

第4章 機能確認試験計画の策定

4.1 具体的な機能確認試験計画の策定方法

人工バリアを主対象とし、第2章の国内外の既往研究成果等の調査で定義した「余裕深度処分における機能確認の在り方、実現性の調査」と第3章の人工バリアの性能確認項目の調査で抽出した「モニタリング対象および項目の絞り込み」を踏まえ、具体的な機能確認試験の検討の実施手順を下記に示す。

- ① モニタリングの前提条件の整理：余裕深度処分の埋設段階以降においてモニタリングを実施する場合の前提条件を整理する。
- ② モニタリング対象施設の設定：余裕深度処分の埋設段階以降において対象となるモニタリング施設を整理する。
- ③ モニタリング対象施設における実施可能なモニタリングの検討：モニタリングの前提条件と施工手順を踏まえた実施可能なモニタリングを検討する。
- ④ モニタリングの位置付けを踏まえた技術開発課題の整理：モニタリングの位置付けを把握するために、初期性能と長期性能の関係、埋設・保全段階における機能確認の役割を確認した上で、技術開発課題を整理する。
- ⑤ 機能確認試験計画（案）の立案：余裕深度処分におけるモニタリングの技術開発課題を踏まえ、機能確認試験計画（案）を立案する。

これらの手順を図 4.1-1 に示す。

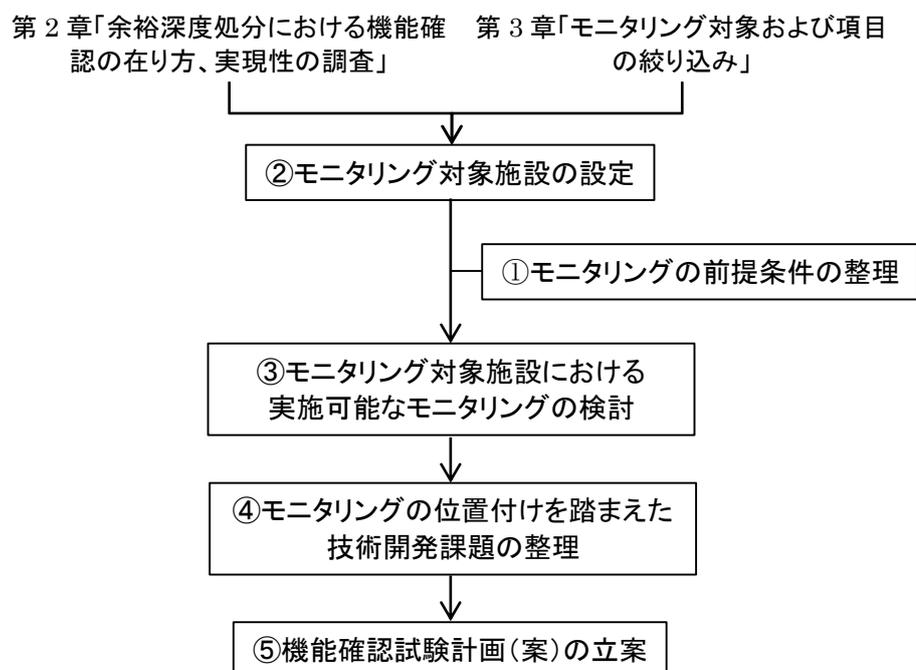


図 4.1-1 検討手順

4.2 モニタリングの前提条件の整理

第2章で示すように、地層処分におけるモニタリングは、処分場計画のさまざまな段階を問題なく完了するために欠かせない情報をもたらし、そうすることによって放射性廃棄物処分の主要目的である閉鎖後長期の安全性に対する信頼性の向上に資すると考えられている。

しかしながら、IAEAの安全要件[1]では、モニタリングプログラムは、閉鎖後の施設の総合的な安全レベルを低下させることのないように設計され、実施されなければならないとされており、また、IAEAの安全指針[3]では、モニタリングの実施は多重バリアシステム等の構成要素の挙動に関するデータを取得できるメリットと、下記に示すようなモニタリングプロセスから発生するデメリット[3][4]もあるため、実際のモニタリング計画においては、両者の間でのバランスを考慮しなければならないとされている。

- 1) モニタリングを行う作業員が受ける放射線被ばく
- 2) モニタリングの実施に伴う人工バリア設置の遅延により生じえる処分場材料の劣化（人工バリアが所定の機能を発揮できない可能性がある）
- 3) 処分場内部または周辺でのモニタリング機器の設置に伴う放射性物質の移動に係わる潜在的な水みちの形成
- 4) モニタリングを実施するために処分場へのアクセス坑道を残存した場合の人間侵入、あるいは自然または誘発された現象（例えば、大湧水）による悪影響が生じる可能性の増大
- 5) 処分場建設、操業、閉鎖等への干渉

この中で、特に、3) モニタリング機器の設置による潜在的な水みちの形成に対しては、IAEAの安全指針[3]で、「モニタリングプログラムの設計では、その後の計装解体の必要性について考慮すべきである。有害な影響（例えば、システムの構成要素との間で化学的な相互作用を起こす可能性のある物質をシステムに持ち込むことでもたらされる）を引き起こす可能性のある装置やケーブルを除去することの実施可能性や、優先的な放出経路の形成を回避するためにモニタリング用アクセス孔を適切に密封することの実施可能性に対しては、特に注意を払うべきである。残された物理リンク（配線など）においてそのような制約が配慮されること、またはそのようなリンクの除去が可能であり、モニタリング終了後は影響を受けていないバリアが残ることについて、立証すべきである。」としている。

IAEAの安全指針にあるような、モニタリング終了後のバリアの健全性を工学的に立証することは困難と考えられるため、実処分施設またはその周辺にセンサを埋め込む必要があるモニタリングは避けるべきと考えられる。そのため、余裕深度処分を対象とした本業務では、「モニタリングの行為がバリアの機能や性能を損なってはいけない。」ことを前提条件とし、実処分施設内のモニタリングでは、以下を基本とする。

- ① 潜在的な水みちの形成となるケーブルは敷設しない
- ② 人工バリアのサンプリング・削孔など、破壊的な行為を行わない

4.3 モニタリング対象施設の設定

4.3.1 対象施設の設定

第 2 章の文献調査結果からも分かるように、4.2 節で示したモニタリングに関する制約を守る方法が特定できない場合には、代替戦略を用いる必要がある。IAEA の安全指針[3]では、地層処分施設を想定して、処分施設の範囲内または同じ母岩内の近い位置に広範な計装を備えた実証施設またはパイロット施設を建設するという選択肢も評価されるものと考えられるとしている。

その例としては、全米科学アカデミー(NAS)の報告書[5]や NAGRA[7]では、地層処分施設の本格的な操業に先駆けて、または、それと並行して、実廃棄物を埋設した実証施設またはパイロット施設でモニタリングすることが想定されている。なお、Andra[1][9]では、操業初期段階に、高密度計装された少数の実処分坑道のモニタリング結果を踏まえて、それ以降の処分坑道の計装の簡素化を図ることを計画している。

この他に、実際の埋設施設と同等の環境条件を模擬した地下または地上の試験施設において、操業期間を有効に活用し、人工バリア部材等の挙動を長期間モニタリングすることも考えられる。

余裕深度処分は、対象とする廃棄物や処分深度は異なるが、複数のバリアにより処分システムに頑健性を持たせ、長期的な放射性核種の移行抑制機能を確保するという考え方は、高レベル廃棄物の地層処分場と同様である。したがって、余裕深度処分を対象とした場合においても、高レベル廃棄物の地層処分施設で考えられているモニタリング対象施設を参考に、以下の 3 施設を検討対象とする。また、地下模擬処分施設は、先の実証施設またはパイロット施設に相当するが、実廃棄物の使用は想定しない。なお、地下の試験施設の性格は、地下模擬処分施設と類似するため、検討対象から除外した。

- ・ 実処分施設
- ・ 地下模擬処分施設
- ・ 地上施設

また、実処分施設と地下模擬処分施設を対象とした場合に、各施設から離れたところで実施できるモニタリング施設として、以下の 2 施設を考えた。

- ・ 近傍ボーリング孔など採水施設
- ・ 地表/空中からの物理探査

以上に述べた施設のイメージを図 4.3-1 に示す。

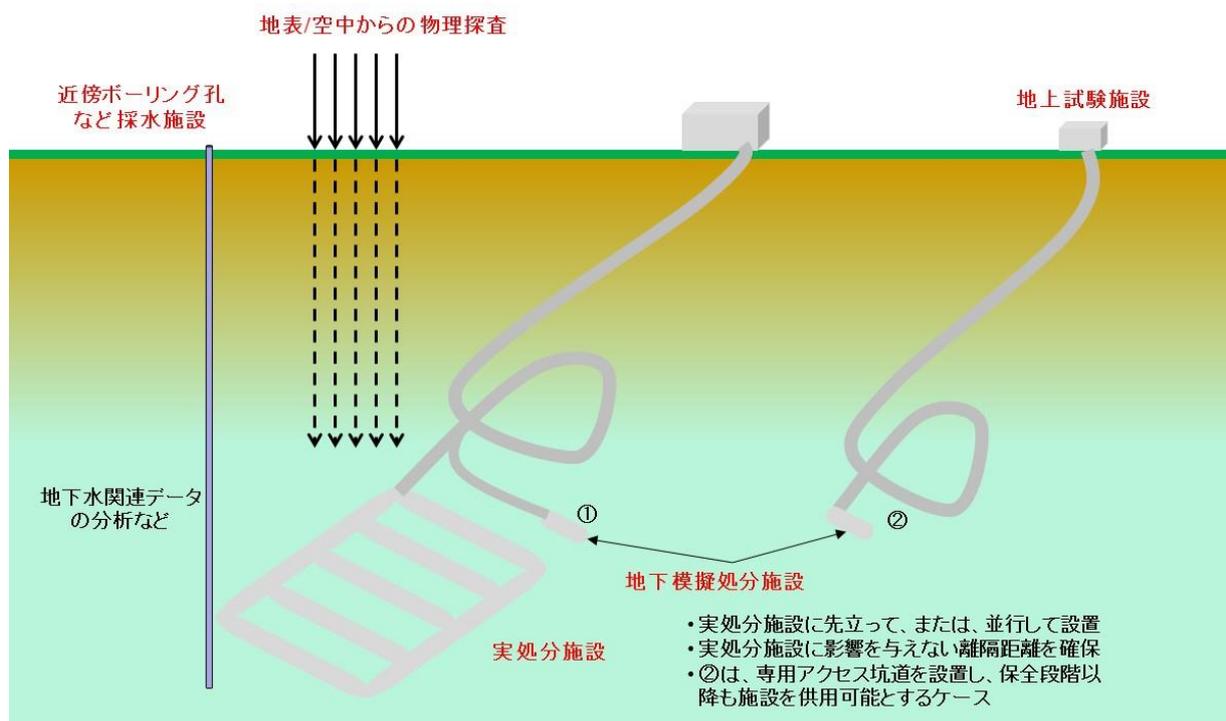


図 4.3-1 対象施設のイメージ

4.3.2 対象施設毎の想定されるモニタリング実施期間

地層処分[10]だけでなく、浅地中処分[11]においても、安全性を保証するために、閉鎖後のモニタリングを要求したり、それに依存すべきではないとする原則がある。しかし、地層処分であっても、社会が有益であると見なす限り、政府または規制当局の要請により、公的保証を提供するため、4.2 節で示したモニタリングに関する制約を遵守した上で、閉鎖後モニタリングが実施されるかもしれないとしている。

余裕深度処分施設では、廃棄体の定置が完了し、周辺坑道やアクセス坑道の埋戻しが完了すると、所謂、制度的管理期間に相当する保全段階に入る。これまでの余裕深度処分に関する安全規制の考え方[13][14][15]では、保全段階においても、人工バリアの性能等を把握するためのモニタリングを行うことが要求されている。しかし、保全段階では、処分場のアクセス坑道が埋め戻され、施設が密閉されているため、人工バリア等のモニタリングは、最終的には、地上からの間接的な非破壊探査（地球物理学的方法や遠隔探査方法）か、または、原位置センサからの無線送信（ただし、現状技術レベルでは、埋戻し後、数年から十年程度が限度）に依存しない限り、原位置でのモニタリングは実行不可能となる。

このため、本検討では、対象施設毎のモニタリング実施可能期間を以下のように設定した。

- ・ 実処分施設：埋戻し完了まで。

- ・ 地下模擬処分施設：埋戻し完了まで。ただし、実処分施設に影響を与えず、アクセス坑道の開放が可能な場合は保全段階中も可能
- ・ 地上施設：保全段階中も可能
- ・ 近傍ボーリング孔など採水施設：保全段階中も可能
- ・ 地表/空中からの物理探査：保全段階中も可能

ただし、保全段階では、モニタリング結果等を踏まえて、長期の安全性に影響を及ぼすような兆候がない限り、モニタリング項目やその頻度は漸次低減されるものと想定される。なお、IAEAの安全指針[3]では、適切に設計された処分施設では、閉鎖後モニタリングが継続されると合理的に予測できる期間内に、生物圏への多量の放射性物質の放出は予測されないことを認識すべきであること、長期の安全性に影響を及ぼさない限り、閉鎖後モニタリングの規模は縮小される可能性があるとしている。米国テキサス州の浅地中処分の環境モニタリング規則[12]でも、閉鎖後のサンプリングとラボ分析の頻度は、一般に、操業中のそれより低減するという考え方が示されている。

以上に述べた施設の適用が想定される事業段階のイメージを図 4.3-2 に示す。ここで、破線部分が本業務の検討対象となる。なお、後述の 4.4 節で述べるように、人工バリアの施工は、廃棄体定置作業を挟んで、連続的かつ一体的に実施されるため、操業（埋設段階）には、人工バリア施工中のモニタリングも含まれる。

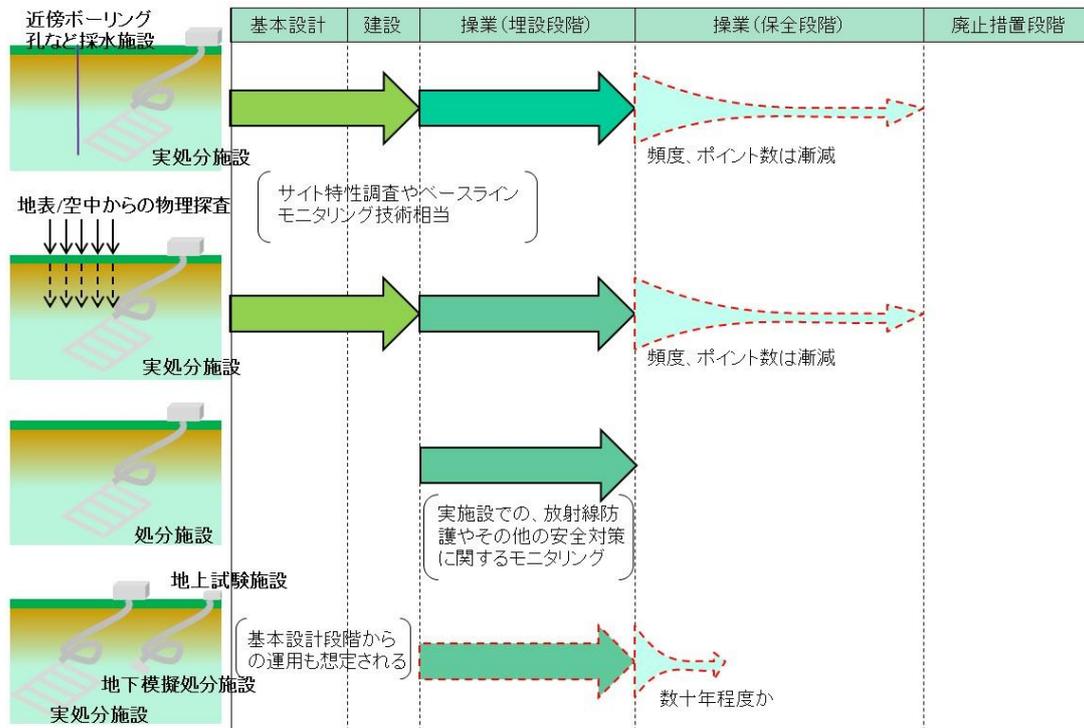


図 4.3-2 対象施設の適用が想定される事業段階のイメージ

4.4 モニタリング対象施設における実施可能なモニタリング

建設及び埋設段階の施工手順を整理すると下記のようなになる。

- 1) 坑道掘削
- 2) 底部及び側部の埋戻し材の施工
- 3) 底部の低透水層、低拡散層、ピットの施工
- 4) 側部のピット、低拡散層の施工
- 5) 廃棄体定置、区画内充てん
- 6) 上部ピット、低拡散層の施工
- 7) 上部・側部低透水層、空洞充てん材の施工
- 8) 坑道埋戻し

「実処分施設」、「地下模擬処分施設」及び「地上施設」に加え、「近傍ボーリング孔など採水施設」と「地表/空中からの物理探査」を対象に、モニタリングの前提条件等を踏まえ、埋設・保全段階における実施可能なモニタリング項目・方法を整理すると、以下のようなになる。本節では、本業務におけるモニタリングの課題にならない以下のケースに該当するものを示し、本業務の検討から除外することとしている。

- ・既に技術が確立されているもの
- ・現状では課題の克服が困難であり、当面は市場の技術開発動向の確認をすべきもの

4.4.1 実処分施設

実処分施設で実施可能なモニタリング対象は、表 4.4-1 に示すとおりである。

表 4.4-1 は、原子力学会報告書や土木学会報告書に示されている建設・埋設の手順および方法の例を基に、人工バリアの機能確認ポイントとしての計測項目の有無、及び実施可能なモニタリング項目・方法を示している。

表 4.4-1 から分かるように、実処分場において実施可能なモニタリング項目は、モニタリングの前提条件のため、排水設備でのサンプリングによる水質を除けば、「底部の低透水層のレベル測定」と「低拡散層のひび割れ計測（目視、画像処理、表面への光ファイバなどの貼り付けによる計測など）」に限られる。

実処分施設を対象とした場合、対象エリアは放射線下であり、「底部の低透水層のレベル測定」をできるだけ遠隔で実施するには 3D スキャナーなどを用いた 3 次元計測で実施するのが好ましく、この技術は基本的に確立されており、更なる今後の進展に関しては、市場における技術ウォッチングを継続していくことが望まれる。また、「低拡散層のひび割れ計測」についても遠隔で実施するためには、画像撮影後の画像処理にてひび割れの発生や幅の計測を実施すべきであり、この技術の更なる進展に関しては、市場における技術ウォッチングを継続していくことが望まれる。

水質調査については、分析項目は異なることもあるが、基本的には近傍ボーリング孔と同様な方法となる。

表 4.4-1 実処分施設で実施可能なモニタリング対象

構築される部位	機能確認 P	実施可能なモニタリング項目・方法	実施可能な期間
A) 坑道掘削	有	・地下水組成・pH（排水設備での採水・分析）	
B) 底部及び側部の埋戻し材の施工	無		
C) 底部の低透水層、低拡散層、ピットの施工	有	・低透水層の層別沈下（レベル測定） ・水質（排水設備での採水・分析）	
D) 側部のピット、低拡散層の施工	有	・低拡散層のひび割れ計測 ・水質（排水設備での採水・分析）	
E) 廃棄体定置、区画内充てん	有	・水質（排水設備での採水・分析）	
F) 上部ピット、低拡散層の施工	有	・水質（排水設備での採水・分析）	
G) 上部・側部低透水層、空洞充てん材の施工	有	・水質（排水設備での採水・分析）	
H) 坑道埋戻し	無		

注) 図中の矢印はモニタリングの開始時期と終了時期を示す。

ここで、表 4.4-1 では、H)坑道埋戻しの機能確認ポイントは無いとしているが、処分坑道埋戻し後には、空洞端部について、坑道の掘削影響領域等に起因する地下水移行経路の遮断を目的とした埋戻しや水理プラグの設置、ベントナイト緩衝材の膨潤に伴う移動・流出の防止を目的とした力学プラグの設置が考えられる。したがって、これらに対する安全機能や技術的要件を踏まえた機能確認が必要となる。また、処分坑道埋戻しは、廃棄体定置が終了した坑道から、漸次実施されることや、処分坑道埋戻しからアクセス坑道閉鎖作業までの期間を考慮すると、人工バリアの再冠水挙動等の確認も望まれる。これらも含め、ケーブルを有さない地中無線送信装置の人工バリア内への設置を許容するのであれば、実処分施設で実施可能なモニタリング対象が増えることとなる。

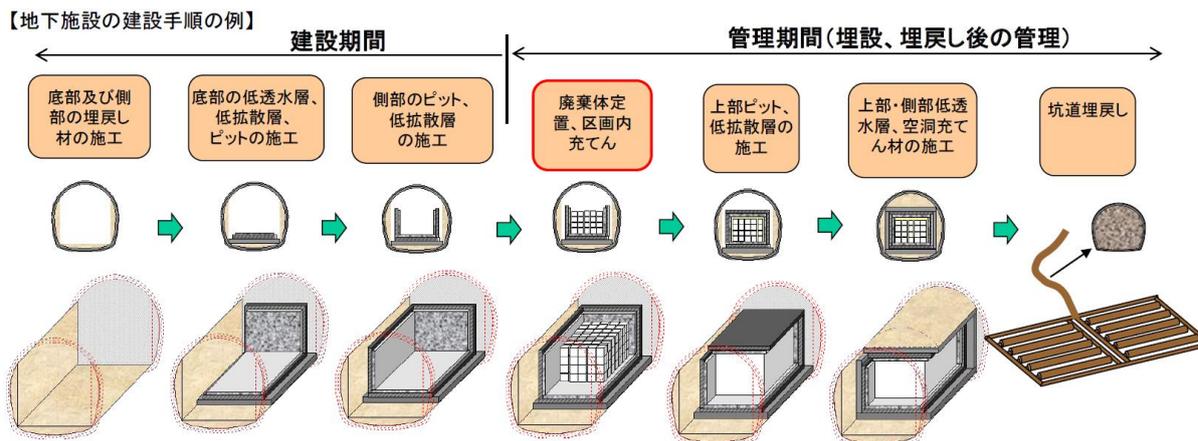


図 4.4-1 実処分施設の施工イメージ

4.4.2 地下模擬処分施設

ここで考える地下模擬処分施設は、処分場の健全性を損なわないことに配慮し、実処分施設から一定の距離を確保して、または、実処分施設と地質環境特性が同等の別の区域に設置することを前提とする。また、地下模擬処分施設では、ケーブルを有するセンサや施設からのサンプリングを行うことにより、表 4.4-1 に示す機能確認ポイントとしての計測項目の他、第 3 章で示したモニタリング対象項目について、埋設・保全段階を通じてモニタリングすることができる。ただし、地下模擬施設でのモニタリングを計画する場合には、予め、その結果の実処分施設への適用性を実証する必要がある。

4.4.3 地上施設

地上施設では、人工バリアの安全機能に特化した試験を実施し、他施設・設備を用いたモニタリング結果、更には人工バリアの長期挙動に関連する最新の研究成果とあわせて、定期的な安全レビューのための情報を取得する。試験によっては、どこまで地下の実処分施設の環境を模擬できるかが課題となるが、第 3 章で示した物理的・化学的な事象モニタリング対象項目について、埋設・保全段階を通じて試験を実施することができる。

4.4.4 近傍ボーリング孔などの採水施設

地下水組成や pH など水質に関するモニタリングは、実処分施設や地下模擬施設の近傍ボーリング孔を用いた採水等により、埋設・保全段階を通じてモニタリングすることができる。ただし、その結果の解釈については、他のモニタリング結果とあわせて、十分な留意が必要となる。

4.4.5 地表/空中からの物理探査

非破壊探査についてはモニタリングの前提条件を満足するため好ましい手法である。地表調査技術では、近年、油・ガス田開発分野で、生産に伴う残存油・ガスの分布や圧入流体の浸透状況等を把握する方法として、4次元地震探査技術[8]が進展してきている。この他、アコースティックエミッション、電磁法探査、地中レーダー探査などの技術も存在する。

また、空中からの調査技術では、ドローンや航空機または衛星を用いて、干渉合成開口レーダー (Interferometric synthetic aperture radar) [6][9]により、地表の標高やその変化の測定だけでなく、資源 (石油・ガス、地熱) 開発分野への応用も期待されている。

ただし、第2章にも示した通り、これらの技術は進展段階にあり、現状では、人工バリアの機能確認のための十分な情報は得られないものとする。したがって、当面は非破壊探査技術の進展に関し、市場における技術ウォッチングを継続していくことが望まれる。

4.4.6 各モニタリング対象施設における対応方針

以上を踏まえ、各モニタリング施設の特徴をまとめると表まとめ本業務での対応方針を整理すると、

表 4.4-2 のようになる。これを踏まえ、本業務では、現状で考えられるモニタリング施設の特徴を踏まえ、表 4.4-3 に示す、「地下模擬処分施設」、「地上施設」、「近傍ボーリング孔などの採水施設」に焦点を当てて検討を実施する。

表 4.4-2 各モニタリング対象施設の特徴

モニタリング施設	モニタリング項目	現状で実施可能な期間		先行施設としての活用	長所	短所
		埋設	保全			
実処分施設	底部の低透水層のレベル測定	○	×	不可	・ 説明性が高い	・ 計測可能な項目が限定的 ・ 保全段階の機能確認が難しい
	上部以外の低拡散層のひび割れ計測	○	×			
	水質分析(地下空洞)	○	×			
地下模擬処分施設	アクセス坑道供用	○	×	可	・ 類似環境(説明性が高い)	・ 建設コストが掛かる ・ 保全段階の機能確認が難しい
	アクセス坑道別	○	○	可	・ 類似環境(説明性が高い) ・ 機能確認可能期間が長い	・ アクセス坑道供用に比べ、更に建設コストが掛かる ・ 実処分区域外に設置することは現実的に困難を伴う ・ 実処分場区域から離れるほど、環境類似性の説明が困難となる
地上施設	機能確認ポイント	○	○	可	・ 促進試験が容易 ・ 機能確認可能期間が長い	・ 類似環境維持にコストが掛かる ・ 保全段階の模擬
近傍ボーリング孔などの採水施設(人工バリア外)	機能確認ポイント	○	○	可	・ 設置が規定されている設備等の活用が可能 ・ 機能確認可能期間が長い	・ 計測可能な項目が限定的 ・ 機能確認への反映が難しい
地表/空中からの物理探査	機能確認ポイント	○	○	可	・ 機能確認可能期間が長い	・ 計測可能な項目が限定的 ・ 定量化に難があり、技術の進展が必要

表 4.4-3 各モニタリング対象施設における対応方針

モニタリング対象施設		モニタリング項目	対応方針
実処分施設		底部の低透水層のレベル測定	技術ウォッチング
		低拡散層のひび割れ計測	技術ウォッチング
		水質分析	「近傍ボーリング孔など採水施設」で併せて対応
地下模擬処分施設	アクセス坑道供用	機能確認ポイント	本業務で対応
	アクセス坑道別		
地上施設		機能確認ポイント	本業務で対応
近傍ボーリング孔などの採水施設		機能確認ポイント	本業務で対応
地表/空中からの物理探査		機能確認ポイント	技術ウォッチング

4.5 モニタリングの位置付けを踏まえた技術開発課題の整理

上記の検討において“モニタリングの位置付けを踏まえた技術開発課題の整理”の対象となる主な施設は、「地下模擬処分施設」、「地上施設」、「近傍ボーリング孔など採水施設」である。

本節では、先ずモニタリングの位置付けを把握するために、埋設・保全段階における機能確認の役割を確認した上で、技術開発課題を整理した。

4.5.1 埋設・保全段階における機能確認の役割

余裕深度処分施設の人工バリアは、処分システムの将来の状態設定を踏まえて設計仕様が決定され、施工および検査がなされる。土木学会の報告書では、余裕深度処分施設の人工バリアの設計、施工および検査にあたっては、以下の2つの観点で検討がなされている。

- ・ 各部位の施工完了時点で要求される性能および状態が確保されていること（施工時性能・状態確保）
- ・ 埋戻し後以降に、状態設定で想定した長期的な物理・化学特性変化を考慮しても、人工バリア性能が、受動的に発揮せきる状態であること（長期状態変化）

また、原子力安全委員会の報告書では、余裕深度処分の廃棄物埋設地設計にあたり、移行抑制に関して、「現状の技術で合理的に達成できる範囲で人工バリアの損傷・劣化を抑制するよう設計されていること」とし、埋設施設の将来の状態及びその変化を踏まえて、要求される機能を満足する埋設施設を適切に品質が管理された設計・施工により確実に構築することが重要としている。

このように、人工バリアの設計仕様は、将来の状態変化を考慮して設定され、その後、人工バリアが設計仕様を満足するよう施工されていることが検査により確認される。ここで、段階的に進められる人工バリアの施工時の性能を施工時性能とすると、廃棄体の定置が完了し、周辺坑道やアクセス坑道の埋戻しが完了する時点の人工バリア性能は、所謂、処分システムの長期の安全評価の前提となる初期性能と位置付けることができる（図 4.5-1）。

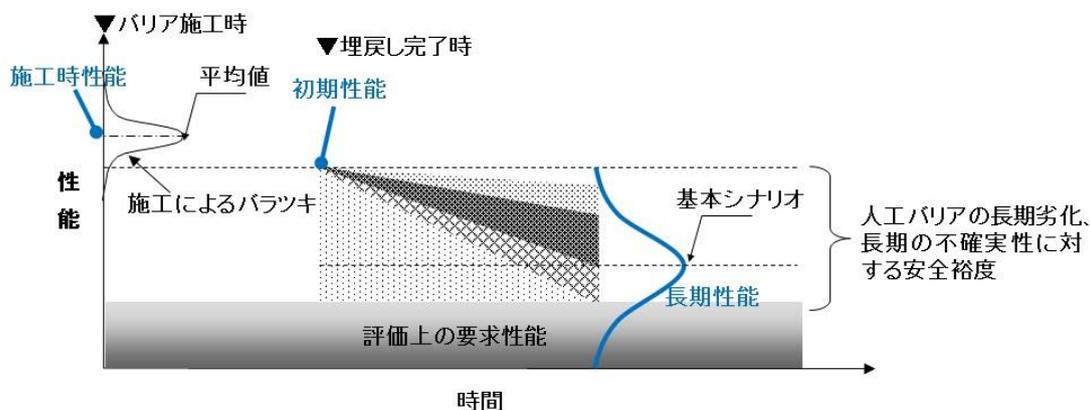


図 4.5-1 施工時性能、初期性能と長期性能の関係イメージ

また、埋戻し完了までの段階（埋設段階）と埋戻し後から管理を必要とする期間が終了するまでの段階（保全段階）に人工バリアの機能確認として実施すべきことは、3.9節のモニタリング結果の活用方法でも述べたように、「人工バリアの機能に応じて、管理期間終了までは、新しい科学技術的知見を反映した管理期間終了以後に係る安全評価を更新することで、評価結果に基づく判断（「めやす」を満足するか否か）の変更不要性、すなわち判断の根拠に係る不変性を確認する」ことである。その中で、モニタリングは、IAEAの安全指針[3]にあるように、処分システムが予測通りの性能を示していること、言い換えれば、閉鎖後の処分施設の安全に影響を及ぼす可能性のある条件が存在しないことを確認し、初期性能の設定やその後の長期性能の状態設定の妥当性や、それらの信頼性向上につながる情報を蓄積し、安全評価の不確かさの低減を図るための1手段として利用される。

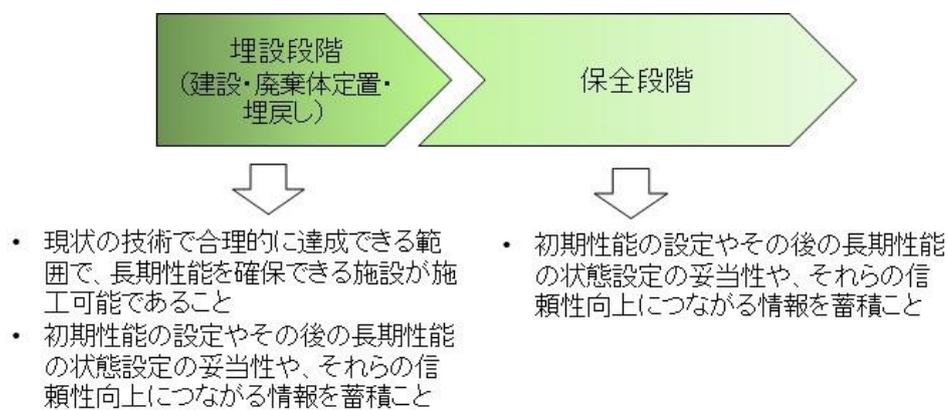


図 4.5-2 埋設・保全段階の機能確認の役割

4.5.2 機能確認に係る各モニタリング方法の得失

今回対象となる「地下模擬処分施設」、「地上施設」、「近傍ボーリング孔など採水施設」を、機能確認方法として実施可能と考えられる具体的なモニタリング方法に分類すると表 4.5-1 となる。

表 4.5-1 モニタリング対象施設と具体的なモニタリング方法

モニタリング対象施設	具体的なモニタリング方法
地下模擬処分施設	<ul style="list-style-type: none"> • センサによる計測 • サンプルングによる計測
地上施設	
近傍ボーリング孔などの採水設備	

以下に、「(1)センサによるモニタリング」、「(2)模擬施設によるモニタリング」、「(3)室内でのモニタリング」及び「(4)採水用のボーリング孔などを利用したモニタリング」のそれぞれの得失を以下に列挙する。

(1) センサによるモニタリング

一般的に、センサによって直接計測できる物理量は、センサ内や電極間の電流値や抵抗などの電気的な変化であり、処分施設における拡散係数や透水係数などの施設の機能をセンサによって直接計測することは不可能である。また、センサによって計測される物理量から施設の機能が直接推定できる場合と、センサによって計測される物理量と相関性の高い物理量から施設の機能を推定する場合もあり、センサによる計測の信頼性は、センサで計測できる物理量と施設の機能確認ポイントの相関性が重要となる。

例えば、低透水層の重要な機能である低透水性は、透水係数という物理量で規定されるが、透水係数をセンサで直接計測することは不可能である。通常は、透水係数と相関性の高い乾燥密度を膨潤圧や比抵抗と飽和度などから推定することになる。

センサによる機能の代替パラメータの計測の例として、図 4.5-3 にプラチナ電極を用いて耐久性を高めた比抵抗計測装置（ウェンナー法）の概略図を示している。本装置では、実績として、蒸留水や NaCl 水溶液が供給されている乾燥密度 1.6Mg/m^3 のケイ砂 30wt%含有ベントナイトに対して約 6 年間に亘り比抵抗値を計測しており、現在でも計測を継続している[18]。

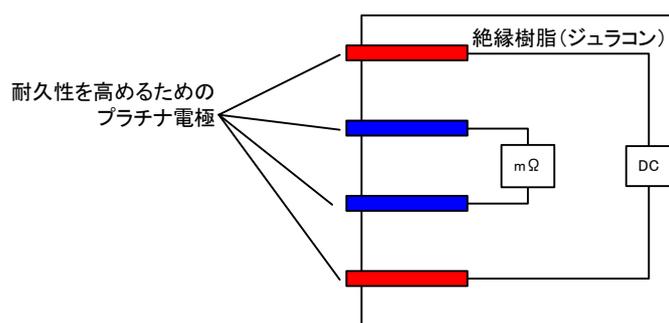


図 4.5-3 比抵抗計測装置（ウェンナー法）の概略図

この比抵抗計測では、図 4.5-4 に示すような飽和度との相関関係が乾燥密度と液種ごとに得られており、膨潤や流出などにより乾燥密度が変化しない条件であれば、比抵抗値から飽和度を推定することが可能である。また、逆に、明らかに飽和していると言える箇所であれば、比抵抗値から乾燥密度を推定することも可能である。

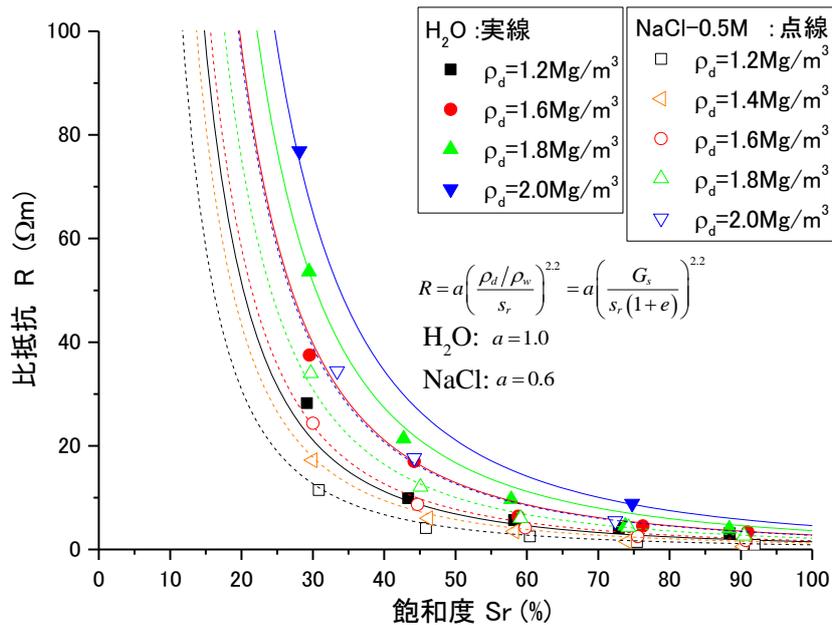


図 4.5-4 飽和度と比抵抗の関係

ただし、センサによる計測は、センサ設置箇所の局所的な値であり、その計測値だけで施設全体の機能を確認することが難しい場合もある。このような場合には、計測値を境界条件とした解析を別途実施するなどの評価を実施しなければならないことも考えられる。

センサによるモニタリングの最大の長所は、一度設置したセンサが計画通り作動すれば、計測対象の経時変化を連続的に取得できる点であり、長期的に見れば安価な機能確認方法と言える。しかし、その一方で、一般的なセンサによるモニタリングの短所は、センサの耐久性が不安定という点である。後述する既存施設の底部緩衝材のセンサの生存率は水分計が 67%、間隙水圧計が 75%、沈下計が 80%、温度計と土圧計が 100%であり、計器によってその生存率が異なる。同様の事象は、SKB が Äspö HRL で行った実規模処分試験 (Prototype Repository Test) でも観察 [9]されている。既存施設に設置したセンサの現段階での稼働時間は、最長で 7 年程度であり、計測開始 1 年程度で故障した物もある。このような耐久性の違いは、計測方式の違いだけでは説明が付きにくいものも多く、耐久性に関する信頼性向上が大きな課題として挙げられる。センサによるモニタリングの事例を図 4.5-5 に示す。ここでは、センサとして、従来の電気センサに比べて耐久性が高いとされる光ファイバ式センサ(OFS)が利用されていることが特徴的であり、Andra や Nagra で OFS 実用化に向けた検討が進められている。

さらに、センサの寿命は、腐食や断線などによる機能喪失の他にバッテリーの容量にも依存する。一般的には、データの計測や転送頻度によってバッテリーの消耗速度が変化するため、施設の機能が急激に変化する時期などを予め取得し、適切な時間間隔と頻度で計測することが重要である。モニタリングの前提条件でもある、モニタリングのためのセンサの設置によって、施設の機能が低下することがないように、センサの設置においては、極力無線を用いるなどの対策が必要である。また、バッテリーに関する問題の解決策として、無線を利用した給電技術の開発なども有用である。

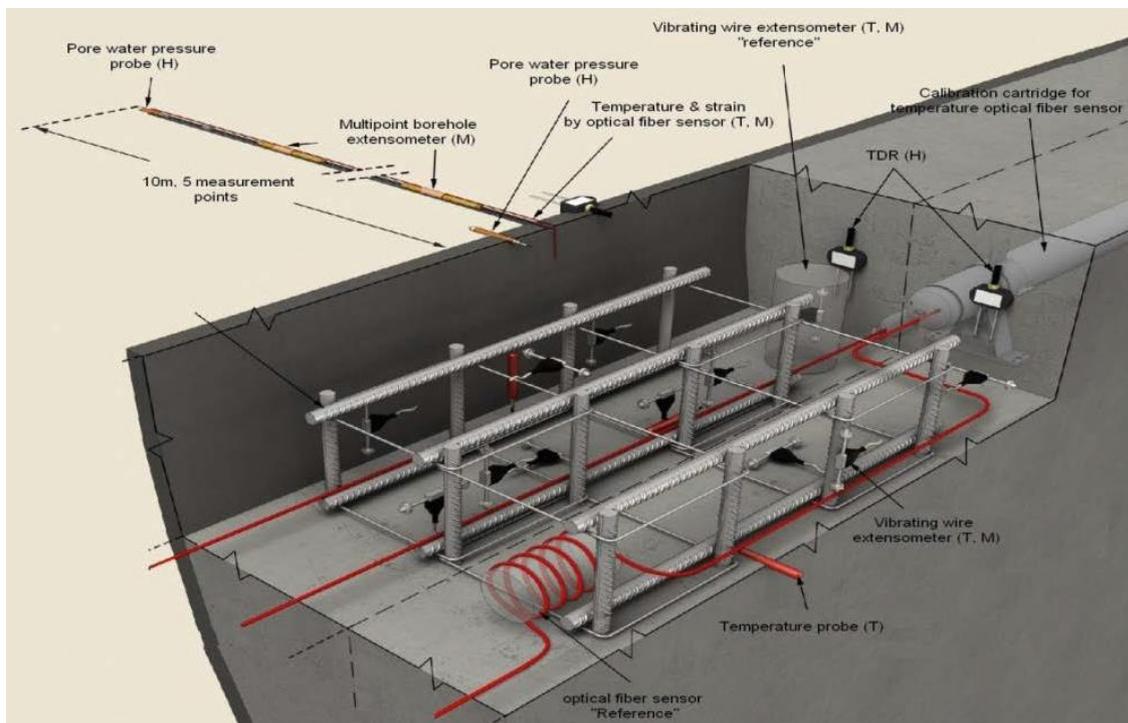
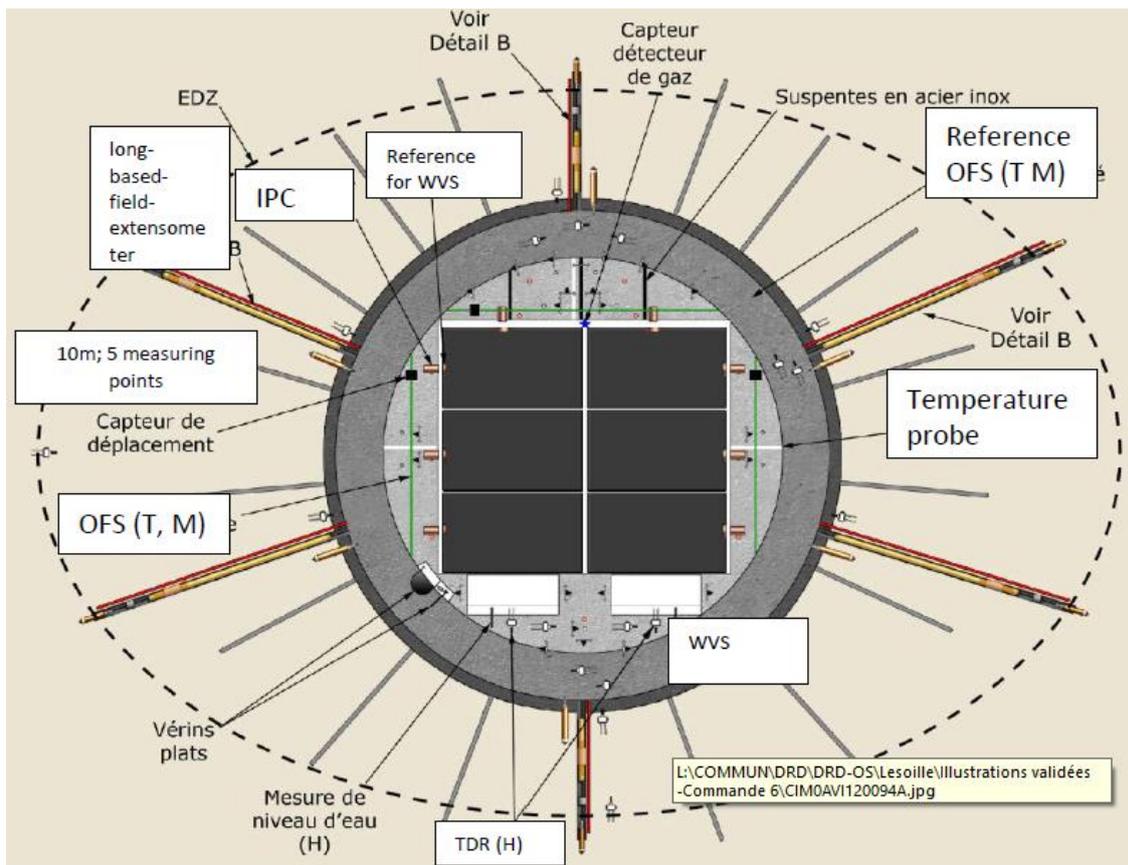


図 4.5-5 Andra の中レベル廃棄物 (ILW) 処分坑道のセンサ設置イメージ (上下)

(2) サンプルングによるモニタリング

施設の確認ポイントの評価は、施設から供試体をサンプルングして適切な試験方法で計測することが最も信頼性が高い。この方法では、基本的にほとんどの機能確認ポイントを直接計測できることが長所である。ただし、このようなサンプルングによる直接計測においても、施工のばらつきによる試験結果のばらつきや、サンプルングに伴う機能の低下、さらには試験自体のばらつきなども存在するため、試験結果の評価にはこれらを考慮する必要がある。また、サンプルングを行うためには、対象となる施設に計測者が立ち入ることが前提となるため、実処分施設や埋め戻された保全段階の地下模擬施設では実施が困難である。

また、計測したい機能に応じて施設のスケールをパラメータとすることも可能であり、スケールは実規模を最大として、数センチ程度の供試体スケールまでのモニタリングが考えられる。(図 4.5-6 参照)。

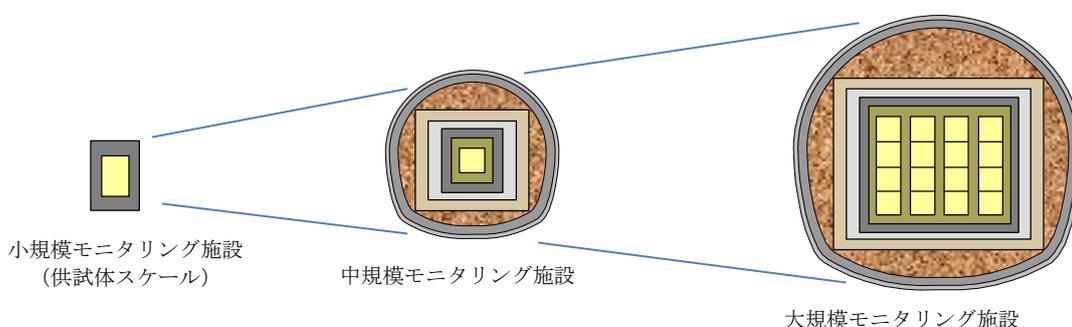


図 4.5-6 モニタリング施設のスケールイメージ

大規模スケールの施設は、寸法形状、材料、施工方法や母岩環境をできる限り実処分場と同等となるよう考慮することが可能で、特に、実処分施設と同等な水理、力学挙動を再現できるという長所がある。SKBがÄspö HRLで行った実規模キャニスタ回収試験(Canister Retrieval Test)や先に述べた実規模処分試験(Prototype Repository Test)では、理論や実験室ベースだけでは実規模でのベントナイト緩衝材の再冠水挙動を十分に記述できないかもしれないことが示唆されており、小規模な実験室での試験と実処分施設間のギャップを埋め、不確実性を低減するためには、十分に検討された実規模レベルの試験が望ましいと考えられる。

また、模擬施設は、一定期間の計装によるモニタリングを経て、施設の一部または全体を解体し、人工バリア部材をサンプルングし、その状態を直接的に観察することで、モデル解析やモニタリング結果との比較も可能である。ただし、大規模スケールの施設は、施設の設置、維持や解体に非常にコストがかかる一方で、得られる情報は限定的なため、施設全体としての機能の評価するためには、別途、試験や解析が必要となる。

中規模スケールの施設は、比較的、実規模の形状に近く、地下水の浸潤状況などを実処分施設と整合させやすいという長所を備えつつ、費用効率の高いアプローチと考えられる。地層処分分野の既往試験では、施設規模を1/4~1/2スケールとする例が見られるが、適切なスケールがどの程

度なのかについては、着目する機能や地下環境の違いなどによって異なると考えられるため、別途検討が必要である。なお、センサとサンプリングによるモニタリングを併行して実施する場合には、設置するセンサ自体の大きさを考慮して、施設スケールを設定することも考えられる。

また、小規模スケール（供試体スケール）の施設は、地上施設での試験規模と同等であるが、温度や湿度などのモニタリング環境の管理や地下水の供給などが不要となる可能性もある為、室内モニタリングと比較してコストが低減するものと考えられる。

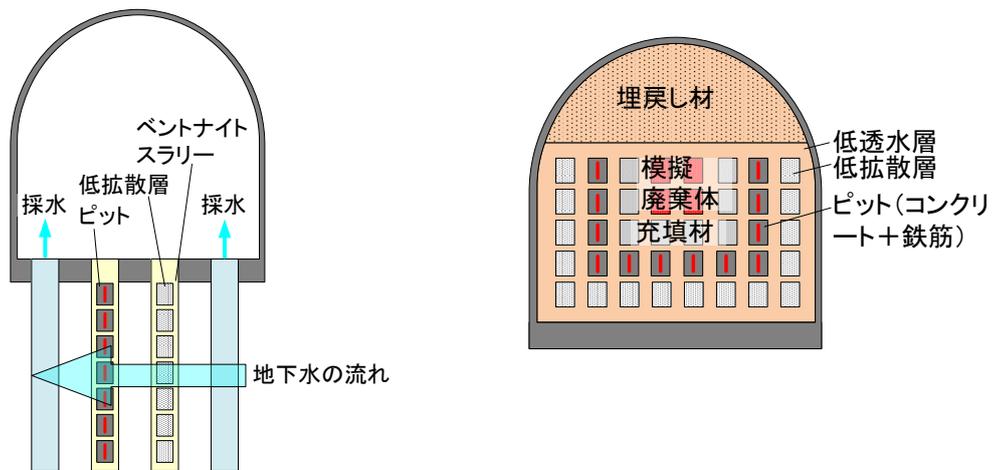


図 4.5-7 小規模モニタリング施設のイメージ

4.5.3 技術開発課題の整理

先に述べた本事業で対象とするモニタリング施設の特徴とモニタリング方法の特徴を踏まえ、機能確認に向けた技術課題と解決によって得られる効果を表 4.5-2 に示す。

表 4.5-2 実処分場での適用を踏まえたモニタリングの技術開発課題の整理

確認方法	技術課題	施設*			解決によって 得られる効果
		模擬地下		地上	
		アクセス 共用	アクセス 別		
センサ	センサによって計測できる物理量と機能の相関性	○	○	-	<ul style="list-style-type: none"> 設置すべきセンサの種類の絞り込み センサによる機能確認の信頼性向上
	センサによって計測できる物理量を用いた全体的な機能評価	○	○	-	<ul style="list-style-type: none"> センサの適切な配置計画の立案可能
	センサの耐久性評価、および高性能・高耐久化検討	○	○	-	<ul style="list-style-type: none"> センサによる機能確認の信頼性向上 機能確認のコスト低減
	機能の経時変化の計測計画への反映(時間間隔、頻度)	○	○	-	<ul style="list-style-type: none"> センサによる機能確認の信頼性向上 機能確認のコスト低減
	センサの無線伝送・給電技術(距離、時間)	△	○	-	<ul style="list-style-type: none"> センサによる機能確認の信頼性向上 人工バリアの損傷低減
	センサの設置方法	○	○	-	<ul style="list-style-type: none"> センサによる機能確認の信頼性向上 人工バリアの損傷低減
	センサの交換方法(時間)	△	○	-	<ul style="list-style-type: none"> センサによる機能確認の信頼性向上 人工バリアの損傷低減
サンプリング	施工のばらつき、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきなどの評価	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> サンプリングによる機能確認の信頼性向上
	計測したい機能に応じたサンプリング施設や供試体の適切な大きさ	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> サンプリングによる機能確認の信頼性向上 サンプリング施設計画の立案可能
	実処分施設と異なるサンプリング施設における材料構成割合の差異の評価	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> サンプリング施設の小規模化
	実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> サンプリング施設の小規模化
	サンプリング時に計測できる物理量を用いた施設全体の評価	○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> サンプリングによる機能確認の信頼性向上 サンプリング施設計画の立案可能
	保全段階の環境を人為的に模擬する方法	-	○	○	<ul style="list-style-type: none"> サンプリングによる機能確認の信頼性向上 保全段階の施設確認

これらの課題は、機能確認施設ごとに共通のものもあれば、機能確認施設の特徴に起因するものもある。この表にまとめられた課題を本業務によって解決することは、機能確認方法の選択肢

を増やし、信頼性の向上に資するだけでなく、無駄なモニタリングの排除や適切なモニタリング計画（配置、時期、頻度）を決定するなどのコスト削減にも効果が期待できる。なお、近傍ボーリング孔などの採水施設は、実績があり、技術課題なしとした。近傍ボーリング孔などの採水施設のデータは、施設全体の評価にあたっては、他施設でのモニタリング結果や既存知見（や予測モデル）と合わせて総合的に活用されるものとの考えられる。

4.6 既存施設の計測機器類及びデータの整理・活用

平成 19 年度～26 年度の地下空洞型処分施設性能確証試験及び閉鎖技術確証試験では、施設構成部材（埋め戻し材、緩衝材、低拡散材、コンクリートピット、充てん材）及び周辺岩盤中に計測機器を設置し、施工時及び施工後の試験施設の力学挙動と周辺岩盤への影響を評価してきた。

なお、平成 27 年度から図 2.1-4 に示すように施設構成部材のうち、緩衝材と低拡散材を、それぞれ低透水層、低拡散層と呼称を変更した。

本項では、施工が完了した平成 27 年度以降の計測機器の活用方法を検討することを目的として、既設計測機器の仕様、設置情報、計測結果、稼働実績等を整理した。

4.6.1 既設計測機器の現状

(1) 計測機器配置

既設計測機器一覧を表 4.6-1 に示す。平成 19 年度～26 年度の地下空洞型処分施設性能確証試験および確認試験における、施工による試験施設と周辺岩盤への影響要因と想定される挙動およびその挙動に対して計画した計測項目、計測方法を表 4.6-2 に示す。また、計測機器の配置を図 4.6-1～図 4.6-3、計測機器の仕様を表 4.6-3～表 4.6-8 に示す。

表 4.6-1 既設計測機器一覧 (H19 年度～H26 年度)

年度	部材名称	計器種別	数量	計
H19	坑内環境	温湿度 (百葉箱)	1	1
		周辺岩盤挙動	間隙水圧計 岩盤変位	
	埋戻し材	ひずみ計	106	215
		有効応力計	18	
		無応力計	4	
		鉄筋計	34	
		温度計	53	
H20	底部低透水層	土圧計	8	31
		加速度計	1	
		沈下計	5	
		温度計	1	
		水分計	12	
		間隙水圧計	4	
	底部低拡散層	ひずみ計	30	62
		有効応力計	6	
		無応力計	1	
		温度計	15	
		継目計	5	
		せん断変位計	5	
	底部コンクリートピット	ひずみ計	30	57
		有効応力計	10	
		無応力計	1	
		傾斜計	1	
		温度計	15	
	側部コンクリートピット	ひずみ計	26	80
		有効応力計	6	
		無応力計	2	
温度計		26		
鉄筋計		20		
H21	手前部 コンクリートピット	ひずみ計	10	32
		無応力計	1	
		鉄筋計	10	
		温度計	11	
	側部低拡散層	ひずみ計	16	57
		有効応力計	6	
		低剛性型有効応力計	1	
		無応力計	2	
		温度計	16	
		継目計	4	
		せん断変位計	4	
		土圧計	6	
	加速度計	2		
充てん材	土圧計	1	1	
	土圧計	2		
H22	充てん材	温度計	1	3
		土圧計	1	
	上部充てん材	温度計	1	2
		土圧計	1	
側部低透水層	土圧計	2	3	
	加速度計	1		
	土圧計	1		
H24	上部コンクリートピット	ひずみ計	6	12
		無応力計	1	
		温度計	3	
		有効応力計	2	
	上部低拡散層	ひずみ計	18	34
		無応力計	1	
		温度計	9	
H25	上部低透水層	土圧計	1	2
		加速度計	1	
H26	上部埋戻し材	沈下計	1	2
		温度計	1	
全計器数量				631

表 4.6-2 試験施設構成部材の計測項目と計測方法

部材	部位	当該部への影響要因	当該部からの影響要因	想定される挙動	計測項目	計測方法
低透水層	底部	構造部材の自重	他構造物への土圧・振動の作用	土圧の変化	土圧	土圧計
		他構造物施工の影響		振動	加速度	加速度計
		上載荷重		沈下	沈下量	沈下計
		温度応力		温度変化	温度	温度計
	側部	構造物の自重	他構造物への土圧・振動の作用	土圧の変化	土圧	土圧計
		他構造物施工の影響		振動	加速度	加速度計
上部	構造物の自重	他構造物への土圧・振動の作用	土圧の変化	土圧	土圧計	
	他構造物施工の影響		振動	加速度	加速度計	
低拡散層	底部	構造部材の自重	自重 温度応力	部材の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
		上載荷重 温度応力			界面せん断変位	せん断変位計
					継目開閉度	継目計
	側部	構造部材の自重	自重 液圧 温度応力	部材の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形 低拡散層の液圧 振動	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
		充てん圧、土圧、 振動、温度応力			界面せん断変位	せん断変位計
					継目開閉度	継目計
	上部	構造部材の自重	自重 温度応力	部材の変形 応力変化	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
		土圧、振動			ひび割れ	ひび割れ観察
					他構造物の熱環境	温度変化
コンクリート ピット	底部	構造部材の自重	自重 温度応力	低拡散層の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形 低透水層の不同沈下	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
		上載荷重 温度応力			界面せん断変位	せん断変位計
					継目開閉度	継目計
	側部	構造部材の自重	自重 温度応力	部材の変形 応力変化 打継目の開閉 界面のせん断変形	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
		充てん圧、液圧、土圧、 振動、温度応力			鉄筋応力	鉄筋計
					界面せん断変位	せん断変位計
	手前部	構造部材の自重	自重 温度応力	部材の変形 応力変化	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			鉄筋応力	鉄筋計
		充てん圧、液圧 振動、温度応力			温度	温度計
					水和熱	他構造物の熱環境
上部	構造部材の自重	自重 温度応力	部材の変形 応力変化	ひずみ	ひずみ計、無応力計	
	他構造物施工の影響			応力	有効応力計	
	上載荷重、温度応力			温度	温度計	
				水和熱	他構造物の熱環境	温度変化
区内充てん材	他構造物施工の影響	充てん圧	充てん材の液圧	液圧	土圧計	
	水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計	
上部充てん材	他構造物施工の影響	充てん圧	充てん材の液圧	液圧	土圧計	
	水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計	
埋戻し材 (セメント系)	底部	構造部材の自重	-	部材の変形 応力変化 振動	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
		上載荷重 振動			鉄筋応力	鉄筋計
					水和熱	振動
	側部 奥部	構造部材の自重	温度応力	部材の変形 応力変化 振動	ひずみ	ひずみ計、無応力計
		他構造物施工の影響			応力	有効応力計
上載荷重、温度応力 振動	鉄筋応力	鉄筋計				
	水和熱	他構造物の熱環境	温度変化	温度	温度計	
埋戻し材 (土質系)	上部	構造部材の自重	自重	沈下	沈下量	沈下計
		他構造物施工の影響		温度変化	温度	温度計
周辺岩盤		構造部材の荷重	-	岩盤変位の進展	岩盤変位	岩盤変位計
		施工の地下水流動への影響	-	間隙水圧の変化	間隙水圧	間隙水圧計

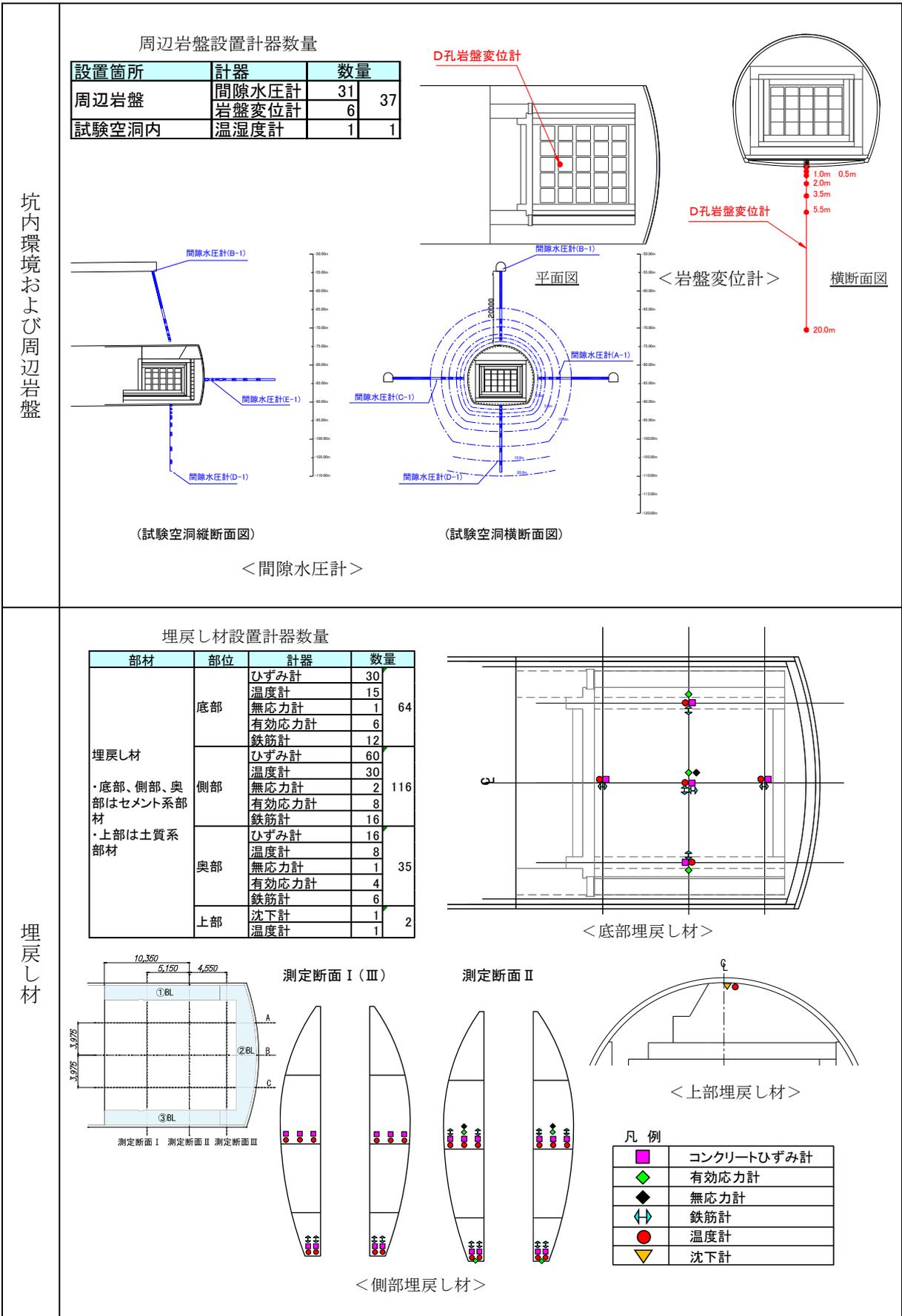


図 4.6-1 設置計器数量および計測器配置 (その1)

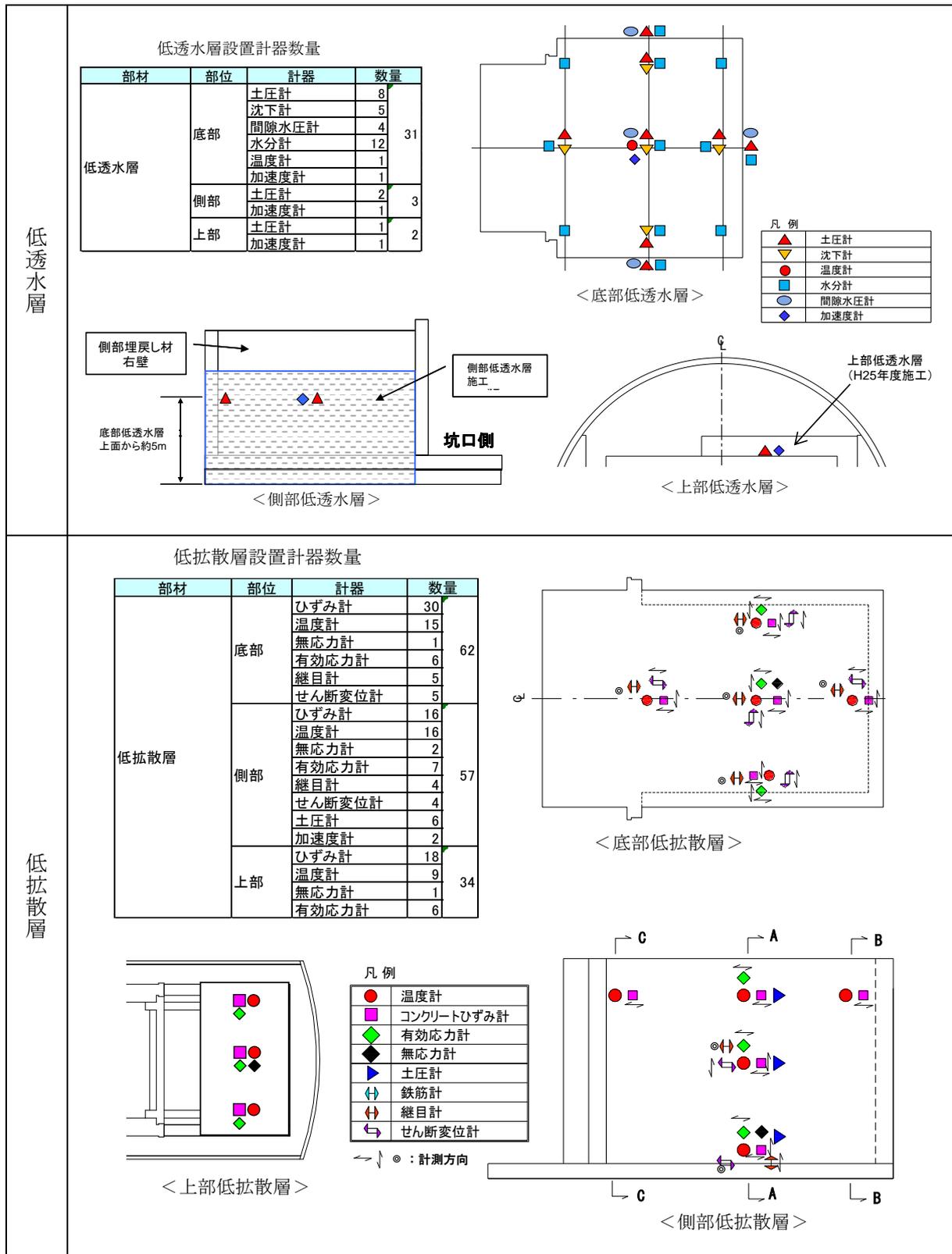


図 4.6-2 設置計器数量および計測器配置 (その2)

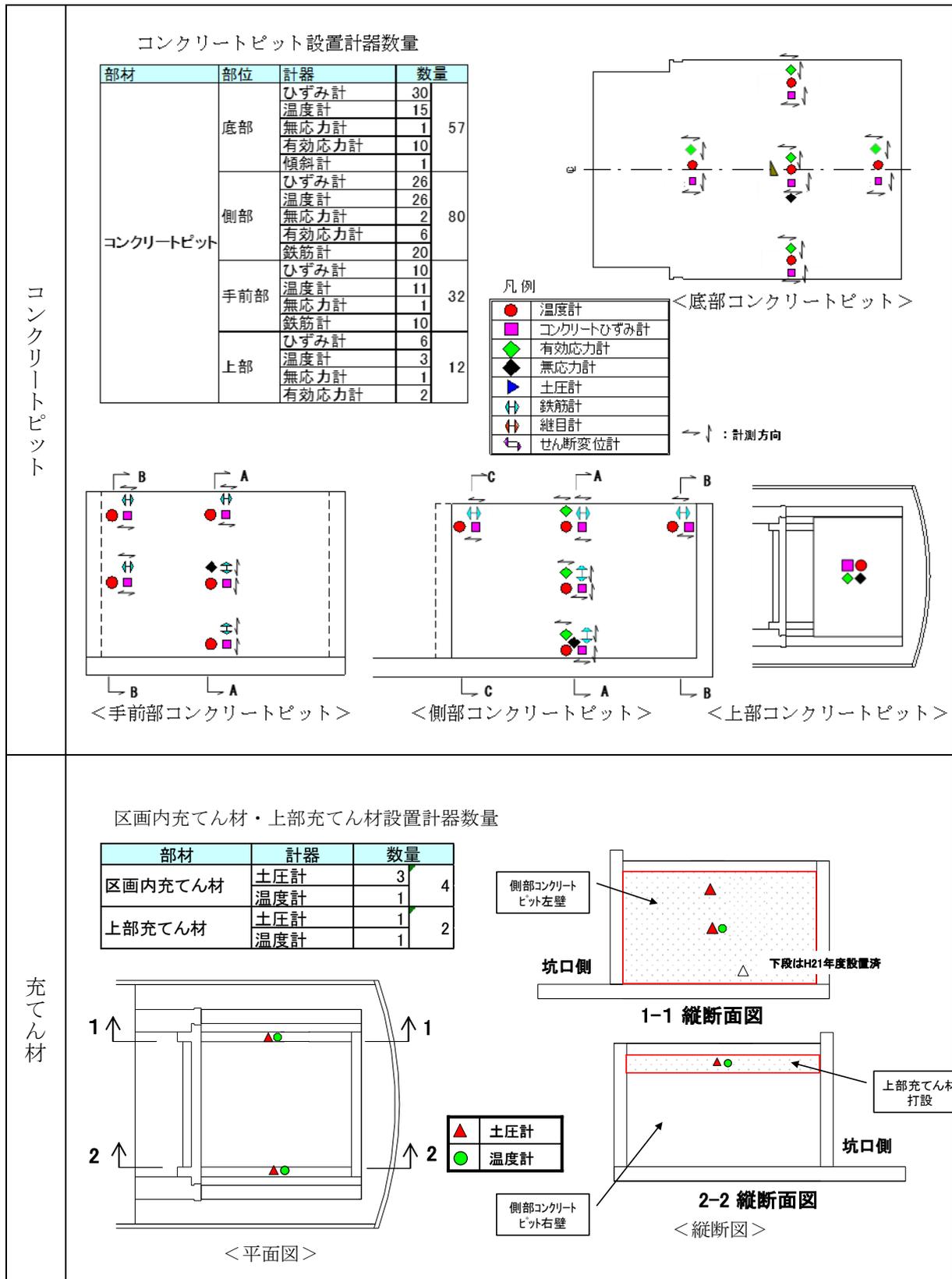


図 4.6-3 設置計器数量および計測器配置 (その3)

表 4.6-3 坑内環境および周辺岩盤の計測機器仕様

名称	仕様	機種
温湿度計	<p>【温度】 測定範囲：-10～+80℃ 精度：±0.5℃ 分解能：0.1℃</p> <p>【湿度】 測定範囲：20～+95%RH 精度：±3%RH 分解能：0.1%RH</p>	日本シンテック (THT-B121)
岩盤変位計	<p>測定範囲：0～100mm 定格出力：±1.0mV/V以上 非直線性：±0.5%RO以内 許容温度範囲：-10～+60℃ 入力抵抗：350Ω 出力抵抗：350～615Ω</p>	東横エルメス (PM-100G-6)
間隙水圧計	<p>【計測坑 A、C、試験空洞】 測定範囲：0～1MPa 圧力基準：ゲージ圧 定格出力：4～20mADC 電源：12～30VDC 精度：±0.001MPa 分解能：0.0000625MPa</p> <p>【計測坑 B】 測定範囲：0～3bar 圧力基準：ゲージ圧 定格出力：0～75mVDC 電源：5VDC 精度：±0.006bar 分解能：0.00025bar</p>	<p>【計測坑 A、C、試験空洞】 大倉電気(株)製 (PT3011 シリーズ)</p> <p>【計測坑 B】 Druck 社製 (PDCR81)</p>
<p>【間隙水圧計の大気圧の影響について】 間隙水圧計のセンサは、下図のようなゲージ圧計であるため、大気圧の値を基準として変動を計測している。</p> <div style="text-align: center;">  </div>		

表 4.6-4 埋戻し材の計測機器仕様

名称	仕様	機種
ひずみ計	測定範囲：±5000×10 ⁻⁶ ひずみ 定格出力：約2.5mV/v 非直線性：1%RO 許容温度範囲：-20～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±50×10 ⁻⁶ ひずみ 分解能：1×10 ⁻⁶ ひずみ	東京測器研究所製 (KM-100B)
有効応力計	測定範囲：6N/mm ² 定格出力：0.9mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.1N/mm ² 分解能：0.06N/mm ²	東横エルメス製 (GK-6N-505)
無応力計	・ひずみ計を使用 ・無応力容器（寸法：外径120×内径100×長さ200mm程度）	ひずみ計：東京測器研究所製 (KM-100B) 無応力容器：東京測器研究所製
鉄筋計	測定範囲：±350N/mm ² 定格出力：±1.0mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±3.5N/mm ² 分解能：0.175N/mm ²	東横エルメス製 (GR-13HN)
温度計	測定範囲：-10～+80℃ 定格出力：2.25mV/v以上 精度：1℃以内 分解能：0.02℃	東横エルメス製 (RT-100)

表 4.6-5 低透水層の計測機器仕様

名称	仕様	機種
土圧計	測定範囲：2.0MPa 定格出力：0.9mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.02MPa 分解能：0.001MPa	東横エルメス製 (GE-2.0MPB-B)
沈下計	測定範囲：20mm 定格出力：約1mV/v 非直線性：1%RO 許容温度範囲：-20～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.2mm 分解能：0.01mm	東京測器研究所製 (KJA-20A)
温度計	測定範囲：-10～+80℃ 定格出力：2.25mV/v以上 精度：1℃以内 分解能：0.02℃	東横エルメス製 (RT-100)
水分計	測定範囲：0～100%体積含水率 Ec範囲：0～10dS/m 使用温度範囲：-15～+50℃ 電源電圧：DC9V～DC24V 測定精度：±3%以内 繰り返し精度：±0.5% 分解能：0.025%	ドイツ IMKO 社製 (代理店：東北電子産業) (TRIME-ITC)
間隙 水圧計	測定範囲：400kPa 定格出力：1.0mV/v以上 非直線性：±0.5%RO以内 許容温度範囲：0～+60℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±2kPa 分解能：0.2kPa	東横エルメス製 (GP-400KPT-B)
加速度計	測定範囲：200m/s ² (20.4G) 定格出力：約0.5mV/v 非直線性：1.0%RO 許容温度範囲：-10～+50℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±2m/s ² 分解能：0.176m/s ²	東京測器研究所 (ARH-200A)

表 4.6-6 低拡散層の計測機器仕様

名称	仕 様	機 種
ひずみ計	測定範囲：±5000×10 ⁻⁶ ひずみ 定格出力：約2.5mV/v 非直線性：1%RO 許容温度範囲：-20～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±50×10 ⁻⁶ ひずみ 分解能：1×10 ⁻⁶ ひずみ	東京測器研究所製 (KM-100B)
有効応力計	測定範囲：10N/mm ² 定格出力：0.9mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.1N/mm ² 分解能：0.06N/mm ²	東横エルメス製 (GK-10N-505) 低剛性型有効応力計も同仕様 東横エルメス製 (GK-10N-505E)
無応力計	・ひずみ計を使用 ・無応力容器(寸法：外径120×内径100×長さ200mm程度)	ひずみ計：東京測器研究所製 (KM-100B) 無応力容器：東京測器研究所製
温度計	測定範囲：-10～+80℃ 定格出力：2.25mV/v以上 精度：1℃以内 分解能：0.02℃	東横エルメス製 (RT-100)
継目計	測定範囲：10mm 定格出力：約1mV/v 非直線性：1%RO 許容温度範囲：-20～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.1mm 分解能：0.005mm	東京測器研究所製 (KJA-10A)
せん断変位計	測定範囲：±2.5mm 定格出力：2.5mV/v±0.3% 非直線性：0.3%RO 許容温度範囲：0～+70℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.0075mm 分解能：0.0005mm	東京測器研究所製 (KU-5A)
土圧計	測定範囲：400kPa 定格出力：0.9mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±4kPa 分解能：0.2kPa	東横エルメス製 (GE-400kPB-B)
加速度計	測定範囲：200m/s ² (20.4G) 定格出力：約0.5mV/v 非直線性：1.0%RO 許容温度範囲：-10～+50℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±2m/s ² 分解能：0.176m/s ²	東京測器研究所 (ARH-200A)

表 4.6-7 コンクリートピットの計測機器仕様

名称	仕様	機種
ひずみ計	測定範囲：±5000×10 ⁻⁶ ひずみ 定格出力：約2.5mV/v 非直線性：1%RO 許容温度範囲：-20～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±50×10 ⁻⁶ ひずみ 分解能：1×10 ⁻⁶ ひずみ	東京測器研究所製 (KM-100B)
有効応力計	測定範囲：10N/mm ² 定格出力：0.9mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±0.1N/mm ² 分解能：0.06N/mm ²	東横エルメス製 (GK-10N-505)
無応力計	・ひずみ計を使用 ・無応力容器（寸法：外径120×内径100×長さ200mm程度）	ひずみ計：東京測器研究所製 (KM-100B) 無応力容器：東京測器研究所製
鉄筋計	測定範囲：±350N/mm ² 定格出力：±1.0mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±3.5N/mm ² 分解能：0.175N/mm ²	東横エルメス製 (GR-13HN)
温度計	測定範囲：-10～+80℃ 定格出力：2.25mV/v以上 精度：1℃以内 分解能：0.02℃	東横エルメス製 (RT-100)
傾斜計	測定範囲：±5°（2方向） 定格出力：約1mV/v 非直線性：0.5%RO 許容温度範囲：-20～+60℃ 入出力抵抗：入力175Ω出力350Ω 精度：0.025° 分解能：0.0025°	東京測器研究所製 (KB-5KE)

表 4.6-8 充てん材の計測機器仕様

名称	仕様	機種
土圧計	測定範囲：400kPa 定格出力：0.9mV/v以上 非直線性：±1.0%RO以内 許容温度範囲：-10～+80℃ 入出力抵抗：350Ω 精度：±4kPa 分解能：0.2kPa	東横エルメス製 (GE-400kPB-B)
温度計	測定範囲：-10～+80℃ 定格出力：2.25mV/v以上 精度：1℃以内 分解能：0.02℃	東横エルメス製 (RT-100)

4.6.2 既往の挙動計測結果

代表計測機器の平成 19 年度～26 年度における挙動計測結果を以下に示す。
 なお、グラフ中のイベント名称を表 4.6-9 に示す。

表 4.6-9 グラフ中のイベント名称

<ul style="list-style-type: none"> ・底埋：底部埋戻し材打設 ・奥埋：奥部埋戻し材打設 ・側埋：側部埋戻し材打設 ・底緩 1：底部低透水層 1 層目転圧 ・底緩 2：底部低透水層 2 層目転圧 ・底緩 10：底部低透水層 10 層目転圧 ・底低：底部低拡散層打設 ・底 CP：底部コンクリートピット打設 ・奥 CP：奥部コンクリートピット打設 ・側 CP：側部コンクリートピット打設 ・模廃：廃棄体中詰めコンクリート打設 	<ul style="list-style-type: none"> ・手 CP：手前部コンクリートピット打設 ・側低：側部低拡散層打設 ・充填・上充：区画内充てん材、上部充てん材打設 ・側緩吹：側部低透水層（吹付け施工）開始 ・普コ：普通コンクリート打設 ・側緩転：側部低透水層（転圧施工）開始 ・上 CP：上部コンクリートピット打設 ・上低：上部低拡散層打設 ・上緩吹：上部低透水層（吹付け施工）開始 ・上緩転：上部低透水層（転圧施工）開始 ・上埋土：上部埋戻し材（吹付け、転圧施工）開始
--	---

(1) 各部材の挙動計測結果

1) 周辺岩盤の変位

試験施設下部に設置した岩盤変位計の挙動計測結果を図 4.6-4 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 底部埋戻し材下の岩盤内に設置した岩盤変位計による岩盤変位は、上載荷重の増加に伴い微増する。平成 27 年度終了時の変位は約 0.7mm である。
- ・ 計測値から推定した岩盤の弾性係数は $E \approx 1,800\text{MPa}$ となり、確証試験着手時の検討に採用した値 ($E=2,000\text{MPa}$) と同等であることから、施設建設が周辺岩盤に与える影響は想定範囲内である。

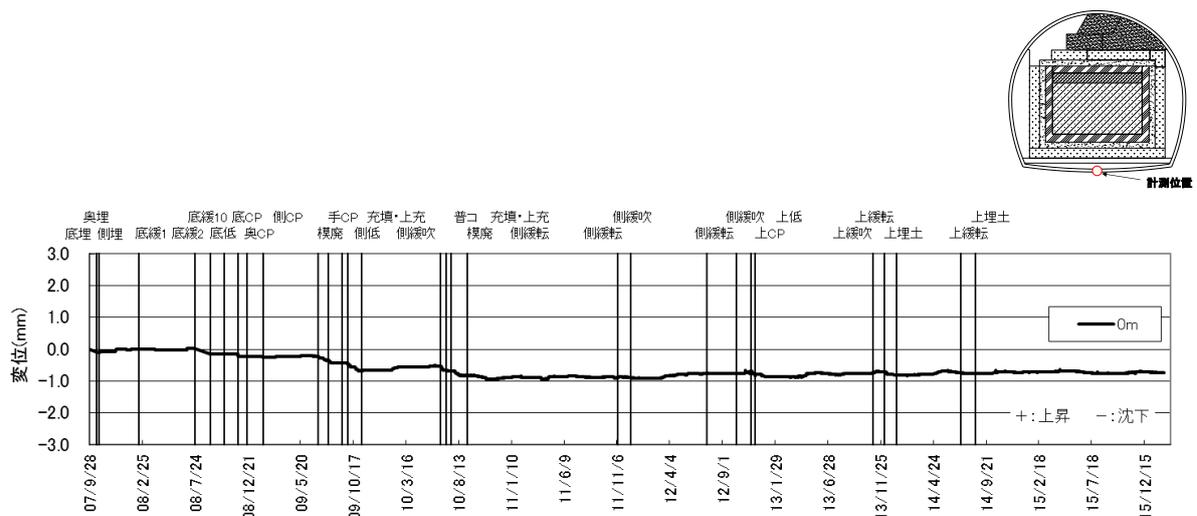


図 4.6-4 岩盤変位計測結果

2) 周辺岩盤の間隙水圧

計測坑 A に設置した間隙水圧計の挙動計測結果（全水頭に変換）を図 4.6-5 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 試験期間中の全水頭の変動は小さく（最大 3m 程度）、施設構築の周辺岩盤の地下水流動への影響は小さいと考えられる。
- ・ 平成 21 年度に試験空洞内で計測した大気圧計測結果を図 4.6-6 に示す（センサ故障により現在は計測していない）。大気圧は約 1000~1040hPa の範囲で変動しているが、水柱による高さに変換すれば約 0.4m の変動であり、図 4.6-5 に示すように全水頭の変動に大気圧の影響は見られない。

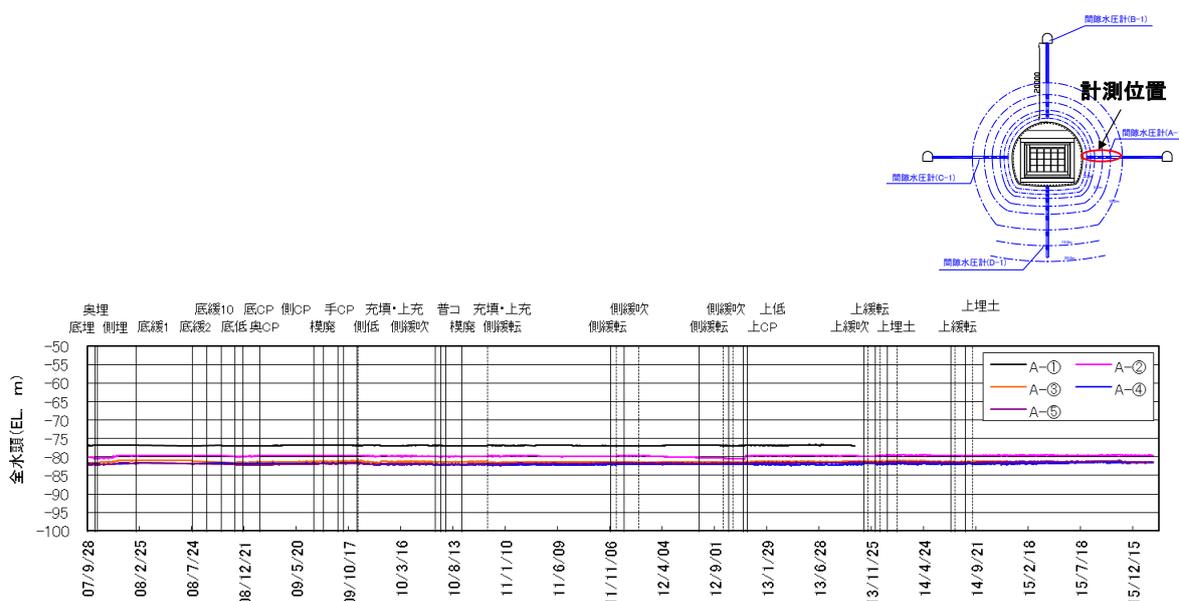


図 4.6-5 間隙水圧計測結果

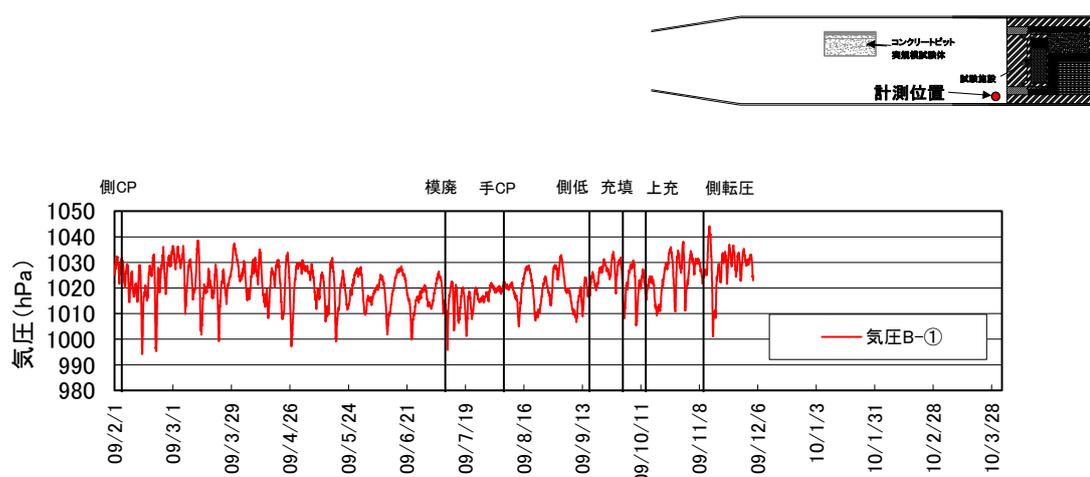


図 4.6-6 大気圧計測結果（試験空洞）

3) 底部低透水層の沈下

底部低透水層に設置した沈下計の挙動計測結果を図 4.6-7 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 平成 27 年度終了時の沈下量は 0.4~1.3mm 程度である。上載荷重の増加が少ない 2011 年以降の沈下量は小さい。
- ・ 空洞軸方向の沈下量分布は、手前側 (B 断面)、施設中央 (A 断面) の沈下量は 1mm を超えるが、施設奥側 (C 断面) の沈下量は約 0.4mm と小さい (奥側周辺部材の拘束の影響)。
- ・ 計測値は 2 次元 FEM 解析から推定される上載荷重に対する沈下量と同等な値が生じている。過大な沈下はなく、底部低透水層の健全性は現時点で保たれていると考えられる。

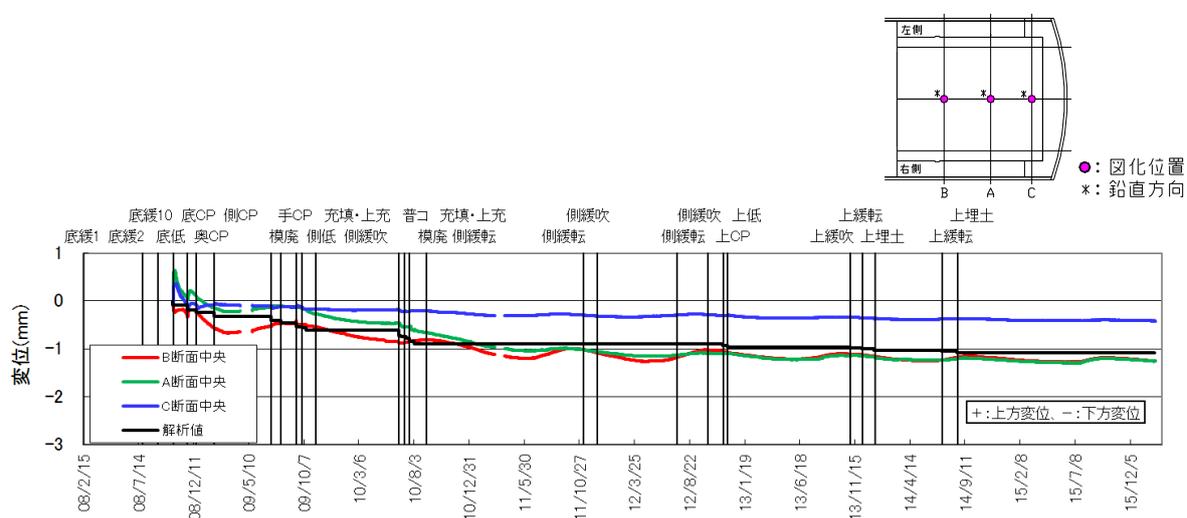


図 4.6-7 底部低透水層の沈下量計測結果

4) 底部低透水層の土圧

底部低透水層に設置した土圧計の挙動計測結果を図 4.6-8 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 土圧は季節変動を伴いながら上昇し、平成 22 年度（2010 年度）施工期間中にピーク（約 0.2MPa）を示す。土圧は上載圧相当の値であり底部低透水層に過大な土圧は作用していない。
- ・ 部材中央と比べて、端部では側部埋戻し材の温度変化に伴う膨張収縮による拘束の影響を受けて相対的に土圧は大きいが、2011 年以降その差は小さい。

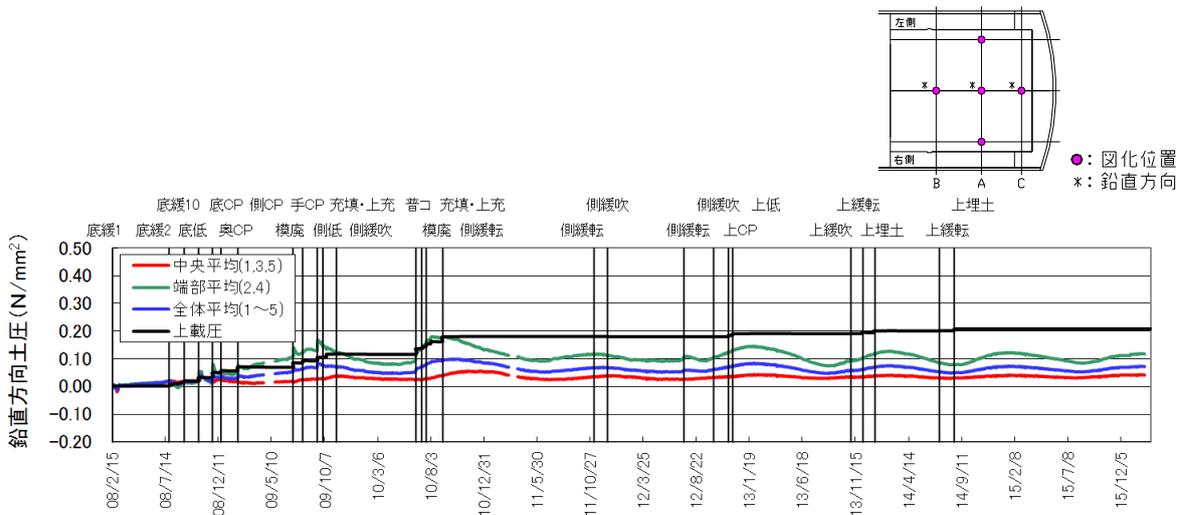


図 4.6-8 底部低透水層の土圧計測結果

5) 底部低拡散層の応力

底部低拡散層に設置した応力計の挙動計測結果を図 4.6-9 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- 平成 22 年度 (2010 年度) 充てん材施工終了後に空洞軸方向応力で圧縮応力が増加、同年 12 月に空洞横断方向で引張応力が増加した。BTV 観察により確認されたひび割れによる応力変化を捉えた挙動である。空洞横断方向応力は、その後も引張応力が残留している。
- 平成 21 年度 (2009 年度) 施工終了後の休止期間中に空洞軸方向の引張応力が約 0.4N/mm^2 増加している。同時期に底部低透水層の沈下量も微増している。
- 上載荷重、水和熱等の施工の影響では、平成 21 年度 (2009 年度) 模擬廃棄体定置時、平成 22 年度 (2010 年度) 充てん材打込み時に、空洞軸・横断方向ともに引張応力の増加が認められる。
- BTV 観察により、底部低拡散層ではひび割れが 3 箇所発生したものの、局所的なものであり、ひび割れ幅は 0.25mm (カメラの検知可能幅) 以下である。また、発生応力は引張強度 (5.51N/mm^2) 以下であることから、全体として健全性は確保されていると考えられる。

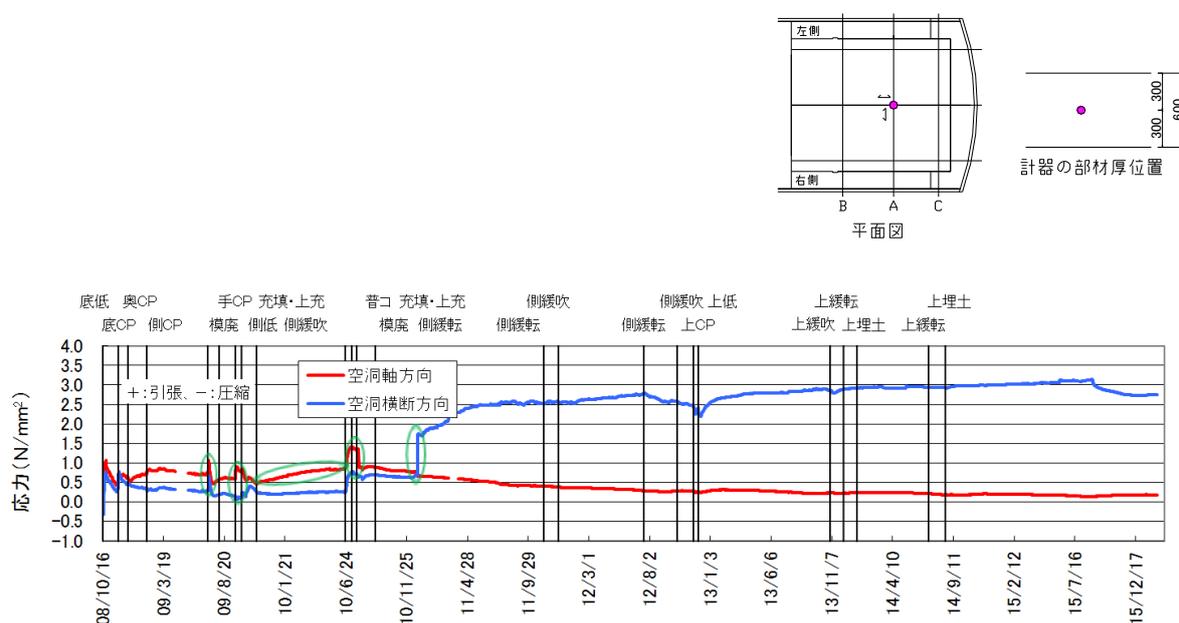


図 4.6-9 底部低拡散層の応力計測結果

6) 底部コンクリートピットの応力

底部コンクリートピットに設置した応力計の挙動計測結果を図 4.6-10 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 底部低拡散層と同様に、平成 21 年度（2009 年度）施工終了後の休止期間中に空洞軸方向の引張応力が増加している。底部コンクリートピットでは、平成 22 年度（2010 年度）施工終了後も同様な傾向が示されている。部材温度の低下に伴い部材は収縮するが、空洞軸方向では奥側で拘束が大きいいため引張側に進展したものと考えられる。
- ・ 上載荷重の影響では、平成 21 年度（2009 年度）模擬廃棄体定置時、平成 22 年度（2010 年度）充てん材打込み時に影響を受けている。模擬廃棄体定置時では、圧縮応力が増加している。底部低拡散層では、同時期に引張応力が増加していることから、模擬廃棄体内へのコンクリート打込みの水和熱による温度応力で内部拘束が作用したものと考えられる。

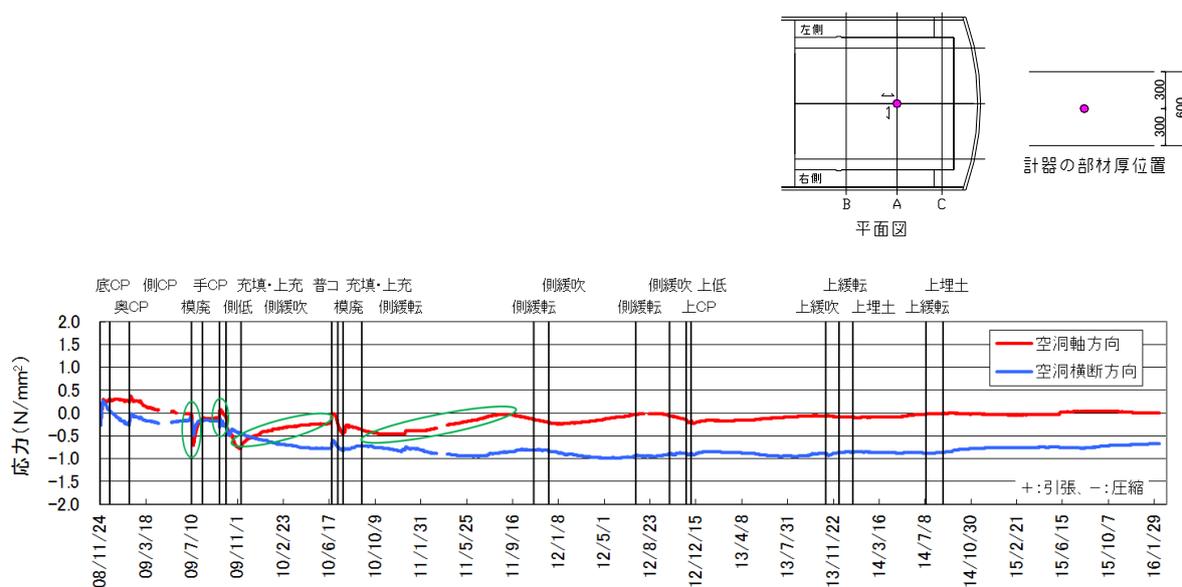


図 4.6-10 底部コンクリートピットの応力計測結果

7) 側部コンクリートピットの応力

左側の側部コンクリートピットに設置した応力計の挙動計測結果を図 4.6-11 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- 平成 21 年度 (2009 年度) の側部低拡散層、平成 22 年度 (2010 年度) の充てん材の打込み時および打込み終了後に液圧、温度応力、水和熱の影響を受け、応力の出現は高さ方向で異なる挙動を示すが、引張応力の増加は概ね 1N/mm^2 以下であり、引張強度 (5.49N/mm^2) に達することはない。

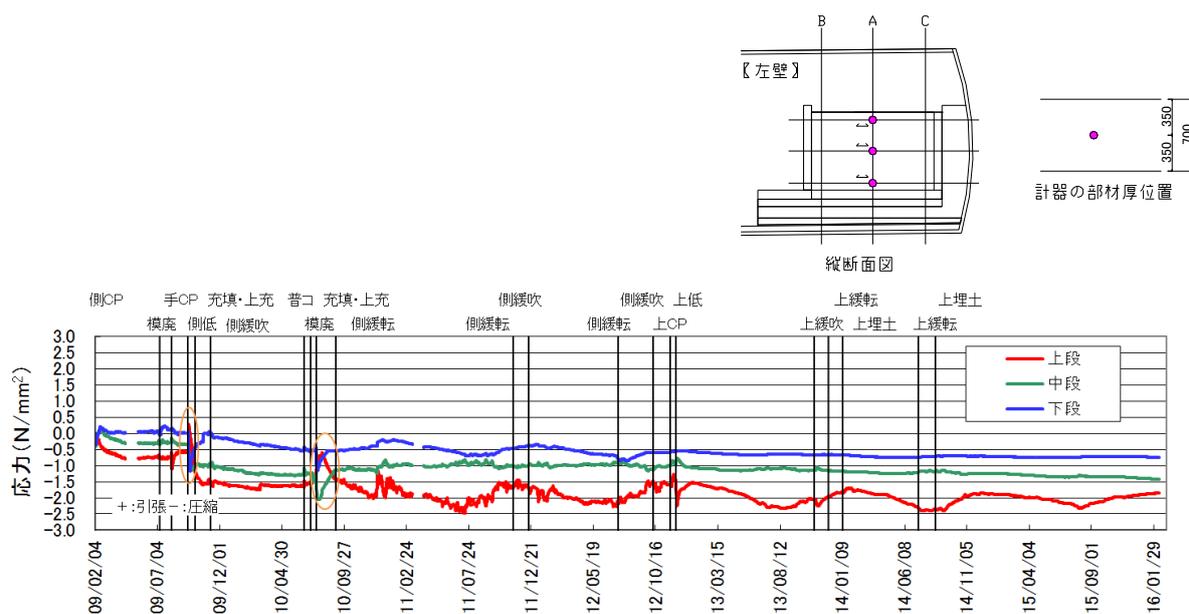


図 4.6-11 側部コンクリートピットの応力計測結果

8) 側部低拡散層の応力

左側の側部低拡散層に設置した応力計の挙動計測結果を図 4.6-12 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- 平成 22 年度 (2010 年度) の充てん材の打込み時および打込み終了後に液圧、温度応力、水和熱の影響を受け、応力の出現は高さ方向で異なるが、引張応力の増加は概ね 1N/mm^2 以下であり、引張強度 (5.51N/mm^2) に達することはない。
- 下段において引張側の増分応力が打込み終了後に残留する。2010 年 12 月に引張応力の急激な低下があり、壁面観察でもひび割れが確認されている。
- ひび割れ幅は 0.5mm 以下である (ひび割れ調査結果)。

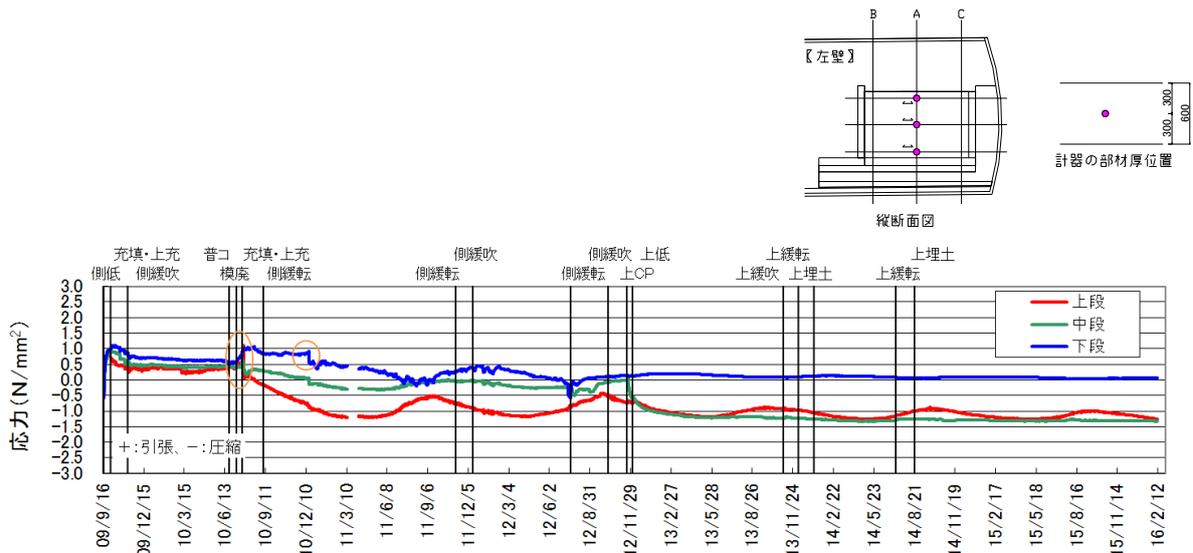


図 4.6-12 側部低拡散層の応力計測結果

9) 上部コンクリートピットの応力

上部コンクリートピットに設置した応力計の挙動計測結果を図 4.6-13 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 打込み後圧縮側へ変化し、その後引張側へ推移している。上部低拡散層打込み後には、上部低拡散層の温度上昇および温度下降に伴い、下部部材である上部コンクリートピットは圧縮および引張へ推移する。
- ・ 上部低拡散層打設時の影響が収まった 2013 年 2 月以降は、応力の変動は小さく、引張応力の増加は概ね 1N/mm^2 以下であり、引張強度 (5.49N/mm^2) に達することはない。

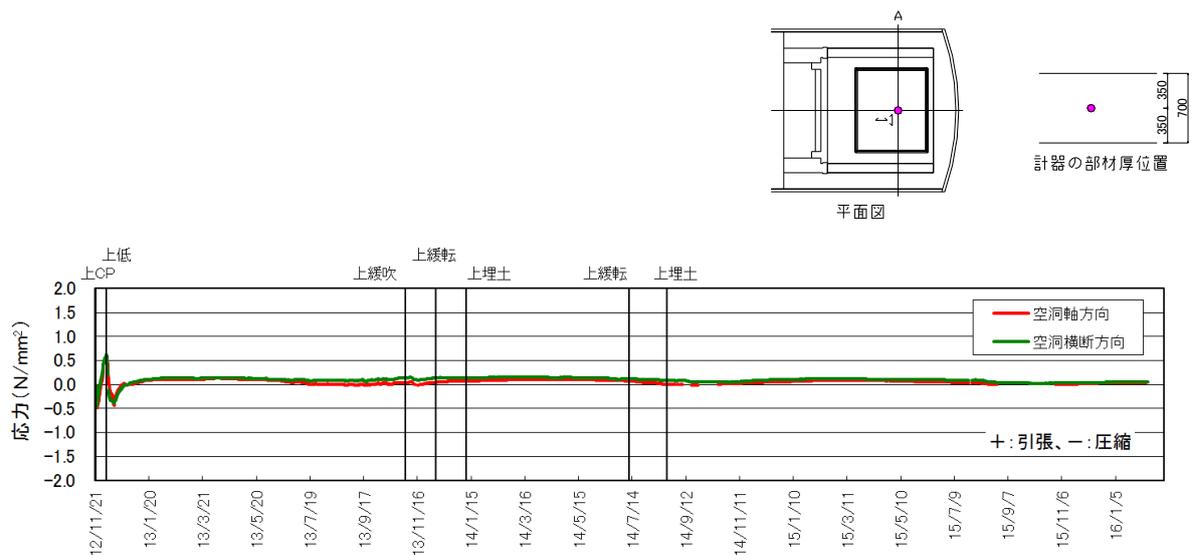


図 4.6-13 上部コンクリートピットの応力計測結果

10) 上部低拡散層の応力

上部低拡散層に設置した応力計の挙動計測結果を図 4.6-14 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 上部低拡散層打込み終了後のひび割れ観察において、部材右側でひび割れが確認された。
- ・ 部材右側は、打込み後に、湿潤・保温養生マットを用いて養生を行った。養生終了後に部材温度が急激に低下し、それに伴い応力は引張側へ大きく進展した。その後ひび割れ発生とともに引張応力の低下が確認された。
- ・ ひび割れ幅は 0.5mm 以下である（ひび割れ調査結果）。

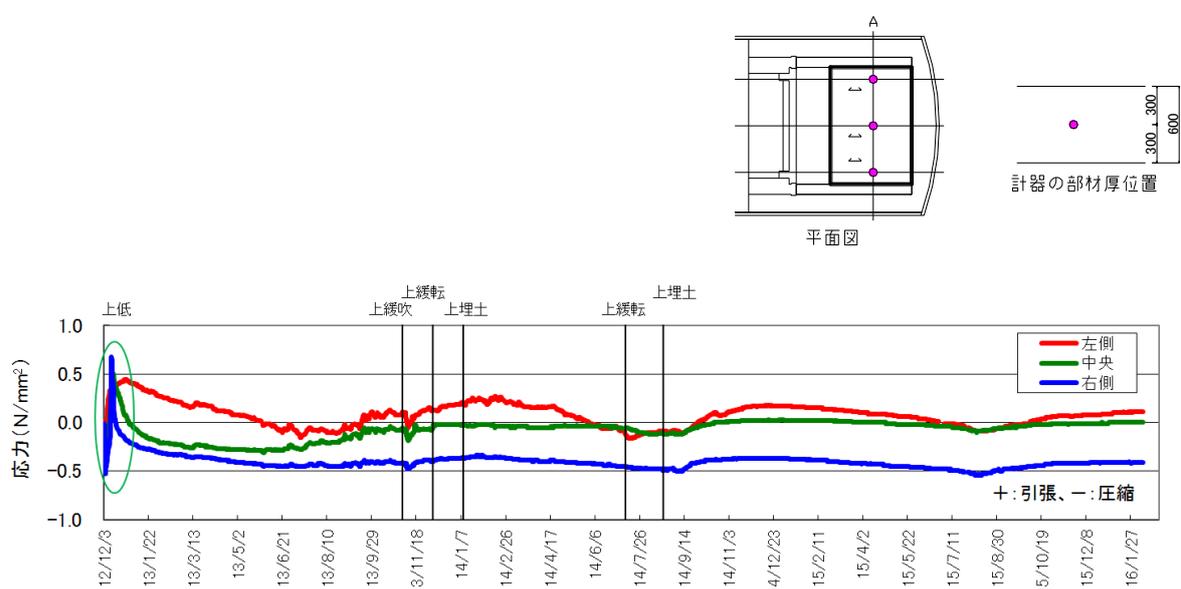


図 4.6-14 上部低拡散層の応力計測結果

11) 上部埋戻し材の沈下

上部埋戻し材に設置した沈下計の挙動計測結果を図 4.6-15 に示す。また、挙動の考察を以下に述べる。

- ・ 平成 27 年度施工終了時の沈下量は 5mm 程度である。
- ・ 計測器設置後の埋戻し材吹付け施工時および表面保護コンクリート吹付け施工時に沈下量が急増しており、施工後には粘性的な沈下挙動および収束傾向が確認できる。
- ・ 施工ステップを考慮した 3 次元弾性 FEM 解析から推定される沈下量と計測の収束値は概ね整合していることから、沈下の主要因は施工材料の追加に伴う自重沈下であると考えられる。

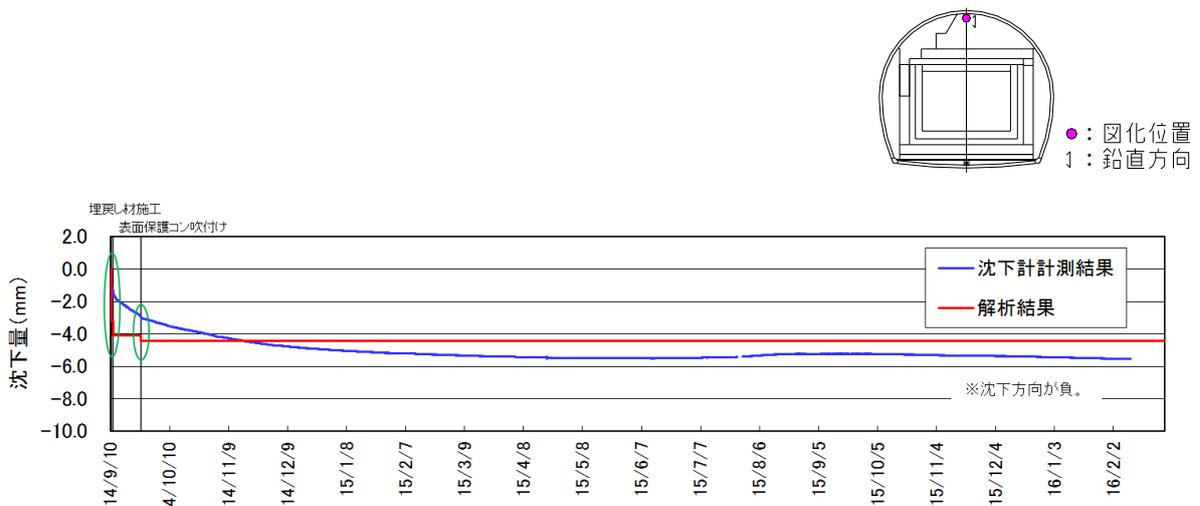


図 4.6-15 上部埋戻し材の沈下量計測結果

(2) 季節的な温度変化による挙動

既存の挙動計測結果より、計測値が大きく変動する主な要因としては、部材が構築されることによる上載荷重の増加や、セメント系部材打設に伴う水和発熱の影響が挙げられる。平成 27 年以降は追加施工が現在予定されていないため、試験施設は空洞内の季節的な温度変化のみによる挙動が発生することが予想される。

例として、平成 26 年 2 月 1 日～平成 27 年 2 月 20 日の 1 年間における、底部低拡散層の土圧と温度の関係を図 4.6-16、沈下量と温度の関係を図 4.6-17 に示す。両者とも、1 年の周期で変動しており、土圧および沈下量は空洞内の季節的な温度変化の影響を受けていると推察される。

また、上部埋戻し材の計測開始の平成 26 年 9 月 10 日から現時点の平成 27 年 10 月 26 日までの沈下量と温度の計測結果を図 4.6-18 に示す。沈下量は、計測開始後から上部埋戻し材施工（平成 26 年 9 月 10 日～11 日）および養生用の吹付けコンクリート施工（平成 26 年 9 月 25 日）を経て、平成 27 年 5 月 1 日まで粘性的に増加した後に収束している。温度は、全体的に季節的な変動をしている。同期間の沈下量と温度の関係を図 4.6-19 に示す。計測開始～平成 27 年 5 月 1 日の期間（赤色）と平成 27 年 5 月 1 日～平成 27 年 10 月 26 日（青色）の傾きを比較すると両者で異なり、これより、沈下が収束した平成 27 年 5 月 1 日以降は、季節的な温度変化の影響を受けた沈下挙動をしていることがわかる。

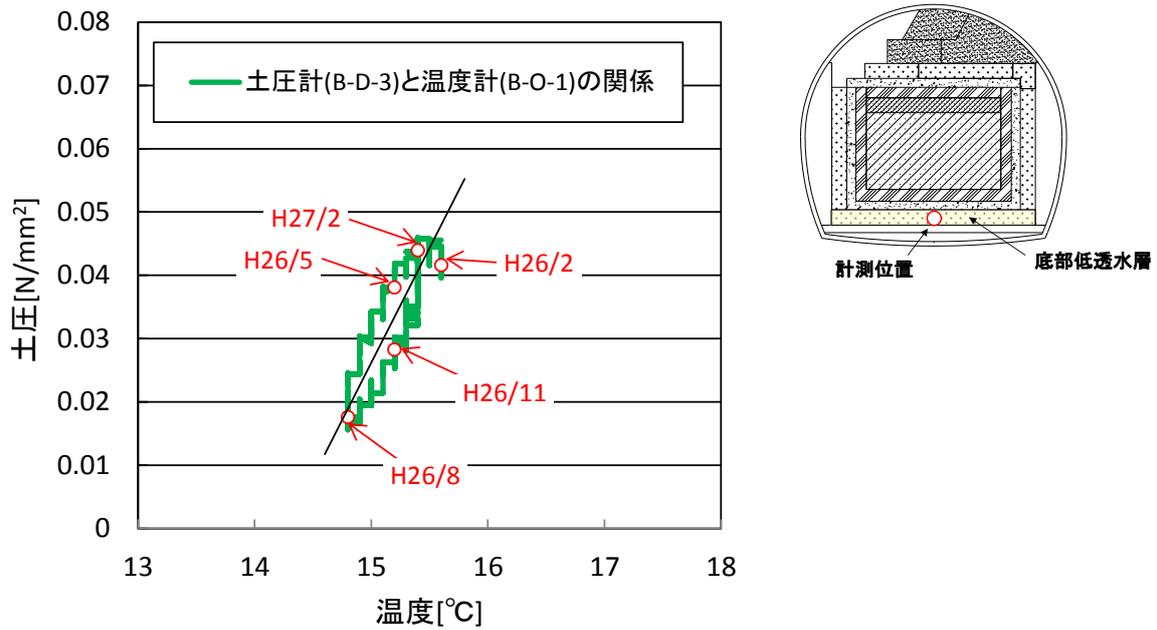


図 4.6-16 底部低透水層の土圧と温度の関係（平成 26 年 2 月 1 日～平成 27 年 2 月 20 日）

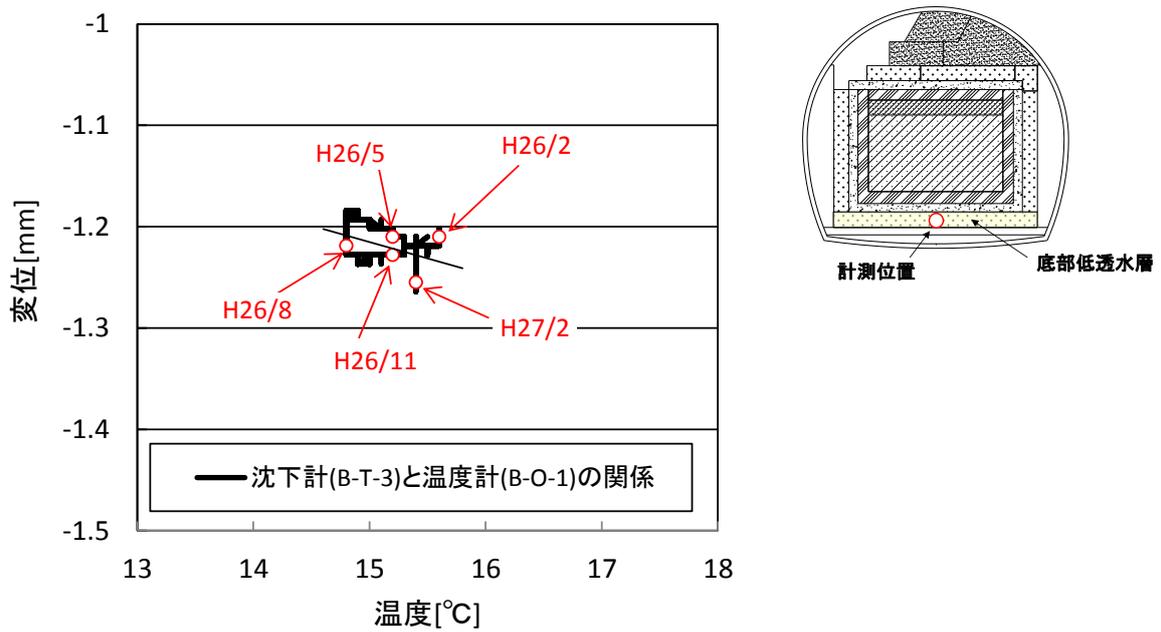


図 4.6-17 底部低透水層の沈下量と温度の関係（平成 26 年 2 月 1 日～平成 27 年 2 月 20 日）

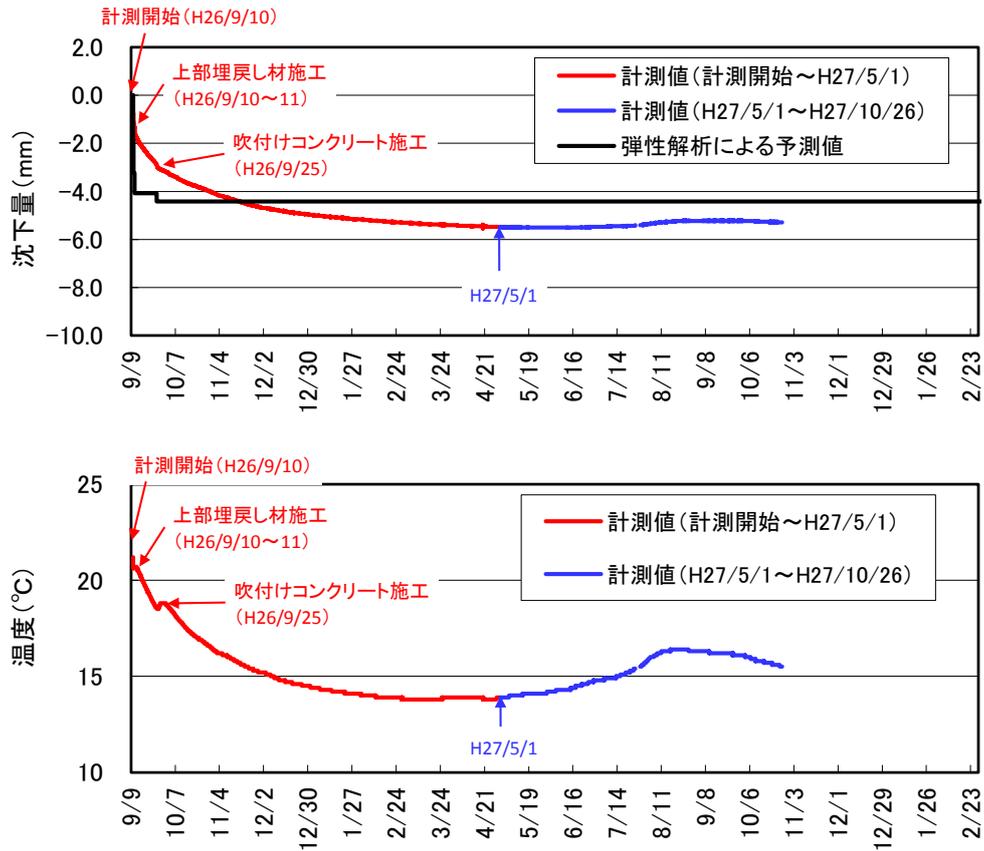


図 4.6-18 上部埋戻し材の沈下量と温度の計測結果
(平成 26 年 9 月 10 日～平成 27 年 10 月 26 日)

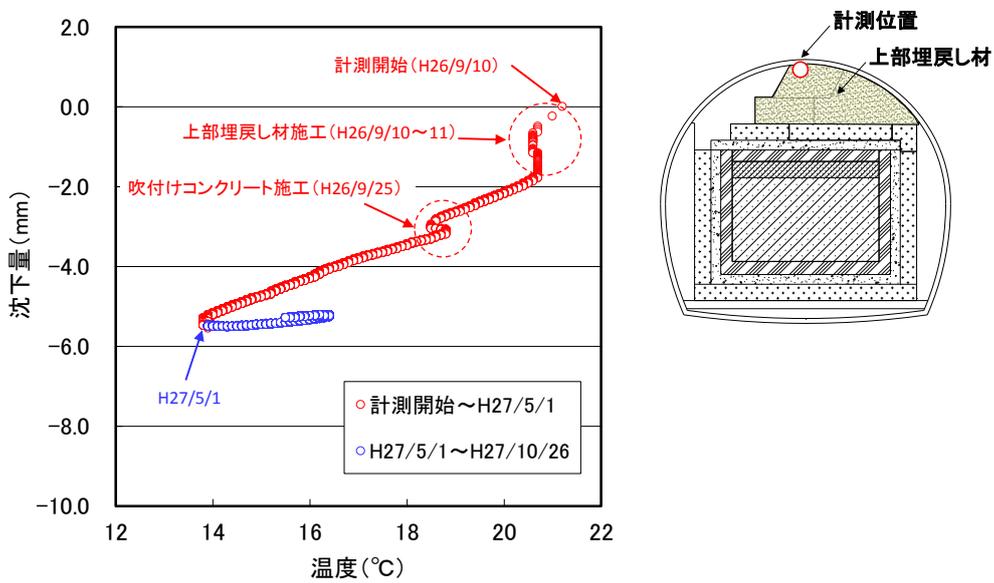


図 4.6-19 上部埋戻し材の沈下量と温度の関係
(平成 26 年 9 月 10 日～平成 27 年 10 月 26 日)

(3) 耐久性および計測可能範囲

上述の既設計測機器に対して、現状の稼働状況および稼働実績等を整理し、長期挙動計測に資する計測機器の耐久性や計測可能範囲を評価した。

計測機器の現状整理項目を表 4.6-10 計測機器の現状の整理項目に示す。また、各部材の計測機器の現状整理図表の対応を表 4.6-11 各部材の計測機器の現状整理図表の対応に示す。

なお、以降の整理における計測機器の情報は、平成 27 年（2015 年）11 月 12 日現在のものとした。

表 4.6-10 計測機器の現状の整理項目

整理項目	内 容	備 考
計器情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設置部材・部位 ・ 計器種別 ・ 設置位置（計測断面、界面の部材等） ・ 計測方向 ・ 計測開始日 	
正常異常判定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 判定結果 ・ 異常計器の判定根拠および確認日 	異常計器の判定方法は以下とした (1) 岩盤内の間隙水圧計のみ <ul style="list-style-type: none"> ・ 点検異常 →抵抗値が 10MΩ 以下または出力特性に異常 (2) その他の計測機器 <ul style="list-style-type: none"> ・ 点検異常 →抵抗値が 50MΩ 以下またはばらつきが±5μ 以上 (3) 全計器共通 <ul style="list-style-type: none"> ・ 上記点検で異常がないものの、データ欠損やデータ異常が見られる計器
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設置数量 ・ 正常計器数量 ・ 正常計器の割合 ・ 稼働実績 	異常計器の稼働実績は、計測開始日～異常確認日の期間とした。
計測範囲までの余裕値	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計測項目 ・ 計測単位 ・ 現在の計測値 ・ 計測範囲 ・ 計測範囲までの余裕値 	計測範囲までの余裕値は、現在の計測値から、残りどの程度計測が可能であるかの指標であり、計測範囲と現在の計測値の差分値とした。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 精度 ・ 分解能 	

表 4.6-11 各部材の計測機器の現状整理図表の対応

部 材	部 位	計測開始 年度	計測機器の 現状一覧	正常計器の 割合
坑内環境	—	H19	表 4.6-12	図 4.6-22
周辺岩盤	—		表 4.6-13～表 4.6-14	図 4.6-22
埋戻し材	底部		表 4.6-15	図 4.6-23
	側部		表 4.6-16～ 表 4.6-17	図 4.6-24
	奥部	表 4.6-18	図 4.6-25	
	上部	H26	表 4.6-19	図 4.6-26
低透水層	底部	H20	表 4.6-20	図 4.6-27
	側部	H22	表 4.6-21	図 4.6-28
	上部	H25	表 4.6-22	図 4.6-29
低拡散層	底部	H20	表 4.6-23	図 4.6-30
	側部	H21	表 4.6-24	図 4.6-31
	上部	H24	表 4.6-25	図 4.6-32
コンクリートピット	底部	H20	表 4.6-26	図 4.6-33
	側部		表 4.6-27～表 4.6-28	図 4.6-35
	手前部	H21	表 4.6-29	図 4.6-35
	上部	H24	表 4.6-30	図 4.6-36
充てん材	区画内	H22	表 4.6-31	図 4.6-37
	上部			

各部材における正常計器の割合が低いものでは、図 4.6-22 周辺岩盤の正常計器の割合に示すように岩盤内の間隙水圧計が 58% (18 台/31 台)、図 4.7-26 既存施設の活用のイメージに示すように底部低透水層の水分計が 67% (8 台/12 台)、間隙水圧計が 75% (3 台/4 台)、沈下計が 80% (4 台/5 台) となるが、全体では 96% (602 台/626 台[※]) となり、現状では、9 割以上の計測機器が正常に稼働していると言える。このように、大部分の計測機器が正常に稼働している理由としては、以下のような止水処理により、計測機器のセンサ部に水が入らない環境であることが挙げられる。

- ・ 空洞の吹付けコンクリートの内側には防水シートが全周で巻いてあり、試験施設に地下水が流入しない構造となっている。
- ・ センサ部への水みちとなるケーブルで止水処理を実施している (図 4.6-20)。

※計測機器の全数量 631 台のうち、加速度計 5 台は除いている (加速度計は、建設時の動的計測に用いており、現在は計測していない)。

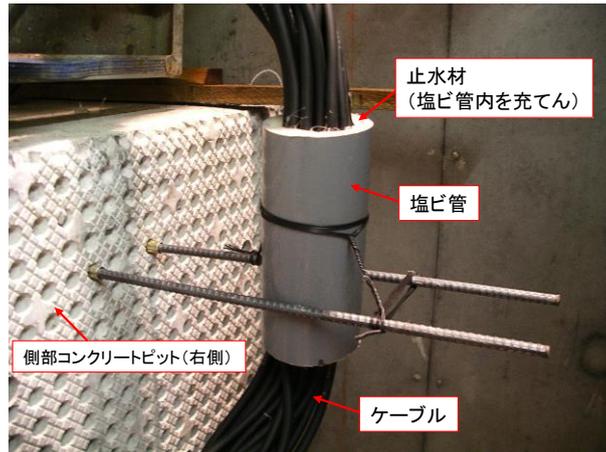


図 4.6-20 ケーブルの止水処理（側部低拡散材の例）

表 4.6-12 坑内環境の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

計器情報			正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他			
計器種別	設置位置	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲 までの余裕値	精度	分解能
				理由	確認日											
温度計	空洞内百葉箱	2007/9/28	○			1	1	100%	8.1	温度	°C	14.2	80	65.8	±0.5	0.1
湿度計			○									湿度	%	59.1	95	35.9

表 4.6-13 周辺岩盤内の岩盤変位計の現状一覧

(2015/11/12現在)

計器情報				正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他					
計器種別	設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲 までの余裕値	精度	分解能
	計測坑	深度					理由	確認日											
岩盤変位計	試験施設 直下	20m	鉛直	RD ③12.06	2007/9/28	○			6	6	100%	8.1	変位	mm	-0.24	100	100.24	±0.5	0.025
		5.5m		RD ③12.05		○						8.1			0.26		99.74		
		3.5m		RD ③12.04		○						8.1			0.32		99.68		
		2.0m		RD ③12.03		○						8.1			0.42		99.58		
		1.0m		RD ③12.02		○						8.1			0.71		99.29		
		0.5m		RD ③12.01		○						8.1			1.01		98.99		

表 4.6-14 周辺岩盤内の間隙水圧計の現状一覧

(2015/11/12現在)

計器種別	計器情報			正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他							
	設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 ²⁾ 期間(年)	交換実績 ³⁾	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
	計測坑	深度					理由	確認日 ¹⁾												
間隙水圧計	試験施設右側	10.0-15.0m	-	水圧A- 1	2007/9/2	×	点検異常	2014/9/5	31	18	58%	7.0	2010年	水圧	MPa	-	1	-	±0.001	0.0000625
		13.5-15.0m		水圧A- 2		○						8.2	2011年			0.04		0.96		
		16.0-17.0m		水圧A- 3		×						8.2	2012年			-		-		
		17.5-18.0m		水圧A- 4		○						8.2	2010年			0.03		0.97		
		18.5-19.0m		水圧A- 5		○						8.2	2010年			0.02		0.98		
	試験施設上側	10.0-12.5m		水圧B- 1		○	点検異常	2014/9/5				8.2	2012年			0.32	2.68			
		13.5-15.0m		水圧B- 2		×						7.0				-				
		16.0-17.0m		水圧B- 3		○						8.2				-				
		17.5-18.0m		水圧B- 4		×						3.2				-				
		18.5-19.0m		水圧B- 5		○						8.2				-				
	試験施設左側	10.0-15.0m		水圧C- 1		×	点検異常	2015/11/9				8.2	2011年		-	-				
		13.5-15.0m		水圧C- 2		×						6.3			2010年	-	-			
		16.0-17.0m		水圧C- 3		×						7.0			2012年	-	-			
		17.5-18.0m		水圧C- 4		×						6.3			2011年	-	-			
		18.5-19.0m		水圧C- 5		×						4.2			-	-	-			
	試験施設下側	0.5-1.0m		水圧D- 1		○	点検異常	2010/11/16				8.2	2011年		0.07	0.93				
		1.5-2.0m		水圧D- 2		○						8.2			-	0.02	0.98			
		2.5-3.0m		水圧D- 3		○						8.2			-	0.03	0.97			
		4.0-5.0m		水圧D- 4		×						3.2			-	-	-			
		6.0-7.5m		水圧D- 5		○						8.2			-	0.09	0.91			
		8.5-10.5m		水圧D- 6		×						4.2			-	-	-			
		11.5-14.0m		水圧D- 7		○						8.2			-	0.15	0.85			
		15.0-19.0m		水圧D- 8		○						8.2			2011年	0.17	0.83			
	試験施設奥側	0.5-1.0m		水圧E- 1		○	点検異常	2010/11/16				8.2	2011年		0.11	0.89				
		1.5-2.0m		水圧E- 2		○						8.2			-	0.06	0.94			
		2.5-3.0m		水圧E- 3		○						8.2			-	0.05	0.95			
		4.0-5.0m		水圧E- 4		×						3.2			-	-	-			
		6.0-7.5m		水圧E- 5		×						6.3			-	-	-			
		8.5-10.5m		水圧E- 6		○						8.2			-	0.16	0.84			
		11.5-14.0m		水圧E- 7		○						8.2			-	0.19	0.81			
		15.0-19.0m		水圧E- 8		○						8.2			-	0.24	0.76			

1) 交換実績は考慮せず、最終的に異常が確認された日とした。
 2) 交換実績は考慮せず、計測開始日～最終的に異常が確認された日までの期間とした。
 3) 過去の点検において異常と判定された計器に対して、新規計器で交換した実績。

表 4.6-15 底部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		設置数量	正常計器数量	正常計器割合	稼働実績 期間 (年)	計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置							計測開始日	理由					確認日	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向																		
埋戻し材	底部	ひずみ計	A	中央	内側	空洞軸	U-H- 1-U-V	2007/9/28	○		30	30	100%	8.1	ひずみ	μ	±5000	96	4904	±50	1		
							U-H- 2-U-V		8.1	98				4902									
							U-H- 3-U-V		8.1	172				4828									
				U-H- 4-U-V			8.1		-2	4998													
				U-H- 5-U-V			8.1		155	4845													
				U-H- 1-U-C			8.1		86	4914													
			U-H- 2-U-C	8.1	99	4901																	
			U-H- 3-U-C	8.1	48	4952																	
			U-H- 4-U-C	8.1	187	4814																	
			U-H- 5-U-C	8.1	80	4920																	
			U-H- 1-M-V	8.1	90	4910																	
			U-H- 2-M-V	8.1	137	4863																	
			U-H- 3-M-V	8.1	105	4896																	
			U-H- 4-M-V	8.1	109	4891																	
			U-H- 5-M-V	8.1	117	4883																	
			U-H- 1-M-C	8.1	106	4895																	
			U-H- 2-M-C	8.1	161	4840																	
			U-H- 3-M-C	8.1	78	4922																	
			U-H- 4-M-C	8.1	170	4830																	
			U-H- 5-M-C	8.1	115	4885																	
			U-H- 1-L-V	8.1	89	4911																	
			U-H- 2-L-V	8.1	133	4867																	
			U-H- 3-L-V	8.1	52	4949																	
			U-H- 4-L-V	8.1	26	4974																	
			U-H- 5-L-V	8.1	35	4965																	
			U-H- 1-L-C	8.1	42	4958																	
			U-H- 2-L-C	8.1	83	4918																	
			U-H- 3-L-C	8.1	31	4970																	
			U-H- 4-L-C	8.1	-23	4978																	
			U-H- 5-L-C	8.1	38	4962																	
		A	中央	中央	空洞軸	U-U- 1-M-V	○	6	6	100%	8.1	応力	N/mm ²	10	-0.18	10.2	±0.1	0.06					
						U-U- 2-M-V	○				8.1				-0.11	10.1							
						U-U- 3-M-V	○				8.1				-0.57	10.6							
						U-U- 1-M-C	○				8.1				-0.08	10.1							
						U-U- 2-M-C	○				8.1				-0.45	10.5							
						U-U- 3-M-C	○				8.1				-0.27	10.3							
		A	中央	中央	—	U-M- 1	○	1	1	100%	8.1	自由ひずみ	μ	±5000	601	4399	±50	1					
						U-R- 1-U-V	○				8.1				-8.69	341.3							
						U-R- 3-U-V	○				8.1				2.18	347.8							
		鉄筋計	A	中央	内側	空洞軸	U-R- 5-U-V	○	12	12	100%	8.1	応力	N/mm ²	±350	-1.08	348.9	±3.5	0.175				
							U-R- 2-U-C	○				8.1				-6.93	343.1						
							U-R- 3-U-C	○				8.1				-6.05	343.9						
				U-R- 4-U-C			○	8.1				-0.79				349.2							
				U-R- 1-L-V			○	8.1				8.36				341.6							
				U-R- 3-L-V			○	8.1				-5.65				344.4							
			A	外側	空洞軸	U-R- 5-L-V	○	8.1				-2.03				348.0							
						U-R- 2-L-C	○	8.1				-0.32				349.7							
						U-R- 3-L-C	○	8.1				-5.88				344.1							
				U-R- 4-L-C		○	8.1	-6.46				343.5											
				U-O- 1-U		○	8.1	16.0				64.0											
				U-O- 2-U		○	8.1	15.5				64.5											
		温度計	A	内側	—	U-O- 3-U	○	15	15	100%	8.1	温度	℃	80	15.2	64.8	±1.0	0.02					
						U-O- 4-U	○				8.1				15.5	64.5							
						U-O- 5-U	○				8.1				15.2	64.8							
				U-O- 1-M		○	8.1				16.0				64.0								
				U-O- 2-M		○	8.1				15.4				64.6								
				U-O- 3-M		○	8.1				15.8				64.2								
			A	外側	—	U-O- 4-M	○				8.1				15.6	64.4							
						U-O- 5-M	○				8.1				15.3	64.7							
						U-O- 1-L	○				8.1				16.0	64.0							
				U-O- 2-L		○	8.1				15.5				64.5								
				U-O- 3-L		○	8.1				15.7				64.3								
				U-O- 4-L		○	8.1				15.6				64.4								
		C	中央	外側	—	U-O- 5-L	○	8.1	15.3	64.7													

表 4.6-16 側部埋戻し材の計測機器の現状一覧 (1/2)

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測範囲までの余裕値			その他				
			設置位置						判定	異常計器					計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能	
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由												確認日
埋戻し材	側部	ひずみ計	B E B E A D	1リタ	外側	空洞軸	U-H-6-U-H	2007/10/26	○		60	60	100%	8.1	ひずみ	μ	±5000	-2	4998	±50	1	
							U-H-7-U-H		○	8.1				19				4981				
							U-H-8-U-H		○	7.8				-27				4973				
							U-H-9-U-H		○	7.8				-135				4865				
							U-H-10-U-H		○	8.1				-54				4946				
							U-H-11-U-H		○	8.1				-35				4965				
				U-H-12-U-H		○	7.8	-40	4960													
				U-H-13-U-H		○	7.8	-76	4924													
				U-H-14-U-H		○	8.1	-31	4969													
				U-H-15-U-H		○	8.1	-25	4975													
				U-H-16-U-H		○	7.8	49	4951													
				U-H-17-U-H		○	7.8	-40	4960													
			U-H-6-U-P	○	8.1	-62	4939															
			U-H-7-U-P	○	8.1	-70	4930															
			U-H-8-U-P	○	7.8	-2346	2654															
			U-H-9-U-P	○	7.8	-333	4667															
			U-H-10-U-P	○	8.1	-163	4837															
			U-H-11-U-P	○	8.1	-55	4945															
			U-H-12-U-P	○	7.8	-334	4667															
			U-H-13-U-P	○	7.8	-320	4680															
			U-H-14-U-P	○	8.1	-94	4906															
			U-H-15-U-P	○	8.1	-227	4773															
			U-H-16-U-P	○	7.8	-766	4234															
			U-H-17-U-P	○	7.8	-648	4352															
			U-H-8-M-H	○	7.8	-124	4876															
			U-H-9-M-H	○	7.8	685	4316															
			U-H-12-M-H	○	7.8	50	4950															
			U-H-13-M-H	○	7.8	-74	4926															
			U-H-16-M-H	○	7.8	5	4995															
			U-H-17-M-H	○	7.8	-114	4887															
			U-H-8-M-P	○	7.8	-339	4661															
			U-H-9-M-P	○	7.8	-105	4896															
			U-H-12-M-P	○	7.8	-330	4670															
			U-H-13-M-P	○	7.8	-286	4714															
			U-H-16-M-P	○	7.8	-389	4611															
			U-H-17-M-P	○	7.8	400	4600															
			U-H-6-L-H	○	8.1	-132	4868															
			U-H-7-L-H	○	8.1	-166	4834															
			U-H-8-L-H	○	7.8	-65	4935															
			U-H-9-L-H	○	7.8	-142	4858															
			U-H-10-L-H	○	8.1	-176	4824															
			U-H-11-L-H	○	8.1	-225	4775															
			U-H-12-L-H	○	7.8	-125	4875															
			U-H-13-L-H	○	7.8	-128	4872															
			U-H-14-L-H	○	8.1	-162	4838															
			U-H-15-L-H	○	8.1	-81	4919															
			U-H-16-L-H	○	7.8	-230	4770															
			U-H-17-L-H	○	7.8	-240	4760															
			U-H-6-L-P	○	8.1	-166	4835															
			U-H-7-L-P	○	8.1	-97	4904															
			U-H-8-L-P	○	7.8	-547	4453															
			U-H-9-L-P	○	7.8	-449	4551															
			U-H-10-L-P	○	8.1	-369	4631															
			U-H-11-L-P	○	8.1	-158	4842															
			U-H-12-L-P	○	7.8	-399	4601															
			U-H-13-L-P	○	7.8	-307	4693															
			U-H-14-L-P	○	8.1	-383	4617															
			U-H-15-L-P	○	8.1	-306	4694															
			U-H-16-L-P	○	7.8	-239	4761															
			U-H-17-L-P	○	7.8	-1268	3732															

表 4.6-17 側部埋戻し材の計測機器の現状一覧 (2/2)

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測項目	計測範囲までの余裕値													
			設置位置							理由	確認日	設置数量	正常計器数量	正常計器の割合		稼働実績期間(年)	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	その他								
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向																精度	分解能							
埋戻し材	側部	有効応力計	A	1リフト	中央	空洞軸	U-U- 4-M-H	2007/10/26	○			8	8	100%	応力	N/mm ²	10	-0.86	10.9	±0.1	0.06								
			D				U-U- 5-M-H		○		8.1							-0.95	11.0										
			A				U-U- 6-M-H		○		7.8							-0.18	10.2										
			D	U-U- 7-M-H		○		7.8	0.44	9.6																			
			A	1リフト		鉛直	U-U- 4-M-P	2007/10/26	○		8.1							-2.10	12.1										
			D				U-U- 5-M-P		○		8.1							-0.08	10.1										
			A		U-U- 6-M-P		○			7.8	-1.45							11.5											
			D	U-U- 7-M-P	○		7.8	-0.50	10.5																				
			A	3リフト	中央	-	U-M- 2	2008/1/11	○		2							2	100%			7.8	自由ひずみ	μ	34	±5000	4966	±50	1
			D				U-M- 3		○		7.8							-2.88	347.1										
			鉄筋計	外側	1リフト	外側	鉛直	2007/10/26	U-R- 6-U-P	○								16	16			100%	応力	N/mm ²	±350	-2.88	347.1	±3.5	0.175
									U-R- 7-U-P	○																8.1	-2.24		
		U-R- 8-U-P							○		8.1	1.01	349.0																
		U-R- 9-U-P							○		8.1	-5.68	344.3																
		A							3リフト	外側	U-R- 10-U-P	2008/1/11	○		7.8	-9.81	340.2												
		D									U-R- 11-U-P		○		7.8	-19.07	330.9												
		A			1リフト	内側	U-R- 12-U-P	2007/10/26			○			8.1	-14.76	335.2													
		D					U-R- 13-U-P				○			8.1	-12.57	337.4													
		B					1リフト				内側		U-R- 6-L-P	2007/10/26	○		8.1			-0.85	349.2								
		E											U-R- 7-L-P		○		8.1			-24.04	326.0								
		A							U-R- 8-L-P	○			8.1		-35.74	314.3													
		D							U-R- 9-L-P	○			8.1		-24.01	326.0													
		A		3リフト	内側	U-R- 10-L-P		2008/1/11	○			7.8	-19.42		330.6														
		D				U-R- 11-L-P			○			7.8	-11.02		339.0														
		C				1リフト	内側		U-R- 12-L-P	2007/10/26	○		8.1	-32.60	317.4														
		F							U-R- 13-L-P		○		8.1	-28.63	321.4														
		B							外側		-	U-0- 6-U	2007/10/26	○		8.1	16.3			63.7									
		E										U-0- 7-U		○		8.1	16.1			63.9									
		B		3リフト	外側			U-0- 8-U				2008/1/11		○		7.8	15.9			64.1									
		E						U-0- 9-U						○		7.8	16.0			64.0									
		A				1リフト	外側	U-0-10-U		2007/10/26				○		8.1	15.8			64.2									
		D						U-0-11-U						○		8.1	15.4			64.6									
		A						3リフト						外側	U-0-12-U	2008/1/11	○				7.8					15.8	64.2		
		D													U-0-13-U		○				7.8					15.2	64.8		
		C	1リフト	外側	U-0-14-U							2007/10/26			○			8.1	15.4	64.6									
		F			U-0-15-U										○			8.1	14.6	65.4									
		C			3リフト	中央	U-0-16-U			2008/1/11					○			7.8	15.1	64.9									
		F					U-0-17-U								○			7.8	14.1	65.9									
		B					1リフト	中央	U-0- 8-M		2008/1/11		○		7.8	15.9	64.1												
		E							U-0- 9-M				○		7.8	16.1	63.9												
		A	3リフト	中央					U-0-12-M			2008/1/11	○		7.8	15.9	64.1												
		D							U-0-13-M				○		7.8	15.3	64.7												
		C			1リフト	中央			U-0-16-M	2007/10/26			○		7.8	15.3	64.7												
		F							U-0-17-M				○		7.8	14.2	65.8												
		B					3リフト	内側	U-0- 6-L		2007/10/26		○		8.1	16.2	63.8												
		E							U-0- 7-L				○		8.1	15.9	64.1												
		B	1リフト	内側					U-0- 8-L			2008/1/11	○		7.8	16.0	64.0												
		E							U-0- 9-L				○		7.8	16.1	63.9												
		A			3リフト	内側			U-0-10-L	2007/10/26			○		8.1	15.8	64.2												
		D							U-0-11-L				○		8.1	15.3	64.7												
A	1リフト	内側					U-0-12-L	2008/1/11	○				7.8	15.8	64.2														
D							U-0-13-L		○				7.8	15.4	64.6														
C			3リフト	内側			U-0-14-L		2007/10/26		○		8.1	15.3	64.7														
F							U-0-15-L				○		8.1	14.8	65.2														
C					1リフト	内側	U-0-16-L			2008/1/11	○		7.8	15.4	64.6														
F							U-0-17-L				○		7.8	14.3	65.7														

表 4.6-18 奥部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他					
			設置位置						判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能	
			横断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日												
埋戻し材	奥部	ひずみ計	外側	空洞横断	M	177ト	U-H-18-U-H	2007/10/19	○			16	16	100%	8.1	ひずみ	μ	±5000	-196	4804	±50	1	
					L	377ト	U-H-19-U-H		○		8.1								-209	4791			
					L	377ト	U-H-20-U-H	2007/12/27	○		7.9								-356	4644			
					N	177ト	U-H-21-U-H	2007/10/19	○		8.1								-143	4857			
					M	177ト	U-H-18-U-P	2007/10/19	○		8.1								-422	4578			
					L	177ト	U-H-19-U-P	2007/10/19	○		8.1								-332	4668			
					L	377ト	U-H-20-U-P	2007/12/27	○		7.9								-505	4495			
			N	177ト	U-H-21-U-P	2007/10/19	○		8.1	-161	4839												
			M	177ト	U-H-18-L-H	2007/10/19	○		8.1	-150	4850												
			L	177ト	U-H-19-L-H	2007/10/19	○		8.1	-263	4737												
			L	377ト	U-H-20-L-H	2007/12/27	○		7.9	-300	4700												
			N	177ト	U-H-21-L-H	2007/10/19	○		8.1	-75	4925												
			M	177ト	U-H-18-L-P	2007/10/19	○		8.1	-255	4745												
			L	177ト	U-H-19-L-P	2007/10/19	○		8.1	-303	4697												
		L	377ト	U-H-20-L-P	2007/12/27	○		7.9	-428	4573													
		N	177ト	U-H-21-L-P	2007/10/19	○		8.1	-251	4750													
		有効応力計	中央	L	空洞横断	U-U- 8-M-H	2007/10/19	○		8.1	0.22	9.8	4	4	100%	7.9	応力	N/mm ²	10	-0.50	10.5	±0.1	0.06
						U-U- 9-M-H	2007/12/27	○		7.9	-2.11	12.1											
						U-U- 8-M-P	2007/10/19	○		8.1	-2.11	12.1											
						U-U- 9-M-P	2007/12/27	○		7.9	-1.02	11.0											
						U-U- 9-M-P	2007/12/27	○		7.9	-1.02	11.0											
	無応力計	中央	L	-	U-M- 4	2007/12/27	○		7.9	245	±5000	1	1	100%	7.9	自由ひずみ	μ	±5000	4756	±50	1		
	鉄筋計	外側	鉛直	-	U-R-14-U-P	2007/10/19	○		8.1	-15.41	334.6	6	6	100%	8.1	応力	N/mm ²	±350	-18.95	331.0	±3.5	0.175	
					U-R-15-U-P		○		8.1	-19.38	330.6												
					U-R-16-U-P		○		8.1	-33.97	316.0												
					U-R-14-L-P		○		8.1	-32.74	317.3												
		内側	鉛直	-	-		U-R-15-L-P	○		8.1	7.26								342.7				
							U-R-16-L-P	○		8.1	14.9								65.1				
							U-R-14-L-P	○		8.1	14.4								65.6				
							U-R-15-L-P	○		7.9	14.1								65.9				
	温度計	外側	-	-	U-0-18-U	2007/10/19	○		8.1	14.3	65.7	8	8	100%	8.1	温度	°C	80	14.9	65.1	±1.0	0.02	
					U-0-19-U		○		8.1	14.4	65.6												
					U-0-20-U		○		7.9	14.1	65.9												
					U-0-21-U		○		8.1	14.3	65.7												
					U-0-18-L		○		8.1	14.9	65.1												
		内側	-	-	-		U-0-19-L	○		8.1	14.6								65.4				
							U-0-19-L	○		8.1	14.6								65.4				
							U-0-20-L	○		7.9	14.6								65.4				
							U-0-20-L	○		7.9	14.6								65.4				
							U-0-21-L	○		8.1	14.6								65.4				

表 4.6-19 上部埋戻し材の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他				
			設置位置						判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			横断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
埋戻し材	上部	沈下計	中央	天端付近	-	鉛直	U-T-1	2014/9/10	○			1	1	100%	1.2	変位	mm	5.3	50	44.7	±0.5	0.025
		温度計					U-0-22		○			1	1	100%	115.9	温度	°C	15.2	80	65	±1	0.02

表 4.6-20 底部低透水層の計測機器の現状一覧

															(2015/11/12現在)										
部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他						
			設置位置							異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能			
			縦断面方向	横断面方向	界面の部材					理由	確認日														
低透水層	底部	土圧計	B	中央	底部埋戻し材	鉛直	B-D-1	2008/2/12	○			8	8	100%	7.8	土圧	kPa	41	2000	1959	±20	1.1			
				L側			B-D-2	2008/2/12	○		7.8												172	1828	
				R側			B-D-3	2008/2/12	○		7.8												30	1970	
			A	中央			B-D-4	2008/2/12	○		7.8												73	1927	
				L側			B-D-5	2008/2/12	○		7.8												43	1957	
				R側			B-D-6	2008/7/26	○		7.3												160	1840	
		水分計	C	中央	側部埋戻し材	水平	B-D-7	2008/7/26	○				12	8	67%	7.3	体積含水率	%	38	100	62	±3	0.025		
							B-W-1	2008/2/26	○		7.7	36												64	
							B-W-2	2008/2/26	○		7.7	30												70	
			A	中央			B-W-3	2008/2/26	○		7.7	36												64	
							L側	B-W-4	2008/2/26	○		7.7												37	63
							R側	B-W-5	2008/2/26	×	点検異常	2011/2/27												3.0	-
	間隙水圧計	C	中央	奥部埋戻し材	-	B-W-6	2008/2/26	○				4	3	75%	7.7	間隙水圧	kPa	4.1	400	396	±2	0.2			
						B-W-7	2008/2/26	×	データ異常	2012/5/14	4.2												-	-	
						B-W-8	2008/2/26	○		7.7	34												66		
		A	中央			B-W-9	2008/3/11	○		7.7	34												66		
						L側	B-W-10	2008/8/21	×	データ異常	2010/7/5												1.9	-	-
						R側	B-W-11	2008/8/21	○		7.2												44	56	
	沈下計	A	中央	-	鉛直	B-W-12	2008/8/21	×	データ異常	2009/11/1		5	4	80%	7.1	変位	mm	1.21	20	18.8	±0.2	0.01			
						L側	B-T-1	2008/10/16	○		7.1												1.44	18.6	
						R側	B-T-2	2008/10/16	○		7.1												1.21	18.8	
		C	中央			B-T-3	2008/10/16	○		0.0	-												-		
						L側	B-T-4	2008/10/16	×	データ異常	2008/10/16												7.1	0.40	19.6
	温度計	A	中央	-	-	B-0-1	2008/10/16	○			1	1	100%	7.1	温度	°C	15.3	80	65	±1	0.02				

表 4.6-21 側部低透水層の計測機器の現状一覧

															(2015/11/12現在)							
部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置							異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			高さ方向	縦断面方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	側部	土圧計	A	中段	側部埋戻し材	空洞横断	B-D-9	2010/11/11	○			2	2	100%	5.0	土圧	kPa	33	2000	1967	±20	1.111
			C			B-D-10	○				5.0											

表 4.6-22 上部低透水層の計測機器の現状一覧

															(2015/11/12現在)							
部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置							異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			高さ方向	縦断面方向	界面の部材					理由	確認日											
低透水層	上部	土圧計	中央	中央	上部低拡散層	鉛直	B-D-11	2013/12/6	○			1	1	100%	1.9	土圧	kPa	25.0	2000	1975	±20	1.111

表 4.6-23 底部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測開始日	正常異常判定		耐久性			計測範囲までの余裕値									
			設置位置				計器No.	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	その他	
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向				理由	確認日										精度	分解能
低拡散層	底部	ひずみ計	A	中央	上段	空洞軸	T-H- 1-1-V	○			30	30	100%	7.1	ひずみ	μ	±5000	4687	±50	1	
							T-H- 2-1-V	○		314											
							T-H- 3-1-V	○		185											
				T-H- 4-1-V	○		4815														
				T-H- 5-1-V	○		207														
				T-H- 1-1-C	○		4793														
			B	中央	上段	空洞軸	T-H- 4-1-V	○		180											
							T-H- 5-1-V	○		4820											
							T-H- 1-1-C	○		187											
				L側	上段	空洞軸	T-H- 1-1-C	○		190											
							T-H- 2-1-C	○		4814											
							T-H- 3-1-C	○		4810											
			A	中央	中段	空洞軸	T-H- 4-1-C	○		212											
							T-H- 5-1-C	○		4788											
							T-H- 1-M-V	○		99											
				L側	中段	空洞軸	T-H- 2-M-V	○		262											
							T-H- 3-M-V	○		164											
							T-H- 4-M-V	○		4836											
			B	中央	中段	空洞軸	T-H- 5-M-V	○		324											
							T-H- 1-M-C	○		4676											
							T-H- 2-M-C	○		183											
				L側	中段	空洞軸	T-H- 3-M-C	○		4817											
							T-H- 4-M-C	○		217											
							T-H- 5-M-C	○		4783											
			A	中央	下段	空洞軸	T-H- 1-M-C	○		241											
							T-H- 2-M-C	○		4759											
							T-H- 3-M-C	○		160											
				L側	下段	空洞軸	T-H- 4-M-C	○		4840											
							T-H- 5-M-C	○		4825											
							T-H- 1-0-V	○		175											
			B	中央	下段	空洞軸	T-H- 2-0-V	○		166											
							T-H- 3-0-V	○		4834											
							T-H- 4-0-V	○		140											
				L側	下段	空洞軸	T-H- 5-0-V	○		4860											
							T-H- 1-0-C	○		179											
							T-H- 2-0-C	○		4822											
		A	中央	下段	空洞軸	T-H- 3-0-C	○		142												
						T-H- 4-0-C	○		4859												
						T-H- 5-0-C	○		122												
			L側	下段	空洞軸	T-H- 1-0-C	○		4878												
						T-H- 2-0-C	○		138												
						T-H- 3-0-C	○		4862												
		C	中央	下段	空洞軸	T-H- 4-0-C	○		7.1												
						T-H- 5-0-C	○		149												
						T-H- 1-0-C	○		87												
			L側	下段	空洞軸	T-H- 2-0-C	○		7.1												
						T-H- 3-0-C	○		4913												
						T-H- 4-0-C	○		74												
		A	中央	下段	空洞軸	T-H- 5-0-C	○		117												
						T-H- 1-0-C	○		4926												
						T-H- 2-0-C	○		60												
			L側	下段	空洞軸	T-H- 3-0-C	○		95												
						T-H- 4-0-C	○		4905												
						T-H- 5-0-C	○		45												
		B	中央	下段	空洞軸	T-H- 1-0-C	○		95												
						T-H- 2-0-C	○		4905												
						T-H- 3-0-C	○		7.1												
			L側	下段	空洞軸	T-H- 4-0-C	○		0.37												
						T-H- 5-0-C	○		9.6												
						T-U- 1-V	○		0.18												
		A	中央	中段	空洞軸	T-U- 2-V	○		2.32												
						T-U- 3-V	○		7.7												
						T-U- 1-C	○		10.9												
			L側	中段	空洞軸	T-U- 2-C	○		7.2												
						T-U- 3-C	○		10.7												
						T-U- 1-V	○		7.1												
		無応力計	A	中央	中段	-	T-M- 1	○		1	1	100%	7.1	自由ひずみ	μ	±5000	4490	±50	1		
							T-0- 1-I	○		16.3											
							T-0- 2-I	○		63.7											
			T-0- 3-I	○		15.6															
			T-0- 4-I	○		64.4															
			T-0- 5-I	○		15.5															
		温度計	A	中央	上段	-	T-0- 3-I	○		15	15	100%	7.1	温度	°C	80	64.5	±1.0	0.02		
							T-0- 4-I	○									15.3				
							T-0- 5-I	○									15.0				
				B	中央	上段	-	T-0- 1-M	○											7.1	
								T-0- 2-M	○											16.1	
								T-0- 3-M	○											63.9	
			A	中央	中段	-	T-0- 4-M	○									15.5				
							T-0- 5-M	○									64.5				
							T-0- 1-0	○									15.5				
				L側	中段	-	-	T-0- 2-0	○											7.1	
								T-0- 3-0	○											15.5	
								T-0- 4-0	○											64.5	
			B	中央	下段	-	T-0- 5-0	○									15.3				
							T-0- 1-0	○									14.8				
							T-0- 2-0	○									65.2				
				L側	下段	-	-	T-0- 3-0	○											7.1	
								T-0- 4-0	○											16.1	
								T-0- 5-0	○											63.9	
		C	中央	下段	-	T-0- 1-0	○		15.5												
						T-0- 2-0	○		64.5												
						T-0- 3-0	○		15.5												
			L側	下段	-	-	T-0- 4-0	○		7.1											
							T-0- 5-0	○		15.3											
							T-0- 1-0	○		14.8											
		温度計	B	中央	下段	-	T-0- 2-0	○		5	5	100%	7.1	変位	mm	10	-0.150	±0.1	0.005		
							T-0- 3-0	○									10.150				
							T-0- 4-0	○									-0.066				
			A	中央	下段	-	T-0- 5-0	○									10.029				
T-J- 1	○							10.014													
T-J- 2	○							10.105													
C	中央	下段	-	T-J- 3	○		0.002														
				T-J- 4	○		2.50														
				T-J- 5	○		2.48														
	B	中央	下段	-	T-S- 1	○		0.016													
					T-S- 2	○		2.48													
					T-S- 3	○		-0.018													
L側	下段	-	-	T-S- 4	○		0.093														
				T-S- 5	○		2.41														
				T-S- 1	○		-0.051														

表 4.6-24 側部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他													
			設置位置						判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能										
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日																					
低拡散層	側部	ひずみ計	B	上段	内側	空洞軸	T-H-6-I	2009/9/16	○			16	16	100%	6.2	ひずみ	μ	106	±5000	4894	±50	1										
							T-H-8-I		○									81		4919												
							T-H-10-I		○									-506		4494												
							T-H-12-I		○									-222		4778												
							T-H-14-I		○									-20		4980												
							T-H-8-M		○									62		4938												
			T-H-9-M	○			-35		4965																							
			T-H-10-M	○			-312		4688																							
			T-H-11-M	○			-201		4799																							
			T-H-12-M	○			-264		4736																							
			T-H-13-M	○			-68		4932																							
			T-H-6-O	○			106		4894																							
			T-H-8-O	○			-56		4944																							
			T-H-10-O	○			-899		4101																							
			T-H-12-O	○			-1332		3668																							
			T-H-14-O	○			-15		4985																							
			無応力計	A	下段	中央	-		T-M-2	○										2			2	100%	6.2	自由ひずみ	μ	260		4740		
									T-M-3	○										552			4448									
		T-O-6-I						○			6.2	63.9																				
		T-O-8-I						○			6.2	63.8																				
		温度計	A	中段	内側	-	T-O-10-I	○			16	16	100%	6.2	温度	℃	80	16.3	±1.0	63.7	0.02											
							T-O-12-I	○										14.9		65.1												
							T-O-14-I	○										15.8		64.2												
							T-O-8-M	○										16.1		63.9												
							T-O-9-M	○										16.0		64.0												
							T-O-10-M	○										16.0		64.0												
			T-O-11-M	○			15.6	64.4																								
			T-O-12-M	○			15.7	64.3																								
			T-O-13-M	○			15.4	64.6																								
			T-O-6-O	○			16.2	63.8																								
			T-O-8-O	○			16.1	63.9																								
			T-O-10-O	○			16.1	63.9																								
			T-O-12-O	○			15.7	64.3																								
			T-O-14-O	○			15.7	64.3																								
			有効応力計	A	中段	内側	空洞軸	T-U-4	○											7		7	100%	6.2	応力	N/mm ²	10	-1.08	±0.1	11.1	0.06	
								T-U-5	○																			-0.56		10.6		
								T-U-6	○																			-1.30		11.3		
								T-U-7	○																			-1.58		11.6		
		T-U-8		○			0.05	10.0																								
		T-U-9		○			0.44	9.6																								
		T-UN-9		○			-0.16	10.2																								
		T-J-6		○			-0.098	10.098																								
		T-J-7	○			-0.140	10.140																									
		継目計	A	下段	低拡散	鉛直	T-J-8	○			4	4	100%	6.2	変位	mm	10	0.117	±0.1	9.883	0.005											
							T-J-9	○										0.048		9.952												
							T-S-6	○										-0.131		2.37												
							T-S-7	○										-0.002		2.50												
		せん断変位計	A	下段	低拡散	空洞横断	T-S-8	○			4	4	100%	6.2	変位	mm	±2.5	0.074	±0.0075	2.43	0.0005											
							T-S-9	○										-0.017		2.48												
							T-D-1	○										6.2		42.6												
							T-D-2	○										6.2		40.8												
		土圧計	A	中段	側部CP	空洞横断	T-D-3	○			6	6	100%	6.2	土圧	kPa	400	66.7	±4	333	0.2											
							T-D-4	○										75.2		325												
							T-D-5	○										110.0		290												
			T-D-6	○			6.2	79.0																								
			T-D-1	○			6.2	357																								
			T-D-2	○			6.2	359																								

表 4.6-25 上部低拡散層の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報				正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他					
			設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲 までの余裕値	精度	分解能
			縦断面 方向	横断面 方向	厚さ 方向					理由	確認日											
低拡散層	上部	ひずみ計	中央	左側	空洞軸直交	T-H-17-1-C	2012/12/3	○		18	18	100%	2.9	ひずみ	μ	-31	±5000	4969	±50	1		
					空洞軸	T-H-17-1-V		○					2.9			44		4956				
					中央	空洞軸直交		T-H-17-M-C	○							2.9		105			4896	
						空洞軸		T-H-17-M-V	○							2.9		58			4942	
					外側	空洞軸直交		T-H-17-0-C	○							2.9		-78			4922	
						空洞軸		T-H-17-0-V	○							2.9		-9			4991	
				空洞軸直交		T-H-18-1-C		○					2.9			-47		4953				
				中央	空洞軸	T-H-18-1-V		○					2.9			-1		5000				
					中央	空洞軸直交		T-H-18-M-C	○							2.9		-11			4989	
						空洞軸		T-H-18-M-V	○							2.9		-8			4992	
					外側	空洞軸直交		T-H-18-0-C	○							2.9		-24			4976	
						空洞軸		T-H-18-0-V	○							2.9		-122			4878	
					右側	空洞軸直交		T-H-19-1-C	○							2.9		-101			4899	
				空洞軸		T-H-19-1-V		○					2.9			-135		4865				
				中央		空洞軸直交		T-H-19-M-C	○							2.9		-59			4941	
						空洞軸		T-H-19-M-V	○							2.9		-14			4986	
				外側		空洞軸直交		T-H-19-0-C	○							2.9		-74			4926	
						空洞軸		T-H-19-0-V	○							2.9		-26			4974	
				無応力計	中央	中央		T-M-4	○							2.9		420			4580	
					左側	内側		-	T-0-17-1				○					2.9			16.3	63.7
						中央		-	T-0-17-M				○					2.9			16.4	63.6
	外側	-	T-0-17-0	○			2.9	16.3	63.7													
	温度計	中央	内側	-	T-0-18-1	○		2.9	16.3	63.7												
			中央	-	T-0-18-M	○		2.9	16.2	63.8												
			外側	-	T-0-18-0	○		2.9	16.2	63.8												
		右側	内側	-	T-0-19-1	○		2.9	16.0	64.0												
			中央	-	T-0-19-M	○		2.9	16.0	64.0												
			外側	-	T-0-19-0	○		2.9	16.0	64.0												
	有効応力計	左側	空洞軸直交	T-U-10-C	○		2.9	-0.70	10.7													
			空洞軸	T-U-10-V	○		2.9	0.07	9.9													
		中央	空洞軸直交	T-U-11-C	○		2.9	-0.04	10.0													
			空洞軸	T-U-11-V	○		2.9	-0.01	10.0													
		左側	空洞軸直交	T-U-12-C	○		2.9	-0.22	10.2													
			空洞軸	T-U-12-V	○		2.9	-0.42	10.4													

表 4.6-26 底部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他					
			設置位置		計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向					厚さ方向	理由											
コンクリートピット	底部	ひずみ計	B	中央	上段	空洞軸	P-H-1-1-V	○					7.0			40		4960	±50	1	
							P-H-2-1-V	○				7.0		-31	4969						
							P-H-3-1-V	○				7.0		19	4981						
							P-H-4-1-V	○				7.0		84	4916						
							P-H-5-1-V	○				7.0		164	4836						
							P-H-1-1-C	○				7.0		28	4972						
			A	中央	空洞横断	P-H-2-1-C	○			7.0		180	4821								
						P-H-3-1-C	○			7.0		42	4958								
						P-H-4-1-C	○			7.0		189	4811								
						P-H-5-1-C	○			7.0		189	4811								
						P-H-1-M-V	○			7.0		160	4840								
						P-H-2-M-V	○			7.0		87	4913								
			C	中央	中段	空洞軸	P-H-3-M-V	○			7.0		114	4886							
							P-H-4-M-V	○			7.0		118	4882							
							P-H-5-M-V	○			7.0		172	4828							
							P-H-1-M-C	○			7.0		111	4889							
							P-H-2-M-C	○			7.0		155	4845							
							P-H-3-M-C	○			7.0		107	4893							
			A	中央	空洞横断	P-H-4-M-C	○			7.0		201	4799								
						P-H-5-M-C	○			7.0		68	4932								
						P-H-1-0-V	○			7.0		68	4932								
						P-H-2-0-V	○			7.0		-14	4986								
						P-H-3-0-V	○			7.0		-38	4962								
						P-H-4-0-V	○			7.0		-40	4960								
		B	中央	下段	空洞軸	P-H-5-0-V	○			7.0		46	4954								
						P-H-1-0-C	○			7.0		-27	4973								
						P-H-2-0-C	○			7.0		41	4959								
						P-H-3-0-C	○			7.0		1	4999								
						P-H-4-0-C	○			7.0		61	4939								
						P-H-5-0-C	○			7.0		-18	4983								
		A	中央	中段	空洞軸	P-U-1-V	○			7.0		7.0		-0.53	10	10.5	±0.1	0.06			
						P-U-2-V	○			7.0		7.0		-0.07	10.1						
						P-U-3-V	○			7.0		7.0		0.02	10.0						
						P-U-4-V	○			7.0		7.0		-0.06	10.1						
						P-U-5-V	○			7.0		7.0		-0.53	10.5						
						P-U-1-C	○			7.0		7.0		-1.52	11.5						
		B	中央	空洞横断	P-U-2-C	○			7.0		7.0		-1.23	11.2							
					P-U-3-C	○			7.0		7.0		-0.70	10.7							
					P-U-4-C	○			7.0		7.0		-0.91	10.9							
					P-U-5-C	○			7.0		7.0		-1.01	11.0							
					P-M-1	○			7.0		7.0		943	±5000	4057	±50	1				
					P-M-1	○			7.0		7.0		0.26	±5	4.74	±0.025	0.0025				
		P-K-1-1-C	○			7.0		7.0		0.15	4.85										
		温度計	中段	A	中央	上段	-	-	P-0-1-1	○				7.0			15.6		64.4	±1.0	0.02
									P-0-2-1	○				7.0		14.9	65.1				
									P-0-3-1	○				7.0		14.8	65.2				
									P-0-4-1	○				7.0		14.6	65.4				
									P-0-5-1	○				7.0		14.0	66.0				
									P-0-1-M	○				7.0		15.3	64.7				
									P-0-2-M	○				7.0		14.9	65.1				
P-0-3-M	○											7.0		14.8	65.2						
P-0-4-M	○											7.0		14.6	65.4						
P-0-5-M	○											7.0		14.1	65.9						
P-0-1-0	○											7.0		15.5	64.5						
P-0-2-0	○											7.0		14.9	65.1						
P-0-3-0	○											7.0		14.7	65.3						
P-0-4-0	○											7.0		14.6	65.4						
P-0-5-0	○											7.0		14.0	66.0						

※傾斜計は1台で2方向計測している

表 4.6-27 側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 (1/2)

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報					正常異常判定			耐久性				計測範囲までの余裕値				その他			
			設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲 までの余裕値	精度	分解能
			縦断面 方向	高さ 方向	厚さ 方向					理由	確認日											
コンクリートピット	側部	ひずみ計	内側	上段	空洞軸	P-H- 6-I	2009/2/4	○			26	24	92%	6.8	ひずみ	μ	125	±5000	4875	±50	1	
						P-H- 7-I		○		6.8				207			4793					
						P-H- 8-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			-362		4638			
						P-H- 9-I		○		6.8				-842			4158					
						P-H-10-I		×	データ異常	2014/7/11				5.4			-		-			
				P-H-11-I	○			6.8	-481	4519												
				P-H-12-I	○			6.8	58	4942												
				P-H-13-I	○			6.8	102	4898												
				P-H-14-I	○			6.8	140	4860												
				P-H-15-I	○			6.8	154	4846												
			中央	下段	空洞軸	P-H- 8-M		○		6.8				-299			4701					
						P-H- 9-M		○		6.8				26			4974					
						P-H-10-M		○		6.8				-392			4608					
						P-H-11-M		○		6.8				-256			4744					
						P-H-12-M		○		6.8				123			4877					
				上段	空洞軸	P-H-13-M		○		6.8				113			4887					
						P-H- 6-O		○		6.8				113			4887					
						P-H- 7-O		○		6.8				184			4816					
						P-H- 8-O		○		6.8				-452			4548					
						P-H- 9-O		○		6.8				-76			4924					
		外側	中段	鉛直	P-H-10-O	○			6.8	-173	4827											
					P-H-11-O	○			6.8	-508	4492											
					P-H-12-O	○			6.8	63	4937											
					P-H-13-O	○			6.8	34	4967											
					P-H-14-O	○			6.8	91	4909											
			上段	空洞軸	P-H-15-O	○			6.8	130	4870											
					P-U- 6	○			6.8	-0.73	10.7											
					P-U- 7	○			6.8	-0.46	10.5											
					P-U- 8	○			6.8	-1.36	11.4											
					P-U- 9	×		点検異常	2009/11/24	0.8	-2.02	12.0										
		有効応力計	中段	中央	空洞軸	P-U-10		○		6.8	-1.98	12.0										
						P-U-11		○		6.8	-1.73	11.7										
			上段	中央	-	P-M- 2		○		6.8	1126	3874										
						P-M- 3		○		6.8	733	4267										
		無応力計	下段	中央	-			○		6.8			自由ひずみ	μ		±5000			±50	1		

表 4.6-28 側部コンクリートピットの計測機器の現状一覧 (2/2)

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報			計測方向	計器No.	計測開始日	正常異常判定			耐久性		計測範囲までの余裕値				その他				
			設置位置						判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績 期間 (年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲 までの余裕値	精度	分解能
			縦断面 方向	高さ 方向	厚さ 方向					理由	確認日											
コンクリートピット	側部	鉄筋計	内側	空洞軸	B	P-R- 6-I	2009/2/4	○			20	19	95%	応力	N/mm ²	±350	6.0	344.0	±3.5	0.175		
					E	P-R- 7-I		○		6.8							339.9					
					A	P-R- 8-I		○		6.8							349.2					
					D	P-R- 9-I		○		6.8							349.8					
					A	P-R-10-I		○		6.8							341.9					
				D	P-R-11-I	○			6.8	345.7												
				A	P-R-12-I	×		データ異常	2014/7/11	5.4							-					
				D	P-R-13-I	○			6.8	348.8												
				C	P-R-14-I	○			6.8	349.7												
				F	P-R-15-I	○			6.8	349.3												
			外側	空洞軸	B	P-R- 6-O		○		6.8							347.2					
					E	P-R- 7-O		○		6.8							344.1					
					A	P-R- 8-O		○		6.8							346.7					
					D	P-R- 9-O		○		6.8							346.1					
					A	P-R-10-O		○		6.8							346.8					
				D	P-R-11-O	○			6.8	349.1												
				A	P-R-12-O	○			6.8	343.1												
				D	P-R-13-O	○			6.8	333.6												
				C	P-R-14-O	○			6.8	346.5												
				F	P-R-15-O	○			6.8	347.3												
	側部	温度計	内側	-	B	P-0- 6-I	○		6.8	64.1	26	25	96%	温度	℃	80	15.9	64.1	±1.0	0.02		
					E	P-0- 7-I	○		6.8	64.1												
					A	P-0- 8-I	×	データ異常	2014/7/11	5.4							-					
					D	P-0- 9-I	○		6.8	64.6												
					A	P-0-10-I	○		6.8	64.0												
					D	P-0-11-I	○		6.8	64.2												
					A	P-0-12-I	○		6.8	64.1												
					D	P-0-13-I	○		6.8	64.1												
					C	P-0-14-I	○		6.8	64.5												
					F	P-0-15-I	○		6.8	65.3												
			外側	中央	A	P-0- 8-M	○		6.8	64.4												
					D	P-0- 9-M	○		6.8	64.7												
					A	P-0-10-M	○		6.8	64.1												
					D	P-0-11-M	○		6.8	64.3												
					A	P-0-12-M	○		6.8	64.1												
				外側	D	P-0-13-M	○		6.8	64.1												
					B	P-0- 6-O	○		6.8	64.1												
					E	P-0- 7-O	○		6.8	64.1												
					A	P-0- 8-O	○		6.8	64.3												
					D	P-0- 9-O	○		6.8	64.7												
外側	中央	A	P-0-10-O	○		6.8	64.0															
		D	P-0-11-O	○		6.8	64.3															
		A	P-0-12-O	○		6.8	64.0															
		D	P-0-13-O	○		6.8	64.1															
		B	P-0- 6-O	○		6.8	64.1															
	外側	D	P-0- 7-O	○		6.8	64.1															
		A	P-0- 8-O	○		6.8	64.3															
		D	P-0- 9-O	○		6.8	64.7															
		A	P-0-10-O	○		6.8	64.0															
		D	P-0-11-O	○		6.8	64.3															

表 4.6-29 手前部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報				正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値					その他				
			設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			断面	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	手前部	ひずみ計	E	上段	内側	空洞横断	P-H-16-1	2009/8/6	○		10	10	100%	6.3	ひずみ	■	239	±5000	4761	±50	1	
						鉛直	P-H-18-1		○					6.3			-135		4865			
						鉛直	P-H-20-1		○					6.3			186		4814			
			D	中段	内側	空洞横断	P-H-22-1		○					6.3			150		4850			
						空洞横断	P-H-24-1		○					6.3			-33		4967			
						空洞横断	P-H-16-0		○					6.3			294		4706			
			E	上段	外側	鉛直	P-H-18-0		○					6.3			-268		4732			
						鉛直	P-H-20-0		○					6.3			232		4768			
						鉛直	P-H-22-0		○					6.3			296		4704			
		D	中段	外側	空洞横断	P-H-24-0	○			6.3	-29	4972										
					無応力計	P-M-4	○			6.3	499	4501										
					無応力計	P-M-4	○			6.3	499	4501										
		温度計	D	中段	中央	-	-		P-0-16-1	○		11	11	100%	6.3	温度	°C	16.1	80	63.9	±1.0	0.02
									P-0-18-1	○					6.3					63.8		
									P-0-20-1	○					6.3					63.8		
									P-0-22-1	○					6.3					64.0		
									P-0-24-1	○					6.3					63.8		
									P-0-20-M	○					6.3					63.7		
	P-0-16-0							○		6.3	63.9											
	P-0-18-0							○		6.3	63.8											
	P-0-20-0							○		6.3	63.9											
	E		上段	外側	-	-	P-0-18-0	○		6.3	16.2	63.8										
							P-0-20-0	○		6.3	16.1	63.9										
							P-0-22-0	○		6.3	16.2	63.8										
							P-0-24-0	○		6.3	16.1	63.9										
							P-0-16-1	○		6.3	16.2	63.8										
							P-0-18-1	○		6.3	16.1	63.9										
							P-0-20-1	○		6.3	16.0	64.0										
							P-0-22-1	○		6.3	16.2	63.8										
							P-0-24-1	○		6.3	16.1	63.9										
	D	中段	外側	-	-	P-0-18-0	○		6.3	32.4	317.6											
						P-0-20-0	○		6.3	30.7	319.3											
						P-0-22-0	○		6.3	26.6	323.4											
						P-0-24-0	○		6.3	29.5	320.5											
						P-0-16-1	○		6.3	9.6	340.4											
						P-0-18-1	○		6.3	29.4	320.6											
P-0-20-1						○		6.3	17.6	332.4												
P-0-22-1						○		6.3	26.4	323.6												
P-0-24-1						○		6.3	38.8	311.2												
E	上段	外側	-	-	P-0-16-0	○		6.3	24.7	325.3												
					P-0-18-0	○		6.3	32.4	317.6												
					P-0-20-0	○		6.3	30.7	319.3												
					P-0-22-0	○		6.3	26.6	323.4												
					P-0-24-0	○		6.3	29.5	320.5												
					P-0-16-1	○		6.3	9.6	340.4												
					P-0-18-1	○		6.3	29.4	320.6												
					P-0-20-1	○		6.3	17.6	332.4												
					P-0-22-1	○		6.3	26.4	323.6												

表 4.6-30 上部コンクリートピットの計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報				正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値					その他				
			設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能
			縦断面方向	横断面方向	厚さ方向					理由	確認日											
コンクリートピット	上部	ひずみ計	中央	中央	内側	空洞軸直交	P-H-28-I-C	2012/11/21	○		6	6	100%	3.0	ひずみ	■	-4	±5000	4996	±50	1	
						空洞軸	P-H-28-I-V		○					3.0			-46		4955			
						空洞軸直交	P-H-28-M-C		○					3.0			0		5000			
						空洞軸	P-H-28-M-V		○					3.0			-26		4974			
						空洞軸直交	P-H-28-O-C		○					3.0			56		4944			
						空洞軸	P-H-28-O-V		○					3.0			87		4913			
		無応力計	中央	中央	外側	-	-		P-M-6	○		1	1	100%	3.0	自由ひずみ	■	394		4606		
							-		P-0-28-I	○		3.0	15.9	64.1								
							-		P-0-28-M	○		3.0	16.1	63.9								
		温度計	中央	中央	外側	-	-		P-0-28-O	○		3	3	100%	3.0	温度	°C	16.1	80	63.9	±1.0	0.02
							-		P-0-28-I	○		3.0	16.1	63.9								
							-		P-0-28-M	○		3.0	16.1	63.9								
		有効応力計	中央	中央	外側	-	空洞軸直交		P-U-19-C	○		2	2	100%	3.0	応力	N/mm ²	-0.01	10	10.0	±0.1	0.06
							空洞軸		P-U-19-V	○		3.0	-0.03	10.0								
							空洞軸		P-U-19-V	○		3.0	-0.03	10.0								

表 4.6-31 充てん材の計測機器の現状一覧

(2015/11/12現在)

部材	部位	計器種別	計器情報				正常異常判定			耐久性			計測範囲までの余裕値				その他									
			設置位置			計測方向	計器No.	計測開始日	判定	異常計器		設置数量	正常計器数量	正常計器の割合	稼働実績期間(年)	計測項目	単位	現在の計測値	計測範囲	計測範囲までの余裕値	精度	分解能				
			縦断面方向	高さ方向	厚さ方向					理由	確認日															
充てん材	区画内	土圧計	奥側	下段	-	水平	F-D-3	2010/7/21	○		3	3	100%	5.3	土圧	kPa	34	400	366	±4	0.2					
			中央	中段	-	水平	F-D-2		○					5.3			15		385							
			上段	-	水平	F-D-1	○			5.3				3			397									
		中央	中段	-	-	F-0-1	○			5.3	16.1	80	63.9	±1.0			0.02									
		温度計	中央	下段	-	水平	F-D-4		○		1	1	100%	5.3			温度		°C			7	2000	1993	±20	1.111
		土圧計	中央	下段	-	-	F-0-2		○		1	1	100%	5.3			土圧		kPa			7	2000	1993	±20	1.111
	上部	温度計	温度計	中央	下段	-	-	F-0-2	○		1	1	100%	5.3	温度	°C	15.7	80	64.3	±1.0	0.02					

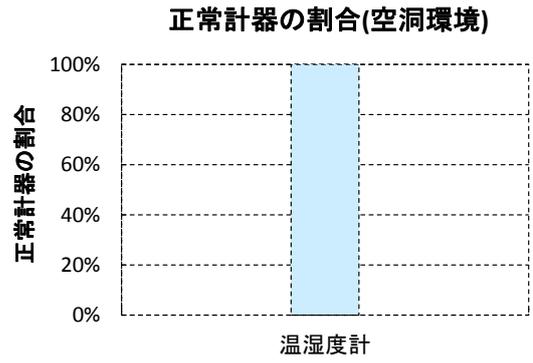
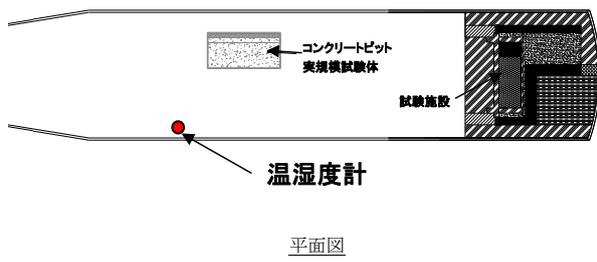
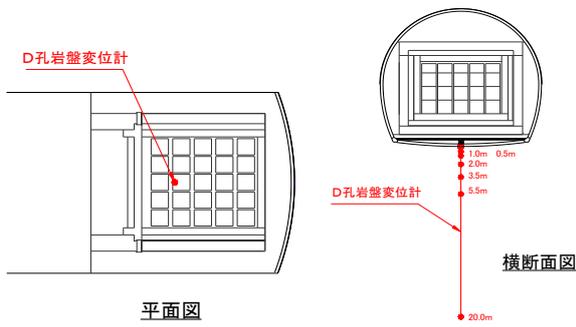
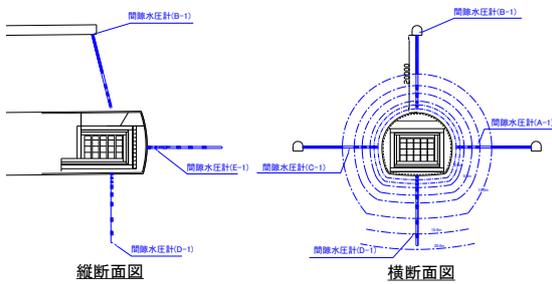
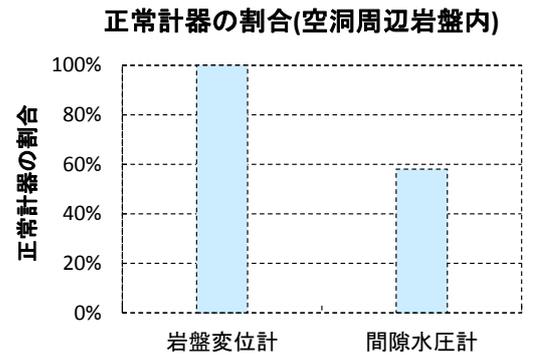


図 4.6-21 坑内環境の正常計器の割合



(1)岩盤変位計



(2)間隙水圧計

図 4.6-22 周辺岩盤の正常計器の割合

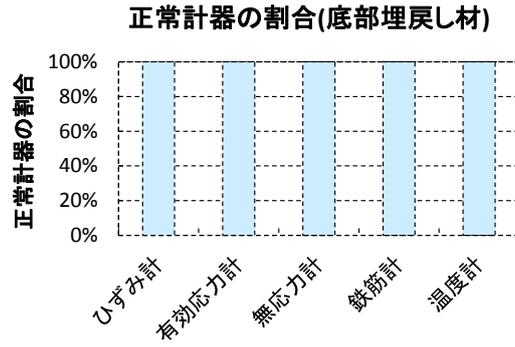
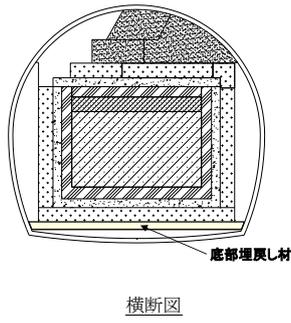


図 4.6-23 底部埋戻し材の正常計器の割合

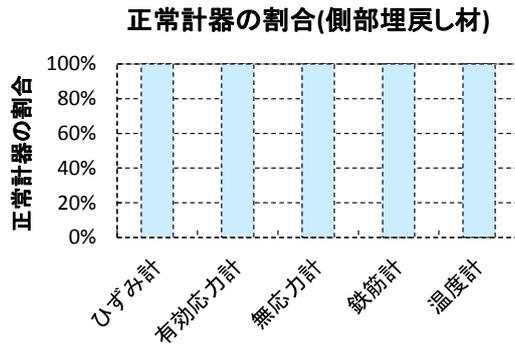
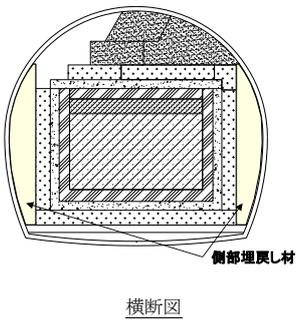


図 4.6-24 側部埋戻し材の正常計器の割合

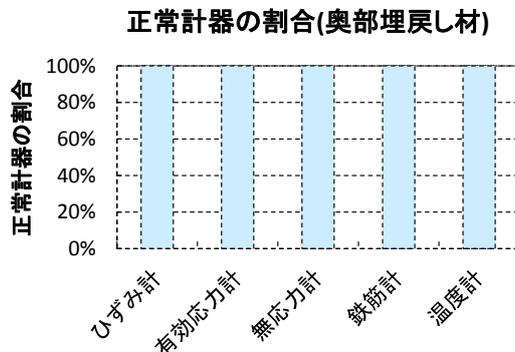
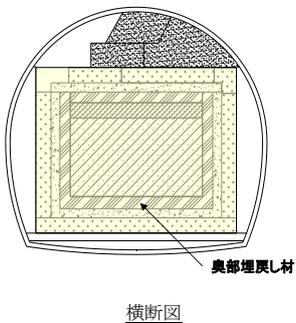


図 4.6-25 奥部埋戻し材の正常計器の割合

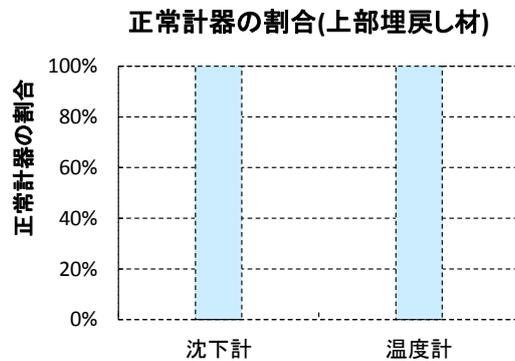
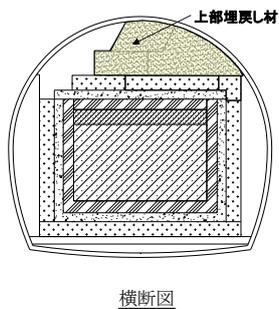


図 4.6-26 上部埋戻し材の正常計器の割合

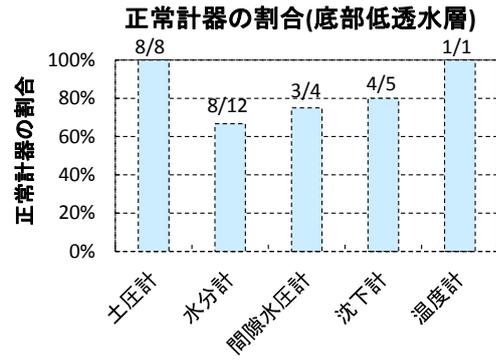
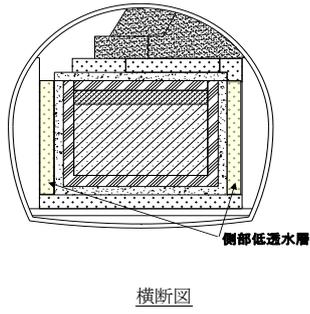


図 4.6-27 底部低透水層の正常計器の割合

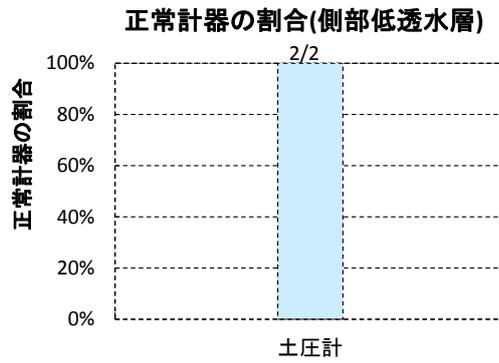
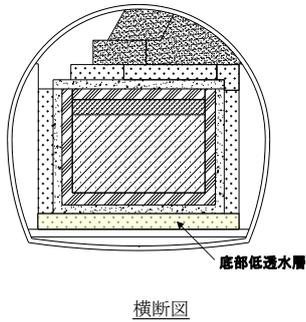


図 4.6-28 側部低透水層の正常計器の割合

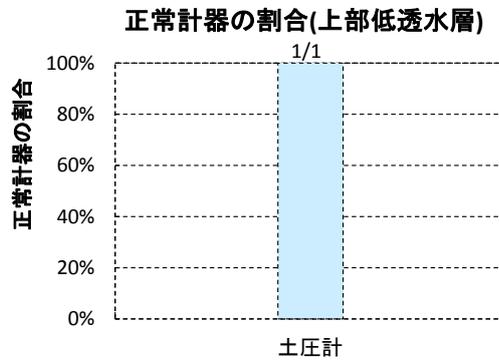
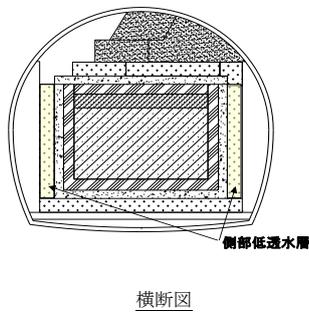


図 4.6-29 上部低透水層の正常計器の割合

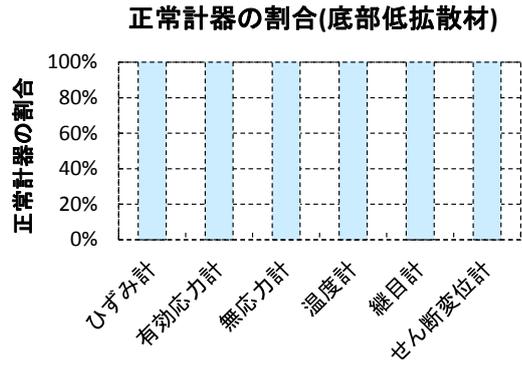
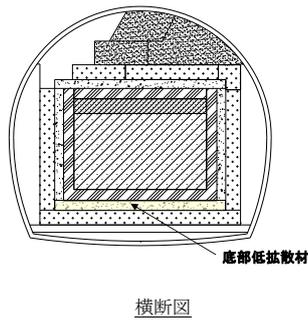


図 4.6-30 底部低拡散層の正常計器の割合

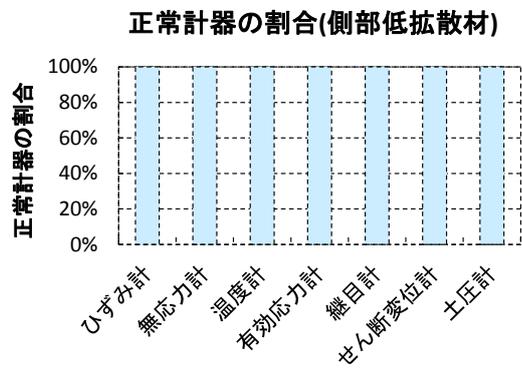
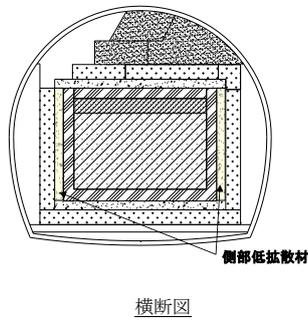


図 4.6-31 側部低拡散層の正常計器の割合

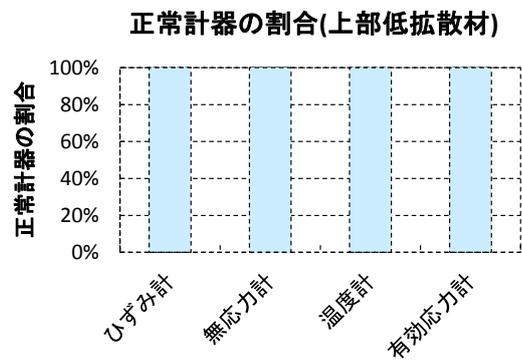
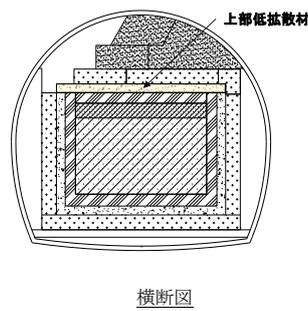


図 4.6-32 上部低拡散層の正常計器の割合

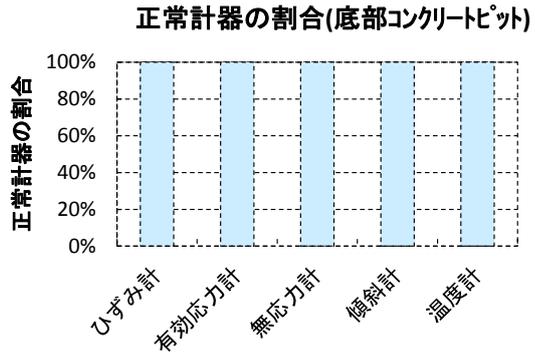
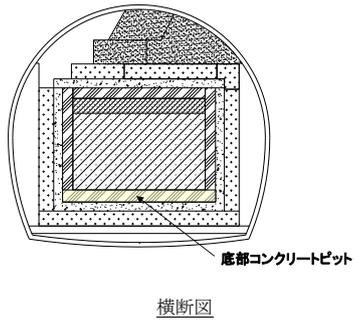


図 4.6-33 底部コンクリートピットの正常計器の割合

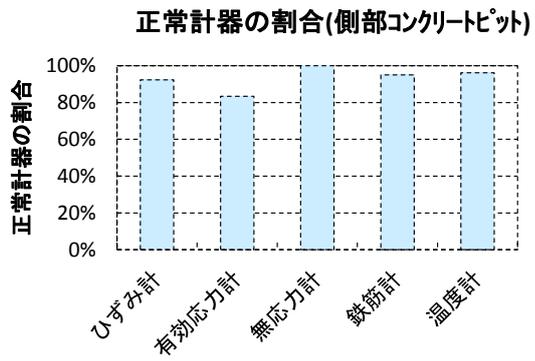
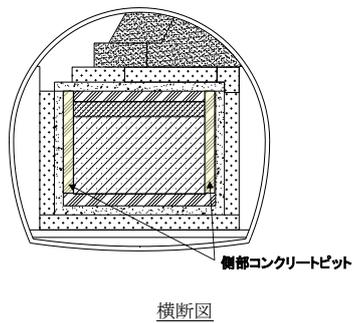


図 4.6-34 側部コンクリートピットの正常計器の割合

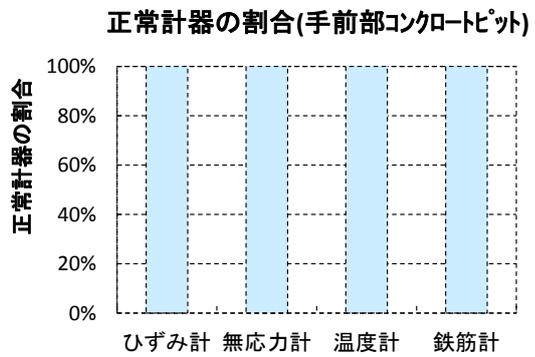
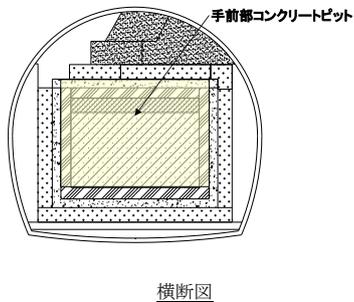


図 4.6-35 手前部コンクリートピットの正常計器の割合

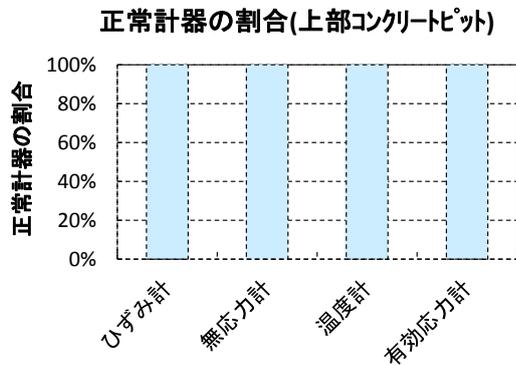
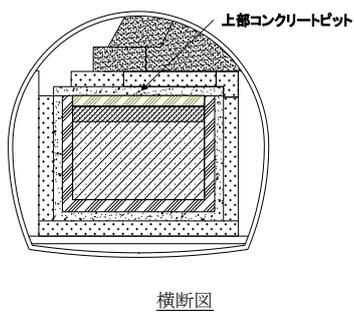
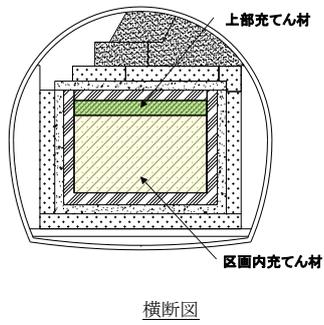
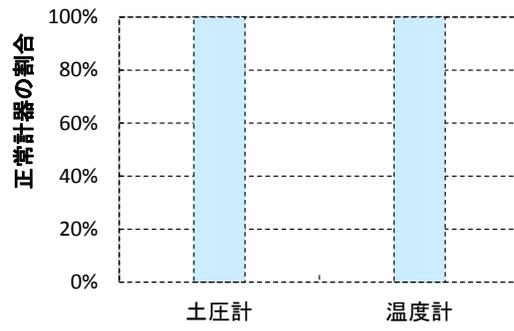


図 4.6-36 上部コンクリートピットの正常計器の割合



正常計器の割合(区画内充てん材)



正常計器の割合(上部充てん材)

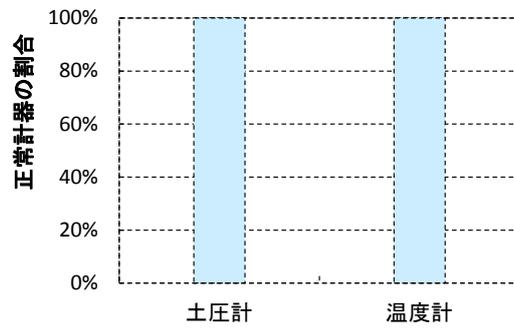


図 4.6-37 区画内充てん材および上部充てん材の正常計器の割合

4.6.3 地中無線データ通信技術

(1) 地下空洞型処分施設性能確証試験施設における地中無線による挙動計測の概要

上述した計測機器は、データ伝送に有線通信ケーブルを使用したものであるが、平成 20 年度の確認試験において、底部低透水層内の温度計と間隙水圧計を対象に、通信ケーブルを使用しない無線のデータ通信設備を設置し、その後、平成 26 年まで定期的にデータを取得し、無線データ通信技術の有用性を確認している。地中無線全体システムを図 4.6-38、送信装置を図 4.6-39、データ受信装置を図 4.6-40、センサの仕様を表 4.6-32 に示す。計画時の運用期間は 10 年として、センサの計測頻度は 1 回/日、データ取得頻度は 1 回/年として運用している。データ取得時は、試験施設手前に受信装置を配置して、データ送信命令の信号を送ってデータを送信・受信している。

無線温度計と近傍に設置している有線温度計の計測結果を図 4.6-41、無線間隙水圧計と近傍に設置している有線間隙水圧計の計測結果を図 4.6-42 に示す。無線温度計と有線温度計は設置高さが異なるため、計測値に僅かな差があるが、無線温度計と有線温度計で基本的に同じデータが得られている。間隙水圧計も同様に、有線と無線で基本的に同じデータが得られている。

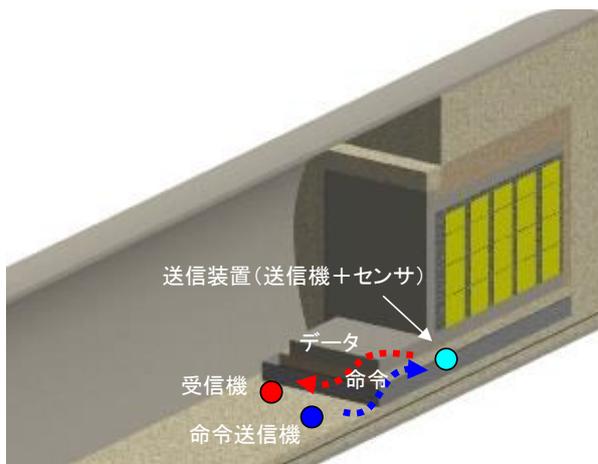


図 4.6-38 地中無線全体システム



- ・送信装置容器：φ215mm、L=310mm
- ・内部に通信制御回路、データロガー、電源関連装置等を収納

図 4.6-39 送信装置

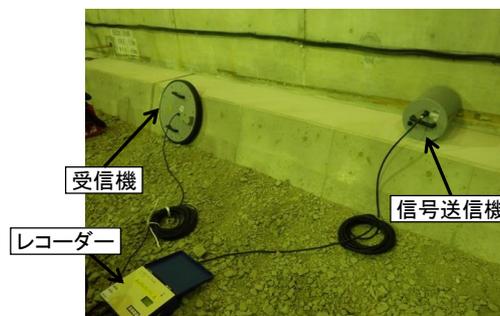
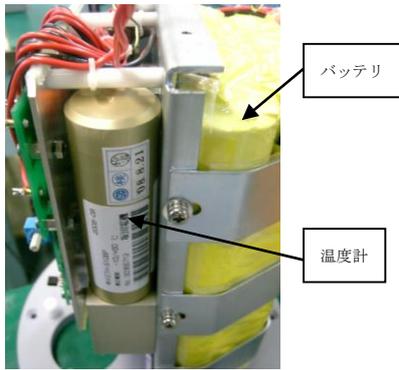
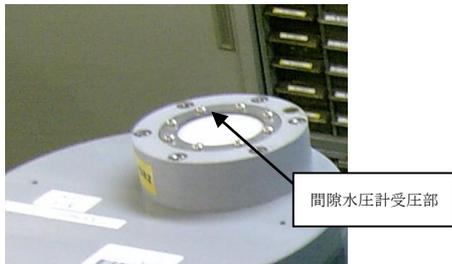


図 4.6-40 受信装置

表 4.6-32 センサの仕様

名称	仕様	センサ写真
温度計	測定範囲：+70℃ 精度：1℃以内	
間隙水圧計	測定範囲：600kPa 精度：±1kPa	

底部緩衝材の温度

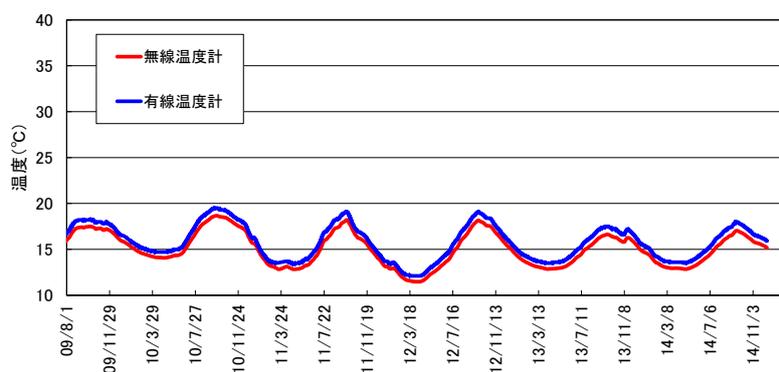


図 4.6-41 有線温度計と無線温度計の計測結果

底部緩衝材の間隙水圧

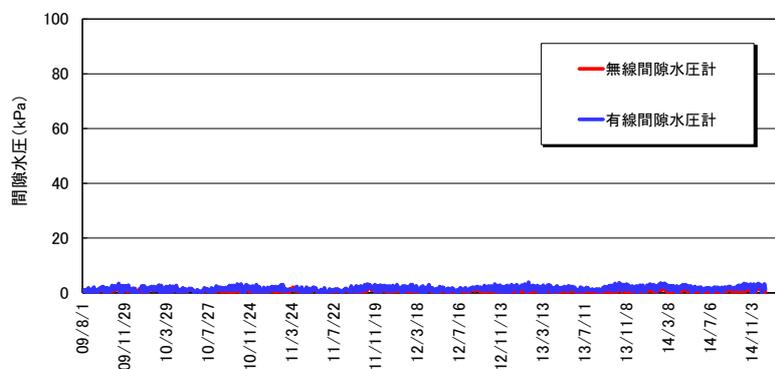


図 4.6-42 有線間隙水圧計と無線間隙水圧計の計測結果

(2) 性能確証試験において設置した地中無線装置

高レベル放射性廃棄物処分技術に関する研究である「地層処分技術調査等 モニタリング機器技術高度化調査」において、地中無線に関する技術検討がなされており、同研究の平成18年度までの成果をもとに、平成19年度に地下空洞型処分施設性能確証試験施設に設置する機器類の検討を行うとともに、実際の地下空洞内での環境を想定した事前検討・予備試験を実施して、機器の設計を行った。特に地下空洞内では、鋼製支保工や構築物の鉄筋、空洞内の各種の設備などの影響が懸念されたため、実地での試験を踏まえて、装置の仕様を決定した。地中無線通信機器のデータ送信器はケーブルレスで運用されるため、動作に必要な電源が装置の寿命に大きな影響を与えるが、送信器内部にバッテリーとして設けることとした。バッテリーの種類としては、運用期間が長い（自己消費の少ない電池が良い）、単位容積辺りの電流量が大きい（体積エネルギー密度が大きい）、密閉空間で使用可能である、といった条件を考慮し、リチウム一次電池（塩化チオニルリチウム電池）を採用し、容量は、測定頻度、通信頻度、データ数、電池の自己消費量などを考慮し、10年以上の容量を持つようにした。詳細は、平成19年度及び平成20年度管理型処分技術調査等委託費地下空洞型処分施設性能確証試験報告書を参照されたい。

(3) 地中無線に関する技術開発の現況

地中無線データ通信に関する既往の検討や技術開発について以下に述べる。

1) 低周波帯電磁波の鉄筋による減衰の影響

高村ら[16]は、鉄筋が多く使用されたコンクリート構造物に囲まれた中からの通信時に見られる複雑な電磁波伝播挙動の解析的評価を試み、原位置における試験結果と比較し、その評価手法の有効性を確認している。図 4.6-43 のように送信機を鉄筋コンクリート上に設置し、低周波電磁波の送信方向を坑道軸方向（正対）および鉛直にした場合の坑道軸方向の磁束密度（受信電圧）を計測し、汎用3次元電磁波解析コード（JMAG）による解析結果と比較している。その結果、図 4.6-44 示すように、送信方向が正対の場合には解析結果と試験結果がほぼ一致しており、解析で試験値を精度よく再現できているが、送信方向が鉛直の場合には解析結果よりも試験結果が小さくなった。その原因としては、送信機から放射される低周波電磁波のほとんどが鉄筋コンクリート内に入射し、鉄筋による減衰を大きく受けたことが考えられる。このことから、地中無線データ通信を使用する場合には、事前に鋼製部材の影響を考慮した計測設計が重要となる。

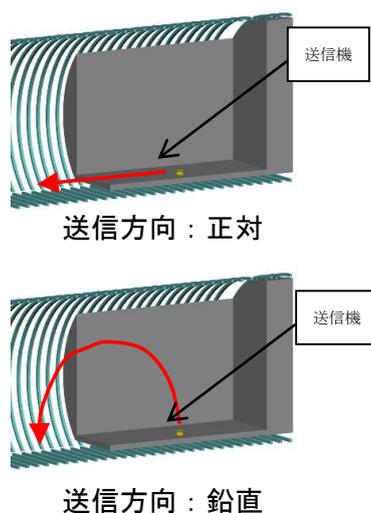


図 4.6-43 低周波電磁波の送信方向

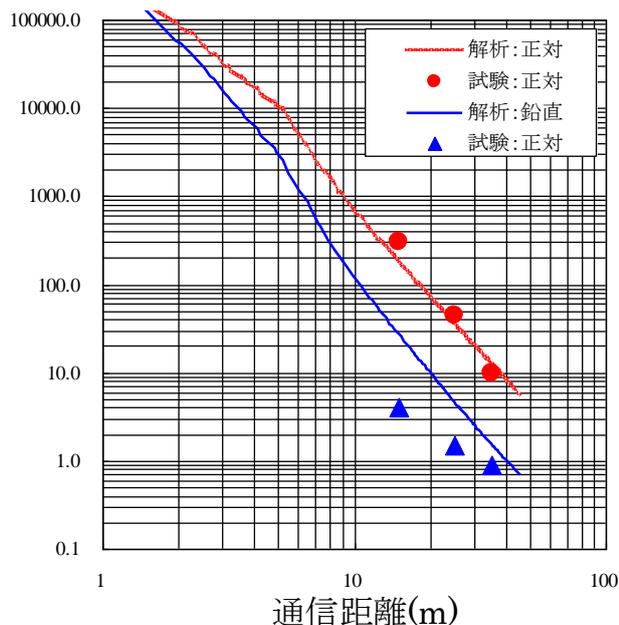


図 4.6-44 解析結果と試験結果の比較

2) 無線送信システムの開発

既往文献[17]では、高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る工学技術として、処分システムの状況等をモニタリングする技術の高度化開発を行っている。その中で開発した地中無線システムの種類を表 4.6-33 に示す。小型地中無線送信装置 A (図 4.6-45)、B (図 4.6-46) は、装置の直径がそれぞれ $\phi 50\text{mm}$ 、 $\phi 60\text{mm}$ であり、送信距離、耐水・耐圧性能を考慮して、実規模試験においては処分孔の低透水層内に設置することが可能である。受信機については坑道内に設置するスペースがある場合は市販型 1 kHz 用受信機 (直径 $\phi 620\text{mm}$ × 長さ 60mm) と市販型 10kHz 用受信機 (直径 $\phi 1200$ × 長さ 300mm) が使用でき (図 4.6-47)、ノイズレベルを 1mV 程度に抑えたい場合には、坑道から $\phi 100\text{mm}$ 程度の掘削孔を設置することによって、平成 23 年度に開発したボアホール型受信機を掘削孔内に設置することができる (図 4.6-48)。小型地中無線送信装置 C (図 4.6-49) は、装置の直径が $\phi 216\text{mm}$ であり、耐水・耐圧性能が 1 MPa、外部センサを 3 個接続できることから坑道部の埋め戻し材の中に設置することが可能である。中距離無線送信装置 (図 4.6-50) は、形状が直径 $\phi 700\text{mm}$ であるため低透水層、埋め戻し材の中に設置するのは好ましくないが、ノイズレベルが低い場合には岩盤内においてデータ 100m から 150m 先に伝送することが可能であると考えられるため、小形地中無線送信システムと連携して中継ネットワークシステムへの活用が期待される。また、平成 24 年度の中継システム用に開発した長距離無線送信装置 (図 4.6-51) は、中距離送信装置の約 10 倍以上の送信距離の確保が可能であると考えられる。

表 4.6-33 地中無線システムの種類

タイプ	寸法	送信距離	耐水耐圧性能	送信環境	受信機タイプ
小型地中無線送信装置 A	φ 50×130mm	25m	3MPa	掘削孔→坑道	市販型
小型地中無線送信装置 B	φ 60×200mm	12m	10MPa	地上（日本）	市販型
小型地中無線送信装置 C	φ 216×330mm	100m	1MPa	地上（仏）	小型受信機 B
		40m	1MPa	地上（仏）	小型受信機 A
		13m	1MPa	掘削孔→掘削孔	小型受信機 B
中距離無線送信装置	φ 700×60mm	240m	-	地上（仏）	市販型
		50m	-	坑道→坑道	市販型
長距離無線送信装置	3,000×3,000mm	-	-	-	-



図 4.6-45 小型地中無線送信装置 A

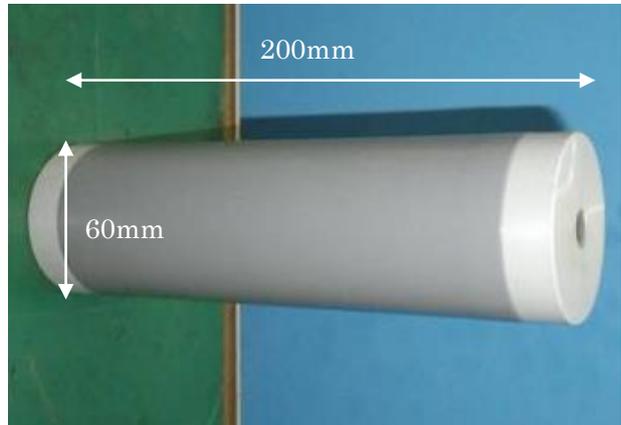
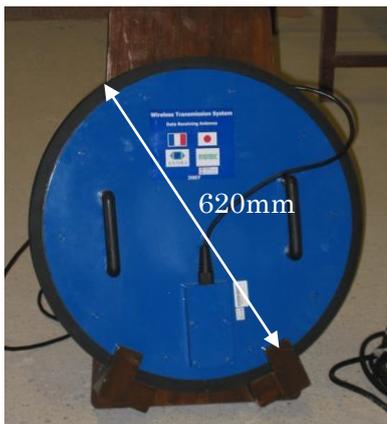
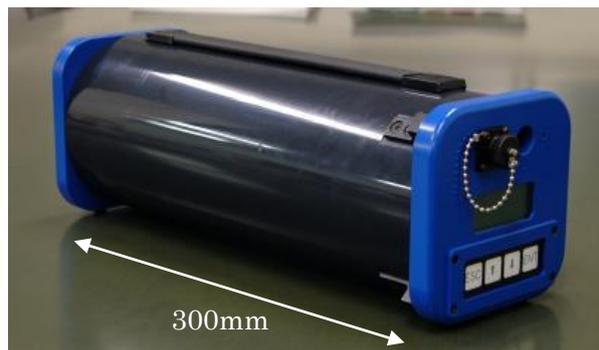


図 4.6-46 小型地中無線送信装置 B



(1) 1 kHz 用受信機



(2) 10 kHz 用受信機

図 4.6-47 坑道に設置スペースがある場合に使用可能な受信機（市販型）

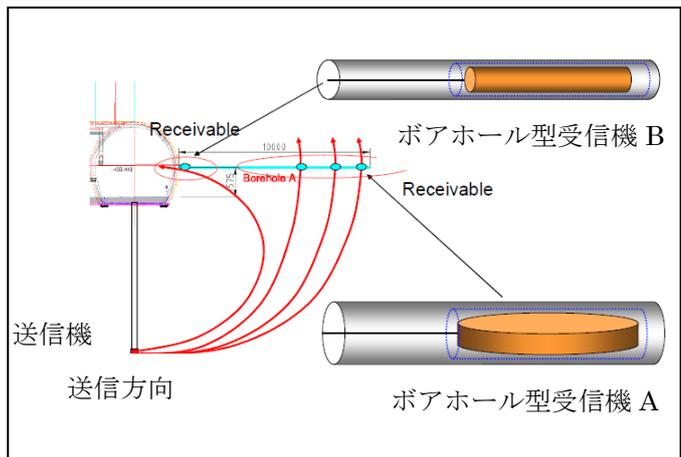
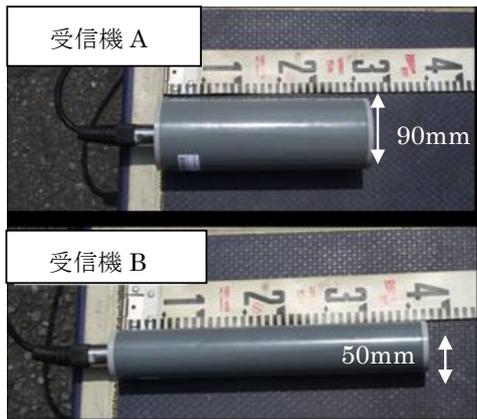


図 4.6-48 ボーリングコア対応受信機



図 4.6-49 小型地中無線送信装置 C

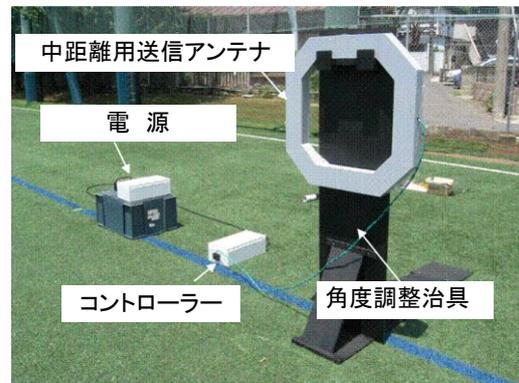


図 4.6-50 中距離無線送信装置

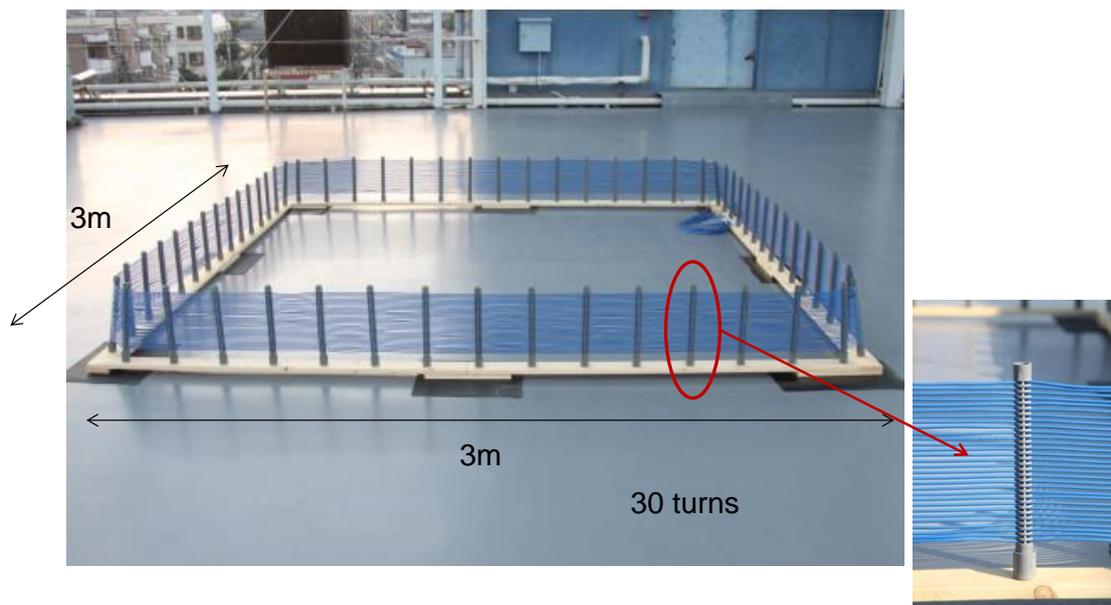


図 4.6-51 中継システム用の長距離無線送信装置

4.6.4 既設計測機器の活用方法

平成 19 年度～26 年度の地下空洞型処分施設性能確証試験および確認試験における挙動計測の目的は、施工時および施工後の試験施設の力学挙動と周辺岩盤への影響を把握し、試験施設の健全性を評価することであった。

前述のとおり、現在、試験施設および周辺岩盤の挙動は収束しており、当初の目的は達成している。平成 27 年以降は追加施工が現在予定されていないため、試験施設は空洞内の季節的な温度変化のみによる挙動が発生することが予想される。平成 19 年度～26 年度に設置した計測機器の 9 割以上が現在正常に稼働していること、また、平成 20 年に設置した無線通信設備においては計画時の運用期間が 10 年であり、平成 30 年頃まではデータの取得が可能であることから、現在稼働している計測機器に関しては、今後も計測を継続することにより、①データの蓄積、②計測機器の耐久性確認、③新規計測器設置時に周辺に与える影響確認を行うことに利用できると考えられる。既設計測機器の活用方法を表 4.6-34 に整理した。

表 4.6-34 既設計測器機の活用方法

目 的	内 容
データの蓄積	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実規模大の人工バリア施設における挙動計測の事例は少なく、取得されるデータは今後の研究開発にとって貴重なデータとなるため、計測を継続して行う。
既設計測器の耐久性確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設計測器の耐久性を、既設計測器の稼働実績等により確認する。
新規計測器設置時に周辺に与える影響確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 新規計測器を設置する際、場の乱れ等の影響を既設計測器の計測値により確認する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・

4.6.5 本年度の既施設の挙動計測

今年度の実施内容を表 4.6-35 に示す。

表 4.6-35 実施内容

実施項目	
(1)計測データ回収	1) 既設計器の計測データ回収
	2) 地震計メンテナンス・計測データの回収
	3) 間隙水圧計測
	4) 地中無線データの回収
(2)計測データの整理	
(3)計測システムの保守・点検	1) 既設静的設備の保守・点検
	2) 間隙水圧計他点検
	3) 計測システム構築（変更）、システム諸種・点検
(4)地震計の移設作業	

(1) 計測データ回収

1) 既設計測機器のデータ回収

現場計測室の計測用 PC より、既設計器で計測されたデータを回収した。対象計器は、表 4.6-36 既設計器一覧に示す各部材に設置されている 631 個から動作不良の間隙水圧計 11 箇所を除く 620 個とした。

実施日：平成 27 年 12 月 2 日、平成 28 年 2 月 10 日

表 4.6-36 既設計器一覧

年度	部材名称	計器種別	数量	計	
H19	坑内環境	温湿度（百葉箱）	1	1	
		周辺岩盤挙動	間隙水圧計 岩盤変位	31 6	37
	埋戻し材	ひずみ計	106	215	
		有効応力計	18		
		無応力計	4		
		鉄筋計	34		
		温度計	53		
	H20	底部緩衝材	土圧計	8	31
			加速度計	1	
			沈下計	5	
温度計			1		
水分計			12		
底部低拡散材		間隙水圧計	4	62	
		ひずみ計	30		
		有効応力計	6		
		無応力計	1		
		温度計	15		
H21	底部コンクリートピット	継目計	5	57	
		せん断変位計	5		
		ひずみ計	30		
		有効応力計	10		
		無応力計	1		
	側部コンクリートピット	傾斜計	1	80	
		温度計	15		
		ひずみ計	26		
		有効応力計	6		
		無応力計	2		
H22	手前部 コンクリートピット	温度計	26	32	
		鉄筋計	20		
		無応力計	1		
		ひずみ計	10		
		温度計	11		
	側部低拡散材	温度計	2	57	
		有効応力計	16		
		低剛性型有効応力計	1		
		無応力計	2		
		ひずみ計	6		
H23	充填材	せん断変位計	4	1	
		土圧計	6		
	上部充填材	加速度計	2	3	
		土圧計	1		
		温度計	1		
	側部緩衝材	土圧計	1	2	
		温度計	1		
		土圧計	1		
	H24	上部コンクリートピット	土圧計	2	12
			加速度計	1	
ひずみ計			6		
無応力計			1		
温度計			3		
上部低拡散材		有効応力計	2	34	
		ひずみ計	18		
		無応力計	1		
		温度計	9		
		有効応力計	6		
H25	上部緩衝材	土圧計	1	2	
		加速度計	1		
H26	上部埋戻し材	沈下計	1	2	
		温度計	1		
全計測器数量				631	

2) 地震計メンテナンス・計測データの回収

地震計のメンテナンスおよび計測データの回収を実施した。地震の発生状況については、地震速報などを活用して把握し、六ヶ所村での地震動の大きさについては、事前に KiK-net 六ヶ所のデータで概況を確認した。

メンテナンスのチェックシートを添付資料 2、地震動回収データを添付資料 5 に示す。

実施日：平成 27 年 10 月 28 日、12 月 2 日、平成 28 年 2 月 10 日

a. メンテナンス方法

メンテナンスに際してチェックシートを用意し、次の手順で行った。なお、メンテナンスの作業は、1)～9)を協力会社職員および電気工が行った。

メンテナンスの手順

- 1)記録器の LED 表示を目視で確認し、システムが正常に動作していることを確認する。
- 2)NTP サーバ (PC) の画面を目視し、時刻が正常であることを確認する。
- 3)データ回収用 PC を PoE ハブに接続し、または NTP サーバ (PC) を用いて、SetupTool で加速度センサの応答があること、センサの時刻が正常であることを確認する。
→PC 上で SetupTool を起動
「IP アドレス」の欄にセンサのアドレスを入力
「時刻」の欄の表記が正確な時刻であることを確認 (表示される時刻は UTC (世界標準時刻) のため、日本の時刻より 9 時間遅い時刻を表示)
- 4)センサの動作確認のため、あらかじめ、毎日 22 : 00 に定時測定を行うよう設定しておき、メンテナンス日の前日までデータ取得ができていることを確認する。
- 5)メンテナンス時に手動設定により、センサの動作確認を行い、データ取得ができていることを確認する。
- 6)試験空洞内および試験施設に設置している加速度センサ 3 台と PoE ハブ 1 台、メディアコンバータのボックス式 1 台の防水養生ケースをあげ、ケースに損傷がないこと、センサや機器が移動した形跡がないことなど、物理的な影響が与えられていないことを確認する。
- 7)上記の防水養生ケースの中で結露がないことを確認する。また、乾燥剤のインジケータを確認し、寿命を迎えた場合など適切な時期に乾燥剤を交換する。
- 8)ケーブル類を全長にわたって目視し、テーピングや結束がはがれていないこと、上部にものが載っていないことなど異常がないことを確認する。
- 9)ケーブル類が原因で漏電などの電気関係のトラブルが発生した場合、電気工とともに現場に出向き、確認・復旧作業を行う。

b. データ回収方法

データの回収は、地震計のメンテナンスの際に行った。データの回収では、トリガ値の 1 gal を超えているデータがないか確認し、該当しているデータがある場合に回収した。

データの回収は、次の 2 つの手順のいずれかで行った。

【手順 1】 回収するデータ数が少ない場合

- 1) NTP サーバ (PC) に USB メモリを接続
- 2) データ保存フォルダのデータを USB メモリにコピー

【手順 2】 回収するデータ数が多い場合

- 1) 記録器のコンパクトフラッシュカードを初期設定済みの予備のカードと交換
- 2) データ回収用 PC にコンパクトフラッシュカードを USB 接続し、読み取り
- 3) 各センサのフォルダのうち、トリガ値を超えたデータを選択して別のフォルダにコピー保存したファイルを EXCEL の変換ファイル (専用ソフト) で変換し、CSV 形式のデータファイルを作成

回収データの仕様を表 4.6-37 に示す。

表 4.6-37 回収データの仕様

項目	仕 様
トリガ条件	マスタとするセンサ (地震計①試験空洞底盤上 (入力側)) で、XYZ のいずれかが 1gal 以上 (マスタ・スレーブ方式) と設定
トリガ引き伸ばし時間	地震検知時間幅 10 秒 (設定時間の幅の間で加速度が正負両方向とも 1gal を超えたときに、その振動を地震動として検知し、データ回収を開始)
プレトリガ時間	トリガ検知前の収集時間 10 秒 (最初に 1gal を超えたところから遡ってデータ回収をする時間)
ポストトリガ時間	地震収束判断時間 60 秒 (最後に 1gal を超えたところから以降のデータ回収をする時間)
サンプリング周波数・時間	周波数 200Hz (1 秒間に 200 データを取得) 時間 最小で 3 分間 (180 秒、36,000 データ)
出力形式	データ変換後、CSV ファイル形式 1 列目に取得時刻、2~4 列目に XYZ の加速度データ (gal)

c. データ整理方法

トリガ値の 1gal を超えている回収データのうち、連続的にデータを取得している場合、地震以外のデータである可能性が高いので、当日の現場作業や KiK-net 六ヶ所・気象庁の地震データの有無と照合し、地震データではないことを確認したうえで、整理するデータのリストから消去した。

地震動のデータを取得している場合、気象庁 Web の地震情報などを活用し、発生時刻、震源地の位置（座標）、震源深さ、マグニチュード、震源地などを付加情報として整理した。また発生時刻については、取得データの記録と大きなずれがないことを確認した。

地震動のデータについては、センサごとに、加速度時刻歴のグラフを XYZ の順に作成した。

3) 間隙水圧計測

計測対象とする間隙水圧計は、過年度に故障により連続計測を実施していない 9 箇所 (A-①、B-②、B-④、C-②、C-③、C-④、D-④、E-④、E-⑤)、代替器による計測を行っている 2 箇所 (C-⑤、D-⑥) の計 11 箇所である。代替機で計測を実施している 2 箇所については、現場計測室にて計測値の確認・記録を行った。計測は年 1 回実施した。

実施日：平成 27 年 11 月 9 日～11 月 10 日

a. 計測坑 B の計測作業方法

計測坑 B 内に位置している B-1 孔は、試験空洞壁面付近でボーリング孔先端が水理計測断面③に接するように、鉛直から 15° 傾斜(水平から 75° 傾斜)して掘進されている(図 4.6-52 参照)。このボーリング孔に、図 4.6-53 に示すように 5 つのパッカーで 5 つの計測区間を構築し、それぞれの計測区間から坑口まで立ち上げたチューブ内に 5 台の水位計を挿入して水面位置までの圧力水頭を計測した。

これらのうち、機能喪失した B-②および B-④に手ばかり水位計を図 4.6-54 のように挿入して水面までの深さを計測し、この深さをボーリング孔の傾斜で補正して水面標高を算出した。

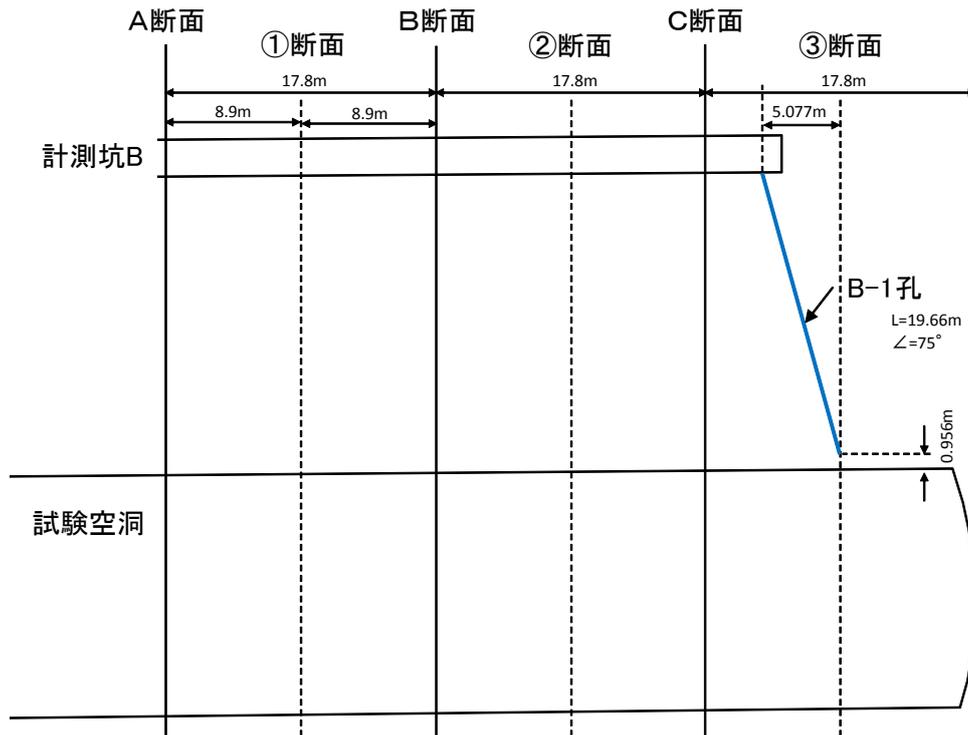


図 4.6-52 B-①孔の配置 (試験空洞沿い縦断面図)

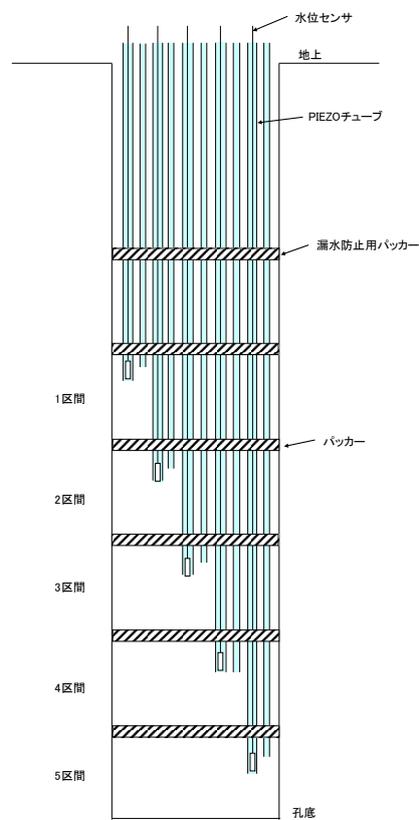


図 4.6-53 計測坑 B の間隙水圧計の概要図



図 4.6-54 手ばかり水位計による水位測定状況

b. 計測坑 B 以外の計測作業方法

計測坑 B 以外（計測坑 A、C および試験空洞 D、E）では、図 4.6-55 に示すように各計測区間から導出された圧力計測チューブの先端に、間隙水圧計が設置されている。これらのうち機能喪失した 7 ヶ所(A-①、C-②、C-③、C-④、D-④、E-④、E-⑤)に、準備した圧力計および圧力表示器を接続して間隙水圧を計測した。使用機器を表 4.6-38 使用機器一覧に示す。水頭換算した計測圧力と圧力計の設置標高から、それぞれの区間の水位を算出した。

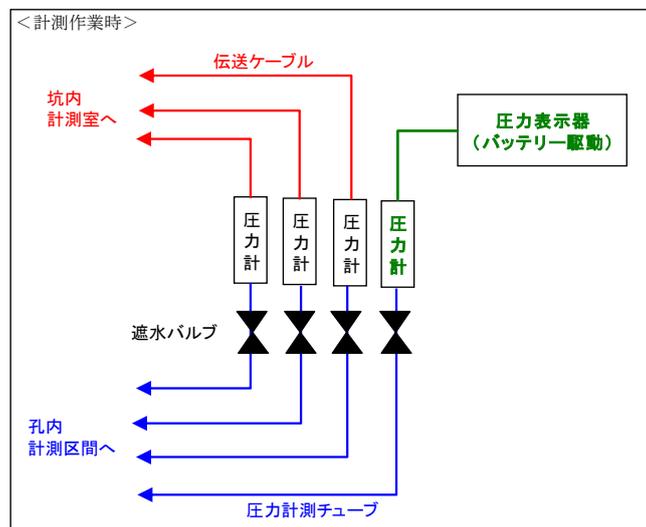


図 4.6-55 計測作業方法の概要

表 4.6-38 使用機器一覧

使用機器	仕様	台数
圧力計	測定レンジ：0～1MPa 精度：±0.1% 出力：4～20mA 電源：12～30VDC	1台
圧力表示器	電源：バッテリー方式 入力：4～20mA 電源出力：24VDC 表示：圧力表示（測定レンジ対応）	1台

c. 計測坑 A の計測結果

計測坑 A の計測結果を表 4.6-39 に、間隙水圧の経時変化を図 4.6-56 に示す。

なお、A-③は今年度の点検により計器の故障が判明したため、追加で計測した。

A-①では、昨年 12 月の測定時と同様に、チューブ内の水位が口元まで達していないため測定不能であった。A-1 孔の孔口標高が EL-83.55m であることから、A-①の計測区間の水位はこれより低いと判断された。

また、間隙水圧の経時変化で異常が認められた A-③の測定値は EL-81.00m であり、異常が顕著となる前の 2015 年 4 月頃の値と同様の値を示した。

昨年度からの間隙水圧の経時変化では A-③を除き間隙水圧値はほぼ変化していないことから、A-1 孔周辺は概ね安定した水位を維持していることが確認された。

表 4.6-39 計測坑 A (A-①) の計測作業結果

	孔名/計測区間	孔口標高 (EL.m)	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		水位 (EL.m)	備考
計測坑 A	A-1孔 区間①	-83.55	-83.73	昨年度 (平成26年度)	12/11 13:30	-	水位低く測定不能 (EL-83.55mより低い)
				今年度 (平成27年度)	11/10 10:05	-	水位低く測定不能 (EL-83.55mより低い)
	A-1孔 区間③	-83.55	-83.73	今年度 (平成27年度)	11/11 15:00	-81.00	今年度センサ故障が確認されたため手測りで計測

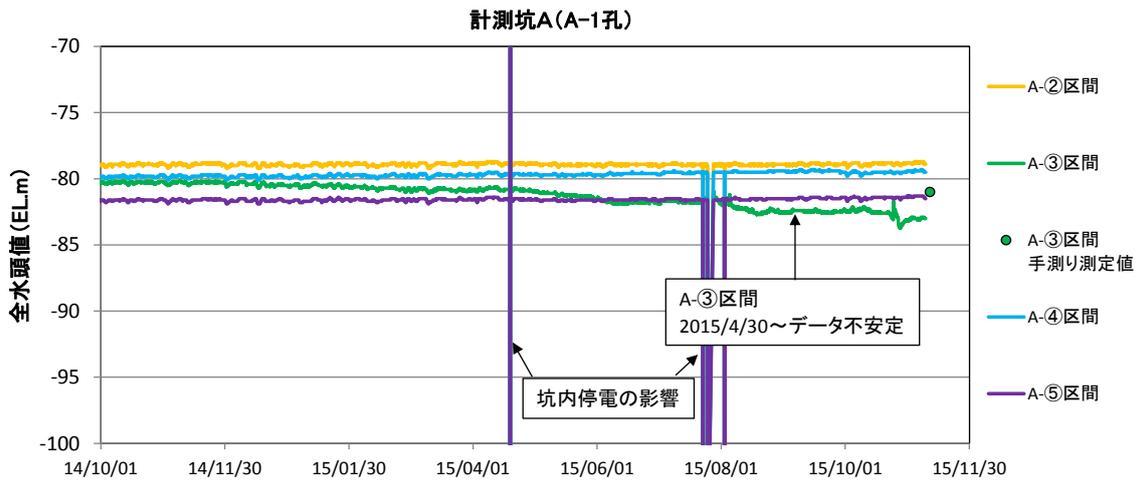


図 4.6-56 間隙水圧経時変化 (計測坑 C、2014/10/1~2015/11/11)

d. 計測坑 B の計測結果

計測坑 B の計測結果を表 4.6-40、間隙水圧の経時変化を図 4.6-57 に示す。

B-②、B-④の手測りによる測定値は、それぞれ EL-66.94m、EL-71.62m であり、昨年 12 月の計測値とほぼ同様の値であった。また、昨年度からの間隙水圧の経時変化からも、B-1 孔周辺においては安定した水位を維持していることが確認された。

表 4.6-40 計測坑 B (B-②、B-④) の計測作業結果

	孔名/計測区間	孔口標高 (EL.m)	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		水位 (EL.m)	備考
				昨年度 (平成26年度)	今年度 (平成27年度)		
計測坑 B	B-1孔 区間②	-54.65	-72.39	12/11 13:50		-66.88	
				11/10 10:20		-66.94	
	B-1孔 区間④	-54.65	-72.39	12/11 13:45		-71.60	
				11/10 10:24		-71.62	

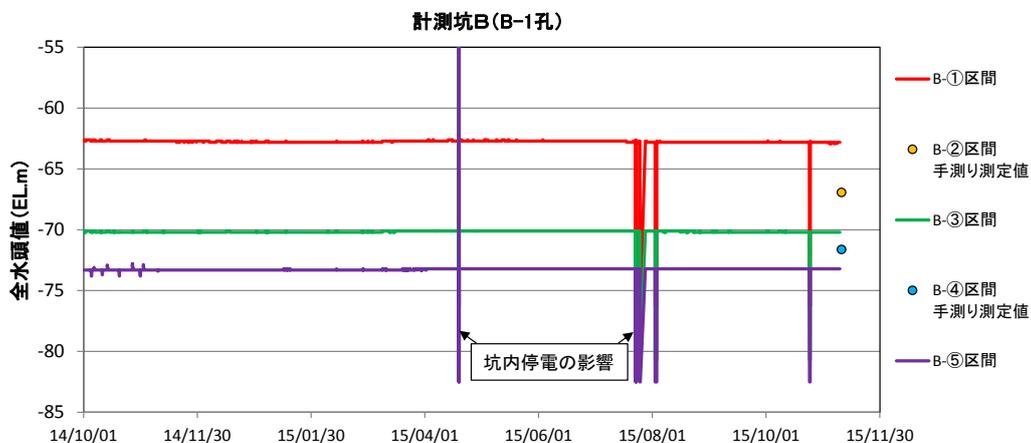


図 4.6-57 間隙水圧経時変化 (計測坑 B、2014/10/1~2015/11/10)

e. 計測坑 C の計測結果

計測坑 C の計測結果を表 4.6-41 に、間隙水圧の経時変化を図 4.6-58 に示す。

なお、C-①は今年度の点検により計器の故障が判明したため、追加で計測した。

C-①の計測値は EL-75.65m であり、間隙水圧の経時変化で異常が顕著となる前の 2015 年 4 月初旬の値と同様の値を示した。

C-②～⑤の計測値は、昨年 12 月の測定値とほぼ同様に EL-80.50m～EL-82.50m を示し、試験空洞に近いほど水位が低い結果となった。

以上より、C-1 孔周辺は概ね安定した水位を維持していることが確認された。

表 4.6-41 計測坑 C (C-①～⑤) の計測作業結果

	孔名/計測区間	孔口標高 (EL.m)	センサ設置標高(EL.m)	測定日時		水位 (EL.m)	備考
				今年度 (平成27年度)	昨年度 (平成26年度)		
計測坑 C	C-1孔 区間①	-83.55	-83.45	11/11 14:30		-75.65	今年度センサ故障が確認されたため手測りで計測
	C-1孔 区間②	-83.55	-83.45	12/11 11:18		-80.43	
				11/10 8:46		-80.50	
	C-1孔 区間③	-83.55	-83.45	12/11 11:13		-81.66	
				11/10 9:06		-81.71	
	C-1孔 区間④	-83.55	-83.45	12/11 11:54		-81.84	
				11/10 9:28		-81.84	
	C-1孔 区間⑤	-83.55	-83.45	12/11 8:00		-82.50※	代替センサによる計測中 ※代替センサによる計測値
				11/10 9:42		-82.50※	代替センサによる計測中 ※代替センサによる計測値

※C-⑤については、代替センサによる計測を実施しており、圧力計による計測をせず、計測値を確認・記録した。

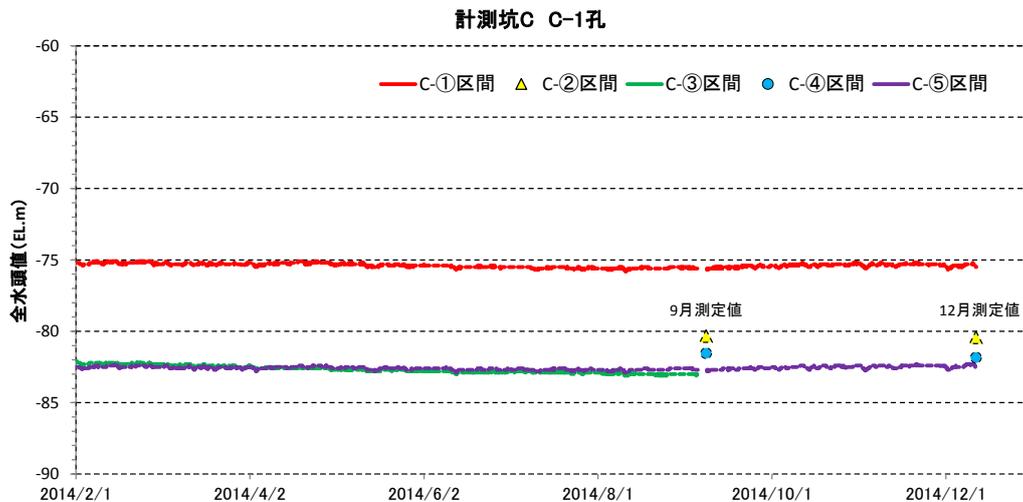


図 4.6-58 間隙水圧経時変化 (計測坑 C、2014/10/1～2015/11/11)

f. 試験空洞の計測結果

試験空洞（D-1 孔、E-1 孔）での計測作業結果を表 4.6-42、間隙水圧の経時変化図を図 4.6-59～図 4.6-60 に示す。D-1 孔は試験空洞のインバート部から鉛直下向き方向、E-1 孔は試験空洞先端の妻壁から水平方向の間隙水圧変化を計測している。

なお、D-①、E-①は今年度の点検により計器の故障が判明したため、追加で計測した。

測定の結果、D-①の測定値は EL-89.35m であり、間隙水圧の経時変化で異常が顕著となる前の 2015 年 7 月初旬の値と同様の値を示した。

D-④、⑥の測定値はそれぞれ EL-83.78m、EL-78.20m であり、昨年 12 月の測定値とほぼ同様であった。

また、E-①の測定値は EL-84.64m であり、間隙水圧の経時変化で異常が確認される前の 2014 年 10 月初旬の値と同様の値を示した。

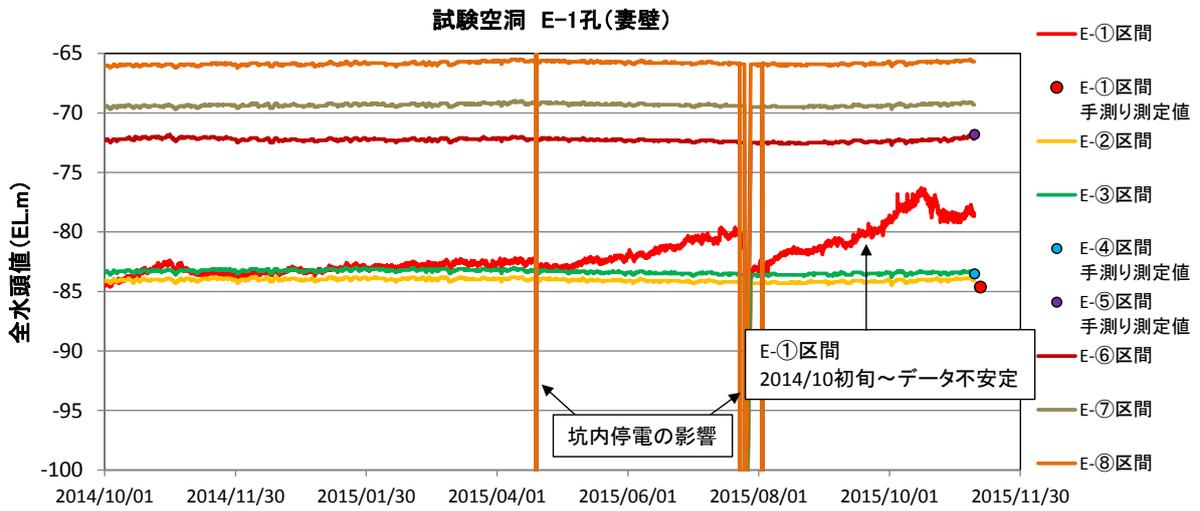
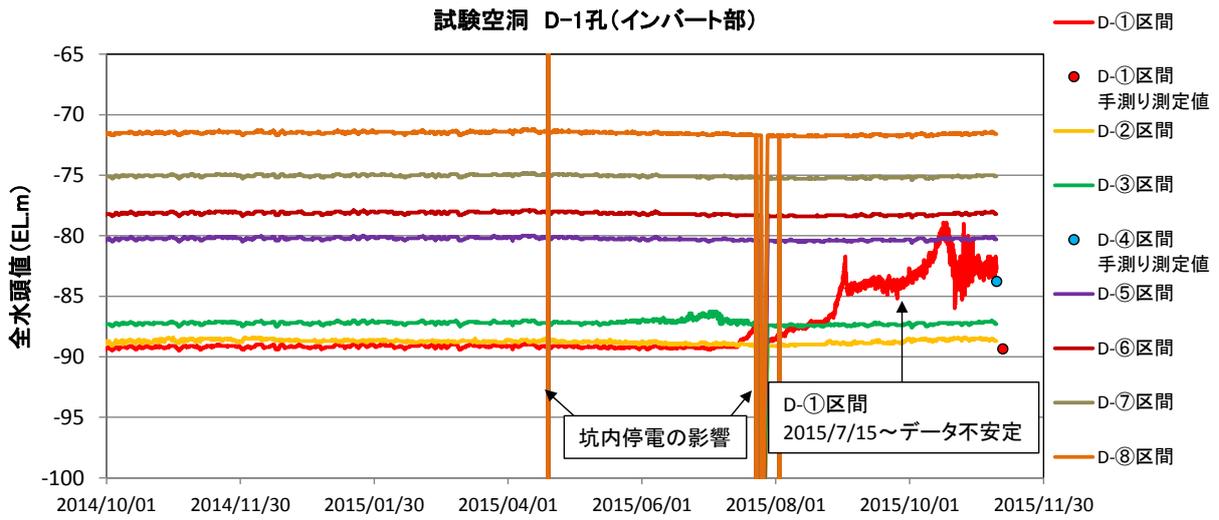
E-④、⑤の測定値はそれぞれ EL-83.52m、EL-71.82m であり、昨年 12 月の測定値とほぼ同様であった。

昨年度と比較すると間隙水圧の測定値は多少の変動が認められるもののその差は小さく、間隙水圧の経時変化からも D-1 孔および E-1 孔周辺において間隙水圧は概ね安定していることが確認された。

表 4.6-42 試験空洞（D-①、D-④、D-⑥、E-①、E-④、E-⑤）の計測作業結果

	孔名/計測区間	孔口標高 (EL.m)	センサ設置 標高(EL.m)	測定日時		水位 (EL.m)	備考
				今年度 (平成27年度)	11/12 9:40		
試験 空洞	D-1孔 区間①	-90.92	-90.2	今年度 (平成27年度)	11/12 9:40	-89.35	今年度センサ故障が確認されたため手測りで計測
	D-1孔 区間④	-90.92	-89.40	昨年度 (平成26年度)	12/11 9:15	-83.79	
				今年度 (平成27年度)	11/9 14:56	-83.78	
	D-1孔 区間⑥	-90.92	-89.40	昨年度 (平成26年度)	12/11 8:00	-78.10 [※]	代替センサによる計測中 ※代替センサによる計測値
				今年度 (平成27年度)	11/9 15:17	-78.20 [※]	代替センサによる計測中 ※代替センサによる計測値
	E-1孔 区間①	-84.40	-89.50	今年度 (平成27年度)	11/12 10:09	-84.64	今年度センサ故障が確認されたため手測りで計測
	E-1孔 区間④	-84.40	-89.50	昨年度 (平成26年度)	12/11 10:30	-83.52	
				今年度 (平成27年度)	11/9 15:17	-83.52	
	E-1孔 区間⑤	-84.40	-89.50	昨年度 (平成26年度)	12/11 10:48	-71.87	
				今年度 (平成27年度)	11/9 15:37	-71.82	

※D-⑥については、代替センサによる計測を実施しており、圧力計による計測をせず、計測値を確認・記録した。



4) 地中無線データ回収

底部緩衝材の施設挙動計測の一環として、平成 20 年に同部材を施工した際に温度計、間隙水圧計を内蔵した地中無線送信装置が設置されている。本業務では、送信装置内に記録されているそれぞれの地中無線データを回収した。温度と間隙水圧である。図 4.6-61 にデータを示す。

温度は、坑道内の外気による換気の影響により外気温の年変化の影響を受けていることが分かる。間隙水圧については、低透水層中に水が浸入していないため間隙水圧計のフィルター内の気圧を測定している状態であり、設置時の 1 気圧のまま変化していない。図 4.6-62 にデータ回収状況を示す。通信システムは受信地点に受信機と命令送信機をセットし、埋設されている無線通信装置と常時双方向通信できるようになっているが、現在は、受信機を定期的にセットし、データを回収する形式で運用中である。

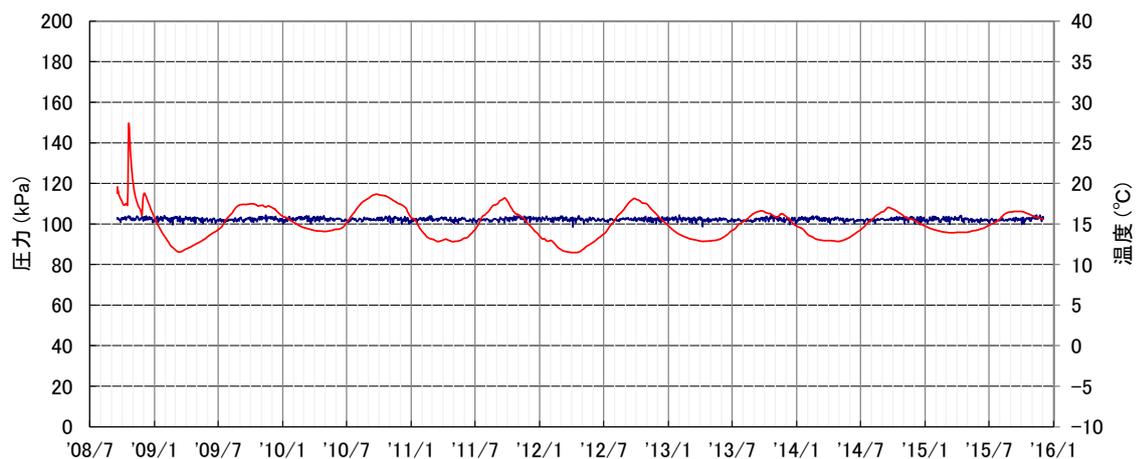


図 4.6-61 無線通信装置で測定中の低透水層中の温度と間隙水圧



図 4.6-62 地中無線データ回収状況

また、地中無線計器近傍に有線計器を設置しており（図 4.6-63）、双方の温度計データを図 4.6-63、間隙水圧計データを図 4.6-64 に示す。これより、地中無線計器の計測値は近傍の有線計器の計測値と同等であり、設置後約 7 年経過時点で、地中無線装置が正常に作動していることを確認した。

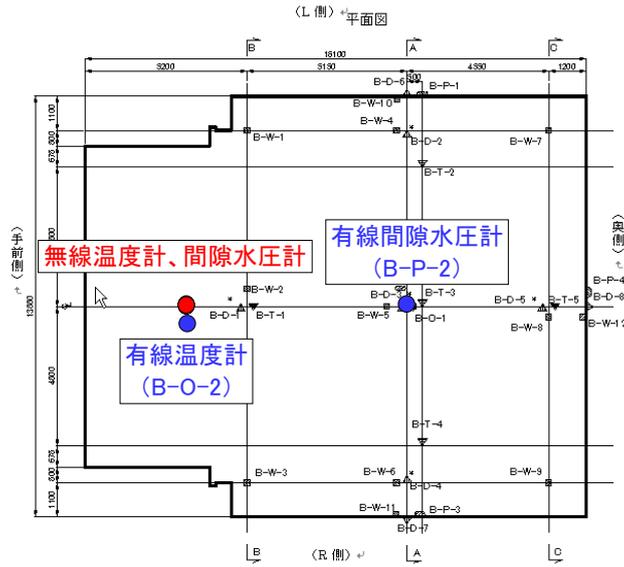


図 4.6-63 地中無線計器および有線計器の設置位置

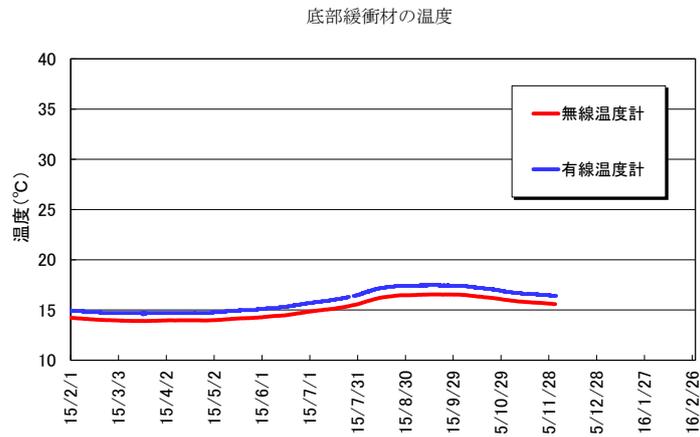


図 4.6-64 地中無線計器と有線計器の温度データ回収結果

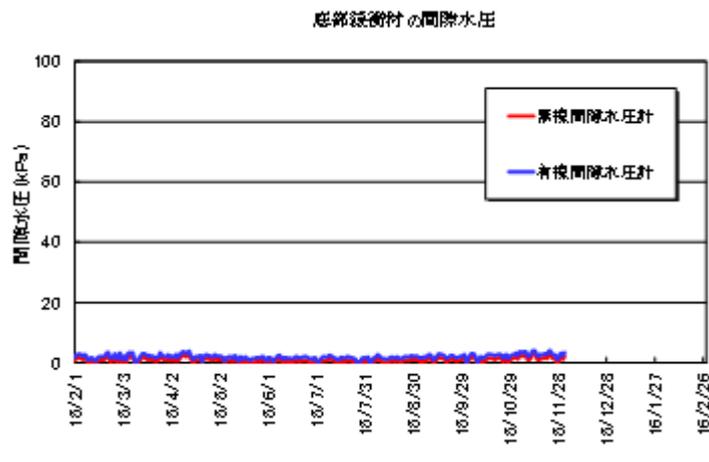


図 4.6-65 地中無線計器と有線計器の間隙水圧データ回収結果

(2) 計測データの整理

今年度回収した計測データを整理、集約した。対象項目を表 4.6-43 に示す。

表 4.6-43 計測データ整理対象項目

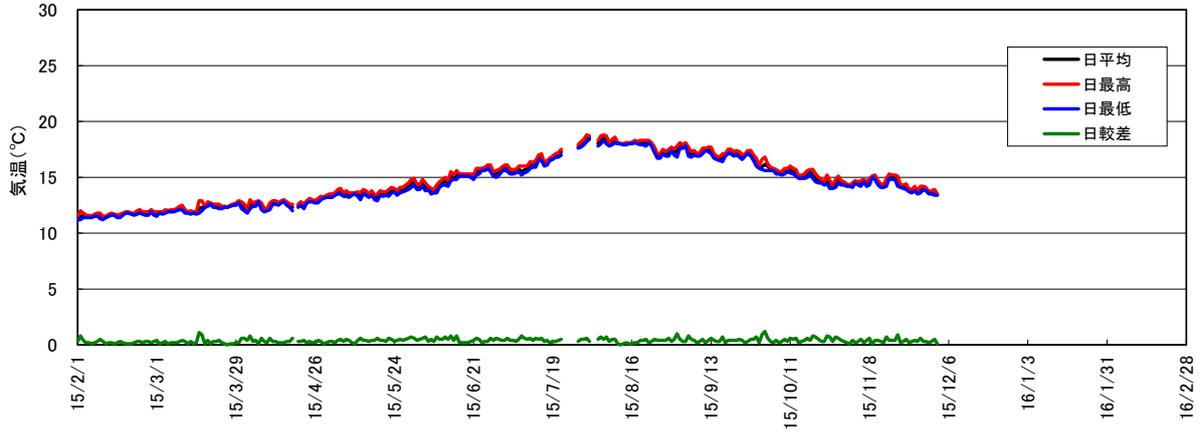
項目	内容	データ格納先
既設静的計測データ	経時変化図	添付資料 4
地震動観測データ	経時変化図、付加情報	添付資料 5

整理した図の例として、坑内環境（百葉箱温湿度計）の経時変化を図 4.6-66、上部埋戻し材の沈下計および温度計の経時変化を図 4.6-67～図 4.6-68、周辺岩盤挙動の岩盤変位計の経時変化を図 4.6-69、間隙水圧計の経時変化を図 4.6-70～図 4.6-71、観測された地震動データのうち最大加速度を記録した 2016 年 1 月 14 日の加速度時刻歴を図 4.6-72～図 4.6-74 に示す。



平面図

百葉箱气温



百葉箱湿度

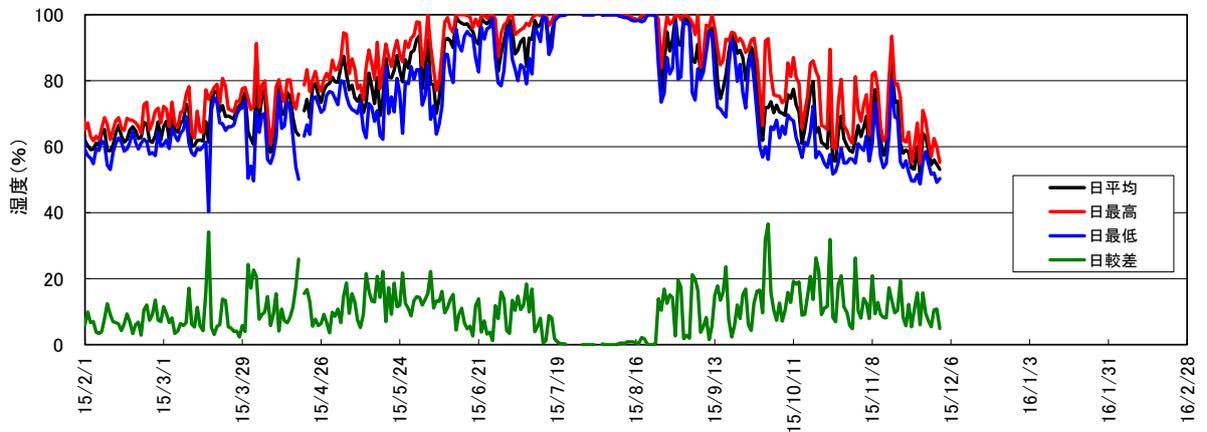
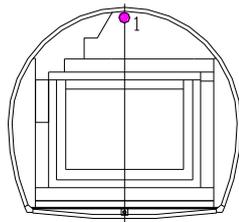


図 4.6-66 百葉箱温湿度計測結果



計測結果の凡例

U-T-x
↓
位置

上部埋戻し材の沈下

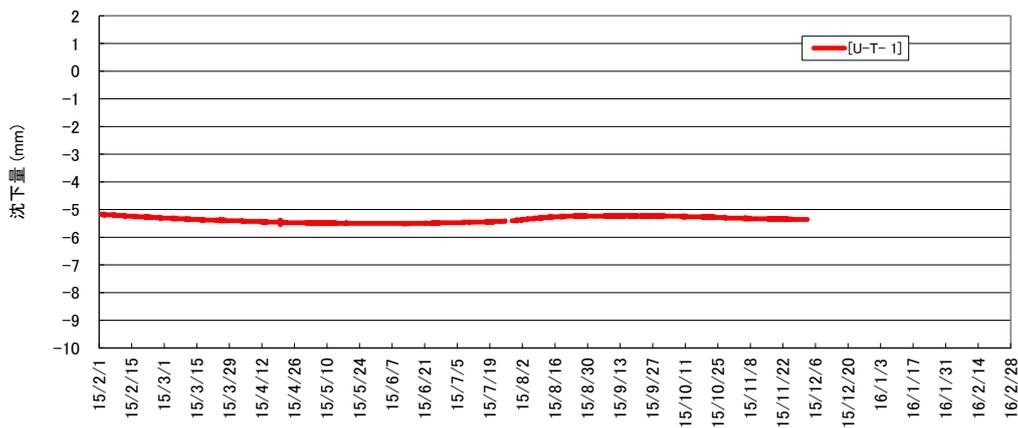
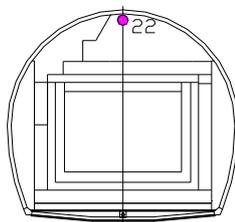


図 4.6-67 上部埋戻し材の沈下計測結果



計測結果の凡例

U-O-x
↓
位置

上部埋戻し材の温度

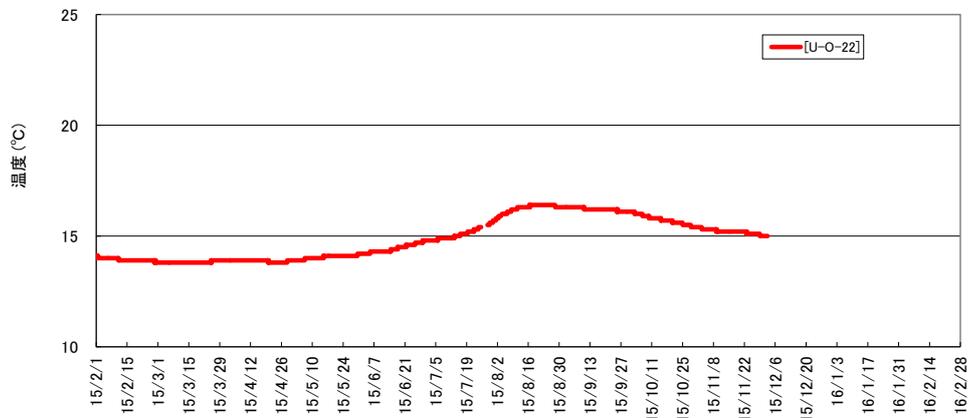
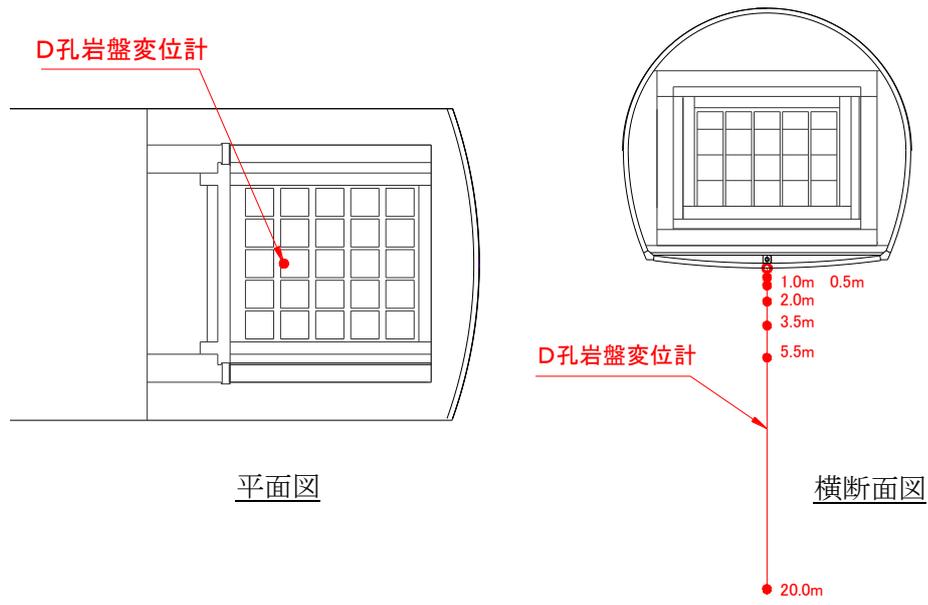


図 4.6-68 上部埋戻し材の温度計測結果



D孔岩盤變位經時變化

+: 上昇 - : 沈下

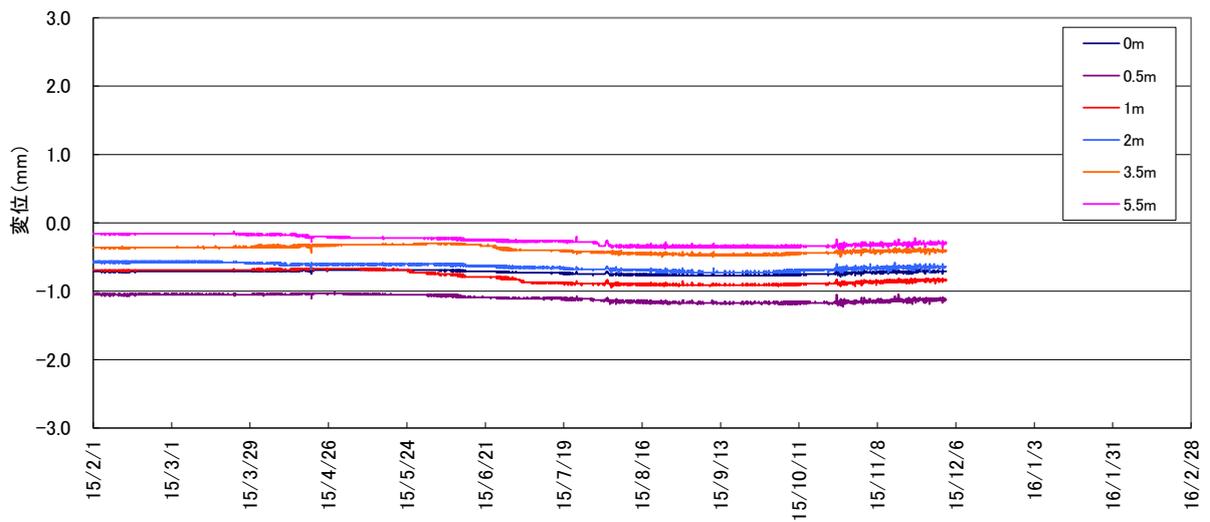
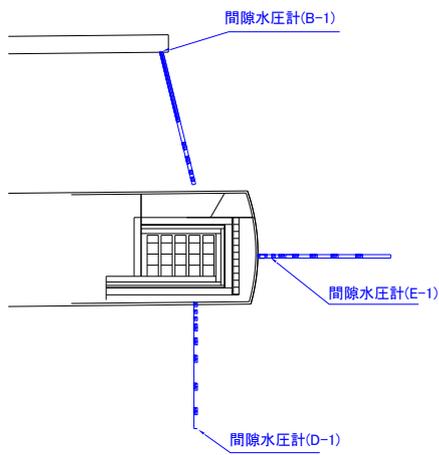
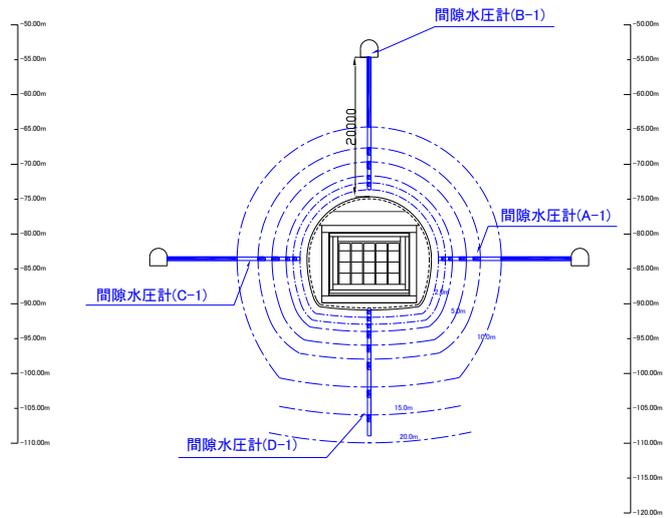


図 4.6-69 岩盤變位計測結果

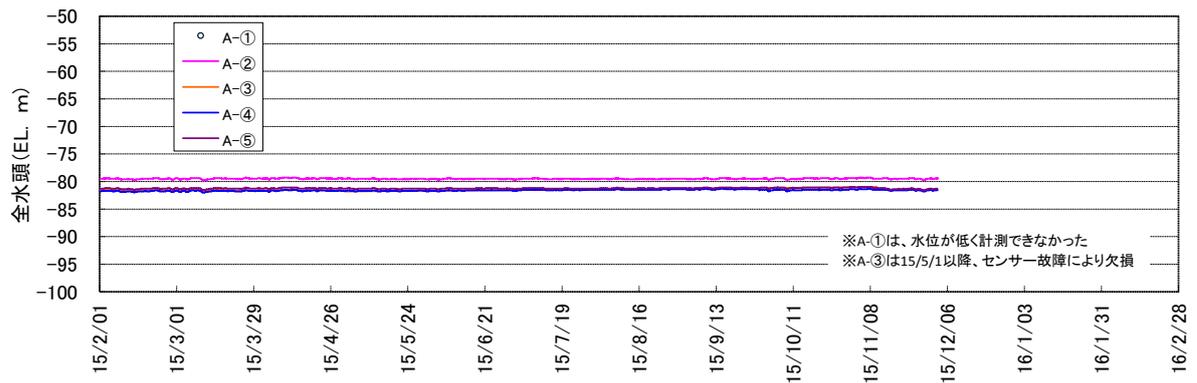


(試験空洞縦断面図)



(試験空洞横断面図)

A-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



B-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

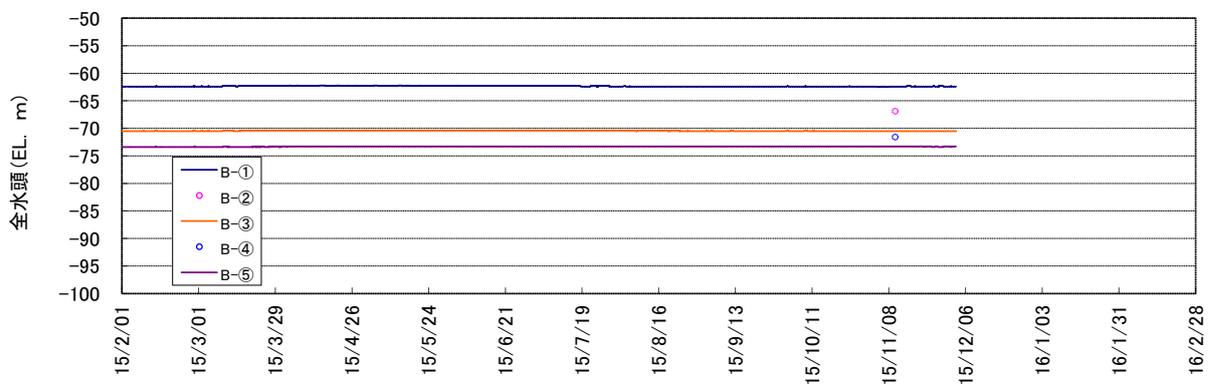
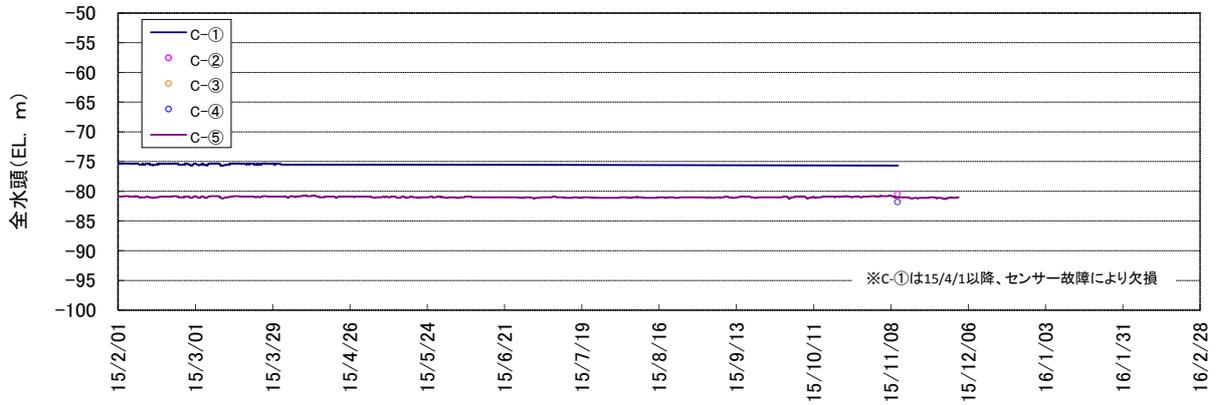
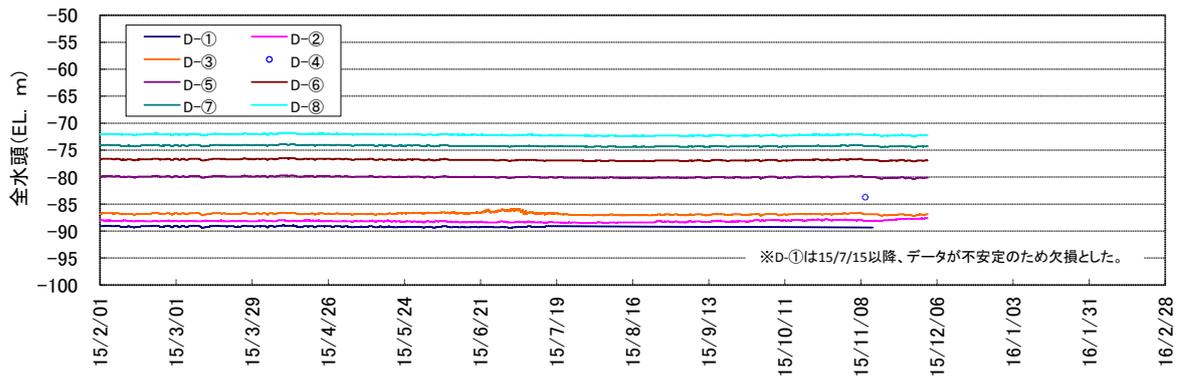


図 4.6-70 岩盤内間隙水圧計測結果 (1/2)

C-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



D-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



E-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

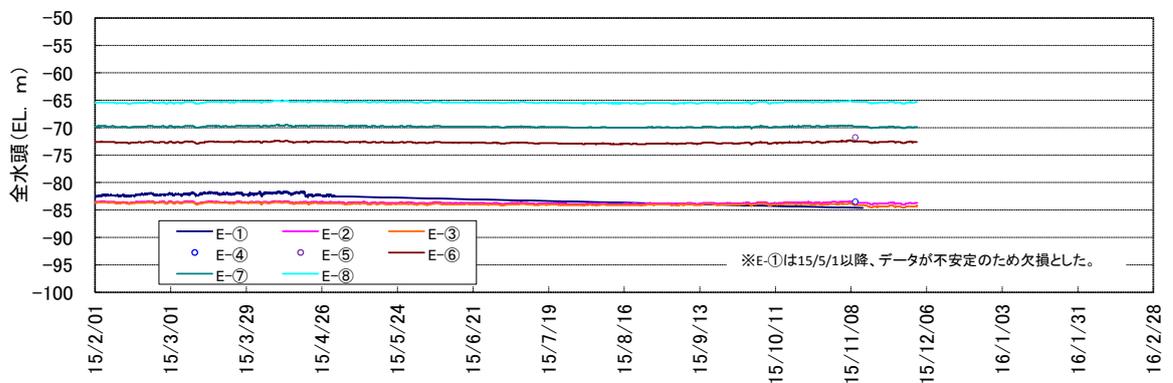
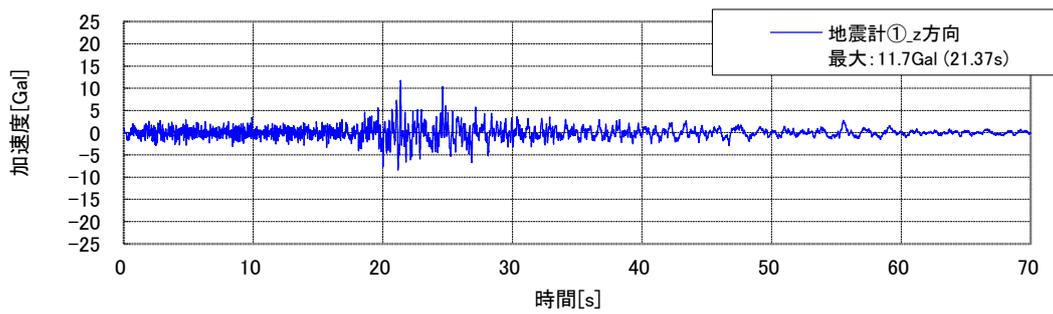
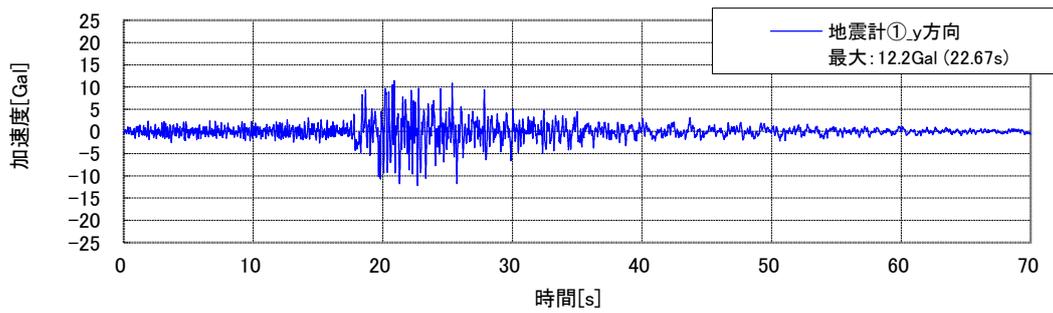
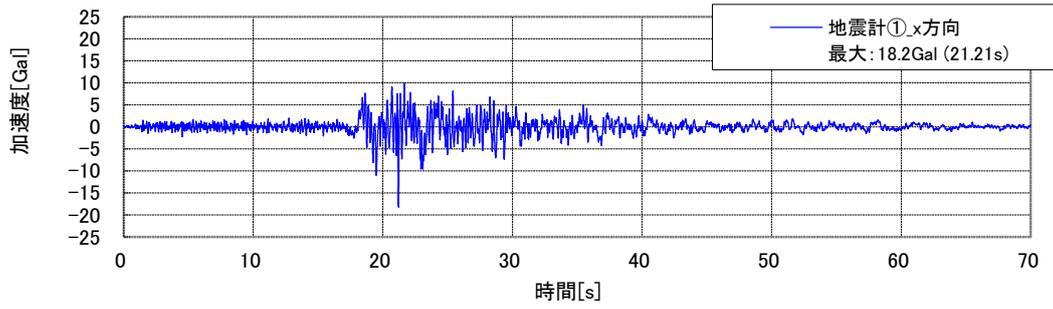
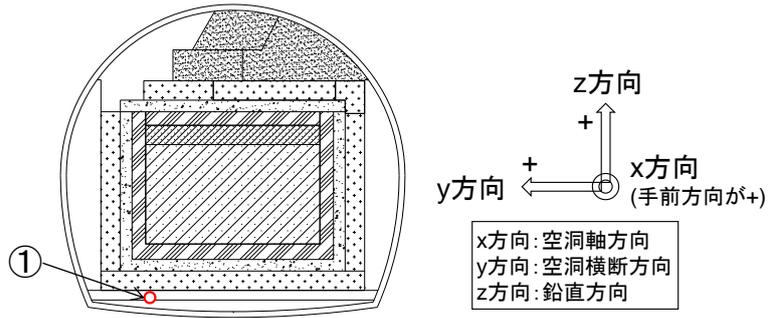
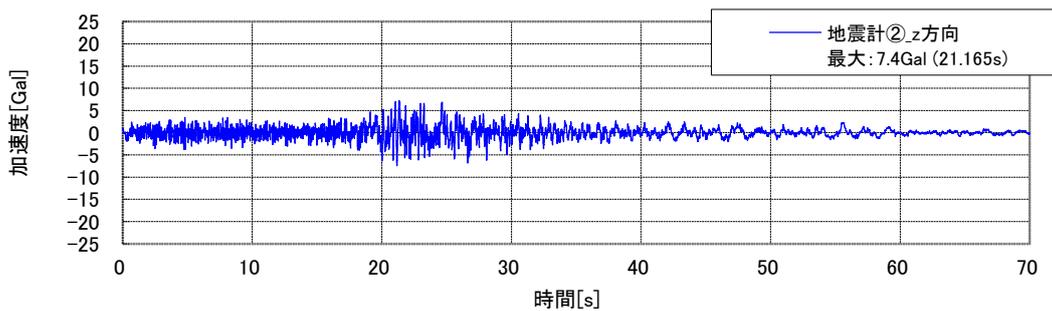
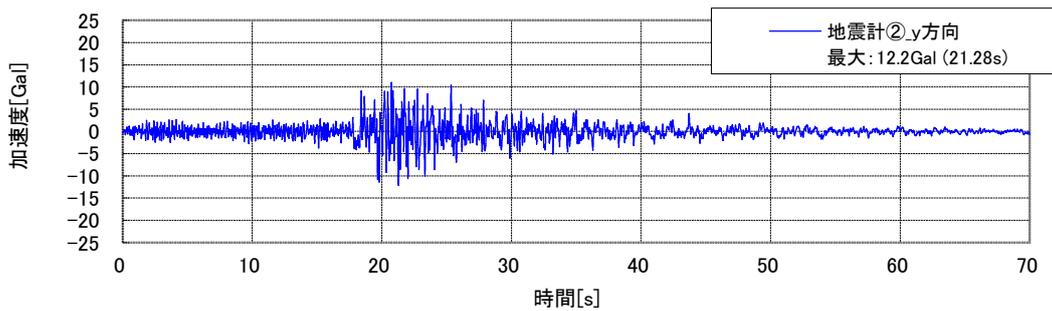
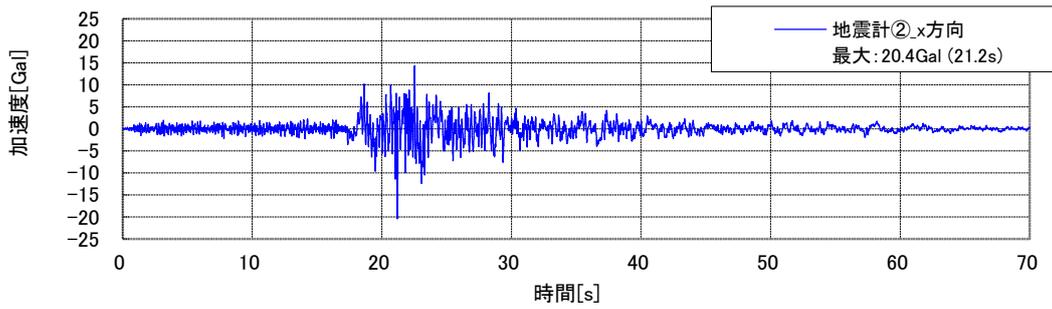
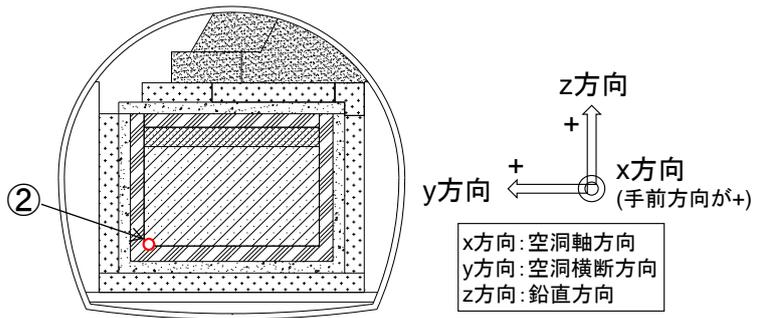


図 4.6-71 岩盤内間隙水圧計測結果 (2/2)



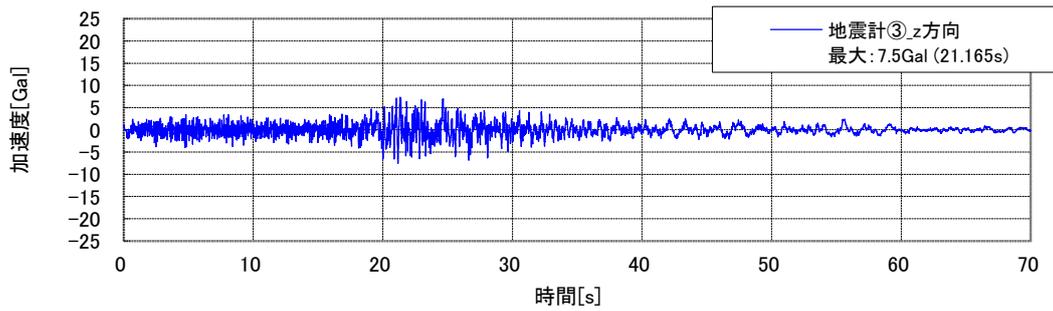
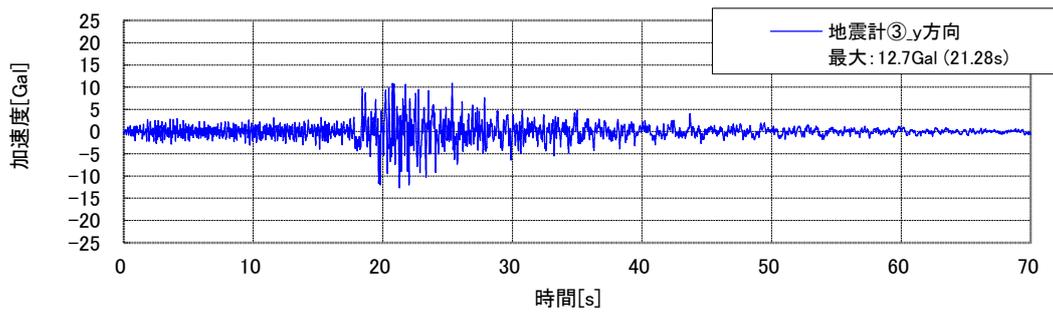
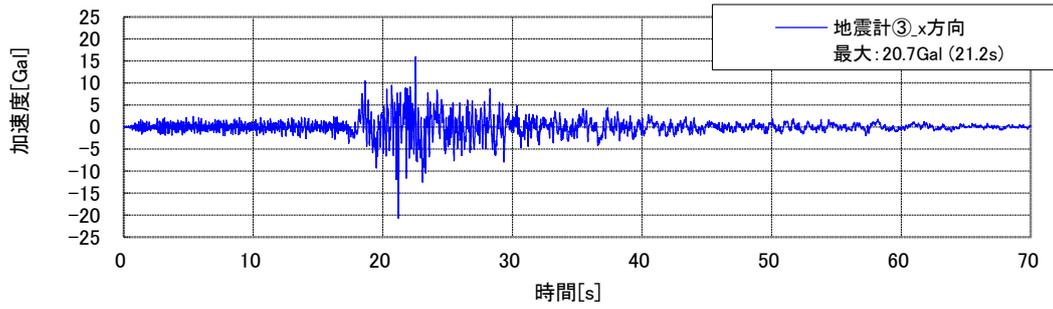
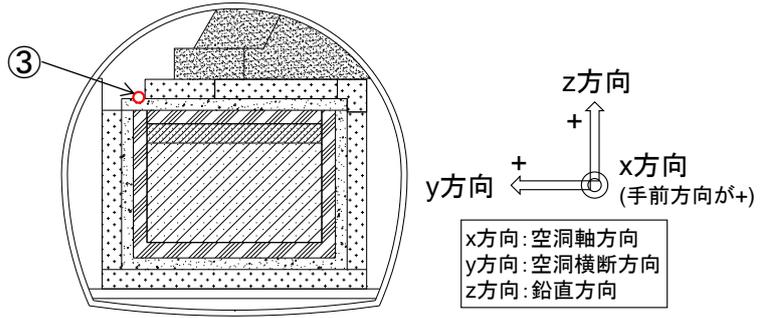
※上から x、y、z 方向

図 4.6-72 地震計①の加速度時刻歴 (2016年1月14日)



※上から x、y、z 方向

図 4.6-73 地震計②の加速度時刻歴 (2016 年 1 月 14 日)



※上から x、y、z 方向

図 4.6-74 地震計③の加速度時刻歴 (2016年1月14日)

(3) 計測システムの保守・点検

1) 既設静的設備の保守・点検

対象計測器は、これまでに設置された計測器 631 個から間隙水圧計（計 31 個）を除く 600 個である。なお周辺岩盤内の間隙水圧計の点検は、「4.6.2 (1)」で実施した。

実施日：平成 27 年 11 月 9 日

○ 静的計測設備点検

a. 調査手順

(a) 絶縁検査

既設測定器データロガーTDS-303にて絶縁測定を行う。

(b) バラツキ検査

既設測定器データロガーTDS-303にてバラツキ測定を行う。

b. 上記調査異常の場合

(a) 線間抵抗測定

テスターにて線間抵抗の測定をする。

(b) 持ち込み指示計測定

デジタルひずみ計 TC31Kにて測定する。

静的計測計器点検よび測定の判定基準を表 4.6-44 に示す。

表 4.6-44 静的計測計器点検判定基準一覧表

検査項目	判定基準
絶縁検査	5 0 MΩ 以上
バラツキ検査	± 5 マイクロ (st) 以内
線間抵抗	赤黒間 350 Ω (±10 Ω 以内) 白緑間 350 Ω (±10 Ω 以内)
TC31K 測定	± 5 マイクロ (st) 以内

c.判定方法

(a) (絶縁、バラツキ) 異常の場合
スイッチ BOX、計測器双方異常の可能性あり。

(b) (絶縁、バラツキ、線間抵抗、持ち込み指示計) 検査異常の場合
センサー異常の可能性あり。

(c)措置

スイッチ BOX 異常の場合	(チャンネルの交換)
センサー異常の場合	(異常個所の記録と報告)

b. 点検結果

点検結果を添付資料 2 に示す。

2) 間隙水圧計他点検

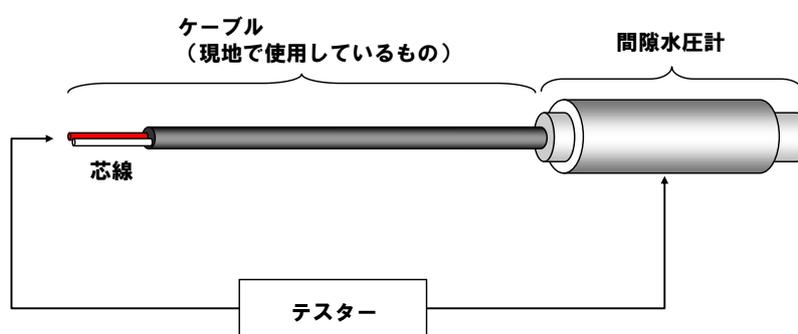
岩盤挙動計測設備の岩盤変位計（6個）および間隙水圧計（31個）から動作不良な間隙水圧計11個を除く26個の点検・校正係数の取得（傾き、大気圧下出力）を実施した。岩盤変位計については「4.6.2(1)」で実施した。

実施日：平成27年11月9日～11月12日

○点検方法

a. 絶縁抵抗検査

間隙水圧計の内部と外部とが完全に絶縁されていることを確認するため、絶縁抵抗検査を実施した。絶縁の基準は10M Ω とした。絶縁抵抗検査の概要図を図4.6-75に示す。



※芯線と間隙水圧計本体との間の抵抗を計測

図 4.6-75 絶縁抵抗検査の概要図

b. 出力特性検査

間隙水圧計に圧力を作用させ、圧力に応じた出力が精度の範囲で得られ、間隙水圧計が正常に動作することを確認するため、出力特性検査を実施した。

出力特性検査の概要図を図4.6-76に示す。室内で、ポータブル圧力校正器（GEセンシング株式会社製DPI610PC）により標準圧力を発生させて間隙水圧計に印加し、圧力に応じた出力を確認した。この際、印加する圧力範囲を間隙水圧計の測定レンジとし、この間を最大5分割して検査を実施した。この検査で、間隙水圧計の精度の範囲で圧力と出力との関係が得られること、また、大気圧下における出力を確認した。

計測坑A、Cおよび試験空洞D、Eの間隙水圧計の仕様を表4.6-45、計測坑Bの間隙水圧計の仕様を表4.6-46、使用する圧力校正器の仕様を表4.6-47に示す。

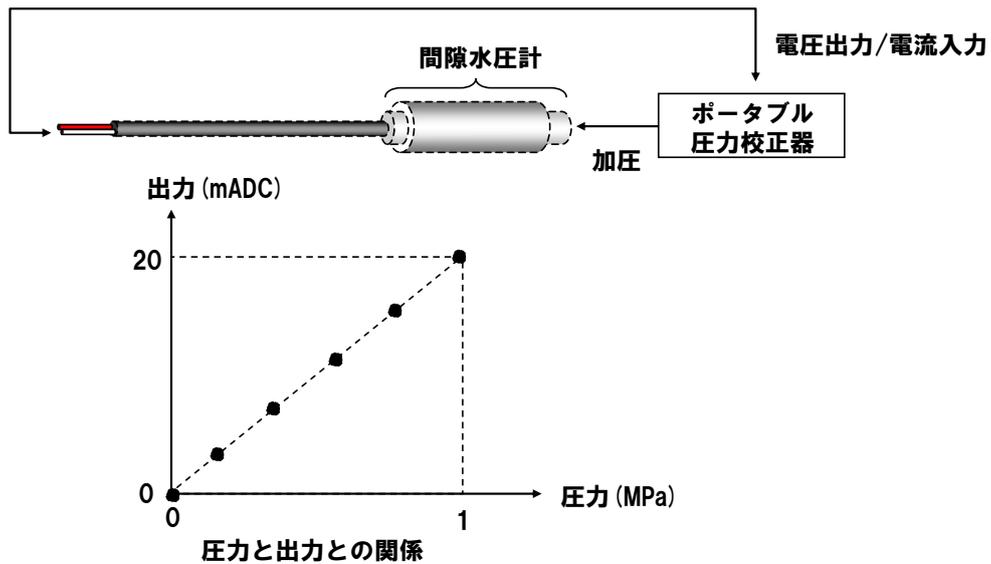


図 4.6-76 出力特性検査の概要図（計測坑 A、C および試験空洞 D、E の例）

表 4.6-45 間隙水圧計の仕様（計測坑 A、C および試験空洞 D、E）

項目	仕様	備考
メーカー	大倉電気(株)	
型式	PT3011 シリーズ	
測定レンジ	0~1MPa	
圧力基準	ゲージ圧	
出力	4~20mADC	2線伝送方式
電源	12~30VDC	
精度	スパンの±0.1%	既設品と同等精度

表 4.6-46 間隙水圧計の仕様（計測坑 B）

項目	仕様	備考
メーカー	ドラック	
型式	PDCR81	
測定レンジ	0~3bar	
圧力基準	ゲージ圧	
出力	0~75mVDC	2線伝送方式
電源	5VDC	
精度	スパンの±0.2%	

表 4.6-47 圧力校正器の仕様

項目	仕様
メーカー名	ドラック
名称	ポータブル圧力校正器
型式	DPI610PC
圧力媒体	気体（空圧）
圧力レンジ	-0.1～1MPa
精度	±0.025FS

c. 結果の評価方法

出力特性検査結果の評価方法を図 4.6-77 に示す。間隙水圧計の健全性を評価し、再設置後の計測値から圧力を換算する換算係数を算出するため、(1)実測出力と定格出力の比較と、(2)補正定格出力の算出を行った。

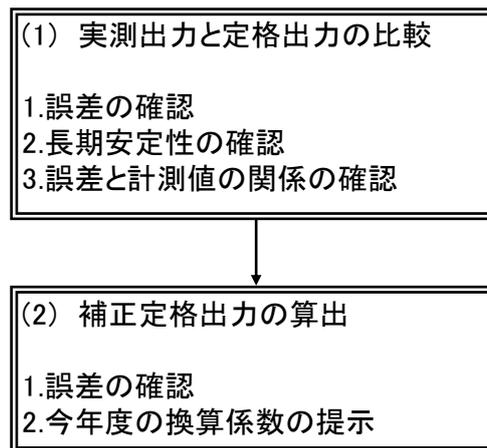


図 4.6-77 出力特性検査結果の評価

まず、(1)実測出力と定格出力の比較では、図 4.6-78 に示すように、“①定格出力”と“②実測出力”の差を“③誤差”とし、この誤差を間隙水圧計の長期安定性（スパンの±0.2%/年）の範囲と比較し、設置後の経過年数に比例した特性変化の有無を確認した。

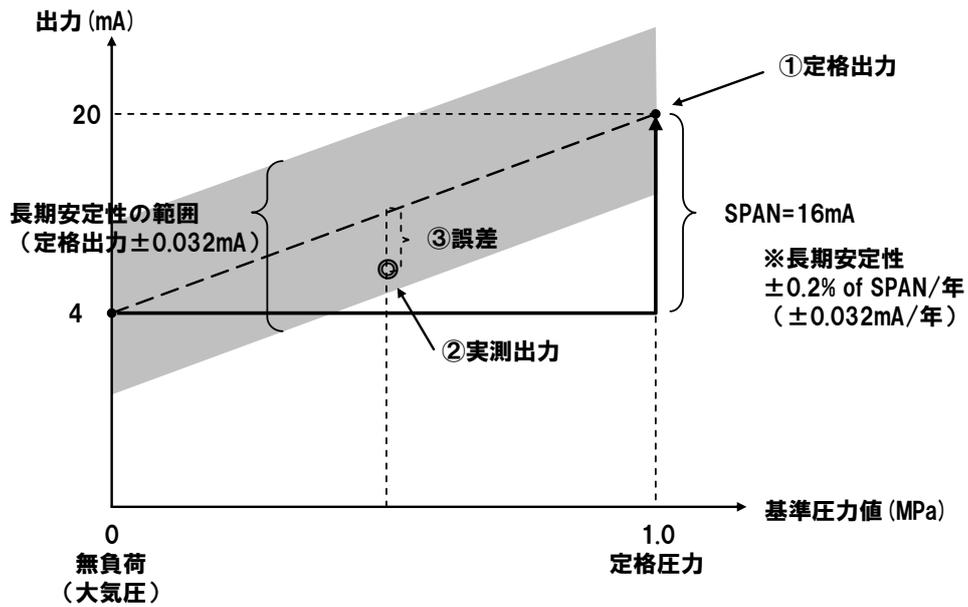


図 4.6-78 間隙水圧計の基本特性 (長期安定性の定義)
[計測坑 A,C、試験空洞 D,E の例]

次に②補正定格出力の算出では、図 4.6-79 に示すように、実測出力を直線近似して得られた“⑤補正定格出力”と“②実測出力”の差を“⑥誤差”として、間隙水圧の精度と比較し、今年度の換算係数を提示した。

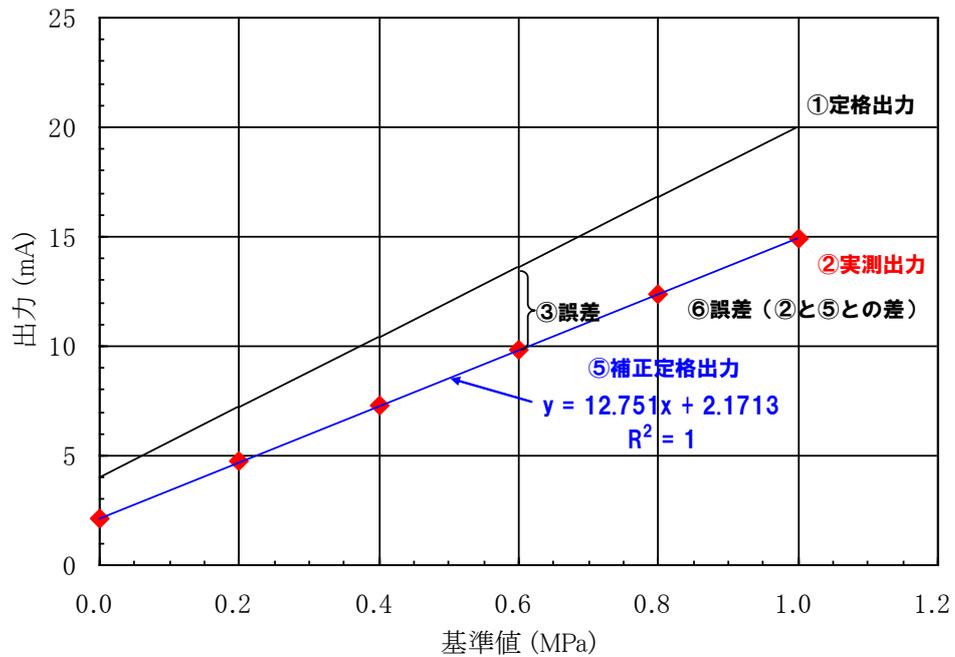


図 4.6-79 補正定格出力の算出

○ 点検結果

現地点検作業の実施状況を表 4.6-48 に示す。

絶縁抵抗検査では、すべての間隙水圧計において絶縁抵抗が 10MΩ 以上であり、異常は認められなかった。

出力特性検査では、すべての間隙水圧計において検査の実施は可能であったが、A-③では各出力値が不安定で落ち着きが悪く、C-①では全体に誤差が大きかった。また、E-①ではゼロ出力値のみ不安定が確認された。その他の間隙水圧計においては特に問題は認められなかった。

表 4.6-48 現地点検作業の実施状況

場所	孔名	孔口標高 (EL. m)	区間名	シリアルNo.	センサ 製造年月	点検作業の結果		備考
						絶縁抵抗検査	出力特性検査	
計測坑A	A-1	-83.55	①	-	-	-	-	計測対象区間
			②	9NA7042001	2009年9月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			③	0NA8012001	2010年10月	異常なし	検査実施(異常あり)	
			④	8NA7063002	2008年8月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			⑤	8NA7063003	2008年8月	異常なし	検査実施(異常なし)	
計測坑B	B-1	-54.65	①	9565	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			②	-	-	-	-	計測対象区間
			③	9915	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			④	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	9920	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
計測坑C	C-1	-83.55	①	9NA7042002	2009年9月	異常なし	検査実施(異常あり)	
			②	-	-	-	-	計測対象区間
			③	-	-	-	-	計測対象区間
			④	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	4NA7009006	2004年	異常なし	検査実施(異常なし)	代替器
試験空洞	D-1	-90.92	①	6NA7091011	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			②	6NA7091012	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			③	6NA7091013	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			④	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	6NA7091015	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			⑥	4NA7009008	2004年	異常なし	検査実施(異常なし)	代替器
			⑦	6NA7091017	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			⑧	9NA7042004	2009年9月	異常なし	検査実施(異常なし)	
	E-1	-84.4	①	6NA7091019	2006年11月	異常なし	検査実施(やや不安定)	
			②	6NA7091020	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			③	6NA7091021	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)	
			④	-	-	-	-	計測対象区間
			⑤	-	-	-	-	計測対象区間
⑥	6NA7091024	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)				
⑦	6NA7091025	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)				
⑧	6NA7091026	2006年11月	異常なし	検査実施(異常なし)				

○ 点検結果の評価

a. 実測出力と定格出力の比較

(a)計測坑 A、C および試験空洞

間隙水圧計の長期安定性を確認するため、今年度の出力特性検査結果から得られた基準値(圧力)と誤差との関係を計測坑 A、計測坑 C、試験空洞 (D-1 孔、E-1 孔) の順に図 4.6-80～図 4.6-83 に示す。これらの図には、1 年あたりの長期安定性 ($\pm 0.2\%FS/\text{年}$) の範囲と、経過年数に比例して長期安定性が劣化するとした場合の範囲をそれぞれ示した。なお、経過年数はそれぞれの間隙水圧計の製造年を基準とした。

計測坑 A では、③区間の間隙水圧計については、設置後 5 年相当における誤差 $\pm 1.0\%FS$ を大きく超過しており、異常と判断された。②、④、⑤区間の間隙水圧計においては、誤差はわずかにプラス側またはマイナス側に一定して振れるものの、長期安定性における誤差範囲内であり、特に異常は認められなかった。

計測坑 C では、①区間の間隙水圧計は設置後 6 年相当における誤差 $\pm 1.2\%FS$ を大きく超過しており、異常と判断した。⑤区間 (代替器) の間隙水圧計については、誤差はわずかにプラス側に振れているものの、長期安定性における誤差範囲内であり、特に異常は認められなかった。

試験空洞 (D-1 孔) では、②区間の間隙水圧計については基準値が大きくなるほど誤差が比例してマイナス側にわずかに大きくなる傾向が認められたものの、すべての間隙水圧計において経年劣化に対する長期安定性の誤差範囲内にあり、特に異常は認められなかった。

試験空洞 (E-1 孔) では、⑥区間の間隙水圧計については誤差が基準値に対してマイナス側に若干大きく振れ、また、①区間の間隙水圧計については誤差が大きくなるほど比例してマイナス側に大きくなる傾向が認められたものの、すべての間隙水圧計において経年劣化に対する長期安定性の誤差範囲内にあり、特に異常は認められなかった。

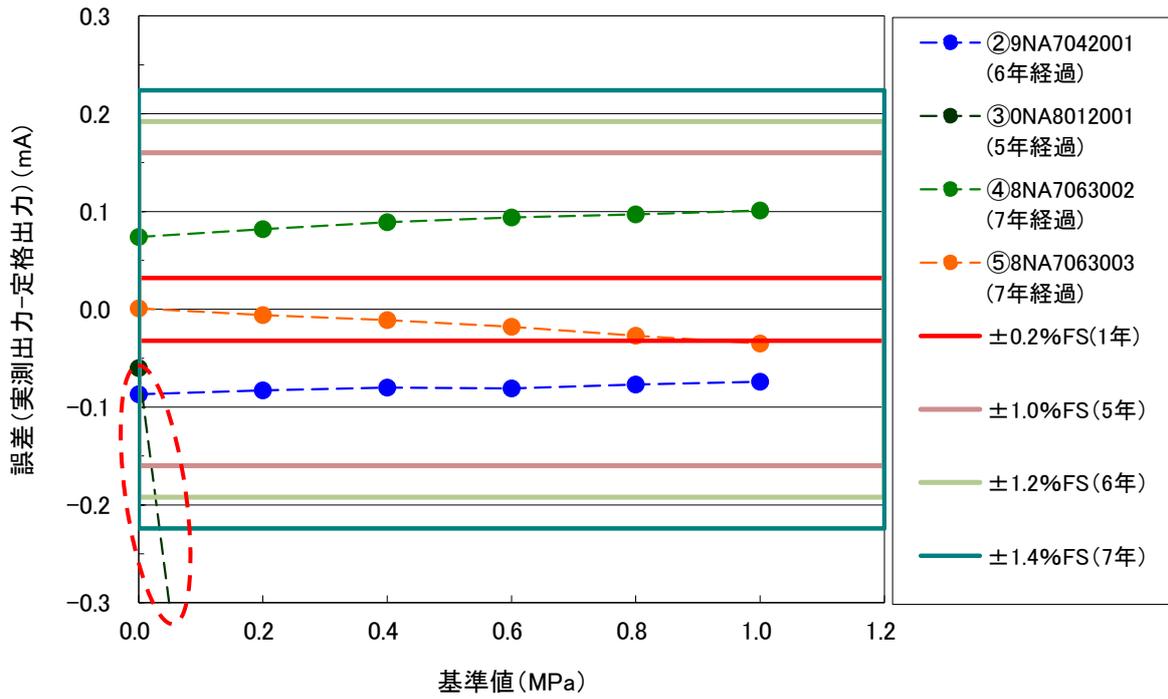


図 4.6-80 出力特性検査の結果 (計測坑 A)

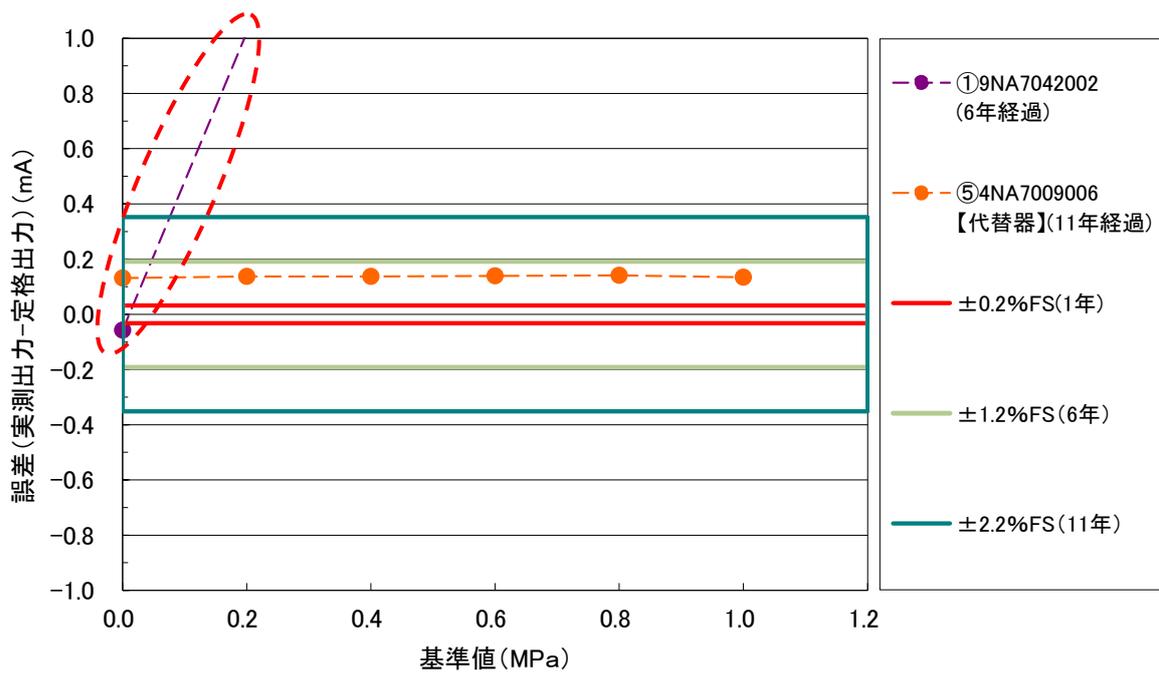


図 4.6-81 出力特性検査の結果 (計測坑 C)

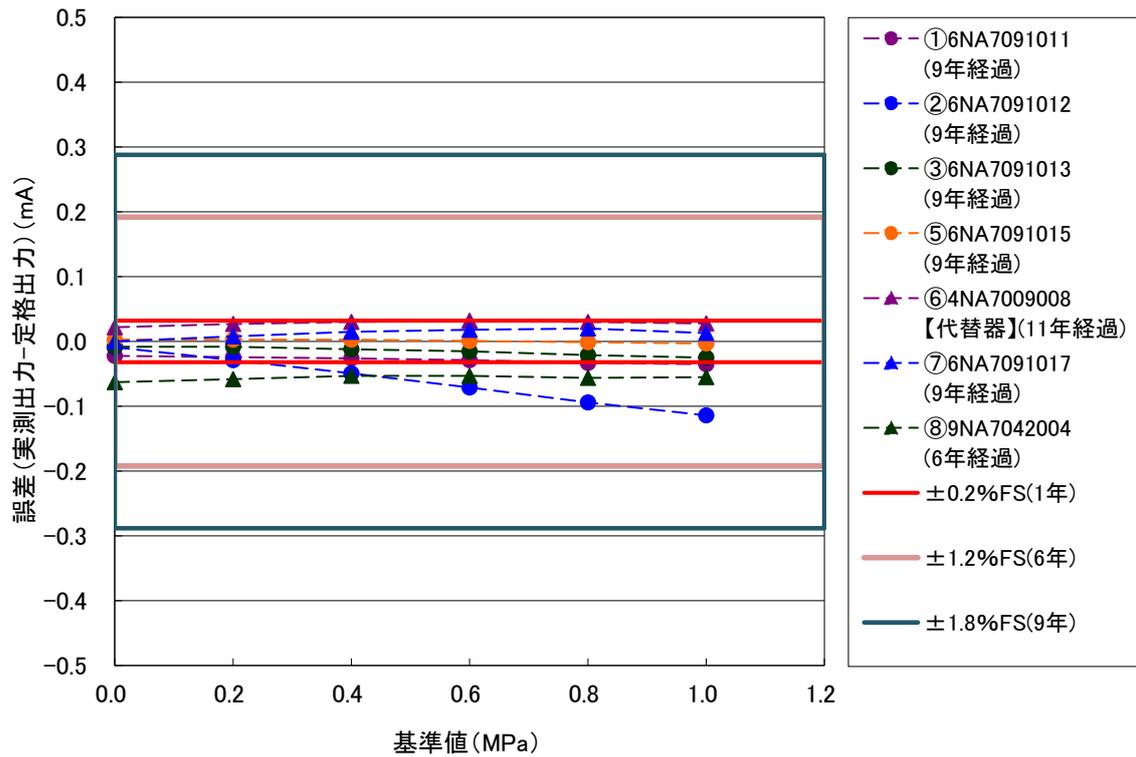


図 4.6-82 出力特性検査の結果（試験空洞（D-1 孔））

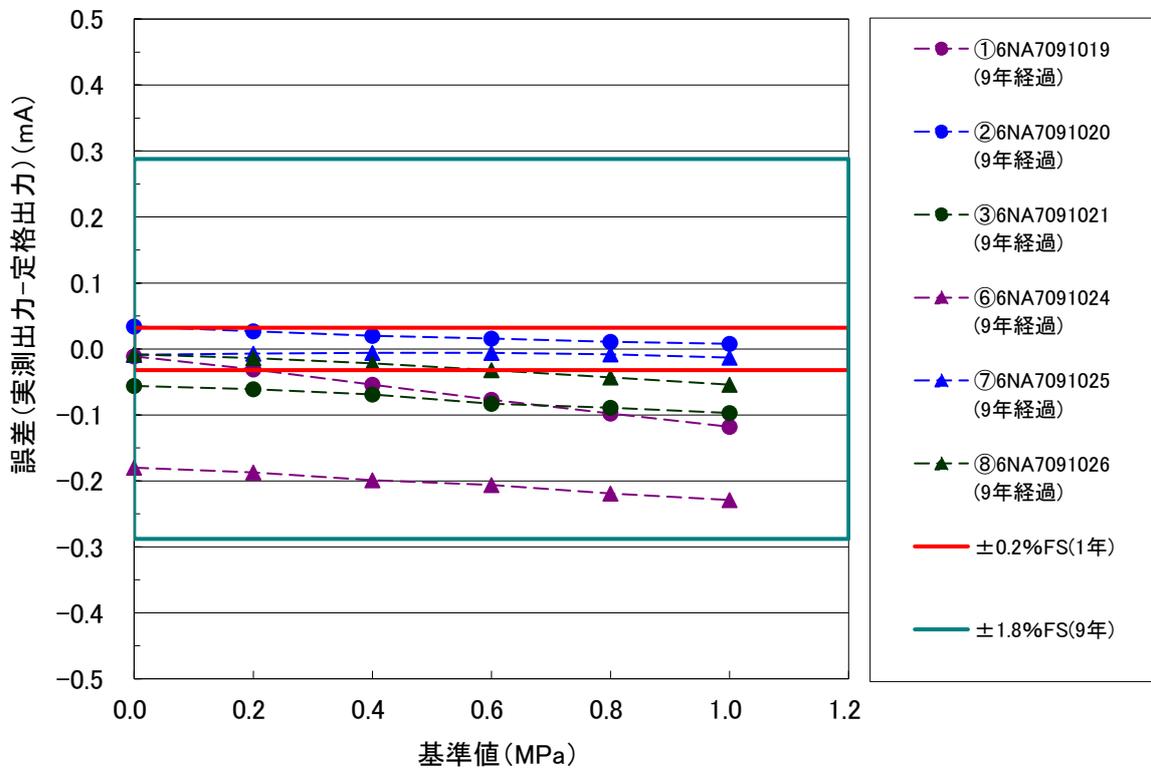


図 4.6-83 出力特性検査の結果（試験空洞（E-1 孔））

(b)計測坑 B

計測坑 A、C、試験空洞と同じく、間隙水圧計の長期安定性を確認するため、今年度の出力特性検査結果から得られた基準値(圧力)と誤差との関係を図 4.6-84 に示す。この図には、1年あたりの長期安定性を、間隙水圧計の精度の2倍(±0.4%FS/年)としてその範囲を示すとともに、経過年数に比例して長期安定性が劣化するとした場合の範囲をそれぞれ示した。

図 4.6-84 に示すとおり、B-①、③、⑤の間隙水圧計は設置後 10 年も経過しているにもかかわらず、誤差は概ね経過年数 1 年の範囲に分布しており、長期安定性について異常は認められなかった。

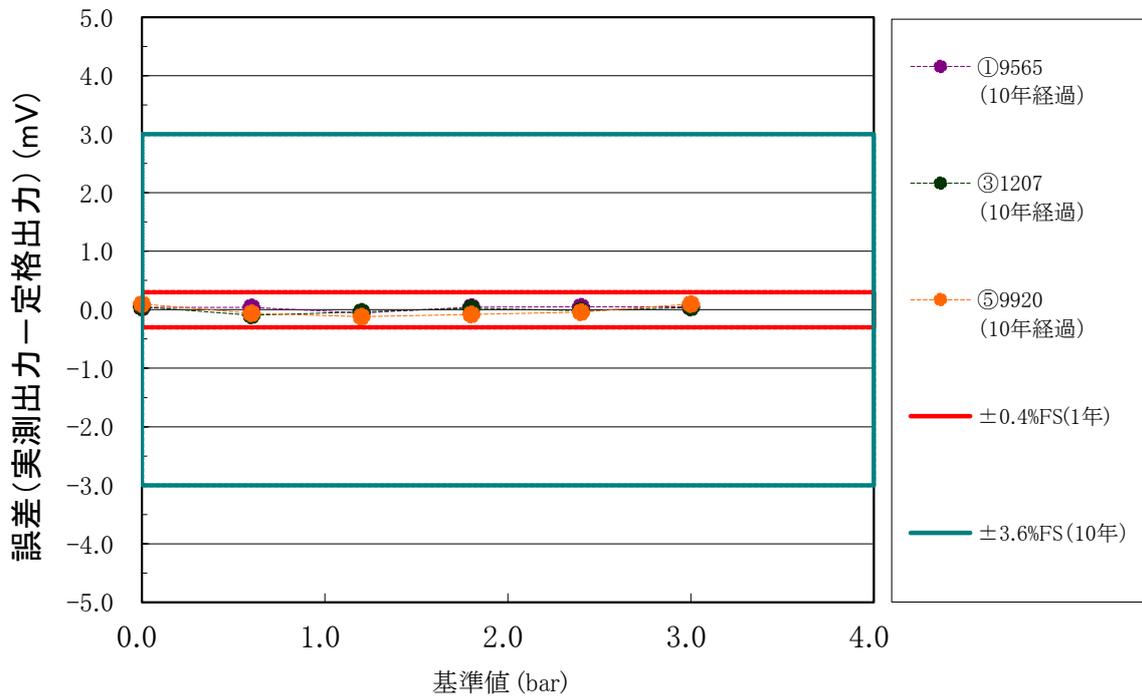


図 4.6-84 出力特性検査の結果 (計測坑 B)

b.補正定格出力の算出

図 4.6-79 で示したように、実測出力を直線近似して定格出力を求め、実測値の誤差を確認した。基準値と誤差の関係を計測坑 A、C、試験空洞 (D-1 孔、E-1 孔)、計測坑 B の順図 4.6-85 から図 4.6-89 にそれぞれ示す。同図には、間隙水圧計の精度 (長期安定性の精度ではなく、出荷時の精度) の範囲を赤枠で示した。

実測値を直線近似して求めた補正定格出力と実測値との差は、A-③と C-①を除いて、すべて間隙水圧計の精度の範囲内にあり、補正により間隙水圧計の出力を当初の精度内で保証できることが確認できた。

A-③と C-①の間隙水圧計に関しては、誤差範囲が基準値によりプラス側とマイナス側に大きく振れ、出荷時の精度を大きく超過し、異常と判断された。

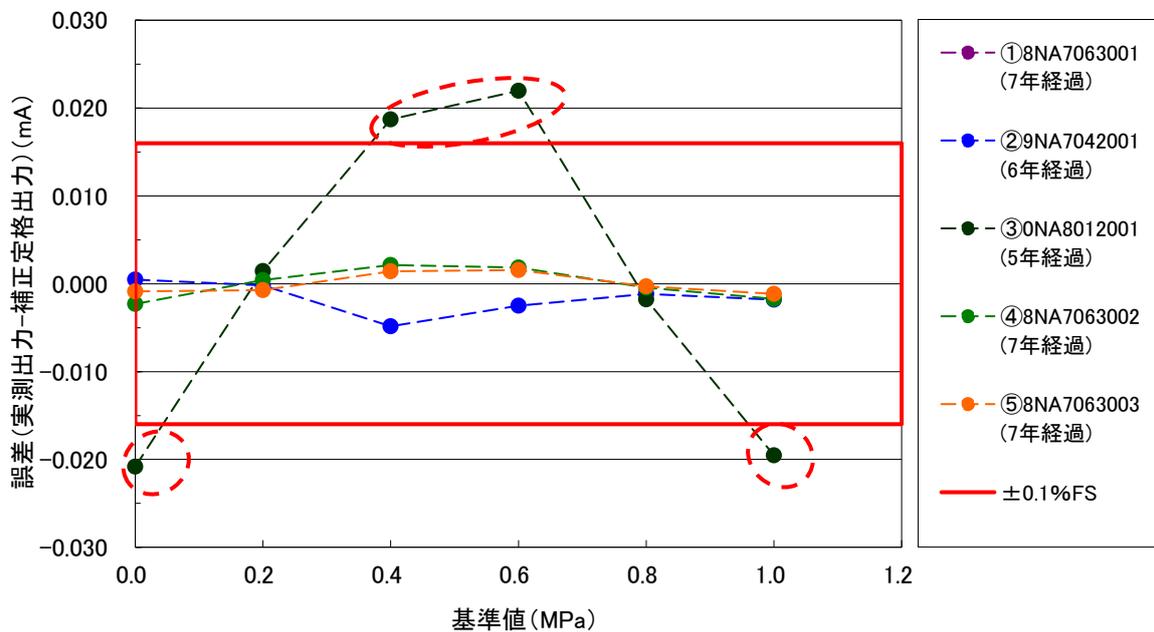


図 4.6-85 基準値と誤差 (実測出力-補正定格出力) [計測坑 A]

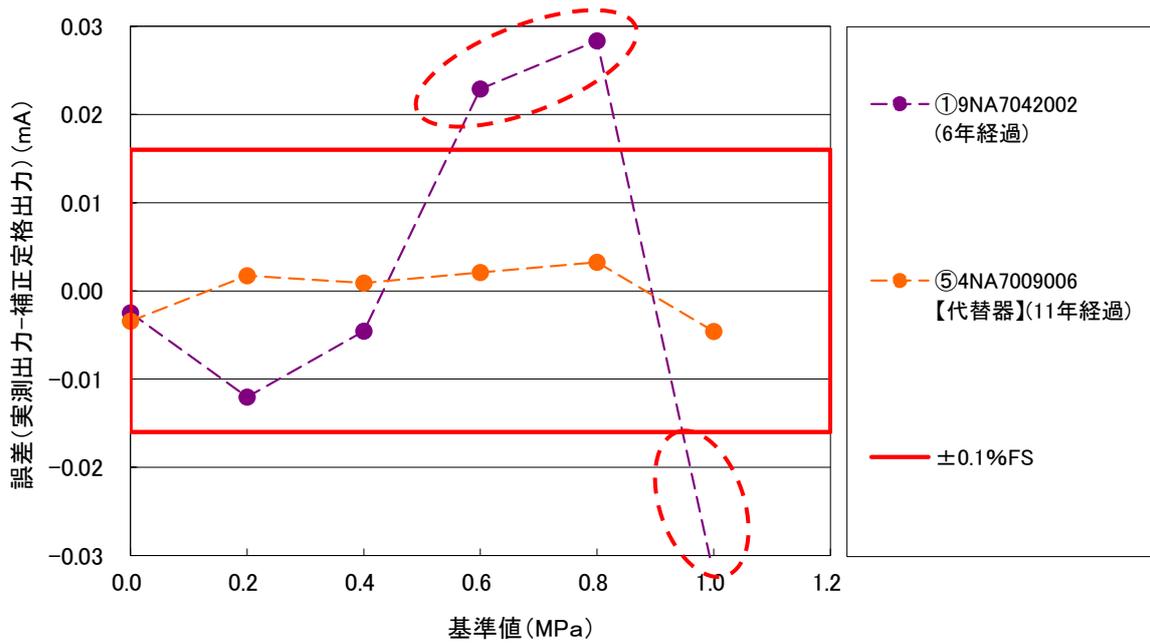


図 4.6-86 基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 C〕

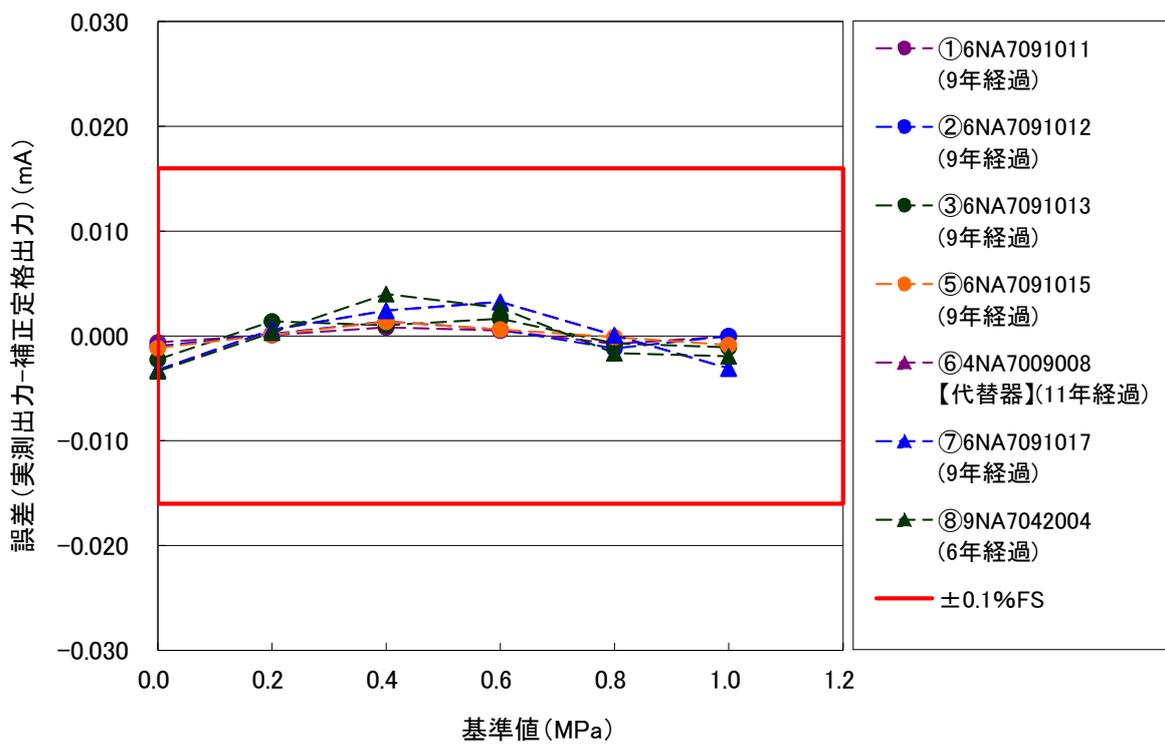


図 4.6-87 基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 D-1 孔〕

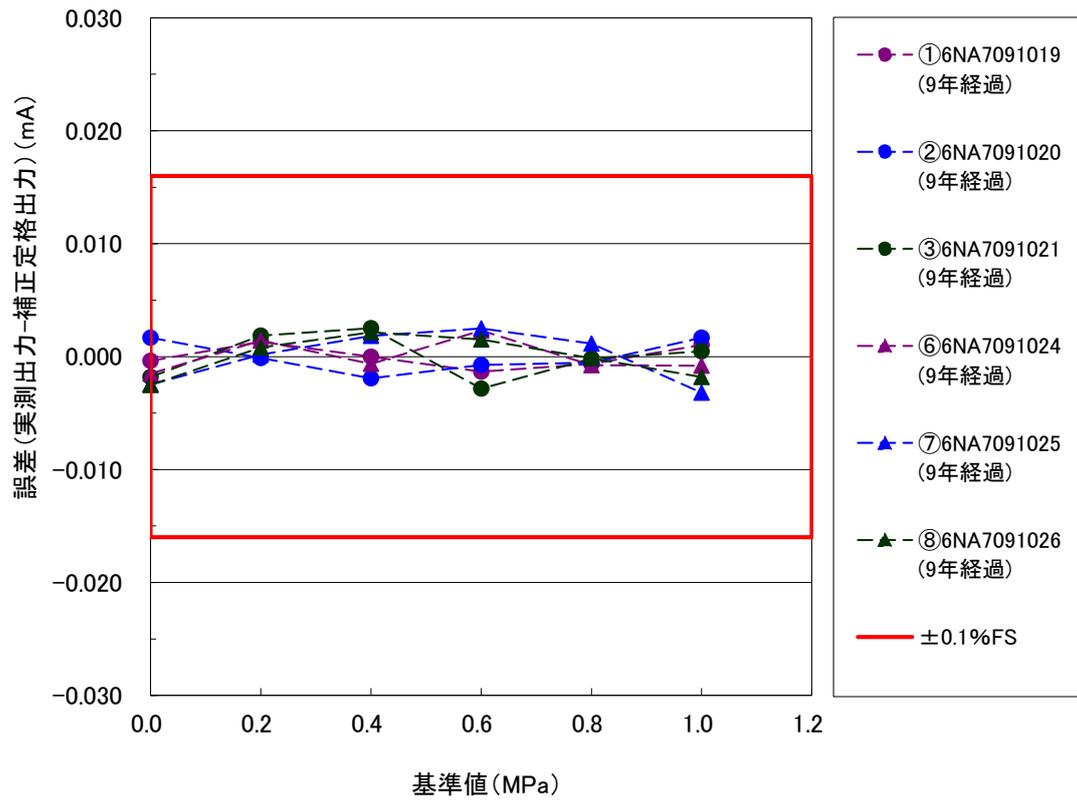


図 4.6-88 基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔試験空洞 E-1 孔〕

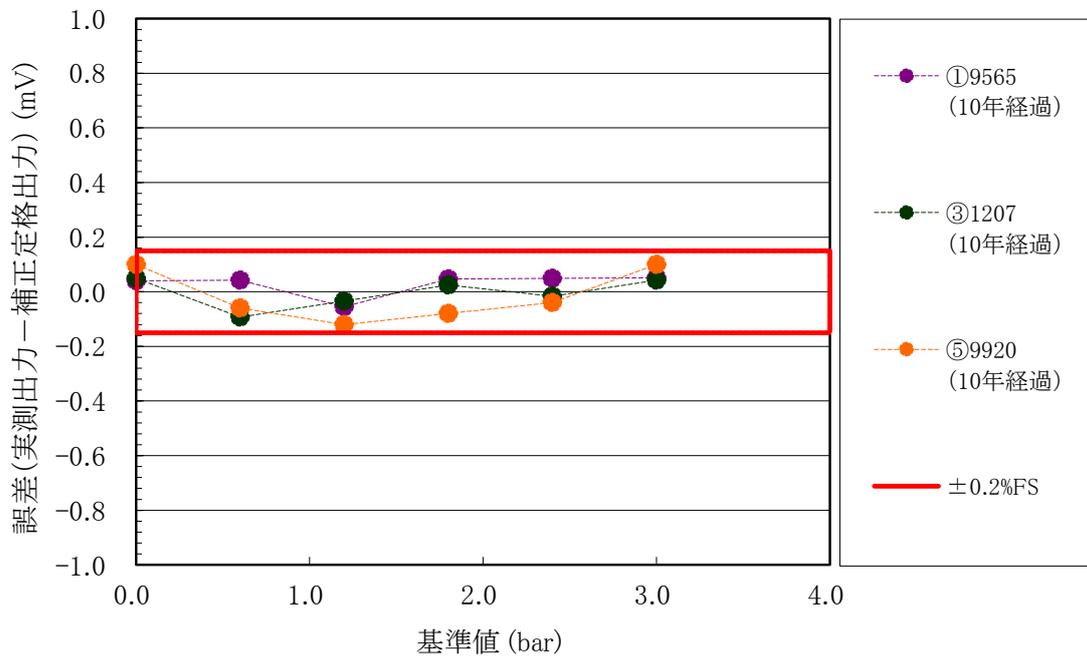


図 4.6-89 基準値と誤差（実測出力-補正定格出力）〔計測坑 B〕

○ 間隙水圧の経時変化の挙動確認

各区間の間隙水圧の挙動について、2014年10月1日～2015年11月末日までの各孔の間隙水圧の経時変化を図4.6-90～図4.6-94に示す。この経時変化の水圧挙動に異常が認められた区間を以下に示す。

・ A-③（坑壁から16.00m～17.00m区間）

2014年12月中旬ごろから徐々に低下しはじめ、2015年4月下旬あたりから低下が著しくなり、隣の⑤区間の値よりもさらに低下する傾向が確認された。この変動は他の区間と全く異なる変動を示しており、別途計測した手測りの値とは2.5～3m程度低い値を示していることから、異常と考えられる。

・ C-①（坑壁から10.00m～12.50m区間）

2015年4月初旬ごろから急に1m程度上下に激しく振れはじめ、10月中旬から徐々に上昇傾向が確認された。別途計測した手測りの値に対し2m程度高い値を示したことから、異常と考えられる。

・ D-①（インバートから0.50m～1.00m区間）

D-①では、2015年7月中旬ごろから徐々に上昇し始め、8月末に5m以上急上昇した。その後、1m程度上下に激しく振れながら大きく乱れる傾向を示した。別途計測した手測りの値に対し6m程度高い値を示したことから、異常と考えられる。ただし、出力特性検査においては異常が認められなかったことから、後述に示すセンサケーブルの絶縁検査を実施した。

・ E-①（妻壁から0.50m～1.00m区間）

E-①では、2014年12月初旬ごろから徐々に上昇し、2015年7月末ごろに急低下（停電の影響）した。その後は再度徐々に上昇し、全体に0.5～1m程度に上下に激しく振れる傾向を示した。別途計測した手測りの値に対し4.5m程度高い値を示したことから、異常と考えられる。ただし、出力特性検査においては異常が認められなかったことから、後述に示すセンサケーブルの絶縁検査を実施した。

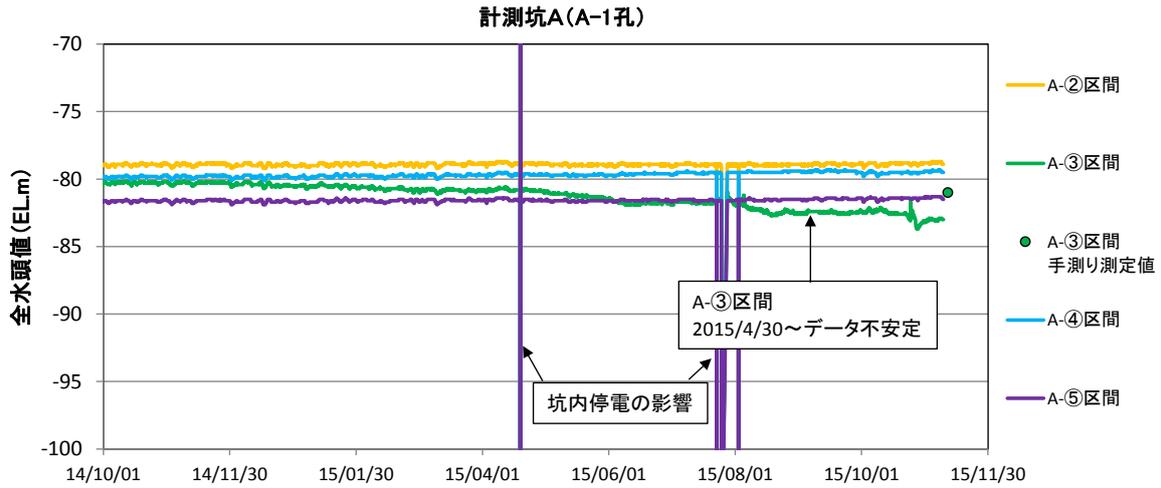


図 4.6-90 計測坑 A における間隙水圧継時変化

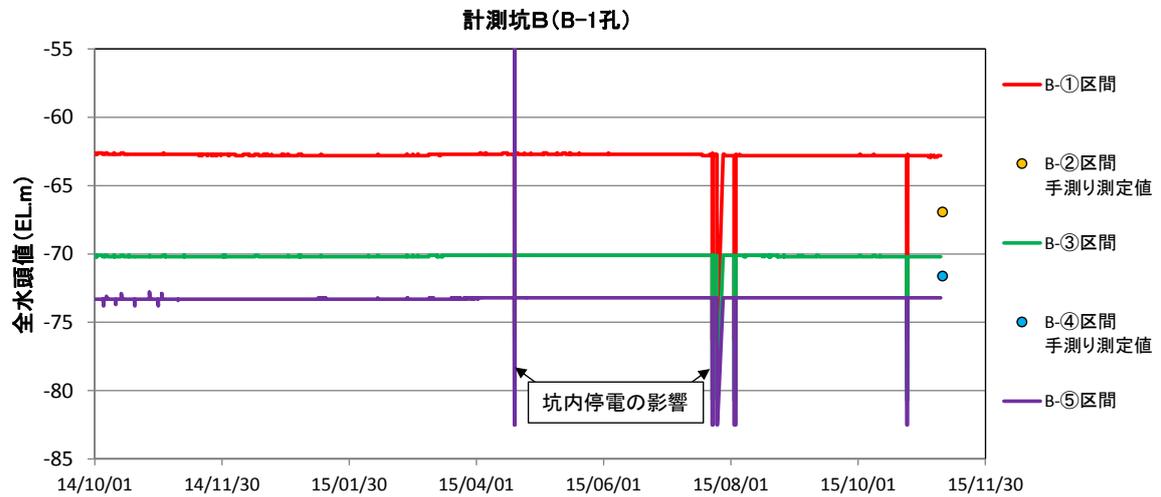


図 4.6-91 計測坑 B における間隙水圧継時変化

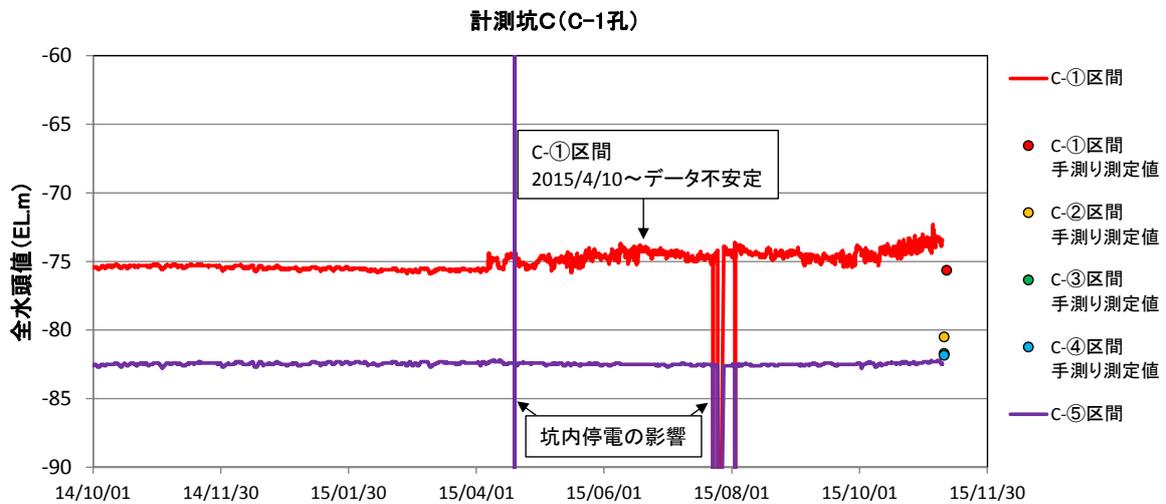


図 4.6-92 計測坑 C における間隙水圧継時変化

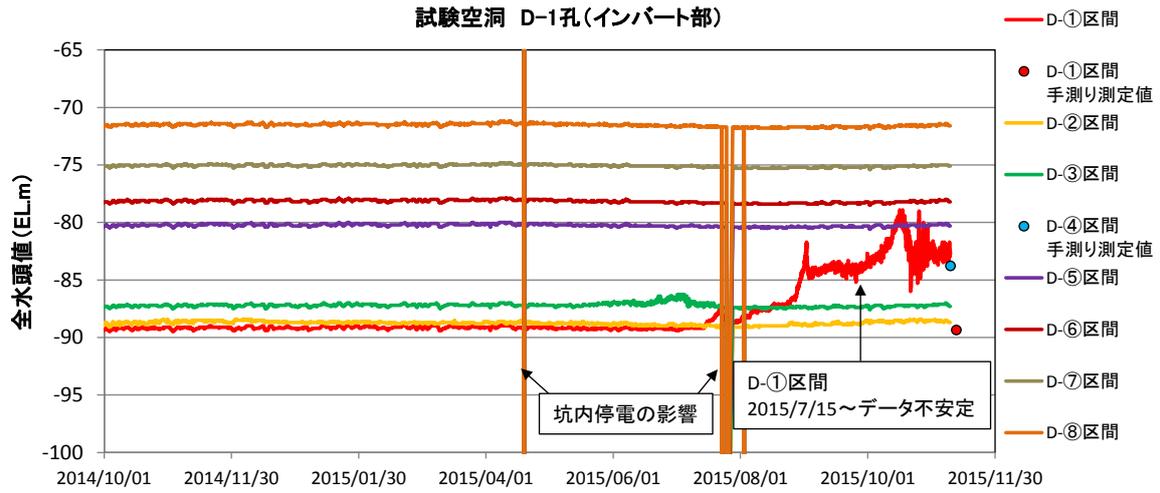


図 4.6-93 試験空洞 (D-1 孔) における間隙水圧継時変化

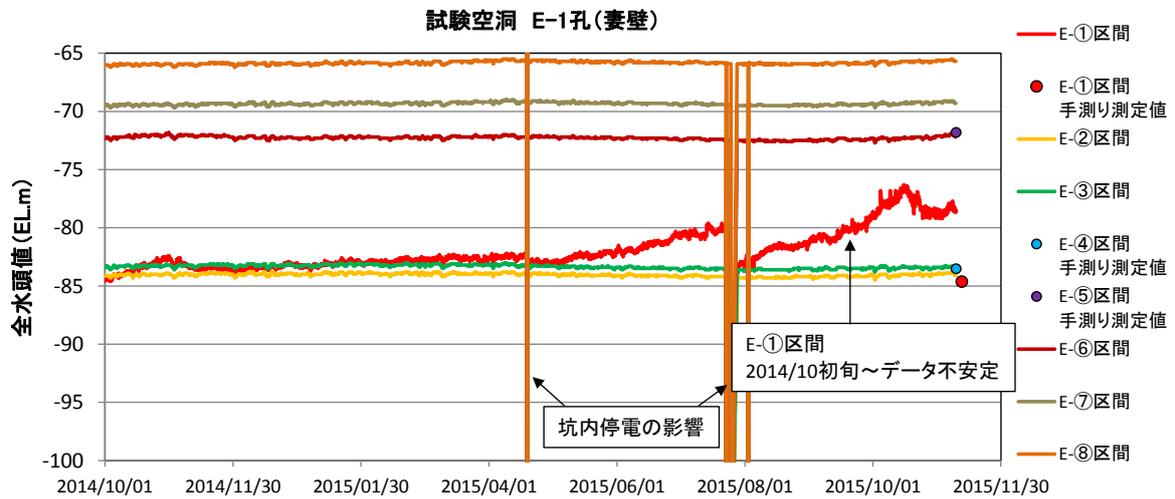


図 4.6-94 試験空洞 (E-1 孔) における間隙水圧継時変化

間隙水圧の経時変化で異常な変動が認められた区間のうち、間隙水圧計の点検では特に異常が認められなかった D-①、E-①について、図 4.6-95 に示すように間隙水圧計の設置部から接続ボックス間のセンサケーブルの絶縁状況を確認した。

その結果、絶縁状況は良好であり、異常は確認できなかった。

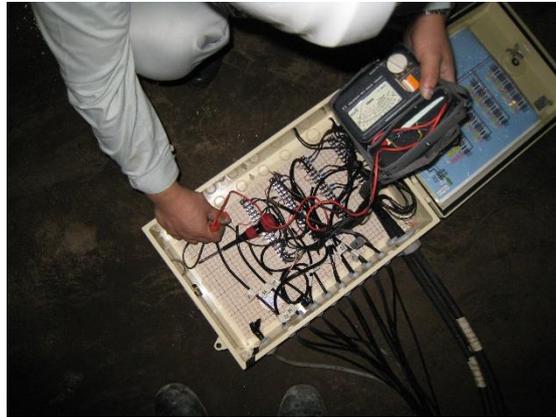


図 4.6-95 センサケーブルの絶縁検査の状況

その他に、2015 年 4 月中旬と 7 月後半に調査坑内が停電したことにより計測データが欠損していた。また、この停電により試験空洞が 50cm 以上水没した関係で、試験空洞 D-①と②の圧力センサが浸水した可能性がある。それぞれの間隙水圧計および間隙水圧計の架台にあるバルブには、図 4.6-96 に示すように乳白色の細粒物質が付着しており、コネクタ表面に若干水滴が付いていた。間隙水圧計の点検では特別な異常は認められなかったが、センサケーブルとの接続部やセンサケーブル自体が浸水して絶縁が低下した結果、計測値に何らかの異常をもたらした可能性がある。



図 4.6-96 乳白色の細粒物質の付着状況

○ 点検結果のまとめ

現地点検作業結果のまとめを表 4.6-49 に示す。同表では、各間隙水圧計の計測情報、点検作業の結果として絶縁抵抗検査結果・出力特性検査結果、経時変化の確認結果、今回の対応方針をまとめた。

点検の結果、故障または要経過観察と判定された計器について下記に述べる。

なお、要経過観察は、「絶縁抵抗検査、出力特性検査の結果に顕著な異常は認められず検査時の出力は安定していることから概ね正常と判断されたものの、①センサの出力特性に劣化が出始めている可能性がある計器、②経時変化で不安定な挙動を示した計器のように、緊急性はないが、今後故障する可能性が高い計器」と定義した。

a.故障

・ A-③（坑壁から 16.00m～17.00m 区間）

出力特性検査では長期安定性において出力値が大きくなるほど誤差が大きくなること、補正出力特性においても概ね許容誤差を超えたこと、および間隙水圧の経時変化においても本区間のみ異常な低下が確認され、他の区間とは全く異なる挙動を示したことから、本間隙水圧計を「故障」と判断した。

・ C-①（坑壁から 10.00m～12.50m 区間）

出力特性検査では長期安定性および補正出力特性ともに、出力値が大きくなるほど誤差が大きく許容誤差を超えたこと、間隙水圧の経時変化においても本区間のみ異常な上昇が確認され、他の区間とは全く異なる挙動を示したことから、本間隙水圧計を「故障」と判断した。

b.要経過観察

・ D-①（底盤から 0.50m～1.00m 区間）

間隙水圧の経時変化において他の区間とは全く異なる挙動を示す異常が確認され、別途実施した手測り測定値とも 6m 程度の違いが認められたが、間隙水圧計の点検結果およびセンサケーブルの点検からは異常とは判断されなかった。今回の点検の範囲内では問題ないと考えられるものの、間隙水圧計の故障の予兆の可能性とも考えられることから、緊急性はないが今後故障する可能性が高いと予想される「要経過観察」と評価した。

・ E-①（妻壁から 0.50m～1.00m 区間）

D-①と同様に、間隙水圧の経時変化において他の区間とは全く異なる挙動を示す異常が確認され、別途実施した手測り測定値とも 4.5m 程度の違いが認められたが、間隙水圧計の点検結果およびセンサケーブルの点検からは異常とは判断されなかった。今回の点検の範囲内では問題ないと考えられるものの、間隙水圧計の故障の予兆の可能性とも考えられることから、緊急性はない

が今後故障する可能性が高いと予想される「要経過観察」と評価した。

最後に補正定格出力の確認により、各間隙水圧計の出力特性(傾きと切片を換算係数として)を表 4.6-50 にまとめた。

表 4.6-49 間隙水圧計の点検結果まとめ

場所	孔名	孔口標高 (EL. m)	区間名	測定深度 (GL. -m)	SN	センサ 製造年月	間隙水圧計の点検作業結果				間隙水圧の 経時変化	総合評価	今回の 対応方針	備考	
							絶縁抵抗検査	出力特性検査							水圧挙動
								長期安定性との比較	補正出力特性	間隙水圧計 性能評価					
計測坑A	A-1	-83.55	①	10.00 ~ 12.50	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)		
				13.50 ~ 15.00	9NA7042001	2009年9月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				16.00 ~ 17.00	0NA8012001	2010年10月	異常なし	異常あり	異常あり	不良	異常あり	故障	撤去		
				17.50 ~ 18.00	8NA7063002	2008年8月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				18.50 ~ 19.00	8NA7063003	2008年8月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
計測坑B	B-1	-54.65	①	10.00 ~ 12.50	9565	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				13.50 ~ 15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				16.00 ~ 17.00	9915	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				17.50 ~ 18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				18.50 ~ 19.00	9920	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
計測坑C	C-1	-83.55	①	10.00 ~ 12.50	9NA7042002	2009年9月	異常なし	異常あり	異常あり	不良	異常あり	異常あり	撤去		
				13.50 ~ 15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				16.00 ~ 17.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				17.50 ~ 18.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				18.50 ~ 19.00	4NA7009006	2004年	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	代替器による計測中	
試験空洞	D-1	-90.92	①	0.50 ~ 1.00	6NA7091011	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常あり	要経過観察	現状のまま	センサケーブルの絶縁は良好	
				1.50 ~ 2.00	6NA7091012	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				2.50 ~ 3.00	6NA7091013	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				4.00 ~ 5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				6.00 ~ 7.50	6NA7091015	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				8.50 ~ 10.50	4NA7009008	2004年	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	代替器による計測中	
				11.50 ~ 14.00	6NA7091017	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				15.00 ~ 19.00	9NA7042004	2009年9月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
	E-1	-84.4	①	0.50 ~ 1.00	6NA7091019	2006年11月	異常なし	異常なし	ゼロ出力のみ不安定	やや不安定	異常あり	要経過観察	現状のまま	センサケーブルの絶縁は良好	
				1.50 ~ 2.00	6NA7091020	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま	伝送系に問題あり。E-⑤のケーブルを接続中。	
				2.50 ~ 3.00	6NA7091021	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
				4.00 ~ 5.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
				6.00 ~ 7.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	計測対象区間(1回/年)	
			⑥	8.50 ~ 10.50	6NA7091024	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
			⑦	11.50 ~ 14.00	6NA7091025	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		
			⑧	15.00 ~ 19.00	6NA7091026	2006年11月	異常なし	異常なし	異常なし	良好	異常なし	異常なし	現状のまま		

表 4.6-50 平成 27 年度の換算係数

計測場所	孔名	孔口標高 (E.L.m)	区間	測定深度 (G.L.-m)	センサ設置標高 SL (E.L.m)	SN	圧力水頭への換算係数		絶縁抵抗検査	出力特性検査結果		間隙水圧経時変化 (計測状況)	今年度の点検結果 (判定)	センサ製造年月
							a (傾き) (m/mV)	b (原点) (mV)		長期安定性との比較 (安定性あり:○、なし:×)	補正出力特性 (精度内:○、精度外:×)			
計測坑A	A-1	-83.55	①	10.00 ~ 12.50	-83.73	-	-	-	-	-	-	-	-	2008年8月
			②	13.50 ~ 15.00	-83.73	9NA7042001	6.368E-02	401.1	異常なし	○	○	○	○	2009年9月
			③	16.00 ~ 17.00	-83.73	0NA8012001	-	-	異常なし	×	×	異常あり	故障	2010年10月
			④	17.50 ~ 18.00	-83.73	8NA7063002	6.363E-02	432.8	異常なし	○	○	○	○	2008年8月
			⑤	18.50 ~ 19.00	-83.73	8NA7063003	6.387E-02	409.2	異常なし	○	○	○	○	2008年8月
計測坑B	B-1	-84.65	①	10.00 ~ 12.50	-67.08	9565	0.405	0.948	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			②	13.50 ~ 15.00	-69.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			③	16.00 ~ 17.00	-71.43	12071	0.386	0.753	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			④	17.50 ~ 18.00	-72.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑤	18.50 ~ 19.00	-73.21	9920	0.401	1.043	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
計測坑C	C-1	-83.55	①	10.00 ~ 12.50	-83.45	9NA7042002	-	-	異常なし	×	×	×	故障	2009年9月
			②	13.50 ~ 15.00	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			③	16.00 ~ 17.00	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			④	17.50 ~ 18.00	-83.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑤	18.50 ~ 19.00	-83.45	4NA7009006 【代替器】	6.371E-02	418.0	異常なし	○	○	○	○	2004年
試験空洞	D-1	-90.92	①	0.50 ~ 1.00	-90.20	6NA7091011	6.379E-02	477.1	異常なし	○	○	異常あり	要経過観察	2006年11月
			②	1.50 ~ 2.00	-90.20	6NA7091012	6.416E-02	410.0	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			③	2.50 ~ 3.00	-89.40	6NA7091013	6.380E-02	408.9	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			④	4.00 ~ 5.00	-89.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑤	6.00 ~ 7.50	-89.40	6NA7091015	6.376E-02	407.5	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			⑥	8.50 ~ 10.50	-89.40	4NA7009008 【代替器】	6.371E-02	411.0	異常なし	○	○	○	○	2004年
			⑦	11.50 ~ 14.00	-89.40	6NA7091017	6.367E-02	412.5	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			⑧	15.00 ~ 19.00	-89.40	9NA7042004	6.371E-02	401.3	異常なし	○	○	○	○	2009年9月
	E-1	-84.40	①	0.50 ~ 1.00	-89.50	6NA7091019	6.417E-02	466.5	異常なし	○	△ ゼロ出力不安定	不安定	要経過観察	2006年11月
			②	1.50 ~ 2.00	-89.50	6NA7091020	6.383E-02	409.2	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			③	2.50 ~ 3.00	-89.50	6NA7091021	6.390E-02	403.0	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
			④	4.00 ~ 5.00	-89.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑤	6.00 ~ 7.50	-89.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			⑥	8.50 ~ 10.50	-89.50	6NA7091024	6.393E-02	391.8	異常なし	○	○	○	○	2006年11月
⑦	11.50 ~ 14.00	-89.50	6NA7091025	6.374E-02	401.1	異常なし	○	○	○	○	2006年11月			
⑧	15.00 ~ 19.00	-89.50	6NA7091026	6.392E-02	408.0	異常なし	○	○	○	○	2006年11月			

3)計測システム構築（変更）、システム保守・点検

計測システム（計測ケーブル、現場計測室、スイッチボックス、パソコン、プログラム等含む）の保守・点検を実施した。

なお、今年度は新設した計測器がないため、計測システムの構築（変更）は実施しなかった。

○ 静的計測システム点検

計測計測システムの点検を実施した。

実施日：平成 27 年 11 月 9 日

a.点検機器

スイッチボックス（ひずみ発生器および電流・電圧発生器）～データロガー～静的計測用 PC

b.点検方法

各スイッチボックスから模擬入力を行い、システムを通したデータロガーまたは PC の出力値が規格内であるかを判別し、各計測設備の稼働状況と計測設備間の通信状況について点検する。作業状況を図 4.6-97 に示す。

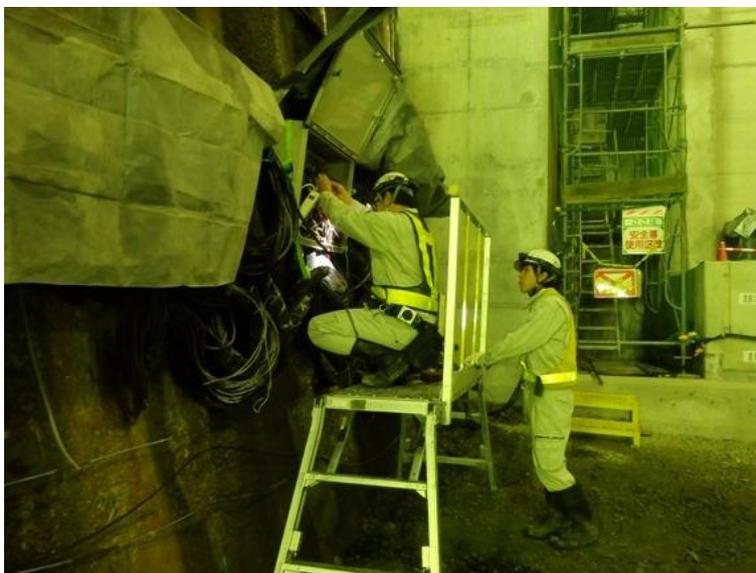


図 4.6-97 スwitchボックスでの模擬入力状況

a. 点検結果

データ模擬入力による点検では、異常を示す計測器は見られなかった。また、各 PC においても静的計測システムは正常に作動しており、通信状況が正常であることを確認した。点検結果を添付資料 2 に示す。

4.6.6 地震計の移設

平成 27 年度初期の地震測定システムでは、坑内の停電に伴う水中ポンプの稼働停止が長引くと、試験空洞の最深部の水位が上昇し、岩盤からの入力波を測定するために試験空洞の底盤上に設置している地震計が水没するリスクがあった。

そこで、試験空洞内で 3 台設置している地震計のうち、試験空洞の底盤上に設置していた地震計を、最深部からの標高を確保して水没のリスクを回避するために、斜路の途中の側部へ移設した。

実施日：平成 27 年 10 月 27 日～28 日

(1) 移設計画

1) 現状の課題

平成 27 年初期において、岩盤からの入力波測定用地震計の設置箇所は試験空洞内の最も低い位置であったため、電源トラブルによってトンネル全体が停電し、水中ポンプが長時間停止した場合、図 4.6-98 に示したように、地震計が水没し長期間使用不能となる可能性があった。

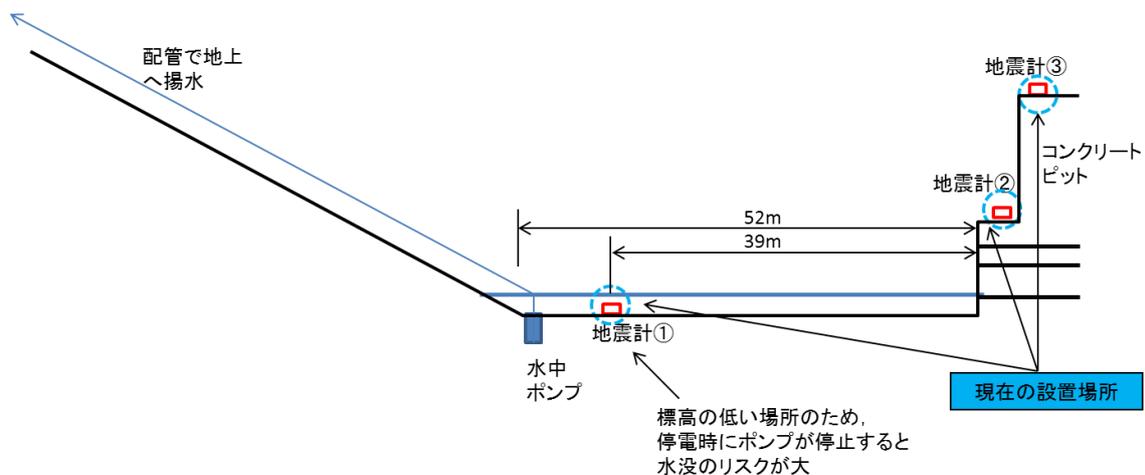


図 4.6-98 地震計設置場所の停電時リスク

(2) 地震計の移設場所

地震計①を、平成 27 年度初期の設置場所から坑口側に約 26m 移動し、斜路の途中の側部に移設した。また地震計の移設に伴い、既設の LAN ケーブルは撤去し、移設先の地震計用に新たな LAN ケーブルを新設した。移設場所の平面図を図 4.6-99、移設場所の断面図を図 4.6-100 に示す。

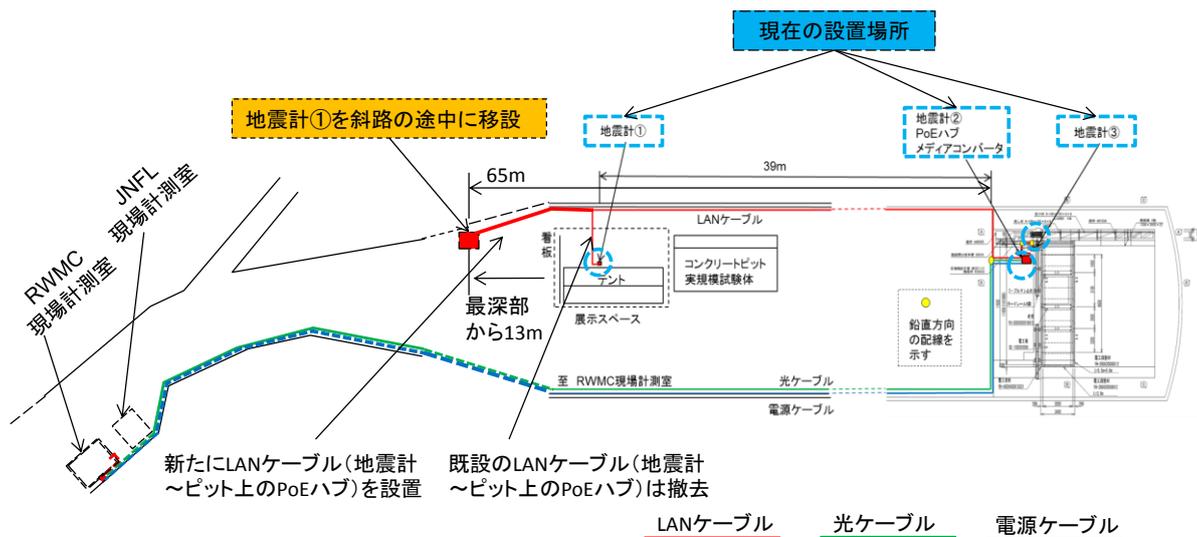


図 4.6-99 地震計の移設場所（平面図）

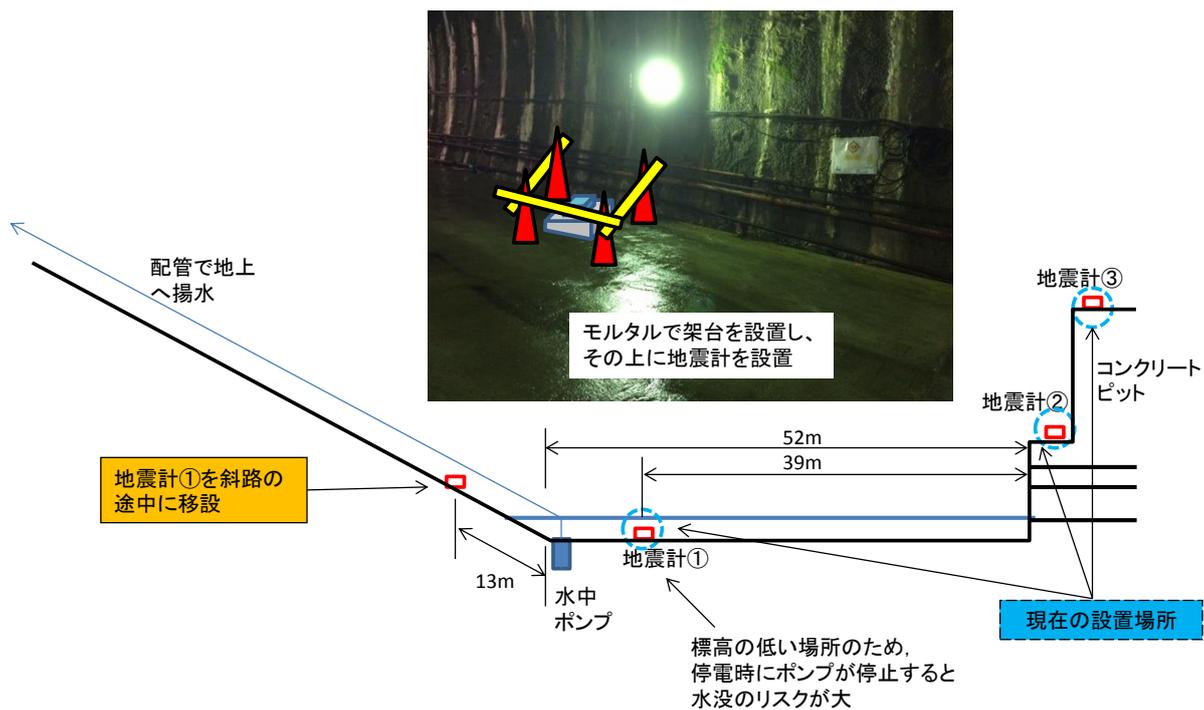


図 4.6-100 地震計の移設場所（断面図）

(3) 移設作業

1) 架台の構造

既設コンクリート面で勾配が 15%の斜路への設置となることから、地震時や大型車両通行時の振動で滑らないこと、また地震動を確実に伝達できることが求められた。そこで、既設のコンクリート表面は事前にチップングを行い、ホールインアンカーを 4 本打ち込んで、架

台との一体化を図った。またひび割れ防止のため、D10 の鉄筋を 100mm ピッチで配置した。

2) 架台の形状

平面寸法はプラスチック防水ケース (300×200) に対して 100mm の余裕幅を取って、500×400 とした。また、斜路の上側で架台の厚さが薄くなると、将来的にモルタルが割れたり、剥離したりする恐れがあるため、架台の最低厚さを 70mm、平均厚さを 100mm (70~130mm) とした。

a. 架台の方向と位置

地震計をピット上に設置している他の 2 台と同じ方向で設置するため、架台もトンネル軸方向を短手方向とした。

b. 地震計の設置および養生

地震計は SUS 鋼板にネジ止めし、SUS 鋼板は、敷きモルタルで水平を調整しながら架台にネジ止めとした。

また、試験空洞内は湿度が高いため、底面に開口部を設けたプラスチック防水ケースで地震計を囲い、ケース内には乾燥剤を投入した。ケースは両面テープで架台に取り付けた。LAN ケーブルを通過させる開口部は、防水キャップをはめ込み、養生した。地震計に附属している LAN ケーブルは、ピット上の PoE ハブから延長してきた LAN ケーブルとコネクタで接続し、接続部にはブチルテープを巻いて養生した。

地震計および架台の設置図を図 4.6-101、移設作業および設置状況を図 4.6-102 に示す。

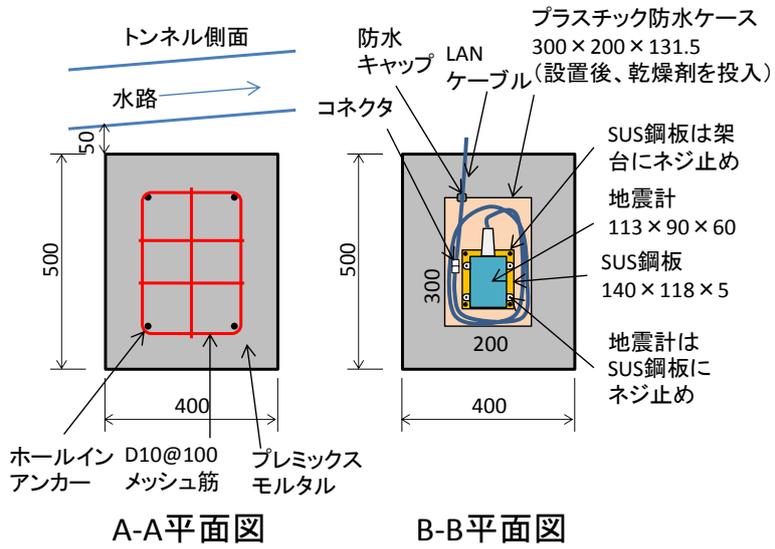
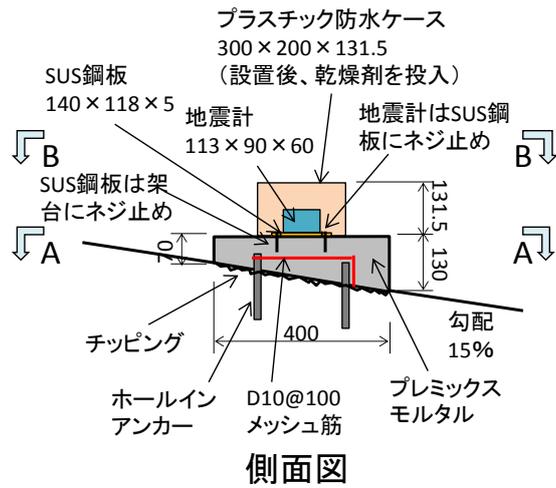
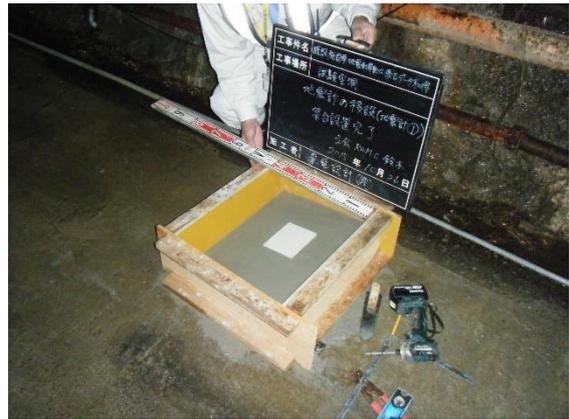


図 4.6-101 地震計および架台の設置図



配筋・型枠設置



モルタル打設



型枠取外



地震計・防水ケース



シート養生



カラーコーンによる囲いと看板の設置

図 4.6-102 架台および地震計の設置状況

4.7 機能確認試験計画の立案

本項では、埋設・保全段階の施設の機能確認方法の実現に資する情報を取得するための試験計画を立案する。試験計画の立案は、

- ・ 予備検討の試験計画の立案
- ・ 既存施設を活用した試験計画の立案
- ・ 新規施設を活用した試験計画の立案

に区分して行った。予備検討は、前述の機能確認方法の課題を解決するための検討を行う室内試験が中心であり、既存施設と新規施設は、室内試験よりも大きな試験や実際の機能確認施設と同規模の機能確認試験を実施して機能確認の実現性を確認するものが中心である。

4.7.1 予備検討の試験計画の立案

(1) センサによる機能の代替パラメータの計測

1) センサによって計測できる物理量と機能の相関性

a. 実施内容

施設の機能確認ポイントをパラメータとした室内試験を実施し、その試験中の様々な物理量を計測する。施設の機能確認ポイントの変化と物理量の変化の相関性についてまとめる。同じ機能を計測する場合でも、計測方法によっては感度の高い領域が異なることも考えられる（図 4.7-1）。このような機能確認ポイントの変化と計測方法や計測値について検討する。図 4.7-2 には、例として既往の研究[18]における比抵抗値と飽和度・乾燥密度の関係を示す。図から、比抵抗値は低飽和度領域では感度が高く、高飽和度領域では感度が低くなる傾向があることが分かる。このような、計測できる物理量との相関性や感度の高い領域などを取りまとめる。

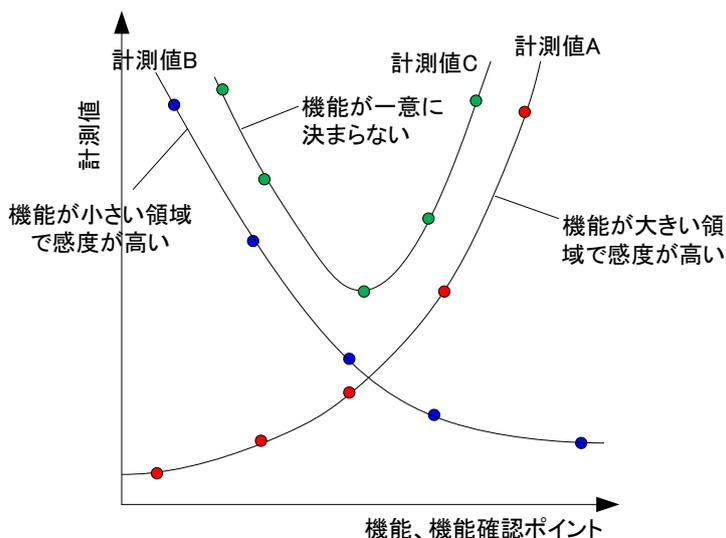


図 4.7-1 機能確認ポイントと計測値

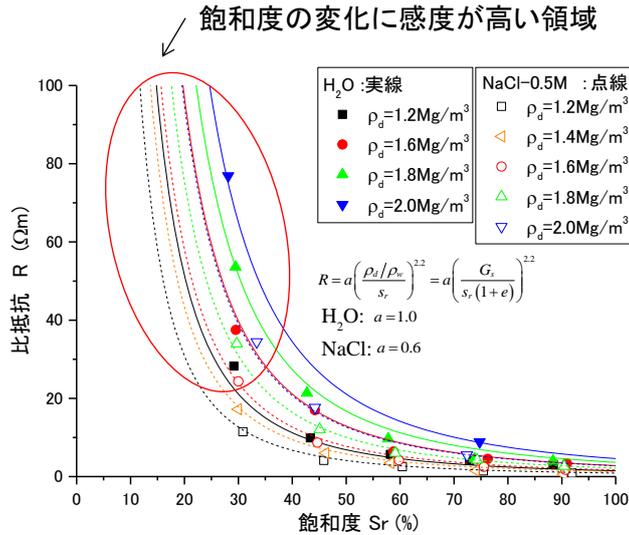


図 4.7-2 比抵抗値と飽和度・乾燥密度の関係

2) センサによって計測できる物理量を用いた全体的な機能評価

センサによって得られる値は、センサの設置されている領域の局所的な機能確認ポイントであり、その計測値を用いて施設全体の機能を確認するためには解析的な検討が不可欠である。そこで、埋設・保全段階において施設の機能がどのように変化するかを解析によって評価し、最も機能変動が激しい箇所（保守側の評価を与える箇所）や変動がほとんどない箇所を取得する。関連するパラメータの幅を考慮した解析を実施し、適切な設置箇所などを決定する方法をまとめる。さらに、センサによって得られた値を解析に反映して、予測解析の修正を行い機能確認の精度を向上させる方法についても検討する。このような検討によって、機能確認の予測精度が高まれば、処分概念のロバスト性の向上にも貢献するものと考えられる。

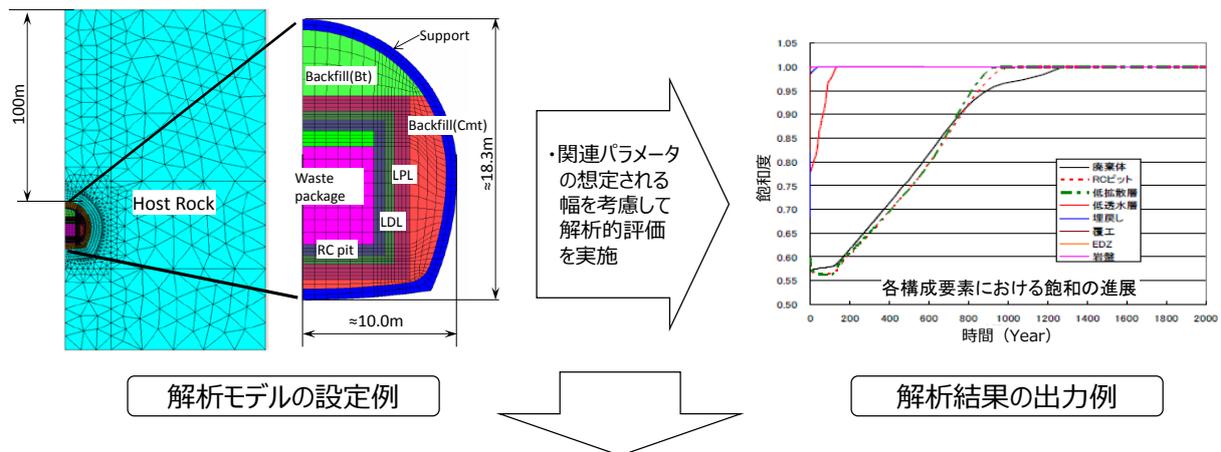
a. 埋設・保全段階の実施設で起こり得る事象の予察解析

埋設・保全段階において想定される現実的な時間枠において、見込まれる実施設の状態変遷（人工バリア構成部材等の長期的な機能の変化）について予察的な解析を実施し、解析結果の具体的な機能確認試験計画への反映を目指す。

埋設・保全段階の実施設の状態は、施設が不飽和から飽和に至る段階であり、この段階を中心とした予察解析（例えば、T,H,M,C の影響をそれぞれ考慮した解析等）を、想定される極端な事象を含めて幅を持った形で実施し、当該期間の施設状態の変化の定量的な評価を目指す。

解析に用いるデータセットは、既往の知見に基づき設定するものとし、解析結果を通じて、どのような機能確認がどのレベルで実施可能か（対象とする計測の実現性）について具体的に評価を行い、効率的なセンサ配置計画等、機能確認試験計画の最適化に貢献する。予察解析において想定する事象としては、腐食膨張、セメント溶脱、低透水層の密度（低下）、膨潤変形（膨潤圧）、セメントひび割れ、モンモリロナイト溶解、Ca 型化、嫌気性腐食のガス発生・移行等が考えられる。

解析に用いる実施設のモデルと解析結果、その試験計画への反映の概念を図 4.7-3（元図出典[20]）に示す。



想定される実施設挙動の定量的評価に基づく機能確認試験計画

図 4.7-3 シナリオの予察解析と試験計画への反映（案）

b.埋設・保全段階の実施設で低拡散層に起こり得るシナリオの予察解析

2章にて述べたとおり、余裕深度処分においては例えば硫酸塩劣化等の塩影響が生じる可能性がある。塩影響が生じた場合、セメント系人工バリアの劣化は早期に進行し、低拡散層やコンクリートピットの機能にも影響を及ぼすことが懸念される。しかしながら、余裕深度処分施設を対象とした塩影響については既往の知見(具体的に起こり得る事象、変質の程度、変質速度、部位毎の影響の程度など)が乏しい。

そこで、図 4.7-4 の検討手順に従い、様々な条件を設定して室内試験および解析検討を行い、塩影響が生じた場合に埋設・保全段階の実施設で起こり得るシナリオを整理する。

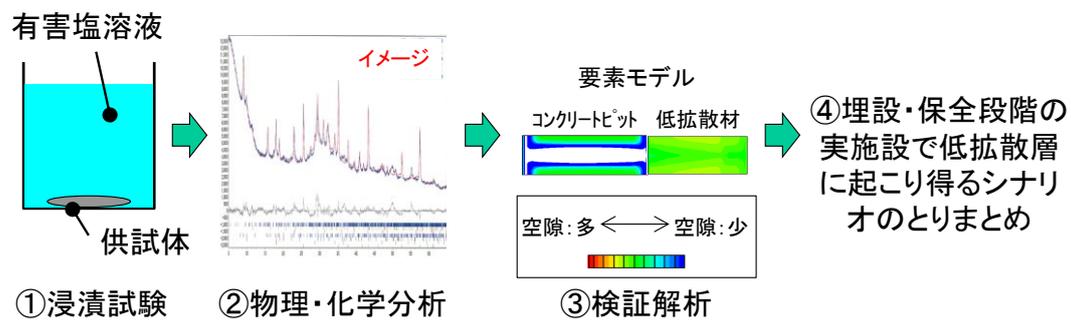


図 4.7-4 検討手順のイメージ

c. シナリオを考慮したセンサの設置計画の立案、及び施設全体の機能確認

地下空洞型処分施設性能確認試験のために実施された予測解析事例[27]を図 4.7-5 に示す。図から、埋設段階においては底部低透水層の両端（側部緩衝材の底部）においてせん断変形が大きくなることが予測される。このような場所にセンサを設置するなどの配置検討を行うと共に、さらに得られた結果で解析モデルの修正を加えるなどの検討を行う。

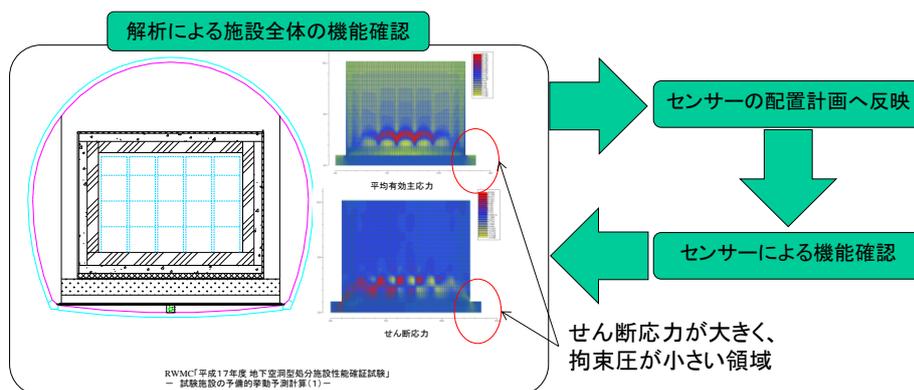


図 4.7-5 埋設段階の解析例

3) センサの耐久性評価、および高性能・高耐久化検討

a. 実施内容

施設の機能確認ポイントの変化と相関性の高い物理量を計測可能なセンサで耐久性試験を実施し、耐久性の評価を行うと共に、センサの弱部や劣化原因などを分析し、センサの高耐久化の可能性を検討する。さらに、センサの計測精度を高める方策についても検討を行う。

長期計測に関する既往研究によれば、高圧力などによるセンサ容器の破損、センサ容器に接続されているケーブルの入口部などの防水不良（密封問題）、センサ可動部の機械的接触による摩耗、物理量変換のための力学的機構（ダイヤフラムやクランプなど）の性能低下、化学物質によるセンサやケーブルの腐食など、センサ不具合の原因は多岐にわたる。これらセンサのほとんどが通常の土木工学プロジェクト用に設計されており、実際は放射性廃棄物処分用ではないこと、つまり設置条件や環境が異なることに注意が必要である。

そこで、実施設の環境を考慮したうえでセンサの劣化促進を模擬できる耐久性試験方法を検討する。なかでも、光ファイバセンサを対象とした試験方法の検討から着手する。同センサによれば、処分場、特に人工バリアシステムにおける高温で腐食性の流体（塩水など）による電気式センサやケーブルの劣化に関する課題を、克服できる可能性があるためである。具体的には、図 4.7-6 に示すような光ファイバセンサの劣化促進（高アルカリ、高温、高湿度、放射線下など）試験を行い、一定の段階ごとに光ファイバの引張試験により強度分布を実測のうえ、寿命予測を試みる。

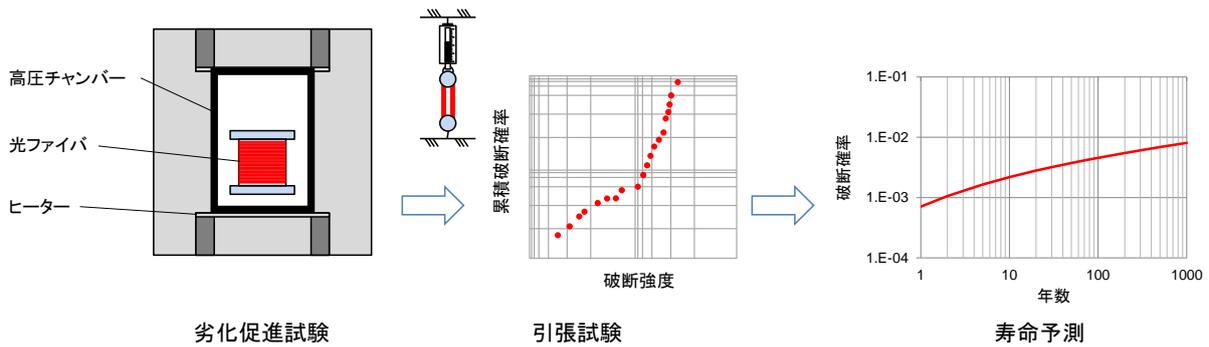


図 4.7-6 光ファイバセンサの耐久性試験イメージ

4) 機能の経時変化の計測計画への反映 (時間間隔、頻度)

a.実施内容

埋設・保全段階における施設の機能確認ポイントの経時変化を様々なシナリオを模擬した室内試験で取得し、機能確認ポイントごとに変化の激しい時期を同定する。得られた経時変化を基に現実的なセンサによる機能確認計画を立案する。

図 4.7-7 には、セメントペーストからのアルカリ成分の溶出に伴う pH の経時変化を示している[21][22]。この図から、セメントペーストからのアルカリ成分の溶出は、最初の 5 年間程度 (Region I) で急激に進むが、その後の 200 年 (Region II) では大きな変化がないことが分かる。一方、図 4.7-8 には、ケイ砂を 30wt%含むベントナイトブロックへの水の浸潤速度を示している。図から、ベントナイトへの水の浸潤距離は浸潤時間の 1/2 乗に比例することが分かる。これは、浸潤距離が時間経過の伴って鈍化することを意味している。このような、人工バリアの性能と相関がある物理量の経時変化を取得することは、センサの配置やセンサによる機能確認と後述するサンプリングによる機能確認の棲み分けなどにも役立つ。

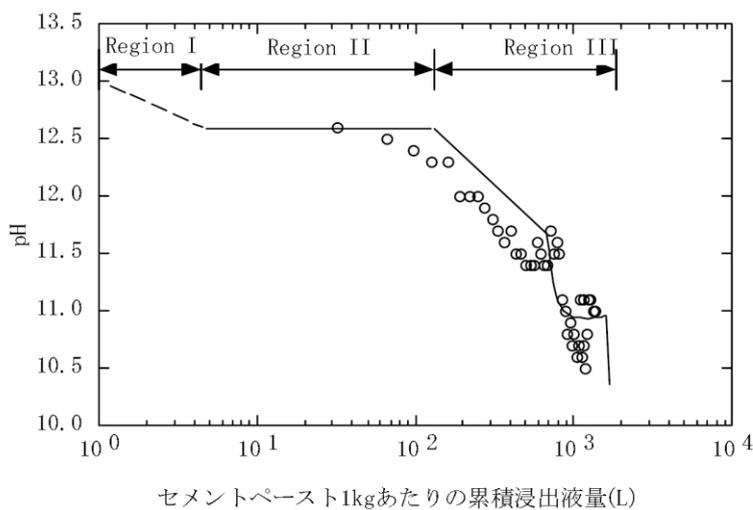


図 4.7-7 セメントペーストからの溶出に伴う pH の経時変化

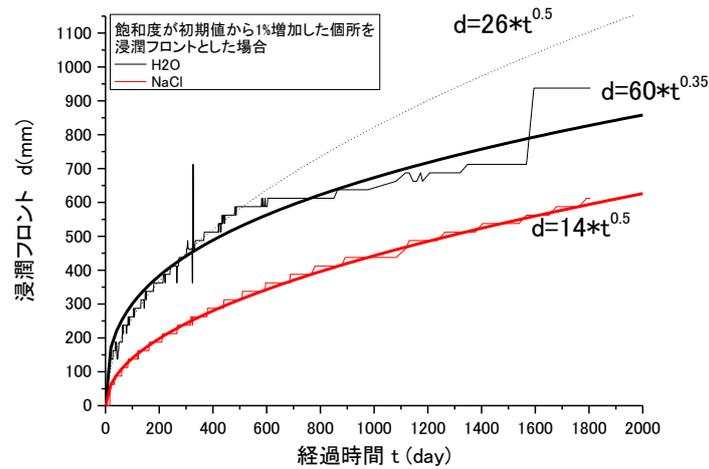


図 4.7-8 浸潤フロントの進展状況（初期飽和度からの増分が 1%で定義）

5) センサの無線伝送・給電技術

センサによる計測結果を無線で伝送する方法や能力について検討し取りまとめる。また、無線によるセンサへの給電技術についても検討し取りまとめる。

a. 無線伝送

地中無線技術は、バリアの安全性を損なわずにモニタリングが実施できる等のメリットがあり、高レベル放射性廃棄物処分の工学技術として高度化に向けた技術開発が進められている。緩衝材や埋め戻し材の中に設置可能な小型・耐圧型の送信装置は開発されており、現在、JAEA 幌延深地層研究センターの人工バリア試験と瑞浪超深珍地層研究所の再冠水試験において、実証試験として地中無線によるデータ計測を行っている。

地中無線技術として残された課題としては、伝送距離の長距離化と共に通信ネットワークを多段化し伝送経路を冗長化することで、データの信頼性を向上させることが考えられる。この実現のため中継システムの開発を進めているが、開発した中継システムを坑道内で実証試験を行うことが必要である。試験坑道と計測坑で多段の中継ネットワークを構築し、実証試験を行う場合の試験イメージを図 4.7-9、図 4.7-10 に示す。複数段の中継ネットワークを設けることにより、通信装置の一部で不具合が生じても計測ができることを確認する。

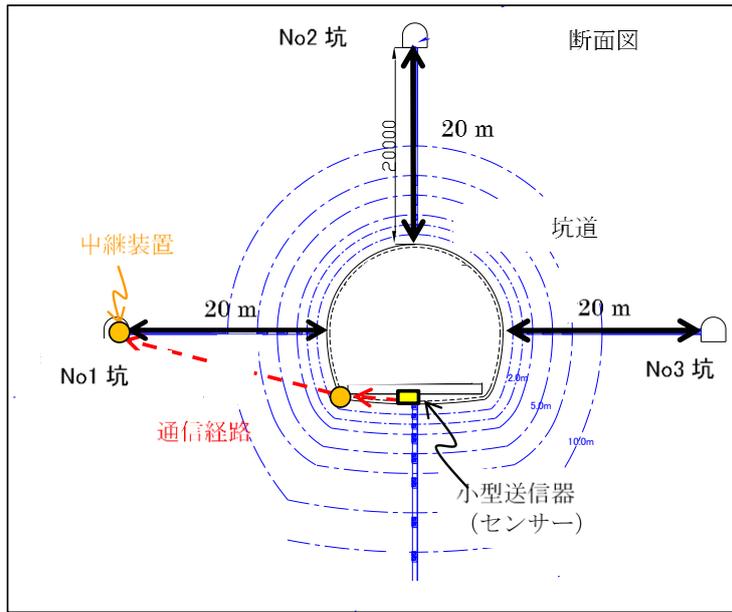


図 4.7-9 中継装置の複数段・複数経路の実証試験イメージ (断面図)

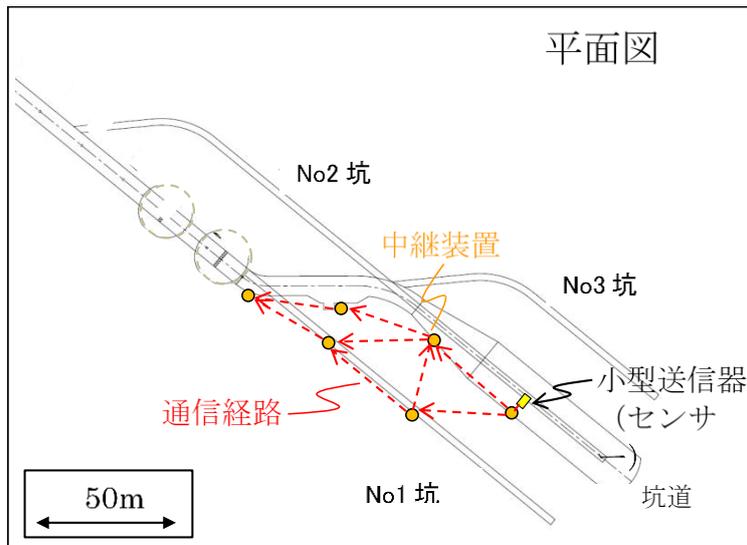


図 4.7-10 中継装置の複数段・複数経路の実証試験イメージ (平面図)

b.無線給電

地中無線通信技術を適用した無線モニタリング機器は、有線モニタリング機器と比較し、配線によるバリア機能への影響を回避することが可能である一方で、内蔵する電源の容量に応じた稼働期間の限界などの課題があり、地中モニタリング技術の適用性の拡大のためには、無線モニタリング機器の電源の利用期間の長期化に関する検討が必要である。

原環センターでは、地中無線モニタリング装置の利用可能期間を長期化することを目的とした電源に関する調査の一つとして、電磁波による電力供給方式に関する検討が進められている[23]。電磁波を用いた無線給電の概念とデモンストレーションの例を図 4.7-11 に示す。

無線給電技術を、例えば無線伝送技術と併用することにより、無線伝送によるモニタリングの長所に加えて、より密な時間間隔で長期間の測定が実現可能になり、また、センサの作動電力に対する制約が緩和されることにより、センサの選択肢の拡大も期待できると考える。現時点では、給電効率の向上や原位置での評価の実施（現状では室内試験の実績のみ）等の課題を有しているが、当該技術の開発状況によっては、機能確認試験におけるモニタリング計画に組み込むことにより、長期間の試験実施可能性の実証、あるいは将来的な実施の建設時の機能確認に寄与することができると考える。

無線給電・無線伝送技術及び従来モニタリング技術をHLW処分のモニタリングに適用した場合のイメージを比較したものを図 4.7-12 に示す。

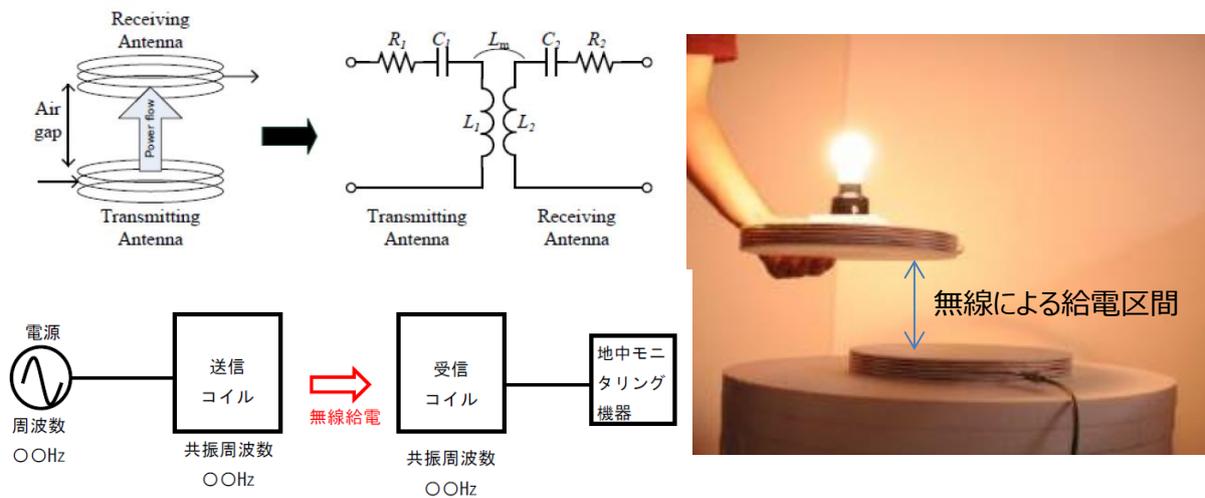


図 4.7-11 無線給電システムの概念と試験の例

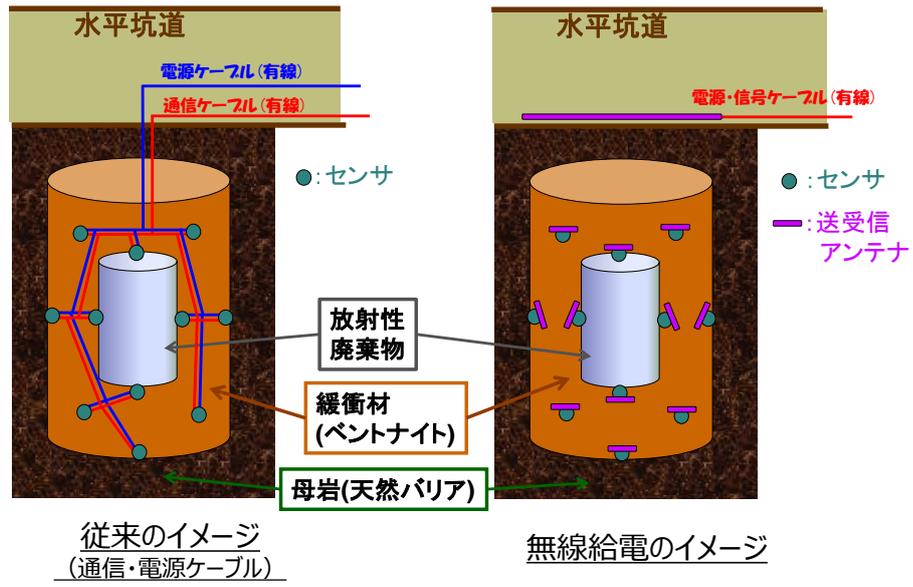


図 4.7-12 無線給電によるモニタリングの概念 (HLW での例)

6) センサの設置方法

a.実施内容

センサによる計測は、施設の性能や機能確認ポイントを代表するものでなければならないが、同じ性能の施設でも、その設置方法で得られる性能が異なることが予想される。そこで、センサ毎に適切な設置方法を検討する。図 4.7-13 には、既往の研究で実施された吹付けによる計器の設置検討例[24]を示す。低透水層の場合、センサ近傍の品質を他の箇所と同等に保ちながらセンサを設置するには、施工に伴う周辺への影響が小さく、任意の形状に設置締固め土を構築できることが重要である。このような条件を満足する施工法としては吹付け工法が最適である。

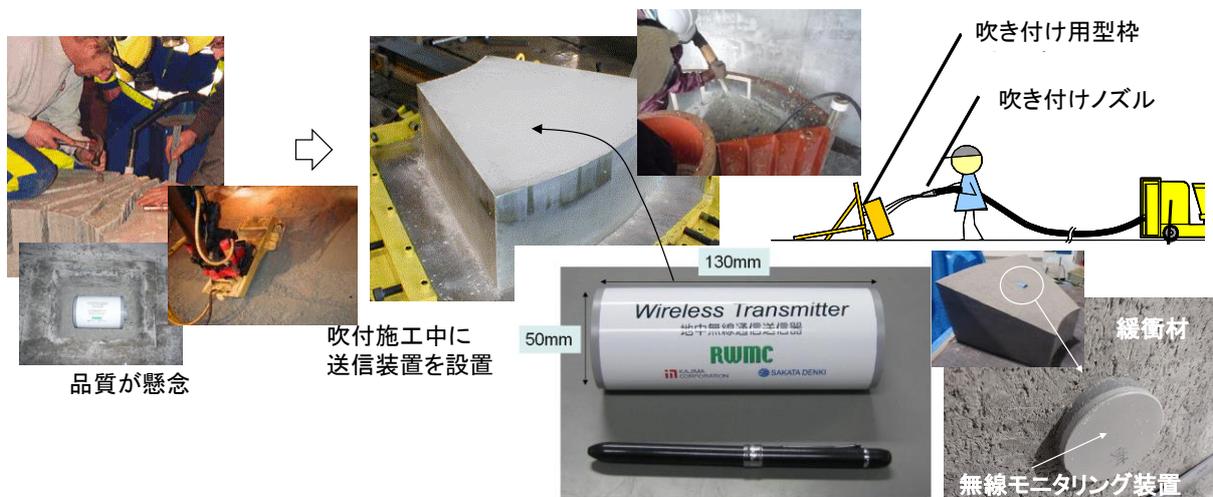


図 4.7-13 吹付け工法による計器の設置検討例

7) センサの交換方法

a.実施内容

アクセス坑道を実施設とは別に掘削する地下模擬施設や地上施設による機能確認では、センサに不具合が発生したり、モニタリング期間に技術革新があり、設置したセンサよりも高耐久・高性能なセンサが開発された場合、センサの交換を行った方が良い場合も考えられる。このような場合に、施設の性能を極力損なわずにセンサを取出す方法や同じ場所に設置する方法について検討を行う。

図 4.7-14 には、側部緩衝材を水平ボーリングでサンプリングした後に同径かつ同品質のブロックを押し込んで埋戻し補修した例を示す[25]。この場合、センサの取出しや取り付けは実施していないが、センサを含む周辺をサンプリングし、センサを含むサンプリング時の低透水層と同品質のブロックを挿入するなどの可能性について検討を行う。



図 4.7-14 側部緩衝材の水平掘削と埋戻し補修例

(2) サンプリングによる機能、機能確認ポイントの直接計測

1) 施工のばらつき、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきなどの評価

a.実施内容

施工のばらつきを模擬した供試体を用いて室内試験を実施し、施設を解体して機能確認する際の施工のばらつきの影響を評価する。また、同じ人工バリアから様々なサンプリング方法によって試料を取得し、サンプリング方法が性能に及ぼす影響も室内試験によって調べる。さらに、機能確認のための試験自身の適切な試験手順の規格化やばらつきについても検討する。

図 4.7-15 には、サンプリング方法が機能に及ぼす影響の検討イメージを示す。図に示すように、リファレンスの施工方法で構築した人工バリアを様々な方法でサンプリングして、機能確認のための室内試験に供する。この際、比較のために室内成型した供試体についても同じ試験を実施する。室内成型した供試体の機能に対して、サンプリングによる乱れなどの影響で、機能がどの程度の影響を受けるのかを定量評価する。

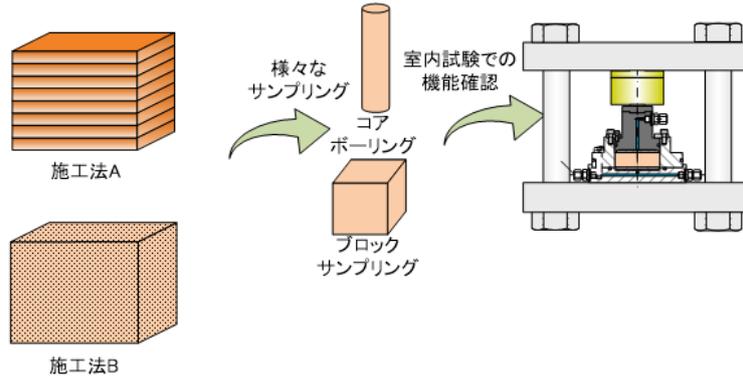


図 4.7-15 サンプルング方法が機能に及ぼす影響の検討イメージ

2) 計測したい機能に応じたサンプルング施設や供試体の適切な大きさ

a. 実施内容

実処分施設は施工に伴う性能のばらつきが存在する。また、性能によっては、ある領域の平均値として定義されるものも存在する。このため、計測する機能に応じて適切な供試体の大きさが存在する。この供試体の大きさが最適値よりも小さいと計測値はばらつき、性能評価に無駄な時間が掛かることになる。そこで、施工手順を模擬した供試体を作製し、様々な大きさと性能評価を行い、性能ごとに最適な供試体寸法を取得する。

図 4.7-16 には、不均質材料における供試体サイズと透水係数の関係イメージを示す。低透水層の透水係数は、施工に伴う性能のばらつきなどにより、供試体の寸法によってばらつきの程度が異なる。このため、ばらつきが小さく、低透水層の機能を代表できる透水係数を得るためには、最適な大きさが存在する。

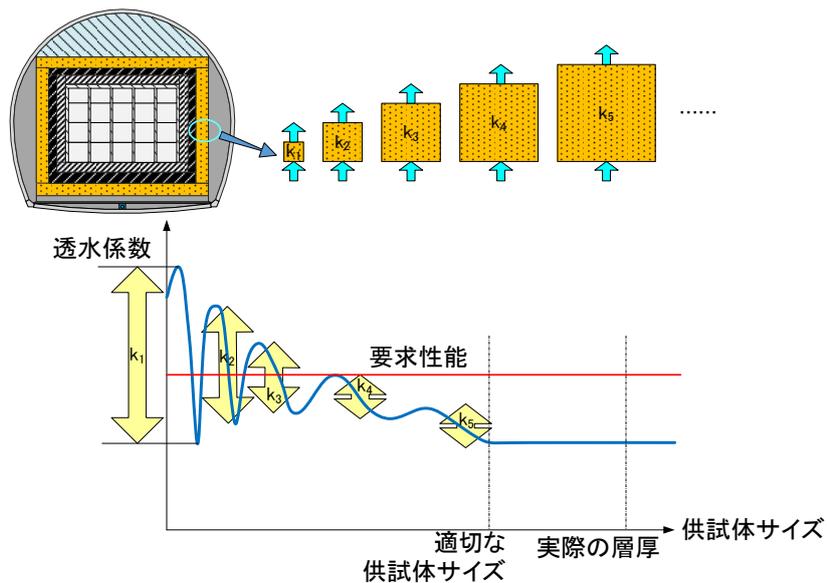


図 4.7-16 不均質材料における供試体サイズと透水係数の関係イメージ

3) 実処分施設と異なるサンプリング施設における材料構成割合の差異の評価

a. 実施内容

実処分施設の性能の変化の内、化学変化に起因するものは、その材料のモル比によって検討条件が保守的でなかったり、過度に保守的であったりする。このため、実処分施設を対象とした地化学解析を実施し、現実的な試験条件を決定する方法を取得する。

図 4.7-17 には小規模サンプリング施設による機能確認イメージを示す。覆工コンクリートから浸出する模擬地下水とベントナイトスラリーとの平衡水などを還元環境下で採取し、浸漬試験を実施する。得られた試験結果は、実処分施設の地化学解析と比較し、試験条件がどの程度保守側の設定になっているのかを定量評価する。小規模サンプリング試験結果は地化学解析の高度化に資する情報としても利用する。

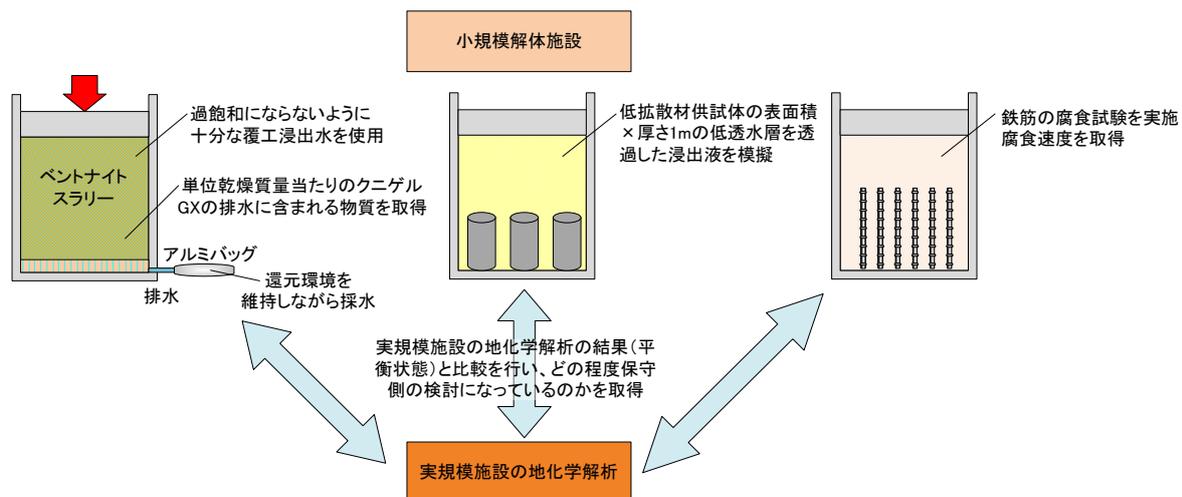


図 4.7-17 実処分施設の地化学解析の結果を考慮した小規模サンプリング施設による機能確認イメージ

4) 実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価

a. 実施内容

実処分施設の性能の変化は、地下水浸潤に伴って発生するが、一般的には、再冠水過程において地下水は均一に浸潤せず、局所的に浸潤するものと考えられる。一方、様々な施設規模が考えられるサンプリング施設のうち、実施施設よりも小さな規模の施設では、このような局所的な浸潤を模擬することが難しい。この浸潤の状況が異なれば、力学・化学・水理的な事象が施設の性能に及ぼす影響も異なることが予想されるため、浸潤状況の違いによる機能確認の差異を考慮することは重要である。

そこで、地下水浸潤によって発生する施設の性能変化のうち、飽和状態で検討することが保守的である性能を室内試験で取得する。一方、局所的な浸潤を考慮すべき施設の性能も抽出し、その評価に適切な試験規模や評価方法を検討する。

図 4.7-18 には飽和度変動による人工バリアの機能変化のイメージとして、低拡散層の Ca 溶出率 (左図) と低透水層の剛性 (右図) を示す。Ca 溶出率は、飽和度が高いほど大きいと考えられるため、実処分施設に比べて飽和度の上昇が早い小規模の試験施設は保守側の結果

を与えるものと考えられる。低透水層の剛性についても、飽和度が高いほど小さくなるため、小規模の試験施設は保守側の結果を与えると考えられる。

しかしながら、局所的に地下水が浸潤して剛性低下が起きた場合、コンクリートピットに生じる応力が大きくなり、亀裂の進展を助長する可能性もある（図 4.7-19） [17]。

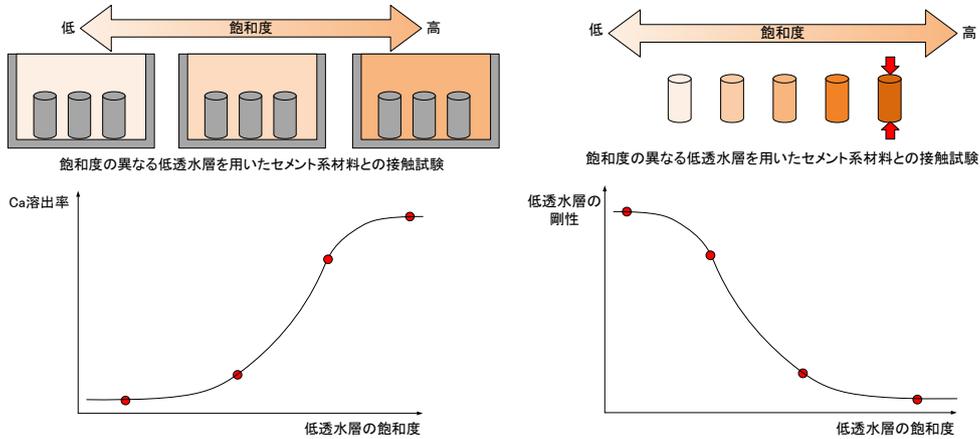


図 4.7-18 飽和度変動による人工バリアの機能変化のイメージ
 (左図：低拡散層の Ca 溶出率、右図：低透水層の剛性)

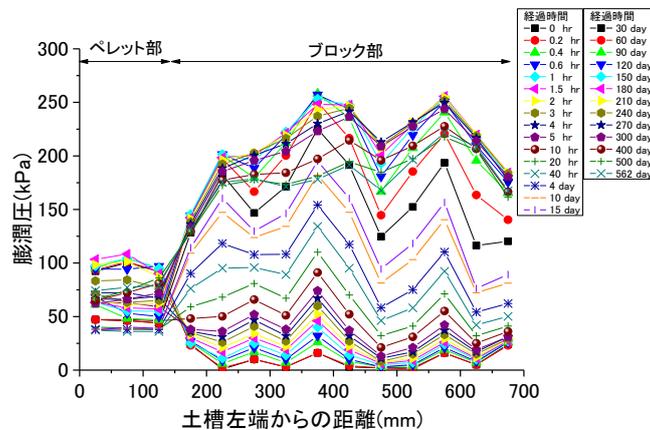


図 4.7-19 局所浸潤による膨潤圧分布の例

5) サンプルング時に計測できる物理量を用いた施設全体の評価

a. 実施内容

サンプルング施設で得られた値が実処分施設のどこの部位の値として取り扱うのが適切かを評価して、得られた値を実処分施設を対象とした解析に反映し、施設全体の機能確認の方法をまとめる。図 4.7-20 には、実処分施設を対象とした機能確認の例として、既往の研究において実施された地震動による透水係数変化の結果を示す[26]。この場合のインプットは、特定の地震動であるが、小規模サンプルング施設から得られた結果を実処分施設を対象とした解析に反映して施設全体の評価に適用する方法を検討する。

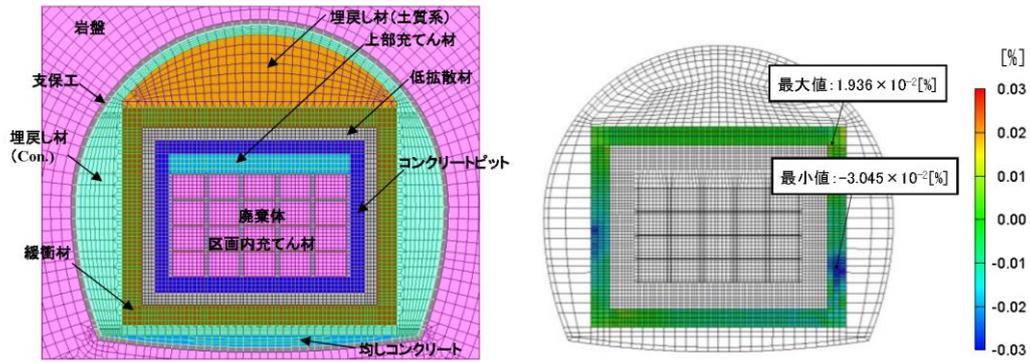


図 4.7-20 実処分施設を対象とした機能確認の例（地震動による透水係数変化）

6) 保全段階の環境を人為的に模擬する方法

a. 実施内容

埋設段階から保全段階に至る過程で施設を取り巻く環境は酸化環境から還元環境へと変化するものと考えられる。地下水の溶存ガスの分析に基づいて、様々な試験規模において還元環境を人為的に模擬する方法について検討を行う。また、施設の性能に対して、酸化環境や還元環境の違いが及ぼす影響についても検討を行う（図 4.7-21）。

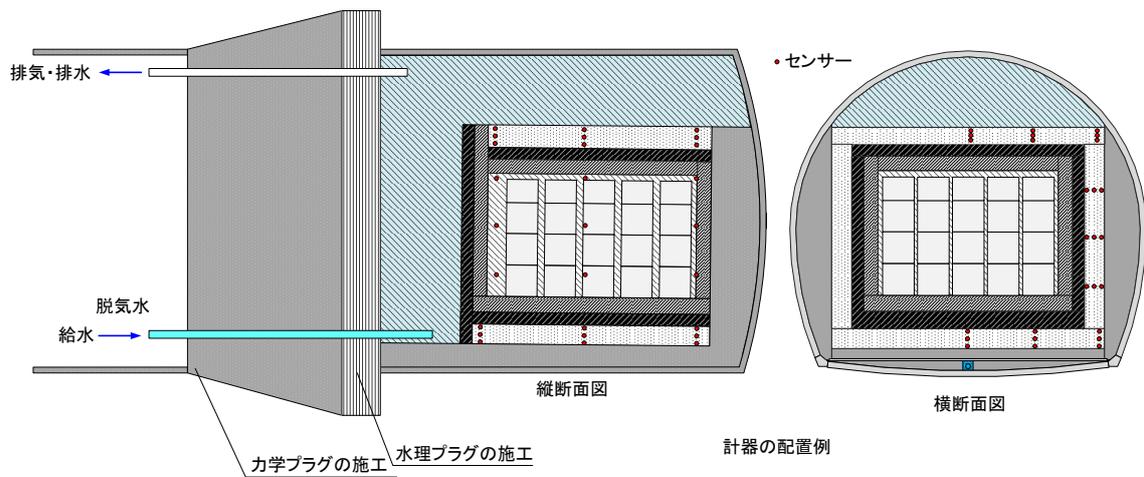


図 4.7-21 プラグの設置による還元環境を人為的に模擬する方法のイメージ

(3) その他の計測

第3章では、安全機能に影響を与える可能性のある物理・化学的な事象を考慮した上で、安全上重要なパラメータとそれに関連して計測可能な物理量の設定を行っている。この中で、緩衝材（ベントナイト）に関して、近年着目されているエロージョン/パイピング、鉄との相互作用やコロイドなどにも言及したが、これら事象の兆候をモニターするための具体的な指標については設定してこなかった。

ここでは、緩衝材に関連して発生するこれら事象のうち、再冠水段階で発生する可能性のある事象として、エロージョン/パイピングに着目し、室内試験等により、事象の兆候をモニターするための具体的な指標について検討する。室内試験のイメージ[18]を図4.7-22に示す。

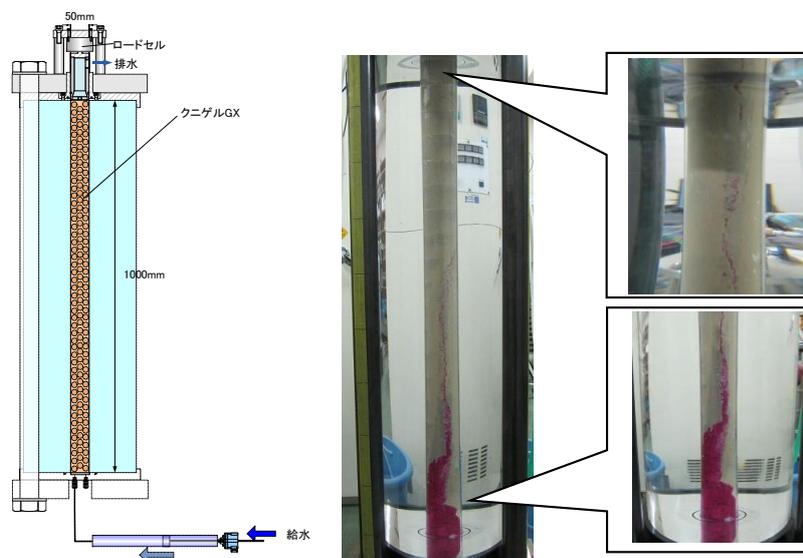


図 4.7-22 流出現象を定量評価するための試験イメージ

実施内容としては、施設の性能に有意な影響を及ぼす埋設段階から保全段階で施設内に発生する事象の発生条件や、発生した場合の副次的事象を調べる。これらの事象が発生していることを示す特異的な情報があれば、その取得方法を検討する。特異的な情報がなければ幾つかの情報による絞り込みで事象の発生の有無が判断できるフローの作成を検討する。

また、影響事象の発生の有無だけでなく、発生の程度や性能への影響の大きさなどの推定の可能性についても検討する。図4.7-23には、流出現象が低透水層の機能に及ぼす影響の定量評価の例を示す[23]。この図は、湧水量から低透水層の流出量が推定できるというものであり、流出現象の影響を定量評価する方法としてSKBなどで実施されている。

さらに、図4.7-24には、流出現象の発生の有無を評価例として、排水中の固相のモンモリロナイト含有率を示す[18]。流出現象中は、モンモリロナイトが選択的に流出していることが分かっており、施設の排水中の固相のモンモリロナイト含有率を計測することで流出現象の有無を判断することができる。

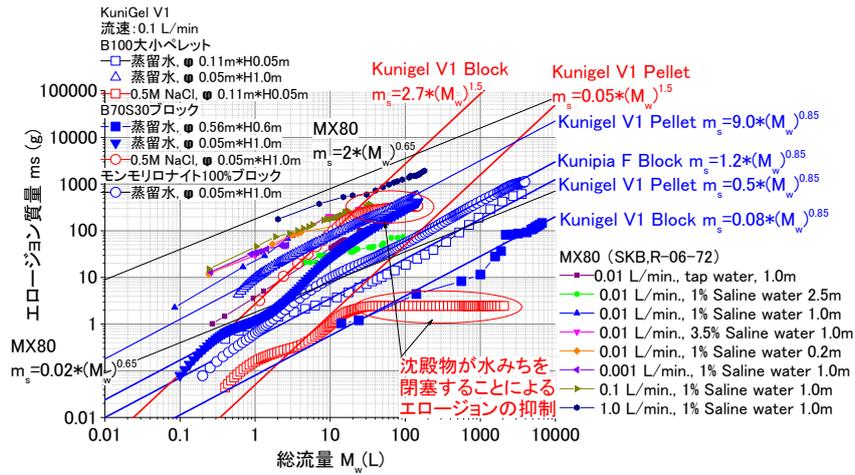


図 4.7-23 流出現象を定量評価例

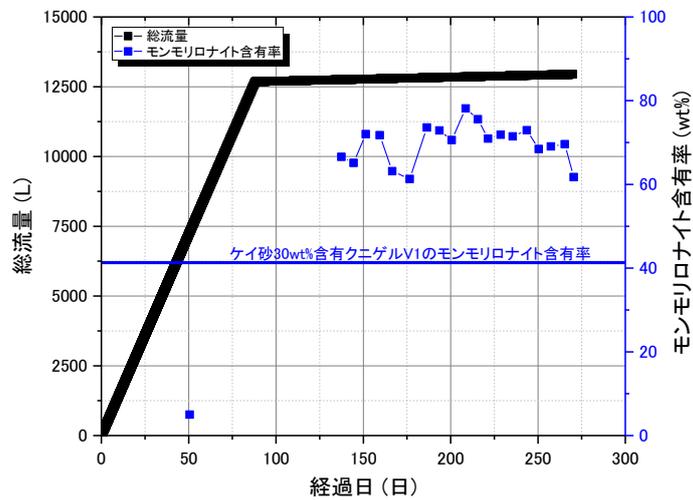


図 4.7-24 流出現象の発生の有無を評価例 (排水中の固相のモンモロロナイト含有率)

4.7.2 既存施設を活用した試験計画の立案

日本原燃敷地内の試験空洞にある既存試験施設は、施設の施工技術の実現性について確認することを目的として構築されている。この際、施工エリアが湧水によって湿潤状態となり、施工品質が損なわれることを排除するために、1次覆工の表面に防水シートを貼り付けて養生を行い、施工エリア全体をドライな状態に維持している（図 4.7-25）。この状態で、側部埋戻しや上部埋戻しを行っているため、既存施設の防水シートを除去して、積極的に湧水を浸潤させるということは不可能な状況である。

そこで、本項では、既存施設を活用した以下の試験計画について検討を行った。

- 現状のままで活用する場合
- 増築して活用する場合
- 水理制御機能を付与する場合

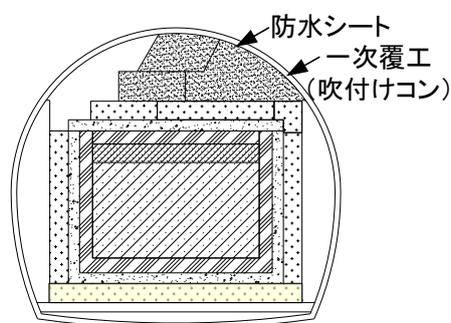


図 4.7-25 既存施設の現状のイメージ

(1) 現状のままで活用する場合

前述のように、現状のままで既存施設を検討に活用する場合、水理場を制御することが困難である。このため、現状の施設は、埋設段階の施設を模擬していると思えることもできる。

地下水が浸潤しなければ、化学変質も発生しないと考えられるが、埋設段階の施設では化学変質による機能の変化は緩慢であることを確認することも可能である。

また、水理・化学に起因した機能変化がほとんどないとすれば、力学を主とした機能確認としての活用が考えられる。

この方法の長所は、

- 気温や湿度が実処分施設に類似
- 局所的な機能の変化を直接計測可能
- スケール効果の考慮不要

などが挙げられる。一方、短所としては、

- 水理場を制御できない
- 化学変質を考慮できない

などが挙げられる。主な計測項目としては、

- 土圧
- 変形量
- 密度分布
- ひび割れ間隔

などである。

(ア) センサによる機能の代替パラメータの計測の課題解決に対する活用

4.6 で説明したように、既存施設には、様々なセンサが埋め込まれている。このため、継続的に様々なデータを取得して、埋設段階の施設における機能変化が小さいことを示すことが可能である。

さらに、継続的なセンサによる計測を通じて、耐久性検討も可能である。一部の故障した機器に関しては取り出して故障の原因を調べ、耐久性の向上に資する情報が入手できる。さらに、センサの設置方法や交換方法などの検討も可能である。

(イ) サンプリングによる機能、機能確認ポイントの直接計測の課題解決に対する活用

既存施設は、現状の技術のうち適用性の高い施工技術で構築された実規模施設である。このため、施工による機能のばらつきや、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきなどの評価に活用可能である。また、実規模施設であることから、計測したい機能に応じたサンプリング施設や供試体の適切な大きさの検討を実施することも可能である。

(ウ) 機能に影響を及ぼす事象の計測の課題解決に対する活用

既存施設は、水理的な事象を再現することが難しいため、力学的な事象の影響評価への活用が考えられる。たとえば、クリープ変形が施設の機能に及ぼす影響の定量評価や不同沈下によるコンクリートピットへのひび割れ状況の確認などが考えられる。また、浸潤した際の局所的な膨潤を模擬した偏載荷や、水理的な事象として、流出が起きた後の緩衝材を模擬した局所掘削などがコンクリートピットのひび割れに及ぼす影響なども考慮可能である（図 4.7-26）。

これらの検討の結果をセンサや解体によって計測すれば、解析的な評価技術の確立に反映することも可能である。

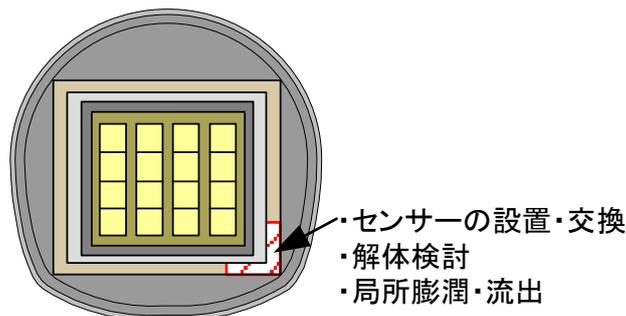


図 4.7-26 既存施設の活用のイメージ

(2) 既存施設の活用検討（増築案）

既存施設を用いた機能確認試験において、埋設から保全段階の実処分施設と同等の環境を模擬する場合、水理場の制御が不可欠である。そこで、図 4.7-27 に示すように、既存施設に連続する施設を増築し、その増築部分に水理場を制御する機能を付与することも可能である。また、図 4.7-28 に示すように、増築する際に周辺岩盤にセンサを設置して、周辺岩盤が緩んだ状態から施設の建設～埋設～保全段階に至る過程で掘削前の状態に戻る状況もモニタリング可能である。天然バリアの機能が、保全段階で向上することが確認できれば、実際の処分事業におけるモニタリングにおいても、天然バリアに関しては埋設段階までのモニタリングで十分であることを示すことができる。

なお、地下水場を制御する方法としては、側部埋戻し材と底部のインバート部に比較的ポーラスなパネルを設置し、そのポーラスコンクリートパネルから低透水層に給水する方法が考えられる。このような給水方法は、実処分施設への浸潤状況と比較すると促進試験に位置付けられるため、実際の処分施設の評価に適用する場合には促進試験の影響を考慮する必要がある。

この方法の長所は、

- 地下水の供給が不要
- 局所的な機能の変化を直接計測可能
- スケール効果の考慮不要
- 短所実施設の構成と概ねモル比が合致
- 気温や湿度が実処分施設と類似

が挙げられる。一方で、短所としては、

- 高コスト

が挙げられる。主な計測項目としては、

- 土圧
- 変形量
- 密度分布
- ひび割れ間隔
- 飽和度（新規機器）
- 膨潤圧（新規機器）
- 沈下（新規機器）
- ひび割れ幅・位置（新規機器）
- Ca/Na イオン濃度（新規機器）
- pH（新規機器）

などである。さらに周辺岩盤の性能が保全段階から向上することを確認する目的で、

- ロックボルトの張力（新規機器）
- 湧水量（新規機器）

なども挙げられる。

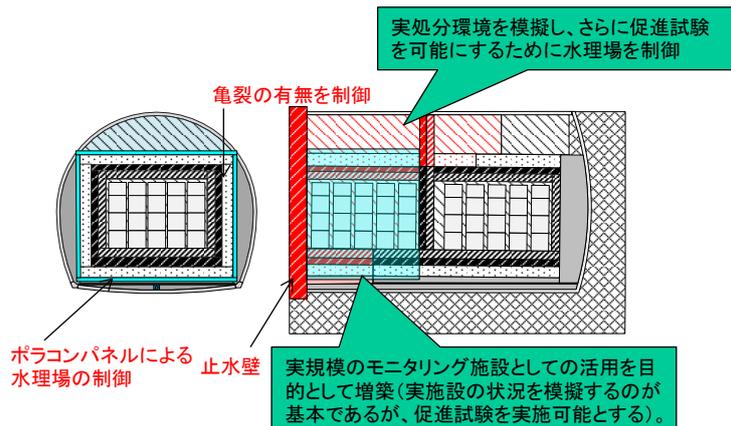


図 4.7-27 既存施設に水理場制御機能を増築して活用する場合のイメージ

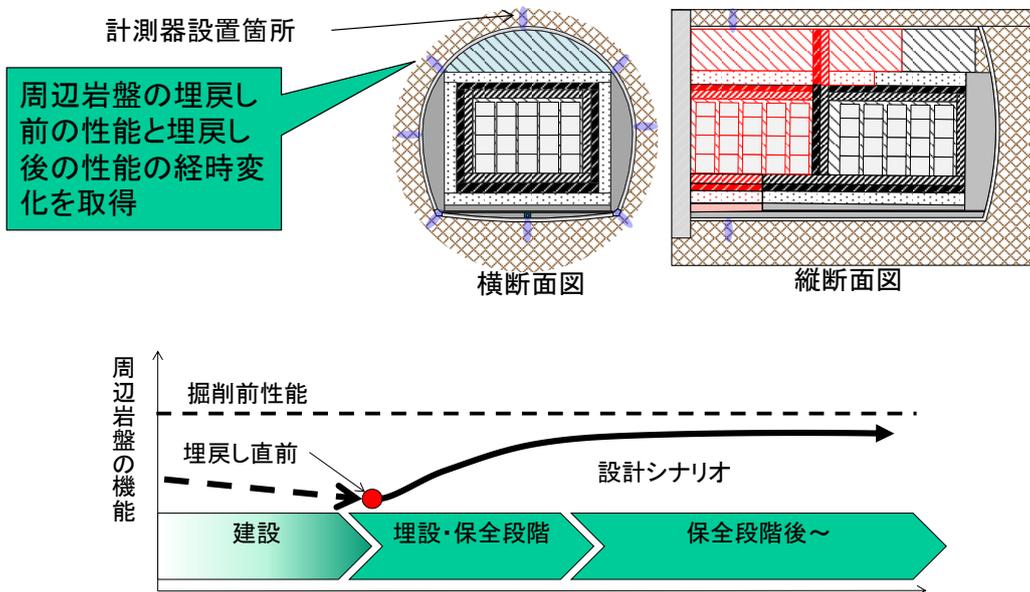


図 4.7-28 既存施設に増築する際の周辺岩盤の性能評価イメージ

1) センサによる機能の代替パラメータの計測の課題解決に対する活用

既存施設をそのまま活用する場合の検討内容に加え、増築する部分に無線伝送装置を埋め込むことで、計測値の無線伝送・無線給電の検討にも活用できる。さらに、給水期間中の施設性能の経時変化を取得し、水理や化学的な影響を考慮して、埋設段階から保全段階で機能変動が激しい時期を調べることも可能である。

2) サンプルによる機能、機能確認ポイントの直接計測の課題解決に対する活用

既存施設をそのまま活用する場合の検討内容に加え、小規模サンプリング施設の結果と比較することで、実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価や実処分施設と異なるサンプリング施設における材料構成割合の差異の評価にも活用できる。

3) 機能に影響を及ぼす事象の計測の課題解決に対する活用

水理場を制御することで、埋設段階から保全段階に至る過程で実処分施設に発生する事象を模擬することが可能である。この際に事象が発生していることを示す特異的な情報の取得や、幾つかの情報による絞り込みで事象の発生の有無が判断できるフローの適用性の確認を行うことができる。また、特異な情報として、施設の機能に影響を与えないトレーサーを増築部分に埋設し、そのトレーサーによって事象の発生の有無を確認することも可能である。

さらに、影響事象の発生の有無だけでなく、発生の程度や性能への影響の大きさなどの推定の検討についても活用できる。

(3) 水理場制御機能のみ追加する案

前述の増設案では、水理場制御機能を付与した新たな施設を増設することを計画しているため、様々な検討に活用できる一方で、コストが高いことが懸念される。そこで、既存の施設に水理場制御機能のみを追加することも考えられる。

既存の施設に水理場制御機能のみを追加する方法としては、埋戻し材と低透水層の間にボーリング孔を設置し、パッカーを用いて加圧給水することが考えられる（図 4.7-29）。また、既存施設の模擬廃棄体と充填材を撤去して、ピットの内側からボーリングを行い加圧給水する方法も考えられる（図 4.7-30）。

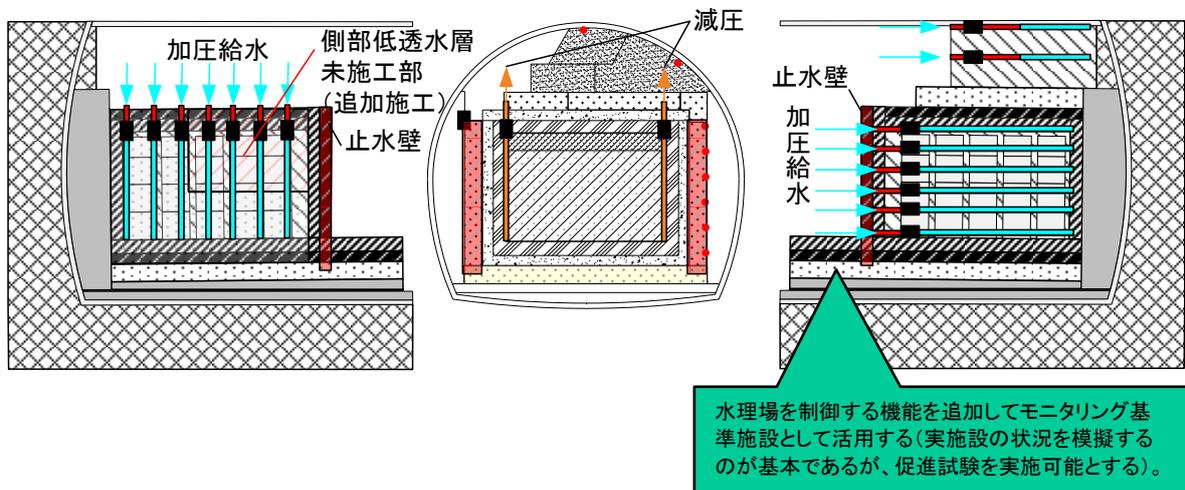


図 4.7-29 既存施設に水理場制御機能のみを増築場合のイメージ (1)

実規模のモニタリング施設としての活用を目的として増築(実施設の状況を模擬するのが基本であるが、促進試験を実施可能とする)。

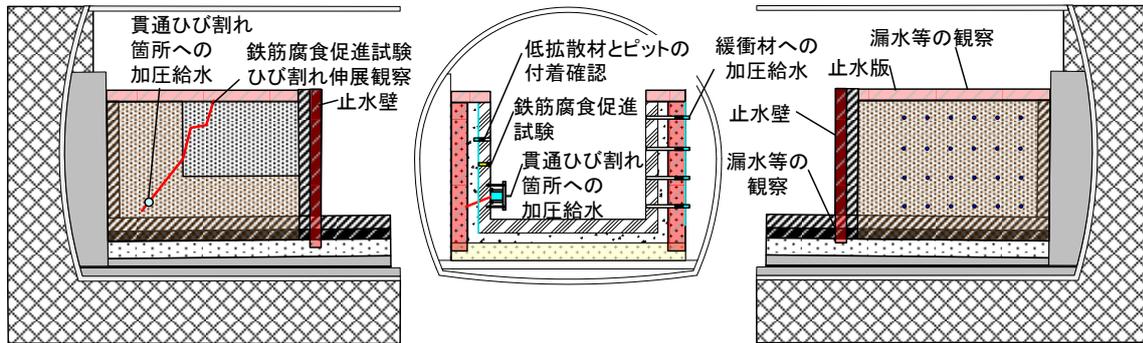


図 4.7-30 既存施設に水理場制御機能のみを増築場合のイメージ (2)

この場合の長所としては、前述の水理場制御機能を付与した新たな施設を増設する場合と同様に、

- 地下水の供給が不要
- 局所的な機能の変化を直接計測可能
- スケール効果の考慮不要
- 短所実施設の構成と概ねモル比が合致
- 気温や湿度が実処分施設と類似

が挙げられる。さらに、コストも既存施設をそのまま利用した場合と同程度である。また、ピットの内側からボーリングを行う場合は、

- 鉄筋腐食の促進試験
- セメント浸出液を低透水層に作用させること

なども実施可能となる。

一方、短所としては、

- 水理条件の制御が難しい
- 既存計器で計測できる項目が限られているため、一部解体する必要がある
- 周辺岩盤の機能を計測できない

などが挙げられる。主な計測項目としては、

- 土圧
- 変形量
- 密度分布
- ひび割れ間隔
- 飽和度 (新規機器)
- 膨潤圧 (新規機器)
- 沈下 (新規機器)
- ひび割れ幅・位置 (新規機器)
- Ca/Na イオン濃度 (新規機器)

- pH（新規機器）

などである。

1) センサによる機能の代替パラメータの計測の課題解決に対する活用

前述の水理場制御機能を付与した新たな施設を増設する場合と同様である。ただし、コンクリートピットの内側からボーリングを行う場合は、セメント系材料に関わるセンサを用いた検討が容易である（図 4.7-31）。例えば、鉄筋に通電、もしくは Cl⁻を含むような水溶液を作用させて鉄筋腐食促進試験を実施した場合のセンサで計測できる物理量の経時変化の取得や、ひび割れ進展に関する計測値と目視観察との整合性、腐食によるセメント浸出液の組成変化なども取得が可能となる。

2) サンプリングによる機能、機能確認ポイントの直接計測の課題解決に対する活用

前述の水理場制御機能を付与した新たな施設を増設する場合と同様である。ただし、コンクリートピットの内側からボーリングを行う場合は、セメント系材料を容易に解体できるため、セメント系材料の施工による性能のばらつきや鉄筋腐食にともなうひび割れによる性能変化を直接計測できる（図 4.7-31）。

3) 機能に影響を及ぼす事象の計測の課題解決に対する活用

前述の水理場制御機能を付与した新たな施設を増設する場合と同様である。ただし、コンクリートピットの内側からボーリングを行う場合は、鉄筋に通電、もしくは Cl⁻を含むような水溶液を作用させて鉄筋腐食促進に伴い発生する副次的な事象や特異的な情報を収集できる。さらに、ひび割れの進展に伴って発生する貫通ひび割れが発生した場合にセメント浸出液の低透水層に作用した場合に発生する事象なども取得できる。

既存施設の左右で低拡散材が露出している妻側に向かって左側の側部緩衝材エリアを低拡散材とピットの検討に活用し、右側を低透水層の検討に活用する（図 4.7-32）ということも可能である。

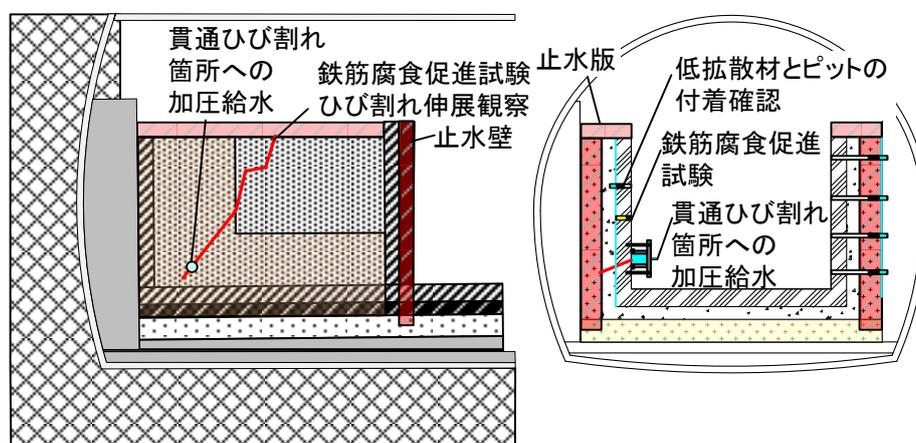


図 4.7-31 既存施設に水理場制御機能のみを増築場合のイメージ（セメント系人工バリア）

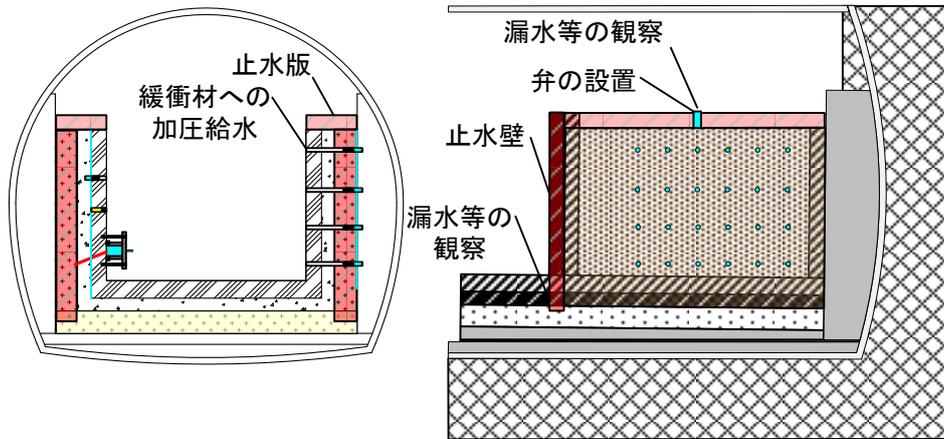


図 4.7-32 既存施設に水理場制御機能のみを増築場合のイメージ (低透水層)

4.7.3 新規施設を活用した試験計画（案）の立案

既存施設は実際の処分環境に近い地下の実規模施設であったため、センサによる機能の代替パラメータの計測施設としては適切であるが、サンプリング施設としては大きく、影響事象を計測するためには水理場制御ができないものであった。そのため、本項では、表 4.6-1 や表 4.6-6 を参考にして、各機能確認方法の課題を解決しつつ、実際のモニタリング施設としても実施可能な様々な規模のモニタリング施設の検討を行う。検討に当たっては、表 4.6-1 に倣い、

- 地上サンプリング施設
- 地下サンプリング施設
- 地下模擬施設

について検討を行う。なお、近傍ボーリング孔など採水施設については、地上施設、若しくは地下模擬施設での採水で検討可能であるため、本検討の新規機能確認試験施設としては検討の対象から外した。

(4) 地上サンプリング施設

地上サンプリング施設は、管理された理想的な系でのモニタリングが可能な点である。ただし、埋設・保全期間に亘ってモニタリングすることを考えると、モニタリングできる機能は、その経時変化が室内で再現可能な特定の地下環境のみに依存する場合に限られる。例えば、原位置の地下水組成のみに依存する機能であれば、現地地下水を供給し続けることは比較的容易であるが、原位置付近の地圧に依存する機能の場合、2～3MPa 程度の圧力を例えば 400 年間に亘って作用させ続けることは容易ではない。室内で再現する原位置環境によってモニタリングのコストが変動する。さらに、室内でのモニタリングの長所は、機能を直接計測することが可能な点である。このため、機能を直接的に評価可能である。

ただし、室内でのモニタリングでは、実施設と材料構成割合を同等にすることが難しいなど、得られた施設の機能が必ずしも原位置環境と同等であるとは限らないため、原位置環境をどのように模擬するかだけでなく、原位置環境の違いを解釈し、得られた結果を補正するというやり方を示す必要がある。例えば、原位置環境よりも室内でのモニタリング環境が、少なくとも保守側の設定であること示すということなどが考えられる。また、計測される機能も供試体の平均的な機能であり、局所的な不均一さなどの評価には工夫が必要である。

1) 実施例 1

図 4.7-33 に地上施設内での機能確認試験のイメージを示す。サンプリングする供試体寸法は要素試験レベルである。予備検討や既存施設による機能確認試験との比較を行うことで、計測したい機能に応じたサンプリング施設や供試体の適切な大きさ、実処分施設と異なるサンプ

リング施設における材料構成割合の差異の評価、実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価が可能となれば、供試体寸法は要素試験レベルであっても機能確認可能であると考えた。

低拡散層やコンクリートと鉄筋で作られたコンクリートピットの供試体を配置し、周囲をベントナイトで充填し、地下水が低拡散層からコンクリートピット側へ流れるようにしている。供試体は前面から順番に採取できるようにすることで、1つの試験系で時間経過をパラメータにできるように工夫している。供試体がベントナイトと接している比表面積が実際の低拡散層よりも大きいため、溶出に対しては保守側の設定と言える。コンクリートピットに対しては、拘束条件が実際と異なるが、鉄筋がベントナイトと直接接するように供試体を作製し、腐食によってコンクリートにひび割れが発生するように工夫している。この際、地下水が大气と接しないように工夫するなど、還元環境とすることが重要と考えられる。

また、排水を採水し分析することで近傍ボーリング孔など採水施設による影響事象の有無の推定に関する検討も実施可能である。

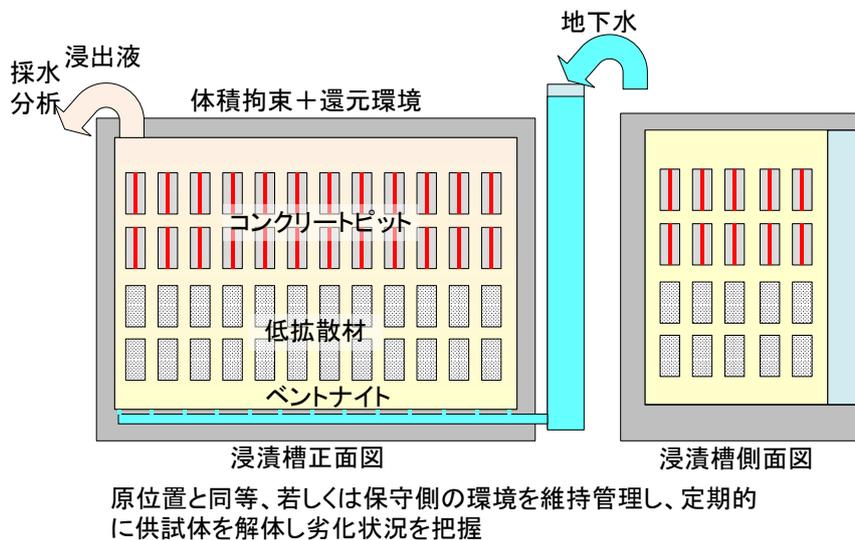


図 4.7-33 新規地上サンプリング施設での機能確認試験のイメージ

1) 実施例 2

実施例 1 と同様に、比較的長期にわたる人工バリア（実施例 1 のバリア材単体系に対して、ここでは複合系とする）の機能変化を評価するためのモニタリング及び試験体のサンプリング調査を目的とした、地上（室内）の浸漬槽を用いた機能確認試験の実施例を図 4.7-34 に示す。供試体として、人工バリアシステム（RC ピット、低透水層、低拡散層）を模擬した小型複合供試体を用いることにより、バリア構成要素の長期的な相互影響について評価を目指す。各供試体をブロック形状のユニット式で構築することで、順次サンプリング・分析が可能な試験構成とすることにより、経時的な状態変化を直接評価することができる。また、実施例 1 と同様に、地下水の注水に伴う施設からの浸出液についても採水・分析が可能であるが、地下水の取扱い環境等についての留意点についても実施例 1 と同様である。

分析・評価の対象とするモニタリング項目は、透水係数、飽和度、間隙率、密度、変形係数（強度）、ひび割れ、化学的変質（腐食、劣化）、間隙水の水質・組成（浸出液による）等が考えられる。また、試験設備や供試体の構成、地下水条件等は試験目的に応じて設定可能であり、例えば、地下水条件の変更等により、試験の一層の促進を図ることもできる。

本試験の概念は、ボーリング孔を利用した地下でのサンプリング施設を利用した試験における供試体として適用することもでき、その場合は、実処分施設と類似の環境下における機能の変化を供試体のサンプリングにより直接計測することができる。また、地上と地下で同様の試験を実施し、双方の試験環境下での事象の変化の相違を比較することにより、地上試験全般における試験の境界条件の影響を把握することも可能である。

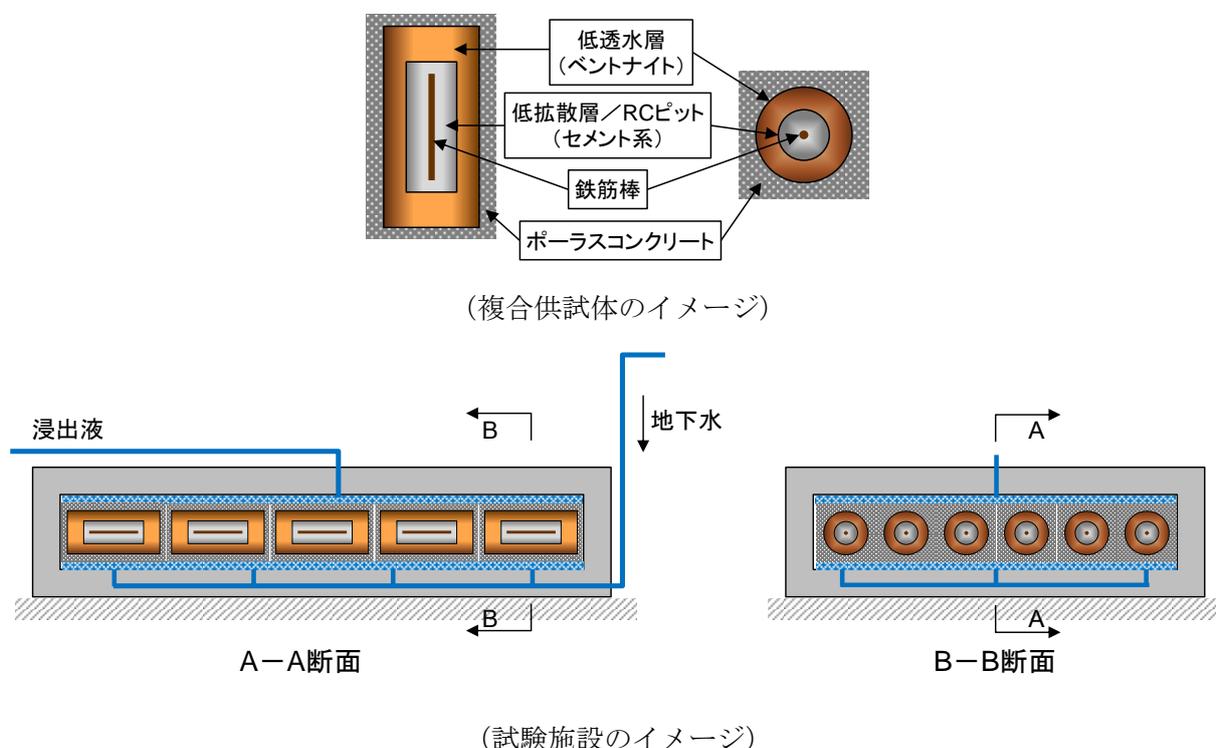


図 4.7-34 新規地上サブリング施設での機能確認試験のイメージ（複合バリアシステムの長期浸漬試験）

(5) 地下サンプリング施設

地下サンプリング施設は、地上の施設に比べ制御できる試験条件が限られる代わりに、地下水の供給や地圧など、実処分施設と類似の環境で機能確認試験が実施可能である。また、地上と地下でのサンプリング施設を比較することで、機能確認環境の差異が及ぼす影響を定量評価できれば、地上サンプリング施設による機能確認に成果を反映できる。

地下サンプリング施設は、実規模に近い大きな規模で実施することにより、実施設と材料構成割合が同程度になり、化学的な変質に伴う機能変動の説明性が高くなるが、機能確認に掛かるコストが非常に高くなるため、定期的にサンプリングするということが難しくなる。このため、地下サンプリング施設も、地上サンプリング施設と同様に、供試体寸法を要素試験レベルとした。この場合、実施設と材料構成割合を同等にすることが難しいなど、得られた施設の機能が必ずしも原位置環境と同等であるとは限らないが、予備検討や地上サンプリング施設、さらに既存施設による機能確認試験との比較を行うことで、計測したい機能に応じたサンプリング施設や供試体の適切な大きさ、実処分施設と異なるサンプリング施設における材料構成割合の差異の評価、実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価が可能となれば、供試体寸法は要素試験レベルであっても機能確認可能であると考えた。

図 4.7-35 には地下サンプリング施設での機能確認試験のイメージを示す。施設は、地下にボーリング孔程度の大きさの堅穴を設置し、その中に低拡散層やコンクリートと鉄筋で作られたコンクリートピットの供試体を配置し、周囲をベントナイトで充填してある。このボーリング孔の上流側には地下水の流向流速を制御するためにパッカーを設置した加圧給水用のボーリング孔を設置してある。これにより、地下水が低拡散層からコンクリートピット側へ流れるようにしている。また、最下流側に採水用のボーリング孔を設置しており、排水を採水し分析することで近傍ボーリング孔など採水施設による影響事象の有無の推定に関する検討も実施可能である。

供試体は前面から順番に採取できるようにすることで、1つの試験系で時間経過をパラメータにできるように工夫している。供試体がベントナイトと接している比表面積が実際の低拡散層よりも大きいため、溶出に対しては保守側の設定と言える。コンクリートピットに対しては、拘束条件が実際と異なるが、鉄筋がベントナイトと直接接するように供試体を作製し、腐食によってコンクリートにひび割れが発生するように工夫している。この際、地下水が大気と接しないように工夫するなど、還元環境とすることが重要と考えられる。

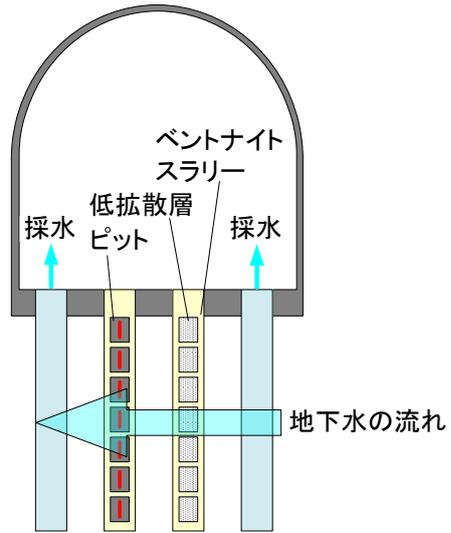


図 4.7-35 新規地下サンプリング施設による機能確認試験のイメージ

(6) 地下模擬施設

地下模擬施設は、地上の施設に比べ制御できる試験条件が限られる代わりに、地下水の供給や地圧など、実処分施設と類似の環境で機能確認試験が実施可能である。また、地下模擬施設は、地下サンプリング施設よりも試験規模を大きさとする代わりに、サンプリングではなくセンサで機能確認を行う試験施設として構築する。構築に当たっては、予備試験での検討結果を反映したセンサの配置を行い、無線伝送や無線給電が実施可能なものとする。計測間隔や頻度についても、予備試験での検討結果を反映した計測計画とする。

図 4.7-36 には地下模擬施設での機能確認試験のイメージを示す。施設は、プラグによって保全段階の還元環境を模擬し、材料構成割合をなるべく実施設と同等にする。プラグの下端から脱気地下水を給水し、プラグの上端から排水するものとして、この排水を採水し分析することで近傍ボーリング孔など採水施設による影響事象の有無の推定に関する検討も実施可能である。

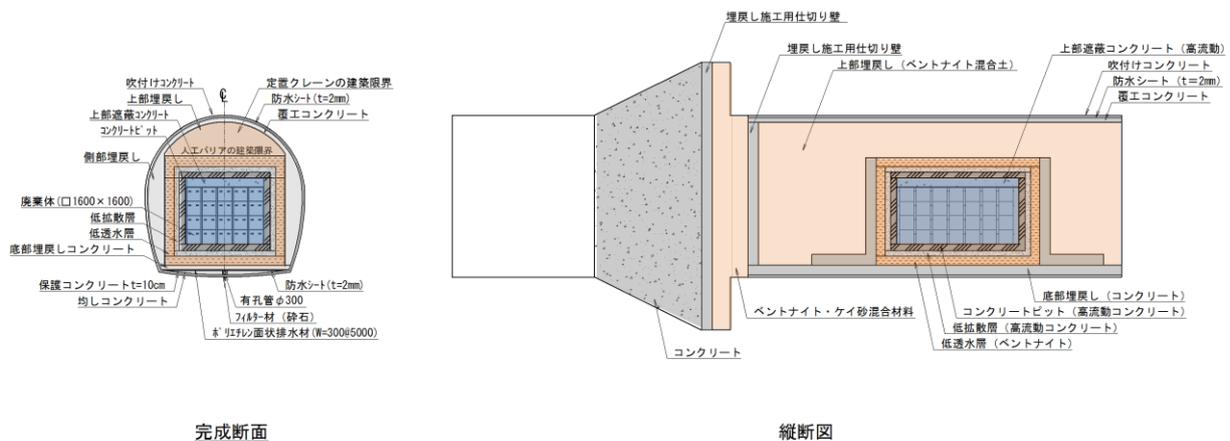


図 4.7-36 地下模擬施設でのセンサによる機能確認試験のイメージ

4.7.4 既存施設と新規施設を活用した試験計画の位置付け（まとめ）

本業務において既存施設と新規施設を活用した施設の機能確認方法に関する試験計画をまとめると表 4.7-1 既存施設と新規施設を活用した試験計画の位置付けのようになる。既存施設をそのまま使用する場合、機能確認できる時期が限定的であり、何らかの補強が必要となる。新規施設の場合は、機能確認したい時期や計測項目に合わせて施設を設計できるため、適合性が高い。

また、影響事象を計測する施設は、本業務において単独で検討する必要はなく、地上・地下模擬施設の排水などから評価検討を行うことが可能である。なお、表 4.7-2 に既存施設、新規施設と技術課題との関係を整理した。

表 4.7-1 既存施設と新規施設を活用した試験計画の位置付け

モニタリング施設		モニタリング項目	時期	本プロジェクトでの検討			
				既存			新規
				そのまま	増築	水理場付与	
地下模擬処分施設	アクセス坑道供用	機能確認ポイント 影響事象の有無	埋設	○	○	○	○
			保全	× 力学的な事象のみ検討可能	○	△ 保全段階の環境の模擬に課題	○
	アクセス坑道別		埋設	○	○	○	○
			保全	× 力学的な事象のみ検討可能	○	△ 保全段階の環境を模擬に課題	○
地上施設		機能確認ポイント 影響事象の有無	埋設	—	—	—	○
			保全	—	—	—	○
近傍ボーリング孔など採水施設		影響事象の有無	埋設	—	○*	○*	○*
			保全	—	○*	○*	○*

*地上・地下模擬施設の排水の評価で検討

表 4.7-2 既存施設、新規施設と技術課題との関係

確認方法	技術課題	機能確認試験計画（案）									
		既存のまま 活用 既存①	増築して 活用 既存②	水理制御 機能を付与 ①	水理制御 機能を付与 ②	地上サンプ ル施設 新規①	地上サンプ ル施設 新規②	地下サンプ ル施設 新規③	地下模擬 施設 新規④	地中無線 技術 伝送①	無線給電 技術 伝送②
センサ	センサによって計測できる物理量と機能の相関性	△	○	○	○	○	—	—	△	—	—
	センサによって計測できる物理量を用いた全体的な機能評価（解析）	△	○	○	○	○	—	—	△	—	—
	センサの耐久性評価、および高性能・高耐久化検討（光ファイバ）	△	○	△	△	○	—	—	△	—	—
	機能の経時変化の計測計画への反映（時間間隔、頻度）	○	○	△	△	○	—	—	△	○	○
	センサの無線伝送・給電技術	○	○	○	○	△	—	—	△	○	○
	センサの設置方法	○	○	○	○	△	—	—	△	○	○
	センサの交換方法	○	○	○	○	△	—	—	△	○	○
サンプリング	施工のばらつき、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきの評価	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
	計測したい機能に応じたサンプリング施設や供試体の適切な大きさ	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—
	実処分施設と異なるサンプリング施設における材料構成割合の差異の評価（地上、地下）	△	△	△	△	○	○	○	○	—	—
	実処分施設と異なる規模のサンプリング施設における地下水浸潤状況の差異の評価	△	○	○	○	○	○	○	○	—	—
	サンプリング時に計測できる物理量を用いた施設全体の評価（解析）	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—
	保全段階の環境を人為的に模擬する方法	△	△	○	○	○	○	○	○	—	—

4.7.5 本業務における試験の全体工程

本業務では、機能確認試験を実施する前に、4.7.1 に示した予備検討を実施する計画である。この予備検討によって課題が解決されれば、機能確認に対して様々な効果が期待できる。ただし、4.7.1 に挙げた課題の中には、余裕深度処分事業に限らず、地層処分事業などでも共通の課題となるものも含まれている。そこで、4.7.1 に挙げた課題のうち、余裕深度処分施設の特徴に対して有効なものを抽出すると表 4.7-3 のようになる。

表中の◎が付けてある課題について、優先的に検討を進める計画である。

表 4.7-3 予備検討課題の優先度

確認方法	課 題	余裕深度処分の特徴					優 先 度
		人工バリアに依存 (機能評価)	セメント量が多い (水理・力学・化学的相互作用)	大断面 (局所的機能評価と全体的な機能評価)	埋設・保全段階 (長期に亘る管理期間)	原位置施工 (施工に起因する機能のばらつき)	
センサー	センサーによって計測できる物理量と機能の相関性	○	○	○	○	—	◎
	センサーによって計測できる物理量を用いた全体的な機能評価 (解析)	○	○	○	○	○	◎
	センサーの耐久性評価、および高性能・高耐久化検討 (光ファイバ)	○	○	○	○	—	◎
	機能の経時変化の計測計画への反映 (時間間隔、頻度)	○	○	—	○	—	○
	センサーの無線伝送・給電技術	—	—	—	○	—	—
	センサーの設置方法	○	○	—	—	○	○
	センサーの交換方法	○	—	—	○	—	—
サンプリング	施工のばらつき、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきなどの評価	○	○	○	—	○	◎
	計測したい機能に応じた解体施設や供試体の適切な大きさ	○	○	○	—	○	◎
	実処分施設と異なる解体施設における材料構成割合の差異の評価	○	○	—	—	—	—
	実処分施設と異なる規模の解体施設における地下水浸潤状況の差異の評価	—	○	○	—	—	—
	サンプリング時に計測できる物理量を用いた施設全体の評価 (解析)	○	○	○	○	○	◎
保全段階の環境を人為的に模擬する方法	—	○	—	○	—	—	

表 4.7-4 に本業務の全体工程を示す。優先度の高い検討項目を実線、優先度がやや低いものを白線で示している。それぞれの検討項目は予算に依存するため、予算を踏まえた検討を行うとともに、状況に応じて優先度がやや低い課題についても実施する必要性が生じた場合には適宜実施する方針である。さらに、検討によって新たに得られた知見から課題が抽出されれば、適宜、検討対象として採り上げるなど、柔軟に対応する方針である。

表 4.7-4 全体工程

			H27	H28	H29	H30	H31	
全体計画			■					
予備検討	センサー	センサーによって計測できる物理量と機能の相関性		■	■			
		センサーによって計測できる物理量を用いた全体的な機能評価		■	■			
		センサーの耐久性評価、および高性能・高耐久化検討		■	■	■	■	
		機能の経時変化の計測計画への反映（時間間隔、頻度）		■	■	■		
		センサーの無線伝送・給電技術		■	■	■		
		センサーの設置方法			■	■		
		センサーの交換方法			■	■		
	サンプリング	施工のばらつき、サンプリングに伴う機能の低下、試験自体のばらつきなどの評価			■	■		
		計測したい機能に応じた解体施設や供試体の適切な大きさ			■	■		
		実処分施設と異なる解体施設における材料構成割合の差異の評価			■	■		
		実処分施設と異なる規模の解体施設における地下水浸潤状況の差異の評価			■	■		
		サンプリング時に計測できる物理量を用いた施設全体の評価			■	■	■	■
		保全段階の環境を人為的に模擬する方法			■	■	■	■
	その他	事象の兆候をモニターするための具体的な指標について検討			■	■		
地上サンプル施設					■	■		
地下サンプル施設					■	■		
地下模擬施設					■	■		

第4章 参考文献

- [1] Andra: Propositions de l'Andra relatives à la réversibilité du projet Cigéo décembre 2012
- [2] IAEA: Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standards Series No. SSR-5, 2011.
- [3] IAEA: Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities, Specific Safety Guide No. SSG-31, 2014.
- [4] IAEA : Monitoring of Geological Repositories for High Level Radioactive Waste, TECDOC-1208, 2001.
- [5] National Research Council: One Step at a Time: The Staged Development of Geologic Repositories for High-Level Radioactive Waste, National Academies Press, 2003.
- [6] National Research Council: Assessment of the Performance of Engineered Waste Containment Barriers, National Academies Press, 2007.
- [7] MoDeRn: National Monitoring Contexts Country Annexes, 2010.12.
- [8] MoDeRn: Monitoring During the Staged Implementation of Geological Disposal: The MoDeRn Project Synthesis, 2014.
- [9] MoDeRn: Monitoring in Geological Disposal of Radioactive Waste: Objectives, Strategies, Technologies and Public Involvement Proceedings of an International Conference and Workshop, Luxembourg, 19 – 21 March 2013.
- [10] IAEA: Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, No. SSG-14, 2011.
- [11] IAEA: Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, No. SSG-29, 2014.
- [12] Texas Administrative Code: Title 30 Environmental Quality, Part 1 Texas Commission On Environmental Quality, Chapter 336 Radioactive Substance Rules Subchapter H Licensing Requirements for Near-Surface Land Disposal of Low-Level Radioactive Waste, Rule §336.731 Environmental Monitoring
- [13] 原子力安全委員会：原子力安全委員会決定，第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方，平成 22 年 8 月 9 日。
- [14] 原子力規制庁：炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について（案），第 10 回廃炉等に伴う放射性廃棄物の規制に関する検討チーム，資料 10-1，平成 27 年 12 月 22 日。
- [15] 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会：低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について，平成 20 年 1 月 18 日。
- [16] 高村ほか：地層処分モニタリングシステム（その 8）低周波帯電磁波を用いたデータ伝送技術の地中構造物における解析的検討、日本原子力学会「2009 年春の年会」、2009 年 3 月
- [17] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書 平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書、2013 年 3 月

- [18] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発報告書（第 2 分冊）－人工バリア品質／健全性評価手法の構築－緩衝材，平成 27 年 3 月（2015）。
- [19] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書 平成 19 年度～平成 24 年度の取りまとめ報告書（2013）。
- [20] 原子力安全基盤機構：平成 19 年度放射性廃棄物処分に関する調査（余裕深度処分に関する調査）報告書（2008）。
- [21] 日本原子力研究開発機構：TRU 廃棄物処分技術検討書－第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－，JNC TY1400 2005-013, FEPC TRU-TR2-2005-02（2005）。
- [22] Atkinson, A.: The Time Dependence of pH within a Repository for Radioactive Waste Disposal, AERE R11777, UKAEA (1985).
- [23] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度地層処分技術調査等事業処分システム工学確証技術開発報告書（第 3 分冊）モニタリング関連技術の整備（2015）。
- [24] 奥津ほか：小型化地中無線モニタリング装置の開発と緩衝材ブロックへの設置方法の検討，日本原子力学会秋の大会予稿集(CD-ROM)，C46（2010）。
- [25] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 25 年度 管理型処分技術調査等事業（地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験）施工確認試験（上部緩衝材隅角部）成果報告書，平成 26 年 3 月（2014）。
- [26] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 平成 19 年度～平成 26 年度の取りまとめ報告書，平成 27 年 3 月（2015）。
- [27] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：「平成 17 年度 地下空洞型処分施設性能確証試験」－試験施設の予備的挙動予測計算(1)－（2006）。

第5章 既設実規模施設における施設挙動、地震時挙動評価 及びコンクリートピット等のひび割れ評価

5.1 施設・岩盤挙動計測データの分析・評価

5.1.1 坑内環境計測結果の分析評価

【目的】

試験空洞内の坑内気温および湿度の経時変化の傾向に着目し分析評価を行う。

【まとめ】

- 坑内気温、坑内湿度ともに季節の気温・湿度変化に伴う変動が見られる。坑内平均気温は、H27年2～3月の冬季期間では11.3～12.8℃で、H27年7～8月の夏季期間では15.5～18.6℃となっている。坑内湿度では、夏季期間では日最高湿度と日最低湿度の差が20%未満であるが、冬季期間に近づくにつれて日最低湿度が小さくなり、その結果湿度の差が30%を越える日が見られる。

(1) 坑内の気温および湿度

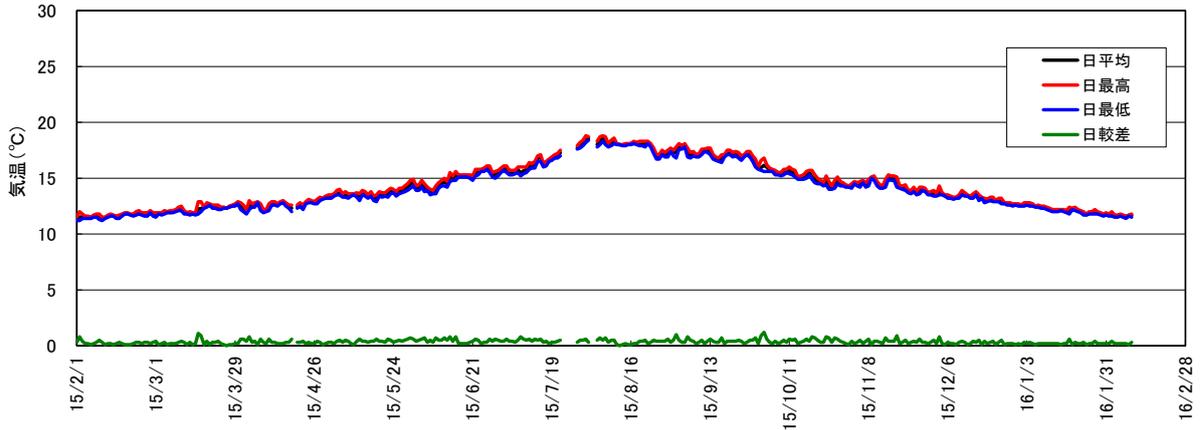
本試験における環境計測は、百葉箱温湿度計1基(A-①)による空洞手前で計測を行っている。以下、H27年2月からH28年2月までの環境計測結果の分析結果について以下に示す。

百葉箱温湿度計A-①で計測された坑内気温と坑内湿度について、日平均、日最高、日最低、日較差を図5.1-1に示す。坑内気温については、日平均気温、日最高気温、日最低気温ともに季節の気温変化に伴う変動が見られる。坑内平均気温は、H27年2～3月の冬季期間では11.3～12.8℃で、H27年7～8月の夏季期間では15.5～18.6℃となっている。今年度は施工試験が実施されていないため、施工に伴う坑内気温の変動は特に見られなかった。坑内湿度についても季節の湿度変化に伴う変動が見られ、夏季期間では日最高湿度と日最低湿度の差が20%未満であるが、冬季期間に近づくにつれて日最低湿度が小さくなり、その結果湿度の差が30%を越える日が見られる。



平面図

百葉箱気温



百葉箱湿度

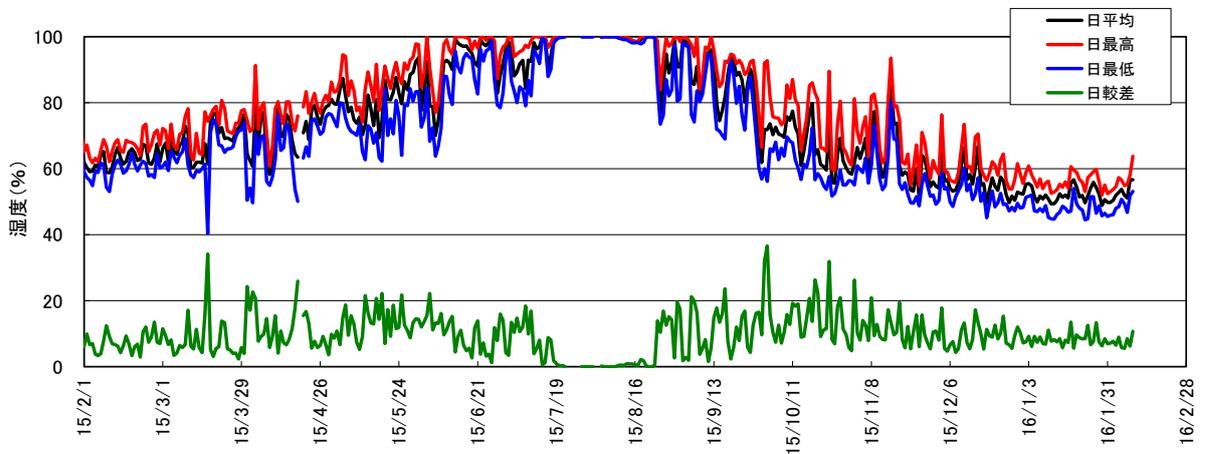


図 5.1-1 坑内気温・湿度の経時変化（百葉箱温湿度計 A-①）

5.1.2 上部埋戻し材の計測結果の分析評価

【目的】

上部埋戻し材は、試験空洞アーチ部分に接して施工される。上部埋戻し材の材料はベントナイト混合土であり、試験空洞アーチ部分は吹付けコンクリートとその内側の防水シートで構成されている。両者の界面に隙間が発生すると、そこが水みちとなり、施設への水の侵入を早めてしまうことが懸念される。本検討では、H26 年度に上部埋戻し材の試験空洞天端付近に設置

した沈下計および温度計の計測結果から、上部埋戻し材施工後の試験施設天端と上部埋戻し材間の隙間量の変動について分析する。

【まとめ】

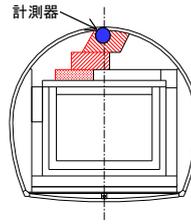
- ・ 沈下量は、昨年度の計測開始後から、上部埋戻し材および吹付けコンクリートの施工イベントに伴い粘性的な沈下挙動を示していたが、H27年5月時点で収束傾向が見られる（沈下量約5.4mm）。
- ・ 季節の温度変化に伴い沈下量は変動し、その影響は約0.12（mm/°C）であった。
- ・ 今後の課題として、昨年度の計測開始後から観測された上部埋戻し材の粘性的な沈下挙動について、計測の継続によるデータ蓄積に加えて、クリープ試験等の実施により時間依存の変形挙動の分析をしていくことが望まれる。また、施設天端と上部埋戻し材間に発生した隙間が施設の安全性能に与える影響を、再冠水後のフェーズを踏まえて評価していくことが望まれる。また、上部埋戻し材を一部撤去して、施設天端と上部埋戻し材間に発生した隙間量の計測値との整合性確認、さらに、発生した隙間が施設の安全性能に与える影響を、注水試験等により再冠水後のフェーズを踏まえて評価していくことが望まれる。

(1) 計測結果・分析

計測を開始したH26年9月からH28年2月までの沈下計および温度計の計測結果を図5.1-2～図5.1-3に示す。

図5.1-2に示すように、沈下量は、計測開始後の上部埋戻し材および吹付けコンクリートの施工イベントに伴い粘性的な沈下挙動を示し、H27年5月時点で収束傾向が見られる（沈下量約5.4mm）。H27年5月以降、図5.1-3と図5.1-4を比較すると、温度が夏期に向かって増加するのに伴い、沈下量は減少傾向が見られる。沈下量と温度の関係を図5.1-4に示す。図5.1-4より、計測開始からH27年5月までの期間（赤色の凡例）とH27年5月からH28年2月（青色の凡例）では、温度に対する沈下量の傾きが異なることがわかる。これより沈下量は、前者の期間では施工イベントに伴う変動が支配的であるのに対して、後者の期間では季節の温度変化に伴う変動が支配的であることが推察される。なお、後者の期間における、温度変化に伴う沈下量の変動は約0.12（mm/°C）であった。

図5.1-2には、解析結果（3次元弾性FEM解析）を併記した。解析条件については、H26年度報告書を参照のこと。本解析は弾性解析であるため、計測で見られる粘性的な挙動は再現できないが、沈下が収束したと考えられるH27年5月の沈下量の計測結果（約5.4mm）に対して、解析結果は4.4mm（約18%の差）であり、本解析が上部埋戻し材の沈下挙動を弾性範囲で概ね再現できていると考えられる。



※赤線部は H26 年度施工箇所

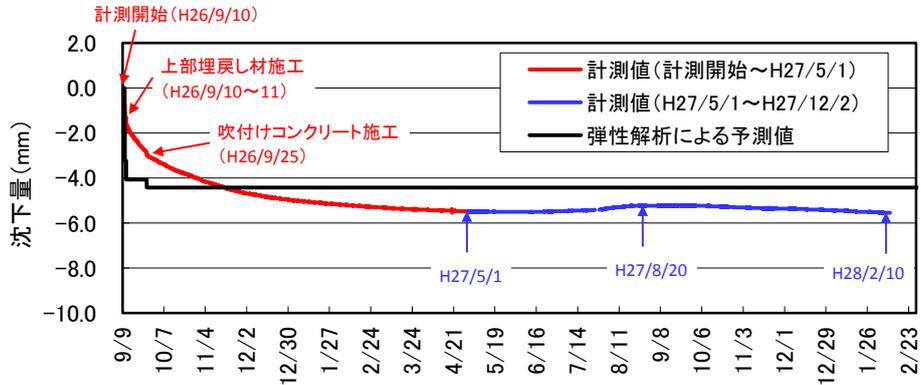


図 5.1-2 沈下計計測結果

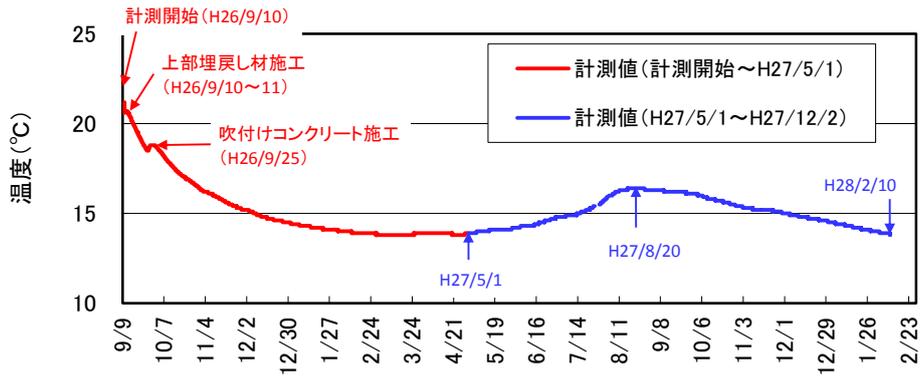


図 5.1-3 温度計計測結果

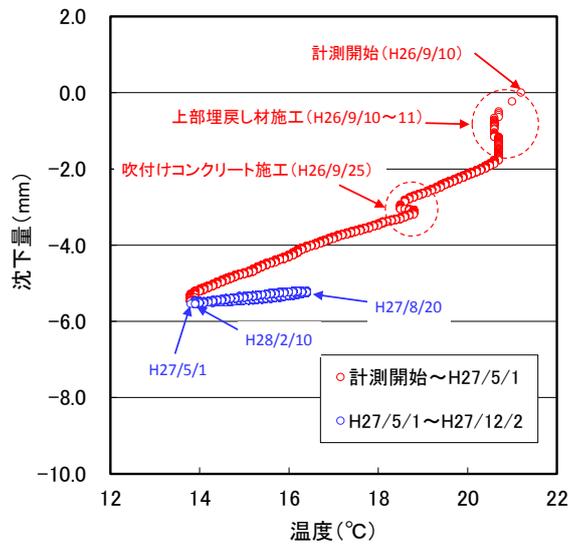


図 5.1-4 沈下量と温度の関係

(2) 底部緩衝材の沈下挙動の影響

上述した上部埋戻し材の沈下が、下部部材であるコンクリートピットや低拡散層等を含む施設全体の沈下の影響を受けていないかを確認するために、底部低透水層に設置した沈下計の計測結果を分析した。図 5.1-2 に示した上部埋戻し材の沈下計計測結果と同期間の、底部低透水層の沈下計計測結果を図 5.1-5 に示す。当該期間の底部低透水層の沈下量の変動（最大値－最小値）は 0.1mm 程度であり、沈下はほとんど発生しておらず、施設全体の沈下は認められない。よって、上部埋戻し材の沈下挙動の要因は、上部埋戻し材の沈下が主であると考えられる。

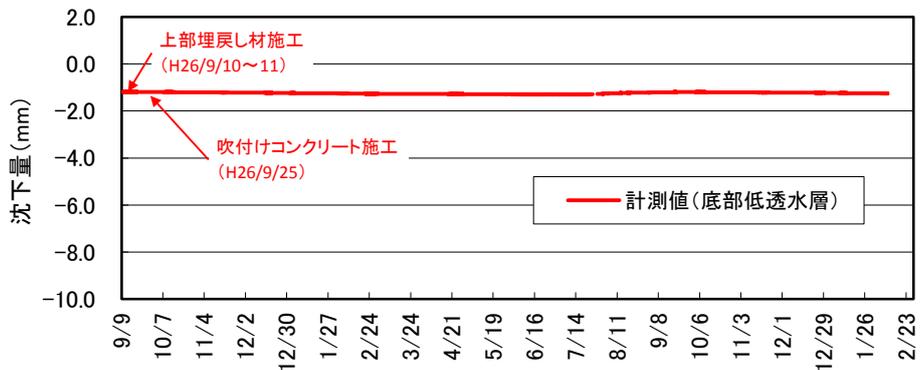
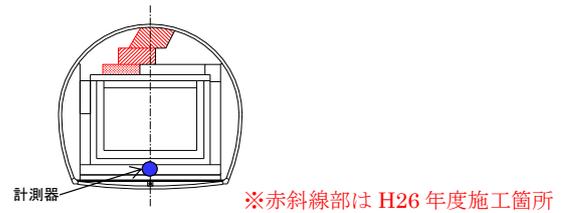


図 5.1-5 底部低透水層の沈下計計測結果

5.1.3 底部低透水層の観測結果の分析

【目的】

底部低透水層の要求機能の一つに、「建設・操業中の力学的安定性」がある。底部低透水層上において行われるコンクリートピットの構築、廃棄体定置作業等の上載荷重に対して、支持部材として十分な強度が要求される。

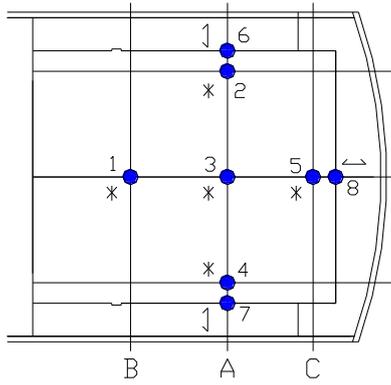
昨年度までで試験施設の施工は終了しており、今年度は施工による上載荷重は変化していないが、低透水層にはクリープ的な挙動もこれまで確認されているため、底部低透水層に作用する土圧や沈下計による計測挙動を分析し、今年度施工に対する力学的安定性を確認する。

【まとめ】

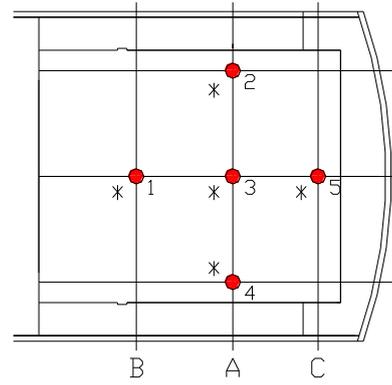
- ・ 今年度に生じた土圧最大値は 0.164N/mm^2 で、H22 年度に確認された最大値 0.21N/mm^2 より小さい値であった。過年度の最大値 0.21N/mm^2 では、底部低透水層の極限支持力 1.85N/mm^2 と比較して、安全率 8 程度が確保されている。
- ・ 今年度の沈下量の変動は最大 0.05mm 程度と小さい。
- ・ 現状の上載荷重に対して、土圧および沈下量の変化は、上載圧から推測される土圧量および 2 次元 FEM 弾性解析結果から推測される沈下量の範囲内であり、過大な土圧の作用や沈下は認められない。
- ・ 以上より、今年度の施工に対して、底部低透水層は力学的健全性が確保されていると考えられる。

(1) 計測器配置と上載荷重

底部低透水層には、図 5.1-6～図 5.1-7 に示すように、鉛直方向土圧測定のため底部埋戻し材界面に 5 箇所、側方土圧測定のため側部埋戻し材に 2 箇所、奥部埋戻し材に 1 箇所土圧計を設置している。また、沈下計は底部低透水層中に 5 箇所設置している。なお沈下計のうち空洞横断方向右側の計測器 (B-T-4) は測定不良のため、分析の対象からはずした。



計器番号：B-D-○（○は上記番号）



計器番号：B-T-○（○は上記番号）

1~5：底部埋戻し材との界面

6,7：側部 〃 〓 ↓：水平

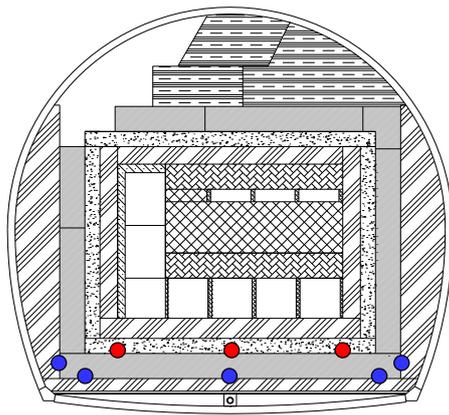
8：奥部 〃 〓 *：鉛直

*：鉛直

(1) 土圧計

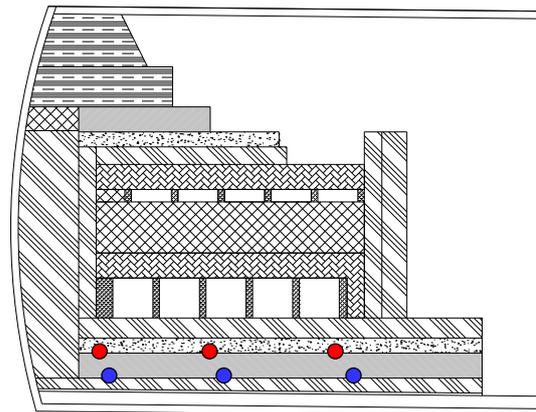
(2) 沈下計

図 5.1-6 土圧計・沈下計設置位置図（平面図）



●：土圧計 ●：沈下計

(1) 横断面図



●：土圧計 ●：沈下計

(2) 縦断面図

図 5.1-7 土圧計・沈下計設置位置図（横断面図、縦断面図）

H19年度に実施した底部低透水層施工から今年度施工試験終了時までの施工イベント毎の上載荷重を表 5.1-1 に示す。H27年度現在の累計重量は 40.67MN（累計上載圧 0.208N/mm²）である。

表 5.1-1 底部低透水層の上載荷重一覧

施工年度	No.	部材	単位重量 ^{※3} (tf/m ³)	寸法			重量 (MN)	累計重量 (MN)	上載圧 ^{※1} (N/mm ²)	累計上載圧 (N/mm ²)
				幅 (m)	奥行き (m)	高さ (m)				
H19~20	1	底部緩衝材	1.993	13.6	16.1	1.0	4.27	4.27	0.020	0.020
H20	2	底部低拡散材	2.247	11.6	16.1	0.6	2.46	6.72	0.013	0.033
	3	底部CP	2.497	10.4	16.1	0.8	3.27	9.99	0.018	0.050
	4	奥部CP	2.497	10.4	0.7	6.8	1.21	11.20	0.007	0.057
	5	側部CP(左右)	2.497	0.7	10.7	6.8	2.51	13.71	0.013	0.070
H21	6	模擬廃棄体(25ヶ)	2.686	1.6	1.6	1.6	2.70	16.41	0.015	0.085
	7	手前部CP	2.497	11.6	0.7	7.4	1.47	17.89	0.008	0.093
	8	側部低拡散材(左右)	2.247	0.6	11.4	7.6	2.30	20.19	0.012	0.105
	9	充填材	2.267	※2			0.41	20.60	0.002	0.107
	10	上部充填材	2.391	7.1	10.7	1.0	1.77	22.37	0.010	0.117
H22	11	普通コンクリート①	2.300	7.1	10.7	2.0	3.47	25.84	0.019	0.136
	12	普通コンクリート②	2.300	-	-	-	0.27	26.11	0.001	0.137
	13	模擬廃棄体(6ヶ)	-	-	-	-	0.09	26.20	0.001	0.138
	14	模擬廃棄体打設	2.300	-	-	-	1.16	27.36	0.006	0.144
	15	充填材(鉛直)	2.267	-	-	-	1.65	29.01	0.009	0.153
	16	充填材(水平)	2.267	-	-	-	0.15	29.16	0.001	0.153
	17	上部充填材	2.391	7.1	10.7	1.0	1.77	30.93	0.010	0.163
H22~24	18	側部緩衝材(左右)	1.993	1.0	11.4	8.2	3.63	34.56	0.017	0.180
H24	19	上部コンクリートピット	2.497	7.6	9.0	0.7	1.17	35.73	0.005	0.185
	20	上部低拡散材	2.247	8.0	11.6	0.6	1.22	36.95	0.006	0.191
H25	21	上部緩衝材(隅角部)	1.965	-	-	-	0.25	37.20	0.001	0.192
	22	上部緩衝材(平面部)	-	-	-	-	0.63	37.83	0.003	0.195
	23	上部埋戻し材(吹付け)	-	-	-	-	0.56	38.39	0.003	0.197
	24	上部埋戻し材(転圧)	-	-	-	-	0.80	39.19	0.004	0.201
H26	25	上部緩衝材	-	-	-	-	0.36	39.55	0.002	0.202
	26	上部埋戻し材	-	-	-	-	1.12	40.67	0.005	0.208

※1 重量を受面積で除して上載圧を算出している

(No.1: 底部緩衝材面積、No.2~17: 底部低拡散材面積、No.18~26: 底部低拡散材+側部緩衝材面積)

※2 充填材体積は、(廃棄体体積を含む充填材体積)-(廃棄体体積)より算出している

※3 コンクリートピットの単位重量は、コンクリート標準示方書の鉄筋コンクリートの単位重量としている

(2) 土圧挙動

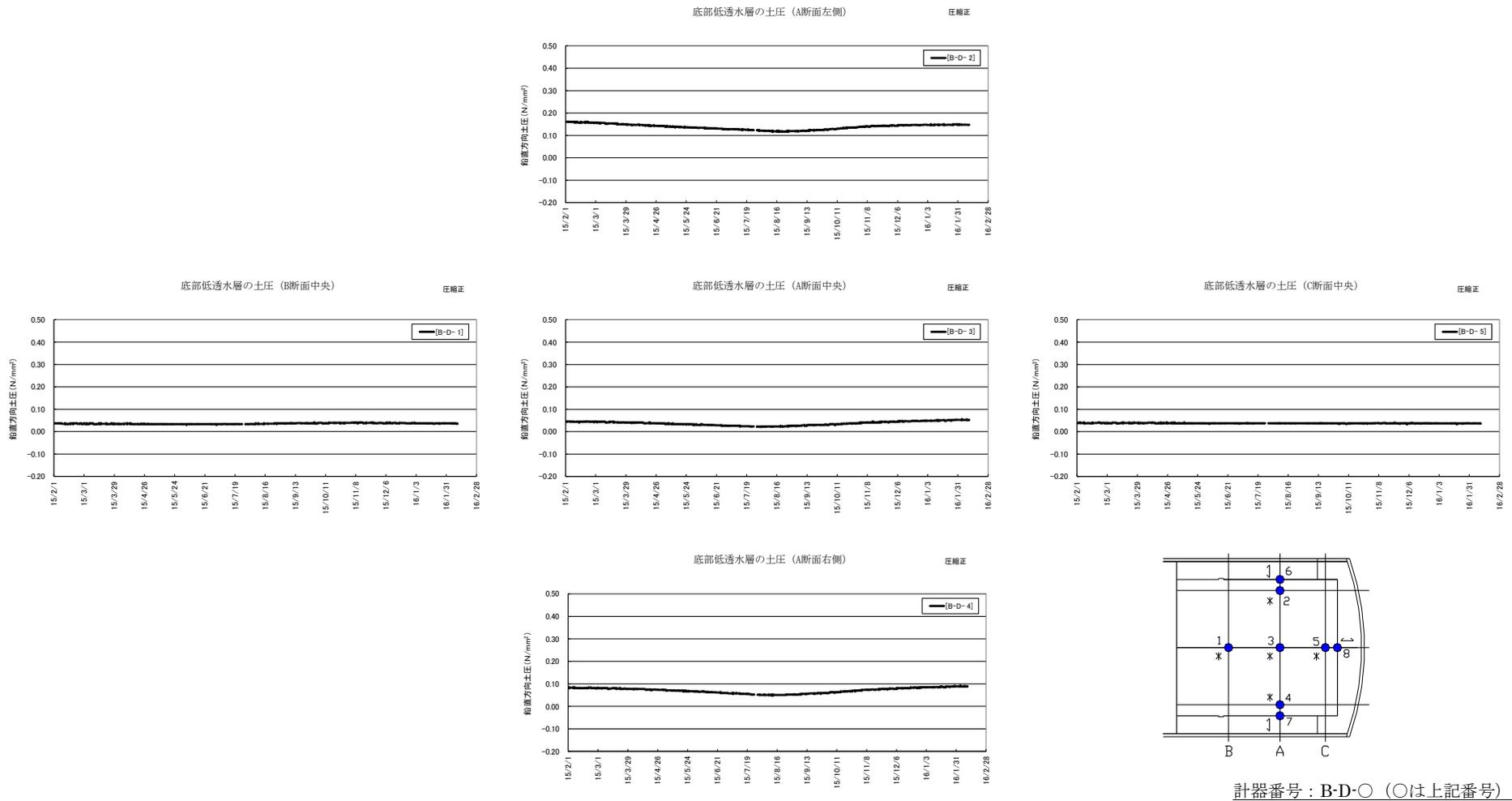
H27年2月1日~H28年2月10日の土圧計計測値の経時変化を図 5.1-8~図 5.1-9に示す。土圧挙動は季節の温度変化に伴う変動をしており、図 5.1-8 で試験施設を横断方向でみたとき、施設中央の土圧変動幅が小さく、左右端部および側壁の土圧の変動幅が相対的に大きい傾向がある。これは、図 5.1-10 に示すように、H26年度の挙動傾向と同じである。

季節の温度変化に伴う変動の例として、A断面中央の土圧計(B-D-3)とその付近に設置してある温度計(B-O-1)の今年度の計測結果から求めた、土圧計計測値と温度計計測値の関係を図 5.1-11に示す。これより土圧計計測値と温度計計測値には正の相関が見られる。

今年度の各計器の土圧最大値とH27年2月1日からの増分をに示す。今年度の増分は最大0.011N/mm²であった。また、A断面左側の計器で最大値0.164N/mm²が確認されている。これまでに確認されている土圧最大値はA断面左側でH22年度の0.21N/mm²であり今年度の値とほぼ同等である。H22年度地下空洞型処分施設性能確証試験の施設・周辺岩盤挙動計測において、底部低透水層の極限支持力を1.85N/mm²と設定^[1]しており、支持力に対する安全率は8程度を確保している。

H20年2月15日の計測開始からH28年2月10日までに測定されたA断面左右位置(B-D-2、B-D-4)の土圧計計測値の経年変化を図 5.1-12に示す。両者とも、季節の温度変化に伴う変動を繰り返しながら、上載荷重の増加に伴い増加し、上載荷重レベルとほぼ同じように変化する。図中の実荷重は、表 5.1-1の累計上載圧である。左右位置(B-D-2、B-D-4)で比較すると、H22年(2010年)9月の側部低透水層(右側)施工までは両者で同じトレンドで変動しているが、その後、H24年(2012年)7月の側部低透水層(左側)施工までは両者の土圧変化が反転

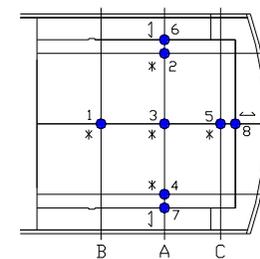
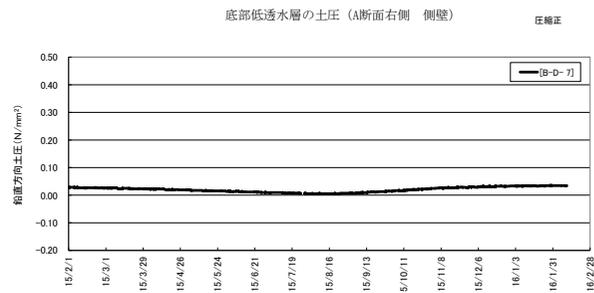
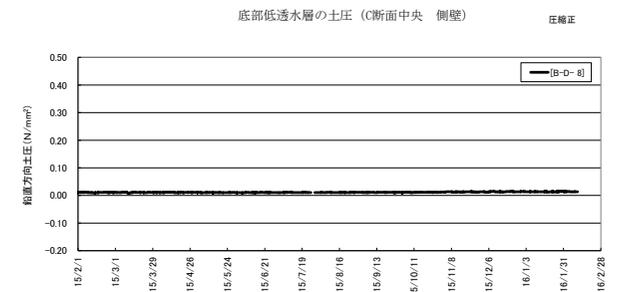
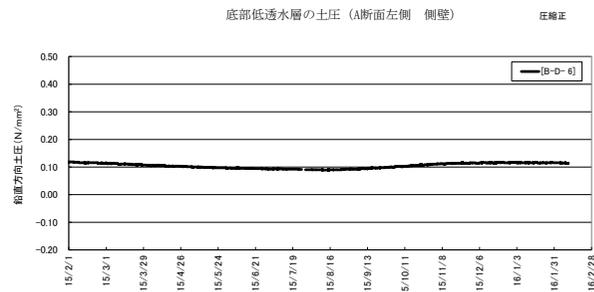
するような挙動を示す。これは施工イベントが、H22～23年度で右側の側部低透水層施工、その後 H23～24年度で左側の側部低透水層施工を実施しており、施工順序に伴い本施設の季節変動の影響が左右で異なるためであると考えられる。H24年（2012年）7月の側部低透水層（左側）施工後からは、左右の側部低透水層の状態がほぼ同等となり、両者で同じトレンドを示すようになる。H28年2月現在で左側（B-D-2）が右側（B-D-4）より 0.059N/mm^2 大きくなっている。



計器番号：B-D-○ (○は上記番号)

1~5：底部埋戻し材との界面
 6,7：側部 ↔ ↑：水平
 8：奥部 *：鉛直

図 5.1-8 底部低透水層 土圧計計測結果 (鉛直方向)



計器番号：B・D・○ (○は上記番号)

- 1~5 : 底部埋戻し材との界面
- 6,7 : 側部 ↔ ↑ : 水平
- 8 : 奥部 * : 鉛直

図 5.1-9 底部低透水層 土圧計計測結果 (水平方向)

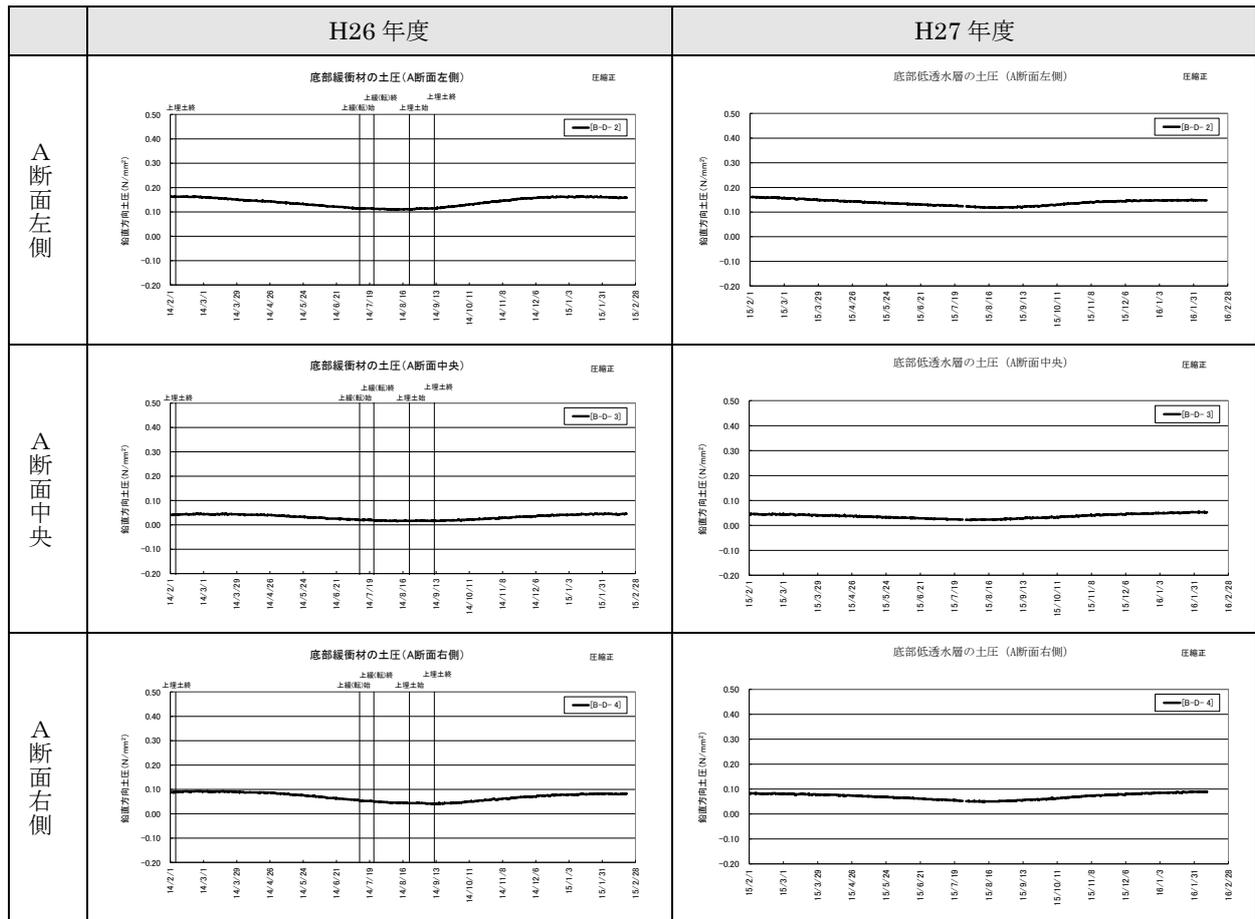


図 5.1-10 H25 年度と H26 年度の土圧計計測結果比較 (A 断面)

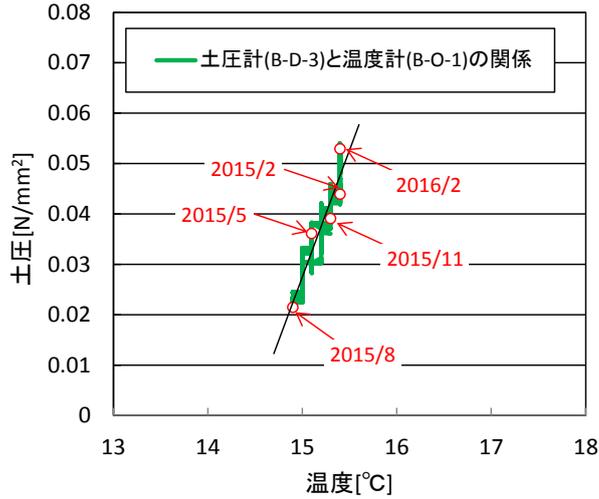


図 5.1-11 土圧計測値と温度計計測値の関係 (H27年2月1日～H28年2月10日)

表 5.1-2 最大土圧一覧 (H27年2月1日～H28年2月10日)

	鉛直土圧					水平土圧		
	B断面中央	A断面左側	A断面中央	A断面右側	C断面中央	A断面左側壁	A断面右側壁	C断面中央壁
	[B-D-1]	[B-D-2]	[B-D-3]	[B-D-4]	[B-D-5]	[B-D-6]	[B-D-7]	[B-D-8]
最大土圧(H27/2/1～H28/2/10)	0.041	0.164	0.046	0.093	0.042	0.123	0.030	0.014
H27/2/1の土圧	0.036	0.161	0.044	0.082	0.039	0.118	0.028	0.010
増分	0.006	0.003	0.002	0.011	0.003	0.006	0.002	0.004

底部低透水層の土圧 (A断面左右比較)

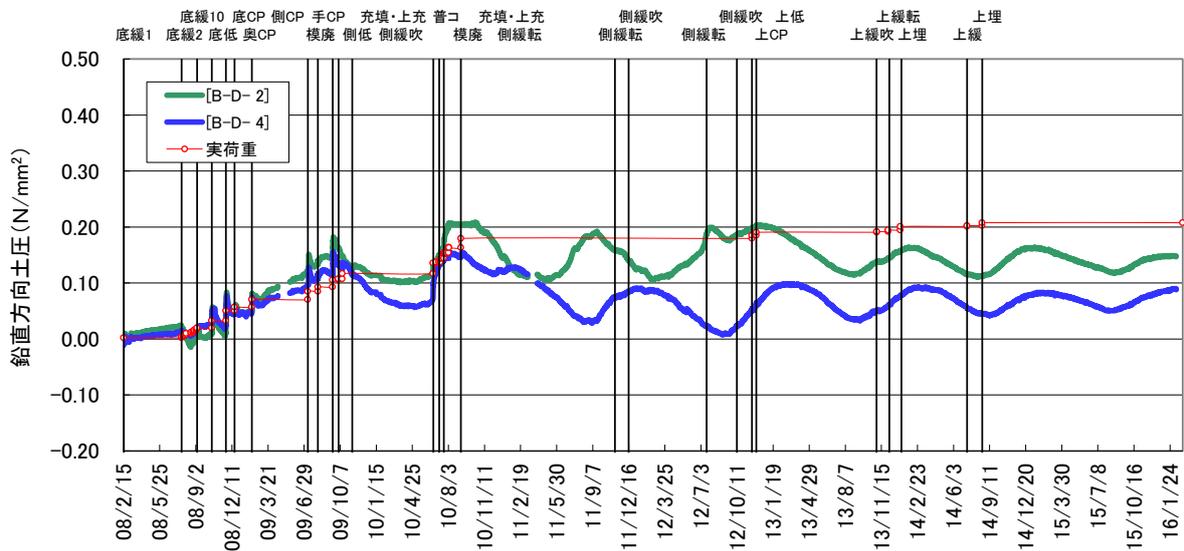


図 5.1-12 土圧計経年変化 (A断面左右、H20年2月15日～H28年2月10日)

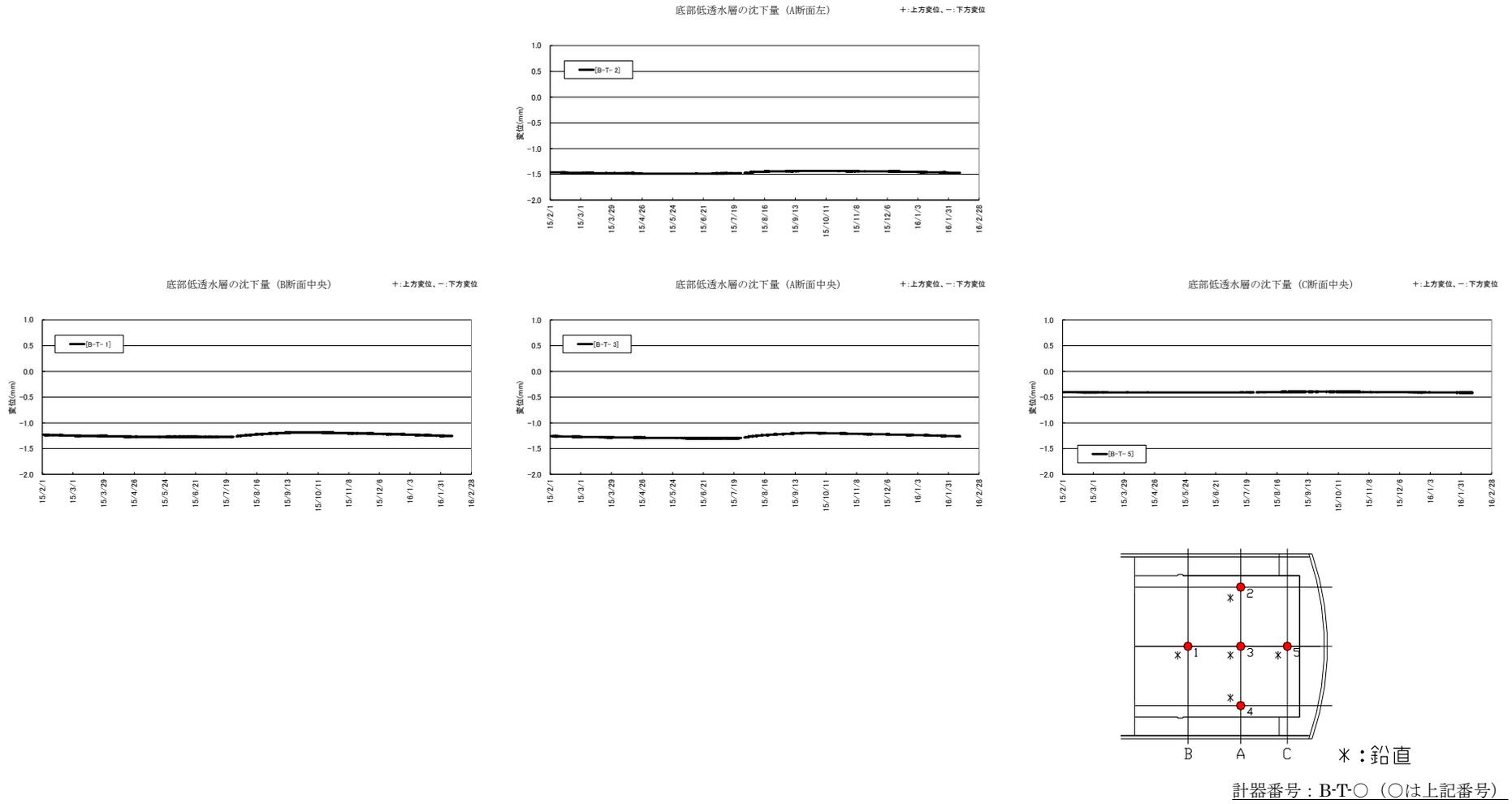
(3) 沈下挙動

H27年2月1日～H28年2月10日の沈下計測値の経時変化を図 5.1-13 に、今年度の各計器の最大沈下量を表 5.1-3 に示す。

図 5.1-13 に示すように、全体として季節の温度変化に伴う変動しているものの、表 5.1-3 に示す各位置の沈下量を見ると、H27年2月1日の沈下量を基準とした今年度の最大沈下量の増分は、0.02～0.05mm であった。各断面の中央計器の値による空洞軸方向の沈下量分布を図 5.1-14 に示す。施設奥側では、奥部埋戻し材などの周辺部材の拘束が大きいため、底部低透水層の沈下を抑制していると推察される。C断面とA断面の間の水平距離（約4.3m）と沈下量の差（約0.9mm）から求めた底部低透水層表面の傾きは約0.01度と小さく、上載荷重作用による底部低透水層の沈下のばらつきは現時点で小さいといえる。季節の温度変化に伴う変動の例として、A断面中央の沈下計（B-T-3）とその付近に設置してある温度計（B-O-1）の今年度の計測結果から求めた沈下計測値と温度計測値の関係を図 5.1-15 に示す。これより土圧計測値と温度計測値には相関は認められない。

H20年10月16日の計測開始からH28年2月10日までに底部低透水層のA断面中央（B-T-3）で計測された沈下量の経年変化を図 5.1-16 に示す。同図には、図 5.1-17 の横断面2次元モデルのFEM解析結果の沈下量を併せて示した。解析に用いた低透水層の弾性係数は、底部低透水層で実施した平板載荷試験結果の最大値、最小値を用いている。実測の沈下量の変化傾向は解析結果と概ね整合している。ただし、実測の沈下量は上載荷重が一定の期間においても変動し、やがて収束する傾向を示しており、低透水層のクリープ的な挙動が観測されている。

2次元FEM弾性解析での底部低透水層沈下量と今年度の計測値との比較を図 5.1-17 に示す。計測値（H28年2月10日のデータ）は、A断面左側1.5mm、A断面中央1.3mmであり、平板載荷試験結果の変形係数が平均値～最小値での解析結果に相当する値であった。計測値を説明できる解析の変形係数が、平板載荷試験結果の平均値～最小値となった理由としては、図 5.1-16 より、計測値に低透水層のクリープ的な挙動が生じていることによると考えられる。



※A断面右側の計測器 (B-T-4) は計測不良のため、分析の対象から外した。

図 5.1-13 底部低透水性層 沈下計計測結果

表 5.1-3 最大沈下量一覧 (H27年2月1日～H28年2月10日)

	単位: mm			
	B断面中央 [B-T- 1]	A断面左側 [B-T- 2]	A断面中央 [B-T- 3]	C断面中央 [B-T- 5]
最大沈下量(H27/2/1～H28/2/10)	-1.28	-1.49	-1.30	-0.42
H27/2/1の沈下量	-1.23	-1.46	-1.26	-0.40
増分	-0.05	-0.03	-0.04	-0.02

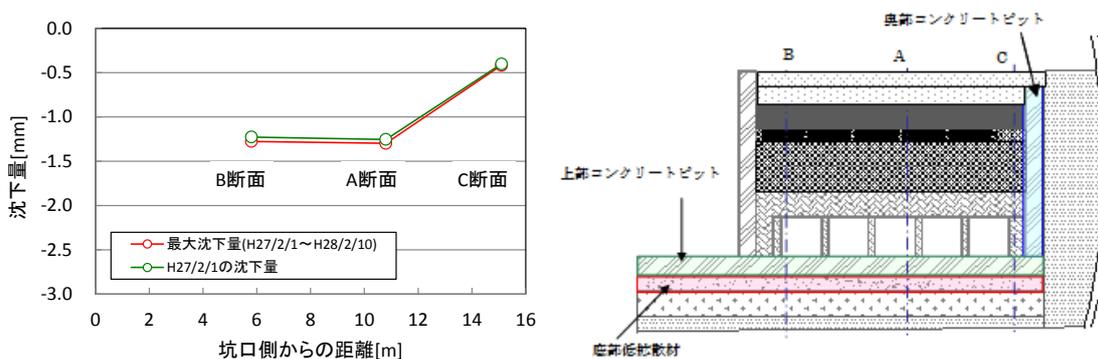


図 5.1-14 底部低透水層の沈下量分布 (空洞軸方向)

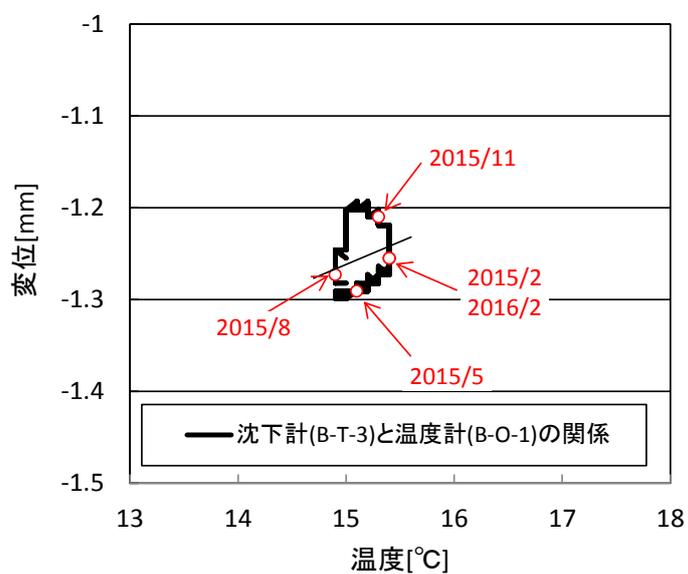


図 5.1-15 沈下計計測値と温度計計測値の関係 (H27年2月1日～H28年2月10日)

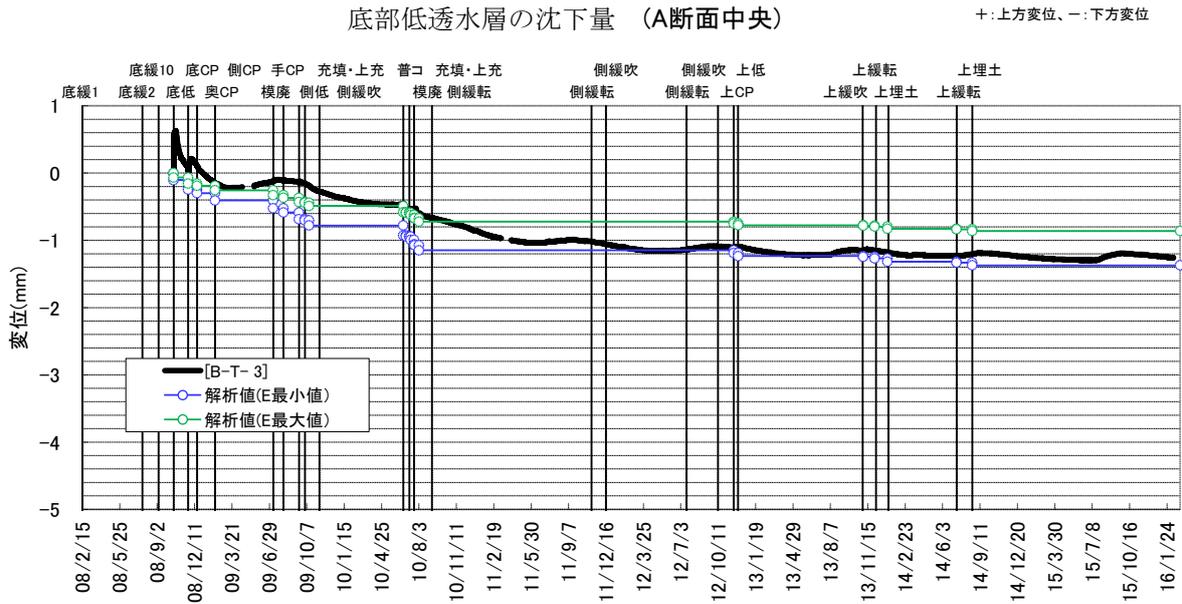


図 5.1-16 沈下計経年変化 (A断面中央)

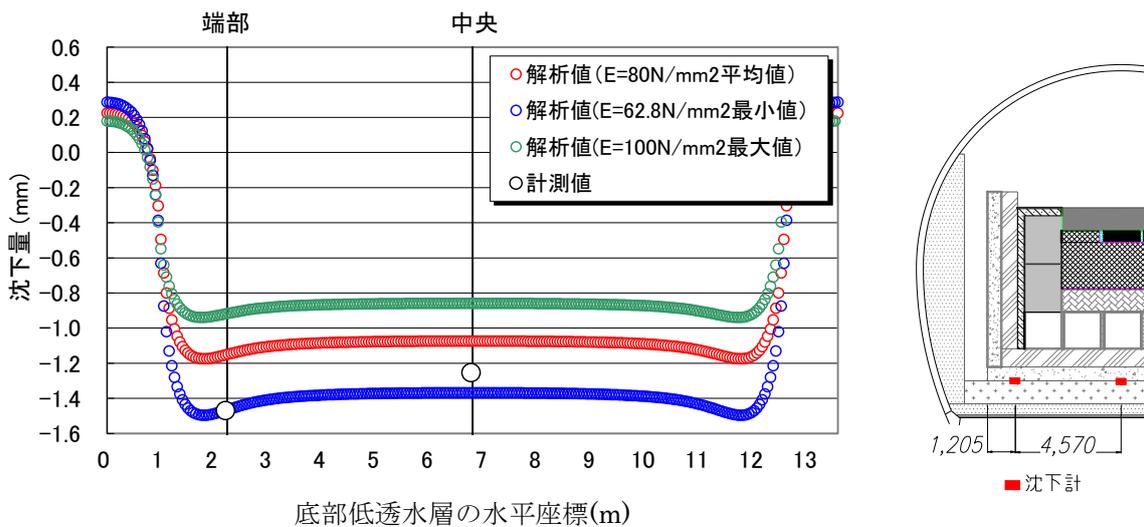


図 5.1-17 底部低透水層沈下量の計測値と解析値の比較 (A断面)

【解析条件】

- ・ FEM 弾性解析は、底部低透水層を横断面方向 2次元でモデル化、3 辺拘束とした。上載荷重は等分布荷重として低透水層上面 (底部低拡散材に接する面) に作用させた。
- ・ 上載圧 : 0.171N/mm² (表 5.1-1 の累計上載圧から底部低透水層に直接作用しない底部低透水層および側部低透水層の上載圧を除いた値)
- ・ 低透水層の変形係数は、H20 年度底部低透水層施工確認試験での平板載荷試験結果を参照し (下記記載)、ポアソン比は H20 年度ベントナイト材料特性試験の一軸圧縮試験結果を参照して設定した ($\nu = 0.39$)。

変形係数 : 平均 80.0N/mm²、最大値 100.0N/mm²、最小値 62.8N/mm²
 試料数 9

(4) 温度変化

底部低透水層の温度は2箇所で計測を行っている。図 5.1-18 に示すように、手前部コンクリートピットより坑口側で1箇所（B-O-2）、試験施設中央付近（A断面）で1箇所（B-O-1）である。H20年10月16日の計測開始からH28年2月10日までの経年変化を図 5.1-19 に示す。B-O-1、B-O-2ともに季節変動を繰り返すが、B-O-1は施工が進むにつれて季節変動量がB-O-2より小さくなる傾向がある。また、今年度の温度経時変化を図 5.1-20 に示す。坑口側端部に近いB-O-2は約14.7℃～17.5℃の間で変動し、端部に近いため坑内気温の影響を受けている。一方、試験施設中央のB-O-1は約14.9℃～15.4℃であり変動は小さい。

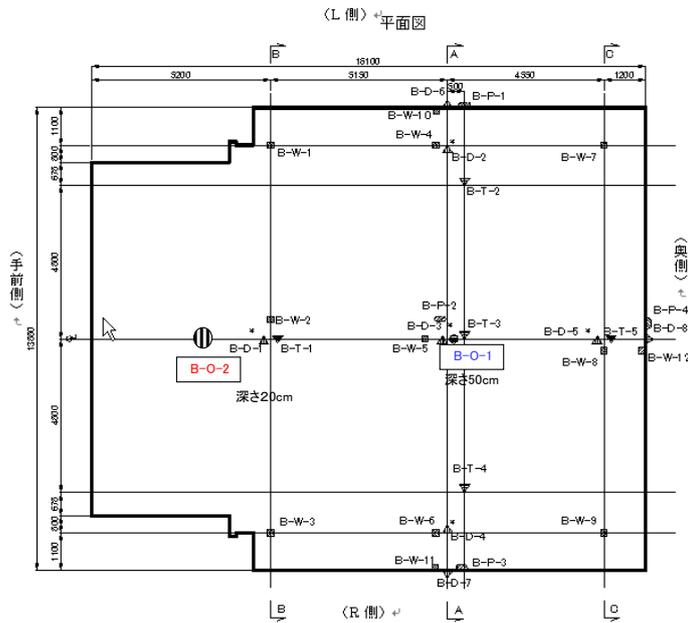


図 5.1-18 温度計設置位置

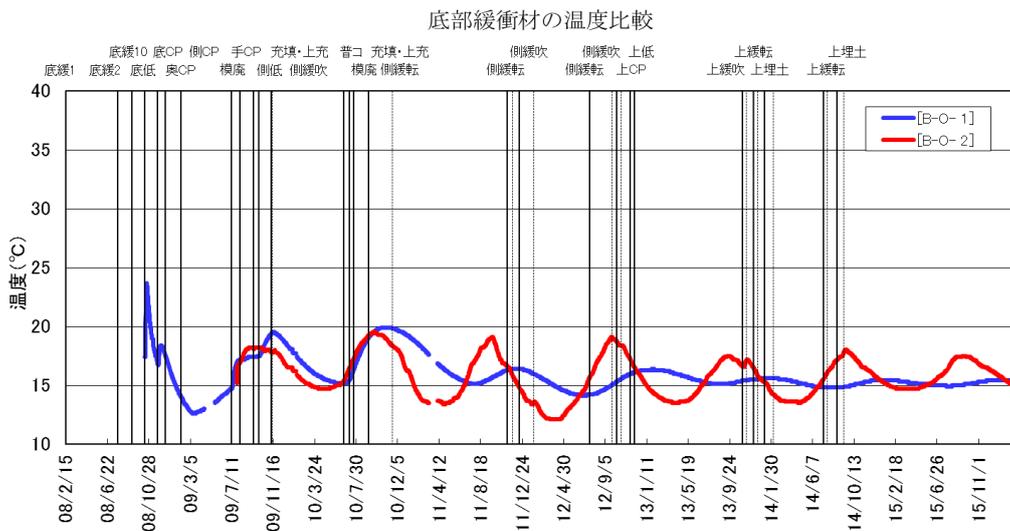


図 5.1-19 底部低透水層の温度経年変化

底部低透水層の温度比較

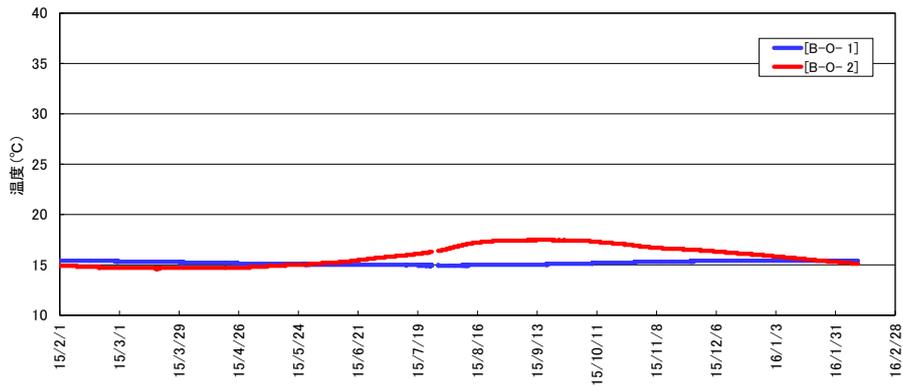
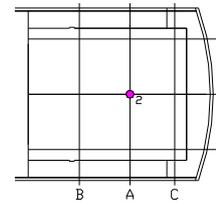


図 5.1-20 底部低透水層の温度経時変化

(5) 水圧変化

底部低透水層の下部部材である底部埋め戻し材表面に設置した間隙水圧計では、今年度の間隙水圧の変化は認められず、底部低透水層中の間隙水圧に変動はないといえる。代表例として A 断面中央設置計器 (B-P-2) の今年度の経時変化を図 5.1-21 に示す。



底部低透水層の間隙水圧 (A断面中央)

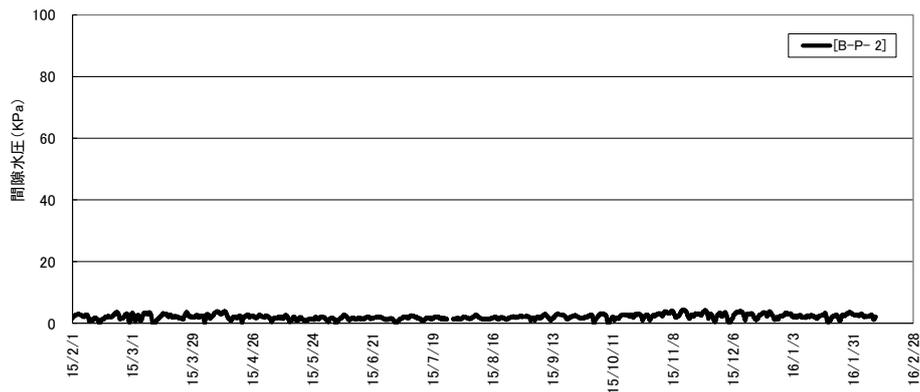


図 5.1-21 底部低透水層の間隙水圧経時変化

5.1.4 セメント系材料の計測結果の分析評価

【目的】

今年度の計測期間中における、セメント系材料の挙動を評価することを目的として、以下の部材を対象として、部材の温度およびひずみ履歴を分析する。

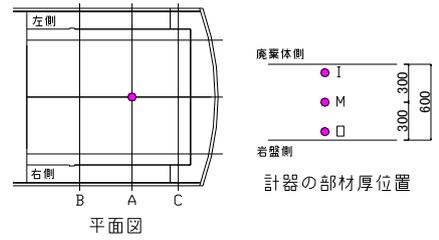
- ・ 底部低拡散層
- ・ 側部低拡散層
- ・ 上部低拡散層
- ・ 底部コンクリートピット
- ・ 側部コンクリートピット
- ・ 手前部コンクリートピット
- ・ 上部コンクリートピット

【まとめ】

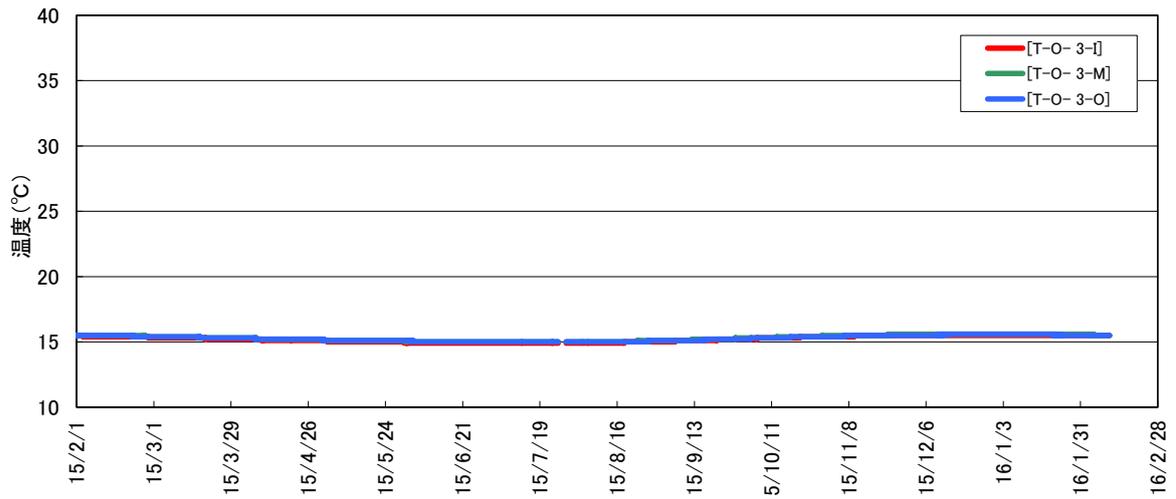
- ・ いずれの対象部材においても、季節の温度変化に対応したひずみ変化しか認められず、今年度の計測期間中におけるセメント系材料の状態変化はほとんどないものと評価される。

(1) 温度およびひずみ履歴

対象部材の部材中心位置における温度およびひずみ計測結果を図 5.1-22～図 5.1-28 に示す。いずれの部材においても、季節の温度変化に対応したひずみ変化しか認められず、不連続な挙動や、過大なひずみの発生は認められないことから、今年度の計測期間中におけるセメント系材料の状態変化はほとんどないものと評価される。

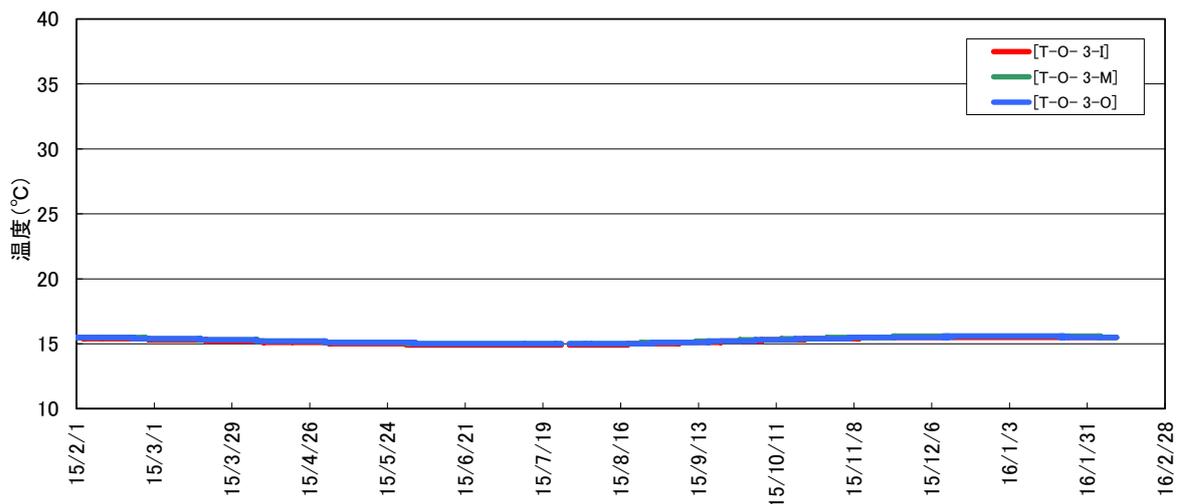


底部低拡散層の温度 (A断面中央)



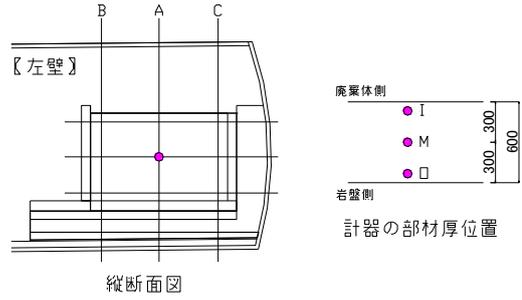
(1) 温度

底部低拡散層の温度 (A断面中央)

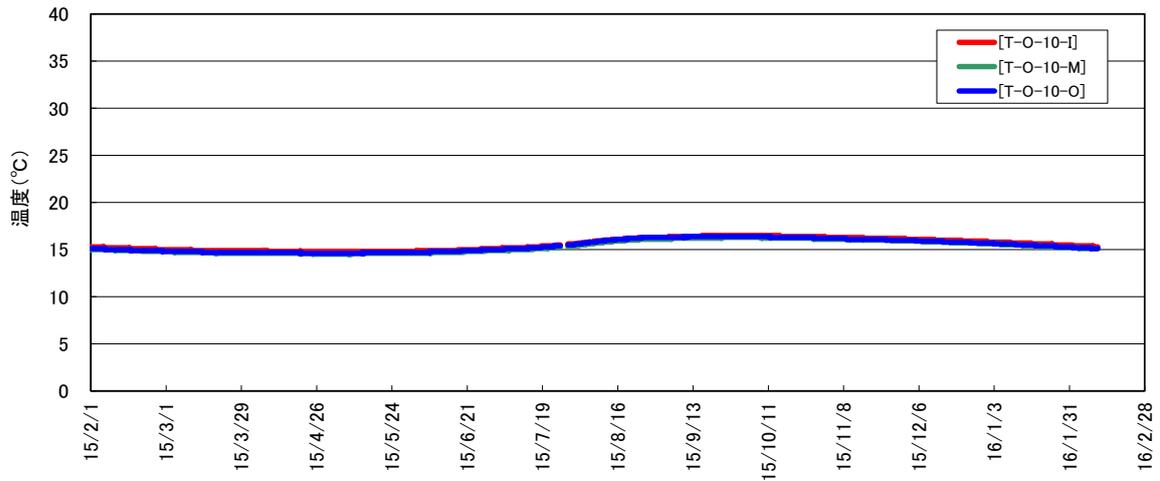


(2) ひずみ

図 5.1-22 底部低透水層の計測結果 (部材中央)



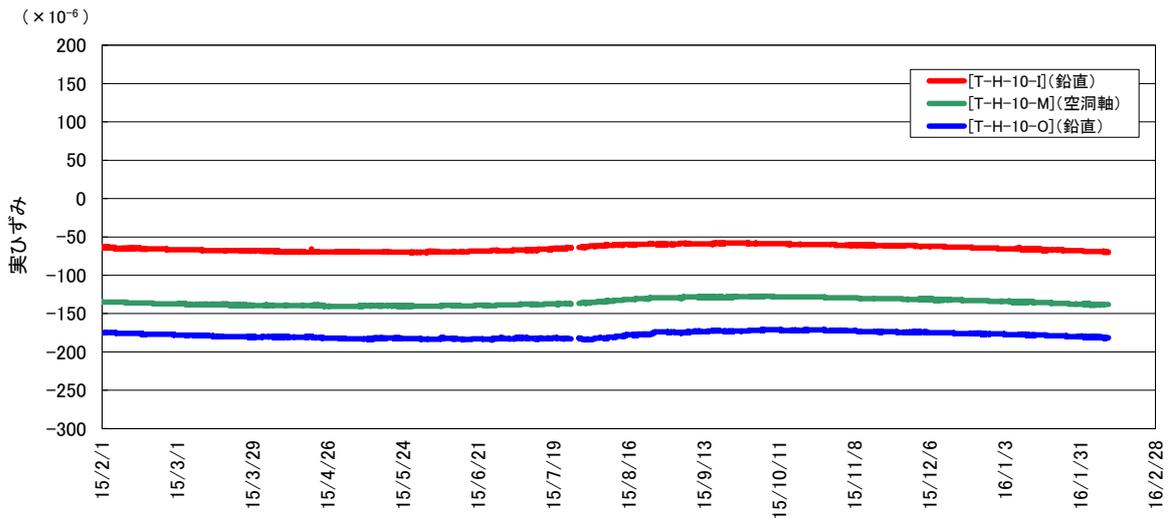
側部低拡散層の温度(A断面中段)



(1) 温度

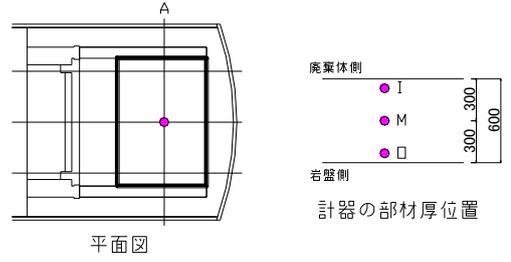
側部低拡散層の実ひずみ (A断面中段)

+ : 膨張、- : 収縮

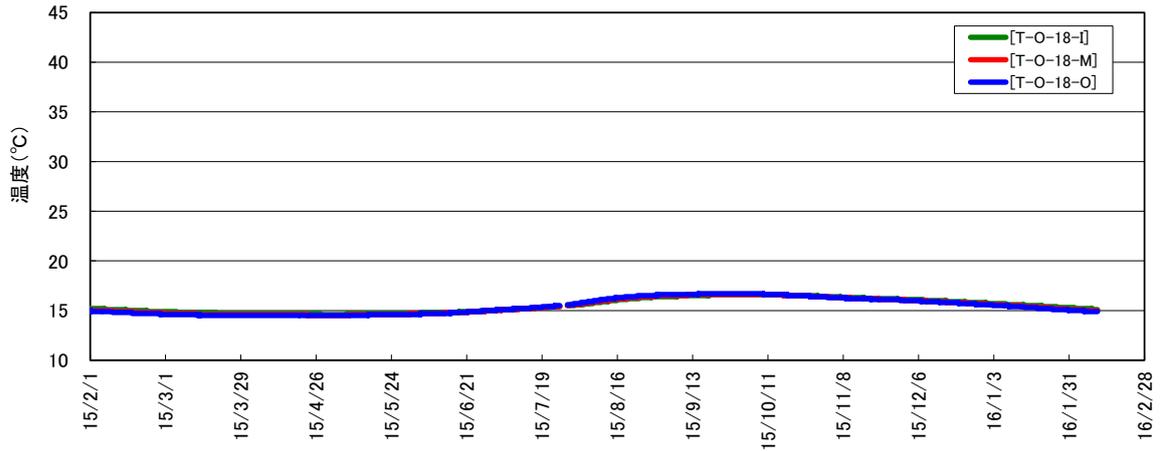


(2) ひずみ

図 5.1-23 側部低透水層の計測結果 (部材中央)



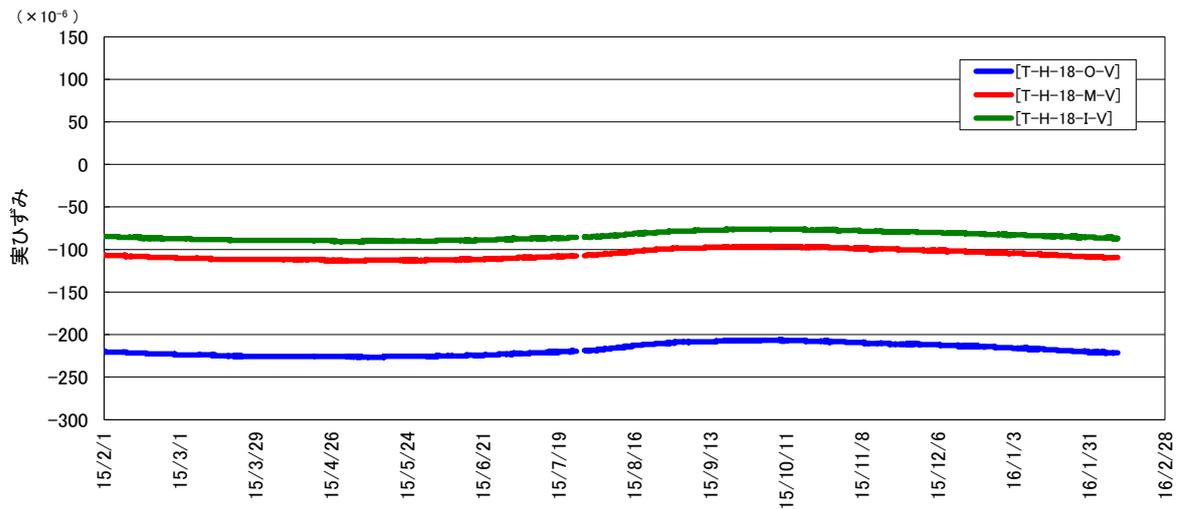
上部低拡散層の温度(中央)



(1) 温度

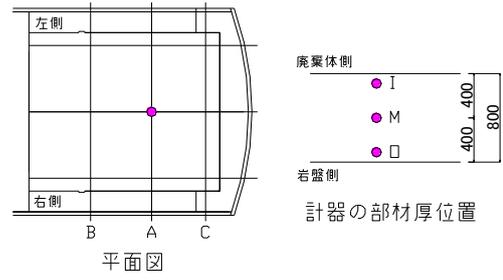
上部低拡散層の実ひずみ(中央、空洞軸方向)

+ : 膨張、- : 収縮

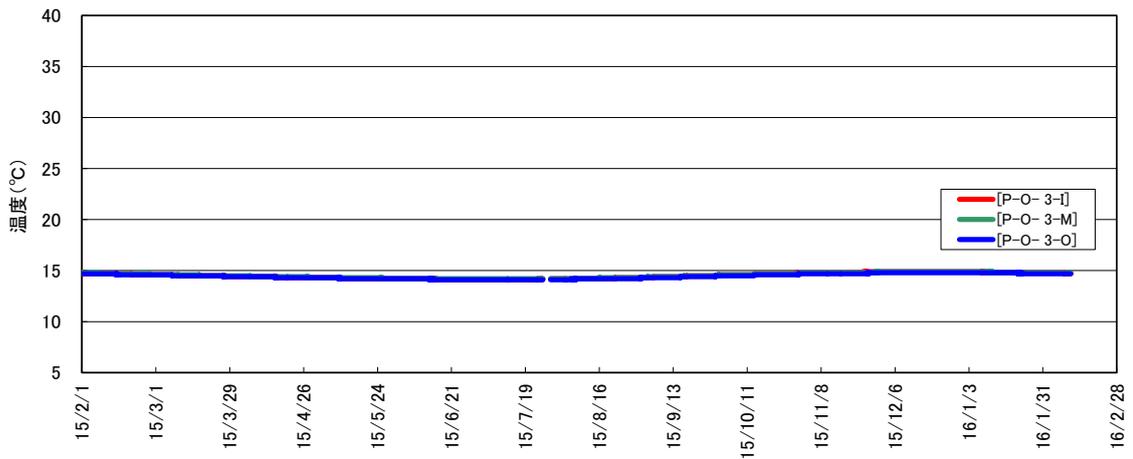


(2) ひずみ

図 5.1-24 上部低透水層の計測結果(部材中央)



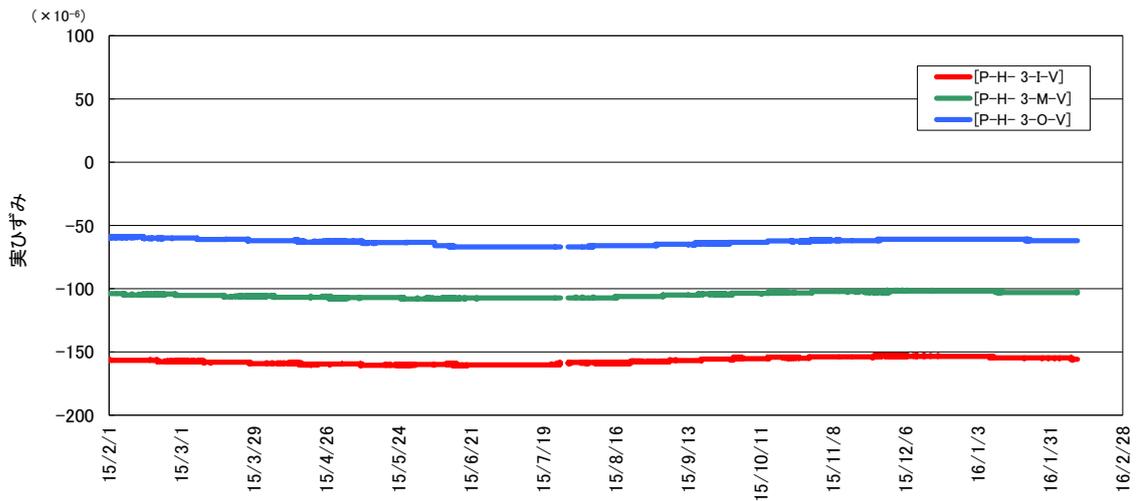
底部コンクリートピットの温度(A断面中央)



(1) 温度

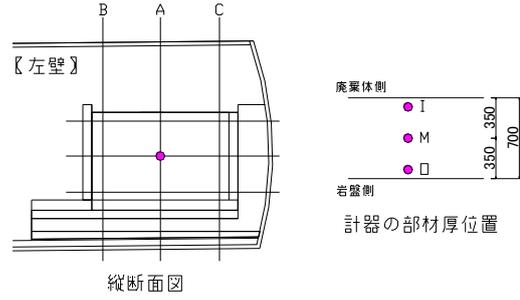
底部コンクリートピットの空洞軸方向実ひずみ (A断面中央)

+ : 膨張、- : 収縮

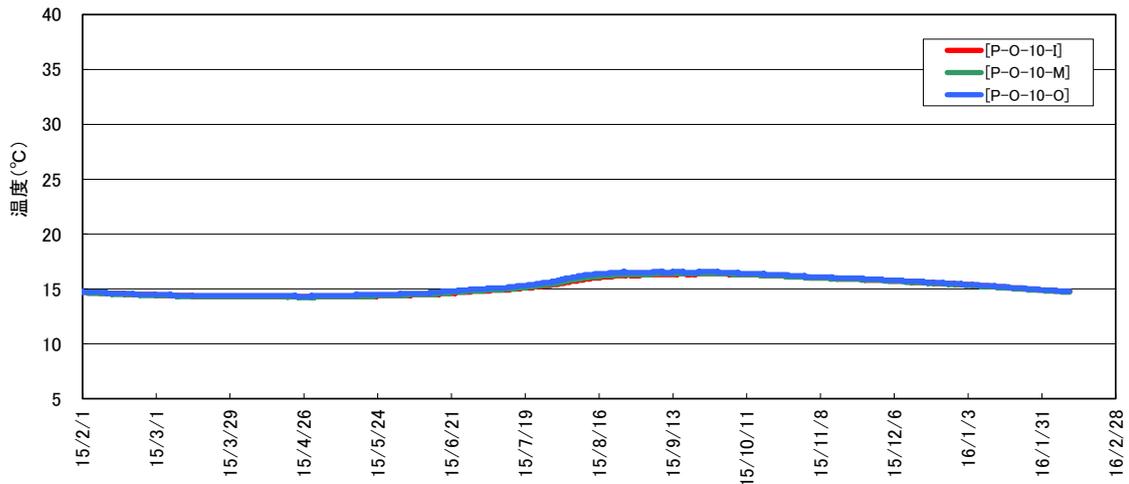


(2) ひずみ

図 5.1-25 底部コンクリートピットの計測結果 (部材中央)



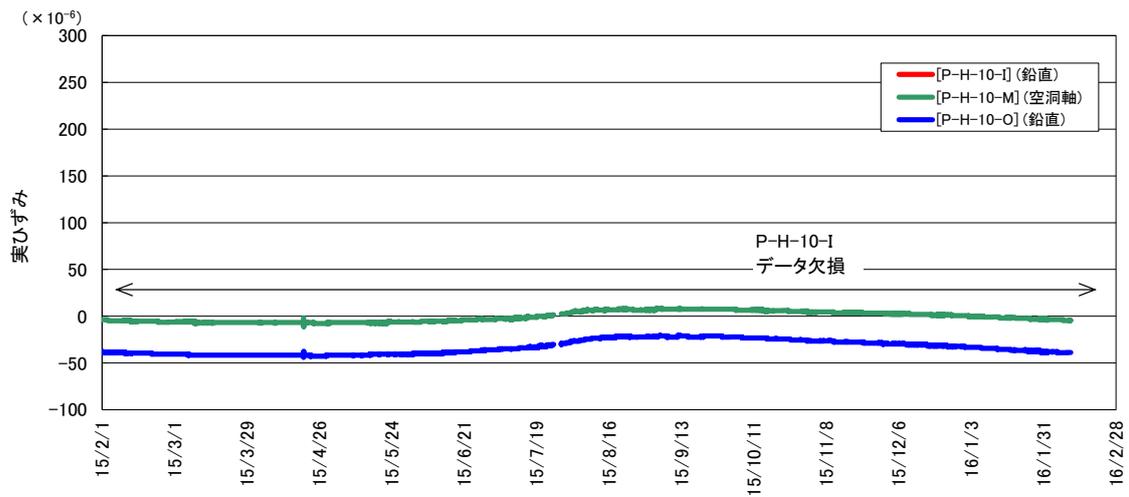
側部コンクリートピットの温度(A断面中段)



(1) 温度

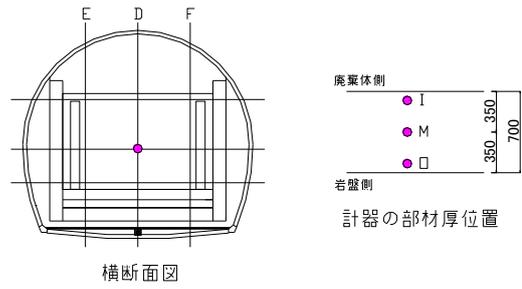
側部コンクリートピットの実ひずみ (A断面中段)

+ : 膨張、- : 収縮

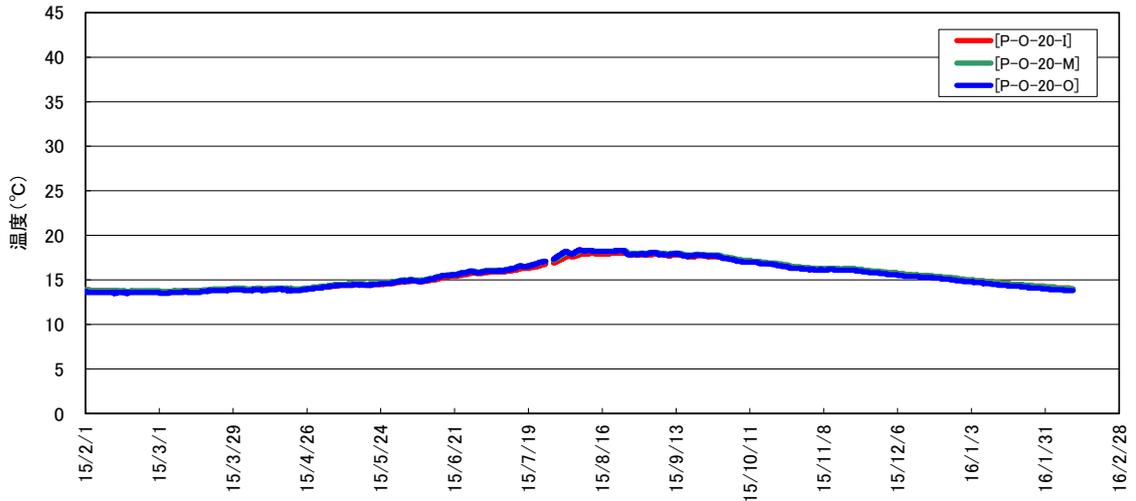


(2) ひずみ

図 5.1-26 側部コンクリートピットの計測結果 (部材中央)



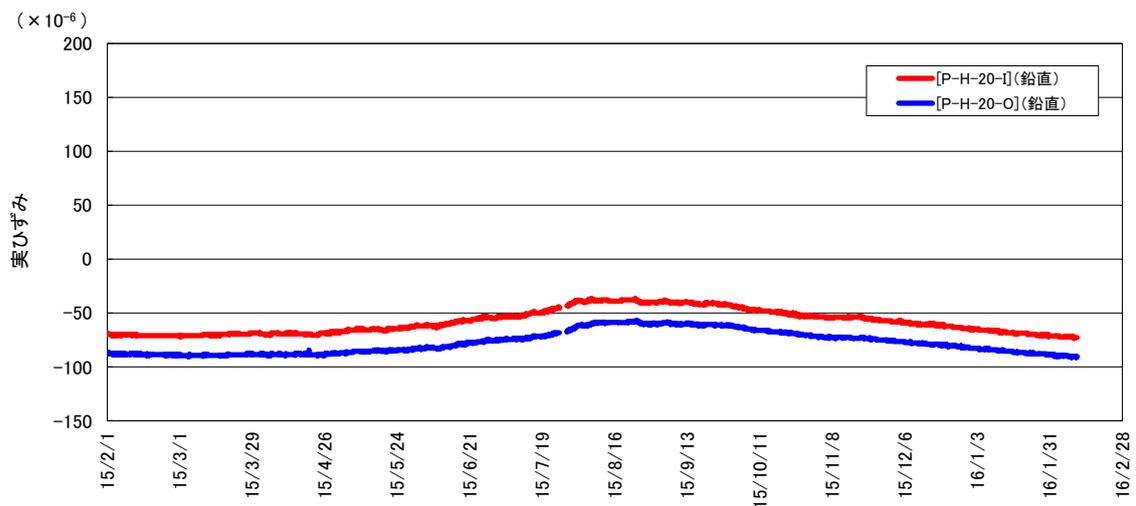
手前部コンクリートピットの温度(中央中段)



(1) 温度

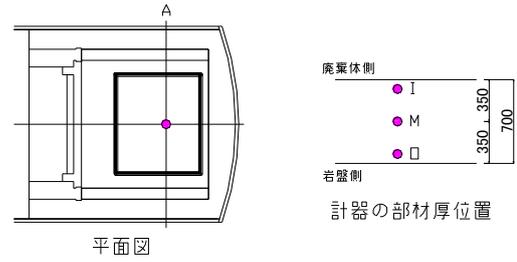
手前部コンクリートピットの実ひずみ(中央中段)

+ : 膨張、- : 収縮

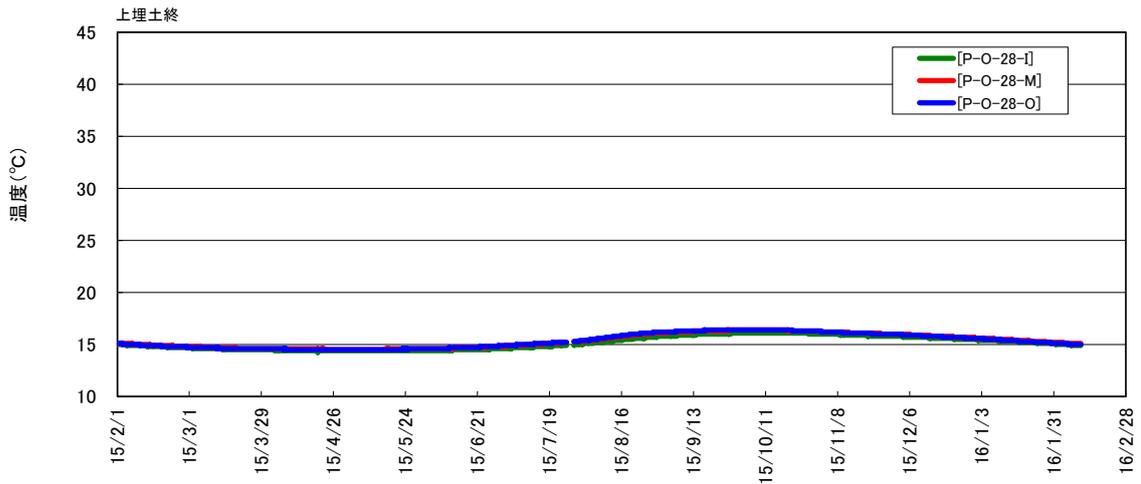


(2) ひずみ

図 5.1-27 手前部コンクリートピットの計測結果(部材中央)

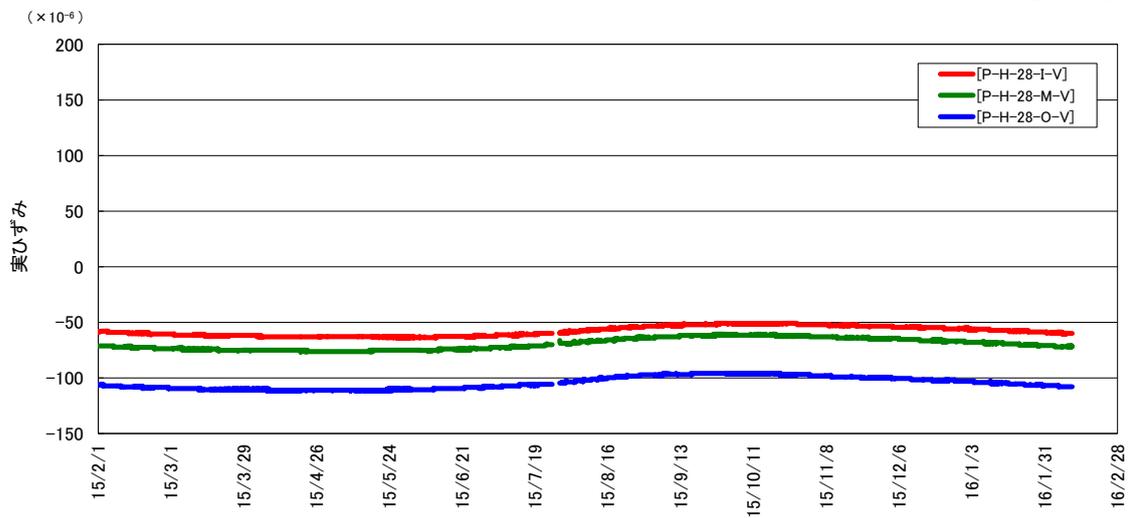


上部コンクリートピットの温度



(1) 温度

上部コンクリートピットの実ひずみ (中央、空洞軸方向)



(2) ひずみ

図 5.1-28 上部コンクリートピットの計測結果 (部材中央)

5.1.5 周辺岩盤挙動計測結果の分析評価

【目的】

H26 年度までの施工後の施設周辺岩盤の力学・水理挙動を計測して、施設建設が周辺岩盤に与える影響の程度を把握する。

【まとめ】

- ・ 今年度期間中の試験施設周辺の岩盤変位の変化は最大 0.16mm 程度であり、計器の測定精度と同等である。
- ・ 間隙水圧の変動は年間を通して僅かである。

本節では、H18 年度に設置した岩盤変位計および間隙水圧計による計測結果を収集・整理して、計測結果より上記の施工に伴う岩盤挙動についての評価を行った。岩盤変位計の計測位置を図 5.1-29 D 孔岩盤変位計位置図を図 5.1-29 に、間隙水圧計の設置位置および計測区間を表 5.1-4 に示す。

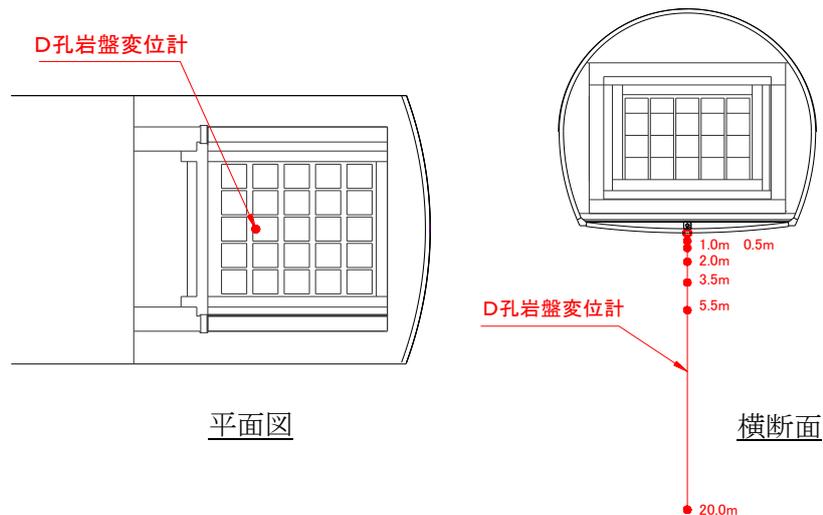


図 5.1-29 D 孔岩盤変位計位置図

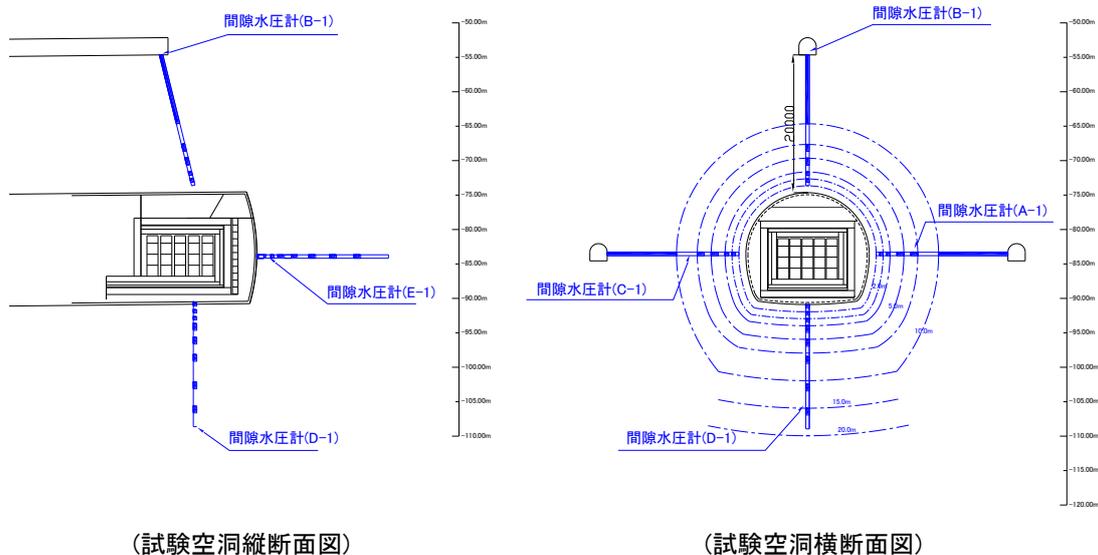


図 5.1-30 間隙水圧計位置図

表 5.1-4 間隙水圧計計測区間一覧

	A-1	B-1	C-1	D-1	E-1
①区間	10.00 ~ 12.50	10.00 ~ 12.50	10.00 ~ 12.50	0.50 ~ 1.00	0.50 ~ 1.00
②区間	13.50 ~ 15.00	13.50 ~ 15.00	13.50 ~ 15.00	1.50 ~ 2.00	1.50 ~ 2.00
③区間	16.00 ~ 17.00	16.00 ~ 17.00	16.00 ~ 17.00	2.50 ~ 3.00	2.50 ~ 3.00
④区間	17.50 ~ 18.00	17.50 ~ 18.00	17.50 ~ 18.00	4.00 ~ 5.00	4.00 ~ 5.00
⑤区間	18.50 ~ 19.00	18.50 ~ 19.00	18.50 ~ 19.00	6.00 ~ 7.50	6.00 ~ 7.50
⑥区間	/	/	/	8.50 ~ 10.50	8.50 ~ 10.50
⑦区間				11.50 ~ 14.00	11.50 ~ 14.00
⑧区間				15.00 ~ 19.00	15.00 ~ 19.00

(1) 岩盤変位

H27年2月1日からH28年2月10日までの岩盤変位計の各測定深度における変位経時変化を図5.1-31に示す。また、両日における岩盤変位分布図を図5.1-32に示す。これより、H28年2月10日時点での岩盤変位は、沈下挙動を呈し、最大1.13mm（深度0.5m）であり、BTVで確認された岩盤内の割れ目近傍で大きくなっている。また、H27年2月1日からH28年2月10日の間の岩盤変位の変化は最大で0.16mm（深度1.0m）であり、計器の測定精度（±0.50mm）と同等である。

次に、H19年度の計測開始時からH28年2月10日までの荷重増分に対する岩盤の弾性係数を算出した。平板載荷試験における変位と弾性係数の関係は式5.1-1のようになる[2]。

$$E = \frac{\pi a(1-\nu^2)}{2} \frac{\Delta P}{\Delta \delta} \quad \text{式 5.1-1}$$

ここに、 E ：岩盤の弾性係数、 a ：載荷板の半径、 ν ：岩盤のポアソン比、 ΔP ：荷重強度増分、 $\Delta\delta$ ：変位増分である。底部埋戻し材の幅約 14.9m より、これの半径=7.45m を円形載荷板の半径と見なした。 ΔP については、H19 年度の底部埋戻し材の上載圧 0.010MPa（単位体積重量：2.345tf/m³、厚さ：0.444m より算出）および表 5.1-1 に示す H19 の底部低透水層以降の累計上載圧 0.208MPa の合計 0.218MPa とした。

$\Delta\delta=1.13\text{mm}$ （H28 年 2 月 10 日時点の最大値）、 $\nu=0.47$ （平成 18 年度の詳細設計時に採用した岩盤のポアソン比）とし式 5.1-1 より岩盤の弾性係数を計算すると $E \approx 1800\text{MPa}$ となる。詳細設計時では岩盤の弾性係数について、既往検討を参考に $E=2000\text{MPa}$ とした。本施工時による岩盤変位より概算した岩盤の変形性は詳細設計時に採用した値に類するものと考えられる。

D孔岩盤変位経時変化

+:上昇 -:沈下

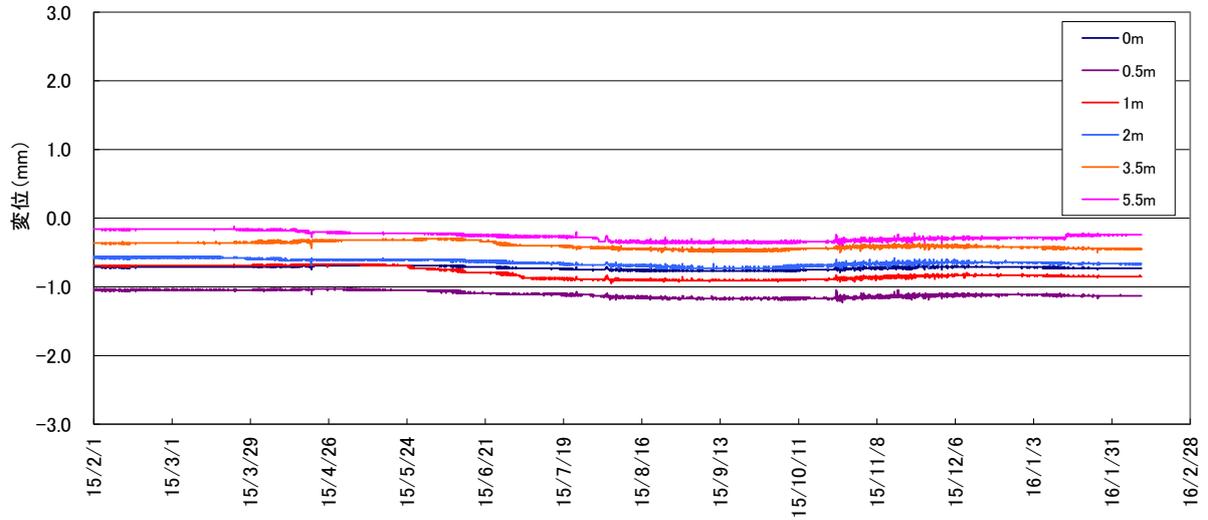


図 5.1-31 D孔岩盤変位計経時変化図

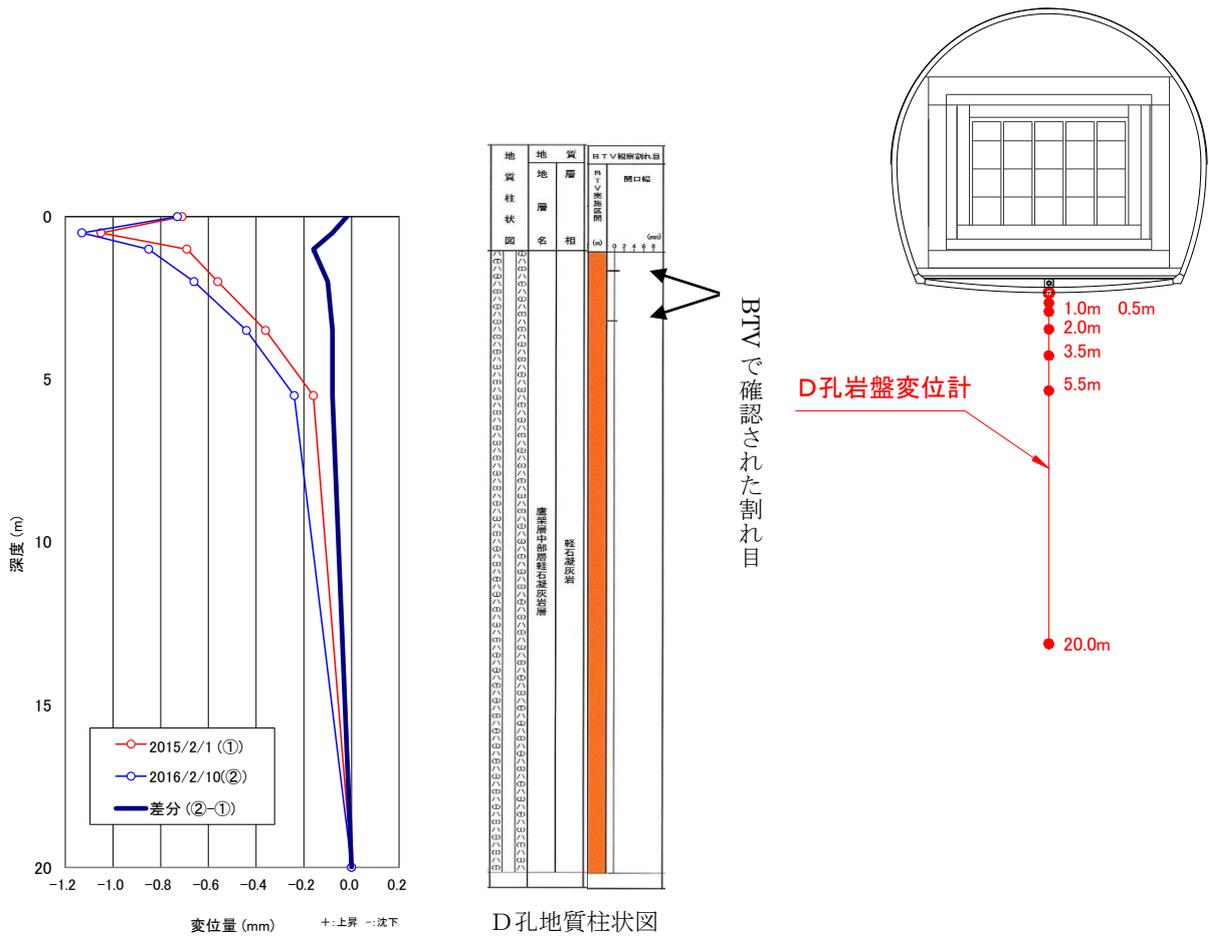
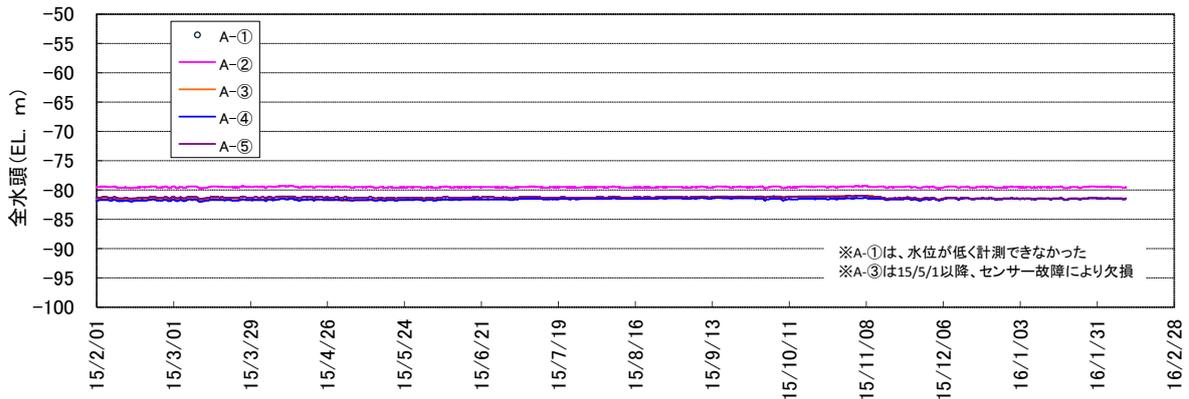


図 5.1-32 D孔岩盤変位計経時分布

(2) 岩盤内間隙水圧

間隙水圧計の計測値（全水頭）の経時変化を図 5.1-33～図 5.1-34 に示す。過年度に故障したセンサー（A-①、B-②、B-④、C-②、C-③、C-④、D-④、E-④、E-⑤）については、今年度は代替機による計測を実施し（H27年11月）、グラフには○印でプロットした。今年度の間隙水圧の変動は僅かであり、1年を通して間隙水圧の上昇傾向が認められないことから、防水シート背面の裏面排水工が機能していると考えられる。

A-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



B-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

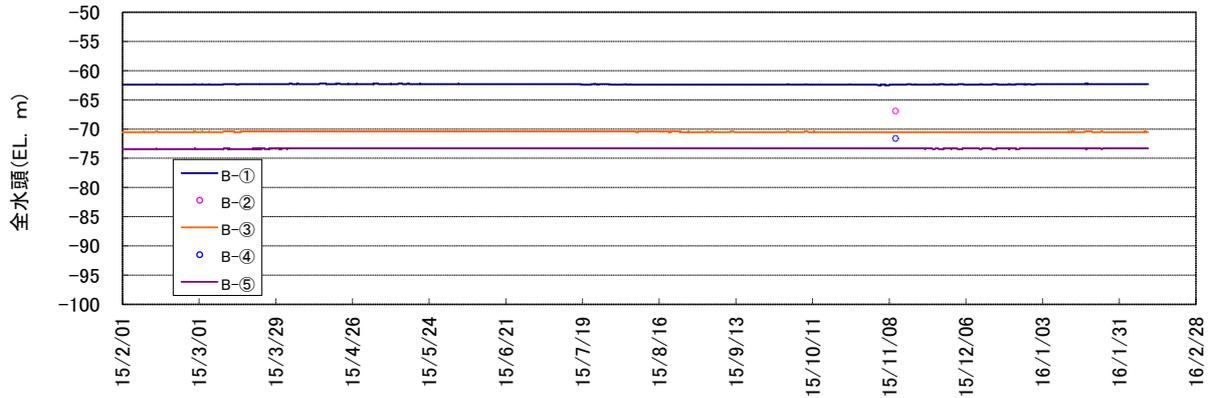
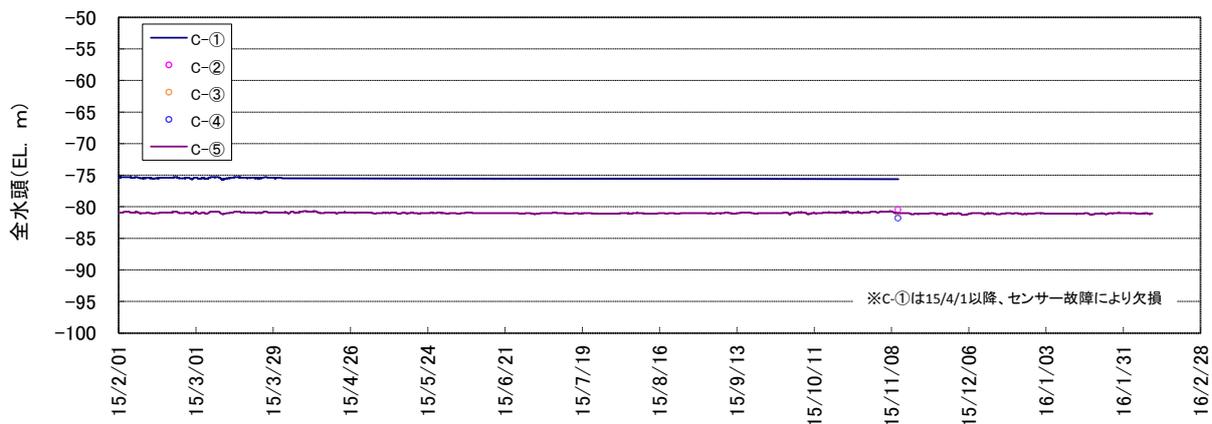
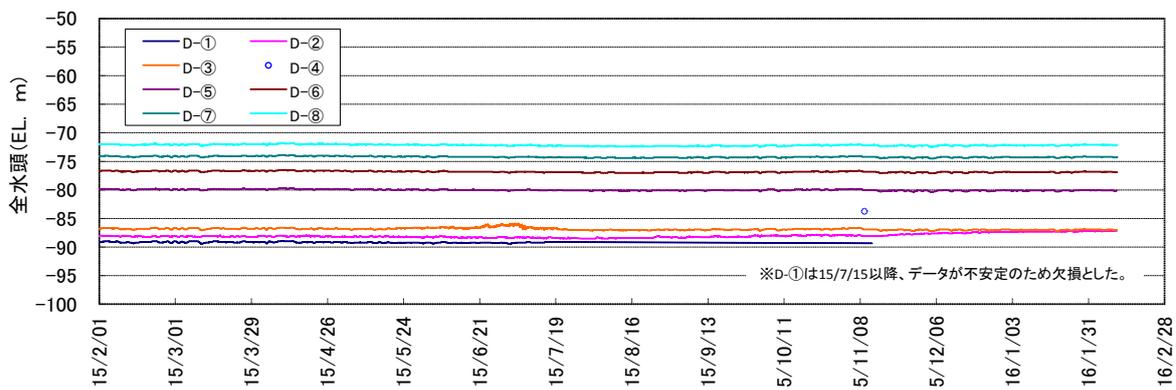


図 5.1-33 間隙水圧経時変化（A、B 孔）

C-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



D-1孔間隙水圧計経時変化グラフ



E-1孔間隙水圧計経時変化グラフ

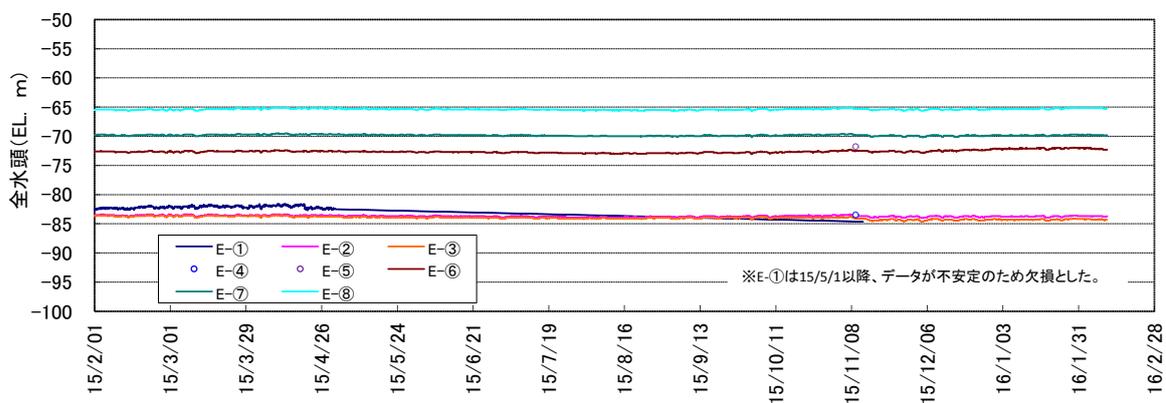


図 5.1-34 間隙水圧経時変化 (C、D、E 孔)

5.2 地震計の観測データの整理と挙動分析

5.2.1 地震応答解析の検討フロー

(1) 検討フロー

地震計の観測データの整理・分析及びそのデータを用いた地震応答解析の検討フローを図 5.2-1 に示す。

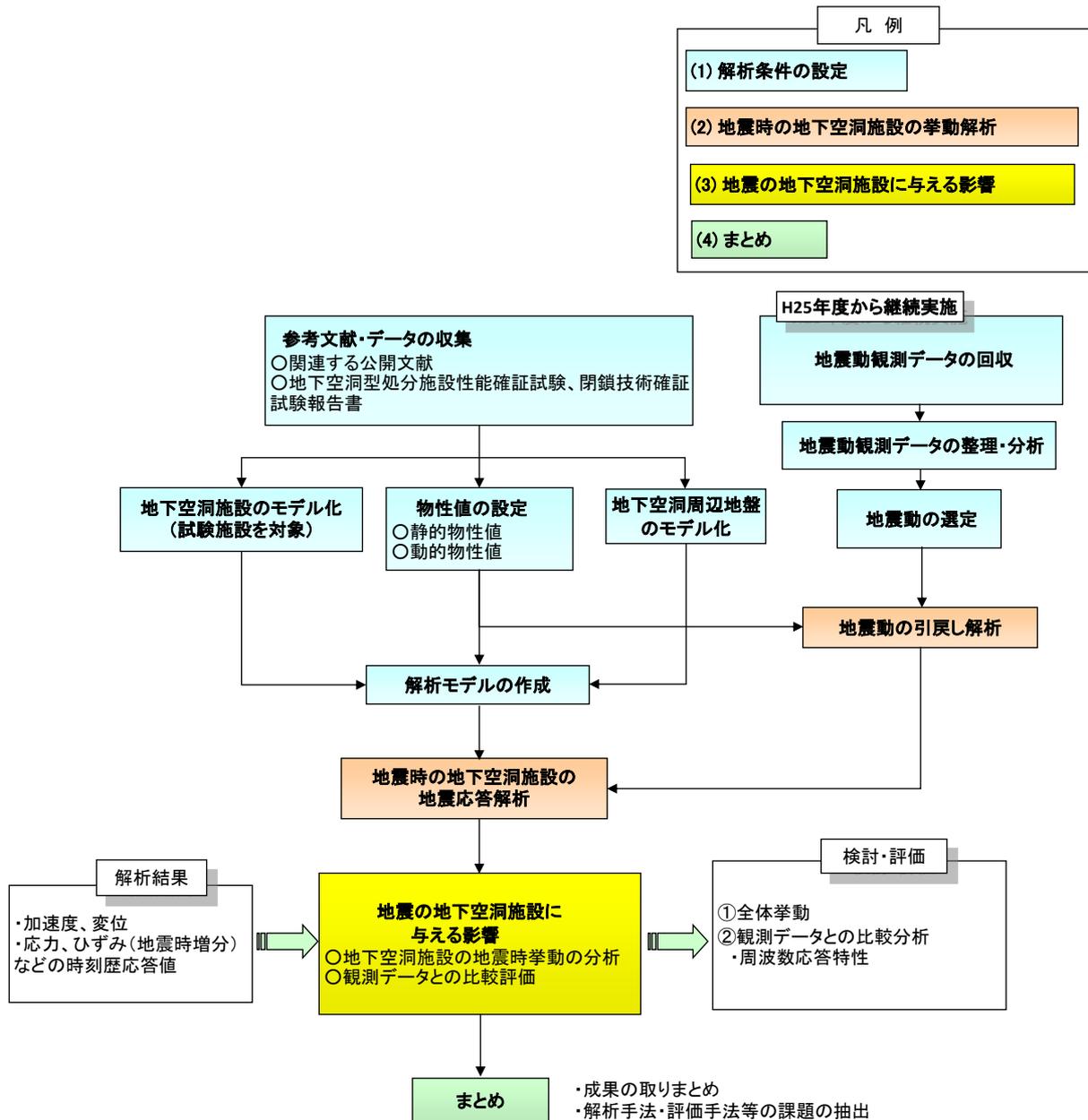


図 5.2-1 検討フロー

5.2.2 観測データの分析評価

【目的】

今年度観測された地震動データを整理し、試験施設に与える影響を分析評価する。

【まとめ】

- ・ 今年度の観測では、計 7 回の地震動データを記録した。
- ・ 2016 年 1 月 14 日の観測地震動は、これまで観測した 26 回の地震の中で最も加速度が大きく、地震計①の最大加速度は 18.2Gal (x 方向) であった。
- ・ 観測データのスペクトル分析から推察される試験施設の固有振動数は 15Hz 以上であり、これは既往の結果と同様であった。

(1) 計器設置概要

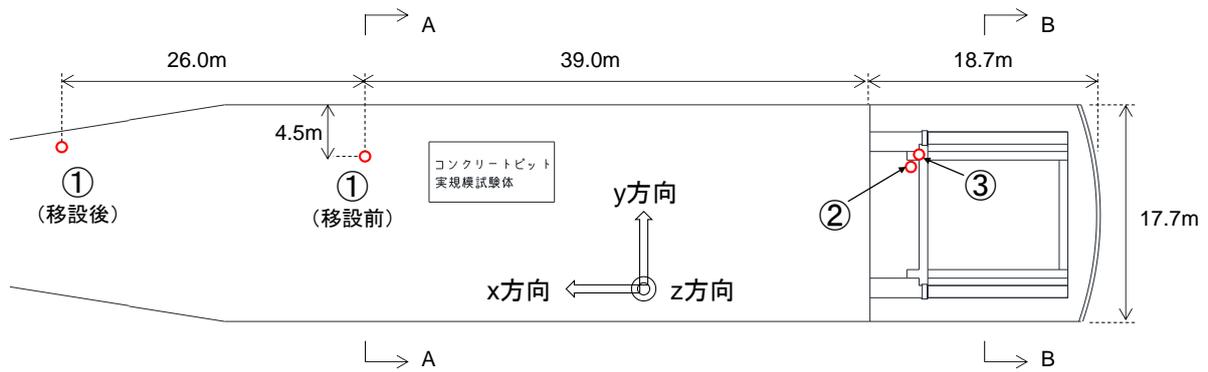
地震計の計器設置について概要を以下に示す。

1) 地震計設置位置

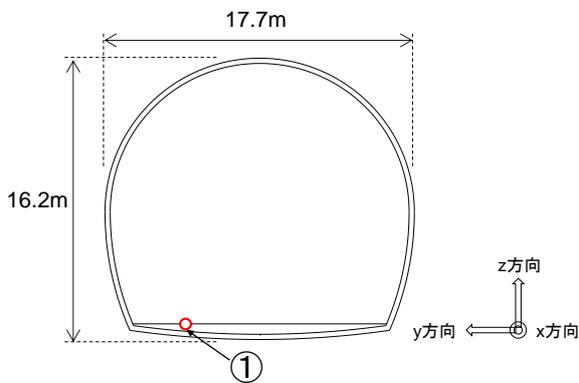
地震計は計 3 台設置し、それぞれ地震計①～③を称することとする。観測を開始した平成 25 年 10 月から平成 27 年 5 月までは、図 5.2-2 のように、地震計①は試験施設から比較的離れた底盤上、地震計②は底部コンクリートピット上、地震計③は手前部コンクリートピット上としていた。しかし、平成 27 年度の観測中に、空洞の停電等により排水ポンプが停止し、空洞底盤部が浸水した際、空洞底盤上にある地震計①が水没し故障する事故が発生した。このことから、今後の運用を考慮して、平成 27 年 10 月に、図 5.2-2 の平面図に示すように地震計①の設置場所を現位置から坑口側に約 26m 移動した。

各地震計の設置位置選定根拠を表 5.2-1 に示す。なお、各地震計の計測方向は以下とする。

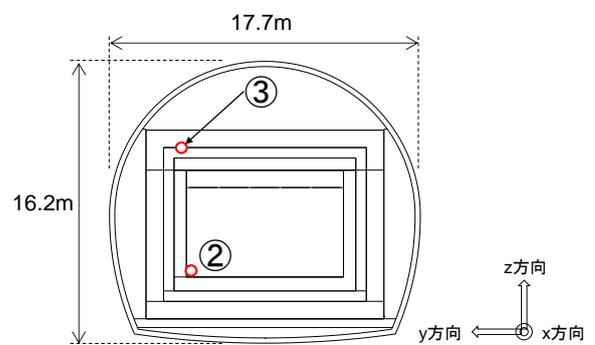
- ・ x 方向：空洞軸方向
- ・ y 方向：空洞横断方向
- ・ z 方向：鉛直方向



(1) 平面図



(2) 横断面図 (A-A 断面)



(3) 横断面図 (B-B 断面に投影)

図 5.2-2 地震計設置位置

表 5.2-1 設置位置選定根拠

地震計	設置位置	選定根拠
地震計①	試験施設から離れた底盤上 (インバートコンクリート上)	地震応答解析の入力地震動作成用のデータとするため、地震時の試験施設の影響が小さい位置に設置する必要がある。そのため、試験施設から比較的離れた底盤上を選定した。
地震計②	底部コンクリートピット上	底部緩衝材の地震時影響を分析評価するために底部コンクリートピット上を選定した。
地震計③	手前部コンクリートピット上	試験施設全体の地震時影響を分析評価するために、試験施設の中で高位置となる手前部コンクリートピット上を選定した。

2) 地震計仕様

地震計の仕様を表 5.2-2、地震計設置状況を図 5.2-3 に示す。

表 5.2-2 地震計の仕様

名称	仕様	機種
加速度センサ	計測範囲：±1.5G 周波数応答：0.1～50Hz 分解能：X、Y軸：0.02Gal Z軸：0.07Gal サンプル周波数：100Hz、200Hz 送信周波数：0.5sec (200Hz) 1.0sec (100Hz) 使用条件：周囲温度：-30℃ ～60℃ 周囲湿度： 95%RH 以下 外形寸法：113×90×60mm	富士電機(株)製 MEMS 応用感振センサ CPUKSNSP-00 (防水・防塵型)



(1) 地震計① (移設前)



(2) 地震計① (移設後)



(3) 地震計②



(4) 地震計③



(5) 養生ケース内

図 5.2-3 地震計設置状況回収データの仕様

回収データの仕様を表 5.2-3 に示す。

表 5.2-3 回収データの仕様

項目	仕様
トリガ条件	マスタとするセンサ（地震計①）で、XYZのいずれかが1Gal以上
トリガ引き伸ばし時間	地震検知時間幅 10秒
プレトリガ時間	トリガ検知前の収集時間 10秒
ポストトリガ時間	地震収束判断時間 60秒
サンプリング周波数	200Hz（1秒間に200データを取得）
出力形式	データ変換後、CSVファイル形式 1列目に取得時刻、2～4列目にXYZの加速度データ（Gal）

(2) 地震動観測データ

今年度の観測を開始した2015年4月1日以降に観測された地震動一覧を、気象庁発表^[3]の六ヶ所村尾駁観測点における情報も併せて表5.2-4に示す。なお、2015年5月～10月の期間は、地震計①の故障やシステム異常によりデータを取得できなかった。

表 5.2-4 地震動一覧

日時	震源地	マグニチュード	震源深さ	震源距離 (六ヶ所村尾駁)	震度 (六ヶ所村尾駁)	観測データ (試験空洞)
2015/4/30 1:09:50	岩手県沖	M5.4	24km	164km	2	1) に記載
2015/11/1 12:48:48	青森県 東方沖	M5.2	65km	110km	2	2) に記載
2016/1/11 15:26:41	青森県 三八上北地方	M4.6	10km	66km	1	3) に記載
2016/1/11 17:21:27	岩手県沖	M4.4	38km	123km	1	4) に記載
2016/1/12 2:08:02	北海道 北西沖	M6.2	265km	468km	2	5) に記載
2016/1/14 12:25:33	浦河沖	M6.7	52km	171km	3	6) に記載
2016/2/2 14:31:47	岩手県沖	M5.6	22km	194km	1	7) に記載

※地震観測のトリガ条件：マスタとするセンサ（地震計①）で、xyz方向のいずれかが1Gal以上

1) 2015年4月30日

観測された加速度時刻歴を図5.2-5～図5.2-7に示す。

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-4 気象庁発表情報（2015年4月30日）に示す。

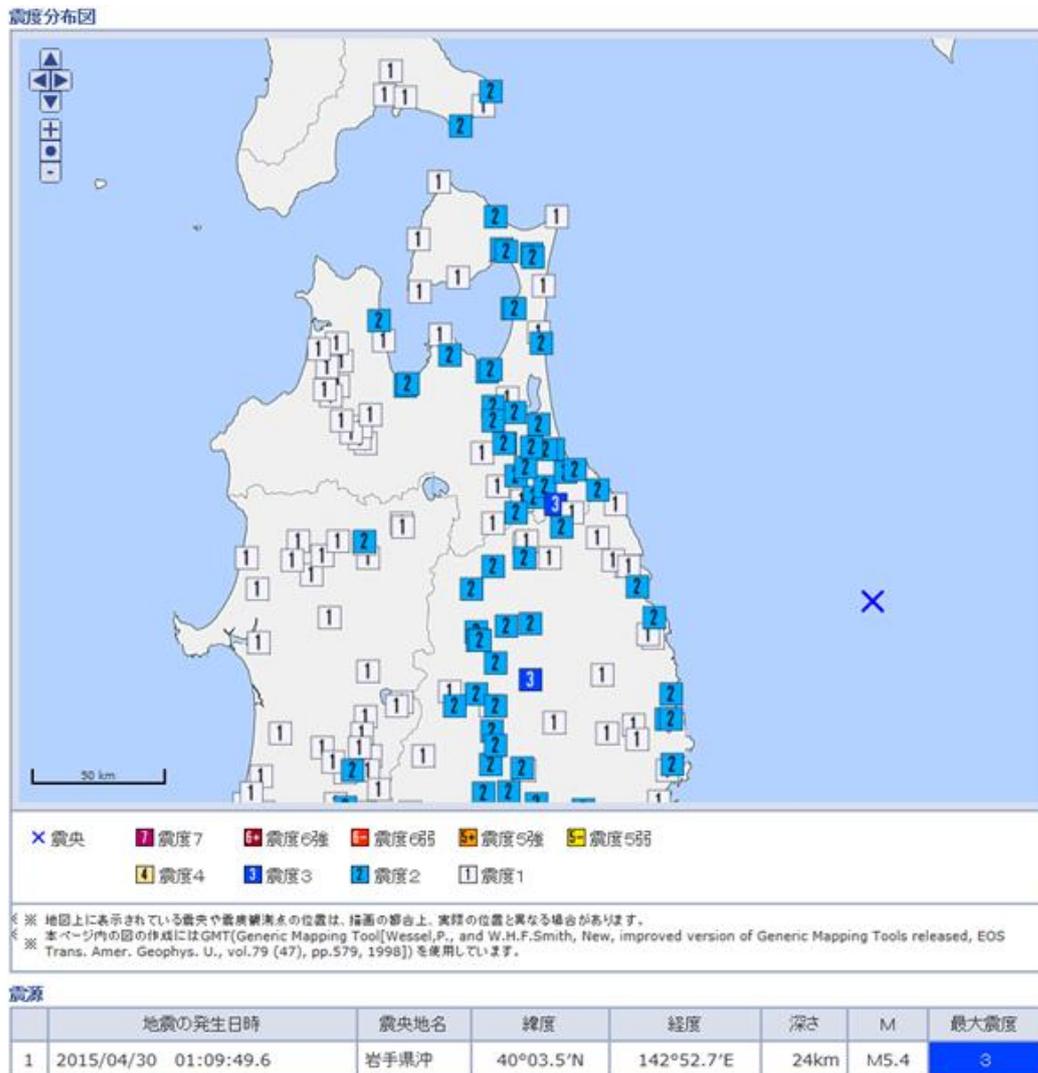
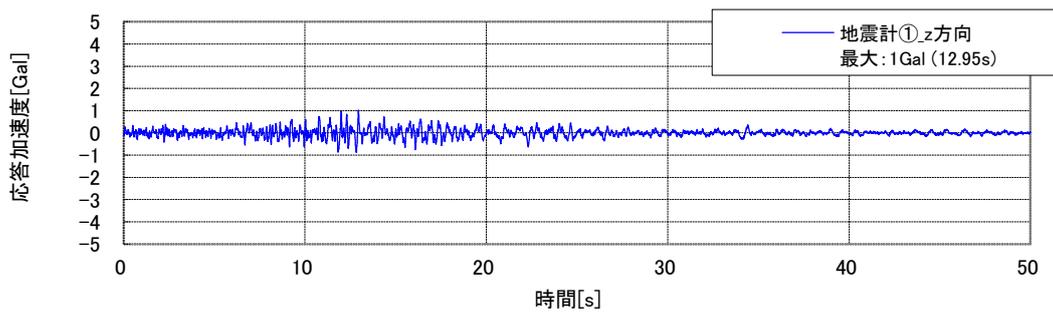
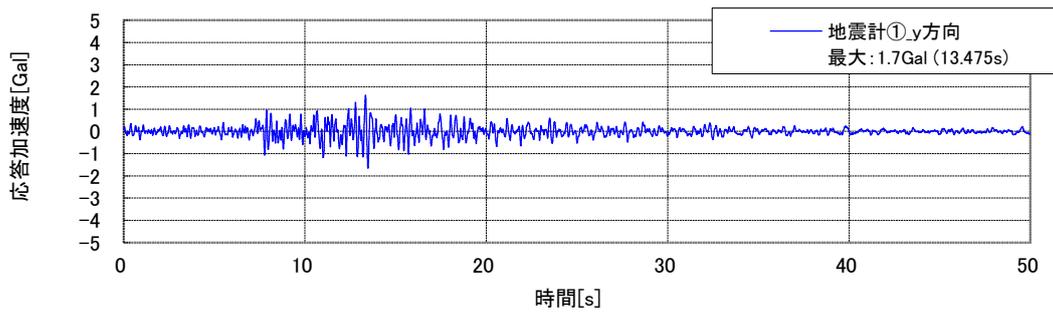
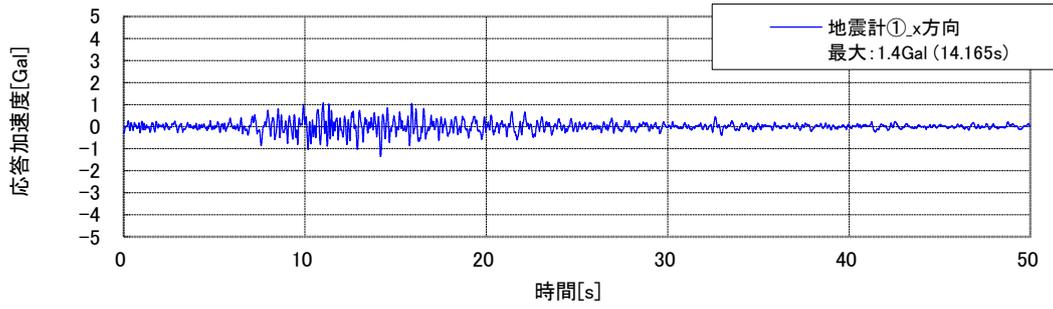
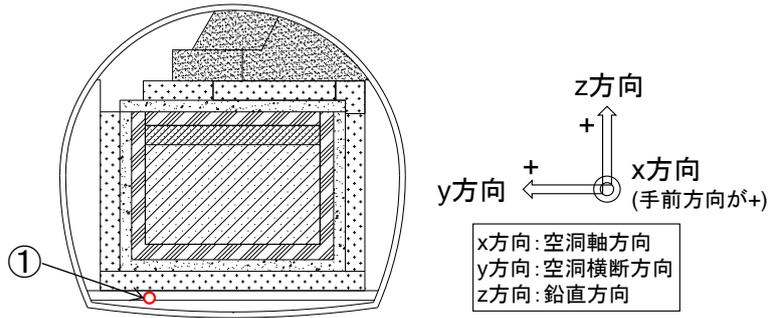


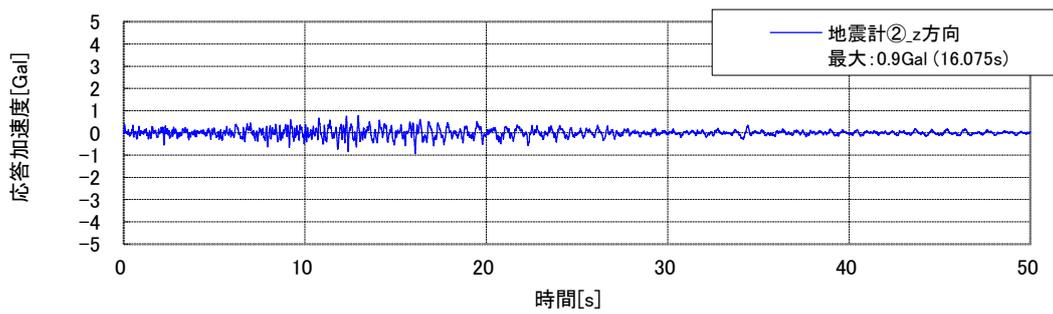
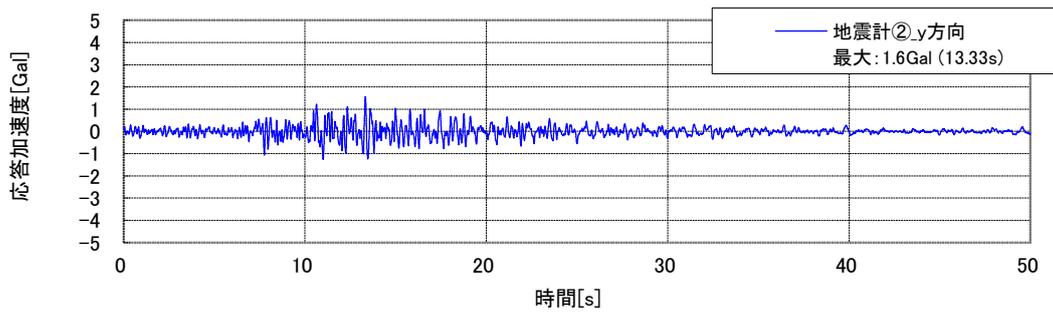
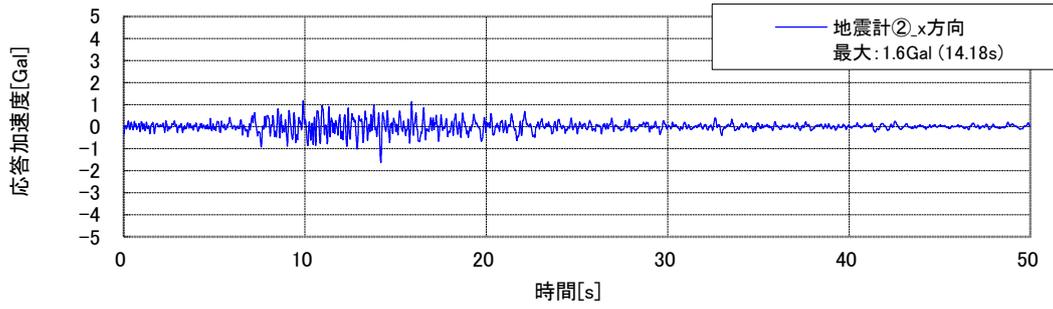
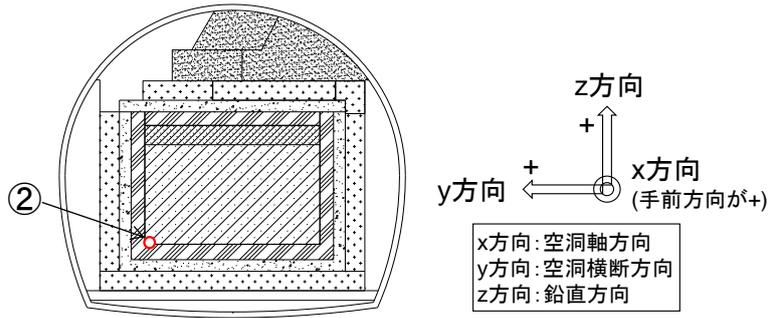
図 5.2-4 気象庁発表情報（2015年4月30日）

b. 観測データを図 5.2-5 地震計①の加速度時刻歴（2015年4月30日）に示す。



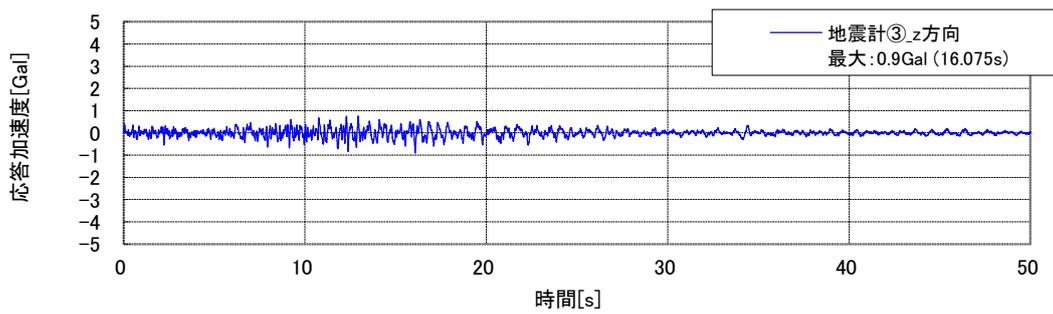
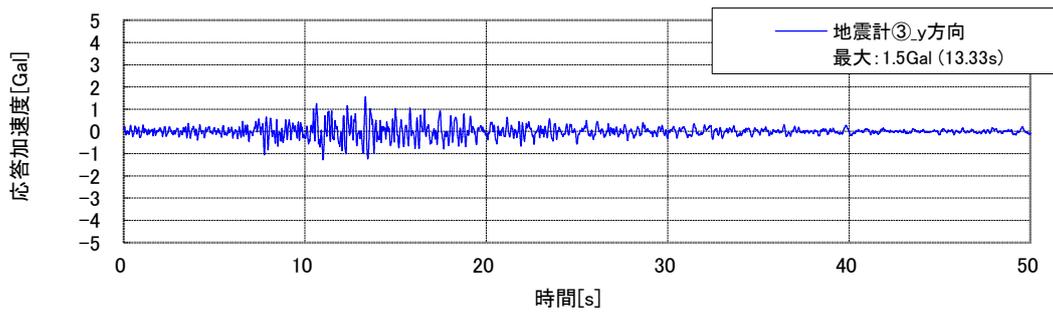
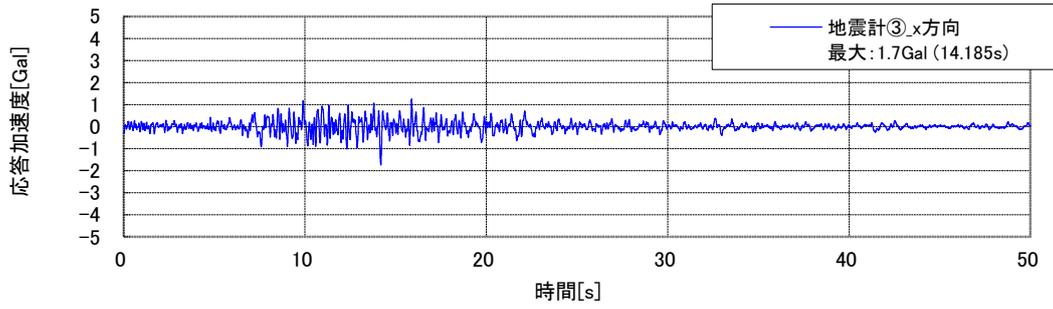
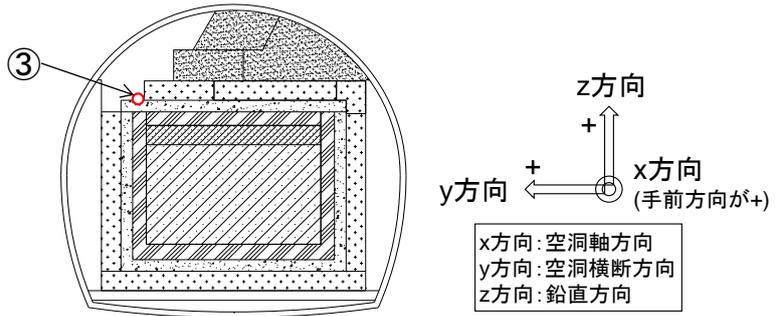
※上から x、y、z 方向

図 5.2-5 地震計①の加速度時刻歴 (2015年4月30日)



※上から x、y、z 方向

図 5.2-6 地震計②の加速度時刻歴 (2015年4月30日)



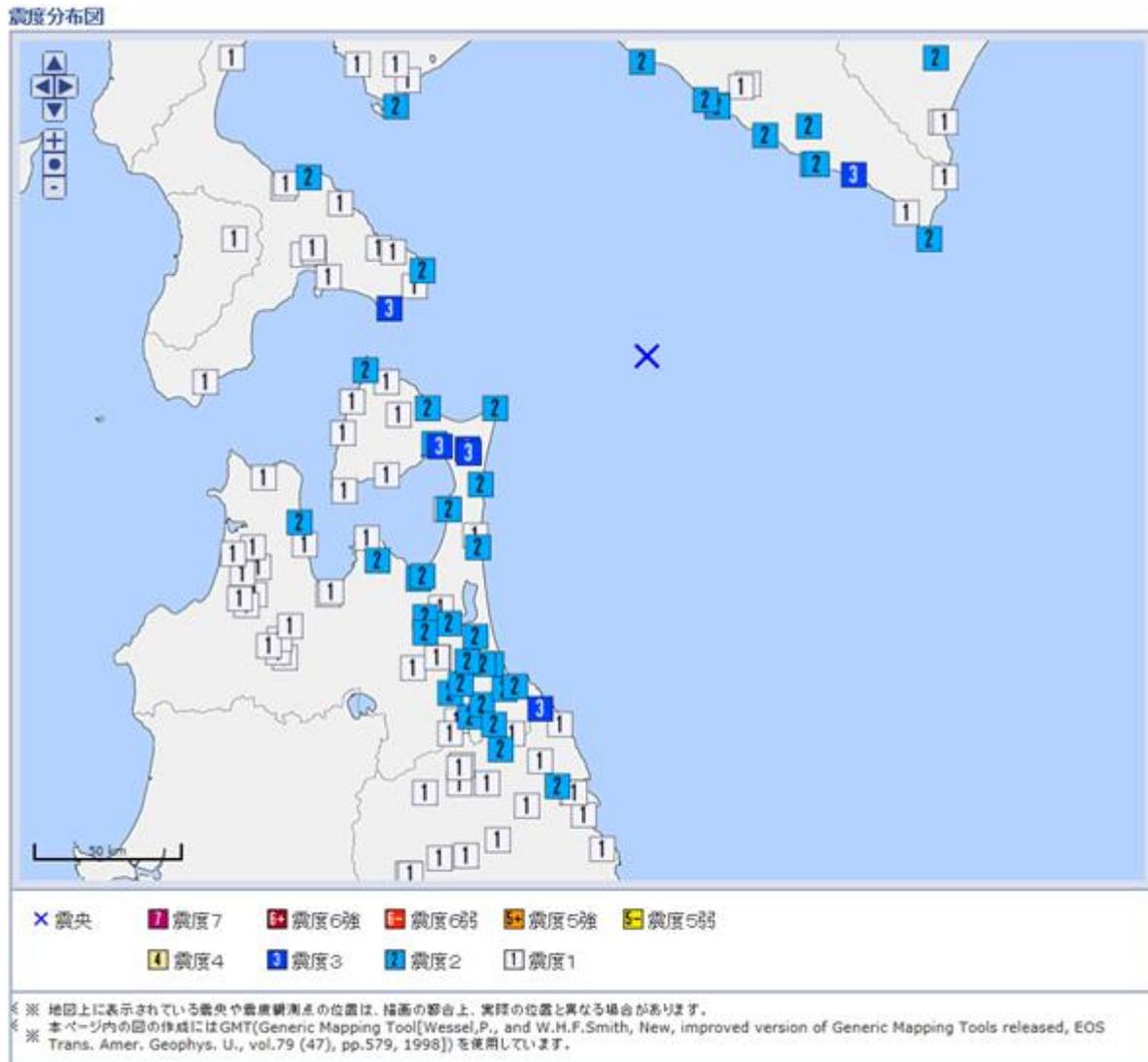
※上から x、y、z 方向

図 5.2-7 地震計③の加速度時刻歴 (2015年4月30日)

2) 2015年11月1日

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-8 気象庁発表情報（2015年11月1日）に示す。



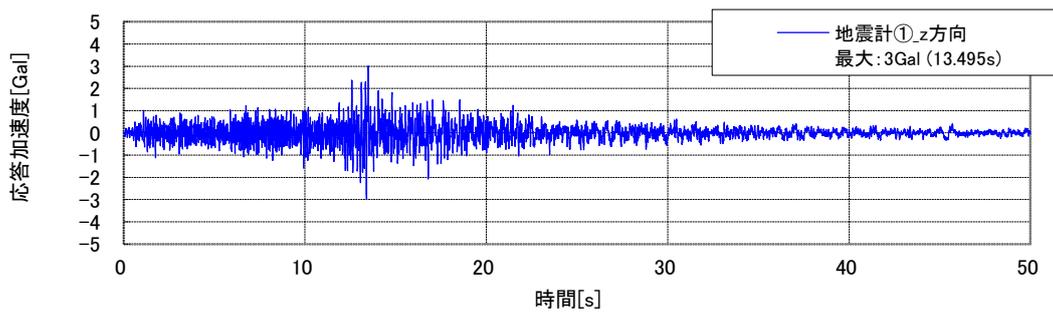
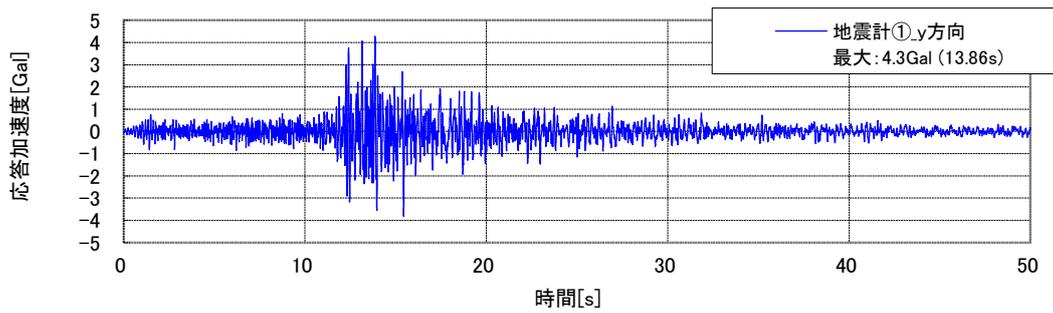
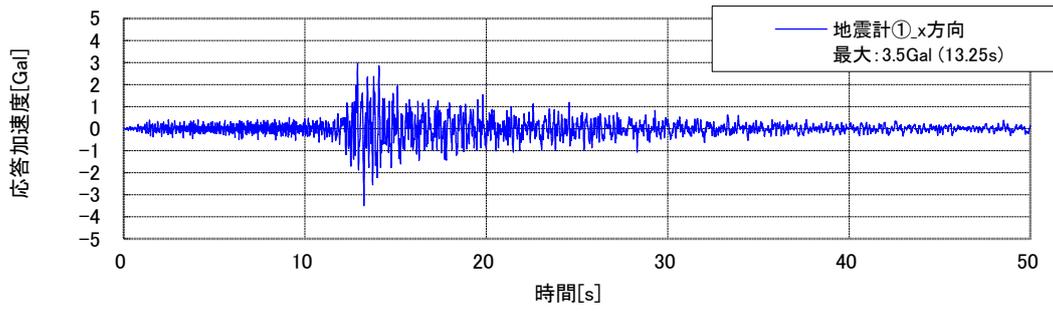
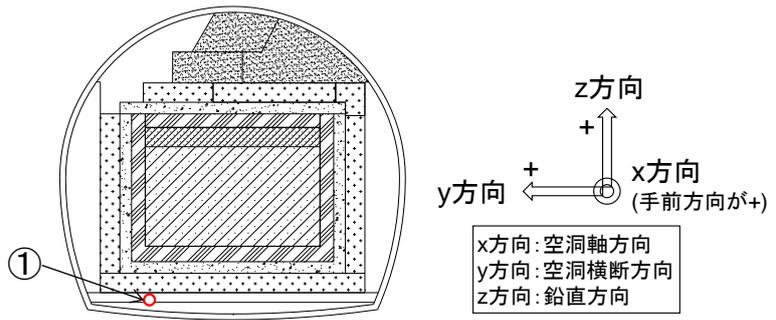
震源

	地震の発生日時	震源地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2015/11/01 12:48:47.6	青森県東方沖	41°34.0'N	142°04.0'E	65km	M5.2	3

図 5.2-8 気象庁発表情報（2015年11月1日）

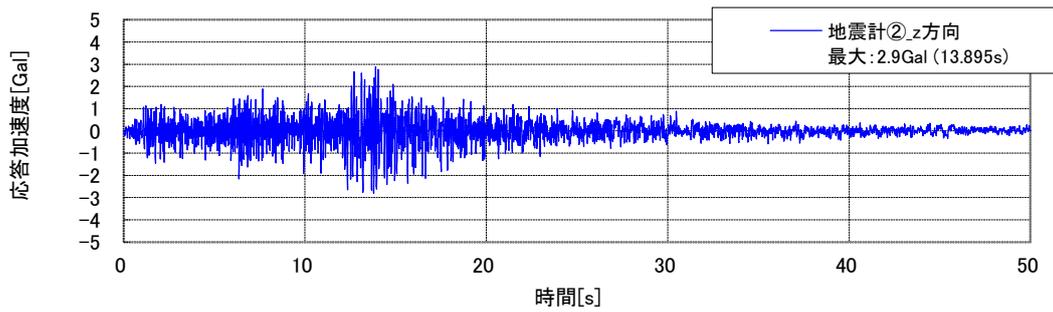
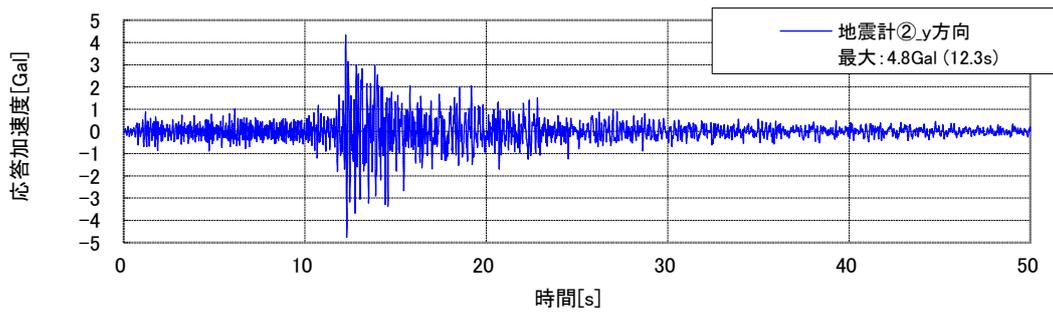
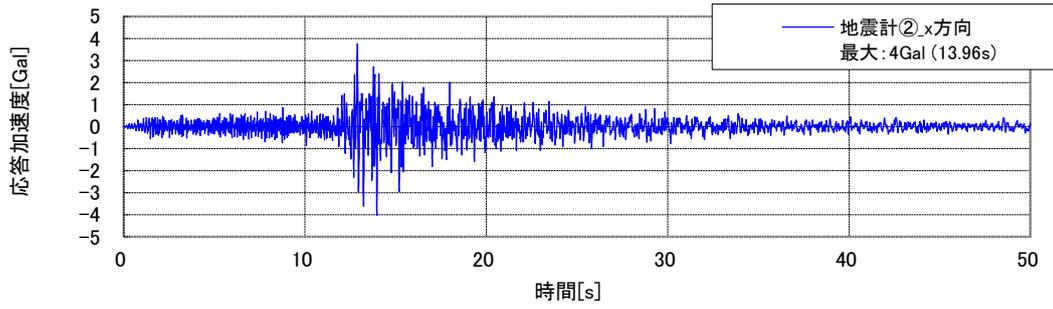
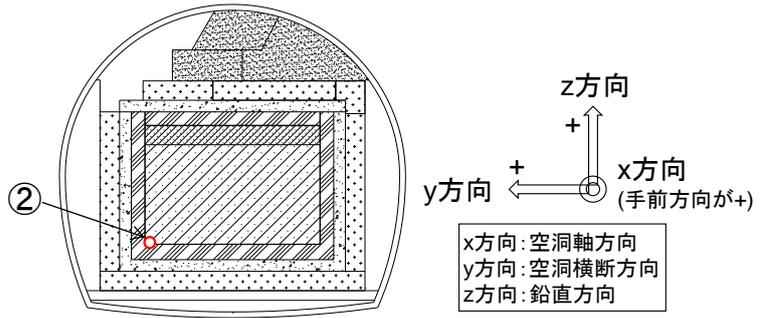
b. 観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-9～図 5.2-11 に示す。



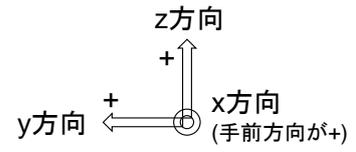
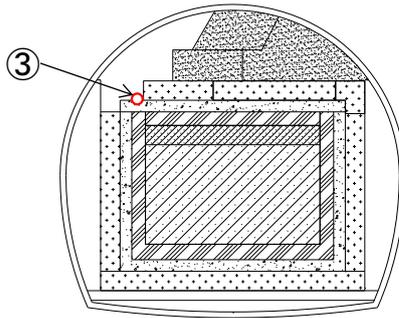
※上から x、y、z 方向

図 5.2-9 地震計①の加速度時刻歴 (2015年11月1日)

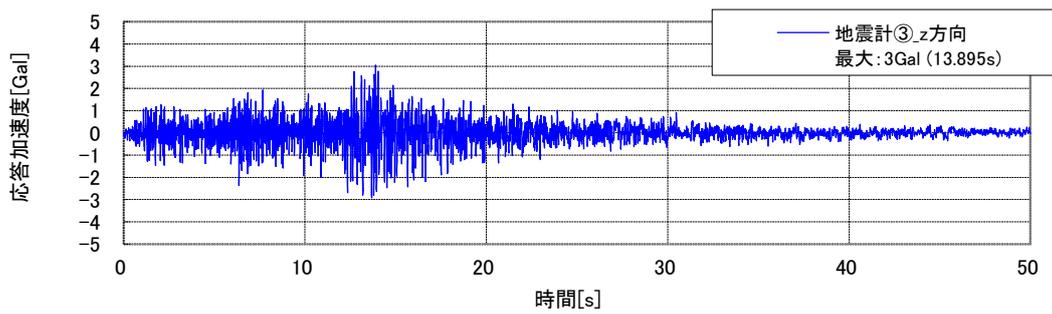
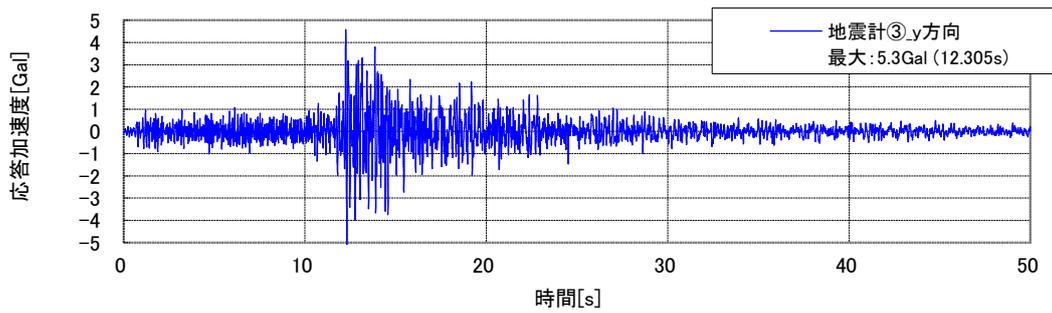
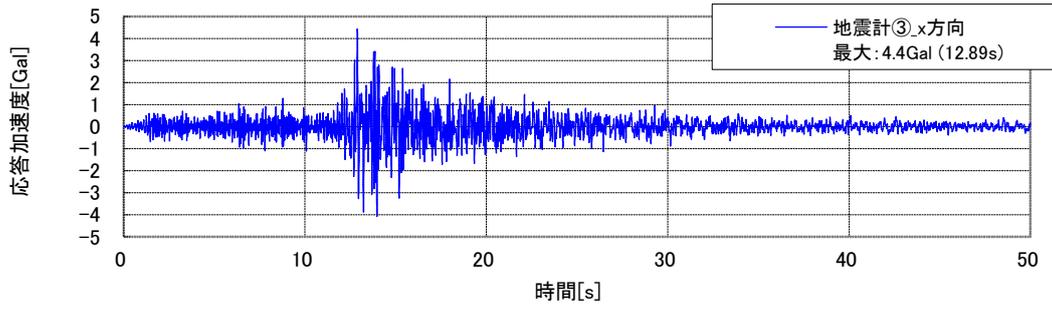


※上から x、y、z 方向

図 5.2-10 地震計②の加速度時刻歴 (2015 年 11 月 1 日)



x方向: 空洞軸方向
y方向: 空洞横断方向
z方向: 鉛直方向



※上から x、y、z 方向

図 5.2-11 地震計③の加速度時刻歴 (2015 年 11 月 1 日)

3) 2016年1月11日(1)

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-12 気象庁発表情報 (2016年1月11日(1)) に示す。

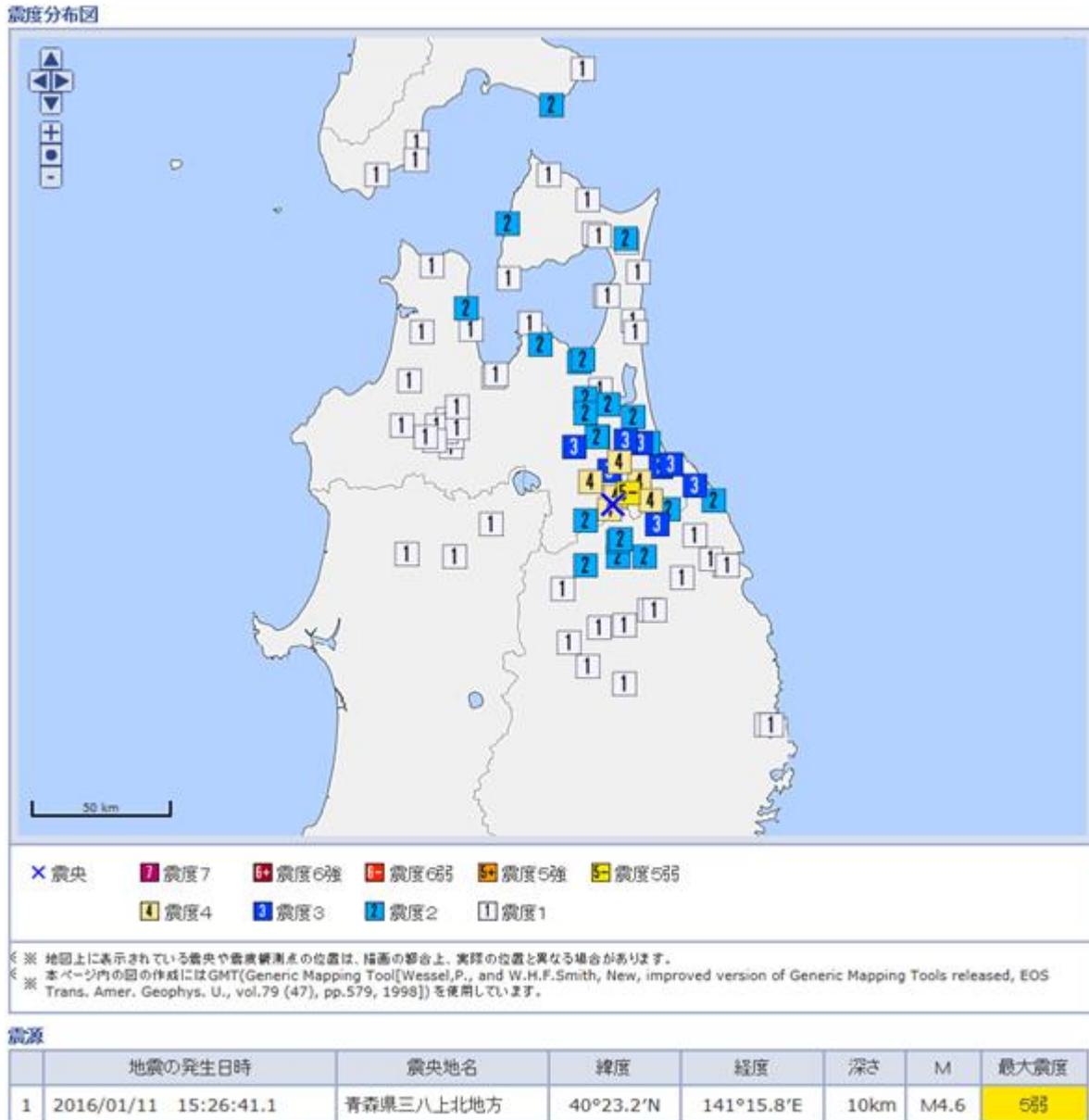
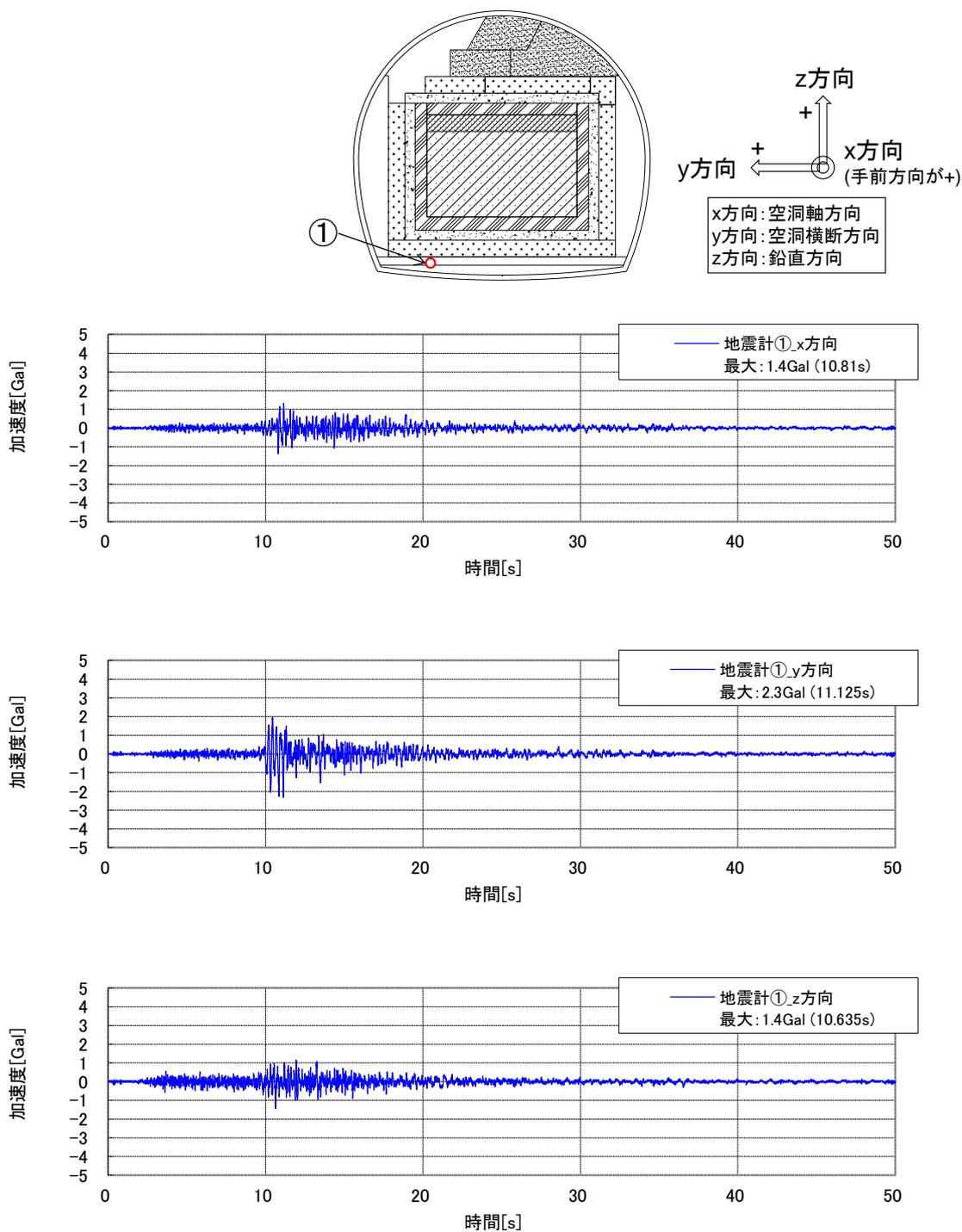


図 5.2-12 気象庁発表情報 (2016年1月11日(1))

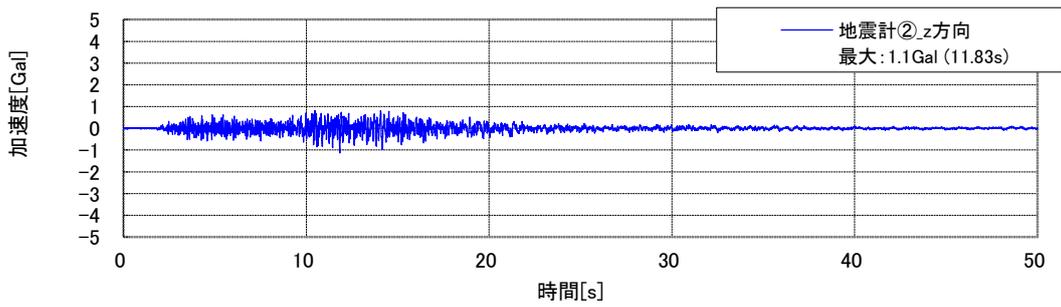
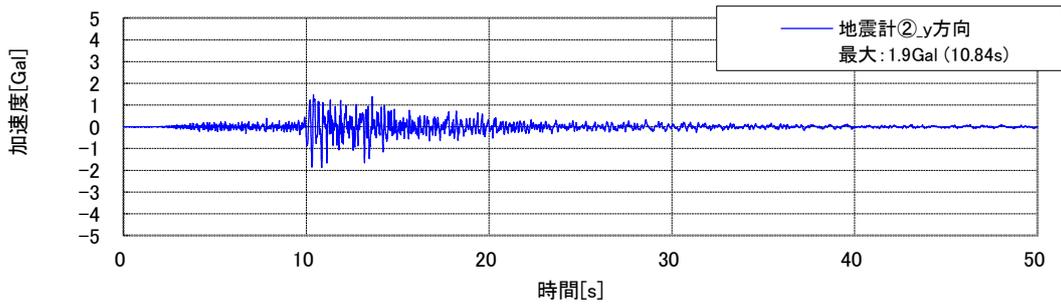
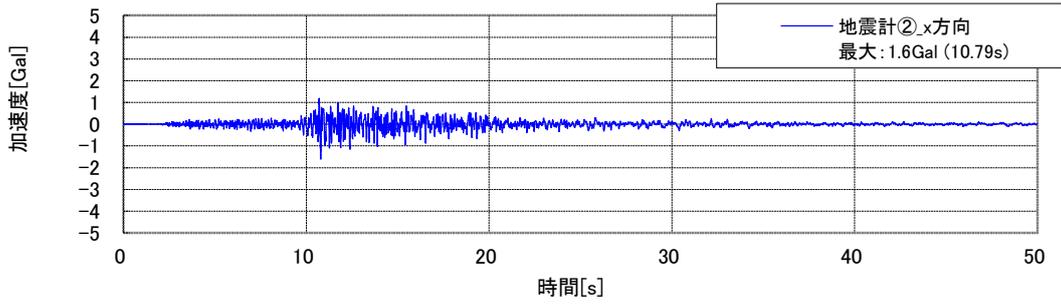
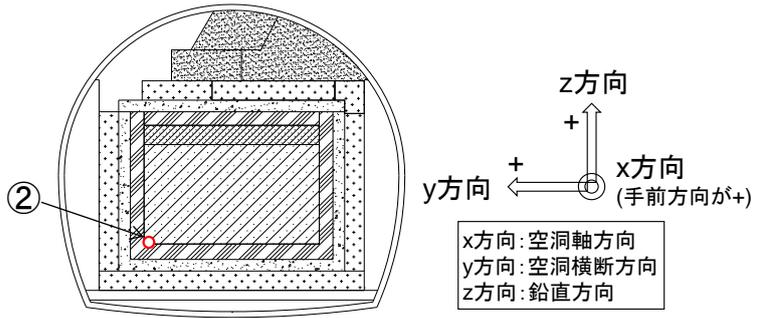
b. 観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-13～図 5.2-15 に示す。



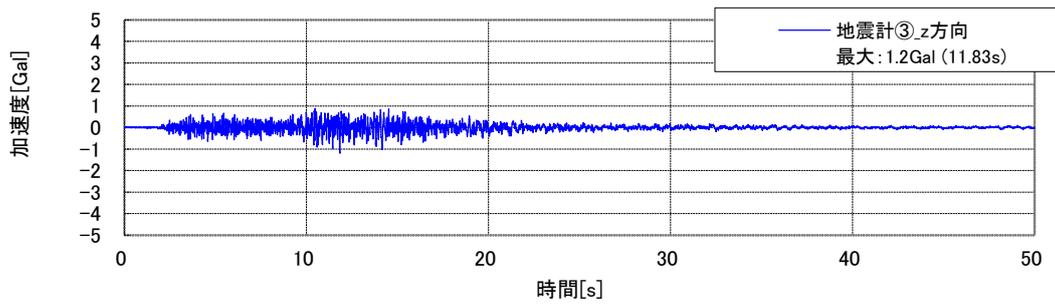
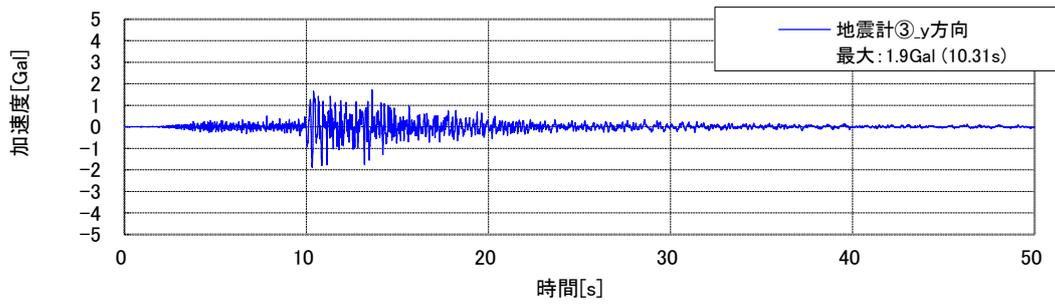
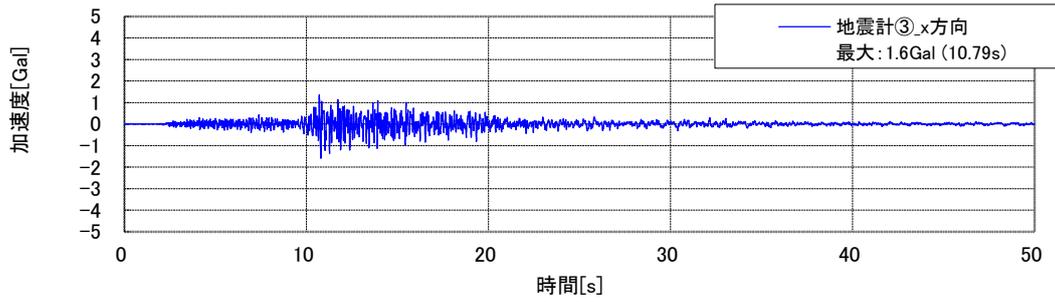
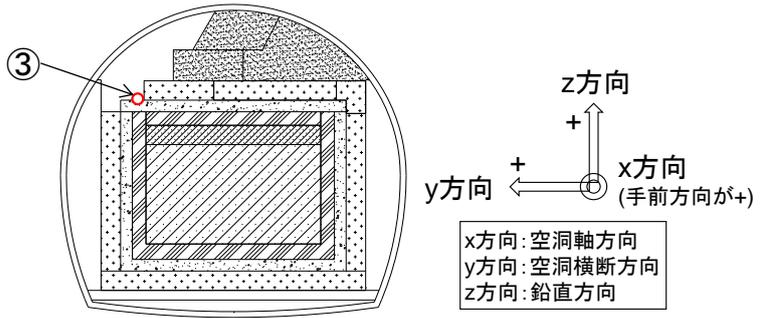
※上から x、y、z 方向

図 5.2-13 地震計①の加速度時刻歴 (2016年1月11日(1))



※上から x、y、z 方向

図 5.2-14 地震計②の加速度時刻歴 (2016年1月11日(1))



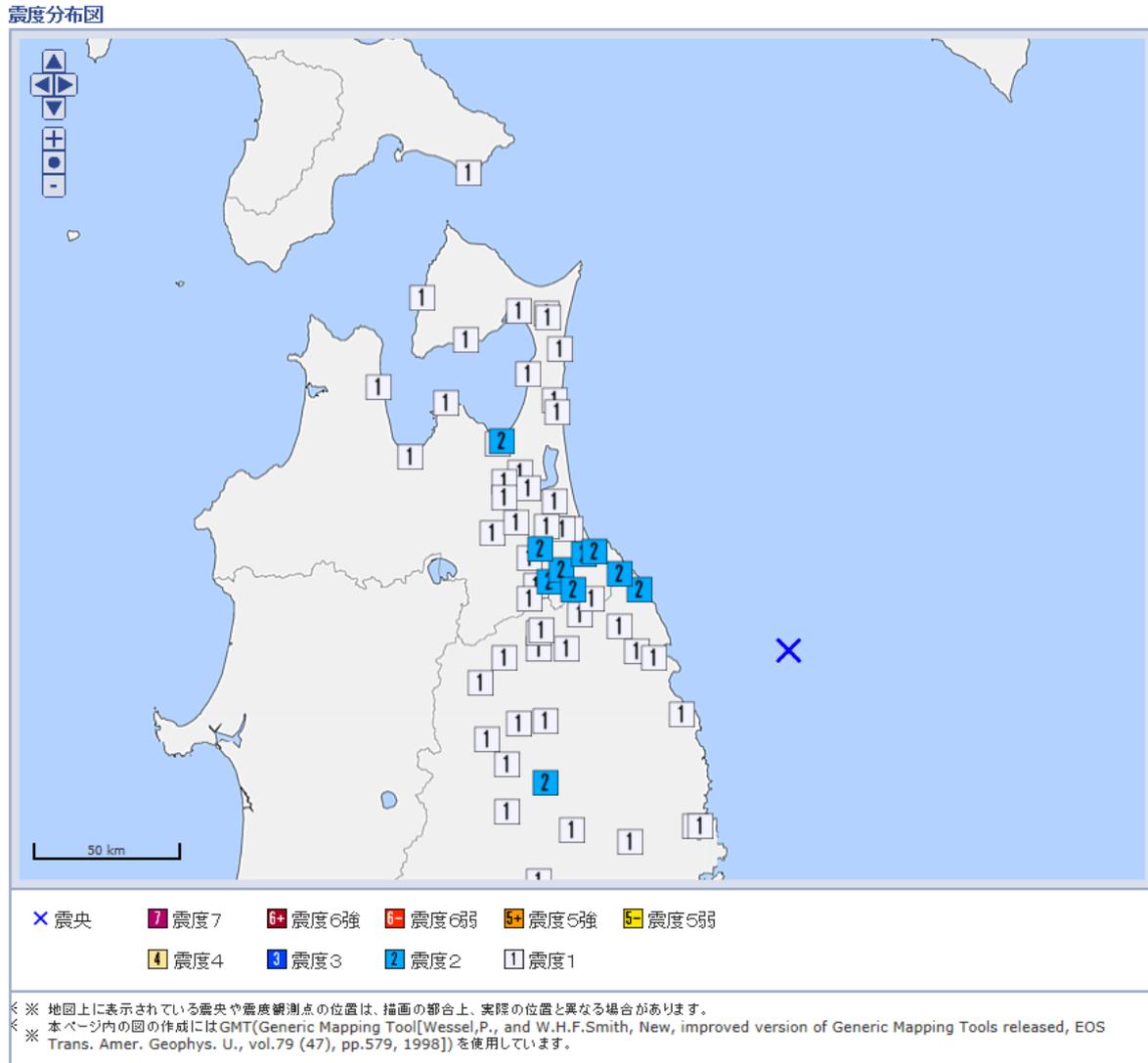
※上から x、y、z 方向

図 5.2-15 地震計③の加速度時刻歴 (2016年1月11日(1))

4) 2016年1月11日(2)

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-16 に示す。



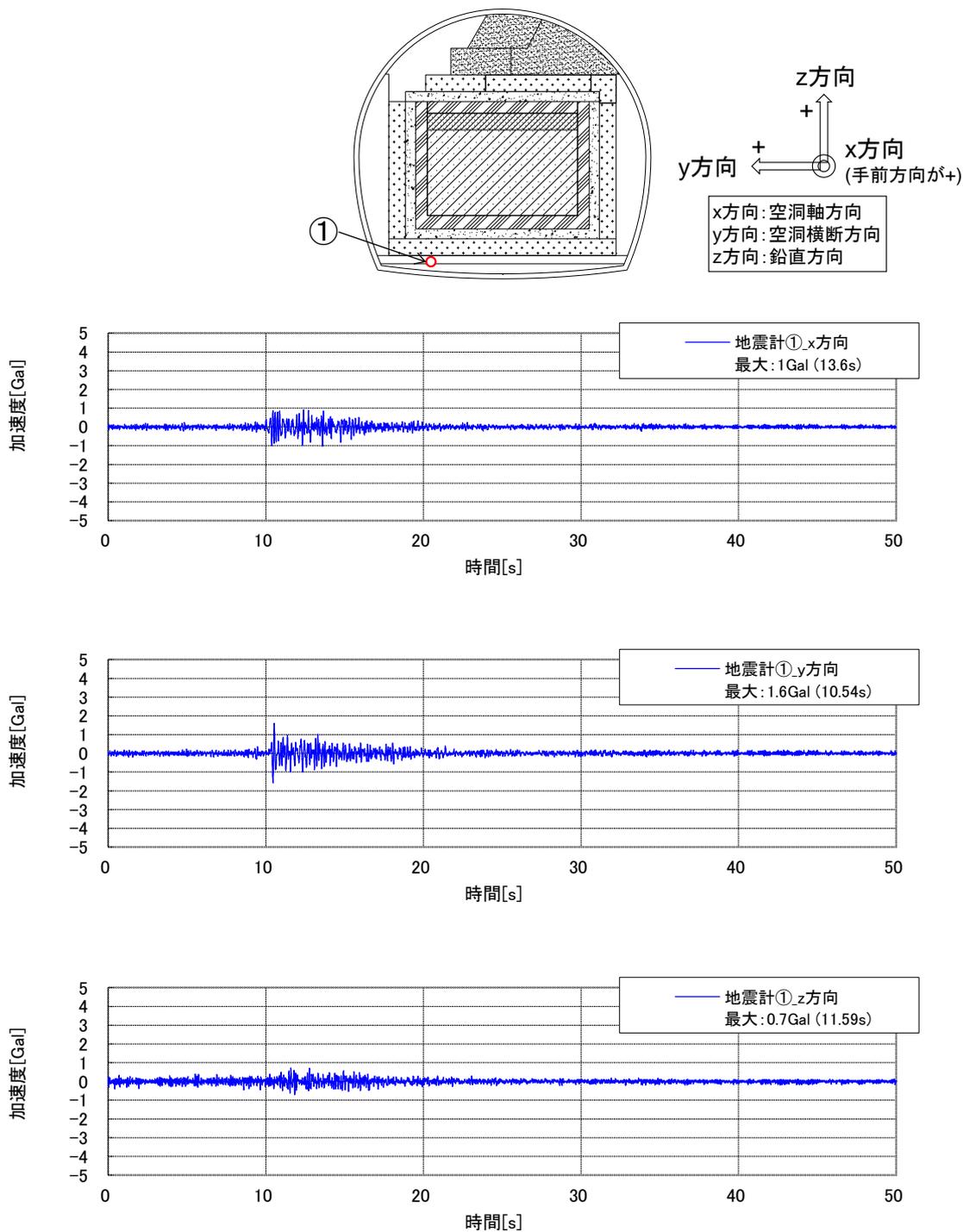
震源

	地震の発生日時	震源地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2016/01/11 17:21:27.4	岩手県沖	40°12.3'N	142°19.4'E	38km	M4.4	2

図 5.2-16 気象庁発表情報 (2016年1月11日(2))

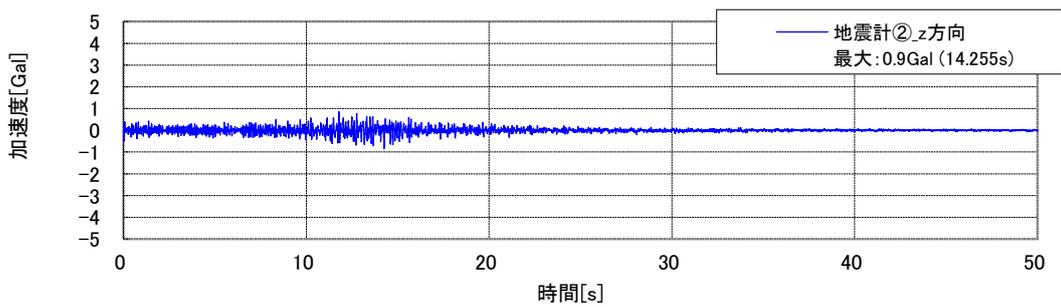
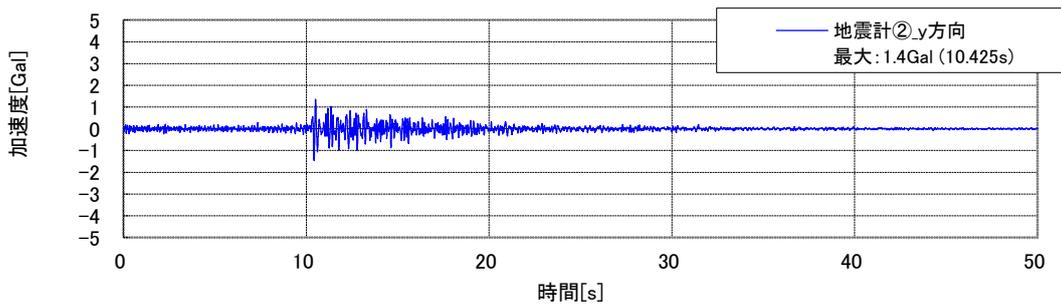
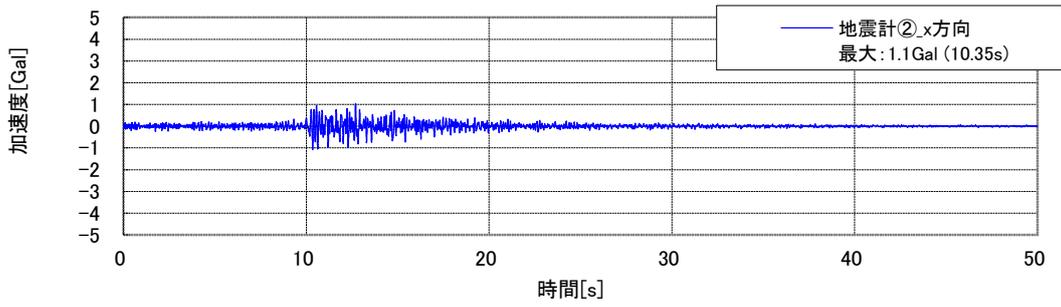
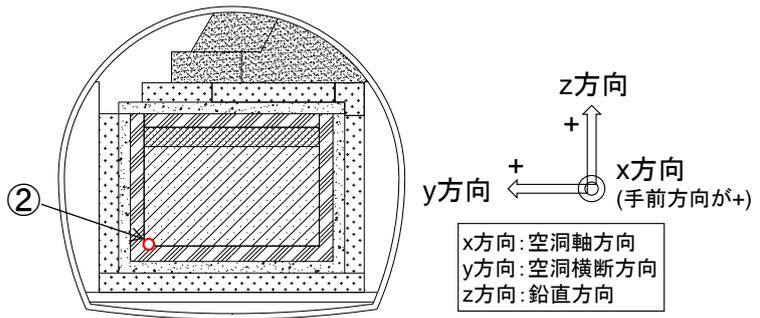
b. 観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-17～図 5.2-19 に示す。



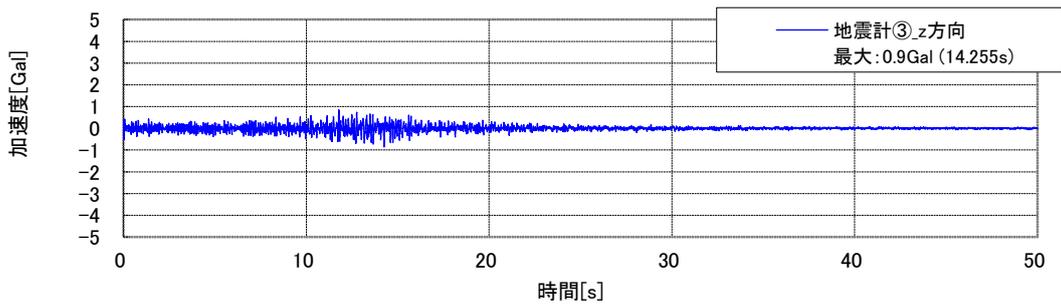
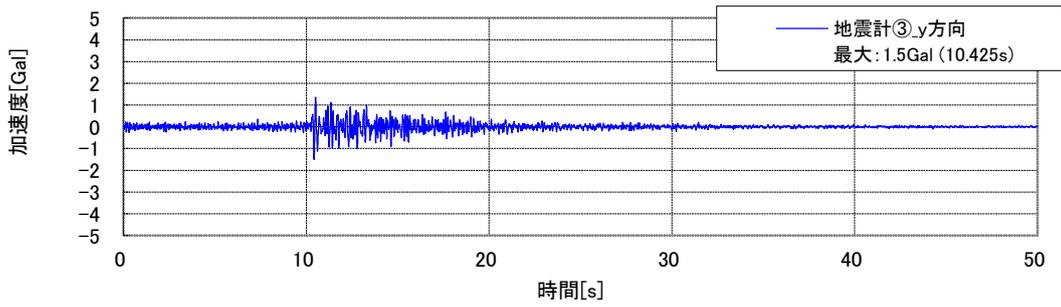
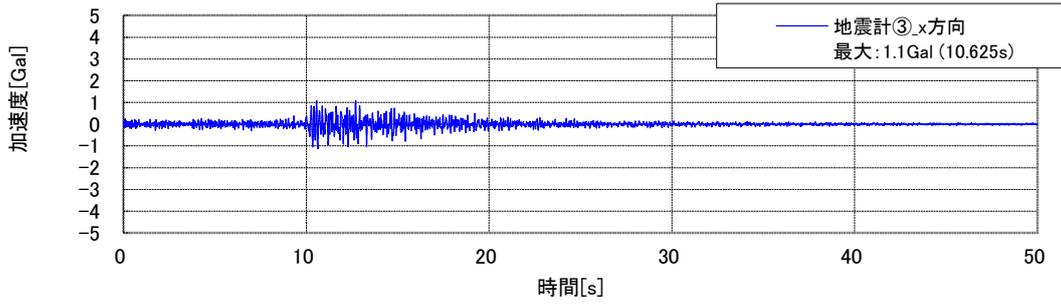
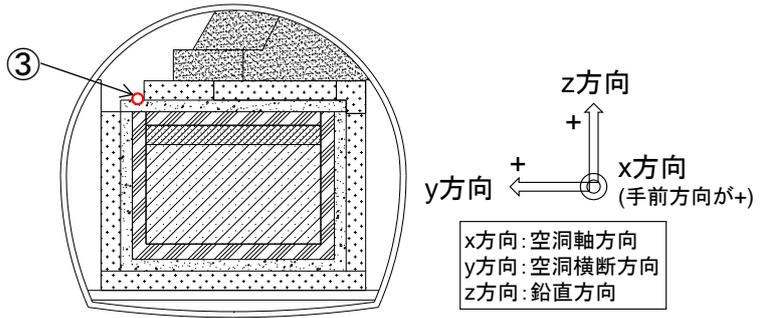
※上から x、y、z 方向

図 5.2-17 地震計①の加速度時刻歴 (2016年1月11日(2))



※上から x、y、z 方向

図 5.2-18 地震計②の加速度時刻歴 (2016年1月11日(2))



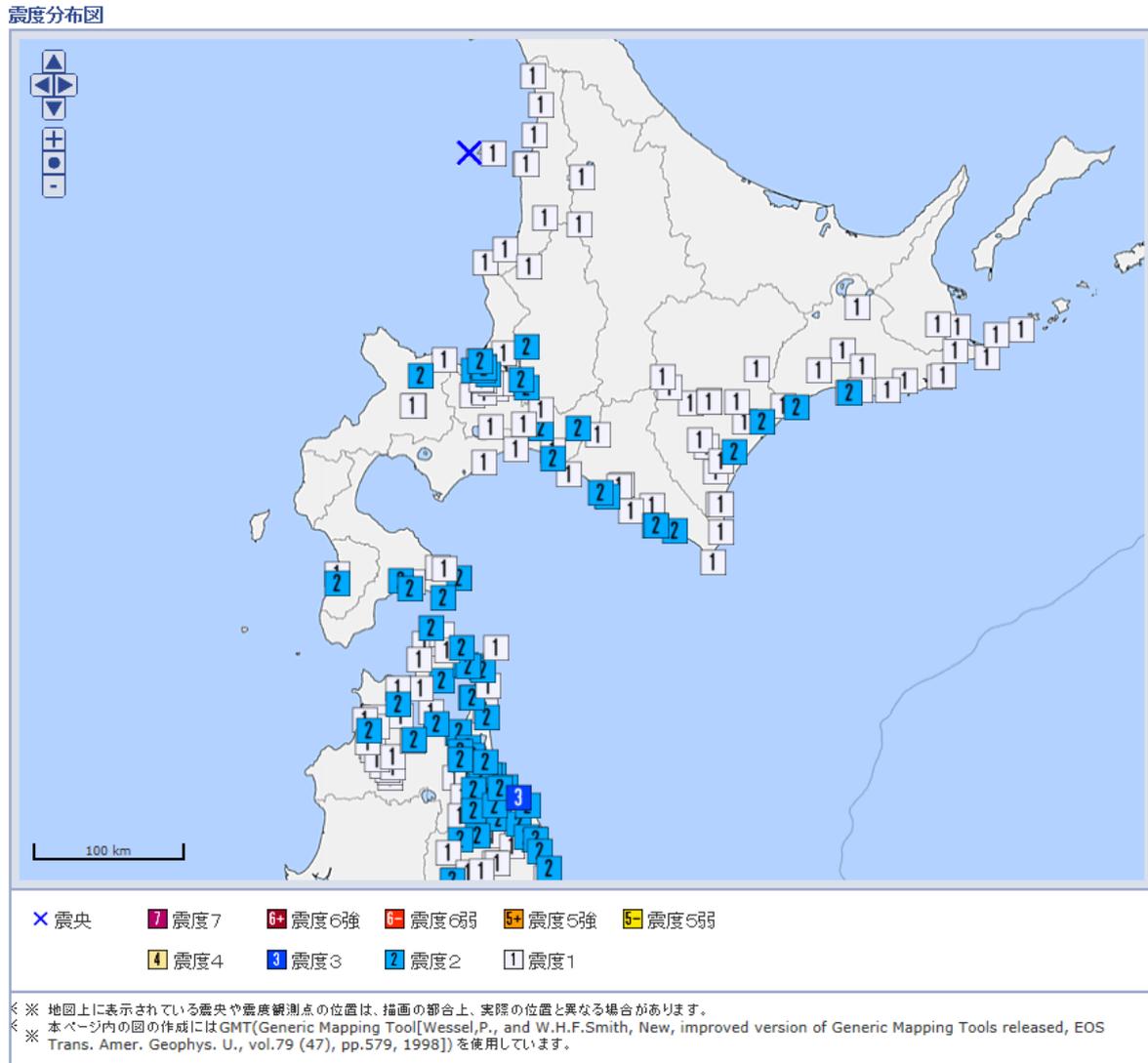
※上から x、y、z 方向

図 5.2-19 地震計③の加速度時刻歴 (2016年1月11日(2))

5) 2016年1月12日

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-20 気象庁発表情報（2016年1月12日）に示す。



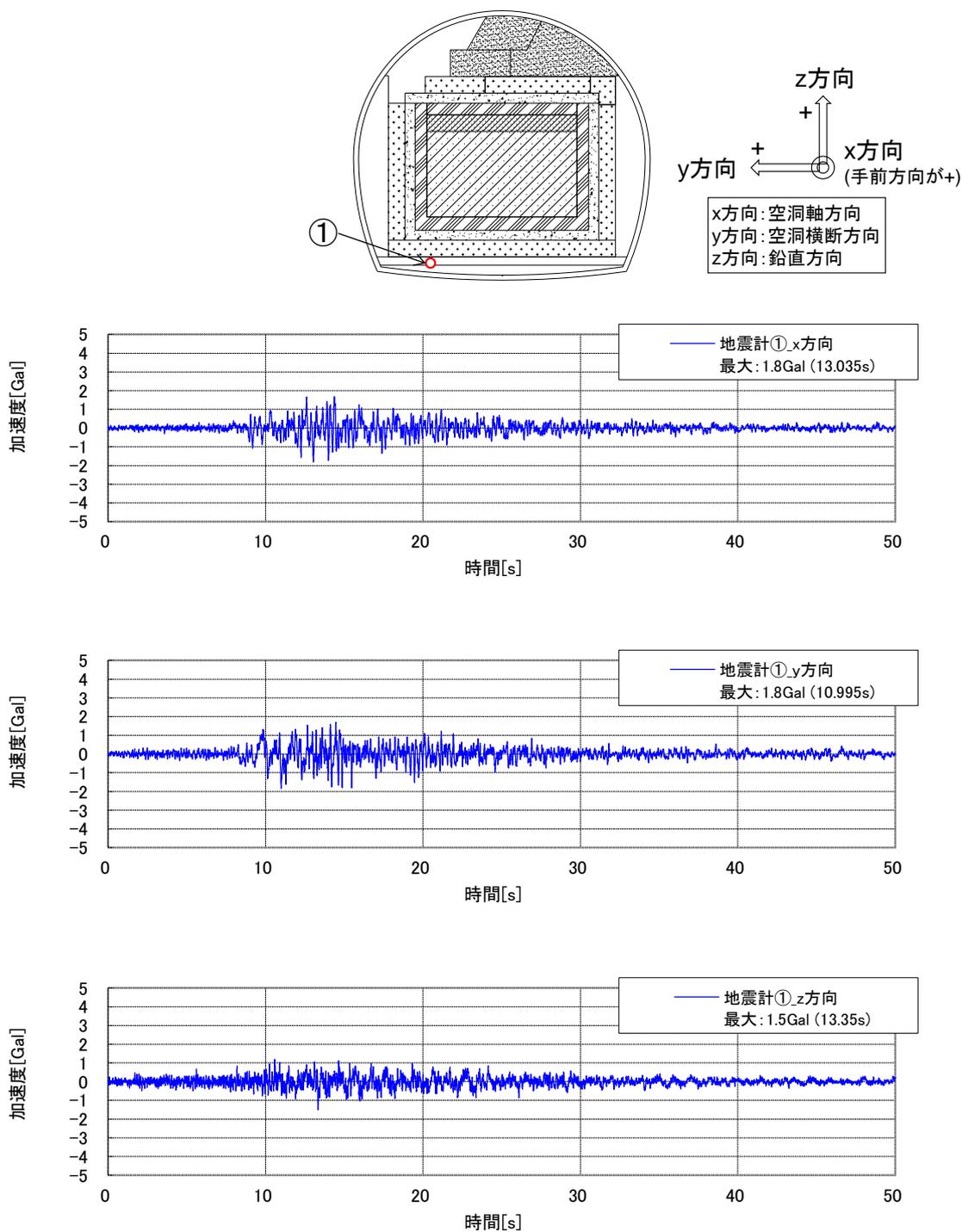
震源

	地震の発生日時	震源地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2016/01/12 02:08:01.9	北海道北西沖	44°25.8'N	141°12.6'E	265km	M6.2	3

図 5.2-20 気象庁発表情報（2016年1月12日）

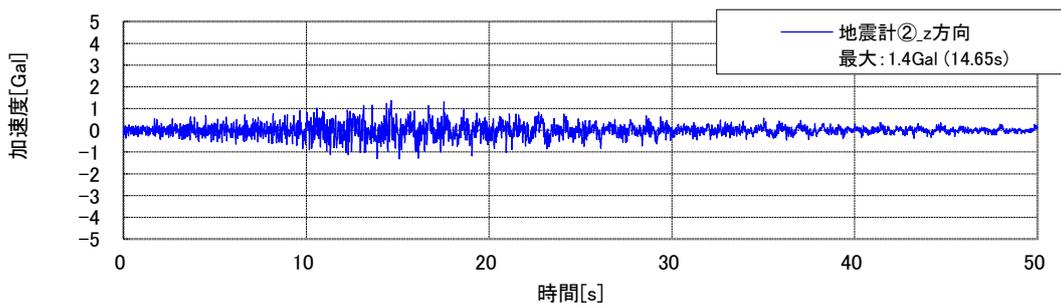
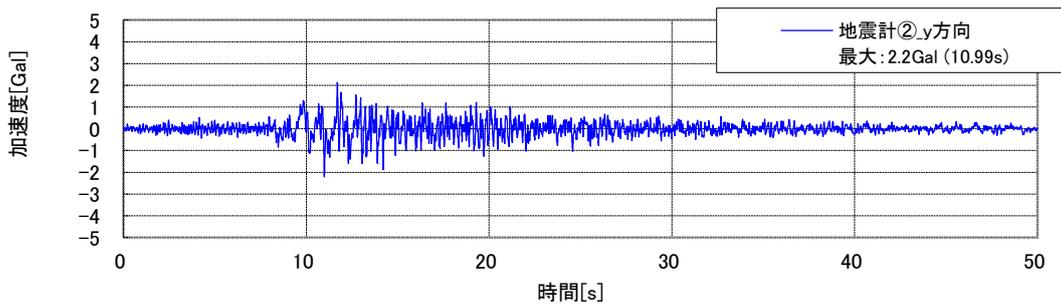
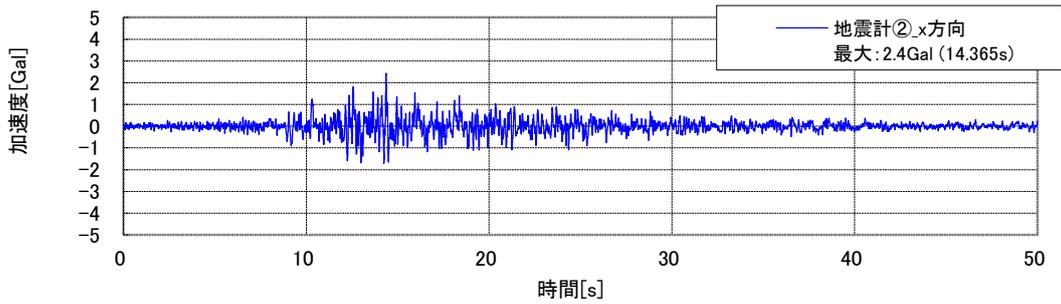
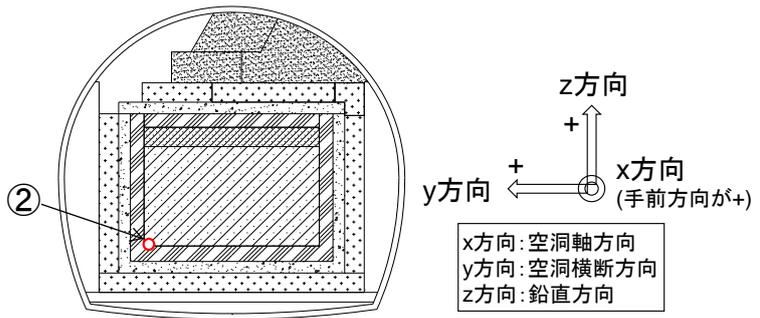
b. 観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-20～図 5.2-23 に示す。



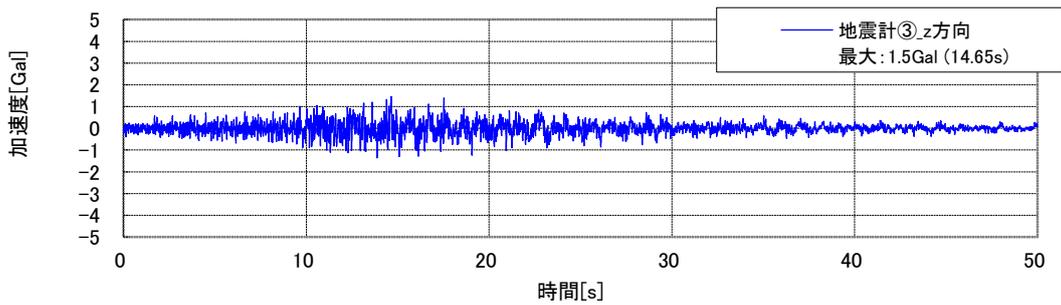
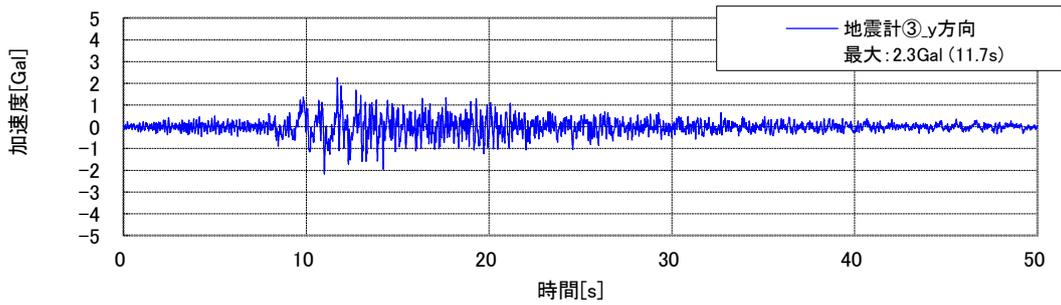
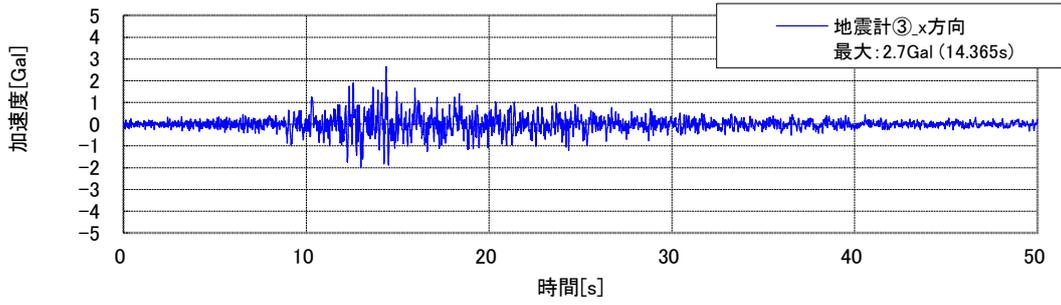
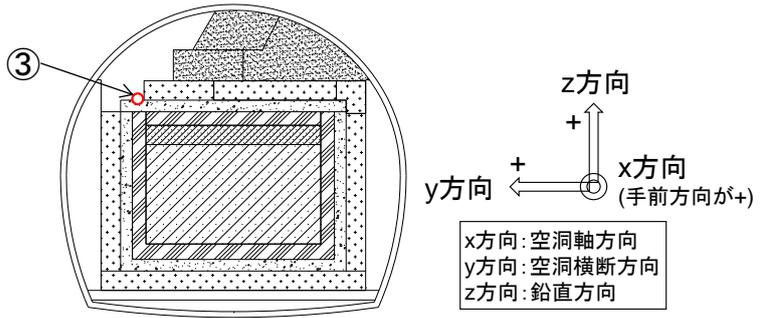
※上から x、y、z 方向

図 5.2-21 地震計①の加速度時刻歴 (2016年1月12日)



※上から x、y、z 方向

図 5.2-22 地震計②の加速度時刻歴 (2016 年 1 月 12 日)



※上から x、y、z 方向

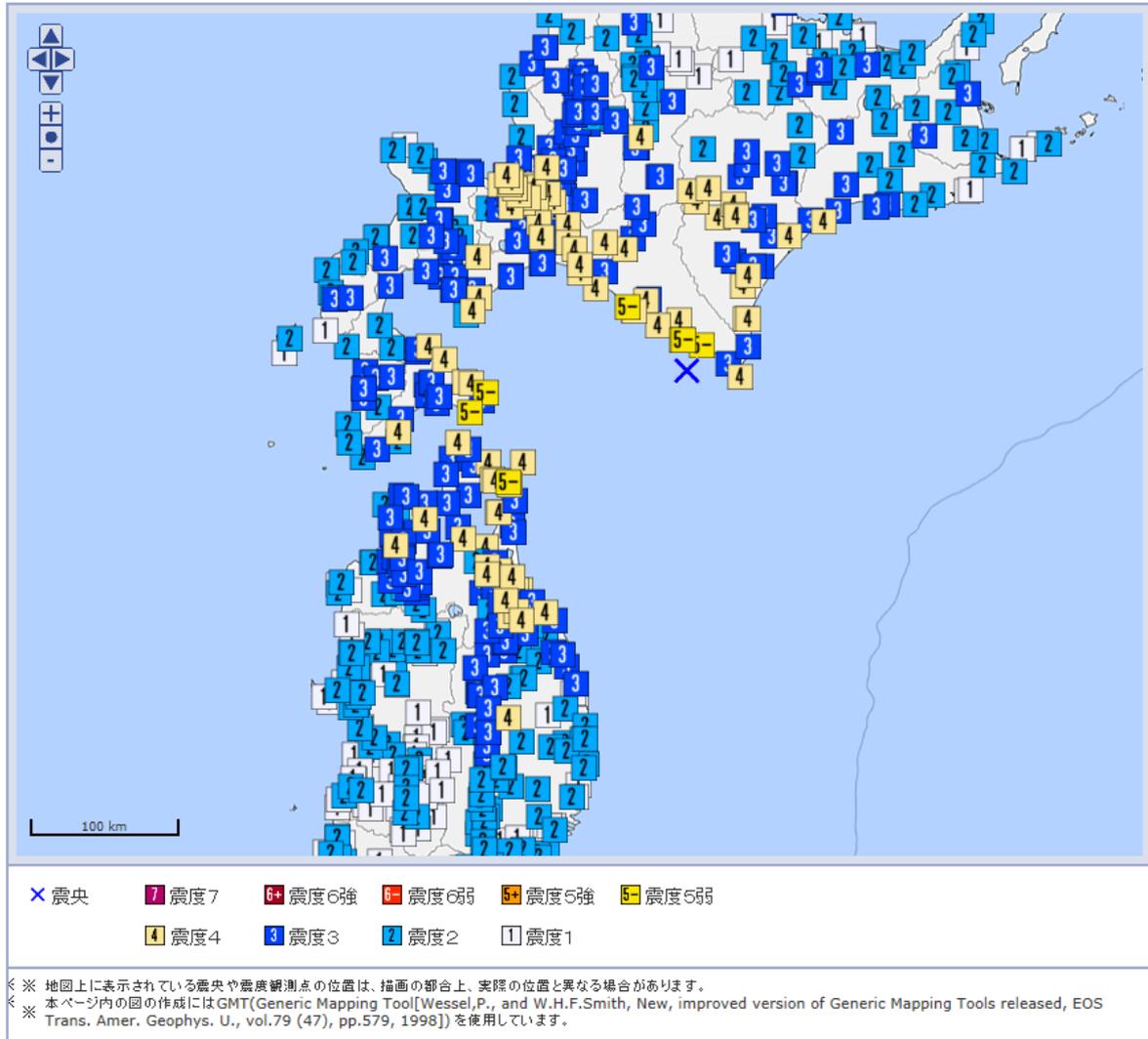
図 5.2-23 地震計③の加速度時刻歴 (2016 年 1 月 12 日)

6) 2016年1月14日

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-24 気象庁発表情報（2016年1月14日）に示す。

震度分布図



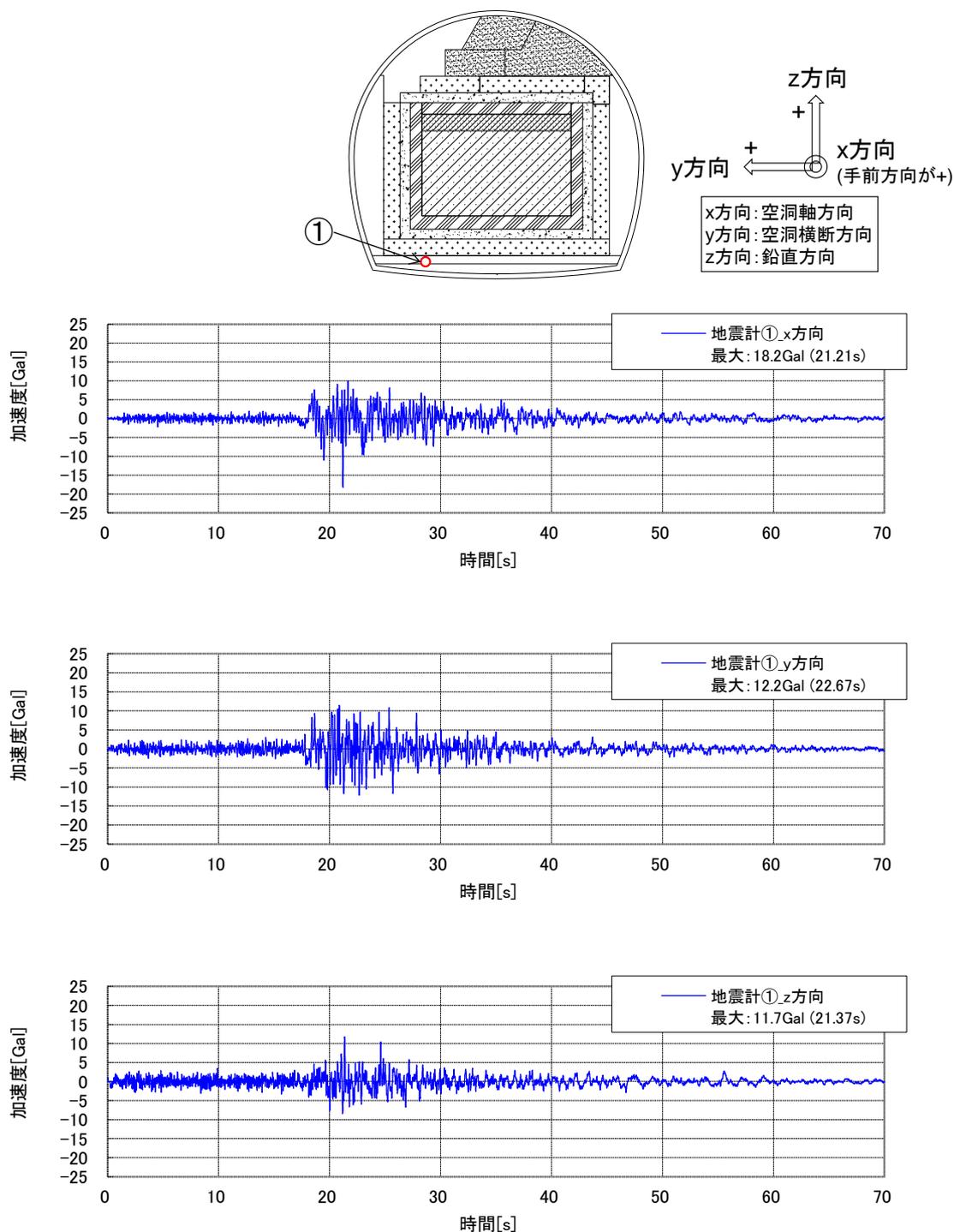
震源

	地震の発生日時	震源地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2016/01/14 12:25:33.3	浦河沖	41°58.2'N	142°48.0'E	52km	M6.7	5弱

図 5.2-24 気象庁発表情報（2016年1月14日）

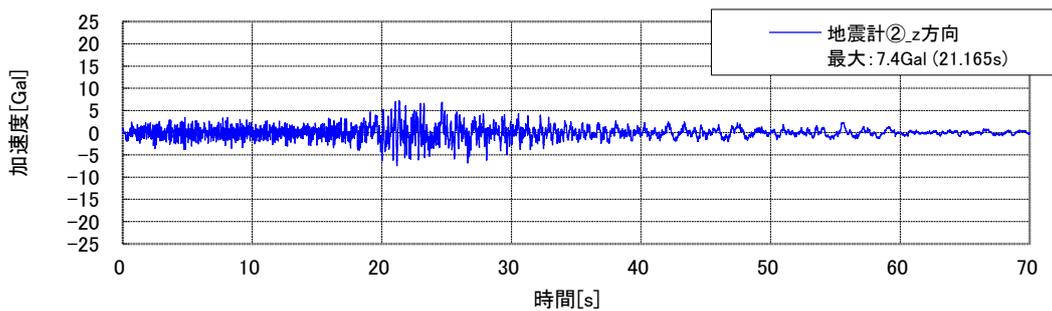
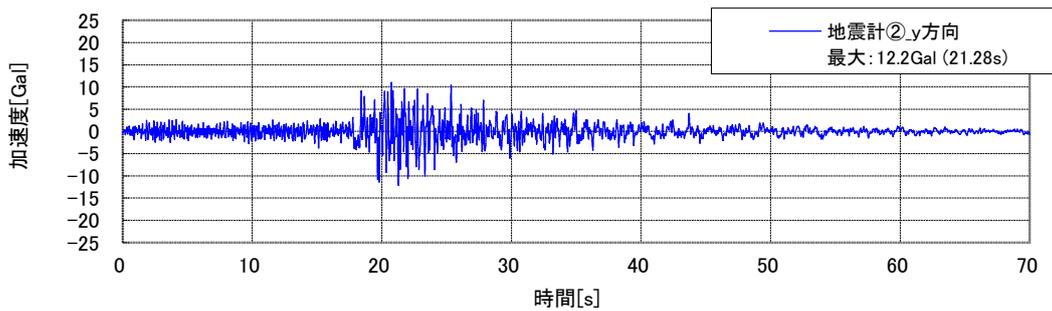
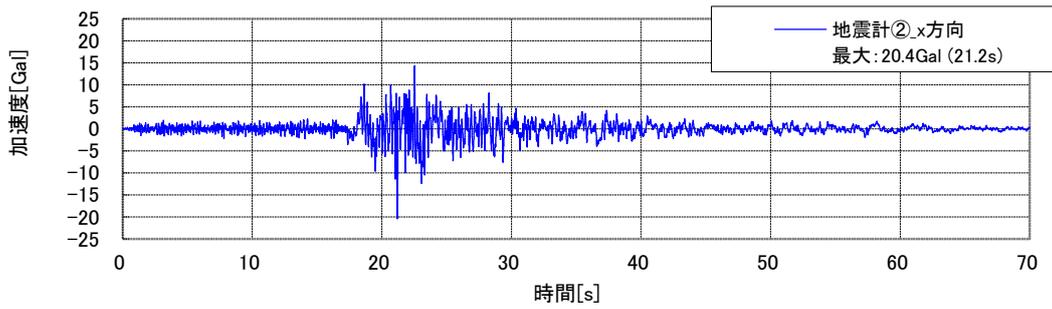
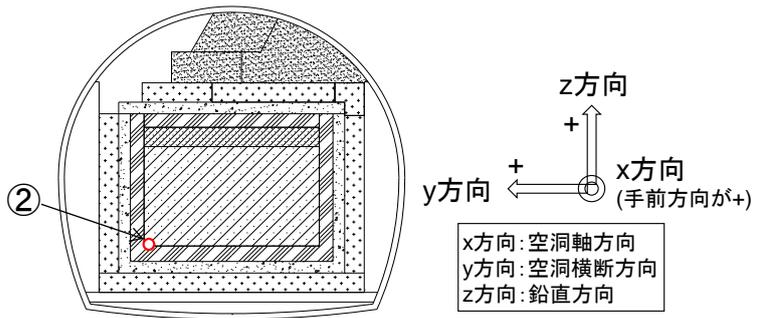
b. 観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-25～図 5.2-27 に示す。



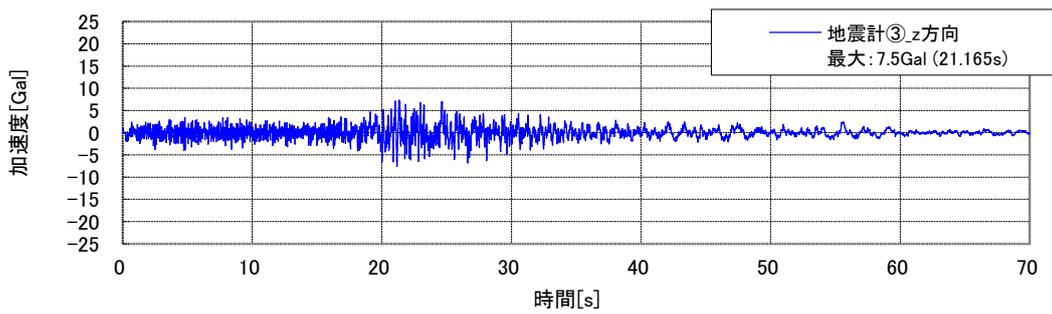
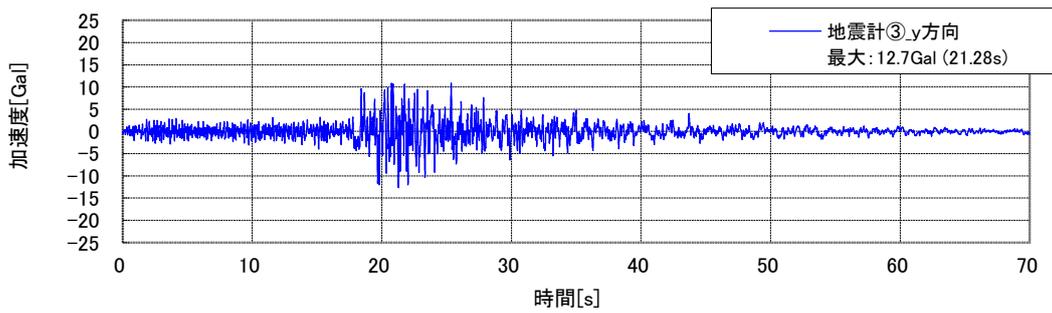
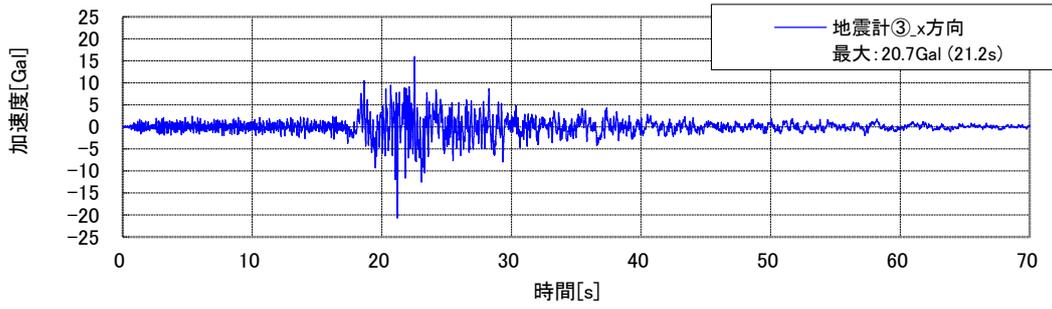
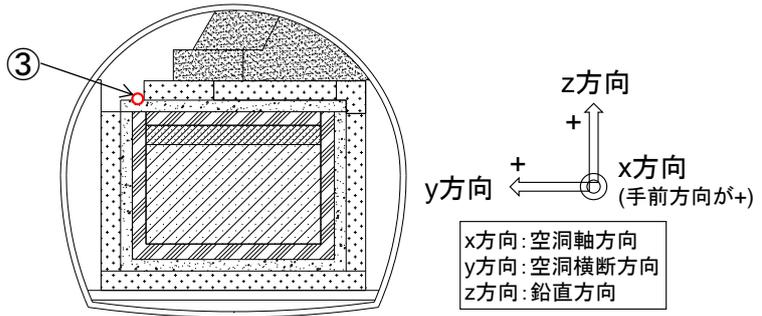
※上から x、y、z 方向

図 5.2-25 地震計①の加速度時刻歴 (2016年1月14日)



※上から x、y、z 方向

図 5.2-26 地震計②の加速度時刻歴 (2016 年 1 月 14 日)



※上から x、y、z 方向

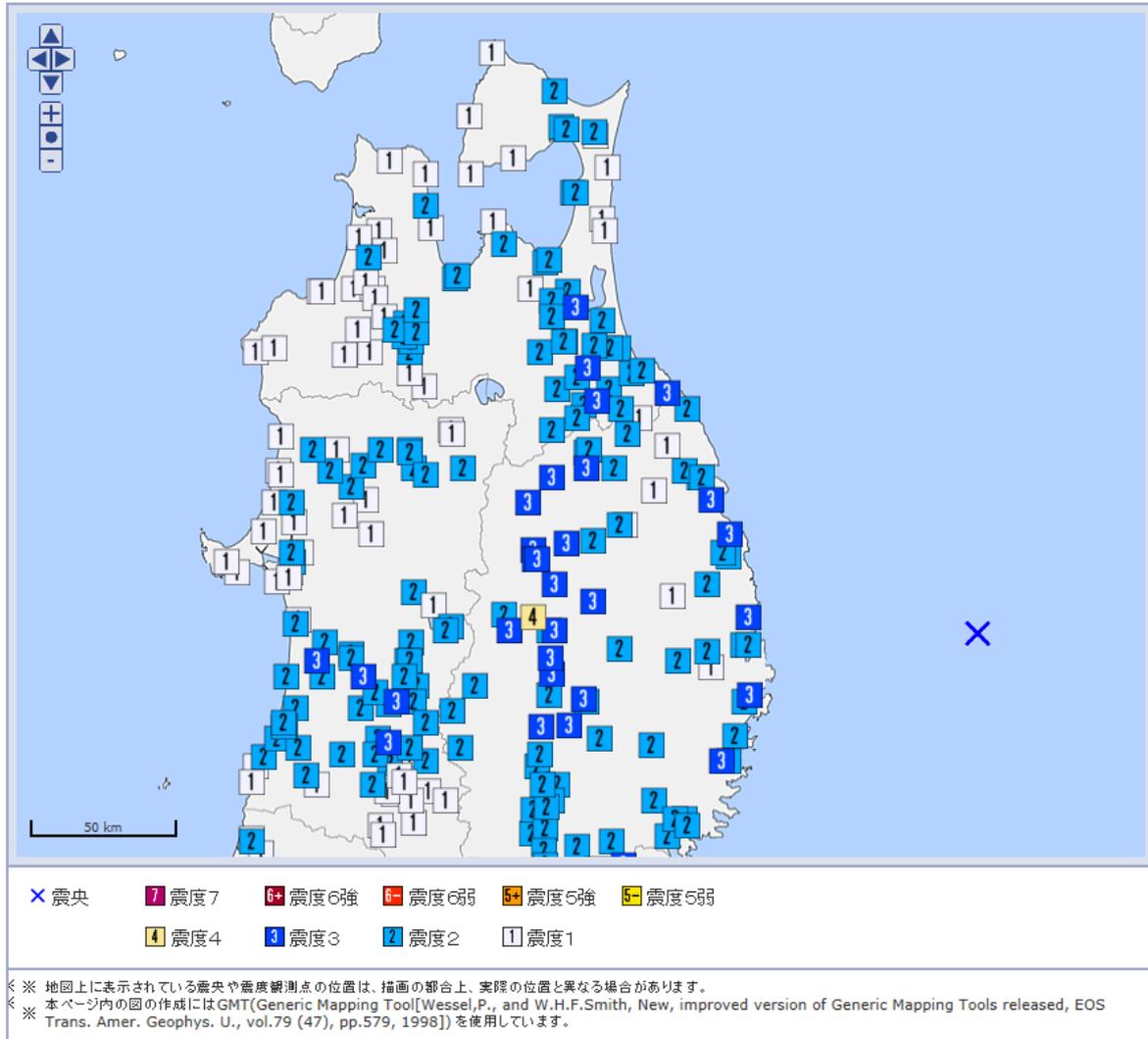
図 5.2-27 地震計③の加速度時刻歴 (2016 年 1 月 14 日)

7) 2016年2月2日

a. 気象庁発表情報

気象庁発表情報[7]を図 5.2-28 気象庁発表情報（2016年2月2日）に示す。

震度分布図



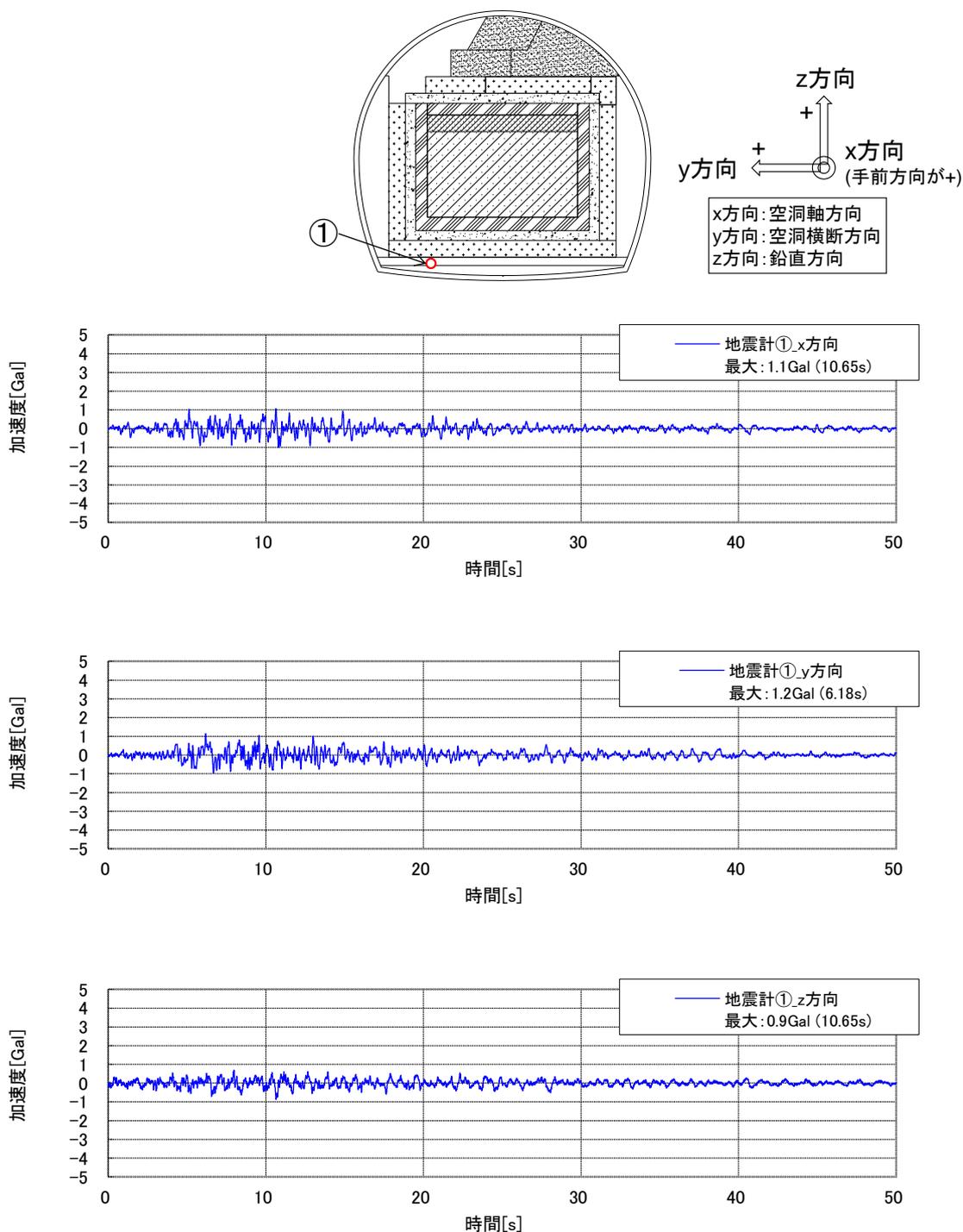
震源

	地震の発生日時	震源地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度
1	2016/02/02 14:31:46.8	岩手県沖	39°40.8'N	142°54.4'E	22km	M5.6	4

図 5.2-28 気象庁発表情報（2016年2月2日）

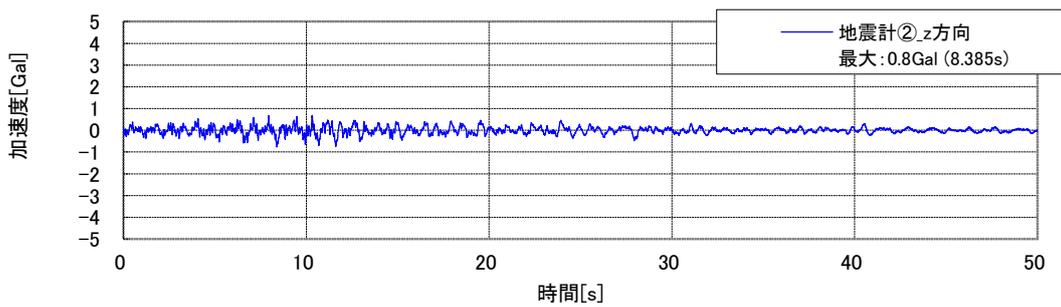
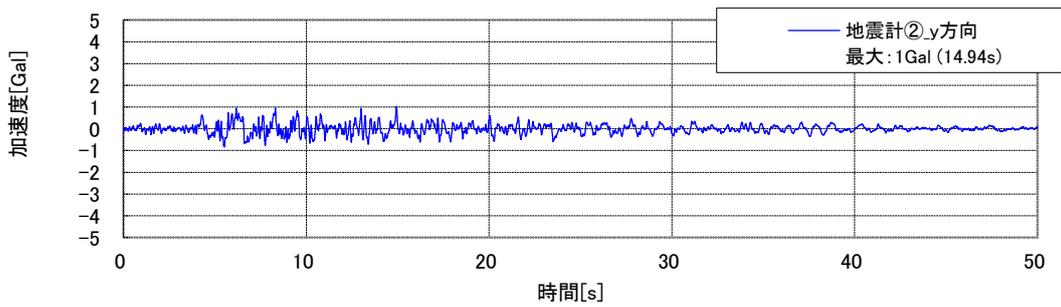
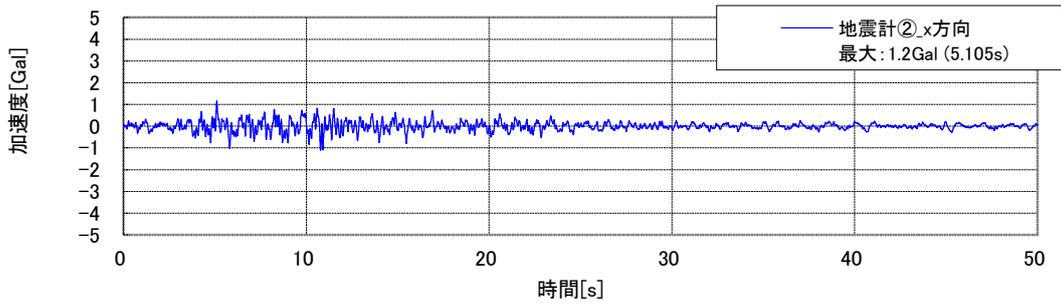
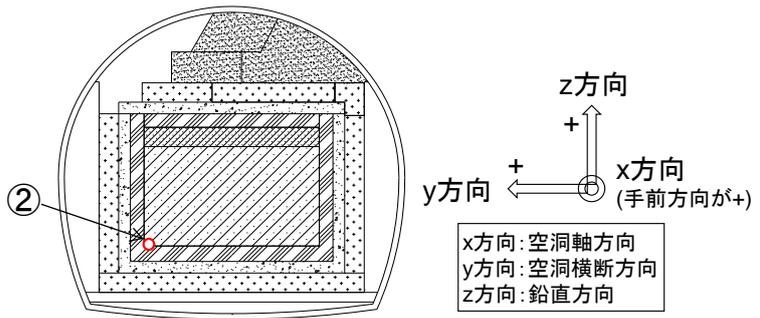
b. 観測データ

観測された加速度時刻歴を図 5.2-29～図 5.2-31 に示す。



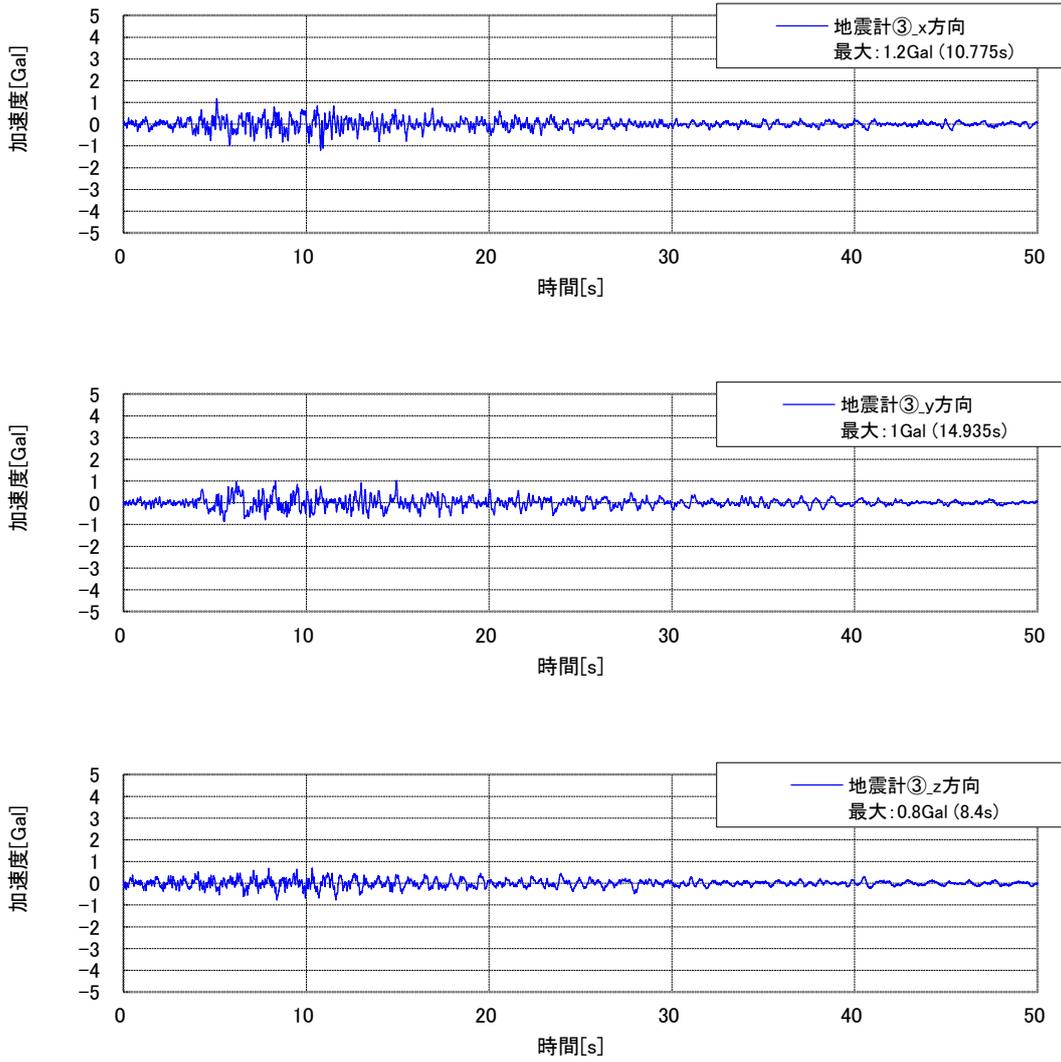
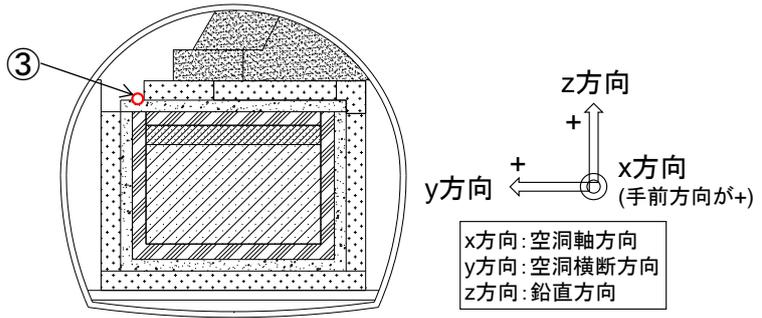
※上から x、y、z 方向

図 5.2-29 地震計①の加速度時刻歴 (2016年2月2日)



※上から x、y、z 方向

図 5.2-30 地震計②の加速度時刻歴 (2016年2月2日)



※上から x、y、z 方向

図 5.2-31 地震計③の加速度時刻歴 (2016年2月2日)

(3) 観測データの分析評価

1) 地震の型

地震は発生場所により「海溝型地震」と「活断層型地震」に大きく分けられる。震源深さが概ね 30km よりも浅い活断層型地震が発生すると、震源距離が近いエリアで観測される地震波は短周期成分が卓越することが多く、試験施設のように固有周期が短い構造物（既往の検討結果より固有振動数は 15Hz 以上と推察される）は大きな影響を受ける可能性がある。そこで、今年度観測された地震動を対象として、気象庁発表情報[3]から地震の型を整理することとした。

中央防災会議「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」[8]で検討されたプレート境界面推定等深線図に、今年度観測された地震動の震源位置及び震源深さをプロットした図を図 5.2-32 に示す。年度観測された地震動の中で、1月11日(1)の地震は、震源深さが 10km であり、その位置のプレート境界面は等深線から推定すると 90~100km であることから、活断層型地震であると推察される。その他の観測された地震動は全て震源深さがプレート境界面推定等深線とほぼ同等であり、海溝型地震と推察される。

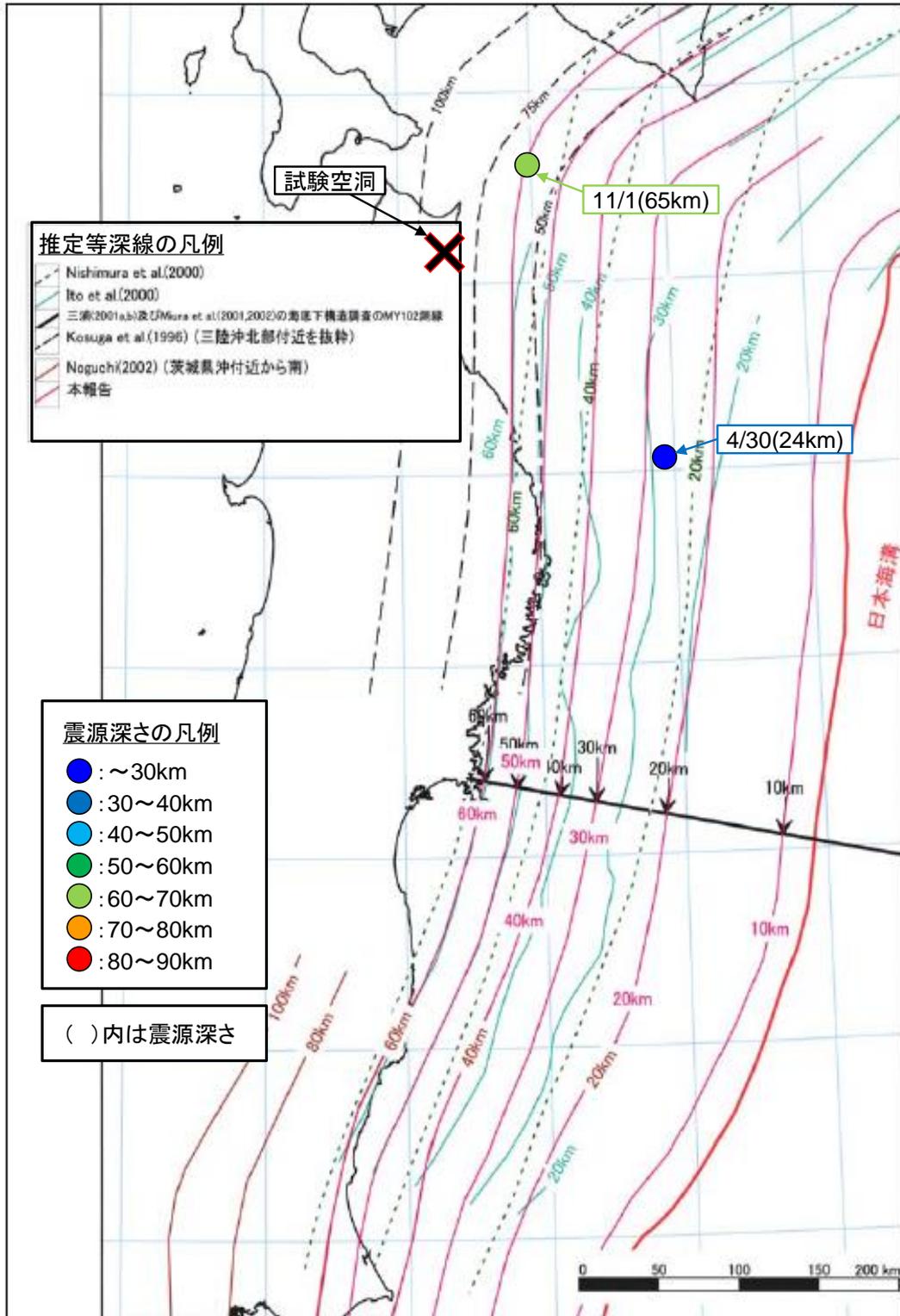


図 5.2-32 今年度観測された地震動の震源深さとプレート境界面推定等深線の関係 ([8]に加筆)

2) 最大加速度

観測地震動の最大加速度一覧を表 5.2-5 に、計測方向毎の最大加速度比較を図 5.2-33～図 5.2-35 に示す（過去のデータも併記した）。これまで観測した 21 回の地震の中で、2014 年 8 月 10 日の観測地震動が最大加速度で 10.4～14.1Gal を記録し最大となっている。

最大加速度の鉛直方向と水平方向の関係を分析するために、地震計①を対象として、各観測地震動の鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率を図 5.2-36、最大加速度の比率と震源距離の関係を図 5.2-37、また両者のデータを表 5.2-5 に示す。最大加速度の比率（鉛直/水平）の範囲は、z 方向/x 方向で 0.54～1.86、z 方向/y 方向で 0.52～1.86 でありほぼ同程度である。図 5.2-37 より、震源距離が 120km 程度より近くなると、最大加速度の比率が 1 以上となっており、鉛直方向の最大加速度が水平方向より大きくなる傾向が見られる。

表 5.2-5 観測地震動の最大加速度一覧

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成25年度			平成26年度						
			10/26	11/15	12/27	5/19	6/9	6/15	7/5	7/21	7/25	8/10
地震計①	0	x	3.3	5.4	2.1	1.1	3.7	2.9	2.8	1.1	3.4	12.5
		y	3.1	6.7	2.3	0.7	4.8	3.2	2.8	1.4	4.0	11.7
		z	2.8	4.1	1.8	1.3	6.9	1.7	2.4	0.8	3.4	10.4
地震計②	2.9	x	3.2	4.8	2.7	1.5	5.4	3.1	2.9	1.0	3.2	13.1
		y	3.1	6.3	2.7	1.1	6.4	2.9	3.1	1.3	4.6	12.2
		z	3.1	5.1	2.5	1.5	7.9	1.7	2.3	0.7	4.5	11.4
地震計③	10.34	x	3.5	6.2	2.8	2.0	6.9	3.2	3.1	1.0	3.4	13.9
		y	3.5	6.4	2.9	1.3	7.3	2.9	3.5	1.3	5.2	14.1
		z	3.3	5.2	2.5	1.6	8.3	1.7	2.4	0.8	4.6	12.2

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成26年度								平成27年度	
			9/10	10/3	10/11	10/14	10/27	11/2	1/9	2/17(1)	2/17(2)	4/30
地震計①	0	x	2.9	2.2	2.4	2.1	1.3	1.4	1.3	4.0	3.4	1.4
		y	4.2	2.1	3.3	2.8	1.6	1.8	1.1	4.0	2.9	1.7
		z	2.2	1.5	1.9	2.9	1.5	2.0	0.7	2.3	2.6	1.0
地震計②	2.9	x	2.8	2.3	2.4	3.0	1.9	1.8	1.3	4.0	3.9	1.6
		y	4.1	2.5	3.2	2.4	1.5	1.9	1.2	4.4	2.8	1.6
		z	2.5	1.5	1.8	3.6	1.5	1.5	0.8	2.4	2.7	0.9
地震計③	10.34	x	3.1	2.3	2.5	3.5	2.3	1.9	1.4	4.1	4.3	1.7
		y	4.2	2.7	3.3	2.9	1.8	2.0	1.2	4.6	3.1	1.5
		z	2.6	1.5	1.9	3.7	1.6	1.5	0.8	2.4	2.9	0.9

計器名称	計測高さ* [m]	計測方向	平成27年度					
			11/1	1/11(1)	1/11(2)	1/12	1/14	2/2
地震計①	0	x	3.5	1.4	1.0	1.8	18.2	1.1
		y	4.3	2.3	1.6	1.8	12.2	1.2
		z	3.0	1.4	0.7	1.5	11.7	0.9
地震計②	2.9	x	4.0	1.6	1.1	2.4	20.4	1.2
		y	4.8	1.9	1.4	2.2	12.2	1.0
		z	2.9	1.1	0.9	1.4	7.4	0.9
地震計③	10.34	x	4.4	1.6	1.1	2.7	20.7	1.2
		y	5.3	1.9	1.5	2.3	12.7	1.0
		z	3.0	1.2	0.9	1.5	7.5	0.9

*試験空洞底盤高さを基準とした。

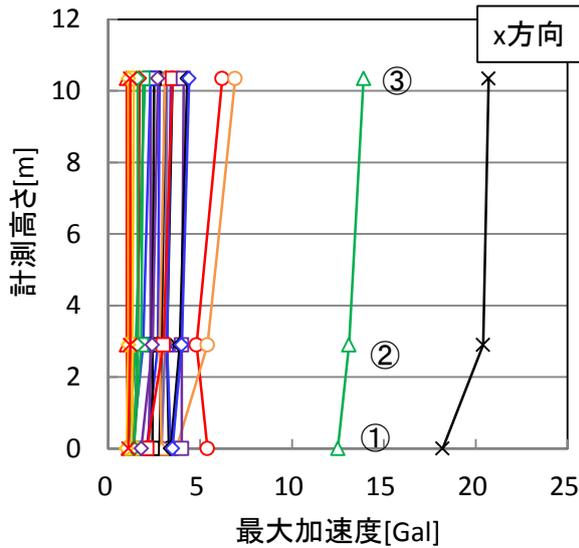
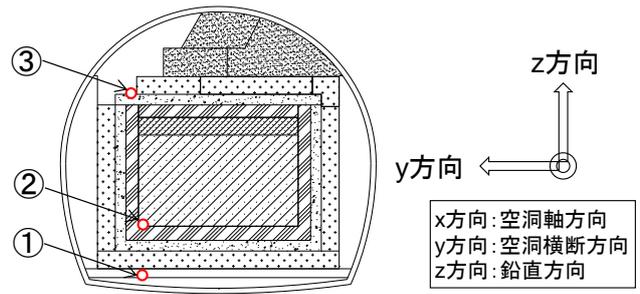


図 5.2-33 x 方向の最大加速度比較

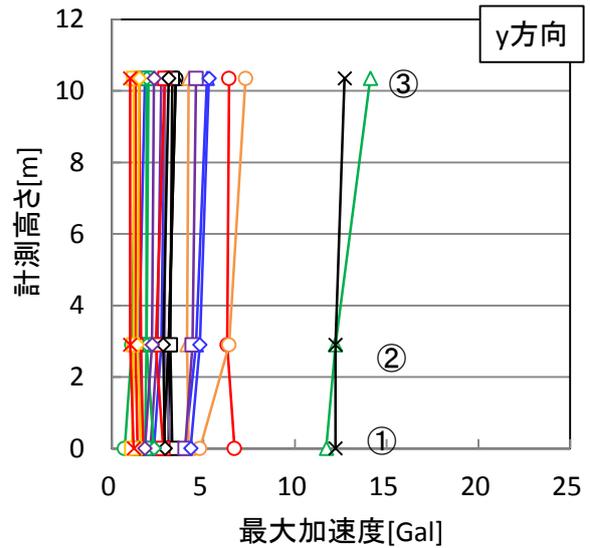


図 5.2-34 y 方向の最大加速度比較

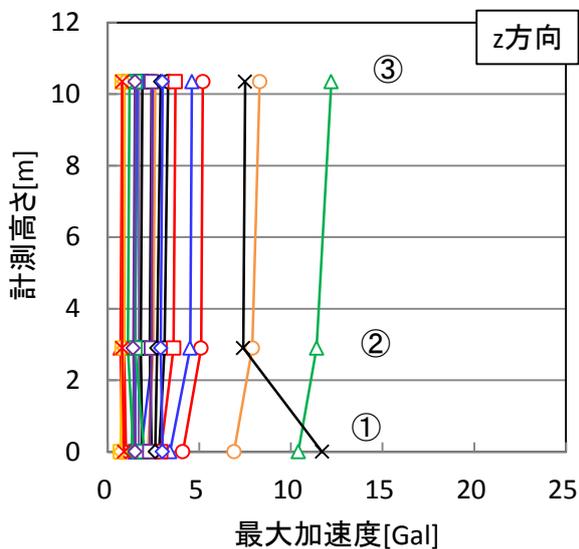


図 5.2-35 z 方向の最大加速度比較

○ 2013/10/26	○ 11/15
○ 12/27	○ 2014/5/19
○ 6/9	○ 6/15
△ 7/5	△ 7/21
△ 7/25	△ 8/10
△ 9/10	△ 10/3
□ 10/11	□ 10/14
□ 10/27	□ 11/2
□ 2015/1/9	□ 2/17(1)
◇ 2/17(2)	◇ 4/30
◇ 11/1	◇ 1/11(1)
◇ 1/11(2)	◇ 1/12
× 1/14	× 2/2

凡 例

*計測高さは、試験空洞底盤高さを基準とした。

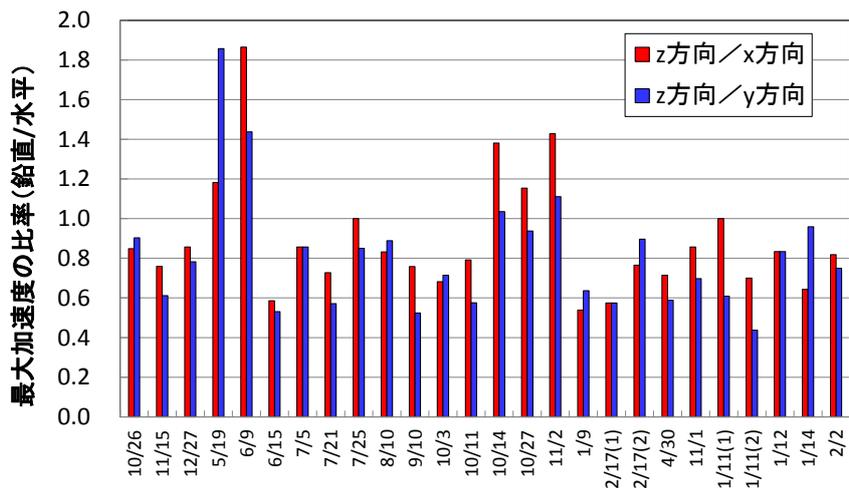


図 5.2-36 鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率（地震計①）

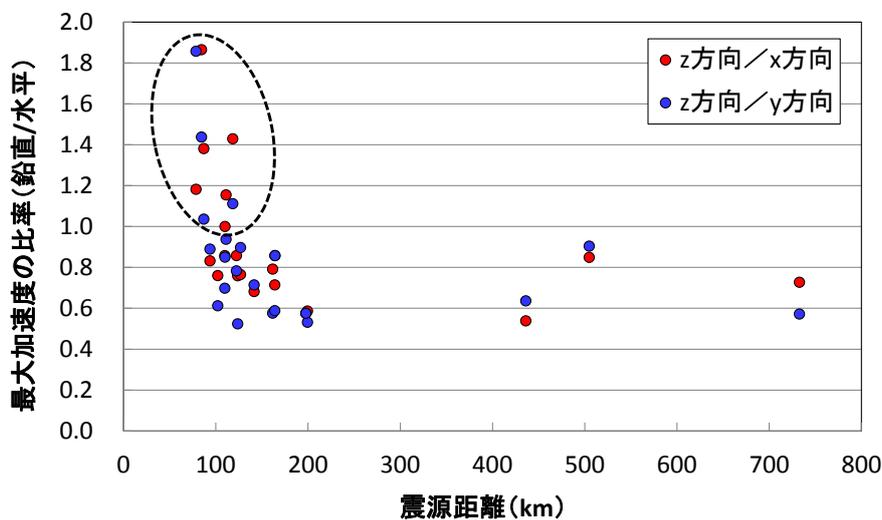


図 5.2-37 鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①）

表 5.2-6 鉛直方向と水平方向の最大加速度の比率と震源距離の関係（地震計①）

項目	方向	平成25年度			平成26年度						
		10/26	11/15	12/27	5/19	6/9	6/15	7/5	7/21	7/25	8/10
最大加速度の比率	z方向/x方向	0.85	0.76	0.86	1.18	1.86	0.59	0.86	0.73	1.00	0.83
	z方向/y方向	0.90	0.61	0.78	1.86	1.44	0.53	0.86	0.57	0.85	0.89
震源距離(km)	-	505	102	122	79	85	199	164	733	110	94

項目	方向	平成26年度									平成27年度
		9/10	10/3	10/11	10/14	10/27	11/2	1/9	2/17(1)	2/17(2)	4/30
最大加速度の比率	z方向/x方向	0.76	0.68	0.79	1.38	1.15	1.43	0.54	0.58	0.76	0.71
	z方向/y方向	0.52	0.71	0.58	1.04	0.94	1.11	0.64	0.58	0.90	0.59
震源距離(km)	-	124	142	162	87	111	118	436	198	127	164

項目	方向	平成27年度					
		11/1	1/11(1)	1/11(2)	1/12	1/14	2/2
最大加速度の比率	z方向/x方向	0.86	1.00	0.70	0.83	0.64	0.82
	z方向/y方向	0.70	0.61	0.44	0.83	0.96	0.75
震源距離(km)	-	110	66	123	468	171	194

以降では、今年度観測された 2 回の地震動について、観測データの分析評価を実施した。

3) フーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比

観測地震動のフーリエスペクトル及び地震計①を基準とした地震計②及び③のフーリエスペクトル比を図 5.2-38～図 5.2-39 に示す。図 5.2-38～図 5.2-39 の試験施設の上下端のフーリエスペクトル比 (③/②) より、水平方向 (x、y 方向) は試験施設内で増幅しているのに対して、鉛直方向 (z 方向) は増幅が小さいことがわかる。x 方向と y 方向で比較すると、x 方向の方がフーリエスペクトル比は大きい傾向がある。これは、表 5.2-7 に示すように、x 方向は剛性の小さい緩衝材が側壁として構築されていないことに対して、y 方向は側部緩衝材が左右に構築されていること、また x 方向は地震計③が設置されている手前部コンクリートピットの坑口側には構造物がなく拘束を受けないことなど、試験施設の 3 次元的構造の特徴が影響しているものと考えられる。

また、試験施設の上下端のフーリエスペクトル比が卓越する振動数帯は、水平方向の x、y 方向ともに 15Hz 以上であることから、試験施設の固有振動数も同程度と推察される。この傾向は、既往の観測データ及び解析結果と同様である。

試験施設のような重量構造物としては、コンクリート重力ダムが考えられることから、図 5.2-45 に示すコンクリート重力ダムの強震記録データから求めた固有周期と堤高の関係[4]の近似式を用いて、試験施設の固有振動数を求めた。コンクリート重力ダムの固有周期 T は次式で表される。

$$T=0.18/100 \times H \pm 0.05 \quad (T: \text{固有周期[s]}, H: \text{堤高[m]})$$

H を試験施設の底部低透水層の下端から上部低透水層の上端までの高さ (8.84m) とすると、固有振動数 $F=1/T$ は 15Hz 以上となり、観測地震動のフーリエスペクトル比から推察される固有振動数と同等となる。

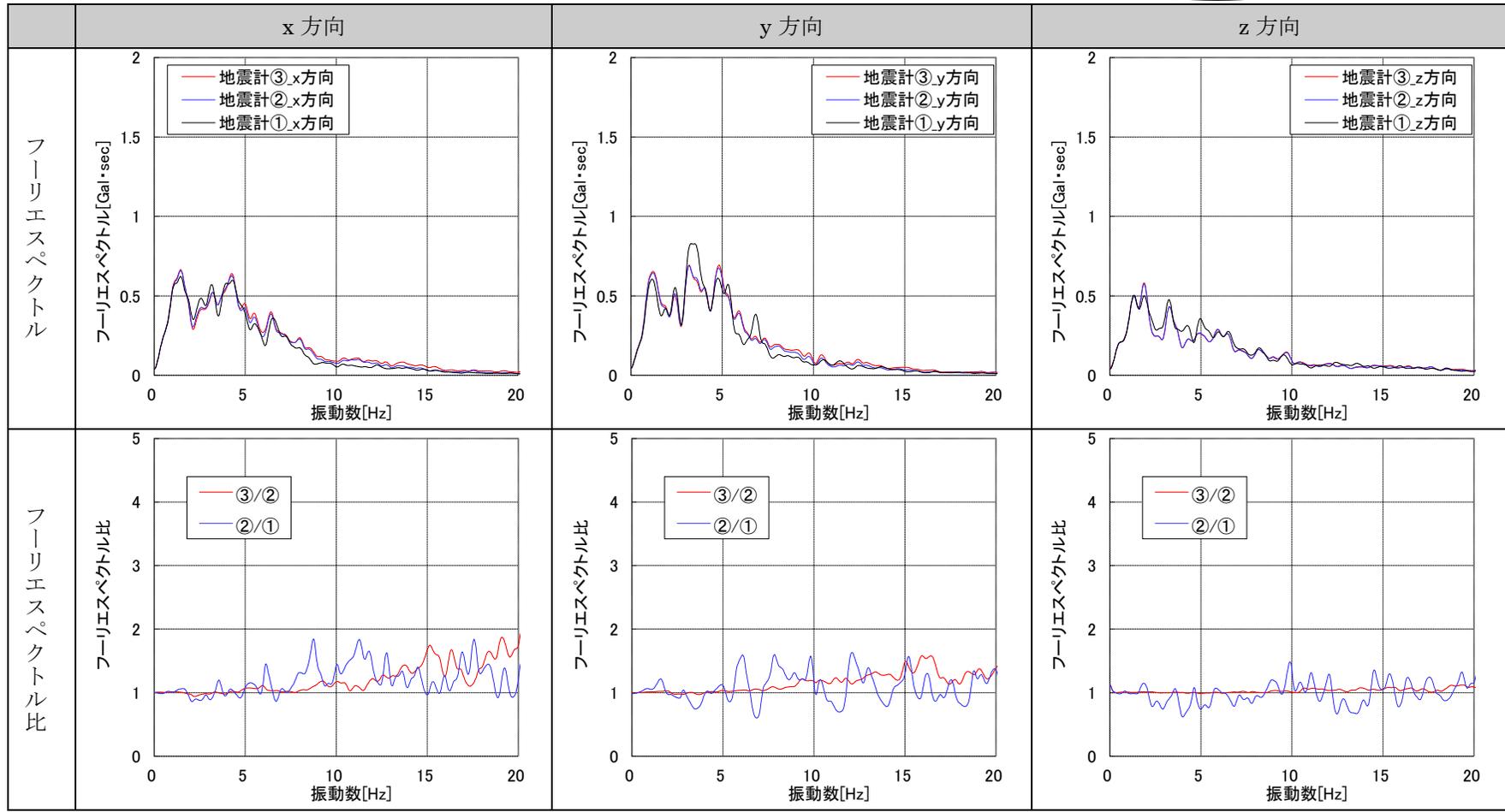
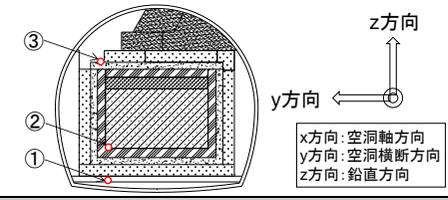


図 5.2-38 加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比 (2015年4月30日)

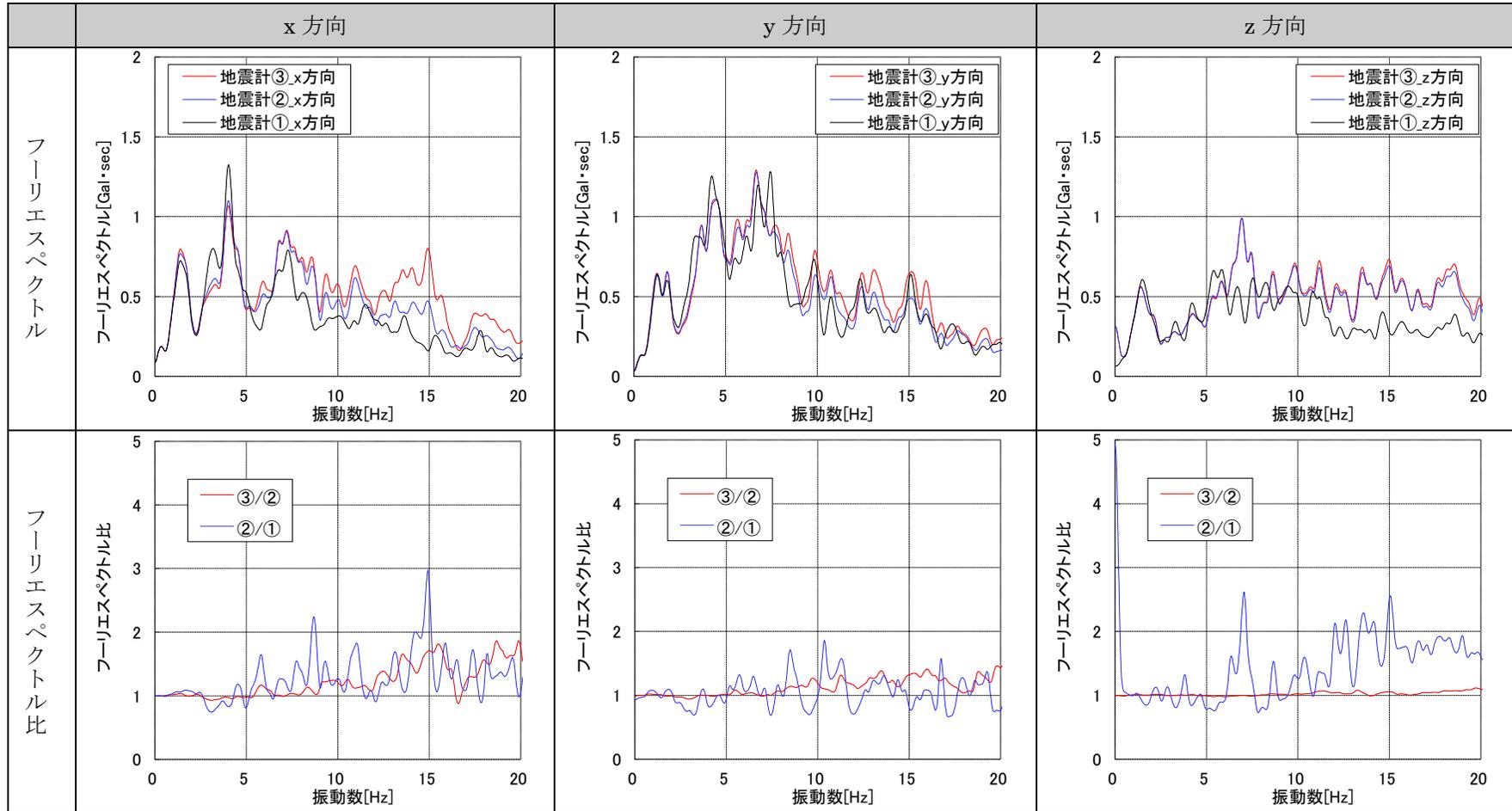
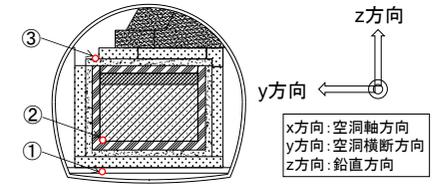


図 5.2-39 加速度のフーリエスペクトル及びフーリエスペクトル比 (2015年11月1日)

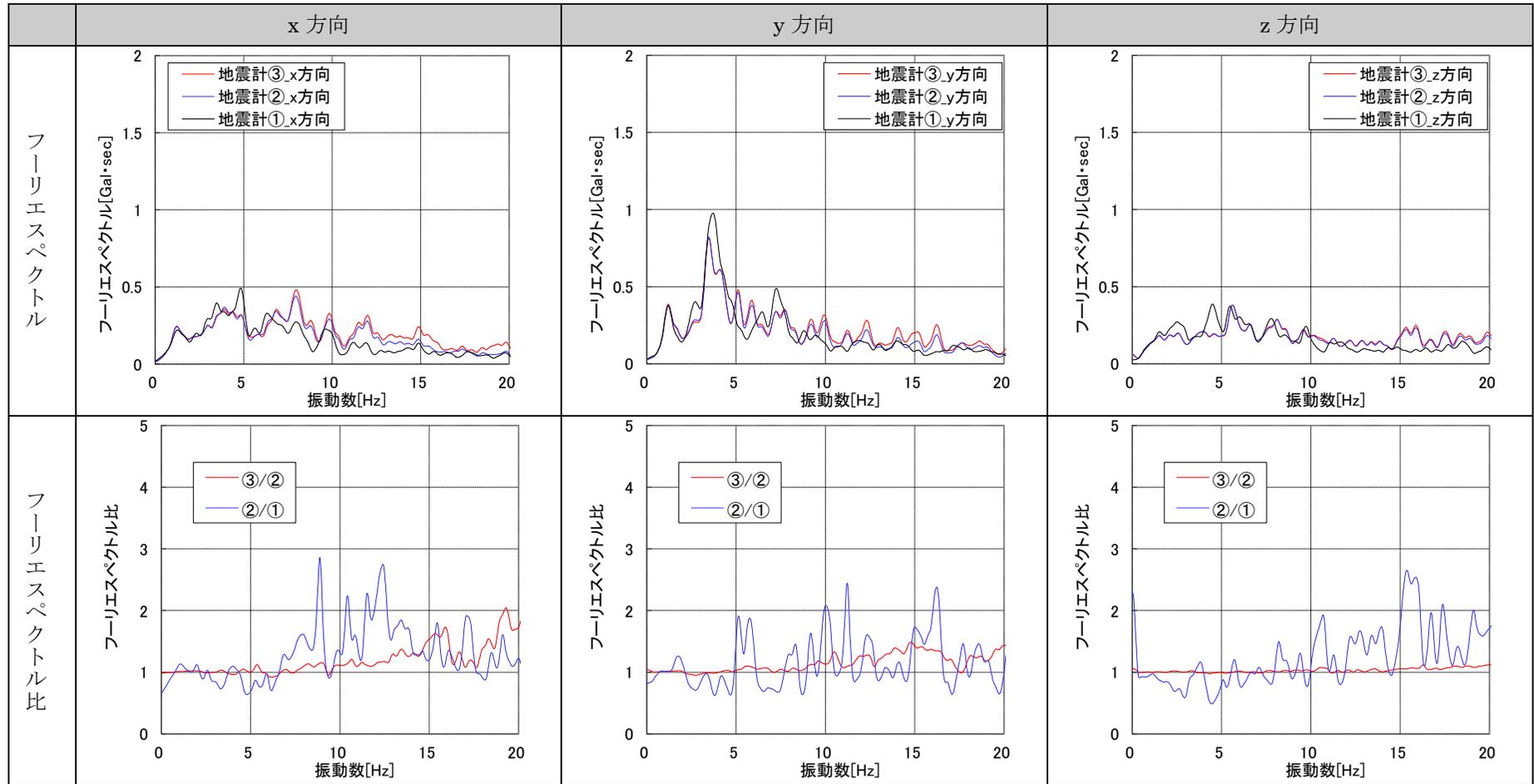
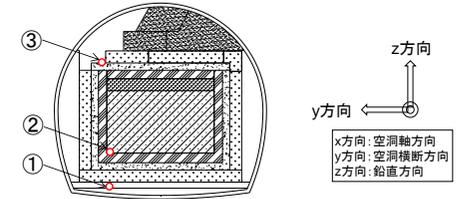


図 5.2-40 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2016年1月11日(1))

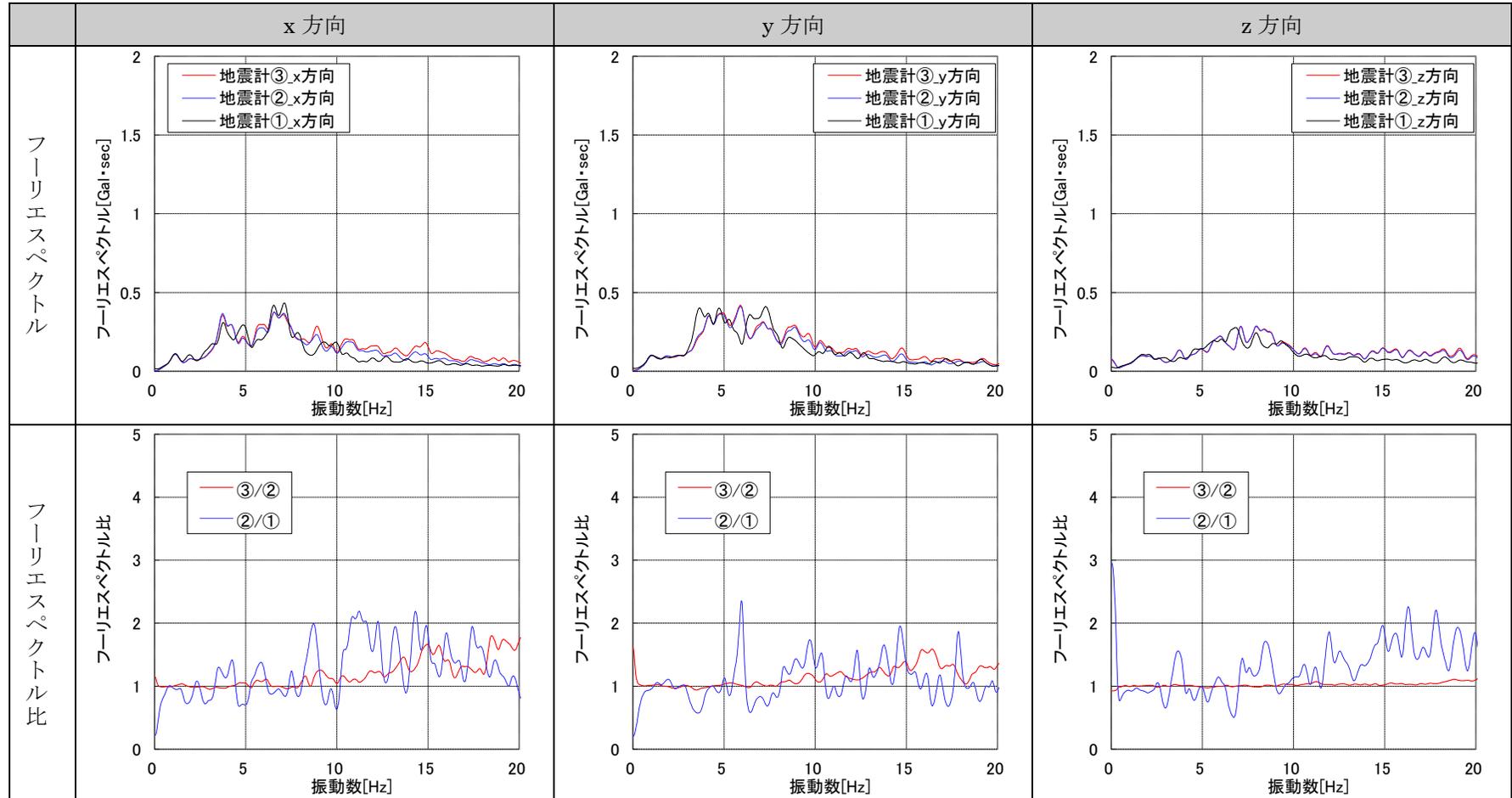
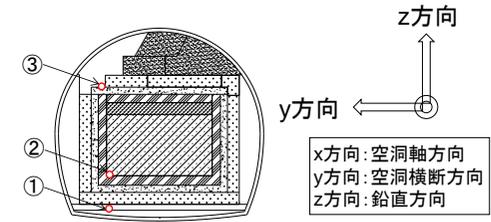


図 5.2-41 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2016 年 1 月 11 日(2))

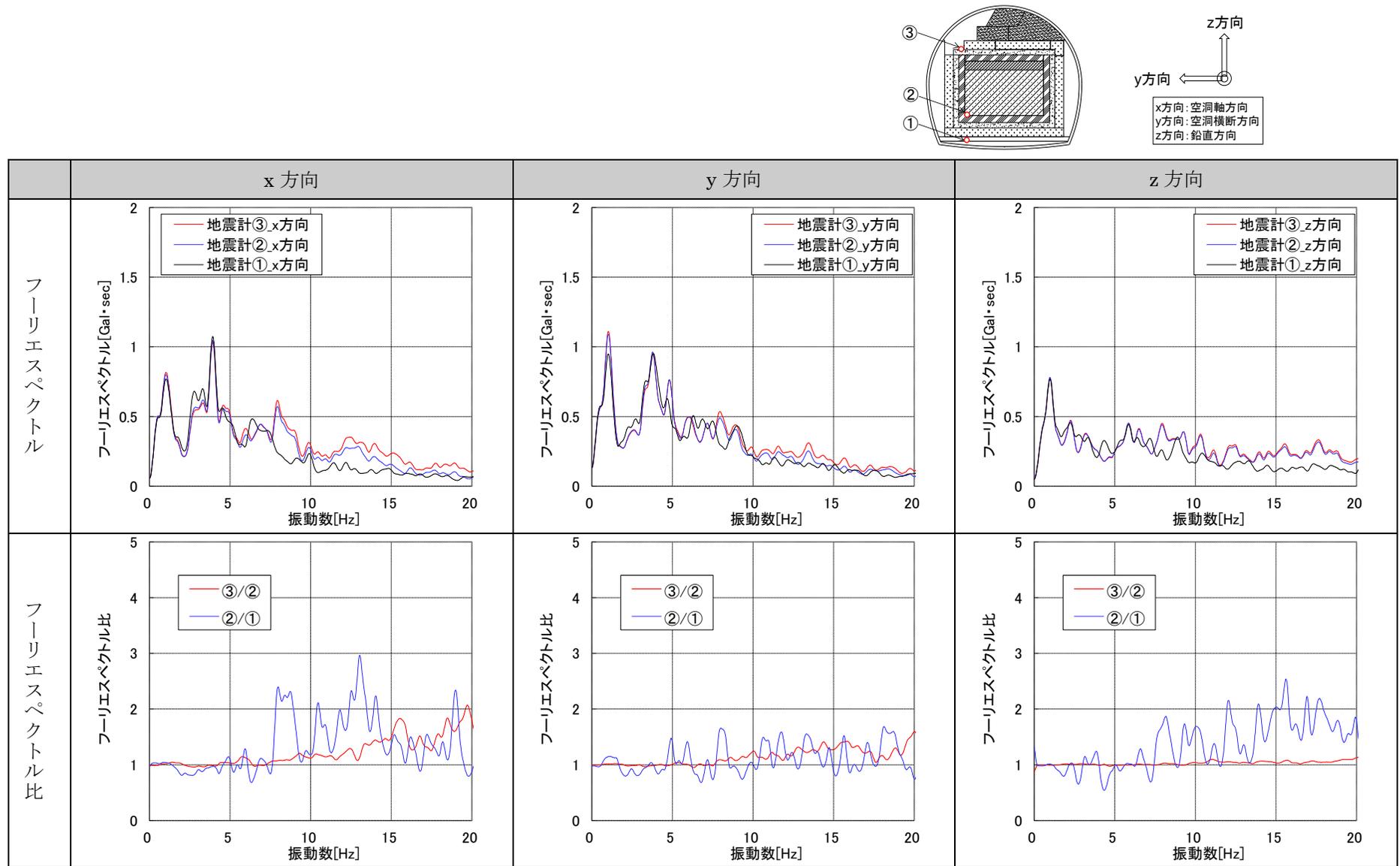


図 5.2-42 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2016年1月12日)

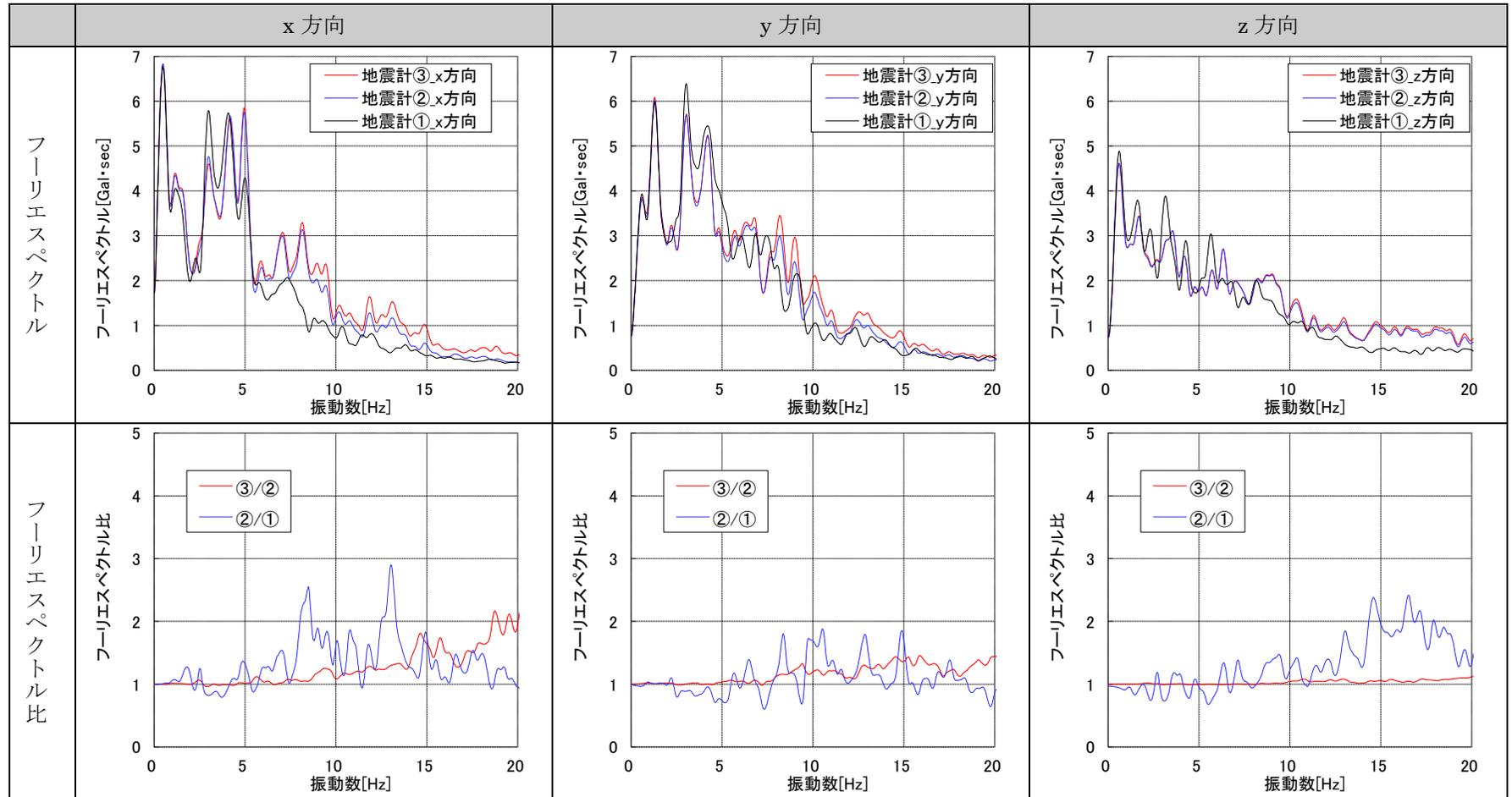
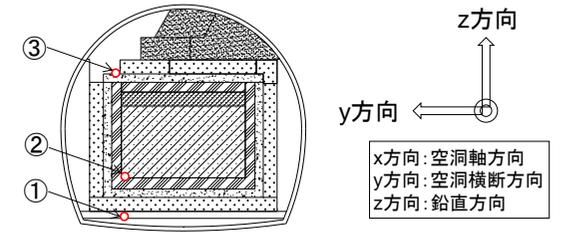


図 5.2-43 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2016 年 1 月 14 日)

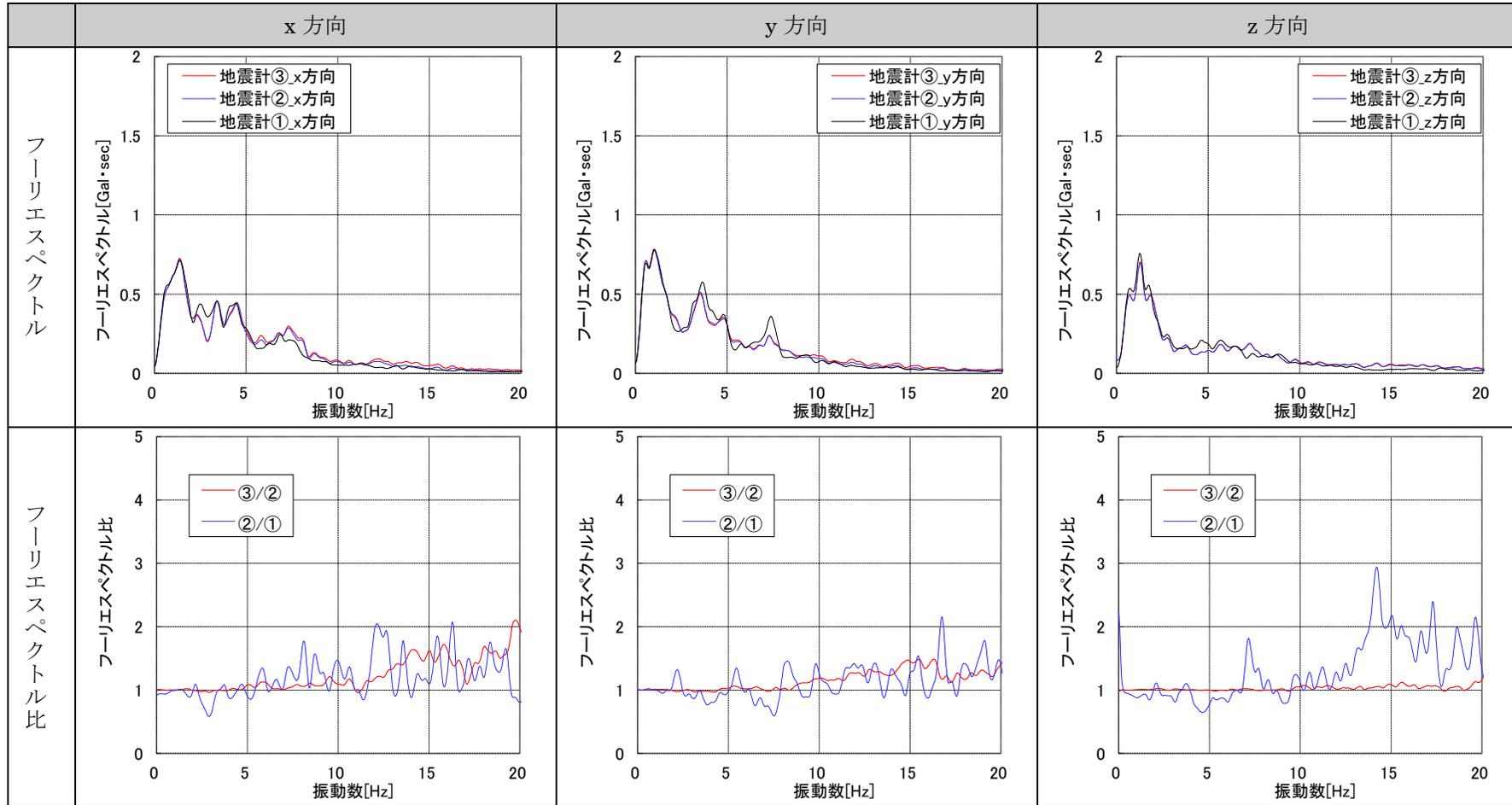
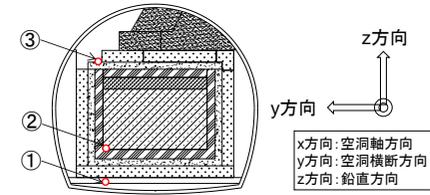
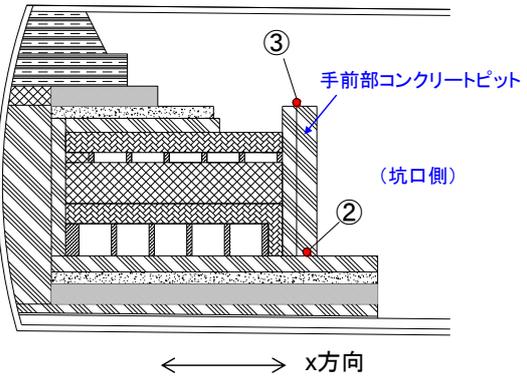
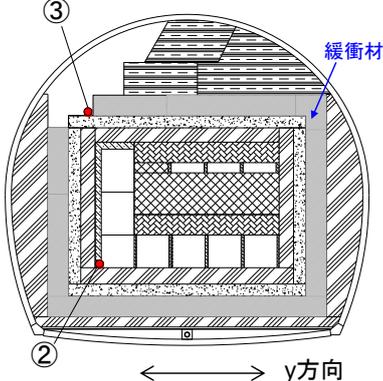


図 5.2-44 加速度のフーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比 (2016年2月2日)

表 5.2-7 試験施設の3次元的構造の特徴

縦断面図	横断面図
 <ul style="list-style-type: none"> 剛性の小さい緩衝材が側壁として構築されていない。 地震計③が設置されている手前部コンクリートピットの坑口側には構造物がなく拘束を受けない。 	 <ul style="list-style-type: none"> 側部緩衝材が左右に構築されている。

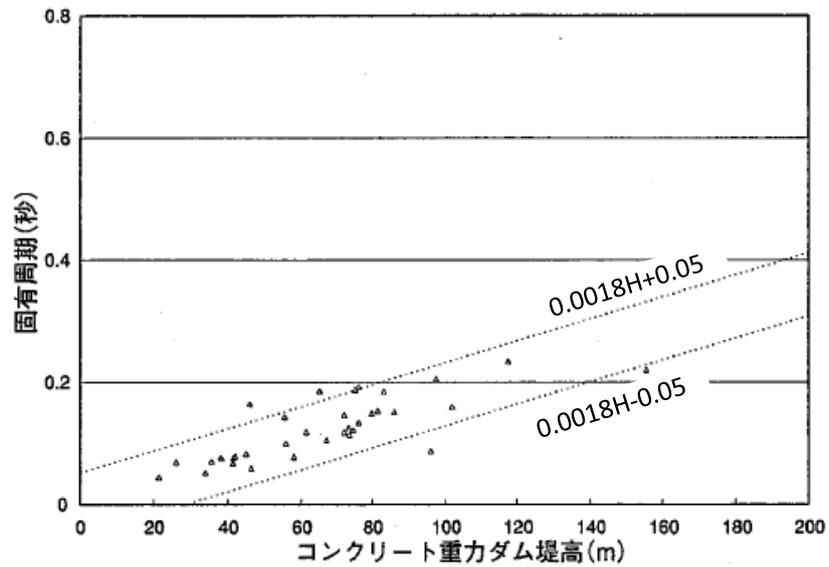


図 5.2-45 コンクリート重力ダムの固有周期と堤高の関係[4]

4) KiK-net データとの比較

a. 概要

試験空洞（地震計①）と KiK-net 六ヶ所[5]で観測されたデータを比較する。

KiK-net 六ヶ所の詳細を表 5.2-8 KiK-net 六ヶ所の詳細[7]、試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係を図 5.2-46 試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係、ボーリング柱状図を図 5.2-47 に示す。

KiK-net 六ヶ所では、地表面（標高 5m）と地下（標高-96.54m）で観測を行っており、地下の標高は、地震計①が設置してある試験空洞底盤（標高約-94m）と標高が近く、比較分析できるものと考えられる。ただし、図 5.2-46 に示すように、試験空洞と KiK-net 六ヶ所間は約 1.5km 離れており、両者の地質・地層構成が異なる可能性があるため、両者の観測データを同等に扱うことには注意する必要がある。

ここでは、試験空洞と KiK-net 六ヶ所で観測された地震動データを比較することにより、両者の観測データの傾向や特徴を分析することとする。

表 5.2-8 KiK-net 六ヶ所の詳細[7]

項目	内容
データ種別	KiK-net
観測点コード	AOMH06
観測点名	六ヶ所（青森県）
設置位置	北緯 40.9664 度、東経 141.3738 度 (六ヶ所村役場駐車場)
設置高さ	地表面（標高 5m）及び地下（標高-96.54m）
設置方位	北から 5° 時計回りに回転



(C)ZENRIN (Z15BB 第 1420 号)

図 5.2-46 試験空洞と KiK-net 六ヶ所の位置関係

ボーリング柱状図

観測点名： 六ヶ所(ろっかしよ)

所在地： 青森県上北郡六ヶ所村大字尾鉾字野附478-1

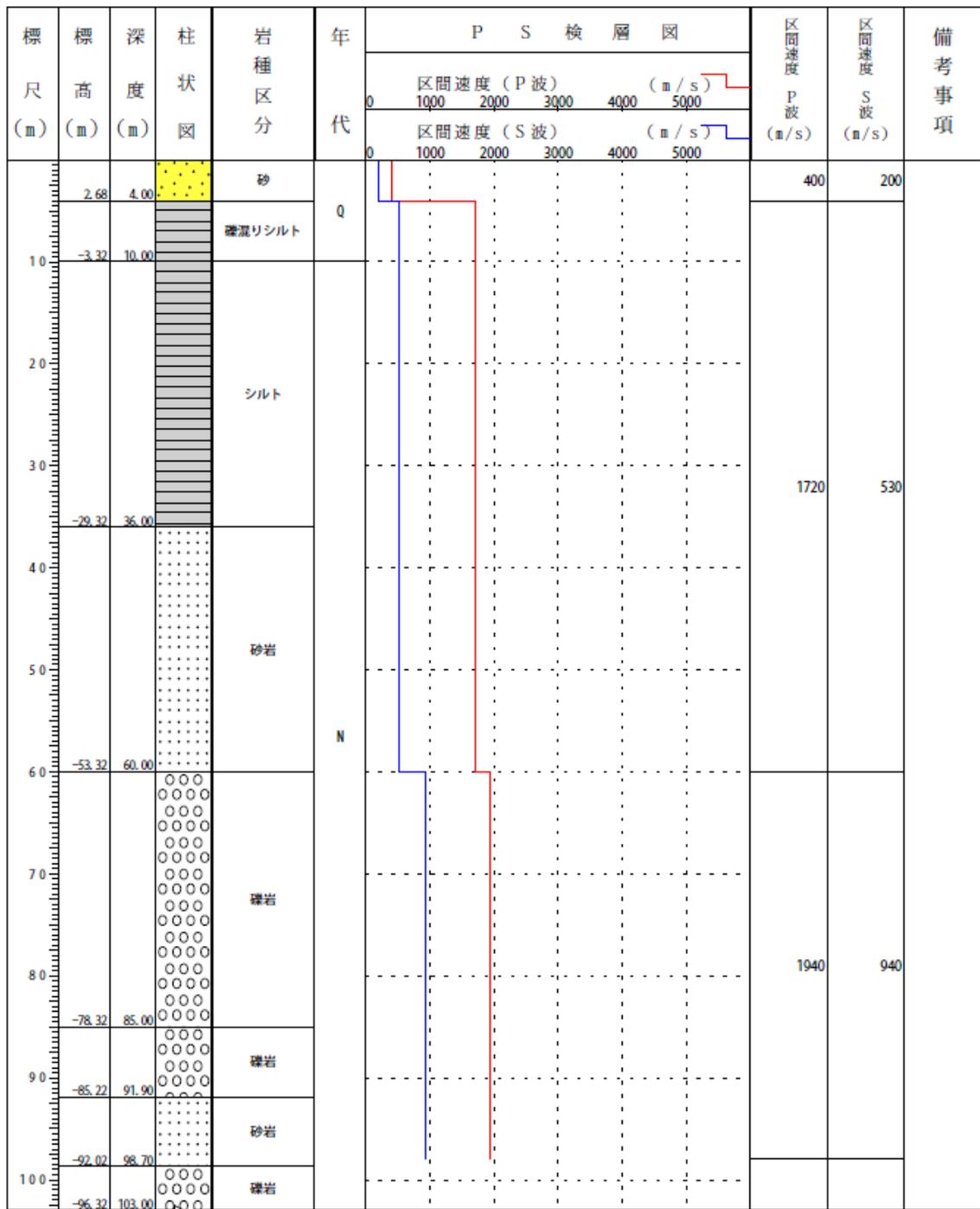
緯度： 40° 57' 50.0"

孔口標高： +7m

観測点コード： A0MH06

経度： 141° 22' 39.0"

総掘進長： 103.00m



NIED 独立行政法人防災科学技術研究所
Copyright (c) National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention. All rights Reserved.

図 5.2-47 KiK-net 六ヶ所のボーリング柱状図[7]

なお、KiK-net 六ヶ所と試験空洞における地震計の計測方向は異なるため、既往文献[6]による方法を用いて KiK-net 六ヶ所データの方位補正を行った。

図 5.2-48 に示すように、KiK-net 六ヶ所の方位は北から時計回りに 5° 回転、試験空洞の軸方向は北から反時計回りに 49° 回転している。よって KiK-net 六ヶ所データを反時計回りに 54° 回転して、試験空洞の軸方向に合わせた方位補正を行う。

補正前の N-S 成分及び E-W 成分をそれぞれ $N(t)$ 、 $E(t)$ とし、補正後の N-S 成分及び E-W 成分をそれぞれ $N'(t)$ 、 $E'(t)$ とする。方位が時計回りに α° 回転したとすると、

$$\begin{pmatrix} N'(t) \\ E'(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N(t) \\ E(t) \end{pmatrix}$$

の関係がある。ここで t は時間である。

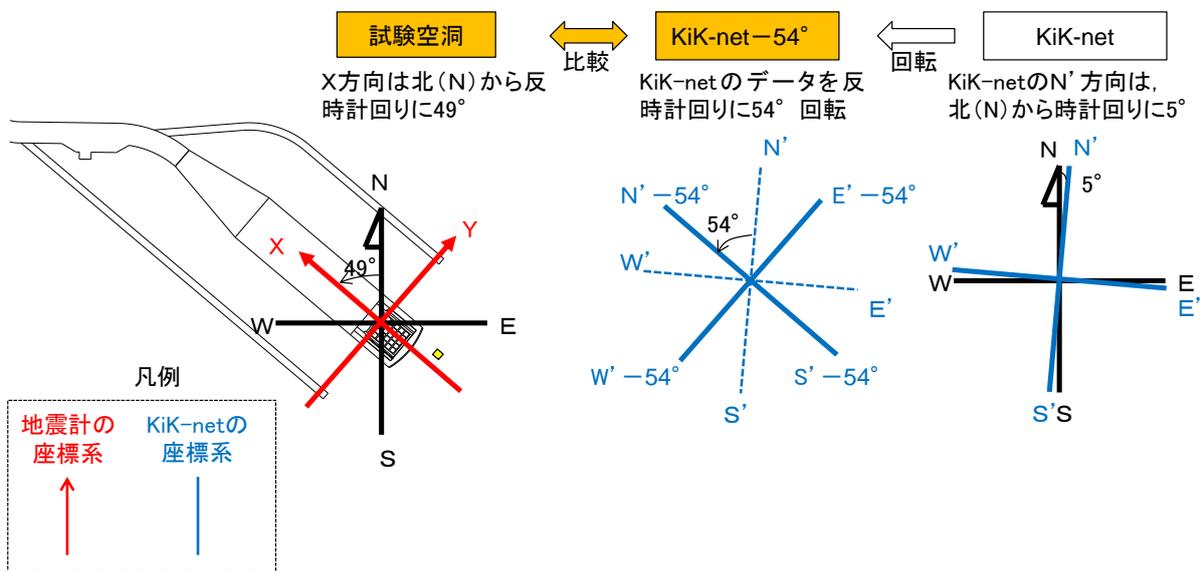
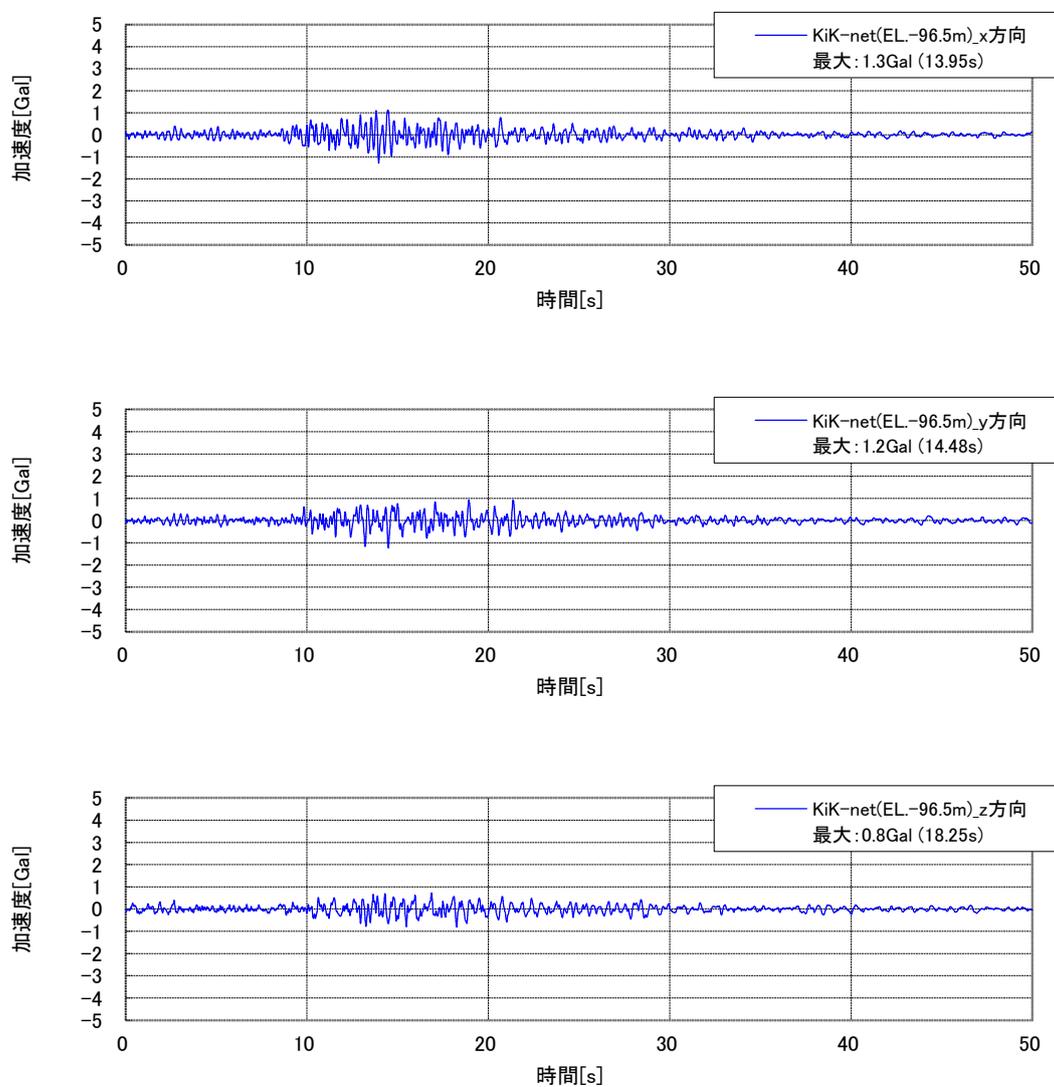


図 5.2-48 KiK-net 六ヶ所と試験空洞の方位

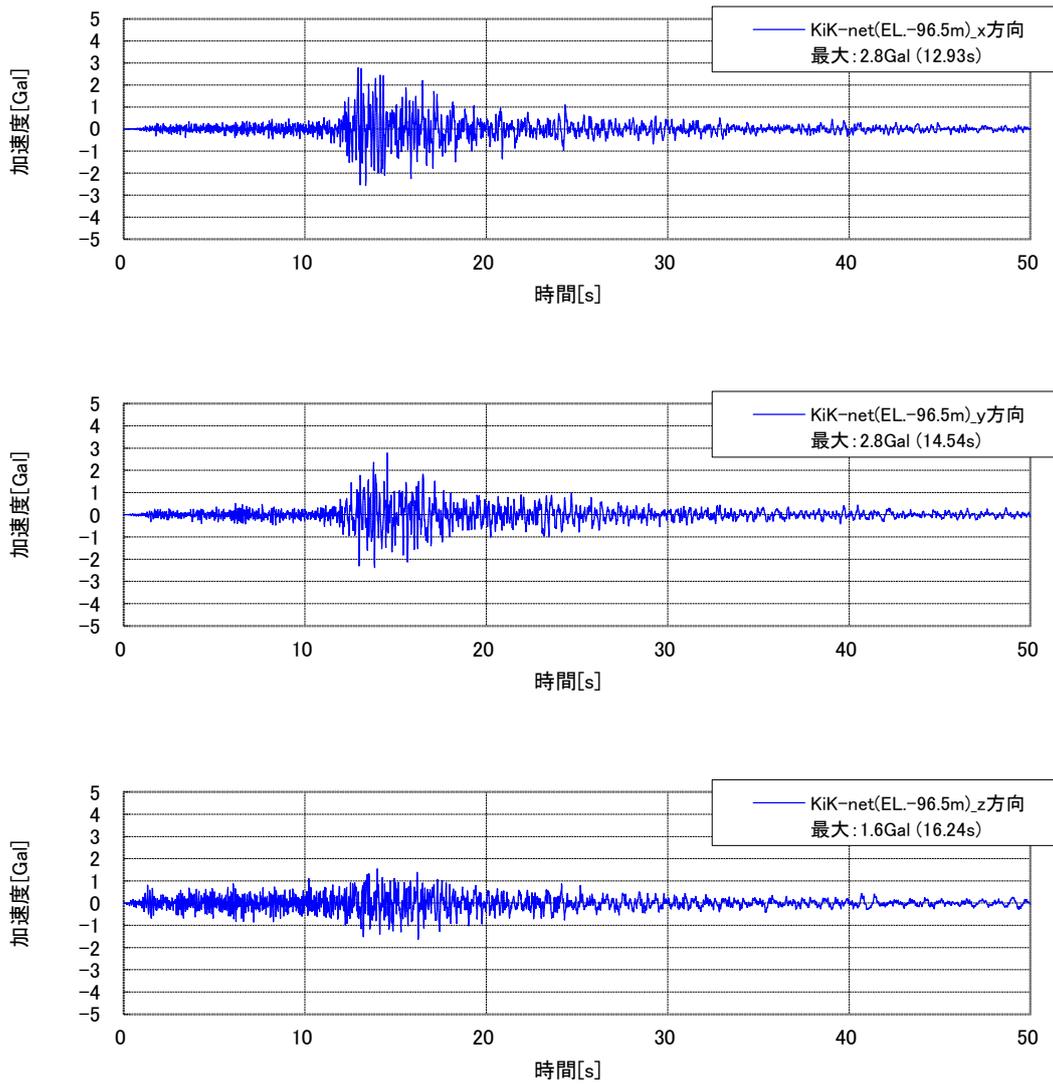
b. 地震動観測データ

地震計①（標高約-94m）の標高に近い KiK-net 六ヶ所の地下（標高-96.54m）の観測データ（2015/4/30、11/1）を図 5.2-49～図 5.2-50 に示す。



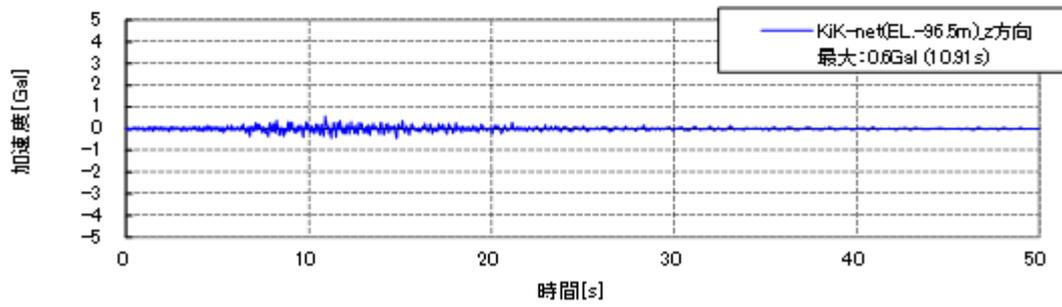
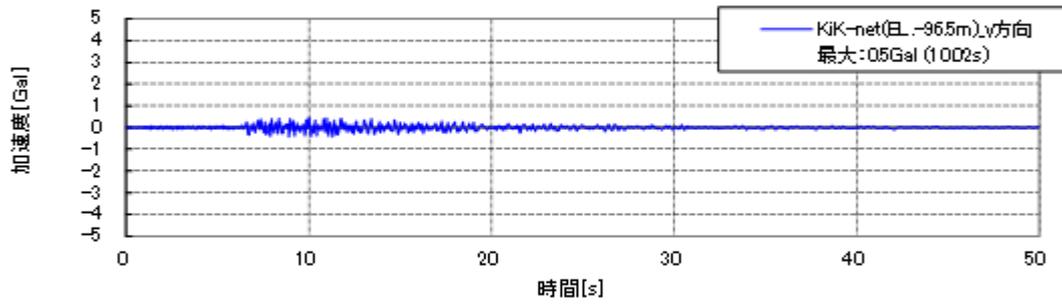
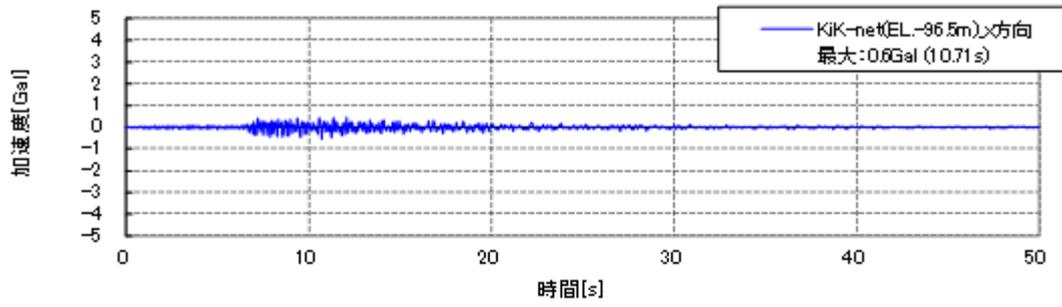
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 5.2-49 KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2015年4月30日）



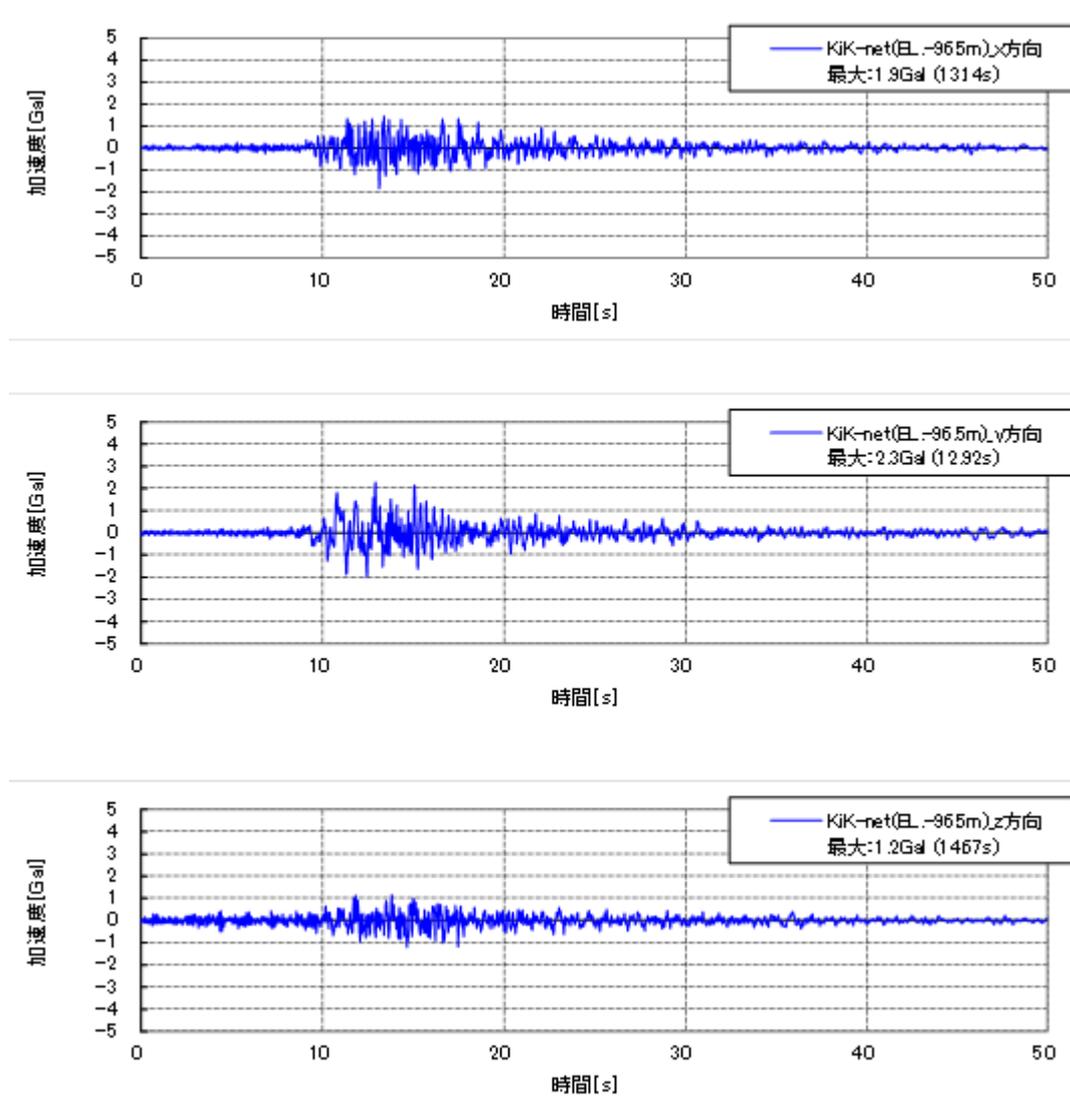
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 5.2-50 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2015 年 11 月 1 日)



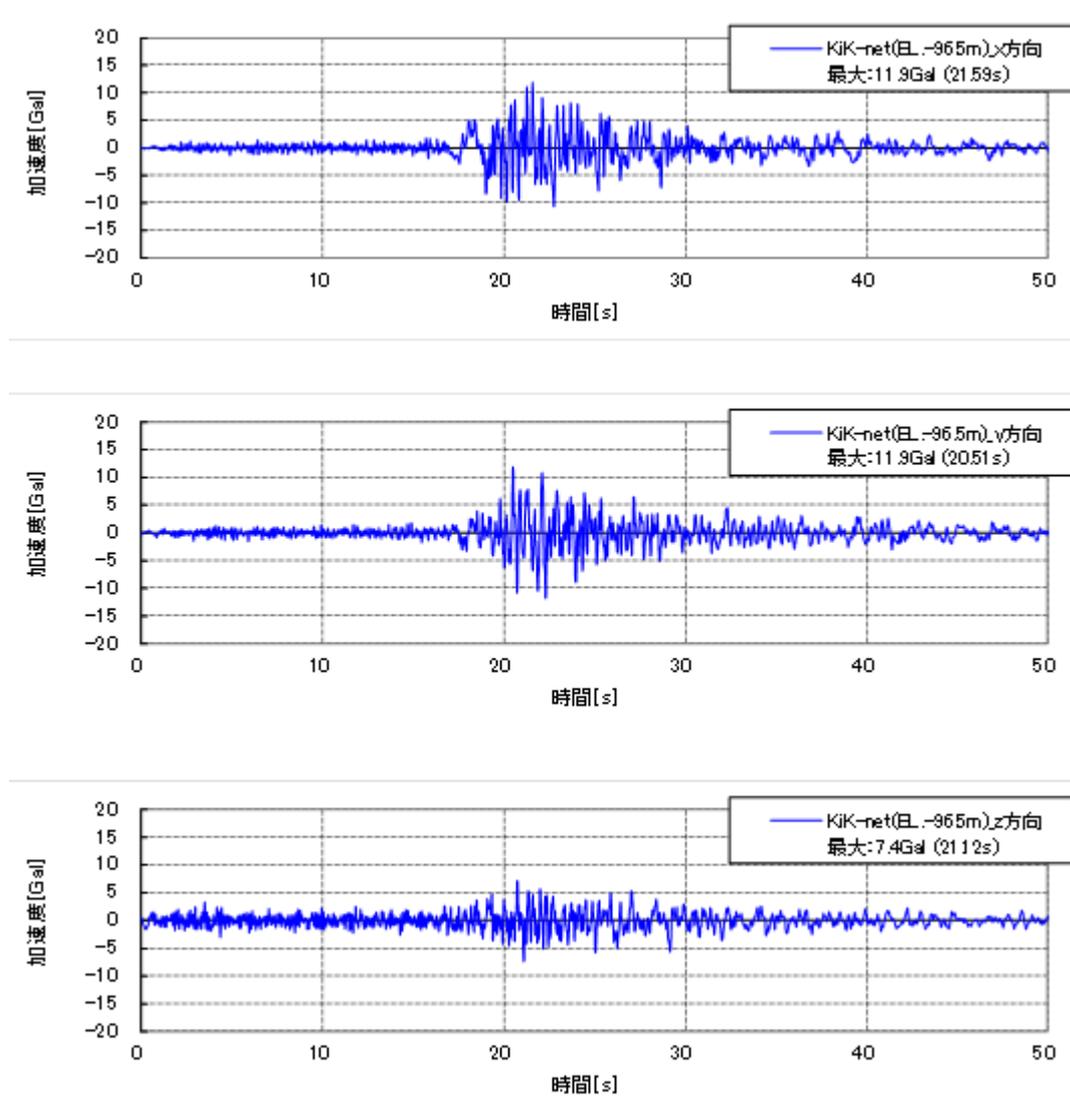
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 5.2-51 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2016 年 1 月 11 日(1))



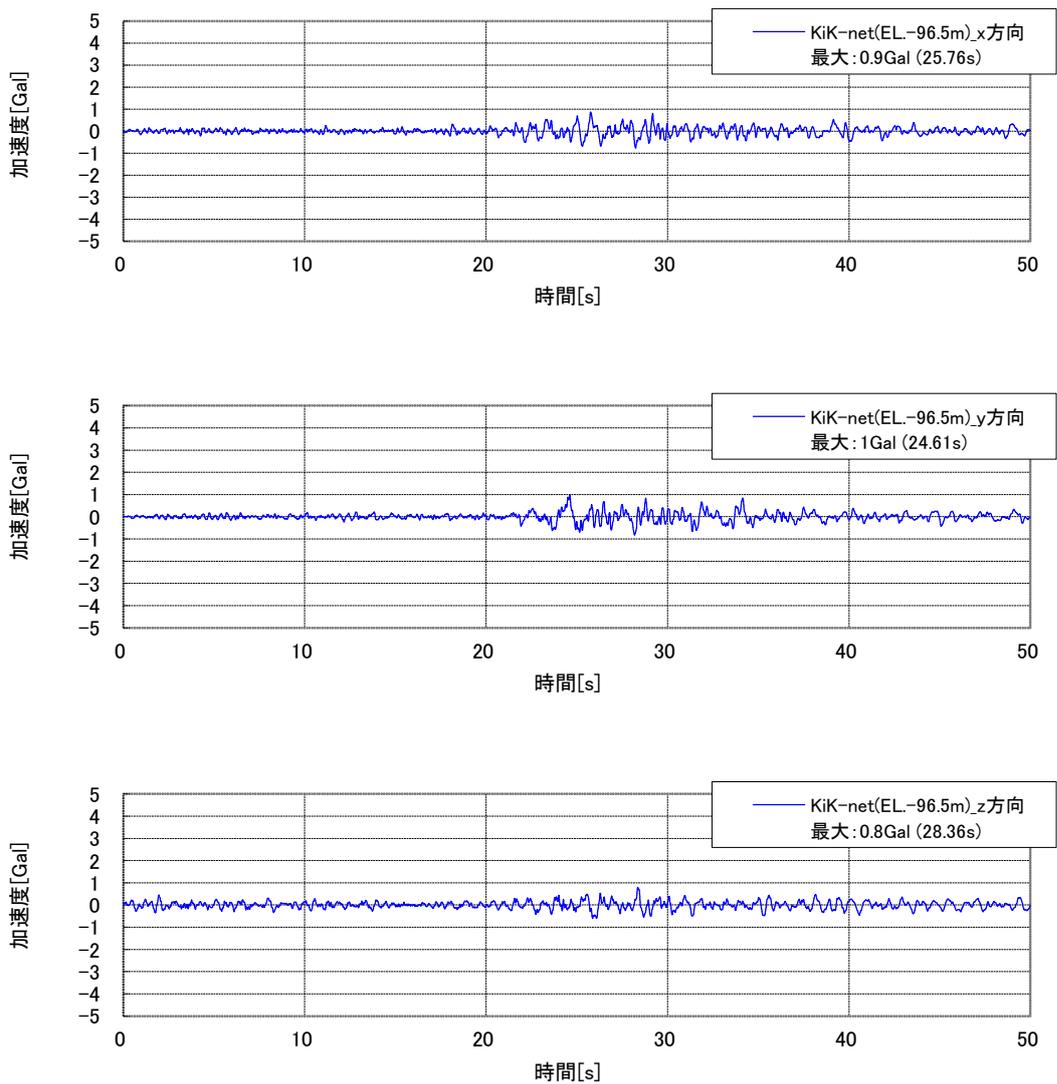
※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 5.2-52 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2016 年 1 月 12 日)



※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 5.2-53 KiK-net 六ヶ所 (標高-96.54m) の観測データ (2016 年 1 月 14 日)



※上から x、y、z 方向。KiK-net データの方位補正を行い、試験空洞の x、y、z 方向に変換した。

図 5.2-54 KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（2016年2月2日）

c. 最大加速度

地震計①（標高約-94m）と KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）で観測されたデータの最大加速度一覧を表 5.2-9 に、各観測日の最大加速度比較を図 5.2-55～図 5.2-60 に示す。表 5.2-9 より、全観測日において、各計測方向の最大加速度は地震計①の方が KiK-net 六ヶ所より 0～5Gal 程度大きくなっている。また、図 5.2-61～図 5.2-66 より、各観測日における最大加速度の計測方向に対する分布は、地震計①と KiK-net 六ヶ所で概ね同様の傾向となっている。

地震計を設置している試験空洞と KiK-net 六ヶ所では、地質条件や計測条件が異なるため、観測データを一概に比較はできないが、大きな差異はないものと考えられる。

表 5.2-9 地震計①と KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測地震動の最大加速度一覧

観測日	計測方向	最大加速度[Gal]		差分[Gal] (地震計①)-(KiK-net)
		地震計① (標高:-約94m)	KiK-net (標高:-96.54m)	
2015/4/30	x	1.4	1.3	0.1
	y	1.7	1.2	0.5
	z	1.0	0.8	0.2
2015/11/1	x	3.5	2.8	0.7
	y	4.3	2.8	1.5
	z	3.0	1.6	1.4
2016/1/11(1)	x	1.4	0.6	0.8
	y	2.3	0.5	1.8
	z	1.4	0.6	0.8
2016/1/11(2)	x	1.0	-	-
	y	1.6	-	-
	z	0.7	-	-
2016/1/12	x	1.8	1.9	-0.1
	y	1.8	2.3	-0.5
	z	1.5	1.2	0.3
2016/1/14	x	18.2	11.9	6.3
	y	12.2	11.9	0.3
	z	11.7	7.4	4.3
2016/2/2	x	1.1	0.9	0.2
	y	1.2	1.0	0.2
	z	0.9	0.8	0.1

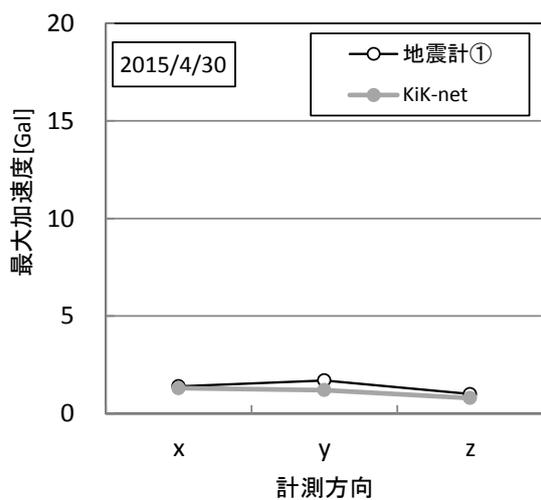


図 5.2-55 最大加速度比較 (4月30日)

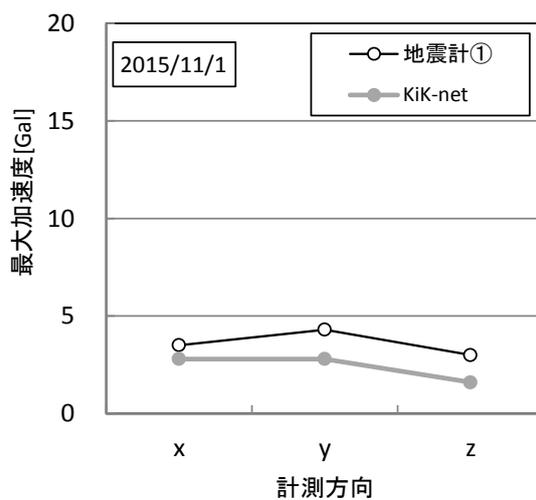


図 5.2-56 最大加速度比較 (11月1日)

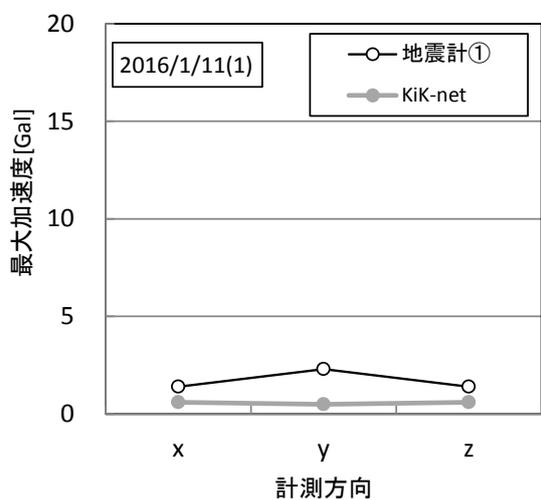


図 5.2-57 最大加速度比較 (1月11日(1))

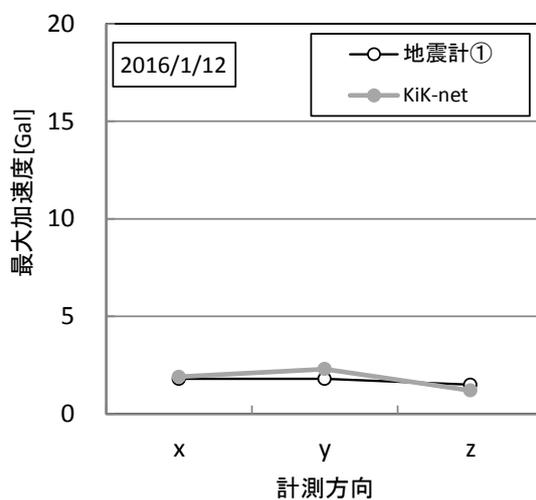


図 5.2-58 最大加速度比較 (1月12日)

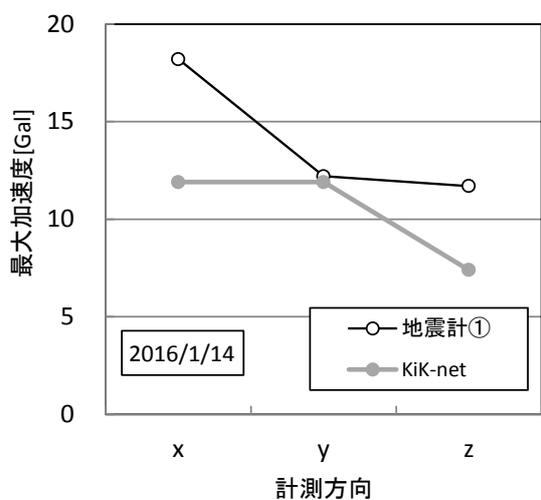


図 5.2-59 最大加速度比較 (1月14日)

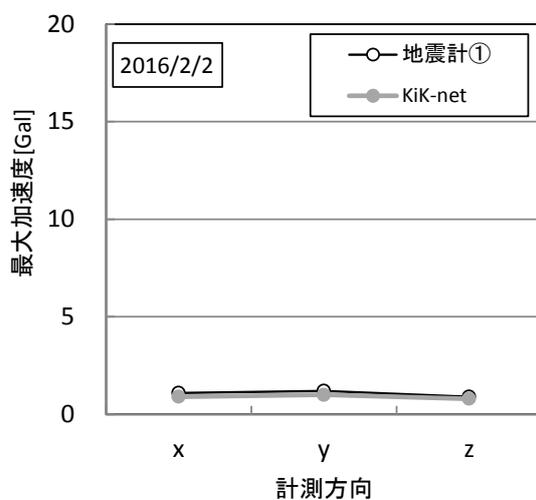


図 5.2-60 最大加速度比較 (2月2日)

d. フーリエスペクトル

試験空洞底盤の地震計①（標高約-94m）と KiK-net 六ヶ所（標高-96.54m）の観測データ（加速度）のフーリエスペクトルを図 5.2-60～図 5.2-65 に示す。

フーリエスペクトルは、いずれの観測日及び計測方向においても、0～3Hz 程度の低振動数帯で地震計①と KiK-net 六ヶ所は近い値となっている。3Hz 以上では、両者のフーリエスペクトル値は乖離し、概ね地震計①の方が大きくなる。この乖離は、地震計①の観測データには、試験空洞の振動特性の影響が現れていることが主たる原因と考えられる。また、図 5.2-46 に示すように約 1.5km 離れている試験空洞と KiK-net 六ヶ所の地質・地層構成の違いも原因の一つと考えられる。

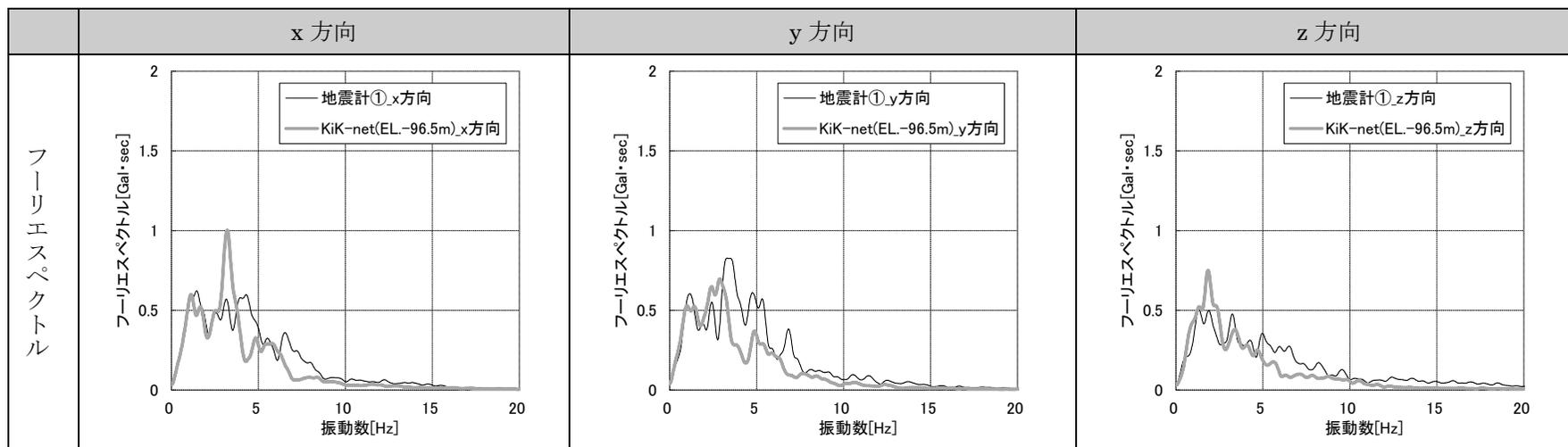
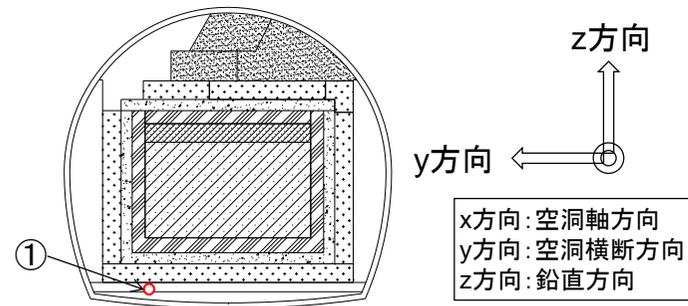


図 5.2-61 加速度のフーリエスペクトル (2015年4月30日)

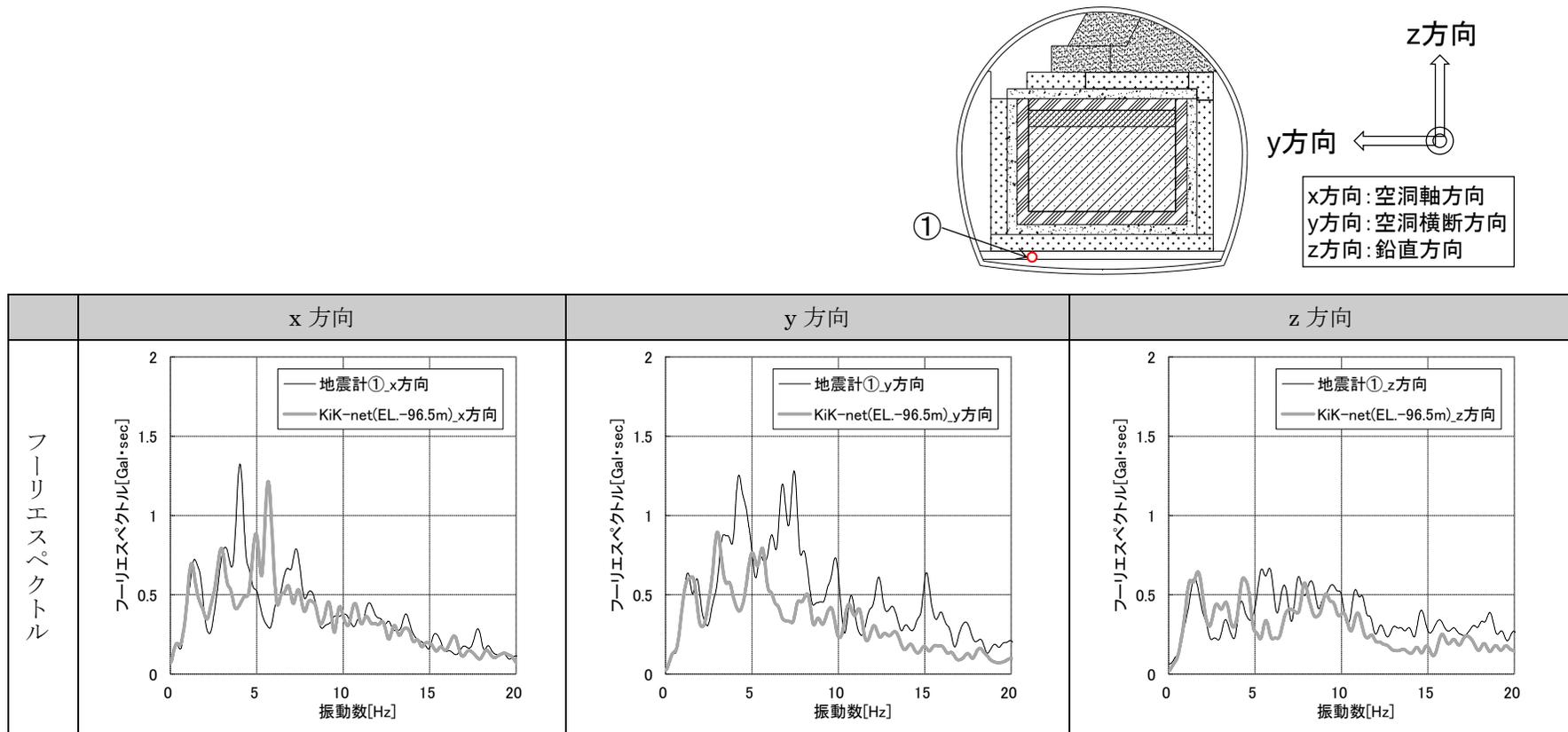


図 5.2-62 加速度のフーリエスペクトル (2015年11月1日)

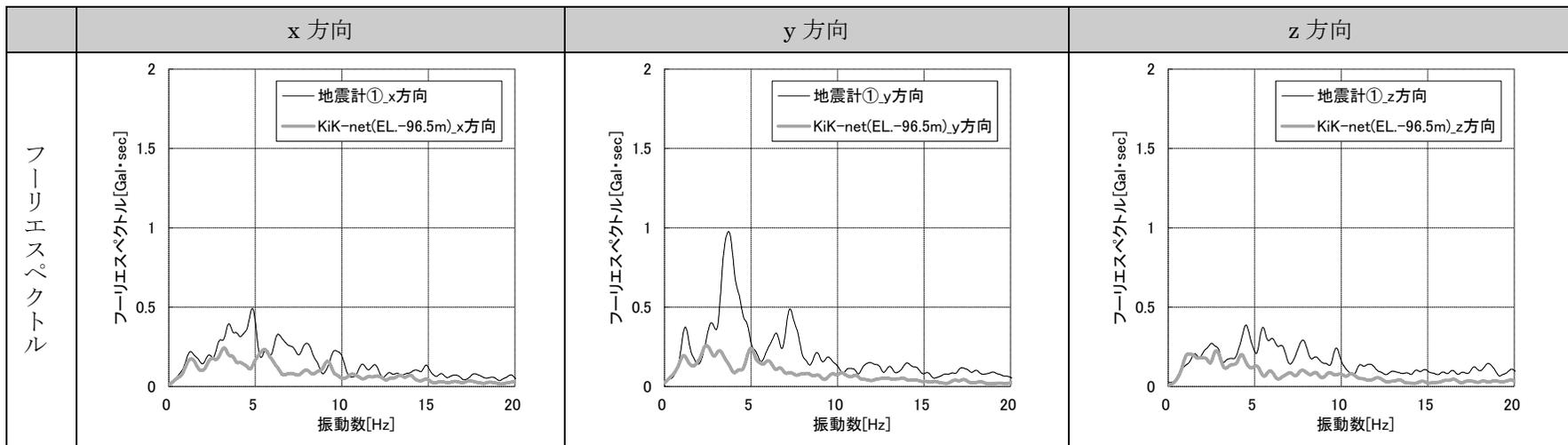
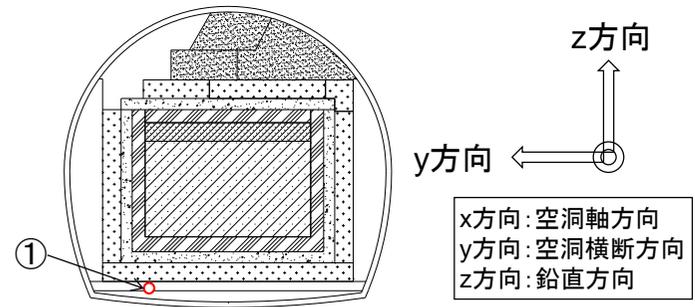


図 5.2-63 加速度のフーリエスペクトル (2016年1月11日(1))

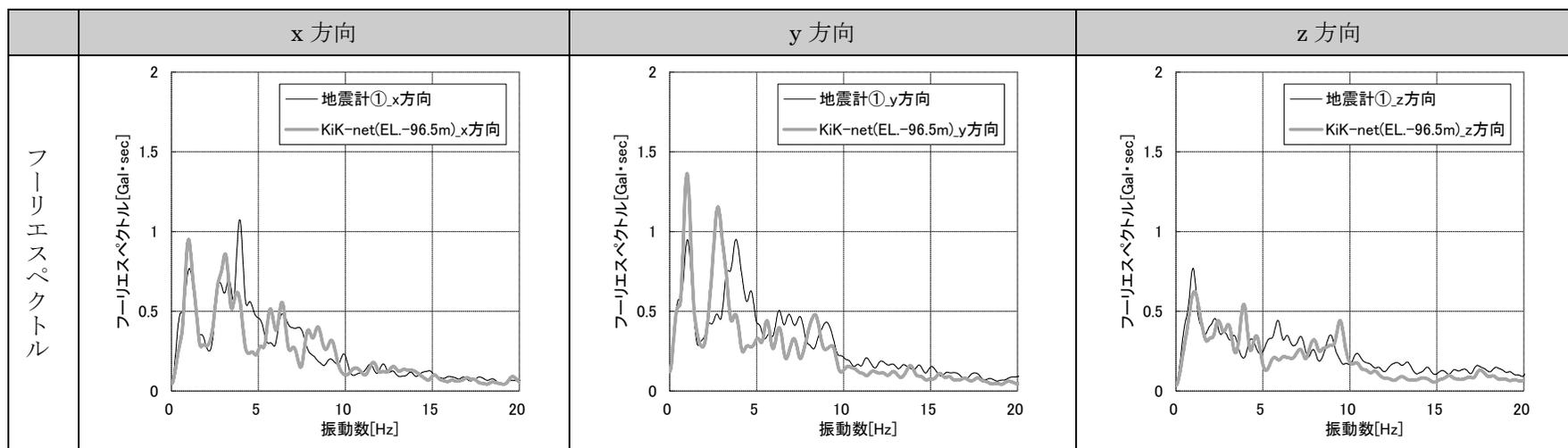
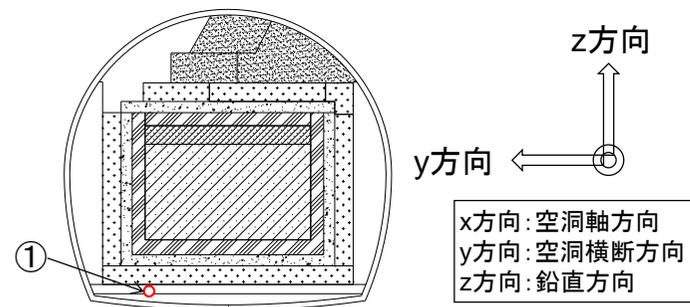


図 5.2-64 加速度のフーリエスペクトル (2016年1月12日)

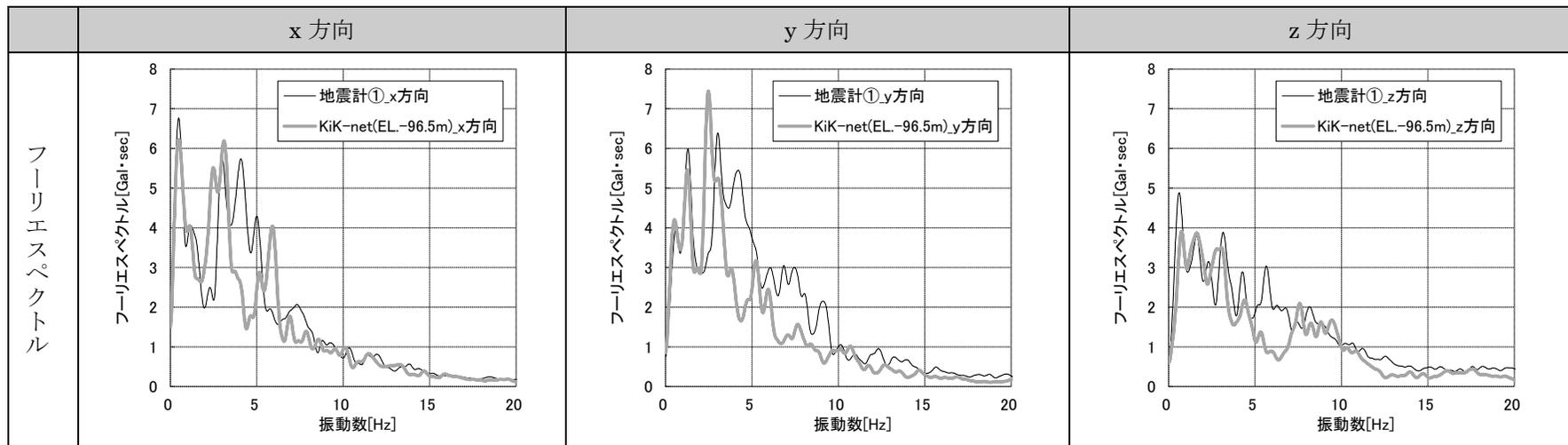
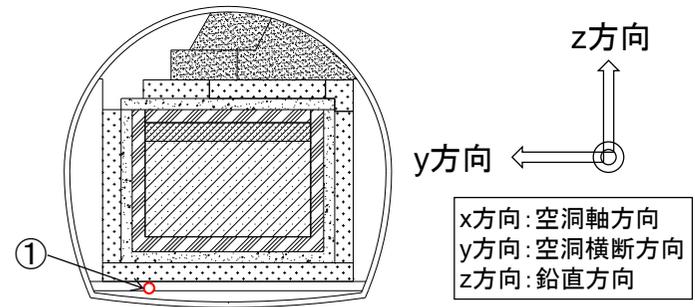


図 5.2-65 加速度のフーリエスペクトル (2016年1月14日)

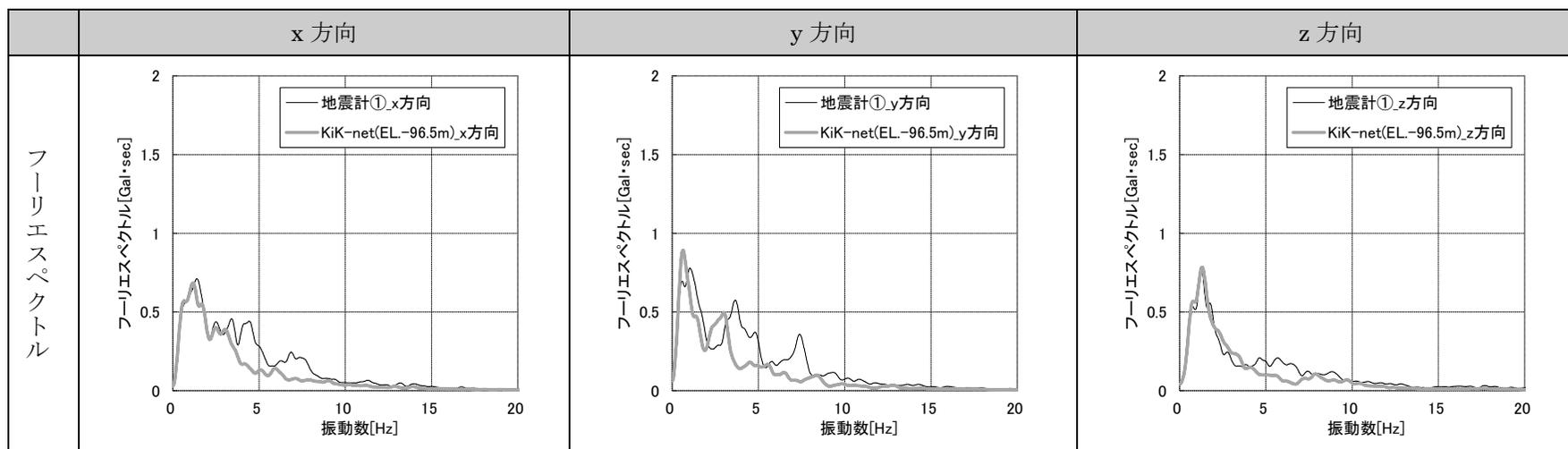
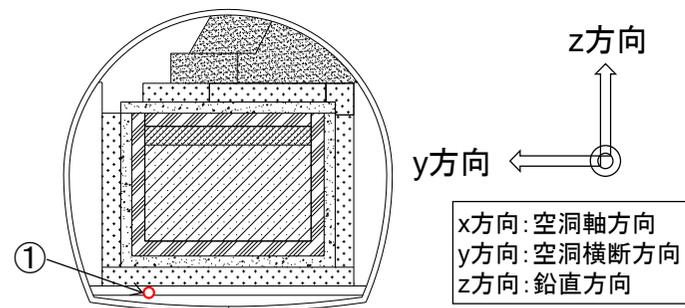


図 5.2-66 加速度のフーリエスペクトル (2016年2月2日)

5.2.3 解析による地震時の挙動の評価

【目的】

入力地震動の特徴の違いが試験施設の応答性状に与える影響を分析評価する。

【まとめ】

- ・ 今年度（平成 27 年度）は、試験施設に設置した地震計の既往の観測データの中から、既往の解析（平成 26 年度）で使用した地震動と振動数成分が異なる地震動を選定し、地震応答解析結果を比較分析した。
- ・ 平成 27 年度と平成 26 年度で選定したの地震動は、いずれも試験施設の振動特性に与える影響は小さいが、平成 26 年度の入力地震動は、試験施設の変形量および発生応力に与える影響は大きいことがわかった。

(1) 解析条件

1) 本検討に用いる地震動の選定

既往の平成 25 年度および 26 年度の解析では、解析に用いる地震動データの選定基準を、「当該年度に観測された地震動データの中で、最大加速度が比較的大きい地震動」として、平成 25 年度は「平成 25 年 11 月 15 日の観測地震動」、平成 26 年度は「平成 26 年 8 月 10 日の観測地震動」を選定してきた。

今年度の地震動の選定においては、既往の解析での応答性状と差異が出るような入力地震動を選定して、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を比較分析することとした。既往の検討結果（図 5.2-66）より、試験施設の空洞横断方向（y 方向）の固有振動数は 15Hz 以上と推察されるため、空洞に入射する地震動の卓越振動数に着目して解析に使用する地震動を選定することとした。

平成 27 年 12 月まで観測された地震動の地震諸元および地震計①の y 方向の卓越振動数と最大加速度を表 5.2-10 に整理した。また、表 5.2-10 の各項目を図化したものを図 5.2-67～図 5.2-68 に示す。図 5.2-67 より、既往の解析で用いた地震動の卓越振動数は、平成 25 年度は 4.1Hz、平成 26 年度は 3.5Hz であることから、それらの値より大きいものとして「平成 26 年 10 月 27 日（卓越振動数 10.6Hz）」の地震動を今年度の解析で用いる地震動の候補①、小さいものとして「平成 27 年 2 月 17 日(1)（卓越振動数 0.9Hz）」の地震動を候補②とした。既往の解析で用いた地震動および今年度の解析の候補とした地震動のフーリエスペクトルを図 5.2-69 に示す。

候補①の地震動の卓越振動数（10.6Hz）が既往のものより大きい要因としては、図 5.2-68 に示すように、震源距離（111km）が既往のもの（94～102km）と近い値なのに対して、震源深さ（92km）が既往のもの（51～63km）より大きいことが一因として考えられる。候補①は、試験施設の固有振動数（15Hz 以上）に近い卓越振動数を持つ。

一方、候補②の地震動の卓越振動数（0.9Hz）が既往のものより小さい要因としては、図 5.2-68 に示すように、震源距離（198km）が既往のもの（94～102km）より大きく、かつ震源深さ

(13km) が既往のもの (51~63km) より小さいことが一因として考えられる。候補②は、試験施設の固有振動数 (15Hz 以上) から離れた卓越振動数を持つ。今年度の解析では、既往の解析で使用した地震動と比較して、試験施設の固有振動数に近い卓越振動数を持つ候補①の地震動を使用した場合の施設の応答性状を把握することとした。

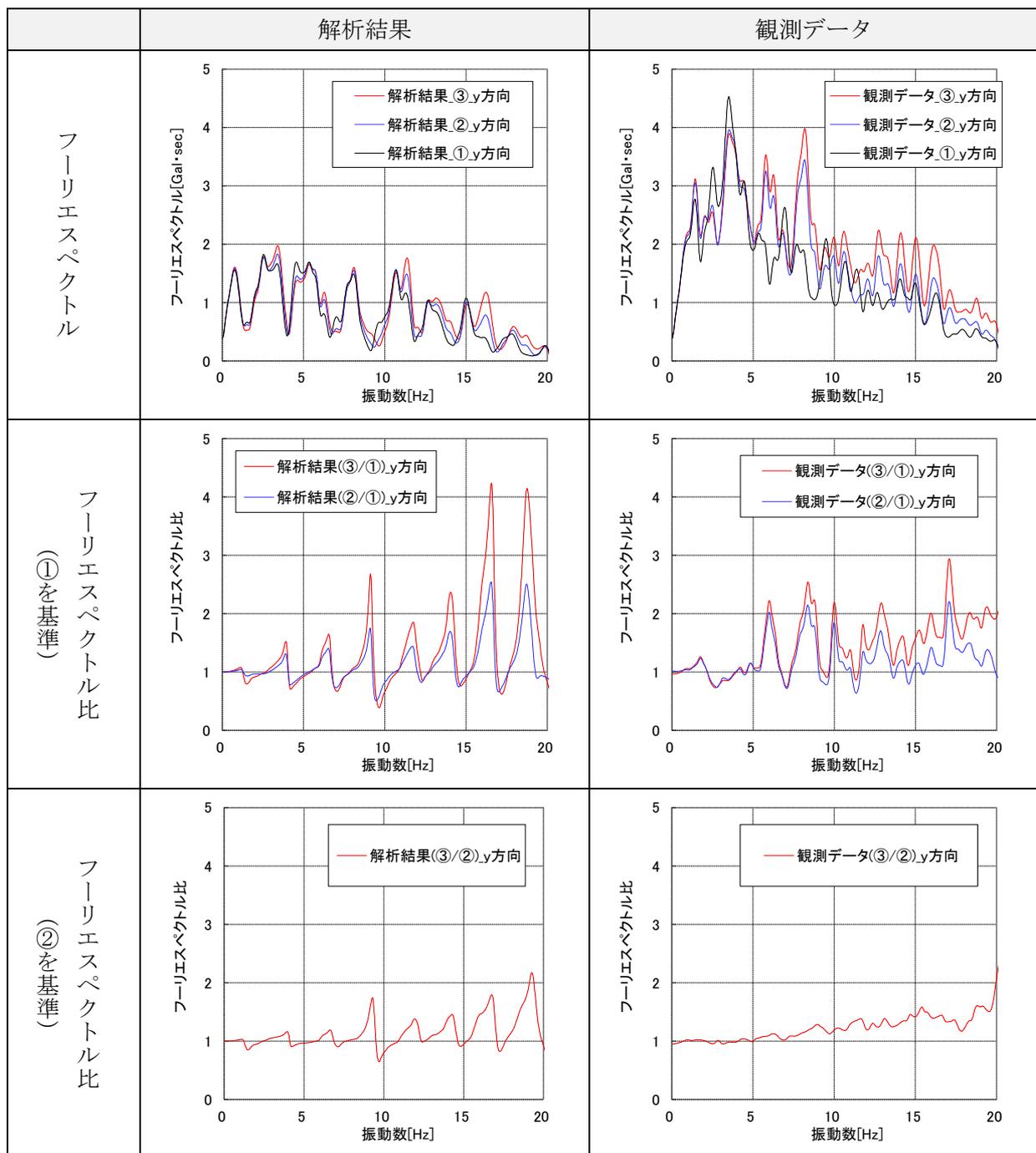
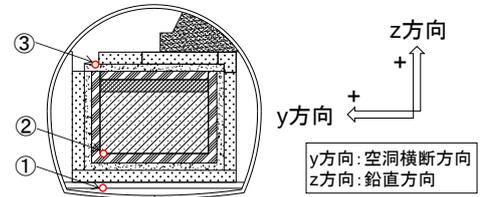


図 5.2-67 解析結果と観測データのフーリエスペクトル比較 (y 方向、平成 26 年度検討結果)

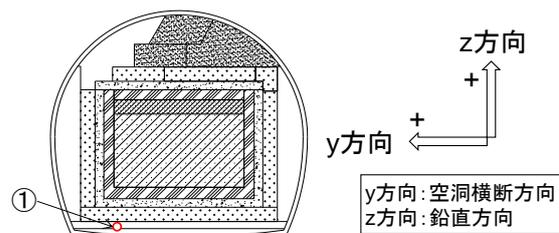


表 5.2-10 地震諸元および観測データ（地震計①の y 方向）の整理

観測日	地震諸元				地震計①_y方向		備考	
	震源深さ [km]	震央距離 [km]	震源距離 [km]	マグニチュード -	卓越振動数 [Hz]	最大加速度 [Gal]		
H25	10月26日	56	502	505	7.1	3.8		
	11月15日	63	80	102	5.3	4.1	H25年度選定地震動	
	12月27日	38	116	122	5.0	6.4		
H26	5月19日	57	54	79	4.2	3.6		
	6月9日	82	20	85	4.6	4.0		
	6月15日	94	176	199	5.5	3.6		
	7月5日	49	157	164	5.9	3.5		
	7月21日	30	732	733	6.4	3.7		
	7月25日	66	88	110	4.9	7.2		
	8月10日	51	79	94	6.1	3.5	11.7	H26年度選定地震動
	9月10日	67	104	124	4.9	3.4	4.2	
	10月3日	28	139	142	5.7	3.5	2.1	
	10月11日	36	158	162	6.1	3.8	3.3	
	10月14日	81	32	87	4.4	6.7	2.8	
	10月27日	92	62	111	4.3	10.6	1.6	H27年度の候補①
	11月2日	106	53	118	4.0	6.6	1.8	
H27	1月9日	126	418	436	5.5	4.2	1.1	
	2月17日(1)	13	197	198	6.9	0.9	4.0	H27年度の候補②
	2月17日(2)	50	117	127	5.7	3.6	2.9	
	4月30日	24	162	164	5.4	3.3	1.7	
	11月1日	65	88	110	5.2	7.4	4.3	

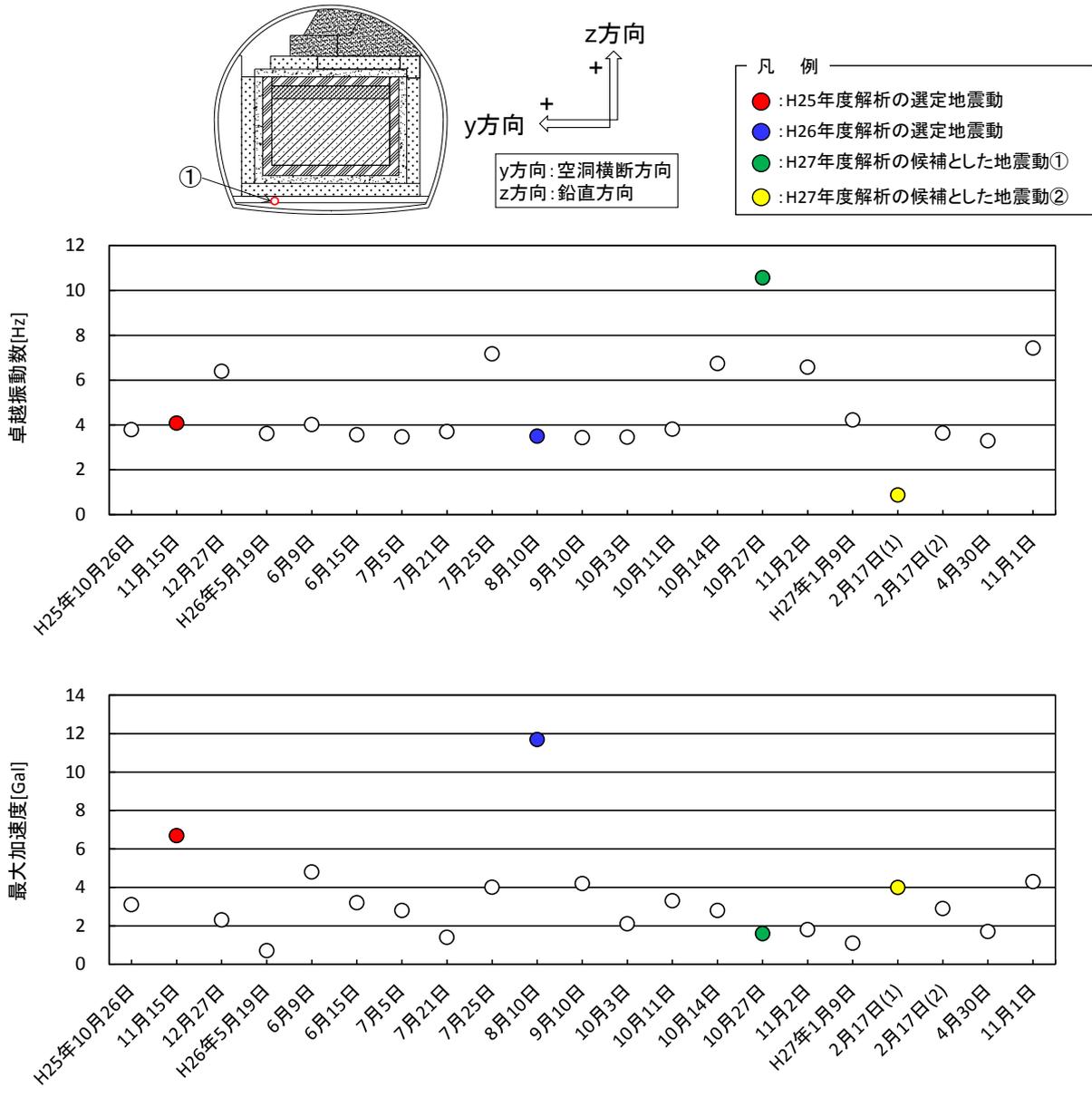


図 5.2-68 地震計①の y 方向の卓越振動数および最大加速度

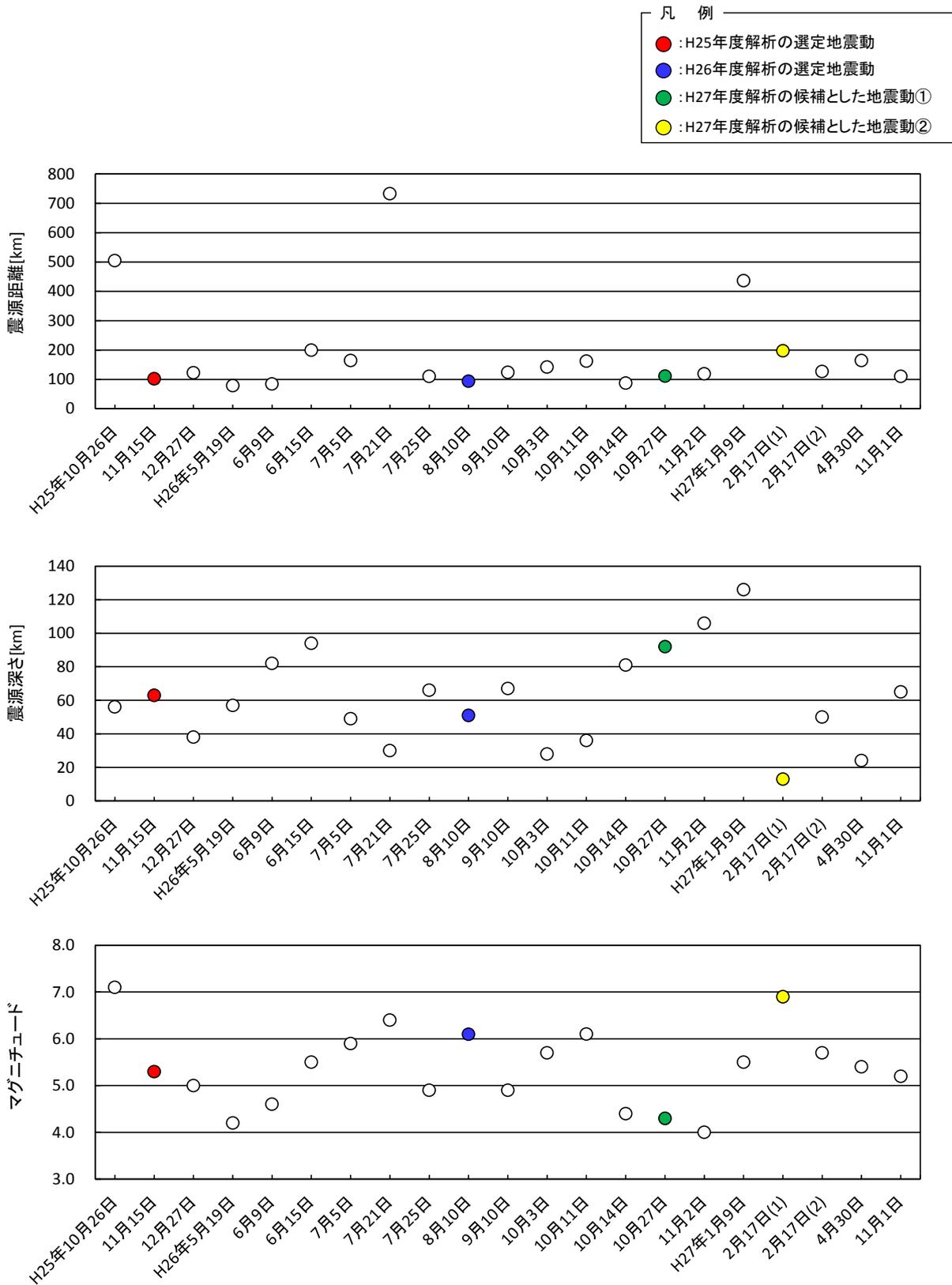
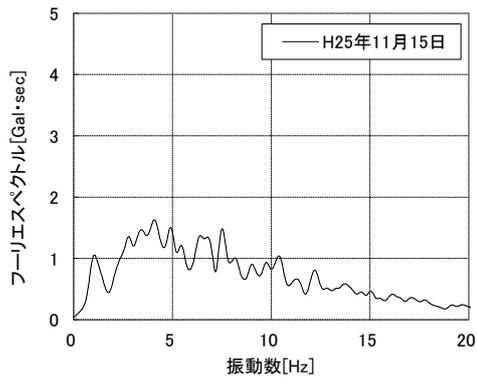
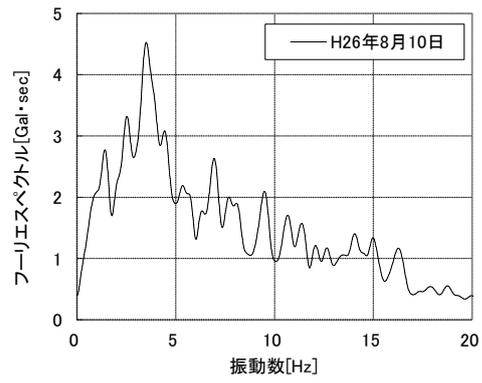


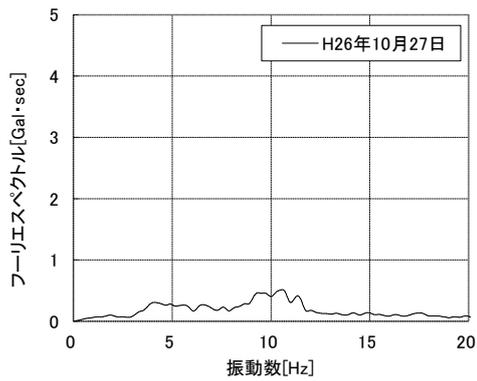
図 5.2-69 地震諸元 (上から震源距離、震源深さ、マグニチュード)



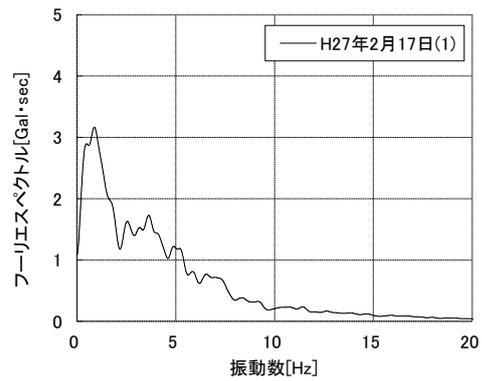
(1) 平成 25 年度の解析で使用



(2) 平成 26 年度の解析で使用



(3) 平成 27 年度の解析の候補①



(3) 平成 27 年度の解析の候補②

図 5.2-70 地震計①の y 方向のフーリエスペクトル

解析モデル		境界条件
<p>地盤全体</p> <p>試験施設</p>	<p>z方向 +</p> <p>y方向 +</p> <p>y方向: 空洞横断方向 z方向: 鉛直方向</p>	<p>底面: 固定</p> <p>側面: 水平ローラー</p>

図 5.2-71 固有値解析モデル (平成 26 年度検討)

表 5.2-11 固有値解析結果（平成 26 年度検討）

次数	振動数	周期	有効質量比	
	Hz	s	Y	Z
1	0.880	1.137	0.732	0.000
2	1.888	0.530	0.000	0.487
3	2.504	0.399	0.115	0.000
4	2.553	0.392	0.000	0.003
5	2.836	0.353	0.000	0.000
6	3.919	0.255	0.000	0.018

2) 選定した地震動の振幅処理

今年度の解析結果と、既往の解析結果を比較できるようにするため、両解析で使用する地震動レベルを同等とした。既往の解析で使用した地震動の最大加速度は 10Gal 程度と比較的小さいため、地盤や試験施設の非線形挙動はほとんどないものと考えられる。そこで、地震動レベルの調整においては、線形的に加速度振幅に一律の倍率を乗じる方法を採用して、両解析で使用する地震動の最大加速度が一致するように処理した。

既往の解析は、平成 25 年度と平成 26 年度の 2 ケースがあるが、前項の表 5.2-10 に示したように、両者の地震諸元や卓越振動数は類似していることから、ここでは最大加速度が大きい平成 26 年度のケースに合わせて、今年度選定した地震動の加速度振幅を処理した。

今年度選定した地震動の y 方向の最大加速度 (1.6Gal) を、平成 26 年度の解析で使用した地震動の y 方向の最大加速度 (11.7Gal) に合わせるために、その比率の約 7.3 倍を乗じて今年度選定した地震動の加速度振幅を処理した。また、z 方向の処理についても y 方向の比率 (約 7.3) を用いた。振幅処理の結果 (加速度時刻歴およびフーリエスペクトル) を図 5.2-71～図 5.2-72 に示す。

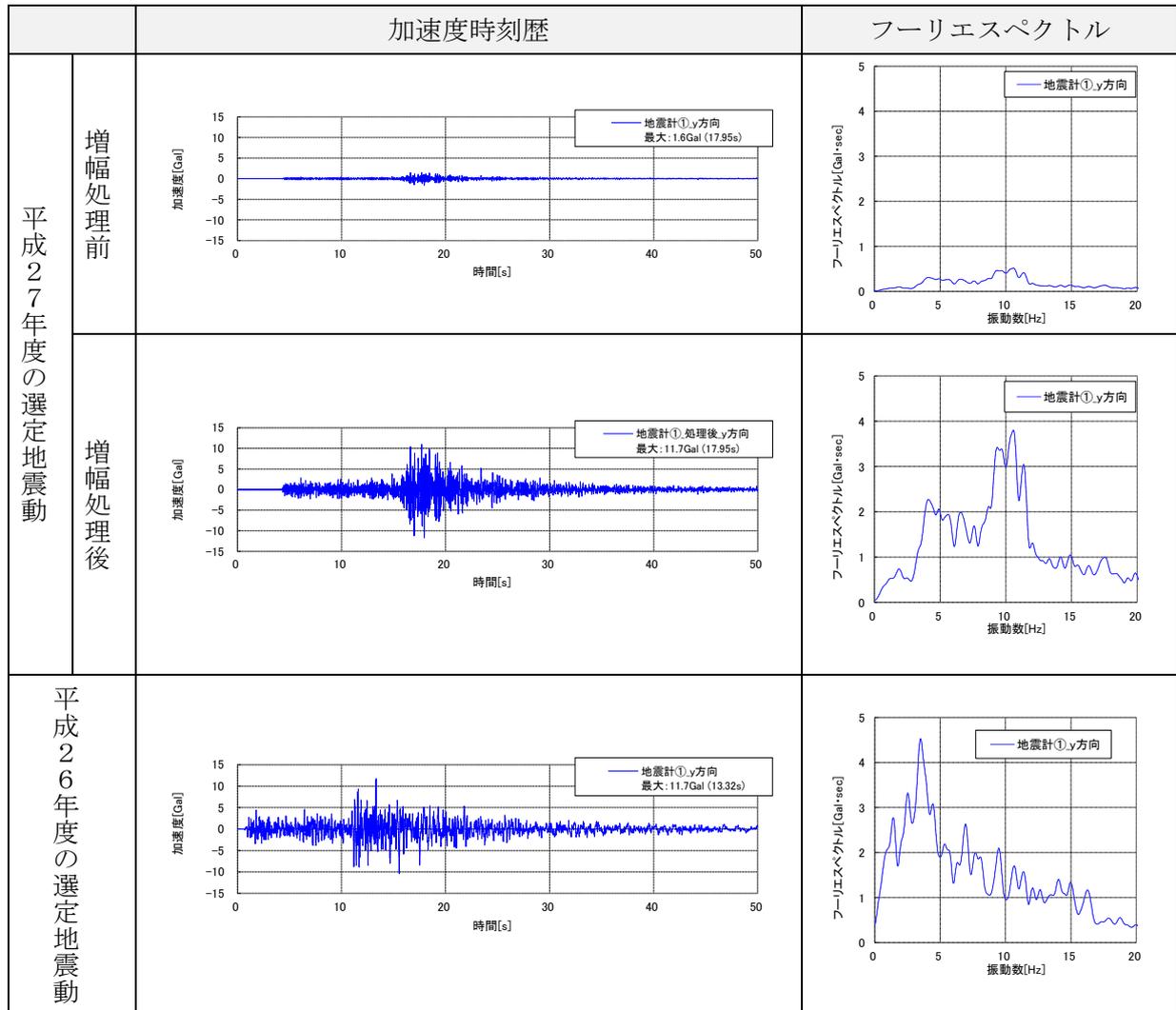
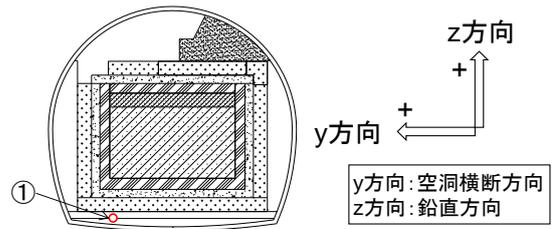


図 5.2-72 今年度選定した地震動の加速度の増幅処理 (地震計①、y 方向)

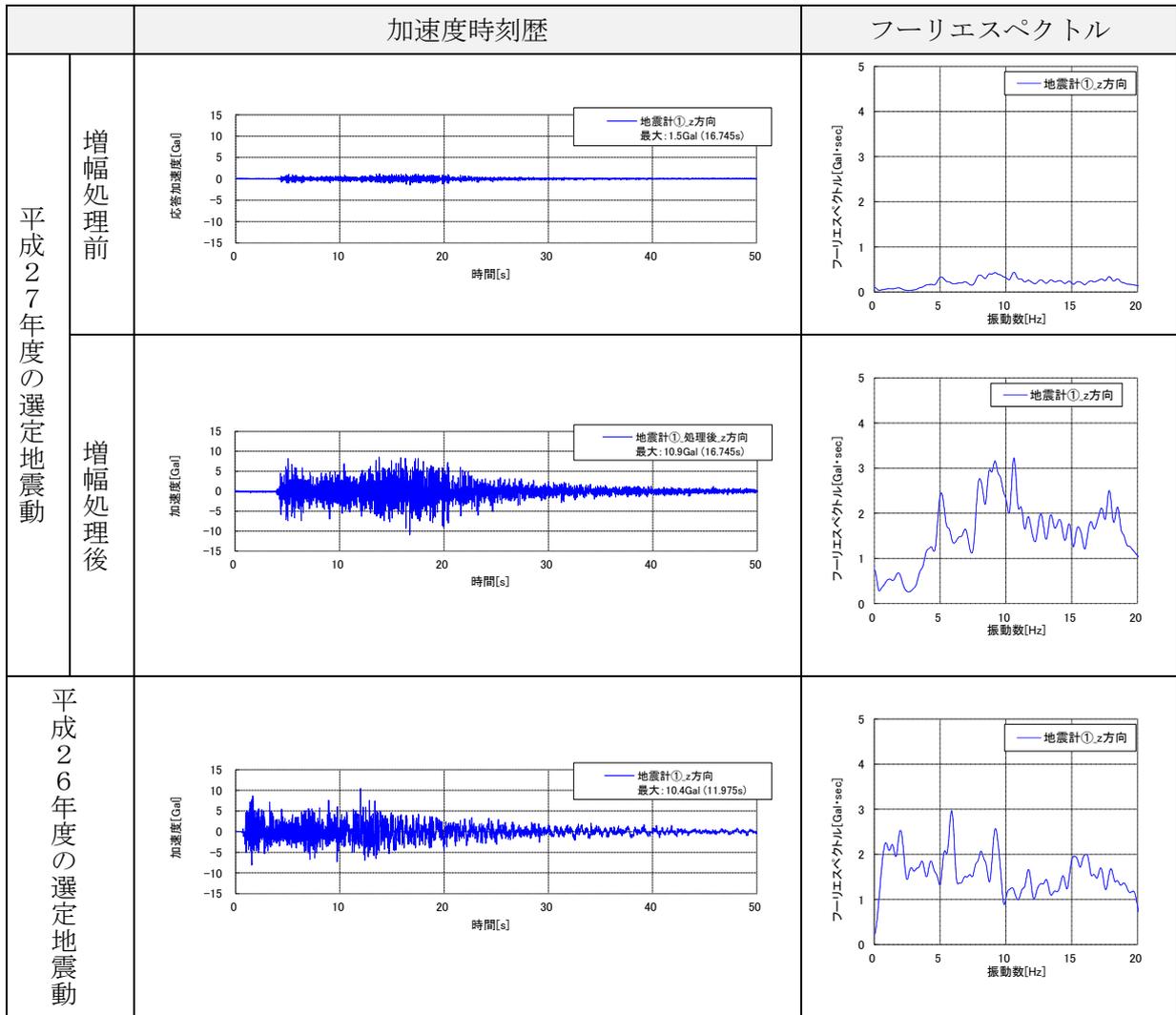
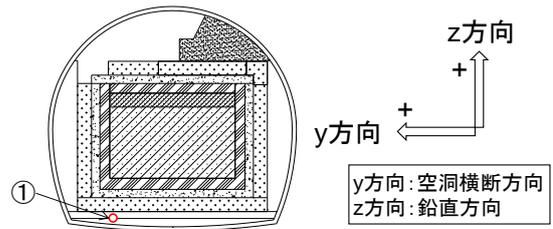


図 5.2-73 今年度選定した地震動の加速度の増幅処理（地震計①、z方向）

3) 解析モデルの作成

本検討では、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を比較するため、検討断面は、図 5.2-73 に示すように平成 26 年度の検討断面と同様とした。解析モデルは、平面ひずみ問題として周辺地盤を含めて有限要素法を用いてモデル化（ソリッド要素）した。地震応答解析に用いた部材ごとの材料モデルを表 5.2-12 に示す。なお、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充填材は、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充填材で代表させることとした。なお、本解析で用いる観測地震動の最大加速度は 11.7Gal（空洞横断面水平方向）と小さく、解析での地震時応答も小さいと考えられるため、緩衝材と他の周辺部材との界面での剥離と滑りは考慮せず、また緩衝材の弾塑性挙動を考慮しない非線形弾性体（修正 R-O モデル）とした。

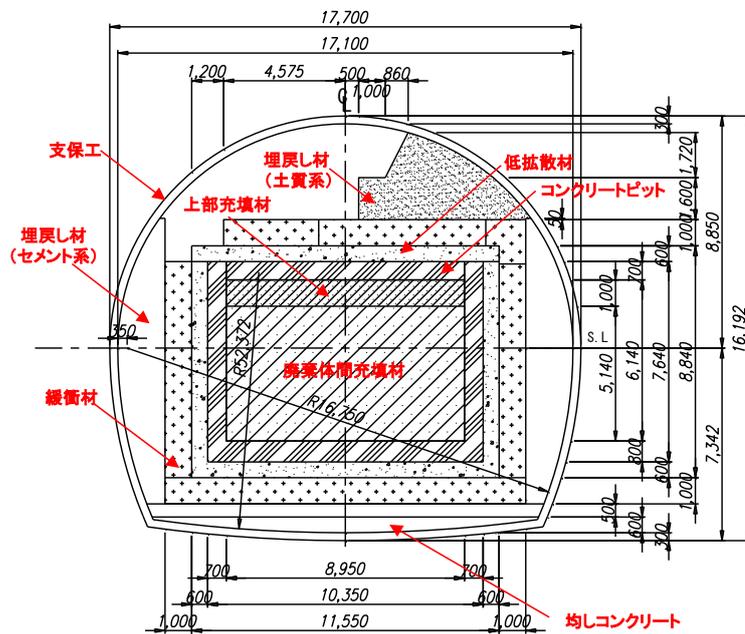


図 5.2-74 試験空洞および人工バリアの断面図

表 5.2-12 部材ごとの材料モデル

部材	材料モデル
	地震応答解析
地盤	修正 R-0 モデル
支保工	弾性モデル
埋戻し材(セメント系)	
埋戻し材(土質系)	修正 R-0 モデル
緩衝材	
低透水層	弾性モデル
コンクリートピット	
廃棄体間充填材	
上部充填材	
均しコンクリート	

地震応答解析モデルを図 5.2-74 および図 5.2-75 に示す。周辺地盤の地層構成については、図 5.2-76 に示す試験空洞縦断面が示されている参考文献[12]を参考に設定した。

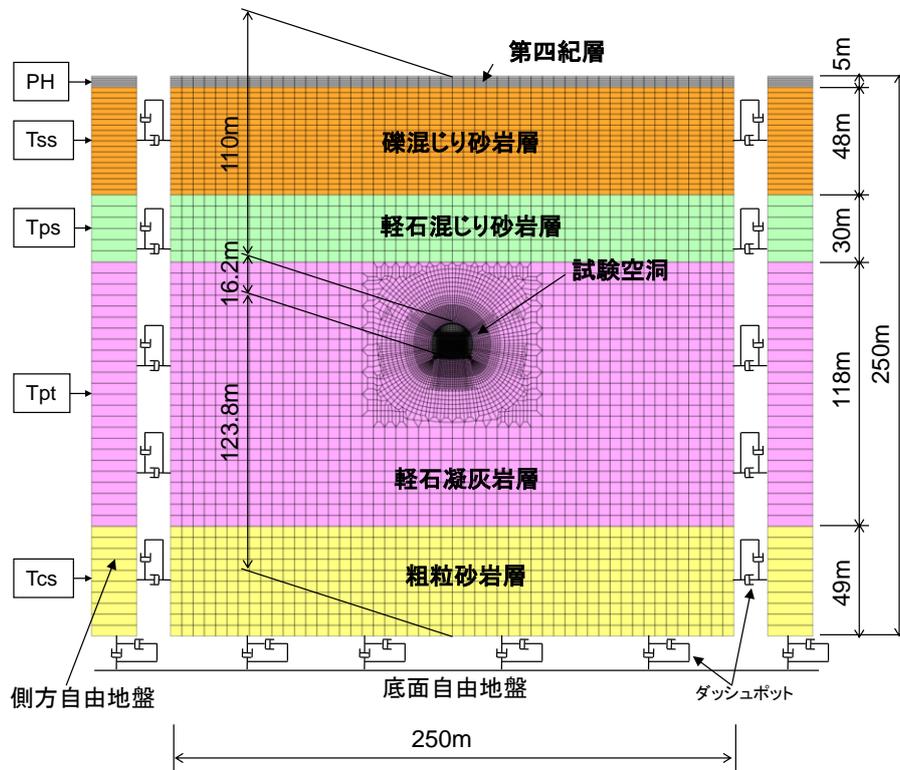


図 5.2-75 地震応答解析モデル (全体)

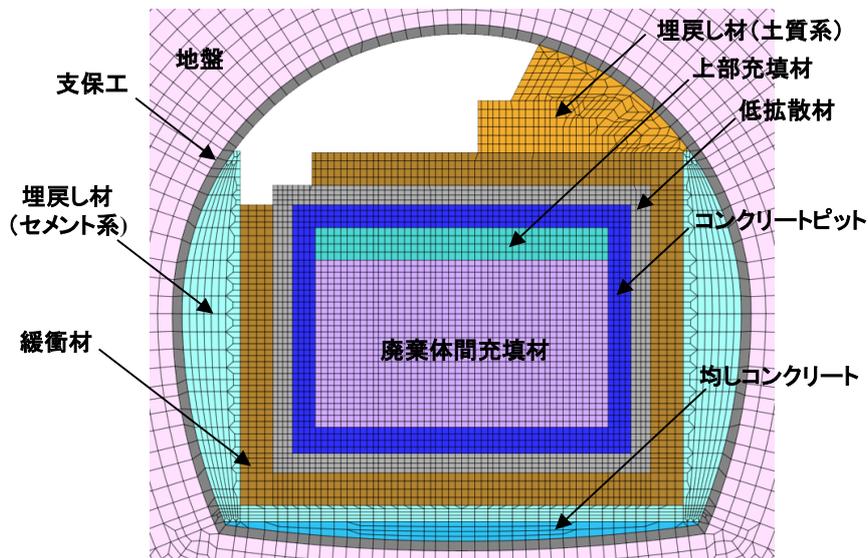


図 5.2-76 地震応答解析モデル (試験施設)

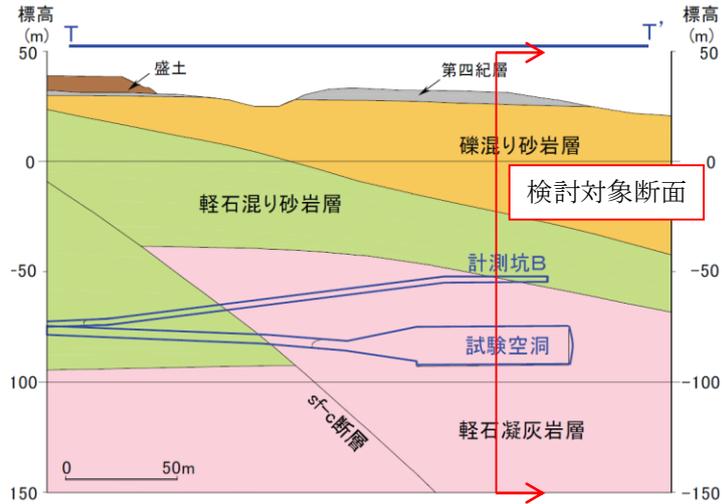


図 5.2-77 試験空洞近傍の地質構造（試験空洞縦断面）

4) 物性値の設定

解析に用いた物性値一覧を表 5.2-13 に示す。

本解析に用いた構造物の物性値は、地下空洞型処分施設性能確証試験および閉鎖技術確証試験報告書に係わる公開文献等より設定した。また、地盤物性値は、日本原燃再処理施設の物性値[7]を適用した。なお、前述のように、コンクリートピット内の模擬廃棄体と充填材は、両者が合成された均質な構造体として取り扱うこととし、その物性は充填材で代表させることとした。

表 5.2-13 解析物性値一覧

種類	区分	単位体積重量 v [kN/m ³]	ヤング率 E[MPa]	初期せん断剛性 G ₀ [MPa]	ポアソン比 ν	非線形パラメータ			
						正規化せん断弾性係数 G/G ₀ ~γ	減衰定数 h~γ	修正R-Oパラメータ	
								α	β
地盤	PH	19.0	409	139	0.47	$1/(1+8.73 \cdot \gamma^{0.690})$	$14.0 \cdot \gamma^{0.576} + 2.05$	1.804	1.851
	Tss①	17.8	1601	552	0.45	$1/(1+4.41 \cdot \gamma^{0.895})$	$14.7 \cdot \gamma^{0.381} - 1.34$	2.191	2.131
	Tss②	18.0	2108	737	0.43				
	Tps	16.8	2882	1,022	0.41	$1/(1+6.51 \cdot \gamma^{0.980})$	$10.3 \cdot \gamma^{0.564} + 1.63$	2.451	2.293
	Tpt①	15.2	2814	1,005	0.40	$1/(1+3.93 \cdot \gamma^{0.974})$	$11.5 \cdot \gamma^{0.513} + 0.733$	2.451	2.293
	Tpt②	15.2	3002	1,080	0.39				
	Tpt③	15.2	3191	1,156	0.38				
	Tpt④	15.2	3398	1,231	0.38				
Tcs	19.9	5562	2,030	0.37	$1/(1+3.37 \cdot \gamma^{0.663})$	$13.2 \cdot \gamma^{0.260} - 0.945$	1.727	1.788	
構造物	コンクリートピット	24.5	37,900	-	0.2	-	-	-	-
	低拡散材	23.0	29,300	-	0.2	-	-	-	-
	緩衝材	19.0	-	300	0.41	-	-	3.346	2.293
	充填材	23.0	33,100	-	0.2	-	-	-	-
	上部充填材	24.5	39,100	-	0.2	-	-	-	-
	支保工	24.5	27,900	-	0.2	-	-	-	-
	埋戻し材(セメント系)	24.5	38,900	-	0.2	-	-	-	-
	埋戻し材(土質系)	19.1	-	92.3	0.43	-	-	2.046	1.916
均しコンクリート	23.0	22,000	-	0.2	-	-	-	-	

a. 地盤

(a) 引戻し解析

地震応答解析を実施するにあたり、事前に解析に用いる入力地震動を得るために、解放基盤表面で規定した検討用地震動を、解析モデルの下端まで引戻す必要がある。この引戻し解析においては、地盤のせん断剛性と減衰特性のひずみ依存性を考慮することとし、その物性値は公開文献[7]を参考に表 5.2-14 に示すとおり設定した。

表 5.2-14 引戻し解析に用いる地盤物性値

地層	単位体積重量	初期せん断剛性 G_0	動ポアソン比 ν	剛性比 $G/G_0 \sim \gamma$	減衰定数 $h \sim \gamma$
	[g/cm ³]	[MPa]		[γ : %]	[h, γ : %]
PH	1.94	139	0.47	$1/(1+8.73 \cdot \gamma^{0.690})$	$14.0 \cdot \gamma^{0.576}+2.05$
Tss	$1.83-8.10 \times 10^{-4} \cdot z$	$660-7.72 \cdot z$	$0.44+5.51 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+4.41 \cdot \gamma^{0.895})$	$14.7 \cdot \gamma^{0.381}-1.34$
Tps	$1.65-1.86 \times 10^{-3} \cdot z$	$927-2.56 \cdot z$	$0.42+3.28 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+6.51 \cdot \gamma^{0.980})$	$10.3 \cdot \gamma^{0.564}+1.63$
Tpt	1.55	$834-2.56 \cdot z$	$0.41+2.15 \times 10^{-4} \cdot z$	$1/(1+3.93 \cdot \gamma^{0.974})$	$11.5 \cdot \gamma^{0.513}+0.733$
Tcs	2.03	2030	0.37	$1/(1+3.37 \cdot \gamma^{0.663})$	$13.2 \cdot \gamma^{0.260}-0.945$

※Z は標高 (m) を示す

(b) 地震応答解析

地震応答解析では、地盤のせん断剛性と減衰特性のひずみ依存性を考慮することとし、骨格曲線が次式で定義される修正 R-O モデル[12]を用いた。

$$\gamma = \frac{\tau}{G_0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{\tau}{\tau_f} \right)^{\beta-1} \right\}$$

ここに、 τ_f はせん断強度で、

$$\tau_f = G_0 \gamma_r$$

であり、 γ_r は $G/G_0 = 0.5$ となるときのせん断ひずみである。また、 α と β は定数で、次式で評価する。

$$\alpha = 2^{\beta-1}$$
$$\beta = \frac{2 + \pi h_{\max}}{2 - \pi h_{\max}}$$

ここに、 h_{\max} はせん断剛性 G がゼロとなるときの最大減衰定数である。

これらのパラメータは、 $G/G_0 \sim \gamma$ の関係が室内試験で得られた結果と対応するように設定した。表 5.2-14 に示した地盤物性値を用いて評価したパラメータを表 5.2-15 に示す。なお、単位体積重量、初期せん断剛性、動ポアソン比は公開文献[11]の値を用いるが、標高による設定が必要なため、地層が厚い Tss 層 (48m) および Tpt 層 (118m) は図 5.2-78 に示すように、それぞれ 2 分割、4 分割して物性値の設定を行った。採用した物性値を表 5.2-16 に示す。

表 5.2-15 地盤物性値 (修正 R-O モデルのパラメータ)

地層	γ_r	h_{\max}	α	β
	[%]	[%]	-	-
PH	4.327×10^{-2}	19	1.804	1.851
Tss	1.905×10^{-1}	23	2.191	2.131
Tps	1.478×10^{-1}	25	2.451	2.293
Tpt	2.453×10^{-1}	25	2.451	2.293
Tcs	1.600×10^{-1}	18	1.727	1.788

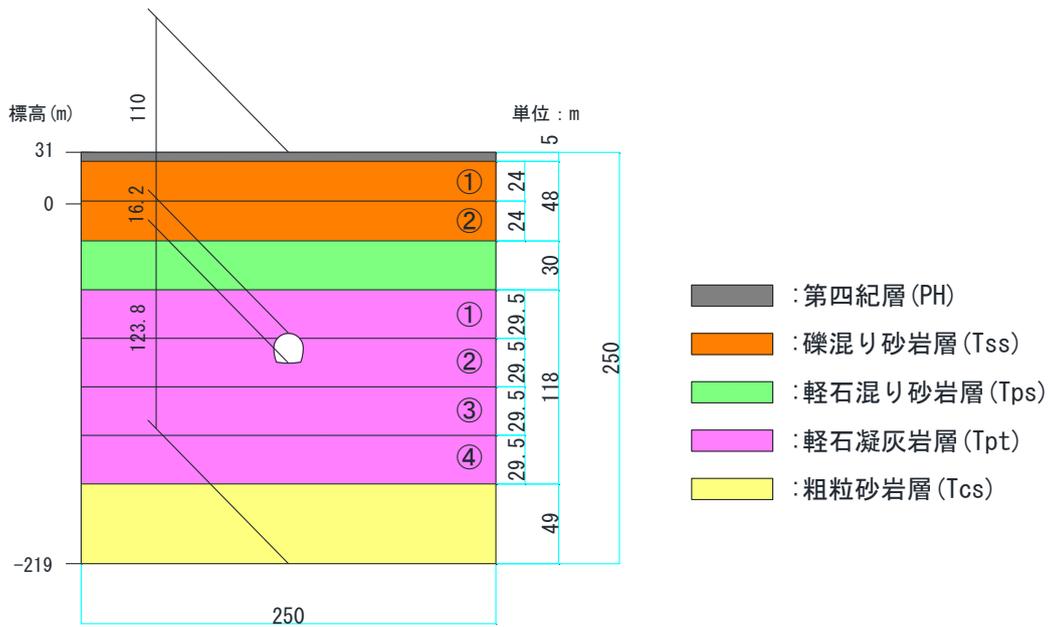


図 5.2-78 地層分割図

表 5.2-16 地震応答解析に用いる地盤物性値

地層	中心標高	単位体積重量	初期せん断剛性 G_0	動ポアソン比 ν
	[m]	[kN/m^3]	[MPa]	—
PH	29	19.0	139	0.47
Tss①	14	17.8	552	0.45
Tss②	-10	18.0	737	0.43
Tps	-37	16.8	1022	0.41
Tpt①	-67	15.2	1005	0.40
Tpt②	-96	15.2	1080	0.39
Tpt③	-126	15.2	1156	0.38
Tpt④	-155	15.2	1231	0.38
Tcs	-195	19.9	2030	0.37

b. 1次支保工

支保工は、吹付けコンクリートと鋼製支保工から構成される。それぞれの物性値と諸元を表 5.2-17 に示す。解析では、吹付けコンクリートと鋼製支保工を合わせて、ソリッド要素でモデル化した。その際の物性値は表 5.2-18 に示すように、それぞれの物性値を断面積比で重み付けして設定した。

表 5.2-17 支保工の諸元および物性値

解析条件項目		諸元および物性値	参考文献	
吹付け コンクリート	吹付け厚	T(cm)	30	
	設計基準強度	f'ck(MPa)	36	[12]
	単位体積重量	γ_c (kN/m ³)	23	[12]
	弾性係数	硬化後(MPa)	24,200	[13]
	断面積	Ac(m ²)	0.2936	
鋼製 支保工	使用鋼材	—	H-250	[13]
	規格	—	SS540	[12]
	降伏点	Fyk(MPa)	400	[12]
	建込間隔	@(m)	1.0	[13]
	単位体積重量	γ_s (kN/m ³)	77	
	等価断面積	As(m ²)	6.35×10^{-3}	
	弾性係数	Es(MPa)	200,000	[13]

表 5.2-18 解析に用いる支保工の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm ²	27.9	$E = \frac{E_c A_c + E_s A_s}{A}$ A _c : コンクリートの断面積 A _s : 鋼製支保工の断面積 A = A _c + A _s	
単位体積重量	γ	kN/m ³	24.5		[14]
ポアソン比	ν	—	0.2		[14]

c. 埋戻し材（セメント系）

埋戻し材（セメント系）の物性値を表 5.2-19 に示す。弾性係数は、図 5.2-78 に示す地下空洞型処分施設性能確認試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。

表 5.2-19 埋戻し材（セメント系）の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	38.9	91 日	[18]
単位体積重量	γ	kN/m^3	24.5		[14]
ポアソン比	ν	—	0.2		[14]

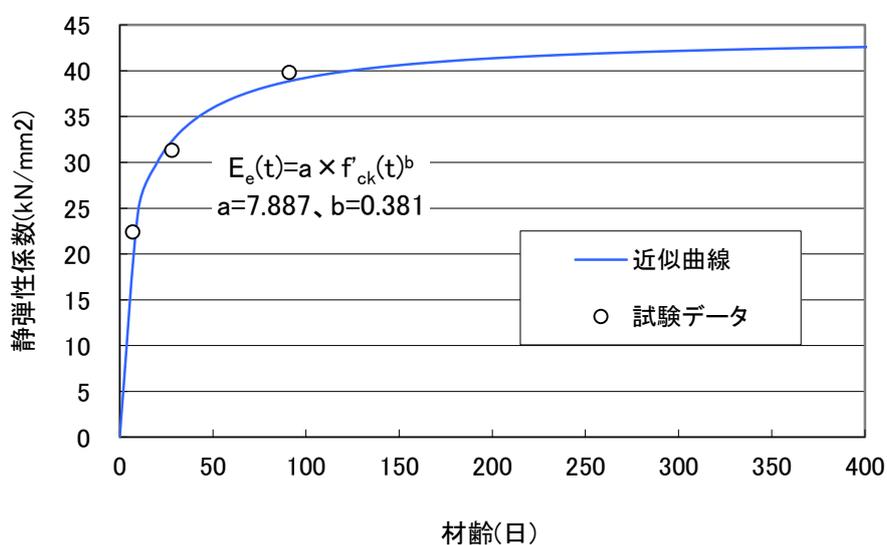


図 5.2-79 埋戻し材（セメント系）の静弾性係数と材齢の関係

d. 埋戻し材（土質系）

埋戻し材（土質系）の物性値を表 5.2-20 に示す。初期せん断剛性 G_0 は、弾性波速度試験のせん断波速度 V_s より設定している。埋戻し材（土質系）はせん断ひずみに依存してせん断剛性が低下する非線形特性を考慮するものとし、地盤と同様に修正 R-O モデルを用いた。設定した $G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ 関係を、図 5.2-79 に示す。

表 5.2-20 埋戻し材（土質系）の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
初期せん断剛性	G_0	kN/mm ²	0.0923		[19]
単位体積重量	γ	kN/m ³	19.1		[19]
ポアソン比			0.427		[19]
修正 R-O モデル パラメータ	τ_f	MPa	0.086	$0.066 \times (92.3/71.178)$	[19]
	γ_r	%	9.273×10^{-4}	$0.086 / 92.3 \times 100$	
	h_{\max}	%	20		[19]
	α	—	2.046		[19]
	β	—	1.916		[19]

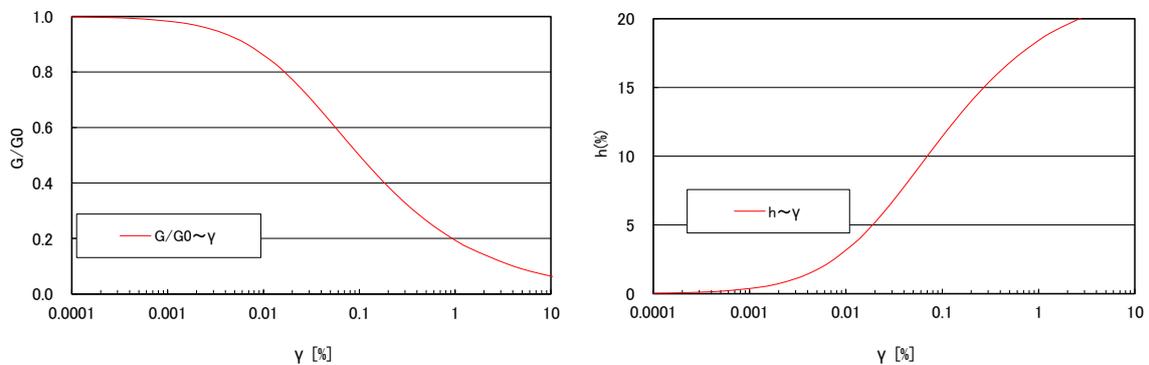


図 5.2-80 $G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係（埋戻し材（土質系））

e. 緩衝材

緩衝材の物性値を表 5.2-21 に示す。初期せん断剛性 G_0 は、弾性波速度試験のせん断波速度 V_s より設定している。地震応答解析では、緩衝材はせん断ひずみに依存してせん断剛性が低下する非線形特性を考慮するものとし、地盤と同様に修正 R-O モデルを用いた。設定した $G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ 関係を、図 5.2-81 に示す。

表 5.2-21 緩衝材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
初期せん断剛性	G_0	kN/mm ²	0.3		[20]
単位体積重量	γ	kN/m ³	19.0		[20]
ポアソン比			0.41		[20]
修正 R-O モデル パラメータ	τ_f	MPa	1.114	$0.296 \times (300/79.68)$	[20]
	γ_r	%	3.715×10^{-1}	$1.114 / 300 \times 100$	
	h_{max}	%	25		[20]
	α	—	3.346		[20]
	β	—	2.293		[20]

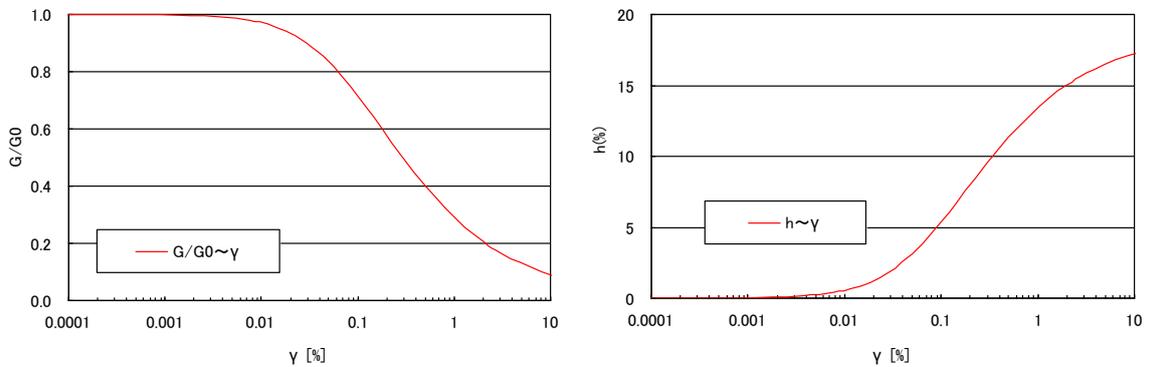


図 5.2-81 $G/G_0 \sim \gamma$ と $h \sim \gamma$ の関係 (緩衝材)

f. 低透水層

低透水層の物性値を表 5.2-22 低透水層の物性値に示す。弾性係数は、図 5.2-81 に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。

表 5.2-22 低透水層の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	29.3	91 日	[18]
単位体積重量	γ	kN/m^3	23.0		[18]
ポアソン比	ν	—	0.2		[18]

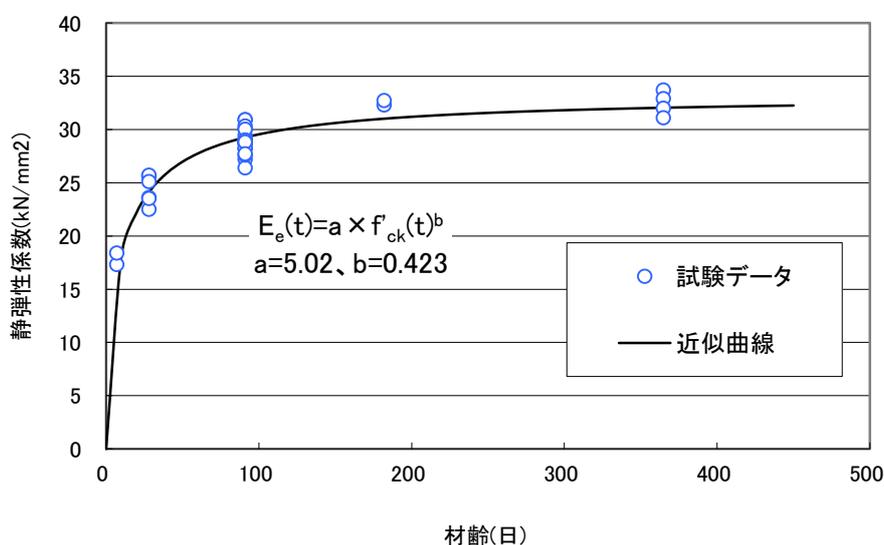


図 5.2-82 低透水層の静弾性係数と材齢の関係

g. コンクリートピット

コンクリートピットの物性値を表 5.2-23 に示す。弾性係数は、図 5.2-83 に示す地下空洞型処分施設性能確認試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。

表 5.2-23 コンクリートピットの物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm^2	37.9	91 日	[18]
単位体積重量	γ	kN/m^3	24.5		[18]
ポアソン比	ν	—	0.2		[18]

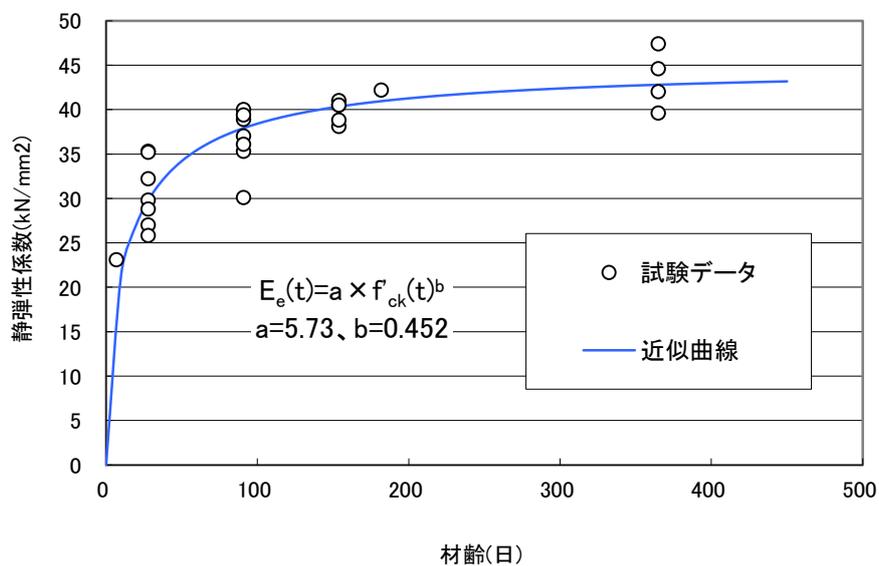


図 5.2-83 コンクリートピットの静弾性係数と材齢の関係

h. 充填材

充填材の物性値を表 5.2-24 に示す。弾性係数は、図 5.2-84 に示す地下空洞型処分施設性能確認試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91 日の値とした。ここで、地下空洞型処分施設性能確認試験における室内試験では、充填材の養生温度を廃棄体の熱を想定して 3 ケース (20℃、60℃、105℃) 実施しているが、60℃と 105℃はバラツキが大きいことおよびサンプル数が少ないことより、本検討では 20℃の値を採用した。

表 5.2-24 充填材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm ²	33.1	室内試験(20℃)および実機の 91 日	[13]
単位体積重量	γ	kN/m ³	23.0		[13]
ポアソン比	ν	—	0.2		[13]

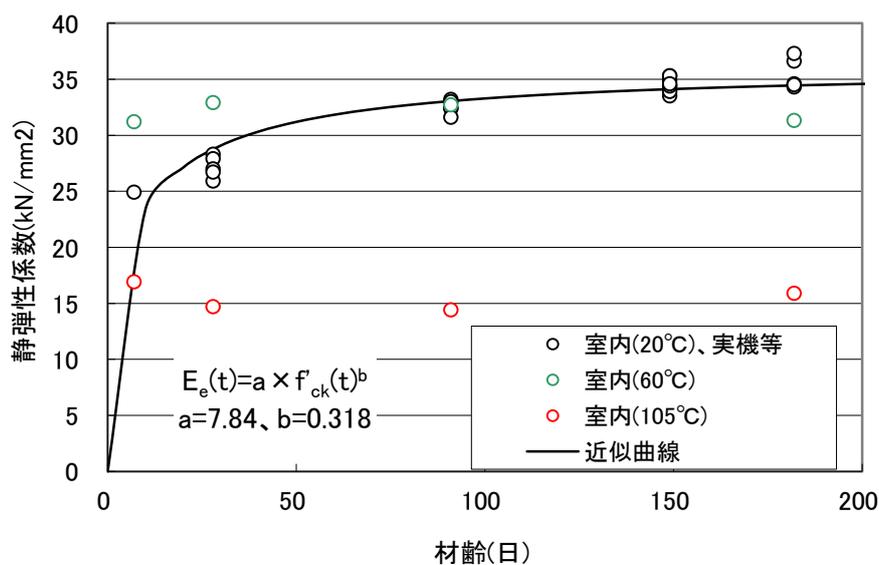


図 5.2-84 充填材の静弾性係数と材齢の関係

i. 上部充填材

上部充填材の物性値を表 5.2-25 に示す。弾性係数は、図 5.2-85 上部充填材の静弾性係数と材齢の関係に示す地下空洞型処分施設性能確証試験結果より求めた静弾性係数と材齢の関係より、91日の値とした。ここで、地下空洞型処分施設性能確証試験における室内試験では、上部充填材の養生温度を廃棄体の熱を想定して3ケース(20℃、60℃、105℃)実施しているが、60℃と105℃はバラツキが大きいことおよびサンプル数が少ないことより本検討では除外した。

表 5.2-25 上部充填材の物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm ²	39.1	室内試験(20℃)および実機の91日	[18]
単位体積重量	γ	kN/m ³	24.5		[18]
ポアソン比	ν	—	0.2		[18]

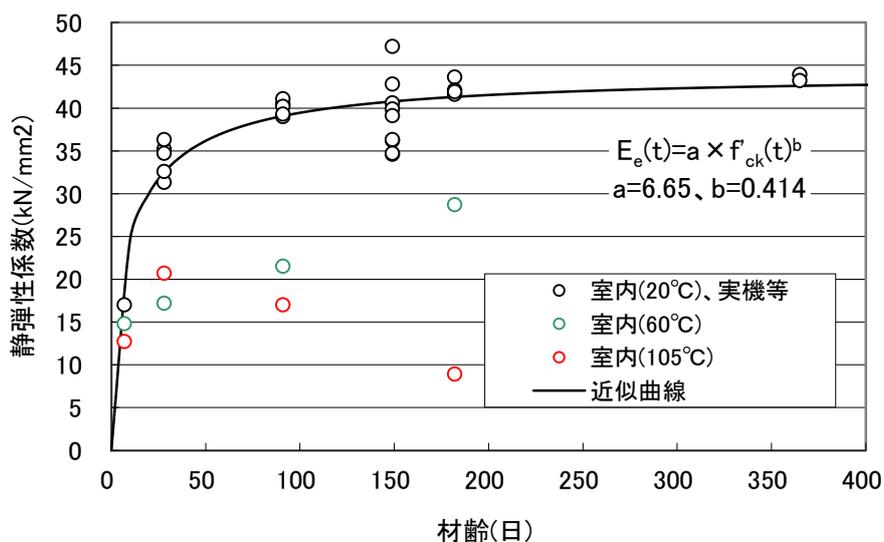


図 5.2-85 上部充填材の静弾性係数と材齢の関係

j. 均しコンクリート

均しコンクリートの物性値を表 5.2-26 に示す。

表 5.2-26 均しコンクリートの物性値

項目	記号	単位	物性値	備考	参考文献
弾性係数	E	kN/mm ²	22.0		[18]
単位体積重量	γ	kN/m ³	23.0		[18]
ポアソン比	ν	—	0.2		[18]

5) 入力地震動

本検討では、図 5.2-71～図 5.2-72 で作成した地震計①のデータを用いて地震応答解析の入力地震動を作成する。一次元重複反射理論に基づく解析 (SHAKE) を用いて、地震計①の設置位置から解析モデルの下端(深度 250m)まで地震動を引戻した。

a. 解析モデル

引戻し解析では、図 5.2-86 に示すように、地震計①が空洞の解放面に設置されていることから、地震計①の観測データは地盤中の下降波 (F 波) は含まない 2E 波と仮定し、地震計①が設置されている空洞底盤位置より下部のみをモデル化 (124.7m) した。

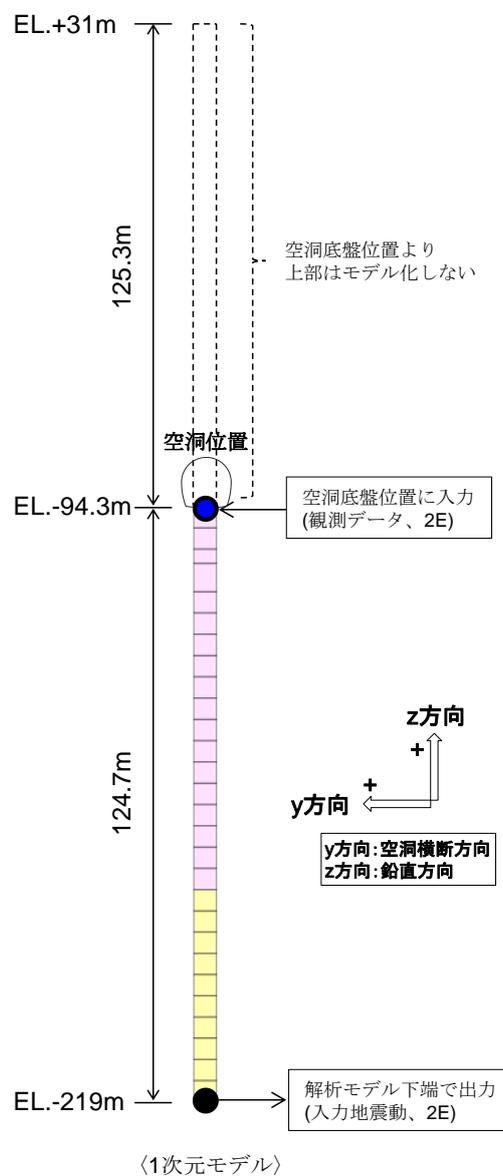


図 5.2-86 引戻し解析モデル

b. 観測地震動のフィルタ処理

高振動数成分を含む地震動を引戻した場合、高振動数成分が卓越した非現実的な加速度波形になる可能性がある。そのため地震計①のデータに対して 20Hz 以上の高振動成分のフィルタ処理を行い、引戻し解析を実施した（20～20.1Hz の間でフーリエスペクトルがゼロになるようにフィルタ処理した）。平成 27 年度および平成 26 年度の選定地震動のフィルタ処理前とフィルタ処理後の加速度時刻歴およびフーリエスペクトルを図 5.2-87～図 5.2-88 に示す。

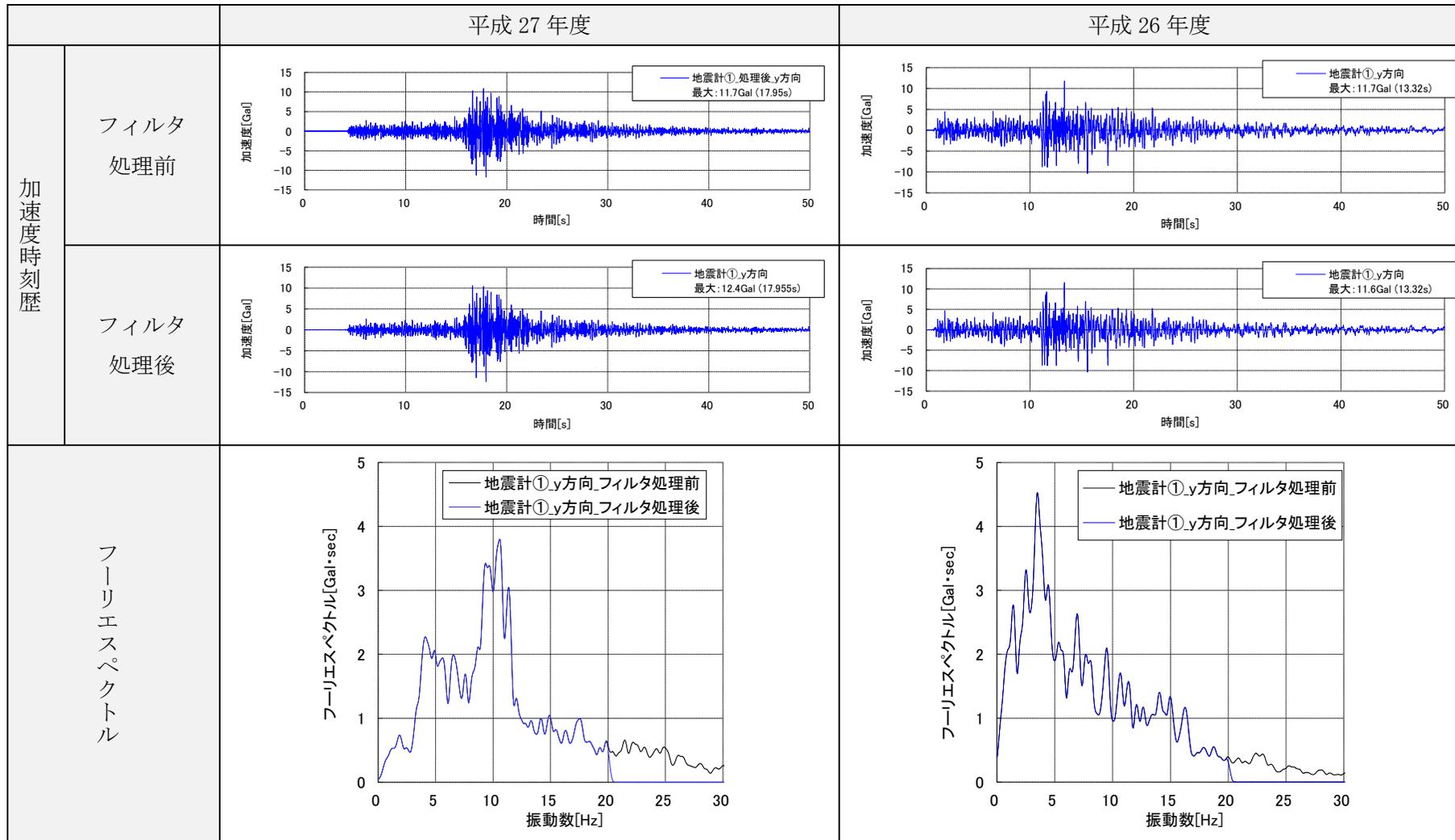


図 5.2-87 フィルタ処理 (水平方向)

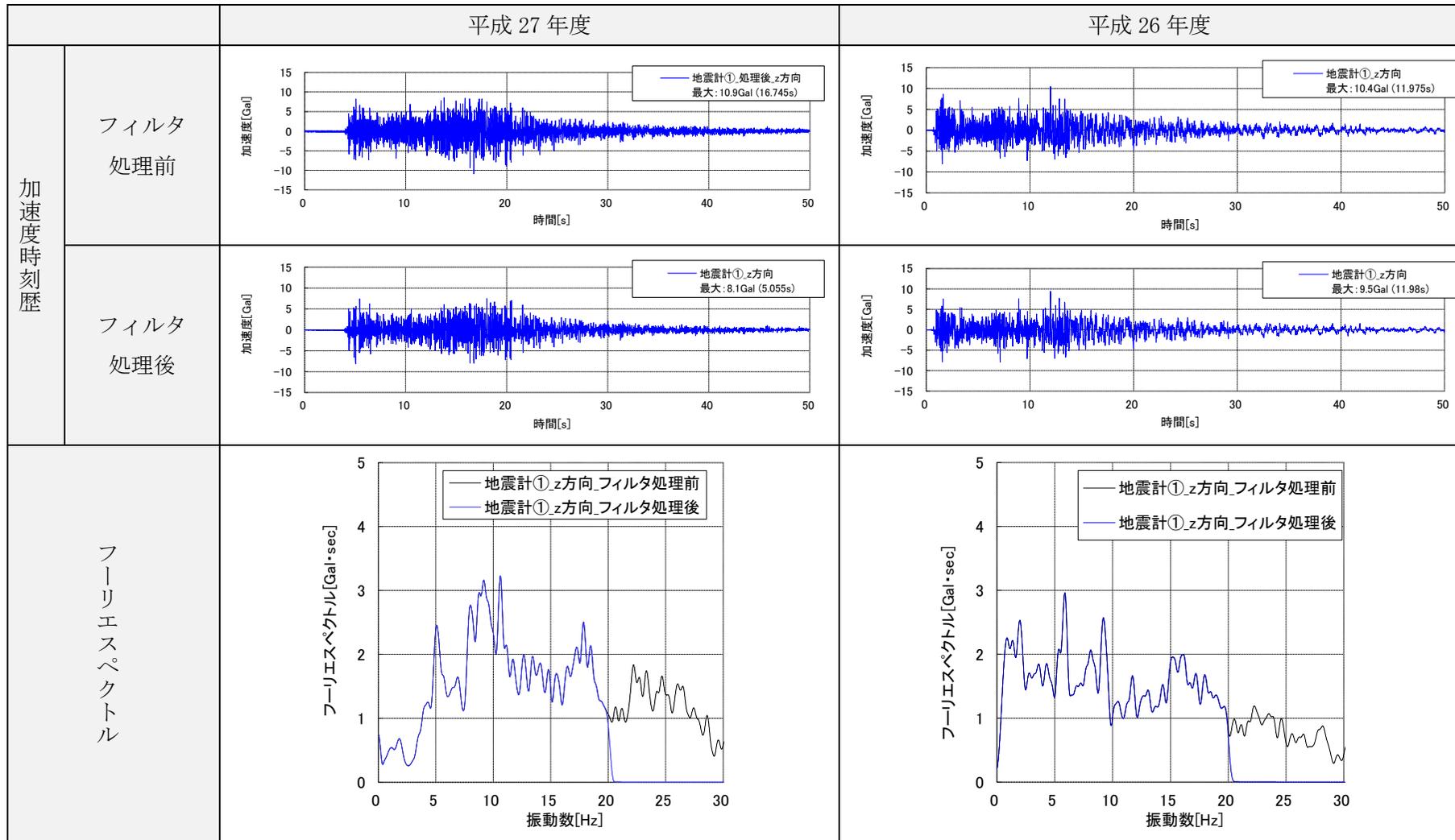


図 5.2-88 フィルタ処理 (鉛直方向)

c. 解析結果

平成 27 年度および平成 26 年度の選定地震動の引戻し解析結果（加速度時刻歴およびフーリエスペクトル）を、図 5.2-89～図 5.2-90 に示す。

平成 27 年度の引戻し解析では、図 5.2-89 に示すように y、z 方向ともに、入力地震動と観測地震動の加速度時刻歴およびフーリエスペクトルに大きな違いは見られない。y 方向の入力地震動の最大加速度は 10.7Gal であり、観測地震動（同 12.4Gal）から 1.7Gal 小さくなった。フーリエスペクトルの比較からも、ほぼ全振動数帯において入力地震動が観測地震動より小さくなる傾向が見られる。また、z 方向でも y 方向と同様の傾向が見られ、入力地震動の最大加速度は 7.2Gal であり、観測地震動（同 8.1Gal）から 0.9Gal 小さくなった。フーリエスペクトルの比較からも、ほぼ全振動数帯において入力地震動が観測地震動より小さくなる傾向が見られる。これらの傾向は、図 5.2-90 に示す平成 26 年度の引戻し解析結果と同様である。

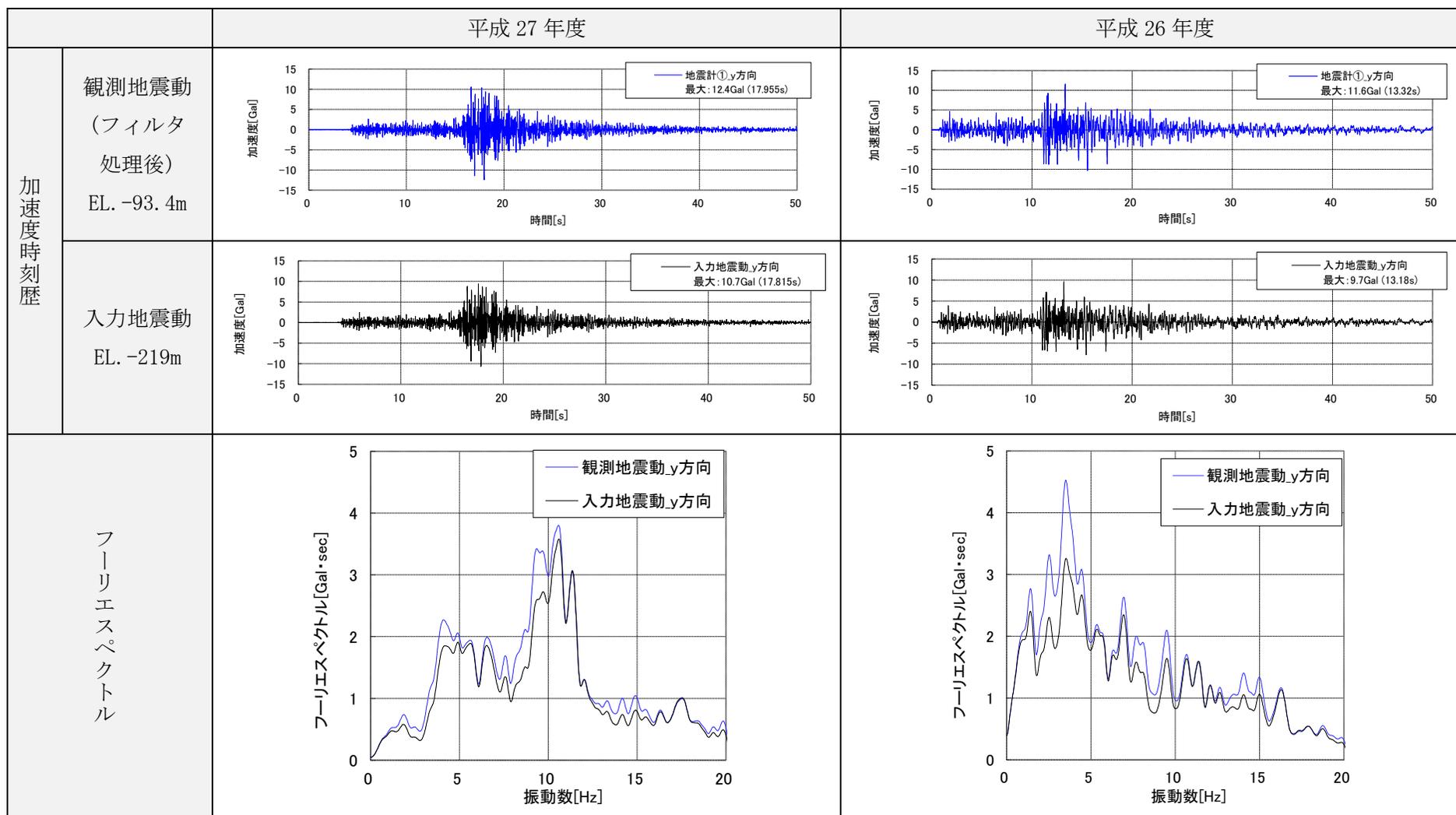


図 5.2-89 引戻し解析結果 (水平方向)

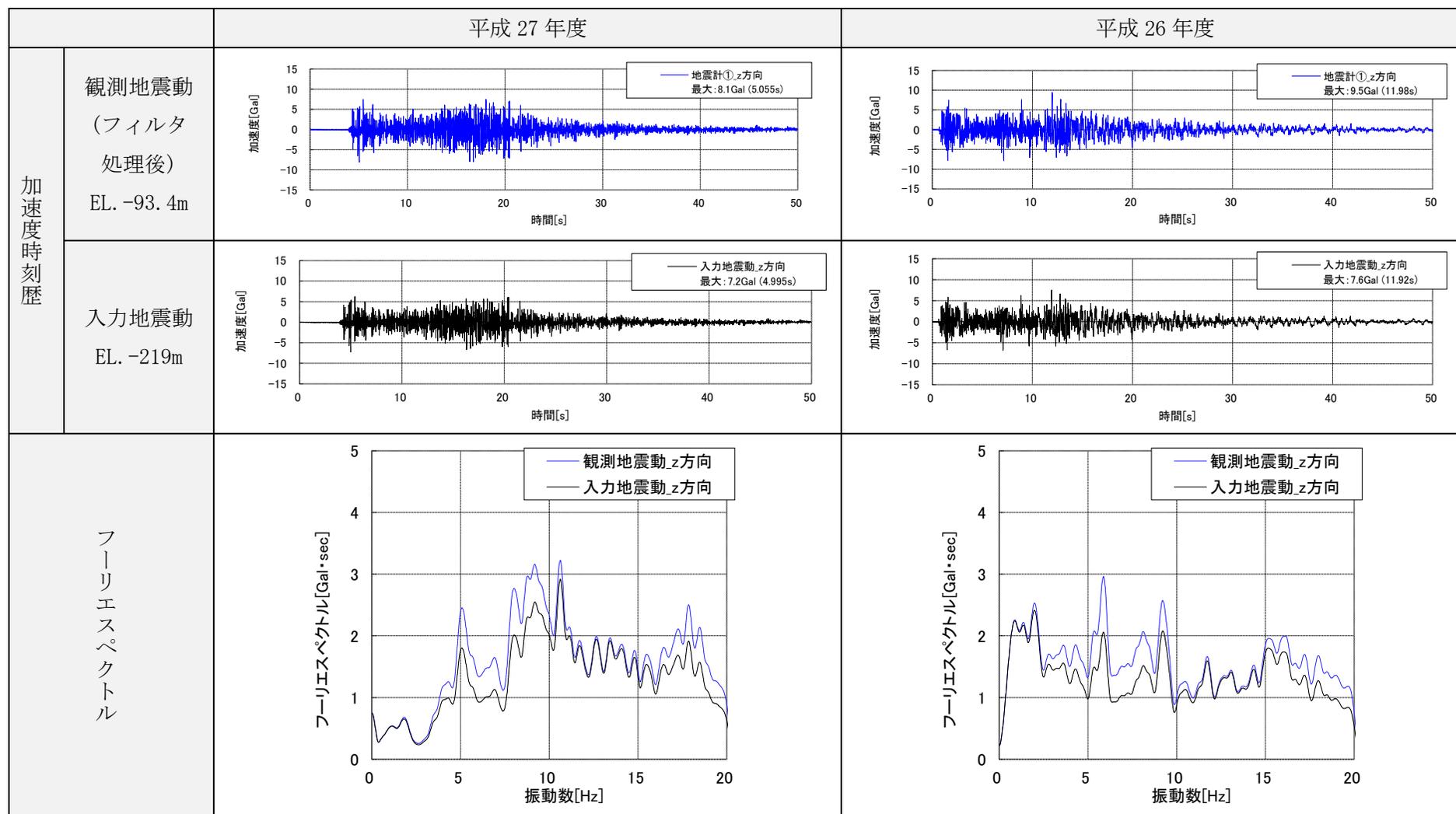


図 5.2-90 引戻し解析結果 (水平方向)

6) レーリー減衰の係数

本試験施設を対象として固有値解析を行い、地震応答解析で用いるレーリー減衰の係数設定を実施した。レーリー減衰の減衰マトリクスは下式のとおり、質量マトリクスと剛性マトリクスの線形結合で構成される。

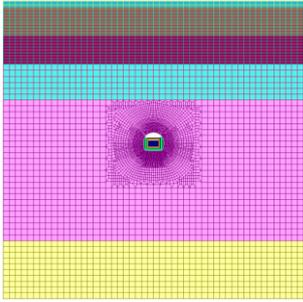
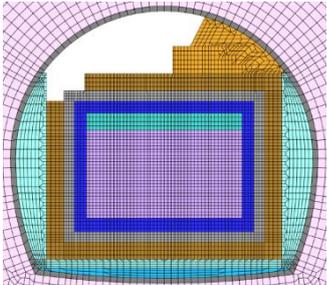
$$C = \alpha M + \beta K$$

係数 α と β は、2組の振動数と減衰率を設定して算出する。

a. 解析条件

H26年度上部緩衝材施工後を解析対象時期とする。この施設形状においては、地震時に試験施設と周辺地盤が一体となって挙動すると考えられるため、固有値解析モデルは、表 5.2-27 に示すように試験施設と周辺地盤を解析対象とした。

表 5.2-27 固有値解析モデル

対象時期	解析モデル		境界条件
H26年度 上部緩衝材 施工後	 地盤全体	 試験施設	底面：固定 側面：水平ローラー

b. 解析結果

固有値解析結果を表 5.2-28 に示す。

表 5.2-28 固有値解析結果

次数	振動数	周期	有効質量比	
	Hz	s	Y	Z
1	0.880	1.137	0.732	0.000
2	1.888	0.530	0.000	0.487
3	2.504	0.399	0.115	0.000
4	2.553	0.392	0.000	0.003
5	2.836	0.353	0.000	0.000
6	3.919	0.255	0.000	0.018

c. レーリー減衰の係数の設定に用いる振動数

固有値解析結果より、着目固有振動数を設定する。本固有値解析では、地盤を含めてモデル化しているため、表 5.2-29 に示すように 1～6 次の固有振動数は 0.880～3.919Hz であり、これらはほぼ地盤の固有振動数と考えられる（H25 年度の検討より、試験施設の固有値は 15Hz 以上の高振動数帯と考えられる）。0.880～3.919Hz の範囲の振動数でレーリー減衰の係数を設定すると、高振動数帯での減衰を過大に評価することが別途動的解析結果より確認できたため、本検討では 1 次（0.880Hz）と 50Hz を着目固有振動数とした。

d. レーリー減衰の係数

着目固有振動数に対して、地盤および緩衝材については 2%、その他構造物については 5%の減衰率となるように、質量比例項の係数 α と剛性比例項の係数 β を設定した。本検討で設定した係数 α と β を表 5.2-29 に、減衰定数と振動数の関係を図 5.2-91 に示す。

表 5.2-29 質量比例係数 α と剛性比例係数 β

	減衰率	α	β
地盤および 緩衝材	2%	2.173×10^{-1}	1.251×10^{-4}
上記以外	5%	5.434×10^{-1}	3.128×10^{-4}

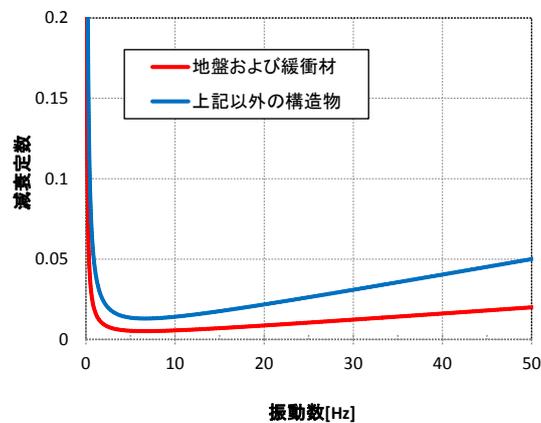


図 5.2-91 レーリー減衰の減衰定数と振動数の関係

(2) 解析結果

前項で設定した入力地震動 2 波（平成 27 年度、26 年度選定地震動）を用いて時刻歴非線形地震応答解析を実施し、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を比較分析した。

以下の位置および部材の挙動に着目して地震時影響評価を実施する。

- ・ 地震計設置位置
- ・ 空洞上下端位置
- ・ コンクリートピット（底部、側部、上部）
- ・ 低透水層（底部、側部、上部）
- ・ 緩衝材（底部、側部、上部）
- ・ 埋戻し材（上部）

図化項目一覧を表 5.2-30 に示す。

表 5.2-30 図化項目一覧

対 象	図化処理項目	図の仕様
・地震計設置位置	応答加速度	時刻歴
・空洞上下端位置	相対変位	時刻歴
・コンクリートピット	最大・最小応力のコンタ	時刻歴最大・最小値
・低拡散材	最大・最小ひずみのコンタ	時刻歴最大・最小値
・緩衝材 ・埋戻し材	最大・最小応力のコンタ	時刻歴最大・最小値
	最大・最小ひずみのコンタ	時刻歴最大・最小値
	最大せん断ひずみのコンタ	時刻歴最大値

※応力およびひずみは地震時増分値による図化とする。

解析結果一覧を表 5.2-31 に示す。なお、応力およびひずみは地震時増分値である。

表 5.2-31 解析結果一覧

対象	図化項目	図番号
地震計設置位置	応答加速度	図 5.2-92～図 5.2-93
空洞上下端位置	相対変位	図 5.2-94～図 5.2-95
コンクリートピット	直応力（水平方向）分布	図 5.2-96～図 5.2-97
	直応力（鉛直方向）分布	図 5.2-98～図 5.2-99
	せん断応力分布	図 5.2-100～図 5.2-101
	直ひずみ（水平方向）分布	図 5.2-102～図 5.2-103
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 5.2-104～図 5.2-105
	せん断ひずみ分布	図 5.2-106～図 5.2-107
低透水層	直応力（水平方向）分布	図 5.2-108～図 5.2-109
	直応力（鉛直方向）分布	図 5.2-110～図 5.2-111
	せん断応力分布	図 5.2-112～図 5.2-113
	直ひずみ（水平方向）分布	図 5.2-114～図 5.2-115
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 5.2-116～図 5.2-117
	せん断ひずみ分布	図 5.2-118～図 5.2-119
緩衝材	直応力（水平方向）分布	図 5.2-120～図 5.2-121
	直応力（鉛直方向）分布	図 5.2-122～図 5.2-123
	せん断応力分布	図 5.2-124～図 5.2-125
	直ひずみ（水平方向）分布	図 5.2-126～図 5.2-127
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 5.2-128～図 5.2-129
	せん断ひずみ分布 最大せん断ひずみの分布	図 5.2-130～図 5.2-131 図 5.2-132
埋戻し材	直応力（水平方向）分布	図 5.2-134～図 5.2-135
	直応力（鉛直方向）分布	図 5.2-136～図 5.2-137
	せん断応力分布	図 5.2-138～図 5.2-139
	直ひずみ（水平方向）分布	図 5.2-140～図 5.2-141
	直ひずみ（鉛直方向）分布	図 5.2-142～図 5.2-143
	せん断ひずみ分布 最大せん断ひずみの分布	図 5.2-144～図 5.2-145 図 5.2-146

7) 着目位置の応答加速度

地震計設置位置の応答加速度の時刻歴を図 5.2-92～図 5.2-93 に示す。

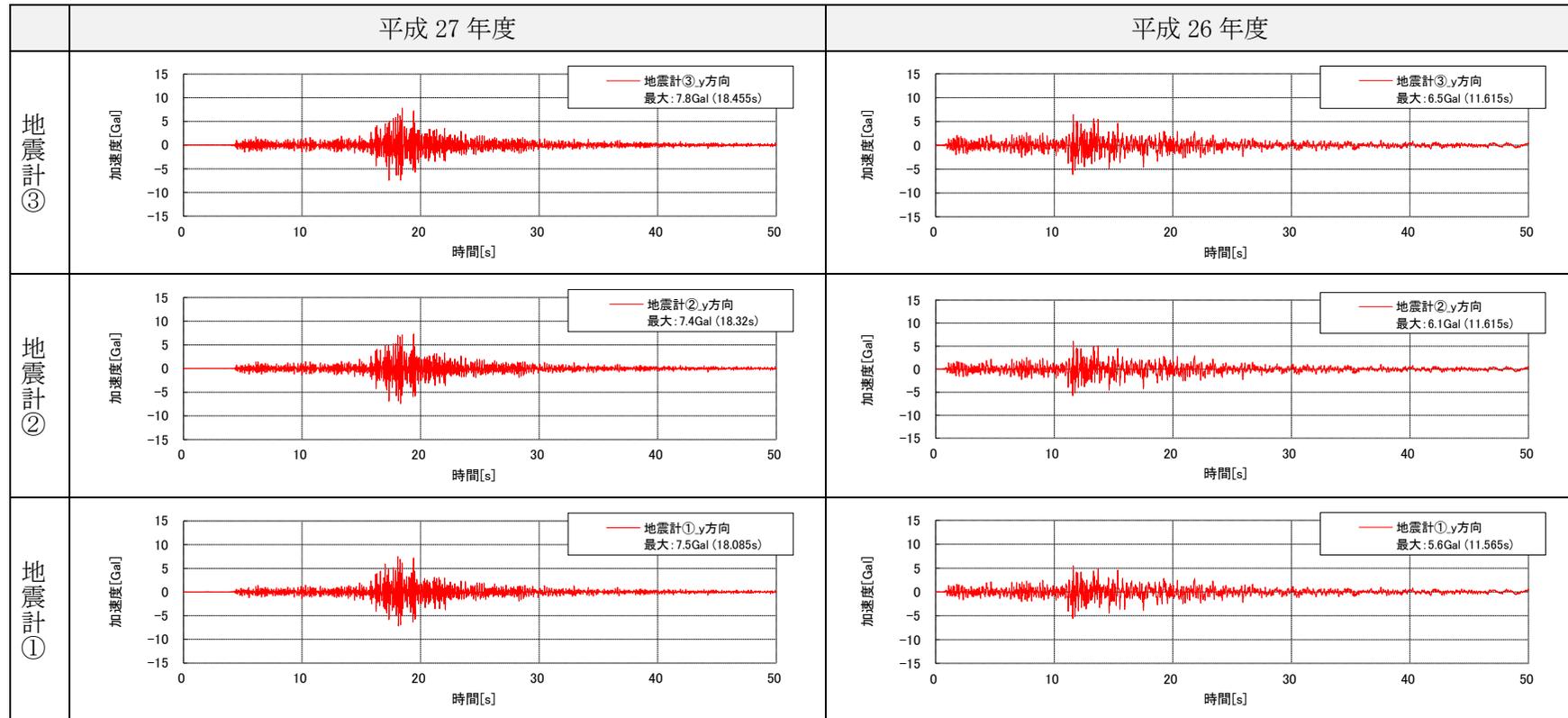
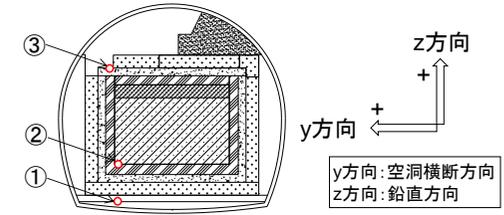


図 5.2-92 試験施設の応答加速度（水平方向）

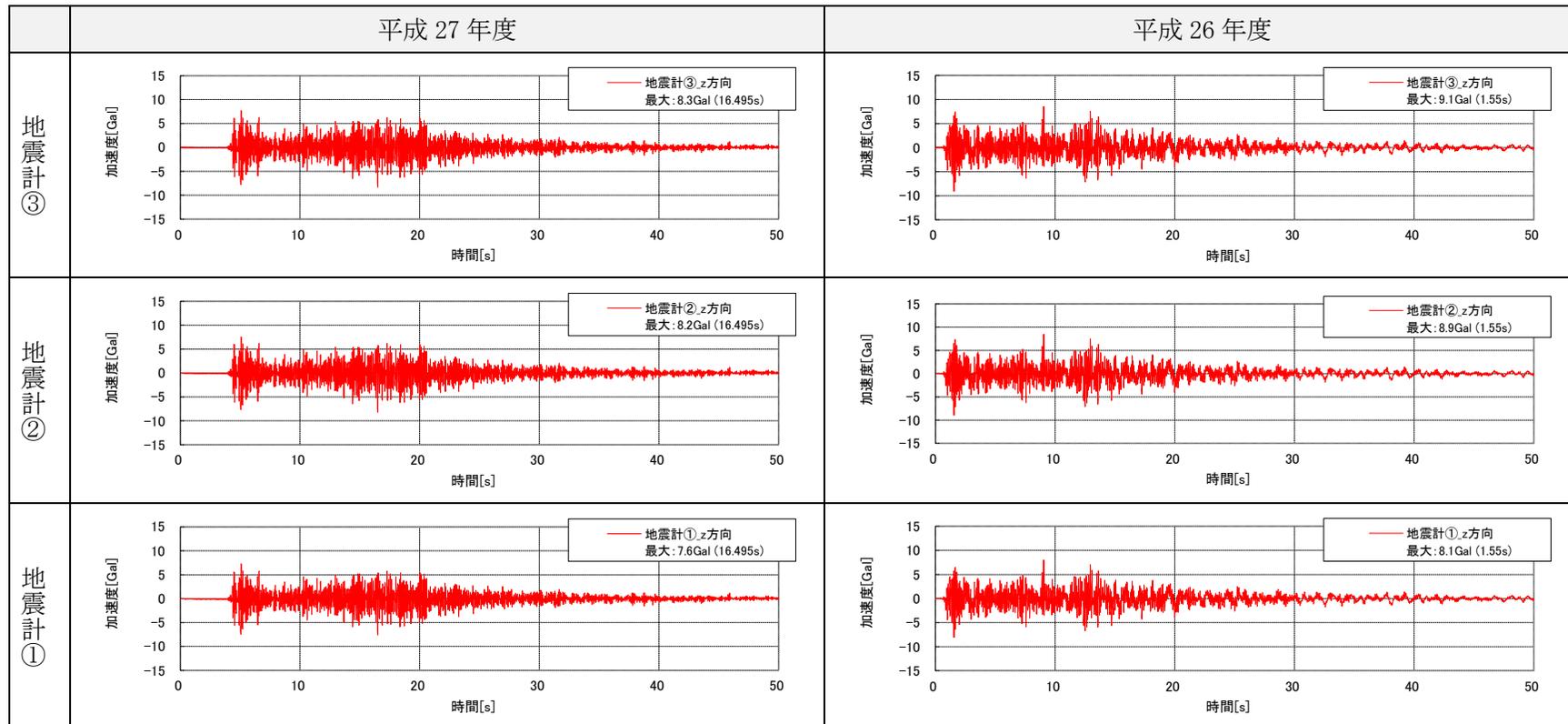
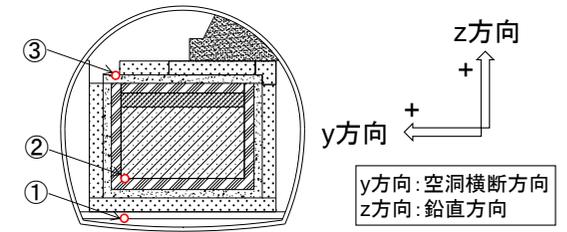


図 5.2-93 試験施設の応答加速度 (鉛直方向)

8) 着目位置の応答変位

試験空洞の上下端位置の相対変位の時刻歴を図 5.2-94～図 5.2-95 に示す。

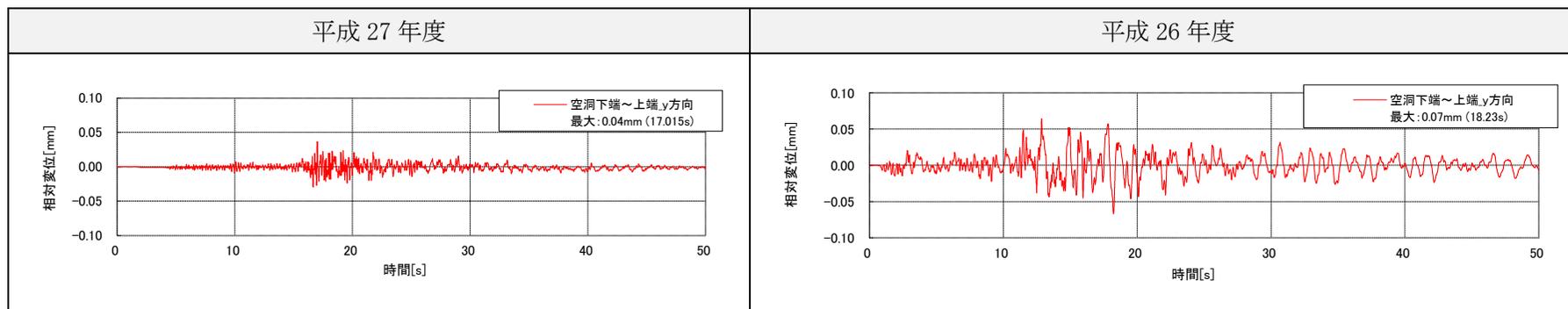
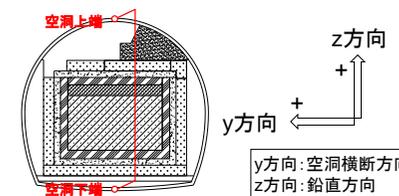


図 5.2-94 試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）

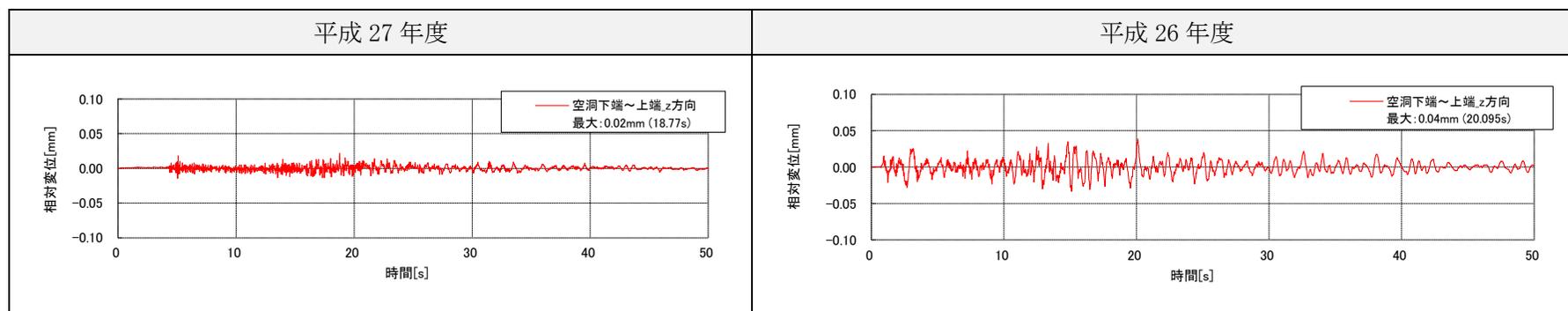


図 5.2-95 試験空洞の上下端位置の相対変位（鉛直方向）

9) コンクリートピット

コンクリートピットの直応力分布およびせん断応力分布を図 5.2-96～図 5.2-101、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を～図 5.2-107 に示す。

a. 直応力（水平方向）分布

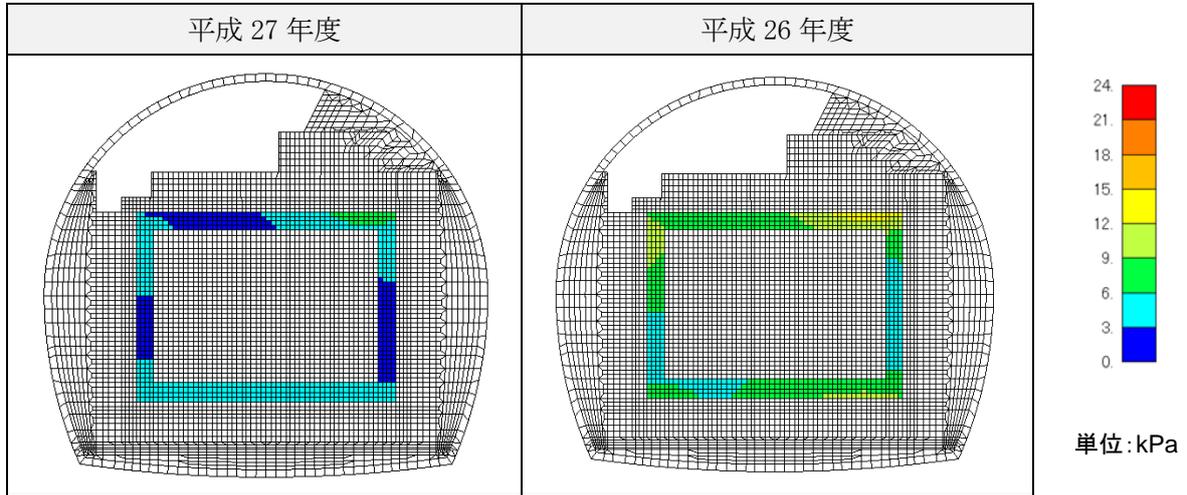


図 5.2-96 コンクリートピットの引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

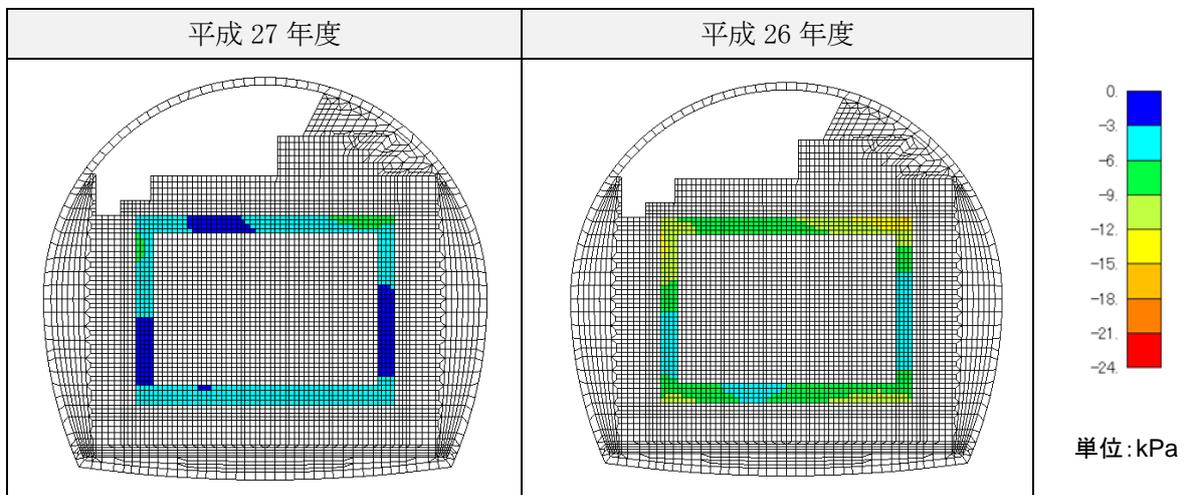


図 5.2-97 コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

b. 直応力（鉛直方向）分布

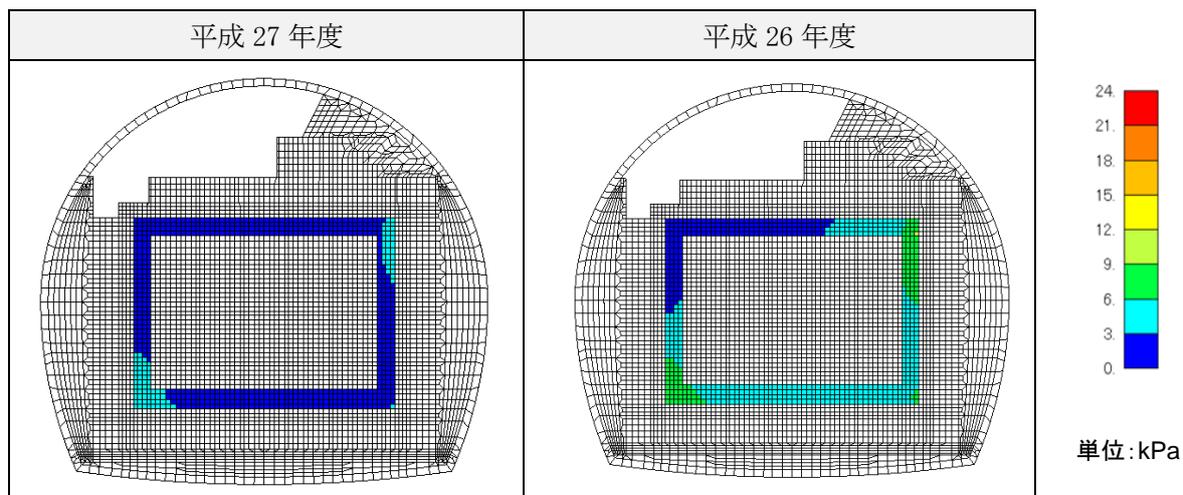


図 5.2-98 コンクリートピットの引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

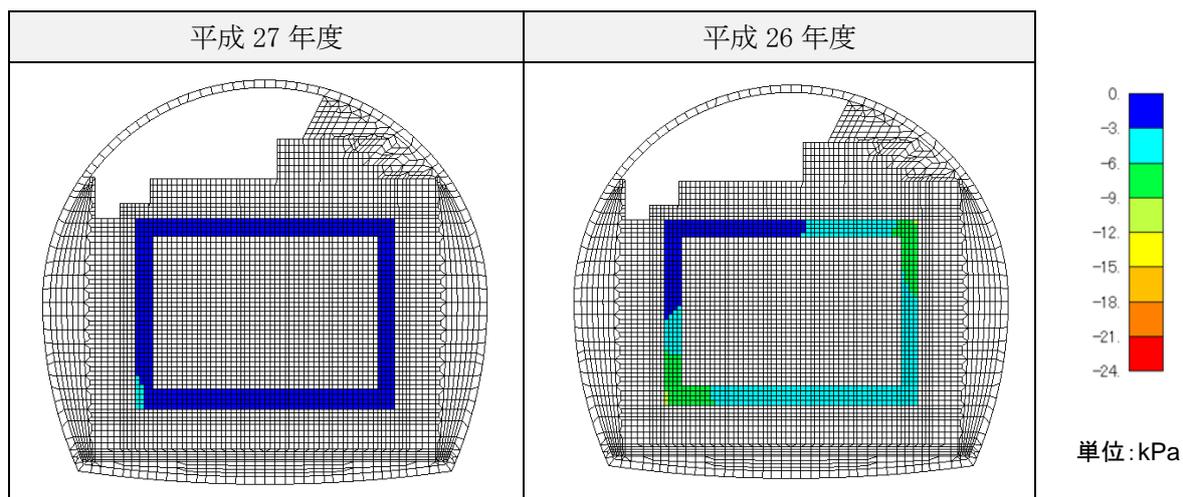


図 5.2-99 コンクリートピットの圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

c. せん断応力分布

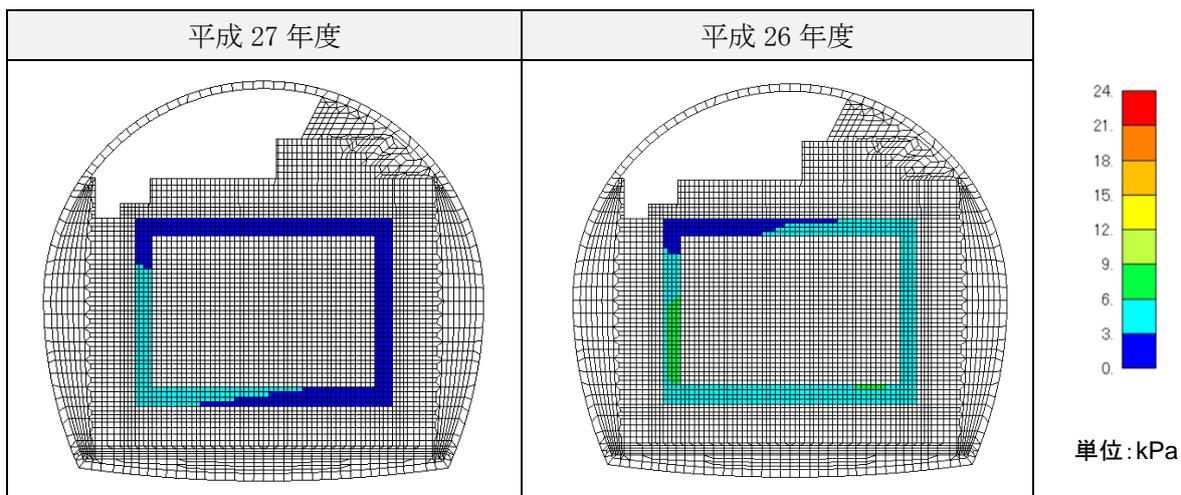


図 5.2-100 コンクリートピットのせん断応力地震時増分 (履歴最大)

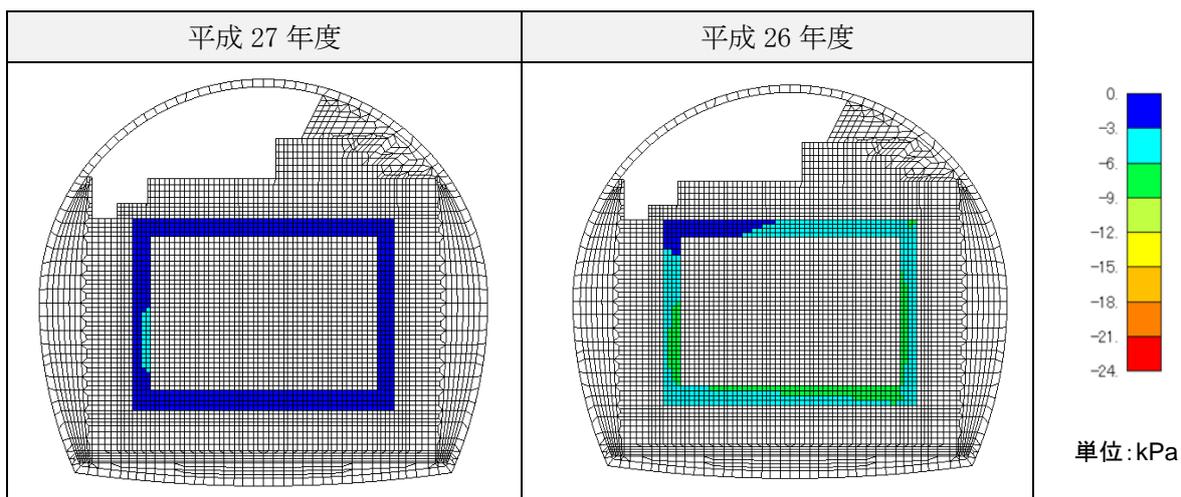


図 5.2-101 コンクリートピットのせん断応力地震時増分 (履歴最小)

d. 直ひずみ（水平方向）分布

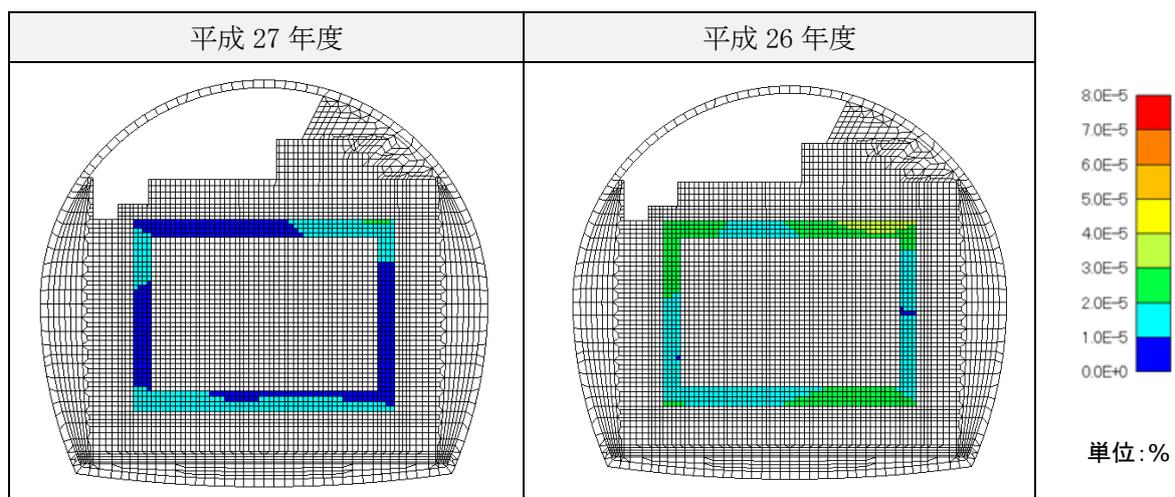


図 5.2-102 コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

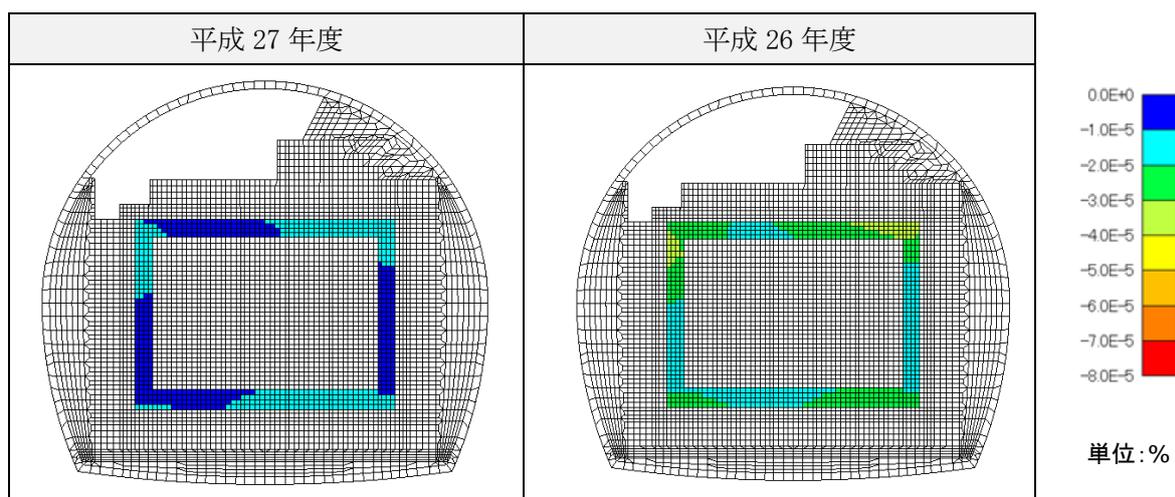


図 5.2-103 コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

e. 直ひずみ（鉛直方向）分布

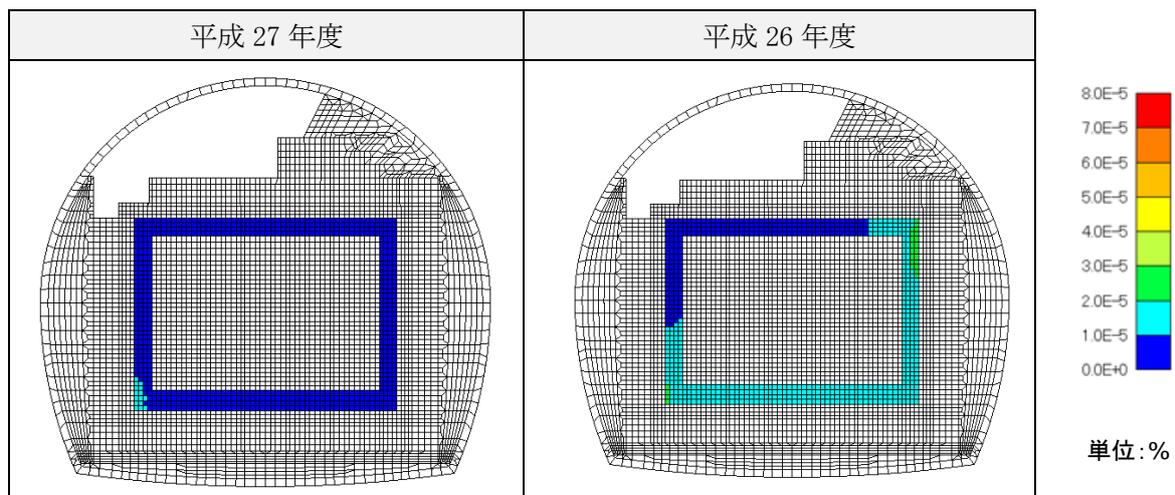


図 5.2-104 コンクリートピットの引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

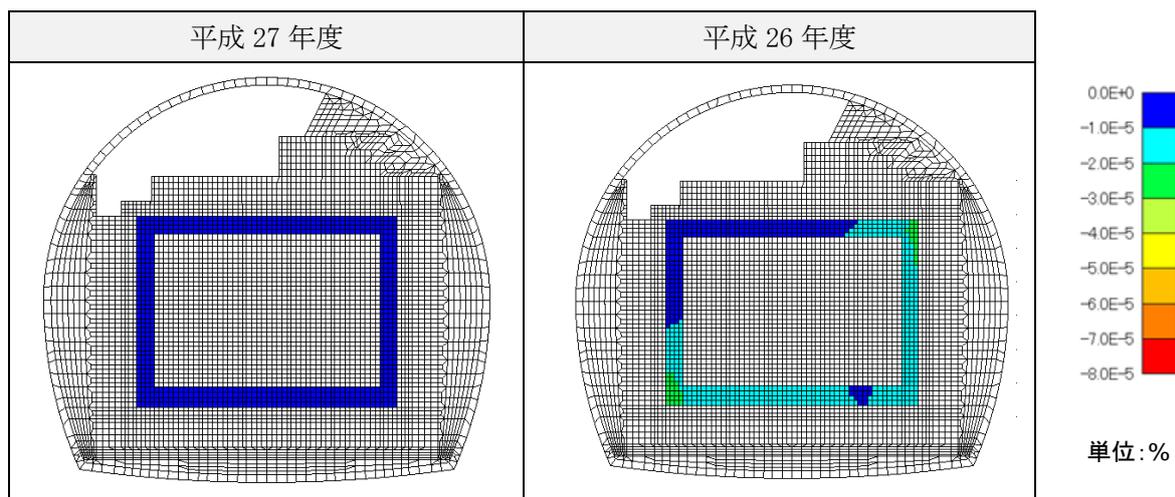


図 5.2-105 コンクリートピットの圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

f. せん断ひずみ分布

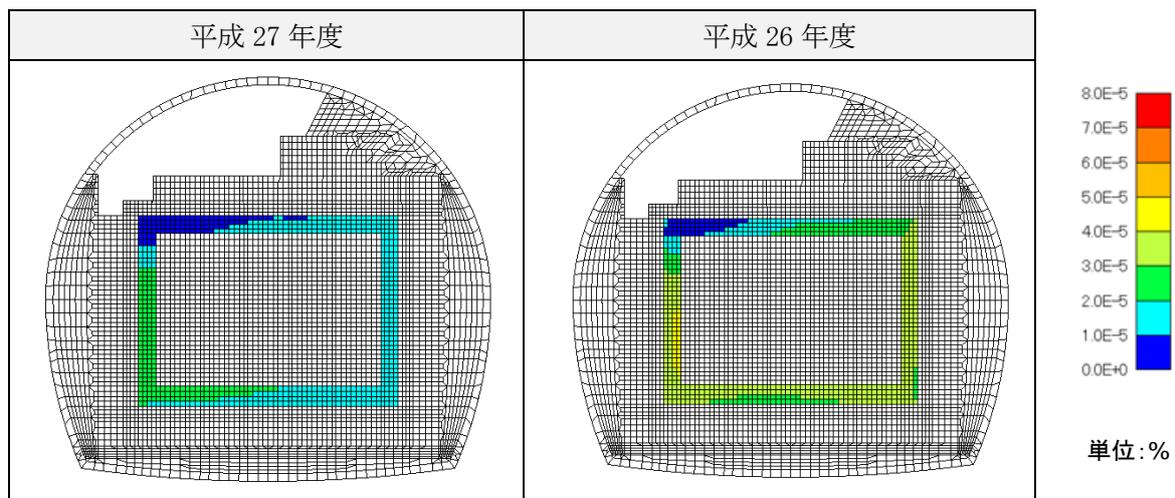


図 5.2-106 コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

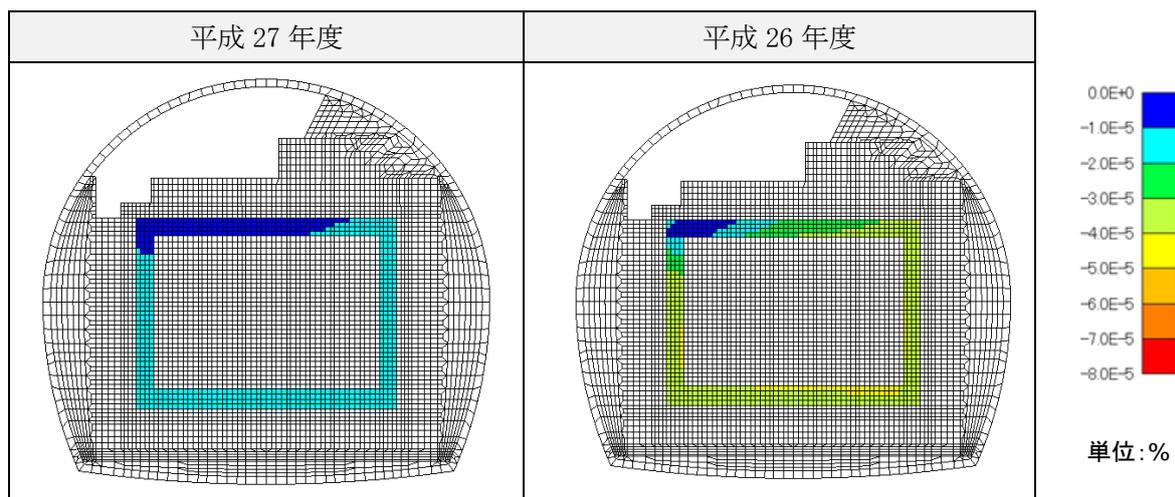


図 5.2-107 コンクリートピットのせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

10) 低透水層

低透水層の直応力分布およびせん断応力分布を～図 5.2-113、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 5.2-114～図 5.2-119 に示す。

a. 直応力（水平方向）分布

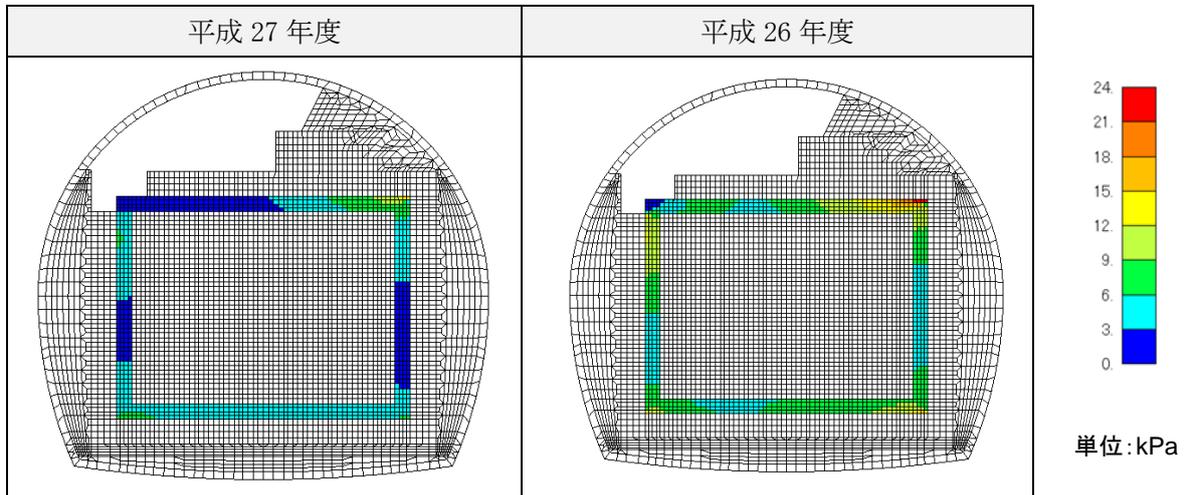


図 5.2-108 低透水層の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

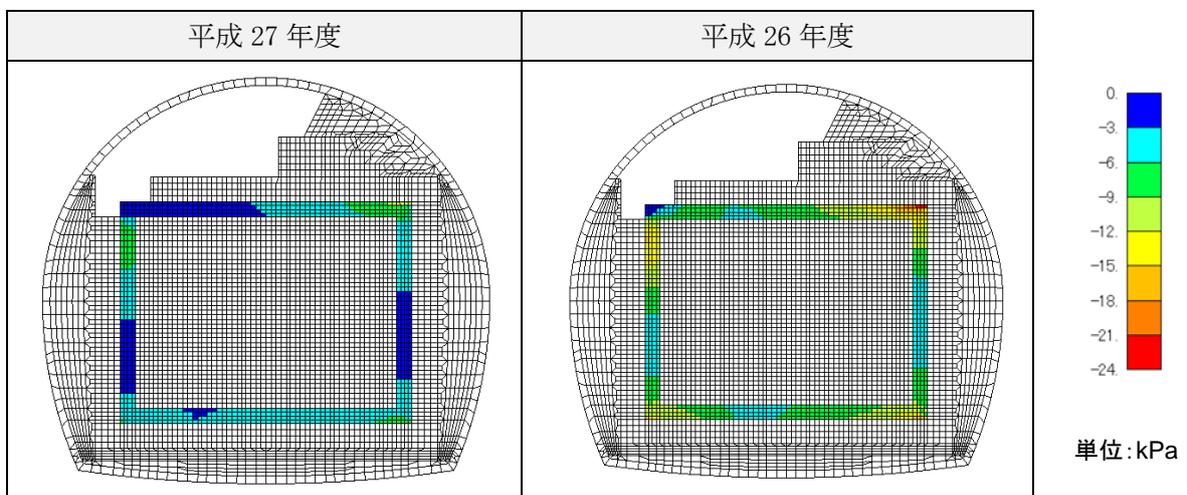


図 5.2-109 低透水層の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

b. 直応力（鉛直方向）分布

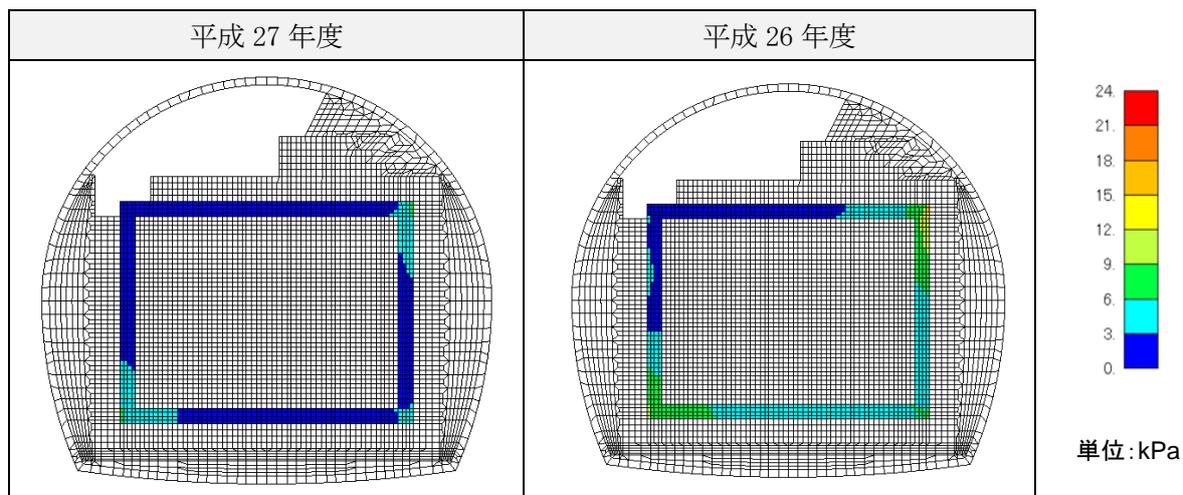


図 5.2-110 低透水層の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

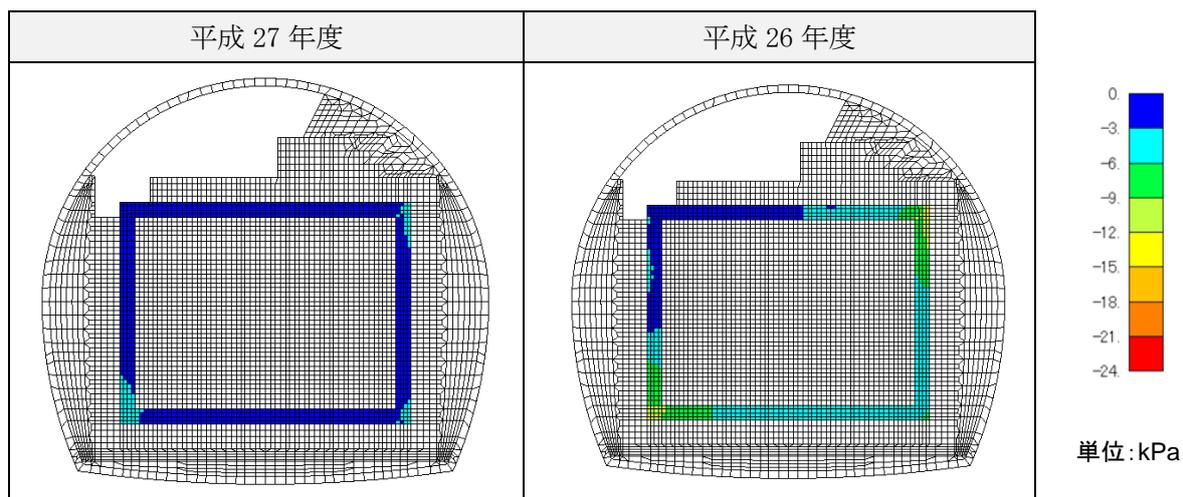


図 5.2-111 低透水層の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

c. せん断応力分布

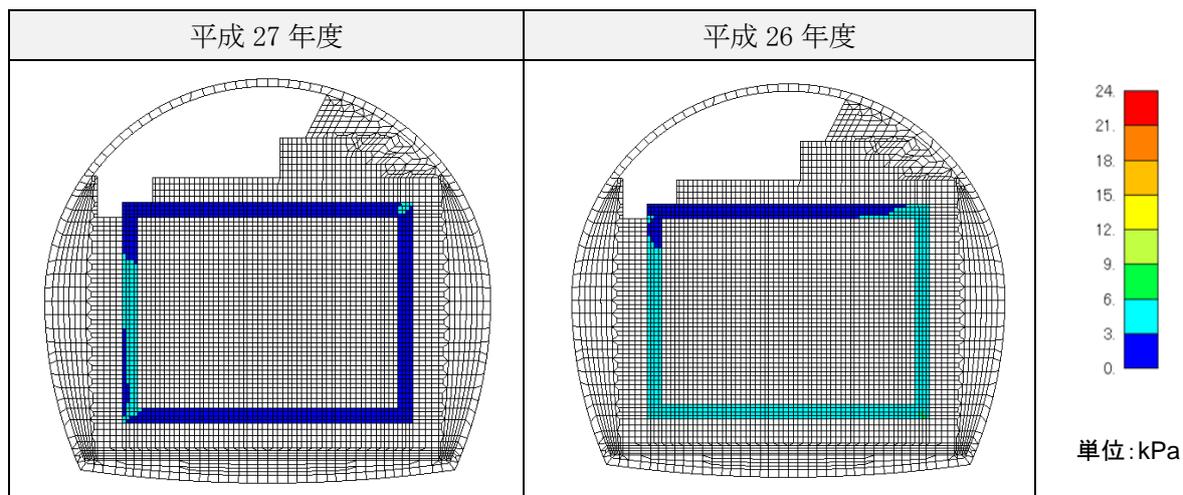


図 5.2-112 低透水層のせん断応力地震時増分 (履歴最大)

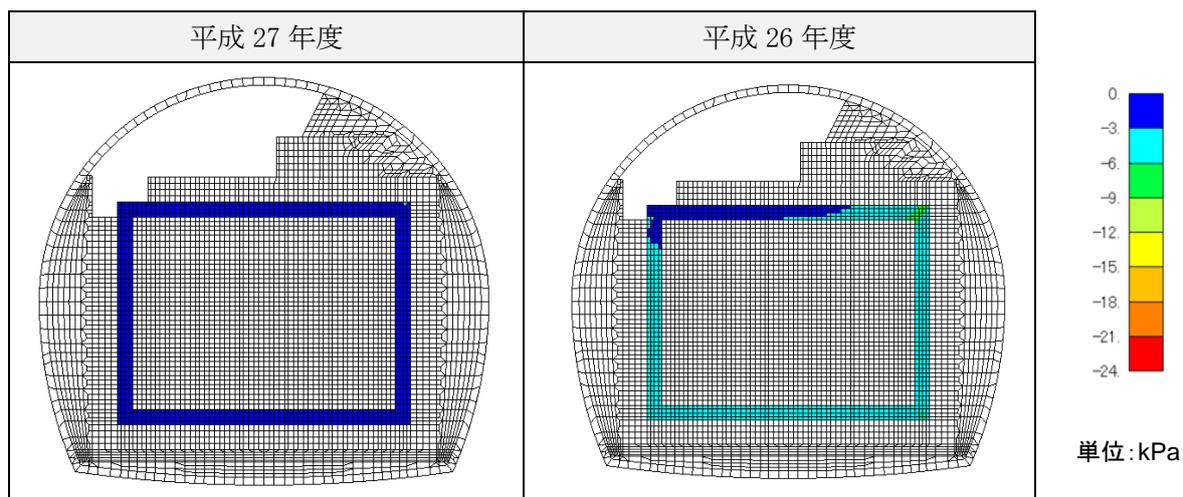


図 5.2-113 低透水層のせん断応力地震時増分 (履歴最小)

d. 直ひずみ（水平方向）分布

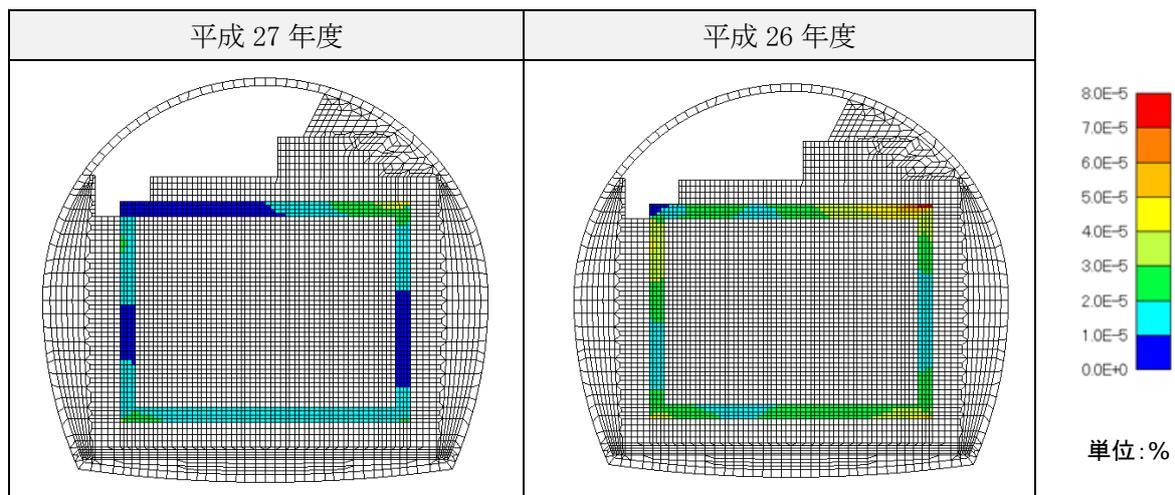


図 5.2-114 低透水層の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

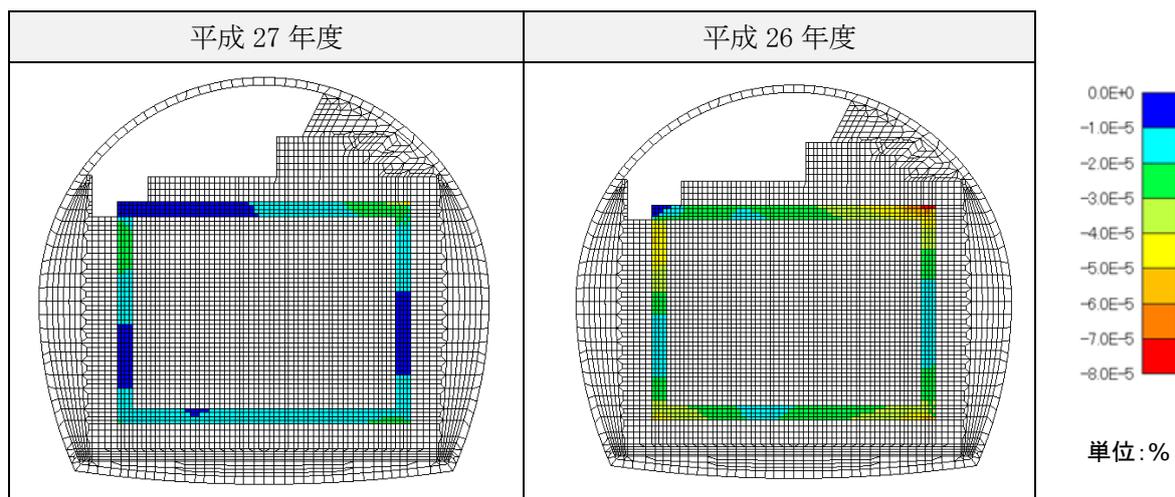


図 5.2-115 低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

e. 直ひずみ（鉛直方向）分布

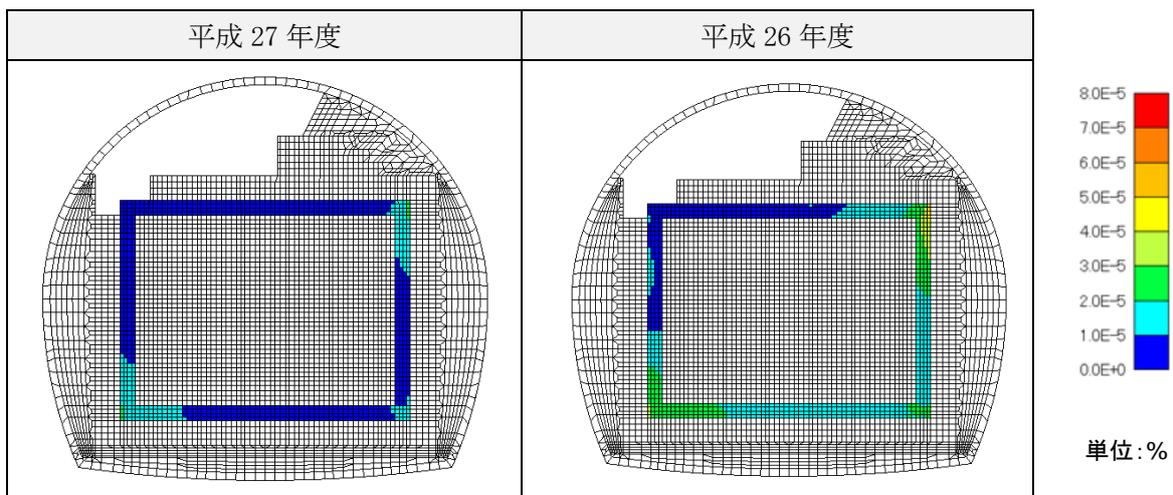


図 5.2-116 低透水層の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

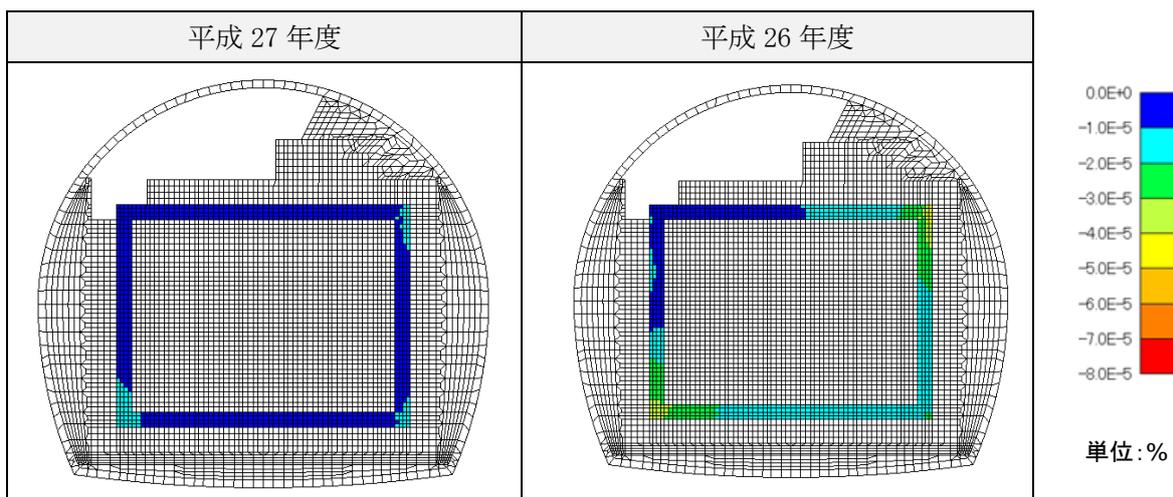


図 5.2-117 低透水層の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

f. せん断ひずみ分布

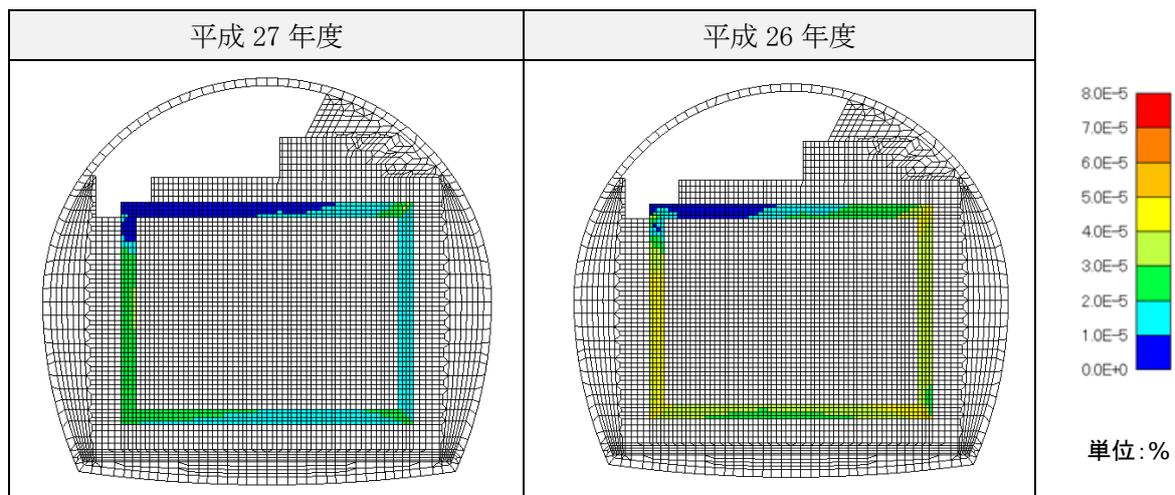


図 5.2-118 低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

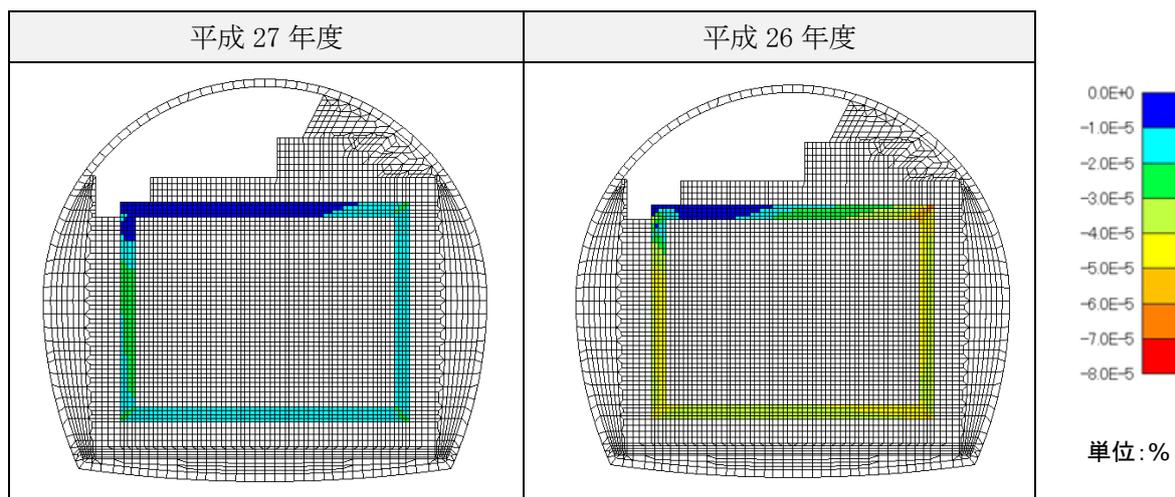


図 5.2-119 低透水層のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

11) 緩衝材

緩衝材の直応力分布およびせん断応力分布を図 5.2-120～図 5.2-125、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 5.2-126～図 5.2-131、最大せん断ひずみ（主ひずみ差）分布を図 5.2-132 に示す。

a. 直応力（水平方向）分布

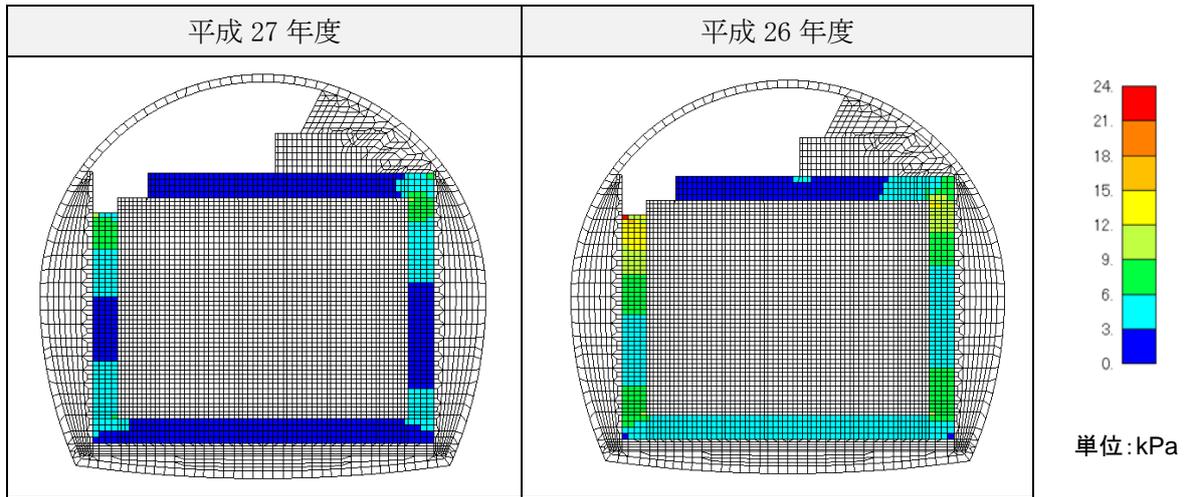


図 5.2-120 緩衝材の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

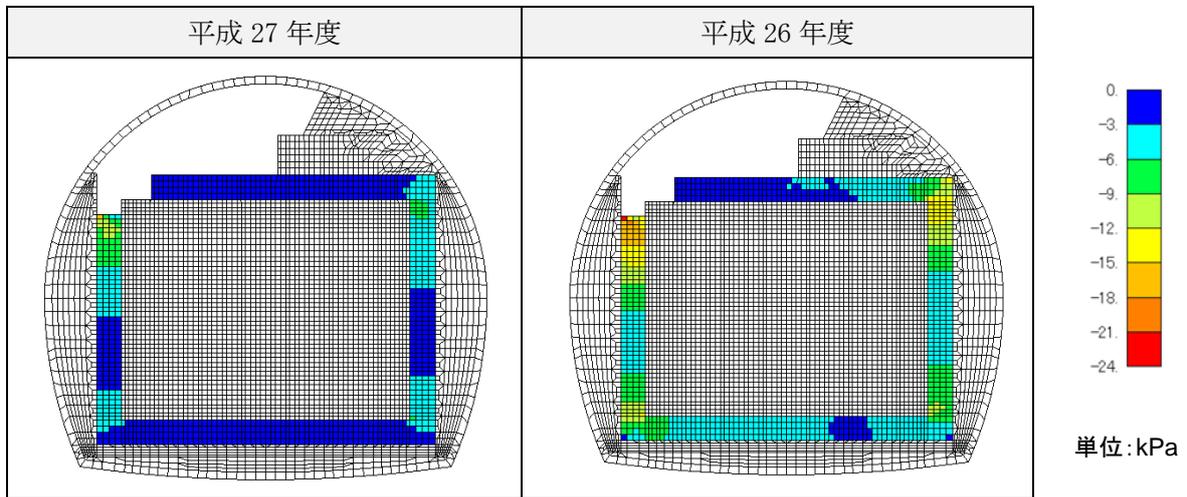


図 5.2-121 緩衝材の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

b. 直応力（鉛直方向）分布

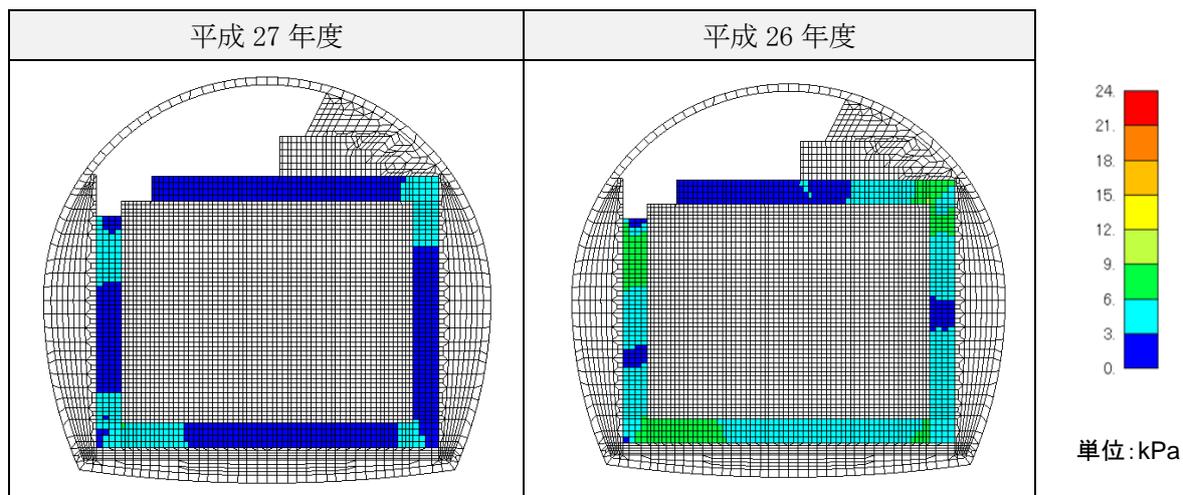


図 5.2-122 緩衝材の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

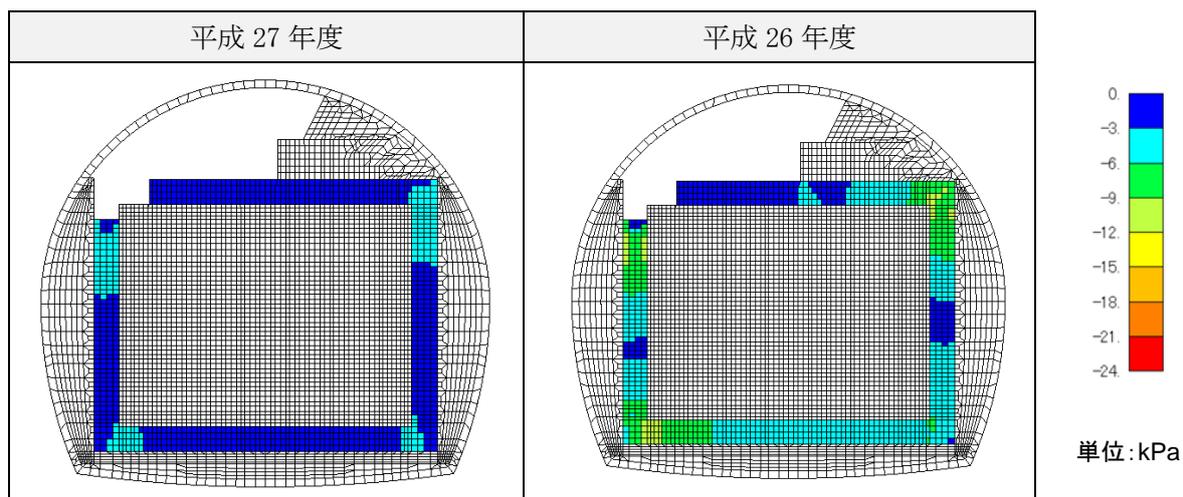


図 5.2-123 緩衝材の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

c. せん断応力分布

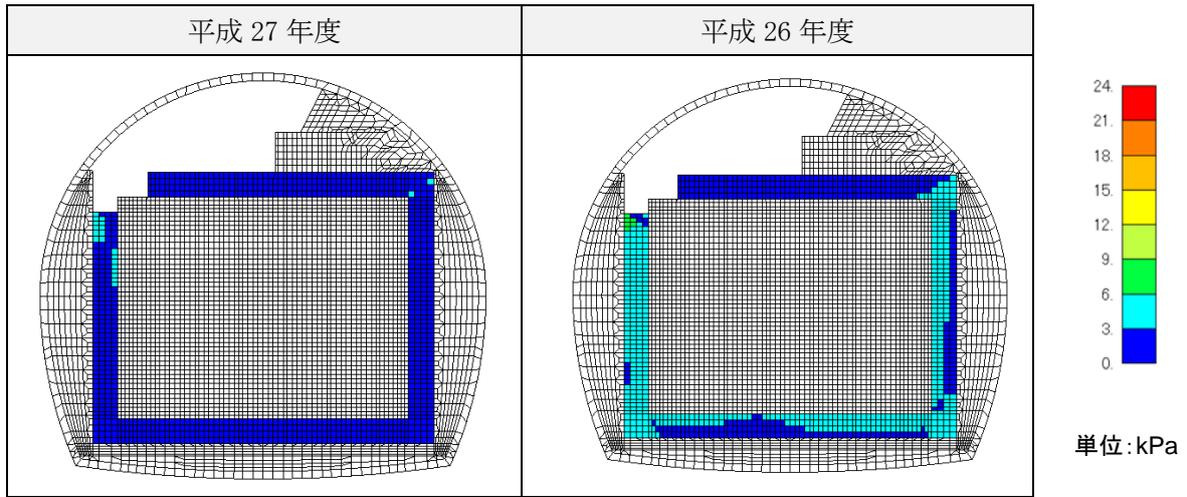


図 5.2-124 緩衝材のせん断応力地震時増分 (履歴最大)

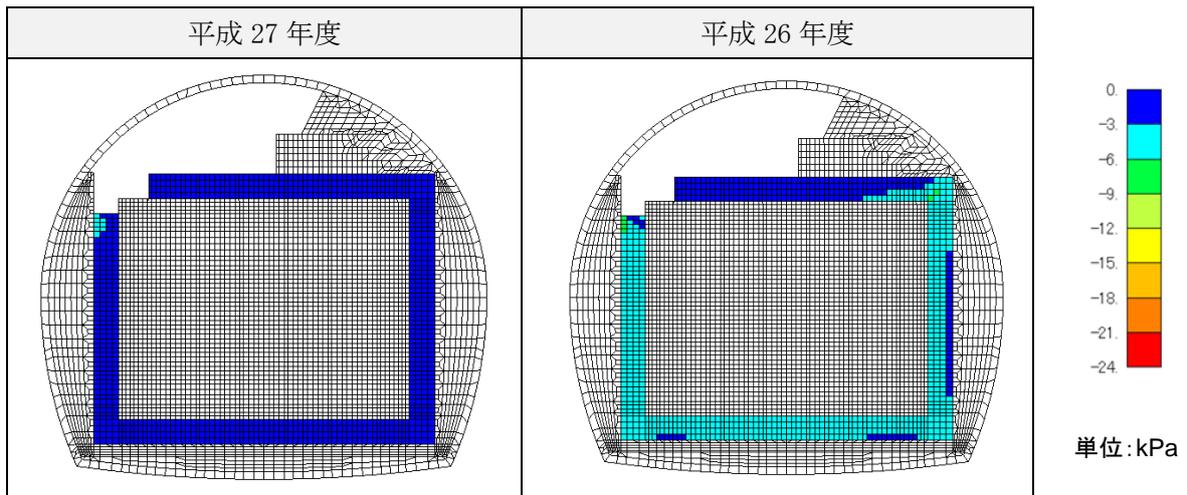


図 5.2-125 緩衝材のせん断応力地震時増分 (履歴最小)

d. 直ひずみ（水平方向）分布

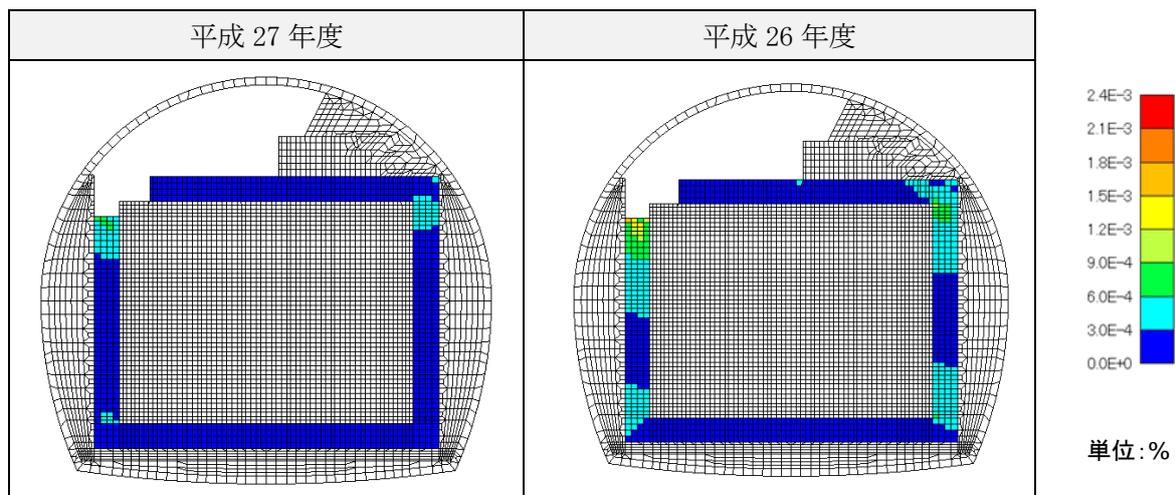


図 5.2-126 緩衝材の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

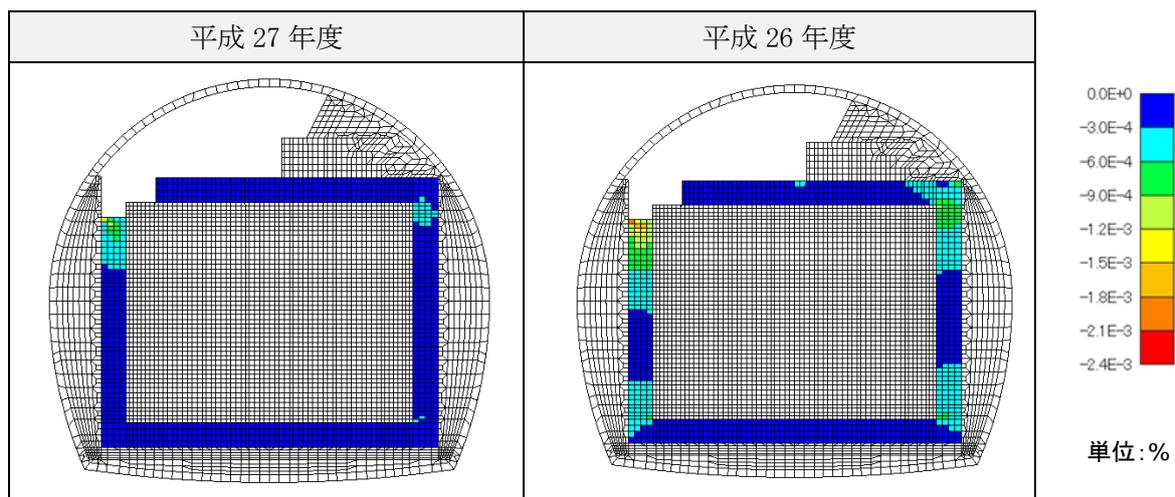


図 5.2-127 緩衝材の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

e. 直ひずみ（鉛直方向）分布

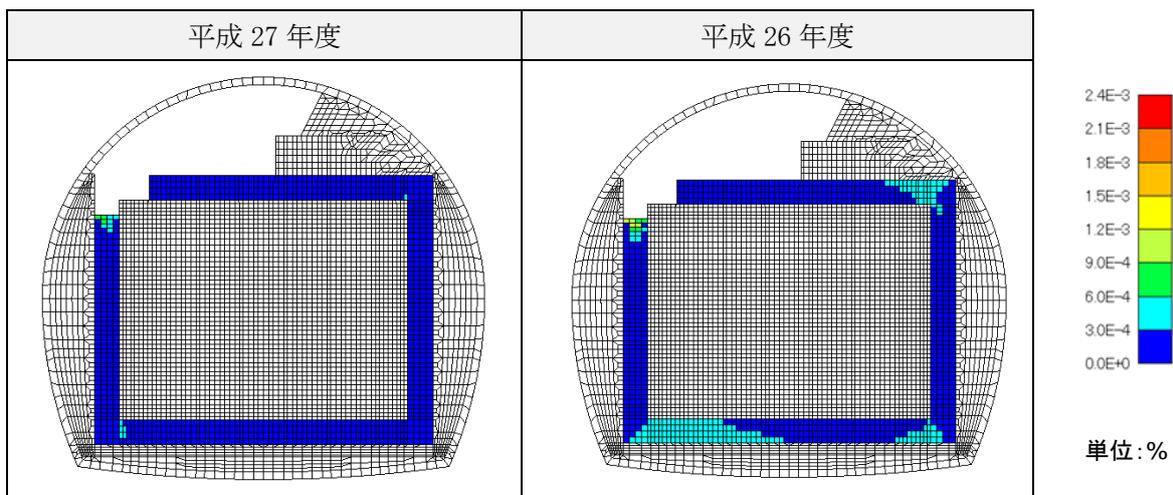


図 5.2-128 緩衝材の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

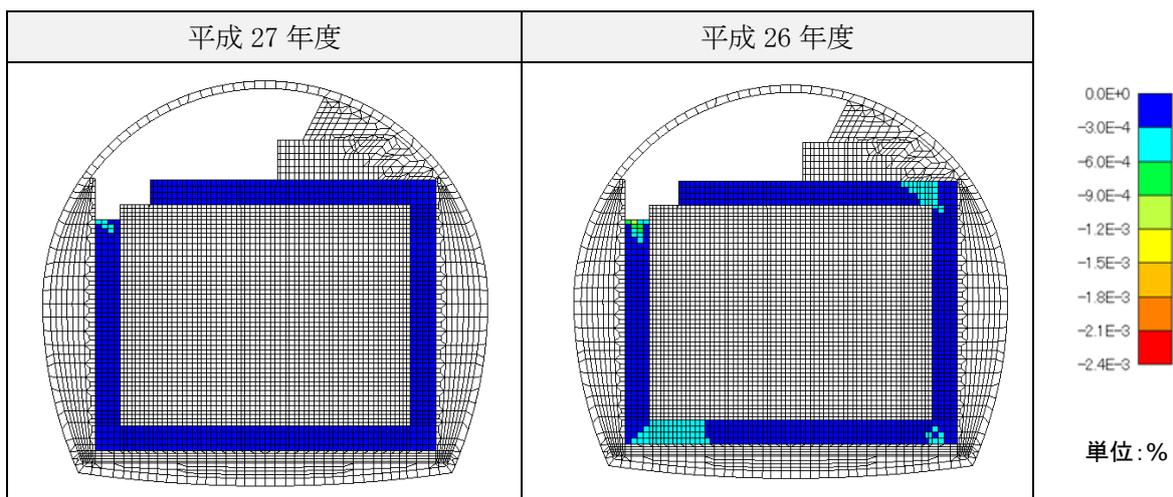


図 5.2-129 緩衝材の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

f. せん断ひずみ分布

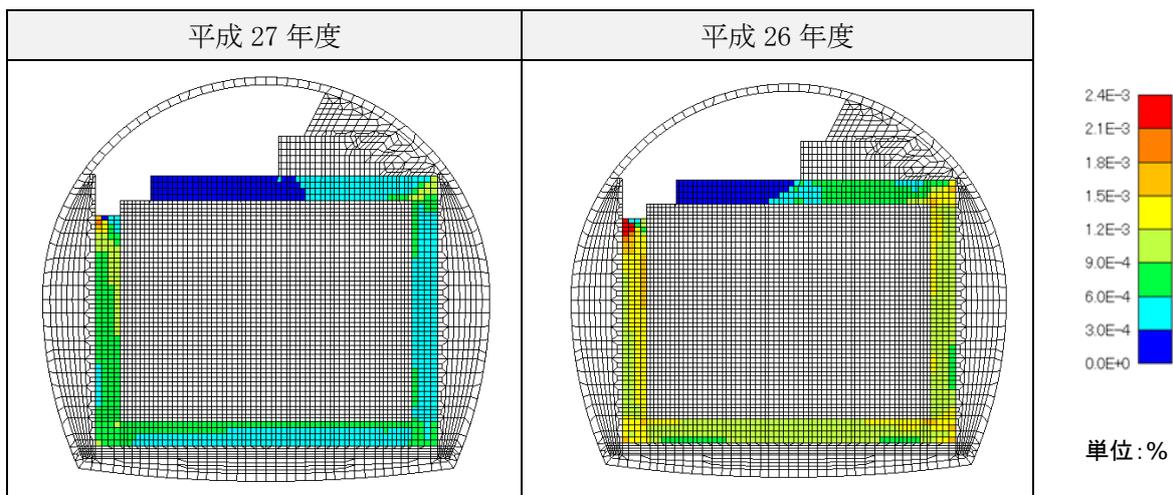


図 5.2-130 緩衝材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

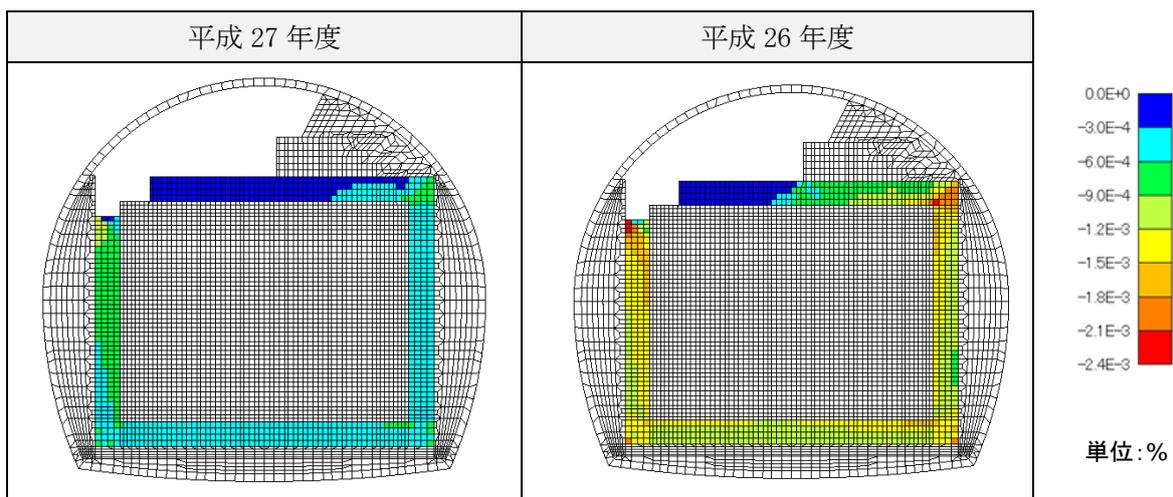


図 5.2-131 緩衝材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

g. 最大せん断ひずみ分布

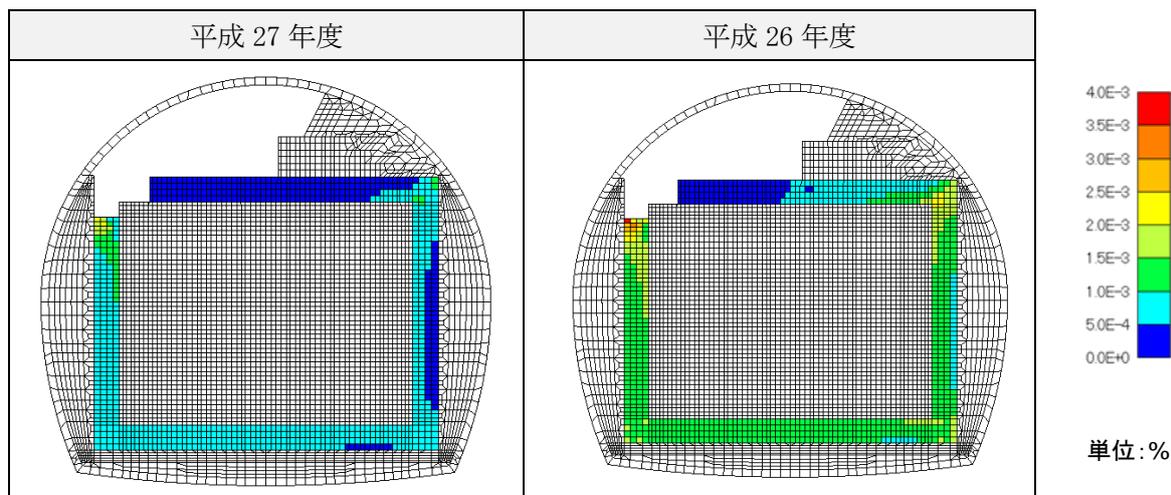


図 5.2-132 緩衝材の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

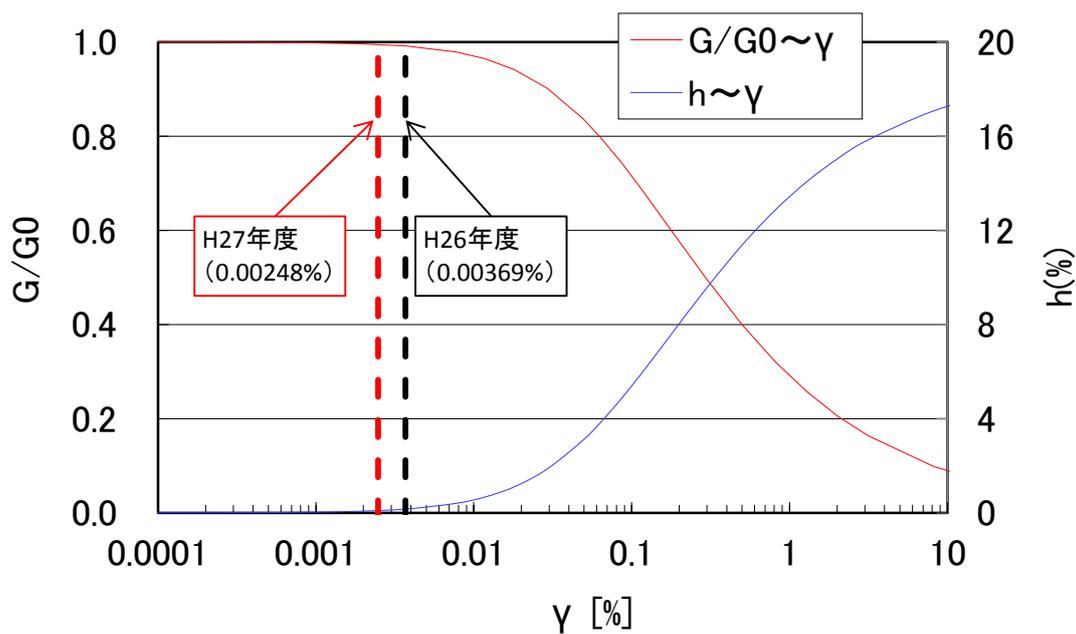


図 5.2-133 緩衝材の最大せん断ひずみレベル

12) 埋戻し材

埋戻し材の直応力分布およびせん断応力分布を図 5.2-134～図 5.2-139、直ひずみ分布およびせん断ひずみ分布を図 5.2-140～図 5.2-145、最大せん断ひずみ（主ひずみ差）分布を図 5.2-146 に示す。

a. 直応力（水平方向）分布

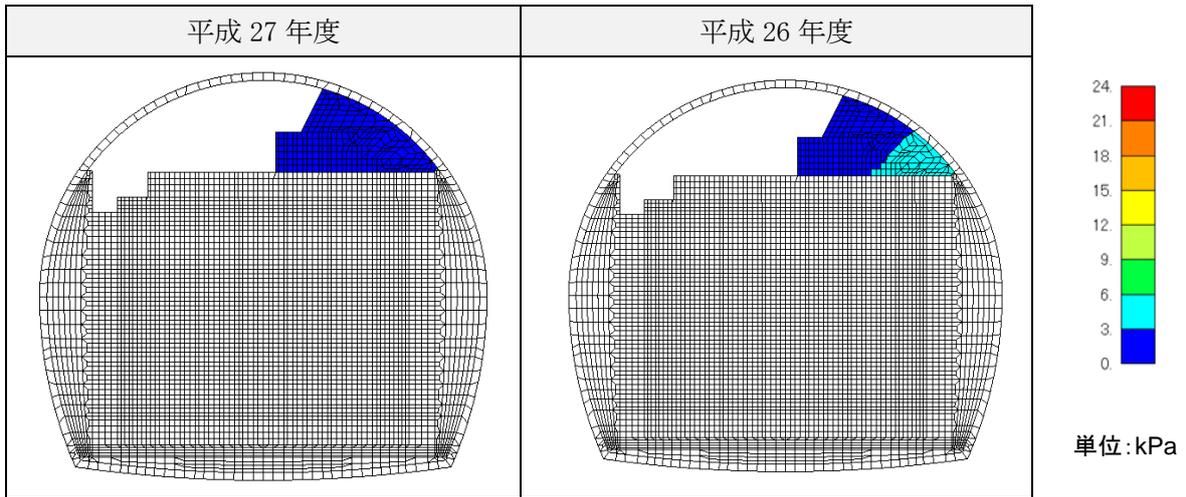


図 5.2-134 埋戻し材の引張応力の地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

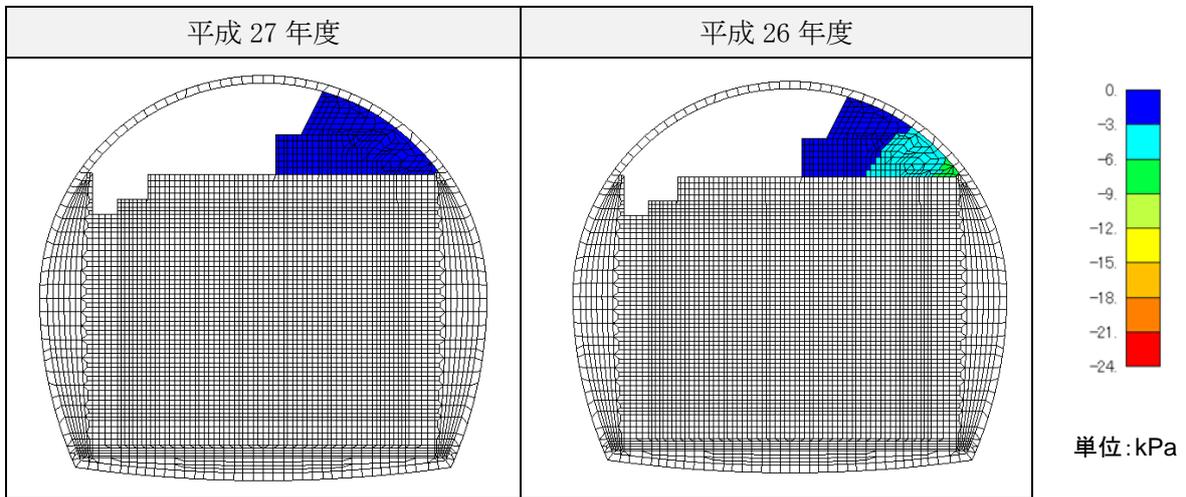


図 5.2-135 埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

b. 直応力（鉛直方向）分布

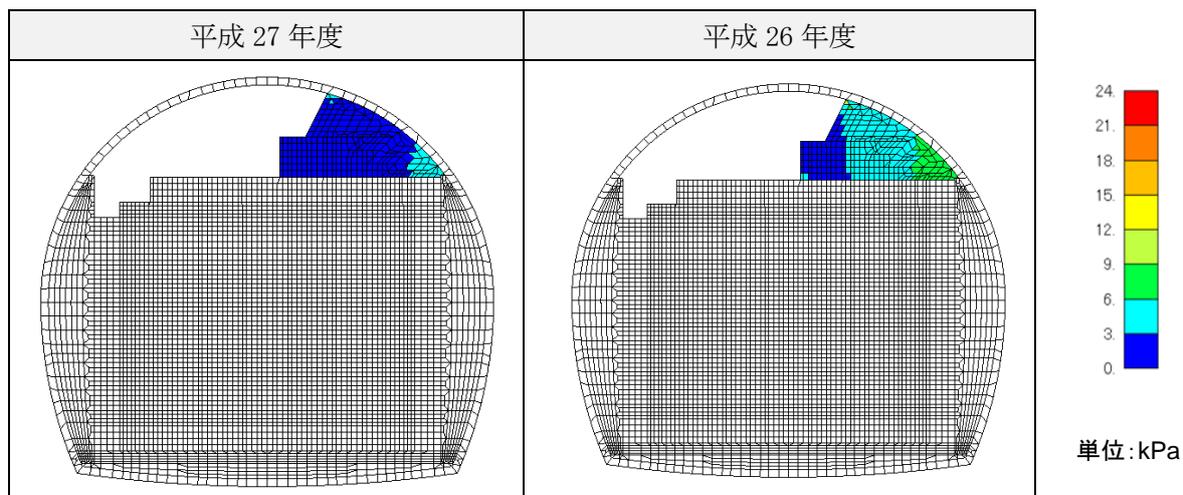


図 5.2-136 埋戻し材の引張応力の地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

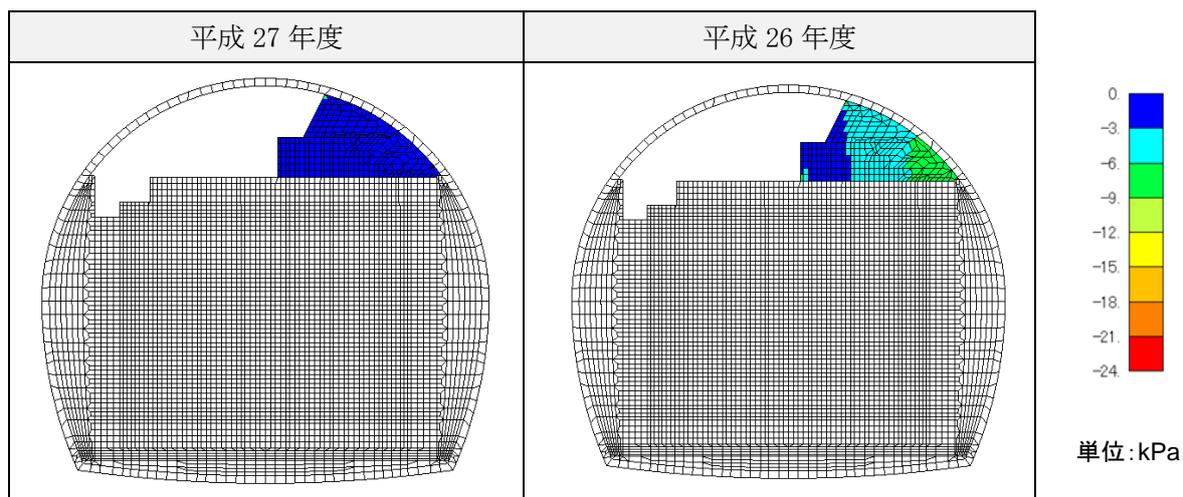


図 5.2-137 埋戻し材の圧縮応力の地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

c. せん断応力分布

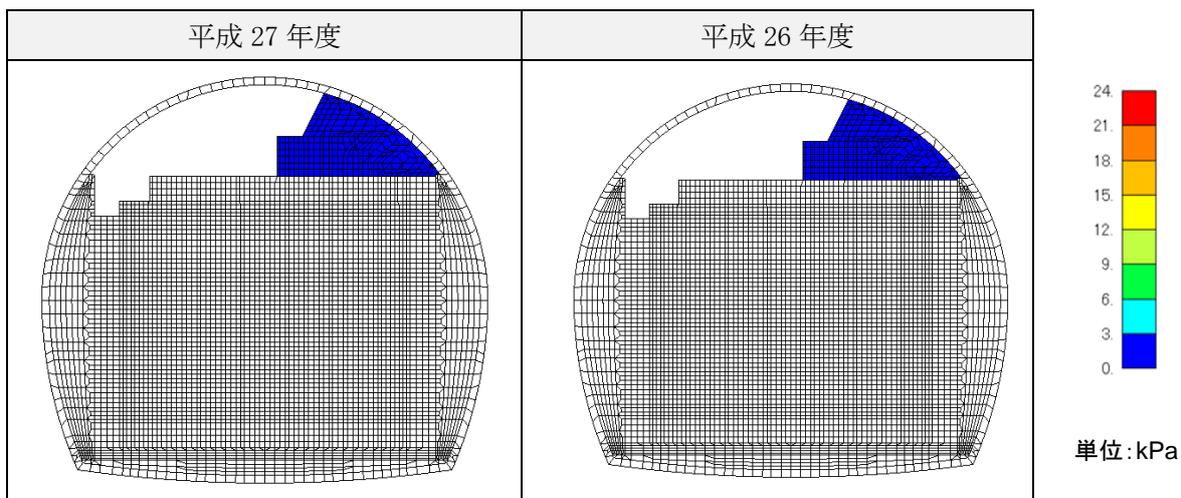


図 5.2-138 埋戻し材のせん断応力地震時増分 (履歴最大)

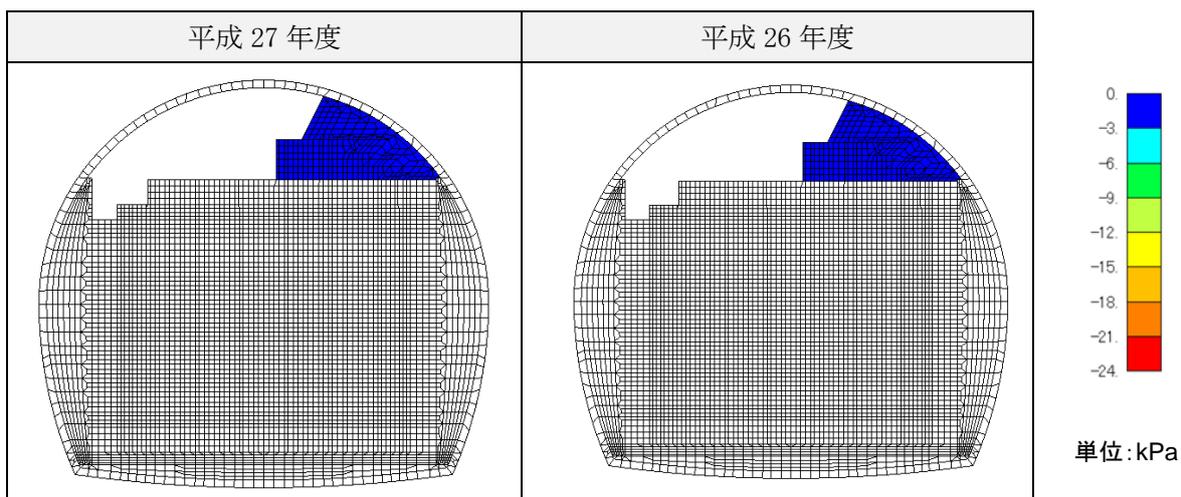


図 5.2-139 埋戻し材のせん断応力地震時増分 (履歴最小)

d. 直ひずみ（水平方向）分布

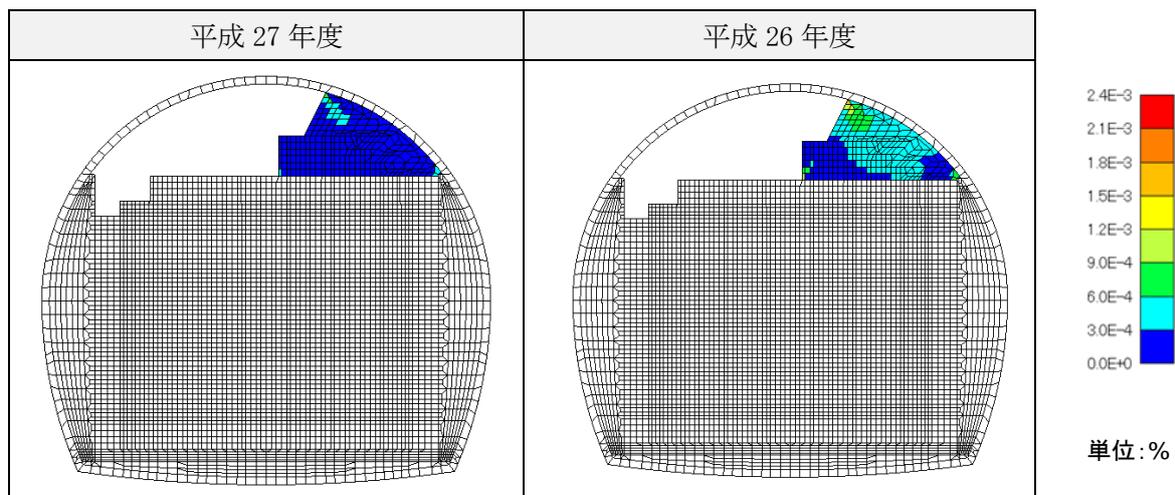


図 5.2-140 埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（水平方向、引張正、履歴最大）

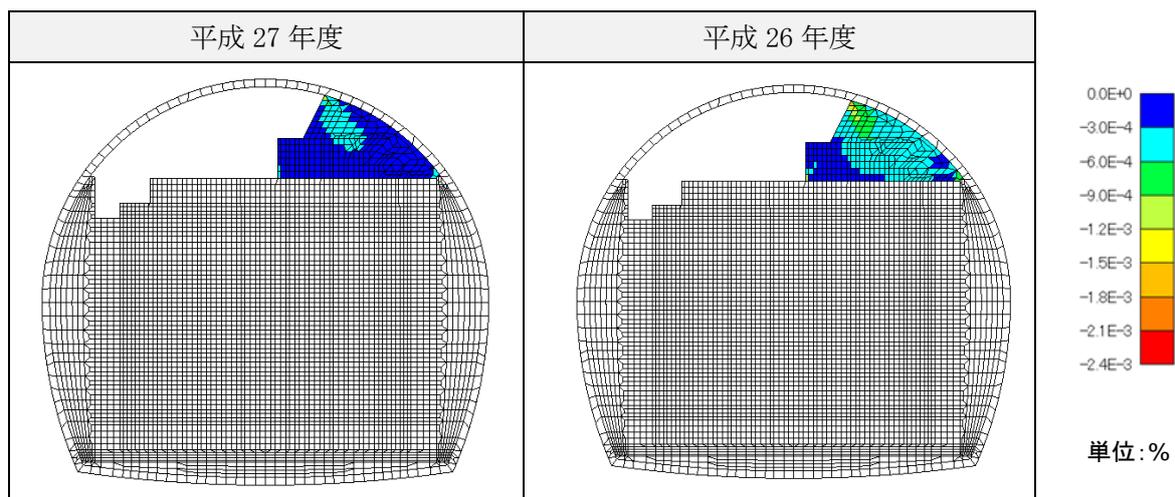


図 5.2-141 埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（水平方向、圧縮負、履歴最小）

e. 直ひずみ（鉛直方向）分布

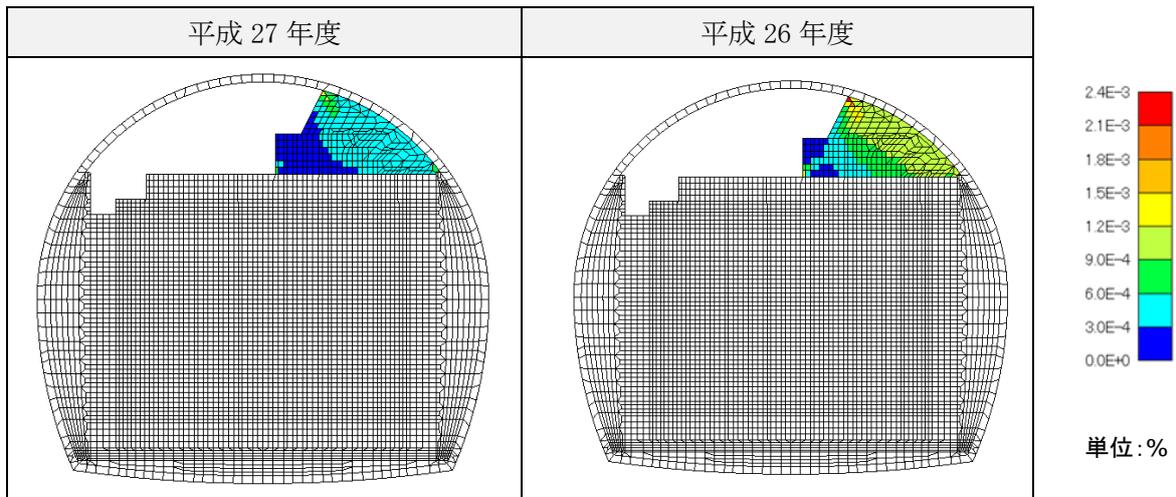


図 5.2-142 埋戻し材の引張ひずみの地震時増分（鉛直方向、引張正、履歴最大）

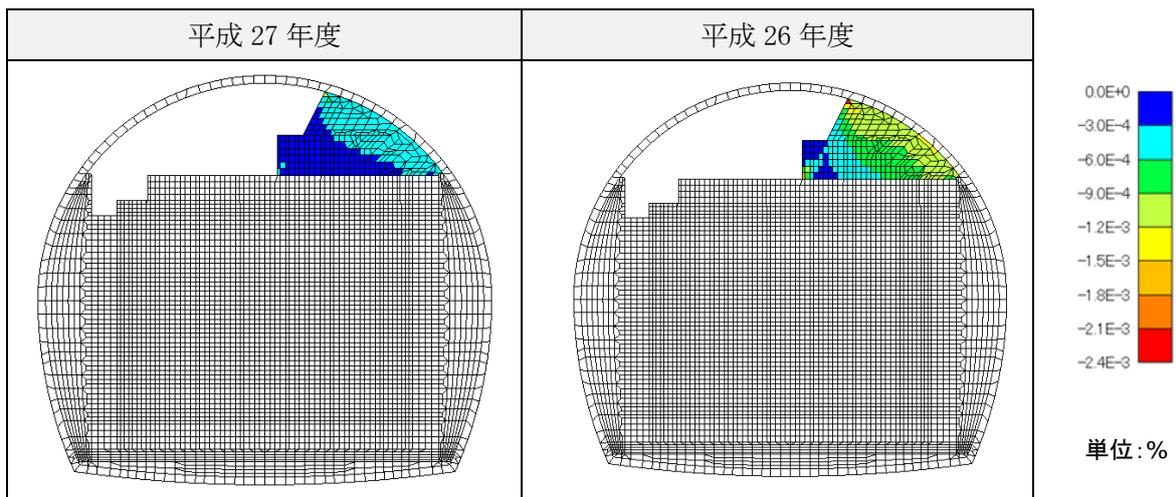


図 5.2-143 埋戻し材の圧縮ひずみの地震時増分（鉛直方向、圧縮負、履歴最小）

f. せん断ひずみ分布

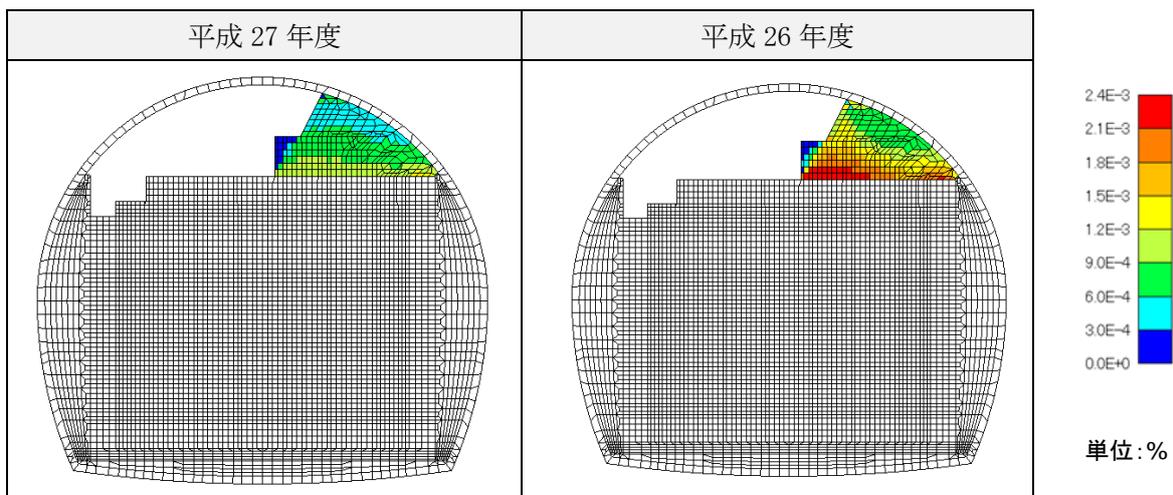


図 5.2-144 埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

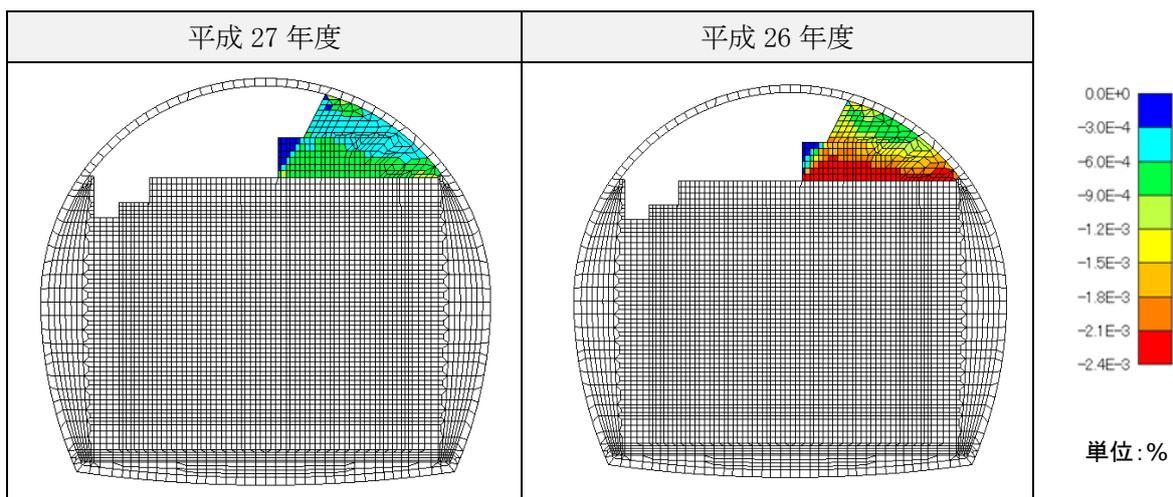


図 5.2-145 埋戻し材のせん断ひずみの地震時増分（履歴最小）

g. 最大せん断ひずみ分布

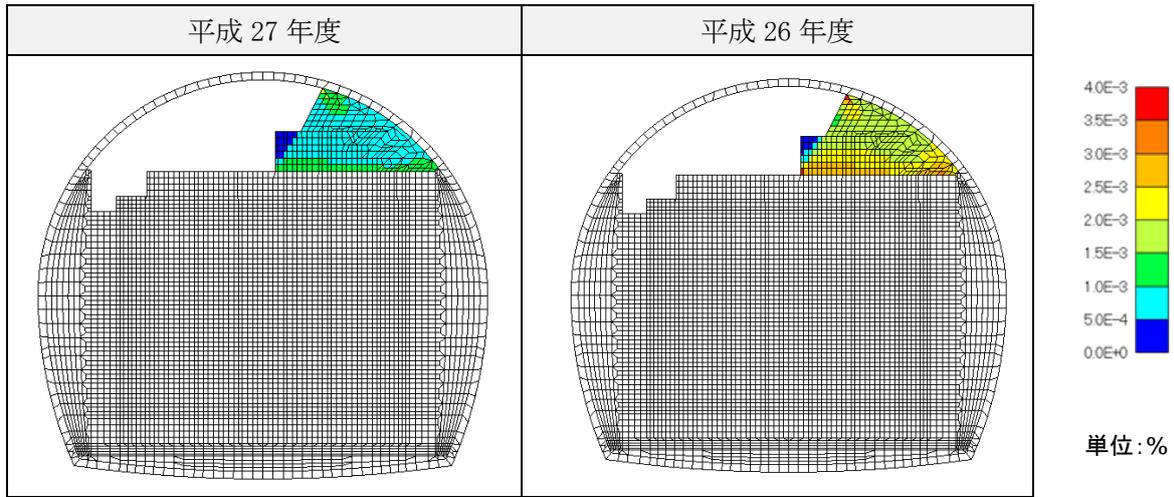


図 5.2-146 埋戻し材の最大せん断ひずみの地震時増分（履歴最大）

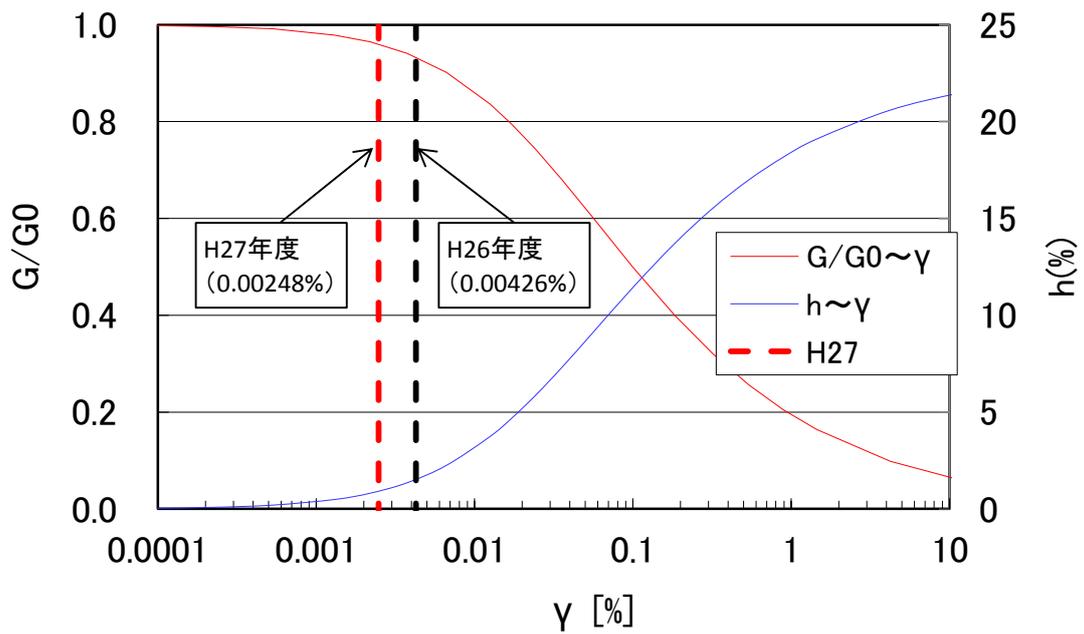


図 5.2-147 埋戻し材の最大せん断ひずみレベル

(3) 分析評価

以下では、平成 27 年度と平成 26 年度の解析結果を比較分析することにより、入力地震動の特徴の違いが試験施設に与える影響を分析評価する。

13) 試験施設の振動特性

試験施設の振動特性を検討するために、地震計設置位置における最大加速度一覧および分布を表 5.2-32、図 5.2-148、フーリエスペクトルおよびフーリエスペクトル比を図 5.2-149～図 5.2-150 に示す。図 5.2-149、図 5.2-150 に示すように、水平方向 (y 方向)、鉛直方向 (z 方向) とともに、施設内での最大加速度の大きな増幅は見られない。水平方向については、図 5.2-149 のフーリエスペクトル比に示すように、本解析モデルでは、9、14、16、18Hz 付近の振動数を多く含む波が地震計①位置に入射されると加速度は増幅するが、今回選定した入力地震動では、地震計①位置での卓越振動数は、平成 27 年度では 11Hz 付近、平成 26 年度では 3Hz 付近であることにより、加速度の大きな増幅が発生しなかったと推察される。鉛直方向については、図 5.2-150 のフーリエスペクトル比に示すように、本解析モデルでは、どの振動数帯においても大きな増幅は発生しないものと考えられる。

以上より、平成 27 年度と 26 年度の入力地震動では、いずれも試験施設の振動特性に与える影響は小さいことがわかった。

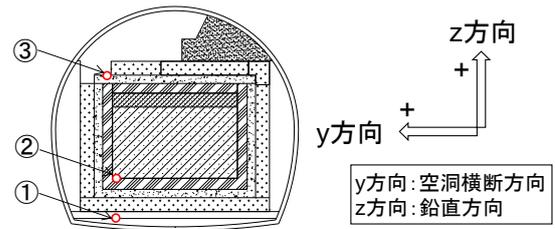


表 5.2-32 最大加速度一覧

位置	高さ* [m]	最大加速度[Gal]					
		y方向			z方向		
		H27	H26	H27/H26	H27	H26	H27/H26
地震計③	10.34	7.8	6.5	1.2	8.3	9.1	0.9
地震計②	2.9	7.4	6.1	1.2	8.2	8.9	0.9
地震計①	0	7.5	5.6	1.3	7.6	8.1	0.9

*地震計①の高さを基準とした。

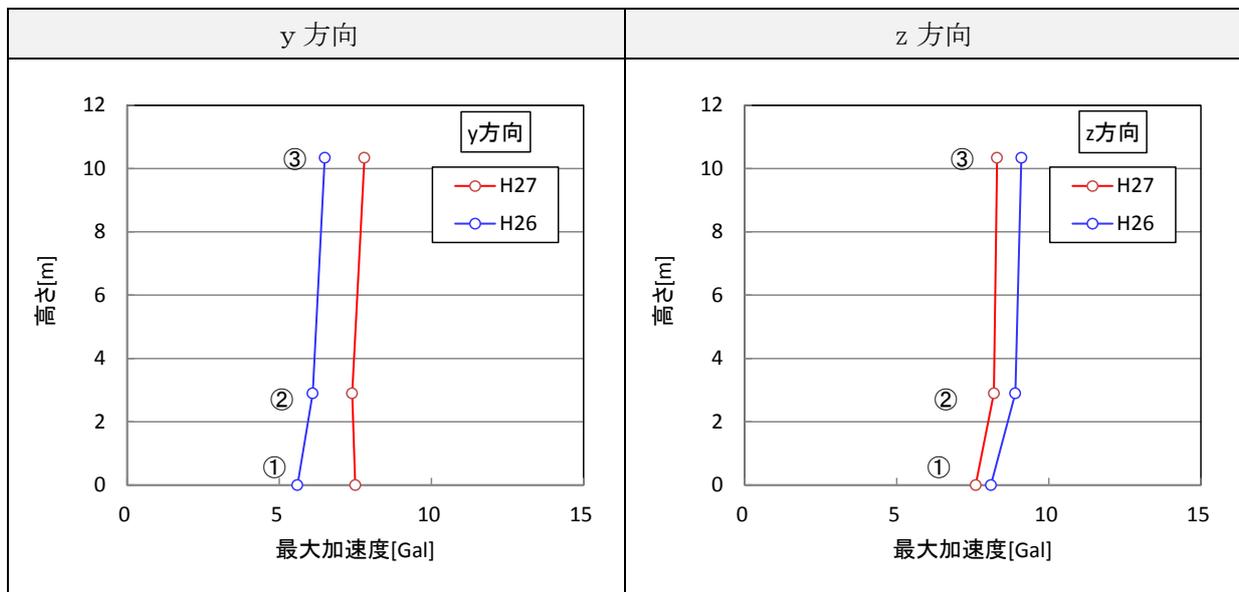


図 5.2-148 試験施設の最大加速度分布の比較

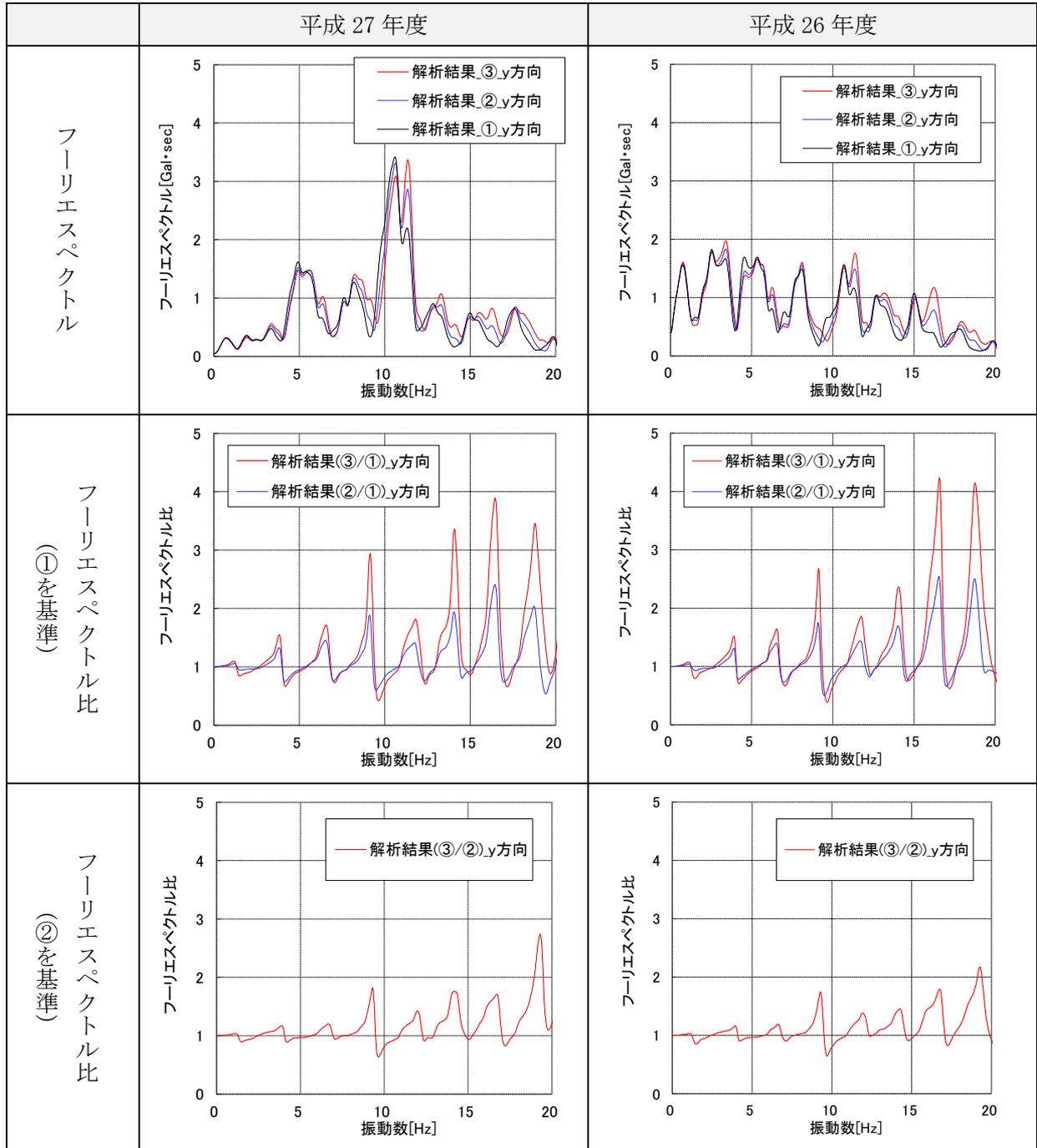
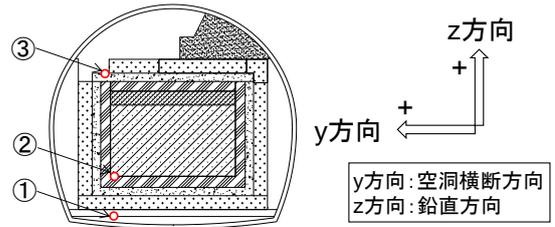


図 5.2-149 フーリエスペクトル比較 (水平方向)

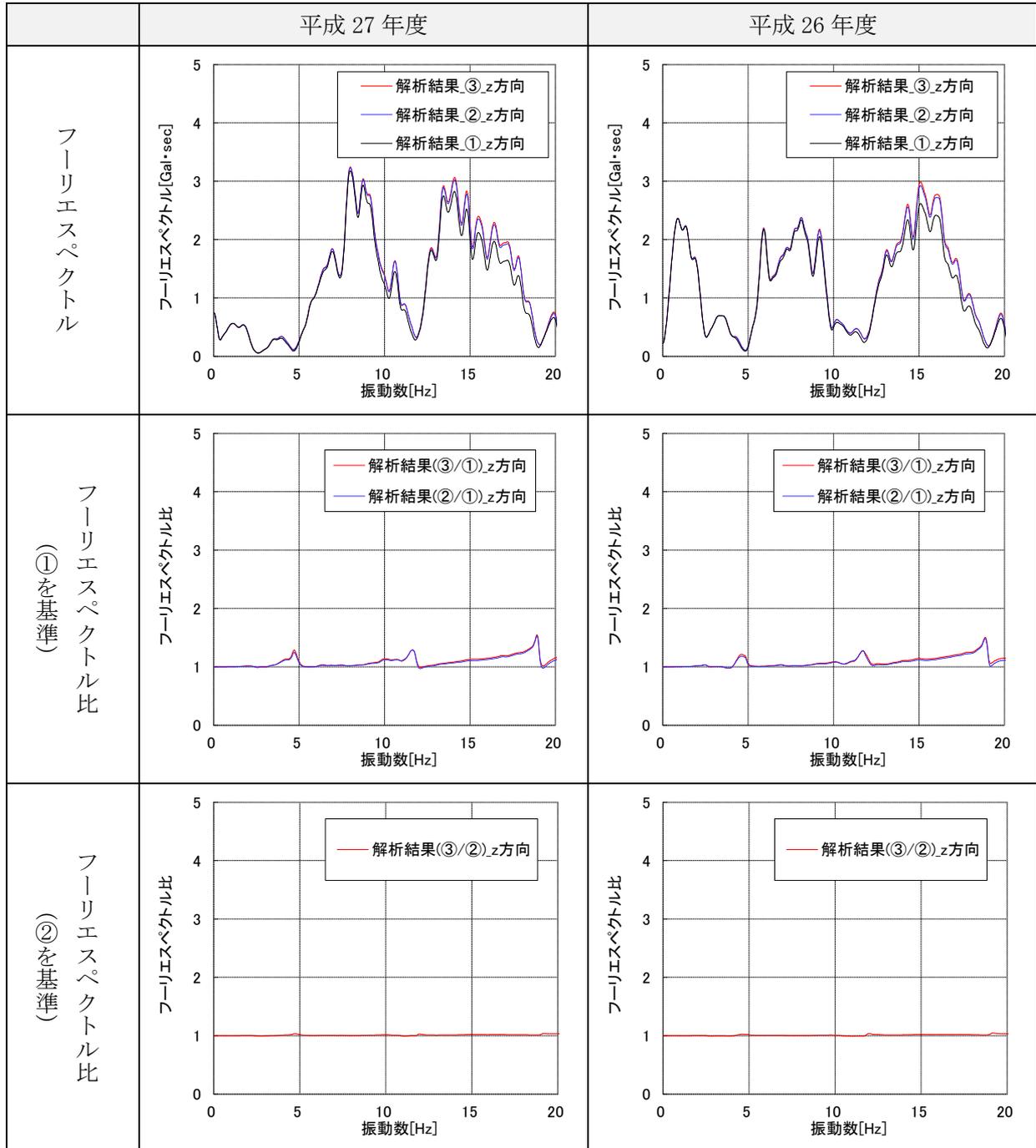
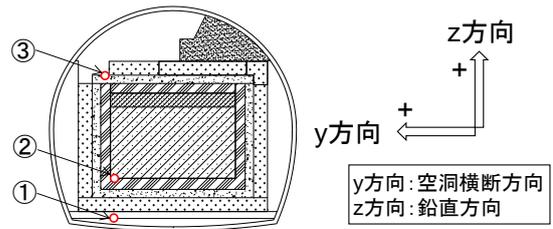


図 5.2-150 フーリエスペクトル比較 (鉛直方向)

14) 試験施設の変形特性

試験施設の変形特性を検討するために、試験空洞の上下端位置の相対変位の時刻歴を図 5.2-151～図 5.2-152、相対変位最大時刻の変形図を図 5.2-153～図 5.2-154 に示す（変形を明確にするため、変形倍率を 30000 倍で描画）。

図 5.2-151 に示すように、水平方向（y 方向）の相対変位は、平成 27 年度が 0.04mm であるのに対して、平成 26 年度では 0.07mm であり、1.75 倍大きくなっている。鉛直方向（z 方向）も同様に、平成 27 年度が 0.02mm であるのに対して、平成 26 年度では 0.04mm であり、2 倍大きくなっている。この要因としては、以下のことが考えられる。

- ・ 本解析モデルの 1～6 次の固有振動数は 0.880～3.919Hz（表 5.2-28 参照）であり、図 5.2-155 に示すように、平成 26 年度の入力地震動の方が平成 27 年度よりも固有振動数帯の波を多く含むため、地盤の変形が大きくなった。
- ・ 図 5.2-153～図 5.2-154 に示すように、試験施設の変形は周辺地盤の変形に追随し、地盤の変形量が大きい平成 26 年度の方が、試験空洞の相対変形も大きくなった。

以上より、平成 27 年度と平成 26 年度の入力地震動では、地盤の固有振動数の波を多く含む平成 26 年度の入力地震動の方が、試験施設の変形量に与える影響が大きいことがわかった。

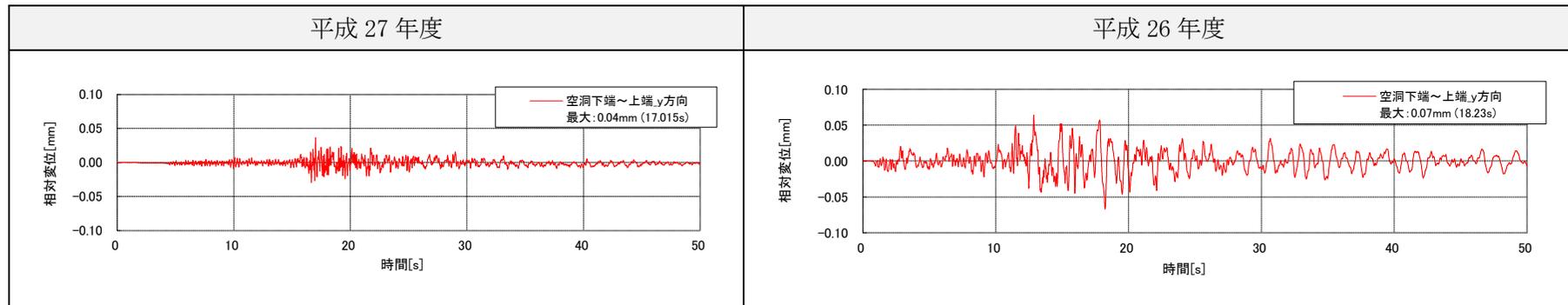
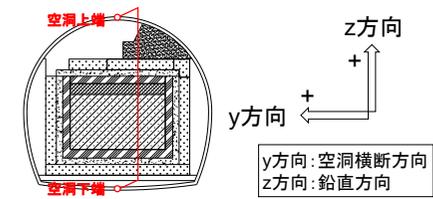


図 5.2-151 試験空洞の上下端位置の相対変位（水平方向）【再掲】

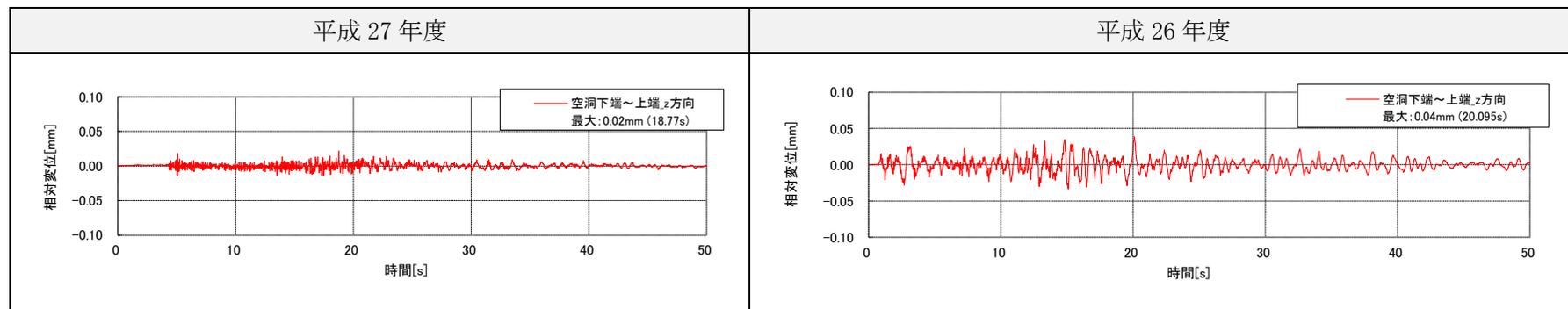
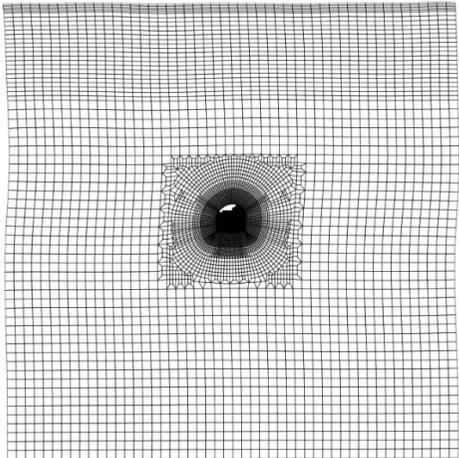
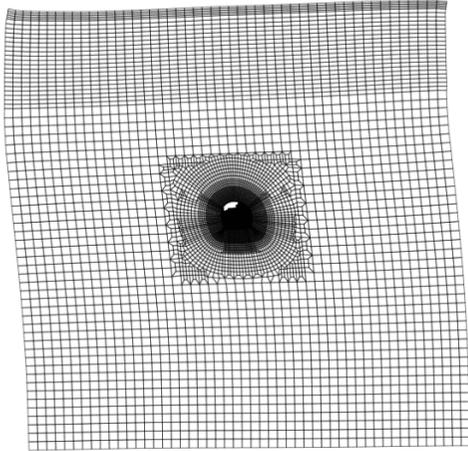
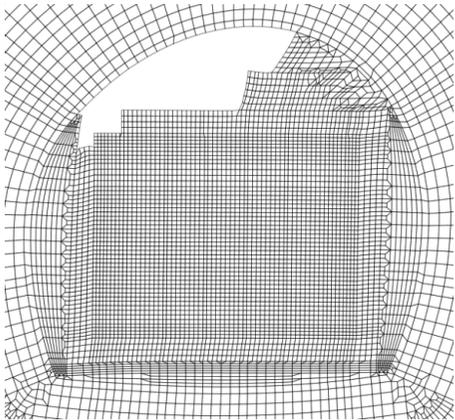
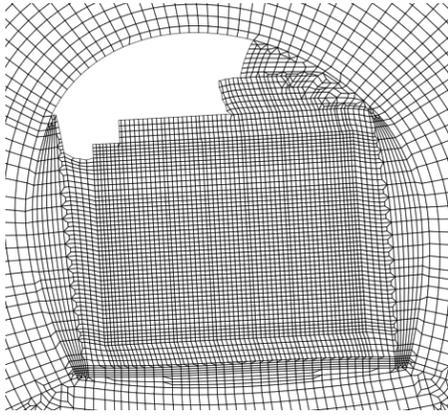
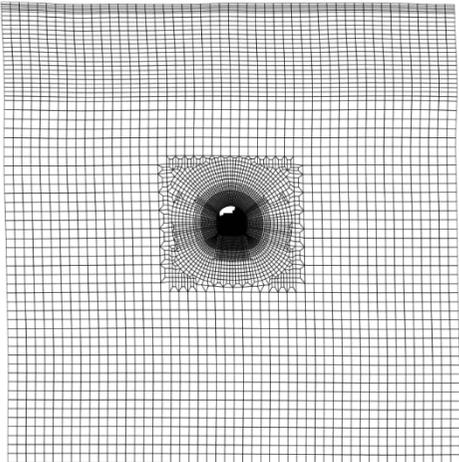
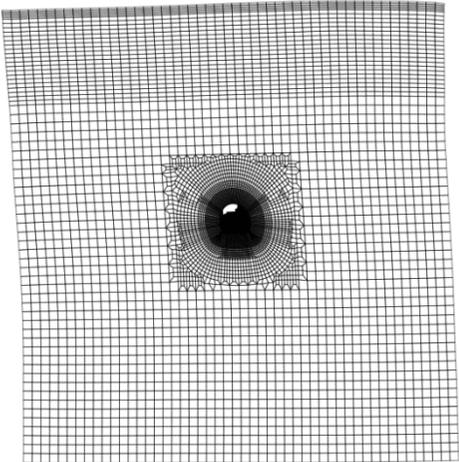
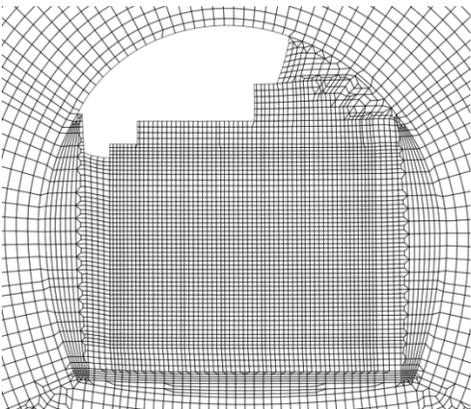
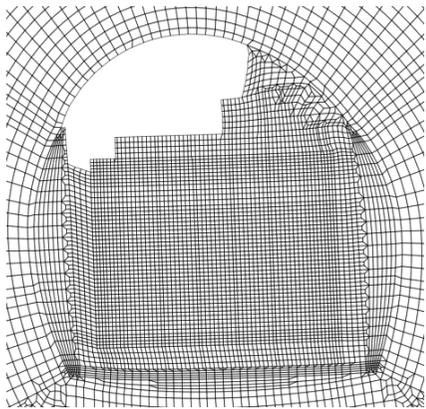


図 5.2-152 試験空洞の上下端位置の相対変位（鉛直方向）【再掲】

		平成 27 年度	平成 26 年度
		17. 015s 時点の変形	18. 230s 時点の変形
全体図			
拡大図			

※変形を明確にするため、変形倍率を 30000 倍で描画

図 5.2-153 水平方向の相対変位最大時刻の変形図 (変形倍率 30000 倍)

		平成 27 年度	平成 26 年度
		18.770s 時点の変形	20.095s 時点の変形
全体図			
拡大図			

※変形を明確にするため、変形倍率を 30000 倍で描画

図 5.2-154 鉛直方向の相対変位最大時刻の変形図（変形倍率 30000 倍）

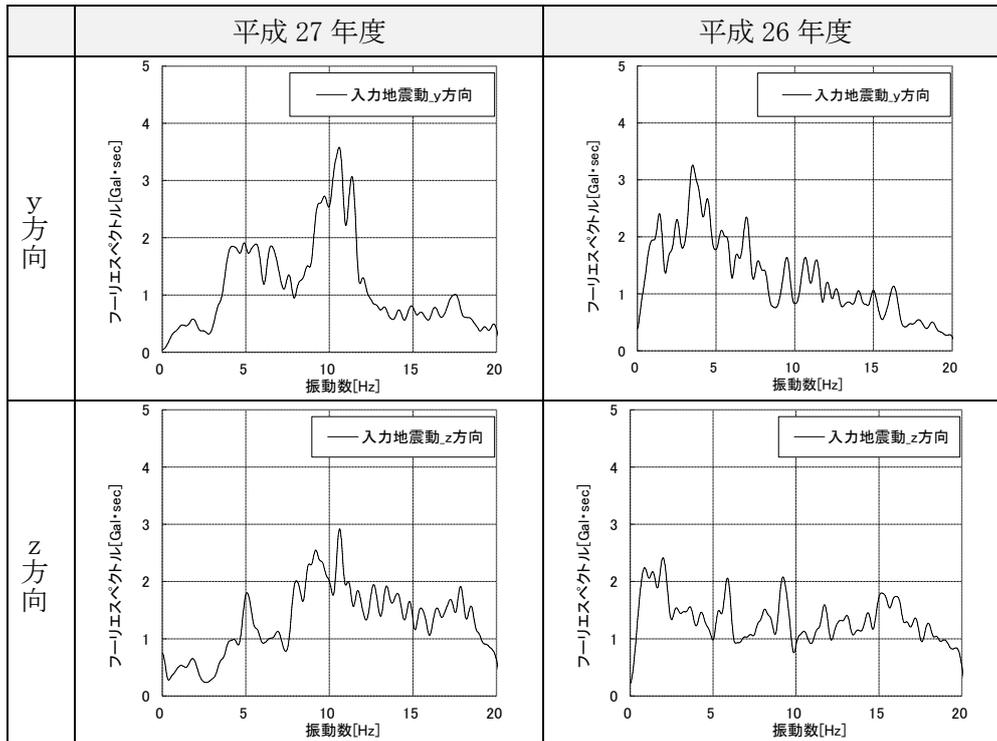
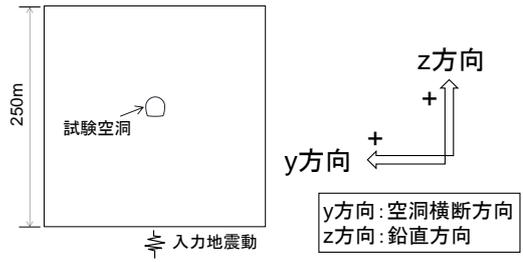


図 5.2-155 入力地震動のフーリエスペクトル

15) 試験施設の発生応力

試験施設の地震時発生応力(直応力およびせん断応力)を図 5.2-157～図 5.2-161 に示す。
なお、図化の対象は解析結果と同様に以下とした。

- ・ コンクリートピット (底部、側部、上部)
- ・ 低透水層 (底部、側部、上部)
- ・ 緩衝材 (底部、側部、上部)
- ・ 埋戻し材 (上部)

応力成分毎に着目すると、図 5.2-156～図 5.2-159 に示すように、引張・圧縮応力は水平方向、鉛直方向ともに左右・上下部の隅角部で応力が集中する傾向が見られる。一方、図 5.2-160～図 5.2-161 に示すように、せん断応力は廃棄体間充填材とコンクリートピットの境界部で応力が集中する傾向が見られる。これらの傾向は、平成 27 年度、平成 26 年度の両者で共通している。

また、図 5.2-156～図 5.2-161 に示すように、いずれの応力成分においても平成 26 年度の方が平成 27 年度よりも大きくなる傾向が見られる。これは、前項で述べたように、施設の変形量が、平成 26 年度の方が平成 27 年度よりも大きくなることと整合する。

以上より、平成 27 年度と平成 26 年度の入力地震動では、平成 26 年度の入力地震動の方が、試験施設の発生応力に与える影響は大きいことがわかった。

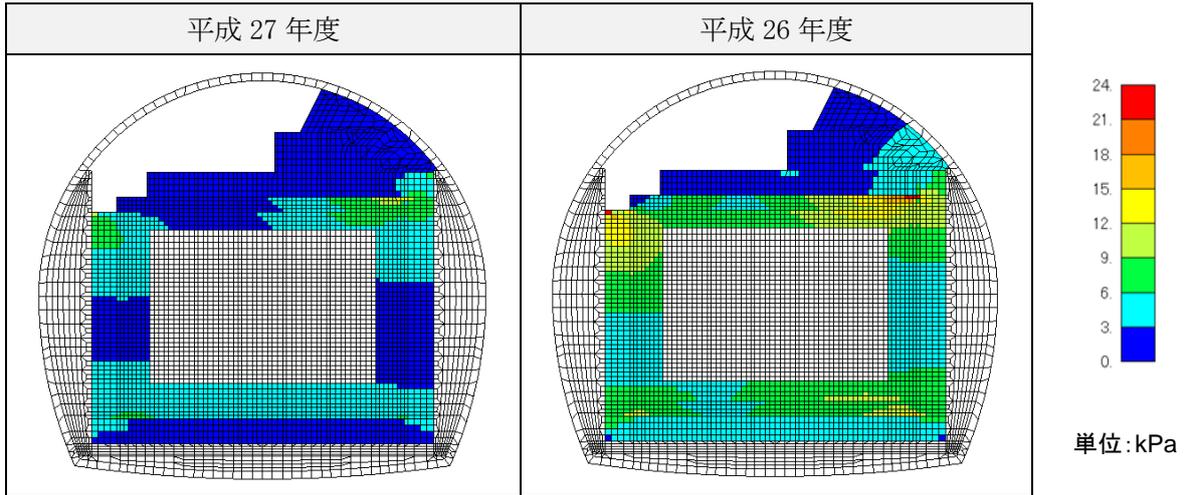
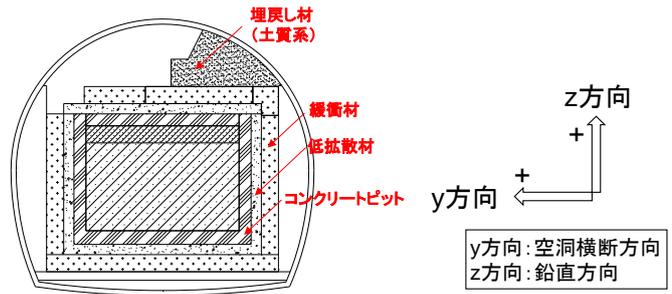


図 5.2-156 試験施設の引張応力の地震時増分 (y 方向、引張正、履歴最大)

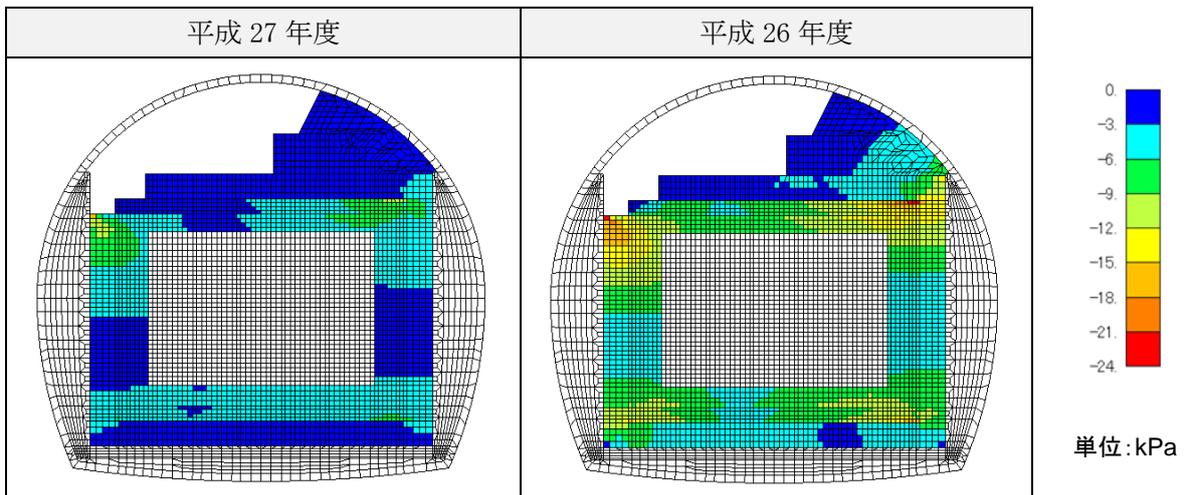


図 5.2-157 試験施設の圧縮応力の地震時増分 (y 方向、圧縮負、履歴最小)

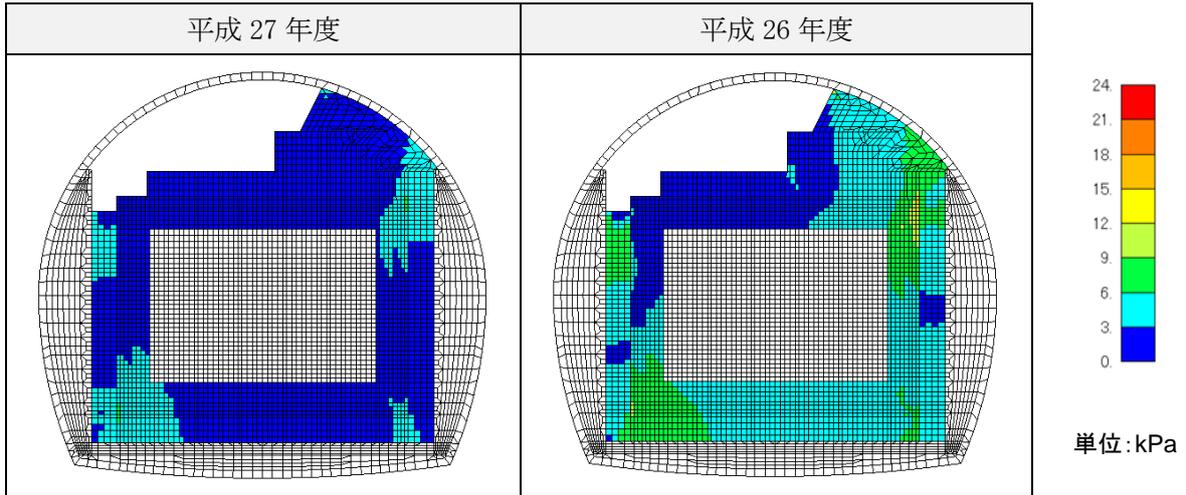
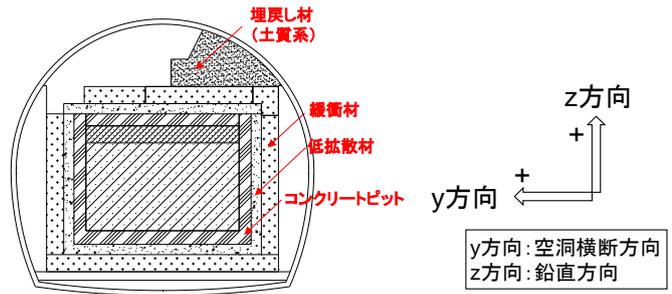


図 5.2-158 試験施設の引張応力の地震時増分 (z 方向、引張正、履歴最大)

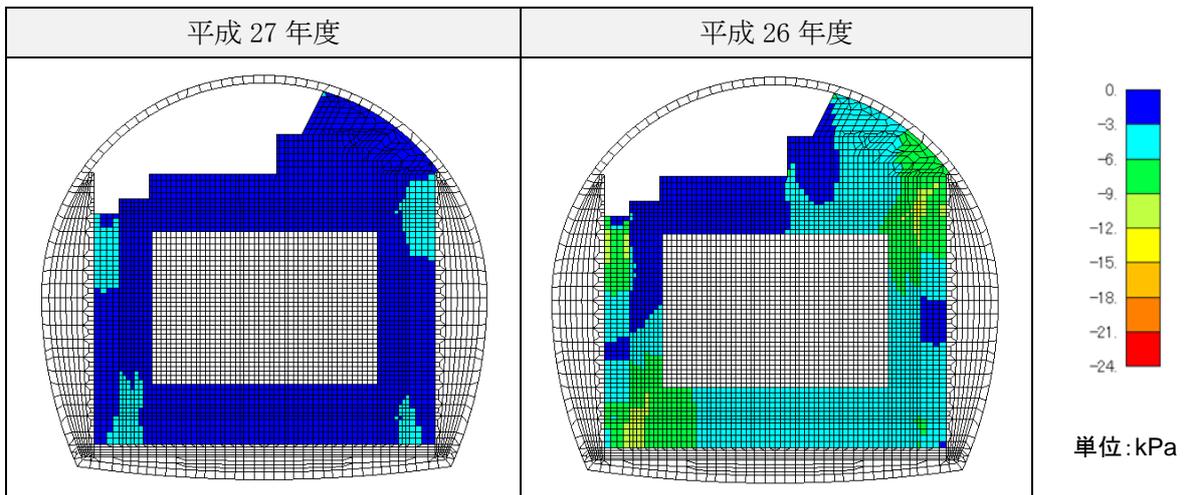


図 5.2-159 試験施設の圧縮応力の地震時増分 (z 方向、圧縮負、履歴最小)

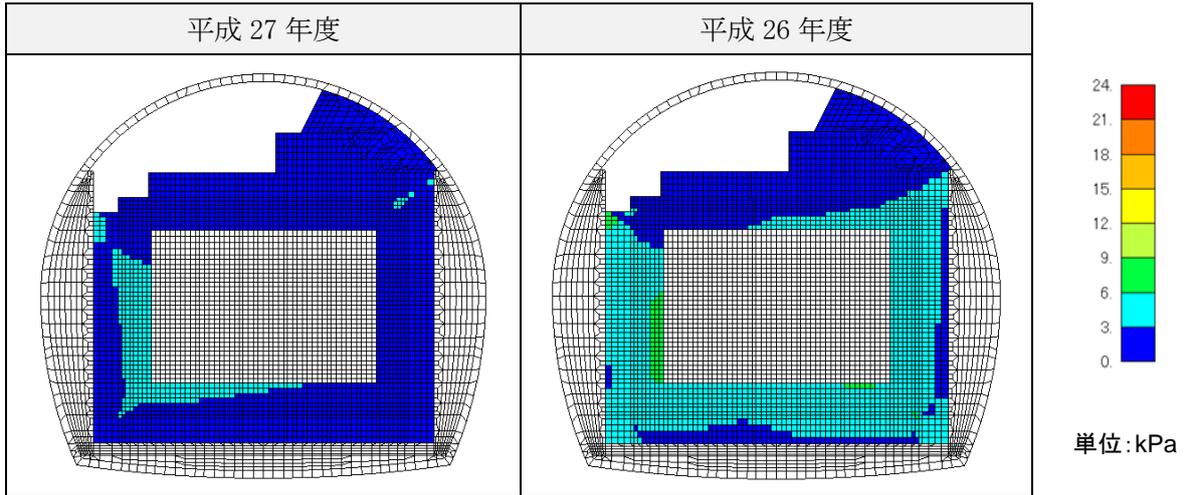
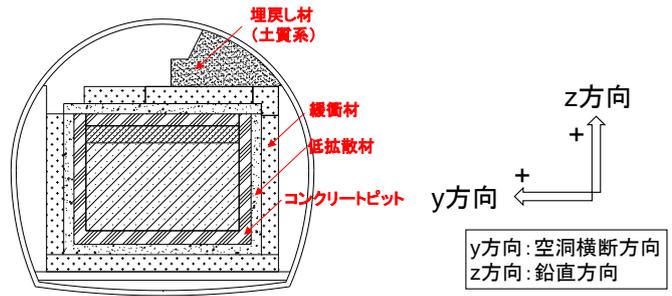


図 5.2-160 試験施設のせん断応力地震時増分 (履歴最大)

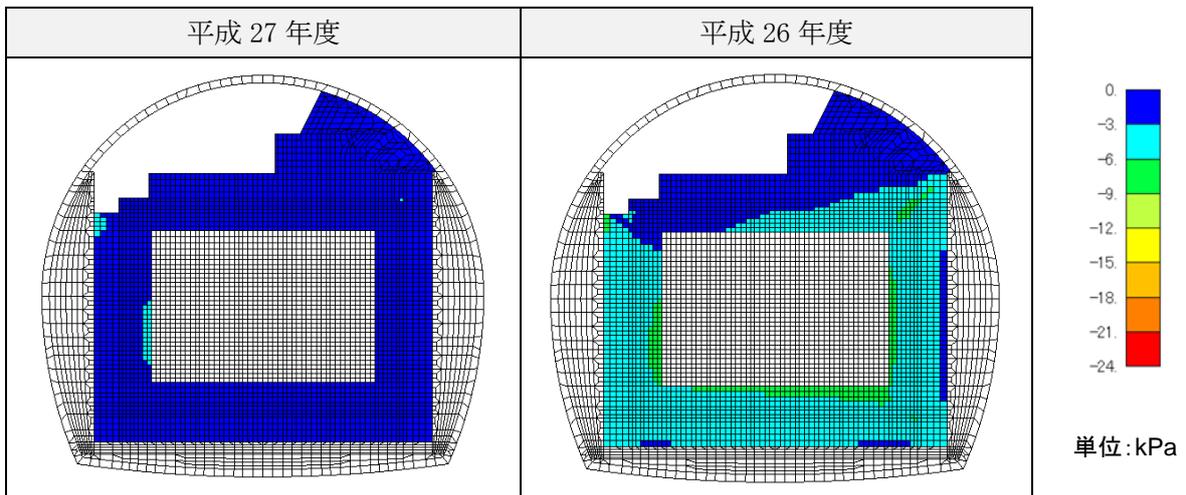


図 5.2-161 試験施設のせん断応力地震時増分 (履歴最小)

5.3 ひび割れ調査の分析評価

5.3.1 ひび割れ調査の目的

上部低拡散層、上部コンクリートピット、側部低拡散層のひび割れ調査結果に関して、施設の挙動計測結果と比較・分析し、セメント系材料のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生について考察する。調査実施日 H27 年 9 月 4 日及び H27 年 12 月 2 日で、調査部位は、グレーの範囲は昨年度までに調査した範囲、白は今年度調査した範囲である。

- ・ 上部低拡散層の上面
- ・ 上部コンクリートピットの上面
- ・ 左側側部低拡散層表面

同様に、底部低拡散層の BTV 観察結果に関して、施設の挙動計測結果と比較・分析し、セメント系材料のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生について考察する。調査対象は下記のとおりとし、調査実施日 H27 年 12 月 2 日とした。

- ・ 底部低拡散層の水平ボーリング孔内

5.3.2 ひび割れ調査のまとめ

- ・ 平成 27 年度のひび割れ調査結果及び BTV 観察結果より、平成 26 年度の調査時からの対象部材（上部低拡散層、上部コンクリートピット、左側側部低拡散層、底部低拡散層）のひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。
- ・ ひび割れ調査対象部材の挙動計測結果においても、季節の温度変化に対応した応力変化が認められ、ひび割れ発生、進展するような不連続な応力挙動が認められないことから、ひび割れ発生、進展は生じていないものと評価され、ひび割れ調査結果及び BTV 観察結果と整合する結果が得られた。

5.3.3 ひび割れ調査結果

上部低拡散層及び上部コンクリートピットひび割れ調査結果（2 回目）を図 5.3-1、左側側部低拡散層のひび割れ調査結果（2 回目）を図 5.3-2 に示す。どの部材においても、前回のひび割れ調査時から、ひび割れ幅の増大、進展、新たなひび割れの発生は確認されなかった。

底部低拡散層の BTV 観察において、割れ目が確認された 3 箇所の画像を図 5.3-3～図 5.3-5 に示す。これらの割れ目は、昨年度の BTV 観察でも確認されており、今年度新規の割れ目は確認されなかった。また、割れ目の開口幅についても、昨年度からの変動は認められなかった。

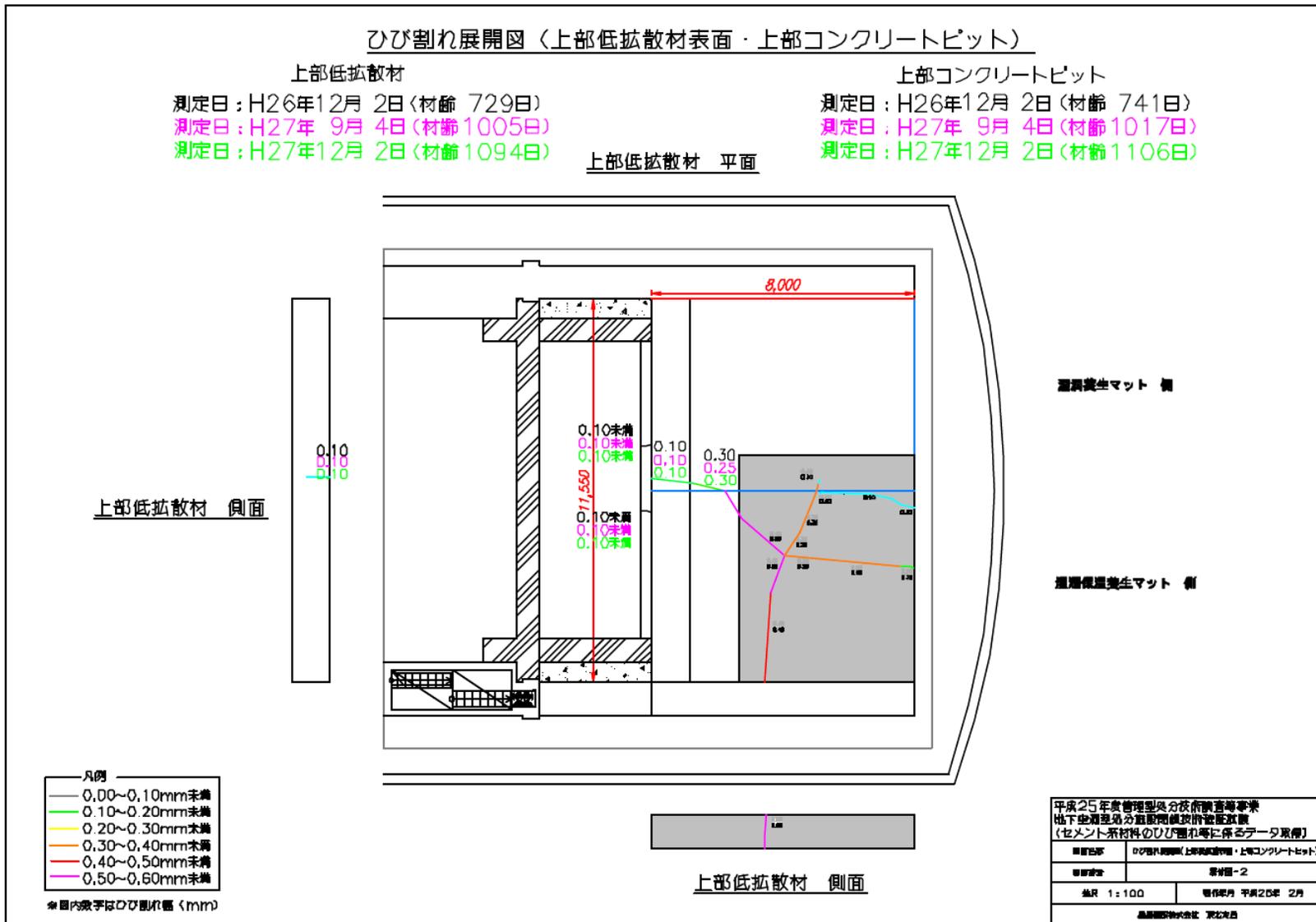


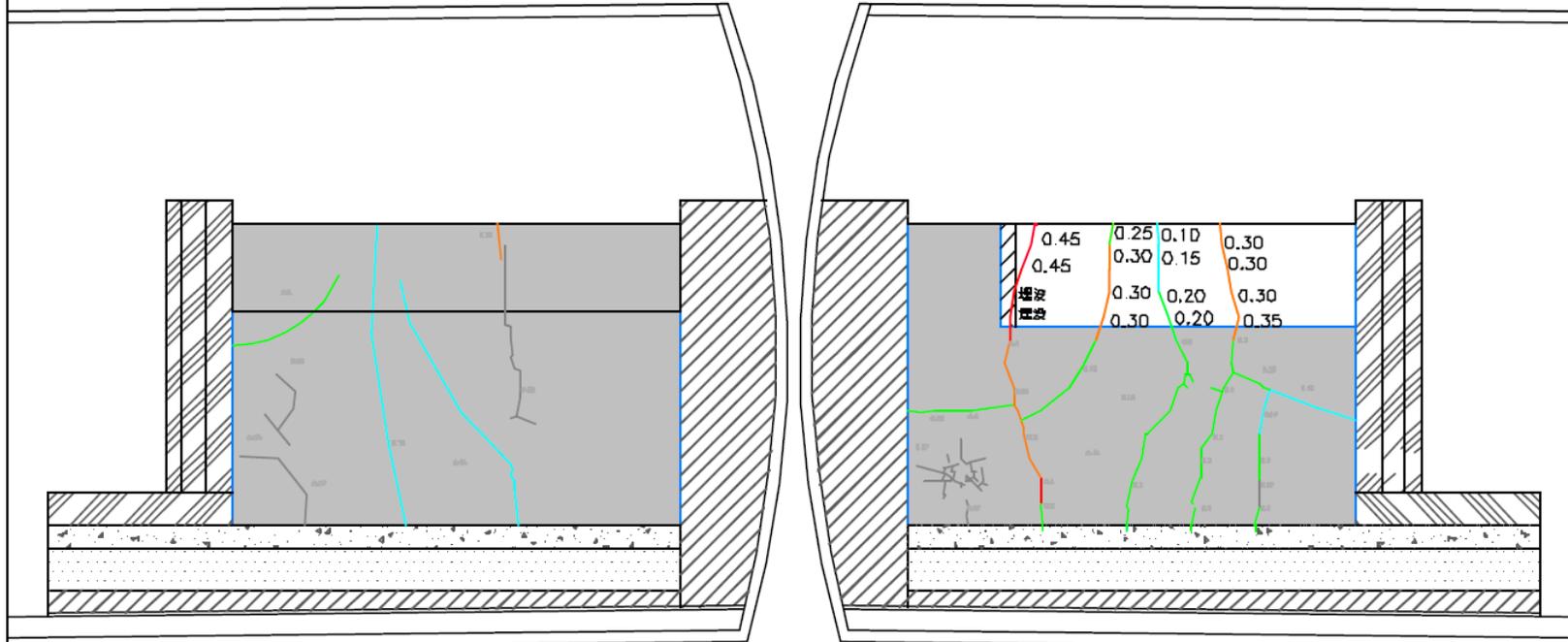
図 5.3-1 上部低拡散層及び上部コンクリートピットひび割れ調査結果 (平面図、側面図)

ひび割れ展開図（側部低拡散材表面）

側部低拡散材 正面図（右）

測定日：H27年12月 2日（材齢 2268日）

側部低拡散材 正面図（左）



- 凡例
- 0.00~0.10mm未満
 - 0.10~0.20mm未満
 - 0.20~0.30mm未満
 - 0.30~0.40mm未満
 - 0.40~0.50mm未満
 - 0.50~0.60mm未満

* 図内数字はひび割れ幅（mm）

平成25年度管沼型処分施設調査等事業
地下埋設埋設処分施設調査監査実施
（セメント系材料のひび割れ等に関するデータ取得）

調査名称	ひび割れ調査等データ取得調査	
調査番号	管沼型-1	
測点	11100	調査年月 平成28年 2月
国土交通省 国土院		

図 5.3-2 左側側部低拡散層ひび割れ調査結果（正面図）

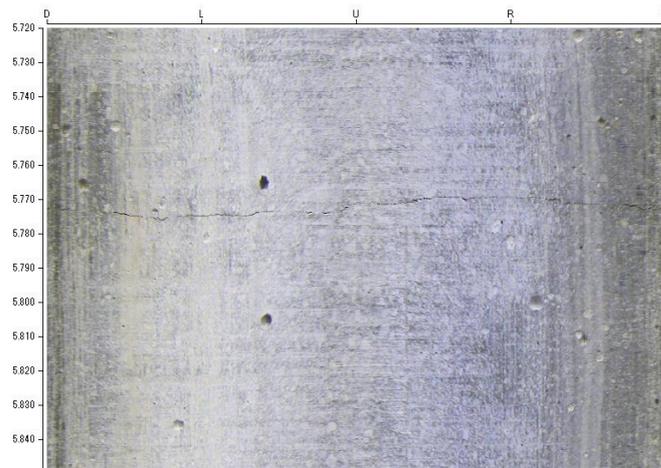


図 5.3-3 底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 5.772m 付近の割れ目）

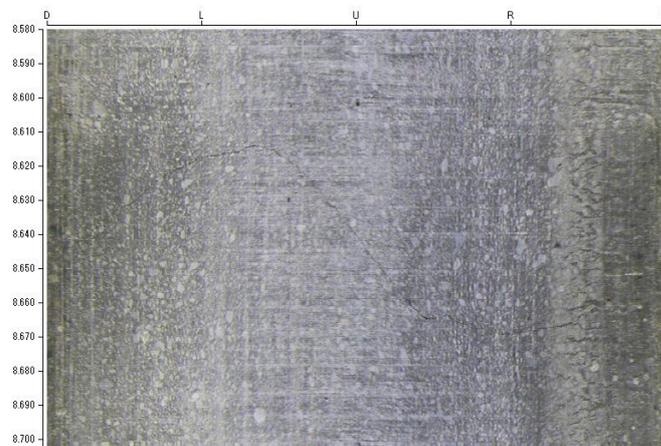


図 5.3-4 底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 8.646m 付近の割れ目）

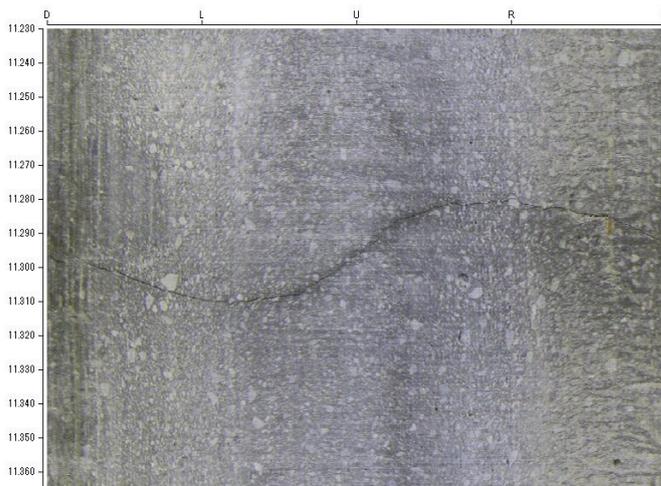


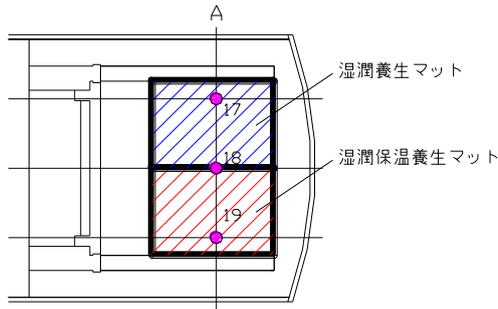
図 5.3-5 底部低拡散層の BTV 観察結果（深度 11.295m 付近の割れ目）

5.3.4 ひび割れ評価

(1) 上部低拡散層

上部低拡散層の温度計測結果を図 5.3-6、応力計測結果を図 5.3-7 に示す。両者ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしている。

以上より、今年度の期間中に上部低拡散層にひび割れは発生していないものと考えられ、ひび割れ調査結果と整合する。

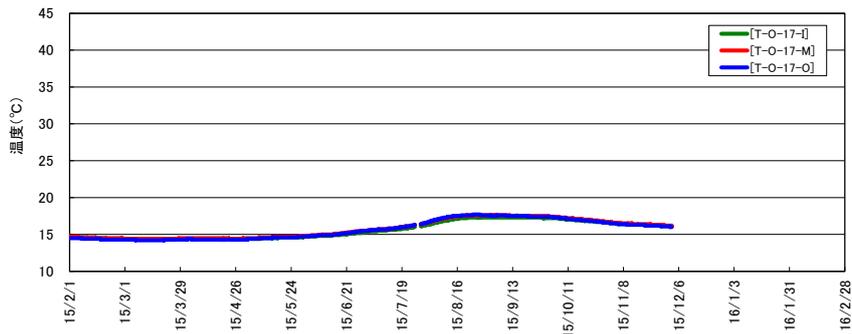


計測結果の凡例

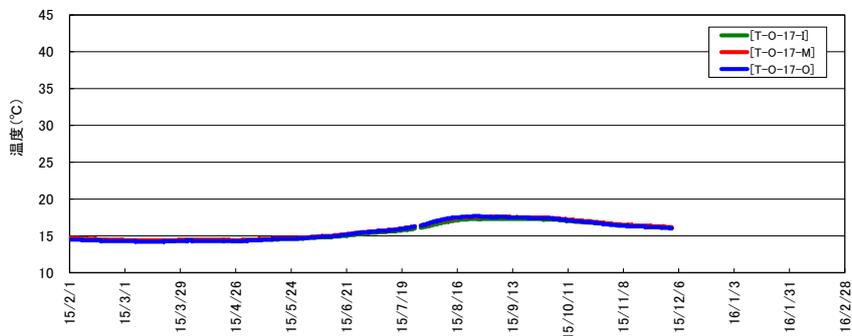
T-O-x-y
 ↓
 位置1
 ↓
 位置2

I: 内側
 M: 中央
 O: 外側

上部低拡散材の温度(左側、湿潤養生マット)



上部低拡散材の温度(左側、湿潤養生マット)



上部低拡散材の温度(右側、湿潤保温養生マット)

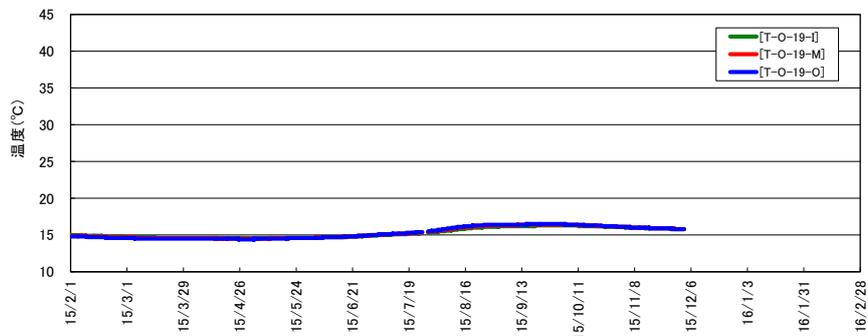
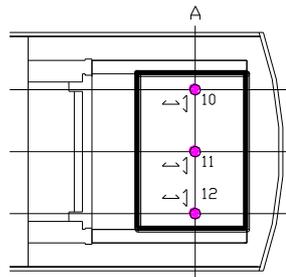


図 5.3-6 上部低拡散層の温度計測結果



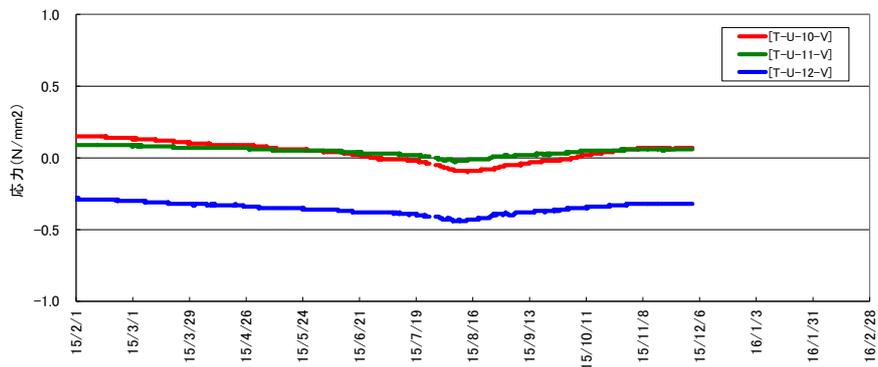
↔: 空洞軸方向
 ↓: 空洞軸直交方向

計測結果の凡例

T-U-x-y
 ↓
 位置
 ↓
 方向 { V: 空洞軸方向
 C: 空洞軸直交方向

上部低拡散材のモルタル応力(空洞軸方向)

+ : 引張、- : 圧縮



上部低拡散材のモルタル応力(空洞横断方向)

+ : 引張、- : 圧縮

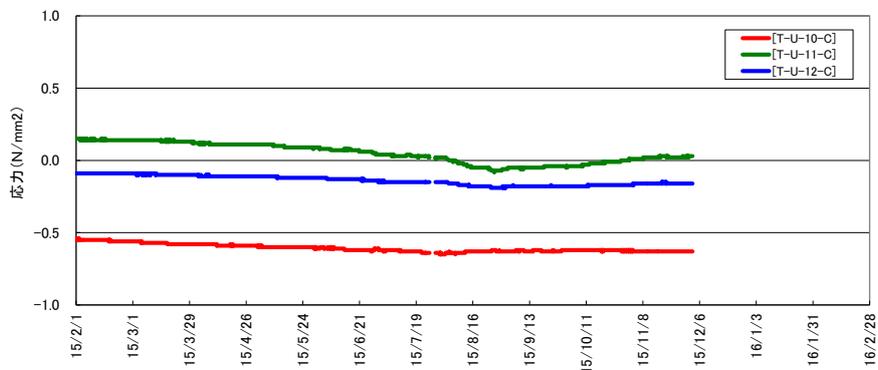


図 5.3-7 上部低拡散層のモルタル応力計測結果

1) 上部コンクリートピット

上部コンクリートピットの温度計測結果を図 5.3-8、応力計測結果を図 5.3-9 に示す。上部低拡散層の挙動と同様に、温度、応力ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしている。

以上より、今年度の期間中に上部コンクリートピットにひび割れは発生していないものと考えられ、ひび割れ調査結果と整合する。



上部コンクリートピットの温度

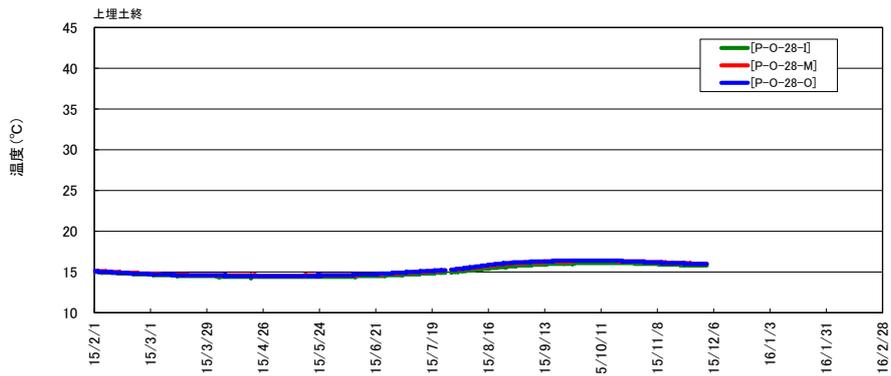


図 5.3-8 上部コンクリートピットの温度計測結果

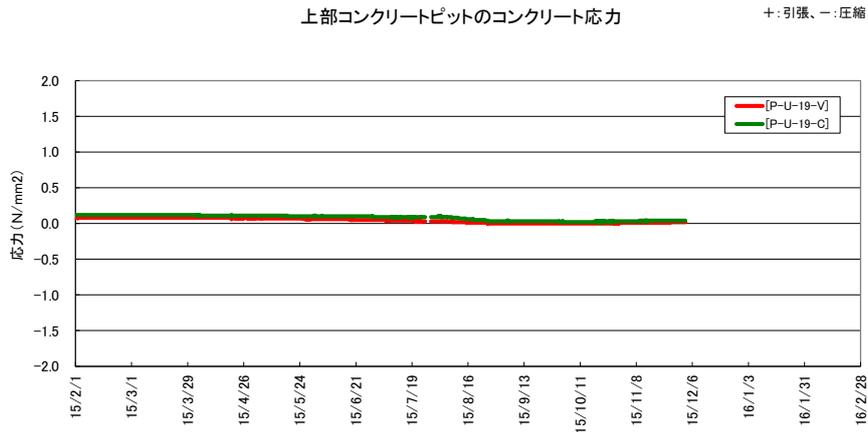
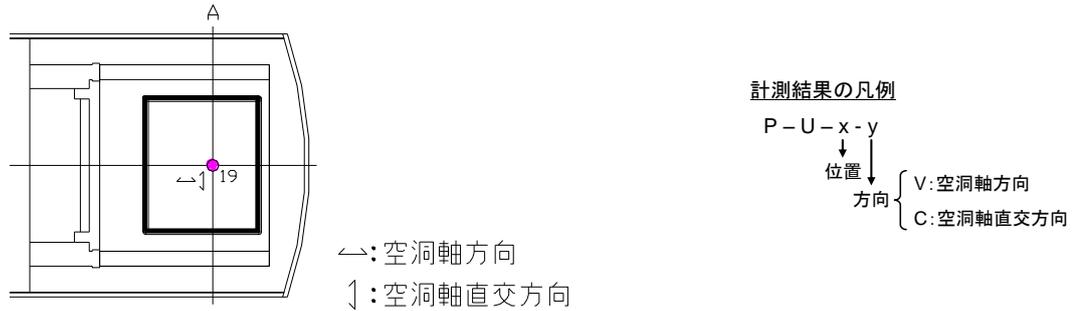
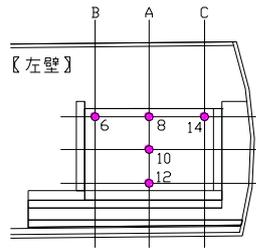


図 5.3-9 上部コンクリートピットの応力計測結果

2) 側部低拡散層

左側側部低拡散層の中央測線である A 断面（上段、中段、下段）の温度計測結果を、応力計測結果を図 5.3-10 に示す。上部低拡散層及び上部コンクリートピットの挙動と同様に、温度、応力ともに、全計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動をしており、空洞気温の影響を受けやすいと考えられる上段計器（図 5.3-11）に示すように、左側の側部緩衝材の上部は一部未施工）は、その他の中段及び下段計器より変動が大きくなっている。

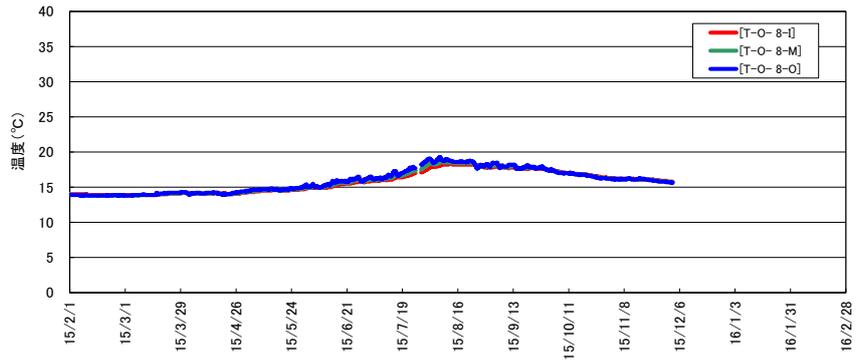
以上より、今年度の期間中に左側側部低拡散層にひび割れは発生していないものと考えられ、ひび割れ調査結果と整合する。



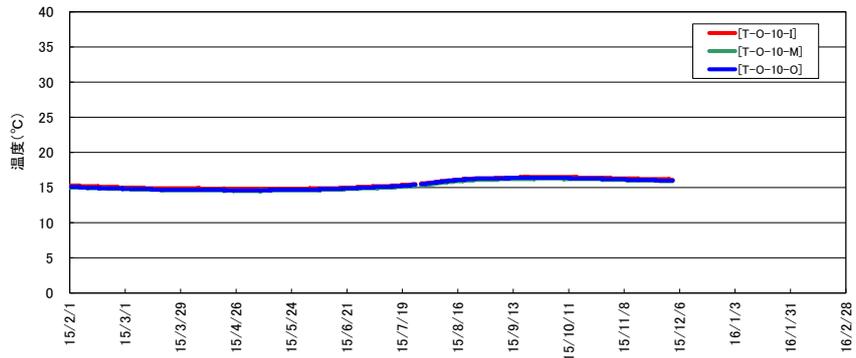
計測結果の凡例

- T-O-x-y
 ↓
 位置1 位置2
 I: 模擬廃棄体側
 M: 中央
 O: 岩盤側

側部低拡散材の温度(A断面上段)



側部低拡散材の温度(A断面中段)



側部低拡散材の温度(A断面下段)

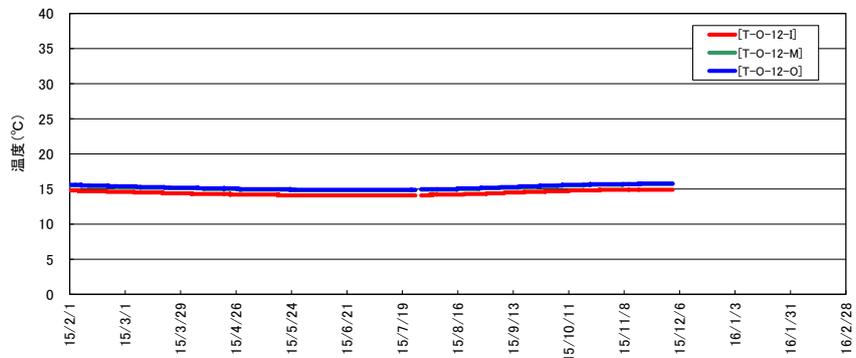


図 5.3-10 側部低拡散層の温度計測結果

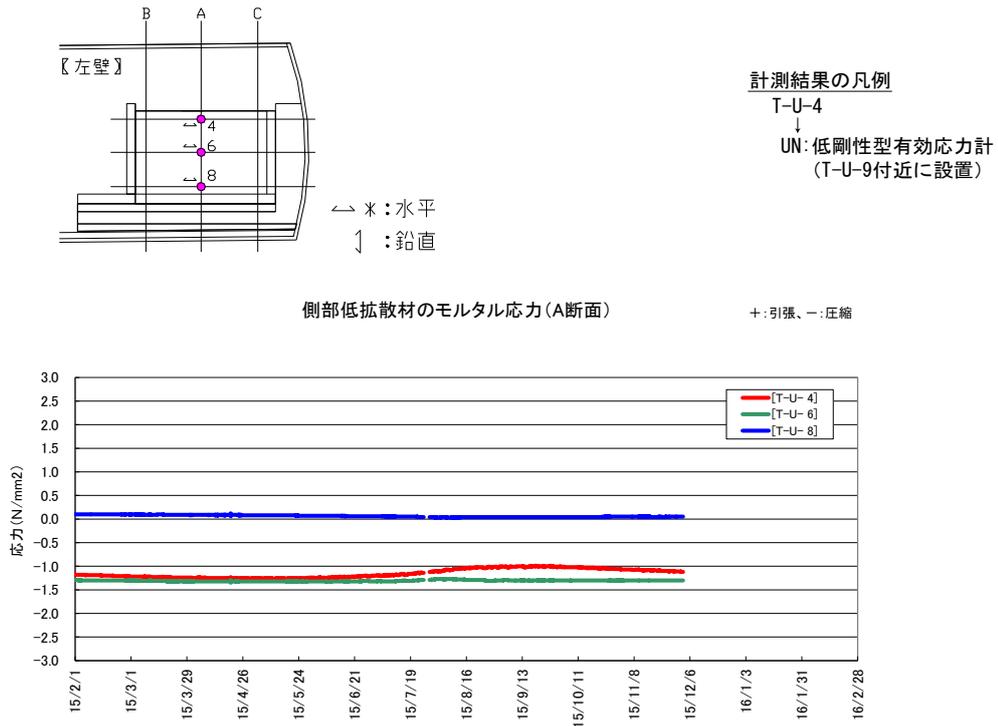


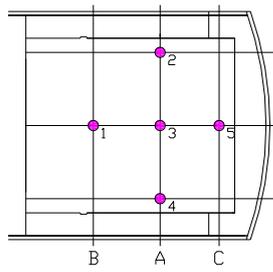
図 5.3-11 側部低拡散層の応力計測結果

3) 底部低拡散層

底部低拡散層の温度計測結果を図 5.3-12～図 5.3-13、応力計測結果を図 5.3-14 に示す。上部低拡散層、上部コンクリートピット、側部低拡散層の挙動と同様に、温度、応力ともに、ほぼ全ての計測器において年間を通して季節の温度変化に伴う変動している。

図 5.3-14 に示すように、A 断面中央の空洞横断方向の応力 (T-U-2-C) については、2015 年 9 月頃に圧縮側に急変しており、ひび割れ発生の可能性が考えられた。そこで、同位置かつ同方向のひずみ結果 (図 5.3-15) と比較したが、ひび割れの発生が確認できるような挙動は見られなかった。この位置の挙動に関しては、今後もデータを蓄積し、動向を確認していくことが望まれる。

以上より、今年度の期間中に底部低拡散層にひび割れは発生していないものと考えられ、BTV 観察結果と整合する。



測定結果の凡例

T-0-1-x

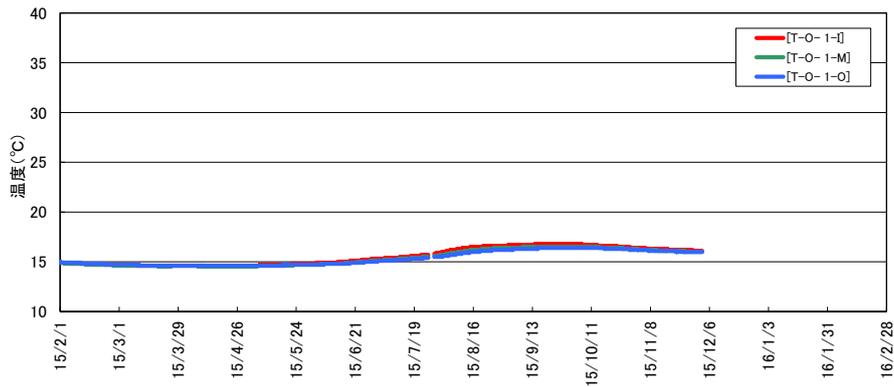
↓
計器位置

I: 上段

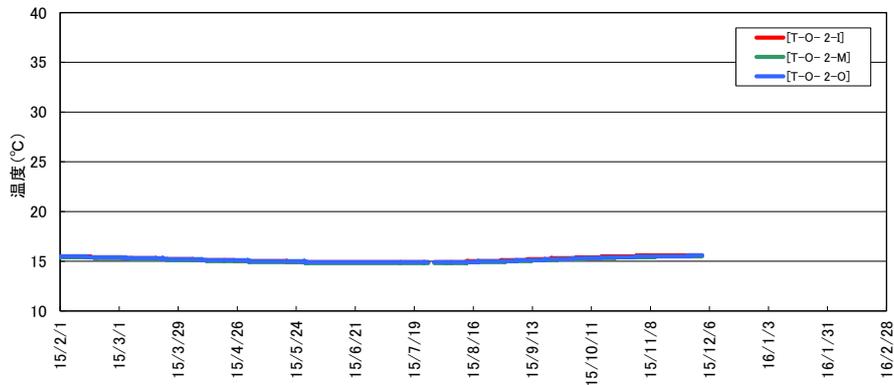
M: 中段

O: 下段

底部低拡散材の温度 (B断面中央)



底部低拡散材の温度 (A断面左)



底部低拡散材の温度 (A断面中央)

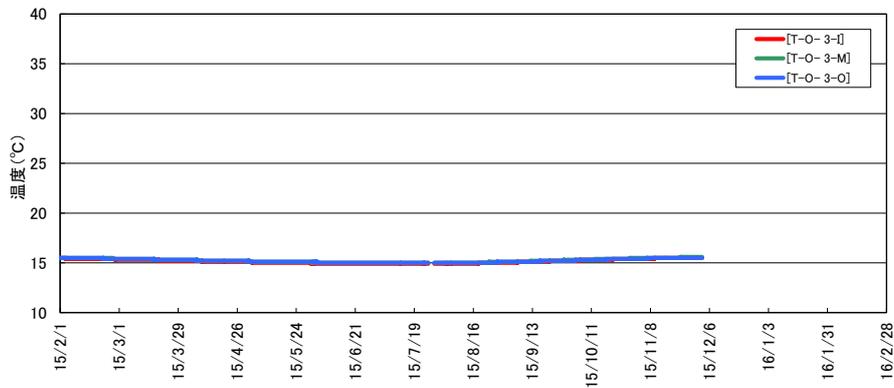
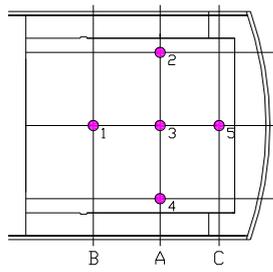


図 5.3-12 底部低拡散層の温度計測結果 (1/2)



測定結果の凡例

T-0-1-x

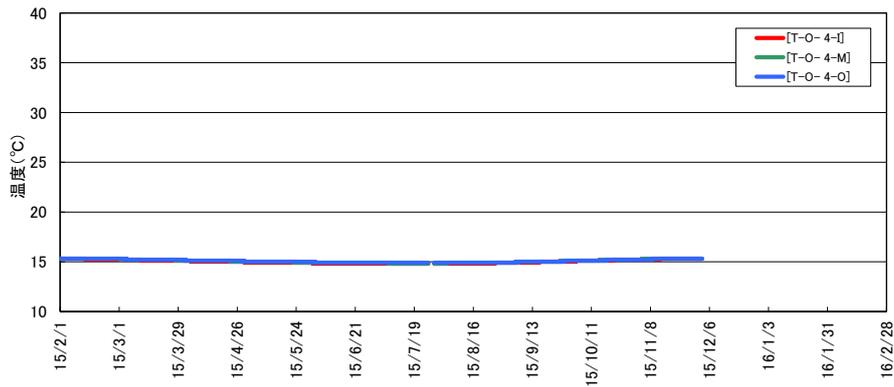
↓
計器位置

I: 上段

M: 中段

O: 下段

底部低拡散材の温度 (A断面右)



底部低拡散材の温度 (C断面中央)

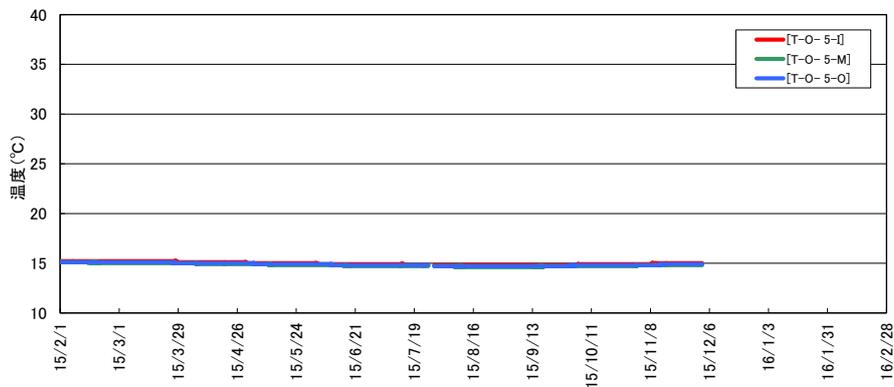
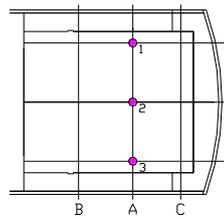


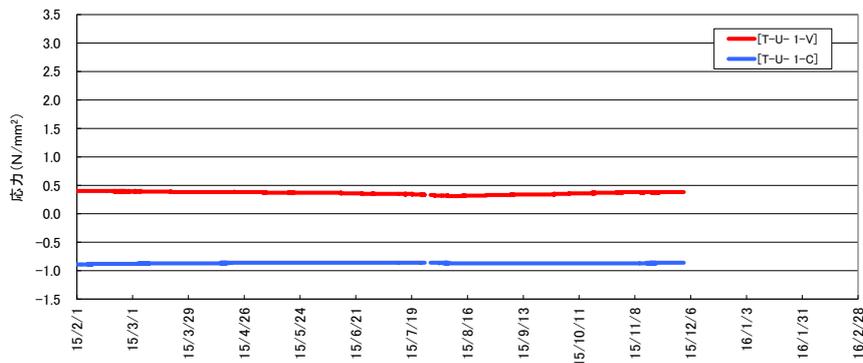
図 5.3-13 底部低拡散層の温度計測結果 (2/2)



測定結果の凡例
 T-U-1-x
 ↓
 測定方向
 V: 空洞軸
 C: 空洞横断

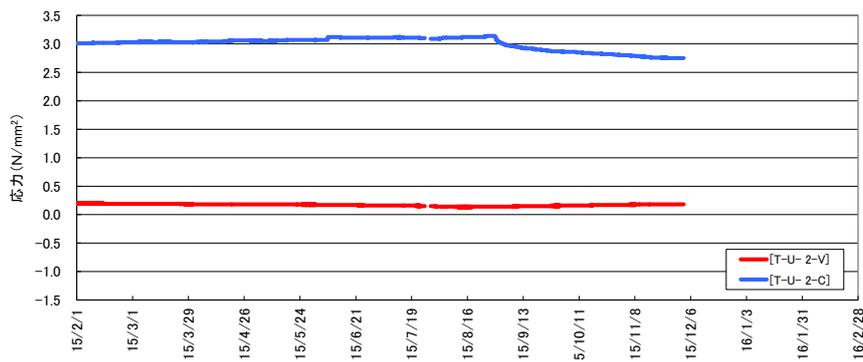
底部低拡散材のモルタル応力 (A断面左)

+ : 引張、- : 圧縮



底部低拡散材のモルタル応力 (A断面中央)

+ : 引張、- : 圧縮



底部低拡散材のモルタル応力 (A断面右)

+ : 引張、- : 圧縮

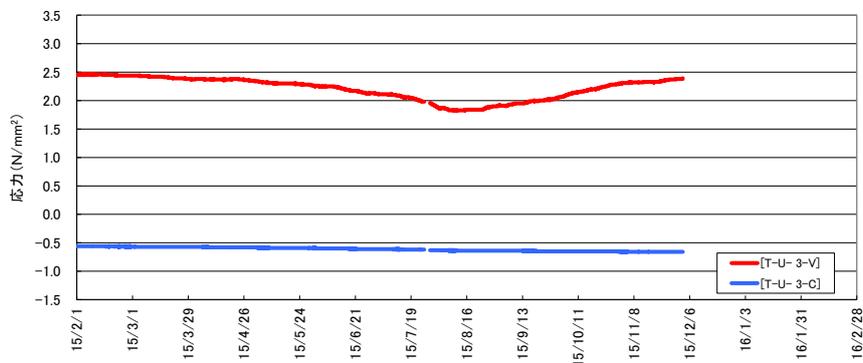
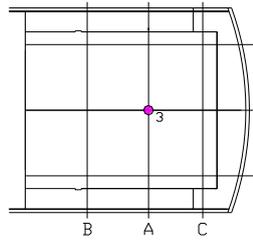


図 5.3-14 底部低拡散層の応力計測結果



測定結果の凡例
 T-H-1-x-y
 ↓
 測定方向
 V: 空洞軸
 C: 空洞横断
 ↓
 計器位置
 I: 上段
 M: 中段
 O: 下段

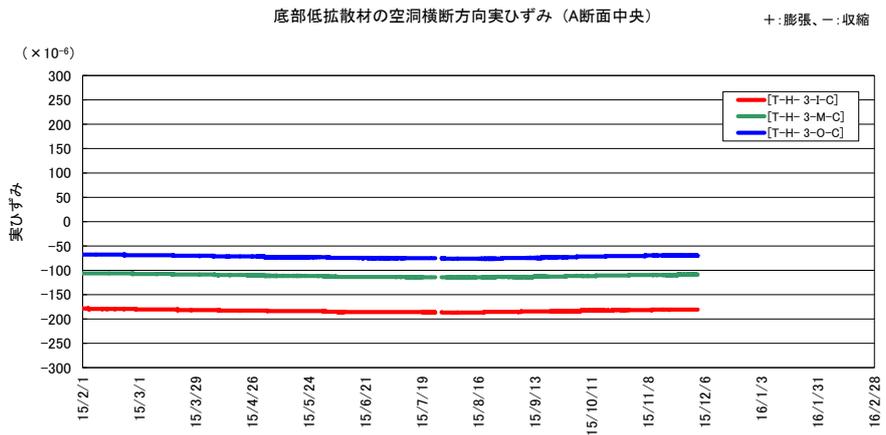


図 5.3-15 底部低拡散層のひずみ計測結果

第5章 参考文献

- [1] 核燃料サイクル開発機構：我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ、分冊2 地層処分の工学技術、TN1400 99-022(1999)
- [2] 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成18年度 地層処分技術調査等 モニタリング機器技術高度化調査報告書（その1）地層処分モニタリングシステムの調査、平成19年3月
- [3] 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成19年度管理型処分技術調査等委託費地下空洞型処分施設性能確証試験報告書
- [4] 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成20年度管理型処分技術調査等委託費地下空洞型処分施設性能確証試験報告書
- [5] 高村ほか：地層処分モニタリングシステム（その8）低周波帯電磁波を用いたデータ伝送技術の地中構造物における解析的検討、日本原子力学会「2009年春の年会」、2009年3月
- [6] 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成24年度地層処分技術調査等事業 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書 平成19年度～平成24年度の取りまとめ報告書、2013年3月
- [7] 気象庁：震度データベース検索 (<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>)
- [8] 中央防災会議：「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」 参考図表集、平成18年1月
- [9] 松本徳久他：ダムで観測された強震記録の解析、ICOLD 第73回年次例会ワークショップ提出論文、2005年10月
- [10] 国立研究開発法人防災科学技術研究所：(<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>)
- [11] 汐見勝彦：防災科研 Hi-net 地中地震計設置方位情報推定方法の改良、防災科学技術研究所研究報告、第80号、2012年11月
- [12] 富田敦紀・岩見忠輝・鈴木康正：余裕深度処分埋施設本格調査のうち試験空洞の支保設計および挙動、電力土木、No.325、2006.9
- [13] 富田敦紀他：低拘束圧下における堆積軟岩空洞の破壊現象の考察、土木学会論文集、Vol.63、2007
- [14] 土木学会：【2007年制定】コンクリート標準示方書 [設計編]、2007
- [15] 日本原燃株式会社、「再処理施設及び特定廃棄物管理施設「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に係る耐震安全性評価報告 コメント回答（基礎地盤の安定性）」
- [16] 地盤工学会：地盤の動的解析－基礎理論から応用まで－、2007
- [17] 日本原燃株式会社、「再処理施設及び特定廃棄物管理施設「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に係る耐震安全性評価報告 コメント回答（基礎地盤の安定性）」
- [18] 原子力環境整備促進・資金管理センター、管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設性能確証試験 報告書
- [19] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成25年度 管理型処分技術調査等事業 地下空洞型処分施設閉鎖技術確証試験 報告書、平成26年3月
- [20] 雨宮清他：ベントナイトクニゲルGXの基本特性試験（その5）動的力学特性に関する検討、土木学会第64回年次学術講演会、2009

第6章 まとめ

6.1 本事業のまとめ

(1) 全体計画の策定

研究開発の初年度として、平成 26 年度までに実施した確証試験で構築した、具体的な処分施設を模擬した実規模施設（試験施設）を活用しつつ、国内外の放射性廃棄物における処分施設の機能確認に関する既往研究成果等の調査や人工バリアの長期性能の調査の結果を反映し、セメント系材料、低透水層および空洞内てん材等の人工バリアの各部材の機能や周辺岩盤の状態変化を長期に亘って確認するための技術開発の課題を整理・検討するとともに、本事業で実施する試験項目・内容と工程について検討を行い、5 年間の全体計画を策定した。

(2) 国内外の既往研究成果等調査

国内および諸外国における、低レベル放射性廃棄物処分や地層処分などの処分施設のモニタリングや機能確認に関する検討、原位置試験など具体的な事例、余裕深度処分の検討に有用な基準や事例等に関する文献などの調査を行った。関係する 42 件の文献の内容を基に、本機能確認試験における前提条件・対象範囲・対象期間およびモニタリングに関する用語の定義を明確化した。また、調査した国内外の既往の研究成果から規制機関によるモニタリングの考え方、既往のモニタリング、ベースラインモニタリング、長期計測に耐えうるセンサ技術および機能確認試験の目的と考え方・モニタリングの制約条件などについての整理・分析を実施した。また、余裕深度処分における機能確認の在り方、実現性の調査として、既往事例調査における機能確認の目的と考え方、操業期間中における機能確認試験の在り方、機能確認の実現性について整理し、検討・評価した。

(3) 人工バリアの長期性能調査

余裕深度処分の安全評価等に関する学会などの文献および長期安全性の評価を担保するために、人工バリアの長期変遷を考慮した上で、施設の設計・施工上、建設当初から施設の健全性確保のために要求される事項に関する文献等を調査し、関係する 27 件の文献を選定した。その内容を基に、安全確保の基本概念と安全機能、余裕深度処分における考慮事項の整理、原子力学会・土木学会における処分システムの状態に対する技術的検討、処分システムの状態設定、人工バリアの安全機能に関する重要パラメータの抽出、モニタリング期間中での値の変化の可能性、主要パラメータや影響因子の計測可能性、人工バリアの安全機能に影響を与える岩盤要因、モニタリング結果の活用方法、およびモニタリング対象・項目などについて整理・検討・評価を実施した。

(4) 具体的な機能確認試験計画の策定

上記の計画策定や文献調査結果などを基に、具体的な機能確認試験計画の策定方法、モニタリングの前提条件の整理、モニタリング対象施設の設定、モニタリング対象施設における実施可能なモニタリング（実処分施設、地下模擬処分施設、地上施設、近傍ボーリング孔などの採水施設、地表/空中からの物理探査、各モニタリング対象施設における対応方針）、モニタリングの位置付けを踏まえた技術開発課題の整理、既存施設の計測機器類およびデータの活用、および機能確認試験計画の立案（予備検討の試験計画の立案、既存施設を活用した試験計画の立案、新規施設を活用した試験計画（案）の立案、地下模擬施設、既存施設と新規施設を活用した試験計画の位置付け）について検討し、具体的な機能確認の試験の概念を示した。また、本業務における試験の概略の全体工程を検討し、取りまとめた。

更に上記の検討に際して、試験施設に設置されている挙動計測機器類やモニタリングデータの活用の一環として、試験施設や周辺岩盤の挙動を計測するとともに、挙動計測データに基づき、坑内環境計測結果の分析・評価、空洞内充てん材の計測結果の分析・評価、底部低透水層の観測結果の分析・評価、セメント系材料の計測結果の分析・評価、および周辺岩盤挙動計測結果の分析・評価を実施した。

(5) 既設の実規模施設における地震時挙動評価およびコンクリートピット等のひび割れ観察

地震計の観測データの整理（7波）と挙動分析として、地震応答解析のフローを検討、観測データの分析評価（計器設置概要、地震動観測データ、観測データの分析評価）、解析による地震時の挙動の評価（解析条件、解析結果、分析評価）を実施した。解析は、試験施設の固有振動数に近い卓越振動数を持つ地震波を選定して行い、試験施設に与える影響を評価した。また、ひび割れの分析評価として、ひび割れ調査結果に基づき、昨年度までのひび割れと比較・検討し、ひび割れの状態を評価した。今年度、コンクリートピットや低拡散材には、新たにひび割れは確認されておらず、また、割れ目の開口幅などについても昨年からの変動は認められなかった。

お わ り に

発電所廃棄物や TRU 廃棄物（地層処分相当の廃棄物を除く）等の低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分施設の計画・設計・建設に向け、より現実的な試験条件下で実施する検討や試験等の積み重ねが必要となる。本試験はこうした状況に鑑み、地下空洞型処分施設の機能確認を主目的とする実証的な試験を行うものである。

本試験は大断面の地下空洞における処分施設の主に人工バリアの機能の確認方法の検討及び実証的な試験が主となる。このため、試験の計画にあたっては、発電所廃棄物や TRU 廃棄物の低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分等の施設の計画・設計・施工・安全評価に係ってきた専門家からなる委員会を設け、幅広く関連する知見や意見等を取り入れて検討してきた。

平成 27 年度は本事業の位置づけ等を明確にしつつ、試験すべき内容と施設に要求される性能等を検討した上で、事業の基本となる全体計画を策定した。この全体計画をもとに、次年度以降、本格的な実施のための試験の検討や具体的な試験方法等を検討することとなる。

