

平成29年度
高レベル放射性廃棄物等の
地層処分にに関する技術開発事業

可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発

報告書（第2分冊）

地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発

平成30年3月

公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター

本報告書は、経済産業省からの委託研究として、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターが実施した、平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発の開発成果のうち、地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発の成果を取りまとめたものです。

報告書の構成

平成29年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発の報告書は、以下の分冊により構成されている。

当該報告書	分冊名	報告書の標題
	第1分冊	可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発の事業概要・要旨
○	第2分冊	地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発
	第3分冊	可逆性・回収可能性の意義及び確保のあり方の整理 回収可能性の維持についての検討

目次

第1章	実証試験の全体概要	1-1
1.1	背景および目的	1-1
1.2	実証試験の対象	1-1
1.2.1	処分孔縦置き定置方式	1-1
1.2.2	処分坑道横置き定置方式	1-2
1.2.3	回収の対象とする PEM の性状	1-4
1.2.4	地下実証試験サイト	1-5
1.3	これまでの成果	1-6
1.3.1	地下実証試験サイトの整備	1-7
1.3.2	エアベアリング方式の定置装置の実証的整備	1-7
1.3.3	隙間充填技術の実証的整備	1-8
1.3.4	隙間充填材除去技術の実証的整備	1-8
1.3.5	地層処分実規模試験施設の活用	1-10
1.4	平成29年度の実施内容	1-10
1.5	年度展開	1-11
第2章	実証試験サイトの整備	2-1
2.1	実証試験サイトの整備の概要	2-1
2.2	地下実証試験サイトの整備	2-1
2.2.1	地下実証試験場所の整備	2-1
2.2.2	試験坑道2の性状調査	2-2
2.2.3	周辺環境への影響調査	2-9
2.2.4	模擬 PEM	2-46
2.3	地上実証試験サイトの整備	2-55
2.3.1	概要	2-55
2.3.2	組立台および台座の仕様	2-56
2.3.3	組立台および台座の出来形	2-57
2.4	まとめ	2-60
第3章	搬送定置・回収技術の実証的整備	3-1
3.1	平成29年度の実施概要	3-1
3.1.1	搬送定置・回収技術の実証的整備の目的	3-1
3.1.2	平成29年度の実施内容	3-1
3.2	定置・回収装置の製作	3-2
3.2.1	実証試験までの装置開発（概要）と装置構成	3-2

3.2.2	定置・回収装置製作の進捗	3-3
3.2.3	本年度の成果	3-3
3.3	地下実証サイトにおける要素試験	3-5
3.3.1	試験計画	3-5
3.3.2	試験結果	3-20
3.3.3	試験データの分析	3-25
3.4	要素試験結果の実機への反映	3-42
3.4.1	空気流量、圧力	3-42
3.4.2	定置装置整備に必要な牽引力の評価	3-46
3.4.3	今後の展開（要素試験結果をどのように反映させるか）	3-49
3.5	今後の予定	3-50
3.6	まとめ	3-51
3.6.1	地下での要素試験の実施	3-51
3.6.2	安全対策のための定置・回収装置の整備	3-51
第4章	隙間充填技術の実証的整備	4-12
4.1.1	はじめに	4-12
4.1.2	隙間充填材、充填方法の見直し	4-13
4.1.3	充填部の品質管理方法	4-15
4.2	下部狭隘部充填技術の実証的整備	4-16
4.2.1	狭隘部を対象とした充填技術	4-16
4.2.2	技術整備手順	4-16
4.2.3	下部狭隘部充填設備の概念設計	4-18
4.2.4	充填材料の製作試験	4-24
4.2.5	ステップ1：隙間充填装置の基本性能確認試験および移送前後の性状確認	4-31
4.2.6	ステップ2：未充填部を生じないスクリー位置の選定	4-40
4.2.7	ステップ3：幌延狭隘部を想定した充填予備試験	4-63
4.2.8	ステップ4：狭隘部充填装置の機能確認、プロセス管理項目の設定	4-114
4.3	上部開放部充填技術の実証的整備	4-138
4.3.1	開放部を対象とした充填技術	4-138
4.3.2	技術整備手順	4-138
4.3.3	上部開放部吹付け設備	4-140
4.3.4	ステップ1：吹付けに向けた材料選定	4-142
4.3.5	ステップ2：ベントナイト混合土の吹付け予備試験	4-145
4.3.6	ステップ3：ベントナイト混合土の吹付け要素試験	4-150
4.3.7	ステップ4：模擬土槽を用いた吹付け試験	4-157
4.4	地下環境での隙間充填試験に向けた整備	4-192

4.4.1	狭隘部へのペレット充填技術の実証試験計画	4-192
4.4.2	開放部の吹付け技術の実証試験計画	4-195
4.4.3	開放部および狭隘部の境界の充填方法	4-198
4.6	隙間充填技術の実証的整備 まとめ	4-199
4.6.1	充填技術の見直し	4-199
4.6.2	下部狭隘部の隙間充填技術の整備	4-199
4.6.3	上部開放部の隙間充填技術の整備	4-200
4.6.4	幌延 URL での実証試験計画案の検討	4-200
第5章	充填材除去技術の実証的整備	5-5
5.1	PEM の回収における充填材の除去技術	5-5
5.1.1	除去対象とする隙間充填材	5-5
5.1.2	除去の条件	5-6
5.1.3	除去技術	5-6
5.2	機械的除去技術の検討	5-10
5.2.1	技術概念	5-10
5.2.2	設備の仕様およびハンドリングフロー	5-12
5.2.3	原位置実証装置の概念設計	5-19
5.3	流体的除去技術（ウォータージェット方式）の検討	5-21
5.3.1	技術概念	5-21
5.3.2	設備の仕様およびハンドリングフロー	5-22
5.3.3	ウォータージェット方式充填材除去の要素試験	5-28
5.4	地上要素試験の展開と今後の展開	5-49
5.4.1	地上要素試験結果の利用	5-49
5.4.2	除去装置の配置概念	5-52
5.4.3	まとめと今後の課題	5-53
第6章	地層処分実規模試験施設の活用	6-1
6.1	概要	6-1
6.2	地層処分実規模試験施設の運営	6-2
6.2.1	概要	6-2
6.2.2	施設の一般公開	6-2
6.2.3	試験の公開	6-4
6.2.4	緩衝材可視化試験	6-7
6.3	アンケートの分析	6-16
6.3.1	アンケート回答者属性	6-16
6.3.2	アンケート収集結果（理解度）	6-17
6.4	来館者記録の分析	6-20

6.4.1	概要.....	6-20
6.4.2	分析結果.....	6-21
6.5	まとめ	6-22
第7章	結言	7-1
7.1	平成29年度の成果.....	7-1
7.1.1	実証試験サイトの整備.....	7-1
7.1.2	搬送定置・回収技術の実証的整備	7-2
7.1.3	隙間充填技術の実証的整備	7-3
7.1.4	隙間充填材除去技術の実証的整備	7-4
7.1.5	地層処分実規模試験施設の活用	7-5

目 次

図 1.2.1-1	処分孔縦置き定置方式を対象とした緩衝材除去システムの整備[3]	1-2
図 1.2.2-1	PEM の搬送から回収までの主要な工学技術	1-3
図 1.2.3-1	対象となる模擬 PEM の仕様および寸法	1-4
図 1.2.4-1	試験坑道 2 の整備状況.....	1-5
図 1.3.1-1	幌延 URL 試験坑道 2 の整備状況.....	1-7
図 1.3.2-1	エアベアリング方式による定置装置の整備状況.....	1-7
図 1.3.3-1	ペレット充填方式による隙間充填技術の整備状況	1-8
図 1.3.4-1	隙間充填材除去の作業手順の具体化、ウォータージェットによる切削予備 試験.....	1-9
図 1.3.5-1	地下環境での搬送定置拐取技術の高度開発 年度展開.....	1-12
図 2.2.1-1	実証試験場所	2-1
図 2.2.1-2	試験坑道 2 の実証試験設備	2-2
図 2.2.2-1	レーザースキャナーFocus3DX330 (FARO 社カタログより)	2-3
図 2.2.2-2	測定位置と基準球設置位置	2-4
図 2.2.2-3	原点位置図	2-1
図 2.2.2-4	計測機器設置状況 (5 回目の測定)	2-1
図 2.2.2-5	基準球設置状況.....	2-1
図 2.2.2-6	棲部表面の点群画像 (10mm 間隔)	2-2
図 2.2.2-7	組立台表面 (一部) の点群画像 (1mm 未満間隔)	2-2
図 2.2.2-8	試験坑道 2 の内空の点群画像 (10mm 間隔)	2-3
図 2.2.2-9	点群密度の確認.....	2-3
図 2.2.2-10	組立台の北側壁面	2-4
図 2.2.2-11	組立台の南側壁面	2-4
図 2.2.2-12	試験坑道 2 の組立て台のクラック調査結果.....	2-6
図 2.2.2-13	クラックの近接写真と性状 (TYPE-1 部)	2-7
図 2.2.2-14	クラックの近接写真と性状 (TYPE-2 部)	2-8
図 2.2.3-1	設置位置図 (全体図)	2-10
図 2.2.3-2	設置位置図 (詳細図)	2-10
図 2.2.3-3	計測器設置状況.....	2-11
図 2.2.3-4	温度の経時変化.....	2-12
図 2.2.3-5	コンクリート応力の経時変化.....	2-13
図 2.2.3-6	鋼製支保工応力の経時変化	2-13
図 2.2.3-7	要素試験概念図.....	2-14
図 2.2.3-8	要素試験状況 (14.125t のウェイトを載せて試験走行している様子)	2-14

図 2.2.3-9	要素試験時のコンクリート応力計計測データ	2-16
図 2.2.3-10	要素試験時の鋼製支保工応力計計測データ	2-17
図 2.2.3-11	要素試験時の温度計計測データ	2-17
図 2.2.3-12	走行区間と計測器設置位置	2-18
図 2.2.3-13	コンクリート応力の経時変化：ウエイト 14.125t の場合.....	2-19
図 2.2.3-14	コンクリート応力の経時変化：ウエイト 6t の場合.....	2-19
図 2.2.3-15	コンクリート応力の経時変化：ウエイト 2t の場合.....	2-20
図 2.2.3-16	鋼製支保工応力の経時変化：ウエイト 14.125t の場合	2-20
図 2.2.3-17	鋼製支保工応力の経時変化：ウエイト 6t の場合	2-21
図 2.2.3-18	鋼製支保工応力の経時変化：ウエイト 2t の場合	2-21
図 2.2.3-19	ウエイト盛替えを対象した期間の応力変化.....	2-22
図 2.2.3-20	模擬 PEM 定置位置と計測器の位置.....	2-23
図 2.2.3-21	模擬 PEM の組立て状況.....	2-23
図 2.2.3-22	模擬 PEM の各部品の名称	2-24
図 2.2.3-23	模擬 PEM 設置時のコンクリート応力（増分）の経時変化	2-25
図 2.2.3-24	模擬 PEM 設置時の鋼製支保工応力（増分）の経時変化.....	2-26
図 2.2.3-25	解析メッシュ（全体）	2-27
図 2.2.3-26	埋戻し材の充填モデル（埋戻し面が垂直）	2-28
図 2.2.3-27	埋戻し材の充填モデル（埋戻し面が傾斜）	2-28
図 2.2.3-28	解析用部材の名称.....	2-29
図 2.2.3-29	ウエイト載荷による組立台コンクリートの増分周方向応力分布図 ...	2-32
図 2.2.3-30	ウエイト載荷による吹付けコンクリートの増分周方向応力分布図 ...	2-32
図 2.2.3-31	模擬 PEM 設置による組立台コンクリートの増分周方向応力分布図.	2-36
図 2.2.3-32	模擬 PEM 設置による吹付けコンクリートの増分周方向応力分布図.	2-37
図 2.2.3-33	埋戻しによる組立台コンクリートの増分周方向応力分布図	2-41
図 2.2.3-34	埋戻しによる吹付けコンクリートの増分周方向応力分布図	2-41
図 2.2.4-1	模擬 PEM の形状.....	2-47
図 2.2.4-2	模擬 PEM の製作.....	2-47
図 2.2.4-3	模擬 PEM の組立確認.....	2-48
図 2.2.4-4	幌延 URL 試験坑道 2 での模擬 PEM・疑似 PEM の設置位置	2-49
図 2.2.4-5	模擬 PEM 設置状況（A11 設置）	2-50
図 2.2.4-6	模擬 PEM 設置状況（C13 設置）	2-50
図 2.2.4-7	模擬 PEM 設置状況（A21 設置）	2-51
図 2.2.4-8	模擬 PEM 設置状況（C23 設置）	2-51
図 2.2.4-9	模擬 PEM 長さ寸法計測位置.....	2-52
図 2.2.4-10	疑似 PEM 設置状況（発砲スチロール組立終了）	2-53

図 2.2.4-11	疑似 PEM 設置状況 (SUS 板設置終了)	2-53
図 2.2.4-12	疑似 PEM 設置状況 (棲面と疑似 PEM 間の隙間充填状況)	2-53
図 2.2.4-13	疑似 PEM 設置状況 (塗装完了)	2-54
図 2.2.4-14	模擬 PEM、疑似 PEM 設置完了	2-54
図 2.3.1-1	地上試験サイト製作箇所の平面図.....	2-55
図 2.3.1-2	地上試験サイトの平面図 (詳細)	2-56
図 2.3.2-1	組立台概略図	2-56
図 2.3.2-2	台座概略図	2-57
図 2.3.3-1	組立台全景	2-58
図 2.3.3-2	組立台上端部および台座の設置状況.....	2-59
図 2.3.3-3	排水設備 (排水溝)	2-59
図 3.1.2-1	「搬送定置・回収技術の実証的整備」の開発計画模式図.....	3-1
図 3.2.1-1	定置・回収装置の完成イメージ図.....	3-2
図 3.2.1-2	定置・回収装置の 5 ヶ年整備計画.....	3-3
図 3.2.3-1	平成 29 年度の整備内容.....	3-4
図 3.3.1-1	要素試験装置 外形図.....	3-7
図 3.3.1-2	要素試験装置 (写真)	3-8
図 3.3.1-3	試験坑道 2 走行面 (組立台) 条件	3-10
図 3.3.1-4	走行面粗さデータ採取位置	3-11
図 3.3.1-5	摩擦係数と表面粗さの計測結果	3-12
図 3.3.1-6	表面粗さと摩擦係数	3-13
図 3.3.1-7	試験装置配置図.....	3-14
図 3.3.1-8	地下要素試験の試験フロー	3-16
図 3.3.2-1	幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験の様子	3-22
図 3.3.2-2	Case-77 (連続走行確認試験、浮上量 55mm 5m/min 前進 1 回目)	3-23
図 3.3.2-3	Case-78 (連続走行確認試験、浮上量 55mm 5m/min 後進 1 回目)	3-24
図 3.3.3-1	定常状態の設定例	3-26
図 3.3.3-2	定常状態の範囲 (Case-77)	3-27
図 3.3.3-3	空気総流量、牽引力の度数分布 (ヒストグラム) の例 (Case-77) ...	3-28
図 3.3.3-4	定置装置実機 地上鋼製模擬坑道 浮上量 40mm 設定、5m/min 設定..	3-29
図 3.3.3-5	要素試験装置 地上鋼製模擬坑道 浮上量 40mm 設定、5m/min 設定..	3-29
図 3.3.3-6	地上鋼製模擬坑道における要素試験装置と実機の総空気流量の比較..	3-30

図 3.3.3-7	地上鋼製模擬坑道における要素試験装置と実機の牽引力の比較	3-31
図 3.3.3-8	Case-14 浮上量 (総負荷 6.83ton、浮上 40mm 設定、区間Ⅱ、5m/min)	3-32
図 3.3.3-9	Case-65 浮上量 (総負荷 6.83ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)	3-33
図 3.3.3-10	静止時の総空気供給量.....	3-34
図 3.3.3-11	Case-77 流量、牽引力 (総負荷 14.955ton、浮上 55mm 設定、全区間、 5m/min)	3-35
図 3.3.3-12	地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での総空気流量の比較	3-36
図 3.3.3-13	地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での牽引力の比較 ...	3-37
図 3.3.3-14	Case-59 流量、牽引力 (総負荷 2.83ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)	3-38
図 3.3.3-15	Case-65 流量、牽引力 (総負荷 6.83ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)	3-38
図 3.3.3-16	Case-77 流量、牽引力 (総負荷 14.955ton、浮上 55mm 設定、全区間、 5m/min)	3-39
図 3.3.3-17	全区間連続走行試験における総空気流量.....	3-40
図 3.3.3-18	全区間連続走行試験における牽引力.....	3-41
図 3.4.1-1	負荷に対する総空気流量	3-42
図 3.4.2-1	負荷に対する牽引力	3-46
図 3.4.2-2	Case-86 牽引力 (総負荷 14.955ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)	3-47
図 4.1.1-1	隙間充填技術の実証的整備 全体工程	4-12
図 4.1.2-1	隙間充填材の除去工程のイメージ.....	4-13
図 4.1.2-2	隙間充填の施工方法と材料仕様 [1]	4-14
図 4.2.2-1	狭隘部の充填技術の整備フロー	4-16
図 4.2.2-2	狭隘部の充填技術の整備フロー	4-17
図 4.2.3-1	スクリーコンベアの試作[5]	4-18
図 4.2.3-2	PEM1 体ごとの隙間充填対象範囲の検討図.....	4-19
図 4.2.3-3	スクリーコンベアの基本寸法	4-20
図 4.2.3-4	クニゲル GX を用いた移送予備試験結果 (回転速度依存性の確認) [5].	4-20
図 4.2.3-5	試験坑道 2 における隙間形状とペレット充填方式を適用する狭隘部..	4-21
図 4.2.3-6	未充填部の発生個所と下段スクリーの配置	4-21
図 4.2.3-7	スクリーコンベア配置イメージ.....	4-22

図 4.2.3-8	移送・充填システム全体概要図	4-23
図 4.2.4-1	隙間充填のかさ密度への影響因子の分析例[2]	4-24
図 4.2.4-2	代表的なベントナイトペレットの製造方法[4]	4-25
図 4.2.4-3	有効粘土密度 1.37Mg/m ³ を満足する充填率とペレット密度の関係...	4-25
図 4.2.4-4	ブリケッティング法により製造したペレットの外観	4-26
図 4.2.4-5	ブリケッティング法によるペレットの混合材のかさ密度測定結果	4-26
図 4.2.4-6	目標粒度分布（フロー粒度）	4-27
図 4.2.4-7	目標と破碎後の粒度分布	4-28
図 4.2.4-8	ブリケッティング材の破碎	4-28
図 4.2.4-9	ロールプレスによるシート状ベントナイトの製造	4-29
図 4.2.4-10	ロールプレス法により製造したベントナイトペレット	4-29
図 4.2.4-11	製造したベントナイトペレットの粒度分布	4-30
図 4.2.5-1	ペレット充填材 A、B の移送前の粒度分布の比較	4-33
図 4.2.5-2	ステップ1 実施時のイメージ	4-35
図 4.2.5-3	スクリーコンベアによる移送試験の様子	4-36
図 4.2.5-4	基本性能確認試験結果	4-37
図 4.2.5-5	基本性能確認試験結果	4-37
図 4.2.5-6	移送前後の充填材粒度分布の変化	4-39
図 4.2.6-1	スクリーコンベア配置イメージ（再掲）	4-40
図 4.2.6-2	狭隘部充填試験用の模擬土槽の断面形状	4-40
図 4.2.6-3	想定される充填材の 2 次元的な広がり	4-41
図 4.2.6-4	左右対称に存在する狭隘部への模擬土槽の対応	4-42
図 4.2.6-5	模擬土槽上面に設けた試料サンプリング用の窓の配置	4-42
図 4.2.6-6	下部狭隘部 模擬土槽全景	4-43
図 4.2.6-7	下部狭隘部内での未充填部の形成状況	4-44
図 4.2.6-8	上段／下段スクリーコンベアの基本配置	4-45
図 4.2.6-9	スクリー外管に取り付ける仕切り板	4-45
図 4.2.6-10	ステップ2 の試験イメージ	4-46
図 4.2.6-11	模擬土槽上面からのサンプリング位置	4-47
図 4.2.6-12	シンウォールチューブによる試料採取のイメージ	4-47
図 4.2.6-13	充填状況目視確認スケッチ	4-48
図 4.2.6-14	メガーによる土槽上面への接触の確認	4-48
図 4.2.6-15	フェーズ1 での試験の合理化の考え方	4-49
図 4.2.6-16	ステップ2 の試験条件の合理化（全フェーズ）	4-51
図 4.2.6-17	上段スクリーによる左土槽への充填状況	4-52
図 4.2.6-18	上段スクリーによる左土槽充填時の充填／未充填部の分布	4-52

図 4.2.6-19	上段スクリューによる右土槽への充填状況.....	4-52
図 4.2.6-20	上段スクリューによる右土槽充填時の充填／未充填部の分布.....	4-52
図 4.2.6-21	上段スクリューでの充填かさ密度測定結果.....	4-53
図 4.2.6-22	下段スクリューによる左土槽への充填状況.....	4-54
図 4.2.6-23	下段スクリューによる左土槽充填時の充填／未充填部の分布.....	4-54
図 4.2.6-24	下段スクリューによる左土槽への充填状況.....	4-54
図 4.2.6-25	下段スクリューによる右土槽充填時の充填／未充填部の分布.....	4-54
図 4.2.6-26	ステップ2 充填かさ密度測定結果（フェーズ3、4）.....	4-55
図 4.2.6-27	上段のみでの充填の場合の未充填部と坑道延長方向の充填材の安息状態	4-56
図 4.2.6-28	下段のみでの充填の場合の未充填部と坑道延長方向の充填材の安息状態	4-57
図 4.2.6-29	左右の模擬土槽に対するスクリューコンベアの回転方向の関係.....	4-58
図 4.2.6-30	右隙間充填時の下段スクリューコンベア揺動状況.....	4-59
図 4.2.6-31	スクリューコンベアによる移送時の充填材排出状況.....	4-59
図 4.2.6-32	下部狭隘部内での下段スクリューコンベアに作用する力と方向.....	4-59
図 4.2.6-33	コンベア外管に取り付けた付加装置（仕切り板）.....	4-60
図 4.2.6-34	上段スクリューの仕切り板の効果（スケッチ図 左土槽、33.6rpm）.....	4-61
図 4.2.6-35	上段スクリューの仕切り板の効果（スケッチ図 右土槽、33.6rpm）.....	4-61
図 4.2.6-36	下段スクリューの仕切り板の効果（スケッチ図 左土槽、16.8rpm）.....	4-61
図 4.2.6-37	下段スクリューの仕切り板の効果（スケッチ図 右土槽、33.6rpm）.....	4-61
図 4.2.7-1	ステップ3 充填品質書確認試験時の概要図（例）.....	4-63
図 4.2.7-2	上部を解放状態とした条件での上段／下段スクリューの基本配置.....	4-67
図 4.2.7-3	ステップ3 湿潤充填かさ密度測定結果【試験ケース3-1(T-2)】.....	4-68
図 4.2.7-4	ステップ3 湿潤充填かさ密度測定結果【試験ケース3-1(T-3)】..	4-69
図 4.2.7-5	上部開放、での充填状況.....	4-70
図 4.2.7-6	ステップ3 湿潤充填かさ密度測定結果【試験ケース3-2(T-1)】.....	4-71
図 4.2.7-7	ステップ3 充填かさ密度測定結果【試験ケース3-3(T-1)】.....	4-72
図 4.2.7-8	上部開放、での充填状.....	4-73
図 4.2.7-9	ステップ3 実施フロー.....	4-74
図 4.2.7-10	ステップ3 全試験ケースでの湿潤充填かさ密度.....	4-75
図 4.2.7-11	初期充填完了状況.....	4-76
図 4.2.7-12	充填再開時のスクリューコンベア再配置状況.....	4-77
図 4.2.7-13	再充填完了状況.....	4-77
図 4.2.7-14	上部を閉鎖状態とした条件での上段／下段スクリューの基本配置...	4-78
図 4.2.7-15	スクリューの押込み効果の検証のための鋼製模擬土槽.....	4-78

図 4.2.7-16	乾燥かさ密度計測結果：3-4 (T-1)	4-81
図 4.2.7-17	初期充填 3-4 (T-1)	4-82
図 4.2.7-18	移動充填 3-4 (T-1)	4-82
図 4.2.7-19	PEM 台座隅角部 3-4 (T-1)	4-82
図 4.2.7-20	試料採取 3-4 (T-1)	4-82
図 4.2.7-21	乾燥かさ密度計測結果：3-5 (T-1)	4-84
図 4.2.7-22	初期充填：3-5 (T-1)	4-85
図 4.2.7-23	移動充填：3-5 (T-1)	4-85
図 4.2.7-24	PEM 台座隅角部：3-5 (T-1)	4-85
図 4.2.7-25	試料採取状況：3-5 (T-1)	4-85
図 4.2.7-26	乾燥かさ密度計測結果：3-6 (T-1)	4-87
図 4.2.7-27	試料採取状況	4-87
図 4.2.7-28	充填状況：3-6 (T-1)	4-88
図 4.2.7-29	乾燥かさ密度計測結果：3-7 (T-1)	4-90
図 4.2.7-30	充填状況：3-7 (T-1)	4-91
図 4.2.7-31	乾燥かさ密度計測結果：3-8 (T-1)	4-93
図 4.2.7-32	充填状況：3-8 (T-1)	4-94
図 4.2.7-33	乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-1)	4-96
図 4.2.7-34	充填状況：3-9 (T-1)	4-97
図 4.2.7-35	乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-2)	4-99
図 4.2.7-36	充填状況：3-9 (T-2)	4-100
図 4.2.7-37	上段スクリー配置変更	4-101
図 4.2.7-38	乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-3)	4-102
図 4.2.7-39	消費電力経時変化の比較：3-9 (T-3) と 3-9 (T-2)	4-102
図 4.2.7-40	充填状況：3-9 (T-3)	4-104
図 4.2.7-41	乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-4)	4-106
図 4.2.7-42	消費電力経時変化の比較：3-9 (T-4) と 3-9 (T-3)	4-106
図 4.2.7-43	充填状況：3-9 (T-2)	4-107
図 4.2.7-44	乾燥かさ密度計測結果：3-10 (T-1)	4-109
図 4.2.7-45	消費電力経時変化の比較：3-10 (T-1) と 3-9 (T-4)	4-109
図 4.2.7-46	充填状況：3-10 (T-1)	4-110
図 4.2.7-47	ステップ 3 各ケースのサンプリング試料乾燥かさ密度のヒストグラム	4-112
図 4.2.7-48	ステップ 3 各ケースのサンプリング試料充填率のヒストグラム	4-113
図 4.2.8-1	模擬土槽正面全景	4-114
図 4.2.8-2	模擬土槽 (左) の仕上がり寸法およびサンプリング位置	4-115

図 4.2.8-3	模擬土槽（右）の仕上がり寸法およびサンプリング位置.....	4-115
図 4.2.8-4	充填イメージ（側面図）.....	4-116
図 4.2.8-5	スクリーピッチ.....	4-116
図 4.2.8-6	上下スクリーコンベアの充填分担割合の目安.....	4-117
図 4.2.8-7	仕切り板による被り確保と安息角形成の抑制.....	4-118
図 4.2.8-8	スクリーコンベア可動範囲.....	4-118
図 4.2.8-9	狭隘部隙間充填装置設計計画図.....	4-120
図 4.2.8-10	狭隘部隙間充填装置正面全景.....	4-120
図 4.2.8-11	隙間充填装置および模擬土槽全景.....	4-121
図 4.2.8-12	ステップ4 実証予備試験実施時の概要図.....	4-121
図 4.2.8-13	乾燥かさ密度計測結果：4-1（T-1）.....	4-125
図 4.2.8-14	乾燥かさ密度計測結果：4-1（T-3）.....	4-125
図 4.2.8-15	充填状況：4-1（T-1）.....	4-126
図 4.2.8-16	充填状況：4-1（T-3）.....	4-127
図 4.2.8-17	乾燥かさ密度計測結果：4-2（T-1）.....	4-130
図 4.2.8-18	乾燥かさ密度計測結果：4-2（T-2）.....	4-130
図 4.2.8-19	乾燥かさ密度計測結果：4-2（T-3）.....	4-131
図 4.2.8-20	充填状況：4-2（T-1）.....	4-132
図 4.2.8-21	充填状況：4-2（T-2）.....	4-133
図 4.2.8-22	充填状況：4-2（T-3）.....	4-134
図 4.2.8-23	各試験ケースのサンプリング試料乾燥かさ密度のヒストグラム.....	4-136
図 4.2.8-24	各試験ケースのサンプリング試料充填率のヒストグラム.....	4-137
図 4.3.2-1	試験坑道2 開放部の形状.....	4-138
図 4.3.2-2	開放部の吹付試験全体フロー.....	4-138
図 4.3.2-3	開放部の吹付試験全体フロー（※図中青枠が各ステップに対応）... ..	4-139
図 4.3.3-1	吹付け試験に使用した汎用機材.....	4-140
図 4.3.3-2	吹付け用ベントナイト混合土の製造プラント.....	4-141
図 4.3.4-1	使用材料の粒径加積曲線.....	4-143
図 4.3.4-2	ベントナイト：珪砂3号+5号 締固め曲線.....	4-143
図 4.3.4-3	ベントナイト：珪砂3号 締固め曲線.....	4-144
図 4.3.4-4	ベントナイト：珪砂5号 締固め曲線.....	4-144
図 4.3.5-1	吹付け予備試験 1ケースの流れ.....	4-145
図 4.3.5-2	吹付け箱およびサンプリング容器.....	4-146
図 4.3.5-3	吹付け試験時の離隔.....	4-147
図 4.3.5-4	吹付け試験後の状況（ケイ砂3号+5号、目標含水比15.8%）.....	4-148
図 4.3.5-5	ベントナイト：珪砂3号+5号 締固め曲線と吹付け乾燥密度の比較.....	4-148

図 4.3.5-6	吹付け前後のベントナイト混合率の変化.....	4-149
図 4.3.6-1	吹付け容器①.....	4-151
図 4.3.6-2	リバウンド回収設備.....	4-151
図 4.3.6-3	吹付け容器②.....	4-151
図 4.3.6-4	リバウンド回収設備.....	4-151
図 4.3.6-5	ステップ3（フェーズ1）吹付け試験の様子.....	4-152
図 4.3.6-6	ステップ3フェーズ1における吹付け部の密度.....	4-153
図 4.3.6-7	ステップ3（フェーズ2）吹付け試験の様子（斜め吹き）.....	4-154
図 4.3.6-8	ダマの発生の様子（左：ふるい、右：発生したダマ）.....	4-155
図 4.3.6-9	乾燥密度とエアール量および回転数の関係.....	4-156
図 4.3.7-1	ベントナイト混合土製造プラントの配置.....	4-158
図 4.3.7-2	ベントナイト混合土の管理.....	4-159
図 4.3.7-3	ベントナイト混合土の保管後含水比変化の度数分布.....	4-160
図 4.3.7-4	試験サイトの気温と湿度の変化.....	4-160
図 4.3.7-5	SM150T 外形.....	4-162
図 4.3.7-6	信号往復のイメージ.....	4-162
図 4.3.7-7	体積含水率変化イメージ図.....	4-163
図 4.3.7-8	検量線 測定状況.....	4-164
図 4.3.7-9	検量線 供試体.....	4-165
図 4.3.7-10	検量線.....	4-167
図 4.3.7-11	温度補正式の取得状況（試験時は供試体を養生した）.....	4-168
図 4.3.7-12	試料内温度と出力値の関係.....	4-168
図 4.3.7-13	含水比が異なる試料における出力値と体積含水率の関係.....	4-169
図 4.3.7-14	含水比の差分と体積含水率の差分.....	4-170
図 4.3.7-15	模擬土槽イメージ図.....	4-171
図 4.3.7-16	伸縮アーム式の吹付け機械.....	4-172
図 4.3.7-17	リバウンド材捕集用装置（ジェクター）.....	4-172
図 4.3.7-18	模擬土槽への吹付け手順イメージ（案）.....	4-174
図 4.3.7-19	ブーム伸縮ノズルによる吹付け確認試験.....	4-175
図 4.3.7-20	吹付け仕上がりの様子、3D スキャナ測定による吹付け法面（1/2）.....	4-177
図 4.3.7-21	吹付け仕上がりの様子、3D スキャナ測定による吹付け法面（2/2）.....	4-178
図 4.3.7-22	吹付け仕上がりの様子.....	4-179
図 4.3.7-23	リバウンド材回収の様子.....	4-179
図 4.3.7-24	2日目（1/23）吹付け後の乾燥密度および度数分布.....	4-180
図 4.3.7-25	3日目（1/24）吹付け後の乾燥密度および度数分布.....	4-181
図 4.3.7-26	4日目（1/25）吹付け後の乾燥密度および度数分布.....	4-182

図 4.3.7-27	5 日目 (1/26) 吹付け後の乾燥密度および度数分布.....	4-183
図 4.3.7-28	3D スキャナ撮影状況.....	4-184
図 4.3.7-29	吹付け後全体の乾燥密度および度数分布.....	4-185
図 4.3.7-30	施工状況写真.....	4-185
図 4.3.7-31	測定する面の状態、温度測定状況.....	4-186
図 4.3.7-32	1 日目 (1/23) 計測 誘電率形乾燥密度とコアサンプリング乾燥密度.....	4-188
図 4.3.7-33	2 日目 (1/24) 計測 誘電率形乾燥密度とコアサンプリング乾燥密度.....	4-188
図 4.3.7-34	4 日目 (1/25) 計測 誘電率形乾燥密度とコアサンプリング乾燥密度.....	4-189
図 4.3.7-35	吹付け後のベントナイト混合率の度数分布.....	4-190
図 4.3.7-36	施工 1 ケース当たりのサイクルタイム.....	4-191
図 4.3.7-37	団粒化材料の除去率とふるい作業時間の関係.....	4-191
図 4.4.1-1	下部狭隘部隙間充填装置の分割部材.....	4-192
図 4.4.1-2	試験坑道 2 レール敷設状況予想図.....	4-193
図 4.4.1-3	隙間充填装置組立完了予想図.....	4-193
図 4.4.1-4	狭隘部隙間充填技術実証試験実施フロー.....	4-194
図 4.4.2-1	平成 30 年度実証試験 吹付け機械配置 (案).....	4-195
図 4.4.2-2	幌延 URL における吹付け材料仮設プラン構築 (案).....	4-196
図 4.4.2-3	試験施工時の吹付プラント (案).....	4-197
図 4.4.2-4	坑内吹付けプラント配置図 (案).....	4-197
図 4.4.3-1	開放部および狭隘部の境界充填方法.....	4-198
図 4.6.2-1	下部狭隘部用 隙間充填装置.....	4-199
図 4.6.3-1	上部開放部用 吹付けノズルハンドリング装置.....	4-200
図 5.1.1-1	除去開始時の隙間充填材.....	5-5
図 5.1.2-1	隙間充填材の除去手順.....	5-6
図 5.1.3-1	ジェット噴流 (直射ノズル、水圧 20MPa).....	5-8
図 5.1.3-2	試験坑道における除去技術の利用.....	5-9
図 5.2.1-1	機械的な方法による隙間充填材除去設備の技術概念例.....	5-10
図 5.2.1-2	除去・撤去装置の技術概念例.....	5-11
図 5.2.2-1	機械式除去設備の仕様 (除去・撤去装置、回収・処理装置).....	5-13
図 5.2.2-2	機械式除去設備の仕様例 (回収物収納装置、駆動装置).....	5-14
図 5.2.2-3	機械式除去のハンドリングフロー.....	5-15
図 5.2.3-1	機械式除去装置案の設計 (1/2).....	5-19
図 5.2.3-2	機械式除去装置案の設計 (2/2).....	5-20
図 5.2.3-3	充填材の撤去・回収時の機械配置および使用イメージ.....	5-20
図 5.3.1-1	ウォータージェット方式を用いた隙間充填材除去設備の概念例.....	5-21
図 5.3.1-2	ウォータージェット方式による除去・撤去装置の技術概念.....	5-21

図 5.3.2-1	ウォータージェット方式による除去設備の仕様（平面、側面）	5-23
図 5.3.2-2	ウォータージェット方式による除去設備の仕様（断面）	5-24
図 5.3.2-3	ウォータージェット方式による除去のハンドリングフロー	5-25
図 5.3.3-1	要素試験の実施フロー	5-28
図 5.3.3-2	作製した供試体	5-30
図 5.3.3-3	使用機械（ウォータージェット関係）	5-31
図 5.3.3-4	使用機械（吸引関係）	5-32
図 5.3.3-5	切削距離確認試験の概要	5-33
図 5.3.3-6	切削距離確認試験の試験イメージ	5-33
図 5.3.3-7	切削距離確認試験のフロー	5-34
図 5.3.3-8	切削試験の概要	5-35
図 5.3.3-9	切削試験の試験イメージ	5-35
図 5.3.3-10	強力吸引車での除去物回収確認試験	5-37
図 5.3.3-11	ダイアフラムポンプでの除去物回収確認試験	5-37
図 5.3.3-12	供試体の設置状況	5-38
図 5.3.3-13	ノズルの距離	5-38
図 5.3.3-14	切削距離確認試験（全ケース）	5-40
図 5.3.3-15	切削距離確認試験（粉体ベントナイトのみ）	5-40
図 5.3.3-16	切削距離確認試験（ベントナイト混合土）	5-41
図 5.3.3-17	切削距離確認試験（加工充填材）	5-41
図 5.3.3-18	切削距離確認試験の状況（1/4）	5-42
図 5.3.3-19	切削距離確認試験の状況（2/4）	5-43
図 5.3.3-20	切削距離確認試験の状況（3/4）	5-44
図 5.3.3-21	切削距離確認試験の状況（4/4）	5-45
図 5.3.3-22	切削試験結果	5-46
図 5.3.3-23	除去物回収の様子（1/2）	5-47
図 5.3.3-24	除去物回収の様子（2/2）	5-48
図 5.3.3-25	加工充填材の切削物の様子	5-48
図 5.4.1-1	狭隘部ウォータージェット稼働域イメージ	5-49
図 5.4.1-2	充填材の除去手順（案）	5-51
図 5.4.2-1	試験坑道 2 の切削回収時の配置図（案）	5-52
図 5.4.2-2	幌延深地層研究センターでの装置全体配置（高圧ポンプ地上配置）	5-52
図 5.4.2-3	試験坑道 2 の機械式除去時の配置図（案）	5-53
図 6.2.2-1	地層処分実規模試験施設	6-3
図 6.2.2-2	地層処分実規模施設内 全体図	6-3
図 6.2.2-3	公開状況	6-3

図 6.2.3-1	緩衝材定置運転動作（その1）	6-4
図 6.2.3-2	緩衝材定置運転動作（その2）	6-5
図 6.2.3-3	緩衝材定置運転動作（その3）	6-5
図 6.2.3-4	緩衝材定置運転動作（その4）	6-5
図 6.2.4-1	緩衝材可視化試験のイメージ図	6-7
図 6.2.4-2	緩衝材成型用型枠	6-8
図 6.2.4-3	圧縮成型用型枠の組立	6-8
図 6.2.4-4	ブロック圧縮成型の準備	6-9
図 6.2.4-5	緩衝材の圧縮作業	6-9
図 6.2.4-6	ジョイントピンの交換	6-9
図 6.2.4-7	圧縮成型体の脱型	6-10
図 6.2.4-8	緩衝材ブロック	6-10
図 6.2.4-9	緩衝材可視化試験装置1（上面からの可視化）	6-11
図 6.2.4-10	緩衝材可視化試験装置2（側面からの可視化）	6-11
図 6.2.4-11	上面からの可視化試験装置作製状況	6-12
図 6.2.4-12	側面からの可視化試験装置作製状況	6-13
図 6.2.4-13	可視化試験の公開の様子	6-13
図 6.2.4-14	緩衝材ブロック上面の経時変化	6-14
図 6.2.4-15	注水量と経過日数の関係	6-15
図 6.3.1-1	来館者の住まい	6-16
図 6.3.1-2	来館者の属性	6-16
図 6.3.1-3	当施設について何で知りましたか	6-17
図 6.3.2-1	幌延深地層研究センターで行っている調査・研究内容について	6-18
図 6.3.2-2	地層処分について	6-18
図 6.3.2-3	高レベル放射性廃棄物について	6-19
図 6.3.2-4	実物大の人工バリアについて	6-19
図 6.3.2-5	実物大の人工バリアを使った試験について	6-20
図 6.4.2-1	来館者との対話記録の分析例	6-21

表 目 次

表 1.2.3-1	模擬 PEM の主要仕様.....	1-4
表 2.2.2-1	測定場所と測定目的	2-2
表 2.2.2-2	スキャナーの仕様一覧（FARO 社カタログより）	2-3
表 2.2.3-1	計測機器諸元	2-9
表 2.2.3-2	要素試験作業工程.....	2-15
表 2.2.3-3	模擬 PEM の各部品組立て順序.....	2-24
表 2.2.3-4	初期応力.....	2-29
表 2.2.3-5	岩盤物性値	2-29
表 2.2.3-6	支保工物性値	2-29
表 2.2.3-7	擦り付け部	2-30
表 2.2.3-8	組立台コンクリートと台座の物性値.....	2-30
表 2.2.3-9	模擬 PEM と疑似 PEM.....	2-30
表 2.2.3-10	隙間充填材	2-30
表 2.2.3-11	要素試験時のウエイト	2-30
表 2.2.3-12	解析ステップ（要素試験）	2-31
表 2.2.3-13	ウエイト載荷による鋼製支保工増分応力分布図.....	2-33
表 2.2.3-14	岩盤の局所安全係数分布図（棲面～16.75m 区間）	2-35
表 2.2.3-15	解析ステップ（模擬 PEM 設置）	2-36
表 2.2.3-16	模擬 PEM 設置による鋼製支保工増分応力分布図.....	2-38
表 2.2.3-17	模擬 PEM 設置による岩盤の局所安全係数分布図（棲面～16.75m 区間）	2-39
表 2.2.3-18	解析ステップ（埋戻し）	2-40
表 2.2.3-19	埋戻しによる鋼製支保工増分応力分布図.....	2-42
表 2.2.3-20	埋戻しによる岩盤の局所安全係数分布図（棲面～16.75m 区間）	2-43
表 2.2.4-1	模擬 PEM の仕様.....	2-46
表 2.2.4-2	模擬 PEM 寸法計測結果.....	2-52
表 2.3.3-1	出来形検査結果.....	2-60
表 3.3.1-1	要素試験からの実機への反映のイメージ.....	3-5
表 3.3.1-2	要素試験装置の仕様	3-6
表 3.3.1-3	要素試験における計測項目と計器の仕様表.....	3-9
表 3.3.1-4	摩擦計測、粗さ計測の計測機器仕様.....	3-11
表 3.3.1-5	粗さと摩擦の計測結果（試験坑道 2 各区間の平均値）	3-13
表 3.3.1-6	要素試験 試験ケース（モルタル補修前）	3-17
表 3.3.1-7	要素試験 試験ケース（モルタル補修後の走行確認）	3-18

表 3.3.1-8	要素試験 試験ケース（全区間連続走行確認）	3-19
表 3.3.2-1	走行可否の確認結果一覧表	3-21
表 3.3.3-1	要素試験でエアベアリングに掛かる負荷の整理	3-25
表 3.3.3-2	最大値、最小値、最頻値の例（Case-77）	3-28
表 3.3.3-3	静止時の総空気供給量のまとめ	3-33
表 3.3.3-4	全区間連続走行試験における総空気流量と牽引力	3-40
表 3.4.1-1	浮上量／走行面での総空気流量	3-43
表 3.4.1-2	定置装置実機における総空気流量の計算結果（想定値）	3-44
表 3.4.1-3	浮上量／走行面における空気圧力	3-45
表 3.4.1-4	定置装置実機における空気圧力の想定値	3-45
表 4.2.4-1	目標粒度分布（フロー粒度）	4-27
表 4.2.4-2	機械の仕様	4-27
表 4.2.5-1	ペレット充填材 移送前の初期含水比	4-32
表 4.2.5-2	ペレット充填材 移送前の粒度分布	4-33
表 4.2.5-3	ペレット充填材 A の移送前の湿潤かさ密度	4-34
表 4.2.5-4	ペレット充填材 B の移送前の湿潤かさ密度	4-34
表 4.2.5-5	ステップ 1 における試験手順	4-35
表 4.2.5-6	各条件での移送性能の推移	4-37
表 4.2.5-7	移送後の湿潤かさ密度の推移	4-38
表 4.2.5-8	移送前後の充填材粒度分布の変化	4-38
表 4.2.6-1	ステップ 2 の調査実施手順	4-46
表 4.2.6-2	ステップ 2 充填予備試験条件の調査・設定のための試験ケース	4-50
表 4.2.6-3	ステップ 2 充填かさ密度測定結果（フェーズ 1、2）	4-53
表 4.2.6-4	ステップ 2 充填かさ密度測定結果（フェーズ 3、4）	4-55
表 4.2.7-1	ステップ 3 における施工条件（パラメータの設定）	4-64
表 4.2.7-2	充填性能確認試験ケース（案）	4-65
表 4.2.7-3	ステップ 3 試験実施手順	4-65
表 4.2.7-4	ステップ 3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-1(T-2)】	4-68
表 4.2.7-5	ステップ 3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-1(T-3)】	4-69
表 4.2.7-6	ステップ 3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-2(T-1)】	4-71
表 4.2.7-7	ステップ 3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-3(T-1)】	4-72
表 4.2.7-8	ステップ 3 の試験ケース	4-74
表 4.2.7-9	ステップ 3（フェーズ 2） 実施試験ケース	4-79
表 4.2.7-10	ステップ 3（フェーズ 2） 試験結果の概要	4-79
表 4.2.7-11	試験条件：3-4（T-1）	4-80

表 4.2.7-12	充填試験結果：3-4 (T-1)	4-81
表 4.2.7-13	充填試験結果整理表：3-4 (T-1) バルク	4-82
表 4.2.7-14	試験条件：3-5 (T-1)	4-83
表 4.2.7-15	充填試験結果：3-5 (T-1)	4-84
表 4.2.7-16	充填試験結果整理表：3-5 (T-1) バルク	4-84
表 4.2.7-17	試験条件：3-6 (T-1)	4-86
表 4.2.7-18	充填試験結果：3-6 (T-1)	4-86
表 4.2.7-19	充填試験結果整理表：3-6 (T-1) バルク	4-87
表 4.2.7-20	試験条件：3-7 (T-1)	4-89
表 4.2.7-21	充填試験結果：3-7 (T-1)	4-89
表 4.2.7-22	充填試験結果整理表：3-7 (T-1) バルク	4-90
表 4.2.7-23	試験条件：3-8 (T-1)	4-92
表 4.2.7-24	充填試験結果：3-8 (T-1)	4-92
表 4.2.7-25	充填試験結果整理表：3-8 (T-1) バルク	4-93
表 4.2.7-26	試験条件：3-9 (T-1)	4-95
表 4.2.7-27	充填試験結果：3-9 (T-1)	4-96
表 4.2.7-28	充填試験結果整理表：3-9 (T-1) バルク	4-96
表 4.2.7-29	試験条件：3-9 (T-2)	4-98
表 4.2.7-30	充填試験結果：3-9 (T-2)	4-99
表 4.2.7-31	充填試験結果整理表：3-9 (T-2) バルク	4-99
表 4.2.7-32	試験条件：3-9 (T-3)	4-101
表 4.2.7-33	充填試験結果：3-9 (T-3)	4-102
表 4.2.7-34	充填試験結果整理表：3-9 (T-3) バルク	4-103
表 4.2.7-35	試験条件：3-9 (T-4)	4-105
表 4.2.7-36	充填試験結果：3-9 (T-4)	4-105
表 4.2.7-37	充填試験結果整理表：3-9 (T-4) バルク	4-106
表 4.2.7-38	試験条件：3-10 (T-1)	4-108
表 4.2.7-39	充填試験結果：3-10 (T-1)	4-108
表 4.2.7-40	充填試験結果整理表：3-10 (T-1) バルク	4-109
表 4.2.7-41	ステップ3 試験結果の概要 (再掲)	4-111
表 4.2.7-42	試験ケース 3-9 以降の試験結果整理表	4-111
表 4.2.8-1	狭隘部隙間充填装置の基本設計仕様の整理	4-119
表 4.2.8-2	ステップ4 実施試験ケース	4-122
表 4.2.8-3	ステップ4 試験結果の概要	4-122
表 4.2.8-4	試験条件：4-1 (T-1 および T-3)	4-123
表 4.2.8-5	充填試験結果：4-1 (T-1)	4-124

表 4.2.8-6	充填試験結果：4-1 (T-3)	4-124
表 4.2.8-7	充填試験結果整理表：4-1 (T-1 および T-3) バルク	4-125
表 4.2.8-8	試験条件：4-2 (T-1 および T-2)	4-128
表 4.2.8-9	充填試験結果：4-2 (T-1)	4-129
表 4.2.8-10	充填試験結果：4-2 (T-2)	4-129
表 4.2.8-11	充填試験結果：4-2 (T-3)	4-130
表 4.2.8-12	充填試験結果整理表：4-2 (T-1～T-3) バルク	4-131
表 4.2.8-13	ステップ4 試験結果の概要	4-135
表 4.2.8-14	充填試験結果整理表：4-2 (T-1～T-3) バルク (再掲)	4-136
表 4.3.4-1	使用材料.....	4-142
表 4.3.4-2	使用材料の基本物性	4-142
表 4.3.5-1	吹付け混合土の目標含水比	4-146
表 4.3.5-2	吹付け後の含水比の変化、平均乾燥密度.....	4-148
表 4.3.5-3	吹付け前後のベントナイト混合率.....	4-149
表 4.3.6-1	吹付け速報乾燥密度	4-153
表 4.3.6-2	ステップ3 (フェーズ2) の試験条件	4-154
表 4.3.6-3	吹付け後の歩留まり評価	4-155
表 4.3.6-4	吹付け速報乾燥密度 (全体)	4-156
表 4.3.7-1	ベントナイト混合土の製造 団粒化した材料の解砕手順.....	4-157
表 4.3.7-2	ベントナイト混合土の保管手順	4-159
表 4.3.7-3	ベントナイト混合土の平均値と標準偏差.....	4-160
表 4.3.7-4	SM150 仕様.....	4-161
表 4.3.7-5	供試体一覧	4-164
表 4.3.7-6	温度補正 供試体一覧.....	4-167
表 4.3.7-7	含水比補正 供試体一覧	4-169
表 4.3.7-8	供試体の組み合わせと含水比・体積含水率の差分.....	4-170
表 4.3.7-9	模擬土槽仕様	4-171
表 4.3.7-10	吹付け施工の施工手順.....	4-173
表 4.3.7-11	吹付け試験施工性結果一覧	4-176
表 4.3.7-12	3D スキャナによる体積計測、かさ密度の計算結果.....	4-184
表 4.3.7-13	誘電率計測による密度結果	4-186
表 4.3.7-14	誘電率計とサンプリングによる乾燥密度 結果一覧	4-187
表 4.4.2-1	主な吹付けプラントの使用機械 (案)	4-196
表 4.4.2-2	1 バッチあたりの配合表 (練上がり体積 約 0.5m ³) (案)	4-197
表 4.4.2-3	吹付けパラメータ	4-198
表 4.6.1-1	隙間充填材の仕様.....	4-199

表 5.1.3-1	機械的除去技術の評価.....	5-7
表 5.2.2-1	機械式除去による除去作業工程.....	5-16
表 5.2.2-2	機械式除去の具体化にあたっての課題と対応策 (1/2)	5-17
表 5.2.2-3	機械式除去の具体化にあたっての課題と対応策 (2/2)	5-18
表 5.3.2-1	ウォータージェット方式による PEM 近傍の除去工程.....	5-26
表 5.3.2-2	ウォータージェット方式による除去設備の課題.....	5-27
表 5.3.3-1	上部開放部と下部開放部の隙間充填材	5-28
表 5.3.3-2	使用材料.....	5-29
表 5.3.3-3	容器の仕様	5-29
表 5.3.3-4	供試体の作製条件	5-29
表 5.3.3-5	切削距離確認試験および切削試験の使用機械一覧	5-30
表 5.3.3-6	除去物回収確認試験の使用機械一覧.....	5-31
表 5.3.3-7	切削距離確認試験ケース	5-34
表 5.3.3-8	切削距離確認試験の手順	5-34
表 5.3.3-9	切削試験ケース.....	5-36
表 5.3.3-10	切削試験の手順.....	5-36
表 5.3.3-11	除去物回収試験用の試料	5-37
表 5.3.3-12	切削距離確認試験結果一覧	5-40
表 5.3.3-13	切削試験結果一覧.....	5-46
表 5.4.3-1	機械式除去装置の技術概念	5-54
表 5.4.3-2	ウォータージェット式除去装置の技術概念.....	5-55
表 6.2.3-1	試験スケジュール	6-6
表 6.2.4-1	緩衝材ブロックの仕様.....	6-8
表 7.1.3-1	隙間充填材の仕様.....	7-3

第1章 実証試験の全体概要

1.1 背景および目的

我が国の地層処分事業に係わる技術開発は、実際に処分場が建設される地質環境に特化したものではなく、処分環境で想定されるジェネリックな環境を前提して進められている。地層処分の操業段階での工学技術は、地下に施工される人工バリアの長期安全機能の評価の初期条件を決定するものである。これまでに、様々定置概念や定置方式に対する操業工程の検討、工程上の管理方法、操業を支える技術の整備が進められてきた[2]。人工バリアの定置概念として、処分坑道床面に掘削された処分孔に人工バリアを設置する処分孔縦置き定置方式、処分坑道に人工バリアを定置する処分坑道横置き定置方式が主に検討されている。人工バリアの構築方法としては、人工バリアの構成要素であるオーバーパックや緩衝材を個別に地下へ搬入し定置場所で多重バリアとする方式や、地上施設で予め人工バリアを組立てた後に地下に定置する PEM(Prefabricated Engineered barrier system Module) 方式が検討されている。人工バリアの定置概念や構築方法に多様性を持たせることで、操業技術の観点から地層処分の安全評価を担保する。操業技術の整備では人工バリアの構築方法だけではなく、人工バリアの信頼性向上や操業時の不確実性への対応として、緩衝材の除去技術等の整備も進められている[3]。さらに平成27年5月22日、『特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針』の改定案が閣議決定され、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保することが、基本方針に盛り込まれた[4]。

本事業では、これまでに検討や開発が進められてきた地層処分事業の工学技術、基本方針で明記された回収可能性について、地下環境での実証試験を通じて技術の整備を進めるとともに、我が国における回収可能性の成立性を支持する技術的な根拠を提示することを目的とした。

1.2 実証試験の対象

地層処分の定置概念や人工バリアの構築方法に対する技術開発は、大きく分けると処分孔縦置き定置方式と処分坑道横置き定置方式の2方式に対して緩衝材の施工技術や品質管理、処分坑道の埋戻し技術が進められている。

1.2.1 処分孔縦置き定置方式

処分孔縦置き定置方式では地下に掘削した処分孔内への緩衝材の施工技術として、ブロック定置方式、吹付け方式、原位置締固め方式、ペレット充填方式等が検討されている。地下へ人工バリアを構成する材料、部材を搬入し、原位置で人工バリアを構築する方式である。この定置概念では回収対象はオーバーパックである。緩衝材中に埋設されたオーバーパックを回収するため、オーバーパックに影響を与えずに周囲の緩衝材を除去する方法として、塩水を利用した緩衝材除去技術が検討された。「地層処分回収技術高度化開発」では処分孔縦置き定置方式を対象とし、地上にて実規模スケールでの除去技術の実証試験が実施され、緩衝材除去システムの整備、技術の適用性等が評価されている[3]。図 1.2.1-1 に整備された緩衝材除去システムを示す。

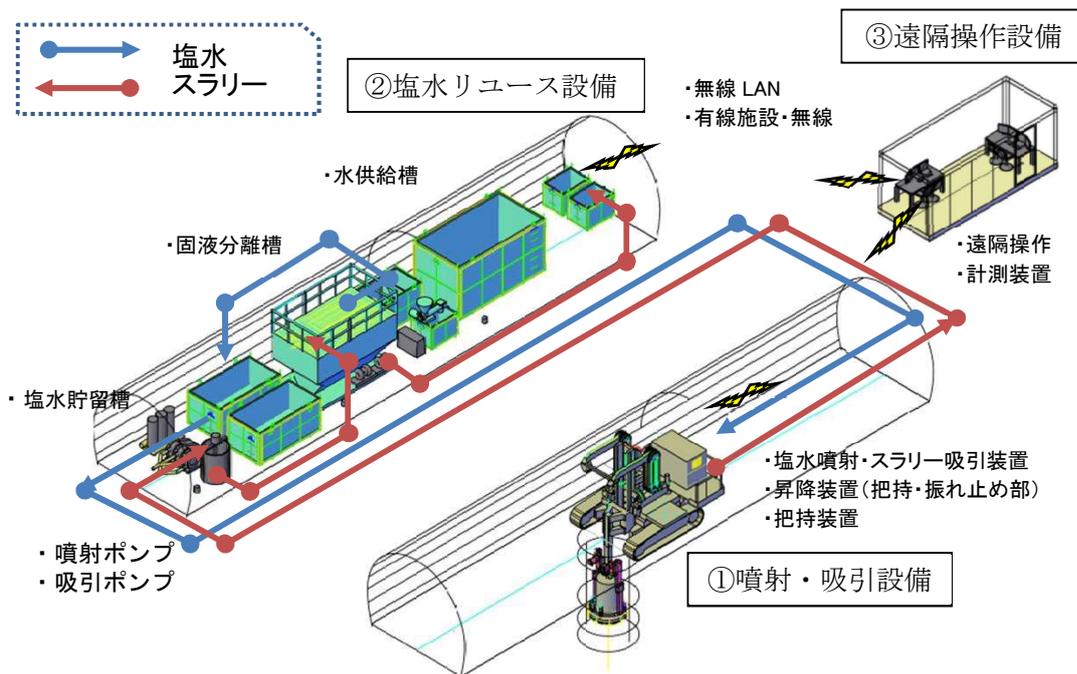


図 1.2.1-1 処分孔縦置き定置方式を対象とした緩衝材除去システムの整備[3]

1.2.2 処分坑道横置き定置方式

処分坑道横置き定置方式における人工バリアも処分孔縦置き定置方式と同じく、緩衝材とオーバーパックから構成される。横置き定置方式での人工バリアの施工技術は、人工バリアの品質管理の観点から PEM 方式が有力視されている。PEM 方式に対する廃棄体の回収方法としては、PEM 鋼殻を開けた後、緩衝材を除去してオーバーパックを回収する方法と、PEM 自体を回収する方法がある。前者は作業姿勢が横向きという点で処分孔縦置き定置方式と異なるが、ハンドリングや緩衝材の除去手順等を除けば、基本となる緩衝材の除去技術は同じである。後者は PEM-坑道間の充填材の除去、重量物である PEM の回収技術等が主要な工学技術となる。よって、技術的選択肢の拡充の観点から PEM を対象とした。

PEM 方式による操業については、地上施設での組立てから地下坑道での定置までの一連の操業プロセスが検討され[1]、人工バリアの品質に大きく影響する工学技術として、処分坑道での定置技術、定置後の隙間充填技術が抽出された。狭隘な円形坑道での適用性が期待されるエアベアリング方式を採用した定置装置、ペレット方式による狭隘な隙間を対象とした充填方法等について、要素技術の開発、適用性評価が行われた[5]。

処分坑道横置き定置方式 (PEM 方式) の回収工程の初期条件は、上記技術で施工された隙間充填材で拘束された状態の PEM である。回収に必要な緩衝材の除去技術、PEM の回収技術を合わせ、操業段階における主要な工学技術を図 1.2.2-1 示す。

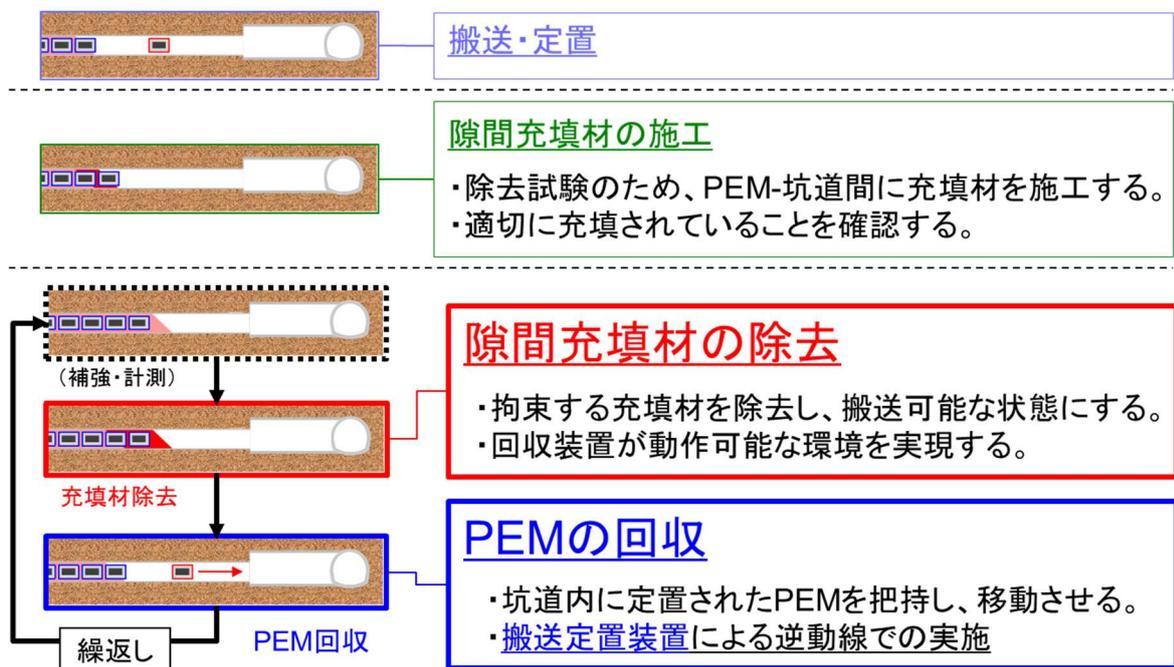


図 1.2.2-1 PEM の搬送から回収までの主要な工学技術

本事業では、処分坑道横置き定置方式（PEM方式）の技術的成立性を提示するため、PEMの定置技術、隙間充填材の施工技術、隙間充填材の除去技術、PEMの回収技術の4つの主要な技術を実証対象とした。回収技術については定置技術を適用し定置の逆動線によるPEMの回収試験を実施する。

1.2.3 回収の対象とする PEM の性状

PEM (Prefabricated Engineered barrier system Module) は鋼殻内に緩衝材、オーバーパックを内包したものである。本事業では PEM 内部の人工バリアの挙動等はスコープにはないため、ハンドリング対象とする PEM は、重量、寸法、重心を模擬したものとし、内部の人工バリア等は再現しない。

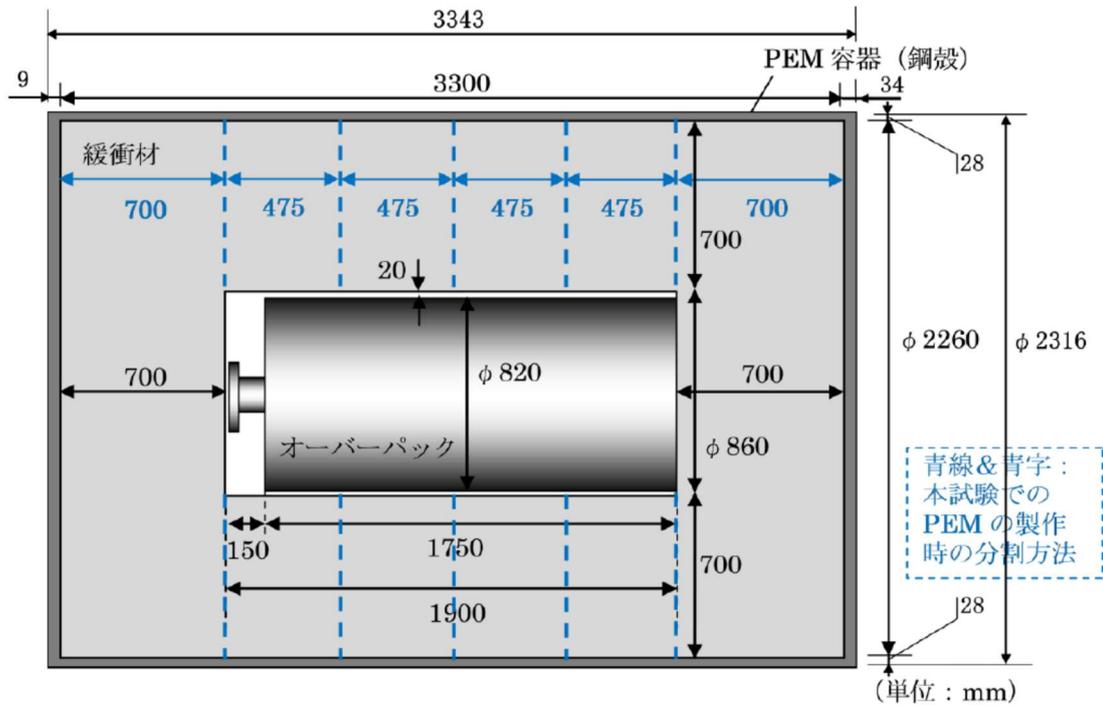


図 1.2.3-1 対象となる模擬 PEM の仕様および寸法

表 1.2.3-1 模擬 PEM の主要仕様

項目	仕様
寸法	φ 2,316mm×3,343mm
重量	36.5ton
重心	PEM 容器中心
構造	オーバーパック、緩衝材等、PEM 内部構造については模擬しない。

1.2.4 地下実証試験サイト

本事業で予定している地下実証試験の場所は、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という）幌延深地層研究センター（以下「幌延 URL」という）地下施設 深度 350m 調査坑道に既設の約 25m、直径φ4000mm（内径）の試験坑道 2 である。平成 28 年度に同坑道内には「組立台」と「作業台」から成る試験用の架台を構築した（図 1.2.4-1 参照）。組立台は場所打ちコンクリートで施工し、組立台上に幅 700mm×高さ 110mm×長さ約 20m の台座（コンクリート製 2 次製品）が設置されている。また、作業台には、機器類の設置や資機材等の一時仮置きが可能な構造となっている。

上記内容を含めた、幌延 URL 試験坑道 2 の整備イメージを図 1.2.4-1 に示す。

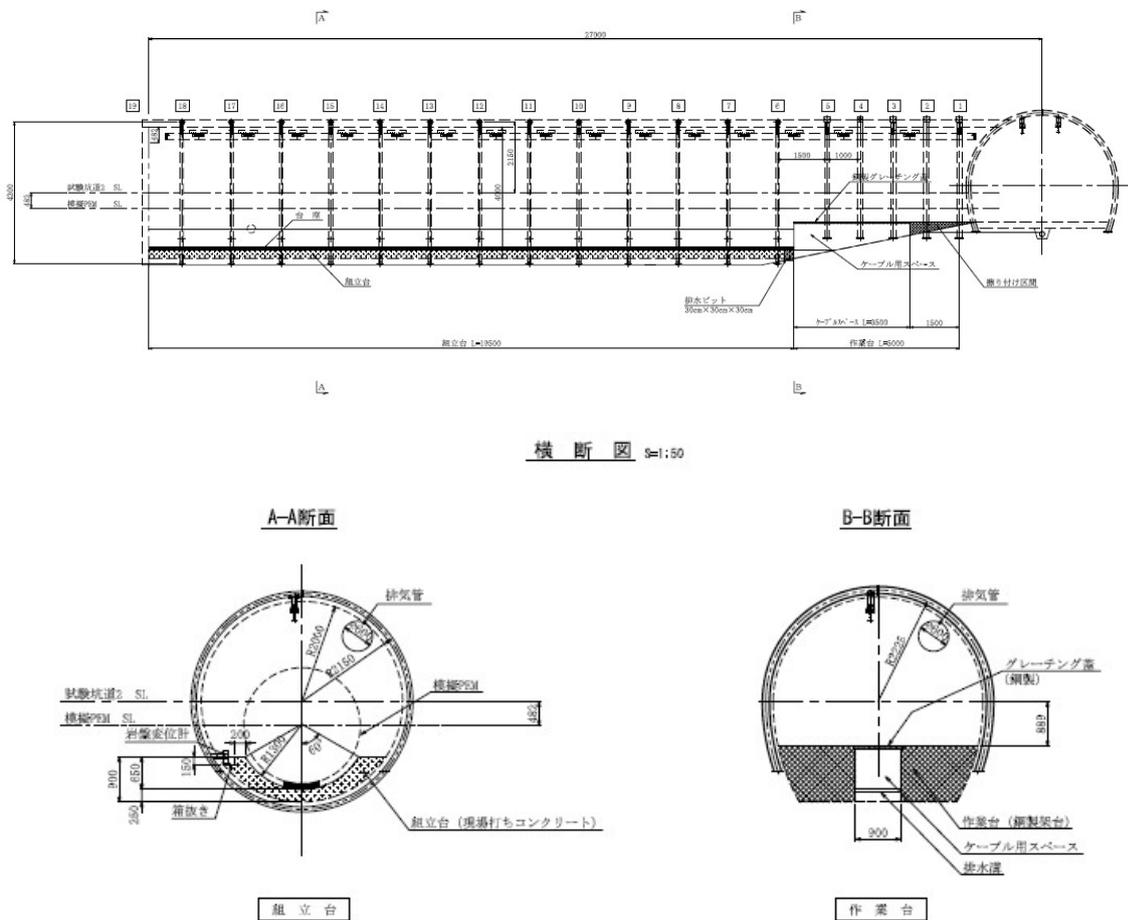


図 1.2.4-1 試験坑道 2 の整備状況

1.3 これまでの成果

本事業の初年度である平成 27 年度に、本事業での対象とする高レベル放射性廃棄物の定置概念の検討を実施した[6]。わが国で検討されている処分孔縦置き定置方式と処分坑道横置き定置方式に対して、これまでに基盤研究で実施された遠隔搬送・定置技術や回収に係る工学技術が整備されてきた。「処分孔縦置き定置方式」については、地層処分実規模整備事業において実規模、実物の緩衝材ブロックの定置設備を整備し、真空把持装置の適用性やブロックの定置精度等の知見を得た[7]。また地層処分回収技術高度化開発において緩衝材除去システムを整備し、地上での実規模スケールでの実証的検討を行い、塩水を利用した緩衝材の除去に要する時間や塩水リユース設備の効率など実証的な知見を得た[3]。「処分坑道横置き定置方式(PEM) (Prefabricated Engineered barrier system Module)」については、地上施設で鋼殻に包まれた人工バリアを鋼殻容器ごと地下に搬送して、掘削した処分坑道に定置する処分方法である。PEM は直径約 2.3m、長さ約 3.3m の円筒型で、重量が約 36.5ton である。処分システム工学要素技術開発において、PEM の製作、狭隘部での搬送・定置が可能なエアベアリング技術について実規模スケールでの要素試験、ペレット方式による PEM-坑道間の隙間充填技術の検討が行われている[5]。一方、隙間充填材の除去や PEM の回収など、回収工程の要となる技術については未整備であることから、粘土系材料である隙間充填材を除去した後に想定される環境での走行試験や、回収作業を行うための前工程である隙間充填材の除去技術への要求項目の抽出等、工程の繋がりに留意した課題の設定、対策の検討、実証試験が必要である。

本事業において平成 27 年度に策定した回収の実証試験計画では、処分坑道横置き定置方式 (PEM) について、地下で実証を行う。その際、上述した未整備の技術について、適宜、装置開発や特性に係る要素試験を積み重ねつつ取り組む計画とした。

1.3.1 地下実証試験サイトの整備

地下環境での回収実証試験を実施する場所として、平成 27 年度に日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター（以下「幌延 URL」という。）地下 350m に位置する試験坑道 2 を実証試験サイトとして選定した。試験坑道 2 は内径が約 4m、奥行きが約 25m の円形断面を有する。この坑道内で後述するエアベアリング方式の定置装置による PEM の回収試験を実施するため、鉄筋コンクリート製の組立台を現場打設で施工し、プレキャスト製の台座を設置した。



図 1.3.1-1 幌延 URL 試験坑道 2 の整備状況

1.3.2 エアベアリング方式の定置装置の実証的整備

狭隘な坑道での PEM の搬送・定置に適用可能な技術として、エアベアリング方式による円形坑道上での重量物の運搬について検討されている[5]。本事業では定置技術を逆動線で使用して PEM を回収する計画とした。平成 28 年度までに、10 枚のエアベアリングを有する定置部、定置部を坑道内で移動させるためのモーターを有する搬送部、試験坑道内で遠隔にて装置を運転するための各センサー類・操作卓を製作した。地上に準備した鋼製模擬坑道にて、理想的な環境下での装置の走行特性を取得した。

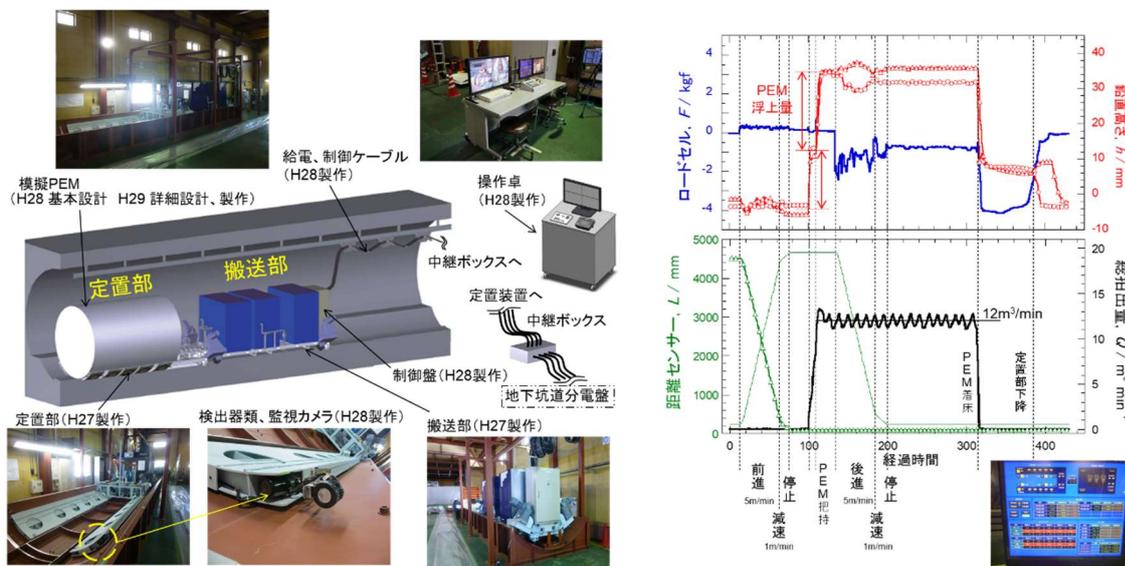


図 1.3.2-1 エアベアリング方式による定置装置の整備状況

1.3.3 隙間充填技術の実証的整備

処分坑道横置き方式（PEM）の回収は、隙間充填材の除去と PEM の坑道外への搬出が主たる工程となるため、回収の実証試験の対象として、定置された PEM および PEM-坑道間に隙間充填材が適切に施工された状態を構築する必要がある。既往の検討では、隙間充填材に緩衝材相当の粘土密度（ 1.37Mg/m^3 ）が求められており、15cm 程度の狭隘な隙間に対してペレット方式の適用性が示されている。また類似するペレットの移送技術として、遠隔操作技術高度化調査で実施したスクリー方式による緩衝材の施工試験がある。これらの成果の本事業への応用可能性を検討したうえで、隙間充填材の施工方法としてスクリー方式によるペレット充填を採用した。

平成 28 年度は PEM-坑道間の隙間充填技術については、充填材となるペレットの製造試験、充填材の配合、充填部へのペレットの移送試験、および充填部の品質管理方法の検討を実施した。実証試験サイトである試験坑道 2 内に定置した PEM の周囲の充填体積は大きく、大量のペレットが必要となることから、ブリケッティング法による高圧縮ペレットの製造試験を実施した。その結果、大きさ $20\text{mm}\times 30\text{mm}$ 、乾燥密度 2.0Mg/m^3 のペレットを効率よく製造出来ることを確認した。充填材の配合については確実に充填部の密度を達成するため、ブリケッティング法により造粒したペレットに 2mm 以下のクニゲル GX を重量比で 30%混合させた材料配合案を得た。

充填部が目標の密度を達成していることを非破壊で確認するため、誘電率計を用いて水分量から密度を計測する技術の検討を行い、適用の見通しを得た。これらの知見より、スクリーフィーダの配置等の装置の計画を進めていく。



図 1.3.3-1 ペレット充填方式による隙間充填技術の整備状況

1.3.4 隙間充填材除去技術の実証的整備

隙間充填材の除去技術については、先ず除去作業の各工程で重要となる技術を抽出し、計画を具体化した。坑道において隙間充填材で覆われた状態の PEM を回収するために、充填材の除去技術に求められる要件は、充填材による PEM 拘束力の解放、回収装置が動作する環境の実現である。そのための充填材の除去工程は、①PEM-坑道間に密実に施工された充填材を掻き出すことが出来る状態とする“ほぐす”工程（副産物化）、②ほぐした充填材（副産物）を PEM-坑道間の隙間から掻き出す工程、③副産物を搬出装置に積込む工程、④坑道外への搬出の 4 つの主要な工程から構成され、①～④を PEM が搬出可能な状態になるまで行う。このうち除去作業の要と

なる①について、除去対象部分の形状、地下で確保可能な作業空間、PEM への影響等に留意し、機械的除去と水理的除去の組合せによる除去作業を計画した。

水理的除去については、回収技術高度化開発において、処分坑道竖置き定置方式に対して塩水を用いた緩衝材のスラリー化、吸引による除去、固液分離による塩水の再利用技術等の検討・実証試験を行った。本事業で対象とした処分坑道横置き定置方式 PEM では、塩水を溜めて充填材を浸漬することが出来ない、除去対象の物量が多いといった点が処分孔竖置き定置方式とは異なるため、除去に利用する流体の圧力を高めたウォータージェットによる充填材の切削要素試験を選定した。ウォータージェットによる充填材の切削性、充填材の飽和度や施工方法の影響、切削水（淡水／塩水）の影響等を調査するための予備試験を実施した。その結果、飽和度の高い充填材の除去が可能であり、同一飽和度であれば切削供試体の製法（締固め／ペレット充填）に因らず、切削効率は変わらないことを確認した。ウォータージェットは流体の運動エネルギーで対象物を切削するため、切削水の性状は効率に影響しないが、切削水に塩水を用いた場合は副産物がスラリー化し易く、除去工程のうち②～④が煩雑になることが懸念された。以上の結果より、水理的除去では除去後の工程や地下環境への影響が小さいことを加味し、切削水に淡水を用いることとした。予備試験で用いた 20MPa の水圧では、PEM の鋼殻と同様の素材である鋼製容器への影響は確認されないが、使用するノズルや噴射条件によってはコンクリートの表面性状が低下する恐れが示唆された。これは回収作業を行うエアベアリング方式の定置・回収装置の走行面に影響するため、ウォータージェットの噴射方向等を今後検討する予定である。

機械的除去については、一般的なトンネルや土木工事で使用される掘削技術の整理を行った。

今回の試験や整理結果を踏まえ、水理的な方法と機械的な方法を組み合わせ、試験坑道における充填材の除去技術について、①～④の一連の除去工程で必要となる技術の整備を進めていく。PEM-坑道間の隙間充填材について、これまでの基盤研究では、充填材に緩衝材相当の膨潤圧を持たせ、鋼殻内の緩衝材の膨出を抑制する方式について、ペレット方式の検討が進められてきた。一方、十分に飽和していないペレットでは、除去工程で重要となる①の工程が実証試験上不要となる。回収の実証試験の意義の観点からも、充填材の施工技術の見直しを含めた検討、技術の整備を進める。

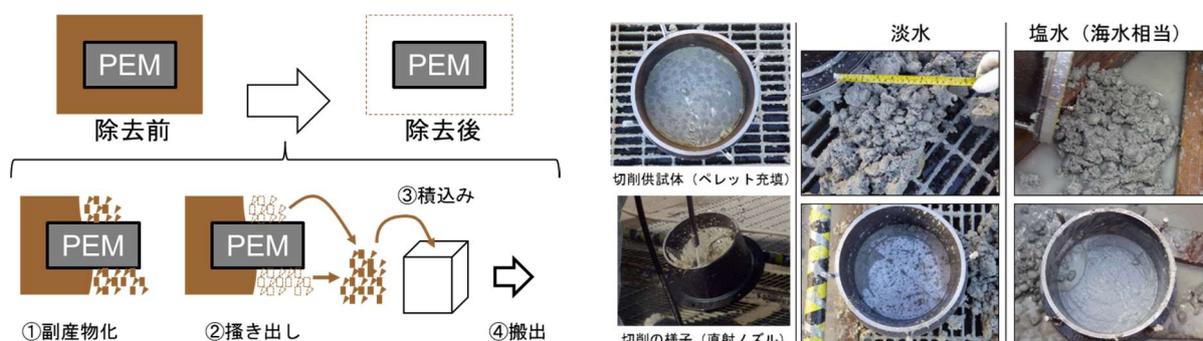


図 1.3.4-1 隙間充填材除去の作業手順の具体化、ウォータージェットによる切削予備試験

1.3.5 地層処分実規模試験施設の活用

地層処分実規模試験施設について、来館者への説明、試験の公開を継続して実施した。

1.4 平成29年度の実施内容

地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発

搬送定置技術、PEM(Prefabricated Engineered barrier system Module)－坑道間の隙間充填技術、充填材の除去技術、PEMの回収技術等の実証試験対象については、地下での実証試験に向け、各々の開発計画を随時更新し、装置の設計・製作、地上での確認試験等を平成28年度に引き続き実施する。なお、製作にあたって、平成28年度までに製作した装置や部品は、資源エネルギー庁から提供を受けるものとする。

1) 地下環境での実証試験サイトの整備

幌延深地層研究センター地下350m調査坑道に位置する試験坑道2に、平成28年度に整備した地下実証試験サイトについて、平成28年度に引き続き実証試験に必要な電源等の整備・維持管理を実施する。また試験坑道2の内空形状等のデータを取得し地下環境での実証試験計画に反映する。

2) 地下環境での搬送定置・回収技術の実証的整備

地下環境での実証試験を行うための設備、装置の整備を継続して実施する。PEMの回収作業に適用する搬送定置技術については装置の整備、機能確認試験を継続して実施する。平成28年度までに製作した設備を用いて、地上に構築したコンクリート模擬坑道面でのPEMの定置・回収試験を実施する。また試験坑道2に構築した坑道面でエアベアリングの要素試験を実施し、坑道面に対するエアベアリングの浮上・走行特性を取得し、実証試験装置及び地下での実証試験計画に反映する。

PEM－坑道間の隙間充填技術については、PEMの上部開放部と下部狭隘部に対して、充填技術の整備を行う。上部の開放部に適用する吹付け技術については、目標とする配合、乾燥粘土密度等を達成するため、吹付け材料の性状調査や予備試験等を実施し、適切な吹付け条件を取得するとともに、地下での充填試験に向けた装置の設計・製作等の試験の準備を実施する。下部の狭隘部に適用する充填技術については、これまでの充填要素試験の成果に基づき、地下実証試験に向けた装置の設計・製作を行う。また除去試験の対象となる充填部の品質確認技術についても検討を継続する。

隙間充填材の除去技術については、充填材料の性状に対応した除去技術の検討を継続して実施する。平成28年度に小型供試体を用いて実施したウォータージェット方式による充填材の切削試験の成果を踏まえ、切削条件等を具体化するための試験を実施する。またPEMから離れた部分の機械的な方式による除去技術についても検討を行う。これらを元に、幌延深地層研究センターで除去する充填部の大きさや形状を考慮した実証試験装置の設計・製作、除去副産物の処理方法等を具体化する。

3) 地層処分実規模試験施設の運用

資源エネルギー庁の地層処分実規模施設整備事業で整備した地層処分実規模試験施設を運用する。なお、運用にあたっては、平成27年度に策定した全体計画を基に試験等の一般公開による国民への理解促進活動も念頭に置くこととする。

1.5 年度展開

搬送定置技術、PEM-坑道間の隙間充填技術、充填材の除去技術、PEMの回収技術等の実証試験対象については、地下での実証試験に向け、各々の開発計画を随時更新し、装置の設計・製作、地上での確認試験等を平成28年度に引き続き実施した。

地下環境での実証試験に向けた全体工程については、予定される5年間のなかで確実に実施するため、図1.3.5-1示すように各試験項目の実施順を見直し、平成30年度に試験坑道内へのPEMの設置と隙間充填の実施、平成31年度に充填材の除去とPEMの回収試験を行った後に、PEMの搬送・定置試験を実施する計画とした。

URLでの実証試験	H27	H28	H29	H30	H31
地下施設の整備 影響調査・維持管理	実証サイトの選定 設備の設計	地下設備施工 環境影響調査	維持管理・保守点検・資機材搬入出	組立台・支保のひずみ、応力計測	(撤去)
			組立台・支保のひずみ、応力計測		
PEMの定置	搬送定置装置 設計・製作	搬送定置装置 製作・機能確認	模擬PEM製作 → PEM設置		定置
PEM周辺の充填 下部狭隘部	予備試験	充填装置の設計・製作 充填部品質管理方法	技術整備 → 充填試験	充填試験	
PEM周辺の充填 上部開放部	予備試験	充填装置の設計・製作 充填部品質管理方法	吹付け要素試験 → 吹付け試験準備	充填試験	
充填材の除去	検討	除去装置の設計	除去技術の検討 対象:吹付け → 除去技術整備	除去技術整備	除去
PEM本体の回収	搬送定置装置 設計・製作	搬送定置装置 製作・機能確認	装置整備 要素試験@地下 → 定置(回収)装置整備	定置(回収)装置整備	回収

図 1.3.5-1 地下環境での搬送定置拐取技術の高度開発 年度展開

第1章 参考文献

- [1] 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事業 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第1分冊）、2007年3月
- [2] 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 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第1分冊）、2013年3月
- [3] 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 地層処分回収技術高度化開発 報告書、2015年3月
- [4] 経済産業省：特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）、経済産業省ホームページ、
<http://www.meti.go.jp/press/2015/05/20150522003/20150522003-1.pdf>.
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成23年度地層処分技術調査等事業 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書（第1分冊）、2012年3月
- [6] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成27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：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）報告書、2016年3月
- [7] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成26年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備運営等事業）報告書、平成27年3月

第2章 実証試験サイトの整備

2.1 実証試験サイトの整備の概要

本業務は、過去の事業において、新規開発を行い地上での適用試験が終了した地層処分作業時の搬送定置・回収技術に関する各種装置の実証試験が、適切に実施できる環境を整備することを目的としている。そのため、実際の地下環境において処分坑道を模擬した設備（模擬 PEM の設置を除く）を整えとともに、実証試験に使用する模擬 PEM を設置した。同時に、地上においても同等の設備を構築し、地下の実証試験を実施する前に各種試験装置の調整する場所を整備した。

また、実証試験時には最大で約 40t の重量物（模擬 PEM、および各試験装置の荷重）が実証試験場所で移動や静止を繰り返す。そのため、重量物等の稼働状況が実証試験場所の周辺環境に与える影響の有無を確認することを目的とし、荷重が直接かかるコンクリート部と坑道を支える鋼製支保工表面に応力計を設置し、昨年度から計測を実施している。今年度は、平常時（模擬 PEM 等の重量物の荷重がかかる前の状態）や模擬 PEM が設置されて約 37 t の荷重がかかった後の状態）のデータの取得、および当該地下実証試験場所において、約 15t の荷重をかけた搬送定置の要素試験を実施したことによる、周辺環境の影響評価に資する情報を取得した。また、これらの試験等を模した数値解析を実施し、測定データとの比較、および実証試験時の岩盤等の挙動の予測を行った。

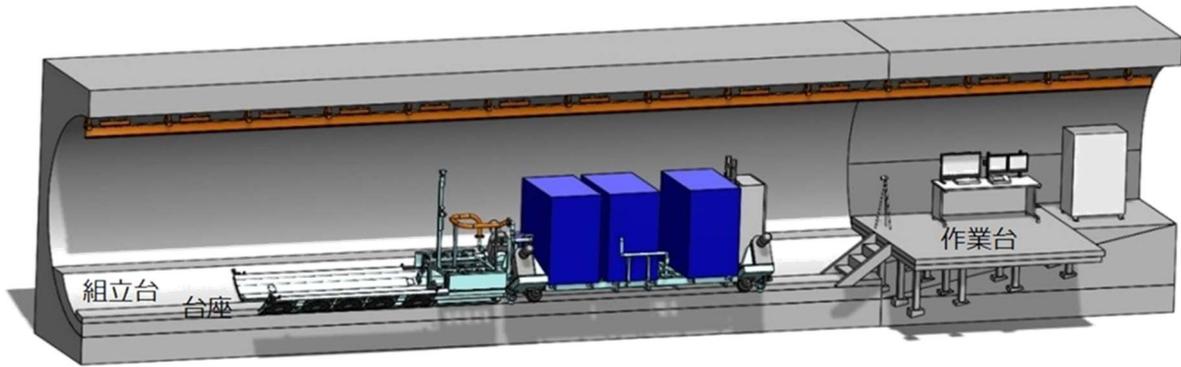
2.2 地下実証試験サイトの整備

2.2.1 地下実証試験場所の整備

地下実証試験場所として、平成 27 年度に JAEA 幌延深地層研究センター 地下施設 深度 350m 調査坑道の試験坑道 2 を選定し、平成 28 年度にはその場所に、実証試験設備である組立台と台座（鉄筋コンクリート製）、および作業台（鋼製）を構築した[1]。図 2.2.1-1 に場所を示す。また、図 2.2.1-2 に設備を示す。



図 2.2.1-1 実証試験場所



(a) 実証試験設備イメージ



(b) 組立台と台座



(c) 作業台

図 2.2.1-2 試験坑道 2 の実証試験設備

2.2.2 試験坑道 2 の性状調査

(1) 試験坑道 2 の内空形状計測

1) 目的

試験坑道 2 の内空の三次元計測を行った。各測定場所と測定目的を表 2.2.2-1 に示す。

表 2.2.2-1 測定場所と測定目的

測定場所		目的
棲部吹付け面		充填試験で必要なる充填材の体積の見積り、施工性確認、充填試験時の品質確認
坑道上部	棲部から坑口に向かって 19.5m の範囲	
坑道下部	延長：棲部から坑口に向かって 19.5m の範囲 坑壁：組立台（中心角 120°の円弧部、台座設置部、袖部）	鋼製コンクリート型枠を使用して施工した坑道面（組立台）の性状データの取得、充填材の施工性確認、充填試験時の品質確認（かさ密度管理など）、搬送・定置装置の走向性確認、充填材除去後の品質確認

2) 計測器と計測方法

三次元計測には FARO 社製レーザースキャナーFocus3DX330 (図 2.2.2-1 参照) を用いた。本機は最大 330m 離れた場所にある対象物を測定可能であり (距離精度は $\pm 2\text{mm}$ 以下)、少ないスキャン回数での三次元計測が可能である。また、解像度は垂直・水平とも 0.009° と高精度の測定が可能である。スキャナーの仕様を表 2.2.2-2 に示す。



(a) レーザースキャナーFocus3DX330

(b) 計測器の設定情報

図 2.2.2-1 レーザースキャナーFocus3DX330 (FARO 社カタログより)

表 2.2.2-2 スキャナーの仕様一覧 (FARO 社カタログより)

測定ユニット	
明瞭識別距離	307m@976000 点/秒
測定範囲	0.6m~300m
測定速度(点/秒)	122,000 / 244,000 / 488,000 / 976,000
測定誤差	$\pm 2\text{mm}$
偏向ユニット	
垂直視	300°
水平視野	360°
垂直, 水平解像度	0.009° (360° あたり 40960 個の 3D ピクセル)
最大垂直スキャン速度	5820rpm もしくは 97 ヘルツ
レーザー	クラス 1
波長	1550nm
ビーム広がり	標準 $0.19\text{mrad}(0.011^\circ)(1/e, \text{half angle})$
ビーム径(出口)	標準 $2.25\text{mm}(1/e)$
寸法	$240 \times 200 \times 100\text{mm}$
重さ	5.2kg

測定は、計測器本体の足元周辺および突起物（台座、など）等の裏側が死角にならないように、台座を挟み込む配置で 5m 間隔で計測を行った。図 2.2.2-2 にスキャナー（計測器）設置位置を示す。図からわかるように計測回数が 9 回と複数になるため、各測定データを結合する際に必要となる基準球を坑内では図 2.2.2-2 に示す位置に設置して計測を行った。今回の測定では、最も密な設定で 0.009°、5m の距離で 0.8mm 間隔となった。

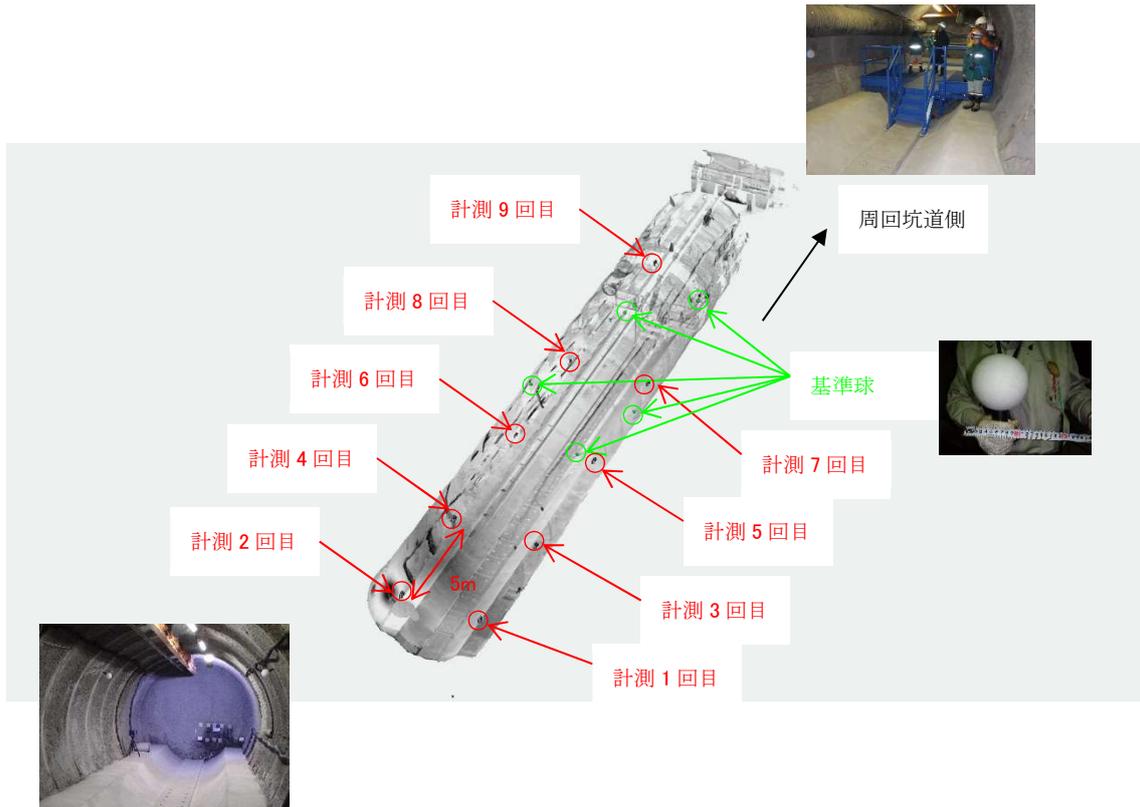


図 2.2.2-2 測定位置と基準球設置位置

図 2.2.2-3 に当該測定における原点位置と国土地理院の座標系における座標を示す。

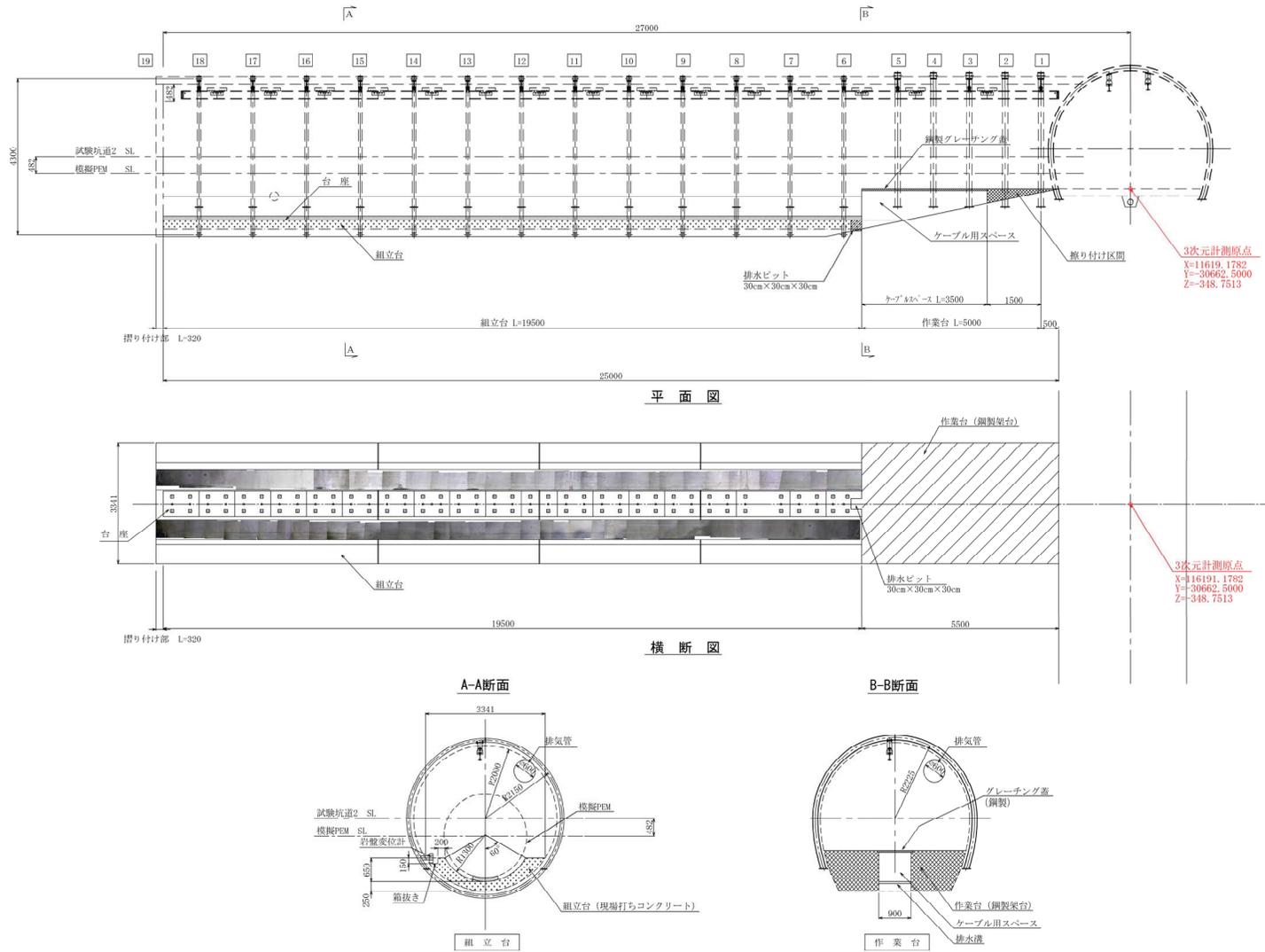


図 2.2.2-3 原点位置図

3) 測定状況

各計測回の計測器の設置状況を図 2.2.2-4 に、基準球の設置状況を図 2.2.2-5 に示す。



図 2.2.2-4 計測機器設置状況 (5 回目の測定)



(a) 鋼製支保工に設置



(b) 組立台に設置

図 2.2.2-5 基準球設置状況

4) 測定結果

a 点群表示による試験坑道 2 の内空

図 2.2.2-6 に棲部表面、図 2.2.2-7 に組立台表面（部分）、図 2.2.2-8 に試験坑道 2 の内空の点群画像を示す。



(a) 棲部表面



(b) 棲部表面近接

図 2.2.2-6 棲部表面の点群画像（10mm 間隔）



(a) 組立台表面（台座部）



(b) 組立台表面（台座部）近接

図 2.2.2-7 組立台表面（一部）の点群画像（1mm 未満間隔）



(a) 試験坑道 2



(b) 試験坑道 2 壁面近接

図 2.2.2-8 試験坑道 2 の内空の点群画像 (10mm 間隔)

b 点群密度の確認

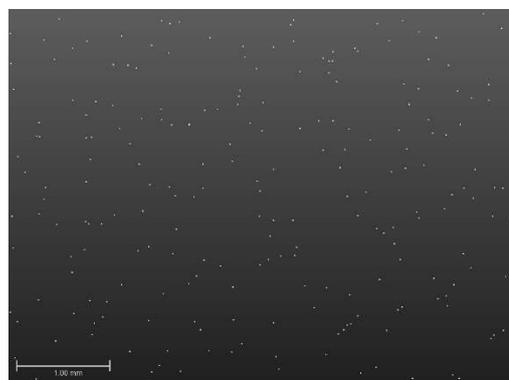
実証試験で使用する定置装置は、走行面の状況に対して敏感である。そのため、走行面の情報を細かく取得し、実証試験のための基礎資料とする必要がある。今回、測定の点群密度が、実証試験に合わせたスケールで取得されたかどうかを確認することとした。

組立台に関しては、1mm の段差が確認試験に影響を与えるため、今回は 1mm 未満の間隔で 3 次元座標データを取得したかどうかを確認した。一方、組立台よりも上方の部分については、隙間を充填材で充填した際の充填密度を換算するため、今回は、10mm 未満間隔で 3 次元座標データを取得できているかを確認した。

図 2.2.2-9 に点群密度の確認箇所 (図中の赤丸) と点群密度の確認画像を示す。図より、1mm よりも小さい間隔でデータを取得していることがわかる。



(a) 点群密度の確認箇所



(b) 点群密度の確認 (スケールが 1mm)

図 2.2.2-9 点群密度の確認

c 写真と点群表示の対比

組立台コンクリート表面にできた気泡痕について点群画像と写真を比較した。図 2.2.2-10 と図 2.2.2-11 に 3 次元点群像と該当する箇所の壁面写真を記す。写真に写っている「くぼみ部」は 3 次元座標としても測定されていることがわかる。

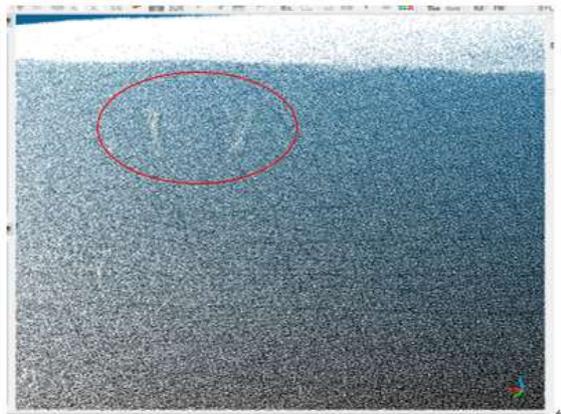


(a) 3D 点群像



(b) 写真

図 2.2.2-10 組立台の北側壁面



(a) 3D 点群像



(b) 写真

図 2.2.2-11 組立台の南側壁面

(2) 組立台のクラック調査

1) 目的

地下実証試験サイトの組立て台は鉄筋コンクリート製である。そのため、時間の経過とともにクラックの発生や進展が予測される。クラックは定置装置の走行の可否に大きく影響を与えるため、組立台表面に生じたクラックの進展状況、および新規発生クラックの位置とその性状を確認することを目的とし、本調査を実施した。調査は、上記のレーザースキャナーでは計測できない

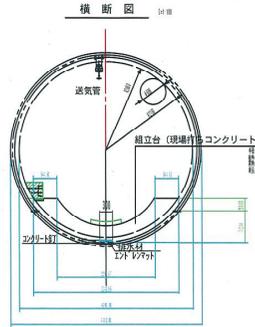
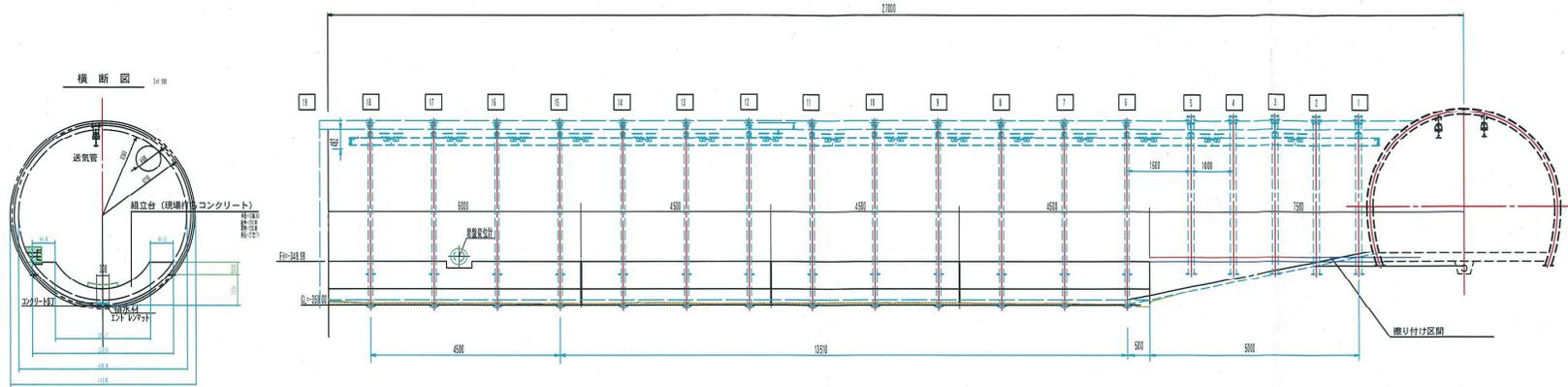
規模のクラックの存在や、クラック幅などの性状を、目視によって確認した。

2) 調査結果

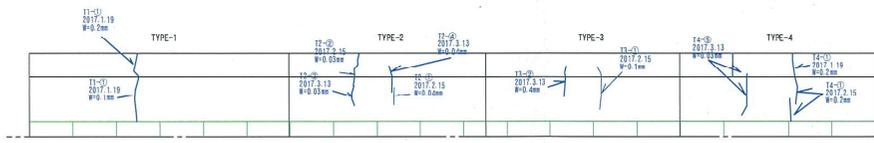
クラック調査結果のスケッチを図 2.2.2-12 に示した。また、各クラックの写真を図 2.2.2-13～図 2.2.2-14 に示す。

試験坑道 2 全体図

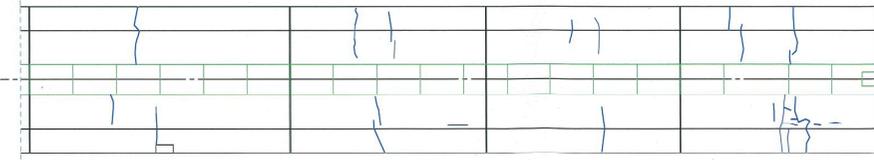
S=1:100



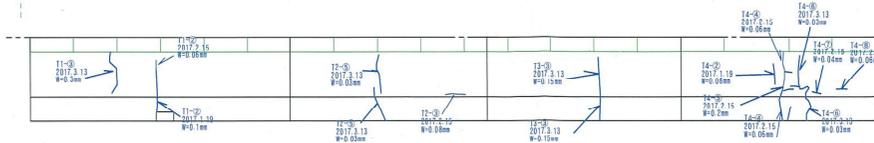
左展開図



平面図



右展開図

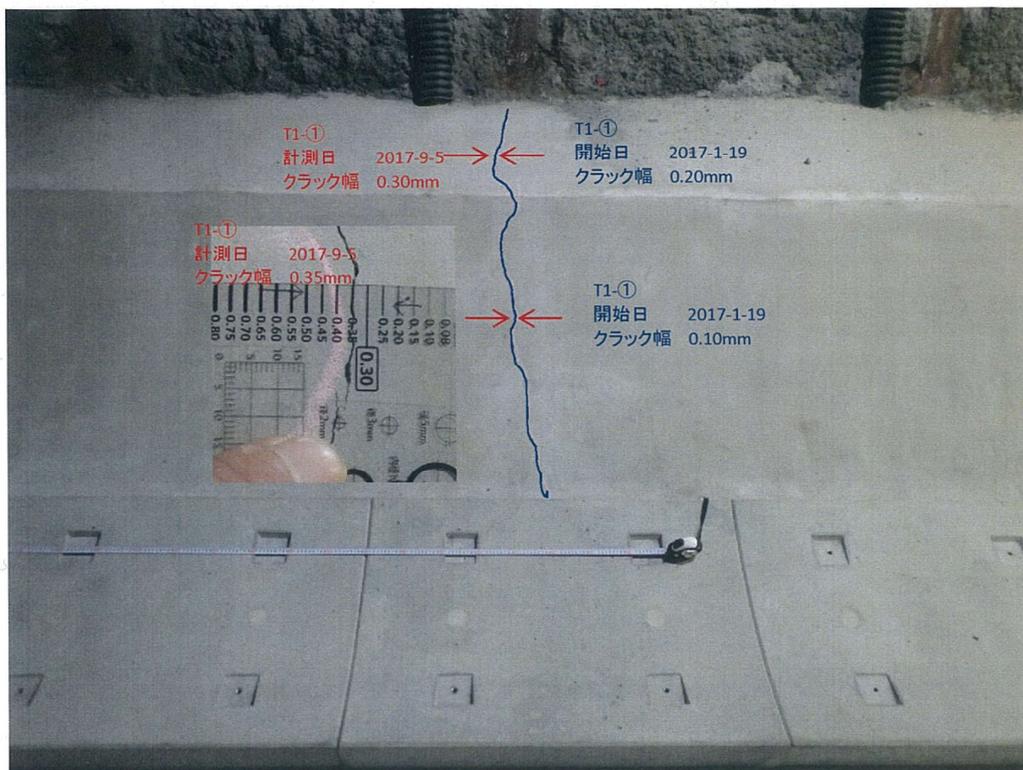


クラック調査結果

クラック No.	コンクリート 打設日	観測点 No.	クラック幅 mm					備考	
			1/19 観測	2/15 観測	3/13 観測	6/19 観測	9/5 観測		
T1	H2&1111	①	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		
		②	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		
		③	0.1	0.1	0.15	0.2	0.25		
		④	0.06	0.1	0.15	0.2	0.2		
T2	H2&1118	①		0.03	0.04	0.04	0.04		
		②		0.04	0.04	0.05	0.05		
		③		0.03	0.04	0.04	0.04		
		④		0.08	0.1	0.15	0.15	0.15	0.15
		⑤		0.04	0.07	0.08	0.08		
		⑥		0.03	0.04	0.04	0.04		
T3	H2&1125	①		0.03	0.04	0.04	0.04		
		②		0.08	0.08	0.08	0.08		
		③		0.04	0.04	0.04	0.04		
		④		0.15	0.15	0.2	0.25		
		⑤	0.2	0.2	0.2	0.2	0.25		
		⑥		0.2	0.25	0.25	0.25		
		⑦		0.2	0.25	0.25	0.25		
		⑧		0.2	0.25	0.25	0.25		
T4	H2&125	①		0.08	0.08	0.08	0.08		
		②		0.08	0.08	0.08	0.08		
		③		0.2	0.2	0.25	0.25		
		④		0.08	0.08	0.15	0.25		
		⑤		0.06	0.06	0.2	0.3		
		⑥		0.03	0.03	0.03	0.04		
		⑦		0.03	0.05	0.1	0.1		
		⑧		0.03	0.03	0.03	0.03		

図 2.2.2-12 試験坑道 2 の組立て台のクラック調査結果

【TYPE-1-R】 2017/9/5



【TYPE-1-L】 2017/9/5

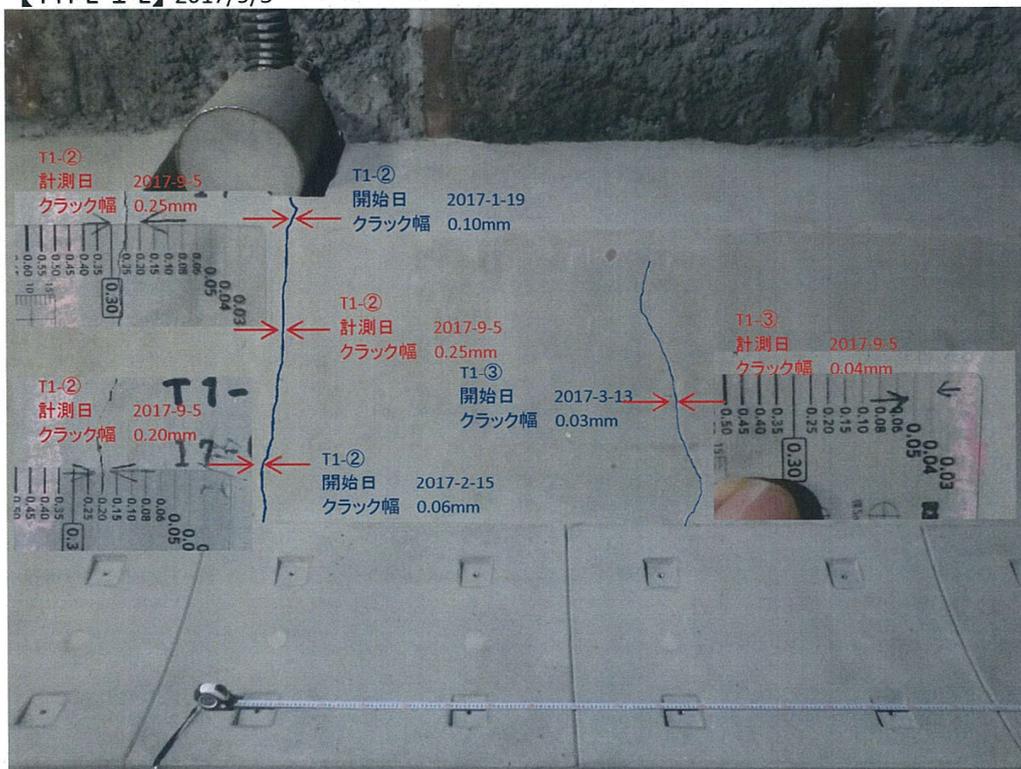
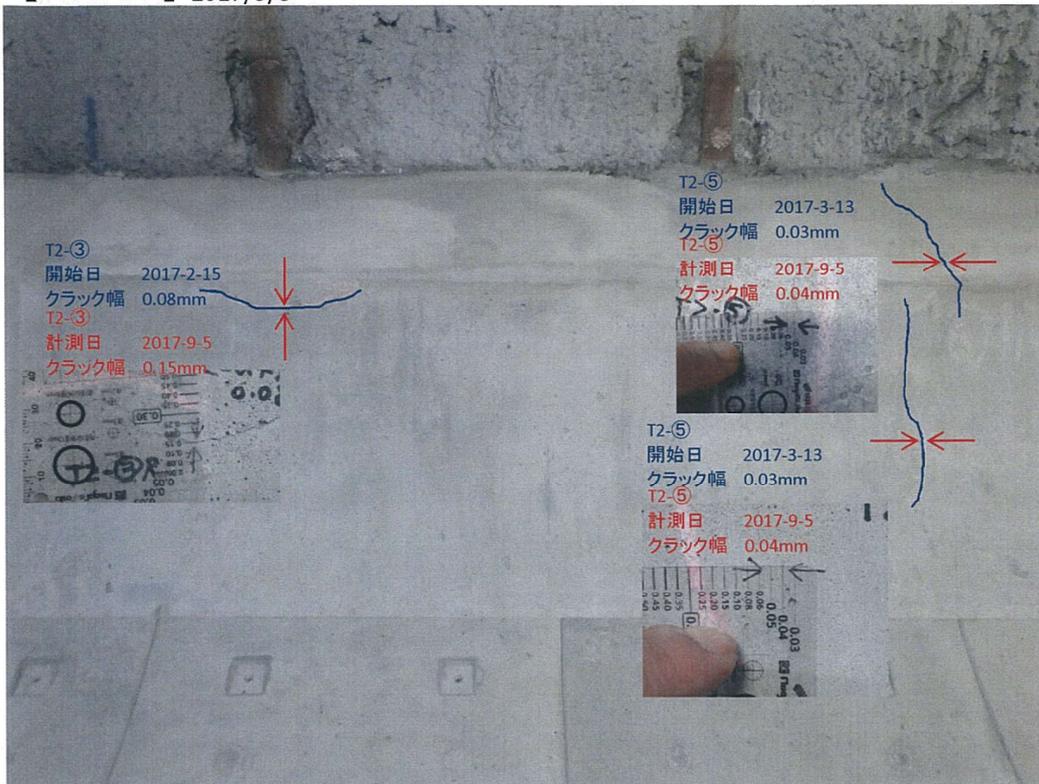


図 2.2.2-13 クラックの近接写真と性状 (TYPE-1 部)

【TYPE-2-R】 2017/9/5



【TYPE-2-L】 2017/9/5

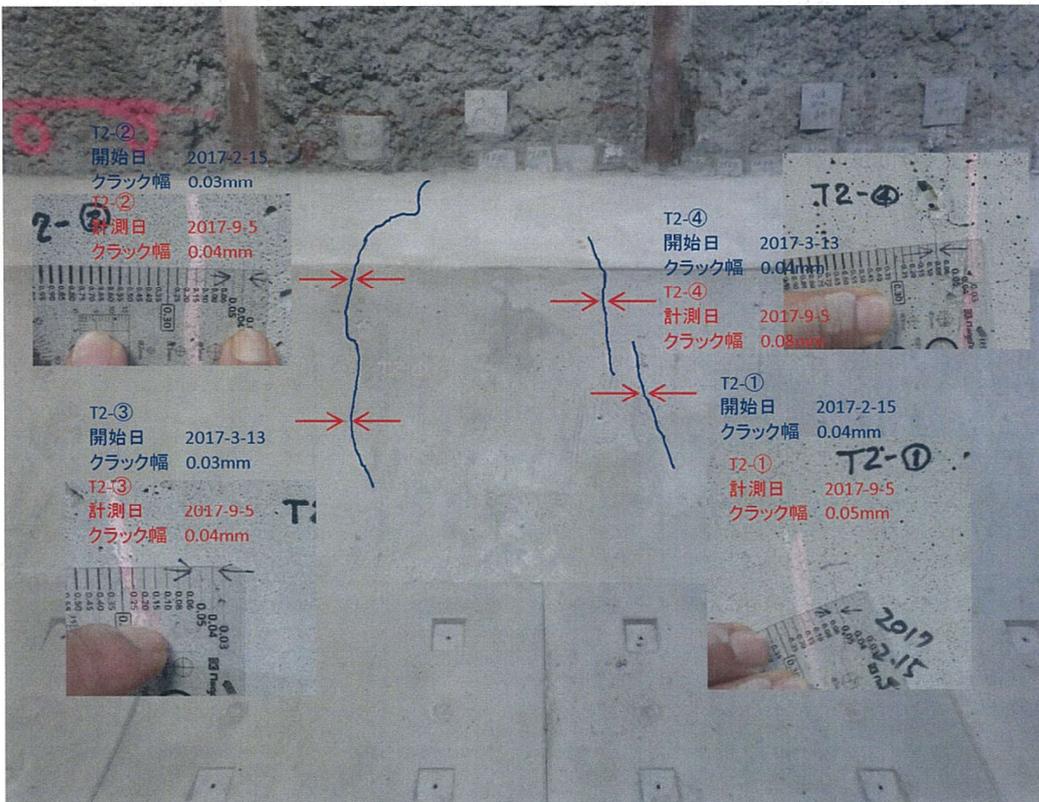


図 2.2.2-14 クラックの近接写真と性状 (TYPE-2 部)

2.2.3 周辺環境への影響調査

(1) 目的と実施概要

本業務は、試験坑道 2 内で実施する種々の要素試験、および実証試験が、組立台コンクリート等の地下試験設備、既設構造物、また周辺岩盤に与える影響を評価することを目的としている。

今年度は、組立台コンクリート内やトンネル支保工に設置した応力計で取得したデータの分析、および要素試験や模擬 PEM 設置を模擬した数値解析結果と実測値の比較、さらに実証試験時に行う模擬 PEM 設置とその周辺の埋め戻しを模擬した数値解析による、地下実証試験時の設備等が受ける影響の予測を行った。

(2) 計測データの分析

1) 計測器と設置位置

使用した計測機器の仕様を表 2.2.3-1 に示す。

表 2.2.3-1 計測機器諸元

計測機名	型式	仕様	数量
コンクリート応力計	東横エルメス製 GK-40N-202	測定範囲:0~40N/mm ² 定格出力:1.4mV/V	3 台
鋼製支保工応力計	東京測器研究所製 KM-100B	定格出力:約 2.5mV/V 容量:±5000×10 ⁻⁶ ひずみ	3 台
温度計	東京測器研究所製 KT-110A	測定範囲:-30~+80℃ 感度:約 130×10 ⁻⁶ ひずみ/℃ 測定誤差:±0.3℃	3 台

各計測機器の設置位置を図 2.2.3-1 と図 2.2.3-2 に、設置状況を図 2.2.3-3 に示す。

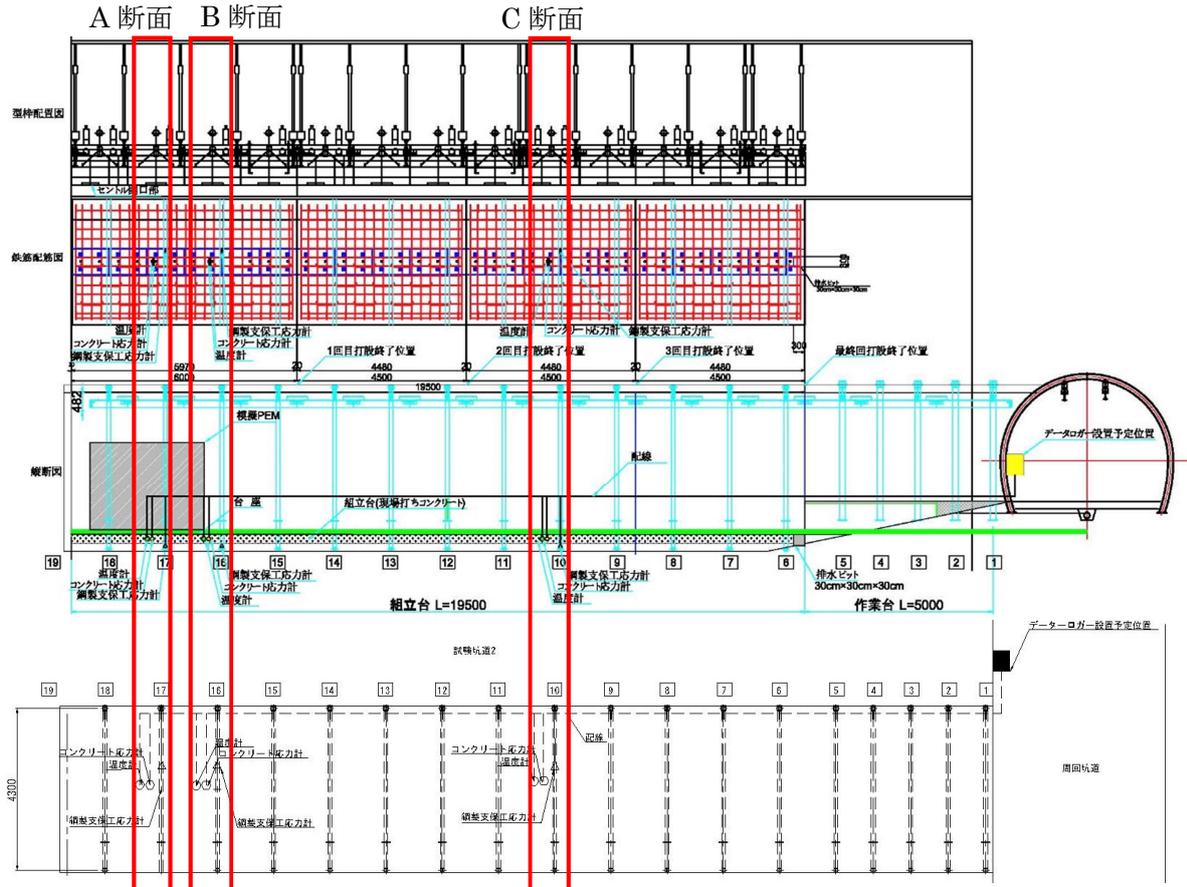


図 2.2.3-1 設置位置図 (全体図)

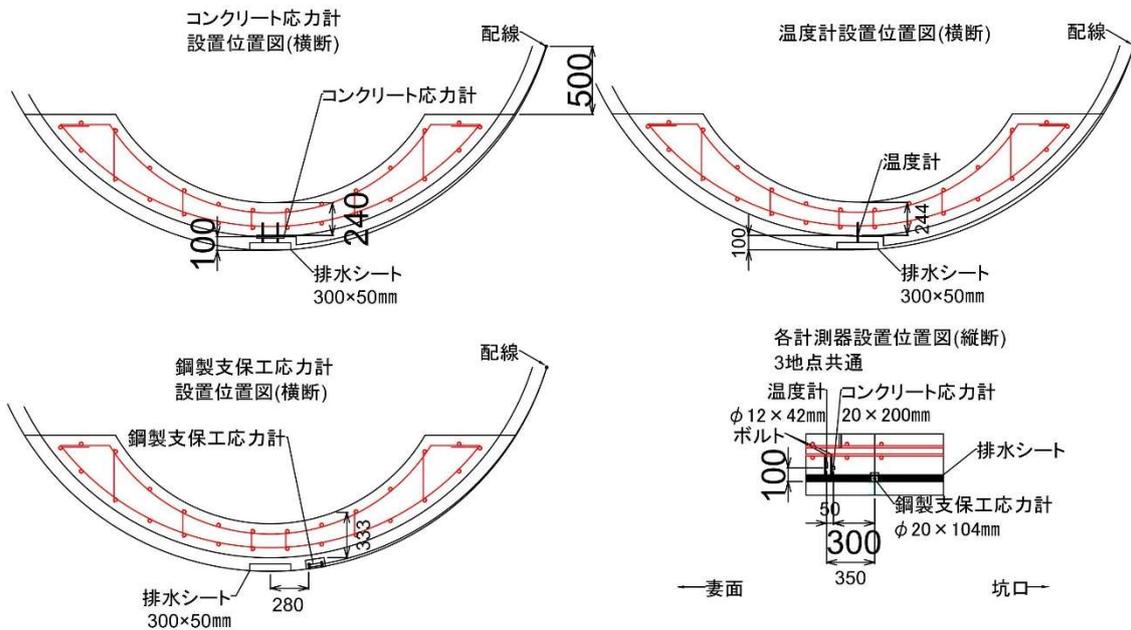


図 2.2.3-2 設置位置図 (詳細図)



(a)コンクリート応力計



(b)鋼製支保工応力計



(c)温度計

図 2.2.3-3 計測器設置状況

2) 測定結果

a 各測定値の経時変化

計測器設置（コンクリート打設時で2016年11月9日）から現在（2018年2月28日）までの計測データの経時変化図を図2.2.3-4～図2.2.3-6に示す。

昨年度は、コンクリート打設時の温度上昇や下降に伴うコンクリート圧縮応力や引っ張り応力、などの挙動を確認した。今年度は、コンクリート応力、鋼製支保工応力、および温度の長期的な変化を確認した。図2.2.3-4より、3断面ともほぼ同じ温度であることがわかる。また、年間を通じた温度の変化に着目すると、9月に最高値である23℃となり、2月に最低値である16℃となることがわかる。これらの温度は坑道内の気温と等しかった。また組立台コンクリートの温度は、坑内の気温の季節変動とも連動していることがわかった。

図2.2.3-5より、コンクリート応力については、いずれの断面も圧縮する傾向が続いていることがわかる。また、2017年10月11日までは、温度とコンクリート応力は連動していたが、それ以降は温度との相関がみられなくなった。この理由は現在調査中である。

図2.2.3-6より、鋼製支保工応力については、2017年2月5日と2017年11月17日に急激に低下したことがわかる。B断面とC断面は応力の増減傾向が概ね同じ傾向を示していることより、A断面で測定器に影響を与える事象が生じたと考えられる。想定される事象としては測定器設置における溶接熱（残留応力）の影響、測定器設置治具の剥がれ、などが考えられる。しかし、原因はいまだ不明のため、データの取り扱いについては注意する必要があると判断した。

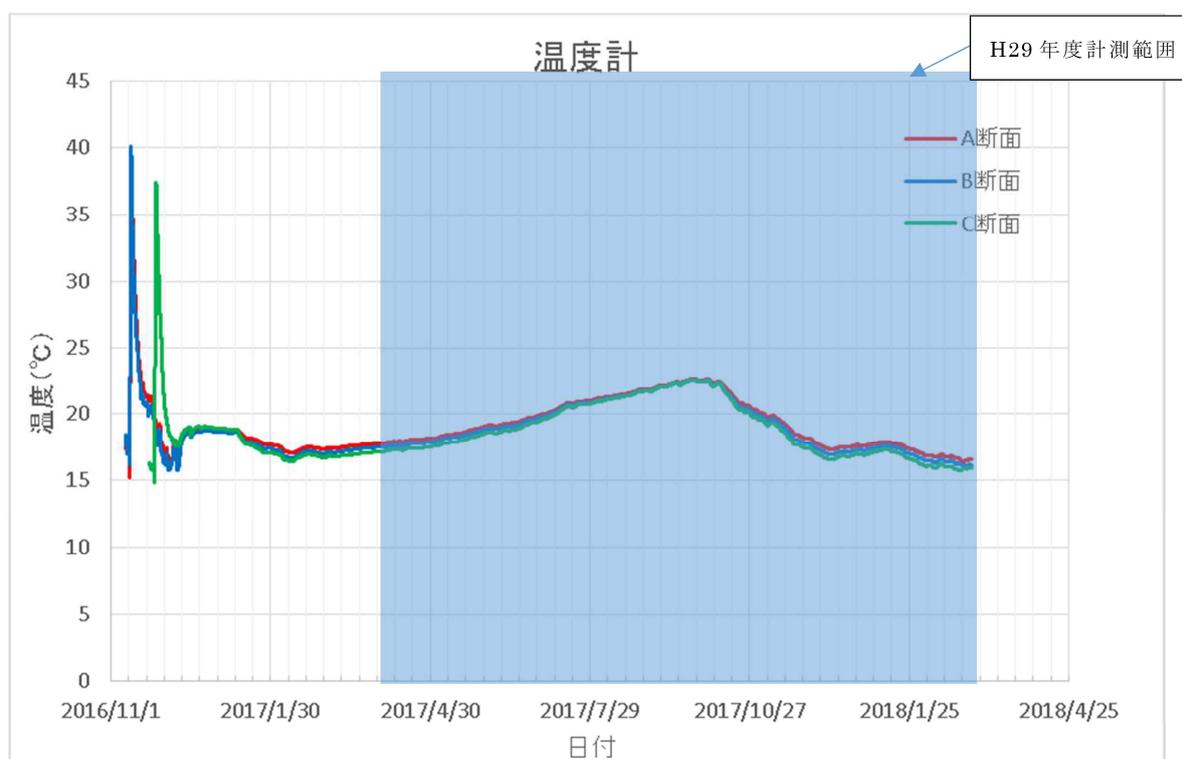


図 2.2.3-4 温度の経時変化

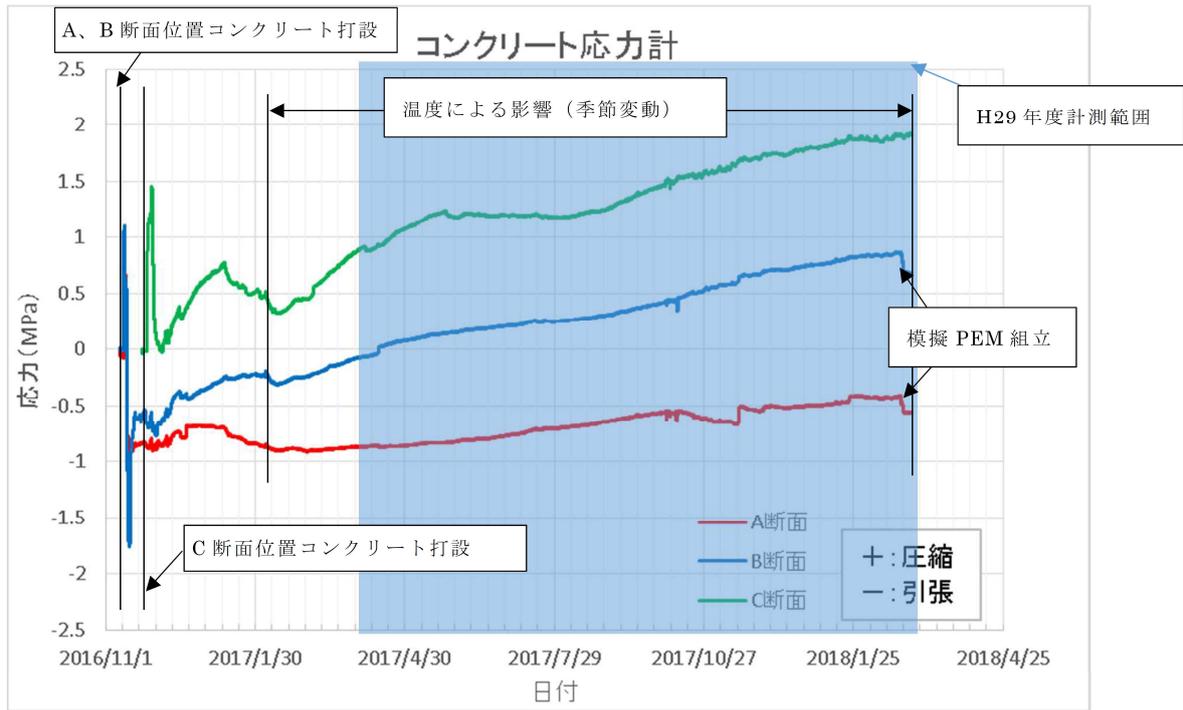


図 2.2.3-5 コンクリート応力の経時変化

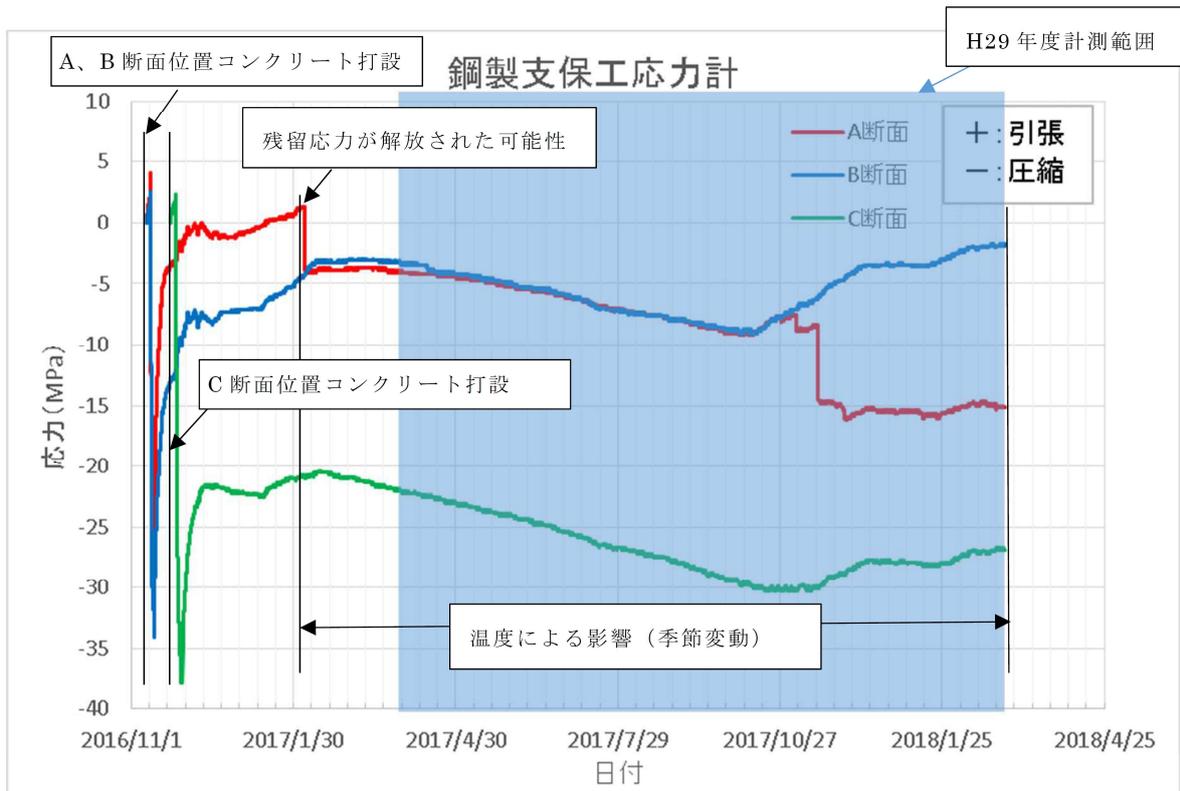


図 2.2.3-6 鋼製支保工応力の経時変化

b 要素試験時

地下実証試験に向け、予備的な試験として、定置・搬送装置の要素試験が実施された。これは組立台コンクリートでの異なる走行面に対して、定置・搬送装置の走行状況を把握するため、3種類のウエイト（最大 14.125t）を載せ行うものである。要素試験概念図を図 2.2.3-7 に、試験時の写真を図 2.2.3-8 に示す。この試験に伴い、既設支保工などの影響の有無を確認するため、計測間隔を 1 秒に設定して計測を行った。計測期間は試験期間中の 2017 年 10 月 2 日～2017 年 10 月 12 日である。表 2.2.3-2 に作業工程を示す。

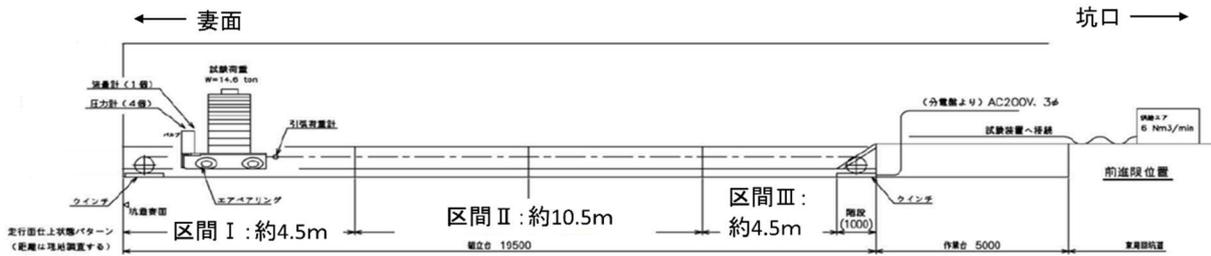


図 2.2.3-7 要素試験概念図



図 2.2.3-8 要素試験状況

(14.125t のウエイトを載せて試験走行している様子)

表 2.2.3-2 要素試験作業工程

計測日	開始時間	ウエイト重量[t]	走行開始位置	走行停止位置	走行距離[m]	走行方向	走行区間	浮上量[mm]	速度[m/min]
2017/10/4	9:21	2	16.4	15.558	-0.842	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	9:54	2	16.4	9.004	-7.396	作業台方向	区間Ⅰ (Type1) ~ 区間Ⅱ (Type2)	50-55	5
	10:08	2	9	15.723	6.723	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1) ~ 区間Ⅱ (Type2)	50-55	5
	10:36	6	16.4	13.54	-2.86	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	50-55	5
	10:39	6	13.55	15.727	2.177	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	50-55	5
	14:08	14.125	16.3	13.57	-2.73	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	50-55	5
2017/10/5	14:13	14.125	13.55	15.677	2.127	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	50-55	5
	9:06	6	12	10.996	-1.004	作業台方向	区間Ⅱ (Type2)	40-45	5
	9:53	6	12	2.165	-9.835	作業台方向	区間Ⅱ ~ 区間Ⅲ (Type2~Type4)	50-55	5
	10:01	6	2.2	11.997	9.797	妻壁方向	区間Ⅱ ~ 区間Ⅲ (Type2~Type4)	50-55	5
	10:17	6	6.3	4.444	-1.856	作業台方向	区間Ⅱ (Type3)	40-45	5
	13:15	6	1.34	2.96	1.62	妻壁方向	区間Ⅲ (Type4)	40-45	5
2017/10/6	14:12	14.125	12	2.161	-9.839	作業台方向	区間Ⅱ ~ 区間Ⅲ (Type2~Type4)	50-55	5
	14:29	14.125	2.2	12.048	9.848	妻壁方向	区間Ⅱ ~ 区間Ⅲ (Type2~Type4)	50-55	5
	9:16	14.125	1.46	3.03	1.57	妻壁方向	区間Ⅲ (Type4)	40-45	5
	10:04	2	1.33	12.013	10.683	妻壁方向	区間Ⅱ ~ 区間Ⅲ (Type2~Type4)	50-55	5
	10:14	2	12	2.096	-9.904	作業台方向	区間Ⅱ ~ 区間Ⅲ (Type2~Type4)	50-55	5
	10:25	2	1.34	1.839	0.499	作業台方向	区間Ⅲ (Type4)	40-45	5
2017/10/10	10:56	2	4.6	7.289	2.689	作業台方向	区間Ⅱ (Type3)	40-45	5
	11:13	2	9.2	9.972	0.772	作業台方向	区間Ⅱ (Type2)	40-45	5
	12:13	6	16.4	16.267	-0.133	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:03	2	16.4	13.499	-2.901	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:06	2	13.51	15.7	2.19	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:23	6	16.4	13.523	-2.877	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:27	6	13.52	15.717	2.197	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:31	6	16.4	13.513	-2.887	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:34	6	13.5	15.704	2.204	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:38	6	16.4	13.501	-2.899	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:40	6	13.49	15.707	2.217	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:44	6	16.4	13.556	-2.844	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	10:46	6	13.54	15.706	2.166	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	13:38	14.125	16.39	13.531	-2.859	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	13:41	14.125	13.52	15.712	2.192	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	13:50	14.125	16.39	13.54	-2.85	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	13:53	14.125	13.53	15.685	2.155	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	13:58	14.125	16.01	13.539	-2.471	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	14:01	14.125	13.53	15.689	2.159	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	14:05	14.125	16	13.55	-2.45	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	14:14	14.125	13.54	15.672	2.132	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	14:18	14.125	16	13.556	-2.444	作業台方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	14:22	14.125	13.54	15.684	2.144	妻壁方向	区間Ⅰ (Type1)	40-45	5
	15:06	14.125	15.68	2.281	-13.399	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
15:16	14.125	2.16	15.716	13.556	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
15:25	14.125	15.72	2.239	-13.481	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
15:32	14.125	2.19	15.64	13.45	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
15:39	14.125	15.71	2.301	-13.409	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
15:46	14.125	2.21	15.688	13.478	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
15:54	14.125	15.68	2.221	-13.459	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
16:00	14.125	2.22	15.694	13.474	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
16:08	14.125	15.71	2.206	-13.504	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
16:15	14.125	2.18	15.665	13.485	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5	
2017/10/11	8:55	14.125	15.71	2.213	-13.497	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	3.5
	9:03	14.125	2.2	15.663	13.463	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	3.5
	9:12	14.125	15.69	2.238	-13.452	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	3.5
	9:23	14.125	2.2	15.679	13.479	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	3.5
	9:31	14.125	15.68	2.2	-13.48	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	3.5
	9:41	14.125	2.21	15.665	13.455	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	3.5
	10:35	6	15.67	2.181	-13.489	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	10:42	6	2.19	15.698	13.508	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	10:49	6	15.7	2.19	-13.51	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	10:55	6	2.18	15.696	13.516	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	11:01	6	15.7	2.16	-13.54	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	11:07	6	2.16	15.698	13.538	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	13:23	2	15.7	2.235	-13.465	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	13:34	2	2.19	15.635	13.445	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	13:42	2	15.67	2.209	-13.461	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	13:47	2	2.2	15.626	13.426	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	13:58	2	15.65	2.212	-13.438	作業台方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	14:05	2	2.18	15.682	13.502	妻壁方向	区間Ⅰ ~ 区間Ⅲ (Type1~Type4)	50-55	5
	14:21	2	2.98	2.176	-0.804	作業台方向	区間Ⅲ (Type4)	40-45	5

図 2.2.3-9～図 2.2.3-11 に試験実施 2 日前から試験終了後 2 日後までの各計測器の計測結果を示す。なお、要素試験での計測では、定置試験前の計測値を 0 とした。

図 2.2.3-9 に示すコンクリート応力計では、どの試験断面においても、要素試験実施時のウェイトの移動および定置の影響とみられる引張応力を計測している（図中の黄色線部の試験装置走行時で値が変化している）ことがわかる。計測された引張応力の最大値は、約 0.07MPa であった。一方、図 2.2.3-10 に示す鋼製支保工応力計では、当該計測器の分解能でとらえられるほど有意な応力変化が発生していないことがわかる（図中の黄色線部の試験装置走行時で値の変化は見られない）。温度については、図 2.2.3-11 に示す通り、要素試験による変化は生じていないことがわかる。

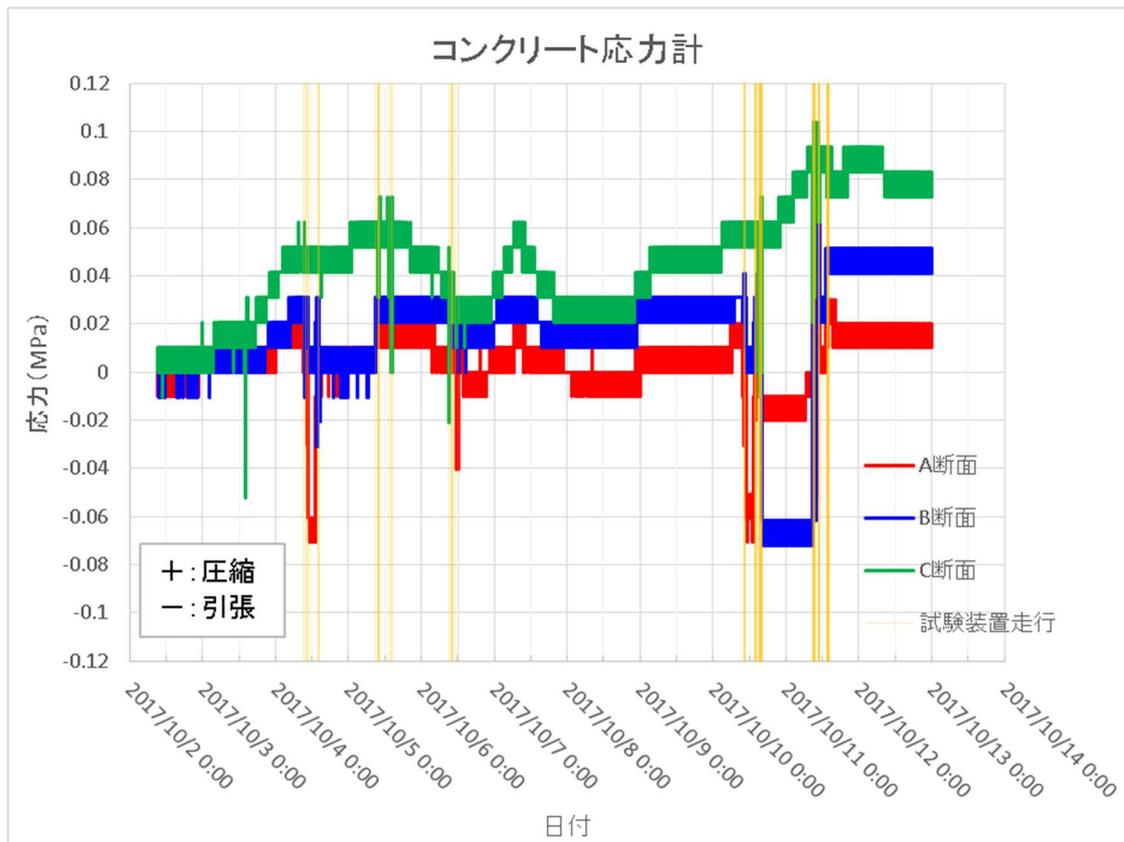


図 2.2.3-9 要素試験時のコンクリート応力計計測データ

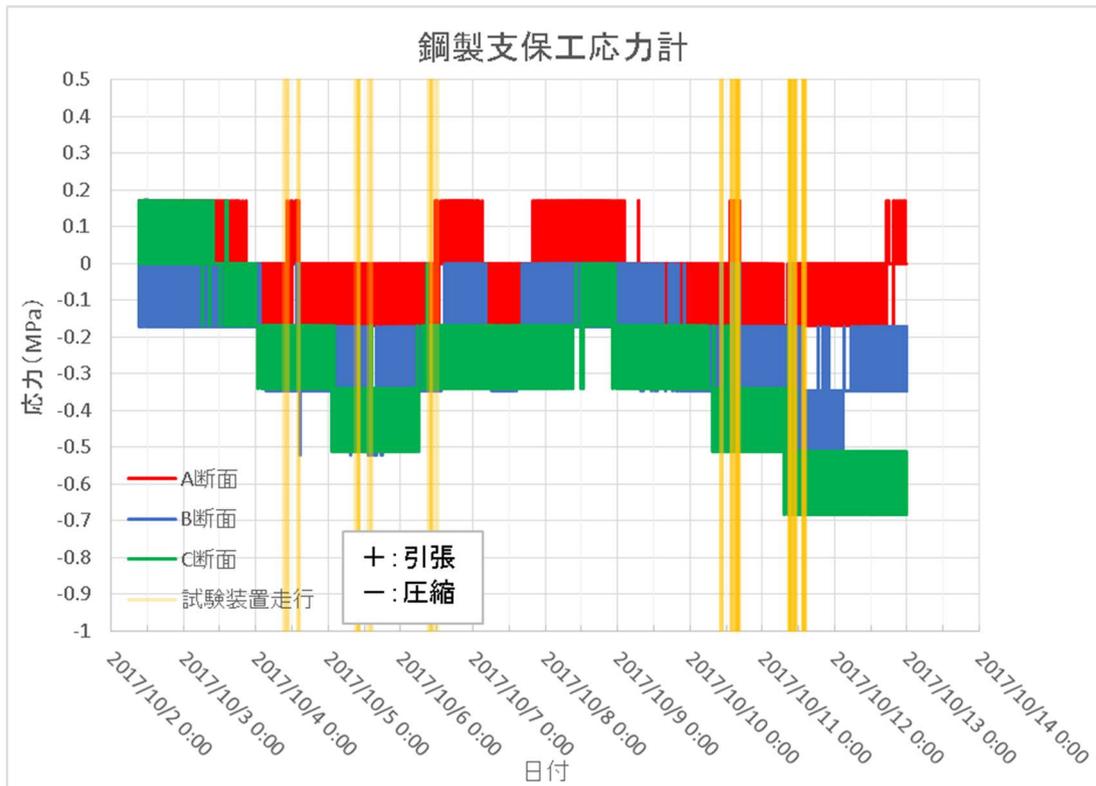


図 2.2.3-10 要素試験時の鋼製支保工応力計計測データ

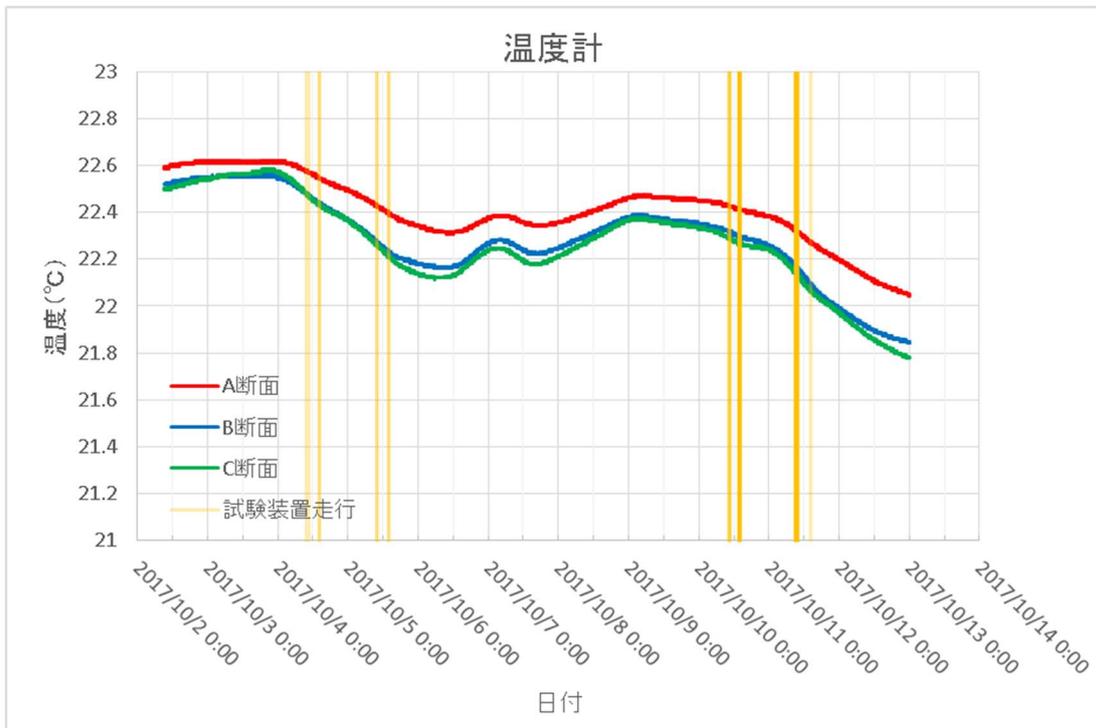


図 2.2.3-11 要素試験時の温度計計測データ

次に、区間Ⅰから区間Ⅲまでを連続して走行した場合の結果を分析し、エアベアリング走行時における周辺環境の影響を確認した。走行区間と計測器の位置の関係を図 2.2.3-12 に示す。また、コンクリート応力の経時変化を図 2.2.3-13～図 2.2.3-15 に、鋼製支保工応力を図 2.2.3-16～図 2.2.3-18 に示す。

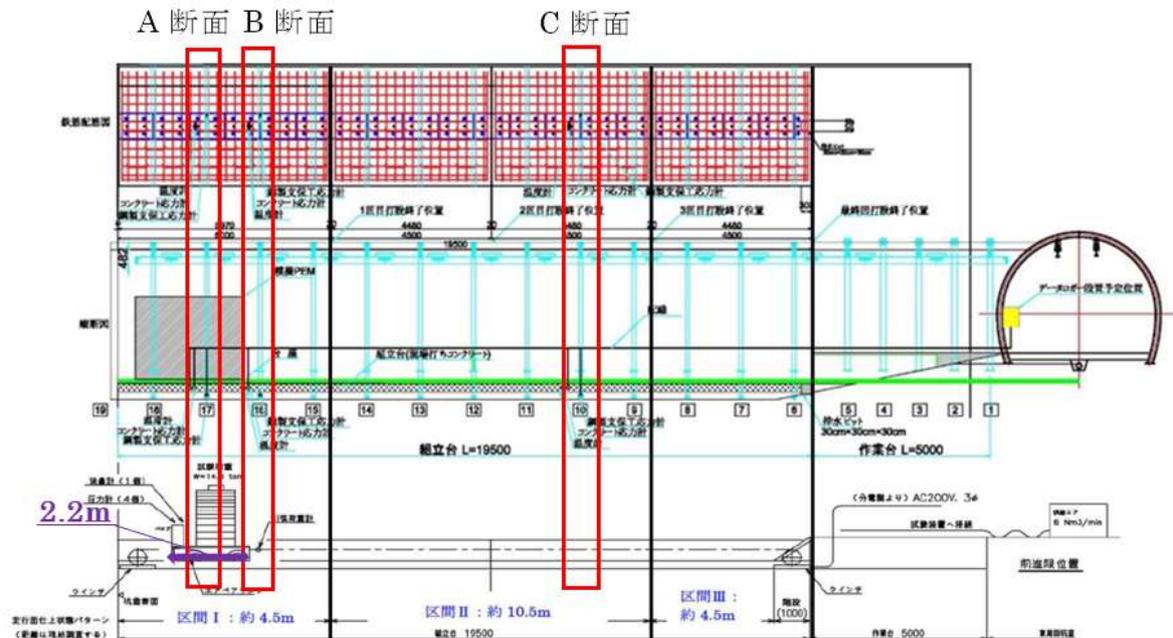


図 2.2.3-12 走行区間と計測器設置位置

図 2.2.3-13～図 2.2.3-15 のコンクリート応力に着目すると、いずれのウエイトの荷重に対しても、応力の変化は C 断面、B 断面、A 断面の順に大きいことがわかる。これは、試験開始位置、すなわち要素試験装置の走行開始位置が A 断面と B 断面の両方にまたがる位置に設定されているため、初期の状態で変化が加わっていたためと考えられる。また、ウエイトの荷重が組立台のコンクリートに作用すると引っ張り方向に応力が発生することがわかる。これは、構造力学の梁のたわみの理論による、中立軸より下側の梁への载荷に伴う曲げモーメントの発生で説明できる。また、C 断面に着目すると、ウエイトが大きいほど応力変化の量が大きいことがわかる。

図 2.2.3-16～図 2.2.3-18 の鋼製支保工応力に着目すると、いずれの場合も、要素試験の影響は見られないことがわかる。

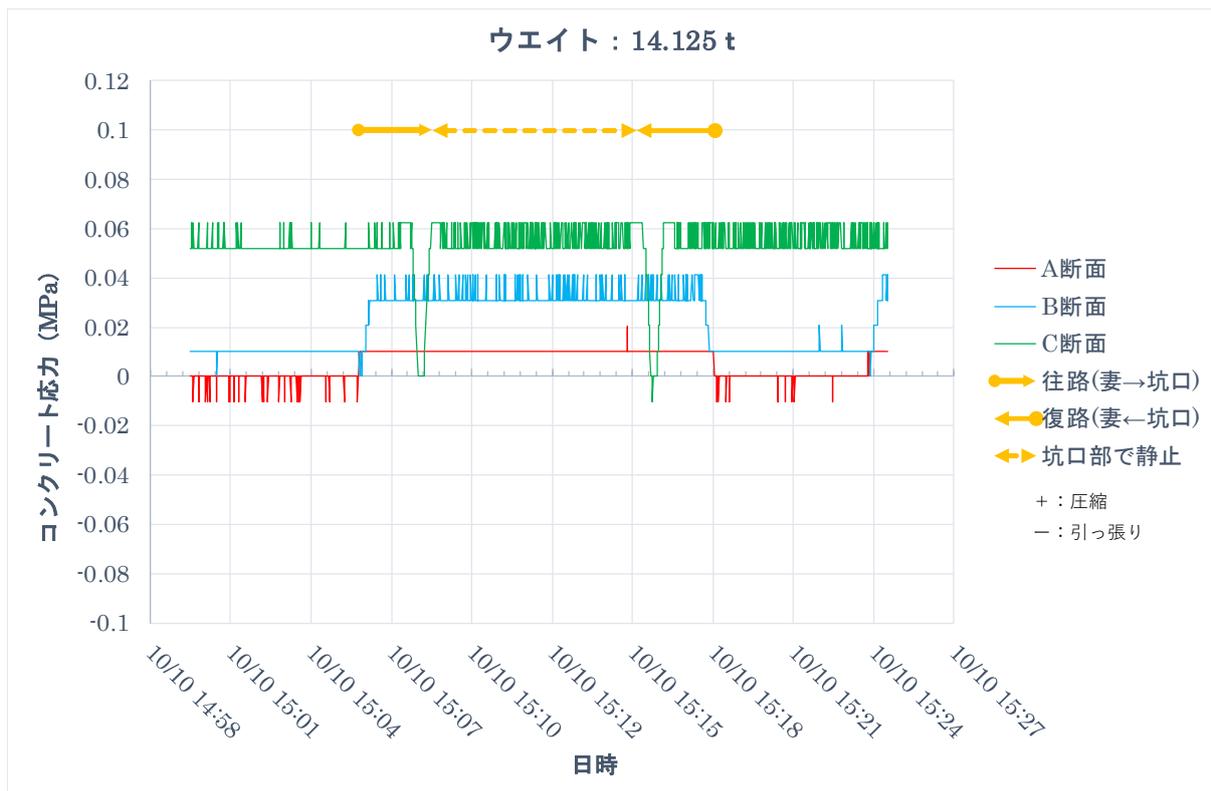


図 2.2.3-13 コンクリート応力の経時変化：ウエイト 14.125t の場合

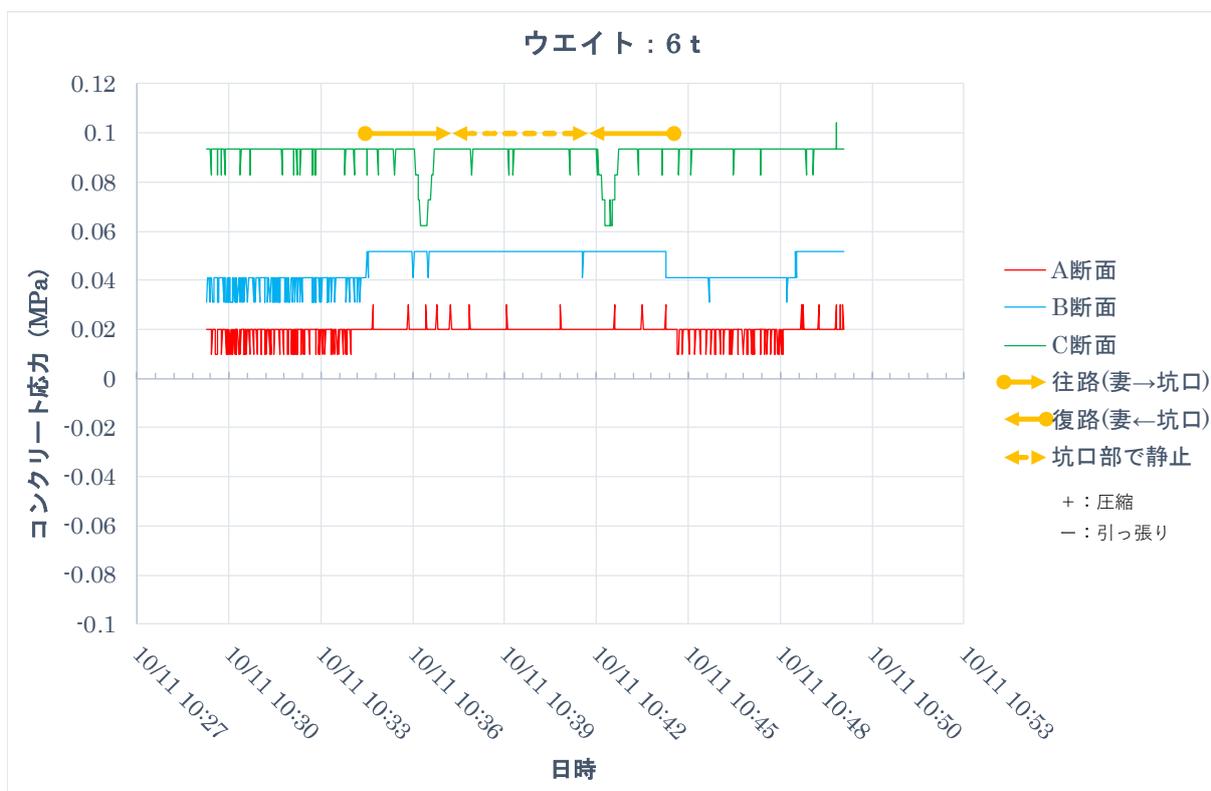


図 2.2.3-14 コンクリート応力の経時変化：ウエイト 6t の場合

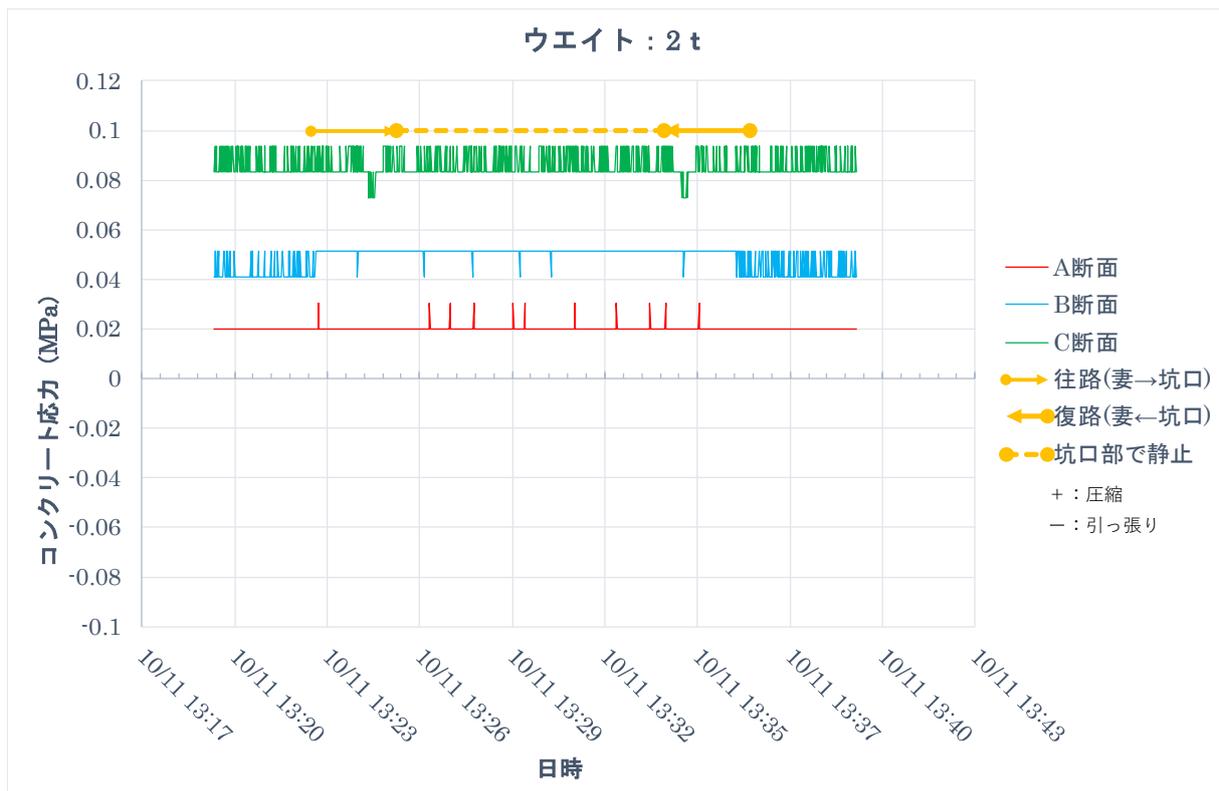


図 2.2.3-15 コンクリート応力の経時変化：ウエイト 2t の場合

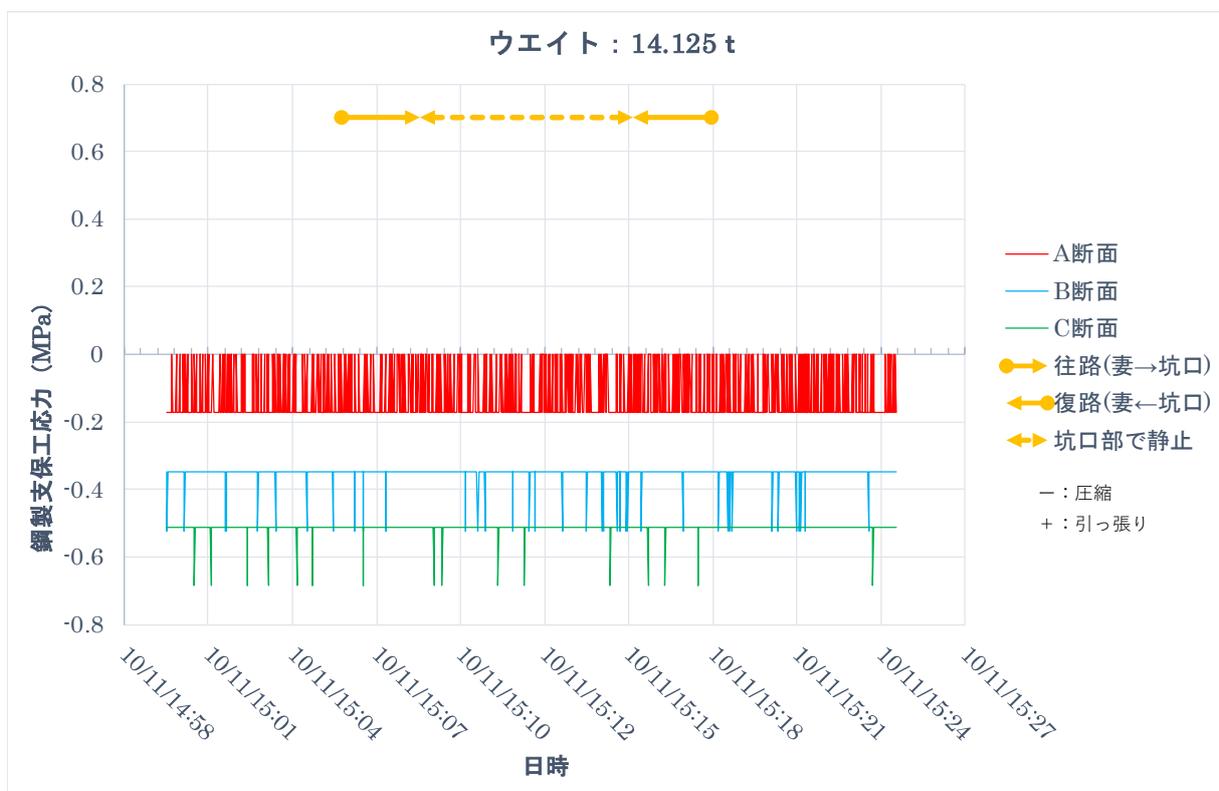


図 2.2.3-16 鋼製支保工応力の経時変化：ウエイト 14.125t の場合

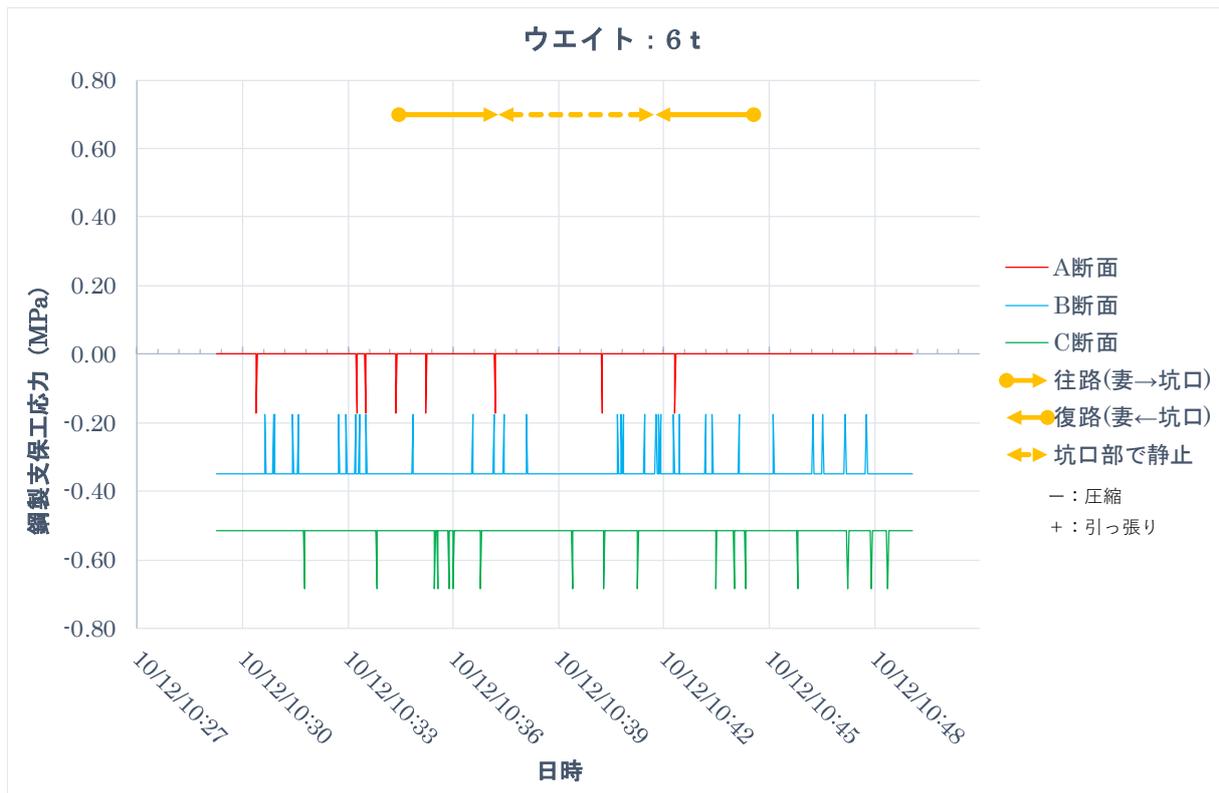


図 2.2.3-17 鋼製支保工応力の経時変化：ウエイト 6t の場合

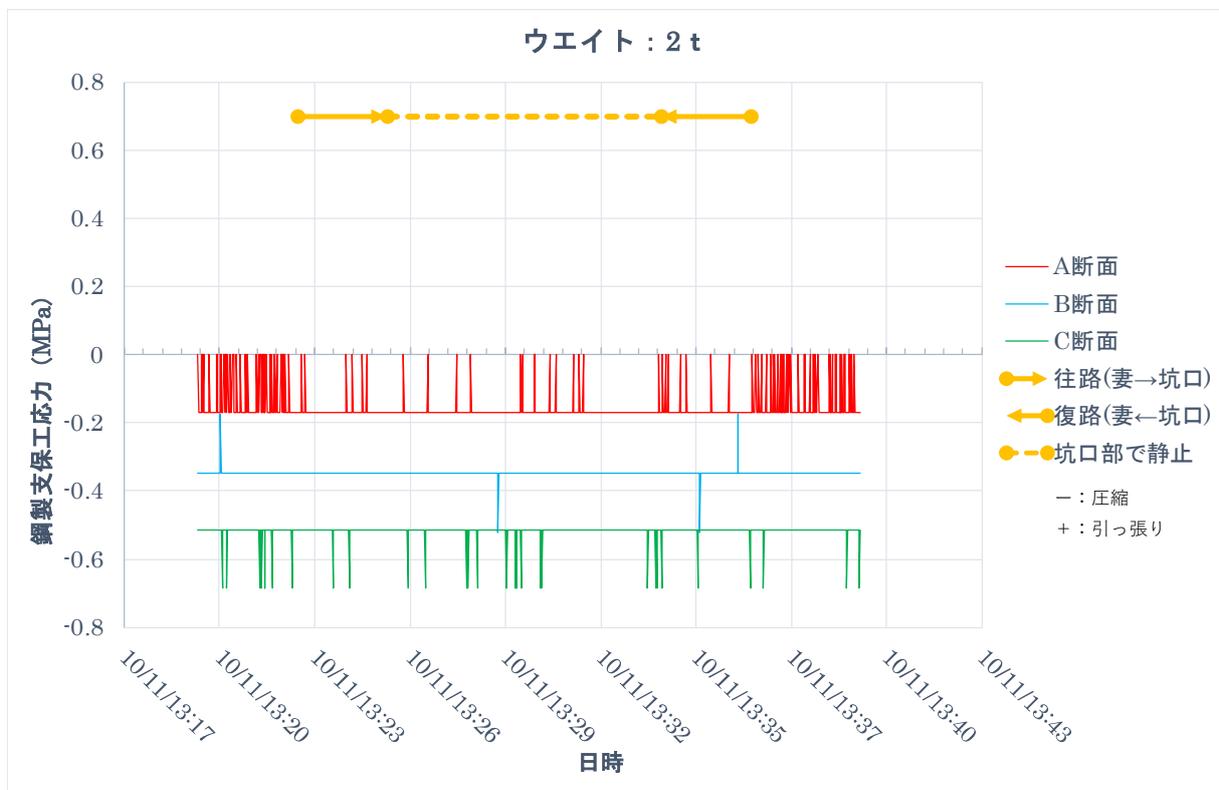


図 2.2.3-18 鋼製支保工応力の経時変化：ウエイト 2t の場合

次に、各ウエイトが静置された場合に生じる応力の変化を確認した。図 2.2.3-19 に各ウエイト (3 種類) の盛替え作業を実施した試験日のデータを示す。なお、いずれの盛替えも A 断面から B 断面にまたがる位置で実施され、走行は、I 区間のみ、または I ~ II 区間を対象に行われた。

図の A 断面と B 断面に着目すると、2t で静置されている場合 (おおよそ 9:10~9:20) には、応力の変化はみられず、6t や 14.125t にウエイトを変えると、と引っ張り応力が発生したことがわかる。また、ウエイトが重いほど引っ張り応力が大きくなる傾向が見られる。C 断面については当該試験の対象外のため、当然変化はみられなかった。

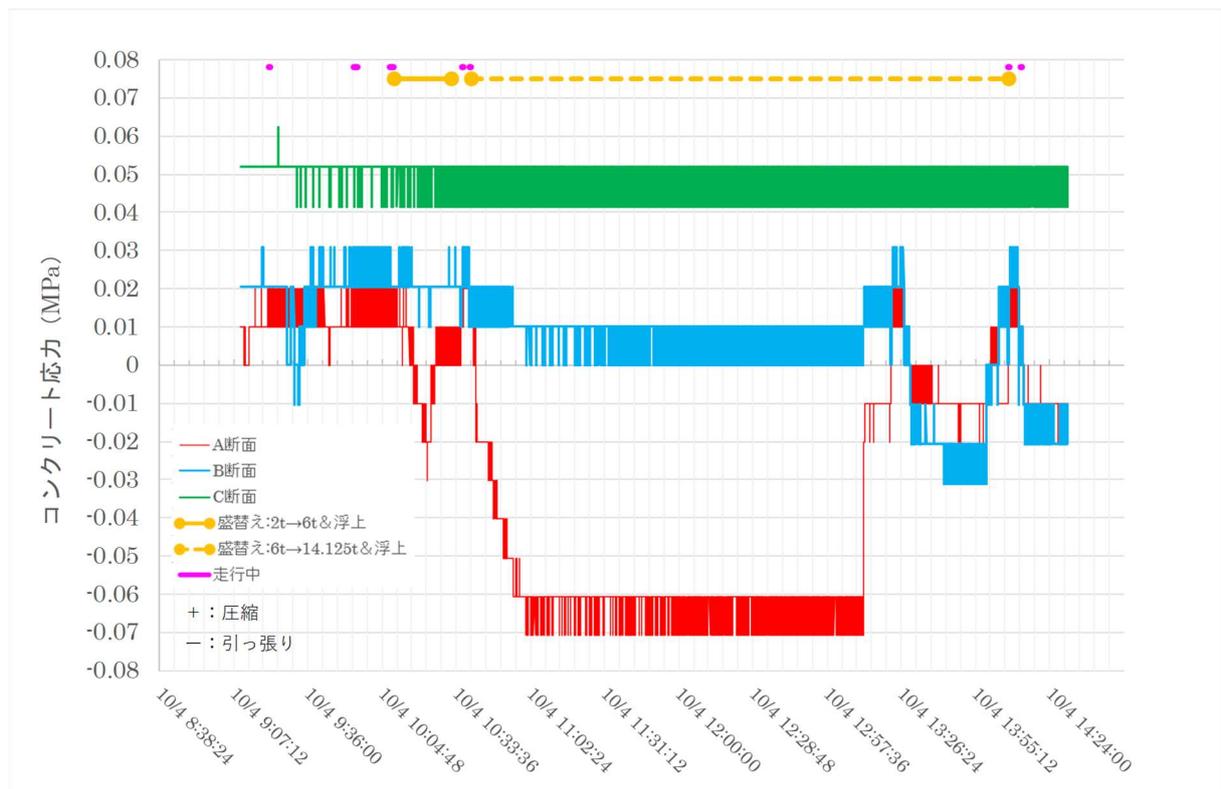


図 2.2.3-19 ウエイト盛替えを対象した期間の応力変化

c 模擬 PEM の設置

試験坑道 2 の棲面付近において、平成 30 年 2 月 22 日～2 月 23 日の期間に、模擬 PEM の組立作業が実施された。この作業に伴い、模擬 PEM の重量が既設支保工などに与える影響を確認するため、計測間隔を 1 分に設定して計測を行った。模擬 PEM 設置位置と計測器の位置関係の概念図を図 2.2.3-20 に示す。また、模擬 PEM の組立状況を図 2.2.3-21 に示す。

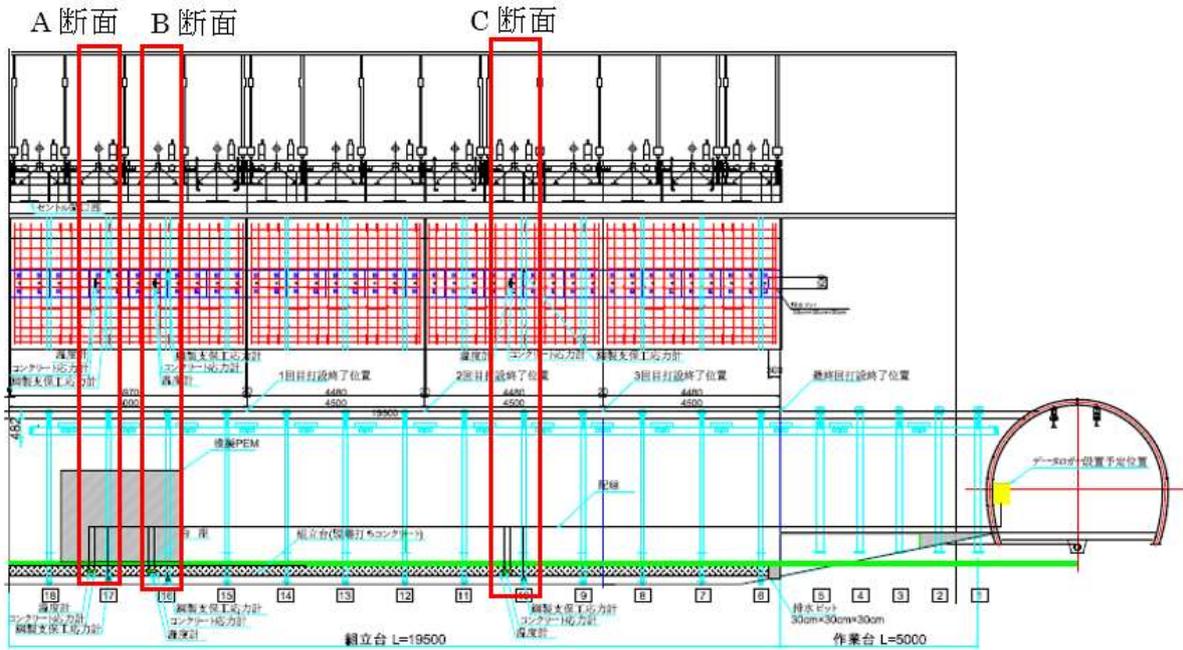


図 2.2.3-20 模擬 PEM 設置位置と計測器の位置



図 2.2.3-21 模擬 PEM の組立て状況

模擬 PEM の組立ては、図 2.2.3-22 に示すように、1～2t 程度に分解された部品を、表 2.2.3-3 に示す順序および工程で組み立てることにより、最終的に 36.5t の模擬 PEM を完成させた。また、表 2.2.3-3 には各部品を組立台コンクリートに定置した日時も併せて示した。

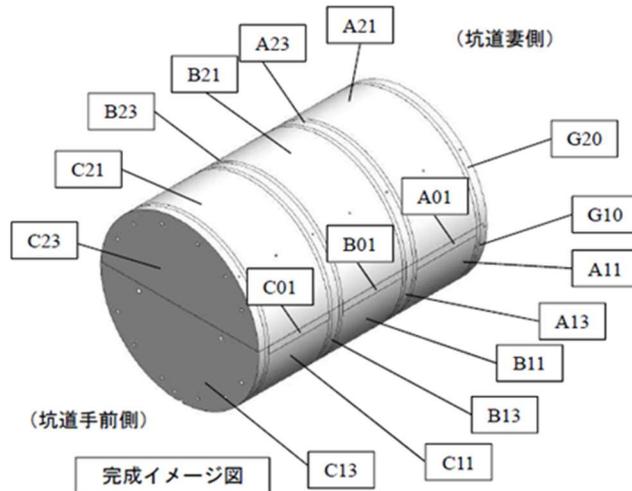


図 2.2.3-22 模擬 PEM の各部品の名称

表 2.2.3-3 模擬 PEM の各部品組立て順序

部品符号	部品名	部品数	重量(kg)※	組立日時
A11	胴下	1	1791	2018/2/22 9:38
G10	側板下端	1	1688	10:31
A12	支持架台	1	1186	11:11
A01	仕切り板	1	1589	13:34
A13	側板下	1	1733	14:19
B11	胴下	1	1786	14:56
B12	支持架台	1	1180	15:41
B01	仕切り板	1	1588	16:10
B13	側板下	1	1729	2018/2/23 8:58:54
C11	胴下	1	1783	10:03
C12	支持架台	1	1183	10:46
C01	仕切り板	1	1590	11:04
C13	側板下	1	1739	11:14
G20	側板上端	1	1601	13:55
G20s	G20取付治具	1	155	
A22	ダミーウエイトA	1	624	14:11
A21	胴上	1	1822	14:37
A23	側板上	1	1558	15:21
B22	ダミーウエイト	1	1784	15:36
B21	胴上	1	1816	15:55
B23	側板上	1	1560	16:19
C22	ダミーウエイト	1	1784	16:29
C21	胴上	1	1820	16:42
C23	側板上	1	1561	17:00

図 2.2.3-23 に模擬 PEM 設置時のコンクリート応力、図 2.2.3-24 に鋼製支保工応力の変化を示す。なお、模擬 PEM 設置の影響を顕著にするため、設置の 2 日前の値を 0 としてプロットした。また、模擬 PEM の設置は、A 断面から B 断面の両者にまたがる位置で行われた。

図 2.2.3-23 より、A 断面と B 断面のコンクリートの応力は重量の増加に伴い、大きくなることわかる。また、A 断面と B 断面のコンクリート応力は、要素試験時（最大重量 140.125t）と同様に、引っ張り応力であるが、その値は要素試験時よりも大きいことがわかる。

図 2.2.3-24 より、鋼製支保工応力は、コンクリート応力よりも顕著ではないが、A 断面には荷重がかかると圧縮応力が発生していることがわかる。B 断面については、測定器のばらつき範囲内の変化にとどまっているように見える。これより、36.5t の重量物の場合、鋼製支保工にも影響があるが、値は小さいものであることがわかった。

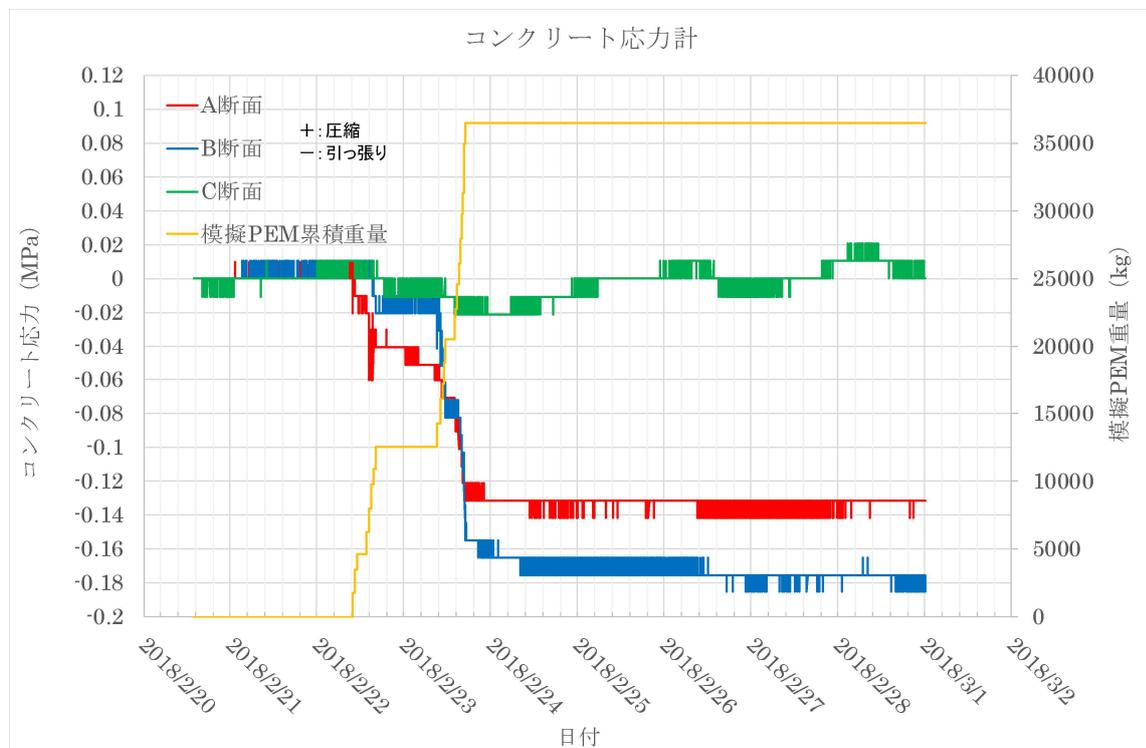


図 2.2.3-23 模擬 PEM 設置時のコンクリート応力（増分）の経時変化

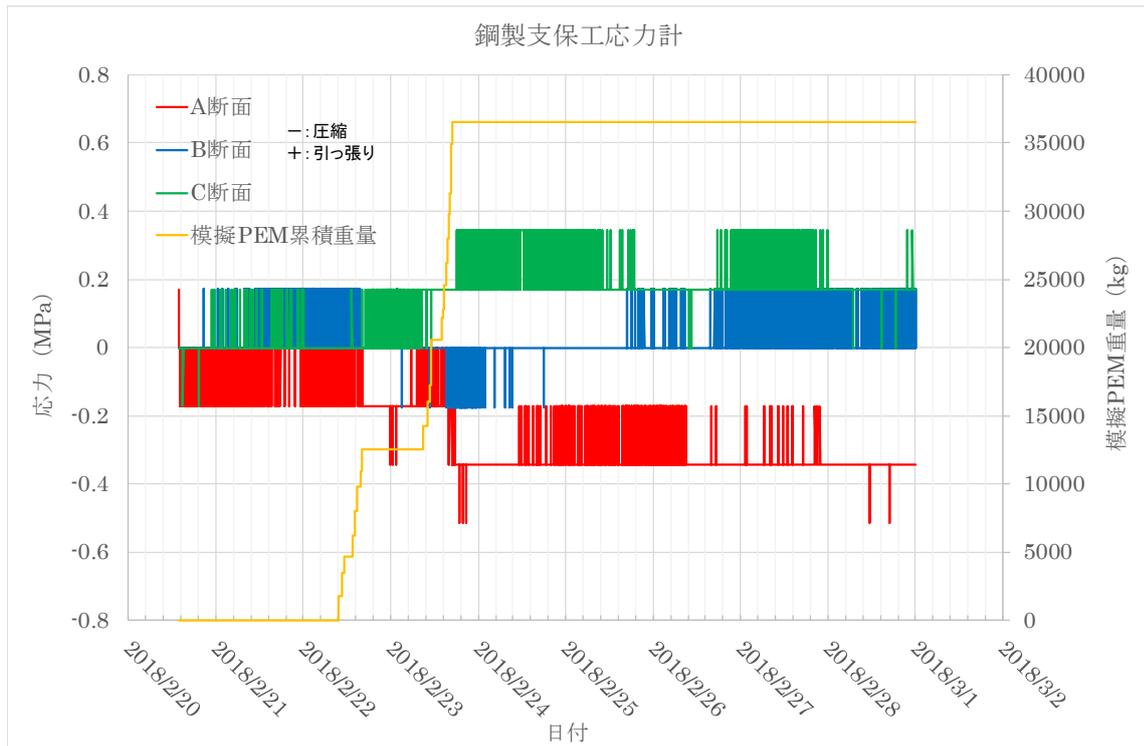


図 2.2.3-24 模擬 PEM 設置時の鋼製支保工応力（増分）の経時変化

(3) 数値解析

1) 目的と実施概要

要素試験、模擬 PEM の設置、および実証試験のための隙間の埋戻しにおいて、その際に生じる現象を理解することを目的として、数値解析を行った。

解析モデルの構築では、施工時に設置された吹付けコンクリートと鋼製支保工をモデル化した。さらに、円形断面の坑道の底盤部に施工されている組立台コンクリートおよび台座を模擬した。また、円筒形の模擬 PEM 容器定置部分と、その周囲の埋戻し部分も再現した。

再現解析を実施するにあたり、準備解析として、試験坑道 2 の掘削解析を実施した。数値解析プログラムについては、岩盤の塑性大変形問題に十分な実績を有する汎用三次元有限差分法解析コード **FLAC3D** を用いることとした。岩盤のモデル化は、**Mohr-Coulomb** の破壊規準に従う弾完全塑性体とし、塑性流動則には非関連流れ則を使用した。準備解析により試験坑道 2 の掘削解析が終了した上で、現況再現（組立台コンクリートおよび台座を設置）を実施し、要素試験の再現解析および搬送・定置試験時の埋戻しも考慮した再現解析を実施した。

2) 解析準備

a 解析メッシュ

解析メッシュを図 2.2.3-25 に示す。なお、埋戻し材が設置される付近での縦断方向メッシュ幅は、今回は **25cm** と細かくした。

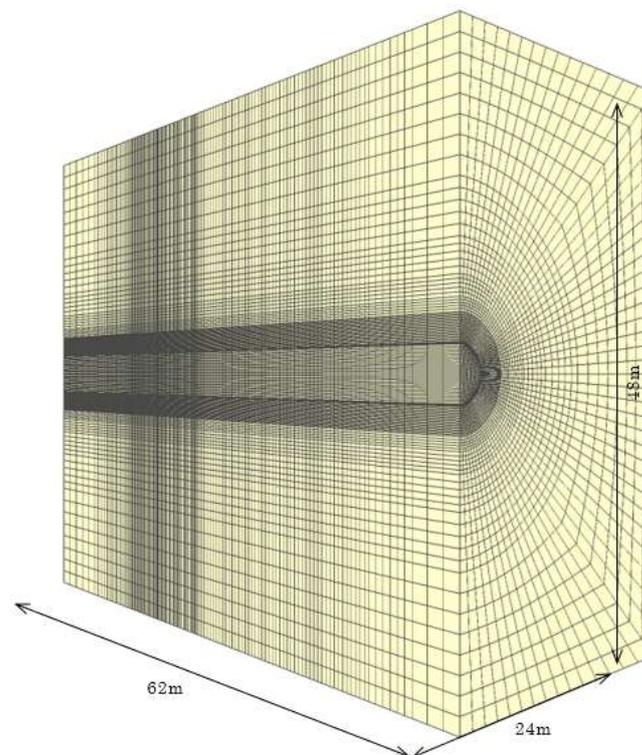


図 2.2.3-25 解析メッシュ（全体）

b 埋戻しのモデル化

埋戻し材は、埋め戻し面が垂直となる場合と 1 : 1.5 の勾配を有する場合の 2 ケースをモデル化した。埋戻し材の充填モデルを図 2.2.3-26 と図 2.2.3-27 に示す。

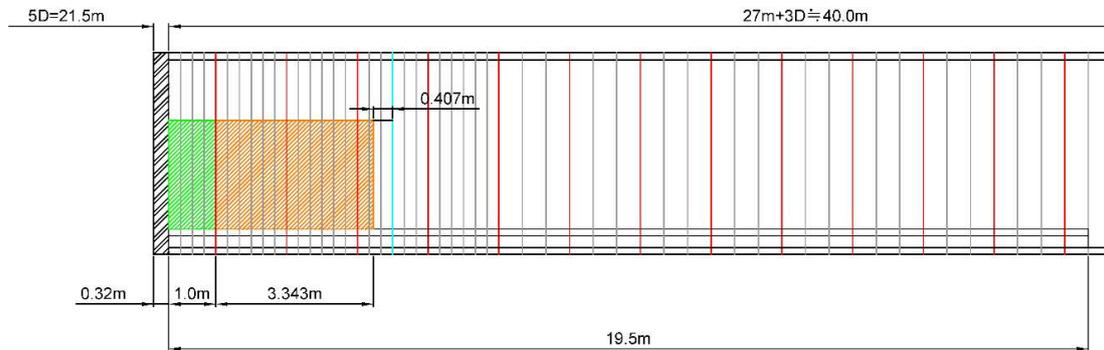


図 2.2.3-26 埋戻し材の充填モデル（埋戻し面が垂直）

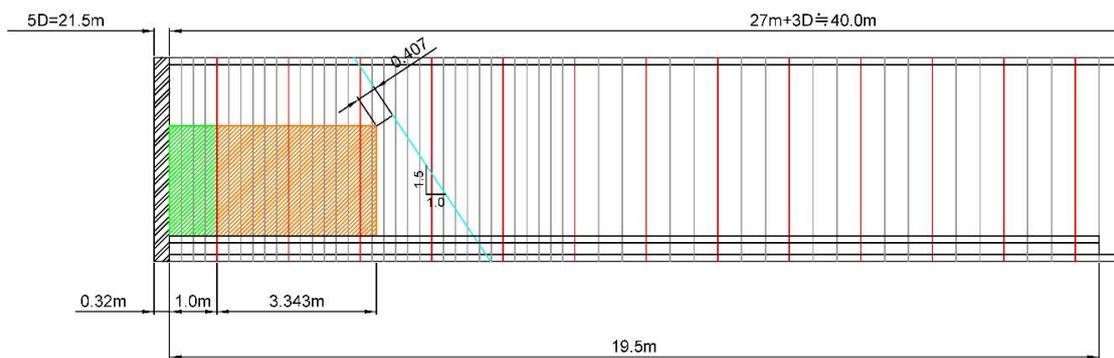


図 2.2.3-27 埋戻し材の充填モデル（埋戻し面が傾斜）

c 解析用物性値

解析に使用する部材の名称を図 2.2.3-28 に示す。また、物性値については表 2.2.3-4～表 2.2.3-11 に示す。

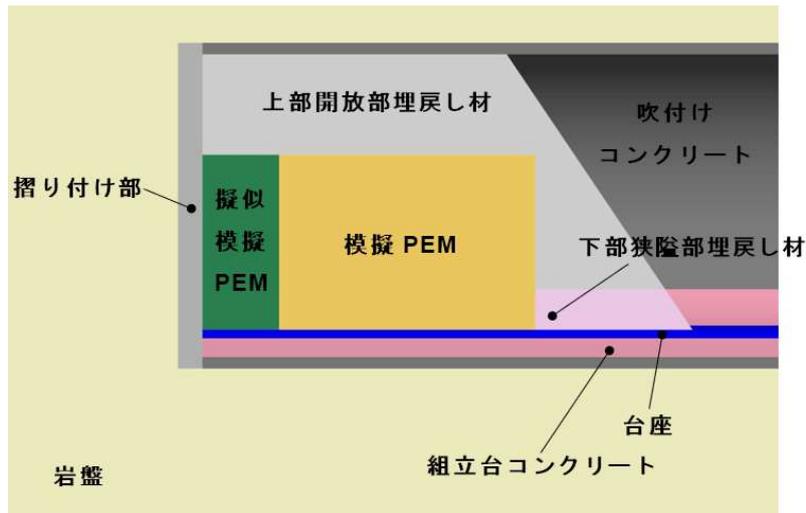


図 2.2.3-28 解析用部材の名称

表 2.2.3-4 初期応力

深度 m	鉛直応力 S_v kN/m ²	東西方向 S_{max} kN/m ²	南北方向 S_{min} kN/m ²
350	5,359.1	$S_v \times 1.3$ (6,966.8)	$S_v \times 0.9$ (4,823.2)

表 2.2.3-5 岩盤物性値

項目	単位	室内試験平均値
弾性係数	MPa	1,820
ポアソン比	—	0.17
粘着力	MPa	2.37
内部摩擦角	deg.	17.5
引張強度	MPa	1.83

表 2.2.3-6 支保工物性値

規格・仕様	高強度 $f'_{ck} = 36\text{N/mm}^2$ $t = 15\text{cm}$	従来型 H 鋼 H-100@1.5m SS400
ヤング率 (kN/mm ²)	6 (施工時) 29.8 (完成後)	210
ポアソン比	0.2	0.3
断面積 (m ²)	-----	21.59×10^{-4}
断面二次モーメント (m ⁴)	-----	378×10^{-8}
要素種別	ソリッド要素	ビーム要素

表 2.2.3-7 擦り付け部

規格・仕様	擦り付け部 (吹付け) $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$ $t=32\text{cm}$
ヤング率 (kN/mm ²)	29.8
ポアソン比	0.2
要素種別	ソリッド要素

表 2.2.3-8 組立台コンクリートと台座の物性値

規格・仕様	組立台 $f'_{ck}=40\text{N/mm}^2$	台座 $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$
ヤング率 (kN/mm ²)	31	28
ポアソン比	0.2	0.2
単位体積重量 (kN/m ³)	24.5	24.5
要素種別	ソリッド要素	ソリッド要素

表 2.2.3-9 模擬 PEM と疑似 PEM

規格・仕様	模擬 PEM	疑似模擬 PEM
ヤング率 (kN/mm ²)	210	210
ポアソン比	0.3	0.1
単位体積重量 (kN/m ³)	25.425	0.233
要素種別	ソリッド要素	ソリッド要素

表 2.2.3-10 隙間充填材

規格・仕様	上部開放部	下部狭隘部
ヤング率 (kN/mm ²)	22	22
ポアソン比	0.4	0.4
単位体積重量 (kN/m ³)	15.696	15.696
要素種別	ソリッド要素	ソリッド要素

表 2.2.3-11 要素試験時のウエイト

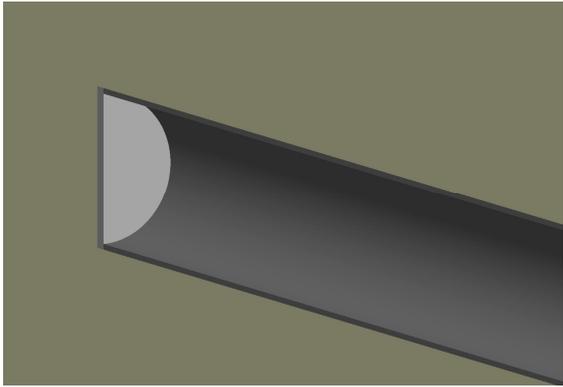
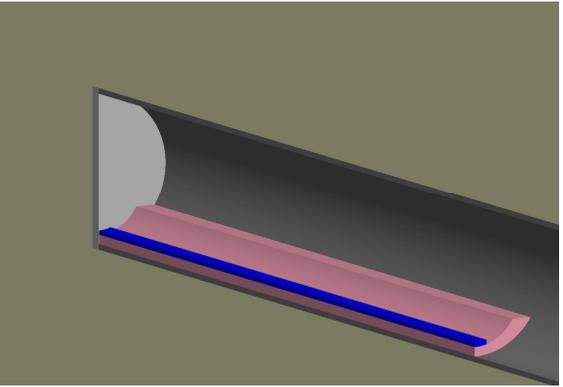
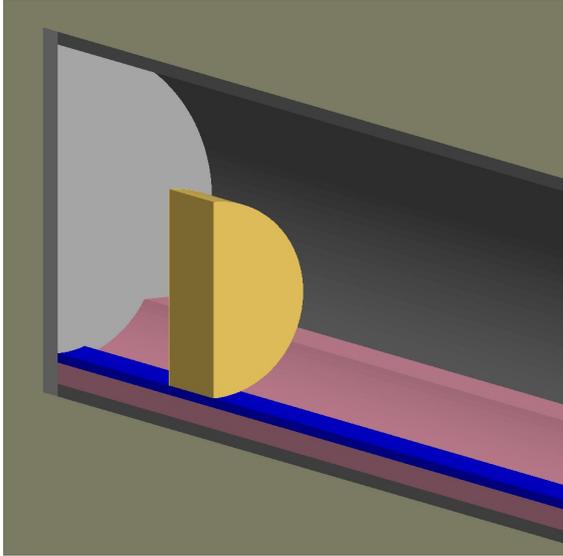
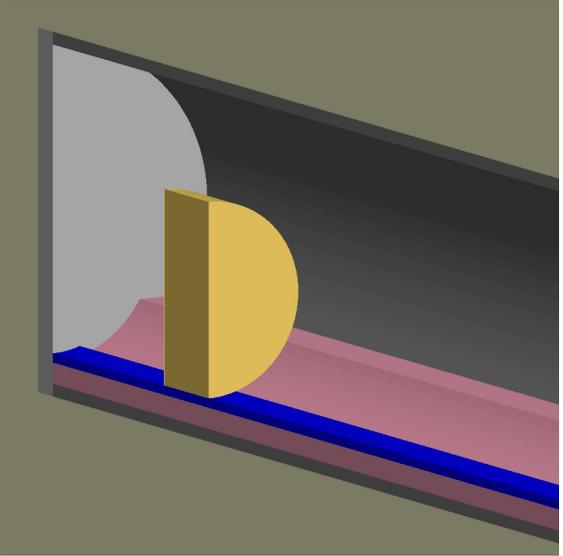
規格・仕様	ウエイト 6t	ウエイト 14.125t
ヤング率 (kN/mm ²)	210	210
ポアソン比	0.3	0.3
単位体積重量 (kN/m ³)	13.971	32.890
要素種別	ソリッド要素	ソリッド要素

3) 要素試験 (ウェイト 6t と 14.125t の場合)

a 解析ステップ

表 2.2.3-12 に要素試験を模擬した解析ステップを示す。

表 2.2.3-12 解析ステップ (要素試験)

Stage0	Stage1
	
坑道掘削～支保設置完了	組立台コンクリート、台座設置
Stage2-1 [Case01]	Stage2-2 [Case02]
	
ウェイト (6t) 载荷	ウェイト (14.125t) 载荷

b 解析結果

ウェイト载荷による組立台コンクリートの増分周方向応力分布を図 2.2.3-29 に示す。ウェイト载荷による増分周方向応力の最大値は、Case1 (6t) の場合、引張りで 0.036N/mm^2 、圧縮で 0.052N/mm^2 、Case2 (14.125t) の場合、引張側で 0.072N/mm^2 、圧縮側で 0.011N/mm^2 、であり、増

分応力としてはわずかである。また、図より、組立台コンクリートに発生する増分応力は、台座直下および台座から周方向にやや離れた位置に集中する傾向にあることがわかる。

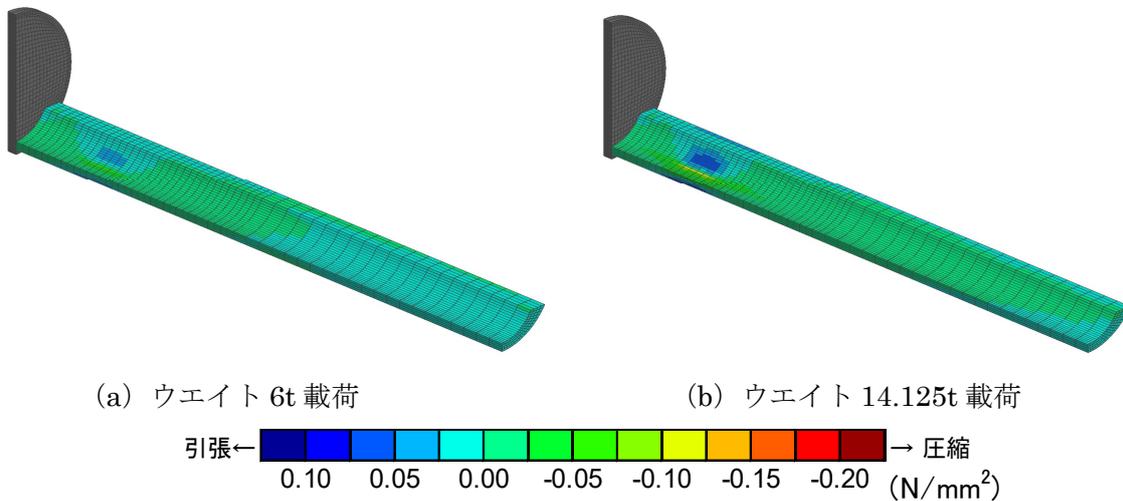


図 2.2.3-29 ウェイト荷重による組立台コンクリートの増分周方向応力分布図

図 2.2.3-30 にウェイト荷重による吹付けコンクリートの増分周方向応力分布を示す。ウェイト荷重による増分周方向応力の最大値は、Case1 (6t) の場合、引張側で 0.076N/mm²、圧縮側で 0.001N/mm²、Case2 (14.125t) の場合、引張側で 0.150N/mm²、圧縮側で 0.005 N/mm²、であり、増分応力としてはわずかであった。吹付けコンクリートに発生する増分応力は、側壁部付近および下部付近に集中していた。これは、台座および組立台コンクリートにウェイトの重量が伝達し、さらに吹付けコンクリートと組立台コンクリートが連続体（完全に固着）であるためと考えられる。

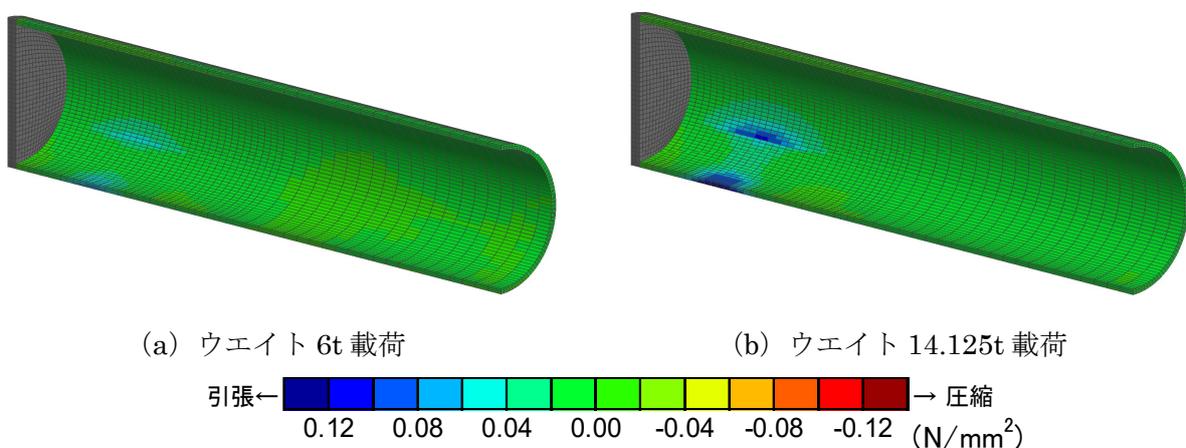
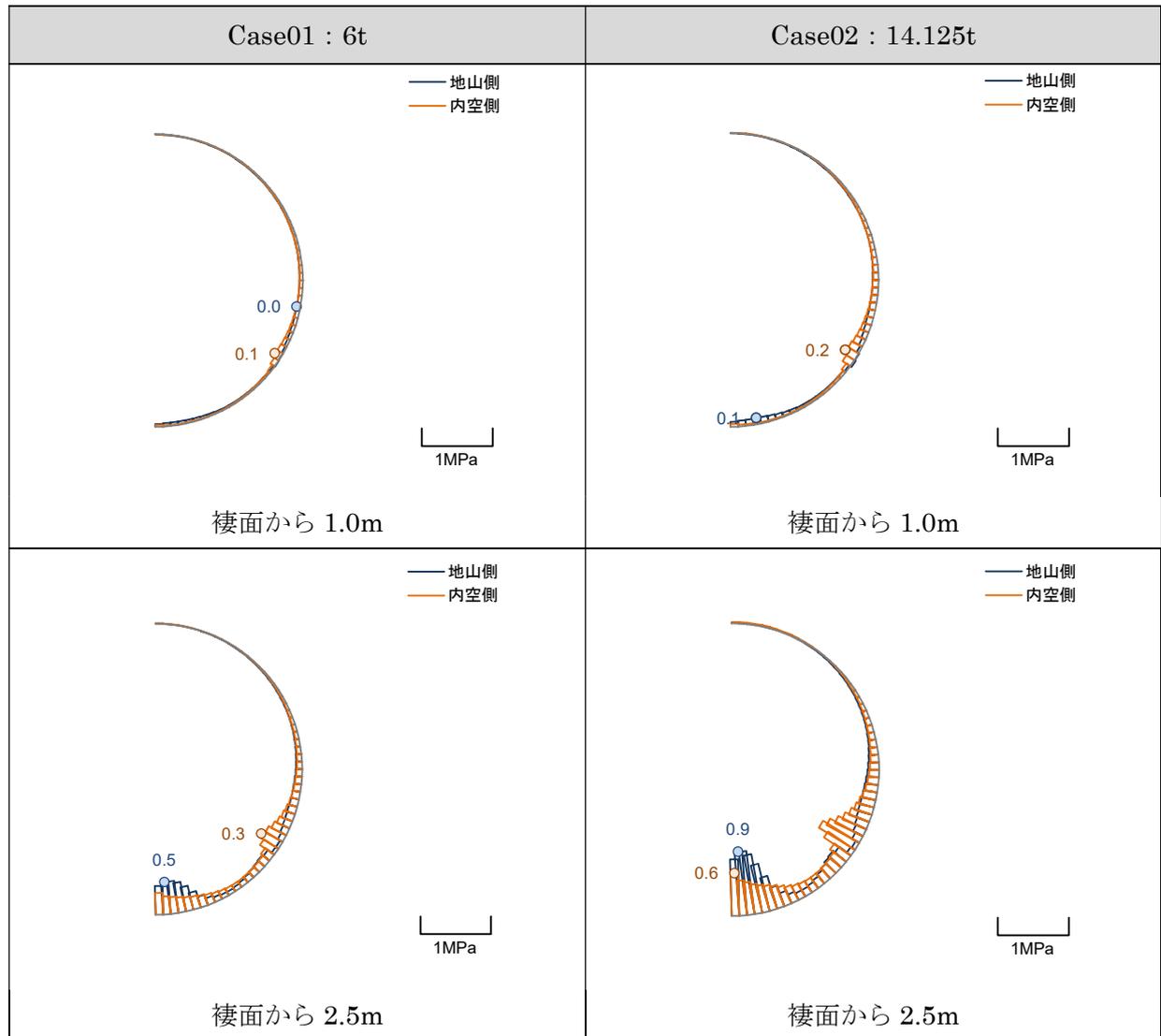


図 2.2.3-30 ウェイト荷重による吹付けコンクリートの増分周方向応力分布図

ウエイト荷重時点における鋼製支保工増分応力分布を表 2.2.3-13 に示す。ウエイト荷重時点における増分応力は、棲面から 2.5m の位置に発生し、Case1 (6t) の場合で 0.5MPa、Case2 (14.125t) の場合で 0.9MPa であった。また、ウエイト荷重の影響は、棲面から 5 基目 (棲壁から 7.0m) まで応力の増加がみられることがわかった。

表 2.2.3-13 ウエイト荷重による鋼製支保工増分応力分布図



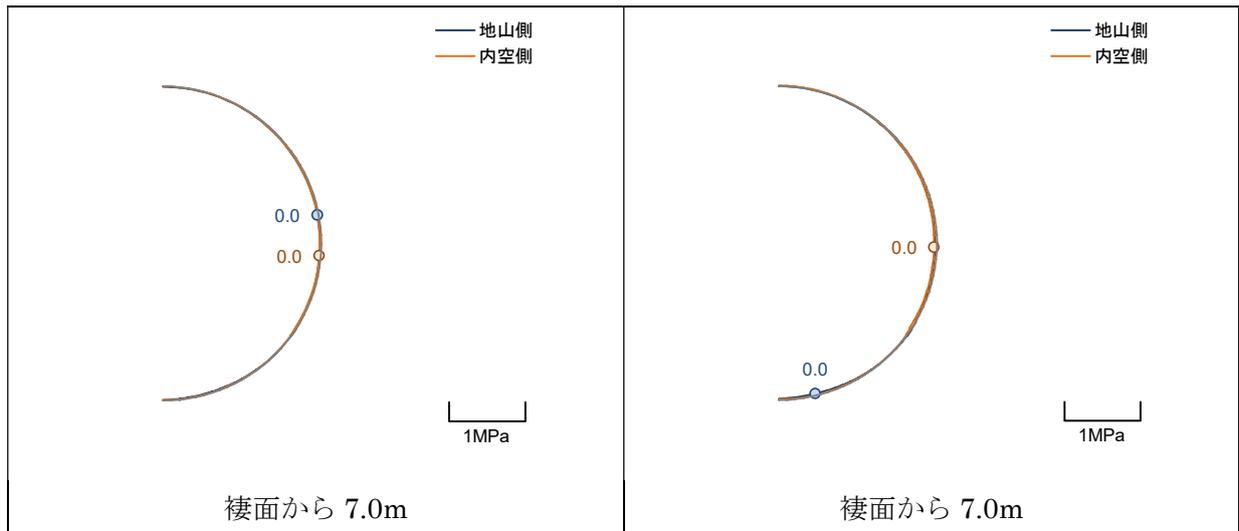
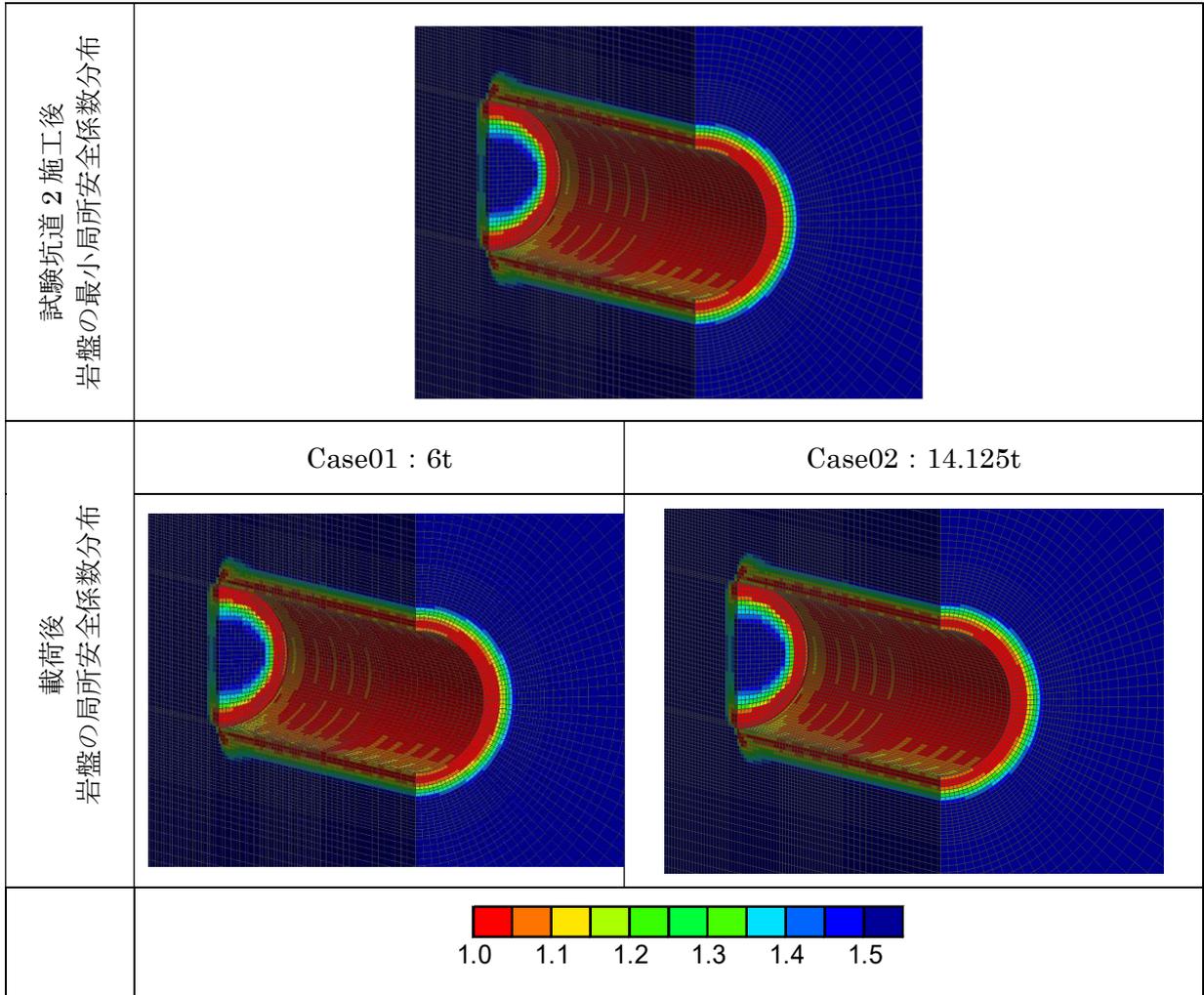


表 2.2.3-14 に岩盤の局所安全率分布を示す。図より、安全率 1.5 以下の塑性領域は 5m 程度（1メッシュ幅 25cm×20 個分、または 50cm×10 個分）であることがわかる。

重量物（ウエイト）を設置することにより、ウエイトが静置された周囲の岩盤内で応力再配分が生じたため、試験坑道 2 の施工後よりは安全率がわずかに（1.0 から 1.1）向上した。しかし、表 2.2.3-14 よりわかるように、ウエイトの荷重がかかったことによる周辺環境の変化はほとんどないと考えられる。

表 2.2.3-14 岩盤の局所安全係数分布図（棲面～16.75m 区間）

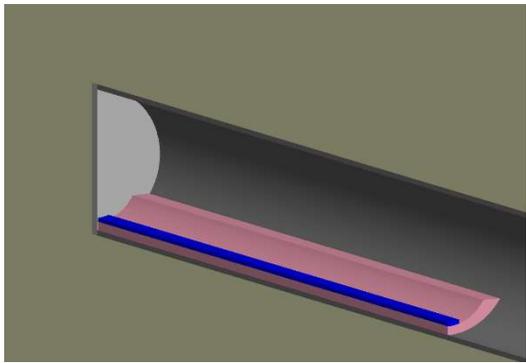
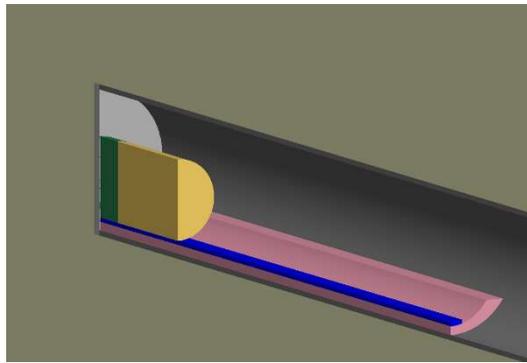


4) 模擬 PEM 設置（荷重 3.6t）

a 解析ステップ

表 2.2.3-15 に模擬 PEM 設置を模擬した解析ステップを示す。

表 2.2.3-15 解析ステップ (模擬 PEM 設置)

Stage0	Stage1
	
組立台コンクリート、台座設置完了	模擬 PEM、擬似模擬 PEM 設置

b 解析結果

図 2.2.3-31 に組立台コンクリート上の模擬 PEM 設置による増分周方向応力分布を示す。図より、模擬 PEM 設置からの増分周方向応力の最大値は、引張側で 0.072N/mm^2 、圧縮側で 0.167N/mm^2 であり、増分応力としては小さく、模擬 PEM 設置による組立台コンクリートへの影響はわずかであることがわかる。組立台コンクリートに発生する増分応力は、要素試験と同様に台座直下および台座から周方向にやや離れた位置に集中する傾向にあることがわかる。

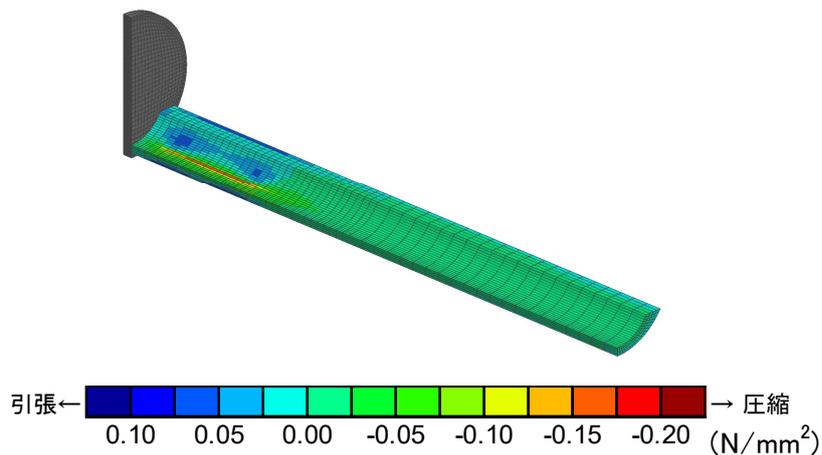


図 2.2.3-31 模擬 PEM 設置による組立台コンクリートの増分周方向応力分布図

図 2.2.3-32 に模擬 PEM 設置による吹付けコンクリートの増分周方向応力分布を示す。模擬 PEM 設置からの増分周方向応力の最大値は、引張側で 0.17N/mm^2 、圧縮側で 0.009N/mm^2 であり、増分応力としては小さく模擬 PEM 設置による吹付けコンクリートへの影響はわずかであ

る。吹付けコンクリートに発生する増分引張応力は、側壁部付近および下部付近に集中している。これは、台座および組立台コンクリートに模擬 PEM の重量が伝達することにより発生する現象であり、さらには組立台コンクリートと吹付けコンクリートが連続体（固着）していることによるものである。たとえば、解析時に両者の付着強度などを考慮した接触、すべりを考慮すれば、発生する増分引張応力は緩和されるものと考えられる。今回は、完全固着であることで安全側の評価ではある。

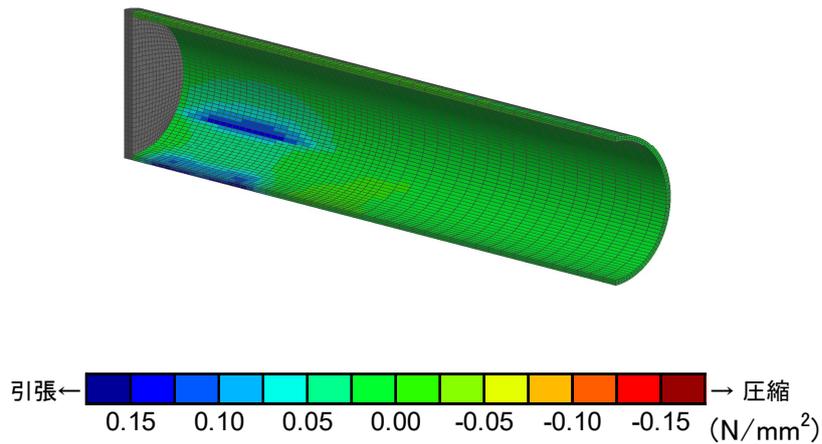


図 2.2.3-32 模擬 PEM 設置による吹付けコンクリートの増分周方向応力分布図

表 2.2.3-16 に模擬 PEM 設置における鋼製支保工増分応力分布を示す。増分応力は、1.2MPa であり、6 基目（棲壁から 8.5m）以降で応力の増加はみられない。

表 2.2.3-16 模擬 PEM 設置による鋼製支保工増分応力分布図

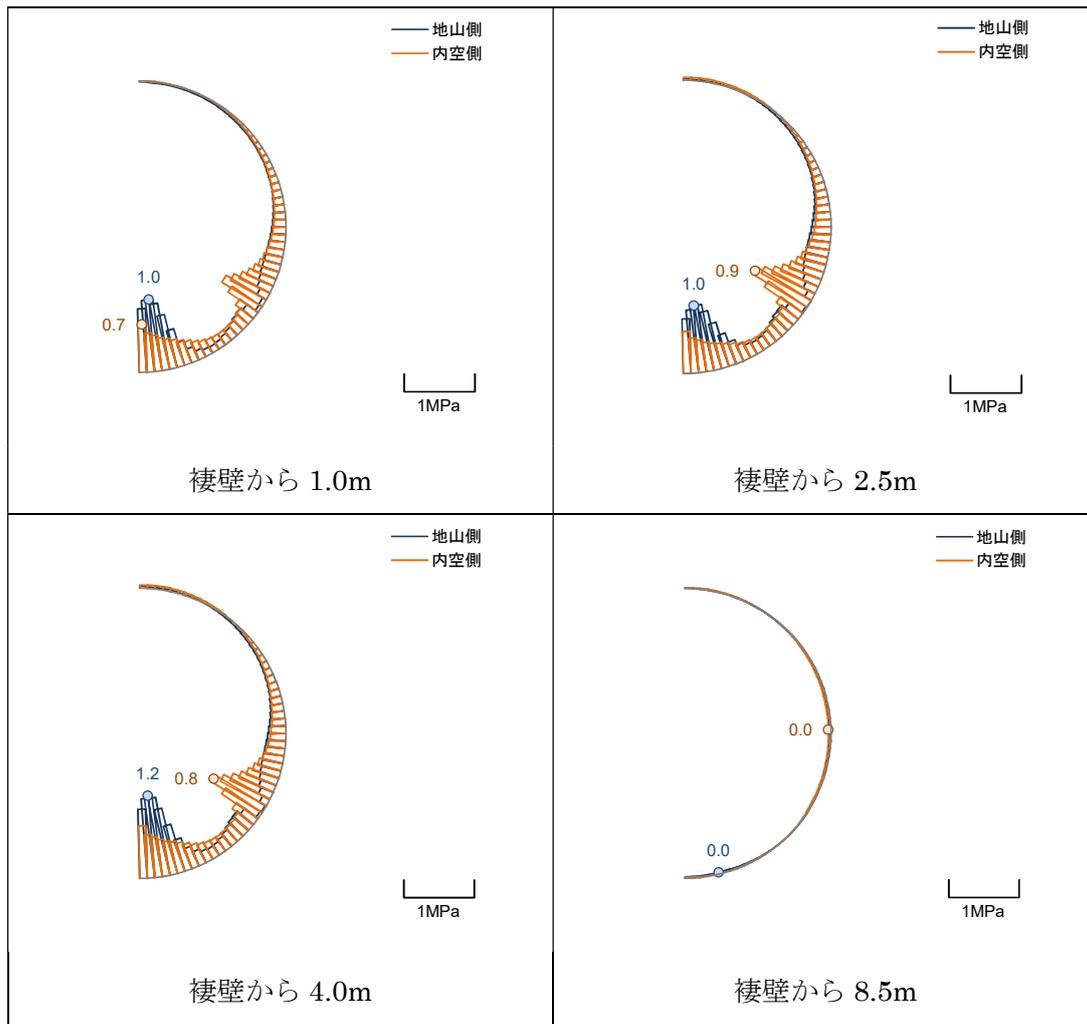
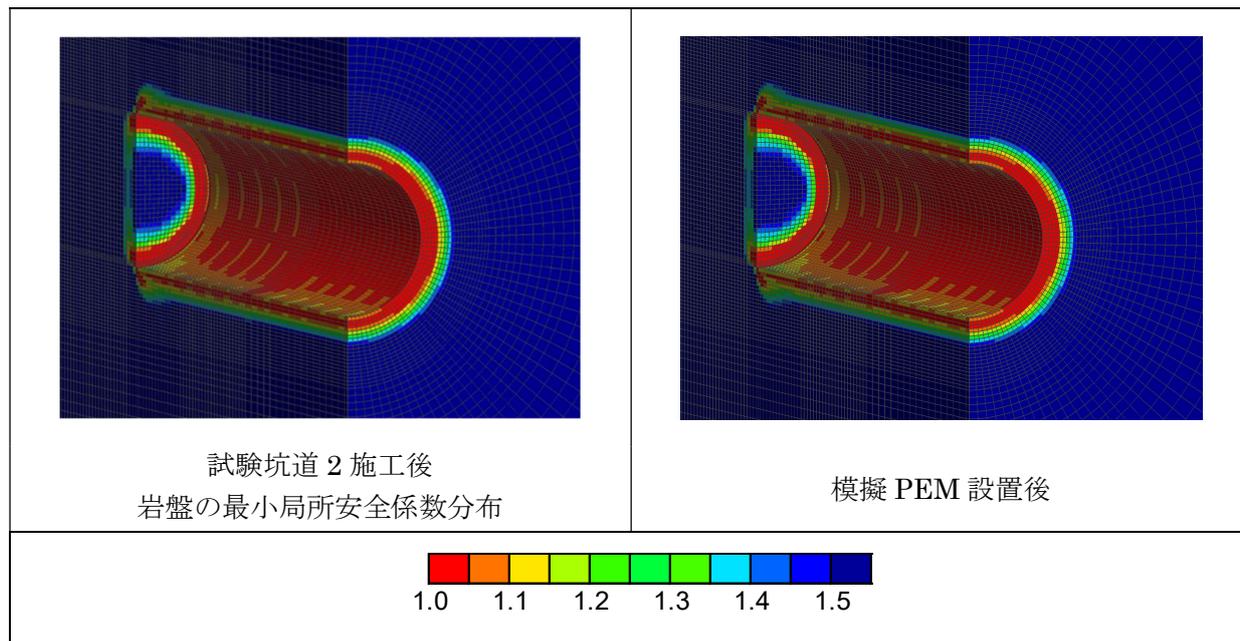


表 2.2.3-17 に岩盤の局所安全係数分布を示す。棲面付近下部の岩盤では、ウエイトの載荷に伴う応力再配分効果により試験坑道 2 の施工後より若干安全係数が向上するが、全体的な挙動としては大きな変化はみられない。

表 2.2.3-17 模擬 PEM 設置による岩盤の局所安全係数分布図（棲面～16.75m 区間）

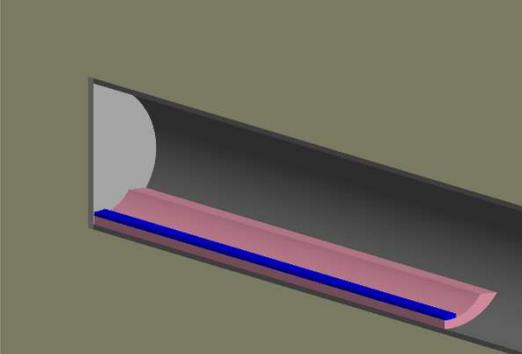
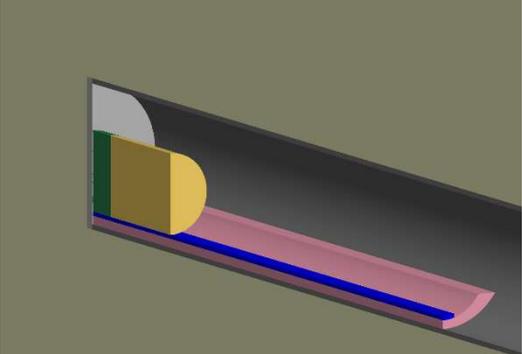
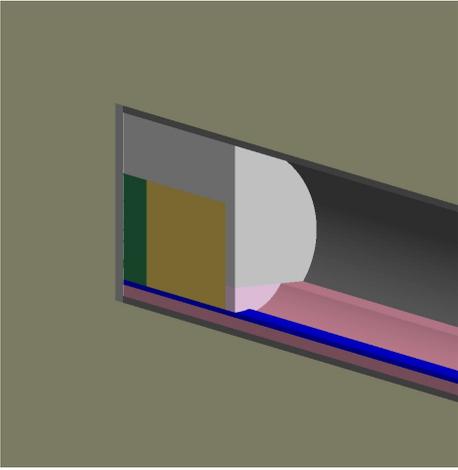
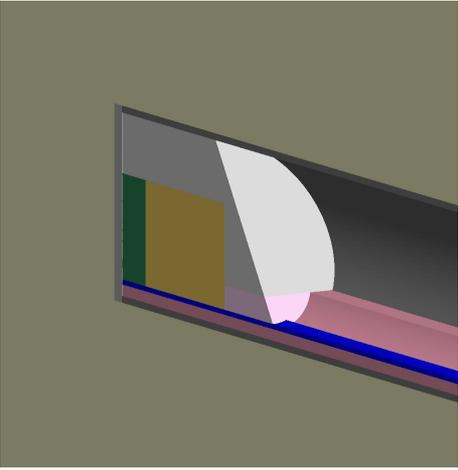


5) 坑道埋戻し

a 解析ステップ

表 2.2.3-18 に坑道の埋め戻しを模擬した解析ステップを示す。

表 2.2.3-18 解析ステップ (埋戻し)

Stage0	Stage1
	
組立台コンクリート、台座設置完了	模擬 PEM、擬似模擬 PEM 設置
Stage2-1 [Case01]	Stage2-2 [Case02]
	
埋戻し材設置 (直面)	埋戻し材設置 (傾斜)

b 解析結果

図 2.2.3-33 に埋戻しによる組立台コンクリートの増分周方向応力分布を示す。埋戻しによる増分周方向応力の最大値は、Case1 (埋戻し面垂直) の場合、引張側で 0.013N/mm^2 、圧縮側で 0.017N/mm^2 、Case2 (埋戻し面傾斜) の場合、引張側で 0.017N/mm^2 、圧縮側で 0.014N/mm^2 、であり、埋戻しによる影響はわずかであった。

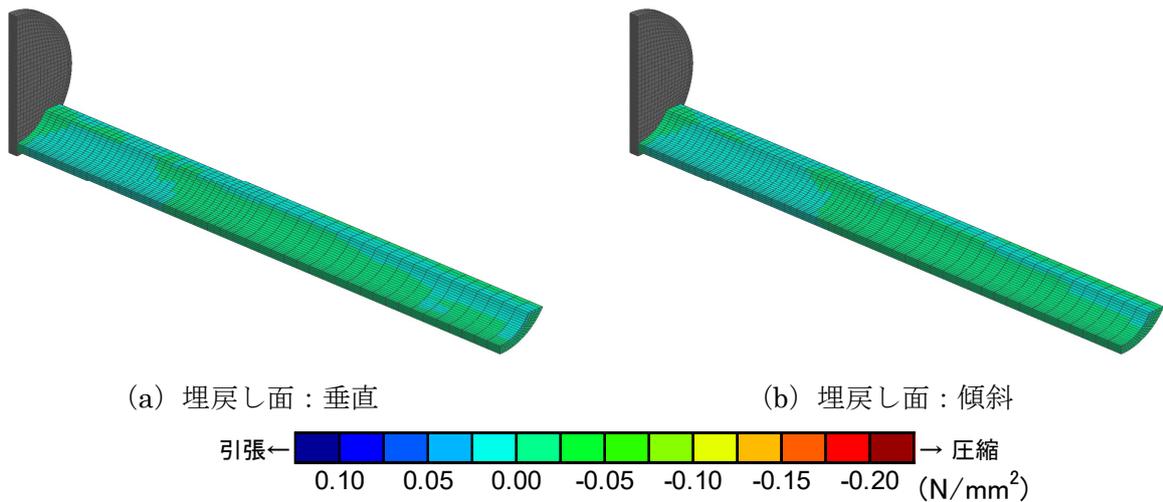


図 2.2.3-33 埋戻しによる組立台コンクリートの増分周方向応力分布図

図 2.2.3-34 に埋戻しによる吹付けコンクリートの増分周方向応力分布を示す。埋戻しによる増分周方向応力の最大値は、Case1（埋戻し面垂直）の場合、引張側で 0.02N/mm^2 、圧縮側で 0.03N/mm^2 、Case2（埋戻し面傾斜）の場合、引張側で 0.04N/mm^2 、圧縮側で 0.02N/mm^2 、であり、これまでの検討と同様に応力の増分量はわずかである。増加応力の発生モードは、天端に圧縮、側壁部に引張応力が局所的に発生する傾向にある。天端付近の局所的な増加圧縮応力や、組立台天端以浅の側壁部における局所的な増加引張応力（特に Case2 の埋め戻し面が傾斜している場合）は、埋戻し材の自重（重さ）によって発生するものと考えられる。本検討では、埋戻し材と他の材料との付着特性が不明であることから、これらの部材はすべて連続体として完全固着した状態を模擬している。吹付けコンクリート壁面に発生している増分引張応力は埋戻し材と他材料との付着強度が小さくなるほど発生増加応力も減少すると考えられる。ただし、その場合は、天端や側壁部の拘束効果が減少することで、下方向への過重負担が増加する可能性も考えられる。

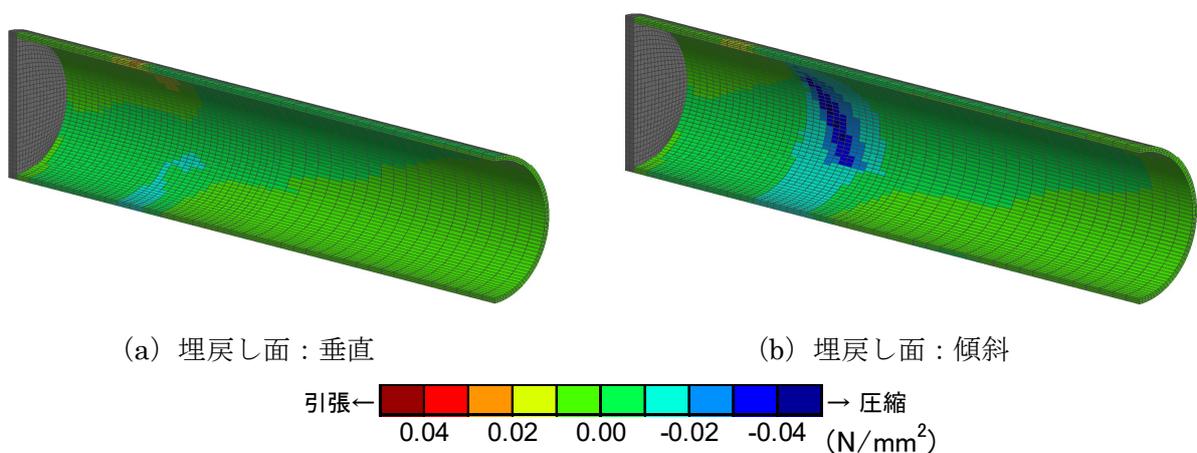


図 2.2.3-34 埋戻しによる吹付けコンクリートの増分周方向応力分布図

表 2.2.3-19 に埋戻しによる鋼製支保工増分応力分布を示す。増分応力は、Case1（埋戻し面垂直）の場合で 0.1MPa、Case2（埋戻し面傾斜）の場合で 0.3MPa とわずかである。埋戻しによる影響は、棲部から 3～5 基目（棲壁から 4.0～7.0m）で発生し、その他の部位における応力の増加はみられない。

表 2.2.3-19 埋戻しによる鋼製支保工増分応力分布図

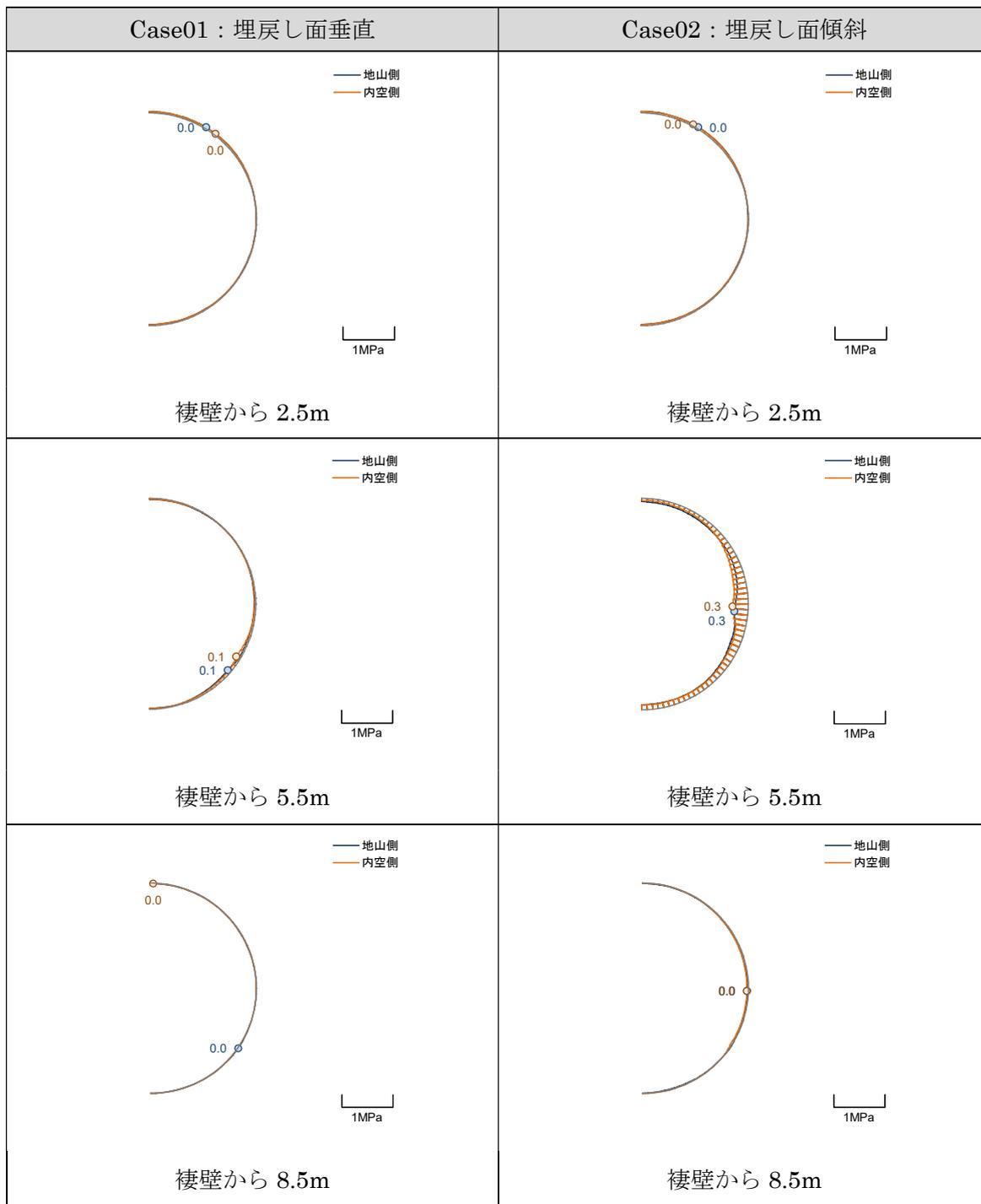
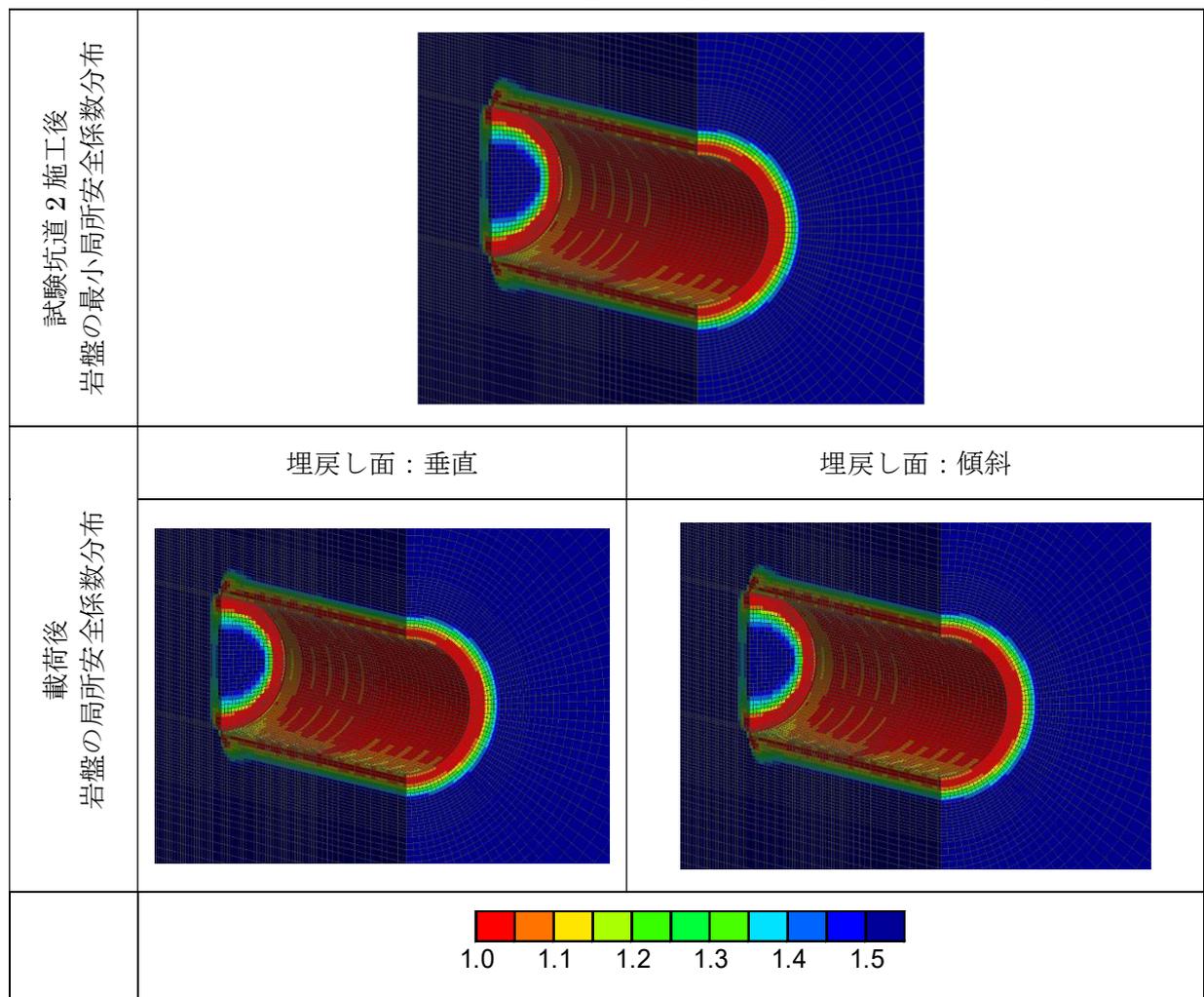


表 2.2.3-20 に岩盤の局所安全係数分布を示す。棲面付近下部の岩盤では、ウエイトの载荷に伴う応力再配分効果により試験坑道 2 施工後よりも若干安全係数が向上するが、全体的な挙動としては大きな変化はみられない。

表 2.2.3-20 埋戻しによる岩盤の局所安全係数分布図（棲面～16.75m 区間）



(4) 解析結果と実測データの比較

原位置計測結果と解析結果を比較する。要素試験においては、組立台のコンクリートに発生する応力は、6tのウェイトを載荷した際に最大で0.04MPa、14.125tのウェイトを載荷した際に最大0.07MPaの引張応力を計測した。鋼製支保工応力計に関しては、要素試験期間中、計測器の分解能を越える有意な応力変化を捉えていなかった。

解析では、6tおよび14.125tのウェイトを定置した際、組立台コンクリートにおいて、それぞれ最大で0.036MPa、および0.072MPaの引張応力が確認された。これは原位置計測結果にほぼ整合するものであった。また、鋼製支保工の応力に関しては、6tのときは0.5MPa、14.125tのときは0.9MPaの応力増分が確認された。鋼製支保工応力は、原位置計測結果よりも解析の方が大きな値となったが、大きな応力変化が生じていないという点において、定性的ではあるが整合する結果であった。

次に、模擬PEMの組立・定置時の計測では、組立台のコンクリートにおいて、最大0.15MPaの引張応力を、鋼製支保工において、最大0.18MPa程度の圧縮応力が計測された。解析では、組立台コンクリートの引張応力は最大で0.072MPa、鋼製支保工応力の増分は1.2MPaであった。いずれの結果も解析の方が大きな応力変化を確認しているが、オーダーとしてはほぼ整合するものであった。

要素試験および模擬PEMの組立および定置に際して、原位置で計測された組立台コンクリートおよび鋼製支保工応力の増分は非常に小さなものであった。また、解析においても、既設の吹付コンクリートの応力増分も最大で0.17MPa程度であり、鋼製支保工応力増分も1.2MPa程度であった。

解析では局所安全率の変化も確認したが、要素試験のウェイト定置および模擬PEMの定置に際して、変化は確認されなかった。

以上から、要素試験および模擬PEMの組立、定置は既設支保工や周辺岩盤に影響を及ぼすほどの力学的な変化を与えないことが示された。

なお、本解析では、組立台コンクリートと吹付コンクリート、襖部の摺り付け部を一体と仮定した連続体解析を行なった。実際には、それらの境界には摩擦力が働いていることが想定されるため、今後の課題としては、既設の吹付コンクリートと組立台コンクリートの摩擦係数を求めるような室内試験を実施し、そのパラメータを基に摩擦力を考慮した解析を実施することにより、厳密な数値解が得られるものと考えられる。

(5) まとめ

測定結果について

- ・荷重がかかると、組立て台のコンクリート応力は引っ張り応力を発生した。一方、鋼製支保工応力は荷重が14.125tまでは変化は見られなかったが、模擬PEMの36.5tの場合には圧縮応力が発生した。
- ・組立て台のコンクリートに発生する引っ張り応力は、荷重が大きいほど大きかった。また、走行時と静置時を比較すると走行時の方が大きい応力が生じた。

解析について

- ・実測値と比較した結果、解析地の方が値は若干大きいですが、概ね整合した結果が得られた。
- ・荷重をかけた際（模擬 PEM 設置も含む）、組立台コンクリート、坑道の吹付けや鋼製支保工に発生する応力増分はわずかであった。
- ・岩盤への影響も非常に小さかった。
- ・埋め戻しの影響については、モデル化の手法にも依存するが、解析結果からは既存の支保工や岩盤への影響は極小さなもので、岩盤の初期応力の掘削影響の方が遥かに影響が大きいことがわかった。したがって、模擬 PEM 設置や埋め戻しの重量程度では季節構造物に大きな影響を及ぼすことはないことがわかった。

2.2.4 模擬 PEM

(1) 模擬 PEM の製作

1) 目的

地下実証試験で使用することを目的とし、昨年度までに実施した設計に基づき、模擬 PEM を製作した。

2) 模擬 PEM の仕様と形状

模擬 PEM の仕様を表 2.2.4-1 に示す。また、模擬 PEM の形状を図 2.2.4-1 に示す。

表 2.2.4-1 模擬 PEM の仕様

項目	仕様
重量	36.5ton
寸法	φ 2,316 mm × L3,340 mm
胴部板厚	50mm
内部構造	内部は支持板等の構造部材
重心	容器中心
材質	SS400 または同等材
塗装	防錆塗装
外面構造	円筒外面に突起物なし
その他	水侵入防止として、外面に露出する部品締結部はゴムシートを挟むことでシールする構造とした。また、ドレン構造として仕切り板下部に貫通穴を設ける構造とした。

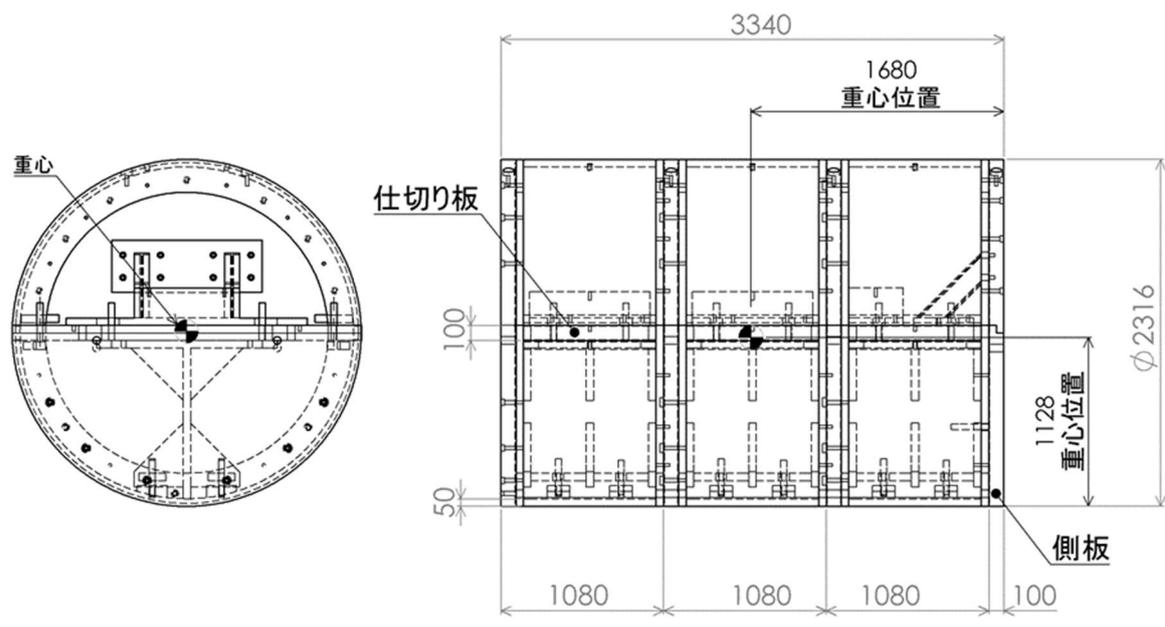


図 2.2.4-1 模擬 PEM の形状

3) 模擬 PEM の製作と組立確認

a 模擬 PEM の製作

2.2.4(1)2)に基づき、模擬 PEM を製作した。製作中の模擬 PEM を図 2.2.4-2 に示す。

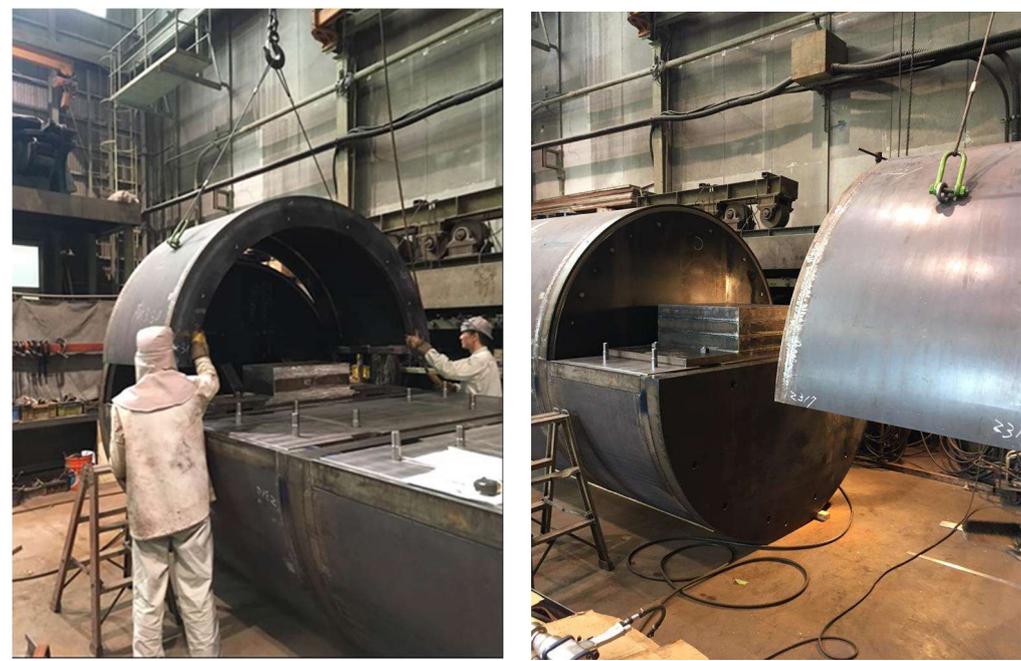


図 2.2.4-2 模擬 PEM の製作

b 模擬 PEM の組立確認

地上にて、試験坑道 2 での作業手順を想定した組立確認を実施し、模擬 PEM が手順通り組立てられることを確認した。図 2.2.4-3 に組立確認の風景を示す。



(組立中)

(組立後)

図 2.2.4-3 模擬 PEM の組立確認

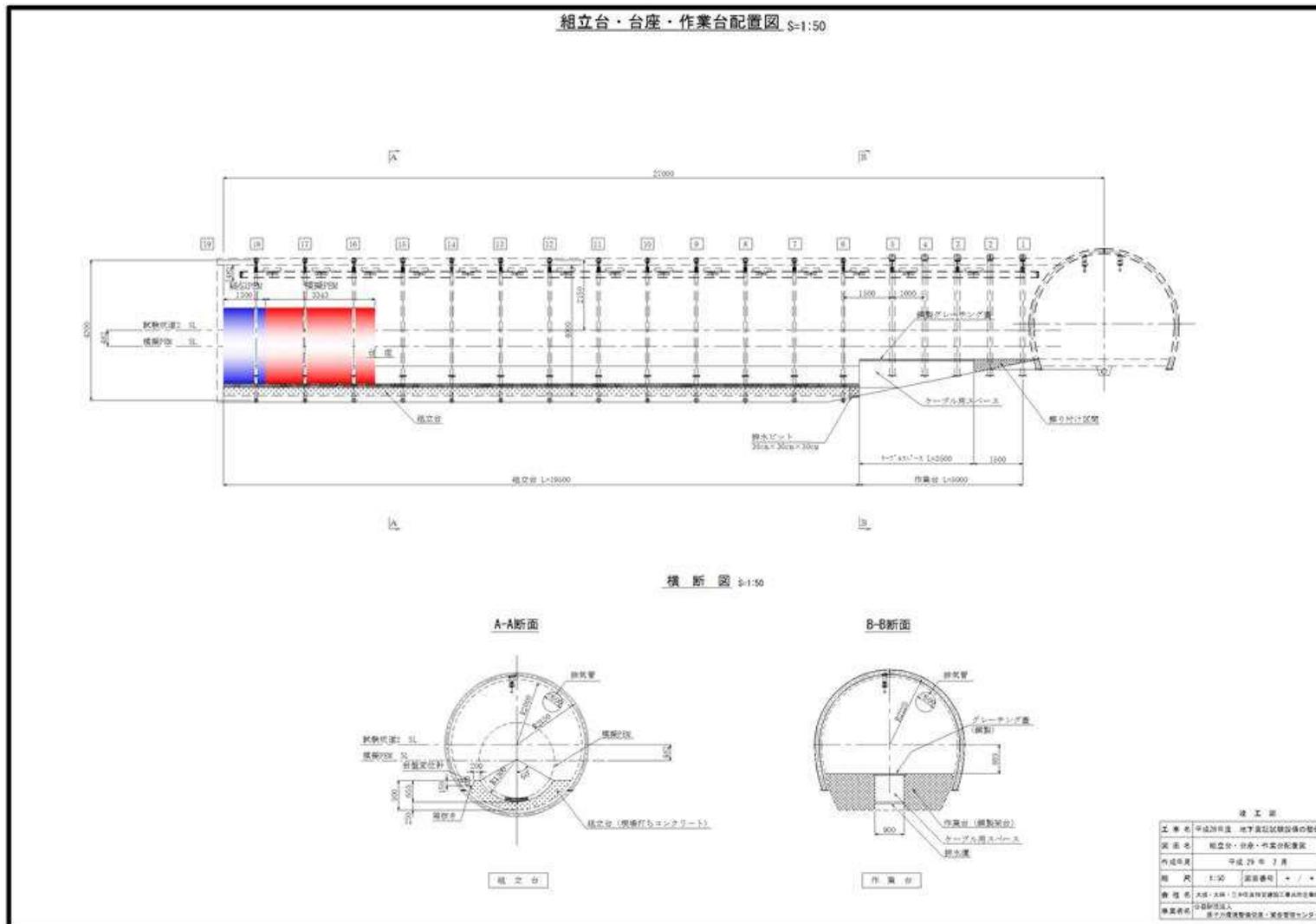
(2) 模擬 PEM の地下設置

1) 目的と実施概要

地下実試験で使用することを目的とし、模擬 PEM を地下実証試験サイト（幌延 URL 地下 350m 試験坑道 2）に定置した。また、模擬 PEM 設置と合わせて、試験坑道 2 の棲壁と模擬 PEM 間にダミーの模擬 PEM（以下、「疑似 PEM」という。）を組立、設置した。疑似 PEM は模擬 PEM と同じ直径の円柱形状で、試験坑道 2 の棲壁と模擬 PEM 端面間を埋める構造とした。

2) 模擬 PEM の定置位置

幌延 URL 試験坑道 2 での模擬 PEM・疑似 PEM の設置は、図 2.2.4-4 に示す配置計画に基づき実施した。作業の手順としては、模擬 PEM を先に組立・設置後、疑似 PEM を設置した。



■ : 模擬 PEM
■ : 疑似 PEM

図 2.2.4-4 幌延 URL 試験坑道 2 での模擬 PEM・疑似 PEM の設置位置

3) 模擬 PEM の組立て

模擬 PEM は、組立時の部品の安定性を確保するために下部の部品（胴下部等）から設置し、その後上部の部品を設置していった。部品の吊りや据付には試験坑道 2 内のホイストを使用し、各部品のボルト・ナット締結はインパクトレンチ等を用いて行った。模擬 PEM 組立状況を図 2.2.4-5～図 2.2.4-8 に示す。



図 2.2.4-5 模擬 PEM 設置状況（A11 設置）

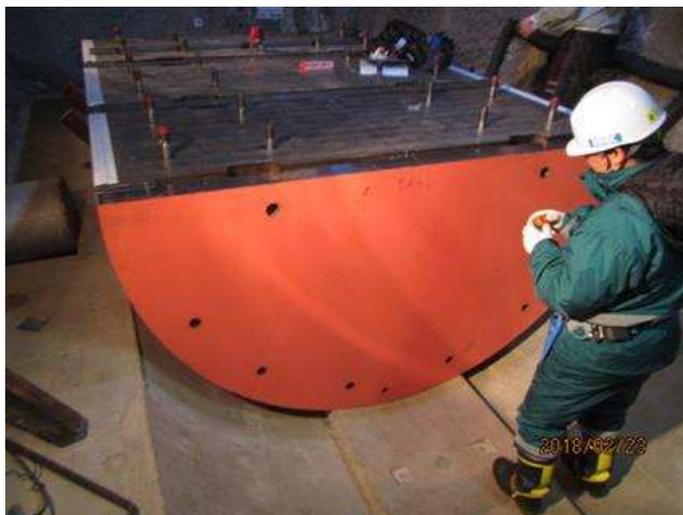


図 2.2.4-6 模擬 PEM 設置状況（C13 設置）



図 2.2.4-7 模擬 PEM 設置状況 (A21 設置)



図 2.2.4-8 模擬 PEM 設置状況 (C23 設置)

4) 模擬 PEM の定置結果

模擬 PEM の組立作業後、4 点（45 度、90 度、270 度、315 度）の長さ寸法計測を実施した。図 2.2.4-9 に長さ寸法計測箇所、表 2.2.4-2 に計測結果を示す。組立後の模擬 PEM の長さ寸法は、4 点とも許容寸法内にあることを確認した。

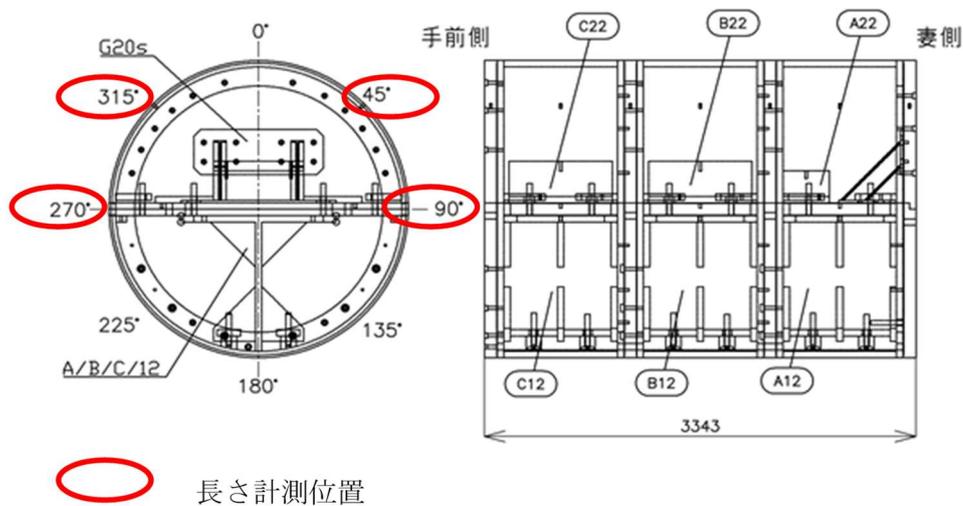


図 2.2.4-9 模擬 PEM 長さ寸法計測位置

表 2.2.4-2 模擬 PEM 寸法計測結果

測定方位	公称値	許容寸法	測定値
45°	3343	3355 (最大許容寸法) 3330 (最小許容寸法)	3348
90°			3347
270°			3346
315°			3351

5) 疑似 PEM の設置

横置き PEM 方式の定置済み PEM を模擬するため、模擬 PEM 設置後に棲壁と模擬 PEM の間に疑似 PEM を設置した。図 2.2.4-14 に疑似 PEM の設置状況を示す。



図 2.2.4-10 疑似 PEM 設置状況（発砲スチロール組立終了）



図 2.2.4-11 疑似 PEM 設置状況（SUS 板設置終了）



図 2.2.4-12 疑似 PEM 設置状況（棲面と疑似 PEM 間の隙間充填状況）



图 2.2.4-13 疑似 PEM 设置状况 (涂装完了)



图 2.2.4-14 模拟 PEM、疑似 PEM 设置完了

2.3 地上実証試験サイトの整備

2.3.1 概要

平成 27 年度に幌延深地層研究センター（以下、幌延 URL）地下 350m に位置する試験坑道 2 を実証試験サイトとして選定し、平成 28 年度にエアベアリング方式の定置装置の走行面とするための鉄筋コンクリート製の模擬坑道を整備した。また、平成 30 年度には、平成 31 年度に計画されている試験坑道 2 内での PEM 回収・定置試験に向けた見通しを検討するためのデータ取得および将来的なエアベアリング方式の適用性を示すための知見取得のために、実機を用いた PEM 回収・定置試験を地上において実施する予定である。

そこで、本年度は平成 30 年度に地上において実施予定である PEM 回収・定置試験に用いるための地上実証試験サイトの整備を行った。以下に、地上実証試験サイトの平面図および本年度整備した主なものを示す。

(1) 地上実証試験サイトの平面図

神奈川県内に整備した地上試験サイト製作箇所を平面図を図 2.3.1-1 に、地上試験サイトの平面図（詳細）を図 2.3.1-2 に示す。

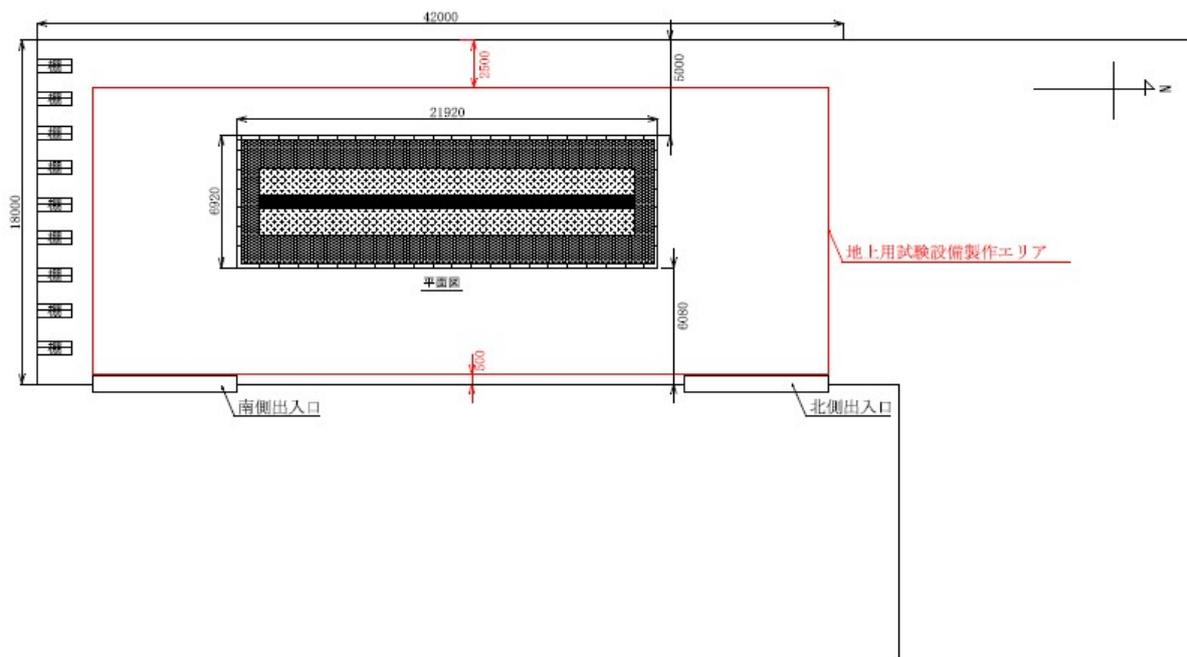


図 2.3.1-1 地上試験サイト製作箇所の平面図

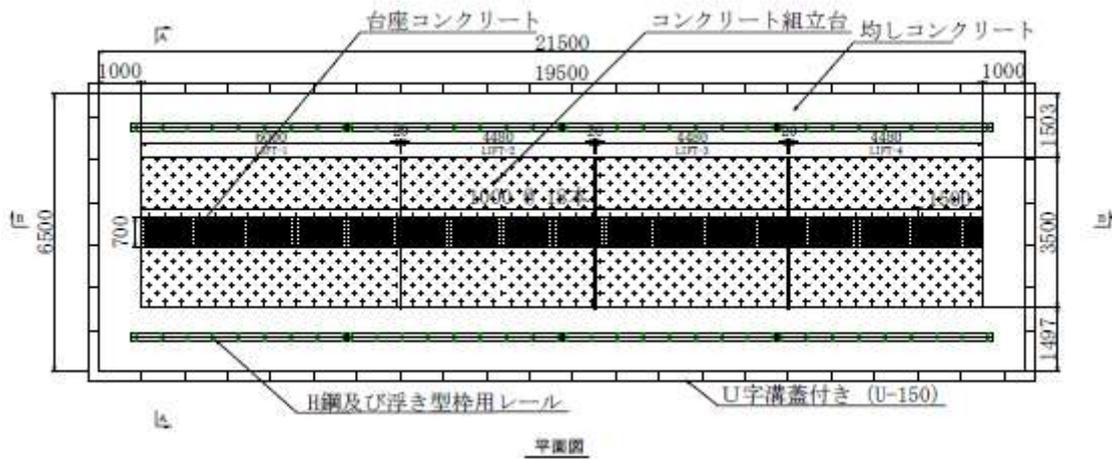


図 2.3.1-2 地上試験サイトの平面図（詳細）

(2) 主な整備項目

- 組立台
- 台座

2.3.2 組立台および台座の仕様

(1) 組立台

組立台は、定置装置の走行面としての機能を有し、幌延 URL の試験坑道 2 に整備している組立台を模擬したものである。そのため、以下の仕様を満たして施工される必要がある。

- 組立台は場所打ちコンクリートの打設により構築され、コンクリートの上端部は下弦の円弧状とする。上端部の形状は、半径 1,300mm、中心角 120°（弦長は約 2,252mm）とする。
- 打設回数および目地部の処理は、幌延コンクリート組立台・台座を参考とする。
- コンクリートの強度は幌延幌延コンクリート組立台と同等以上とする。
- 台座設置用のインサートを設置する（アンカー鉄筋を埋設）。

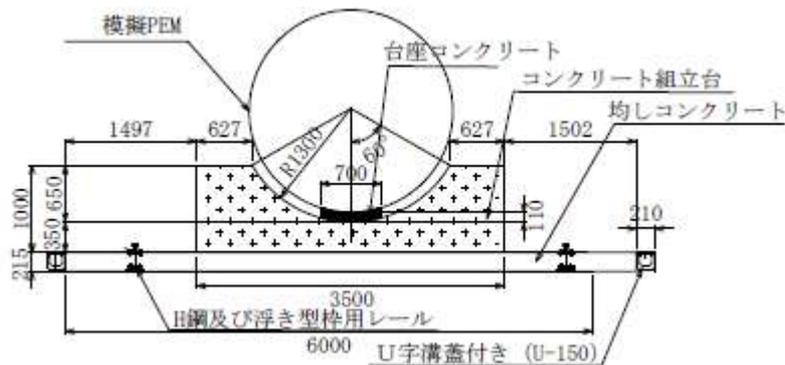


図 2.3.2-1 組立台概略図

(2) 台座の概要

台座は、PEM を載せる台および定置装置が走行する際のガイドレールの機能を有する。そのため、以下の仕様を満たして施工される必要がある。

- 台座は底板部の厚さ 110mm、上下端部は円弧状のプレキャストコンクリート製とする。
- 台座の形状において、円弧は下端部半径 1,300mm、中心角 31.26°（弦長は約 700mm）とする。
- コンクリートの強度は幌延台座と同等以上とする。

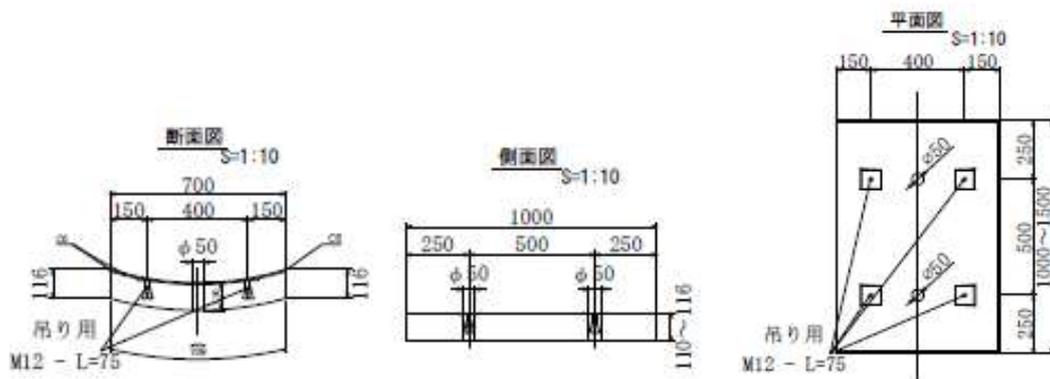


図 2.3.2-2 台座概略図

2.3.3 組立台および台座の出来形

地上に整備した組立台全景を図 2.3.3-1 に、組立台上端部および台座の設置状況を図 2.3.3-2 に、

排水設備（排水溝）を図 2.3.3-3 に示す。また、出来形検査結果のまとめを表 2.3.3-1 に示す。



図 2.3.3-1 組立台全景

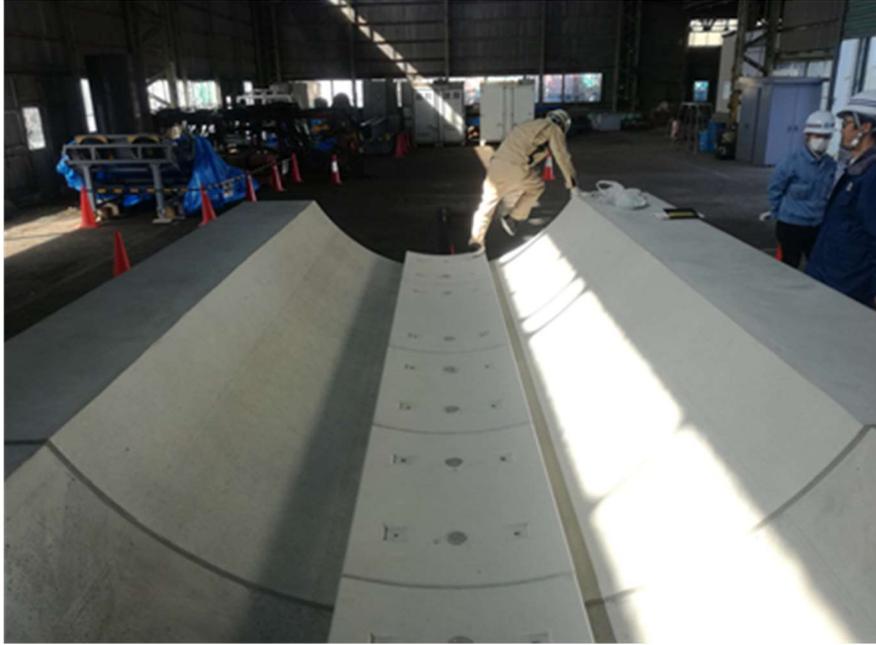


図 2.3.3-2 組立台上端部および台座の設置状況

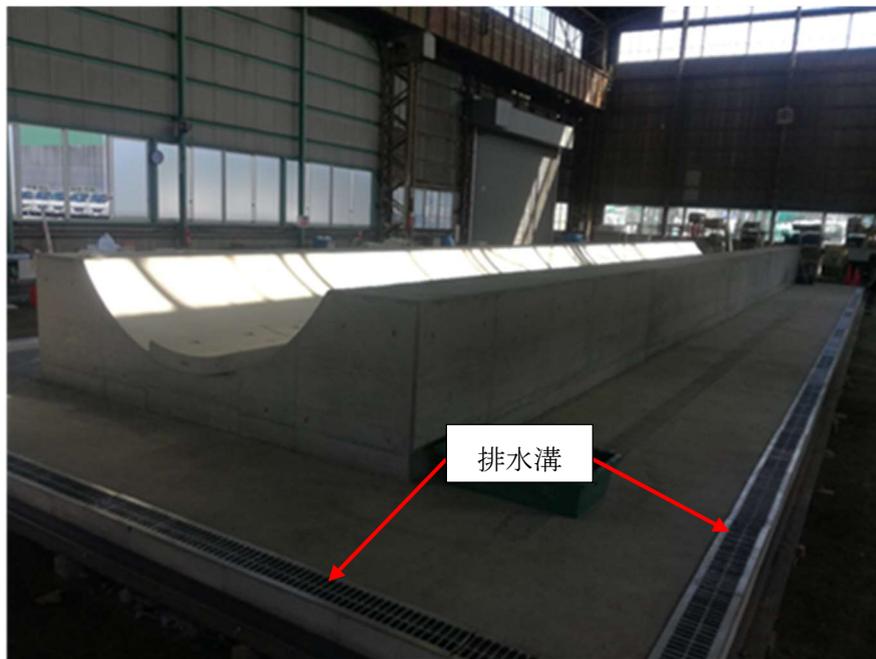


図 2.3.3-3 排水設備（排水溝）

表 2.3.3-1 出来形検査結果

工種	種別	項目	規格値	単位	測定回数 実数	設計値との差			
						範囲		範囲毎 個数	比率
コンクリート 組立台	コンクリート	下がり	±50	mm	24	差 ≤ 規格値 50%	-8~+4	24	100%
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%			
		基準高さ	±30	mm	24	差 ≤ 規格値 50%	-4~+4	24	100%
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%			
		延長	-50	mm	1	差 ≤ 規格値 50%	+5	1	100%
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%			
		段差	1mm 以内	mm	3	差 ≤ 規格値 50%	0	3	100%
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%			
台座 コンクリート	コンクリート ブロック	基準高さ	±30	mm	24	差 ≤ 規格値 50%	+1~+6	114	100%
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%			
		延長	-50 以上	mm	1	差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%	+45	1	100%
		段差	1 以内	mm	18	差 ≤ 規格値 50%	0	18	100%
						規格値 50% < 差 ≤ 規格値 50%			
						規格値 80% < 差 ≤ 規格値 100%			

2.4 まとめ

H29 年度の実証試験サイトの整備についてのまとめを以下に示す。

○試験坑道 2 の性状調査として、レーザースキャナーを用いた三次元計測を行った。三次元計測の結果、実証試験で必要なスケール (1mm) よりも小さい間隔でデータが取得でき、コンクリート表面の気泡痕についても測定されていることを確認した。

○定置装置の走行の可否に大きく影響を与えるコンクリート表面のクラック調査を行い、レーザースキャナーでは計測できないクラックの位置や幅等について目視により確認した。

○試験坑道 2 内で実施した種々の要素試験等が、組立台コンクリート等の地下試験設備、既設構

造物、また周辺岩盤に与える影響を評価することを目的として、組立台コンクリート内やトンネル支保工に設置した応力計で取得したデータの分析、数値解析結果と実測値の比較等による影響調査を行った。その結果、試験時には、ウェイト载荷による組立台コンクリートの引張応力などが計測されたものの、既設支保工や周辺岩盤に影響を及ぼすほどの力学的な変化は与えないことを確認した。

○H30 年度より地下実証試験で使用する模擬 PEM を製作し、地下実証試験サイトに定置した。

○H30 年度に実施する地上実証試験サイトの整備（主に、コンクリート製組立台の構築し、台座の設置）を行った。

第2章 参考文献

- [1] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成 28 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：可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）報告書、2017 年 3 月

第3章 搬送定置・回収技術の実証的整備

3.1 平成 29 年度の実施概要

3.1.1 搬送定置・回収技術の実証的整備の目的

「搬送定置・回収技術の実証的整備」では、平成 31 年度に日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター（以下「幌延 URL」という。）試験坑道 2 で実施予定の、処分坑道横置き定置方式 PEM 方式の回収実証試験並びに定置実証試験の実施を目的とし、そのための装置等整備を平成 29 年度も継続して実施した。

3.1.2 平成 29 年度の実施内容

図 3.1.2-1 に、「搬送定置・回収技術の実証的整備」の開発計画の模式図を示す。

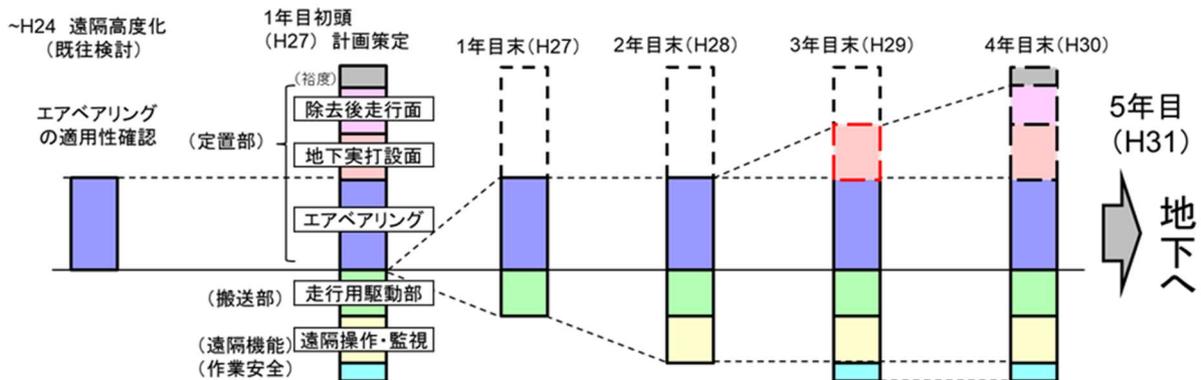


図 3.1.2-1 「搬送定置・回収技術の実証的整備」の開発計画模式図

平成 29 年度は、上記開発計画も踏まえ、これまでに地下実証試験に向けて製作した PEM 定置装置や遠隔操作設備等の継続整備、及び PEM の回収作業が充填材の除去後の地下環境で実施出来ることを確認するためのデータの取得等のために、以下を実施した。

- ・定置・回収装置の製作（3.2 項 参照）
- ・地下実証サイトにおける要素試験（3.3 項~3.4 項 参照）

以降に、各内容を示す。

3.2 定置・回収装置の製作

3.2.1 実証試験までの装置開発（概要）と装置構成

地下実証試験に使用する定置・回収装置完成イメージ図を図 3.2.1-1 に、5ヶ年の装置整備計画を図 3.2.1-2 示す。装置開発における方針と主要構成は以下の通り計画した。

- ・回収試験、定置試験を5年目となる平成31年度に実施予定のため、その前年である平成30年度（4年目）までに装置を整備する計画とした。
- ・実証対象（メイン）となる定置部にはエアベアリング方式を採用した。
- ・定置部の後方に搬送部を接続し、電動機に接続した車輪により定置部と搬送部の装置全体を前後進させる構造とした。
- ・作業台上に置いた操作卓から遠隔操作して実証試験を実施するために、遠隔操作用の制御盤、検出器類、カメラを装置に設置すると共に、遠隔操作するための運転モードやインタロックの設定など、ハード、ソフト面で遠隔操作用に製作した。
- ・地下実証試験中の作業安全を確保するため、パトライト、ブザー、メロディホンを設置した。
- ・上記定置部、搬送部を先行して製作してまず主要機能を確認した後、遠隔操作化、幌延地下向けの装置整備を順次行っていく計画とした。

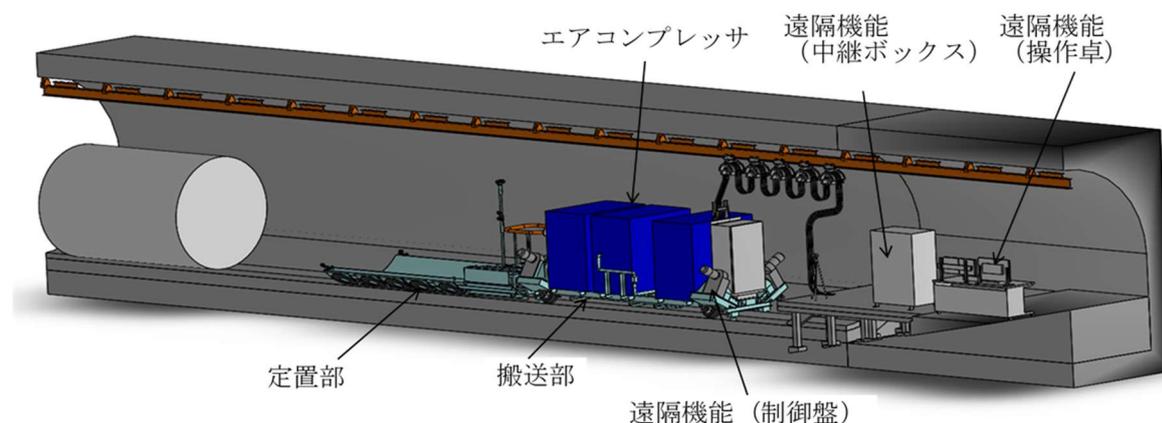


図 3.2.1-1 定置・回収装置の完成イメージ図

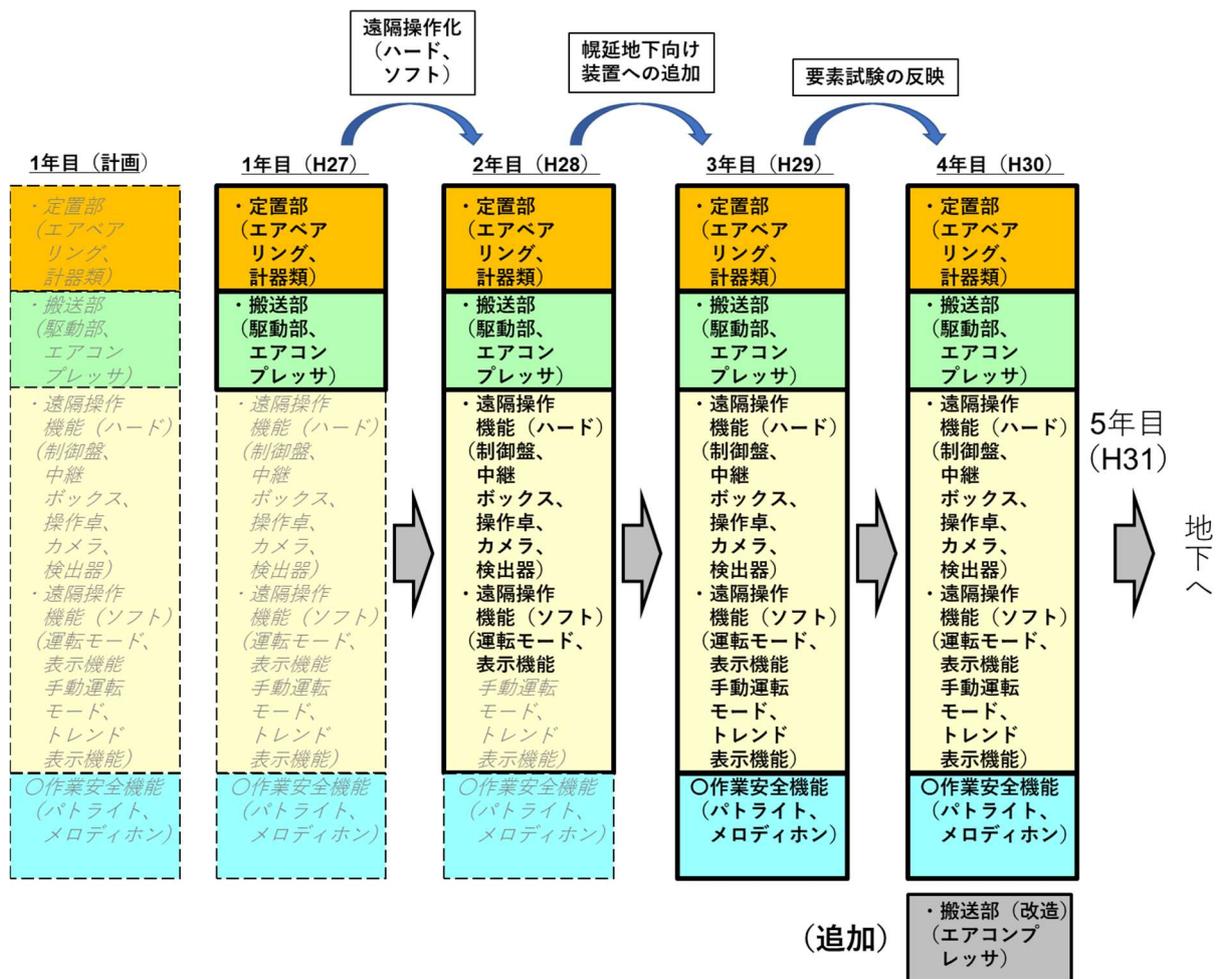


図 3.2.1-2 定置・回収装置の5ヶ年整備計画

3.2.2 定置・回収装置製作の進捗

前述の計画を反映し、2年目（平成28年度）までには以下の通り装置を整備した。

- ・1年目（平成27年度）は定置部、搬送部を製作し、整備した。[1]
- ・2年目（平成28年度）は遠隔操作機能として、制御盤、操作卓、中継ボックス検出器類、カメラのハード機能と、運転モード設定、画面表示などのソフト機能を整備した。[2]

3.2.3 本年度の成果

(1) 装置の整備

本年度に実施した定置装置の整備内容を図 3.2.3-1 に示す。

3年目となる本年度は、前述の全体計画を反映し、定置部、遠隔操作機能、作業安全に係る整備として、以下を追加製作した。

- 1) 各エアベアリングへの空気流量計の追加 (図 3.2.3-1 a))
- 2) 検出器トレンド表示の追加 (図 3.2.3-1 b))
- 3) 運転ログ取出し機能の追加 (図 3.2.3-1 c))

- 4) 運転時のパトライト，メロディホン，ブザー機能の追加 (図 3.2.3-1 d))
- 5) 運転モードの改良 (「遠隔手動」モードの追加) (図 3.2.3-1 e))

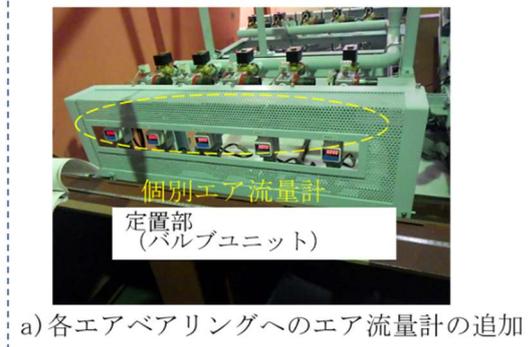
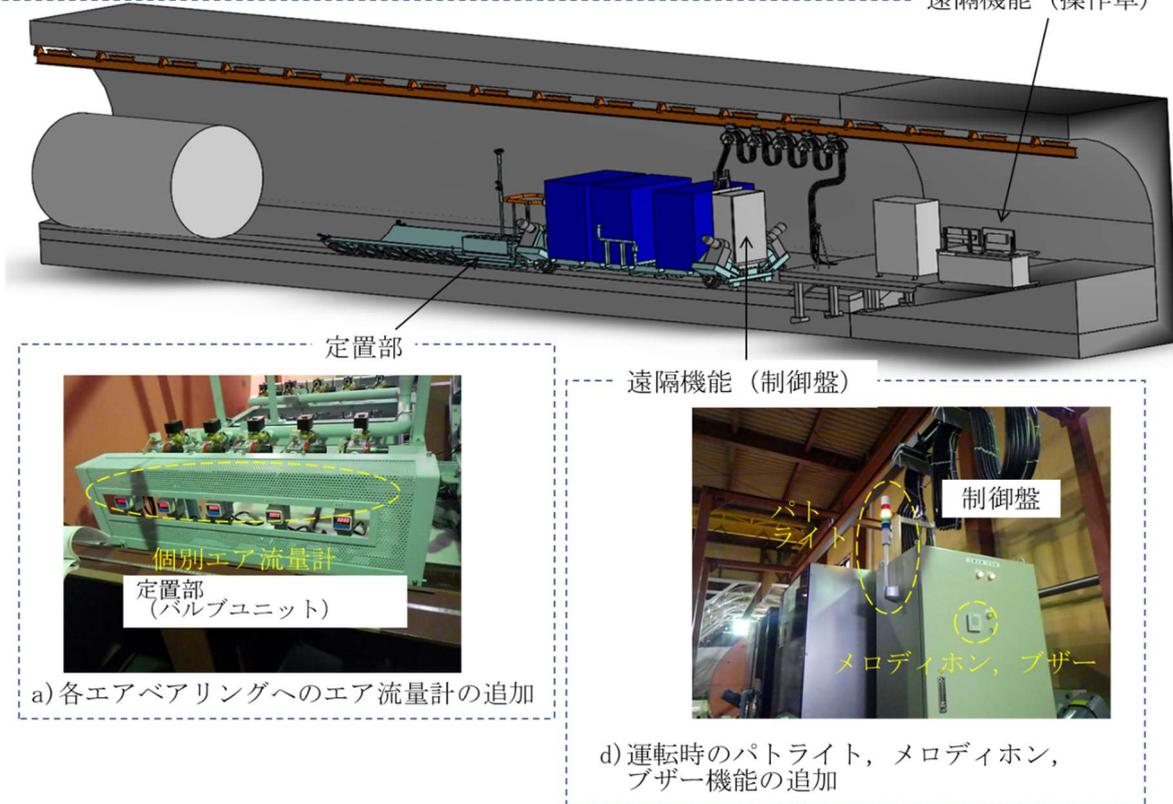
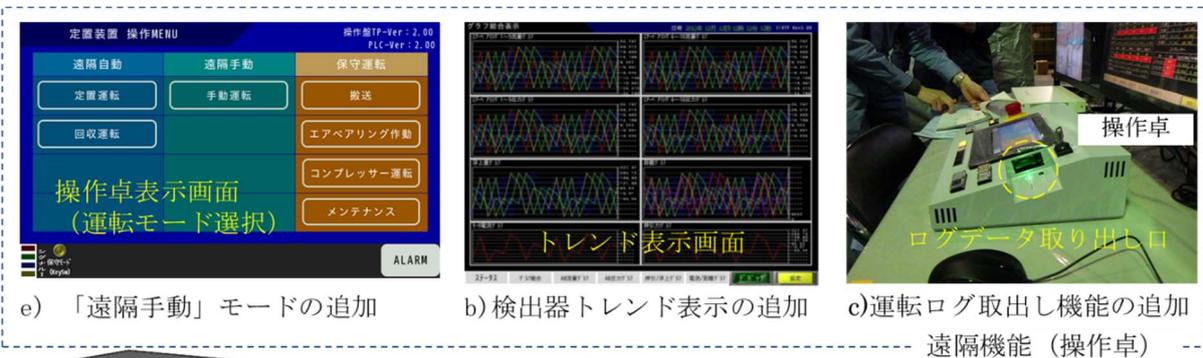


図 3.2.3-1 平成 29 年度の整備内容

3.3 地下実証サイトにおける要素試験

3.3.1 試験計画

(1) 目的

要素試験における試験目的を以下に示す。

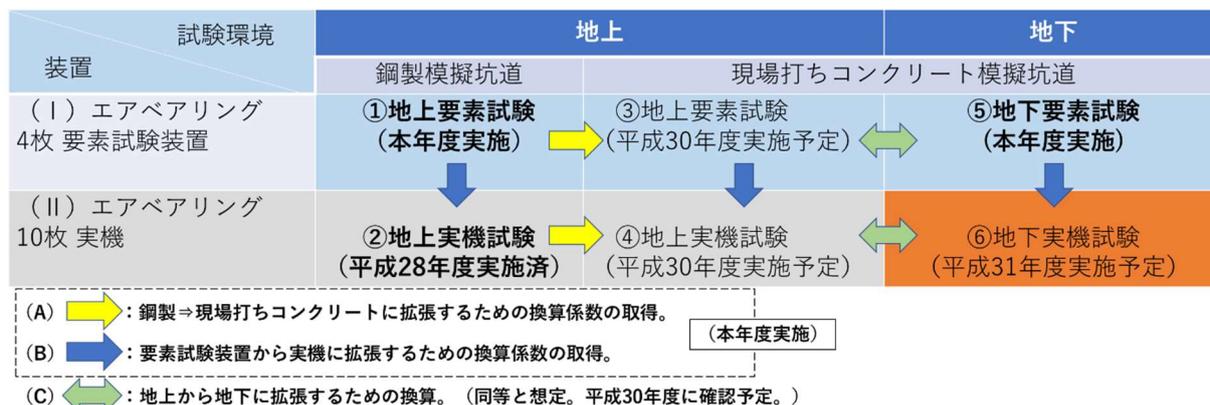
1) 平成31年度幌延URLにおけるPEM回収試験に向けた知見の取得

本事業の5年目である平成31年度に試験坑道2での回収・定置試験を成功させるために、実地下環境（試験坑道2）でエアベアリングを稼働させた時のデータを取得し、定置・回収装置の開発へ反映させる。

現装置製作時の想定範囲も踏まえて、パラメータをどう設定すれば、どのように運用すれば、走行できるか、適用可能かを確認する。具体的には、模擬PEM相当負荷による空気流量、圧力等を計測し、定置・回収試験装置実機へ反映した時の数値を想定する。

表 3.3.1-1 に本要素試験からの実機反映へのイメージを示す。本事業では表中⑥の実証試験が最終目標となるが、昨年度までは表中①～⑥の内、定置装置実機での②試験のみ実施済みである。鋼製模擬坑道と現場打ちコンクリート模擬坑道の走行面の違い（表中（A））についてはデータが無いので、要素試験として⑤試験を実施することにより、（A）を把握し、装置整備のための基礎データとする。また、①地上要素試験と②地上実機試験を比較して（B）を確認することにより、要素試験装置と実機との各パラメータの違い、換算係数を把握する。また、地上から地下に拡張するための換算（表中（C））は同等と想定しているが、（C）については整備した地上現場打ちコンクリートを使用した③地上要素試験、④地上実機試験を平成30年度以降に実施し、確認する計画である。

表 3.3.1-1 要素試験からの実機への反映のイメージ



2) エアベアリングの地層処分事業への適用性評価に資する知見の取得

実地下環境（試験坑道2）で実際に走行させることにより、定置・回収装置におけるエアベアリング方式が、実地下環境でも地上試験結果からの想定範囲内で使用できることを確認する。確認結果を踏まえ、試験結果現装置の延長上での開発で良いか等、取得した知見を今後の実機装置開発へ反映させる。

(2) 試験装置と試験方法、手順

1) 要素試験装置

定置装置実機（10 連）を用いた試験を実施する事が最も良い方法であるが、定置装置実機は本年度改造により地下への持ち込みが困難である。そのため、本要素試験では、同仕様のエアベアリングを使用した小型の要素試験装置を用いた試験を実施する。

a 試験装置全体

要素試験装置の仕様を表 3.3.1-2 に示す。また、要素試験装置全体を図 3.3.1-1 に示す。要素試験装置に設置するエアベアリングの枚数については、2 枚（1 組）を配置した装置を用いることで試験を実施できる。しかし、要素試験装置の走行方向への安定性確保や転倒防止のため、エアベアリングを 4 枚（2 組）配置して装置の走行方向への長さを伸ばすこととし、要素試験装置にはエアベアリングを 4 枚配置とした。また、図 3.3.1-2 にエアベアリング要素試験装置の写真を示す。

地下実証試験における定置装置エアベアリングへの総負荷は、模擬 PEM と定置装置自重の合計重量（37.4(ton)）となる。[1][2]そのため、要素試験装置はエアベアリング 1 枚あたりの最大負荷が地下実証試験時と同じ 3.74(ton)となるように、最大積載荷重を設計した。（要素試験でエアベアリングに掛かる負荷については、後述の表 3.3.3-1 に詳細を記載した。）

表 3.3.1-2 要素試験装置の仕様

基数		1 台
基本仕様	最大積載荷重	14.125 ton
	自重	約 830 kg
	寸法	L2,200 mm × W1,830 mm
荷重支持	エアベアリング	定置装置実機と同仕様製品を使用 AeroGo 社 K21NHD 特殊品 curved type 走行方向に対して左右 2 枚ずつ（合計 4 枚）使用
	供給空気	コンプレッサーによる圧縮空気 ・供給空気圧力： 0.5 MPa 以上 ・供給空気流量： 5.4 Nm ³ /min ・空気ホース長： 最大 50m（空気供給位置から）
搬送	速度	（標準）5 m/min、インバータ調整により変速
	牽引	ウィンチによる牽引
運転方式		手動運転
運転監視		直接目視（試験員）による監視
電源		3 相 AC 200V、50 Hz（牽引用ウィンチ）

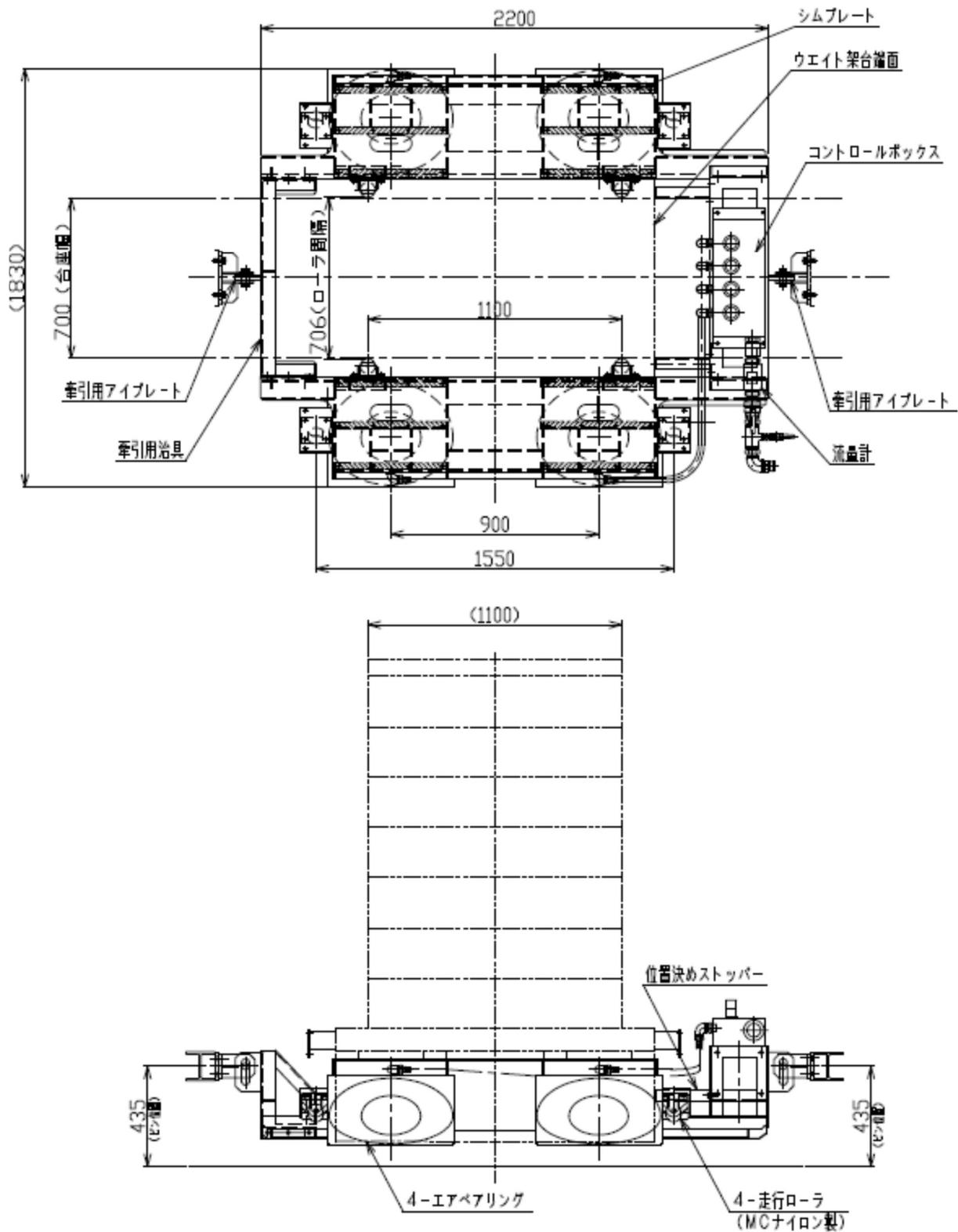


図 3.3.1-1 要素試験装置 外形図

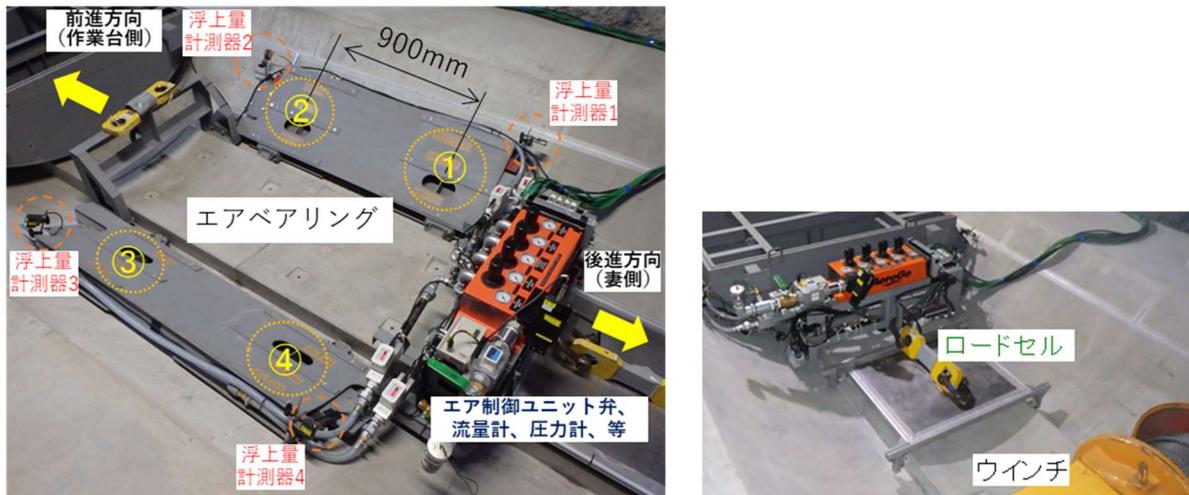


図 3.3.1-2 要素試験装置 (写真)

図 3.3.1-2 に示す通り、地下要素試験では妻壁側から作業台側へ向かう方向を“前進”、逆に作業台側から妻壁側へ向かう方向を“後進”と定義した。また、要素試験装置の4枚のエアベアリングとエアベアリング毎の圧力計、流量計、4隅の浮上量計測器は、前進方向対して反時計回りに、「右後→①」「右前→②」「左前→③」「左後→④」と番号付けをした。以後、断りの無い限り、要素試験グラフ内の凡例はこの番号に従うこととした。

エアベアリングを機能させるためには、エアベアリングと走行面間に空気膜を形成させるために十分な空気流量の供給が必要となる。一方、重量物である模擬 PEM を安定した状態で搬送定置・回収するためには、エアベアリングによる装置浮上状態を、平行かつ安定させる必要がある。また、定置装置で使用している市販品をベースとしたエアベアリングには、仕様の浮上量範囲がある。

そのため、定置装置実機では設定浮上量を目安として計測確認しながら、制御しやすい各エアベアリングへの供給空気圧力を調節弁の開閉により個別調整する構造とした。調節弁を開くと空気供給設備の能力範囲内で空気流量が大きくなり、浮上量も大きくなる。よって、要素試験装置においても定置装置実機と同様に、装置4角の浮上量を目安として計測確認しながら、エアベアリング4枚への各供給空気圧力を調節弁の開閉により個別調整する構造とした。

b 試験における計測項目

要素試験における計測項目と目的、計測機器の主要仕様を表 3.3.1-3 に示す。本要素試験では、空気供給圧力、空気供給流量、浮上量、牽引力、装置位置を計測した。

表 3.3.1-3 要素試験における計測項目と計器の仕様表

計測項目	計測方法	目的	計器／主要仕様
空気供給 圧力	エアベアリング毎に 圧力計で、データログ で計4点計測	走行面性状に対応し た、エアベアリングか らのエア漏れ量の変動 による圧力変動を確認 するため。	圧力センサ（共和電業 PG-U） 定格容量：200kPa～50MPa 温度補償範囲：-10～60℃
空気供給 流量	エアベアリング毎に 流量計で、データログ で計4点計測	走行面性状に対応し た、エアベアリングか らの空気漏れ量の変動 による流量変動を確認 するため。	サーマルマスフローメータ（東 京計装 TF-4150） 流量レンジ：0～4000L/min(nor) 温度：0～60℃ 圧力：0.1～1.0MPa
浮上量	試験装置4角にレー ザ距離計で、データロ グで計4点計測	試験装置のエアベアリ ングによる浮上状態を 確認するため。	レーザ変位計（キーエンス LB- 01） 赤外線半導体レーザ 基準距離 100mm 計測範囲±40mm 分解能：10μm（500ms） 40μm（20ms） 180μm（0.7ms）
牽引力	ウインチロープと試 験装置の接続部にロ ードセルを、データロ グで計2点（前後方 向）計測。	装置の前進・後進時の 牽引力を計測して、エ アベアリングによる摩 擦抵抗低減の程度を確 認するため。	ロードセル（共和電業 LTA-C- 100KNS） 定格容量：100kN
装置位置	試験装置に取付けた 距離計にて、データロ グで1点計測。	上記ログデータ計測項 目と、装置走行位置と の関係を確認するた め。	レーザドップラー速度計（アク ト電子 MODEL2532A） 計測速度範囲：-210～+210km/h 又は -6～+460km/h 計測距離（焦点）：700mm ± 100mm 以上（許容距離変動幅： ±100mm） 計測確度：±0.2%以内

2) 試験坑道 2 走行面（組立台）条件

a 試験坑道 2 走行面（組立台）の条件

試験坑道 2 走行面（組立台）の条件を図 3.3.1-3 に示す。

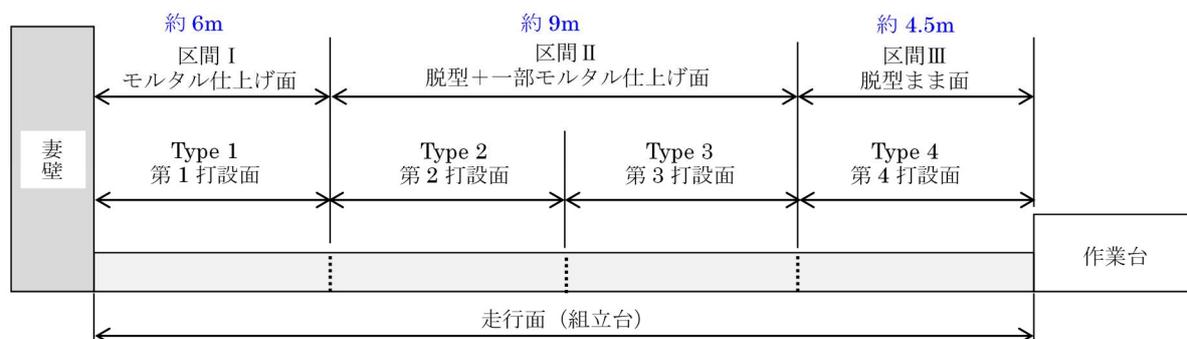


図 3.3.1-3 試験坑道 2 走行面（組立台）条件

b 試験坑道 2 坑道の摩擦係数、表面粗さデータ

3.3.1(2)2b に示す試験坑道 2 走行面の参考データとして、摩擦係数と表面粗さを計測した。以下に、摩擦係数と表面粗さの計測位置、計測機器、計測結果を示す。

(a) 計測位置

坑道面の粗さ計測位置（データ採取位置）については図 3.3.1-4 に示す場所でデータ採取した。また、摩擦計測については、区間 II および区間 III においては気泡痕が存在することから、気泡痕を避けた粗さ計測位置近くで計測できる位置を現場確認により設定して計測した。

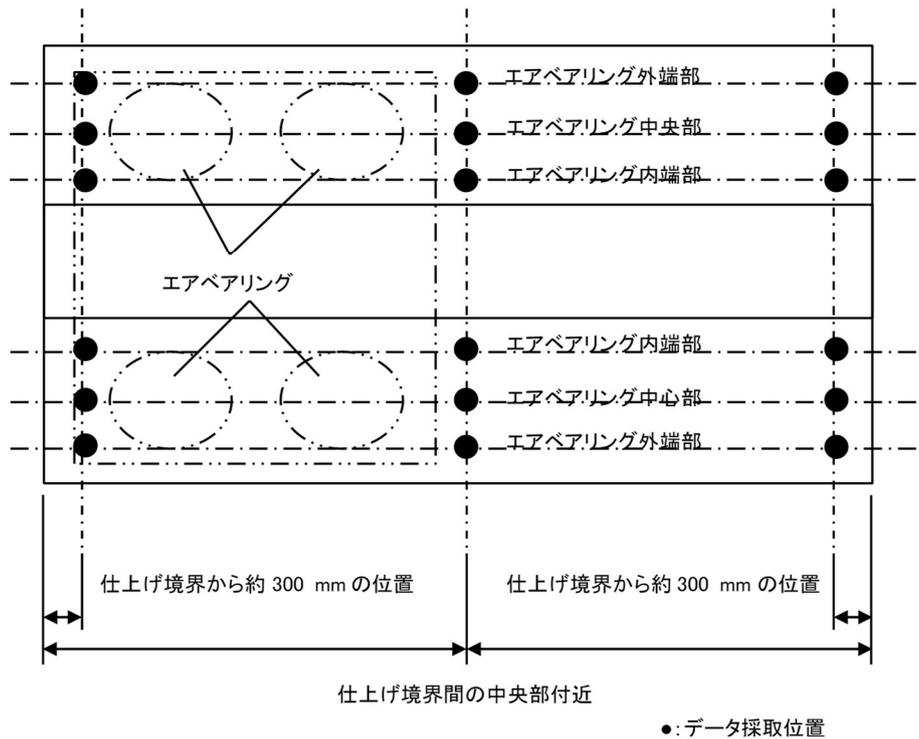


図 3.3.1-4 走行面粗さデータ採取位置

(b) 計測機器

摩擦と粗さの計測に使用した計測機器の仕様を表 3.3.1-4 に示す。

表 3.3.1-4 摩擦計測、粗さ計測の計測機器仕様

計測機器	仕様
ポータブル摩擦計	摩擦係数計測器 (新東科学 トライボギア TYPE:37) 計測範囲: 静摩擦係数 0.000~1.300 表示分解能: 0.001 検出器: VCM フォトセンサ、加速度センサ スライダ (接触子): アルミ (ハードクロム処理)
表面粗さ計	小形表面粗さ計測器 (ミットヨ サーフテスト SJ-310) X 軸: 16mm 計測範囲 (検出部範囲/分解能) : 360 μ m/0.02 μ m、100 μ m/0.006 μ m、25 μ m/0.002 μ m パラメータ: Ra (算術平均粗さ)、Rz (最大高さ粗さ) Rq (二乗平均平方根粗さ) 他

(c) 計測結果

図 3.3.1-5 に、試験坑道 2 の摩擦係数と表面粗さ Ra（算術平均粗さ）の計測結果を示す。

図 3.3.1-5 より、摩擦係数は区間 I～Ⅲで同程度の数値で推移していることを確認した。一方、表面粗さについては、区間 I（モルタル仕上げ面）より区間Ⅱ、Ⅲの方が表面粗さは大きい傾向があることを確認した。

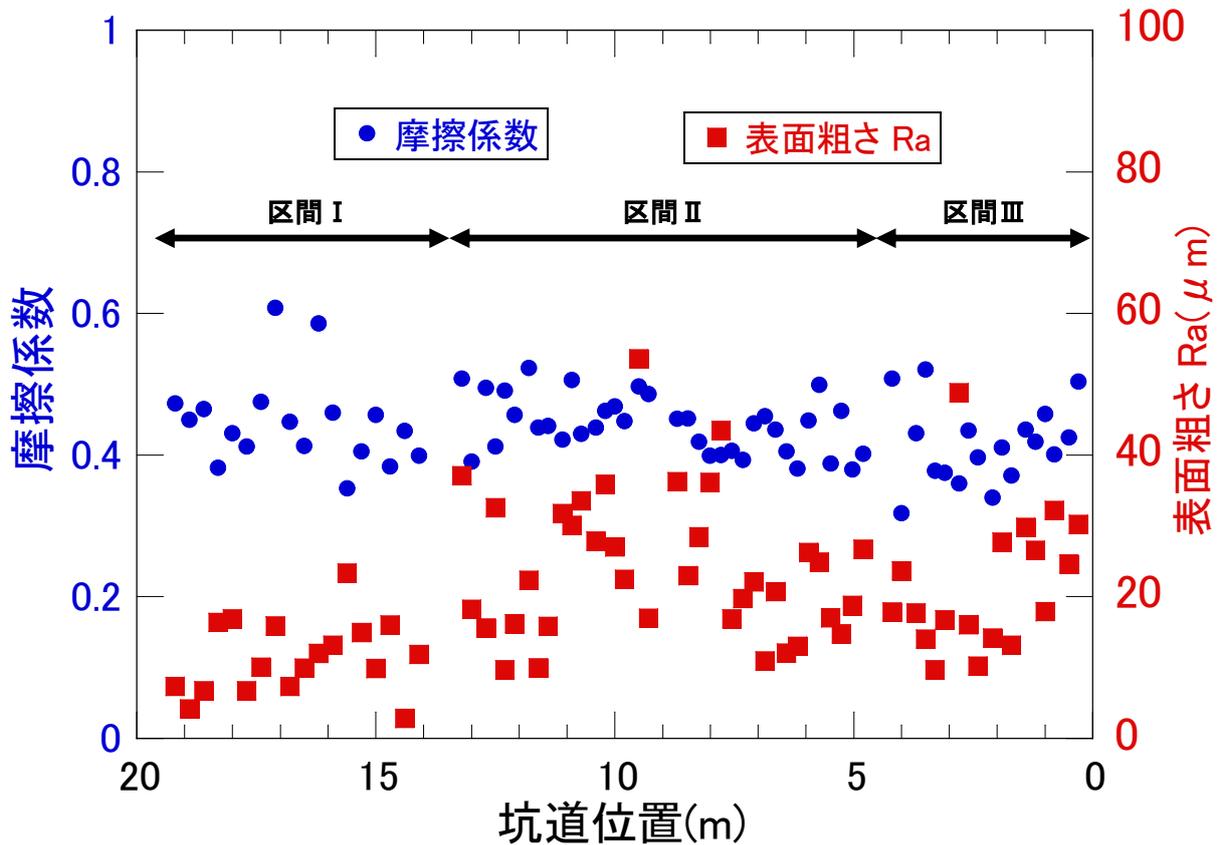


図 3.3.1-5 摩擦係数と表面粗さの計測結果

表 3.3.1-5 に、粗さと摩擦の計測結果（試験坑道 2 各区間の平均値）を示す。表中に参考値として、地上にある鋼製架台（鋼製模擬坑道）での計測結果も合わせて示す。図 3.3.1-5 でも確認した通り、モルタル仕上げした区間 I では他区間と比較して粗さの値が約 50%程度に小さくなる傾向があるが、摩擦係数については特に区間毎での違いは確認できなかった。

表 3.3.1-5 粗さと摩擦の計測結果（試験坑道 2 各区間の平均値）

区間No. (Type No.)		粗さ測定結果 Ra (μm)	摩擦測定 結果
区間 I	(Type1)	11.4	0.446
区間 II	(Type2)	25.4	0.462
	(Type3)	22.9	0.423
区間 III	(Type4)	21.9	0.416
鋼製架台(参考値)		3.7	0.523

図 3.3.1-6 に摩擦係数と表面粗さの関係を示す。図 3.3.1-6 からは、摩擦係数と表面粗さの相関関係は、特に確認できなかった。

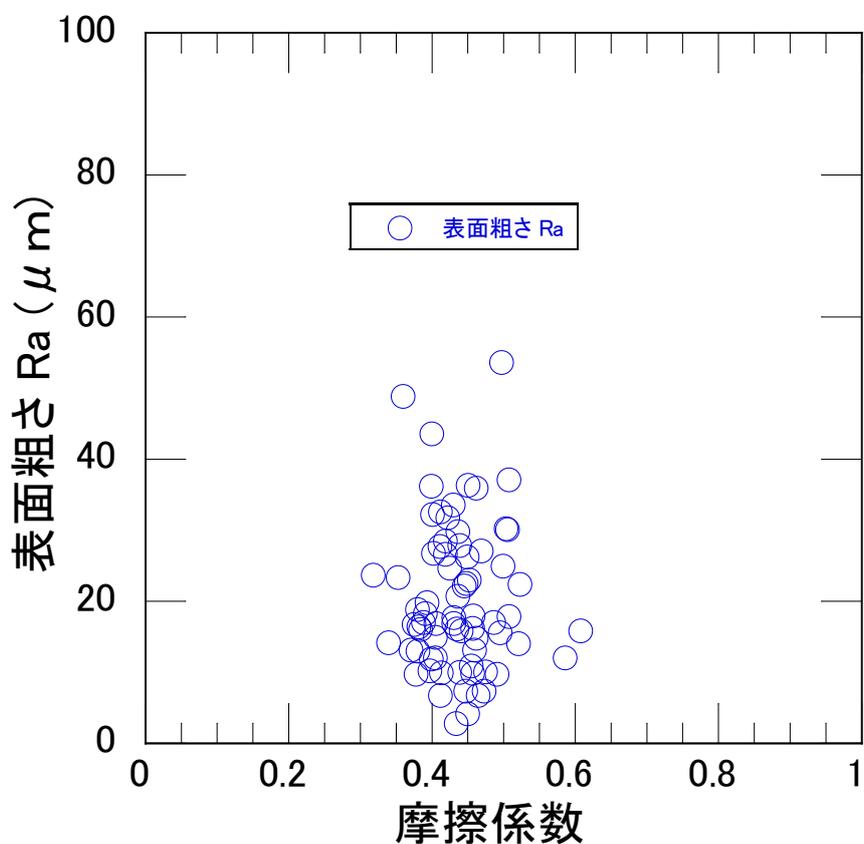


図 3.3.1-6 表面粗さと摩擦係数

3) 試験の概要

a 試験場所と配置

試験装置の配置を図 3.3.1-7 に示す。試験時の装置の走行については、試験坑道 2 の妻側、周回坑道側に設置したウィンチによる牽引とした。

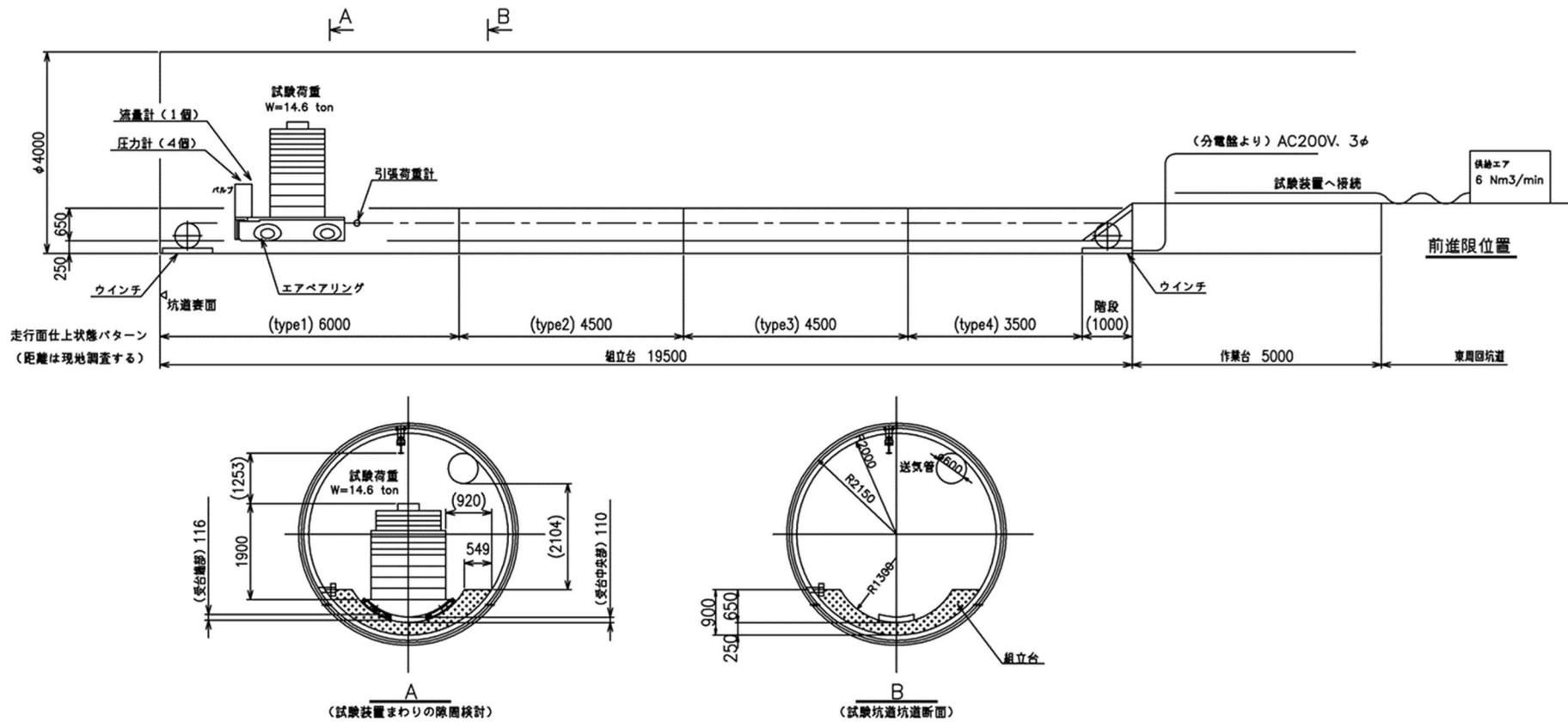


図 3.3.1-7 試験装置配置図

b 試験フロー

地下要素試験の試験フローを図 3.3.1-8 に示す。

試験では後述する試験ケースに合わせ、まず試験開始位置に要素試験装置を移動させると共に、搭載ウェイト、計測器、ウィンチ（接続）等を準備、設定する。空気供給圧力を調整した後にウィンチを稼働させて試験開始した後、走行可否確認とデータ取得を行った。

定置装置実機は、走行性能に係るエアベアリングの設定として、

昨年度までの定置装置地上試験を踏まえ、初期設定として浮上量 40mm の空気調整後に試験して走行可否確認とデータ取得を行い、もし走行不可の場合は、空気供給圧力（浮上量）を再調整し、浮上量 55mm を目標に設定して試験を実施した。

初期設定値（浮上量 40mm）で走行不可の場合は、空気供給圧力（浮上量）を再調整し、浮上量 55mm を目標に設定して試験を実施した。

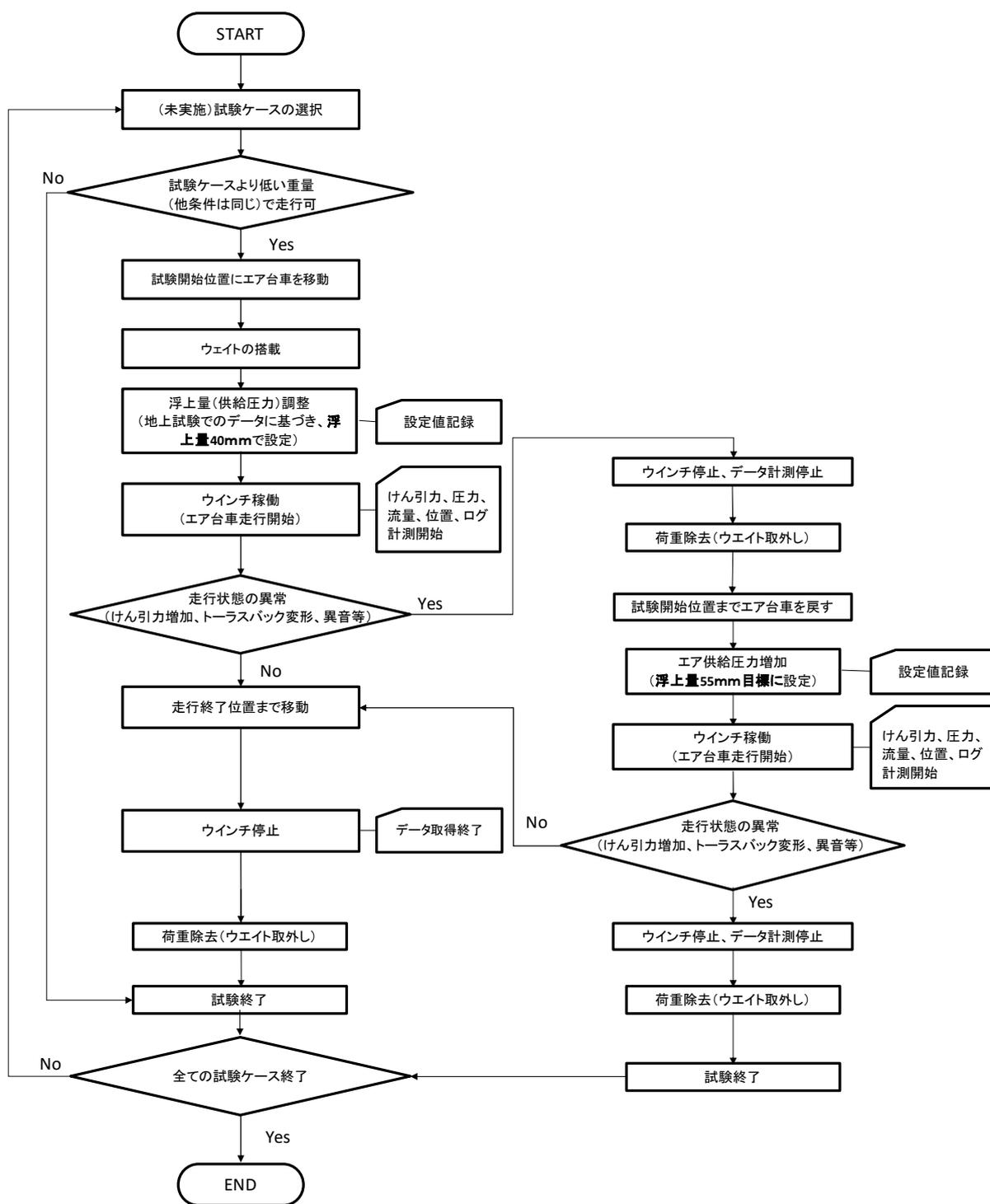


図 3.3.1-8 地下要素試験の試験フロー

c 試験ケース

地下要素試験の試験ケースは、以下に示す(a)から(c)の3段階に分けて実施した。

(a) モルタル部補修前の走行確認試験 (標準ケース)

標準ケースとして、表 3.3.1-6 に示す試験ケースを実施した。走行区間は区間Ⅰ～Ⅲの 3 区間毎とし、区間Ⅰ 走行面に数カ所存在するモルタル経年劣化によるへアクラックは、特に補修せずに試験を実施した。ウェイト重量は 2ton、6 ton、14.125ton の計 3 種類とし、要素試験装置の走行方向を前進、後進の各 2 方向に試験を実施した。また、初期の設定条件（浮上量 40mm設定）で走行不可の場合は、試験フローに示す通り、浮上量 55mmを設定目標に空気供給圧力を調整して試験実施した。

表 3.3.1-6 要素試験 試験ケース（モルタル補修前）

地下要素試験ケース（モルタル補修前）							
荷重条件*1 ウェイト重量 (ton)	設定 浮上量	走行 方向*2	試験ケース番号*3			走行速度 (m/min) *4	備考
			区間Ⅰ (Type1)	区間Ⅱ (Type2,3)	区間Ⅲ (Type4)		
2	40mm	前進	Case-1	Case-2	Case-3	5	初期の設定条件（浮上量 40mm設定）で走行不可の場合は、浮上量 55mmを設定目標に空気供給圧力を調整して試験実施した。
		後進	Case-4	Case-5	Case-6		
	55mm	前進	Case-7	Case-8	Case-9		
		後進	Case-10	Case-11	Case-12		
6	40mm	前進	Case-13	Case-14	Case-15		
		後進	Case-16	Case-17	Case-18		
	55mm	前進	Case-19	Case-20	Case-21		
		後進	Case-22	Case-23	Case-24		
14.125	40mm	前進	Case-25	Case-26	Case-27		
		後進	Case-28	Case-29	Case-30		
	55mm	前進	Case-31	Case-32	Case-33		
		後進	Case-34	Case-35	Case-36		

*1：荷重条件は、搭載するウェイトのみの重量を記載した。表の荷重条件のウェイトに試験装置（約 0.83ton）を足し合せた重量がエアベアリングに負荷した合計重量となる。

*2：妻壁側⇒作業台側方向を“前進”、妻壁側←作業台側方向を“後進”とする。

*3：試験は区間毎（区間Ⅰ～Ⅲ）に実施した。低い荷重条件で走行不可だった場合は、より高い荷重条件の試験は中止とした。

*4：走行速度については、ウィンチの回転数による設定目標値。

(b) モルタル補修後の走行確認試験

区間Ⅰ 走行面のへアクラックによる走行可否への影響も確認するため、クラックをモルタル補修した後に、区間Ⅰの走行確認試験を実施した。浮上量は地上鋼製模擬坑道での初期設定値である 40mmに設定した。試験ケースを、

表 3.3.1-7 に示す。ウェイト重量は 2ton、6 ton、14.125ton の計 3 種類とし、要素試験装置の走行方向を前進、後進の各 2 方向に試験を実施した。試験結果の再現性確認も考慮し、荷重 6 ton 設定時は前後進で各 5 回、荷重 14.125 ton 設定時は前後進で各 5 回試験を実施した。

表 3.3.1-7 要素試験 試験ケース（モルタル補修後の走行確認）

地下要素試験ケース（モルタル補修後の走行確認）				
荷重条件*1 ウェイト重量 (ton)	設定 浮上量	走行方向*2	試験ケース番号*3	走行速度 (m/min) *4
			区間 I	
2	40mm	前進	Case-39	5
		後進	Case-40	
6		前進 1 回目	Case-41	
		後進 1 回目	Case-42	
		前進 2 回目	Case-43	
		後進 2 回目	Case-44	
		前進 3 回目	Case-45	
		後進 3 回目	Case-46	
		前進 4 回目	Case-47	
		後進 4 回目	Case-48	
14.125		前進 1 回目	Case-49	
		後進 1 回目	Case-50	
		前進 2 回目	Case-51	
		後進 2 回目	Case-52	
		前進 3 回目	Case-53	
		後進 3 回目	Case-54	
		前進 4 回目	Case-55	
		後進 4 回目	Case-56	
		前進 5 回目	Case-57	
		後進 5 回目	Case-58	

*1：荷重条件は、搭載するウェイトのみの重量を記載した。表の荷重条件のウェイトに試験装置（約 0.83ton）を足し合せた重量がエアベアリングに負荷した合計重量となる。

*2：妻壁側⇒作業台側方向を“前進”、妻壁側←作業台側方向を“後進”とする。

*3：試験は、補修後の区間 I でのみ実施した。

*4：走行速度については、ウィンチの回転数による設定目標値。

(c) 全区間連続走行確認試験

(a)(b)の結果を踏まえ、平成 31 年度予定の実機による地下実証試験により近い条件でのデータを取得するため、各打ち継ぎ目部をアルミテープで養生し、全区間を連続走行可能な状態で試験を実施した。浮上量は 55mm に設定した。試験ケースを、表 3.3.1-8 に示す。走行区間は、区間 I ~ 区間 III の全区間（区間 I はモルタル部補修後）を連続走行させた。ウェイト重量は 2ton、6 ton、14.125ton の計 3 種類とし、要素試験装置の走行方向を前進、後進の各 2 方向に試験を実施

した。試験結果の再現性も考慮し、荷重 2ton、6 ton 設定時は前後進で各 3 回、荷重 14.125 ton 設定時は前後進で各 5 回試験を実施した。

表 3.3.1-8 要素試験 試験ケース (全区間連続走行確認)

地下要素試験ケース (全区間連続走行確認)				
荷重条件*1 ウェイト重量 (ton)	設定 浮上量	走行方向*2	試験ケース番号*3	走行速度 (m/min) *4
			区間 I ~区間III (連続走行)	
2	55mm	前進 1 回目	Case-59	5
		後進 1 回目	Case-60	
		前進 2 回目	Case-61	
		後進 2 回目	Case-62	
		前進 3 回目	Case-63	
		後進 3 回目	Case-64	
6		前進 1 回目	Case-65	
		後進 1 回目	Case-66	
		前進 2 回目	Case-67	
		後進 2 回目	Case-68	
		前進 3 回目	Case-69	
		後進 3 回目	Case-70	
14.125		前進 1 回目	Case-71	3.5
		後進 1 回目	Case-72	
		前進 2 回目	Case-73	
		後進 2 回目	Case-74	
		前進 3 回目	Case-75	
		後進 3 回目	Case-76	
	前進 1 回目	Case-77	5	
	後進 1 回目	Case-78		
	前進 2 回目	Case-79		
	後進 2 回目	Case-80		
	前進 3 回目	Case-81		
	後進 3 回目	Case-82		
前進 4 回目	Case-83			
後進 4 回目	Case-84			
前進 5 回目	Case-85			
後進 5 回目	Case-86			

*1 : 荷重条件は、搭載するウェイトのみの重量を記載した。表の荷重条件のウェイトに試験装置 (約 0.83ton) を足し合せた重量がエアベアリングに負荷した合計重量となる。

*2：妻壁側⇒作業台側方向を“前進”、妻壁側←作業台側方向を“後進”とする。

*3：試験は全区間（区間Ⅰ～Ⅲ）を連続走行して実施した。試験時、打設継ぎ目部（計3継ぎ目）はアルミテープで養生した。

*4：走行速度については、ウィンチの回転数による設定目標値。

3.3.2 試験結果

(1) 走行可否の確認結果

要素試験で実施した、設定浮上量、重量、走行区間における走行可否をまとめた確認結果一覧を表 3.3.2-1 に示す。

1) モルタル部補修前の走行確認試験（標準ケース）

モルタル部補修前の走行確認試験では、設定浮上量を 40mmとした場合は、ウェイト重量が 2 t や 6 t でもクラックや気泡痕箇所によりエアベアリングが潰れて空気漏れにより正常作動せず、装置がスタックして走行不可となった。

また、設定浮上量を 55mmとした場合は、全ての区間（区間Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）において、ウェイト重量が最大 14.125 t でも走行可能であった。

2) モルタル補修後の走行確認試験

モルタル部補修後の走行確認試験では、ウェイト重量が最大 14.125 t でも設定浮上量 40mm で走行可能であった。試験は、14.125 t では 5 往復実施したが、何れも同様の結果となった。

3) 全区間連続走行確認試験

全区間連続走行確認試験では、各打ち継ぎ目部をアルミテープで養生した結果、継ぎ目部でスタックすることなく、全区間を連続走行できた。試験は、14.125 t では 5 往復実施したが、何れも同様の結果となった。

表 3.3.2-1 走行可否の確認結果一覧表

妻側

坑口側

				区間Ⅰ モルタル部	区間Ⅱ	区間Ⅲ
				13.48m		4.5m 0m
重量	速度	方向	設定 浮上量			
2t	5m/min	⇒	40mm	Case-1 × (クラックでスタック)	Case-2 × (9m、11mの気泡痕でスタック)	Case-3 ○
		←	40mm	Case-4 —	Case-5 —	Case-6 × (クラックでスタック)
		⇒	55mm	Case-7 ○	Case-8 ○	Case-9 ○
		←	55mm	Case-10 ○	Case-11 ○	Case-12 ○
6t	5m/min	⇒	40mm	Case-13 × (クラックでスタック)	Case-14 × (4m、11mの気泡痕でスタック)	Case-15 —
		←	40mm	Case-16 —	Case-17 —	Case-18 ○
		⇒	55mm	Case-19 ○	Case-20 ○	Case-21 ○
		←	55mm	Case-22 ○	Case-23 ○	Case-24 ○
14.125t	5m/min	⇒	40mm	Case-25 —	Case-26 —	Case-27 —
		←	40mm	Case-28 —	Case-29 —	Case-30 ○
		⇒	55mm	Case-31 ○	Case-32 ○	Case-33 ○
		←	55mm	Case-34 ○	Case-35 ○	Case-36 ○
以下、区間Ⅰモルタルのクラック箇所補修後の試験						
2t	5m/min	⇒	40mm	Case-39 ○	—	—
		←	40mm	Case-40 ○	—	—
6t	5m/min	⇒	40mm	Case-41、-43、-45、-47 ○ (全Caseで走行)	—	—
		←	40mm	Case-42、-44、-46、-48 ○ (全Caseで走行)	—	—
14.125t	5m/min	⇒	40mm	Case-49、-51、-53、-55、-57 ○ (全Caseで走行)	—	—
		←	40mm	Case-50、-52、-54、-56、-58 ○ (全Caseで走行)	—	—
2t	5m/min	⇒	55mm	Case-59、-61、-63 ○ (全Caseで、全区間走行)		
		←	55mm	Case-60、-62、-64 ○ (全Caseで、全区間走行)		
6t	5m/min	⇒	55mm	Case-65、-67、-69 ○ (全Caseで、全区間走行)		
		←	55mm	Case-66、-68、-70 ○ (全Caseで、全区間走行)		
14.125t	3.5m/min	⇒	55mm	Case-71、-73、-75 ○ (全Caseで、全区間走行)		
		←	55mm	Case-72、-74、-76 ○ (全Caseで、全区間走行)		
14.125t	5m/min	⇒	55mm	Case-77、-79、-81、-83、-85 ○ (全Caseで、全区間走行)		
		←	55mm	Case-78、-80、-82、-84、-86 ○ (全Caseで、全区間走行)		

○: 区間全走行、×: スタック箇所までデータ取得、—: 未実施、⇒: 前進、←: 後進

(2) 試験結果

要素試験の全試験結果（データ）を付属書 1 に示す。全試験結果（データ）には地下要素試験並びに地上要素試験の全データを含む。また、図 3.3.2-1 に幌延URLでの要素試験の様子を示す。

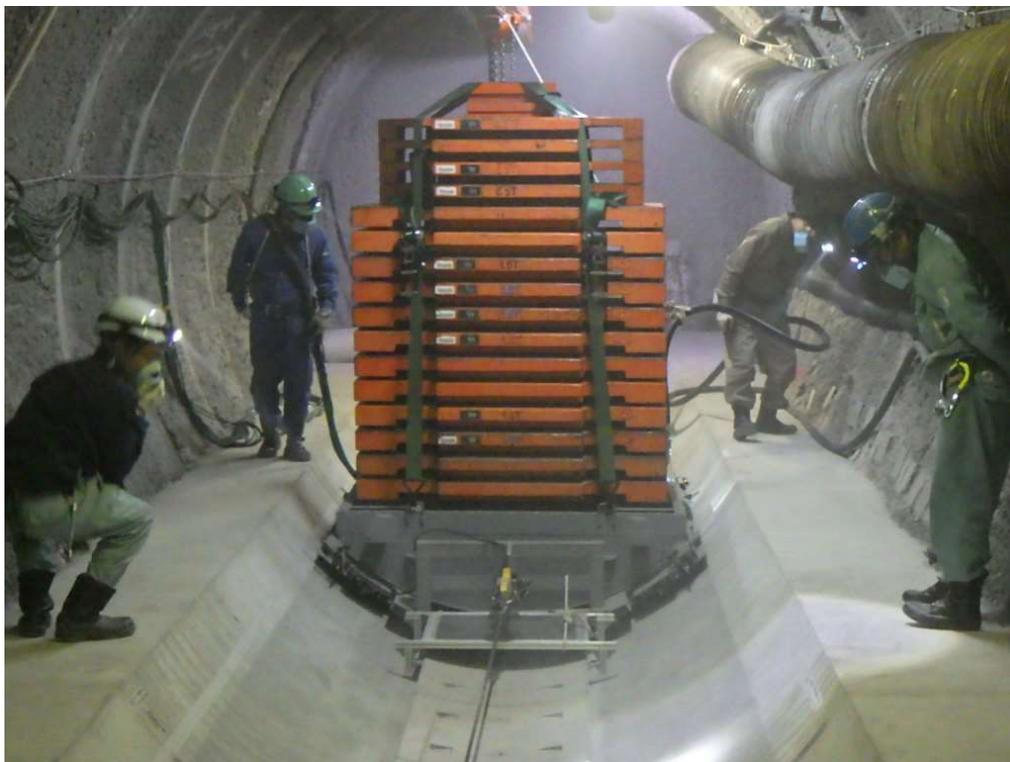


図 3.3.2-1 幌延URL試験坑道2での要素試験の様子

本項では、試験結果の内、後述する実機への反映へ繋げるための代表例として、ウェイト重量14.125tonを全区間連続走行で前後進させたCase-77及び、Case-78のデータを例示する。Case-77の走行位置と流量、圧力、牽引力、浮上量の試験結果を図3.3.2-2に示す。また、Case-78の走行位置と流量、圧力、牽引力、浮上量の試験結果を図3.3.2-3に示す。

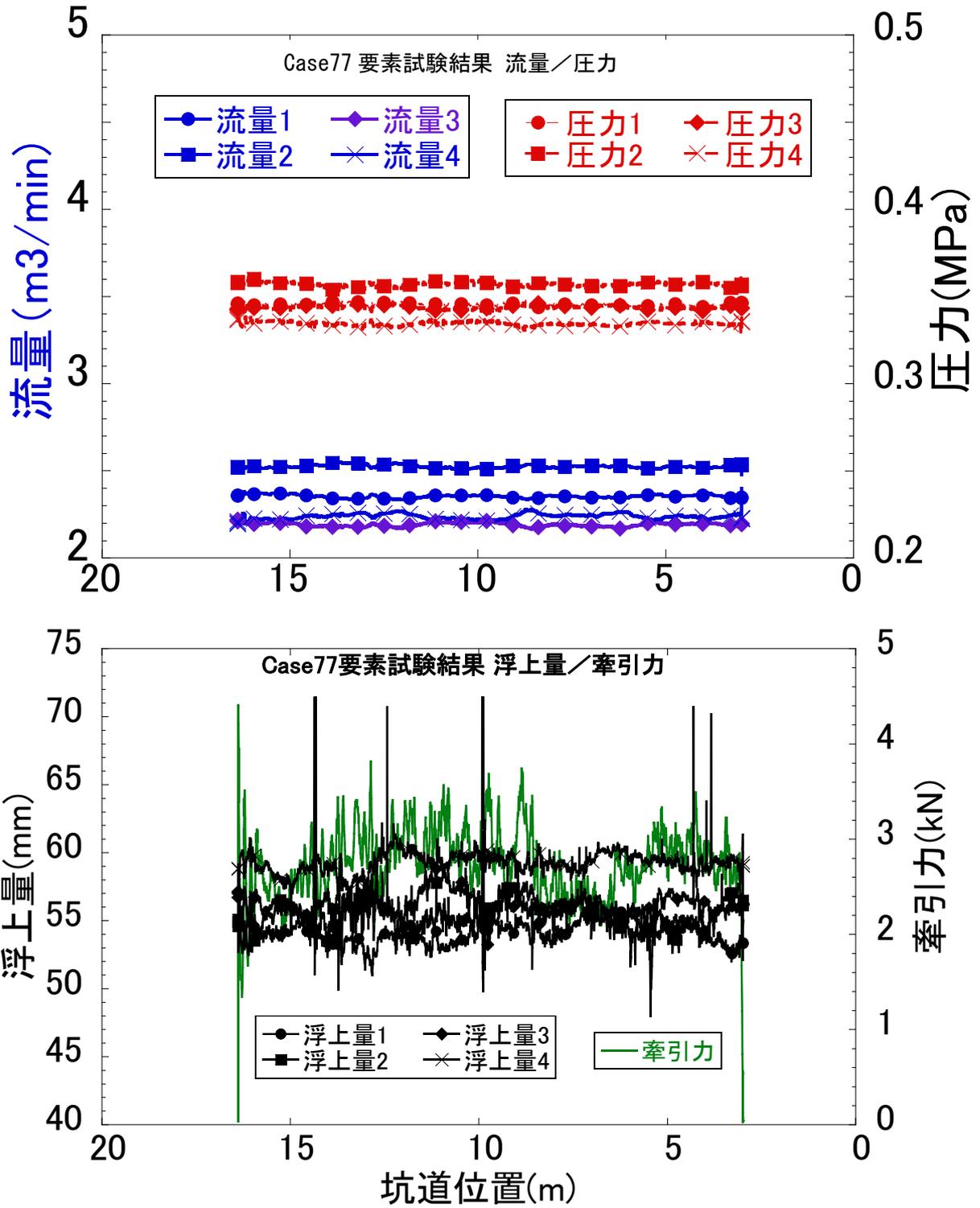


図 3.3.2-2 Case-77 (連続走行確認試験、浮上量 55mm 5m/min 前進 1 回目)

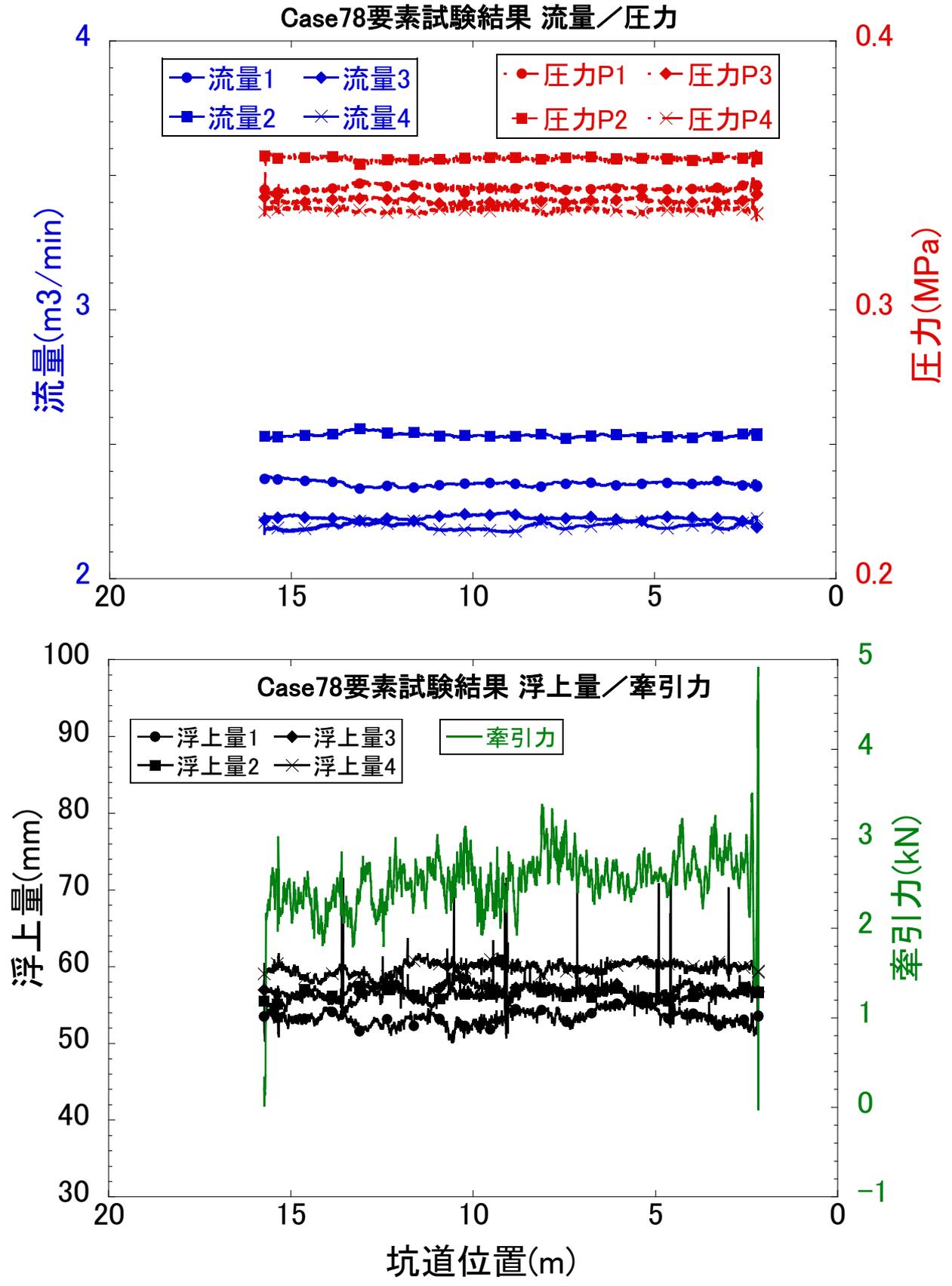


図 3.3.2-3 Case-78 (連続走行確認試験、浮上量 55mm 5m/min 後進 1回目)

3.3.3 試験データの分析

(1) 走行データの評価方法

1) 負荷の整理

本事業では、回収対象となる模擬 PEM 総重量は 36.5ton と設定しているが、定置装置の実機や要素試験装置において、各々のエアベアリングに掛かる負荷としては、模擬 PEM や試験荷重の他に各装置の自重も含まれる。試験データの評価に際し、上記を踏まえたエアベアリングに掛かる負荷を整理して表 3.3.3-1 に示す。

表 3.3.3-1 要素試験でエアベアリングに掛かる負荷の整理

装置	エアベアリング枚数	自重 (ton)	試験荷重 ^(*) (ton)			
			2	6	14.125	36.5
要素試験装置	4	0.83	2.83	6.83	14.955	—
定置装置実機	10	0.9	—	—	—	37.4
エアベアリング一枚当たりの平均負荷			0.71	1.71	3.74	3.74

(*)各試験ウェイトもしくは模擬 PEM の重量

2) 空気消費量（総流量）の評価

空気消費量（流量）は各エアベアリングへの空気流入流量を計測しているが、要素試験の総流量の評価の際は、以下の二通りを区分けして評価する。

a 各流量計の総和

$$\text{各流量計の総和} : Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + \dots + q_n$$

b 最大流量の倍数

$$\text{最大流量の倍数} : Q_{\text{MAX}} = \text{MAX}(q_i) \times n$$

3) 空気圧力の評価

空気圧力は、実機、要素試験装置共に、各エアベアリングへの配管にレギュレータ（圧力計）を設置して計測しており、各エアベアリングの圧力計測値を評価する。

4) 走行時の定常状態について

初動（走行開始）時は、行き帰りで走行面状態が違ったり、初速を得るための牽引力のばらつきがあることから、走行開始や停止時を除いた設定速度で安定した状態となる時間帯のみ抜き取り、“定常状態”と呼称して評価することとした。また、その逆に走行開始の直後や走行停止の時間帯を“非定常状態”と呼称し、定常状態と区分けすることとした。

図 3.3.3-1 に定常状態の設定例を示す。図 3.3.3-1 上図に示す通り、上下動（振幅）が大きいデータについては、目安として基本的に 3 山程度を安定していない箇所と判断し、“定常状態”から除外することとした。ただし、図 3.3.3-1 下図に示すようにより早く値が安定するデータにおいては、3 山以内でも安定した箇所を判断し、以降を定常状態と設定した。（図 3.3.3-1 下図におい

ては上、下共に 1 山分を除外している。) 参考例として、Case-77 での定常状態の範囲を図 3.3.3-2 に示す。

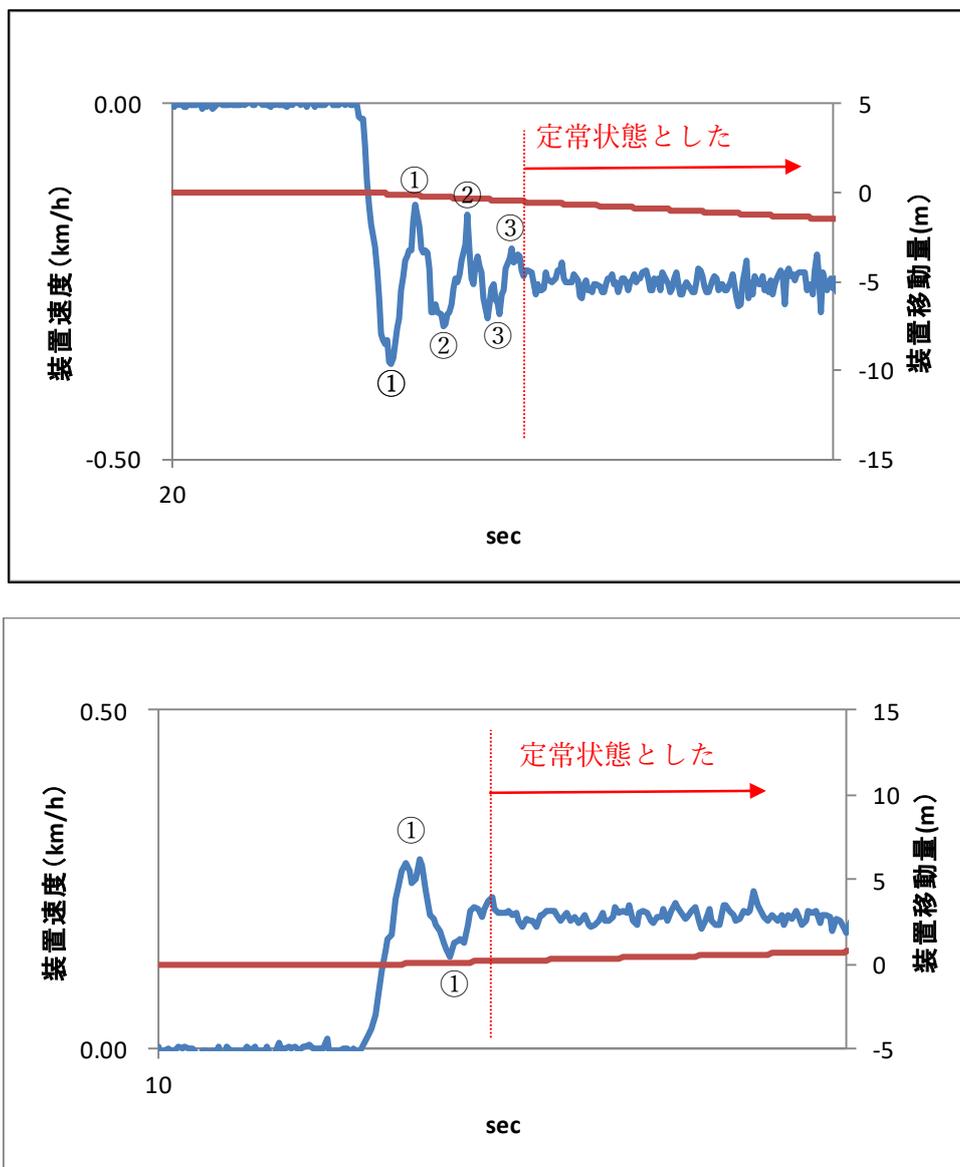


図 3.3.3-1 定常状態の設定例

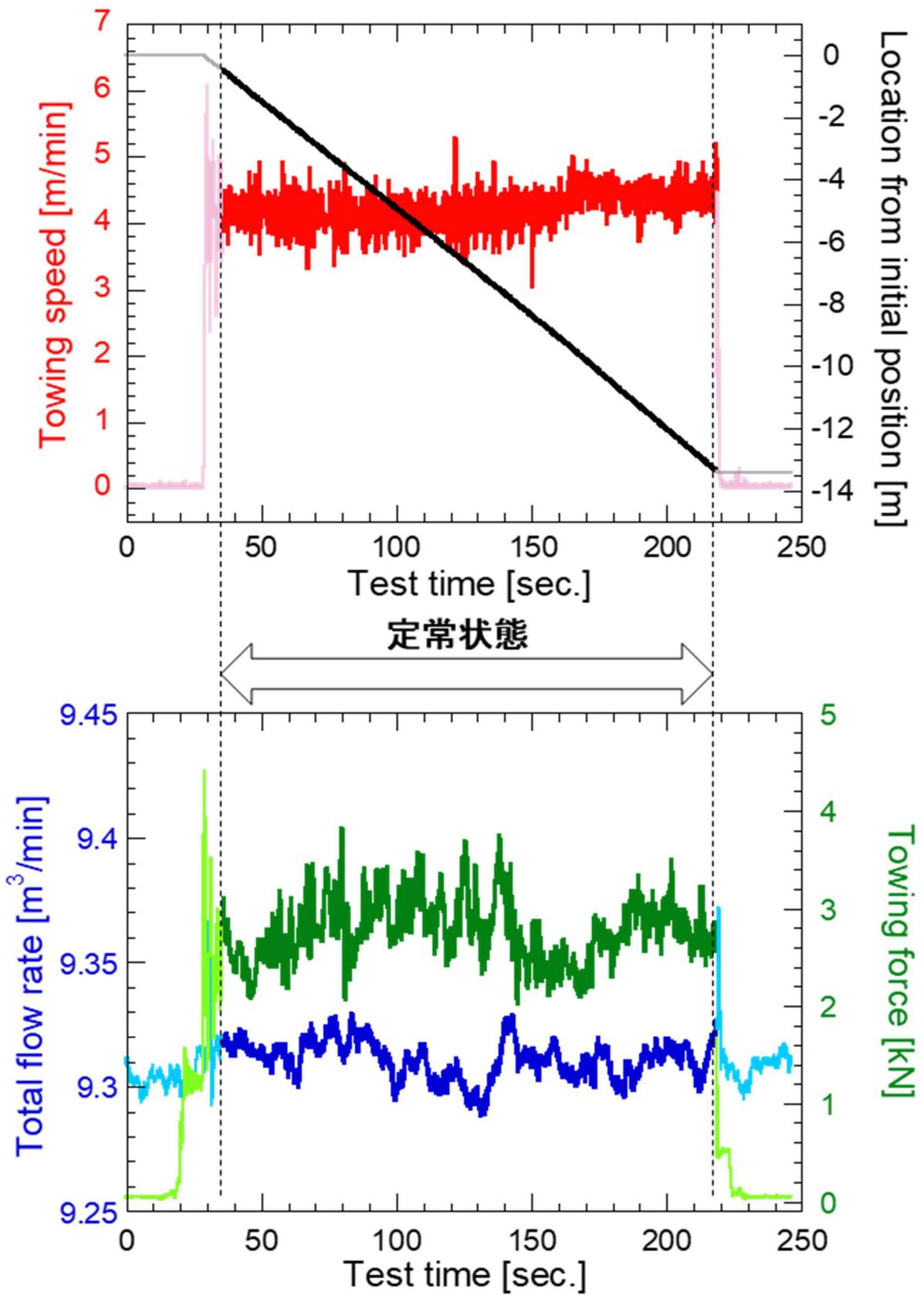


図 3.3.3-2 定常状態の範囲 (Case-77)

5) データの分布について

4)定常状態の各データは、ウィンチロープによるバウンド（牽引力が作用する“引張り”時間とその前後のロープの“たるみ”の時間）により、値が上下に変動している。これらの試験装置の性質上の変動幅を踏まえた評価をするため、各データの度数分布（ヒストグラム）を作成し、計測データの最大値、最小値と最頻値を抽出した。例として、図 3.3.3-3 に Case-77 の総空気流量と牽引力の度数分布（ヒストグラム）を示す。また、表 3.3.3-2 に図 3.3.3-3 から抽出した最大値、最小値、最頻値を示す。

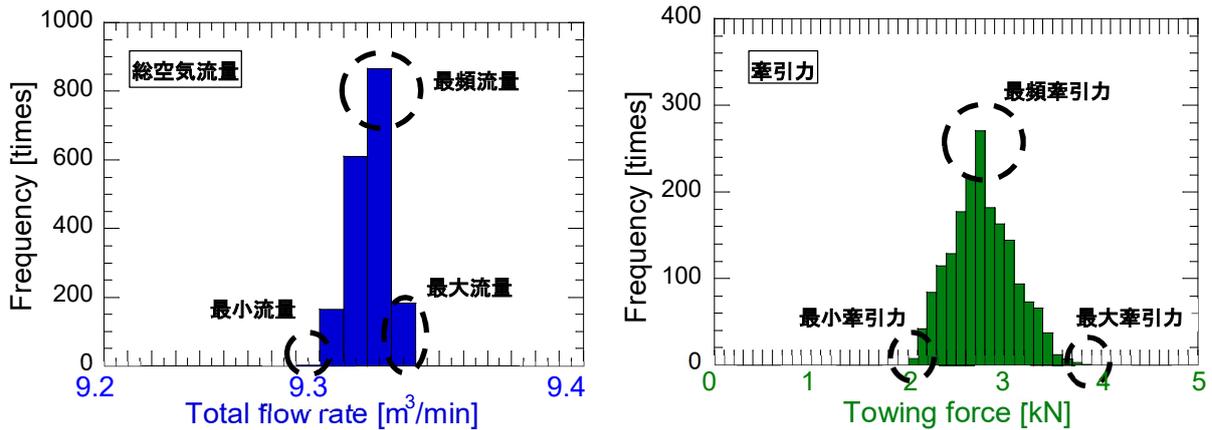


図 3.3.3-3 空気総流量、牽引力の度数分布（ヒストグラム）の例（Case-77）

表 3.3.3-2 最大値、最小値、最頻値の例（Case-77）

	最大値	最小値	最頻値
空気総流量(m³/min)	9.38	9.29	9.32
牽引力(kN)	3.9	2.1	2.8

(2) 試験荷重、エアベアリング枚数の影響（評価①）

試験荷重、エアベアリング枚数による影響評価として、実機と要素試験装置の地上鋼製模擬坑道での試験結果を比較した。比較条件としては、エアベアリング1枚あたりの重量を同じとし、また、浮上量設定値 40~45mm、速さ設定値 5m/min の場合とした。各々の総空気流量と牽引力のログデータを、図 3.3.3-4 と図 3.3.3-5 に示す。

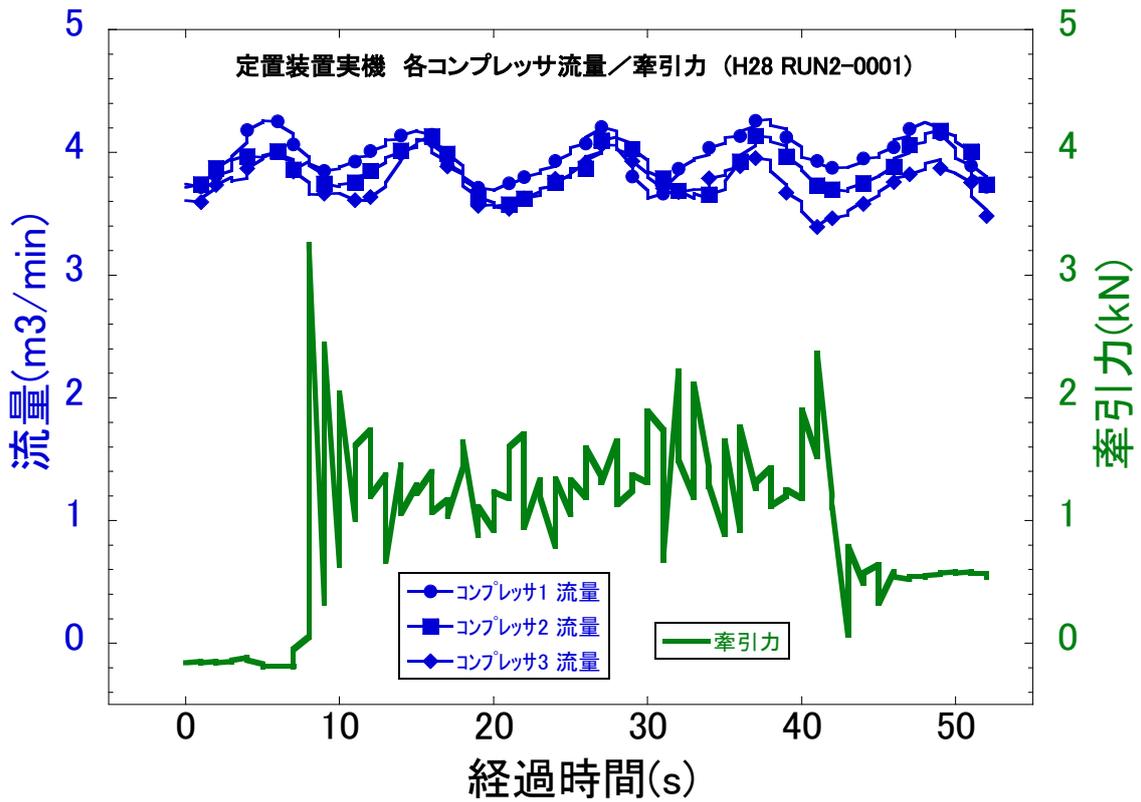


図 3.3.3-4 定置装置実機 地上鋼製模擬坑道 浮上量 40mm設定、5m/min 設定

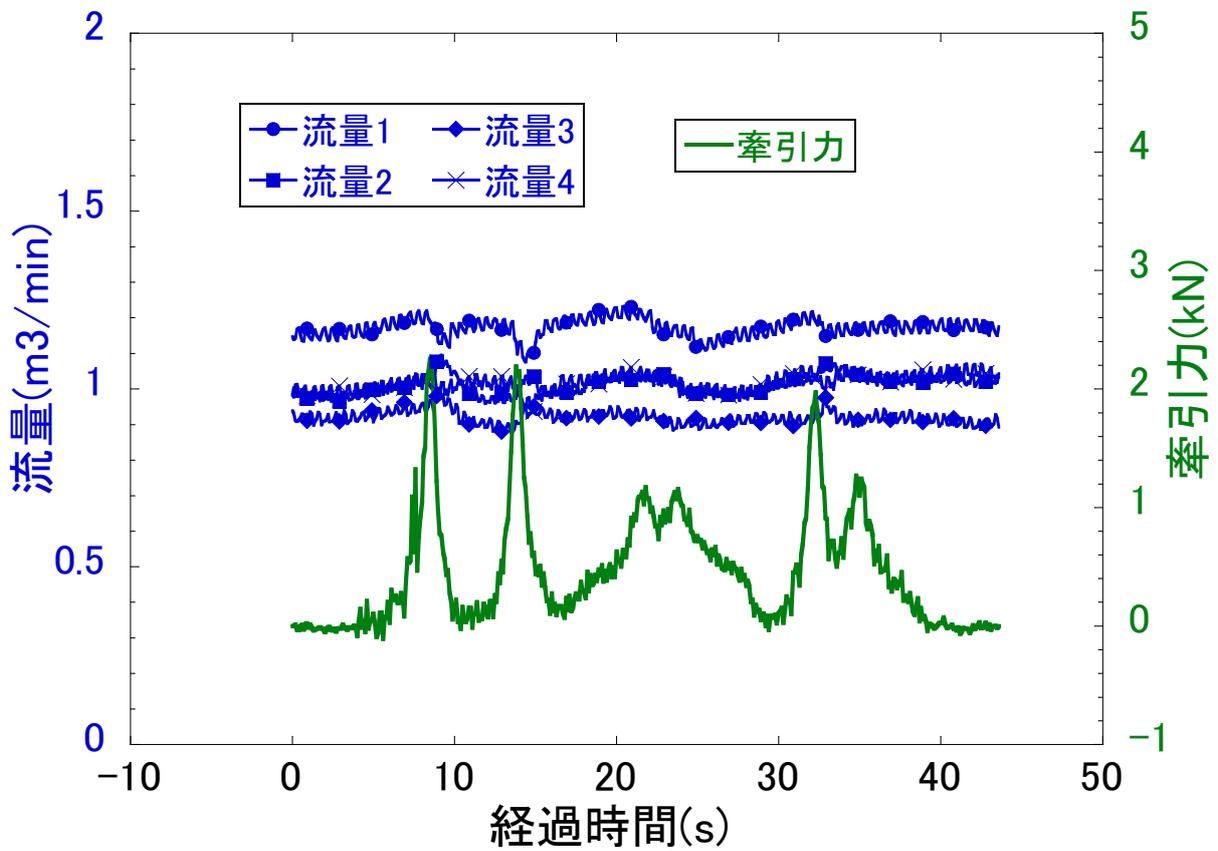


図 3.3.3-5 要素試験装置 地上鋼製模擬坑道 浮上量 40mm 設定、5m/min 設定

1) 空気総流量

地上鋼製模擬坑道における要素試験装置と実機の総空気流量の比較を図 3.3.3-6 に示す。定常状態での総空気流量 $Q(\text{m}^3/\text{min})$ を評価するために、最頻値の値を比較すると以下となる。

$$(\text{実機の最頻総空気流量} / \text{要素試験装置の最頻総空気流量}) = 11.3 / 4.16 \approx 2.7$$

よって、定常状態では、

$$(\text{実機の総空気流量}) \approx 2.7 \times (\text{要素試験装置の総空気流量})$$

となり、理論値の 2.5 倍（エアベアリング 10 枚/4 枚）より高くなることを確認した。

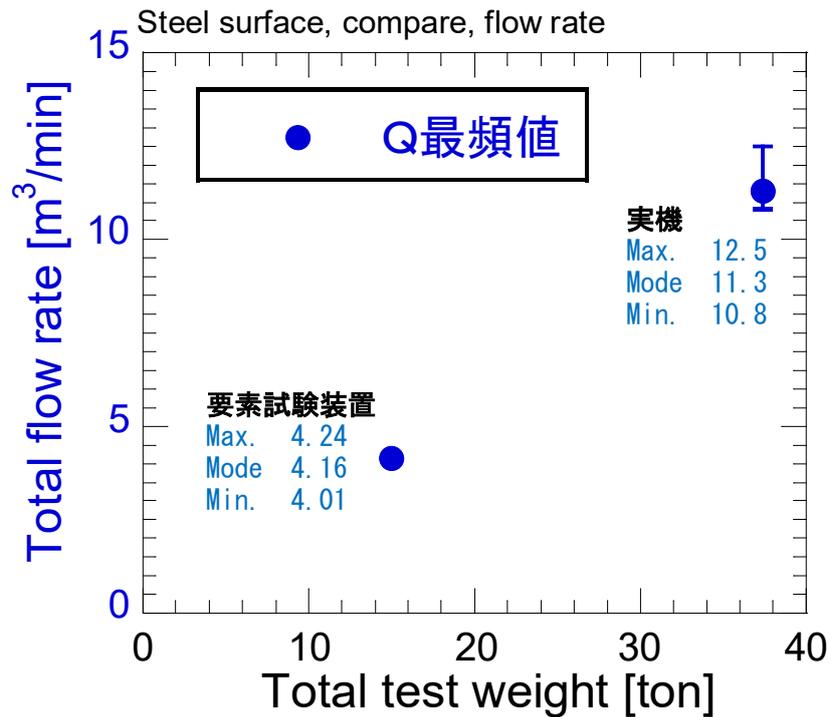


図 3.3.3-6 地上鋼製模擬坑道における要素試験装置と実機の総空気流量の比較

2) 牽引力

地上鋼製模擬坑道における要素試験装置と実機の牽引力の比較を図 3.3.3-7 に示す。定常状態で牽引力(kN)を評価するために、最頻値の値を比較すると以下となる。

$$(\text{実機の最頻牽引力} / \text{要素試験装置の最頻牽引力}) = 1.2 / 0.5 \approx 2.4$$

よって、定常状態では、

$$(\text{実機の牽引力}) \approx 2.4 \times (\text{要素試験装置の牽引力})$$

となり、理論値の 2.5 倍 (エアベアリング 10 枚/4 枚) より低くなることを確認した。

また、参考として上記の場合の動摩擦係数 μ' を以下のとおり算出した。

$$\mu' = (1.2 \times 1000 / 9.8) / (37.4 \times 1000) \approx 0.0033$$

これは、一般的にエアベアリング使用する平滑平面での動摩擦係数 (0.001~0.007) とほぼ一致した値となる。

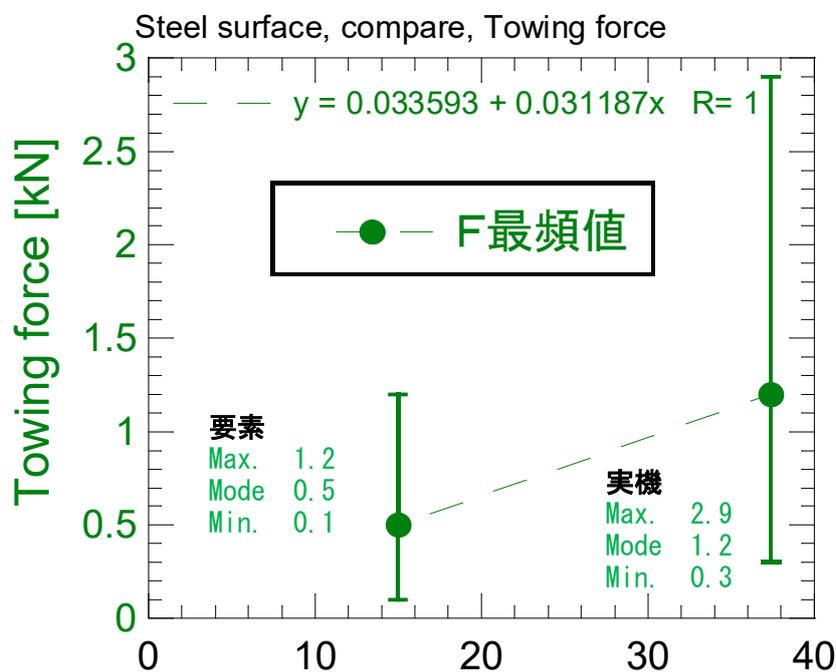


図 3.3.3-7 地上鋼製模擬坑道における要素試験装置と実機の牽引力の比較

(3) 浮上量変更の影響 (評価②)

浮上量変更による影響評価として、要素試験装置 (地上) と要素試験装置 (地下) における試験結果を比較した。比較条件としては、速さ設定値 5m/min とした。

まず、要素試験装置の地上鋼製模擬坑道での試験結果は、前出の図 3.3.3-5 に示すとおりである。総重量 14.955t (一枚当たりの負荷は (模擬 PEM + 定置装置) 相当)、浮上量設定値 40-45mm となる流量で走行可能であることが確認できる。

次に、要素試験装置の地下現場打設コンクリート坑道の例として、Case-14 (負荷総重量 6.83t) での試験結果 (浮上量のログデータ) を図に示す。

図より、浮上量設定値 40mm となる流量では、走行途中でのエアベアリングからの空気漏れにより、エアベアリングが潰れ (=浮上量が低下し) 走行不可能であった。

このため、地下要素試験では設定浮上量を 55mm として、再度試験を実施した。図 3.3.3-9 に設定浮上量 55mm のときの例として、負荷総重量 6.83t の Case-65 の走行データを示す。Case-65 も含め、設定浮上量を 55mm とした場合は、模擬 PEM 相当の負荷条件でも全区間走行可能であることを確認した。

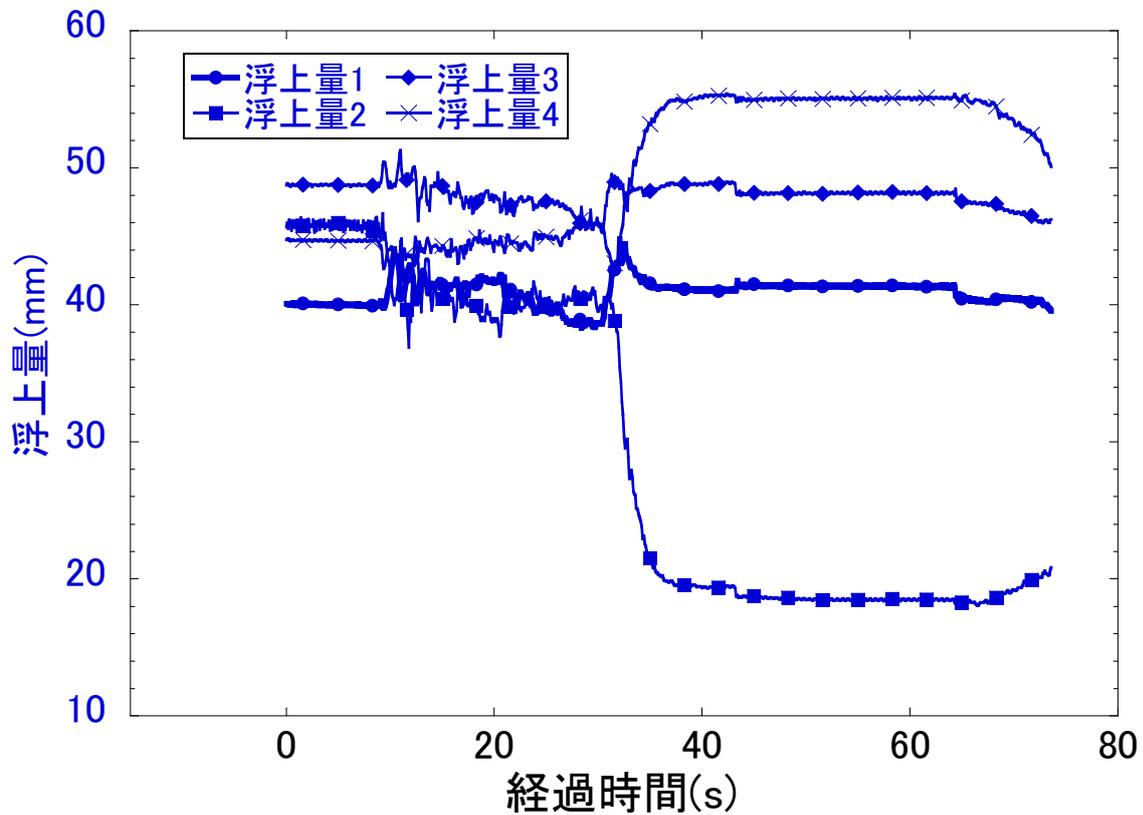


図 3.3.3-8 Case-14 浮上量 (総負荷 6.83ton、浮上 40mm 設定、区間Ⅱ、5m/min)

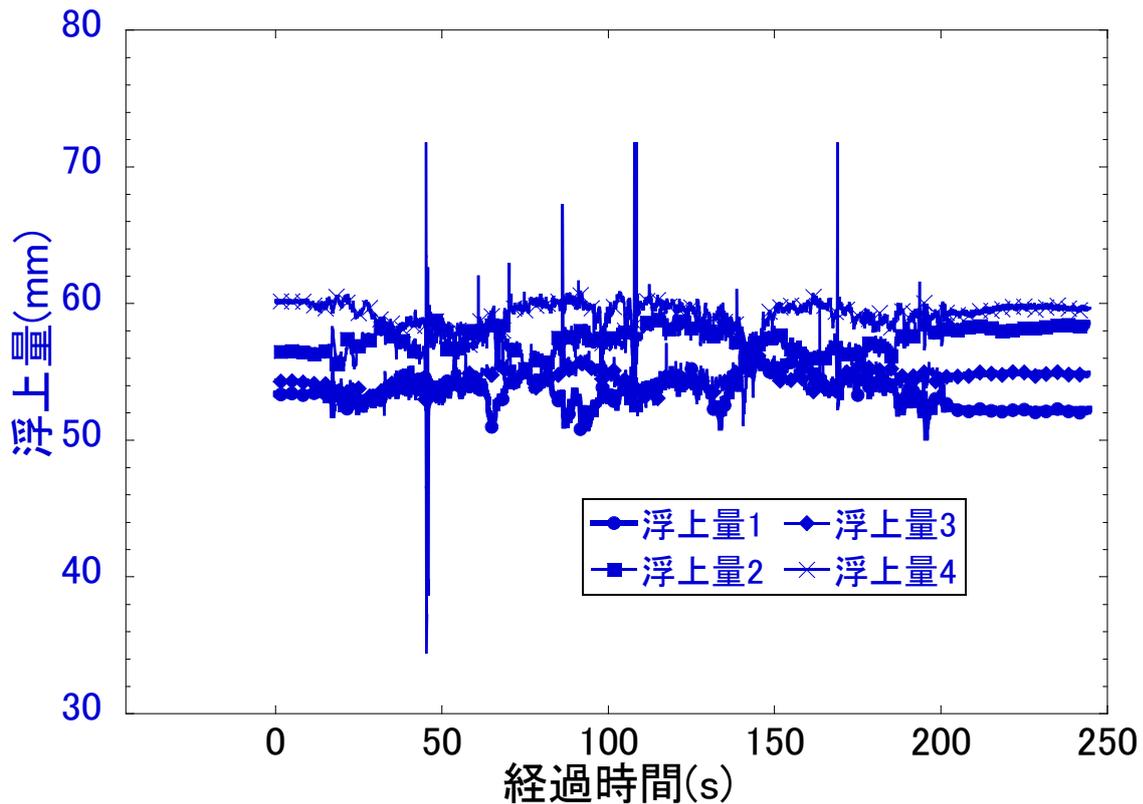


図 3.3.3-9 Case-65 浮上量 (総負荷 6.83ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)

浮上量変更による影響評価として、エアベアリング浮上かつ走行 (要素試験ではウィンチ牽引) 前停止の状態 (以下、「静止時」という。) における総空気流量値を比較した。各要素試験におけるエアベアリング浮上 (かつ走行前停止状態) 時の総空気流量の集計まとめを表 3.3.3-3 に示し、合わせて該当地下要素試験番号も記す。地下要素試験における設定浮上量 40mm と 55mm の比較をするため、地下についてはモルタル補修後の区間 I での値となっている。

表 3.3.3-3 静止時の総空気供給量のまとめ

負荷 総重量 (ton)	地上 浮上 40mm 設定			地下 浮上 40mm 設定			地下 浮上 55mm 設定		
	最小 (m ³ /min)	最大 (m ³ /min)	最頻 (m ³ /min)	最小 (m ³ /min)	最大 (m ³ /min)	最頻 (m ³ /min)	最小 (m ³ /min)	最大 (m ³ /min)	最頻 (m ³ /min)
2.83	1.36	1.39	1.37	1.13	1.13	1.13	2.85	2.85	2.85
				Case-39			Case-61		
6.83	2.42	2.56	2.52	2.27	2.27	2.27	5.04	5.05	5.05
				Case-41			Case-65		
14.955	4.02	4.19	4.04	4.84	4.85	4.84	9.29	9.32	9.30
				Case-49			Case-79		

表 3.3.3-3 の内、各条件で負荷総重量との最頻総空気流量値を図 3.3.3-10 に示す。図 3.3.3-10

に示す近似式より、以下を確認した。

1) 地上鋼製面と地下坑道面の坑道表面による影響

浮上量 40mm設定での地上鋼製模擬坑道面と地下コンクリート模擬坑道面（区間 I モルタル補修面）における値は大きくは変わらないため、坑道表面による影響は軽微である、と考えられる。

2) 浮上量高さによる影響

地下コンクリート模擬坑道面における、浮上量 40mm設定と 55mm設定の比較については、以下の通りとなる。

$$(\text{浮上量 } 55\text{mm 近似式の傾き}) / (\text{浮上量 } 40\text{mm 近似式の傾き}) = 0.53116 / 0.30774 \approx 1.73$$

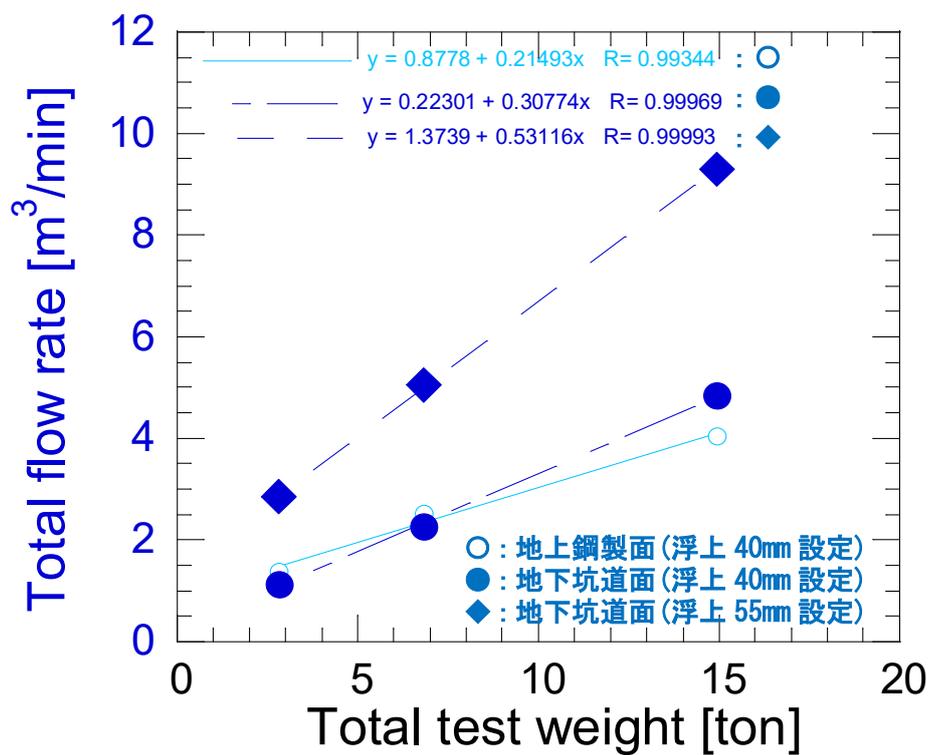


図 3.3.3-10 静止時の総空気供給量

(4) 坑道面の性状の影響（評価③）

坑道面の性状による影響評価として、要素試験装置の地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での試験結果を比較した。比較条件としては、エアベアリング1枚あたりの重量を同じとし、また、速さ設定値 5m/min の場合とした。

まず、要素試験装置の地上鋼製模擬坑道での試験結果は、前出の図 3.3.3-5 に示すとおりである。総重量 14.955t（一枚当たりの負荷は（模擬 PEM+定置装置）相当）、浮上量設定値 40mm となる流量で走行可能であることが確認できる。

次に、要素試験装置の地下現場打設コンクリート坑道での試験結果として、Case-77 のデータを図 3.3.3-11 に示す。

図 3.3.3-11 より、浮上量 55mm 設定となる流量で走行可能であることを確認が確認できる。

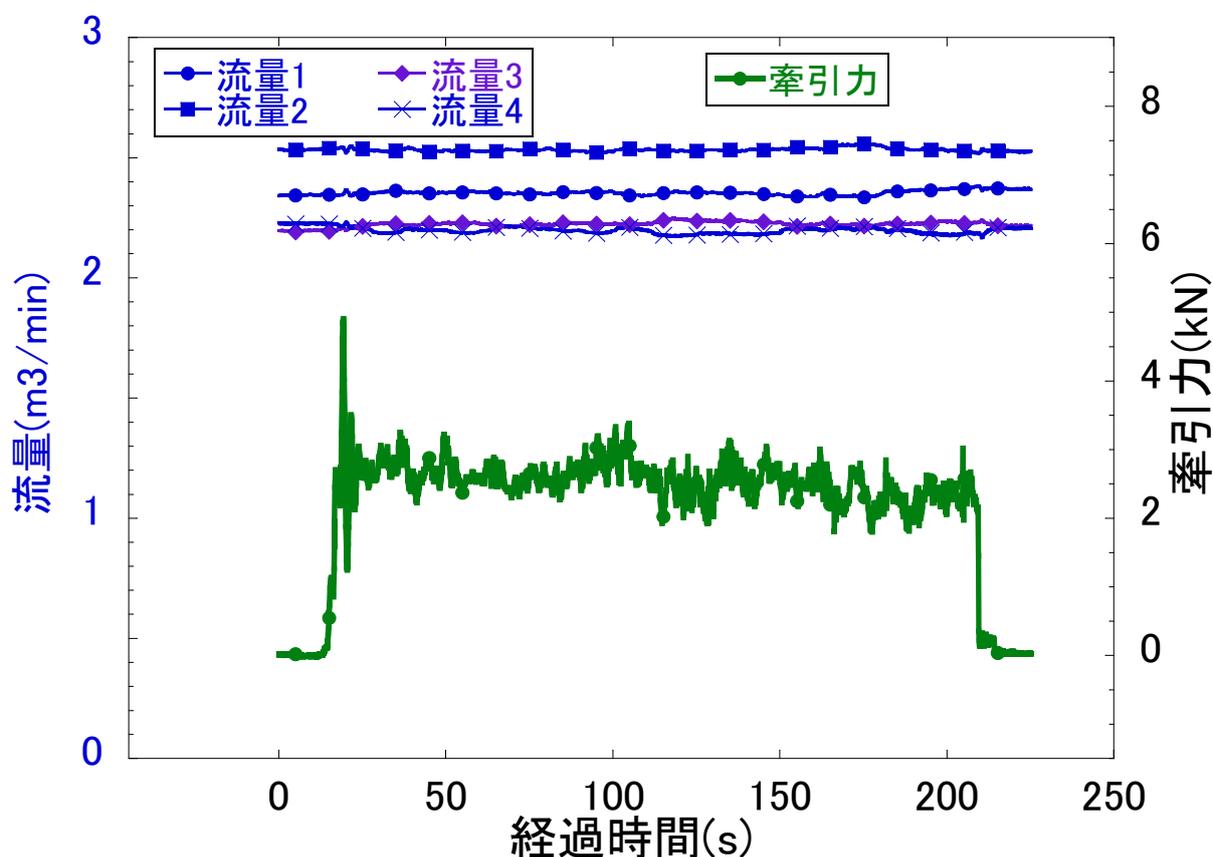


図 3.3.3-11 Case-77 流量、牽引力（総負荷 14.955ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min）

1) 空気総流量

要素試験の地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での総空気流量の比較を図 3.3.3-12 に示す。定常状態での総空気流量 $Q(\text{m}^3/\text{min})$ を評価するために、最頻値の値を比較すると以下となる。

$$(\text{地下の最頻総空気流量} / \text{地上の最頻総空気流量}) = 9.33 / 4.16 \approx 2.3$$

よって、定常状態では、

$$(\text{地下の総空気流量}) \approx 2.3 \times (\text{地上の総空気流量})$$

となることを確認した。なお、上記の係数 2.3 には、浮上量変更による要因も含む、と考えられる。

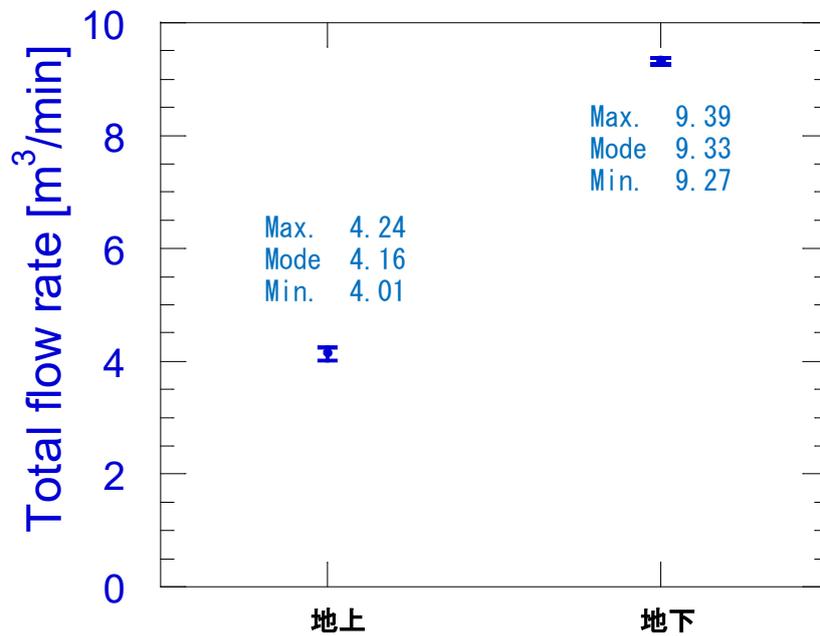


図 3.3.3-12 地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での総空気流量の比較

2) 牽引力

要素試験の地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での牽引力の比較を図 3.3.3-13 に示す。定常状態での総空気流量 $Q(\text{m}^3/\text{min})$ を評価するために、最頻値の値を比較すると以下となる。

$$(\text{地下の最頻牽引力} / \text{地上の最頻牽引力}) = 2.8 / 0.5 \approx 5.6$$

よって、定常状態では、

$$(\text{地下の牽引力}) \approx 5.6 \times (\text{地上の牽引力})$$

となることを確認した。なお、上記の係数牽引力には、浮上量変更による要因も含む、と考えられる。

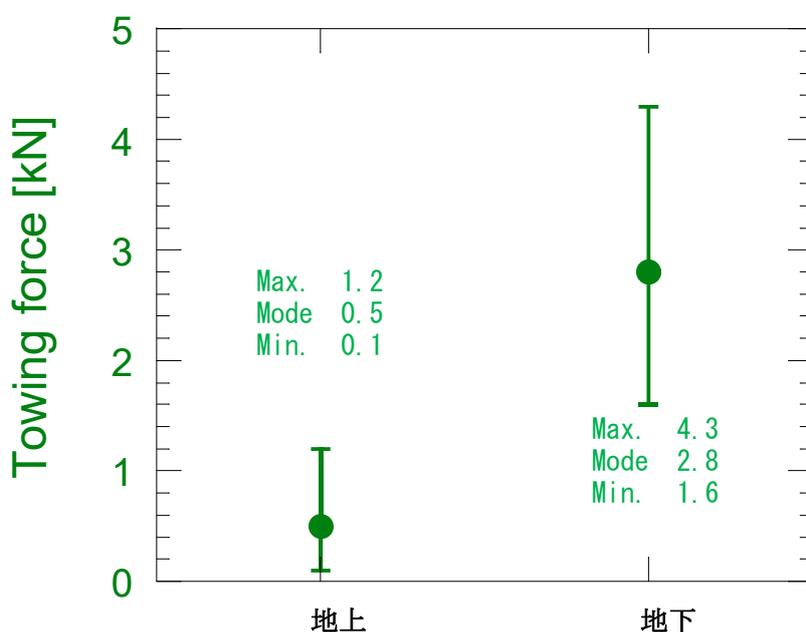


図 3.3.3-13 地上鋼製模擬坑道と地下コンクリート模擬坑道での牽引力の比較

(5) 走行時の特性 (地下現場打設コンクリート上での再現性) (評価④)

要素試験装置の地下現場打設コンクリート坑道での各負荷による試験結果の例として、Case-59、Case-65、Case-77 での各エアベアリング空気流量と牽引力のデータを各々図 3.3.3-14、図 3.3.3-15、図 3.3.3-16 に示す。比較条件としては全区間連続走行、浮上量 55mm 設定、牽引速度 5m/min 設定とした。

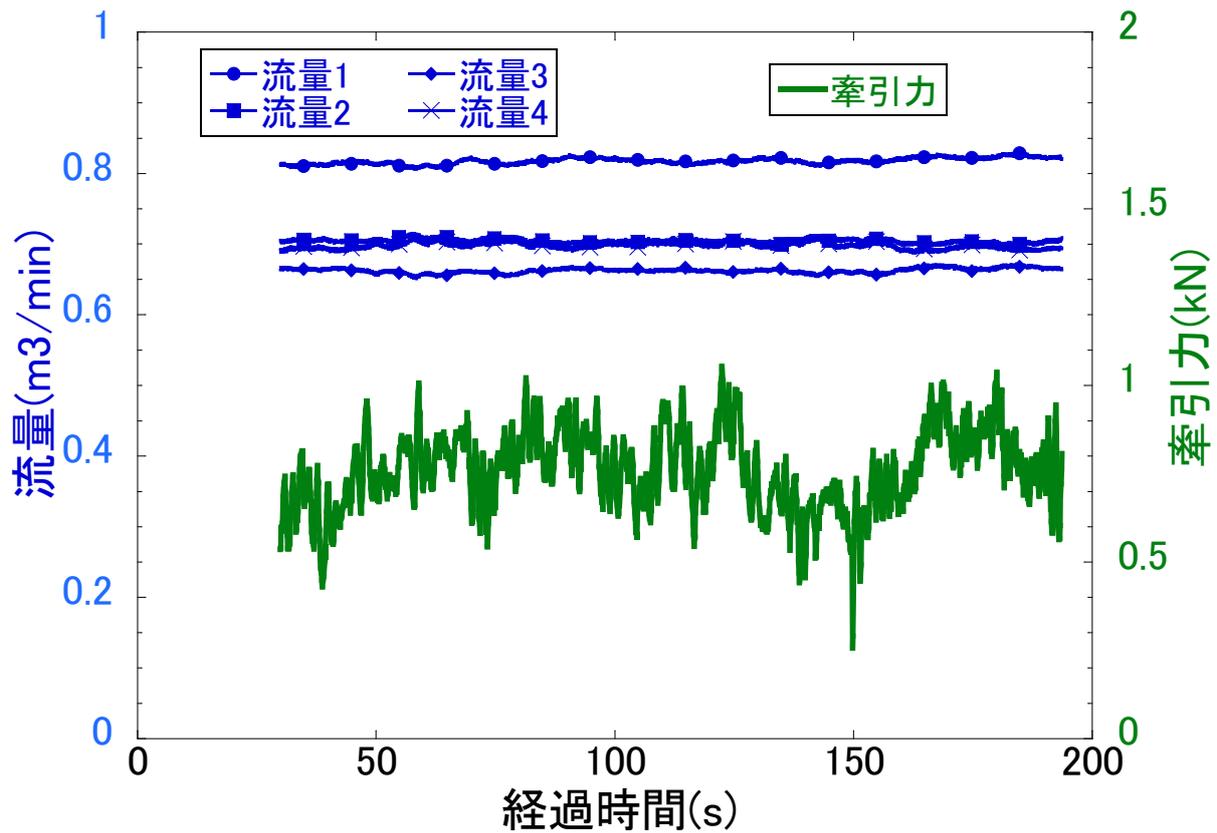


図 3.3.3-14 Case-59 流量、牽引力 (総負荷 2.83ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)

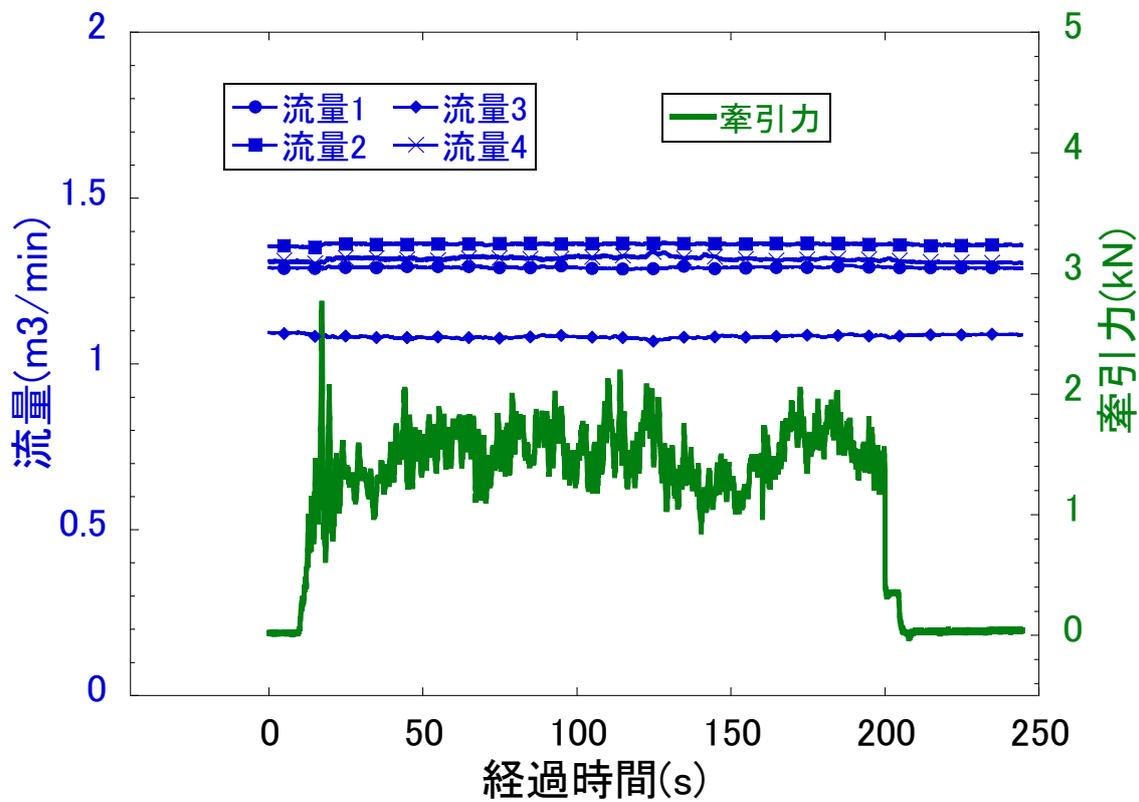


図 3.3.3-15 Case-65 流量、牽引力 (総負荷 6.83ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min)

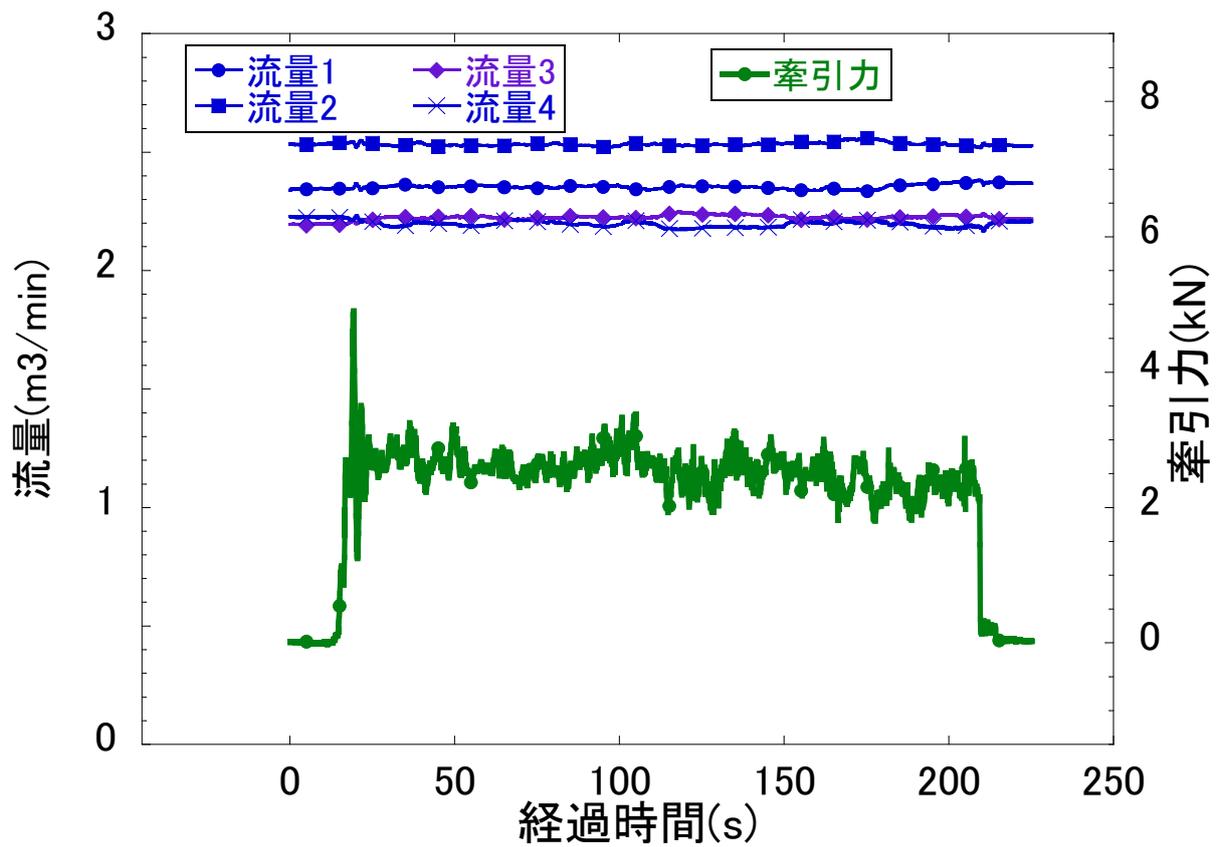


図 3.3.3-16 Case-77 流量、牽引力（総負荷 14.955ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min）

上記を含めた全区間連続走行試験における総空気流量と牽引力の最大値、最小値、最頻値をまとめ、表 3.3.3-4 に示す。

表 3.3.3-4 全区間連続走行試験における総空気流量と牽引力

総重量 (ton)	試験番号	総空気流量 Q : m ³ /min			牽引力 : kN		
		最小	最大	最頻	最小	最大	最頻
2.83	Case-59~64	2.68	2.91	2.71	0.1	1.4	0.6
6.83	Case-65~70	5.03	5.2	5.17	0.5	2.7	1.4
14.955	Case-77~86	9.27	9.39	9.33	1.6	4.3	2.8

また、表 3.3.3-4 における、複数回実施した全区間連続走行試験における試験毎の総空気流量と牽引力をまとめたものを図 3.3.3-17 と図 3.3.3-18 に示す。同図より、各試験（複数回）での総空気流量と牽引力は、概ね同様の数値、傾向を示しているため、試験結果の再現性を確認した。

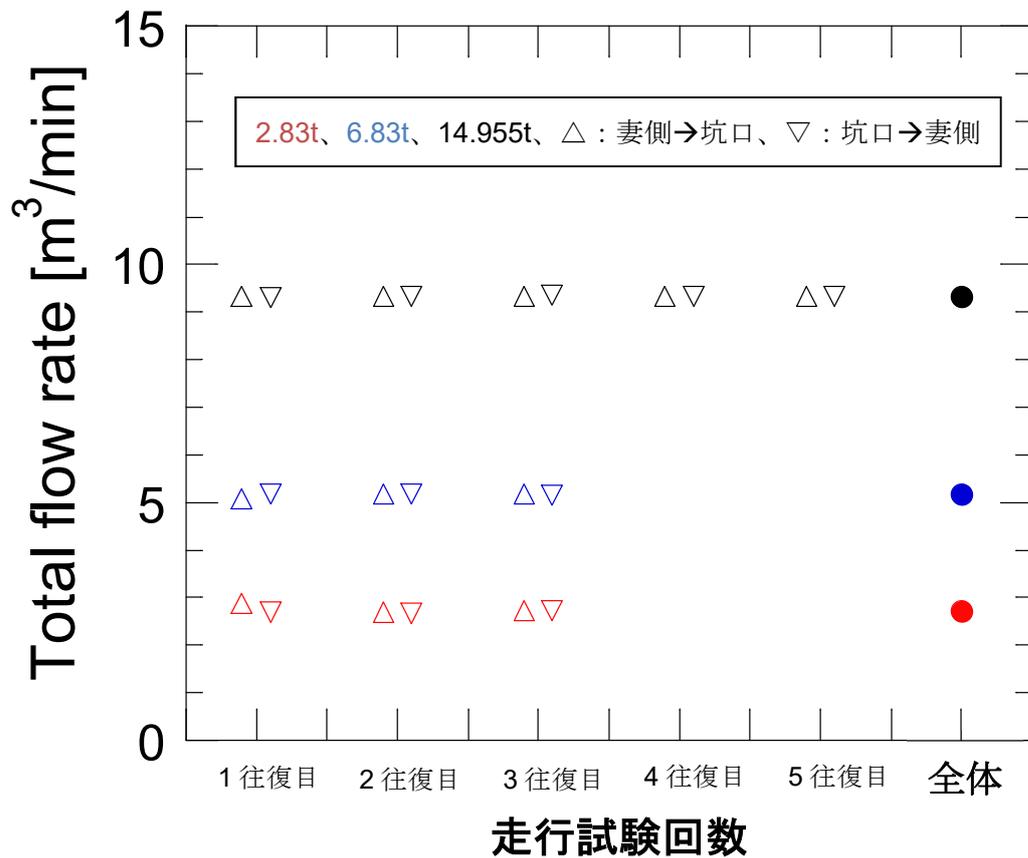


図 3.3.3-17 全区間連続走行試験における総空気流量

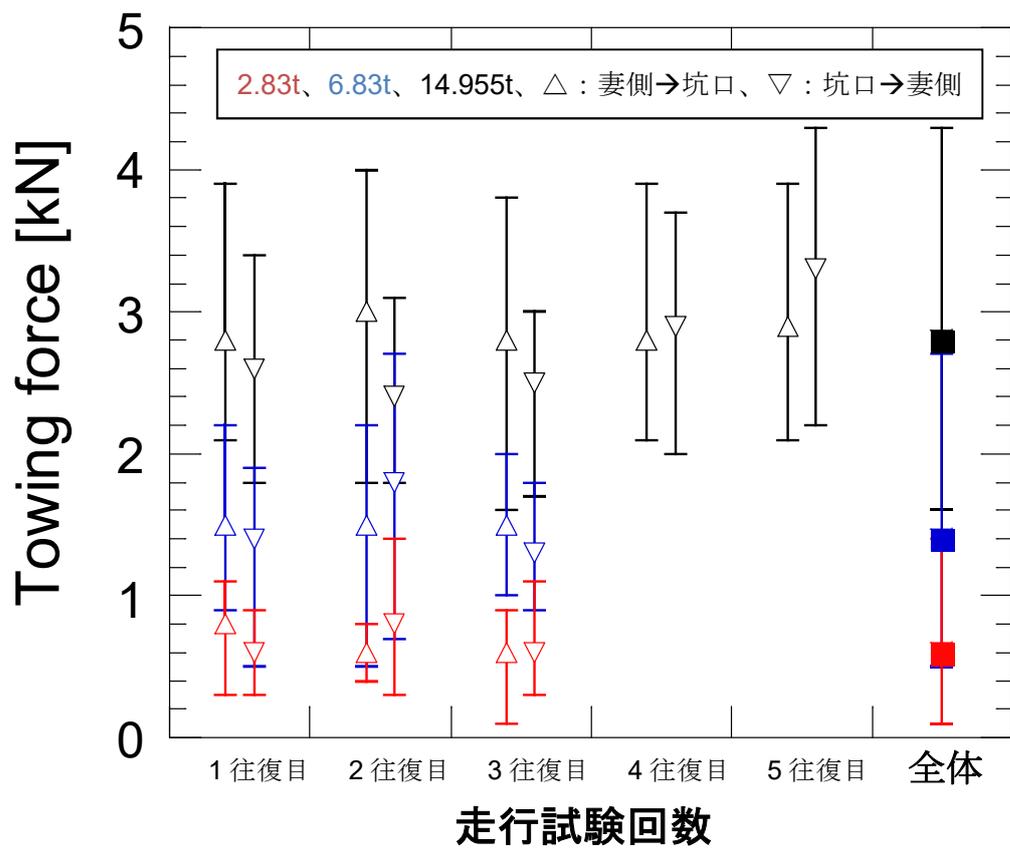


図 3.3.3-18 全区間連続走行試験における牽引力

3.4 要素試験結果の実機への反映

前項の要素試験結果のデータ分析を踏まえ、定置装置実機へ反映のための検討を実施した。前項で分析した“定常状態”での想定値とともに、装置の走行開始/停止前後などの“非定常な状態”も含めた“最大”想定値を算出し、定置装置整備に反映するための検討を実施した。

3.4.1 空気流量、圧力

(1) 定置装置整備に必要な空気流量の評価

1) 定常状態での空気流量

表 3.3.3-4 の総空気流量（最小値、最大値、最頻値）を負荷荷重毎にグラフ化したものを図 3.4.1-1 に示す。

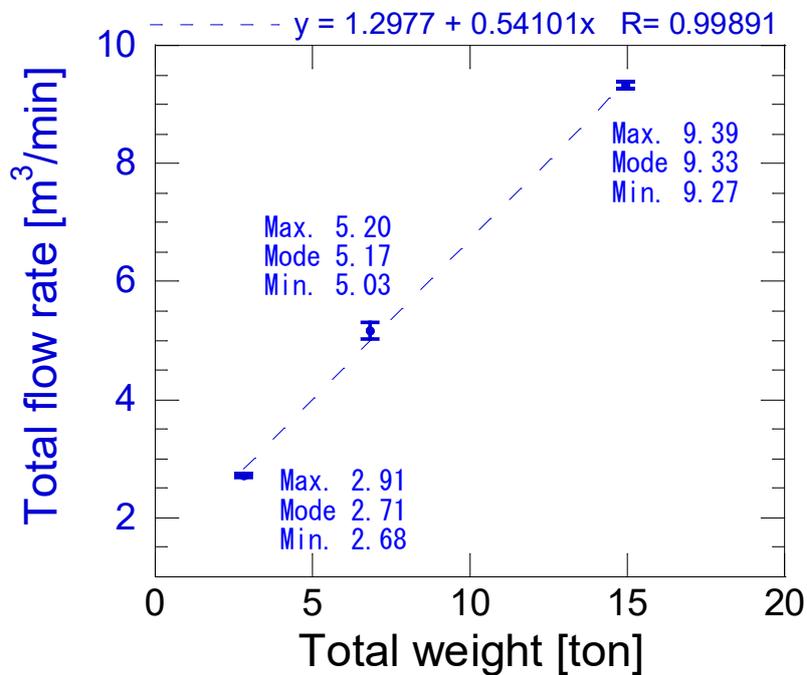


図 3.4.1-1 負荷に対する総空気流量

図 3.4.1-1 より、総空気流量最頻値 Q (m^3/min)の荷重に対する近似式は以下の通りとなる。

$$(式①) \quad Q (m^3/min) = 1.3 + 0.54 \times \text{荷重}(ton)$$

(エアベアリング 4 枚の場合)

総負荷 14.955t の場合は、

$$Q = 9.33 (m^3/min)$$

のため、エアベアリング一枚当たりの流量は 2.33 (m^3/min)となる。

よって、3.3.3(2)より、

(実機の総空気流量) = 2.7 × (要素試験装置の総空気流量)

となるから、定常状態での実機 (エアベアリング 10 枚) の総空気流量最頻値は、以下の程度になると想定される。

$$9.33 \times 2.7 = \underline{25.2} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

2) 非定常状態も含めた空気流量

非定常な状態としては、走行開始/停止前後の挙動や、定置部への荷重の偏りや走行面状態の影響などが考えられる。これらによる状態も含めた空気流量を想定するためには、3.3.3(1)2)に示す通り、地下コンクリート模擬坑道では前項までに使用していた Q (各流量計の総和) ではなく、Q_{MAX}(最大流量の倍数)で評価する。

要素試験装置と定置装置実機における、各浮上量/走行面での総空気流量 Q_{MAX}を表 3.4.1-1 に示す。

表 3.4.1-1 浮上量/走行面での総空気流量

装置	総負荷荷重 (ton)	エアベアリン グ 1 枚当りの 荷重(ton)	浮上量 (mm)	総空気流量(m ³ /min)	
				地上鋼製模擬坑 道 (参考値)	地下コンクリート 模擬坑道 Q _{max}
要素試 験装置	14.955 (*1)	3.74	40	4.15(*2)	5.87
			55	—	10.3
定置装 置実機	37.4		40	12.3(*3)	—
			55	—	—

(*1) : 試験荷重(14.125 ton)に装置自重 0.83 ton を加えた値。

(*2) : 地上鋼製模擬坑道で参考データとして計測。

(*3) : 平成 28 年度定置装置地上試験で計測。[2]

表 3.4.1-1 の試験結果から、定置装置実機の地下コンクリートにおける浮上量 40mm 設定での総空気流量 (以下、「V1」という。))と、定置装置実機の地下コンクリートにおける浮上量 55 mm 設定での総空気流量 (以下、「V2」という。))を推定して定置装置実機に反映するために、次項で計算を行った。

3) 実機における総空気流量の検討

a 計算方法

V1、V2 は、以下の計算式にて算出した。

$$\text{(式①)} \quad V1 = Va \times ka$$

$$\text{(式②)} \quad V2 = Vb \times ka$$

Va : 要素試験装置 地下コンクリート 浮上量 40mm における空気流量(m³/min)

Vb : 要素試験装置 地下コンクリート 浮上量 55mmにおける空気流量(m³/min)

ka : ウェイト増による流量の増加係数

ここで、ウェイト増による流量の増加係数 ka は、浮上量の大きさ (40mm もしくは 55mm) 走行面の違いに影響を受けず一定であると仮定し、表 3.4.1-1 の地上鋼製模擬坑道における結果から、ka は以下の通りとなる。

$$ka = 12.3 \div 4.15 = 2.96$$

b 計算結果

a と表 3.4.1-1 より、V1、V2 を計算すると、以下の通りとなる。

$$V1 = Va \times ka = 5.87 \times 2.96 = 17.4 \text{ (m}^3\text{/min)}$$

$$V2 = Vb \times ka = 10.3 \times 2.96 = 30.4 \text{ (m}^3\text{/min)}$$

上記 V2 の結果より、実機でより多く空気流量を消費する浮上量 55mm の場合、非定常の状態を想定すると、コンクリート走行面では 30.4 m³/min 以上の空気供給が必要となる、と想定される。表 3.4.1-2 に、V1、V2 の計算結果 (想定値) を赤太字で示す。

表 3.4.1-2 定置装置実機における総空気流量の計算結果 (想定値)

装置	総負荷 荷重 (ton)	エアベアリン グ 1 枚当りの 荷重(ton)	浮上量 (mm)	総空気流量(m ³ /min)	
				地上鋼製模擬坑道 (参考値)	地下コンクリート 模擬坑道 Q _{max}
要素試験 装置	14.955 (*1)	3.74	40	4.15(*2)	5.87
			55	—	10.3
定置装置 実機	37.4		40	12.3(*3)	17.4(*4)
			55	—	30.4(*5)

(*1) : 試験荷重(14.125 ton)に装置自重 0.83 ton を加えた値。

(*2) : 地上鋼製模擬坑道で参考データとして計測。

(*3) : 平成 28 年度定置装置地上試験で計測。[2]

(*4) : **V1 の計算結果 (想定値)**

(*5) : **V2 の計算結果 (想定値)**

地下実証試験時は、この計算結果から、さらにコンクリート走行面での充填材除去後の状態による影響も考慮した空気供給量が必要となる、と考えられる。

(2) 定置装置整備に必要な空気圧力の評価

浮上量、地上鋼製模擬坑道/地下コンクリート模擬坑道ごとの空気圧力を表 3.4.1-3 に示す。

表 3.4.1-3 浮上量／走行面における空気圧力

装置	総負荷荷重 (ton)	エアベアリング 1 枚当りの荷重(ton)	浮上量 (mm)	空気圧力 (平均) (MPa)	
				地上鋼製模擬坑道 (参考値)	地下コンクリート 模擬坑道
要素試験 装置	14.955 (*1)	3.74	40	0.26(*2)	0.28
			55	—	0.36
定置装置 実機	37.4		40	0.27(*3)	—
			55	—	—

(*1)：試験荷重(14.125 ton)に装置自重架台 0.83 ton を加えた値。

(*2)：地上鋼製模擬坑道で参考データとして計測。

(*3)：平成 28 年度定置装置地上試験で計測。[2]

浮上量 40mm設定の場合の地下コンクリート模擬坑道と地上鋼製模擬坑道の場合の圧力値を比較すると、いずれの条件でも走行面の違いによる圧力への影響は見られず、荷重にほぼ比例して圧力も変化している、と考えられる。

そのため、定置装置実機の地下コンクリート模擬坑道でのエアベアリング 1 個あたりの空気圧力値は、要素試験装置と変わらず 0.36MPa になると想定される。表 3.4.1-4 に、定置装置実機における空気圧力の想定値を赤太字で示す。

表 3.4.1-4 定置装置実機における空気圧力の想定値

装置	総負荷荷重 (ton)	エアベアリング 1 枚当りの荷重(ton)	浮上量 (mm)	空気圧力 (平均) (MPa)	
				地上鋼製模擬坑道 (参考値)	地下コンクリート 模擬坑道
要素試験 装置	14.955 (*1)	3.74	40	0.26(*2)	0.28
			55	—	0.36
定置装置 実機	37.4		40	0.27(*3)	0.28(*4)
			55	—	0.36(*5)

(*1)：試験荷重(14.125 ton)に装置自重 0.83 ton を加えた値。

(*2)：地上鋼製模擬坑道で参考データとして計測。

(*3)：平成 28 年度定置装置地上試験で計測。[2]

(*4)：定置装置実機 (浮上量 40mm設定時) の空気圧力の想定値

(*5)：定置装置実機 (浮上量 55mm設定時) の空気圧力の想定値

3.4.2 定置装置整備に必要な牽引力の評価

(1) 定常状態での牽引力

表 3.3.3-4 の牽引力（最小値、最大値、最頻値）を負荷荷重毎にグラフ化したものを図 3.4.2-1 に示す。

図 3.4.2-1 より、牽引力の最頻値 $F(\text{kN})$ での荷重に対する近似式は以下の通りとなる。

$$\text{(式②)} \quad F(\text{kN}) = 0.12 + 0.18 \times \text{荷重}(\text{ton})$$

このとき、摩擦係数は“荷重”への係数から単位換算して、0.0184 となる。この値は、エアベアリングのメーカーカタログ値（0.001～0.007）や、地上鋼製模擬坑道上での摩擦係数試験結果（0.0033）より大きくなるが、一般的な硬質ゴム-コンクリート間の摩擦係数（0.6～0.85）より小さい。よって、エアベアリングの潤滑により摩擦力を減少させる、すなわちエアベアリングが機能している、と言える。

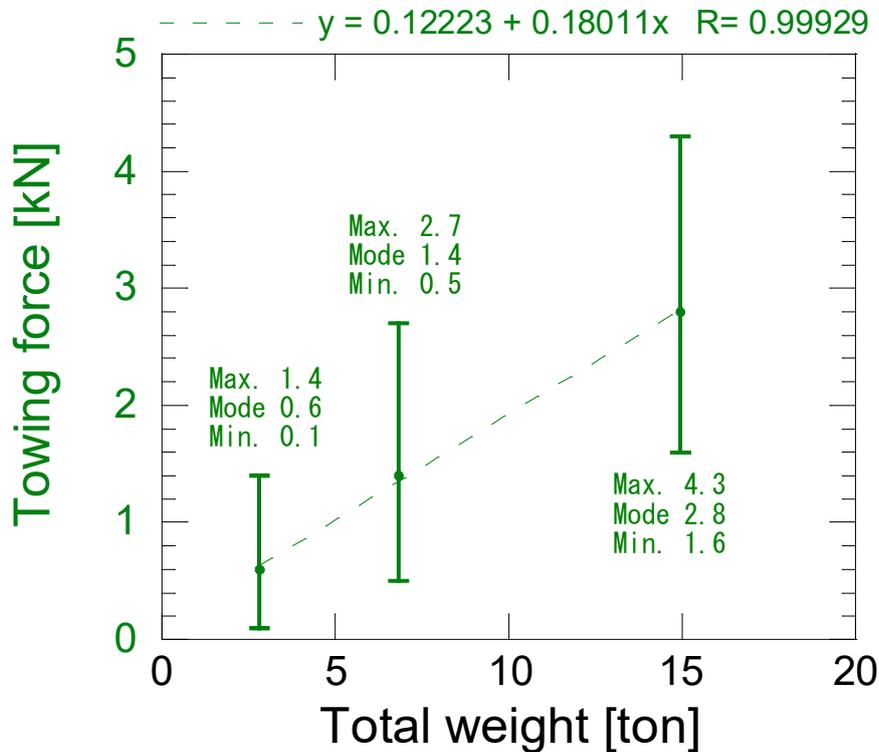


図 3.4.2-1 負荷に対する牽引力

(式②) より、定常状態で負荷 37.4ton での牽引力は以下の程度になると推定される。

$$0.12 + 0.18 \times 37.4(\text{ton}) = 6.8(\text{kN})$$

(2) 非定常状態も含めた牽引力

非定常な状態としては、走行開始/停止前後の挙動や、定置部の荷重の偏り、走行面状態の影響などが考えられるが、Case-77～Case-86 の試験結果を集計すると、牽引力値は装置の動き出し（要素試験では引張り開始）時が最大（試験結果集計の最大値は 5.7kN）となり、その後少し減衰し、定常速度で走行する時は周期的に変動することが確認できる。図 3.4.2-2 に、Case-77～Case-86 の中で牽引力が最大値となる Case-86 の計測結果を示す。

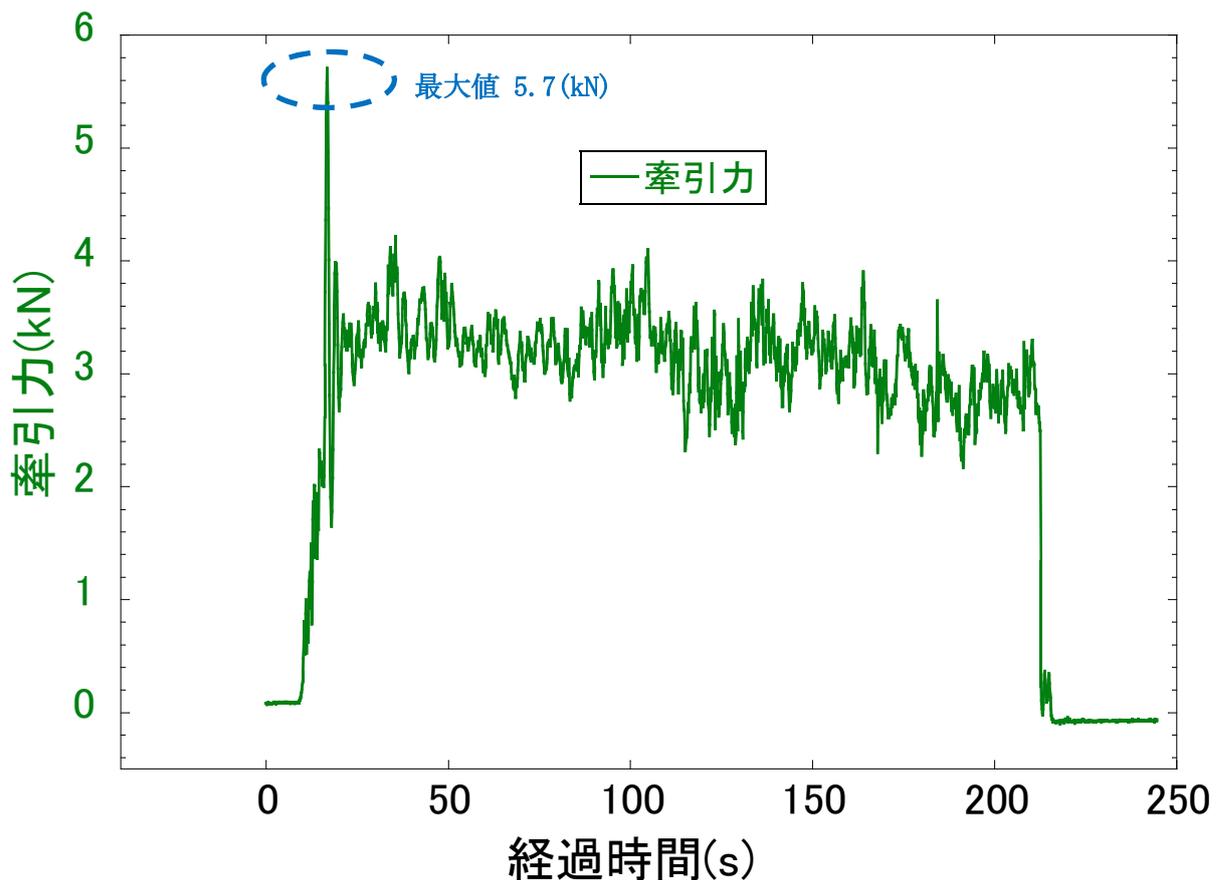


図 3.4.2-2 Case-86 牽引力（総負荷 14.955ton、浮上 55mm 設定、全区間、5m/min）

よって、走行開始の装置動き出しでの定置装置整備に必要な実機牽引力を評価することとし、定置装置実機 地下コンクリート 浮上量 55mmにおける牽引力最大値（以下、「F1」という。）を以下に計算した。

(3) 計算式

牽引力最大値 F1 は以下の計算式で算出した。

$$(式③) \quad F1 = Fa \times kb$$

Fa : 要素試験装置 地下コンクリート 浮上量 55mmにおける牽引力最大値(kN)

kb : ウェイト増による牽引力の増加係数

ここで、ウェイト増による流量の牽引力の増加係数は、荷重の大きさに比例すると考えられるため、**kb** は以下となる。

$$kb = (36.5t/14.6t) = 2.5$$

(4) 計算結果

(3)より、**F1** を計算すると、以下の通りとなる。

$$F1 = 5.7(kN) \times 2.5 = \underline{\underline{14.3 (kN)}}$$

上記 **F1** の結果より、実機でより多く空気流量を消費する浮上量 55mm の場合、14.3kN 以上の牽引力が必要となる、と考えられる。

3.4.3 今後の展開（要素試験結果をどのように反映させるか）

要素試験結果 3.4.1(1)3)より、実機でコンクリート走行面上を浮上量 55(mm)目標に設定する場合、30.4(m³/min)以上の空気供給能力が必要と想定される。

本年度までに整備した空気供給用の設備能力（搬送部搭載のコンプレッサ計3台）では、定格流量が 19.95(m³/min) (@0.7(MPa))のため、模擬 PEM 重量を負荷した状態で組立台上を走行するには能力不足であることを確認した。よって、平成 30 年度は空気供給能力を増強させるための定置・回収装置の整備を実施する必要がある。

また、上記の空気供給能力増強に伴い、定置装置内部の空気供給に関連する機内配管、弁、計器類や、制御設備（ハード、ソフト）等も、現状設備では足りない箇所については補強、改良する必要がある。

3.5 今後の予定

本年度は幌延 URL 試験坑道 2 の組立台において、現場打設コンクリート面での要素試験を実施し、エアベアリングの適用性を確認した。この要素試験により、平成 31 年度実施予定の地下実証試験のための定置・回収装置における走行パラメータ等についての知見を得ることができた。その結果、本年度までに整備した空気供給用の設備能力（搬送部搭載のコンプレッサ計 3 台）のみでは、模擬 PEM 重量を負荷した状態で組立台上を走行するには能力不足であることが判明した。よって、平成 30 年度は上記空気供給能力を増強させるための、平成 31 年度に向けた定置・回収装置の整備を実施する計画である。

また、平成 31 年度に地下実証試験を実施するためには、充填材除去後の現場打設コンクリート面における定置・回収装置（エアベアリング）の適用性を確認することが必要となる。そのため、本年度整備した現場打ちコンクリート製の地上試験坑道を使用し、平成 30 年度は、充填材除去後の状態を想定した実証試験を実施する計画である。充填材除去に関しては、5 章に記載の通りウォータージェットを使用した除去方法の検討が進められており、組立台（走行面）上の湿潤環境や充填材除去後の充填材残存を想定したエアベアリング走行性能の確認、定置・回収装置に設置した各検知器や監視カメラ等による遠隔監視機器の適用性等を確認する必要がある。平成 30 年度は、地上試験坑道を使用しこれらを模擬した環境における実証試験を実施する計画である。

3.6 まとめ

本年度は平成 31 年度の地下実証試験に向けた定置・回収装置の整備を進め、以下の成果を得た。

3.6.1 地下での要素試験の実施

幌延 URL 試験坑道 2 の組立台における実機での地下実証試験に先立ち、同じ試験坑道 2 で要素試験装置を用いた走行試験を実施した。この要素試験により、以下の知見を得ることができた。

- ・理想的な走行面である鋼製模擬坑道面での走行パラメータでは、地下に打設したコンクリート面上を走行出来ない。一方、流量を増加させることで、現場打設面上でエアベアリングによる重量物移送が可能なことを確認した。3.4.1(1)に示す通り、試験データを元に試算した結果、定置装置実機での空気総流量は約 30.4m³/min 以上と見積もられることを確認した。地下実証試験時は、この結果を踏まえ、さらにコンクリート走行面での充填材除去後の状態による影響を考慮した空気供給量が必要となる、と考えられる。本年度までに整備した定置装置実機搬送部に搭載している 3 台のコンプレッサーの最大供給流量は約 20m³/min で実証試験時に不足するため、圧縮空気源の増強等の対策が必要となることを確認した。
- ・鋼製模擬坑道での走行特性パラメータから、地下実打設面での走行特性を予測する換算係数を取得した。3.4.2(1)に示す通り、牽引力の最頻値 F(kN)の評価から、定常状態における荷重に対する F(kN)の近似式は以下の通りとなった。

$$F(\text{kN}) = 0.12 + 0.18 \times \text{荷重}(\text{ton})$$

- ・地下打設面上でエアベアリングの効果について、動摩擦係数が小さくなることを確認した。動摩擦係数は上記に示す近似式の“荷重”への係数から単位換算して、約 0.018 となる。この値は、エアベアリングのメーカーカタログ値 (0.001~0.007) や、地上鋼製模擬坑道上での摩擦係数試験結果 (0.0033) より大きくなるが、一般的な硬質ゴム-コンクリート間の摩擦係数 (0.6~0.85) より小さい。よって、エアベアリングの潤滑により動摩擦力を減少させる、すなわちエアベアリングが機能している、ことを確認した。

3.6.2 安全対策のための定置・回収装置の整備

定置・回収試験時の安全対策のために、以下の整備を実施した。

- ・運転者が装置の状態を一目で把握出来るよう、操作卓のモニターにトレンドグラフを表示した。
- ・地下坑道での機械安全性の向上のため、装置のステータスを表示する警告灯、音等を付与した。

第3章 参考文献

- [1] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 27 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：可逆性・回収能調査技術高度化開発）報告書（第 2 分冊）
－ 地下環境での搬送定置・回収技術高度化開発－（2016）
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター；平成 28 年度地層処分技術調査等事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 報告書（第 1 分冊） 地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発—実証試験—（2017）

第4章 隙間充填技術の実証的整備

4.1.1 はじめに

PEMの回収工程は、PEMを拘束する周囲に施工された隙間充填材を除去技術で取り除き拘束力を解放するとともに、回収装置が動作可能な環境を実現する除去工程と、装置にてPEMを回収する工程からなる。本事業のスコップであるPEMの回収技術では、隙間充填材の除去技術が中核となる。第5章に詳細を記す隙間充填材の除去技術の実証的整備においては、除去対象とする隙間充填材の性状が試験条件として重要となる。本章では、隙間充填材の施工技術について述べる。

(1) 全体工程

地下環境での搬送定置・回収技術の実証的整備の全体工程では、平成30年度に幌延URLにおけるPEM-坑道間の隙間充填試験を実施する計画である。隙間充填技術の実証的整備はこの工程に従い、地上での要素試験、必要な装置等の整備、品質管理方法等を進めた。図4.1.1-1に隙間充填技術の実証的整備の全体工程を示す。

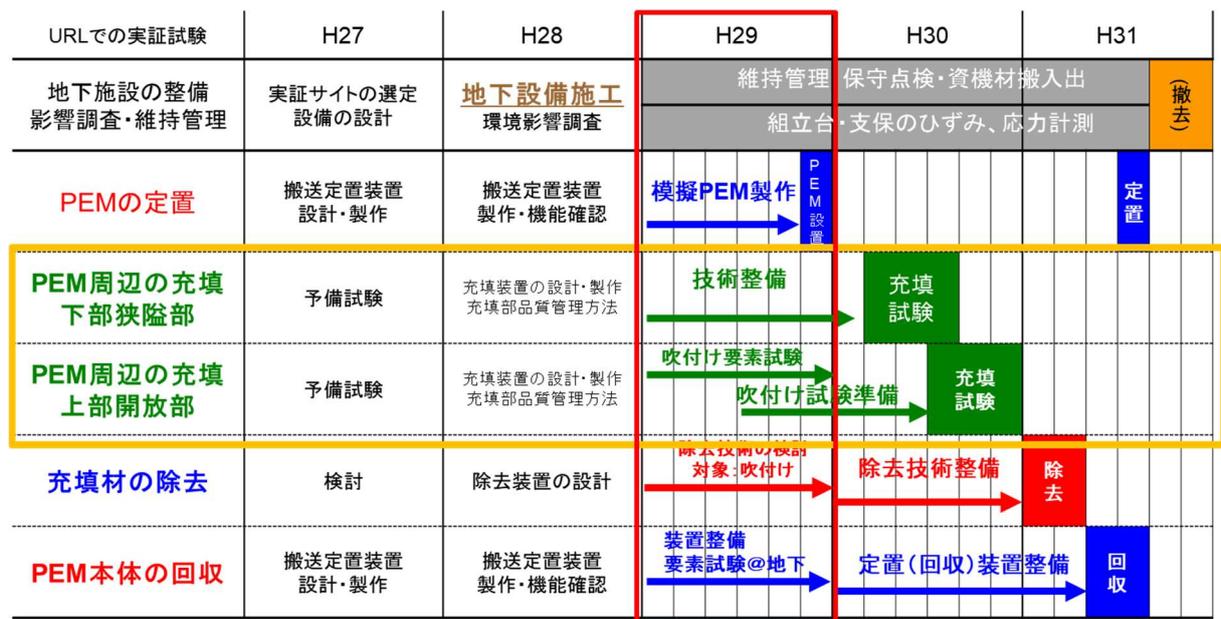


図 4.1.1-1 隙間充填技術の実証的整備 全体工程

(2) 平成29年度の実施内容

平成30年度の地下での施工に向け、下部狭隘部についてはスクリーコンベアによるペレット充填、上部開放部については充填方法の変更、吹付け方式による充填技術の整備を実施した。

4.1.2 隙間充填材、充填方法の見直し

(1) これまでの基盤研究の検討

処分坑道横置き定置方式(PEM方式)では、定置作業を行う装置の稼働領域が必要となるため、定置された PEM と坑道間に空間(以下、隙間という。)が生じる。この隙間の残存は PEM 内部の緩衝材の膨出による密度低下、坑道長手方向の有意な水みち形成、坑道安定性の低下等、地層処分の操業や長期の安全性への影響が懸念されるため、適切な材料を充填することが検討されている。これまでの基盤研究では、充填部の有効粘土密度が緩衝材相当の 1.37 g/m^3 となる混合土が隙間充填材の仕様として示され、ベントナイト 100%のペレットを使用した充填方式が狭隘な坑道に対しての有効性が提示された。本事業では平成 28 年度まで上部開放部、下部狭隘部共にペレット方式による隙間充填の検討を進めてきた[2]。

(2) 隙間充填材除去試験の観点からみた充填材の性状

隙間充填材の除去技術は回収工程の中でも重要であるが、実証試験の観点から対象とする充填材の性状を検討した。図 4.1.2-1 に PEM の回収工程における除去工程のイメージを示す。隙間充填材の除去工程を簡潔に示せば、①PEM-坑道間に施工せれた充填材を搬出可能な副産物の状態とした後、②充填部から取り除き、③坑道外へ搬出する工程を PEM が回収装置で搬送できる状態まで行う行為である。①の方法については、廃棄体への影響を考慮した種々の方法が検討されており、除去試験の重要な技術開発課題と見なすことが出来る[3]。

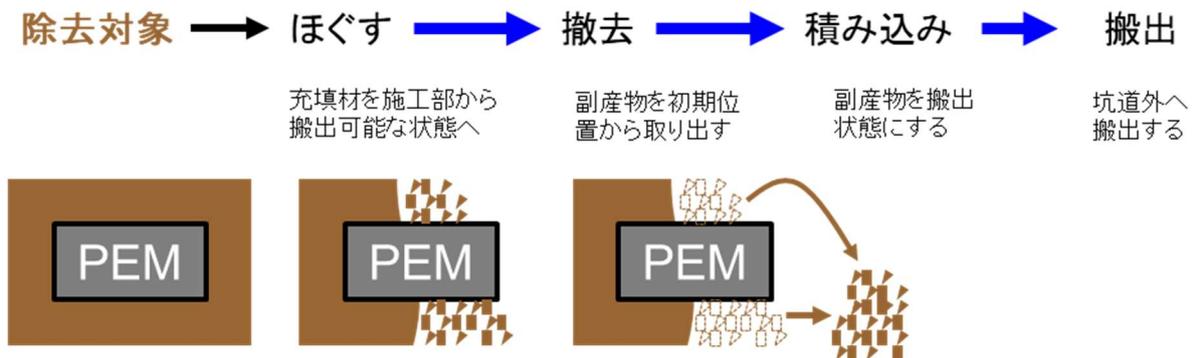


図 4.1.2-1 隙間充填材の除去工程のイメージ

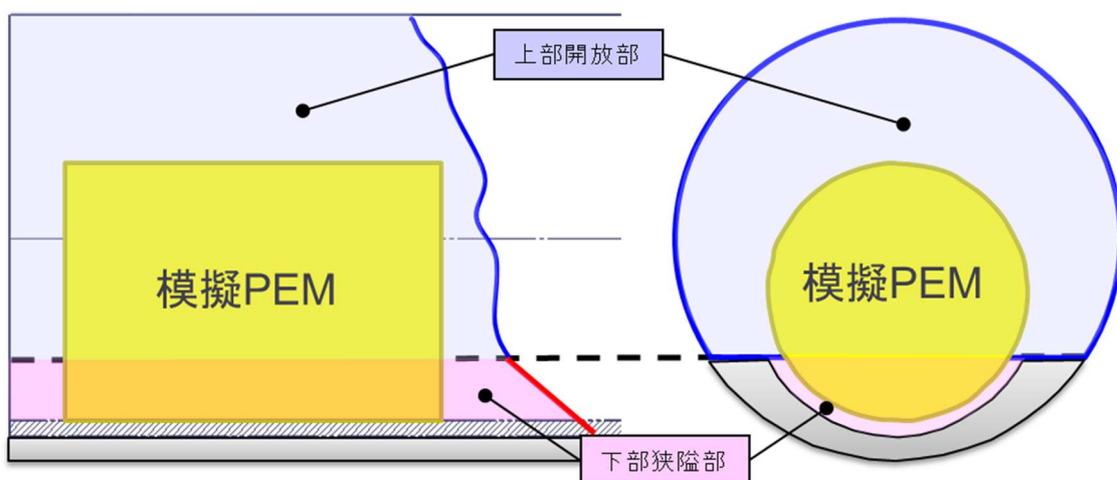
ペレット方式では乾燥した材料を隙間に充填するため、容易に吸引や掻き出しで除去することができるため、除去工程①を試験する場合には対象としては不十分である。一方、充填後に周囲からの注水等で浸潤した状態とするためには、充填部への注水管の設置、浸潤までの期間、坑道手前への膨出抑制壁の設置等が必要となり、本事業の実施期間である 5 年間や、幌延 URL の制約条件上実施が困難である。

(3) 吹付け方式による充填材の施工

NUMO の地層処分事業に係わる処分場の設計と工学技術として、埋戻し材・プラグの設計(埋戻し材の仕様の設定例)が示されている[1]。高レベル放射性廃棄物の処分坑道は、人工バリアの構成と寸法、安全かつ効率的な操業のスペース等を考慮した内空断面、岩盤の力学的特性に応じた掘削時の空洞安定性評価等を考慮して支保の仕様が設定されている。これによれば、幅

4,800mm の幌型断面、新第三紀堆積岩モデルでは、幅 5,000mm の三心円馬蹄形が示されている。この処分坑道に横置きで定置される PEM 方式について、PEM 容器と坑道間の比較的大きい隙間への施工方法として吹付け工法、材料仕様としてベントナイト／掘削土＝50％／50％、乾燥密度 1.6Mg/m³、有効粘土密度 1.15Mg/m³ が示されている。吹付け工法は施工上材料の含水比を調整することが可能であり、施工部分も材料が結着した状態となることから、除去工程①の試験対象としても適切であると考えられる。

以上より、本年度からの隙間充填技術の実証的整備では、適用する施工技術として図 4.1.2-2 に示すように下部狭隘部はペレット充填方式、上部開放部は吹付け方式とした。上部開放部の充填材料として、ベントナイトに混合する掘削土の代わりに性状が明らかなケイ砂を使用した。



施工部位	施工方法	仕様	備考
上部開放部	吹付け	配合：ベントナイト：掘削土＝50％：50％ 乾燥密度：1.6Mg/m ³ 有効粘土密度：1.15Mg/m ³	掘削ズリの代わりにケイ砂を使用
下部狭隘部	ペレット	配合：ベントナイト 100％ 乾燥密度：1.6Mg/m ³	

図 4.1.2-2 隙間充填の施工方法と材料仕様 [1]

4.1.3 充填部の品質管理方法

(1) かさ密度による品質管理

隙間充填材は PEM-坑道間の低透水性の確保と鋼殻内の緩衝材の膨出による密度低下の抑制であるが、施工箇所ではこれら機能を直接把握することは時間的／技術的な観点、サンプリングは施工部の擾乱や施工性の観点から、実際の作業時に品質管理の項目とすることは実用的ではない。地層処分事業の作業における品質管理の方法として、遠隔操作性や施工部の品質を損なわない非破壊での検査方法が求められ、各工程の検査の合格を積み重ねることで、最終的な品質を確保するプロセス管理が主となるが、このためには、検査の時期、場所、頻度、合格とする値やその範囲、それらを設定する際の根拠が必要になる。

(2) 品質に影響を及ぼす因子の整理

充填材施工時の確認項目として、充填部の体積を計測し、施工した充填材の重量から求めるかさ密度を代替とすることが考えられる。ペレット方式、吹付け方式の違いはあるが、影響する因子には主に以下の項目が含まれる。プロセス管理による充填部の品質確保のためには、これらの因子の影響の度合いを定量的に評価し、再現性、品質のバラつき等を考慮し、実現するための合格基準値をプロセスごとに設定することが重要である。

①充填材料そのものの品質

- 原材料： ベントナイト、混合する掘削土（ケイ砂）の性状、粒度分布、含水率、等
- 材料製造： 混練方法、造粒方法、等
- プロセス： 運搬や貯蔵時の材料分離や自重による圧縮、製造後の時間経過、乾燥、等

②充填方法

- 充填技術： 吹付け機械、ペレットの移送方式、等
- 装置配置： 隙間に対する装置の配置等による材料分離、等
- プロセス： 材料投入、充填装置の動作、リバウント材対応、等

③充填部位の性状

- 場の性状： 充填部位の形状、坑道壁面の状態、湧水、温度、湿度、等

(3) 本事業における品質管理

隙間充填材に求められる低透水性、膨潤圧をかさ密度というパラメータで代替するが、前述のように多くの因子が関連している。本事業では整理した①～③の3つの因子グループ毎の管理項目、合格基準値の設定、または、基準値を設定するために必要な知見を取得出来るように上部開放部に適用する吹付け方式、下部狭隘部に適用するペレット方式それぞれについて、段階的に技術の整備を実施した。本業務では実証的な試験であるため実施が可能なコア採取により、密度の直接的な計測を行いプロセス管理の検証データとし、充填体積と充填材重量から求めたかさ密度との妥当性、長期挙動評価の条件となる充填部のバラつき等の初期品質を示す。

4.2 下部狭隘部充填技術の実証的整備

4.2.1 狭隘部を対象とした充填技術

狭隘な隙間への充填材の施工技術として採用したペレット方式では、充填によるかさ密度は、ペレット自体の密度と充填率が支配している。よって「①充填材料そのものの品質」として高密度化や最適な粒度分布を有するペレットの製造、「③充填部位の性状」である狭隘な場所に対応した「②充填方法」で必要な充填率を確保出来ることを示す。

4.2.2 技術整備手順

本事業で対象とした下部狭隘部の形状は、直径 2.6m の円形坑道底部に高さ 11cm のコンクリート製の台座が設置され、その上に直径約 2.3m の PEM を定置した際に生じる十数 cm の隙間である。ペレット充填方式での品質管理では、未充填部が生じない充填方法、充填部の体積に対する充填質量から求められる全体の密度（かさ密度）と、密度のバラつき（密度分布）が重要である。平成 30 年度に地下で予定する試験ではこれら充填部の品質に係る項目を充填材の施工プロセスで実現するため、品質管理の観点からプロセス管理に資する知見を取得する試験を段階的に実施した。

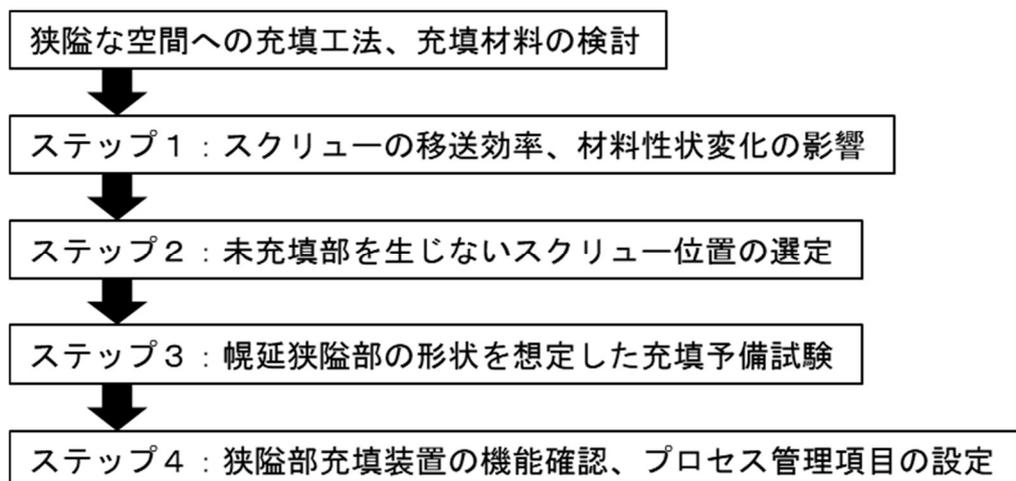


図 4.2.2-1 狭隘部の充填技術の整備フロー

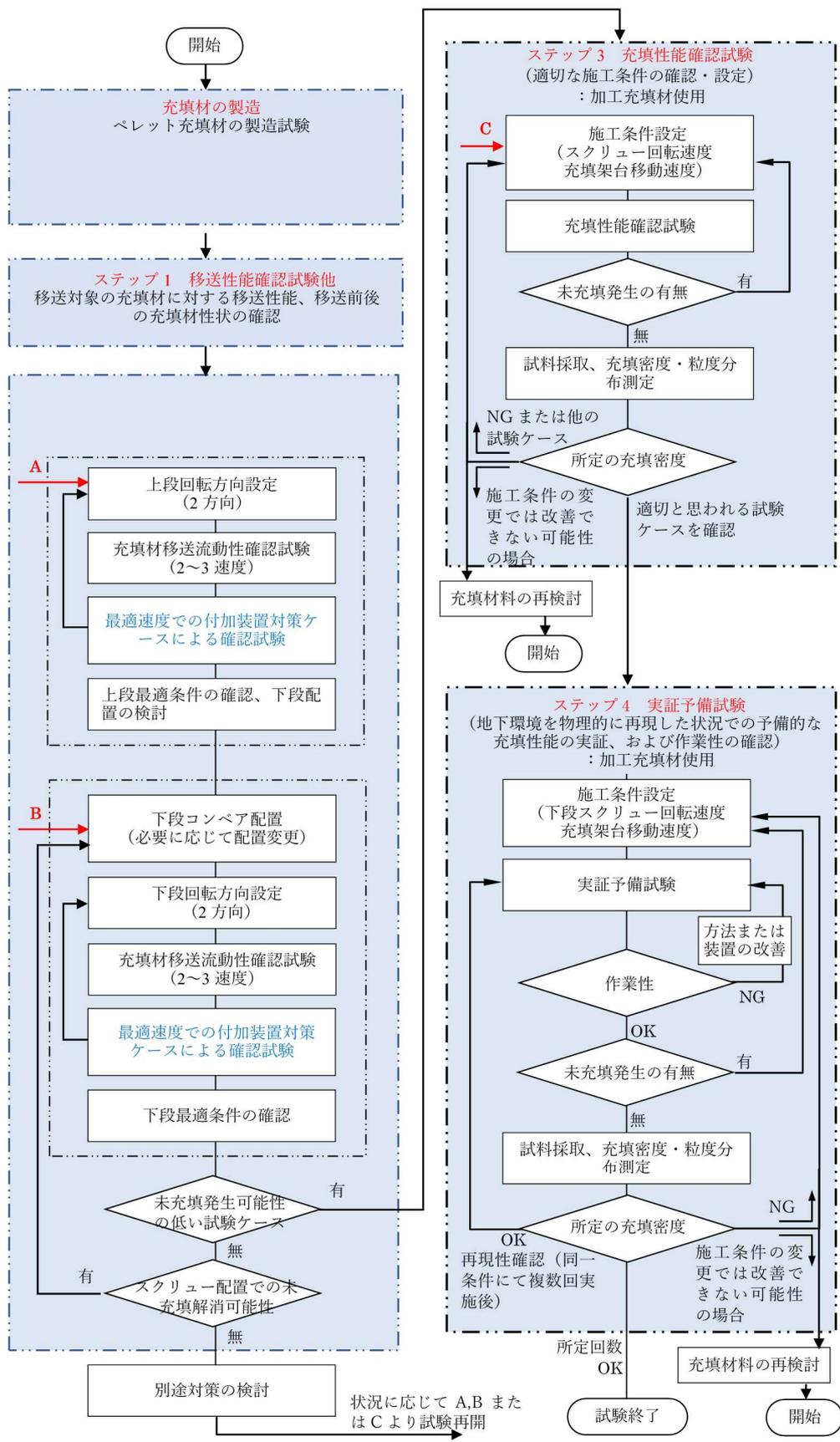


図 4.2.2-2 狭隘部の充填技術の整備フロー

4.2.3 下部狭隘部充填設備の概念設計

本事業で隙間充填材を施工する坑道の断面形状は試験サイトである幌延 URL の制約条件等により、図 4.1.2-2 のように上に開放部、下部に狭隘部を有する特異な形状となっている。一方、円形坑道に PEM を横置きした場合、PEM の全周囲が狭隘な隙間となる。本事業の成果を、狭隘部を対象とした充填技術の検討プロセスとしても提示出来るようにするため、本項では、まず狭隘部を対象とした充填技術について検討し、その検討を基に実際に隙間充填材を施工する幌延 URL 試験坑道 2 の下部狭隘部へ展開した。

(1) 隙間充填装置における移送装置

1) スクリューコンベア方式[5]

平成 27 年度に狭隘部へのペレット充填材の移送方式を選定した。試作したスクリューコンベアを図 4.2.3-1 に示す。基本構造はスクリュー本体、コンベア外管、充填材を投入するホッパー部、スクリューを回転させるモーター部からなる。



スクリューコンベア試作機全景



70mm ピッチスクリュー



充填材投入ホッパー内の様子

図 4.2.3-1 スクリューコンベアの試作[5]

2) スクリューコンベアの基本設計[5]

ペレット充填方式におけるスクリューコンベアの機能は、粉粒体であるペレット充填材を所定の空間へ、操業工程から算出される速度で充填することである。この機能を実現するためのスクリューコンベアの寸法、移送能力に基づき基本的な設計を実施した。

a コンベア外管の外径

これまでに検討された処分坑道横置き定置方式（PEM 方式）において、PEM—坑道間の隙間が最も狭隘になる定置概念は、PEM の定置にエアベアリング方式を採用した場合であり、内径 2,600mm の円形坑道に PEM を定置した際の隙間は約 150mm となる。コンベア外管の外径はこの隙間に挿入可能な太さである必要があり、一般的に入手が容易な市正品から外径寸法が 101.6 mm の 90A のパイプを採用した。

b コンベアの移送性能

本事業では、単位時間当たりの移送量を移送性能と定義する。

処分坑道径を 2.6m、PEM 外径を 2.316m とすると、図 4.2.3-2 に示す PEM1 体ごとの隙間充填対象範囲の容積 V は、

$$V = (2.62 - 2.3162) \times \pi / 4 \times 3.343 + 2.62 \times \pi / 4 \times 0.15 \doteq 4.5\text{m}^3$$

となる。

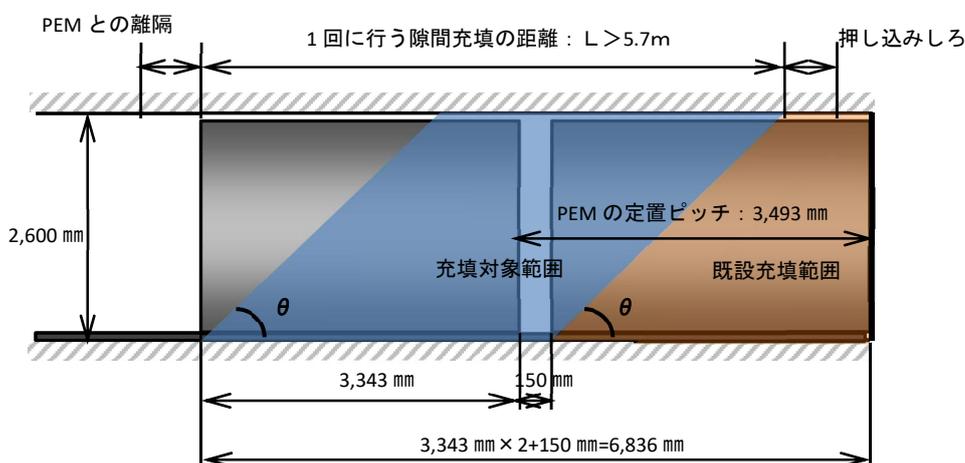


図 4.2.3-2 PEM1 体ごとの隙間充填対象範囲の検討図

施工品質管理の観点からは、材料品質のばらつきを抑制するため、1日に最低 PEM1 体分の隙間充填が可能となる充填速度を確保することが望ましい。1日の作業時間を8時間、とした場合、約 0.6m³/h の移送性能が必要となる。平成27年度に実施した狭隘部を模擬した土槽への充填試験において[5]、台座近傍に未充填部が発生したことへの対応、下部狭隘部海外での既往の試験実績（FE 試験）を参考に、スクリーコンベア 5本で移送・充填を行うことを想定した場合、スクリーコンベア 1本あたり、0.12m³/h の移送性能が必要となる。しかし、移送・充填作業に際しては、施工品質管理や、その他様々な作業ロスが生じる可能性が高く、それらの安全率を考慮し、移送・充填作業効率を 80%と仮定した場合には、0.12m³/h ÷ 0.8 = 0.15m³/h (≒ 2.3L/min)、充填後の有効粘土密度(堆積密度)を 1.37Mg/m³とした場合、質量換算では、0.193Mg/h (≒ 3.2kg/min) の移送性能を有する移送装置が必要となる。

c スクリュー本体の設計

1本あたり 0.15m³/h (3.2kg/min) の能力を有するスクリーコンベアを、隙間の幅からコンベア外管に採用した呼び径 90A の鋼管で実現する場合のスクリー本体を設計した。スクリーの種類 (軸の有無)、スクリーピッチ等については平成 27 年度に試作および適用性確認試験を実施し、図 4.2.3-3 に示すようなピッチ 70mm、スクリー外径 80mm、軸径 34mm をスクリー本体の基本設計とした。

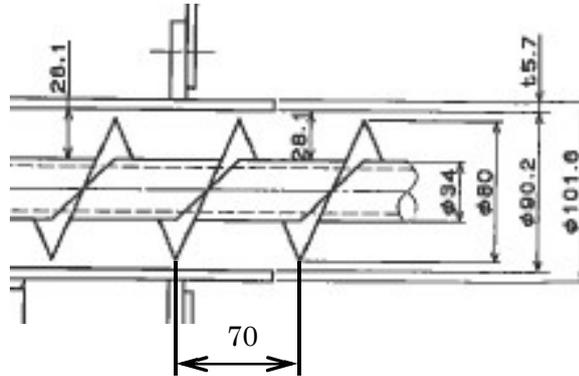
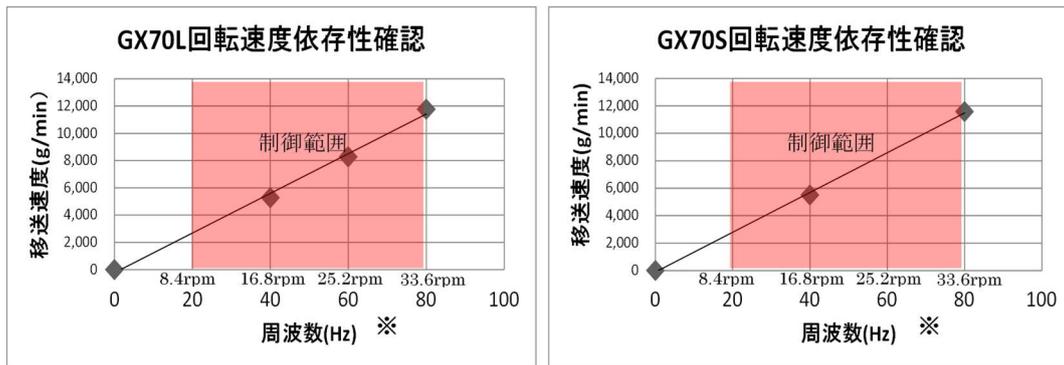


図 4.2.3-3 スクリューコンベアの基本寸法

d スクリューコンベアの回転速度

クニゲル GX (初期含水比 9.6%、初期乾燥かさ密度 1.128Mg/m³ (湿潤かさ密度 1.236Mg/m³)) を用いて、図 4.2.3-3 に示したスクリーコンベアを用いた移送試験を実施した[5]。b で示した 3.2kg/min の移送性能は、スクリー回転速度 8.4rpm にて達成出来る。またスクリーコンベア移送能力は回転速度に比例して移送速度が増減し、設計したスクリーコンベアは 33.6rpm 時に 12kg/min 程度まで対応可能であることを確認した。



※周波数と回転速度の関係⇒20Hz : 8.4rpm 40Hz : 16.8rpm 80Hz : 33.6rpm

図 4.2.3-4 クニゲル GX を用いた移送予備試験結果 (回転速度依存性の確認) [5]

(2) 幌延 URL 試験坑道 2 に適用する充填装置

(1)にて、直径 2,600mm の円形坑道に PEM を定置した場合を例にスクリーコンベアの基本設計、クニゲル GX を用いたスクリーコンベアの基本的な移送能力について述べた。

幌延 URL 試験坑道 2 に整備した組立台上に PEM を設置した場合の坑道-PEM 間の隙間形状は図 4.2.3-5 のようになり、ペレット充填方式を適用する部位は下部狭隘部である。

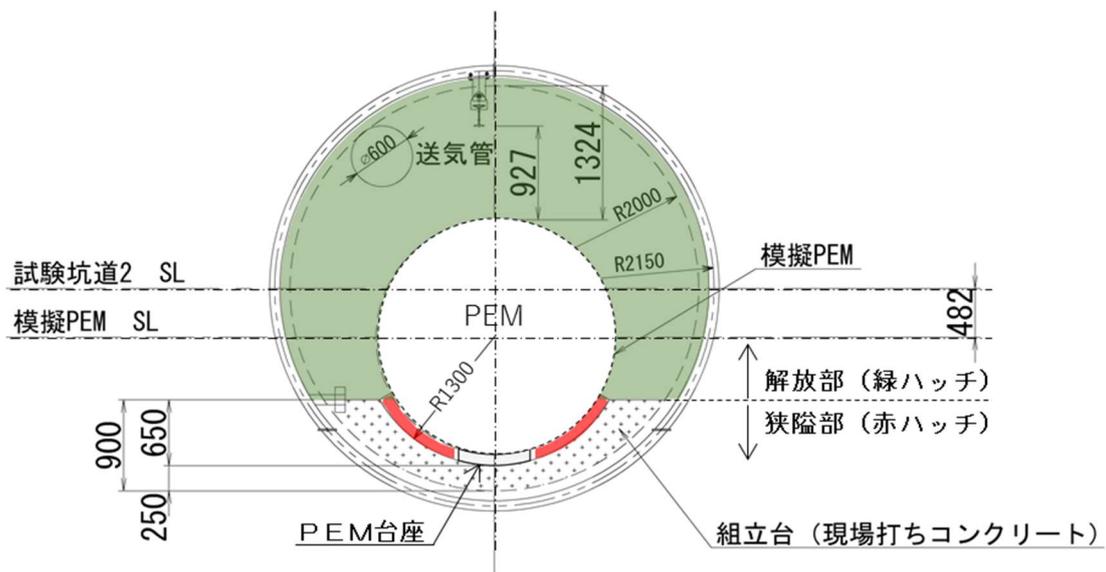


図 4.2.3-5 試験坑道 2 における隙間形状とペレット充填方式を適用する狭隘部

1) スクリューの配置と本数

下部狭隘部を模擬した土槽に対し上部からペレットを投入すると、粉粒体であるペレットは安息角を形成する。この時ペレット法面が PEM に接触するため、これ以上はペレットが流入せず、台座周囲に未充填部が生じる[5]。この問題を解決するため、未充填部が生じる下段にもスクリーコンベアを配置することで未充填部を解消することとした (図 4.2.3-6)。

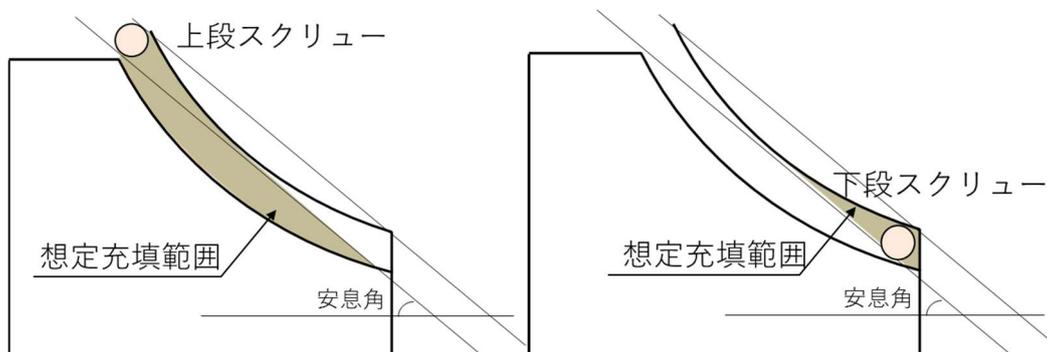


図 4.2.3-6 未充填部の発生個所と下段スクリー配置

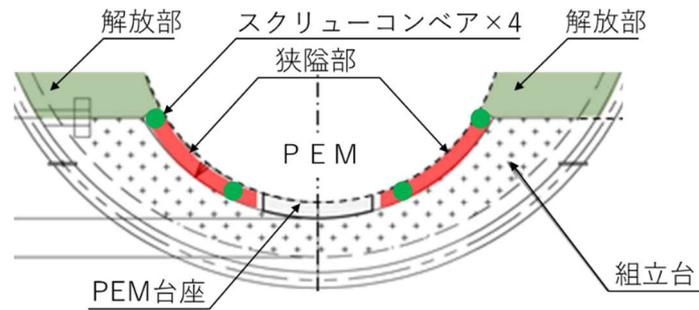


図 4.2.3-7 スクリューコンベア配置イメージ

充填部の形状は試験坑道に対し左右対称であるため、下部狭隘部の充填装置には図 4.2.3-7 のようにスクリーコンベアを 4 本配置する構成とした。充填部は左右対称であるが、スクリーは右ネジに統一し、充填部の形状とスクリーの向きの影響を評価対象とした。なお、スクリーの位置については、後述するステップ 2 (4.2.6)、ステップ 3 (4.2.7)、ステップ 4 (4.2.8) にて具体化するため、設計時には固定位置の調整が可能な構造とした。

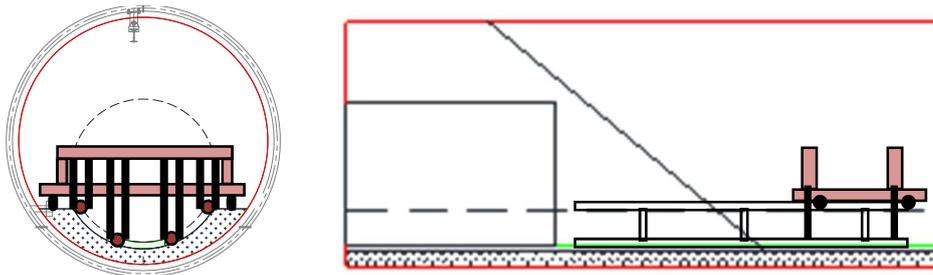
2) コンベアの移送能力

試験坑道 2 で実施する充填実証試験において、PEM1 体に対する狭隘部充填容積は、台座で隔てられた左右のエリアに対して約 0.8m^3 となる。ここで、充填材の充填乾燥密度を $1.37\text{Mg}/\text{m}^3$ 、含水比を 10% とすると、PEM1 体の狭隘部に必要な充填材質量は $0.8\text{m}^3 \times 1.37\text{Mg}/\text{m}^3 \times 1.1 \div 1.2\text{Mg}$ となる。狭隘部左右に対し合計 4 本のスクリーコンベアを用いて充填する場合、移送量を均等に配分すると 1 本あたり 300kg の充填材を移送する必要がある。試験坑道での充填作業を、先に狭隘部、後に解放部の順で実施する場合、後工程（解放部充填工程）を考慮し、狭隘部充填作業を暫定的に 2 時間程度（ただし、装置の設置や品質管理等を考慮し充填作業効率 60% とする）で終了させると仮定した場合、 $300\text{kg} \div (120\text{min} \times 0.6) = 4.2\text{kg}/\text{min}$ 程度の移送速度が必要となる。ただし、片側 2 本のスクリーコンベアのうち、上段/下段いずれかに移送量を負担させることも想定されるため、さらに 20% 程度の裕度の確保を考慮した。5kg/min 程度の移送速度を確保するためのスクリー回転速度は図 4.2.3-4 から 16.8rpm となり試作したスクリーコンベアで達成出来ることを確認した。また、試験時の回転数の制御範囲を 8.4rpm~33.6rpm と設定した。

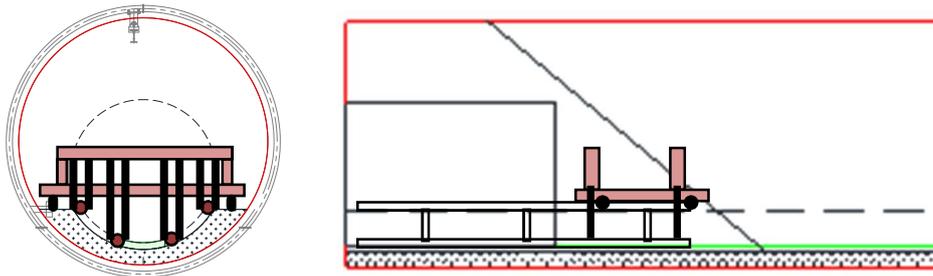
3) 充填装置の基本概念

図 4.2.3-8 に幌延 URL 試験坑道 2 での充填作業手順、移送・充填システム全体概要図を示す。狭隘部の隙間充填装置は、4 本の『スクリーコンベア』、スクリーコンベアの支持および送り・引き戻しを行うための『充填架台』によって構成する。ペレット充填材は充填架台上に準備し、充填架台上に開口したホッパーへ投入する構造とした。具体的な装置の設計については、ステップ 3 (4.2.7) までの成果を踏まえて実施する。

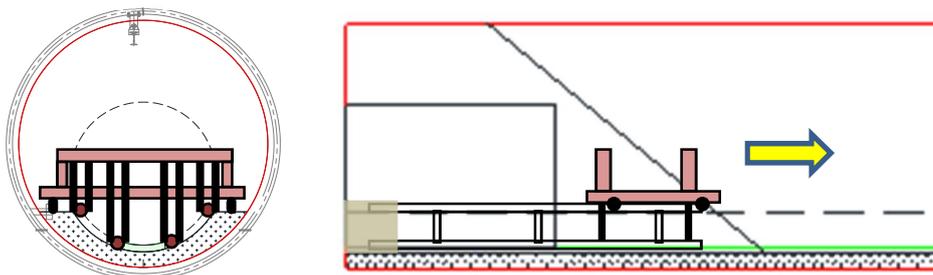
1. 隙間充填装置配置



2. 充填架台によるスクリーコンベア送り（充填開始位置に先端を移動）



3. 充填架台によるスクリーコンベア微速引き戻し（充填）



4. 充填完了

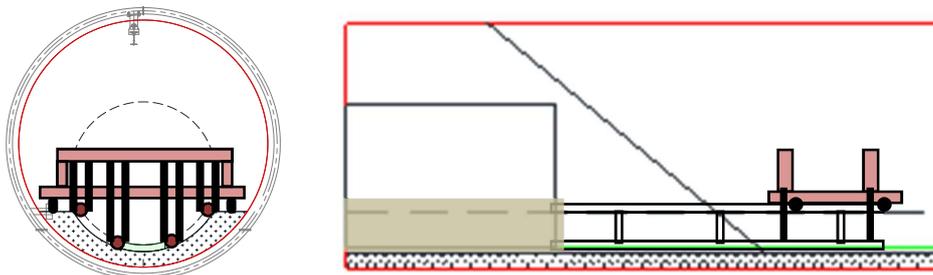


図 4.2.3-8 移送・充填システム全体概要図

4.2.4 充填材料の製作試験

PEM 周囲に充填されたペレットの「透水係数」と「膨潤圧」は直接把握することは時間を要し、品質管理の項目とすることは実用的ではないため、施工時には“かさ密度”を代替パラメータとして測定することにより、これらの要求される項目または条件を満たすこととした。一方、実際の操業や本事業での地下環境での実証試験では、充填部からのコアサンプリングは品質を損なう破壊試験になる、そこで、充填部の品質に係る因子を充填材料としてのペレットの性状と施工方法で抽出し、特性要因図を用いて分析を行った。図 4.2.4-1 にペレット充填方式におけるかさ密度への影響因子の分析例を示す。充填部の品質に与えるペレット側の影響因子として、ペレット密度、寸法（粒度分布）、形状（角張っている、球状、など）が挙げられ、それらは、造粒方法、ペレットの素材、混練方法等が支配している。

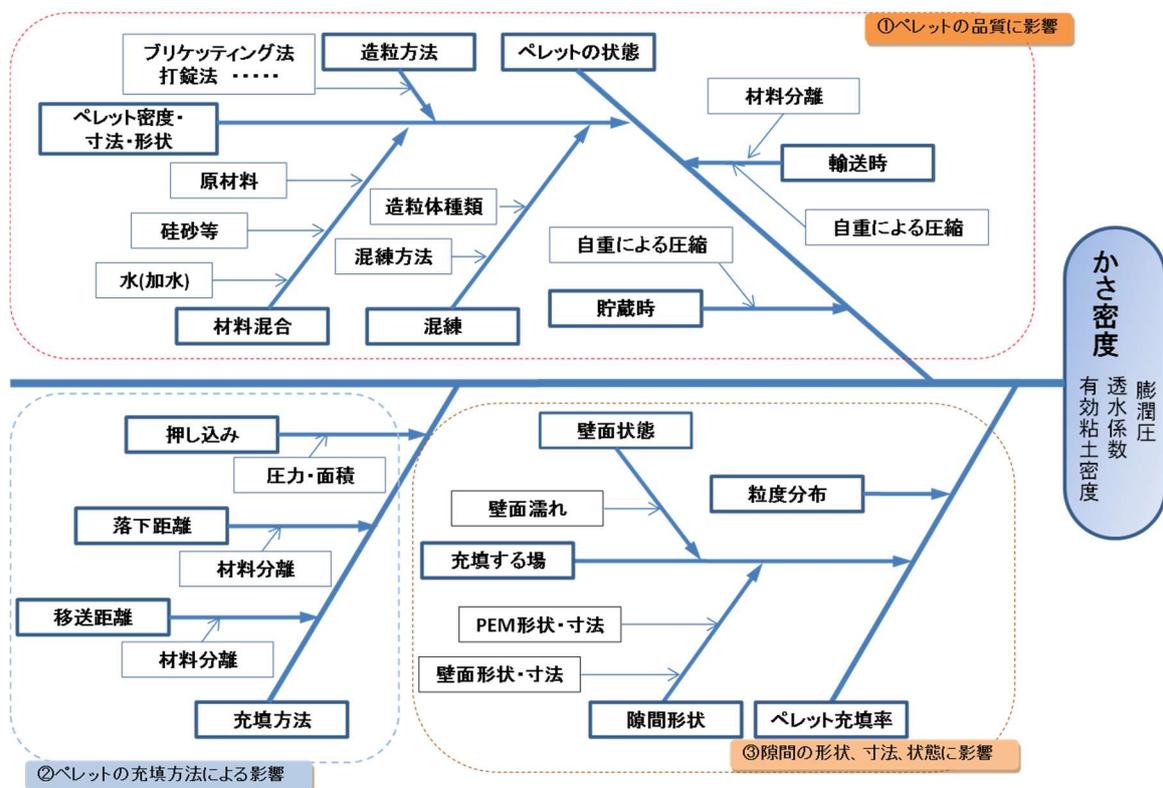


図 4.2.4-1 隙間充填のかさ密度への影響因子の分析例[2]

ペレット方式による充填における充填部のかさ密度は、充填率とペレット密度の積である。充填率はペレットの粒径や充填部の形状によって支配されるため、かさ密度向上のためには、ペレット自体の密度を高める必要がある。代表的なベントナイトペレットの製造方法を図 4.2.4-2 に示す[4]。

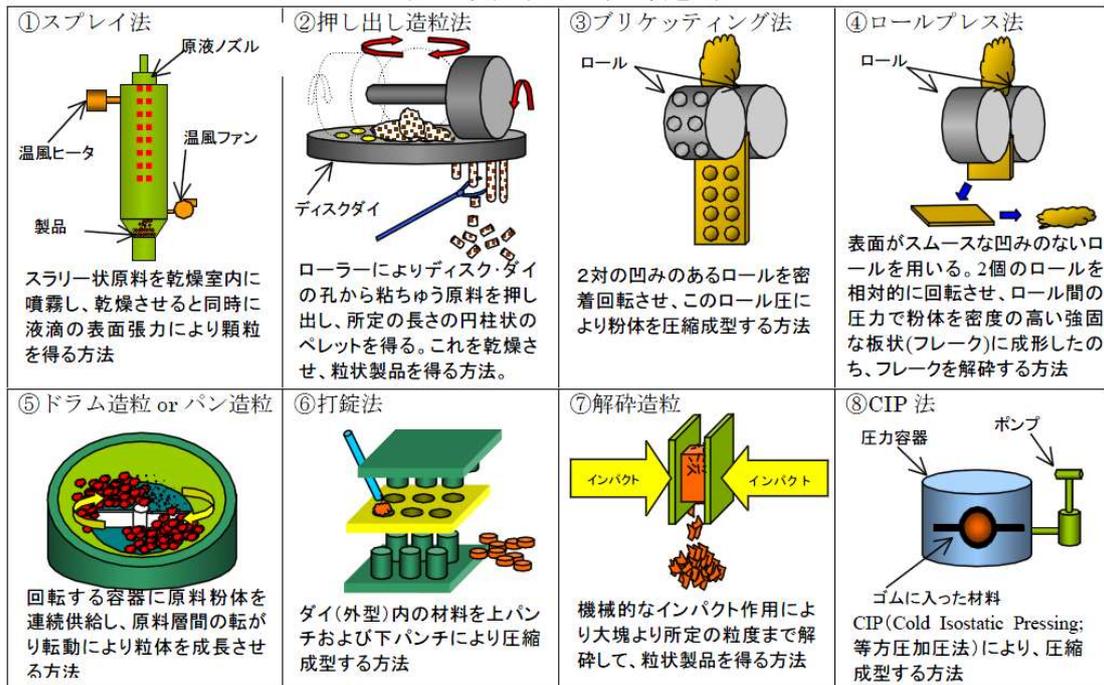


図 4.2.4-2 代表的なベントナイトペレットの製造方法[4]

平成 28 年度に、かさ密度 1.37Mg/m^3 を達成する場合の、ペレット材料の配合、充填率とペレット密度の範囲を取得した。ベントナイト 100% のペレット素材で製造した場合、図 4.2.4-3 のような関係となる。充填率はペレットの粒度分布や充填方法に影響を受けるが、ペレット自体の密度が高い方がより低い充填率で目的の密度を達成でき、施工時の品質管理も容易になる。

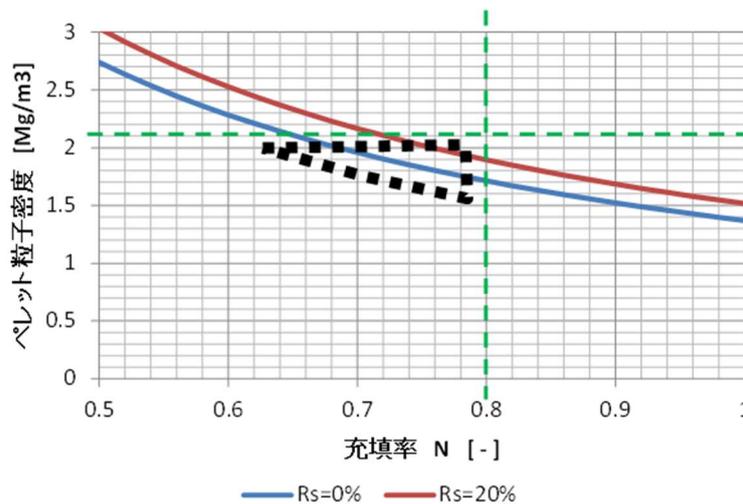


図 4.2.4-3 有効粘土密度 1.37Mg/m^3 を満足する充填率とペレット密度の関係

以下に、2 種類の高密度化材料の製造について述べる。

(1) ブリケッティング法による高密度化材料

ブリケッティング法による高密度化材料の製造については平成28年度に検討を実施した[2]。クニゲル V1 を材料として使用し、ベントナイトブリケッティング法で製造したペレットは図 4.2.4-4 に示すように 20mm×30mm 程度の扁平な形状であり、パラフィン法による密度測定で含水比 8%超、2.0Mg/m³ 以上であった。



図 4.2.4-4 ブリケッティング法により製造したペレットの外観

1) 上部開放部充填用のペレット混合材（ペレット充填材）

粉粒体による充填では、単一粒径よりも複数の粒径が混在する方が高い充填率を得ることが出来る。4.1.2 で充填方法の見直し前では、上部開放部もペレット充填を想定していたが、充填部の幅が数十 cm 以上であるため、ブリケッティング材と粒状ベントナイトを重量比で 70 : 30 の割合で混合したものをペレット混合材としての使用を想定した。このペレット混合材のかさ密度の測定結果を図 4.2.4-5 示す。目標かさ密度 1.37 Mg/m³ 以上の乾燥密度を達成できることを確認した。



容器容量(d144,h97mm)	1580cm ³
材料平均含水比	8.66%
ブリケッティング材重量	1650g
粒状ベントナイト重量	734g
かさ密度	1.389Mg/m ³

図 4.2.4-5 ブリケッティング法によるペレットの混合材のかさ密度測定結果

2) 下部狭隘部充填用のペレット混合材

下部狭隘部の隙間は最下部の台座付近で約 110mm、開放部との境界付近で 150mm 程度である。充填部の幅に対するペレット自体の大きさや隙間に挿入する充填装置のサイズを考慮し、ブリケッティング材をそのまま使用するのではなく、ブリケッティング法をベントナイトの高密度化という手段とした。

狭隘部への充填が可能のように、ブリケッティング法により製造したベントナイトペレットを

最密充填可能なフレー粒度となるように破碎した。粒度分布として表 4.2.4-1、図 4.2.4-6 に示すようなフレー粒度を目標仕様とした。

表 4.2.4-1 目標粒度分布（フレー粒度）

粒径 (mm)	通貨質量百分率 (%)
9.5	100
4.75	70.7
2	45.9
0.85	29.9
0.425	21.2
0.25	16.2

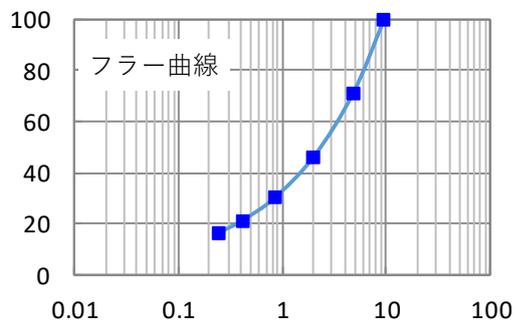


図 4.2.4-6 目標粒度分布（フレー粒度）

ペレットの破碎には、表 4.2.4-2 に仕様を示す装置を使用した。製造は、以下の手順で行った。

供給 → 破碎 → 分級 → 評価

供給：機械の負荷を確認しつつ手投入

破碎：パルペライザーおよびフラッシュミルによる破碎

分級：振動ふるいで 10mm 以上の材料を除去（ふるい目開き：10mm）

表 4.2.4-2 機械の仕様

破碎	型式	動力	ハンマー回転速度	スクリーン	
パルペライザー FII S-3 型 (スイングハンマー式粉碎機)		動力 (主軸)	3,490rpm (約 50m/s)	破碎条件参照	
		200V 2.2kW 4P			
		動力 (送軸)			
		200V 0.4kW 4P			
破碎	型式	動力	ナイフ回転速度	スクリーン	(底板)
	フラッシュミル FL-200	200V kW 4P	破碎条件参照		
分級	型式	ふるい目開き	ユーラス		
	振動ふるい 702 型	10mm	3		

図 4.2.4-7 に目標と破碎後の粒度分布を示す。目標のフレー粒度の 1mm 以下が約 30%であり、他の粒径の通過質量百分率も同程度であることを確認した。

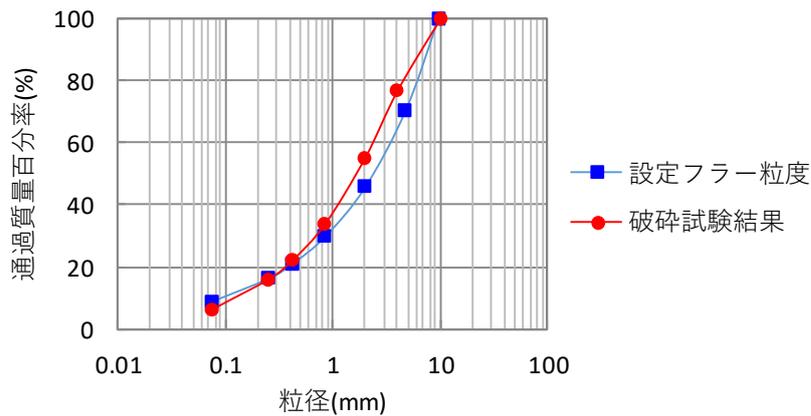


図 4.2.4-7 目標と破碎後の粒度分布



図 4.2.4-8 ブリケッティング材の解砕

解砕後のペレット混合材の平均含水比は 8.66%であり、既知の容積を持つ容器に充填しかさ密度を測定した結果、 1.375 Mg/m^3 であり、目標とした乾燥密度である 1.37 Mg/m^3 を達成していることを確認した。

(2) シート状ベントナイト作製法による高密度化材料

4.1.2にて上部開放部の充填方法を吹付け方式に変更したことにより、本事業におけるペレットの製造は下側の狭隘な空間に適応できるペレット、言い換えればフラー粒度を有する解砕材を効率よく製造できる方法も製造技術の候補となった。材料である粉体ベントナイトから直接フラー粒度を有するベントナイトペレットを製造することは困難であることから、一旦高密度ベントナイト圧縮体を製造し、解砕工程を経ることとした。この工程に適した方法として、図 4.2.4-2 の④に示したロールプレスによるシートベントナイト製造法を採用した。本手法によるベントナイトペレットの製造方法、および粒度調整後のペレット混合材で乾燥密度 1.37 Mg/m^3 を達成出来ることが報告されている[4]。



図 4.2.4-9 ロールプレスによるシート状ベントナイトの製造

図 4.2.4-9 にロールプレスによるシート状ベントナイトの製造の様子を示す。製造したシート状ベントナイト密度は平均 1.98Mg/m^3 であった。

ロールプレス法により製造したシート状ベントナイトを解砕し、さらに細粒分を加え粒度調整したベントナイトペレットを図 4.2.4-10 に示す。この材料の粒度分布を図 4.2.4-11 に示す。暫定の管理目標とした2つのフラー曲線（最大粒径 $7\pm 2\text{mm}$ ）の間に収まっている。この材料について JISA 1224 に準じて行った、ベントナイトペレットの最大密度は 1.47Mg/m^3 で、この材料をスクリーコンベアで狭隘部に充填する場合、目標とする 1.37Mg/m^3 を達成出来ることを確認した。



図 4.2.4-10 ロールプレス法により製造したベントナイトペレット

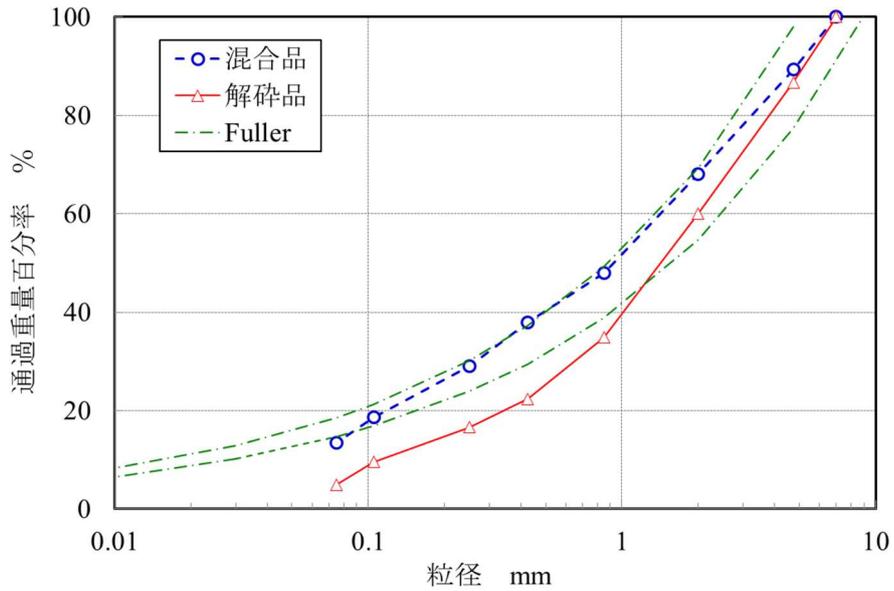


図 4.2.4-11 製造したベントナイトペレットの粒度分布

(3) ペレット製造技術のまとめ

ブリケッティング法やロールプレス法による高密度ベントナイトペレットの製造試験、および充填する空間に対応したペレット充填材の配合について検討した。ペレット方式による PEM-坑道間の隙間充填では、目標とするかさ密度を空間への充填率とペレット自体の高密度化により達成するが、狭隘な空間へ適用するペレット充填材として、高密度化ベントナイトの解砕品をフラ粒度に調整したものを、本事業では採用した。以後の試験では、ブリケッティング法により製造した大粒ペレットを解砕し粒度調整を行ったペレット充填材 A と、ロールプレス法により製造したシート状ベントナイトを解砕し粒度調整を行ったペレット充填材 B、クニゲル GX を試験の目的に合わせて使用した。

4.2.5 ステップ1：隙間充填装置の基本性能確認試験および移送前後の性状確認

ペレット方式による隙間充填では、4.2.4にて粒度を調整したペレット充填材を充填部へ移送することになる。充填部の品質確保の観点から分離や粒度分布の変化等、移送時における充填材の性状の変化を把握し、充填材の製造方法や充填技術に反映する必要がある。

本項では、品質管理や充填装置の設計に資するペレット移送時の特性の把握することを目的とした試験について述べる。

(1) クリューコンベア試作機を用いた予備試験で確認すべき設計要件の抽出

1) 移送可能距離

円形断面の処分坑道に PEM が定置され、図 4.2.3-2 のように全段面が狭隘となる場合、PEM1 体を充填では 5.7m 以上の移送距離が必要となる。天端部に設置されるスクリューが最も長くなり、充填材を供給するホッパーからコンベア先端の排出口までは 7.0m 程度となる。この長さのスクリューコンベアを製作し「投入した充填材が移送経路内に滞ることなく排出される」ことを確認することで、移送の可／不可を判断した。

2) 充填材移送機能

移送された充填材の特性が制御されていること、排出された充填材に（充填材の性能に依存しない範囲で）ある程度高い充填密度が確保されていること、実用的な移送速度が得られることを確認する。充填装置に要求される下記の充填材移送機能を確認する。

a 充填材の粒度分布

ペレット充填材はステップ0に示したように、充填率が高くなるような粒度分布に調整されている。投入材と排出材の粒度分布を測定・比較することで、移送による粒度分布への影響を評価する。分布の変化が移送時間（たとえば、排出初期とそれ以降など）で異なる可能性がある場合は、時間依存についてもデータを取得する。これは、実操業時に充填位置による充填材特性の差異がどの程度見込まれるかの検討情報になる。

b 排出された充填材の充填密度の確認

投入前と排出後の密度を比較する。ただし、現時点では、充填材の性能による改良分は比較できないことと、排出・充填条件が原位置試験の実際を反映できないことから、移送により密度が大きく低下しないかどうかを確認するにとどめる。

c 実用的な移送性能（単位時間あたりの移送量）

スクリューコンベアの移送能力の検討において、クニゲル GX を用いて移送速度と回転数の関係を取得した。実際の充填試験で使用するペレットを解砕した充填材に対し、回転数と移送性能の関係を取得した。

d スクリューコンベアの定常状態化までの挙動把握

スクリューコンベア内が空の状態でペレット充填材をホッパーに投入から排出開始までの時間、排出量の時間依存性は、充填に必要な時間の見積り、コンベア先端が目視できない場合の状況での装置の後退のタイミングの把握等、品質管理上重要であるため、排出速度が安定するまでの挙動、一旦停止後の再起動時の排出挙動を取得した。

e 移送状況の確認

移送が移送量に影響されずに円滑に行われているか、動力源に過大な負荷がかかっているかなどを、目視、異音の有無等で確認した。

(2) 試験方法

1) 試験前の充填材料の性状調査

ステップ1の充填試験には、ブリケット材解砕品である「ペレット充填材 A」、ロールプレス材解砕品である「ペレット充填材 B」を使用した。ペレット充填材の初期含水比（表 4.2.5-1）と粒度分布（表 4.2.5-2）と湿潤かさ密度（表 4.2.5-3、表 4.2.5-4）を試験前に計測した。

表 4.2.5-1 ペレット充填材 移送前の初期含水比

試料番号	ペレット充填材 A			ペレット充填材 B		
	1	2	3	1	2	3
容器＋ 湿潤質量(g) ma	2640.2	2882.0	2651.3	1563.9	1613.4	1654.5
容器＋ 乾燥質量(g) mb	2485.0	2709.1	2495.5	1489.3	1534.6	1572.2
容器重量(g) mc	639.9	640.0	647.5	640.2	641.8	640.8
含水比(%) w	8.4	8.4	8.4	8.8	8.8	8.8
含水比平均値	8.4%			8.8%		

表 4.2.5-2 ペレット充填材 移送前の粒度分布

試料	ペレット充填材 A		ペレット充填材 B	
サンプル重量(g)	4016.0		4002.5	
ふるい(mm)	通過試料質量(g)	通過百分率	通過試料質量(g)	通過百分率
19.000	4016.0	100.0%	4002.5	100%
9.500	3876.2	96.5%	4002.5	100%
4.750	3316.9	82.6%	3590.2	89.7%
2.000	2250.3	56.0%	2589.6	64.7%
0.850	1429.4	35.6%	1953.2	48.8%
0.425	932.8	23.2%	1629.0	40.7%
0.250	699.4	17.4%	1284.8	32.1%
0.106	405.5	10.1%	860.5	21.5%
0.075	288.7	7.2%	688.4	17.2%

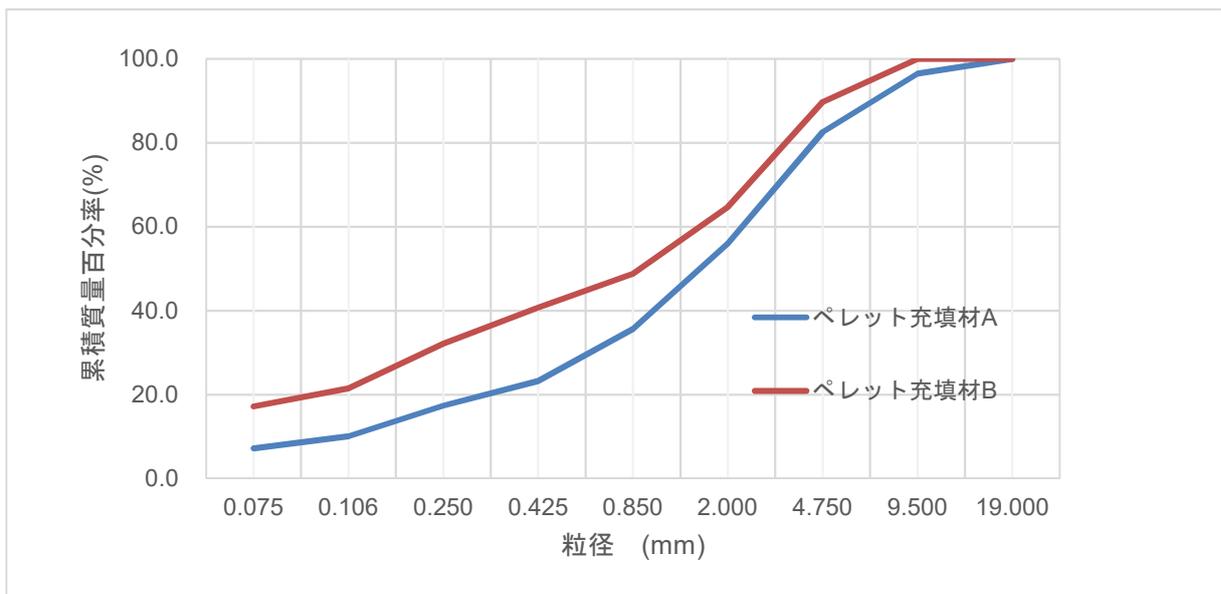


図 4.2.5-1 ペレット充填材 A、B の移送前の粒度分布の比較

表 4.2.5-3 ペレット充填材 A の移送前の湿潤かさ密度

測定番号	1	2	3	4	5
容器質量(g)	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6
容器+材料質量(g)	1262.9	1259.6	1256.2	1256.7	1272.7
材料質量(g)	1102.3	1099	1095.6	1096.1	1112.1
体積(cm ³)	774.6	774.6	774.6	774.6	774.6
かさ密度(g/cm ³)	1.423	1.419	1.414	1.415	1.436
平均かさ密度(g/cm ³)	1.421				

表 4.2.5-4 ペレット充填材 B の移送前の湿潤かさ密度

測定番号	1	2	3	4	5
容器質量(g)	160.6	160.6	160.6	160.6	160.6
容器+材料質量(g)	1214.4	1212.8	1224.1	1207.4	1216.5
材料質量(g)	1053.8	1052.2	1063.5	1046.8	1055.9
体積(cm ³)	774.6	774.6	774.6	774.6	774.6
かさ密度(g/cm ³)	1.360	1.358	1.373	1.351	1.363
平均かさ密度(g/cm ³)	1.361				

2) 試験手順と確認項目

表 4.2.5-5 にステップ 1 の試験手順および確認項目、図 4.2.5-2 に試験の実施イメージを示す。移送前の充填材のかさ密度を測定したのち、一定時間移送を行い、1 分毎の移送質量、かさ密度の推移を測定した。試験にはステップ 2 以降の試験に使用する 2 本のスクリーコンベア（以下、「スクリー 1」「スクリー 2」という。）を使用し、コンベアごとの個体差についても確認した。

表 4.2.5-5 ステップ1における試験手順

試験実施手順		試験のポイント	注意・確認事項
①	ホッパー内を充填材で満たす	初期投入量（容積、重量）を記録する	
②	所定のスクリー回転速度でのコンベア外管の初期充填状況を確認する	出口からの排出確認時に移送を中断し、コンベア外管充填材の量（充填率）を確認する	ホッパー内残量より、概ねの量を測定する
③	移送を再開し、ホッパー内に充填材を補充しながら引続き移送試験を行う	1分間毎の排出量（質量）、排出充填材のかさ密度を1分毎に測定し、経時推移を確認、記録する	排出量が安定したのち3分程度以上続ける
④	スクリー回転速度を変更して、①～③を実施する		

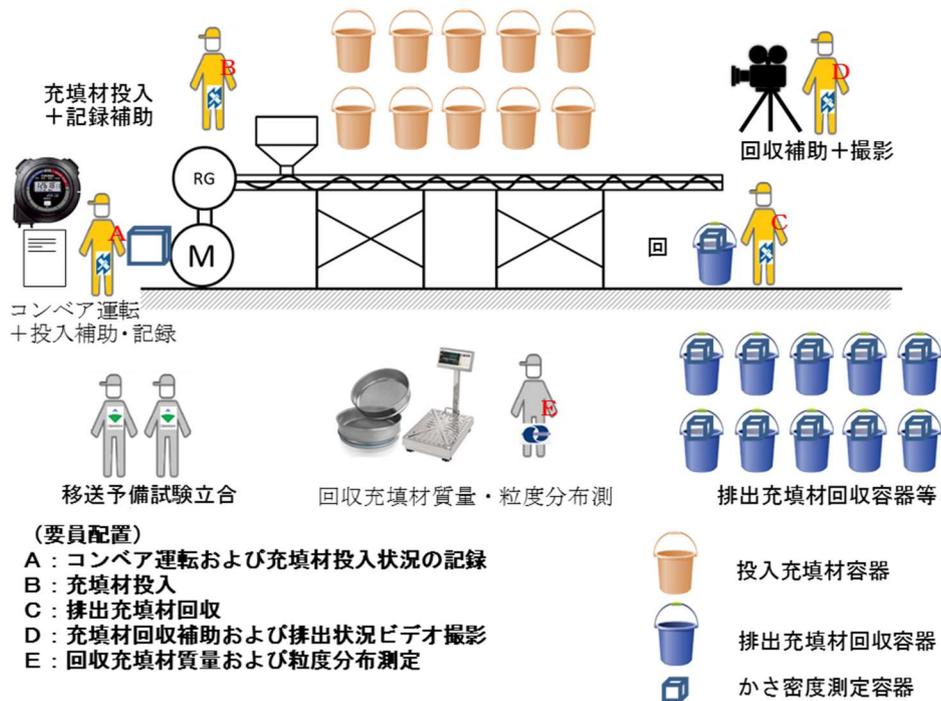


図 4.2.5-2 ステップ1実施時のイメージ

(3) 試験結果

図 4.2.5-3 にスクリーコンベアによる移送試験の様子を示す。1 分間に排出されるペレットを 1 分毎にバケツで受け、移送されたペレット重量の経時変化を測定するとともに、定容容器で重量を測定しかさ密度を評価した。



図 4.2.5-3 スクリューコンベアによる移送試験の様子

1) 定常状態に至るまでの時間

各試験条件での移送性能の推移を表 4.2.5-6 に示す。

ペレット充填材 A を使用し、コンベア内が空の状態の「スクリー 1」を 16.8rpm で動作させ、秤量したペレット充填材を投入し、排出されたペレットの重量を測定した。運転開始から 4 分までは徐々に排出されるペレットが増加した。排出を確認してから 4 分後からは約 6.4kg/min で移送性能が安定した。コンベア内の充填材を排出せずに引き続き 33.6rpm で動作させ、秤量したペレット充填材を投入し、排出されたペレットの重量を測定した結果、運転開始 2 分後から約 12.8kg/min で移送性能が安定した。

コンベア内が空の状態の「スクリー 2」を 33.6rpm で動作させ、秤量したペレット充填材を投入し、排出されたペレットの重量を測定した。運転開始から 3 分までは徐々に排出されるペレットが増加した。排出を確認してから 3 分後から約 13.1kg/min で移送速度が安定した。コンベア内の充填材を排出せずに引き続き 16.8rpm で動作させ、秤量したペレット充填材を投入し、排出されたペレットの重量を測定した結果、運転開始 3 分後から約 6.5kg/min で移送性能が安定した。

ペレット充填材 B を使用し、同様に移送性能が安定する時間を取得した。何れの回転数においても排出を確認後約 3～4 分で移送性能が安定した。

以上より、本試験で使用した長さ約 4.1m のスクリーコンベアの始動時には、排出確認後 4 分程度の準備運転でコンベア内を充填材で満たした後に充填作業に移ることで、安定した充填材の供給が確保できると考えられる。またコンベア内部が一旦満たされれば、一旦充填作業を中断しても再起動後は引き続き回転数に対応した移送性能が得られる。

2) 移送速度に対するスクリー回転数

表 4.2.5-6 に示した移送性能を時間に対してプロットしたものを、図 4.2.5-4、図 4.2.5-5 に示す。

表 4.2.5-6 各条件での移送性能の推移

条件	回転数 (rpm)	初期排出 確認まで	試料の採取区間 (分) と移送性能 (kg/min)											平均(kg/min) ※3分以降	
			~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11		
充填材 A	スクリー 1	16.8	0	1.96	2.86	5.25	6.42	6.45	6.42	6.46					6.44
		33.6	※継続	11.61	12.70	12.94	12.67	12.87	12.87	12.70					12.78
	スクリー 2	16.8	※継続	6.21	6.52	6.49	6.52	6.40	6.56	6.63					6.53
		33.6	0	4.71	10.71	13.19	13.15	13.18	13.08	13.15					13.14
充填材 B	スクリー 3	16.8	0	4.86	10.96	12.70	12.74	12.76	12.64	12.58	12.72	12.56	12.74	12.50	12.66
		33.6	0	5.98	6.32	6.34	6.26	6.24	6.20	6.24	6.22	6.28	6.38	6.36	6.27
	スクリー 4	16.8	---												
		33.6	0	4.70	12.14	12.54	12.70	12.74	12.76	12.70	12.76	12.48	12.50	12.54	12.65

基本性能確認



図 4.2.5-4 基本性能確認試験結果
(スクリー 1、2、充填材 A)

加工充填材に対する移送性能確認

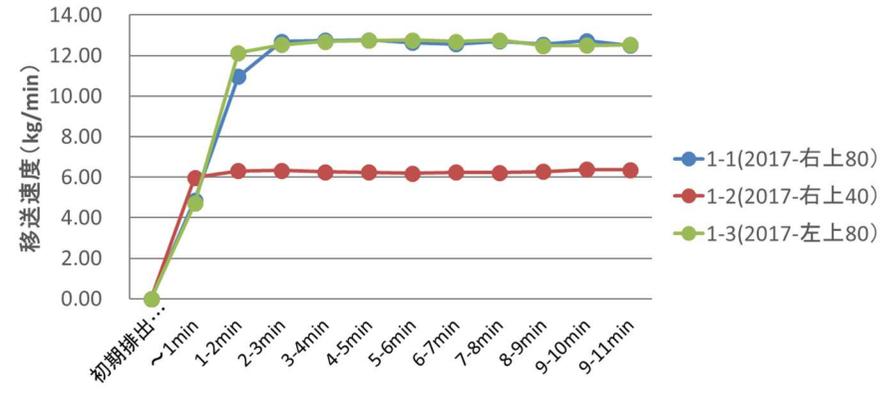


図 4.2.5-5 基本性能確認試験結果
(スクリー 3、4、充填材 B)

3) スクリューコンベアの基本性能の整理

図 4.2.5-4、図 4.2.5-5 にスクリューコンベアの基本性能確認試験の結果を示す。本試験で使用した長さ 4.1m のスクリューコンベアの場合、運転開始から 4 分間程度の空運転を行うことで、安定した移送速度が得られることが分かった。また移送速度はスクリューの回転速度に比例することを確認した。

1) 移送後のかさ密度の変化

排出されたペレットの重量測定後、かさ密度を測定した結果を表 4.2.5-7 に示す。移送前と比較して、移送後のペレット充填材のかさ密度は高くなる傾向が見られた。

表 4.2.5-7 移送後の湿潤かさ密度の推移

条件	回転数 (rpm)	移送前	移送後 かさ密度 Mg/m ³											
			~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	
充填材 A	スクリュー 1	16.8	1.421	1.462	1.439	1.455	1.446	1.457	1.445					
		33.6	1.421	1.467	1.425	1.469	1.439	1.441						
	スクリュー 2	16.8	1.421	1.498	1.483	1.462	1.482	1.485	1.479					
		33.6	1.421	1.453	1.454	1.460	1.450	1.461						
充填材 B	スクリュー 3	16.8	1.361	1.317	1.375	1.381	1.393	1.401	1.396	1.391	1.402	1.391	1.400	1.397
		33.6	1.361	1.409	1.390	1.396	1.382	1.390	1.379	1.375	1.381	1.384	1.415	1.407
	スクリュー 4	16.8	1.361											
		33.6	1.361											

2) 移送前後の充填材の粒度分布の変化

移送前後の粒度分布を比較した結果を、表 4.2.5-8、図 4.2.5-6 に例示する。移送後の粒度は分布を保ったまま僅かながら細粒側に遷移する傾向が見られる。これはスクリューコンベア内でペレットが解砕されることによるものと考えられる。

表 4.2.5-8 移送前後の充填材粒度分布の変化

充填材粒度試験結果（「スクリュー 1」、ペレット充填材 A、33.6 rpm）				
	移送前		試験ケース 1-2 移送後	
サンプル重量(g)	4016.0		4006.4	
ふるい(mm)	通過試料質量(g)	通過百分率	通過試料質量(g)	通過百分率
19.000	4016.0	100.0%	4006.4	100.0%
9.500	3876.2	96.5%	3917.5	97.8%
4.750	3316.9	82.6%	3443.8	86.0%
2.000	2250.3	56.0%	2450.5	61.2%
0.850	1429.4	35.6%	1596.2	39.8%
0.425	932.8	23.2%	1072.6	26.8%
0.250	699.4	17.4%	803.1	20.0%
0.106	405.5	10.1%	472.3	11.8%
0.075	288.7	7.2%	334.7	8.4%

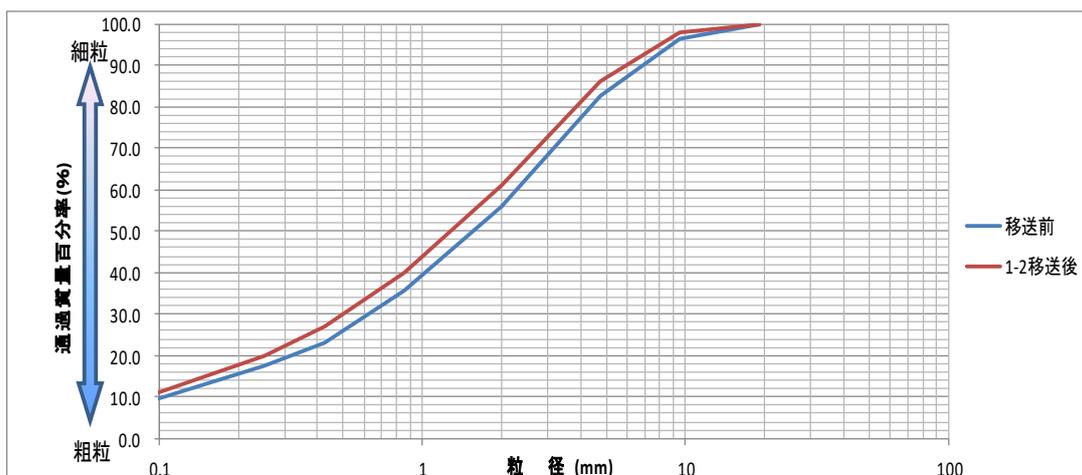


図 4.2.5-6 移送前後の充填材粒度分布の変化

(4) まとめ

上下のスクリーコンベアの移送性能はほぼ同等であることから、上段スクリーコンベアの移送性能を、スクリーコンベア単体での基本性能として、ステップ 2 以降の試験条件を設定することとした。

4.2.6 ステップ2：未充填部を生じないスクリー位置の選定

狭隘部充填装置のスクリーは、図 4.2.6-1 に示すように上段／下段用のスクリーを左右対称に合計4本を基本設計としている。充填装置の設計具体化、充填時の装置の運転パラメーター等の検討に資するため、上段と下段のスクリーの位置、各スクリーが受け持つ範囲を設定するための試験を実施した。

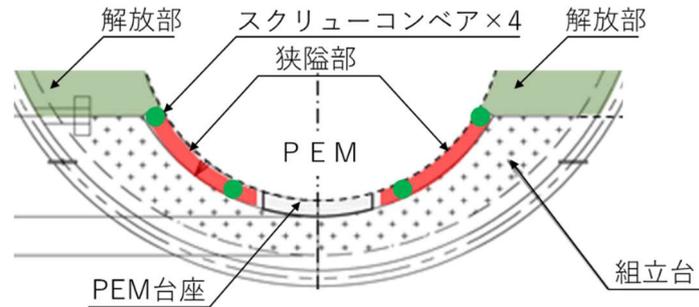


図 4.2.6-1 スクリューコンベア配置イメージ（再掲）

(1) 試験用模擬土槽

1) 模擬土槽の断面形状

狭隘部の充填試験に用いる模擬土槽は図 4.2.6-2 に示すとおり、実際に試験を行う試験坑道の、狭隘部断面を模擬して設計・製作した。

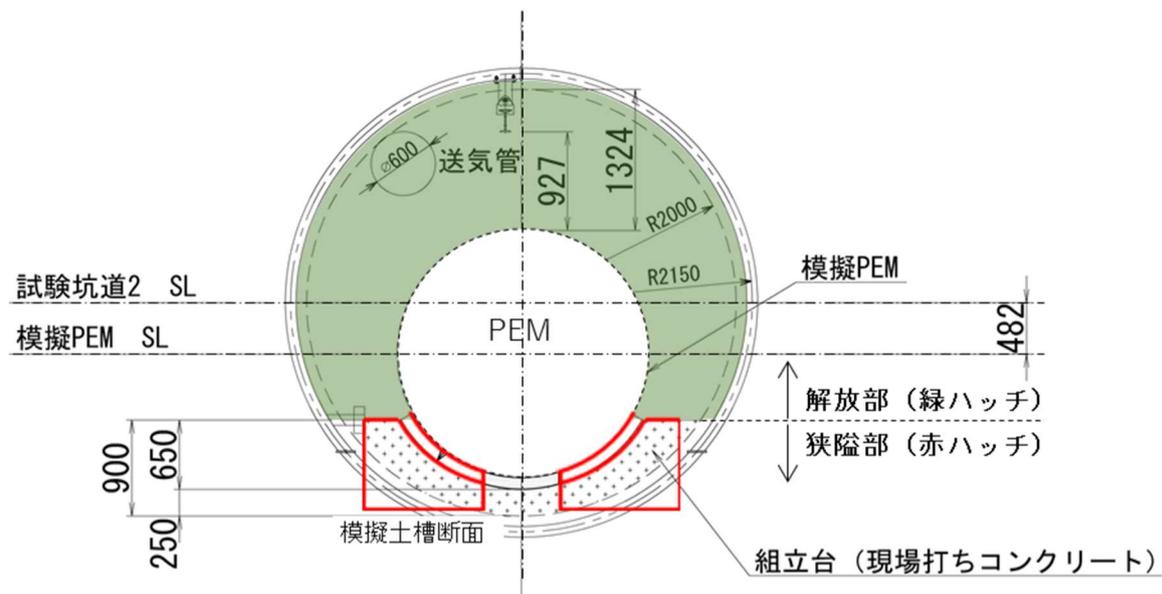


図 4.2.6-2 狭隘部充填試験用の模擬土槽の断面形状

2) 模擬土槽の延長

ペレット充填材安息角が 40° の場合に想定される、坑道延長方向への充填材の2次元的な広がりを図 4.2.6-3 に示す。充填後の麓（狭隘部最低部）の広がり、1,500～1,600mm 程度になることから、模擬土槽の狭隘部延長は、それ以上の寸法を目安とした。また、充填開始地点および

充填終了地点では、狭隘部以外に充填材が流れることとなるため、狭隘部前後には組立台を模擬した区間を設けることとした。

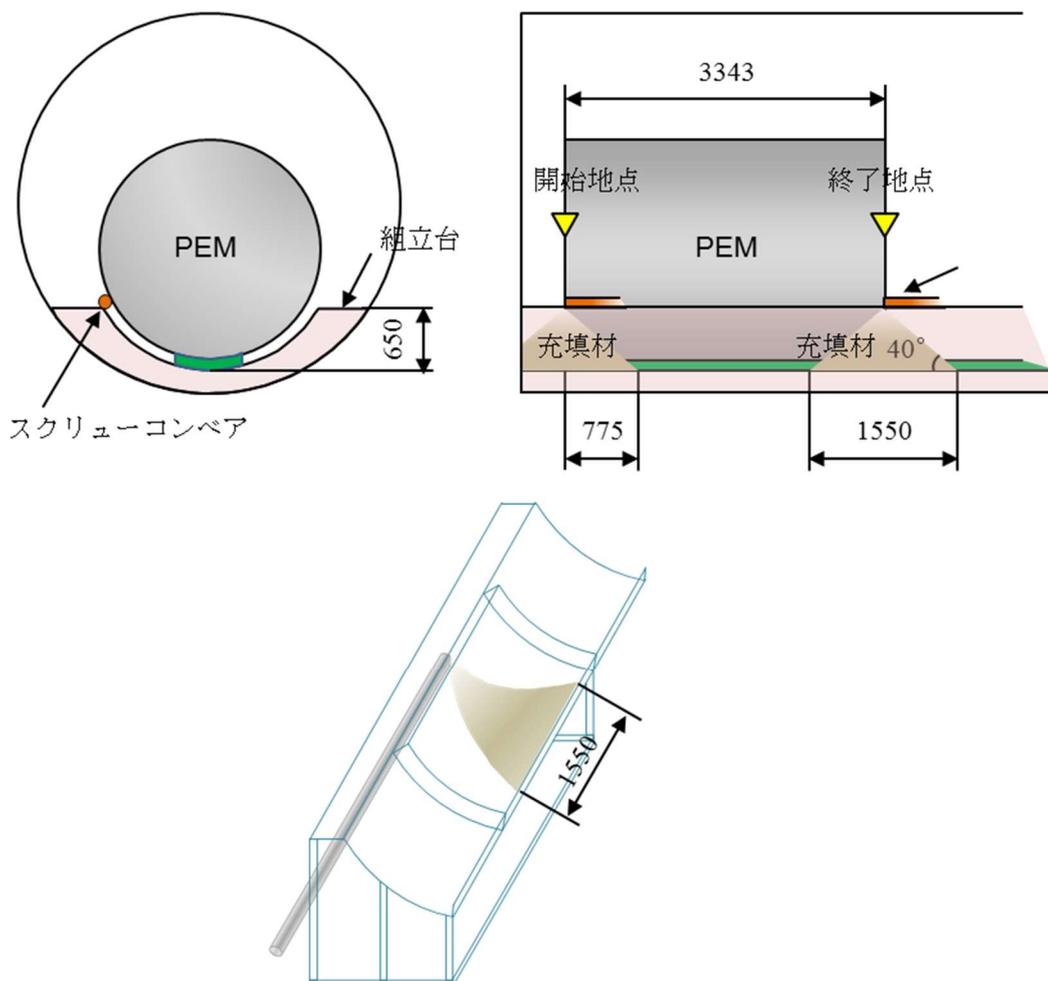


図 4.2.6-3 想定される充填材の2次元的な広がり

3) 左右に存在する狭隘部への対応

実際に充填する下部狭隘部は左右対称である。模擬土槽は、スクリュー回転方向を相対的に変更できる(前後どちらからも充填できる)よう、前後対称となるようにした。試験時には図 4.2.6-4 に示すように使用する。

4) サンプル用の窓

実際に地下で実施する充填試験では、充填部をサンプリングして密度分布を実測することが出来ないことから、充填作業時の装置の運転パラメータのみで充填部の密度分布がある範囲に収まっていることを保証しなければならない。運転パラメータの妥当性を検証するデータとするため、土槽上面の PEM 鋼殻に相当する面には、試料採取用の開口を 16 か所設けた。

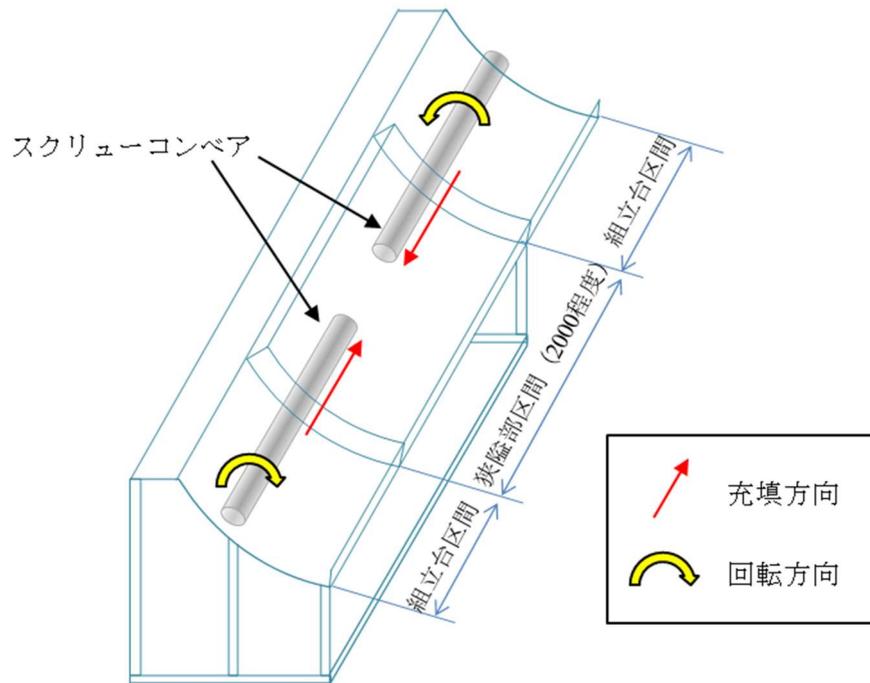


図 4.2.6-4 左右対称に存在する狭隘部への模擬土槽の対応

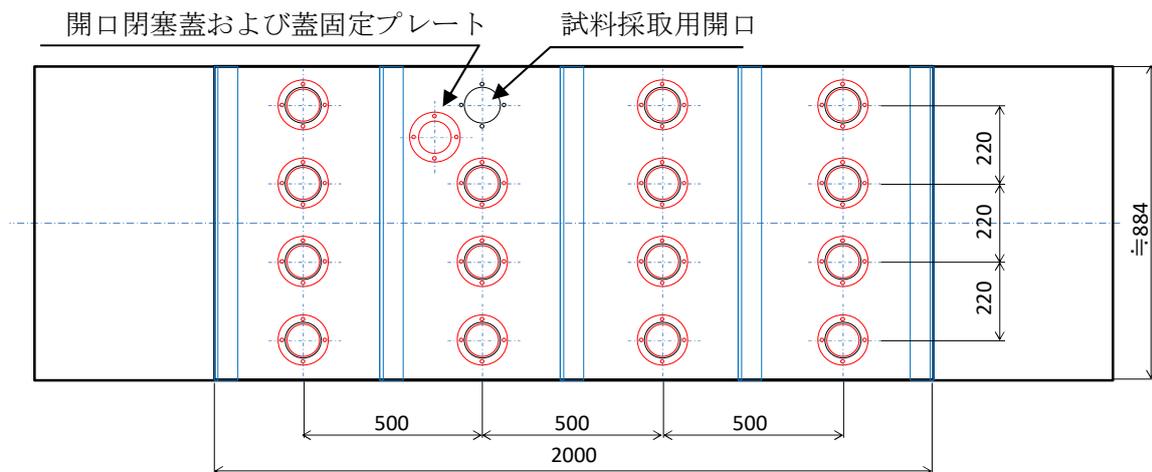


図 4.2.6-5 模擬土槽上面に設けた試料サンプリング用の窓の配置

5) その他の工夫

材質として、土槽下面（組立台側）は鋼製とした。土槽下面の粗度や摩擦等の性状がペレットの安息角形成に及ぼす影響を再現するため、表面仕上げについては、一般的なコンクリート板の表面仕上げ状態を参考に塗料の種類を検討した結果、超速乾 EXE（大同塗料株式会社製）を使用することとした。市販コンクリート板および表面仕上げ、塗装面の比較の指標としては、CSR 測定（耐滑り性試験：JISA 1454 準拠）による滑り抵抗係数を用いた。市販コンクリート板と、鋼板に 2 種類の塗料を塗装した試験体の滑り抵抗係数を比較し、コンクリート板の滑り抵抗係数と差が 0.05 程度となる塗料を採用した（CSR 値の差としての 0.05 という値は、一般的に測定誤差

の範囲とされている)。土槽上面 (PEM 側) は充填状況を目視確認できるように、アクリル等の透明な樹脂とし、PEM 表面は鋼殻であることから上面側は特に表面処理をせず、アクリル材ままとした。

6) 模擬土槽の外観

上記を踏まえ製作した下部狭隘部の模擬土槽を図 4.2.6-6 に示す。各試験ケースの比較を容易にするため、土槽端部に妻板を設置し、解放部への充填材の流れを抑制した。



図 4.2.6-6 下部狭隘部 模擬土槽全景

(2) 未充填部の形成状況の確認

平成 27 年度に実施した狭隘部模擬土槽へのペレット充填試験において、未充填部の形成状況は断面方向のみの確認に留まっている[5]。解砕し粒度調整を行ったペレットによる下部狭隘部内での 3 次元的な未充填部の形成状況を確認するため、上段スクリーンの排出口の想定位置から模擬土槽へ充填材を手投入した。

手投入による未充填部の形成状況を図 4.2.6-7 に示す。約 65kg の充填材を PEM 端部より投入したところ、PEM 端部約 10cm 範囲を PEM 面まで充填可能であること、坑道 (土槽) 延長方向への広がり、充填位置から 70cm 程度となること、未充填部と充填部の境界は、PEM 台座より約 30cm の位置にできることを確認した。

以上より、ステップ 2 における上段スクリーンの移動開始のタイミングは、充填材 65kg を模擬土槽に投入した後とすることとした。また、ペレットの重力落下による充填では上段スクリーンと下段スクリーンの分担量はおよそ 2 : 1 となる目安を得た。

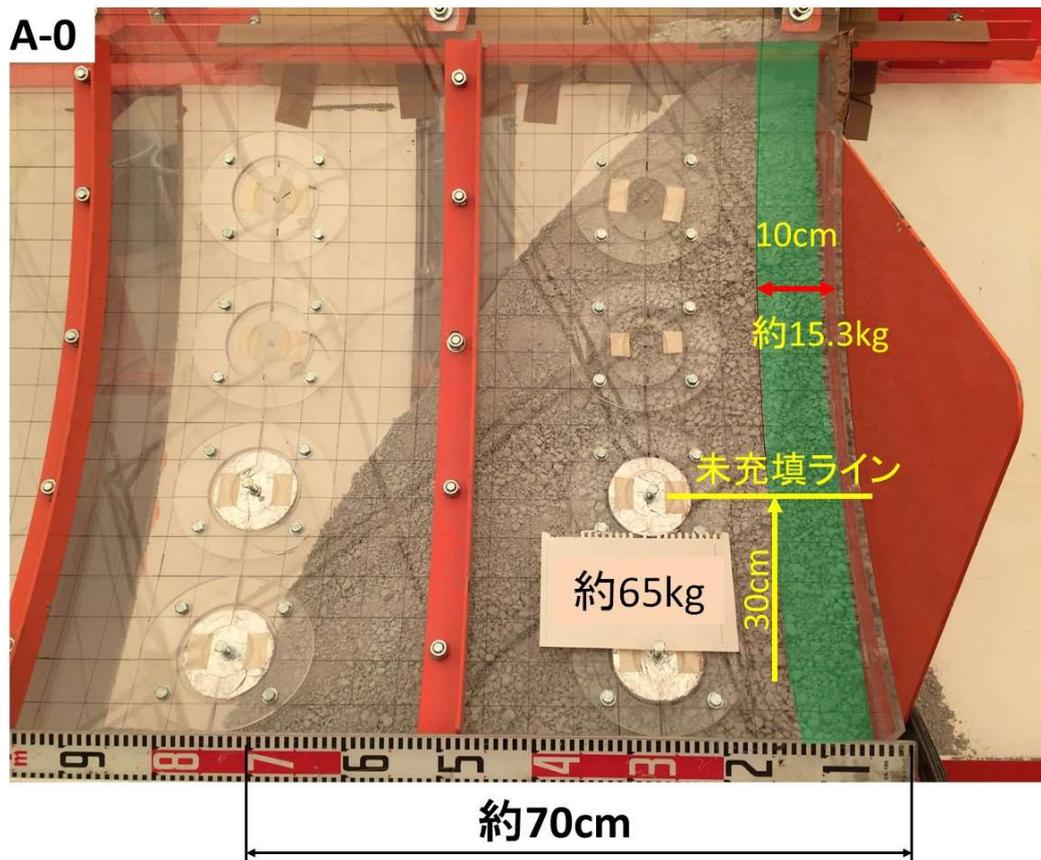


図 4.2.6-7 下部狭隘部内での未充填部の形成状況

(3) 試験方法

1) 試験手順と試験項目

基本的な配置は図 4.2.6-8 に示すように、上段スクリューは模擬土槽の上部、下段スクリューは(2)の結果を踏まえて未充填部を補うように台座側壁から 20cm とした。コンベア外管には図 4.2.6-9 に示すような狭隘部の断面を追従するような形状の付加装置を取り付けられるようにし、充填部の品質に対する効果を検証した。

スクリューコンベア内の初期条件として、ステップ 1 で得た知見を基に、充填材料の品質安定のため充填試験は安定移送状態（スクリュー内充填状態）より実施した。

ステップ 2 では未充填部を形成しないスクリューの配置選定に着目した試験とするため、スクリューコンベアを搭載した充填架台の移動は原則連続運転とし、試験の中断、再開等はない。また、充填開始位置での未充填部の形成を防止するため、充填架台の移動開始は下段スクリューコンベアの先端が 200mm 程度以上充填材に覆われた後とした。また充填を開始した場所や定常運転時それぞれの部位のデータを取得するため、土槽部分の端部（PEM 奥端部）から概ね～1m 程度をステップ 2 で充填する量とした。

表 4.2.6-1 にステップ 2 の試験手順、図 4.2.6-10 に試験イメージを示す。

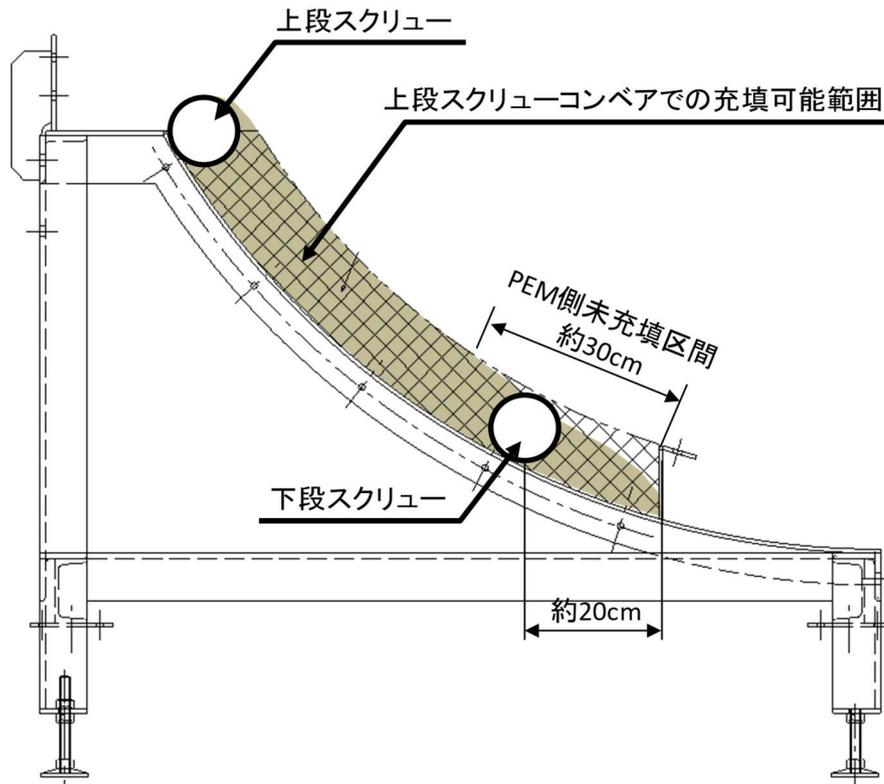


図 4.2.6-8 上段/下段スクリューコンベアの基本配置

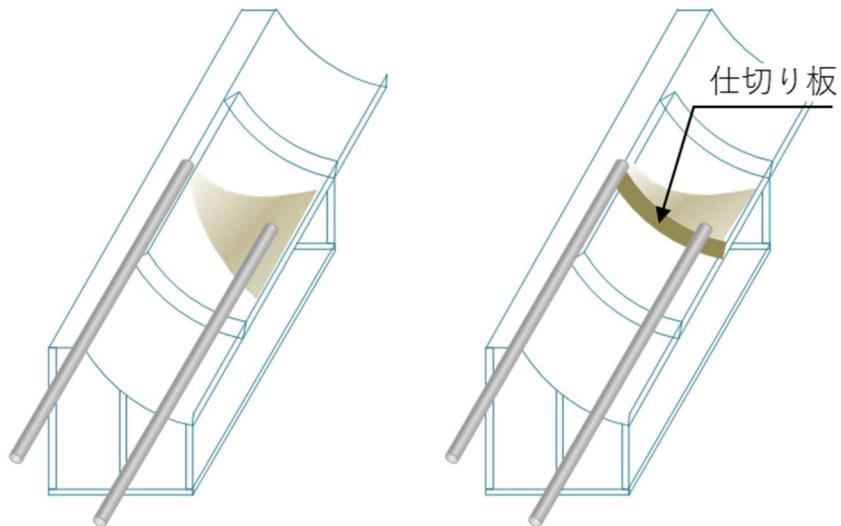


図 4.2.6-9 スクリュー外管に取り付ける仕切り板

表 4.2.6-1 ステップ2の調査実施手順

試験実施手順		試験のポイント	注意・確認事項
①	スクリー回転方向（充填対象隙間）を設定する		
②	コンベアパイプ内を充填材で満たす	・移送量が安定するまで排出する	土槽には設置しない
③	土槽の所定の位置にスクリーコンベアを設置する	・狭隘部端部は妻板等で閉塞しておく	スクリーの先端がだれないように養生する
④	所定のスクリー回転速度で充填しながら、充填架台を後退させる	・スクリー回転速度に合わせた充填架台の後退速度を設定し、充填状況を確認する	
⑤	アクリル面より充填状況を確認する	・目視、メジャー等によって充填状況を確認する	
⑥	充填架台を1m後退させ（1m充填し）、充填質量と充填容積を測定する	・未充填部を測定・確認する	
⑦	スクリー回転速度を変更して②～⑥を実施する		
⑧	②～⑦のうち最適ケースに対して付加装置を使用したケースを実施する		
⑨	スクリー回転方向（充填対象隙間）を変更して②～⑧を実施する		
⑩	①～⑨を上段、下段スクリーに対して、個別に実施する		

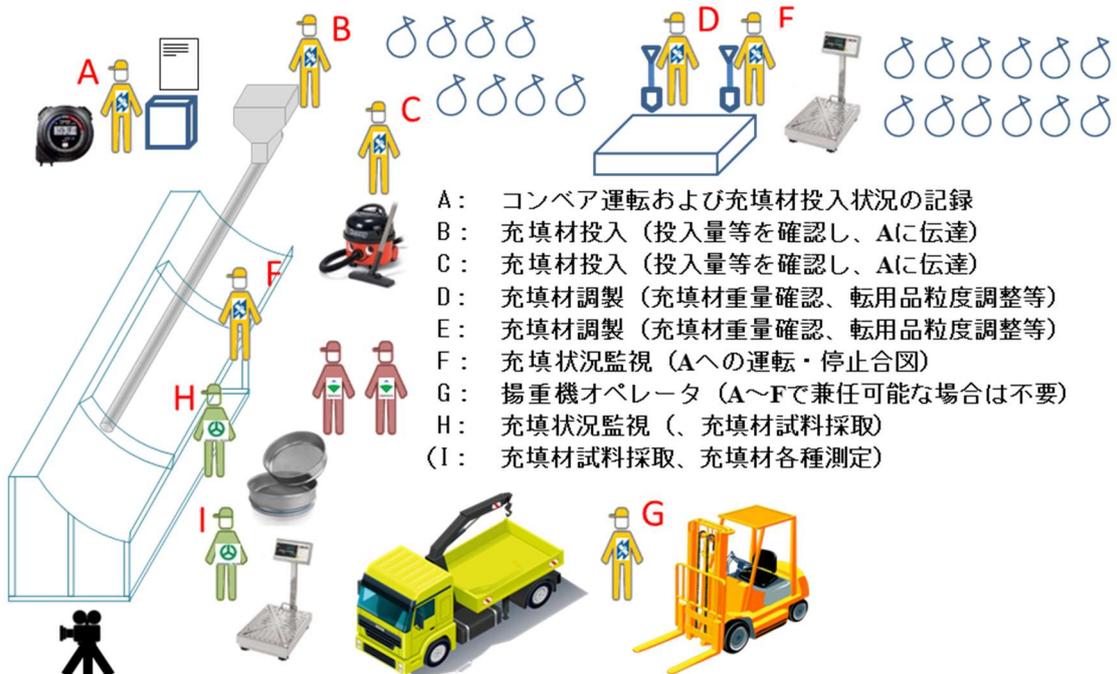


図 4.2.6-10 ステップ2の試験イメージ

2) 充填部からの試料のサンプリングと密度分布の評価

充填後、模擬土槽上面のサンプリング窓から充填材を採取し、部位ごとの密度分布を取得した。図 4.2.6-11 に模擬土槽からのサンプリング位置、図 4.2.6-12 にサンプリング方法を模式的に示す。手順として、①土槽上面の開口閉塞蓋固定プレートを外す、②開口塞蓋を抑えながらシンウォールチューブ（容積既知）を土槽に押し込む、③開口蓋を外す、④スコップ、マッシャー等でシンウォールチューブ内の充填材試料を回収する。⑤質量を測定し密度に換算する。



図 4.2.6-11 模擬土槽上面からのサンプリング位置

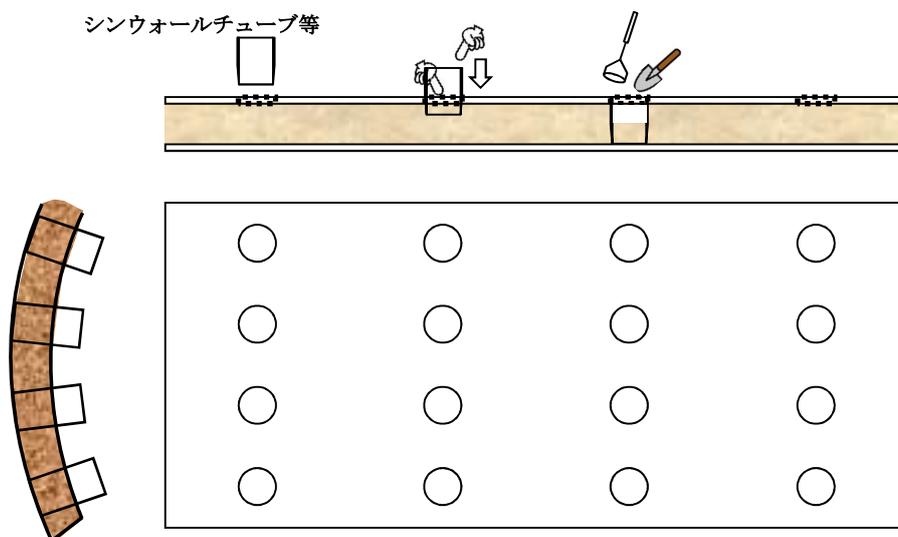


図 4.2.6-12 シンウォールチューブによる試料採取のイメージ

3) スケッチによる充填／未充填部の形成状況の記録

模擬土槽上面は透明なアクリル製であり、未充填部を観察することが出来る。模擬土槽上面に設けた 50mm 四方のマスを利用して、充填／未充填部を図 4.2.6-13 のように記録した。模擬土槽上面にペレット充填材が接触している部位を赤色、接触していない部位を青色で示し、未充填部の形成状況を可視化した。

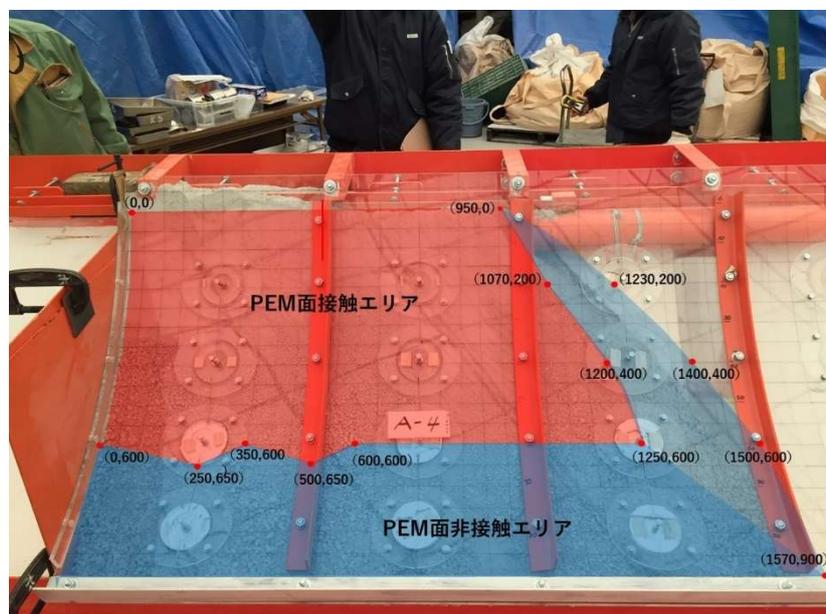


図 4.2.6-13 充填状況目視確認スケッチ

鋼製の坑道（組立台）面とアルミ箔が巻き付けられた PEM 面に充填材が充填され、PEM 面に充填材が到達した場合、導通によりメガーの抵抗値が 0Ω 近くまで減少する（到達しない場合は抵抗値が ∞ のまま）。目視とともに、メガーによる坑道面と PEM 面の導通（抵抗値が 0Ω 近くになること）により未充填のないことを確認した。



図 4.2.6-14 メガーによる土槽上面への接触の確認

4) 試験条件

ステップ3で実施する充填予備試験において狭隘部隙間を未充填部なく充填できる可能性の高い試験条件を調査・設定することを目的とし、主に①スクリー回転速度、②土槽の向きに対するスクリー回転方向、③付加装置による対策の有無に加え、必要に応じてスクリー配置等の別途対策の要否をパラメータとし、それらの適切と思われる組合せ条件を調査し、併せて上下段スクリーの分担割合の目安を確認する。

表 4.2.6-2 にステップ2の試験ケースを示す。試験は4つのフェーズに分け、上端スクリー左土槽をフェーズ1、上段スクリー右土槽をフェーズ2、下段スクリー左土槽をフェーズ3、下段スクリー右土槽をフェーズ4とした。試験の組合わせは、スクリー上段/下段、右土槽/左土槽、付加装置あり/なし、回転速度3条件とした場合、パラメータの組合わせにより合計24条件となる。一方、結果の比較を工夫することで試験点数を合理化出来る。

フェーズ1を例に、試験の合理化について述べる。

- ・ A-1(16.8rpm、仕切り板無)と A-3(33.6rpm、仕切り板無)は、スクリーの回転数が異なる。ステップ1の結果より、回転数と移送性能は比例関係にあることから充填効率が回転数の比だけ変わり、狭隘部の未充填部の形成過程に影響が無いと判断されれば、ステップ2における回転数の比はステップ1と同様に充填効率に寄与するパラメータと見なすことが出来る。
- ・ A-3(33.6rpm、仕切り板無)と B-3(33.6rpm、仕切り板有)は、スクリーの回転数が同じで、仕切り板の有無のみが異なる。両者で狭隘部の未充填部の形成過程に違いが生じれば、仕切り板の有無の影響と評価することが出来る。一方、回転数は移送性能のみに寄与するため、仕切り板の有無には影響しない。
 - ・ 上記2つの結果より、A-1(16.8rpm、仕切り板無)と B-1(16.8rpm、仕切り板有)の差は、A-3と B-3の違いと等価と判断出来、B-1を実施せずと仕切り板の効果を推測することが出来る。同様に A-2(9.6rpm、仕切り板無)と B-2(9.6rpm、仕切り板有)も回転数の違いによる移送性能の違いから結果を推測することが出来る。

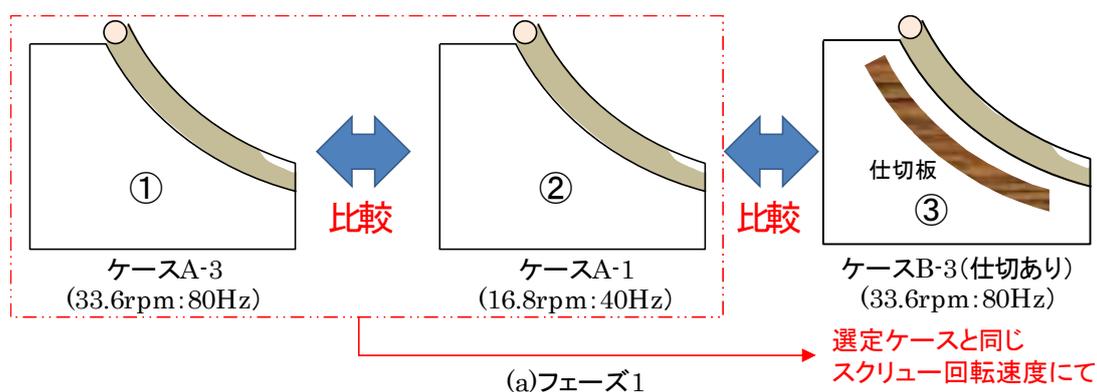


図 4.2.6-15 フェーズ1での試験の合理化の考え方

以上を、フェーズ2から4についても図 4.2.6-16 に示すように各パラメータを比較・評価することで合理化し、試験条件を12点とすることが出来る。

表 4.2.6-2 ステップ2 充填予備試験条件の調査・設定のための試験ケース

スクリー	配置 X-Y(mm)	対象隙間	付加装置	回転速度	安定移送能力目安 (kg/min)	1m 充填に使用する充 填材料の目安(kg)	稼働率	1m充填に要する 時間の目安 (min)	充填架台後退 速度の目安 ^{※2} (mm/min)	試験 ケース	実施順序	実施 フェーズ
手投入										A-0	0	0
上段	1090-670	L	なし	16.8rpm(40Hz)	6.4	153	1.00	23.9	42	A-1	2	1
				25.2rpm(60Hz)	9.6	153	1.00	15.9	63	A-2		
				33.6rpm(80Hz)	12.8	153	1.00	12.0	84	A-3	1	
			あり	16.8rpm(40Hz)	6.4	153	1.00	23.9	42	B-1		
				25.2rpm(60Hz)	9.6	153	1.00	15.9	63	B-2		
				33.6rpm(80Hz)	12.8	153	1.00	12.0	84	B-3	3	
		R	なし	16.8rpm(40Hz)	6.4	153	1.00	23.9	42	A-4	5	2
				25.2rpm(60Hz)	9.6	153	1.00	15.9	63	A-5		
				33.6rpm(80Hz)	12.8	153	1.00	12.0	84	A-6	4	
			あり	16.8rpm(40Hz)	6.4	153	1.00	23.9	42	B-4		
				25.2rpm(60Hz)	9.6	153	1.00	15.9	63	B-5		
				33.6rpm(80Hz)	12.8	153	1.00	12.0	84	B-6	6	
下段	X1-Y1	L	なし	33.6rpm(80Hz)	12.8	57	1.00	4.4	225	A-7		3
				16.8rpm(40Hz)	6.4	57	1.00	8.9	112	A-8	7	
				8.4rpm(20Hz)	3.2	57	1.00	17.8	56	A-9	8	
			あり	33.6rpm(80Hz)	12.8	57	1.00	4.4	225	B-7		
				16.8rpm(40Hz)	6.4	57	1.00	8.9	112	B-8	9	
				8.4rpm(20Hz)	3.2	57	1.00	17.8	56	B-9		
		R	なし	33.6rpm(80Hz)	12.8	57	1.00	4.4	225	A-10		4
				16.8rpm(40Hz)	6.4	57	1.00	8.9	112	A-11	10	
				8.4rpm(20Hz)	3.2	57	1.00	17.8	56	A-12	11	
			あり	33.6rpm(80Hz)	12.8	57	1.00	4.4	225	B-10		
				16.8rpm(40Hz)	6.4	57	1.00	8.9	112	B-11	12	
				8.4rpm(20Hz)	3.2	57	1.00	17.8	56	B-12		

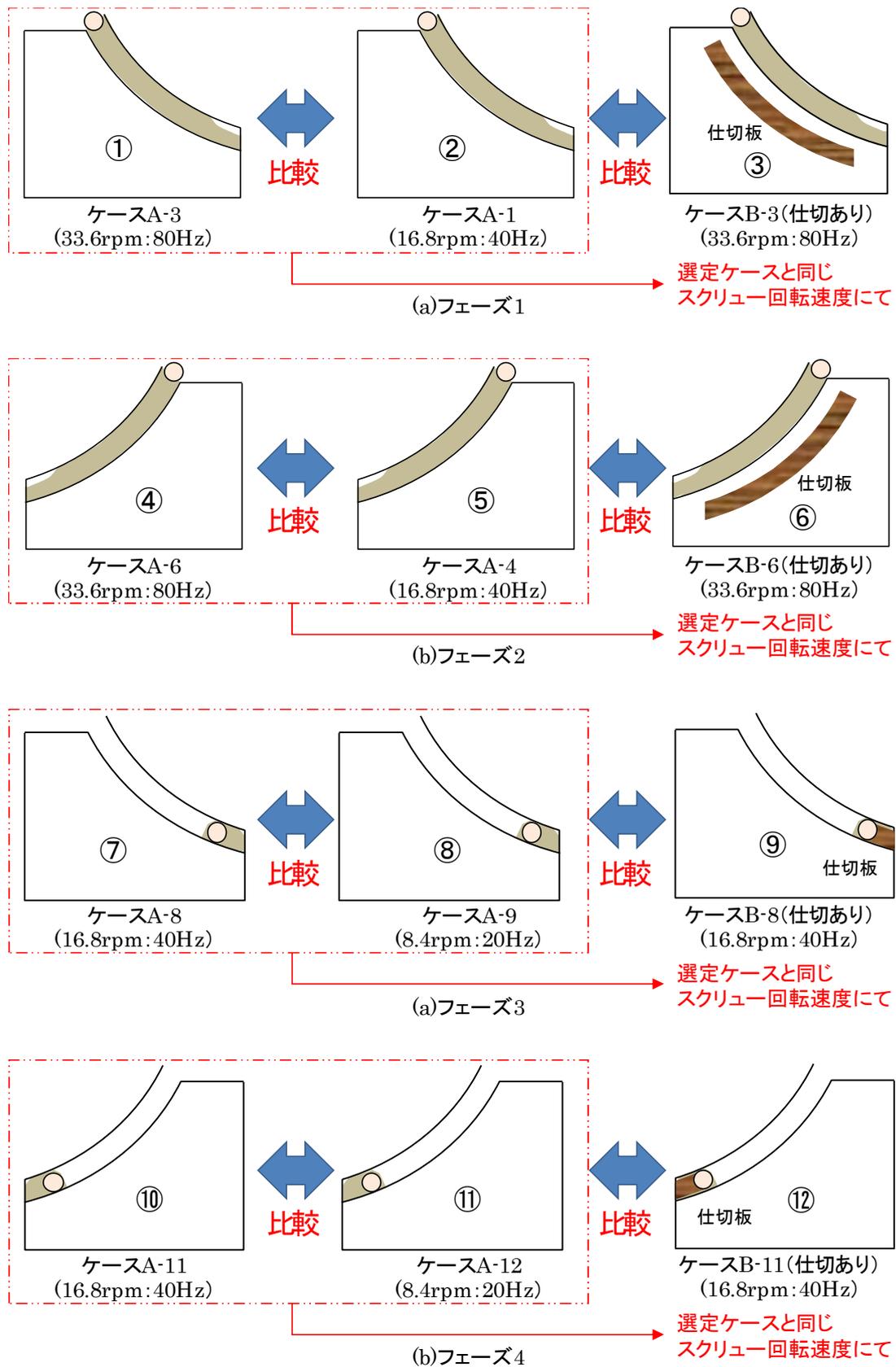
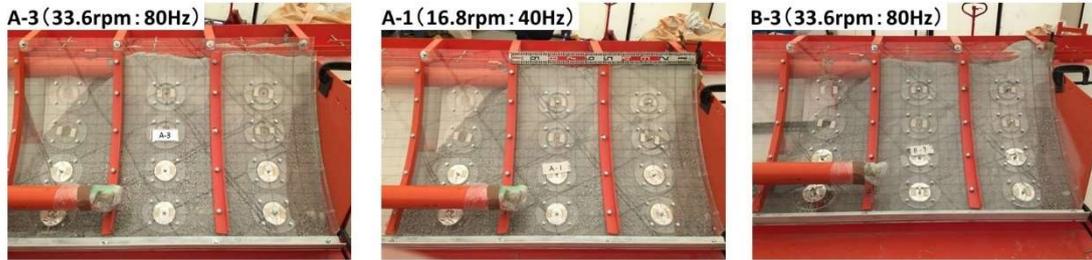


図 4.2.6-16 ステップ2の試験条件の合理化 (全フェーズ)

(4) 試験結果

各条件での模擬土槽への充填状況、充填部のスケッチを示す。

1) 上段スクリーによる左土槽への充填（フェーズ1）



(a)フェーズ1(上段スクリー 左隙間対象)

図 4.2.6-17 上段スクリーによる左土槽への充填状況

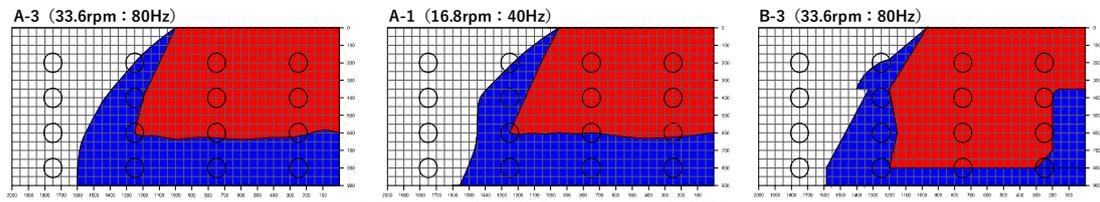
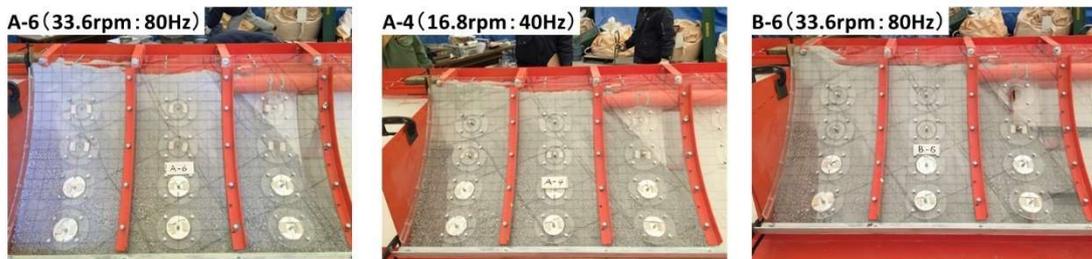


図 4.2.6-18 上段スクリーによる左土槽充填時の充填／未充填部の分布

2) 上段スクリーによる右土槽への充填（フェーズ2）



(b)フェーズ2(上段スクリー 右隙間対象)

図 4.2.6-19 上段スクリーによる右土槽への充填状況

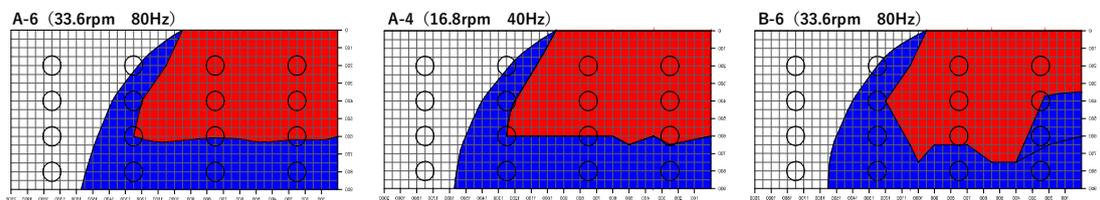
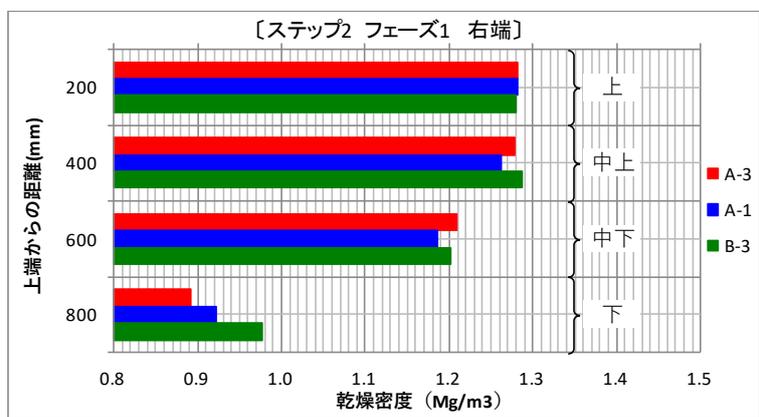


図 4.2.6-20 上段スクリーによる右土槽充填時の充填／未充填部の分布

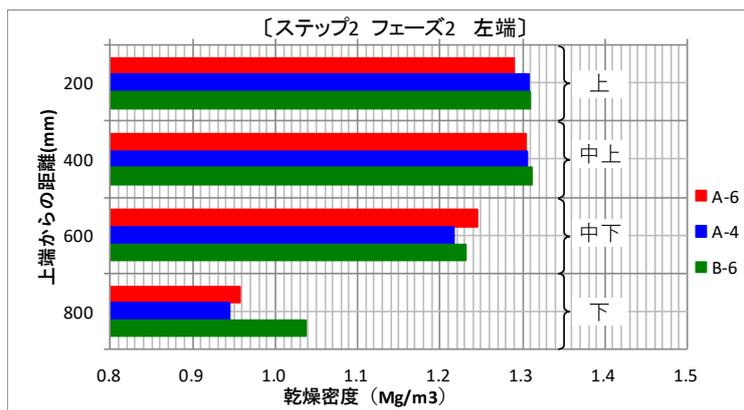
表 4.2.6-3 ステップ2 充填かさ密度測定結果 (フェーズ1、2)

フェーズ	対象スクリー	対象隙間	付加設備	試験ケース	回転速度	上下方向	左右(延長)方向							
							左端		中左		中右		右端	
							湿潤密度 Mg/m ³	乾燥密度 Mg/m ³						
1	上段	左	なし	A-3	33.6rpm	上							1.389	1.282
					80Hz	中上							1.386	1.278
						中下							1.311	1.209
				A-1	16.8rpm	上							1.389	1.282
					40Hz	中上							1.369	1.263
						中下							1.287	1.187
あり	3.64rpm	上							1.387	1.280				
	80Hz	中上							1.396	1.287				
		中下							1.303	1.202				
2	上段	右	なし	A-6	33.6rpm	上	1.398	1.290						
					80Hz	中上	1.414	1.304						
						中下	1.350	1.246						
				A-7	16.8rpm	上	1.418	1.308						
					40Hz	中上	1.415	1.305						
						中下	1.320	1.217						
			あり	33.6rpm	上	1.420	1.310							
				80Hz	中上	1.422	1.312							
					中下	1.334	1.231							
					下	1.125	1.038							

※乾燥かさ密度は、含水比 8.4%として湿潤かさ密度より算出



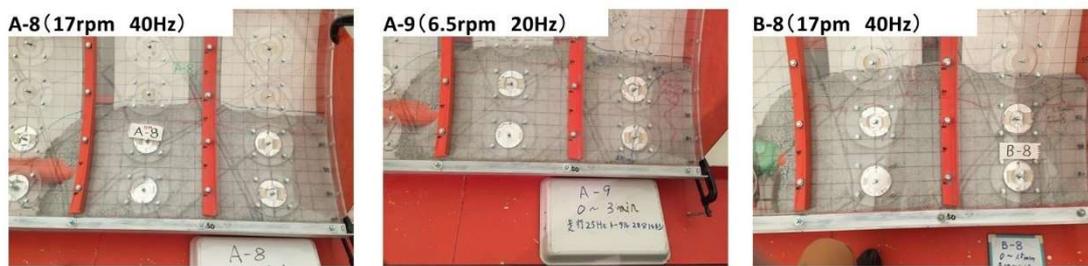
(a)フェーズ1 (左隙間)



(b)フェーズ2 (右隙間)

図 4.2.6-21 上段スクリーでの充填かさ密度測定結果

3) 下段スクリーによる左土槽への充填 (フェーズ3)



(a)フェーズ3(下段スクリー 左隙間対象)

図 4.2.6-22 下段スクリーによる左土槽への充填状況

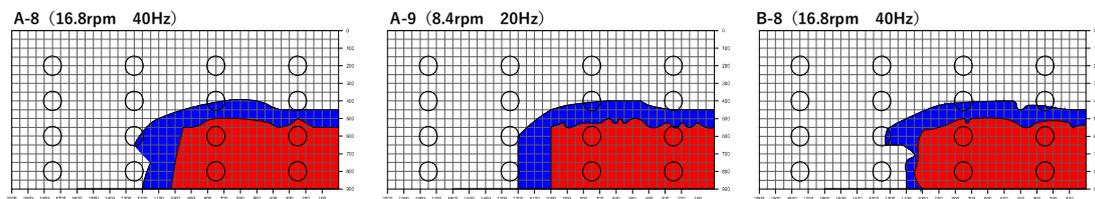
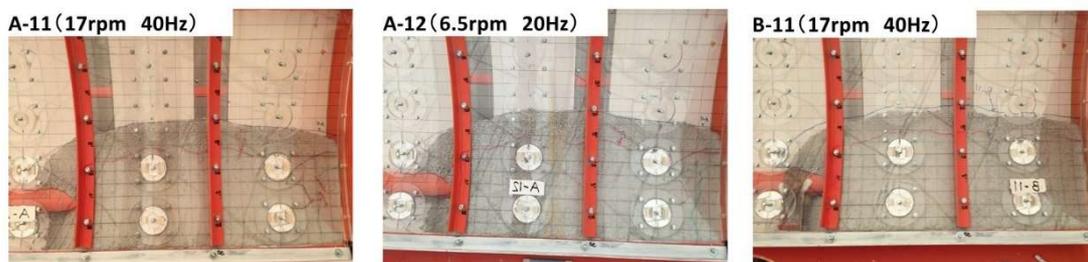


図 4.2.6-23 下段スクリーによる左土槽充填時の充填／未充填部の分布

4) 下段スクリーによる右土槽への充填 (フェーズ4)



(b)フェーズ4(下段スクリー 右隙間対象)反転画像

図 4.2.6-24 下段スクリーによる左土槽への充填状況

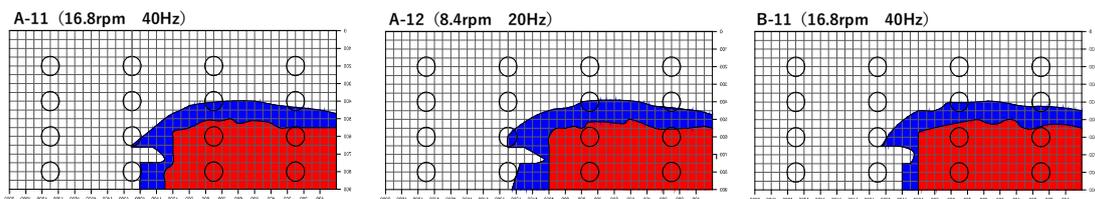


図 4.2.6-25 下段スクリーによる右土槽充填時の充填／未充填部の分布

表 4.2.6-4 ステップ2 充填かさ密度測定結果 (フェーズ3、4)

フェーズ	対象スクリー	対象隙間	付加設備	試験ケース	回転速度	上下方向	左右(延長)方向									
							左端		中左		中右		右端			
							湿潤密度 Mg/m ³	乾燥密度 Mg/m ³								
3	下段	左	なし	A-8	16.8rpm	上	33.6rpm									
					40Hz	中上					1.474	1.360	1.459	1.346		
						中下					1.573	1.452	1.559	1.439		
				A-9	8.4rpm	上	16.8rpm									
						中上										
					20Hz	中下					1.473	1.359	1.432	1.321		
あり	B-8	16.8rpm	上	33.4rpm		付加装置	200mm									
		40Hz	中上					1.469	1.355	1.481	1.367					
			中下					1.570	1.448	1.575	1.453					
4	下段	右	なし	A-11	16.8rpm	上					33.6rpm					
					40Hz	中上	1.448	1.336	1.526	1.408						
						中下	1.521	1.403	1.580	1.458						
				A-12	8.4rpm	上					16.8rpm					
						中上										
					20Hz	中下	1.456	1.343	1.499	1.383						
			あり	B-11	16.8rpm	上					付加装置	200mm	33.4rpm			
					40Hz	中上	1.451	1.339	1.533	1.414						
						中下	1.546	1.427	1.572	1.450						

※乾燥かさ密度は、含水比8.4%として湿潤かさ密度より算出

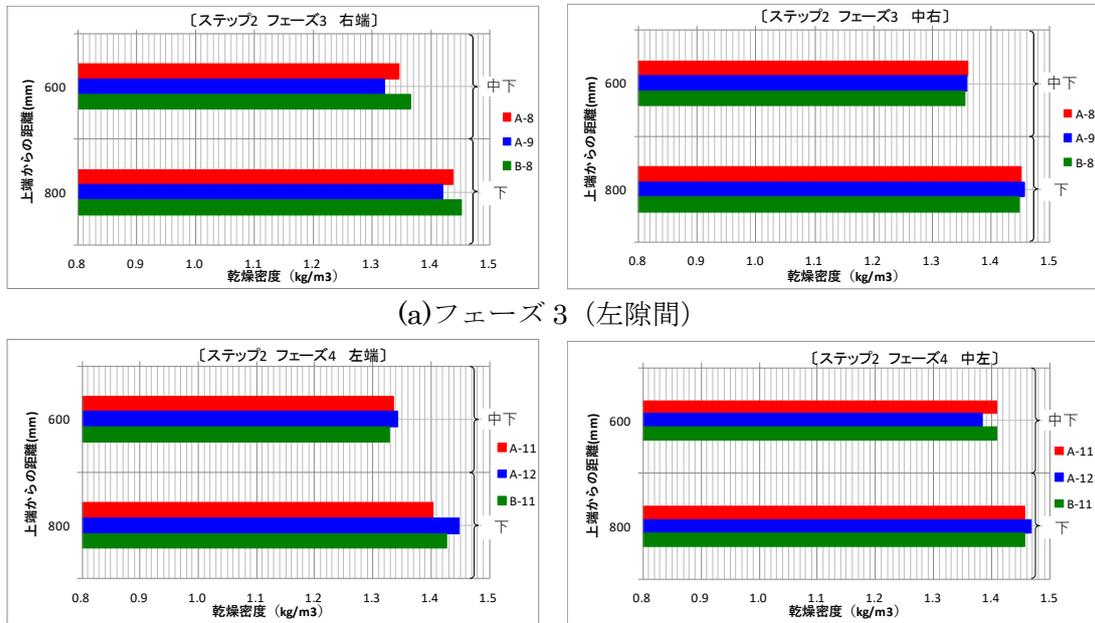


図 4.2.6-26 ステップ2 充填かさ密度測定結果 (フェーズ3、4)

(5) 評価

1) スクリュー回転速度の影響

スクリー回転速度による充填品質の差を確認するため、以下の試験ケースを比較した。充填架台の移動速度は、表 4.2.6-2 の目安に示すとおり、模擬土槽 1m あたり 153kg の充填材を移送することとし、スクリー回転速度 33.6rpm では約 83mm/min、16.8rpm では約 41.5mm/min となるよう設定した。

予備試験により、上段スクリーコンベアの担当範囲の方が下段よりも大きくなることが想定されたため、上段スクリー回転速度 16.8rpm と 33.6rpm での試験を実施し、比較した。

○上段スクリーによる左土槽への充填：付加装置なし（フェーズ 2）

A-1（スクリー回転速度 16.8rpm）と A-3（スクリー回転速度 33.6rpm）

○上段スクリーによる右土槽への充填：付加装置なし（フェーズ 2）

A-4（スクリー回転速度 16.8rpm）と A-6（スクリー回転速度 33.6rpm）

図 4.2.6-17～図 4.2.6-20 に示す充填状況のうち、フェーズ 1：A-1、A-3、フェーズ 2：A-4、A-6) の目視による比較結果では、台座側面に未充填部が生じるが、模擬土槽上部は充填材が土槽上面に接しを確認した。充填／未充填部の境界の位置、充填材の安息状態はに図 4.2.6-27 示すようになり、予備試験で手投入した場合と同様になった。スクリーの回転速度は充填に要する時間のみ寄与するため、上部スクリーコンベアの回転速度は 33.6rpm を基本の値に設定した。

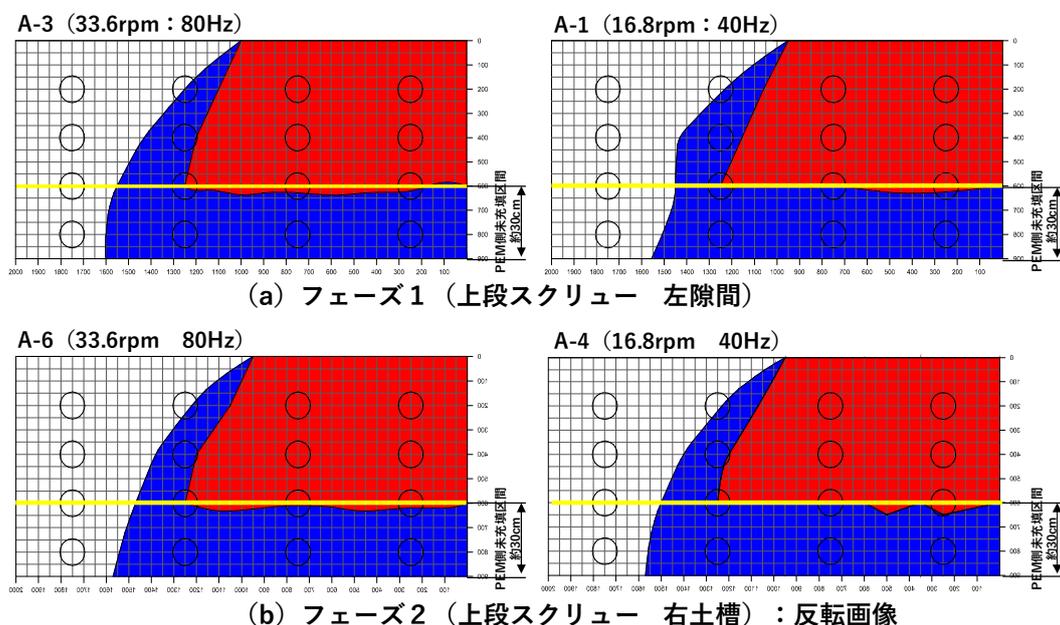


図 4.2.6-27 上段のみでの充填の場合の未充填部と坑道延長方向の充填材の安息状態

下段スクリー回転速度は上段スクリー最適回転数を 33.6rpm に設定したこと、上段スクリーによる未充填部の境界が台座から 300mm 付近となることから、上限段スクリーの充填分担割合を上：下=2：1 と仮に設定すると、16.8rpm が基本の回転速度となる。下段スクリー回転速度 8.4rpm と 16.8rpm での試験を実施し、比較した。

○下段スクリーによる左土槽への充填：付加装置なし（フェーズ3）

A-9（スクリー回転速度 8.4rpm）と A-8（スクリー回転速度 16.8rpm）

○下段スクリーによる右土槽への充填：付加装置なし（フェーズ4）

A-12（スクリー回転速度 8.4rpm）と A-11（スクリー回転速度 16.8rpm）

未充填部の境界（PEM 台座から 300mm）を考慮した場合、下段スクリーでは、模擬土槽 1m あたり概ね 57kg の充填が必要となる。この場合充填架台の移動速度は表 4.2.6-2 に示すとおり、スクリー回転速度 16.8rpm では約 112mm/min、8.4rpm では約 56mm/min を当初の値としてとして試験を実施した。しかしながら、試験ケース A-8 実施時に、十分な充填品質を確保できないことを確認したため、スクリー回転速度 16.8rpm で 72.5mm/min 程度、8.4rpm では 36.25mm/min 程度まで移動速度を変更して試験を実施した。

図 4.2.6-22～図 4.2.6-25 に示す充填状況のうち、フェーズ3：A-8、A-9、フェーズ4：A-11、A-12) の目視による比較結果では、いずれのスクリー回転速度においても上段スクリーの場合に発生した未充填部を解消できることを確認した。下段スクリーのみで充填した場合の、充填／未充填部の境界を図 4.2.6-28 に示す。

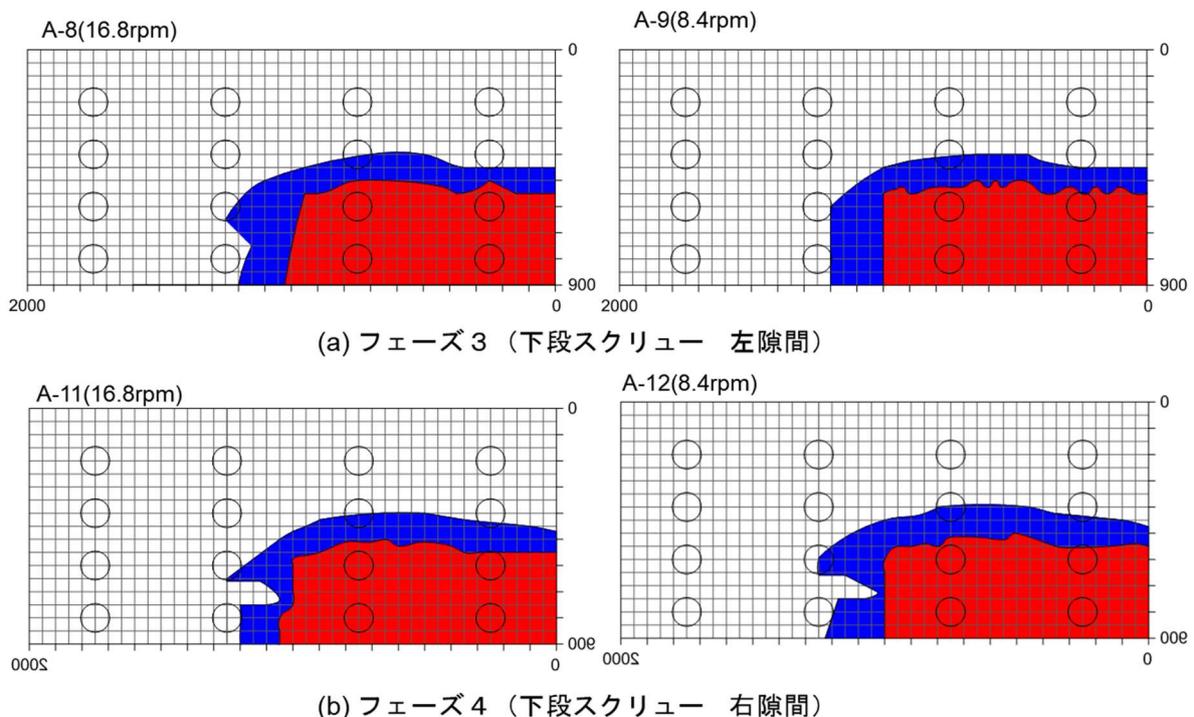


図 4.2.6-28 下段のみでの充填の場合の未充填部と坑道延長方向の充填材の安息状態

2) 充填対象の隙間に対するスクリーコンベア回転方向の影響

本試験で使用したスクリーコンベアはすべて右ネジとなっている。そのため前述(1)3のように模擬土槽に充填を行った場合、図 4.2.6-29 のような土槽と回転方向の関係となる。

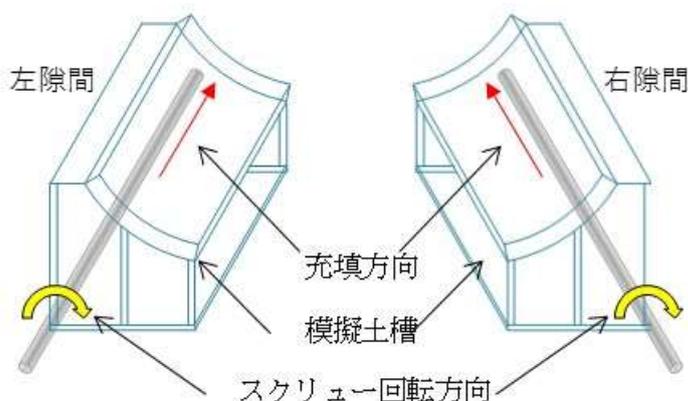


図 4.2.6-29 左右の模擬土槽に対するスクリーコンベアの回転方向の関係

土槽に対する回転方向の比較のため、以下の試験ケースを比較した。

○上段スクリーによる回転方向の影響：付加装置なし

A-1 (左土槽への充填：16.8tpm) と A-4 (右土槽への充填：16.8rpm)

A-3 (左土槽への充填：33.6tpm) と A-6 (右土槽への充填：33.6rpm)

○下段スクリーによる回転方向の影響：付加装置なし

A-9 (左土槽への充填：8.4tpm) と A-12 (右土槽への充填：8.4rpm)

A-12 (左土槽への充填：16.8tpm) と A-11 (右土槽への充填：16.8rpm)

1)で示したように、回転速度は充填速度のみに寄与する。上段スクリーについては、土槽の向きとスクリー回転方向の影響は見られなかった。下段スクリーについても回転方向の影響は見られない。ただし、右隙間に対する充填の際にのみ、スクリーコンベアが一定の周期をもって揺動運動し、PEM面に接触することを確認した(図 4.2.6-30)。これは、図 4.2.6-31に示すとおり充填材が回転方向に対して一定の偏りをもって排出されることから、図 4.2.6-32に示すように、右隙間充填時の充填材が PEM 台座方向に流れ、充填の進行に伴い、コンベアパイプに反力が生じるためと推測される。左隙間については、充填材がコンベアパイプ上方に排出されるため、PEM 台座側からの反力が比較的小さくなり、揺動運動が見られなかったものと推測される。

以上より、スクリーコンベアおよび PEM に対する物理的作用を基準とした場合、スクリー回転方向がモーター側から見て右回転(スクリー端部から見て左回転)であるとき、下段スクリーコンベアに対しては左隙間が優位であるといえる。

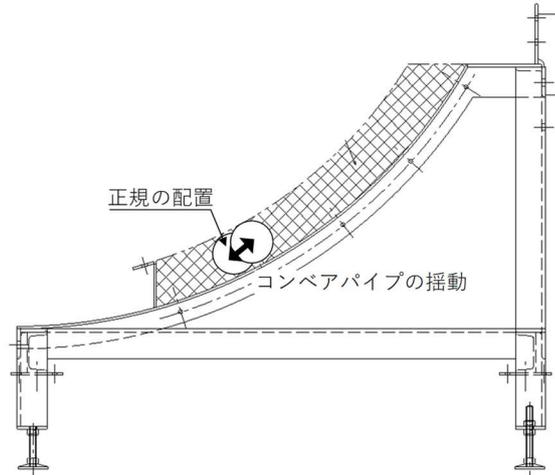


図 4.2.6-30 右隙間充填時の下段スクリーコンベア揺動状況



図 4.2.6-31 スクリューコンベアによる移送時の充填材排出状況

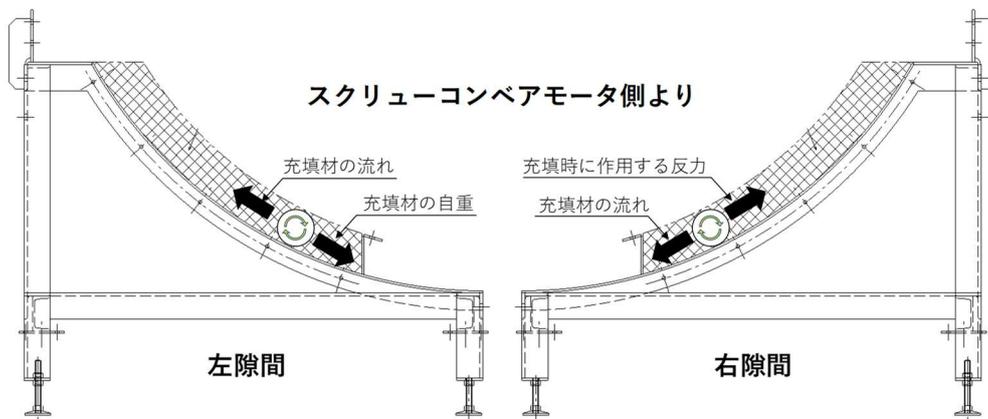
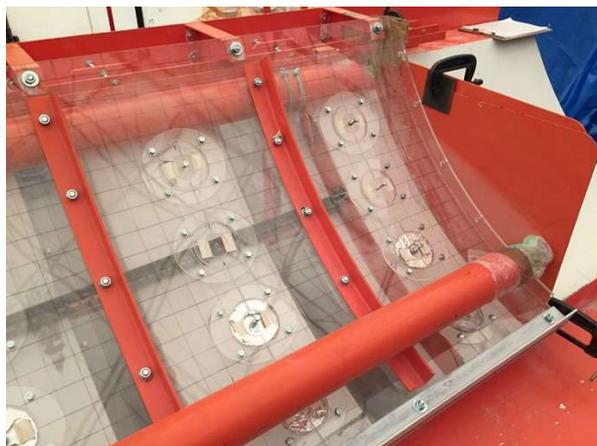


図 4.2.6-32 下部狭隘部内での下段スクリーコンベアに作用する力と方向

3) 仕切り板の効果

コンベア外管に図 4.2.6-33 のような仕切り板を取り付けた場合の効果を検証した。上段スクリーへの付加装置の配置は、手投入による予備試験より充填材の坑道延長方向の安息状態（模擬土槽最下部での充填材の広がり）が、図 4.2.6-7 のとおり投入位置より約 700mm の位置まで広がることから、スクリー端部より約 350mm（半分）の位置に配置することとした。一方、下段スクリーへの付加装置の配置は、安息状態（模擬土槽最下部での充填材の広がり）が 400mm 程度であったことから、スクリー端部より約 200mm（半分）の位置に配置した。



上段

下段

図 4.2.6-33 コンベア外管に取り付けた付加装置（仕切り板）

施工効率の観点から、よりスクリー回転速度の速い試験ケースを優先することから、フェーズ 1 では A-3 を、フェーズ 2 では A-6 を優位とみなし、フェーズ 1 では B-3 を、フェーズ 2 では同様に B-6 を実施し、仕切り板の有無による比較を実施することとした。

施工効率の観点から、よりスクリー回転速度の速い試験ケースを優先することから、フェーズ 3 では A-8 を、フェーズ 4 では A-11 を優位とみなし、フェーズ 3 では B-8 を、フェーズ 4 では B-11 を実施し、付加装置の有無による比較を実施することとした

目視による比較の結果、上段スクリーでは図 4.2.6-17～図 4.2.6-20、に示すとおり、フェーズ 1、2 ともに充填材と PEM との接触状況に若干の差が見られ、付加装置により妻壁側に未充填部が発達する傾向が見られた。また土槽中段 PEM 接触面付近において、付加装置なしの場合、粗流分が比較的多く見られたが、付加装置ありの場合は粗流分と細粒分が比較的バランスよく充填されている状況が確認された。ただし、PEM 面まで確実に充填された『上』、『中上』の充填かさ密度の値に顕著な差異は見られなかった。下段スクリーでは図 4.2.6-22～図 4.2.6-25 に示すとおり、有意な差は見られなかった。また、充填かさ密度についても顕著な差異は認められなかった。

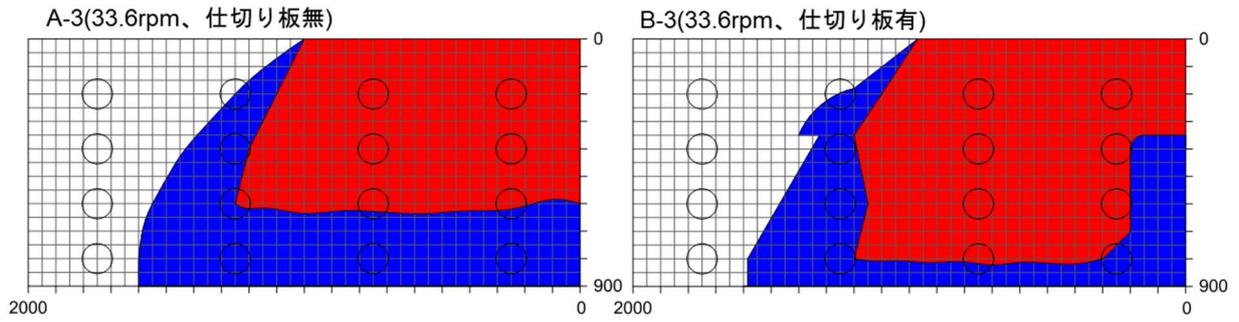


図 4.2.6-34 上段スクリーユの仕切り板の効果 (スケッチ図 左土槽、33.6rpm)

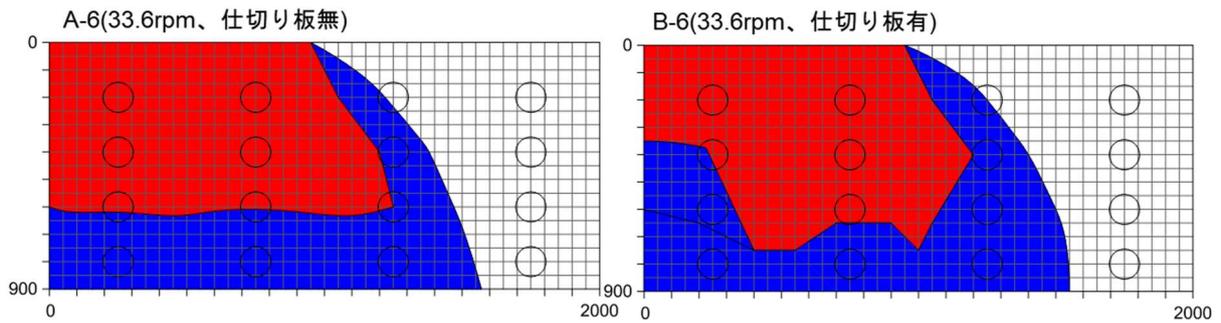


図 4.2.6-35 上段スクリーユの仕切り板の効果 (スケッチ図 右土槽、33.6rpm)

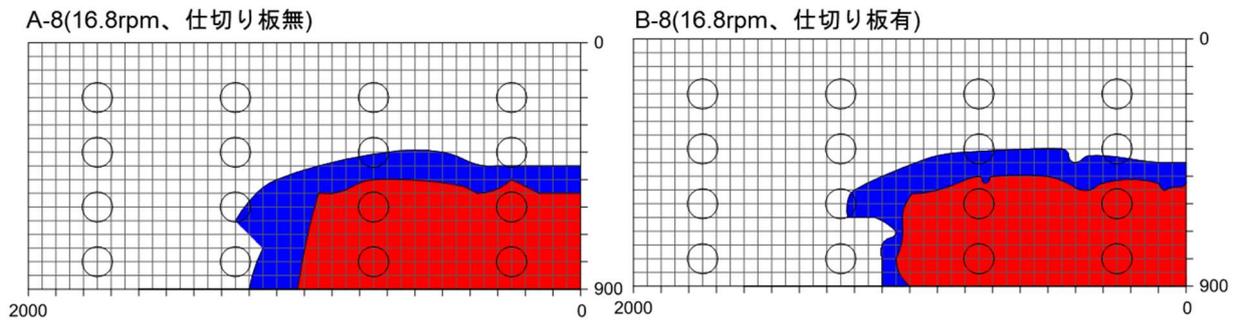


図 4.2.6-36 下段スクリーユの仕切り板の効果 (スケッチ図 左土槽、16.8rpm)

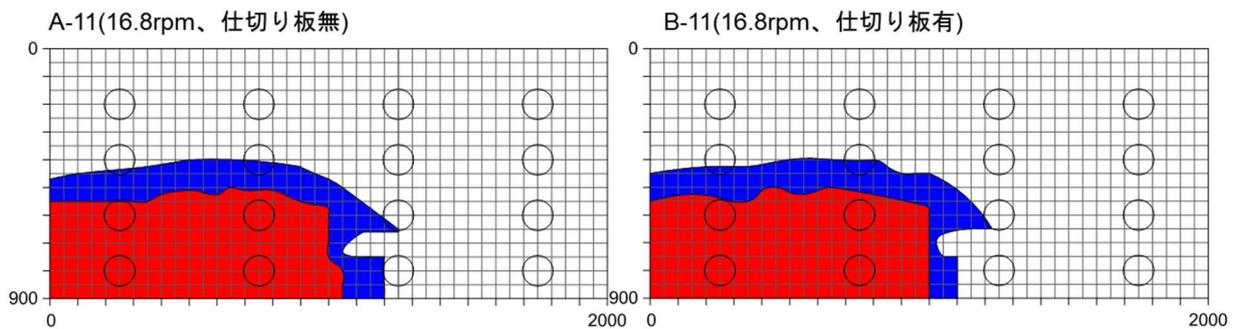


図 4.2.6-37 下段スクリーユの仕切り板の効果 (スケッチ図 右土槽、33.6rpm)

(6) まとめ

充填品質の各パラメータへの依存性の評価は、以下のとおりであった。

①スクリー回転速度への依存性

スクリー回転速度の違いは、充填品質に大きな影響を与えない。

②仕切り板への依存性

仕切り板の有無の差は、充填品質に大きな影響を与えないものの、上段スクリーコンベアに対しては、充填可能範囲、および土槽中段部における粗流充填材の分級抑制に若干の効果があることが確認された。

③スクリー回転方向（充填対象隙間）への依存性

スクリー回転方向の違いは、充填品質に大きな影響を与えない。ただし、スクリーコンベアおよび PEM に対する物理的作用を考慮した場合、スクリー回転方向がモーター側から見て右回転（スクリー端部から見て左回転）であるとき、下段スクリーコンベアに対しては、左隙間が優位であった。

以上より、ステップ 3 では、充填対象隙間については左隙間とし、上下段各スクリーコンベアでの充填分担割合とそれに対するスクリー回転速度を臨機応変に変更して実施することとした。また、付加装置については、配置した場合としない場合の両ケースを実施することとした。

4.2.7 ステップ3：幌延狭隘部を想定した充填予備試験

ステップ2では、狭隘部へのスクリーコンベアの設置場所による未充填部の発生抑制、コンベア外管への仕切り板の設置による充填部の品質向上、同一回転方向のスクリーコンベアによる左土槽、右土槽への充填への影響等を調査した。地下での充填試験では4.2.3に装置概念を示したように4本のスクリーを同時に稼働させ、左右の充填を実施する。本項では、充填装置の詳細な設計に資するため、ステップ2で得た上段スクリーと下段スクリーそれぞれの充填性能、土槽とスクリー回転方向、外管への仕切り板の設置の知見を基に、上段／下段スクリーを同時に作動させた試験を実施し、上段／下段スクリーの分担範囲の設定、充填架台の後退速度等のデータを取得した。

(1) 試験方法

ステップ3で実施予定の充填品質確認試験は、ステップ4で実施する実証予備試験の施工条件の設定を目的とし、平成28年度と同様に、狭隘部模擬土槽片側と上下2本のスクリーコンベアにより、下段スクリーの回転速度と充填架台の移動速度を主なパラメータとして行い、より施工品質を向上できる可能性の高い施工条件を調査する。

充填品質確認試験実施時の概要図を図4.2.7-1に示す。

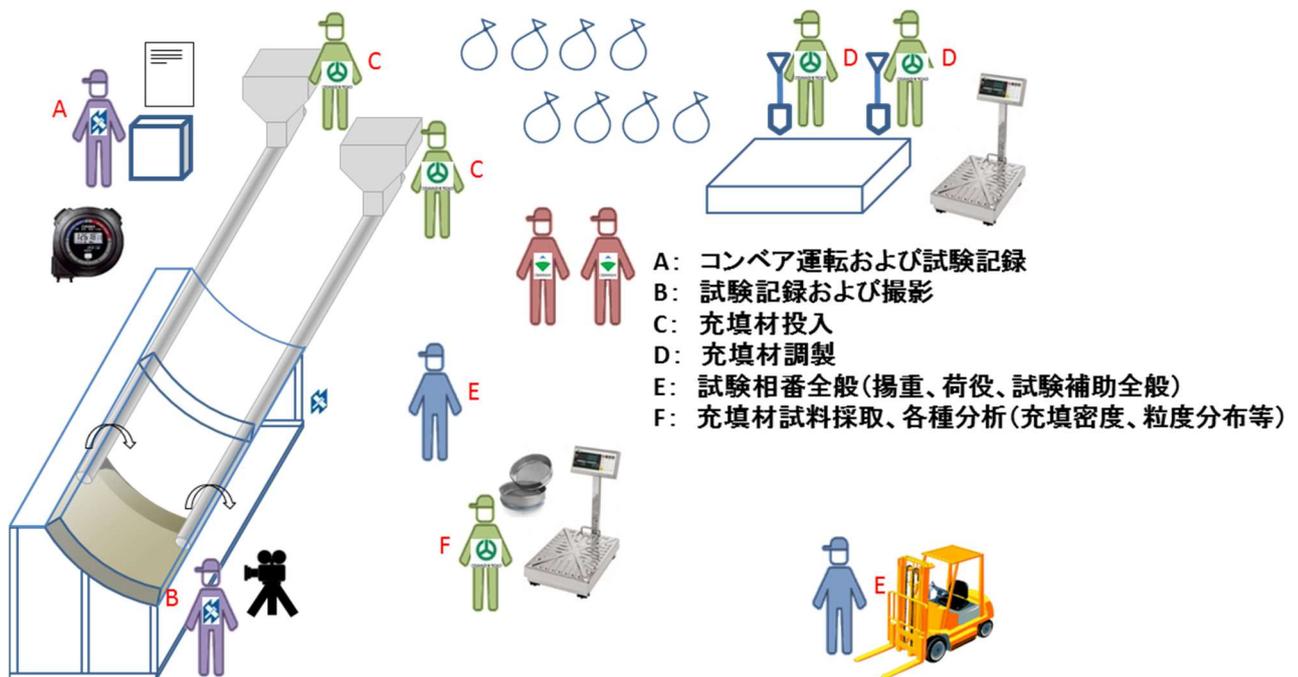


図 4.2.7-1 ステップ3 充填品質書確認試験時の概要図 (例)

1) 施工条件、パラメータ

ステップ 3 において基本的にパラメータとしない施工条件、およびパラメータとする施工条件を表 4.2.7-1 に示す。

表 4.2.7-1 ステップ 3 における施工条件 (パラメータの設定)

装置部位	施工条件	A. 基本的にパラメータとしない施工条件 B. パラメータとする施工条件	
上段スクリー	回転速度	施工効率を考慮し、上限の 33.6rpm を基本とする (ただし、下段スクリーとの充填量のバランスにより、必要がある場合は変更)	A
	回転方向	施工品質、効率への影響はないため、下段に合わせる	A
下段スクリー	回転速度	上段スクリーの 1/3 程度を基本としつつその近傍にてより施工品質が向上する条件を調査する	B
	回転方向	充填材の流れによるスクリーおよび PEM に対する物理的影響 (スクリーパイプの揺動による充填装置の破損等) の低減のため、充填装置側から PEM を見て、左狭隘部では時計回り、右狭隘部では反時計回りとする	A
充填架台	移動速度	上下段スクリーでの充填速度を考慮した設計移動速度よりも若干遅い方が、充填品質が向上することがわかった。改めてより適した充填速度との組み合わせを調査する余地がある	B
付加装置 (仕切り板)	有・無	付加装置を用いた方が PEM 面での粗粒分と細粒分の分離が少ないこと、品質管理が容易であることから基本的に用いることとする	A

2) 試験ケースの設定

下段スクリーンの回転速度については、上段スクリーンの 1/3 程度を基本とした。充填架台移動速度については設計速度よりやや低速側にて各数パターンでの試験を実施する。試験ケース（案）を表 4.2.7-2 に示す。

表 4.2.7-2 充填性能確認試験ケース（案）

試験ケース	回転方向	スクリーン回転速度		充填架台移動速度	付加装置
		上段	下段		
3-1～9（最大9ケース程度）		33.6rpm	2～3 通り	2～3 通り	あり

3) 試験実施手順

試験の実施手順を表 4.2.7-3 に示す。

表 4.2.7-3 ステップ 3 試験実施手順

試験実施手順		試験のポイント	注意・確認事項
①	下段スクリーン回転速度を設定する	・上段スクリーン速度の 1/3 よりも高めに設定する	
②	充填架台移動速度を設定する	・設計移動速度よりも遅めに設定する。	
③	充填架台静止の状態で、上下段スクリーンにより妻板～仕切り板間を満たすまで充填する		
④	充填架台を移動させながら隙間充填を行う		
⑤	土槽より試料採取し、必要な分析を行う		
⑥	①～⑤を繰り返す		

4) 試料採取

模擬土槽からの試料採取は、4.2.6(3)2)と同様に模擬土槽のサンプリング窓から実施した。

5) 結果の評価

充填状況の目視確認

充填状況（顕著な未充填部分のないこと）を、すべての試験ケースで確認する。

充填かさ密度

狭隘部片側 16 か所の充填かさ密度の測定および、片側狭隘部全体の充填かさ密度を、すべての試験ケースで測定する（初期かさ密度を基準に確認）。

所定の充填密度をクリアできない場合は、試験ケースを変更して再測定するが、試験ケースの変更での対応が困難と判断された場合は、加工充填材の再検討に戻る。

粒度分布

狭隘部片側 16 か所の粒度分布を、最も充填品質の良いと思われる試験ケース（ステップ 4 の施工条件とする試験ケース）で測定する。

(2) 充填部の形状による充填材の挙動について

PEM-坑道間の隙間を、例えば 4.2.3(1)に示したように複数本のスクリーコンベアを配置し、全断面を同時に充填する場合、上部のスクリーコンベアから投入されたペレット充填材が下部に重力で流下し、下部スクリーコンベア上に積み上がる。この状態で充填を行いながら装置が後退すると、各スクリーコンベアから排出されたペレットは奥行き方向の閉鎖空間へと充填される。一方、本事業では下部狭隘部をペレット充填した後に、上部開放部を吹付ける計画であり、下部狭隘部と上部開放部の境界繋がっており、ペレット充填時は上部に体積拘束するものがない。そのため、この境界から上部開放部へペレット充填材が溢れることが懸念される。これはペレットを充填する体積が定まらず、投入したペレット充填材の重量と充填部の体積から求められるかさ密度が評価出来ないことを意味する。

ステップ 3 では模擬土槽の上部を解放した状態（フェーズ 1）、上部に蓋を取り付け閉鎖空間とした状態（フェーズ 2）の 2 つの模擬土槽を対象に、上段／下段スクリーの配置、充填の分担範囲等を評価した。

(3) フェーズ1：狭隘部上部を解放状態とした条件での充填試験

1) 模擬土槽、および土槽内における上段／下段スクリーアの配置

図 4.2.7-2 に上部を解放状態とした条件での上段／下段スクリーアの基本配置を示す。土槽はステップ2で使用したものと同一である。

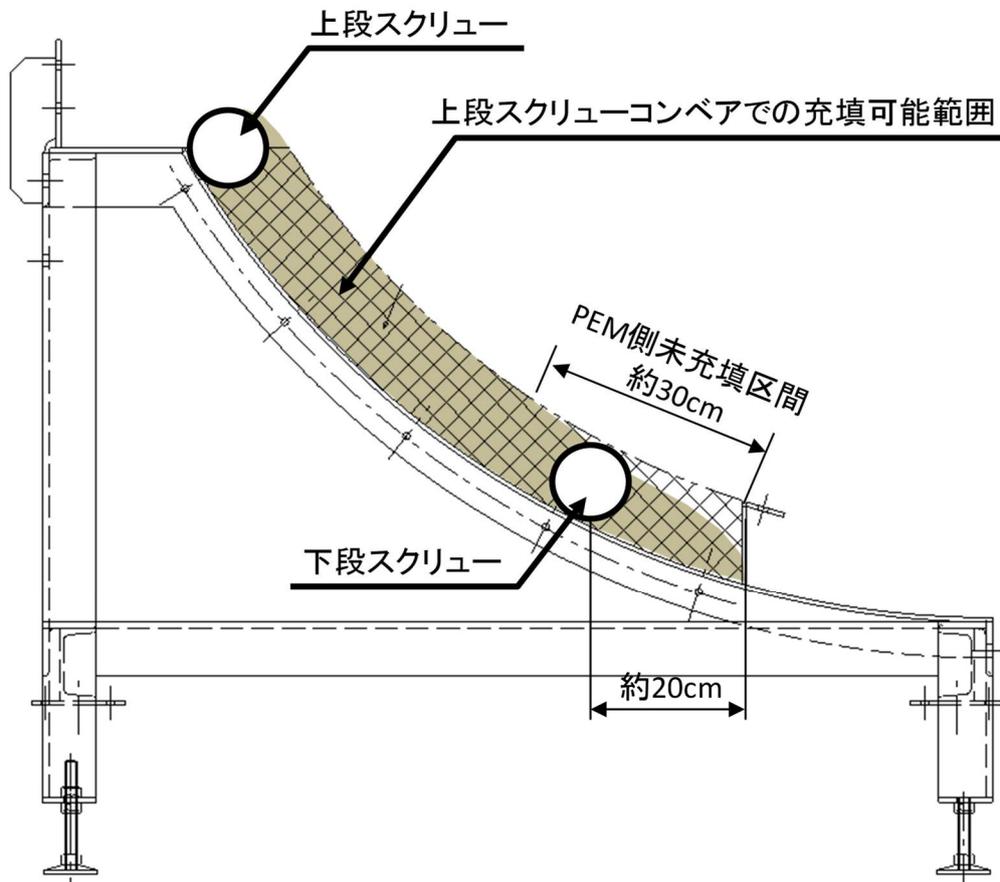


図 4.2.7-2 上部を解放状態とした条件での上段／下段スクリーアの基本配置

2) 使用したペレット充填材

本試験では、ブリケッティング法により製造したペレットを解砕し粒度調整を行った「ペレット充填材 A」を使用した。

3) 試験結果

a 仕切り板が無い条件での充填挙動 (3-1)

スクリーンの配置、充填状況、充填部のスケッチを図 4.2.7-5 に、充填部のかさ密度測定結果をに示す。

・条件【3-1 (T-1)】

ステップ 2 のフェーズ 3、4 における下段スクリーンの充填可能な範囲は、土槽上面で台座から 360mm、土槽仮面では 536mm 程度である。未充填部との断面積割合を簡易的に算出すると下段 1 に対し上段 1.225 となる。この割合に基づき、スクリーン回転速度を下段 16.8rpm、上段 20.6rpm とし、充填架台の移動速度はステップ 2 より 72.5mm/min として充填予備試験を実施した。この試験条件を【3-1 (T-1)】とする。

試験の結果、上部スクリーンから投入した充填材が想定を超えて模擬土槽下部へ流れ込む現象を確認した。その結果、模擬土槽上部（解放部との境界付近）に充填不足が生じ、模擬土槽下部（PEM 台座付近）では上段からの充填材供給が過剰となったため試験を中断した。

・条件【3-1 (T-2)】

【3-1 (T-1)】では重力による下部への充填材の流下により下部が過剰となったことから、下段スクリーンは配置位置以下、上段スクリーンは下段スクリーン位置以上のエリアを分担することとした。充填分担断面積を簡易的に算出すると、概ね下段 1 に対し上段 3 となる。スクリーン回転速度を上段 33.6rpm、下段 11.2rpm とし、充填架台の移動速度を、設計値である約 99mm/min に設定し充填予備試験を実施した。この試験条件を【3-1 (T-2)】とする。

試験の結果、土槽下部付近では十分な充填かさ密度が得られたが、特に長手方向に中段部において充填の進行に伴い充填密度が低くなる傾向が見られた。

表 4.2.7-4 ステップ 3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-1(T-2)】

試験ケース	付加設備	スクリーン回転速度		充填架台移動速度 mm/min	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		上段	下段			左端		中左		中右		右端			
		rpm	rpm			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
3-1(T-2)	なし	33.6	11.2	99	上	1.364	1.258	1.365	1.260	1.405	1.296	1.376	1.269	1.377	1.271
					中上	1.404	1.295	1.342	1.238	1.347	1.243	1.402	1.293	1.374	1.267
		中下	1.402		1.293	1.266	1.168	1.349	1.244	1.459	1.346	1.369	1.263		
		下	1.527		1.409	1.525	1.407	1.538	1.418	1.594	1.471	1.546	1.426		

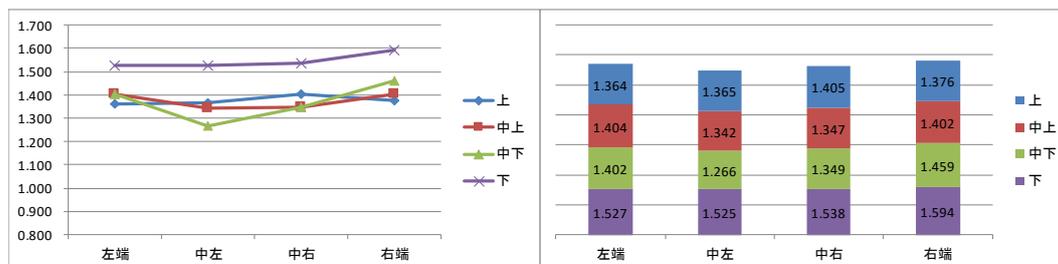


図 4.2.7-3 ステップ 3 湿潤充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-1(T-2)】

・条件【3-1 (T-3)】

【3-1 (T-2)】で最も充填密度の低かった中下付近の充填密度の向上、坑道延長方向の充填密度の均質化を期待し、上段スクリー回転速度、充填架台移動速度は変更せず、下段スクリーのみ回転速度を、【3-1 (T-2)】より 12%上げ、12.6rpm に設定して再度実施した。この試験条件を【3-1 (t-3)】とする。

試験の結果、土槽下部付近以外では顕著な改善効果とはならなかったが、坑道延長方向の充填密度の平均値については、【3-1 (T-2)】と比較して高くなる傾向にあり、下段スクリー回転速度の変更によって全体として改善されていることが伺える。

表 4.2.7-5 ステップ 3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-1(T-3)】

試験ケース	付加設備	スクリー回転速度		充填架台移動速度 mm/min	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均 Mg/m ³	延長方向 乾燥密度 平均 Mg/m ³
		上段	下段			左端		中左		中右		右端			
		rpm Hz	rpm Hz			湿潤密度 Mg/m ³	乾燥密度 Mg/m ³								
3-1(T-3)	なし	33.6	12.6	99	上	1.366	1.260	1.370	1.264	1.418	1.308	1.440	1.329	1.399	1.290
		80	30		中上	1.357	1.252	1.431	1.320	1.380	1.273	1.436	1.325	1.401	1.293
					中下	1.352	1.247	1.388	1.280	1.433	1.322	1.512	1.395	1.421	1.311
					下	1.660	1.531	1.579	1.456	1.580	1.456	1.617	1.492	1.609	1.484

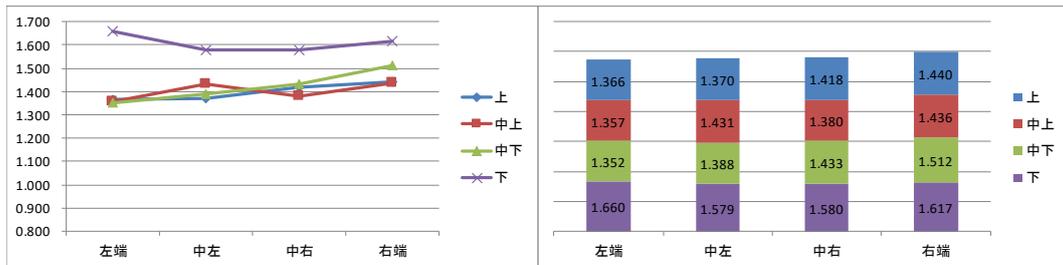


図 4.2.7-4 ステップ 3 湿潤充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-1(T-3)】

No.	3-1 (T-1)	3-1 (T-2)	3-1 (T-3)
コメント	初期条件	【3-1 (T-1)】から、上段/下段回転数、後退速度を変更	【3-1 (T-2)】から、下段スクリー回転数を変更
回転数	上段 20.6rpm/下段 16.87rpm	上段 33.6rpm/下段 11.2rpm	上段 33.6rpm/下段 12.6rpm
後退速度	72.5mm/min	99mm/min	99mm/min
仕切り板	なし	なし	なし
スクリー配置			
充填状況			
スケッチ	※中断したためスケッチ無し		

図 4.2.7-5 上部開放、での充填状況

b 仕切り板がある条件での充填挙動 (3-2)

ステップ2において、材料分離の抑制等の品質改善効果が認められた仕切り板を付与した試験を実施した。スクリー配置、充填状況、充填部のスケッチを図 4.2.7-5 に示す。

・条件【3-2 (T-1)】

コンベア外管に取り付けた仕切り板の効果を確認するため、条件【3-1 (T-3)】と同一設定とし、仕切り板を配置した充填試験を実施した。仕切り板は上段/下段スクリーコンベア共に、スクリー端部より 200mm の位置とした (特に上段については充填材の分級抑制効果を高めるため)。充填かさ密度の測定結果を表 4.2.7-6 および図 4.2.7-6 に示す。

表 4.2.7-6 ステップ3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-2(T-1)】

試験ケース	付加設備	スクリー回転速度		充填架台移動速度 mm/min	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均 Mg/m ³	延長方向 乾燥密度 平均 Mg/m ³
		上段	下段			左端		中左		中右		右端			
		rpm	rpm			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
3-2(T-1)	あり	33.6	12.6	99	上	1.299	1.199	1.417	1.307	1.433	1.322	1.407	1.298	1.389	1.281
					中上	1.404	1.295	1.454	1.341	1.472	1.358	1.428	1.318	1.440	1.328
		中下	1.405		1.296	1.442	1.331	1.461	1.348	1.471	1.357	1.445	1.333		
		下	1.540		1.421	1.530	1.412	1.539	1.420	1.537	1.417	1.536	1.417		
		80	30												

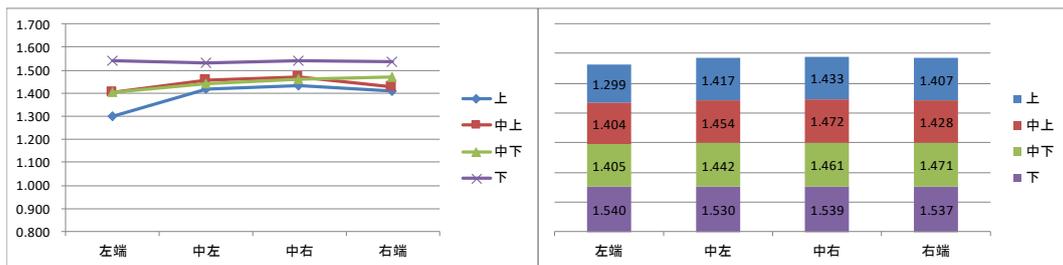


図 4.2.7-6 ステップ3 湿潤充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-2(T-1)】

また、本試験ケースにおいても、土槽内に充填した充填材の総量と土槽容積から算出した湿潤充填かさ密度は、 $1.503\text{g/cm}^3 = 1.503\text{Mg/m}^3$ と、湿潤密度 8.4% の場合の目標値である 1.485Mg/m^3 ($1.37\text{Mg/m}^3 \times 1.084$) を十分上回る値となった。その他の効果として、ステップ2 フェーズ1、2でも目視にて確認されたが、付加装置なしの場合土槽中段部で粗流分が比較的多く見られたが、付加装置を配置することで粗流分と細粒分が比較的バランスよく充填されている状況が確認された。

a 仕切り板がある条件での品質改善の効果 (3-3)

・条件【3-3 (T-1)】

試験ケース【3-2 (T-1)】の結果より、中下付近の充填密度をより向上 (延長方向湿潤かさ密度平均 1.44 程度から 1.54 程度まで)、および坑道延長方向の充填密度のさらなる均質化を期待し、上段スクリー回転速度、充填架台移動速度は変更せず、下段スクリーのみ回転速度を、試験ケース 3-2(T-1)の設定よりさらに 7% 上げ、13.4rpm に設定して実施した。充填かさ密度の測定結果を表 4.2.7-7 および図 4.2.7-7 に示す。坑道延長方向に、より均質な充填がなされる可能性が

伺える。

表 4.2.7-7 ステップ3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-3(T-1)】

試験 ケース	付加設備	スクリー回転速度		充填架台 移動速度 mm/min	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均 Mg/m ³	延長方向 乾燥密度 平均 Mg/m ³
		上段	下段			左端		中左		中右		右端			
		rpm	rpm			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
3-3(T-1)	あり	33.6	13.4	99	上	1.347	1.243	1.292	1.192	1.364	1.258	1.301	1.200	1.326	1.223
					中上	1.376	1.269	1.319	1.216	1.365	1.259	1.385	1.278	1.361	1.256
		中下	1.399		1.291	1.356	1.251	1.401	1.292	1.399	1.290	1.389	1.281		
		下	1.576		1.454	1.524	1.406	1.534	1.415	1.562	1.441	1.549	1.429		

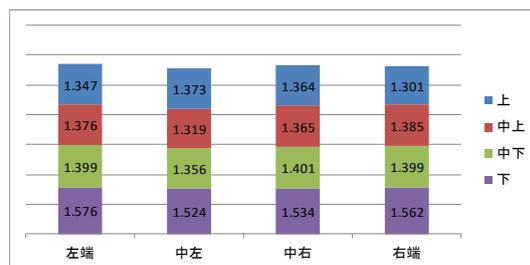
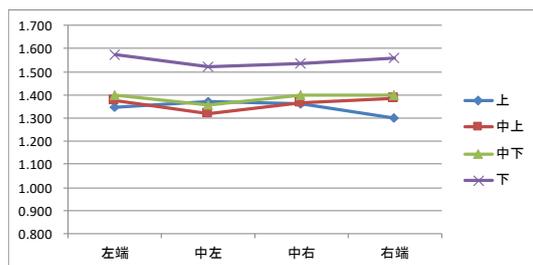


図 4.2.7-7 ステップ3 充填かさ密度測定結果【試験ケース 3-3(T-1)】

土槽下部付近では、これまでの試験ケースと同様に十分な充填かさ密度が得られたが、顕著な改善効果はを得るには至らなかった。また、表 4.2.7-7 に示されるとおり、土槽最下部以外では、下段スクリーの回転速度を上げたにもかかわらず、他のケースと比較して充填密度の値が低くなる傾向が示された。これは、本試験ケースで使用した充填材は、それまでのものと製造ロットが異なったためと思われる。

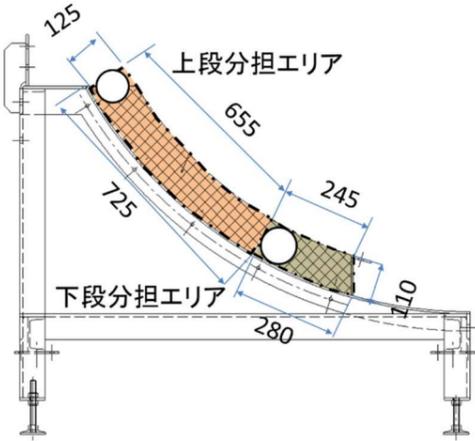
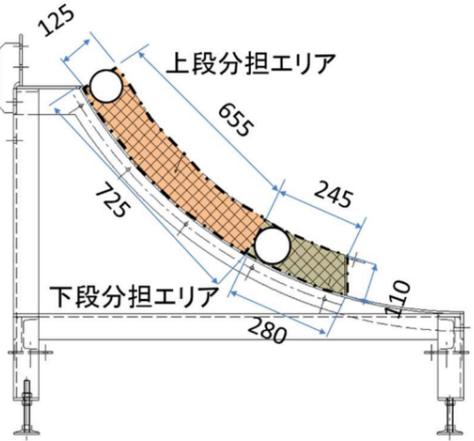
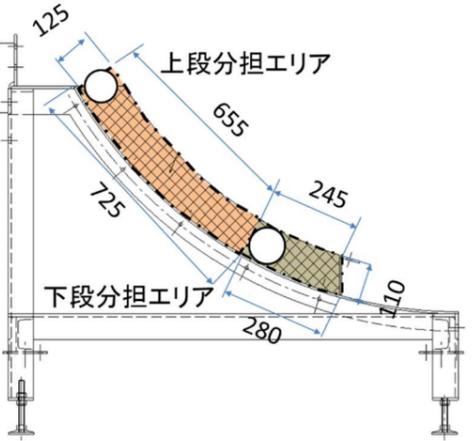
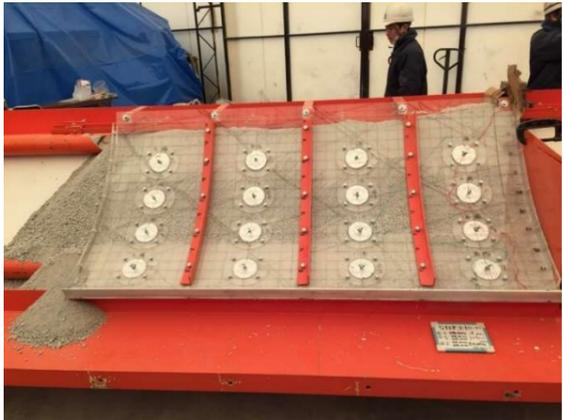
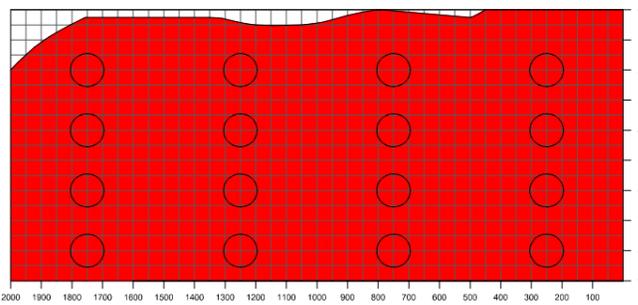
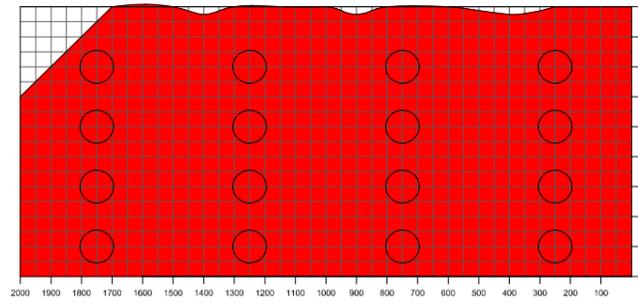
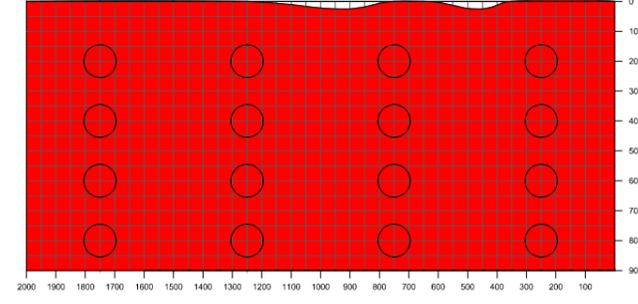
No.	3-1 (T-3) (※比較のため、再掲)	3-2 (T-1)	3-3 (T-1)
コメント	※仕切り板が無い場合の比較対象	【3-1 (T-1)】の条件で仕切り板を設置	【3-2 (T-1)】から、下段スクリー回転数を変更
回転数	上段 33.6rpm / 下段 12.6rpm	上段 33.6rpm / 下段 12.6rpm	上段 33.6rpm / 下段 13.4rpm
後退速度	99mm/min	99mm/min	99mm/min
仕切り板	なし	あり	あり
スクリー配置			
充填状況			
スケッチ			

図 4.2.7-8 上部開放、での充填状

b ステップ3（フェーズ1） 結果の整理

ステップ3で実施した試験ケース（途中中止を除く）を表4.2.7-8に、実施フローと変更点、確認された効果を図4.2.7-9に、ステップ3全試験ケースでの湿潤充填かさ密度の測定結果を図4.2.7-10に示す。

各試験ケースでの実施内容でも述べたとおり、図4.2.7-10に示すように土槽最下部付近では、所定の湿潤充填かさ密度（赤破線 1.485、または 1.492）が確保できることがわかった。これはスクリーコンベアの押し込み力と、充填材の自重による圧密効果によるものと推測される。

また、土槽中段部、上段部においては所定の充填密度までには至らないものの、充填後の湿潤かさ密度は、充填前の湿潤かさ密度（1.421Mg/m³、または 1.373Mg/m³）と概ね同等程度であり、充填材の初期かさ密度を充填後の所要値以上で確保できれば、必要とされる品質での充填が可能であることを確認した。

今後の課題としては、上下段スクリーにより適切な充填分担割合の設定と、その設定にマッチした充填架台の移動速度の設定などが想定される。

表 4.2.7-8 ステップ3の試験ケース

試験ケース	上段スクリー回転速度	下段スクリー回転速度	充填架台移動速度	付加設備
3-1 T-2	33.6rpm (80Hz)	11.2rpm(26.7Hz)	99mm/min (68.4Hz)	なし
3-1 T-3	33.6rpm (80Hz)	12.6rpm(30Hz)	99mm/min (68.4Hz)	なし
3-2 T-1	33.6rpm (80Hz)	12.6rpm(30Hz)	99mm/min (68.4Hz)	あり
3-3 T-1	33.6rpm (80Hz)	13.4rpm(32Hz)	99mm/min (68.4Hz)	あり

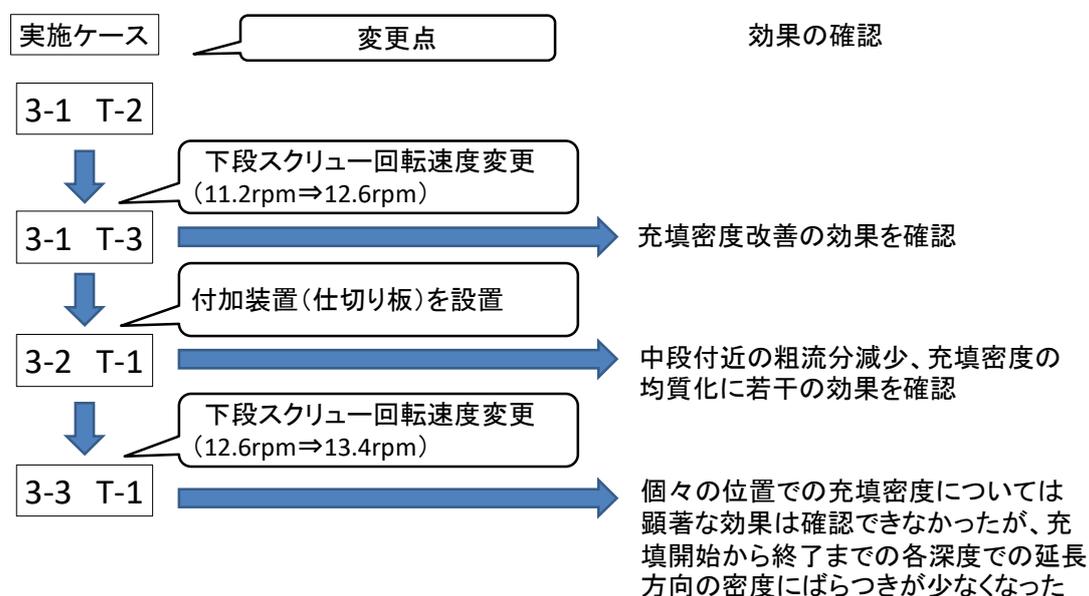


図 4.2.7-9 ステップ3実施フロー

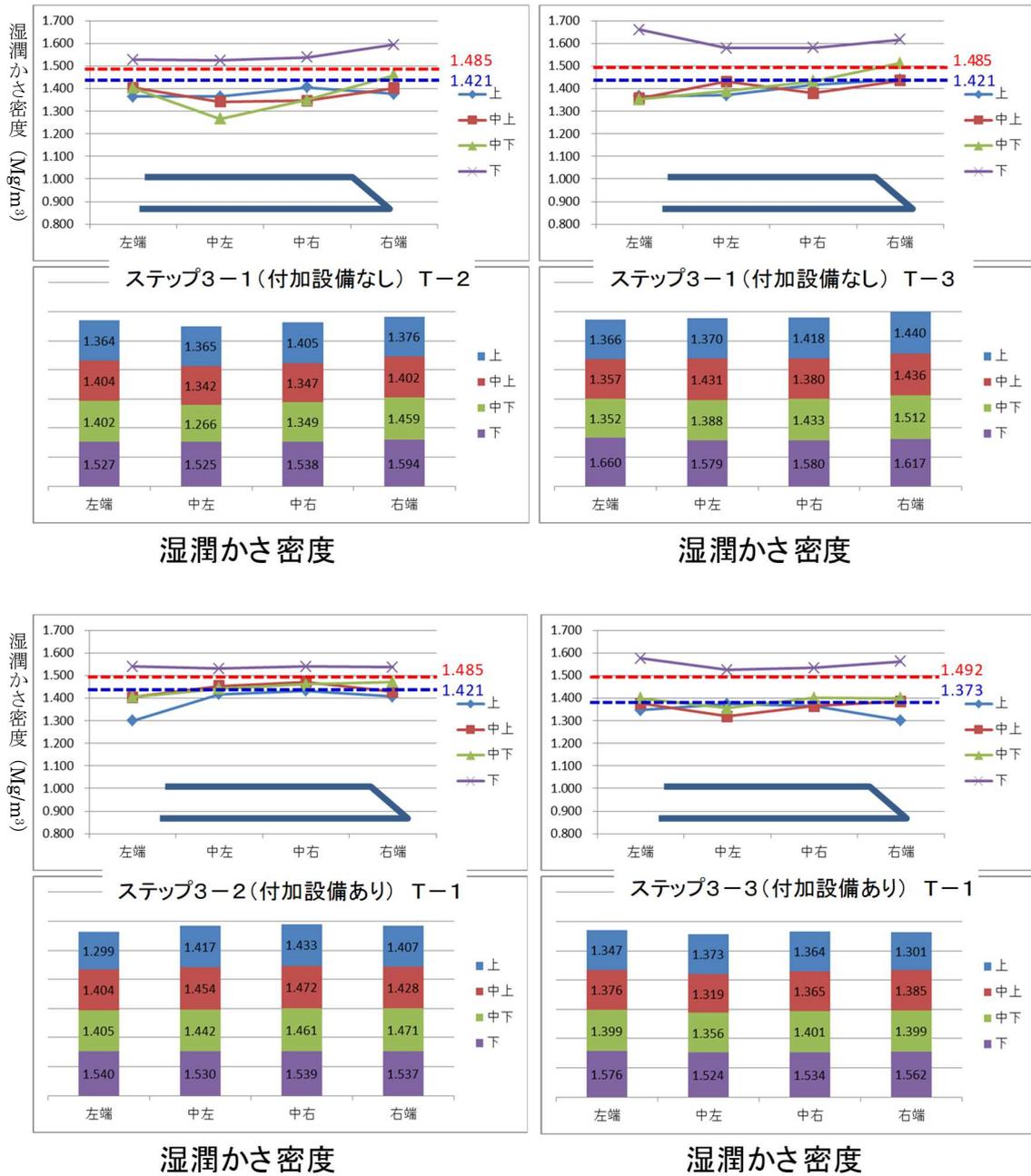


図 4.2.7-10 ステップ3 全試験ケースでの湿潤充填かさ密度

4) 隙間充填の停止、再開の影響

実際の操業における狭隘な処分坑道のペレット充填では、全区間を一度に充填するのではなく PEM 一体毎の充填となることが想定される。つまり、充填材の施工の初期条件は、一つ前の PEM に対する隙間充填後の状態となる。このような条件下での充填を考慮し、充填を一旦停止し、再開する状況を模擬した試験を実施した。

初期充填後、一旦スクリーコンベアを撤去したのちに、再度スクリーコンベアを配置し、充填を再開した。実施状況を図 4.2.7-11～図 4.2.7-13 に示す。

初期充填終了後スクリーコンベアを後退すると、図 4.2.7-12 のように自立できない充填材が手前側へ流れる。付加装置を具備した状態（【試験ケース 3-3(T-1)】と同じ設定）で実施したため、一旦撤去したスクリーコンベアを再配置する際、元の位置まで戻さず、約 13cm 手前に再配置し充填を再開した。その結果、図 4.2.7-13 に示すとおり、未充填となる部分のごくわずかであった。

今後の課題としては、付加装置（仕切り板）利用の際の再配置、および充填再開部の空転密度を確保する施工方法の検討などが想定される。

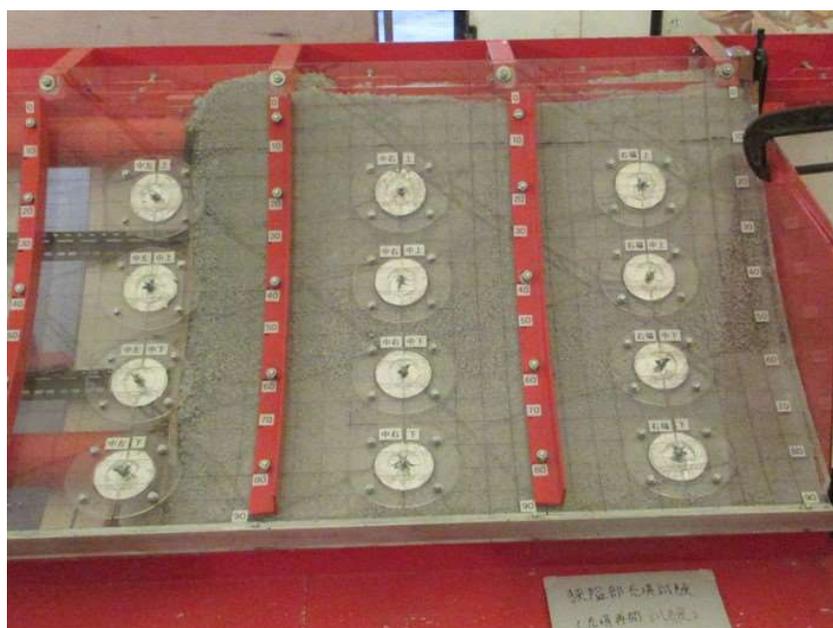


図 4.2.7-11 初期充填完了状況

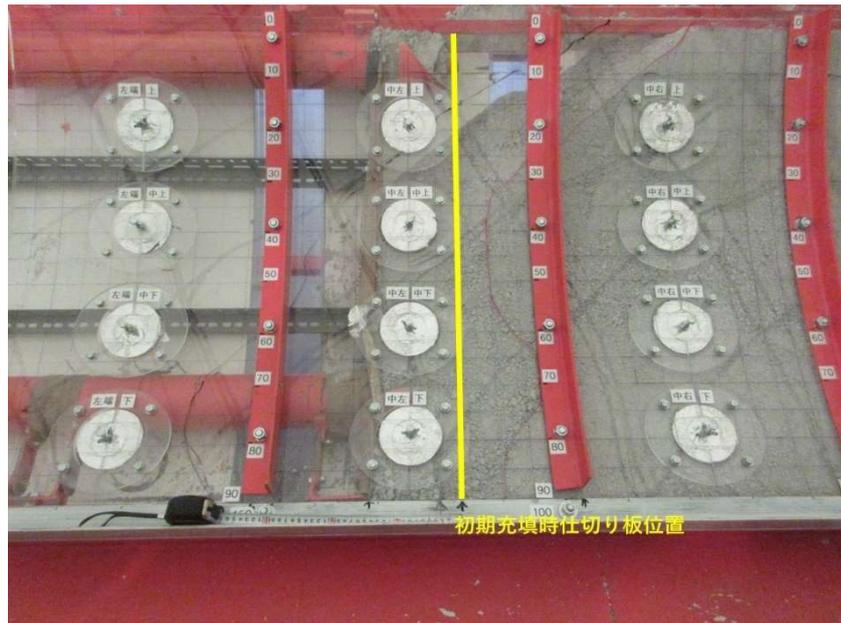


図 4.2.7-12 充填再開時のスクリーンコンベア再配置状況



図 4.2.7-13 再充填完了状況

(4) フェーズ2：狭隘部上部に蓋を設置し閉鎖状態とした条件での充填試験

1) 模擬土槽、および土槽内における上段／下段スクリュウの配置

図 4.2.7-14 に上部を閉鎖状態とした条件での上段／下段スクリュウの基本配置を示す。図 4.2.7-2 に示した上部が解放された状態と比較して上段スクリュウの位置が下になった。また閉鎖空間とし、スクリュウによる押込み効果を検証するため、土槽上面は強度を確保するためアクリル製から鋼製へ変更し、サンプリング用の窓の部分のみ内部を観察出来るようにアクリル製とした(図 4.2.7-15)。

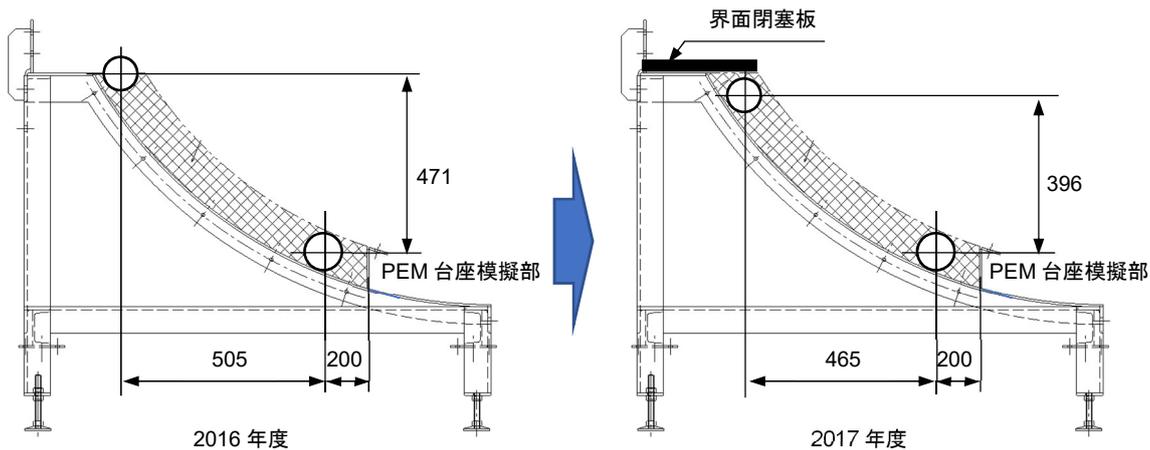


図 4.2.7-14 上部を閉鎖状態とした条件での上段／下段スクリュウの基本配置



図 4.2.7-15 スクリューの押込み効果の検証のための鋼製模擬土槽

2) 使用したペレット充填材

本試験では、ロールプレス法により製造したシートベントナイトを解砕し、粒度調整を行った「ペレット充填材 B」を使用した。

その他の試験条件はフェーズ1に準拠した。

3) 試験結果

フェーズ1の結果より、付加装置（仕切板）の配置で粗粒分と細粒分が比較的バランスよく充填される状況が目視にて確認された。また、付加装置を使用して実施した【ケース 3-2 (T-1)】および【ケース 3-3 (T-1)】の2ケースの試験結果から、個別箇所における充填密度が若干高くなる傾向を示した【ケース 3-2 (T-1)】を今年度最初のステップ3の試験条件を設定するうえでの基本とし、実施することとした。2ケース目以降の試験条件については、直前の実施状況および結果を踏まえて条件設定し、試験を進めることとした。表 4.2.7-9 および表 4.2.7-10 に今年度実施したステップ3の試験ケースと試験結果の概要を示す。なお、ステップ3には、左土槽を用い、左土槽全体の容積および所要充填質量は仕上がり寸法より、平均断面積を 0.1061m^2 として算出した。左土槽の仕上がり寸法より、単位長あたりの所要充填質量は、 $0.1061\text{ m}^3/\text{m}$ （単位長容積） $\times 1.37\text{Mg}/\text{m}^3$ （所要かさ密度） $\times 1.088$ （加工充填材含水比） $=0.15815\text{Mg}=158.15\text{kg}/\text{m}$ となる。

また、【ケース 3-9】以降では、試験条件として後充填工程を追加しているが、後充填は、基本的に試験前には設定せず、模擬土槽から充填材がオーバーフローしない範囲において、充填状況に応じて任意に設定し実施することとした。

表 4.2.7-9 ステップ3（フェーズ2） 実施試験ケース

試験ケース	スクリー設定 (kg/min)			架台速度設定		設計初期充填 (kg)	設計後充填 (kg)	備考
	上段	下段	合計	mm/min	Kg/m			
3-2 T-1	12.8(80Hz)	4.8(30Hz)	17.6	99.2	177.4	32.8	0	昨年度の試験条件
3-4 T-1	12.5(80Hz)	4.7(30Hz)	17.2	104.9	163.9	32.1	0	3-2 T-1との比較、充填確認
3-5 T-1	12.5(80Hz)	4.8(31Hz)	17.3	102.1	169.8	29.8	0	3-4 T-1のロス率より
3-6 T-1	12.5(80Hz)	5.3(34.15Hz)	17.8	98.0	182.0	30.5	0	3-6 T-1のロス率より
3-7 T-1	12.5(80Hz)	8.3(53.33Hz)	20.8	114.5	181.9	37.2	0	3-6 T-1のロス率より
3-8 T-1	9.4(60Hz)	9.4(60Hz)	18.8	115.0	163.1	25.4	0	上下比率を1:1として試行
3-9 T-1	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	103.5	163.5	24.9	5.6	上下比率を6:7として試行
3-9 T-2	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	103.5	163.5	31.9	7.0	初期充填量変更
3-9 T-3	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	103.5	163.5	34.5	8.5	上段移動、初期充填量変更
3-9 T-4	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	103.5	163.5	34.7	8.5	初期充填方法変更
3-10 T-1	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	99.8	169.5	31.9	8.5	架台移動速度を調整

表 4.2.7-10 ステップ3（フェーズ2） 試験結果の概要

試験ケース	スクリー設定 (kg/min)			設計充填量 (kg/m)	設計初期充填 (kg)	設計後充填 (kg)	土槽充填かさ密度 (乾燥) (Mg/m ³)	充填率 (1.37に対し) (%)
	上段	下段	合計					
3-2 T-1	12.8(80Hz)	4.8(30Hz)	17.6	177.4	32.8	0	1.386	101.2
3-4 T-1	12.5(80Hz)	4.7(30Hz)	17.2	163.9	32.1	0	1.386	101.2
3-5 T-1	12.5(80Hz)	4.8(31Hz)	17.3	169.8	29.8	0	1.305	95.3
3-6 T-1	12.5(80Hz)	5.3(34.15Hz)	17.8	182.0	30.5	0	1.327	96.9
3-7 T-1	12.5(80Hz)	8.3(53.33Hz)	20.8	181.9	37.2	0	1.359	99.2
3-8 T-1	9.4(60Hz)	9.4(60Hz)	18.8	163.1	25.4	0	1.357	99.1
3-9 T-1	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	24.9	5.6	1.374	100.3
3-9 T-2	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	31.9	7.0	1.376	100.4
3-9 T-3	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	34.5	8.5	1.398	102.0
3-9 T-4	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	34.7	8.5	1.361	99.3
3-10 T-1	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	31.9	8.5	1.379	100.7

a 試験ケース 3-4 (T-1)

本ケースは、フェーズ1との比較を目的とし、【試験ケース 3-2 (T-1)】と同等程度の試験条件にて実施した。ただし移動充填量設定割増率は若干控え、所要充填量に対し3.7%程度となるよう設定した。なお、ステップ3の最初の試験ケースであることから、未充填なく充填できていることを目視確認することを目的として、試運転を兼ねて模擬土槽のPEM面の一部(左1)をアクリル板とし、模擬土槽延長のうち約1mの区間で充填状況の確認試験を実施した。

試験条件を表 4.2.7-11 に示す。

表 4.2.7-11 試験条件：3-4 (T-1)

試験ケース	今回：3-4 (T-1)	参考：3-2 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	165.9
上段スクリュウ移送速度 (kg/min)	12.50	12.80
下段スクリュウ移送速度 (kg/min)	4.69	4.80
充填架台走行速度 (mm/min)	104.9	99.2
初期充填量設定 (kg)	32.04	32.8
移動充填量設定 (kg/m)	163.9	177.4
移動充填時設定割増率 (%)	103.7	106.9

表 4.2.7-12、図 4.2.7-16、および表 4.2.7-13 に試験結果を、図 4.2.7-17～図 4.2.7-20 に充填状況の確認状況を示す。模擬土槽への充填質量と含水比、および充填容積から算出した結果、土槽全体での充填かさ密度(乾燥)は、表 4.2.7-13 に示すとおり、1.305(湿潤かさ密度 1.420 含水比 8.8%より)となり、設計かさ密度の約 95.3%であった。

なお、アクリル部の目視では、顕著な未充填は確認されなかったが、PEM 台座との隅角部を確認したところ、図 4.2.7-19 のような若干の隙間が確認された。

表 4.2.7-12 充填試験結果：3-4 (T-1)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
Mg/m ³		Mg/m ³		Mg/m ³		Mg/m ³		Mg/m ³	Mg/m ³		
ケース 3-4 (T-1)	上	充填状況確認のみ データなし				1.429	1.313	アクリル			
	中上					1.414	1.300				
	中下					1.383	1.271				
	下					1.359	1.249				
	Av.					1.396	1.283				
	目標密度					1.491	1.370				

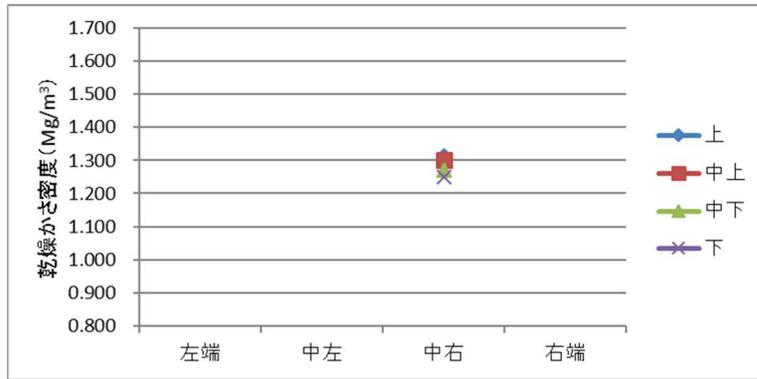


図 4.2.7-16 乾燥かさ密度計測結果：3-4 (T-1)

表 4.2.7-13 充填試験結果整理表：3-4 (T-1) バルク

試験ケース	今回 3-4 (T-1)	前回 3-2 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	175.96	330.02
土槽実充填質量 (kg)	167.58	334.15
土槽充填容積 (m ³)	0.1181	0.222
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m ³)	1.420	1.503
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m ³)	1.305	1.386
土槽充填率 (%)	95.3	101.2
所要密度以上のサンプル数	0/4	4/16



図 4.2.7-17 初期充填 3-4 (T-1)



図 4.2.7-18 移動充填 3-4 (T-1)



図 4.2.7-19 PEM 台座隅角部 3-4 (T-1)



図 4.2.7-20 試料採取 3-4 (T-1)

b 試験ケース 3-5 (T-1)

試験ケース 3-4(T-1)の結果より、模擬土槽を上部（上段、中上段）と下部（中下段、下段）に分

けて比較したとき、若干ではあるが下段の充填密度が相対的に低かったこと、PEM 台座隅角部に若干の未充填を確認したこと、充填率が 95%程度と下回ったことから、試験ケース 3-4(T-1)の試験条件に対し、移動充填時の単位長さ当たりの設定充填量を、上段スクリー約 3%、下スクリー約 6%上げ、かつ移動充填量設定割増率を、所要充填量に対し約 7%程度となるよう設定し、再度充填状況の確認試験を実施した。

試験条件を表 4.2.7-14 に示す。

表 4.2.7-14 試験条件：3-5 (T-1)

試験ケース	今回 3-5 (T-1)	前回 3-4 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリー移送速度 (kg/min)	12.50	12.50
下段スクリー移送速度 (kg/min)	4.84	4.69
充填架台走行速度 (mm/min)	102.1	104.9
初期充填量設定 (kg)	29.78	32.04
移動充填量設定 (kg/m)	169.8	163.9
移動充填量設定割増率 (%)	107.4	103.7

表 4.2.7-15、図 4.2.7-21、および表 4.2.7-16 に試験結果を、図 4.2.7-22～図 4.2.7-25 に充填状況の確認状況を示す。

模擬土槽への充填質量と含水比、および充填容積から算出した結果、土槽全体での充填かさ密度(乾燥)は、表 4.2.7-16 に示すとおり、1.342(湿潤かさ密度 1.460 含水比 8.8%より)となり、設計かさ密度の約 98.0%となり、改善が見られた。

なお、アクリル部の目視では、顕著な未充填は確認されなかったが、PEM 台座との隅角部を確認したところ、図 4.2.7-24 のような若干の隙間が確認された。

表 4.2.7-15 充填試験結果：3-5 (T-1)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-5 (T-1)	上	1.499	1.378	1.439	1.323	1.425	1.310	アクリル	1.454	1.337	
	中上	1.413	1.299	1.456	1.338	1.408	1.294		1.426	1.310	
	中下	1.395	1.282	1.440	1.324	1.399	1.286		1.411	1.297	
	下	1.360	1.250	1.400	1.287	1.365	1.255		1.375	1.264	
	Av.	1.417	1.302	1.434	1.318	1.399	1.286		1.417	1.302	
	目標密度					1.491	1.37		1.491	1.37	

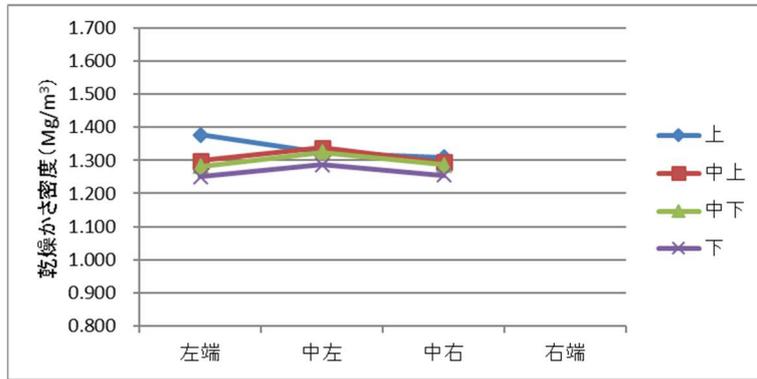


図 4.2.7-21 乾燥かさ密度計測結果：3-5 (T-1)

表 4.2.7-16 充填試験結果整理表：3-5 (T-1) バルク

項目	今回 3-5 (T-1)	前回 3-4 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	310.38	175.96
土槽実充填質量 (kg)	304.04	167.58
土槽充填容積 (m ³)	0.2082	0.1181
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m ³)	1.460	1.420
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m ³)	1.342	1.305
土槽充填率 (%)	98.0	95.3
所要密度以上のサンプル数	1/12	0/4

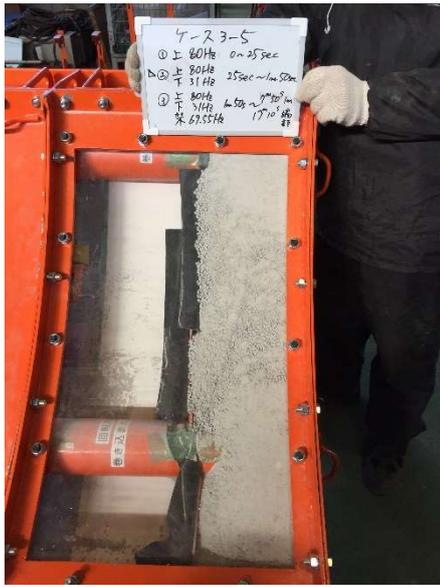


図 4.2.7-22 初期充填 : 3-5 (T-1)



図 4.2.7-23 移動充填 : 3-5 (T-1)

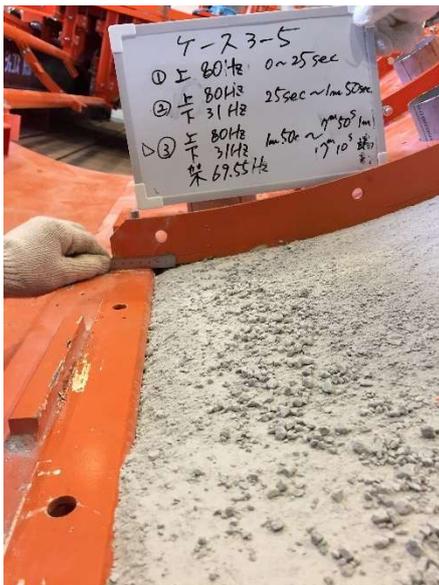


図 4.2.7-24 PEM 台座隅角部 : 3-5 (T-1)



図 4.2.7-25 試料採取状況 : 3-5 (T-1)

c 試験ケース 3-6 (T-1)

試験ケース 3-5(T-1)の結果より、試験ケース 3-4(T-1)と比較して、模擬土槽上部と下部の充填密度の相対差、および、土槽充填率については若干改善されたが、PEM 台座隅角部に若干の未充填を確認したこと、充填率が若干下回ったことから、移動充填時の単位長さ当たりの設定充填量を、試験ケース 3-5(T-1)の試験条件よりさらに、上段スクリー約 4%、下段スクリー約 15%上げ、かつ移動充填量設定割増率を、所要充填量に対し 15%程度となるよう設定し、充填試験を実施した。

この試験条件にて、PEM 台座隅角部の未充填が解消できると想定し、かつ、シンウォールサンプラーによる試料採取にて土槽全体の密度分布を確認するため、アクリル板を鉄製板に取り換えた。試験条件を表 4.2.7-17 に示す。

表 4.2.7-17 試験条件：3-6 (T-1)

試験ケース	今回 3-6 (T-1)	前回 3-5 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリー移送速度 (kg/min)	12.50	12.50
下段スクリー移送速度 (kg/min)	5.34	4.84
充填架台走行速度 (mm/min)	98.0	102.1
初期充填量設定 (kg)	30.48	29.78
移動充填量設定 (kg/m)	182.0	169.8
移動充填量設定割増率 (%)	115.1	107.4

表 4.2.7-18、図 4.2.7-26、および表 4.2.7-19 に試験結果を、図 4.2.7-27 および図 4.2.7-28 に試験の実施状況を示すが、本ケースでは上段スクリーの負荷が最大で定格の 2 倍弱となり、オーバーロードで途中停止したことから、ステップ 4 の試験条件として用いないこととした。

表 4.2.7-18 充填試験結果：3-6 (T-1)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
		Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³
ケース 3-6 (T-1)	上	オーバーロードに よる停止 データなし	1.486	1.366	1.435	1.319	1.425	1.310	1.449	1.331	
	中上		1.394	1.281	1.434	1.318	1.355	1.245	1.394	1.282	
	中下		1.414	1.300	1.445	1.328	1.356	1.246	1.405	1.291	
	下		1.376	1.265	1.429	1.313	1.347	1.238	1.384	1.272	
	Av.		1.418	1.303	1.436	1.320	1.371	1.260	1.408	1.294	
	目標密度			1.491	1.370			1.491	1.370		

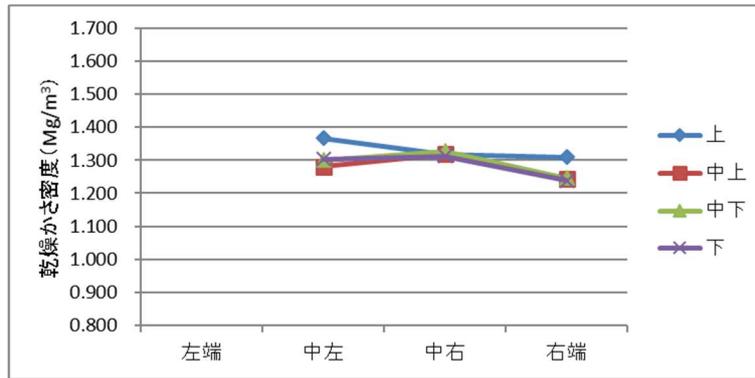


図 4.2.7-26 乾燥かさ密度計測結果：3-6 (T-1)

表 4.2.7-19 充填試験結果整理表：3-6 (T-1) バルク

項目	今回 3-6 (T-1)	前回 3-5 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	234.47	310.38
土槽実充填質量 (kg)	227.80	304.04
土槽充填容積 (m³)	0.1577	0.2082
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m³)	1.444	1.460
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m³)	1.327	1.342
土槽充填率 (%)	97.2	98.0
所要密度以上のサンプル数	0/12	1/12

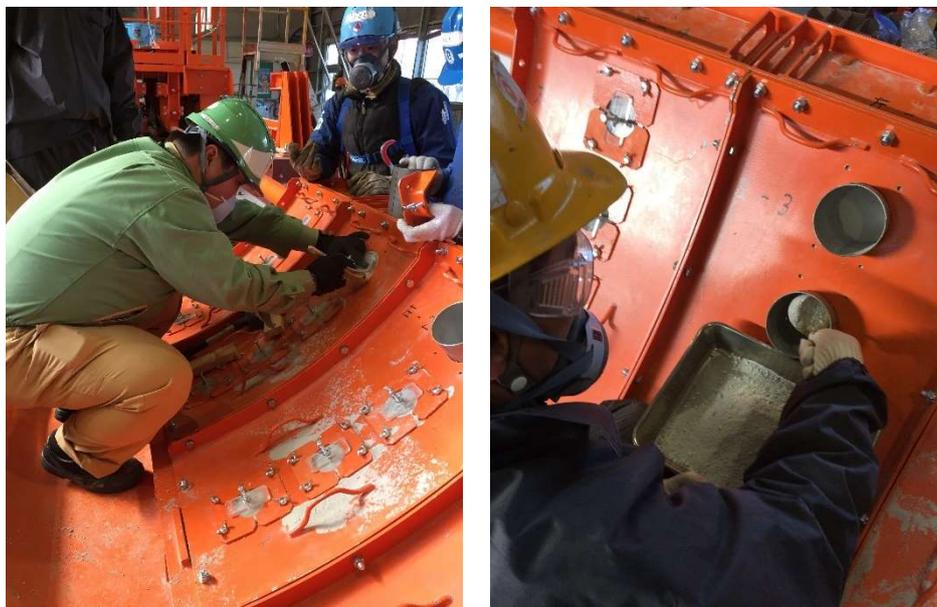


図 4.2.7-27 試料採取状況



上部界面



PEM 台座隅部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-28 充填状況 : 3-6 (T-1)

d 試験ケース 3-7 (T-1)

上段スクリーンのオーバーロード抑制のため、下段スクリーンの分担を大きくし(分担比率 上 1.5 : 下 1 まで下段分担を引上げ)、充填架台走行速度は移動充填量設定割増率が前ケースと同等程度となるように設定した。また、充填初期段階の位置の充填密度の改善を期待し、初期充填量の設定を高くし、充填試験を実施した。試験条件を表 4.2.7-20 に示す。

表 4.2.7-20 試験条件 : 3-7 (T-1)

試験ケース	今回 3-7 (T-1)	前回 3-6 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリーン移送速度 (kg/min)	12.5	12.50
下段スクリーン移送速度 (kg/min)	8.33	5.34
充填架台走行速度 (mm/min)	114.5	98.0
初期充填量設定 (kg)	37.15	30.48
移動充填量設定 (kg/m)	181.9	182.0
移動充填量設定割増率 (%)	115.0	115.1

充填試験実施の結果、本ケースも上段スクリーンが最大で定格の 2 倍以上の負荷となり、オーバーロードで途中停止したことから、ステップ 4 の試験条件として用いないこととした。

参考として、表 4.2.7-21、図 4.2.7-29、および表 4.2.7-22 に試験結果を、図 4.2.7-30 に試験の実施状況を示す。

表 4.2.7-21 充填試験結果 : 3-7 (T-1)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-7 (T-1)	上	データなし	データなし	データなし		1.443	1.326	1.443	1.326		
	中上			1.417	1.300	1.370	1.259	1.394	1.280		
	中下			1.481	1.359	1.407	1.293	1.444	1.326		
	下			データなし		1.397	1.284	1.397	1.284		
	Av.			1.449	1.329	1.404	1.291	1.419	1.304		
	目標密度	1.491	1.370			1.491	1.370				

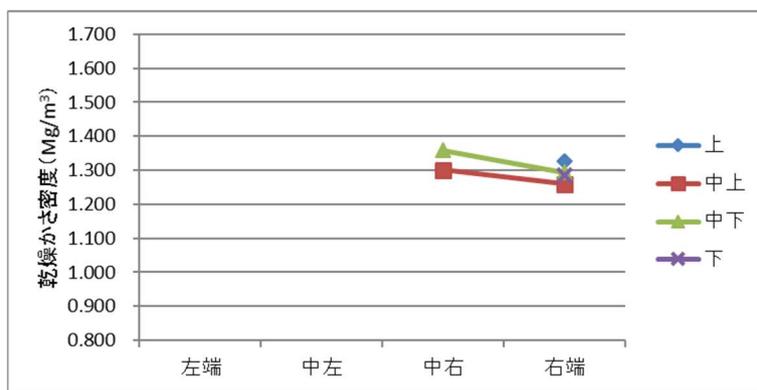


図 4.2.7-29 乾燥かさ密度計測結果：3-7 (T-1)

表 4.2.7-22 充填試験結果整理表：3-7 (T-1) バルク

試験ケース	今回 3-7 (T-1)	前回 3-6 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	144.17	234.47
土槽実充填質量 (kg)	143.00	227.80
土槽充填容積 (m³)	0.0967	0.1577
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/ m³)	1.478	1.444
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/ m³)	1.359	1.327
土槽充填率 (%)	99.2	97.2
所要密度以上のサンプル数	0/6	0/12



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景（サンプリング後）

図 4.2.7-30 充填状況：3-7 (T-1)

e 試験ケース 3-8 (T-1)

上段スクリュウのオーバーロード抑制のため充填分担比率を 上下 1:1 に設定し、初期充填量の設定を低くし、さらに移移動充填量設定割増率を、試験ケース 3-4 (T-1) と同等程度まで小さく設定し、充填試験を実施した。試験条件を表 4.2.7-23 に示す。

表 4.2.7-23 試験条件 : 3-8 (T-1)

試験ケース	今回 3-8 (T-1)	前回 3-7 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリュウ移送速度 (kg/min)	9.38	12.5
下段スクリュウ移送速度 (kg/min)	9.38	8.33
充填架台走行速度 (mm/min)	115.0	114.5
初期充填量設定 (kg)	25.34	37.15
移動充填量設定 (kg/m)	163.1	181.9
移動充填量設定割増率 (%)	103.2	115.0

表 4.2.7-24、図 4.2.7-31、および表 4.2.7-25 に試験結果を、図 4.2.7-32 に試験の実施状況を示す。上段スクリュウのオーバーロードによる途中停止は発生せず、サンプリング試料のかさ密度についても 16 か所のうち 2 か所ではあるものの所要の値を超える箇所、所定の密度未満であっても、改善された箇所が確認された。また、土槽全体の充填率については、所要密度に対して、99%以上となった。ただし、上段スクリュウの負荷が定格の 8 割以上と、下段スクリュウと比較して依然として大きかったため、さらに上段スクリュウの分担を下げる必要性が示唆された。

表 4.2.7-24 充填試験結果 : 3-8 (T-1)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
ケース 3-8 (T-1)	上	1.523	1.400	1.501	1.380	1.407	1.293	1.455	1.337	1.472	1.352
	中上	1.455	1.337	1.484	1.364	1.476	1.357	1.313	1.207	1.432	1.316
	中下	1.464	1.346	1.479	1.359	1.454	1.336	1.363	1.253	1.440	1.324
	下	1.465	1.347	1.519	1.396	1.470	1.351	1.386	1.274	1.460	1.342
	Av.	1.477	1.357	1.496	1.375	1.452	1.334	1.379	1.268	1.451	1.334
	目標密度				1.491	1.370			1.491	1.370	

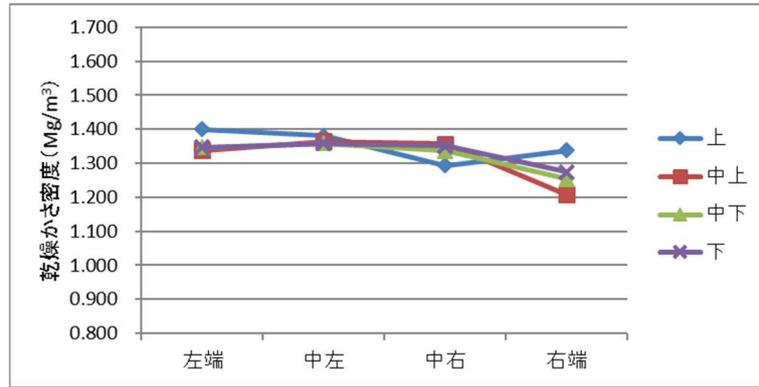


図 4.2.7-31 乾燥かさ密度計測結果：3-8 (T-1)

表 4.2.7-25 充填試験結果整理表：3-8 (T-1) バルク

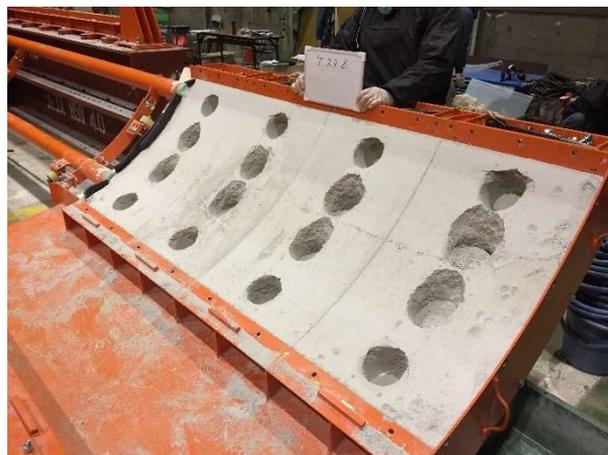
試験ケース	今回 3-8 (T-1)	前回 3-7 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	314.97	144.17
土槽実充填質量 (kg)	312.00	143.00
土槽充填容積 (m³)	0.2113	0.0967
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/ m³)	1.476	1.478
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/ m³)	1.357	1.359
土槽充填率 (%)	99.1	99.2
所要密度以上のサンプル数	2/16	0/6



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-32 充填状況 : 3-8 (T-1)

f 試験ケース 3-9 (T-1)

さらなる上段スクリーアの負荷低減（下スクリーアとの均衡）のため、上下の比率を逆転させ、分担比率を上 6：下 7 に設定したうえで、充填架台速度は移動充填量設定割増率が前ケースと同程度となるように設定した。

また、上段スクリーアの負荷が低減された場合は、スクリーア軸の耐力に余裕が生じるため、充填最終段階において、高い充填密度を維持し、充填箇所全体としての充填密度を高めるため、後充填を設定することとした。

試験条件を表 4.2.7-26 に示す。

表 4.2.7-26 試験条件：3-9 (T-1)

試験ケース	今回 3-9 (T-1)	今回 3-8 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリーア移送速度 (kg/min)	7.81	9.38
下段スクリーア移送速度 (kg/min)	9.11	9.38
充填架台走行速度 (mm/min)	103.51	115.0
初期充填量設定 (kg)	24.81	25.34
移動充填量設定 (kg/m)	163.5	163.1
移動充填量設定割増率 (%)	103.4	103.2
後充填量設定 (kg)	5.64	0

表 4.2.7-27、図 4.2.7-33、および表 4.2.7-28 に試験結果を、図 4.2.7-34 に試験の実施状況を示す。本ケースでは、密度分布のばらつきが少なくなり、上段スクリーアの負荷も定格の 7 割未満に軽減された。また、サンプリングした 16 か所のうち 5 か所（うち 2 か所が充填終盤）で所定の密度以上での充填が確認され、土槽全体では 100%を越える充填率となり、後充填の効果が確認された。ただし、前ケースと同様に充填初期段階の位置の充填密度が相対的に低くなるため、再度試験条件の設定を検討する必要があるが示唆された。

表 4.2.7-27 充填試験結果：3-9 (T-1)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-9 (T-1)	上	1.522	1.399	1.492	1.371	1.465	1.347	1.398	1.285	1.469	1.350
	中上	1.470	1.351	1.465	1.347	1.499	1.378	1.335	1.227	1.442	1.326
	中下	1.482	1.362	1.480	1.360	1.466	1.347	1.390	1.278	1.455	1.337
	下	1.515	1.392	1.492	1.371	1.485	1.365	1.438	1.322	1.483	1.363
	Av.	1.497	1.376	1.482	1.362	1.479	1.359	1.390	1.278	1.462	1.344
	目標密度					1.491	1.370			1.491	1.370

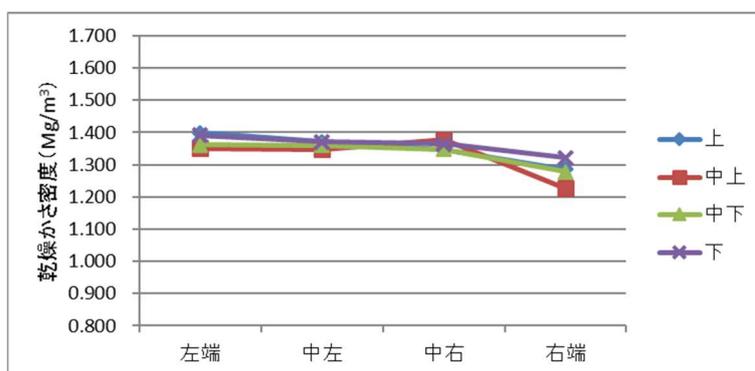


図 4.2.7-33 乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-1)

表 4.2.7-28 充填試験結果整理表：3-9 (T-1) バルク

試験ケース	今回 3-9 (T-1)	前回 3-8 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	314.18	314.97
土槽実充填質量 (kg)	315.76	312.00
土槽充填容積 (m ³)	0.2112	0.2113
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m ³)	1.495	1.476
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m ³)	1.374	1.357
土槽充填率 (%)	100.3	99.1
所要密度以上のサンプル数	5/16	2/16



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-34 充填状況 : 3-9 (T-1)

g 試験ケース 3-9 (T-2)

上下スクリーンの充填分担比率および充填架台の走行速度は前ケースを踏襲し、充填初期段階の位置の充填密度の改善策として、初期充填量の設定を所定量（土槽延長 0.2m 分に相当する量である 31.6kg）程度に再設定し、さらに充填エリア全体のかさ密度の向上のため、後充填量の設定を意識的に増量し、充填試験を実施した。試験条件を表 4.2.7-29 に示す。

表 4.2.7-29 試験条件：3-9 (T-2)

試験ケース	今回 3-9 (T-2)	今回 3-9 (T-1)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリーン移送速度 (kg/min)	7.81	7.81
下段スクリーン移送速度 (kg/min)	9.11	9.11
充填架台走行速度 (mm/min)	103.51	103.51
初期充填量設定	31.87	24.81
移動充填量設定 (kg/m)	163.5	163.5
移動充填量設定割増率 (%)	103.4	103.4
後充填量設定 (kg)	7.05	5.64

表 4.2.7-30、図 4.2.7-35、および表 4.2.7-31 に試験結果を、図 4.2.7-36 に試験の実施状況を示す。充填初期段階の位置（右端）の充填密度に顕著な改善は見られなかったが、充填終盤の充填密度については坑道円周方向全域で所定の値を上回る結果となった。また、土槽全体では 100% を越える充填率となり、後充填の効果が確認された。

これまでの充填試験の結果より、相対的に充填密度が低くなる傾向を示す充填初期段階のうち、特に中上段の充填密度に、より低い傾向が見られたため、改めて試験条件を検討することとした。

表 4.2.7-30 充填試験結果：3-9 (T-2)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-9 (T-2)	上	1.522	1.399	1.477	1.358	1.440	1.324	1.419	1.304	1.465	1.346
	中上	1.496	1.375	1.437	1.321	1.452	1.335	1.348	1.239	1.433	1.317
	中下	1.501	1.380	1.478	1.358	1.510	1.388	1.399	1.286	1.472	1.353
	下	1.537	1.413	1.491	1.370	1.493	1.372	1.452	1.335	1.493	1.372
	Av.	1.514	1.392	1.471	1.352	1.474	1.355	1.405	1.291	1.466	1.347
	目標密度						1.491	1.370			1.491

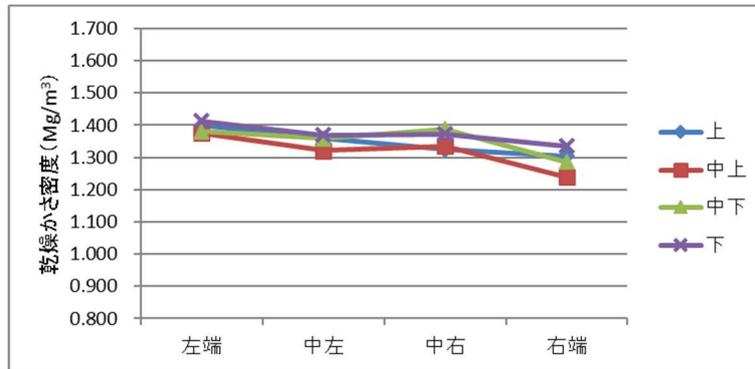
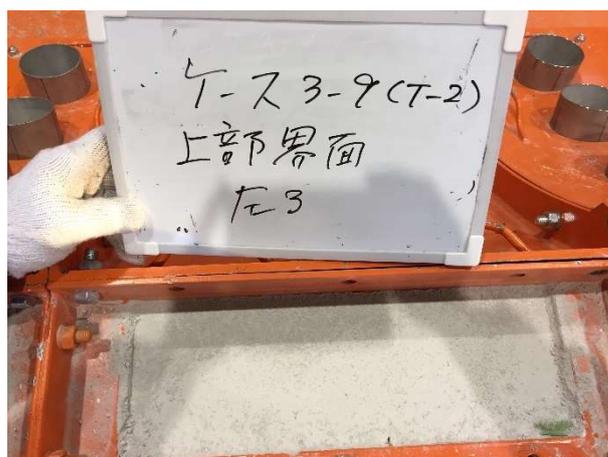


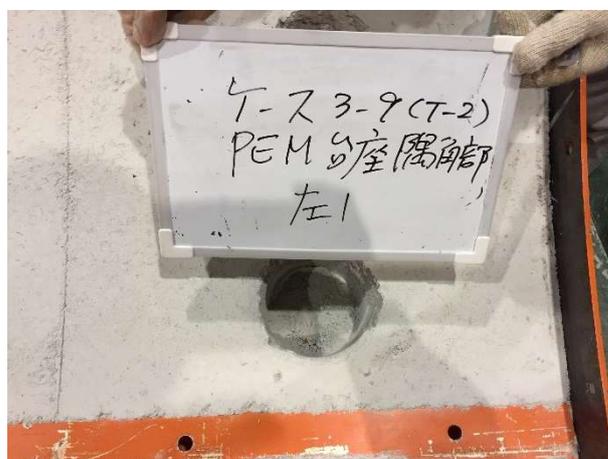
図 4.2.7-35 乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-2)

表 4.2.7-31 充填試験結果整理表：3-9 (T-2) バルク

試験ケース	今回 3-9 (T-2)	前回 3-9 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	312.91	314.18
土槽実充填質量 (kg)	314.40	315.76
土槽充填容積 (m ³)	0.2099	0.2112
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m ³)	1.498	1.495
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m ³)	1.376	1.374
土槽充填率 (%)	100.5	100.3
所要密度以上のサンプル数	7/16	5/16



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-36 充填状況 : 3-9 (T-2)

h 試験ケース 3-9 (T-3)

前ケースの結果より、中上段付近の充填密度の改善効果を期待し、上段スクリーウの位置を調整範囲内で下方向に移動し（図 4.2.7-37 参照）、初期充填と後充填を増量した。初期充填の所定量からの増量分は、上段スクリーウにて充填することとした。試験条件を表 4.2.7-32 に示す。

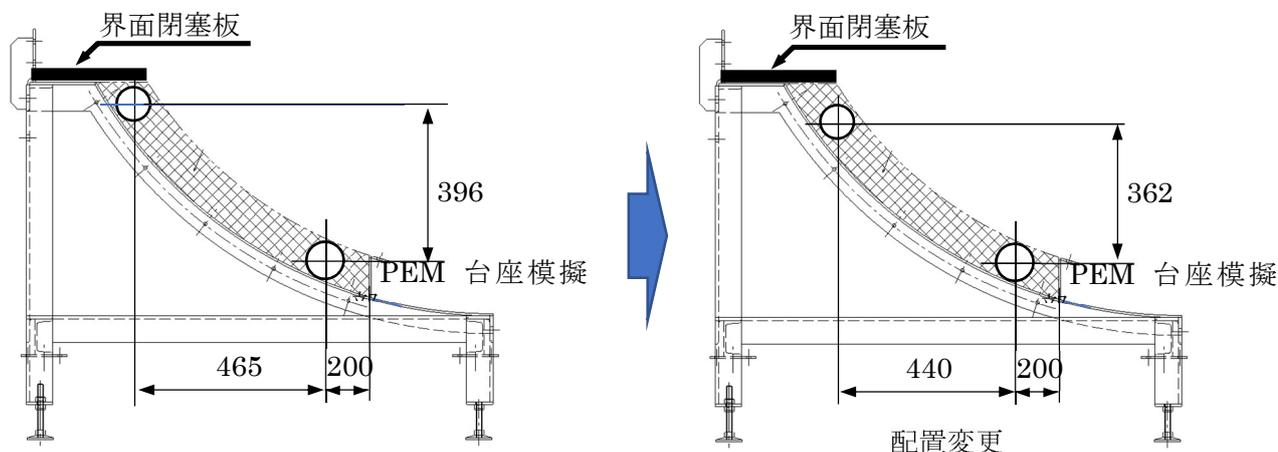


図 4.2.7-37 上段スクリーウ配置変更

表 4.2.7-32 試験条件：3-9 (T-3)

試験ケース	今回 3-9 (T-3)	前回 3-9 (T-2)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリーウ移送速度 (kg/min)	7.81	7.81
下段スクリーウ移送速度 (kg/min)	9.11	9.11
充填架台走行速度 (mm/min)	103.51	103.51
初期充填量設定	34.45	31.87
移動充填量設定 (kg/m)	163.5	163.5
移動充填量設定割増率 (%)	103.4	103.4
後充填量設定 (kg)	8.46	7.05

表 4.2.7-33、図 4.2.7-38～図 4.2.7-39、および表 4.2.7-34 に試験結果を、図 4.2.7-40 に試験の実施状況を示す。土槽充填率は上昇したものの、充填初期段階の位置（右端）の充填密度に顕著な改善は見られなかった。また、前ケースと比較すると若干ではあるが下段および中下段の充填密度が低下がみられた。ここで、図 4.2.7-39 に示すとおり、前ケースとの各スクリーウの消費電力の経時変化を比較すると、今回の 2 ケースでは若干ではあるが消費電力の低下が見られた。上段スクリーウの配置変更については、顕著な効果は見られなかったが、充填終盤の充填密度が高くなったため、変更後の配置にて以降の試験を実施することとした。

以上を踏まえ、次ケースの試験条件を検討することとした。

表 4.2.7-33 充填試験結果：3-9 (T-3)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-9 (T-3)	上	1.579	1.451	1.499	1.378	1.447	1.330	1.447	1.330	1.493	1.372
	中上	1.524	1.401	1.447	1.330	1.447	1.330	1.326	1.219	1.436	1.320
	中下	1.488	1.368	1.446	1.329	1.467	1.348	1.362	1.252	1.441	1.324
	下	1.519	1.396	1.464	1.346	1.439	1.323	1.420	1.305	1.461	1.342
	Av.	1.528	1.404	1.464	1.346	1.450	1.333	1.389	1.276	1.458	1.340
		目標密度				1.491	1.37			1.491	1.37

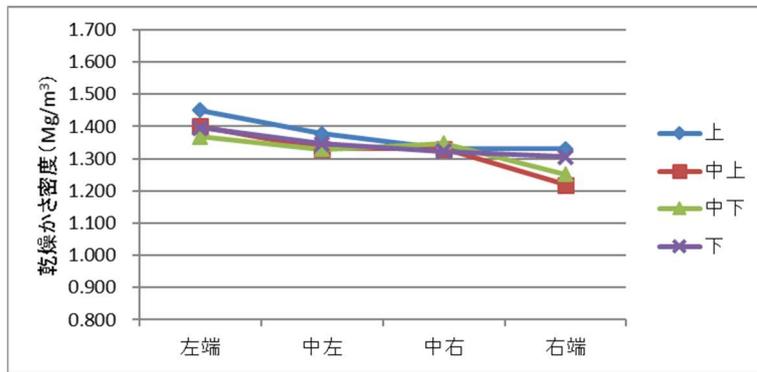
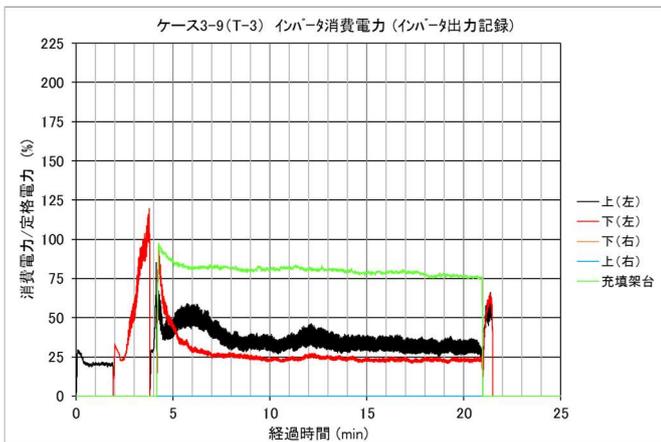
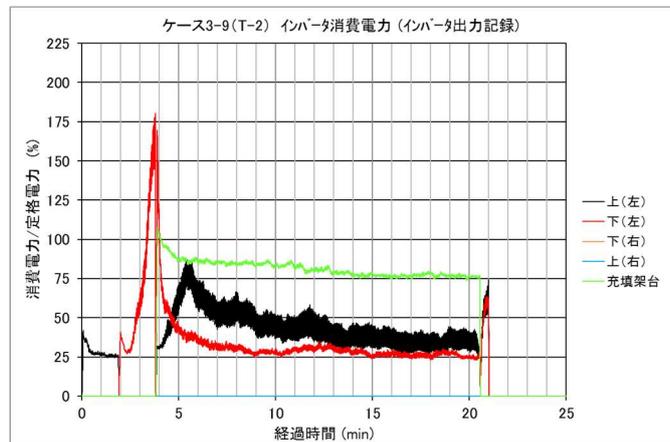


図 4.2.7-38 乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-3)



ケース 3-9 (T-3)

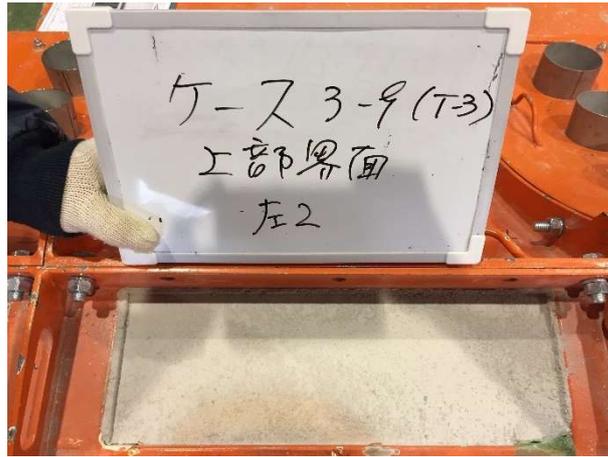


ケース 3-9 (T-2)

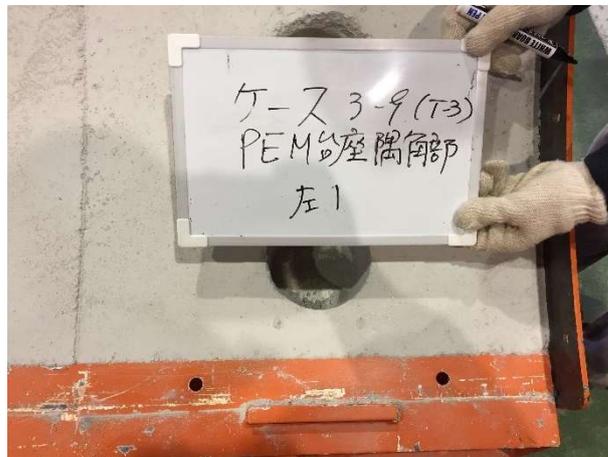
図 4.2.7-39 消費電力経時変化の比較：3-9 (T-3) と 3-9 (T-2)

表 4.2.7-34 充填試験結果整理表：3-9 (T-3) バルク

試験ケース	今回 3-9 (T-3)	前回 3-9 (T-2)
土槽所要充填質量 (kg)	315.28	312.91
土槽実充填質量 (kg)	321.76	314.40
土槽充填容積 (m ³)	0.2115	0.2099
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/ m ³)	1.521	1.498
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg m ³)	1.398	1.376
土槽充填率 (%)	102.0	100.5
所要密度以上のサンプル数	4/16	7/16



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-40 充填状況 : 3-9 (T3)

i 試験ケース 3-9 (T-4)

前ケースの結果より、土槽下部側の充填密度の向上を期待し、初期充填の増量分を下段スクリーにて充填することとし、それ以外の条件は前ケースと同様とした。表 4.2.7-35 に試験条件を示す。

表 4.2.7-35 試験条件：3-9 (T-4)

試験ケース	今回 3-9 (T-4)	前回 3-9 (T-3)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1
上段スクリー移送速度 (kg/min)	7.81	7.81
下段スクリー移送速度 (kg/min)	9.11	9.11
充填架台走行速度 (mm/min)	103.51	103.51
初期充填量設定	34.73	34.45
移動充填量設定 (kg/m)	163.5	163.5
移動充填量設定割増率 (%)	103.4	103.4
後充填量設定 (kg)	8.46	8.46

表 4.2.7-36、図 4.2.7-41～図 4.2.7-42、および表 4.2.7-37 に試験結果を、図 4.2.7-43 に充填状況を示す。表 4.2.7-37 に示すとおり土槽充填密度は低下したが、表 4.2.7-36 より、土槽下部側の充填密度に改善が見られた。また、図 4.2.7-42 に示すとおり、前ケースとの各スクリーの消費電力の経時変化を比較すると、今回のケースでは、下段スクリーの消費電力に微増が見られたが、上段スクリーの消費電力が微減しており、これが上記の要因と想定された。

これまでの試験結果を受けて、再度試験条件の検討を実施することとした。

表 4.2.7-36 充填試験結果：3-9 (T-4)

試験 ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-9 (T-4)	上	1.561	1.435	1.509	1.387	1.445	1.328	1.438	1.322	1.488	1.368
	中上	1.506	1.384	1.439	1.323	1.466	1.347	1.347	1.238	1.440	1.323
	中下	1.485	1.365	1.461	1.343	1.477	1.358	1.376	1.265	1.450	1.332
	下	1.523	1.400	1.487	1.367	1.493	1.372	1.429	1.313	1.483	1.363
	Av.	1.519	1.396	1.474	1.355	1.470	1.351	1.398	1.284	1.465	1.347
		目標密度				1.491	1.370			1.491	1.370

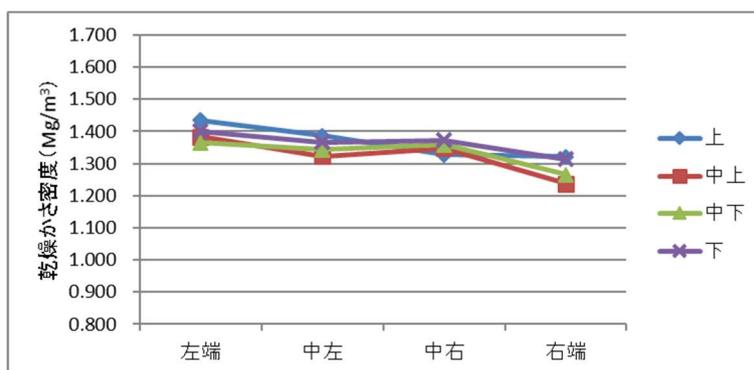
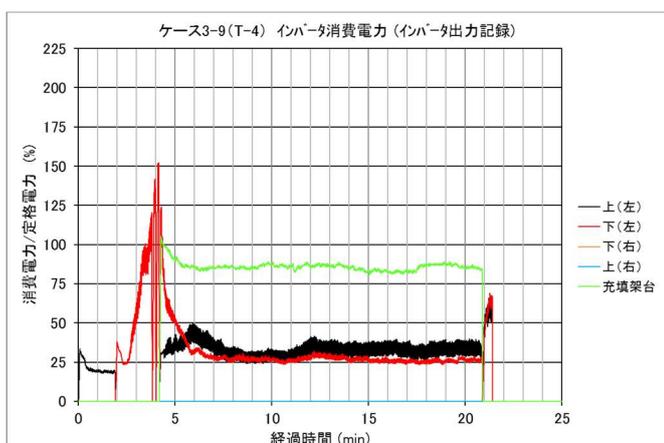
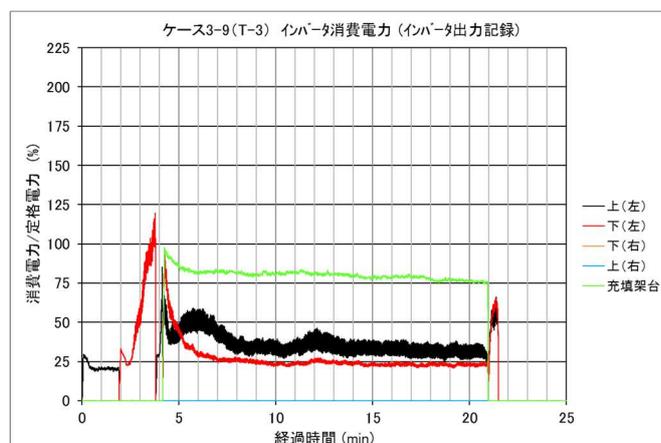


図 4.2.7-41 乾燥かさ密度計測結果：3-9 (T-4)



ケース 3-9 (T-4)



ケース 3-9 (T-3)

図 4.2.7-42 消費電力経時変化の比較：3-9 (T-4) と 3-9 (T-3)

表 4.2.7-37 充填試験結果整理表：3-9 (T-4) バルク

試験ケース	今回 3-9 (T-4)	前回 3-9 (T-3)
土槽所要充填質量 (kg)	314.18	315.28
土槽実充填質量 (kg)	312.10	321.76
土槽充填容積 (m ³)	0.2108	0.2115
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/ m ³)	1.481	1.521
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/ m ³)	1.361	1.398
土槽充填率 (%)	99.3	102.0
所要密度以上のサンプル数	5/16	4/16



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-43 充填状況 : 3-9 (T-2)

j 試験ケース 3-10 (T-1)

これまでの試験結果より、相対的に最も充填品質の良好であった試験ケース 3-9 (T-2) の試験条件をもとに、さらなる全体的な充填密度の向上を目指して、移動充填量設定割増率を、オーバーロードによる途中停止のなかった設定のうち最大のもの(試験ケース 3-5 (T-1))と同程度、あるいはケース 3-9 (T-2) で設定した割増率の 2 倍程度を目安として 7%程度に設定した。

試験条件を表 4.2.7-39 に示す。

表 4.2.7-38 試験条件 : 3-10 (T-1)

試験ケース	今回 3-10 (T-1)	前回 3-9 (T-4)	3-9 (T-2)
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	158.1	158.1
上段スクリー移送速度 (kg/min)	7.81	7.81	7.81
下段スクリー移送速度 (kg/min)	9.11	9.11	9.11
架台走行速度 (mm/min)	99.82	103.51	103.51
初期充填量設定	31.87	34.73	31.87
移動充填量設定 (kg/m)	169.5	163.5	163.5
移動充填量設定割増率 (%)	107.2	103.4	103.4
後充填量設定 (kg)	8.46	8.46	7.05

表 4.2.7-39、図 4.2.7-44~図 4.2.7-45、および表 4.2.7-40 に試験結果を、図 4.2.7-46 に充填状況を示す。表 4.2.7-39 および図 4.2.7-44 より、充填初期段階の位置では、依然充填密度が比較的低くなる傾向はあるものの、サンプリング箇所では、16 か所のうち 10 か所で所定の密度を満足しており、所定の密度を満足していない箇所においても、充填初期段階の位置(右端)の中段 2 か所を除き、99%程度以上の充填率となった。また、土槽全体での充填密度も所定の密度を満足する結果となった。

表 4.2.7-39 充填試験結果 : 3-10 (T-1)

試験ケース	上下方向	左右(延長)方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
		終了端		中盤2		中盤1		開始端			
		左端		中左		中右		右端			
		湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³										
ケース 3-10 (T-1)	上	1.543	1.418	1.534	1.410	1.494	1.373	1.506	1.384	1.519	1.396
	中上	1.493	1.372	1.478	1.358	1.490	1.370	1.364	1.254	1.456	1.339
	中下	1.484	1.364	1.480	1.360	1.508	1.386	1.408	1.294	1.470	1.351
	下	1.512	1.390	1.510	1.388	1.502	1.381	1.474	1.355	1.500	1.378
	Av.	1.508	1.386	1.501	1.379	1.499	1.377	1.438	1.322	1.486	1.366
		目標密度				1.491	1.370			1.491	1.370

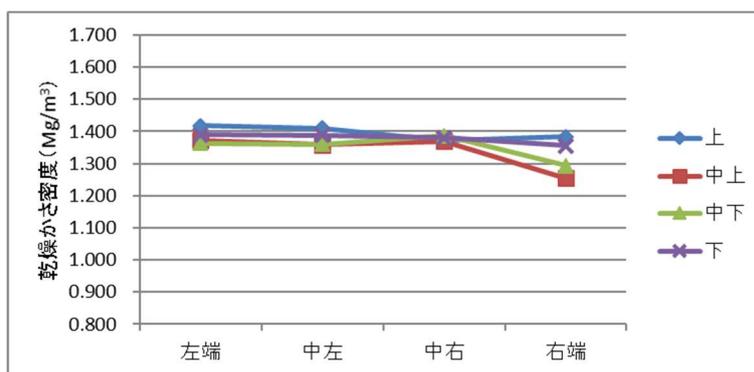
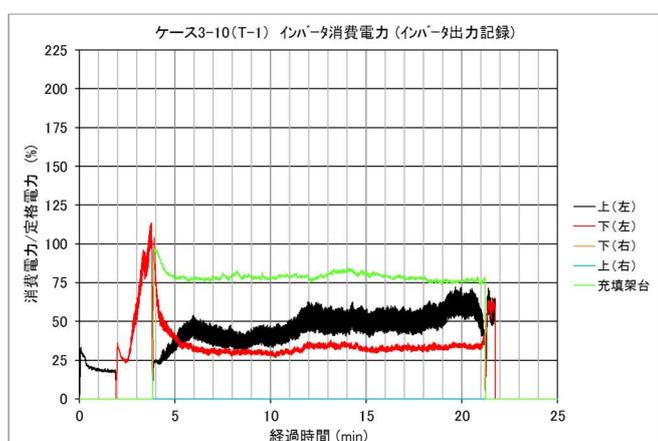
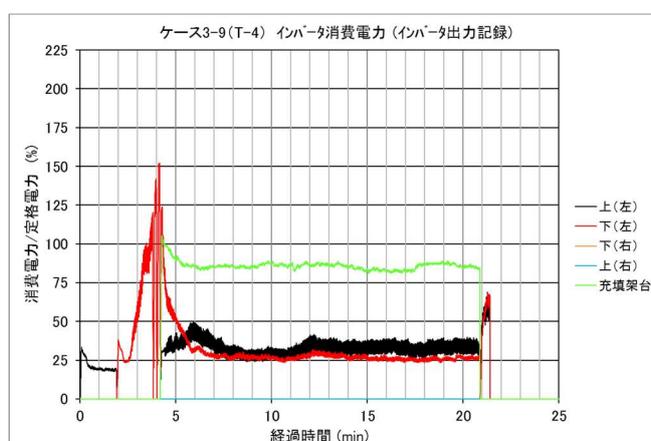


図 4.2.7-44 乾燥かさ密度計測結果：3-10 (T-1)



ケース 3-10 (T-1)



ケース 3-9 (T-4)

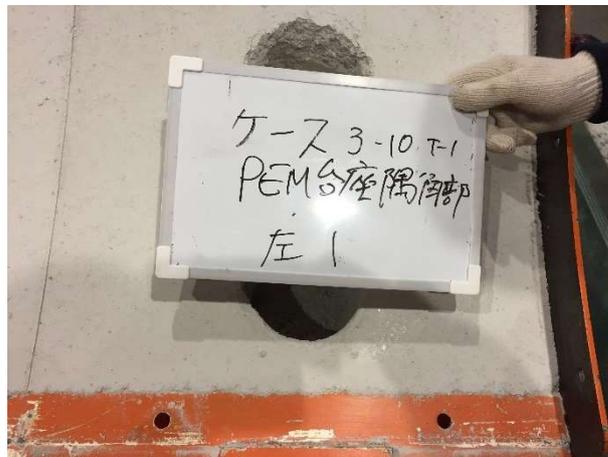
図 4.2.7-45 消費電力経時変化の比較：3-10 (T-1) と 3-9 (T-4)

表 4.2.7-40 充填試験結果整理表：3-10 (T-1) バルク

試験ケース	今回 3-10 (T-1)	前回 3-9 (T-4)	3-9 (T-2)
土槽所要充填質量 (kg)	318.45	314.18	312.91
土槽実充填質量 (kg)	320.58	312.10	314.40
土槽充填容積 (m ³)	0.2136	0.2108	0.2099
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m ³)	1.501	1.481	1.498
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m ³)	1.379	1.361	1.376
土槽充填率 (%)	100.7	99.3	100.5
所要密度以上のサンプル数	10/16	5/16	7/16



上部界面



PEM 台座隅角部



充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.7-46 充填状況 : 3-10 (T-1)

k ステップ 3 (フェーズ 2) 試験結果の評価

表 4.2.7-41 にステップ 3 の試験結果の概要 (再掲) を、表 4.2.7-42 に所費電力の安定した試験ケース 3-9 以降の試験結果整理表を示す。

また、図 4.2.7-47 および図 4.2.7-48 に、ステップ 3-9 以降の、各試験ケースにおいて模擬土槽からサンプリングした 16 試料の乾燥かさ密度のヒストグラム、および所要の充填乾燥密度である 1.37Mg/m³ を 100% としたときの、それらの充填率のヒストグラムをそれぞれ示す。

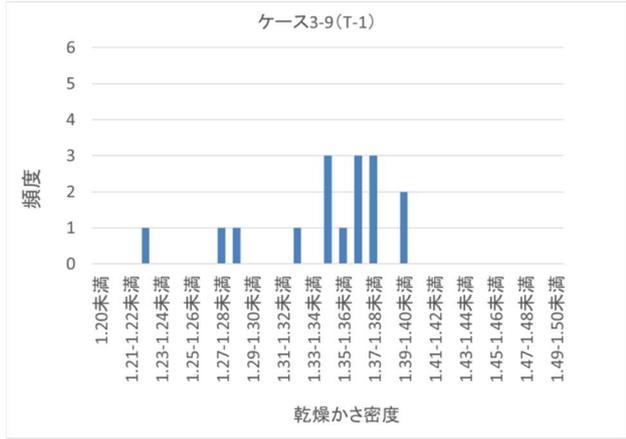
それぞれの図表より、模擬土槽全体での充填密度が、所要の充填密度を満足し、かつ最も多くのサンプリング試料が所要の充填密度を満足し、各所での充填密度のばらつきの少なかった試験ケース 3-10 (T-1) をステップ 4 における試験条件の基本とすることとした。

表 4.2.7-41 ステップ 3 試験結果の概要 (再掲)

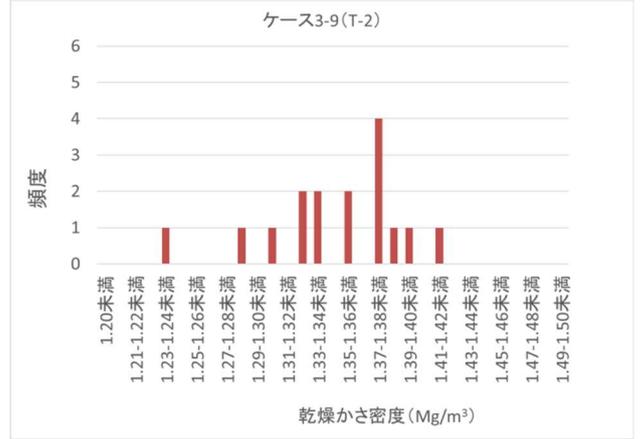
試験ケース	スクリー設定 (kg/min)			設計 充填量 (Kg/m)	設計 初期充填 (kg)	設計 後充填 (kg)	土槽充填 かさ密度 (乾燥) (Mg/m ³)	充填率 (1.37に対し) (%)
	上段	下段	合計					
3-2 T-1	12.8(80Hz)	4.8(30Hz)	17.6	177.4	32.8	0	1.386	101.2
3-4 T-1	12.5(80Hz)	4.7(30Hz)	17.2	163.9	32.1	0	1.386	101.2
3-5 T-1	12.5(80Hz)	4.8(31Hz)	17.3	169.8	29.8	0	1.305	95.3
3-6 T-1	12.5(80Hz)	5.3(34.15Hz)	17.8	182.0	30.5	0	1.327	96.9
3-7 T-1	12.5(80Hz)	8.3(53.33Hz)	20.8	181.9	37.2	0	1.359	99.2
3-8 T-1	9.4(60Hz)	9.4(60Hz)	18.8	163.1	25.4	0	1.357	99.1
3-9 T-1	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	24.9	5.6	1.374	100.3
3-9 T-2	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	31.9	7.0	1.376	100.4
3-9 T-3	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	34.5	8.5	1.398	102.0
3-9 T-4	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	163.5	34.7	8.5	1.361	99.3
3-10 T-1	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	31.9	8.5	1.379	100.7

表 4.2.7-42 試験ケース 3-9 以降の試験結果整理表

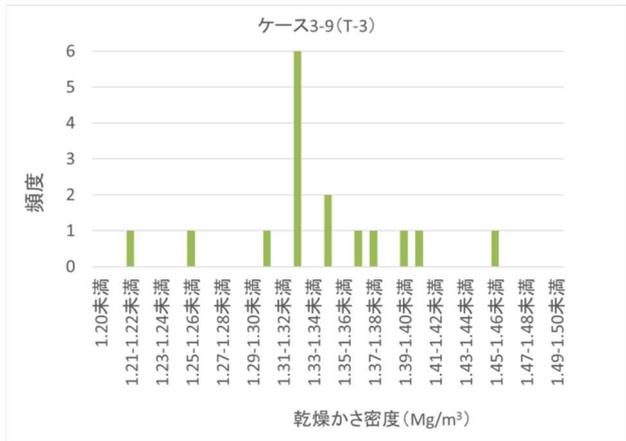
試験ケース	3-10 (T-1)	3-9 (T-4)	3-9 (T-3)	3-9 (T-2)	3-9 (T-1)
土槽所要充填質量 (kg)	318.45	314.18	315.28	312.91	318.45
土槽実充填質量 (kg)	320.58	312.10	321.76	314.40	320.58
土槽充填容積 (m ³)	0.2136	0.2108	0.2115	0.2099	0.2136
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/ m ³)	1.501	1.481	1.521	1.498	1.501
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/ m ³)	1.379	1.361	1.398	1.376	1.379
土槽充填率 (%)	100.7	99.3	102.0	100.5	100.7
所要密度以上のサンプル数	10/16	5/16	4/16	7/16	10/16



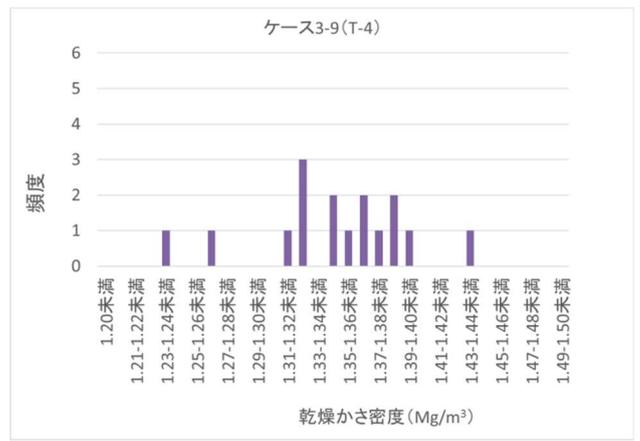
試験ケース 3-9 (T-1)



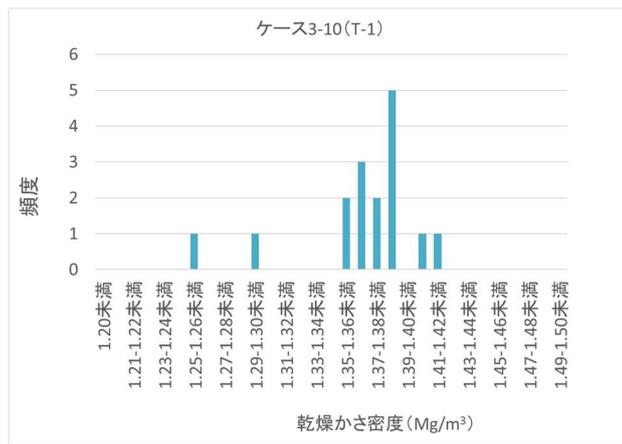
試験ケース 3-9 (T-2)



試験ケース 3-9 (T-3)

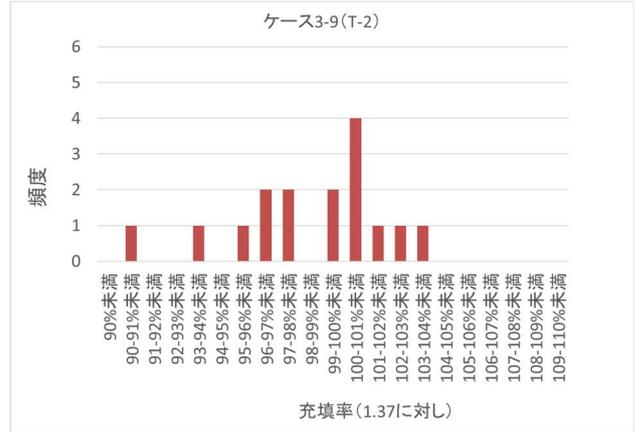
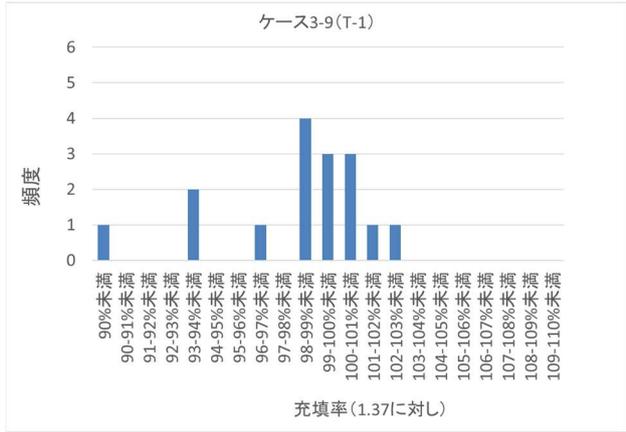


試験ケース 3-9 (T-4)



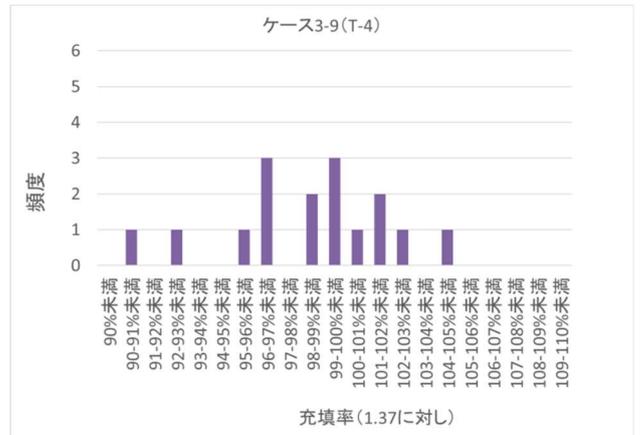
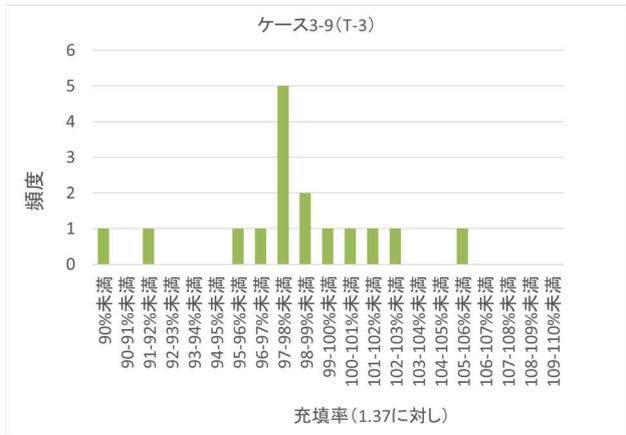
試験ケース 3-10 (T-1)

図 4.2.7-47 ステップ 3 各ケースのサンプリング試料乾燥かさ密度のヒストグラム



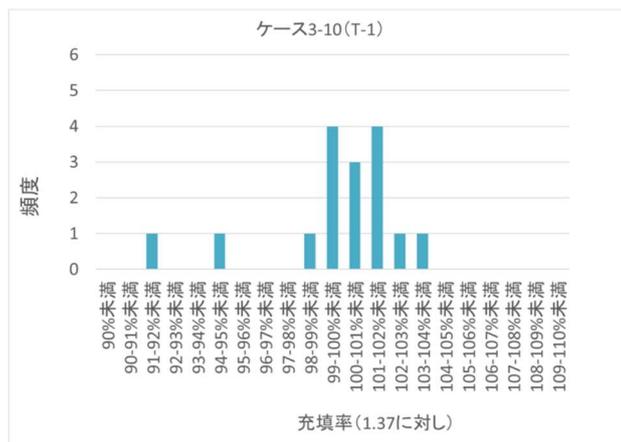
試験ケース 3-9 (T-1)

試験ケース 3-9 (T-2)



試験ケース 3-9 (T-3)

試験ケース 3-9 (T-4)



試験ケース 3-10 (T-1)

図 4.2.7-48 ステップ 3 各ケースのサンプリング試料充填率のヒストグラム

4.2.8 ステップ4：狭隘部充填装置の機能確認、プロセス管理項目の設定

(1) 実施内容

ステップ4では、幌延URL試験坑道における作業性の確認に加え、地下試験環境と同様の物理的環境においても、ステップ3によって設定した施工条件によって所定の充填品質を確保でき、かつその品質に再現性があることを確認すること、また、必要に応じ改善策を検討することを目的とした地上での実証予備試験を実施する。試験には4本のスクリーと左右の狭隘部模擬土槽を用いる。

(2) 模擬土槽の製作

狭隘部の充填試験に用いる模擬土槽は、ステップ3（フェーズ2）で使用した押し込み効果を評価出来る鋼製模擬坑道を、実際に充填する試験坑道2の下部狭隘部に合わせて左右用意した。この模擬坑道には、4.2.6(1)の土槽と同様にサンプリング用の窓がついている。



図 4.2.8-1 模擬土槽正面全景

充填部の密度はサンプリング窓からの採取と、かさ密度測定実施する。製作した土槽の形状を図 4.2.8-2 図 4.2.8-3 に示す。



図 4.2.8-2 模擬土槽（左）の仕上がり寸法およびサンプリング位置

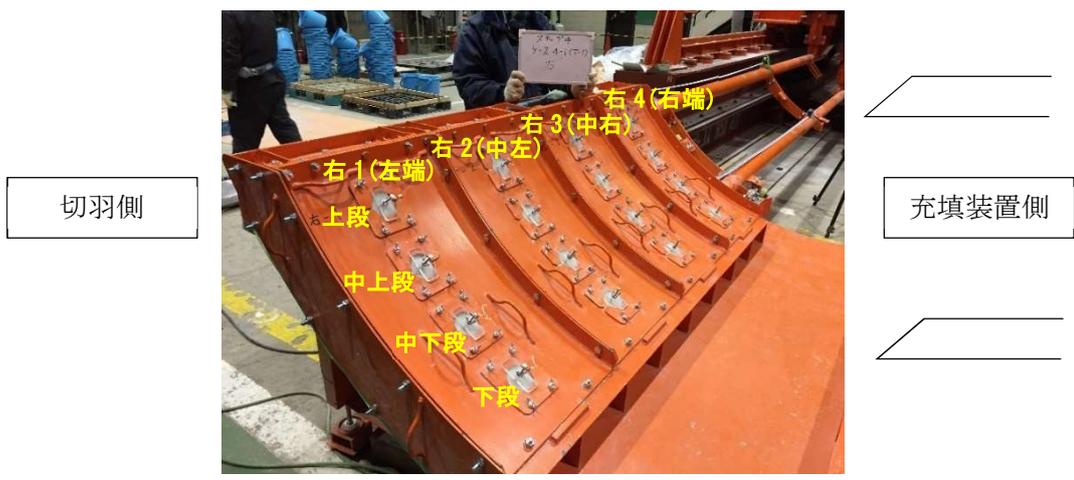
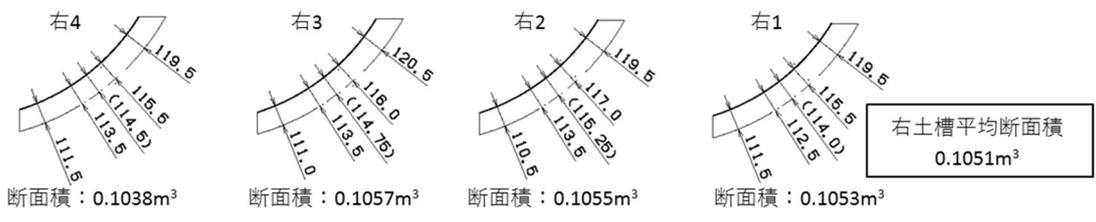


図 4.2.8-3 模擬土槽（右）の仕上がり寸法およびサンプリング位置

(3) 狭隘部隙間充填装置の製作

4.2.3 に示した狭隘部充填装置の概念設計に、ステップ3までの試験で得た成果を反映し、装置の設計・製作を行った。以下に、4.2.3 に示した装置の概念設計、およびステップ3までの成果を反映し、製作する下部狭隘部充填装置の詳細を整理した。

狭隘部隙間充填装置は主に、①装置全体を充填箇所まで移動させるための『走行架台』、②『スクリーコンベア』および③スクリーコンベアの送り・引き戻しを行うための『充填架台』によって構成する（便宜上、②と③を合わせて『充填機構』と呼ぶ）。

1) スクリューコンベアの長さ

狭隘部の設計最小寸法は 110mm となることから、スクリーコンベアパイプは 90A（外径約 101.6mm）とする。スクリーコンベアの所要長さについては、図 4.2.8-4 に示すとおり、狭隘部充填対象が定置される模擬 PEM1 体分（3343mm）と、疑似 PEM 下の約 500mm の区間を充填できる長さが必要となるため、最低有効長は約 4m 程度となる。

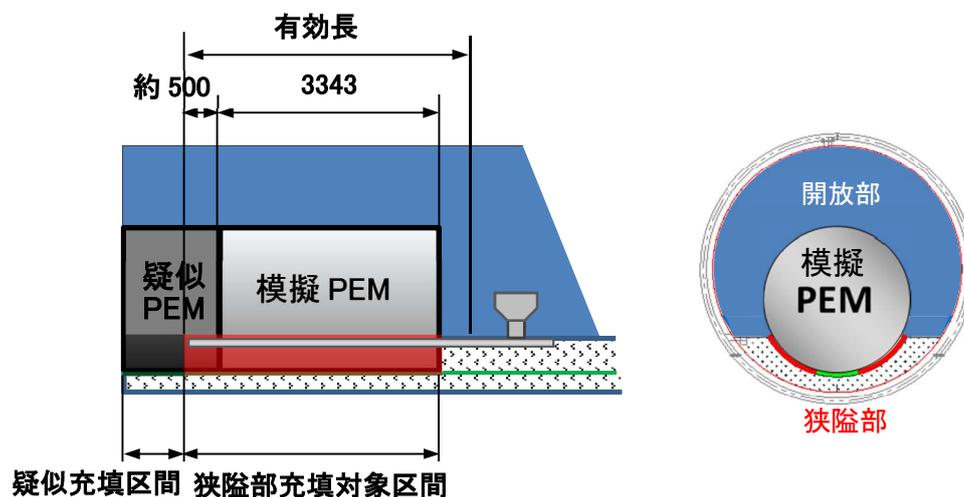


図 4.2.8-4 充填イメージ（側面図）

2) スクリューコンベア

スクリーピッチは 70mm とした。

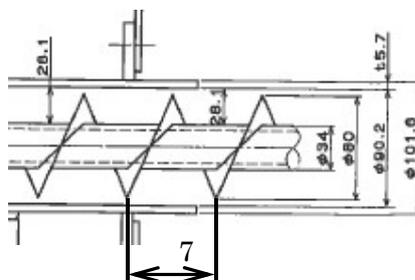


図 4.2.8-5 スクリューピッチ

3) スクリュー回転速度制限範囲

試験坑道で実施する充填実証試験において、PEM1 体に対する狭隘部充填容積は、台座で隔てられた左右のエリアに対して約 0.77m^3 となる。ここで、充填材の充填乾燥密度を $1.37\text{Mg}/\text{m}^3$ 、含水比を10%とすると、PEM1 体の狭隘部に必要な充填材湿潤質量は $0.77\text{m}^3 \times 1.37 \text{Mg}/\text{m}^3 \times 1.1 \div 1.2\text{Mg}$ となる。これを、4本のスクリーコンベアを用いて充填する場合、移送量を均等に配分すると、1本あたり約 300kg の充填材を移送する必要がある。試験坑道での充填作業を、先に狭隘部、後に解放部の順で実施する場合、後工程（解放部充填工程）を考慮し、狭隘部充填作業を暫定的に2時間程度（ただし、装置の設置や品質管理等を考慮し充填作業効率60%とする）で終了させると仮定した場合、 $300\text{kg} \div (120\text{min} \times 0.6) = 4.2\text{kg}/\text{min}$ 程度以上の移送能力が必要となる。

ステップ2より、上段と下段のスクリーコンベアの充填分担割合は、3:1程度の設定が可能となるように設計を行う場合、上記の所要移送能力の検討より、上段スクリーについては $4.2\text{kg}/\text{min} \times 1.5 (=6.3\text{kg}/\text{min})$ 以上の移送能力が求められる。

スクリーコンベアの仕様と充填材料の組み合わせでは、制御範囲内での最高回転速度（スクリー用ギヤードモータ制御周波数80Hzで33.6rpm時）のとき約 $13\text{kg}/\text{min}$ と最低限必要な移送能力の約2倍の移送能力を有しており、また、最低回転速度の制御は最高回転速度の1/4程度（スクリー用ギヤードモータ制御周波数20Hzで8.4rpm時で約 $3\text{kg}/\text{min}$ 程度）まで可能である。

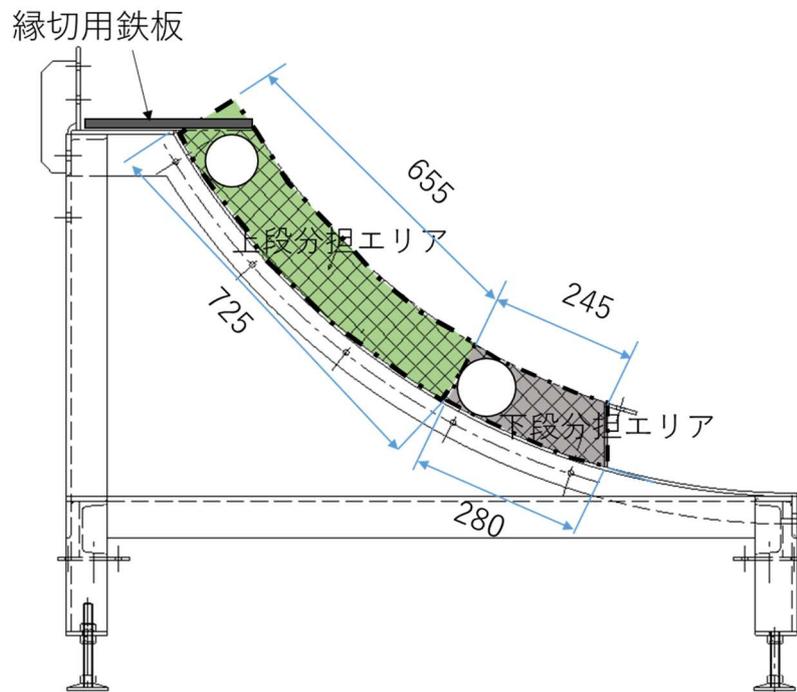


図 4.2.8-6 上下スクリーコンベアの充填分担割合の目安

4) 仕切り板

狭隘部に充填材を充填する際の充填材の安息角は、図 2 27 に示した円周方向のみでなく、坑道延長方向にも形成されることとなる。この坑道延長方向の安息角の形成は、スクリーコンベア直下の充填効率の低下や、比較的質量の大きな充填材粒子の分級等、充填品質に悪影響を与える要因となりうる可能性がある。また、スクリー先端に充填材との一定の被りを維持し、かつ坑道延長方向への安息角の形成を抑制するための付加装置として、ステップ 3 までの試験結果からもその効果が確認された、図 4.2.8-7 に示すような仕切り板を設ける。

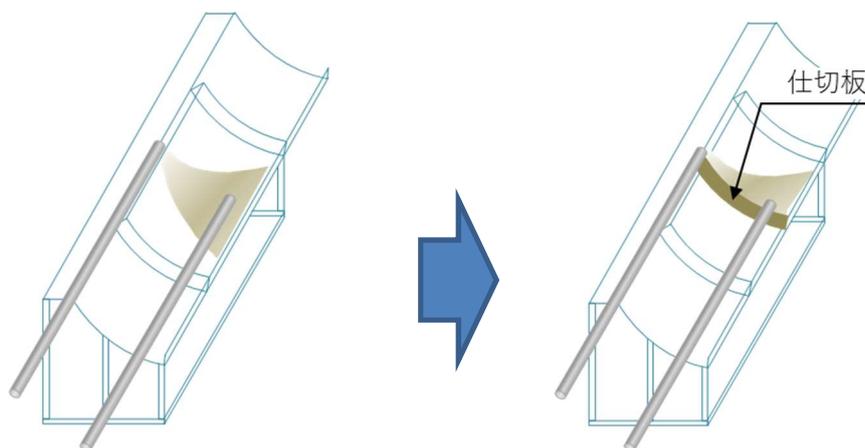


図 4.2.8-7 仕切り板による被り確保と安息角形成の抑制

5) スクリュー配置

スクリーコンベアの配置は、ステップ 3 の結果をもとに設定した。下段については、PEM 台座端部より水平方向に 200mm の位置に配置した。上段については、開放部との界面を閉塞するための処置を施した状態で充填を行うため、昨年度より、75mm 程度下方方向に移動させた。なお、配置微調整のための可動範囲として、図 4.2.8-8 のとおり、基本配置より上下左右に 50mm とした。

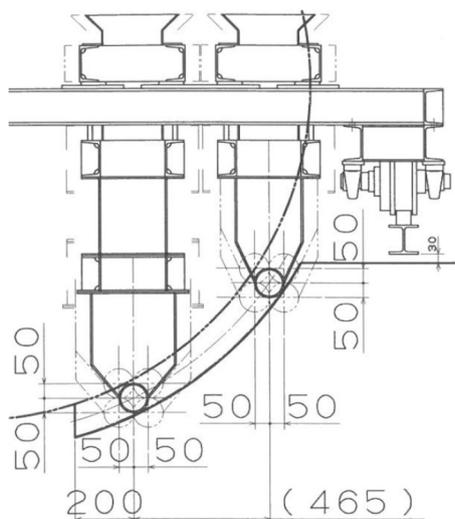


図 4.2.8-8 スクリューコンベア可動範囲

6) 充填架台

充填架台は、狭隘部隙間へのスクリーコンベアの挿入、および充填時の引戻しを行う。移動速度は、スクリー回転速度（移送速度）に合わせた制御幅を確保する。

ステップ3にて、上段スクリーによる移送速度を約 13kg/min、下段スクリーによる移送速度を上段スクリーの 1/3 (=約 4.3kg/min) 程度としたとき、充填架台の設計移動速度は概ね 100mm/min となる。充填架台移動用ギヤードモータおよび架台車輪径は、インバータにより 68.4Hz 設定時に約 100mm/min となるよう設計していた。充填品質を高めるためには、充填架台の移動については設計速度よりも遅い速度側に制御幅を持たせる必要があることから、平成 28 年度の仕様を踏襲することとする（制御周波数上限を 80Hz とすると、早める方向にも若干の制御幅を確保できている）。

7) 狭隘部隙間充填装置基本設計概要

以上を踏まえ、狭隘部隙間充填装置の基本設計仕様を整理した。

表 4.2.8-1 狭隘部隙間充填装置の基本設計仕様の整理

対象部位	項目	基本設計仕様	備考
走行架台	移動速度	通常人間の歩行速度未満（目安として 0.1～0.5m/sec 程度を想定）	走行は動力もしくは人力とする
スクリー コンベア	パイプ形状 (外径×有効長)	外径 101.6mm (90A) 有効長：4m 以上	
	スクリーピッチ	70mm	
	スクリー 回転速度	8.4～33.6rpm 程度 (移送能力 3.2～12.8kg/min)	
	付加装置	スクリー先端部に仕切板を設置	
充填架台	移動速度	29～116mm/min 程度	スクリー回転速度の設定に依存

8) 狭隘部充填装置の製作

基本設計仕様に基づいた隙間充填装置の計計画図、および装置の全景を図 4.2.8-9～図 4.2.8-11 に示す。

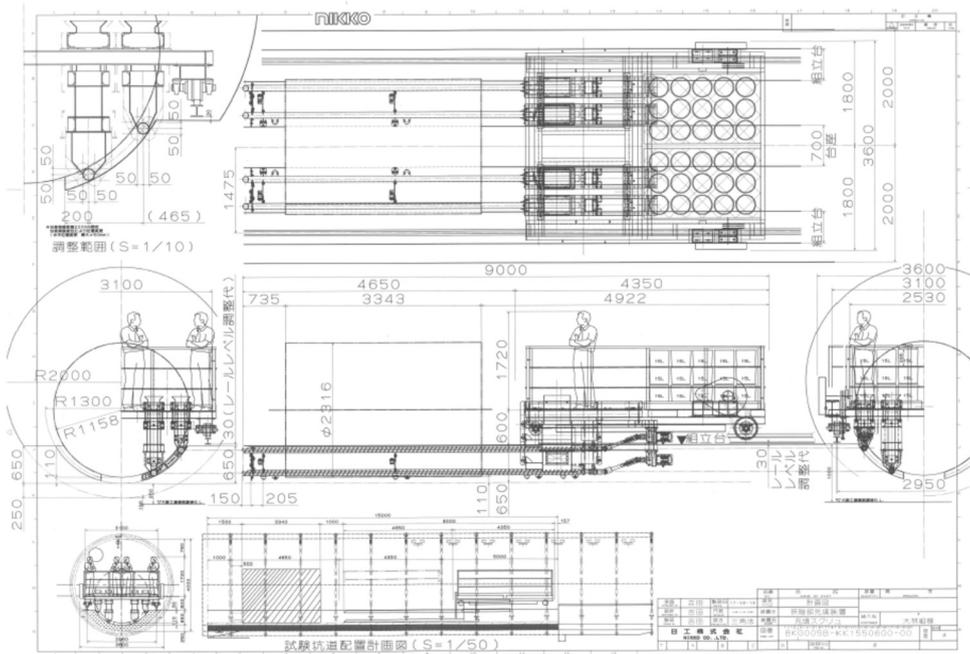


図 4.2.8-9 狭隙部隙間充填装置設計計画図

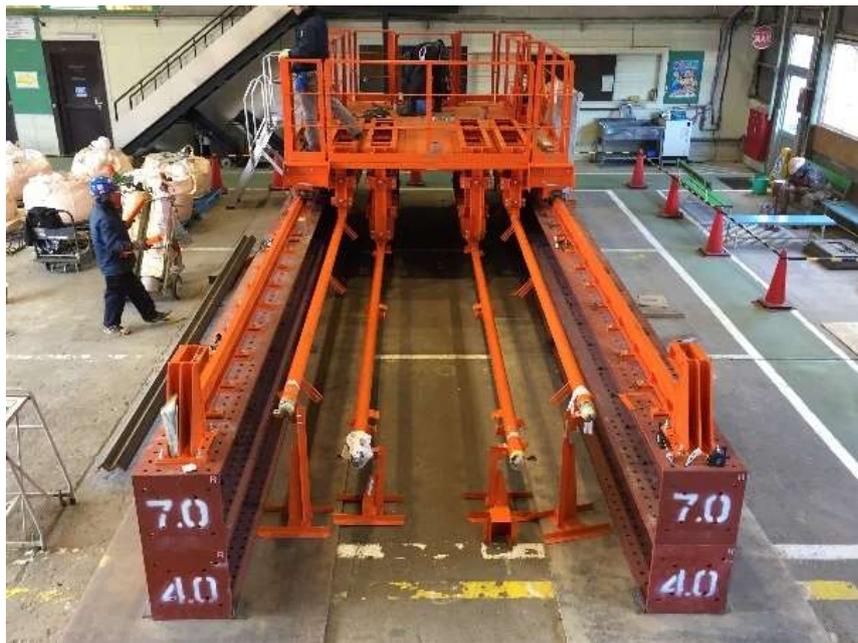


図 4.2.8-10 狭隙部隙間充填装置正面全景



図 4.2.8-11 隙間充填装置および模擬土槽全景

(4) 充填試験

実証予備試験実施時の概要図を図 4.2.8-12 に示す。

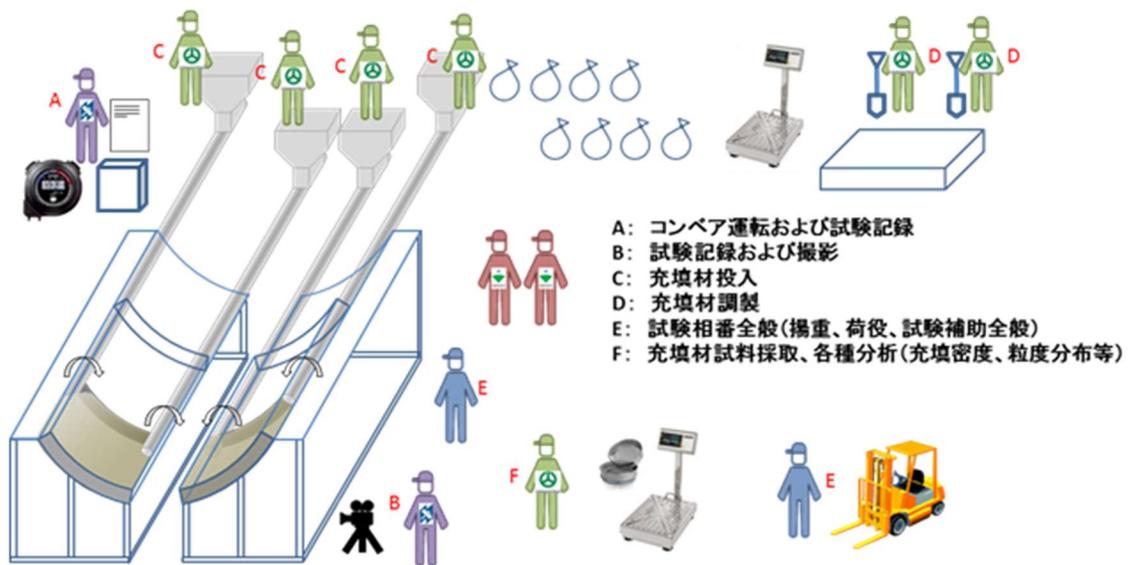


図 4.2.8-12 ステップ 4 実証予備試験実施時の概要図

1) 使用したペレット充填材

本試験では、ロールプレス法により製造したシート状ベントナイトを解砕し粒度調整を行った「ペレット充填材 B」を使用した。

(5) 試験ケースの設定

ステップ3において確認した最適条件の1ケースにて加工充填材を用いて実施する。その際に不具合が生じた場合は、改善策を検討し再試行する。

ステップ4では、ステップ3の結果より【試験ケース 3-10 (T-1)】の試験条件を基本として試験条件を設定し、試験を進めることとした。2ケース目以降の試験条件については、ステップ3と同様に直前の実施状況および結果を踏まえて条件設定し、試験を進めることとした。

表 4.2.8-2 および表 4.2.8-3 にステップ4の試験ケースと試験結果の概要を示す。なお、ステップ4では、左右両方の土槽を用い、左土槽の単位長さあたりの容積および湿潤状態での所要充填質量は、前述のとおりそれぞれ、 0.1061m^3 、 158.15kg/m である。また、右土槽の単位長さあたりの容積および湿潤状態での所要充填質量は、図 4.2.8-3 より、左土槽と同様に算出し、それぞれ $0.1051\text{m}^3/\text{m}$ 、 156.66kg/m となる。左右の土槽容積は異なるが、その差は1%未満であること、右土槽の容積の方が小さいことから、左土槽で実施したステップ3での試験条件を、左右に適用することとした。

表 4.2.8-2 ステップ4 実施試験ケース

試験ケース	スクリー設定 (kg/min)				架台速度設定		設計初期充填 (kg)	設計後充填 (kg)	備考
	左右	上段	下段	合計	mm/min	Kg/m			
4-1 T-1	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	99.8	169.5	31.9	8.5	基本
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					基本
4-1 T-3	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	99.8	169.5	39.7	8.5	上初期充填60s分追加
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					上初期充填60s分追加
4-2 T-1	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	95.4	177.3	36.4	8.5	上初期充填35s分追加
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					上初期充填35s分追加
4-2 T-2	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	95.4	177.3	36.4	12.4	更に後充填14s分追加
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					更に後充填14s分追加
4-2 T-3	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	95.4	177.3	36.4	7.6	
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					177.3

表 4.2.8-3 ステップ4 試験結果の概要

試験ケース	スクリー設定 (kg/min)				設計充填量 (Kg/m)	設計初期充填 (kg)	設計後充填 (kg)	土槽充填かさ密度 (乾燥) (Mg/m3)	充填率 (1.37に対し) (%)
	左右	上段	下段	合計					
4-1 T-1	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	31.9	8.5	1.354	98.8
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					
4-1 T-3	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	39.7	8.5	1.356	99.1
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					
4-2 T-1	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	8.5	1.368	99.9
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					
4-2 T-2	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	12.4	1.360	99.3
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					
4-2 T-3	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	7.6	1.362	99.4
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9					

(6) 試験結果

a 試験ケース 4-1 (T-1 および T-3)

ステップ 3 の試験結果より設定した試験条件を表 4.2.8-4 に示す。充填作業の作業性および充填品質の再現性を確認するため、同一条件により 2 回の試験を実施した。

表 4.2.8-4 試験条件：4-1 (T-1 および T-3)

試験ケース	4-1 (T-1 および T-3)		3-10 (T-1)
土槽配置	左	右	左
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	156.7	158.1
上段スクリー移送速度 (kg/min)	7.81		7.81
下段スクリー移送速度 (kg/min)	9.11		9.11
充填架台走行速度 (mm/min)	99.82		99.82
初期充填量設定	31.87		31.87
移動充填量設定 (kg/m)	169.5		169.5
移動充填量設定割増率 (%)	107.2	108.2	107.2
後充填量設定 (kg)	8.46		8.46

表 4.2.8-5、表 4.2.8-6、図 4.2.8-13、およびに試験結果を、図 4.2.8-15 および図 4.2.8-16 に充填状況を示す。試験ケース 4-1 (T-1) では、左土槽ではサンプリング 16 か所のうち 6 か所で所定の密度を満足しており、左土槽全体での充填率は、99%程度となった。また右土槽では所定の密度を満足したのは 16 か所のうち 3 か所であったが、右土槽全体では、100%を越える充填率となった。

試験ケース 4-1 (T-3) では、左右ともに所定の密度を満足したのは 16 か所のうち 5 か所であったが、土槽全体での充填率は試験ケース 4-1 (T-1) と同じく、左土槽で 99%程度、右土槽では 100%を越える充填率となった (表 4.2.8-7 参照)。

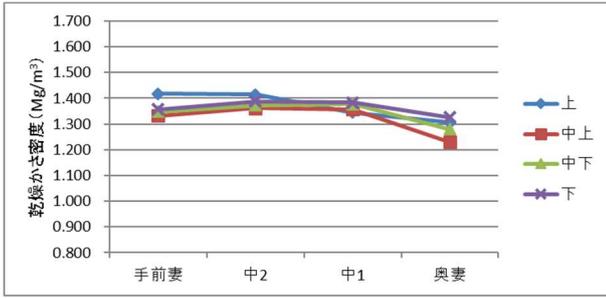
本試験条件による 2 回の充填試験により、左右の土槽で、99%程度以上の充填率を確保できることを確認したが、サンプリングの個別か所における充填率のさらなる向上のため、試験条件を再設定して試験を実施することとした。なお、充填作業は実施計画どおり予めバケツにて計量した加工充填材を充填架台に積載し、充填架台上に 3~4 名の作業員を配置し、加工充填材投入箇所には集塵器を配置して実施した。充填工程中、特段の問題はなく、スムーズに充填作業が行えることを確認した。

表 4.2.8-5 充填試験結果：4-1 (T-1)

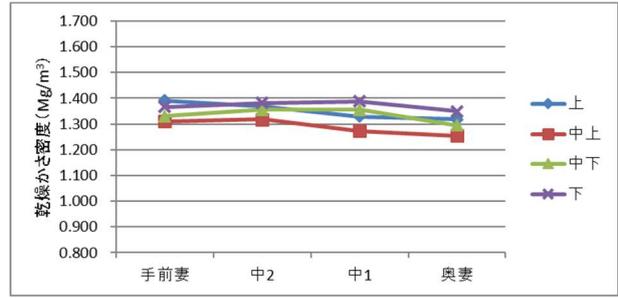
試験 ケース	左右	上下方向	方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
			終了端		中盤2		中盤1		開始端			
			手前妻		中2		中1		奥妻			
			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³											
ケース 4-1 (T-1)	左	上	1.542	1.417	1.539	1.415	1.463	1.345	1.421	1.306	1.491	1.371
		中上	1.449	1.332	1.482	1.362	1.477	1.358	1.337	1.229	1.436	1.320
		中下	1.466	1.347	1.494	1.373	1.498	1.377	1.392	1.279	1.463	1.344
		下	1.476	1.357	1.510	1.388	1.505	1.383	1.442	1.325	1.483	1.363
		Av.	1.483	1.363	1.506	1.384	1.486	1.366	1.398	1.285	1.468	1.350
		目標密度						1.491	1.370			1.491
	右	上	1.513	1.391	1.488	1.368	1.446	1.329	1.434	1.318	1.470	1.351
		中上	1.425	1.310	1.434	1.318	1.385	1.273	1.364	1.254	1.402	1.289
		中下	1.448	1.331	1.474	1.355	1.475	1.356	1.408	1.294	1.451	1.334
		下	1.487	1.367	1.503	1.381	1.511	1.389	1.468	1.349	1.492	1.372
		Av.	1.468	1.349	1.475	1.355	1.454	1.337	1.419	1.304	1.454	1.336
		目標密度						1.491	1.370			1.491

表 4.2.8-6 充填試験結果：4-1 (T-3)

試験 ケース	左右	上下方向	方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
			終了端		中盤2		中盤1		開始端			
			手前妻		中2		中1		奥妻			
			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
	Mg/m ³											
ケース 4-1 (T-3)	左	上	1.537	1.413	1.527	1.403	1.473	1.354	1.465	1.347	1.501	1.379
		中上	1.453	1.335	1.472	1.353	1.473	1.354	1.360	1.2500	1.440	1.323
		中下	1.482	1.362	1.489	1.369	1.503	1.381	1.387	1.275	1.465	1.347
		下	1.468	1.349	1.502	1.381	1.503	1.381	1.431	1.315	1.476	1.357
		Av.	1.485	1.365	1.498	1.376	1.488	1.368	1.411	1.297	1.470	1.351
		目標密度						1.491	1.370			1.493
	右	上	1.527	1.403	1.528	1.404	1.474	1.355	1.469	1.350	1.500	1.378
		中上	1.437	1.321	1.441	1.324	1.409	1.295	1.397	1.284	1.421	1.306
		中下	1.461	1.343	1.477	1.358	1.473	1.354	1.421	1.306	1.458	1.340
		下	1.485	1.365	1.501	1.380	1.503	1.381	1.491	1.370	1.495	1.374
		Av.	1.478	1.358	1.487	1.366	1.465	1.346	1.445	1.328	1.468	1.350
		目標密度						1.493	1.370			1.493

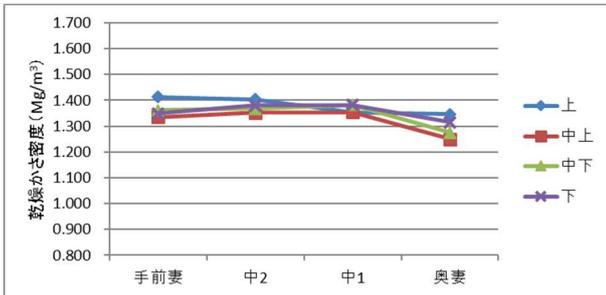


左土槽

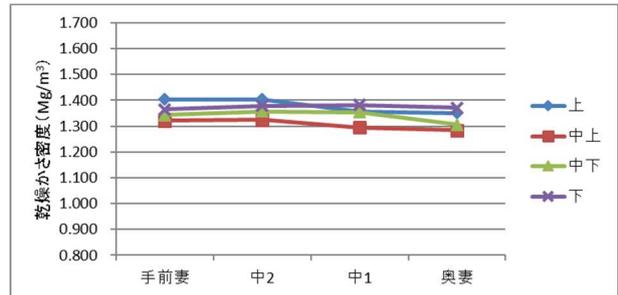


右土槽

図 4.2.8-13 乾燥かさ密度計測結果：4-1 (T-1)



左土槽



右土槽

図 4.2.8-14 乾燥かさ密度計測結果：4-1 (T-3)

表 4.2.8-7 充填試験結果整理表：4-1 (T-1 および T-3) バルク

試験ケース	4-1 (T-1)		4-1 (T-3)		3-10 (T-1)
	左	右	左	右	左
土槽所要充填質量 (kg)	313.70	309.31	311.33	308.37	318.45
土槽実充填質量 (kg)	309.99	310.01	308.25	309.36	320.58
土槽充填容積 (m³)	0.2105	0.2175	0.2089	0.2069	0.2136
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m³)	1.473	1.494	1.476	1.495	1.501
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m³)	1.354	1.373	1.357	1.374	1.379
土槽充填率 (%)	98.8	100.2	99.0	100.3	100.7
所要密度以上のサンプル数	6/16	3/16	4/16	5/16	10/16



左土槽



右土槽

上部界面



左土槽



右土槽

PEM 台座隅角部



左土槽



右土槽

充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.8-15 充填状況 : 4-1 (T-1)



左土槽



右土槽

上部界面



左土槽



右土槽

PEM 台座隅角部



左土槽



右土槽

充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.8-16 充填状況 : 4-1 (T-3)

b 試験ケース 4-2 (T-1~T-3)

試験ケース 4-1 の結果より、さらなる充填率の向上のため、移動充填量設定割増率をさらに 5% 程度増量し 112%~113%程度となるよう充填架台走行速度を再設定した。

試験条件を表 2 71 に示す。本試験条件においても充填品質の再現性を確認するため、同一条件により複数回の試験を実施した。

表 4.2.8-8 試験条件：4-2 (T-1 および T-2)

試験ケース	4-2 (T-1~T-3)		4-1 (T-1 および T-3)	
	左	右	左	右
土槽配置				
単位長さ所要充填量 (kg/m)	158.1	156.7	158.1	156.7
上段スクリー移送速度 (kg/min)	7.81		7.81	
下段スクリー移送速度 (kg/min)	9.11		9.11	
充填架台走行速度 (mm/min)	95.42		99.82	
初期充填量設定 (kg)	31.87		31.87	
移動充填量設定 (kg/m)	177.3		169.5	
移動充填量設定割増率 (%)	112.1	113.2	107.2	108.2
後充填質量設定 (kg)	T-1 : 左右とも 8.46 T-2 : 左右とも 12.41 T-3 : 左右とも 7.61		8.46	8.46

表 4.2.8-9~表 4.2.8-10 表 4.2.8-11、図 4.2.8-17~図 4.2.8-19、および表 4.2.8-12 に試験結果を、図 4.2.8-20~図 4.2.8-22 に充填状況を示す。

【試験ケース 4-2 (T-1)】

左土槽ではサンプリング 16 か所のうち 7 か所で所定の密度を満足しており、左土槽全体での充填率は、99.9%となった。また右土槽では 16 か所のうち 6 か所で所定の密度を満足しており、右土槽全体での充填率は、100.6%となった。

【試験ケース 4-2 (T-2)】

試験ケース 4-2 (T-1) と同じ傾向を示しており、左土槽ではサンプリング 16 か所のうち 7 か所で所定の密度を満足しており、左土槽全体での充填率は、99.3%となった。また右土槽では 16 か所のうち 6 か所で所定の密度を満足しており、右土槽全体での充填率は、100.3%となった。

【試験ケース 4-2 (T-3)】

左土槽にて所定の密度を満足したのは 12 か所のうち 2 か所であったが、左土槽全体での充填率は、99.4%となった。また右土槽では 16 か所のうち 6 か所で所定の密度を満足しており、右土槽全体での充填率は、101.2%程度となった。

表 4.2.8-9 充填試験結果：4-2 (T-1)

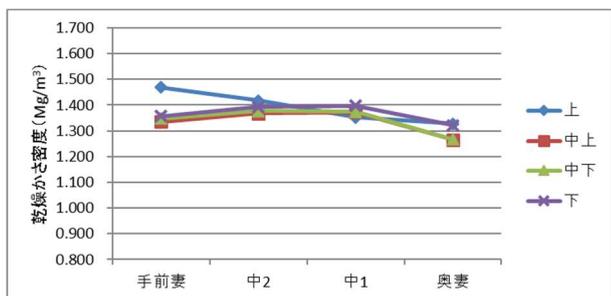
試験ケース	左右	上下方向	方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
			終了端		中盤2		中盤1		開始端			
			手前妻		中2		中1		奥妻			
			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³			
ケース 4-2 (T-1)	左	上	1.598	1.469	1.543	1.418	1.472	1.353	1.445	1.328	1.515	1.392
		中上	1.452	1.335	1.488	1.368	1.494	1.373	1.376	1.265	1.453	1.335
		中下	1.466	1.347	1.499	1.378	1.495	1.374	1.378	1.267	1.460	1.341
		下	1.476	1.357	1.516	1.393	1.520	1.397	1.437	1.321	1.487	1.367
		Av.	1.498	1.377	1.512	1.389	1.495	1.374	1.409	1.295	1.478	1.359
		目標密度						1.491	1.370			1.493
	右	上	1.522	1.399	1.539	1.415	1.486	1.366	1.487	1.367	1.509	1.386
		中上	1.431	1.315	1.472	1.353	1.447	1.330	1.450	1.333	1.450	1.333
		中下	1.469	1.350	1.484	1.364	1.484	1.364	1.439	1.323	1.469	1.350
		下	1.494	1.373	1.510	1.388	1.518	1.395	1.501	1.380	1.506	1.384
		Av.	1.479	1.359	1.501	1.380	1.484	1.364	1.469	1.350	1.483	1.363
目標密度						1.493	1.370			1.493	1.370	

表 4.2.8-10 充填試験結果：4-2 (T-2)

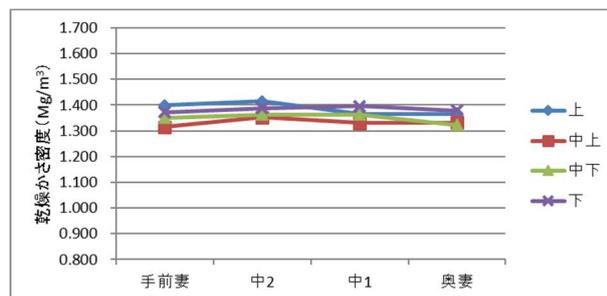
試験ケース	左右	上下方向	方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
			終了端		中盤2		中盤1		開始端			
			手前妻		中2		中1		奥妻			
			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³	Mg/m ³			
ケース 4-2 (T-2)	左	上	1.532	1.408	1.527	1.403	1.462	1.344	1.455	1.337	1.494	1.373
		中上	1.45	1.333	1.469	1.350	1.440	1.324	1.362	1.252	1.430	1.315
		中下	1.457	1.339	1.494	1.373	1.495	1.374	1.380	1.268	1.457	1.339
		下	1.517	1.394	1.516	1.393	1.514	1.392	1.454	1.336	1.500	1.379
		Av.	1.489	1.369	1.502	1.380	1.478	1.358	1.413	1.298	1.470	1.351
		目標密度						1.491	1.370			1.493
	右	上	1.528	1.404	1.531	1.407	1.491	1.370	1.495	1.374	1.511	1.389
		中上	1.434	1.318	1.458	1.340	1.445	1.328	1.442	1.325	1.445	1.328
		中下	1.451	1.334	1.477	1.358	1.472	1.353	1.430	1.314	1.458	1.340
		下	1.489	1.369	1.494	1.373	1.525	1.402	1.475	1.356	1.496	1.375
		Av.	1.476	1.356	1.490	1.369	1.483	1.363	1.461	1.342	1.477	1.358
目標密度						1.491	1.370			1.491	1.370	

表 4.2.8-11 充填試験結果：4-2 (T-3)

試験 ケース	左右	上下方向	方向								延長方向 湿潤密度 平均	延長方向 乾燥密度 平均
			終了点 手前妻		中盤2 中2		中盤1 中1		開始端 奥妻			
			湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度	湿潤密度	乾燥密度		
			Mg/m ³									
ケース 4-2 (T-3)	左	上	1.518	1.395	1.515	1.392	1.445	1.328	アクリル	1.493	1.372	
		中上	1.439	1.322	1.435	1.319	1.453	1.335		1.442	1.325	
		中下	1.435	1.319	1.464	1.346	1.465	1.347		1.455	1.337	
		下	1.435	1.319	1.480	1.360	1.490	1.369		1.468	1.349	
		Av.	1.457	1.339	1.473	1.354	1.463	1.345		1.464	1.346	
		目標密度					1.491	1.370				1.493
	右	上	1.526	1.403	1.532	1.408	1.485	1.365	1.484	1.364	1.507	1.385
		中上	1.446	1.329	1.459	1.341	1.452	1.335	1.433	1.317	1.448	1.331
		中下	1.449	1.331	1.481	1.361	1.493	1.373	1.439	1.323	1.466	1.347
		下	1.490	1.370	1.505	1.383	1.537	1.412	1.488	1.368	1.505	1.383
		Av.	1.478	1.358	1.494	1.374	1.492	1.371	1.461	1.343	1.481	1.361
		目標密度					1.493	1.370			1.493	1.370

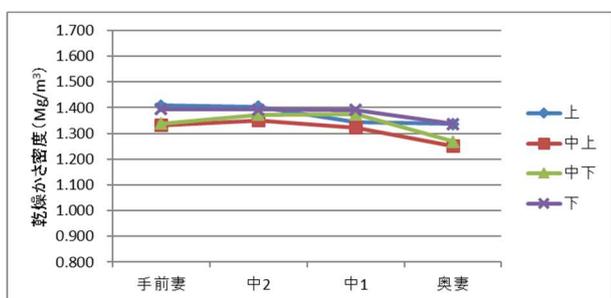


左土槽

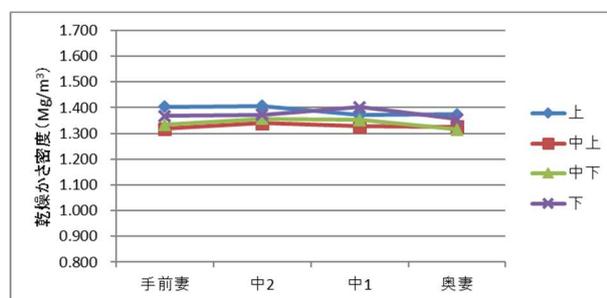


右土槽

図 4.2.8-17 乾燥かさ密度計測結果：4-2 (T-1)

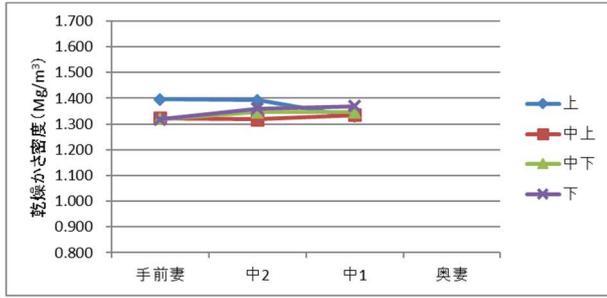


左土槽

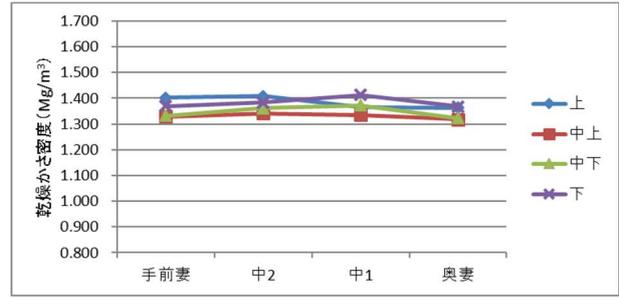


右土槽

図 4.2.8-18 乾燥かさ密度計測結果：4-2 (T-2)



左土槽



右土槽

図 4.2.8-19 乾燥かさ密度計測結果：4-2 (T-3)

表 4.2.8-12 充填試験結果整理表：4-2 (T-1～T-3) バルク

試験ケース	4-2 (T-3)		4-2 (T-2)		4-2 (T-1)		4-1 (T-3)	
	左	右	左	右	左	右	左	右
土槽所要充填質量 (kg)	314.34	311.35	312.28	308.69	311.81	308.84	311.33	308.37
土槽実充填質量 (kg)	312.55	315.28	310.09	309.37	311.35	310.57	308.25	309.36
土槽充填容積 (m³)	0.2109	0.2089	0.2095	0.2071	0.2092	0.2072	0.2089	0.2069
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m³)	1.482	1.510	1.480	1.494	1.488	1.499	1.476	1.495
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m³)	1.362	1.387	1.360	1.373	1.368	1.378	1.357	1.374
土槽充填率 (%)	99.4	101.3	99.3	100.2	99.9	100.6	99.0	100.3
所要密度以上のサンプル数	2/12	6/16	7/16	6/16	7/16	6/16	4/16	5/16



左土槽



右土槽

上部界面



左土槽



右土槽

PEM 台座隅角部



左土槽



右土槽

充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.8-20 充填状況 : 4-2 (T-1)



左土槽



右土槽

上部界面



左土槽



右土槽

PEM 台座隅角部



左土槽



右土槽

充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.8-21 充填状況 : 4-2 (T-2)

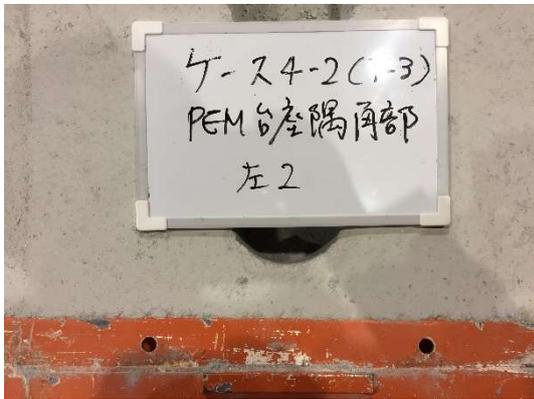


左土槽



右土槽

上部界面



左土槽



右土槽

PEM 台座隅角部



左土槽



右土槽

充填状況全景 (サンプリング後)

図 4.2.8-22 充填状況 : 4-2 (T-3)

(7) ステップ 4 試験結果の評価

表 4.2.8-13 にステップ 4 の試験結果の概要（再掲）を、表 4.2.8-14 にステップ 4 の試験結果整理表を示す。また、図 4.2.8-23 および図 4.2.8-24 に、各試験ケースにおいて模擬土槽からサンプリングした試料の乾燥かさ密度のヒストグラム、および所要の充填乾燥密度である 1.37Mg/m³ を 100%としたときの、それらの充填率のヒストグラムをそれぞれ示す。なお、試験ケース 4-2 (T-3) についてはサンプリング試料の数が少ないこと、試験ケース 4-1 シリーズとサンプル数を合わせて比較するためヒストグラムは省略した。

表 4.2.8-14 より、左土槽が右土槽と比較して 1%程度低い充填率となっているが、これは、単位長さ当たりの土槽容積が右：1.051m³/m に対し、左 1.061m³/m であることが想定される。

また、移動充填工程において割増率を設定していたのに対し、その効果が顕著に見られなかった要因としては、スクリーパイプ内での充填材の圧密等により、充填材のすべり（スクリーの回転とともに充填材も回転する）が生じ、ステップ 1 で設定した移送性能を下回っていたこと等が想定される。それぞれの試験結果の取り纏め図表より、土槽全体としての充填率については試験ケース 4-1 シリーズと試験ケース 4-2 シリーズでの顕著な差は見られなかったが、サンプリング試料個別の充填密度に着目すると、試験ケース 4-2 シリーズの試験条件のほうが、相対的に適切であると思われる。

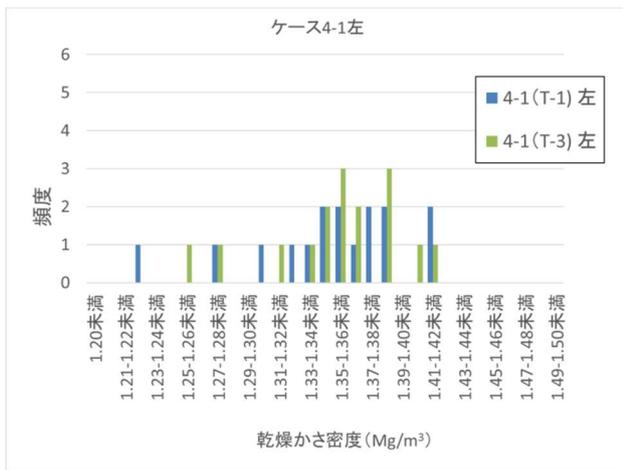
ステップ 4 の試験結果からは、本試験装置によって、土槽全体での充填率については、概ね所要の充填密度での充填が可能であり、充填エリア内のスポット的な充填密度分布についても、95%程度以上の充填率を確保できると思われる。

表 4.2.8-13 ステップ 4 試験結果の概要

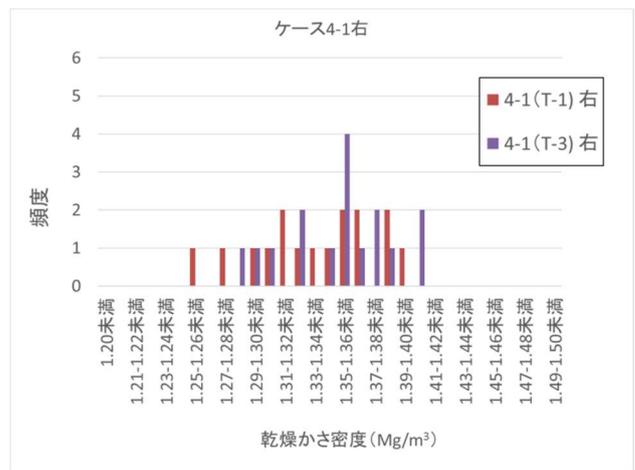
試験ケース	スクリー設定 (kg/min)				設計 充填量 (Kg/m)	設計 初期充填 (kg)	設計 後充填 (kg)	土槽充填 かさ密度 (乾燥) (Mg/m ³)	充填率 (1.37に対し) (%)
	左右	上段	下段	合計					
4-1 T-1	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	31.9	8.5	1.354	98.8
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	31.9	8.5	1.373	100.2
4-1 T-3	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	39.7	8.5	1.356	99.1
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	169.5	39.7	8.5	1.375	100.3
4-2 T-1	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	8.5	1.368	99.9
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	8.5	1.378	100.6
4-2 T-2	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	12.4	1.360	99.3
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	12.4	1.373	100.2
4-2 T-3	左	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	7.6	1.362	99.4
	右	7.8(50Hz)	9.1(58.33Hz)	16.9	177.3	36.4	7.6	1.387	101.3

表 4.2.8-14 充填試験結果整理表：4-2 (T-1~T-3) バルク (再掲)

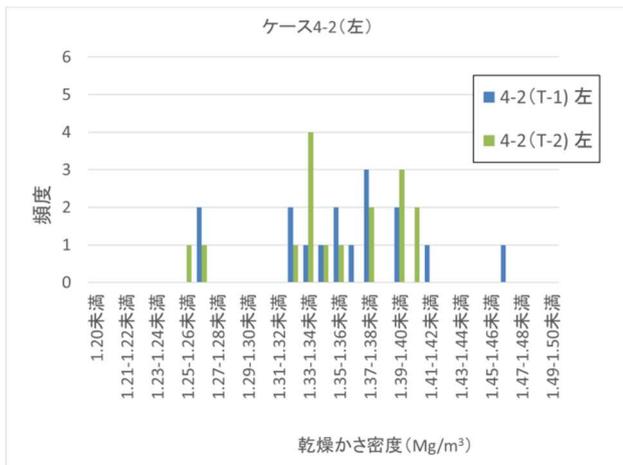
試験ケース	4-2 (T-3)		4-2 (T-2)		4-2 (T-1)		4-1 (T-3)		4-1 (T-1)	
	左	右	左	右	左	右	左	右	左	右
土槽所要充填質量 (kg)	314.34	311.35	312.28	308.69	311.81	308.84	311.33	308.37	311.33	308.37
土槽実充填質量 (kg)	312.55	315.28	310.09	309.37	311.35	310.57	308.25	309.36	308.25	309.36
土槽充填容積 (m ³)	0.2109	0.2089	0.2095	0.2071	0.2092	0.2072	0.2089	0.2069	0.2089	0.2069
土槽充填湿潤かさ密度 (Mg/m ³)	1.482	1.510	1.480	1.494	1.488	1.499	1.476	1.495	1.476	1.495
土槽充填乾燥かさ密度 (Mg/m ³)	1.362	1.387	1.360	1.373	1.368	1.378	1.357	1.374	1.357	1.374
土槽充填率 (%)	99.4	101.3	99.3	100.2	99.9	100.6	99.0	100.3	99.0	100.3
所要密度以上のサンプル数	2/12	6/16	7/16	6/16	7/16	6/16	4/16	5/16	4/16	5/16



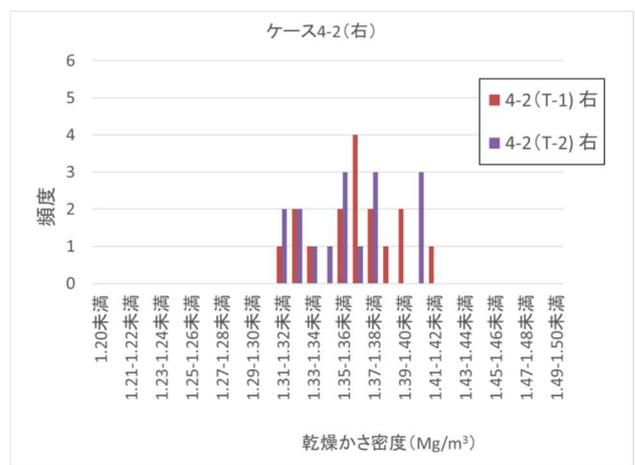
試験ケース 4-1 (T-1 および T-3) 左



試験ケース 4-1 (T-1 および T-3) 右

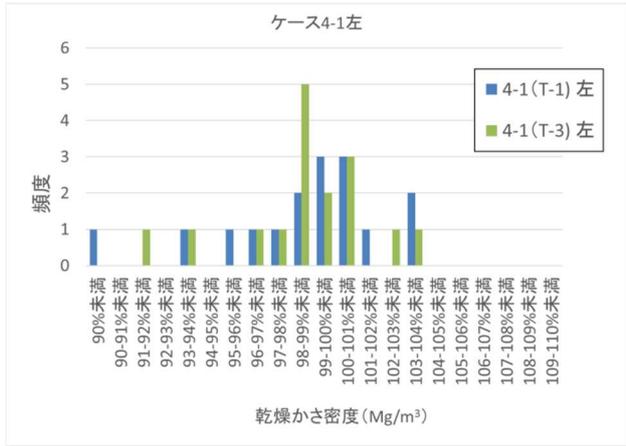


試験ケース 4-2 (T-1 および T-2) 左

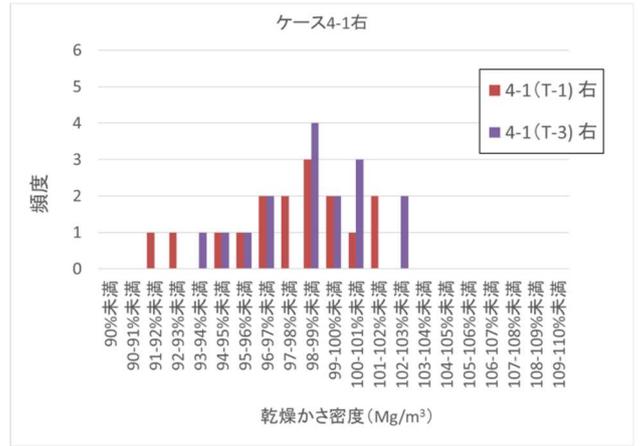


試験ケース 4-2 (T-1 および T-2) 右

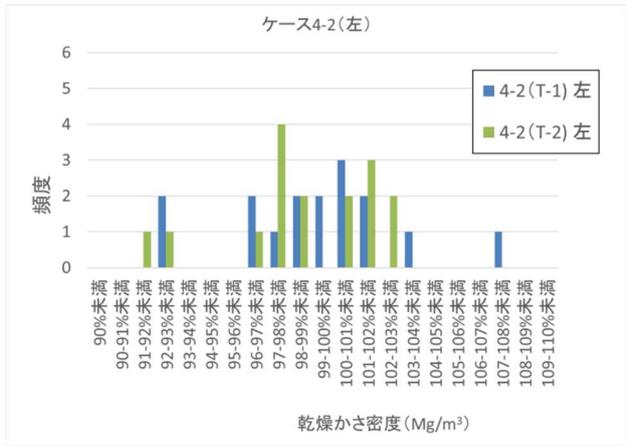
図 4.2.8-23 各試験ケースのサンプリング試料乾燥かさ密度のヒストグラム



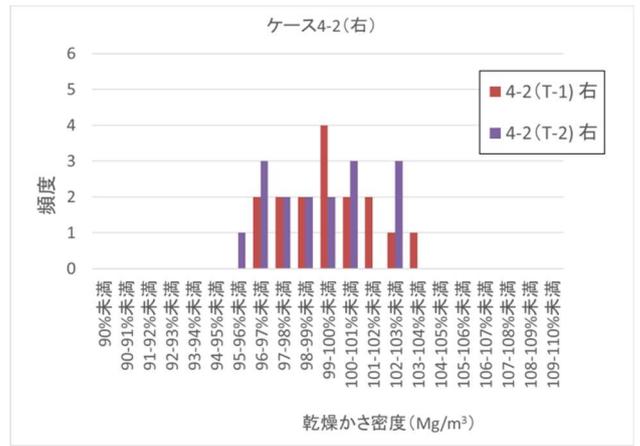
試験ケース 4-1 (T-1 および T-3) 左



試験ケース 4-1 (T-1 および T-3) 右



試験ケース 4-2 (T-1 および T-2) 左



試験ケース 4-2 (T-1 および T-2) 右

図 4.2.8-24 各試験ケースのサンプリング試料充填率のヒストグラム

4.3 上部開放部充填技術の実証的整備

4.3.1 開放部を対象とした充填技術

4.1.2 に述べたように、上部開放部の充填方法をペレット充填から吹付け方式に変更した。充填によるかさ密度は、吹付け用の混合土の性状と吹付け条件が支配している。よって「①充填用混合土の配合」「②吹付け条件」「③吹付け方法」で必要な密度を確保出来ることを示す。また本事業では汎用的な吹付け機で達成可能な品質を提示する。

4.3.2 技術整備手順

平成 30 年度に地下での実施を計画した施工試験では、PEM を定置した後に生じる PEM 下の狭隘な隙間と上部の円弧空間（以下、狭隘部および開放部と記載）に対し、ベントナイト系の材料を用いた充填を実施する。開放部は、最大幅 1300mm 程度、奥行き 4m 程度、狭隘部は幅 150mm 以下の空間である（図 4.3.2-1 参照）。

本試験では開放部を対象とし、平成 30 年度の地下実証試験に向けてベントナイト系材料による吹付けにて充填する方法の確認として模擬土槽試験実施する。本書に後述するように、幌延地下坑道の形状から開放部を抽出した模擬土槽試験に対し、吹付け機械を用いて試験を実施するとともに、施工手順および施工性の確認を行う。開放部の吹付け試験計画を図 4.3.2-2 に示す。

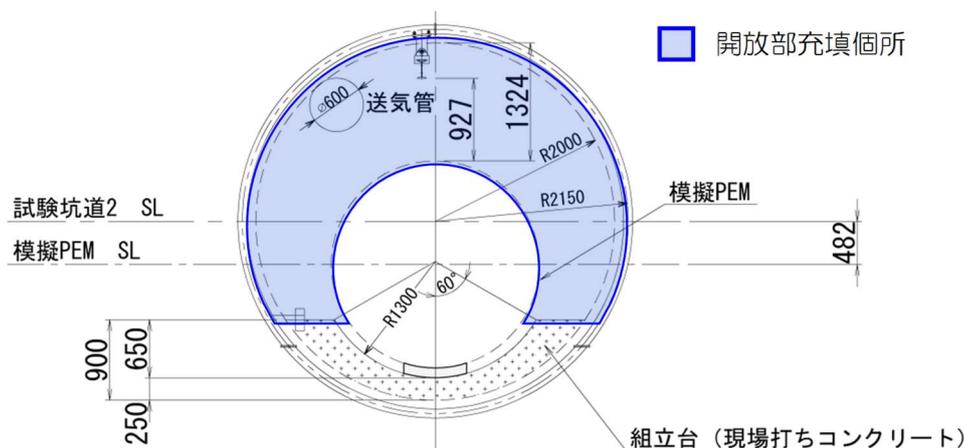


図 4.3.2-1 試験坑道 2 開放部の形状

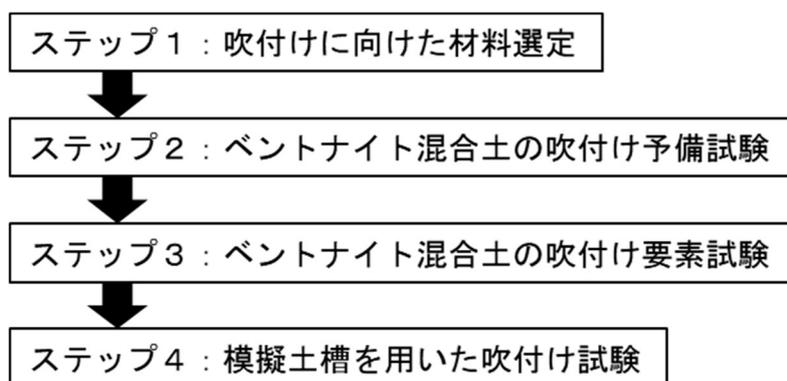


図 4.3.2-2 開放部の吹付け試験全体フロー

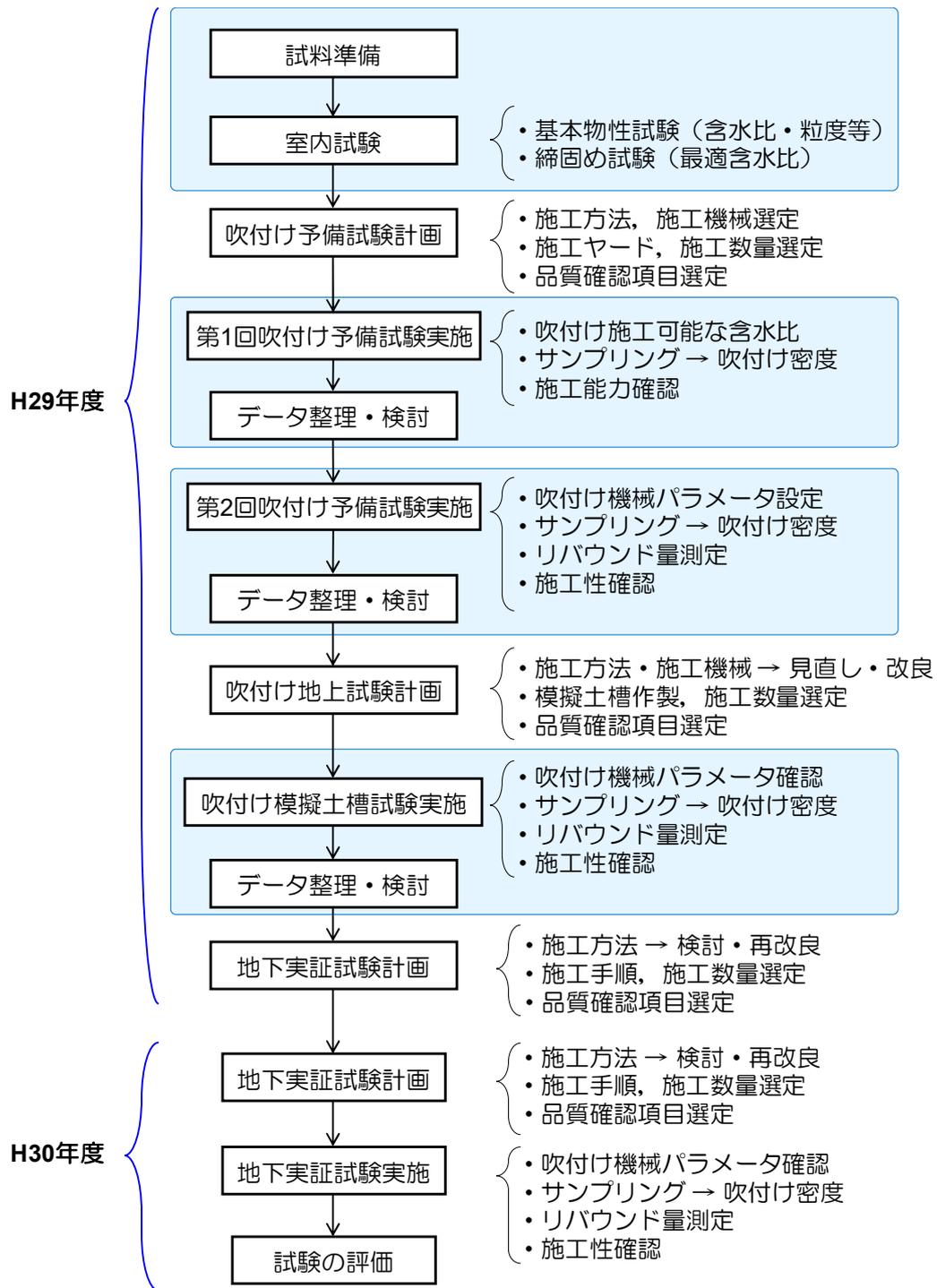


図 4.3.2-3 開放部の吹付試験全体フロー（※図中青枠が各ステップに対応）

4.3.3 上部開放部吹付け設備

(1) 使用機械

吹付け機械には、ベントナイト吹付けにおいて実績のあるロータリー吹付け機（ニードガン）を、コンプレッサーは、ホース中の水分によりベントナイトがホースに付着することを防ぐためドライコンプレッサー（ $0.7\text{Mg}/\text{m}^3$ ）を使用した。また、ホース径は3インチ（内径75mm）、ホース長は原位置での適用を考慮し20m、吐出口30mmに絞った吹付けノズルを使用した。材料の混練は二軸強制ミキサー（w-500）を用い、吹付けは安全上の観点からバックホウ（ 0.7m^3 ）にホースを取り付けて実施した。



(a) 吹付け機（ニードガン）



(b) ホース径



(c) ノズル径

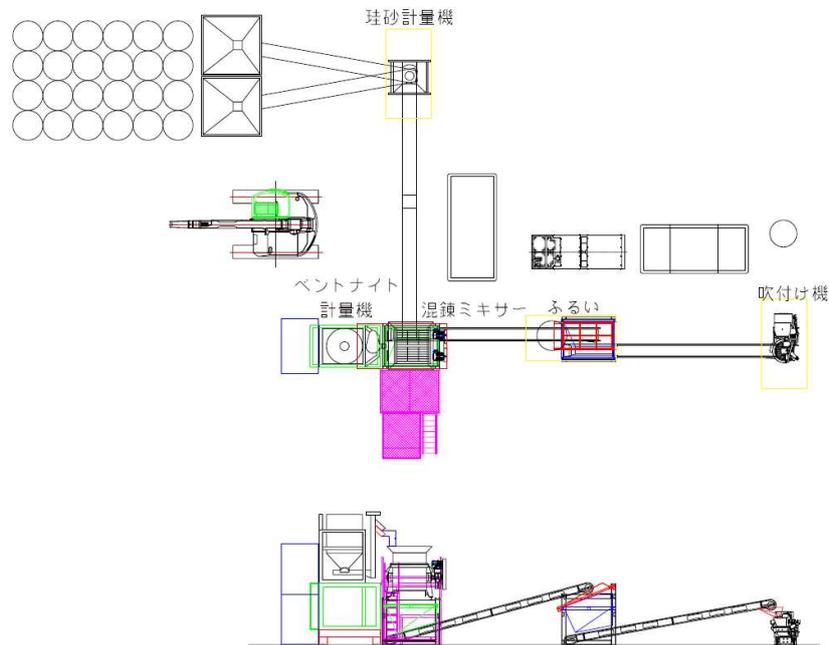


(d) ノズル長さ

図 4.3.3-1 吹付け試験に使用した汎用機材

(2) 吹付け用混合土の製造

吹付け試験に使用するベントナイト混合土は、試験前にベントナイトとケイ砂を混練、含水比調整を行った。



(e) ケイ砂投入サイロ



(f) ベントナイト投入サイロ



(g) ミキサーによる混練



(h) 含水比調整後 吹付け機に投入

図 4.3.3-2 吹付け用ベントナイト混合土の製造プラント

4.3.4 ステップ1：吹付けに向けた材料選定

(1) 目的

NUMOの地層処分事業に係わる処分場の設計と工学技術として、埋戻し材・プラグの設計（埋戻し材の仕様の設定例）が示されている[3]。これによれば、処分坑道に横置きで定置されるPEM方式について、PEM容器と坑道間の比較的大きい隙間への施工方法として吹付け工法、材料仕様としてベントナイト／掘削土＝50％／50％、乾燥密度 1.6Mg/m³、有効粘土密度 1.15Mg/m³が示されている。本事業で実施する吹付け試験においてもこの材料仕様を目標値とする。掘削土の代わりに混合するケイ砂について粒径や混合比をパラメータとし、吹付け施工に適した材料選定を実施した。

(2) 試験方法

ベントナイト混合土に用いる珪砂の粒径は、突固めによる土の締固め試験結果を参考に選定する。また、吹付け時の初期含水比の選定も行った。本試験で対象とする珪砂3号および5号は、緩衝材の製作試験等、既往のベントナイト混合土吹付けの材料として多く使用されている実績があるため選定した。

1) 分析方法

吹付け試験に使用する材料および初期含水比選定のため、下記に示す項目について室内試験を実施した。

土粒子の密度試験（JIS A 1202：1999）

土の含水比試験（JIS A 1203：1999）

土の粒度試験（JIS A 1204：1999）

突固めによる土の締固め試験（JIS A 1210：1999）

2) 使用材料

本試験で用いた材料および基本物性を以下に示す。

表 4.3.4-1 使用材料

材料	ベントナイト（Na型ベントナイト）
	珪砂（3号および5号）
配合比	ベントナイト：珪砂＝50：50

表 4.3.4-2 使用材料の基本物性

項目	ベントナイト	珪砂（3号、5号）
土粒子密度（g/cm ³ ）	2.79	2.65
自然含水比（％）	9.9	0.1

(3) 試験結果

混合土に配合したケイ砂は、3号、5号、3号+5号の3種類とした。図 4.3.4-1 に配合したケイ砂の粒径加積曲線を示す。

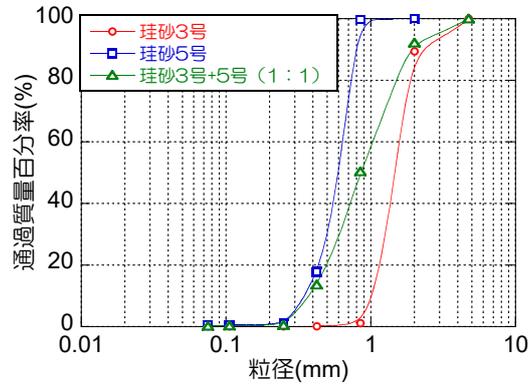


図 4.3.4-1 使用材料の粒径加積曲線

各粒度のケイ砂を配合した混合土の突き固め試験の結果を図 4.3.4-2～図 4.3.4-4 に示す。最適含水比以上では、飽和度 90% 曲線に近似していくため、含水比を上げて密度の増加は見込めない。何れのケイ砂の粒径においても、締固めエネルギー $2E_c$ 以上で目標乾燥密度 (1.6Mg/m^3) を達成することを確認した。一般的に粒径幅の広い材料の方が締固め性能がよいこと、既往のベントナイト混合土の吹付け材の材料として多く使用されている実績があるため 3号と5号を混合したものを基本的に使用することとした。ケイ砂の配合 3号+5号 (50 : 50)、含水比が $w_{opt}-2.5\%$ 以上で目標乾燥密度 (1.6Mg/m^3) が達成出来る。

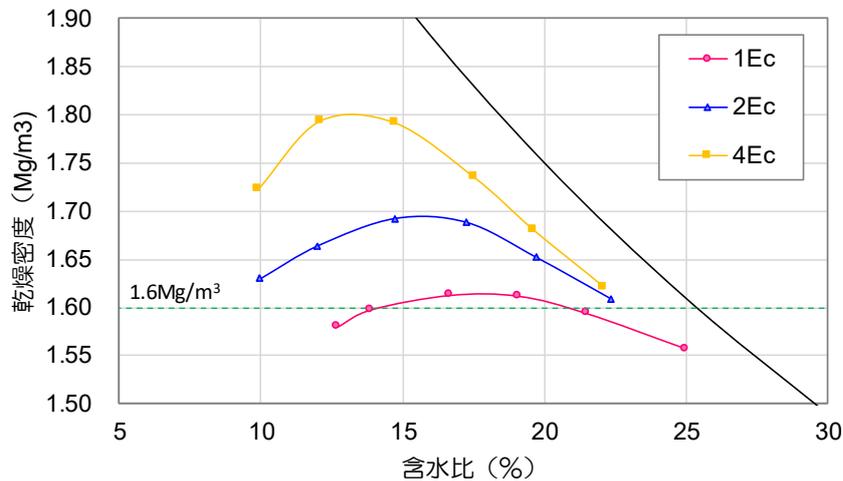


図 4.3.4-2 ベントナイト：珪砂 3号+5号 締固め曲線

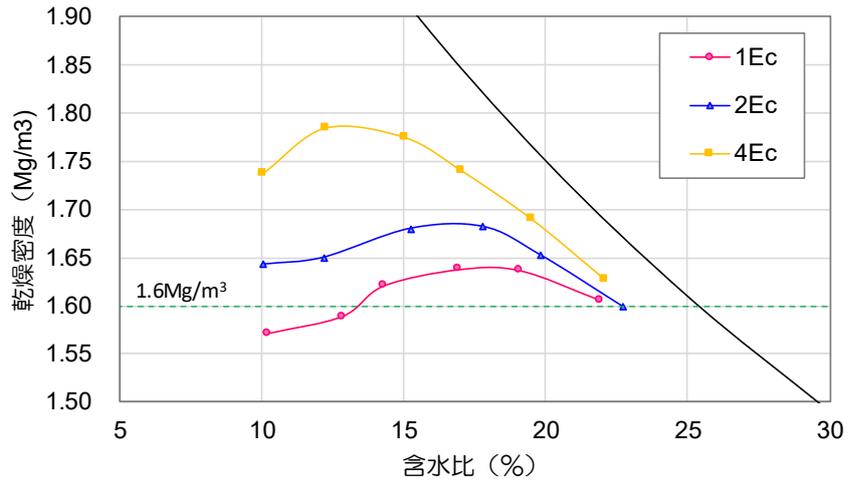


図 4.3.4-3 ベントナイト：珪砂 3 号 締固め曲線

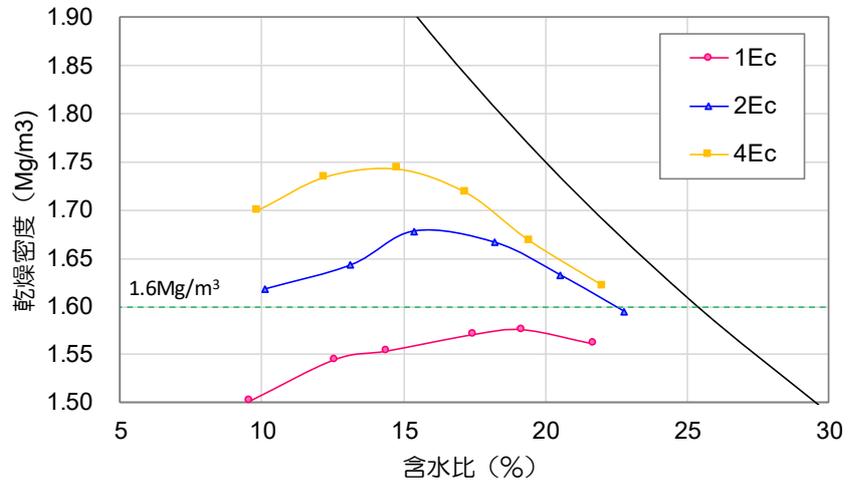


図 4.3.4-4 ベントナイト：珪砂 5 号 締固め曲線

4.3.5 ステップ2：ベントナイト混合土の吹付け予備試験

(1) 目的

ステップ1では混合するケイ砂の性状や混合土の含水比が締固め特性に与える影響について、突き固め試験で確認した。これによれば、最適含水比（ W_{op} ）近傍で $2E_c$ のエネルギーを与えることで、目標とする密度である $1.6Mg/m^3$ が達成可能な見通しを得た。本項では室内土質試験で選定した材料配合、および初期含水比の材料に対して、①ノズルの閉塞の有無、②施工を考慮した連続吹付けの可否、③高い乾燥密度を達成するための吹付け装置の運転パラメータの3点について、4.3.3で示した汎用吹付け設備を用いた吹付け予備試験を実施した。

(2) 試験方法

1) 試験手順

図 4.3.5-1 に吹付け予備試験の基本フローを示す。配合するケイ砂の粒度、含水比等をパラメータとして、吹付け試験を実施した。

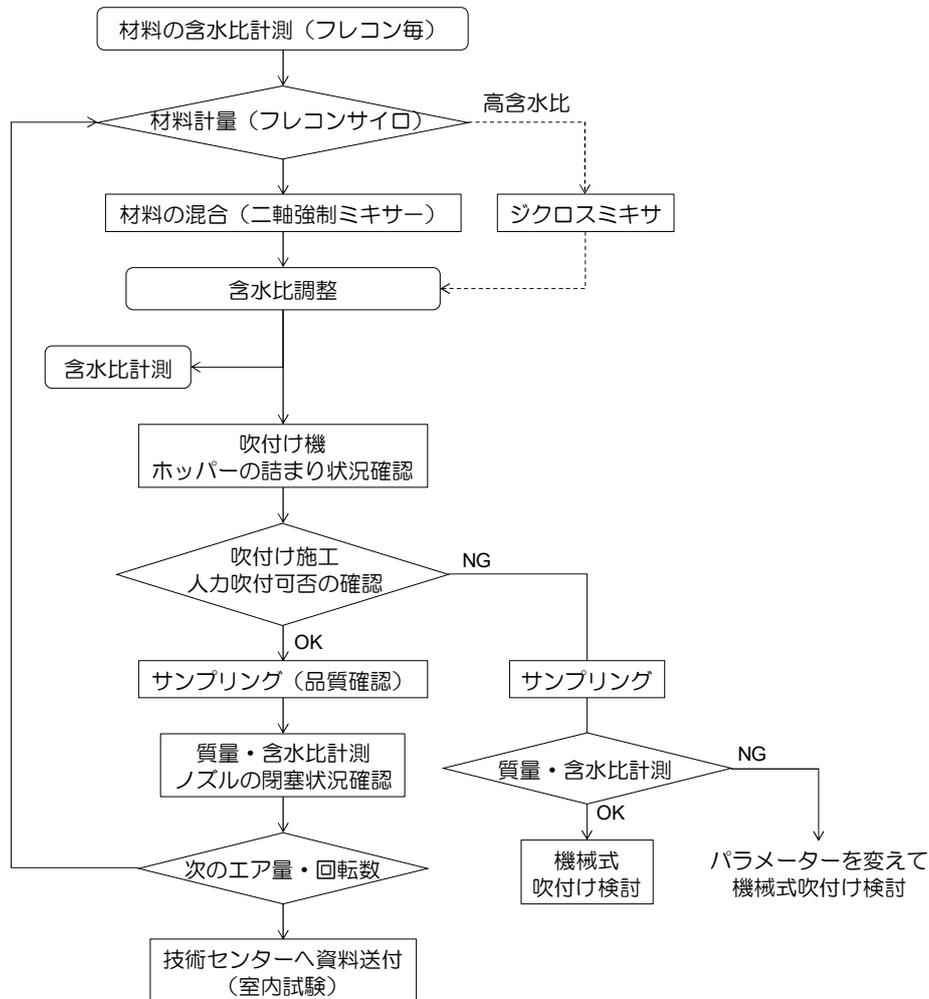


図 4.3.5-1 吹付け予備試験 1 ケースの流れ

2) 吹付け対象

図 4.3.5-2 に示す吹付け箱 (内寸 350×350×100)、側面影響を排した板に対して吹付け試験を行った。吹付け後にシンウォールサンプラーでコアを採取し、密度計測、メチレンブルー吸着量試験 (JBAS 107-91) によるベントナイト配合率の評価を実施した。



(a) 吹付け箱



(b) シンウォールサンプラー

図 4.3.5-2 吹付け箱およびサンプリング容器

3) 使用材料

ステップ 1 の結果を基に、表 4.3.5-1 に示す初期含水比を目標としてベントナイト混合土を製造した。最適含水比(W_{opt})が各ベントナイト混合土において、それぞれ 15.8~16.7%であるため、目標初期含水比は最適含水比 $\pm 5\%$ とした。ただし、高含水比側 ($w_{opt}+2.5\%$ 以上) は練り混ぜ時の状況から吹付け機・ノズルの詰まりが予想されたため試験条件から除外した。

表 4.3.5-1 吹付け混合土の目標含水比

ベントナイト	ケイ砂	目標初期含水比				
		$W_{opt}-5\%$	$W_{opt}-2.5\%$	W_{opt}	$W_{opt}+2.5\%$	$W_{opt}+5\%$
Na 型ベントナイト	A : 3 号+5 号	10.8%	12.3%	15.8%	18.3%	(20.8%)
	B : 3 号	11.7%	14.2%	16.7%	19.2%	(21.7%)
	C : 5 号	11.2%	13.7%	16.2%	18.7%	(21.2%)

4) 吹付け条件

ステップ2では配合するケイ砂の粒度、混合土の含水比をパラメータとした。吹付け装置、吹付けエア、吹付姿勢等のその他の要因は固定した。

4.3.3(1)に示す吹付け機は投入孔の回転数で圧縮空気のラインへ供給する材料の量を調整する役割を担うが、この回転数を **5rpm** とした。コンプレッサーの吐出圧力は **0.7MPa** に設定した。

吹付け作業は安全性を考慮し吹付けノズルをバックホウで把持し、ノズル先端から吹付けを行う板や箱までの離隔は **1m**、垂直吹きとした。



図 4.3.5-3 吹付け試験時の離隔

5) 確認項目

試験時および試験後には下記の点について確認した。

- ・ 目視による吹付け試験後のノズルの閉塞状況の確認
- ・ 目視による材料供給時のホッパーの目詰状況の確認
- ・ 吹付けエア量および吹付け機械の回転数の確認
- ・ コアサンプルによる乾燥密度の確認
- ・ メチレンブルー吸着量による配合比の変化の確認

(3) 試験結果

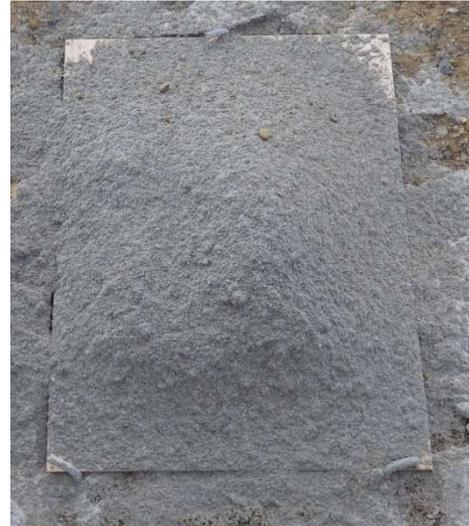
箱、板に吹付け試験を実施した状況を図 4.3.5-4 に示す。吹付け後の供試体からシンウォールにて3カ所採取し、含水比、乾燥密度、配合比を取得した。

表 4.3.5-2 に吹付け後の各条件下での吹付試験後の土槽から採取したサンプルの含水比の変化、乾燥密度を示す。含水比については吹付け前後で大幅な変化は見られない。目標とした乾燥密度である 1.6Mg/m^3 に対し $W_{op}-5\%$ の条件では達成しない条件が見られるものの、最適含水比に近づくにつれて達成した。

ステップ1で取得した締固め曲線上に、プロットしたものを3号+5号を例として図 4.3.5-5 示す。最適含水比にて施工した場合に最も高い密度となった。今回の混合土は **4Ec** 程度のエネルギーを与えることで吹付け施工が出来ることを確認した。



(a) 箱吹付け



(b) 板吹付け

図 4.3.5-4 吹付け試験後の状況（ケイ砂 3号+5号、目標含水比 15.8%）

表 4.3.5-2 吹付け後の含水比の変化、平均乾燥密度

ベントナイト	ケイ砂粒度	※目標含水比は表 4.3.5-1 に準拠	①W _{op} -5%		②W _{op} -2.5%		③W _{op}	
			箱内	板	箱内	板	箱内	板
Na型ベントナイト	A: 3号+5号	試験前含水比(%)	10.7	10.7	12.0	12.0	14.6	14.6
		含水比(%)	10.5	10.9	12.1	11.9	14.7	14.6
		乾燥密度(Mg/m ³)	1.61	1.58	1.72	1.71	1.76	1.75
	B: 3号	試験前含水比(%)	10.5	10.5	13.1	13.1	15.4	15.4
		含水比(%)	10.3	10.8	13.2	13.0	15.6	15.2
		乾燥密度(Mg/m ³)	1.50	1.49	1.72	1.72	1.70	1.73
	C: 5号	試験前含水比(%)	10.5	10.5	12.6	12.6	15.1	15.1
		含水比(%)	10.2	10.9	13.0	12.3	15.2	15.0
		乾燥密度(Mg/m ³)	1.63	1.63	1.71	1.69	1.76	1.76

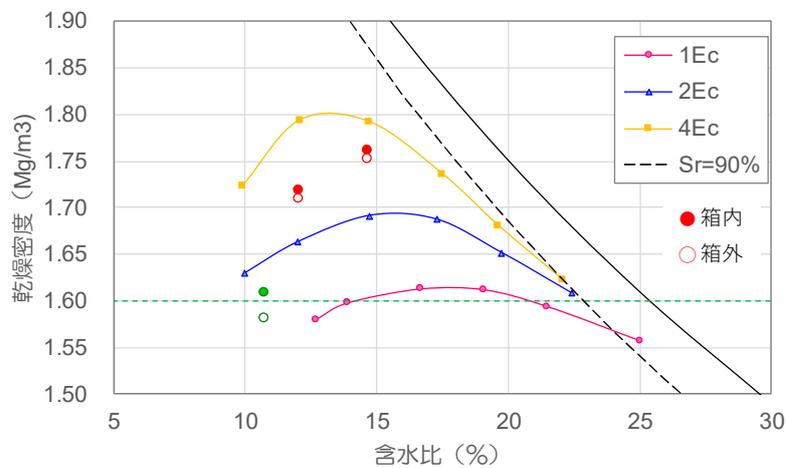


図 4.3.5-5 ベントナイト：珪砂 3号+5号 締固め曲線と吹付け乾燥密度の比較

ベントナイト混合土の製造後（吹付け前：混合後）および吹付け後（箱内、板）のベントナイト混合率をメチレンブルー吸着量試験により確認した。表 4.3.5-3 および図 4.3.5-6 にケースごとのベントナイト混合率を示す。ここで、ベントナイト混合率は、ケイ砂（ベントナイト混合率 0%）およびベントナイトのみ（ベントナイト混合率 100%）のメチレンブルー吸着量を測定して作成した検量線を用いて、それぞれのケース毎に換算した値である。

これより、吹付け後には吹付け前よりもベントナイト混合率がやや高くなった。特に A-①については約 10%増加した。含水比の低い①のケースでは吹付け後のベントナイト混合率が多くっており、含水比が低いために珪砂のリバウンドが顕著になったものと推察される。また、含水比が高くなるほど、吹付け前後のベントナイト混合率の変化が小さい。

表 4.3.5-3 吹付け前後のベントナイト混合率

混合率 (%)	混合後 (吹付け前)	箱内 (吹付け後)	板 (吹付け後)
A-①	47.8	56.2	57.7
B-①	47.8	52.9	50.0
C-①	47.7	50.9	52.3
A-②	47.8	47.6	48.3
B-②	47.2	49.3	48.6
C-②	45.2	50.9	50.8
A-③	47.4	52.0	51.1
B-③	47.3	50.8	49.3
C-③	47.2	50.2	50.2

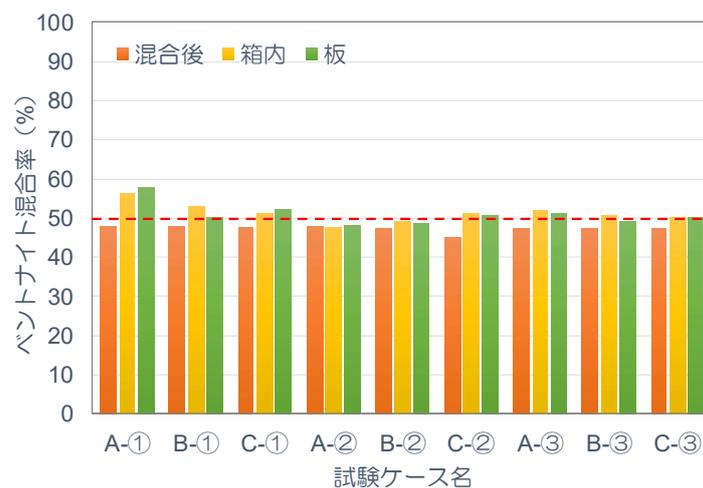


図 4.3.5-6 吹付け前後のベントナイト混合率の変化

4.3.6 ステップ3：ベントナイト混合土の吹付け要素試験

(1) 目的

ステップ2ではケイ砂の粒径や含水比をパラメータとした吹付け試験を実施し、実証試験で使用するベントナイト混合土の性状として、ベントナイト：ケイ砂（3号+5号）=50%：50%、最適含水比である15.8%を得た。このベントナイト混合土を用いて、実際に吹付け試験を実施する際の機械パラメータであるエア量と回転数を設定するための要素試験を実施した。試験では、各々の吹付け条件における歩掛りおよびリバウンド率の計測も併せて実施した。

(2) 試験方法

1) 試験手順

図 4.3.5-1 に示した基本フローで実施した。

2) 試験条件

吹付け機械のパラメータとして、エアコンプレッサーの吐出圧力、エア流量、吹付け機の回転数がある。吐出圧力は0.7MPaに固定した。

・フェーズ1

フェーズ1では板に対して垂直に吹付けを実施し、エア流量と回転数の影響を調査した。

エア流量は9m³/min(A-1)、12m³/min(A-2)、18m³/min(A-3)の3条件、吹付け機回転数は、3rpm(R-1)、5rpm(R-2)、8rpm(R-3)の3条件とし、合計9条件とした。試験条件の表示として、例えばエア流量9m³/min、回転数3rpmの場合はA1R1と標記するものとする。

・フェーズ2

フェーズ1の成果を踏まえ、幌延 URL 試験坑道2にて吹付けを行う空間を簡略化した土槽に対して吹付け試験を実施した。

試験坑道2の上部開放部のうち、PEM側面部の幅はおよそ70cmである。この隙間へ吹付けを実施した場合、端部へのリバウンドが堆積することが予想される。その影響を確認するため、図 4.3.6-1 に示す幅900mm、奥行き900mm、高さ500mm程度の吹付け土槽①を作製し、連続吹付けにより1バッチ当たりの出来上がり量を確認した。確認方法は、吹付け後に残尺を計測することで吹付けた体積を算出した。同時に、吹付け時間を計測し、単位時間当たりの吹付け量を確認した。また、水平への吹付けを行うことによる仕上り試料のリバウンドの影響を確認する。確認方法は脱型して、断面観察およびサンプリングを行う。さらに、図 4.3.6-2 に示すような囲いを設置し、周辺への飛散した混合土を全て回収し、リバウンド率も確認する。

3) 確認項目

試験時および試験後には下記の点について確認する。

- ・材料供給時のホッパー状況：目視によりホッパーの詰まりの有無を確認
- ・吹付けエア量および吹付け機械の回転数を記録
- ・リバウンド量の確認：周辺へ飛散した材料を回収し重量を測定
- ・施工歩掛り：吹付け時間および吹付け量から単位時間当たりの吹付け量を確認

- ・品質管理（吹付け後試料の状態）：コアサンプルによる現場密度測定にて速報値を確認
- ・吹付け試験後のノズルの閉塞状況：目視により試験後のノズル内を確認
- ・サンプルの配合割合の確認：室内試験（メチレンブルー吸着量）にて確認

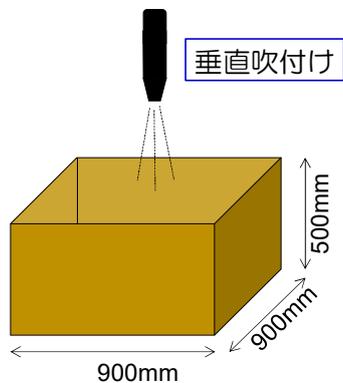


図 4.3.6-1 吹付け容器①

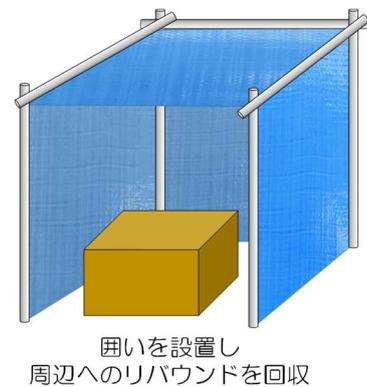


図 4.3.6-2 リバウンド回収設備

幌延 URL 試験坑道 2 での施工を想定して、図 4.3.6-3 に示す幅 690mm、奥行き 1000mm、高さ 500mm 程度の吹付け土槽②を作製し、連続吹付けにより容器を充填し、同時に、吹付け時間を計測し、単位時間当たりの吹付け量を確認する。

また、斜め吹付けによる仕上り試料のリバウンドの影響を確認する。確認方法は脱型して、断面観察およびサンプリングを行う。さらに、リバウンド率や処理方法を選定するため、図 4.3.6-4 に示すような囲いを設置し、周辺へのリバウンド全体を確認する。

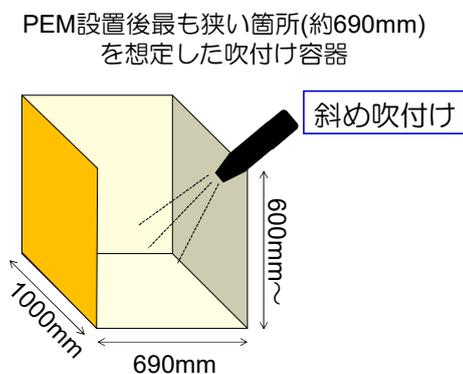


図 4.3.6-3 吹付け容器②

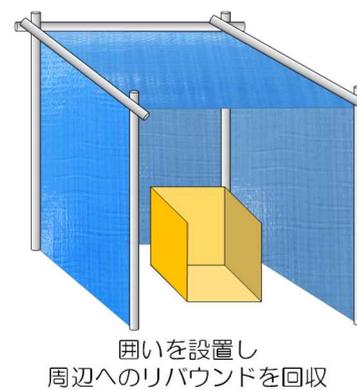


図 4.3.6-4 リバウンド回収設備

(3) 試験結果

1) フェーズ1：エア－流量と吹付け機回転数 吹付けパラメータの取得

試験の様子を図 4.3.6-5 に示す。各吹付けパラメータにて吹付け板に吹付けを実施した。現場でサンプリングを行い、体積と重量から密度を算出した。



(a) 吹付け板



(b) 吹付けの様子



(c) 吹付け後



(d) サンプリングの様子

図 4.3.6-5 ステップ3（フェーズ1）吹付け試験の様子

最適含水比に調整した混合土を使用した場合、各条件での吹付け終了後ノズルやホースの閉塞の有無を目視で確認したが閉塞は見られなかった。吹付け材料を受け入れる吹付け機のホッパーについても詰まりは発生せず、ステップ2で設定した、ベントナイト混合土は吹付け試験に適用出来ることを確認した。

吹付け後に、現場にて乾燥密度を確認した。吹付け機械のエア－量・回転数および速報乾燥密度を表 4.3.5-2 に示す。なお、<>で記した乾燥密度は、高含水比側として $w_{opt}+2.5\%$ に調整した材料で吹付けた際の値を示す。乾燥密度はエア－量の影響を大きく受けることが確認され、エア－量が大きくなるほど吹付け後の乾燥密度が高くなる（図 4.3.6-6 参照）。エア－量が小さいと圧送力が低下するため、本試験において A1 ケース（エア－量 $9\text{m}^3/\text{min}$ ）は吹付け時の付着が弱く、乾燥密度のばらつきを考慮した際に平均乾燥密度が目標を下回る可能性が考えられる。一方、A3

ケース（エア一量 18m³/min）は目標を超える高密度に仕上げることができる。A2 ケース（エア一量 12m³/min）で目標密度を達成した。最適含水比より高含水比の混合土を用いた場合、目標の乾燥密度が得られたものの、ホースの詰まりが多く作業上危険が高くなるため、最適含水比での吹付けを採用することとした。

表 4.3.6-1 吹付け速報乾燥密度

エア一量* 回転数	A-1	A-2	A-3
	(9m ³ /min)	(12m ³ /min)	(18m ³ /min)
R-1 (3rpm)	1.60	1.74	1.84
R-2 (5rpm)	1.56	1.81	1.86
<wopt+2.5%>		<1.70>	<1.72>
R-3 (8rpm)	1.61	1.70	1.75

*エア一量は材料送り出し前に計測

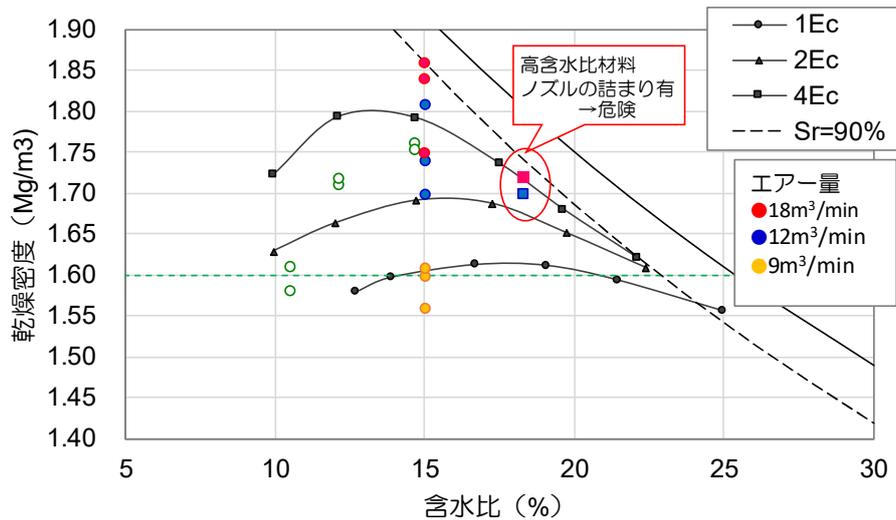


図 4.3.6-6 ステップ3フェーズ1における吹付け部の密度

本試験結果よりエア一量は 12m³/min では安定して目標乾燥密度達成できたが、人力で吹付け可能なエア一量以上であるため、以降機械式吹付けを採用し吹付けを行うこととする。

以上の結果より、フェーズ2の試験では A2R2（エア一量 12m³/min-回転数 5rpm）として吹付けを行う。

2) フェーズ2：吹付けの歩掛りおよびリバウンド率の測定

フェーズ2で選定したエアール量と回転数（12m³/min、5rpm）にて吹付け箱への吹付けを行った。またエアール量によるリバウンド率への影響確認のために、エアール量を変更した1ケースを加えエアール量は2ケースとし実施した。表 4.3.6-2 に試験条件の組早生を示す。

表 4.3.6-2 ステップ3（フェーズ2）の試験条件

ケース名	吹付け方向	エアール量 (m ³ /min)	回転数 (rpm)	備考
フェーズ2-1	垂直吹付け	12	5	A2R2
フェーズ2-2	斜め吹付け	12	5	A2R2
フェーズ2-3	垂直吹付け	10	5	A4R2
フェーズ2-4	斜め吹付け	10	5	A4R2

吹付け方向は垂直および斜め吹付けの2種類を行った。図 4.3.6-7 に吹付け試験の様子を示す。吹付け試験時は土槽周囲をシートで覆い、リバウンド材を捕集し、クレーンスケールで重量を計測した。



(a) 吹付け箱およびリバウンド回収設備



(b) 吹付けの様子



(c) 吹付け後供試体



(d) リバウンド材の計量

図 4.3.6-7 ステップ3（フェーズ2）吹付け試験の様子（斜め吹き）

ステップ3（フェーズ2）に合わせ、材料の製造過程からのロスやリバウンド率を考慮した歩掛りの評価を実施した。

吹付け試験における材料の製造過程において、ホースやノズルの閉塞の原因となる団粒化した材料（ダマ）を目開き3cmのふるいで除去した。この過程で除去される団粒化した材料の初期の材料投入量に対する割合は以下の式で表される。

$$\bullet \quad \text{ダマ除去率 (\%)} = \frac{\text{ダマ除去量}}{\text{初期材料投入量}} \times 100$$

この過程で約30~40%の材料がふるい上に残った。歩留まり向上のため、団粒化した材料の解砕して利用する等の対策が必要である。



図 4.3.6-8 ダマの発生の様子（左：ふるい、右：発生したダマ）

吹付け試験後の土槽の重量、シート上のリバウンド材の重量を計測した。ホースや吹付け機械に残留した混合土はリバウンド材として扱った。

吹付け量およびリバウンド率は以下の式で算出した。表 4.3.6-3 に歩留まり評価を示す。

$$\bullet \quad \text{吹付け量 (kg)} = (\text{初期材料投入量} - \text{ふるい除去量})$$

$$\bullet \quad \text{リバウンド率 (\%)} = \frac{\text{リバウンド回収量}}{\text{リバウンド回収量} + \text{箱型モールドへ吹付けた量}} \times 100$$

表 4.3.6-3 吹付け後の歩留まり評価

ケース名	ダマ除去率 (%)	吹付け量 (kg)	リバウンド率 (%)	乾燥密度 (Mg/m ³)
フェーズ 2-1	38.1	466.8	38.8	1.757
フェーズ 2-2	37.1	475.2	35.8	1.758
フェーズ 2-3	28.3	541.6	26.4	1.610
フェーズ 2-4	31.2	519.6	24.4	1.655

エア一量が12m³/minの条件ではリバウンド率35.8~38.8%であり、エア一量を10m³/minに下げた条件ではリバウンド率が24.4~26.4%と10%程度低下した。また、乾燥密度に対してエア一量が12m³/minでは乾燥密度が1.76Mg/m³程度、エア一量が10m³/minでは1.61~1.66Mg/m³となった。また本試験において、出来形0.14~0.2m³の吹付け時間は6分~6分30秒程度であり、施工効率として1.5~1.8m³/hr程度であった（※ただし、実際の吹付け時間が短いと施工効率はあくまで

も参考値程度)。

ステップ3 (フェーズ2) の吹付け要素試験の全結果を表 4.3.6-4 に、吹付け機械パラメータとの関係を図 4.3.6-9 に示す。本試験結果より、吹付け時の機械パラメータとしてエア一量 10~12m³/min であれば目標乾燥密度 1.60Mg/m³ 以上を達成することができた。

表 4.3.6-4 吹付け速報乾燥密度 (全体)

STEP	エア一量*		A-1	A-4	A-2	A-3
	回転数		(9m ³ /min)	(10m ³ /min)	(12m ³ /min)	(18m ³ /min)
STEP1	R-1 (3rpm)		1.60	-	1.74	1.84
STEP1	R-2 (5rpm)		1.56	-	1.81	1.86
	<wopt+2.5%>			-	<1.70>	<1.72>
STEP2	(斜め)		-	1.66	1.76	-
	(垂直)		-	1.61	1.76	-
STEP1	R-3 (8rpm)		1.61	-	1.70	1.75

*エア一量は材料送り出し前に計測

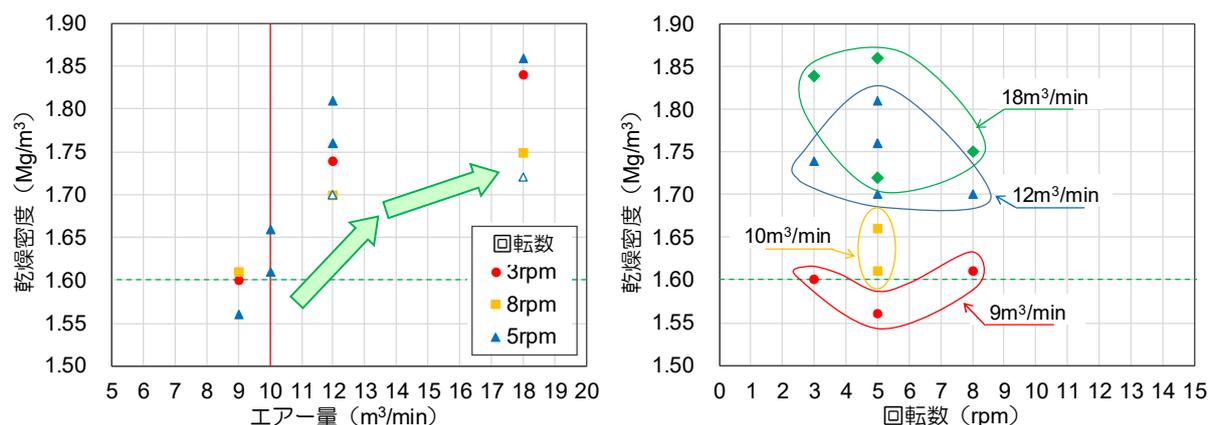


図 4.3.6-9 乾燥密度とエア一量および回転数の関係

エア一量・回転数ともに、吹付け後の仕上り密度を調整するパラメータである。エア一量は吹付けエネルギーとなるため、エア一量が多くなれば密度が高くなり、エア一量が少なくなれば衝突エネルギーが小さくなるため密度が低くなる。しかし、エア一量が多すぎると材料の跳ね返りが多くなるため材料に応じたエア一量を確認する必要がある。また、回転数は吹付けエネルギーを受ける材料の吐出量を調整するパラメータであり、回転数を上げると施工速度が遅く、逆に回転数を下げて吐出量を増やすと吹付けエネルギーが材料に伝わりにくくなるため仕上り密度の低下やリバウンド率の増加が懸念される。これらのパラメータは材料性状により異なるため、施工前に予め確認することが必要となる[6]。

4.3.7 ステップ4：模擬土槽を用いた吹付け試験

(1) 目的

ステップ3までの検討で、実証試験で使用するベントナイト混合土の性状（ベントナイト：ケイ砂（3号+5号）=50%：50%、最適含水比である15.8%）、吹付け機械のパラメータ（エア流量10~12m³/min、吹付機回転数：5rpm）を得た。ステップ4では幌延URLでの施工試験に向け、以下の項目を確認する試験を実施した。

- ・混合土の製造工程の改善
- ・試験坑道2の狭隘な環境下での吹付け施工条件の確認
- ・リバウンド材の除去
- ・施工後の品質管理方法の確認

(2) 混合土の製造工程の改善

ステップ3までの試験では吹付け試験で使用するベントナイト混合土は4.3.3(2)に示したプラントで試験前に混練、含水比調整を行った。一方、実際の操業や幌延URLでの施工試験では、予め混合土を製造しておき、保管の後、吹付け作業に合わせて搬入することが想定される。隙間充填部の品質に及ぼす保管状況の影響を確認した。また、ステップ3で混合土が団粒化し歩留まりが低下することから、材料製造条件の見直しや解砕工程の製造ラインへの追加等を検討した。

1) 混合土の団粒化への対策

3cm角のふるい上に残った団粒化材料について、解砕の実施手順を表4.3.7-1に示す。解砕には粉砕機を使用した。ベントナイト混合土の量産を考慮した製造プラント構成を図4.3.7-1に示す。リターミキサーは3cm角のふるいの前に配置し、解砕したベントナイト混合土がふるいで選別されるラインとした。

表 4.3.7-1 ベントナイト混合土の製造 団粒化した材料の解砕手順

試験手順	試験のポイント	注意・確認事項
① 混練ミキサーにケイ砂+ベントナイト+水を入れ所定の時間混合する	・ 加水量、材料投入量、混練時間を記録する。	・ 温度および湿度を記録 ・ 混練時間、加水方法に注意
② ベルコンで解砕機に投入する	・ 解砕機により所定の粒径以下に調整する	・ ダマの解砕状況を確認する
③ 解砕した材料をベルコンでふるいにかける	・	・ 解砕ふるい後の含水比を確認 ・ ふるい滞留分は解砕機に戻すもしくは除去する ・ 1バッチ当たりの製造時間を記録する。
④ フレコンに保管	・ 保管前後の含水比測定	・

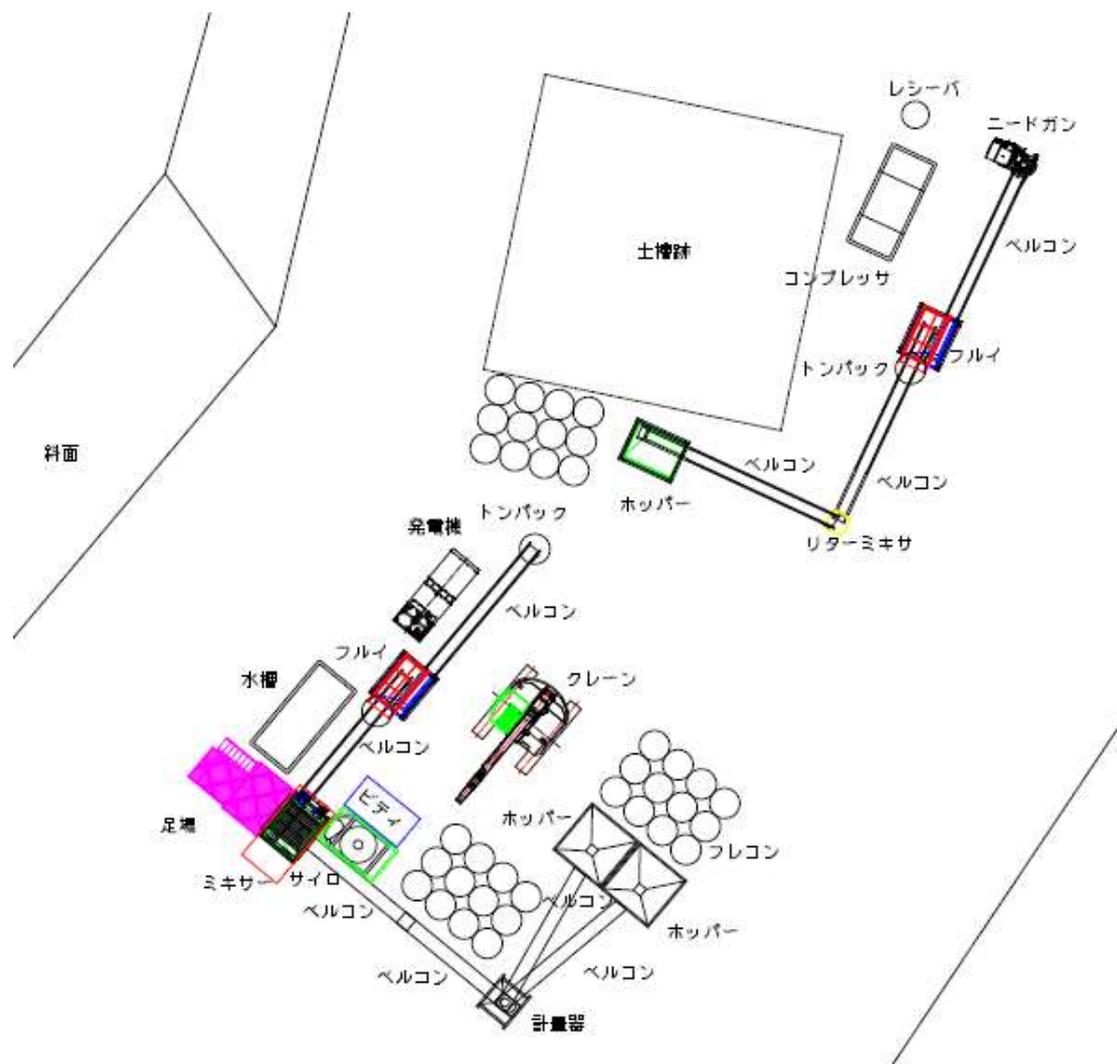


図 4.3.7-1 ベントナイト混合土製造プラントの配置

試験の結果、最適含水比付近では粉砕機内で団粒化した材料が目詰まりを起こす傾向があり、効率的な解砕には至らなかった。

粉砕機を使用せず材料ロスを減らすために、材料製造方法の見直しを行い初期の団粒化を抑制する検討を行った。ベントナイト混合土は練り混ぜ時間が長くなるほど団粒化するため、加水後の混練時間を短縮、混練ミキサーからホッパーへ排出する際の攪拌時間を最小限とし、余分な練り混ぜを行わないようにすることにより団粒化したダマの量を減らせることを確認した。

ベントナイト混合土の製造時の材料の投入、混練過程を見直したところ団粒化しふるいで除去される混合土を最大で4%まで削減できたことから、混練過程での団粒化抑制を採用した。

混練は1バッチ当たり約350kg、0.3m³程度ずつ実施した。材料の計量から混練まで、1バッチ当たり要する時間はおよそ6分であった。

2) ベントナイト混合土保管による含水比および状態の確認

施工性の観点からベントナイト混合土を先行して製造しフレコンに封入、仮置き保管することが想定される。地面との縁切り等の対策を施した場合においても、仮置き期間が長期に渡るほど、調整したベントナイト混合土の含水比が変化することが想定されるため、本試験期間中に保管したベントナイト混合土の含水比の変化について確認した。試験の実施手順を表 4.3.7-2 に示す。ベントナイト混合土を製造後、保管用フレコン毎に重量を記録した。保管には地面との縁切り等の対策を行い上からはブルーシートを被せ、吹付けに使用するまで最長 12 日間屋外ヤードにて材料を保管した (図 4.3.7-2)。

表 4.3.7-2 ベントナイト混合土の保管手順

試験手順	試験のポイント	注意・確認事項
① 混練ミキサーに砂+ベントナイト+水を入れ所定の時間混合する	・ 加水量、材料投入量、混練時間を記録する。	・ 混練時間、加水方法に注意 ・ 仕上がり状態を写真で記録
② ふるい・解砕後にフレコンに封入する	・ 封入時に3点サンプリングし含水比を測定する。	・ 二重フレコンを使用し封をする
③ パレットに載せ、試験最終日まで保管する	・ ブルーシートを被せる。	・ 温度および湿度を記録する
④ フレコンを開封し状態を確認する	・ 複数点サンプリングし、含水比を測定する。	・ 保管後の状態を写真で記録



(a) 重量管理

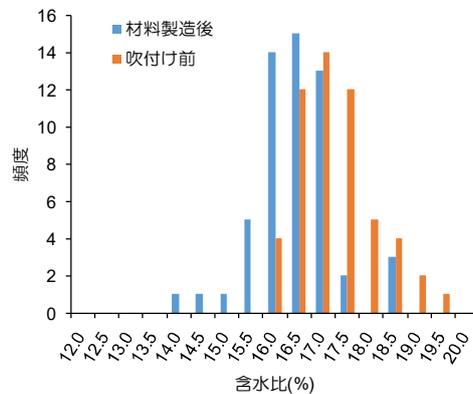


(b) 保管状況

図 4.3.7-2 ベントナイト混合土の管理

ベントナイト混合土の含水比測定は、実際の現場での適用を考慮し、赤外線水分計による混合土表面の1点を計測しフレコンの代表値とした。含水比測定は表面の乾燥などの影響を避けるため、混合土製造後の試料はベルトコンベアでトンパックに投入中に1点、吹付け前の試料はふるい後にフレコンで吹付け機械に投入中に1点サンプリングを行った。製造後～吹付け前のベントナイ

ト混合土の含水比の変化を図 4.3.7-3 および表 4.3.7-3 に示す。製造後の含水比平均値は 16.2%と設定値より 0.4%高い結果であった。含水比のばらつきの幅については 4.5%、標準偏差は 0.80 であり、最大最小の幅がやや生じている。製造後から吹付け前まででは平均含水比が約 0.7%増加しているが、製造開始した製造試験を実施した 12 日間の試験サイトの雨や雪により湿度の高い日が続いたため、含水比が平均的に高くなったと推察される。



材料製造後		吹付け前	
平均	16.21	平均	16.87
標準偏差	0.80	標準偏差	0.80
中央値	16.13	中央値	16.87
範囲	4.54	範囲	3.64
最大値	18.28	最大値	19.17
最小値	13.74	最小値	15.53
標本数	54	標本数	54

図 4.3.7-3 ベントナイト混合土の保管後含水比変化の度数分布

表 4.3.7-3 ベントナイト混合土の平均値と標準偏差

	材料製造後	吹付け前
平均	16.18	16.87
標準偏差	0.82	0.80
範囲	4.54	3.64

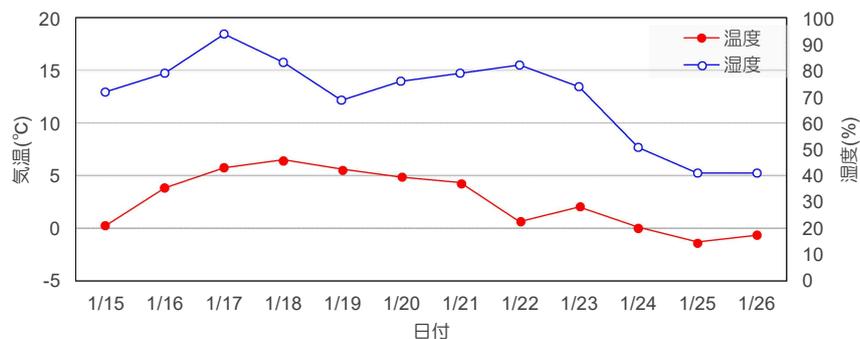


図 4.3.7-4 試験サイトの気温と湿度の変化

(3) 吹付け部の品質管理方法（誘電率計測法）

吹付け部の乾燥密度と配合比が、隙間充填部の仕様とした 1.6Mg/m^3 、ベントナイト：ケイ砂＝50%：50%となるように吹付け施工条件を設定したものを、材料製造から吹付けまでのプロセス管理によって達成を図る。吹付け部が所定の仕様となっていることを検証する方法として、コアサンプリング法、出来形計測によるかさ密度測定がある。コアサンプリング法は吹付け部の性状の分布を評価出来るが、吹付け部の破壊を伴う。一方、出来形計測は全体のかさ密度を非破壊で取得できるが、分布は評価することが出来ない。そこで、吹付け部に与える影響が軽微で、かつ局所的な分布を計測出来る誘電率による計測について検討した。

1) 誘電率計を利用した品質管理方法の検討

平成30年度に実施する実証試験において、誘電率計による吹付け材の密度管理が適用可能か検証することを目的に実施した。誘電率計による密度管理の有利な点として以下の3点が挙げられる。

- ・ 測定時の試料の乱れが少ない点
- ・ 測定したその場で乾燥密度を確認できる点
- ・ 測定機器の扱いが容易である点

誘電率計による密度管理の適用可能性の検証にあたり、誘電率出力値と乾燥密度の関係式を取得し、その関係式をもって模擬土槽での吹付け試験で試料の乾燥密度を測定し妥当性を確認した。

2) 使用機器

本検討において Delta-T 社の土壤水分計 SM150 を使用した。SM150 は農業分野で土壤水分状態の把握のため広く利用されている土壤水分計である。SM150 のプローブは直径 40mm、高さ 90mm 程度のボディと長さ 50mm 程度の 2 本の針状ロッドからなり、ロッドを土壤へ挿し込むことでロッド周囲の土壤の体積含水率を測定する。SM150T の仕様を表 4.3.7-4 に、外形を



図 4.3.7-5 に示す。また SM150 の測定範囲はロッド中心から 25mm 程度で、ロッド近傍ほど感度が高くなる。出力値はケーブルを介してハンディモニターに表示、もしくはデータロガーで記録される。

表 4.3.7-4 SM150 仕様

項目	内容
寸法	全長：143mm（ロッド長：51mm） 直径：40mm

重量	0.1kg
応答速度	0.1 秒
使用温度範囲	-20~+60°C
出力電圧	0V~1V



図 4.3.7-5 SM150T 外形

3) 測定原理

SM150 は反射波の振幅差を振幅領域で測定し誘電率を求める ADR 法(振幅領域反射率測定法)による誘電率計である。SM150 はプローブ内で発振させた高周波の電磁波をロッド内の伝送線で通過・往復させる。発振された電磁波は伝送線内を往復するが、プローブ周囲の試料の誘電率の影響より電磁波反射波の伝播速度、振幅が減衰する。そこで干渉反射波の振幅差を測定することにより逆解析的にロッド周囲の試料の誘電率を評価することができる。

また、真空の誘電率を 1 としたときの、水の比誘電率は 81、土壌は 3~8 程度であり、水の比誘電率は土壌や空気に比べはるかに大きな値となっている。このため試料中に含まれる水分量が多いほど試料全体の誘電率は高くなり、試料の誘電率は試料中の含水量に依存し影響を受ける。また図 4.3.7-7 に示すように含水比が一定の試料のかさ密度を増加させると、それに伴い単位体積あたりの体積含水率が増加し誘電率も増加する。このような原理により電圧差ひいては試料の誘電率を測定することで試料の密度を評価することができる。

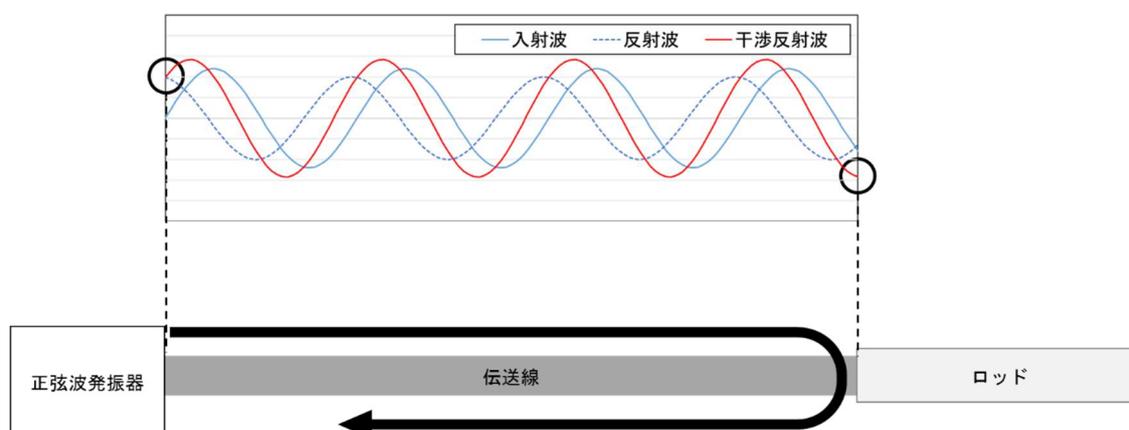


図 4.3.7-6 信号往復のイメージ

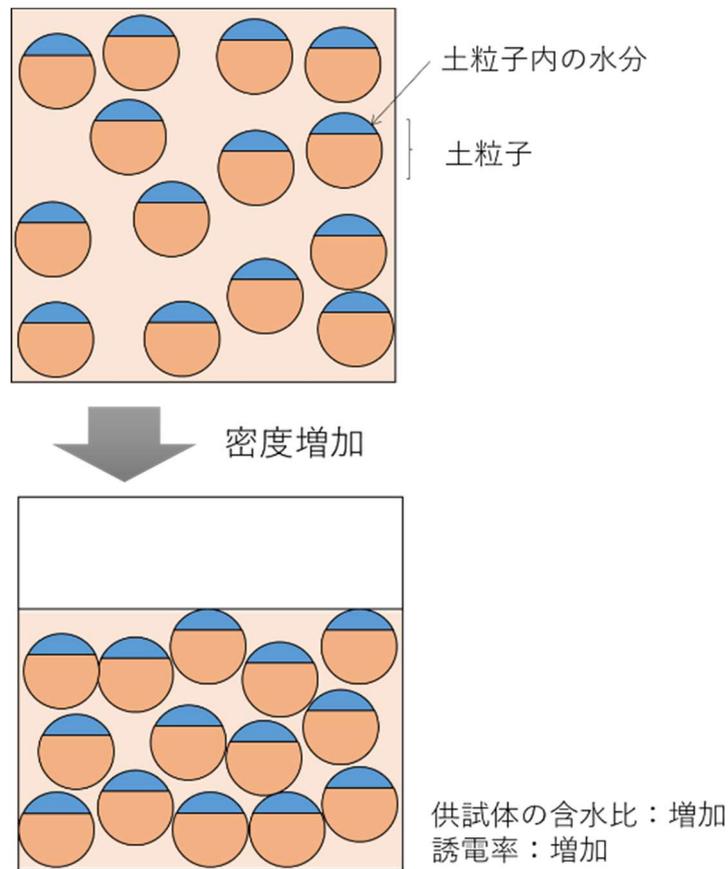


図 4.3.7-7 体積含水率変化イメージ図

4) 検量線

誘電率計による吹付け材の乾燥密度測定のため、あらかじめ試料の誘電率計出力電圧と体積含水率の検量線を求めた。なお体積含水率は乾燥密度と含水比から式 4-1 より算出される。

$$\theta_w = w \times \frac{\rho_d}{\rho_w} \quad \text{式 4-1}$$

θ_w :体積含水率[-]、 w 含水比 ρ_w :水の密度 (1.0 Mg/m³)

上記検量線を作成するため、様々な体積含水率の供試体（直径 15cm、高さ 10cm）を静的圧縮により作成した。供試体の材料は、模擬土槽を用いた吹付け試験での吹付け材と同様にベントナイトはクニゲル V1 を、珪砂は 3 号および 5 号を使用し、配合比はクニゲル V1:珪砂 (3 号+5 号) = 50 : 50 とした。材料含水比についても吹付け試験と同等の 15.8%を目指したが、仕上がりは概ね 15.0%であった。製作した供試体一覧を表 4.3.7-5 に示す。

供試体はモールドから脱型し、側面を乾燥防止のため養生した状態で測定した。供試体の表面にロッド周囲に空隙が生じないようにロッドを挿入し、ハンディロガーにて電圧値を取得した。計測した箇所は供試体の上面・下面のそれぞれ 5 点で、1つの供試体につき 10 箇所であり、10 点の

平均値をその供試体の出力値とした。なお、上面と下面ではロッドの挿入箇所がかぶらないようにした。

表 4.3.7-5 供試体一覧

供試体 No	乾燥密度[g/c m ³]	体積含水率[-]	含水比[%]
C-1	1.54	0.235	15.3
C-2	1.57	0.236	15.1
C-3	1.59	0.243	15.3
C-4	1.60	0.238	14.9
C-5	1.68	0.251	15.0
C-6	1.68	0.255	15.2
C-7	1.69	0.252	14.9
C-8	1.70	0.250	14.7
C-9	1.72	0.257	14.9
C-10	1.79	0.268	14.9
C-11	1.80	0.262	14.6



図 4.3.7-8 検量線 測定状況

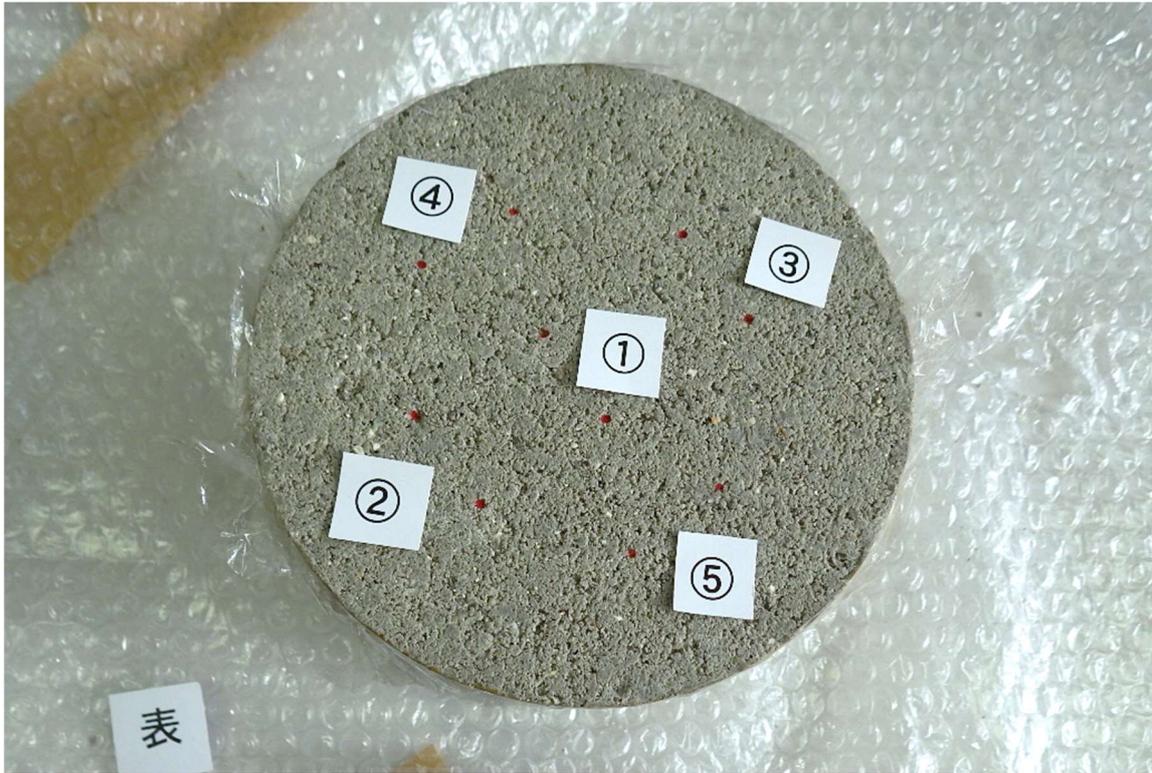


図 4.3.7-9 検量線 供試体

誘電率計出力電圧と体積含水率の関係による検量線は以下に基づき作成した。
 誘電率 ε と体積含水率 θ_w の関係は、一般に式 4-2 のようになることが知られている。また、SM150
 の出力値 V と誘電率 ε の関係は式 4-3 のように表される。

$$\sqrt{\varepsilon} = a_0 + a_1 \theta_w \quad \text{式 4-2}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\varepsilon} = & 1.0 + 14.4396V - 31.2587V^2 + 49.0575V^3 \\ & - 36.5575V^4 + 10.7117V^5 \end{aligned} \quad \text{式 4-3}$$

ここで、 ε : 誘電率、 a_0 、 a_1 : 実験により求められる定数 θ_w : 体積含水率[-]

V : SM150 の出力値[mV]

式 4-3 のように出力値 V と誘電率 ε の関係は多項式で表されるが、体積含水率 20%以上ではほぼ線形の関係となっている。よって SM150 において、式 4-2 と式 4-3 より体積含水率 θ と出力値 V の関係は線形といえ式 4-4 のように表せられる。

$$\theta = \alpha_1 V + \beta_1 \quad \text{式 4-4}$$

ここで、 α_1 、 β_1 : 定数

また材料の含水比が一定であると仮定すると、材料の体積含水率 θ と乾燥密度 ρ_d は比例する。よって乾燥密度 ρ_d と誘電率計出力値 V についても線形関係といえる。

$$\rho_d = \alpha'_1 V + \beta'_1 \quad \text{式 4-5}$$

ここで、 α'_1 、 β'_1 ：定数

以上の関係から最小二乗法により求めた回帰直線を検量線とした。

またばらつきを考慮し 95%信頼区間での予測区間を体積含水率の誤差幅とする。予測区間は以下の式より算出した。

$$\hat{y}_0 - t_{n-p-1} \left(\frac{1+0.95}{2} \right) SE \leq y_0 \leq \hat{y}_0 + t_{n-p-1} \left(\frac{1+0.95}{2} \right) SE \quad \text{式 4-6}$$

ここで、 y_0 ：体積含水率もしくは乾燥密度の検量線による値

$$SE = \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right) V_e} \quad \text{式 4-7}$$

ここで、SE：標準誤差、 \bar{x} ：出力値の標本平均、

V_e ：残差の分散

作成した検量線を式 4-8 および図 4.3.7-10 に示す。

なお、図 4.3.7-10 にプロットされている誘電率計計測値は次項エラー! 参照元が見つかりません。の温度補正を行った値である。図 4.3.7-10 の波線は検量線の 95%信頼区間での誤差幅であり、これは乾燥密度 1.6Mg/m³、含水比 15%の試料において最大 0.07Mg/m³ 程度の誤差が生じうることを示している。

$$\theta = 0.120029V + 0.000235 \quad \text{式 4-8}$$

ここで、 θ ：体積含水率 [-]、 V ：誘電率計出力値 [mV]

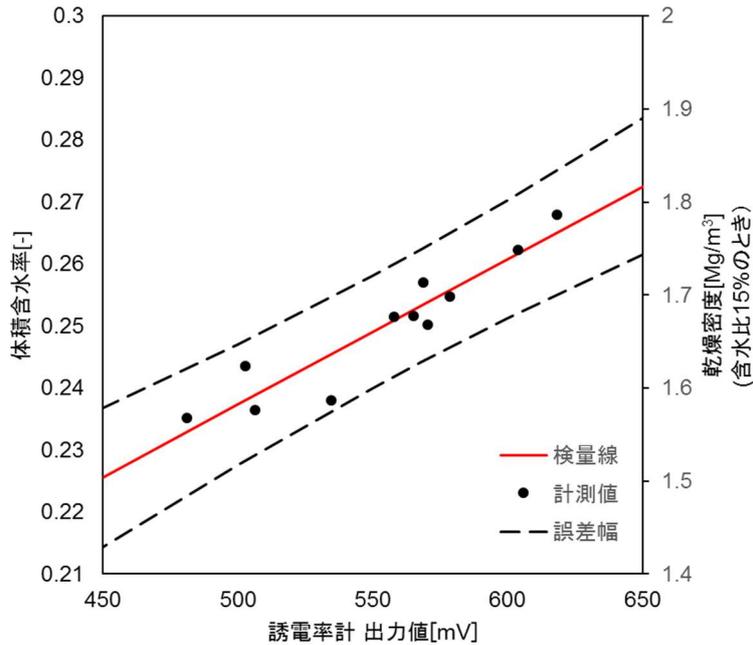


図 4.3.7-10 検量線

誘電率計計測において出力値がセンサー周辺温度に依存することが知られている。この温度依存性は誘電率計機器の固有にあり、本試験で使用した SM150T には温度の変化に対し正の相関がある。温度低下に伴い誘電率計の出力値は低下するため、検量線取得時と異なる温度環境下では密度が過小、もしくは過大に評価される可能性がある。このため得られた出力値に対し温度による補正が必要である。補正のため温度変化に対する誘電率計出力値の変化を測定し、温度補正式を作成した。

表 4.3.7-6 に示す 2 つの供試体において温度変化に対する誘電率計変化を測定した。温度として外気温と試料内温度を測定したが、誘電率計出力値の変化と相関が見られたのは試料内温度であり、外気温とは強い相関は見られなかった。

試料内温度と誘電率計出力値の関係を図 4.3.7-12 に示す。またこの関係より求められた温度補正式を式 4-9、式 4-10 に示す。含水比によって多少補正式が異なるため、検量線作成時には含水比 15%を想定した式 4-9 を、模擬土槽への吹付け時には含水比 17%を想定した式 4-10 を使うものとした。また、基本として出力値は基準温度 15°Cに補正するものとした。

表 4.3.7-6 温度補正 供試体一覧

供試体 No	含水比	備考
T-1	15%	検量線取得試験でを使用した供試体
T-2	17%	模擬土槽への吹付け試験で採取した試料



図 4.3.7-11 温度補正式の取得状況（試験時は供試体を養生した）

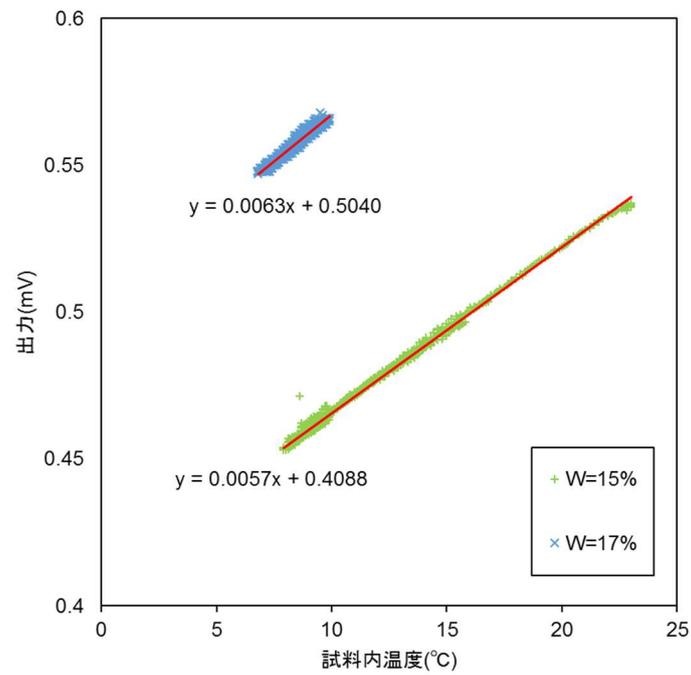


図 4.3.7-12 試料内温度と出力値の関係

$$V' = V - (6.322114 * T - 94.8317) \quad \text{式 4-9}$$

$$V' = V - (5.669797 * T - 85.047) \quad \text{式 4-10}$$

ここで、 V' : 補正後の出力値[mV]、 V : 測定出力値[mV]、 T : 測定時の試料内温度[°C]

含水比が異なる試料を誘電率計で測定したとき、概ね同等な電圧値が出力されたとしても、含水比が異なる試料では体積含水率が異なる結果となった。傾向として含水比が高いほど出力値は小さくなり、含水比が低いほど出力値は大きくなった（図 4.3.7-13 参照）。このように測定された得られた出力値は試料の含水比の影響を受けているため、含水比による補正が必要である。

補正式取得のため、出力値は概ね同等であるが含水比が異なる 2 つの供試体を比較し、体積含水率の差分と含水比の差分を測定した。表 4.3.7-7 の通り供試体は全部で 9 個であり、比較はこの供試体の組み合わせ（5 つの組み合わせ）で実施した。供試体の組み合わせと含水比、および体積含水率の差分を表 4.3.7-8 に示す。またこの関係により得られた補正式を式 4-11 に示す。なお、検量線取得時の供試体の含水比は平均 15%であったため、含水比 15%を基準含水比として補正を行うものとする。

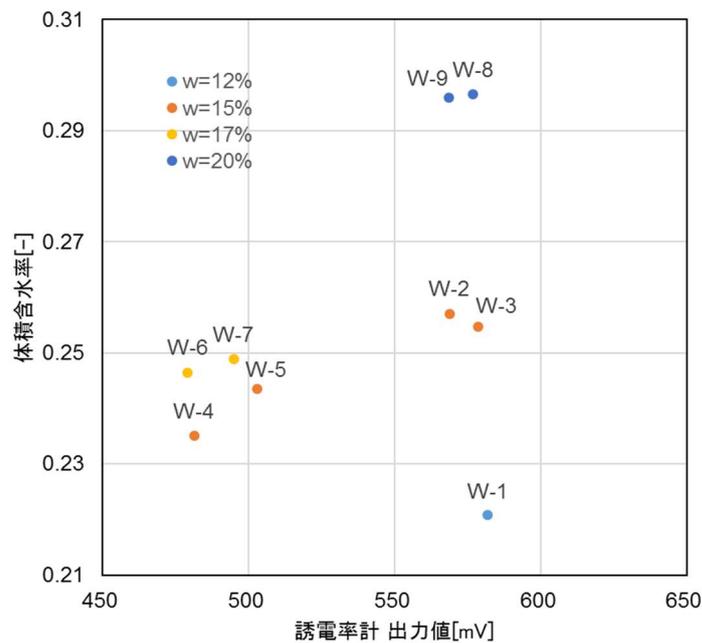


図 4.3.7-13 含水比が異なる試料における出力値と体積含水率の関係

表 4.3.7-7 含水比補正 供試体一覧

供試体 No	含水比[%]	体積含水率[-]	出力値
W-1	12.4	0.221	582
W-2	14.9	0.257	569
W-3	15.2	0.255	579
W-4	15.3	0.235	481
W-5	15.3	0.243	503
W-6	17.1	0.246	479
W-7	17.2	0.249	495
W-8	20.9	0.297	577
W-9	21.4	0.296	568

表 4.3.7-8 供試体の組み合わせと含水比・体積含水率の差分

供試体 No	含水比差分[%]	体積含水率差分[%]
W-9 - W-2	6.4	0.064
W-8 - W-3	5.7	0.065
W-7 - W-5	1.9	0.025
W-6 - W-4	1.8	0.021
W-1 - W-3	-2.8	-0.021

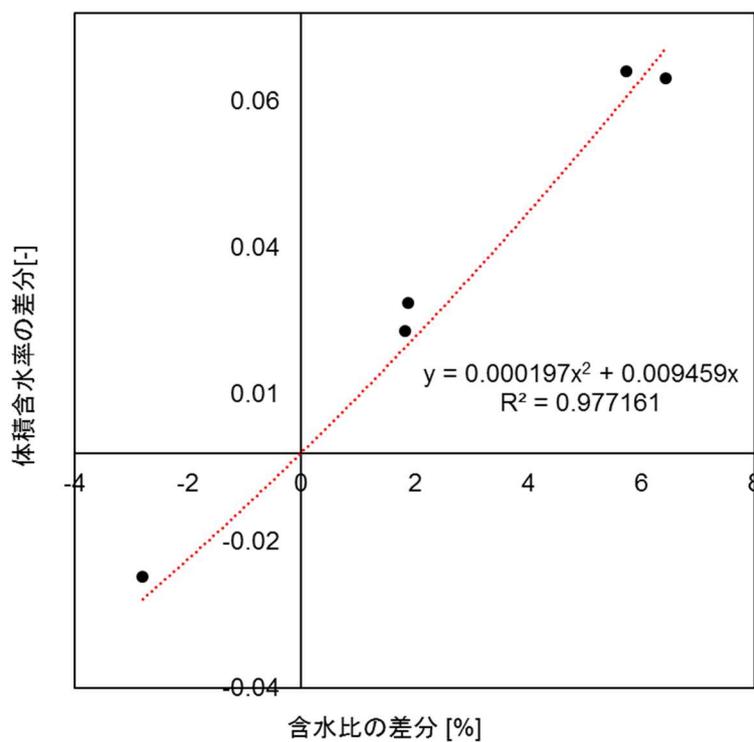


図 4.3.7-14 含水比の差分と体積含水率の差分

$$\theta' = \theta + 0.000197 * (W - 15) + 0.009459 * (W - 15) \quad \text{式 4-11}$$

ここで、 θ' : 補正後の体積含水率[-]、 θ : 検量線で得られた体積含水率[-]、
 W : 試料の含水比 [%]

(4) 試験方法

1) 吹付け用模擬坑道

平成 30 年度に幌延 350m 地下坑道にて充填実証試験を実施するにあたり、地上にて開放部を模擬した実寸大の土槽を製作し、施工手順やリバウンドの回収方法等の確認および検討を行う。

模擬土槽のイメージを図 4.3.7-15 に示す。模擬土槽の外周部はライナープレート、模擬 PEM は直径 2,500mm のコルゲート管を用いて製作した。模擬土槽の仕様を表 4.3.7-9 に示す。

表 4.3.7-9 模擬土槽仕様

項目	サイズ	仕様
試験坑道	直径 4,000×高さ 3,100×奥行 4,000mm	ライナープレート
模擬 PEM	直径 2,500×高さ 1,800×奥行 3,600mm	コルゲート管
模擬土槽妻部	幅 4,000mm×高さ 3,100mm	コンパネ、単管パイプ等

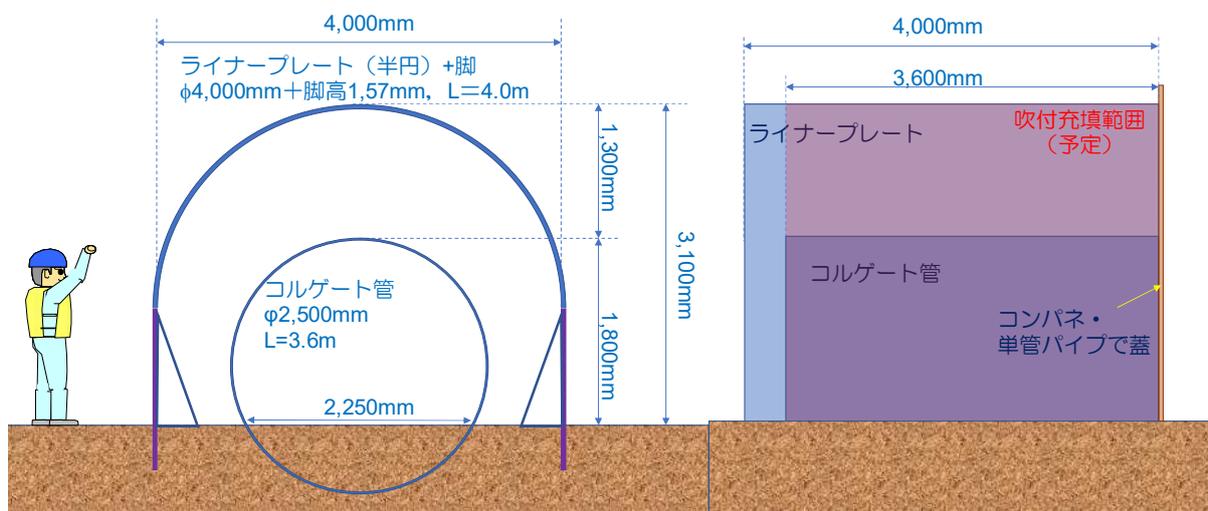


図 4.3.7-15 模擬土槽イメージ図

2) 吹付け機械

ステップ3までの検討で、吹付け時のエア一量が10~12m³/minが適切となった。作業時の反動が大きいため安全性を考慮して、吹付けノズルを機械で把持することとした。吹付け機械は伸縮アームを有し、直径4mの試験坑道2内での吹付け作業に適用可能である。

	項目	用途・仕様
	伸縮ブーム延長	2100mm
	ノズル回転	360°
	ノズル傾き	180°
	ブーム回転	110°
	ブーム到達範囲	横方向：6400mm 垂直方向：8000mm
ブーム油圧システム	電気-油圧： 7.5kW/50Hz/1450rpm	

図 4.3.7-16 伸縮アーム式の吹付け機械

3) リバウンド材の捕集

吹付け作業時のリバウンド材はジェクターで吸引除去し、重量を計測した。リバウンド材を捕集する頻度はフレコン3体の吹付け毎とした。



図 4.3.7-17 リバウンド材捕集用装置 (ジェクター)

4) 試験手順

吹付け施工の施工手順を表 4.3.7-10 に示す。

表 4.3.7-10 吹付け施工の施工手順

試験手順	試験のポイント	注意・確認事項
① フレコンの含水比測定	・	・
② フレコンの解砕用ホッパーへの投入	・ 解砕後の試料は、吹付け用ホッパーに投入する	・ 解砕後のふるいで除去された重量を計測する
③ 吹付け施工	・	・ 3袋ずつ吹付け。(状況に応じて数量は変更する)
④ リバウンドの回収	・ ジェクターで回収する	・ 吹付バッチ毎実施する。
⑤ 品質確認	・ 試験終了後に採取	・ コアサンプリング (ハンディコア) +誘電率: 1回/日で実施する。 ・ コアサンプリング (採土管): 2回/日
⑥ 3D 測量	・ 試験終了後に計測	・ 計測回数: 1回/日

ブーム伸縮ノズルを用いて吹付け面から 1m 程度の離隔を保ちながら、吹付け面にできるだけ直角となるようにノズルの向きを調整して実施する。

模擬土槽全体に対しての吹付け手順イメージを図 4.3.7-18 に示す。模擬土槽を 4 分割のブロックに分け、吹付けの手順は①→②、③→④を基本とした。ただし、事前の土槽内での動作確認により吹付け手順は変更する)。模擬土槽を半面ずつ吹付け充填し、必要に応じて模擬土槽の両側で吹付けパラメータ (エアー量等) を変更した条件での吹付け試験を実施する。吹付はフレコン 3 袋 (約 1,000kg) 毎に行い、吹き終わるごとにリバウンドの回収を行った。リバウンドの回収にはジェクターを用いて、人力により行う。回収したリバウンド材はフレコンに封入し、重量計測を行い吹付け量に対するリバウンド率を求めた。

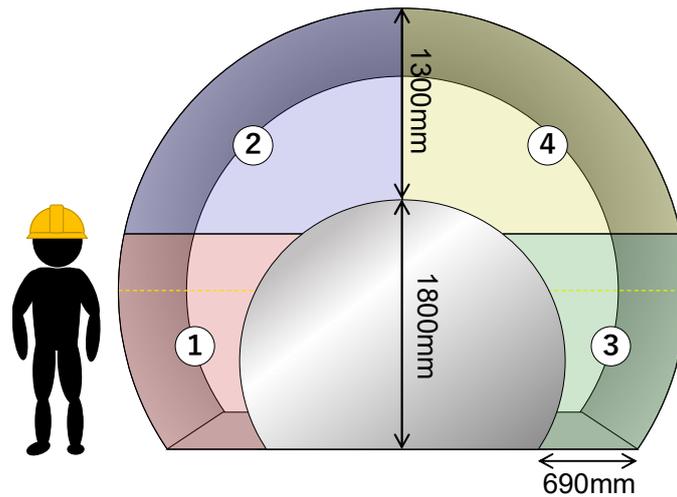


図 4.3.7-18 模擬土槽への吹付け手順イメージ (案)

5) 吹付け部の品質確認

吹付け施工における品質管理として、出来形検査によるかさ密度測定、コアサンプリングおよび誘電率計測による密度測定、試料の含水比、配合比の計測を実施した。

出来形による品質確認では、3D スキャナを用いて測量を実施した。吹付け施工後に測量し、前日との差から一日あたりの出来形を求めた。吹付け前に計量したトンパットの重量から、リバウンド材（ホース内の残存含む）、ふるいで除去した団粒化材料の重量の差を吹付けた重量とし、出来形から求めた体積で除して平均かさ密度とした。

3D 計測後、(3)で検量線を取得した誘電率法を用い、非破壊による密度測定を実施した。計測は一ヶ所につき5点を基本とした。

誘電率の計測後、誘電率を計測した部分と重なるように、密度、含水比、ベントナイト混合率の計測のためのコアサンプリングを実施した。コアサンプリングで取得した密度を検証データとして、誘電率測定の結果を評価した。

(5) 試験結果

1) ブーム伸縮ノズルによる吹付け性能確認

吹付け時の反動に対する安全対策ため採用したブーム伸縮ノズルによる吹付け確認試験の様子を図 4.3.7-19 に示す。吹付け時のエア量は $10\sim 12\text{m}^3/\text{min}$ として吹付けし、コア採取により密度の確認を行った。ブーム伸縮ノズルを用いて吹付けを実施した場合でも乾燥密度 $1.65\text{Mg}/\text{m}^3$ を達成し、ステップ 3 までの試験結果と同様な吹付け条件での施工により目標の乾燥密度を可能であることを確認した。



(a) ブーム伸縮ノズルによる吹付け



(b) 吹付け後状況



(c) コアサンプリング

図 4.3.7-19 ブーム伸縮ノズルによる吹付け確認試験

2) 模擬土槽への吹付け施工性および出来形

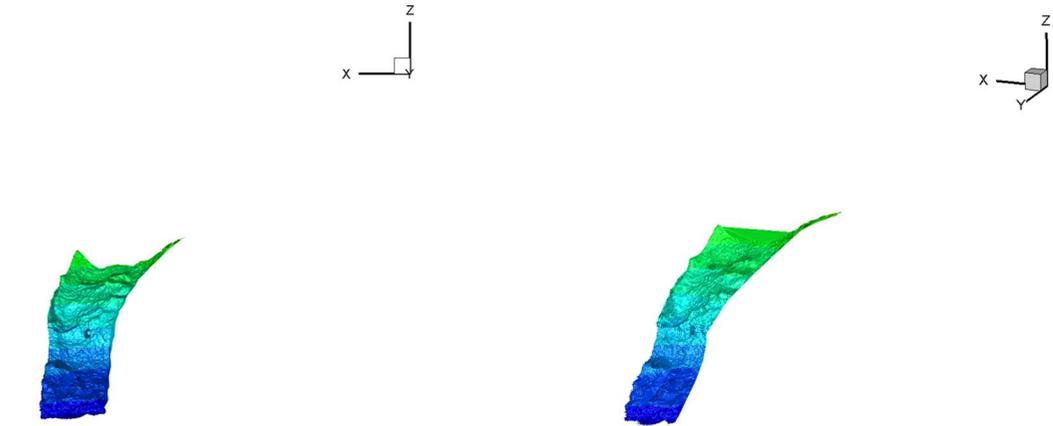
。表 4.3.7-11 に吹付け試験の記録の一覧を示す。図 4.3.7-20~図 4.3.7-22 には 1 日ごとの吹付け仕上がり状態の写真および 3D スキャナ測定による法面図を示す。図 4.3.7-24~図 4.3.7-27 にコアサンプリングによる密度測定結果を示す。

3) リバウンド

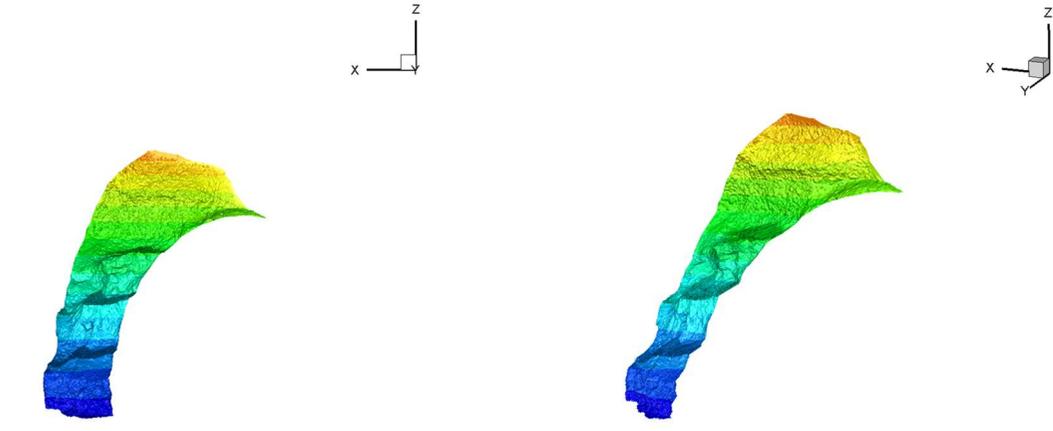
リバウンド率は平均 22.9% (最大 42.0%、最小 8.5% : であった。リバウンド率が最大 42% と多くなった理由として、リバウンド率を下げるためには、常に吹付け角度を直角に保つことが最も重要であることが既往の検討からも明らかとされているが、本試験では狭隘な箇所への機械吹付けのため吹付面に対して垂直に吹くことが難しかったことが要因として考えられる。

表 4.3.7-11 吹付け試験施工性結果一覧

	フレコン No.	投入時含水比 (%)	重量 (kg)	ダマ除去率 (%)	リバウンド率 (%)	吹付率 (%)	出来形 (kg)	総時間 (hr)	吹付け時間 (hr)	施工速度 (kg/hr)	吹付速度 (kg/hr)	ふるい時間 min	吹付け時間 min	捕集時間 min	
1日目 (1/22)	87-85	17.70	1120	24.55	8.52	69.0	773	0.42	0.32	1855.20	2441	0:09:00	0:10:54	0:04:39	
	84-82	16.69	1070	20.75	9.32	71.9	769	0.42	0.29	1845.60	2637	0:09:00	0:10:45	0:04:23	
2日目 (1/23)	81-79	15.98	1072	21.74	21.57	61.4	657	0.55	0.18	1196.36	3589	0:08:50	0:10:45	0:12:51	
	78-76	16.83	1097	27.80	28.41	51.7	568	0.67	0.18	852.00	3098	0:16:00	0:10:45	0:12:51	
	75-73	16.34	1073	28.15	14.92	61.1	656	0.58	0.17	1263.43	4422	0:17:00	0:09:24	0:08:23	
3日目 (1/24)	71-69	16.46	1044	25.77	19.87	59.5	621	0.67	0.15	931.50	4140	0:17:00	0:08:57	0:14:00	
	68-66	16.66	1054	18.79	12.85	70.8	746	0.62	0.18	1209.73	4069	0:16:00	0:10:55	0:10:00	
	65-63	17.75	1110	21.17	28.23	56.8	628	0.78	0.18	808.09	3453	0:17:29	0:10:51	0:18:36	
	62-60	17.18	1049	21.07	16.91	65.6	688	0.63	0.18	1086.32	3753	0:17:00	0:10:47	0:14:53	
	59-57	17.13	1005	29.85	27.66	50.7	510	0.77	0.18	665.22	2782	0:21:29	0:10:32	0:13:31	
4日目 (1/25)	56-54	16.77	1082	35.12	22.08	50.6	547	0.75	0.15	729.33	3647	0:22:00	0:09:15	0:14:00	
	53-51	16.32	1066	35.27	24.78	48.7	519	0.70	0.17	741.43	3114	0:19:00	0:09:23	0:13:00	
	50-48	16.75	1118	42.04	30.86	40.1	448	0.60	0.17	746.67	2688	0:22:00	0:09:40	0:22:09	
	47-45	16.49	1099	37.31	12.77	54.7	601	0.65	0.17	924.62	3606	0:20:00	0:09:44	0:09:00	
	44-42	16.49	1048	29.87	27.48	50.9	533	0.73	0.12	726.82	4569	0:19:00	0:07:00	0:18:00	
	41-39	16.69	1041	20.37	13.03	69.3	721	0.70	0.18	1030.00	3933	0:16:00	0:10:30	0:16:00	
5日目 (1/26)	38-36	18.61	1012	33.99	39.97	39.6	401	0.83	0.18	481.20	2187	0:18:00	0:11:05	0:18:00	
	35-33	17.35	1124	35.59	42.13	37.3	419	0.97	0.18	436.55	2302	0:21:00	0:10:48	0:27:00	
	2-1	15.21	697	20.37	34.95	51.8	361	0.65	0.12	555.38	3094	0:10:00	0:06:51	0:23:00	
	リバウンド材	14.09	375	3.20	43.80	54.4	204	0.52	0.10	394.84	2040	0:05:00	0:05:41	0:21:00	
	合計	-	20,356	-	-	-	11,370	13.20	3.56	-	-	-	-	-	
	平均	16.67	-	27.87	23.0	55.8	-	-	-	861.4	3,195	0:16:59	0:10:07	0:13:58	
	備考			87~33、1-2 の平均									87~33 の平均		

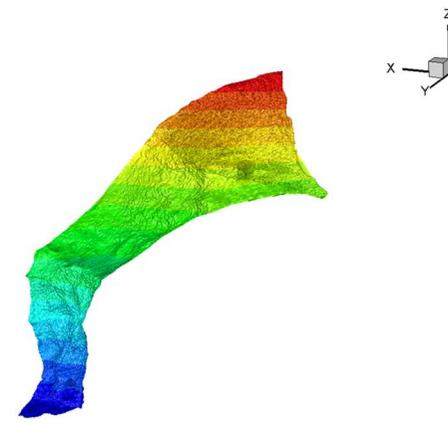
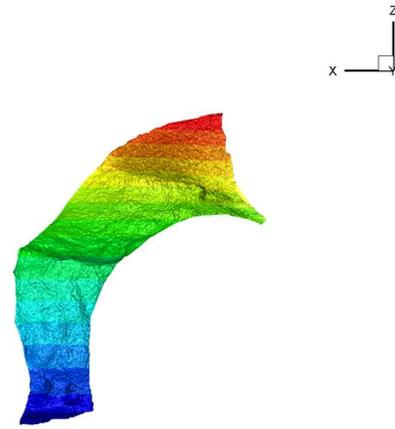


1 日目(1/22) : (左 : 正面、右 : 右斜め)

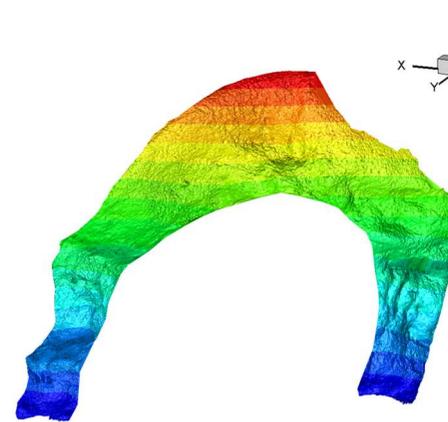
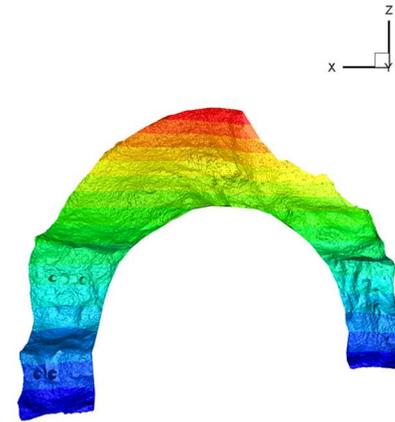


2 日目(1/23)、(左 : 正面、右 : 右斜め)

図 4.3.7-20 吹付け仕上がりの様子、3D スキャナ測定による吹付け法面 (1/2)



3 日目(1/24)、(左：正面、右：右斜め)



4 日目(1/25) (左：正面、右：右斜め)

図 4.3.7-21 吹付け仕上がりの様子、3D スキャナ測定による吹付け法面 (2/2)



5日目(1/26) (左：正面、右：右斜め)

図 4.3.7-22 吹付け仕上がりの様子

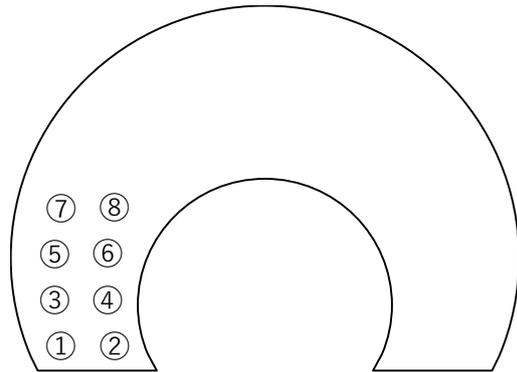


図 4.3.7-23 リバウンド材回収の様子

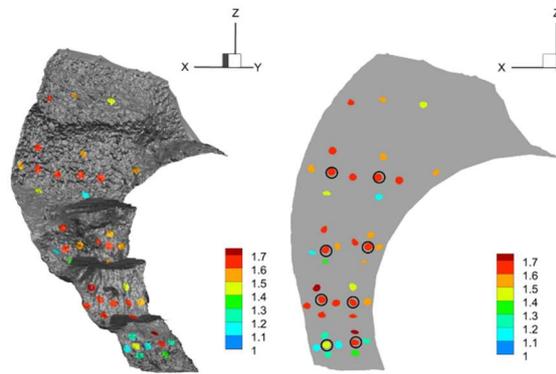
施工日	リバウンド率の日平均(%)
1日目 (1/22)	8.92
2日目 (1/23)	21.15
3日目 (1/24)	21.07
4日目 (1/25)	21.83
5日目 (1/26)	38.96
平均	22.9

【吹付け時の状況】

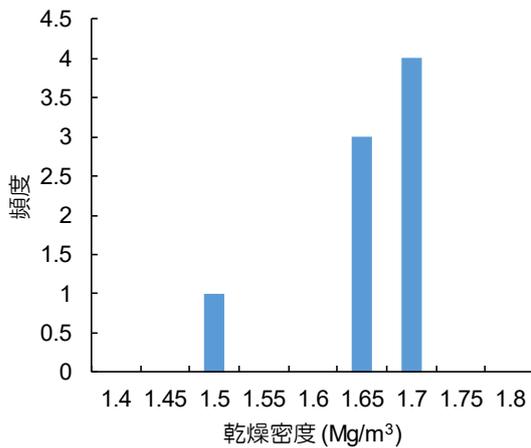
- ・吹付け面に対しノズルが垂直
- ・ノズルの離隔：凡そ 1m



No.	含水比(%)	乾燥密度(Mg/m ³)
①	16.57	1.49
②	16.32	1.70
③	17.78	1.66
④	17.40	1.65
⑤	17.26	1.68
⑥	17.29	1.64
⑦	17.08	1.62
⑧	17.88	1.65



サンプリング箇所

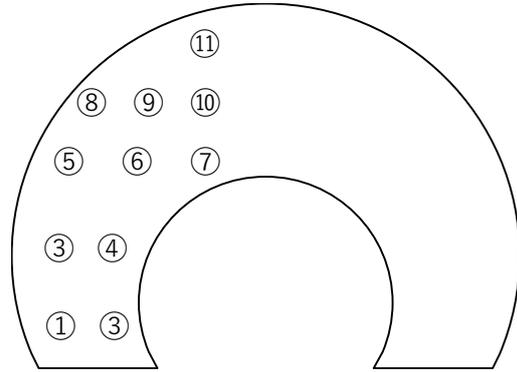


平均	1.64
標準偏差	0.06
中央値	1.65
範囲	0.21
最大値	1.70
最小値	1.49
標本数	8

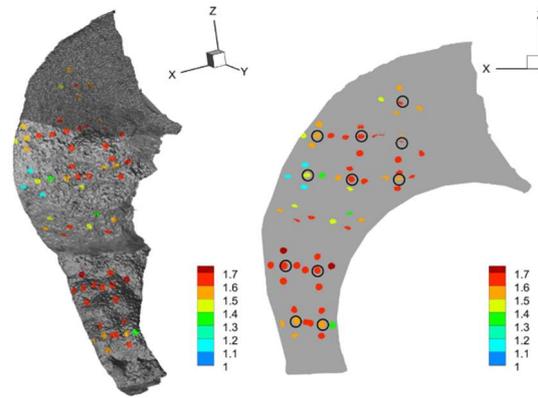
図 4.3.7-24 2日目 (1/23) 吹付け後の乾燥密度および度数分布

【吹付け時の状況・条件】

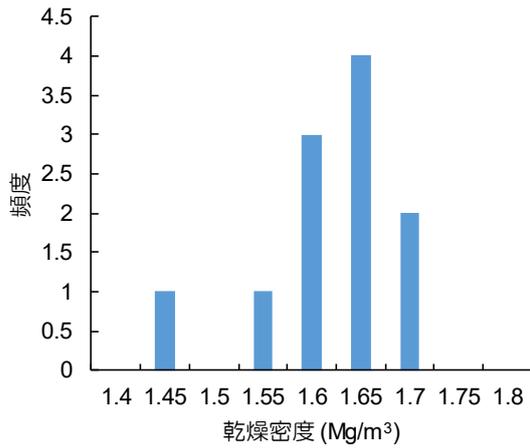
- ・吹付け面に対しノズルが垂直
- ・ノズルの離隔：凡そ 1m



No.	含水比(%)	乾燥密度(Mg/m ³)
①	17.32	1.57
②	17.45	1.54
③	17.80	1.64
④	17.80	1.62
⑤	16.94	1.44
⑥	18.39	1.61
⑦	17.37	1.57
⑧	17.63	1.58
⑨	18.15	1.66
⑩	17.92	1.65
⑪	17.69	1.61



サンプリング箇所

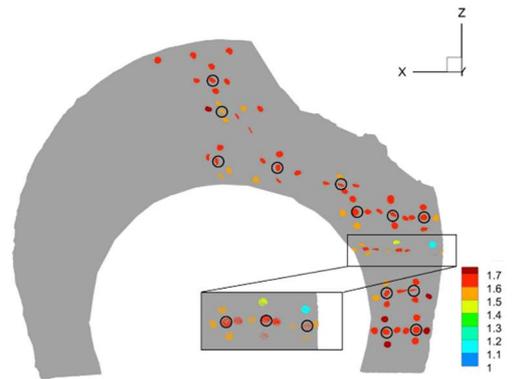
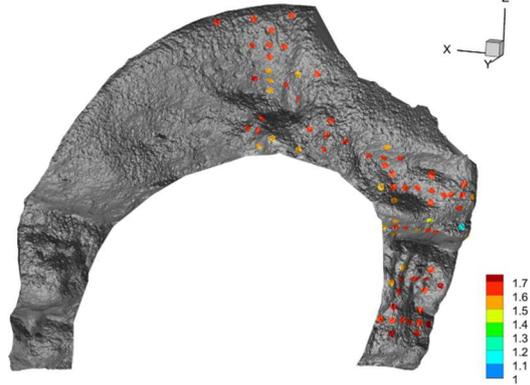
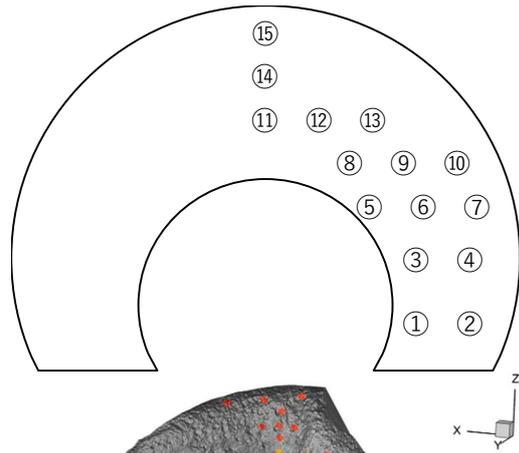


平均	1.59
標準偏差	0.06
中央値	1.61
範囲	0.23
最大値	1.66
最小値	1.44
標本数	11

図 4.3.7-25 3日目 (1/24) 吹付け後の乾燥密度および度数分布

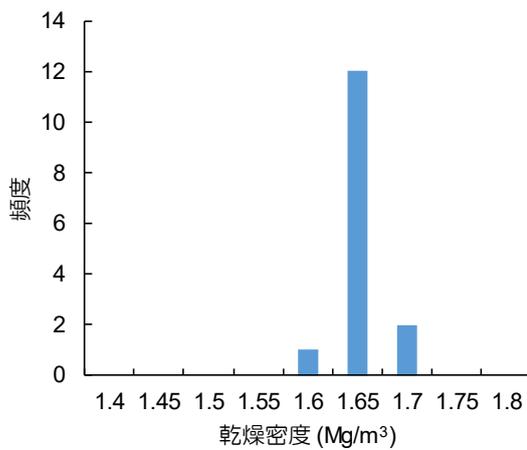
【吹付け時の状況・条件】

- ・吹付け面に対しノズルが垂直
- ・ノズルの離隔：凡そ 1m



サンプリング箇所

No.	含水比(%)	乾燥密度(Mg/m ³)
①	17.63	1.62
②	17.79	1.62
③	17.84	1.64
④	17.17	1.62
⑤	18.30	1.62
⑥	17.32	1.67
⑦	17.93	1.65
⑧	18.33	1.64
⑨	17.66	1.62
⑩	17.65	1.63
⑪	18.70	1.63
⑫	18.21	1.63
⑬	17.92	1.62
⑭	17.72	1.55
⑮	17.70	1.64

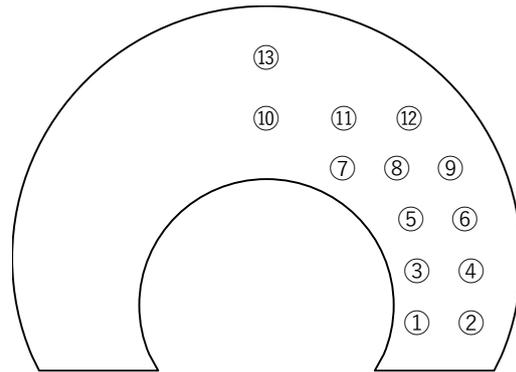


平均	1.63
標準偏差	0.03
中央値	1.63
範囲	0.12
最大値	1.67
最小値	1.55
標本数	15

図 4.3.7-26 4日目(1/25)吹付け後の乾燥密度および度数分布

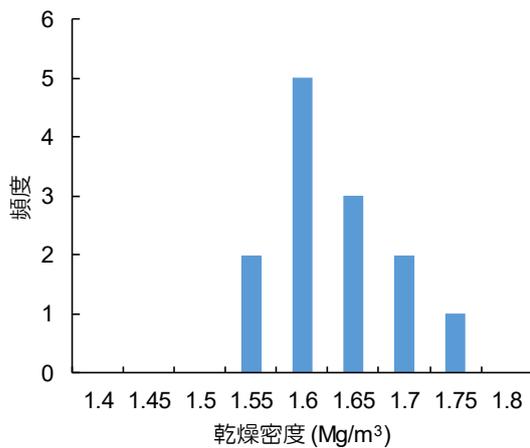
【吹付け時の状況・条件】

- ・吹付け面に対しノズル角度を変化
(垂直以外)
- ・ノズルの離隔：～1.5m 程度



No.	含水比(%)	乾燥密度(Mg/m ³)
①	18.38	1.66
②	18.12	1.59
③	16.92	1.63
④	17.81	1.63
⑤	16.52	1.70
⑥	16.50	1.70
⑦	17.52	1.62
⑧	15.31	1.60
⑨	16.72	1.59
⑩	18.47	1.54
⑪	18.14	1.58
⑫	17.71	1.54
⑬	17.56	1.58

サンプリング箇所



平均	1.61
標準偏差	0.05
中央値	1.60
範囲	0.16
最大値	1.70
最小値	1.54
標本数	13

図 4.3.7-27 5日目 (1/26) 吹付け後の乾燥密度および度数分布

4) 密度の評価

a 出来形計測によるかさ密度の取得

3D スキャナによる吹付け体積と投入重量から乾燥密度を計測した。基本として1日の吹付けが終了した後に3D スキャナによる撮影を行った。撮影状況を図 4.3.7-28 に示す。また含水比、投入重量、体積、乾燥密度を表 4.3.7-12 に示す。



図 4.3.7-28 3D スキャナ撮影状況

表 4.3.7-12 3D スキャナによる体積計測、かさ密度の計算結果

測定日	含水比 (%)	投入重量 (kg)	3D スキャナ 累積体積 (m ³)	乾燥密度 (Mg/m ³)	累計 乾燥密度 (Mg/m ³)
1 日目 (1/22)	18.3	1542	0.99	1.32	1.32
2 日目 (1/23)	17.3	1881	2.12	1.42	1.37
3 日目 (1/24)	17.6	3193	3.88	1.54	1.43
4 日目 (1/25)	18.0	3369	6.00	1.35	1.41

b コアサンプリングによる密度の取得

コアサンプリングによる密度計測の結果、全体での乾燥密度は $1.44\sim 1.70\text{g/m}^3$ にばらつく結果となっており、平均乾燥密度は 1.61Mg/m^3 、標準偏差は 0.05Mg/m^3 であった。2 日目、3 日目において乾燥密度が 1.5Mg/m^3 以下の低い箇所があったが、吹付け箇所へのノズルの挿入が難しく吹付け面に対して垂直にノズルが当たらなかったこと、吹付け面とノズルとの距離が離れてしまったこと等の影響が考えられる。3 日目以降は、垂直にノズルが当たるよう機械配置のおよびノズル向きについて再検討を行ったため、バラツキの少ない乾燥密度が得られたと考えられる。

以上の結果より、試験坑道内でのノズルワークおよび吹付け機械配置、吹付け手順について検討することが来年度の実施工試験への課題であり、それを解決することによって吹付け後に所定の乾燥密度を確保できると思われる。

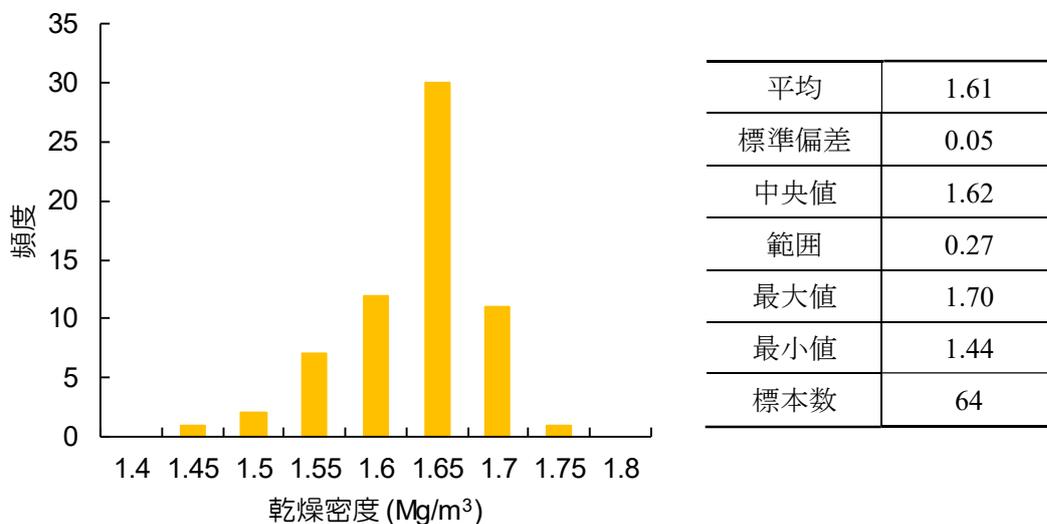


図 4.3.7-29 吹付け後全体の乾燥密度および度数分布



図 4.3.7-30 施工状況写真

c 誘電率計測による密度の取得

吹付け部の誘電率を測定し、(3)で検量線より乾燥密度に換算した。計測は吹付け法面表面にロッドを挿し込むことで行い、出力値はハンディモニターで確認した。なお、空隙が生じると出力値が過小評価されるため図 4.3.7-31 に示すように測定する面をヘラで削り平らな状態にした上で測定を実施した。また試料内温度は、5cm 程の温度計に接続されているステンレス保護管付きのセンサーを試料内に挿し込み測定した。含水比は炉乾燥法により求めた。



図 4.3.7-31 測定する面の状態、温度測定状況

誘電率形による計測は基本としてコアサンプリングを行う周囲 4 点で実施した。誘電率計による計測結果を表 4.3.7-13 に示す。また誘電率形計測結果とコアサンプリングによる計測結果のコンター図を図 4.3.7-32～図 4.3.7-34 に示す。なお、黒丸で囲んだ箇所がコアサンプリングによる計測箇所、および結果である。

表 4.3.7-13 誘電率計測による密度結果

測定日	平均含水比[%]	平均乾燥密度[Mg/m ³]	乾燥密度 1.6Mg/m ³ 以上の割合
1/23 (2 日目)	17.28	1.50	36%
1/24 (3 日目)	17.69	1.58	63%
1/25 (4 日目)	17.85	1.62	69%
1/26 (5 日目)	17.31	1.60	61%

表 4.3.7-13 より、4 日目 (1/25)、5 日目 (1/26) では平均乾燥密度が 1.6Mg/m³ を超えているが、2 日目 (1/23)、3 日目 (1/24) では平均乾燥密度が 1.6Mg/m³ を下回った。図 4.3.7-32 を見ると 2 日目では吹付け法面の最下部左側の乾燥密度が誘電率計測、コアサンプリングの両方で 1.5Mg/m³ 以下と低いことが分かる。これは吹付け面からのノズルの位置が遠い、また吹付け面に対しノズルが垂直に配置されていなかったためと考えられる。また、図 4.3.7-33 を見ると 3 日目では吹付け法面の中腹左側で乾燥密度が誘電率計測、コアサンプリングの両方で 1.5Mg/m³ 以下と低いことが分かる。この法面中腹左側では吹付け材が固着しておらず手で簡単に 5～10cm 程度掘れる状態であった。これはノズルの当たりが悪かったことや、法面がなだらかな傾斜でありリバ

ウンドが溜まりやすかったためと考えられる。

誘電率計計測による乾燥密度の妥当性確認のため、誘電率計で計測した箇所をコアサンプリングし、誘電率計による乾燥密度とサンプリングによる乾燥密度を比較した。サンプリングに対する誘電率計乾燥密度の誤差を以下に示す。これより誘電率計計測による乾燥密度はサンプリングと比較し誤差は平均 2.2%程度であった。この誤差は乾燥密度 1.6Mg/m^3 のときに $1.6\pm 0.035\text{Mg/m}^3$ 程度となる。

表 4.3.7-14 誘電率計とサンプリングによる乾燥密度 結果一覧

投入トンパック番号	誘電率計 乾燥密度 [Mg/m ³]	サンプリング 乾燥密度 [Mg/m ³]	誤差
68-66	1.55	1.54	0.7%
62-60	1.57	1.55	1.1%
56-54	1.44	1.50	-3.7%
50-48	1.62	1.67	-3.3%
47-45	1.59	1.63	-2.2%
38-36	1.65	1.64	0.3%
平均誤差			2.2%

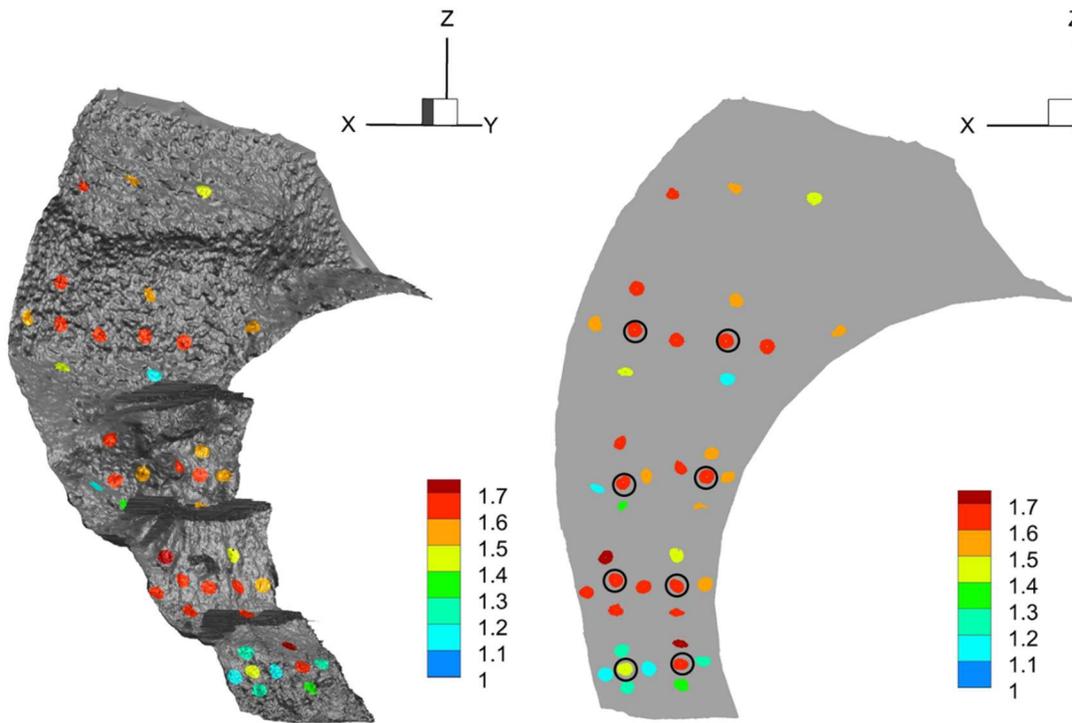


図 4.3.7-32 1日目 (1/23) 計測 誘電率形乾燥密度とコアサンプリング乾燥密度

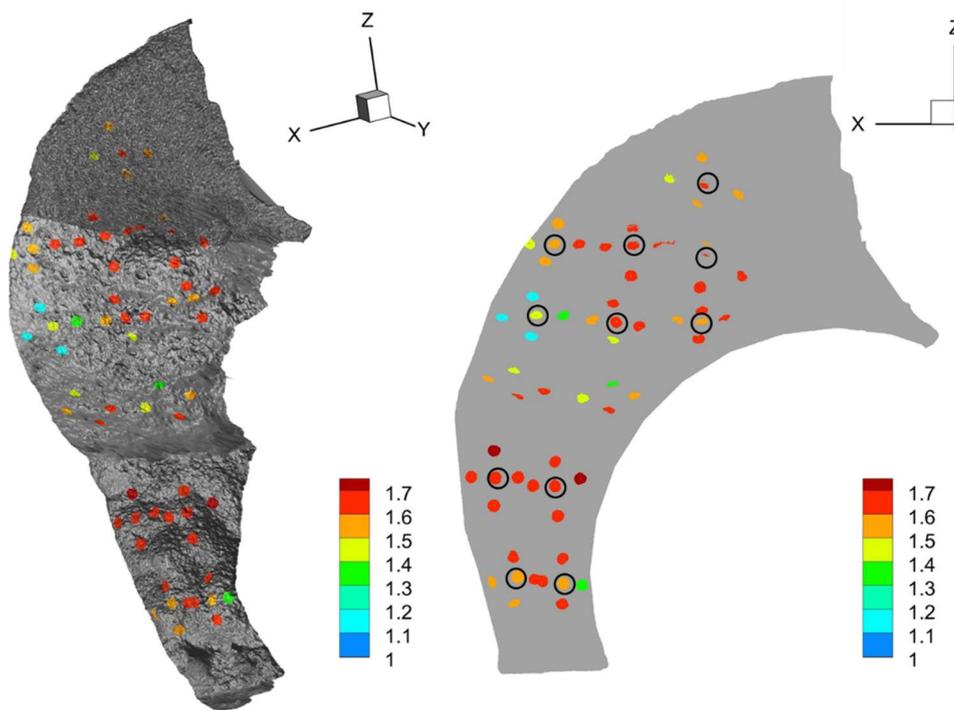


図 4.3.7-33 2日目 (1/24) 計測 誘電率形乾燥密度とコアサンプリング乾燥密度

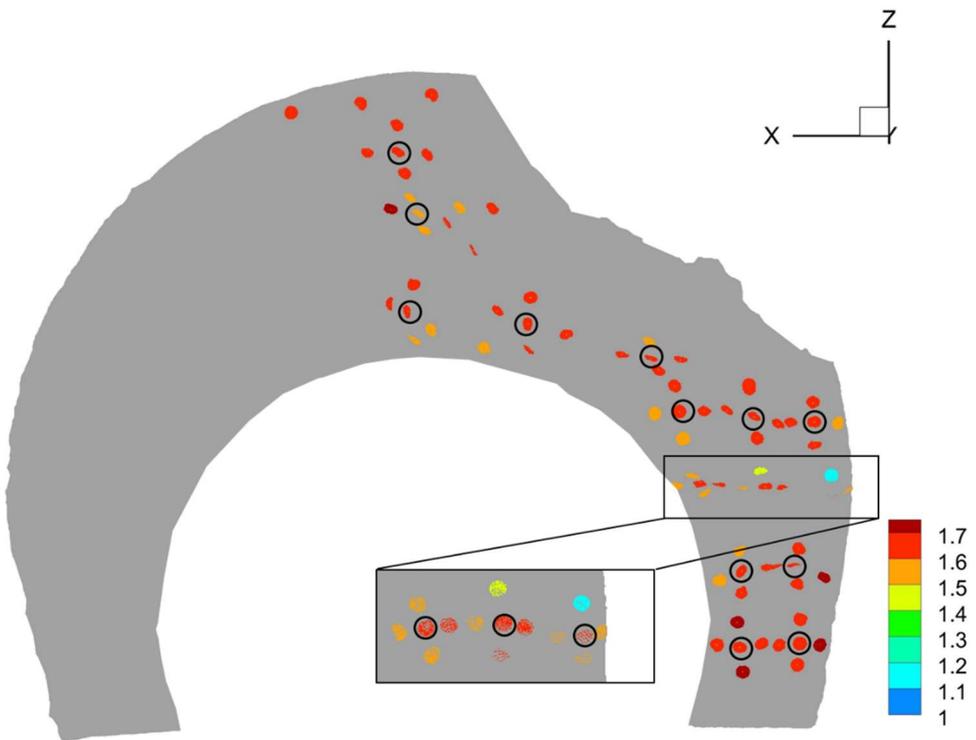
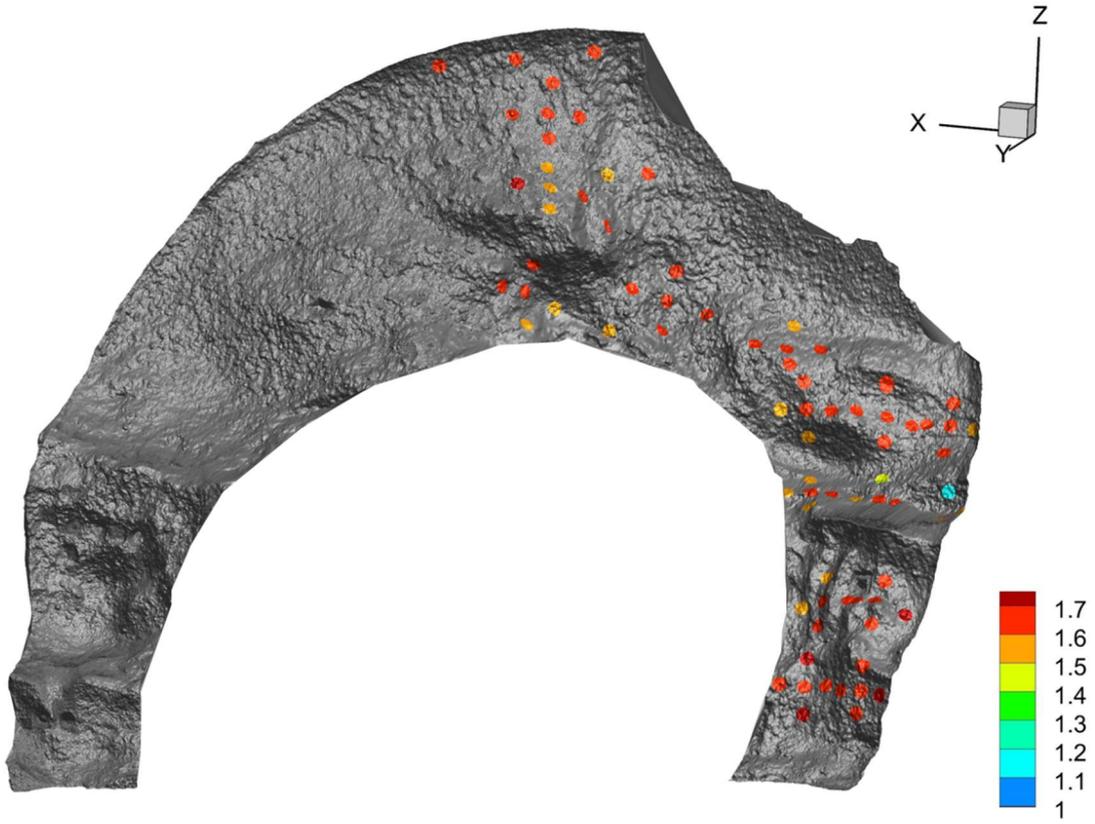
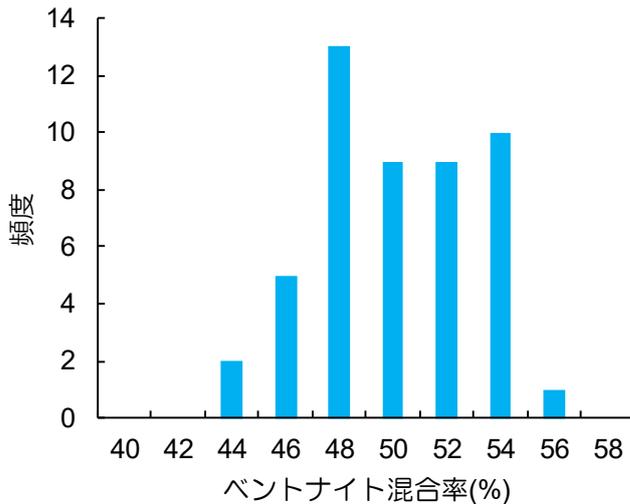


図 4.3.7-34 4日目 (1/25) 計測 誘電率形乾燥密度とコアサンプリング乾燥密度

5) ベントナイト混合土の配合比の変化

吹付け後のベントナイト混合率を、コアサンプリングした供試体のメチレンブルー吸着量により測定した。ここで、ベントナイト混合率は、ケイ砂（ベントナイト混合率 0%）およびベントナイトのみ（ベントナイト混合率 100%）のメチレンブルー吸着量を測定して作成した検量線を用いて換算した値である。図 4.3.7-35 に吹付け後のベントナイト混合率の度数分布を示す。平均が 49%、標準偏差が 2.8%であり、吹付け後もリバウンドによる偏りもなく、ほぼ設定値である 50%であることを確認した。



平均	49.17
標準偏差	2.80
中央値	49.71
範囲	10.40
最大値	54.34
最小値	43.93
標本数	49

図 4.3.7-35 吹付け後のベントナイト混合率の度数分布

6) 施工部簞

図 4.3.7-36 に施工 1 ロット（3 袋：約 1000kg）当たりのサイクルタイムの割合を示す。図中に示す各作業時間は、全ケースの各作業時間を平均した値である。吹付け模擬土槽試験の施工サイクル（ダマの除去、吹付け、リバウンドの回収：ただし品質確認の時間は除く）の平均施工時間は約 41 分であり、平均施工速度は 0.9t/hr であった。

ふるい作業に関して図 4.3.7-37 より、団粒化材料の除去率が多くなるほどふるい作業に要する時間が多くなっている。そのため、材料の状態によっては 10 分程度でふるいが完了している。吹付け時間については、一定のエア量で吹いているため 10 分程度であり、平均吹付時間は 3.2t/hr であった。ステップ 3（フェーズ 2）では 2.6~3.6t/hr 程度の吹付速度であったため、ブーム伸縮ノズルを使用した場合でも施工速度に差はないことが確認できた。

サイクルタイムの短縮のための検討項目として、ふるい作業に関しては混合材料の仕上りによって団粒化材料の量が異なってくるため、ベントナイト混合土の製造方法の見直しによって改善可能であると考えられる。また、リバウンド回収作業については、施工形状による影響や吸引機の性能、数量や回収のタイミング（吹付けながら回収する）等の施工手順の検討が必要である。

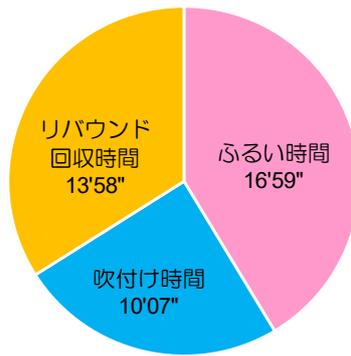


図 4.3.7-36 施工 1 ケース当たりのサイクルタイム

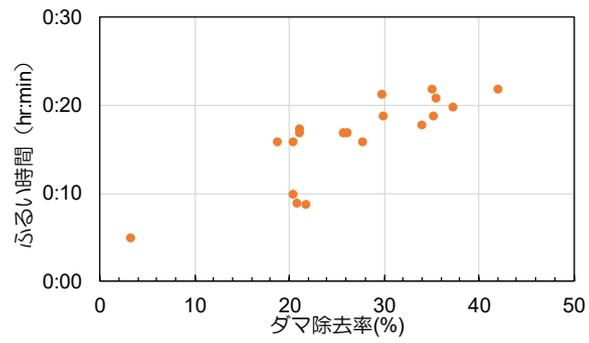


図 4.3.7-37 団粒化材料の除去率とふるい作業時間の関係

4.4 地下環境での隙間充填試験に向けた整備

本年度に実施した隙間充填材除去技術の整備の成果を踏まえ、平成 30 年度に幌延 URL 試験坑道 2 で実施する隙間充填実証試験の実施計画た。

4.4.1 狭隘部へのペレット充填技術の実証試験計画

本年度実施した狭隘部の隙間充填技術の検討成果をもとに、平成 30 年度に実施する同技術の実証試験の概略計画を策定する。

(1) 試験坑道 2 への隙間充填装置等の搬入

隙間充填装置等の試験坑道 2 への搬入は、東立坑より行う。搬入に際しては東立坑⇒周回坑道⇒試験坑道 2 の経路で行うが、搬入物は本経路の各所に設置されている揚重設備の最小揚重能力および通過可能寸法に合わせて分割する必要がある。下部狭隘部の隙間充填装置は、この制約に合わせて分割でき、試験坑道 2 に設置できる構造となっている。立坑から周回坑道、周回坑道から試験坑道 2 への搬入については、搬入計画を事前に充分検討し、必要に応じて、坑道内、あるいは隙間充填装置部材に予め必要な処置を施す。

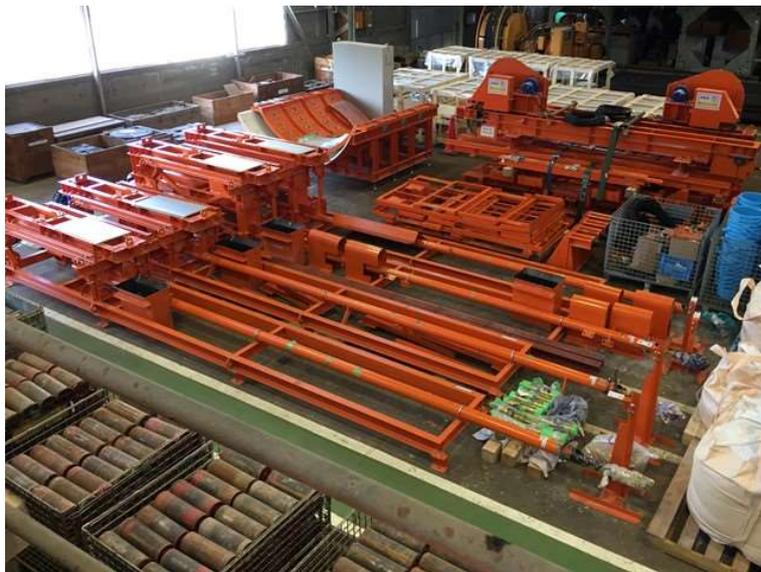


図 4.4.1-1 下部狭隘部隙間充填装置の分割部材

(2) 試験黄銅 2 での組立設置

試験坑道 2 の下部狭隘部の充填作業に置いて、充填装置は図 4.2.3-8 に示したようにレール上に設置され、充填と共に後退する。試験坑道 2 での搬入・組立作業は、①隙間充填装置用走行レールの搬入・敷設（布設状況は図 4.4.1-2 参照）⇒②隙間充填装置の搬入・組立（組立完了状況は図 4.4.1-3 参照）の順で実施する。

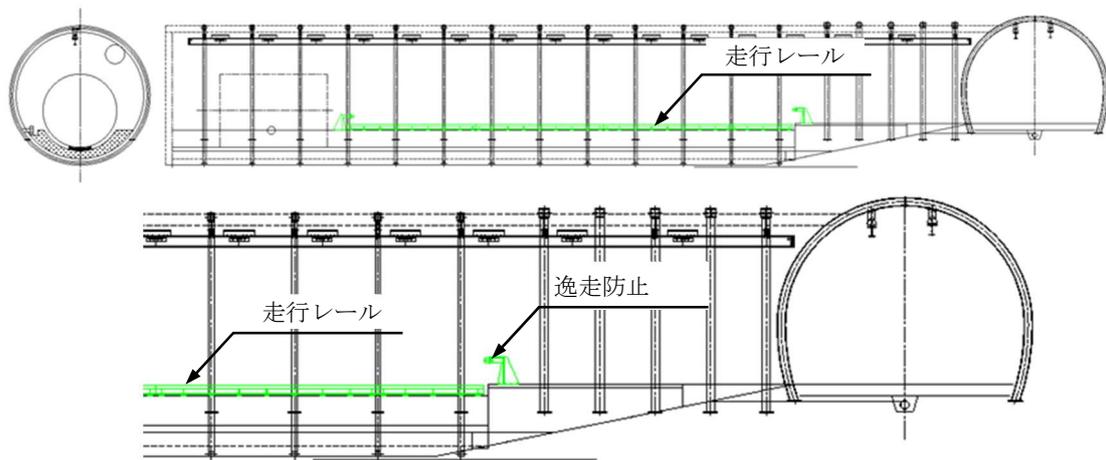


図 4.4.1-2 試験坑道 2 レール敷設状況予想図

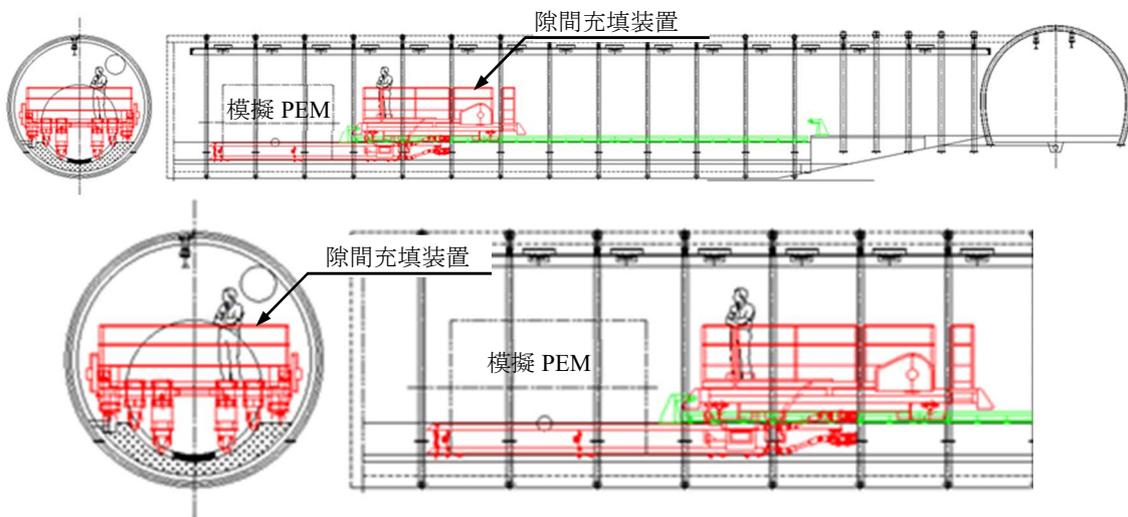


図 4.4.1-3 隙間充填装置組立完了予想図

(3) 充填技術実証試験計画

実証試験は、本年度実施した手順で実施する。ステップ 1 を行い、試験条件を設定したのち実証試験を実施する。図 4.4.1-4 に狭隘部隙間充填技術実証試験の実施フローを示す。

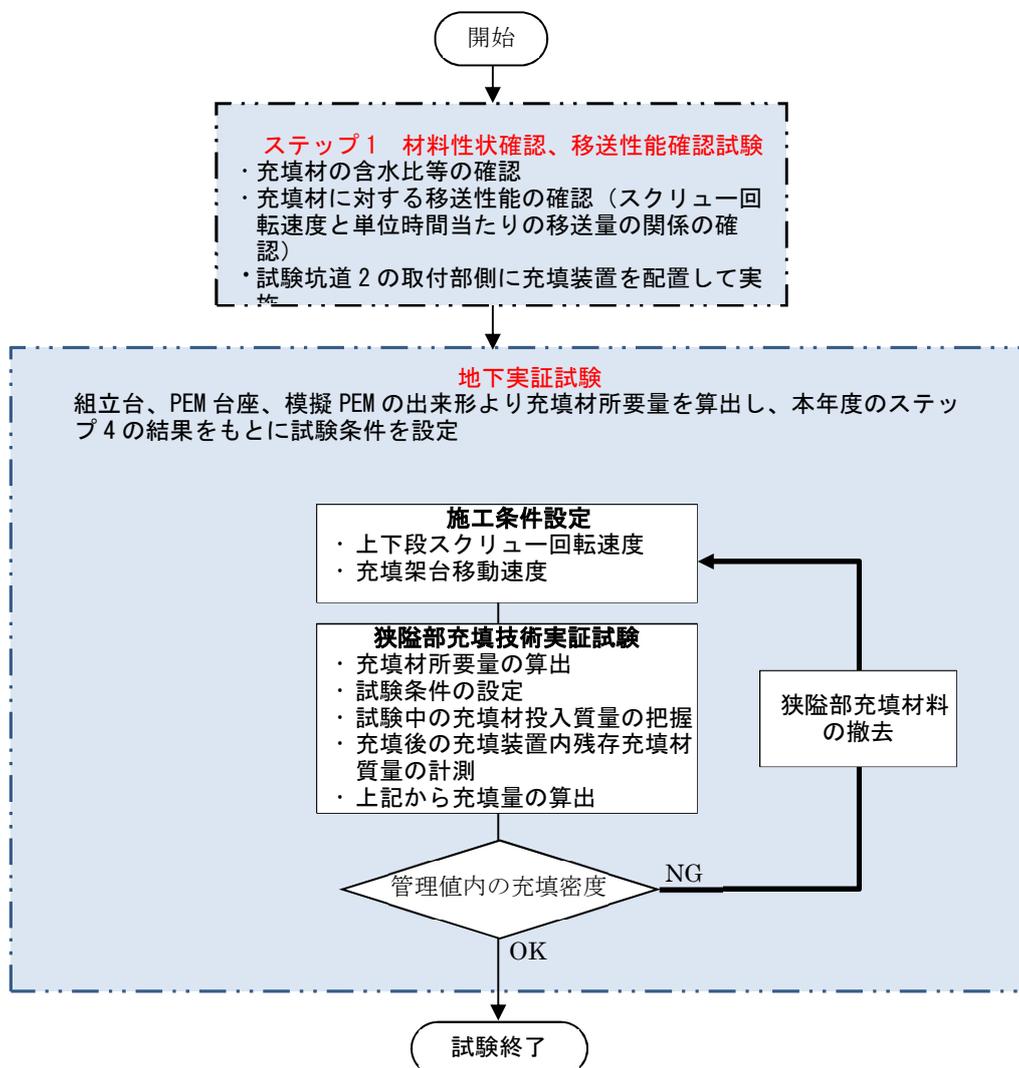


図 4.4.1-4 狭隘部隙間充填技術実証試験実施フロー

4.4.2 開放部の吹付け技術の実証試験計画

本年度実施した開放部への吹付け技術の検討成果をもとに、平成 30 年度に実施する同技術の実証試験の概略計画を策定する

(1) 吹付施工機械の配置 (案)

平成 30 年度の実証試験では、地上でベントナイト混合土の製造・保管、地下坑道にて解砕、吹付けを行う予定である。地上で製造した材料は、吹付けに使用する分の材料を適宜地下へ運搬する。図 4.4.2-1 には想定している実証試験の作業の流れを示す。開放部吹付充填装置の基本構成は、以下の核装置を組み合わせたものを予定している。

- ▶ 吹付け機械 (ニードガン)
- ▶ ブーム伸縮吹付けノズル (吹付け本体)
- ▶ 解砕機
- ▶ 振動ふるい
- ▶ 二軸強制ミキサー (混練ミキサー)
- ▶ 材料計量機
- ▶ 材料投入機構

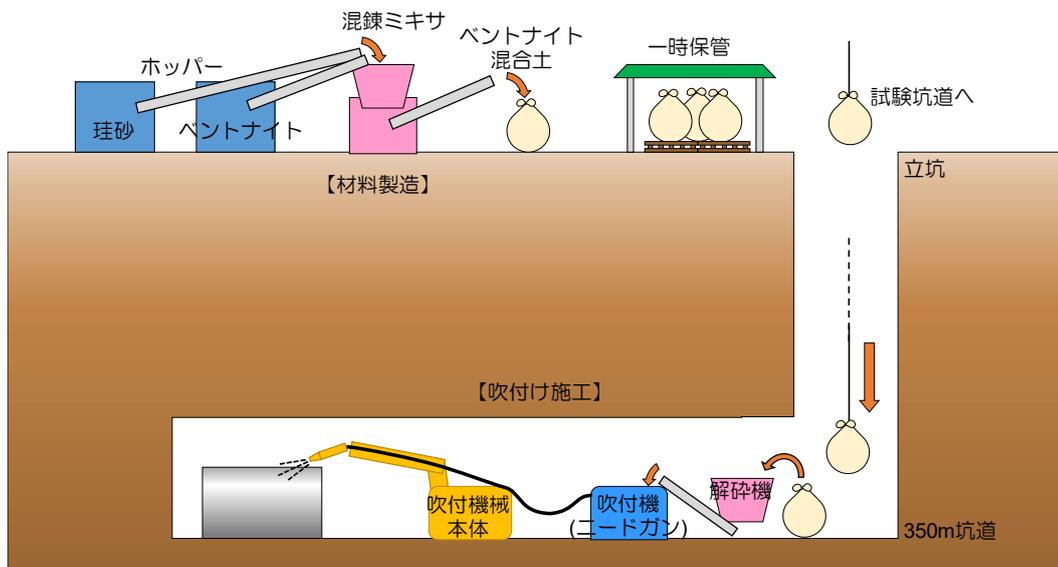


図 4.4.2-1 平成 30 年度実証試験 吹付け機械配置 (案)

(2) 材料プラント仮設

吹付け材料は現地でベントナイトとケイ砂を混合し製造する計画である。4.3.3(2)に示した材料製造用の仮設プラントを幌延 URL の現場への構築案を図 4.4.2-2 に示す。場内の材料運搬はフォークリフトを想定している。

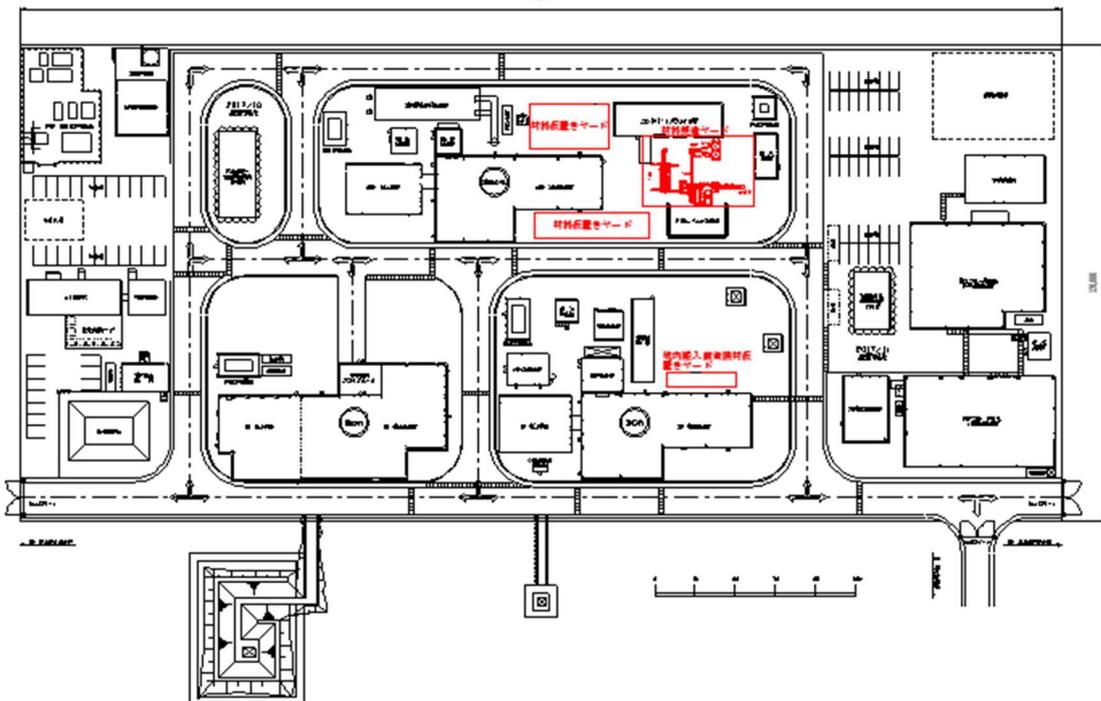


図 4.4.2-2 幌延 URL における吹付け材料仮設プラン構築 (案)

(3) 吹付け機械の仮設

表 4.4.2-1 に地下坑道内に搬入する吹付け機械付帯設備を示す。地下の空間上の制約を考慮し、搬入する機械の最大寸法は全て横幅 1.8m×高さ 2.0m 以内のものとした。図 4.4.2-3 は試験施工時の吹付けプラントを、図 4.4.2-4 は試験坑道 2 の吹付けプラント配置図を示したものである。なお、吹付けに際し、安全性や作業性の観点から床面をフラットにするための足場を仮設する。

表 4.4.2-1 主な吹付けプラントの使用機械 (案)

機械名	仕様	数量	備考
吹付機	ニードガン 200V	1	重量 約 1t
ベルトコンベヤ		2	重量 約 0.2t/台
ホッパー		2	重量 約 1t/台
レシーバータンク		1	重量 約 0.5t
吹付ロボット	MINIMEC 400V	1	重量 約 1.8t (分解可能)

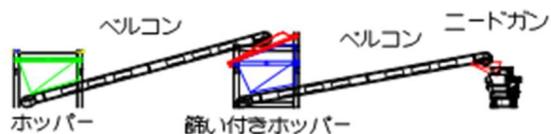


図 4.4.2-3 試験施工時の吹付プラント (案)

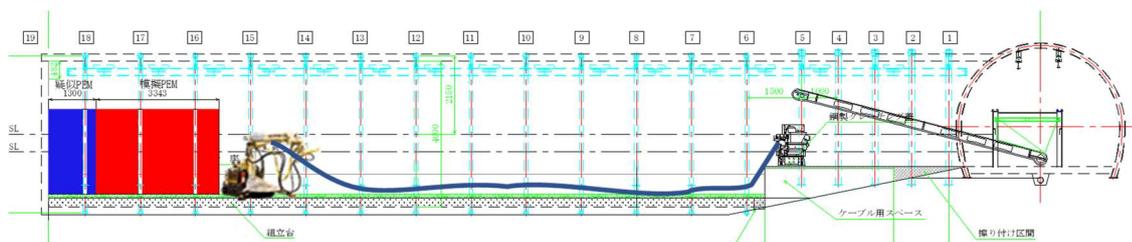


図 4.4.2-4 坑内吹付けプラント配置図 (案)

(4) 材料製造

配合表を表 4.4.2-2 に示す。材料製造方法（材料の練り混ぜ方法）に関しては、試験製造を事前
に実施し、最適な練り混ぜ方法を確認する。ベントナイトおよび珪砂は含水比を測定し、補正配
合を実施する。また、最適含水比を目標にして水を配合するが、配合上の含水比では無く、練り
上がったベントナイト混合土の含水比が最適含水比となるように適宜投入する水量を調整する。
練り上がったベントナイト混合土は専用の篩い付きホッパーで篩い後、フレコン（1.0m³）へ投入
し坑内へ搬入する。

表 4.4.2-2 1 バッチあたりの配合表（練上がり体積 約 0.5m³）(案)

材料名	仕様	配合量 (kg)	備考
ベントナイト	クニゲル V1	160	
珪砂	3 号	80	
	5 号	80	
水		50.6	

※ 1 日あたり必要な水の量は 3m³ 程度

(5) ベントナイト吹付

ベントナイト吹付けはニードガンで材料を搬送し、伸縮アーム式の吹付け機械で行う。均質な
ベントナイト混合土を吹付けるため、本年度取得した表 4.4.2-3 に示す吹付けパラメータを用いる
予定である。ノズルから吹付面までの距離はノズル近傍に装備した距離計で計測し、吹付面に対
し直角となるようにノズル操作を行う。

表 4.4.2-3 吹付けパラメータ

項目	数値	備考
ノズルから吹付面までの距離	1.0m	
ニードガンの回転数	5rpm	ニードガンで設定
空気圧縮機のエアー量	10~12m ³ /min	デジタルフロースイッチで計測

4.4.3 開放部および狭隘部の境界の充填方法

開放部と狭隘部の境界部の充填方法案について図 4.4.3-1 に示す。狭隘部の充填では上部の抑えによる反力にて所定の乾燥密度を得られることを確認しているため、開放部と狭隘部の境界部に鉄板を設置した状態で充填作業を行う。狭隘部の充填終了後は、鉄板を外し替わりにベントナイトブロックを境界部に設置し直し、開放部の吹付けを行う。

鉄板を残したままでは回収時に鉄板の除去が必要になること、鉄板を外したままで社吹付け時の風圧で狭隘部の充填材が掘り返されてしまうことなどの問題があるため、切削が可能かつ風圧に耐えうる材料としてベントナイトブロックを使用する予定である。

【開放部 (□) と狭隘部 (■) の境界部について】

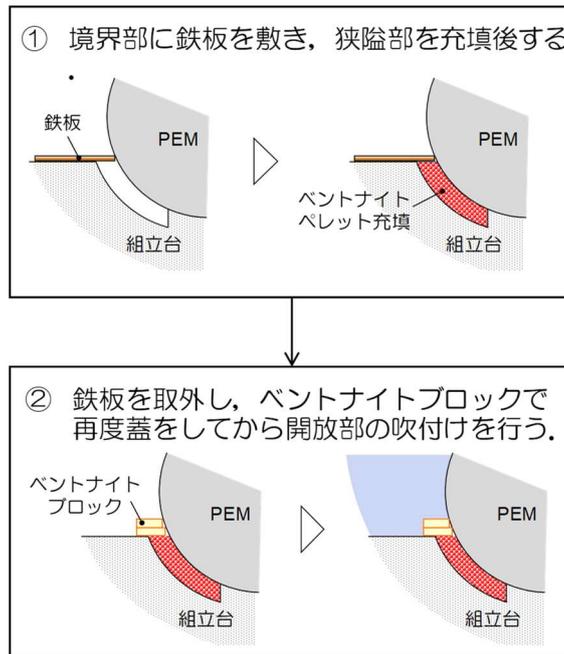


図 4.4.3-1 開放部および狭隘部の境界充填方法

4.6 隙間充填技術の実証的整備 まとめ

4.6.1 充填技術の見直し

隙間充填技術の実証的整備では、適用する施工技術として下部狭隘部はペレット充填方式、上部開放部は吹付け方式とした。上部開放部の充填材料として、ベントナイトに混合する掘削土の代わりに性状が明らかなケイ砂を使用した。

表 4.6.1-1 隙間充填材の仕様

施工部位	施工方法	仕様	備考
上部開放部	吹付け	配合：ベントナイト：掘削土＝50%：50% 乾燥密度：1.6Mg/m ³ 有効粘土密度：1.15Mg/m ³	掘削ズリの代わりにケイ砂を使用
下部狭隘部	ペレット	配合：ベントナイト 100% 乾燥密度：1.6Mg/m ³	

4.6.2 下部狭隘部の隙間充填技術の整備

幌延 URL 試験坑道 2 にて、ペレット充填方式を適用する空間を再現した模擬土槽を使用して、充填材の製造方法の妥当性、移送に採用したスクリーコンベアの配置や運転パラメータを取得した。これらに基づき、下部狭隘部充填装置を製作した。

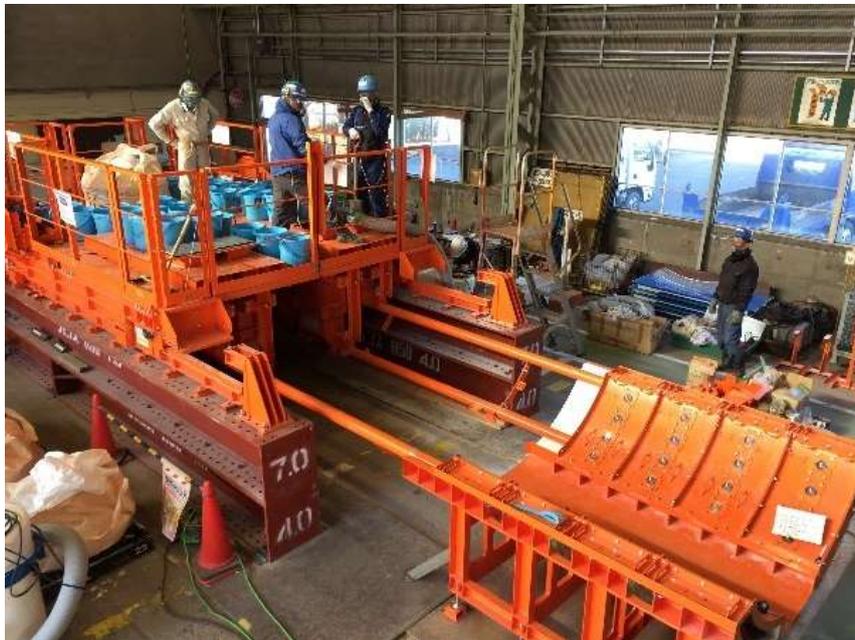


図 4.6.2-1 下部狭隘部用 隙間充填装置

4.6.3 上部開放部の隙間充填技術の整備

上部開放部の充填材料および工法を、ペレット充填方式から吹付け方式に変更となったことを受け、汎用機の使用を前提とした隙間充填。技術の整備を進めた。吹付け材料はベントナイト：混合土＝50%：50%の混合土であるが、配合するケイ砂の粒度、含水比をパラメータとした突き固め試験を実施し、締固め特性が良い3号：5号＝50%：50%の配合を得た。目標とする密度達成のため、吹付け機械の適切な条件を検討したところ、エア流量と吹付き機の回転数を得た。一方流量の増加に伴う吹付け時の反力の増加に対応し、安全に作業を進めることが出来るよう、吹付けノズルは伸縮アームを有する機械で把持する方式とした。



図 4.6.3-1 上部開放部用 吹付けノズルハンドリング装置

4.6.4 幌延 URL での実証試験計画案の検討

平成 30 年度に実施を計画した、地下環境での隙間充填の実証試験に向け、幌延 URL での制約を加味した、装置の配置計画、材料製造計画等を検討した。

第4章 参考文献

- [1] NUMO、NUMO セーフティケースに関する外部専門家ワークショップ、配布資料：(3) 処分場の設計と工学技術、2016年9月23日
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成28年度地層処分調査等事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 報告書（第1分冊）、2017年3月
- [3] SKB, Techniques for freeing deposited canisters, TR-00-15, June, 2000.
- [4] 森拓雄、深谷正明、棚井憲治、土木学会第72回年次学術講演会、VII-035、2017年9月.
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成27年度地層処分調査等事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 報告書（第1分冊）、2016年3月.
- [6] 公益財団法人日本コンクリート工学会、JCI九州支部研究専門部会：乾式吹付け工法における施工性と品質の評価手法研究委員会報告書、2015年10月

第5章 充填材除去技術の実証的整備

5.1 PEMの回収における充填材の除去技術

本節では、平成27年度[1]および平成28年度[2]に実施した調査検討結果を踏まえ、充填材除去技術の実証対象とする隙間充填材の概要および除去の条件を整理するとともに、除去に利用する技術を選定する。

5.1.1 除去対象とする隙間充填材

第4章で検討した隙間充填技術で検討された方法によって構築された隙間充填を除去対象とする。平成30年度に実証予定の幌延URLの試験坑道2における隙間充填材の充填状況を図5.1.1-1に示す。隙間充填材は模擬PEMの上部・側方部と下部で構成され、模擬PEMの上部・側方部は広い空間があることから、上部開放部と呼ばれ、模擬PEMの下は、開放部のないことから下部狭隘部と呼ばれている。図中、上部開放部は吹付け工法によって構築された隙間充填で、クニゲルV1：ケイ砂の配合は乾燥重量比50：50、乾燥密度 1.6Mg/m^3 （有効粘土密度は 1.15Mg/m^3 ）である。一方、模擬PEM下の下部狭隘部は、スクリーコンベアで充填されたベントナイトの加工充填材による隙間充填で、乾燥密度は 1.37Mg/m^3 である。

試験坑道2では底盤コンクリート上の台座に横置き定置方式の模擬PEMが定置されており、坑道の側壁や上方の壁面は鋼製支保工の入った吹付けコンクリート面である。上部開放部は、この吹付けコンクリート面と模擬PEMで囲まれた領域となり、疑似PEM上部では厚さ約1.3m、側部では厚さは約0.7mである。また、下部狭隘部は模擬PEMの下面と底盤コンクリート面に囲まれた厚さ約110mmの円弧状の層になっている。

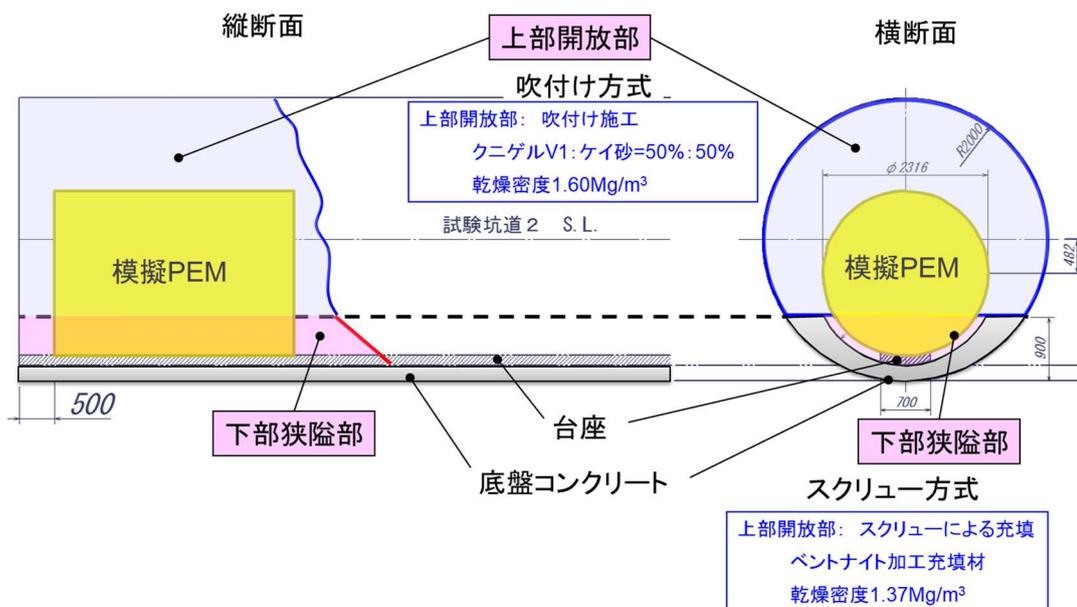


図 5.1.1-1 除去開始時の隙間充填材

5.1.2 除去の条件

横置き PEM 定置方式で処分坑道に定置された PEM 周辺の隙間充填材の除去に求められる条件は、除去時に PEM に影響を与えないこと、除去後に実施する PEM の回収（再把握、搬送）が可能であることが挙げられる。隙間充填材の除去における手順を図 5.1.2-1 に示すが、隙間充填材で埋め戻された PEM を回収するためには、PEM 周辺の隙間充填材をほぐす、そしてほぐしたものを撤去し、坑道外に搬出する作業が必要となる。さらに、多量の隙間充填材を除去していくためには、連続的な除去作業が可能であることも必要となる。

除去技術に考慮すべき条件を以下に示す。

- ・ 定置されている PEM に損傷等の影響を与えないこと
- ・ 隙間充填材の除去後の処分坑道内で、PEM の回収作業ができること
- ・ 連続的に隙間充填材の除去ができること

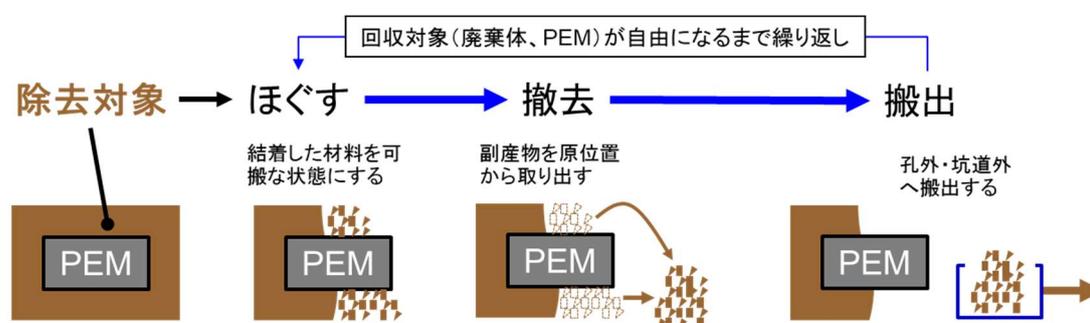


図 5.1.2-1 隙間充填材の除去手順

5.1.3 除去技術

隙間充填材の除去は隙間充填材をほぐすことと、ほぐしたものを撤去することで達成される。廃棄体の周囲に施工された粘土計材料の除去技術として SKB の検討事例があり、機械方式、流体方式、加熱方式等が比較されている[3]。また、隙間充填が実施される上部開放部と下部狭隘部では空間的な条件が大きく異なるため、除去技術はそれぞれにおいて検討する必要がある。

(1) 機械的除去技術

隙間充填材を機械力でほぐす方法として平成 28 年度の検討[2]ではトンネル掘削技術を参考にウォータージェットによる方法、ブレーカによる方法、アースオーガによる方法などについて検討した。本年度は幌延 URL の試験坑道 2 で利用できる施工機械の利用を考えた。施工機械としてはバックホーに取り付けられるバケット、衝撃を与えて破碎するブレーカ、回転するカッターで地盤や岩盤を破碎するロードヘッダ¹、そして地盤等にスクリューで穴を開けるオーガ（アースオー

¹ 回転式のカッターにより切削を行う方法の例
(極東建設(株): <http://www.kyokuto-k.co.jp/attachment.html>)

ガ)²を候補として挙げた。

バケットはバックホーのブームに取り付けられ、土砂等を掬う、移動させる作業によく用いられている。粘性土砂の場合には土砂がバケット内に付着し、効率が低下するとともに、バケットの回転に広い作業範囲が必要となる。また、ブレーカはコンクリートや岩塊等の堅い物体を砕く方法としてよく用いられているが、粘性土砂ではブレーカで衝撃を与えても、対象物が柔らかいため、穴が開くだけでほぐす効果は少ない。ロードヘッダでは対象物が柔らかい場合には、カッターに粘土分が付着して効率が低下する。一方、オーガ（アースオーガ）は、スクリーアの回転により掘り出し（ほぐし）と撤去の効果が期待できる。

評価結果を表 5.1.3-1 に示すが、機械式除去の方法としてオーガによる方法を選定した。

表 5.1.3-1 機械的除去技術の評価

技術名	隙間充填材の除去に対する長所、短所	除去技術としての評価
バケット	バケット内に粘土分が付着し、除去力が低下。大きな作業範囲が必要。	△
ブレーカ	対象が柔らかいため、隙間充填材に穴が開くのみで、ほぐす効果は小さい。	×
シングルヘッダ	ヘッダーに粘土分が付着し、除去力が低下。	△
オーガ	スクリーアの回転による掘り出しと撤去の効果が見込める。	○
備考・上部開放部に吹付け方法で充填された隙間充填材を除去対象として想定 ・幌延 URL の試験坑道 2 程度の作業空間で、バックホーのブーム先端に取り付けて作業を行うことを想定		

(2) 流体的除去技術

建設分野で鋼矢板やH鋼を地盤中に圧入する場合、ウォータージェットを併用して施工するジェット併用圧入工法が用いられることがある。これはウォータージェットの噴流によって地盤をほぐし、鋼矢板やH鋼の打ち込みを容易にするものである。ウォータージェットは、隙間充填材を切削し、水圧 20MPa のジェット噴流（直射ノズル）であれば、鋼製材やコンクリート供試体に傷をつけないことが平成 28 年度の検討[2]で分かっており、PEM の鋼殻に傷つけない隙間充填材の除去技術として利用することができる。また、ウォータージェットは充填材近傍の作業空間が小さくてもジェット噴流は高圧水をジェットノズルから噴射することによって得ることができるため、作業空間が狭くてもほぐし効果を得ることが可能である。直射ノズルによる水圧 20MPa のジェット噴流を図 5.1.3-1 に示す。

² オーガヘッド・スクリーアにより掘削を行う方法の例
(岩盤削孔技術協会：http://rocktech.jp/construction/auger_drill.php)



図 5.1.3-1 ジェット噴流（直射ノズル、水圧 20MPa）

(3) 隙間充填材の撤去技術

ほぐした充填材を撤去する方法としてバックホーのバケットで掻き出し、トラック等に積み込んで搬出する方法がある。この方法ではバックホーがバケットに充填材を掬ったまま旋回する必要があり、坑道のように狭い空間では作業効率が低下する。バケットを旋回しないで積み込んで搬出する方法としては、トンネル施工におけるシャフローダ³の例が挙げられるが、装置が大がかりになる欠点がある。

汚泥の吸引除去などに用いられている吸引は駆動機にてブロワを廻して真空槽を作り、真空の持つ吸引力を利用して空気と一緒に回収物をタンクに吸引回収する方法で、汚泥の吸引や河川の浚渫あるいはダストの吸引などに用いられている（以降、吸引工法と呼ぶ）。平成 28 年度の検討 [2]においても、撤去方法に挙げている。吸引工法の機械⁴には移動式と定置型があり、ホースによる吸引が可能のため小さな空間での撤去作業が可能であり、坑道内で除去技術と平行した作業により隙間充填材を連続的に撤去することが期待できる。

以上のことから、隙間充填材の撤去技術としては吸引工法を選定する。

(4) 下部狭隘部の隙間充填材除去

下部狭隘部は図 5.1.3-2 に示すように、模擬 PEM 下方の幅 110mm 程度の円弧状の狭い空間である。その下部狭隘部に充填された隙間充填材の除去技術として、機械式除去方法では作業中の除去装置が PEM 鋼殻に接触し、損傷を与える可能性がある。一方、ウォータージェット方式は PEM 鋼殻に損傷を与えることなく、狭い空間でも作業が可能ことから、下部狭隘部の除去技術としてはウォータージェット方式を採用する。また、ほぐした隙間充填材を撤去する技術には、狭い空間でも作業が可能な吸引工法を利用する。

(5) 上部開放部の隙間充填材除去

³ トンネル工事におけるズリ積機の例

(コトブキ技研工業 (株) : <http://www.kemco.co.jp/kenki/slindex.htm>)

⁴ 強力な空気の流れと真空力で吸引、運搬する機械の例

(兼松エンジニアリング (株) : <http://www.kanematsu-eng.jp/index.html>)

上部開放部は断面積が広く除去量も多量となるため、機械式除去のように効率的な除去が必要である。一方、PEM 近傍での隙間充填材の除去では、ウォータージェット方式のような PEM に損傷を与えない除去が必要になるため、PEM から離れた部分では効率的に充填材を除去できる機械式除去とし、PEM 近傍では PEM に優しく除去するウォータージェット式を用いることとした。機械式とウォータージェット式の境目は、PEM から 300mm の距離を設定し、以降の概念検討を実施した。また、ほぐした隙間充填材の撤去方法としては、下部狭隘部と同様に吸引工法を利用することとした。

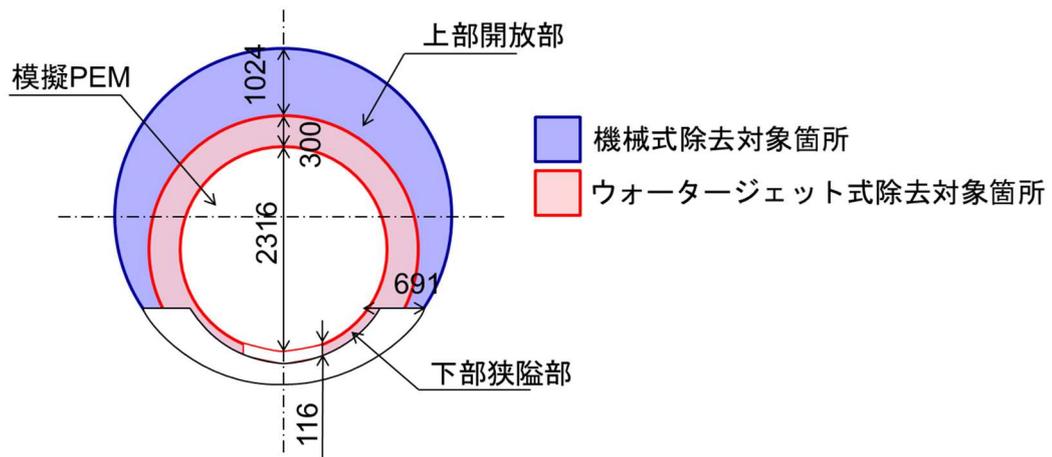


図 5.1.3-2 試験坑道における除去技術の利用

5.2 機械的除去技術の検討

本節では、地層処分場における機械的な方法による除去技術の技術概念（隙間充填除去設備）を示し、仕様やハンドリングフローを検討して課題点を整理した。そして、技術概念で備えられる装置のうち、技術的信頼性を実証する必要があると考えられる装置を抜き出し、この装置構成を基に、幌延 URL を考慮した条件下での除去試験に用いる装置の概念設計（原位置実証装置）を行った。

5.2.1 技術概念

隙間充填材除去設備の概念の検討に際し、除去対象とする充填材は PEM 鋼殻から 300mm 以上離れた箇所の充填材、用いる技術はオーガと吸引とし、除去と撤去・回収を同時に行う設定とした。

設備は除去・撤去装置、回収・処理装置、回収物収納装置および駆動装置などから構成され、除去・撤去装置では隙間充填材をオーガによってほぐし、吸引によって撤去する。撤去した充填材は回収・処理装置で固体・気体分離機にかけた後、回収物収納装置の廃棄用フレコンバックに収納する。また設備の動力は電力とし、走行機能としてはエアパレットによる走行を設定しているため、最後尾にはエアコンプレッサを搭載した駆動装置を配置している。また、前方の視認のための ITV カメラ・照明設備および距離測距器等により遠隔操作等を行うとする。

機械的な方法による隙間充填材除去設備の技術概念例を図 5.2.1-1 に、設備先頭の除去・撤去装置の技術概念を図 5.2.1-2 に示す。なお、幌延 URL の試験坑道 2 における充填材除去の試験は、この除去・撤去装置の機能について実証を行うものである。

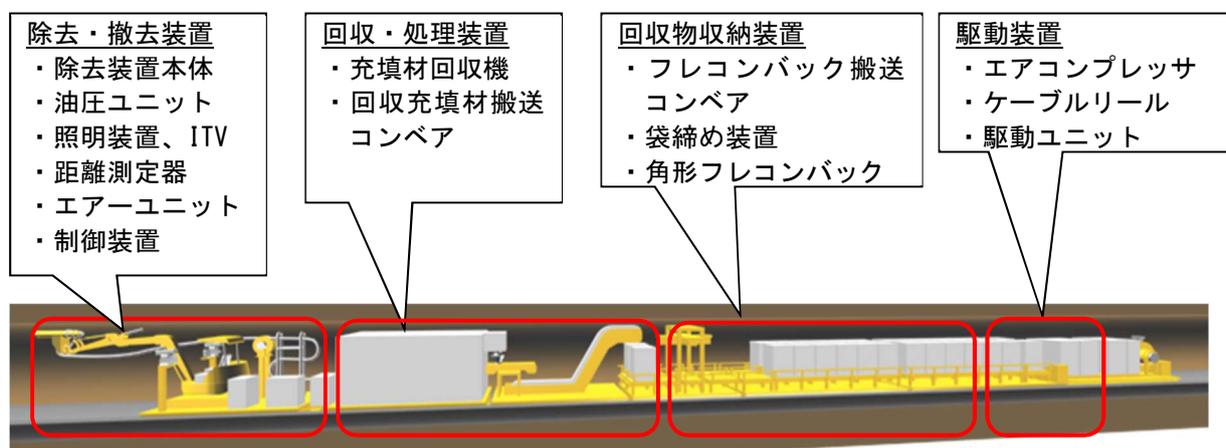


図 5.2.1-1 機械的な方法による隙間充填材除去設備の技術概念例

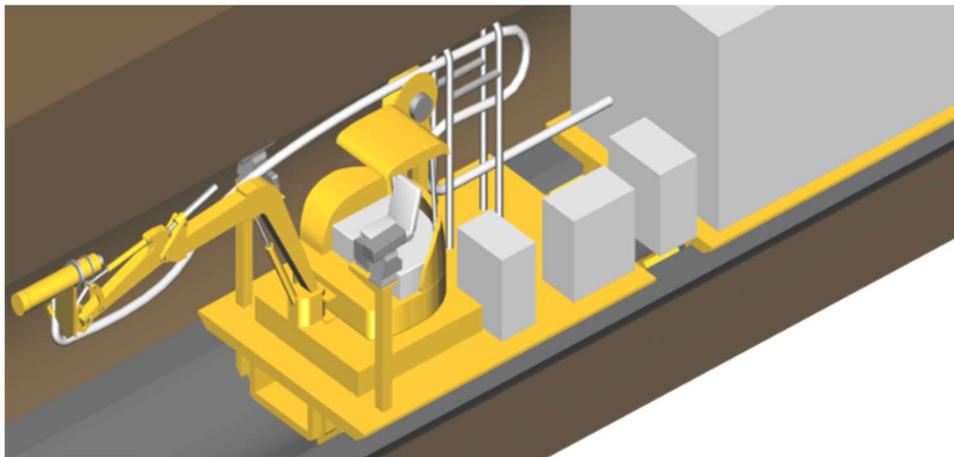


図 5.2.1-2 除去・撤去装置の技術概念例

5.2.2 設備の仕様およびハンドリングフロー

(1) 仕様

PEM から 300mm 以上の離れた位置の充填材を、機械的な方法により除去する。機械的な方法としては、アースオーガと吸引（バキューム）を 1 台のバックホーのアームに搭載し、除去と撤去・回収が同時に行える機構とする。また PEM 側部の除去に際し、バックホーは除去・撤去装置に固定されていることから、アーム自体に水平方向 45° の可動機構を持たせることとした。

除去した充填材の吸引後、充填材は充填材回収機内の固体・気体分離機にかけられる。固体・気体分離機により、気体は HEPA フィルター・バキューム用ポンプにて吸引され、固体（充填材）は回収材充填コンベアに排出され、フレコンバックに詰め込まれる。フレコンバックに充填材を詰め込んだ後、コンテナ袋締め装置により密閉をし、コンベアにより装置後方の回収充填材貯留車両に搬送してゆく。

また、遠隔操作による除去作業を見込み、アームの後方に ITV（監視カメラ）および照明を設置し、遠隔操作作業者は除去状況をモニタリングが出来る仕様としている。本設備の動力は電力とし、エアパレットによる走行を設定しているため、最後尾にはエアコンプレッサを設置した。なお、隙間充填除去設備の主要坑道での走行は、設備を搭載した親子台車による移動としている。

機械的な方法による隙間充填材除去設備の仕様例を図 5.2.2-1 および図 5.2.2-2 に示す。

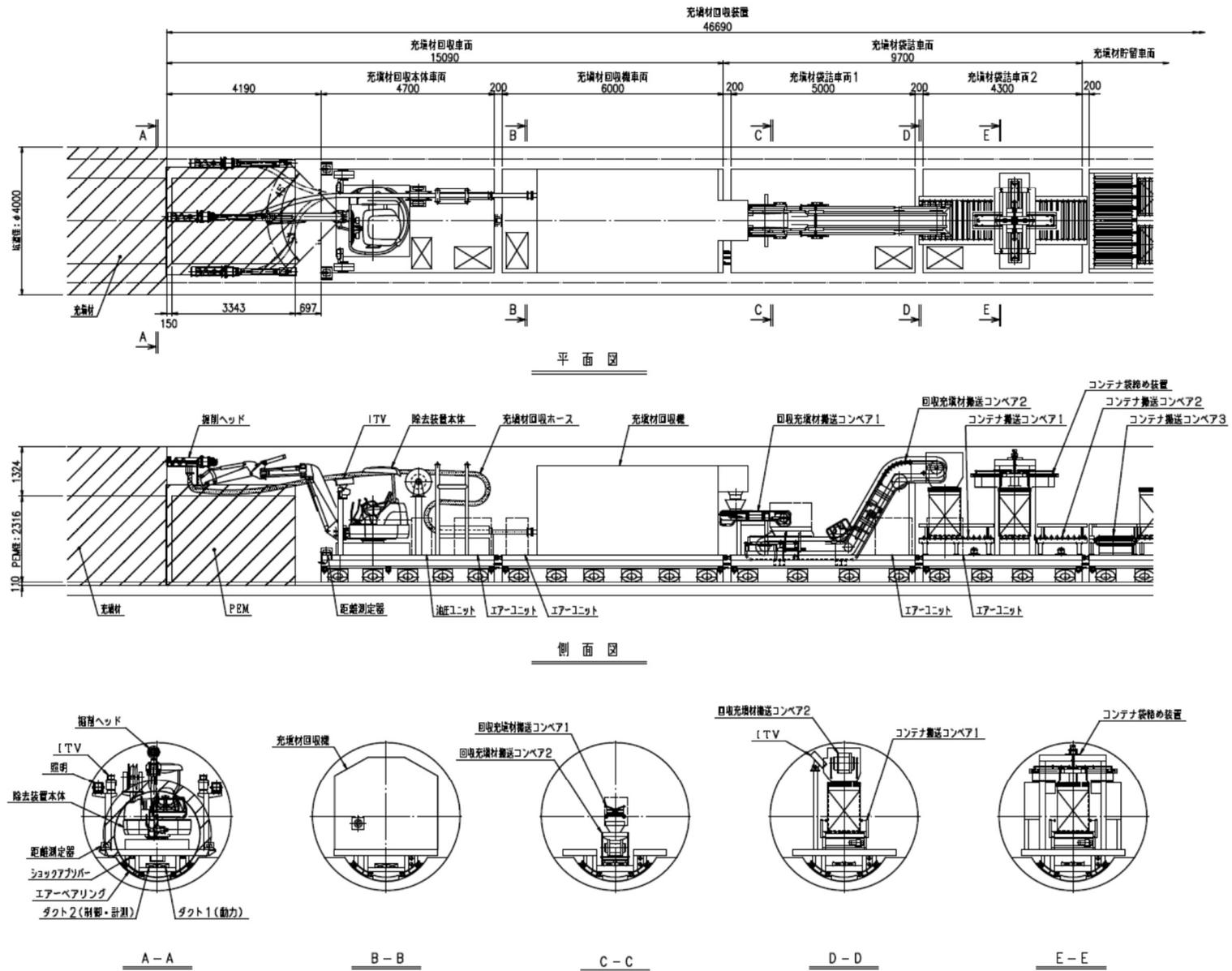


図 5.2.2-1 機械式除去設備の仕様 (除去・撤去装置、回収・処理装置)

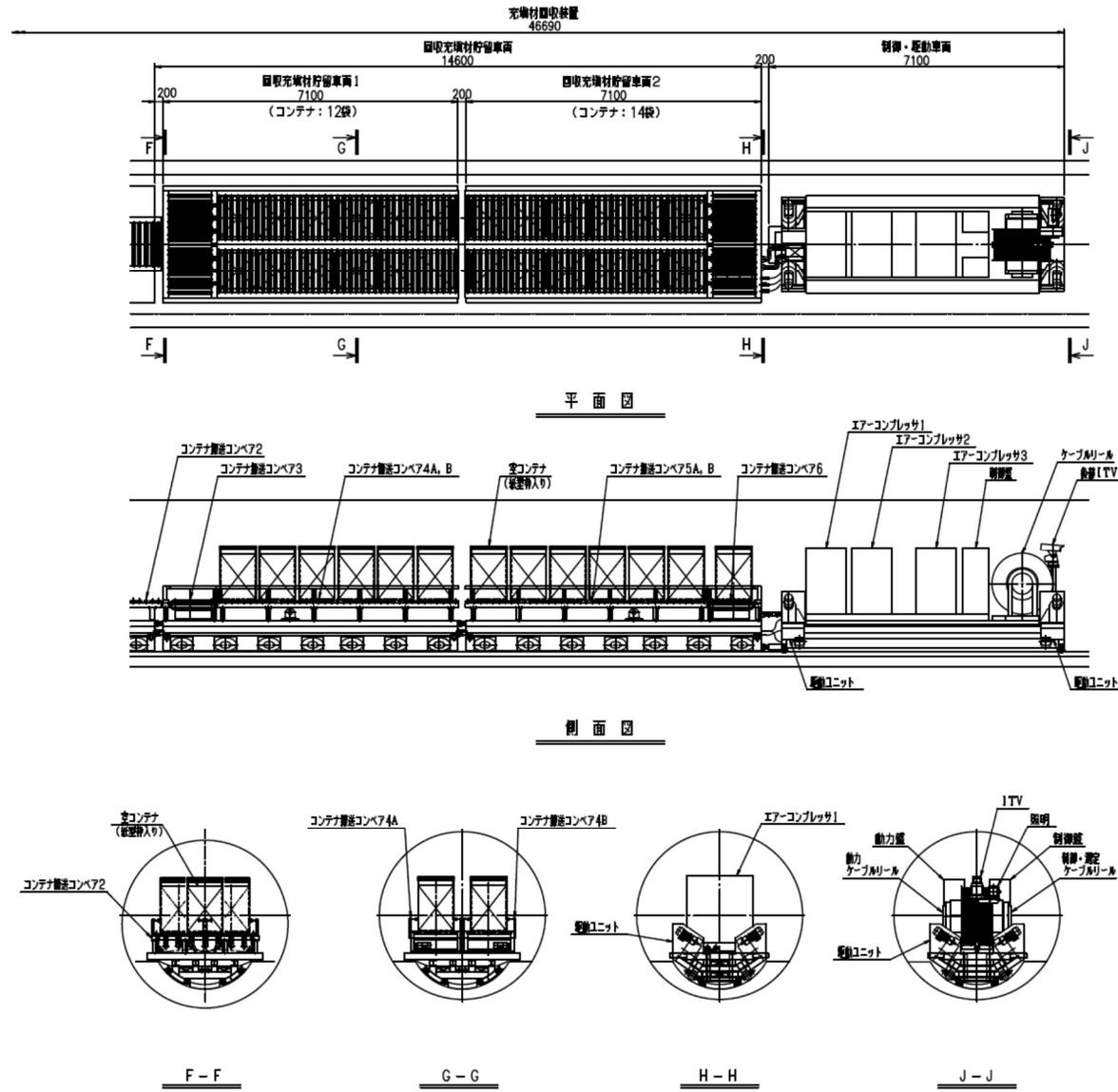


図 5.2.2-2 機械式除去設備の仕様例 (回収物収納装置、駆動装置)

(2) ハンドリングフロー

機械式除去における「除去装置の坑道内の搬送→充填材の除去」に至るまでのハンドリングフローを図 5.2.2-3 に、そのうち PEM 近傍の除去作業工程を表 5.2.2-1 にまとめた。

ハンドリングフローは、機械式除去による充填材助教設備の主要坑道搬送、処分坑道進入を経て、充填材の除去を実施する手順としている。機械式除去は前述のように、1 台のバックホーのアームにアースオーガと吸引の両機能を搭載しているため、ハンドリングフローにおいても除去/回収の工程を同時に実施する。

また、機械式除去による除去作業工程は、表中の①が除去前の状態であり、PEM から 300mm 以上離れた箇所の充填材を、バックホーのアームを可動させることにより除去する設定としている。②は除去完了後を示しており、PEM の周囲 300mm までの充填材を残して除去した状態である。

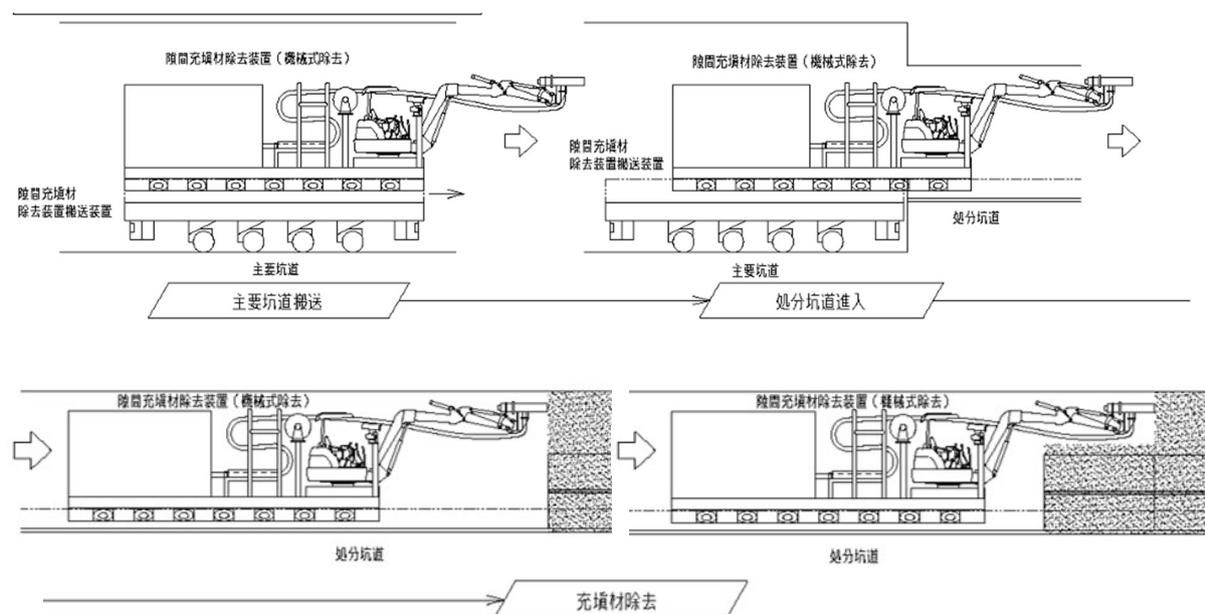


図 5.2.2-3 機械式除去のハンドリングフロー

表 5.2.2-1 機械式除去による除去作業工程

除去作業工程	備考
<p>① 模擬PEM開放部隙間充填材除去作業（機械式除去）</p>	<p>充填材除去のため、除去装置を処分坑道への移動。</p>
<p>② 模擬PEM開放部隙間充填材除去作業（機械式除去）</p>	<p>アースオーガによる上部開放部の隙間充填材の除去しつつ、吸引で回収。 （PEM 周囲から300mm 以上離れた充填材） 副産物はフレコンバックへ封入し移送する。</p>

(3) 課題

機械式除去装置を運用した場合の、想定される課題と対策案を以下の表 5.2.2-2、表 5.2.2-3 にまとめる。想定される項目として、除去中の掘削ヘッド内の充填材閉塞、掘削ヘッドの挿入スペースの確保、スクリーにより削剥した充填材のバキュームによる回収性能の確認、充填材回収時におけるフレコンバックの開放・密閉機構検討等の課題と対策案について検討した。

「原位置実証装置」では課題のうち、除去中の掘削ヘッド内の充填材閉塞や、掘削ヘッドの挿入スペースの確保、スクリーにより削剥した充填材の、バキュームによる回収性能の確認等が対応するものとした。具体的には、スクリーの閉塞対策としてはエア어의吹付を実施、掘削ヘッドの挿入スペースの確保には正確な掘削ヘッドの寸法設定や旋回機能の付加、掘削ヘッドに附属しているバキューム性能の確認等の検討が必要になる。

表 5.2.2-2 機械式除去の具体化にあたっての課題と対応策 (1/2)

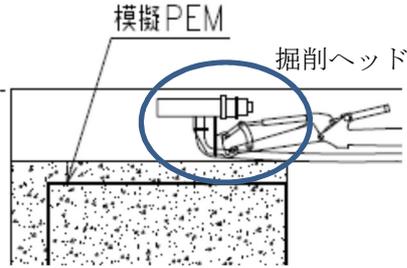
課題	課題の対策案
<p>①除去中の掘削ヘッド内の充填材閉塞</p> <p>スクリーによる除去は、充填材が掘削ヘッド内で閉塞する可能性がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 掘削時にほぐした充填材の塊の大きさ制御する等の、詰まり対策を講じる。スクリー閉塞対策として、スクリー羽根へ小径孔の穿設、エア어의吹付等を講じている例もある。 <p>【原位置実証装置での対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> 機械式除去機構検討時に、アースオーガ内の閉塞について検討を実施。
<p>②掘削ヘッドの挿入スペースの確保</p> <p>機械式除去は、PEM の周囲 300mm より外側の充填材を除去する設定としているが、300mm 以上を残す設定にしていると、掘削ヘッドが入り込む隙間が確保できない可能性がある。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 限られたスペースにて掘削をするには、ヘッドは旋回機能を持たせる等の対策が必要と考える。 <p>【原位置実証装置での対策】</p> <p>PEM 上部と坑道天井の隙間寸法は 1,324mm に対し、掘削ヘッドの縦寸法は約 770mm に設定しているため、掘削ヘッドが稼働できるスペースが確保出来ない可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> 機械式除去機構検討時に、掘削に必要なとなるスペースの確認を実施。

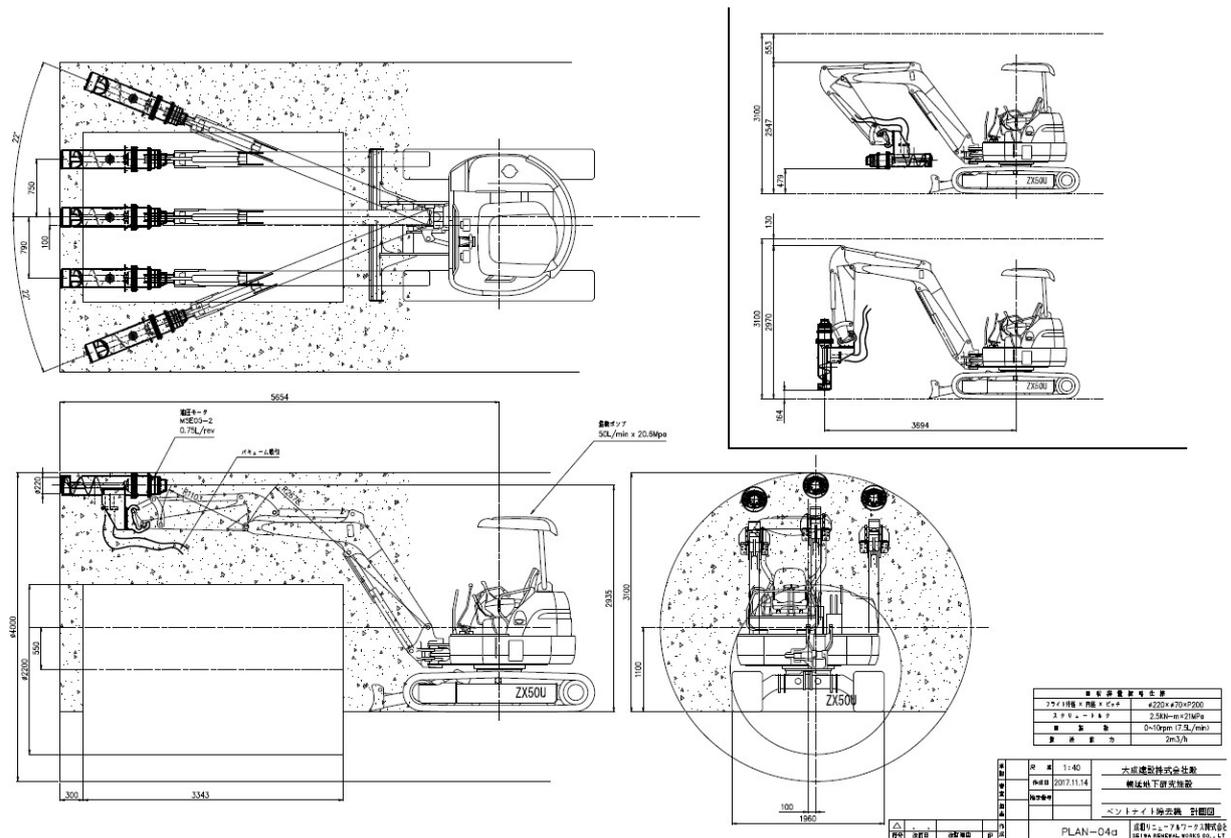
表 5.2.2-3 機械式除去の具体化にあたっての課題と対応策 (2/2)

課題	課題の対策案
<p><u>③スクリーにより削剥した充填材の吸引による回収性能</u></p> <p>吸引による回収が不十分である場合に、除去した充填材が床面に散乱する可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・吸引による除去は装置内で詰まりの原因になることが考えられ、ある程度の大きさの塊を吸引できる設計が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・装置内のつまりは軽減させる場合には、自由断面掘削機⁵に見られるようなチリ取り機構を用いることが有効であると考えられるが、坑道の床面は円弧状になっており、形状にあった回収機構が必要になる。 <p>【原位置実証装置での対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・副産物回収機構検討時に、既存のバキューム機構で十分に回収可能か確認を実施し、バキュームでは不十分な場合には副産物の量や状態を考慮し、新たに回収方法の検討を実施する。
<p><u>④充填材回収時におけるフレコンバックの開放・密閉機構検討</u></p> <p>充填材回収に伴い、以下 2 種類のフレコンバックの開閉に関する装置が必要になる可能性がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・充填材の回収前 →フレコンバック開放装置 ・充填材の回収後 →フレコンバック密閉装置 <p>上記の装置は、現状の既製品には無い可能性がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・充填前のフレコンバックに紙型枠を搭載し、常に開放状態にすることにより、開放装置の省略を試みている。また、密閉装置に関しては袋締め装置として記載をしているが、前記機能を有する装置を開発しなければならない可能性がある。 ・回収副産物処理装置の検討の際に、充填材回収後のフレコンバックの密閉方法の検討を実施。

⁵ 回転式のヘッドにより掘削を行うトンネル掘削機の例
(三井三池製作所：<http://www.mitsumiike.co.jp/product/excavator/th/index.html>)

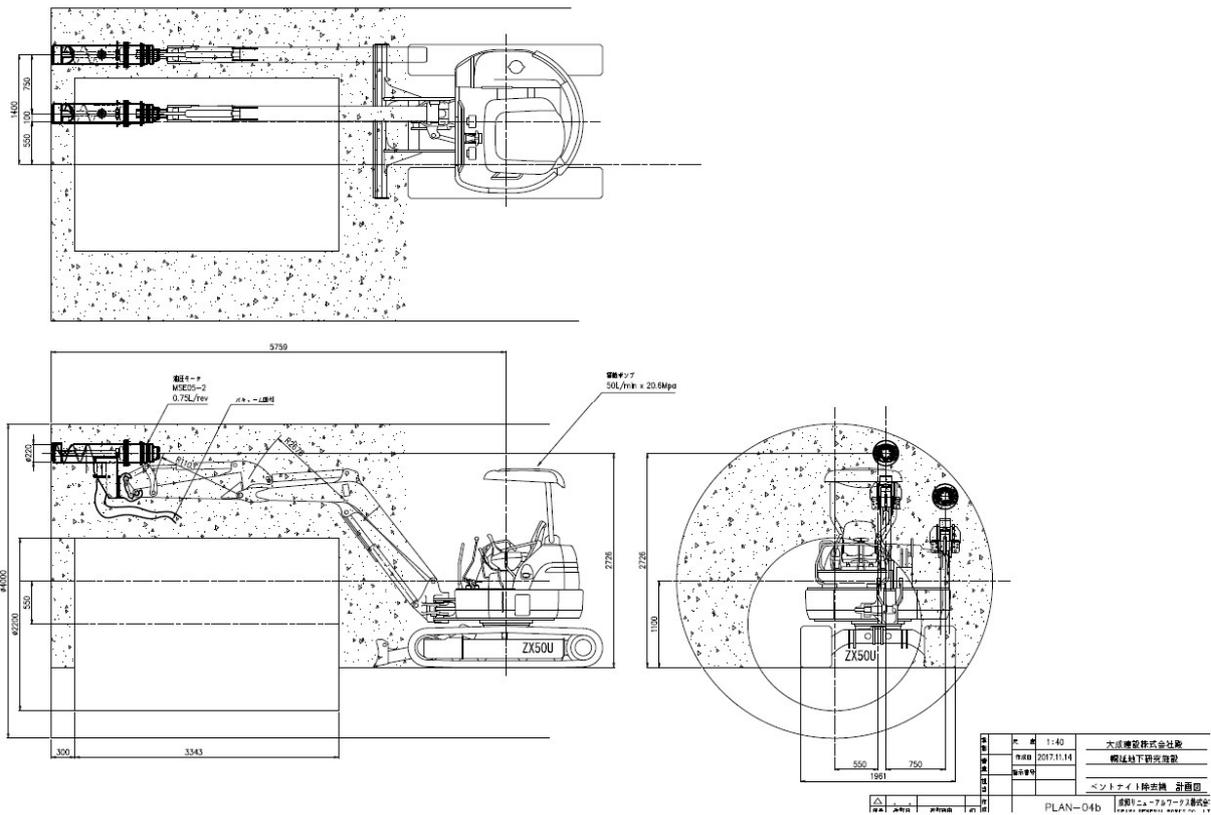
5.2.3 原位置実証装置の概念設計

上部開放部の隙間充填材除去で用いる原位置実証装置の概念設計を図 5.2.3-1 および図 5.2.3-2 に示す。オーガ（アースオーガ）と吸引（バキューム）機構部分に着目して原位置実証試験を行うこととし、その他の機構については既存機械を活用して概念設計を行った。オーガはベースマシンとするバックホーのアームに取り付けられるアタッチメント方式で設計し、吸引機構も同じくアームに接続できるように設計検討を行った。また、切削対象箇所は模擬 PEM 周囲の円弧状領域であるため、通常のバックホーに搭載されたアームの稼働域では側部の切削が困難と想定された。そのため、図 6.3.3-1 および図 6.3.3-2 に示すように、アーム稼働域を拡張し、アームが模擬 PEM に対して水平のまま上下左右に稼働する機構を想定して設計した。さらに、上部開放部トンネル奥側の上部が最も切削しにくい場所であるため、アームがトンネル曲面に沿って稼働できる機構とする。この動きにより、模擬 PEM を傷つけずに上部開放部充填材の切削除去を行う。



アームの稼働範囲（水平方向）

図 5.2.3-1 機械式除去装置案の設計（1/2）



アームの稼働範囲（鉛直方向）

図 5.2.3-2 機械式除去装置案の設計（2/2）

充填材の撤去・回収時の機械配置は図 5.2.3-3 をイメージしており、除去物はアタッチメントからバキュームへと回収され、排出タンクに一定量溜めたのちにフレコンへと封入し、除去回収物として地上へ搬出する予定である。アタッチメントには吸引装置を取付け、切削しながら除去物を吸引回収する。また、吸引したベントナイト除去物は排出タンクに溜めて、適宜フレコンへの排出を行う。

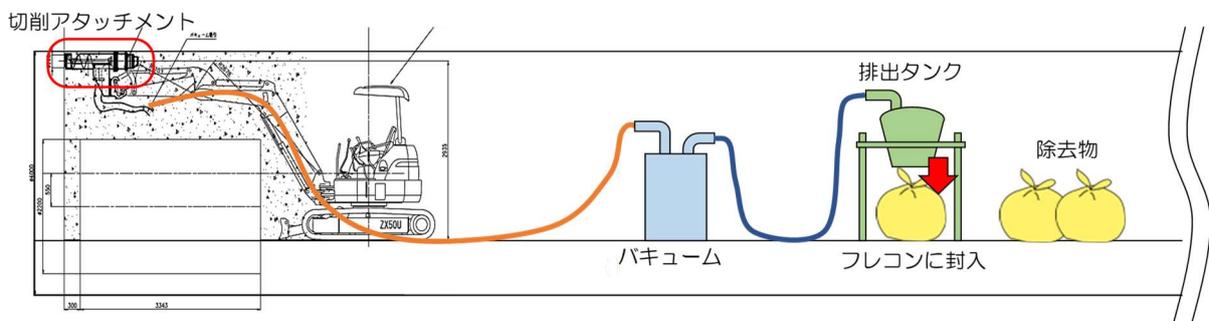


図 5.2.3-3 充填材の撤去・回収時の機械配置および使用イメージ

5.3 流体的除去技術（ウォータージェット方式）の検討

5.3.1 技術概念

ウォータージェット方式による除去は、PEM から 300mm 以内の充填材除去に用いられ、高圧水流の噴射と吸引工法による回収により除去を実施する。ウォータージェット方式による隙間充填材除去設備の技術概念例を図 5.3.1-1 に示す。

設備は除去・撤去装置、水処理装置、回収物収納装置および駆動装置などから構成されている。設備先頭の除去・撤去装置の技術概念を図 5.3.1-2 に示すが、除去・撤去装置では 2 本のアームの先にノズルが取り付けられており、高圧の水噴射により充填材を除去してゆく。またウォータージェットアームの下方には、バキュームアームを設置し、除去した充填材や水を回収し、後方の水処理装置へ送る。除去した充填材は回収物収納装置で廃棄用ドラム缶まで搬送される。設備の動力は、機械的な方法による充填材除去設備と同様に電力とし、走行機能としてはエアパレットによる走行を設定しているため、最後尾にはエアコンプレッサを搭載した駆動装置を配置している。前方の視認のための ITV カメラ・照明設備および距離測距器等により遠隔操作等を行うとする。

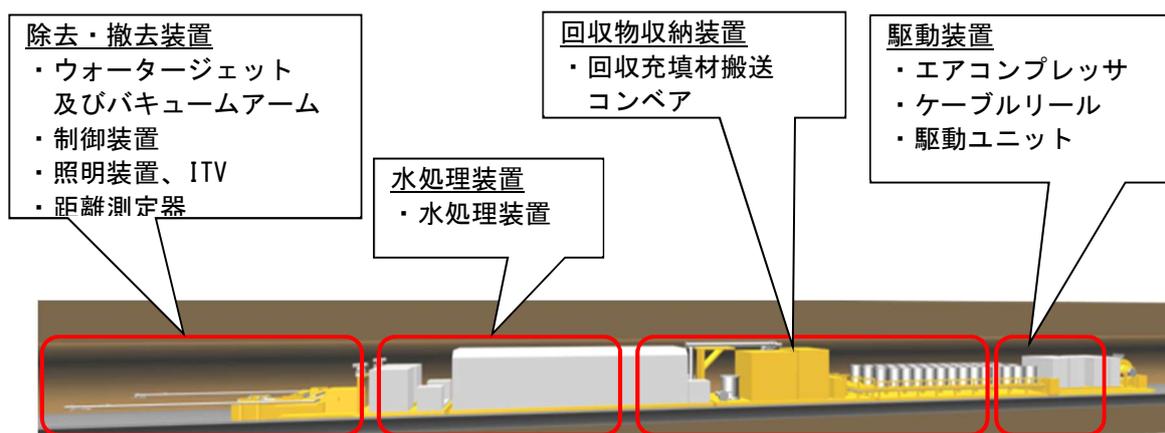


図 5.3.1-1 ウォータージェット方式を用いた隙間充填材除去設備の概念例

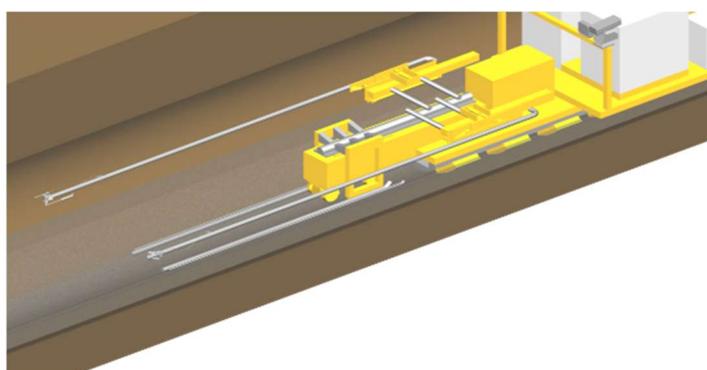


図 5.3.1-2 ウォータージェット方式による除去・撤去装置の技術概念

5.3.2 設備の仕様およびハンドリングフロー

(1) 仕様

PEM の周囲 300mm の充填材を除去する為の、ウォータージェット方式による充填材除去設備の仕様を図 5.3.2-1 および図 5.3.2-2 に示す。ウォータージェットのアームは、旋回角度 90°、外側旋回角度 6° 駆動し、PEM の周囲および狭隘部の除去が出来る設定とした。

ウォータージェット式除去を実施した際には、使用した水と、副産物の回収が必要となる。この為、除去装置には吸引機構も設定した。吸引機構により回収した水および副産物は、後方の水処理設備に搬送される。水処理設備により水と副産物を分離し、水は充填材除去に再利用し、副産物は後方の廃棄用ドラム缶に充填する仕様とした。

また、遠隔操作による除去作業を見込み、アームの後方に ITV（監視カメラ）および照明を設置し、遠隔操作作業者は除去状況をモニタリングが出来る仕様としている。本設備の動力は電力とし、エアパレットによる走行を設定しているため、最後尾にはエアコンプレッサを設置した。なお、隙間充填除去設備の主要坑道での走行は、設備を搭載した親子台車による移動としている。

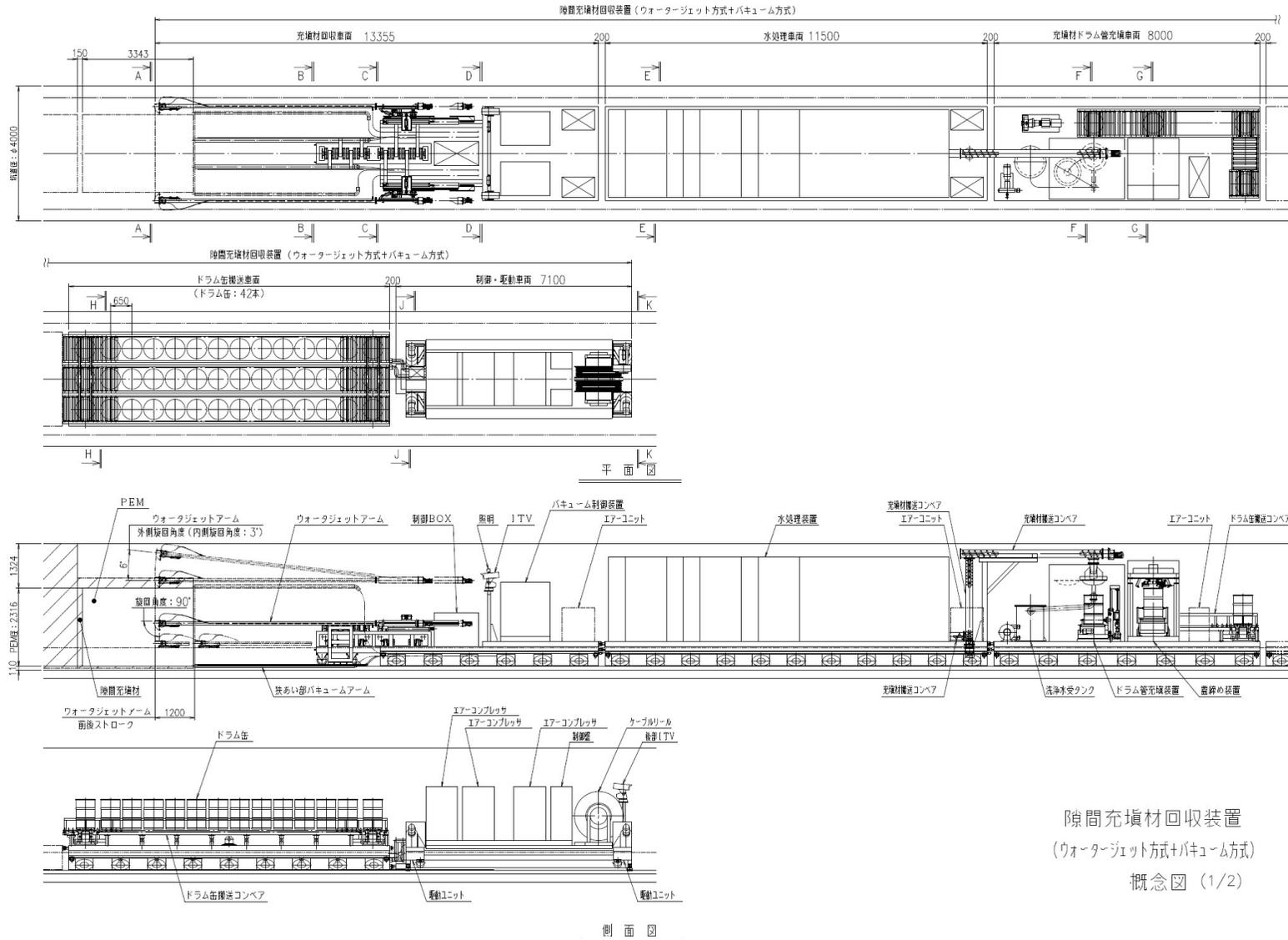
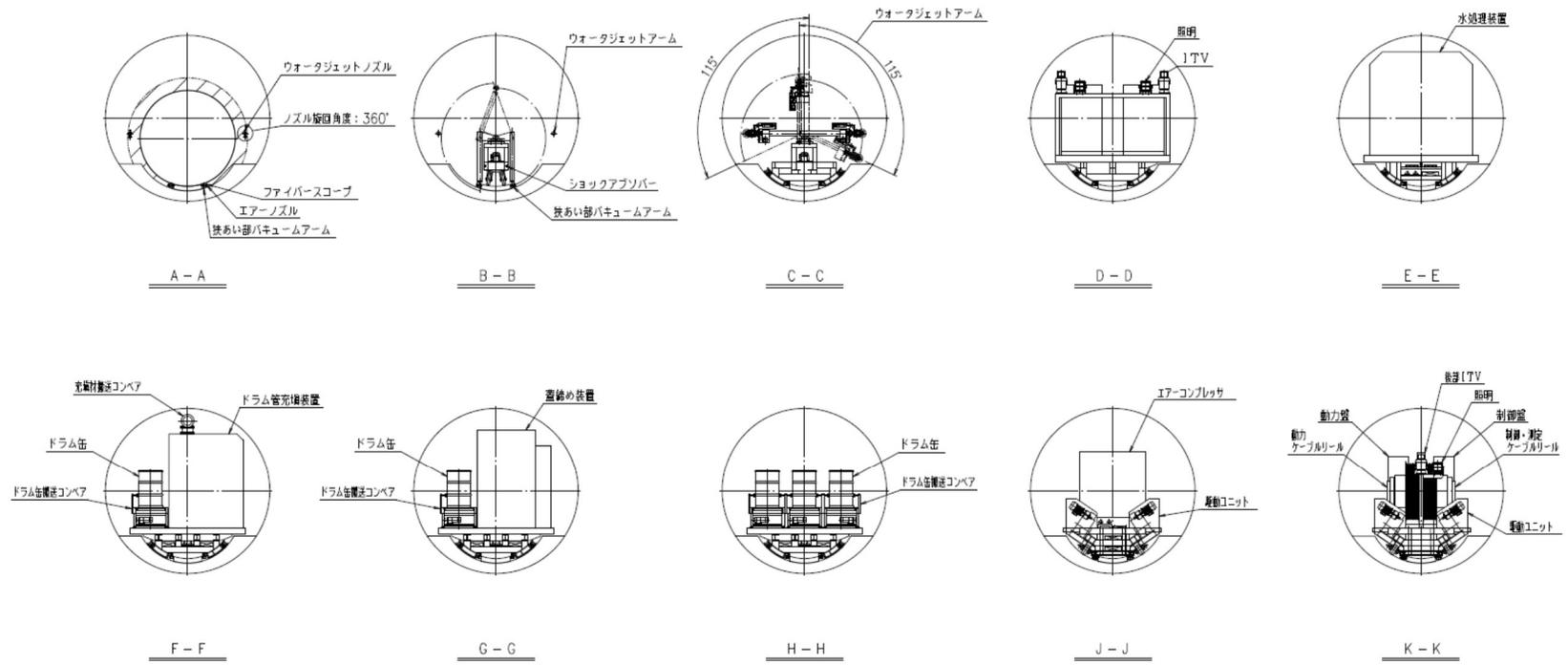


図 5.3.2-1 ウォータージェット方式による除去設備の仕様 (平面、側面)



隙間充填材回収装置
(ウォータージェット方式+バキューム方式)
概念図 (2/2)

図 5.3.2-2 ウォータージェット方式による除去設備の仕様 (断面)

(2) ハンドリングフロー

ウォータージェット方式による除去の「除去装置の坑道内の搬送→充填材の除去」に至るまでのハンドリングフローを図 5.3.2-3 に、PEM 近傍の除去作業工程を表 5.3.2-1 にまとめた。

ハンドリングフローは、ウォータージェット式除去装置の主要坑道搬送・処分坑道進入を経て、充填材の除去を実施する手順としている。ウォータージェット式除去は前述のようにウォータージェットアームと吸引アームの両機能を搭載し、除去と回収を同時に実施する仕様としている。このためハンドリングフローにおいても除去/回収が一つの工程内で行われている。

また、除去作業工程は、ウォータージェット式除去における詳細な除去の経過を示した。①はウォータージェット式除去の開始時の状態であり、PEM の周囲 300mm に残された充填材を除去する。この場合、流体による除去となるため、除去中の充填材は安息角を形成すると考えられる。②は上部開放部の除去が終了し、狭隘部充填材の除去を開始した状態である。またウォータージェット式除去時においては、後方の PEM との間の充填材も除去をする設定としている。

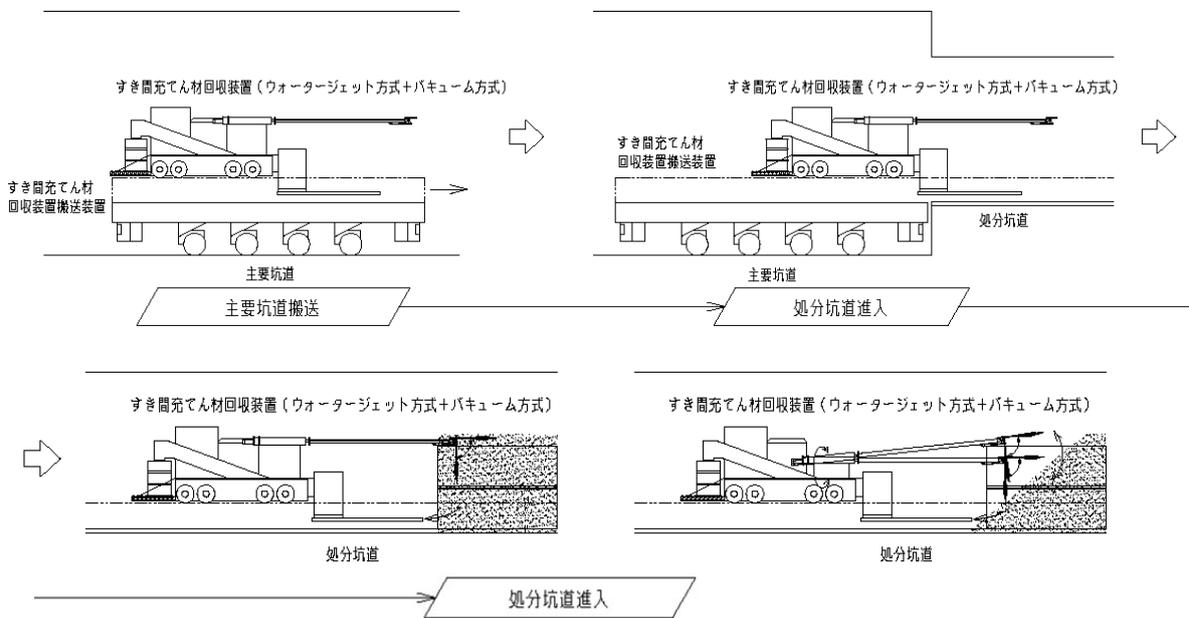
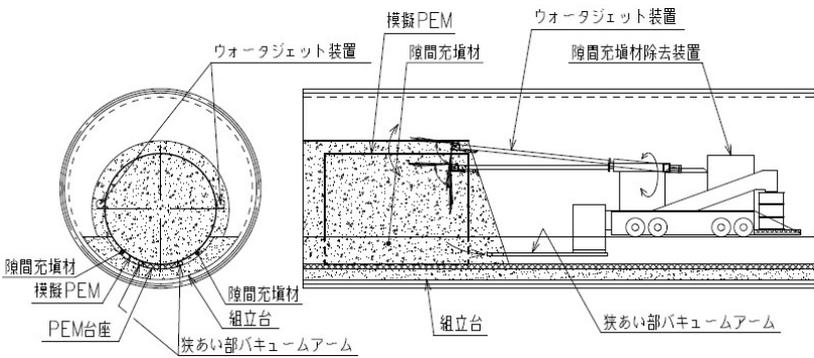
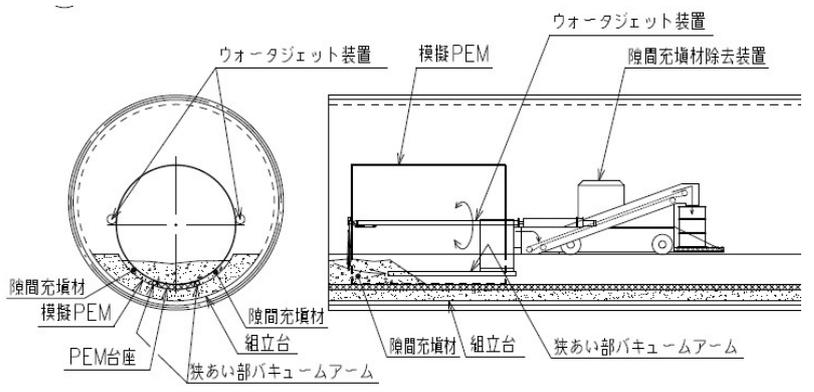


図 5.3.2-3 ウォータージェット方式による除去のハンドリングフロー

表 5.3.2-1 ウォータージェット方式による PEM 近傍の除去工程

除去作業工程	備考
<p>①模擬 PEM 周囲 300mm と狭隘部充填材除去作業</p> 	<p>ウォータージェットによる PEM の周囲のうち開放部の隙間充填材の除去</p>
<p>②模擬 PEM 周囲 300mm と狭隘部充填材除去作業</p> 	<p>ウォータージェットによるインポート狭隘部に堆積した副産物の吸引除去</p>

(3) 課題

ウォータージェット式充填装置を運用した場合の、想定される課題と対策案を以下の表 5.3.2-2 にまとめた。想定される項目として、一連の回収作業に伴う各装置（機械式除去装置、ウォータージェット式除去装置、PEM 回収装置）の退避場所や、現 PEM と後方の PEM の間の充填材の除去に関する課題と対策案について検討した。

「原位置実証装置」では課題のうち、現 PEM と後方の PEM の間の充填材除去に対応するものとした。具体的には、現 PEM と後方の PEM の間の寸法は狭いため、ウォータージェットアームのノズルに回転機構を設ける等の検討が必要になる。

表 5.3.2-2 ウォータージェット方式による除去設備の課題

課題	課題の対策案
<p><u>①一連の回収作業に伴う各装置（機械式除去装置、ウォータージェット式除去装置、PEM 回収装置）の退避場所</u></p> <p>PEM 回収に関しては、PEM 遠方での機械式除去→PEM 近傍でのウォータージェット方式による除去→PEM 回収の作業手順に従い、各装置の入れ替え作業が必要になると考えられる。</p> <p>※本課題は、機械式除去装置も含めた課題となるが、ウォータージェット式除去にて代表させた。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・機械式除去～ウォータージェット式除去までのハンドリングフローの検討。 ・走行機構の確認時に、退避スペースの必要寸法や、ルート設定等の検討を実施。 <p>左記手順においては、計 3 体の装置（機械式除去装置、ウォータージェット式除去装置、PEM 回収装置）が必要となり、1 体の作業中には、残りの 2 体が退避するスペースを坑道内に設けなければならない。特に本検討の機械式除装置の寸法は数 10m に設定しているため、退避専用の坑道が必要になる可能性がある。</p>
<p><u>②現 PEM と後方の PEM の間の充填材の除去</u></p> <p>現 PEM と後ろの PEM の間の充填材もウォータージェットにて除去する場合、ウォータージェットのヘッドの回転、アームが固定状態でも広範囲の除去が可能である機構が必要。</p>	<p>【原位置実証装置での対策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・充填材除去機構の確認時に、現 PEM と後ろの PEM の間の除去が可能であるかの検討を実施。

5.3.3 ウォータージェット方式充填材除去の要素試験

(1) 試験目的

平成 28 年度の予備試験[2]より、ウォータージェットによるベントナイトの切削が可能であることが確認できた。平成 29 年度は上部開放部と下部狭隘部に充填されている隙間充填材を対象として切削および切削後の除去物の回収方法について検討し、その結果に基づき平成 31 年度に地下研究施設で実施する隙間充填材除去の実証試験に向けて、試験装置を検討するための参考とする。上部開放部と下部狭隘部に充填される隙間充填材の仕様を表 5.3.3-1 に示す。

表 5.3.3-1 上部開放部と下部開放部の隙間充填材

対象	材料	仕様
上部開放部	ベントナイト：珪砂=50：50	乾燥密度 1.60Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.15Mg/m ³)
下部狭隘部	破砕ベントナイトペレット	乾燥密度 1.37Mg/m ³ 以上

(2) 要素試験の実施フロー

要素試験は図 5.3.3-1 に示すように、試験準備の後に、切削距離確認試験、切削試験の順序で実施する。切削距離確認試験と切削試験は、下部狭隘部を想定した供試体を用いて、ウォータージェットによる奥行方向の切削距離および切削状況を確認する。また、それぞれの試験を利用し、ほぐした充填材の撤去状況を確認するために、強力吸引車、ダイアフラムポンプによる吸引を除去物回収確認試験として行った。前出の隙間充填材の撤去技術の検討では、強力吸引車等の吸引工法を選定されているが、幌延 URL の試験坑道 2 は坑道内が狭いため、コンパクトなダイアフラムポンプで充填材の回収ができれば、坑道での取り回しがしやすくなる、搬入が簡便などのメリットが考えられたため、除去物回収確認試験における回収方法の 1 つとして確認を行うものである。

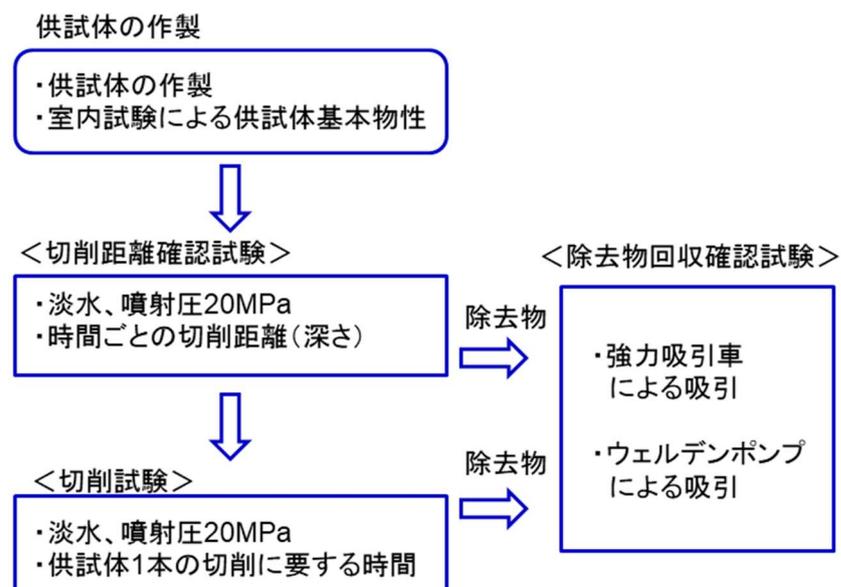


図 5.3.3-1 要素試験の実施フロー

(3) 使用材料

使用する材料は表 5.3.3-2 に示すベントナイト、珪砂および切削水を使用する。

表 5.3.3-2 使用材料

粉体ベントナイト	Na型ベントナイト（クニゲルV1）：クニミネ工業製
加工充填材	上記ベントナイトを用いて 2.0Mg/m ³ 以上にロールプレス後破碎し、細粒分を混ぜて粒度調整（第4章参照）
珪砂	3号，5号珪砂
切削水	淡水（水道水）

(4) 供試体の条件

試験に用いる供試体は、上部開放部に充填するベントナイト混合土（粉体ベントナイト：珪砂=50：50）、下部狭隘部に充填する破碎ペレットおよび粉体ベントナイトを用いてそれぞれ所定の乾燥密度となるように作製する。供試体の大きさは直径 150mm×長さ 1000mm でモールドはアクリル製（肉厚 10mm 以上）のモールドとした。これは下部狭隘部の空間（幅 110mm 程度の層状）におけるジェット噴流の切削状況がある程度再現できるものとして、直径 150mm の供試体を採用したものである（図 5.3.3-2 参照）。

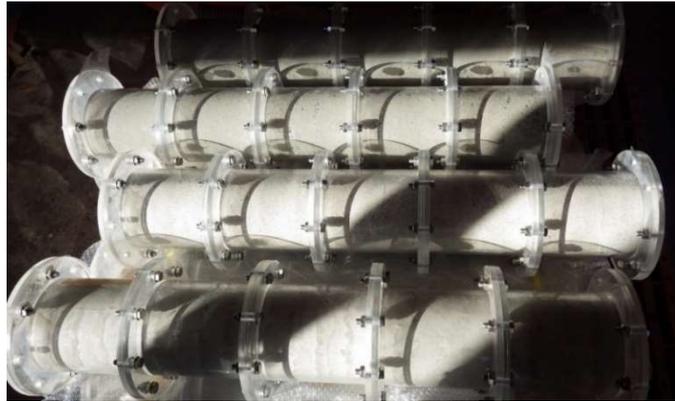
供試体の作製条件を表 5.3.3-4 に示す。ベントナイト混合土および粉体ベントナイトは飽和度を 2 種類（初期含水比で調整）と突固めにより作製し、加工充填材は自由落下により所定の密度に充填した。飽和度の異なる 2 種類の供試体を用意したのは、隙間充填材の充填後の時間の経過による状態変化を模擬したものである。

表 5.3.3-3 容器の仕様

	直径	長さ*
サイズ	150mm	1000mm

表 5.3.3-4 供試体の作製条件

材料	作製方法	目標乾燥密度	初期含水比	飽和度
ベントナイト混合土	動的締固め	1.60Mg/m ³	16%程度	60～70%
			25%程度	95%程度
粉体ベントナイト	動的締固め	1.37Mg/m ³	15%程度	45%程度
			35%程度	95%程度
加工充填材	自由落下	1.37Mg/m ³	自然含水比 (7～9%)	30%程度



(a) 供試体の外観



(b) 供試体の寸法

図 5.3.3-2 作製した供試体

(5) 使用機械

切削距離確認試験および切削試験の使用機械一覧を表 5.3.3-5 に、除去物回収確認試験の使用機械一覧を表 5.3.3-6 に示す。また、それらの外観を図 5.3.3-3 および図 5.3.3-4 に示す。

表 5.3.3-5 切削距離確認試験および切削試験の使用機械一覧

	項目	用途・仕様
1	高圧水発生装置	最大噴射圧：90MPa エンジン駆動（軽油）
		最大水量：120L/min 程度
2	固定式ハンドランスガン	噴射流量：54L/min 程度
	ハンドガン式直射ノズル	
3	高圧ホース	耐圧/性能：70MPa
		ホース径（内径）φ13mm：20m×2本 40m 程度

表 5.3.3-6 除去物回収確認試験の使用機械一覧

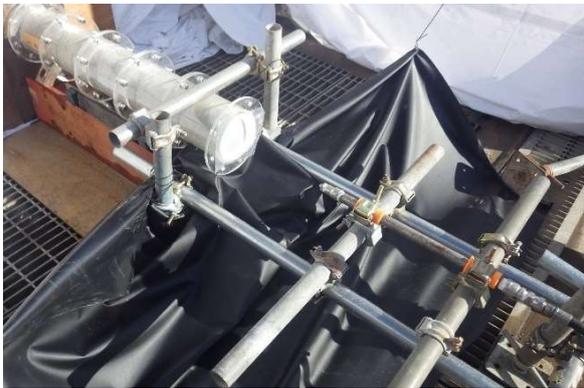
	項目	備考
1	強力吸引車	
2	ダイヤフラムポンプ	エア一式、ウェルデン社製



(a) ウォータージェットの高圧発生装置



(b) ハンドガン式直射ノズル
および高圧ホース



(c) 固定式ハンドガンノズル



(d) ノズルの噴射孔

図 5.3.3-3 使用機械（ウォータージェット関係）



(a) ダイヤフラムポンプ 1



(b) ダイヤフラムポンプ 2



(c) 強力吸引車



(d) 吸引装置のメータ



(e) 強力吸引車の吸引ホース



(f) ダイヤフラムポンプの吸引ホース

図 5.3.3-4 使用機械 (吸引関係)

(6) 切削距離確認試験

1) 実施内容

切削距離確認試験は、供試体条件毎の長手方向の切削距離と切削時間との関係を取得することを目的とする。実施にあたっては、ウォータージェットのノズルを供試体表面から一定距離で固定し、ジェット噴射で単位時間あたりに切削した深さを測定して切削距離を確認する。使用する溶液は淡水（水道水）とし、ジェット噴流の水圧 20MPa、流量は 54L/min 程度とした。切削距離確認試験の概要を図 5.3.3-5 に示す。なお、試験では架台上に供試体を設置しノズルを固定した状態で切削を行った。図 5.3.3-6 に試験イメージを示す。

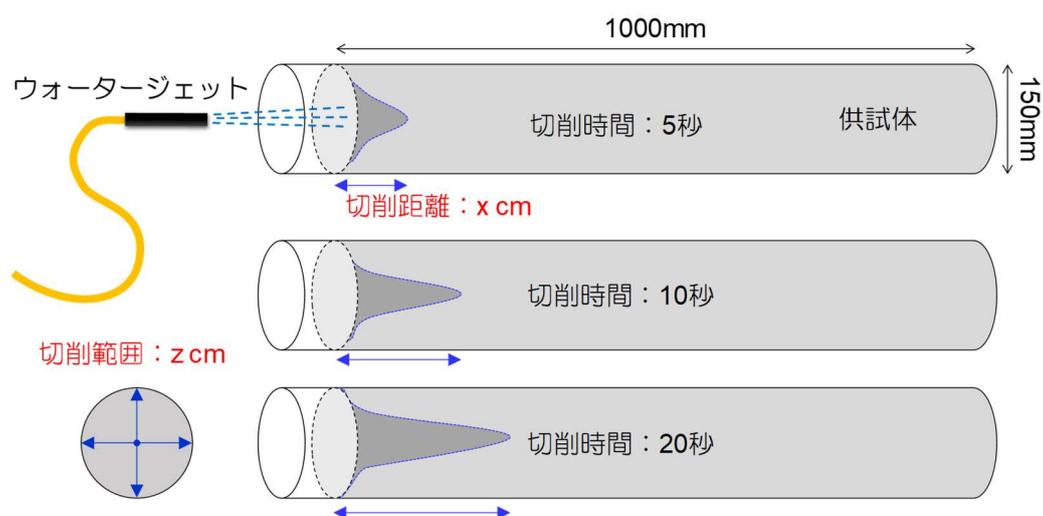


図 5.3.3-5 切削距離確認試験の概要

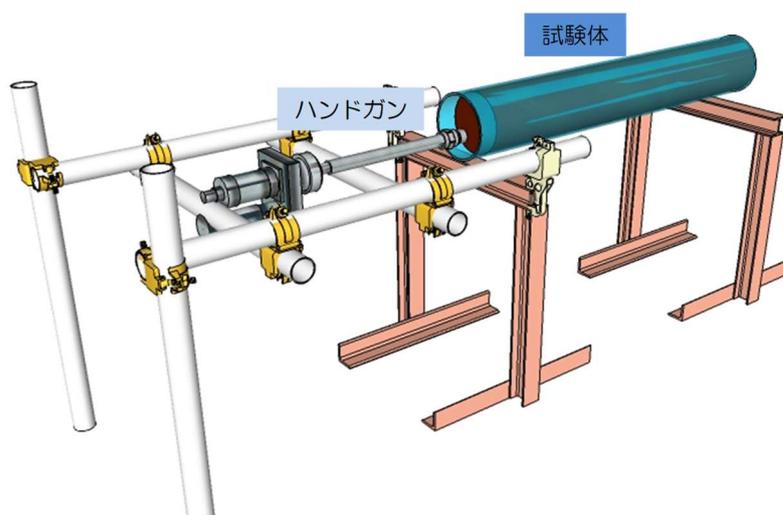


図 5.3.3-6 切削距離確認試験の試験イメージ

2) 試験ケースおよび試験手順

試験ケースを表 5.3.3-7 に示す。ベントナイト混合土と単体で飽和度の異なる供試体を使用する。また、切削距離確認試験の手順については表 5.3.3-8 に、フローを図 5.3.3-7 に示す。

表 5.3.3-7 切削距離確認試験ケース

材料	乾燥密度(Mg/m ³)	飽和度(%)	使用溶液
ベントナイト混合土	1.60	60~70%	淡水
		95%程度	淡水
粉体ベントナイト	1.37	45%程度	淡水
		95%程度	淡水
加工充填材	1.37	30%程度	淡水

表 5.3.3-8 切削距離確認試験の手順

試験手順	試験のポイント	注意・確認事項
① 供試体を架台に設置	<ul style="list-style-type: none"> 供試体が動かないように設置 ハンドガンの位置を固定する 	ビデオの設置
② 所定の噴射圧で供試体を切削	<ul style="list-style-type: none"> ウォータージェットの噴射圧は 20MPa (平成 28 年度試験結果【2】参考) 切削時間は 5 秒 (状況による) 	切削箇所は中央部 単位時間当たりの切削量を確認
③ 切削状態の確認	<ul style="list-style-type: none"> 写真による記録、切削距離と切削範囲、時間を記録する。 	切削物の状態、アクリル容器への影響確認
④ 供試体端部に到達するまで、①~③を繰り返す		

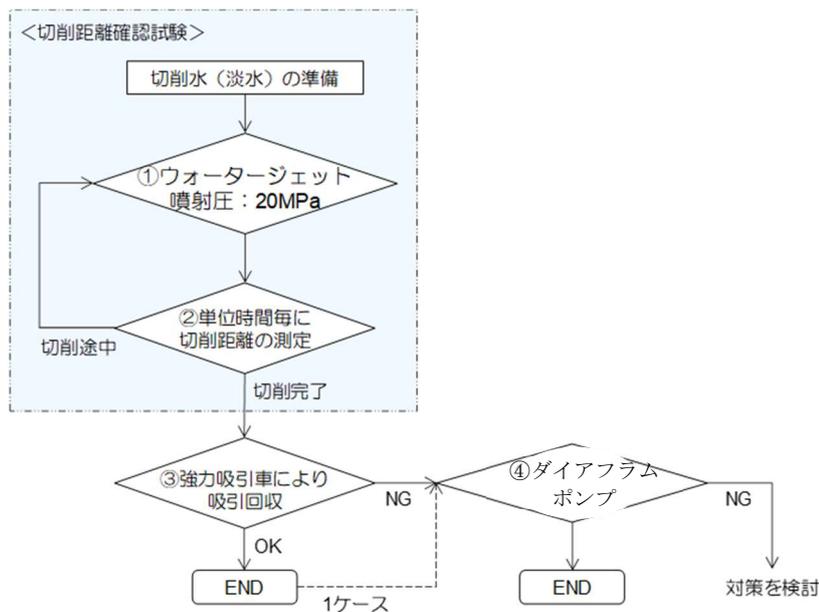


図 5.3.3-7 切削距離確認試験のフロー

(7) 切削試験

1) 実施内容

切削距離確認試験で得られたデータを基に、長さ 1000mm の供試体の切削を行い、供試体全体の切削時間（供試体中の充填物を外に出す時間）の確認を目的とする。実施にあたってはノズルを人力で保持し、途中で除去物の撤去を行いながら切削試験を実施する。切削距離確認試験と同様に、使用する溶液は淡水（水道水）とし、ジェット噴流の水圧 20MPa、流量は 54L/min 程度とした。確認事項は切削時間、切削時の除去物の排出状況、使用水量などである。切削試験の概要を図 5.3.3-8 に、試験イメージを図 5.3.3-9 に示す。

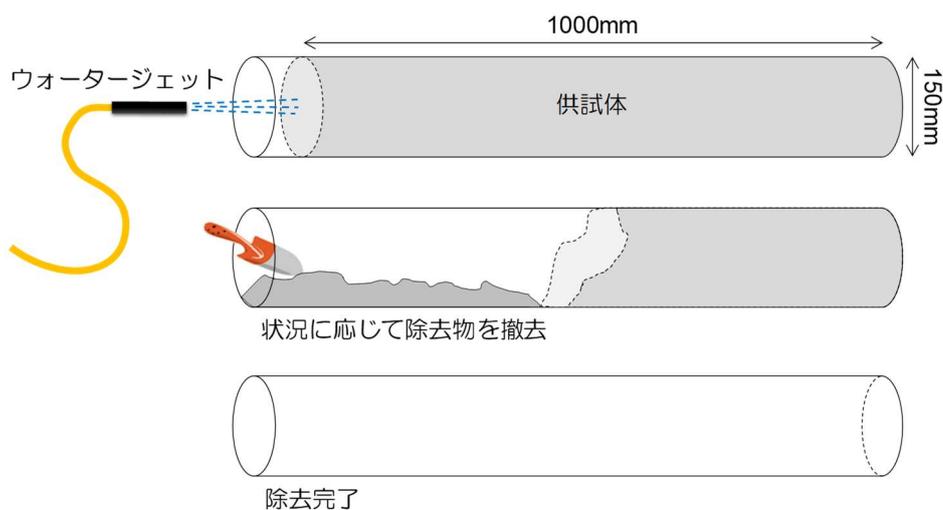


図 5.3.3-8 切削試験の概要

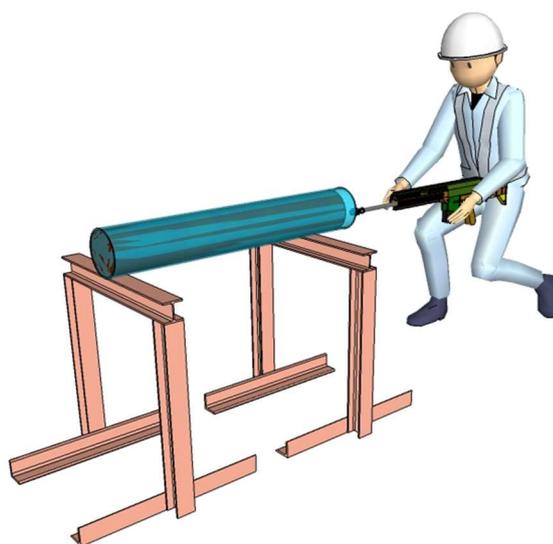


図 5.3.3-9 切削試験の試験イメージ

2) 試験ケースおよび試験手順

切削試験の試験ケースを表 5.3.3-9 に、手順を表 5.3.3-10 に示す。供試体条件は切削距離確認試験と同様である。

表 5.3.3-9 切削試験ケース

材料	乾燥密度 (Mg/m ³)	飽和度 (%)	使用溶液
ベントナイト混合土	1.60	60～70%	淡水
		95%程度	淡水
粉体ベントナイト	1.37	45%程度	淡水
		95%程度	淡水
加工充填材	1.37	30%程度	淡水

表 5.3.3-10 切削試験の手順

試験手順	試験のポイント	注意・確認事項
① 供試体を架台に設置	・ 供試体が動かないように設置	ビデオの設置
② 所定の噴射圧で供試体を切削	・ ウォータージェットの高圧は 20MPa (平成 28 年度試験結果【2】参考)	切削物の排出状況
③ 切削状態の確認	・ 写真による記録，切削距離と切削範囲，時間を記録する。	切削物の状態，アクリル容器への影響確認
④ 供試体条件を変更し， ①～③を繰り返す		

(8) 除去物回収確認試験

1) 実施内容

切削試験で発生した除去物を用いて除去物の吸引を行い、塊状の除去物が吸引ホースにて回収できるか確認する。使用する機械は、強力吸引車およびダイアフラムポンプである。

① 切削試験後の除去物を，強力吸引車から直接延ばした吸引ホースにて回収できるか確認する。
(図 5.3.3-10 参照)

② ダイアフラムポンプでの回収が可能なことを確認するため、切削除去物近くにホースを置き、タンク等に直接送ることができるか確認する (図 5.3.3-11 参照)。

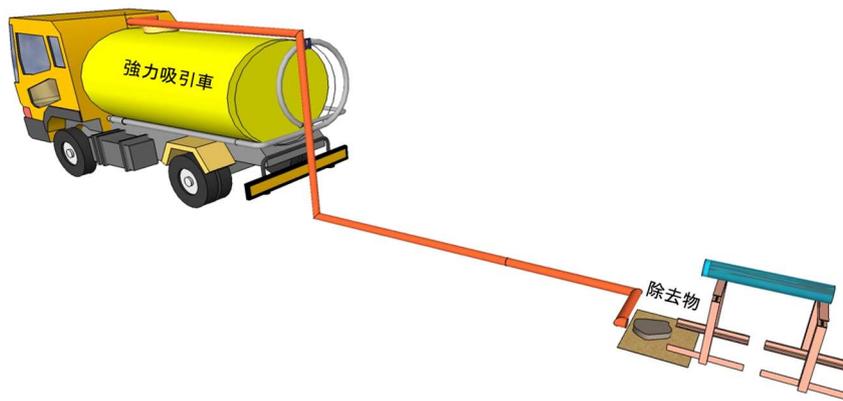


図 5.3.3-10 強力吸引車での除去物回収確認試験

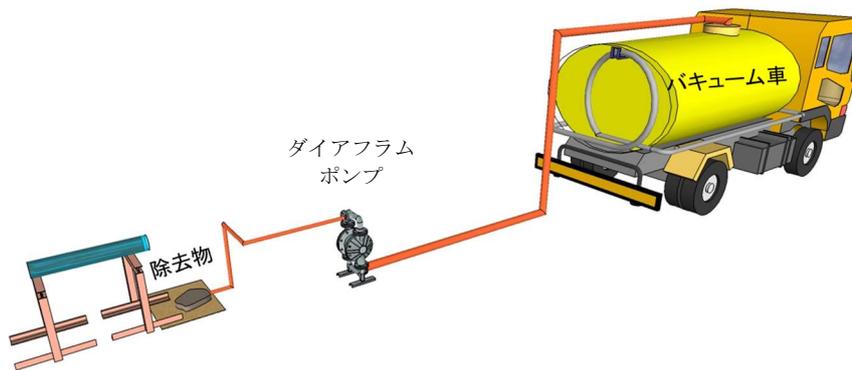


図 5.3.3-11 ダイアフラムポンプでの除去物回収確認試験

2) 試験ケース

試験に用いる供試体は表 5.3.3-11 に示すように、切削距離確認試験、切削試験でほぐして除去された用いた材料を使用する。

表 5.3.3-11 除去物回収試験用の試料

試験	使用ポンプ	材料	乾燥密度(Mg/m ³)	飽和度(%)
切削距離 確認試験	強力吸引車 (うち1ケースは ダイアフラムポンプ)	ベントナイト混合土	1.60	60~70%
				95%程度
		粉体ベントナイト	1.37	45%程度
		加工充填材	1.37	95%程度
				30%程度
切削試験	強力吸引車 (うち1ケースは ダイアフラムポンプ)	ベントナイト混合土	1.60	60~70%
				95%程度
		粉体ベントナイト	1.37	45%程度
		加工充填材	1.37	95%程度
				30%程度

(9) 試験結果

1) 切削距離確認試験結果

切削用のベントナイト供試体とノズルをそれぞれの架台に固定して、一定時間ごとの切削距離を計測した。試験の様子を図 5.3.3-12 に示す。なお、切削距離とは供試体に水が浸透した（亀裂が入った）距離を目視で確認したものとする。



図 5.3.3-12 供試体の設置状況

H28 年度の試験では、ベントナイトブロックの切削可否を確認することと人力での切削を行うことを確認するために、切削対象物とノズル距離を 30cm としていた。平成 31 年度の幌延地下実証試験では、機械による切削を想定していることから、機械式とした場合に対象物とノズル距離が近い方が切削能力の向上が見込めるため、ノズル距離を近づけて切削することを想定している。そのため最も切削しにくい条件である、粉体ベントナイトのみ（V1）飽和度 95%を用いて、H28 年度に実施したノズル距離 30cm での切削状態を確認し、その後でノズル距離 1cm と近づけた条件で切削を行い切削状況の確認をした（図 5.3.3-13 参照）。

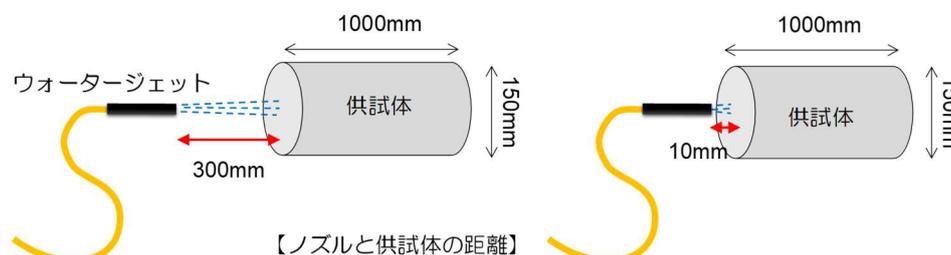


図 5.3.3-13 ノズルの距離

切削距離確認試験の結果を表 5.3.3-12 および図 5.3.3-14～図 5.3.3-17 に示す。なお、切削距離とは供試体に水が浸透した（亀裂が入った）距離を目視で確認したものとする。

粉体ベントナイトのみの切削距離確認試験の結果（図 5.3.3-15 参照）では、飽和度が 95%の条

件にてノズル距離による影響を確認し、最初の 5 秒の切削ではノズル距離 30cm および 1cm とともに、切削距離が 10cm 程度であり、噴射時間を 10 秒、20 秒と当て続けるとノズル距離の近い方が、総切削距離 5cm 程度長くなる結果が本試験では得られた。一方で、飽和度が 45% と低い場合には、ウォータージェットを当てると水が奥まで走るため、最初の 5 秒で一気に奥行き 50cm まで切削された（亀裂が入った）。

次に、ベントナイト混合土の切削距離確認試験の結果（図 5.3.3-16 参照）では、ベントナイト混合土の場合にも、粉体ベントナイトのみ程ではないが、飽和度が低い方の切削距離が長いことが確認できた。

一方、加工充填材の切削距離確認試験結果（図 5.3.3-17 参照）を示す。飽和度および乾燥密度が低い（間隙比が大きい）ことから、ウォータージェットの水が一気に供試体の奥まで走り、亀裂が入った。20 秒経過時には供試体奥がジェットの水で洗い出されるような状態となった。

これらの結果は、昨年の切削試験において確認された、切削に要する時間と同様な結果が得られている。

コンクリートを対象としたウォータージェットによる切削は、対象物に衝突したときに作用する衝突圧力によるマクロな力学的破壊と、材料中の空隙あるいはクラックに衝突力が浸透して生じるミクロな力学的破壊（水くさび作用）の主に 2 つの力によって破壊されていると考えられている[4]。そのため、対象物の圧縮強度および引張強度と関係しているとされる。ベントナイト単体を初期含水比 15% で作製した供試体の一軸圧縮強度は約 0.5MPa、初期含水比 25% で一軸圧縮強度は約 0.35MPa であり[5]、本試験の条件に当てはめると初期含水比が低い場合の一軸圧縮強度は大きいウォータージェットによる切削時間は早かった。一方で破壊ひずみは初期含水比 15% では 1.7%、初期含水比 25% では 3.4% とほぼ倍であり、初期含水比の高い方が粘り強いこと、また空隙水を多く有しているためマクロな力学的破壊生じにくく、水くさび作用に対する抵抗が大きくなったと考えられる。そのため、初期乾燥密度および飽和度の高い供試体条件において切削距離が短くなり、供試体の初期条件が切削距離・切削状態の違いとなって表れたと推察される。

各試験の状況を図 5.3.3-18～図 5.3.3-21 に示す。

表 5.3.3-12 切削距離確認試験結果一覧

名称	材料	飽和度 (%)	ノズル距離 (cm)	経過時間(sec)		
				5	10	20
				切削距離 (cm)		
V1_Sr95%_距離 30cm	粉体ベントナイト	95	30	10.5	14.5	18.5
V1_Sr95%_距離 1cm	粉体ベントナイト	95	1	9.5	17.5	23
V1_Sr45%_距離 1cm	粉体ベントナイト	45	1	50	80	100
V1sand_Sr95%_距離 1cm	ベントナイト混合土	95	1	11.5	15	27
V1sand_Sr95%_距離 1cm	ベントナイト混合土	95	1	15	21	27
V1sand_Sr60%_距離 1cm	ベントナイト混合土	60	1	32	32	50
V1 狭隘部_Sr30%_距離 1cm	加工充填材	30	1	100	-	-

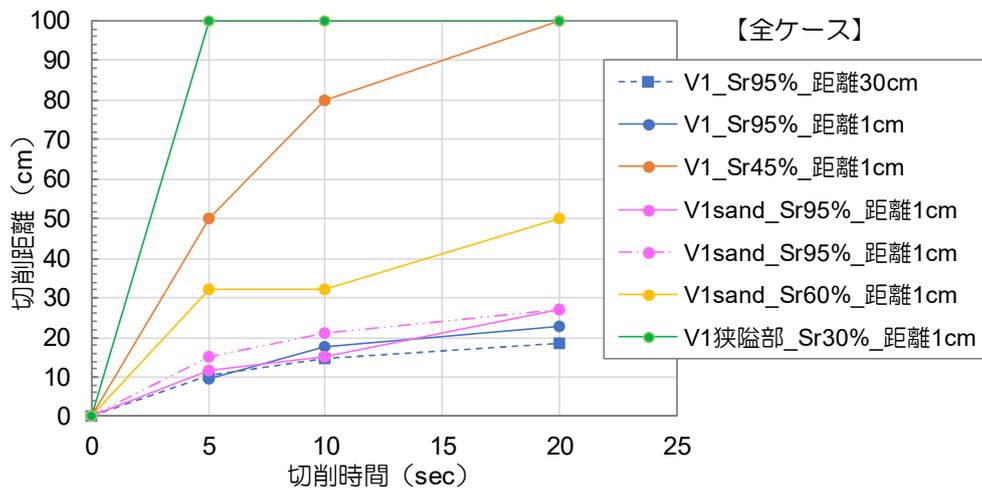


図 5.3.3-14 切削距離確認試験 (全ケース)

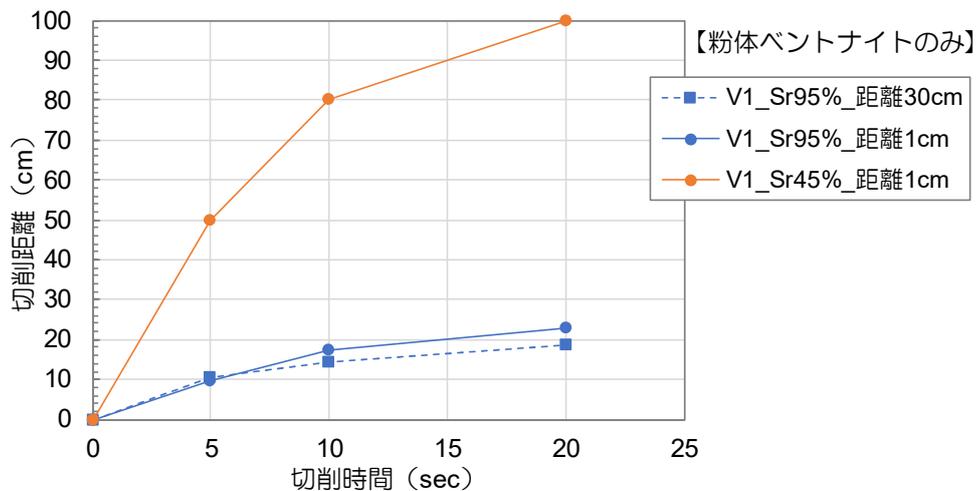


図 5.3.3-15 切削距離確認試験 (粉体ベントナイトのみ)

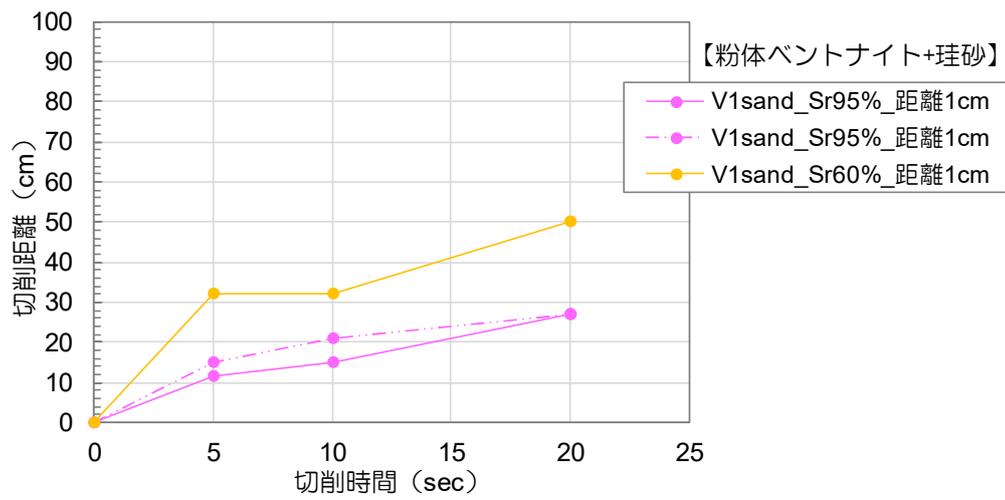


図 5.3.3-16 切削距離確認試験 (ベントナイト混合土)

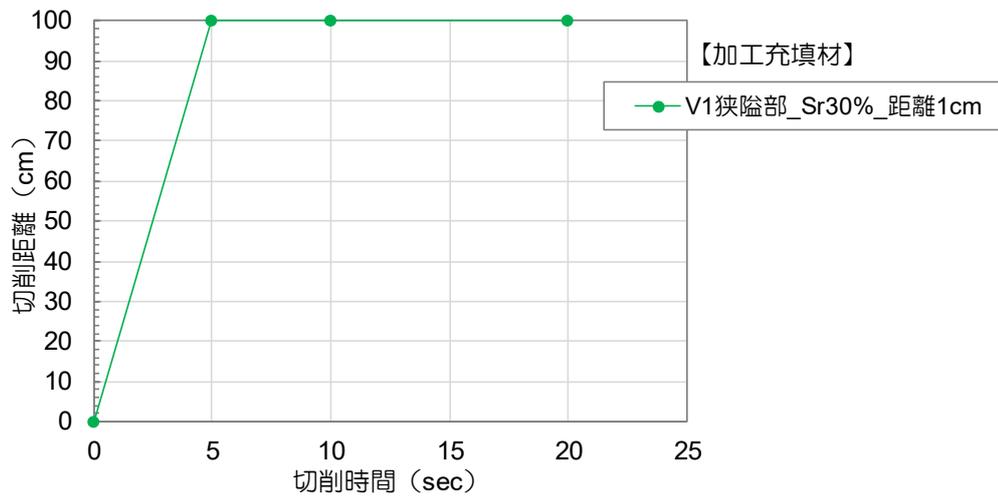


図 5.3.3-17 切削距離確認試験 (加工充填材)

噴射時間		
5 秒	10 秒	20 秒
V1_Sr95%_距離 30cm		
		
ノズルを当てた位置に穴が開く。 距離 14.5cm	距離 14.5cm	距離 18.5cm 供試体が水圧で 1.2cm 前に押出された。
V1_Sr95%_距離 1cm		
		
ノズルを当てた位置に穴が開く。 距離 9.5cm	距離 17cm	供試体が水圧で 9cm 前に押出された。

図 5.3.3-18 切削距離確認試験の状況 (1/4)

V1_Sr45%_距離 1cm



水圧で亀裂が入る。
最初の 5 秒で 2cm 程度前に押出された。



V1sand_Sr95%_距離 1cm



ノズルを当てた位置に穴が開く。
距離 11.5cm



距離 15cm



距離 27cm

図 5.3.3-19 切削距離確認試験の状況 (2/4)

V1sand_Sr95%_距離 1cm



ノズルを当てた位置に穴が開く。
距離 16.5cm (やや太いノズル)



距離 21cm



距離 27cm

V1sand_Sr60%_距離 1cm



16cm ブロック状に押出された。



次の噴射でさらに 4cm 押出された。



図 5.3.3-20 切削距離確認試験の状況 (3/4)

V1 狭隘部_Sr30%_距離 1cm



一気に水が奥まで走った

図 5.3.3-21 切削距離確認試験の状況 (4/4)

2) 切削試験結果

切削試験結果を表 5.3.3-13 および図 5.3.3-22 に示す。切削距離確認試験で得られた結果と同様に、乾燥密度および飽和度が低い条件では切削時間が短かった。すなわち、乾燥密度および飽和度が高い条件では切削しにくく（切削時間が長い）、低い条件では切削しやすい（切削時間が短い）傾向が確認できた。また、使用水量はノズル流量 54L/min より算出した。

表 5.3.3-13 切削試験結果一覧

名称	材料	飽和度	経過時間(sec)		使用水量(L)	
V1_Sr95%	粉体ベントナイト	95%	160		144.6	
V1_Sr45%	粉体ベントナイト	45%	91		82.2	
V1sand_Sr95%	ベントナイト混合土	95%	190		171.7	
V1sand_Sr60%	ベントナイト混合土	60%	77	84	69.6	75.9
V1 狭隘部_Sr30%	加工充填材	30%	46	43	41.4	38.7

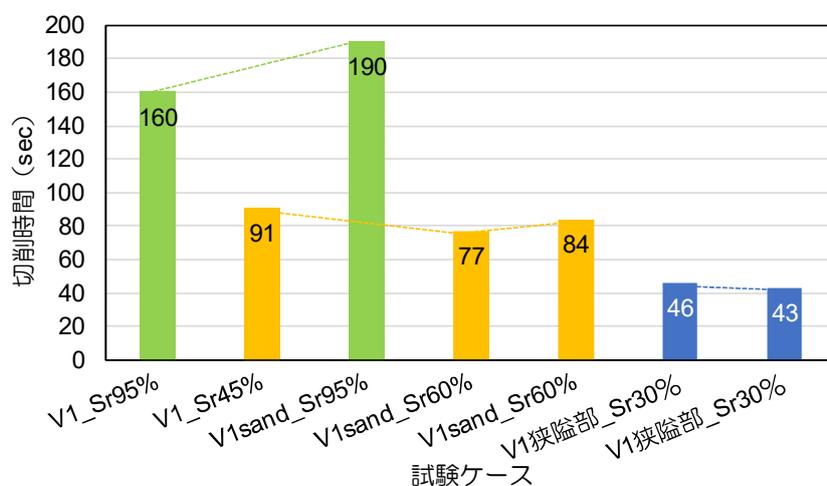


図 5.3.3-22 切削試験結果

また、幌延試験坑道で実施する充填実証試験において、PEM1 体に対する狭隘部充填容積は 0.77m³であることから、全切削に要する水量を算出した結果、切削し難い飽和度の高い条件で約 7,500L（約 7.5m³）の水量の使用が想定される。

3) 除去物回収試験結果

ウォータージェットによる切削後の除去物の回収を、強力吸引車およびエア式ダイヤフラムポンプを用いて行った。ダイヤフラムポンプのホース径は2インチ、強力吸引車は3インチを使用した。除去物回収の様子を図 5.3.3-23、図 5.3.3-24 に、加工充填材の除去物の回収の様子を図 5.3.3-25 に示す。

ダイヤフラムポンプは切削水の吸引は可能であるが、除去物の吸引はできなかった。一方で強力吸引による回収は、ホース径3インチ以下に切削ができれば回収が可能であることが確認できた。ウォータージェットの切削対象である狭隘部は、乾燥密度が低いこと、突固めのような動的エネルギーを加えて充填していたため、ウォータージェットによる除去後の試料の状態がペースト状のものが多いため、強力吸引による回収はホース径以下に切削する必要がなく回収できることが確認できた。



(a) 切削物回収容器



(b) 切削後の状態



(c) 切削物の様子

図 5.3.3-23 除去物回収の様子 (1/2)



(d) バキューム吸引の様子



(e) 切削物回収後

図 5.3.3-24 除去物回収の様子 (2/2)



図 5.3.3-25 加工充填材の切削物の様子

5.4 地上要素試験の展開と今後の展開

5.4.1 地上要素試験結果の利用

①φ150mm の円筒形の供試体容器を用いた要素実験で、1 条の噴射ジェットによって、充填物を除去することができた。下部狭隘部（厚さ 110mm）においても、1 条のジェット流を与えることにより、切削可能であることを確認した。ただし、円弧形隙間では動きが制限されるため切削不可範囲も生じる（図 5.4.1-1 参照）。そのため切削ノズルは、狭隘部の局面に沿って稼働する機構を考える必要がある。また、模擬 PEM 走行面や台座端部、模擬 PEM 近傍などをきれいに除去するためには、接触面積が大きくなる扇形のようなノズルによって仕上げをする必要があると考えられ、ノズルの選定や使用するタイミングや状況の判断方法についても検討する必要がある。

本試験では奥行きが 1m の供試体であったが、地下実証試験では奥行き 3.5m 程度でありトンネル妻側でのノズルのたわみが懸念されるため、ノズル先にガイドの取り付け等を検討する。また、ウォータージェットの水圧による走行面への影響の程度、損傷具合の確認を行うことが今後の課題として挙げられる。

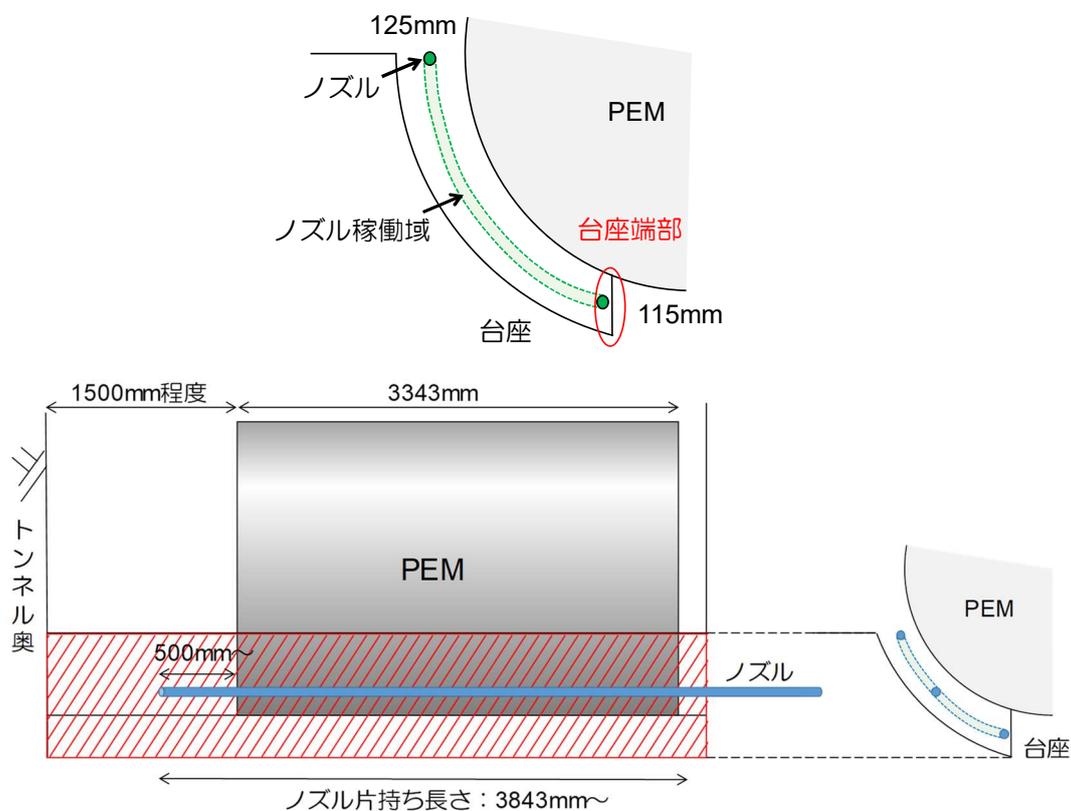


図 5.4.1-1 狭隘部ウォータージェット稼働域イメージ

②ウォータージェットでほぐした充填物の撤去は、ダイアフラムポンプでは固形物を吸い込むには吸引力が弱く使用不可と判断し、強力吸引装置を用いる。その配置案は「5.4.2 除去装置の配置概念」に示す。吸引時には、切削物と水を同時に吸い込むことによりホースの詰りを抑制できるため、堰を作製し泥状化した切削物を溜められるようにする。

本年度の試験結果より、強力吸引装置は風量 40m³程度を想定している。また吸引機からの吐き出し用水槽は、水の使用量が最大で約 7.5m³と想定されることから、10m³を 2 槽使用する予定である。

③切削距離確認では、20 秒間同じ個所にウォータージェットを当て続けることにより、最低 20cm の切削が可能であった。ノズルを奥へ送るピッチは 20cm 程度が想定されるが、狭隘部では横方向へ除去物の流出などが考えられるため、H30 年度では実際の狭隘部の形状における切削形状や除去物の流出状況を確認する必要がある。

また、実際の切削が課題となるため、ノズルの形状と合わせて稼働範囲の検討も必要である。本試験で用いた供試体は直径 150mm の筒状ではあるが、幅 110mm の下部狭隘部にも反映できるとすると、1 条のジェット噴流で、充填材をほぐす（切削）することができると考えられる。これより、実証試験装置に設置するノズルは 1 条でも切削は可能であると考えられるが、切削時間との関係を考慮して最終的な本数を決定する。

④上部開放部では、機械式除去により広範囲を除去予定であるが、機械ハンドリングの観点から模擬 PEM への影響を考慮し模擬 PEM 周囲 300mm のみ充填材を残す計画である。残った 300mm の充填材は、ウォータージェットにより除去を行う予定であるが、拘束されていない充填材に対しウォータージェットの噴流をいれると、自由面のある上方に向けて充填物が切削されることが予想されるため、ウォータージェットの機械設計は下部狭隘部で検討した範囲内で上部開放部は対応できると考えられる。

⑤開放部および狭隘部の隙間充填材料の除去手順を図 5.4.1-2 に除去手順を示す。手順ではまず、機械式除去により開放部の模擬 PEM 周辺（周囲 30cm 程度）を除く箇所を、アースオーガなどの機械を用いて切削除去を行う。開放部トンネルとの縁切り終了後に、狭隘部の切削除去、模擬 PEM 上部の充填材除去はウォータージェットを用いて行う。

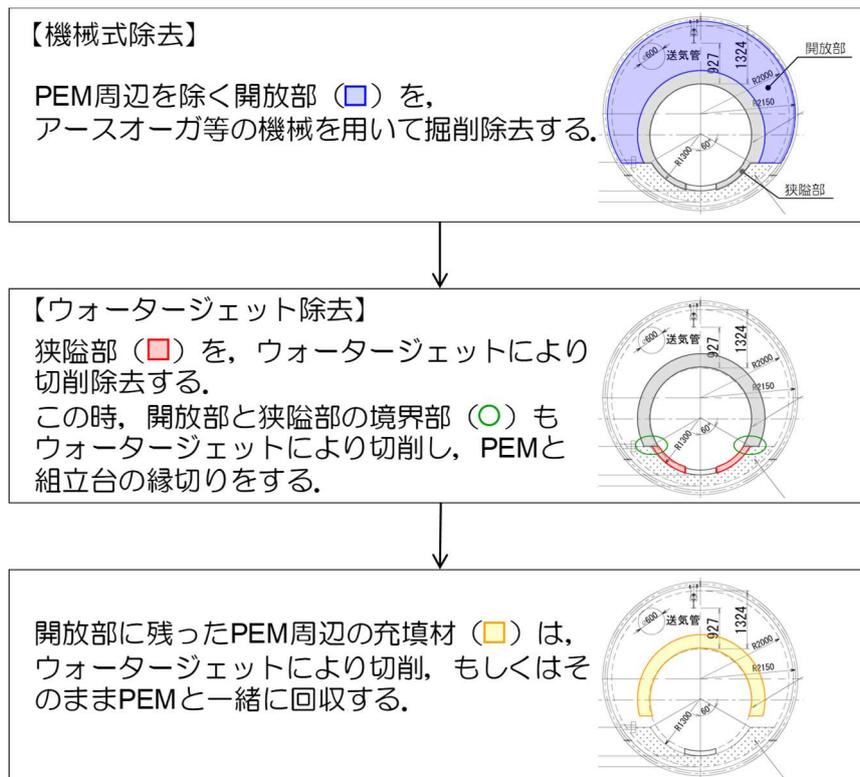


図 5.4.1-2 充填材の除去手順（案）

5.4.2 除去装置の配置概念

(1) ウォータージェット方式による除去での配置概念

幌延 URL 試験坑道 2 周辺での除去装置の配置概念を図 5.4.2-1 に示す。

ウォータージェット工法の場合の高圧ウォータージェットポンプ配置の概念図を示す。立坑内に高圧ホースラインを敷設することで、坑内に搬入できない大型ポンプの使用が可能である。回収した充填材は仮受タンクで沈殿させ、排水ラインへ流す水と、汚泥としてフレコンで地上に上げる 2 つに分別し回収する。

図 5.4.2-2 には、ウォータージェット工法の場合の高圧ウォータージェットポンプ配置の概念図を示す。立孔内に高圧ホースラインを敷設することで、坑内に搬入できない大型ポンプの使用が可能である。

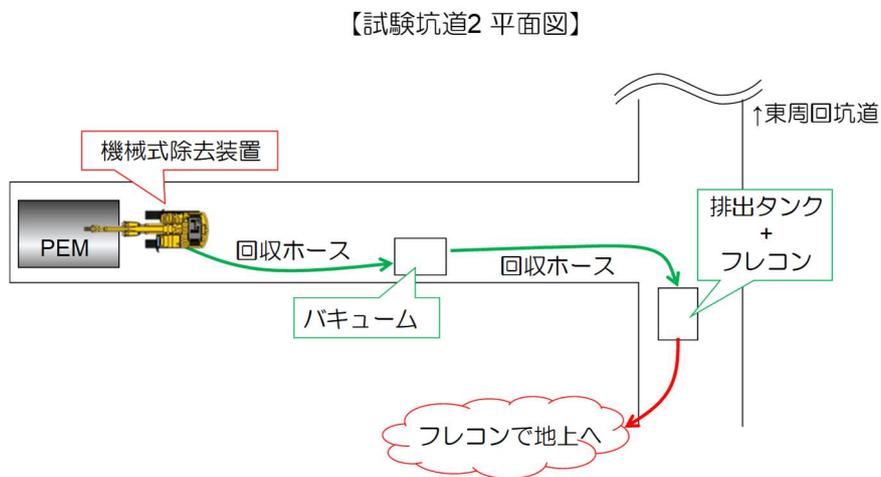


図 5.4.2-1 試験坑道 2 の切削回収時の配置図 (案)



図 5.4.2-2 幌延深地層研究センターでの装置全体配置 (高圧ポンプ地上配置)

(2) 機械的な方式による除去での配置概念

除去装置の配置概念図を図 5.4.2-3 に示す。

機械式除去により解された充填材はバキュームで回収し、排出タンクに溜めフレコンへ直接排出する。フレコンに回収した充填材は、適宜地上へ搬出する。

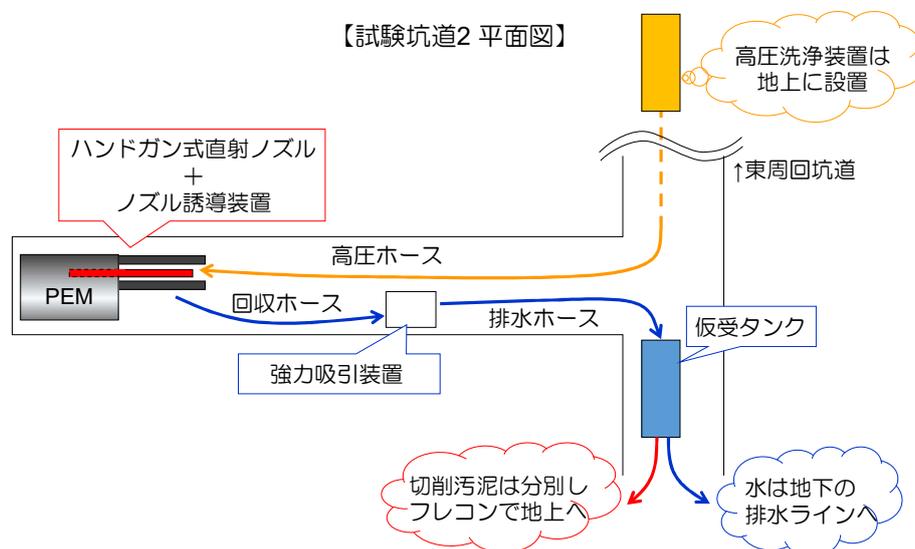


図 5.4.2-3 試験坑道 2 の機械式除去時の配置図 (案)

5.4.3 まとめと今後の課題

(1) 機械的な方式による除去技術

機械的な方式による除去技術には、アースオーガにより隙間充填材を除去し吸引工法で撤去する方法を選定した。除去装置の技術概念の検討は、地層処分場で利用する隙間充填装置の概念（機械式除去による隙間充填材除去装置）を設定し、続いて技術的信頼性を実証するために必要な装置機構を抜き出した実証試験用の装置概念（処分技術実証装置）を決定した。そして幌延 URL 試験坑道 2 での実証に対応した装置の概念設計（原位置実証装置）の検討手順で実施した。機械的な方式による除去装置の目的および装置構成例を表 5.4.3-1 に示す。

(2) ウォータージェット方式による除去技術

ウォータージェット方式による除去技術はウォータージェットにより隙間充填材を除去し吸引工法で撤去する方法とした。除去装置の技術概念の検討は、地層処分場で利用する隙間充填装置の概念（ウォータージェットによる隙間充填材除去装置）を設定し、続いて技術的信頼性を実証するために必要な装置機構を抜き出した実証試験用の装置概念（処分技術実証装置）を決定し、幌延 URL 試験坑道 2 での実証に対応した装置の概念設計（原位置実証装置）の検討手順で実施した。除去装置における装置の目的および装置構成例を表 5.4.3-2 に示す。

なお、本整理における除去対象は、上部開放部のうち PEM の周囲 300mm 以内および、狭隘部の充填材である。上部開放部の充填材は、ベントナイト混合土（ベントナイト：ケイ砂=50:50）であり、吹付けにより充填している。また狭隘部の充填材はベントナイトの加工充填材である。

表 5.4.3-1 機械式除去装置の技術概念

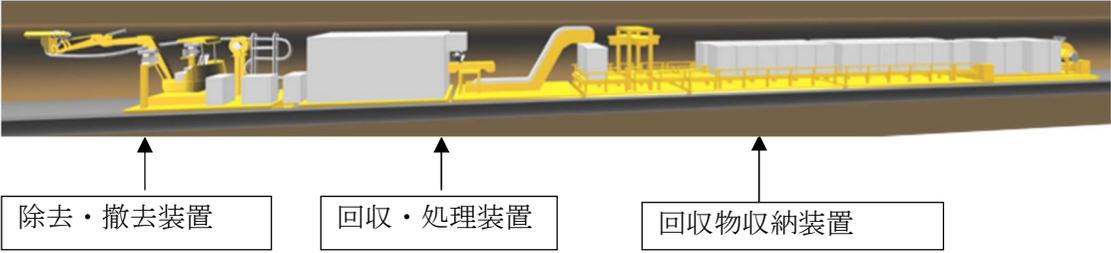
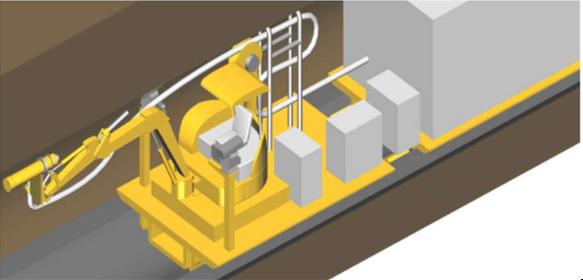
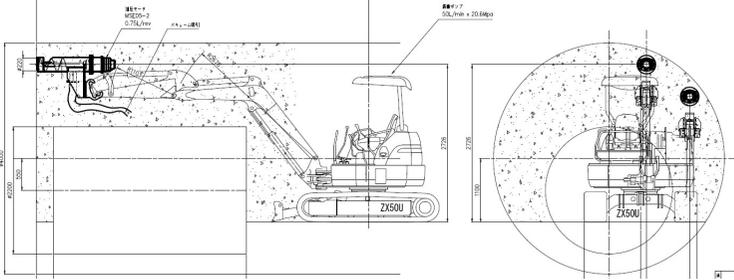
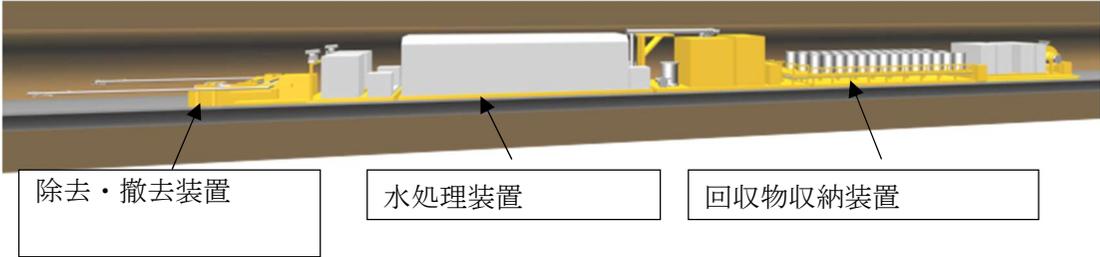
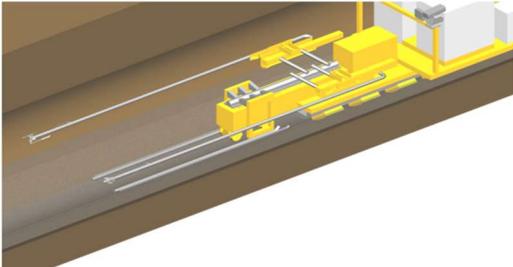
機械的な方法による除去の技術概念	備 考
<p>【隙間充填材除去設備】</p>  <p>除去・撤去装置 回収・処理装置 回収物収納装置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：地層処分場における機械的な方法による隙間充填材の除去・撤去設備 ・装置構成：除去・撤去装置、回収・処理装置、回収物収納装置、駆動装置 ・動 力：電力 ・走行機能：主要坑道、連絡坑道は親子台車による走行。処分坑道はエアパレットによる走行
<p>【除去・撤去装置】</p>  <p>上記の設備のうち、幌延 URL で実証する除去・撤去機能を搭載した装置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：上記除去設備の先頭に位置する除去・撤去装置で、幌延 URL で実証する除去・撤去機能を搭載した装置 ・装置構成：機械的方法による除去・撤去装置 ・動 力：電力 ・走行機能：エアパレットによる走行
<p>【除去・撤去機能の原位置実証装置】</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：幌延 URL での原位置実証装置 ・装置構成：オーガによる除去機構、ウォータージェットによる撤去機能 ・動 力：電力 ・走行機能：クローラ（既成のバックホーを利用）

表 5.4.3-2 ウォータージェット式除去装置の技術概念

ウォータージェット方式による除去の技術概念	備 考
<p>【隙間充填材除去設備】</p>  <p>除去・撤去装置 水処理装置 回収物収納装置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：地層処分場におけるウォータージェット方式による隙間充填材の除去・撤去設備 ・装置構成：除去・撤去装置、水処理装置、回収物収納装置、駆動装置 ・動 力：電力 ・走行機能：主要坑道、連絡坑道は親子台車による走行。処分坑道はエアパレットによる走行
<p>【除去・撤去装置】</p>  <p>上記の設備のうち、幌延 URL で実証する除去・撤去機能を搭載した装置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：上記除去設備の先頭に位置する除去・撤去装置で、幌延 URL で実証する除去・撤去機能を搭載した装置 ・装置構成：ウォータージェット方法による除去・撤去装置 ・動 力：電力 ・走行機能：エアパレットによる走行
<p>【ウォータージェット式除去－原位置実証装置】</p> <p>原位置実証装置の概念設計は平成 30 年度に実施予定</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：幌延 URL での原位置実証装置 ・装置構成：オーガによる除去機構、ウォータージェットによる撤去機能 ・動 力：電力 ・走行機能：未 定

(3) ウォータージェット方式充填材除去の要素試験

除去対象物とウォータージェットノズルの距離による切削能力への影響について、1～30cmの距離では切削能力に差がないことが確認できた。各供試体条件の試験結果について、以下に記述する。

1) 粉体ベントナイトのみ

<飽和度 95%>

- ・最初の5秒の切削では、ノズル距離30cmおよび1cmともに、切削距離が10cm程度
- ・噴射時間を10秒、20秒と当て続けるとノズル距離の近い方が、全体の切削距離5cm程度長くなった。

<飽和度 45%>

- ・ウォータージェットを当てると水が奥まで走り、最初の5秒で一気に奥行き50cmまで切削された（亀裂が入った）。

2) ベントナイト混合土

- ・粉体ベントナイトのみ程ではないが、飽和度が低い方の切削距離が長いことが確認できた。
- ・飽和度および乾燥密度が低い（すなわち、間隙比が大きい）ことから、ウォータージェットの水が一気に供試体の奥まで走り、亀裂が入った。
- ・20秒経過時には供試体が、奥からジェットの水で洗い出されるような状態となった。

これらの結果は、昨年 of 切削試験において確認された、切削に要する時間と同様な結果が得られており、長手方向への切削においても影響があることを確認した。

(4) 今後の展開

H30年度の検討は、幌延URLの試験坑道2の下部狭隘部を模擬した土槽を用いたウォータージェット方式による除去技術の予備試験を行い、平成31年度の幌延地下実証試験に向けた準備を行うことを目標とする。予備試験装置の製作において、本年度の要素試験で得られた課題を以下に示す。

<H30年度検討項目>

- 切削について
 - ・ ウォータージェットノズルの稼働範囲の設定
 - ・ 効率よく除去するためのノズルの移動速度
- 回収について
 - ・ 必要とされる水処理能力
 - ・ 吸引回収時の堰の作製について
 - ・ 除去完了の確認方法

第5章 参考文献

- [1] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成27年度地層処分調査等事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 報告書（第2編）、2016.3
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター、平成28年度地層処分調査等事業 可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発 報告書（第一分冊）、2017.3
- [3] SKB, Techniques for freeing deposited canisters, SKB TR-00-15, June, 2000.
- [4] 時岡誠剛：ウォータージェット工法および工法用機器の安全対策，社団法人 日本建設機械化協会，No.725，2010，7.
- [5] 前田宗宏，棚井憲治，伊藤勝，三原守弘，田中益弘：カルシウム型化およびカルシウム型ベントナイトの基本特性-膨潤圧，透水係数，一軸圧縮強度および弾性係数-，動力炉・核燃料開発事業団，1998，3.

第6章 地層処分実規模試験施設の活用

6.1 概要

原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター内において、高レベル放射性廃棄物地層処分に関して、実規模・実物を基本として（実際の放射性廃棄物は使用しない）、緩衝材定置技術など操業に係る工学技術の実現性の検証、地層処分の安全確保の考え方、地層処分に使用される材料の性質を実感・体感し、理解を促進する「地層処分実規模試験施設」を整備してきた。本年度では、平成 28 年度までに整備してきた実規模試験施設において、緩衝材定置試験、展示物の説明などによる国民への理解促進活動を実施した。

本章では本年度の実施内容として、6.2、6.3 に「地層処分実規模試験施設の運営」、「アンケートの分析」6.4 に「来館者記録の分析」について報告する。

6.2 地層処分実規模試験施設の運営

6.2.1 概要

これまで、資源エネルギー庁の委託事業として、平成 21 年度～平成 25 年度地層処分実規模設備整備事業では、処分孔竖置き方式において緩衝材ブロックを真空把持で定置する緩衝材定置試験装置の開発、地層処分の操業技術に係る研究開発及び我が国の地層処分事業の理解促進を促進することを目的とした「地層処分実規模試験施設」(以下、実規模施設)の整備を実施した[1]～[6]。

本事業では、実規模試験施設において、これら既往の搬送定置・回収技術を用い以下の項目を実施した。以下にその詳細について述べる。

- ・ 施設の一般公開
- ・ 試験の公開
- ・ 緩衝材可視化試験
- ・ 広告等

6.2.2 施設の一般公開

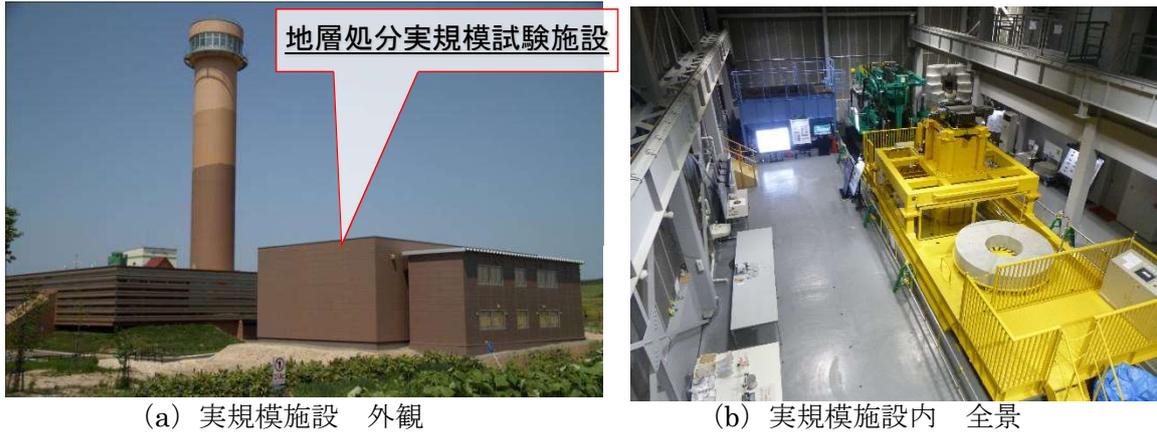
実規模試験施設は、国民への高レベル放射性廃棄物地層処分への理解を深めることを目的に、施設内を一般公開している。以下にその詳細について述べる。

(1) 地層処分実規模試験施設

平成 28 年度までに、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター内において、高レベル放射性廃棄物地層処分に関して、実規模・実物を基本として（実際の放射性廃棄物は使用しない）、緩衝材定置技術など操業に係る工学技術の実現性の検証、地層処分の安全確保の考え方、地層処分に使用される材料の性質を実感・体感し、理解を促進する「地層処分実規模試験施設」を整備した。(図 6.2.2-1,図 6.2.2-2)

実規模施設内は、図 6.2.2-2 に示すように地下 1 階 (B1F) から地上 2 階 (2F) 建てとなっており、地上 1 階 (1F) から B1F には模擬処分孔が設定されている。1F には、図 6.2.2-3 に示す実物大の人工バリアのカットモデル、緩衝材ブロック、オーバーパックなどを展示している。

また、実規模スケールの模擬緩衝材ブロックを用いた緩衝材定置試験、回収技術が整備されていることを理解促進するため、緩衝材除去システム（噴射・吸引設備）を一般公開している。



(a) 実規模施設 外観

(b) 実規模施設内 全景

図 6.2.2-1 地層処分実規模試験施設

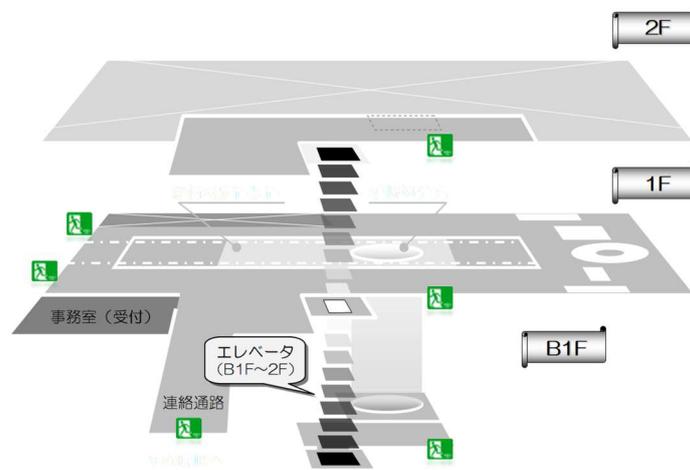


図 6.2.2-2 地層処分実規模施設内 全体図



図 6.2.2-3 公開状況

(2) 開館日

幌延深地層研究センター「ゆめ地創館」と同様に、以下の様に実施した。

- 開館期間 平成 29 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日
- 開館時間 9:00～16:00
- 休館日 毎週月曜日
(休館日が祝日または振替休日の場合は水曜日)
- 年末年始 (12 月 29 日～1 月 3 日)

(3) 来館者への対応

来館者を受け入れる体制として、試験員を常時 2 名配置して、来館者に対し、本事業の概要、地層処分の概要、施設内の展示物や試験内容について説明を行った。

6.2.3 試験の公開

緩衝材定置装置にて、模擬緩衝材ブロック (8 個) を一括して模擬処分孔に把持・搬送及び定置し、その状態を確認する緩衝材定置試験を実施した。来館者に本施設に対する理解を深めてもらう事を目的に、「おもしろ科学館 2017 in ほろのべ」の開催日に併せ、7 月 22 日 (土) 及び 23 日 (日) に実施した。

(1) 試験内容

本試験の装置動作を図 6.2.3-1～図 6.2.3-4 に示す。

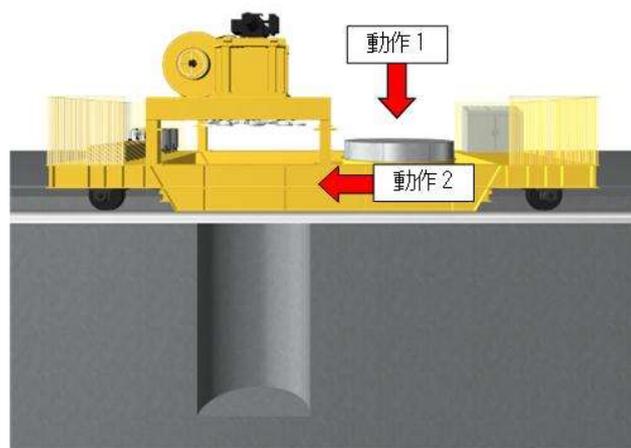


図 6.2.3-1 緩衝材定置運転動作 (その 1)

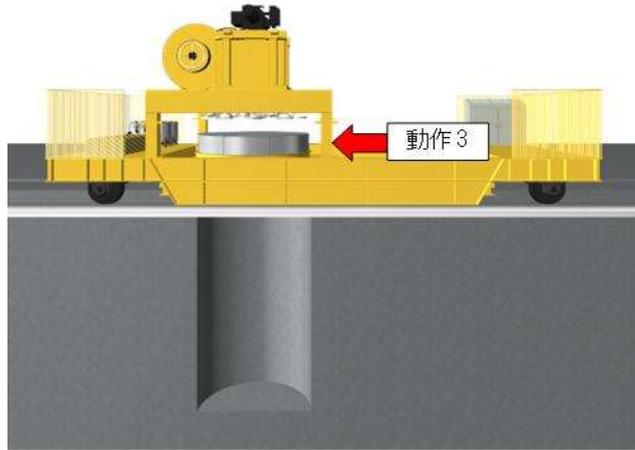


図 6.2.3-2 緩衝材定置運転動作（その 2）

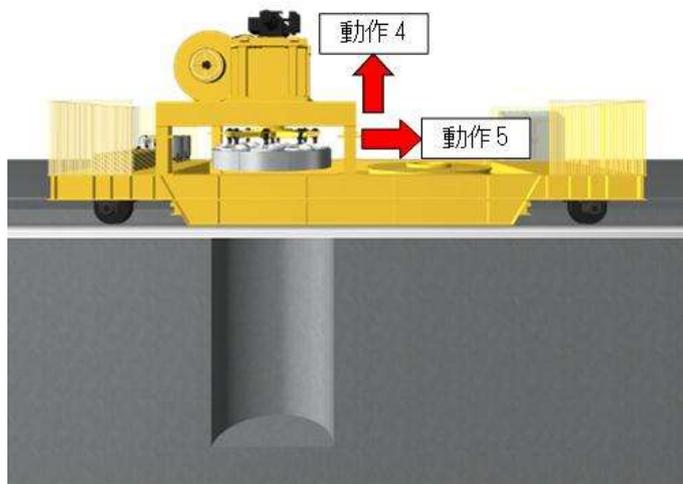


図 6.2.3-3 緩衝材定置運転動作（その 3）

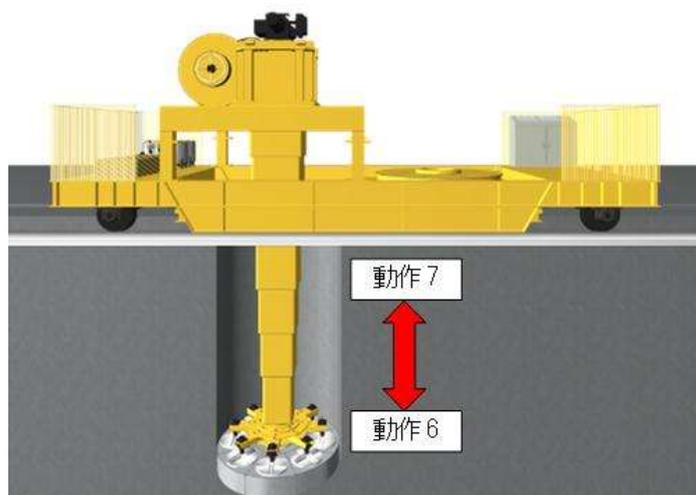


図 6.2.3-4 緩衝材定置運転動作（その 4）

図中の動作 1～動作 7 を以下に示す。

- 動作1：天井クレーンを使用して、緩衝材台車へ模擬緩衝材ブロックを乗せる（手動）
- 動作2：緩衝材台車をテレスコピック下部へ移動させる。（自動運転）
- 動作3：緩衝材台車に乗せた模擬緩衝材ブロックをテレスコピックの下で停止させる。（自動運転）
- 動作4：テレスコピックにて模擬緩衝材ブロックを真空把持する。（自動運転）
- 動作5：緩衝材台車を定位置（始動位置）へ移動する。（自動運転）
- 動作6：模擬処分孔に模擬緩衝材ブロックを定置する。（自動運転）
- 動作7：緩衝材定置後にテレスコピックを上部へ移動させる。（自動運転）

本試験で使用する模擬緩衝材ブロックは、以下のものを使用した。

- 材質：コンクリート製
- 形状：1/8 ブロック
- 数量：1/8 ブロック：8個（1段@8個）

本試験では、4段目の模擬緩衝材ブロックを模擬処分孔へ定置した。試験スケジュールを表6.2.3-1に示す。

表 6.2.3-1 試験スケジュール

実施日時		試験回数	定置位置	模擬緩衝材ブロック個数
2017年 7月22日	AM	2回	4段目	8個
	PM	2回	4段目	8個
2017年 7月23日	AM	2回	4段目	8個
	PM	2回	4段目	8個

6.2.4 緩衝材可視化試験

地層処分実規模試験では処分孔縦置き定置方式ブロック方式について、実物の緩衝材ブロック、ブロックを組立てたカットモデルを公開している。これまで来館者からブロック同士の隙間について質問を受けた場合、地下水による膨潤で隙間が塞がることを口頭で説明した。今回、ブロック同士が一体化していく過程を来館者に体感してもらうため、過年度から実施中の可視化試験の供試体ブロックを改良した試験を公開した。図 6.2.4-13 に小型緩衝材ブロックを用いた可視化試験の様子を示す。

(1) 緩衝材可視化試験の目的

緩衝材可視化試験は、地層処分における人工バリアの主要構成要素である緩衝材を対象として以下の目的で実施した。

- 緩衝材浸潤・膨潤挙動の可視化による挙動把握および理解促進のための資料作成
- 来館者に対する緩衝材の性質や利用方法の理解促進

(2) 緩衝材の機能と可視化試験の検討

本年度は、緩衝材ブロック方式（8 分割）の浸潤・膨潤挙動を視覚的に確認できるように、アクリル製の試験装置を用いて、緩衝材ブロックの浸潤・膨潤挙動試験（以下、緩衝材可視化試験という）を実施した。緩衝材可視化試験の観察方向は上面からと側面からの 2 パターンとした（図 6.2.4-1）。本年度は 2 パターンの供試体および可視化試験装置を作製し、上面からの観察パターンについて可視化試験を実施した。

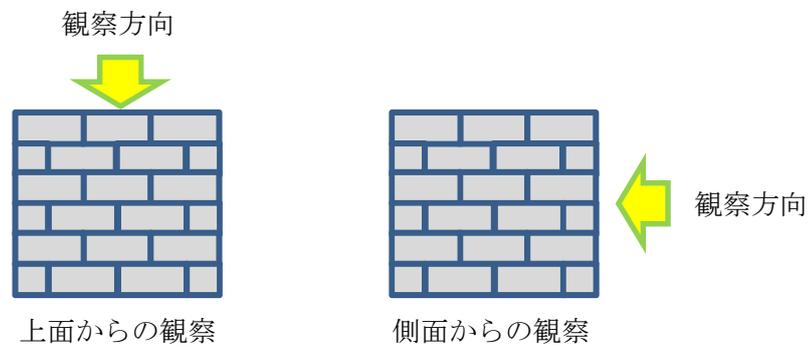


図 6.2.4-1 緩衝材可視化試験のイメージ図

(3) 試験方法

1) 使用材料および緩衝材ブロックの仕様

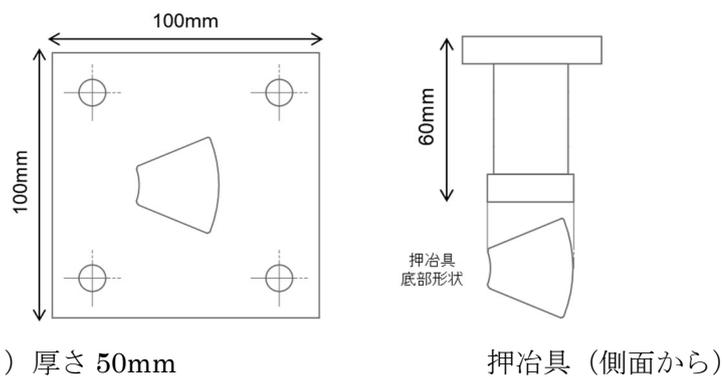
緩衝材ブロックはクニゲルV1とケイ砂を7:3で混合したベントナイト混合土を用いて、初期乾燥密度が 1.6g/cm^3 になるように、一軸静的プレスによる加圧成型により作製した。緩衝材ブロックの仕様を表6.2.4-1に示す。

表 6.2.4-1 緩衝材ブロックの仕様

	乾燥密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	備考
緩衝材ブロック	1.6	9.32	クニゲルV1 : ケイ砂 = 7:3

2) 圧縮成型用型枠

緩衝材ブロックを成型するための圧縮成型用型枠は、外枠、押冶具、底板、ジョイントピンで構成される(図6.2.4-2)。緩衝材の付着を防ぐため、底板、押冶具底部をテフロンテープで被覆した。成型ごとに型枠はブラシで清掃した。



外枠 (上面から) 厚さ 50mm

押冶具 (側面から)

図 6.2.4-2 緩衝材成型用型枠

3) 圧縮成型手順

- 長さ 10mm のジョイントピン 4 本を用いて、底板と外枠の位置を合わせ、周囲をテープ等で固定する(図6.2.4-3)。

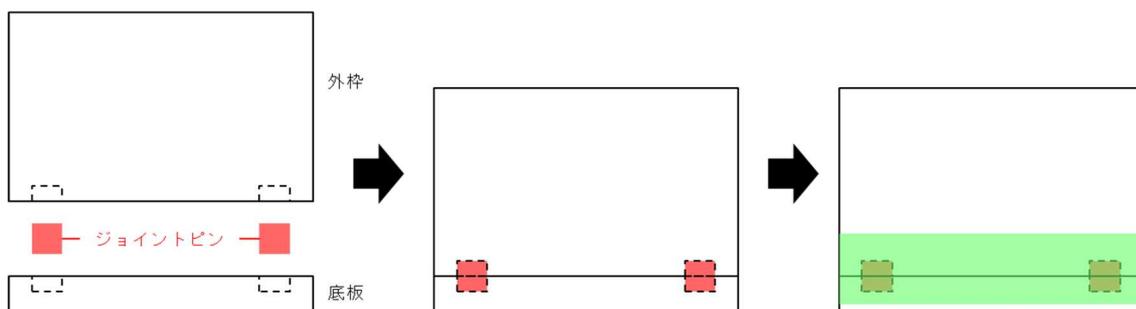


図 6.2.4-3 圧縮成型用型枠の組立

2. 秤量したベントナイト混合土を投入し、押冶具を挿入する。外枠と押冶具頭との間に、ブロック厚さに相当するスペーサーを設置する（図 6.2.4-4）。

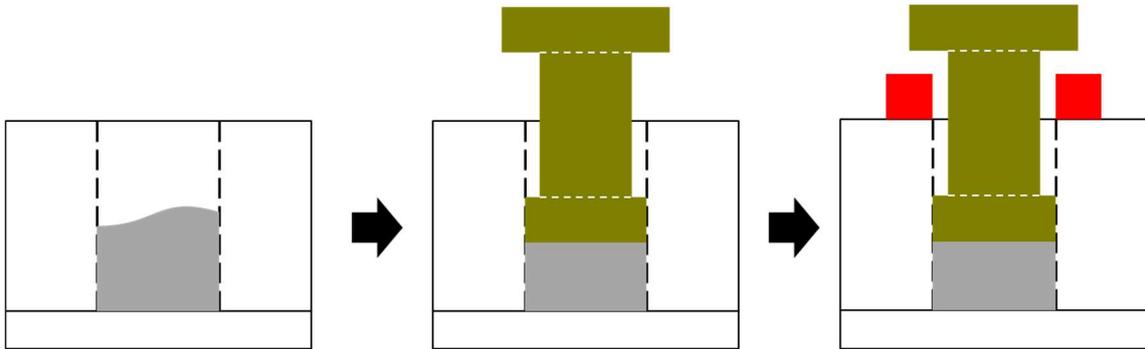


図 6.2.4-4 ブロック圧縮成型の準備

3. プレス機で押冶具頭とスペーサーが接触するまで圧縮し、暫く保持する（図 6.2.4-5）。

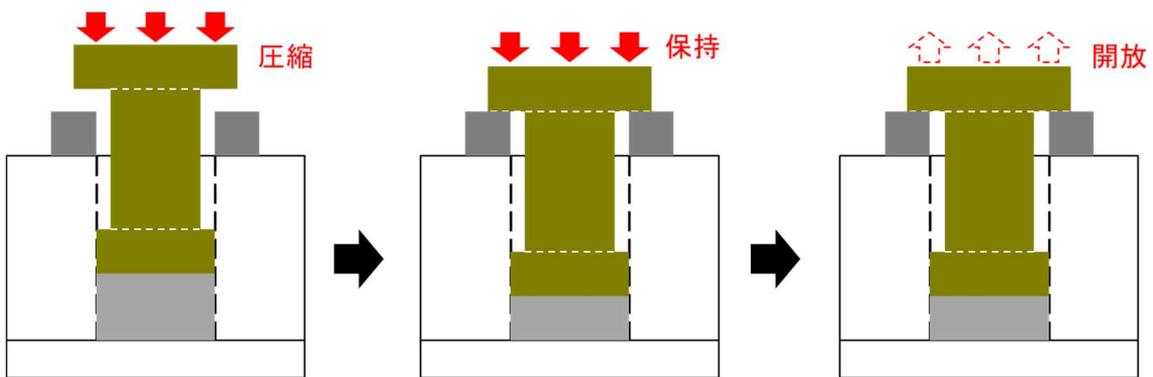


図 6.2.4-5 緩衝材の圧縮作業

4. テープを剥がし底板と外枠を分離した後、長さ 30mm のジョイントピンに交換し、スペーサーを外す（図 6.2.4-6）。

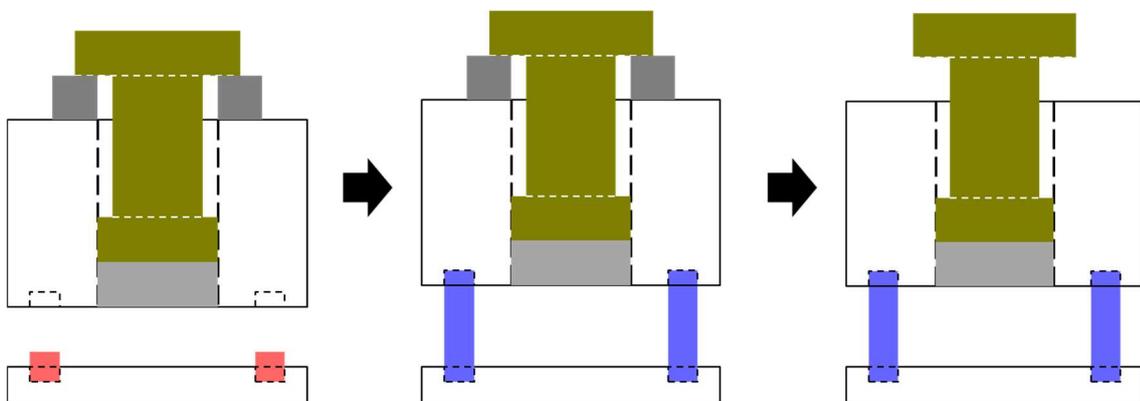


図 6.2.4-6 ジョイントピンの交換

5. 押冶具で成型体を外枠から外す（図 6.2.4-7）。

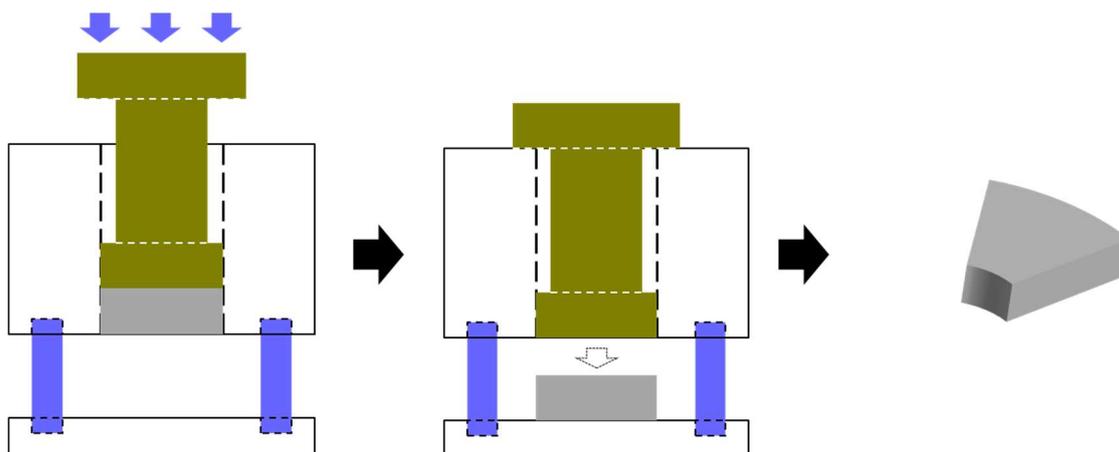


図 6.2.4-7 圧縮成型体の脱型

6. 成型体の重量・寸法等を確認し、ラップ等で乾かないように養生する。
7. 手順 1.~6.を繰り返し、必要数の緩衝材ブロックを作製する（図 6.2.4-8）。

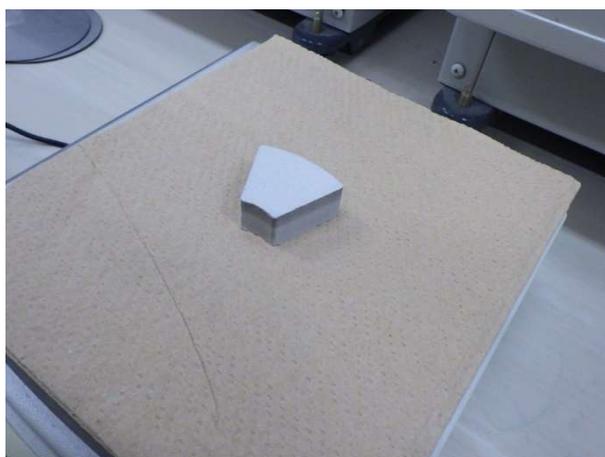


図 6.2.4-8 緩衝材ブロック

4) 緩衝材ブロックの設置および試験方法

上面および側面の可視化試験装置に緩衝材ブロックをそれぞれ設置し、給水開始後より、定期的な給水量の測定およびデジタルカメラによる定点撮影を行う。

a 上面からの可視化

図 6.2.4-9 緩衝材可視化試験装置 1（上面からの可視化）示す緩衝材可視化試験に、作製した緩衝材ブロックを 8 個組み合わせてリング状に 3 段セットする。その後、緩衝材可視化試験装置に給水装置（ビューレット）を設置し、注水する。

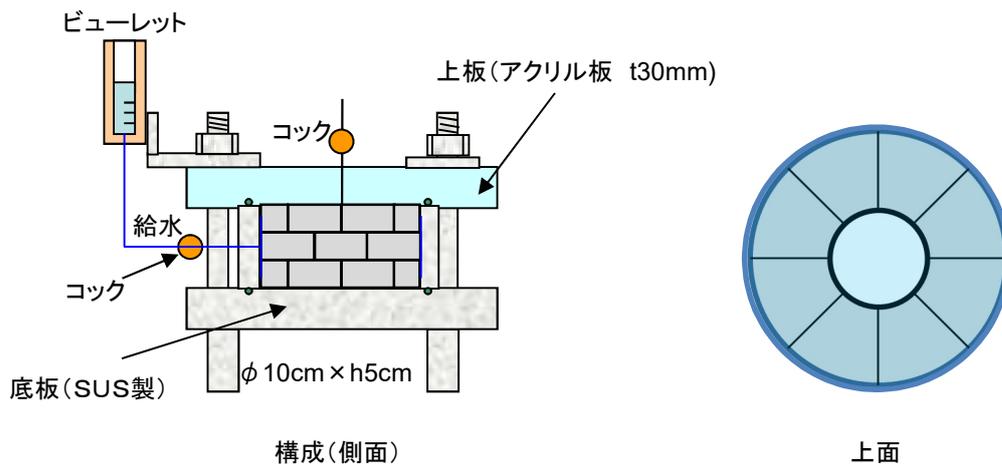


図 6.2.4-9 緩衝材可視化試験装置 1 (上面からの可視化)

b 側面からの可視化

図 6.2.4-10 に示す緩衝材可視化試験に、作製した緩衝材ブロックを 8 個組み合わせてリング状に 6 段並べてセットする。(5 段目まで台座に乗せて並べ、装置にセットした後、6 段目を並べる。) その後、緩衝材可視化試験装置に給水装置 (ビューレット) を設置し、注水する。

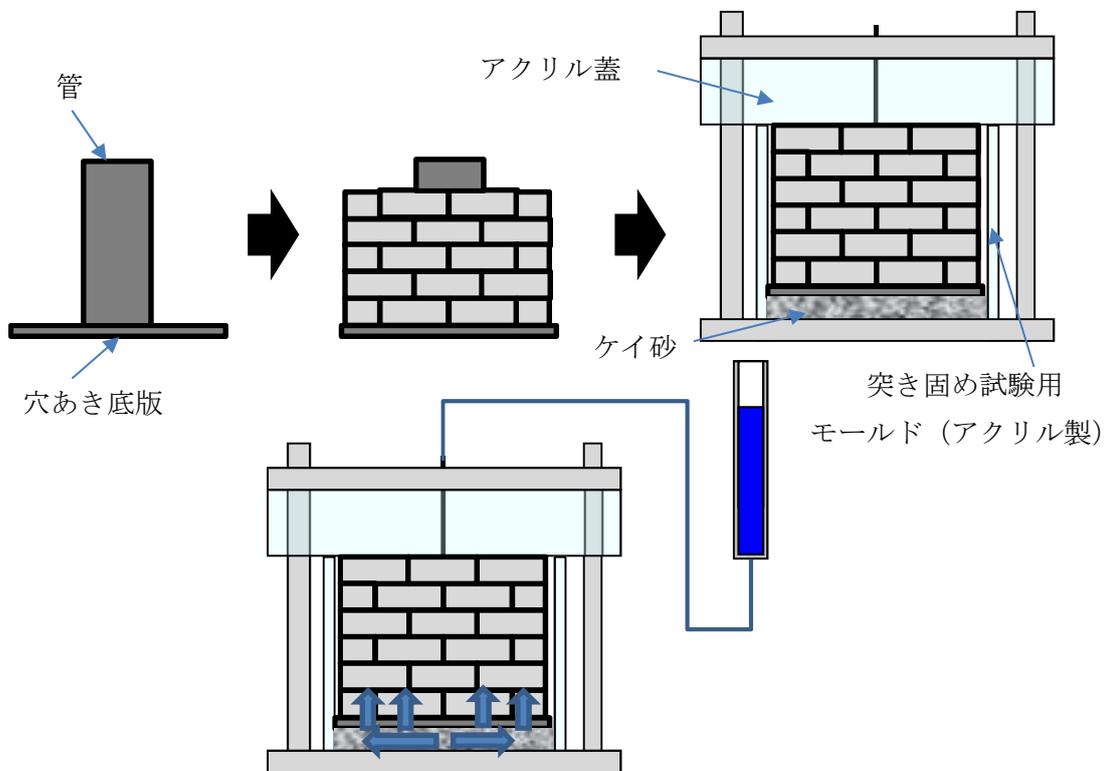


図 6.2.4-10 緩衝材可視化試験装置 2 (側面からの可視化)

(4) 可視化試験装置の組立および試験結果

1) 可視化試験装置の組立

本年度に作製した可視化試験装置の作製状況のうち上面からの可視化試験装置を図 6.2.4-11 に、側面からの可視化試験装置を図 6.2.4-12 に、可視化試験の公開の様子を図 6.2.4-13 に示す。

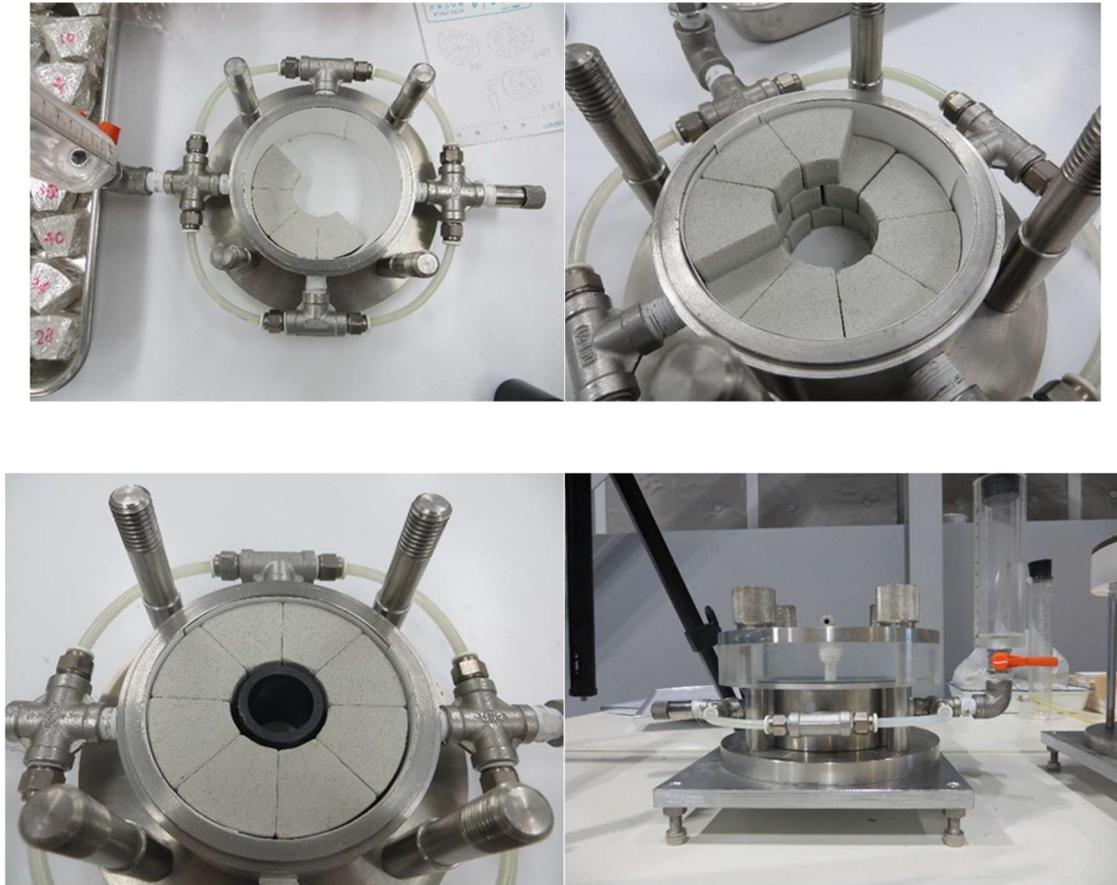


図 6.2.4-11 上面からの可視化試験装置作製状況

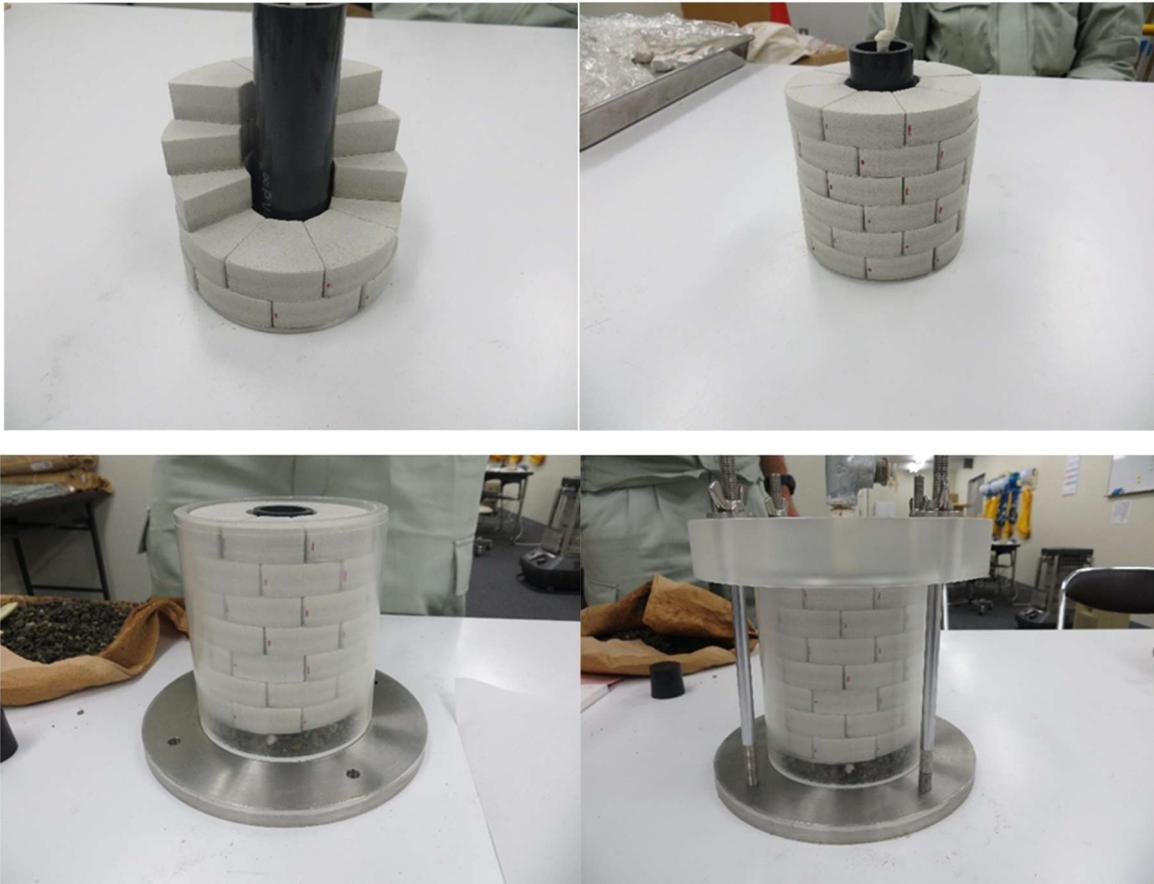


図 6.2.4-12 側面からの可視化試験装置作製状況



図 6.2.4-13 可視化試験の公開の様子

2) 試験結果

本年度実施した可視化試験における緩衝材ブロック上面の状況を図 6.2.4-14 に、注水量と経過日数の関係を図 6.2.4-15 に示す。図 6.2.4-14 より、3 日経過後付近から緩衝材ブロックの外周面より浸潤が始まり、14 日後には全面に渡り浸潤しているものの、緩衝材ブロック同士の隙間が線として残っているのがわかる。その後、128 日後にはブロック同士の隙間も見えなくなり、ブロック同士が一体化しているのが確認された。また、中央部のパイプ部分についても緩衝材の膨潤により見えなくなっている。但し、図 6.2.4-15 より、128 日後においても、注水量は推定される最大量の 1/3 程度であり、緩衝材内部まで完全に飽和されているのでは無いと考えられる。そのため、緩衝材ブロック上面に大きな変化は見られなくなった。今後の予定としては、側面からの可視化試験装置を用いた可視化試験を行う予定である。

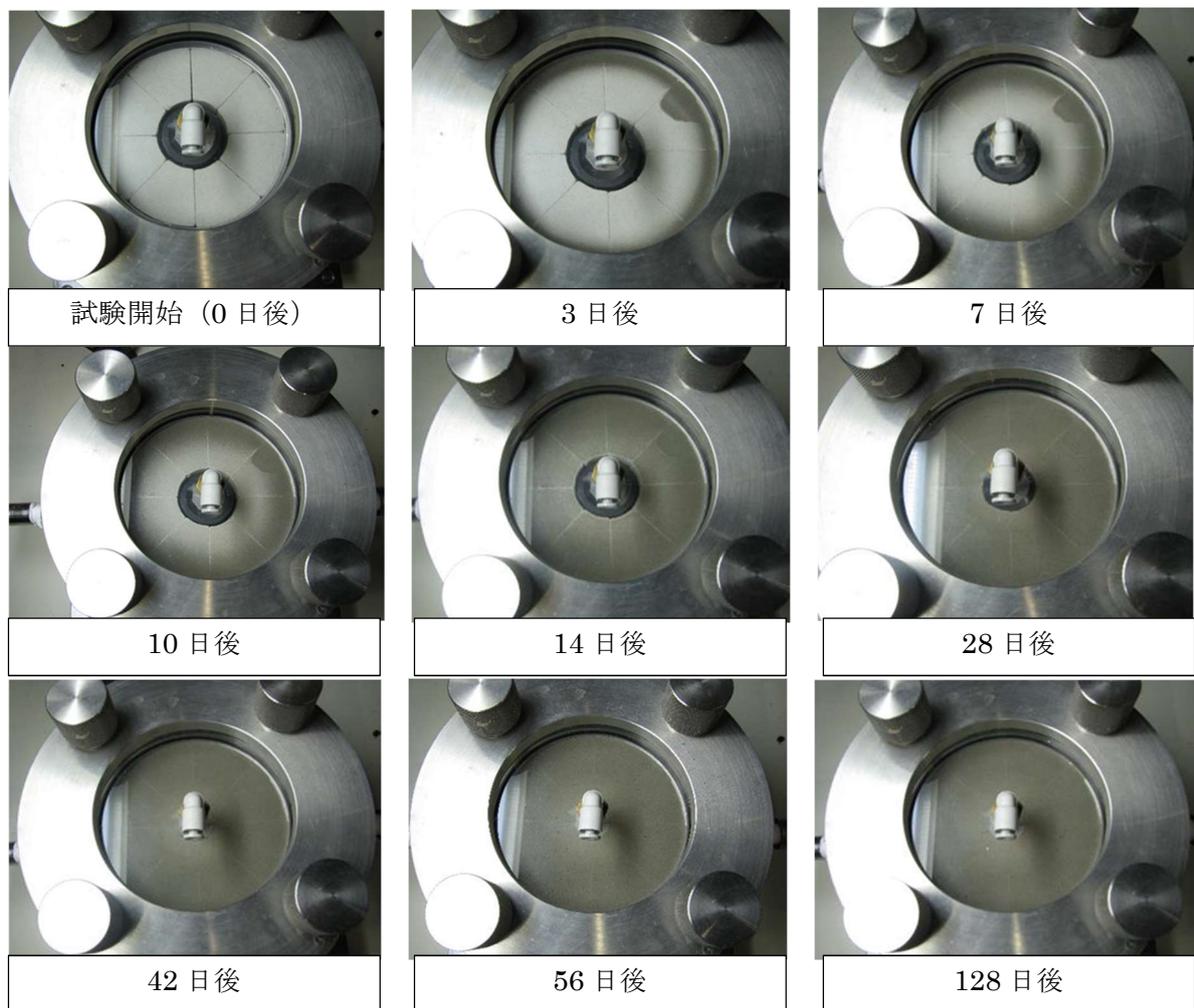


図 6.2.4-14 緩衝材ブロック上面の経時変化

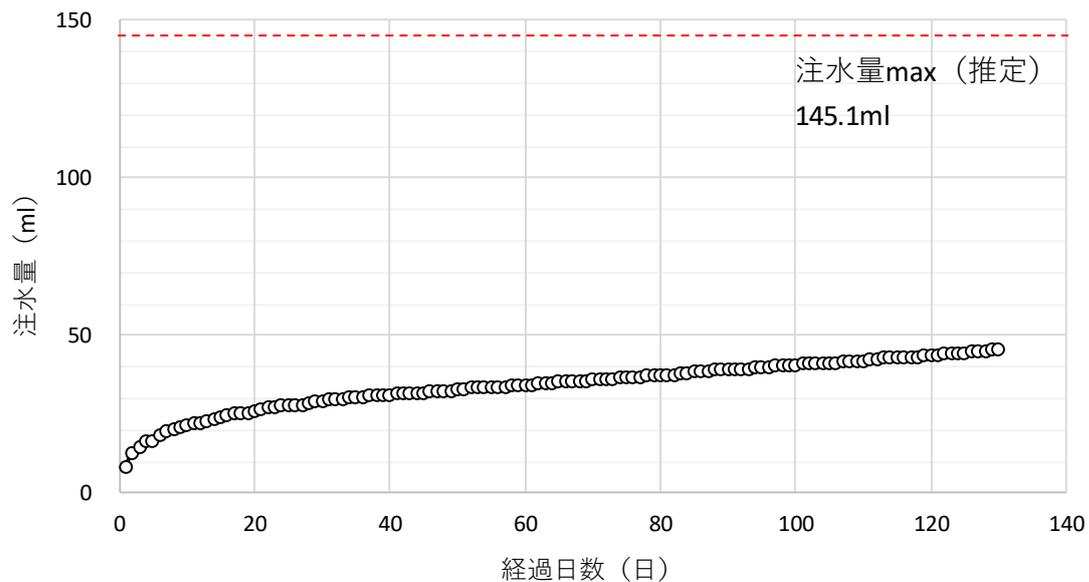


図 6.2.4-15 注水量と経過日数の関係

(5) 来館者の反応

可視化試験装置を製作することで、「隙間の接着方法」等の質問があった。この質問に対して可視化試験装置にて接着の状態を視認できるため、説明時に効果的なツールとして使用できることが考えられる。

6.3 アンケートの分析

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センターと共同で実施している来館者へのアンケート結果を集計した。アンケートの回答は、平成 30 年 2 月末現在で 3,913 名に協力頂いている。

6.3.1 アンケート回答者属性

(1) 性別、年代、住まい

図 6.3.1-1 に来館者の住まいを、図 6.3.1-2 に来館者の属性を示す。施設（ゆめ地創館及び実規模施設）への来館者の約 55%が北海道内、約 45%が北海道外からとなっている。来館者分布をみると、性別では男性が女性の約 2 倍、年齢層は 60 代以上が多い分布となっており、アンケートはこれらの方に回答いただいた。

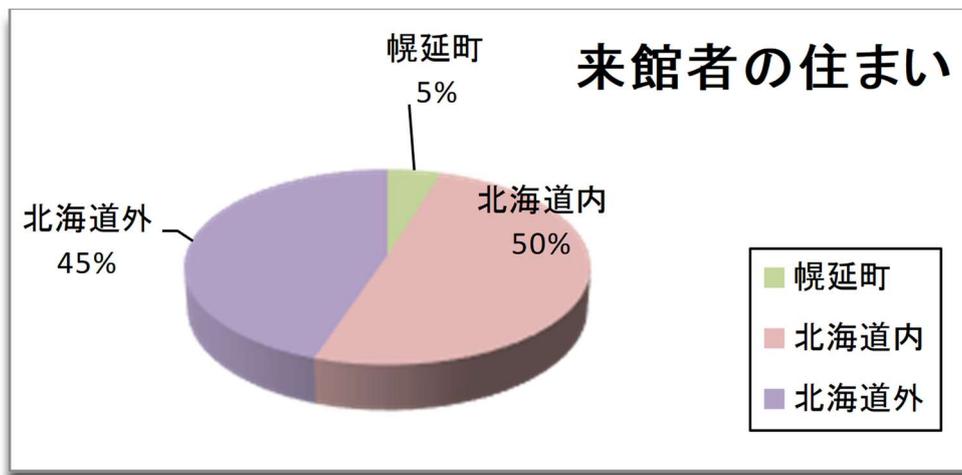


図 6.3.1-1 来館者の住まい

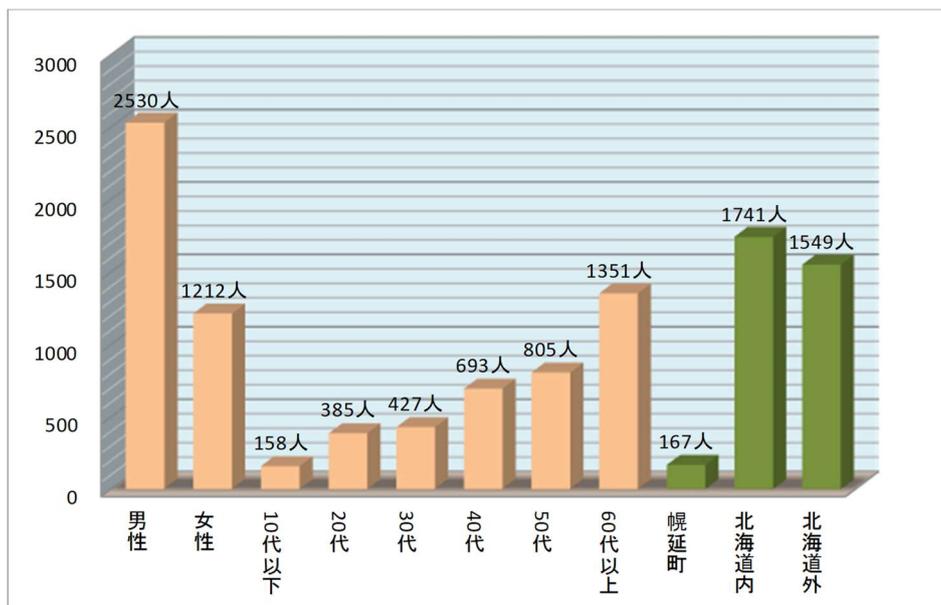


図 6.3.1-2 来館者の属性

(2) 当施設の情報取得方法

図 6.3.1-3 から理解促進活動の一環として取り組んでるホームページ、パンフレット、広告等で知ったという回答が 23.0%を占めたため、広報において、効果が得られたと考えられる。そのため、今後も引き続き、ホームページ、パンフレット、広告等を実施する。

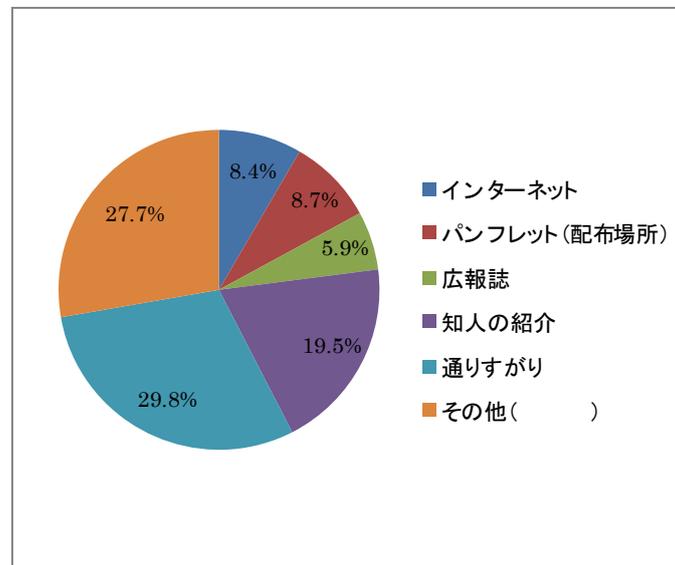


図 6.3.1-3 当施設について何で知りましたか

6.3.2 アンケート収集結果 (理解度)

施設見学後の感想についてのアンケート集計結果を図 6.3.2-1～図 6.3.2-5 に示す。図 6.3.2-1～図 6.3.2-5 の集計結果を下記に示す。この結果、各質問に対して、80%以上がわかった (よくわかった、だいたいわかった) と回答しており、幌延深地層研究センターによる理解促進活動は有効であると考えられる。

- ・ 来館後幌延深地層研究センターで行っている調査・研究内容について「わかった (よくわかった、大体わかった)」との回答が 92%を占めている。
- ・ 来館後地層処分について「わかった (よくわかった、大体わかった)」との回答が 91%を占めている。
- ・ 来館後高レベル放射性廃棄物の処分について「わかった (よくわかった、大体わかった)」との回答が 88%を占めている。
 - ・ 実物大の人工バリアについて「わかった (よくわかった、大体わかった)」との回答が 88%を占めている。
 - ・ 実物大の人工バリアを使った試験について「わかった (よくわかった、大体わかった)」との回答が 84%を占めている。

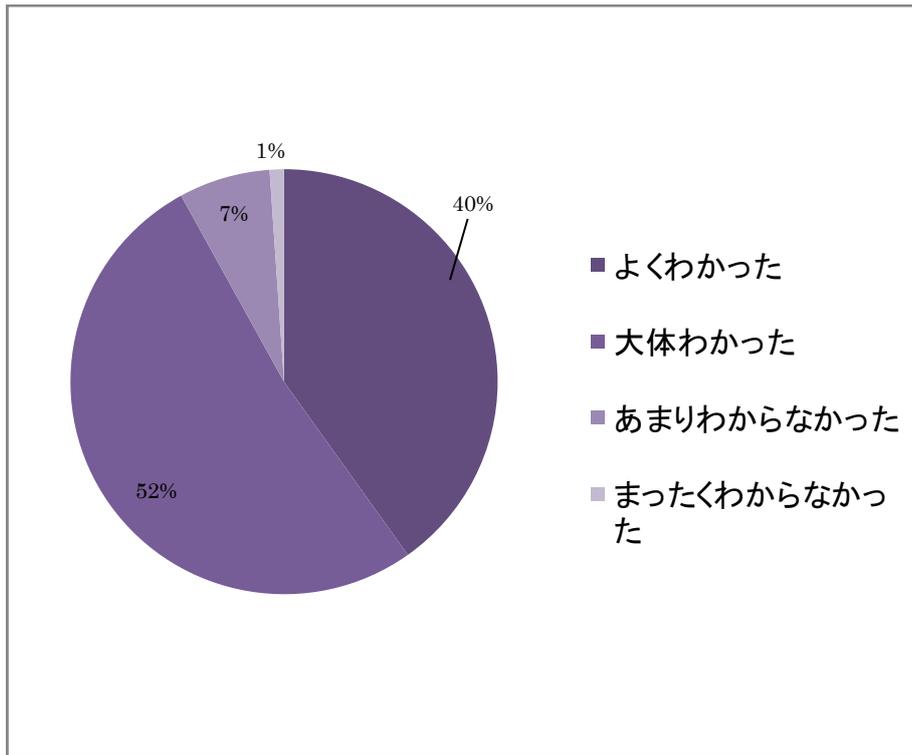


図 6.3.2-1 幌延深地層研究センターで行っている調査・研究内容について

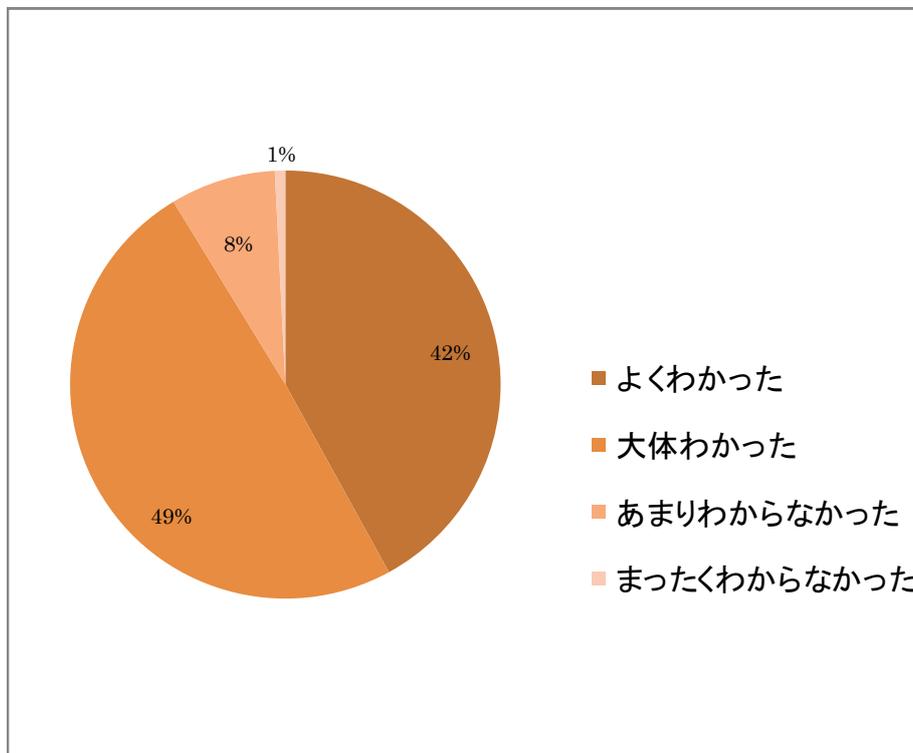


図 6.3.2-2 地層処分について

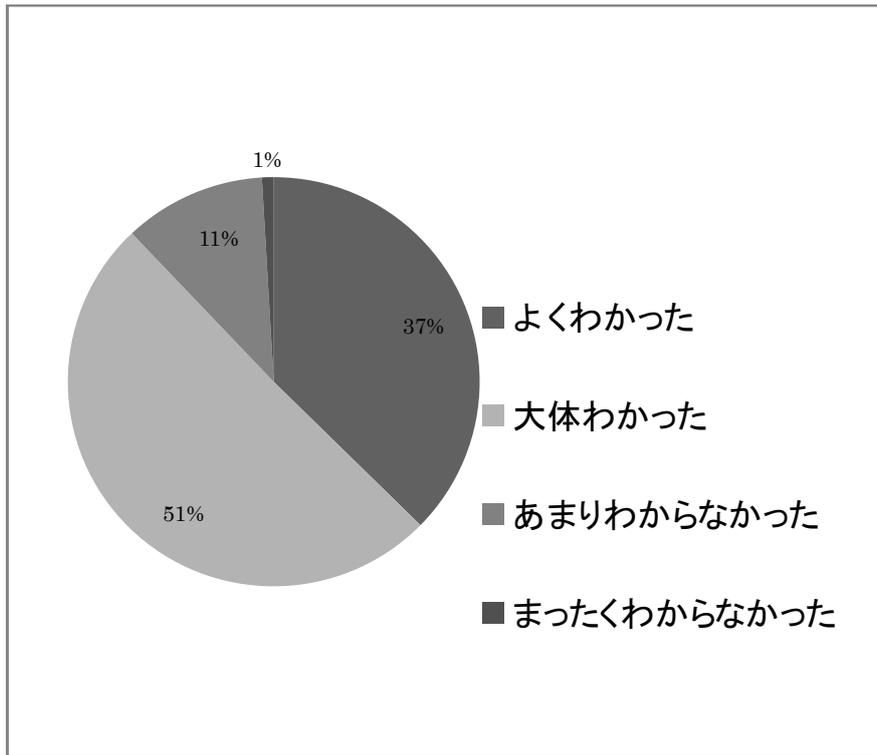


図 6.3.2-3 高レベル放射性廃棄物について

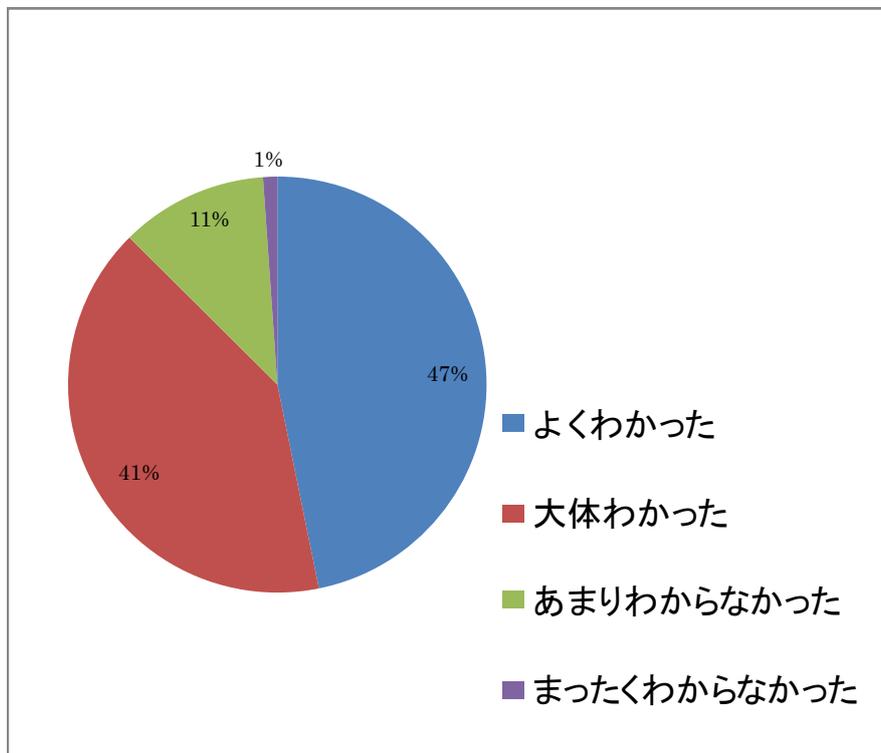


図 6.3.2-4 実物大の人工バリアについて

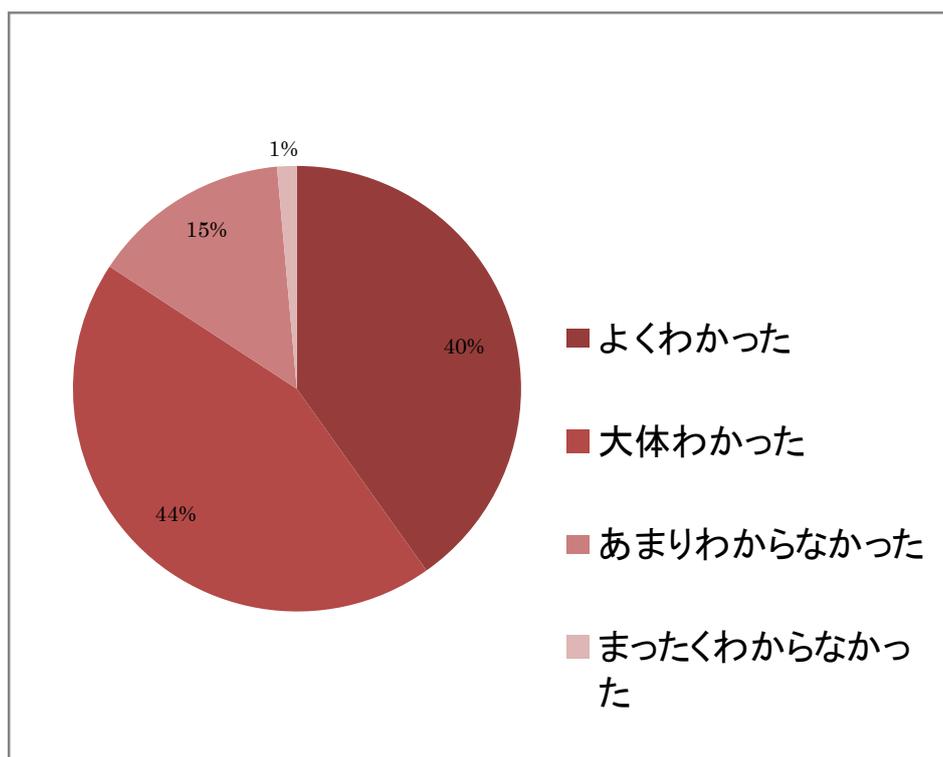


図 6.3.2-5 実物大の人工バリアを使った試験について

6.4 来館者記録の分析

6.4.1 概要

地層処分実規模試験施設では、高レベル放射性廃棄物の地層処分に関わる研究開発の成果の一端に、一般の方々が触れることができる場として、これまで多くの来館者に公開してきた。その過程で、地層処分関連技術等の一方向の情報提供だけでなく、地層処分事業に対する一般の方々の疑問や不安、意見等を来館者記録として蓄積してきた。本節では、地層処分に対しての理解促進の観点から、来館者記録を分析し、今後よりよい情報発信の方法を検討した。

6.4.2 分析結果

来館者記録から来館者との対話のトピックスの割合の変化を分析した結果を図 6.4.2-1 に示す。この結果から、本施設で説明している地層処分関連する項目が半数以上を占めることから、実際の関連装置等を目の前にした説明は来館者の興味・関心を引き出すことに有効であると言える。

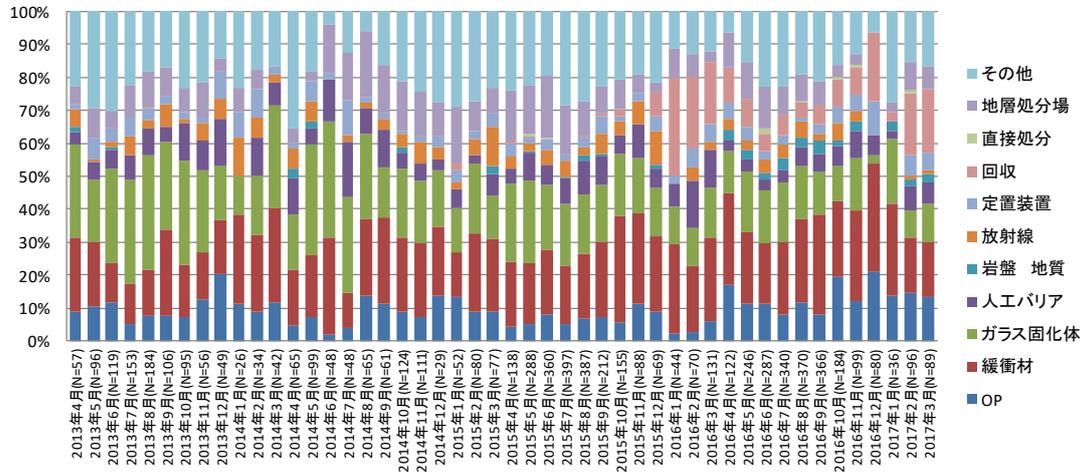


図 6.4.2-1 来館者との対話記録の分析例

6.5 まとめ

平成 29 年度は、地層処分実規模試験施設の運営を行った。詳細を下記に示す。

- ・平成 29 年度（平成 30 年 2 月 28 日現在）において、実規模試験施設の来館者数は 5452 名であった。
- ・実規模試験施設内にある緩衝材定置装置による緩衝材定置試験を「おもしろ科学館 2017in ほろのべ」にて実施した。来館者については、地層処分実規模試験施設のみで 572 名であった。
- ・緩衝材可視化試験は、地層処分における人工バリアの主要構成要素である緩衝材を対象として緩衝材浸潤・膨潤挙動の可視化による挙動把握、および来館者に対する緩衝材の性質や利用方法の理解促進を目的とし実施した。
- ・地層処分実規模試験施設の情報発信のため、一般情報誌や地元ラジオ局エフエムわっかない作成の番組表への掲載など、広告活動を実施した。アンケート結果から、ホームページ、パンフレット、広告等で知ったという回答が 22.9%を占めており、効果を確認できた。
- ・国立研究法人日本原子力研究開発機構が運営するゆめ地創館と共同で、施設の来館者へのアンケートを実施した。アンケート結果から、施設内見学後の来館者の感想は、地層処分や人工バリアに関して「よくわかった、大体わかった」と回答した人が 8 割以上となり、理解促進活動における効果を確認できた。
- ・これまで実規模試験施設にて実施してきた、来館者記録を分析し、来館者の興味・関心を把握することができた。今後、実規模説明資料の展示物や説明内容の方針の検討に活用する。

第6章 参考文献

- [1] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 21 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 22 年 3 月
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 22 年度核燃料サイクル関係推進調整等委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 23 年 3 月
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 23 年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 24 年 3 月
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度原子力施設立地推進調整事業等委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書、平成 25 年 3 月
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 25 年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備事業）報告書、平成 26 年 3 月
- [6] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度原子力発電施設広聴・広報等事業委託費（地層処分実規模設備運営等事業）報告書、平成 27 年 3 月
- [7] NUMO：地層処分事業の安全確保（2010 年度版），NUMO-TR-11-01（2011）
- [8] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 27 年度地層処分技術調査等事業（可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）報告書、2016 年 3 月
- [9] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 27 年度地層処分技術調査等事業（可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）報告書、2017 年 3 月

第7章 結言

7.1 平成29年度の成果

平成29年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に關する技術開発事業（可逆性・回収可能性調査・技術高度化開発）地下環境での搬送定置・回収技術の高度開発の成果を以下に記す。

7.1.1 実証試験サイトの整備

- 試験坑道2の性状調査として、レーザースキャナーを用いた三次元計測を行った。三次元計測の結果、実証試験に必要なスケール（1mm）よりも小さい間隔でデータが取得でき、コンクリート表面の気泡痕についても測定されていることを確認した。
- 定置装置の走行の可否に大きく影響を与えるコンクリート表面のクラック調査を行い、レーザースキャナーでは計測できないクラックの位置や幅等について目視により確認した。
- 試験坑道2内で実施した種々の要素試験等が、組立台コンクリート等の地下試験設備、既設構造物、また周辺岩盤に与える影響を評価することを目的として、組立台コンクリート内やトンネル支保工に設置した応力計で取得したデータの分析、数値解析結果と実測値の比較等による影響調査を行った。その結果、試験時には、ウエイト载荷による組立台コンクリートの引張応力などが計測されたものの、既設支保工や周辺岩盤に影響を及ぼすほどの力学的な変化は与えないことを確認した。
- 平成30年度より地下実証試験で使用する模擬 PEM を地下実証試験サイトに定置した。
- 平成30年度に実施する地上実証試験サイトの整備を行った。

7.1.2 搬送定置・回収技術の実証的整備

- 幌延 URL 試験坑道 2 の組立台における実機での地下実証試験に先立ち、同じ試験坑道 2 で要素試験装置を用いた走行試験を実施した。この要素試験により、以下の知見を得ることができた。
 - ・理想的な走行面である鋼製模擬坑道面での走行パラメータでは、地下に打設したコンクリート面上を走行出来ない。一方、流量を増加させることで、現場打設面上でエアベアリングによる重量物移送が可能なことを確認した。試験データを元に試算した結果、定置装置実機での空気総流量は約 30.4m³/min 以上と見積もられ、定置装置実機搬送部に搭載し 3 台のコンプレッサーの最大供給流量は約 20m³/min で実証試験時に不足するため、圧縮空気源の増強等の対策が必要となることを確認した。
 - ・鋼製模擬坑道での走行特性パラメータから、地下実打設面での走行特性を予測する換算係数を取得した。牽引力の最頻値 F(kN)の評価から、定常状態における荷重に対する F(kN)の近似式は以下の通りとなった。

$$F \text{ (kN)} = 0.12 + 0.18 \times \text{荷重(ton)}$$

- ・地下打設面上でエアベアリングの効果について、動摩擦係数が小さくなることを確認した。動摩擦係数は上記に示す近似式の“荷重”への係数から単位換算して、約 0.018 となる。この値は、エアベアリングのメーカーカタログ値 (0.001~0.007) や、地上鋼製模擬坑道上での摩擦係数試験結果 (0.0033) より大きくなるが、一般的な硬質ゴム-コンクリート間の摩擦係数 (0.6~0.85) より小さい。よって、エアベアリングの潤滑により動摩擦力を減少させる、すなわちエアベアリングが機能している、ことを確認した。

- 安全対策のための定置・回収装置の整備

定置・回収試験時の安全対策のために、以下の整備を実施した。

- ・運転者が装置の状態を一目で把握出来るよう、操作卓のモニターにトレンドグラフを表示した。
- ・地下坑道での機械安全性の向上のため、装置のステータスを表示する警告灯、音等を付与した。

7.1.3 隙間充填技術の実証的整備

- 充填技術の見直し

隙間充填技術の実証的整備では、適用する施工技術として下部狭隘部はペレット充填方式、上部開放部は吹付け方式とした。上部開放部の充填材料として、ベントナイトに混合する掘削土の代わりに性状が明らかなケイ砂を使用した。

表 7.1.3-1 隙間充填材の仕様

施工部位	施工方法	仕様	備考
上部開放部	吹付け	配合：ベントナイト：掘削土=50%：50% 乾燥密度：1.6Mg/m ³ 有効粘土密度：1.15Mg/m ³	掘削ズリの代わりにケイ砂を使用
下部狭隘部	ペレット	配合：ベントナイト 100% 乾燥密度：1.6Mg/m ³	

- 下部狭隘部の隙間充填技術の整備

幌延 URL 試験坑道 2 にて、ペレット充填方式を適用する空間を再現した模擬土槽を使用して、充填材の製造方法の妥当性、移送に採用したスクリーコンベアの配置や運転パラメータを取得した。これらに基づき、下部狭隘部充填装置を製作した。

- 上部開放部の隙間充填技術の整備

上部開放部の充填材料および工法を、ペレット充填方式から吹付け方式に変更となったことを受け、汎用機の使用を前提とした隙間充填。技術の整備を進めた。吹付け材料はベントナイト：混合土=50%：50%の混合土であるが、配合するケイ砂の粒度、含水比をパラメータとした突き固め試験を実施し、締固め特性が良い 3 号：5 号=50%：50%の配合を得た。目標とする密度達成のため、吹付け機械の適切な条件を検討したところ、エア流量と吹付き機の回転数を得た。一方流量の増加に伴う吹付け時の反力の増加に対応し、安全に作業を進めることが出来るよう、吹付けノズルは伸縮アームを有する機械で把持する方式とした。

- 幌延 URL での実証試験計画案の検討

平成 30 年度に実施を計画した、地下環境での隙間充填の実証試験に向け、幌延 URL での制約を加味した、装置の配置計画、材料製造計画等を検討した。

7.1.4 隙間充填材除去技術の実証的整備

- 機械的な方式による除去技術

機械的な方式による除去技術には、アースオーガにより隙間充填材を除去し吸引工法で撤去する方法を選定した。除去装置の技術概念の検討は、地層処分場で利用する隙間充填装置の概念（機械式除去による隙間充填材除去装置）を設定し、続いて技術的信頼性を実証するために必要な装置機構を抜き出した実証試験用の装置概念（処分技術実証装置）を決定した。そして幌延 URL 試験坑道 2 での実証に対応した装置の概念設計（原位置実証装置）の検討手順で実施した。

- ウォータージェット方式による除去技術

ウォータージェット方式による除去技術はウォータージェットにより隙間充填材を除去し吸引工法で撤去する方法とした。除去装置の技術概念の検討は、地層処分場で利用する隙間充填装置の概念（ウォータージェットによる隙間充填材除去装置）を設定し、続いて技術的信頼性を実証するために必要な装置機構を抜き出した実証試験用の装置概念（処分技術実証装置）を決定し、幌延 URL 試験坑道 2 での実証に対応した装置の概念設計（原位置実証装置）の検討手順で実施した。なお、本整理における除去対象は、上部開放部のうち PEM の周囲 300mm 以内および、狭隘部の充填材である。上部開放部の充填材は、ベントナイト混合土（ベントナイト：ケイ砂＝50:50）であり、吹付けにより充填している。また狭隘部の充填材はベントナイトの加工充填材である。

- ウォータージェット方式充填材除去の要素試験

除去対象物とウォータージェットノズルの距離による切削能力への影響について、1～30cm の距離では切削能力に差がないことが確認できた。各供試体条件の試験結果について、以下に記述する。

- 1) 粉体ベントナイトのみ

<飽和度 95%>

- ・最初の 5 秒の切削では、ノズル距離 30cm および 1cm とともに、切削距離が 10cm 程度
- ・噴射時間を 10 秒、20 秒と当て続けるとノズル距離の近い方が、全体の切削距離 5cm 程度長くなった。

<飽和度 45%>

- ・ウォータージェットを当てると水が奥まで走り、最初の 5 秒で一気に奥行き 50cm まで切削された（亀裂が入った）。

- 2) ベントナイト混合土

- ・粉体ベントナイトのみ程ではないが、飽和度が低い方の切削距離が長いことが確認できた。
- ・飽和度および乾燥密度が低い（すなわち、間隙比が大きい）ことから、ウォータージェットの水が一気に供試体の奥まで走り、亀裂が入った。
- ・20 秒経過時には供試体が、奥からジェットの水で洗い出されるような状態となった。

これらの結果は、昨年 の 切削試験において確認された、切削に要する時間と同様な結果が得られており、長手方向への切削においても影響があることを確認した。

7.1.5 地層処分実規模試験施設の活用

- 平成 29 年度は、地層処分実規模試験施設の運営を行った。
- 平成 29 年度（平成 30 年 2 月 28 日現在）において、実規模試験施設の来館者数は 5452 名であった。
- 実規模試験施設内にある緩衝材定置装置による緩衝材定置試験を「おもしろ科学館 2017in ほろのべ」にて実施した。来館者については、地層処分実規模試験施設のみで 572 名であった。
- 緩衝材可視化試験は、地層処分における人工バリアの主要構成要素である緩衝材を対象として緩衝材浸潤・膨潤挙動の可視化による挙動把握、および来館者に対する緩衝材の性質や利用方法の理解促進を目的とし実施した。
- 地層処分実規模試験施設の情報発信のため、一般情報誌や地元ラジオ局エフエムわっかない作成の番組表への掲載など、広告活動を実施した。アンケート結果から、ホームページ、パンフレット、広告等で知ったという回答が 22.9%を占めており、効果を確認できた。
- 国立研究法人日本原子力研究開発機構が運営するゆめ地創館と共同で、施設の来館者へのアンケートを実施した。アンケート結果から、施設内見学後の来館者の感想は、地層処分や人工バリアに関して「よくわかった、大体わかった」と回答した人が 8 割以上となり、理解促進活動における効果を確認できた。
- これまで実規模試験施設にて実施してきた、来館者記録を分析し、来館者の興味・関心を把握することができた。今後、実規模説明資料の展示物や説明内容の方針の検討に活用する。