9.8×Q×He）を発電機の軸を回す動力に変換する際に生じる損失を考慮した効率で、発電機効率 ηg は軸動力を電力に変換する際に生じる損失を考慮した効率となります。基本設計時点では、「中小水力発電計画工事費積算の手引き[98]」記載の方法を参考にして水車効率ηt および発電機効率 ηg を概定します。おおよそ中小水力では、水車効率が 0.75～0.9、発電機効率は 0.85～0.93 の範囲となります。

水車および発電機効率については、型式や規模、設計条件によって異なりますので、詳細設計では水車発電機メーカーへの見積等が必要となります。

水車発電機の効率の計算方法については、ハイドロバレー計画ガイドブック添付資料 4-14 頁以降[99]にも記載があるので参考にしてください。

---

[98] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」平成 25 年 3 月「3 電気設備選定の手引き」p.16

[99] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）

3.11 発電電力量の算定

発電電力量は、〔発電出力Ｐ(kW)〕×〔発電継続時間ｈ(時間)〕×〔設備利用率(%)〕として算出され、単位はキロワットアワー(kWh)で表します。発電電力量は、年間可能発電電力量と年間発電電力量とに分けられ、通常は前者の年間可能発電電力量を用いて表しますが、事業性（採算性）を評価する場合には、後者の年間発電電力量を用いて表します。

(1) 年間可能発電電力量

年間可能発電電力量とは、年間を通じて事故による停止や点検補修のための停止がない場合に発生可能な電力量です。発電電力量の計算は、求めようとする電力量の精度により、いろいろな計算方法がありますが、一般的には概算法が採用されています。この概算法は、取水地点の各流況における日数の面積に、流量比(負荷率)ごとの合成効率を乗じて一年間の発電電力量を求める方法です。表-3.11.1 では日順を区間別となっていますが、 エクセル等の表計算ソフトを活用することで、下記の計算手順に従い１日ごとの発電電力量を算出します。

発電電力量の算定は、流況資料と並び極めて重要な基礎資料となります。また、物価の変化に影響を受けないため、工事費算定精度よりも高い精度の結果が当初より得られるように心掛ける必要があります。このため、表-3.11.1 では日順を区間別となっていますが、 エクセル等の表計算ソフトを活用することで、下記の計算手順に従い１日ごとの発電電力量を算出します。

発電電力量の計算結果は、事業採算性に直結するため、慎重にかつ精度良く検討しなくてはなりません。もし発電所地点の流量データデータが日単位で得られる場合は、１日毎の電力量計算を行うことをおすすめします。

表-3.11.1 概算法による年間可能発電電力量の計算表[100]（例）

（単位 m^3/s）

	最大流量	３５日流量	豊水量（95 日）	平水量（185 日）	低水量（275 日）	渇水量（355 日）	最小流量	年平均流量
１０カ年平　均	18.6	4.34	2.19	1.41	0.83	0.68	0.59	1.35

② 日　順	③ 日(日数)	④ 水量	⑤ 負荷率(%)	⑥ 合成効率 (%)	⑦ 発電力(kW)	⑧ 平均発電力 (kW)	⑨ 発電電力量 (kWh)
最大頭切日数	110	2.0	100	0.81	714	714	1,884,960
185	185-110 (75)	1.41	71	0.79	491	616	1,108,800
275	275-185 (90)	0.83	42	0.68	249	370	799,200
355	355-275 (80)	0.68	34	0.65	195	222	426,240
365	365-355 (10)	0.59	30	0.62	161	178	42,720
計	(365)						⑩ 4,261,920

【計算条件】①最大使用水量 Q=2.0m^3/s（105 日流量）　有効落差 He=45.0m　横軸フランシス水車

【計算手順】

・②の最大頭切日順は、最大使用水量の取水可能日数を記入します。

・この場合、最大使用水量は 2.0m3/s であり、最大頭切日順は、110 日とします。

・③の日数は、計算段と直上段の日順の差です。

・④の縦列に、最大使用水量で頭切した日順の流量を使用水量として記入します。

・⑤の縦列に、負荷率(使用水量/最大使用水量)を計算して記入します。

・⑥の縦列に、⑤の負荷率を用いて合成効率を計算します。

・合成効率は、水車効率及び発電機効率を求めた方法で各負荷率の相対効率求めて算出します。ここでは、一般的な横軸フランシス水車の負荷率ごとの合成効率を記入してあります。

・⑦負荷率ごとの発電力Ｐを計算します。なお、有効落差は He=45.0ｍとします。

Ｐ＝9.8×(④使用水量)×(有効落差)×(⑥合成効率)

・⑧計算段と直上段の発電力の平均発電力を求めます。

例えば、③日数の 185 日流量～275 日流量（90 日）の場合は、(491＋370)÷２＝370kW となります。

・⑨発電電力量を計算します。

発電電力量は、⑧×③×24hr です。 例えば、上記 185 日流量～275 日流量（90 日）の場合は、90 日×370kW×24hr＝799,200kWh となります。各日数の計算結果は、表の⑨のとおりです。

・⑩発電電力量の合計より年間可能発電電力量を求めます。

・計算結果は、表の⑩に示す 4,261,920kWh となります。

---

[100] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 p.5-13 を基に作成 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）

(2) 設備利用率の計算

表-3.11.1 で得られた年間可能発電電力量を、最大出力で一年間連続運転した場合に発生する電力量で除して、設備利用率を求めます。

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{年間可能発電電力量}}{\text{最大出力(kW)} \times 8760\text{(hr)}} = \frac{4{,}261{,}920\text{kWh}}{714\text{kW} \times 8760\text{hr}} = 68\%$$

ここでいう「設備利用率」は前述の「流量設備利用率」とは定義が異なりますので注意が必要です。流れ込み式の水力発電所の場合の設備利用率は 60%程度が一般的といわれます。

(3) 年間発電電力量

水力発電所は、それ自体の事故によって停止することはあまりなく、大雨や台風等による洪水時や保安のために停止することが主です。水力発電所が電力会社の送電線や配電線に接続している場合に、発電所が停止（事故停止）する主要因は、送配電線路の事故によるものです。電力会社の送配電線路の事故の場合には停電後一定時間経つと自動的に送電を再開します。その場合でも、発電所の運転再開には 5 分程度の時間が必要となります。

水力発電所の停止は、事故停止のほか、計画的な点検による停止、補修による停止等があり、発電所で発電される電力量は停止しないものと仮定して計算した年間可能発電電力量よりも、停止した分少ないものとなります。この点検補修や事故による停止によって発電できなかった分を「停止電力量」といい、その年間可能発電電力量に対する割合を停止率といいます。逆に、理想的な仮定で計算された年間可能発電電力量のうち、実際に発電量として期待できる割合を利用率といい、

利用率 ＝ 1 ― 停止率

とし、流れ込み式の発電所の利用率は約 0.95（95%）が採用されています。 したがって、年間発電電力量は、

年間発電電力量(kWh) ＝ 年間可能発電電力量(kWh) × 利用率(%)

で表され、これは「発電端電力量」ともいわれます。発電原価は年間の発電所にかかる総経費を年間発電電力量で除して求めることができます。

3.12 概算工事費の算定

発電計画の基本設計にて用いる概算工事費は、複数のケースで比較検討（いわゆる相対評価）を行うため、概略のレイアウトで概算工事費の算出が可能な「中小水力発電計画導入の手引き（経済産業省　資源エネルギー庁)」等を参考に、項目ごとの計算式を使用して金額を算定します。

表 3.3.11 概算工事費積算項目[101]

積算項目			摘要
1)	土地補償費		水没家屋，田畑，山林，付替道路，鉄道，漁業，公共補償，無形固定資産等
2)	建物関係		発電機床面以上の発電所本館建物（半地下式，地下式の場合は内装を含む），付属建物（本館以外）
3)	土木関係		
	① 水路	a．取水ダム	土砂吐き，排砂ゲート，護岸工，護床工，魚道を含む
		b．取水口	ゲート，スクリーンを含む。既設堤体穴開け方式の場合は，堤体穴開け工事費を含む。 サイフォン方式の場合は，真空ポンプ工事費のみとし，サイフォン管は水圧管路に計上する
		c．沈砂池	排砂ゲート，スクリーンを含む（露出式を対象）
		d．排砂路	沈砂池（水槽）で排砂ゲートを設置できない場合の代替設備として設置する
		e．導水路	
		f．水槽	ヘッドタンク又はサージタンクのどちらかを示す。排砂ゲート，スクリーンを含む
		g．余水路	
		h．水圧管路	既設管路との分岐管，バルブ室，バルブ，流量計室，流量計，グラウト，法面保護工等を含む
		i．放水路	
		j．放水口	ゲートを含む
		k．代替放流設備	既設ダムの放流設備途中に発電設備を設置し，バイパス放流設備が必要な場合の放流バルブ
		l．雑工事費	土捨場，水路に係わる緑化工事，自記量水設備等
	② 貯水池又は調整池		（ダム高15m以上の）ダム本体，洪水吐，雑工事
	③ 機械装置	m．基礎	発電機床面以下（半地下式，地下式の場合は，床面以上を含む）の土木工事
		n．諸装置	取付道路，構内整備，機械装置に係わる緑化工事等
4)	電気関係		水車，発電機，主要変圧器，配電盤開閉装置等
5)	仮設備費		工事用道路・橋梁，仮建物，工事用電力，備品等
6)	総係費		人件費，調査委託費，事務関係費等
7)	（小計）		Σ1)～6)
8)	建設中利子		建設工事期間中の工事資金に係わる利子
9)	分担関連費		発注者の現場以外の組織全体に係わる事務経費
10)	送配電設備費		架空又は地中送電設備
11)	（計）		Σ7)～10)

この算定方法はあくまでもルート比較や規模比較における各ケースの相対的な評価を行うことを目的とした基準となりますので、最終的な工事費とするには精度が不十分です。より詳細な検討を行う際には、項目ごとに複数社への見積や詳細設計を行ったうえ、工事費の積算が必要となりますので注意が必要です。

[101] 経済産業省 資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」平成 25 年 3 月 「1 規模別工事費積算の手引き」p.3

3.13 最適発電規模の決定

最適発電計画の決定については、3 章 4 節で選定した複数の水路ルートそれぞれに対して、最大使用水量、有効落差、発電出力、発電電力量、概算工事費を算定し、最も経済的となる水路ルートを発電計画の最適ルートとします。なお、最適発電規模の決定は、最も一般的に用いられる kWh あたり建設単価にて評価します。

1kWh あたり建設単価(円/kWh) ＝ 建設費(円) ／ 年間発電電力量(kWh)

3 章 4 節で示した事例について検討した結果をもとに算定した建設単価は図-3.13.1 に示すとおりとなります。この結果、A'ルート（道路に導水路を埋設するケース）が最も安価となるため、発電計画サイトにおける最適な水路ルートとなります。

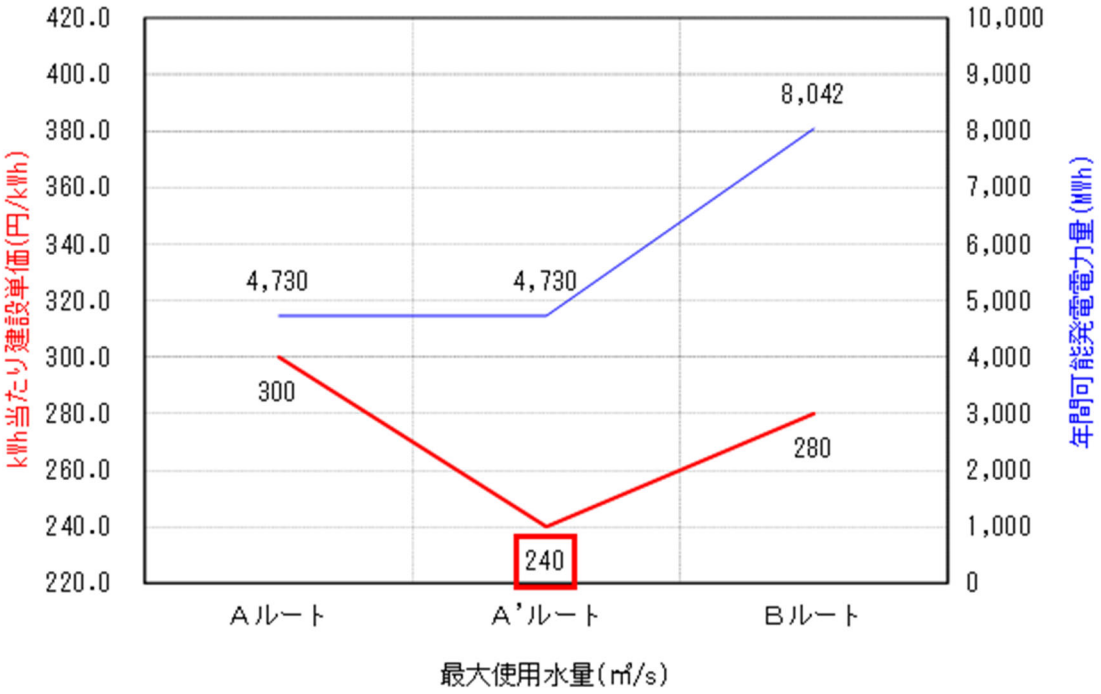


図-3,13,1 最適ルート案の決定

水路ルートの比較検討結果を取りまとめる際の標準的な様式を表-3.13.1 示します。

表-3.13.1 水路ルート比較検討結果[102]

項目＼検討ケース			単位	ルート１	ルート２	ルート３
発電計画		流域面積	㎢			
		取水位	EL. m			
		放水位	EL. m			
		総落差	m			
		最大出力	kW			
		最大使用水量	m^3/s			
		有効落差	m			
		年間可能発電電力量	kWh			
設備概要	ダム	形式	－			
		高さ	m			
		頂長	m			
	水路	沈砂池	－			
		導水路延長	m			
		水圧管路延長	m			
		放水路延長	m			
		水路延長	m			
	発電方式		－			
	水車型式		－			
河川利用概要		河川維持流量	m^3/s			
		上水道用水	m^3/s			
		河川利用率	%			
		流量設備利用率	%			
		設備利用率	%			
工事費			百万円			
経済性指標		kW 当たり建設単価	千円/kW			
		kWh 当たり建設単価	円/kWh			
経済性評価			－			

[102] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 p.5-7 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）

3.14 年間収入・経費の算定

発電規模（最大使用水量と最大出力）が決定した後に、水力発電事業実施の可否を判断するために事業の経済性評価を行います。

(1) 年間発電経費の算定

発電施設の年間発電経費は、減価償却費、人件費、借入金利息、修繕費、諸費等からなります。に発電年間経費の項目を示します。これらの項目の算定方法や基本的な考え方については、ハイドロバレー開発計画[103]ガイドブック（経済産業省　資源エネルギー庁）を参考にします。

表-3.14.1 年間発電経費

項　目	説　明
減価償却費	発電施設を構成する設備等の直接費と、総係費、建設中利子などの間接費を合算した工事費の減価償却費
人件費	発電所の運転保守にための委託人件費
借入金利息	工事費に必要な資金に対する利息
修繕費	発電所の維持管理のための修繕費
諸費等	水利使用料、消耗品、保険、光熱費、税金等その他経費
一般管理費	管理部門の給料、事務所家賃や水道光熱費などの業務分担費

このうち、修繕費については、発電施設の安定的な運転を継続するために必要額を計上しておくことが重要となります。水力発電においては、10 年程度ごとに分解を伴う機器の点検（オーバーホール）を行う必要があります。オーバーホールは通常点検よりも多額の費用・期間が必要となることから、修繕費の積立を行い、設備・機器ごとの修繕費を把握・想定しておくことが重要です。

(2) 年間収入の算定

発電による収入は、「年間発電電力量(kWh)×売電単価(円/kWh)」にて計算します。今までは売電価格は固定価格買取制度（FIT)の調達価格にて計算できましたが、令和 4 年（2022 年）4 月 1 日より「再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法」が施行され、FIP 制度が開始されます。FIP 制度等の詳細は、本テキスト 1 章 2 節 3 項「水力発電事業立案における目的の整理」の(1) 水力発電事業実施による売電収益（1-16 頁）を参照してください。

---

[103] 出典）資源エネルギー庁・財団法人新エネルギー財団「ハイドロバレー計画ガイドブック」平成 17 年 3 月 <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf >（202.1.31 閲覧）出典：ハイドロバレー計画ガイドブック　資源エネルギー庁（平成 17 年 3 月）

(3) 補助事業と固定価格買取制度との調整（FIT 調整）

農業農村整備事業等により中小水力発電施設を整備し、FIT による売電を行う場合は、国民負担抑制のため、毎年度の発電実績量に応じて売電収入の一部を国庫に返納（FIT 調整）する必要がありました。詳細については、「農業農村整備事業等により整備された小水力発電施設整備に関する補助事業等と固定価格買取制度との調整について」（25 農振第 2313 号平成 26 年 4 月 1 日農林水産省農村振興局長通知　30 農振第 3310 号平成 31 年 3 月 27 日最終改定）を参照してください。なお、FIP 制度への適用については、別途確認をお願いします。

3.15 経済性の評価

水力発電の経済性評価に用いる主な指標は、「建設単価法」、「発電原価法」等があります。また、中小水力発電の参入にあたってはプロジェクト毎に投資判断が必要であり、個別事業としての収益性に着目したキャッシュフロー計算による内部収益率法（IRR） による経済性評価が有効となります。以下、これら方法の概要を紹介します。

(1) 建設単価法

個別の電源の経済性を厳密に求めるには、その発電所から発生する電力の発電単価を検討することが必要になりますが、一般に水力の場合、その年経費の大部分は資本費となるため計画段階での経済性の比較は、発電電力量（kWh）当たりの建設単価で行います。年間可能発電電力量当たりの建設費は、

1kWh あたり建設単価(円/kWh) ＝ 建設費(円) ／ 年間発電電力量(kWh)

で求められ、これに経費率を乗ずることで発電単価が速算できます。計画段階では、一般水力の経済性の概略を簡便に示す指標といえます。

(2) 発電単価法

水力のみならず、燃料費を必要とする火力、原子力などの発電設備の経済評価に用いられ、発電電力量(kWh)当たりの電気の生産に必要な費用として算出されます。発電に必要な費用は資本費、運転維持費、燃料費等で構成され、資本費の大部分は設備取得費（建設費＋建中利子）の減価償却費となります。減価償却費は設備ごとに設定されている法定耐用年数に基づき算定します。発電コストは毎年変化するため、運転開始初年度の発電コストに着目した初年度発電単価と発電所の耐用年数期間における総コストを総発電電力量で除して求める耐用年発電単価が利用されています。耐用年発電単価の算定では、発生する毎年の費用は割引率を用いて現在価値に割り戻して算出します。

1kWh あたり発電単価(円/kWh) ＝ 発電経費(円) ／ 年間発電電力量(kWh)

ここで、発電経費は耐用年数期間に発生する費用の現在価値合計を当該期間で均等化して求めます。

(3) 内部収益率法 (IRR:Internal Rate of Return)

事業期間中に発生する費用の現在価値の累計と便益の現在価値の累計が等しくなる割引率を内部収益率といいます。すなわち、純現在価値 NPV が 0 となる割引率のことで、IRR が大きければ投資する事業は経済性が優れていることを表します。一般的には IRR が加重

平均資本コスト WACC を上回れば事業の経済性を有すると判断できます。さらに、事業者がどのプロジェクトに投資するのが有利かを判断するのに利用可能です。

IRR を求めるには高次代数方程式を解く必要があり、次数の数だけの解が存在します。このため、実際に値を求めるには適当な計算を繰り返して近似的に求めるという方法（いわゆる収束計算）を用います。エクセルを利用した IRR の関数でも、こうした数値的解法で値を求めています。内部収益率は、事業自体の収益性を評価するプロジェクト内部収益率（Project IRR、いわゆる PIRR）と、事業の出資金（資本金等）のみを対象として収益性を評価する自己資本内部収益率（Equity IRR）に分類されます。

IRR の検討には建設コスト、維持管理費、及び売電収益といった技術的な観点から整理する数値と、借り入れ融資の利率といった金融面での条件設定等、様々な条件設定が必要になります。この内容については環境省大臣官房が公表している金融機関向けマニュアル[104]に詳しくまとめられているので、そちらも参考にして下さい。

[104] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」Ver4.1 ~小水力発電事業編~ 2019 年 3 月
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

3.16 F/S 調査全体で重要となるポイント

これまでテキスト内部でも検討のポイントには触れてきましたが、改めて F/S 調査全体で重要となるポイントを以下に整理します。

(1) 流量データデータの整理

水力発電の源泉は「流量」です。発電地点における流量データの精度如何で、事業採算性の見込みが大きく変わってきます。このためなるだけ正確な流量データを観測できるよう、設置位置の検討、水位観測の方法、流速の計測などは慎重に行う必要があります。流量観測については建設コンサルタント、または地元の測量会社などが技術的ノウハウをもっているため、事前に相談することも有効となります。また、必要に応じて河川管理者への事前相談も早めに行った方が、調査をスムーズに進めることができます。

さらに、計測した流量データについては、妥当性を何らか検証しておくことが望ましいでしょう。本テキストで紹介した流量データの入手サイトから、発電計画地点近傍のデータとの比較検証を行い、必要に応じて補正をかけるといった工夫も必要です。

(2) 水路ルート

水路ルートについては、取水口と発電所の位置を最初に決めることが効率的です。これらは地形条件や用地条件の制約を受けることから、事前に現地調査を行い周辺の地形や環境を把握することが必要です。

また、取水口と発電所の位置が離れれば離れるほど落差が増えるため、発電電力量としては有利になりますが、一方で減水区間が長くなることから、河川環境への影響が大きくなります。このあたりのバランスも各開発の地点の河川環境に応じた適切な位置関係を模索することが重要です。

(3) ステークホルダーへの説明

水路ルートを検討して、詳細設計を行った後で地元協議を開始したところ、地元関係者から反対されて施設配置を見直すことになり、折角実施した詳細設計一式が手戻りになってしまったという事例もあります。

このため、水路ルートの検討後、あらかたの発電設備の配置が決まった段階で地権者や漁協関係者、及び河川管理者等との事前協議を行い、発電計画に対する意見聴取を行うことも重要です。

(4) 調査等の委託

水力発電事業における F/S 調査（水路ルートの検討）以降は、ある程度の専門技術が必要となることから、その技術を有する機関へ依頼することも選択肢の一つです。これら委託先については次の項で紹介します。

3.17 委託先

F/S 調査における委託先としては、測量会社（測量や流量観測、流量データ整理)、及び建設コンサルタント（F/S 調査全般)、水車発電機メーカー（水車発電機の選定、効率検討など）がターゲットとなります。これらの相談先については環境省[105]の手引きに紹介されています。次ページにそのリストを転記します。

なお、測量会社や建設コンサルタントは国、県、市町村からの公共発注業務を受託している場合が多く、特に履行期限が集中する年度末（12 月～翌年 3 月）は繁忙期となります。このため、時期によっては調査や検討を依頼しても委託を断られる可能性があることから、相談にはある程度の時間的余裕をもつこと、及び上記繁忙期を避けるといったことに留意する必要があります。

測量会社や建設コンサルタントは年度末が終わると比較的人的余裕が生まれることから、春先から早めに相談することが有効です。また、地元企業については行政機関への事前相談時にそのような企業があるのかを問いかけてみても良いでしょう。

---

[105] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け)」 Ver4.1 ~小水力発電事業編~ 2019 年 3 月
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性に関する手引き（金融機関向け）」におけるメーカー・サプライヤーの一例

表 3-6　小水力発電装置を取り扱う主要メーカー・サプライヤーの概要

メーカー名	企業概要	主な取扱種
芦野工業（株）	水力発電機器等の設計・製造・据付メーカー。水力発電機器の製作や改修では数多くの実績がある。	横型フランシス水車 横型ペルトン水車
（株）石垣	ろ過機や脱水機、ポンプを製造、上下水道プラントの設計・施工まで手がける。	インライン型水車 ポンプ逆転水車 サイホン式立軸水車
イームル工業（株）	水力発電機器メーカー。機器の設計から製作、販売、修理まで総合的に行っている。明電舎と小水力発電事業での連携をしている。	フランシス水車 ペルトン水車 水中タービン発電機 クロスフロー水車
川崎エンジニアリング（株）	川崎重工（株）傘下のプラントエンジニアリング企業。小水力発電の水車を提供。	リング水車
JAG シーベル（株）	再生可能エネルギーに関する研究開発、製造・販売、コンサルティング等。超低落差型流水式マイクロ水力発電システム「ストリーム」が主力商品。	クロススロー水車 ペルトン水車 フランシス水車 カプラン水車
（株）DK-Power	空調メーカー、ダイキン工業のスタートアップ企業。空調・油圧機器の製品開発で培った技術を活かし、水車・発電機・コントローラをパッケージ化したマイクロ水力発電システムを開発・提供している	縦型インラインポンプ逆転水車
田中水力（株）	水力発電設備機器メーカー。マイクロ水力発電を専業として手がけており、積極的に設計・製作・販売・工事を行っている。	渦巻フランシス水車 インライン式フランシス水車 クロスフロー水車 ペルトン水車 ターゴ水車
東京発電（株）	電気の卸供給、水力・火力発電設備の運転や保守を受託している。水力発電技術を活かし、マイクロ水力発電事業に取り組んでいる。	
東芝インフラシステムズ（株）	東芝グループの社会インフラ事業を担う会社として 2017 年 7 月に発足。水力発電には 100 年以上の歴史があり、様々なタイプの水車を提供。	不明
（株）中川水力	水車発電設備機器メーカー。水力発電設備の設計、設備、製造、販売、アフターサービスまで内製化している。	不明
日本工営（株）	建設技術コンサルティングや電力流通設備・水力発電のエンジニアリング等、豊富な実績と総合技術を有する。	フランシス水車 ペルトン水車 プロペラ水車 クロスフロー水車 サイフォン水車
日本小水力発電（株）	小水力発電装置の設計・施工・販売・アフターケア等。MAVEL 社や Hydro Watt 社と提携。	ペルトン水車 フランシス水車 クロスフロー水車 カプラン水車 サイフォン水車 開放型上掛水車 開放型下掛水車
日立三菱水力（株）	日立製作所、三菱電機（株）、三菱重工（株）の 3 社によって設立。水力発電システムの販売・エンジニアリング・据付・工事・保守、主要機器の開発・設計を行う。	フランシス水車 他
富士フォイトハイドロ（株）	水力発電機器・システム専業メーカー。Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG と富士電機株式会社の合弁会社。株式会社荏原製作所の水車事業を譲り受けた。	フランシス水車 カプラン水車 バルブ水車 ペルトン水車 ポンプ水車 マイクロ水車 （マイクロチューブラ水車）
（株）北陸精機	機械メーカー。永久磁石式同期発電機のマイクロ水力発電機やマイクロ発電水車を取り扱う。	マイクロ発電水車 マイクロ水路発電機
（株）マルヒ	精密モータ製造のエキスパート企業。平成 24 年に小水力発電機を開発。	マイクロ小水力発電装置

出所）NEDO「NEDO 再生可能エネルギー技術白書　第 2 版　第 8 章　中小水力発電」2014 年 2 月　31 ページ<http://www.nedo.go.jp/content/100544823.pdf>（2019 年 2 月 25 日閲覧）、及び各社ウェブサイトより作成

出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」[106]

[106] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」2019 年 3 月 Ver4.1 ~小水力発電事業編~ p.24
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7

環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性に関する手引き（金融機関向け）」におけるコンサルタントの一例

表 3-7　小水力発電事業を取り扱うコンサルタント一覧

企業名	本社所在地	ウェブサイト
アース建設コンサルタント（株）	宮崎県	http://www.earthcon.co.jp/
アジア航測（株）	東京都	http://www.ajiko.co.jp
（株）日本インシーク	大阪府	http://www.as-dai.co.jp
（株）有明測量開発社	熊本県	http://ariake-s.co.jp/
（株）エックス都市研究所	東京都	http://www.exri.co.jp
（株）ＮＴＴファシリティーズ エンジニアリング	東京都	https://www.ntt-fe.co.jp/
（株）遠藤設計事務所	秋田県	http://www.endousekkei.co.jp
（株）環境と開発	熊本県	http://www.etod.co.jp
九州工営（株）	宮崎県	http://www.k-kouei.co.jp
（株）協和コンサルタンツ	東京都	http://www.kyowa-c.co.jp
（株）工藤設計	栃木県	http://www.kudousekkei.co.jp/
熊本県小水力利用推進協議会	熊本県	http://www.kuma-ontai.jp/
国際航業（株）	東京都	http://www.kkc.co.jp/
（株）三義	秋田県	http://www.c-sangi.co.jp/outline_sw.html
（株）秀建コンサルタント	山梨県	http://e-shuuken.boy.jp
（一社）小水力開発支援協会	東京都	http://www.jasha.jp
（株）新日本コンサルタント	富山県	http://www.shinnihon-cst.co.jp/
（株）水力開発コンサルタント	熊本県	-
（株）長大	東京都	http://www.chodai.co.jp
（株）東光コンサルタンツ	東京都	http://www.tokoc.co.jp
都市開発設計（株）	群馬県	http://www.toshi.co.jp
日本エヌ・ユー・エス（株）	東京都	http://www.janus.co.jp
（株）日豊測量設計	宮崎県	
（株）ニュージェック	大阪府	https://www.newjec.co.jp/
八千代エンジニヤリング株式会社	東京都	http://www.yachiyo-eng.co.jp/
（株）工営エナジー	東京都	https://www.koeienergy.co.jp/
東京発電（株）	東京都	http://www.tgn.or.jp/teg/

出所）全国小水力利用推進協議会の団体正会員一覧（2018 年 12 月 18 日時点）等を参考に作成

[12] <http://j-water.org/pdf/memberlist.pdf>

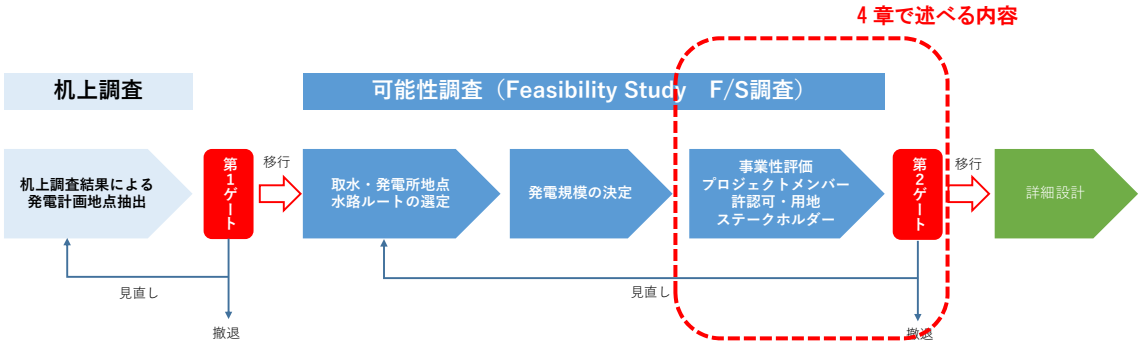
出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」[107]

%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

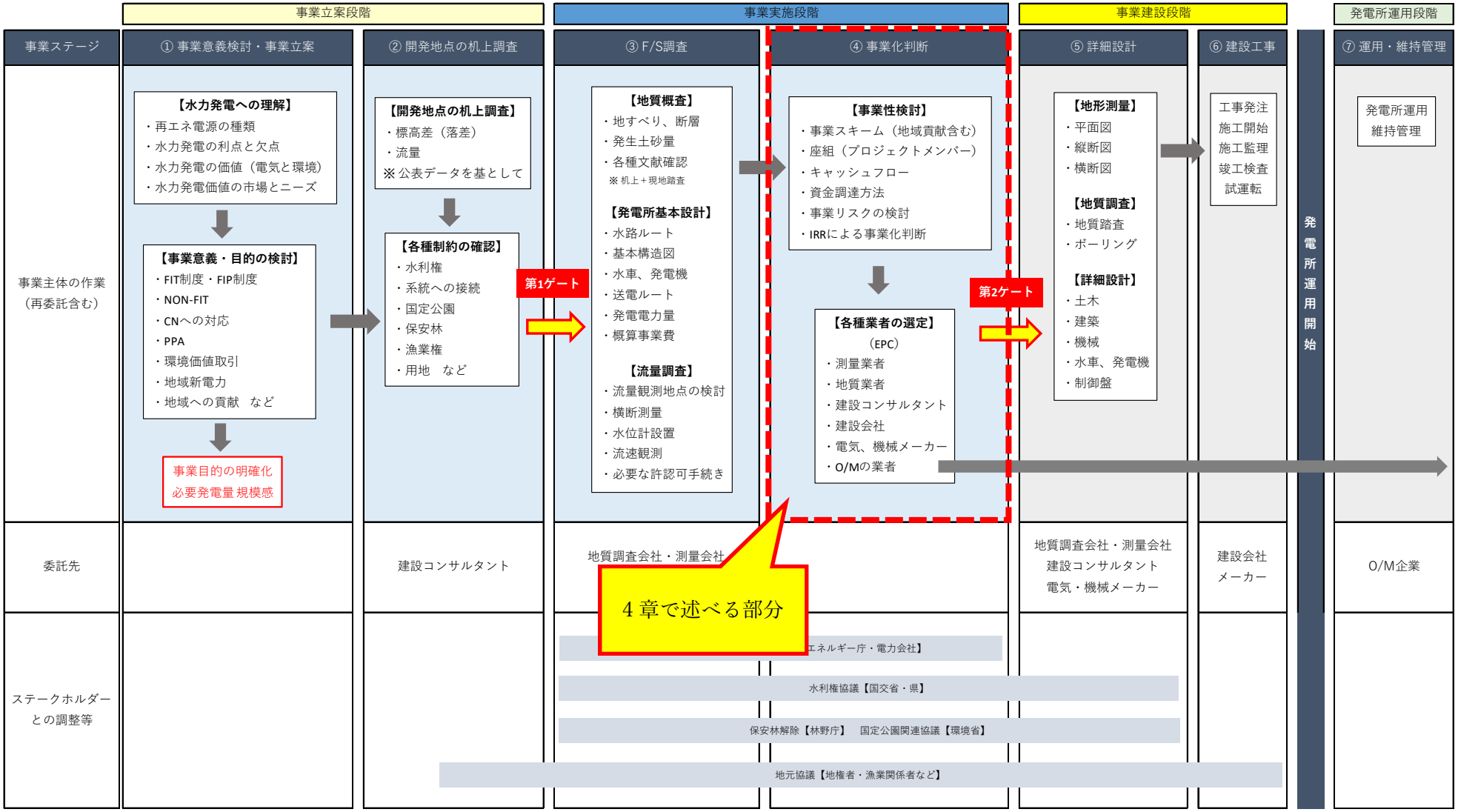
[107] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」2019 年 3 月 Ver4.1 ~小水力発電事業編~ p.25 <https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

4章　事業化判断

本章では 3 章で述べた基本設計（F/S 調査）の結果を踏まえて、経済性評価を行う方法、および事業実施に必要となるパートナー（プロジェクトメンバー）や資金調達の方法についても概説します。これら経済性評価やその他の要素を総合的に勘案して、事業建設段階（詳細設計・建設工事発注）へ移行するか否かを判断することになります（第 2 ゲートでの判断）。



本章で述べる内容



水力発電事業実施の流れ

4.1 事業スキームの検討

4.1.1 プロジェクトメンバー（座組）

水力発電は、地域で昔から生活に使われている水を利用することから、地域と結びつきの強い事業者が開発することが地域への理解、地域の収入および雇用につながり、地域資源の活用「エネルギーの地産地消」の観点からも意義が大きいです。事業の主体としては、地元企業・住民、土地改良区、自治体、NPO 等が想定されます。これらの主体の出資により設立される SPC が直接の発電事業者となるケースも存在します。いずれにしても事業者が発電計画、開発計画、運営管理まで総合的かつ合理的な企画・運営する体制を整えることが重要です。

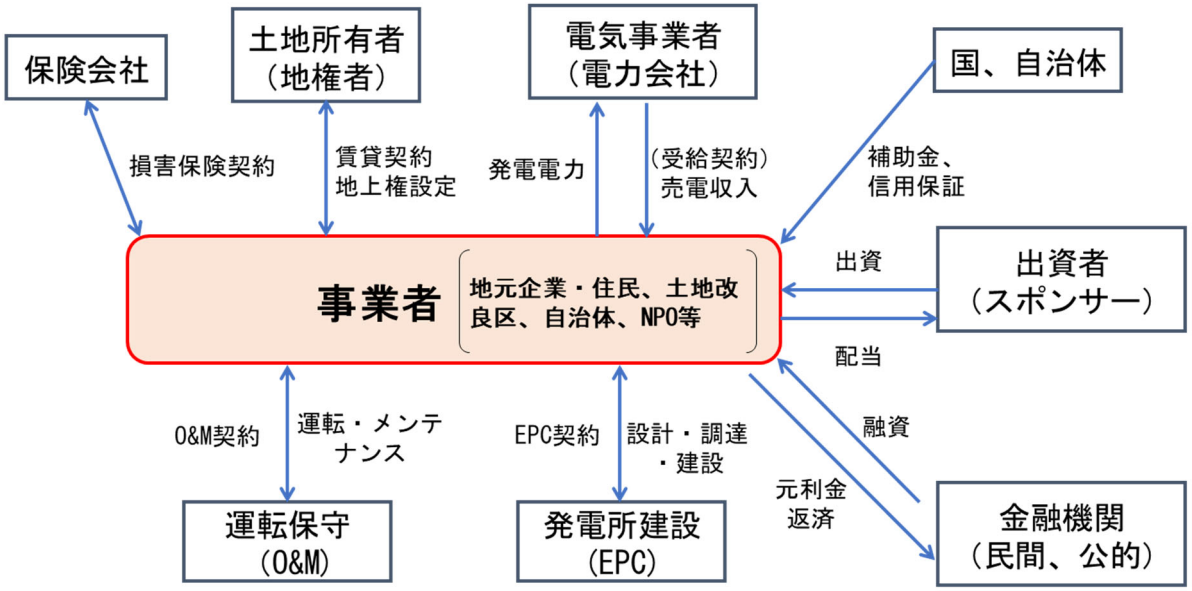


図-4.1.1 プロジェクトメンバー相関図

4.1.2 ファイナンス（資金調達）

近年の再生可能エネルギーのニーズの拡大を受け、水力発電事業をはじめとした再生可能エネルギーの事業化の検討が各地で進んでいますが、事業実施における初期段階のコスト（イニシャルコスト）は事業者自らが何らかの方法で調達する必要があり。しかし、規模が小さい企業やNPO法人では資金調達に限界があることから、この調達に苦慮するケースが多く見られます。こういった課題解決のため環境省が金融機関向けに「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価に関する手引き（金融機関向け）」を作成・公表しています。以下、その作成の背景を引用します。

> 我が国でも、平成 24 年 7 月から「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（固定価格買取制度）が開始され、太陽光等の再生可能エネルギー源を用いた発電事業（再生可能エネルギー事業）の事業化に向けた検討が各地で進んでいます。ただし、建設段階等における初期投資の費用については、事業者自らが調達する必要があり、とりわけ、地域の事業者や NPO 等による地域主導型の取組では、資金力に限界があるため、初期投資の負担が相対的に大きいという課題があります。そのため、地域金融機関等の融資のニーズが高まっており、再生可能エネルギー事業という新たな分野に対して、その事業性を見極める力が金融機関には一層求められています。
>
> この課題に対して、環境省では太陽光、風力、小水力及び木質バイオマス発電を対象に、現時点では十分な経験や実績が蓄積されていない地域金融機関や、今後一層再生可能エネルギー事業に対する融資促進に取り組む金融機関向けに、これら発電事業に対する融資の検討にあたっての基礎的情報と基本的な留意事項について説明する手引きを作成し、公開しています 。
>
> 本手引きにより、金融機関の再生可能エネルギー事業に対する理解を深め、地域における再生可能エネルギー事業を促進し、さらに事業の継続性を高めることを本手引きの目的とします。結果的に、CO_2 排出削減や地域の活性化に貢献し、低炭素社会の構築に向けて、着実に前進していくことが期待されます。
>
> 引用：地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価に関する手引き（金融機関向け）[1]

本章では上記の「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価に関する手引き（金融機関向け）」を基に、資金調達の検討における基本的事項を概説します。

---

[1] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」2019 年 3 月 Ver4.1 ~小水力発電事業編~ p.1
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

水力発電事業を実施する際の資金調達には主に表- 4.1.1 の方法が用いられ、これらの方法の組み合わせによるファイナンスが行われています。なお、資金調達方法には、会社全体のキャッシュフローや資産を返済原資とするコーポレートファイナンスと、事業が生み出すキャッシュフローを唯一の返済原資とするプロジェクトファイナンスがあります。

融資先事業者の信用に依拠した通常のコーポレートファイナンスは様々な規模の案件にプロジェクトファイナンスについては、大規模となる案件に活用される傾向にあります。

プロジェクトファイナンスでは唯一の返済原資である事業を守るため、事業継続に影響を及ぼすリスクやキャッシュフローに影響を及ぼすリスクがある場合、リスク負担が出来るプロジェクト関係者が契約書を通じてリスクを分担することになります。

その際、契約書の内容が適切であるかという観点だけではなく、事業者（SPC)、プロジェクト関係者が契約を履行する能力・資力があるか、という点についても、金融機関から審査されることとなります。

表-4.1.1 水力発電事業における資金調達方法[2]

資金調達方法		概要
資本出資（エクイティ）	自己資金	事業の実施主体が拠出する資金です
	普通株式	株主に与えられる権利内容について制限のない株式により調達する資金です。
	優先株式	議決権が制限される代わりに高い配当を受けることが可能な資金です。これにより多様性のある資金調達が可能です。
負債（デット）	シニア	従来からある通常の貸出金です。コーポレートファイナンス、プロジェクトファイナンスの方式があります。
	メザニン	シニアに比べて返済順位の低い資金です。匿名組合による市民出資、劣後ローン、私募債等の種類があります。
その他	事業基金	国や地方自治体等が出資や融資を行う制度です。環境省の地域低炭素化出資事業基金等の例があります。
	補助金	国や地方自治体等における小水力発電事業等の再生可能エネルギー事業に対する補助金です。
	寄付金	市民等からの寄付金です。寄付金を募って再生可能エネルギー事業の資金の一部とした事例も存在します。
	信託受益権	土地や発電設備を信託し、そこから発生する利益を受ける権利を信託受益権として発行することで調達する資金です。

[2] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け)」2019 年 3 月 Ver4.1 ~小水力発電事業編~ p.42
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

4.1.3 キャッシュフロー

経済性の指標には従来から用いられている C/V 法、建設単価法、発電単価法などがありますが、いずれの手法も経年的な資金の収支までは考慮されておらず、経年的な発電事業としての採算性を評価するには不十分です。中小水力発電の参入にあたってはプロジェクト毎に投資判断が必要であり、個別事業としての収益性に着目した キャッシュフロー計算による内部収益率法（IRR）による経済性評価が有効となります。

(1) キャッシュフロー

キャッシュフローとは、開発する発電所における費用（経費）と収益のことであり、その差が利益となります。キャッシュフロー計算は、発電所運転開始後何年間で資本回収ができるか、あるいは想定する期間内でどの程度利益が期待できるか予測する経済性の評価手法です。水力発電所の法定耐用年数を念頭におきつつも、固定価格買取制度の調達期間である経過 20 年時点や、さらに発電を継続するものとして経過 40 年時点でどの程度の利益が見込めるのかを予測し、事業の採算性を検討する手法です。

(2) 内部収益率法 (IRR:Internal Rate of Return)

事業期間中に発生する費用の現在価値の累計と便益の現在価値の累計が等しくなる割引率を内部収益率といいます。すなわち、純現在価値 NPV※1 が 0 となる割引率※2 のことで、IRR が大きければ投資する事業は経済性が優れていることを表します。

※1 NPV(Net Present Value)とは
NPV とは、投資によって将来発生するキャッシュフローの現在価値での利益の大きさを判断する指標で、NPV が大きいと投資した事業から得られる経済価値が大きく、NPV がマイナスの場合は、事業の採算性が得られないことを示しています。
NPV(正味現在価値) ＝ 投資によるキャッシュフローの現在価値
－ 初期投資額
NPV ＞ 0：プロジェクトに投資すべき
NPV ＜ 0：プロジェクトに投資すべきではない（利益が出ない）
となります。

※2 割引率とは

割引率とは、将来受け取る金銭を現在価値に割り引く（換算する）ときの割合を、1 年あたりの割合で示したもので、投資に対する期待収益率をいいます。
リスクが高いほど（将来受け取る金銭が不確実な事業であるほど）割引率は高くなり、結果として現在価値は低くなります（水力発電事業では一般的に割引率 3%[3]が採用されます）。

一般的には IRR が割引率（もしくは、資金調達コスト(WACC)）を上回れば事業の経済性を有すると判断できます。さらに、事業者がどのプロジェクトに投資するのが有利かを判断するのに利用可能です。なお、内部収益率は、事業自体の収益性を評価するプロジェクト内部収益率 PIRR（Project IRR）と、事業の出資金（資本金等）のみを対象として収益性を評価する自己資本内部収益率 EIRR（Equity IRR）に分類されます。つまり、事業投資期間を通じての年平均投資利回りを判断する指標（ハードルレート）として、

PIRR ＞ 割引率(r)：プロジェクトに投資すべき
PIRR ＜ 割引率(r)：プロジェクトに投資すべきではない（利益が出ない）

となります。IRR を求めるには高次代数方程式を解く必要があり、次数の数だけの解が存在します。このため実際に値を求めるには、適当な計算を繰り返して近似的に求めるという方法が取られます。エクセルを利用した IRR の関数でも、こうした数値的解法で値を求めています。

■ 収益性の評価指標の関係性について

資金調達コストは、事業への出資者が求める配当や融資する金融機関等が求める金利をそれぞれの資金拠出比率に応じて加重平均した率となります。通常、金融機関等に対する元利金の支払いは出資者への配当に優先するため、出資者がより高いリスクをとることになりますが、出資者はそれに見合うリターンを求めることになるため、評価指標については次のような関係となることが望ましいといえます。なお、PIRR の指標には税金支払い考慮後（税引後）を採用することで、より精度の高い比較が可能となります。

EIRR ＞ PIRR ＞ 借入金利

[3] 出典）経済産業省「第 75 回 調達価格等算定委員会 令和 4 年度以降の調達価格等に関する意見（案）」令和 4 年 1 月 28 調達価格等算定委員会 p.57
<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/075.html>（2022.1.31 閲覧）

4.1.4 事業リスク

水力発電においては、事業の立案・企画段階、設計・施工段階、運転・保守段階のそれぞれにおいて、以下水力特有のリスクが存在します。表-4.1.2 のリスクのうち、特にキャッシュフローに影響を与えるものは、完工リスク、発電量リスク、天候・自然災害リスクです。事業性を低下させないためにも、慎重な対応が望まれます

表-4.1.2 水力発電事業の主なリスク[4]

リスク項目		リスク内容
設計・計画段階	用地取得リスク	発電設備全体における用地取得、用地境界・地権者の特定、相続登記
	関係者対応リスク	地域住民/既得水利権者との合意形成
	許認可リスク	森林法、自然公園法、河川法、砂防法、電気事業法、FIT 事業計画認定
	系統連系リスク	系統制約、負担金の規模
	事業性評価リスク	発電規模・事業採算性の確保
実施・運転段階	完工リスク	コストオーバーラン、設備機器納入遅延、水車メーカー・施工業者の倒産
	発電量リスク	発電量の見込み違い、機器トラブル・水車メーカー性能による発電停止・出力低下
	天候・自然災害リスク	流況変化による発電量の減少、台風、洪水、地震等の発生による設備の損壊
	設備撤去リスク	事業期間終了後の対応、廃棄・土地の現状回復

(1) 完工リスク

完工リスクとして、計画通りの期間・予算・性能で設計・施工が完成しない事象等が懸念され、設計、調達、施工を実施する事業者や EPC 事業者の業務遂行能力が不十分な場合に発生する可能性が高まります。プラント建設時の天候や不測の事態等によって建設が遅延する可能性にも留意が必要です。また、近年の急激な水力発電事業の増加により、水車の納入までに数か月～数年かかることがある点に留意が必要です。具体的には、以下のような事象の発生が懸念されます。

- **プロジェクトの設備建設が当初予定した工期、予算、性能で完成しない。**
- **水車が希望時期までに納入されない。**

---

[4] 出典）環境省「地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け）」2019 年 3 月 Ver4.1 ~小水力発電事業編~ 「4 章 7 節 小水力事業特有のリスク」を基に作成
<https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf>（2022.1.31 閲覧）

- **建設期間の延長や、想定の性能に近づけるための建設・設置方法の変更等により追加の建設コスト（コストオーバーラン）が発生する。**
- **事前調査ではわからなかった、岩盤にあたる、斜面が崩落する等、予定通りに工事が進捗しない。**
- **大雪や 台風、 洪水、労働災害等の事故の発生により、予定通りに工事が進捗しない。**

上記リスクに対する対応策例として以下が想定されます。なお、農業用水の支線用水路に設置する数 kW～数十 kW タイプの水車・発電機の場合や、上下水道の送水管に設置する水車・発電機において設置場所に余裕がある場合は完工リスクの心配は少ないと考えられます。

【参考：事業者が行う対応策の例】

- 山間部、河川の工事等、地元での実績や経験が豊富な事業者に依頼する（土地勘のない事業者への発注は避ける）。
- 設計、調達、施工を別々に発注する場合には、責任の所在を明らかにしておく。また、発注先それぞれの業務の進捗を慎重に管理する。
- 水車メーカーや工事会社と細部を詰め、大きなぶれが生じないように設計精度を高めておく。
- 工事請負契約の内容に瑕疵の担保、履行遅滞時の違約金等の取扱いを規定する。
- EPC 事業者が契約している保険の内容を確認する（建設工事保険、土木工事保険等）。
- EPC 事業者に追加の建設コストを支払う可能性に対応するため、十分な予備費を設定する。

(2) 発電量リスク

洪水や渇水等想定外の事象の発生、発電量予測の甘さ等により、期待した発電量が確保できず、発電量が減少することにより売電収入の減少が懸念されます。なお、水力発電も太陽光発電や風力発電と同様に、季節によって発電量が変動する点に留意が必要です。

期待した発電量が確保できない要因として、

- **大雨による増水や濁流の発生により、水車への砂塵等の流入を防ぐために取水口のゲートを閉鎖させるため、発電ができない。**
- **気象条件の変化（降雪の影響、渇水の発生等）による流量の変動により流況調査に基づく見積りよりも得られる水量が少ない。**
- **土砂災害や森の荒廃による河川流量の低下により、流況調査に基づく見積もりよりも得られる水量が少ない。**
- **（農業用水を利用する場合）灌漑期 等 の農作業に水を必要とする期間中は発電用としての水が利用できない。**
- **（上下水道を利用する場合）流量の１日のうちでの変動が大きく、最大流量に合わせて発電所の出力を見積もると設備利用率が低くなる。**

➢ **中小水力発電設備の故障やメンテナンス対応の発生により稼働率が下がる。**

等が、想定されます。これらのリスクに関して事業者がリスクを軽減させる対応策の例として、以下が想定されます。

【参考:事業者が行う対応策の例】

- 中小水力発電設備の故障・メンテナンス対応による発電量の低減の可能性を考慮する。
- （農業用水を利用する場合）農業用水として取水している流量に着目するほかに、既存の農業用水路に流すことができる流量を確認する。
- 上下水道を利用する場合 1 日のうちでの流量変動にも着目して、発電所の出力を見積もる。

(3) 天候・自然災害リスク

自然災害（台風、大雨、洪水、地震等）や事故（火災等）により、発電設備が損壊するといったリスクが懸念されます。特に、中小水力発電設備については台風や洪水による故障が発生する可能性が高く、重点的に対策を講じる必要があります。自然災害や事故によって、修理・メンテナンスのための休止期間中の利益の逸失や、設備の原状回復、人的・物的被害を出した際の賠償費用が発生します。これらの事象のインパクトは、他のリスクをはるかに上回ります。天候・自然災害等の突発的なリスクとしては以下が挙げられます。これらのリスクは、発電所の設置 場所の選定にあたり、過去に土砂崩れ等の災害の発生した場所を避ける等 、慎重に検討を行うことが重要です。

➢ **地すべり、土砂崩れ 等 により建屋が流出する。または、水路が損壊する。**

➢ **河川増水により建屋が浸水し、電気設備が故障する。**

➢ **土砂により取水口が塞がれる。**

➢ **土砂の大量流入により、水車が故障する。**

これらのリスクに関して事業者がリスクを軽減させる対応策の例として、以下が想定されます。

【参考:事業者が行う対応策の例】

- 洪水の確率年を勘案し、20 年間の事業期間中にはほぼ発生しないと想定される規模の洪水であっても対応できるような取水口等の設計とする。
- 台風等で大雨や濁流の発生 が予想されるときは、早めに取水口を閉め、発電を停止する。一定水位や一定濁度で取水口のゲートを閉鎖する等基準を策定する。また、迅速に対応できるよう、取水口の設計等を自動制御システムとする。
- 降雪山間地域 では、雪が発電設備システム内（沈砂池）に入り込まないよう屋根を設置する。
- 台風等の自然災害による水力発電設備の損傷の対応するための機械保険や火災保険を活用する。
- 発電設備の損傷等による利益の逸失に対応するため、企業費用・利益総合保険を活用す

る。

- また、設備損傷に起因する二次的な被害に対応するため、賠償責任保険や労働災害に対する保険を活用する。
- 自然災害や事故が発生した時の復旧費用に充当するキャッシュリザーブを設定する。

なお、水力発電をはじめとした再生可能エネルギー設備導入時のリスク全般についてまとめた資料が環境省より公表されています。その資料から水力発電設備導入時の重大リスクについて抜粋したものを図-4.1.2 に示します。この資料にはこれらリスクの詳細な説明がありますので是非参考にご覧ください。

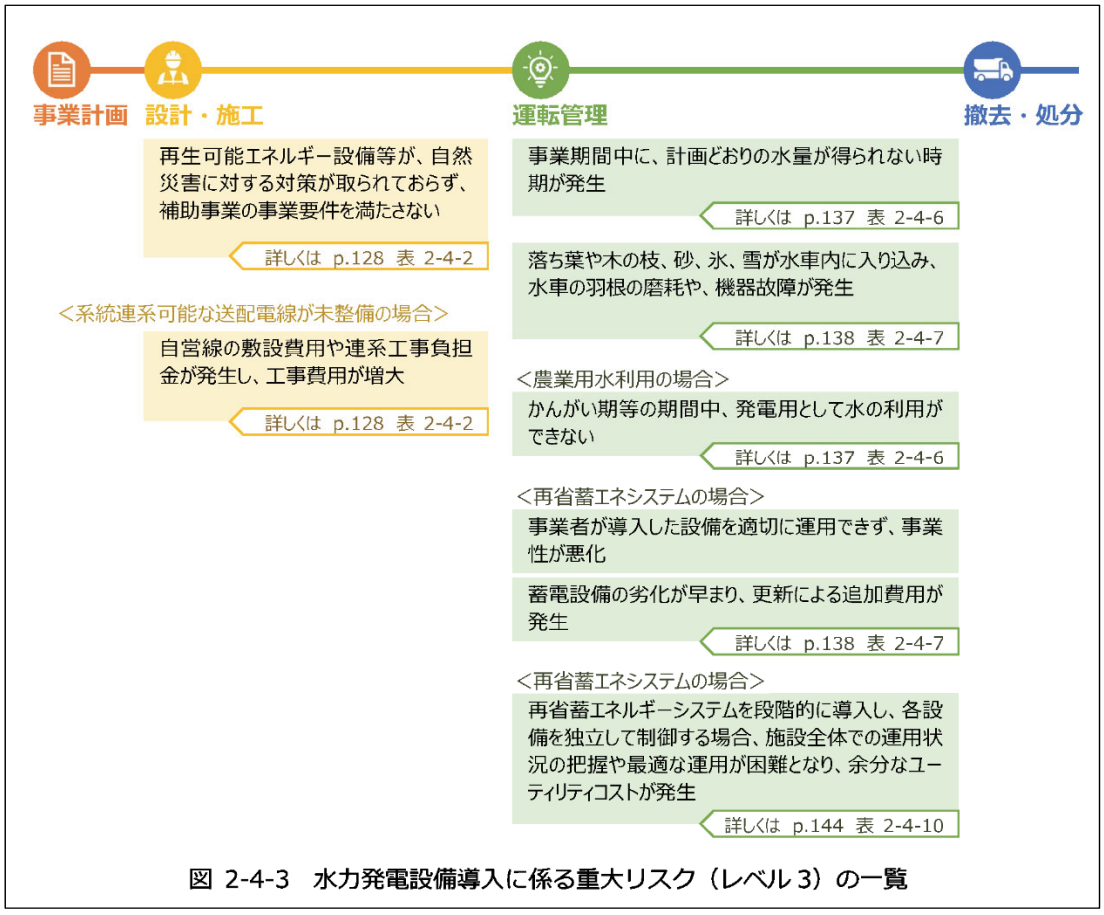


図-4.1.2 水力発電設備導入に係わる重大リスク[5]

[5] 出典）環境省大臣官房環境計画課「地域における再生可能エネルギー設備導入の計画時の留意点」令和 3 年 3 月 p.127
<http://www.env.go.jp/policy/local_re/renewable_energy/ryuuiten2.pdf>（2022.1.31 閲覧）

4.2 事業化判断（第 2 ゲート）

3 章、4 章で説明した各調査結果や検討結果を基に、事業実施（詳細設計、施工）のフェーズに移行する際の判断基準について以下で概説します。

(1) 地形・地質

机上調査（文献・資料調査、微地形判読等）および現地確認等により想定した地質リスクについて、その影響度と発生確率を踏まえたリスク評価が、事業実施の判断に重要となります。影響度や発生確率については、問題となる地形と計画地点との位置関係や地質構造の連続性、類似箇所での災害事例等を踏まえ評価します。詳細設計への移行には、地質リスク評価でリスクの回避または低減等に必要となる対策費が、事業実施において許容される範囲内であるか、これらの対策費用を含めた事業費等の比較による適地選定が、次フェーズ移行の判断の目安となります。

(2) 流量

F/S 調査実施段階では流量観測（実測）を行ったデータがある程度得られていることから、その流況と机上調査時点で想定したものが大きく乖離していないか確認を行うことが重要です。得られた流量データを基に最大使用水量などを詳細に見直した上で、最終的な発電電力量を算定して事業収支に反映しましょう。また、伏流や瀬切れが発生していないかも併せてデータを吟味しておくことも重要です。この結果、机上調査で想定していた事業規模などに対して問題がないことを確認できれば、詳細設計へ進んでも良いと判断されます。

(3) プロジェクトメンバー（座組）

事業実施の体制としては出資者（スポンサー）、金融機関、EPC（調査・設計・施工）、O/M 企業（維持管理・保守）、保険会社、土地所有者、といったプロジェクトメンバーを集める必要があります。F/S 調査と並行してこういったメンバー招集を進め、あらかたの目処をつけることも詳細設計への移行の条件となります。

(4) 経済性評価

事業収支の検討結果に基づき、ハードルレートに対して IRR が上回るかどうかが次の段階に進む一つの判断基準となります。このハードルレートの考え方は企業や金利等の設定条件により判断が異なりますので、一般的には詳細設計段階への移行に向けて、社内の決裁（経営判断を得ること）や金融機関との協議を進めていく必要があります。

(5) 委託先（調査・設計）

詳細設計に入る場合、事業者で測量や地質調査、各種設計を実施できない場合は、必要な分野において測量会社、地質調査会社、建設コンサルタントなどへの委託を行うことも選択

肢の一つです。委託を行う場合、これら各調査や検討をばらばらに発注することでも良いですが、1 つの企業へ測量から設計までをまとめて発注する方法としてあります。このあたりは各企業と協議の上、効率的な発注方法を検討することが重要です。詳細設計へ移行する際には、必要である場合はこれら委託先の目処をつけておく必要があります。

(6) 水車・発電機

最大使用水量、および有効落差がおおむね決定した段階で、メーカーへ検討依頼をかけることで、メーカー側も機器の選定や寸法の検討など大まかな仕様の検討が可能となります。また、概算コストや納期も確認できるため、それらやりとりを開始して事業スケジュールやコストが見合うのかを見極める必要があります。併せてこの F/S 調査の段階で、土木・建築工事との責任分解点やメーカーへの支払い条件についても協議を開始しておくと良いでしょう[6]。その結果を踏まえて事業実施に問題ないことが確認されれば、詳細設計へ進んでも良いと判断されます。

(7) 許認可手続き、用地取得

詳細設計へ移行する段階では、許認可手続きおよび事業用地については、あらたかた認可や取得の目処がついていることが望ましいと言えます。

(8) 金融機関

民間・公的金融機関に対して融資を依頼する場合は、F/S 調査完了時点で事業全体の構想、収支計画、出資者（スポンサー）、発注を予定する水車・発電機メーカー、土地取得の目処、許認可の目処などを整理の上、融資に関する協議を開始することが望ましいと言えます。当然最終的な融資の判断は詳細設計を経たコストの算定結果などをもって行われるわけですが、なるだけ早い段階で水力発電事業への融資を引き受けてくれる（または関心をもってもらえる）金融機関を見つけておくことが重要といえます。

(9) ステークホルダー

用地取得に加えて、地元漁協関係者、水利権に絡む関係者（農業用水など）等、地元関係者との対話を重ねることで、基本的な事業内容について同意を得ておくことが重要です。特に工事が始まった後の騒音や水の濁り、施設完成後の減水区間や建屋や水圧鉄管等による景観の変化など、想定される懸念事項についてはなるだけ早い段階でその対応と配慮について、住民説明会の開催などを通じて丁寧な説明を行いながら、地元関係者の理解を得る努力を継続していくことが重要です。

---

[6] ただし、工事の責任分解点は最終的には詳細設計後の工事発注時に改めて建設会社（土木工事を請け負う会社）との協議が必要となります。

以上の項目を整理したものを表-4.2.1 に示します。この記載はあくまで一般論となりますので、個別の事業においては現地の状況（関係者との協議状況を含む）を踏まえつつ、詳細設計へ移行するか否かの判断を行うことが重要です。

表-4.2.1 事業判断（第 2 ゲート）のまとめ

項　目	F/S 調査段階における要点	判　断
地形・地質	計画地点における地質リスクの有無と、影響度と発生確率を踏まえたリスク評価を行う	リスクに対する対策費が許容される場合、詳細設計へ移行する
流量	机上検討段階と実測データの乖離を確認の上で、事業収支を踏まえた最終的な発電諸元を決める	最終的な発電出力などの諸元が机上検討時点と大きな乖離がなければ詳細設計へ移行する
プロジェクトメンバー（座組）	出資者（スポンサー）を含めて必要となるプロジェクトメンバーを招集する	プロジェクトメンバーの招集の見込みが立つ場合は詳細設計へ移行する
経済性評価	事業収支の検討により IRR 等の指標を用いて経済性を評価し、求められるハードルレート（収益率や金利水準等）を満足するかを確認する	事業者側の社内決裁（事業実施への GO サイン）や金融機関の目途を得られれば詳細設計へ移行する
委託先（調査・設計）	必要に応じて測量、地質や環境調査、詳細設計を実施する委託先を確保する	委託が必要な場合で、その確保が可能となる場合は詳細設計へ移行する
水車・発電機	最大使用水量、有効落差といった基本諸元による概略設計、および各種工事との責任分解点、発注仕様、価格・納期等の基本的な事項を協議する	協議結果により基本的な条件をメーカー側と合意できれば詳細設計へ移行する
許認可手続き、用地取得	F/S 調査が終わる段階では、あらかた許認可や用地取得の目処が立っていることが望ましい	許認可や用地取得の目処がたてば詳細設計へ移行する
ステークホルダー	事業全体において関連する地元関係者との大筋での合意を得ておく必要がある。	地元関係者からの大筋の合意が得られれば詳細設計へ移行する。地元関係者との対話は、移行後も継続して行うことが望ましい。

5章 各種詳細設計

5.1 測量

水力発電事業における測量については、2 章で述べた机上調査は 1/25,000 地形図レベルで行うことが通常ですが、詳細設計では精度を上げた測量を実施して測量図面を作成し、それを基に設計を行う必要があります。中小水力発電ガイドブックにも測量について、以下のような記載があります。

> 発電計画上重要な落差については、その正確な値が必要なため、航測図化の段階で、原則として国土地理院の水準点を基準に、取水サイト、放水サイト周辺を中心として水準測量を実施し、その結果から正確な落差を得るとともに、地形図図化の基本とすべきである。
>
> さらに、構造物の実施設計に着手する場合は、詳細な平面図に加え、取水サイトから放水サイトを中心に河川縦横断測量を実施する。背水の影響が心配される場合には、取水サイト上流域の河川縦横断測量も必要である。
>
> また、取水サイトから放流する水量と減水区間の水深、水面幅の関係を求める必要に迫られるケースが多く、その場合には減水影響調査のための平板測量及び河川縦横断測量も必要となってくる。
>
> 出典：中小水力発電ガイドブック[1]より

詳細設計段階に必要となる平面図の作成（地形データの取得）は、ドローンを用いたレーザー測量や写真測量が有効ですが、各種構造物設計においては、既存構造物や排水施設(流末先の配置や高さ及び排水溝規模などについて)、上下水道管などの作工物調査も必要です。

また、詳細設計段階では細部の地形を把握するため、基準点測量と水準測量を実施し、その成果を利用して応用測量（中心線測量、縦横断測量）を行う必要があります。この測量の手順は基準点・水準点測量→中心線測量→縦横断測量という流れになります。

基準点・水準点測量を実施後、中心線測量により水路ルート等の構造物の法線を決めて、その高さと直角方向の高さを計測した成果が縦断図と横断図になります。以下、上記測量の実施内容について概説します。

現地測量の種類や詳細なスペックなどは計画地点の地形によって様々です。詳細設計の測量について、もし事業者側に必要となる技術的な知見を有していない場合は、専門業者へ相談することも選択肢に入れましょう。

[1] 出典）新エネルギー財団水力本部「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」令和元年 5 月 p.40

(1) 各種構造物設計に必要となる地形データ

水力発電設備の詳細設計に必要とされる図面のスケールは概ね以下のとおりです。

- 取水施設：地形図(1/500)、縦横断図(1/200)
- 水路ルート：中心線測量（1/200)、縦横断図(1/200)
- 水槽（沈砂池、ヘッドタンク）：地形図(1/500)、縦横断図(1/200)
- 発電施設：地形図(1/500)、縦横断図(1/200)

(2) 地形測量の方法と守備範囲

測量は、基準点測量、水準点測量、中心線測量、縦横断測量が基本となります。近年地形測量の方法として、ドローンを用いたUAVレーザー測量、写真測量といった方法があります。これら調査毎の守備範囲（測量範囲と標高の点密度）を図-5.1.1に、この測量手法毎の特徴を整理すると表-5.1.1に示します。ただし、山間部は地上までレーザーが届きにくく誤差が発生しやすいため注意が必要です。

表-5.1.1 地形モデル計測手法の特徴[2]

地形モデル計測手法		適応性/点密度	計測制限など特記事項
地上レーザ計測		局地的範囲に対応 点密度 2～5cm	現地に立ち入れない区域は計測できないが、急傾斜地を対象にした河川対岸部は、データ取得可能。
UAV	写真測量	局地的範囲に対応 点密度 1～2cm	橋梁下部工など高架橋下も計測可能。 強風時は計測成果に影響が出る。また、太陽光の影響を受ける。 DSM*1 のみで DTM*2 は取得できないが、レーザによる場合には、草木がある程度ある場合でも地面の計測が可能となり、DSM*1 と DTM*2 の双方の標高モデルが取得可能。
	レーザ測量	局地的範囲に対応 点密度 2～10cm	橋梁下部工など高架橋下も計測可能。 強風時は計測成果に影響が出る。 草木がある程度ある場合でも地面の計測が可能となり、DSM*1 と DTM*2 の双方の標高モデルが取得可能。
車載写真レーザ測量		路線計測範囲に対応 点密度 10cm 程度	車両が進入できない範囲は計測できない反面、トンネル内部の道路形状を取得できる。
航空レーザ測量		広域的範囲に対応 点密度 50cm～1m	高架橋下、トンネル内は取得できない。 DSM*1 と DTM*2 の双方の標高モデルが取得可能。
空中写真測量 （自動標高抽出）		広域的範囲に対応 点密度 50cm～1m	高架橋下、トンネル内は取得できない。 DSM*1 のみで DTM*2 は取得できない。
衛星画像処理		地球的範囲に対応 密度・精度は相応	高架橋下、トンネル内は取得できない。 DSM*1 のみ。局所的な利用には不向き。

*1DSM(Digital Surface Model)： 数値表層モデル（建物や樹木の高さを含んだ地表モデル）

*2DTM(Digital Terrain Model)：数値地形モデル（建物や樹木の高さを取り除いた地表モデル）

[2] 出典）国土交通省 CIM 導入推進委員会「CIM 導入ガイドライン（案)」2017 年 p.36

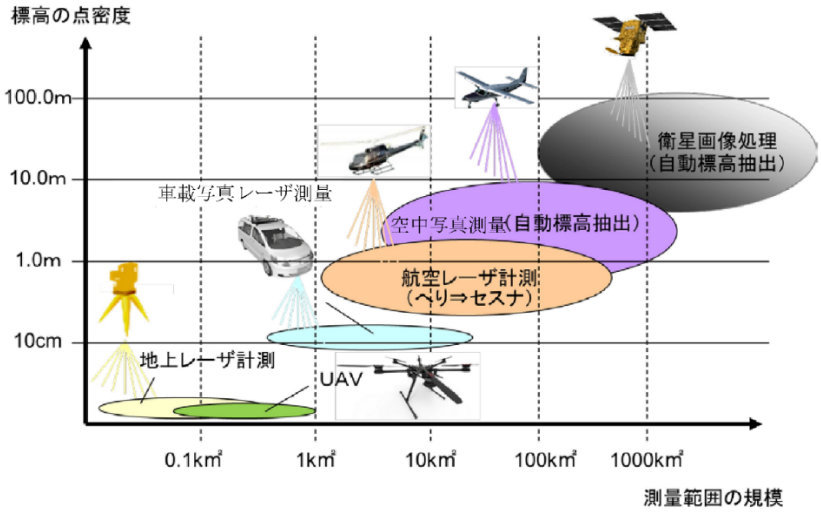


図-5.1.1　三次元の面的な計測手法の点密度と測量範囲[3]

(3) 基準点測量、水準点測量

詳細設計を行うためには、現地における平面座標の基準を決める「基準点測量」と、標高の基準を決める「水準測量」を実施する必要があります。これらの概要について国土地理院 HP から以下のとおり引用します。これらは構造物の平面的な位置や完成後の落差などに影響することから、精度良く測量することが重要です。基準点の事例を図-5.1.2 に示します。

（基準点）
基準点とは、地球上の位置や海面からの高さが正確に測定された三角点、水準点、電子基準点等をいいます。地図の作成や各種測量の際の基準・基礎となる点として使われます。基準点にはその場所を明確にするために、標石、金属標、鋲などの標識が設置されています。基準点には、国土地理院が基本測量として設置・測量する、国の骨格的な測量の基礎となる国家基準点(一等～三等三角点等)や、公共事業等を行う際に市町村等が設置する公共基準点など、様々な種類があります。
出典）国土交通省 地積調査 Web サイト HP[4]より

図-5.1.2 設置されている基準点の事例[5]

---

[3] 出典）国土交通省 CIM 導入推進委員会「CIM 導入ガイドライン（案）」2017 年 p.35

[4] 出典）国土交通省 地積調査 Web サイト 「国の推進施策 基準点測量」
< http://www.chiseki.go.jp/plan/kijunten/index.html>（2022.1.31 閲覧）

[5] 出典）国土交通省 地積調査 Web サイト 「国の推進施策 基準点測量」
< http://www.chiseki.go.jp/plan/kijunten/index.html>（2022.1.31 閲覧）

用地境界の確認や構造物の平面的な位置決め（座標の設定）のために、基準点測量は必須となります。基準点測量には表-5.1.2 のとおり等級が決められており、設置する基準点の距離が超えた場合は上位等級が採用されます。水力発電の現地では 3 級または 4 級が採用されることが一般的ですが、精度が確保できない場合は 1 級または 2 級を採用します。設置箇所は工事範囲を加味して、工事中も活用できる位置を定める必要があります。

表-5.1.2 基準点測量における等級毎の基準点間距離[6]

区分 / 項目	1級基準点測量	2級基準点測量	3級基準点測量	4級基準点測量
既知点の種類	電子基準点 一～四等三角点 1級基準点	電子基準点 一～四等三角点 1～2級基準点	電子基準点 一～四等三角点 1～2級基準点	電子基準点 一～四等三角点 1～3級基準点
既知点間距離（m）	4,000	2,000	1,500	500
新点間距離（m）	1,000	500	200	50

水準点測量は図面の標高を得るために実施するものです。たとえば既設砂防堰堤から取水して河川へ放流する場合、既設砂防堰堤の標高や河川の護岸や堤防天端高と、発電側で実施した測量の標高が整合していなければ、施工時に構造物との段差ができたり、正確な落差が算定できなかったりと様々な不具合が生じます。このため、詳細設計の段階では精度良い水準点測量の実施が必要となります

水準点の既地点の種類と既地点間の路線長、及び観測距離に応じた測量方法は表-5.1.3 および表-5.1.4 のとおりです。

表-5.1.3 水準点の既地点の種類と既地点間の路線長[7]

区分 / 項目	1級水準測量	2級水準測量	3級水準測量	4級水準測量	簡易水準測量
既知点の種類	一等水準点 1級水準点	一～二等水準点 1～2級水準点	一～三等水準点 1～3級水準点	一～三等水準点 1～4級水準点	一～三等水準点 1～4級水準点
既知点間の路線長	150km 以下	150km 以下	50km 以下	50km 以下	50km 以下

表-5.1.4 水準測量の方法と測量距離[8]

測量方法	観測距離
交互法	1級水準測量は約 300m以下とする。2～4級水準測量は約 450m以下とする。
経緯儀法	1～4級水準測量は約 1km 以下とする。
俯仰ねじ法	1～4級水準測量は約 2km 以下とする。

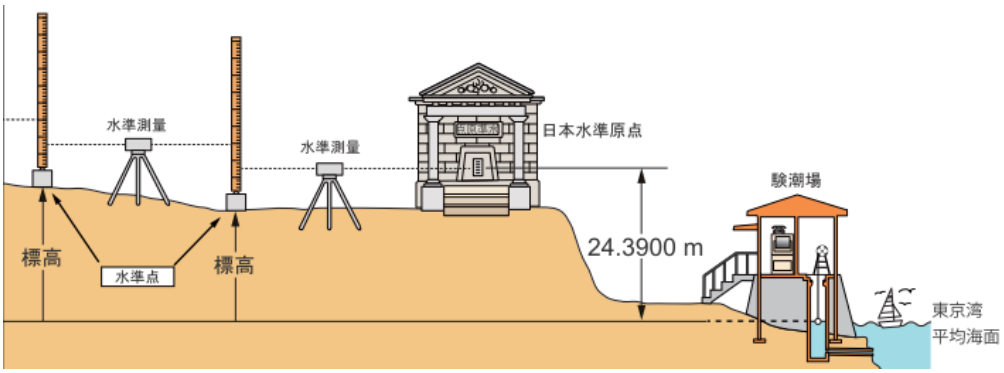
[6] 国土交通省「積算基準等 公共測量作業規程」平成 20 年 3 月 31 日 令和 2 年 3 月一部改正 <https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_junsoku.pdf>（2022.1.3 閲覧）

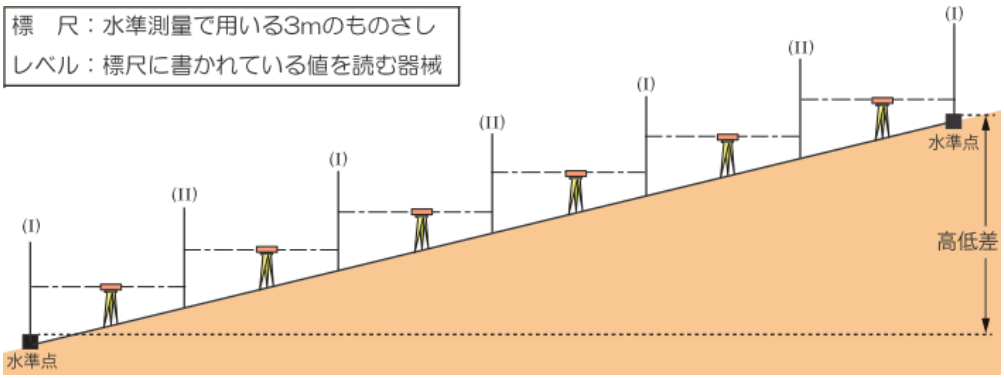
[7] 国土交通省「積算基準等 公共測量作業規程」平成 20 年 3 月 31 日 令和 2 年 3 月一部改正 <https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_junsoku.pdf>（2022.1.3 閲覧）

[8] 国土交通省「積算基準等 公共測量作業規程」平成 20 年 3 月 31 日 令和 2 年 3 月一部改正 <https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_junsoku.pdf>（2022.1.3 閲覧）

（水準点測量）

日本の土地の高さ（標高）は、東京湾の平均海面を基準（標高０ｍ）として測られています。東京湾の平均海面を地上に固定するために設置されたのが日本水準原点です。全国の主要な道路沿いに設置されている水準点の高さは、この日本水準原点に基づいて水準測量により決められ、この水準点がその地域において行われる高さの測量の基準となります。 精密な水準測量では高低差を 0.1mm まで求めています。水準測量は、２地点に標尺を立て、その中間に水準儀を水平に置いて、２つの標尺の目盛を読み、その差から高低差を求めます。この繰り返しで、水準点間（約２km）の高さを求めます。水準測量に使用される測量機器は進化を遂げましたが、高精度に高さを求める基本的な測量方法は今も昔と変わっていません。





出典）国土地理院 HP[9]より

[9] 出典）国土交通省 国土地理院「基本測量 地球の形をはかる 水準点 水準点測量」<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/suijun-survey.html>（2022.1.31 閲覧）

(4) 中心線測量

基準点測量、水準測量の成果を利用して細部地形を把握するための応用測量（中心線測量、縦横断測量）を実施する前に、まず水路ルート全体の中心線測量を基準に実施します。また導水路や水圧管路の距離が長い場合は、取水施設、水槽施設、発電所を結ぶ計画線として平面図に反映して活用します。

(5) 縦横断測量

発電所の取水地点から放水地点までの標高関係を図化することを目的として行われるのが縦断測量です。距離と標高のバランスから縦横比（それぞれのスケール）が異なるのが一般的です。横断測量はたとえば河川であれば左右岸を結ぶように、地形や河川の形状を横断的に図化したものとなります。図-5.1.3～図-5.1.5 にその実際の事例を示します。

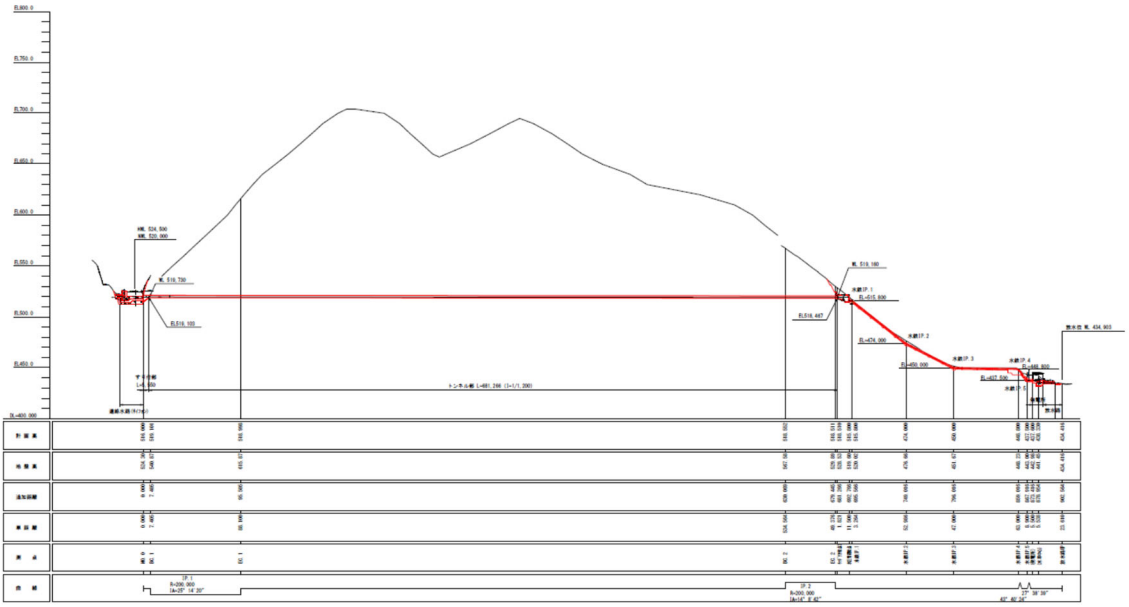


図-5.1.3 縦断測量の事例[10]（導水路トンネル）

[10] 山梨県企業局より提供（保川発電所）

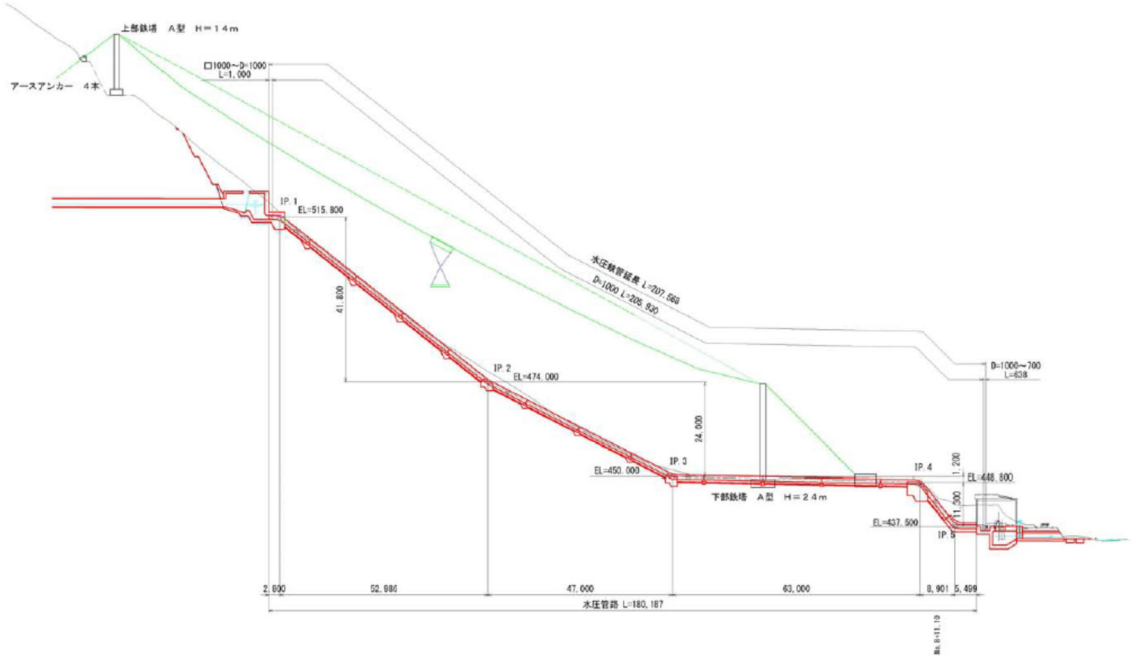


図-5.1.4　縦断測量の事例[11]（水圧管路）

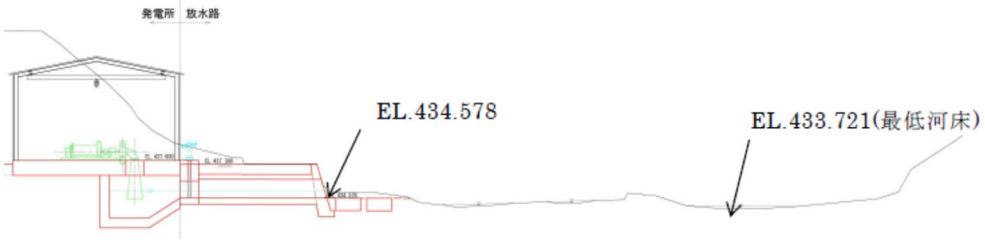


図-5.1.5　横断測量の事例[12]

先ほど述べたとおり、必要となる測量の内容・スペックは現地地形により様々です。このため、具体の測量範囲やスケール、及び測量方法について事業者側でその知見を有していない場合は、専門の業者へ相談してで最終的な仕様を決めることも視野にいれてください。

11　山梨県企業局より提供（保川発電所）

12　山梨県企業局より提供（保川発電所）

5.2 地質調査

5.2.1 各構造物設計で必要となる地質情報

水力発電施設の設計では、取水施設や水路ルートおよび発電施設などの支持層の分布や地盤定数(地盤の強度、単位体積重量及び変形係数などの物性値)の把握が必要となります。詳細設計での地質調査では、図-5.2.1 に示すような流れで抽出された問題点の解明や調査目的を解決し、設計・施工計画策定に資する地盤物性・地盤挙動の把握と評価を行います。

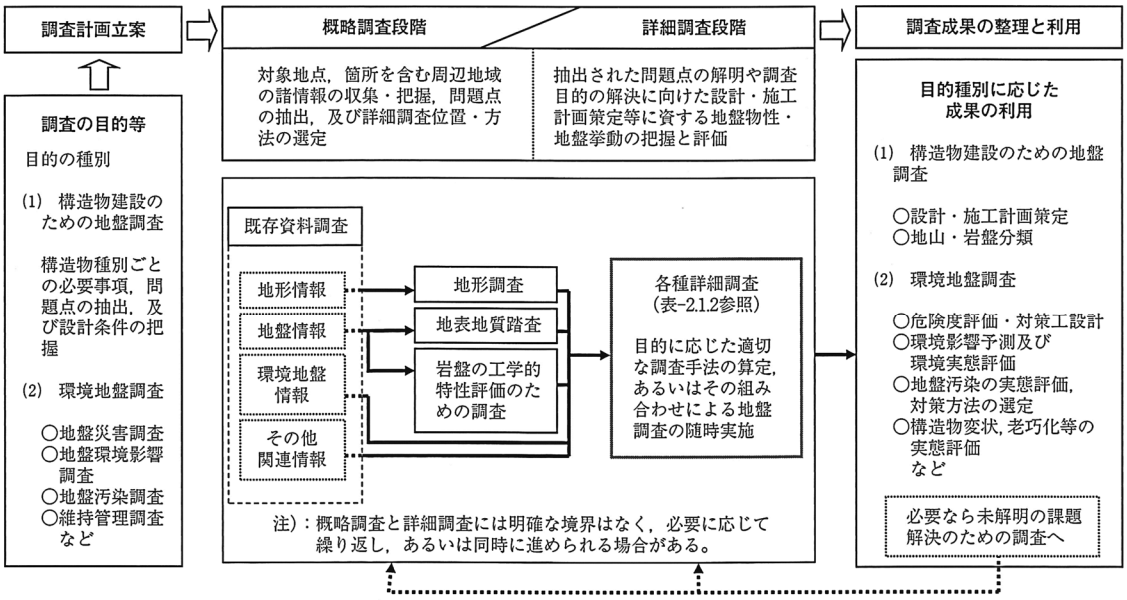


図-2.1.1　地盤調査の一般的な流れ

図-5.2.1 地質調査の一般的な流れ[13]

建築基礎の設計・施工では、通常の設計で考慮する荷重以外にも、図-5.2.2 に示すような各種地形と典型的な地盤構成に起因する作用荷重や外乱・災害が通常の設計荷重よりもはるかに大きな影響をおよぼすことに注意する必要があります。

[13] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会（2013）：地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」地盤工学会 p.3

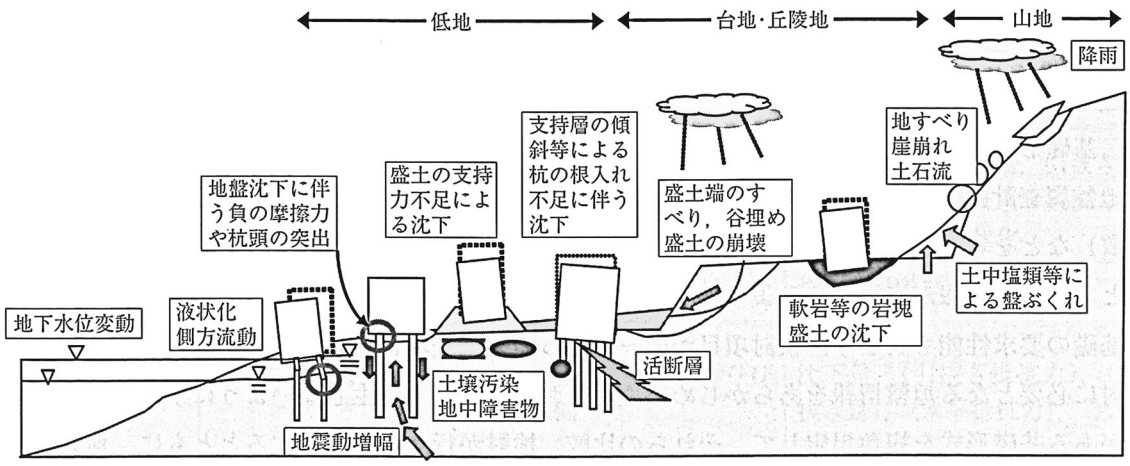


図-5.2.2　地盤や敷地に起因する外乱および災害[14]

詳細設計のための調査としては表-5.2.1、表-5.2.2 に示すような項目が挙げられます。

水力発電施設の設計では、取水施設や水路ルートおよび発電施設などの支持層の分布や地盤定数（地盤の強度、単位体積重量及び変形係数などの物性値）の把握が必要となります。設計に必要となる地盤のモデル化範囲と設計定数等については、既往調査で把握される地質リスクを踏まえて、設計技術者と地質調査技術者が連携して検討することが重要となります。

[14] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.11

表-5.2.1 設計対象の調査目的[15]

設計対象物 ＼ 段階		概略設計のための調査		基本設計のための調査（橋梁予備設計のための調査）	詳細設計のための調査	施工のための調査
		文献・資料調査	現地調査			
設計目的		1．路線の決定 2．土質・地質の概要と問題点の把握		①道路構造の決定 ②線形の細部決定 ③橋梁計画 ④トンネル計画	①詳細検討資料 ②施工計画資料	①補足資料の収集 ②施工管理資料
主な手法		①既存資料の収集 ②既存資料の読み取り	①地表地質踏査	①地表地質踏査他 ②ボーリング等 ③弾性波探査	①ボーリング ②物理検層 ③特殊調査試験	①ボーリング ②物理探査 ③計測・観測
道路	斜面崩壊性の切土	・地すべり履歴の有無と規模の区分 ・土石流の有無 ・火山の有無 ・大規模な断層、破砕帯の有無 ・軟弱地盤の有無と概略規模 ・液状化被害の有無 ・油田、ガス田、温泉、鉱山等の有無 ・過去の大規模災害履歴 ・既設構造物の施工記録		・崩壊の危険性の判定 ・標準的な切土法面勾配の決定 ・概略の地質・土質とその構造の把握	・切土法面勾配の検討 ・盛土材としての適否の判断	・安全性の確認
	軟弱地盤盛土			・軟弱地盤を含む盛土の安定、沈下の検討 ・基本的な地盤対策工の検討	・地盤対策工の設計	・動態観測
	函渠・擁壁			・標準的な基礎型式の検討	・支持層の傾斜把握	・動態観測（プレロード）
軟弱地盤の高架橋				・橋台位置の選定 ・橋台側方移動の判定 ・液状化の判定 ・基礎形式およびその規模の決定	・同左の橋台、橋脚毎の詳細把握 ・各下部毎の詳細検討	・動態観測（プレロード）
山間地の橋梁				・橋台位置の選定 ・基礎形式およびその規模の決定		
トンネル				・坑口位置の選定 ・掘削工法の検討 ・地山分類の概略決定 ・問題点の把握	・地山分類の詳細決定 ・各部の詳細設計 ・施工計画 ・施工上の問題点の把握	・地山分類の確認 ・事前調査で未確認の問題点の調査（先進ボーリング等）

※ 太枠内が本編の範囲
※ 各対象物の設計において発生土が生じる場合は、その利用についての検討を行う。

[15] 出典）国土交通省 北陸地方整備局「設計要領〔道路編〕第 16 章 地質調査の手引き(案)」2020 年 p.16-2

表-5.2.2 建設対象物別調査・試験項目[16]

◎：非常に有効で一般的に実施すべき項目
○：有効と思われる状況により判断し実施すべき項目

建設対象物および調査内容による区分		調査・試験の手法	文献・資料調査	地質踏査	サンプリング：機械ボーリング	サンプリング：弾性波探査	サンプリング：シンウォール	サンプリング：デニソン	サンプリング：砂のサンプリング	サウンディング：標準貫入試験	サウンディング：オランダ式	サウンディング：多成分コーン	サウンディング：スウェーデン式	サウンディング：動的貫入試験	物理検層：速度検層 P波	物理検層：速度検層 S波	物理検層：電気検層 比抵抗	物理検層：温度検層	孔内・原位置試験：湧水圧測定	孔内・原位置試験：揚水試験	孔内・原位置試験：透水試験	孔内・原位置試験：孔内水平載荷試験	孔内・原位置試験：間隙水圧計	孔内・原位置試験：地下水位測定	孔内・原位置試験：ボアホールカメラ	土質試験：物理試験：土粒子の密度	土質試験：物理試験：湿潤密度	土質試験：物理試験：粒度	土質試験：物理試験：含水比	土質試験：物理試験：液性限界	土質試験：物理試験：塑性限界	土質試験：力学試験：一軸圧縮	土質試験：力学試験：三軸圧縮	土質試験：力学試験：振動三軸	土質試験：力学試験：圧密	土質試験：力学試験：CBR	岩石試験：比重・密度	岩石試験：吸水率	岩石試験：有効間隙率	岩石試験：超音波伝播速度	岩石試験：一軸圧縮	岩石試験：三軸圧縮	岩石試験：せん断	岩石試験：引張	岩石試験：クリープ	岩石試験：浸水崩壊度	岩石試験：X線回析	岩石試験：CEC	岩石試験：乾湿繰返	岩石試験：年代測定
道路および函渠擁壁	切土	土・軟・硬の判定			◎	◎		○		◎	○		○		○											◎	◎	◎	◎	◎	◎						◎	◎	◎	◎	◎	◎							◎	
		材料調査	○	◎	◎			○		○																◎	◎	◎	◎	◎	◎					◎	◎	◎	◎	◎	◎								
		切土部、路床の調査 岩	○	◎	◎	◎				○															○														○	○								
		切土部、路床の調査 土砂	○	◎	◎					○	○															◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎														
		安定の検討 岩	○	◎	◎	◎				○					◎					○				○	○											◎	◎	◎	◎	◎	○				○		◎	
		安定の検討 土砂	○	◎	◎		○	◎		○	○				◎					○				○		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎															
	盛土	山すそ部 崖すい	○	◎	◎					◎				○														◎	◎																			
		山すそ部 砂れき	○	◎	◎					◎				◎														◎	◎																			
		山すそ部 砂質	○	○	◎				○	◎		○		◎										◎		◎	○	◎	◎	○	○		○														
		山すそ部 粘土質	○	○	◎		◎	○		◎	○	○	○	◎												◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎		◎													
		丘陵・平地部 砂質	○	○	◎				○	◎	○	○	○	◎										◎		◎	○	◎	◎	○	○		○														
		丘陵・平地部 粘土質	○	○	◎			○		◎	○	○	○	◎									○			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎													
		平地部（軟弱地盤） 砂質	○		◎				○	◎	◎	◎	◎	○							◎				◎	◎	◎	◎	◎	○	○			◎														
		平地部（軟弱地盤） 粘土質	○		◎		◎			◎	◎	◎	◎	○								◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎													
		平地部（軟弱地盤） ピート	○		◎		◎			○	◎	◎	◎	○								◎				◎	◎	○	○	◎	○	◎	◎		◎													
		函渠・擁壁構造物基礎	○		◎		◎	○		◎	○	○	○	○											○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎													
構造物の基礎	直接基礎	山岳・丘陵部	○	○	◎	○		○		◎	○			○						○		○			○	○											○	○		○	○								
		平地部（普通地盤）	○		◎			○		◎	◎	○		○						○	○				○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		◎													
		平地部（軟弱地盤）	○		◎		◎		○	◎	◎	○	○	○	○	○				○	○				○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎													
	杭基礎	摩擦杭	○		◎			○	○	◎	○			○	○	○						◎	◎			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎													
		支持杭	○		◎			○	○	◎	○			○	○	○						◎				◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎													
トンネル		地質状況・性状 未固結土砂	○	◎	◎	◎				◎						○	○					◎	○		○		◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○														
		地質状況・性状 軟岩	○	◎	◎	◎				○					◎	○						◎			○	○			○	○						◎	○	○	◎	◎	○	○	○	○	◎	◎	◎	
		地質状況・性状 硬岩	○	◎	◎	◎									◎						○	○			○											◎	○	○	◎	◎		○	○					
		断層・破砕部	○	◎	◎	◎				○					◎		◎		○		○	◎			○	◎																○	○		○	
		地下水調査（湧水・影響圏）	○	○	○												◎	○	◎	○					○	○																					

本表は「調査設計実務の手引き（S.58.3）」付表の一部を加筆修正した。

注）トンネル坑口において、地盤状況が複雑と予想される場合には、近年発展したジオトモグラフィ手法（弾性波、比抵抗）も有効である。
切土の材料調査における力学試験は、乱した試料を対象とする。

[16] 出典）出典）国土交通省 北陸地方整備局「設計要領〔道路編〕第 16 章 地質調査の手引き(案)」2020 年 p.16-3

詳細設計時の調査においては、施工計画のために必要な地盤情報もあります。構造物基礎等の設計のために必要な情報と重複しているものも多いですが、表-5.2.3 に示すとおり基礎構造物の設計と山留め工事の設計では必要な地盤情報の深度が違ってきますので、注意が必要です。

表-5.2.3 施工計画に必要な地盤情報と調査・試験方法[17]

検討項目		地盤情報	調査・試験方法
根切り・山留め工事	山留め架構の選定	地層構成，地下水位	ボーリング，標準貫入試験，（標準貫入試験以外のサウンディング），孔内水平載荷試験，地下水位調査，物理試験（密度），一軸・三軸試験，透水試験
	山留め架構の設計 （断面設計・根入れ長さ）	地層構成，地下水位，側圧（単位体積重量・内部摩擦角・粘着力（一軸圧縮強さ）），水平地盤反力係数，変形係数，透水係数	
	施工性（ドライワークの確保・地盤改良の必要性）	地層構成，地下水位，強度特性（内部摩擦角・粘着力（一軸圧縮強さ）・鋭敏比）	
	ヒービング	地層構成，地下水位，単位体積重量，強度（内部摩擦角・粘着力（一軸圧縮強さ）），変形係数，透水係数	
	ボイリング・パイピング		
	盤ぶくれ		
	リバウンド量		
	地下水処理工法の選定 （排水工法・止水工法）	地層構成（不透水層の深さ・層厚），地下水位，透水係数，貯留係数	ボーリング，標準貫入試験，（標準貫入試験以外のサウンディング），地下水位調査，透水試験，揚水試験，電気検層
	水位低下量・揚水量の算定 揚水井戸本数の算定		
基礎の施工性・耐久性	杭の施工性	地層構成（土質），地下水位，水流，強度（内部摩擦角・粘着力（一軸圧縮強さ）・鋭敏比）	ボーリング，標準貫入試験，（標準貫入試験以外のサウンディング），一軸・三軸試験
	直接基礎の施工性		
	掘削面の保全		
	杭の孔壁の崩壊防止	地下水位，透水係数（地下水の流速・流向の推定用）	ボーリング，透水試験，地下水位調査
	基礎躯体，杭体の耐久性	地層構成，地下水位，pH	ボーリング，化学試験
	地盤アンカーの耐久性	地層構成，地下水位，pH	
	地盤改良工法の改良効果	地層構成，pH，強熱減量	
周辺環境	掘削による周辺への影響	地層構成，地下水位，密度，強度（内部摩擦角，粘着力（一軸圧縮強さ）），変形係数，透水係数	ボーリング，標準貫入試験，（標準貫入試験以外のサウンディング），孔内水平載荷試験，地下水位調査，物理試験（密度），一軸・三軸試験，透水試験
	揚水による周辺への影響 （沈下・井戸枯れ）		
	杭基礎の施工の影響		
	地盤改良による影響	地層構成（土質）	六価クロム溶出試験，pH 試験
	地盤環境振動	2.3.14 項，付録Ⅱ参照	PS 検層，常時微動測定， 地盤環境振動調査（付録Ⅱ参照）
	土壌汚染	2.3.15 項，付録Ⅱ参照	トレーサー試験[1.6.2)] 土壌汚染調査（付録Ⅱ参照）

[17] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.21

建築物の設計・施工において重要となる地下水の情報は、対象地の帯水層の水位と透水性になります。地下水の状態の模式を図-5.2.3、地下水に関する検討項目を表-5.2.4 に示します。この地下水位は基礎構造の設計・施工において基本となる重要な情報であり、調査により測定される地下水の特性を十分理解して調査する必要があります。

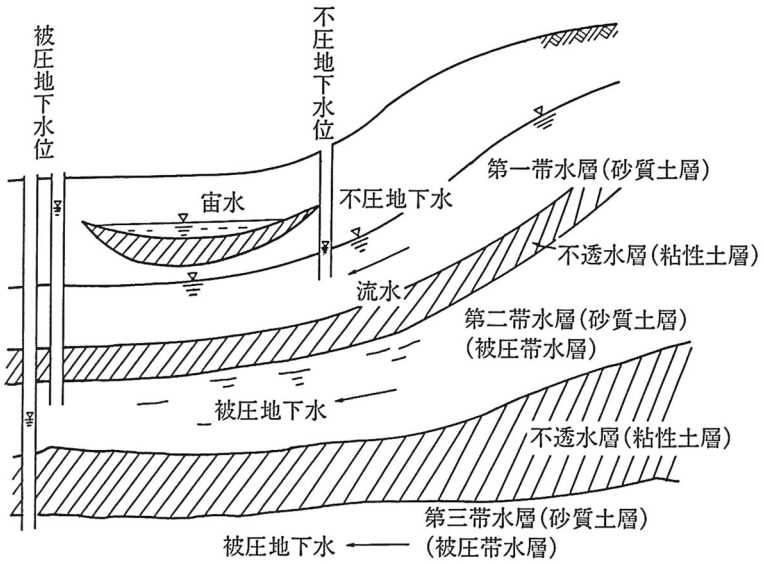


図-5.2.3 地下水状態の模式図[18]

表-5.2.4 地下水に関する検討項目[19]

分類	検討項目
設計関連	・地下外壁の設計 ・基礎底盤の設計 ・建物全体の浮き上がり ・砂地盤の液状化
施工関連	・山留めの計画 ・排水計画 ・掘削および残土処理計画 ・場所打ち杭の施工管理
周辺環境	・周辺地盤，構造物の沈下 ・井戸などの枯渇 ・水質汚染

[18] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.41

[19] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.41

地下水は地下水面と帯水層の位置関係より、不圧地下水と被圧地下水とに分けられます。不圧地下水は、帯水層中に自由地下水面を有する地下水で自由地下水ともいいます。被圧地下水は、難透水層に挟まれた帯水層中の地下水位面をもたない地下水位をいい、帯水層の上端より高い水頭を有します。

不圧地下水の把握は、基礎底面に作用する浮力や地下外壁に作用する水圧、地震時の液状化対象層の設定に関係し、基礎の設計において基本となります。また、建設工事に伴う地盤掘削において、山留め壁の内外の水頭差により生じるボイリングや、掘削底面が被圧地下水の揚圧力によって膨れ上がる盤膨れ（図-5.2.4）などの検討に被圧帯水層の位置や地下水位の把握が重要となります。

地下水位の評価にあたっては、不圧地下水位に対する季節(降水量)変動の影響や被圧地下水位に対する地下水揚水状況による影響も考慮する必要があります。透水性は、深い根切り工事を行う際に、施工安全性の確保および近隣環境保全において重要となります。周辺を含む対象地盤の地層構成を把握したうえで、適切な試験方法を選定する必要があります。

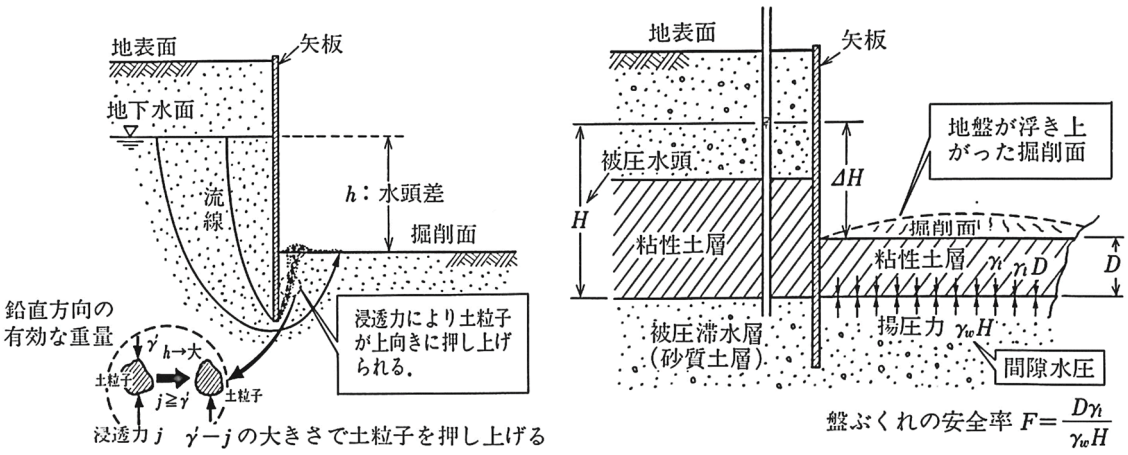


図-5.2.4　ボイリングおよび盤膨れ現象[20]

各種地質調査により得られる、地質・地盤情報について整理したものを表-5.2.5 に示します。

[20] 出典）安川郁夫・今西清志・立石義孝「絵とき 土質力学（改訂２版）」1998 年 オーム社 p.79、p.80

表-5.2.5 代表的な地質調査方法と得られる地質・地盤情報[21]

分　類	代表的な地質調査方法(略称)	得られる主な地盤情報	調査結果の主な用途
机上調査	資料調査	地形・地質情報など	調査計画の立案、設計・施工上の問題点の抽出
	空中写真判読	地形要素	微地形、地すべり、土地利用、活断層などの検出
現地調査	地表地質踏査	ルートマップ、観察記録	地質構造の把握、岩盤分類、割れ目系の表示など
	トレンチ調査	スケッチ、写真	地質構造、活断層の位置、活動時期の把握
物理探査	弾性波探査(屈折法)	弾性波速度 V_p	弾性波速度構造、切土のり面安定評価、岩盤分類など
	電気探査	見かけ比抵抗値 ρ_a	破砕帯、断層、基盤岩分布などの地質構造の解明
	音波探査	反射断面図	海底地形、海底下の地盤構造
物理検層	速度検層(PS検層)	V_p、V_s、動ポアソン比	動的地盤モデル作成、地震応答解析の物性
	電気検層	見かけ比抵抗値 ρ_a	帯水層、難透水性層、亀裂や薄層などの地層検出
	密度検層	地層の密度 ρ_t	連続的な深度分布、土被り圧などの算定など
ボーリング	機械ボーリング	柱状図	詳細な地質構造の把握、岩盤分類のための地質情報
原位置試験・サウンディング	スウェーデン式サウンディング	W_{sw}、N_{sw}	概略の地層構成、N値の推定、小規模建築物の地耐性
	ポータブルコーン貫入試験	表層地盤の q_c	軟弱な粘性土地盤の層厚確認、粘着力の推定
	オランダ式二重管コーン貫入試験	q_c	地層構成と硬さ、基礎の支持力と沈下検討(砂地盤)
	電気式静的コーン貫入試験	q_t、f_s、u	詳細な土層判別、強度推定、基礎の支持力と沈下検討
	原位置ベーンせん断試験	軟弱地盤のせん断強度 τ_v	鋭敏比の把握、安定解析などで利用
	標準貫入試験	N値、試料観察記録	地盤の硬さ、地盤定数の推定、支持力や液状化判定など
	動的コーン貫入試験	N_d値	支持層の深さや軟弱な土層の層厚確認、N値の推定
地下水調査	間隙水圧測定	地下水位、間隙水圧 p_w	排水計画、沈下検討、土圧や有効土被り圧の算定など
	現場透水試験	地下水位、透水係数 k	排水計画、浸透流解析などの地下水解析
	湧水圧試験(JFT)	平衡水位、透水係数 k	深い根切の排水計画、トンネル湧水量の予測など
	ルジオン試験	p～q線、L_u、L_u' など	岩盤の透水性評価、グラウチング計画
	揚水試験	透水係数 k、貯留係数など	大規模な排水工法検討、地下水影響予測など
載荷試験	孔内水平載荷試験	変形係数 E、p_s、p_y、p_l	地盤反力係数算定と杭の水平抵抗の検討
	地盤の平板載荷試験	地盤係数 k_v、極限支持力	基礎の沈下と支持力の検討、変形係数や粘着力の推定
	道路の平板載荷試験	地盤係数 k_0	路盤の設計と品質管理、基礎の支持力管理
施工管理試験	現場 CBR 試験	CBR 値	舗装設計、路盤の施工管理、変形係数や粘着力の推定
	現場密度試験	湿潤密度 ρ_t、乾燥密度 ρ_d	盛土の転圧などの品質管理、岩石質材料の密度把握
現地計測	変位測定(地表・地中)	変位量、傾斜変動量など	沈下管理、盛土の安定管理、斜面崩壊予測など
	応力・荷重(土中・壁面)	土圧、水圧、応力、軸力など	構造物の安定管理、施工管理など
室内試験	物理試験(含水、粒度試験など)	w、粒度分布、I_p、ρ_tなど	物理的性質の把握、有効土被り圧算定、液状化判定など
	地質学的試験(堆積環境)	微化石、火山灰、地質時代など	地層対比など、堆積環境の判定や評価
	締固め試験	ρ_{dmax}、w_{opt}、ρ_d～w曲線	盛土における品質管理と施工管理
	せん断試験(一軸・三軸圧縮試験)	q_u、c、ϕ、変形係数 Eなど	基礎の支持力解析や変形解析、安定解析などの各種検討
	圧密試験	e-log$p$、p_c、C_c、c_vなど	圧密沈下量と圧密時間の算定、圧密促進工法の検討
	透水試験	透水係数 k	掘削時の排水計画、浸透流解析などの地下水解析
	繰返し非排水三軸試験	$\sigma d/2\sigma'_c$～N_c、N_{d05}など	液状化判定(繰返しせん断強度比)
	動的変形試験	G～γ関数、h～γ関数	地震応答解析用の物性値

[21] 出典）全国地質調査業協会連合会「令和 2 年度改訂版 地質調査業務発注ガイド 適切な地質調査業務を実施するために」2021 年 p.18

5.2.2 地質調査手法および調査手法選定のポイント

地質調査には様々な種類がありますが、主な調査として物理探査、ボーリング調査、標準貫入試験等の概要について以下に示します。

(1) 物理探査

物理探査は、大地が発する物理現象や、大地に対して人為的に発生させた物理現象の反応を測定し、これを解析することによって、地下の状況を探査する技術です。物理探査には、弾性波探査、電気探査、電磁探査、重力探査、磁気探査等ありますが、建築や土木においては、工学的な強度特性との相関性が良い弾性波探査が多く用いられます（表-5.2.6)。

弾性波探査は、地下を伝わる弾性波が物性(主にP波速度、S波速度および密度)の異なる境界で屈折や反射などの現象を生じることを利用して（図-5.2.5)、地下構造を調査するための手法です。代表的な探査法として、屈折波を利用する屈折法と反射波を利用する反射法があります。

表-5.2.6 弾性波速度、比抵抗の物性値と地質状況[22]

物性値	小 ←→ 大	要因	
弾性波速度	軟らかい	硬い	岩質	岩盤
	多い	少ない	亀裂	岩盤
	飽和度低い	飽和度高い	地下水	土
	低い	高い	固結度	土
	小さい	大きい	粒径	土
比抵抗	軟らかい	硬い	岩質	岩盤
	多い*	少ない*	亀裂	岩盤
	多い	少ない	導電性鉱物の含有度	岩盤
	飽和度高い	飽和度低い	地下水	土
	低い**	高い**	固結度	土
	小さい**	大きい**	粒径	土

注）＊亀裂が地下水で飽和している場合：亀裂中の地下水の比抵抗値の大きさによって逆の傾向を示すこともある.
＊＊砂やシルトなどの粒状構造が孔隙水によって飽和している場合：孔隙水の含有状態によっては逆の傾向を示すこともある.

[22] 出典）大島洋志「わかりやすい土木地質学」2000年 土木工学社 p.111

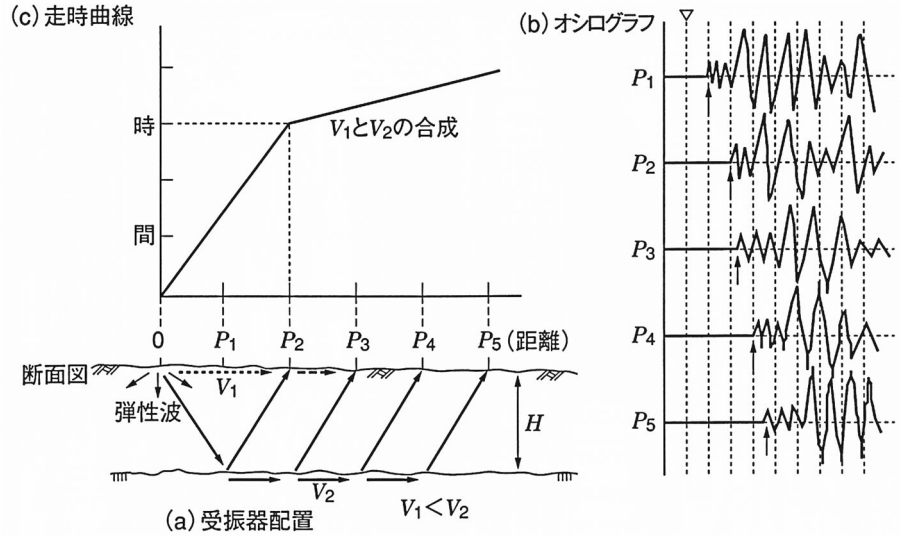


図-5.2.5 弾性波探査の屈折波の読取り原理[23]

(2) ボーリング調査

地盤状況の調査にはボーリング調査が多く用いられます（図-5.2.6 および図-5.2.7)。調査により採取されるボーリングコアからは地盤状況を直接観察することができ、ボーリング孔を利用した標準貫入試験で地盤の締り程度を把握できます。

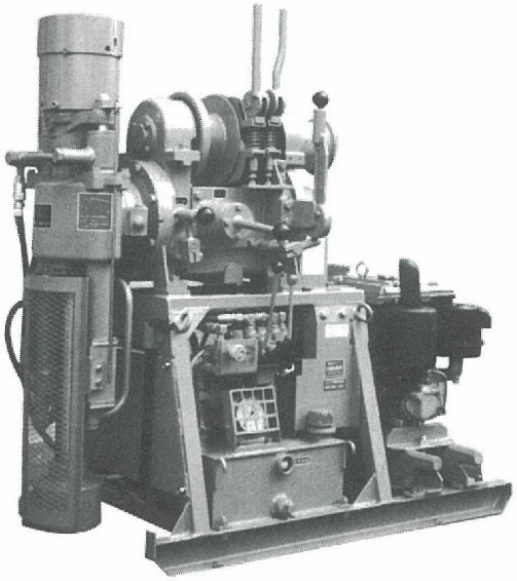


図-5.2.6 スピンドル型ボーリング機械[24]

[23] 出典）田中芳則・古部浩「建設工事と地盤地質」2000 年 技術書院 p.39

[24] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.183

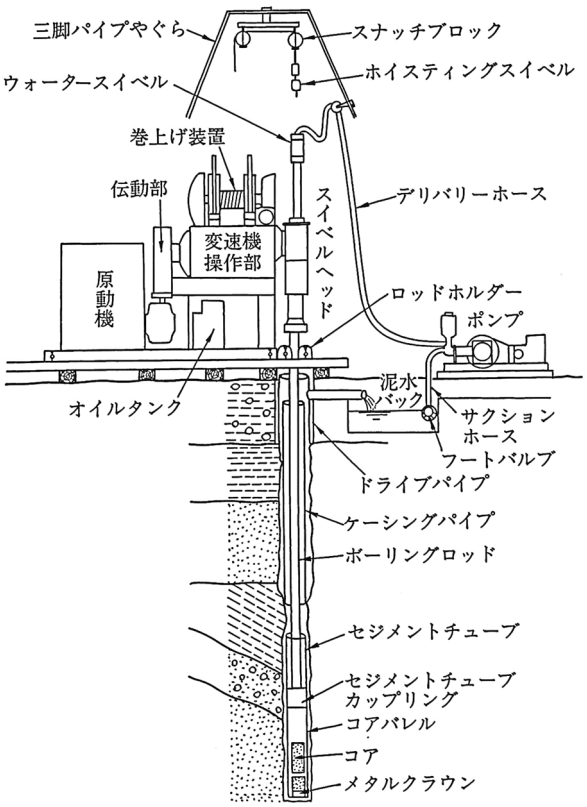


図-5.2.7 ボーリング概要図[25]

建築物のボーリング調査本数は、対象建築物の要求性能および確保すべき安全余裕の信頼性に応じて決定すべきで、明確な数字は示されていませんが、これまでの実績や最小限の安全性確保の観点から、事前調査もしくは予備調査の結果に基づいて地層構成の変化を推定した上で建築面積に応じて範囲を確保するとして図-5.2.8 のような提案もあり、調査本数を検討する際の目安となります。

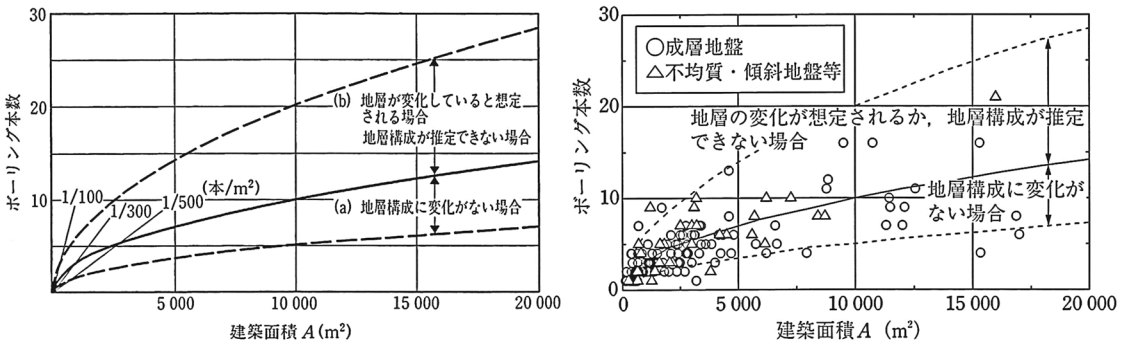


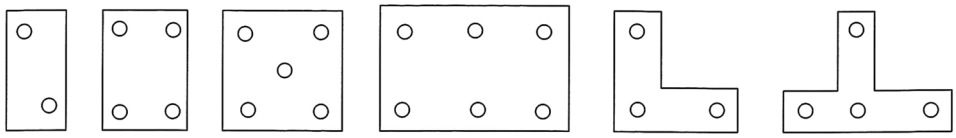
図-5.2.8 ボーリング調査本数の目安と実態[26]

---

[25] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.193

[26] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.23

ボーリング調査位置は、建物範囲が効果的に含まれる図-5.2.9 に示す配置で行うか、地形的要因や事前調査結果などを考慮して決定する必要があります。



○：ボーリング位置

図-5.2.9 建物の形状とボーリング調査配置[27]

調査深さは、事前調査により地盤構成や支持層の不陸、工学的基盤層の傾斜の可能性を推定し、表-5.2.7 に示す想定される基礎形式を考慮した深さにする必要があります。

表-5.2.7 設計のためのボーリング調査深さの目安[28]

想定する基礎形式 / 解析条件	直接基礎	杭基礎
① 一般の場合	支持層として想定される地層が確認できる深さまで．ただし，以深に沈下の原因となる地層が現れることが想定される場合は，当該層の有無が確認できる深さまで． 事前に地層構成の想定ができない場合は，べた基礎スラブ短辺長さの 2 倍以上または建物幅の 1.5～2 倍程度，が目安となる．	沖積層全層かつ支持層として想定される地層が 5～10m 以上確認できる深さまで． 支持杭の場合は，杭先端深さより杭先端径の数倍の深さまで（一般に 2～3 倍とすることが多いが，採用予定の杭工法の先端支持力の評価方法や形状に留意して設定する必要がある．）．ただし，以深に軟質な層が現れることが想定される場合は，当該層の有無が確認できる深さまで．
② 地震応答解析を行う場合（PS 検層用，2.3.11 参照）	工学的基盤を 5～10m 以上確認できる深さまで．ただし，以深に軟質な層が現れることが想定される場合は，その下の工学的基盤同等の層が確認できる深さまで．	

更に表-5.2.8 に示す施工計画のために必要な深さが、建築物設計のために必要な深さを上回ることもあるので注意が必要となります。

表-5.2.8 施工計画のためのボーリング調査深さの目安[29]

検討事項	調査深さの目安
山留め壁の設計	根入れ深さの検討に必要な深さまで，あるいは根切り底以深の不透水層が確認できる深さまで．
根切り底の安定性検討 （地下水位が根切り深さより上の場合・水位がわからない場合）	地表面から根切り深さの 3 倍，根切り深さ＋根切り平面の短辺長のいずれか大きいほうの深さまで．
揚水計画	根切り底以深の不透水層の存在する深さまで．

[27] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.24

[28] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.24

[29] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.26

(3) 標準貫入試験

標準貫入試験は、地盤構成の把握と地盤の締り程度を知るための調査(サウンディング)の一つで、ボーリング孔を利用して調査が実施できるため建築基礎の設計に関わるほとんどすべての地盤調査に用いられています。標準貫入試験は以下の様に複雑な地盤でも土質を目視で判別できる確かさと、適用範囲の広い N 値が得られる利便性から、我が国で最も普及している地質調査手法です。

- **玉石や転石を多く含む地盤を除き、軟弱地盤から硬質地盤まで試験の適用範囲が広く、我が国の複雑な地質環境に対し適応性の高い試験である。**
- **サンプラーで採取した試料を直接観察でき、地盤構成の把握が容易であり、試料を室内試験に用いて詳細な把握も可能である。**
- **これまでの膨大なデータ蓄積があり、標準貫入試験で得られる N 値と地盤定数との間における相関関係より、基礎設計において幅広く利用されている。**
- **得られる N 値が支持層の判断に直接使用できる。**

図-5.2.10 ドライブハンマー[30]

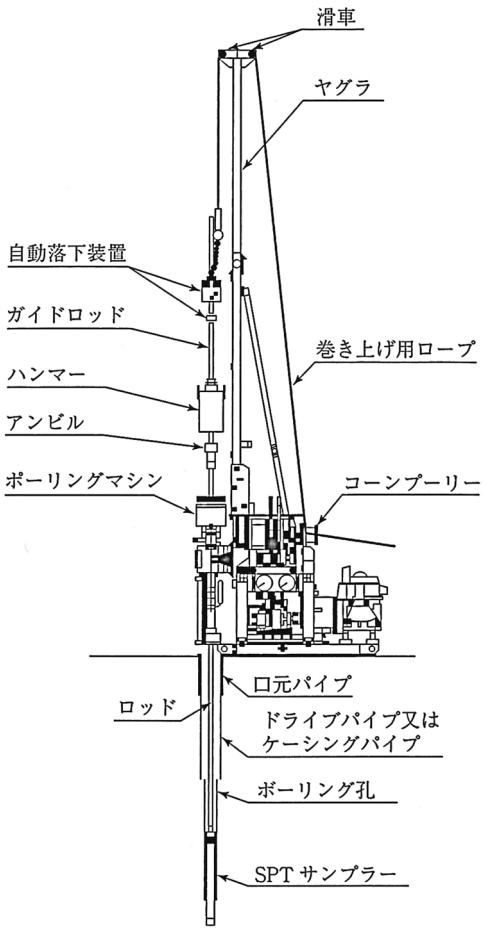


図-5.2.11 標準貫入試験概要図[31]

[30] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.192

[31] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.295

地盤定数の評価については、N 値との相関関係が示されています。N 値との相関評価は経験的な統計値ではありますが、室内試験での試験試料の乱れや限られた試験数を考慮すると、バラツキ、適用限界に十分注意を払った上での N 値による地盤定数の推定は有用と考えられます。N 値より推定可能な地盤性状について以下に示します。

a. N 値からの支持力推定

N 値は図-5.2.12 に示すとおり動的貫入機構の類似性から打ち込み杭の先端支持力評価に利用されています。また、統計上の相関関係を利用して表-5.2.9 のとおり埋込み杭や場所打ち杭等の砂地盤の先端支持力度および周面摩擦力度の評価に広く利用されています。

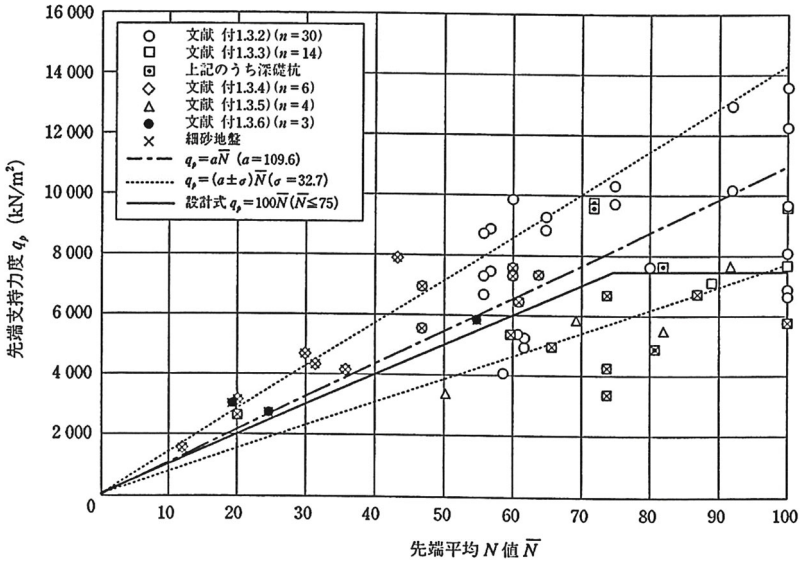


図-5.2.12 先端支持力度と先端平均N値との関係[32]

表-5.2.9 砂質土の杭支持力の評価式[33]

杭種	極限先端抵抗 q_p (kN)	N 値の範囲	q_p の上限値	極限周面抵抗 τ (kN/m²)	N 値の上限値
打込み杭	$300N$	下 $1d$ 上 $4d$	18 000	$2.0N$	50
場所打ち杭	$100N$	下 $1d$ 上 $1d$	7 500	$3.3N$	50
埋込み杭	$200N$	下 $1d$ 上 $1d$	12 000	$2.5N$	50

d：杭径

[32] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.220

[33] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.220

b. N値からの砂質土の強度特性推定

砂質土の強度特性は、砂が持つ固有の物理的性質と、堆積環境を反映した特性に依存し、とりわけ密度と拘束圧の影響が重要になります。一般にＮ値と内部摩擦角 ϕ の相関に関して、拘束圧の影響を無視した経験式が多く用いられてきましたが（表-5.2.10)、2001 年度版の建築基礎構造設計指針より、細粒分含有率が 20%以下の比較的粒径のそろった砂を対象に、有効上載圧 σ'v0 を考慮した式が示されています（表-5.2.10)。砂のＮ値毎の現場判定法を表-5-2-11 に示します。

表-5.2.10 N値と内部摩擦の関係[34]

N値（相対密度）	内部摩擦角ϕ（度）				
	Terzaghi・Peck	Meyerhof	Dunhum	大崎※1	道路橋※2
0～4（非常に緩い）	28.5>	30>	①粒子丸・粒度一様 $\sqrt{12N}+15$ ②粒子丸・粒度良 $\sqrt{12N}+20$ ③粒子角・粒度一様 $\sqrt{12N}+25$	$\sqrt{20N}+15$	$\sqrt{15N}+15$ (N≧5)
4～10（緩い）	28.5～30	30～35			
10～30（中位の）	30～36	35～40			
30～50（密な）	36～41	40～45			
>50（非常に密な）	>41	>45			

※1：建築基礎構造設計指針に引用されている。
※2：道路橋示方書1996年版以前で採用されていた。

$$\phi=\sqrt{20N}+15\ (^\circ)$$
$$\phi=\sqrt{20N_1}+20\ (^\circ)\quad (3.5\leqq N_1\leqq 20)$$
$$\phi=40\ (^\circ)\quad (N_1\geqq 20)$$
ここで，$N_1=N\sqrt{98/\sigma'_{v0}}$

表-5.2.11 N値と砂の相対密度の関係[35]

N値	相対密度（Terzaghi・Peck）	現場判別法
0～4	非常に緩い(very loose)	鉄筋が容易に手で貫入
4～10	緩い(loose)	ショベル（スコップ）で掘削可能
10～30	中位の(medium)	鉄筋を 5 ポンドハンマで打込み容易
30～50	密な(dense)	同上，30 cm 程度貫入
>50	非常に密な(very dense)	同上，5～6 cm 貫入，掘削につるはし必要，打込み時金属音

注）鉄筋はϕ13 mm

[34] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.305,221

[35] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.305

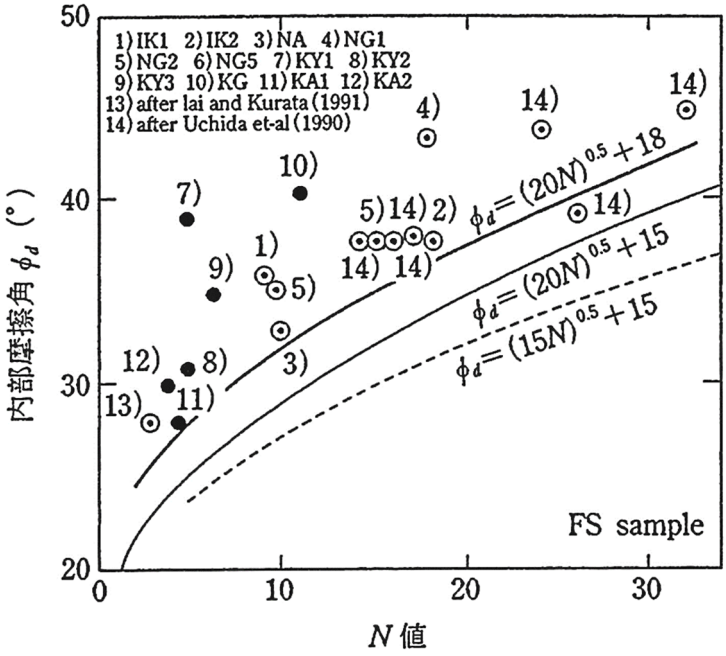


図-5.2.13 N値と内部摩擦角 ϕ の関係[36]

c. N値からの粘性土の強度特性推定

粘性土の強度に関しては、一軸圧縮強度 qu との間に関係式が提案されています（表-5.2.12)。ただし、バラツキが大きく、標準貫入試験の試験特性からも N 値から粘性土の強度を評価するのは避けることが望ましく、乱れの少ない試料採取による室内力学試験での評価が望ましいとされます。

d. N値からの地盤変形特性推定

地盤は小さなひずみレベルから非線形性を示す材料であり、変形特性は拘束圧とひずみレベルに依存し、設計条件と対応した値を採用する必要があります。変形係数は、室内土質試験や平板載荷試験、孔内水平載荷試験、PS 検層などで評価できますが、それぞれで拘束条件やひずみレベルの違う変形係数を求めているため、N 値との相関もそれぞれで異なります。砂地盤の即時沈下を評価する場合は平板載荷試験との相関式 Es=2.8N(MN/㎡)を用い、杭の水平抵抗の評価にあたっては孔内水平載荷試験との相関式 Es=700N(kN/㎡)というような使い分けがあるので、注意が必要です。

N 値および各種試験による変形係数は表-5.2.13 に示される補正係数を用いるよう規定されています。また、孔内水平載荷試験による変形係数と N 値の関係は図-5.2.14 のような多くのデータの蓄積があり、試験値のチェックとして用いられることもあります。

---

[36] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.221

表-5.2.12 N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係[37]

N値	q_u (kN/m²)	コンシステンシー
0～ 2	0.0～ 24.5	非常に柔らかい
2～ 4	24.5～ 49.1	柔らかい
4～ 8	49.1～ 98.1	中位の
8～15	98.1～196.2	硬い
15～30	196.2～392.4	非常に硬い
30～	392.4～	固結した

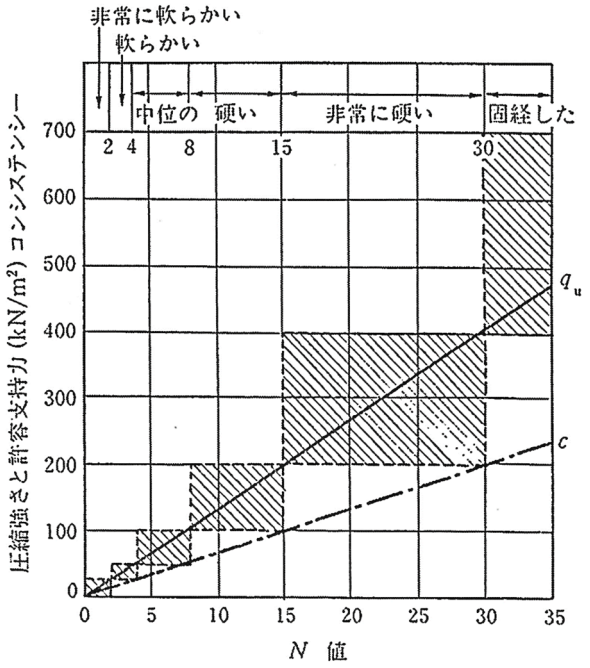


表-5.2.13 変形係数の補正係数[38]

測定方法	長期	地震時
平板載荷試験	1	2
孔内水平載荷試験	4	8
一軸または三軸圧縮試験	4	8
標準貫入試験 E_o＝2 800N	1	2
PS 検層（付 1.3.4 のみ）	1/2	1

[37] 出典）地盤工学会 地盤調査規格・基準委員会「地盤調査の方法と解説 二分冊の 1」2013 年 地盤工学会 p.308

[38] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.221

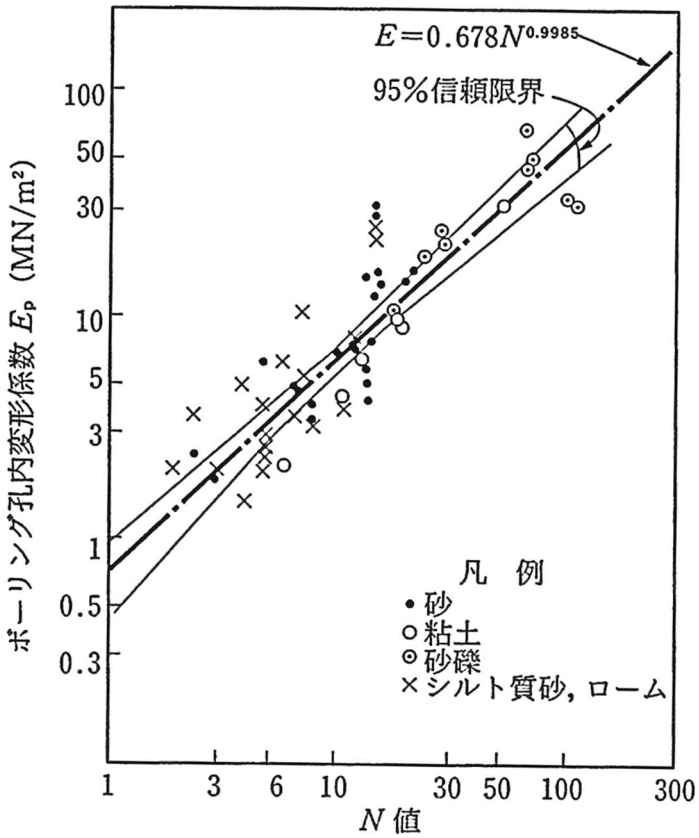


図-5.2.14 N値と孔内水平載荷試験による変形係数との関係[39]

e. N値からの地盤のせん断波速度推定

せん断波速度(S 波速度)Vs を測定する方法は、微小ひずみレベルの土の変形係数を求める方法として比較的精度が高く、各地層の平均的な剛性を評価する効果的な方法で、せん断弾性係数 Gs(γ/g・Vs2)や変形係数 Es を導くことができます（図-5.2.15)。N 値と S 波速度の相関式には、従来多く用いられてきた今井の提案式(付 1.3.3)や、限界耐力計算で表層地盤増幅率の算定に使われる太田・後藤による提案式(付 1.3.4)、土木構造物基準(鉄道構造物等設計基準・同解説 基礎構造物・杭土圧構造物)に示される式(付 1.3.5)があります。

[39] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.221

$$V_s = 97.0N^{0.314} \qquad (付\ 1.3.3)$$

$$V_s = 68.79 \cdot N^{0.171} \cdot H^{0.199} \cdot Y_g \cdot S_t \qquad (付\ 1.3.4)$$

ここに，V_s：せん断波速度＝S 波速度（m/s）

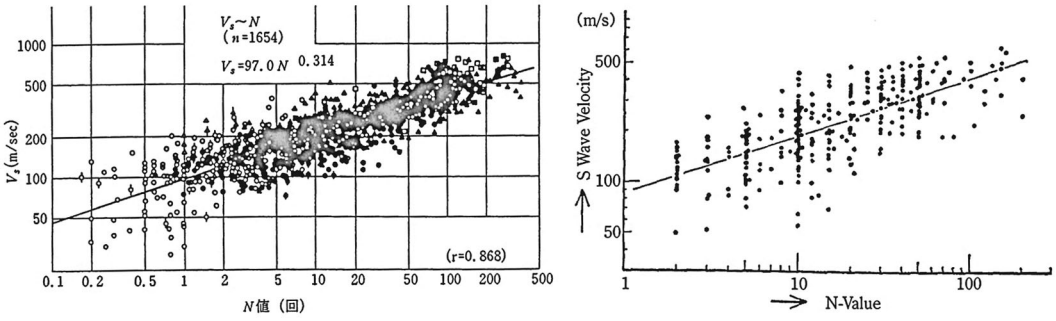
N：層の平均 N 値

H：地表面から層の中心までの深度（m）

Y_g：地質年代係数（沖積層 1.000，洪積層 1.303）

S_t：土質に応じた係数（粘土 1.000，細砂 1.086，中砂 1.066，粗砂 1.135，砂礫 1.153，礫 1.448）

$$\left.\begin{aligned} V_s &= 80N^{1/3} \quad (砂質土\ 1 \leqq N \leqq 50) \\ V_s &= 100N^{1/3} \quad (粘性土\ 2 \leqq N \leqq 25) \\ V_s &= 120(q_u/100)^{0.36} \quad (粘性土\ N < 2) \end{aligned}\right\} \qquad (付\ 1.3.5)$$



(a) 今井[付1.3.13]による提案　　(b) 太田・後藤[付1.3.14]による提案

図-5.2.15 N値とS波速度の相関例[40]

(3) その他ボーリング孔を利用した調査方法

ボーリング孔を利用した調査として物理検層があります。図-5.2.16 に示す物理検層はボーリング孔壁付近の地盤の物理・化学的性状を測定する手法で、測定ではある物性を探知するゾンデをボーリング孔内に挿入し、孔底～孔口間でゾンデを移動させながら連続的にデータを取得することができます。得られた物性値(速度、比抵抗、密度、温度等)と調査ボーリング結果(コア観察、N 値、RQD、地下水状況等)とを対比することで調査地盤の物理・化学的性質を高い精度で把握することができます。また、各検層より求まる物性値、測定時の孔内条件(保護管，孔内水)を表-5.2.14 に示します。

---

[40] 出典）日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」1985 年 昭和情報プロセス p.222

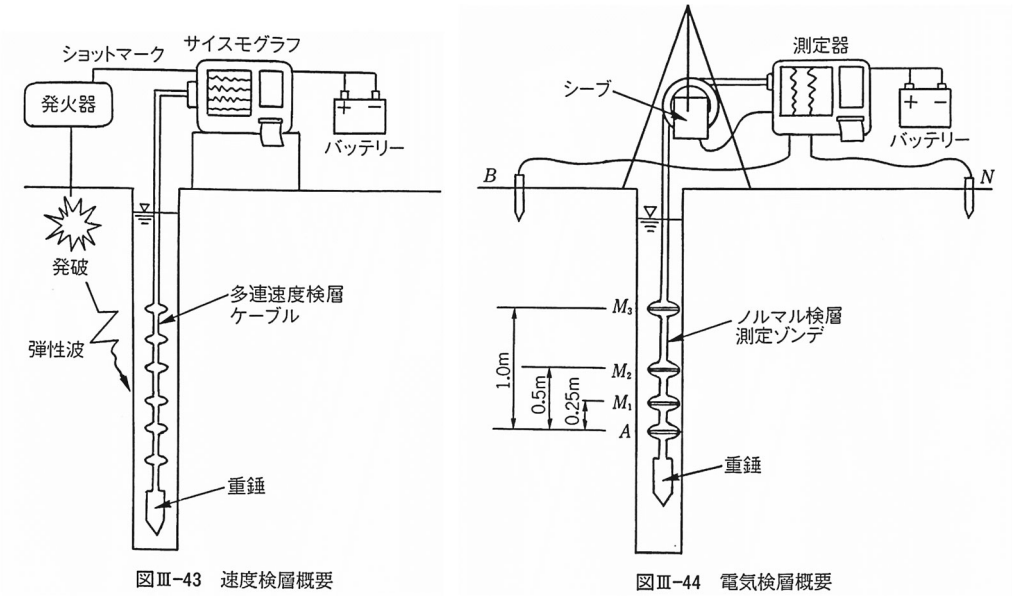


図-5.2.16 ボーリング孔を利用した物理検層の概要図[41]

表-5.2.14 各検層の物性値および測定条件

調査方法		求まる物性値	保護管有無	孔内水		備　考
				有	無	
速度検層	ダウンホール法	P 波速度・S 波速度	○	○	○	地表部に震源を設置し、孔内で受振する方法で、孔口周辺に起震するスペースが必要
	サスペンション法	P 波速度・S 波速度	×	○	×	孔内水を介して孔壁に間接的な振動を与える起振方法 余掘りが 3～4m 必要
電気検層		見掛け比抵抗 自然電位	×	○	×	塩ビ管(開口率 5%以上)内は測定可能 高分子ポリマー系の泥水は測定不可
密度検層		密　度	○	○	○	解析補正に測定孔の室内試験(湿潤密度)を必要とする場合が多い
キャリパー検層		孔　径	×	○	○	ボーリング孔内の孔径変化を連続的かつ直接的に測定 各検層の補助的な測定として用いる
温度検層		温　度	○	○	○	孔内水の温度を測定 複数検層実施の場合、孔内水の撹乱による温度変化を防ぐため最初に測定

[41] 出典）大島洋志「わかりやすい土木地質学」2000 年 土木工学社 p.129

(4) サウンディング

サウンディングは、ロッドに付けた抵抗体を地盤中に挿入し、これを貫入、回転、引き抜きさせてその際の抵抗から地盤の性状を調査する方法です。サウンディングは未固結地盤を対象とする試験であり、標準貫入試験もサウンディングの一つですが、その他にも数多くの種類があり代表的なものを挙げると表-5.2.15 のようになります。

表-5.2.15 各種サウンディングと得られる値

サウンディング名称	ボーリング 要 否	得られるデータ	調査結果の主な用途
標準貫入試験	要	*N*値,土質試料	地盤の硬さ 地盤定数の推定 支持力や液状化判定等
スクリューウエイト貫入試験 （旧 スウェーデン式 サウンディング試験）	否	*Wsw*,*Nsw*	概略の地層構成 *N*値の推定 小規模建築物の地耐力
ポータブルコーン貫入試験	否	表層地盤の*qc*	軟弱な粘性土地盤の層厚確認 *qu*や粘着力の推定
機械式コーン貫入試験 （オランダ式二重管コーン）	否	*qc*	地層構成と硬さ 基礎の支持力と沈下検討
電気式コーン貫入試験	否	*qt*,*fs*,*u*	詳細な土層判別 強度推定 基礎の支持力と沈下検討
簡易動的コーン貫入試験	否	表層地盤の*Nd*	風化層や崩積土の層厚確認 小規模建築物の地耐力
動的コーン貫入試験	否	*Nd*	支持層の深さや軟弱な土層の層厚確認 *N*値の推定
ベーンせん断試験	要	せん断強度 τv	鋭敏比の把握 安定解析等での利用
孔内水平載荷試験	要	変形係数*Eb*等	地盤反力係数算定 杭の水平抵抗の検討

(5) 岩石試験

地盤の基礎となる「岩」についての試験で、ボーリングやサンプリング等により採取した岩石で物理的特性や力学的特性を把握します。試験結果は岩盤の工学的分類や設計・解析に必要となる地盤定数の設定等に用いられます（図-5.2.17、表-5-2-16)。

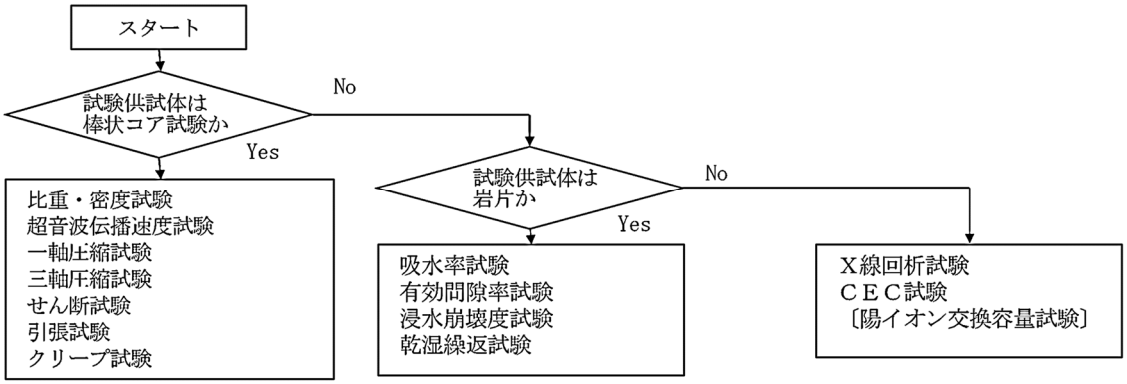


図-5.2.17 サンプリング試料と岩石試験項目選定[42]

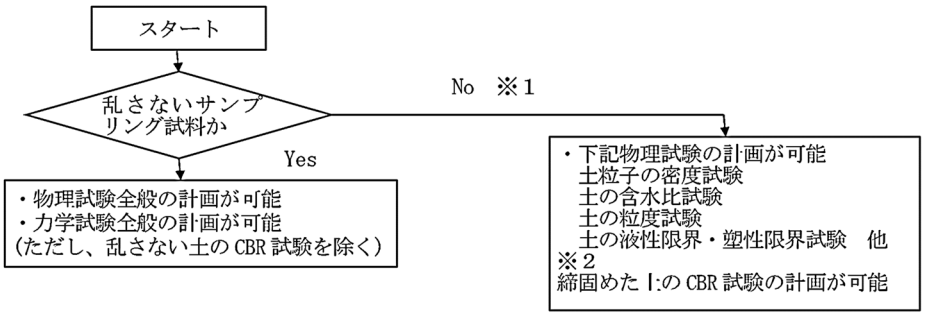
表-5.2.16 主な岩石試験と得られる値

試 験 名	規 格	試験によって求められる値
礫の比重・吸水率試験	JHS 108	礫の比重，吸水率
岩の破砕率試験	JHS 109	破砕率
岩のスレーキング率試験	JHS 110	スレーキング率
吸水膨張率試験	JGS 2121 JHS 109	吸水膨張率
乾燥繰り返し吸水率試験	JHS 111	吸水量増加率
岩石の圧縮強さ試験	JIS M 0302	圧縮強度
岩石の一軸圧縮試験	JGS 2521	圧縮強度，静弾性係数 静ポアソン比（縦・横ひずみを測定した場合）
岩石の引張強さ試験(圧裂法)	JIS M 0303	引張強度
軟岩の中圧三軸圧縮試験	JGS 2531	粘着力，内部摩擦角
パルス透過法による 岩石の超音波伝播速度試験	JGS 2110	P波速度，S波速度，動弾性係数，動ポアソン比
点載荷試験	－	修正点載荷強度
X線回析試験	－	堆積物に含有あるいは基盤岩を構成している鉱物を同定
CEC試験	－	粘土鉱物の膨潤性

[42] 出典）北陸地方整備局（2020)「設計要領〔道路編〕第 16 章 地質調査の手引き(案)」2020 年 p.16-4

(6) 土質試験

地盤の基礎となる「土」についての試験で、ボーリングやサンプリング等により採取した土で、物理的特性や力学的特性および材料特性を把握します。試験結果は土質の工学的分類や設計・解析に必要となる地盤定数の設定等に用いられます（図-5.2.18～19、表 5-2-17～18）。



※1　乱したサンプリング試料とは、標準貫入試験実施時に採取した試料
※2　CBR 試験試料は 50～100 kg前後必要なため通常掘削して採取する。

図-5.2.18 サンプリング試料と土質試験項目選定[43]

表-5.2.17 土質ごとの土質定数の目安[44]

種類		状態		単位体積重量 (kN/m³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m²)	地盤工学会基準[注2)]
盛土	れきおよびれきまじり砂	締固めたもの		20	40	0	{G}
	砂	締固めたもの	粒径幅の広いもの	20	35	0	{S}
			分級されたもの	19	30	0	
	砂質土	締固めたもの		19	25	30 以下	{SF}
	粘性土	締固めたもの		18	15	50 以下	{M}，{C}
	関東ローム	締固めたもの		14	20	10 以下	{V}
自然地盤	れき	密実なものまたは粒径幅の広いもの		20	40	0	{G}
		密実でないものまたは分級されたもの		18	35	0	
	れきまじり砂	密実なもの		21	40	0	{G}
		密実でないもの		19	35	0	
	砂	密実なものまたは粒径幅の広いもの		20	35	0	{S}
		密実でないものまたは分級されたもの		18	30	0	
	砂質土	密実なもの		19	30	30 以下	{SF}
		密実でないもの		17	25	0	
	粘性土	固いもの（指で強く押し多少へこむ）[注1)]		18	25	50 以下	{M}，{C}
		やや軟らかいもの（指の中程度の力で貫入）[注1)]		17	20	30 以下	
		軟らかいもの（指が容易に貫入）[注1)]		16	15	15 以下	
	粘土およびシルト	固いもの（指で強く押し多少へこむ）[注1)]		17	20	50 以下	{M}，{C}
		やや軟らかいもの（指の中程度の力で貫入）[注1)]		16	15	30 以下	
		軟らかいもの（指が容易に貫入）[注1)]		14	10	15 以下	
	関東ローム			14	5（ϕ_u）	30 以下	{V}

注1：N値の目安は次のとおりである。
固いもの（N＝8～5），やや軟らかいもの（N＝4～8），軟らかいもの（N＝2～4）
注2：地盤工学会基準の記号は，およその目安である。

---

43 出典）北陸地方整備局（2020）「設計要領〔道路編〕第 16 章 地質調査の手引き(案)」2020 年 p.16-4

44 出典）地盤工学会室内試験規格・基準委員会編「地盤材料試験の方法と解説［第一回改訂版］二分冊の 1」2020 年 地盤工学会 p.85

表-5.2.18 主な土質試験と得られる値

区分	試験名称	JIS	JGS	求められる事項	主な利用法
物理試験	土粒子の密度試験	A1202	0111	土粒子の密度ρ_s（g/cm^3）	土の基本的性質の計算 （間隙比、飽和度など）
	含水比試験	A1203	0121	含水比w（%）	土の基本的性質の計算 （鋭敏度合いの判別）
	粒度試験	A1204	0131	粒径加積曲線、均等係数Uc 曲率係数Uc'	土の分類、粒度特性 透水性の判断、液状化強度の推定 一軸圧縮強さの補正
	液性限界・塑性限界	A1205	0141	液性限界W_L（%） 塑性限界W_P（%） 塑性指数I_p（%）	土の分類、土の安定性判定 材料の判定、圧縮特性の判定 路床路盤上の適否判定
	収縮定数試験	A1209	0145	収縮限界W_s（%）	
	湿潤密度試験	A1225	0191	湿潤密度ρ_t（g/cm^3）	土の分類、土被り圧 各種工学的計算
	砂の最小密度・ 最大密度試験	A1224	0161	最小乾燥密度ρ_{dmin}（g/cm^3） 最大乾燥密度ρ_{dmax}（g/cm^3）	土の締まり度合いの判定
化学試験	pH試験	—	0211	土懸濁液のpH値	土の酸性、アルカリ性の判定 地盤改良の適用性
	強熱減量試験	—	0221	有機物含有量Li（%）	土の圧縮性、土の性質 土の処理方法の判定
	水溶性成分試験	—	0241	水溶性ナトリウム、カリウム カルシウム、 マグネシウム塩化物、 硫化物含有量S（mg/g）	土の水溶性成分の含有量 地盤改良の適用性
安定化試験	突固めによる 土の締固め試験	A1210	0135	最適含水比Wopt（%） 最大乾燥密度ρ_{dmax}（g/cm^3）	盛土工事の施工管理基準
	CBR試験	A1211	0141	CBR（%）	土の支持力比、施工管理 舗装厚の決定
透水試験	透水試験	A1218	0311	透水係数k（m/sec） [変水位][定水位]	地盤の透水性の評価 透水量の算定
圧密試験	段階載荷による 圧密試験	A1217	0411	圧密降伏応力Pc（kN/m^2） 圧縮指数Cc 圧密係数Cv（cm^2/d） 体積圧縮係数mv 透水係数k（m/sec）	圧密沈下量の計算 沈下時間の計算
	定ひずみ速度載荷 による圧密試験	A1227	0412		
せん断試験	一軸圧縮試験	A1216	0511	一軸圧縮強さqu（kN/m^2） 変形係数E_{50}（kN/m^2）	粘性土地盤の支持力、安定計算 弾性変形量の計算
	三軸圧縮試験 非圧密非排水（UU） 圧密非排水　（CU） 圧密非排水　（CU-bar） 圧密排水　（CD）	—	0521 0522 0523 0524	粘着力c（kN/m^2） せん断抵抗角ϕ（°） 応力ーひずみ曲線 モールの応力円	地盤の支持力、安定計算 地盤の強度増加（沈下） 有効応力法による安定検討
	一面せん断試験 （圧密定体積） （圧密定圧）	—	0560 0561	粘着力c（kN/m^2） せん断抵抗角ϕ（°）	土の支持力、摩擦力の計算
	繰返し非排水三軸試験 （液状化試験）	—	0541	繰返し回数N、軸ひずみε 間隙水圧u（kN/m^2） 液状化応力比R	砂の液状化強度の推定
	繰返し三軸試験 （動的変形特性試験）	—	0542	応力ーひずみ履歴曲線 せん断ひずみーせん断弾性係数 減衰定数関係	土の動的変形特性 地震応答解析
	繰返しねじりせん断試験 （動的変形特性試験）	—	0543		

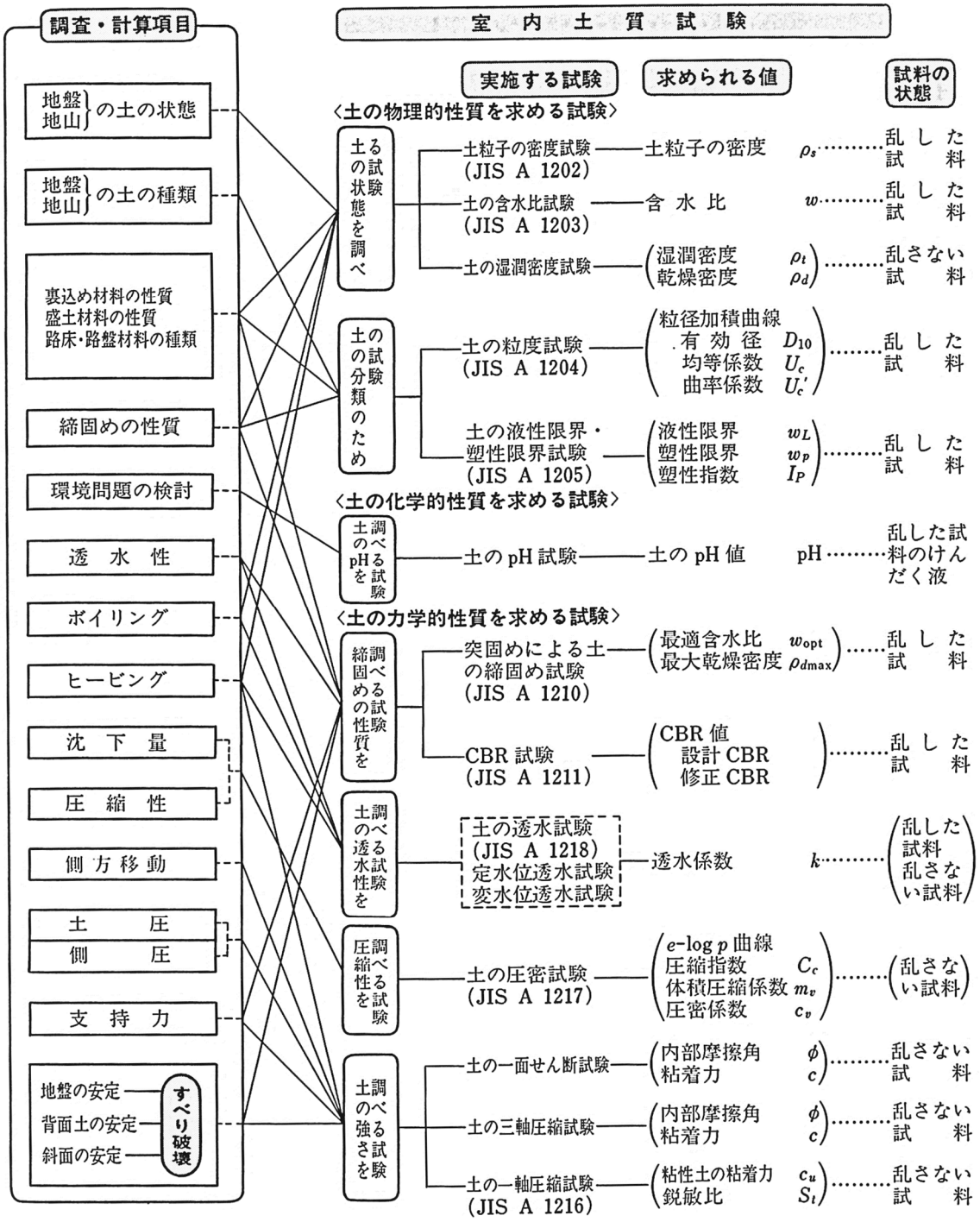


図-5.2.19 検討項目に対応する土質試験[45]

[45] 出典）安川郁夫・今西清志・立石義孝「絵とき 土質力学（改訂２版）」1998 年 オーム社 p.17

地質情報の把握には様々な方法があります。地盤の種類や物性により適否が分かれる方法もあります。構造物や基礎の種類によっても調査方法や調査深度も異なるため、既往調査で把握される地質リスクや想定される構造物や対策工より、調査により得られるデータとその活用について十分に検討する必要があります。

5.2.3 地質調査や試験の選定ポイント

地質調査計画のポイントとして、「技術資料-地盤調査計画、(一社)東北地質調査業協会 <https://tohoku-geo.ne.jp/technical/ground/point/index.html>（2022 年 1 月 31 日閲覧)」では以下のように示されています。

地盤調査計画を立てるためには、その調査の目的、費用、時期、期間などをまず十分に認識しておく必要があります。対象とする地域で先立って行われた既往の調査結果、近隣地区の調査・工事報告書、地形図、空中写真などその時点で入手可能な資料を十分検討し、問題点をよく把握したうえで、何を情報として得なければならないかを明確にしておくことが重要となります。地盤調査では、通常、点や線の情報しか得られませんが、実際に調査結果を利用する際には、これらを面的あるいは空間的に解釈して利用することになります。限られた点あるいは線の情報から全体像を大きな誤りなく把握するためには、単に調査の頻度、数量を増やせばよいというものではなく、地盤の弱点となりそうな部分や、構造物にとって重要な地盤の位置や深さを的確に調査する必要があります。このためには、地形・地質に基づく巨視的な観点からの地盤構成の把握と、既往資料の十分な検討、さらに調査の最終目的に対する十分な理解が必要です。

現実には、予算、工期、地形などの制約から、十分な地質調査が行えないことも多いです。こういう場合は、目的とする情報の性質をよく勘案し、妥当な代替案を検討する必要があります。例えば、地盤自体にあまり問題がない場合で、むしろ平面的な変化を知りたい場合は、サウンディングなどの簡易な試験を多数の地点で実施することが効率的となります。逆に、平面的には狭いが、大深度まで掘削するような場合の調査などであれば、数量を少なくして、重要な地層を重点的に調べるほうがよい場合もあります。このように、調査結果の利用方法と情報の必要性を十分理解したうえで調査計画を立てることによって、時間的にも予算的にも最小投資で最大効果をあげることができます。

建設工事では通常、起案から維持管理の各段階に応じて要求される土質・地盤情報の種類と精度は一様でないので、これに対する地盤調査の内容、規模も異なったものとなります。そのため一度だけの地盤調査で建設工事に必要なすべての土質・地盤情報を得るのは適切でなく、またそれは不可能なことです。したがって、計画から施工、維持管理に至るまで、建設工事の各段階に応じて数次にわたり地盤調査をおこなって、設計・施工に反映・利用することになります。特に詳細設計時には、これまで把握された地質情報を十分に活用し、対象構造物の建設に必要となる地質情報を、対象物の規模や地質リスクの大きさなどを考慮して検討する必要があります。

詳細設計時には、これまで把握された地質情報を十分に活用し、対象構造物の建設に必要となる地質情報を、対象物の規模や地質リスクの大きさなどを考慮して検討する必要があります。特に予算、工期、地形などの制約から、十分な地質調査が行えないことも多いため、目的とする情報の性質をよく勘案し、妥当な代替案を検討することも必要となります。

(1) 調査にかかる日数

地質調査に要する日数として、国土交通省の設計業務等標準積算基準書(令和 3 年度版)に示される日作業量を参考に示します。比較的掘進速度が速い粘性土・シルトの土質ボーリング(φ66mm)で日当たりの作業量は 7m、礫混じり土砂になると日当たりの作業量は 4m となります。

表-5.2.19 土質ボーリングの日当たり作業量[46]

種別・規格		単位	日当たり作業量
φ 66mm	粘性土・シルト	m	7.0
	砂・砂質土	〃	6.0
	礫混じり土砂	〃	4.0
	玉石混じり土砂	〃	2.0
	固結シルト・固結粘土	〃	4.0
φ 86mm	粘性土・シルト	m	6.0
	砂・砂質土	〃	5.0
	礫混じり土砂	〃	3.0
	玉石混じり土砂	〃	2.0
	固結シルト・固結粘土	〃	4.0
φ 116mm	粘性土・シルト	m	5.0
	砂・砂質土	〃	4.0
	礫混じり土砂	〃	3.0
	玉石混じり土砂	〃	2.0
	固結シルト・固結粘土	〃	3.0

表-5.2.20 岩盤ボーリングの日当たり作業量[47]

種別・規格		単位	日当たり作業量
φ 66mm	軟岩	m	4.0
	中硬岩	〃	3.0
	硬岩	〃	3.0
	極硬岩	〃	2.0
	破砕帯	〃	2.0
φ 76mm	軟岩	m	4.0
	中硬岩	〃	3.0
	硬岩	〃	3.0
	極硬岩	〃	2.0
	破砕帯	〃	2.0
φ 86mm	軟岩	m	4.0
	中硬岩	〃	3.0

[46] 出典）国土交通省「設計業務等標準積算基準書および同（参考資料）」令和 3 年度 第Ⅱ編 地質調査業務 p.2-2-5 <https://www.mlit.go.jp/tec/gyoumu_sekisan.html>（2022.1.31 閲覧）

[47] 出典）国土交通省「設計業務等標準積算基準書および同（参考資料）」令和 3 年度 第Ⅱ編 地質調査業務 p.2-2-5 <https://www.mlit.go.jp/tec/gyoumu_sekisan.html>（2022.1.31 閲覧）

表-5.2.21 サウンディングおよび原位置試験の日当たり作業量[48]

種別・規格		単位	日当たり作業量
標準貫入試験	粘性土・シルト	回	12.0
	砂・砂質土	〃	10.0
	礫混じり土砂	〃	8.0
	玉石混じり土砂	〃	7.0
	固結シルト・固結粘土	〃	7.0
	軟岩	〃	7.0
孔内水平載荷試験	普通載荷（2.5MN/㎡以下） ＧＬ-50ｍ以内	〃	3.0
	中圧載荷（2.5～10MN/㎡） ＧＬ-50ｍ以内	〃	2.0
	高圧載荷（10～20MN/㎡） ＧＬ-50ｍ以内	〃	2.0
現場透水試験	オーガー法 ＧＬ-10ｍ以内	〃	2.0
	ケーシング法 ＧＬ-10ｍ以内	〃	2.0
	一重管式 ＧＬ-20ｍ以内	〃	1.0
	二重管式 ＧＬ-20ｍ以内	〃	1.0
	揚水法 ＧＬ-20ｍ以内	〃	1.0
ｽｳｪｰﾃﾞﾝ式ｻｳﾝﾃﾞｨﾝｸﾞ	ＧＬ-10ｍ以内 Ｎ値４以内	m	22.0
ｵﾗﾝﾀﾞ式二重管コーン貫入試験	２０kN ＧＬ-30ｍ以内	〃	12.0
	１００kN ＧＬ-30ｍ以内	〃	11.0
ﾎﾞｰﾀﾌﾞﾙｺｰﾝ貫入試験	単管式 ＧＬ-5ｍ以内	〃	25.0
	二重管式 ＧＬ-5ｍ以内	〃	15.0

表-5.2.22 現場内小運搬の日当たり作業量[49]

種別・規格		単位	日当たり作業量
人肩運搬	５０ｍ以下	t	5
	５０ｍ超１００ｍ以下	〃	2
特装車運搬（クローラ）	１００ｍ以下	〃	5
	１００ｍ超５００ｍ以下	〃	3
	５００ｍ超１０００ｍ以下	〃	2
モノレール運搬	１００ｍ以下	〃	5
	１００ｍ超５００ｍ以下	〃	4
	５００ｍ超１０００ｍ以下	〃	3
索道運搬	１００ｍ以下	〃	5
	１００ｍ超５００ｍ以下	〃	4
	５００ｍ超１０００ｍ以下	〃	3

表 5.2.23 足場仮設の日当たり作業量[50]

種別・規格		単位	日当たり作業量
平坦地足場		箇所	2.0
湿地足場		〃	1.0
傾斜地足場	地形傾斜15°以上～30°未満	〃	1.0
	地形傾斜30°以上～45°未満	〃	0.5
	地形傾斜45°以上～60°	〃	0.5
水上足場	水深１ｍ以下	〃	0.5
	水深３ｍ以下	〃	0.5
	水深５ｍ以下	〃	0.3
	水深１０ｍ以下	〃	0.3

[48] 出典）国土交通省「設計業務等標準積算基準書および同（参考資料）」令和３年度 第Ⅱ編 地質調査業務 p.2-2-9 <https://www.mlit.go.jp/tec/gyoumu_sekisan.html>（2022.1.31 閲覧）

[49] 出典）国土交通省「設計業務等標準積算基準書および同（参考資料）」令和３年度 第Ⅱ編 地質調査業務 p.2-2-12 <https://www.mlit.go.jp/tec/gyoumu_sekisan.html>（2022.1.31 閲覧）

[50] 出典）国土交通省「設計業務等標準積算基準書および同（参考資料）」令和３年度 第Ⅱ編 地質調査業務 p.2-2-14 <https://www.mlit.go.jp/tec/gyoumu_sekisan.html>（2022.1.31 閲覧）

(2) 各調査の基準および調査機関

地質調査における各種調査や試験は、(公社)地盤工学会等で基準化されています。また、地質調査機関として地質調査業協会や土質試験協同組合があります。

■地質調査・土質試験の基準

・公益社団法人 地盤工学会

【URL】https://www.jiban.or.jp/?page_id=1706

■地質調査機関

・一般社団法人 全国地質調査業協会連合会

TEL：03-3518-8873

【URL】https://www.zenchiren.or.jp/

北海道地質調査業協会	http://www.do-geo.com/
東北地質調査業協会	https://tohoku-geo.ne.jp/
北陸地質調査業協会(石川地区)	https://www.ishikawa-geo.or.jp/
北陸地質調査業協会(新潟地区)	http://www.niigata-geo.or.jp/
関東地質調査業協会	https://www.kanto-geo.or.jp/
中部地質調査業協会	https://www.chubu-geo.org/
関西地質調査業協会	http://kansai-geo.jp/
中国地質調査業協会	http://www.chugoku-geo.or.jp/
四国地質調査業協会	https://www.shikoku-geo.jp/
九州地質調査業協会	http://www.kyuchikyo.net/
沖縄県地質調査業協会	http://okichikyo.sakura.ne.jp/

■土質試験機関

・ジオ・ラボネットワーク（９つの土質試験協同組合）

【URL】http://www.geolab-net.com/abouts

北海道土質試験協同組合	https://www.src.or.jp/
協同組合土質屋北陸	https://doshitsuya.or.jp/
関東土質試験協同組合	http://www.kstc.or.jp/
中部土質試験協同組合	https://geolabo-chubu.com/
協同組合関西地盤環境研究センター	http://www.ks-dositu.or.jp/
協同組合岡山県土質試験センター	http://www.okayama-soil.or.jp/
協同組合広島県土質試験センター	http://www.hiroshima-soil.jp/
協同組合島根県土質技術研究センター	http://www.simasoil.or.jp/
宮崎県地質調査業協同組合	TEL：0985-52-2403

(3) 地質調査の費用

地質調査の費用は、日本建設情報総合センターから得られる令和 3 年度の国土交通省発注のボーリング調査の実績を参考にすると、調査ボーリングの 1m あたり単価は図-5.2.20 に示すとおり約 10 万円以上となります。特に山地では、資機材の搬入においてモノレールの架設等が必要になり費用が高くなる傾向にあります。

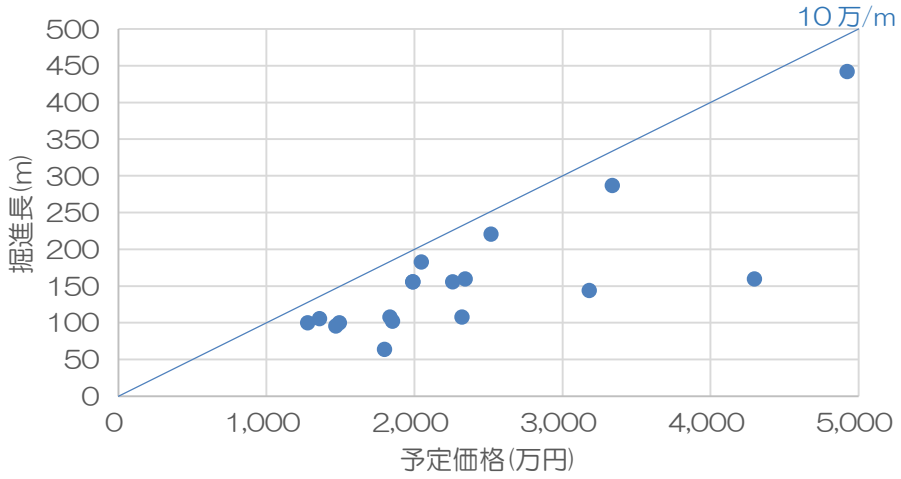


図-5.2.20 調査ボーリングの掘進長と価格[51]（令和 3 年度の実績）

地質調査の項目や実施方法、及び調査費用はある程度水力発電事業の計画内容がまとまってきた段階で、事業者側で必要な技術的な知見を有していない場合は、専門業者へ相談することも選択肢の一つとして検討しましょう。

[51] 出典）一般財団法人日本建設情報総合センター「入札情報サービス」より作成
<https://www.i-ppi.jp/Search/web/Index.htm>（2022.1.31 閲覧）

5.3 水車の設計

5.3.1 水車の性能に関する事項

(1) 落差

① 総落差

総落差は発電所の取水口水面と放水口水面との標高差を指します[52]。総落差の定義を図-5.3.1 に示します。ただし、衝動水車[53]（クロスフロー水車、ペルトン水車など）は放水口水面の代わりにランナ中心標高が総落差算定の基準高となります。

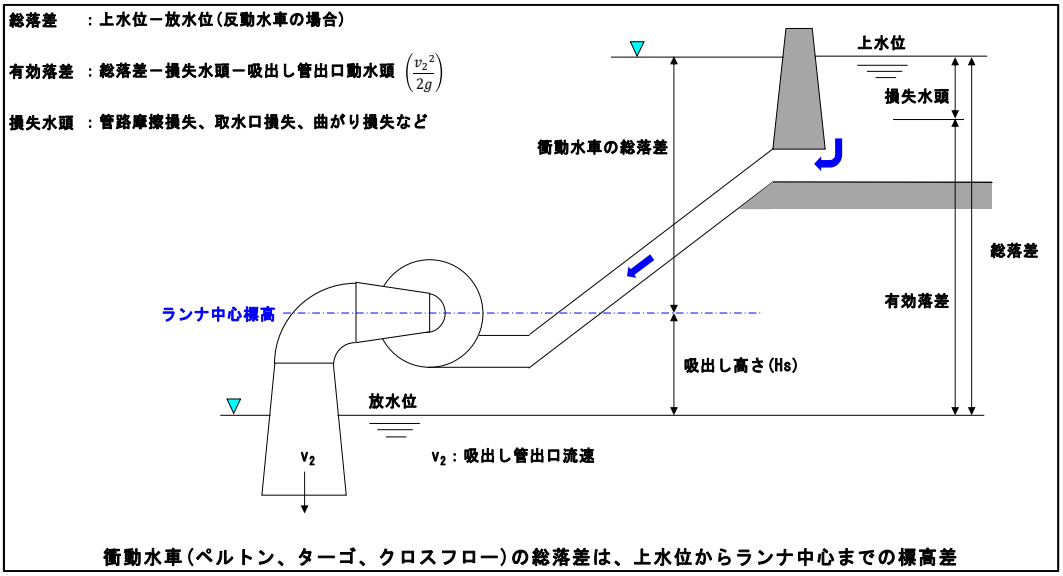


図-5.3.1 落差の定義

② 静落差

静落差とは発電所の全部の水車またはポンプ水車が停止しているとき、上水槽または上部サージタンク水面と吸出し管出口水面との位置ヘッドの差のことです[54]。ただし、先程の総落差と同様に衝動水車は吸出し管出口水面の代わりにランナ中心標高となります。

③ 損失落差[55]

損失落差（管路では損失水頭とも言います）は水の流れにおいて二つの断面間で失われる水頭（ロスとも言われます）を意味し、その損失の多くは摩擦損失が占めます。良く使われる管路の摩擦損失の式は以下の 2 つです。

---

[52] 出典）JEC-4001：2018「水車及びポンプ水車」電気学会　電気規格調査会標準規格 電気書院

[53] 本テキスト 3 章 9 節「水車発電機の選定」を参照

[54] 出典）JIS B 0119：2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会 日本規格協会

[55] 出典）千秋信一「発電水力演習」学献社 1967 年

Hazen Williams の式　　$h_f = 10.666 \times {C_H}^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$

Darcy Weisbach の式　　$h_f = f \times \frac{v^2}{2g} \times \frac{L}{D}$　　$f = 124.5 \times \frac{{n_k}^2}{D^{\frac{1}{3}}}$

ここで、h_f：損失水頭(m)

C_H：係数(例えば、新設管 130、既設管：120)

D：管内径(m)

Q：流量(m^3/s)

L；管長さ(m)

f：摩擦損失係数

v；流速(m/s)

g：重力加速度($9.8m/s^2$)

n_k：マニング（クッタ）の粗度係数(例えば、鋼管 0.012)

④ 有効落差[56]

有効落差とは水車の運転に利用される全水頭で、水車の高圧側指定点と低圧側指定点との全水頭の差をいいます。つまり、総落差より水路系統の全ての損失水頭（ロス）等と吸出し管出口の速度水頭を差し引いた落差が有効落差となります。

(2) 出力

① 理論出力

水車に働く力は水圧管路内の重力です。その重力に流速を乗ずれば仕事率、即ち水車出力となります。質量を M、有効落差を H、管路断面積を A、水の密度を ρ (=$1000kg/m^3$)、力を F、加速度を α、流速を V、出力を P とすれば下記の式が成り立ちます。なお、1kgm の仕事は 9.8J(ジュール)で、1000J/s=1kW です[57]。下記の式(1)が理論出力となり、単位は kW(キロワット)で表されます。なお、理論出力は従来「馬力」で表していましたが、近年は SI 単位に準じて kW を用いるのが一般的です。

管路内の質量　　$M = H \times A \times \rho$

水車に作用する力　　$\mathrm{F} = M \times \alpha = H \times A \times \rho \times g$

連続の式　　$Q = A \times V$

仕事率　　$P(\mathrm{kW}) = \mathrm{F}V = HA\rho gV = \rho gQH\left(\frac{J}{s}\right) = 9.8QH(\mathrm{kW})\cdots(1)$

---

[56] 出典）JEC-4001：2018「水車及びポンプ水車」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

[57] 出典）千秋信一「発電水力演習」学献社 1967 年

② 水車出力

水車出力とは、主軸を通じて伝達される有効な機械動力を意味し、ランナ出力から軸受損失などの損失動力を差し引いたものと定義されています。水車出力は以下の式(2)のとおり理論出力に水車効率を乗じたものとして定義されています[58]。

$$P_t = 9.8QH\eta \quad \cdots(2)$$

ここで、η：水車効率

P_t：水車出力(kW)

(3) 比速度

① 水車の比速度

水車の比速度は、水車の形と運転状態とを相似に保って大きさを変えたとき、単位落差(1m)で単位出力(1kW)を発生させる回転速度と定義されています。比速度の算定式は以下のとおりです。

$$n_s = \frac{n\sqrt{P_t}}{H^{\frac{5}{4}}} \quad \cdots(3)$$

ここで、n_s:比速度(m-kW)

n:水車定格回転速度(min^{-1})

P_t:水車定格出力(kW)

比速度 ns の単位 m-kW は、単位記号ではなく単に使用した数値の単位を示しています。また、比速度の算出に用いる水車定格出力としては、クロスフロー水車、フランシス水車、デリア水車及び軸流水車ではランナ 1 個当たり、ペルトン水車及びターゴ水車ではノズル 1 個当たりの水車出力とします。ただし、複流ではランナ 1 個当たりの水車出力の 1/2 をとります[59]。水車の種類における比速度と落差の関係を図-5.3.2 に示します。なお、この図に示した写真は各々の模型水車のランナ形状です。

[58] 出典）JIS B 0119：2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会 日本規格協会

[59] 出典）JEC-4001：2018「水車及びポンプ水車」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

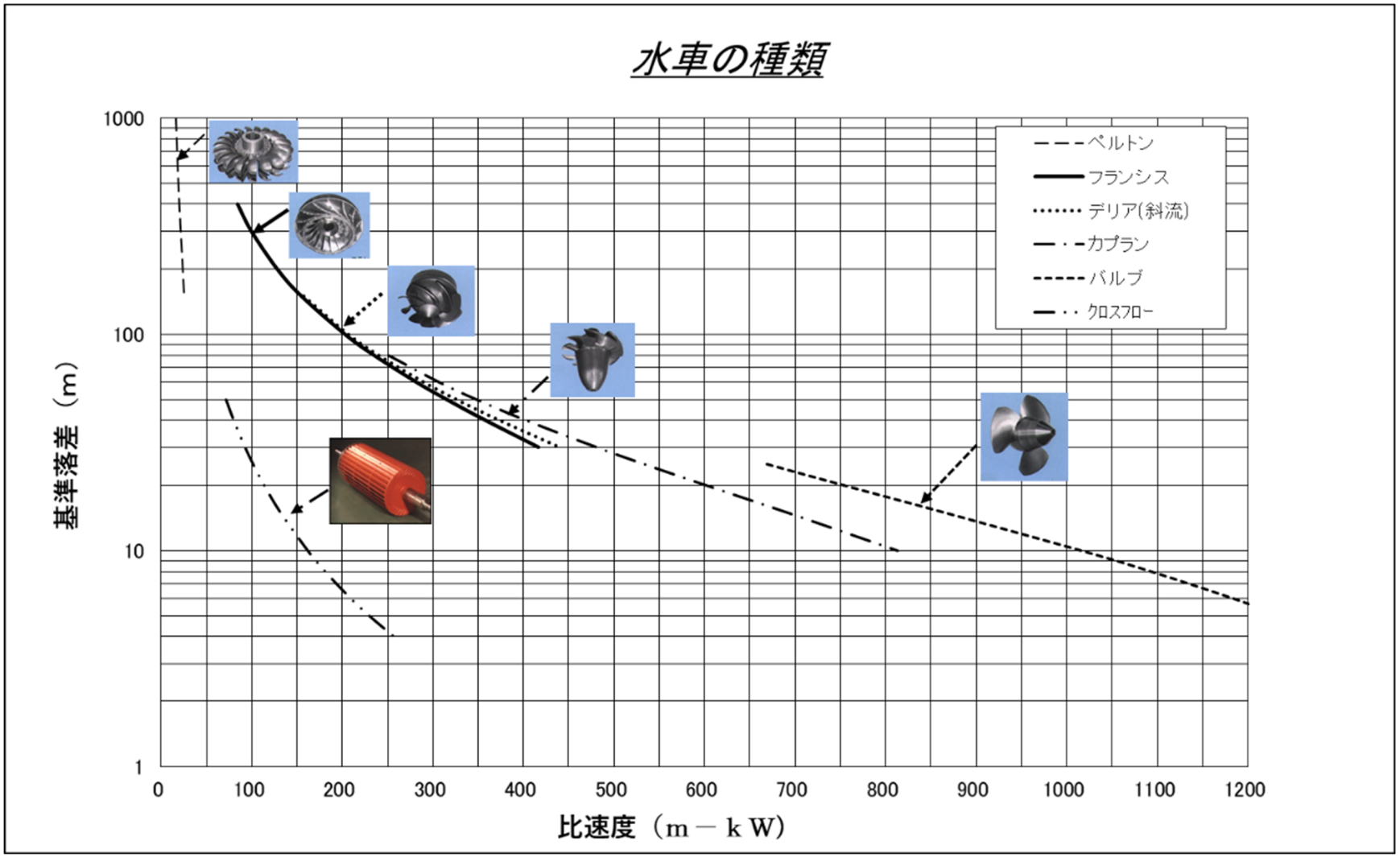


図-5.3.2　水車形式の比速度と落差の関係

② 流量比速度

流量比速度は模型水車の運転での比速度と定義されています[60]。流量比速度は最高効率点における有効落差 H、流量 Q、回転速度 n を用いて次の式で求めます。ただし、複流形のときは $Q/2$、ペルトン水車のときはノズル 1 本当たりの流量をとります。

特に指定がない限り有効落差は m、流量は m^3/s、回転速度は min^{-1} を用います。流量比速度 n_{sQ} の単位 $m\text{-}m^3/s$ は、単位記号ではなく水車の比速度同様、単に使用した数値の単位を示しています。また、流量比速度はポンプの比速度を意味します。

$$n_{sQ} = \frac{n\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

ここで、n_{sQ}:流量比速度

(4) 水車選定表

水車選定表を図-5.3.3 に示します。一般的に水車選定表は両対数のグラフで、横軸は使用水量(流量)、縦軸は落差となっていて、個々の計画地点の諸元より最適な水車形式を選定するのに利用します。計画地点の流量と落差から図-5.3.3 で選ばれた水車形式より、前掲した図-5.3.2 で落差から比速度を仮定し水車の回転速度を決定します。

上記より回転速度が決まれば図-5.3.4 により最終的な比速度から周速係数を決定します。周速係数が決まれば式(4)によりランナ径が決まります。

$$Ku = \frac{n \times D}{84.55\sqrt{H}} \qquad \cdots(4)$$

ここで、Ku:周速係数

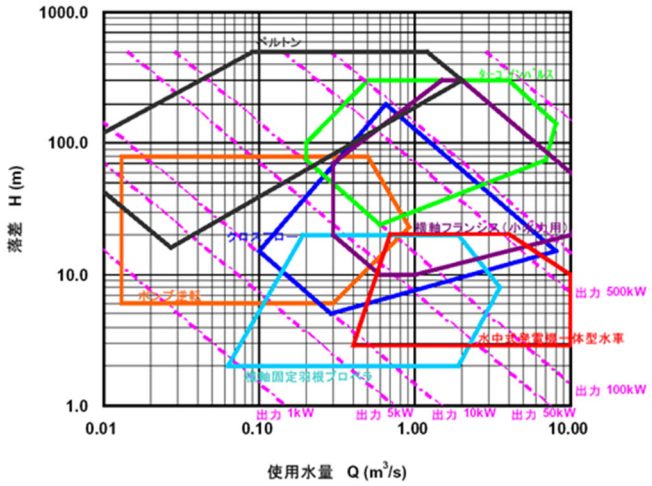


図-5.3.3 水車の適用範囲[61]

---

[60] 出典）JIS B 0119：2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会 日本規格協会

[61] 出典）国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「マイクロ水力発電導入ガイドブック」平成 15 年 3 月

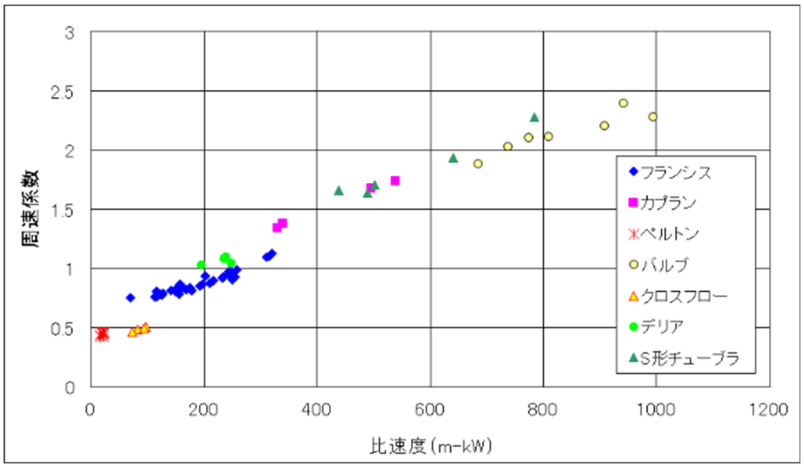


図-5.3.4　比速度と周速係数の関係

(5) 回転速度

① 定格回転速度

回転速度とは回転体が単位時間に回転する数、定格回転速度とは指定された回転速度と定義されています[62]。この場合の単位時間とは 1 分間を意味します。

水車と発電機が直結している場合の回転速度は同期速度となりますが、誘導機の場合はこの同期速度より若干高い回転速度となります。また、クロスフロー水車では水車の回転速度が発電機の極数として 12 極以下ならば直結とします。

水車から発電機へ増速している場合は(発電機の極数として 12 極を超える時)発電機の極数を 6 極程度とします。一方、S 形チューブラ水車において水車の回転速度が 60Hz 地域で 360min^{-1} 以下、50Hz で 375min^{-1} 以下の場合は、60Hz では 720min^{-1}、50Hz では 750min^{-1} に増速します[63]。

② 無拘束速度[64]

無拘束速度とはある有効落差、ガイドベーンと可動羽根式のものにあってはランナベーンのそれぞれの開度、及び吸出し高さにおける水車の無負荷時の回転速度をいいます。即ち水車の入力は回転体の機械的損失に全て費やされている状態であり、この中の一番高いものを最大無拘束速度と呼びます。水車や発電機の回転体はこの数値で強度が保証されることになります。比速度に対して無拘束速度と定格回転速度の割合を示したものを図-5.3.5 に示します。一般的に比速度に比例して無拘束速度は相対的に高くなります。

---

62 出典）JIS B 0119：2009「水車及びポンプ水車用語」 日本工業標準調査会、日本規格協会

63 出典）農林水産省農村振興局 整備部設計課「鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電編）」農業土木機械化協会 平成 26 年 12 月

64 出典）大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 6 回 水力発電の技術用語-講座」電力土木 2020 年 5 月、No.407

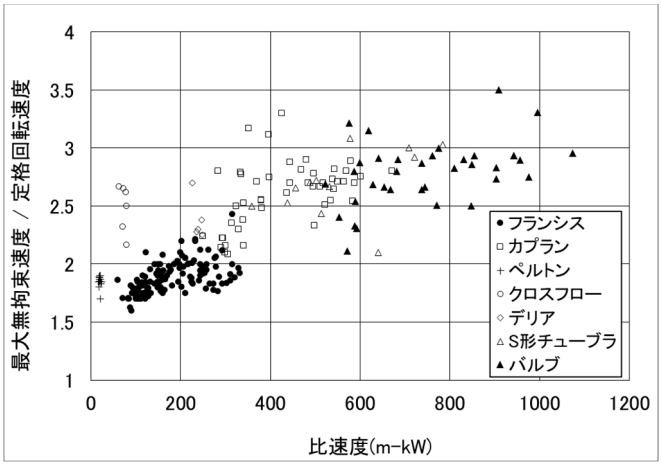


図-5.3.5 比速度と無拘束速度の関係

(6) キャビテーション[65]

① 吸出し高さ

反動水車のランナ中心と水車低圧側指定点(一般的に図-5.3.6 に示す吸出し管出口水位：放水位[66]）における水の圧力が飽和蒸気圧以下になると蒸気の泡(気体)が発生します。これをキャビテーションといいます。この気泡は非常に不安定で、再び圧力が上昇すると急激に凝縮・壊滅して大きな衝撃圧力が発生します。これが機器へ損傷を及ぼし性能を損なう状態が起こり得るので、仕事を終えた流水が羽根車出口でキャビテーションを発生しないような圧力が確保できる据付高さにしなくてはなりません。

各種の水車指定位置と吸出し高さ(Hs)の関係を図-5.3.6 に示しますが、放水位が指定点より下にある場合は Hs (+)、上にある場合は Hs (-)と表示します。

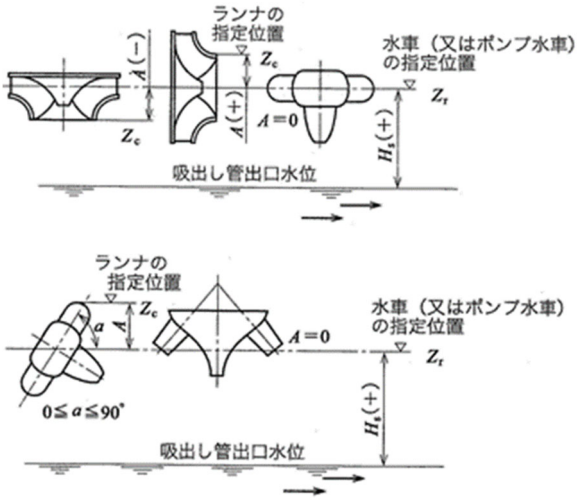


図-5.3.6 水車の指定位置と吸出し高さの関係

---

[65] 出典）JEC-4001:2018「水車及びポンプ水車」電気学会　電気規格調査会標準規格、電気書院

[66] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会、日本規格協会

② キャビテーション係数[67]

以下の式(5)で定義された数値 σ をキャビテーション係数と言います。この係数は無次元です。この中で NPSH は有効吸出し水頭といいます(ポンプでは有効吸込み水頭と言います)。式(5)に示すとおり、発電水車が計画された場合に設計の自由度があるのは Hs のみで、その他はその場所によって決まってしまう数値となります。σ が大きければキャビテーションが起きにくく、小さければその逆となるため、水車設置の標高関係は安全な据付高さとなるよう決定する必要があります。

図-5.3.7 は比速度と運転キャビテーション係数[68]の関係を示したグラフです。この関係も無拘束速度同様に、比速度に比例して運転キャビテーション係数は高くなります。

$$\sigma = \frac{NPSH}{H} = \frac{(h_{amb}+h_{v2}-H_s-A)-h_{va}}{H} \qquad \cdots(5)$$

ここで、h_{amb}:大気圧に相当する圧力水頭(m)

h_{v2}:吸出し管出口における速度水頭(m)

Hs：吸出し高さ(m) [図 5.3.6 を参照]

A:ランナの指定位置と水車の指定位置の標高差(m) [図-5.3.6 参照]

h_{va}:飽和蒸気圧に相当する圧力水頭(m)

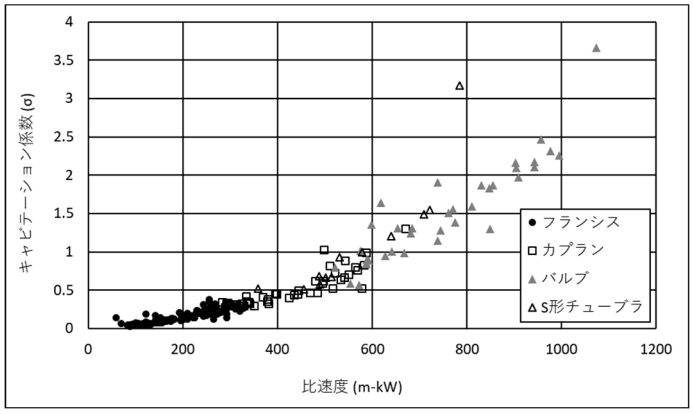


図-5.3.7 比速度と運転キャビテーション係数

[67] 出典）大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 6 回　水力発電の技術用語-講座、電力土木 2020 年 5 月、No.407

[68] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」、日本工業標準調査会、日本規格協会

(7) 水スラスト

水スラストとは、水の作用によって生じる推力（スラスト:thrust）で[69]、主軸方向に働く軸スラスト及び主軸と垂直方向に働く半径スラストがありますが、ここでは軸スラストのみを扱います。

水車は運転中にはランナに圧力水が作用しているので、常にスラストが生じています。フランシス水車では水車の効率をよくするために、ランナ回転部と固定部の隙間（ギャップ）を狭くして漏れ損失を少なくしています。図-5.3.8 はフランシス水車ランナの断面図ですが、楕円で囲んだ部分がギャップ部です。設計時のギャップは非常に狭くしてありますが、経年変化によりこれが広がると比較的に高い圧力水が作用し、スラストが上昇します。一般的にスラスト軸受は発電機側に設置されていますが、この軸受は経年変化を考慮して竣工時の 1.3～2 倍程度と想定して設計します。

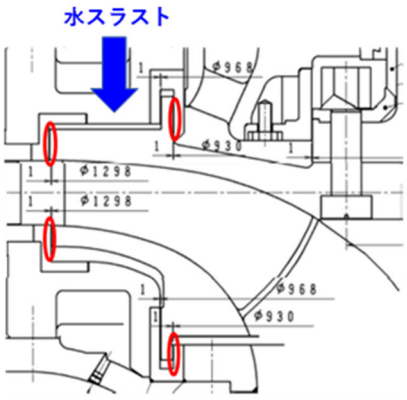


図-5.3.8 フランシス水車ランナの断面図

フランシス水車の負荷に応じた水スラスト荷重の変化を図-5.3.9 に示します。これをみると負荷に比例してスラストが増加し最大出力時に一番大きな値となります。無負荷でも水スラストがあるのは無負荷流量が作用しているからであり、その流量はフランシス水車では定格の 10%程度となります。

一方で可動羽根水車のランナに作用する水スラストと負荷の関係を図-5.3.10 に示します。可動羽根では水スラストの経年変化はなく竣工時の値がずっと続きますが、これはランナギャップが広がってもランナベーンの面積は余り変わらないためです。また、20%負荷当たりが一番大きいのは部分負荷のためにランナベーンの角度が水平に近いためです（負荷が増加するとランナベーンの角度が立ってくるので投影面積が小さくなり、垂直方向の力が軽減されるため）。

なお、衝動水車であるペルトン水車やクロスフロー水車には、運転中のスラストは発生しません。

---

[69] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会、日本規格協会

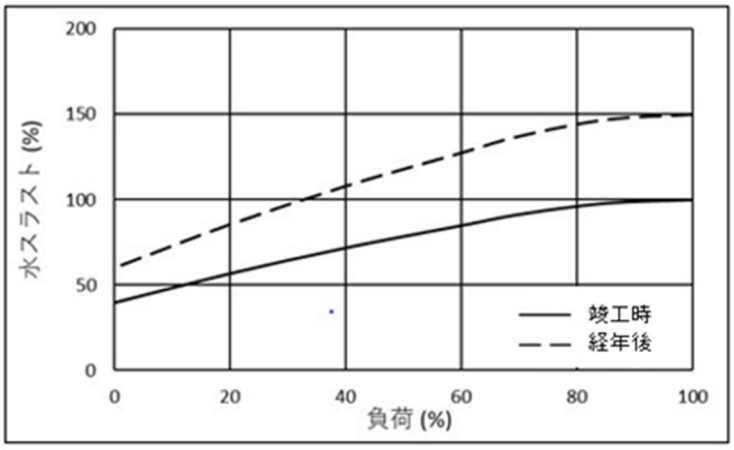


図-5.3.9 フランシス水車の水スラスト

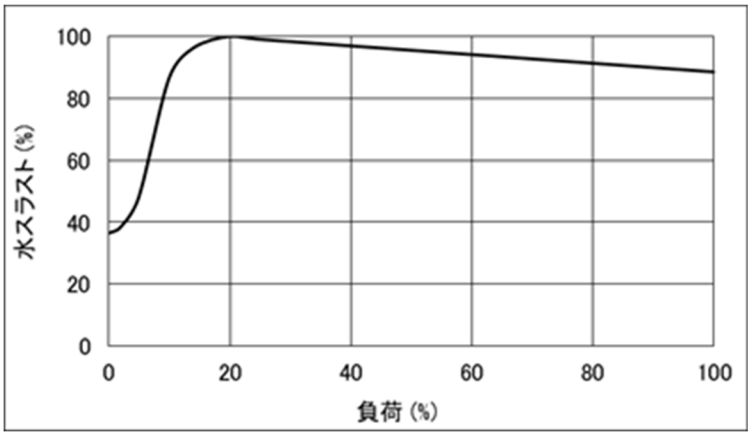


図-5.3.10 可動羽根水車の水スラスト

(9) 水撃現象[70]

① 概要

配管に水が充満して流れているとき、管路の一部に設けられた弁を全部もしくは部分的に閉鎖すると、弁によって上流の流体は急に減速され、同時に管内に圧力上昇が発生します。流体の運動を急に止めれば、今までの運動を続けようとする力[71]が働きますが、弁によって強制的に停止させられるため、運動していた流体の運動エネルギーが圧力エネルギーに変換されて弁より上流側に圧力波という形で伝播されます。したがって、この圧力波により弁の上流側管系全体に圧力上昇が生じます。また、逆に弁を急に開くと、同じような考え方で管内に圧力降下が発生します。このような状態を流体力学では水撃現象(water hammer)といいます。水力発電所の電気系統に何かの不具合が発生した時、安全を考慮して主機(水車)を停止させることが一般的です。これを非常停止(負荷遮断)といいますが、流量を制御す

[70] 出典) 大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 8 回　負荷遮断に伴う水撃過渡現象-講座」電力土木 2020 年 9 月 No.409

[71] 運動の第一法則(慣性の法則)

るガイドベーン（ペルトン水車ではニードル）を急閉鎖すると上述のような水撃現象が生じるためこの衝撃に耐えうるような設計が必要となります。

この水撃現象の解析方法には、剛性理論（水が非圧縮性で管は剛体と仮定）と弾性理論（水が圧縮性で管は弾性体と仮定）の 2 つの理論[72]があります。

② 剛性理論

図-5.3.11 に示すような水路系の水力発電所で水圧管路長さ L、管路断面積 A、落差 H、水圧変動値 Ha とし、水は非圧縮性流体、管路は剛体と仮定します。いま、弁（ガイドベーン等）の開度が変化すると、その水圧変化による力は ρ gAHa となります。ここで、ρ は流体の密度、g は重力加速度です。管内平均流速を V とすると運動の第二方程式より力 F は以下のように示すことができます。なお、式中の M は質量、α は加速度、t は任意の時間を表わし、マイナス(－)は減速を意味します。

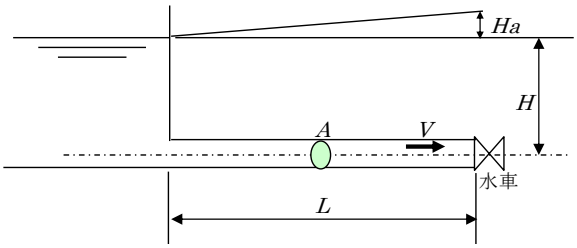


図-5.3.11 水路系の概念図

$$\mathrm{F} = M\alpha = -\rho AL\frac{dV}{dt} = \rho gAH_a \quad \rightarrow \quad H_a = -\frac{L}{g}\frac{dV}{dt} \qquad \cdots(6)$$

一方で、H と V に関する力学的エネルギー保存の法則と連続の式から、管内流速 V は式(7)のように表すことができます。ただし、閉鎖時の流量変化は弁閉鎖特性と同じと仮定します。

$$V = \left(V_0 - \frac{V_1 t}{T}\right)\sqrt{1 + \frac{H_a}{H_0}} \qquad \cdots(7)$$

ここで、V_0:初期流速

V_1:初期状態と任意の t 時間後との差

T:弁の開閉時間

H_0：初期落差

式(7)を t で微分して式(6)に代入し、H_a/H_0 の二次方程式を解くと次のようになります。

$$\frac{H_a}{H_0} = \frac{K}{2} \pm \sqrt{K + \frac{K^2}{4}} \qquad \cdots(8) \quad \text{ここで、} K = \left(\frac{LV}{gH_0T}\right)^2$$

式(8)のマイナス(－)は弁を開く場合を意味します。また、式(8)をアリエビの式とも称し

[72] 出典）秋元徳三「水撃作用と圧力脈動」日本工業新聞社 1972 年

ます。この式は剛性理論の基礎式ですが、一番大きな仮定は式(7)に示したように弁閉鎖と流量特性は直線的に変化することです。

③ 弾性理論

急遮断を伴う水撃現象では管壁の伸縮等を無視できません。このため弁閉鎖と流量特性が直線的に変化しない場合は上述の剛性理論では十分な解を得ることができません。波動方程式は二階線形偏微分方程式のため一般解は求めにくいのですが、任意の関数 F、f とすれば下式の形で表すことができます[73]。

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \qquad \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$$

$$H - H_0 = F\left(t - \frac{x}{a}\right) + f\left(t + \frac{x}{a}\right) \qquad V - V_0 = -\frac{g}{a}\left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) - f\left(t + \frac{x}{a}\right)\right] \quad \cdots(9)$$

ここで、a は圧力伝播速度、x は弁から上流への任意の距離、式(9)における関数 F は圧力波の進行波、f は反射波を意味します。また、圧力伝播速度 a は下式[74]で定義されています。

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho\left(\frac{1}{K_m} + \frac{D}{E \times th}\right)}}$$

ここで、K_m: 流体の体積弾性係数

D: 管の内径

E: 管の縦弾性係数

th: 管の板厚

④ はずみ車効果と速度変動率

水車・発電機が回転している時にその回転速度の変化に影響を及ぼすものが「はずみ車効果」、いわゆる物理学でいう慣性モーメントです。このはずみ車効果は水車の負荷遮断、ポンプでのトリップ（入力遮断)、機器の始動・停止などにおける過渡特性や電力系統の安定性を左右します。回転運動している質点の運動エネルギーを E とすると、式(10)に示すように E は慣性モーメント I と角速度 ω の二乗の積に比例します。慣性モーメント I を重力単位で表すと GD^2 となり次式で定義されます。

$$I = \frac{GD^2}{4} \qquad \mathrm{E} = \frac{1}{2} I\omega^2 \qquad \cdots(10)$$

一方、速度変動率[75]とは水車の負荷が急変した時に生じる回転速度の変化量と定格回転速

---

[73] これをダランベールの解といいますが、本テキストでは詳細は割愛します。

[74] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会、日本規格協会

[75] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会、日本規格協会

度との比を意味し、式(11)で定義されます。式(10)と式(11)により、発電機に必要なはずみ車効果、即ち GD^2 が計算できます。

$$\Delta n = \frac{n_m - n_1}{n_0} \qquad \cdots(11)$$

ここで、Δn:速度変動率

n_m:負荷変化時の回転速度

n_1:負荷前の回転速度(一般的には n_0 に等しい)

5.3.2 ペルトン水車

(1) 歴史[76]

ペルトン水車は 1870 年にアメリカの Lester Allan Pelton(1824-1908)により発明され、1889 年に特許を取得したのが最初と言われています。その後、1878 年にカリフォルニア州のネバダ市にあったメイフラワー鉱山で動力用に使用され、1887 年に別の場所で動力用の代わりに発電機が設置されて水力発電が開始されました。日本国内では 1891 年に事業用として国内初の水力発電である蹴上発電所、出力 120 馬力 2 台がペルトン水車と言われていますが、当時建設された発電所は現在撤去されています。

日本国内の記録品は 1961 年 1 月に運開した黒部川第四発電所で落差が 580m、単機出力が 95.4MW(×4 台)で現在も順調に運転されています。

海外での記録品はスイスの Bieudron(ビュードロン)発電所で、落差が 1,883m、単機出力が 423MW(×3 台)にも達します。この発電所への据付当初は水圧管路の損傷不具合が発生したため運用開始が計画より大幅に遅れましたが、2010 年に全号機無事に営業運転が開始されています。

(2) 性能[77]

ペルトン水車は衝動水車の一つです。衝動水車は水のエネルギーを噴流(ジェット)という速度水頭に変換してランナ(ペルトン水車ではバケットとも言う)を回転させる流体機械で、基本的にはランナは空中で回っています。図-5.3.12 にペルトン水車の比速度と有効落差の関係を示します。

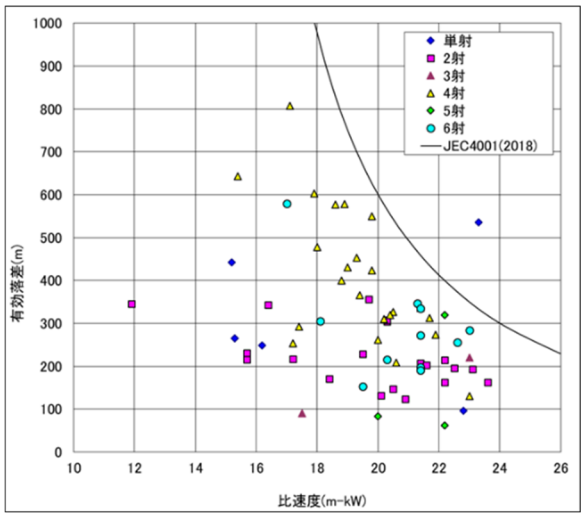


図-5.3.12 ペルトン水車の比速度と有効落差

---

[76] 出典）ハイドロタービン ターボ機械協会 日本工業出版 平成 19 年 8 月

[77] 出典）大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 5 回 水車・発電機等の種類と概要-講座」電力土木 2020 年 3 月 No.406

この図中に JEC4001(2018)と実線で示されている曲線は、国内のメーカーが国内外に納めた水車の実績よりまとめた経験式で、与えられた有効落差よりこれ以上高い比速度を選んではならないという限界値を表しています。また、図中に○射と識別しているのはノズル数を意味していますが、これは次項の種類で説明します。図-5.3.12 より比速度、すなわち定格回転速度は主として有効落差によって決まるものでノズル数は関係ありません。

ペルトン水車の比速度は、式(3)[78]に注釈として水車出力はノズル 1 個当たりと明記しました。ノズル数を Z とし P を単機全出力とすると、ペルトン水車の場合の式(3)は以下のように書き直せます。図-5.3.12 よりペルトン水車の比速度は落差で決まるので、ノズル数を増やすことにより回転速度を高く選定できることから水車全体の大きさを小さくできます。

$$n_s = \frac{n\sqrt{\frac{P}{Z}}}{H^{5/4}}$$

ただし、6 射では隣り合うノズル間隔が狭くなり、ランナ外周のバケットがジェットを受け始めてから排出し終える前に次のジェットが流入し、著しく効率の低下を招くことがあります。これをジェット干渉[79]と言いますが、これにより 7 つ以上のノズル数は世の中に存在しません。

ペルトン水車の一番優位な点はノズル数が 2 個以上であれば、運転するノズル数を切替えることで部分負荷時の効率を改善できる点にあります。図-5.3.13 は二射ペルトン水車のノズル切替えによる水車相対効率を流量比で示したもの[80]です。ノズル切替えにより部分負荷の効率が向上する傾向が認識できます。

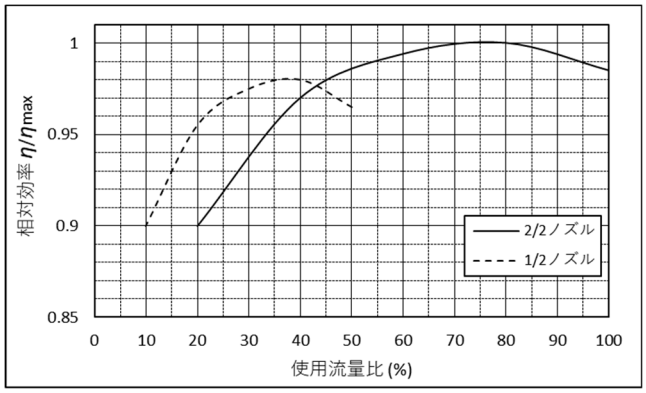


図-5.3.13 ペルトン水車の相対効率

(3) 種類

---

[78] 本テキスト 5 章 3 節(3)①「水車の設計 比速度 水車の比速度」参照

[79] 出典）石井友紀・栃井和彦「高比速度ペルトン水車における高効率ランナの開発」ターボ機械 2016 年 3 月 Vol.44 No.3

[80] 出典）経済産業省資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」

図-5.3.14 にペルトン水車の有効落差と流量の関係を示します。前述したようにペルトン水車のノズル数は 1～6 まで存在し、この図より流量によってノズル数が決められていることがわかります。また、ノズルのレイアウトとして 1～2 射は横軸、4 射以上は立軸、3 射は両方が存在します。

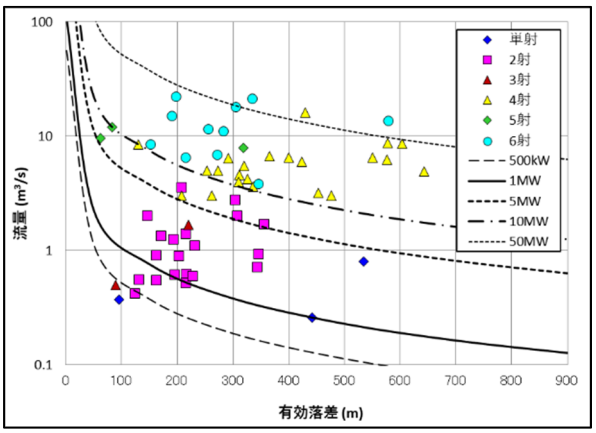


図-5.3.14 ペルトン水車の有効落差と流量

図-5.3.15 に横軸二射の断面図[81]を示します。図中のジェットブレーキとは停止時間を少しでも短くするために、ランナバケット背面に圧力水を作用させる方法ですが、近年の機器に対する安全性向上に伴い省略することが多くなっています。

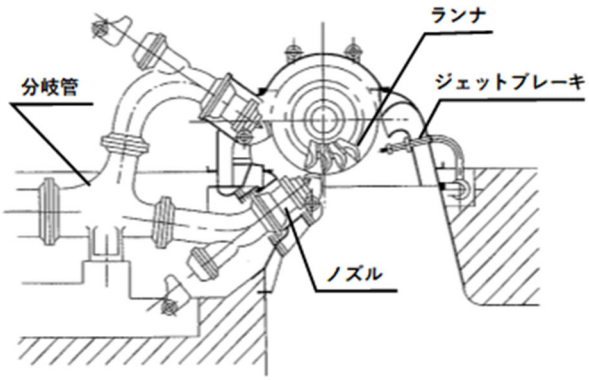


図-5.3.15 横軸二射ペルトン水車

図-5.3.16 に立軸六射の平面図[82]を示します。ケーシング(分岐管とも言う)の末端出口部にノズルが接続され、ここからジェットが噴出しバケットに作用させます。ノズルの中にニードルが設置されており、油圧もしくは電動機にて開閉し流量を調整します。ニードルを動かすサーボモータもしくは電動装置は、ノズルの外側に設ける外装式(図-5.3.15)と中に収納

---

81 出典）JEC-4001:2018「水車及びポンプ水車」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

82 出典）https://voith.com/corp-en/products-services/hydropower-components/turbines.html

する内蔵式(図-5.3.16)がありますが、一般的に大型機が内蔵式、小型機が外装式となります。

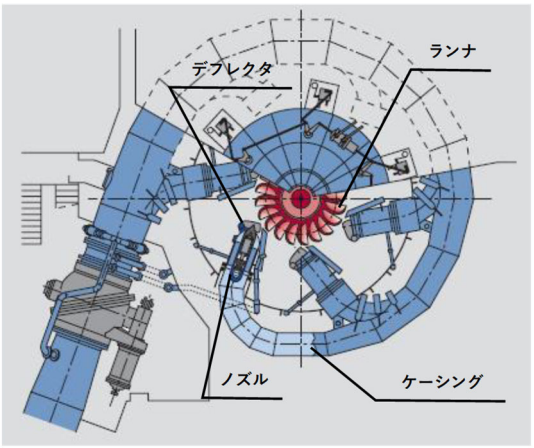


図-5.3.16 立軸 6 射ペルトン水車

(4) 特徴

図-5.3.17 にニードルとデフレクタの概略図[83]を示します。これらはペルトン水車特有の構造物で、デフレクタはノズル出口近傍に設置され、ジェットをランナからそらす役割を果たします。また、負荷遮断時にはデフレクタを閉鎖することにより主機の回転速度は大きな上昇をせずに停止できます。一方で、ニードルは別制御で閉鎖するので、水圧管路条件に即した閉鎖速度とすれば大きな水圧上昇は発生しません。

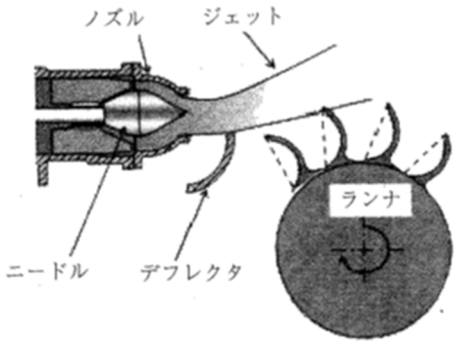


図-5.3.17 ペルトン水車のニードルとデフレクタ

1980 年代前半に米国のカリフォルニア州の水道管路に設置された幾つかの発電所[84]は、落差が 200m 以下でもペルトン水車が採用されており水圧管路の長さが 10km 以上に達するにも関わらず設計の水圧上昇率は数%、ニードルの閉鎖時間は、30 分から 1 時間半となっています。また、1980 年代後半にデフレクタを長時間放流することにより発電所の余水

---

[83] 出典）牧野正廸「ペルトン水車のデフレクタ放流による余水路省略」ターボ機械 2008 年 11 月 Vol.36 No.11

[84] 出典）上田庸夫ほか 2 名「水力発電所におけるサージタンクの省略とその対策」
富士時報 1983 年 8 月 Vol.56 No.8

路を省略できる技術が開発[85]されてから、デフレクタによる同期投入など新しい制御機能も備えるようになり、装置の付加価値が高まっています。

[85] 出典）川澄孝明ほか 2 名「ペルトン水車のデフレクタによる同期並列(余水路省略のための実機確認試験)」富士時報 1988 年 5 月 Vol.61 No.5

5.3.3 ターゴ水車

ターゴ水車の適用落差範囲はペルトン水車とフランシス水車の中間に位置しますが、形としてはペルトン水車に近い機種となります。ターゴ水車・発電機の鳥瞰図を図-5.3.18[86]に示します。

ランナへの導水はペルトン水車と同じノズルにより行われています。ペルトン水車のジェット流はランナに対して接戦方向に当てられますが、ターゴ水車はノズルからのジェットがランナディスク面に対して約 25° の角度になっています。このことにより、ペルトン水車で問題になるジェット干渉が改善されるので回転速度を高くすることができ、全体の大きさを小さくできます。

ただし、この水車は限られたメーカーしか設計・製作ができないため、国内の導入実績はそれほど多くありません。

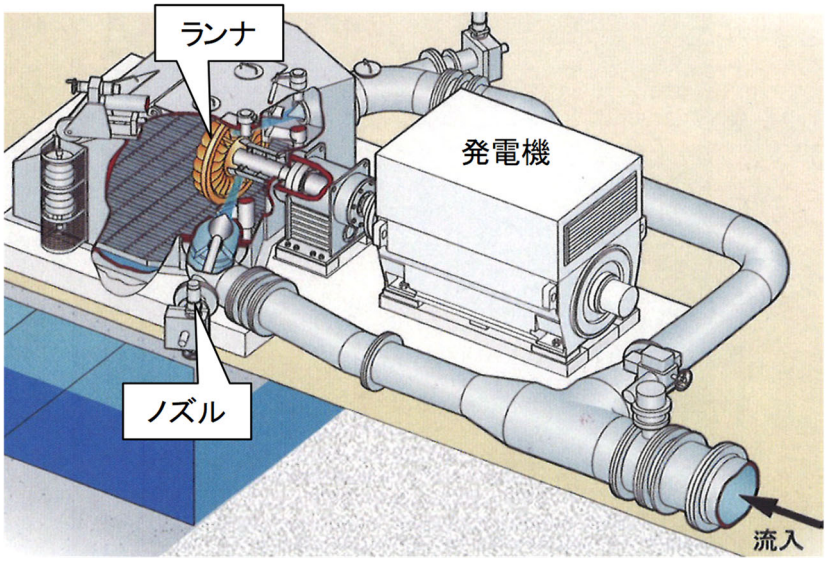


図-5.3.18 ターゴ水車の鳥瞰図

86 出典）田中水力株式会社「製品紹介 ターゴ水車」<http://www.tanakahydro.jp/products/>（2022.1.31 閲覧）

5.3.4 クロスフロー水車

(1) 歴史

この水車型式については 1903 年にオーストラリアで生まれた Anthony Michell(1870-1959)が特許を出願していますが、彼はその後欧州各地に在住したので複数の国籍が記されることがあります。Anthony Michell はこの特許を出しただけですが、水車そのものの発明者とする人も存在します。なお、発明者については 1917 年にハンガリー人の Donát Bánki(1859-1922)が大学でクロスフロー水車の実験を行ったので、彼を発明者とする人もいます。また、国によってはクロスフロー水車を彼の名前をとって「バンキ水車」と呼ばれています。　その後の 1933 年にはドイツ人の Fritz Ossberger(1877-1947)が Cross flow turbine という名称で特許を出願しました。当時、クロスフロー水車という名前は今で言う商標登録と同じ扱いだったので、しばらくこの名前が使えませんでした（なお、Ossberger と Michell は親しい間柄でした)。

(2) 性能

クロスフロー水車の有効落差は以前まで定義されていませんでしたが、現在の JEC-4001(2018)では式(12)で定義されています。

$$H = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\rho g} + \frac{{v_1}^2}{2g} + (z_1 - z_2) \qquad \cdots(12)$$

ここで、p_{abs}:絶対圧力(Pa)

z:標高(m)

添字 1:高圧側指定点

添字 2:低圧側指定点

クロスフロー水車は衝動水車として扱われているので、図-5.3.19 に示すとおりペルトン水車と同様にランナ中心と放水面までの距離は無効落差となります。

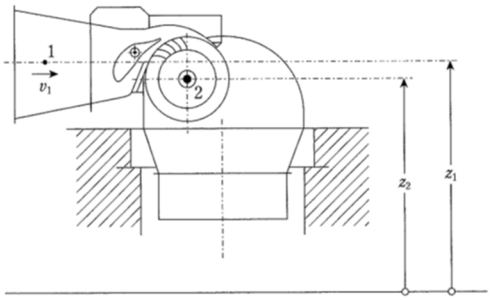


図-5.3.19 高圧側指定点と低圧側指定点[87]

図-5.3.20 に示すように、ガイドベーンは長さが 1/3 と 2/3 の二枚に分割されているので、

[87] 出典）JEC-4001:2018「水車及びポンプ水車」 電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

切換運転により部分負荷の性能が改善されます。また、水車の最高効率は図-5.3.21 に示すように流量と有効落差の組み合わせで決まっています[88]が、一番高くてもその効率は 81.7%とフランシス水車やペルトン水車と比べれば低い数値となっています。

また、使用流量比に対してガイドベーン（GV）の切換による水車の相対効率が図-5.3.22のように示されています。

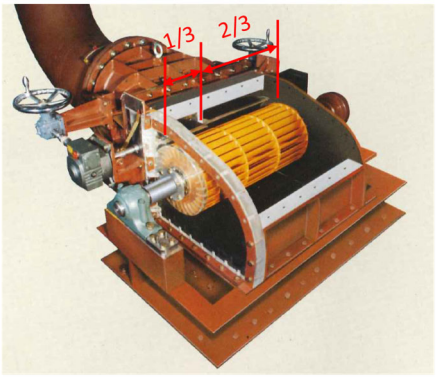


図-5.3.20 クロスフロー水車

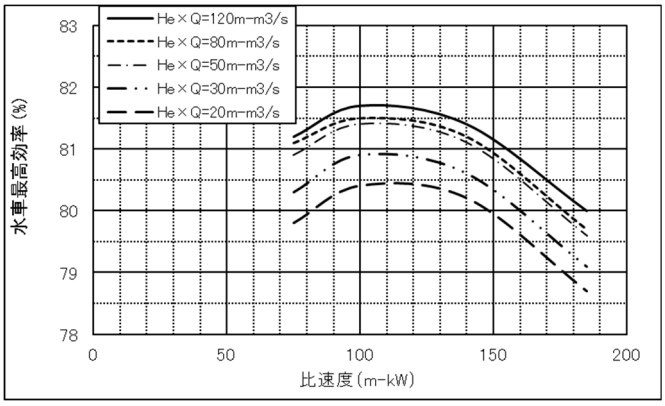


図-5.3.21 クロスフロー水車の最高効率

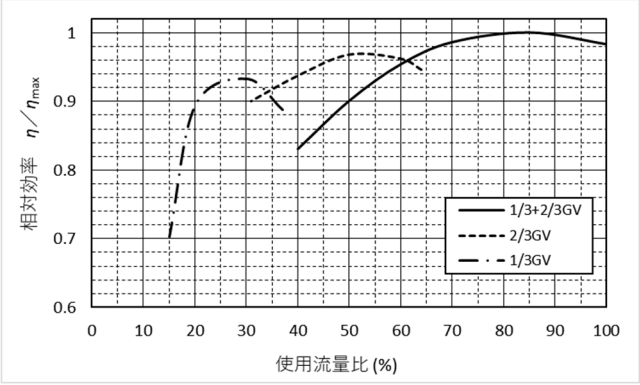


図-5.3.22 クロスフロー水車の相対効率

88 出典）経済産業省資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」

(3) 特徴

オズバーガー社の資料によると最高落差は 200m まで適用できるとされていますが、一般的に適用できるのは落差 120m以下[89]と言われています。また、最大出力は 1,000kW 以下の実績が多くなっています。

ランナには水流によるスラスト力が働かないので、軸受はころがり軸受が採用できます。ケーシング及びハウジング内の空気は、ランナからの噴流で圧力が低下するので、真空防止策としてハウジング上部に空気弁を設置します。また、水車の回転速度が $500min^{-1}$ 以下では増速機を設けるのが一般的[90]で、その場合の発電機の回転速度は 10 極以下とします。ガイドベーンの駆動は電動サーボで行うので開閉時間が長くなります。このため負荷遮断時の速度上昇率は無拘束速度相当とします。

---

[89] 出典）山本昳師・大籔俊司「スルースガイドベーン式クロスフロー水車」明電時報 1991 年 5 月 Vol.220 No.5

[90] 出典）農林水産省農村振興局 整備部設計課「鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電編）」
農業土木機械化協会 平成 26 年 12 月

5.3.5 フランシス水車

(1) 歴史[91]

フランシス水車は 1849 年にアメリカの James Bicheno Francis(1815-1892)により実用化されました。フランシス氏はイギリス生まれで、18 歳でアメリカへ移住し、その後この水車の発明に至りました。フランシス水車は最も一般的な水車で、ポンプでは遠心渦巻ポンプに相当します。

国内の記録品は 1981 年に運開した有峰第一発電所（富山県富山市）で、落差が 430m、単機出力が 266MW で現在も順調に運転されています。

海外での記録品は、中国の Wudongde(烏東徳)発電所で、単機出力が 862MW(×12 台)、ランナ径は 9,705mm にもなる大型のフランシス水車です。この発電所は 2018 年に初号機が運転され、2021 年末に全号機が運転される予定と言われています。

(2) 性能

フランシス水車は反動水車の一つです。この反動水車とは圧力水頭を持った流水をランナ内に通過させ、羽根から出る反動力で回転させる流体機械です。この流水はランナ出口から放水面までの間にある吸出し管によって有効に落差が利用されるため、ランナは水中で回ります。

図-5.3.23 は全流量域における水車の相対効率を比速度別に表したものです[92]。水車の最大出力時の効率を式(13) にて計算し、図-5.3.23 を用いて全領域に換算します。

$$\eta_t = 0.8137 + 0.0192 \times \log_{10}(Pi_{max}) \qquad \cdots(13)$$

ここで、η_t:最大出力時の水車効率

Pi_{max}:理論出力(kW)

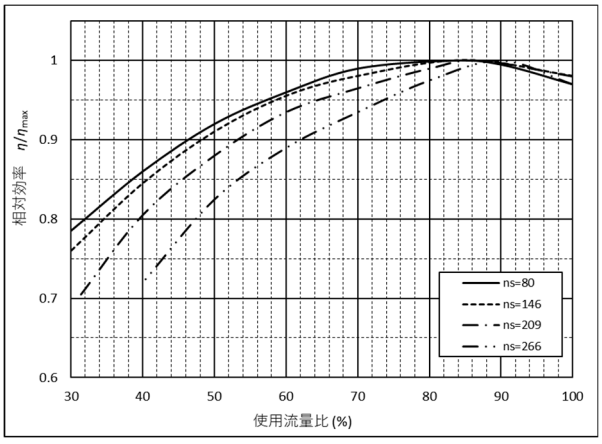


図-5.3.23 フランシス水車の相対効率

---

[91] 出典）ハイドロタービンターボ機械協会 日本工業出版 平成 19 年 8 月

[92] 出典）経済産業省資源エネルギー庁・一般財団法人新エネルギー財団「中小水力発電計画工事費積算の手引き」

(3) 種類

図-5.3.24 に比速度と有効落差の実績を示します。フランシス水車も年々高比速度化していますが、図中の JEC4001(2018)で示されている実線はペルトン水車同様に限界値を意味します。この図中に立軸と横軸で区分けしていますが、横軸は立軸に比べて低い比速度を選定しています。これは停止時でも容易にランナ等の点検をできるように、吸出し高さを+(プラス)にするためです。

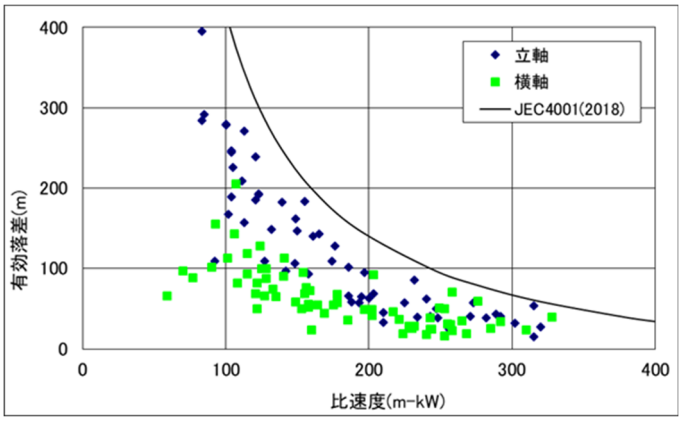


図-5.3.24 フランシス水車の n_s と H の関係

図-5.3.25 は横軸と立軸を識別するために、流量と有効落差の関係を示したものです。これをみると落差により異なりますが概ね流量が 10m³/s 以下は横軸機としている例が多くなっています。

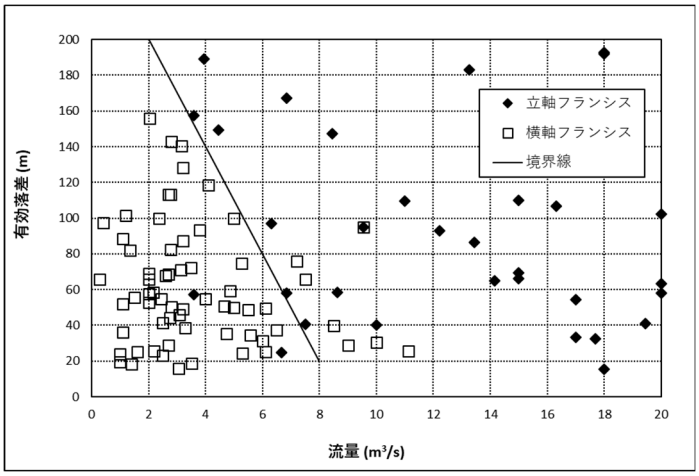


図-5.3.25 フランシス水車の Q(最大使用水量)と H(有効落差)の関係

図-5.3.26[93]は現在も適用されている渦巻ケーシングを有した水車、図-5.3.27[94]は渦巻ケー

---

[93] 出典）JEC-4001:2018「水車及びポンプ水車」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

[94] 出典）JEC-4001:2018「水車及びポンプ水車」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

シングではない形式の水車です。図-5.3.26 の中で最も一般的なのは単輪単流であり、複流はポンプでいう両吸込みに相当し、落差に対して流量が多い場合に適用します。二輪両掛(二連も含む)は部分負荷の運転が多い地点に適用する形式です。

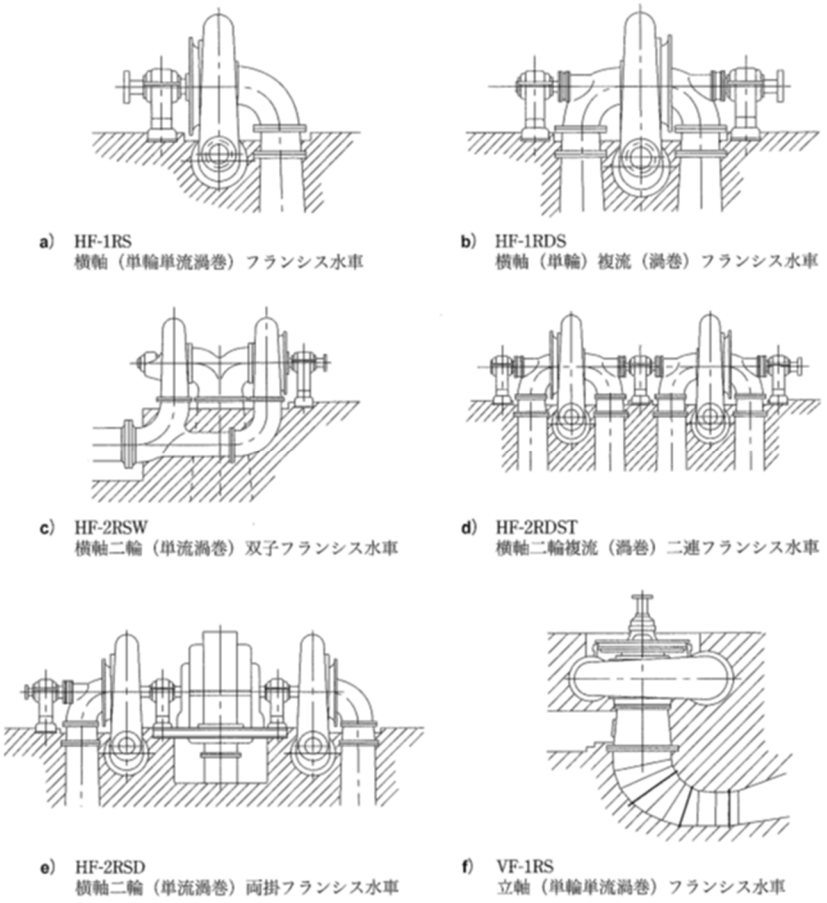


図-5.3.26 フランシス水車の型式（その1）

一方で図-5.3.27 に示す形式は以前に採用されていた形式であり、横軸二輪(単流)前口双子フランシス水車は別名フロンタル水車、横軸二輪(単流)横口双子フランシス水車は別名クロスドラム水車と呼ばれていました。これらは渦巻型ケーシングではないので効率は少し低いものの、円筒形のケーシングなのでコンパクトな設計となって設置面積が小さくなる利点があります。また、露出型はケーシングそのものが無いので安価ではありますが、効率が低く、現在ではほとんど採用されていません。

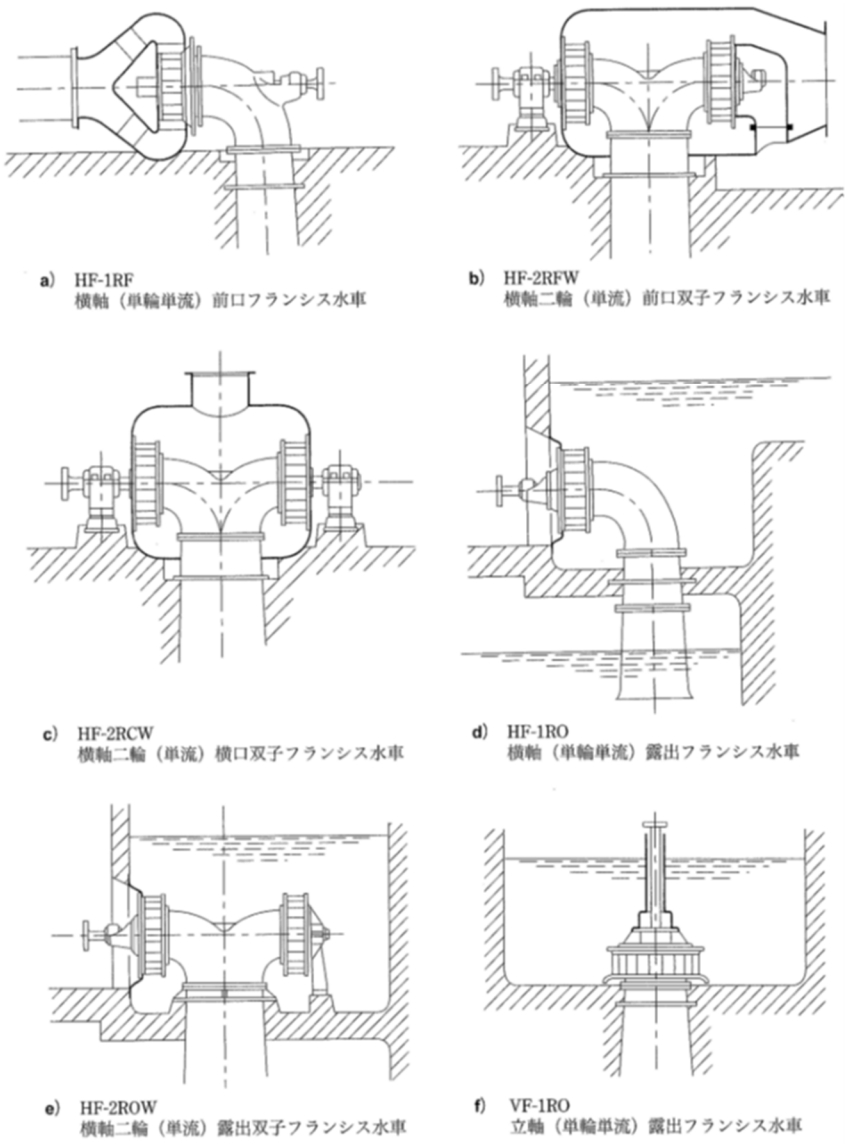


図-5.3.27 フランシス水車の型式（その2）

(4) 特徴

反動水車の吸出し管は単なる水の導管として用いるだけではなく、下記の機能を有する装置です。

- **ランナを放水面上のある範囲内で任意の高さを設けて、ランナと放水面間の落差を有効に利用する。**
- **ランナから放出された水のもつ運動エネルギーを位置エネルギーとして、吸出し管出口の動水頭を効率よく回収する。**

図-5.3.28 に代表的な吸出し管の形状を示します。この中の鉛直形は比較的小さな寸法の立軸機もしくは横軸機に採用されることがあります。

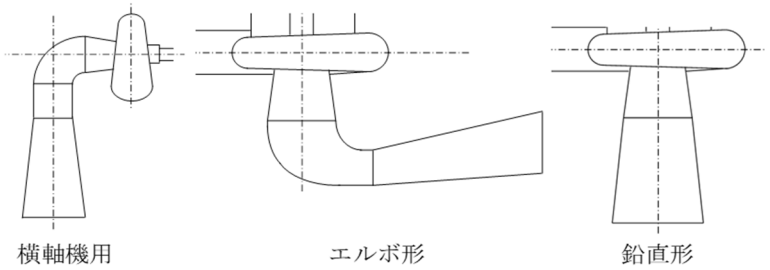


図-5.3.28　吸い出し管の形状

図-5.3.29、図-5.3.30 に立軸[95]と横軸の断図面を示します。フランシス水車は非常に広範囲な領域に適用される水車で、落差としては数 m から 500m(揚水に用いる場合は 800m)、出力では数 kW から 900MW の範囲で実績があります。また、製作台数も水車の中では一番多くコストパフォーマンスが一番優れている水車です。

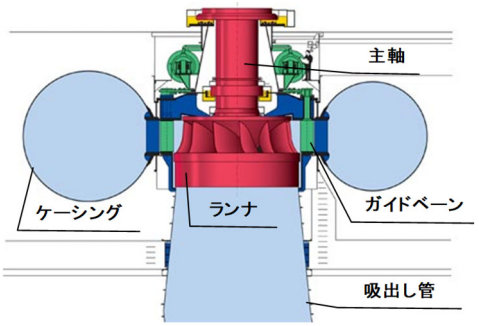


図-5.3.29　立軸フランシス水車

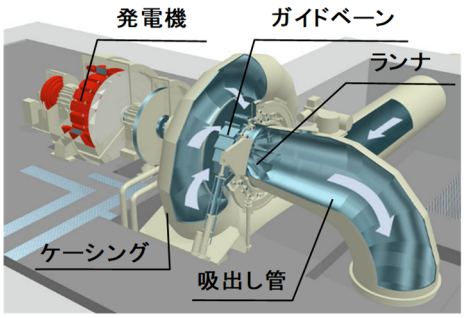


図-5.3.30　横軸フランシス水車

[95] 出典）https://voith.com/corp-en/products-services/hydropower-components/turbines.html

5.3.6 カプラン水車

(1) 歴史[96]

カプラン水車は 1912～1913 年にオーストリアの Viktor Kaplan(1876-1934)により特許 4 件を取得したのが最初と言われています。当時の Kaplan 教授は、チェコのブルノ大学の土木工学研究会で研究活動をしていましたが、教授職をしながら研究活動を精力的に継続し、ついに低落差・大流量に適した画期的なカプラン水車の発明に至りました。その後、1918 年にオーストリアに出力 26kW、ランナ径 60cm のカプラン水車が工場内に設置され、1955 年まで運転されました。

国内の記録品は、1963 年に運用開始した只見川水系の大鳥発電所で、落差 50.8m、流量 220m^3/s、単機出力が 100MW です。この発電所は現在も順調に運転されています。

海外での記録品は、中国の Tianshengqiao(天生橋)第一発電所で、単機出力が 306MW(×4 台)と言われていますが、詳しい情報は不明です。中国では改革開放化される以前にランナ径 8m を超える大形のカプラン水車が数多く建設されたと言われていますが、これもまた現在運転されているのかどうか、定かではありません。

(2) 性能

カプラン水車は反動水車の一つであって、流水が半径方向にガイドベーンを通過したのち軸方向に向きを変えてランナに流入し通過する形式で、ガイドベーンの開度と関連させて自動的にランナベーンの開き角度を調整できるものをいいます。図-5.3.31[97]はあるランナベーン開度を一定とし、ガイドベーン開度のみを変化させた場合の水車の効率とガイドベーン開度及び流量の関係を示します。この各ランナベーン開度で効率の高い所を繋いだ包絡線をオンカムといいます。

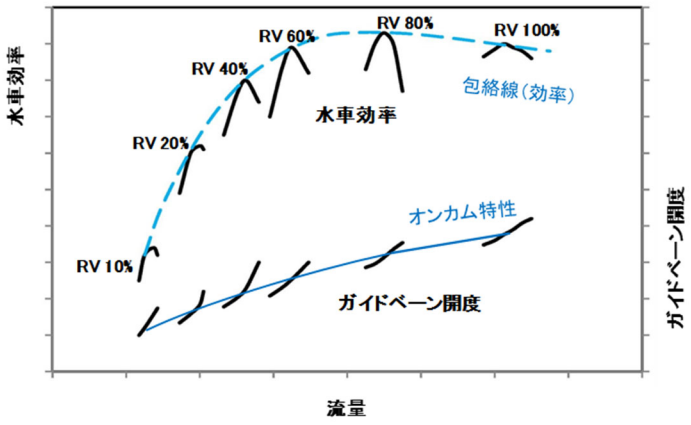


図-5.3.31 カプラン水車のオンカム特性

---

[96] 出典）ハイドロタービン ターボ機械協会 日本工業出版 平成 19 年 8 月

[97] 出典）大和昌一「小出力チューブラ水車・発電機の国内での最近の導入事例について」第 120 回中小水力発電技術に関する実務研修会、新エネ財団、2020 年 12 月

図-5.3.31 は任意の有効落差に対する効率の特性であり、落差が変化すればそれだけオンカム特性が複雑になります。（今日では電気的に制御している）可動羽根が誕生した当時、この特性(＝各落差によるガイドベーン開度とランナベーン開度の組合せ)を木製の立体的なカムを用いて制御していたことが由来して「オンカム」(＝立体カムの上にある)と呼ばれる所以になりました。

オンカム状態は効率が優れている領域なので、水の流れが安定しており、脈動（水圧の周期変動の中で比較的短い周期のもの）や振動は発生していません。これに反してオンカムを外れた領域は「オフカム」と称しますが、流体力学的には非常に不安定な状態で、大きな振動や水圧脈動を発生することが多くなっています。したがって、性能に関しては同じ反動水車であるフランシス水車と比べて部分負荷の効率が高くなります。

(3) 種類

図-5.3.32 にカプラン水車の比速度と有効落差の関係を示します。これにはランナベーンの枚数で比速度と有効落差の関係を区分けしていますが、落差が高くなるとランナベーンの枚数が増える傾向にあります。カプラン水車のランナベーンの枚数は一般的に 4～8 枚となっています。図中の JEC4001(2018)で示されている実線は、前述のペルトン水車やフランシス水車同様に限界値を示しています。

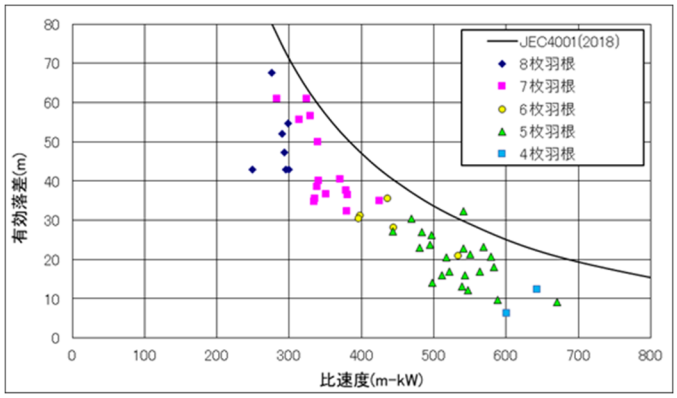


図-5.3.32 カプラン水車の比速度と有効落差

(4) 特徴

図-5.3.33 にカプラン水車の断面図[98]を示します。カプラン水車の構造はランナとケーシングを除いてフランシス水車とほぼ同じです。ランナは主軸と水平方向に設置されるランナベーンと、これを支えるランナボスから構成されています。ランナベーンを駆動するサーボモータは、大型機はランナボス内、中小型機は主軸の途中か発電機の回転子(ロータ)の中に設置されます。

---

[98] 出典）https://voith.com/corp-en/products-services/hydropower-components/turbines.html

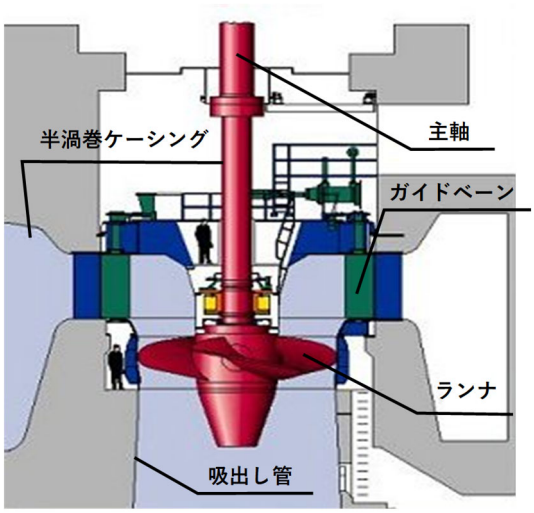


図-5.3.33　立軸カプラン水車

カプラン水車のケーシングはフランシス水車と同じ渦巻形が多いですが、落差が 30m 以下では図-5.3.34[99]に示すようなコンクリート製の半渦巻ケーシングを採用することもあります。ただし、コンクリートには内圧が作用するので強度確保から鉄筋を施さなくてはなりません。最近の日本国内でのコンクリートケーシングの鉄筋や木製型枠の設置コストは高額なので、鋼鉄製薄板の渦巻ケーシングについて、強度メンバーではなく単なる型枠として施工することもあります。

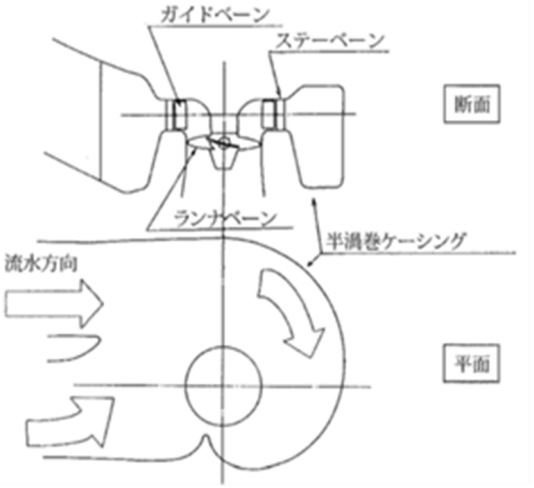


図-5.3.34　半渦巻ケーシング

[99] 出典）ハイドロタービン ターボ機械協会 日本工業出版、平成 19 年 8 月

5.3.7 バルブ水車

(1) 歴史

1930 年から 1933 年にかけてスイスの Escher Wyss 社(現 Andritz 社)より出願された特許申請の概略図[100]を図-5.3.35 に示します。この中の 1933 年 12 月 27 日付けの特許が現在のバルブ水車であり、1936 年ポーランドの Röstin 発電所に据付けられた 168kW の水車 2 台が初号機です。戦後はフランスのローヌ川やドイツ・オーストリアのドナウ川に数多くのバルブ水車が設置されましたが、日本では 1959 年に運転開始された出力 690kW の野村発電所が 1 号機で、その後数多くのバルブ水車が建設されました。しかし、21 世紀に入ってからバルブ水車の採用は、やや下火となっています。

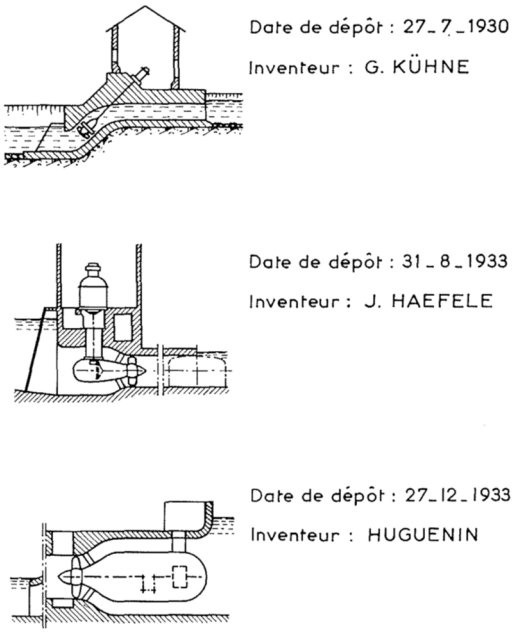


図-5.3.35 エッシャーウィス社の特許

(2) 種類

バルブ水車の比速度と有効落差の関係を図-5.3.36 に示します。図はカプラン水車と同様にランナベーンの枚数で比速度を区分けしていますが、バルブ水車のランナベーンの枚数は 3～5 枚が一般的で落差が高くなると枚数が増える傾向にあります。また JEC4001(2018)で示されている実線はカプラン水車と同じ式となっています。

バルブ水車とはカプラン水車を横軸にしたものですが、ケーシングは円筒型として内側ケーシングの中に発電機を収納しています。この形が球根もしくは電球のような形なのでバルブ(bulb)と称されています。

---

[100] 出典）Costillon, J.,Les groupe bulbes De Röstin en Avignon: L'essor d'une technique, La houille blanche, No.2/3 1973

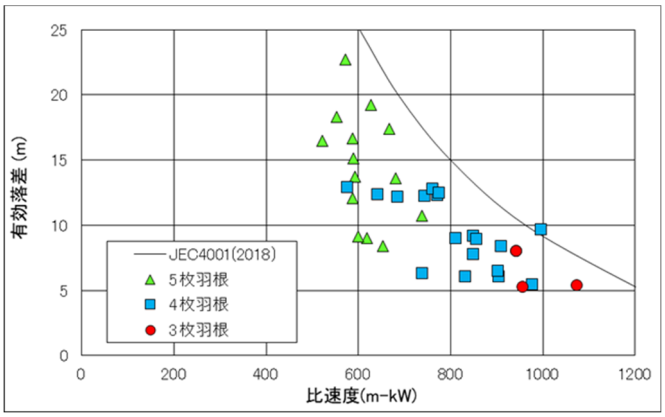


図-5.3.36　バルブ水車の比速度と有効落差

(3) 特徴

バルブ水車の断面図[101]を図-5.3.37 に示します。発電用水の水流は左から右へ流れますが、特徴として、ケーシングが円筒状で渦巻のように旋回流を与えることができないので、ガイドベーンがこの役目(予旋回)を果たすことがあげられます。これにより図-5.3.38 に示すように円錐状の流路にガイドベーンを設置することから、形状としては立体的で複雑なものになっています。大型機では鋼板溶接構造、小型機ではステンレス鋳鋼品でしたが、最近は大型機もステンレス鋳鋼製にすることが多くなっています。

基本的にはバルブ水車は横軸機ですが、21 世紀に入ってから立軸バルブ水車[102]が現れました。この水車は設置スペースが限られた開発地点に向く機械で、単に横軸機が立軸機に代わっただけのものです。

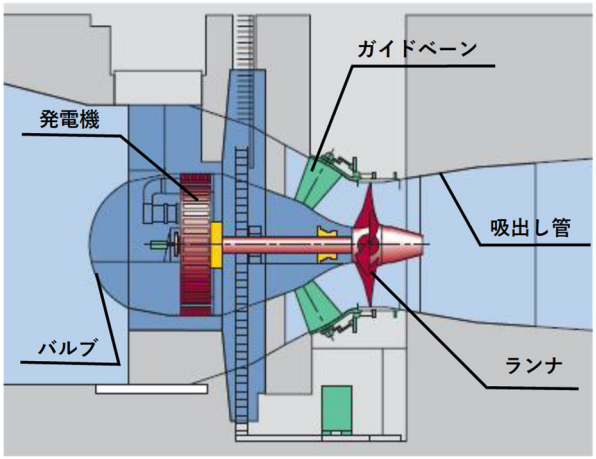


図-5.3.37　バルブ水車・発電機

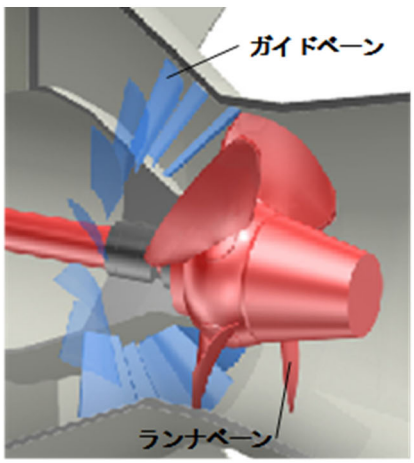


図-5.3.38　ガイドベーンとランナベーン

101　出典）https://voith.com/corp-en/products-services/hydropower-components/turbines.html

102　出典）JEC-4001:2018「水車及びポンプ水車」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

5.3.8 S 形チューブラ水車

(1) 歴史

バルブ水車のところで示した図-5.3.35 の 1930 年 7 月 27 日付けの特許がこの水車の誕生でありますが､実物機はずっと遅れて 1952 年にアメリカのミシガン州に設置された 116kW の水車[103]が 1 号機です。その後に出力が 20MW を超えランナ径も 8m に達する大型機が製作されましたが、図-5.3.39 に示すようにバルブ水車に比べて軸受スパンが長く、回転体の固有振動数(危険速度)が低下して大きな不具合が生じました。このことにより、現在は世界的に小水力向けの水車として特化されています。

日本での初号機は 1983 年に運開した胎内第三発電所[104]（新潟県）で、出力は 2.15MW、発電機は誘導発電機です。その後今世紀になってからも数多くの実績があります。

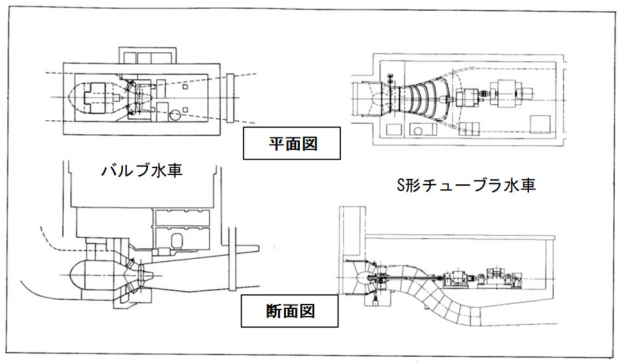


図-5.3.39 S 形チューブラ水車とバルブ水車の比較

(2) 種類

日本国内の S 形チューブラ水車全ての有効落差と最大使用水量の実績をプロットしたものを図-5.3.40 に示します。この中で「立軸」とはバルブ水車同様に S 形チューブラ水車を立軸にしたもので、設置スペースの制約がある場所に適しています。この立軸の S 形チューブラ水車は国内では現在（2022 年 3 月時点）5 個所しかありませんが、海外ではかなり普及しています。

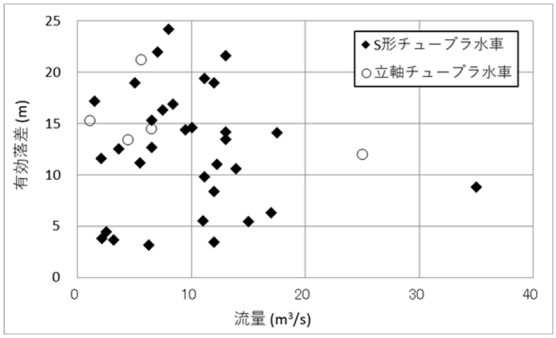


図-5.3.40 S 形チューブラ水車の流量と有効落差

---

[103] 出典）北沢克明・松井弘「S 形チューブラ水車」富士時報 1982 年 5 月 Vol.55 No.5

[104] 出典）新潟県発電管理センター「胎内第三発電所」
<https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/197176.pdf>（2022.1.31 閲覧）

(3) 特徴

S 形チューブラ水車の断面図[105]を図-5.3.41 に示します。発電機は流路の外側に設置されることから発電機の設計の自由度があり、容易に増速機やはずみ車の設置が可能です。また、落差が高くなければ吸出し高さを＋にできるので、ランナ点検など保守面でのメリットがあるといえます。

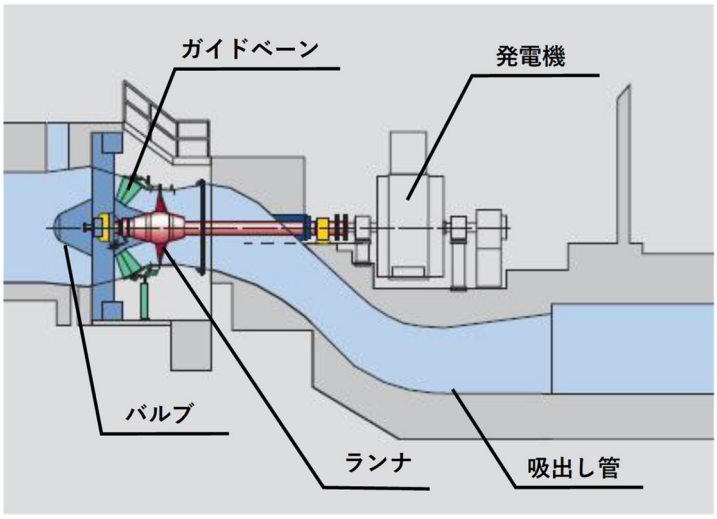


図-5.3.41 S 形チューブラ水車

立軸チューブラ水車の国内で納入された実例を図-5.3.42[106]に示します。この例はエルボ形の吸出し管を用いていて流路形状がアルファベットの Z に似ていることから、ヨーロッパでは S 形チューブラ水車と識別するため「Z 形チューブラ水車」と呼ばれています。

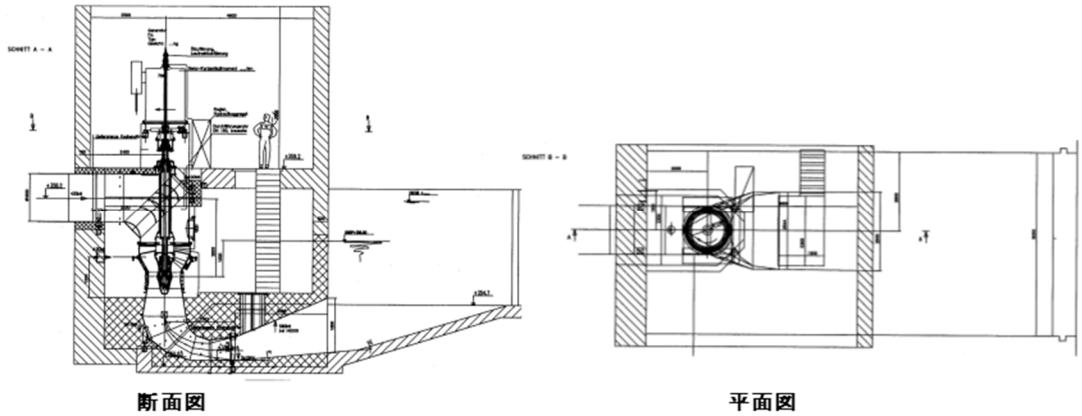


図-5.3.42 立軸チューブラ水車

---

105 出典）https://voith.com/corp-en/products-services/hydropower-components/turbines.html

106 出典）大和昌一「小出力チューブラ水車・発電機の国内での最近の導入事例について」
第 120 回中小水力発電技術に関する実務研修会 新エネ財団 2020 年 12 月

5.3.9 デリア水車

スイス人の Paul Deriaz が 1926 年に発明した主軸に対して斜め方向より流入する水車で、適用される落差はカプラン水車とフランシス水車の中間になる流体機械です。デリア水車とは斜流水車のうち、ガイドベーンの開度と連動して自動的にランナベーンの取付角度が変化できるものと定義されている[107]ので、オンカム運転する可動羽根水車を意味します。

Deriaz 氏は後にイギリスに移住し、移住後にイギリスのメーカーEnglish Electric 社により 1957 年に製作されカナダのナイアガラに設置された揚水発電所がデリア水車の初号機となりました。

デリア水車の模型水車の図面を図-5.3.43 に示します。デリア水車のランナ周り以外の渦巻ケーシングや吸出し管はカプラン水車等と同じ構造となっています。

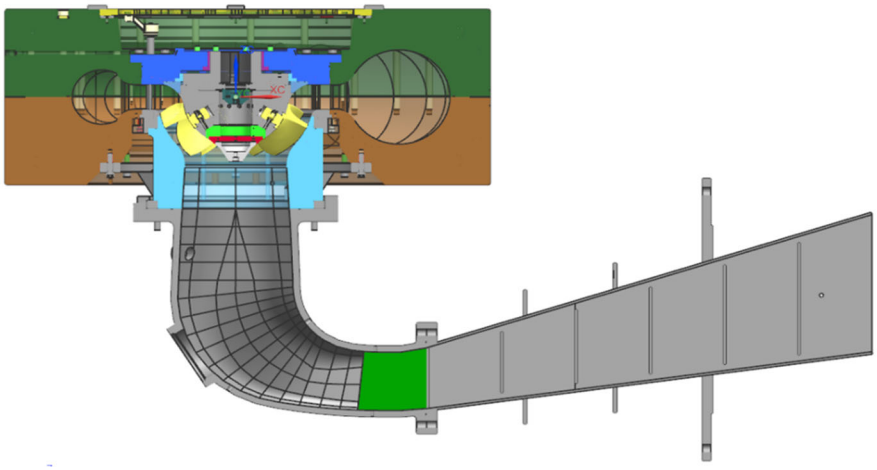


図-5.3.43 デリア水車の模型水車断面図

日本国内に設置されたデリア水車専用機の比速度と有効落差の関係を図-5.3.44 に示します。前述したように初号機は海外（ナイアガラ）ですが、その後国内では揚水を含めると現在（2022 年 3 月時点）34 箇所の実績があります。一方で日本国外での導入実績が余りないのがこの水車の特徴といえます。

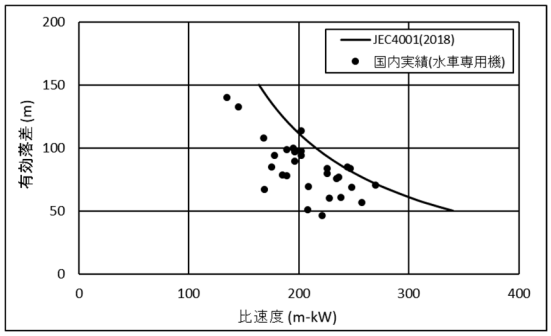


図-5.3.44 デリア水車の比速度と有効落差

[107] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会日本規格協会

また、比速度と運転キャビテーション係数の関係を図-5.3.45 に示します。図中の Water Power (1977)は世界のカプラン水車の実績より想定した近似式でキャビテーション性能に関してはカプラン水車と同等と思われます。

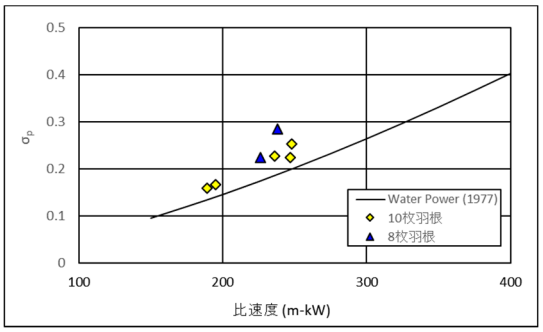


図-5.3.45 デリア水車の比速度とσp

5.3.10 水車の構造

(1) ケーシングとステーリング

ケーシングは、水圧管路の末端に接続される圧力水で満たされた鋼板溶接構造物で、ガイドベーンやランナへ均等に水を導くために渦巻形とする場合が多くなっています。ケーシングの内周部には、ガイドベーンと同数もしくは半数のステーベーンを有したステーリング(スピードリングとも言う)と一体に接続され、水圧や外力に対してケーシングを補強する役目も果たします。

図-5.3.46 に示す朝顔型(ベルマウス形)は以前多く採用されていた形状ですが、1960 年代前半にヨーロッパでは平行型が多く適用されてきました。この構造[108]は外力の着力点を合理的に配置することにより、ステーベーンの応力集中を避けると共に水が平行に流れることで効率が向上します。

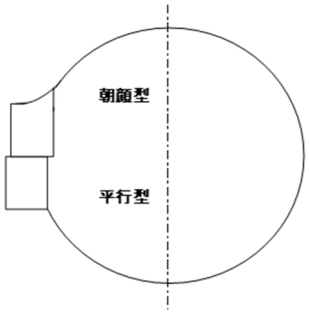


図-5.3.46 ステーリングの比較（朝顔形と平行型）

(2) ランナ

主軸に結合される水車の主要部品で、13%Cr4%Ni のステンレス鋳鋼製が一般的です。図-5.3.47 にフランシス水車の比速度が異なる 3 種類の模型水車のランナ形状を示します。

羽根枚数は、水車専用機では 12～19 枚、ポンプ水車では 5～7 枚とされています。大型機では羽根やその他一部を鋼板溶接構造とすることもありますが、これは近年鋳造メーカーの縮小に伴い、小型機でも溶接構造とすることも理由としてあります。

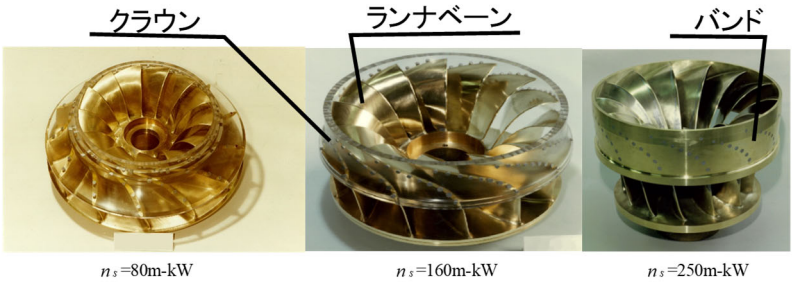


図-5.3.47 フランシス水車のランナ形状

---

[108] 出典）久保田喬ほか 2 名「有限要素法による水車部品の応力解析」富士時報 1973 年 4 月 Vol.46 No.4

図-5.3.48 にペルトン水車ランナの写真[109]を示します。ペルトン水車のランナは円板のディスクとその外側に 15～22 枚のバケットで構成されています。以前のランナはバケットとディスクを別々に製作し、ボルトで結合している構造もありましたが、バケット付け根の繰り返し応力での破損事故が多発し、現在では一体構造が主流です。

フランシス水車やカプラン水車のランナは連続的な圧力水が作用するので、一般的に繰り返し応力は発生しません。これに反して衝動水車は空中にて回転しているランナにノズル等からの噴流が不連続に作用するのでランナには繰り返し応力が生じるのが特徴です。

図-5.3.48 ペルトン水車のランナ

図-5.3.49 にカプラン水車ランナの概略図を示します。この構造はバルブ水車のランナも全く同じで、羽根枚数は落差に応じて 3～8 枚まであります。ランナベーンはステンレス鋳鋼製ですが、ボスはステンレスと鋳鋼の二種類があります。ただし、その選択基準は特にありません。

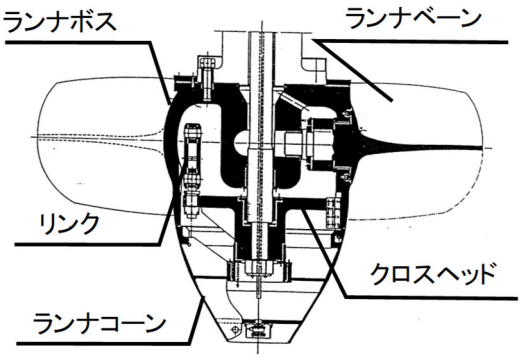


図-5.3.49 カプラン水車のランナ

[109] 出典）山梨県企業局 笛吹川水系発電管理事務所「琴川第三発電所」

(3) 水車カバー[110]

図-5.3.50 に立軸フランシス水車の断面図を示します。水車カバーとしては上カバーと下カバーがあります。上カバーは、フランシス水車、カプラン水車、デリア水車などの立軸機に装備される部品で、ランナ及びガイドベーンの上側に設けられ、ガイドベーンの上部ステムを支持するカバーです。

一方で下カバーは同様にガイドベーンの下部に設けられ、ボトムリングなどを支持するカバーです。なお、ボトムリングは下カバーと一体とすることもあります。

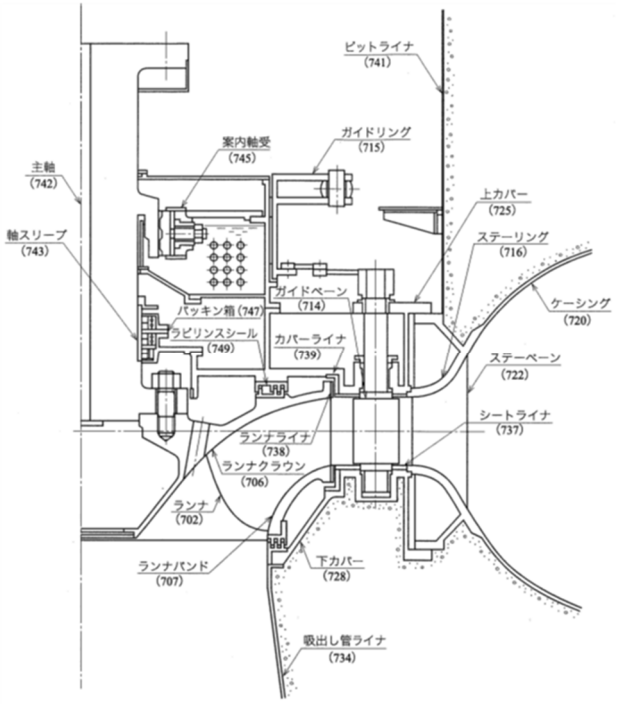


図-5.3.50 立軸フランシス水車の断面図

(4) ガイドベーン[111]

ガイドベーンは図-5.3.50（立軸フランシス水車の断面図）に示したように、ランナ外周のピッチ円径上に 12～24 枚の流線形の断面を有する羽根であり、水を効率的に加速してランナへ導くと共に、ガイドベーン軸を回転させることにより水量の調整も行います。バルブ水車及び S 形チューブラ水車のガイドベーンは図-5.3.38 で説明したように円錐状ですが、フランシス水車、カプラン水車、デリア水車などに設置されるものは長方形となります。

軸周りの回転はガイドベーン軸端に取付けられたアーム、リンク機構を介してガイドリングを経て連結された油圧または電動サーボモータにより行われます。ガイドベーン軸受

---

[110] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」 日本工業標準調査会 日本規格協会

[111] 出典）ハイドロタービン ターボ機械協会 日本工業出版 平成 19 年 8 月

や開閉機構の摺動部は、固形潤滑剤(PTFE:四フッ化エチレン樹脂)を埋め込んだ無給油軸受を用いています。図-5.3.51 には無給油軸受の写真[112]を示しますが、左側の黒色の潤滑剤は強度向上のために鉛や銅の粉末が添加されている古い軸受です。一方、右側の青い潤滑剤は環境面から有害物質を含まない鉛フリー固体潤滑剤で 21 世紀より使われ始めたものです。

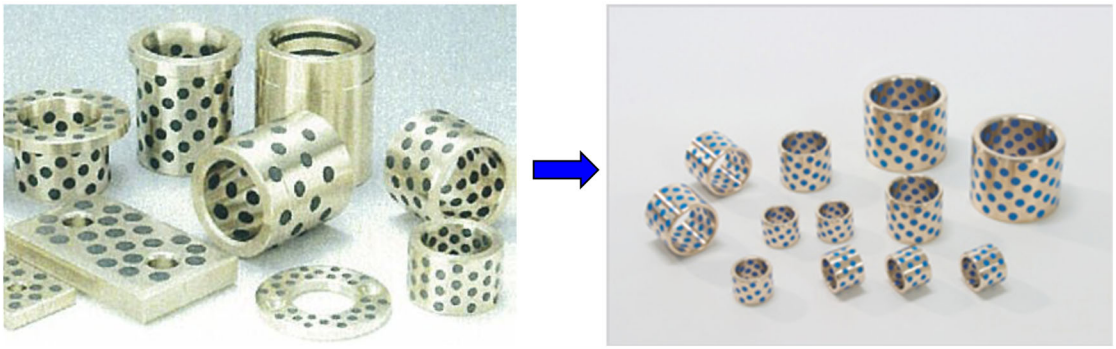


図-5.3.51 無給油軸受

[112] 出典）オイレス工業株式会社「製品一覧（材質構成別）」
<https:/www.oiles.co.jp/bearing/oiles_bearing/product/>（2022.1.31 閲覧）

5.3.11 入口弁

電気事業法で規定される「発電用水力設備に関する技術基準を定める省令」の第三十三条第１項により、水力発電所には入口弁を設置しなくてはなりません。ただし、この省令に記載されている別の方法を採れば省略も可能です。以下に入口弁の種類を概説します。

(1) 蝶形弁(バタフライ弁)

落差 220m 以下に適用される最も一般的な弁です。口径 2m 以上では、油圧もしくは水圧にて開閉し、口径 2m 以下では一般的に電動にて駆動されます。図-5.3.52 に小水力などに適用される汎用品の蝶形弁の説明図[113]を示します。

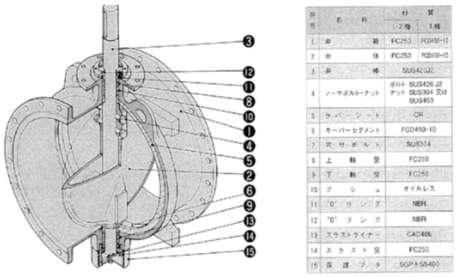


図-5.3.52 蝶形弁

(2) 球形弁(ロータリー弁)[114]

弁胴が球形をし、流れ方向に直角に設けられた軸を中心として、弁座をもった管状の弁体が回転するバルブ(弁：valve)です。その構造を図-5.3.53 に示します。一般的に落差は 250m 以上に適用され、油圧もしくは水圧にて開閉されますが、小口径では電動となります。

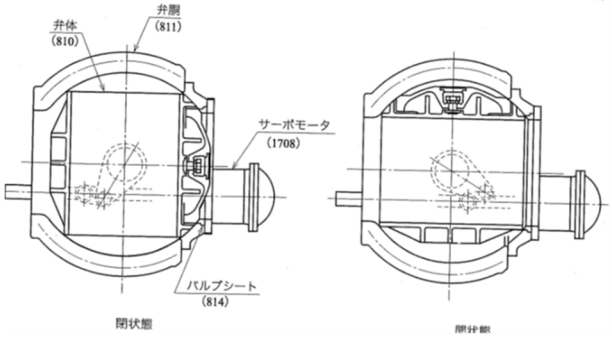


図-5.3.53 球形弁

(3) 複葉弁(バイプレーン弁)[115]

図-5.3.54 に複葉弁の構造断面図を示します。弁の操作方式や漏水防止装置は蝶形弁と同じだが、ゴムパッキンの取付け位置が弁軸の影響を受けないので漏水量が蝶形弁より少なくなります。また、弁軸を弁体中心より僅かに偏心させ、全閉時の水圧荷重が弁体に閉まり

---

113 出典）クリモト水道用バタフライ弁(カタログ) 株式会社栗本鐵工所

114 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会 日本規格協会

115 出典）ハイドロタービン ターボ機械協会 日本工業出版 平成 19 年 8 月

勝手に作用するような構造を採ることが多くなっています。口径により適用される落差は異なりますが、適用範囲は 300～400m 以下と言われています。

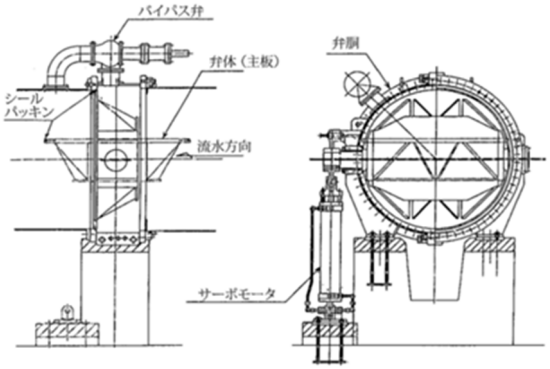


図-5.3.54 複葉弁

(4) 仕切弁(スルース弁)[116]

仕切弁は図-5.3.55 に示すように板状の弁体が流水方向と直角に動く弁で、ストロークは弁口径と同じです。適用される落差は球形弁とほぼ同じ高落差ですが、口径は小さい小流量に適用されます。

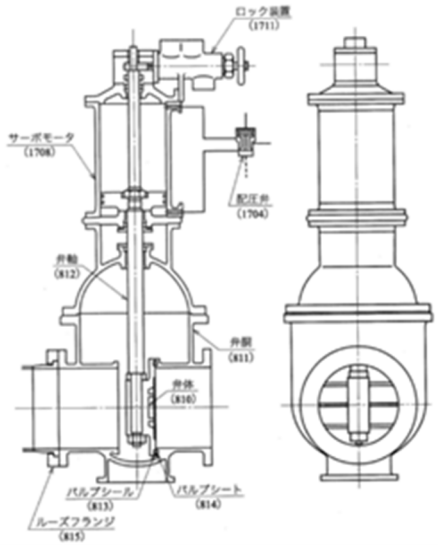


図-5.3.55 仕切弁

(5) 側路弁(バイパス弁)

主弁を開放する前に開いて、主弁の前後の水圧を平均させる弁で、比較的に低い落差の中小容量機では省略される場合もあります。形式としては流水開弁や流水遮断が行われるので、ニードル弁や玉形弁とすることが多いですが、蝶形弁を適用されることもあります。

---

[116] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」 日本工業標準調査会 日本規格協会

国内での水車の出力の式は、$\rho g \times 10^{-3} QH\eta \fallingdotseq 9.8QH\eta$ で与えられます。これは国際標準値の重力加速度 9.80665 に淡水の密度を 1000kg/m^3 と仮定しています。他方、国際的には、発電所地点での重力加速度と、標高及び水温で水の密度を決めて計算するやり方もあります。このため、特に海外で商談する場合には注意が必要です。

5.4 発電機の設計

5.4.1 電気設計[117]

(1) 三相交流電力と力率

水車発電機は一般的に三相交流機なので、電圧と電流は正弦波で示されます。線間(相間)電圧と相電流の実効値を V 及び I とすると以下の 3 種類の電力が用いられます。

$$\left.\begin{aligned} &\text{皮相電力}= \sqrt{3} \times V \times I \times 10^{-3}(kVA) \\ &\text{有効電力}= \sqrt{3} \times V \times I \times cos\theta \times 10^{-3}(kW) \\ &\text{無効電力}= \sqrt{3} \times V \times I \times sin\theta \times 10^{-3}(kVAR) \end{aligned}\right\} \cdots(14)$$

ここで $\cos\theta$ を力率といい、θ は電圧と電流の位相差であり、電流は電圧に対して θ (rad) だけ遅れています。これをベクトルで表すと図-5.4.1 に示すとおりとなります。

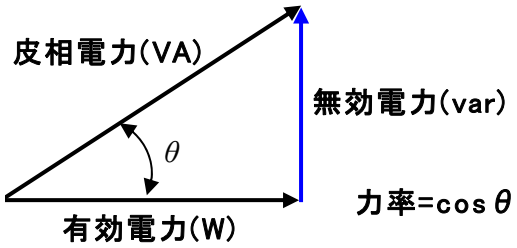


図-5.4.1 皮相電力、有効電力、無効電力

また、式(14)の有効電力は水車の軸出力から変換された電気エネルギーに対応します。このため、無効電力は電力に寄与しない無意味な電力と感じるかもしれませんが、電圧を維持するための重要な要素となります。

コンデンサに電気が流れると無効電力が供給され、遅れ力率($\sin\theta \geqq 0$)となり系統電圧を上昇させます。一方で、コイルに電気が流れると無効電力が消費され進み力率($\sin\theta \leqq 0$)となり系統電圧を低下させます。なお、力率は界磁電流の値を変化させることで制御します。

系統側の電源構成や無効電力調整設備の時代的変遷に伴い、近年では高力率化の傾向にあり 0.9～0.95 が採用されています。

(2) 出力、電圧、電流

交流回路は図-5.4.2 に示すように電圧と電流は時間により大きさと極性 (+と-の意) が変わります。また、位相差 θ は電源に繋がる負荷の種類により生じます。同期発電機では皮相電力、誘導発電機では有効電力を出力と言います。同期発電機の皮相電力は式(15)の形でも表すことができます。

---

[117] 出典) 大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 6 回 水力発電の技術用語-講座」電力土木 2020 年 5 月 No.407

$$皮相電力(kVA) = P_t \times \eta_G / cos\theta \qquad \cdots(15)$$

ここで、η_G:発電機効率

送電系統では三相交流回路のため電圧として、相電圧(端子、中性点間の電圧)及び相間(線間)電圧が存在しますが、発電機の定格電圧としては相間(線間)電圧の実効値を言います。高圧の範囲では規格[118] において、3.3kV、6.6kV、11kV が標準として推奨されています。これを超える範囲では標準値は規定されていませんが、13.2kV、15.4kV、16.5kV 及び 18kV が使用されます。経済的な発電機を設計するためには、一般的に出力が大きい機械ほど高い電圧を選定することが望ましいといえます。また、電流は出力及び電圧を用いて式(14)から算出します。

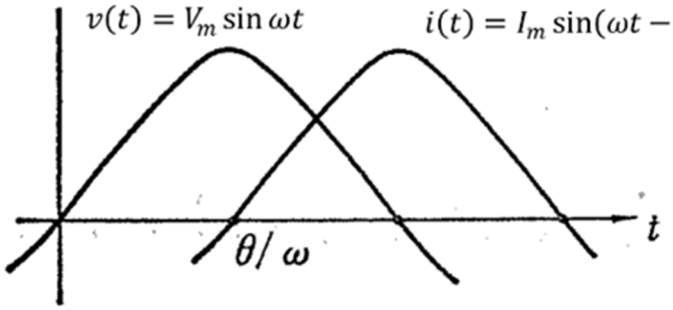


図-5.4.2 交流電圧と電流の波形

(3) 回転速度

水車発電機の大きな特徴として回転速度があります。水車は広い範囲の落差に対応するため回転速度の範囲が非常に広いのが特徴です。水車発電機は超低落差地点を除き、一般的に水車と直結しているので発電機の回転速度も広範囲に適用されます。標準回転速度としては極数で 6～100、回転速度としては 60～1200min^{-1} になります。このような広範囲の回転速度を有した発電機は他には見当たりません。式(16)に極数と回転速度(同期速度)の関係を示しますが、同期発電機の場合はこの同期速度が定格回転速度となります。

$$n_s = \frac{120\mathrm{f}}{\mathrm{p}} \qquad \cdots(16)$$

ここで、n_s:発電機の回転速度(min^{-1})
f:周波数(50 or 60Hz)
p:極数

一方で、誘導発電機の場合は、同期速度よりも早い速度で回転しており、式(17)で定義されるすべり s を用いると回転速度は式(18)で表されます。

---

118 出典）JEC-2130:2016「同期機」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad \cdots(17)$$

$$n = (1 - s) \times n_s \quad \cdots(18)$$

(4) 短絡比

短絡比とは系統擾乱に対する同期機の安定性を表す指標で、定格速度において無負荷で定格電圧を発生するのに必要な界磁電流を、固定子巻線三相短絡状態で定格電流を流すのに必要な界磁電流で割った値をいいます。短絡比の逆数は、定常状態時の発電機の内部インピーダンスに対応するので、短絡比が大きい機械ほど、系統側の擾乱に対する安定度が高い機械となりますが、一方で発電機寸法は大きくなるため不経済な機械となります。

近年は安定度の向上に寄与する即応度の高い励磁装置が用いられるようになったことから、0.8 程度の短絡比が採用されています。

(5) 絶縁種別と巻線温度上昇

金属材料は発電機内の温度レベルでは劣化しませんが、巻線に使用される絶縁システム（絶縁材料）は有機材料を含むため比較的低い温度で劣化が進行します。このため表-5.4.1 に示すように耐熱クラスと許容温度上昇限度が規格[119]により規定されていて、一般に耐熱クラスとして、155(F)が用いられます。なお、大容量の発電機では耐熱クラスに対し 1 段低い 130(B)クラスの温度上昇を適用することがあります。

表-5.4.1 温度計法による測定時の温度上昇限度（単位は K）

耐熱クラス	温度上昇限度(注)
105(A)	65
120(E)	80
130(B)	90
155(F)	115
180(H)	135

注）埋込温度計測法による出力 200kW(または 200kVA)超過、5000kW(または 5000kVA)未満の同期機の電機子巻線

(6) 励磁装置

界磁巻線に直流の界磁電流を供給する装置を励磁装置といいます。現在、水車発電機で用いられているのはブラシレス励磁方式及びサイリスタ励磁方式の 2 種類です。前者は励磁用の小型同期発電機（交流励磁機という）と整流器で構成され、同期機の界磁電流の制御は交流励磁機の界磁電流制御により行います。交流励磁機は回転電機子形で、主軸に直結され

[119] 出典）JEC-2130:2016「同期機」 電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

た電機子巻線の出力を軸上に設けたダイオードを用いた交直変換回路により直流電流に変換し、同期機界磁巻線に供給します。このため、スリップリングやブラシの保守等の省力が図れます。後者は励磁用変圧器及び半導体電力変換器とで構成される励磁方式で、通常、半導体電力変換器にはサイリスタが使用され、サイリスタの点孤角を制御することよって同期機の界磁電流を制御します。

国内では、ブラシレス励磁方式が一般的ですが、発電電動機等の大容量機ではサイリスタ励磁方式が用いられることもあります。

5.4.2 発電機の種類[120]

(1) 同期発電機

自立運転ができることと励磁の強さを変えることにより発電機端子電圧あるいは運転力率を調整できるため、水力発電設備に最も多く使用されている発電機です。

電力系統と並列運転するには起電力の位相、大きさ及び周波数を一致させる必要があり、同期検定器、電圧調整装置及び調速装置等が必要なことから価格は比較的高くなります。また、小形機の場合は、直流励磁であることからブラシが必要なために保守性が悪いといえます。

(2) 誘導発電機

誘導発電機（特にかご型）は、構造が簡単のため堅牢で保守性に優れていると共に安価であり、励磁装置や同期検定器等の付属設備が不要という利点があります。その反面、電力系統から励磁電流の供給を受けることが不可欠で単独運転に不向きです。

また、始動時の過大な励磁突入電流による系統へ与える影響が大きいことや、定格容量から決まる一定の無効電力を必要とするために低出力での運転では低い力率での運転となることなどの課題があります。

回転速度は電力系統の周波数と発電機の極数によって決まる同期速度より若干高い速度となります（すべりは電動機とは逆に出力に応じた負の値をとるため同期速度より高くなります)。

(3) 永久磁石発電機

原理的には同期発電機と同じですが、直流励磁の代わりに永久磁石を界磁極としたもので、同期機に比較してコンパクトでブラシがないので保守性が良いといえます。

一方で励磁の強さが一定であり発生電圧や運転力率が変えられないので、そのままでは系統連系には適さないのですが、コンパクトで保守性が良く比較的安価なことから、近年小容量発電設備向けの発電機としてパワーコンディショナやインバータ等と組み合わせて採用されつつあります。

---

[120] 出典）大和昌一・相場茂「事業化へ向けたマイクロ水力発電の課題と展望」エレクトロヒート 2004 年 5 月 No.135

5.4.3 発電機の構造

(1) 立軸機と横軸機

軸配置により分類する方法で、回転子の自重方向と同一に軸を配置するのが立軸、自重方向と直角に軸を配置するのが横軸となります。立軸機の場合は、スラスト軸受と案内軸受の配置により、以下の 3 種類に分類されます。

- 普通形：回転子上部にスラストと案内の複合軸受で、回転子下部に案内軸受を配置
- 傘形：回転子下部にスラストと案内の複合軸受で、回転子上部には軸受がない構造
- 準傘形：回転子下部にスラストと案内の複合軸受で、回転子上部に案内軸受を配置

立軸機あるいは横軸機のいずれを採用するかは、水車及び基礎を含む土木側の要求で決定されます。代表的な例として、準傘形水車発電機の断面図を図-5.4.3 に示します。

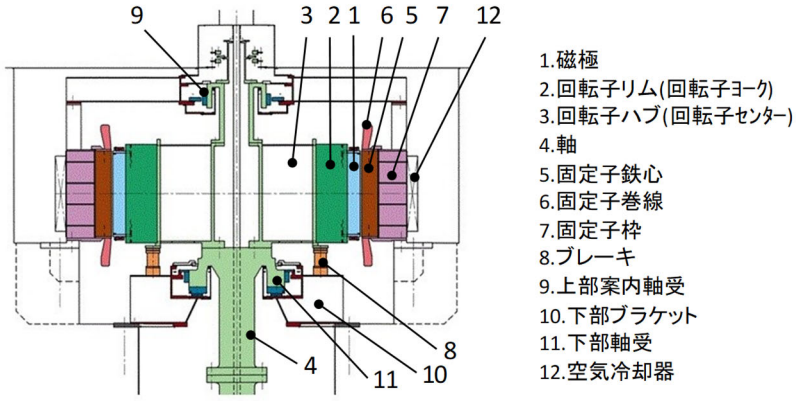


図-5.4.3 準傘形水車発電機断面図

(2) 円筒形と突極形

図-5.4.4 に横軸機、図-5.4.5 及び図-5.4.6 に立軸機の円筒形と突極形の写真と図面を示します。磁極形状により分類する方法として円筒形と突極形の 2 種類があります。円筒形は回転子表面の絶縁されたスロットに界磁巻線を全周に組み込む構造です。一方、突極形は磁極が個々に回転子ヨーク上に突き出た形状で、磁極部に界磁巻線が取り付けられます。水車発電機では突極形が一般的ですが、横軸の小容量・高速機で円筒形が用いられることもあります。この場合、火力・原子力発電用の発電機とは異なり、回転子は塊状鉄心ではなく、固定子と同様、積層鉄心で冷却ダクトを有する構造となります。

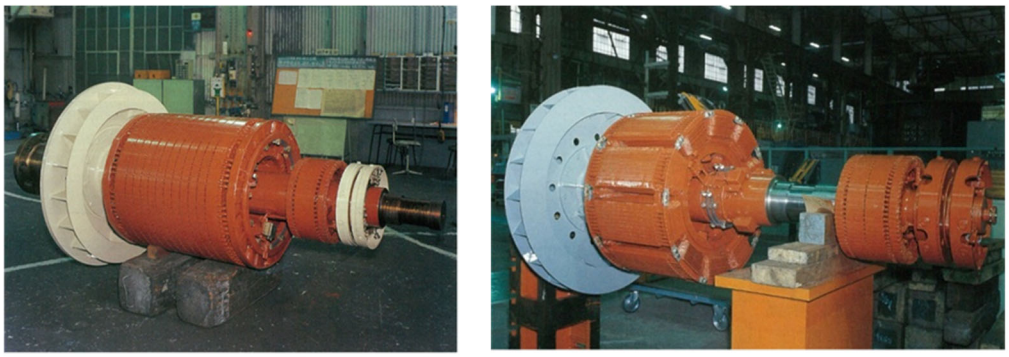


図-5.4.4 横軸回転子の構造

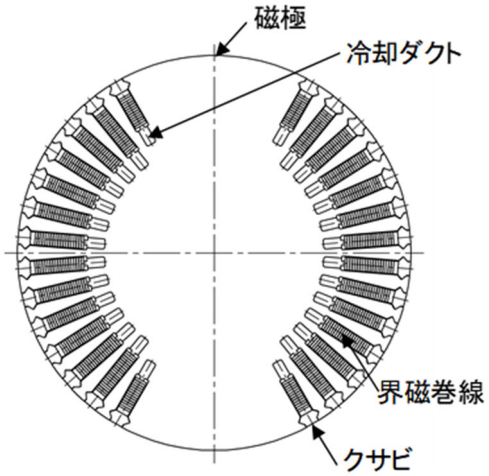


図-5.4.5 円筒形回転子

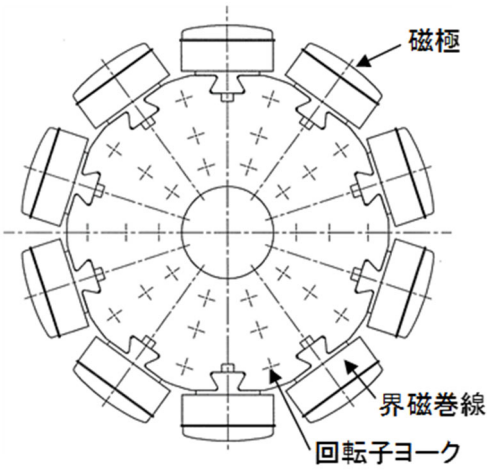


図-5.4.6 突極形回転子

(3) スラスト軸受

立軸水車発電機におけるスラスト軸受は、主軸と結合されて回転するスラストカラーの下部に配置されています。このスラスト軸受は、金属製の台金上にバビットメタルなどの摺動材を持つ構造となっており、回転するスラストカラーは油膜を介して支えられています。スラスト軸受の支持構造は、大きく分類してスプリング式とピボット式の 2 つがあり、スプリング式では多数の小形スプリングを用い、ピボット式では先端部に球面形状などを持つ金属製の突起(ピボット)が用いられています。

ピボット式の代表的なものには、キングスベリー式があります。複数の扇形状のスラスト軸受が配置され、各々の扇形スラスト軸受の底面はシングルピボットで支えられており、隣り合うピボットの荷重が平滑化されるような構造となっています。運転中はスラスト軸受がある程度スラストカラーに対して傾斜を持つことができ、スラストカラーとスラスト軸受の間にくさび状の油膜を形成して円滑な潤滑が行われます。

一方、スプリング式の特徴は、複数の扇形状のスラスト軸受が、各々多数の小形スプリングによって支えられており、個々のスラスト軸受間の面圧が、スプリングのたわみにより平衡するのでピボット式ほど厳密な調整を要しないことが挙げられます。また、スプリングの代わりに皿形状のピボット機能を有した特殊スプリングを設け、スプリング式のように各々のスラスト軸受の面圧が平滑化されると共に、ピボット式のようにスラスト軸受が運転時に適切に傾斜して油膜形成が行われる軸受(ミッチェル軸受：図-5.4.7 参照)も使用されるようになりました。

スラスト軸受は、油槽の潤滑油中に浸されていて、油槽内に設けた水冷管あるいは油槽外部に設置した油冷却器に潤滑油を循環させて冷却していましたが、近年では水ではなく油槽外部の空気を使い冷却する風冷軸受も開発・適用されています。

最近の水車発電機の軸受は、揚水発電に代表されるように、高負荷で高速回転という厳しい条件下で運転されることが多くなっています。このような機器においては、機器の起動時など油膜形成が不十分な状態において軸受摺動材のホワイトメタルを保護するため、スラスト軸受の摺動面から高圧油を噴射するオイルリフターを設置することが一般的でした。このホワイトメタルに代わる材料として、低速時の潤滑性が高く、高圧面下での使用も可能な PTFE（ポリテトラフルオロエチレン）や PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）という樹脂系の軸受[121,122]が使われ始め、オイルリフターの省略が可能な範囲は拡大しています。

---

[121] 出典）タントロンロンほか 2 名「水車発電機軸受への樹脂材料の適用」ターボ機械 2001 年 5 月 Vol.29 No.5

[122] 花橋実「樹脂材料のスラストパッド開発におけるすべり軸受用 PEEK 樹脂の特徴」ターボ機械 2013 年 5 月　Vol.41 No.5

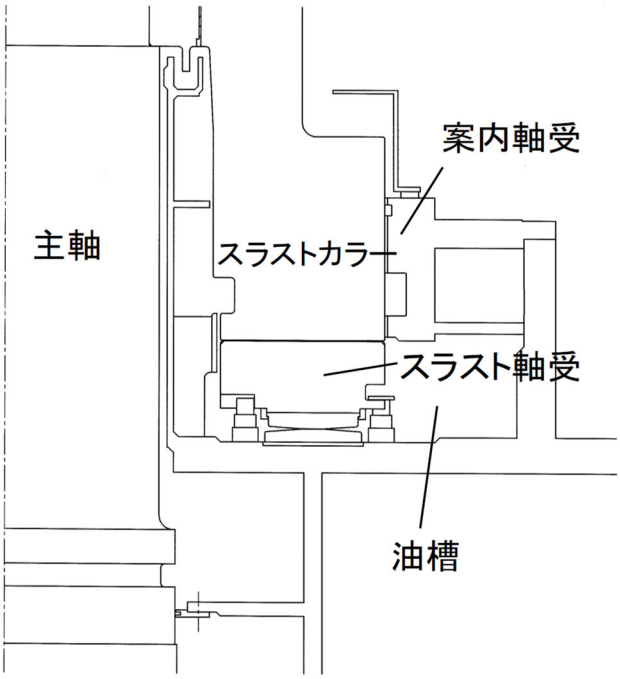


図-5.4.7 ミッチェル軸受

水車発電機の極数は、一般的に 6 から 100 極です。これに対してタービン発電機、コンバインドサイクル発電機、地熱発電機は 2 もしくは 4 極と非常に少なくなっています。水車発電機において、この広範囲な回転速度の設計が、難しい技術の一つと言えます。

5.4.4 冷却方式

(1) 開放形

発電機室内の空気を吸い込み、これを室内に排出する方式で、この通風は回転子に取付けたファンにより冷却を行います。一般に 1MW 未満の発電機に適用され、自由通風形とも言われます。

(2) 全閉管通風形

機械を風胴で囲み、冷却空気の取入れ及び排出に一定の経路を与える方式です。冷却空気を屋外から別の風胴で取入れるものもありますが、普通は室内から取入れ、風胴を経て屋外に放出するのが多くなっています。自由通風形と同様に回転子に取付けた自己ファンにより吸込む構造で、建屋には適当な給気窓を設ける必要があります。一般に 1MW 以上の発電機に適用され、出口管通風形とも言います。

(3) 全閉内冷形

冷却空気を機械及びその周囲に設けた閉回路内に循環させ、空気冷却器で排気温度を低下させ、同じ空気を繰り返し使用する形式です。固定子枠内の通風方法及び空気冷却器の配置方法には各種ありますが、立軸機では冷却器を放射状に配置しています。発電機内温度を外気に関係なく一定に保ち、水によって冷却された空気を清浄に保ちうるので通風ダクトが詰まることもなく、騒音も少なくて、万が一巻線が発火しても外気と遮断されているので消火装置の効果を向上させるなど保守面でも優れた形式です。現在の大型機はほとんどこの方式を採用しており、熱交換器形とも呼ばれています。

参考として図-5.4.8 に水冷の全閉内冷形と風冷の出口管通風形の比較図[123]を示します。

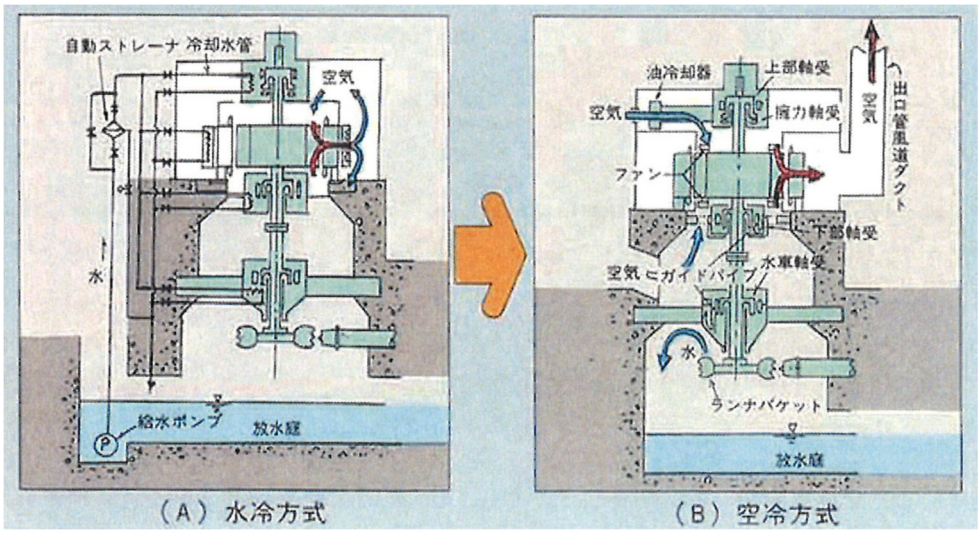


図-5.4.8 水車発電機の冷却方式

[123] 出典）中部電力㈱技術開発ニュース「中容量水力発電所における給水設備の省略」No.66 16 1995 年 10 月

5.5 水車発電機の制御装置

5.5.1 主回路[124]

水車及び発電機以外の主な電気設備として変電設備を含む主回路と水車・発電機の運転に必要な制御・保護装置があります。図-5.5.1 に高圧連系(3.3kV または 6.6kV)の水力発電所における一般的な単線結線図を示します。

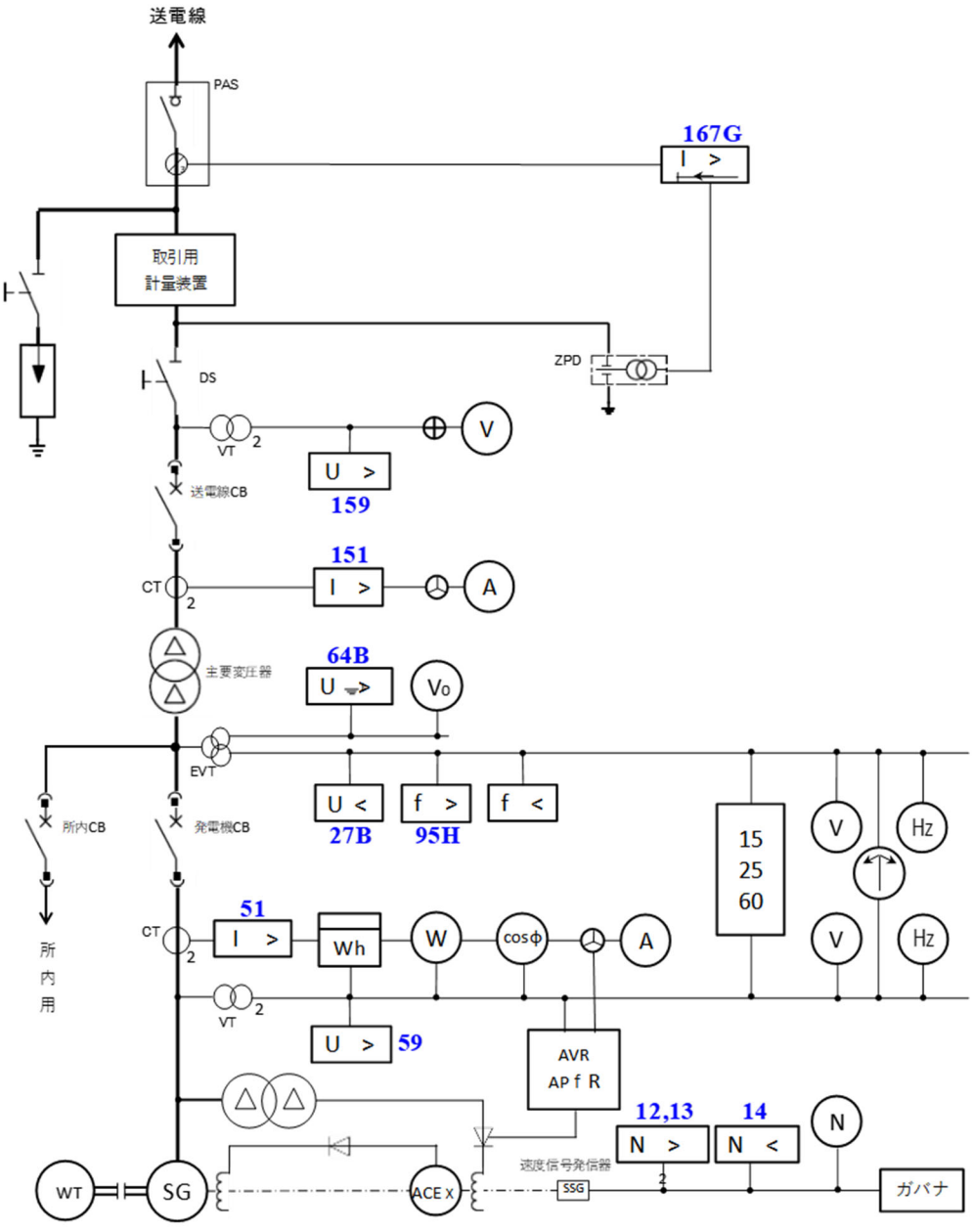


図-5.5.1 水力発電所単線結線図の例

---

[124] 出典）大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 5 回 水車・発電機等の種類と概要-講座」電力土木 2020 年 3 月 No.406

発電機で変換された電気エネルギーを送電線まで送る機器が主回路設備であり、単線結線図は気中負荷開閉器 PAS(Pole mounted Air Switch)から主要変圧器を介して発電機までの機器構成を表しています。

PAS は発電所構内の 1 号柱と呼ばれる電柱に取付けられ、送電事業者(一般送配電事業者、送電事業者、特定送配電事業者)との責任分界点ともなるので、区分開閉器とも呼ばれています。また、発電所構内の地絡事故時に系統への波及事故を防止するために、通常は過電流ロック形地絡方向継電器(SOG : Storage Over Current Ground)機能が付加されています。

PAS より発電機側の主要変圧器は、高圧連系の場合は、発電機側の地絡事故による系統への波及防止のために電力系統と発電機主回路とを絶縁する目的で設置されています。PAS より発電機側の機器は取引用計量装置を除いて、遮断器、断路器、計器用変成器 (VT、CT) 及び励磁用変圧器等は、一般的には高圧キュービクルに収納されます。

5.5.2 系統連系[125](32)

(1) 連系の区分

電圧の区分を図-5.5.2、連系の区分を表-5.5.1 に示します。図-5.5.2 の低圧は、直流で 750V 以下、交流で 600V 以下を意味します。

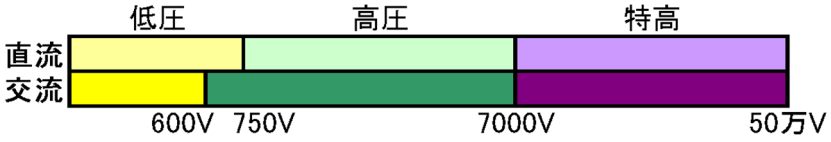


図-5.5.2 電圧の区分

表-5.5.1 連系の区分

区分	低圧	高圧	ｽﾎﾟｯﾄﾈｯﾄﾜｰｸ	特別高圧	下位の電圧連系
電圧	200または400V	3.3または6.6kV	22または33kV	7kV以上でｽﾎﾟｯﾄﾈｯﾄﾜｰｸを除く	
連系可能の内容	50kW未満で逆潮流がない場合	2000kW未満	10MW未満	2000kW以上	発電設備等の出力容量が契約電力に比べて極めて小さい場合には、契約電力における電圧の連系区分より下位の電圧の連系区分に準拠して連系可能

(2) 連系に必要な装置

連系に必要となる一般的な装置を以下に記載します。

① 異常時に発電設備を解列するための装置

連系区分ごとに要求される各種保護継電器ですが、その設置の要否は各発電設備及び系統連系区分により異なります。以下に代表的なものを示します。

- 速度継電器(12,13,14)
- 不足電圧継電器(27B)
- 過電流継電器(51,151)
- 過電圧継電器(59,159)
- 単独運転検出装置(または転送遮断装置)
- 地絡過電圧継電器(64B)
- 地絡方向継電器(167G)
- 周波数上昇継電器(95H)
- 周波数低下継電器(95L)

② 変換装置(低圧連系では必須)

③ 力率抑制装置(力率改善コンデンサ等)

④ 自動負荷制限装置(選択遮断装置等)

⑤ 常時電圧変動抑制装置(SVR、選択遮断装置等)

⑥ 瞬時電圧変動抑制装置(限流リアクトル等)

---

[125] 出典）経済産業省資源エネルギー庁編「電力系統連系技術要件ガイドライン‘98」株式会社電力新報社 1998 年

(3) 系統の安定性

従来の系統の安定性は、同期電源(火力、水力、原子力等)によって維持されてきましたが、再生可能エネルギーの導入が進むと系統に占める非同期電源(太陽光、風力、蓄電池等のインバータ系の電源)の割合が高まり、慣性力が低下し周波数の安定に支障をきたすことになるため、系統の安定性を引き続き維持する方策が重要となります。系統の安定性を表す指標として式(19)で定義された蓄積エネルギー定数[126]があります。

$$H = \frac{J\omega^2}{2S_N} \times 10^{-3}(kWs/kVA) \quad \cdots(19)$$

ここで、H:蓄積エネルギー定数

J:慣性モーメント → 5.3.1(8)④の式(10)中の Iと同じ

ω:定格回転角速度

S_N:定格出力

系統事故等により電源脱落が生じると周波数が急激に低下することになりますが、蓄積エネルギー定数が大きいと周波数低下のスピードが緩やかとなり、調整力の応答する余裕ができて停電するリスクが減じられます。これに対して再生可能エネルギー、特に太陽光や風力発電等の慣性力の無いと考えられている電源が増加すると、系統の慣性力が減じられて系統の安定性が低下し停電するリスクが高まります。海外においては同期慣性応答(SIR:Synchronous Inertia Response)や瞬間的な非同期電源比率(SNSP : the System Non-Synchronous Penetration)等を用いて慣性力を管理しているケースもあります。

一方、国内においては電力広域的運営推進機関(OCTTO)及び新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)により、同期調相機の設置の検討や疑似慣性機能を具備したインバータ等の技術開発を進めていて、同期発電機の減少に伴う慣性力不足等の技術的な要因により、系統の突発的なトラブル時に生じる広範囲の停電リスク等の防止に備えています。

[126] 出典）JEC-2130:2016「同期機」電気学会 電気規格調査会標準規格 電気書院

5.5.3 運転方法[127]

(1) ガバナフリー運転(調速機運転)

外部から出力調整等の操作を与えずに、回転速度、即ち系統周波数の変動に対して調速装置（ガバナ）自体で調速機特性にしたがって、自動的に出力を調整する運転をガバナフリー運転といいます。回転速度の上昇・低下に合わせて出力を自動的に減増するように制御されるため、系統周波数の安定維持に貢献できます。

(2) 水位調整運転

流れ込み式発電所では季節等により河川からの流入量が変動するため、効率よく水を利用しつつ安定した運転とするには、流入量に応じた出力（水量）を自動的に制御することが重要になります。発電所上流部に設置される水槽（ヘッドタンク）への流入量と水車使用水量の差によりヘッドタンクの水位は増減しますが、この水位の変化に応じて出力を増減することで、流入量に応じた使用水量とすることができます。

(3) 流量調整運転

河川環境の維持を目的として、発電所を通して維持流量を放流する場合があり、このためには落差（有効落差）の変化に応じて変動する出力ではなく、水車の使用流量を直接制御することになります。また、下流側河川の水位増加率を一定値以内に抑制するために、段階的に流量を増加させる制御が求められることがあります。このような目的で与えられた流量設定値に対して水車流量を一致させるように運転することを流量調整運転といいます。流量の検出方法は、主に超音波流量計等の流量検出装置を用いて直接流量を求める方法と、水車の P(出力)-Q(流量)-H(有効落差)特性カーブを利用し出力及び有効落差から流量を求める方法との 2 つがあります。

(4) 応水運転

流れ込み発電所等で発電所の自動化を図るためには、水の流入に応じて自動的に水車・発電機の起動及び停止する機能が不可欠です。このためヘッドタンクへの流入の有無を判断する手段として、タンクに起動水位と停止水位を設け、水位が起動水位以上になった場合に水車・発電機を起動し、停止水位以下になれば水車・発電機を停止させるような運転方法を応水運転[128]と称しています。

(5) 可変速運転

揚水発電所では揚水時の使用電力の調整手段として可変速制御装置を使った可変速運転

---

[127] 出典）大和昌一ほか 3 名「電力土木技術者のための電気技術-第 6 回　水力発電の技術用語-講座」電力土木 2020 年 5 月 No.407

[128] 出典）JIS B 0119:2009「水車及びポンプ水車用語」日本工業標準調査会 日本規格協会

が多く採用されていますが、揚水発電所以外でも落差変動の大きな発電所では、高い効率で運転するために落差に応じた最適速度で運転する発電所がでてきています。これはパワーエレクトロニクス技術の発達により、一次電圧・周波数制御に使用される全容量の逆変換装置がかなり安価にかつ幅広い範囲の容量への適用が拡大してきたことによります。可変速機に適用される可変速制御装置には、主に次の 2 方式があります。

① 二次励磁制御方式[129]

巻線形誘導機（二重給電同期機）を発電機に採用したものであり、回転子巻線（二次巻線）に変換器により可変周波数で交流励磁することで、系統周波数で規定される同期速度と異なる回転速度で運転することができます。

② 全量逆変換（フルコンバータ）方式[130]

主に直流励磁同期発電機や永久磁石発電機(PMG)に採用されるものであり、発電機で発生した交流をコンバータ(Converter)にて一旦直流に変換し、この直流をインバータ(Inverter)にて系統周波数・電圧に合わせた交流に変換して系統に接続します。系統の周波数や電圧に影響されることなく、最適な回転速度で運転することができるのが利点です。

昨今のパワーエレクトロニクスの技術は、日進月歩でその開発力の進歩は著しいものがあります。特に系統安定性に関するインバータの技術開発や汎用品変換機の高出力化については、今後の開発動向を注目する必要があります。

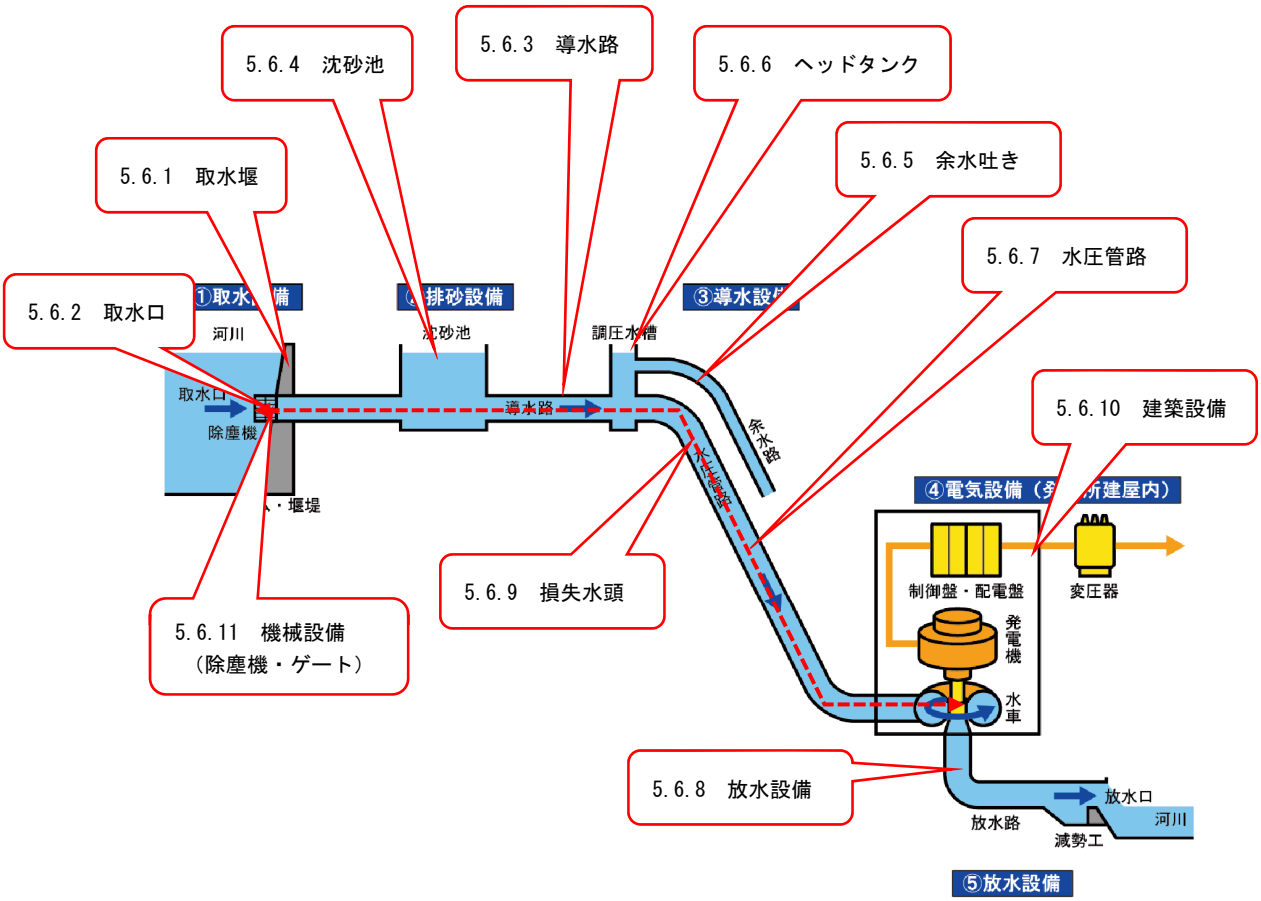
---

129 出典）牧野正廸ほか 5 名「落差変動の大きい中・小水力発電所用可変速誘導発電システム」日立評論 2002 年 2 月 Vol.84 No.2

130 出典）木村宏義ほか 2 名「ポンプ逆転水車および可変速制御に標準品のインバータを利用した朱鞠内発電所」ターボ機械 2014 年 7 月 Vol.42 No.7

5.6 土木･建築･機械設計

本節では 3 章「水力発電所の基本設計」で大まかな位置と配置の設備を決めたのちの土木、建築、機械の詳細設計について概説します。各設備の記載（章立て）は以下のとおりとなっています。



本節の記載の構成[131]

[131] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」平成 26 年 2 月 p.3-3

5.6.1 取水設備

(1) 取水設備の種類

取水設備は、河川を横断して河川水を堰上げし、その水を水路に導き入れるための設備です。そしてその水を取り込む部分の設備が「取水口」、取水口で塵芥などを取り除く設備が「除塵設備」となります。水を堰上げさせるための横断構造物（河川を横断し、かつ高さを持つ構造物）としては、ダム、砂防ダム、取水堰、の３種類があります。

表-5.6.1 取水設備の対応施設[132]

大分類	中分類	小分類	細分類１	細分類２	対応施設		
					水路式	ダム式	ダム水路式
					河川・砂防・農業用水	河川・砂防・農業・上水・工水	河川・砂防・農業・上水・工水
取水設備	取水ダム ※調節池も同様	コンクリートダム	重力ダム			○	○
			中空重力ダム			○	○
			アーチダム			○	○
			バットレスダム			○	○
		土石材料(フィルダム)	アースダム			○	○
			ロックフィルダム			○	○
	砂防ダム	コンクリートダム	重力式コンクリートダム			○	○
			アーチ式コンクリートダム			○	○
		鋼製ダム	鋼製ダム			○	○
		水通し	水通し			○	○
			水抜き孔			○	○
	取水堰	固定堰	固定堰本体(コンクリート)			○	○
		可動堰(ゲート形式)	ローラーゲート			○	○
			ラジアルゲート			○	○
			ローリングゲート			○	○
			スライドゲート			○	○
			ヒンジゲート			○	○
			起伏式ゲート	鋼製起伏式ゲート		○	○
				ゴム引き布製式起伏ゲート		○	○
				ＳＲ合成起伏ゲート		○	○
	取水口	取水口	自然取水方式(流れ込み式)		○		
			チロリアン方式		○		
			堤体穴あけ方式			○	
			サイフォン方式			○	
	除塵設備	スクリーン	フラットバースクリーン	縦スクリーン、横スクリーン	○		○
			防塵柵（フロート型）		○		○
			網式		○		○
		除塵機	レーキ式（チェーン式）		○		○
			走行式（ロープ式）				
			回転ネット式				
			その他	無動力除塵機	○		○
				小型除塵機(ネット型ストレートフロー式)	○		○
				レーキスキップ式	○		○
				Ｌ型スクリーン昇降式	○		○
				パンタグラフ型	○		○
				横スクリーンワイパーレーキ型	○		○

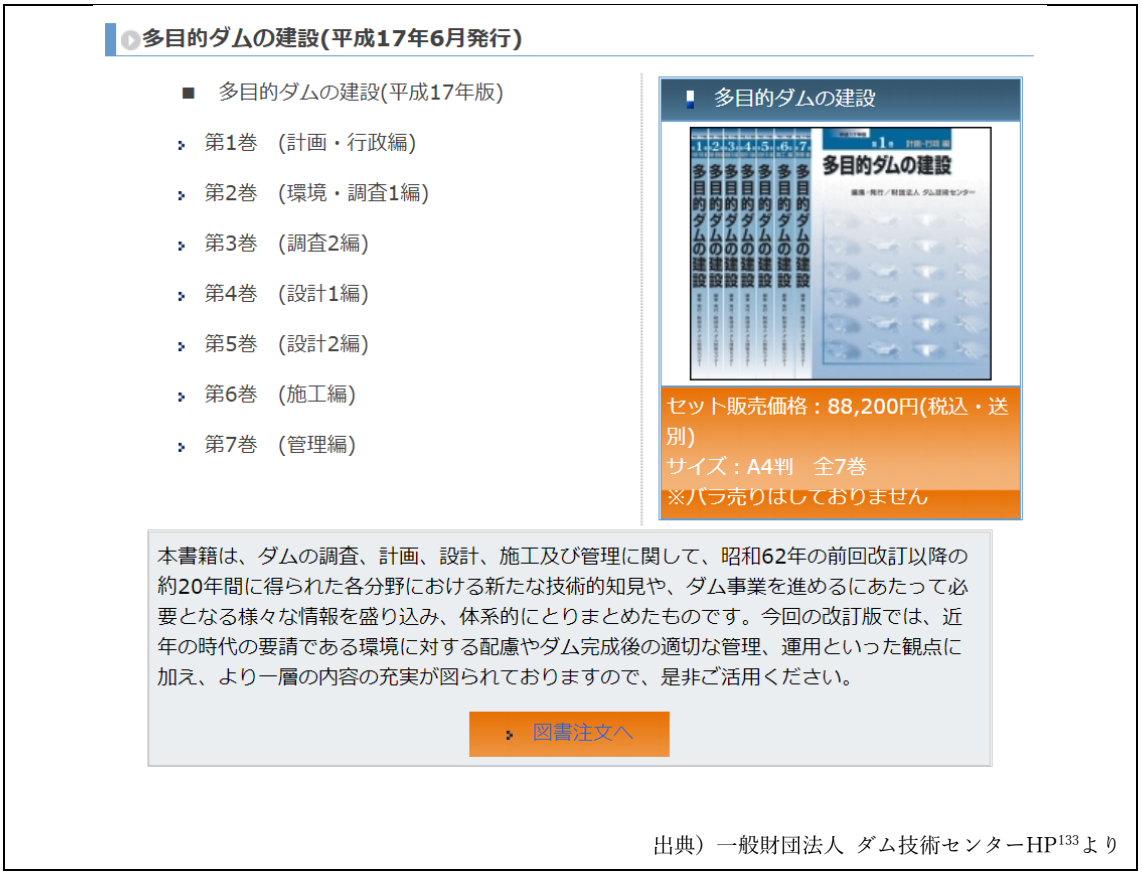
これら取水設備を新規に設計する場合は、ダム、取水堰については河川構造物としての設計基準を満足する必要があります。また、砂防堰堤を新設する場合も同様に、砂防堰堤の設

[132] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力計画導入の手引き」平成 26 年 3 月 p.3-7

計基準を満足する必要があります。ここでは、これら設備を設計する際の各種設計基準について紹介します。

① ダム

ダムとは、いわゆる高さ（基礎面から天端までの標高差）が 15m 以上の河川横断構造物で、いわゆるハイダムと言われるものです。このハイダムはその設計手順が複雑かつ高度であり、基礎面を岩着させないといけない（基礎面を岩盤に乗せないといけない）、大規模な非常用洪水吐きを備える必要があるなど、設備面でも技術的なハードルが高くなります。このダムの設計の詳細については「多目的ダムの建設」に詳しく説明があるため参考にしてください。



出典）一般財団法人 ダム技術センターHP[133]より

ハイダムを取水設備とする場合は、流量観測から始まり、大量の地質調査ボーリング、岩盤強度試験、環境影響評価、基本高水検討（洪水流量の検討）、設計洪水流量の検討、その後の堤体設計、非常用洪水吐き、堆砂対策、ゲート設計などを行う必要があります。さらには施工も大規模となることや仮排水トンネルができるまでは洪水期の施工ができない場合があるなど、完成までの期間が 10 年以上かかることはざらで、20 年以上かかっても完成していないダムもあります。またその建設事業にかかるコストも相当高額となります。このた

133 一般財団法人ダム技術センター「図書出版」
<http://www.jdec.or.jp/03document_and_data/01_public_information/public_information.html>（2022.1.31 閲覧）

め、規模が小さい中小水力発電において取水設備としてダムを新設することは費用対効果の面で難しいことから、これまでの実績では、発電の専門事業者、及び自家用発電設備として大規模な工場を有する企業等が、大規模な水力開発を行う場合に採用することが多くなっています。

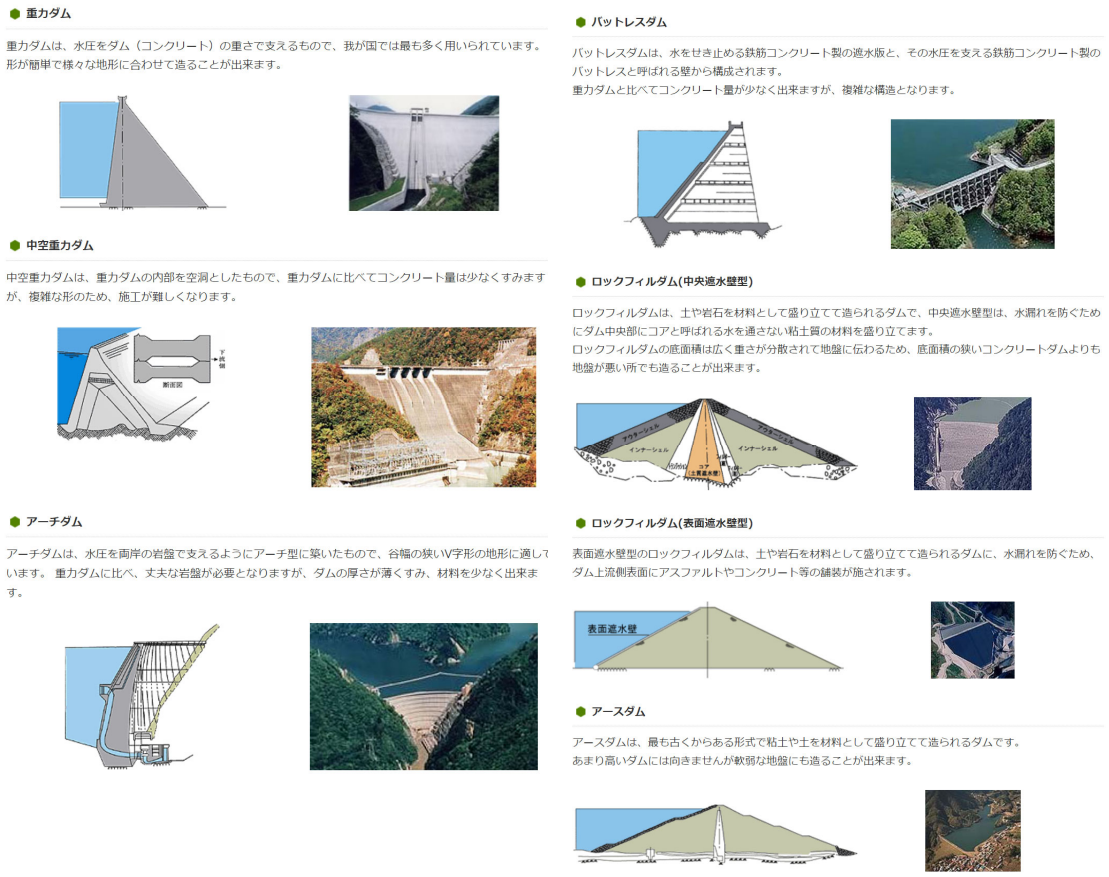


図-5.6.1　ダムの形式[134]

ダムを新設して発電を実施する以外に、国や県が治水や利水を目的として建設するダムに発電の共同事業者として参画するケースも存在します。この場合、コストアロケーションにより算定される費用を負担することになります（完成後の管理費も同様に負担）。

134　出典）経済産業省資源エネルギー庁「水力発電の仕組み　ダムの形式」
<https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/mechanism/dam/>

既に完成しているダム（既設ダム）は既に落差を有しており、放流設備も有していることから、水力発電を追加設置することが可能です。近年、国土交通省ではこの既設ダムを活用した水力発電の導入を進めています。※下図参照

既設ダムへの水力発電設備の導入促進について[135]

[135] 出典）国土交通省「小水力発電の水利使用手続きの簡素化・円滑化等」別紙 2 <https://www.mlit.go.jp/common/000208475.pdf>（2022.1.31 閲覧）

② 砂防ダム

砂防ダムは主に山間部で土石流を捕捉したり、不安定土砂の移動を防止したりするために設置されるものです。中小水力発電設備の取水設備として、既設の砂防堰堤を利用することは多くありますが、砂防堰堤を新設する場合は設計基準に則り設計を行う必要があります。

砂防堰堤は前述のダム（ハイダム）とは異なり、堤体の基礎面も岩着させる必要は無いなど、求められる設計基準がダムより緩和されている面があります。この砂防堰堤を新設する場合はその設計要領に則って行うこととなりますが、それらはインターネットより容易に入手が可能となっています。表-5.6.2 にその設計要領の一部を紹介します。取水設備として新たに砂堰堤を設計する場合は、これら設計要領や基準を参考にすると良いでしょう。

砂防堰堤の形式には図-5.6.2 に示すとおり様々な種類がありますが、発電取水に用いる場合は水を堰上げさせる必要があることから、不透過型砂防堰堤（重力式コンクリート）とするのが一般的です。

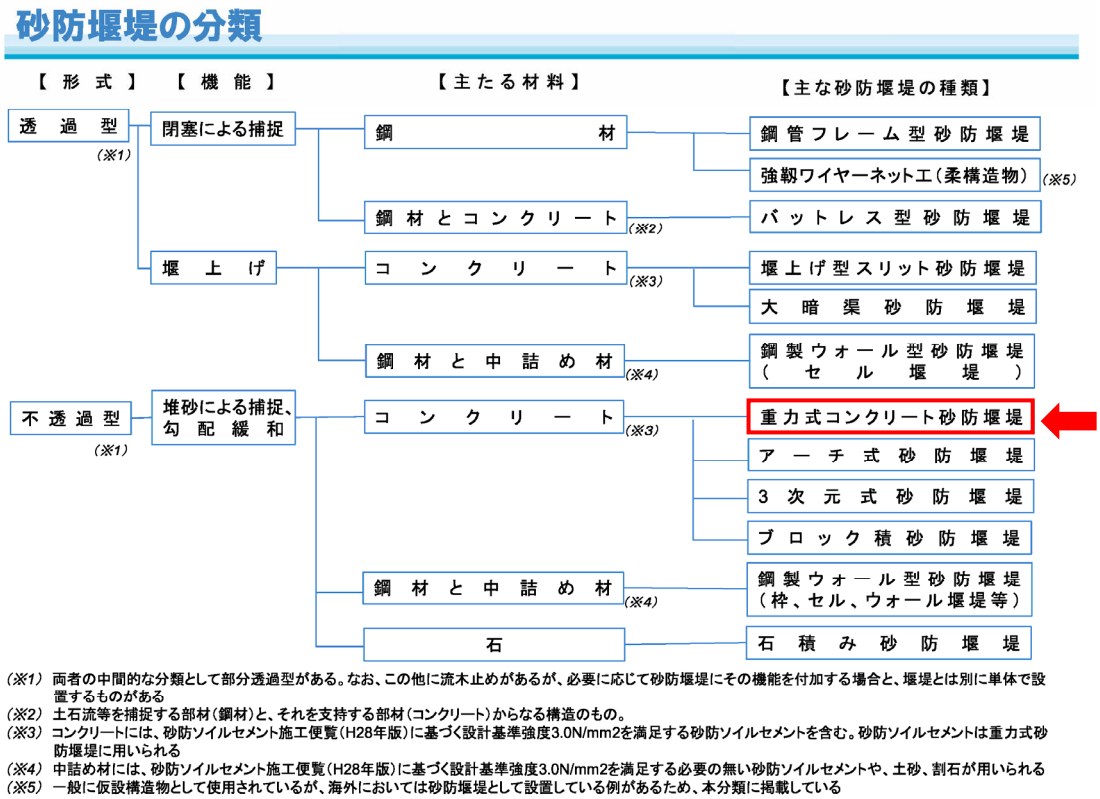


図-5.6.2 砂防堰堤の種類[136]（不透過型と透過型）

[136] 出典）国土交通省「砂防堰堤の分類」に加筆
<https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/entei_bunrui.pdf>（2022.1.31 閲覧）

写真-5.6.1 砂防堰堤の事例

左：不透過型（重力式コンクリート砂防堰堤[137]） 右：透過型（鋼管フレーム型砂防堰堤[138]）

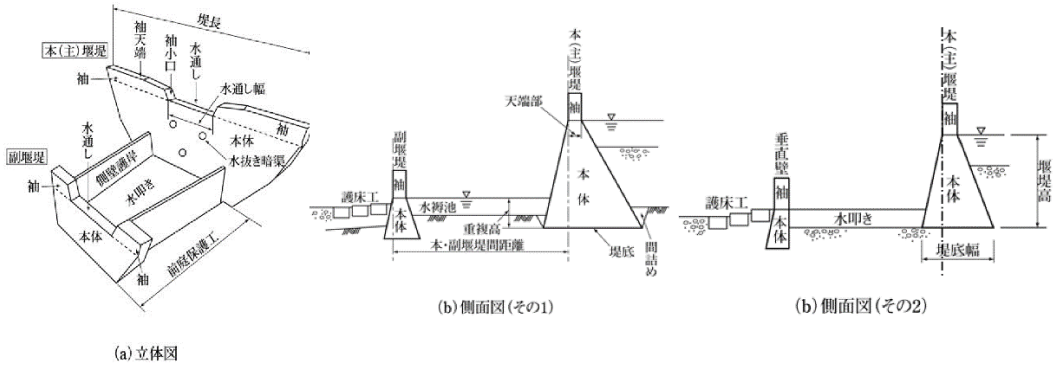


図-5.6.3 不透過型重力式コンクリート砂防堰堤の構造[139]

表-5.6.2 公表されている砂防施設の設計要領の一例

種別	所管・タイトル	入手先の URL
国	中部地方整備局　砂防施設 設計要領（令和 2 年 3 月）	https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/sabou_shisetsu.htm
県	岐阜県　砂防事業設計要領 （平成 29 年 4 月）	https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/8145.pdf
	愛知県　砂防設計の手引き （平成 29 年 7 月）	https://www.pref.aichi.jp/soshiki/sabo/sabousekkeinotebiki2907.html
	福島県　土木設計マニュアル 砂防編（平成 27 年 3 月）	https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/108919.pdf
	埼玉県　砂防設計基準 （平成 31 年 4 月）	https://www.pref.saitama.lg.jp/a1007/sabo1/sabo-tebiki0.html
	長野県　土木事業設計基準第 9 編 砂防事業（平成 26 年 11 月）	https://www.pref.nagano.lg.jp/gijukan/infra/kensetsu/gijutsu/setukeikijyun.html
	鳥取県　砂防技術指針 （平成 26 年 10 月）	https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm

137 出典）鳥取県 治山砂防課「砂防事業」<https://www.pref.tottori.lg.jp/279041.htm>（2022.1.31 閲覧）

138 出典）国土交通省 利根川水系砂防事務所「砂防と防災　砂防事業」
<https://www.ktr.mlit.go.jp/tonesui/tonesui00001.html>（2022.1.31 閲覧）

139 出典）国土交通省 中部地方整備局「砂防施設設計要領」p.3-5
<https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/sabou/shisetsu/sekkei_all_202003.pdf>（2022.1.31 閲覧）

③ 取水堰（頭首工）

河川の水を堰上げて取水するための設備を取水堰といいます。一般によく目にするものとして農業用水を取水するための「頭首工」があります。頭首工は河川を横断して築造されることから、そのままではその落差が洪水の流下の阻害になることがあります。このことから、起伏ゲート（鋼製、ゴム製)、ローラーゲート、ラジアルゲートといったゲート設備により、洪水の流下の阻害を無くすことができるようになっています。

写真-5.6.2 取水堰(頭首工)の事例[140]
（左:加治川第一頭首工 右:加治川第二頭首工）

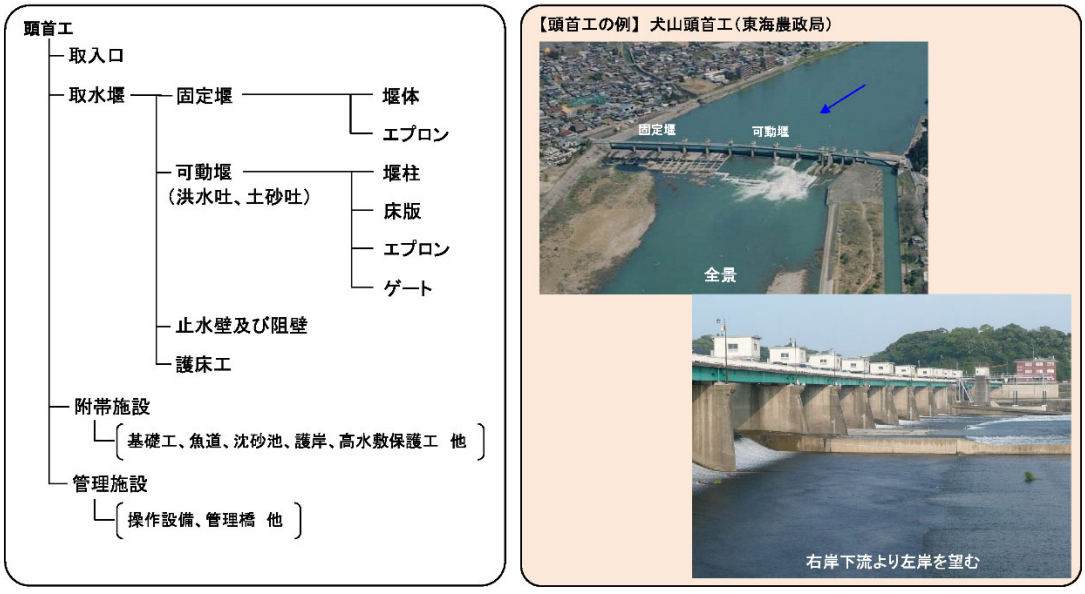


図-5.6.5 頭首工の設備構成[141]

---

[140] 出典）新潟県「【新発田】くらしを守る加治川頭首工」
<https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/shibata_noson/1268866805297.html>（2022.1.31 閲覧）

[141] 出典）農林水産省「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「頭首工」の改訂について 令和３年９月
<https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/seibibukai/gijutu_syoiinkai/R0301/attach/pdf/siryou-5.pdf>
（2022.1.31 閲覧）

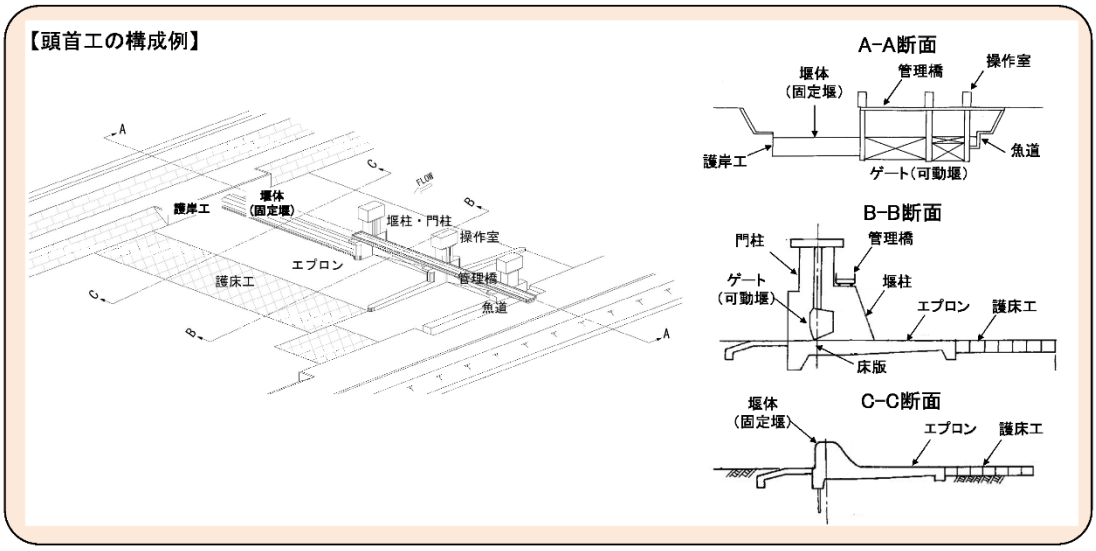


図-5.6.6 頭首工の設備構成例[142]

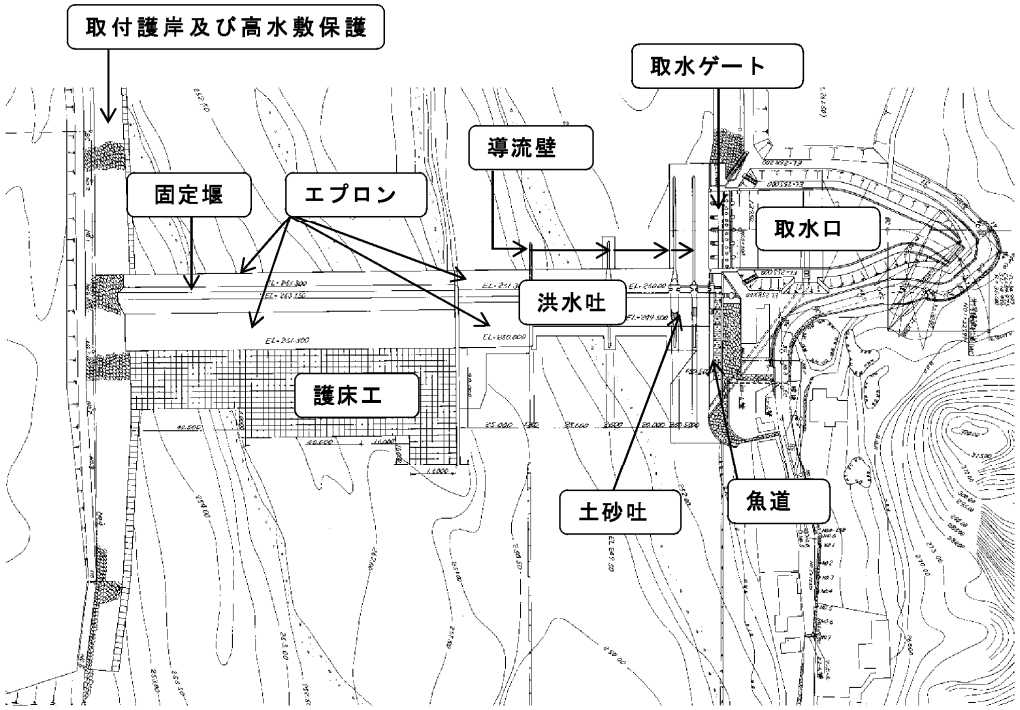
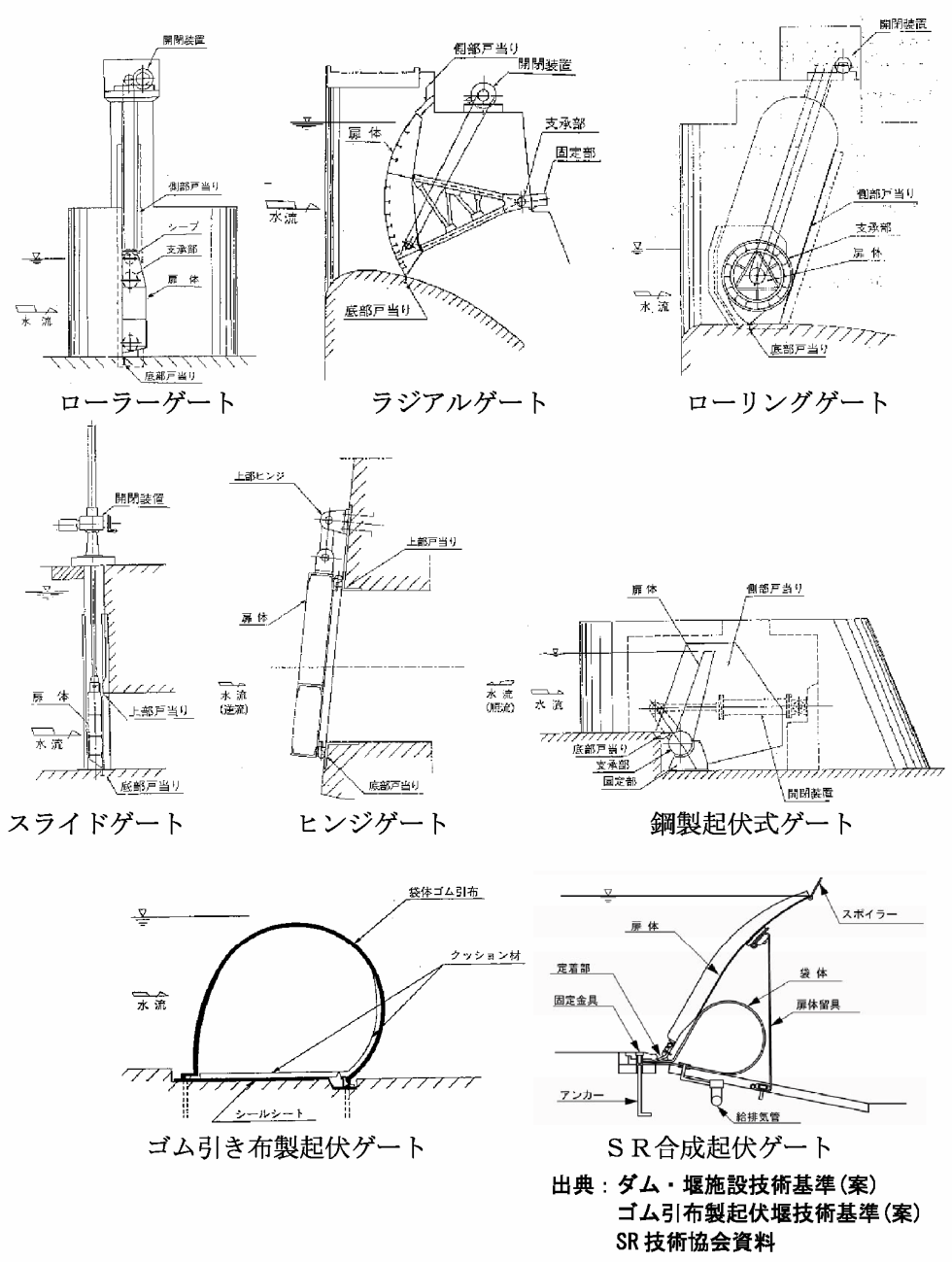


図-5.6.4 一般的な頭首工の構造[143]

[142] 出典）農林水産省「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「頭首工」の改訂について 令和３年９月 <https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/seibibukai/gijutu_syoiinkai/R0301/attach/pdf/siryou-5.pdf>（2022.1.31 閲覧）

[143] 出典）農林水産省「農業水利施設の機能保全の手引き」平成 27 年５月 <https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/index-8.pdf>（2022.1.31 閲覧）



出典：ダム・堰施設技術基準(案)
ゴム引布製起伏堰技術基準(案)
SR 技術協会資料

図 5.6.5 取水堰のゲートの種類[144]

これら取水堰（頭首工）の設計基準として「土地改良事業計画設計基準」があります。図書については公益社団法人 農業農村工学会[145]より購入できますので必要に応じて利用してください。

---

144 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力発電計画導入の手引き」平成 26 年 3 月 p.3-9

145 公益社団法人 農業農村工学会「土地改良事業計画設計基準類」 <http://www.jsidre.or.jp/book-kijun/>（2022.1.31 閲覧）

ここで述べた 3 つの取水設備（ダム、砂防堰堤、取水堰（頭首工））は、いずれも新設することを想定していますが、これら設備をゼロから建設するとなると、まず上記で紹介した各種調査設計基準に則り調査と設計を行う必要があります。これら作業は専門の発電事業者でも直営で行うことは難しく、専門業者（調査会社、建設コンサルタント、メーカー等）へ大規模な委託を行うことが多くなっています。

また、本テキストの 2 章 5 節で述べたとおり、河川区域にこういった施設を新設するには河川管理者との河川法協議が必要となって、許認可までに時間がかかる場合があります。

④ 取水堰（越流型コンクリート重力ダム ※高さ 15m 未満）

河川の上流域、及び渓流から取水する場合は、コンクリートの横断構造物をもうけて取水堰とする事例が多くなっています。この取水堰は構造物の規模も大きくないことから中小水力発電設備で多くの適用実績があります。以下の中小水力発電ガイドブックでいうところの「低いダム（または堰)」がこれに該当し、一般的に越流型コンクリート重力ダムといわれますが、高さは 15m 未満となります。高さが 15m 以上となる場合は前述のダム（ハイダム）となるため注意が必要です。

取水ダムとは、水路式（流れ込み式）の発電所において、単に河川の水を取り入れるためにもうける低いダム（または堰）のことである。

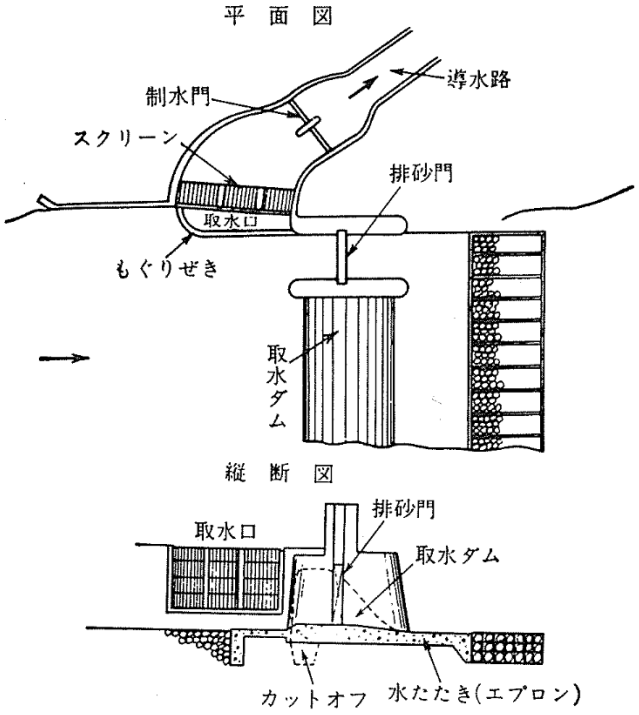


図 3 .12　取水ダムの例

出典：中小水力発電ガイドブック[146]

本テキストでは適用事例が多いこの取水堰（越流型コンクリート重力ダム）について、設計の方法を概説します。

[146] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」令和元年 5 月 p.73

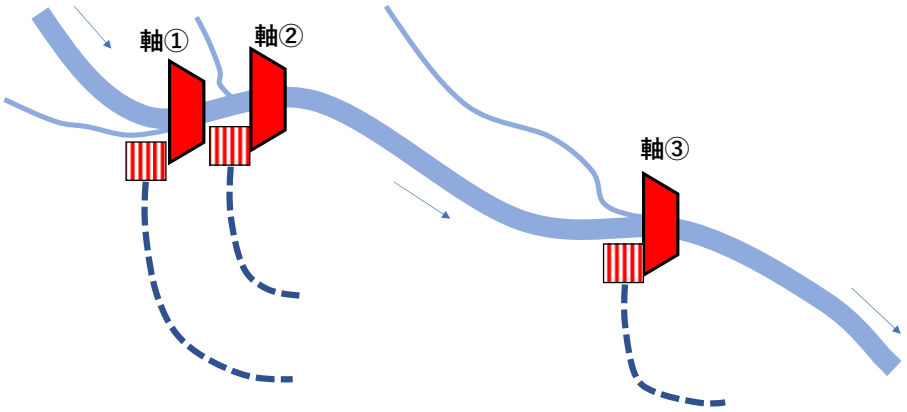
(2) 取水堰(砂防堰堤)の設計方法

① 設計軸の検討

水路ルートの検討（本テキスト 3 章）において選定した取水地点周辺の地形測量（本テキスト 5 章 1 項）を基に越流型コンクリート重力ダム（以下、取水堰といいます）の位置を検討します。取水堰の位置（設計軸）について、中小水力ガイドブックには以下のような記載があります。なお、以下の引用における「ダム」は本テキストでいうところの「取水堰」になります。なお、今回のテキストではこの「取水堰」について砂防施設（砂防堰堤）の設計基準に準じた場合の事例を紹介します。

> ダム位置は、ダムの安定性と経済性を考慮する同時に保守管理の容易な所が良がよい。すなわち、基礎岩盤が浅いこと、ダム築造後の洪水による上流部への背水の影響が小さいこと、取水口の設置に都合がよく将来の取水口の維持が容易であること等が、ダム位置選定の条件となる。ダムの方向は、河道に対して直角に設けるのが良い。
>
> 出典：中小水力ガイドブック[147]

詳細設計においては上記を踏まえて 3 案程度の設計軸の比較検討を行い、経済性や維持管理面で有利となる設計軸を決定します。



設計軸の比較イメージ

② 計画高水流量の設定

取水堰の設計においては、取水堰を設置した後でも設置地点の洪水時の流量を安全に流下できるよう配慮する必要があります。この「洪水時の流量」を一般に当該地点の「計画高水流量」といいます。計画高水流量は通常河川管理者が検討して設定するものですが取水堰地点の計画高水流量をどのように設定・判断するかは計画地点の管理者（河川管理者、砂防施設管理者、その他）で様々ですので、2 章 5 節で述べた管理者との事前協議で調整しておくことが必要です。以下に計画高水流量の設定の事例を示します。

---

147 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」令和元年 5 月 p.62

- 河川管理者の河川整備基本方針、河川整備計画で設定されている計画高水流量の流域面積按分で設定
- 近傍の水力発電設備の設計時の計画高水流量を流域面積で按分
- 発電計画地点における現況流下能力を参考に設定
- 下流河川の確率規模に応じた合理式による流出計算を行い設定する。

上記の中で述べられている「現況流下能力」とは河道が安全に流せる流量のことをいいます。この流下能力の計算では図-5.6.6 に示すとおり、河川の堤防の高さから余裕高を引いた標高で評価します。また、水位の計算には等流計算、不等流計算といった様々な方法があります。

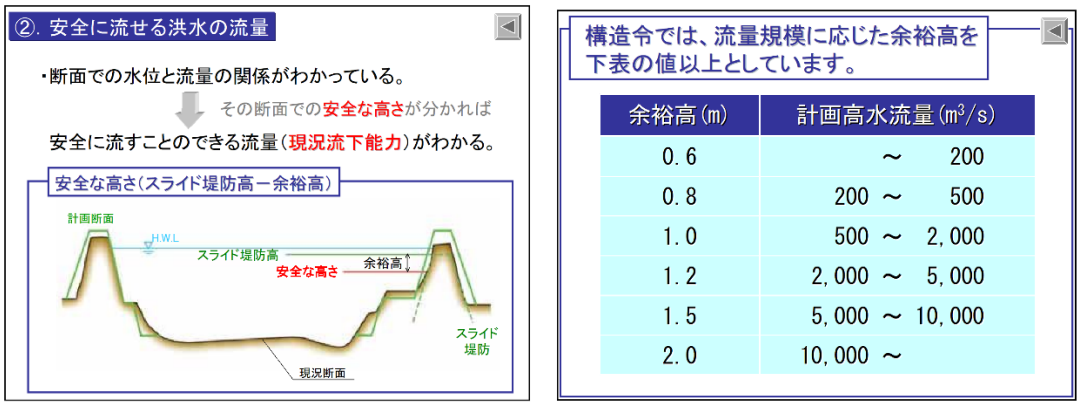


図-5.6.6 流下能力について[148]（左：定義 右：余裕高）

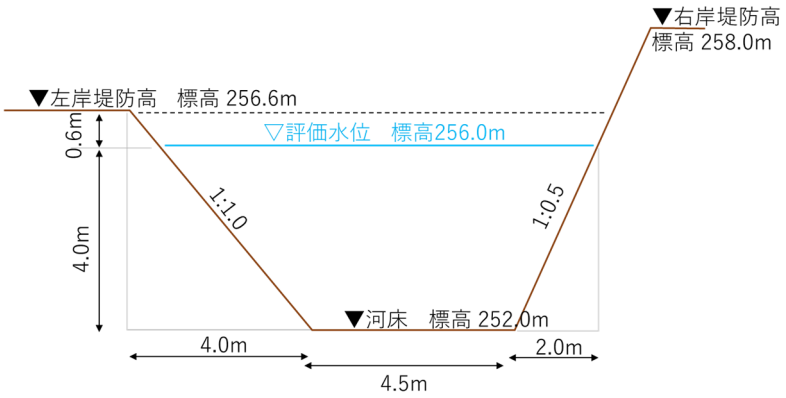
次ページ以降で流下能力の算定結果（Manning 公式による流速計算）の事例を示します。

148 出典）国土交通省 九州地方整備局 延岡河川国道事務所「五ヶ瀬川の現況河道流下能力について」
< http://www.qsr.mlit.go.jp/nobeoka/kasen/ryu-iki/pdf/3/siryou2.pdf >

【流下能力の算定事例】

(1)　横断形状

余裕高は 60cm（=0.6m）とする。流下能力の評価水位は左右岩の堤防高の低い方（左岸標高 256.6m）から余裕高を引いた標高 256.0m とする。



河道横断形状

(2)　粗度係数

粗度係数は n=0.030 と設定する（※実際には現地の河床状況から下表などを参考に設定を行う必要があります)。

表 6-2　河川や水路の状況と粗度係数の範囲

	河川や水路の状況	マニングの n の範囲
人工水路・改修河川	コンクリート人工水路	0.014～0.020
	スパイラル半管水路	0.021～0.030
	両岸石張小水路（泥土床）	0.025（平均値）
	岩盤掘放し	0.035～0.05
	岩 盤 整 正	0.025～0.04
	粘土性河床，洗堀のない程度の流速	0.016～0.022
	砂質ローム，粘土質ローム	0.020（平均値）
	ドラグライン掘しゅんせつ，雑草少	0.025～0.033
自然河川	平野の小流路，雑草なし	0.025～0.033
	平野の小流路，雑草，灌木有	0.030～0.040
	平野の小流路，雑草多，礫河床	0.040～0.055
	山地流路，砂利，玉石	0.030～0.050
	山地流路，玉石，大玉石	0.040　以上
	大流路，粘土，砂質床，蛇行少	0.018～0.035
	大流路，礫河床	0.025～0.040

出典）河川砂防技術基準（案）同解説[149]より

(3)　河床勾配

現地測量結果より、河床勾配は 1/500 とする。

[149] 出典）国土交通省「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編」平成 9 年 9 月

(4)　流速の計算式

流速の算定式はマニングの公式を用いる。

$V = 1/n \times (A/S)^{2/3} \times i^{1/2}$

ここで、V；流速(m/s)、n；粗度係数、A；断面積(m^2)、S；潤辺(m)、i；河床勾配

上記条件より

$n = 0.030$

$A = (4.50+(4.50+4.00+2.00) \times 4.00/2 = 30.00m^2$

$S = 4.50+(4.00^2+4.00^2)^{0.5} + (2.00^2+4.00^2)^{0.5}$

$= 4.50 + 5.66 + 4.47 = 14.63m$

$i = 1/500$

ゆえに

$V = 1/0.030 \times (30.00/14.63)^{2/3} \times (1/500)^{1/2}$

$= 2.41m/s$

(5)　流下能力の計算

流下能力の算定式は以下のとおりである。

$Q = A \times V$

ここで、Q；流下能力(m3/s)、V；流速(m/s)

流速の計算結果より流下能力は $72.30m^3/s$ となる。

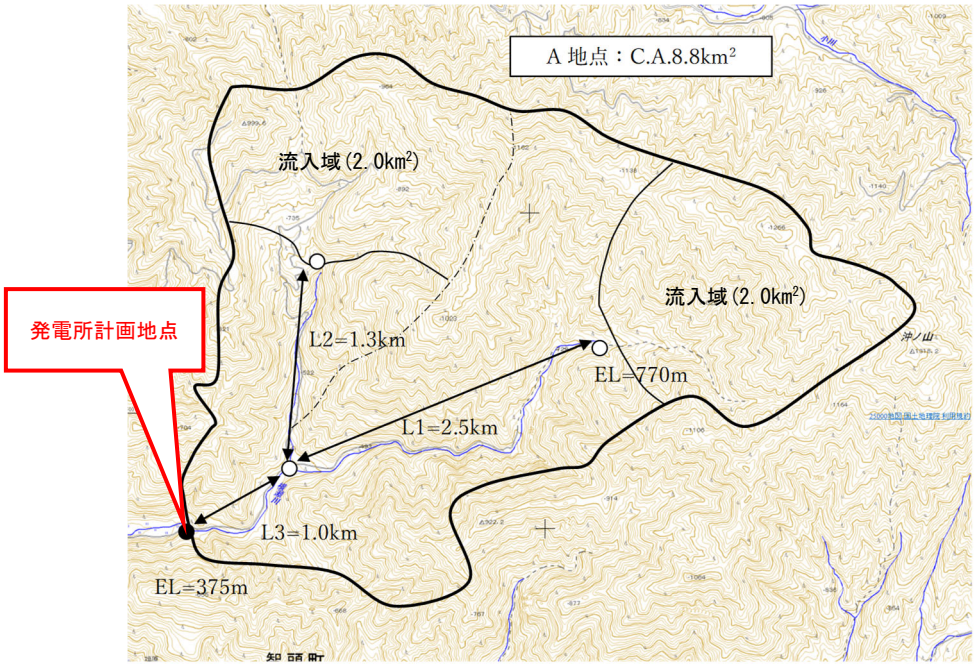
$Q = 30.00 \times 2.41 = 72.30m^3/s$

また、合理式による計画高水流量の算定について、検討の事例を次ページ示します。この計算は県の砂防技術指針に準じて行っていますが、具体の計算条件などは設置地域の管理者（河川管理者や砂防施設管理者）などとの調整により決定されるので注意が必要です。

【合理式による流量の算定事例】（鳥取県営横瀬川発電所の事例）

鳥取県砂防技術指針[150]を基に計算

(1)　対象流域（流域面積　8.8km²）



対象流域図（流入域 2.0km² を先取り）

(2)　流出率（f）

下表から起伏のある土地及び樹林の平均値 0.60 を採用する（※実際には管理者との協議により決定する必要があります）

日本内地河川の流出係数[151]

地目鋼製	流出率の範囲	平均値
急峻な山地	0.75～0.90	0.80
三紀層山岳	0.70～0.80	0.75
起伏のある土地及び樹林	0.50～0.75	0.60
平坦な耕地	0.45～0.60	0.50
かんがい中の水田	0.70～0.80	0.75
山地河川	0.75～0.85	0.80
平地小河川	0.45～0.75	0.60
流域のなかば以上が平地である大河川	0.50～0.75	0.60

150　鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

151　出典）国土交通省「建設省河川砂防技術基準(案)同解説　調査編」平成 9 年 9 月

(3)　洪水流下時間（T_0）

流下時間（T_0）の算定にはバイエルン式を用いる（※クラーヘン式を用いることもあります）

$T_0 = L/W$

ここで、T_0；流下時間(sec)、L；流路長(m)、W 洪水流出速度(m/s)

なお、洪水流出速度は以下より算定する。

$W = 20 \cdot (H/L)^{0.6}$

ここで、H；流路標高差(m)、L；流路長(m)

前述した(1)の対象流域から、各数値は以下のとおりとなる。

$L = 1.0 + 2.5 = 3.5\text{km} = 3{,}500\text{m}$　※流域最遠点をとる

$H = 770 - 375 = 395\text{m}$

ゆえに、W は 5.4m/s となる。

$W = 20 \times (395/3{,}500)0.6 = 5.4\text{m/s}$

よって洪水流下時間 T_0 は 648 秒（約 10 分）となる。

$T_0 = 3{,}500/5.4 = 648\text{sec} \fallingdotseq 10\text{min}$

(4)　流入時間（T_1）

洪水流入時間（T_1）は、流域内において河道に到達する平均流下時間をいう。鳥取県の基準では以下のとおりとされているため、20 分を採用する（※実際には管理者との協議により決定する必要があります)。

・山地流域 2km^2　　30 分

・特に急傾斜面流域 2km^2　20 分

(5)　洪水到達時間（T_f）

洪水到達時間（T_f）は流入時間（T_0）と流下時間（T_1）の合計とし、30 分とする。

$T_f = T_1 + T_0 = 20 + 10 = 30$ 分

(6)　確率日雨量（R_{24}）

洪水到達時間内の平均降雨強度の算定に用いる日雨量の確率規模は 1/50 年確率とし、231mm/日とする（※実際には管理者との協議により決定する必要があります）

(7)　洪水到達時間内の平均降雨強度（R）

平均雨量強度は下記の伊藤式から算出する。なお、平均雨量強度が 60mm/h に満たないものは 60mm/h で計画する。

$$R = 34{,}710/(T_f^{1.35} + 1{,}502) \times R_{24}/100$$

ここで、R；洪水到達時間内の平均雨量強度（mm/h）
T_f；洪水到達時間（分）
R_{24}；1/50 年確率日雨量（mm/日）

上記の検討結果より、Tf＝30 分、R24=231mm/日であるから、R は 50mmhr と 60mm/hr 以下となることから、60mm/h を採用する。

$$R = 34{,}710/(30^{1.35}+1{,}502) \times 231/100 = 50\text{mm/hr} < 60\text{mm/hr}$$

(8)　洪水流量の算定式

合理式により算定する。

$$Q = 1/3.6 \times f \times R \times A$$

ここで、Q；流量(m^3/s)、f；流出率、R；洪水到達時間内の平均降雨強度(mm/hr)、
A；流域面積(km^2)

ゆえに、f＝0.6、R= 60mm、A＝8.8 であるから洪水流量は $88m^3/s$ となる。

$$Q = 1/3.6 \times 0.6 \times 60 \times 8.8 = 88m^3/s$$

(9)　計画高水流量の算定

発電計画地点は砂防指定地であることを勘案して、計画高水流量は土砂混入率 5%を見込む。よって、計画高水流量は $92.4m^3/s$ を丸めて $95m^3/s$ とする。

計画高水流量 ＝88m3/s × 1.05＝ 92.4 ≒ $95m^3/s$

ここで紹介した計算例をみてわかるとおり、各数値を計算するには様々な条件を設定する必要があります。この設定方法や考え方は管理者によって異なる場合がありますので、実際の検討においては管理者と協議しながら進めることが必要となります。
また、計算には高度な知識や専用のプログラム等が必要になる場合もあることから、事業者側で必要な技術的知見を有していない場合は、必要に応じて建設コンサルタントなどの専門業者へ依頼することも検討しましょう。

③ 水通し形状の決定

水通し形状の決定について以下で基本的な手順を説明します。ただし、実際の計画地点で現地条件は様々なので、その都度現地状況に応じた考え方で設計を進める必要があります。よって、実際にはトライ・アンド・エラーにより最適な形状を求めていくことが重要です。

① 設計軸における河床幅を目安に、水通し幅（B_1）を設定します
② 堤防高の低い方から所定の余裕高を差し引いた高さを設計洪水位（H）と設定します
③ 水通しの法勾配（m2）を設定します（通常は 1：0.5 とします）
④ 水通し天端（H_2）仮定して越流水深（h_2）を基に流下能力を求めます
⑤ ④で計画高水流量を満足する高さにより、最終的な水通し天端標高を決定します
⑥ 越流水深に法勾配を考慮した水面幅 B_1 により最終的な水面幅を決定します
⑦ 水通し天端標高に越流水深（h_2）と所定の余裕高を加えたものが取水堰の天端標高となります

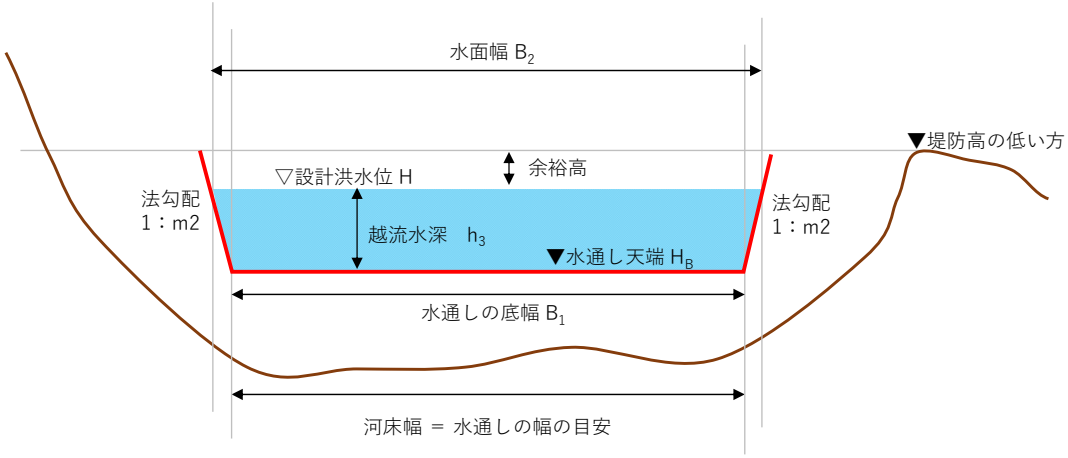


図-5.6.7 水通し形状の設定 基本的な考え方について

上記水通し形状による流下能力の算定方法の一つとして、以下の式があります。下記式により前述の計画高水流量を流下できる越流水深を試算します。

土砂含有を考慮した流量に対する越流水深は、次式により算出する。

$$Q = \frac{2}{15} C\sqrt{2g}(3B_1 + 2B_2)h_3^{3/2} \quad \cdots(2\text{-}1\text{-}23)$$

Q：土砂含有を考慮した流量（m^3/s）
C：流量係数（0.60～0.66）
g：重力の加速度（$9.8m/s^2$）
B_1：水通し底幅(m)
B_2：越流水面幅(m)
h_3：越流水深(m)
m_2：袖小口勾配

C=0.6，m_2=0.5 の場合には、次式となる。

$$Q \fallingdotseq (0.71h_3 + 1.77B_1)h_3^{3/2} \quad \cdots(2\text{-}1\text{-}24)$$

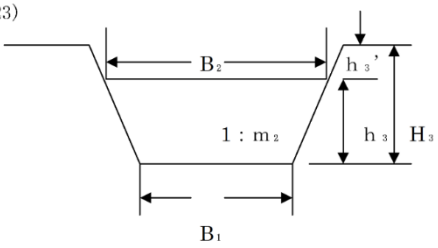


図 2-1-15 水通し

図-5.6.8 水通しの流下能力の算定式[152]

[152] 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

④ 取水堰形状を決定するための設計条件

取水堰の形状は不透過型重力式コンクリート砂防堰堤の設計基準に準じて行われることが一般的です。表-5.6.3 に砂防堰堤の設計基準を整理したものを示します。設計基準は各都道府県や国交省の所管事務所で異なる場合がありますので事前に確認が必要です。

（天端幅）

一般的に 2.0m 以上とすることが原則とされているため、2.0m を採用する事例が多いです。

（下流面のり勾配）

一般的に 1：0.2 が採用されています。

（上流面のり勾配）

後述する安定計算により決定します。

（基礎根入れ）

基礎の根入れは地質調査結果により、その種別を基に決定します。地質の評価については専門の技術者に検討してもらうようにしましょう。

（袖の嵌入）

袖部の嵌入も基礎の根入れと同様に、地質条件により基準が異なります。設計基準の一例を図-5.6.9 に示します。基礎の根入れと同様にこの評価についても専門の技術者に検討してもらうようにしましょう。

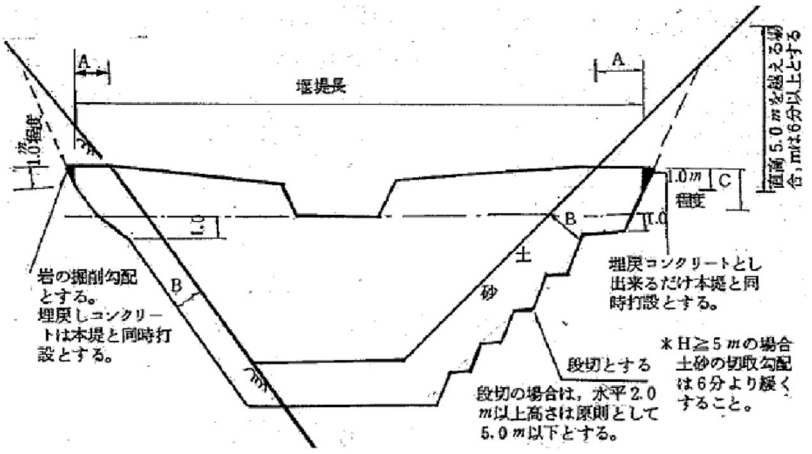


図-5.6.9 袖部の嵌入の基準例[153]

[153] 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

（水通し形状）

水通しの底幅と越流水深については前述の「③ 水通し形状の決定」を参照してください。なお、水通しの余裕高は計画高水流量、及び取水堰上流の河床勾配により決まる場合がありますので、各地域の設計基準を確認してください。以下、その設計基準の例[154]を示します。

計画高水流量に応じた余裕高

設計流量	余裕高
200m^3/s 未満	0.6m
200～500m^3/s	0.8m
500m^3/s 以上	1.0m

渓床勾配別の設計水深に対する余裕高の比の最低値

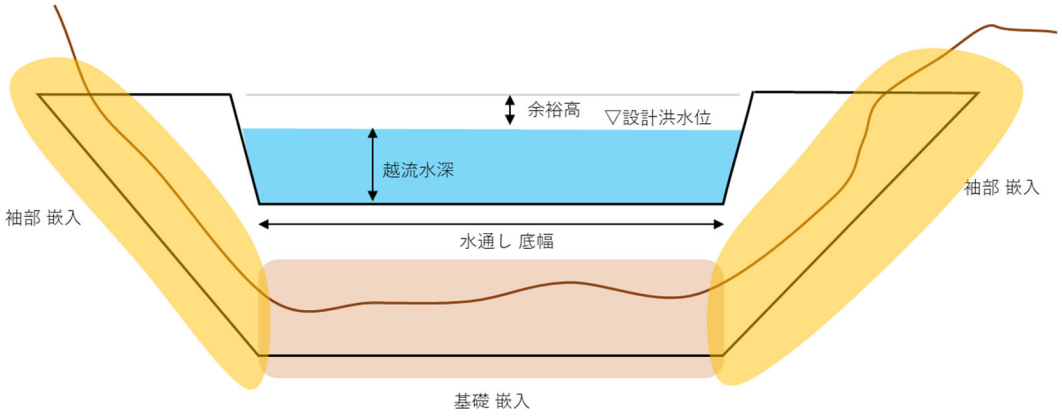
渓床勾配	（余裕高）／設計水深
1/10 以上	0.50
1/10～1/30	0.40
1/30～1/50	0.30
1/50～1/70	0.25

[154] 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

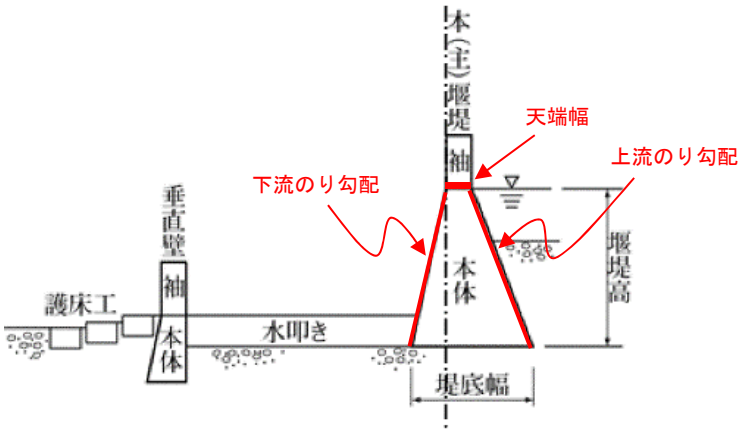
表-5.6.3　砂防堰堤の設計基準の例[155]

項　目		設計基準
堰堤本体	下流のり勾配	1：0.2
	上流のり勾配	安定計算より決定
安定計算	手法	転倒、滑動、応力条件を満足すること
	外力	静水圧、土圧
水通し	底幅	3.0m 以上
	越流水深	計画高水流量を流下できる幅と越流水深とする
	余裕高	計画高水流量から求まる余裕高と、渓流勾配から求まる余裕高の大きい方
袖部	天端幅	1.5m 以上
	嵌入	土砂：3.0m 以上 軟岩Ⅰ、Ⅱ：2.5m 以上 中硬岩以上：1.0m 以上
基礎	根入れ	砂礫：2.0m 以上 軟岩Ⅰ、Ⅱ：1.5m 以上 中硬岩以上：1.0m 以上

※　上記設計条件は土石流危険渓流ではない渓流を想定



設計条件の該当箇所（横断方向）



設計条件の該当箇所（縦断方向）

155　出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

⑤ 安定計算

（安全率）

上流面勾配は安定計算により求める必要があります。取水堰の安定条件[156]（砂防堰堤として設計する場合の安定条件）は以下の 3 つとなります。

イ）原則として、えん堤の堤底端に引張応力が生じないように、えん堤の自重及び外力の合力の作用線が堤底の中央 1/3 以内に入ること。

ロ）堤底と基礎地盤内との間及び基礎地盤内で、滑動を起こさないこと。

ハ）えん堤内に生じる最大応力度が、材料の許容応力度を越えないとともに、地盤の受ける最大圧力が地盤の許容支持応力度以内であること。また、基礎地盤が砂礫の場合は、浸透破壊に対しても安定であること。

なお、ロ）の滑動の安全率については、一般に岩盤基礎の場合は、せん断強度が大きくまた十分な圧縮強度が得られるため高い砂防堰堤とすることが多く、えん堤の規模等を考慮して安全率 n は 4.0 とされています。しかし、砂礫基礎においてはせん断強度が小さいため一般に式の τ 。を無視して計算する場合が多く、また高い圧縮強度が期待できないため堰堤の高さは 15m 未満とすることが原則でこの場合の安全率 n は 1.2 とされています[157]。このため、適宜設計箇所の地質状況を加味して安全率を設定する必要があります。

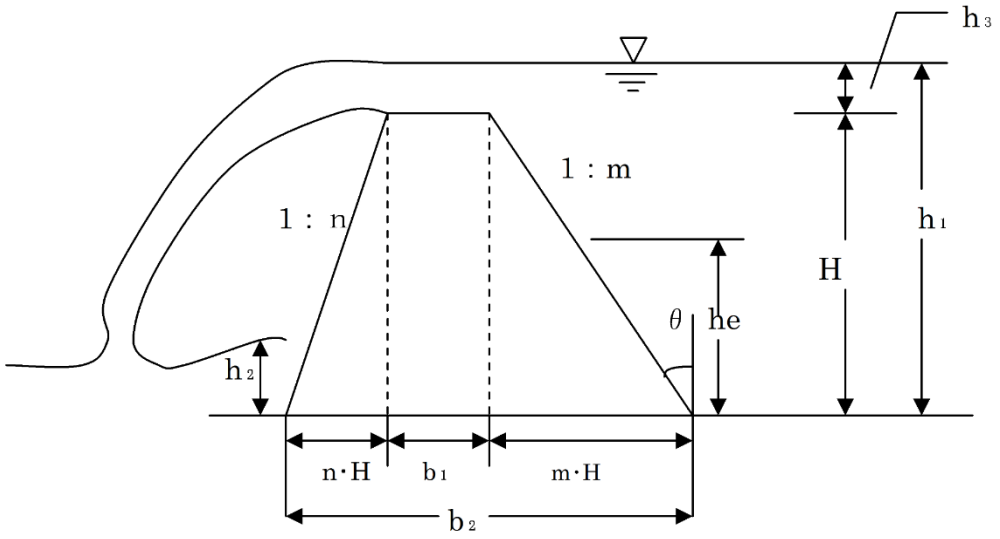
(設計外力)

設計外力については、取水堰の高さが 15m 未満である場合は、静水圧（堆砂が進行していない時を想定)、静水圧＋土圧（堆砂が進行した場合を想定）におケースで行われるのが通常です。なお、取水堰地点が土石流危険渓流に指定されている場合は、土石流流体力を見込むことがありますので注意が必要です。

---

156 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

157 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）



H：えん堤高(m)

b_1：水通し天端幅(m)

b_2：堤底幅(m)　　$b_2=b_1+(m+n)\cdot H$

m：上流法勾配　$m=\tan\theta$

n：下流法勾配

h_1：上流側水深(m)　　h_1+H+h_3

h_2：下流側水深(m)

h_3：越流水深(m)

he：堆砂深（m）

Wc：堤体コンクリートの単位体積重量(kN/㎥)

Wo：流水の単位体積重量(kN/㎥)

Ws：堆砂の水中における単位体積重量(kN/㎥)

Wd：土石流の水中における単位体積重量(kN/㎥)

Ce：土圧係数

μ：揚圧力係数

K：設計震度（地震係数）

α：土石流流体力係数

図-5.6.10　安定計算に必要となる数値[158]

[158] 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

表 2-1-16　砂防えん堤の単位幅当たり断面に作用する力（洪水時）

設計荷重	記号	計　算　式	鉛直力 (V)	水平力 (H)	堤底の上流端から作用線までの距離（ *l* ）	モーメント (M=V・ *l* +H・ *l*)
堤体の自重	W					
	W_1	$1/2 \cdot Wc \cdot m \cdot H^2$	(+)		$2/3 \cdot m \cdot H$	(+)
	W_2	$Wc \cdot b_1 \cdot H$	(+)		$m \cdot H + 1/2 \cdot b_1$	(+)
	W_3	$1/2 \cdot Wc \cdot n \cdot H^2$	(+)		$m \cdot H \cdot b_1 + 1/3 \cdot n \cdot H$	(+)
静　水　圧	P					
	P_{v1}	$1/2 \cdot Wo \cdot m \cdot H^2$	(+)		$1/3 \cdot m \cdot H$	(+)
	P_{v2}	$Wo \cdot m \cdot h_3 \cdot H$	(+)		$1/2 \cdot m \cdot H$	(+)
	P_{v3}	$Wo \cdot b_1 \cdot h_3$	(+)		$m \cdot H + 1/2 \cdot b_1$	(+)
	P_{H1}	$1/2 \cdot Wo \cdot H^2$		(+)	$1/3 \cdot H$	(+)
	P_{H2}	$Wo \cdot h_3 \cdot H$		(+)	$1/2 \cdot H$	(+)
堆　砂　圧	P_e					
	P_{ev}	$1/2 \cdot Ws_1 \cdot m \cdot he^2$	(+)		$1/3 \cdot m \cdot he$	(+)
	P_{eH}	$1/2 \cdot Ce \cdot W_{s1} \cdot he^2$		(+)	$1/3 \cdot he$	(+)
揚　圧　力	U					
	U_1	$1/2 \cdot Wo \cdot \mu \cdot b_2 \cdot (H + h_3 - h_2)$	(-)		$1/3 \cdot b_2$	(-)
	U_2	$Wo \cdot b_2 \cdot h_2$	(-)		$1/2 \cdot b_2$	(-)
合　　計			V	H		M

えん堤高 15m 未満の場合は堤体の自重 W 及び静水圧 P を用いる。

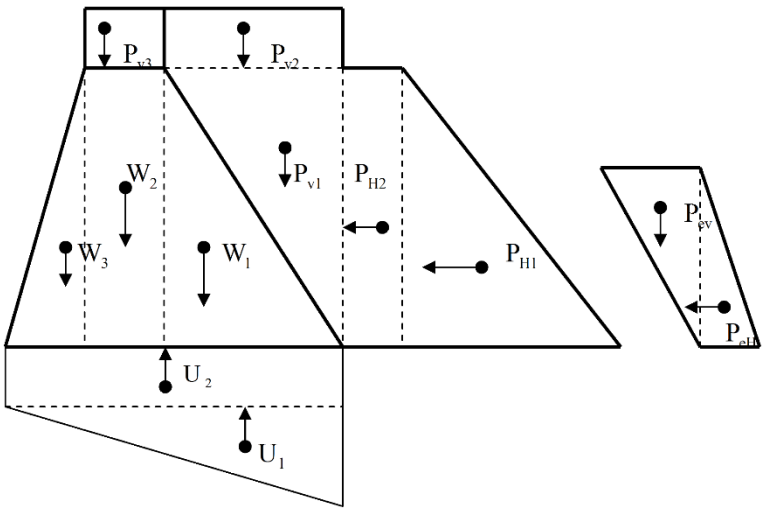


図-5.6.11　安定計算における単位幅あたりに作用する力[159]

[159] 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

（安定計算に用いる数値）[160]

安定計算に用いる数値について、一般的なものを表-5.6.4 に示します。これら値については設計地点に適したものを適宜選択する必要があるため、適宜管理者や専門業者に相談しながら決定するようにしましょう。

表-5.6.4 安定計算に用いる数値

項　目	数　値
堰堤用コンクリートの 単位体積重量	22.56kN/m^3
流水の単位体積重量（W_0）	9.8～11.77kN/m^3 堰堤高≧15m のとき 9.8kN/m^3 堰堤高＜15m のとき 11.77kN/m^3
堆砂見掛単位体積重量（W_S）	15～18kN/m^3
堆砂空隙率）（ν）	0.30～0.45
土圧係数（Ce）	0.3～0.6
揚圧力係数（μ）	1/3～1.0（一般的に 1/3）
コンクリートの許容応力度	圧縮 4N/mm^2　剪断 0.5N/mm^2

堆砂見掛単位体積重量（W_S）は現地の粒径の大きさにより設定します。粒径が大きいほど大きい値を採用します。また、土圧係数 Ce は堆砂面がほぼ平坦 i=0（i=15°程度までは cos15°=0.9659≒1 と仮定できる）とすれば以下の式で示されます。

Ce=（1-sinϕ）／（1+sinϕ）　ここで、ϕ；水中の内部摩擦角

水中の内部摩擦角を 35°とすると Ce=0.27≒0.3 となります。なお、土砂の水中における内部摩擦角は以下のとおりとされているので参考にしてください。

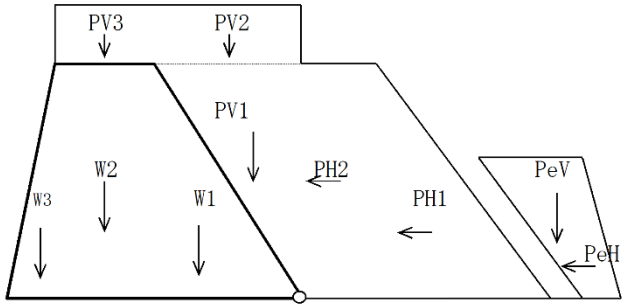
土砂の水中における内部摩擦角

種　別	状　態	単位重量 (kN/m^3)	水中の単位重量 (kN/m^3)	内部摩擦角 (度)	水中の内部摩擦角 ϕ(度)
砂　礫	—	16～19	10～13	35～45	35
砂　利	—	16～20	10～12	30～40	30
炭がら	—	9～12	4～7	30～40	30
砂	しまったもの	17～20	10	35～40	30～35
	ややゆるいもの	16～19	9	30～35	25～30
	ゆるいもの	15～18	8	25～30	20～25
普通土	固いもの	17～19	10	25～35	20～30
	やや軟らかいもの	16～18	8～10	20～30	15～25
	軟らかいもの	15～17	6～9	15～25	10～20
粘　土	固いもの	16～19	6～9	20～30	10～20
	やや軟らかいもの	15～18	5～8	10～20	0～10
	軟らかいもの	14～17	4～7	0～10	0
シルト	固いもの	16～18	10	10～20	5～15
	軟らかいもの	14～17	5～7	0	0

[160] 出典）鳥取県「砂防技術指針」平成 26 年 10 月<https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm>（2022.1.31 閲覧）

参考として安定計算結果の事例（鳥取県営横瀬川発電所）を以下に示します。

(3) 洪水時の安定検討



① 自重

W1 ＝	1/2	×	0.725	×	2.9	×	22.56	=	23.72 (kN)
x1 ＝	2/3	×	0.725					=	0.48 (m)
W2 ＝	2.0	×	2.9	×	22.56			=	130.85 (kN)
x2 ＝	0.725	＋	1/2	×	2.0			=	1.73 (m)
W3 ＝	1/2	×	0.58	×	2.9	×	22.56	=	18.97 (kN)
x3 ＝	3.305	−	2/3	×	0.58			=	2.92 (m)

W ＝ W1＋W2＋W3＝	173.54	(kN)
x ＝ (W1×x1＋W2×x2＋W3×x3) / W＝	1.69	(m)

② 水圧

砂程度

PH1 ＝	1/2	×	2.9	×	2.9	×	11.77	=	49.49 (kN)
y1 ＝	1/3	×	2.9					=	0.97 (m)
PH2 ＝	2.6	×	2.9	×	11.77			=	88.75 (kN)
y2 ＝	1/2	×	2.9					=	1.45 (m)

PH ＝ PH1+PH2 ＝	138.24	(kN)
y ＝ (PH1×y1＋PH2×y2) / PH ＝	1.28	(m)

PV1 ＝	1/2	×	0.725	×	2.9	×	11.77	=	12.37 (kN)
x1 ＝	1/3	×	0.725					=	0.24 (m)
PV2+PV3＝	2.725	×	2.6	×	11.77			=	83.39 (kN)
x2 + x3＝	1/2	×	2.725					=	1.36 (m)

PV ＝ PV1+PV2+PV3＝	95.76	(kN)
x ＝ (PV1×x1+PV2×x2+PV3×x3)/PV ＝	1.22	(m)

③ 堆砂圧

PeH ＝	1/2	×	0.3	×	0.0^2	×	9.76	=	0.00 (kN)
y ＝	1/3	×	0.0					=	0.00 (m)
PeV ＝	1/2	×	0.25	×	0.0^2	×	9.76	=	0.00 (kN)
x ＝	1/3	×	0.25	×	0.0			=	0.00 (m)

④ 荷重合計

	V(kN)	H(kN)	X(m)	Y(m)	M(kNm)
自　重	173.54		1.69		293.28
水　圧	95.76		1.22		116.83
		138.24		1.28	176.95
堆砂圧	0.00		0.00		0.00
		0.00		0.00	0.00
合　計	269.30	138.24			587.06

a) 転倒に対する検討

$x = \Sigma M / \Sigma V =$ 587.06 / 269.30 = 2.18 (m)

$e = x - 1/2 \times b_2 =$ 0.53 ≦ 0.55

O.K.

b) 滑動に対する検討

$S = (f \times \Sigma V + \tau_0 \times l) / \Sigma H =$ 15.71 ≧ 4.0

O.K.

c) ダム堤体及び基礎地盤の破壊に対する検討

$e = x - 1/2 \times b_2 =$ 0.53 (m)

$\sigma = V/b_2 \times (1 \pm (6 \times e/b_2))$

$\sigma max =$ 159.88 (kN/m2) ＜ 1200

$\sigma min =$ 3.08 (kN/m2) ＞ 0

O.K.

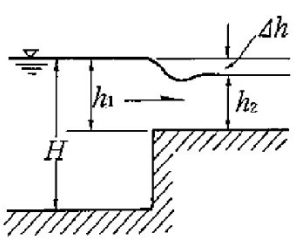
5.6.2 取水口

取水設備から水を取り入れる部分の設備を「取水口」といいます。取水口の種類は表-5.6.5に示すとおり、自然取水、チロリアン堤体穴開け、サイフォンといった方法があります。このうち穴開け方式は砂防堰堤、サイフォン方式は砂防堰堤、または河川の堰などに適用がありますが、中小水力発電の実績としては自然取水方式が多くなっています。

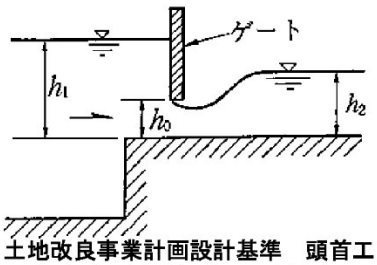
表-5.6.5 取水設備の対応施設[161]

大分類	中分類	小分類	細分類１	細分類２	対応施設		
					水路式	ダム式	ダム水路式
					河川・砂防・農業用水	河川・砂防・農業・上水・工水	河川・砂防・農業・上水・工水
取水設備	取水ダム ※調節池も同様	コンクリートダム	重力ダム			○	○
			中空重力ダム			○	○
			アーチダム			○	○
			バットレスダム			○	○
		土石材料(フィルダム)	アースダム			○	○
			ロックフィルダム			○	○
	砂防ダム	コンクリートダム	重力式コンクリートダム			○	○
			アーチ式コンクリートダム			○	○
		鋼製ダム	鋼製ダム			○	○
		水通し	水通し			○	○
			水抜き孔			○	○
	取水堰	固定堰	固定堰本体(コンクリート)			○	○
		可動堰(ゲート形式)	ローラーゲート			○	○
			ラジアルゲート			○	○
			ローリングゲート			○	○
			スライドゲート			○	○
			ヒンジゲート			○	○
			起伏式ゲート	鋼製起伏式ゲート		○	○
				ゴム引き布製式起伏ゲート		○	○
				ＳＲ合成起伏ゲート		○	○
	取水口	取水口	自然取水方式(流れ込み式)		○		
			チロリアン方式		○		
			堤体穴あけ方式			○	
			サイフォン方式			○	
	除塵設備	スクリーン	フラットバースクリーン	縦スクリーン、横スクリーン	○		○
			防塵柵（フロート型）		○		○
			網式		○		○
		除塵機	レーキ式（チェーン式）		○		○
			走行式（ロープ式）				
			回転ネット式				
			その他	無動力除塵機	○		○
				小型除塵機(ネット型ストレートフロー式)	○		○
				レーキスキップ式	○		○
				Ｌ型スクリーン昇降式	○		○
				パンタグラフ型	○		○
				横スクリーンワイパーレーキ型	○		○

[161] 出典）経済産業省 資源エネルギー庁「中小水力計画導入の手引き」平成 26 年 3 月 p.3-7

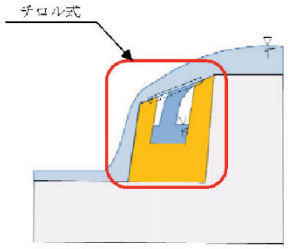


水路式（自然取水）



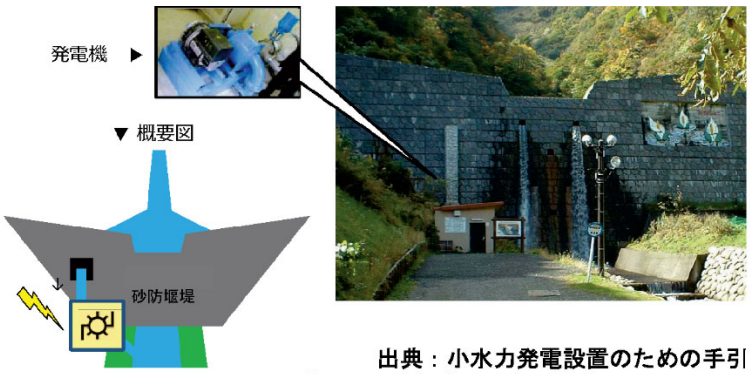
出典：土地改良事業計画設計基準　頭首工

水路式（調整ゲート付き）



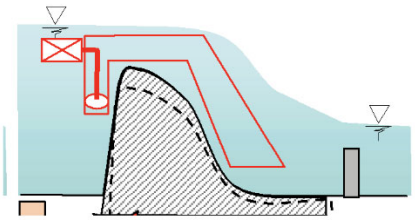
出典：小水力発電を河川区域内に設置する場合のガイドブック

チロリアン方式



出典：小水力発電設置のための手引き

堤体穴あけ方式



出典：小水力発電を河川区域内に設置する場合のガイドブック（案）

サイフォン方式

図-5.6.12　取水口の種類[162]

---

[162] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「中小水力計画導入の手引き」平成 26 年 3 月 p.3-10

このなかで、中小水力発電では、維持管理面や既設構造物への影響が小さい方法である「自然取水方式､」が多く採用されています。本テキストではこの自然取水方式の設計について概説します。なお、中小水力発電は流れ込み式が一般的であることから、無圧水路に接続する場合を想定します。

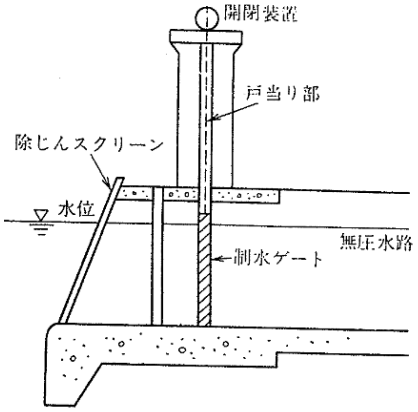


図-5.6.13　取水口の構造[163]

写真提供：山梨県企業局 発電総合制御所

自然取水方式の取水口の例（山梨県 重川発電所）

[163] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.75

（取水口の位置と方向）

中小水力発電ガイドブックでは取水口の位置と方向について以下のとおり記載があります。特に既設の農業用水取水施設や砂防堰堤を利用する場合は、既設の構造物や付属設備との干渉にも注意が必要です。

取水口の位置および方向

取水口の位置は極端な水流の激突や土砂の堆積を防ぐため一般に川の流れが直線的なところで、土砂や漂流物が流入しないように、河川に直角か、やや上流向きに設ける。また、背後に沈砂池を設けることができる位置を選定する。

出典：中小水力発電ガイドブック[164]

取水口は土砂が堆積しやすいことから、安定した発電所の運用には取水口の位置は慎重に検討する必要があります。取水口で堆積が頻繁に発生するとその除去を人力で対応できないことから、重機による搬出が必要になり、維持管理コストの負担が大きくなるため注意が必要です。

写真提供：山梨県企業局 発電総合制御所

自然取水方式の取水口入口の土砂堆積（左）と重機による除去（右）
（山梨県企業局 重川発電所）

（取水口の設計）

取水口の設計について、中小発電ガイドブックでは以下のとおり記載があります。

取水口の設計

取水口入口は幅を広くし、流入速度が 0.3m/s～1.0m/s 程度となるよう設計する。入口敷高は、取水ダムの土砂吐き天端高より 1m 程度低くするか、入口前面にもぐり堰を設け、土砂の流入を防ぐ。また、前面には、バー間隔 5cm～15cm 程度のスクリーンを設ける。

出典：中小水力発電ガイドブック[165]

---

[164] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.65

[165] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.65

取水口の流速は遅い方が土砂や濁水の流入が緩和される傾向となりますが、一方で必要となる断面積が大きくなるため、現地の堆砂状況やコストを踏まえて決定する必要があります。想定する取水口での取水位(H_1)を設定した後、導水路・沈砂池との標高関係を踏まえて取水口の敷高(H_B)を決定することで取水口の水深(H_1-H_B)が決まります。あとは、流速を満足するような取水口の幅を試算して決めるのが一般的な方法です。

【取水口幅の計算例】

取水口の水深（H）60cm、最大使用水量（Q）2.3m^3/s の場合で、設計流速（V）0.9m/s 以下を満足する幅（B）を求める。

$Q = A \times V$

ここで、A；断面積（H×B）、V；流速（V）

幅 B を 4.5m とすると、$A=0.6\times4.5 = 2.7m^2$ であるから上記式より

$2.3 = 2.7 \times V$

$V = 2.3/2.7 = 0.85m/s < 0.90m/s$

ゆえに、取水口の幅が 4.5m であれば、設計条件を満足する。

5.6.3 導水路

導水路は、取水口より取水した水を水槽まで導水する構造物であり、表-5.6.6 に示す通り自由水面で流れる無圧式と内部全体に圧力がかかる圧力式に分類されます。構造別に分類すると、無圧式として用いられているものには開渠、蓋渠、暗渠等があり、圧力式としては鋼管、強化プラスチック管（FRP 管）等があります。取水方式がダム式の場合は圧力式となりますが、前述した自然取水方式は無圧式となります。ここでは、自然取水方式を想定して無圧式の導水路の設計について概説します。

表-5.6.6 導水路の形式[166]

大分類	中分類	小分類	対応施設		
			水路式	ダム式	ダム水路式
			河川・砂防・農業用水	河川・砂防・農業・上水・工水	河川・砂防・農業・上水・工水
導水設備	導水路	無圧式	○		○
		圧力式	○	○	○
	水槽	ヘッドタンク（普通水槽）	○		○
		サージタンク（調圧水槽）	○		○
	余水路	開渠	○		○
		蓋渠	○		○
		管路	○		○
	水圧管路	露出式	○	○	○
		埋設式	○	○	○

166 出典）経済産業省資源エネルギー庁「中小水力計画導入の手引き」平成 26 年 3 月 p.3-13

（導水路の流下能力）

発電所の最大使用水量を流下できる断面とします。なお、以下の基準により最大使用水量に対して余裕をみる場合があります。また無圧式の管路の場合は、その管径の 80%水深で最大使用水量を流下できるように設計するケースあります。

> 水路余裕高については、水路が遭遇する不測の事態に対処するもので、その余裕高を含んで流下できる流量によってもその多少が判断される。余裕高を含んだ断面での通水可能量と設計流量との比は、（余裕高を含んだ断面での通水可能量）／設計流量=1.25～1.35 程度として、この比は少なくとも 1.2 を下回らないこととする。
>
> 出典：『土地改良事業計画設計基準 設計 水路工[167]より

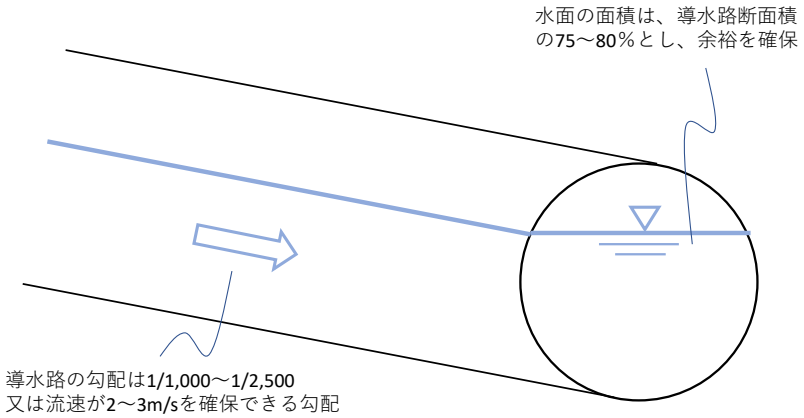
（導水路の水理条件）

中小水力発電ガイドブックに記載があるとおり、動水勾配を大きくすると水路断面が小さくなって建設コストは縮減されますが、一方で損失水頭が大きくなることから発電量が小さくなります。このため一般的に動水勾配を 1/1,000～1/2,500 程度となるように設定し、その流速から求まる水路断面を採用します。また、導水路の流速は 2m/s～3m/s が目安とされています。

> 通水量を一定とした場合、水路の動水勾配は、直接通水断面に影響を与え、動水勾配を大きくとると断面積が小さくなって建設費は減少する。しかし、損失落差が大きくなるということなので、電力損失が増大する。動水勾配を小さくとればこの逆となり、どこかに一番経済的な断面と勾配（1/1,000～1/2,500）がある。
>
> また、使用水量の小さい場合には、導水路の断面を最小施工可能断面とせざるを得ない場合も多い。
>
> 以上のような点から水路の断面を決めるが、更にその水路が運転維持の上から安全でなければならない。あまり流速を速くすると水路内面の摩耗が大となり、ゆるやかにしすぎると土砂が水路内に沈殿して通水面積が減じたり、水虫や藻が発生することにもなる。水路の流速は 2m/s～3m/s をとる例が多い。
>
> 出典：中小水力発電ガイドブック[168]より

[167] 出典）農林水産省「土地改良事業計画基準 設計 水路工」平成 26 年 3 月改定

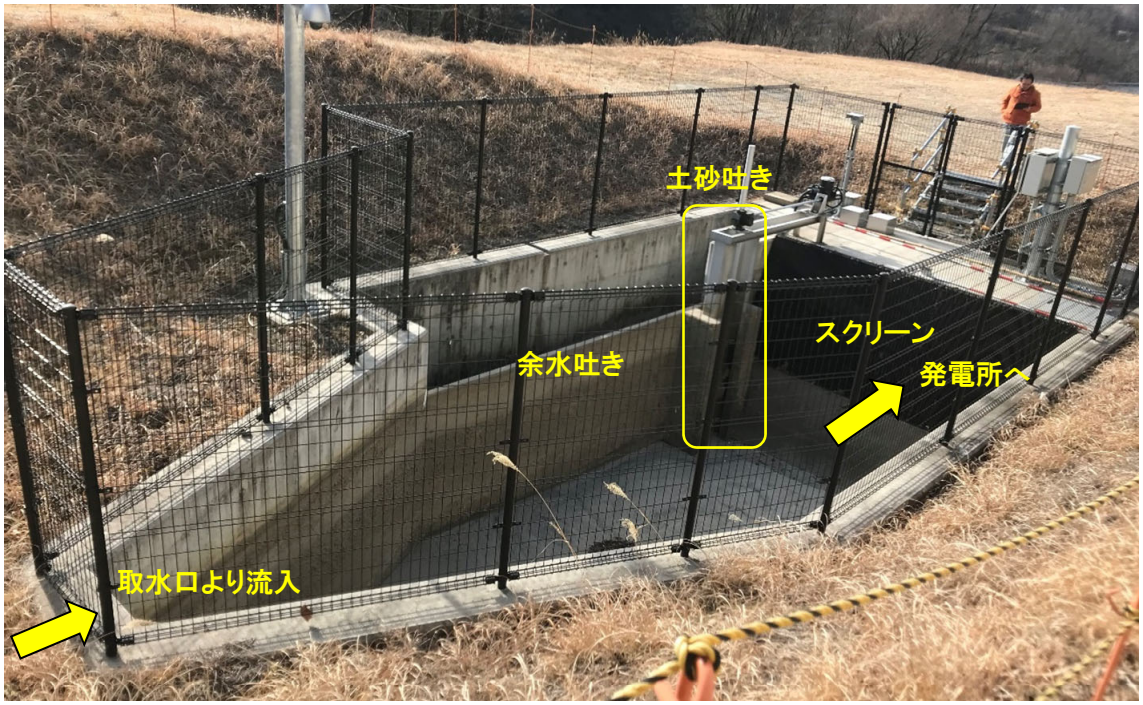
[168] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.67



導水路の概念図

5.6.4 沈砂池

河川水には、常に多少の土砂が浮遊しており、特に出水時にはその濃度が非常に大きくなります。水路式の場合、土砂が浮遊したまま水路へ流入し水路内に沈澱して流積を狭めたり、水圧鉄管や水車を摩耗させたりする原因となるため、取水口に近いところに沈砂池を設け、流入土砂を沈澱させ排除するのが一般的です。



写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

沈砂池の事例（山梨県企業局 重川発電所）
メンテナンスのため抜水してある状態

（沈砂池の長さ）

沈砂池の長さは中小水力発電ガイドブックには以下のとおり記載されています。

> 沈砂池の長さは、細砂が水面から沈降しつつ、沈砂池の終端で底部に達するに十分な長さを求めるもので、すなわち、
>
> $L = d / v \times V$
>
> ここで、L；沈砂池の長さ（m）、d；沈砂池の水深（m）v；土砂の沈降速度（m/s）、
>
> V；沈砂池内の平均流速（m/s）
>
> であるが、上式は理論式であって実際には、L は、計算値の 2～3 倍にとっている例が多い。なお、通常 v は 0.1m/s、V は 0.3m/s 程度となっている。
>
> 出典：中小水力発電ガイドブック[169]より

沈砂池内に沈殿した土砂は、水の流下エネルギーで容易に排除できるように、中小水力発電ガイドブックでは底盤勾配を 1/20～1/50 として、沈砂池末端（下流端）1 箇所に集積し、土砂吐ゲートを設けて堆積した土砂を排出することとしています。

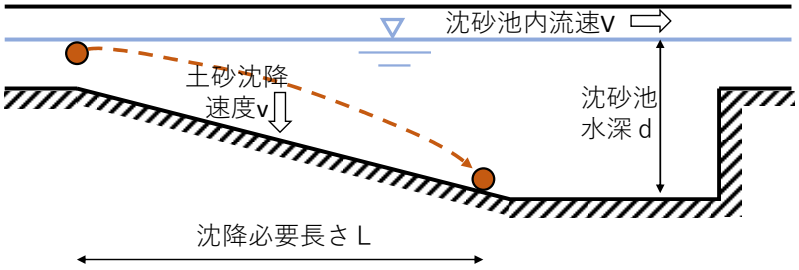
（沈砂池の幅）

沈砂池の幅は以下の式より設定します。下記式の v は中小水力発電ガイドブックでは 0.3m/s とされています。

$Q = A \times V = (B \times h) \times V$

$B = Q / (h \times V)$

ここに、B；沈砂池幅（m）、Q；最大使用水量（m^3/s）、h；水深（m）、v；沈砂池内流速（m/s）



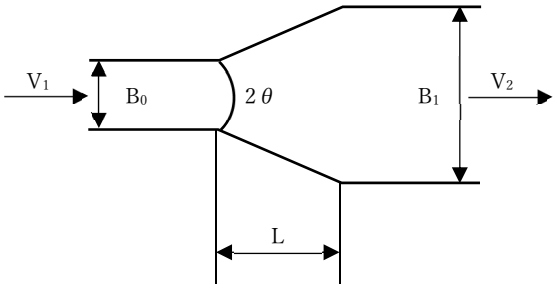
沈砂池の概念図

（導水路と沈砂池の接合部）

導水路と沈砂池との間の接合部では、沈砂池の機能上、沈砂池の流入する流れを池の全断面にわたり一様に分布させるために、その区間の流積を漸次増大させる必要があります。その漸拡部では、下図の広がり角度 2θ が大きくなると水脈の剥離を生じます。

---

[169] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.66



漸拡部の広がり角度

水路幅が拡幅する矩形断面水路における剥離の発生条件は、フルード数および広がり角度により図-5.6.14 に示すとおりとされています。設計する発電所の水深（h）と流速（V）からフルード数（F=V/√(9.8×h)）を求めることで、剥離が生じない広がり角度（2θ）を決定し、最終的に導水路幅 B_0 と沈砂池の幅 B_1 をもとに、L（漸拡長さ）を設定することができます。

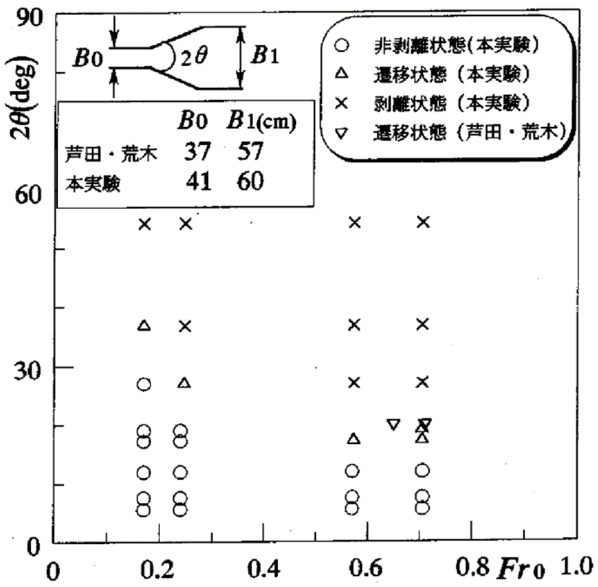


図-5.6.14 流入フルード数による漸拡部の流れの剥離状態[170]

[170] 出典）鬼束 幸樹，浦 勝，秋山 壽一郎，坂本 真，政徳 克志「開水路漸拡流の水理特性量の流下方向変化に関する実験的研究」土木学会論文集 No.545／Ⅱ-36，pp.44　1996.8』

5.6.5 余水吐き

発電負荷の減少に伴い発電所の使用水量が減少すると、流入してくる水の一部が不要となるので、この余水を放流するために余水吐きを設ける必要があります。余水吐きの形式は一般的に横越流型を採用し、その越流頂標高は最大使用水量流下時の水面高に合わせて設計します。この余水吐の規模は全負荷遮断時に最大使用水量すべてを流下させるように設計することが基本です。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

余水吐きの事例（山梨県　重川発電所）

ここでは、堰の公式を用いて設計する方法を概説します。設計流量は安全側と考慮すると、１）発電取水時に発電停止時を想定（発電所方向には流量がゼロ＝最大使用水量)、２）洪水時に沈砂池へ流入してくることが予想される流量、を踏まえて決める必要があります。なお、洪水時に必ず取水口の制水ゲートを全閉できる場合は１）のみの条件となります。必要となる余水吐きの越流水深の計算の方法の一つとしてせきの越流量の計算式があります。せき幅（B)、せき長（L）と越流水深（h）のトライ・アンド・エラーにより、現地の形状に適したせき幅、せき長、越流水深を決めることになります。

1.1.2　長方形せきの越流量（図 3-1.11 参照）

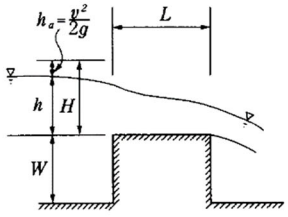


図 3-1.11　長方形せきの諸元

（a）　越流水深による表示

$$Q=CBh^{3/2} \quad \cdots\cdots(3\text{-}1.5)$$

$$0<h/L\leqq 0.1 \ ; \ C=1.642(h/L)^{0.022} \quad \cdots\cdots(3\text{-}1.5.a)$$

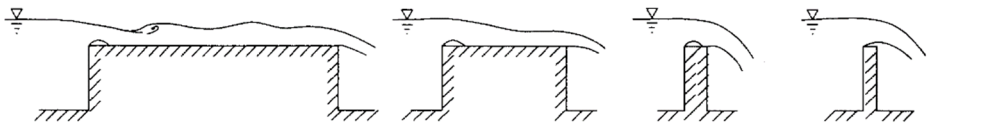
$$0.1<h/L\leqq 0.4 \ ; \ C=1.552+0.083(h/L) \quad \cdots\cdots(3\text{-}1.5.b)$$

$$0.4\leqq h/L\leqq(1.5\sim1.9) \ ; \ C=1.444+0.352(h/L) \quad \cdots(3\text{-}1.5.c)$$

$$(1.5\sim1.9)\leqq h/L \ ; \ C=1.785+0.237(h/W) \quad \cdots(3\text{-}1.5.d)$$

ここに，Q：越流量（m^3/s），B：せきの幅（m），h：越流水深（m），C：流量係数（$m^{1/2}/s$），L：せき長（m），W：せき高（m）．

【解　説】 本式は，Rao と Muralidhar[9] が提案したもので，$W=0.30$ m，$L=0.1\sim3.0$ m，$h=0.03\sim0.27$ m の範囲の実験値より求められた実験式である．式は，せき上の流れが h/L により**図 3-1.12** に示す 4 種類の流況に分類され，流量係数の変化も流況別に整理できることから，それぞれの流況に対して与えられている．狭頂せき流れと刃形せき流れの臨界の h/L は幅をもっているが，これは h/W の影響を受けるためであり，Kandaswamy と Rouse[4] が示した刃形せきを越える水脈形状の測定結果より，$h/L-1.51+0.041$（h/W）の関係を与えている．なお，式（3-1.5.d）は全幅せきにおける Rehbock 式の第 2 項を省略したものである．



(a) 長頂せき流れ
$0<h/L\leqq0.1$
連続した波状水面

(b) 広頂せき流れ
$0.1\leqq h/L\leqq0.4$
せき頂面に平行な流れ

(c) 狭頂せき
$0.4\leqq h/L\leqq1.5\sim1.9$
完全な曲線流

(d) 刃形せき
$1.5\sim1.9\leqq h/L$
下側水脈がせき頂からはく離

図 3-1.12　長方形せきの流況分類

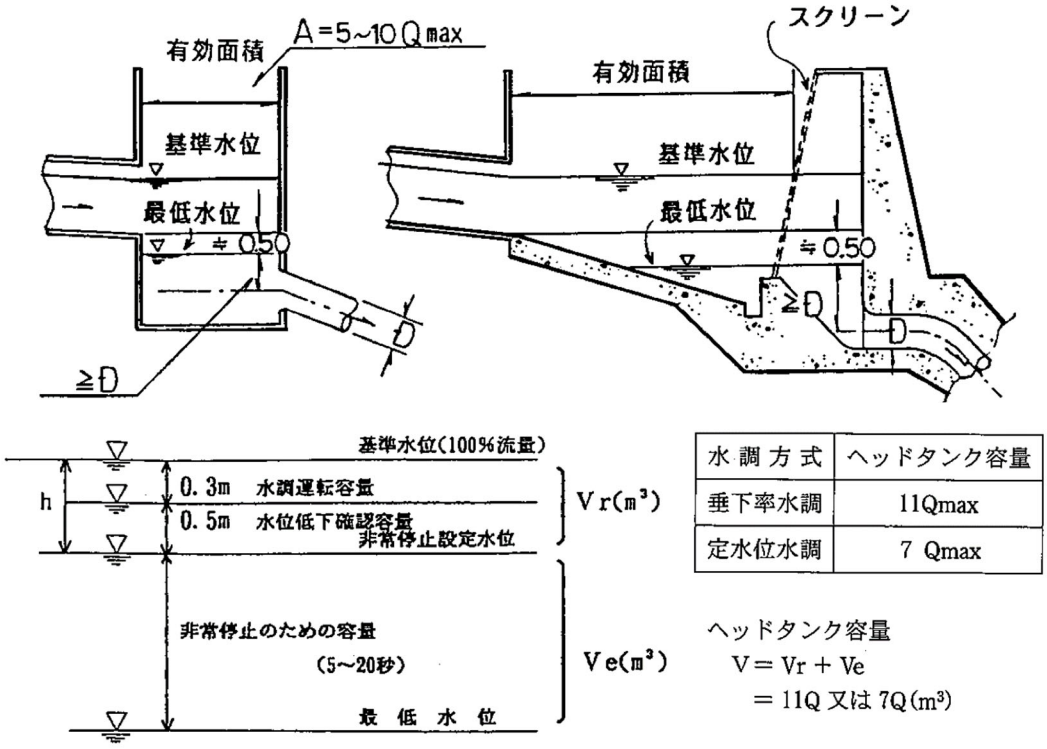
出典：水理公式集[171]より

[171] 出典）土木学会「水理公式集」平成 11 年度版 p.244

5.6.6 水槽（ヘッドタンク）

水槽（ヘッドタンク）の規模は、起動時または定常運転時に必要な「水調運転容量」と、異常な水位低下を生じた場合に、非常停止を開始する水位（非常停止設定水位）までの余裕である「水位低下確認容量」と、さらに「非常停止のための容量」を持つことから決定されます。

まず、水槽の必要面積は、図-5.6.15 に示すとおり水位調整器のハンチング現象を防止するため最大使用水量の 5～10 倍の面積が必要となります。また、水槽の必要容量は図-5.6.15 に示すとおり水位検出装置の故障でヘッドタンク内に異常な水位低下が生じるような運転が行われた時、あるいは水路の破壊等によりヘッドタンク内への水の流入が阻害された時に、発電所の機器がこれらの異常現象発生に応答して停止操作が完了するまでに必要な容量となります。



水調方式	ヘッドタンク容量
垂下率水調	11Qmax
定水位水調	7 Qmax

図-5.6.15 ヘッドタンクの設計条件[172]

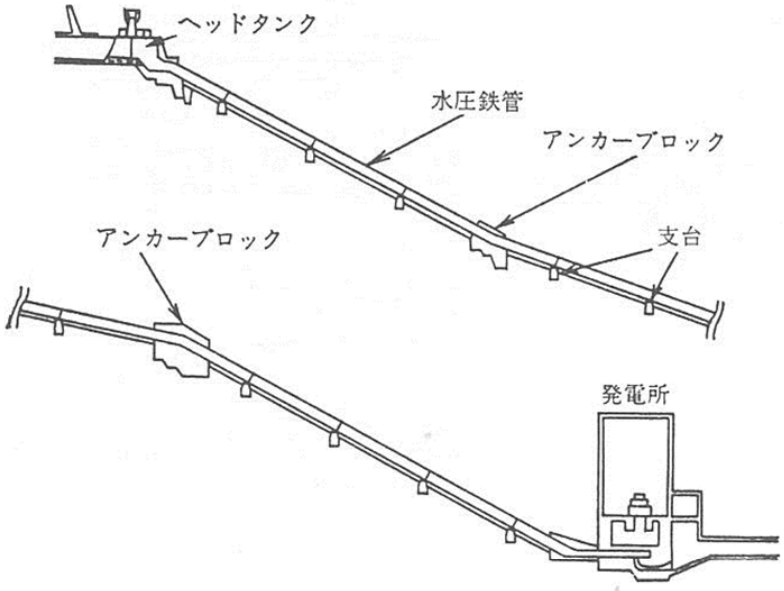
[172] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.312、313

5.6.7 水圧管路

水槽から発電所・水車へ導水するための管路を水圧管路といい、水圧管路の型式は地上敷設式（露出式）と埋設式に大別されます。中小水力発電ガイドブックでは水圧管路内の流速は約 2～4m/s が目安とされています。

写真提供：笛吹川水系発電管理所

水圧管路の例（山梨県企業局 袖ノ木発電所）



水圧管路の例[173]

[173] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.76

（水圧管路の管径）

水圧管路は開水路型の導水路とは違って満管（管路の内部が水で満たされている常態）であることから、設計管径は以下の式から目標とする流速を決めて求めるのが通例です。

【計算例】

最大使用水量 2.5m³/s、設計管内流速 2.7m/s の場合、以下の計算により管径はφ1200 となる。

Q=A×V　ここで、Q；流量（m³/s）、A；断面積（m²）、V；流速（m³/s）

管径φ1200(=1.2m)の場合、断面積 A は　$A=\pi\times(1.2/2)^2 = 1.130m^2$

流速 V は　V=Q/A=3.0/1.130 = 2.65m/s　≒　2.7m/s

（水圧管路の材質）

中小水力発電計画導入の手引きによると、水力発電で採用実績がある管種は表-5.6.7 に示すとおり鋼管、ダクタイル鋳鉄管、FRPM 管とされていますが、近年では高耐圧ポリエチレン管も採用されることが多くなっています。

表-5.6.7 水圧管路の管種一覧[174]

管　種	特　徴	農業 ※1	上下水 ※2	工業用水 ※3	上下水 ※4	備　考
鋼管（ステンレス鋼管含む）	強度が大、耐久性に富み、靭性、延性が良い。耐衝撃性に優れ、重量は比較的軽い。電食に配慮を要する。	○	○（配・給水）	○	○	発電で採用実績あり。
ダクタイル鋳鉄管	強度・耐久性が大きく、耐食性も優れる。電食の恐れが少ない。重量は比較的重い。	○	○（配・給水）	○	○	同上
FRP(M)管	軽量で施工性が良い。耐食性、耐磨耗性、耐衝撃性に優れる。	○			○	同上
硬質塩化ビニール管	軽量で施工性が良い。耐食性、耐電食性に優れる。低温時に耐衝撃性が低下。有機溶剤、熱、紫外線に弱い。	○	○（配・給水）	○	○	
ポリエチレン管	軽量で施工性が良い。耐衝撃性、耐食性、帯電食性に優れる。比較的柔らかく傷がつきやすい。有機溶剤に注意を要する。	○	○（配・給水）		○	
耐圧ポリエチレンリブ管	軽量で施工性が良い。耐食性、耐電食性に優れる。				○	
遠心力鉄筋コンクリート管（HP 管）	耐食性・耐久性が大。電飾の恐れなし。重量が重い。	○		○	○	
プレストレスコンクリート管(PC管)	同上	○		○		

※1：「土地改良事業計画設計基準」、※2：「水道施設設計指針」
※3：「工業用水施設設計基準、※4：「下水道施設設計画・設計指針」

[174] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「中小水力計画導入の手引き」p.3-15

写真提供：山梨県企業局笛吹川水系発電管理事務所

琴川第三発電所 水圧管路（露出部 SM400）

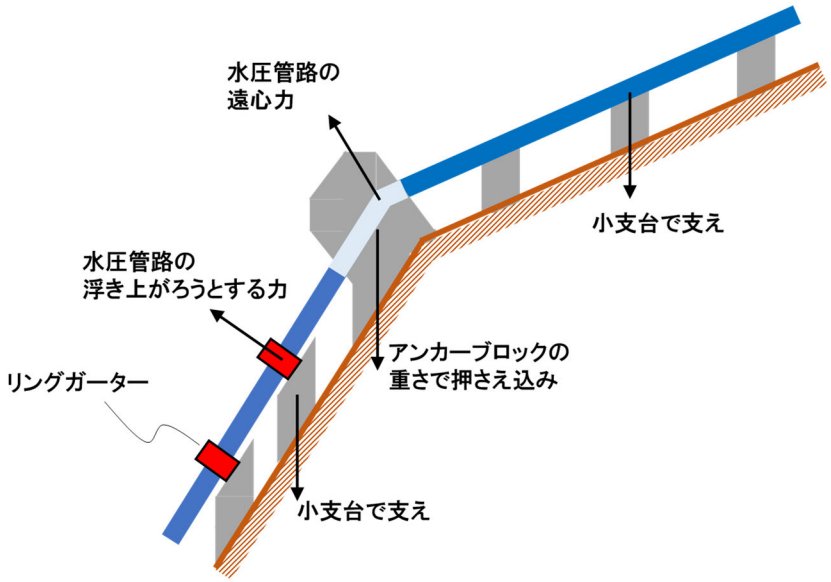
写真提供：山梨県企業局笛吹川水系発電管理事務所

琴川第三発電所 水圧管路（埋設部 FRPM 管）

（水圧管路の基礎）

山の斜面に設置する水圧管路には、アンカーブロックと小支台と呼ばれる 2 種類の土木基礎があります。アンカーブロックは、管路の折れ点に配置して、管路の遠心力を抑える役割があります。小支台は管路の支える役割があります。なお、斜面が急な場合には、小支台にリングガーターを付けて水圧管路を抑える事もあります。

水圧管路の基礎事例(左：小支台、中：リングガーター、右：アンカーブロック)



アンカーブロックと小支台と概念図

5.6.8 放水設備

放水設備は水圧管路を経て水車を回した水を河川などへ還元するための一連の設備です。中小水力発電計画導入の手引きには表-5.6.8 に示すようにその対応施設が整理されています。

表-5.6.8 放水設備の対応施設[175]

大分類	中分類	小分類	対応施設		
			水路式	ダム式	ダム水路式
			河川・砂防・農業用水	河川・砂防・農業・上水・工水	河川・砂防・農業・上水・工水
放水設備	放水路	無圧式	○	○	○
		圧力式	○	○	○
	放水口	無圧式	○	○	○
		圧力式	○	○	○
	代替放流設備	放流バルブ		○	
		放流ゲート		○	
	減勢工	跳水式		○	
		スキージャンプ式		○	
		自由落下式		○	
	放水庭		○	○	○

放水路は発電に利用された流水を河川に還元するための水路で、検討の手法は導水路と同様に、基本的には最大使用水量を放流できる断面として設計しますが、それに加えて完成後の維持管理を視野に作業員が入れるような高さとすることもあります。また、洪水時に河川からの逆流により断面が閉塞しないように留意する必要があります。

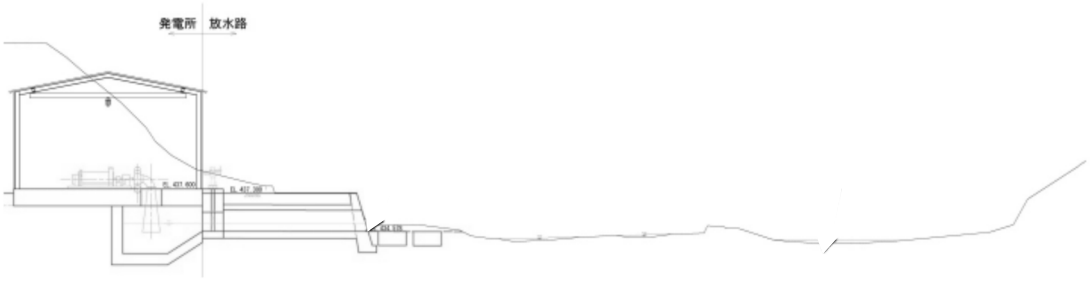
水路幅については水位が低いほど落差がとれることから、可能な限り幅を広げて水位を下げるように配慮しますが、あまり水深が小さすぎるとドラフト管への空気混入の恐れがあるので注意が必要です。放水口は放水路の出口部になり、ゲート設備がついているものもあります。この放水口について、中小水力発電ガイドブックではその設計について以下のように述べられています。

> 放水口は、河川への出口部になるので、河川の流水や流砂により破損しないようその周囲の地形に応じ、コンクリートや練石積みで保護工事を行う。
>
> 放水口の位置は、下記の点に留意して選ぶ必要がある。
>
> (a) 河流中の土砂の堆積によって出口が閉塞される恐れがないこと。
>
> (b) 河川又は、支流の流れが直接激突するようなことない場所であること
>
> (c) 洪水時に水面が著しく上昇せず、また洪水による河床変動がなく洪水による被害の恐れがないこと。
>
> (d) 放水口下流近くで川幅が狭くなる部分がない場所であること

[175] 出典）経済産業省資源エネルギー庁「中小水力計画導入の手引き」p.3-15

写真提供：富山県企業局

放水口の事例（富山県企業局 新大長谷第一発電所）



資料提供：山梨県企業局

放水口の設計事例（山梨県企業局 保川発電所）

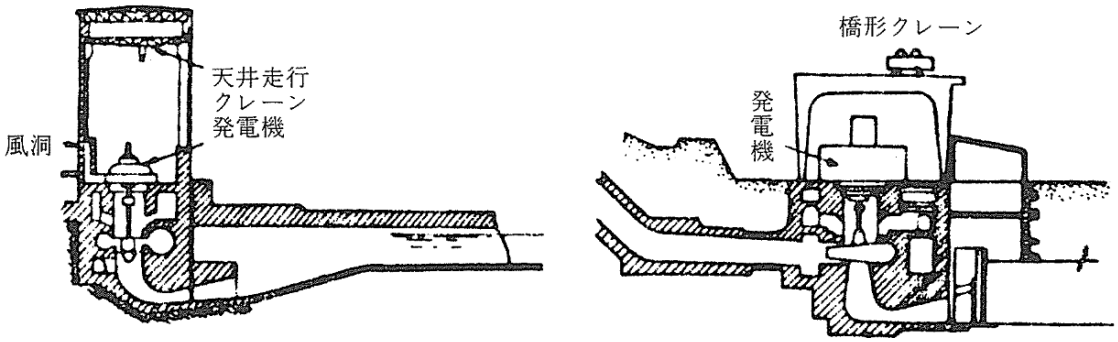


図-5.6.16 放水庭の例[176]（左：屋内式 右：屋外式）

なお、ダムなどの放流設備に発電設備を設置する場合は、放水路として放流バルブなどを設置することもあります。また、放流量が大きく下流河川の河床部などへダメージが予想される場合は減勢工を設置することもあります。この減勢工を設置する場合は水理模型実験などによりその水理特性の把握や河川流況の水理解析などを行い、適切な形状と配置を検討する必要があります。

---

[176] 出典）一般財団法人 新エネルギー財団「中小水力発電ガイドブック 新訂 5 版」平成元年 5 月 p.77

5.6.9 損失水頭

土木設備の形状、寸法、材質が確定した段階で、最終的な損失落差の計算を行います。損失落差は、5 章 3 節 3 項「水車の性能に関する事項 ③損失落差」で示したように、有効落差や発電の出力にも影響するため、土木施設の最終的な形状が決定した段階で再度計算する必要があります。以下には代表的な損失落差の算定式を挙げますが、詳細は水理公式集[177]を参照してください。

（取水口）

$$he = (1 + fe) \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

ここで、h_e：取水口における水面低下量(m)

fe：流入損失係数

v：流速(m/s)

g：重力加速度（9.8m/s^2）

$$hr = fr \times \frac{v^2}{2 \times g} \qquad fr = \beta \times sin\,\theta \times (\frac{t'}{b'})^{4/3} \qquad \left(\frac{t'}{b'}\right) = \frac{\frac{t}{b} + \Delta b/b}{1 - \Delta b/b}$$

ここで、h_r：スクリーンにおける水面低下量(m)

fr：スクリーン損失係数

β：スクリーンバーの形状係数

θ：スクリーの傾斜角（ラジアン）

b：スクリーンバーの純径間(mm)

t：スクリーンバーの厚み(mm)

$\Delta b/b$：流積減少率

（導水路）

$$hl = L \times i$$

ここで、h_l：導水路勾配における水面低下量(m)

L：導水路延長(m)

i：水路勾配

（沈砂池）

沈砂池は水面が対流している区間のため、水路形状変更による損失落差はありません。

（ヘッドタンク）

ヘッドタンクは、水面が対流している区間のため、水路形状変更による損失落差はありません。ただし、ヘッドタンクにスクーンがある場合は、取水口のスクリーンと同じ方法で損失水頭を見込む必要があります。

---

[177] 出典）土木学会発行「水利公式集 第 4 章 水圧管路とサージタンク 4.1.1 損失水頭」平成 11 年度版
※ 発電の損失落差を最も詳しく記載されている水理公式集は昭和 46 年板になります。

（水圧管路）

$$he = fe \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

ここで、h_e：流入口による損失水頭(m)

fe：流入損失係数

v：水圧管路流入後の流速(m/s)

$$h_f = f \times \frac{v^2}{2g} \times \frac{L}{D} \qquad f = 124.5 \times \frac{{n_k}^2}{D^{\frac{1}{3}}}$$

ここで、h_f：摩擦による損失水頭(m)

D：管内径(m)

L；管長さ(m)

f：摩擦損失係数

n_k：マニング（クッタ）の粗度係数(例えば、鋼管 0.012)

$$hb = fb1 \times fb2 \times \frac{v^2}{2 \times g} \qquad fb1 = 0.131 + 0.1632 \times (\frac{D}{r})^{3.5} \qquad fb2 = (\frac{\theta}{90})^{1/2}$$

ここで、h_b：曲がりによる損失水頭(m)

D：管内径(m)

r：曲率半径(m)

θ：曲がり角度（度）

$$hv = fv \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

ここで、h_v：入口弁による損失水頭(m)

fv：弁損失係数

（廃棄損失）

廃棄損失落差は、導水路と同じ考え方になります。

損失落差の計算は、小数第 3 位まで算定します（第 4 位を四捨五入）。他方で、損失落差の数値は、小数第 2 位で表示することとなっています 。この小数第 3 位の計算結果から第 2 位へ変更する際に、「損失落差の余裕」を加えて調整します。

損失落差の余裕は、千秋信一著の「発電水力演習[178]」 のみ記載があります。取水口、導水路、水圧管路等に分けて記載されていますので、必要に応じ参考にしてください。

178 千葉信一「発電水力演習」 学献社

5.6.10 建築設備

発電所の建築設備としては、入口設備、昇降設備（不要な場合もあります）屋内クレーン設備（省略して仮設にする場合もあります）、照明設備、給気・排気設備、油分分離設備、消火設備等が挙げられます。地下式の発電所では最下部のフロアの空気が薄くなり安いため、室内に風洞設備を設ける場合もあります。

以下は中小水力発電として最も一般的な地上式発電所を例として、建築設備の配置の概念を示します。配置の際は、敷地や進入路、駐車スペースと合わせて検討する事が望ましいです。

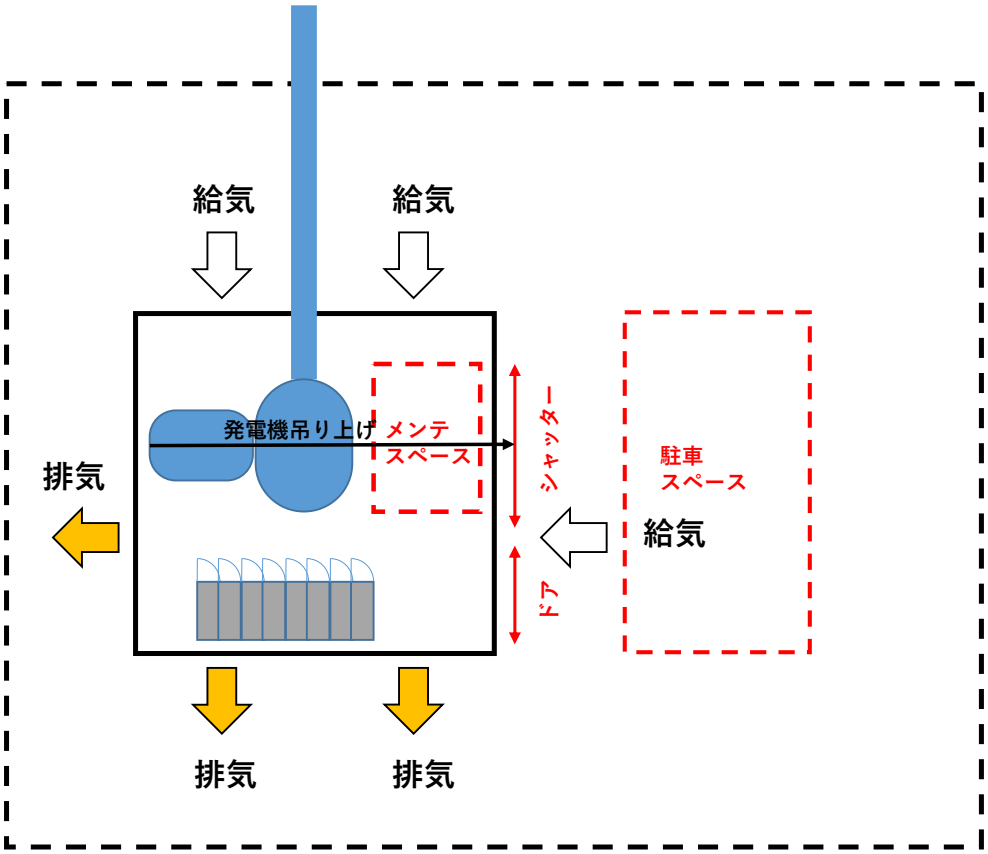


図-5.6.17 建築設備レイアウト概念図

(1) 入口設備

発電所の入り口設備としては、一般ドアとシャッター部分があります。一般ドアは通常管理の際に使いますので、制御盤の近くあった方が、導線がスムーズになります。

またシャッターは水車や発電機を取り外しための目的で配置しますので、原則としては水車軸の延長線上あることが理想的です。入口設備求める仕様は多くなく、消防と関連して防火設備仕様を採用することが多い傾向にあります。シャッターは幅が 3.5～5.0m 程度あるため一般的な店舗やガレージに比べて重く電動を採用することが多いです。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

図-5.6.18 発電所の入口設備の事例

(2) 昇降設備

昇降設備は地下式や半地下式の際に用いられます。半地下式のように段数が少ない場合はコンクリート製の階段が多いですが、地下式発電所は狭く空間を十分に活用するためらせん階段のような鋼製階段を用いることが多いです。鋼製階段の場合は防錆塗装など定期的な管理が必要になるため、管理のしやすい形状を選定することも重要なポイントになります。

また最近では見学者の受け入れなどの目的で、エレベータの設置や見学者通路を設ける発電所もあります。これらの発電所では、専用スペースの確保や段差を少なくするユニバーサルデザインが求められることがありますので、配置や導線を十分に検討する必要があります。

図-5.6.19 鋼製階段の事例

(3) 屋内クレーン設備

屋内クレーンはホイストクレーン（又はホイスト）とも呼ばれます。ホイストクレーンは天井梁に設けることが一般的に多く、梁にアンカーを敷設して固定します。クレーンは吊り荷重と呼ばれる引き上げ重さを設定する必要があり、水力発電では、水車又は発電機を分解した際に最も重い設備を対象とします。なおクレーン自体の重さも考慮する必要があります。ホイストクレーンは全て手動で行うことも出来ますが、数 t はある設備を手作業で実施する事はかなりの重労働になります。このためクレーンや水平宝庫に移動するギヤードトロリは電動することが一般的です。

またホイストクレーンの設置は、発電所の天井高さを決める根拠になります。以下に示すように、水車軸上に点検スペースを設けて屋外搬出を見込むため、発電機（又は水車）が水車（又は発電機）を超えるための十分なクリアランスを確保する必要があります（図-5.6.20 参照）。クレーンはできるだけ入口設備の近くまで移動させることが出来ると搬入出が便利になります。ほとんどの発電所ではシャッター付近までガイドレールを延ばしますが、シャッターの巻き上げ部と干渉しますので、図-5.6.8 の例のように、巻き上げ部が屋外にあると、屋内のガイドレールを最大限延ばすことができます。

なお、ガイドレールは天井にアンカーを打ち込むため、あと施工ができません。設置する場合は当初から見込むようにしてください。

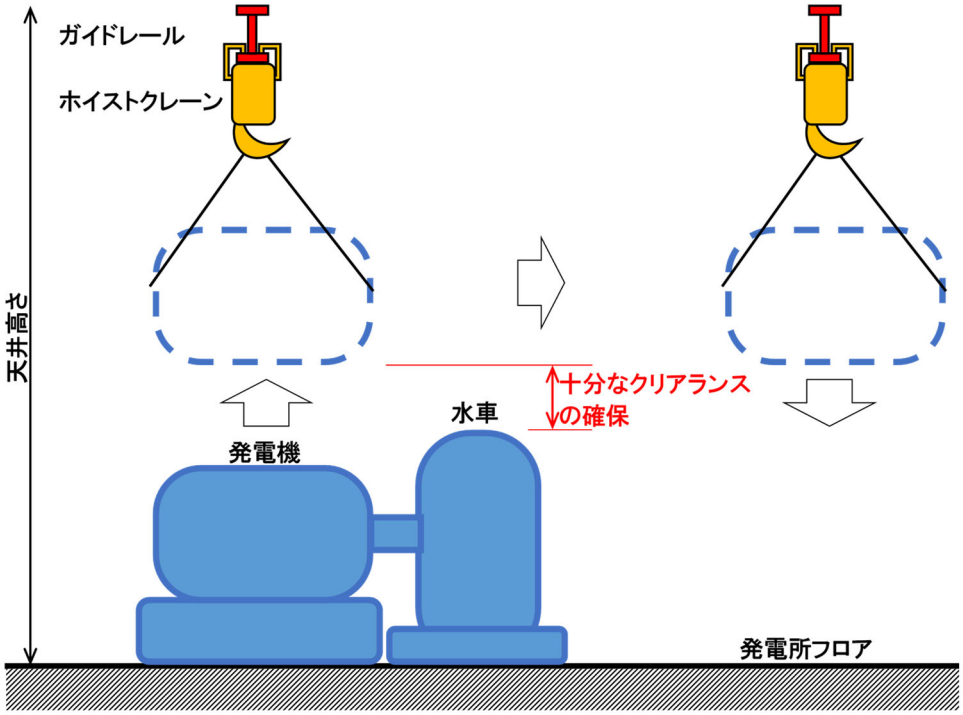


図-5.6.20　ホイストクレーンと水車・発電機とのクリアランス概念図

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

図-5.6.21　ホイストクレーン・ガイドレールの事例

(4) 照明設備

発電所の照明設備は、建築設備設計計算書作成の手引[179]に基づいて算定します。算定式は以下の通りです。目標とする照度は、水力発電所の専門値がないため、JIS Z 9110 照明基準総則　「作業所」に準拠することができます（表-5.6.9 を参照)。水車、発電機、制御盤などは設備や数値計測等を行うため、作業室相当の 500～750Lx 程度を目標とすると良いと思われます。

$$N = \frac{E \times A}{F \times U \times M}$$

ここで、N：照明器具台数（台）

E：照度基準（下表参照）

F：器具 1 台当たりの光束（Lm/台）

U：照明率（%）

M：器具 1 台当たりの保守率

表-5.6.9 照度基準(JIS Z 9110 作業所に準ずる)

領域，作業又は活動の種類		照度 E(Lx)	領域，作業又は活動の種類		照度 E(Lx)
作業室	設計，製図	750	執務室	診察室	500
	キーボード操作，計算	500		印刷室	500
執務室	設計室，製図室	750		電子計算機室	500
	事務室	750		調理室	500
	役員室	750		集中監視室，制御室	500

発電所では地上階に窓を設置することがありますが、窓からの採光は照度計算には含みません。窓は制御盤の背面や発電機の背面などに光があると見えやすくなりますが、あくまでも補足的な役割になります。また、発電所の窓は開ける必要性が無いことが多いため、はめ込み式を採用することが多くなっています。

(5) 給気・排気設備

水力発電所の給気・排気に関する設計指針はありません。このためどれぐらいの換気量を設定するかは発電所によって考え方が異なっています。ここでは一例について紹介します。

① 換気量の算定

必要な換気量は、室内の温度上昇を抑える事を目的として、排熱量から算定します。

排熱は、水車、発電機、変圧器、制御盤から発生すると想定します。例えば出力 200kW

[179] 出典）建築設備設計計算書作成の手引、国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課（著）

の発電所を想定すると以下の様になります。

表-5.6.10 出力 200kW の発電所を想定した排熱量の算定例

	定格容量(kW)	効率(%)	損失(kW)	備 考
水車				全損失は水で吸収と考える
発電機	200	90	20.0	
変圧器	200	98	4.0	
			5.0	1 面あたり 1kW と仮定し 5 面
損失エネルギー：29kWh → 熱量：104,400(kJ/h)又は 24,857(cal/h)				

この排熱量に対して、以下の 3 式から必要換気量を算定し、最も大きい必要換気量を採用します。

1）発熱量から求める換気量

$$Q = \frac{H}{\gamma \times Cp \times (t1 - t2)}$$

ここで、Q：換気量（m^3/h）

H：排熱量（kJ/h）

γ ：空気質量（1.2 kg/m^3）

Cp：空気比熱（1.006 kJ/kg/℃）

t1：外気温度（発電所地点の過去最高気温）

t2：室内許容温度（管理温度 25～28℃程度）

2）建築基準法に基づく換気量

$$Q = \frac{20 \times A}{a}$$

ここで、A：発電所フロア面積（m^2）

a：1 人当たりの占有面積（m^2/人 （フロア面積－設備配置面積）÷同時収容人数）

（ただし、a は算定結果が 10m^2 以上の場合は 10m^2 とします。）

3）室内の必要換気回数から求める方法(衛生試験所による 1 時間当たり空気入れ替え回数)

$Q = N \times V$

ここで、N：必要換気回数（回/h JIS A3302（建築物の用途別による屎尿浄化槽の処理対象人員算定表より、「工場・作業所・管理所」に準拠）

V：発電所室内空間（m^3）

② 換気設備

換気設備は、①で算定した必要換気量を満たす設備を選定します。発電所が稼働している最中は換気をし続けますので、電動の有圧換気扇（産業用）が良いと思います。換気設備は故障すると発電所の室内温度が上昇して、エラー検知の要因にもなりますので、耐久性のあるステンレス製がお勧めです。また雨・風・虫対策のため、風圧式シャッター、ガラリ、屋外フード、防虫網を付けると効果的です。

③ 給気設備

給気は、室内の負圧状態を防ぐため、換気設備以上の給気量を計画する必要があります（室内で負圧が発生すると入口ドアが開きにくくなります)。給気は、発電所の壁に余裕があればガラリによる自然開口でよく、壁に余裕が無い場合は給気ファンを付けます。自然開口による給気の開口面積は以下に示すとおりですが、ガラリの有効開口率は、ガラリメーカーの資料を参照してください。またガラリは開口向きによっては雨が入る要因になりますので、開口向きに注意してください。

$$A = \frac{Q}{3{,}600 \times v \times \eta}$$

ここで、A：自然開口の必要開口面積（m^2）

v：給気ガラリの場合の面風速（3.0m/s）

η ：ガラリの有効開口率（0.3～0.7 程度）

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

図-5.6.22 給気・排気設備

（左：換気設備(屋外） 中：換気設備(室内） 右：自然開口ガラリ）

給気はガラリによる自然開口が良いですが、積雪によりガラリが埋もれてしまう可能性がある地域では、給気ファンの適用も検討することが望ましいです。また、給気と換気が１台でできるシロッコファンは、室内の空気循環の検討が難しいため、メーカーによる助言をもらいながら検討を進めてください。

(6) 油分分離設備

日本国内の製造水車は、入口弁やサーボモーター等も電動式となっており、圧油装置などは近年少なくなってきています。他方で海外製水車は油圧装置が多いこと、また国内の製造水車でもグリース等の一部でオイルを利用していることから、発電所から油成分が出ないよう油漏れ検知器を設置することがあります。これと水槽を合わせて油分分離設備と言います。油分分離設備の設置は義務ではありませんが、河川環境等に配慮した取組としては望ましい装置と言えます。

油分分離設備は、発電所のフロアの最も低いフロアレベルに、図-5.6.23 に示すような水槽を設けます。発電所内では結露などに対応するため排水溝が設けられますが、全ての排水溝がこの水槽に入るように設計します。また油膜層は、油漏れ検知器のアラートが出たタイミングで清掃を行います。

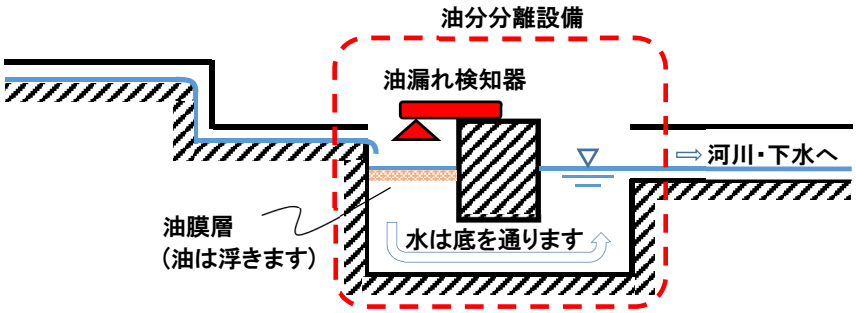


図-5.6.23 油分分離設備の概念図

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

図-5.6.24 油分分離設備の事例

(7) 消火設備

消火設備は、建築基準法の建物分類によって設置するべきものが異なります。中小水力発電では 3 号又は 4 号に該当することがほとんどです。該当の確認については所管する市役所の建築主事と消防署と十分な確認が必要になります。なお消防法施行令による耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない特殊建造物については表-5.6.11、及び表-5.6.12を参照ください。

＜建築基準法第6条に規定する建築物の分類＞

1 号建築物

特殊建築物（建築基準法別表第 1（い）欄の用途のもの）かつ　床面積＞100m²

2 号建築物

木造かつ 階数≧3 延面積＞500m² H＞13m 軒 H＞9m のどれかにあてはまるもの

3 号建築物

木造以外かつ　階数≧2　延面積＞200m²　のどれかにあてはまるもの

4 号建築物

上記以外のもの

表-5.6.11 耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない特殊建築物[180]

	(い)	(ろ)	(は)	(に)
	用途	(い)欄の用途に供する階	(い)欄の用途に供する部分((1)項の場合にあつては客席、(5)項の場合にあつては3階以上の部分に限る。)の床面積の合計	(い)欄の用途に供する部分((2)項及び(4)項の場合にあつては2階の部分に限り、かつ、病院及び診療所についてはその部分に患者の収容施設がある場合に限る。)の床面積の合計
(1)	劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場その他これらに類するもので政令で定めるもの 政令＝未制定	3階以上の階	200m²（屋外観覧席にあつては、1,000m²）以上	
(2)	病院、診療所（患者の収容施設があるものに限る。）、ホテル、旅館、下宿、共同住宅、寄宿舎その他これらに類するもので政令で定めるもの 政令＝令115条の3第一号	3階以上の階		300m²以上
(3)	学校、体育館その他これらに類するもので政令で定めるもの 政令＝令115条の3第二号	3階以上の階		2,000m²以上
(4)	百貨店、マーケット、展示場、キャバレー、カフェー、ナイトクラブ、バー、ダンスホール、遊技場その他これらに類するもので政令で定めるもの 政令＝令115条の3第三号	3階以上の階	3,000m²	500m²
(5)	倉庫その他これらに類するもので政令で定めるもの 政令＝未制定		200m²	1,500m²
(6)	自動車車庫、自動車修理工場その他これらに類するもので政令で定めるもの 政令＝令115条の3第四号	3階以上の階		150m²

[180] 出典）建築基準法　別表第1

表-5.6.12 防法施行令における防火対象物の用途一覧[181]

項別		防火対象物の用途等
(一)	イ	劇場、映画館、演芸場又は観覧場
	ロ	公会堂又は集会場
(二)	イ	キャバレー、カフェー、ナイトクラブその他これらに類するもの
	ロ	遊技場又はダンスホール
	ハ	風俗営業等の規制及び業務の適正化等に関する法律第 2 条第 5 項に規定する性風俗関連特殊営業を営む店舗（ニ並びに(1)項イ、(4)項、(5)項イ及び(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供されているものを除く。）その他これに類するものとして総務省令で定めるもの
	ニ	カラオケボックスその他遊興のための設備又は物品を個室（これに類する施設を含む。）において客に利用させる役務を提供する業務を営む店舗で総務省令で定めるもの
(三)	イ	待合、料理店その他これらに類するもの
	ロ	飲食店
(四)		百貨店、マーケットその他の物品販売業を営む店舗又は展示場
(五)	イ	旅館、ホテル、宿泊所その他これらに類するもの
	ロ	寄宿舎、下宿又は共同住宅
(六)	イ	病院、診療所又は助産所
	ロ	老人短期入所施設、養護老人ホーム、特別養護老人ホーム、有料老人ホーム（主として要介護状態にある者を入居させるものに限る。）、介護老人保健施設、救護施設、乳児院、知的障害児施設、盲ろうあ児施設（通所施設を除く。）、肢体不自由児施設（通所施設を除く。）、重症心身障害児施設、障害者支援施設（主として障害の程度が重い者を入所させるものに限る。）、老人福祉法第 5 条の 2 第 4 項若しくは第 6 項に規定する老人短期入所事業若しくは認知症対応型老人共同生活援助事業を行う施設又は障害者自立支援法第 5 条第 8 項若しくは第 10 項に規定する短期入所若しくは共同生活介護を行う施設（主として障害の程度が重い者を入所させるものに限る。ハにおいて「短期入所等施設」という。）
	ハ	老人デイサービスセンター、軽費老人ホーム、老人福祉センター、老人介護支援センター、有料老人ホーム（主として要介護状態にある者を入居させるものを除く。）、更正施設、助産施設、保育所、児童養護施設、知的障害児通園施設、盲ろうあ児施設、（通所施設に限る。）、肢体不自由児施設（通所施設に限る。）、情緒障害児短期治療施設、児童自立支援施設、児童家庭支援センター、身体障害者福祉センター、障害者支援施設（主として障害の程度が重い者を入所させるものを除く。）、地域活動支援センター、福祉ホーム、老人福祉法第 5 条の 2 第 3 項若しくは第 5 項に規定する老人デイサービス事業若しくは小規模多機能型居宅介護事業を行う施設又は障害者自立支援法第 5 条第 6 項から第 8 項まで、第 10 項若しくは第 13 項から第 16 項までに規定する生活介護、児童デイサービス、短期入所、共同生活介護、自立訓練、就労移行支援、就労継続支援若しくは共同生活援助を行う施設（短期入所等施設を除く。）
	ニ	幼稚園又は特別支援学校
(七)		小学校、中学校、高等学校、中等教育学校、高等専門学校、大学、専修学校、各種学校その他これらに類するもの
(八)		図書館、博物館、美術館その他これらに類するもの
(九)	イ	公衆浴場のうち、蒸気浴場、熱気浴場その他これらに類するもの
	ロ	イに掲げる公衆浴場以外の公衆浴場
(十)		車両の停車場又は船舶若しくは航空機の発着場（旅客の乗降又は待合いの用に供する建築物に限る。）
(十一)		神社、寺院、教会その他これらに類するもの
(十二)	イ	工場又は作業場
	ロ	映画スタジオ又はテレビスタジオ
(十三)	イ	自動車車庫又は駐車場
	ロ	飛行機又は回転翼航空機の格納庫
(十四)		倉庫
(十五)		前各項に該当しない事業場
(十六)	イ	複合用途防火対象物のうち、その一部が(1)項から(4)項まで、(5)項イ、(6)項又は(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供されているもの
	ロ	イに掲げる複合用途防火対象物以外の複合用途防火対象物
(十六の二)		地下街
(十六の三)		建築物の地階（(16 の 2)項に掲げるものの各階を除く。）で連続して地下道に面して設けられたものと当該地下道とを合わせたもの（(1)項から(4)項まで、(5)項イ、(6)項又は(9)項イに掲げる防火対象物の用途に供される部分が存するものに限る。）
(十七)		文化財保護法の規定によつて重要文化財、重要有形民俗文化財、史跡若しくは重要な文化財として指定され、又は旧重要美術品等の保存に関する法律の規定によつて重要美術品として認定された建造物
(十八)		延長 50 メートル以上のアーケード
(十九)		市町村長の指定する山林

[181] 出典）消防法施行令　別表第 1

（二十）	総務省令で定める舟車

※　黄色部は特定防火対象物

中小水力発電所では、耐火構造物として消火設備を用意する際に、電気設備を配置しているため特殊設備を置くことになります。管理の方法を含めて設備を選定し、消防署と協議して決定すること望ましいです。

① 消火器具

消防法では、対応する火災によりA，B，C火災用の3種類があり、表面に表示されており、A火災（普通火災）用は、用紙、木、繊維、樹脂など、主として固形物が燃える一般的な火災に適応、B火災（油火災）用は、油、ガソリンによる火災に適応、C火災（電気火災）用は、電気設備の火災に適用されます。二酸化炭素消化器は製造サイズを、事前にメーカーにご確認ください。

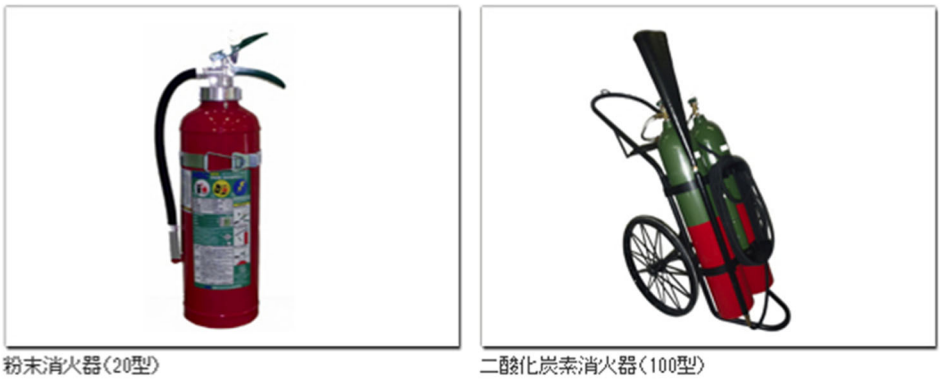


図-5.6.25 消火器具の例[182]

② 屋内消火栓設備(1 号･2 号)

屋内消火栓設備は、人が操作することによって火災を消火する設備であり、水源、加圧送水装置（消火ポンプ)、起動装置、屋内消火栓（開閉弁、ホース、ノズル等)、配管・弁類及び非常電源等から構成されています。屋内消火栓の種類には、放水圧力、放水量及び操作性によって、1号消火栓、易操作性1号消火栓及び2号消火栓に区分され、設置する防火対象物及び水平距離が定められています。発電所においては、放水による地絡・漏電の可能性があるため、設置箇所を屋外施設などに留めることも検討する必要があります。

表-5.6.13 屋内消火設備の基本仕様と適用[183]

項目＼消火栓の区分	1号消火栓	易操作性1号消火栓	2号消火栓	広範囲型2号消火栓
放水量（L/min）	130		60	80
放水圧力（MPa）	0.17 ～ 0.7		0.25 ～ 0.7	0.17 ～ 0.7
操作性	2人以上	1人	1人	1人
防火対象物	A.工場又は作業所 B.倉庫 C.指定可燃物（可燃性液体類に係るものを除く。）を貯蔵し、又は取り扱うもの D.A～C以外の防火対象物		左欄のA～C以外の防火対象物	左欄のA～C以外の防火対象物

182 出典）東京防災設備株式会社「消火機器　消火器・簡易消火用具」
<http://www.tokyo-bosai-setsubi.co.jp/c_bousaiseihin-p9.html>（2022.1.31 閲覧）

183 出典）一般社団法人日本消火装置工業会「屋内消火栓設備」
<http://shosoko.or.jp/equipment/okunai.html>（2022.1.31 閲覧）

水平距離（ｍ）	２５　以下	１５　以下	２５　以下

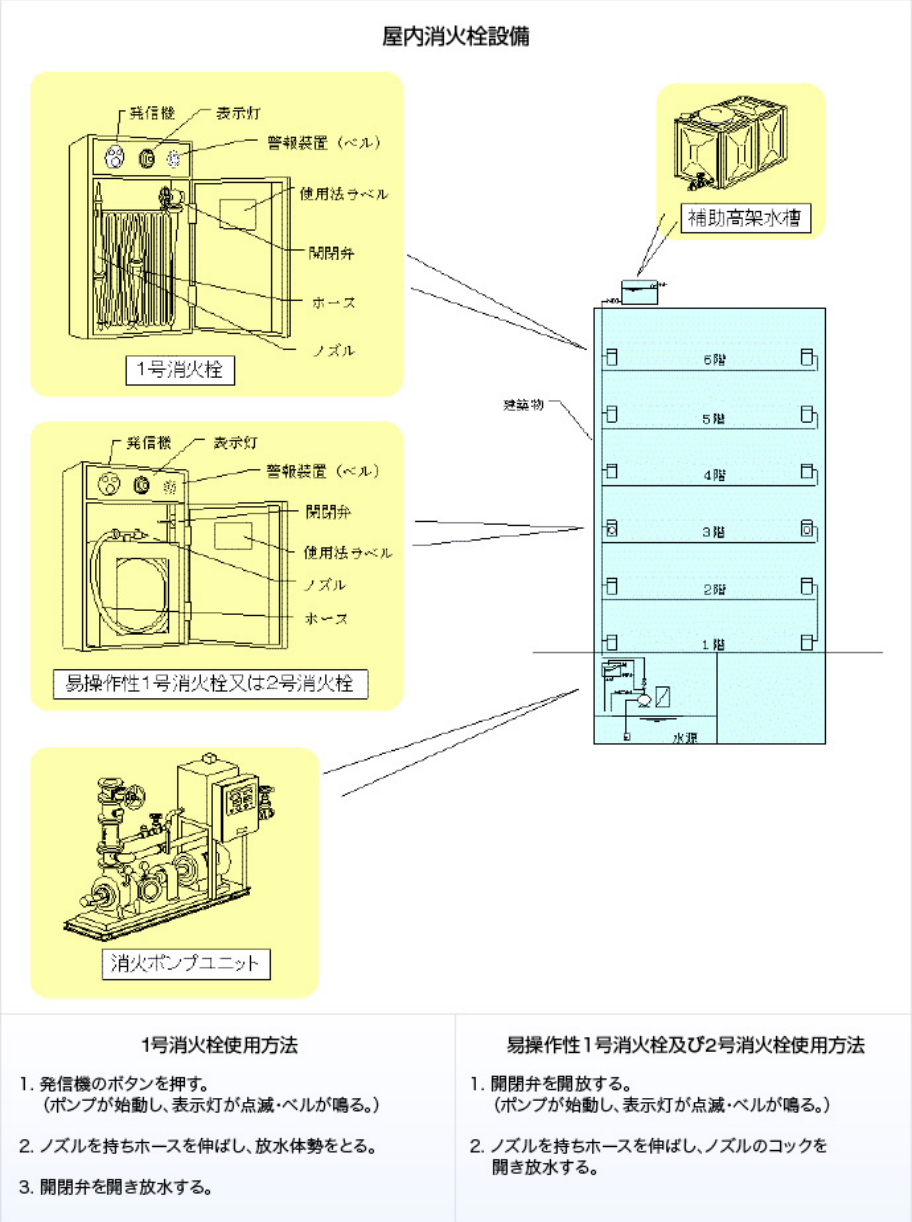


図-5.6.26　屋内消火設備の例[184]

③ 特殊消火設備

主としてガス系による消火設備であり、放水が適さない箇所での有効性があります。一方でガス設備であるため設備設置管理と共に、検知による自動放出が一般的であるため、確実な避難・退避が確保できなければ、人体に影響を及ぼすこともあります。設備は表-5.6.14 に示すとおりです。

---

[184] 出典）一般社団法人日本消火装置工業会「屋内消火栓設備」
<http://shosoko.or.jp/equipment/okunai.html>

表-5.6.14　特殊消火設備(ガス系消火設備)一覧表[185]

	不活性ガス消火設備				ハロゲン化物消火設備			
	二酸化炭素	IG-541	IG-55	窒素	ハロン1301	HFC-227ea	HFC-23	FK-5-1-12
消火原理	酸素濃度低下と冷却	酸素濃度低下	酸素濃度低下	酸素濃度低下	燃焼連鎖反応抑制	燃焼連鎖反応抑制	燃焼連鎖反応抑制	燃焼連鎖反応抑制
人体への安全性	人命に対し非常に危険	CO2の添加による呼吸促進効果があり安全	単なる低酸素下のため人体は危険3分以内に退避が必要	単なる低酸素下のため人体は危険3分以内に退避が必要	消火時に有害な熱分解性生物が発生。人体に危険。退避が必要。	消火時に有害な熱分解性生物が発生。人体に危険。退避が必要。	消火時に有害な熱分解性生物が発生。人体に危険。退避が必要。	消火時に有害な熱分解性生物が発生。人体に危険。退避が必要。
放出後の視界	不良	良好	良好	良好	不良の可能性あり	不良の可能性あり	不良の可能性あり	不良の可能性あり
オゾン層破壊係数	0	0	0	0	10	0	0	0
地球温暖化係数	1	0.08	0	0	5600	2900	11700	1
化学式	CO2	N2 52%、Ar 40%、CO2 8%	N2 50%,Ar50%	N2 100%	CF3Br	CF3CHFCF3	CHF3	CF3CF2C(O)CF(CF3)2
ガス貯蔵状態	液体	気体	気体	気体	液体（窒素で加圧）	液体（窒素で加圧）	液体	液体（窒素で加圧）
貯蔵容器設計ガス量	55kg／本	22.6m^3／本	21.7m^3／本	20.3m^3／本	60kg／本	60kg／本	50kg／本	60kg／本
基本設計濃度	35.2%	37.6%	37.9%	40.3%	5.0%	7.0%	16.1%	5.8%
消火剤必要量	0.8kg／m^3	0.472m^3／m^3	0.477m^3／m^3	0.516m^3／m^3	0.32kg／m^3	0.55kg／m^3	0.52kg／m^3	0.84kg／m^3
必要ボンベ本数指数	2.7	3.9	4.1	4.8	1.0	1.7	2.0	2.6
90%放出時間	60秒	60秒	60秒	60秒	30秒	10秒	10秒	10秒
放出後の酸素濃度	13.6%	13.1%	13.0%	12.5%	20.0%	19.5%	17.6%	19.8%
放出時温度低下	一時的に約30℃低下→精密機器結露の恐れ発生	ほとんど温度低下無し	ほとんど温度低下無し	ほとんど温度低下無し	一時的に約10℃低下→精密機器に腐食の恐れ発生	一時的に約10℃低下→精密機器に腐食の恐れ発生	一時的に約10℃低下→精密機器に腐食の恐れ発生	一時的に約10℃低下→精密機器に腐食の恐れ発生
自動放出方式	原則不可･無人室は可（遅延時間20秒）	原則自動	原則自動	原則自動	原則自動（遅延時間　20秒）	原則自動	原則自動	原則自動
消防法施行規則	常時無人区画に設置	常時無人区画に設置	常時無人区画に設置	常時無人区画に設置	有人区画に設置可	常時無人区画に設置	常時無人区画に設置	常時無人区画に設置
在室者制限（EPA-SNAP：2009年版）	危険・放出前に退室必要	52%　3分以内（誤放出時には30~40分在室可）☆EPAでは有人区画に設置可能としている。	52%　3分以内☆EPAでは条件付で有人区画に設置可能としている。	52%　3分以内☆EPAでは条件付で有人区画に設置可能としている。	消防法：ハロンクリティカルユース	9%　5分以内☆EPAでは条件付で有人区画に設置可能としている。	30%　5分以内☆EPAでは条件付で有人区画に設置可能としている。	10%　5分以内☆EPAでは条件付で有人区画に設置可能としている。

※NFPA：National Fire Protection Association (米国防火協会)
※EPA-SNAP：Environmental Protection Agency－Significant New Alternatives Policy

[185] 日本ドライケミカル株式会社「ガス系消火設備比較表」
<https://www.ndc-group.co.jp/products/building/ig_541.html>（2022.1.31 閲覧）

④ 自動火災通報設備

自動火災報知設備は感知器が熱や煙を感知し、受信機に火災信号などを送り知らせる仕組みです。受信機は警報を発し、火災地区を表示し地区ベルなどを鳴動させ建物内にいる人に火災の発生を知らせます。自動火災通報設備は、受信機・発信機・中継器・表示灯・地区音響装置・感知器から構成されています。

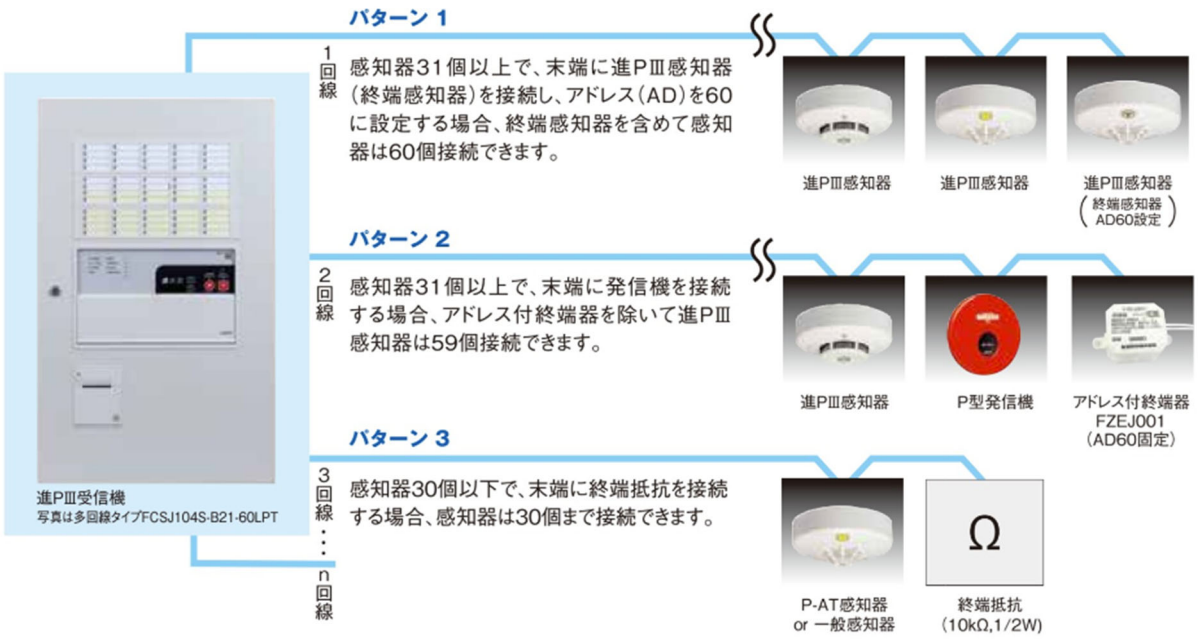


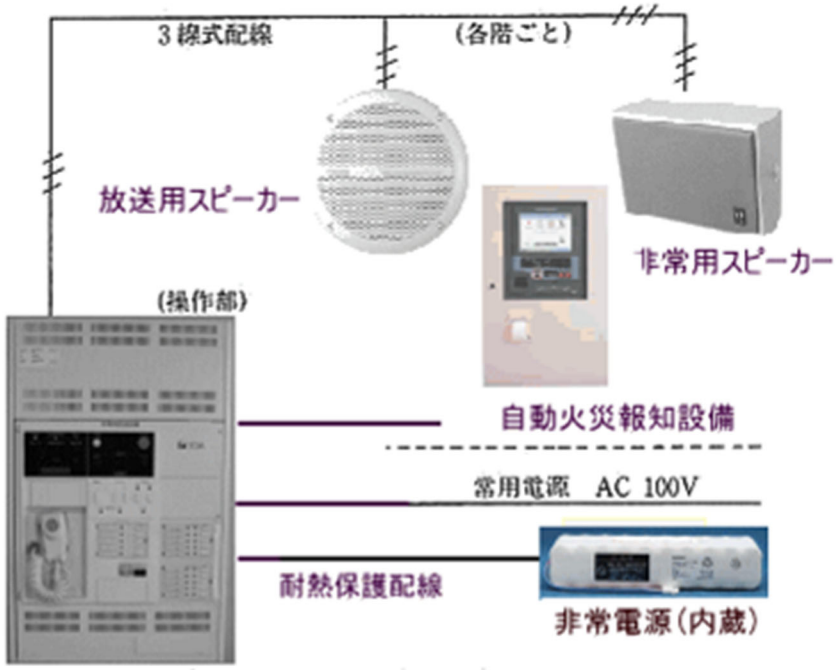
図-5.6.27　自動火災通用設備の構成例[186]

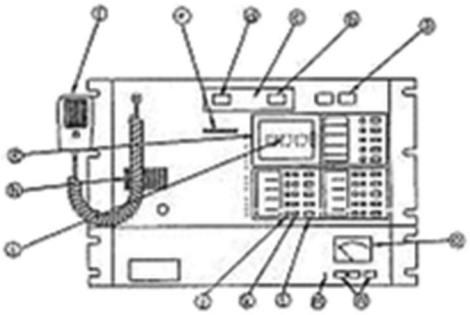
⑤ 非常警報装備（放送設備）

非常警報装備は、自動火災報知設備（前項④）の作動に連動、または放送設備の操作部を人が操作することで、建物内に設置されたスピーカを通じて災害の発生およびその状況等を人々に知らせるものであり、非常ベル、自動式サイレンの警報設備と共に、放送設備により通知と誘導を行います。放送設備のみですが、非常ベルや自動式サイレンのいずれかと併用することが一般的です。

---

[186] 出典：能美防災株式会社「省回線・多回線タイプ共通の特徴」
<https://www.nohmi.co.jp/webcatalog_002/newp3_cf_13102/html5.html#page=7>（2022.1.31 閲覧）





a．一斉放送スイッチ
b．非常起動スイッチ
c．火災灯
d．非常復旧スイッチ
e．放送出力レベル計
f．非常用マイク
g．主電源表示灯
h．モニタスピーカー
i．連動停止スイッチ
j．出火階表示灯
k．階別作動／短絡表示灯
l．放送階選択スイッチ
m．充電中表示灯
n．非常電源点検スイッチ
o．非常電源電圧計

非常放送設備操作部の名称

図-5.6.28　非常警報設備(放送設備)の基本構成[187]

[187] 出典）一般社団法人東京防災設備保守協会「非常警報設備（非常ベル・放送設備)」1 <http://www.hosyu-kyokai.or.jp/hujoukeihou.html>（2022.1.31 閲覧）

⑥ 誘導標識

誘導標識は、「誘導灯及び誘導標識の基準（消防庁告示第二号)」が挙げられますが、留意点としては設置する箇所の壁等については白地の地に設置することとなっています。また発電所の停電を加味して蓄光式の適用などが望ましいと考えられます。

図-5.6.29 誘導標識(蓄光式)の例

中小水力発電所は無人の遠方監視制御を行うことが多いです。このため、いざ火災となると駆けつけるのに時間を要することもあります。建築設計段階で消防と連携し、発電所の説明や消火設備の種類や配置の情報を共有しておくことで、より安全に火災に備えることができます。

(7) 建築条件の整理

建屋に必要な設備は前述までの通りですが、建屋そのものは敷地条件（表-5.6.15 参照）や用途地域を確認して検討を進める必要があります。構造形式は耐火構造物を基本とするとコンクリート構造（RC）か軽量鉄骨構造（SRC 構造）のどちらかが標準になります。また建築確認申請が取れることを条件に、プレハブ構造を採用している発電所もあります。

意匠設計は、図-5.6.17 に示したレイアウトを基本として配置する必要があります。また発電所基礎（土木構造物）との接合点においてはアンカーボルトを敷設するため、十分な広さを確保しておく必要がありますので、設計の整合をとるために十分な余裕を確保するように留意してください。

表-5.6.15 敷地条件の整理例

住所		
敷地面積	1 公簿	m^2
	2 実測	~~m^2~~ 実測日 平成 年 月 日
都市計画	1 都市計画区域内	2 都市計画区域外
用途地域	1 第 1 種低層住宅専用地域	2 第 2 種低層住宅専用地域
	3 第 1 種中高層住居専用地域	4 第 2 種中高層住居専用地域
	5 第 1 種住居地域	6 第 2 種住居地域
	7 準住居地域	8 近隣商業地域
	9 商業地域	10 準工業地域
	11 工業地域	12 工業専用地域
	13 無指定	
都市計画法による地域地区	1 地区計画	2 特別用途地区
	3 特別用途制限地区	4 高度利用地区
	5 景観地区	6 伝統建造物群保存地区
	7 指定無し	
建築基準法による地域地区	1 建築確認が必要な地域	2 災害危険区域
	3 壁面線指定区域	4 建築協定
	5 臨港地区（分区）	6 駐車場整備地区
	7 駐車場周辺整備地区	8 自動車ふくそう地区
	9 指定無し	
防火地区	1 防火地域	2 準防火地域
	3 指定無し	
主用途	建築基準法 別表第 1	項 欄
	消防法施行令 別表第 1	項
容積率／建ぺい率	容積率 %	
	建ぺい率 %	

構造設計では、以下の技術基準を参考に実施することになります。この際に、建物の箱抜き寸法が土木設計や意匠設計と整合が取れていることを十分に確認してください。建築構造計算は専門ソフトウェアによる計算が行われますが、箱抜きの不整合が最もミスをしやすいポイントになります。

＜建築設計の技術基準＞

・建築基準法及び同施行令、告示等
・建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所）
・鉄筋コンクリート構造設計規準（日本建築学会）
・鋼構造設計基準（日本建築学会）
・建築基礎構造設計指針（日本建築学会）
・建築物荷重指針・同解説

なお設計において建物の耐震安全性の類型分類がありますが、発電所が明記されている資料は少なく、公になっている資料としては表－8 に示す国土交通省の資料があり、構造体としてはⅡ類とされています。

表-5.6.16 土木営繕施設の耐震安全性の分類(案)[188]

土木営繕施設の耐震安全性の分類（案）　　九州地整版(H15.7.29)

分類		活動内容	対象施設	耐震安全性の分類		
				構造体	非構造部材	建築設備
災害応急対策活動に必要な施設	災害対策の指揮、情報伝達等のための施設	災害時の情報の収集、 指令二次災害に対する警報の発令、 災害復旧対策の立案、 実施防犯等の治安維持活動、 被災者への情報伝達 保健衛生及び防疫活動、 救援物資等の備蓄、 緊急輸送活動等	地方建設局 防災センター 通信鉄塔を支持する建物及びその部分	Ⅰ類	A類	甲類
			事務所、出張所庁舎 （庁舎、車庫、発電機室、電気室を含む。） 管理所、無線局舎、排水機場上屋、 道路情報ｽﾃｰｼｮﾝ、除雪基地車庫、 ﾄﾝﾈﾙ施設（電気室等）、災害対策車用車庫	Ⅱ類	A類	甲類
人命及び物品の安全性確保が特に必要な施設		多数の者が利用する施設	記念館、資料館等 （仮設の展示施設等は除く。） 公園施設	Ⅱ類	B類	乙類
その他			宿舎、会議所、研修所、樋管・水門上屋、 雨量観測所、水位観測所、警報局舎、 ﾃﾚﾒｰﾀｰ局舎、水防倉庫、試験室、倉庫、 書庫、道の駅、単独トイレ、消流雪上屋	Ⅲ類	B類	乙類

耐震安全性の目標

部位	分類	耐震安全性の目標
構造体	Ⅰ類	大地震動後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	Ⅱ類	大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られている。
	Ⅲ類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全確保が図られている。
建築非構造部材	A類	大地震動後、災害応急対策活動や被害者の受け入れの円滑な実施、又は危険物の管理のうえで、支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しないことを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	B類	大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られている。
建築設備	甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られていると共に、大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期間継続できる。
	乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られている。

[188] 出典）国土交通省 九州地方整備局「土木営繕施設の耐震安全性の分類（案）」

(8) 周辺配慮事項

周辺配慮事項としては、各自治体が定めている景観や修景条例等があります。発電所の建設に当たってはこういった条例も最初に確認しておく必要があります。設計例としては、長野県箕輪町の景観計画に基づいた長野県営信州もみじ湖発電所があります。この発電所では、以下の様な計画条例に対して屋根形状、色彩等に配慮した設計が成されています。

箕輪町景観計画（抜粋）

第３章　良好な景観の形成に関する方針

地域区分（面）の方針

地域区分：山地・森林地域

地域区分の方針：森林の有する多面的機能を発揮できるよう、持続的な整備を進めるとともに、豊かな自然を感じられる山地・森林景観を目指します。

地域区分（軸）の方針

地域区分：河川

地域区分の方針：それぞれの河川特性を活かした景観とするとともに、安全で親しみのある空間としての整備を進めます。

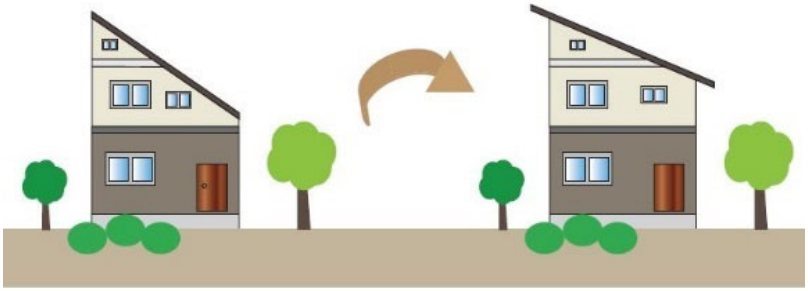
第４章　良好な景観形成のための行為の制限に関する事項

【形態・意匠】

■適度な軒の出と勾配

住宅の建築などの際、適度な軒の出と勾配屋根を採用することで、周辺の景観と調和の取れたものになります。

特に山地・森林地域、田園地域においては優れた眺望景観を保全するためにも重要です。



※ 記載内容は、信州もみじ湖発電所が設計・施工された平成 28 年度時点の内容です。

表-5.6.17　長野県営信州もみじ湖発電所における屋根形状の検討例[189]

屋根形状	切妻屋根	片流れ屋根
イメージ		
堤体上からの見え方	隣接する既存のバルブ室の屋根形状との見た目の整合が図れない。 水道施設の寄棟屋根は、バルブ室をはじめ、周辺建物に陸屋根形状が多いこともあり、ダム堤体周辺景観一体においても、整合がとれていない。	バルブ室の屋根形状は若干丸みのあるかまぼこ屋根となっているが、堤体上から見下ろした場合、陸屋根のようなフラット形状に見えることから、隣接する既存のバルブ室の屋根形状との見た目の整合を図ることが可能となる。
デザイン	外壁材に木質系を部分的に採用した場合、外壁材と屋根形状との関係性によって、山小屋風に見えることが想定され、周辺建物との整合が図りにくい。	観光地に立地する本発電所は、見学施設となることが想定されていること等からある程度のデザイン性の高いものが求められ、周辺景観と融合しつつ周辺施設のコンクリートとの整合を図ることが可能なシンプルな形状がのぞましい。
積雪時	積雪時に、雪が屋根から落下し、出入り口が塞がることから、積雪時の安全が確保されない。	南立面側に傾斜をつけることにより、出入り口を雪で塞がれることを避け、雪を水面に落とすことが可能となる。一般的な勾配 10：2.5 を想定している。
評　価	△	○

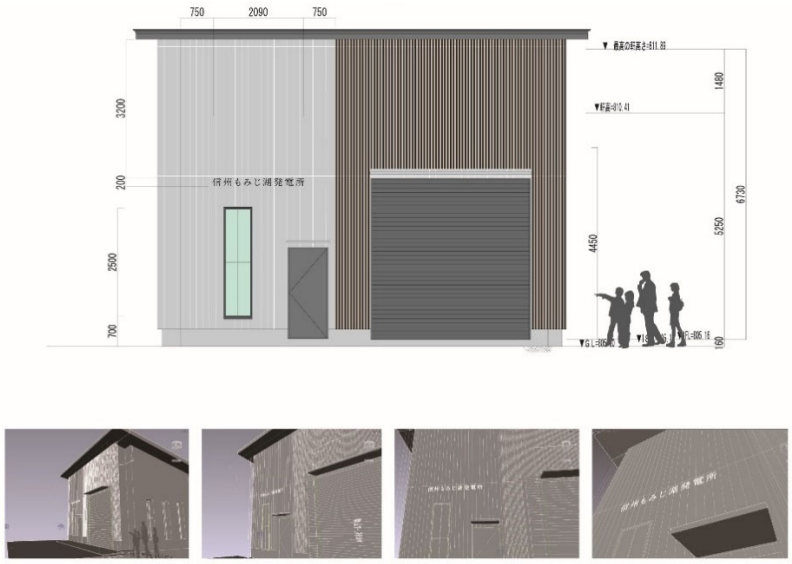


図-5.6.29　長野県営信州もみじ湖発電所でのデザイン・色彩検討例[190]

189　資料提供：八千代エンジニヤリング株式会社

190　資料提供：八千代エンジニヤリング株式会社

5.6.11 機械設備

(1) スクリーン設備

スクリーン設備の設計は鋼構造物計画設計技術指針[191]を参照することが多いです。取水口スクリーン、ヘッドタンクスクリーン共に設計方法は同じで、設備諸元が異なる点のみ留意する必要があります。スクリーンは一般鋼材である SS400 かステンレス鋼である SUS304 のいずれかが用いられます。維持管理が困難な場合や酸性河川では SUS304 が適用されますが、多くは SS400 が使われます。

スクリーンは、前面（上流側）に水重が作用するように設計します。これはスクリーンの目詰まりにより、背面側（下流側）の水位が低下することが想定されるためです（設計水位差)。荷重作用の例について、ある発電所の設計計算書を例に示します。

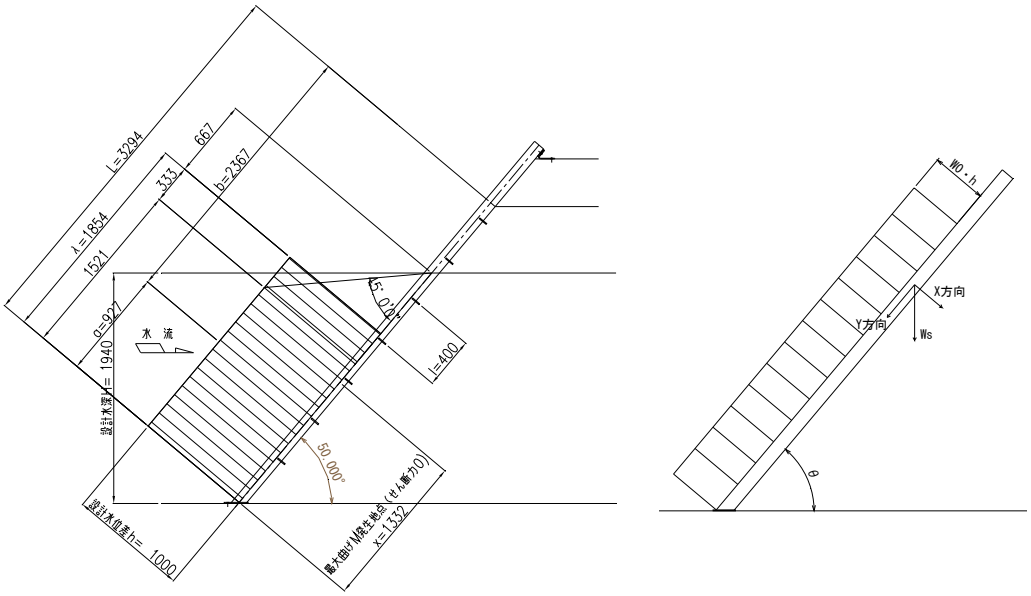


図-5.6.30 スクリーンの設計例[192]（左:寸法図 右:荷重作用図）

スクリーンの設計は、スクリーンバーに作用する荷重に対する安全性を評価します。基本的な算定式は以下の通りです。計算例については技術指針をご覧ください。

① 曲げ圧縮応力度に対する評価

$$\sigma = \frac{M1}{Z} + \frac{M2}{Z} + \frac{Psy}{A} \leq \sigma a$$

ここで、σ：スクリーンバーにかかる曲げ圧縮応力度(N/mm^2)

M1：水重荷重による曲げモーメント(N･mm)

M2：自重による曲げモーメント(N･mm)

---

191 出典）鋼構造物計画設計技術指針（水門扉編）農林水産省農村振興局 整備部設計課

192 資料提供：八千代エンジニヤリング株式会社

Psy：軸方向の自重荷重(N)

Z：有効断面係数(mm^3)

A：断面積(N/mm^2)

σa：スクリーンバーの許容曲げ応力度(N/mm^2)

② せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{Aw} \leq \tau a$$

ここで、τ：スクリーンバーに作用するせん断応力度(N/mm^2)

S：自重と水重荷重によるせん断力(N)

Aw：スクリーンバー断面積(mm^2)

τa：スクリーンバーの許容せん断応力度(N/mm^2)

③ たわみ

$$\delta \leq \frac{1}{600}$$

ここで、δ：自重と水重荷重によるたわみ(mm)

(2)除塵設備

除塵設備は、スクリーン設備における塵芥類の掻き揚げを補足する設備です。設置の是非は事業者によって判断が異なりますが、事前の現地調査（特に秋頃）により落ち葉、枝、ゴミ等の漂着が想定される場合は、設置の検討はするべきと考えます。除塵設備はスクリーンと比べて高価であるため、設置の是非により事業採算性は大きく変わる可能性があります。他方で、実際に運転開始後に毎日除塵掃除に作業員が向かう発電所も多くあることは、事前に確認しておくべきと考えられます。

以下は、ある発電所での除塵調査の事例です。特にスクリーンをすり抜けて水車のガイドベーンまで到達しているため、故障の要因ともなり得ます。

表-5.6.18 ある発電所の塵芥類調査例

取水口地点	水車（ガイドベーン）
内容物：①大きめな藻（コケの類）、②葉、③藁の類、④小枝、⑤発スチロール（カップめん容器の破砕したもの）	内容物：①藻（コケの類）、②葉、③藁の類、④小枝、⑤ビニール（袋の破砕したもの及び紐）、⑥洗濯粉洗剤のフタ

除塵設備は、広く使われているレーキ式の他に、細かな除塵も引き上げるネット式があります。(表-5.6.18 参照) 除塵への考え方は、水車のケーシングとランナの隙間にどれほど余裕があるかがポイントになります。従来の 3,000～4,000kW 以上のやや大きめの水車はケーシングとランナの隙間も大きいため、ある程度の葉や枝は通過させることができます (損傷につながるため良い状態とは言えません)。他方で、近年増えている中小水力発電は、最大使用水量が少ないため、水車が小さく、ケーシングとランナの隙間も小さいため塵芥類詰まりによる故障が起きやすい傾向にあります。このため安定した発電運営に対しては、より細かく対応することも求められています。

また気温が低下する地域では、スクリーンや除塵設備が凍結し故障信号を出して発電停止する場合や除塵機能が発揮しないこともあります。このような場合は、ヒート設備を内蔵した設備を選定することが望ましいです。

除塵機の選定や設置は、専門の設備メーカーに依頼してください。除塵機は発電所の完成後でも設置することはできますが、以下の点に留意してください。

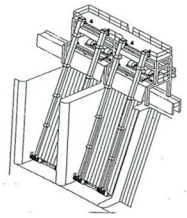
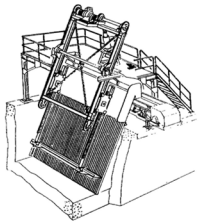
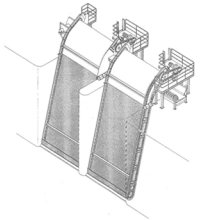
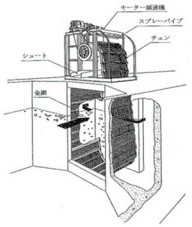
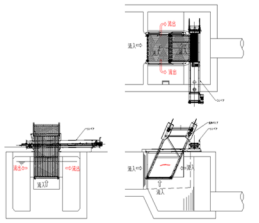
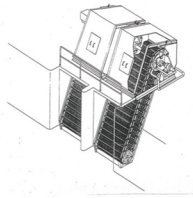
＜後付けの場合の留意点＞

・取水口に設置する場合は占用工作物に該当する可能性があり、水利使用許可の変更申請が必要になる場合があります。
・取水口では除塵機が稼働した際に、周辺護岸の定規断面から川側にはみ出ないように、寸法に留意する必要があります。
・取水口、ヘッドタンク共通して、設置するコンクリート躯体の安定性は再度確認する必要があります。
・取水口、ヘッドタンク共通して、弱電線や通信ケーブルを敷設する必要があるため、既存の状態でこれらの設備が無い場合は、敷設する必要があります。

写真撮影：八千代エンジニヤリング株式会社

図-5.6.31　寒冷地でヒート設備を設置した除塵設備の例

表-5.6.18 除塵設備の形式一覧[193]

形　式	レーキ式除塵機			ネット式除塵機		
	伸縮アーム付きレーキ往復式除塵機	レーキアーム往復ラック式除塵機	背面降下前面掻揚式除塵機	デュアルフローイン・アウト式除塵機	デュアルフローアウト・イン式除塵機	ストレートフロー式除塵機
概略図						
構　造	・レーキの付いた伸縮アームをワイヤロープ昇降機構により昇降させる。 ・レーキは塵芥の漂着したスクリーン前面より離れて降下し、スクリーンに沿って上昇し塵芥を掻き揚げる。 ・掻き揚げた塵芥はワイパーでコンベヤに落下させる。	・レーキの付いたアームはチェーンラック機構で昇降し、同時にレーキは下段アーム内蔵のエンドレスチェーン昇降機構で昇降する。 ・レーキは開閉機構により開きスクリーンより離れて降下し、閉じて塵芥をとらえ、スクリーンの前面に沿って上昇し塵芥を掻き揚げる。 ・掻き揚げた塵芥はワイパーでコンベヤに落下させる。	・水路両側に設けたチェーンガイドに案内されたエンドレスチェーンにリーキを複数個取付け、レーキを連続回動する。 ・レーキはスクリーンの上流側を降下し、スクリーンの前面に沿って上昇し塵芥を掻き揚げる。 ・スクリーンの下部を曲率半径を持つ形状にすれば、塵芥は通過しない。	・両側のキャリングチェーンにエンドレス状に連結したフレーム枠にネットを取り付ける。 ・上部のキャリングチェンホイールを回転駆動させネットに設けたレーキは連続回動させ塵芥を掻き揚げる。 ・掻き揚げた塵芥は高圧のスプレー水によってトラフに落下させる。 ・トラフは、流水の抵抗が少なくなるようにU形とする。	・両側のキャリングチェーンにエンドレス状に連結したフレーム枠にネットを取り付ける。 ・上部のキャリングチェンホイールを回転駆動させネットに設けたレーキは連続回動させ塵芥を掻き揚げる。 ・掻き揚げた塵芥は高圧のスプレー水によってトラフに落下させる。 ・トラフは、流水の抵抗が少なくなるようにU形とする。	・両側のキャリングチェーンにエンドレス状に連結したフレーム枠にネットを取り付ける。 ・上部のキャリングチェンホイールを回転駆動させネットに設けたレーキは連続回動させ塵芥を掻き揚げる。 ・掻き揚げた塵芥は高圧のスプレー水によってトラフに落下させる。 ・トラフは、流水の抵抗が少なくなるようにU形とする。
長　所	①従来のラック式除塵機よりも高揚程に対応できる。 ②大型塵芥にも対応できる。 ③可動部が全て陸上にあり、維持管理が容易である。 ④水中部にガイド等の構造物が無いので流水を阻害しない。 ⑤レーキを開口させて下降させるのでスクリーンに漂着した塵芥の影響を受けにくい。	①可動部が全て陸上にあり、維持管理が容易である。 ②スクリーンが全面にあるためスクリーンの目幅より大きな塵芥は流下しない。 ③チェーンガイドがないので水路幅が小さくならない。 ④強制下降が可能で大型の塵芥を掻き揚げられる。 ⑤レーキを開口させて下降させるのでスクリーンに漂着した塵芥の影響を受けにくい。	①バースクリーン前面に漂着した塵芥を避けてレーキがスクリーン後面を降下することで塵芥の押し込み、スクリーン底部での噛み込みを防ぐことができる。 ②塵芥を連続して掻き揚げることが出来るため、掻揚能力が極めて大きい。 ③水中に駆動部がなく構造がシンプルである。 ④スクリーン下部での塵芥噛み込みのトラブルが少ない。 ⑤揚程に比べて除塵機の高さが低い。	①可動部が全て陸上にあり、維持管理が容易である。 ②内面除塵でゴミがオバーターンをしない。 ③微細な塵芥も取り除け、連続運転ができる。 ④回動する両サイドのネットを有効利用する事ができるのでコンパクトとなる。 ⑤水中に回転物がない。 ⑥水路寸法に関係なく流量に合わせた除塵機寸法とする事ができる。	①可動部が全て陸上にあり、維持管理が容易である。 ②内面除塵でゴミがオバーターンをしない。 ③微細な塵芥も取り除け、連続運転ができる。 ④ネット外周を塵芥が移動するため大型で長尺塵芥の除去が可能。 ⑤回動する両サイドのネットを有効利用する事ができるのでコンパクトとなる。 ⑥コンベアが除塵機外部に設置できるので維持管理性良好。 ⑦水路寸法に関係なく流量に合わせた除塵機寸法とする事ができる。 ⑧水深が浅い場合でも設置可能。	①可動部が全て陸上にあり、維持管理が容易である。 ②水路内に設置できるので特別な土木構造物が不要。 ③流水方向の設置スペースが小さくて済む。
短　所	①回動式に比べて掻揚能力が小さい。 ②レーキの強制降下ができない。 ③アームが複数段の伸縮構造となり、アーム構造が複雑である。 ④塵芥と共にレーキ、アームを上昇させるため電動機容量が大きくなる。	①回動式に比べて掻揚能力が小さい。 ②モータはレーキ昇降用、開閉用、ワイパー用の３台が必要である。 ③掻き揚げた塵芥を落とすワイパーが必要。 ④除塵機の高さが揚程に比例して高い。	①下部、メインスクリーン間をレーキが通過するときに塵芥が流入してしまう。 ②レーキチェーンやチェーンガイドが常時水中部にあり、維持管理が難しい。 ③チェーンガイドにより水路幅がやや狭くなる。	①水流を急縮、方向転換、急拡させるため、除塵機の損失水頭が大きくなる。 ②水路に土木又は鋼製の壁を設置する必要がある。 ③長尺大型塵芥の除塵に向かない。 ④コンベアが除塵機内部にあるため維持管理性が悪い。	①水流を急縮、方向転換、急拡させるため、除塵機の損失水頭が大きくなる。 ②水路に土木又は鋼製の壁を設置する必要があり、土木構造物が複雑な形状になる。	①外面除塵なのでゴミがオバーターンがある。 ②流水がネットを2面通過するため損失水頭が大きい。 ③水深が浅いと底部デットスペースが大きいため取水が困難になる。
塵芥の種類	処理可能塵芥：葉っぱ、小枝、缶ビニールなどの生活ゴミ、丸太等の大質量塵芥。 不可能塵芥：石土砂類、大型塵芥（レーキ開き寸法以上）、細長塵芥、唐松の葉。	処理可能塵芥：葉っぱ、小枝、缶、ビニールなどの生活ゴミ、丸太等の大質量塵芥。 不可能塵芥：石土砂類、大型塵芥（レーキ開き寸法以上）、細長塵芥、唐松の葉。	処理可能塵芥：葉っぱ、小枝、缶、ビニールなどの生活ゴミ、大型塵芥、丸太等の大質量塵芥。 不可能塵芥：石土砂類、細長塵芥、唐松の葉。	処理可能塵芥：葉っぱ、小枝、缶、ビニールなどの生活ゴミ。 不可能塵芥：石土砂類、大型塵芥、唐松の葉、丸太等の大質量塵芥。	処理可能塵芥：葉っぱ、小枝、缶、ビニールなどの生活ゴミ、大型塵芥。 不可能塵芥：石土砂類唐松の葉、丸太等の大質量塵芥。	処理可能塵芥：葉っぱ、小枝、缶、ビニールなどの生活ゴミ、大型塵芥。 不可能塵芥：石土砂類、丸太等の大質量塵芥。
対塵芥性	①バースクリーンは縦方向がフリーなので細長の塵芥が容易に通過してしまう。 ②目幅が小さいほど細長塵芥が縦に挟まって目詰まりを起こしやすい。 ③実施例としてQ=1.0m3/sの発電所で目幅7mmでも塵芥による出力低下で発電停止になっているケースがある。	①バースクリーンは縦方向がフリーなので細長の塵芥が容易に通過してしまう。 ②目幅が小さいほど細長塵芥が縦に挟まって目詰まりを起こしやすい。 ③実施例としてQ=1.0m^3/sの発電所で目幅7mmでも塵芥による出力低下で発電停止になっているケースがある。	①バースクリーンは縦方向がフリーなので細長の塵芥が容易に通過してしまう。 ②目幅が小さいほど細長塵芥が縦に挟まって目詰まりを起こしやすい。 ③実施例としてQ=1.0m^3/sの発電所で目幅7mmでも塵芥による出力低下で発電停止になっているケースがある。 ④構造上、下部とメインスクリーン間にレーキが無いときはそこが大きな開口となり塵芥が容易に通過してしまう。	①格子状のネットスクリーンは微細なものから細長塵芥まで遮断する。 ②流木などの超大質量塵芥はネットを損傷させる可能性がある。 ③小水力発電所では実績がきわめて少ない	①格子状のネットスクリーンは微細なものから細長塵芥まで遮断する。 ②流木などの超大質量塵芥はネットを損傷させる可能性がある。 ③実績あり。Q=0.5m^3/s	①格子状のネットスクリーンは微細なものから細長塵芥まで遮断する。 ②流木などの超大質量塵芥はネットを損傷させる可能性がある。 ③実績あり。Q=0.5～1.1m^3/s
耐凍害性（長期放置）	塵芥の掻き揚げは可能であるが、その後の除塵処置に人力作業が必要であり、長期立ち入り困難な場合は不適である。	自動で運転を管理することが可能であるが、作業員が立ち入らないと掻き揚げた除塵がヘッドタンク内部に再混入することがあり、あまり望ましくない。	塵芥の掻き揚げは可能であるが、その後の除塵処置に人力作業が必要であり、長期立ち入り困難な場合は不適である。	自動で運転を管理することが可能であるが、作業員が立ち入らないと掻き揚げた除塵がヘッドタンク内部に再混入することがあり、あまり望ましくない。		自動で運転を管理することが可能であるが、作業員が立ち入らないと掻き揚げた除塵がヘッドタンク内部に再混入することがあり、あまり望ましくない。

193 資料提供：八千代エンジニヤリング株式会社

(3) ゲート設備

ゲート設備は、流水の遮断又は通水のための調整設備であり、中小水力発電では取水口ゲート、制水ゲート（ヘッドタンクに設置）、排砂ゲート（沈砂池に設置）、放水庭ゲートが挙げられます。放水庭ゲートは立軸水車の放水庭に設置されることが多く、横軸水車では設置しないことが一般的です。

ゲートは手動・電動の 2 種類があり、使用頻度が高い場合、もしくは移動が困難な場合（冬季に到達できない等）は電動とし、使用頻度が低い場合は手動でも対応することができると思われます。ゲートは、ゲートそのもので流量調整等を行うことは無いため、全閉か全開のいずれかになります。このため、電動の場合は、開閉方式はスピンドル式、手動の場合はラック式の採用が多いです（ラック式は動作時に音が出るため、周辺環境に注意してください）。

ゲートの躯体は、水と接することが多いため SUS304 を使用することが一般的ですが、制水ゲートなど全閉する時期が年に数度程度の限られる場合は SS400 を使用することもあります。

水密は、確実な流水遮断が必要になるため四方水密が基本と考えられます。四方水密は、ゲート全閉による押し込みで底部を、また遮断側の水圧で側部と上部をそれぞれ押し込むことで水密を確保する方式です（図-5.6.32 参照）。

ゲート設備の設計は鋼構造物計画設計技術指針[194]を参照することが多いです。取水口ゲート、排砂ゲート、制水ゲート、放水庭ゲート共に設計方法は同じで荷重条件のみ変わります。

ゲートに関わる技術基準は、他にもダム・堰施設技術基準（案）や水門鉄管技術基準が挙げられます。どの基準を適用するかは、検討する条件に応じて使い分けることが良いと思われます。例えばダム式発電所の場合は、ダム関連は、ダム・堰施設技術基準（案）で設計されていれば、それに合わせて適用技術基準の整合を図り、その他の河川構造物が水門鉄管技術基準で設計されていれば、それに合わせて適用技術基準の整合を図ることで、設計方針を統一する事ができます。

[194] 出典）農林水産省「鋼構造物計画設計技術指針（水門扉編）」平成 21 年 11 月

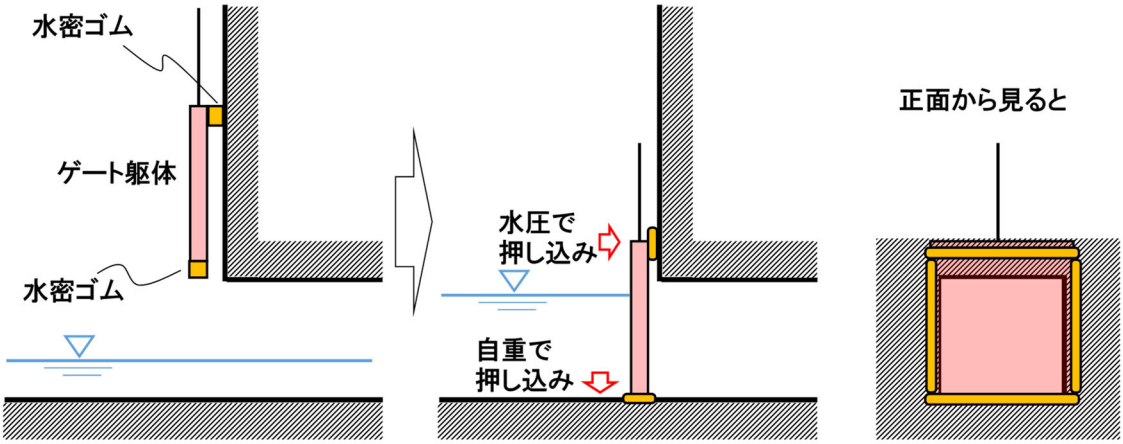


図-5.6.32　四方水密ゲートの概念図

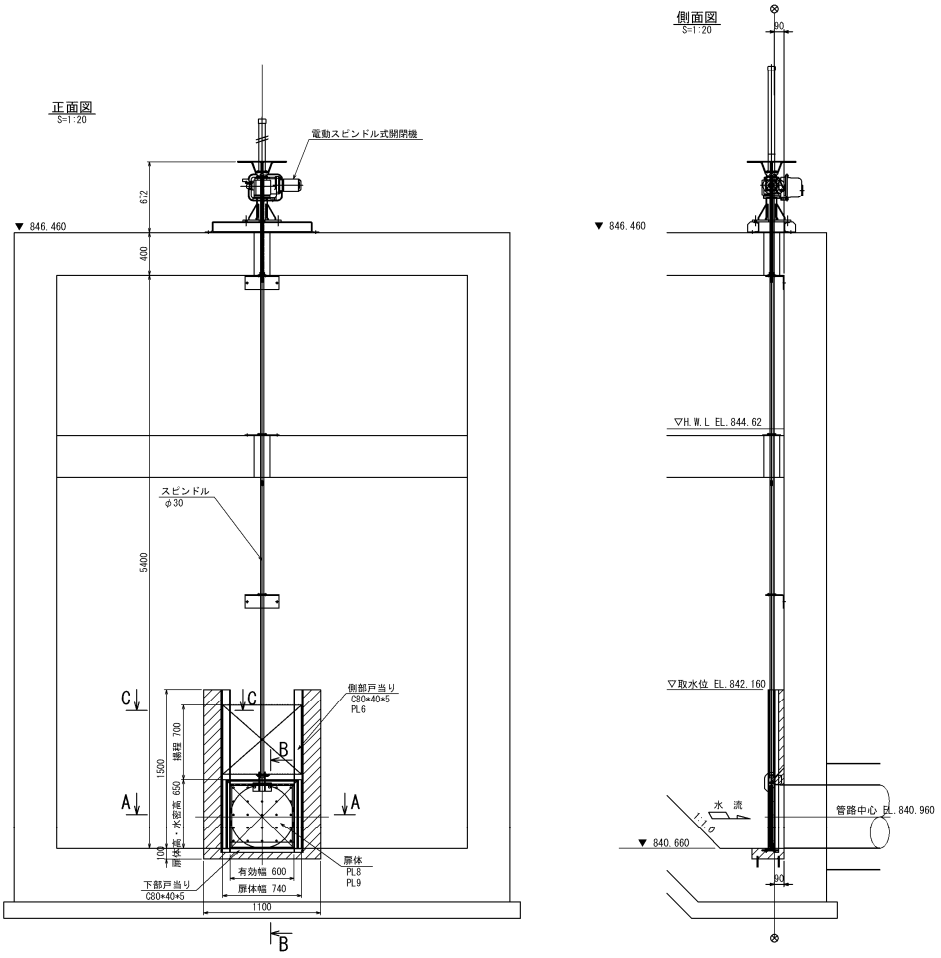


図-5.6.33　ゲートの設計例[195]

195　資料提供：八千代エンジニヤリング株式会社

ゲートの設計は、ゲートに作用する荷重に対する安全性を評価します。基本的な算定式は以下の通りです。計算例については技術指針をご覧ください。

① 曲げ応力度

$$\sigma = \alpha \times \mathrm{p} \times \frac{(\frac{b}{2})^2}{t^2} \leq \sigma a$$

ここで、σ：ゲート躯体の曲げ応力度(N/mm²)

α：a/b 係数（a:躯体支持幅、b:躯体支持高さ）

t：躯体厚さ(mm)

p：単位面積当たり荷重(N/mm²)

σa：許容曲げ応力度(N/mm²)

② せん断応力度

$$\tau = \frac{S}{A} \leq \tau a$$

ここで、τ：躯体に作用するせん断応力度(N/mm²)

S：水圧荷重によるせん断力(N)

Aw：躯体断面積(mm²)

τa：躯体の許容せん断応力度(N/mm²)

③ たわみ

$$\frac{\delta}{a} \leq \frac{1}{800}$$

ここで、δ：設計荷重によるたわみ(mm)

④ 開閉機所要軸トルク

$$\mathrm{Ts} = \frac{P \times L}{2 \times \pi \times \eta r} \leq T$$

ここで、Ts：所要軸トルク(N･m)

P：スピンドル式開閉機の開閉能力(N)

L：ネジのリード

ηr：スピンドル効率

T：スピンドル式開閉機の定格出力トルク(N･m)

⑤ ハンドル駆動力

$$\mathrm{Fh} = \frac{Ts \times x}{\eta m \times rh} \leq Fha$$

ここで、Fh：ハンドル機動力(N)

x：開閉機減速比

η m：開閉機総合効率

rh：手動ハンドル半径(m)

Fha：許容ハンドル駆動力(N)

⑥ スピンドルの引張応力

$$\sigma \mathrm{t} = \frac{P}{A} \leq \sigma ta1$$

$$\sigma \mathrm{t} = \frac{3 \times P}{A} \leq \sigma \mathrm{ta2}$$

ここで、σ t：引張応力(N/mm²)

A：スピンドルの有効断面積(mm²)

σ ta1：定格時の許容引張応力度(N/mm²)

σ ta2：最大時の許容引張応力度(N/mm²)

⑦ スピンドルの圧縮応力

$$\sigma \mathrm{c1} = \frac{P}{A} \leq \sigma ca1$$

$$\sigma \mathrm{c2} = \frac{3 \times P}{A} \leq \sigma \mathrm{c2}$$

ここで、σ c1：定格時の圧縮応力(N/mm²)

σ c2：最大時の圧縮応力(N/mm²)

σ ca1：定格時の許容圧縮応力度(N/mm²)

σ ca2：最大時の許容圧縮応力度(N/mm²)

⑧ スピンドルのねじりせん断応力

$$\tau \mathrm{t1} = \frac{T}{Zp} \leq \tau ta1$$

$$\tau \mathrm{t2} = \frac{3 \times T}{Zp} \leq \tau \mathrm{ta2}$$

ここで、τ t1：定格時のねじりせん断応力(N/mm²)

τ t2：最大時のねじりせん断応力(N/mm²)

Zp：スピンドルの有効極断面係数(mm^3)

τ ta1：定格時の許容ねじりせん断応力度(N/mm^2)

τ ta2：最大時の許容ねじりせん断応力度(N/mm^2)

⑨ スピンドルの圧縮･せん断合成応力

$$\sigma e1 = 0.5 \times \sigma c1 + 0.5 \times (\sigma c1 + 4 \times \tau t1)^{0.5} \leq \sigma ca1$$

$$\sigma e2 = 0.5 \times \sigma c2 + 0.5 \times (\sigma c2 + 4 \times \tau t2)^{0.5} \leq \sigma ca2$$

ここで、 σ e1：定格時の圧縮、せん断合成応力(N/mm^2)

σ e2：最大時の圧縮、せん断合成応力(N/mm^2)

⑩ ネジ面圧

$$Ps = \frac{4 \times P \times Z}{\pi \times (D^2 - d^2)} \leq \sigma pa$$

ここで、Ps：ネジ面圧(N/mm^2)

Z：ネジ山数=ステム長÷ネジピッチ

D：ネジ外径(mm)

d：ネジ内径(mm)

5 章で述べた各種の調査と設計は、専門的な技術が必要となります。このため事業者自らで対応が難しい部分は専門業者へ委託することを検討しましょう（委託先については本テキストの 3 章 17 節「委託先」で紹介しています）。

とはいえ、各種検討の委託を行うとしても、どういった目的でどういったことを各業者が調査や設計しているのかを概略でも把握することは大切です。今回のテキストはその内容を概説したものですが、更に詳しい内容を知りたい場合は、引用先の基準書、検討の手引き、ガイドラインなどを参照してみてください。

6章 建設工事

6.1 設計・調達・建設(EPC)の実施主体の選定

水力発電事業実施に際し、設計(Engineering)、調達(Procurement)、建設(Construction)それぞれの業務を１つの業者・共同企業体(EPC 事業者）に一括して発注する場合（①設計施工一括方式）と、別途実施された設計に基づいて確定した工事の仕様により、その施工のみを発注する方式（②設計施工分離方式）が考えられます。

① 設計施工一括方式

設計施工一括方式では、発注者が求める機能・性能及び施工上の制約等を契約の条件として提示した上で EPC 事業者に一括して発注することになります。EPC 事業者は設計や製作、組み立て・試運転指導・保証責任までのすべてを請け負うため、発電設備に発生した不具合の原因が、設計・建設のどちらかにあるか判断がつかない場合であっても、EPC 事業者の責任となる点が明確であり、事業者にとってのリスクが低減されていると言えます。

一方で、分離発注方式と比較して設計者の視点や発注者におけるチェック機能が働きにくく、コストが割高になる傾向があります。

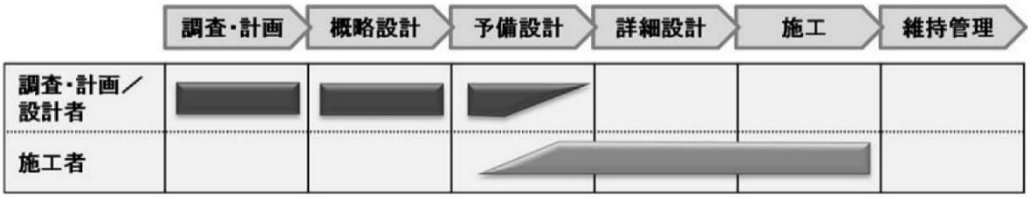


図-6.1.1 設計施工一括方式のイメージ[1]

② 設計施工分離方式

設計施工分離方式では、詳細な図面にて施工を発注することにより、発注条件の明確化、価格への余分なリスク費用の上乗せを防止できますが、発注者側にエンジニアリングに関する専門的な知識・経験を十分に備えた人材が必要となります。このため、設計から工事、試運転、運転開始までの間、発注者側の立場で技術的なサポート業務（オーナーズエンジニアリング業務）について、外部の建設コンサルタントと委託契約する方法も考えられます。なお、水力発電事業においては、設計を専門の建設コンサルタントに依頼し、建設工事を大手建設会社または地域の土木事業者等に一括発注することが一般的です。なお、建設工事のうち、水車発電機の設置工事および関連電気設備工事については、水車メーカーが中心に請け負う場合もあります。

---

[1] 出典）国土交通省「公共工事の入札契約方式の適用に関するガイドライン」平成 27 年 5 月 p.40
<https://www.mlit.go.jp/common/001089933.pdf>（2022.1.31 閲覧）

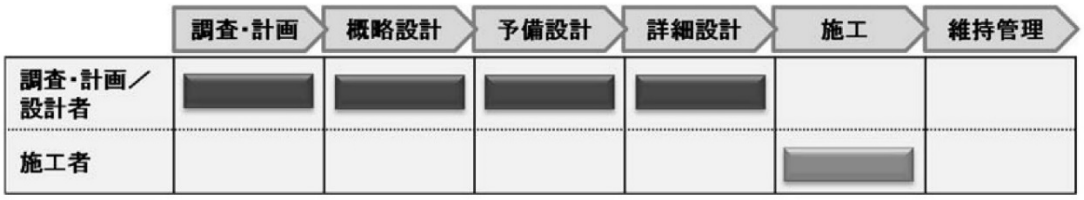


図-6.1.2 設計施工分離方式のイメージ[2]

[2] 出典）国土交通省「公共工事の入札契約方式の適用に関するガイドライン」平成 27 年 5 月 p.36
< https://www.mlit.go.jp/common/001089933.pdf>（2022.1.31 閲覧）

6.2 水力メーカー等の選定

水力発電に必要な設備として、水車、発電機の他、配電盤、開閉装置、制御装置、ゲート、除塵機等があります。設備の選定にあたっては、実績及び信用力のある水車メーカーを選択するとともに、発電を実施する落差や流量に適した機種を選定することが求められます。

この他、水力発電設備の故障時に迅速な対応が可能な水車メーカーの機種を選定することも重要です。水力発電設備の故障時に水車メーカーによる部品調達、修繕等の対応が遅く、発電が行えない期間が長期化すると、大きな損失が発生することとなります。また、水力発電設備の保証には、水車メーカーによる性能保証があり、保証期間（契約不適合責任)）については、引渡し後から 1 年～2 年間程度が一般的です。

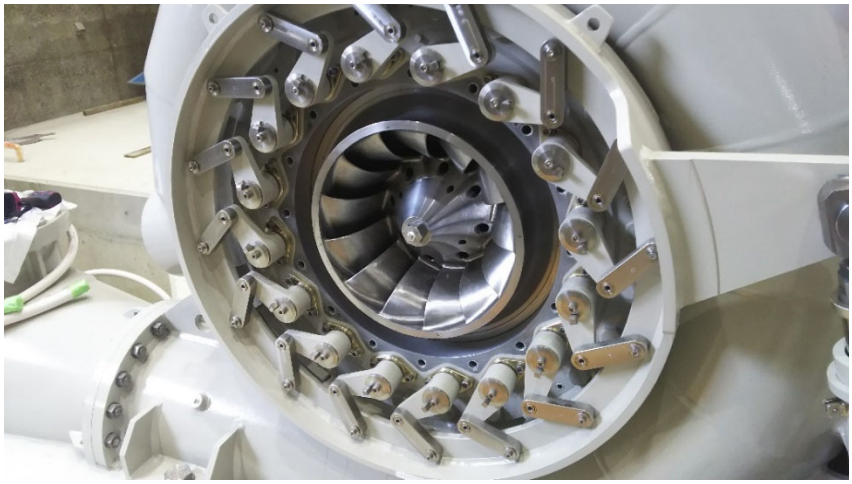
なお、FIT 制度の開始に伴う水力発電事業の需要増加により、現在では水車の発注が集中しており、納入までに相当の時間を要しています。このような状況を踏まえて国内小水力発電の水車メーカーは限定的であるため、海外水車メーカーへの発注も増加する傾向にあります。いずれにしても、発注先のアフターフォロー体制については事前に十分に確認しておくことが望まれます。

また、除塵機は設備利用率を左右する重要な設備の一つであり、利用する水資源によって有効な除塵機の種類が異なるため、専門のコンサルタントに水運用の方法と併せて検討を依頼することも有効です。

写真提供：株式会社新日本コンサルタント 金沢ゆわく小水力発電所

図-6.2.2 ワイヤーベルト式除塵機の据付状況

電気設備の維持管理業務は、水車メーカーへの委託が一般的です。例えば、5～10 年程度に 1 度、オーバーホールを行い、水車軸受の交換や羽根車（ランナ）の補修、発電機軸受の交換や制御装置の更新、継電器・電磁接触器の交換等を行います。



写真提供：富山県企業局 上百瀬発電所

図-6.2.3 羽根車(ランナ)分解状況

O&M 費用は人件費が中心となるため、合理的な保守体制とすれば費用の抑制につながりますが、故障やトラブルに迅速に対応できなくなること等が懸念されます。機器仕様と整合した保守計画とすることが望まれます。

6.3 試運転、竣工検査の実施

(1) 試運転(性能確認試験)

発電設備の機能確認のため、水を使用しない状態で各種機器の個別試験を実施する「無水試験」と、複数の使用水量条件で試験運転を実施し、設計通りの発電が行えるか試験を行う「有水試験」を実施します。表-6.3.1 に有水試験時に確認を行う性能確認項目（例）を示します。なお、詳細について、発注者と請負者との打合せにより決定します。

表-6.3.1 性能確認事項（例:誘導発電機の場合）

機　器	事　項	確認方法
水車	最大出力	出力開度試験（現地）
	効率	計算書および効率試験（現地）
	最大水圧値	負荷遮断試験（現地）
	最大速度変動率	負荷遮断試験（現地）
	最大無拘束速度	試験データまたは計算書
	軸受温度	負荷試験（現地）
発電機	出力	負荷試験（現地）
	効率	計算書および効率試験（現地）
	力率	計算書および効率試験（現地）
	はずみ車効果	計算書または工場検査
	過速度耐力	計算書または工場検査
	巻線温度	負荷試験（現地）
	軸受温度	負荷試験（現地）

(2) 竣工検査

竣工検査は、受注者・工事監理者・発注者において行われる最終的な検査で、特記仕様書に示す要求事項どおりの仕様・性能を満たすこと確認するために実施される検査です。竣工検査では、設計図書、契約書、仕様書及びその他関係基準等に基づいて施工されているか、また、工程管理、安全管理、出来高管理及び品質管理等一連の管理を総合的に把握し、適切な施工管理がなされているかの確認検査を行います。この段階で不具合があれば手直しがなされ、その仕上がりが確認された後で、受注者に引渡されることになります。

(3) 使用前自主検査（技術基準適合確認）

使用前自主検査とは、電気事業法第 48 条第 1 項の規定による工事計画の届出をした事業用電気工作物に対し、その使用の開始前に当該電気工作物について自主的に検査を行い、当該電気工作物が届け出た工事計画に従って完成しているか、技術基準に適合していることを確認するものです。

水力発電の場合、高さ 15m 以上のダムまたは、出力 3 万 kW 以上の発電所に対して義務付けられておりますが、対象外の場合でも、この使用前自主検査に準じた内容で技術基準の適合について確認を行うことが望まれます。以下に使用前自主検査項目（例）を示します。

Ａ．土木関係・・・工事計画どおりであることを目視及び施工記録により確認します。

1　ダム（高さが１５メートル以上のダムについては、岩盤検査、湛水検査）
2　洪水吐きゲートその他の放流設備
3　取水設備
4　沈砂池
5　導水路
6　放水路
7　ヘッドタンク
8　水圧管路
9　水車
10　地下発電所等
11　貯水池または調整池
12　防護施設等

Ｂ．電気関係

1　外観検査
2　接地抵抗測定
3　絶縁抵抗測定
4　絶縁耐力試験
5　保護装置試験
6　遮断器開閉関係試験
7　総合インターロック試験
8　制御電源喪失試験
9　負荷遮断試験
10　負荷試験(出力試験)
11　警報表示試験
12　遠隔監視試験
13　騒音測定

7章　発電所の運用と維持管理

7.1　電気事業法

(1) 必要な手続き

電気事業法では、電気工作物の種類や出力、条件等よって、電気事業法に定められた手続きが必要な「事業用電気工作物」と、手続きが不要な「一般用電気工作物」に区分されています。

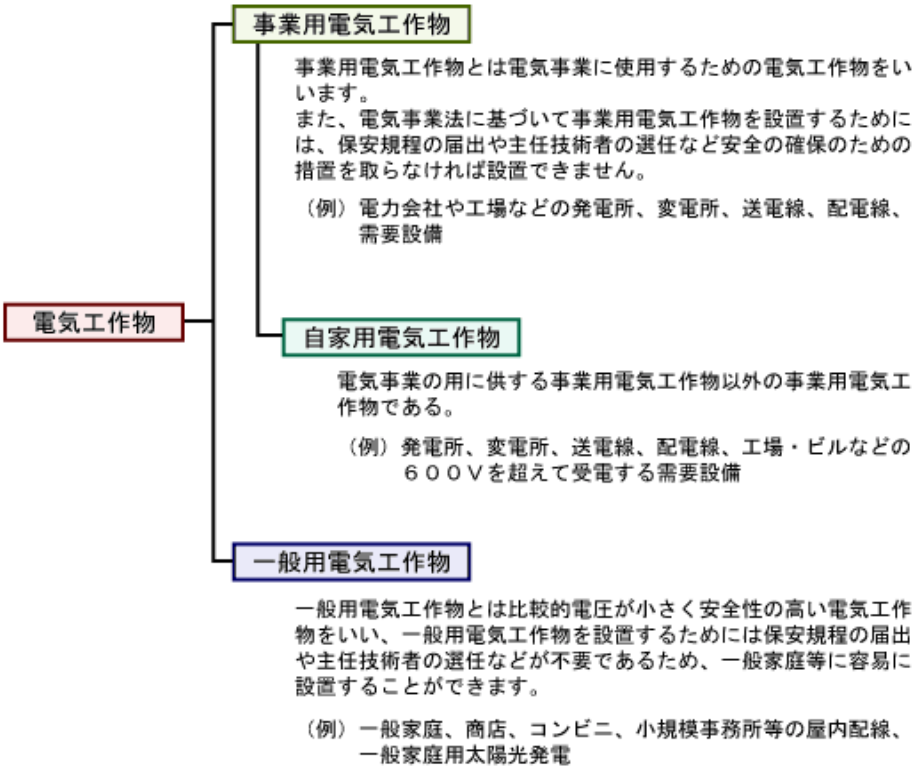


図-7.1.1　電気工作物の区分（出典:経済産業省 HP）

事業用電気工作物を設置する者に対して、次の義務を課すことで電気工作物の自主的な保安の確保を図っています。

①技術基準等：　発電用水力設備に関する技術基準
　　電気設備に関する技術基準
②届　出等　：　保安規程（変更）届
　　主任技術者に関する選任又は解任届等
　　工事計画（変更）届（工事着手３０日前までに）
③検　査等　：　使用前安全管理検査
④自主点検　：　保安規程による日常巡視、日常点検、定期点検
⑤報　告　　：　事故報告、その他（公害防止等）報告

一方で、導入する中小水力発電設備が、下記の条件に全て該当する「一般用電気工作物』に該当する場合は、電気事業法上の必要な手続きはありません。表-7.1.1 に出力等の条件に応じて必要な電気事業法上の手続きを示します。

表-7.1.1 電気事業法に関する手続き[1]

電気工作物の種類	出力等条件	保安規程届出	主任技術者選任		工事計画届出
			電気	ダム水路	
事業用電気工作物	ダムを伴う※1 又は最大出力 200kW 以上 又は最大使用水量 1m³/s 以上	要	要	要	要
	ダムを伴うものを除き※2 かつ最大出力 20kW～200kW 未満 かつ最大使用水量 1m³/s 未満	要	要	不要※4	不要
	上水道施設、下水道施設、工業用水道施設の落差を利用する水力発電設備かつ敷地外にダムや水路が存在しないもの	要	要	不要※4	不要
一般用電気工作物※3	ダムを伴うものを除き かつ最大出力 20kW 未満 かつ最大使用水量 1m³/s 未満	不要	不要	不要※4	不要

※1　電気事業法のダムとは発電用として河川の流水を貯留又は取水するための土木工作物を指す。
※2　電気事業法におけるダムとは取り扱わないものの例：ヘッドタンクや農業用水路等内の堰
※3　土地改良法第２条第２項に規定する土地改良事業に係る農業用排水施設（ダムを除く）に設置されるもの等については、最大出力 20kW 未満であれば、使用水量に関わらず一般用電気工作物として扱う。
※4　土地改良法第２条第２項に規定する土地改良事業に係る農業用用排水施設（ダムを除く）に設置されるもの（当該土地改良事業を施行する者が設置するものに限る）については、出力、使用水量に関わらずダム水路主任技術者の選任は不要）

(2) 保安規程

保安規程は、自家用電気工作物設置者が、電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の確保を目的として、主任技術者を中心とする電気工作物の保安管理組織、保安業務の分掌、指揮命令系統など、いわゆる社内保安体制と、これら組織によって行う具体的保安業務の基本事項を定めるものです。発電設備を設置する者は、この保安規程を遵守し設備の運営管理をしなければなりません。

[1] 出典）電気事業法における「ダム」の取扱いについて（経済産業省商務流通保安グループ電力安全課）
経済産業省告示第 100 号を基に作成

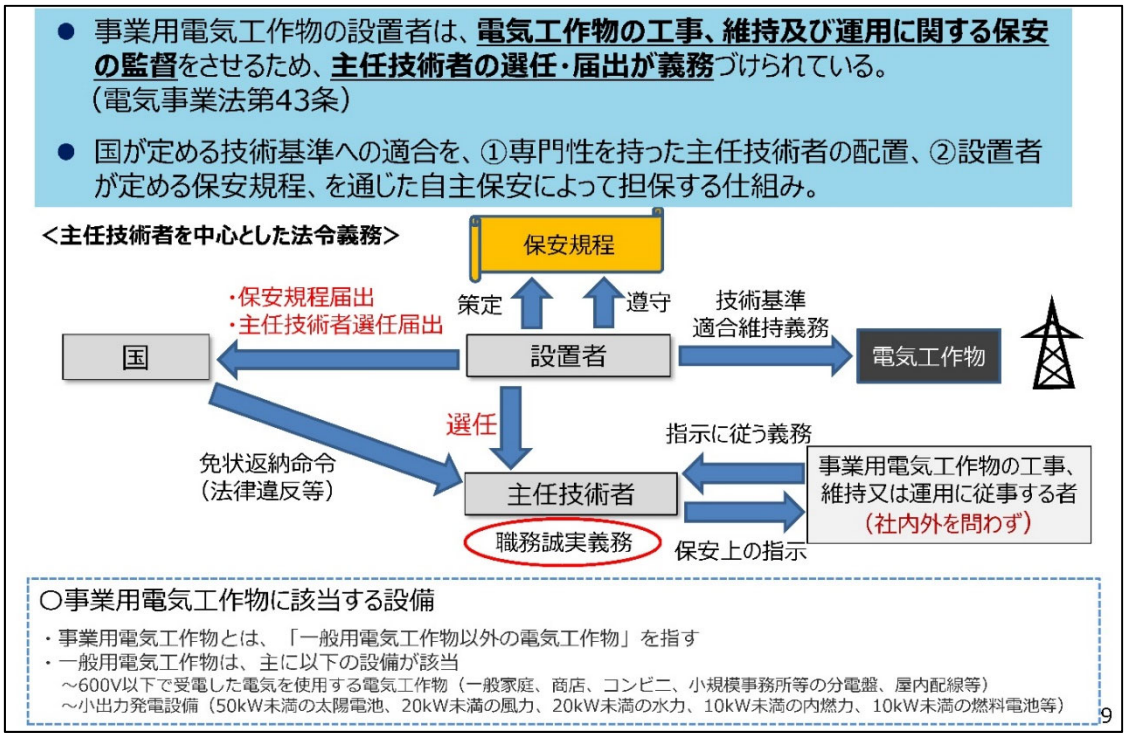


図-7.1.2　主任技術者制度を中心とした保安管理[2]

このうち、自家用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関する項目については、月次点検、年次点検、臨時点検、工事期間中の点検、竣工検査などの種類があります。

表-7.1.2　保安規程に基づく点検項目[3]**（例）**

点検・検査の区分	点検方法など	点検頻度
月次点検	主として施設の運転中に行う点検、測定及び試験	毎月２回以上
年次点検	主として施設の運転を停止して行う精密な点検、測定及び試験	毎年１回以上
臨時点検	異常（事故や故障、異常気象及び災害等）が発生した場合の原因探求等	必要の都度実施するもの
工事期間中の点検	設置又は変更の工事期間中において、工事期間中でないと点検できない箇所を重点的に行う点検	工事期間中において毎週１回以上
竣工検査	設置又は変更の工事が完成した場合において、関係法令等に基づき施工されているか確認する精密な点検、測定及び試験	工事完成後

[2] 出典）経済産業省「第８回 産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会 電力安全小委員会 電気保安制度ワーキンググループ」資料２ <https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/hoan_seido/008.html>（2022.1.31 閲覧）

[3] 出典）点検、測定及び試験の基準(例示)　経済産業省告示第 249 号を基に作成

(3) 主任技術者

電気事業法第 43 条第 1 項に規定されている、事業用電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安の監督をさせるために、設置者に対し選任が義務づけられているものです。主任技術者には水車・発電機・変圧器・配電盤などの電気設備を担当する電気主任技術者と、取水・水路・放流設備などの水力設備を担当するダム水路主任技術者が必要です。主任技術者の選出方法は以下のとおりです。自社に電気（ダム水路）主任技術者の免状を保有している有資格者がいない場合は、外部選任、外部委託、許可選任、みなし設置者等を活用するなど、適切な体制を構築する必要があります。それぞれ一定の条件がありますので、詳細な内容については、「主任技術者制度の解釈及び運用（内規）経済産業省産業保安グループ電力安全課」および「電気主任技術者制度に関するＱ＆Ａ　経済産業省産業保安グループ電力安全課」を参照ください。

① 選　任　：免状を保有している（自社の）有資格者から選任する方法
② 外部選任：外部の主任技術者が常駐して管理する方法
（労働者派遣契約や発電事業管理会社との業務委託契約）
③ 兼　任　：自社の主任技術者が、保安人員が個別に配置されている近隣の複数の事業場の管理を兼務する方法
④ 統　括　：自社の主任技術者が保安人員とともに中核となる事業場に常駐し、近隣の複数の事業場を統括して管理する方法
⑤ 許可選任：主任技術者免状を有していない人を主任技術者として選任する方法
⑥ 外部委託：外部の主任技術者や保安法人（主任技術者を擁し、保安サービスを提供する法人）へ委託する方法

(4) 工事計画書

電気工作物の設置又は変更の工事がある場合で以下の項目に該当があった場合は、工事計画を届け出なければならなりません。なお、届出が受理された日から 30 日を経過した後でなければ工事着工できません。

工事計画届出書が不要となるケース（経済産業省告示第 61 号参照）

- 出力が 200kW 未満かつ最大使用水量 1m^3/s 未満かつダム又は堰を有しない
  (表-7.1.1 参照)
- 土地改良事業に係る農業用排水施設に設置するもの
- 上水道の導水施設、浄水施設、送水施設に設置するもの
- 上水道施設の終末処理場に設置するもの
- 工業用水道施設の導水施設、浄水施設、送水施設に設置するもの

(5) 発電所の監視制御方式

発電施設の制御には表-7.1.3 に示すものがあります。随時巡回方式は、出力 2,000ｋW 未満の水力発電所に適用され、技術員が随時巡回する運転方法で、最も簡易で経費が抑制できるため、中小水力発電所において一般的に採用されていますが、①2,000kW 未満、②異常時に需要家に停電させない、③発電機の運転・停止により需要家の電圧・周波数に支障を与えないことが要件となります。

表-7.1.3 水力発電所の監視制御方式[4]

区分	種類	定義
発電所において常時監視を行うもの	常時監視制御方式	技術員が発電所又は同一構内に常時駐在し、発電所の監視及び機器の操作をその発電所又は同一構内において行うもの
発電所において常時監視を行わないもの	遠隔常時監視制御方式	技術員が制御所に常時駐在し、発電所の監視及び機器の操作を制御所から行うもの
	随時監視制御方式	自動負荷調整装置又は自動負荷制限装置を施設する発電所であって、技術員が発電所又はその構外にある技術員駐在所のいずれかに常時駐在し、必要に応じて発電所に出向き、発電所の監視及び機器の操作をその発電所において行うもの、又は技術員が技術員駐在所から必要に応じて制御所に出向き、発電所の監視及び機器の操作制御所より行うもの。
	随時巡回方式	自動負荷調整装置又は自動負荷制限装置を施設する発電所であって、技術員が適当の間隔を置いてその発電所に出向き、発電所の監視及び機器の操作をその発電所において行うもの

[4] 出典）発変電規程　第２－１条　第２－２－１表より抜粋

7.2 発電所の維持管理

(1) 維持管理体制

水力発電所の維持管理にあたっては、保安規程に基づく巡視と定期的なメンテナンスが重要です。発電設備の引き渡し後と同時に、運転保守訓練を実施し、運転・保守マニュアルの整備およびメンテナンス計画の策定を行います。運転監視やメンテナンス等の O&M サービスについては、周辺地域の大規模水力発電の O&M サービスを請け負っている事業者や、個人の電気管理技術者（自家用電気工作物の電気保安に関する業務を行う個人事業者）に委託することが考えられます。

維持管理には、水車・発電機・変圧器・受変電盤、送配電線などの電気設備と、取水・水路・放流設備などの水力設備があります。施設・設備ごとに電気事業法や河川法等の関係法令を確認し、維持管理の項目を設定したうえで、それに応じた体制を構築して適切に維持管理を実施します。また、維持管理を適切に行うことで、施設の長寿命化と修繕等にかかる費用の節減を図ることが可能となります。

(2) 電気設備の維持管理

水力発電所は、無人運転としている場合が多く、定期的な巡回や点検、事故発生時の臨時点検が必要です。電気設備の巡回時には、音・温度・色・振動・匂いなどによって異常を察知します。また、油もれなどは、河川などの汚染につながりますので、早期発見に努める必要があります。詳細点検時には必要に応じてパッキン類などの交換を、また、オーバーホール時にはランナ等の補修を事前に計画して実施します。配電設備には架空式と地中式があり、方式によって維持管理の内容が異なりますが、定期的な巡回及び点検の他、異常事態発生時には必ず臨時点検を行います。

送配電設備については、架空式の場合は、台風による損傷・塩害・地すべり・土砂崩壊・雪崩による倒壊・落雷による被害・山間部での雑草の繁茂や風による被害などが発生します。地中式では地すべりや土砂崩壊などによる被害や小動物などによる被害があります。定期的な巡回及び点検の他、異常事態発生時には必ず臨時点検が必要です。

また、地中式の場合には常時目視することが不可能ですので、年に数回絶縁抵抗の測定などを行って状況確認することが必要です。

(3) 水力設備(土木設備)の維持管理

土木設備の事故は地域社会に及ぼす影響が大きいので、定期的な維持管理を行うほか、出水などの非常時には臨時点検を行うなど施設の保全に留意が必要です。取水口・水路・放流設備などの土木設備は、自然現象による損傷を受けやすく、万一の事故時には地域社会に及ぼす影響が大きく、異常事態が発生する恐れのある場合や発生した場合には臨時点検を実施すべきです。地震・洪水・大雨などの後には必ず臨時点検を実施し、き裂・損傷・土砂流入の有無などを調べ、必要に応じて速やかに処置を講じなければなりません。

水路設備の保守作業は施設内の流入土砂及び流入塵芥の除去がその大半です。特に開水路では晩秋期の落葉によるスクリーンの目詰まりや水路周辺の土砂崩壊による土砂の混入が発生しやすくなります。また、積雪地帯では流氷雪の除去作業が伴う場合もあります。

抜水して水路の内部点検を実施する場合には特に作業の安全に留意し、事前に詳細な作業計画を立案し、作業中には絶対に水路に水を流入させない等、関係部署と密接な連絡調整を図らなければなりません。

事前に発見された不具合な箇所の補修を確実に実施するためには、あらかじめ補修部品又は消耗部品を調達し点検と同時に取り替え作業を行い、今後の安全な運転が図れるようにしなければなりません。また、関係者以外の侵入を防止するため防護柵を設け門扉を施錠するなど、保安対策の万全を期す必要があります。

(4) 水車発電機の維持管理

水車発電機の維持管理では使用条件により関連する機器交換周期は異なりますが、基本的にはメーカー推奨のメンテナンス要領に準じた期間で点検・機器更新を実施することが望ましいでしょう。特に機械品は使用条件により適宜機器交換周期を見直した方がいい場合があります。また、設備の目視点検はこまめに実施（最低でも 1 回／週）して、点検巡視の際には作業員の五感を駆使して点検することも必要です（異音の発生、振動、外見の劣化、水漏れ、油漏れなど）。

特に水車や発電機の故障は部品の調達含めて対応に時間がかかることが多いことから、その修理が終わるまでの発電停止期間が長期化する可能性もあります。この場合、発電の収益にダメージとなることから、日々の点検をしっかり行うことが重要です。こういった面も含め水車や発電機は専門的な視点での点検が必要でもあることから、一定の周期で専門業者かメーカーに定期点検を実施してもらった方が良いでしょう。

次ページ以降に実際の発電所の維持管理の状況を紹介します。

琴川第三発電所　水圧鉄管路の巡視点検[5]

柚ノ木発電所[6]　水圧鉄管路の巡視

天科発電所[7]　水圧鉄管路（左:漏水　右:倒木）

---

[5] 山梨県企業局 笛吹川水系発電管理事務所より提供

[6] 山梨県企業局 笛吹川水系発電管理事務所より提供

[7] 山梨県企業局 笛吹川水系発電管理事務所より提供

重川発電所[8]（左：取水口の堆積状況　右：取水口の土砂除去作業）

重川発電所[9]（左：水槽の堆積状況　右：水槽の土砂除去作業）

袖ノ木発電所[10]　渓流取水口（左：土砂撤去前　右：土砂撤去後）

---

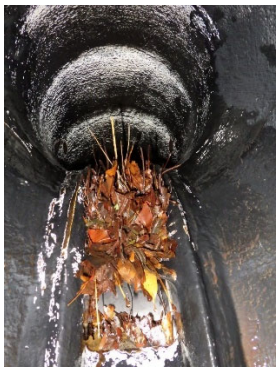
8 山梨県企業局　発電総合制御所より提供

9 山梨県企業局　発電総合制御所より提供

10 山梨県企業局　笛吹川水系発電管理事務所より提供

琴川第三発電所[11]　定期巡視

琴川第三発電所[12]　定期巡視



重川発電所[13]　水車の維持管理

（左：ガイドベーンへの塵芥の流入　中央・右：ガイドベーンの開度調整）

---

[11] 山梨県企業局 笛吹川水系発電管理所より提供

[12] 山梨県企業局 笛吹川水系発電管理所より提供

[13] 山梨県企業局 発電総合制御所より提供

下釜口発電所　除塵機の防寒対策[14]

奈良田第一発電所[15] **野呂川取水口、藤木発電所　第二取水口（除塵作業）**

[14] 山梨県企業局 笛吹川水系発電管理所より提供

[15] 山梨県企業局 早川水系発電管理事務所、笛吹川水系発電管理事務所より提供

(4) 月次点検項目

電気設備、土木設備に対する標準的な月次（日常）点検項目（例）を表 7.2.1 に示します。

表-7.2.1 月次(日常)点検項目(例)

巡視点検の重点箇所	巡視のポイント
構内第一柱	・電柱、腕木、腕金が傾斜していないか ・立木、枝、異物が充電部に触れるおそれがないか
高圧ケーブル（架空、地中）	・ケーブル埋設箇所に重量物が置いてないか ・ケーブル（架空、地中）の施設箇所付近で重機の作業を行っていないか
高圧電線（架空）	・立木、枝、異物が充電部に触れるおそれがないか ・電線路付近で重機の作業を行っていないか
発電所構内	・内部及び入口、扉前に異物が置いてないか ・関係者以外が入らないように柵、フェンスが破損していないか
水車発電機室	・扉に鍵がかかっているか ・異音・異臭がないか ・油漏れ、水漏れがないか
高圧連系盤、制御盤キュービクル	・操作用スイッチ類が正常な位置にあるか ・異音・異臭がないか ・電圧・電流、出力計測表示に異常はないか ・アラーム音、警報表示はないか
発電機	・軸受温度は正常範囲内か（異常過熱はないか） ・異音・異臭はないか ・油漏れはないか
水　車	・軸受温度は正常範囲内か（異常過熱はないか） ・異音・異臭はないか ・油漏れ、水漏れはないか
照明器具	・スイッチ、器具類は破損していないか ・ランプ切れはないか
取水・排砂、自動除塵機制御キュービクル	・操作用スイッチ類が正常な位置にあるか ・異音・異臭がないか ・電圧・電流、出力計測表示に異常はないか ・アラーム音、警報表示はないか
除塵機、スクリーン	・塵芥が蓄積していないか ・異音がないか ・破損がないか
沈砂池・ヘッドタンク、水門、水路	・水漏れがないか ・異音がないか ・破損がないか
水圧管路	・水漏れがないか ・陥没箇所がないか

7.3 電気保安のスマート化

(1) 電気保安業務が直面している課題

FIT 制度の導入により、太陽電池発電設備や風力発電設備を中心に再生エネルギー発電設備数が著しく急増した一方で、再エネ発電設備等の各種電気工作物の保安を担う電気主任技術者は、高齢化の進展や入職者数の減少等により将来的な人材不足が見込まれております。一部の取り組みとしては、減少する人員を外部委託で補うケースも見られますが、それだけで現在の保安業務を維持することは難しい状況となっています。こうした状況を踏まえ、経済産業省において「電気保安のスマート化」への取組みが進められています。具体的には、現場作業員による定期点検方式から、IoT 技術やドローン、AI 等の新技術を用いた電気保安体制へ移行し、電気保安の高度化・効率化・遠隔化を目指しつつ、スマート保安に適した規制の合理化に向けた検討も同時に行われています。

(2) 水力発電設備における保安管理業務のスマート化のイメージ

水力発電設備における保安管理業務へのスマート保安の導入によって期待される将来の保安管理業務のイメージを図-7.3.1 に示します。

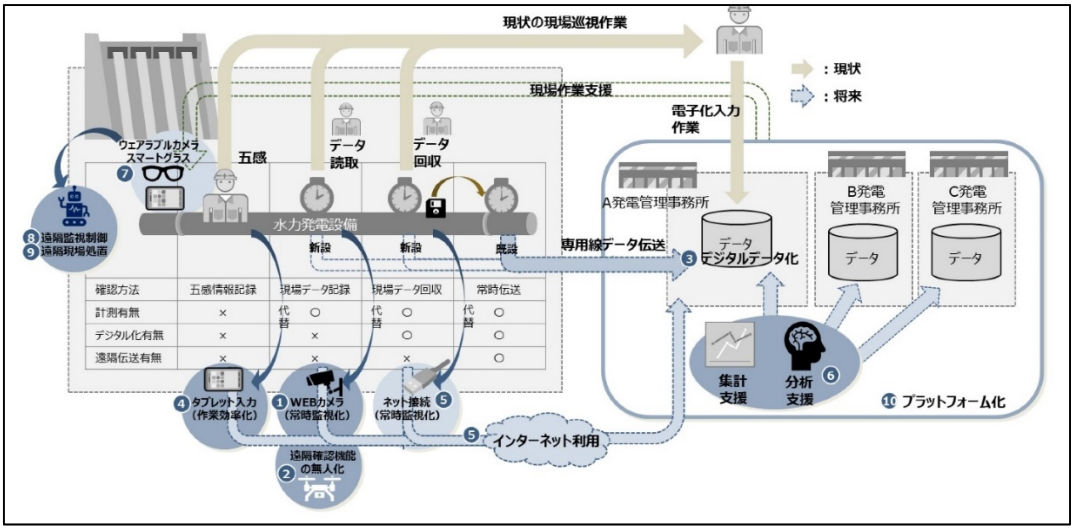


図-7.3.1 スマート化前後における水力発電設備の保安管理業務の例[16]

スマート化を導入する以前（現状）においては、五感やアナログセンサーにより取得・診断していた情報を、①Web カメラ、④タブレット、及び⑤ネット接続に代替することで、設備の常時監視と作業の効率化を図ると共に、デジタルデータ（③）を蓄積し、AI による⑥分析支援等に活用することで、保安管理レベルのさらなる向上が期待されます。

---

[16] 経済産業省産業保安グループ電力安全課「水力発電設備における保安管理業務のスマート化技術導入ガイドライン」令和 3 年 4 月<https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2021/04/20210409-01.pdf>（2022.1.31 閲覧）

また、複数の発電所や事業所のデジタル化されたデータをネットワークで繋げた⑩プラットフォームが整備されることにより、監視作業を“いつでも・どこでも“可能にする『遠隔監視化・常時監視化（点検頻度の合理化）』へと発展していきます。設備老朽化への対応についても、AI 等による判断内容の客観化・高度化が期待されます。さらに保安人材の減少については、デジタル化を通じて、現場作業内容の知識集約化による技術継承のための取り組みが図られることとなります。

8章　水力発電に関する研修･基準･助成制度

8.1　水力発電に関する研修

水力発電に関する研修については表-8.1.1 に示すものが開催されています。表に示したものは本テキストの技術レベルよりも高い部分が多いことから、更に知識を深めたい方へ推奨できる研修です。また、近年では地方自治体や民間企業でも独自に水力発電に関するセミナーなどを開催しています。

表-8.1.1　水力発電に関する主たる研修

主　催	研修名	内　容
一般財団法人 新エネルギー財団	中小水力発電技術に関する 実務研修会	中小水力発電開発促進事業の一環とした水力発電実務担当者（技術者）向けの研修会
公営電気事業 経営者会議※	技術伝承研修会	民間企業の設計技術者を講師に迎え、その視点で実務研修を行い、水力発電計画策定のポイントやノウハウを習得する。
	技術研修会	最適水路ルート、発電規模の検討について、現地フィールドで実地演習を行う。
	総務講習会 技術講習会	政策的な分野の外部講師による研修会
一般社団法人 ターボ機械協会	（水車・発電機に関する 各種研修）	水車や発電機に関する研修が適宜開催されている。

※　公営電気事業経営者会議が主催する研修は、県企業局の職員を対象としたもの

上記の各研修案内は以下の URL を参照願います。

	研修案内の URL
一般財団法人 新エネルギー財団	https://www.nef.or.jp/topics/index.html
一般社団法人 ターボ機械協会	https://www.turbo-so.jp/seminor.html

参考として各研修のカリキュラムを次ページ以降に示します。

一般財団法人 新エネルギー財団
中小水力発電技術に関する実務研修会[1]

３．研修概要

・主テーマ：水力発電所の計画及び建設

・開 催 日：令和３年６月１７日(木)～１８日(金)

日	時間	テーマ及び講師	主な内容
17日	12:30 13:00	受付開始 開　会　　(一財) 新エネルギー財団	開会挨拶、プログラムの紹介ほか
	13:10 ～ 14:10	① 水力発電設備における保安管理業務のスマート化技術導入ガイドラインについて 経済産業省　商務情報政策局 産業保安グループ　電力安全課 課長補佐　望月　武	経済産業省では、今後ＩＣＴ等を活用した遠隔保守の導入を検討している水力発電事業者において一つの手引きとして活用してもらうことを目的に、「水力発電設備における保安管理業務のスマート化技術導入ガイドライン」を策定した。ここでは、ＩＣＴ等を活用した保安管理業務のスマート化の導入に向けた計画の策定や調達等、一連の導入プロセスにおいて留意すべき事項等を整理・記載している。 本講義では、スマート保安技術実証事業の実証内容も含め、ガイドラインの概要を紹介する。
	14:25 ～ 15:25	② 開発事例を基にした小水力発電開発における課題と対策並びに地域に根差した取組みについて 三峰川電力株式会社 事業開発部長　渡部　昭心	小水力発電は、計画・調査から運転開始までに長期間を要することやスケールメリットが得られず事業採算性の確保が難しいことから、急速な拡大には至っていない状況にある。 本講義では、小水力発電所の新規開発における諸課題とその対策について、三峰川電力のこれまでの開発事例を基に解説する。特に、地域に根差した取組み・地域貢献については、令和２年度新エネ大賞新エネルギー財団会長賞を受賞した長野県駒ケ根市と静岡県富士宮市での開発事例等から、計画段階から運用にわたっての取組みを紹介する。
	15:40 ～ 17:00	③ 地域と一体となった小水力発電所の建設、維持管理について ～神坂霧ヶ原・三郷黒沢川小水力発電の事例～ 飛島建設株式会社　土木事業本部 グリーンインフラ開発部 再生可能エネルギーグループ 部長　高橋　宏之	神坂霧ヶ原小水力発電所（岐阜県中津川市、最大出力170kW、令和２年４月運転開始）と、三郷黒沢川小水力発電所（長野県安曇野市、最大出力194kW、令和３年４月運転開始）は、飛島建設とオリエンタルコンサルタンツの二社の共同事業により建設された。両発電所とも、中山間部の農業用水路を活用しており、施設の老朽化や維持管理の負担といった地域の課題解決につながる仕組みを構築している。 本講義では、企業連携・地域連携・官民連携の三つの連携を軸に、計画段階から地域との相互協力と行政の支援をもとに進めた二つの小水力発電所の建設、維持管理の事例について紹介する。[土木が中心の講義になります]
18日	10:30 ～ 11:50	④ 米子北の沢用水発電所でのクロスフロー水車と除塵装置に関する技術開発について 信州大学 工学部　機械システム工学科 准教授　飯尾　昭一郎	流れ込み式が多い小水力発電所では、幅広い負荷変動への対応が必要である。また、さらなる普及拡大のためにはコスト低減と高性能化の両立が必要となる。米子北の沢用水発電所では、産学連携の取組みとして、変流量特性に優れた新型クロスフロー水車と維持管理が容易で流水中の塵芥除去率が高い除塵装置の開発が行われ、長野県須坂市において実証試験を継続中である。 本講義では、米子北の沢用水発電所での技術開発の内容を中心に紹介する。
	13:05 ～ 14:05	⑤ 自然環境に配慮した水力発電所建設工事の計画、設計及び施工について ～胎内第四発電所建設工事～ 新潟県企業局 新潟県発電管理センター　工務第１課 課長代理　渡辺　公夫	胎内第四発電所は、胎内川総合開発事業の一環として建設された奥胎内ダムの直下流に設けられた最大出力2,600kWのダム式発電所で、平成31年４月に運転を開始した。建設地点は猛禽類をはじめとする貴重な動植物が多数生息する自然豊かな地域となっているため、自然環境に配慮した設計、施工を行った。 本講義では、奥胎内ダム及び胎内第四発電所の計画概要並びに土木設備・電気設備の設計、施工について紹介する。[電気・土木の割合が等しい講義になります]
	14:20 ～ 15:20	⑥ 国土交通省五十里ダムの河川維持放流を利用した水力発電所の建設について ～五十里発電所建設工事～ 栃木県企業局　電気課 電源開発担当 課長補佐　大豆生田　政己	五十里発電所は、国土交通省の五十里ダム堰堤改良事業(選択取水設備新設及び利水放流設備更新) の施工に併せて建設された河川維持放流を利用した最大出力1,200kWのダム式発電所で、令和２年５月に運転を開始した。発電した電力の一部はダムの管理用電源として供給され、災害時の電源を確保することで防災力の強化を図っている。 本講義では、本建設工事の計画、設計及び施工について紹介する。[電気の割合が大きい講義になります]
	15:20	閉　会　　(一財) 新エネルギー財団	

・テーマ、講師及び内容等が変更される場合がありますので、あらかじめご了承下さい。

[1] 一般財団法人 新エネルギー財団「Topics & News」<https://www.nef.or.jp/topics/index.html>（2022.1.31 閲覧）

一般社団法人 ターボ機械協会[2] 第 159 回セミナー「小水力の今」

ターボ機械協会
第 159 回セミナー（Web 形式のセミナー）

小水力の今

低炭素社会の実現に向けて、水力の担う役割は大きく、再生可能エネルギーとしての発電だけではなく、風力、太陽光と協調した安定供給に不可欠な設備としての位置づけも注目されています。

一方、地産地消の電力として規模は小さい一方で、身近な水力資源を扱う小水力の需要が増加し、個人レベルでの導入事例が増えつつあります。これまで水力に関するセミナーの多くは一般水力を対象としており、小水力に関して解説されたものは少なく、「小水力についてもっと解説してほしい」という要望がありました。以上の背景を踏まえて今回小水力に限定したセミナーを企画するに至りました。

※NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）のガイドブックでは「10,000kW 以下を小水力」、「1,000kW 以下をミニ水力」、「100kW 以下をマイクロ水力」と分類していますが、本セミナーでは全国小水力利用推進協議会の定義に則り、「1,000kW 以下を小水力」とします。

日　　時：2022年1月21日（金） 9:50～17:30（9時から接続できます）
方　　式：Web 形式のセミナー（WebEx）*別途参加方法をご案内いたします。
参 加 費：会員　33,000円，非会員　44,000円，学生　5,500円　（税込み・テキスト電子配布含む）

【プログラム】

時 間	テーマ	内 容	講 師（敬称略）
9:50	Web セミナー要領説明、本セミナー趣旨説明		
10:00 ～11:00	マイクロチューブラ水車の適用事例	マイクロチューブラ水車の適用事例と現地での性能評価についての説明	富士・フォイトハイドロ 小野賢人
11:10 ～12:10	部分負荷の優れた小水車と余水路省略の技術	高落差としてペルトン水車、低落差として S 形チューブラ水車の特徴を解説し、近年における余水路省略技術の紹介を行う。	富士・フォイトハイドロ 大和昌一
	【　昼休み　】		
13:00 ～14:00	海外製小水力水車の適用事例	国内に適用されている海外製小水力水車の紹介、導入のポイント。	ハイドロ・エコロ 技術士事務所 金田剛一
14:10 ～15:10	省スペース、省メンテナンスに適した小水力	縦型インライン水車、3射ターゴ水車の紹介。 ごみ、土砂対策についての説明。	田中水力 相田　貴光
15:20 ～16:20	汎用機器を利用した可変速小水力発電	汎用インバータを用いた可変速小水力発電の実施例を説明	富士・フォイトハイドロ 高橋正宏
16:30 ～17:30	大学の研究活動から見たマイクロ水力の動向	現在、大学、研究機関で行われているマイクロ水力についての展望解説	信州大学 飯尾昭一郎

※プログラム・講師は都合により変更する場合がありますのでご了承ください。

申込方法：別紙記載

申込期限：1 月 18 日（火）17 時　お申込後のキャンセルはお断り致します。

※ターボ機械協会継続教育制度が開始され、各講習会・セミナーに参加されるとポイントが付加されます。
本セミナーのターボ機械協会 CPD ポイントは中級 6 ポイントです。

[2] 一般財団法人 ターボ機械協会「セミナー/講習会一覧」
<https://www.turbo-so.jp/seminor.html>（2022.1.31 閲覧）

一般社団法人 ターボ機械協会[3] 第 161 回セミナー「水車」

ターボ機械協会
第 161 回セミナー（Web 形式のセミナー）

水　　車

地球温暖化対策として太陽光、風力、波力など再生可能エネルギーの活用が進められる中で、水力発電はエネルギー密度が高く、安定的かつ継続的に電力を発生できる電源として注目を集めています。また、長年にわたる実績に培われた信頼性の高い、安心安全な技術のため、世界的に見直される機運であり、国内でも新規開発を始め、既設発電所の劣化低減対策、老朽化した発電所の一括改修など、クリーンな水資源を継続的に有効活用する努力が続けられています。

本セミナーでは、水力発電の主要機器である水車・ポンプ水車について、基礎知識・理論を説明した上で、 水車の延命化のための耐キャビテーション壊食、耐土砂摩耗対策などを解りやすく解説します。

日　　時：2022 年 4 月 20 日（水） 9:50～17:30（9 時から接続できます）
方　　式：Web 形式のセミナー（WebEx）*別途参加方法をご案内いたします。
参 加 費：会員33,000円、非会員44,000円、学生5,500円 （税込・テキスト電子配布含む）

【プログラム】

時 間	テーマ	内 容	講 師（敬称略）
9:50	Web セミナー要領説明、本セミナー趣旨説明		
10:00 ～12:00	水車・ポンプ水車の基礎知識	水車・ポンプ水車のエネルギー変換、特性評価の基礎知識として、角運動量理論、変流量・変落差時の性能などの基本事項について解説	宮川　和芳 早稲田大学
【 昼休み 】			
13:00 ～14:00	水車性能設計の新技術	コンピュータを利用して流れ解析技術や、これを用いて開発された新型ランナなどの事例を含む新技術について解説・紹介します。	榎本　保之 東芝エネルギーシステムズ（株）
14:10 ～15:10	水車性能の評価・試験	新技術を用いて設計する水車性能の評価について、解析や実験を通して紹介します。	田村 悠太 日立三菱水力（株）
15:20 ～16:20	水車の壊食・摩耗	キャビテーション壊食、土砂摩耗の発生メカニズムと対策を紹介します。	喜久田　啓明 富士・ﾌｫｲﾄﾊｲﾄﾞﾛ（株）
16:30 ～17:20	再生可能エネルギー導入拡大における揚水発電所の水車保全に関する動向	再生可能エネルギーの導入拡大に伴う揚水発電所の役割の変化と、これに伴う最近のポンプ水車の保全事例について紹介します。	岩佐　宗八 九州電力(株)

※プログラム・講師は都合により変更する場合がありますのでご了承ください。

申込方法：別紙記載

申込期限：4 月 18 日（月）17 時　お申込後のキャンセルはお断り致します。

※ターボ機械協会継続教育制度が開始され、各講習会・セミナーに参加されるとポイントが付加されます。
本セミナーのターボ機械協会 CPD ポイントは中級 6 ポイントです。

[3] 一般財団法人 ターボ機械協会「セミナー/講習会一覧」
<https://www.turbo-so.jp/seminor.html>（2022.1.31 閲覧）

8.2 参考となる水力発電に関連する基準類、データベース

(1) 参考となる基準類

本テキストで引用したもの、及びその他参考となる基準類（ガイドライン、設計基準、手引きなど）を整理して表-8.1.2 に示します。さらに詳しい内容を知りたい場合はこれら図書をダウンロードしたり購入したりして積極的に活用することをおすすめします。

(2) 既存の発電所のデータベース

既存の水力発電所の諸元（最大使用水量、出力、有効落差など）について、一般社団法人電力土木技術協会が整理したデータベースが活用できます。施設は河川水系別、発電事業者別で検索が可能となっています。

【URL】　https://www.jepoc.or.jp/hydro/

一般社団法人 電力土木技術協会 Electric Power Civil Engineering Association　水力発電所データベース

発電所詳細表示

表示 ： 東北 > 奥入瀬川 > 蔦

地方No	地方名	水系No.	水系名	所有者No.	事業者名	発電所番号
02	東北	2160	奥入瀬川	002	東北電力(株)	002-2160-1

発電所概要　発電所設備　ダム・貯水池

発電所概要

項目名	単位	データ
発電所名		蔦
所有者		東北電力(株)
最大出力	(kW)	2,300
常時出力	(kW)	700
最大使用水量	(m3/s)	3.00
有効落差	(m)	96.75
取水位	(m)	519.50
放水位	(m)	415.20
水系名		奥入瀬川
河川名		蔦川、大石倉沢、冷水沢ほか
級別		2
流域面積	(km2)	36.8
発電形式		水路式
発電方式		流込み式
当初運転開始年月	(西暦年.月)	1961.01
現行施設運転開始年月	(西暦年.月)	
事業目的		電気事業用
発電所所在地(都道府県)		青森県
発電所所在地(市町村)		十和田市
特記事項		
入力年月日		2008.03.31

詳細画面を閉じる

表-8.2.1 (1)　参考となる水力発電に関連する基準類（その1）

種別	作成者	テキスト名		インターネットでの入手先
水力発電	経済産業省 資源エネルギー庁	ハイドロバレー計画ガイドブック	平成17年3月	https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11299804/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_006.pdf
水力発電	一般財団法人 新エネルギー財団	新エネルギー人材育成研修会 （水力発電コース）	令和2年9月	※ 購入サイト https://www.nef.or.jp/info/syoseki.html#2020-suiryoku-course
水力発電	国土交通省	既設砂防堰堤を活用した小水力発電ガイドライン(案)	平成22年2月	https://www.mlit.go.jp/river/sabo/seisaku/sabo_shosui.pdf
水力発電	国土交通省	小水力発電設置のための手引き Ver.3	平成28年3月	https://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/pdf/syousuiryoku_tebiki3.pdf
水力発電	国土交通省	小水力発電を河川区域内に設置する場合のガイドブック（案）	平成25年3月	https://www.mlit.go.jp/river/riyou/syosuiryoku/pdf/130305_shousuiryoku_guide.pdf
水力発電	経済産業省 資源エネルギー庁	中小水力発電計画導入の手引き	平成26年3月	https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11445532/www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/
水力発電	農林水産省	農業水利施設等を活用した小水力発電施設導入の手続き・事例集	令和3年9月	https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/shousuiryoku/attach/pdf/rikatuyousokushinn_teikosuto-105.pdf
水力発電	農林水産省	鋼構造物計画設計技術指針（小水力発電編）	平成26年12月	※ 購入サイト https://www.jacem.or.jp/syuppan.htm
水力発電	一般財団法人 新エネルギー財団	中小水力発電ガイドブック 新訂5版	令和元年5月	※ 購入サイト https://www.nef.or.jp/info/syoseki.html
水力発電	経済産業省 資源エネルギー庁	中小水力発電計画工事費積算の手引き	平成25年3月	http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/
土木設計	農林水産省	土地改良事業計画設計基準類	平成20年3月	※ 購入サイト http://www.jsidre.or.jp/book-kijun/
砂防堰堤設計	国土交通省 中部地方整備局	砂防施設設計要領	令和2年3月	https://www.cbr.mlit.go.jp/kawatomizu/sabou_shisetsu.htm
砂防堰堤設計	岐阜県	砂防事業設計要領	平成29年4月	https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/8145.pdf
砂防堰堤設計	愛知県	砂防設計の手引き	平成29年7月	https://www.pref.aichi.jp/soshiki/sabo/sabousekkeinotebiki2907.html
砂防堰堤設計	福島県	土木設計マニュアル	平成27年3月	https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/108919.pdf
砂防堰堤設計	埼玉県	砂防設計基準	平成31年4月	https://www.pref.saitama.lg.jp/a1007/sabo1/sabo-tebiki0.html
砂防堰堤設計	長野県	土木事業設計基準	平成26年11月	https://www.pref.nagano.lg.jp/gijukan/infra/kensetsu/gijutsu/setukeikijyun.html
砂防堰堤設計	鳥取県	砂防技術指針	平成26年10月	https://www.pref.tottori.lg.jp/279269.htm
鋼構造設計	農林水産省	鋼構造物計画設計技術指針（水門扉編）	平成21年11月	※ 購入サイト https://jagree.or.jp/publication/
ダム設計	一般財団法人 ダム技術センター	多目的ダムの建設	平成17年度版	※ 購入サイト http://www.jdec.or.jp/03document_and_data/01_public_information/public_information.html
地質調査	全国地質調査業協会 連合会	地質リスク調査検討業務の手引き	2021年7月	https://www.zenchiren.or.jp/geocenter/risk/georisk_guide_2021.pdf
流量観測	独立行政法人 土木研究所	水文観測	平成14年度版	https://www.pwri.go.jp/team/hydro_eng/suimon_kansoku.htm
水理計算 流量計算	国土交通省	河川砂防技術基準　調査編	平成24年6月	https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/index.html
損失水頭計算	千葉信一	発電水力演習	2000年	※ 一般書店で購入可能
損失水頭計算	土木学会	水理公式集	平成11年度版	※ 一般書店で購入可能

表-8.2.2 (2)　参考となる水力発電に関連する基準類（その2）

	種別	作成者	テキスト名		インターネットでの入手先
許認可	水利権申請	国土交通省	小水力発電を行うための水利使用の登録申請ガイドブック	平成26年3月	http://www.hrr.mlit.go.jp/kurobe/sogo/shousuiryoku/guidebook.pdf
許認可	水利権申請	国土交通省	水力発電水利審査マニュアル（案）	平成25年4月	https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suirisinsa/pdf/manual.pdf
許認可	水利権申請	国土交通省	正常流量の手引き（案）	平成19年9月	https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/ryuuryoukentou/tebiki.pdf
許認可	保安林解除	岩手県	保安林解除の手引き	令和3年10月	https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/008/405/kaijyonotebiki0310.pdf
許認可	環境調査	環境省	猛禽類保護の進め方（改訂版）	平成24年12月	https://www.env.go.jp/nature/kisho/guideline/pdf/guide_h2412.pdf
許認可	系統連係	経済産業省 資源エネルギー庁	電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン	令和元年10月7日	https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/summary/regulations/pdf/keito_guideline.pdf
制度 事業化	売電	経済産業省 資源エネルギー庁	固定買取制度等ガイドブック	2021年度版	https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/data/kaitori/2021_fit.pdf
制度 事業化	保安管理	経済産業省	水力発電設備における保安管理業務のスマート化技術導入ガイドライン	令和3年4月	https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/oshirase/2021/04/20210409-01.pdf
制度 事業化	支援制度	経済産業省 資源エネルギー庁 環境省	再生可能エネルギー事業支援ガイドブック	令和3年度版	https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/guide/pdf/guidebook.pdf
制度 事業化	事業リスク	環境省	地域における再生可能エネルギー設備導入の計画時の留意点	令和3年3月	http://www.env.go.jp/policy/local_re/renewable_energy/ryuuiten2.pdf
制度 事業化	資金調達	環境省	地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（金融機関向け） Ver4.1 ~小水力発電事業編~	2019年3月	https://www.env.go.jp/policy/%EF%BC%88%E5%B0%8F%E6%B0%B4%E5%8A%9B%EF%BC%89ver4.1_%E7%A2%BA%E5%AE%9A%E7%89%88.pdf
施工	工事発注	国土交通省	公共工事の入札契約方式の適用に関するガイドライン	平成27年5月	https://www.mlit.go.jp/common/001089933.pdf
設計	水圧鉄管路	一般社団法人 電力土木技術協会	水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編，溶接・接合編）-付解説-［令和2年9月第5回改訂版（第8版）発行］	令和2年9月	※ 購入サイト https://www.jepoc.or.jp/book/index.php?fm=book&run=m&id=25

8.3 主な助成制度

水力発電施設（調査、設備導入）に係る主な助成制度は、表-8.1.3 に示すとおりです。なお、掲載されている支援メニューの内容は、各支援メニューの概要となりますので、実際の支援メニューの利用に当たっては実施元の部署まで確認ください。

ここで紹介した支援制度は国の所管（経済産業省、環境省、農林水産省）のものですが、その他地方自治体が行う支援策も存在します。それらについては以下のガイドブック[4]に詳しくまとまっていますのでそちらもご覧ください。

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/guide/

[4] 経済産業省資源エネルギー庁・環境省「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック」令和 3 年度版 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/guide/pdf/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

表-8.1.3(1) 令和 3 年度 水力発電施設に係る主な支援制度[5]（調査）

種別	実施元	事業名	対象事業者	支援内容・主な要件	補助率 補助内容
調査	経済産業省 （資源エネルギー庁）	水力発電の導入加速化補助金(水力発電の事業初期段階における支援事業 (初期調査等支援事業)のうち水力発電の事業性評価に必要な調査及び設計等を行う事業)	民間事業者等地方公共団体	新設およびリプレイスする水力発電所の事業性評価に必要な経費を支援 FIT との併用可能	1/2 以内
			地方公共団体	地方公共団体による地域の水力発電有望地点の調査・設計等の実施及び当該地点の開発若しくはコンセッション方式によるＰＦＩ事業に係る運営を行う発電事業者の公募を行う事業を支援 FIT との併用可能	10/10 以内
		水力発電の導入加速化補助金(水力発電の既存設備の増出力又は増電力量の 可能性調査及び更新等事業(既存設備有効活用支援事業))	民間事業者等 地方公共団体	水力発電の既存設備の有効活用を図るため、増出力又は増電力量の可能性を調査する事業を支援 FIT との併用不可	2/3 以内

※1 調査、設備導入のみ、利子補給や税制優遇関係は除く

※2 「農業農村整備事業等により整備された小水力発電施設整備に関する補助事業等と固定価格買取制度との調整について」(25 農振第 2313 号平成 26 年 4 月 1 日農林水産省農村振興局長通知　30 農振第 3310 号平成 31 年 3 月 27 日最終改定）により、農業農村整備事業等により小水力発電施設を整備し、FIT による売電を行う場合は、国民負担抑制のため、毎年度の発電実績量に応じて売電収入の一部を国庫に返納（FIT 調整）する必要があります。

[5] 経済産業省資源エネルギー庁・環境省「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック」令和 3 年度版を基に作成 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/guide/pdf/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

表-8.1.3(2) 令和 3 年度 水力発電施設に係る主な支援制度[6]（設備導入）

種別	実施元	事業名	対象事業者	支援内容・主な要件	補助率 補助内容
設備導入	経済産業省（資源エネルギー庁）	水力発電の導入加速化補助金(水力発電の既存設備の増出力又は増電力量の可能性調査及び更新等事業(既存設備有効活用支援事業))	民間事業者等 地方公共団体	水力発電の増出力又は増電力量を図る設備更新又は改造費用を支援 FIT との併用不可	1/4 以内
		地域共生型再生可能エネルギー等普及促進事業	民間事業者	地域マイクログリッドの構築する費用を支援	2/3 以内 (導入プラン作成事業 3/4 以内)
	環境省	地域脱炭素投資促進ファンド事業	民間事業者	事業者の提案に沿った再エネ設備等を支援	対象事業者への出資
		脱炭素イノベーションによる地域循環共生圏構築事業のうち、 地域の再エネ自給率向上やレジリエンス強化を図る自立・分散型地域エネルギーシステム構築支援事業	民間事業者・団体 地方公共団体等	地方公共団体と民間企業との共同により、地域の再生可能エネルギー・蓄電池・自営線等を活用した、再エネ自給率最大化と防災力向上を同時実現する自立・分散型エネルギーシステム構築のための計画策定や設備等導入に対して支援を行う	計画策定 3/4 設備等導入 2/3
	農林水産省	農山漁村地域整備交付金のうち地域用水環境整備事業※2	都道府県 市町村 土地改良区等	事業計画区域を対象とした、地域用水事業計画等を作成すること。 小水力発電整備の単独整備が可能	1/2 ほか
		農業水路等長寿命化・防災減災事業※2	都道府県 市町村 土地改良区等	長寿命化・防災減災計画が作成されていること 整備と併せて、実施計画策定も可能	1/2 ほか

※1 調査、設備導入のみ、利子補給や税制優遇関係は除く

※2「農業農村整備事業等により整備された小水力発電施設整備に関する補助事業等と固定価格買取制度との調整について」(25 農振第 2313 号平成 26 年 4 月 1 日農林水産省農村振興局長通知　30 農振第 3310 号平成 31 年 3 月 27 日最終改定）により、農業農村整備事業等により小水力発電施設を整備し、FIT による売電を行う場合は、国民負担抑制のため、毎年度の発電実績量に応じて売電収入の一部を国庫に返納（FIT 調整）する必要があります。

[6] 経済産業省資源エネルギー庁・環境省「再生可能エネルギー事業支援ガイドブック」令和 3 年度版を基に作成 <https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/guide/pdf/guidebook.pdf>（2022.1.31 閲覧）

令和３年度
水力発電の導入・運転人材育成研修 テキスト
令和４年３月

【編集協力】
株式会社三菱総合研究所
八千代エンジニヤリング株式会社