

平成30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

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31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30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30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	回収可能性の維持についての検討

目次

第1章	はじめに	1-1
1.1	背景および目的	1-1
1.2	年度展開	1-1
1.3	昨年度の成果	1-2
1.3.1	搬送定置・回収技術の実証的整備	1-2
1.3.2	隙間充填技術の整備	1-3
1.3.3	隙間充填材除去技術の実証的整備	1-8
1.3.4	地層処分実規模試験施設の活用	1-10
1.4	平成30年度年度の実施内容	1-12
第2章	実証試験の概要	2-1
2.1	本事業における実証試験の前提条件の整理	2-1
2.2	実証試験の対象技術の設定と試験計画	2-2
2.2.1	人工バリアの定置方式による回収技術	2-2
2.2.2	実証試験で対象とする技術の抽出	2-5
2.2.3	実証試験実施内容の具体化	2-11
2.3	わが国における処分概念との対応の整理	2-25
2.3.1	関連情報の整理（NUMO-SC レビュー版）	2-26
2.3.2	本事業での設定との比較	2-29
2.4	実証試験の概要のまとめ	2-30
第3章	搬送定置・回収技術の実証的整備	3-1
3.1	実施概要	3-1
3.2	搬送定置・回収技術の開発計画	3-1
3.3	定置・回収装置の整備	3-4
3.3.1	装置の開発方針と装置構成	3-4
3.3.2	本年度の整備内容	3-6
3.4	地上模擬坑道での要素試験	3-10
3.4.1	試験目的	3-10
3.4.2	地上模擬坑道及び試験資機材	3-10
3.4.3	試験方法	3-14
3.4.4	試験ケース	3-15
3.4.5	試験結果	3-17
3.4.6	評価・考察	3-19
3.5	地上模擬坑道での実機試験	3-20
3.5.1	試験目的	3-20

3.5.2	地上模擬坑道及び試験資機材.....	3-20
3.5.3	試験方法.....	3-24
3.5.4	試験ケース.....	3-24
3.5.5	試験結果.....	3-26
3.5.6	評価・考察.....	3-29
3.6	まとめ.....	3-31
第4章	隙間充填技術の実証的整備.....	4-1
4.1	はじめに.....	4-1
4.1.1	隙間充填技術の実証的整備の背景.....	4-1
4.1.2	全体工程.....	4-1
4.1.3	対象とする坑道断面と充填方式.....	4-2
4.1.4	充填部の品質管理方法.....	4-3
4.2	地下環境での模擬 PEM-坑道間の下部狭隘部 隙間充填技術の実証的整備.....	4-4
4.2.1	下部狭隘部を対象とした充填技術.....	4-4
4.2.2	下部狭隘部の隙間充填技術整備手順.....	4-4
4.2.3	幌延 URL における下部狭隘部を対象とした隙間充填技術の実証試験.....	4-5
4.2.4	下部狭隘部を対象とした隙間充填技術 成果のまとめ.....	4-29
4.3	地下環境での模擬 PEM-坑道間の上部開放部 隙間充填技術の実証的整備.....	4-30
4.3.1	上部開放部を対象とした充填技術.....	4-30
4.3.2	上部開放部の隙間充填技術整備手順.....	4-30
4.3.3	幌延 URL における上部開放部を対象とした隙間充填技術の実証試験.....	4-31
4.3.4	上部開放部を対象とした隙間充填技術 成果のまとめ.....	4-73
第5章	隙間充填材除去技術の実証的整備.....	5-1
5.1	実施概要.....	5-1
5.2	除去対象とする隙間充填材.....	5-1
5.3	これまでの隙間充填材除去技術の整備成果.....	5-3
5.3.1	除去の条件.....	5-3
5.3.2	除去技術.....	5-3
5.4	機械的除去技術の整備.....	5-9
5.4.1	機械的除去技術の実証試験の対象範囲および今年度の実施内容.....	5-9
5.4.2	地上試験（機械的除去技術）.....	5-10
5.5	流体的除去技術の整備.....	5-23
5.5.1	流体的除去技術の実証試験における対象範囲および今年度の実施概要.....	5-23
5.5.2	地上試験（流体的除去技術）.....	5-24
5.6	実証試験計画（案）.....	5-63
5.6.1	幌延 URL 隙間充填材除去技術に係る実証試験計画.....	5-63

5.7	隙間充填除去技術に関する今年度の成果まとめ	5-65
第6章	地層処分実規模試験施設の運営	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	緩衝材定置試験の公開	6-4
6.2.4	ベントナイト体感試験の実施	6-5
6.2.5	緩衝材可視化試験の公開	6-6
6.3	アンケートの分析	6-13
6.3.1	アンケート回答者の属性	6-13
6.3.2	アンケート収集結果（理解度）	6-15
6.4	来館者記録の分析	6-17
6.4.1	概要	6-17
6.4.2	分析結果	6-17
6.5	まとめ	6-19
第7章	まとめ	7-1
7.1	平成30年度の成果	7-1
7.1.1	地下環境での搬送定置・回収技術の実証的整備	7-1
7.1.2	地層処分実規模試験施設の運用	7-3

目 次

図 1.2-1	5 ヶ年の全体計画.....	1-1
図 1.3.1-1	エアベアリング技術の概要	1-2
図 1.3.1-2	試験坑道 2 での要素試験の様子.....	1-3
図 1.3.1-3	装置総重量と供給空気量の関係（地下要素試験）	1-3
図 1.3.2-1	下部狭隘部の隙間充填試験（ペレット充填方式）フロー	1-4
図 1.3.2-2	狭隘部充填装置外観	1-5
図 1.3.2-3	充填試験後の狭隘部内部の様子（サンプリング後）	1-5
図 1.3.2-4	突き固め試験の結果の一例（ケイ砂：3号+5号）	1-6
図 1.3.2-5	吹付け用充填材材料の製造プラント	1-6
図 1.3.2-6	吹付け要素試験状況	1-7
図 1.3.2-7	伸縮アームを有する吹付け装置を使用した吹付け施工確認試験の状況	1-8
図 1.3.2-8	吹付け施工確認試験結果（コアサンプリング）	1-8
図 1.3.3-1	機械的除去と流体除去の対象.....	1-9
図 1.3.3-2	隙間充填材除去の除去工程	1-9
図 1.3.3-3	機械的除去方法による設備の概念例.....	1-9
図 1.3.3-4	奥行方向の切削試験状況	1-10
図 1.3.4-1	緩衝材可視化試験（ブロック定置方式の模擬）	1-11
図 2.2.1-1	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 [1]	2-2
図 2.2.1-2	処分孔縦置き定置方式を対象とした緩衝材除去試験の様子 [1]	2-3
図 2.2.1-3	横置き定置方式 塩水による緩衝材除去試験の様子[2]	2-3
図 2.2.1-4	定置概念ごとの技術開発状況（本事業開始時）	2-4
図 2.2.2-1	処分坑道横置き・PEM 方式の回収可能性維持の状態オプション[3]	2-5
図 2.2.2-2	処分坑道ー主要坑道間のプラグの撤去	2-6
図 2.2.2-3	坑道埋戻し材の除去（廃棄体から離れた部分）	2-6
図 2.2.2-4	隙間充填材の除去（処分坑道内）	2-6
図 2.2.2-5	定置場所から処分坑道外への PEM の搬送.....	2-7
図 2.2.2-6	状態オプション 2 からの回収作業の工程イメージ.....	2-8
図 2.2.2-7	PEM - 坑道間の隙間充填技術.....	2-9
図 2.2.2-8	PEM の搬送・定置技術.....	2-9
図 2.2.2-9	PEM の回収技術（定置の逆動線）	2-9
図 2.2.2-10	処分坑道横置き・PEM 方式の定置／回収作業における位置付け	2-10
図 2.2.2-11	5 ヶ年の実証試験の計画（当初）	2-11
図 2.2.3-1	幌延 URL 試験坑道 2[7].....	2-12
図 2.2.3-2	試験坑道 2 の整備状況.....	2-12

図 2.2.3-3	コンクリート製組立台、PCa 製台座の施工状況	2-13
図 2.2.3-4	整備前後の試験坑道 2 の様子.....	2-13
図 2.2.3-5	幌延 URL 試験坑道 2 への定置装置の設置イメージ.....	2-15
図 2.2.3-6	PEM の回収工程における一般的な状態	2-16
図 2.2.3-7	地下での充填試験の範囲	2-16
図 2.2.3-8	隙間充填材の除去工程のイメージ.....	2-17
図 2.2.3-9	分解状況の進展（ベントナイト 70%、ケイ砂 30%配合） [9]	2-18
図 2.2.3-10	流体的除去における切削水の特性と除去対象への作用の整理.....	2-19
図 2.2.3-11	対象となる模擬 PEM の仕様および寸法[10]	2-20
図 2.2.3-12	試験坑道 2 に定置した模擬 PEM[11]	2-20
図 2.2.3-13	模擬 PEM と試験坑道 2 妻壁間に配した疑似 PEM[11].....	2-21
図 2.2.3-14	幌延 URL 試験坑道 2 と地上に整備した模擬コンクリート坑道	2-22
図 2.2.3-15	横倒し組み半割れ構造 PEM 容器の活用[12]	2-22
図 2.2.3-16	地上施設での定置装置実機の機能確認試験の様子.....	2-22
図 2.2.3-17	幌延 URL 試験坑道 2 の PEM-坑道の隙間形状	2-23
図 2.2.3-18	下部狭隘部を模擬した試験土槽[11]	2-23
図 2.2.3-19	上部開放部を模擬した試験土槽[11]	2-24
図 2.2.3-20	下部狭隘部の充填材除去技術の検討における試験土槽.....	2-24
図 2.2.3-21	機械的除去のオーガアタッチメントと地下での作業イメージ.....	2-25
図 2.2.3-22	上部開放部の充填材除去技術の検討における試験土槽.....	2-25
図 2.3.1-1	PEM 一体化モジュールの概念図（埋戻し後の状態） [15]	2-26
図 2.3.1-2	処分坑道横置き・PEM 方式の処分坑道の断面形状[15]	2-27
図 2.3.1-3	隙間埋戻し材の除去方法の概念イメージ[15]	2-28
図 2.3.1-4	埋戻し材除去後の PEM の回収方法のイメージ[15]	2-29
図 3.3.1-1	エアベアリング技術による PEM 回収動作概要図.....	3-2
図 3.3.1-2	搬送定置・回収技術の実証的整備の開発計画模式図	3-3
図 3.3.1-1	定置・回収装置の完成イメージ図.....	3-5
図 3.3.1-2	定置・回収装置の 5 ヶ年整備計画.....	3-5
図 3.3.2-1	エア系統図.....	3-7
図 3.3.2-2	エア受入れ部と外部供給ホースの取付位置図	3-7
図 3.3.2-3	幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験装置の走行跡	3-8
図 3.3.2-4	幌延 URL 試験坑道 2 の PEM 設置位置図	3-9
図 3.3.2-5	定置・回収装置（定置部）の走行ローラの取付位置図（改造前後）	3-9
図 3.4.2-1	地上模擬坑道 平面図.....	3-10
図 3.4.2-2	要素試験装置 外形図.....	3-11
図 3.4.2-3	要素試験装置（写真）	3-11

図 3.4.3-1	排土板取付け状態（要素試験 2）	3-14
図 3.4.4-1	残留物設置状態（要素試験 2）	3-16
図 3.4.4-2	上敷き材の設置状態（要素試験 2）	3-16
図 3.4.5-1	排土板による残留物の押し退け状態（要素試験 2）	3-18
図 3.5.2-1	定置・回収装置の構造図	3-22
図 3.5.2-2	定置・回収装置（写真）	3-23
図 3.5.5-1	実機試験 地上模擬坑道の台座境界位置と押引力との関連	3-27
図 3.5.5-2	前方 PEM 接近試験状況（前方確認カメラ）	3-28
図 3.5.6-1	実機試験 押引力の分布	3-30
図 3.5.6-2	幌延 URL 試験坑道 2 の PEM 設置位置図	3-30
図 4.1.2-1	隙間充填技術の実証的整備の全体工程	4-1
図 4.1.3-1	充填・実証の対象とする坑道断面と充填方式[1]	4-2
図 4.1.3-2	各充填方式による充填イメージ[1] [2]	4-2
図 4.2.2-1	平成 29 年度までの下部狭隘部の充填技術の整備フロー	4-4
図 4.2.3-1	下部狭隘部の隙間充填装置配置イメージ（試験坑道 2）	4-5
図 4.2.3-2	下部狭隘部を対象とした隙間充填技術の実証試験 実施フロー	4-6
図 4.2.3-3	下部狭隘部の充填材 製造工程	4-7
図 4.2.3-4	ロールプレス後のベントナイト	4-7
図 4.2.3-5	粒度調整後のベントナイト	4-7
図 4.2.3-6	粒度分布の管理（平成 29 年度）	4-8
図 4.2.3-7	粒度分布の管理（平成 30 年度）	4-8
図 4.2.3-8	充填容積	4-9
図 4.2.3-9	移送性能確認試験および予備試験実施時の概要図	4-10
図 4.2.3-10	移送性能確認試験結果（平成 30 年度）	4-10
図 4.2.3-11	スクリュー回転速度と移送性能の関係（平成 30 年度）	4-11
図 4.2.3-12	施工プロセス管理	4-12
図 4.2.3-13	下部狭隘部隙間充填装置全景	4-14
図 4.2.3-14	下部狭隘部隙間充填装置全景	4-14
図 4.2.3-15	幌延 URL 試験坑道 2 における下部狭隘部隙間充填装置配置状況	4-15
図 4.2.3-16	充填試験装置配置状況	4-16
図 4.2.3-17	試験実施手順（充填施工）	4-17
図 4.2.3-18	原位置実証試験の実施イメージ	4-18
図 4.2.3-19	充填材料小分け作業	4-19
図 4.2.3-20	充填材料小分け作業全景	4-19
図 4.2.3-21	充填材料小分け作業完了	4-19
図 4.2.3-22	充填材料小分け作業完了	4-19

図 4.2.3-23	充填試験前	4-20
図 4.2.3-24	ホッパーへの投入開始	4-20
図 4.2.3-25	ホッパーへの投入状況_1	4-20
図 4.2.3-26	ホッパーへの投入状況_2	4-20
図 4.2.3-27	充填装置後退確認_1	4-20
図 4.2.3-28	充填装置後退確認_2	4-20
図 4.2.3-29	充填試験状況	4-21
図 4.2.3-30	充填試験状況	4-21
図 4.2.3-31	充填確認_狭隘部左前面	4-21
図 4.2.3-32	充填確認_狭隘部右前面	4-21
図 4.2.3-33	充填確認_狭隘部左上部境界面	4-21
図 4.2.3-34	充填確認_狭隘部右上部境界面	4-21
図 4.2.3-35	充填確認_装置全体正常確認	4-22
図 4.2.3-36	実証試験における実充填容積	4-23
図 4.2.3-37	物質の密度と温度の経時変化のイメージ	4-25
図 4.2.3-38	坑道延長方向の光ファイバーケーブル配置	4-25
図 4.2.3-39	各点における熱伝導率変化計測結果（坑道延長方向）	4-26
図 4.2.3-40	平成 29 年度の地上予備試験時のサンプリングによる充填密度分布	4-26
図 4.2.3-41	PEM 半径方向の光ファイバーケーブル配置	4-27
図 4.2.3-42	各点における熱伝導率変化計測結果（PEM 半径方向）	4-28
図 4.2.3-43	地上予備試験時のサンプリングによる充填密度分布	4-28
図 4.3.2-1	上部開放部の形状（幌延 URL 深度 350m 坑道 試験坑道 2）	4-30
図 4.3.2-2	平成 29 年度までの上部開放部の充填技術の整備フロー	4-31
図 4.3.3-1	下部狭隘部と上部開放部の境界に設置した鉄板	4-31
図 4.3.3-2	幌延 URL 試験坑道 2 上部開放部の充填範囲図	4-32
図 4.3.3-3	上部開放部 実証試験フロー	4-33
図 4.3.3-4	上部開放部の隙間充填に係る全体設備・機械配置	4-34
図 4.3.3-5	ケイ砂混合プラント設備 配置図	4-35
図 4.3.3-6	ケイ砂混合プラント	4-35
図 4.3.3-7	ベントナイト混合プラント設備 配置図	4-35
図 4.3.3-8	ベントナイト混合プラント	4-36
図 4.3.3-9	ベントナイト混合プラントのうちベントナイト計量用サイロ	4-36
図 4.3.3-10	隙間充填材の製造フロー	4-37
図 4.3.3-11	隙間充填材の製造状況（1/2）	4-38
図 4.3.3-12	隙間充填材の製造状況（2/2）	4-39
図 4.3.3-13	隙間充填材の運搬状況（1/2）	4-39

図 4.3.3-14	隙間充填材の運搬状況 (2/2)	4-40
図 4.3.3-15	作業床 (山留材) の設置計画図	4-41
図 4.3.3-16	作業床 (山留材) の設置状況	4-41
図 4.3.3-17	坑道内楊重用レール (I ビーム) 撤去範囲	4-42
図 4.3.3-18	I ビーム撤去前後の状況	4-42
図 4.3.3-19	吹付けプラント設備の設置図	4-43
図 4.3.3-20	吹付けプラント設備の主要機械 (1/2)	4-43
図 4.3.3-21	吹付けプラント設備の主要機械 (2/2)	4-44
図 4.3.3-22	伸縮アーム式吹付け機械 (MINIMEC) 稼働範囲図 [4]	4-45
図 4.3.3-23	距離計、パトランプ設置状況	4-46
図 4.3.3-24	吹付け範囲 (再掲)	4-47
図 4.3.3-25	一連の吹付け作業	4-48
図 4.3.3-26	隙間充填材の突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210)	4-50
図 4.3.3-27	ベントナイト混合土の含水比結果 (混合後)	4-51
図 4.3.3-28	ベントナイト混合率の結果 (混合後)	4-51
図 4.3.3-29	上部開放部の吹付けによる充填前後	4-52
図 4.3.3-30	コアサンプリングおよび誘電率計測箇所 説明図	4-54
図 4.3.3-31	コアサンプリング	4-54
図 4.3.3-32	誘電率計 (SM150T)	4-55
図 4.3.3-33	誘電率計測方法	4-55
図 4.3.3-34	誘電率計測状況	4-55
図 4.3.3-35	誘電率計出力値-体積含水率 検量線	4-56
図 4.3.3-36	3D スキャナ 外観	4-56
図 4.3.3-37	3D スキャナによる計測 球形ターゲット設置位置 (計 5 点)	4-57
図 4.3.3-38	吹付け施工後の乾燥密度 (コアサンプリング)	4-58
図 4.3.3-39	吹付け施工後のベントナイト混合率 (コアサンプリング)	4-58
図 4.3.3-40	吹付け施工後の含水比 (コアサンプリング)	4-59
図 4.3.3-41	コアサンプリング結果 (1/22 PM)	4-59
図 4.3.3-42	コアサンプリング結果 (サンプリング測箇所毎の乾燥密度)	4-60
図 4.3.3-43	吹付け施工後の乾燥密度 (誘電率計測)	4-61
図 4.3.3-44	誘電率計測結果 (1/22 PM 計測箇所毎の乾燥密度)	4-61
図 4.3.3-45	誘電率計測結果 (計測箇所毎の乾燥密度)	4-62
図 4.3.3-46	吹付け施工後の乾燥密度 (3D スキャナ計測)	4-63
図 4.3.3-47	3D スキャナによる吹付け体積の計測結果 (3D 図)	4-64
図 4.3.3-48	乾燥密度の各計測結果と施工日の関係	4-66
図 4.3.3-49	コアサンプリングと誘電率計測による乾燥密度計測結果	4-66

図 4.3.3-50	突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) と実証試験結果の比較	4-67
図 4.3.3-51	2Ec の締固め曲線の最大乾燥密度に対する締固め度の算出結果	4-67
図 4.3.3-52	隙間充填材の製造毎 (フレコン毎) の含水比結果	4-68
図 4.3.3-53	吹付け前後 (製造後、施工後) の含水比結果	4-69
図 4.3.3-54	吹付け前後 (製造後、施工後) のベントナイト混合率結果	4-70
図 4.3.3-55	回収時間とリバウンド回収量の関係	4-70
図 4.3.3-56	全体の吹付け施工サイクルタイム	4-71
図 4.3.3-57	環境データ (地上 西建屋)	4-72
図 4.3.3-58	環境データ (地下 350m 試験坑道 2)	4-72
図 5.3.1-1	除去対象とする隙間充填材の形状	5-1
図 5.3.1-2	隙間充填の前後の写真	5-2
図 5.3.1-1	隙間充填材の除去手順	5-3
図 5.3.2-1	実証試験における各々の除去技術の対象領域 断面図	5-4
図 5.3.2-2	実証試験に資する機械的除去装置の概念図	5-4
図 5.3.2-3	機械的除去技術の整備フロー	5-5
図 5.3.2-4	流体を使用した充填材への除去方法の整理の一例	5-5
図 5.3.2-5	流体的除去技術 (ウォータージェット方式) の整備フロー	5-6
図 5.4.1-1	実証試験における各々の除去技術の対象領域 断面図	5-9
図 5.4.2-1	地上試験フロー (機械的除去技術)	5-10
図 5.4.2-2	オーガアタッチメント説明図、オーガスクリー写真	5-11
図 5.4.2-3	地上試験で使用した主要資機材	5-12
図 5.4.2-4	地上試験 資機材配置図	5-13
図 5.4.2-5	供試体①②の作成状況およびベントナイトブロック	5-14
図 5.4.2-6	最大切削深さ	5-15
図 5.4.2-7	奥行き方向への除去手順	5-15
図 5.4.2-8	ベントナイトブロックを対象とした試験状況	5-17
図 5.4.2-9	供試体①を対象とした試験状況 (1/2)	5-18
図 5.4.2-10	供試体①を対象とした試験状況 (2/2)	5-19
図 5.4.2-11	供試体②を対象とした試験状況 (1/2)	5-21
図 5.4.2-12	供試体②を対象とした試験状況 (2/2)	5-22
図 5.4.2-13	改良後の吸込み口	5-22
図 5.4.2-14	1 段目の切削・回収後	5-22
図 5.4.2-15	2 段目の切削・回収後	5-22
図 5.5.1-1	実証試験における各々の除去技術の対象領域 断面図	5-23
図 5.5.2-1	地上試験フロー (流体的除去技術)	5-24
図 5.5.2-2	流体的除去装置の基本動作 説明図	5-25

図 5.5.2-3	流体的除去装置の各部名称等 説明図	5-25
図 5.5.2-4	除去装置 1 (振り子式) 説明図	5-26
図 5.5.2-5	除去装置 1 (振り子式) 写真	5-26
図 5.5.2-6	除去装置 2 (ガイドレール式) 説明図	5-27
図 5.5.2-7	除去装置 2 (ガイドレール式) 写真	5-27
図 5.5.2-8	ノズル 取り付け位置図	5-28
図 5.5.2-9	各ノズルの特徴等 一覧	5-28
図 5.5.2-10	主要資機材 写真	5-29
図 5.5.2-11	地上試験時の資機材配置図の全体図	5-30
図 5.5.2-12	地上試験ヤードの区画図 (左)、地上試験ヤード写真 (右)	5-30
図 5.5.2-13	地上試験ヤードの準備状況	5-31
図 5.5.2-14	下部狭隘部への充填材の充填	5-32
図 5.5.2-15	充填材の下部狭隘部への充填後 (右側)	5-33
図 5.5.2-16	充填材の下部狭隘部への充填後 (左側)	5-33
図 5.5.2-17	試験フロー (試験 1)	5-36
図 5.5.2-18	狭隘部左側 噴射前	5-37
図 5.5.2-19	直射ノズル 20MPa 噴射後	5-37
図 5.5.2-20	トルネードノズル 20MPa 噴射後	5-37
図 5.5.2-21	扇射ノズル 20MPa 噴射後	5-37
図 5.5.2-22	配管清掃用ノズル①20MPa 噴射後 (前後横の 3 方向)	5-38
図 5.5.2-23	試験フロー (試験 2)	5-39
図 5.5.2-24	開放部と狭隘部の境界部の条件	5-44
図 5.5.2-25	試験フロー (試験 3)	5-44
図 5.5.2-26	試験ケース 3-1 除去手順毎の状況	5-46
図 5.5.2-27	試験ケース 3-2 除去手順毎の状況	5-47
図 5.5.2-28	試験ケース 3-2 トルネードによる前進除去後	5-49
図 5.5.2-29	試験ケース 3-2 配管清掃用ノズル② 除去後 (1 往復後)	5-49
図 5.5.2-30	試験ケース 3-2 配管清掃用ノズル② 除去後 (2 往復後)	5-50
図 5.5.2-31	試験ケース 3-2 半 PEM 最奥部の除去手順毎の状況	5-50
図 5.5.2-32	上部開放部と下部狭隘部の境界部への蓋の設置の有無 説明図	5-52
図 5.5.2-33	試験ケース 3-3 試験状況 (1/2)	5-52
図 5.5.2-34	試験ケース 3-3 試験状況 (2/2)	5-53
図 5.5.2-35	試験ケース 3-3 配管清掃用ノズル② 除去後 (1 往復後)	5-54
図 5.5.2-36	試験ケース 3-3 配管清掃用ノズル② 除去後 (2 往復後)	5-54
図 5.5.2-37	試験ケース 3-3 モルタルの剥がれ (5cm×7cm、深さ 2~3mm)	5-55
図 5.5.2-38	モルタル区画 2 の試験前 (左側狭隘部にて試験実施)	5-55

図 5.5.2-39	配管清掃用ノズル②での除去状況（1往復後、2往復後）	5-56
図 5.5.2-40	試験ケース 3-4 配管清掃用ノズル② 除去後（2往復後）	5-57
図 5.5.2-41	試験ケース 3-4 試験終了後 走行面（モルタル面）	5-58
図 5.5.2-42	回収用バキュームの位置 説明図	5-59
図 5.5.2-43	吸引口および回収ホースの設置位置	5-60
図 5.5.2-44	ハイウォッシャーによる回収補助	5-60
図 5.5.2-45	除去装置 1（振り子式）の改良図	5-61
図 5.5.2-46	改良後の流体的除去装置（振り子式）の模式図	5-61
図 5.5.2-47	改良後の流体的除去装置（振り子式）	5-62
図 5.6.1-1	幌延 URL 隙間充填材除去技術に係る実証試験計画（案）	5-63
図 5.6.1-2	機械的除去技術に関する幌延 URL での実証試験の計画図	5-64
図 5.6.1-3	流体的除去技術に関する幌延 URL での実証試験の計画図	5-64
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	実規模施設 展示状況	6-3
図 6.2.3-1	緩衝材定置試験公開状況（監視カメラ映像の投影）	6-5
図 6.2.4-1	ベントナイト体感試験状況	6-5
図 6.2.5-1	緩衝材可視化試験のイメージ図	6-6
図 6.2.5-2	緩衝材成型用型枠	6-7
図 6.2.5-3	圧縮成型用型枠の組立	6-8
図 6.2.5-4	ブロック圧縮成型の準備	6-8
図 6.2.5-5	緩衝材の圧縮作業	6-8
図 6.2.5-6	ジョイントピンの交換	6-9
図 6.2.5-7	圧縮成型体の脱型	6-9
図 6.2.5-8	緩衝材ブロック	6-9
図 6.2.5-9	緩衝材可視化試験装置の組立手順図	6-10
図 6.2.5-10	緩衝材可視化試験装置の製作状況	6-10
図 6.2.5-11	可視化試験の公開の様子	6-11
図 6.2.5-12	緩衝材ブロックの経時変化	6-12
図 6.3.1-1	来館者住まいの分布	6-13
図 6.3.1-2	来館者属性の分布	6-13
図 6.3.1-3	地層処分実規模試験施設の情報取得方法の分布	6-14
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	6-15
図 6.3.2-2	地層処分について	6-16
図 6.3.2-3	高レベル放射性廃棄物について	6-16
図 6.3.2-4	実物大の人工バリアについて	6-16

図 6.3.2-5	実物大の人工バリアを使った試験について	6-17
図 6.4.2-1	来館者との対話記録の分析例	6-18

表 目 次

表 1.3.2-1	吹付け要素試験の結果.....	1-7
表 2.3.1-1	埋戻し材料の設計要件[15].....	2-27
表 2.3.1-2	埋戻し材料の評価項目[15].....	2-27
表 2.3.1-3	埋戻し材の仕様[15].....	2-28
表 3.4.2-1	要素試験装置の仕様.....	3-11
表 3.4.2-2	要素試験における計測項目と計器の仕様表.....	3-12
表 3.4.2-3	要素試験におけるその他機材の仕様表.....	3-12
表 3.4.4-1	要素試験 1 試験ケース.....	3-15
表 3.4.4-2	要素試験 2 試験ケース.....	3-16
表 3.4.5-1	要素試験 1 平均牽引力及び動摩擦係数.....	3-17
表 3.4.5-2	要素試験 2 平均牽引力及び動摩擦係数（参考）.....	3-18
表 3.5.2-1	定置・回収装置の仕様.....	3-20
表 3.5.2-2	実機試験における確認項目と設置計器類.....	3-21
表 3.5.2-3	実機試験におけるその他機材の仕様表.....	3-23
表 3.5.4-1	実機試験 試験ケース.....	3-25
表 3.5.5-1	実機試験 平均押引力及び動摩擦係数.....	3-26
表 4.2.3-1	各製造工程における充填材の品質確認結果.....	4-8
表 4.2.3-2	移送性能確認試験結果（平成 30 年度）.....	4-10
表 4.2.3-3	移送性能確認試験結果のとりまとめ（平成 30 年度）.....	4-11
表 4.2.3-4	移送性能確認試験結果（平成 29 年度）.....	4-11
表 4.2.3-5	地上予備試験のうち試験ケース 4-2（平成 29 年度）の試験条件.....	4-12
表 4.2.3-6	地下充填実証試験の試験条件.....	4-13
表 4.2.3-7	実証試験実施手順.....	4-17
表 4.2.3-8	下部狭隘部への実充填質量.....	4-24
表 4.2.3-9	下部狭隘部充填密度（乾燥密度は材料製造時の含水比 6.5%を用いて算出）	4-24
表 4.3.2-1	上部開放部の隙間充填材の目標乾燥密度.....	4-30
表 4.3.3-1	隙間充填材製造プラント設備 主要機械.....	4-36
表 4.3.3-2	隙間充填材 混合時の 1 バッチ当たりの基本配合.....	4-38
表 4.3.3-3	吹付けプラント設備の主要機械.....	4-43
表 4.3.3-4	伸縮アーム式吹付け機械（MINIMEC） 仕様.....	4-44
表 4.3.3-5	上部開放部の充填材料および目標の乾燥密度（再掲）.....	4-46
表 4.3.3-6	吹付けパラメータと設定値[3].....	4-46
表 4.3.3-7	吹付け数量.....	4-47

表 4.3.3-8	管理項目 一覧.....	4-49
表 4.3.3-9	使用材料の含水比測定結果（混合前）	4-50
表 4.3.3-10	ベントナイト混合土の混合条件	4-51
表 4.3.3-11	上部開放部の吹付けによる充填結果.....	4-53
表 4.3.3-12	品質管理の実施時期 一覧	4-53
表 4.3.3-13	SM150 仕様.....	4-55
表 4.3.3-14	3D スキャナ仕様	4-57
表 4.3.3-15	吹付け施工後の乾燥密度（3D スキャナ計測）	4-63
表 4.3.3-16	乾燥密度に関する品質管理	4-65
表 4.3.3-17	乾燥密度結果 一覧	4-65
表 4.3.3-18	含水比に関する品質管理	4-68
表 4.3.3-19	ベントナイト混合率に関する品質管理	4-69
表 4.3.3-20	リバウンド材の捕集効率	4-70
表 4.3.3-21	吹付け施工サイクルタイム（全体・1m ³ 当たり）	4-71
表 4.3.3-22	吹付け施工の作業効率.....	4-71
表 5.3.1-1	下部狭隘部の充填材料の仕様および目標の乾燥密度	5-2
表 5.3.1-2	上部開放部の充填材料の仕様および目標の乾燥密度	5-2
表 5.3.1-3	下部狭隘部の隙間充填 実証試験 結果.....	5-2
表 5.3.1-4	上部開放部の隙間充填 実証試験 結果.....	5-2
表 5.3.2-1	機械的除去装置の技術概念	5-7
表 5.3.2-2	流体的（ウォータージェット方式）除去装置の技術概念.....	5-8
表 5.4.1-1	機械的除去技術の対象とする充填材の仕様および目標の乾燥密度	5-9
表 5.4.2-1	オーガアタッチメントの仕様.....	5-11
表 5.4.2-2	地上試験で使用した主要資機材の一覧	5-11
表 5.4.2-3	地上試験で使用した供試体（ベントナイト混合土）条件	5-13
表 5.4.2-4	地上試験 確認項目 一覧	5-15
表 5.4.2-5	地上試験 試験ケース.....	5-16
表 5.4.2-6	ベントナイトブロックを対象とした試験結果	5-17
表 5.4.2-7	供試体①（含水比 約 20%）を対象とした試験結果	5-18
表 5.4.2-8	供試体②（含水比 約 16%）を対象とした試験結果	5-20
表 5.5.1-1	流体的除去技術の対象とする充填材の仕様および目標の乾燥密度	5-23
表 5.5.2-1	除去装置 1（振り子式） 仕様.....	5-26
表 5.5.2-2	除去装置 2（ガイドレール式） 仕様.....	5-27
表 5.5.2-3	主要資機材一覧（除去装置以外）	5-29
表 5.5.2-4	試験ケース	5-34
表 5.5.2-5	試験ケースおよび各試験時の除去装置の配置図.....	5-35

表 5.5.2-6	試験 1 試験ケース	5-36
表 5.5.2-7	試験結果 (試験 1)	5-37
表 5.5.2-8	各ノズルの使用水量 (噴射圧 20MPa 時)	5-38
表 5.5.2-9	試験 2 試験ケース	5-38
表 5.5.2-10	試験 2 の試験手順	5-39
表 5.5.2-11	試験ケース 2-1 除去状況まとめ	5-41
表 5.5.2-12	試験ケース 2-2 除去状況まとめ	5-42
表 5.5.2-13	試験ケース 2-3 除去状況まとめ	5-43
表 5.5.2-14	試験 3 試験ケース	5-43
表 5.5.2-15	試験 3 の試験手順	5-44
表 5.5.2-16	除去装置の円弧状移動の速度	5-45
表 5.5.2-17	試験ケース 3-1 除去手順	5-45
表 5.5.2-18	試験ケース 3-2 除去手順	5-47
表 5.5.2-19	トルネードノズルの前進速度における充填材の含水比の試算	5-48
表 5.5.2-20	決定した流体的除去手順の設定	5-51
表 6.2.3-1	試験スケジュール	6-4
表 6.2.5-1	緩衝材ブロックの仕様	6-7

第1章 はじめに

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、様々な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[1]。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[2]。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 年度展開

図 1.2-1 に実証試験の 5 ヶ年の全体計画を示す。地下での実証試験は平成 30 年度の PEM - 坑道間の隙間充填試験から開始し、平成 31 年度に PEM の回収試験を実施する計画である。

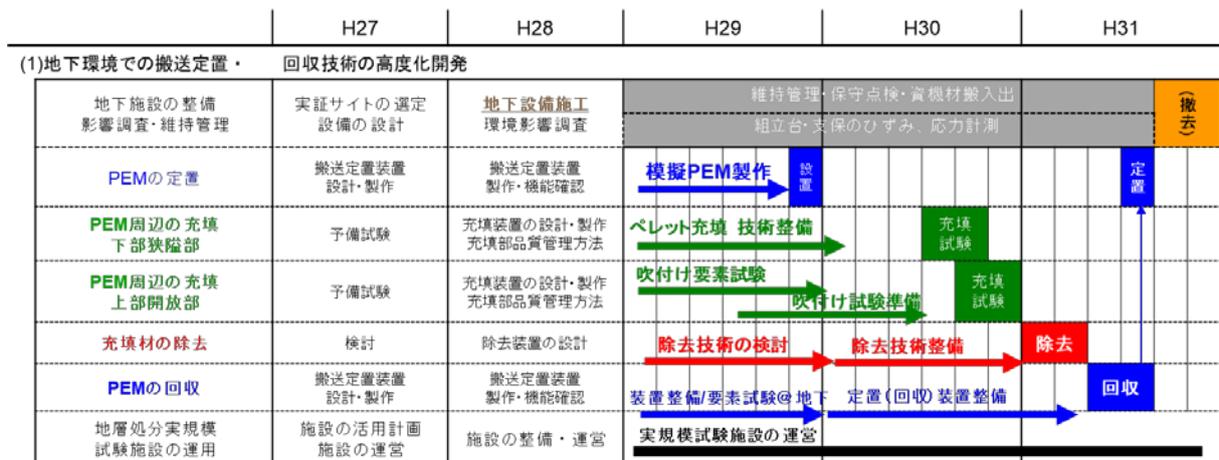


図 1.2-1 5 ヶ年の全体計画

1.3 昨年度の成果

1.3.1 搬送定置・回収技術の実証的整備

エアベアリングによる PEM の回収時の動作の概要を図 1.3.1-1 に示す。本機構の特徴として、十数 cm の隙間があれば挿入可能で、エアベアリングと走行面との間に形成される空気膜による摩擦の低減効果により、重量物を小さな力で搬送することができる。平成 28 年度までに地上施設に設けた鋼製模擬坑道面（凹凸、気泡等が無い理想的な面）にて、エアベアリングを 10 枚備えた実機で搬送時の空気量や牽引力等の運転パラメータを取得し、重量 36.5t の PEM が搬送可能であることを確認した（このパラメータを評価の基準とした）。

一方、空気膜の形成に対しては走行面の性状が大きく影響する。平成 29 年度は幌延 URL での回収実証試験に向け、試験坑道 2 に現場打設したコンクリート面に対し、エアベアリングの適用性を確認する要素試験を実施した。

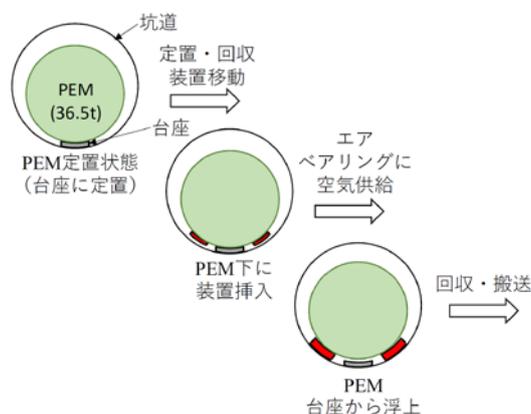


図 1.3.1-1 エアベアリング技術の概要

要素試験は、平成 28 年度に試験坑道 2 に現場打設で整備したコンクリート面における気泡痕、凹凸や表面粗さ等、鋼製模擬坑道と異なる条件でのエアベアリングの適用性、重量物搬送時の運転パラメータを取得し、実機を用いた試験に反映することが主目的である。エアベアリングの枚数を実機の 10 枚から 4 枚に変更した実機の簡易版である要素試験装置を新たに製作して試験に供した。実機と同様にエアベアリングの特性を把握するためにエアベアリング毎に流量計と圧力計を、装置の姿勢や浮上高さを確認するために四隅に距離計を設けた。圧縮空気は坑道内に既設の圧空管から供給し、坑道に固定したウインチで装置を牽引した。試験時にはエアベアリング一枚当たりが支える重量が 36.5t の PEM を搭載した実機と同様になるように、ウエイトを載せた。

図 1.3.1-2 に試験坑道 2 での要素試験の様子を示す。試験の結果、予め地上で実施した鋼製模擬坑道面における要素試験装置による走行試験で取得した運転パラメータを再現した走行試験では、姿勢や浮上高さが安定しないことが分かった。原因として、走行面の気泡痕等からの空気の漏れにより、空気膜が維持できないことが示唆された。そこで坑道面での漏れを補うように空気流量を増加させたところ、試験坑道 2 で PEM 相当の荷重条件で走行できることを確認した。

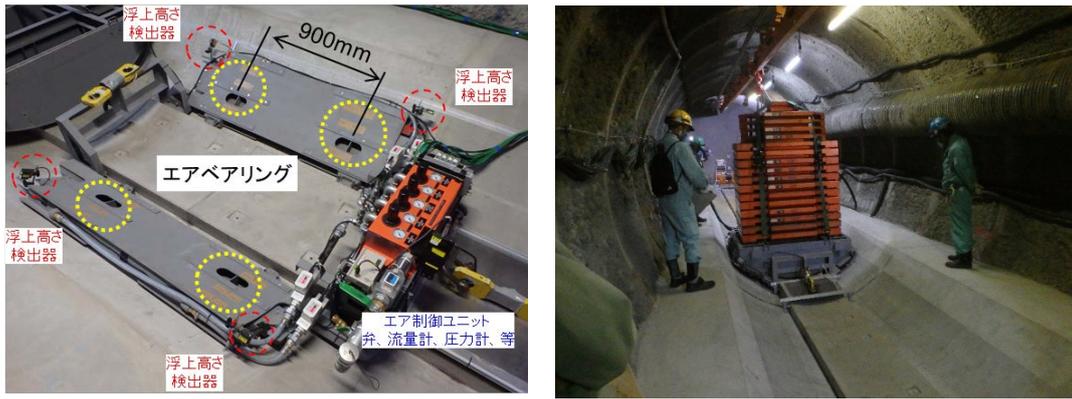


図 1.3.1-2 試験坑道 2 での要素試験の様子

要素試験では、実打設面でのエアベアリング適用性の評価に資する特性データとして、負荷荷重を変化させた場合の走行可能時の空気供給量と牽引力も併せて取得した。一例として、装置総重量と供給空気量の関係を図 1.3.1-3 に示す。

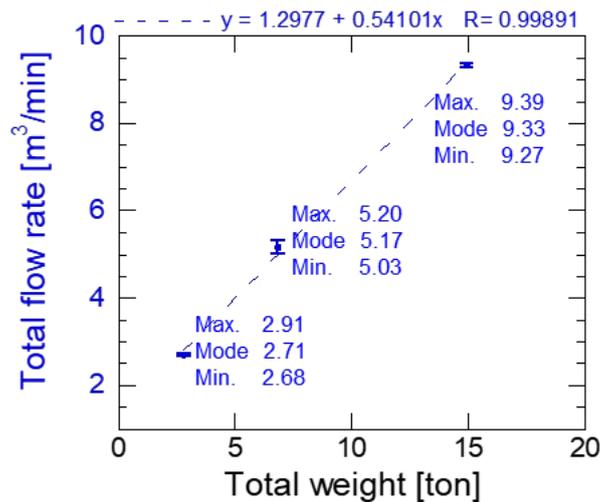


図 1.3.1-3 装置総重量と供給空気量の関係（地下要素試験）

今回の要素試験により、幌延 URL 試験坑道 2 実打設面（乾燥コンクリート面）で PEM 相当の重量物をエアベアリングで搬送するための供給空気量及び牽引力は共に増加するものの、実際の坑道面にてエアベアリングによる PEM の搬送・定置が可能である見通しを得た。

1.3.2 隙間充填技術の整備

処分坑道横置き・PEM 方式の PEM-坑道間への充填材の施工技術を整備した。充填部の形状は、下部は幅十数 cm の狭隘な隙間、上部は幅百数十 cm であり、施工方法として、前者にペレット方式、後者に吹付け方式を採用した。実際の地下での施工に先立ち本年度は地上で予備的な充填試験を実施し、充填部の密度や配合比等の性状をコア採取による分析・評価で取得した。実際の地下での施工時には、施工プロセス管理による品質管理手法の妥当性を検証することも計画している。

(1) 下部狭隘部の充填技術（ペレット充填方式）

既往の検討より、純ベントナイト製のペレットを用いた充填方法を採用しペレットを移送する技術としてスクリーコンベアを選定した。これらの充填技術に対して、使用ペレットの性状と充填方法の最適化を行い、未充填部の発生を防ぎ、所定のかさ密度（緩衝材相当の $\rho_d=1.37\text{Mg/m}^3$ ）を達成する充填技術を整備した。図 1.3.2-1 に下部狭隘部の充填試験（ペレット充填方式）のフローを示す。

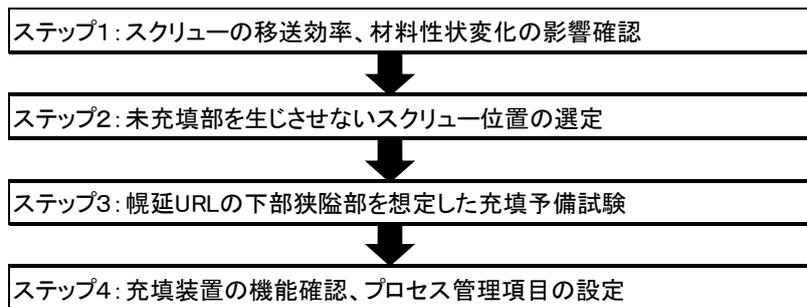


図 1.3.2-1 下部狭隘部の隙間充填試験（ペレット充填方式）フロー

図 1.3.2-1 のステップ 1 から 3 までの検討により、ペレット自体の密度や粒度分布、狭隘部に未充填部を生じさせないスクリーコンベアの配置や動作条件等に係る知見を取得した。

これらを基に、幌延 URL での充填試験に適用する充填装置を製作した。装置には回転数（＝移送量）の調整が可能な 4 本のスクリーコンベアが前後進する走行架台に取り付けられており、レール上を走行する（図 1.3.2-2）。

この充填装置を使用し、幌延 URL の狭隘部を模擬した鋼製の模擬土槽に対する予備試験を実施した（ステップ 4）。ペレットの充填後、PEM に相当する土槽内側壁に設けたサンプリング窓からシンウォールを打ち込み、かさ密度を測定した結果、概ね目標とした乾燥密度である 1.37Mg/m^3 付近の密度となることを確認した。また、土槽内側壁を取り外し未充填部の有無を目視で確認したところ、未充填部は確認出来ず、適切に充填出来ることを確認した（図 1.3.2-3）。

以上のように、充填材料であるペレットの性状（密度、粒度分布）、充填装置の製作ならびに所定のかさ密度を得るための装置の運転条件の整備を行い、平成 30 年度に計画する幌延 URL での下部狭隘部の充填試験の準備が完了した。

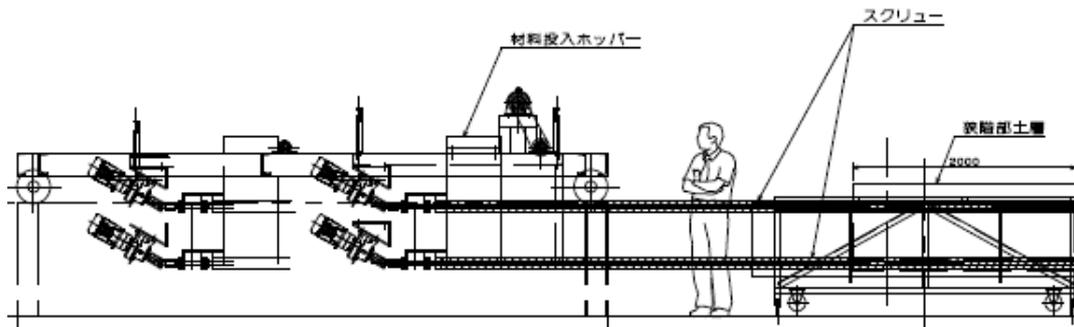
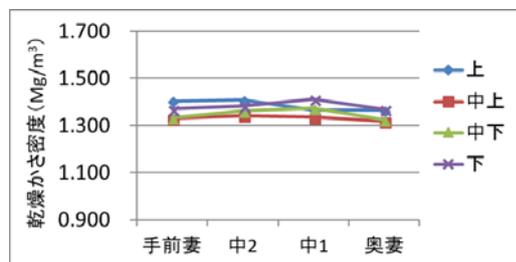
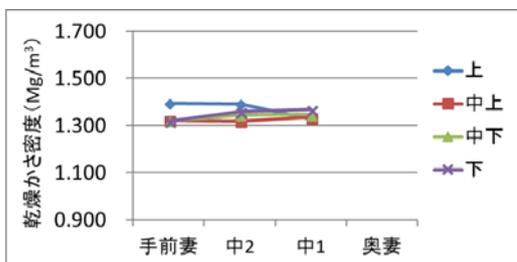


図 1.3.2-2 狭隙部充填装置外観



左土槽

右土槽

図 1.3.2-3 充填試験後の狭隙部内部の様子 (サンプリング後)

(2) 上部開放部の充填技術

上部開放部の隙間に対する隙間充填は、ベントナイトにケイ砂を 50%配合した混合土を乾燥密度 1.6Mg/m^3 となるように、吹付け方式による施工とした。吹付けにおける品質管理では、吹付け用充填材の性状、目標密度を得る吹付け条件、未充填部が生じない吹付け施工手順、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。

吹付け用充填材料は、JISA1210『突固めによる土の締固め試験法』に基づき予備試験を実施し、締固め曲線を取得した。これより、ケイ砂粒度を 3号+5号、最適含水比付近に水分量を調整したものを吹付け用充填材料とした（図 1.3.2-4）。

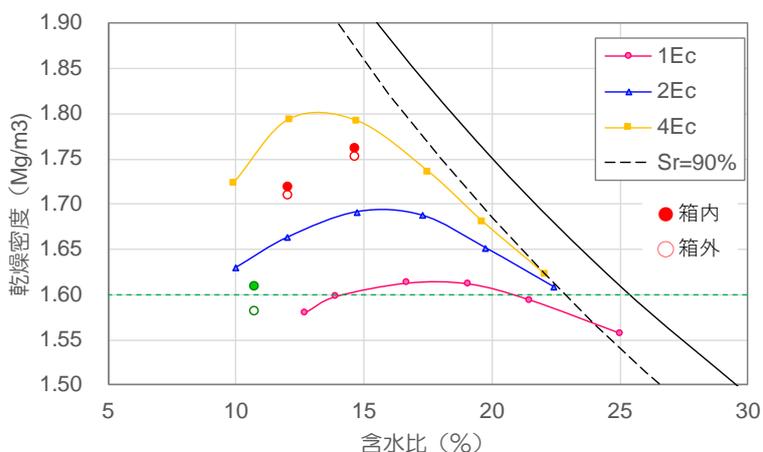


図 1.3.2-4 突き固め試験の結果の一例（ケイ砂：3号+5号）

本事業における吹付け試験は汎用機を組合わせて実施する。予備試験によって設定した性状の吹付け用充填材料を製造する仮設製造プラントの運転、製造した材料の保管、吹付け機への投入、吹付けノズルの動作等、充填部の品質に係る管理項目に対し、管理値を設定するための要素試験を実施した。図 1.3.2-5 に試験で使用した設備等を示す。



図 1.3.2-5 吹付け用充填材材料の製造プラント

左：混練、含水比調整状況、中央：製造プラント外観、右：吹付け機

幌延 URL の試験坑道 2 における上部開放部は、PEM 側部の幅がおよそ 70cm であることから、要素試験では、幅 70cm、奥行き 1m の試験土槽を使用し、水平吹きの場合は箱型、斜め吹

きの場合には一面を欠いた箱への吹付けを施工した。試験では、吹付け機の回転数（材料供給速度に相当）と吐出空気量をパラメータとし、吹付け部の密度、ならびにこれらが吹付け部の密度やリバウンド率に与える影響を調査した（図 1.3.2-6）。試験の結果、吐出空気量が少ない場合は付着力が弱く辛うじて目標の 1.6Mg/m^3 を達成する一方で、吐出空気量が多くなると吹付けた材料が吹き飛ばされ、結果としてリバウンド率が増加した。要素試験の結果より吹付け時の管理値として、吐出空気量 $10\sim 12\text{m}^3/\text{min}$ 、吹付け機の回転数 5rpm 、吹付けノズルと対象との離隔を 1m に設定した（表 1.3.2-1）。



図 1.3.2-6 吹付け要素試験状況

左：機械吹付け状況、中央：吹付け後の試験土槽、（斜め吹付け）、右：リバウンド率の測定

表 1.3.2-1 吹付け要素試験の結果

吹付け方向	吐出空気量 (m^3/min)	回転数 (rpm)	吹付け量 (kg)	リバウンド率 (%)	乾燥密度 (Mg/m^3)
垂直	10	5	541.6	26.4	1.610
	12	5	466.8	38.8	1.757
水平	10	5	519.6	24.4	1.655
	12	5	475.2	35.8	1.758

幌延 URL の実際の坑道空間を想定した吹付け機械の動きの制約、ノズルの挿入方向や角度等を確認することを含めて吹付け施工確認試験を実施した。施工確認試験は、伸縮アームを有する自走式の吹付け装置を使用して実施した（図 1.3.2-7）。

吹付け施工確認試験の結果の一例を図 1.3.2-8 に示す。試験の結果、PEM 側部や坑道際部などのノズルが届きにくい箇所に対しては若干密度が低くなる傾向が見られた。これらの改善に向けて、吹付け装置のアームやノズル稼働域の調整などにより吹付け面に対して垂直に吹付けが行えるよう施工手順等の工夫が課題となった。



図 1.3.2-7 伸縮アームを有する吹付け装置を使用した吹付け施工確認試験の状況

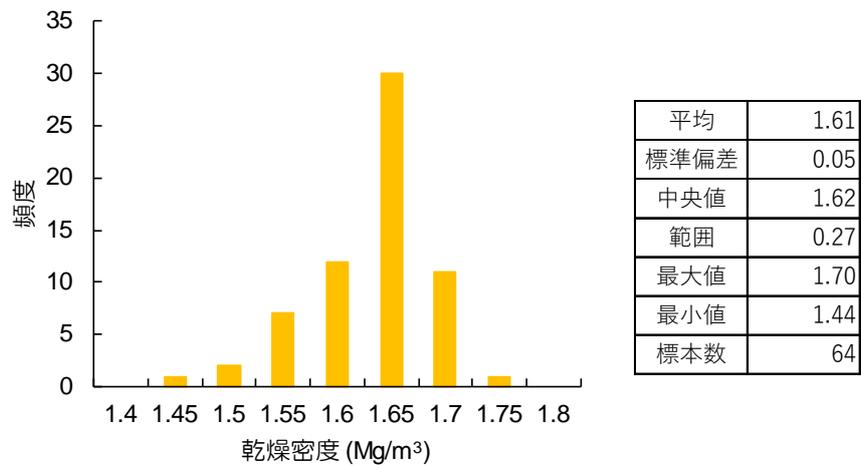


図 1.3.2-8 吹付け施工確認試験結果（コアサンプリング）

1.3.3 隙間充填材除去技術の実証的整備

隙間充填技術によって施工された充填材を除去し、整備したエアベアリング装置にて PEM を回収できる状態にするための、隙間充填材の除去技術を整備した。

充填材の除去技術の選定に際しては PEM 鋼殻に与える影響を避ける点に留意した。上部開放部のうち坑道近傍部は PEM から離れているため、除去効率を重視した機械的除去方式を、PEM 近傍及び下部狭隘部は PEM 鋼殻へ与える影響が小さい流体除去方式のうち、切削水の運動エネルギーで対象を粉砕するウォータージェット方式を選定した。図 1.3.3-1 に各方式の対象部位を示す。

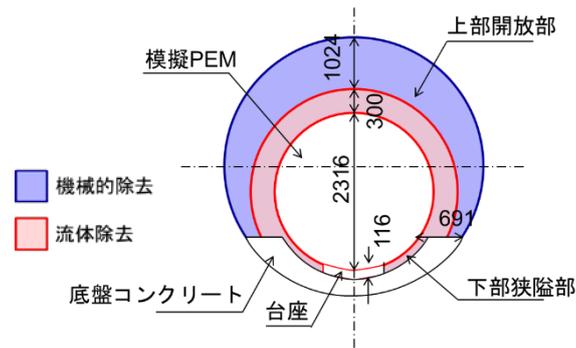


図 1.3.3-1 機械的除去と流体除去の対象

図 1.3.3-2 に除去の作業工程を模式的に示す。隙間充填材の除去は PEM-坑道間の充填材を搬出可能な状態として、PEM の回収作業が出来る状態となるまで坑道外への搬出作業を続けることとなる。このような機械的／流体方式によって、①副産物化する。本事業では、その後の②掻き出しと③積込みの工程について、狭い空間に対して連続的に実施出来るバキューム方式を採用する。

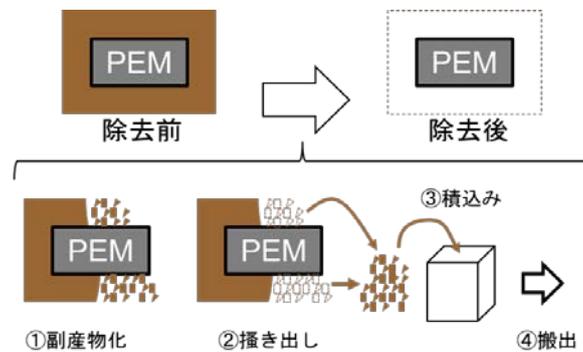


図 1.3.3-2 隙間充填材除去の除去工程

機械的方式、流体方式それぞれについて、適用する技術を具体化した。PEM から離れた部分を対象とする機械的方式については、大量の充填材を効率的に除去する必要があるため、一般的な土木に適用される掘削技術を比較検討し、オーガ（アースオーガ）による機械的な方式による除去（機械式除去）を選定した。本事業では図 1.3.3-3 に示す機械的除去装置の概念のうち、コア技術であるオーガ掘削+吸引部について検討・製作を実施し、地下の除去試験に供することとした。

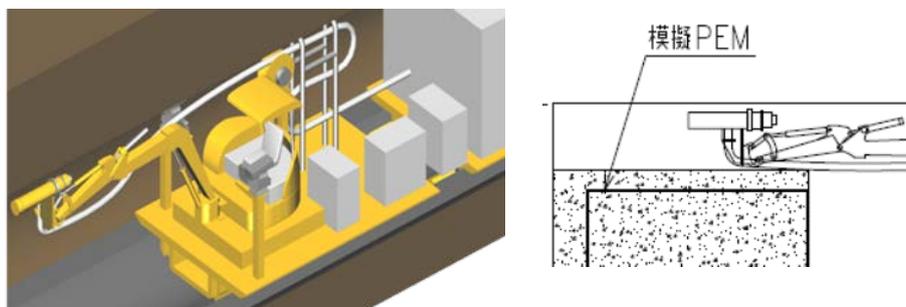


図 1.3.3-3 機械的除去方法による設備の概念例

流体方式であるウォータージェットについては、平成 28 年度に実施したベントナイト系土質材料圧縮成型体の切削試験の結果を踏まえた除去の要素試験を計測的に実施した。本年度は奥行き方向の切削能力を確認するため、直径 15cm、長さ方向 1m のセル内に作製した充填材に対して切削試験を実施し、奥行き方向の切削性についてのデータを取得した（図 1.3.3-4）。



図 1.3.3-4 奥行き方向の切削試験状況

吸引による充填材の撤去については、流体除去技術で切削した充填材について連続的な撤去の可能性に関する予備的な検討を実施した。吸引車を使用した予備試験の結果、吸引ホースの径である 3 インチよりも小さく切削ができれば、連続的に吸引除去が可能であることを確認した。

1.3.4 地層処分実規模試験施設の活用

幌延 URL 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（以下「実規模施設」という。）」を整備してきた。

平成 29 年度に実施した主な項目を以下に示す。

- ①施設の公開
- ②理解促進活動
 - ・緩衝材可視化試験
 - ・試験の公開
- ③対話記録の分析

(1) 施設の公開

平成 29 年度は、前年度に引き続き実規模施設の公開、来館者への設備の説明等を実施した。平成 29 年度は延べ 5,545 人の方が施設を訪れ、平成 22 年 4 月の施設開館からの累計は 49,235 人となった（平成 30 年 3 月 31 日までの集計）。

(2) 理解促進活動

実規模施設を常時一般に公開し、常駐する試験員による案内、説明を行った。

・緩衝材可視化試験

実規模施設では処分孔竖置き定置方式ブロック方式の実物のカットモデルを公開している。隣接するブロックが浸潤・膨潤プロセスを経て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 1.3.4-1 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。



図 1.3.4-1 緩衝材可視化試験（ブロック定置方式の模擬）

・試験の公開

「おもしろ科学館 2017 in ほろのべ」の開催日（7/22(土)、23(日)）に合わせ、緩衝材定置試験を一般に公開した。2日間で572名（前年度670名）が来館し、定置装置の運転や緩衝材の止水試験等を体感して頂いた。

(3) 対話記録の分析

施設の公開や理解促進活動時に、施設に常駐する試験員が、来館者からのコメントや質問を来館者記録として来館者の属性と共に記録している。平成22年度の地層処分実規模試験施設の開館時から実施している来館者との双方向対話記録の分析を実施し、本施設を訪れる来館者の属性や、興味・関心事項の傾向を把握した。

1.4 平成 30 年度年度の実施内容

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の対象となる要素技術について、地下環境での技術実証に向けて、平成 29 年度に引き続き装置の設計・製作、地上での確認試験等を実施する。

(1) 実証試験サイトの整備

幌延深地層研究センター（以下「幌延 URL」という。）の地下 350m 調査坑道に位置する試験坑道 2 に整備した地下実証試験サイト、及び平成 29 年度に整備した地上実証試験サイトについて、実証試験に必要な設備等の整備及び維持管理を実施する。

(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や装置の整備を継続して実施する。

1) PEM の搬送定置技術

PEM の回収作業に適用する搬送定置技術については、装置の整備を継続実施するとともに、地上に構築したコンクリート模擬坑道面（地上実証試験サイト）において充填材除去後を想定した環境下でのエアベアリングの走行試験を実施し、地下での実証試験計画に反映する。

2) 隙間充填技術

PEM-坑道間の隙間充填技術については、平成 29 年度までに整備した吹付け方式（上部開放部）とペレット充填方式（下部狭隘部）を用い、幌延 URL の試験坑道 2 において PEM と坑道間への隙間充填材の施工試験を実施する。

3) 隙間充填材の除去技術

隙間充填材の除去技術については、機械的除去方式と流体を用いたウォータージェット方式による充填材の切削、及び排出等の試験を継続実施し、幌延 URL で除去する充填部の形状を考慮した実証試験装置の設計・製作を行う。

(3) 地層処分実規模試験施設の運用

平成 26 年度までに資源エネルギー庁原子力発電施設広聴・広報等事業（地層処分実規模設備運営等事業）[7]で整備・運営した地層処分実規模試験施設について、昨年度に引き続き維持管理、来館者への公開等の運営を実施する。運用にあたっては、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。

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 実証試験の概要

2.1 本事業における実証試験の前提条件の整理

実証試験計画の策定、実証の対象とする技術の設定、試験の位置付けなどの検討に際し、以下の項目を前提条件とした。

◇ 回収の対象物の健全性

回収対象の廃棄体や搬送形態(例えば PEM: Prefabricated Engineered barrier system Module)は健全性が確保されている。把持や搬送により破損しない、破損による放射性物質の漏えいは無いことを前提とする。

◇ 地下施設、処分坑道の健全性

回収対象の廃棄体までの経路は落盤や水没等の事象は発生しておらず、作業安全性が確保された環境とする。

◇ 廃棄体の定位置

廃棄体は定置作業時の位置から移動していない。処分孔竖置き方式では OP は処分孔の中心部、処分坑道横置き・PEM 方式では PEM は坑道台座上の定位置に留まっていることを前提とする。

◇ 作業環境

試験では重量や形状を合わせた模擬廃棄体を使用する。放射線や熱は本事業の実証試験の環境条件から除外した。

➤ 回収作業の技術

廃棄体の回収作業そのものは、①廃棄体を拘束する緩衝材や充填材の除去技術、②定置場所から処分坑道外への廃棄体の搬出技術の 2 つの技術が必要である。本事業ではこの 2 つの技術を実証することを主目的とした。

回収の対象物の健全性は回収作業時の確認項目や健全性診断技術、定位置からの廃棄体の移動は充填材の除去や廃棄体の回収技術の柔軟性として技術開発課題として整理することができる。今回の実証試験の検討から除外したものは、実際の処分事業では考慮すべき事項であるから、残された課題として取り扱うものとする。

2.2 実証試験の対象技術の設定と試験計画

高レベル放射性廃棄物の地層処分に対する廃棄体の回収技術の実証試験を実施するに際し、実証試験の範囲、対象とする技術を整理した。

2.2.1 人工バリアの定置方式による回収技術

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) 処分孔縦置き定置方式の回収技術

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[1]。図 2.2.1-1 に整備された緩衝材除去システム図、図 2.2.1-2 に地上で実施した実寸大規模の除去試験の様子を示す。

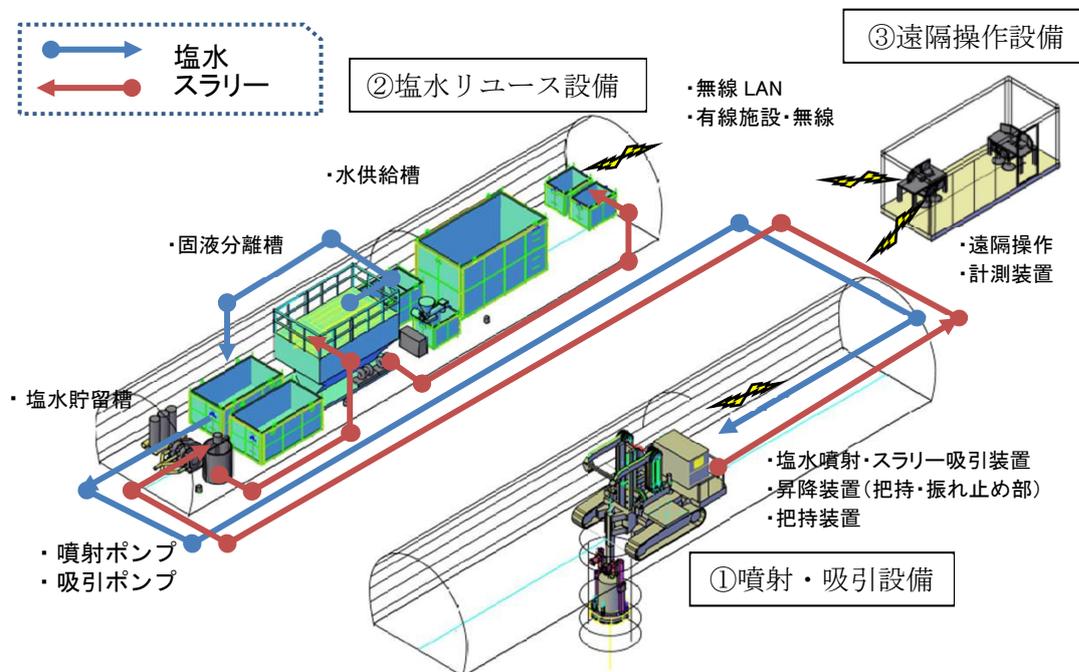


図 2.2.1-1 処分孔縦置き定置方式を対象とした緩衝材除去システムの整備 [1]



図 2.2.1-2 処分孔縦置き定置方式を対象とした緩衝材除去試験の様子 [1]

(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、処分坑道内に緩衝材とオーバーパックを原位置で施工する方式と、地上で予め組立てた **Prefabricated Engineered barrier system module** (以下「PEM」という) を地下へ搬送・定置する PEM 方式が検討されており、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

1) 人工バリア原位置施工の回収技術

処分孔縦置き定置方式と同様に緩衝材を除去してオーバーパックを回収する方法である。縦置き方式と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。図 2.2.1-3 に横置き定置方式での塩水による緩衝材の除去試験の様子を示す[2]。

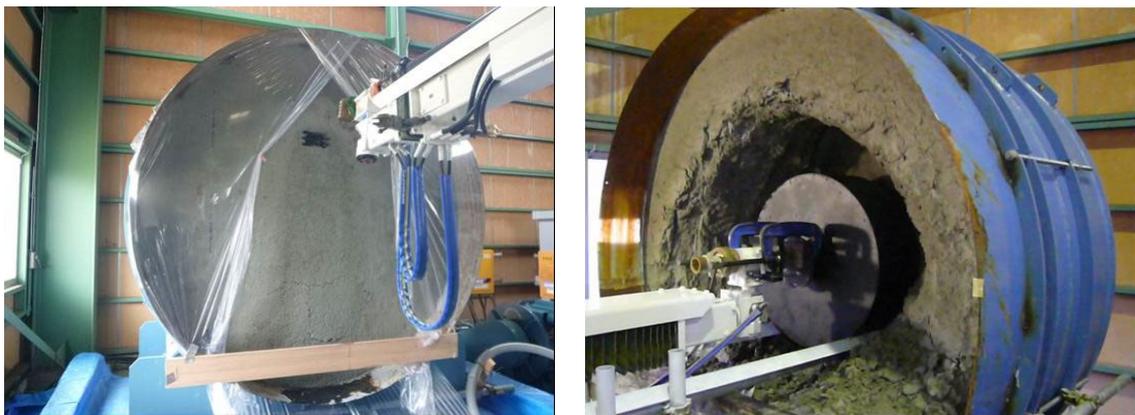


図 2.2.1-3 横置き定置方式 塩水による緩衝材除去試験の様子[2]

2) 処分坑道横置き・PEM方式の回収技術

処分坑道に定置された PEM の回収方法としては 2 通りの方法が考えられる。PEM 鋼殻を開封し内部の緩衝材を除去してオーバーパックを回収する方法は、横置き原位置施工の回収と同様の

作業の後、残された PEM 鋼殻と PEM - 坑道間の隙間充填材を撤去するものである。もう 1 つはオーバーパックを PEM ごと回収する方法であり、PEM を拘束する隙間充填材を除去し、PEM を処分坑道から回収する。

(3) 本事業で実証試験の対象とする定置概念

(1)処分孔縦置き定置方式、(2)1)処分坑道横置き・原位置施工方式では作業姿勢が異なるものの、塩水を使用した緩衝材の除去、回収対象がオーバーパックという点では回収作業に必要な技術は同一と考えられる。また処分坑道縦置き定置方式については、実寸大スケールでの技術の実証試験が地上で行われている。一方、(2)2)処分坑道横置き・PEM 方式のうち PEM ごと回収する方式では、緩衝材とは配合比が異なる PEM - 坑道間の隙間充填材の除去技術、重量物である PEM の回収技術とこれまで実寸大で実証された技術とは異なる。

図 2.2.1-4 に処分孔縦置き定置方式と処分坑道横置き・PEM 方式の人工バリアの施工技術の開発状況を模式的に示す。処分孔縦置き定置方式については、ブロック方式の緩衝材の定置技術からオーバーパックの回収に関連する緩衝材の除去技術まで、実規模スケールでの技術の実証試験が地上で実施されている。一方、処分坑道横置き・PEM 方式については、定置装置についてはエアベアリング方式の要素試験が実施され、隙間充填については小型の模擬土槽を用いたペレット充填時の充填率・密度計測にとどまっている。本事業で処分坑道横置き・PEM 方式の実証試験を行うことで、処分孔縦置き定置方式と処分坑道横置き・PEM 方式の 2 つの定置概念について、搬送から回収までの技術の整備が一様に実施されたことになる。

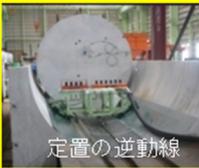
処分概念	操業に必要な技術			
	搬送定置	隙間充填	緩衝材除去	回収
縦置き方式	 緩衝材定置設備	充填装置	 緩衝材除去装置	 廃棄体引上げ機構
横置き方式	 エアベアリング・ エアジャッキ	充填装置	充填材除去装置	 定置の逆動線

図 2.2.1-4 定置概念ごとの技術開発状況（本事業開始時）

以上より、本事業で対象とする技術は高レベル放射性廃棄物の 2 種類の定置方式への対応、回収に係る技術的選択肢を整備するという観点から、定置方式を処分坑道横置き・PEM 方式、回収対象を PEM とした。

2.2.2 実証試験で対象とする技術の抽出

(1) 回収可能性維持の状態オプション

実証の対象として、処分坑道横置き・PEM方式を選定した。回収可能性の維持に係る検討では、処分坑道横置き・PEM方式の維持の状態として3つの状態オプションが示されている(図 2.2.2-1) [3]。

横置きPEM方式

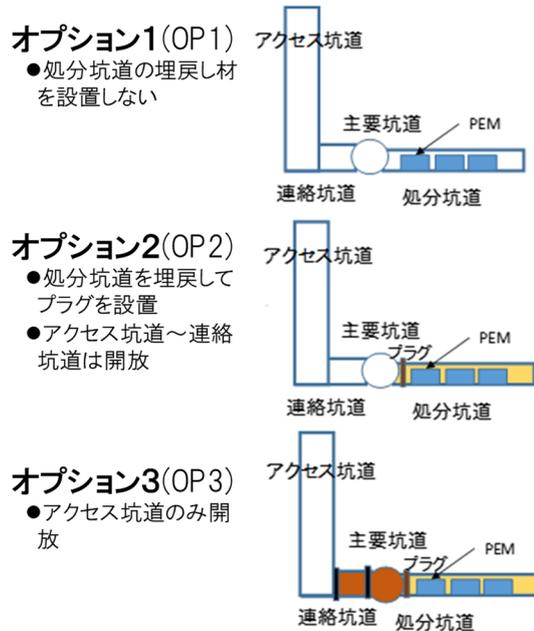


図 2.2.2-1 処分坑道横置き・PEM方式の回収可能性維持の状態オプション[3]

1) 状態オプション1(OP1)からのPEMの回収作業

状態オプション1は処分坑道の埋戻しが行われていない状態である。PEMを拘束する埋戻し材(隙間充填材)除去の必要がなく、定置装置を逆動線で稼働させてPEMの回収作業ができる。ただし処分坑道が小断面で充填装置が処分坑道内の空間を移動できない場合、PEMの定置と隙間充填をPEM1体毎に実施する必要があるため、状態オプション1は検討対象とならない。

2) 状態オプション2(OP2)からのPEMの回収作業

状態オプション2は処分坑道内のPEM-坑道間に隙間充填材が施工され、処分坑道にプラグが設置された状態である。PEMの回収のために、プラグの撤去、隙間充填材の除去が必要になる。

3) 状態オプション3(OP3)からのPEMの回収作業

アクセス坑道以外は埋め戻された状態である。各坑道間のプラグや埋戻し材を除去する必要がある。

埋め戻された状態からPEMまでのアクセス性はOP3<OP2<OP1の順で向上し、手数が減少する。

(2) PEMの回収を構成する工程、技術

(1)にて、回収可能性維持の状態オプションから PEM の回収までの主な作業を抽出した。状態オプションに応じて回収作業の手数は変わるが、必要となる主な技術は共通しており、プラグの撤去、埋戻し材の除去（処分坑道以外）、隙間充填材の除去、PEMの搬送である。

1) プラグの撤去

処分坑道－主要坑道間、主要坑道－連絡坑道間などに設置されたプラグを撤去する場合、コンクリートプラグは通常の解体作業に使用するブレイカー、ラインドリリングなどが適用できる。廃棄体が最寄りに無いため、作業環境は非放射線環境下となる。一般土木の解体技術が適用できるため、本事業での実証試験の対象から除外した。

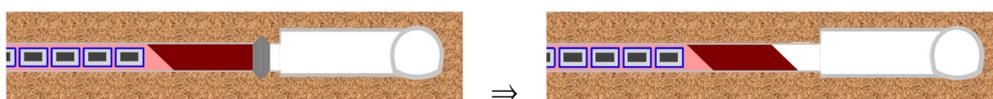


図 2.2.2-2 処分坑道－主要坑道間のプラグの撤去

2) 埋戻し材の除去

プラグを撤去した後、坑道内の埋戻し材を除去する（図 2.2.2-3）。埋戻し材は坑道掘削土にベントナイトを混合した材料が検討されており、通常の掘削技術が適用できる。廃棄体近傍以外は非放射線環境下であること、掘削作業で廃棄体を傷付ける恐れがないことから、一般土木の掘削技術が適用できるため、本事業での実証試験の対象から除外した。

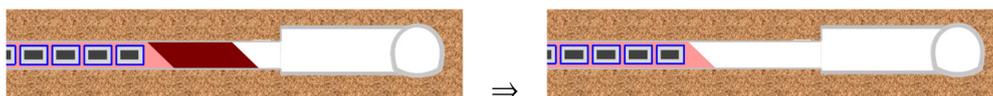


図 2.2.2-3 坑道埋戻し材の除去（廃棄体から離れた部分）

3) 隙間充填材の除去

処分坑道内で PEM - 坑道間に施工された隙間充填材を除去する技術である（図 2.2.2-4）。目的は、回収対象の廃棄体を拘束する埋戻し材を除去するとともに、後工程の回収装置の動作環境を整えることである。廃棄体近傍での作業となることから、除去技術には放射線防護の観点からの遠隔操作化のし易さや、除去作業が廃棄体に悪影響を与えないことが求められる。

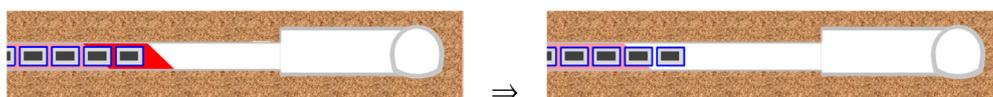


図 2.2.2-4 隙間充填材の除去（処分坑道内）

4) PEM の回収

PEM の回収作業は、充填材を除去した後、処分坑道内に進入した回収装置が PEM を把持し、処分坑道から搬出することである(図 2.2.2-5)。回収は定置装置を逆動線で使用して行う方法と、回収専用装置にて行う方法が考えられる。また廃棄体を内包した PEM を取り扱うため、放射線防護の観点から遠隔操作化のし易さ、廃棄体へ与える影響が少ない把持方法が求められる。



図 2.2.2-5 定置場所から処分坑道外への PEM の搬送

5) PEM の地上までの搬出技術

「4) PEM の回収」は定置位置から処分坑道外への搬出までの技術である。回収した PEM は主要坑道→連絡坑道→アクセス坑道を経て、地上の保管場所まで搬出されると考えられる。この工程の検討は、地下処分場のレイアウトや物流計画等、地層処分施設の操業計画に依存するものであることから、技術の選定する上での情報が現段階では不足している。一方、PEM の定置工程では地上施設から地下までの PEM の搬入技術があるため、その技術を活用し逆動線での PEM の搬出も可能と考えられる。以上より、本事業での実証試験の対象から除外した。

6) その他の技術

本事業では実証試験の対象から外したが、PEM の回収を確実なものとするために必要な付帯技術を以下に挙げる。

a 坑道安定性の診断技術

埋戻し材や隙間充填材を除去した際に、坑道が作業環境としての安全性を確保しているかを確認する技術である。回収可能性の維持の検討では各状態オプションによる劣化挙動の評価技術の検討が進められているが、実際の現場で安全性を確認するための診断技術があることで、回収作業の安全性が高まると考えられる。

b PEM の健全性診断技術

PEM ごと回収する際、周囲の隙間充填材が除去され露出した PEM が把持に耐え得るのかを確認する技術である。坑道安定性と同様に、回収可能性の維持の検討では維持期間中の鋼製容器 (PEM 鋼殻) の腐食による劣化の評価技術の検討が進められている。特に鋼殻リング方式の場合、腐食による単純な鋼殻の板厚の減少だけではなく、鋼殻リング同士の結合部分が搬出に耐えることができるかなど、実際の現場での PEM の健全性を確認するための診断技術があることで、回収作業の安全性が高まると考えられる。

(3) 実証試験の対象技術

1) PEM の回収技術

(2)にて処分坑道横置き・PEM 方式の状態オプションから抽出した技術について、状態オプション 2 からの回収工程を図 2.2.2-6 に模式図に示す。

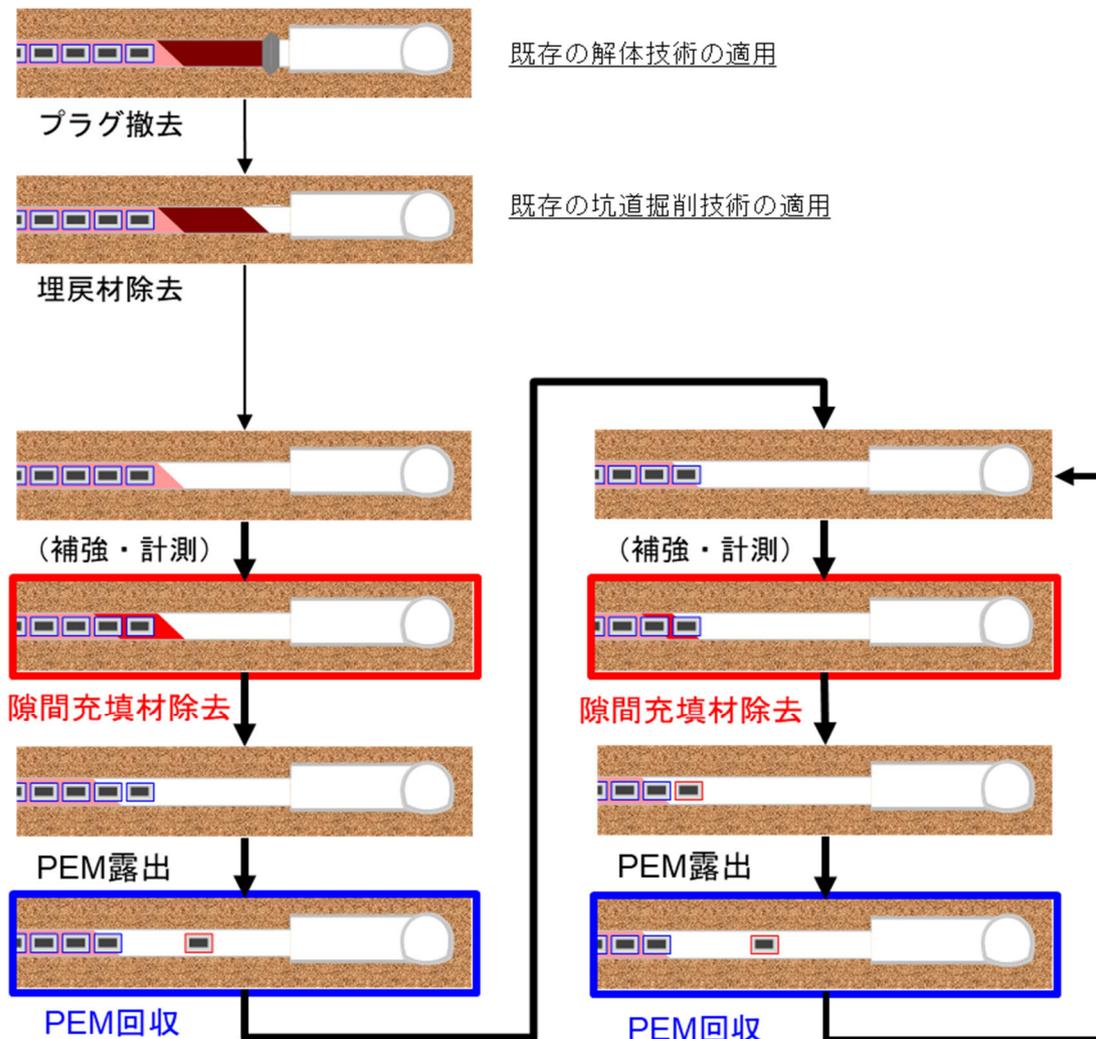


図 2.2.2-6 状態オプション 2 からの回収作業の工程イメージ

プラグと充填材を除去した後、手前の PEM を覆う隙間充填材を除去する。PEM が露出したところで回収装置にて PEM を処分坑道外へ搬出する。これで PEM1 体の回収が完了する。2 体目の PEM についても隙間充填材の除去、PEM の処分坑道外へ搬出する。3 体目以降も同様の工程を繰り返すことで処分坑道 1 本分の PEM の回収を行うことができる。この工程は回収可能性維持の状態オプションに依存しない一般的な回収工程である。さらにプラグ施工前の定置作業中の回収にも適用することが可能である。

以上より、実証試験の対象とする PEM 回収技術として「隙間充填材の除去技術」と「PEM の搬出技術」を抽出した。

2) 隙間充填技術（除去技術の対象物の施工）

実証試験の対象とした隙間充填材の除去技術は PEM - 坑道間に施工された隙間充填材を除去するものである。ベントナイト系充填材の除去技術の検討例としては SKB の報告[4]があり、「機械的除去」「流体的除去」「熱的除去」「電気的除去」について、除去の作業性、副産物の発生と処理、廃棄体への潜在的な危険性などの 7 つの観点で比較検討が行われている。ベントナイト系充填材は配合比、密度、含水比でその特性が大きく変化するため、除去対象となる充填材の性状は、除去試験の評価において重要な条件となる。

PEM - 坑道間の隙間充填材は、隙間が残存した場合の鋼殻内部の緩衝材の膨出による密度低下や、隙間が卓越した水みちとなることを防止するために施工される。除去の対象となる隙間充填材についてもこの 2 つの機能を有するものであることが重要である。

以上より、ベントナイト混合土を目的の密度となるように PEM-坑道間に施工する隙間充填技術についても、本事業の実証対象とした。

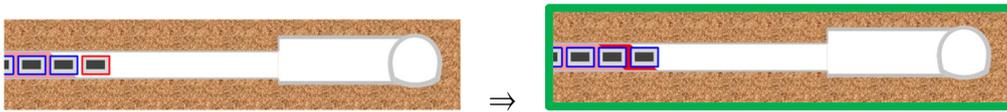


図 2.2.2-7 PEM - 坑道間の隙間充填技術

3) PEM の定置技術（回収技術）

「(2)4)PEM の回収」にて述べたように、PEM の回収は定置装置を逆動線で使用して行う方法と、回収専用の装置で行う方法が考えられる。

30 トンを超える重量物である PEM の定置技術の検討・開発は平成 14 年度に着手し[5]、エアベアリング方式の定置装置による PCa 製コンクリート模擬坑道での実寸大 PEM の定置要素試験が地上にて実施されている[6]。実寸大の要素試験が実施済みのエアベアリング方式の定置装置を PEM の装置として採用することで、既往の知見を活用し新規の技術開発要素を削減するとともに、エアベアリング方式の定置技術の地下環境での適用性評価も可能となる。

本事業では回収専用装置ではなく定置装置を実証対象とし、定置の逆動線で PEM の回収を実施することとした。



図 2.2.2-8 PEM の搬送・定置技術

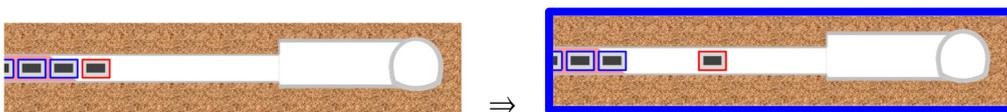


図 2.2.2-9 PEM の回収技術（定置の逆動線）

4) 処分坑道横置き・PEM方式の作業技術の整理

1)～3)までに抽出した搬送・定置技術（回収技術）、隙間充填技術、隙間充填材除去技術について、処分坑道横置き・PEM方式の定置作業ならびに回収作業で整理したものを図 2.2.2-10 に示す。今回抽出した4つの技術は、処分坑道横置き・PEM方式の作業工程のうち、処分坑道内での定置/回収作業を網羅している。

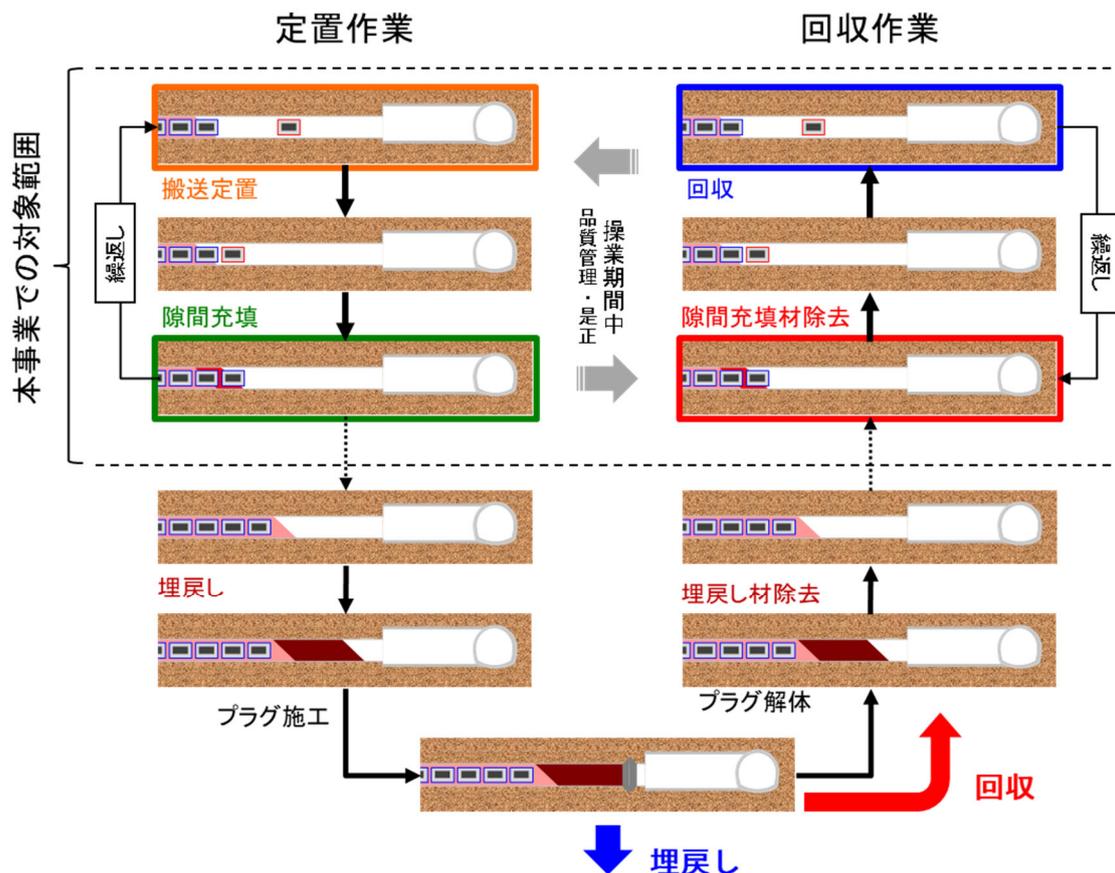


図 2.2.2-10 処分坑道横置き・PEM方式の定置/回収作業における位置付け

5) 実証試験の実施順

本事業期間は5ヵ年であるため搬送・定置技術、隙間充填技術、隙間充填材除去技術の4つについて、地下での実証試験を工程内で遂行するための年度展開を検討した。先ず、地下で実施する試験の順序であるが、隙間充填技術⇒充填材除去技術⇒回収技術の順番は固定される。これに加えて実証試験に向けた試験装置・設備の製作・整備、実証試験サイトの整備、地下実証試験サイトの原状復帰を実施しなければならない。

以上を踏まえ、図 2.2.2-11 のような当初計画を設定した。5年目の平成31年度に地下で隙間充填材の除去、PEMの回収試験を実施することとし、4年目に隙間充填材を施工する。定置試験はPEMの回収試験後に実施することで、定置装置の地下研への搬入回数を1回に合理化した。なお、個々の技術の機能確認を、その都度地下で実施することが困難であるため、地上で機能確認をした上で、地下での試験に臨むこととした。

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	環境影響調査 維持管理	環境影響調査 維持管理 PEM組立て	環境影響調査 維持管理 試験設備撤去
PEMの搬送定置	搬送定置装置 設計・製作	搬送定置装置 製作・機能確認	機能確認	機能確認・改良	(搬送定置試験)
PEM周辺の充填	予備試験	充填装置の設計・製 作 充填部品品質管理方法	充填装置 製作・機能確認	PEM周辺の充填	
充填材の除去	検討	除去装置の設計	除去装置 製作・機能確認	機能確認	充填材除去試験
PEM本体の回収	※PEMの搬送定置の逆動線での実施				回収試験

図 2.2.2-11 5カ年の実証試験の計画（当初）

2.2.3 実証試験実施内容の具体化

5カ年の実証試験計画（当初）では、平成31年度の地下環境での回収実証試験を計画した。これに向け各技術の検討、試験装置の製作を進めていく。実施内容の主たるマイルストーンは以下のとおりである。

- PEMの回収試験は平成31年度の隙間充填材除去試験後となるため、試験装置の製作・整備、地上での機能確認試験、地下での試験計画の整備完了を平成30年度末とした。
- 隙間充填材の除去は平成31年度初旬から地下での実証試験の開始を目標とし、試験装置の整備、地上での機能確認試験、地下での試験計画の整備完了を平成30年度末とした。
- 隙間充填は平成30年度に地下での施工を完了させる必要があるため、平成29年度末までに試験装置の製作・整備、地上での機能確認試験、地下での試験計画の整備を完了する。
- 地下実証試験設備の整備、模擬PEMの設置は隙間充填試験より前に完了する必要があるため、平成29年度中に実施する必要がある。

このマイルストーンを目標に、個々の試験装置の設計・製作、地上での機能確認試験を実施する。本項では各試験の目的や内容を具体化するとともに、試験を実施する地下実証試験サイト、回収対象とするPEMの性状、地下環境での試験に先立ち地上で実施する種々の試験で使用する設備について報告する。

(1) 実証試験サイト

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（図 2.2.3-1）。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。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した。

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 2.2.3-2、施工の様子を図 2.2.3-3、整備前後の試験坑道 2 内の様子を図 2.2.3-4 に示す。

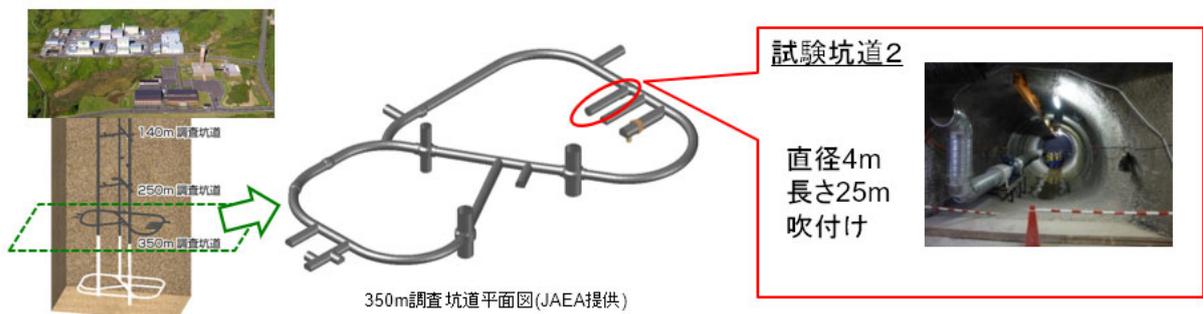


図 2.2.3-1 幌延 URL 試験坑道 2[7]

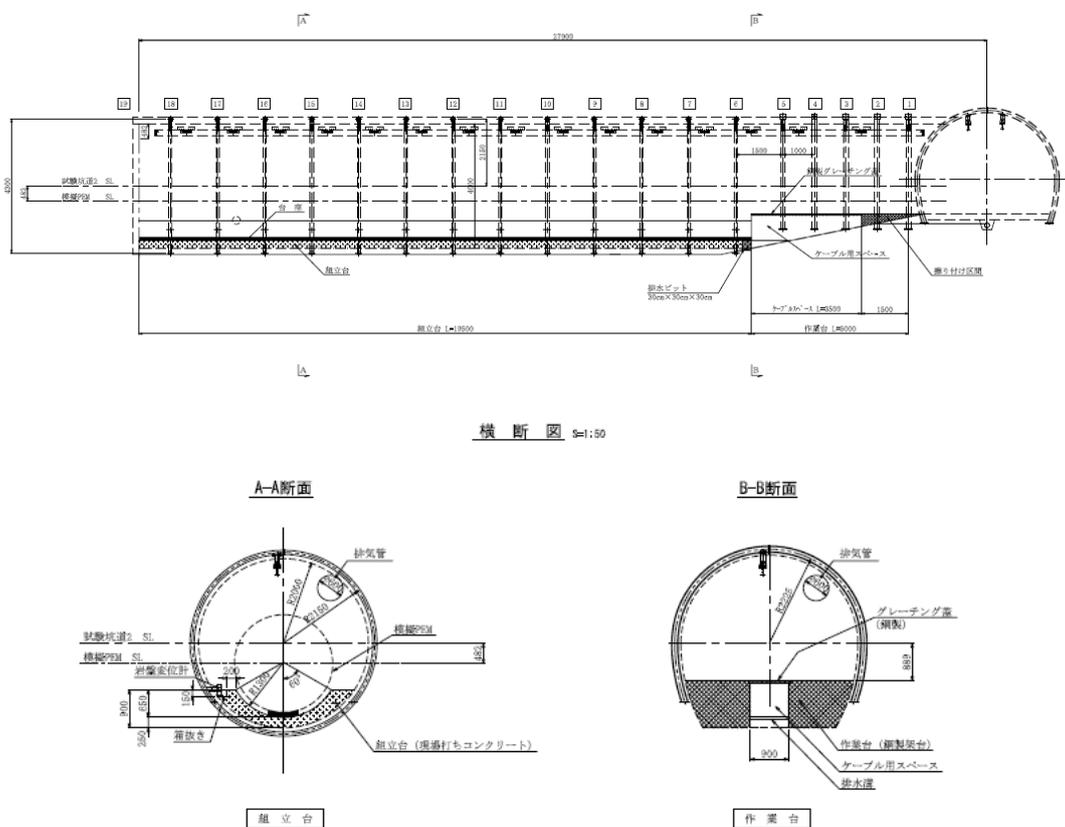


図 2.2.3-2 試験坑道 2 の整備状況

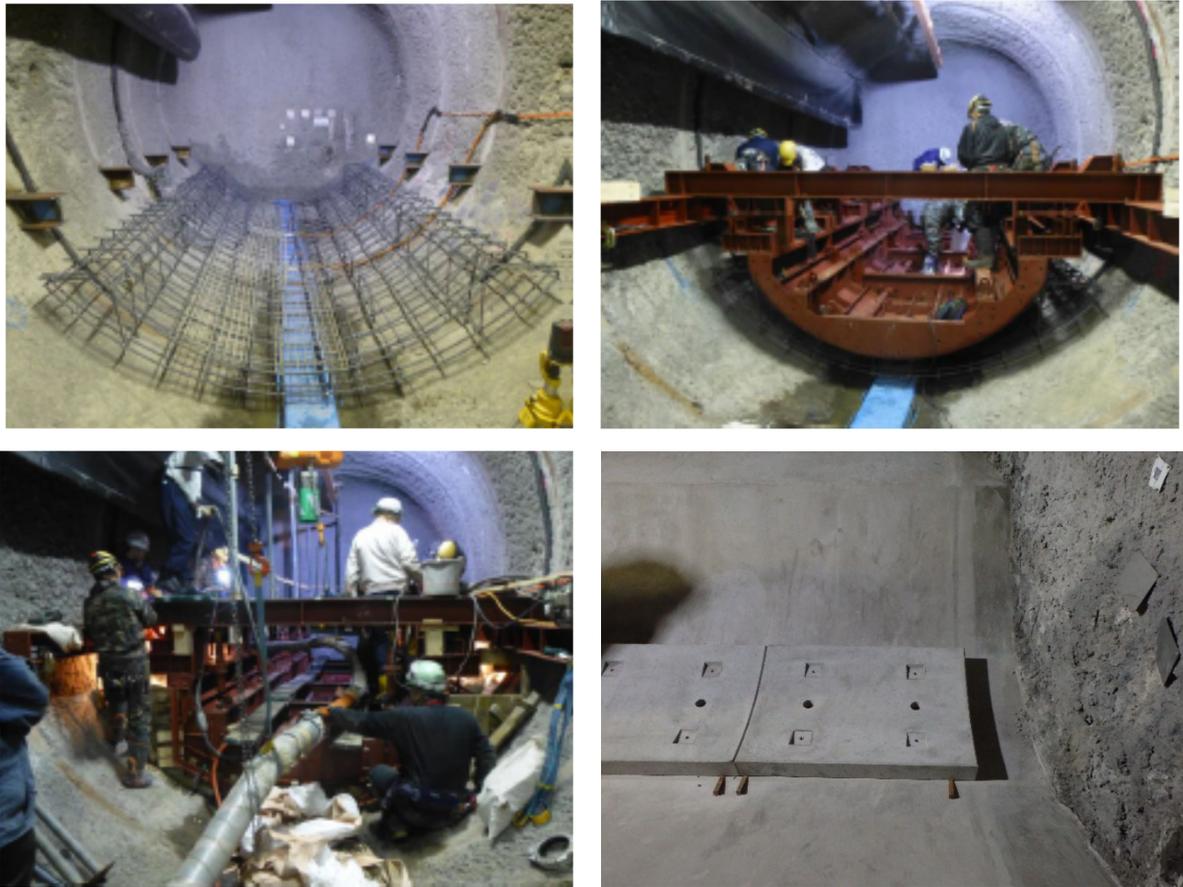


図 2.2.3-3 コンクリート製組立台、PCa 製台座の施工状況



図 2.2.3-4 整備前後の試験坑道 2 の様子

整備後の試験坑道 2 の断面形状のうち、下部の組立台の部分は直径 2.6m の円形坑道底部、上部の直径 4m の試験坑道 2 のままの部分は大断面坑道に相当する。

(2) 実証試験技術の具体化、目標設定

本事業では、処分坑道横置き・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。それぞれの技術について、本事業で使用する技術の具体化、目標を設定した。

1) PEMの定置技術（回収技術）

2.2.2(3)3)で述べたように、エアベアリング方式の定置装置はPCa製コンクリート模擬坑道での実寸大PEMの定置要素試験が地上にて実施されている[6]。実寸大の要素試験が実施済みのエアベアリング方式の定置装置をPEMの定置/回収装置として選定した。実証試験では、以下の点を主な検討項目とした。

✓ 装置の駆動方法

地上で実施された要素試験では、PEMを搭載したエアベアリング装置（以下「定置部」という）を模擬坑道前後に設置したウインチで牽引して走行させていた。実際の処分事業では坑道奥側には定置済みのPEMがあり、ウインチで牽引することができない。本事業では実際の定置装置の動きを再現するため、定置作業である坑口⇒妻側の動きは推進、回収作業である妻側⇒坑口への動きは牽引となるように、動力付きの台車（以下「搬送部」という）を製作し、実際の定置作業と同じ動作での走行データの取得を行う。

✓ 坑道の建設技術とエアベアリングの適用性

地上での要素試験ではPCa製コンクリート模擬坑道を使用した。PCa製コンクリート工場の品質管理の下での製造であり、表面に気泡や未充填部が残らないような姿勢で打設・養生することができるため、走行面は型枠を転写した面となる。PCa製コンクリート上でのエアベアリングの走行性は、表面の凹凸やざらつきが無い理想的な走行面である鋼製模擬坑道と同等の空気消費量、牽引力であった。PCa製コンクリートはセグメントで覆工された坑道に相当する。一方、通常の高圧トンネル工法（例えばNATM(New Austrian Tunneling Method)など）では、現場打設の覆工コンクリートとなる。坑道の建設技術に対するエアベアリングの適用性を評価するため、表面性状（気泡の残存、表面粗度）、打設継ぎ目の影響についても、牽引/推進力、空気消費量などの走行特性データとして取得する。

✓ 坑道の性状とエアベアリングの適用性

乾燥コンクリート面上の走行特性データに加え、坑道の湧水を想定した走行面の湿潤状態の影響、隙間充填材除去後を想定した走行面上の残留物の影響について、牽引/推進力、空気消費量などの走行特性データとして取得する。

✓ PEMの定置精度

処分坑道にPEMを定置する場合、坑道との隙間には隙間充填材を施工するが、PEM同士の隙間が残存する。大小真球ペレットによる隙間充填技術の検討成果より、15cm以上の間隔があれ

ば重力落下の充填作業で所定の密度を達成できる見通しを得たため、PEM 同士も 15cm 程度離して定置する計画としていた。一方で、可能な限り PEM 同士を接して定置した方が処分坑道の長が短くすることができる（100 体定置すると仮定すれば、15m の短縮となる）。PEM 同士を衝突させずに近接して定置する方法、近接定置された PEM を回収する際の課題などを抽出する。

✓ 遠隔化への対応

装置の姿勢や PEM の载荷状況、処分坑道内での位置などのステータスを確認するための、計測機器の選定、設置個所、数量などの情報を実際の定置試験を通して整備する。

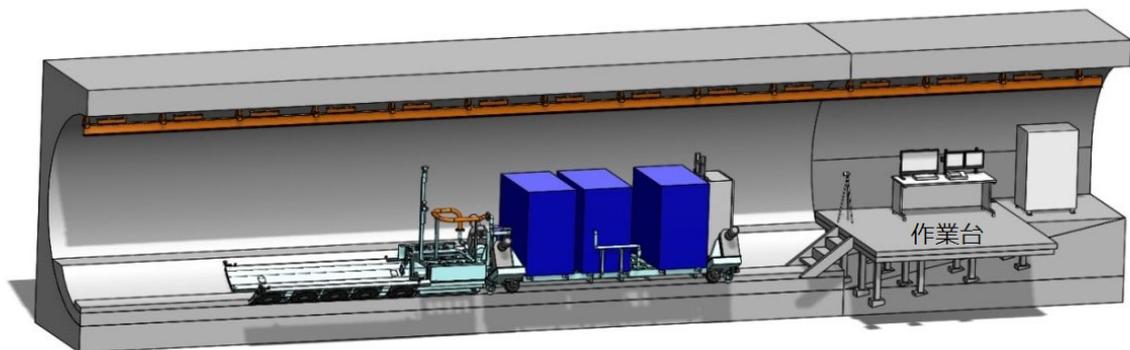


図 2.2.3-5 幌延 URL 試験坑道 2 への定置装置の設置イメージ

2) 隙間充填技術

PEM - 坑道間の隙間充填材は、隙間が残存した場合の鋼殻内部の緩衝材の膨出による密度低下や、隙間が卓越した水みちとなることを防止するために施工される。「(1)実証試験サイト」で述べたように試験坑道 2 は、下部の組立台の部分は直径 2.6m の円形坑道底部、上部の直径 4m の試験坑道 2 のままの部分は大断面坑道に相当するから、それぞれの隙間の形状に合わせた充填技術を適用する。実証試験では、以下の点を主な検討項目とした。

✓ 下部狭隘部の充填

円形小断面坑道に PEM を定置した場合の隙間に相当する狭隘な空間の隙間充填技術として、ペレット充填方式が検討されている。PEM 内部の緩衝材の膨出による密度低下の抑制は、隙間充填材にも緩衝材相当の膨潤圧を発生させることで対応する。そのため隙間充填材の有効ベントナイト密度の目標値は緩衝材と同様の 1.37Mg/m^3 とした。

ペレットのような顆粒状の粉体は充填率が 100%とならない、充填する部位の幾何学的な問題から未充填部が生じるなどが検討課題として考えられる。これに対し、ペレットの性状（土粒子密度、粒度分布、含水比）と、充填方法（充填装置のレイアウトや運転パラメータなど）で目標の乾燥密度を達成するための技術整備を目的とする。

✓ 上部開放部の充填

充填材の除去技術の試験の観点から隙間充填材をみた場合、PEM - 坑道間の施工された隙間充填材は機械的／流体的除去技術での切削・破砕試験に適した状態であることが望ましい。

大断面坑道に PEM を定置した場合の隙間に相当する広い空間の隙間充填技術としては、狭隘部と同様にペレットの適用も考えられる。一方、図 2.2.2-11 に示した計画のように充填終了から除去開始までの期間は最長で数ヶ月程度であり、充填したペレットを飽和させることが困難である。また水の浸潤による膨出を抑制するための耐力壁を試験坑道 2 内に施工することができない。そのため、ペレットで上部開放部を充填した場合、隙間充填材の除去は乾燥したペレットを機械的に掻き出す、または吸引捕集する程度で済むことになり、技術的課題としての位置付けが弱くなる。

そこで、上部開放部の充填技術としてベントナイト混合土の吹付け方式を選択した。充填部の目標値として、配合比はベントナイト：ケイ砂＝50%：50%、乾燥密度は 1.6Mg/m³（有効ベントナイト密度 1.15Mg/m³）とした[8]。本事業では汎用的な吹付け機械を使用した場合の、吹付け部の到達密度や密分布、配合比の変化、単位時間当たりの吹付け量、リバウンド率などの施工品質に係るデータを取得する。

✓ 充填部の出来形

「2.2.2(3)実証試験の対象技術」で検討したように、PEM の回収は隙間充填材の除去と処分坑道外への PEM の搬出の繰り返し工程となるため、図 2.2.3-6 繰り返し工程の一般的な状態を回収試験の対象とする。図 2.2.3-7 に地下で実施する隙間充填試験の目標出来形を示す。

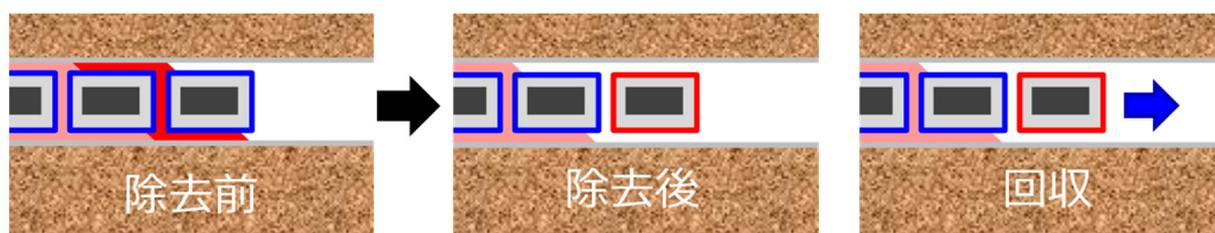


図 2.2.3-6 PEM の回収工程における一般的な状態

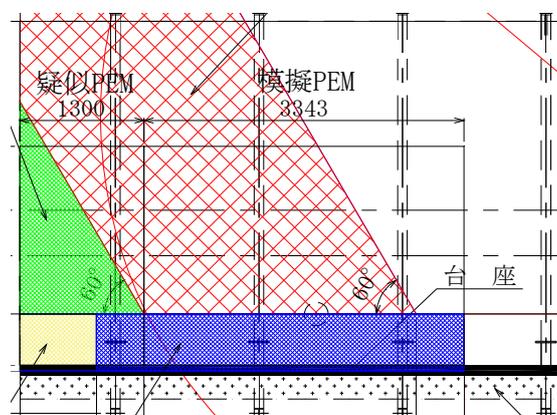


図 2.2.3-7 地下での充填試験の範囲（赤ハッチ：吹付け方式、青千鳥：ペレット方式）

✓ プロセス管理

隙間充填部を施工の度にサンプリングして品質を確認することは煩雑であるばかりでなく、施工された充填部の破壊試験となる。そのため実際の作業時の主な品質管理方法は、材料や施工時の手順を適切に実施することで品質を確保するプロセス管理となることが考えられる。本事業は試験であるから隙間充填部からのサンプリングを行うことができるため、施工条件と施工した部分の品質との突き合せを行い、隙間充填技術のプロセス管理に資する知見として提示する。

✓ 任意の坑道断面形状への展開

吹付け方式はノズル及びノズル支持機構の可動域が確保でき、吹付け面とノズルの距離・角度を適切に管理することが可能な任意の坑道断面に適用可能であると考えられる。

任意の断面形状に対するペレット充填の適用性を、本事業で取得した PEM 下部狭隘部へのペレット充填試験の成果をもとに提示する。ペレットの性状（配合比、土粒子密度、粒度分布、含水比）と、充填方法（充填装置のレイアウトや運転パラメータなど）で目標の乾燥密度を達成するための方法論として整備する。

3) 隙間充填材除去技術

処分坑道内で PEM - 坑道間に施工された隙間充填材を除去する技術であるあり、目的は、回収対象の廃棄物を拘束する埋戻し材を除去するとともに、後工程の回収装置の動作環境を整えることである。図 2.2.3-8 に隙間充填材の除去工程を模式的に示す。実証試験では、以下の点を主な検討項目とした。

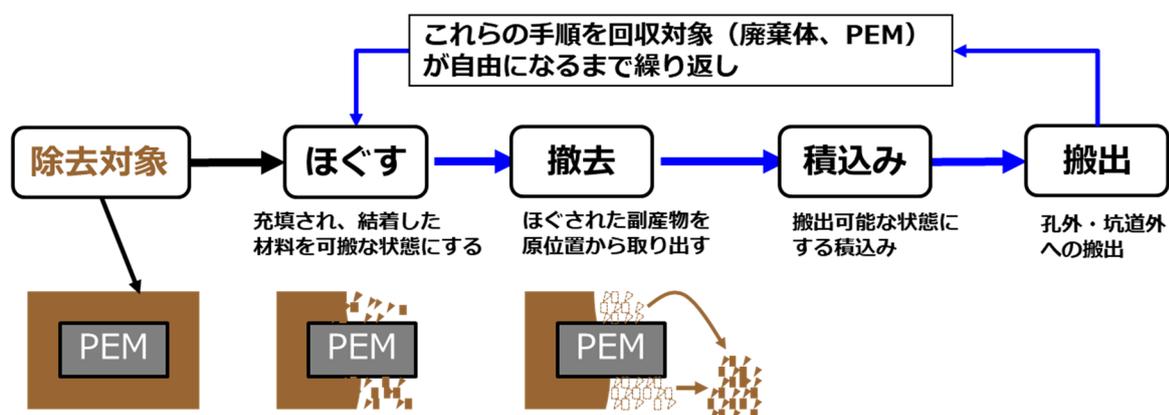


図 2.2.3-8 隙間充填材の除去工程のイメージ

✓ 除去部位に対応した除去技術の選択

廃棄体近傍での作業となることから除去作業が廃棄体に悪影響を与えないことが求められる。ベントナイト系充填材の除去技術の検討[4]を元に、本事業で対象とする除去技術として、PEM 近傍は流体的除去、外周は機械的除去を選定した。

✓ 流体的除去で使用する切削水の性状と水圧

流体的除去は使用する切削水の特性と、除去対象への切削水の作用がポイントである。

切削水として真水と電解質溶液があるが、溶液によって、ベントナイトへの作用が異なる。ベントナイトを体積拘束せずに電解質溶液に浸漬した場合、膨潤はするものの自由表面から崩れるような挙動を示すが、真水では膨潤する（図 2.2.3-9）[9]。このような電解質溶液によるベントナイトの崩壊効果を利用したものが、処分坑道竖置き定置方式の緩衝材除去システム[1]であり、塩水を低圧で緩衝材に噴射するとともに、模擬処分孔内に塩水を停留させることで、緩衝材をスラリー化して除去した。真水を使用した場合この崩壊効果は期待できないため、噴射する圧力を高めて運動エネルギーで切削する方式での使用が考えられる。図 2.2.3-10 に切削水の特性と対象物への作用の観点でまとめたものを示す。真水を切削水としたウォータージェットとすることで、塩水を使用できない環境下でのベントナイト系材料の除去技術として整備するができたため、本事業における流体的除去としてウォータージェットを選定した。ウォータージェットの切削ノズルの種類による切削特性、除去対象への噴射手順などのデータを取得し、真水を使用した場合の切削効率を評価する。

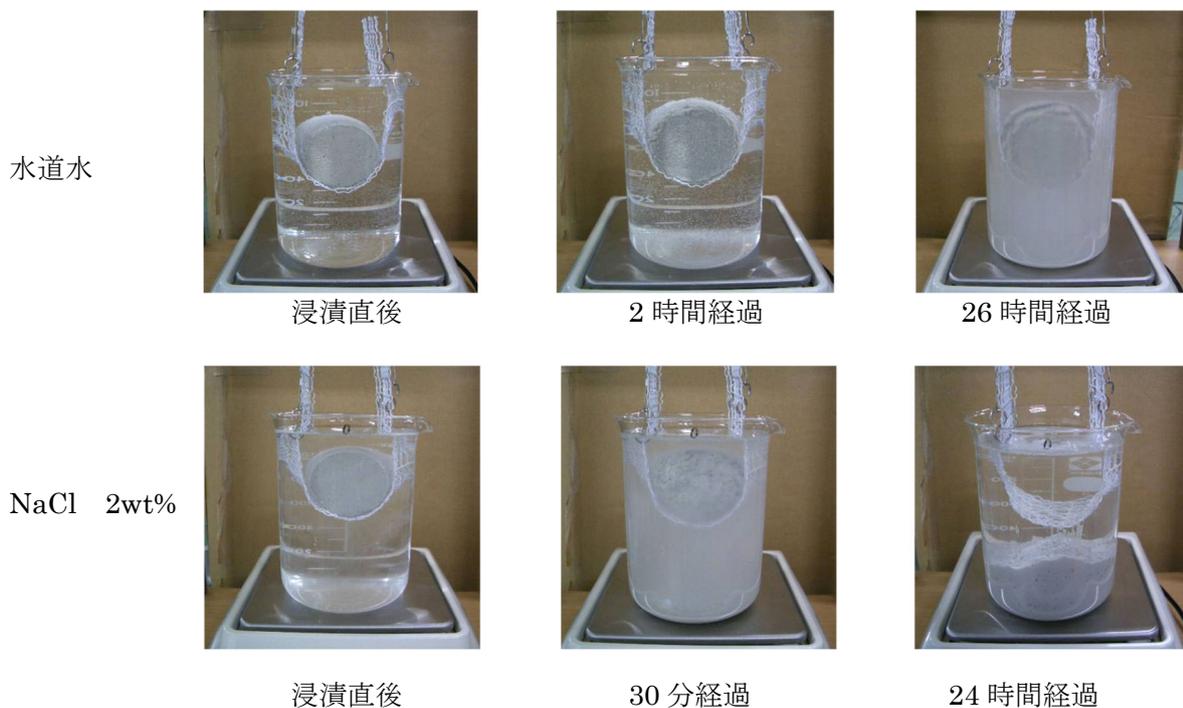


図 2.2.3-9 分解状況の進展（ベントナイト 70%、ケイ砂 30%配合）[9]

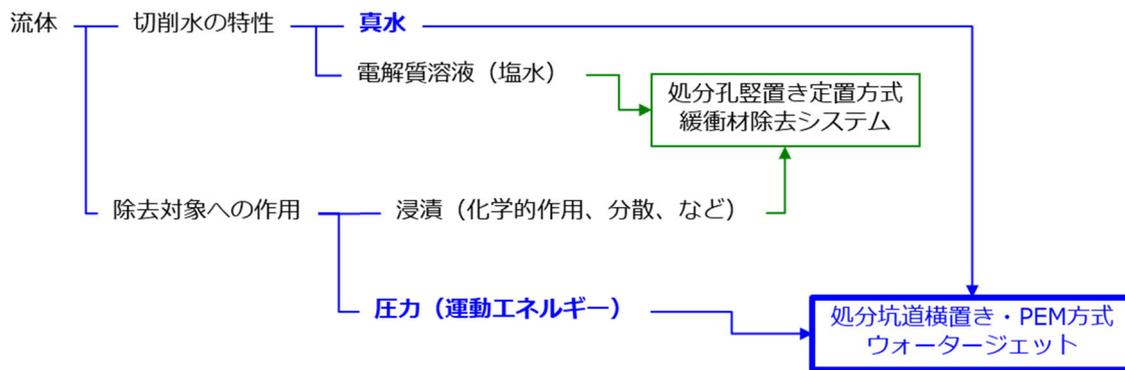


図 2.2.3-10 流体的除去における切削水の特性と除去対象への作用の整理

✓ 副産物の処理、切削水の再利用

本事業では切削後の副産物の処理や切削水の再利用は検討対象から除外する。

塩水による除去の利点として、スラリーとして補修した後の固液分離と切削水の再利用も挙げられる。ウォータージェットは塩水も使用可能であるから、緩衝材除去システムの構成技術として整備した塩水リユース設備をすれば切削水の削減も可能と考えられる。

✓ 充填材除去技術による周囲への影響

機械的除去は PEM を破損させる恐れのない部位の充填材の除去に適用する。本事業で製作した切削装置で除去した場合の坑道や PEM までの距離、言い換えれば機械的除去が可能な範囲を除去装置とともに提示する。

ウォータージェットでは鋼製の PEM 容器への影響は軽微であると考えられるが、下部狭隘部の除去に適用した場合コンクリート坑道面を荒らす恐れがある。充填材の切削性の観点で整備した流体的除去技術による、コンクリート坑道面への影響を確認する。

✓ 除去終了の判断基準の設定

隙間充填材の目的は、回収対象の廃棄体を拘束する埋戻し材を除去するとともに、後工程の回収装置の動作環境を整えることである。本事業では PEM の回収にエアベアリング方式の定置装置を使用する。「1)PEM の定置技術 (回収技術)」にて取得する坑道の性状とエアベアリングの適用性の結果と整合を図り、充填材除去作業の完了基準を設定する。

(3) 回収対象とする 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、平成 22 年度～平成 23 年度遠隔操作技術高度化開発で検討された鋼殻リング方式の PEM を回収の対象とした。図 2.2.3-11 に鋼殻リング方式の PEM の内部構造と外径寸法を示す。この PEM の総重量は 36.5t である。

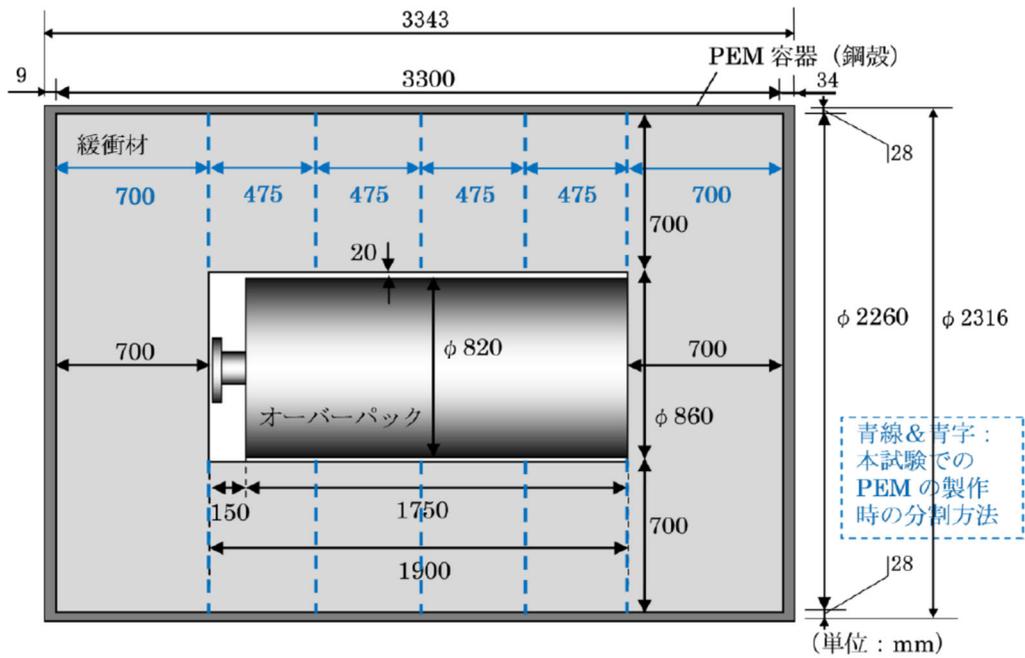


図 2.2.3-11 対象となる模擬 PEM の仕様および寸法[10]

本事業では定置後の PEM 内部の人工バリアの挙動や、オーバーパックからの発熱の影響は検討対象としていないため、緩衝材やオーバーパックは再現せず、重量、形状、寸法、重心位置のみを再現した模擬 PEM を製作し試験に供した。図 2.2.3-12 に試験坑道 2 に定置した模擬 PEM を示す。模擬 PEM は分割して地下に搬入し、試験坑道内で組み立てた[11]。試験坑道 2 内の吹付けコンクリート、組立台、および施工予定の隙間充填材のいずれも灰色であること、明るい色は記録撮影時に白飛びするため、PEM は試験記録の都合から暖色系の色で塗装した。



図 2.2.3-12 試験坑道 2 に定置した模擬 PEM[11]



図 2.2.3-13 模擬 PEM と試験坑道 2 妻壁間に配した疑似 PEM[11]

試験坑道に隙間なく定置された PEM を再現するため、模擬 PEM－坑道妻壁の間に模擬 PEM と同一寸法の疑似 PEM を設置した（図 2.2.3-11）。疑似 PEM は模擬 PEM より一つ奥側に定置された PEM を再現するもので、回収・定置試験の対象ではないため発泡スチロール製とし、表面を模擬 PEM と同一色で塗装した。

(4) 地上での試験における試験環境の整備

地下実証試験サイトでの試験は、平成 30 年度に隙間充填技術から開始する計画である。しかしながら、本試験前に個々の技術の整備状況を地下で確認することができない。そこで、地下での実証試験に先立ち地上で実施する技術開発や要素試験は、各試験で確認すべき項目と環境の境界条件を明確にし、幌延 URL 試験坑道 2 の状態を各試験の目的に合わせて再現した地上実証試験サイトで実施した。

1) 搬送定置・回収技術の地上試験設備

エアベアリング方式による PEM の定置装置の機能確認試験では、エアベアリングが接触・走行するコンクリート坑道面の性状、及び搬送対象の重量を地上に再現した。

コンクリート坑道面については、平成 28 年度に幌延 URL に整備した試験坑道 2 と同一形状のコンクリート製模擬坑道を地上に整備した[11]。

地上での機能確認試験では、定置／回収の対象とする PEM として、平成 18 年度～平成 19 年度に実寸大の組立て施工試験を実施した横倒し組み半割れ PEM 容器を活用した（図 2.2.3-15）[12][13]。

この容器に組立試験で使用したコンクリート製の模擬緩衝材ブロックを詰め、上部に検査用ウエイトを載せることで、搬送重量を変えた試験が可能となった。この組立試験用 PEM は直径が 2,260mm で、鋼殻リング方式の 2,316mm より若干小さい。定置装置の定置部は鋼殻リング方式の PEM の曲率に合わせて製作されているため、調整用のシム材を定置部の PEM と接触する面に取り付けて試験を実施した。図 2.2.3-16 に地上での定置装置実機の機能確認試験の様子を示す。

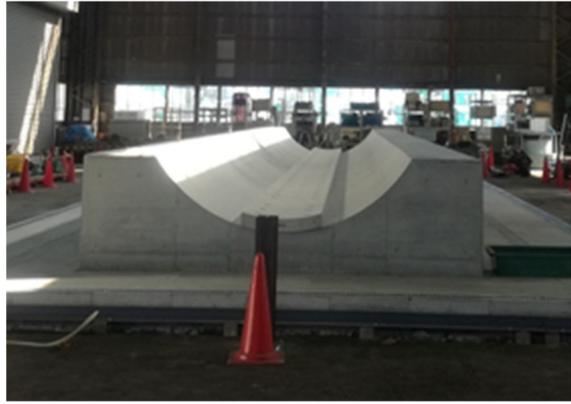


図 2.2.3-14 幌延 URL 試験坑道 2 と地上に整備した模擬コンクリート坑道



図 2.2.3-15 横倒し組み半割れ構造 PEM 容器の活用[12]



図 2.2.3-16 地上施設での定置装置実機の機能確認試験の様子

2) 隙間充填技術の地上試験設備

幌延 URL 試験坑道 2 に整備した組立台上に模擬 PEM を設置した場合の、模擬 PEM-坑道間の隙間の形状を図 2.2.3-17 に示す。模擬 PEM と現場打設コンクリート組立台、PCa 製台座間の十数 cm の隙間（以下「下部狭隘部」という）と、直径 4m の試験坑道と模擬 PEM 間の数十～百数十 cm の隙間（以下「上部開放部」という）が存在する。下部開放部は円形断面の処分坑道に PEM を定置した場合に生じる隙間に相当し、ベントナイトペレットによる隙間充填技術を適用する。一方、上部開放部は、大断面坑道に PEM を定置した場合に生じる隙間に相当し、ベントナイト混合土を吹付けで施工する。

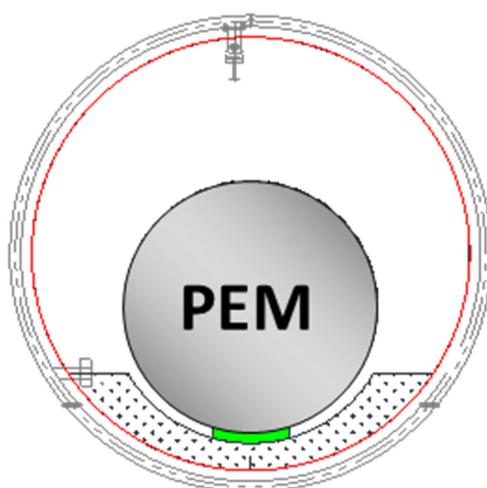


図 2.2.3-17 幌延 URL 試験坑道 2 の PEM-坑道の隙間形状

下部狭隘部を模擬した試験土槽を図 2.2.3-18 に示す[11]。直径 2.6m の円形坑道に設置した台座上に鋼殻リング方式の PEM を定置した場合の隙間の形状を再現している。隙間形状以外にもペレット充填時に影響があると想定される表面粗度を再現するため、PEM 鋼殻に相当する面は鋼製の蓋で再現し、コンクリート坑道面に相当する面は実際の打設したコンクリートの表面粗度に近い粗さを再現できる塗料を塗布した。

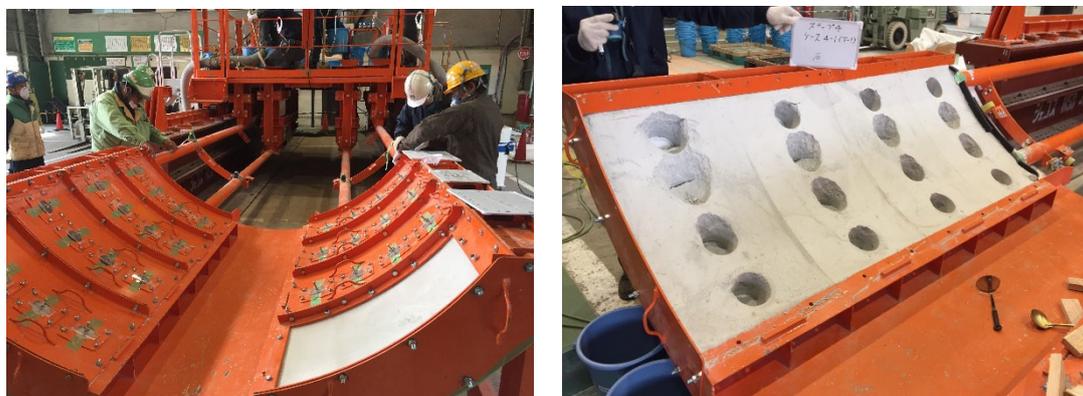


図 2.2.3-18 下部狭隘部を模擬した試験土槽[11]

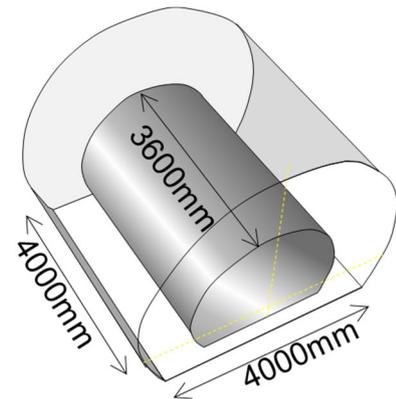


図 2.2.3-19 上部開放部を模擬した試験土槽[11]

上部開放部を模擬した試験土槽を図 2.2.3-19 に示す[11]。試験坑道 2 での吹付け施工箇所である組立台脇より上部の断面形状を有する PEM 一体分の長さの模擬土槽を、坑道側をライナープレート、模擬 PEM 側コルゲートで再現した。

3) 充填材除去技術の地上試験設備

PEM の回収のため、PEM - 坑道間の隙間充填材の除去技術は PEM からの距離により機械的除去と流体的除去を選択した。

下部狭隘部の隙間充填材の除去は流体的除去のウォータージェット方式とした。地上での試験では、除去手順や流体の噴射条件を検討するための下部狭隘部の隙間形状の再現だけではなく、除去作業に使用した高圧水によるコンクリート坑道面の性状変化を確認する必要がある。そこで、1)搬送定置・回収技術の地上試験設備を活用し、地上模擬コンクリート坑道上に横倒し組み半割れ構造 PEM の鋼殻を設置したものを模擬土槽として使用した (図 2.2.3-20)。



図 2.2.3-20 下部狭隘部の充填材除去技術の検討における試験土槽

PEM から離れた部位の隙間充填材の除去は機械的除去のオーガ方式とした。本事業では隙間充填材を切削する部位に対して試験を実施するため、バックホウに取り付けるアタッチメントとして製作し、地下では電動バックホウに取り付けて除去試験を実施する計画である (図 2.2.3-21)。

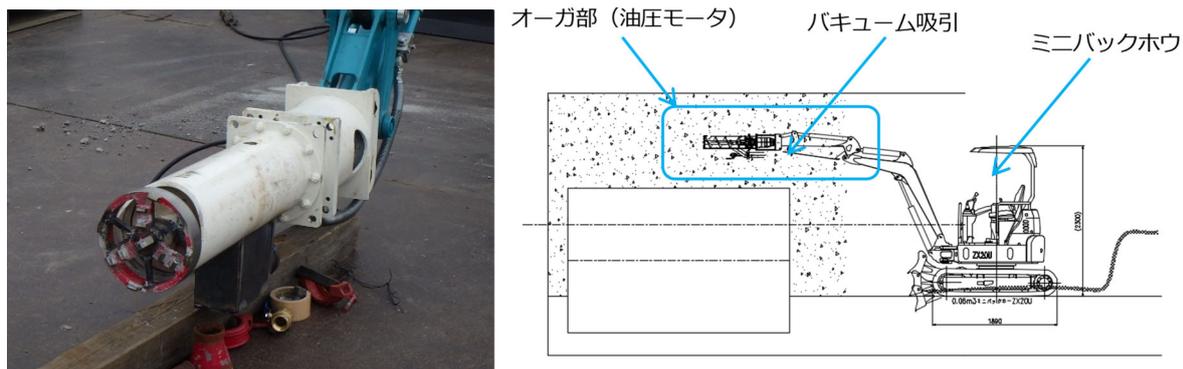


図 2.2.3-21 機械的除去のオーガアタッチメントと地下での作業イメージ



図 2.2.3-22 上部開放部の充填材除去技術の検討における試験土槽

地上での試験は、製作したオーガアタッチメントの機能確認、地下に施工した充填材の切削する部位の順番の検討に必要な隙間充填材の切削状況の確認、切削土の性状及び吸引捕集性の確認を目的としており、狭隘部な地下坑道に対応するための電動バックホウの運転習熟は目的外である。そのため、地下に施工した隙間充填材と同じ性状の充填部を再現するために、1m×1m×0.7mの模擬土槽を転圧で製作し、試験に供した（図 2.2.3-22）。

2.3 わが国における処分概念との対応の整理

2018年11月に原子力発電環境整備機構（以下「NUMO」という）から、『包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－（レビュー版）』（以下「NUMO-SC（レビュー版）」という）を公開された[14][15]。これは実施主体としてどのようにサイトの調査を進め、安全な処分場の設計・建設・操業・閉鎖を行い、閉鎖後の長期間にわたる安全性を確保しようとしているのかについて、これまでに蓄積された科学的知見や技術を統合して包括的に説明するものである。

本項では、本事業で実施予定の地下環境での PEM の回収試験に関連する項目について、NUMO-SC レビュー版に示された項目をまとめた。本事業で実施予定の処分坑道横置き・PEM方式の関連項目を整理した。

2.3.1 関連情報の整理 (NUMO-SC レビュー版)

NUMO-SC レビュー版」[15]の第4章および第4章の付属書から、本実証試験と関連がある事項について整理した。

(1) PEM の形状

『NUMO-SC (レビュー版)【本編・付属書】(付属書 4-19)に PEM 容器の設計の考え方が述べられている[15]。搬送定置に門型クレーン方式を適用した場合の把持部の検討例、PEM の外寸法、総重量が示されている。PEM 一体化モジュールの概念図を図 2.3.1-2 に示す。PEM は実寸大スケールでの製作試験の実績がある鋼殻リング方式[10]について検討されており、外径 2,316mm、長さ 3,356mm の円筒形状で、ツイストロック用の把持金具を含めて 37.2t の重量がある。

(2) 坑道断面形状

横置き・PEM 方式の坑道断面形状は PEM を定置する門型の定置装置、及びその外側に配置すべきユーティリティ設備を考慮して、図 2.3.1-2 のように設定されている。

(3) 埋戻し材料

本事業では「隙間充填材」と表している。(2)に示す断面形状の坑道に PEM を定置した際に、坑道との間に生じる隙間を埋め戻すため土質材料である。埋戻し材料の設計要件、評価項目として表 2.3.1-1、表 2.3.1-2 に示す。

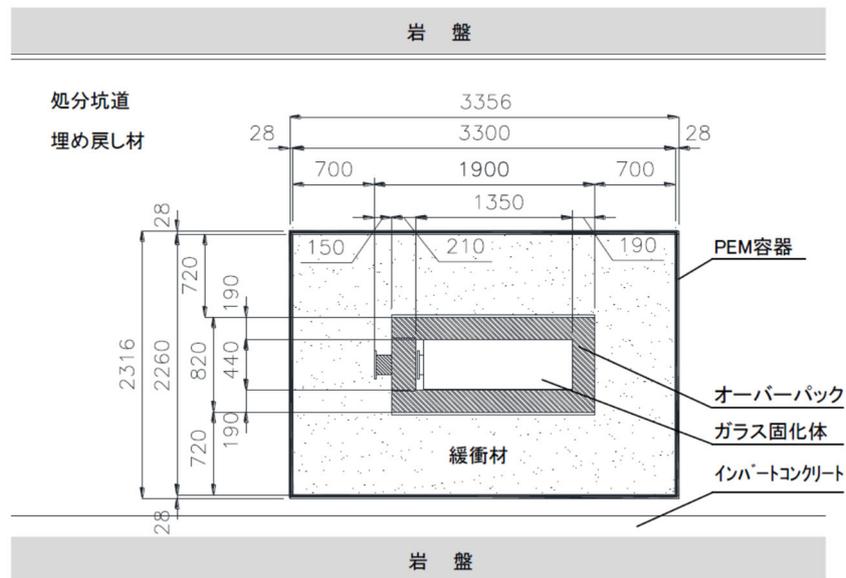


図 2.3.1-1 PEM 一体化モジュールの概念図 (埋戻し後の状態) [15]

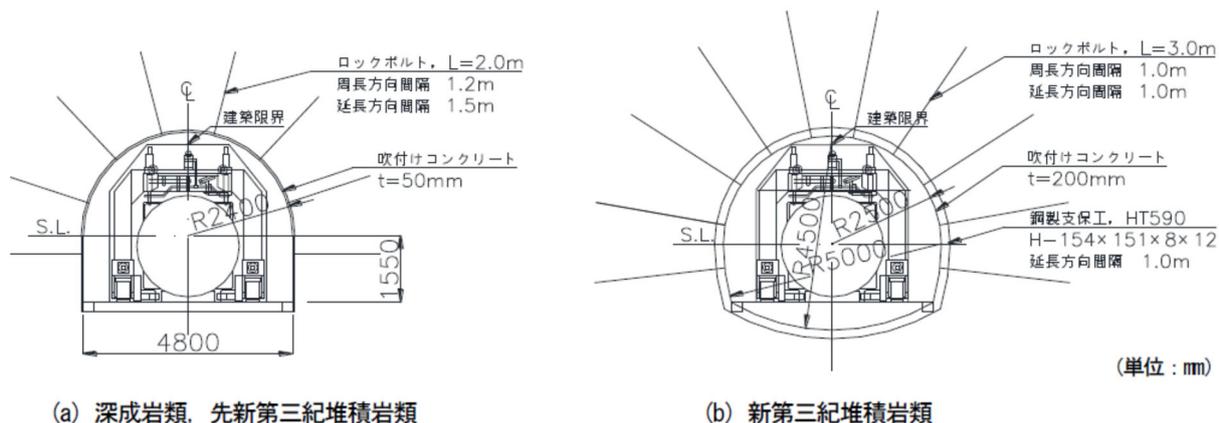


図 2.3.1-2 処分坑道横置き・PEM方式の処分坑道の断面形状[15]

表 2.3.1-1 埋戻し材料の設計要件[15]

設計要件	内容	設計項目
低透水性	坑道内が卓越した地下水の流動経路にならないこと	材料、有効粘土密度
製作施工性	既存の技術または実現性の見通しのある技術で製作施工が可能であること	乾燥密度、有効粘土密度、材料の混合率

表 2.3.1-2 埋戻し材料の評価項目[15]

評価項目	内容
緩衝材および止水プラグの膨出抑制	処分坑道や連絡坑道において、再冠水後の緩衝材および止水プラグ（粘土プラグの場合）の膨出を抑制すること

実際の操業では、坑道の掘削に伴い大量に発生する掘削土を埋戻し材として利用することが考えられている。施工性を高めるため掘削土を破碎し、ベントナイトと混合することで埋戻し材の性能に求められる低透水性が確保される。また、埋戻し材の施工技術については、狭隘部や放射線防護の観点から遠隔操作による無人化施工が必要と考えられる場所においては、吹付け工法の適用が検討されている。表 2.3.1-3 に埋戻し材の仕様を示す。

坑道径が小さく PEM 容器と処分坑道の隙間が極めて狭隘な場合は充填の容易なペレット充填工法の適用についても言及されている。

表 2.3.1-3 埋戻し材の仕様[15]

施工方法	配 合	乾燥密度	有効粘土 密度	対象となる坑道
締固め工法	ベントナイト 15% 掘削土 85%	1.8Mg/m ³	0.6Mg/m ³	処分坑道（高レベル放射性廃棄物の堅置き・ブロック方式、TRU 等廃棄物処分場）、連絡坑道、取付坑道（TRU 等廃棄物処分場）、主要坑道、アクセス坑道、アクセス立坑
吹付け工法	ベントナイト 50% 掘削土 50%	1.6Mg/m ³	1.2Mg/m ³	処分坑道（高レベル放射性廃棄物の横置き・PEM 方式）

(4) 回収方法

処分坑道横置き・PEM 方式の回収工程として、処分坑道端部の鉄筋コンクリート製力学プラグの撤去、隙間埋戻し材の除去、PEM の回収の手順が示されている。隙間埋戻し材の除去の除去について、PEM 容器と岩盤の間の面積が比較的広いので、埋め戻剤の大部分を掘削機械で除去し、その後、PEM 容器に損傷を与えないようにするために塩水を噴射し、PEM 周辺の埋戻し材を除去する（図 2.3.1-3）。

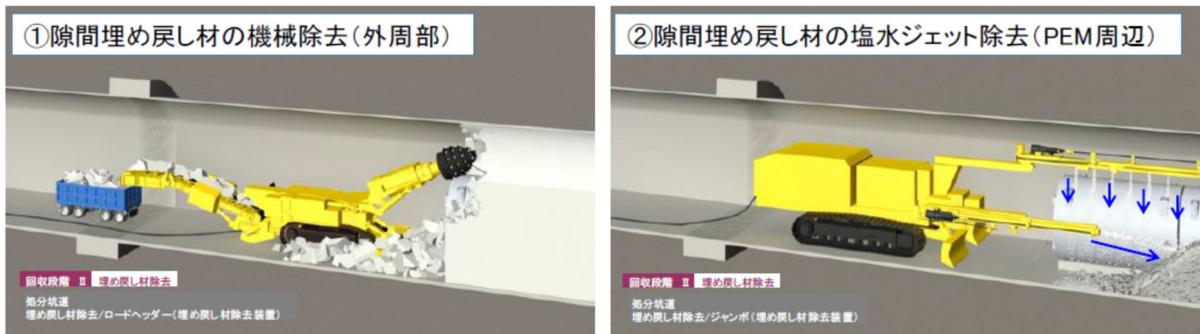


図 2.3.1-3 隙間埋戻し材の除去方法の概念イメージ[15]

埋戻し材を除去後、PEM を抱え込み型の回収装置を挿入し、油圧で台座から浮揚させて、PEM を回収する（図 2.3.1-4）。



図 2.3.1-4 埋戻し材除去後の PEM の回収方法のイメージ[15]

2.3.2 本事業での設定との比較

(1) PEM の形状

2.2.3(3)と NUMO-SC (レビュー版) に示された PEM はいずれも鋼殻リング方式の PEM を参考としている[1]。そのため外寸法は同一である。一方、重量は NUMO-SC (レビュー版) では 37.2t とあり、模擬 PEM の 36.5t から 0.7t 増加しているが、これはツイストロック用の把持用金具の追加、内部の緩衝材の含水比の設定の違いに起因すると考えられる。エアベアリング方式による定置ではツイストロック用の把持用金具は不要となるから、この重量増加分は試験の成果に影響しないと判断した。

(2) 坑道断面形状

幌延 URL の地下実証試験サイトは既設の試験坑道 2 を利用しているため、整備前の坑道は直径 4m の円形断面である。NUMO-SC (レビュー版) では門型定置装置の稼働領域から坑道断面形状が設定されている。坑道断面の違いは PEM の定置装置、隙間充填技術に波及する。

上部開放部の吹付け試験はベントナイト混合土の性状、吹付け条件、吹付けノズルの動きで充隙間充填部の品質を管理しているため、断面形状が異なる NUMO-SC (レビュー版) の処分坑道での PEM - 坑道間の隙間充填技術としても適用できると考えられる。

(3) 埋戻し材の仕様

本事業での吹付けによる充填材の仕様は、NUMO ワークショップ資料を参照して設定したものである[8]。NUMO-SC (レビュー版) における処分坑道横置き・PEM 方式の隙間充填材の配合

はワークショップ資料から変更はないため、本事業の吹付け試験の成果は汎用吹付け設備を使用した場合の

(4) 回収方法

NUMO-SC（レビュー版）での埋戻し材（隙間充填材）の除去は、外周部は機械的除去である自由断面掘削機、PEM 周辺は流体的除去である塩水噴射が例示されている。PEM からの距離に応じた機械的除去／流体的除去の使い分けは同様である。除去装置の方式、使用する切削水の性状や噴射圧はことなるものの、断面形状が異なる NUMO-SC(レビュー版)の処分坑道での PEM - 坑道間の隙間充填材除去技術としても適用できると考えられる。

2.4 実証試験の概要のまとめ

地下環境での搬送定置・回収技術の高度化開発において、地下環境で実施する実証試験の概要を整理した。

- ・ 実証試験の前提条件を整理した。本事業では健全な状態の廃棄体の回収に係る充填材の除去技術、廃棄体の回収技術を実証の対象とした。
- ・ 実証試験の対象とする定置概念として、処分坑道横置き・PEM 方式を選定した。
- ・ 実証試験の対象は、処分坑道横置き・PEM 方式の搬送・定置技術、隙間充填技術（ペレット充填・吹付け）、隙間充填材除去技術（機械的除去・流体的除去）、回収技術（定置動作の逆動線）とした。
- ・ 地下での実証試験に先立ち、地上で機能確認試験を実施した上で地下での試験を行う計画とした。

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 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）平成 23 年度～平成 26 年度 総括報告書，2016.
- [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高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2015.
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター：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），2018.
- [4] SKB：Techniques for freeing deposited canisters Final report, TR-00-15, 2000.
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 14 年度地層処分技術調査等 遠隔操作技術高度化調査 報告書，2003.
- [6] 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委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2013.
- [7] 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構：ホームページ、
https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/status/kouji/shisetsuseibi_kouji.html.
- [8] 原子力発電環境整備機構：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.
- [9] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 20 年度地層処分技術調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2009. .
- [10] 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委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2012.
- [11] 原子力環境整備促進・資金管理センター：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 報告書，2018.
- [12] 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 遠隔操作技術高度化調査 報告書，2007.
- [13] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 19 年度地層処分調査等委託費 高レベル放射性廃棄物処分関連 処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2008.
- [14] 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告，わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－（レビュー版）【概要版】、NUMO-TR-18-02，2018.
- [15] 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告，わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－（レビュー版）【本編・付属書】、NUMO-TR-18-03，2018.

第3章 搬送定置・回収技術の実証的整備

3.1 実施概要

搬送定置・回収技術については、幌延深地層研究センター（以下「幌延 URL」という）の地下 350m にある試験坑道 2 において、処分坑道横置き・PEM 方式の搬送定置・回収技術に係る実証試験（以下「地下実証試験」という）を平成 31 年度に実施することを目的とし、エアベアリング技術を用いた実証試験装置（以下「定置・回収装置」という）の整備を継続して実施する。また、平成 29 年度に製作した要素試験装置及び整備した定置・回収装置を用いて、幌延 URL 試験坑道 2 と同等の形状で地上に構築したコンクリート模擬坑道（以下「地上模擬坑道」という）の走行面で PEM の定置・回収試験を実施し、エアベアリングの走行特性を取得する。地上模擬坑道における試験により、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面での PEM の搬送性に関する知見を得て、幌延 URL での搬送定置・回収技術に係る実証試験の計画に反映する。

3.2 搬送定置・回収技術の開発計画

本事業では、処分坑道横置き PEM 方式の搬送定置・回収技術として、設計オプションの自由度を向上させるよう、小断面処分坑道において大重量搬送の可能なエアベアリング技術を選定した。図 3.3.1-1 に、エアベアリング技術による PEM 回収動作の概要を示す。

処分坑道横置き・PEM 方式の搬送定置・回収技術へのエアベアリング技術の適用性として、大重量搬送性、小断面適用性、走行面性状適用性、遠隔操作性を以下のように検討し、各項目について確認する計画とした。エアベアリング方式の搬送定置・回収技術の開発計画の模式図を図 3.3.1-2 に示す。

◇ 大重量搬送性

大重量の PEM（36.5t）の搬送・定置に適用性が見込める技術として選定し[1]、実寸大の要素試験で適用性が確認されている[2]。

◇ 小断面適用性

平坦な平滑走行面で実績のあるエアベアリング技術について、円形坑道面での適用性を評価するため、小断面坑道の曲率（走行面半径=PEM 半径+110mm 程度）に合わせて曲げたエアベアリングユニットを試作し[1]、円形小断面坑道を再現した模擬坑道面での PEM 相当の重量の搬送試験にて、曲面への適用性が確認されている[2]。

◇ 走行面性状適用性

エアベアリングの走行特性は走行面の性状に強く影響を受ける。これまでに平滑な局面である鋼製模擬坑道での走行試験[1]、プレキャスト製コンクリート模擬坑道での走行試験が実施され、走行面の気泡やざらつきが無い場合、走行特性は模擬坑道の構成材料に依存しないことが確認されている[2]。

現場打設コンクリート面はプレキャスト製コンクリート面と比較した場合、打ち継ぎ目、表面の荒さ、気泡の残存などエアベアリングの走行面としてみた場合厳しいが、エアベアリングへの

エア供給量を増加させることで走行が可能になることを地下での要素試験（ベアリング 4 枚の試験装置）で確認した[3]。本年度は、以下の項目を確認する。

- ・ 地上に整備したコンクリート模擬坑道面にて、実機（ベアリング 10 枚の実証試験装置）を用いた PEM 相当の重量の走行試験を実施し、実機の機能確認を行う。
- ・ PEM - 坑道間の隙間充填材除後の環境を想定し、坑道面上の水、充填材の残留物が走行特性に及ぼす影響を確認する。

コンクリートの打ち継ぎ目など走行面の性状がエアベアリングの走行特性に影響を与える場合、薄い鋼板などの上敷き材を敷設することで走行が容易になることが確認されている[1][4]。また、表面性状が悪い走行面ではエアベアリングから急激に空気が漏れ、走行特性に影響を与えるため、当該するエアベアリングへの供給空気を停止し、残ったエアベアリングで荷重を分担することで走行できる方法も検討されている[2]。

1) 遠隔操作性

通常時における PEM の搬送時は、遠隔操作のために装置の状態を把握する必要がある。装置の姿勢検出や前方の障害物検出など目的に合わせてカメラや検出器を定置装置の各所に設置することで離れた場所からも装置の状態を把握できることを確認した[5]。

異常時における装置の救援として、供給空気を停止し PEM を台座に仮置きして無負荷状態にすることで装置が移動可能な状態にする方法を検討し、確認した[6]。

地下閉鎖空間での試験を前提に設置したカメラや検出器は地上試験では計画通りに機能している。平成 31 年度に幌延 URL での実証試験にて現地での適用性を確認する計画とした。

上記の開発計画を踏まえ、本年度は、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面での PEM の搬送を確認するため、以下を実施した。

- ・ 定置・回収装置の整備
- ・ 地上模擬坑道での要素試験
- ・ 地上模擬坑道での実機試験

なお、定置・回収装置の整備には期間を要することから、要素試験は要素試験 2 と要素試験 2 に分割し、要素試験 1 は定置・回収装置の整備前に、要素試験 2 は別途実施する充填材除去試験後に実施する計画とした。また、実機試験は要素試験 2 の後に実施する計画とした。

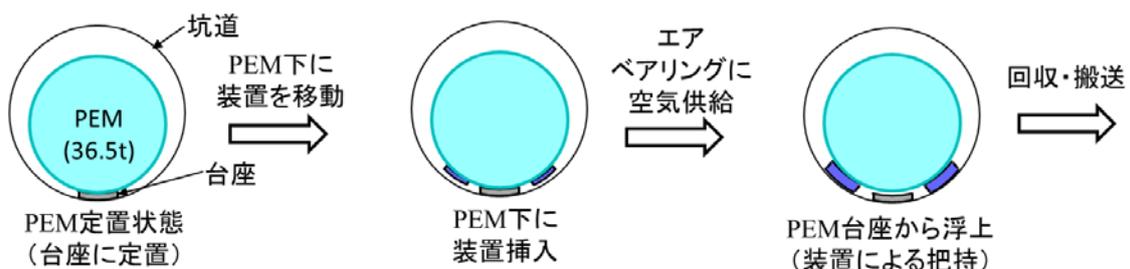


図 3.3.1-1 エアベアリング技術による PEM 回収動作概要図（定置動作は逆同線）

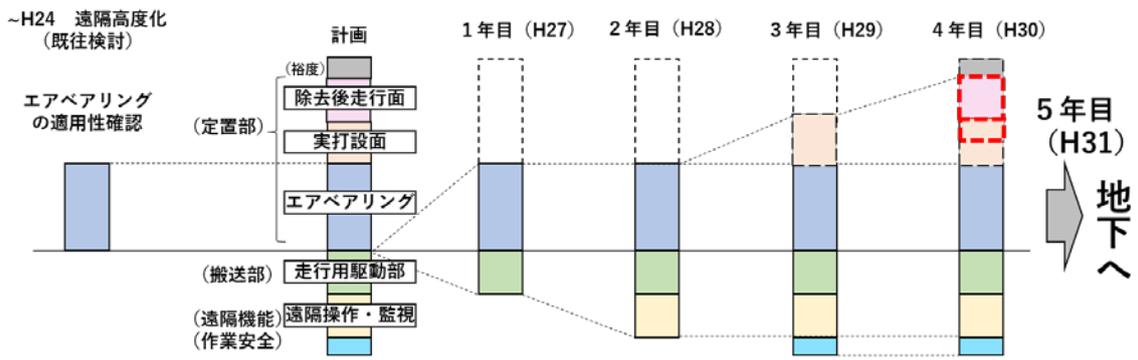


図 3.3.1-2 搬送定置・回収技術の実証的整備の開発計画模式図

3.3 定置・回収装置の整備

3.3.1 装置の開発方針と装置構成

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 3.3.1-1 に示す。）について、装置の開発方針と装置構成を以下に示す。

(1) 装置の開発方針

装置開発の方針は以下の通りに計画した。5ヶ年の装置整備計画を図 3.3.1-2 示す。

- ・平成 31 年度に地下実証試験を実施する計画のため、平成 27 年度から平成 30 年度に掛けて装置を整備する。
- ・装置の整備は、主要機構となる定置部及び搬送部を先行製作して主要機能を確認した後、遠隔操作化、幌延 URL 向け作業安全対策、幌延 URL での要素試験結果の反映を順次実施する。

(2) 装置構成

装置構成は以下の通りに計画した。

- ・定置部は、エアベアリングを 10 個（片側 5 個ずつ）配置し、PEM を載せる台座をガイドとして利用するガイドローラを設置する（※1）とともに、エアベアリングにエアを供給していない時に装置の荷重を受ける走行ローラを設置した。
- ・搬送部は、エアコンプレッサ、制御盤及び電動機を搭載し、電動機と接続している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。また、搭載機器への電源供給は幌延 URL 既設の電源設備から中継ボックスを介して供給するものとし、可搬式の電源ケーブルを随走させるものとした。
- ・装置の操作は、遠隔操作できるように、装置には検出器類及びカメラを設置し、ソフト面では運転モードやインタロック等を設定できるようにした。操作用の制御信号は、操作卓から中継ボックスを介して制御盤まで有線で送受信するものとし、可搬式の信号ケーブルを電源ケーブルと同経路で随走させるものとした。
- ・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。

※1：処分坑道横置き PEM 方式では、隙間充填材の充填性を考慮して、PEM を台座に定置する設計となっており、定置・回収装置は、この台座を装置走行上のガイドとして利用する方式を採用した。

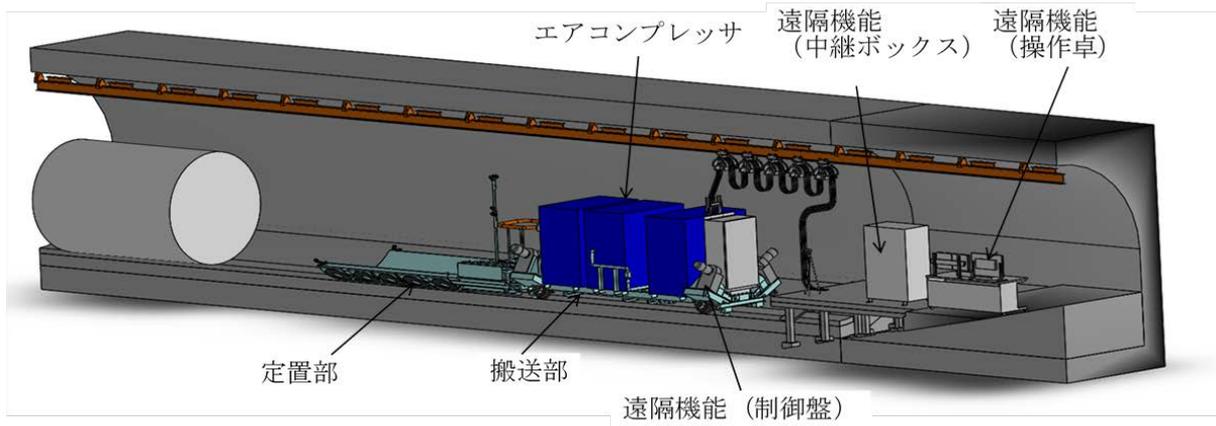


図 3.3.1-1 定置・回収装置の完成イメージ図

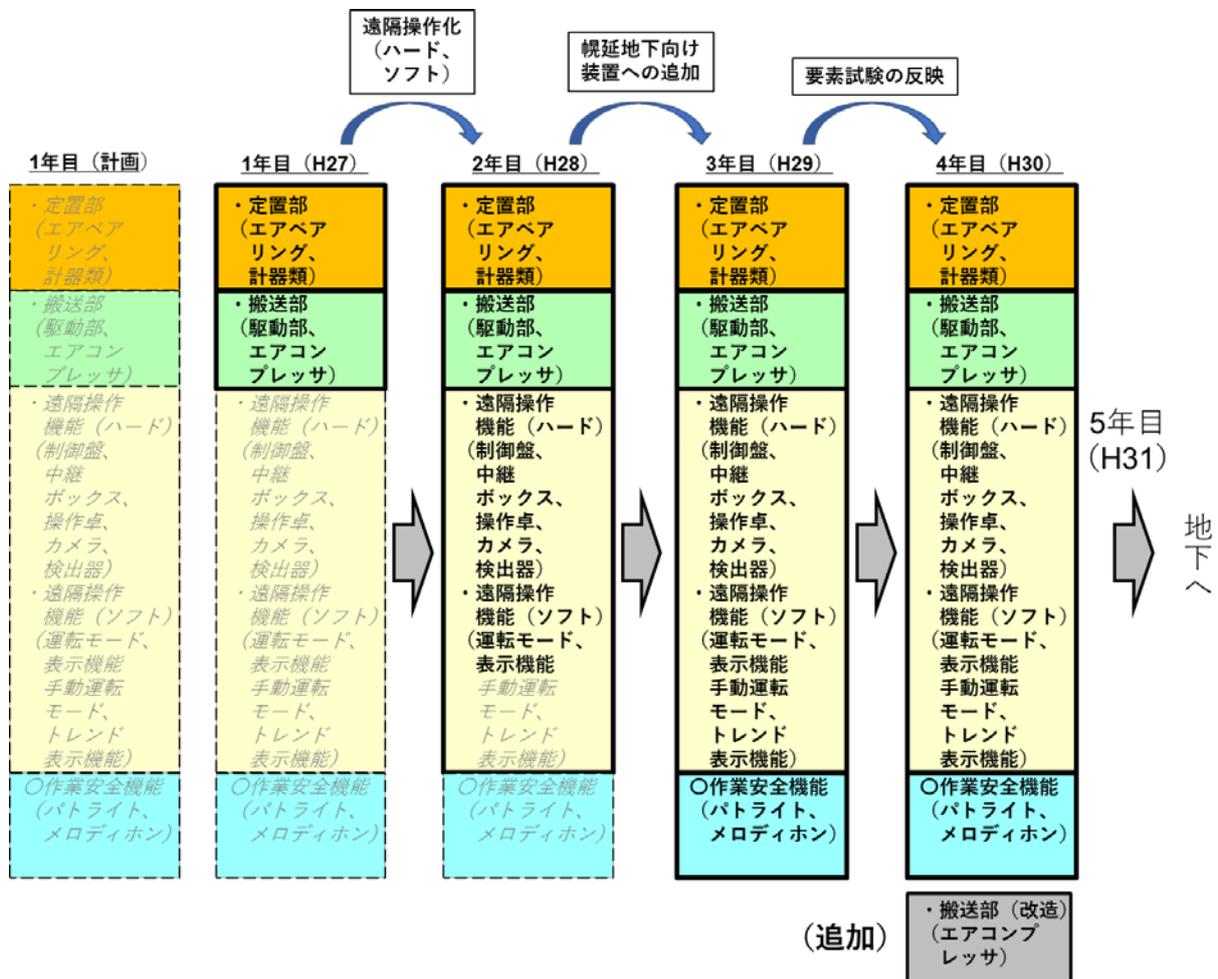


図 3.3.1-2 定置・回収装置の5ヶ年整備計画

3.3.2 本年度の整備内容

本年度の定置・回収装置の整備内容は、平成 29 年度に実施した幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験の結果を反映し、主に以下を実施した。

- ・エアベアリングへの供給空気の増加対応
- ・走行ローラの取付位置の変更

以下に各実施内容を記載する。

(1) エアベアリングへの供給空気増加対応

打設コンクリート面での PEM の搬送について、平成 29 年度までの地上試験及び幌延 URL での要素試験の結果から、PEM（重量 36.5ton）の搬送に必要なエアベアリングへのエア供給量を推定すると、約 30 m³/min となった。一方、昨年度までに整備した定置・回収装置のエア供給量は約 20 m³/min であり、必要な供給量が不足している。

そこで、地下実証試験におけるエア供給方法として、以下の案を検討した。

対応案 1：装置上のコンプレッサ増設によるエア供給

対応案 2：幌延 URL 既設設備からの全エア供給

対応案 3：装置上の現有コンプレッサと幌延 URL 既設設備からのエア供給の併用

対応案 1 は、コンプレッサ増設のために搬送部の延長が必要であり、地下実証試験での走行距離が短縮することから、本事業では不適と判断した。

対応案 2 は、既設コンプレッサの撤去、代替ウエイトの設置、エア供給ラインの追加、エア供給に関する計装・制御ロジックのソフト変更等が必要となる。

対応案 3 は、エア供給ラインの追加変更のみで対応可能なことから、対応案 2 より改造箇所が少なく本案を採用することとした。変更にあたり主な留意点は以下の通りとなり、検討したエア系統図を図 3.3.2-1 に示す。また、エア受入れ部と外部供給ホースの取付位置を図 3.3.2-2 に示す。

- ① 別エア供給ラインからの合流となるため、逆流防止のためにライン接続部の手前に各ラインへ逆止弁を設置する。
- ② 追設ラインは、取り回しを考慮しエアホースを使用し、ホース径は既設エアラインと同じ 50A とする。

なお、本年度に実施する地上試験では、幌延 URL 既設設備からのエア供給の代替として、別途のエンジンコンプレッサを用意することとした。

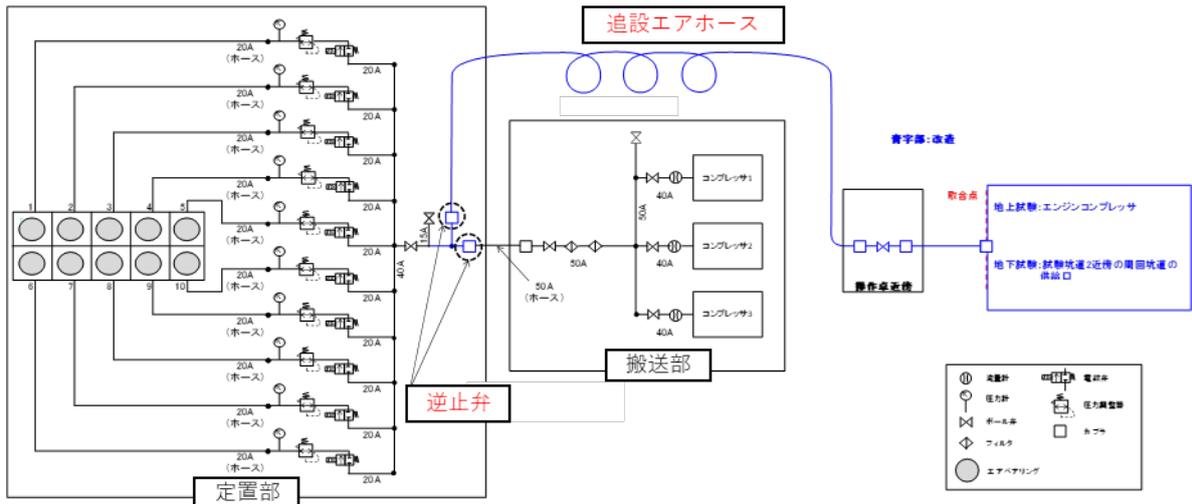


図 3.3.2-1 エア系統図

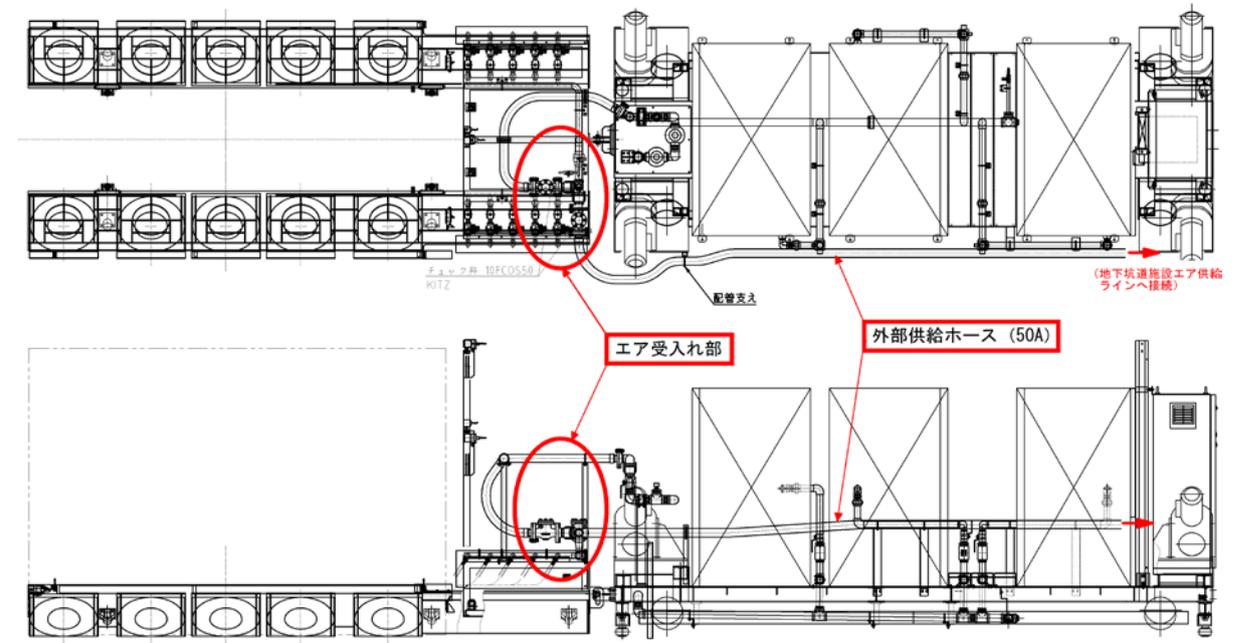


図 3.3.2-2 エア受入れ部と外部供給ホースの取付位置図

(2) 走行ローラの取付位置の変更

幌延 URL の試験坑道 2 は、コンクリート面を基本としているが、走行面の一部にモルタルを塗布している面があり、幌延 URL での要素試験において、要素試験装置の走行ローラが通過した箇所で、モルタルが剥げる事象が確認された。(図 3.3.2-3 参照)

走行ローラは、エアベアリングにエアを供給していない時に装置の荷重を受けて走行させる部品であり、走行ローラの取付位置は、定置・回収装置も要素試験装置と同様に、エアベアリングの走行面上にある。

地下実証試験では、モルタル面の上方に試験対象となる PEM (模擬 PEM) が設置されており (図 3.3.2-4 参照)、PEM 回収時にはモルタル面上を定置・回収装置の走行ローラが走行することとなる。そのため、上記モルタル剥がれ事象が発生し、エアベアリングによる PEM の搬送が阻害されるおそれがある。

これを防止するために、定置・回収装置の走行ローラの取付位置を、エアベアリング走行面の中心から、エアベアリング走行面の両脇に変更することとした。定置・回収装置 (定置部) の走行ローラの改造前後の取付位置を図 3.3.2-5 に示す。

なお、地下実証試験を実施する幌延 URL 試験坑道 2 では、妻側 6m の走行面がモルタル面であり、現状の PEM の設置位置では、搬送部の走行ローラはモルタル面に進入しないことから、走行ローラの取付位置の変更は定置部のみを対象とすることとした。

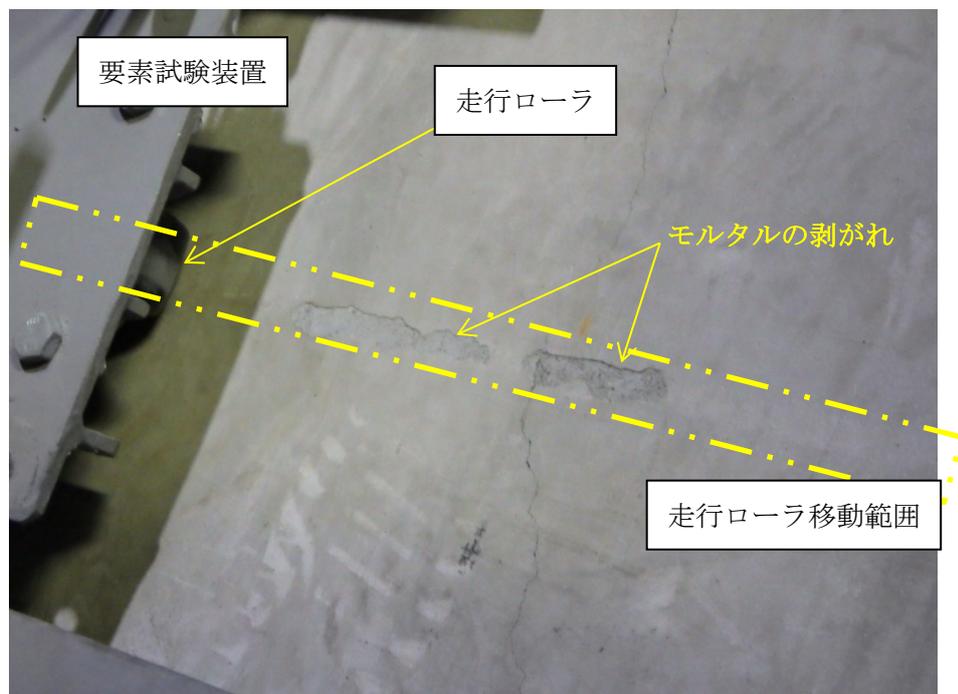
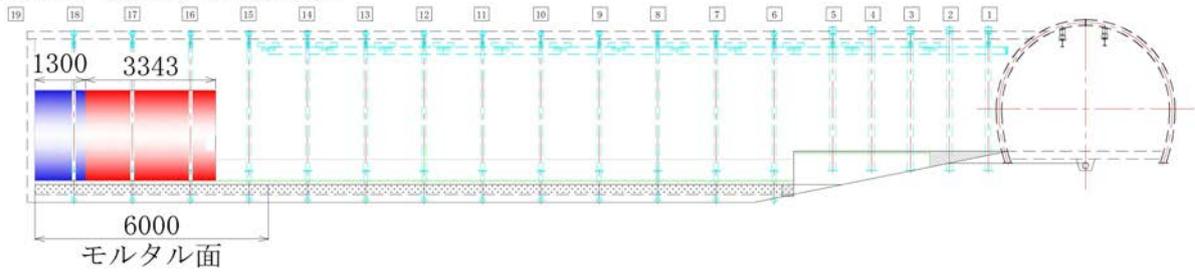


図 3.3.2-3 幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験装置の走行跡

疑似PEM 模擬PEM(試験対象)



※：模擬 PEM は、疑似 PEM（前方 PEM）と 10mm 程度の距離を置いて設置されている。

図 3.3.2-4 幌延 URL 試験坑道 2 の PEM 設置位置図

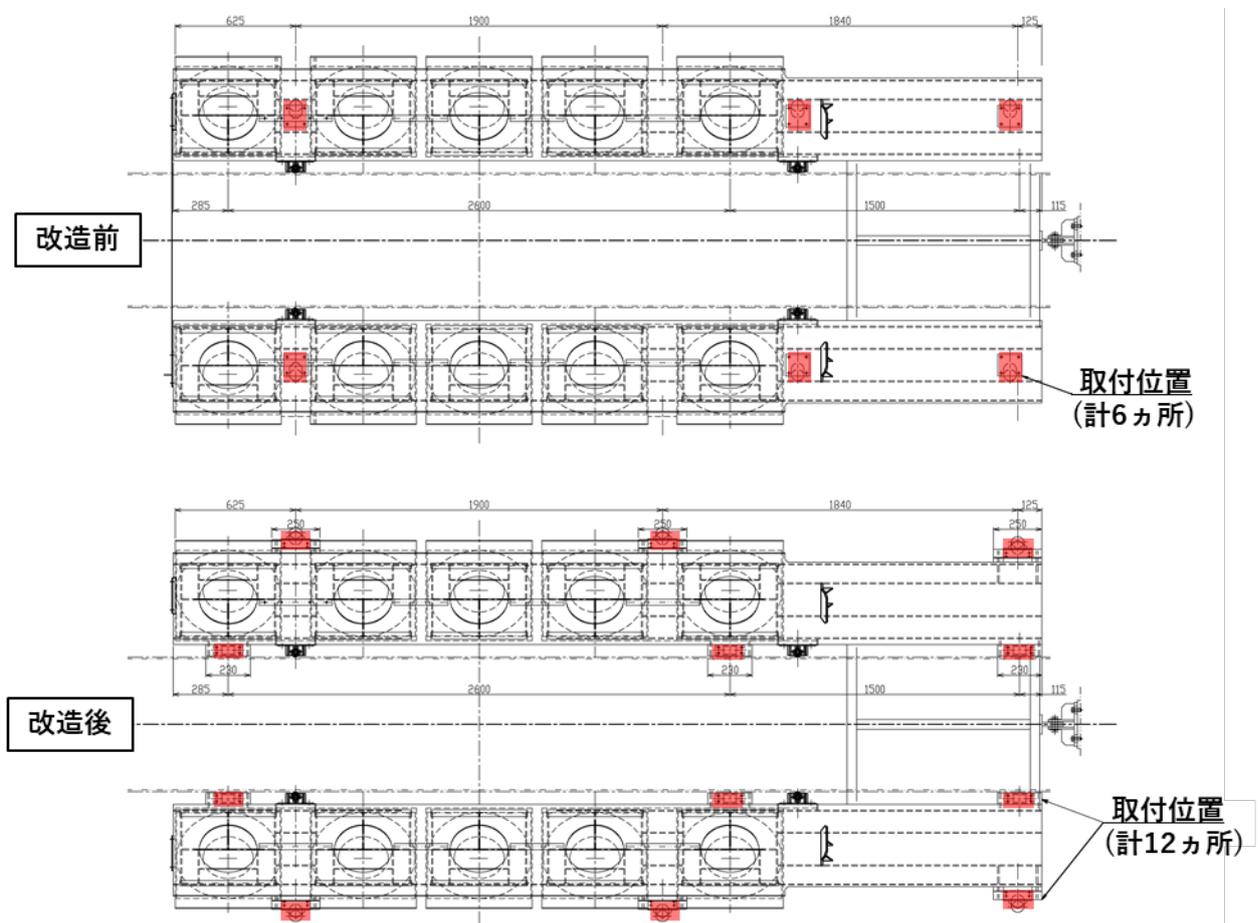


図 3.3.2-5 定置・回収装置（定置部）の走行ローラの取付位置図（改造前後）

3.4 地上模擬坑道での要素試験

3.4.1 試験目的

地上模擬坑道で要素試験装置を使用して要素試験を実施した。要素試験は要素試験 1 と要素試験 2 に分割し、要素試験 1 と 2 の間に充填材除去試験を実施した。各試験の目的は以下のとおり。

(1) 要素試験 1

- ・平成 29 年度に実施した幌延 URL 試験坑道 2 での試験データと、地上模擬坑道での試験データを比較することで、幌延 URL 試験坑道 2 と地上模擬坑道との走行特性を比較する。
- ・充填材除去後の走行面を想定し、要素試験装置を走行させることで、PEM 搬送に関する課題を抽出する。

(2) 要素試験 2

- ・充填材除去後の走行面を模擬し、要素試験装置を走行させることで、PEM 搬送に関する課題の解決方法に対する妥当性を確認する。

3.4.2 地上模擬坑道及び試験資機材

(1) 要素試験 1

1) 地上模擬坑道

地上模擬坑道は幌延 URL 試験坑道 2 と同様の形状となっており、平面図を図 3.4.2-1 に示す。地上模擬坑道の各 LIFT のエアベアリング走行面及び台座は以下の状態であった。

LIFT-1 : 長さ約 6m、鋼製型枠の出来形形状、表面気泡痕あり (コンクリート面)

LIFT-2 : 長さ約 4.5m、鋼製型枠の出来形形状、表面気泡痕あり (コンクリート面)

LIFT-3 : 長さ約 4.5m、表面モルタル仕上げ面 (モルタル面)

LIFT-4 : 長さ約 4.5m、樹脂表面仕上げ面 (樹脂面)

台座 : 長さ 1000mm のコンクリート製ブロックを連続して敷設

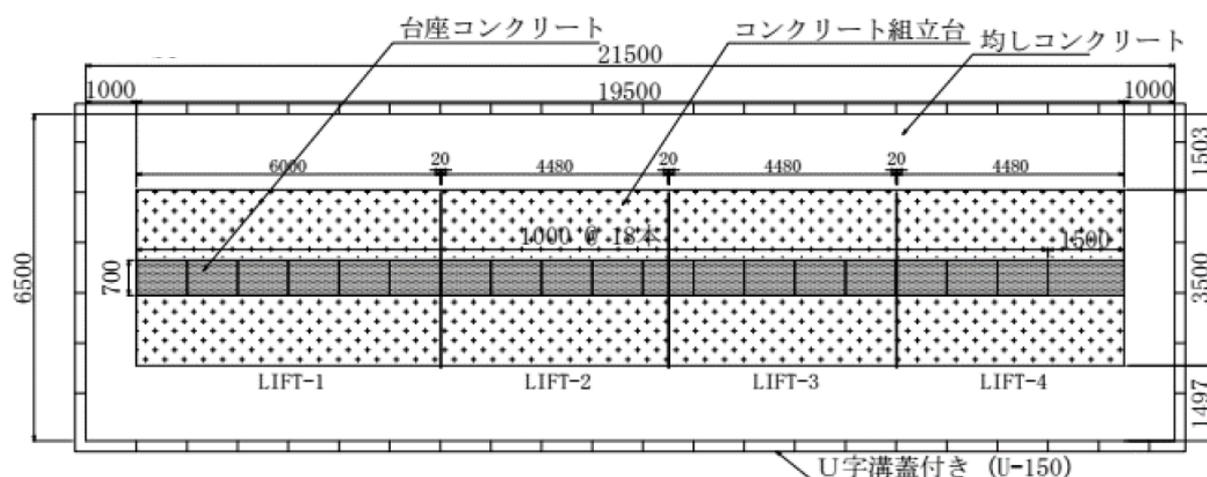


図 3.4.2-1 地上模擬坑道 平面図

2) 要素試験装置

平成 29 年度に製作した要素試験装置を使用して試験を実施した。要素試験装置の仕様を表 3.4.2-1 に、構造を図 3.4.2-2 に、写真を図 3.4.2-3 に示す。ただし、試験途中でエアベアリングのエア漏れが確認されたことから、エアベアリングを交換しながら試験を実施した。

表 3.4.2-1 要素試験装置の仕様

基本仕様	最大積載荷重	14.125 ton
	機器重量	約 830 kg
	機器寸法	(L)2200 mm × (W)1830 mm
荷重支持	エアベアリング	AeroGo 社 K21NHD 特殊品 curved type (径: φ533mm 揚程: 31mm 定格圧力: 0.41MPa) 走行方向に対して左右 2 枚ずつ (合計 4 枚) 使用
走行	方式	ウィンチによる牽引
	速度	(標準) 5 m/min、ウィンチ制御盤で変速可
運転	方式	手動運転
	監視	直接目視 (試験員) による監視

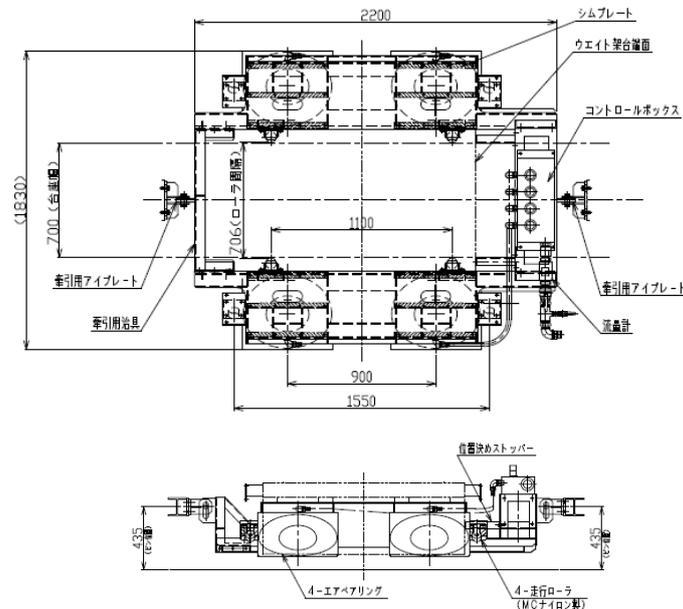


図 3.4.2-2 要素試験装置 外形図

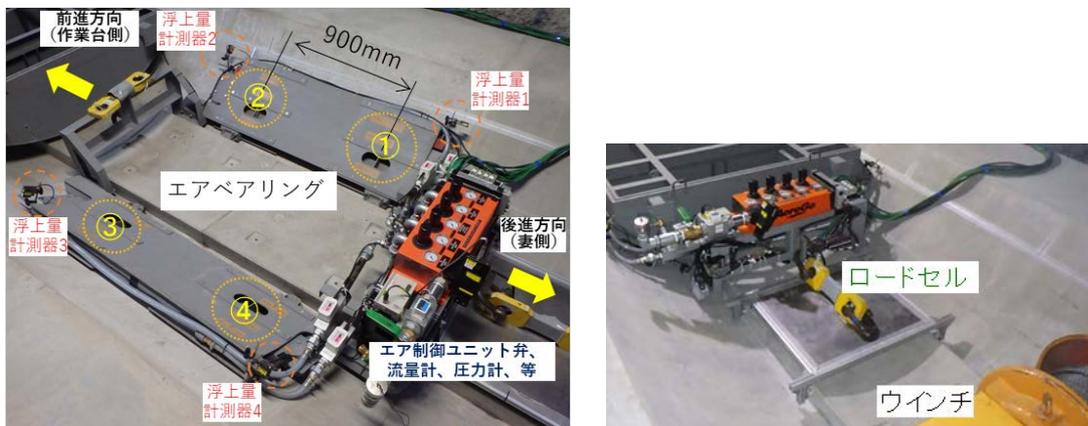


図 3.4.2-3 要素試験装置 (写真)

3) 計器及びその他資機材

平成 29 年度に実施した幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験と同じ試験機材を使用した。要素試験における計測項目と計器の仕様表を表 3.4.2-2 に、その他機材の仕様を表 3.4.2-3 に示す。

表 3.4.2-2 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	数量
供給空気 圧力	エアベアリング毎に圧力計で計測	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	4
供給空気 流量	エアベアリング毎に流量計で計測	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) 圧力：0.1～1.0MPa	4
浮上量	試験装置 4 角にレーザー距離計で計測	エアベアリングによる装置の浮上状態を確認するため。	レーザー変位計 (キーエンス LB-01) 計測範囲±40mm	4
牽引力	ウィンチロープと試験装置の接続部にロードセルで計測	走行時の牽引力により、エアベアリングと走行面との摩擦抵抗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	1
装置位置	試験装置に取付けた距離計で計測	装置走行位置を確認するため。	レーザードップラー速度計 (アクト電子 MODEL2532A) 計測速度範囲：-210～+210km/h	1

表 3.4.2-3 要素試験におけるその他機材の仕様表

機器	仕様	数量	用途
エンジン コンプレッサ (北越工業/ PDS655SD)	<ul style="list-style-type: none"> ・吐出圧力：0.6MPa 以上 ・吐出空気量：12m³/min 以上 ・ホース径：50A 	1	エアベアリングへの空気供給
ウィンチ (トーヨー コーケン/ MA-7(S))	<ul style="list-style-type: none"> ・定格荷重：9.8kN (1000kgf) ・標準速度：5m/min 	2	要素試験装置の走行駆動力

(2) 要素試験 2

1) 地上模擬坑道

地上模擬坑道の平面図を図 3.4.2-1 に示す。地上模擬坑道の各 LIFT のエアベアリング走行面及び台座は以下の状態であった。

LIFT-1：長さ約 6m、表面モルタル仕上げ面（モルタル面）

LIFT-2：長さ約 4.5m、鋼製型枠の出来形形状、表面気泡痕あり（コンクリート面）
両端の目地部はモルタル補修により段差を解消

LIFT-3：長さ約 4.5m、表面モルタル仕上げ面（モルタル面）（要素試験 1 と同じ）

LIFT-4：長さ約 4.5m、樹脂表面仕上げ面（樹脂面）（要素試験 1 と同じ）

台座：長さ 1000mm のコンクリート製ブロックを連続して敷設（要素試験 1 と同じ）

なお、LIFT-1 の表面モルタル仕上げは除去試験前に実施し、LIFT-2 両端の目地部のモルタル補修及び LIFT-3 のモルタル補修は除去試験と要素試験 2 との間に実施し、LIFT-2 は特に補修しなかった。

2) 要素試験装置

要素試験 1 と同じ装置を使用した。

ただし、要素試験 1 でエアベアリングのエア漏れが確認されたことから、状態の良いエアベアリングを選定して試験を実施した。

3) 計器及びその他資機材

要素試験 1 と同じ計器及び資機材を使用した。

3.4.3 試験方法

要素試験装置による走行試験として、要素試験 1 及び 2 を平成 29 年度に実施した幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験と同様に、以下の手順で実施した。

- ・ 走行面について、各試験状態（乾燥、散水、残留物、上敷き材）を設定する。
- ・ 残留物試験においては、要素試験装置に排土板を取付ける。（要素試験 2 での排土板取付け状態を図 3.4.3-1 に示す。）
- ・ 要素試験装置を試験開始位置に移動させた後、要素試験装置に所定のウェイトを積載し、ロードセルを介したワイヤで要素試験装置とウィンチとを接続させる。
- ・ 要素試験装置の空気供給圧力を調整し、要素試験装置を浮上させる。
- ・ ウィンチの稼働により要素試験装置を走行させ、走行可否確認とデータ取得を実施する。

なお、空気供給圧力を調整は、平成 29 年度に実施した幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験結果を参考に、浮上量（※1）55mm（※2）を目標にして実施した。

※1：浮上量とは、装置に設置した浮上量距離計の値であり、PEM の台座からの浮上高さは、本値から 20～25mm を引いた値となる。

※2：装置設計の当初は、鋼製面、プレキャスト面で走行可能であった 40mm を目標としていたが、幌延 URL 試験坑道 2 でのクラック、アバタ面の影響によるエア漏れに対して、供給空気流量を増やす対応をした結果 55mm となった[3]。



図 3.4.3-1 排土板取付け状態（要素試験 2）

3.4.4 試験ケース

(1) 要素試験 1

要素試験 1 の試験ケースを表 3.4.4-1 に示す。各試験項目の実施内容を以下に示す。

走行試験：乾燥状態の走行面であり、基本となる走行データ及び積載荷重に対する走行データを取得する。

散水試験：地下環境での湧水を想定し基本的に排水していることを前提に、走行面を散水（水で濡らす程度）させた状態で、装置を走行させる。

残留物試験：充填材の除去後の状態面で過酷な状態を想定した走行面として、ケイ砂（3号：5号=1：1）もしくはベントナイトを幅 50mm に敷き詰めた状態の面、または液／固比 3 のベントナイトをエアベアリング分の幅（幅 520mm 程度）に敷き詰めた状態の面を走行させる。また、排土板の機能も確認する。

上敷き材試験：不連続な走行面を想定し、走行面に上敷き材としてトタン板及びポリカーボネイト板を設置した状態で装置を走行させる。

表 3.4.4-1 要素試験 1 試験ケース

Run No.	試験項目	試験条件			
		重量(t)	散水	残留物	上敷き材
1-1-11-05	走行試験	2			
1-1-11-07	走行試験	6			
1-1-11-09	走行試験	14.125			
1-2-22-01	散水試験	2	○		
1-2-22-02	散水試験	14.125	○		
1-2-21-01	残留物試験	2		○ (※1)	
1-2-21-02	残留物試験	14.125		○ (※1)	
1-2-21-03	残留物試験	2		○ (※2)	
1-2-21-04	残留物試験	14.125		○ (※2)	
1-2-23-02	残留物試験	14.125		○ (※3)	
1-2-41-01	上敷き材試験	2			○ (※4)
1-2-41-02	上敷き材試験	14.125			○ (※4)
1-2-41-03	上敷き材試験	2			○ (※5)
1-2-41-04	上敷き材試験	14.125			○ (※5)

※1：ベントナイト ※2：ケイ砂 ※3：ベントナイト（液／固比3） ※4：トタン板

※5：ポリカーボネイト板

(2) 要素試験 2

要素試験 2 の試験ケースを表 3.4.4-2 に示す。各試験項目の実施内容を以下に示す。

走行試験：要素試験 1 と同様。

残留物試験：充填材除去後の残留状態を模擬した走行面として、液／固比 3 のベントナイトを PEM の台座脇に三角錐状に設置した状態の走行面（図 3.4.4-1 を参照）を走行させる。また、排土板の機能も確認する。

上敷き材試験：不連続な走行面を想定し、走行面に上敷き材としてトタン板を設置した状態（図 3.4.4-2 を参照）で装置を走行させる。

表 3.4.4-2 要素試験 2 試験ケース

Run No.	試験項目	試験条件			
		重量(t)	散水	残留物	上敷き材
2-1-0001, 0002	走行試験	2			
2-1-0003, 0004	走行試験	6			
2-1-0013, 0014	走行試験	14.125			
2-2-0002	残留物試験	14.125		○	
2-5-0008, 0009	上敷き材試験	14.125			○



図 3.4.4-1 残留物設置状態（要素試験 2）

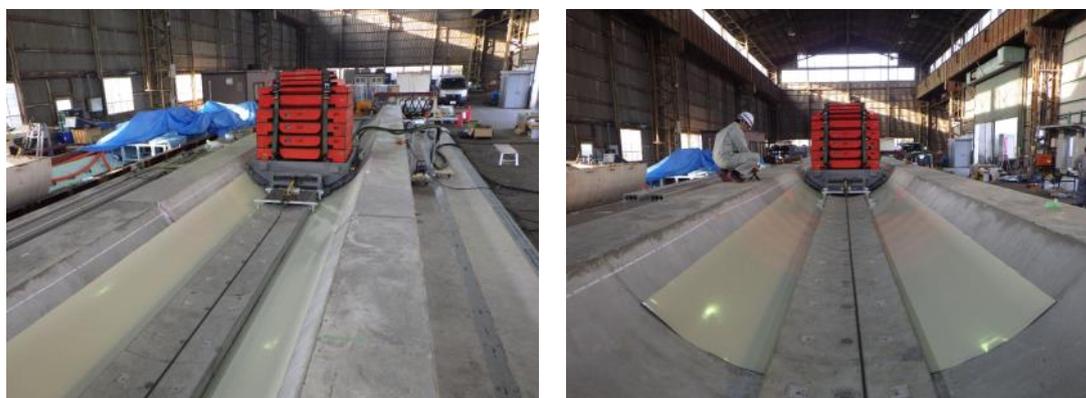


図 3.4.4-2 上敷き材の設置状態（要素試験 2）

3.4.5 試験結果

(1) 要素試験 1

各試験ケースの供給空気圧力、供給空気流量、浮上量、牽引力と走行位置との関連を示した図を付属書 3.1 に示し、平均牽引力及び動摩擦係数を表 3.4.5-1 に示す。

試験の結果、全ての試験ケースで走行できることを確認した。ただし、LIFT 間の目地部において、通過時の牽引力増加及びエアベアリングの損傷を確認したため、適時エアベアリングを交換するとともに、目地部を含んだ走行は軽重量（2ton 及び 6ton）でのみ実施した。

残留物試験においては、水で濡らしていない残留物（ベントナイト及びケイ砂）はエアベアリングのエアにより吹き飛ばされ、スラリー状の残留物（液／固比 3 のベントナイト）は、薄く引き伸ばされた状態となり、残留物の走行性への悪影響は確認されなかった。さらに、排土板を取付けることにより、残留物をロール状に押し退けながら走行できることを確認した。

表 3.4.5-1 要素試験 1 平均牽引力及び動摩擦係数

Run No.	内容	モルタル面 (LIFT-3)				コンクリート面 (LIFT-2)				走行条件				
		牽引力 (kN)	牽引力 (kN)	動摩擦係数 (※1)	動摩擦係数 (※1)	走行面	重量 [ton] (※2)	散水 (湿潤)	残留物種類	残留物形状	上敷き材			
1-1-11-05-1	2t/ 乾燥	0.7	0.6	0.022	0.018	LIFT-2→4	2 (2.83)							
1-1-11-05-2		0.5	0.4	0.014	0.011	LIFT-2→4	2 (2.83)							
1-1-11-05-3		0.7	0.6	0.022	0.018	LIFT-2→4	2 (2.83)							
1-1-11-05-4		0.5	0.4	0.014	0.011	LIFT-2→4	2 (2.83)							
1-1-11-07-1	6t/ 乾燥	1.4	1.2	0.019	0.016	LIFT-2→4	6 (6.83)							
1-1-11-07-2		1	0.9	0.013	0.012	LIFT-2→4	6 (6.83)							
1-1-11-07-3		1.5	1.2	0.021	0.016	LIFT-2→4	6 (6.83)							
1-1-11-07-4		1.2	1	0.016	0.013	LIFT-2→4	6 (6.83)							
1-1-11-09-1	14t/ 乾燥	2.3	1.9	0.015	0.012	LIFT-2→4	14.125 (14.955)			※3				
1-1-11-09-2		1.9	1.9	0.012	0.012	LIFT-2→4	14.125 (14.955)			※3				
1-1-11-09-3		2.4	1.9	0.016	0.012	LIFT-2→4	14.125 (14.955)			※3				
1-1-11-09-4		1.9	1.8	0.012	0.012	LIFT-2→4	14.125 (14.955)			※3				
1-2-22-01-1	2t/ 散水(湿潤)	0.7	0.7	0.022	0.022	LIFT-2→4	2 (2.83)	散水						
1-2-22-01-2		0.5	0.5	0.014	0.014	LIFT-2→4	2 (2.83)	散水						
1-2-22-01-3		0.7	0.7	0.022	0.022	LIFT-2→4	2 (2.83)	散水						
1-2-22-01-4		0.5	0.6	0.014	0.018	LIFT-2→4	2 (2.83)	散水						
1-2-22-02-1	14t/ 散水(湿潤)	2.3	-	0.015	-	LIFT-3	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-2		2.2	-	0.014	-	LIFT-3	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-3		2.4	-	0.016	-	LIFT-3	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-4		2.2	-	0.014	-	LIFT-3	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-5		-	2.1	-	0.014	LIFT-2	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-6		-	2.2	-	0.014	LIFT-2	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-7		-	2.2	-	0.014	LIFT-2	14.125 (14.955)	散水						
1-2-22-02-8		-	2.3	-	0.015	LIFT-2	14.125 (14.955)	散水						
1-2-21-01-1	2t/ ベントナイト(乾燥)	0.6	0.4	0.018	0.011	LIFT-2→4	2 (2.83)		ベントナイト(乾燥)	面状(幅50mm)				
1-2-21-02-1	14t/ ベントナイト(乾燥)	1.7	-	0.011	-	LIFT-3	14.125 (14.955)		ベントナイト(乾燥)	面状(幅50mm)				
1-2-21-02-2	14t/ ベントナイト(乾燥)	-	1.6	-	0.010	LIFT-2	14.125 (14.955)		ベントナイト(乾燥)	面状(幅50mm)				
1-2-21-03-1	2t/ ケイ砂(乾燥)	0.4	0.5	0.011	0.014	LIFT-2→4	2 (2.83)		ケイ砂(乾燥)(※4)	面状(幅50mm)				
1-2-21-04-2	14t/ ケイ砂(乾燥)	1.8	-	0.012	-	LIFT-3	14.125 (14.955)		ケイ砂(乾燥)(※4)	面状(幅50mm)				
1-2-21-04-4	14t/ ケイ砂(乾燥)	-	2	-	0.013	LIFT-2	14.125 (14.955)		ケイ砂(乾燥)(※4)	面状(幅50mm)				
1-2-23-02-1	14t/ ベントナイト	1.4	-	0.009	-	LIFT-3	14.125 (14.955)		ベントナイト(液／固比3)	面状(幅520mm)				
1-2-23-02-2	14t/ ベントナイト	1.2	-	0.008	-	LIFT-3	14.125 (14.955)		ベントナイト(液／固比3)	面状(幅520mm)				
1-2-23-02-3	14t/ ベントナイト	-	1.8	-	0.012	LIFT-2	14.125 (14.955)		ベントナイト(液／固比3)	面状(幅520mm)				
1-2-41-01-1	2t/ トタン板	-	0.4	-	0.011	LIFT-2	2 (2.83)			トタン板				
1-2-41-01-2	14t/ トタン板	-	0.4	-	0.011	LIFT-2	2 (2.83)			トタン板				
1-2-41-02-1	14t/ トタン板	-	0.9	-	0.005	LIFT-2	14.125 (14.955)			トタン板				
1-2-41-02-2	14t/ トタン板	-	1.1	-	0.007	LIFT-2	14.125 (14.955)			トタン板				
1-2-41-03-2	2t/ ポリカーボネイト	-	0.6	-	0.018	LIFT-2	2 (2.83)			ポリカーボネイト				
1-2-41-03-3	14t/ ポリカーボネイト	-	0.5	-	0.014	LIFT-2	2 (2.83)			ポリカーボネイト				
1-2-41-04-1	14t/ ポリカーボネイト	-	1.3	-	0.008	LIFT-2	14.125 (14.955)			ポリカーボネイト				
1-2-41-04-2	14t/ ポリカーボネイト	-	1.5	-	0.010	LIFT-2	14.125 (14.955)			ポリカーボネイト				

※1: 動摩擦係数は、牽引力に付加分牽引力(0.1kN: ケーブル類の牽引力)を引いた値を総重量で割った値
 ※2: ウェイト重量を示す。総重量は本重量に装置重量(0.83ton)を足した値となる。
 ※3: 目地部に幅900mmトタン板設置
 ※4: ケイ砂3号: 5号=1: 1

(2) 要素試験 2

各試験ケースの供給空気圧力、供給空気流量、浮上量、牽引力と走行位置との関連を示した図を付属書 3.2 に示す。牽引力について、データが乱高下していたが、参考として各試験ケースの平均牽引力及び動摩擦係数を表 3.4.5-2 に示す。

試験の結果、全ての試験ケースで走行できることを確認した。なお、LIFT 間の目地部もモルタルで段差を解消することで走行可能となった。ただし、複数回走行を実施した後に目地部のモルタルの剥がれ及び通過時の牽引力増加を確認した。

残留物試験においては、充填材除去後の残留物を模擬した台座脇の三角錐状の残留物に対して、排土板により前方に押し退けることを確認した (図 3.4.5-1 参照)。

表 3.4.5-2 要素試験 2 平均牽引力及び動摩擦係数 (参考)

Run No.	内容	モルタル面 (LIFT-3) 牽引力 (kN)	コンクリート (LIFT-2) 牽引力 (kN)	モルタル面 (LIFT-3) 動摩擦係数 (※1)	コンクリート (LIFT-2) 動摩擦係数 (※1)	走行条件				
						走行面	重量 [ton] (※2)	散水 (湿潤)	ペント ナイト	上敷 き材
2-1-0001	2t/ 定置(行き)	0.61	0.82	0.018	0.026	LIFT-2←3	2			
2-1-0002	2t/ 定置(戻り)	0.52	0.73	0.015	0.023	LIFT-2→3	2			
2-1-0003	6t/ 定置(行き)	1.04	1.43	0.014	0.020	LIFT-2←3	6			
2-1-0004	6t/ 定置(戻り)	1.05	1.53	0.014	0.021	LIFT-2→3	6			
2-1-0013	14t/ 定置(行き)	2.11	3.03	0.014	0.020	LIFT-2←3	14.125			
2-1-0014	14t/ 定置(戻り)	2.33	3.18	0.015	0.021	LIFT-2→3	14.125			
2-2-0002	14t/ ペントナイト/回収(戻り)	2.51	3.05	0.016	0.020	LIFT-2→3	14.125	○	○	
2-5-0008	14t/ 上敷き材/定置(行き)	-	1.89	-	0.012	LIFT-2←3	14.125			○
2-5-0009	14t/ 上敷き材/定置(戻り)	2.08	1.78	0.014	0.011	LIFT-2←3	14.125			○

※1: 動摩擦係数は、牽引力に付加分牽引力(0.1kN: ケーブル類の牽引力)を引いた値を総重量で割った値
 ※2: ウェイト重量を示す。総重量は本重量に装置重量(0.83ton)を足した値となる。



図 3.4.5-1 排土板による残留物の押し退け状態 (要素試験 2)

3.4.6 評価・考察

(1) 要素試験 1

供給空気流量について、基本的には一定値を示していたが、重量 14.125t を積載した試験の多くで、特定のエアベアリングの供給空気流量が変動していた。本変動中は当該のエアベアリングからエア漏れが発生していたと推定できる。

供給空気圧力及び浮上量について、上記の供給空気流量の変動中も含めて、ほぼ設定した通りの値であった。このことから、上記の供給空気流量の変動は、走行に対して大きな影響を与えていなかったと推定できる。

牽引力について、平成 29 年度に実施した幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験で得られた動摩擦係数 (約 0.018) [3]と同程度であり、幌延 URL 試験坑道 2 と同様の走行特性が得られたと考えられる。また、走行面の差異については、モルタル面とコンクリート面との比較では走行面の状態 (乾燥、散水、残留物) によって牽引力の高低は異なっていたが、上敷き材 (特にトタン板) を敷いた場合には牽引力は低くなる傾向となった。走行方向については、LIFT-2 側へ進む時 (行き) の方が LIFT-4 側へ進む時 (戻り) よりも牽引力が高くなる傾向であったが、装置の走行特性は走行方向によらないはずであるため、本傾向は別の要因 (例えば 0.1° ($\approx 0.2\%$) 勾配があると往復 0.2° ($\approx 0.4\%$) 分の差が生じ摩擦係数としては 0.004 の差となる) によるものと考えられる。

以上により、装置の走行特性として、走行面の状態により牽引力の高低はあるものの、走行面に残留物が有ることに対しては特に走行上の問題は無いと判断できる。ただし、走行面の目地部で牽引力の増加が発生し、いくつかエアベアリングが損傷したことから、目地部を補修し段差及び割れ等がない状態とする必要があることが判明した。

(2) 要素試験 2

供給空気流量、供給空気圧力及び浮上量について、ほぼ設定した通りの値で大きな変動は確認されなかった。このことから、選定したエアベアリングの状態は良く、走行時にエア漏れも無くエアベアリングへの供給空気は安定していたと考えられる。

牽引力については、要素試験 1 とデータの挙動が異なって乱高下しており、ウィンチロープとロードセルとの接続部またはロードセルと装置との接続部に緩みがあった等が考えられるため、本データに基づいての走行特性に対する評価は適切ではないと考える。

目地部については、モルタルで段差を解消することで走行可能となったことから対策の妥当性を確認した。ただし、複数回走行を実施した後にモルタルの剥がれ及び通過時の牽引力増加が発生したことから、目地部への追加の補修方法を検討することとした。

また、装置計器類の設置位置について、残留物が排土板により台座脇で塊状になって押し退けられることから、台座脇付近には計器類を設置しないことが適切と考える。

3.5 地上模擬坑道での実機試験

3.5.1 試験目的

地上模擬坑道で定置・回収装置を使用して実機試験を実施した。実機試験は、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面での PEM の搬送性を確認することを目的とした。

3.5.2 地上模擬坑道及び試験資機材

1) 地上模擬坑道

地上模擬坑道の平面図を図 3.4.2-1 に示す。地上模擬坑道の各 LIFT のエアベアリング走行面及び台座は以下の状態であった。

LIFT-1：長さ約 6m、表面モルタル仕上げ面（モルタル面）（要素試験 2 と同じ）

LIFT-2：長さ約 4.5m、鋼製型枠の出来形形状、表面気泡痕あり（コンクリート面）

両端の目地部はモルタル補修により段差を解消するとともにアルミテープで補強

LIFT-3：長さ約 4.5m、表面モルタル仕上げ面（モルタル面）（要素試験 2 と同じ）

LIFT-4：長さ約 4.5m、樹脂表面仕上げ面（樹脂面）（要素試験 2 と同じ）

台座：長さ 1000mm のコンクリート製ブロックを連続して敷設（要素試験 2 と同じ）

2) 定置・回収装置

整備した定置・回収装置を使用して試験を実施した。整備後の定置・回収装置の仕様を表 3.5.2-1 に、確認項目と設置計器類を表 3.5.2-2 に、構造を図 3.5.2-1 に、写真を図 3.5.2-2 に示す。

表 3.5.2-1 定置・回収装置の仕様

基本仕様	取扱荷重 (PEM 重量)	36.5 ton
	取扱寸法 (PEM 寸法)	φ 2316mm × (L)3343mm
	機器重量	約 6100 kg (搬送部：5200kg 定置部：900kg)
	機器寸法	(L)9500 mm × (W)2065 mm × (H)2495 mm
荷重支持	エアベアリング	AeroGo 社 K21NHD 特殊品 curved type (径：φ 533mm 揚程：31mm 定格圧力：0.41MPa) 走行方向に対して左右 5 枚ずつ（合計 10 枚）使用
搬送	方式	電動機（1.5kW×5 台）接続された車輪による走行
	速度	（高速）5 m/min（低速）1 m/min
運転	方式	遠隔自動運転／遠隔手動運転／保守モード運転
	監視	画像の目視（試験員）及び各種計測値による監視

表 3.5.2-2 実機試験における確認項目と設置計器類

確認対象	確認項目	確認方法	設置計器類	個数	備考
PEM	PEM 上部の 状態確認	カメラにて PEM 上部の状態を確認する。	中腹カメラ	1	幌延 URL では PEM と坑道との空間が十分にあることも確認
坑道	前進時の 走行路状態	前進時の走行路の状態をカメラにより確認する。(画像処理等は本事業の対象外とする。)	前方確認カメラ	2	台座により視野が左右に分かれるため左右 1 台ずつ設置
	後進時の 走行路状態	後進時の走行路の状態をカメラにより確認する。(画像処理等は本事業の対象外とする。)	後方確認カメラ	2	台座により視野が左右に分かれるため左右 1 台ずつ設置
装置	装置位置	坑道に走行位置確認用の印等をマーキングしておき、これをカメラで確認する。	前方確認カメラ 後方確認カメラ	(2) (2)	坑道確認用のカメラと兼用。本事業では PEM 定置場所直近 5m 程度の動作のため、特にマーキングを設置しない
		走行位置 (前方 PEM や後退限との相対位置) を距離計により計測する。	PEM 検出器 前方検出器 後方検出器 (レーザ距離計)	2 2 2	把持対象 PEM、前方 PEM (坑道端部含む) 及び他機器等と装置との衝突防止のため、故障時の安全対策として設置
		走行用電動機にエンコーダを設置して、走行距離を確認する。	エンコーダ	—	本事業では PEM 定置場所直近 5m 程度の動作のため、本検出器は設置しない
	浮上量 (浮上バランス)	4 隅に設置した変位計により、浮上量が所定値に到達したかを確認する。	浮上量検出器 (レーザ変位計)	4	装置の 4 隅に設置し、定置部がバランスよく浮上していることを確認
	PEM の在荷	定置・回収装置に設置した近接センサにより PEM を検知し、PEM の把持有無を確認する。	在荷検出器 (近接センサ)	2	定置部左右に 1 個ずつ設置
	エアベアリングの 供給空気 圧力	各エアベアリングへの供給空気圧力が所定値に到達しているかを圧力計により確認する。	圧力計	10	エアベアリングからの空気漏れ量の変動による圧力変動を確認する。
	エアベアリングの 供給空気 流量	各エアベアリングへの供給空気流量が所定値に到達しているかを流量計により確認する。	流量計	10	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。
走行時の 押引力	走行時の押引力を定置部、搬送部間の接続部に設置したロードセルにより計測する。	ロードセル	1	エアベアリングと走行面との摩擦抵抗の程度を確認する。また、定置・回収装置がスタック等することで、異常な荷重が掛かったことを検知する。	

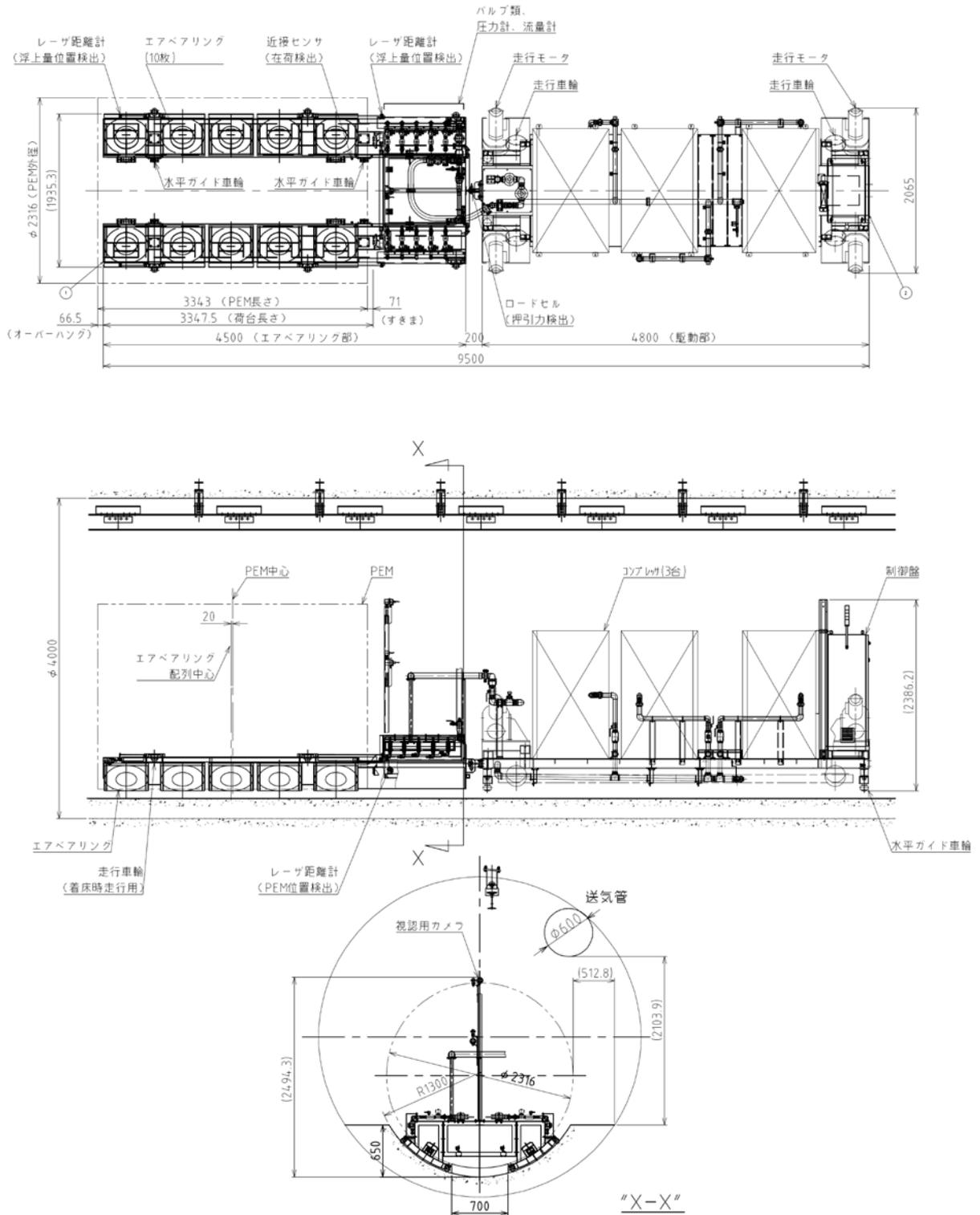


図 3.5.2-1 定置・回収装置の構造図



図 3.5.2-2 定置・回収装置（写真）

3) その他機材

実機試験におけるその他機材の仕様を表 3.5.2-3 に示す。

表 3.5.2-3 実機試験におけるその他機材の仕様表

機器	仕様	数量	用途
エンジン コンプレッサ (北越工業/ PDS655SD)	<ul style="list-style-type: none"> 吐出圧力：0.6MPa 以上 吐出空気量：12m³/min 以上 ホース径：50A 	2	エアベアリングへの空気供給
半割れ PEM	<ul style="list-style-type: none"> 寸法：φ 2260mm×(L)3170mm 重量調整可（ウェイトを積載） 	1 式	定置・回収装置の取扱対象物の模擬 PEM (幌延 URL 試験坑道 2 に設置済み) の代用 (※ 1)
門型架台	<ul style="list-style-type: none"> 寸法：I-200×100×7×10 設置高さ：3353mm (※ 2) 	1 式	ケーブル類を随走させる幌延 URL 試験坑道 2 の I ビームの模擬

※ 1：模擬 PEM 径（φ 2316mm）との差異は、定置・回収装置側に丸棒を設置することで解消
 模擬 PEM 全長（3343mm）との差異は、半割れ PEM の両端に厚板を設置することで解消

※ 2：I ビーム底面と地上模擬坑道底面との距離

3.5.3 試験方法

実機試験は、以下の手順で実施した。

- ・半割れ PEM に所定のウェイトを積載する。
- ・走行面について、各試験状態（乾燥、散水、充填材残留、上敷き材）を設定する。
- ・定置・回収装置を試験開始位置（半割れ PEM 下など）に移動させる。
- ・必要に応じてエンジンコンプレッサを起動した後、装置に搭載されているコンプレッサを起動させて、空気供給圧力を調整し、一旦、装置に搭載されているコンプレッサを停止する。
- ・遠隔手動モードでコンプレッサを起動し、装置を浮上させて半 PEM を把持し、走行データを取得する。

なお、空気供給圧力の調整は、浮上量を 55mm とすると、一部のエアベアリングが定格圧力 (0.41MPa) を超えるため、50mm を目標とした。

3.5.4 試験ケース

実機試験の試験ケースを表 3.5.4-1 に示す。各ケースの実施内容を以下に示す。

走行試験：走行面は乾燥状態であり、基本となる走行データ及び積載荷重に対する走行データを取得する。

散水試験：地下環境での湧水を想定し基本的に排水していることを前提に、走行面を散水（水で濡らす程度）させた状態で、装置を走行させる。

残留物試験：充填材除去後の残留状態を模擬した走行面として、液／固比 3 のベントナイトを PEM の台座脇に三角錐状に設置した状態の走行面を走行させる。また、排土板の機能も確認する。

上敷き材試験：不連続な走行面を想定し、走行面に上敷き材としてトタン板を設置した状態で装置を走行させる。

前方 PEM 接近試験：前方検出器および前方確認カメラを用いて PEM を把持した状態での前方 PEM への接近程度を確認する。

表 3.5.4-1 実機試験 試験ケース

Run No.	試験項目	回収／定置	試験条件			
			重量(t)	散水	残留物	上敷き材
3-1-1	走行試験	定置	36.5			
3-1-3	走行試験	定置	16.2			
3-1-5	走行試験	定置	26.5			
3-2-2	走行試験	回収	36.5			
3-2-4	走行試験	回収	16.2			
3-2-6	走行試験	回収	26.5			
3-4-2	残留物試験	回収	36.5		○	
3-4-3	残留物試験	定置	36.5		○	
3-5-2	上敷き材	回収	36.5			○
3-5-3	上敷き材	定置	36.5			○
3-9-4	接近試験	定置	36.5			
3-11-2	散水試験	回収	36.5	○		
3-11-3	散水試験	定置	36.5	○		

3.5.5 試験結果

実機試験の試験結果として、各試験ケースの計測値である押引力、供給空気圧力、供給空気流量、浮上量と走行距離との関連を示した図を付属書 3.3 に示し、平均押引力及び動摩擦係数を表 3.5.5-1 に示す。

表 3.5.5-1 実機試験 平均押引力及び動摩擦係数

Run No.	内容	モルタル面 (LIFT-1) 押引力(kN)	コンクリート 面 (LIFT-2) 押引力(kN)	目地通過時 (LIFT1 2) 押引力(kN)	モルタル面 (LIFT-1) 動摩擦係数 (1)	コンクリート 面 (LIFT-2) 動摩擦係数	目地通過時 (LIFT1 2) 動摩擦係数 (1)	走行条件				
								走行面	重量 [ton] (2)	散水	ペント ナイト	上敷 き材
3-1-1	36.5t 定置	5.15	8.40	7.59	0.014	0.023	0.020	LIFT-1 2	36.5			
3-1-3	16.2t 定置	2.95	4.77	3.96	0.017	0.028	0.023	LIFT-1 2	16.2			
3-1-5	26.5t 定置	4.35	6.52	5.87	0.016	0.024	0.021	LIFT-1 2	26.5			
3-2-2	36.5t 回収	-4.74	-7.42	-6.43	-0.013	-0.021	-0.018	LIFT-1 2	36.5			
3-2-4	16.2t 回収	-2.44	-4.11	-3.30	-0.015	-0.025	-0.021	LIFT-1 2	16.2			
3-2-6	26.5t 回収	-3.94	-5.92	-5.04	-0.015	-0.023	-0.019	LIFT-1 2	26.5			
3-4-2	36.5t ペントナイト回	-5.16	-8.08	-6.73	-0.014	-0.022	-0.019	LIFT-1 2	36.5			
3-4-3	36.5t ペントナイト定	6.96	10.71	9.34	0.019	0.029	0.025	LIFT-1 2	36.5			
3-5-2	36.5t 上敷き材 回収	-2.78	-3.39	-3.42	-0.008	-0.010	-0.010	LIFT-1 2	36.5			
3-5-5	36.5t 上敷き材 定置	5.47	4.21	5.85	0.015	0.011	0.016	LIFT-1 2	36.5			
3-11-2	36.5t 散水 回収	-5.92	-9.00	-7.66	-0.017	-0.025	-0.021	LIFT-1 2	36.5			
3-11-3	36.5t 散水 定置	6.35	9.66	9.34	0.017	0.026	0.025	LIFT-1 2	36.5			

- 1：動摩擦係数は、押引力に付加分牽引力(0.15kN：ケーブル類の押引力)を引いた値を総重量で割った値。
2：ウエイト重量を示す。総重量は本重量に装置重量(0.9ton)を足した値となる。

LIFT間の目地部をモルタル補修により段差を解消するとともにアルミテープで補強し、浮上量を50mm目標に設定したところ、エアベアリングの定格圧力(0.41[MPa])範囲内で、全ての試験ケースで走行できることを確認した。

ただし、PEM(36.5t)搬送時に、コンクリート台座のブロック境界に破損がみられた。また、コンクリート台座のブロック境界にガイドローラが差し掛かった箇所、押引力が増大したことを確認した。(図 3.5.5-1 参照)

前方 PEM 接近試験において、前方検出器では検出器の設置角度の制限から、定置・回収装置を前方 PEM 近傍まで走行させると装置位置を確認できなくなった。そこで、定置・回収装置に透明な接触用バーを取付けて前方確認カメラで接触用バーの撓みを確認することとしたところ、前方 PEM と約 10mm の距離まで接近させることが可能であった。(図 3.5.5-2 参照)また、PEM を浮上させ、その場で着床させると、PEM の定置位置が数 mm ずれることを確認した。

残留物試験においては、要素試験 2 と同様に、充填材除去後の残留物を模擬した台座脇の三角錐状の残留物に対して、排土板により前方に押し退けることを確認した。

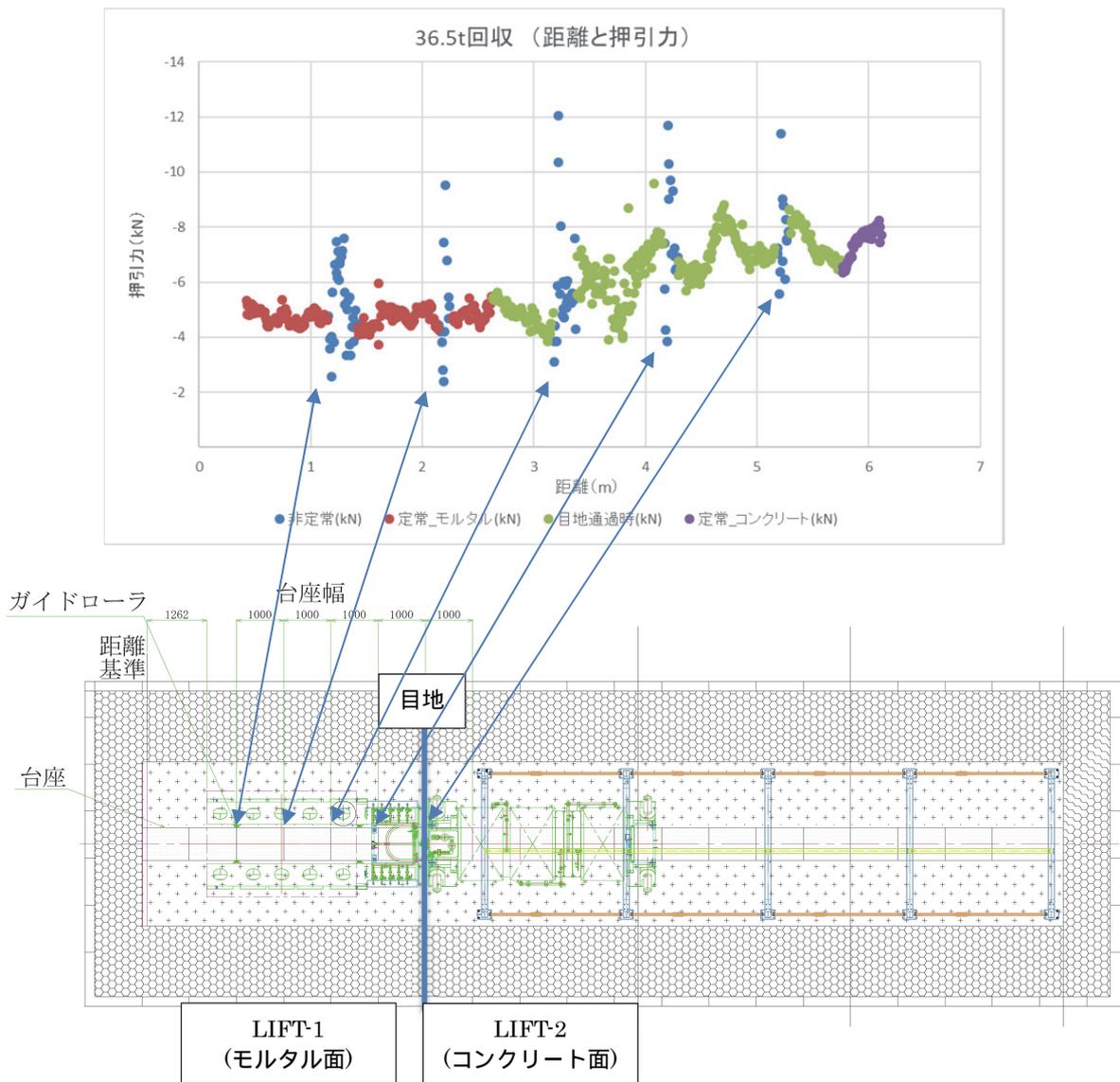
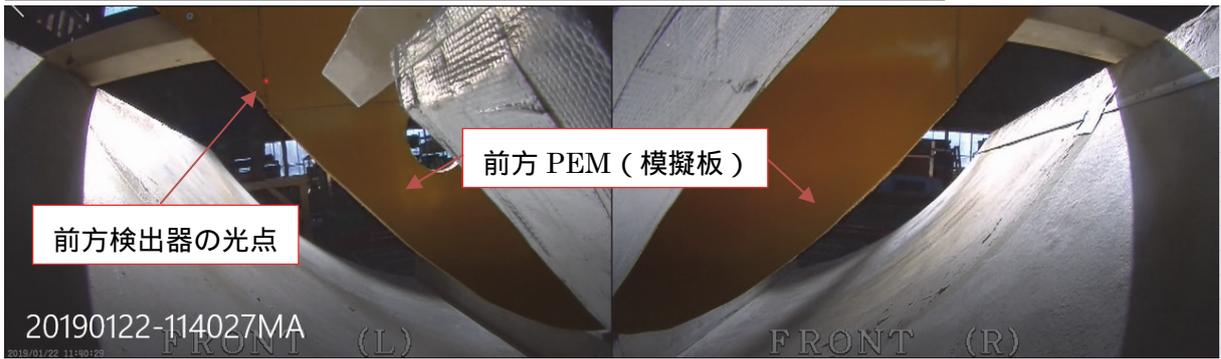
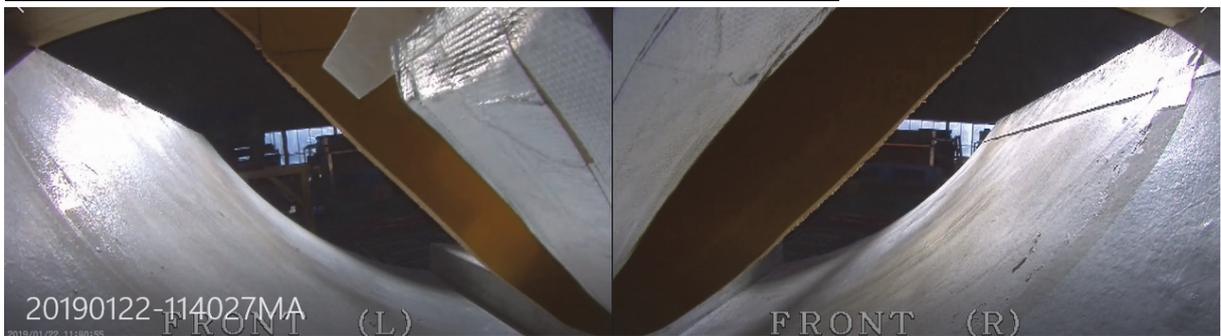


図 3.5.5-1 実機試験 地上模擬坑道の台座境界位置と押引力との関連

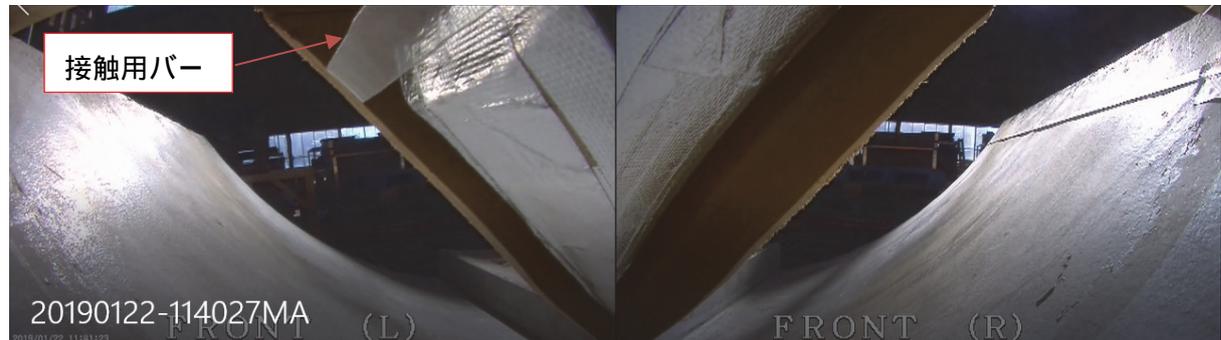
前方検出器（レーザ距離計）の光点が前方 PEM（模擬板）にある状態



より前進して前方検出器の光点が前方 PEM から外れた状態



より前進して接触用バーが前方 PEM に接触した状態



より前進して接触用バーが撓んだ状態（前方 PEM との距離は約 10mm）

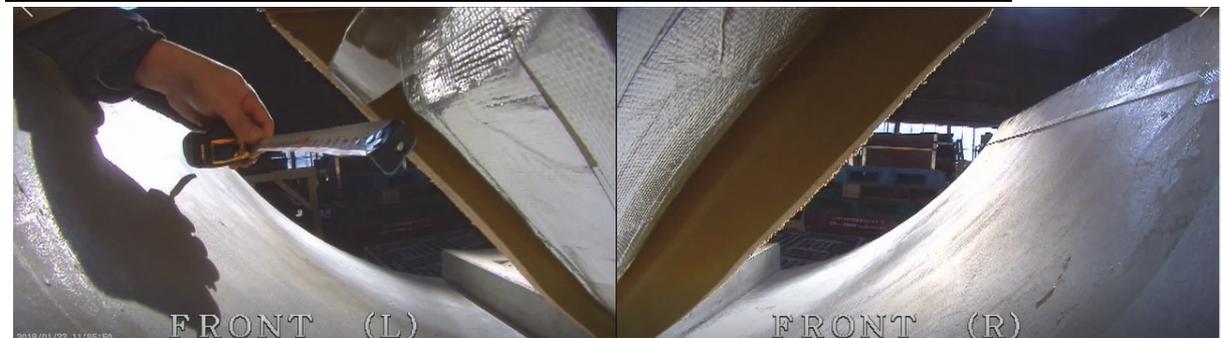


図 3.5.5-2 前方 PEM 接近試験状況（前方確認カメラ）

3.5.6 評価・考察

定置・回収装置について、エアベアリングの定格圧力（0.41 [MPa]）範囲内で走行できたことから、PEM（36.5t）に対して十分な耐荷重があることを確認できた。また、コンプレッサの流量不足に対して、項目 3.3.2 に記載したエアベアリングへの供給空気増加対応の妥当性を確認できた。また、LIFT 間目地部のような段差や割れに対して、モルタル補修による段差解消と補修部の補強の妥当性を確認できた。

押引力について、各試験ケースのモルタル面とコンクリート面との分布を図 3.5.6-1 に示す。本分布より、以下の傾向を確認した。

- ・モルタル面よりもコンクリート面の方が押引力は高い傾向であった。
- ・上敷き材面での押引力は低い傾向であった。
- ・回収時（LIFT-1 側から LIFT-4 側への搬送時）よりも定置時（LIFT-4 側から LIFT-1 側への搬送時）の方が高い傾向であった。（要素試験 1 で得た走行方向に対する傾向と同様であり、装置の走行特性とは別の要因と考えられる。）

平成 29 年度実施の幌延 URL 試験坑道 2 での要素試験で得られた動摩擦係数（約 0.018）[3]に対して、今回の地上模擬坑道での動摩擦係数（回収時コンクリート面：0.021）は同等であったことから、2 つの坑道での走行特性は同等と考えられ、幌延 URL で PEM を搬送できると判断できる。

また、前方 PEM 接近試験により、前方 PEM と約 10mm 程度の距離まで接近させることが可能であることが分かった。ただし、PEM の浮上・着床で数 mm ずれることから、PEM 同士を接触させた状態で PEM を浮上させようとする、接触面から反力を受けて PEM を浮上できなくなる可能性が示された。よって、PEM 同士を接触させて定置させると PEM を回収できなくなることが考えられる。ただし、幌延 URL での地下実証試験で試験対象となる PEM（模擬 PEM）は前方 PEM（疑似 PEM）と 10mm 程度の距離を置いて設置されている（図 3.5.6-2 参照）ことから、幌延 URL での地下実証試験については、PEM の回収は可能であると判断できる。

なお、PEM 搬送時に発生したコンクリート台座ブロック境界の破損は、定置・回収装置のガイドローラがブロック境界の隙間に差し掛かった際の荷重（押引力）によるものと推定でき、この破損に対する改善方法としては、以下が考えられる。

- ・台座（走行ガイド）の耐久性を向上させる。（e.g. 材料変更）
- ・ガイドローラの形状を変更し、台座ブロック境界に沈まないようにする。（e.g. クローラ型）

ただし、現状でも実機試験回数程度の PEM 搬送は可能であることから、本事業では特に改善を要しないと判断した。

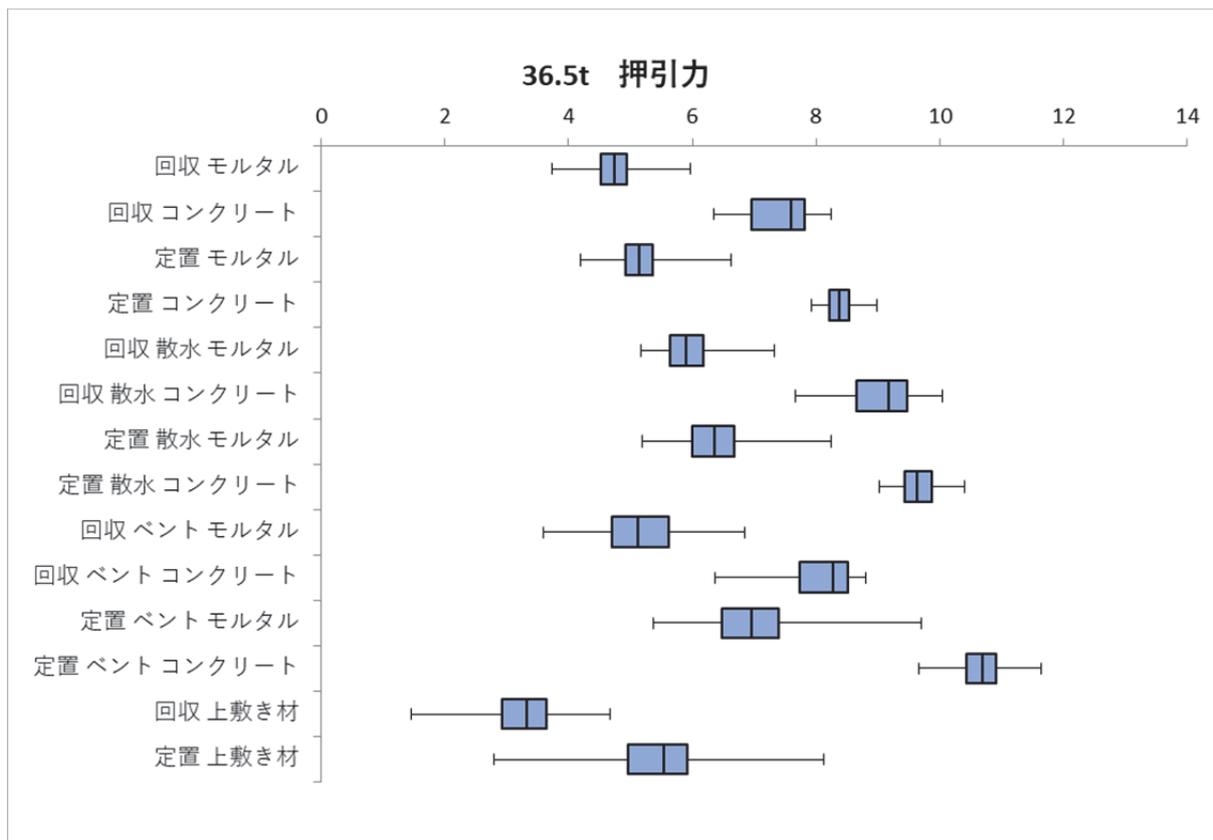
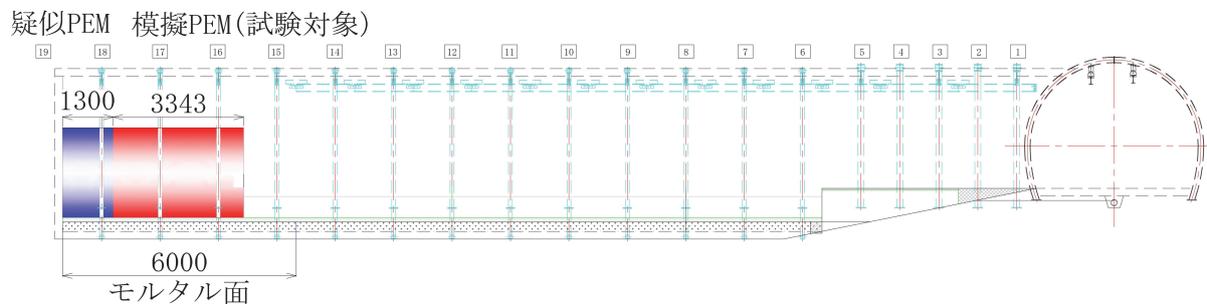


図 3.5.6-1 実機試験 押引力の分布



: 模擬 PEM は、疑似 PEM (前方 PEM) と 10mm 程度の距離を置いて設置されている。

図 3.5.6-2 幌延 URL 試験坑道 2 の PEM 設置位置図

3.6 まとめ

要素試験と実機試験の結果により、以下の各計測項目について検討し、幌延 URL 試験坑道 2 の走行面においても、段差や割れに対してモルタル補修等の適切な対応を取ることで、整備した定置・回収装置により PEM を搬送（定置及び回収）することが可能であると判断した。

●浮上量

打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面でもエアを安定して供給でき、PEM を搬送できることを確認した。

●押引力

地上模擬坑道の打設コンクリート面において、幌延 URL と同等の動摩擦係数で PEM を搬送できることを確認した。

●エア圧力

エアベアリングの定格圧力範囲内で、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面でも PEM を搬送できることを確認した。

●エア流量

コンプレッサの流量不足に対してエアベアリングへの供給空気増加対応の妥当性を確認し、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面でも PEM を搬送できることを確認した。

なお、処分坑道横置き PEM 方式では、隙間充填材の充填性を考慮して、PEM を台座に定置する設計となっており、定置・回収装置は、この台座を装置走行上のガイドとして利用する方式を採用した。本方式による定置・回収装置で PEM (36.5t) を搬送したところ、コンクリート台座のブロック境界に破損がみられた。本破損に対しては、台座（走行ガイド）の耐久性を向上させる等の改善が考えられる。

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 15 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査 報告書，2004.
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 22 年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2011.
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター：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 報告書，2018.
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 16 年度地層処分技術調査等遠隔操作技術高度化調査 報告書，2005.
- [5] 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，2017.
- [6] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 24 年度地層処分技術調査等事業高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発 報告書，2013.

第4章 隙間充填技術の実証的整備

4.1 はじめに

4.1.1 隙間充填技術の実証的整備の背景

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、回収装置にて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。

4.1.2 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、次年度、幌延URLにおいて充填材の除去およびPEMの搬送定置・回収技術の実証試験を実施する計画である。これらの実証試験に先立ち、今年度は、幌延URL試験坑道2において隙間充填技術の実証試験を実施した。

図4.1.2-1に隙間充填技術の実証的整備の全体工程を示す。

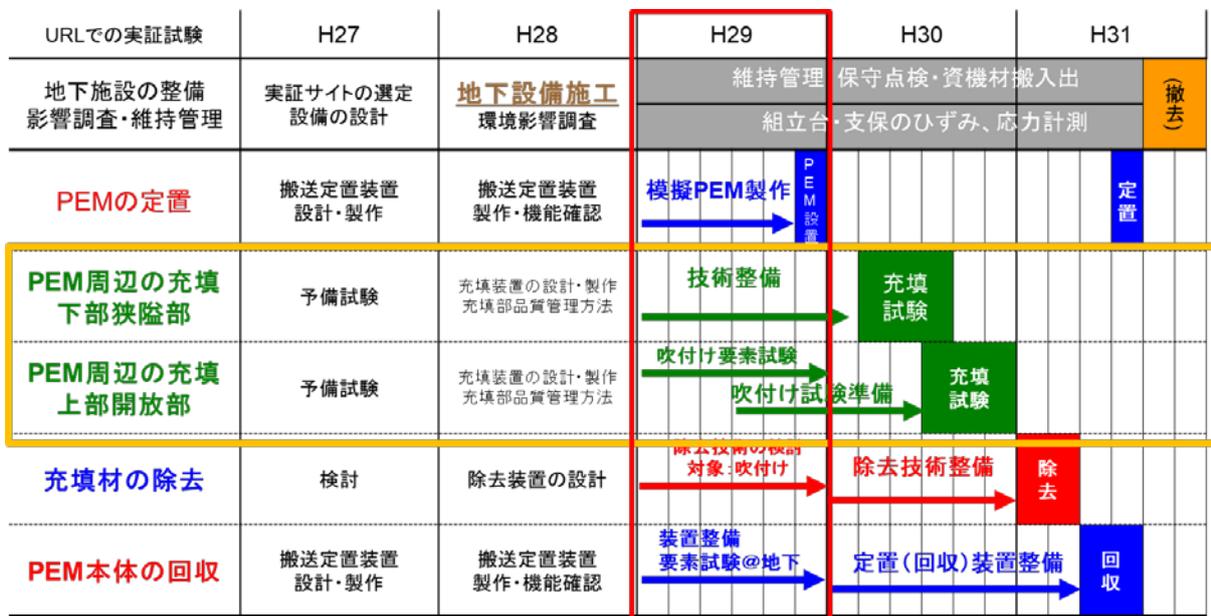


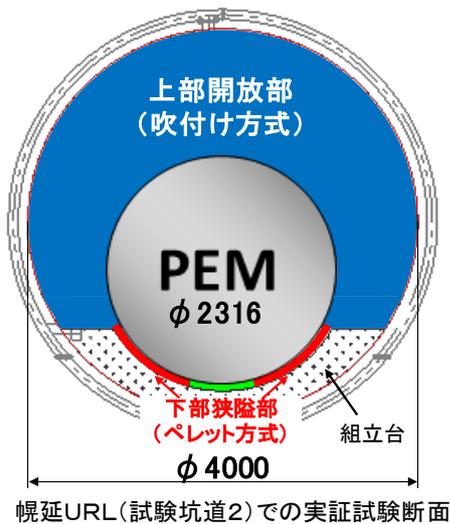
図 4.1.2-1 隙間充填技術の実証的整備の全体工程

4.1.3 対象とする坑道断面と充填方式

図 4.1.3-1 に充填・実証の対象とする坑道断面と充填方式を示す。

上部開放部については、NUMO セーフティケースの一例に対する充填技術の実証として吹付け方式を採用した[1]。下部狭隘部については、PEM を搬送しうる最小断面に対する充填技術の実証として、ペレット方式を採用した。

■ 坑道断面

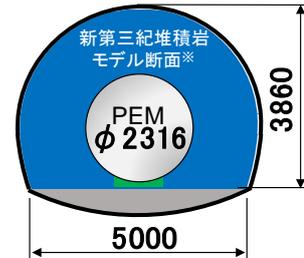


■ 上部開放部(吹付け方式)

NUMOセーフティケースの一例
に対する充填技術の実証

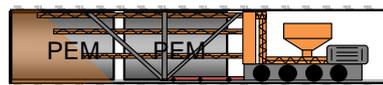


吹付け充填概念図
(NUMO※)

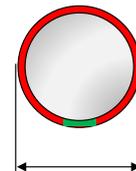


■ 下部狭隘部(ペレット方式)

PEMを搬送・設置しうる最小断面
に対する充填技術の実証



ペレット充填概念図 (RWMC)

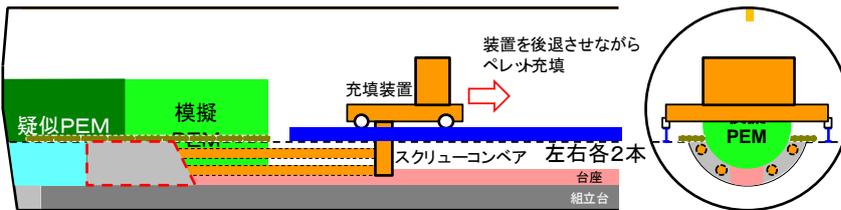


※出典: NUMOセーフティケースに関する外部専門家ワークショップ, (3)処分場の設計と工学技術, 2016.9.23

図 4.1.3-1 充填・実証の対象とする坑道断面と充填方式[1]

■ 下部狭隘部:ペレットによる充填イメージ

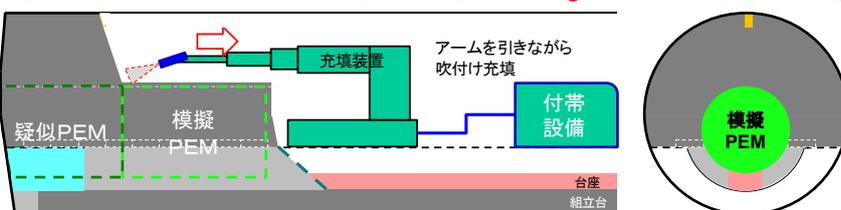
充填材: BNT100%、有効粘土密度 1.37^{*1}Mg/m^3 (これまでの基盤研究 *2 から引用)



- 充填材の高密度化が可能なことからペレット方式を採用、
- 150mm以下の狭隘部であること、自然落下では到達しにくい箇所(隅角部等)への充填材料の送り込み効果が見込めること、充填質量の管理が比較的容易であることから、移送手段としてスクリーンコンベアを採用

■ 上部開放部:吹付けによる充填イメージ

充填材: BNT/掘削土 $^{*3}=50\%/50\%$ 、充填密度(乾燥) 1.6^{*1}Mg/m^3 、有効粘土密度 1.15^{*1}Mg/m^3 (NUMOセーフティケースの一例)



- PEM容器と坑道間の隙間が比較的大きいこと、砂分を多く含む場合の配合や密度に対して適用範囲が広いことから、吹付け工法を採用

※1: 坑道内の低透水性の確保および「再冠水後の緩衝材等の膨出の抑制」のための管理値

※2: 平成19年度地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発—遠隔操作技術高度化開発—

※3: 本試験では掘削土の代わりに珪砂を用いる

図 4.1.3-2 各充填方式による充填イメージ[1] [2]

4.1.4 充填部の品質管理方法

隙間充填材に求められる機能は、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。施工箇所ではこれらの機能を直接把握することは、時間的／技術的な観点、サンプリングによる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。地層処分事業の操業における品質管理の方法としては、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。プロセス管理による品質確保には、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。

(1) 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（以下「乾燥密度」という）を代替とすることが考えられる。充填方式（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

(2) 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、乾燥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。平成29年度までの業務では模擬装置による実証的な試験であるため、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乾燥密度との妥当性、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した。今年度は、これまでに実施した要素試験・地上試験等から設定されたプロセス管理手法を基に、地下環境において充填技術の実証試験を行い、当該プロセス管理手法の妥当性を確認した。

4.2 地下環境での模擬 PEM-坑道間における下部狭隘部の隙間充填技術の実証的整備

4.2.1 下部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、充填後の乾燥密度は、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 下部狭隘部の隙間充填技術整備手順

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（図 4.1.3-1 参照）。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と、密度のバラつき（密度分布）が重要である。

平成 29 年度までの検討では、狭隘部の充填品質を施工プロセスの管理によって確保するための、施工に関する管理項目と管理手法の設定に資する検証データを地上での段階的な実証試験により取得してきた。

これまでに実施してきた狭隘部の充填技術の整備フローを、図 4.2.2-1 に示す。詳細については、「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 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」[3]を参照されたい。

今年度は、これまでの地上試験等にて設定した充填品質を確保しうる施工プロセスを再現することで、充填品質を確保（再現）できることを実証するため、幌延 URL 深度 350m 試験坑道 2 における実証試験を実施した。

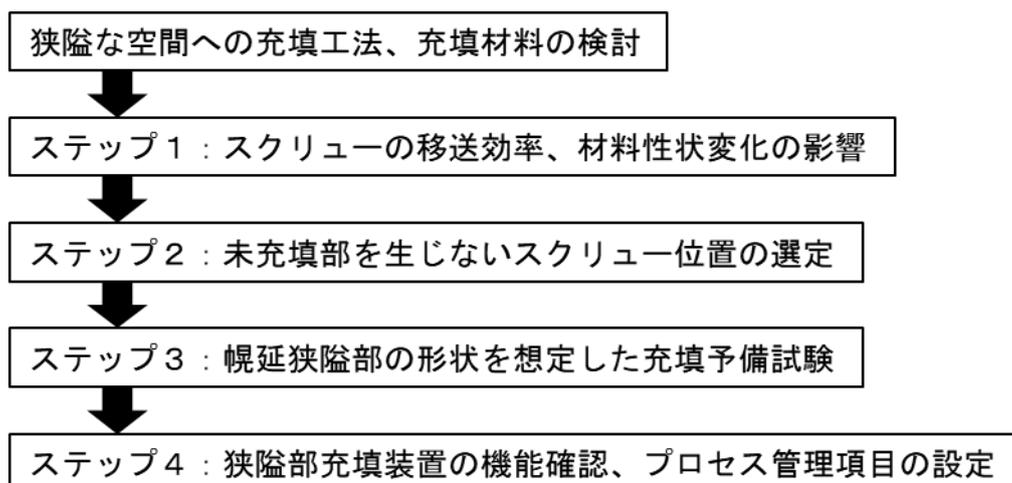


図 4.2.2-1 平成 29 年度までの下部狭隘部の充填技術の整備フロー

4.2.3 幌延 URL における下部狭隘部を対象とした隙間充填技術の実証試験

図 4.2.3-1 に幌延 URL における実証試験場所（試験坑道 2 内）での、下部狭隘部の隙間充填装置の配置イメージを示す。図 4.2.3-1 に示すとおり、左右の狭隘部（赤ハッチ部分）に各 2 本（計 4 本）配置したスクリーコンベア（外管外径：101.6mm、スクリーピッチ：70mm、回転速度制御範囲：8.5rpm～34rpm）より、充填材を移送・充填する。充填後、充填容積と充填質量から、その乾燥密度を算出し評価する。

地上試験とは異なり幌延 URL の下部狭隘部の充填に係る実証試験では、サンプリングによる密度測定が実施できない。そのため、サンプリングによる密度測定の代替手法として、光ファイバー温度計測技術を活用した定性的な密度分布計測を行うこととした。なお、本計測は、含水比一定の場合の材料の熱特性の密度依存性を利用した計測である。

図 4.2.3-2 に下部狭隘部を対象とした隙間充填技術の実証試験 実施フローを示す。

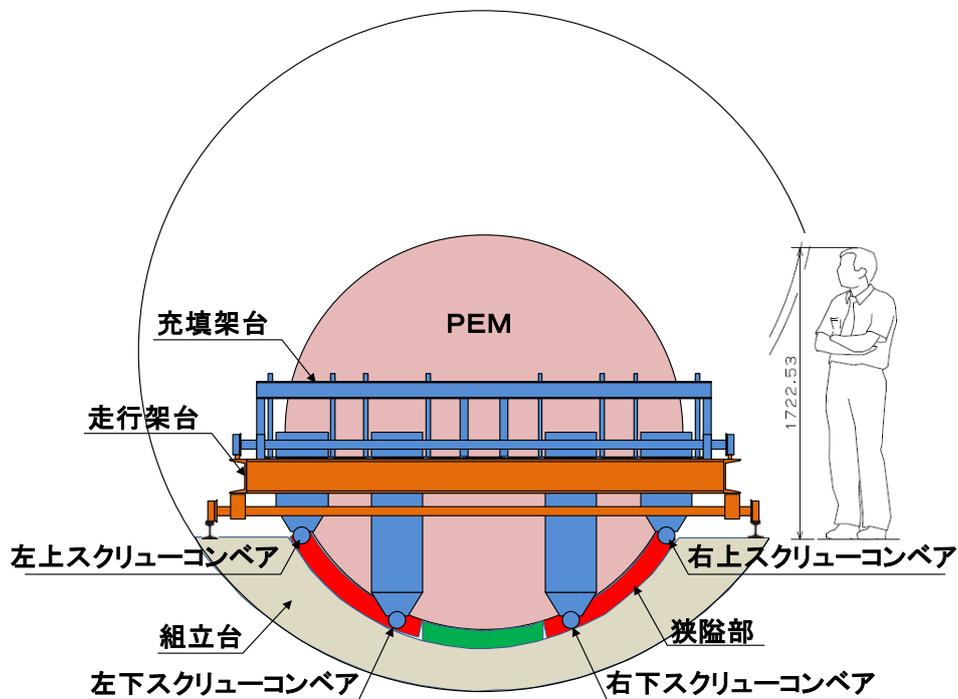


図 4.2.3-1 下部狭隘部の隙間充填装置配置イメージ（試験坑道 2）

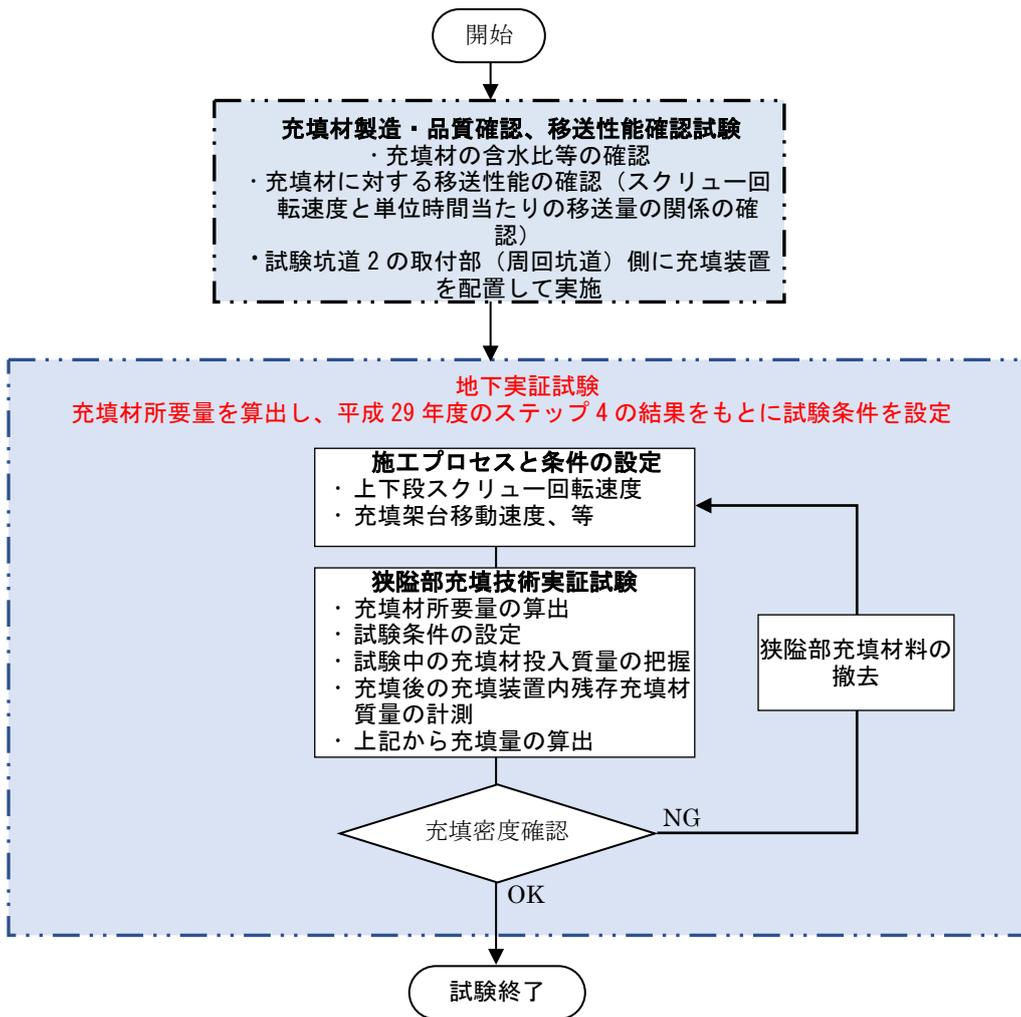


図 4.2.3-2 下部狭隘部を対象とした隙間充填技術の実証試験 実施フロー

(1) 充填材製造・品質管理

下部狭隘部の充填材の製造は、平成 29 年度に設定した粒子密度や粒度分布をもとに品質管理を実施した。充填材の製造工程を図 4.2.3-3 に、各工程におけるベントナイトの状態を図 4.2.3-4 および図 4.2.3-5 に示す。

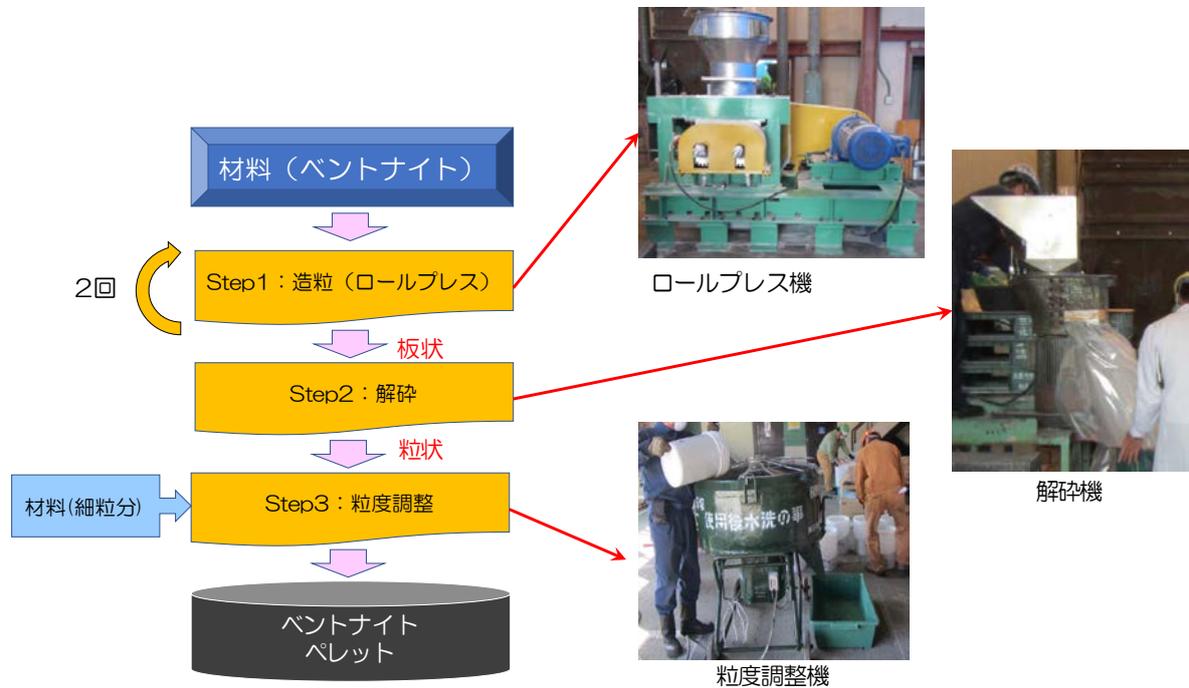


図 4.2.3-3 下部狭隘部の充填材 製造工程



図 4.2.3-4 ロールプレス後のベントナイト



図 4.2.3-5 粒度調整後のベントナイト

各製造工程における今年度と平成 29 年度の充填材品質の確認結果を表 4.2.3-1 に示す。

また、図 4.2.3-6 および図 4.2.3-7 に平成 29 年度と今年度の充填材の粒度分布を示す。今年度も、所定のフラー曲線の範囲の粒度分布となるよう粒度調整を行うことで、平成 29 年度と同等程度の密度となっていることを確認し、今年度の実証試験用の充填材として用いることとした。

表 4.2.3-1 各製造工程における充填材の品質確認結果

製造工程	試験項目	平成 30 年度	平成 29 年度
1.ロールプレス後	含水比 (%)	7.3	8.5
	乾燥密度 (Mg/m ³)	2.00	1.98
2.解砕後	含水比 (%)	6.4	—
3.粒度調整後	含水比 (%)	6.5	8.8
	最小密度 (Mg/m ³)	1.05	1.12
	最大密度 (Mg/m ³)	1.47	1.46

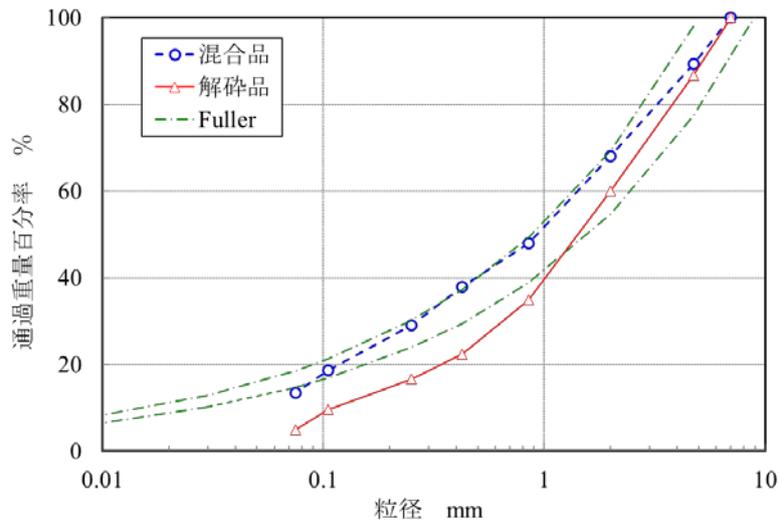


図 4.2.3-6 粒度分布の管理 (平成 29 年度)

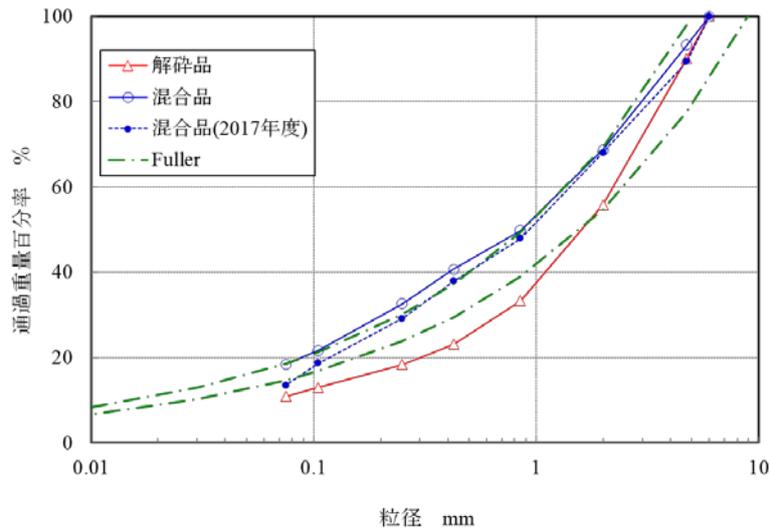


図 4.2.3-7 粒度分布の管理 (平成 30 年度)

(2) 充填容積の確認

充填対象となる下部狭隘部の容積を、充填延長(PEM長:3.343m)を6等分して算出した結果を図4.2.3-8に示す。

左狭隘部の充填容積は 0.3538m^3 (平均断面積 0.1058m^2)、右狭隘部の充填容積は 0.3571m^3 (平均断面積 0.1068m^2)として試験条件を設定する。

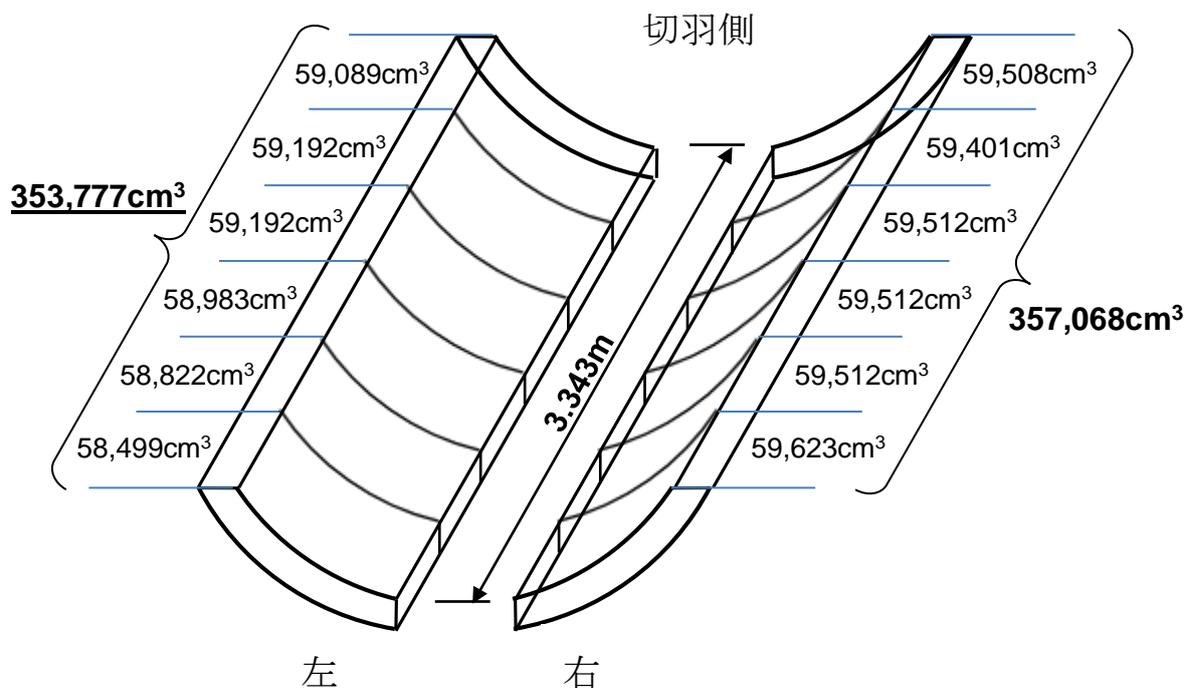


図 4.2.3-8 充填容積

(3) 移送性能確認試験

1) 目的と実施概要

平成29年度と同様に、今年度の実証試験に用いる充填材に対する隙間充填装置の移送性能の確認を目的として移送性能確認試験を行った。図4.2.3-9に実施状況の概要図を示す。

所定のスクリー回転速度(rpm)に対する単位時間当たりの移送量(kg/min)を確認する。

なお、平成29年度の移送性能確認試験において、4本のスクリーコンベアの移送性能については概ね均一であることが確認されていることから、4本のスクリーコンベアを代表して、右上スクリーコンベアを用いて実施した。

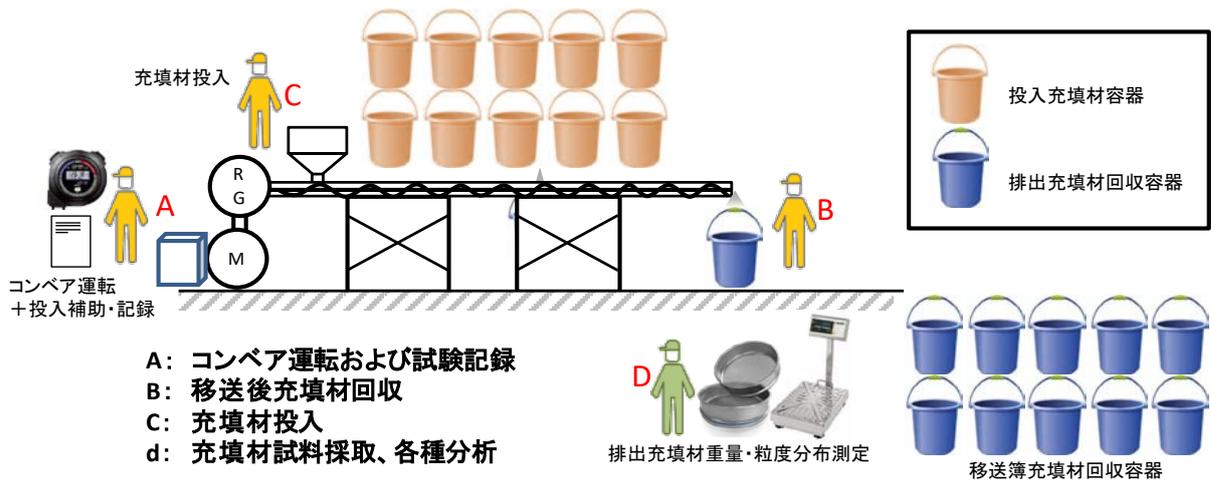


図 4.2.3-9 移送性能確認試験および予備試験実施時の概要図

2) 試験結果

平成 29 年度の移送性能確認試験と同様に、スクリー回転速度を約 17rpm と約 34rpm に設定し、それぞれのスクリー回転速度に対する移送性能を確認した。

試験結果を表 4.2.3-2、図 4.2.3-10、図 4.2.3-11、および表 4.2.3-3 に示す。

表 4.2.3-2 移送性能確認試験結果（平成 30 年度）

移送時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	平均
右上 34rpm	0	1.057	6.551	12.041	12.076	12.115	12.059	12.044	12.207	12.104	12.159	12.167	11.906	11.985	12.08 (3-13min)
右上 17rpm	0	0.244	5.845	6.022	6.165	6.124	6.127	6.067	6.175	6.154	6.218	6.074	6.150	6.188	6.13 (3-13min)

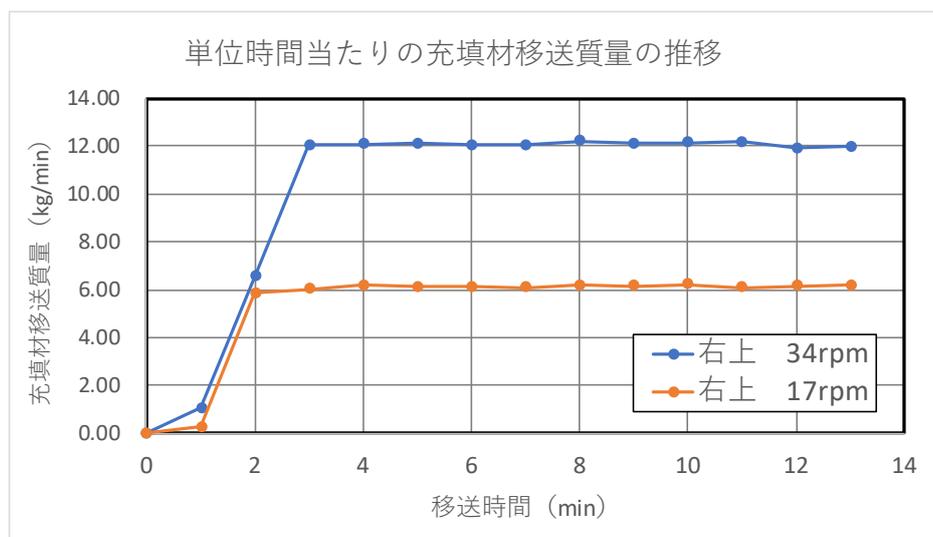


図 4.2.3-10 移送性能確認試験結果（平成 30 年度）

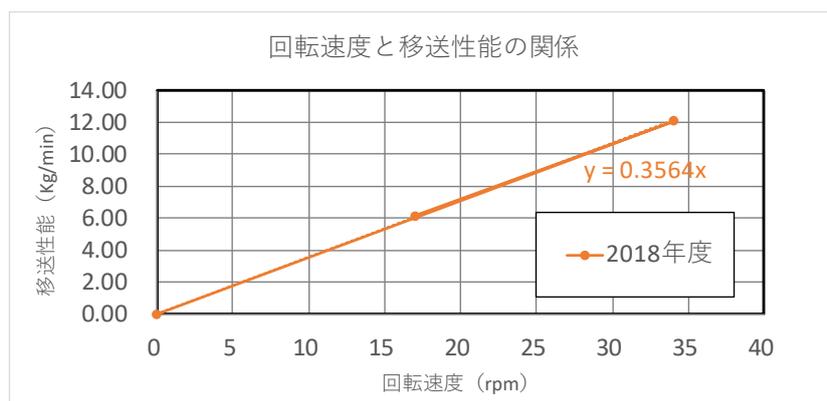


図 4.2.3-11 スクリュー回転速度と移送性能の関係 (平成 30 年度)

表 4.2.3-3 移送性能確認試験結果のとりまとめ (平成 30 年度)

試験ケース	平均	最大値	最小値	設定した スクリュー移送性能
1-1 右上 (34rpm)	12.08	12.21	11.91	17rpm: 6.06kg/min 34rpm: 12.12kg/min
1-2 右上 (17rpm)	6.13	6.22	6.02	

比較のため、平成 29 年度の移送性能確認試験結果を表 4.2.3-4 に示す。
概ね平成 29 年度と同様の移送性能であることを確認した。

表 4.2.3-4 移送性能確認試験結果 (平成 29 年度)

試験ケース	平均	最大値	最小値	左の結果から設定した スクリュー移送性能
1-1 右上 (34rpm)	12.65	12.76	12.50	17rpm: 6.25kg/min 34rpm: 12.50kg/min
1-2 右上 (17rpm)	6.28	6.38	6.20	
1-3 左上 (34rpm)	12.63	12.76	12.48	

以上の結果から、移送性能確認試験で得た回転速度と移送性能の関係 (図 4.2.3-11) をもとに、
施工プロセス管理における条件設定を行うこととした。

(4) 施工プロセスと条件の設定

今年度の幌延 URL 地下施設内で実施する試験条件は、平成 29 年度に実施した地上予備試験の結果から、概ね最適とされた試験ケース 4-2（後充填量設定 T-1～T-3）で得た試験条件を基本として設定した。

表 4.2.3-5 に平成 29 年度に実施した地上予備試験のうち試験ケース 4-2 の試験条件を、図 4.2.3-12 および表 4.2.3-6 に今年度の地下実証試験の施工プロセスおよび試験条件を示す。

表 4.2.3-5 地上予備試験のうち試験ケース 4-2（平成 29 年度）の試験条件

試験ケース	左右	狭隙部 断面積 (m ²)	充填材含水比 8.8%の場合 の単位長あたりの 所要充填 質量 (kg/m)	スクリー回転速度 および 比率設定 (kg/min)			初期充填				移動充填		後充填		
				上段	下段	合計	充填時間 設定 (sec)		初期充填 設定充填質量 (kg/20cm)		移動充填 設定充填質量 (kg/m)	移動速度 設定 (mm/min)	充填 時間 (sec)	設計 充填質量 (kg)	
							上段	下段	設計に対する 割増率	設計に対する 割増率					
4-2 T-1	左	0.1061	158.1	7.81	9.11	16.92	148	113	36.4	15%	177.3	12%	95.3	30	8.5
	右	0.1051	156.7	7.81	9.11	16.92	148	113	36.4	16%	177.3	13%		30	8.5
4-2 T-2	左	0.1061	158.1	7.81	9.11	16.92	148	113	36.4	15%	177.3	12%	95.3	44	12.4
	右	0.1051	156.7	7.81	9.11	16.92	148	113	36.4	16%	177.3	13%		44	12.4
4-2 T-3	左	0.1061	158.1	7.81	9.11	16.92	148	113	36.4	15%	177.3	12%	95.3	27	7.6
	右	0.1051	156.7	7.81	9.11	16.92	148	113	36.4	16%	177.3	13%		27	7.6

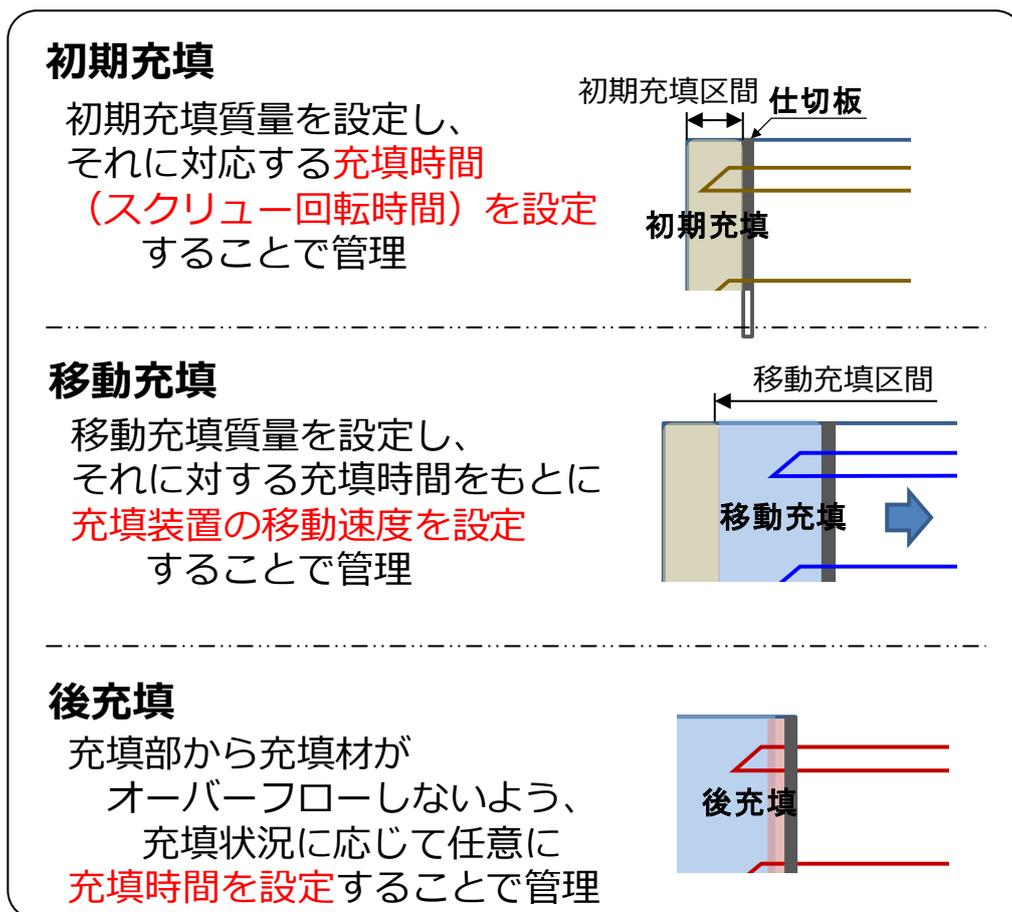


図 4.2.3-12 施工プロセス管理

表 4.2.3-6 地下充填実証試験の試験条件

試験ケース	左右	狭隘部 断面積 (m ²)	充填材含水比 6.5%の場合 の単位長あた りの所要充填 質量 (kg/m)	スクリー回転速度 および 比率設定 (kg/min)			初期充填				移動充填		後充填		
				上段	下段	合計	充填時間 設定 (sec)		初期充填 設定充填質量 (kg/22cm)	移動充填 設定充填質量 (kg/m)	移動速度 設定 (mm/min)	充填 時間 (sec)	設計 充填質量 (kg)		
							上段	下段						設計に対する 割増率	設計に対する割 増率
地下充填 実証	左	0.1058	154.4	7.57	8.84	16.41	164	125	39.2	15.5%	173.7	12.5%	94.5	44.0	12.03
	右	0.1068	155.8	7.65	8.92	16.57	164	125	39.6	15.5%	175.3		44.0	12.15	

(5) 下部狭隘部の充填技術実証試験

図 4.2.3-13 および図 4.2.3-14 に下部狭隘部隙間充填装置の全景を、図 4.2.3-15 および図 4.2.3-16 に幌延 URL 試験抗道 2 への下部狭隘部隙間充填装置配置計画図と実際の配置状況を示す。幌延 URL 試験坑道における原位置実証試験では、これまでに実施した予備試験の結果から(4)で設定した試験条件のもと、狭隘部への充填作業を行った。

表 4.2.3-7 および図 4.2.3-17 に試験の実施手順を、図 4.2.3-18 に原位置実証試験の実施イメージを示す。また、図 4.2.3-19～図 4.2.3-35 に試験実施状況を示す。



図 4.2.3-13 下部狭隘部隙間充填装置全景



図 4.2.3-14 下部狭隘部隙間充填装置全景（平成 29 年度地上予備試験実施状況）

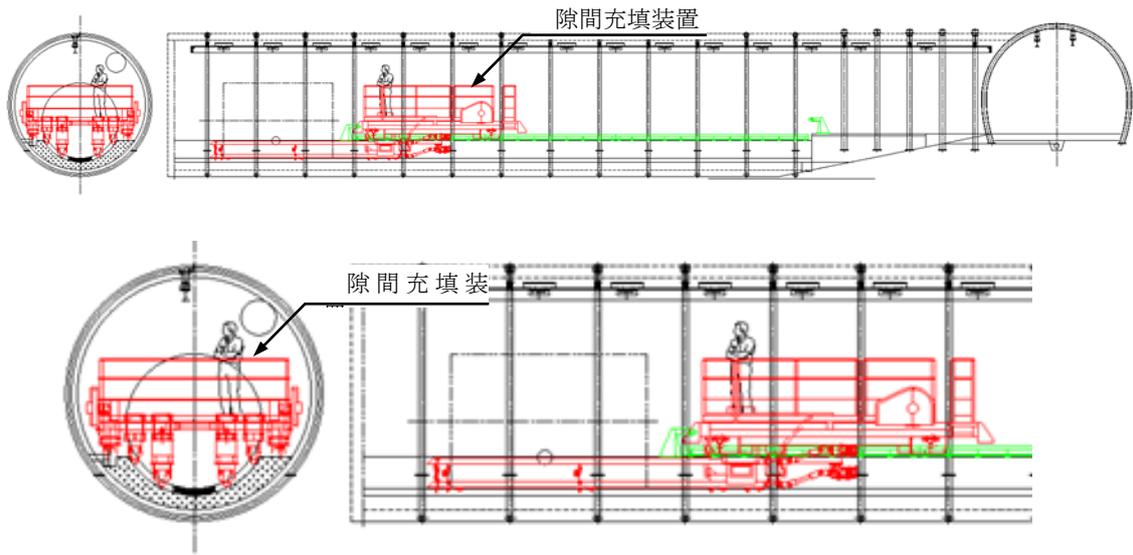
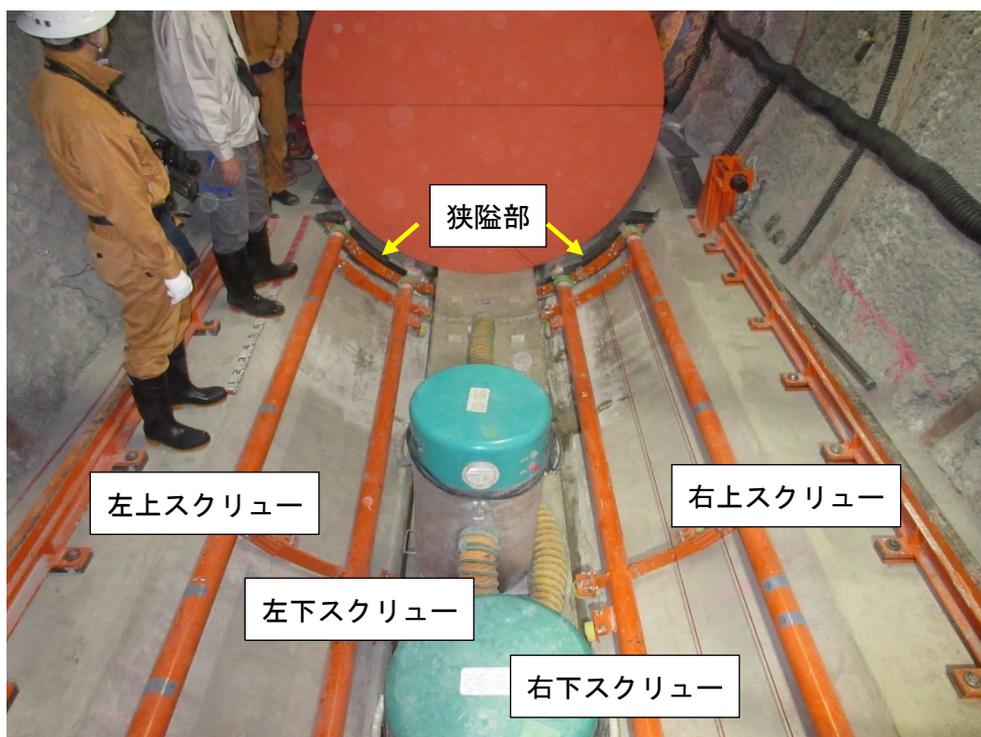


図 4.2.3-15 幌延 URL 試験抗道 2 における下部狭隘部隙間充填装置配置状況



充填装置全景（充填架台から）



充填装置全景（PEM側から）

図 4.2.3-16 充填試験装置配置状況

表 4.2.3-7 実証試験実施手順

順序	実施項目	実施内容
1	試験条件の確認・設定	スクリー回転速度、充填時間、充填装置移動速度の設定
2	充填装置の配置	PEMの奥妻側の充填開始位置に配置
3	初期充填	充填装置停止状態で所定の時間充填を実施
4	移動充填	所定の速度で充填装置を移動させながら充填を実施
5	後充填	充填終了位置手前にて充填装置停止状態で充填を実施
6	バルク充填密度確認	充填装置への充填材投入量と充填装置内残量より算出
7	充填密度分布確認	光ファイバーによる相対的かつ定性的な密度分布確認

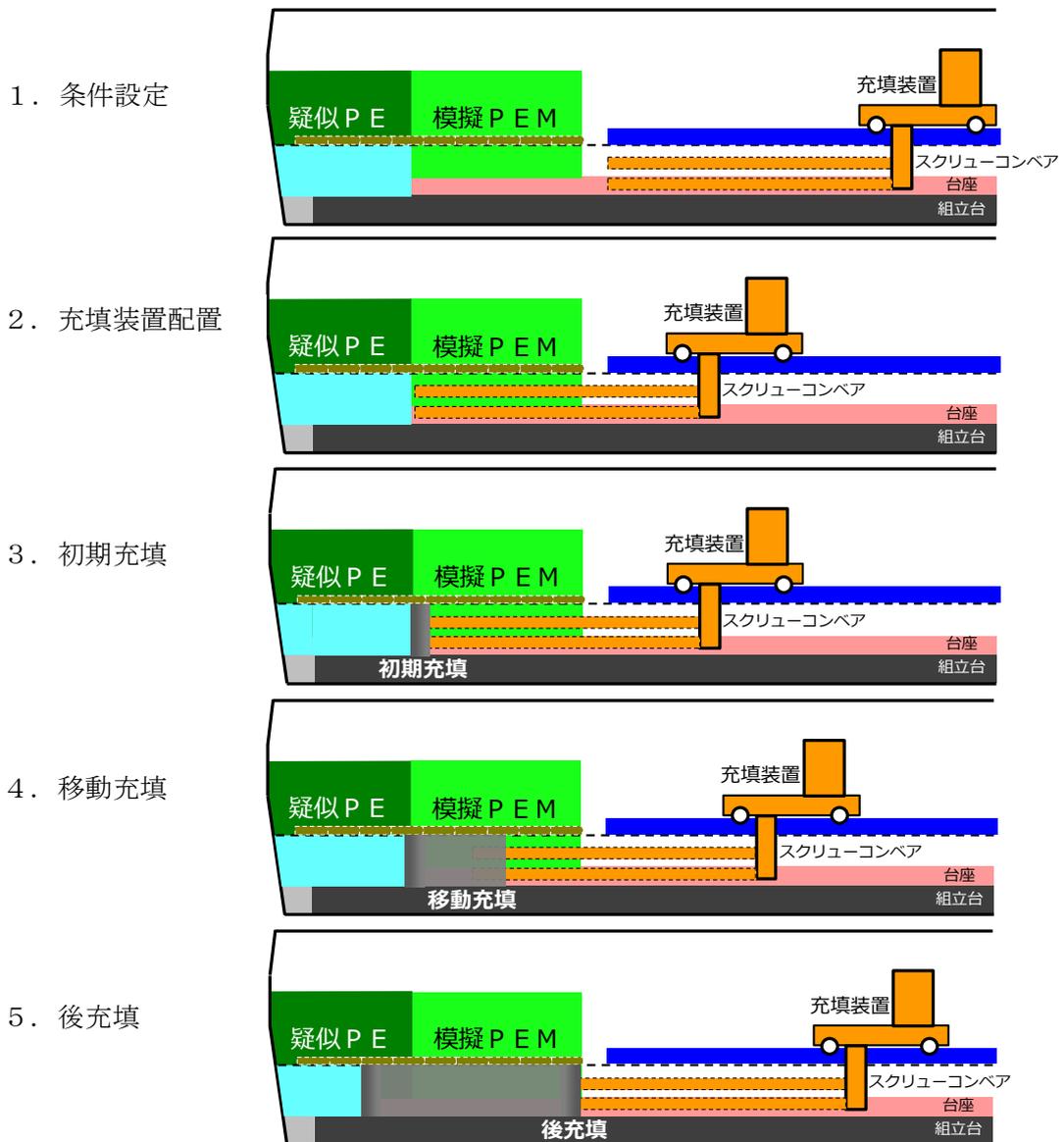


図 4.2.3-17 試験実施手順（充填施工）

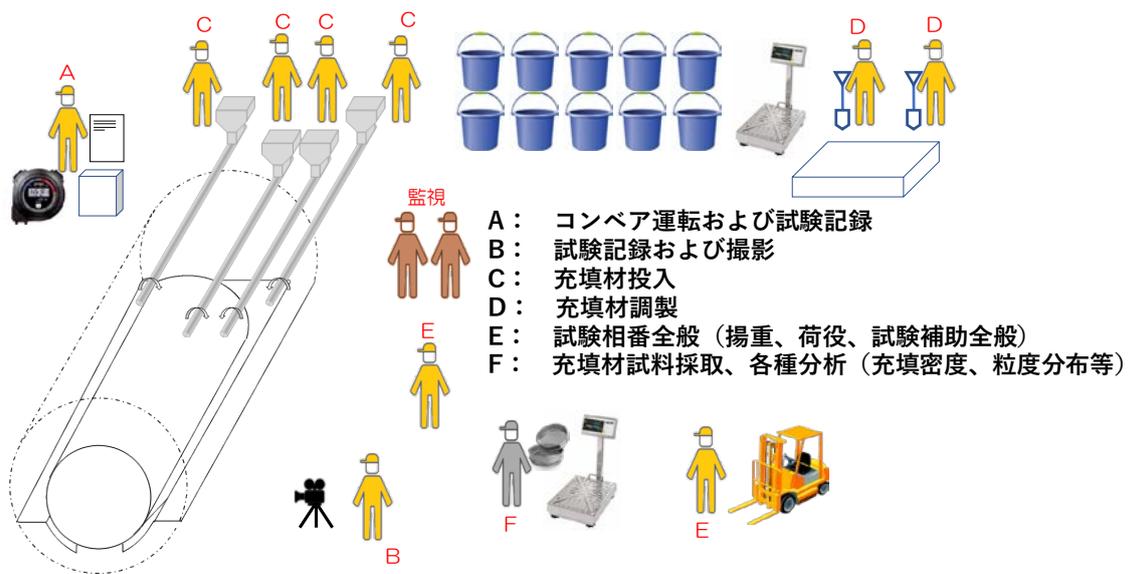


図 4.2.3-18 原位置実証試験の実施イメージ



図 4.2.3-19 充填材料小分け作業



図 4.2.3-20 充填材料小分け作業全景



図 4.2.3-21 充填材料小分け作業完了
(後方)



図 4.2.3-22 充填材料小分け作業完了
(前方)



図 4.2.3-23 充填試験前



図 4.2.3-24 ホッパーへの投入開始



図 4.2.3-25 ホッパーへの投入状況_1



図 4.2.3-26 ホッパーへの投入状況_2



図 4.2.3-27 充填装置後退確認_1



図 4.2.3-28 充填装置後退確認_2



図 4.2.3-29 充填試験状況



図 4.2.3-30 充填試験状況



図 4.2.3-31 充填確認_狭隘部左前面



図 4.2.3-32 充填確認_狭隘部右前面



図 4.2.3-33 充填確認_狭隘部左上部境界面



図 4.2.3-34 充填確認_狭隘部右上部境界面



図 4.2.3-35 充填確認_装置全体正常確認

(6) 充填品質確認

1) 充填容積の確認

充填対象となる狭隘部の容積は、に示すとおり、左：約 0.3538m^3 、右：約 0.3571m^3 であった。ただし、実際の充填延長は、約 3cm のオーバーランにより、 3.373m となったため、充填容積はそれぞれ左：約 0.3570m^3 、右：約 0.3603m^3 となった。

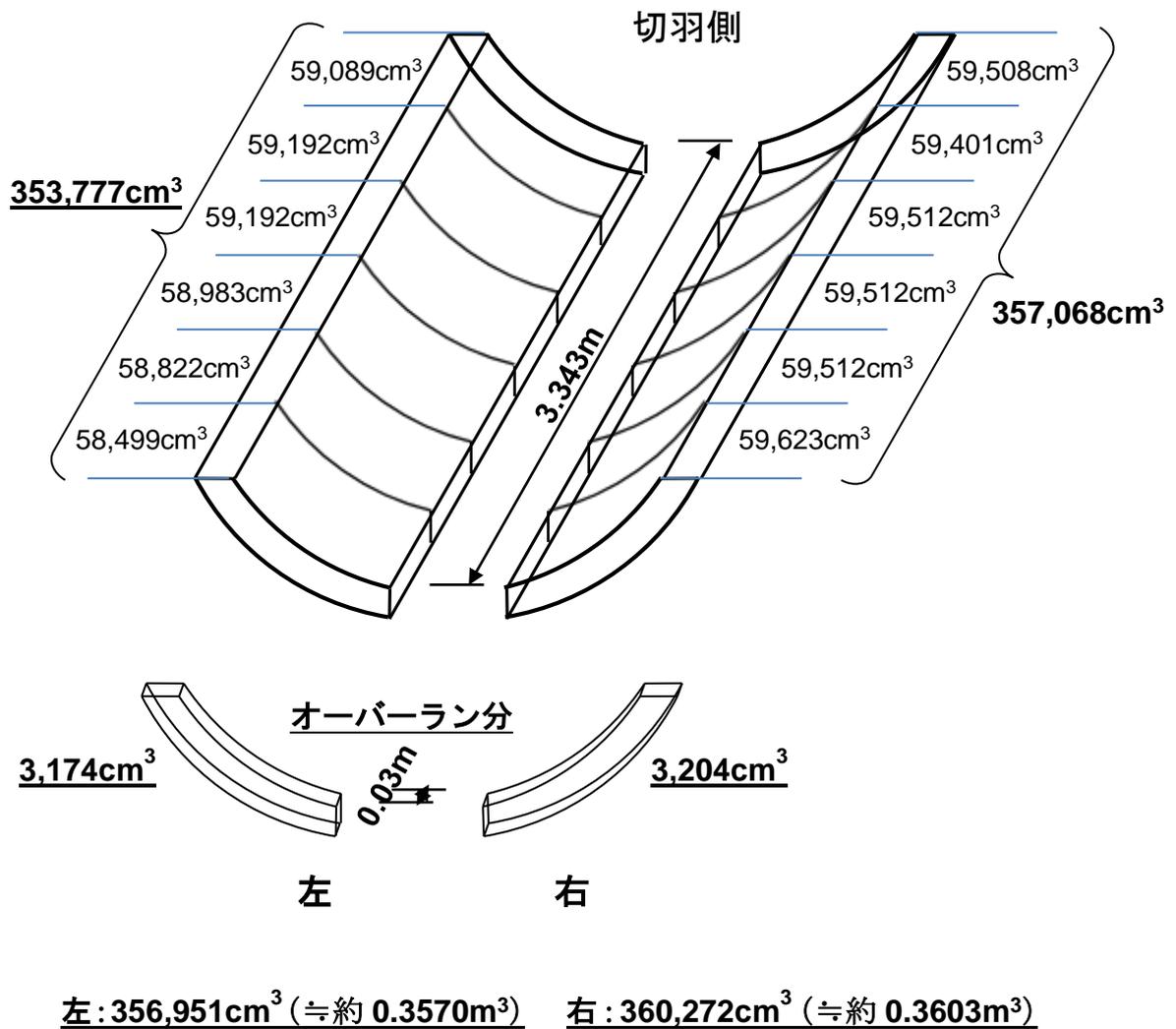


図 4.2.3-36 実証試験における実充填容積

2) 充填質量管理

左右各 2 本のスクリーコンベアへの充填材全投入質量と充填施工終了後のスクリーコンベア内への残存質量の計測により、左右の下部狭隘部への実充填質量を算出した結果を表 4.2.3-8 に示す。

表 4.2.3-8 下部狭隘部への実充填質量

管理項目	左スクリー	右スクリー
全投入質量 (Mg)	0.7925	0.8412
残存質量 (Mg)	0.2687	0.3036
実充填質量 (Mg)	0.5238	0.5376

3) 充填密度の算出

1)で示した充填容積と 2)で示した実充填質量より算出した下部狭隘部充填密度の算出結果を表 4.2.3-9 に示す。下部狭隘部の充填密度は、左右とも、管理値である 1.37Mg/m³を満たす結果となった。以上より、平成 29 年度の予備試験結果をもとに設定した試験条件による施工プロセスの管理を行うことで、充填品質の確保と再現が可能であることを実証した。

表 4.2.3-9 下部狭隘部充填密度（乾燥密度は材料製造時の含水比 6.5%を用いて算出）

		左狭隘部	右狭隘部
下部狭隘部充填密度 (Mg/m ³)	湿潤	1.467	1.492
	乾燥	1.378	1.401

(7) 光ファイバー計測による充填密度分布の推定

前述のとおり、下部狭隘部隙間全体に対する充填品質を確保することはできたが、原位置での模擬 PEM が定置された状態での実スケールの試験では、平成 29 年度までのように充填したベントナイトを採取して充填密度分布を確認することができない。

そこで、含水比が等しい物質の熱伝導率の密度依存性を利用し、光ファイバーケーブルによる温度計測技術を用いた密度の相対的な分布計測を、右狭隘部を対象として試行的に実施した。

本技術は、加熱用スリーブ管（ステンレス管）と光ファイバーケーブルを同軸に配した複合ケーブルを緩衝材内に配置し、加熱用スリーブをアクティブに加熱後、光ファイバーにより複合ケーブル直近温度の経時変化を計測することで充填材の熱伝導率を算出し、密度の相対分布の傾向を確認するものである。

温度の経時変化のイメージを図 4.2.3-37 に示す。物質密度が高い（空隙が少ない）ほど放熱が促進するため、温度上昇が緩やかになる。

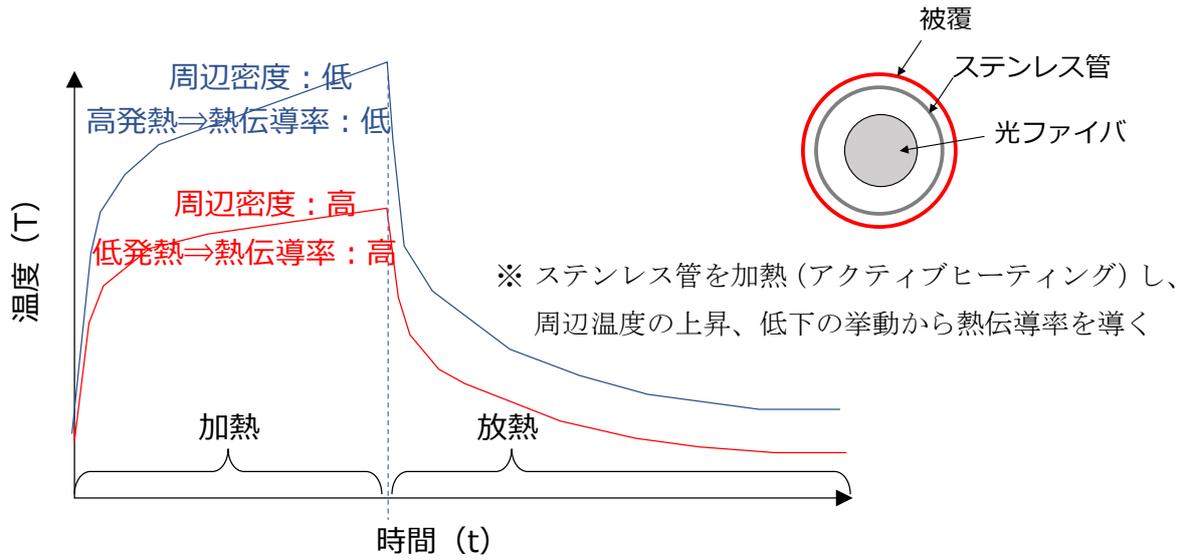


図 4.2.3-37 物質の密度と温度の経時変化のイメージ

1) 坑道延長方向の密度の相対値の分布

坑道延長方向の光ファイバーケーブル配置を図 4.2.3-38 に示す。右狭隘部に 2 条の光ファイバーケーブルを配置した。

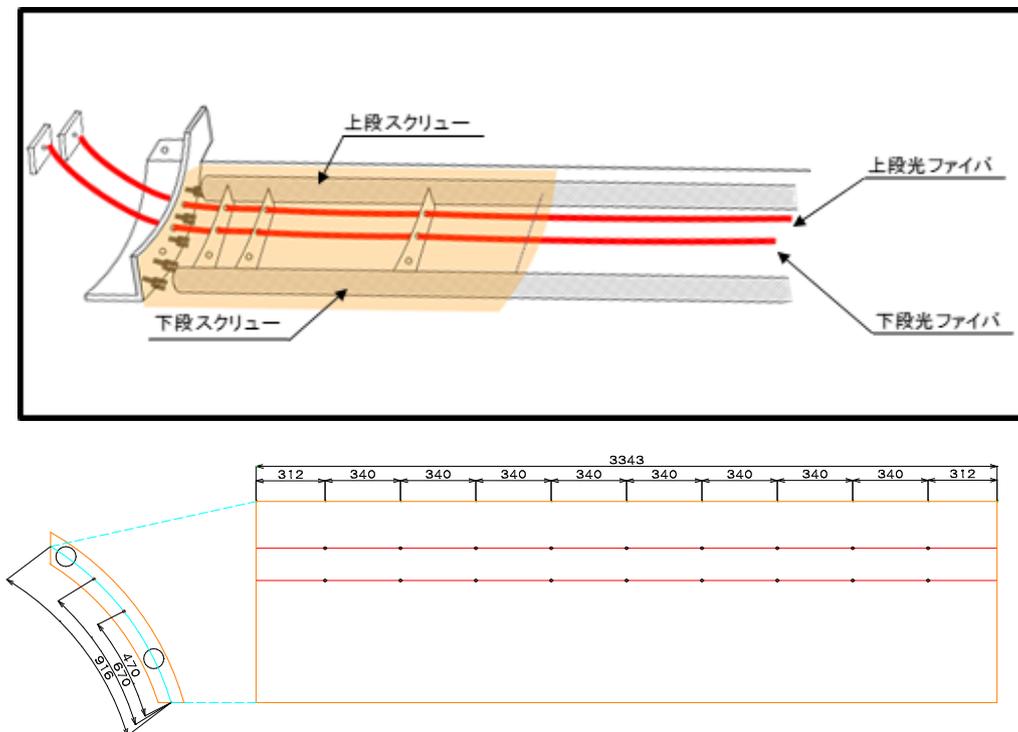


図 4.2.3-38 坑道延長方向の光ファイバーケーブル配置

図 4.2.3-39 に光ファイバーケーブルによる温度計測から算出した坑道延長方向の熱伝導率の分布を示す。個々の点における熱伝導率の差は、事前に実施した熱伝導率と密度の相関確認予備試験結果より、密度差は概ね 0.1Mg/m^3 程度であると推定された。これは、図 4.2.3-40 に示す平成 29 年度に実施した地上予備試験時の密度のばらつきの範囲と概ね一致し、施工プロセス管理による充填密度分布傾向の再現性が示唆された。

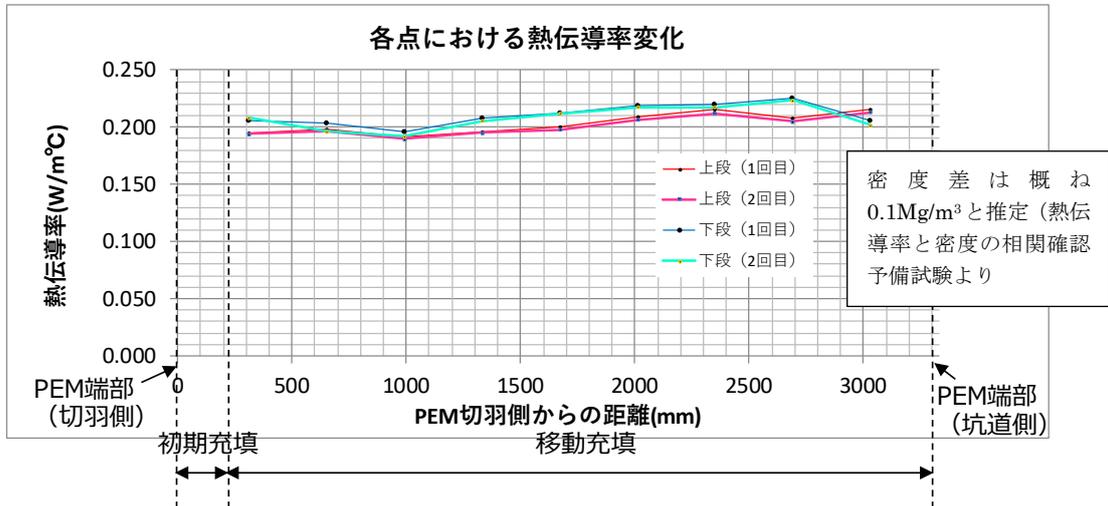


図 4.2.3-39 各点における熱伝導率変化計測結果 (坑道延長方向)

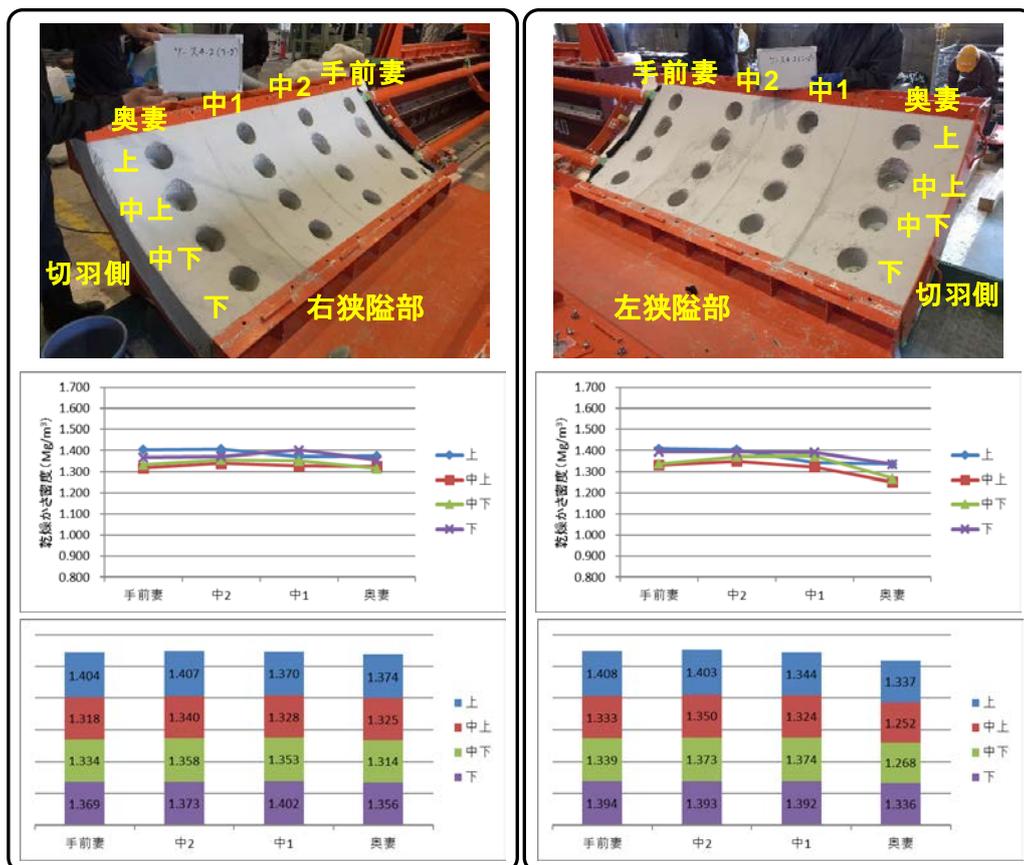


図 4.2.3-40 平成 29 年度の地上予備試験時のサンプリングによる充填密度分布 (試験ケース 4-2 T-2)

2) PEM 半径方向の密度の相対分布

PEM 半径方向の光ファイバーケーブル配置を図 4.2.3-41 に示す。PEM 延長全体を計測対象とするよう、一条の光ファイバーケーブルを組立台部から PEM 台座部にかけて、斜めに配置した。

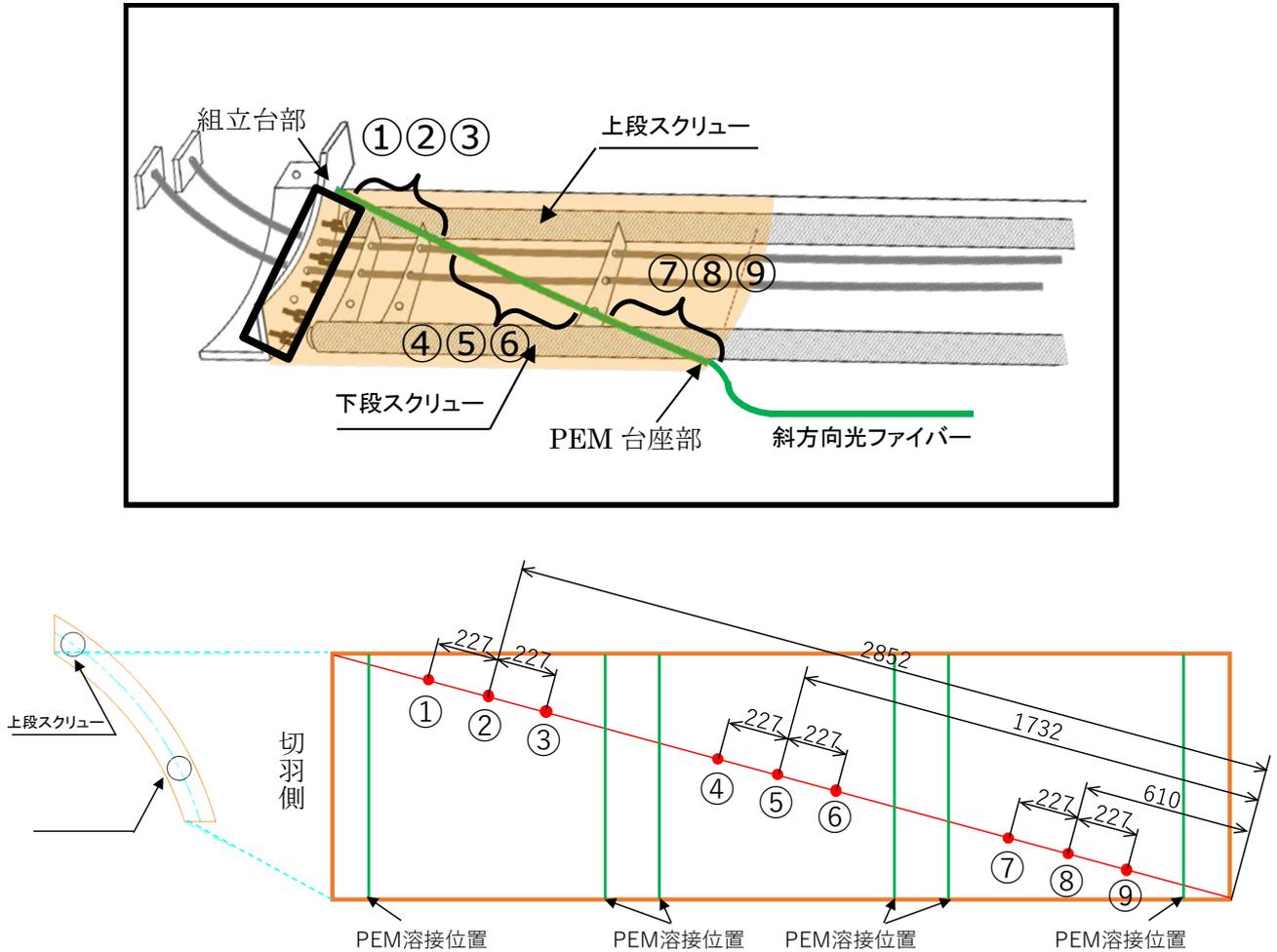


図 4.2.3-41 PEM 半径方向の光ファイバーケーブル配置

図 4.2.3-42 に光ファイバーケーブルによる温度計測から算出した PEM 半径方向の熱伝導率の分布を示す。坑道延長方向で算出した熱伝導率より 1 オーダー高い値となっているが、これは光ファイバーケーブルを金属製の模擬 PEM に密着させるように配置したためと考えられる。

計測結果から、熱伝導率は上下のスクリュー通過箇所付近（①～③および⑦～⑨）で相対的に高く、上下スクリュー間（④～⑥）で相対的に低くなることから分かる。

これは、図 4.2.3-43 に示す平成 29 年度に実施した地上予備試験時の密度分布の傾向と概ね一致することから、施工プロセス管理による充填密度分布傾向の再現性が示唆された。

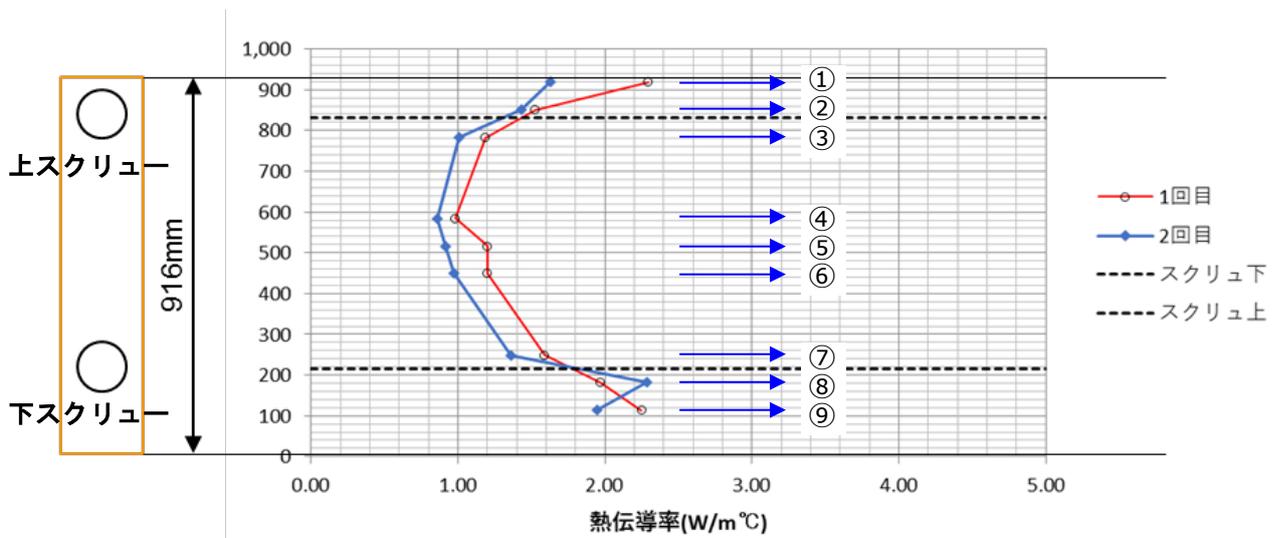


図 4.2.3-42 各点における熱伝導率変化計測結果 (PEM 半径方向)

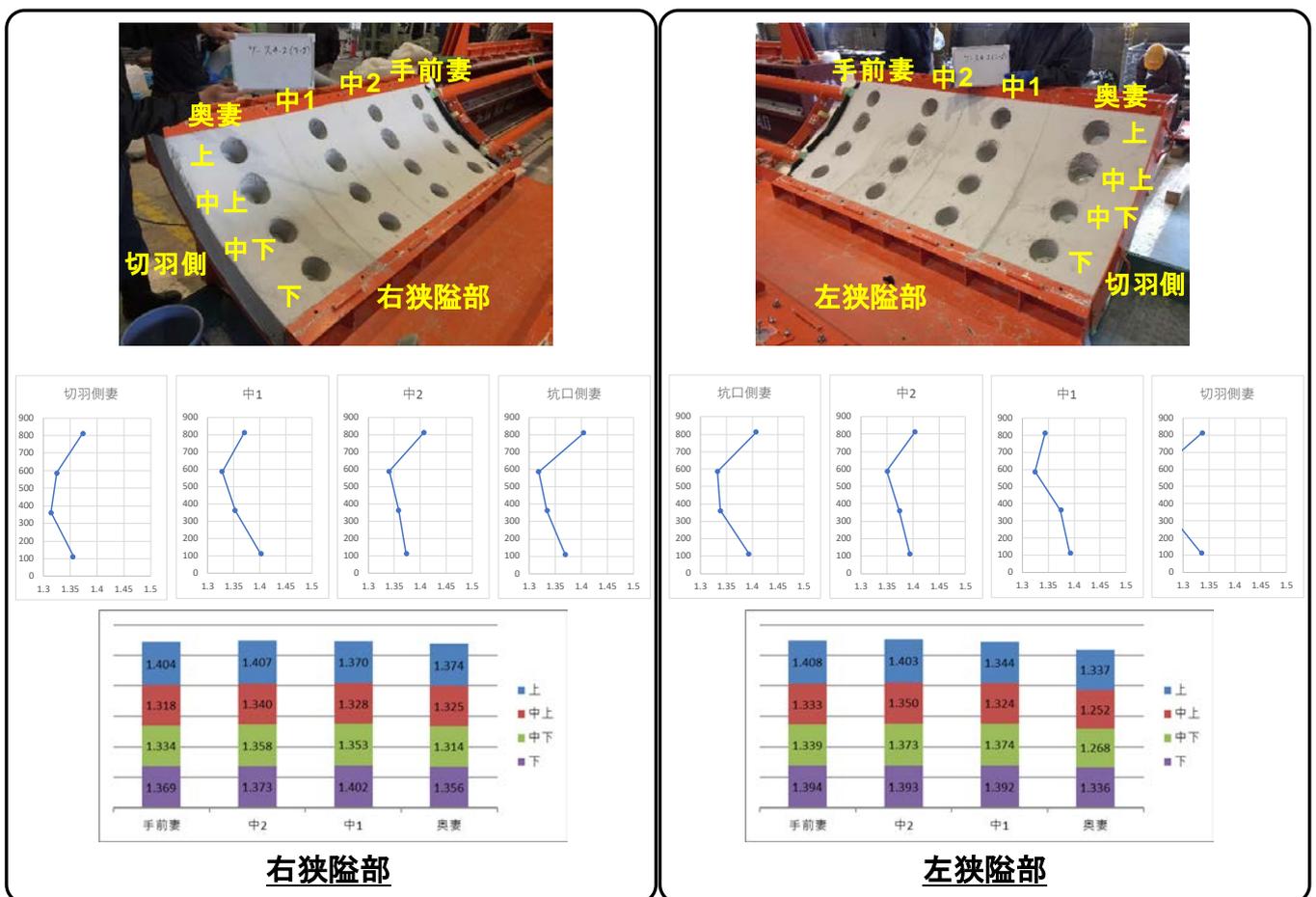


図 4.2.3-43 平成 29 年度の地上予備試験時のサンプリングによる充填密度分布 (試験ケース 4-2 T-2)

4.2.4 下部狭隘部を対象とした隙間充填技術 成果のまとめ

平成 29 年度の予備試験結果をもとに設定した試験条件による施工プロセスの管理を行うことで、充填品質の確保と再現が可能であることを実証した。

また、充填密度の相対的な分布やばらつきについても、同様に施工プロセスの管理を行うことで、それらの傾向の再現性が示唆された。

以上より、横置き PEM 方式の狭隘部隙間充填技術としてペレット方式を採用する場合、所定の充填条件の下で施工プロセス管理を行うことで品質の確保と再現が可能であり、一般的な管理手法となりうる可能性を有することを確認した。

4.3 地下環境での模擬 PEM-坑道間における上部開放部の隙間充填技術の実証的整備

4.3.1 上部開放部を対象とした充填技術

比較的大きな断面である上部開放部を対象とした隙間充填材の施工技術として採用した吹付け方式は、充填後の乾燥密度について、「①充填材料そのものの品質」、「②充填方法」および「③充填部位の性状」を考慮した技術で必要な密度を確保できることを示す。なお、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 上部開放部の隙間充填技術整備手順

本事業で対象とした上部開放部の空間形状は、模擬 PEM 上部の最大幅 約 1300mm、模擬 PEM 側部の最大幅 約 700mm、奥行 4m 程度（図 4.3.2-1）である。

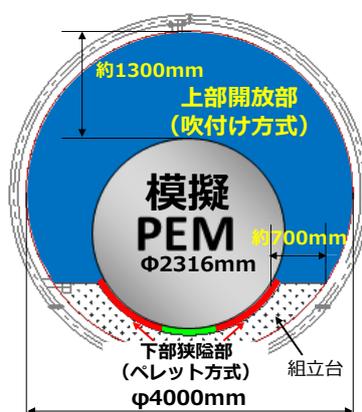


図 4.3.2-1 上部開放部の形状（幌延 URL 深度 350m 坑道 試験坑道 2）

平成 29 年度までの検討では、地上での段階的な予備試験、要素試験、模擬土槽試験を実施することで、上部開放部の充填品質（表 4.3.2-1）を確保するための、材料、施工方法および施工に関する管理項目の設定に資する検証データを取得してきた。これまでに実施してきた開放部の充填技術の整備フローを、図 4.3.2-2 に示す。詳細については、「平成 29 年度 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業 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」[3]を参照されたい。

表 4.3.2-1 上部開放部の隙間充填材の目標乾燥密度

対象部位	充填材料	目標の乾燥密度
上部開放部	ベントナイト：ケイ砂=50：50	乾燥密度 1.60Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.15Mg/m ³)

今年度は、これまでに地上試験等にて確認・把握してきた所定の品質を確保する施工プロセスを、地下の原位置で再現することで、地下の原位置においても地上と同様に所定の品質を確保できることを確認するための実証試験を実施した。

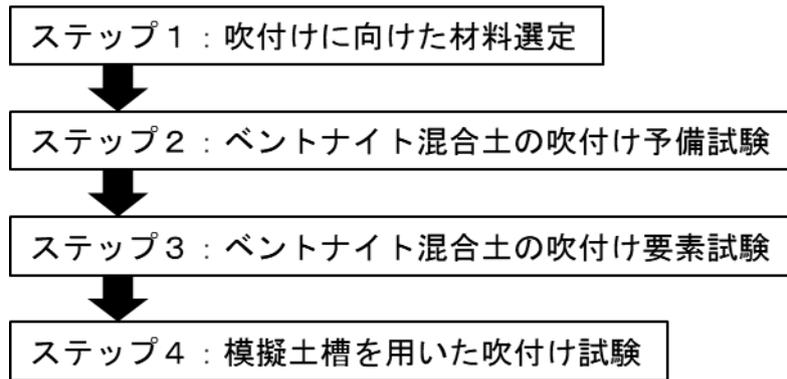


図 4.3.2-2 平成 29 年度までの上部開放部の充填技術の整備フロー

4.3.3 幌延 URL における上部開放部を対象とした隙間充填技術の実証試験

(1) 実証試験概要

幌延 URL における上部開放部の隙間充填技術の実証試験では、伸縮アーム式の吹付け機械による吹付けにより隙間を充填した。上部開放部の隙間充填材は吹付け用ベントナイト混合土とし、製造プラントを仮設して、二軸強制ミキサーにより材料を製造（混合）した。なお、ベントナイト混合土の配合は、ベントナイト：ケイ砂（3号+5号）＝50%：50%、最適含水比（約16%）である。また、上部開放部の隙間充填材の製造後、充填試験を開始するまでの期間は、隙間充填材をフレキシブルコンテナパック（以下「フレコン」という）に収納し保管した。上部開放部の吹付け充填に係るデータとして、3D スキャナを用いて計測した充填体積と充填材重量から求めた乾燥密度や、誘電率計測法およびコアサンプリングから乾燥密度を取得し、目標の乾燥密度 1.60Mg/m^3 に対するバラつき等を示した。また、回収したリバウンド材の重量計測から、吹付け量に対するリバウンド率を算出した。

図 4.3.3-2 に幌延 URL 試験坑道 2 上部開放部の充填範囲図を示す。なお、下部狭隘部と上部開放部の境界には、鉄板を設置し（図 4.3.3-1）、各々の充填技術の実証試験に対して区分を分けている。



図 4.3.3-1 下部狭隘部と上部開放部の境界に設置した鉄板

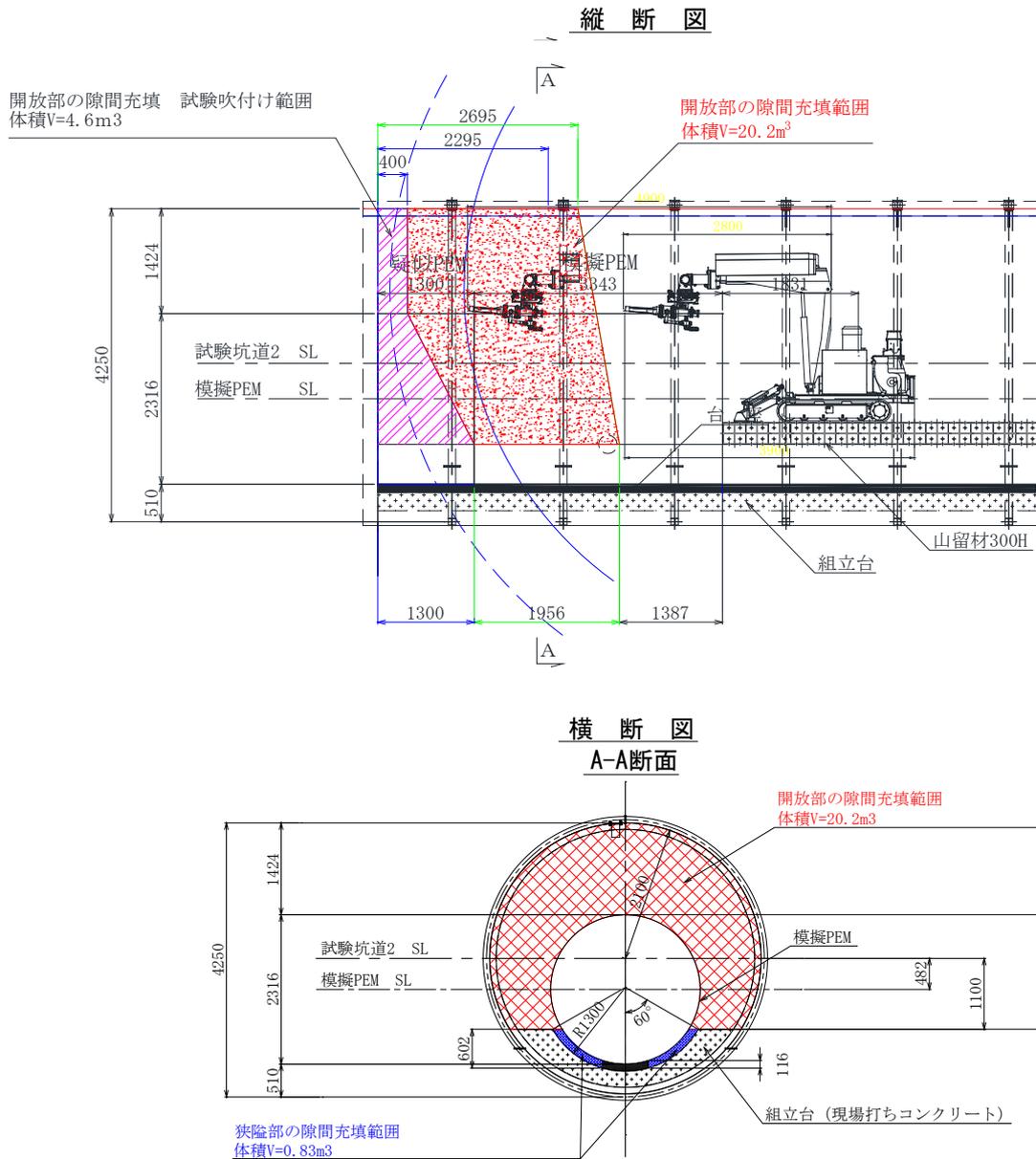


図 4.3.3-2 幌延 URL 試験坑道 2 上部開放部の充填範囲図

図 4.3.3-3 に上部開放部の実証試験フローを示す。地上で製造した隙間充填材を地下の試験坑道 2 に搬入・運搬し、その隙間充填材を吹付け装置に供給、伸縮アーム式の吹付け機械を用いて、吹付けを実施した。ノズルワークや機械配置等を確認する「試験吹付け」を試験坑道の奥部（図 4.3.3-2 の縦断図のうち、紫ハッチ部）にて行い、その後「本吹付け」により開放部の充填を実施した。なお、吹付け数量は、試験吹付けで約 5m^3 、本吹付けで約 20m^3 である。試験吹付けの終了後、3D スキャナによる充填体積の計測を行い、本吹付けを開始した。本吹付けでは、午前の終了後にコアサンプリング・誘電率計測、1 日の作業終了時にコアサンプリング・誘電率計測、3D スキャナによる体積計測を行った。サンプリング試料は後日、室内試験を行い乾燥密度等のデータを取得した。

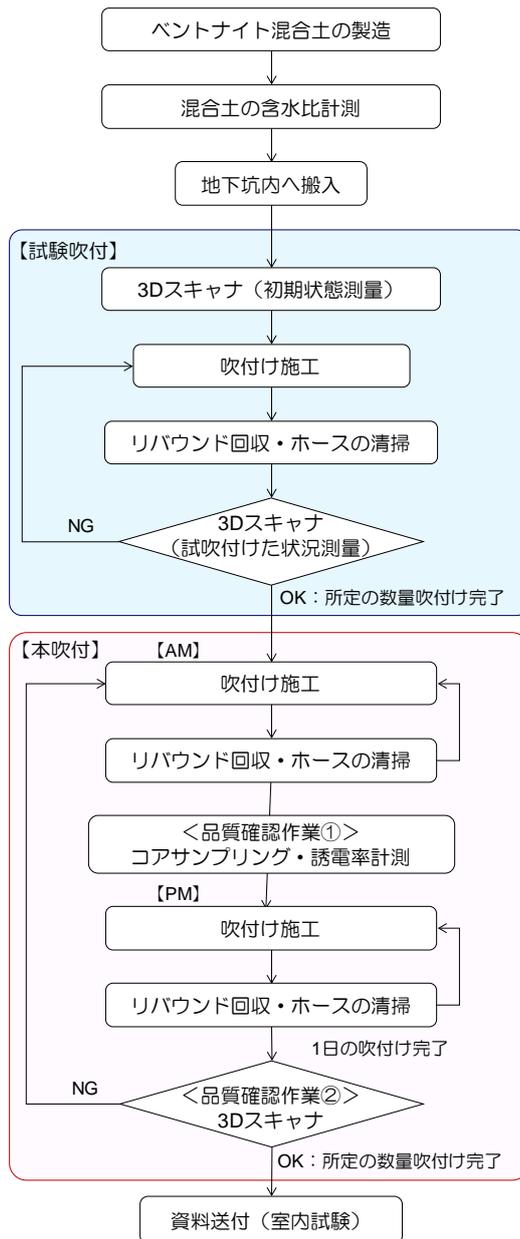


図 4.3.3-3 上部開放部 実証試験フロー

(2) 上部開放部の隙間充填に係る全体設備

図 4.3.3-4 に上部開放部の隙間充填に係る全体設備の機械配置を示す。地上に隙間充填材製造プラント設備を設置し、ベントナイト混合土の製造・ふるい・一時保管を行った。地下には、吹付けプラント設備を設置し、伸縮アーム付き吹付け機械および吹付け機による充填を実施した。

【地上設備：隙間充填材製造プラント設備】

- ① ホッパー
- ② 混練ミキサー（二軸強制ミキサー）
- ③ ふるい

【地下設備：吹付けプラント設備】

- ④ 伸縮アーム付き吹付け機械（MINIMEC）
- ⑤ 吹付け機（ニードガン）
- ⑥ ホッパー

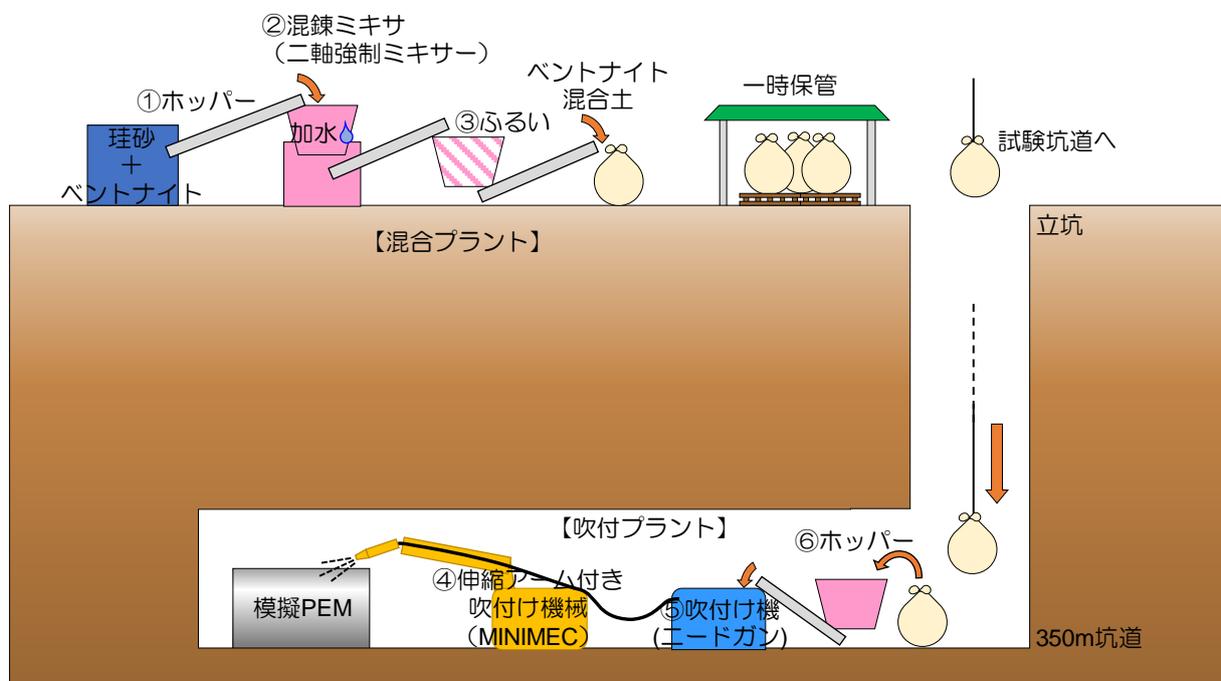


図 4.3.3-4 上部開放部の隙間充填に係る全体設備・機械配置

(3) 隙間充填材製造プラント設備（地上）の設置

隙間充填材の製造プラント設備を西建屋内に仮設した。隙間充填材製造プラント設備のうち、ケイ砂混合プラントの配置図、写真を図 4.3.3-5、図 4.3.3-6 に示す。

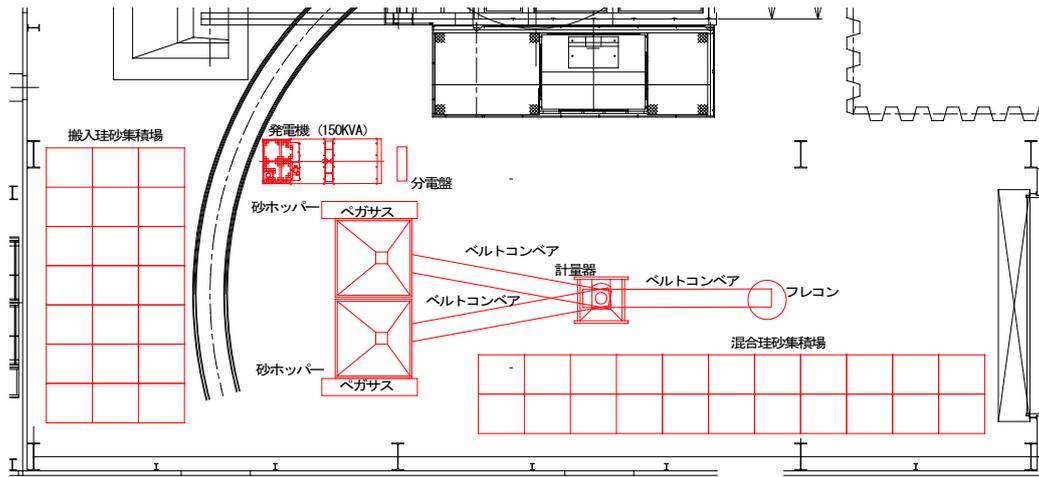


図 4.3.3-5 ケイ砂混合プラント設備 配置図



図 4.3.3-6 ケイ砂混合プラント

ケイ砂混合プラントによる作業の終了後、プラントを撤去し、続いてベントナイト混合プラントを西建屋内に仮設した。ベントナイト混合プラントの配置図、写真を図 4.3.3-7、図 4.3.3-8 と図 4.3.3-9 に示す。ケイ砂混合プラントおよびベントナイト混合プラントに使用した主要機械を表 4.3.3-1 に示す。

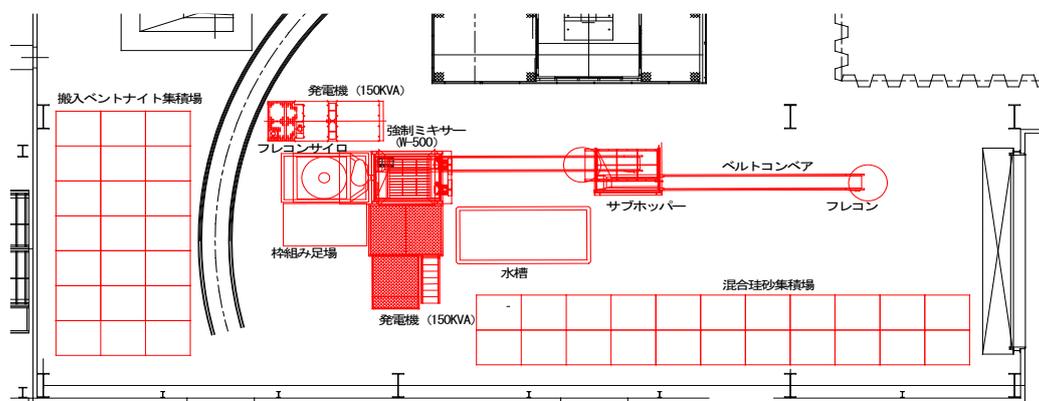


図 4.3.3-7 ベントナイト混合プラント設備 配置図



図 4.3.3-8 ベントナイト混合プラント



図 4.3.3-9 ベントナイト混合プラントのうちベントナイト計量用サイロ

表 4.3.3-1 隙間充填材製造プラント設備 主要機械

機械名	仕様	数量
2 軸強制ミキサー	W-500	1
材料ホッパー		4
計量用サイロ	OFK-1.5	1
ベルトコンベヤ	7m	4
ベルトコンベヤ	5m	2
発電機	150KVA	1
コンプレッサー	50HP	1
計量器		1
ボイラー水槽		1
容積式流量計	FD-Q32C	1
水中ポンプ		1
投光器		4
高圧洗浄機		1
集塵機		4
ヒーター		10
フォークリフト	1.5t	1

(4) 隙間充填材の製造・坑内への運搬

吹付け方式による上部開放部の隙間充填に用いる隙間充填材は、Na型ベントナイト（クニゲルV1：山形県産、クニミネ工業製）とケイ砂（3号、5号：岐阜県産、竹折礫業所）を乾燥重量比で50：50（Na型ベントナイト：ケイ砂（3号：5号）=50：50）で混合した材料である。隙間充填材の製造フローを図4.3.3-10に示す。

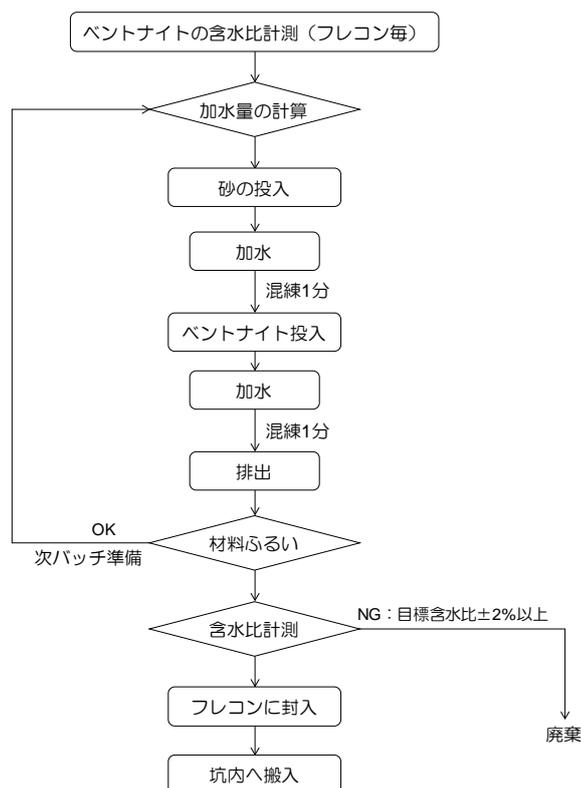


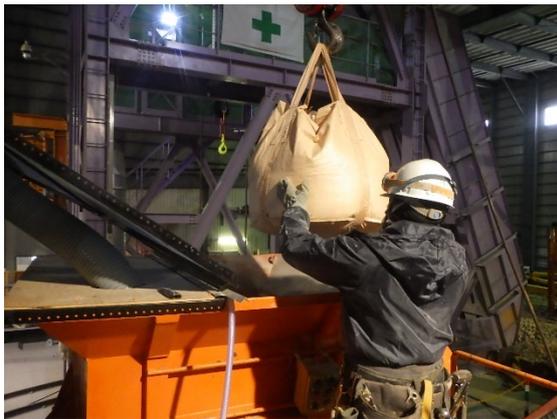
図 4.3.3-10 隙間充填材の製造フロー

まず、ベントナイトおよびケイ砂の含水比計測を行い、加水量を算出した。計量したベントナイト、ケイ砂、混合水を二軸式の強制ミキサーに投入し、材料を混合した。なお、ケイ砂は図4.3.3-5に示したケイ砂混合プラントにて、あらかじめ1バッチ分（3号+5号の等重量）を計量し、フレコンに収納しておき、天井クレーンを用いて二軸強制ミキサー内に投入した。ベントナイトは、図4.3.3-9に示したベントナイト計量用サイロから設定量が直接、二軸強制ミキサーへ投入される仕組みとした。水の計量には水量計を用い、シャワー式の添加装置を用いて二軸強制ミキサーへ水を投入した。隙間充填材の1バッチ当たりの基本配合を表4.3.3-2に示す。なお、隙間充填材の含水比は、昨年度までの成果を基に、最適含水比15.8%±2.0%以内とした。

混合した隙間充填材は3cm目の篩い付きホッパーで篩い後、含水比の確認（最適含水比15.8%±2.0%以内）を行い、フレコン（0.5m³）へ収納し保管した。

表 4.3.3-2 隙間充填材 混合時の1バッチ当たりの基本配合

材料名	仕様	乾燥重量 (kg)	備考
ベントナイト	クニゲル V1	160	クニゲル V1
ケイ砂	3号	80	岐阜県産
	5号	80	岐阜県産
水	工水 (井戸水)	50.6	混合後の含水比として $w_{opt}:15.8\%$ を設定



二軸強制ミキサー内へのケイ砂の投入



ベントナイト計量用サイロ



二軸強制ミキサー



二軸強制ミキサー内への加水

図 4.3.3-11 隙間充填材の製造状況 (1/2)



混合後の隙間充填材



フレコンへ収納

図 4.3.3-12 隙間充填材の製造状況 (2/2)

地上の西建屋で製造した隙間充填材を東建屋に移動した後、専用の揚重設備（キブル）を使用し、地上から地下 350m の東立坑ステージに荷卸した。地下 350m 東ステージでは、クレーンスケールを用いて、フレコン 1 袋毎に重量を計量した。その後、実証試験場所の試験坑道 2 まで、ハンドパレットや電動トロリー等を用いて、坑内運搬を行った。地上及び地下での隙間充填材の運搬状況を図 4.3.3-13、図 4.3.3-14 に示す。なお、製造した隙間充填材は、順次地下坑内へ運搬し、製造当日中に吹付けに使用した。また、フレコンに収納した隙間充填材は、材料の自重による圧縮の影響を避けるため、積み重ねを行わず、平置きとした。



地上 運搬前



地上 運搬

図 4.3.3-13 隙間充填材の運搬状況 (1/2)



東建屋 荷卸し



東立坑内 荷卸し



地下 350m 東立坑ステージ 荷受け



地下 350m 東立坑ステージ 計量



地下 350m 周回坑道 運搬



地下 350m 試験坑道 2 保管

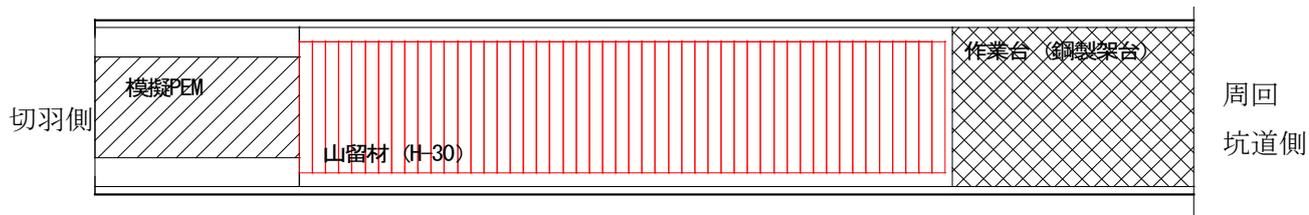
図 4.3.3-14 隙間充填材の運搬状況 (2/2)

(5) 吹付けプラント設備（地下）の設置

1) 作業床の設置

地下 350m 坑道 試験坑道 2 内に、吹付けプラント設備を設置するための作業床を仮設した。具体的には、模擬 PEM 前面の組立台コンクリートに山留材を敷設し、作業床とした。作業床の設置計画図を図 4.3.3-15 に、設置状況写真を図 4.3.3-16 に示す。

【試験坑道 2 平面図】



【試験坑道 2 断面図】

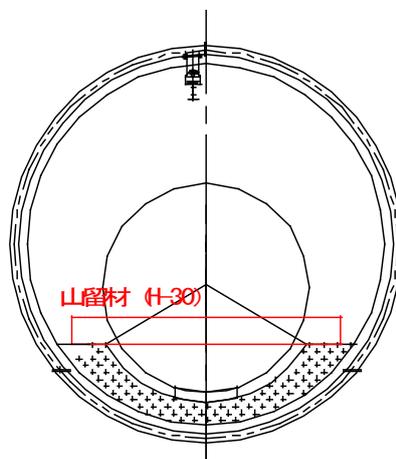


図 4.3.3-15 作業床（山留材）の設置計画図



作業床（山留材）の設置状況



作業床（山留材）設置後

図 4.3.3-16 作業床（山留材）の設置状況

2) 坑道内楊重用レール（I ビーム）等の撤去

試験坑道 2 内における上部開放部の充填範囲内となる坑道内楊重用レール（I ビーム）や換気用風管等の坑内設備を事前に撤去した。坑道内楊重用レール（I ビーム）撤去範囲図を図 4.3.3-17、撤去前後の状況を図 4.3.3-18 に示す。

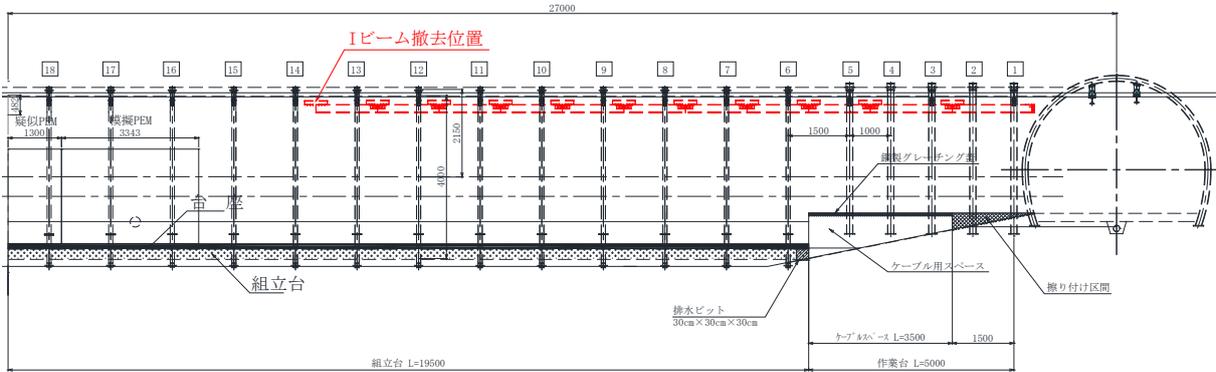


図 4.3.3-17 坑道内楊重用レール（I ビーム）撤去範囲



(a) 撤去前



(b) 撤去後

図 4.3.3-18 I ビーム撤去前後の状況

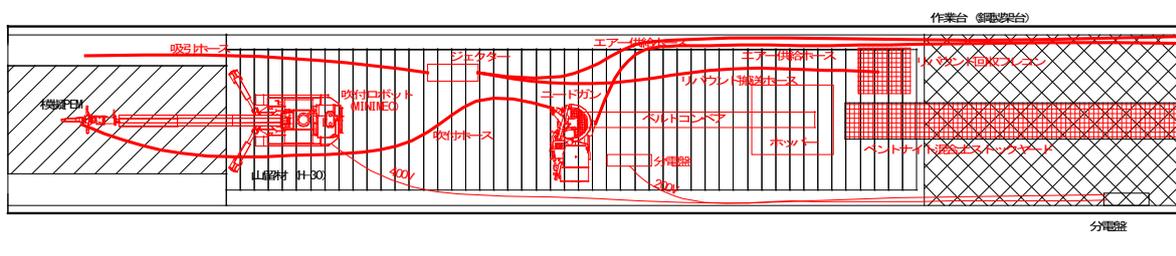
3) 吹付けプラント設備の設置

表 4.3.3-3 に吹付けプラント設備の主要機械を示す。これらの機械を坑道内へ搬入し、吹付けプラント設備を試験坑道 2 内に設置した。なお、設備類の稼働に必要な圧縮空気 (19m³/min, ドライ) や電力 (200V 及び 400V) については、坑内の既設備を利用した。また、搬入する機械の最大寸法は、東周回坑道の風門通過可能サイズを考慮して、横幅 1.8m×高さ 2.0m 以内のものとした。図 4.3.3-19 に吹付けプラントの設置図、図 4.3.3-20、図 4.3.3-21 に主要機械の写真、表 4.3.3-4 に伸縮アーム式の吹付け機械の仕様を示す。

表 4.3.3-3 吹付けプラント設備の主要機械

機械名	仕様	数量	備考
吹付け機械	ニードガン 200V	1	重量 約 1t
伸縮アーム式吹付け機械	MINIMEC 400V	1	重量 約 1.8t
ベルトコンベヤ	5m, 幅 350mm	2	重量 約 0.2t/台
材料ホッパー		2	重量 約 1t/台
レシーバータンク		1	重量 約 0.5t
長距離空気搬送機	ジェクター JT-75	1	
山留材	3.5m×25 本 3.0m×25 本	50	作業床

【試験坑道 2 平面図】



【試験坑道 2 縦断図】

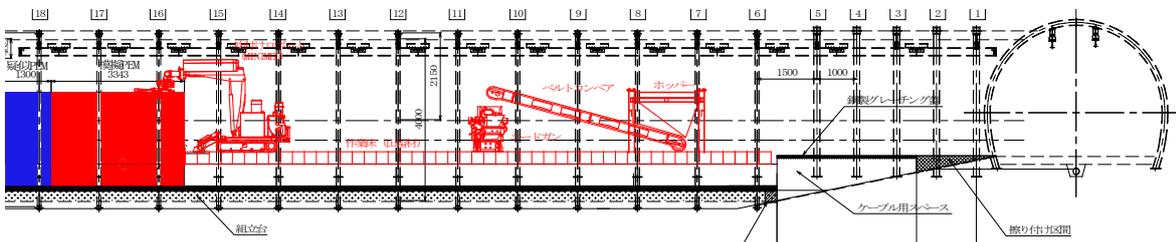


図 4.3.3-19 吹付けプラント設備の設置図



吹付け機械 (ニードガン)



伸縮アーム式吹付け機械 (MINIMEC)

図 4.3.3-20 吹付けプラント設備の主要機械 (1/2)



ベルトコンベア



材料ホッパー



長距離空気搬送機（ジェクター）

図 4.3.3-21 吹付けプラント設備の主要機械 (2/2)

表 4.3.3-4 伸縮アーム式吹付け機械 (MINIMEC) 仕様

項目	用途・仕様	備考
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	吹付け距離 1500mm を含む 図 4.3.3-22 [4]
ブーム油圧システム	電気-油圧：7.5kW/50Hz/1450rpm	

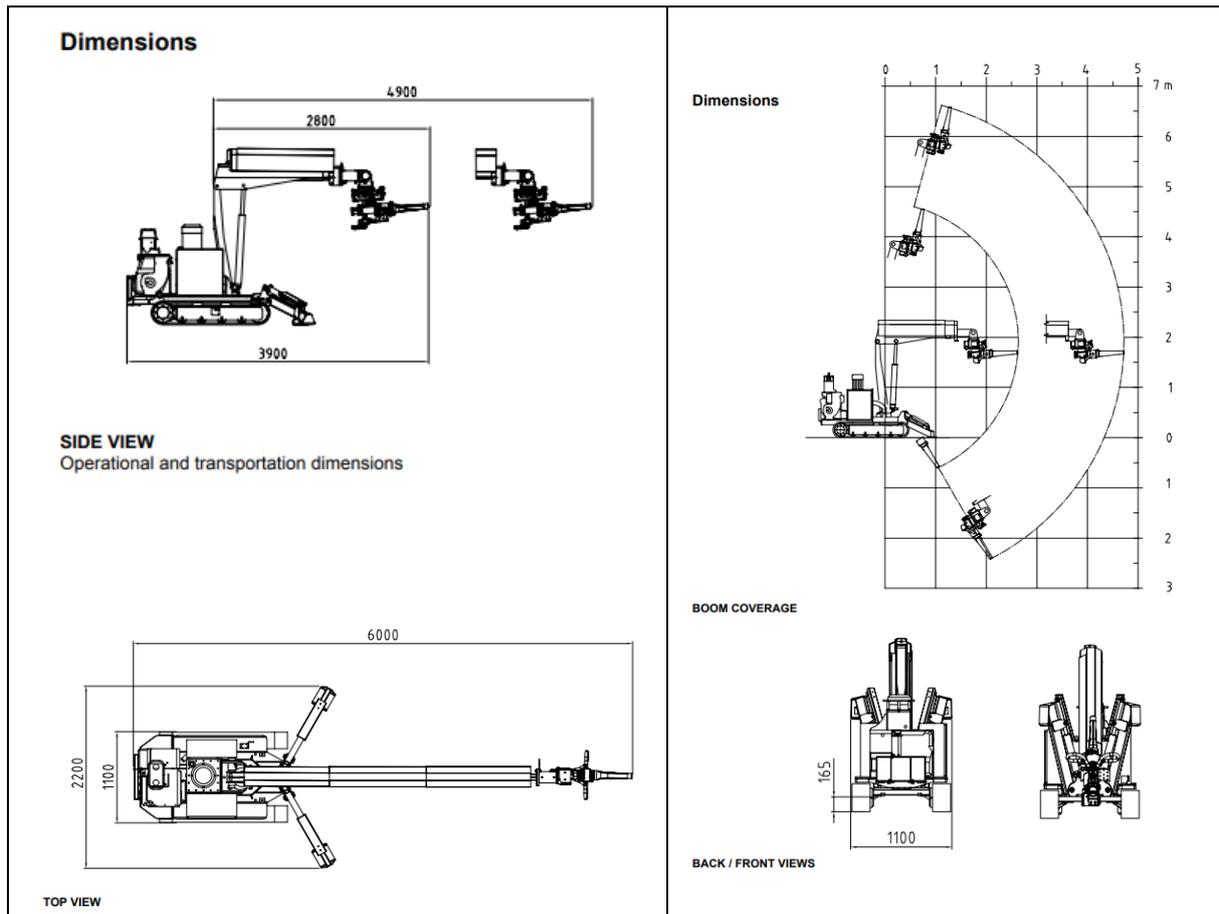


図 4.3.3-22 伸縮アーム式吹付け機械 (MINIMEC) 稼働範囲図 [4]

(6) 上部開放部の隙間充填（吹付け）

上部開放部の充填材料および目標の乾燥密度を表 4.3.3-5 に示す。上部開放部の吹付けによる隙間充填は、平成 29 年度までに実施した予備試験等から把握した、目標の乾燥密度を達成するための基本設定値（表 4.3.3-6）[3]を基に、吹付け機械（ニードガン）、伸縮アーム式の吹付け機械（図 4.3.3-20）等を用いて実施した。

表 4.3.3-5 上部開放部の充填材料および目標の乾燥密度（再掲）

対象部位	充填材料	目標の乾燥密度
上部開放部	ベントナイト：ケイ砂=50：50	乾燥密度 1.60Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.15Mg/m ³)

表 4.3.3-6 吹付けパラメータと設定値[3]

吹付けパラメータ	設定値	備考
吹付け機械の回転数	5rpm	機械側で設定
空気圧縮機のエア量	10～12m ³ /min	デジタルフロースイッチで計測
吹付けノズルから吹付け面までの距離	1.2m 以内	距離計（パトランプ）による確認 オペレータの操作技量を含む
吹付けノズルから吹付け面までの角度	法面に対し直角	オペレータの操作技量を含む

吹付けノズルから吹付け面までの距離を確認するための距離計をノズル根本部に設置し、設定値（1.2m）以内の距離となる場合は青色、設定値（1.2m）を超える距離の場合は赤色を点灯させるパトランプを伸縮アーム式の吹付け機械に設置し、吹付けパラメータの確認の一助とした。図 4.3.3-23 に距離計およびパトランプの設置状況を示す。



距離計の設置状況



パトランプ設置状況

図 4.3.3-23 距離計、パトランプ設置状況

吹付け数量を表 4.3.3-7、吹付けの範囲を図 4.3.3-24 に示す。なお、範囲図中の赤ハッチ部を、密度管理を伴う吹付け範囲（本吹付け）、マゼンダ部を密度の規定なしの試験吹付け範囲とした。試験吹付け範囲で、オペレータのノズル操作に関する習熟訓練を経て、本吹付けを実施した。

表 4.3.3-7 吹付け数量

項目	数量（設計）	備考
開放部の隙間充填	20.2m ³	目標充填乾燥密度：1.60Mg/m ³
開放部の隙間充填 （試験吹付け）	4.6m ³ 以内	目標充填乾燥密度の規定なし

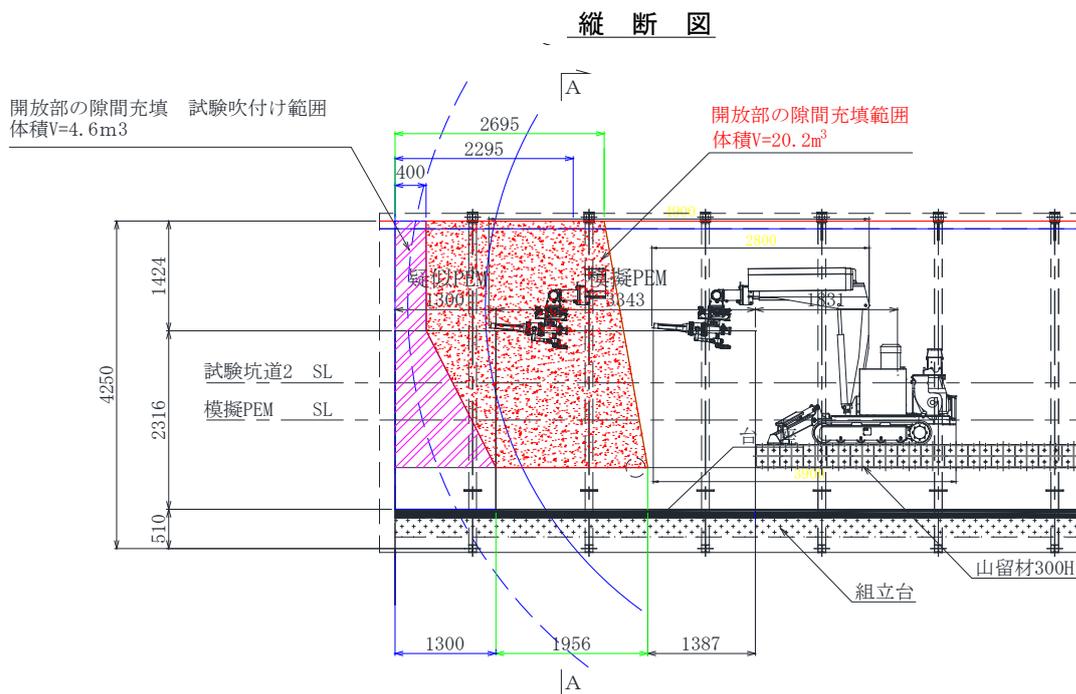


図 4.3.3-24 吹付け範囲（再掲）

吹付けの手順を以下に示す。まず、隙間充填材を材料ホッパー内に供給し、ベルトコンベアを介して吹付け機械（ニードガン）に隙間充填材を送る。次に、圧縮空気を原動力として、吹付け機械（ニードガン）から隙間充填材をホース（3インチ）内に圧送し、伸縮アーム式吹付け機械のノズル先端より噴射、対象箇所への吹付けを行う。

なお、地上での隙間充填材の製造状況に応じて、フレコン3袋（約900kg）～5袋（約1500kg）毎に吹付けを行い、リバウンド材の回収を行った。リバウンド材の回収には主に長距離空気搬送機（ジェクター）を用いて行い、必要に応じて人力でのリバウンド材の回収を行った。一連の吹付け作業状況を図 4.3.3-25 に示す。



充填材の材料ホッパーへの供給



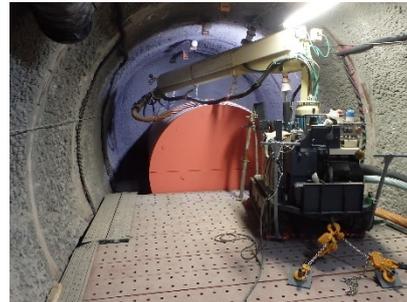
材料ホッパーから吹付け機械への材料供給



吹付け機械からノズル先端への材料圧送



ノズル先端



伸縮アーム式吹付け機械による
吹付け状況



長距離空気搬送機（ジェクター）によるリバウンド捕集、クレーンスケールでの計量

図 4.3.3-25 一連の吹付け作業

(7) 充填品質確認

1) 管理項目

上部開放部の隙間充填に係る管理項目を表 4.3.3-8 に示す。

表 4.3.3-8 管理項目 一覧

分類	項目	基準・標準類 (確認方法)	管理基準値	管理 or 確認	実施時期	数量
品質管理 (材料)	締め特性	JIS A 1210	—	確認	前年度に 取得済	—
	含水比 (ベントナイト)	赤外線水分計	—	確認	混合前	1点/フレコン
	含水比 (ケイ砂)	赤外線水分計	—	確認	混合前	3点/全体
	含水比 (ベントナイト 混合土)	赤外線水分計	$W_{opt} 15.8 \pm 2\%$ 以内	管理	混合後	1点/フレコン
	ベントナイト 混合率	JBAS 107-91	50%	確認	混合後	1点/フレコン
施工管理	重量	(クレーンスケール)	—	確認	吹付け前	1点/フレコン
	吹付け距離	(レーザー距離計)	1.2m 以内	確認	吹付け時	—
	吹付け角度	(目視)	吹付け面に対し 90度	確認	吹付け時	—
	吹付け機械 回転数	(目視)	5rpm	確認	吹付け時	—
	吹付け機械への エア量	(デジタルフロースイ ッチ計測値の目視)	10~12m ³ /min	確認	吹付け時	—
	リバウンド量・率	(クレーンスケール)	—	確認	リバウンド回収後	1施工単位ごと
品質管理 (施工後)	乾燥密度	(3D スキャナ計測)	(目標値) 1.6Mg/m ³	確認	午後の 吹付け作業後	—
		(コアサンプリング、 試料による試験)			午前/午後の 吹付け作業後	20個程度/日
		(誘電率計測)			午前/午後の 吹付け作業後	コアサンプリング箇 所×4点
	含水比	JIS A 1203 (コアサンプリング 試料による試験)	—	確認	午前/午後の 吹付け作業後	20個程度/日
	ベントナイト 混合率	JBAS 107-91 (コアサンプリング 試料による試験)	50%	確認	午前/午後の 吹付け作業後	20個程度/日
その他	サイクルタイム	(ストップウォッチ)	主要工程の 所要時間記録	—	施工時	日常記録
	地上建屋・坑内 環境データ	(温湿度計)	—	—	常時	日常記録

2) 品質管理 (材料)

材料の品質管理の参考データとして、前年度に取得した隙間充填材の突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) の結果を図 4.3.3-26 に示す。

表 4.3.3-9 にベントナイトおよびケイ砂の混合前の含水比の結果を示す。ベントナイト混合土の製造 (混合) に際し、ベントナイトが収納されたフレコン毎に、ベントナイトの含水比を測定した。その含水比に基づき、1 バッチの混合毎に加水量を算出した。なお、ケイ砂の含水比については、混合前に 3 点測定し 0.2% となったことから、ケイ砂の含水比を 0% とした。ベントナイト混合土の 1 バッチ当たりの混合条件を表 4.3.3-10 に示す。混合後に、各フレコンから 1 点サンプリングを行い、含水比およびベントナイト混合率を測定した。混合後の含水比の測定結果を図 4.3.3-27 に、ベントナイト混合率の測定結果を図 4.3.3-28 に示す。

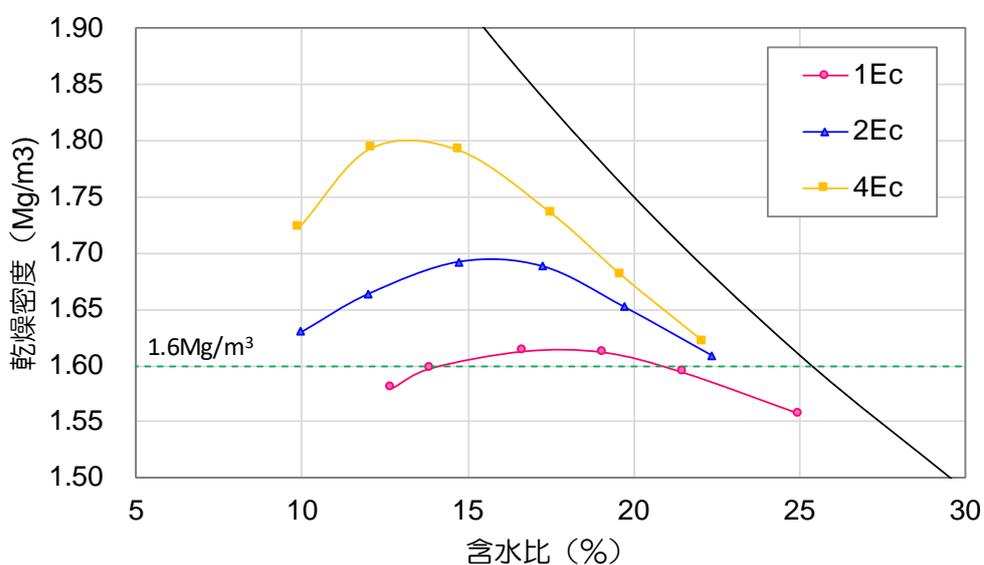


図 4.3.3-26 隙間充填材の突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210)

表 4.3.3-9 使用材料の含水比測定結果 (混合前)

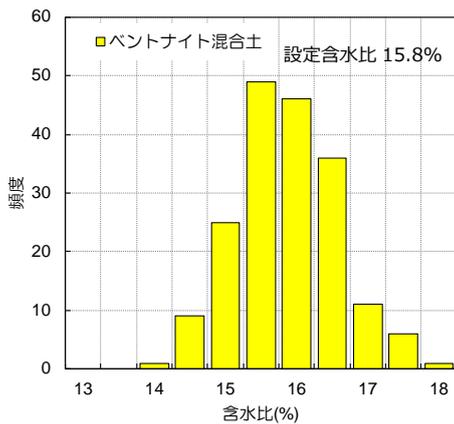
材料名	仕様	含水比 (%)	備考
ベントナイト	クニゲル V1 クニミネ工業 (株)	7.5%(平均)	混合前の測定結果 フレコン毎に 1 点測定
ケイ砂	3 号 岐阜県産、竹折礫業所	0.2%	混合前に 3 点測定
ケイ砂	5 号 岐阜県産、竹折礫業所	0.2%	混合前に 3 点測定

表 4.3.3-10 ベントナイト混合土の混合条件

隙間充填材	含水比・混合率の設定			
	含水比(%)	ベントナイト混合率 (%)	砂 (3号)混合率(%)	砂 (5号)混合率(%)
ベントナイト+砂	15.8	50	25	25

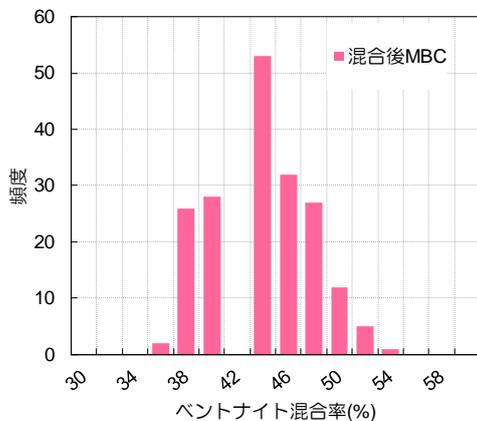
以下の混合条件は、ベントナイトの含水比が7.5%の場合の条件を示した。実際は、ベントナイトの含水比測定結果を基に、1バッチの混合毎に加水量を算出した。

1バッチあたり混合重量	混合条件			
	ベントナイト	砂 (3号)	砂 (5号)	加水量
含水比	7.5%	0%	0%	—
材料投入量 (kg)	171	80	80	—
乾燥重量 (kg)	160	80	80	—
水分量(kg)	11	0	0	—
加水量 (kg)	—	—	—	40
仕上がり量 (kg)	371			



混合土初期含水比	
平均	15.62
標準偏差	0.70
中央値	15.61
範囲	3.66
最大値	17.64
最小値	13.98
標本数	184

図 4.3.3-27 ベントナイト混合土の含水比結果 (混合後)



ベントナイト混合率	
平均	43.0
標準偏差	3.7
中央値	42.2
範囲	18.5
最大値	53.8
最小値	35.3
標本数	186

図 4.3.3-28 ベントナイト混合率の結果 (混合後)

ベントナイト混合土の含水比は平均で 15.6%、バラつきの範囲は 14.0~17.6%、標準偏差は 0.70 と非常に小さい結果となり、管理基準値とした 15.8%±2%に収まる結果を得た。

ベントナイト混合土の混合率は平均で 43.0%、バラつきの範囲は 35.3~53.8%、標準偏差は 3.7 となり、設定の混合率 50%に対して平均値は 7%程低い値となった。

3) 施工管理

上部開放部の吹付けによる充填前後の状況を図 4.3.3-29 に示す。吹付けの施工中は、吹付け距離は 1.2m 以内、吹付け角度については、吹付け面に対し 90 度を管理項目とした。しかしながら、本実証試験においては、両管理項目は、伸縮アーム式吹付け装置のノズルを操作するオペレータの技量による現場依存要因を含むものである。表 4.3.3-11 に、吹付けで使用した全材料重量、リバウンド量、吹付け重量（ノズル吐出した全材料重量－リバウンド重量）、吹付け時間およびリバウンド回収時間を示す。総時間はホースの閉塞等に対応した時間も含んだ値を示している。

ノズルから吐出し、吹付けに使用した全材料重量は約 56t、そのうちリバウンド量が約 18t、吹付けた重量は約 38t であり、施工時間として吹付けのみに要した時間は約 15 時間、吹付け+回収+ホースの閉塞等の対処に要した総時間は約 29 時間であった。



吹付け充填前（正面）



吹付け充填前



吹付け充填後（正面）



吹付け充填後

図 4.3.3-29 上部開放部の吹付けによる充填前後

表 4.3.3-11 上部開放部の吹付けによる充填結果

吹付け 施工全体	a	b	a-b			
	ノズル吐出 した全材料 重量 (kg)	リバウンド 重量 (kg)	吹付け重量 (kg)	吹付け時間 (hr)	回収時間 (hr)	総時間* (hr)
合計	56,036	18,159	37,877	15.3	9.7	29.0

*ホースの閉塞など対応時間を含む

リバウンド率=リバウンド重量 (捕集重量+ホース内残土重量) / ノズル吐出した全材料重量とし、本試験では、リバウンド率は、33%=18,159kg/56,036kg となった。

4) 品質管理 (施工後)

a 施工後の品質管理概要

施工後の品質管理として、コアサンプリングおよび誘電率計測による乾燥密度の算出を行った。併せて、3D スキャナによる体積計測を実施し、吹付けた体積および重量から乾燥密度の算出を行った。コアサンプリングおよび誘電率計測は、午前・午後の吹付け作業後を基本とし、表 4.3.3-12 の通り実施した。一方、3D スキャナによる計測は、吹付けの施工開始前の坑道形状を初期状態として計測、1 日の作業終了後の吹付け形状を日々測定し、その差分から日々の吹付け体積を算出した。コアサンプリングおよび誘電率計測の箇所の説明図を図 4.3.3-30 に示す。コアサンプリング箇所の上下左右の 4 ヲ所を誘電率計により計測した。

表 4.3.3-12 品質管理の実施時期 一覧

計測日	乾燥密度(Mg/m ³)		
	3D スキャナ	誘電率	コアサンプリング
1/11PM	○	○	○
1/15AM	—	○	○
1/15PM	○	○	○
1/16AM	—	○	○
1/16PM	○	○	○
1/17AM	—	○	○
1/17PM	○	○	○
1/18PM	○	○	○
1/21PM	○	○	○
1/22PM	○	○	○

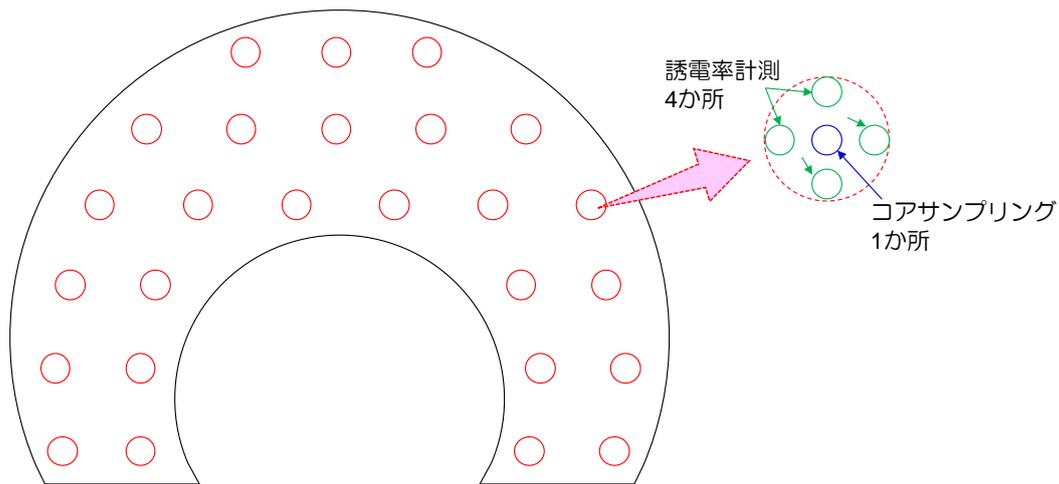


図 4.3.3-30 コアサンプリングおよび誘電率計測箇所 説明図

コアサンプリングの状況を図 4.3.3-31 に示す。サンプリングには、直径 50mm×高さ 25mm のサンプリング容器を使用した。採取した試料は、室内試験にて乾燥密度および含水比試験（JIS A 1203、JGS 0122-2009）、ベントナイト混合率の確認としてメチレンブルー吸着量試験（JBAS 107-91）を実施した。



コアサンプリング用具



コアサンプリング（φ50mm*h25mm）

図 4.3.3-31 コアサンプリング

誘電率計測には図 4.3.3-32、表 4.3.3-13 に示す SM150 を使用した。計測は図 4.3.3-33、図 4.3.3-34 に示すように、コアサンプリング位置の周囲 4 か所をそれぞれ縦向き横向きの 2 回計測を行い、平均値を求めた。すなわちコアサンプリング 1 点につき誘電率計測は 8 回行った。誘電率計により乾燥密度を求めるため、対象試料の誘電率計出力電圧と体積含水率の検量線を事前に求めた。作成した検量線を式 4-1 および図 4.3.3-35 に示す。なお検量線取得方法については「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 報告書（第 2 分冊）」[3]を参照されたい。



図 4.3.3-32 誘電率計 (SM150T)

表 4.3.3-13 SM150 仕様

項目	仕様
測定精度	±3.0% (体積含水率) 但し体積含水率が 0~70%の範囲、 0~60°Cの温度環境下で
測定範囲 (電圧出力範囲)	0~1V 体積含水率換算で約 0~60%の範囲
電源	5~14VDC 測定時間 0.5 秒から 1 秒の間に 18mA
使用温度範囲	-20~60°C
試料サイズ (影響範囲)	高さ 55mm×直径 70mm の円筒
寸法	高さ 143mm×直径 40mm (針を含む) 2本の針の間隔は 22mm
重量	77g (ケーブル含まず)

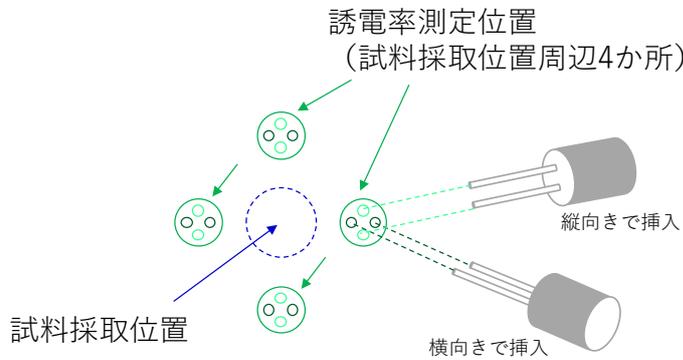


図 4.3.3-33 誘電率計測方法



図 4.3.3-34 誘電率計測状況

$$\theta = 0.120029V + 0.000235$$

ここで、 θ : 体積含水率 [-]、 V : 誘電率計出力値 [mV]

式 4-1

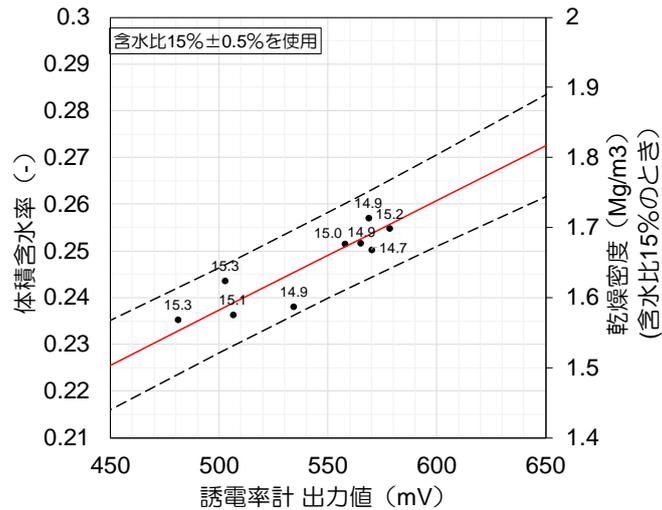


図 4.3.3-35 誘電率計出力値-体積含水率 検量線

また、既往の検討より、測定された出力値は試料の含水比の影響を受けるため、含水比による式の補正を行った。式 4-2 に補正式を示す。なお本補正式では、基準含水比を 15% として補正を行うものとする。

$$\theta' = \theta + 0.000197 * (W - 15) + 0.009459 * (W - 15) \quad \text{式 4-2}$$

ここで、 θ' : 補正後の体積含水率(-)、 W : 試料の含水比(%)

3D スキャナ計測の目的は、吹付け後の形状から吹付け体積を計算することであり、計測したすべてのデータについて座標系を統一する必要がある。よって、計測期間のあいだ不動となる位置を選定し、ここに球形ターゲットを設置し、不動点とした。球形ターゲットは計 5 個をトンネル壁面へ設置した。また 3D スキャナの据え付け位置は、1 回の計測につき中央の 1 か所に据えて実施した場合、PEM の存在によって吹付け面の下部が影となって計測結果に反映されない。よって、1 回の計測につき左端・中央・右端の 3 か所に 3D スキャナを据えて実施し、後にこれを合成した。3D スキャナの外観を図 4.3.3-36、仕様を表 4.3.3-14 に示す。また、3D スキャナによる計測状況およびターゲットの設置状況を図 4.3.3-37 に示す。



図 4.3.3-36 3D スキャナ 外観

表 4.3.3-14 3D スキャナ仕様

項目	仕様
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	±5mm
偏向ユニット	
垂直視	300°
水平視野	360°
垂直解像度 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 0.19mrad(0.011°)(1/e,half angle)
ビーム径(出口)	標準 2.25mm(1/e)
寸法	240×200×100mm
重さ	5.2kg



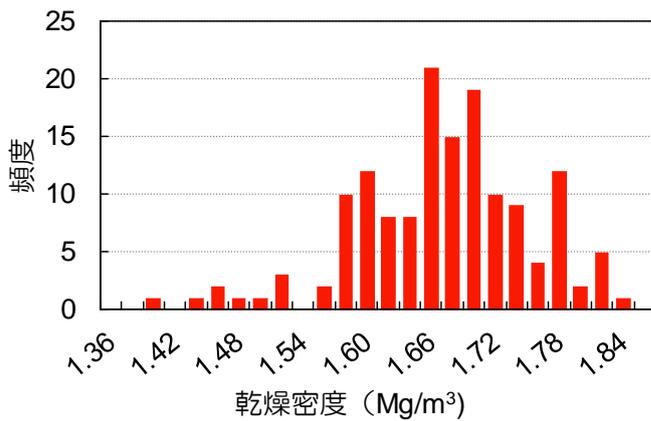
図 4.3.3-37 3D スキャナによる計測 球形ターゲット設置位置 (計 5 点)

b 品質管理結果

(a) コアサンプリング

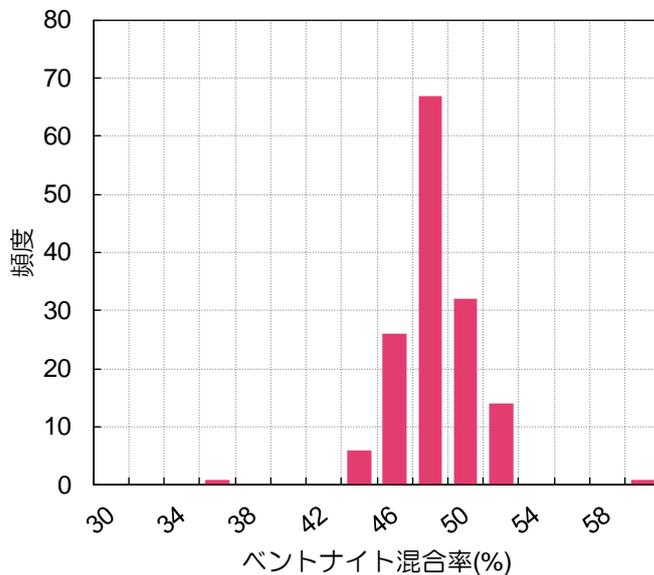
コアサンプリング試料による試験結果(乾燥密度、含水比、ベントナイト混合率)を図 4.3.3-38~図 4.3.3-40 に示す。乾燥密度は 1.39~1.83Mg/m³の範囲でバラつき、平均値は 1.661Mg/m³となり、目標の乾燥密度 1.6Mg/m³を上回る結果となった。ベントナイト混合率については、35.3~58.4%の範囲でバラつき、平均値は 47.2%となり、設定値 50%とほぼ近い結果となった。

含水比は 13.6~19.3%の範囲でばらつき、平均値で 17.0%となり、製造時の平均値 15.62%に比べ、約 1.5%含水比が高くなる結果となった。



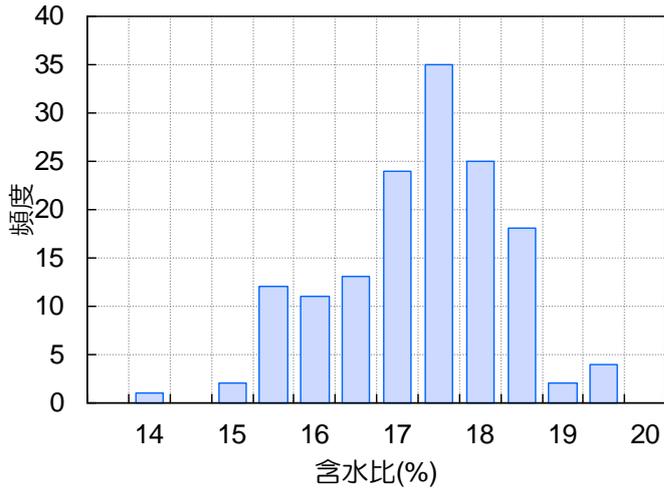
乾燥密度	
平均	1.661
標準偏差	0.08
中央値	1.67
範囲	0.43
最大値	1.83
最小値	1.39
標本数	147

図 4.3.3-38 吹付け施工後の乾燥密度 (コアサンプリング)



ベントナイト混合率	
平均	47.2
標準偏差	2.6
中央値	46.8
範囲	23.1
最大値	58.4
最小値	35.3
標本数	147

図 4.3.3-39 吹付け施工後のベントナイト混合率 (コアサンプリング)



含水比	
平均	17.03
標準偏差	1.00
中央値	17.17
範囲	5.74
最大値	19.33
最小値	13.59
標本数	147

図 4.3.3-40 吹付け施工後の含水比 (コアサンプリング)

1/22 の午後の吹付け作業後のコアサンプルの結果 (サンプル箇所毎の乾燥密度) を図 4.3.3-41 に示す。その他の測定日について、計測箇所と乾燥密度の結果を図 4.3.3-42 に示す。全体的に結果を俯瞰すると、模擬 PEM 側部の隅角部の乾燥密度が低い結果となる傾向が見られた。

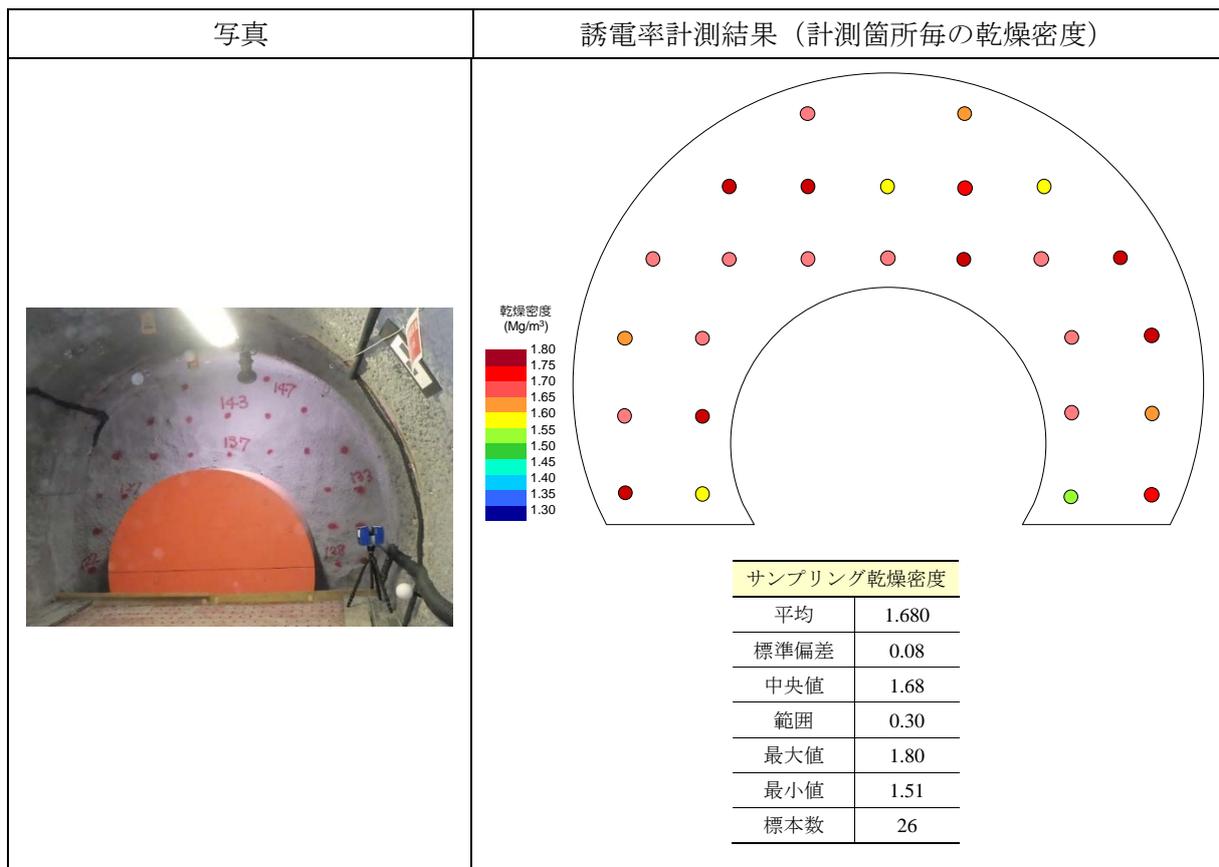


図 4.3.3-41 コアサンプリング結果 (1/22 PM サンプリング箇所毎の乾燥密度)

	写真	コアサンプリング結果 (サンプリング箇所毎の乾燥密度)		写真	誘電率計測結果 (計測箇所毎の乾燥密度)																																
吹付け 施工前		—		1/16 PM 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.641</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.64</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.73</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.57</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.641	標準偏差	0.05	中央値	1.64	範囲	0.15	最大値	1.73	最小値	1.57	標本数	15																
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.641																																				
標準偏差	0.05																																				
中央値	1.64																																				
範囲	0.15																																				
最大値	1.73																																				
最小値	1.57																																				
標本数	15																																				
1/11 PM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.711</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.74</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.83</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.59</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>9</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.711	標準偏差	0.08	中央値	1.74	範囲	0.23	最大値	1.83	最小値	1.59	標本数	9		1/17 AM 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.585</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.59</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.65</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.51</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>9</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.585	標準偏差	0.04	中央値	1.59	範囲	0.14	最大値	1.65	最小値	1.51	標本数	9
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.711																																				
標準偏差	0.08																																				
中央値	1.74																																				
範囲	0.23																																				
最大値	1.83																																				
最小値	1.59																																				
標本数	9																																				
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.585																																				
標準偏差	0.04																																				
中央値	1.59																																				
範囲	0.14																																				
最大値	1.65																																				
最小値	1.51																																				
標本数	9																																				
1/15 AM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.720</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.73</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.81</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.58</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.720	標準偏差	0.07	中央値	1.73	範囲	0.22	最大値	1.81	最小値	1.58	標本数	10		1/17 PM 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.652</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.66</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.31</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.77</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.46</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>12</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.652	標準偏差	0.08	中央値	1.66	範囲	0.31	最大値	1.77	最小値	1.46	標本数	12
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.720																																				
標準偏差	0.07																																				
中央値	1.73																																				
範囲	0.22																																				
最大値	1.81																																				
最小値	1.58																																				
標本数	10																																				
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.652																																				
標準偏差	0.08																																				
中央値	1.66																																				
範囲	0.31																																				
最大値	1.77																																				
最小値	1.46																																				
標本数	12																																				
1/15 PM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.639</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.09</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.66</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.76</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.39</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.639	標準偏差	0.09	中央値	1.66	範囲	0.37	最大値	1.76	最小値	1.39	標本数	15		1/18 PM 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.678</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.69</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.24</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.80</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.56</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.678	標準偏差	0.07	中央値	1.69	範囲	0.24	最大値	1.80	最小値	1.56	標本数	15
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.639																																				
標準偏差	0.09																																				
中央値	1.66																																				
範囲	0.37																																				
最大値	1.76																																				
最小値	1.39																																				
標本数	15																																				
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.678																																				
標準偏差	0.07																																				
中央値	1.69																																				
範囲	0.24																																				
最大値	1.80																																				
最小値	1.56																																				
標本数	15																																				
1/16 AM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.678</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.67</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.80</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.62</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>12</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.678	標準偏差	0.05	中央値	1.67	範囲	0.18	最大値	1.80	最小値	1.62	標本数	12		1/21 PM 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">コアサンプル乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>平均</td><td>1.639</td></tr> <tr><td>標準偏差</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>中央値</td><td>1.66</td></tr> <tr><td>範囲</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>最大値</td><td>1.78</td></tr> <tr><td>最小値</td><td>1.42</td></tr> <tr><td>標本数</td><td>24</td></tr> </tbody> </table>	コアサンプル乾燥密度		平均	1.639	標準偏差	0.10	中央値	1.66	範囲	0.36	最大値	1.78	最小値	1.42	標本数	24
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.678																																				
標準偏差	0.05																																				
中央値	1.67																																				
範囲	0.18																																				
最大値	1.80																																				
最小値	1.62																																				
標本数	12																																				
コアサンプル乾燥密度																																					
平均	1.639																																				
標準偏差	0.10																																				
中央値	1.66																																				
範囲	0.36																																				
最大値	1.78																																				
最小値	1.42																																				
標本数	24																																				

図 4.3.3-42 コアサンプリング結果 (サンプリング箇所毎の乾燥密度)

(b) 誘電率計測

誘電率計測による乾燥密度の結果を図 4.3.3-43 に示す。乾燥密度は 1.12~1.78Mg/m³の範囲でバラつき、平均値は 1.555Mg/m³となった。

1/22 の午後の吹付け作業後の誘電率計測結果（計測箇所毎の乾燥密度）図 4.3.3-44 に示す。その他の測定日について、計測箇所と乾燥密度の結果を図 4.3.3-45 に示す。模擬 PEM 側部の隅角部と模擬 PEM 上側の坑道天端付近の乾燥密度が低い結果となる傾向が見られた。

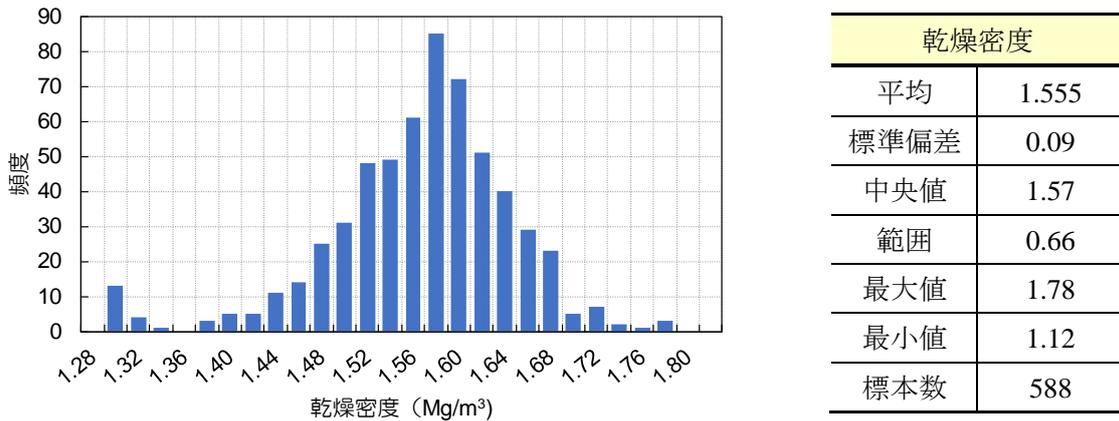


図 4.3.3-43 吹付け施工後の乾燥密度（誘電率計測）

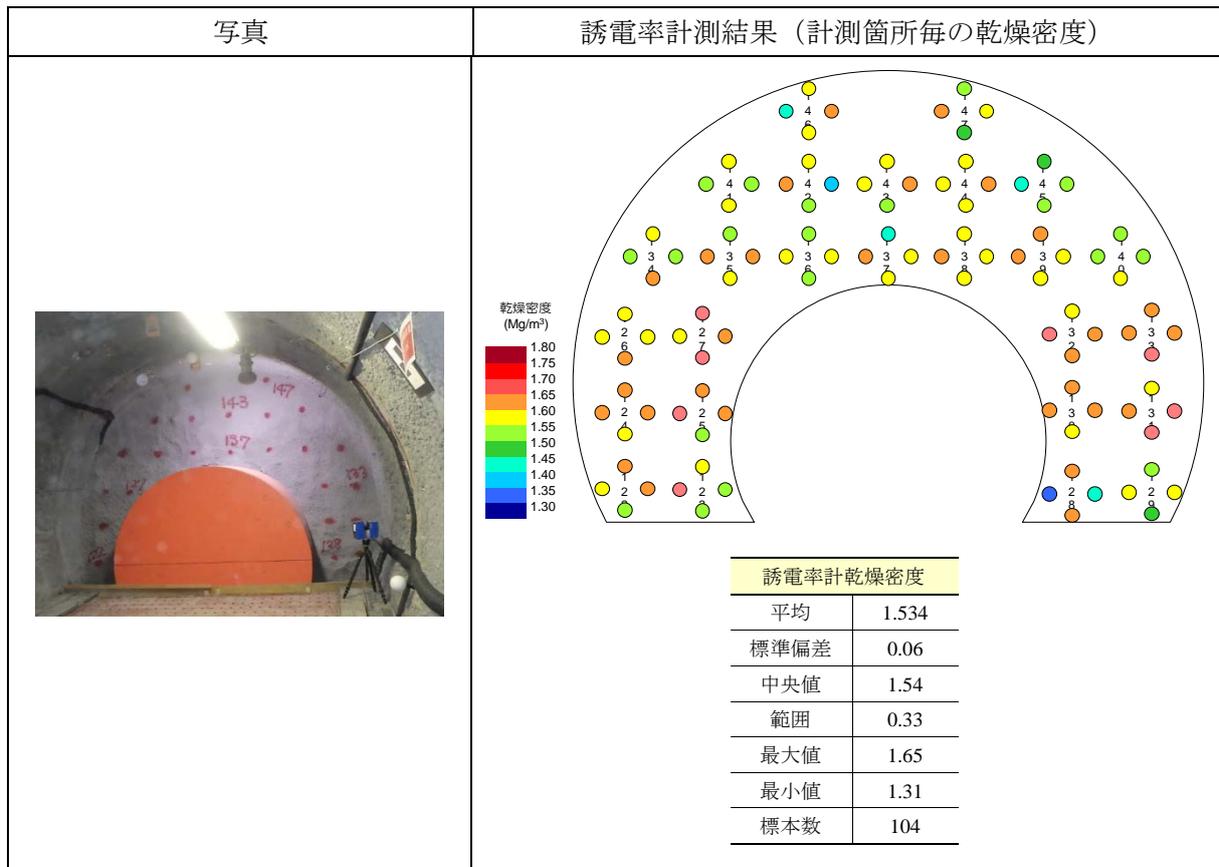


図 4.3.3-44 誘電率計測結果（1/22 PM 計測箇所毎の乾燥密度）

	写真	誘電率計測結果 (計測箇所毎の乾燥密度)		写真	誘電率計測結果 (計測箇所毎の乾燥密度)																																
吹付け 施工前		—			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.522</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.52</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.24</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.42</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.522	標準偏差	0.06	中央値	1.52	範囲	0.24	最大値	1.66	最小値	1.42	標本数	60																
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.522																																				
標準偏差	0.06																																				
中央値	1.52																																				
範囲	0.24																																				
最大値	1.66																																				
最小値	1.42																																				
標本数	60																																				
1/11 PM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.598</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.59</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.22</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.68</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.47</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>36</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.598	標準偏差	0.05	中央値	1.59	範囲	0.22	最大値	1.68	最小値	1.47	標本数	36			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.528</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.52</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.18</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.64</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.46</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>36</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.528	標準偏差	0.04	中央値	1.52	範囲	0.18	最大値	1.64	最小値	1.46	標本数	36
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.598																																				
標準偏差	0.05																																				
中央値	1.59																																				
範囲	0.22																																				
最大値	1.68																																				
最小値	1.47																																				
標本数	36																																				
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.528																																				
標準偏差	0.04																																				
中央値	1.52																																				
範囲	0.18																																				
最大値	1.64																																				
最小値	1.46																																				
標本数	36																																				
1/15 AM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.631</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.63</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.20</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.71</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.51</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.631	標準偏差	0.04	中央値	1.63	範囲	0.20	最大値	1.71	最小値	1.51	標本数	40			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.561</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.57</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.49</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.17</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.561	標準偏差	0.07	中央値	1.57	範囲	0.49	最大値	1.66	最小値	1.17	標本数	48
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.631																																				
標準偏差	0.04																																				
中央値	1.63																																				
範囲	0.20																																				
最大値	1.71																																				
最小値	1.51																																				
標本数	40																																				
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.561																																				
標準偏差	0.07																																				
中央値	1.57																																				
範囲	0.49																																				
最大値	1.66																																				
最小値	1.17																																				
標本数	48																																				
1/15 PM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.581</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.60</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.67</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.27</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.581	標準偏差	0.08	中央値	1.60	範囲	0.40	最大値	1.67	最小値	1.27	標本数	60			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.520</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.52</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.54</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.12</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.520	標準偏差	0.08	中央値	1.52	範囲	0.54	最大値	1.66	最小値	1.12	標本数	60
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.581																																				
標準偏差	0.08																																				
中央値	1.60																																				
範囲	0.40																																				
最大値	1.67																																				
最小値	1.27																																				
標本数	60																																				
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.520																																				
標準偏差	0.08																																				
中央値	1.52																																				
範囲	0.54																																				
最大値	1.66																																				
最小値	1.12																																				
標本数	60																																				
1/16 AM		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.595</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.58</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.37</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.78</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.41</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.595	標準偏差	0.07	中央値	1.58	範囲	0.37	最大値	1.78	最小値	1.41	標本数	48			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">誘電率計乾燥密度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平均</td> <td>1.558</td> </tr> <tr> <td>標準偏差</td> <td>0.14</td> </tr> <tr> <td>中央値</td> <td>1.59</td> </tr> <tr> <td>範囲</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td>最大値</td> <td>1.75</td> </tr> <tr> <td>最小値</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>標本数</td> <td>96</td> </tr> </tbody> </table>	誘電率計乾燥密度		平均	1.558	標準偏差	0.14	中央値	1.59	範囲	0.57	最大値	1.75	最小値	1.18	標本数	96
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.595																																				
標準偏差	0.07																																				
中央値	1.58																																				
範囲	0.37																																				
最大値	1.78																																				
最小値	1.41																																				
標本数	48																																				
誘電率計乾燥密度																																					
平均	1.558																																				
標準偏差	0.14																																				
中央値	1.59																																				
範囲	0.57																																				
最大値	1.75																																				
最小値	1.18																																				
標本数	96																																				

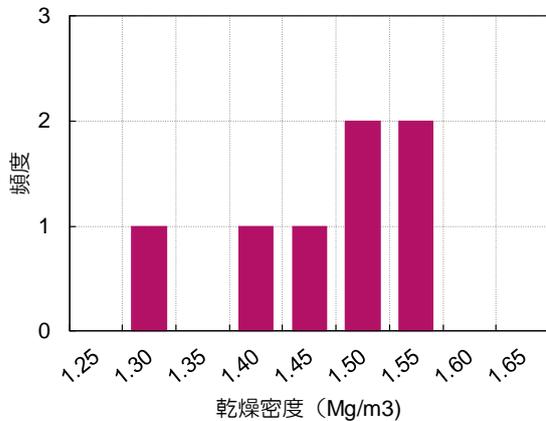
図 4.3.3-45 誘電率計測結果 (計測箇所毎の乾燥密度)

(c) 3D スキャナ計測

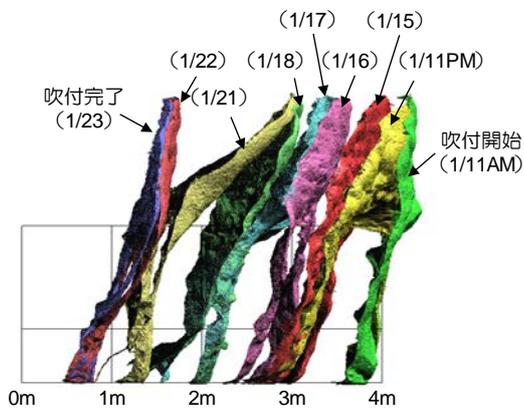
3D スキャナ計測による吹付け体積と吹付け重量から算出した乾燥密度の結果を表 4.3.3-15、図 4.3.3-46 に示す。乾燥密度は、1.33~1.55Mg/m³の範囲でバラつき、平均値は 1.48Mg/m³となった。3D スキャナによる吹付け体積の計測結果(3D 図)を図 4.3.3-47 に示す。

表 4.3.3-15 吹付け施工後の乾燥密度 (3D スキャナ計測)

吹付け日	吹付け体積 (m ³)	吹付け重量 (Mg)	含水比 (%)	乾燥密度 (Mg/m ³)	累計吹付け体積 (m ³)	累計吹付け重量 (Mg)
1/11	1.914	3.334	15.3	1.51	1.914	3.334
1/15	2.636	4.703	15.4	1.55	4.551	8.037
1/16	3.455	5.823	15.6	1.46	8.005	13.860
1/17	3.237	5.771	15.5	1.54	11.242	19.631
1/18	2.138	3.858	15.1	1.57	13.381	23.489
1/21	4.208	6.461	15.8	1.33	17.589	29.950
1/22	4.189	6.828	16.3	1.40	21.778	36.778
1/23	0.594	1.099	16.4	1.59	22.372	37.877
平均	2.797	4.73	15.6	1.48	—	—



乾燥密度	
平均	1.48
標準偏差	0.09
中央値	1.51
範囲	0.24
最大値	1.57
最小値	1.33
標本数	7



参考；作業日毎の吹付け形状

図 4.3.3-46 吹付け施工後の乾燥密度 (3D スキャナ計測)

計測日	写真	3D スキャナ計測結果	計測日	写真	3D スキャナ計測結果
1/11 本吹付け前			1/18		
1/15			1/21		
1/16			1/22		
1/17			1/23		

図 4.3.3-47 3D スキャナによる吹付け体積の計測結果 (3D 図)

c 品質管理（施工後）の評価

(a) 乾燥密度

乾燥密度に関する品質管理を表 4.3.3-16 に示し、乾燥密度の結果を表 4.3.3-17 に示す。

コアサンプリングによる乾燥密度の平均は 1.66Mg/m^3 となり、目標乾燥密度 1.6Mg/m^3 を達成する結果を得た。この結果は、平成 29 年度の地上試験における平均値 1.61Mg/m^3 と同程度の結果である。この結果より、適切な施工プロセス管理を行うことで品質の確保と再現が可能であり、一般的な管理手法となりうる可能性を有することが示唆された。一方、誘電率計測による乾燥密度の平均は 1.56Mg/m^3 、3D スキャナ計測による乾燥密度の平均は 1.48Mg/m^3 となり、目標乾燥密度 1.6Mg/m^3 に比べ、 0.1Mg/m^3 程度の差異を有する結果となった。図 4.3.3-48 に乾燥密度の各計測結果と施工日の関係を示す。コアサンプリングと誘電率計測の結果については、施工日ごとの傾向が近い結果となった。一方、3D スキャナを用いた乾燥密度の値は、誘電率計測、コアサンプリングによる試験結果に比べ、全体的に低い値となった。参考として、図 4.3.3-49 にコアサンプリングと誘電率計測から算出した乾燥密度のヒストグラムを示す。コアサンプリングの結果に比べ、誘電率計測の結果が 0.1Mg/m^3 程低くなる結果を得た。乾燥密度の算出手法による結果の異なりやバラツキの原因の特定は今後の課題となった。

表 4.3.3-16 乾燥密度に関する品質管理

分類	項目	基準・標準類 (確認方法)	管理基準値	実施時期
品質管理 (施工後)	乾燥密度	(3D スキャナ計測)	(目標値) 1.6Mg/m^3	本吹付け前、午後の 吹付け作業後
		(コアサンプリング、 試料による試験)		午前/午後の 吹付け作業後
		(誘電率計測)		午前/午後の 吹付け作業後

表 4.3.3-17 乾燥密度結果 一覧

計測日	乾燥密度(Mg/m^3)		
	3D スキャナ	誘電率	コアサンプリング
1/11PM	1.51	1.60	1.71
1/15AM	-	1.63	1.72
1/15PM	1.55	1.58	1.64
1/16AM	-	1.60	1.68
1/16PM	1.46	1.52	1.64
1/17AM	-	1.53	1.59
1/17PM	1.54	1.56	1.65
1/18PM	1.57	1.52	1.68
1/21PM	1.33	1.56	1.64
1/22PM	1.40	1.53	1.68
平均	1.48	1.56	1.66

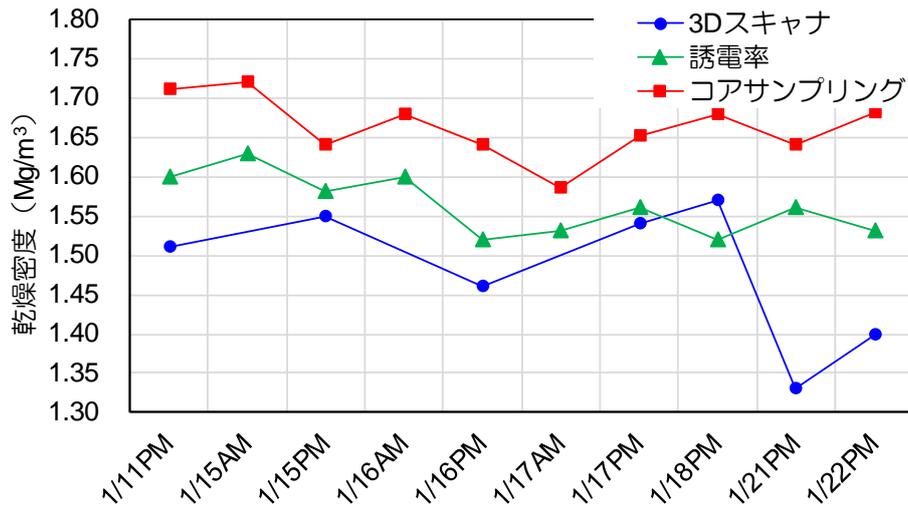


図 4.3.3-48 乾燥密度の各計測結果と施工日の関係

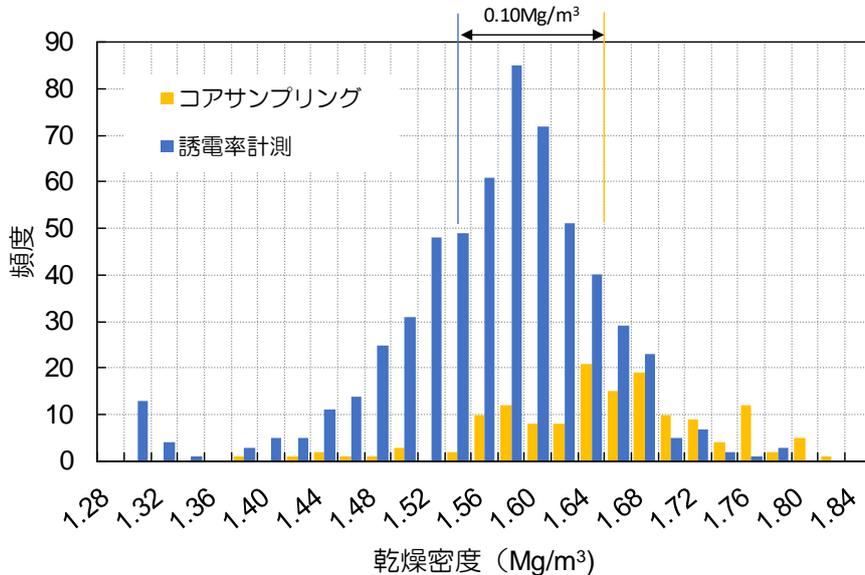


図 4.3.3-49 コアサンプリングと誘電率計測による乾燥密度計測結果

突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) に実証試験のコアサンプリングの乾燥密度結果を併記して図 4.3.3-50 に示す。実証試験の密度結果は室内試験の締固めエネルギー1Ec から 4Ec の間で幅広く分布する結果となった。この結果のバラツキは、現場依存要因 (吹付け距離、吹付け角度) の影響によるものが原因の1つと考えられ、吹付け距離、吹付け角度の管理の精度向上が重要な課題の1つとなる結果を得た。

コアサンプリングから得た乾燥密度について、図 4.3.3-50 に示した締固め曲線のうち、2Ec の最大乾燥密度 1.69Mg/m³に対する締固め度を算出した結果を図 4.3.3-51 に示す。コアサンプリングから得た乾燥密度の平均値は 1.66Mg/m³、締固め度の平均は 98.1%となった。なお、コアサンプリング全数の約 96%が締固め度 90%以上を達成する結果となった。

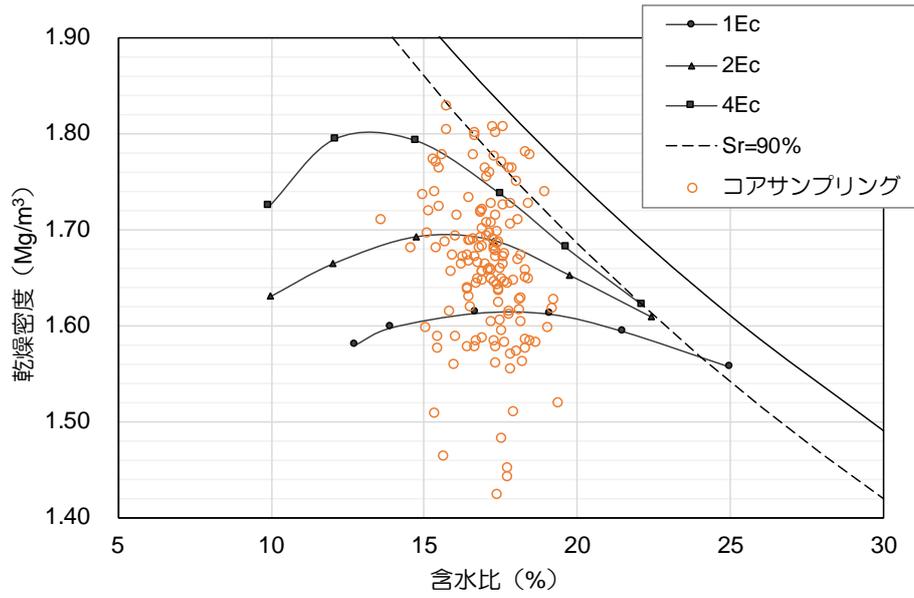


図 4.3.3-50 突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) と実証試験結果の比較

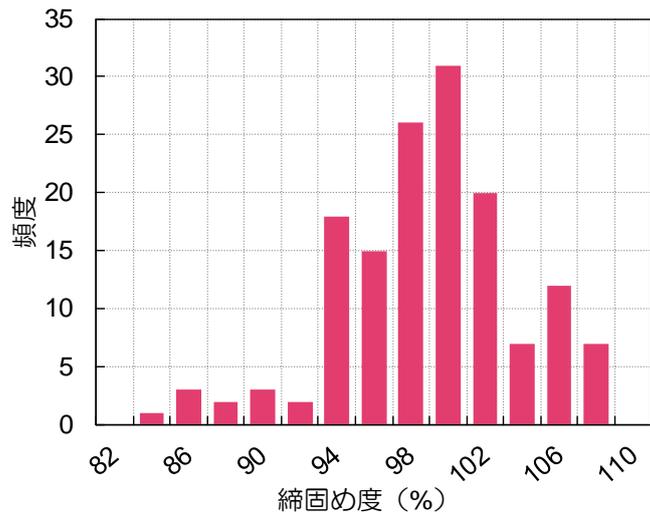


図 4.3.3-51 2Ec の締固め曲線の最大乾燥密度 1.69Mg/m^3 に対する締固め度の算出結果

(b) 含水比

含水比に関する品質管理を表 4.3.3-16 に示す。二軸強制ミキサーにより混合・製造した隙間充填材の含水比の平均は 15.62% (図 4.3.3-27) となり、当初設定した含水比 15.8% とほぼ同等の結果となった。混合後に計測した隙間充填材の含水比について、収納したフレコン毎に整理した結果を図 4.3.3-52 に示す。なお、図 4.3.3-52 には、本吹付けに使用した No.39~223 までの 185 袋の含水比計測結果について示した。試験期間中 (8 日間) において、全ての製造日で、管理値である 15.8%±2% 以内に収まっていることから、一定の品質を確保した隙間充填材の製造がなされたと考えられる。

図 4.3.3-53 に吹付け前後の隙間充填材の含水比の比較を示す。ここで吹付け前とは隙間充填材の製造直後を示し、吹付け後とはコアサンプリングした試料から求めた含水比を示す。吹付け後の平均含水比は約 17% となり、製造後の含水比の平均値 15.62% に比べて約 1.5% 程度、含水比が上昇する結果となった。今回の実証試験では、製造 (混合) した隙間充填材を当日中に吹付け材料として使用していることから、若干の水分のなじみの影響、または測定誤差の範囲内の差異とも考えられる。

表 4.3.3-18 含水比に関する品質管理

分類	項目	基準・標準類 (確認方法)	管理基準値	実施時期
品質管理 (材料)	含水比	赤外線水分計	$W_{opt} 15.8 \pm 2\%$ 以内	混合後
品質管理 (施工後)	含水比	JIS A 1203 (コアサンプリング 試料による試験)	—	午前/午後の 吹付け作業後

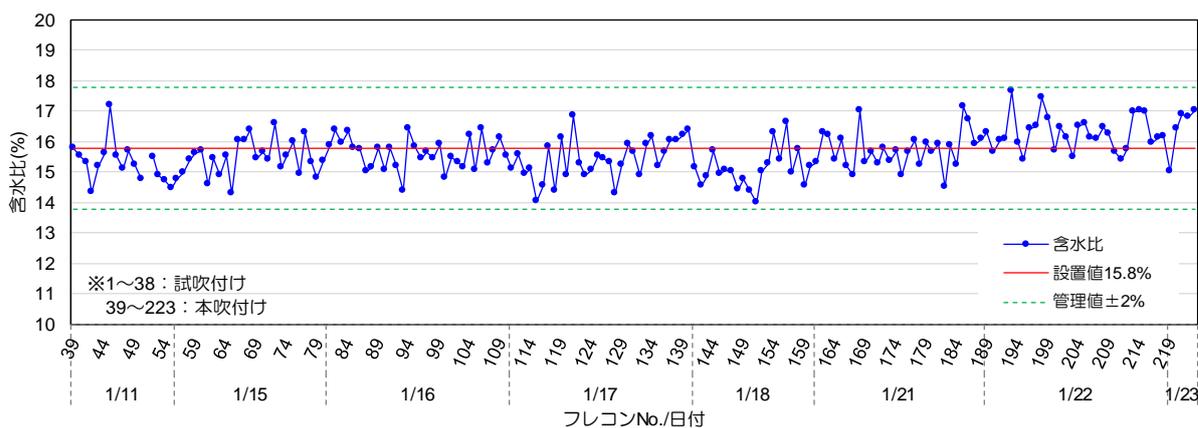
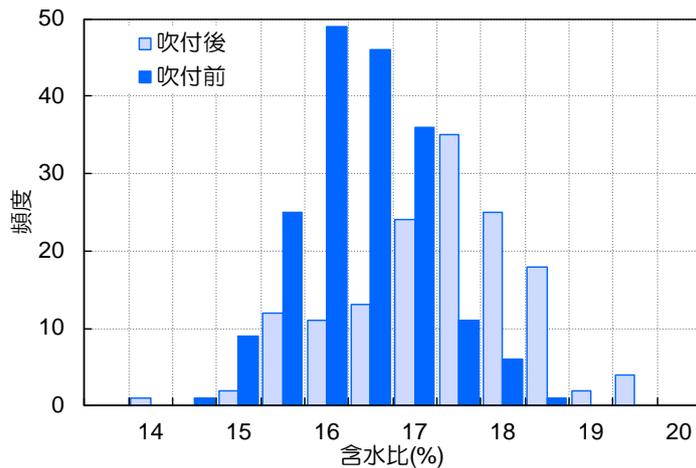


図 4.3.3-52 隙間充填材の製造毎 (フレコン毎) の含水比結果



	吹付け後	吹付け前	差分
平均	17.03	15.62	1.42
標準偏差	1.00	0.70	0.30
中央値	17.17	15.61	1.56
範囲	5.74	3.66	2.08
最大値	19.33	17.64	1.69
最小値	13.59	13.98	-0.40
標本数	147	184	

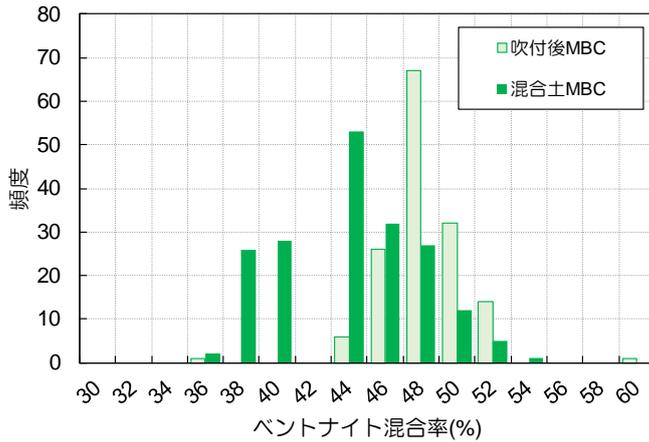
図 4.3.3-53 吹付け前後（製造後、施工後）の含水比結果

(c) ベントナイト混合率

ベントナイト混合率に関する品質管理の一覧を表 4.3.3-19 に示す。図 4.3.3-28 に示した通り、二軸強制ミキサーにより混合・製造した隙間充填材の混合率の平均は 43.0%、バラつきの範囲は 35.3~53.8%となり、平均値は、設定値 50%に比べてベントナイト混合率が若干低い値となった。ベントナイト混合率のバラつきの原因として、製造時の加水方法による影響が考えられる。昨年度は、人力のジョウロにて目視確認しつつ加水・混合を実施したが、今年度は数量が多いことから、位置を固定したシャワーホースによる自動計量による加水（図 4.3.3-11）を行った。今年度の位置を固定したシャワーホースによる加水方法は、多量の材料を混合する際に効率的ではあるが、一方、局所的に加水される場合があり、その結果、ベントナイトのダマが生じることがある。これらの影響により、製造後のベントナイト混合率がやや設定値よりも低い値となったと考えられる。図 4.3.3-54 に吹付け前後のベントナイト混合率を示す。ここで吹付け前とは隙間充填材の製造直後を示し、吹付け後とはコアサンプリングした試料から求めた混合率を示す。吹付け後のベントナイト混合率は、平均では約 47.2%となり、製造後の混合率の平均値 43.0%に比べて平均で約 4.2%上昇した。この結果は、リバウンド材に砂分が多く含まれたことが要因の一つとして考えられる。

表 4.3.3-19 ベントナイト混合率に関する品質管理

分類	項目	基準・標準類 (確認方法)	管理基準値	実施時期
品質管理 (材料)	ベントナイト 混合率	JBAS 107-91	50%	混合後
品質管理 (施工後)	ベントナイト 混合率	JBAS 107-91 (コアサンプリング 試料による試験)	50%	午前/午後の 吹付け作業後



	吹付け後	吹付け前	差分
平均	47.17	42.95	4.21
標準偏差	2.60	3.74	-1.14
中央値	46.82	42.20	4.62
範囲	23.12	18.50	4.62
最大値	58.38	53.76	4.62
最小値	35.26	35.26	0.00
標本数	147	186	

図 4.3.3-54 吹付け前後（製造後、施工後）のベントナイト混合率結果

5) その他

a リバウンド材の捕集効率

リバウンド材の回収時間と回収量の関係について図 4.3.3-55 に示す。回収の状況により必ずしも回収量と回収時間との関係が線形になるとは限らなかったが、リバウンド重量が多くなると回収時間を要する結果となった。表 4.3.3-20 に長距離空気搬送機（ジェクター）によるリバウンド材の捕集効率を示す。なお、この捕集効率は、ホース内の閉塞等がなく連続的な捕集を行った場合の正味の効率である。

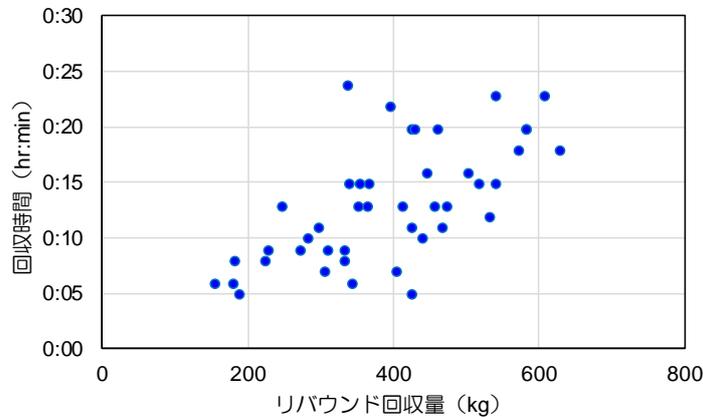


図 4.3.3-55 回収時間とリバウンド回収量の関係

表 4.3.3-20 リバウンド材の捕集効率

長距離空気搬送機（ジェクター）によるリバウンド材の捕集効率（t/時間）※	リバウンド重量（t）	捕集時間（時間）
1.88	18.159	9：40

※ホース内の閉塞等がなく連続的な捕集を行った場合

b サイクルタイム

吹付け・リバウンド材の回収・ホース閉塞などに要した時間について計測を行い、サイクルタイムを算出した。全体の吹付け施工サイクルタイムを図 4.3.3-56 に、全体および 1m³あたりのサイクルタイムを表 4.3.3-21 に示す。また、サイクルタイムを基に算出した作業効率を表 4.3.3-22 に示す。

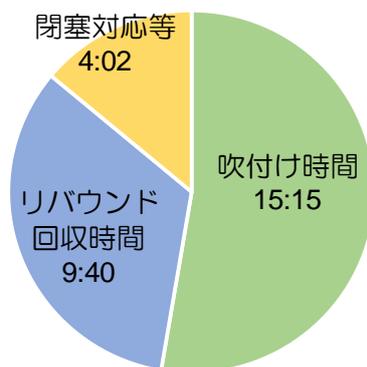


図 4.3.3-56 全体の吹付け施工サイクルタイム

表 4.3.3-21 吹付け施工サイクルタイム (全体・1m³当たり)

(hr:min)	吹付け時間	回収時間	閉塞対応など
全体	15:15	9:40	4:02
1m ³ 当たり	0:41	0:26	0:10

表 4.3.3-22 吹付け施工の作業効率

	吹付け時間	吹付け重量(Mg) 吹付け体積(m ³)	吹付け作業効率	備考
時間あたり吹付け重量	15:15	37.877 Mg	2.48 Mg/h	
時間当たり吹付け体積		20.47 m ³	1.34 m ³ /h	湿潤密度=1.85Mg/m ³ ,乾燥密度=1.6Mg/m ³ ,含水比 15.8%を基に上記の重量から体積を算出

c 環境データ

(a) 地上建屋（西建屋）

隙間充填材の製造を行った西建屋内の温湿度状況を図 4.3.3-57 に示す。1 月 17 日は寒波により平均温度が氷点下と著しく低くなったが、その日以外平均温度は約 3℃、平均湿度は約 45%であった。

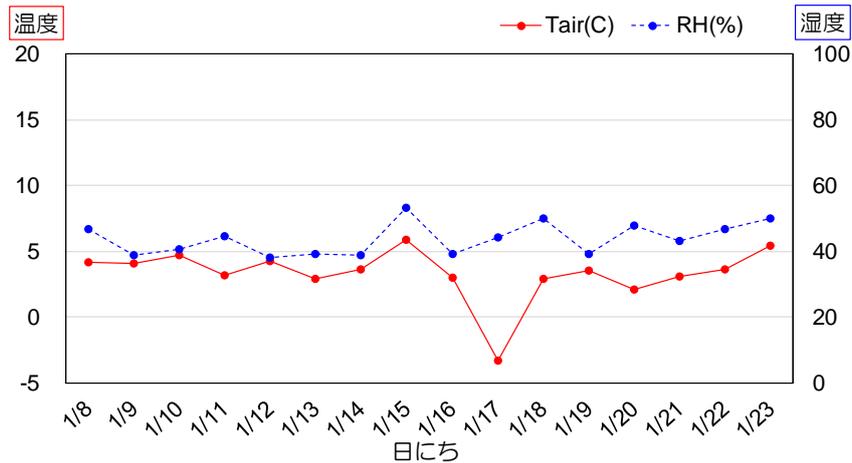


図 4.3.3-57 環境データ（地上 西建屋）

(b) 地下 350m 試験坑道 2

吹付試験を実施した試験坑道 2 の日平均温湿度を図 4.3.3-58 に示す。温度に大きな変化はなく平均で温度は約 18℃であり、湿度平均は約 40%であった。試験坑道 2 において、湿度は外気の影響を受けて多少変動が生じているが、温度についてはほぼ一定に保たれていた。

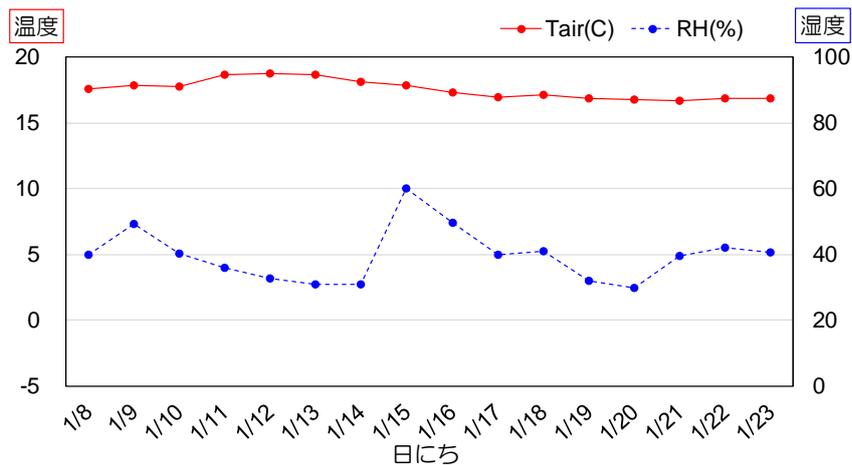


図 4.3.3-58 環境データ（地下 350m 試験坑道 2）

4.3.4 上部開放部を対象とした隙間充填技術 成果のまとめ

地下実証試験の前に実施した地上試験等で確認・設定した試験条件・施工プロセスに基づき、上部開放部を対象とした隙間充填技術に係る地下実証試験を実施した。その結果、コアサンプリングによる乾燥密度の平均値は 1.66 Mg/m^3 、ばらつきは $1.39\sim 1.83 \text{ Mg/m}^3$ と目標の乾燥密度 1.6Mg/m^3 に対し $\pm 0.2 \text{ Mg/m}^3$ 程度となる結果を得た。この結果は、平成 29 年度の地上試験[3]における乾燥密度の平均値 1.61 Mg/m^3 （ばらつき $1.4\sim 1.7 \text{ Mg/m}^3$ ）と同程度の結果である。この結果から、所定の条件の下で施工プロセス管理を行うことで、一定の品質の確保と再現が可能であり、一般的な管理手法となりうる可能性を有することが示唆された。

一方で、地上試験の結果に比べ、地下での実証試験では、乾燥密度のばらつきの範囲が広がる結果を得た。今後の課題として、地下での実証試験では坑道内という狭隘な施工空間での作業における施工管理項目（吹付け距離、吹付け角度）の精度向上として、例えば、吹付け面の形状を把握し自動制御可能なロボットの開発やシステムの構築などによる、安定した品質の確保が挙げられる。また、上記と同様にベントナイト混合率についても、地上試験に比べ、実証試験のばらつきが広がる結果を得た。実証試験では多量の充填材を適宜、地下に供給する必要があることから、二軸強制ミキサーによる充填材の混合の際、位置を固定した自動計量による加水方法を採用した。自動計量加水方法の採用は、多量の材料を混合する際に非常に効率的ではあったが、一方、局所的に加水される場合も一部あることから、若干の混合むらが発生したことが示唆され、充填材製造における品質の向上・安定が今後の課題の一つに挙げられる。

第4章 参考文献

- [1] NUMO:MUMO 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.
- [2] 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成19年度 地層処分技術調査等委託費高レベル放射性廃棄物処分関連処分システム工学要素技術高度化開発 報告書, 2007.
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター: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 報告書, 2017.
- [4] Normet Minmec Technical data sheet , <http://pdf.directindustry.com/pdf/normet-international-ltd/minimec/59086-377629.html>

第5章 隙間充填材除去技術の実証的整備

5.1 実施概要

平成 29 年度までに PEM—坑道間の隙間充填材の施工技術や充填材の除去技術の検討、実証試験に向けた要素試験等を含め、除去の対象とする隙間充填部の施工技術や性状、流体的／機械的な除去方法の整備を進めてきた[1] [2] [3]。本年度は、平成 29 年度までの成果を踏まえ、地下環境での回収実証試験に向けた隙間充填材の除去技術として、流体的除去技術（ウォータージェット方式）および機械的除去技術（オーガ方式）に係る地上試験を行い、各々の技術の実証的整備を進めるとともに、平成 31 年度の地下施設における実証試験に向けた除去試験の計画策定を実施した。

5.2 除去対象とする隙間充填材

除去対象とする隙間充填材は、第 4 章で示した通り、下部狭隘部に充填されたベントナイトペレットと上部開放部に充填されたベントナイト混合土の 2 種類である。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。一方、上部開放部の空間形状は、模擬 PEM 上部の最大幅 約 1300mm、模擬 PEM 側部の最大幅 約 700mm、奥行 4m 程度である(図 5.3.1-1)。なお、下部狭隘部と上部開放部の境界には、各々の領域を区分するための鉄板を存置している。

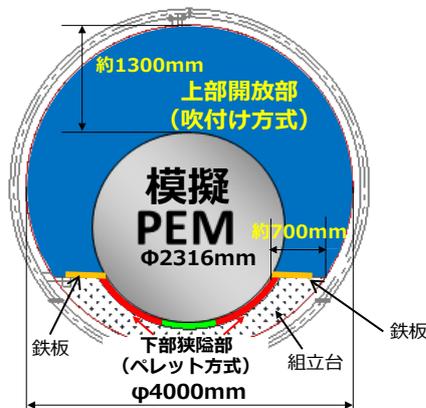


図 5.3.1-1 除去対象とする隙間充填材の形状（幌延 URL 深度 350m 坑道 試験坑道 2）

下部狭隘部と上部開放部の各々について、充填材料の仕様と目標の乾燥密度および実証試験後の乾燥密度の計測結果を表 5.3.1-1~表 5.3.1-4 に示す。また、隙間充填前後の写真を図 5.3.1-2 に示す。

表 5.3.1-1 下部狭隘部の充填材料の仕様および目標の乾燥密度

対象部位	充填材料	目標の乾燥密度
下部狭隘部	ベントナイト 100% ペレット	乾燥密度 1.37 Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.37Mg/m ³)

表 5.3.1-2 上部開放部の充填材料の仕様および目標の乾燥密度

対象部位	充填材料	目標の乾燥密度
上部開放部	ベントナイト：ケイ砂=50：50	乾燥密度 1.60 Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.15Mg/m ³)

表 5.3.1-3 下部狭隘部の隙間充填 実証試験 結果

左側 下部狭隘部 乾燥密度	右側 下部狭隘部 乾燥密度
1.38 Mg/m ³	1.40 Mg/m ³

表 5.3.1-4 上部開放部の隙間充填 実証試験 結果

コアサンプリングによる 乾燥密度 (平均)	誘電率計測による 乾燥密度 (平均)	3D スキャナ計測による 乾燥密度 (平均)
1.66 Mg/m ³	1.56 Mg/m ³	1.48 Mg/m ³

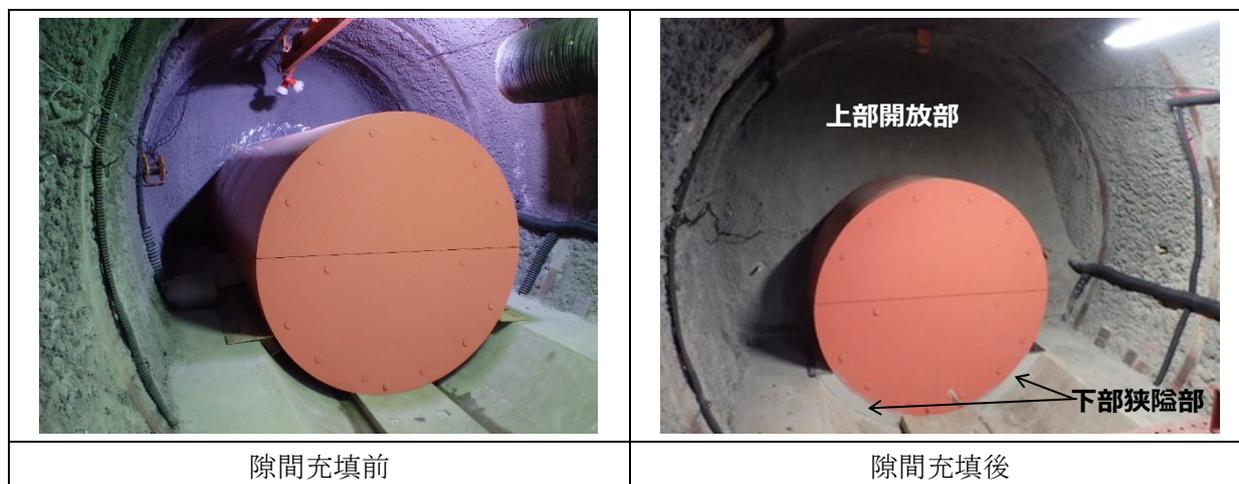


図 5.3.1-2 隙間充填の前後の写真

5.3 これまでの隙間充填材除去技術の整備成果

5.3.1 除去の条件

横置き・PEM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、回収の対象物と周辺の縁切り（PEM-坑道間に施工された充填材を除去し、坑道内で PEM を搬送可能な状態とする）、回収装置が要求する動作環境の実現（PEM を坑道外へ搬出するための回収装置の作業空間・走行路面などの環境を整える）および、除去時に PEM に影響を与えないことなどが挙げられる。

隙間充填材の除去手順を図 5.3.1-1 に示す。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

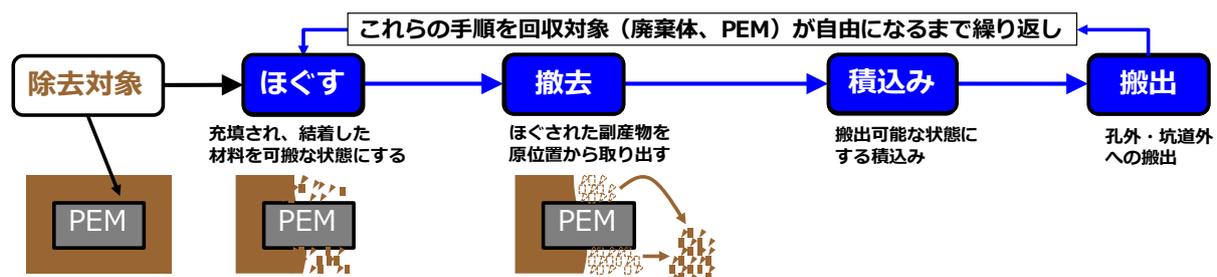


図 5.3.1-1 隙間充填材の除去手順

これまでの検討[3]では、幌延 URL における実証試験に向け、「ほぐし」から「積み込み」までの連続作業を想定した除去技術を検討・整備してきた。

5.3.2 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系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[4]。

幌延 URL 試験坑道 2 において実施した隙間充填（上部開放部と下部狭隘部）の領域は、空間的な条件が大きく異なるため、除去技術はそれぞれの充填領域を対象に各々の除去技術を検討してきた。平成 29 年度までの検討[3]により、PEM 近傍 300mm を除く上部開放部（図 5.3.2-1 の青色部）については、機械的除去技術（オーガ方式）を、上部開放部のうち PEM 近傍 300mm 以内および下部狭隘部（図 5.3.2-1 の緑色部および赤色部）については、流体的除去技術（ウォータージェット方式）を選定した。

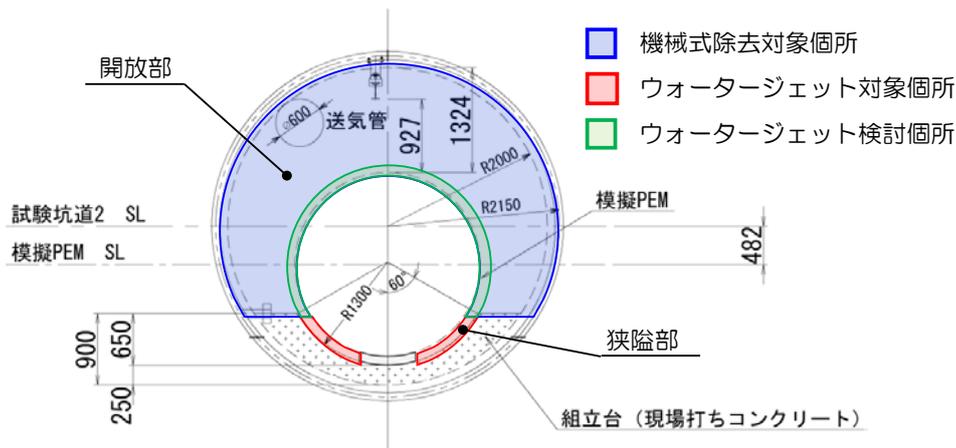


図 5.3.2-1 実証試験における各々の除去技術の対象領域 断面図

(1) 機械的除去技術（オーガ方式）

機械的な除去技術には、アースオーガにより隙間充填材を切削し、吸引工法で撤去する方法を選定した。なお、本技術の選定には、処分坑道 横置き・PEM 方式の概念に対し、アースオーガの挙動が処分坑道長手方向のみとなることから、PEM に接触して損傷させるという潜在的な危険性を低減できる点も考慮した。

これまでの除去装置の技術概念の検討では、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、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）の手順で検討してきた。検討の一例として、機械的な方式による除去装置の目的および装置構成の例を表 5.3.2-1 に示す。また、平成 29 年度までの検討[3]として、機械的除去技術に関する概念検討、機械の概念設計までを完了している。実証試験に資する機械的除去装置として概念設計したオーガ方式による機械的除去機構とバキュームによる副産物の吸引捕集機構を装備した機械的除去装置の概念図を図 5.3.2-2 に示す。また、機械的除去技術の整備フローを図 5.3.2-3 に示す。

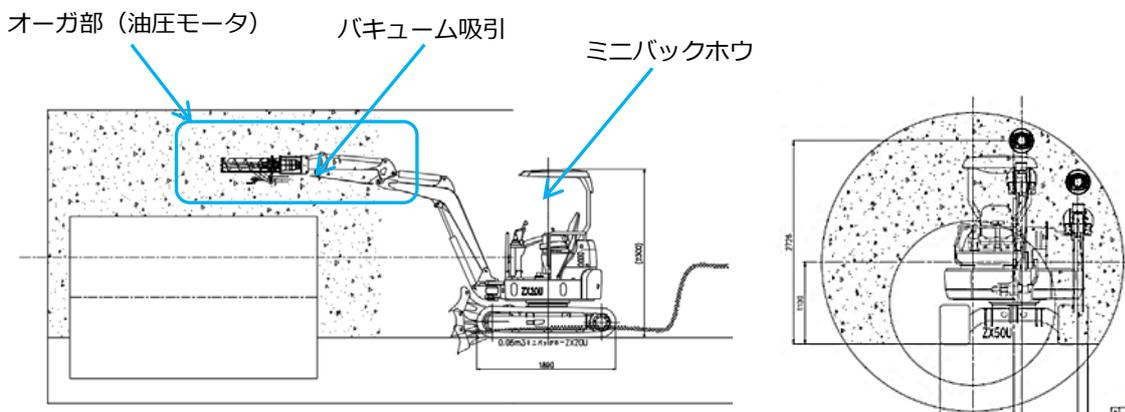


図 5.3.2-2 実証試験に資する機械的除去装置の概念図（平成 29 年度までの検討[3]）

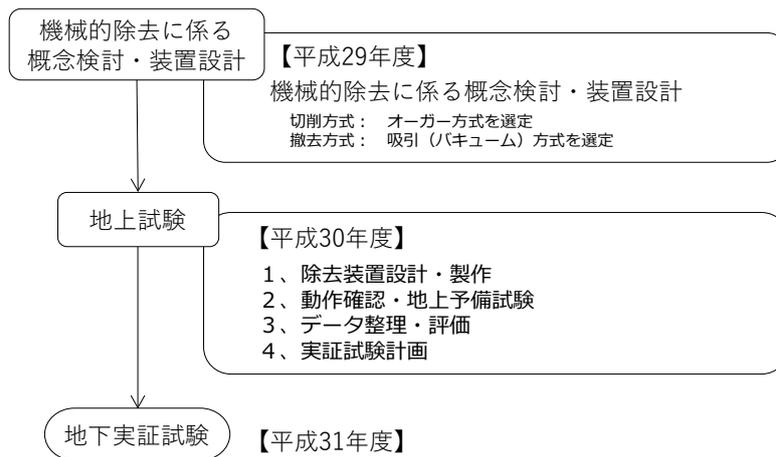


図 5.3.2-3 機能的除去技術の整備フロー

(2) 流体的除去技術（ウォータージェット方式）

流体的除去技術はウォータージェットにより隙間充填材を切削し、吸引工法で撤去する方法とした。流体を使用した充填材の除去に対し、使用水の特性、除去対象への作用に着目し、整理した図を図 5.3.2-4 に示す。既往の研究[5]にて、処分孔縦置きブロック方式のオーバーパック周辺の緩衝材に対し、電解質溶液（塩水）による浸漬作用の除去技術の成果が得られていることや、処分坑道横置き PEM 方式では、処分孔縦置きブロック方式と比較すると、使用水を貯留しにくい、つまり除去対象へ浸漬しにくい点があることから、本事業では使用水として真水、除去対象への作用としては、圧力（運動エネルギー）を用いる除去技術として、ウォータージェット方式による流体的除去技術を採用した。

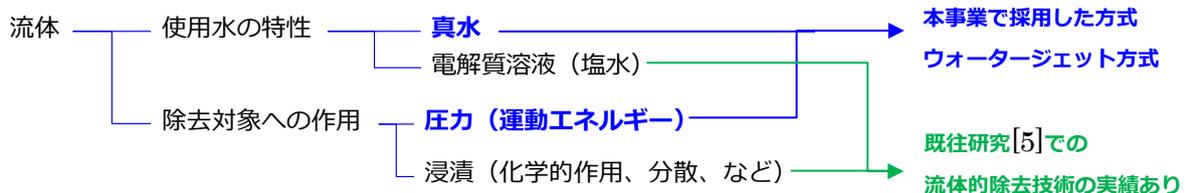


図 5.3.2-4 流体を使用した充填材への除去方法の整理の一例

本事業のこれまでの検討では、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（流体的（ウォータージェット方式）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）の手順で検討を実施してきた。流体的な方式による装置の目的および装置構成の例を表 5.3.2-2 に示す。

平成 29 年度までの検討[3]として、流体的除去技術（ウォータージェット方式）により、乾燥密度 1.6Mg/m^3 、飽和度 95% 程度までのベントナイト充填材に対し、奥行 1m 程度までの切削・回収が可能であり、本方式の除去への適用が可能であることが示された。流体的除去技術（ウォータージェット方式）の整備フローを図 5.3.2-5 に示す。

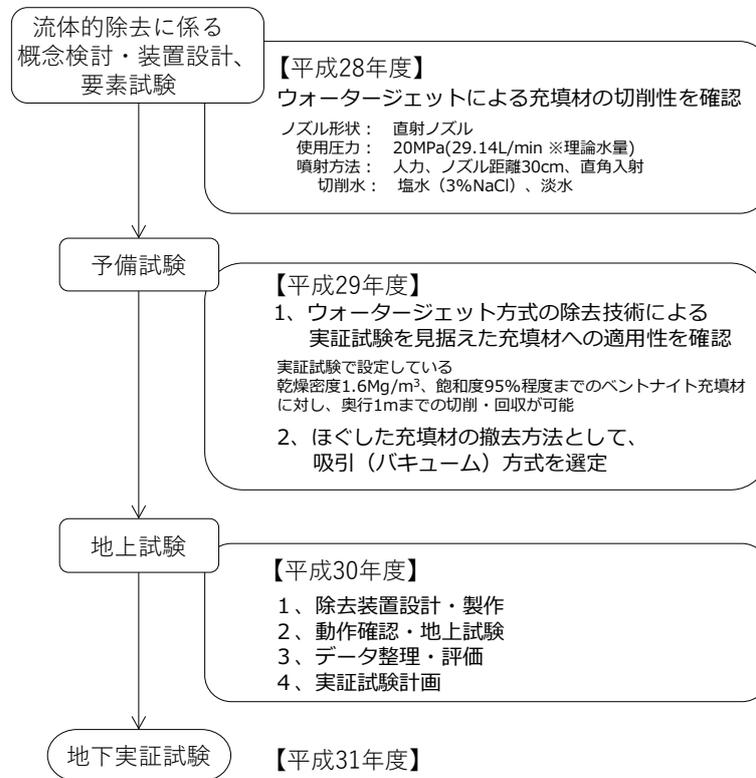


図 5.3.2-5 流体的除去技術（ウォータージェット方式）の整備フロー

表 5.3.2-1 機械的除去装置の技術概念

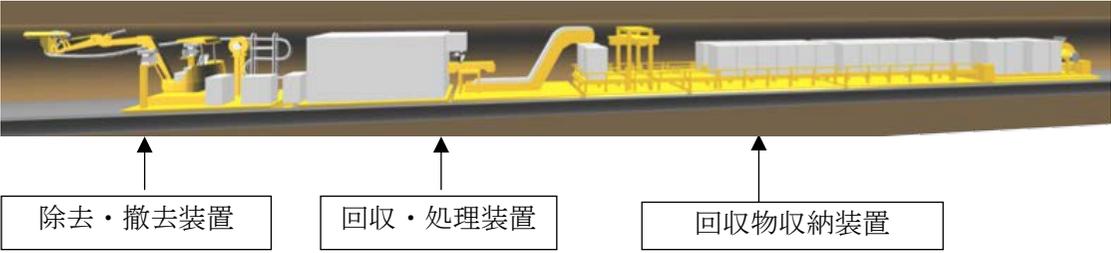
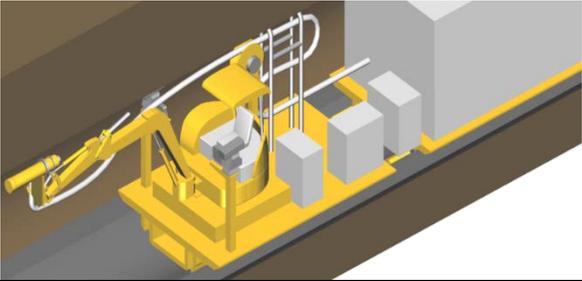
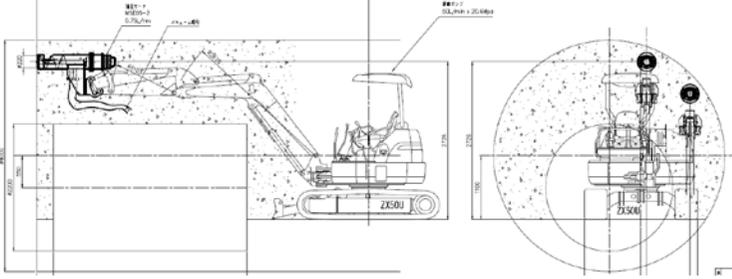
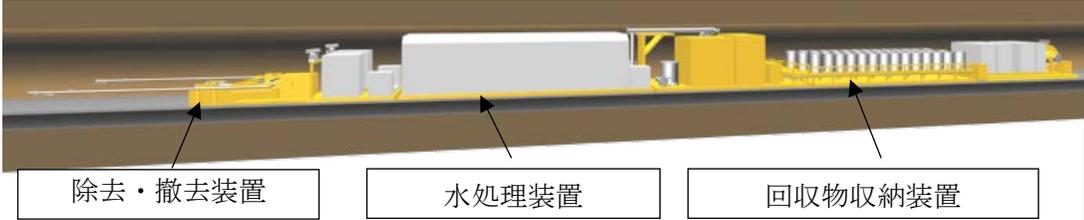
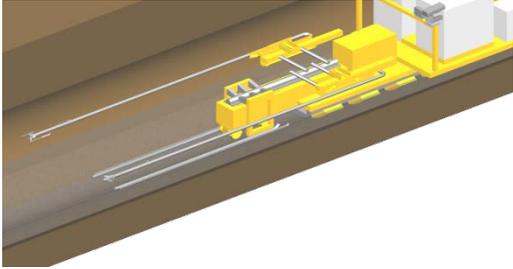
機械的な方法による除去の技術概念	備 考
<p>【隙間充填材除去設備】</p>  <p>除去・撤去装置 回収・処理装置 回収物収納装置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・概 要：地層処分場における機械的な方法による隙間充填材の除去・撤去設備 ・装置構成：除去・撤去装置、回収・処理装置、回収物収納装置、駆動装置 ・動 力：電力 ・走行機能：主要坑道、連絡坑道は親子台車による走行。処分坑道はエアパレットによる走行
<p>【除去・撤去装置】</p>  <p>上記の設備のうち、幌延 URL で実証する除去・撤去機能を搭載した装置</p>	<ul style="list-style-type: 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による除去・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 5.3.2-2 流体的（ウォータージェット方式）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流体的（ウォータージェット方式）除去技術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：流体的（ウォータージェット方式）除去技術による除去・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</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：流体的（ウォータージェット方式）除去技術による除去・撤去機能 ・動 力：電力 ・走行機能：なし

5.4 機械的除去技術の整備

5.4.1 機械的除去技術の実証試験における対象範囲・材料および今年度の実施内容

幌延 URL における実証試験において、機械的除去の対象とする箇所は、図 5.4.1-1 の青色部で示した PEM 外周部であり、隙間充填材は、表 5.4.1-1 に示すベントナイト混合土である。

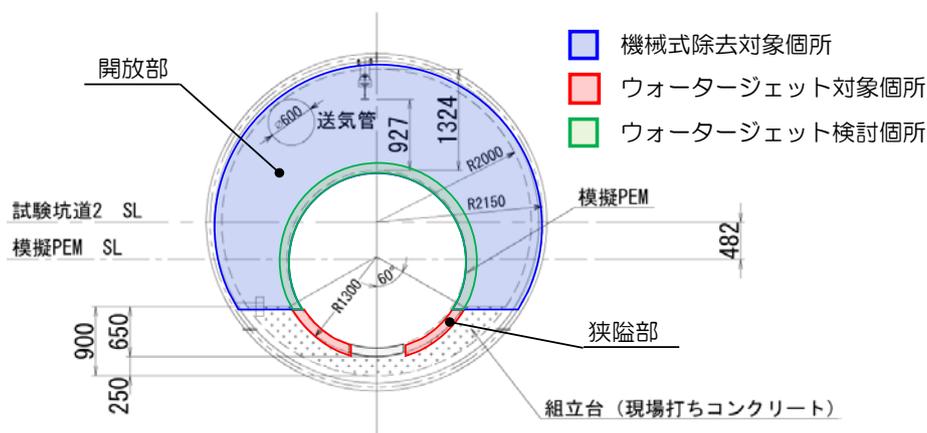


図 5.4.1-1 実証試験における各々の除去技術の対象領域 断面図

表 5.4.1-1 機械的除去技術の対象とする充填材の仕様および目標の乾燥密度

対象部位	充填材料	目標の乾燥密度
上部開放部	ベントナイト：ケイ砂=50：50	乾燥密度 1.60 Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.15Mg/m ³)

平成 29 年度までの概念検討を経て、機械的除去技術としてオーガ方式+バキュームによる吸引方式を選定している。幌延 URL における実証試験では、オーガと汎用品であるバックホウベースマシンを組み合わせた機械的除去装置を使用する計画とした。本装置は、オーガ方式による切削除去（「ほぐし」→「撤去」）機構とバキュームによる副産物の回収（「撤去」→「積み込み」）機構を組み合わせた装置である。

来年度の地下実証試験を見据え、今年度は、上述のオーガ方式による切削機構とバキュームによる吸引捕集機構を組み合わせた装置を製作し、製作した除去装置を用いた地上での除去試験を行い、本技術の整備・適用性に係るデータを取得した。

5.4.2 地上試験（機械的除去技術）

(1) 試験概要

上部開放部の隙間充填材と同等の仕様とした供試体（ベントナイト混合土）を地上試験ヤードに準備し、オーガアタッチメントを装備した除去装置による確認試験を実施した。また、除去と同時に切削したベントナイト混合土をバキュームによる吸引捕集する機構の確認試験を併せて行った。地上試験のフローを図 5.4.2-1 に示す。

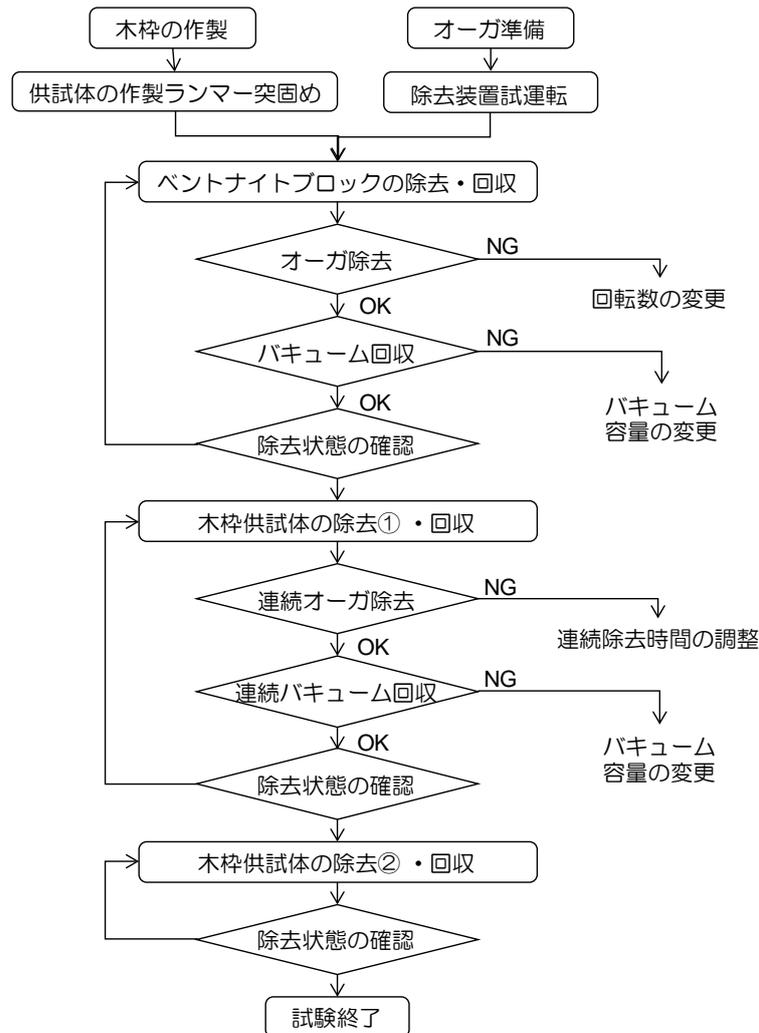


図 5.4.2-1 地上試験フロー（機械的除去技術）

(2) 使用機械

幌延 URL 試験坑道 2 の上部開放部の隙間寸法から決定したオーガアタッチメントの仕様を表 5.4.2-1 に示す。また、オーガアタッチメントの説明図およびオーガスクリーンの写真を図 5.4.2-2 に示す。地上試験で使用した主要資機材の一覧を表 5.4.2-2 に、写真を図 5.4.2-3 に示す。

表 5.4.2-1 オーガアタッチメントの仕様

項目	能力・仕様	備考
オーガスクリュー	Φ172mm, スクリューピッチ160mm	材質 SS400 (一般構造用圧延鋼材)
回転数	～30rpm	運用予定の回転数
油圧モータ	ORB-P-240-8PK 定格トルク 1,000N・m 最高回転数 75 rpm	日本オイルポンプ (株) 高トルクコンパクトタイプ
油圧ポンプ	流量 28.6 L/min×圧力 20.6 MPa	バックハウ油圧もしくは油圧 ユニット使用
スクリュー搬送能力	8 m ³ /hr	理論値
重量	130 kg	

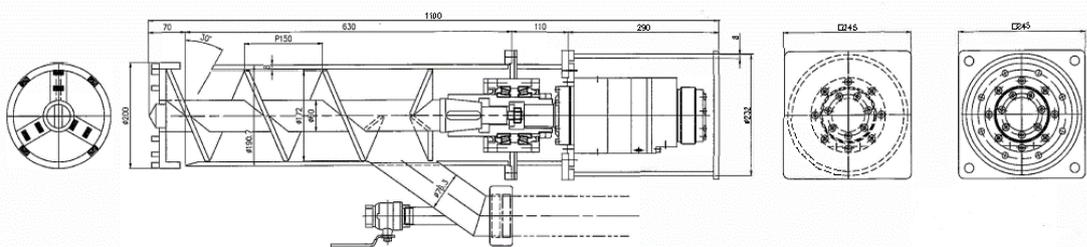


図 5.4.2-2 オーガアタッチメント説明図、オーガスクリュー写真

表 5.4.2-2 地上試験で使用した主要資機材の一覧

項目	能力・仕様	備考
バックハウ	新 JIS0.1m ³ (3t) クラス	クボタ 油圧調整し ZX-20U (日立建機) の能力に調整
発電機	150kVA DCA-150ESM	
真空ポンプユニット	ASC-40P 30kw 真空度 700mmHg 吸気量 13.5m ³ /min	
回収用タンク	ASC-03 0.3m ³	



(a) アースオーガ_側面



(b) アースオーガ_正面



(c) バックホウ



(d) 発電機



(e) 真空ポンプユニット



(f) 回収用タンク

図 5.4.2-3 地上試験で使用した主要資機材

(3) 資機材配置

地上試験時の資機材配置図を図 5.4.2-4 に示す。オーガアタッチメントに吸引用のホースを取付け、除去したベントナイト混合土を回収用タンク内に回収した。

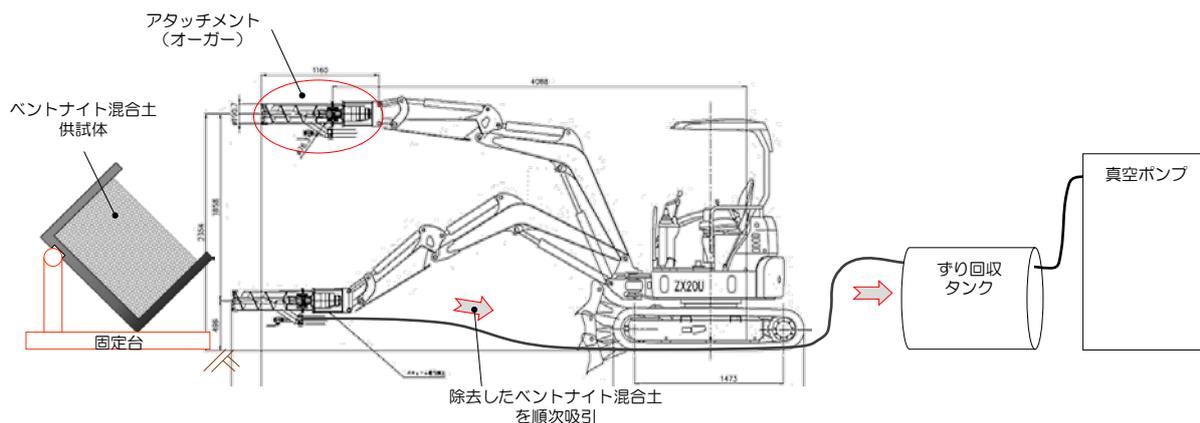


図 5.4.2-4 地上試験 資機材配置図

(4) 供試体 (ベントナイト混合土)

地上試験で準備した供試体 (ベントナイト混合土) は、実証試験における機械的除去の対象箇所材料と同仕様とした。幌延 URL の上部開放部に充填、吹付けた隙間充填材の含水比は 16%程度であるため、地上試験の供試体の含水比についても、同含水比を目標として作製した。

一方で、地下水の多い環境では、地下水の流入により隙間充填材が高含水状態になることも想定される。そのため、高含水比の隙間充填材に対し、今回準備したオーガにおける除去の可否を確認するため、含水比を 20%程度と高含水比とした供試体も併せて準備した。

地上試験に使用した供試体の条件を表 5.4.2-3 に示す。なお、いずれの供試体も上部開放部の隙間充填材と同様に、Na 型ベントナイト (クニゲル V1) とケイ砂 (3 号、5 号) を 50 : 50 で混合した材料である。

表 5.4.2-3 地上試験で使用した供試体 (ベントナイト混合土) 条件

供試体※	サイズ	含水比	乾燥密度	想定条件
ベントナイト ブロック	0.3m×0.3m×0.1m	16%程度	1.6 Mg/m ³	幌延 URL 側部吹付面
供試体①	1m×1m×0.5m	20%程度	1.3 Mg/m ³	地下水流入による高含水比
供試体②	1m×1m×0.7m	16%程度	1.55 Mg/m ³	幌延 URL 上部吹付面

※Na 型ベントナイト (クニゲル V1) とケイ砂 (3 号、5 号) を 50 : 50 で混合した材料による供試体

なお、ベントナイトブロックは静的圧縮により乾燥密度 1.6Mg/m³となるように作製した。供試体①、②はランマを用いた締固めにより作製した。供試体①の乾燥密度は 1.3 Mg/m³、供試体②は 1.55Mg/m³とした。供試体の作成状況、ベントナイトブロックを図 5.4.2-5 に示す。



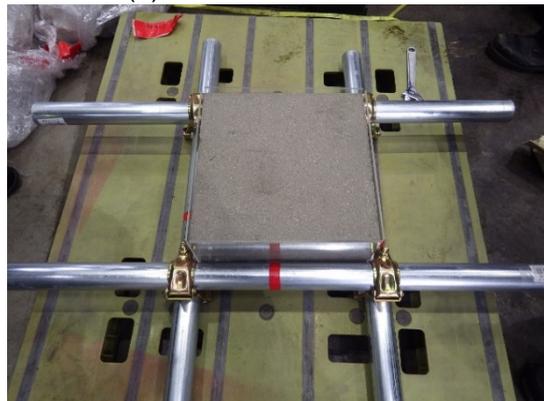
(a) 型枠内への材料の撒きだし



(b) ランマによる締固め



(c) 締固め後



(d) ベントナイトブロック

図 5.4.2-5 供試体①②の作成状況およびベントナイトブロック

(5) 確認項目、試験ケース

地上試験における確認項目を表 5.4.2-4 に示す。なお、本装置のオーガの1度の最大切削深さは、428mm (図 5.4.2-6) である。また、供試体②を対象とした試験項目のうち、奥行方向への除去手順の確認の説明図を図 5.4.2-7 に示す。試験ケースを表 5.4.2-5 に示す。

高含水比の供試体①では、オーガによる切削の可否の確認、切削可能であった場合に壁側付近の除去等の確認を行った。

供試体②は、深さ方向の除去を想定した2段階の除去を実施した。1段階では1孔切削の確認および壁側付近の除去確認、1列の連続除去の確認を行う。1段階の除去完了後に、2段階の連続除去の確認を実施した。

表 5.4.2-4 地上試験 確認項目 一覧

確認項目	ベントナイトブロック サイズ 0.3m×0.3m×0.1m 含水比 16%程度 乾燥密度 1.6 Mg/m ³	供試体① サイズ 1m×1m×0.5m 含水比 20%程度 乾燥密度 1.3 Mg/m ³	供試体② サイズ 1m×1m×0.7m 含水比 16%程度 乾燥密度 1.6 Mg/m ³
オーガによる切削の可否	○	○	○
1孔当たりの切削量・時間	○	○	○
回収ホースの閉塞の有無	○	○	○
回収量と切削能力との関係	○	—	—
連続切削量・時間	—	○	○
壁側付近の除去状態 模擬 PEM と切削孔の距離把握	—	○	○
奥行方向への除去手順の確認	—	—	○
連続回収によるホースの閉塞の有無	—	—	○

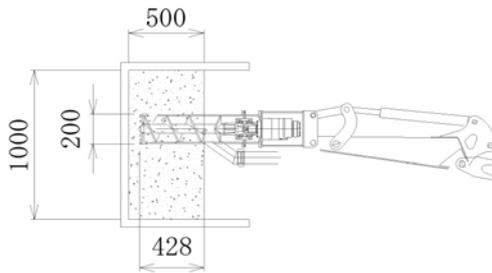
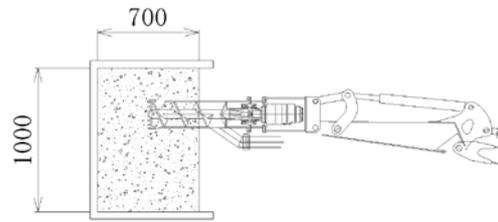


図 5.4.2-6 最大切削深さ

一段目切削



二段目切削

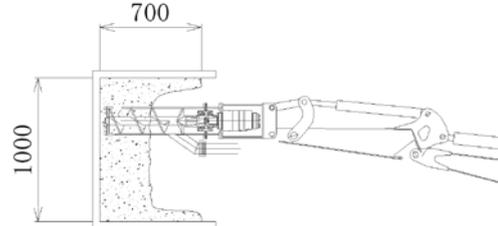
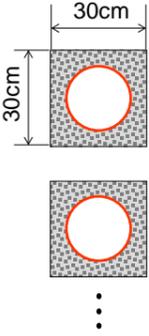
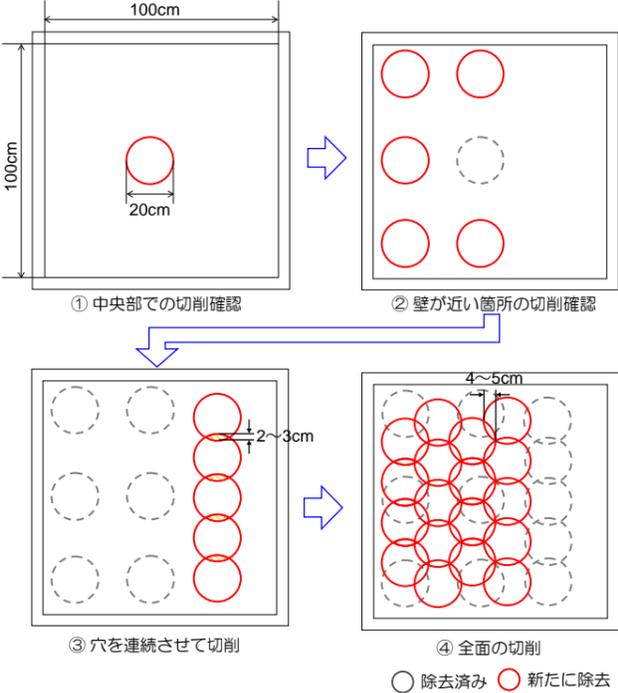
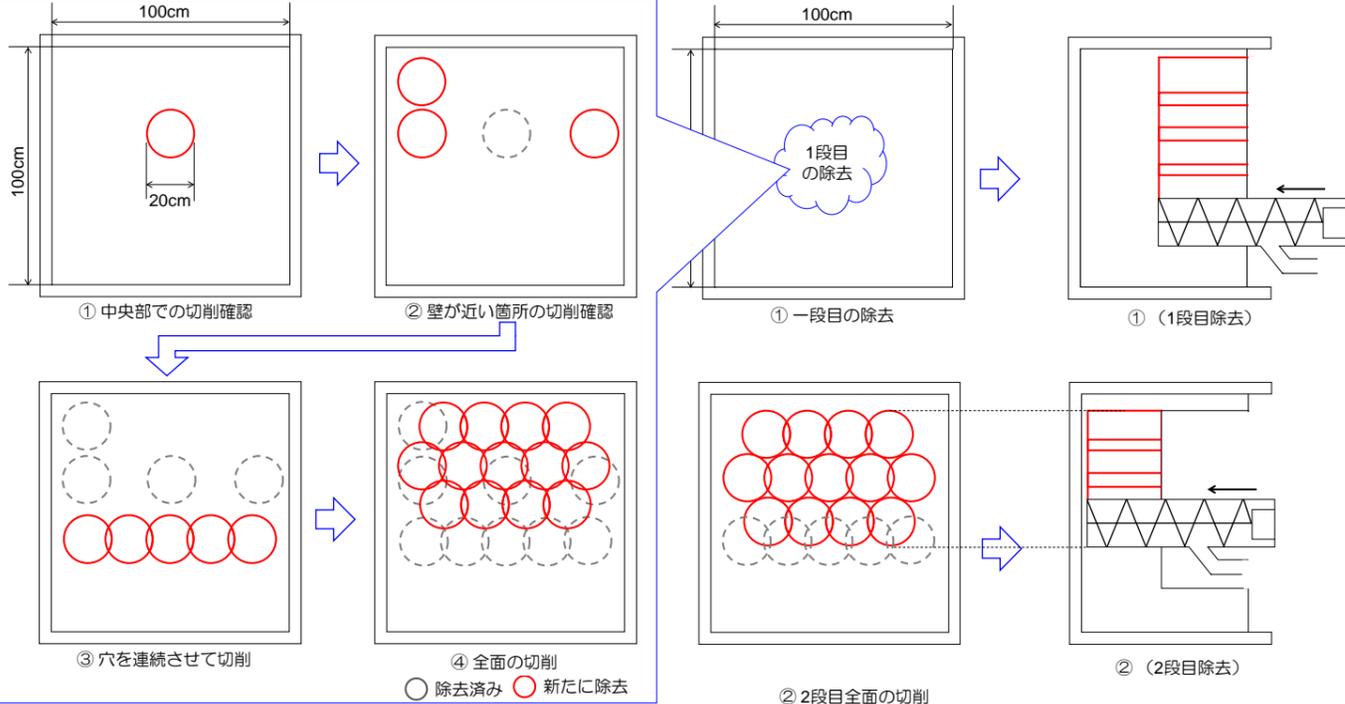


図 5.4.2-7 奥行き方向への除去手順

表 5.4.2-5 地上試験 試験ケース

試験ケース	ベントナイトブロック	供試体①	供試体②
想定条件	模擬 PEM 側部	模擬 PEM 上部 (高含水比)	模擬 PEM 上部 (幌延) URL 吹付面相当
除去手順		 <p>①で高含水比での切削可能かを確認する。</p>	 <p>1 段目は供試体①と同条件での除去を行い、その除去状況を確認する。 2 段目は連続除去を行う。</p>
確認項目	<p>オーガによる切削の可否 1 孔あたりの切削量・時間 回収ホースの閉塞の有無 回収量と切削能力との関係</p>	<p>オーガによる切削の可否 1 孔あたりの切削量・時間 回収ホースの閉塞の有無 連続切削量・時間 壁側付近の除去状態/除去後の状態</p>	<p>オーガによる切削の可否 1 孔あたりの切削量・時間 回収ホースの閉塞の有無 連続切削量・時間 壁側付近の除去状態/除去後の状態 奥行方向への除去手順の確認 連続回収によるホースの閉塞</p>
備考	<p>ベントナイトブロックは2 段重ねにして、高さ 20cm で除去</p>		

(6) 試験結果

1) ベントナイトブロック

オーガの回転数は低速で 22rpm、高速では 36rpm の設定が可能である。押し込み速度はバックホウの操作に依存するため、厳密に速度を一定とすることはできないが、本試験ではオーガおよびバキュームホースが詰まらずスムーズに押し込める速度を定め、切削時間を計測した。表 5.4.2-6 に示した通り、オーガの回転数を低速 (22rpm) とした場合には、深さ 20cm の切削に 3 分を要した。一方、高速 (36rpm) とした場合には同切削深さに対し、50 秒の時間を要した。高速の回転数で切削した場合においても、吸引能力は十分であり、ホース内の閉塞が無いことが確認できたため、以後の供試体①、②の試験では、オーガの回転数を高速 (36rpm) と設定した。ベントナイトブロックを対象とした試験の状況を図 5.4.2-8 に示す。

表 5.4.2-6 ベントナイトブロックを対象とした試験結果

回転数	切削量 φ 200mm*h200mm	切削 時間	回収状況 (閉塞の有無)	備考
22rpm	0.006m ³	3 分	良 (閉塞無し)	以後の供試体①、②の試験 では、回転数 36rpm を設定
36rpm		50 秒	良 (閉塞無し)	



(a) 試験状況 全景



(b) 試験前



(c) 試験の様子



(d) 試験後の形状

図 5.4.2-8 ベントナイトブロックを対象とした試験状況

2) 供試体① (含水比 約 20%)

オーガ回転数を 36rpm として試験を実施した。本ケースは、地下水の流入などによる、除去対象が高含水比 (約 20%) となる条件への機械的除去装置の適用性を確認した。

表 5.4.2-7 に示した通り、高含水比供試体に対し、深さ 20cm の切削に要した時間は 1 分であった。しかしながら、オーガ内での材料の閉塞、オーガ先端面の閉塞により切削・回収を連続して行うことが困難となった。本試験により、オーガ方式による機械的除去技術では、除去対象の材料の条件として、含水比が或る程度低く (粘性が少なく)、真空ポンプで圧送可能な状態であることが、必要である結果を得た。オーガ方式による機械的除去技術の適用可能な対象材料の含水比範囲の特定については、今後の課題となった。試験の状況を図 5.4.2-9、図 5.4.2-10 に示す。

表 5.4.2-7 供試体① (含水比 約 20%) を対象とした試験結果

除去箇所	回転数	切削量 φ 200mm *h200mm	切削時間	回収状況 (閉塞の有無)	備考
中央部	36rpm	0.006m ³	1分	回収困難 (閉塞有り)	オーガ内での閉塞
壁近接部			1分	回収困難 (閉塞有り)	オーガ先端面+ オーガ内での閉塞



(a) 試験前の供試体



(b) 試験前



(c) 試験の様子



(d) 試験後の形状 中央部

図 5.4.2-9 供試体①を対象とした試験状況 (1/2)



(e) 試験後の形状 中央部



(f) 試験後の形状 壁近接部



(g) オーガ内部での閉塞



(h) オーガ先端面の閉塞

図 5.4.2-10 供試体①を対象とした試験状況 (2/2)

3) 供試体② (含水比 約 16%)

本ケースの除去対象は、第 4 章で示した上部開放部の隙間充填材と同条件であり、オーガ回転数を 36rpm として機械的除去装置の適用性を確認した。

供試体中央部の切削では、ベントナイトブロックと同様に切削時間に 50 秒を要し、オーガ内およびホース内の閉塞は発生せず、回収は良好であった。

次の壁近接部の切削は、図 5.4.2-11(e)に示した左右 2 か所で実施した。1 孔目の試験では、閉塞の発生無く、切削・回収が可能であった。一方、2 孔目の試験では、オーガ根元での閉塞が一時的に発生したが、その後閉塞が解消し、1 孔目と同様に切削・回収が実施できた。

連続的な切削・回収の状況を図 5.4.2-11(f)に示す。連続的に切削・回収する場合、次の除去箇所への移動や位置を固定するまでに 1~2 分を要した。なお、切削孔を隣合せとした場合では、オーガ先端面が供試体に接触した際、オーガの回転によりオーガ先端面が左右に位置がぶれる、もしくは先に空いている切削孔側へ動く挙動を取ることが分かった。また、連続的な切削・回収試験の際に、オーガ根元での材料の閉塞が発生した。オーガによる切削量が、バキュームの吸引口の容量に対し多量となり、オーガ根元（オーガとバキューム吸込み口の接点）において、充填材が圧縮・閉塞していることが確認できた。そのため、オーガ根元（オーガとバキューム吸込み口の接点）に図 5.4.2-13 に示す高さ 16cm×幅 19cm の箱を設置し、オーガとバキューム吸込み口の接点の吸込み容量を増し、切削した材料がオーガ内で閉塞することを防止した。本改良後は、オーガ内およびホース内の閉塞は発生せず、良好な切削・回収が可能となった。

2 段目の試験後の状況を図 5.4.2-12(h)に示す。2 段目の切削は 1 段目の切削に比べ時間を要し、1 孔の切削に対し 1 分 30 秒、3 孔連続除去（一列除去：図 5.4.2-12 (h)）に約 7 分の時間を要した。1 段目の除去では図 5.4.2-14 に示すようにオーガ周辺の材料が剥離することにより、オーガの押し込みによる抵抗が発生しにくかったが、2 段目は除去対象材料の拘束が 1 段目より強いためオーガが差込みにくく、1 段目よりも多くの時間を要したとされる。なお、バックホウの死角となる右上部の除去が困難であること、除去対象が斜面になった個所では、図 5.4.2-15 に示したようにオーガが斜面に沿って移動し、位置を固定することが難しかったため 2 段目の除去後の面はすり鉢状となった。

表 5.4.2-8 供試体② (含水比 約 16%) を対象とした試験結果

除去箇所	回転数	切削量	切削時間	回収状況 (閉塞の有無)	除去後の状態	備考
中央部	36rpm	0.006m ³	50 秒	良	図 5.4.2-11(d)	
壁近接部		0.012m ³	約 3 分	2 孔目で閉塞	図 5.4.2-11 (e)	
連続		0.018m ³	約 16 分	2 孔目で閉塞 ⇒改良後には 回収 良	図 5.4.2-11 (f)	除去箇所へのオーガ移動、位置固定に時間を要する。切削量がバキューム吸込み口容量を上回るため連続除去では詰まる。⇒吸込み口を改良 (図 5.4.2-13)
2 段目		0.030m ³	約 28 分	良	図 5.4.2-11 (h)	1 段目に比べ、孔位置合わせ等に時間を要す ホースの詰まりなく除去可能



(a) 試験前の供試体②



(b) 除去前



(c) 除去の様子



(d) 除去後の形状



(e) 壁に近い箇所の除去



(f) 連続除去

図 5.4.2-11 供試体②を対象とした試験状況 (1/2)



(g) 1 段階除去後



(h) 2 段階除去後

図 5.4.2-12 供試体②を対象とした試験状況 (2/2)

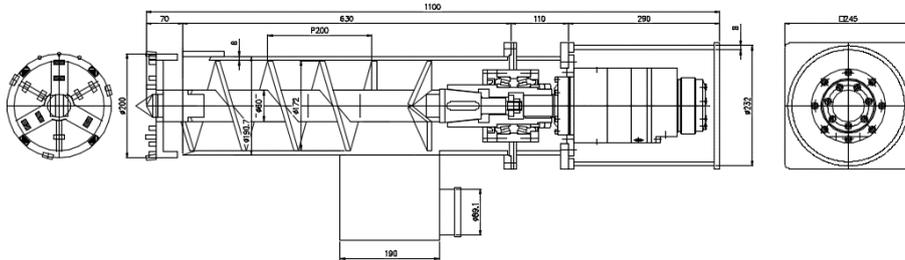
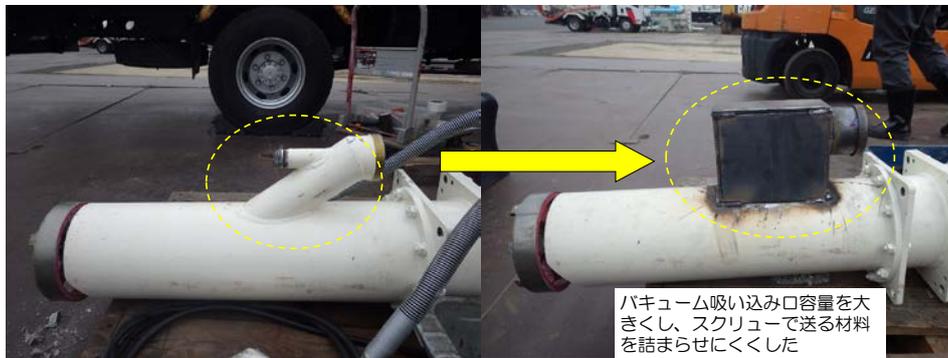


図 5.4.2-13 改良後の吸込み口



図 5.4.2-14 1 段階目の切削・回収後



図 5.4.2-15 2 段階目の切削・回収後

5.5 流体的除去技術の整備

5.5.1 流体的除去技術の実証試験における対象範囲および本年度の実施概要

幌延 URL における実証試験において、流体的除去の対象とする箇所は、図 5.5.1-1 の赤色部で示した下部狭隘部及び緑色部で示した模擬 PEM 周囲 300mm 以内の PEM 近傍部である。流体的除去技術の対象とする隙間充填材の仕様等を、表 5.5.1-1 に示す。

平成 29 年度までの概念検討を経て、流体的除去技術としてウォータージェット方式+バキュームによる吸引方式を選定している。本年度は、2 種類の流体的除去装置を製作し、その動作確認および具体的な除去方法・手順の把握、確認を行い、平成 31 年度の実証試験の計画に資するデータ取得のための地上試験を実施した。

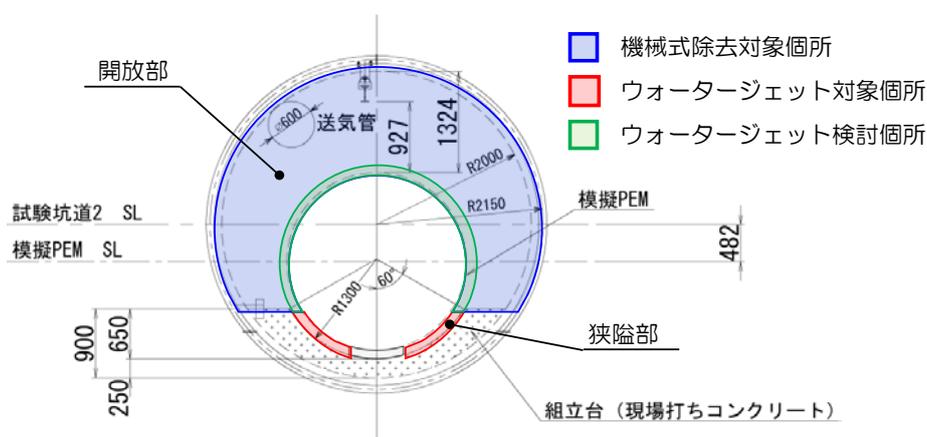


図 5.5.1-1 実証試験における各々の除去技術の対象領域 断面図

表 5.5.1-1 流体的除去技術の対象とする充填材の仕様および目標の乾燥密度

対象部位	充填材料	目標の乾燥密度
下部狭隘部	ベントナイトペレット	乾燥密度 1.37 Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.37Mg/m ³)
上部開放部 模擬PEM 近傍	ベントナイト : ケイ砂 = 50 : 50	乾燥密度 1.60 Mg/m ³ 以上 (有効粘土密度 1.15Mg/m ³)

5.5.2 地上試験（流体的除去技術）

(1) 試験概要

本年度は、幌延 URL 試験坑道 2 の下部狭隘部スケールを模擬した地上試験ヤードにおいて、製作した流体的除去装置による隙間充填材の除去・回収手順の確認を行った。流体的除去技術に求められる要件は、「充填材が模擬 PEM 周囲や周辺岩盤、組立台と縁切りされていること」および「搬送定置装置が搬送動作可能な状態まで充填材が除去されていること」である。ゆえに、除去回収後のコンクリート（モルタル）面の状態について、「本事業で使用するエアベアリング方式の搬送定置装置を用いて模擬 PEM の搬送が可能なコンクリート（モルタル）面の状態」となる除去・回収手順の確立を目標とした。地上試験のフローを図 5.5.2-1 に示す。

試験 1（噴射ノズルの選択試験）では、ノズルの種類と噴射圧をパラメータとし、坑道面（モルタル仕上げ面）への噴射圧による影響の確認を実施した。

試験 2（ノズルワーク及び除去状況の確認試験）では、下部狭隘部に充填した充填材を実際に除去する試験を行い、ノズルの種類と動かし方、充填材の排出等を確認した。

試験 3（ウォータージェット方式による流体的除去手順の確認試験）では、各ノズルの特性を踏まえた組合せ、作業時間、充填材の捕集など、除去手順の確認を行った。なおいずれの試験においても、ウォータージェットによる除去とバキュームによる吸引を同時に行った。

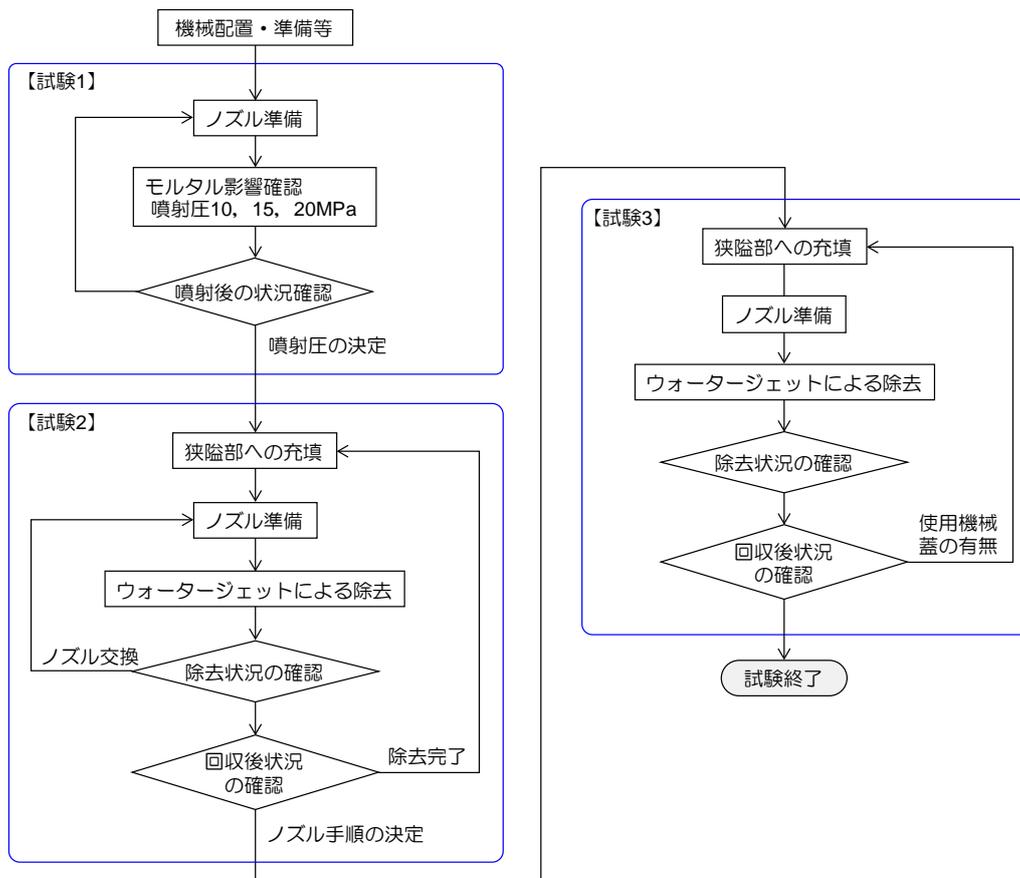


図 5.5.2-1 地上試験フロー（流体的除去技術）

(2) 使用機械

流体的除去に使用する機械として、2種類の装置（振り子式およびガイドレール式）を準備した。各々の装置の詳細は、後述する。本除去装置の動作は、図 5.5.2-2 に示すように狭隘部の円弧状の動きおよび PEM 奥行き方向へのノズルの動きの2つの動作により除去を行う機械である。なお、PEM 奥行き方向へのノズルの動きは、ガイド管の内部でランスを前後に稼働できる仕組みとしている。流体的除去装置に関する各部名称等の説明図を図 5.5.2-3 示す。

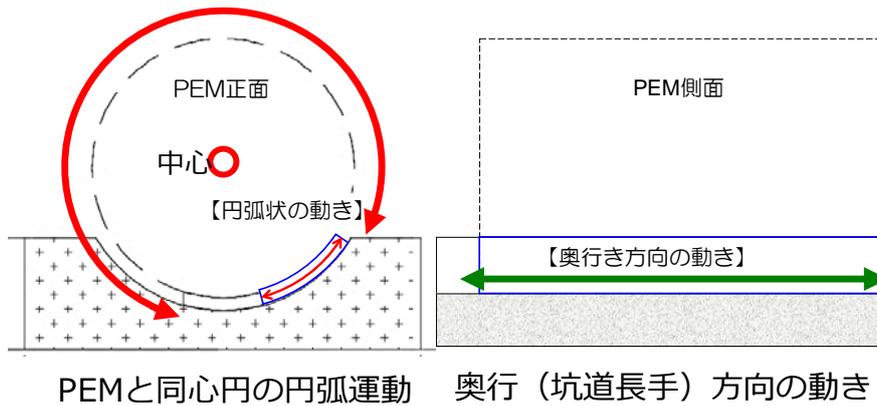
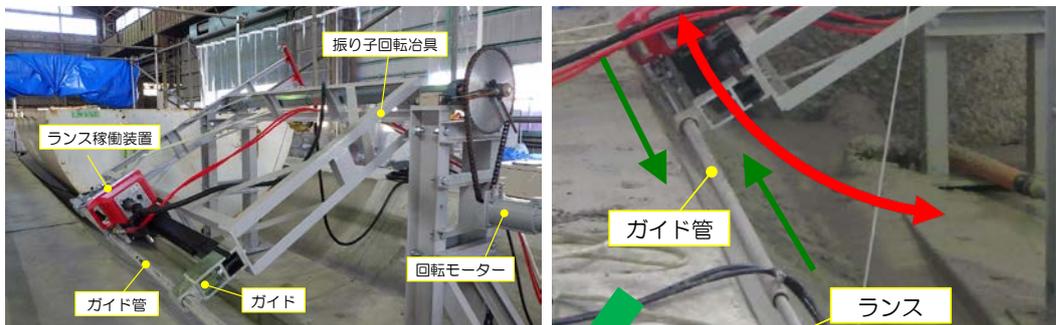
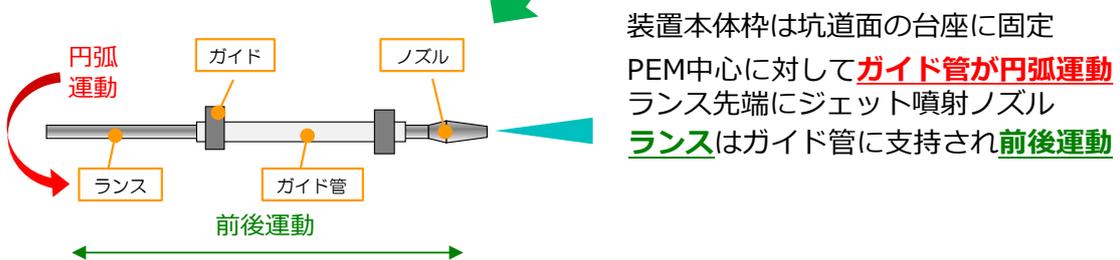


図 5.5.2-2 流体的除去装置の基本動作 説明図



除去試験装置（振り子式）外観

WJ噴射部の詳細と動き



装置本体枠は坑道面の台座に固定
PEM中心に対して**ガイド管が円弧運動**
ランス先端にジェット噴射ノズル
ランスはガイド管に支持され**前後運動**

図 5.5.2-3 流体的除去装置の各部名称等 説明図

1) 除去装置 1 (振り子式)

除去装置 1 の説明図および写真を図 5.5.2-4、図 5.5.2-5 に、仕様を表 5.5.2-1 に示す。本装置は、グリップアンカーによりフレーム治具を台座コンクリートに固定し、振り子式回転治具にガイド管を設置するものである。模擬 PEM 円周に沿ってガイド管の位置調整を行い、ランスを出し入れする。ガイド管およびランスの出し入れ操作は、オペレーターが遠隔操作にて行った。

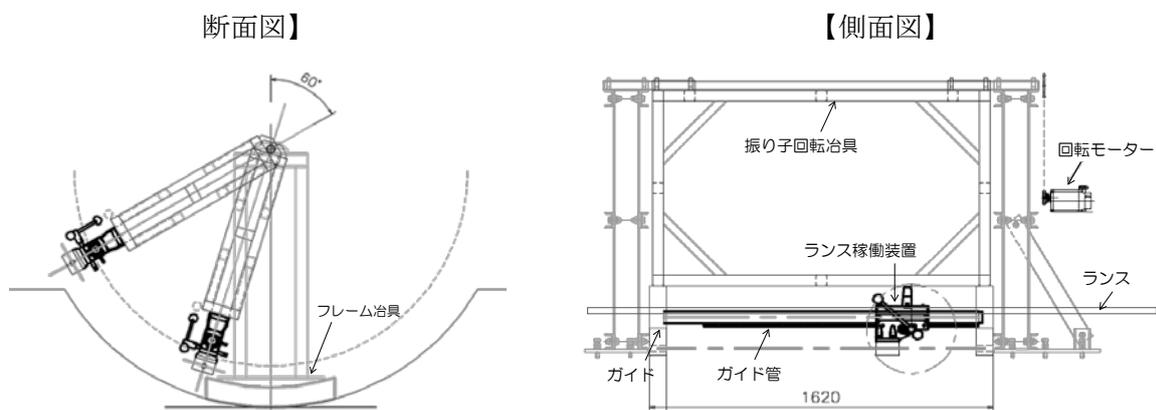


図 5.5.2-4 除去装置 1 (振り子式) 説明図

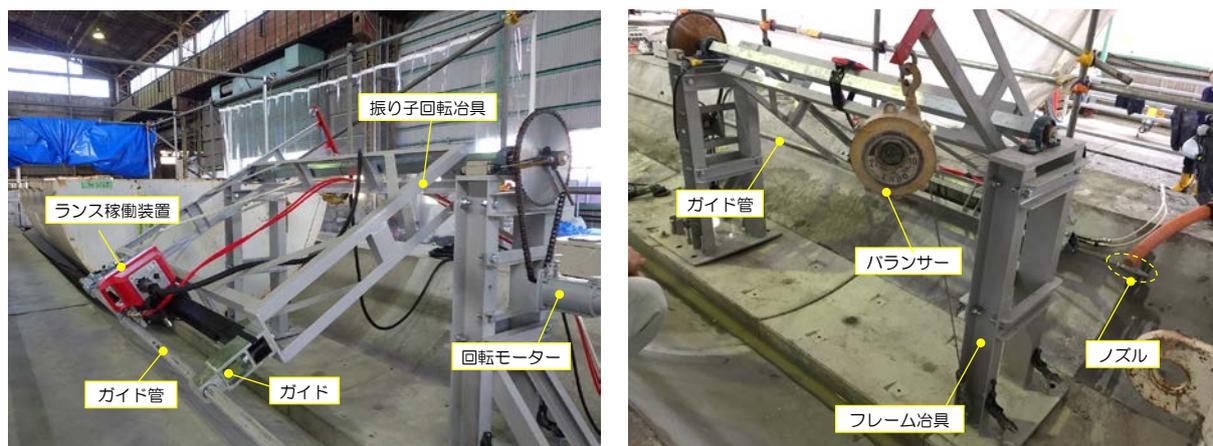


図 5.5.2-5 除去装置 1 (振り子式) 写真

表 5.5.2-1 除去装置 1 (振り子式) 仕様

項目	仕様
重量	約 250 kg
必要電気容量	三相 200V, 90W×3 台
モータ駆動速度	5cm/min
水圧適用範囲	70MPa

2) 除去装置 2 (ガイドレール式)

除去装置 2 の説明図および写真を図 5.5.2-6、図 5.5.2-7 に、仕様を表 5.5.2-2 に示す。本装置は、模擬 PEM 面に沿うガイドレールを具備し、ガイドレールを介しノズルの稼働が可能となる。装置本体は、グリッパアンカーにて組立台コンクリート側部に固定する。

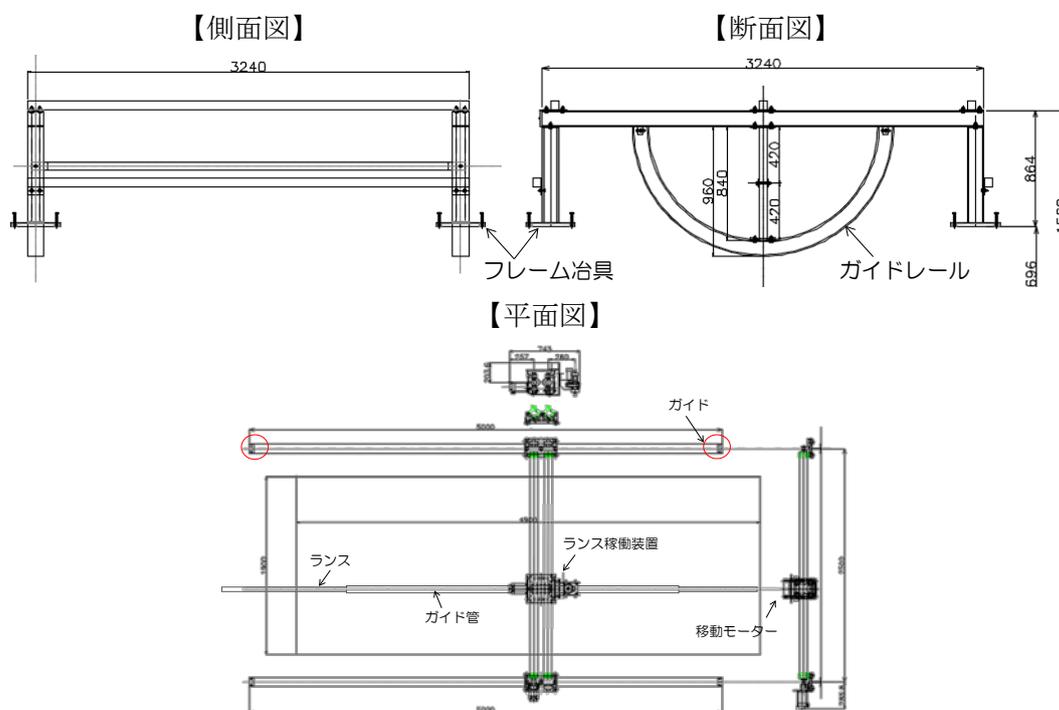


図 5.5.2-6 除去装置 2 (ガイドレール式) 説明図



図 5.5.2-7 除去装置 2 (ガイドレール式) 写真

表 5.5.2-2 除去装置 2 (ガイドレール式) 仕様

項目	仕様
重量	約 300 kg
必要電気容量	三相 200V, 90W×3 台
モータ駆動速度	2.5cm/min
水圧適用範囲	70MPa

3) ノズル

除去装置に取り付けて使用するノズル（図 5.5.2-8）について、噴射形態の異なる 4 種類；直射、扇、トルネード、配管清掃用を用意し、切削性・切削範囲・坑道面への影響、ノズルワークによる切削効率を確認した。図 5.5.2-9 に各ノズルの特徴等の一覧を示す。

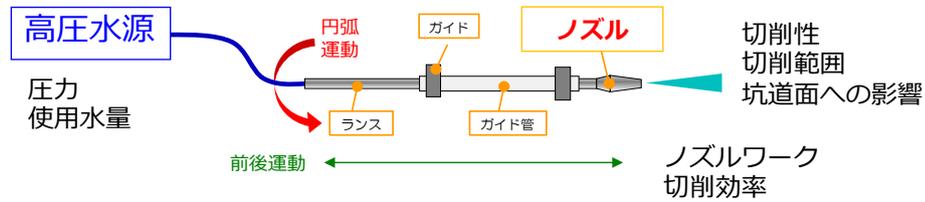


図 5.5.2-8 ノズル 取り付け位置図

ノズル種類	直射	トルネード	扇射	配管清掃用① 前後横 3 方向	配管清掃用② 前後 2 方向
写真					
切削形状					
切削断面				後 前 	後 前
切削軌跡				後 前 	後 前
(20MPa 時) 使用水量	54L/min	30L/min	20L/min	74L/min	74L/min
坑道面への影響	長手方向へのウォータージェット噴射の場合 噴射圧 20MPa まで坑道面を傷つけない			坑道面に垂直入射しない場合、噴射圧 20MPa まで坑道面を傷つけない	

図 5.5.2-9 各ノズルの特徴等 一覧

4) 主要資機材（除去装置以外）

除去装置以外の主要資機材の一覧を表 5.5.2-3 に示す。また、高圧水発生装置および強力吸引車、給水・排水用タンクの写真を図 5.5.2-10 に示す。

表 5.5.2-3 主要資機材一覧（除去装置以外）

資機材	仕様	数量
高圧水発生装置	最大寸法 3500×1800×1800 (mm)、3500kg 最大水量 120L/min、最大圧力 900bar エンジン出力 180KW	1 台
強力吸引車	風量 45m ³ /min、真空度：-96kPa (-720mmHg) エンジン駆動、ホース径 2B、3B	1 台
給水用タンク	5m ³	1 台
排水用タンク	10m ³	1 台
ハイウォッシャー	0.7MPa	1 台
発電機	200V、300LS	1 台



(a) 高圧水発生装置+車両



(b) 強力吸引車



(c) 給水用タンク (5m³)



(d) 排水タンク (10m³)

図 5.5.2-10 主要資機材 写真

(3) 資機材配置

地上試験時の資機材配置図の全体図を図 5.5.2-11 に示す。また、地上試験ヤードの区画図および試験前の写真を図 5.5.2-12 に示す。地上試験ヤードは全長 20m、その中で幌延 URL 試験坑道 2 の現場と同じくモルタル仕上げをした箇所が 4.5m (区画 1) と 6.0m (区画 2)、その間に現場打ちの範囲 4.5m である。本試験では、モルタル仕上げ区画 1・2 に半 PEM (「横倒し組み半割れ構造 PEM 容器」: 詳細は第 2 章参照されたい) を設置し、試験坑道 2 の下部狭隘部スケールを模擬し、除去試験を実施した。試験ヤードの準備状況を図 5.5.2-13 に示す。

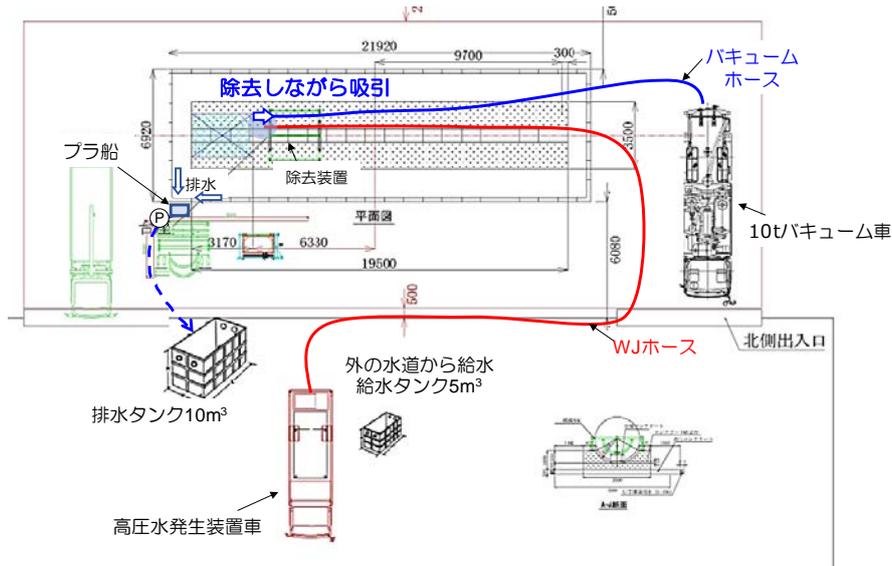


図 5.5.2-11 地上試験時の資機材配置図の全体図

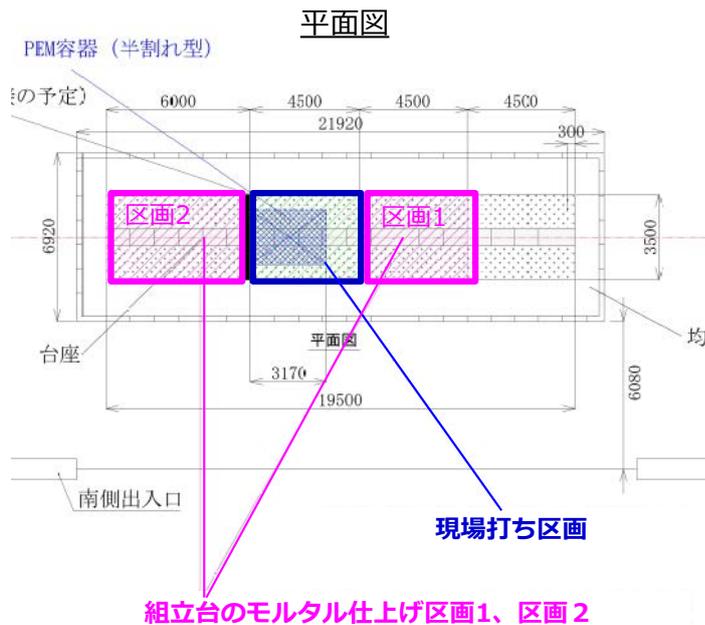


図 5.5.2-12 地上試験ヤードの区画図 (左)、地上試験ヤード写真 (右)



(a) 半 PEM 設置



(b) 飛散養生シート



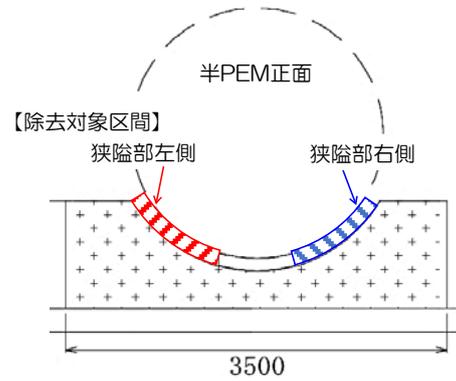
(c) 狭隘部：上部隙間（約 115mm）



(d) 狭隘部：下部隙間（約 110mm）



(e) 半 PEM 棲側



(f) 下部狭隘部左右の除去対象区間

図 5.5.2-13 地上試験ヤードの準備状況

(4) 充填材（粒状ベントナイト）

充填材には、Na 型粒状ベントナイト（クニゲル GX、5mm 以下）を使用した。地上試験における下部狭隘部への材料の充填は、図 5.5.2-14 に示すように除去装置設置側にベントナイトで堰を作り、狭隘空間に自由落下により充填し、突き棒にて押し込みながら充填した。充填量は、25kg/袋が 16～18 袋である。充填後の状態を図 5.5.2-15 および図 5.5.2-16 に示す。充填した材料の乾燥密度について、狭隘部片側体積を図面上から計算した 0.36m^3 とし、材料含水比 8% を基に算出すると、乾燥密度は $1.08\sim 1.19\text{Mg/m}^3$ となった。試験ケースごとの充填後の乾燥密度を表 5.5.2-4 に示す。



(a) 使用材料の保管



(b) 下部狭隘部手前の堰



(c) 充填材の下部狭隘部への充填



(d) 下部狭隘部充填後

図 5.5.2-14 下部狭隘部への充填材の充填

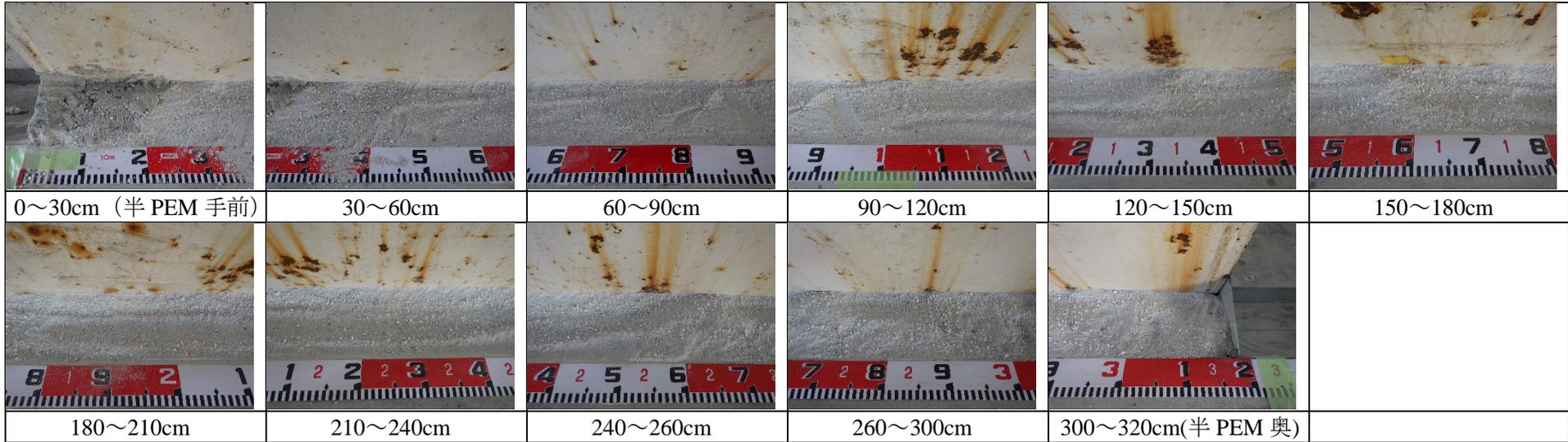


図 5.5.2-15 充填材の下部狭隘部への充填後 (右側)

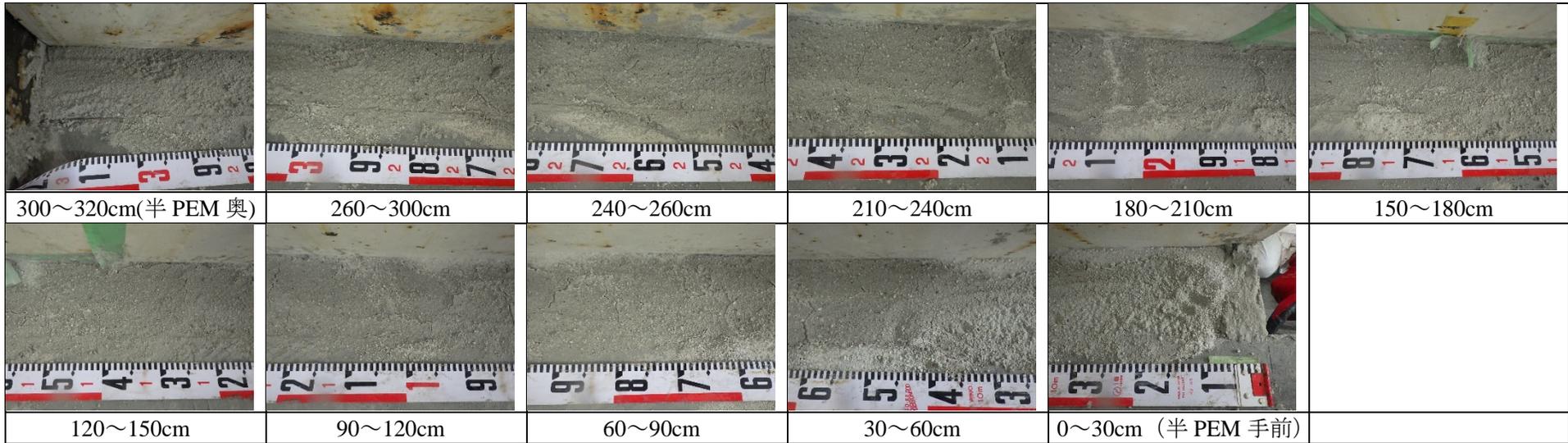


図 5.5.2-16 充填材の下部狭隘部への充填後 (左側)

(5) 試験項目、試験ケース

試験ケースを表 5.5.2-4 に示し、各試験の目的等を以下に示す。

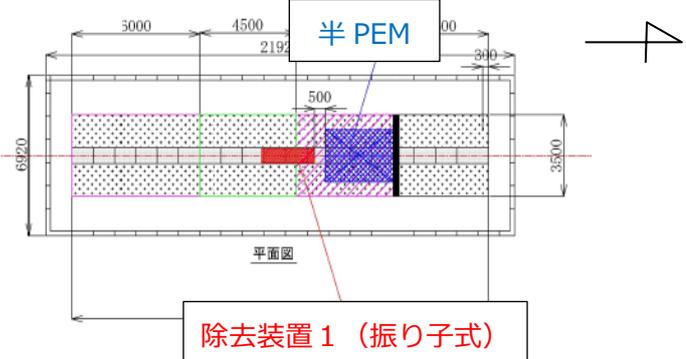
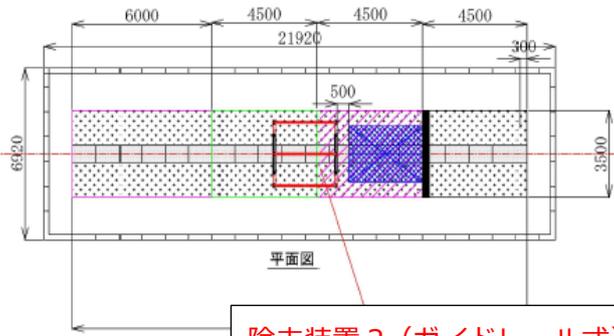
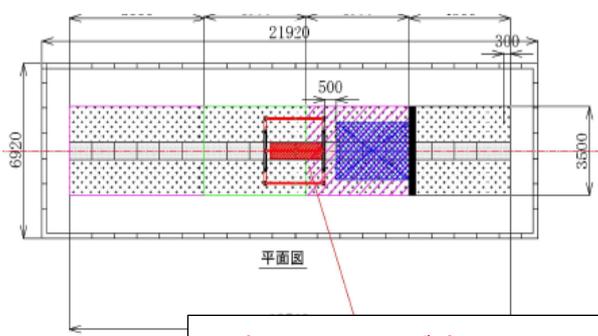
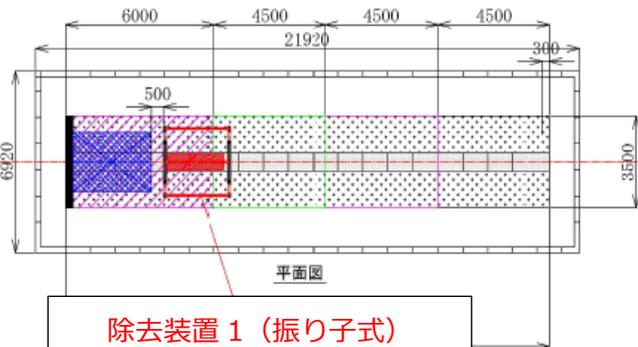
- 1) 試験 1：噴射ノズルの選択試験
ノズルの種類と噴射圧をパラメータとし、坑道面（モルタル仕上げ面）への噴射圧による影響の確認。
- 2) 試験 2：ノズルワーク及び除去状況の確認試験
下部狭隘部に充填した充填材（粒状ベントナイト）の除去試験を行い、ノズルの種類と動かし方、充填材の排出等を確認。
- 3) 試験 3：ウォータージェット方式による流体的除去手順の確認試験
各ノズルの特性を踏まえた組合せ、作業時間、充填材の捕集など、除去手順の確認。

表 5.5.2-4 試験ケース

試験ケース	試験項目	使用ノズル	乾燥密度 (Mg/m ³)	噴射圧 (MPa)	備考
試験 1	1-1	直射ノズル	—	10, 15, 20	—
	1-2	トルネードノズル		10, 15, 20	
	1-3	扇射ノズル		10, 15, 20	
	1-4	配管清掃用ノズル①		10, 15, 20	
試験 2	2-1	直射、トルネード、扇射	1.16	20	下部狭隘部と上部開放部の境界（PEM 側部隙間）への蓋設置無し
	2-2	トルネード	1.10	20	
	2-3	トルネード→配管清掃②	1.09	20	
試験 3	3-1	トルネード→配管清掃②	1.16	20	蓋設置なし
	3-2	トルネード→配管清掃②	1.17	20	蓋設置なし
	3-3	トルネード→配管清掃②	1.08	20	蓋設置あり
	3-4	トルネード→配管清掃②	1.19	20	蓋設置あり

表 5.5.2-5 に試験ケースおよび各試験時の除去装置の配置図を示す。試験 3-4 以外の試験は、モルタル仕上げ区画 1 で実施した。なお、試験 3-4 は、モルタル仕上げ区画 2 で試験を実施し、除去対象の位置がその他の試験とは異なり、反対向き（南向き）になる。

表 5.5.2-5 試験ケースおよび各試験時の除去装置の配置図

試験 ケース	試験 ヤード	資機材配置 平面図
試験 1	1-1	 <p>除去装置 1 (振り子式)</p>
	1-2	
	1-3	
	1-4	
試験 2	2-1	 <p>除去装置 2 (ガイドレール式)</p>
	2-2	
	2-3	
試験 3	3-1	 <p>除去装置 1 及び除去装置 2</p>
	3-2	
	3-3	
試験 3	3-4	 <p>除去装置 1 (振り子式)</p>

(6) 試験結果

1) 試験 1 ; 噴射ノズルの選択試験

モルタル仕上げ区画 1 において、噴射ノズルの選択試験を実施した。試験ケースを表 5.5.2-6 に示す。

下部狭隘部は未充填とし、ノズルの種類 (4 種類 : 直射、トルネード、扇射、配管洗浄) と噴射圧 (3 種類 : 10MPa、20MPa、30MPa) をパラメータにした場合の坑道面 (モルタル仕上げ面) への噴射圧による影響の確認を実施した。なお、ノズルは半 PEM 端部から 30cm の位置にセット・噴射、噴射時間は各ノズル 1 分程度とし、モルタル面を目視及び触診にて確認した。試験フローを図 5.5.2-17 に示す。

表 5.5.2-6 試験 1 試験ケース

試験ケース	試験項目	使用ノズル	乾燥密度 (Mg/m ³)	噴射圧 (MPa)	備考
試験 1	1-1	直射ノズル	—	10, 15, 20	—
	1-2	トルネードノズル		10, 15, 20	
	1-3	扇射ノズル		10, 15, 20	
	1-4	配管清掃用ノズル①		10, 15, 20	

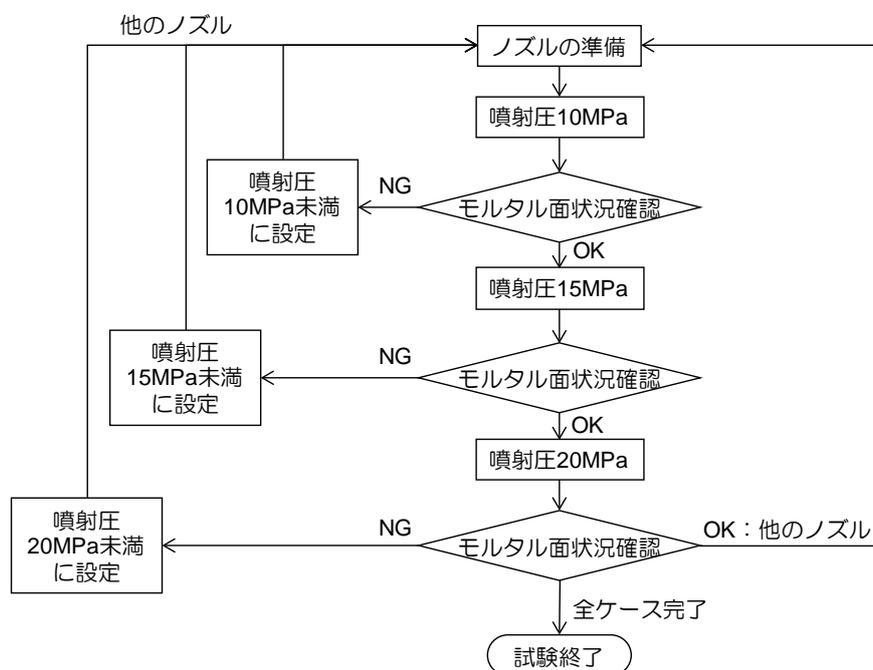


図 5.5.2-17 試験フロー (試験 1)

試験結果を表 5.5.2-7 に示す。モルタル面の剥がれは、いずれのケースにおいても確認されなかったことから、以降の除去試験におけるノズルの噴射圧は 20MPa とした。噴射圧 (20MPa) における各ノズルの噴射後の走行面の写真を図 5.5.2-18～図 5.5.2-22 に示す。また、使用ノズルの 20MPa 時の水量を表 5.5.2-8 に示す。

なお、モルタル面の剥がれは発生しない結果となったが、走行面に垂直に当たる配管清掃用ノズル① (前後横の 3 方向) において、触診により若干のざらつきが確認されたため、試験 2 からの除去試験に使用するノズルは、走行面に垂直に当たらない前後 2 方向から斜めに噴射される配管清掃用ノズル②を使用した。

表 5.5.2-7 試験結果 (試験 1)

試験 No.	ノズル	噴射圧 (MPa)			備考
		10	15	20	
1-1	直射ノズル	○	○	○	
1-2	トルネードノズル	○	○	○	
1-3	扇射ノズル	○	○	○	
1-4	配管清掃用ノズル① (前後横の 3 方向)	○	○	△	△: 触診により ざらつき確認
1-5	配管清掃用ノズル② (前後の 2 方向)	-	-	○	

○: 傷なし

△: やや傷等はあるが走行には影響なし

×: モルタルの剥がれ、亀裂あり



図 5.5.2-18 狭隘部左側 噴射前



図 5.5.2-19 直射ノズル 20MPa 噴射後

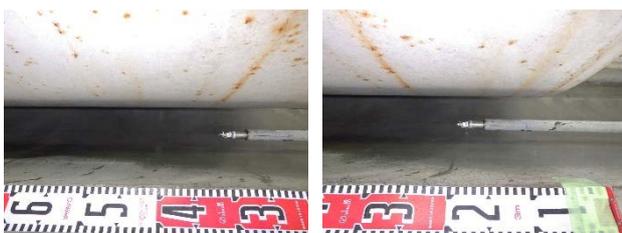


図 5.5.2-20 トルネードノズル 20MPa 噴射後

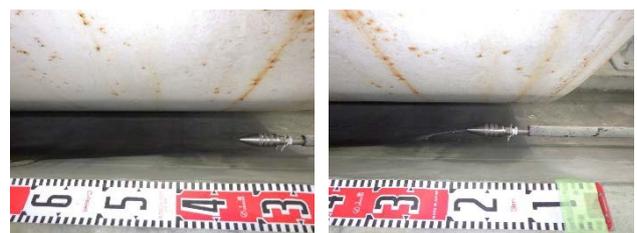


図 5.5.2-21 扇射ノズル 20MPa 噴射後

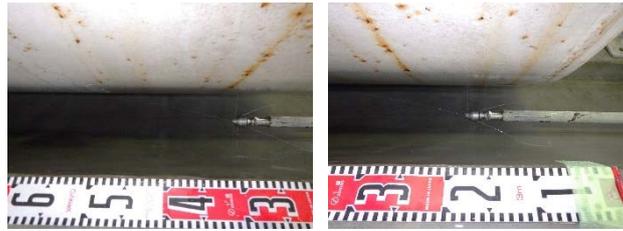


図 5.5.2-22 配管清掃用ノズル①20MPa 噴射後（前後横の3方向）

表 5.5.2-8 各ノズルの使用水量（噴射圧 20MPa 時）

ノズル	水量 (L/min)
直射ノズル	54
トルネードノズル	30
扇射ノズル	20
配管清掃用ノズル①	74
配管清掃用ノズル②	74

2) 試験 2 ; ノズルワーク及び除去状況の確認試験

試験 2 の試験ケースを表 5.5.2-9 に示す。試験 1 で決定した噴射圧（20MPa）にて、モルタル仕上げ区画 1 の試験ヤードの左右狭隘部の片面ずつを使用して、ノズルワーク及び除去状況を確認した。試験手順を表 5.5.2-10 に、試験フローを図 5.5.2-23 に示す。

表 5.5.2-9 試験 2 試験ケース

試験ケース	試験項目	使用ノズル	乾燥密度 (Mg/m ³)	噴射圧 (MPa)	備考	
試験 2	2-1	ノズルワーク、 除去状況の 確認試験	直射→トルネード→扇射	1.16	20	下部狭隘部と上部開放部の境界（PEM 側部隙間）への蓋設置無し
	2-2		トルネード	1.10	20	
	2-3		トルネード→配管清掃②	1.09	20	

表 5.5.2-10 試験 2 の試験手順

試験手順	試験実施内容	確認事項
1、材料の充填	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベントナイト（クニゲル GX）を狭隘部に充填 ・ 充填重量を計測 	充填重量と体積から凡その密度の算出
2、除去装置の設置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用機械の位置合わせ、アンカー設置 	機械設置位置の確認、土のう等位置はバキュームホースと調整
3、使用ノズルの確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ ノズルケースを確認し、使用するノズルを用いて除去 ・ 片側ごとに、1つのノズルケースを実施 	1つのノズル使用後は、除去状況を写真およびコメントにより記録
4、ノズルの動作確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ ノズルホース、バキュームホースの位置調整および取直し確認 	ノズルの動作をカラ運転で確認
5、充填材料の除去・回収	<ul style="list-style-type: none"> ・ 片側狭隘部から除去開始 ・ 回収作業も併せて実施 	水がオーバーフローする場合には、ウォータージェットを止めて回収
6、除去後の状況確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小型カメラおよび目視により狭隘部内を確認 	

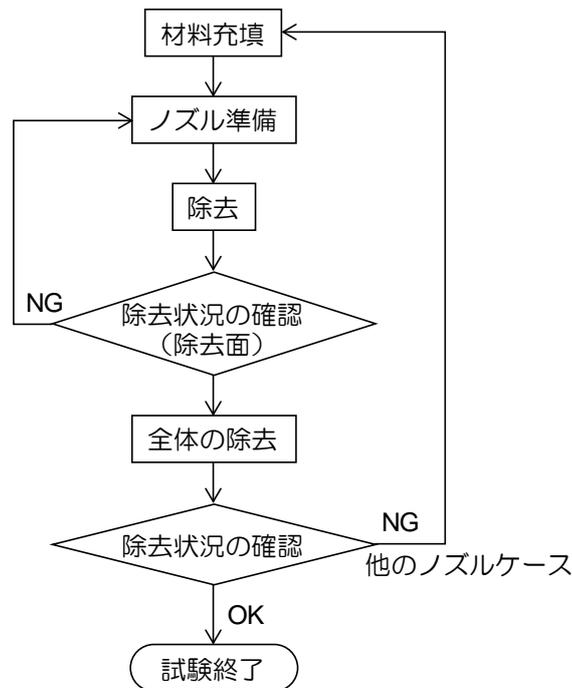


図 5.5.2-23 試験フロー（試験 2）

a 試験ケース 2-1

試験ケース 2-1 では、直射、トルネード、扇射ノズルについて、除去状況を確認した。除去状況結果のまとめを表 5.5.2-11 に示す。

直射ノズルは、充填材に対し、線状に切削され、奥行方向への鋭い溝が形成された。そのため、円弧状の動きのみでは狭隘部の解砕が困難と判断できた。

トルネードノズルは、充填材を面状に切削することが可能であった。また、対象物との離隔距離を調整することで、切削幅の調整を行うことができる。円弧上の動きのみで、充填部の解砕が可能であり、PEM 坑道間の縁切り効果が期待できる結果を得た。ただし、回収装置の動作環境構

築の程度によるが、本事業で行うエアベアリング方式による回収装置の動作環境に対しては、仕上げ洗浄が必要となる坑道面の状態（高含水比の充填材が隙間部に残留する状態）となった。

扇射ノズルでは、充填材の解砕する力が他のノズルに比較すると弱い結果となり、高含水比の塊状となった充填材に対しての解砕が困難となった。一方、トルネードノズルで開催した後の充填材の掃き出しには、一定の効果が確認された。

表 5.5.2-11 試験ケース 2-1 除去状況まとめ

試験 ケース	項目	使用ノズル順番		
		①	②	③
2-1	ノズル	直射ノズル	トルネードノズル	扇射ノズル
	状況写真	 正面	 正面	 上部
	離隔	5cm	30cm	30cm
	切削状況	・ 線状に切削	・ 狭隘部の幅で切削	・ 狭隘部の幅 ・ 解砕された充填材の清掃可能
	解砕状況	・ 奥行き方向に穴が開く ・ 解砕は困難	・ 砕きながら除去可能	・ 水量が少なく解砕は困難
	掃き出し状況	・ なし	・ 手前へやや掃き出される	・ なし

b 試験ケース 2-2

試験ケース 2-1 の結果を踏まえ、トルネードノズルの離隔を 30cm から 40cm へと変更し、トルネードのノズルの切削幅を下部狭隘部の幅に調整し除去することとした。また、トルネードノズルの前進による解砕後、そのままトルネードノズルを後退させて充填材の掃き出しを行った。

その結果、トルネードノズルを後退させた除去では、走行面や半 PEM 周辺の除去は可能であった。一方、トルネードノズルは奥向きの方の噴射水流であるため、すべての充填材を PEM 手前のバキュームがある方向への掃き出すことは困難であり、半 PEM 奥棲部に充填材が残留する結果となった。表 5.5.2-12 に試験ケース 2-2 の除去状況を示す。

表 5.5.2-12 試験ケース 2-2 除去状況まとめ

試験 ケース	項目	使用ノズル順番	
		①	②
2-2	ノズル	トルネードノズル (前進)	トルネードノズル(後退)
	状況写真	 正面	 正面
	離隔	40cm	40cm
	切削状況	・ 狭隘部の幅で除去	
	解砕状況	・ 砕きながら除去可能	・ 解砕は可能だが噴射方向が奥行きのため、充填材が手前に流れてこない
掃き出し状況	・ 手前へやや掃き出される	・ 手前へやや掃き出される	

c 試験ケース 2-3

試験ケース 2-2 において、トルネードノズルの後退による方法では、半 PEM 奥棲部に充填材が残留するという、坑道面の仕上げに関する課題が生じたことから、本試験ケースでは、トルネードノズルによる解砕除去を行い、その後、配管清掃用ノズルにより、坑道面の仕上げを行うノズルワークを確認するケースとした。

その結果、配管洗浄ノズルによるノズル前方の除去と後方への充填材の掃き出しの効果が発揮され、坑道面の仕上げを含め、本ケースのノズルワークが最も効率的に除去が可能であることを確認した。表 5.5.2-13 に試験ケース 2-3 の除去状況を示す。

以上の結果より、使用ノズルとして、トルネードノズルおよび配管清掃用ノズルを選定し、ウォータージェット方式による流体的除去手順の確認を行う試験 3 を実施した。

表 5.5.2-13 試験ケース 2-3 除去状況まとめ

試験 ケース	項目	使用ノズル順番	
		①	②
2-3	ノズル	トルネードノズル	配管清掃用ノズル
	状況写真	 正面	 上部
	離隔	40cm	半 PEM 先端
	切削形状	・ 狭隘部の幅で除去	・ 前方で進行方向除去、後方で充填材の掃き出し可能
	解砕状況	・ 砕きながら除去可能	
	掃き出し状況	・ 手前へやや掃き出される	・ 後方ノズルにより最も手前への掃き出しが効果的

3) 試験 3；流体的除去手順の確認試験

試験 3 の試験ケースを表 5.5.2-14 に示す。本試験では、試験 2 で選定した 2 種類（トルネード、配管洗浄）ノズルの特性を踏まえた、流体的除去手順の確認（装置の選定を含む）を実施した。また、開放部と狭隘部の境界部の条件（蓋の有無：図 5.5.2-24 参照）による除去状況の確認も併せて行った。試験手順を表 5.5.2-15 に、試験フローを図 5.5.2-25 に示す。

表 5.5.2-14 試験 3 試験ケース

試験 ケース	試験項目	除去装置	開放部と 狭隘部の 境界条件	噴射圧 (MPa)	ノズル	
試験 3	3-1	ウォータージェット方式による流体的除去手順の確認	除去装置 2 (ガイドレール式)	蓋設置なし	20	トルネード ↓ 配管洗浄
	3-2		除去装置 1 (振り子式)	蓋設置なし	20	
	3-3		除去装置 1 (振り子式)	蓋設置あり	20	
	3-4	試験	除去装置 1 (振り子式)	蓋設置あり	20	

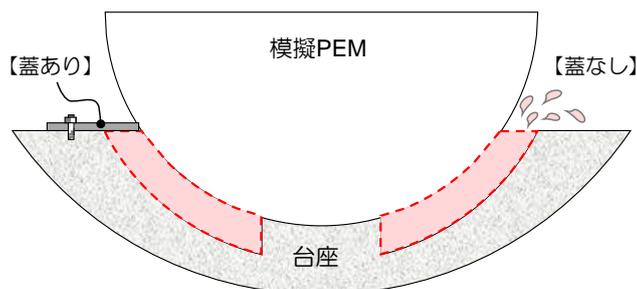


図 5.5.2-24 開放部と狭隘部の境界部の条件

表 5.5.2-15 試験3の試験手順

試験手順	試験実施内容	確認事項
1、材料の充填	<ul style="list-style-type: none"> ベントナイト（クニゲル GX）を狭隘部に充填 充填重量を計測 	充填重量と体積から凡その密度の算出
2、除去装置の設置	<ul style="list-style-type: none"> 使用機械の位置合わせ、アンカー設置 	機械設置位置の確認、土のう等位置はバキュームホースと調整
3、ノズルの動作確認	<ul style="list-style-type: none"> ノズルホース、バキュームホースの位置調整および取直し確認 	ノズルの動作をカラ運転で確認
4、充填材料の除去・回収	<ul style="list-style-type: none"> 片側狭隘部から除去開始 回収作業も併せて実施 	水がオーバーフローする場合には、ウォータージェットを止めて回収
5、除去後の状況確認	<ul style="list-style-type: none"> 小型カメラおよび目視により狭隘部内を確認 	

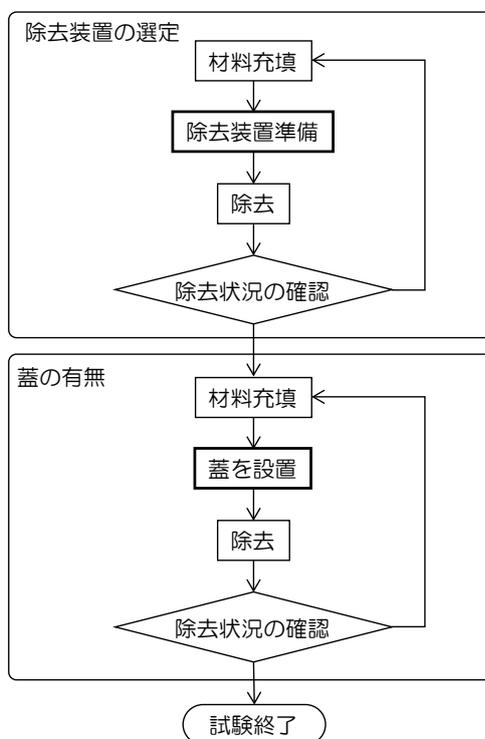
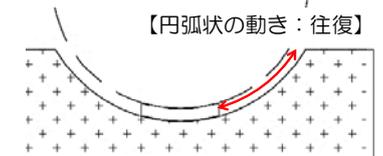
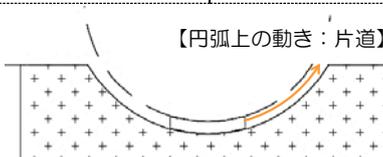


図 5.5.2-25 試験フロー（試験3）

除去装置 1（振り子式）、除去装置 2（ガイドレール式）の 2 つの除去装置は、円弧状移動の速度が搭載モータにより固定されている。除去装置 1（振り子式）では、円弧状移動に往復 17 秒を要し、除去装置 2（ガイドレール式）では、35 秒を要する（表 5.5.2-16）。そのため、2 種類の除去装置共に、設定可能なパラメータはノズルの奥行き方向への速度となる。

表 5.5.2-16 除去装置の円弧状移動の速度

除去装置	除去装置 1(振り子式)	除去装置 2 (ガイドレール式)
	往復 17 秒 (上止 2 秒、下止 3 秒)	往復 35 秒 (上止 1 秒、下止 4 秒)
円弧状の移動		
	片道 6 秒	片道 15 秒
		

a 試験ケース 3-1

試験ケース 3-1 は、除去装置 2（ガイドレール式）を使用し、トルネードノズルおよび配管洗浄ノズルにより流体的除去手順の確認を行った。なお、上部開放部と下部狭隘部の境界条件（PEM 側部と組立台コンクリートの隙間）は、蓋設置なしの開放状態である。試験ケース 3-1 の除去手順と状況を示した表を表 5.5.2-17 に示し、除去手順毎の状況写真を図 5.5.2-26 に示す。

表 5.5.2-17 試験ケース 3-1 除去手順

試験ケース	使用ノズル	奥行き移動	円弧状移動範囲	状況
3-1	① トルネード (前進)	約 10cm/min	円弧	ノズルの前進速度が速く、解砕していないベントナイトにノズルが突き刺さる。バキュームで吸えない。
	② トルネード	移動なし	円弧	5min 噴射のみ行い、水量を与える
	③ トルネード (前進)	約 10cm/min	円弧	前進速度を落として実施。 半 PEM 棲部までの除去完了
	④ トルネード (後退)	約 10cm/min	円弧	除去しきれない充填材の塊が残存
	⑤ トルネード	移動なし	円弧	5min 噴射のみ行い、塊を砕く
	⑥ ④～⑤を 3 回繰返し	約 10cm/min	円弧	除去しきれない充填材の塊が残存
	⑦ 配管清掃用 (前進)	約 20cm/min	円弧	
	⑧ 配管清掃用 (後退)	約 20cm/min	円弧	台座部への残りが確認されたためもう一往復
	⑨ ⑦～⑧を繰返し	約 20cm/min	円弧	

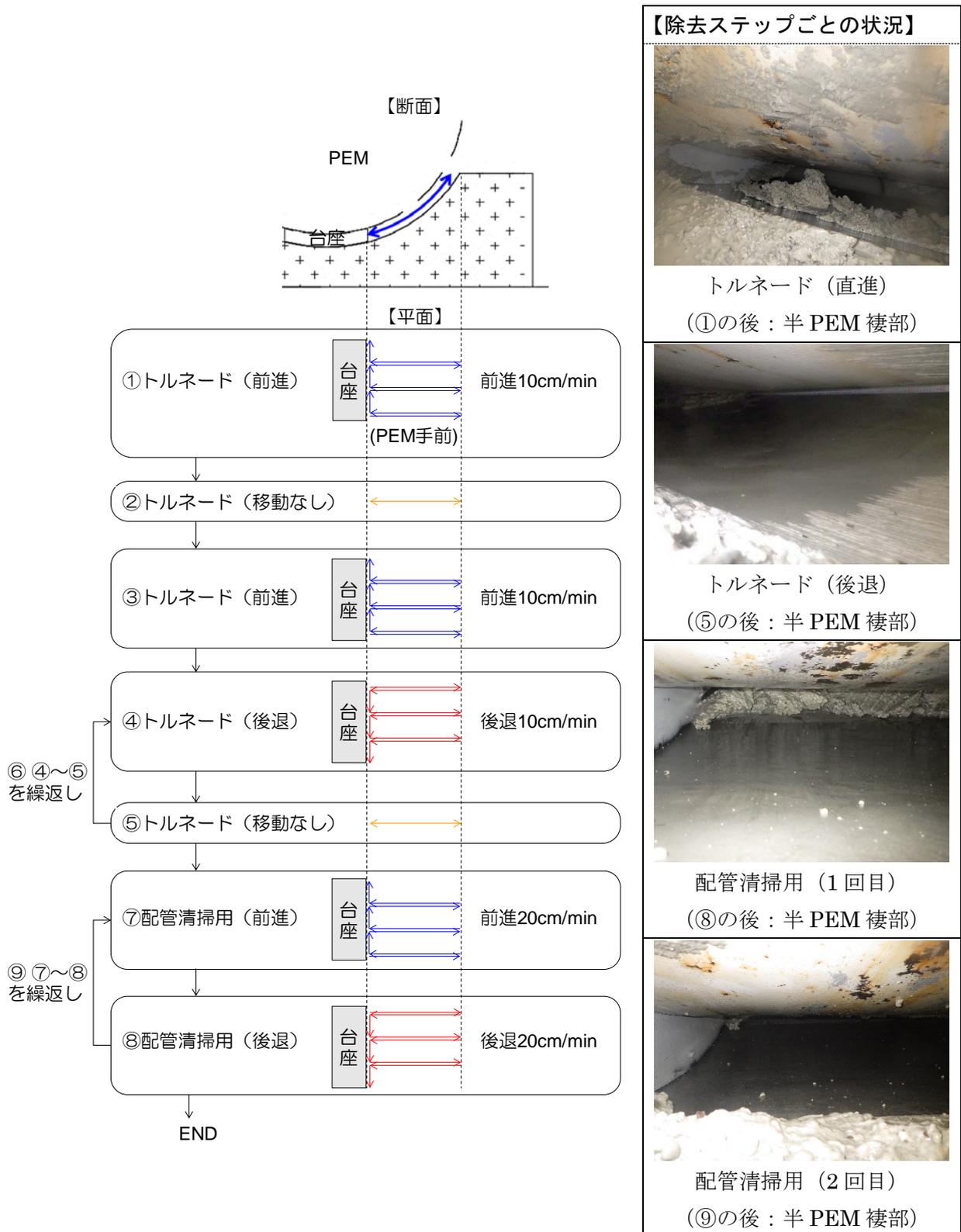


図 5.5.2-26 試験ケース 3-1 除去手順毎の状況

b 試験ケース 3-2

試験ケース 3-2 は、除去装置 1（振り子式）を使用し、トルネードノズルおよび配管洗浄ノズルに

より流体的除去手順の確認を行った。なお、上部開放部と下部狭隘部の境界条件（PEM側部と組立台コンクリートの隙間）は、蓋設置なしの開放状態である。試験ケース 3-2 の除去手順と状況を表 5.5.2-18 に示し、除去手順毎の状況写真を図 5.5.2-27 に示す。

表 5.5.2-18 試験ケース 3-2 除去手順

試験ケース	使用ノズル	奥行き移動	円弧状移動範囲	状況
3-2	① トルネード	移動なし	円弧	5min 噴射のみ行い、水量を与える
	② トルネード (前進)	約 5cm/min	円弧	解砕および大まかな除去が可能
	③ 配管清掃用 (前進)	約 20cm/min	円弧	狭隘部上部の除去はできているが、台座側部の残存が確認
	④ 配管清掃用 (後退)	約 10cm/min	円弧 1/2	狭隘部下部 (台座付近) の除去を重点的に実施
	⑤ ③~④を 2 回繰り返す			配管清掃用で 2 往復し、完全に除去完了

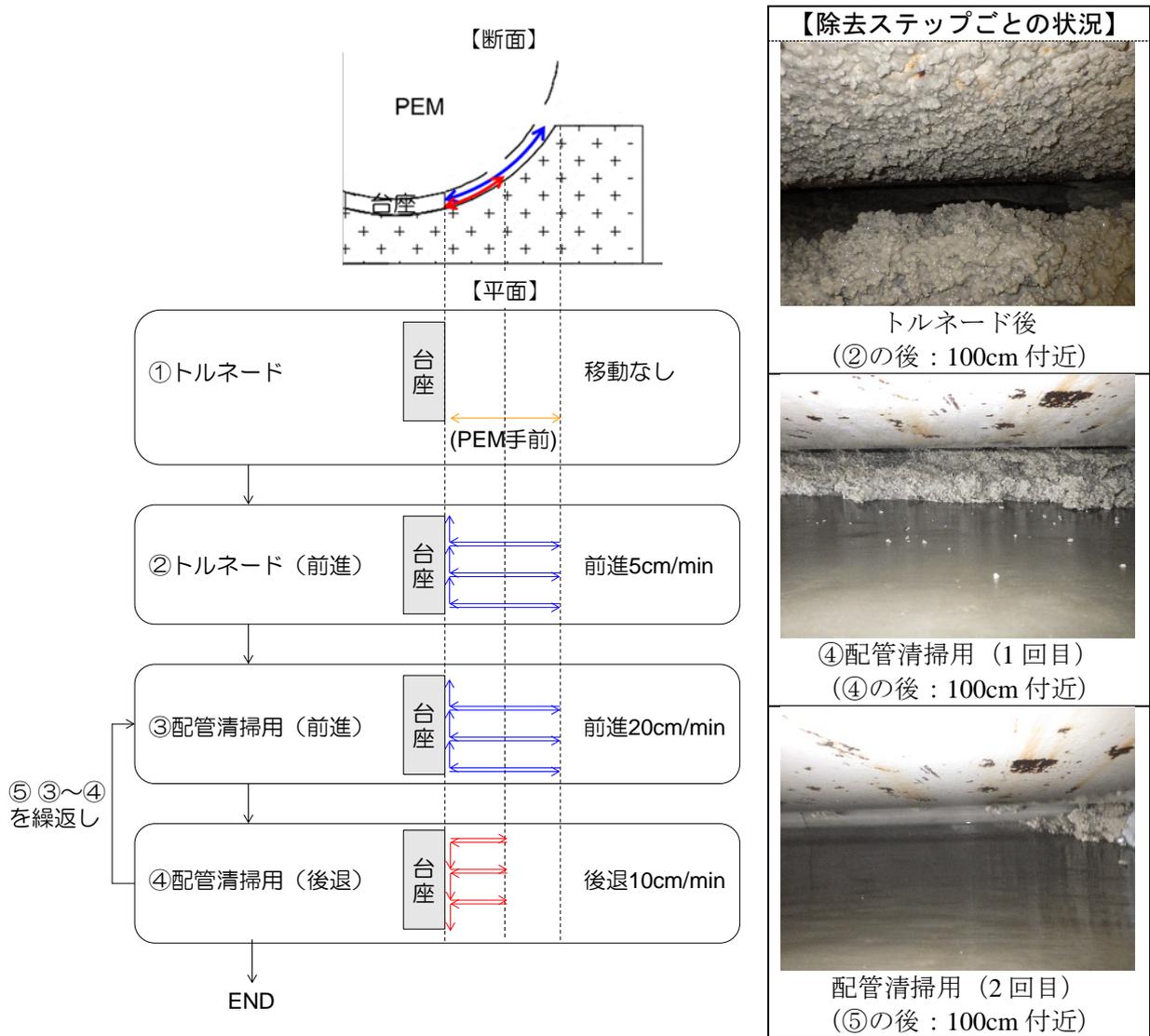


図 5.5.2-27 試験ケース 3-2 除去手順毎の状況

試験 3-1 および 3-2 とともに、PEM 坑道間の縁切りとして、トルネードノズルによる切削は有効であると判断できた。

トルネードノズルの前進速度とバキューム吸引に関して着目すると、2 種類の前進速度（10cm/min、5cm/min）のうち、10cm/min では除去対象とする充填材の流動化に対してノズルの前進速度が速くなりノズルが充填材に突き刺さる事象や、充填材の流動化が不十分でバキュームで吸引捕集ができない事象等が発生した。一方 5cm/min では、ノズルが充填材に接触することもなく、バキューム吸引も順調に実施できた。

ベントナイト（クニゲル V1）の液性限界 416%に着目し、トルネードノズルの前進速度における含水比を試算（表 5.5.2-19）すると、前進速度 5cm/min の場合では充填材の含水比は 484%となり、ベントナイト（クニゲル V1）の液性限界以上となる。一方、前進速度 10cm/min の場合では、含水比 246%となり、ベントナイト（クニゲル V1）の液性限界以下となる。

表 5.5.2-19 トルネードノズルの前進速度における充填材の含水比の試算

トルネードノズルの前進速度	1分間当たりの加水量	1分間 前進当たりの除去対象物のうち、土（粘土）重量	1分間 前進当たりの除去対象物のうち、水重量	1分間 前進当たりの加水量を考慮した除去対象物の含水比
5cm/min	30L (30,000g)	6,307g	505g	484%
10cm/min		12,614g	1,010g	246%
備考	表 5.5.2-8	断面積×前進速度/分×乾燥密度	土（粘土）重量×初期含水比	416%；ベントナイト（クニゲル V1）の液性限界

※1;下部狭隘部の片側断面積 1,060cm²、※2;充填材の乾燥密度 1.19g/cm³
 ※3;充填材の初期含水比 8%

上記の試算結果や試験 3-1、3-2 の試験結果から、吸引除去の観点（バキュームへの閉塞無しの連続的な吸引捕集の観点）からは、トルネードノズルの前進速度 5cm/min のケースが有意であると判断された。また、除去開始時（ノズル前進前）における除去対象物への十分な流動化のため、トルネードノズルの前進動作の前に、円弧状移動のみを 5 分間行うことで、スムーズな除去が可能であった。従って、下部狭隘部の隙間充填材除去に関し、充填材の液性限界に対応する量の切削水を使用し、充填材を十分に流動化させることで効率的な吸引捕集が可能になると考えられる。

続いて、試験ケース 3-2 のトルネードノズル（5cm/min）による前進除去後の走行面の状態を図 5.5.2-28 に、配管清掃ノズルによる坑道面の仕上げ状況（1 往復後、2 往復後）を図 5.5.2-29、図 5.5.2-30 に示す。これらの状態を確認すると、トルネードによる前進除去により、充填材の解砕・大まかな除去は可能であり PEM-坑道間の充填材の縁切りは達成できているが、走行面および半 PEM への充填材の付着が多量に残る結果となり、回収装置の動作環境構築の観点からは、トルネードノズルによる除去のみでは、不十分な坑道面の状態であると考えられた。一方、配管清掃ノズルによる除去を 2 往復行うことにより、残留物がほぼ全て除去できることが確認され、本事業の搬送定置装置の動作環境の実現に十分な坑道面の状態までの除去が達成できた（図 5.5.2-31）。本試験で決定した除去手順の設定を表 5.5.2-20 に示す。なお、除去装置は、除去装置 1(振り子式)を選定し、地下での実証試験を見据え、装置の一部を改良した。改良の詳細は後述する。この手順で下部狭隘部（片側）の除去を行う場合、除去に要する時間は約 165 分（2 時間 45 分程度）であり、使用水量は約 9000L（約 9m³）であった。ノズルの交換などの段取り替えを含めると、片側の除去時間は 3 時間程度となる見込みである。



図 5.5.2-28 試験ケース 3-2 トルネードによる前進除去後 (メジャーなし：側部への充填材多く設置できず)

5-49

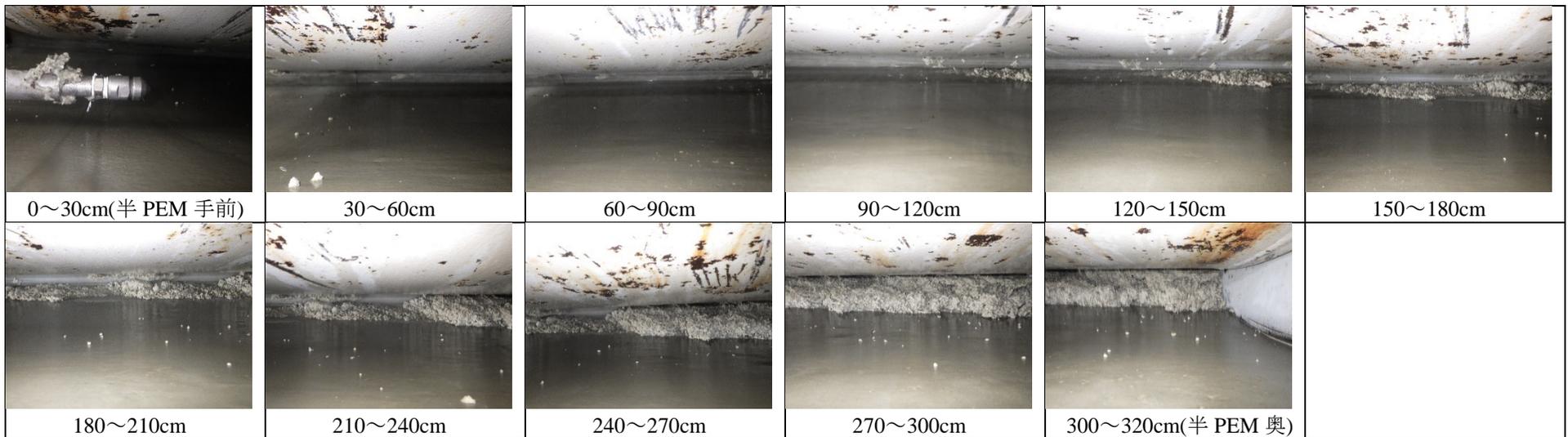


図 5.5.2-29 試験ケース 3-2 配管清掃用ノズル② 除去後 (1往復後)

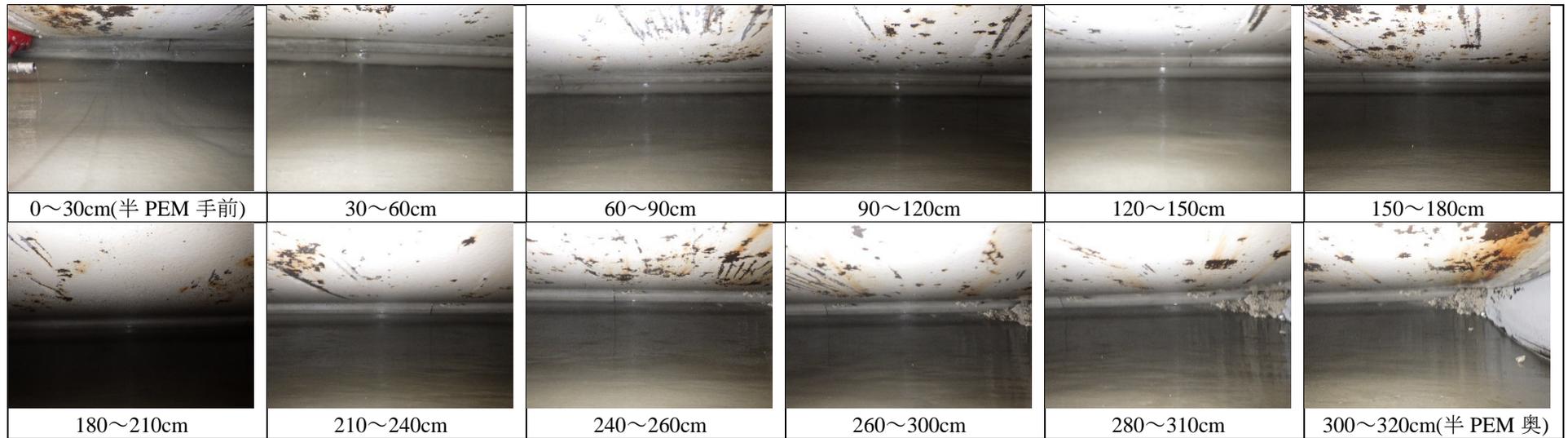


図 5.5.2-30 試験ケース 3-2 配管清掃用ノズル② 除去後 (2 往復後)

半 PEM 最奥部の除去手順毎の状況 (試験ケース 3-2)		
トルネードノズル前進(5cm/min) 除去後	配管清掃用ノズル② 1 往復 除去後	配管清掃用ノズル② 2 往復 除去後

図 5.5.2-31 試験ケース 3-2 半 PEM 最奥部の除去手順毎の状況

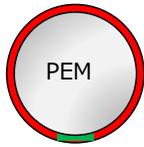
表 5.5.2-20 決定した流体的除去手順の設定

PEM 1 体分の下部狭隘部 (片側) の除去試験を実施

使用ノズル	ノズルワーク	目的	断面図	平面図	除去後の状態 (半PEM裡側)	所要時間	使用水量
1. トルネード	円弧移動のみ	流動化				5分	150L
2. トルネード	円弧移動 前進 約5cm/分	PEM-坑道間の充填材の大まかな切削・吸引捕集				約70分	2,100L
3. 配管清掃用	円弧移動 前進 約20cm/分	PEM外面、坑道面の洗浄、切削物の吸引捕集			—	約15分	1,100L
4. 配管清掃用	1/2円弧移動 後退 約10cm/分	台座近傍 (エアベアリング走行部) の洗浄、切削物の吸引捕集				約30分	2,220L
5. 3~4を もう1セット	円弧移動 前進 約20cm/分 + 1/2円弧移動 後退 約10cm/分					約45分	3,330L

PEM-坑道間の縁切り
回収装置動作環境の実現

5-51



円形断面坑道に定置された場合、充填材の除去に要する時間は今回の結果から単純に換算すると、20.6h (7.6倍) 回収装置の走行のための洗浄で多くの時間と水を使用

回収装置からの要求により簡略、省略可能と考えられる時間

減容化処理 (固液分離) 切削水リユースなどにより減量可能な数量



c 試験ケース 3-3

試験ケース 3-3 は、除去装置 1（振り子式）を使用し、表 5.5.2-20 に示した手順による除去試験を実施した。試験ケース 3-2 と異なる試験条件は、上部開放部と下部狭隘部の境界条件である。本試験ケースでは、上部開放部と下部狭隘部の境界部に蓋を設置し、流体的除去装置のノズルの噴射領域を限定した試験を実施した（図 5.5.2-32）。本試験ケースは、PEM を搬送・定置しうる最小断面（例えば、円形断面）の隙間充填材除去への適用性を確認することを目的とした。



(a) 蓋なし 試験ケース 3-1、3-2



(b) 蓋あり 試験ケース 3-3、3-4

図 5.5.2-32 上部開放部と下部狭隘部の境界部への蓋の設置の有無 説明図

試験状況を図 5.5.2-33、図 5.5.2-34 に示す。蓋を設置することで、充填材の PEM 側面への飛散が抑止されると同時に、飛散していた切削水も狭隘空間内で滞留することから、充填材が十分に流動化し、重量により坑道面へ流下、半 PEM 手前側に半スラリー状態で流出され、バキュームによる吸引捕集が順調に行われた。なお、トルネードノズルによる除去を行った後、蓋の一部を外して、充填材の状態を確認したところ、手で抄える状態（スラリー状）であった（図 5.5.2-33(b)）。

配管清掃用ノズル②による除去後（1 往復後、2 往復後）の状態を図 5.5.2-34～図 5.5.2-36 に示す。試験ケース 3-2 と同様に本事業で想定しているエアベアリングによる搬送定置装置の動作環境の実現に十分な坑道面の状態までの除去が達成できた。

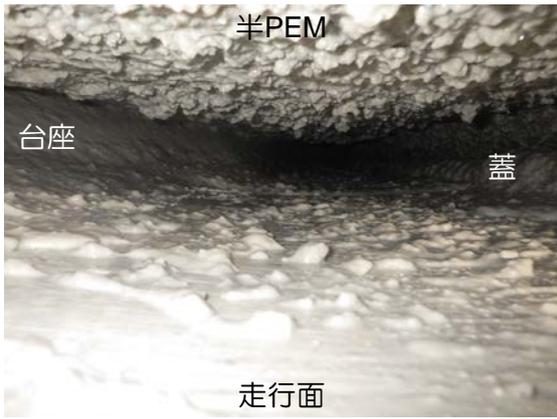


(a) 除去試験状況



(b) トルネードノズルによる除去後、蓋を外し、隙間充填材の状態を確認

図 5.5.2-33 試験ケース 3-3 試験状況（1/2）



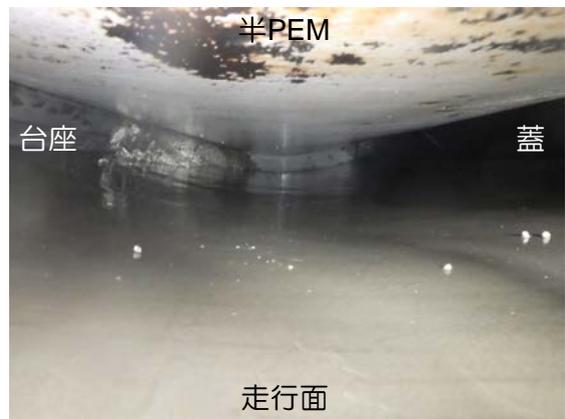
(c) トルネードノズルによる除去後



(d) 配管清掃用ノズル②による除去前



(e) 配管清掃用ノズル②による除去 (1 往復後)



(f) 配管清掃用ノズル②による除去 (2 往復後)

図 5.5.2-34 試験ケース 3-3 試験状況 (2/2)

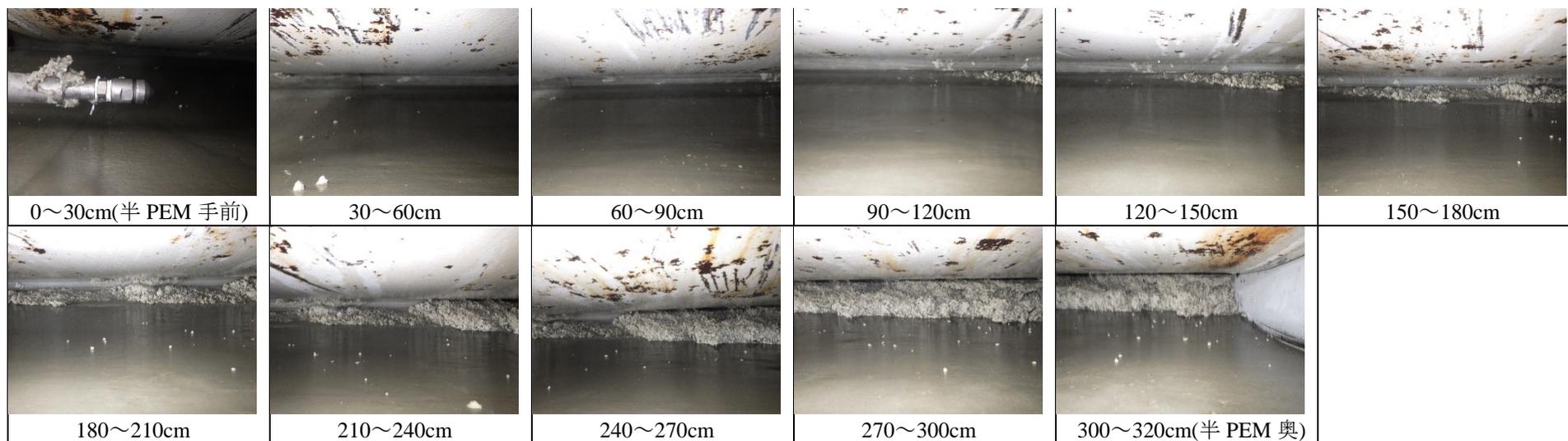


図 5.5.2-35 試験ケース 3-3 配管清掃用ノズル② 除去後 (1 往復後)

5-54

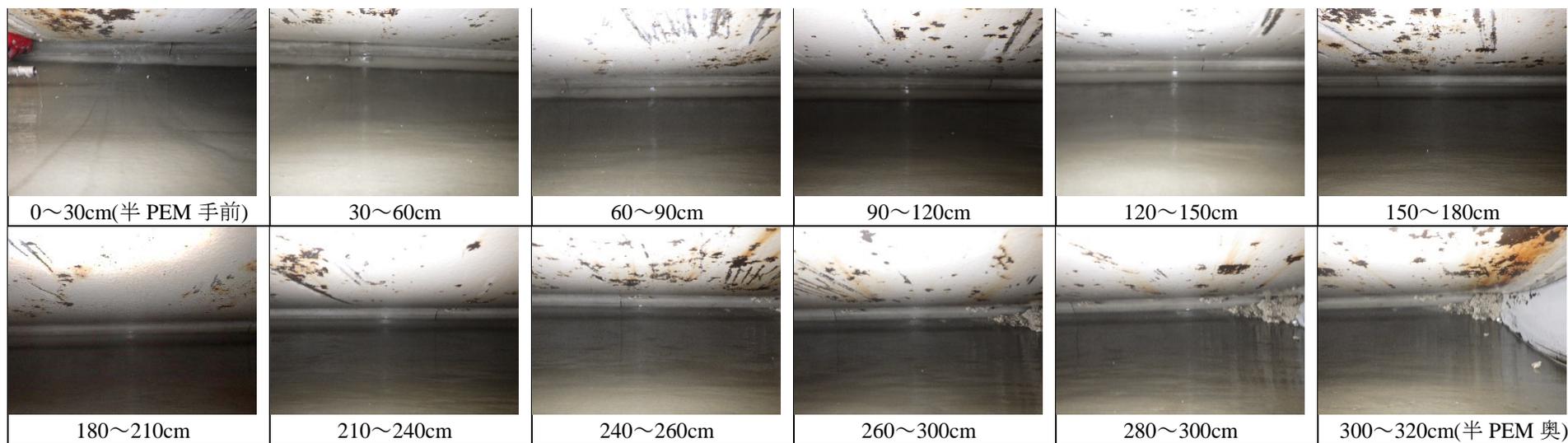


図 5.5.2-36 試験ケース 3-3 配管清掃用ノズル② 除去後 (2 往復後)

試験終了後、半 PEM を移動して走行面の状況を確認した結果、左側の走行面、半 PEM 手前から 1.3m の位置でモルタルの剥がれ (5cm×7cm、深さ 2～3mm) が確認された (図 5.5.2-37)。しかしながら、同箇所にて 3 回除去試験を実施および段取り替えによる除去装置の入替作業を行ったため、モルタルの剥がれの原因の特定は困難であった。



図 5.5.2-37 試験ケース 3-3 モルタルの剥がれ (5cm×7cm、深さ 2～3mm)

d 試験ケース 3-4

試験ケース 3-4 は、最終試験として地上試験ヤードの場所をモルタル区画 2 に移し、試験を実施した。試験条件は、試験ケース 3-3 と同様であり、除去装置 1 (振り子式) を使用し、表 5.5.2-20 示した手順による除去試験を実施した。なお、上部開放部と下部狭隘部の境界条件も試験ケース 3-3 と同様に境界部に蓋を設置し、流体的除去装置のノズルの噴射領域を限定した試験とした。



図 5.5.2-38 モルタル区画 2 の試験前 (左側狭隘部にて試験実施)

配管清掃用ノズル②での除去状況 (1 往復後、2 往復後) を図 5.5.2-39 に示す。これまでの試験と同様に 1 往復では台座付近の充填材が若干量、残留するが 2 往復することで、ほぼ完全に充填材を除去できることを再確認した。配管清掃用ノズル②の 2 往復除去後の走行面の状態全体を図 5.5.2-40 に示す。



(a) 配管清掃用ノズル② 1往復後

(b) 配管清掃用ノズル② 2往復後

図 5.5.2-39 配管清掃用ノズル②での除去状況 (1往復後、2往復後)

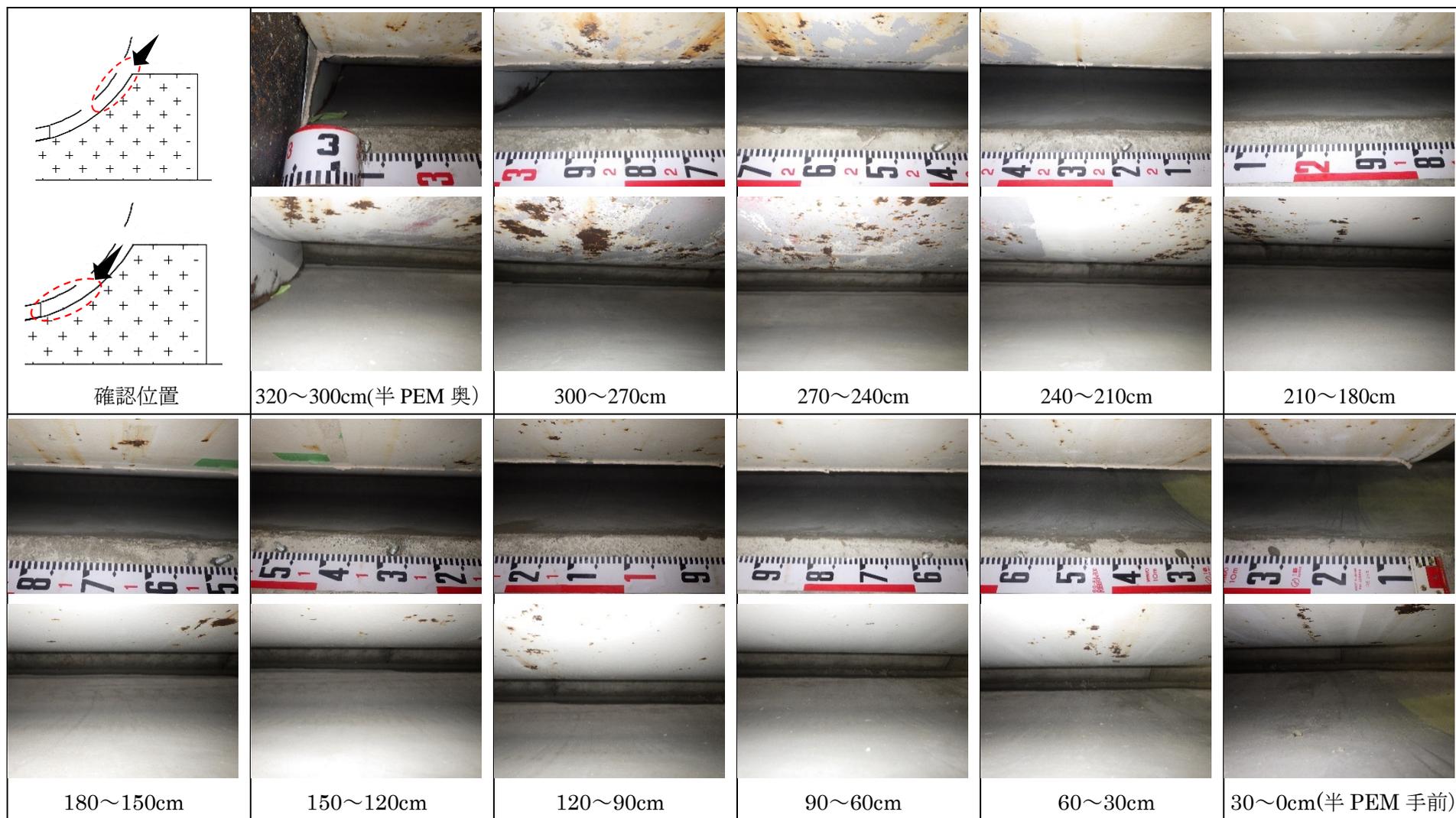


図 5.5.2-40 試験ケース 3-4 配管清掃用ノズル② 除去後 (2 往復後)

試験終了後、半 PEM を移動して走行面の状況を確認した。ノズルの移動した模様が走行面のモルタル上に残っているが、モルタル面への傷や剥がれなどはなかった。除去試験後の走行面の様子を図 5.5.2-41 に示す。

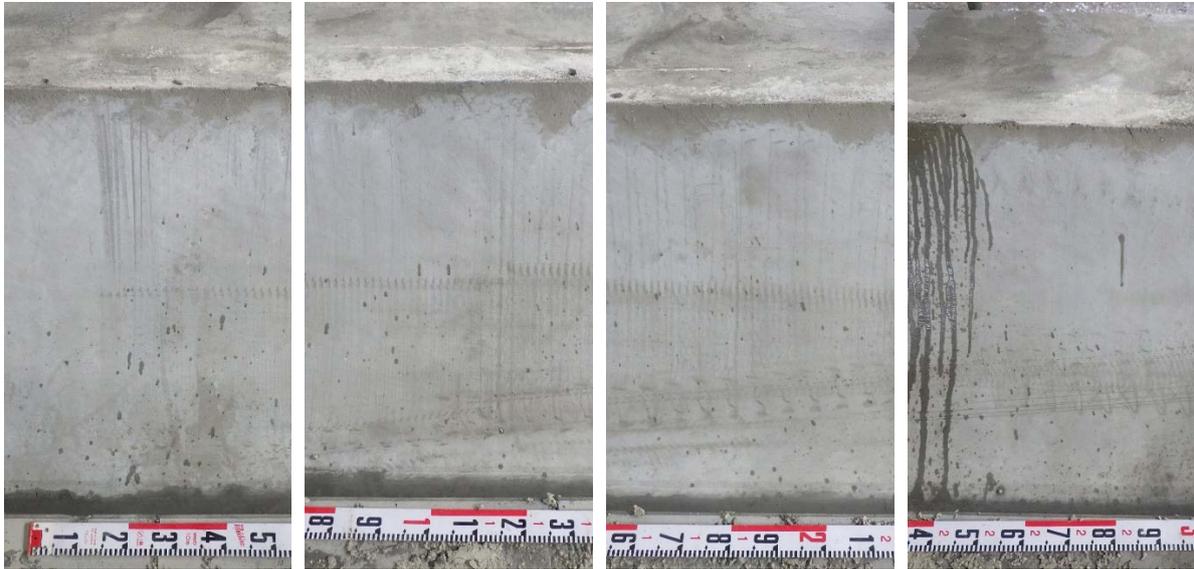


図 5.5.2-41 試験ケース 3-4 試験終了後 走行面（モルタル面）

4) 吸引捕集

吸引捕集用の吸引口および回収ホースの設置位置について、図 5.5.2-42 に示す 3 つのケースで吸引捕集作業の確認を行った。図 5.5.2-42 に示す①および②のケースでは、流体的除去装置のランスが回収ホースと接触し、除去作業全般の妨げとなった。そのため、③のケース（回収ホースを除去対象箇所反対側に配置させるケース）とすることにより除去作業の支障にならず、効率のよい吸引捕集が可能であった。図 5.5.2-43 に試験中の吸引口および回収ホース位置の写真を示す。また、バキュームによる吸引捕集では、充填材が十分な流動性を有する必要がある。しかしながら、今年度の地上試験では、充填材の流動性が不足する場合が一部あり、バキュームによる吸引捕集が非効率となる事象が散見された。その対策として、図 5.5.2-44 に示すように、ハイウォッシャーによる加水を行うことで、充填材の流動性を増し、吸引捕集の補助とした。本対策により、回収ホースの詰まりが軽減され、バキュームによる吸引捕集の効率が改善された。上記結果も踏まえて、地下での実証試験計画を具体化していく。

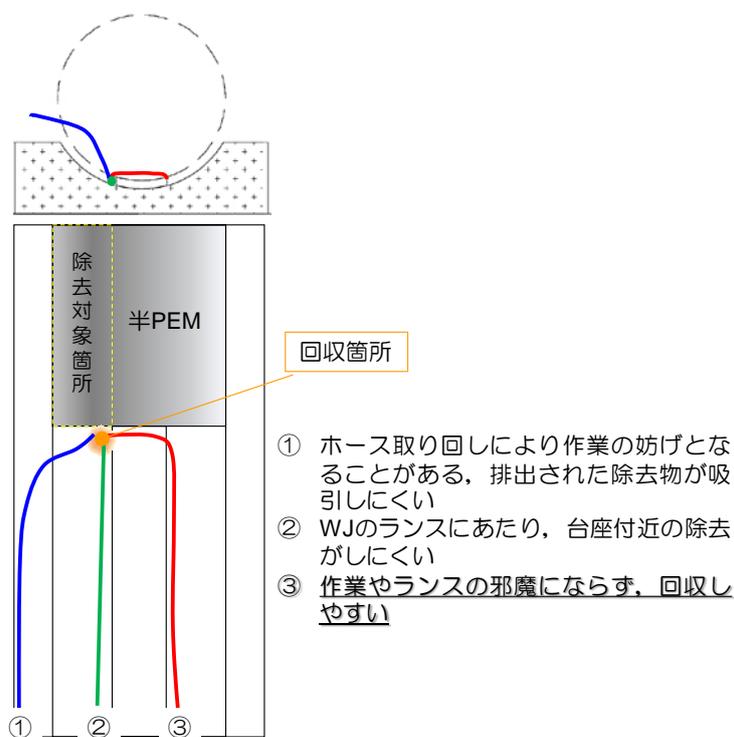


図 5.5.2-42 回収用バキュームの位置 説明図



(a) ケース①



(b) ケース②



(c) ケース③



図 5.5.2-43 吸引口および回収ホースの設置位置



図 5.5.2-44 ハイウォッシャーによる回収補助

5) 流体的除去装置の改良

平成 31 年度の地下実証試験において使用する流体的除去装置 除去装置 1（振り子式）の改良を行った。今年度の装置は、下部狭隘部の範囲がノズルの稼働範囲であった（図 5.5.2-45 の青線まで）。一方、地下での実証試験では、上部開放部の模擬 PEM 周囲もウォータージェットによる除去対象とするため、模擬 PME の周囲 360 度をノズル稼働（回転）可能とする機構へ改良した（図 5.5.2-45 の赤破線）。改良後の除去装置（振り子式）の模式図を図 5.5.2-46 に、写真を図 5.5.2-47 に示す。

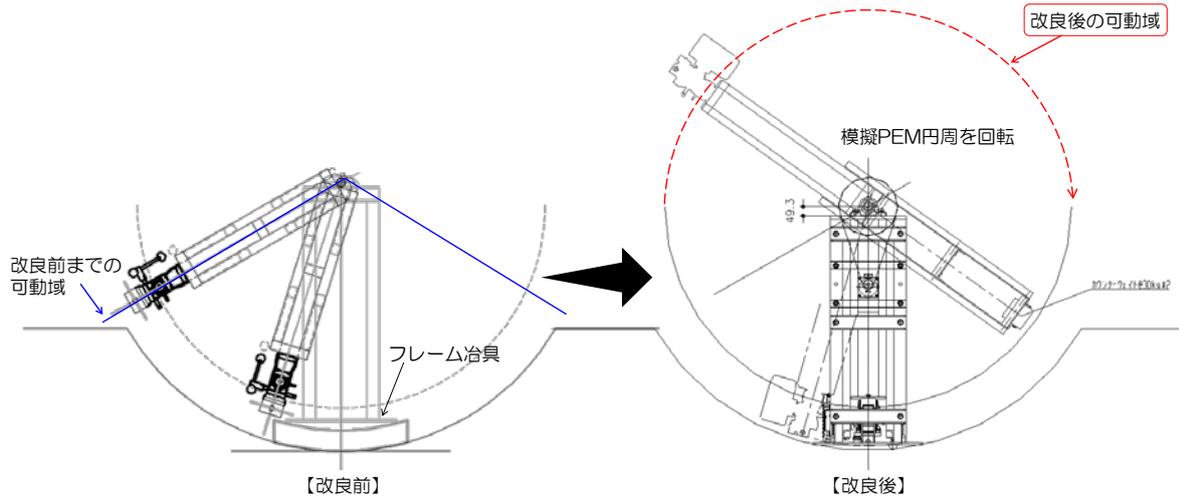
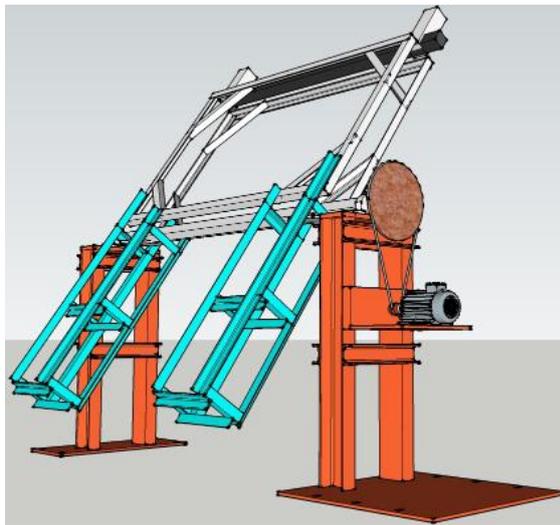
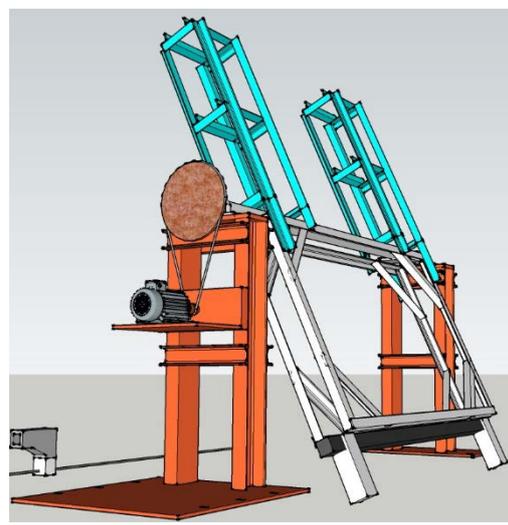


図 5.5.2-45 除去装置 1（振り子式）の改良図



(b) 上部開放部の除去時の動き



(c) 下部狭隘部除去時の動き

図 5.5.2-46 改良後の流体的除去装置（振り子式）の模式図



図 5.5.2-47 改良後の流体的除去装置（振り子式）

5.6 実証試験計画（案）

5.6.1 幌延 URL 隙間充填材除去技術に係る実証試験計画

平成 31 年度に実施する幌延 URL 隙間充填材除去の実証試験に係る手順（案）を図 5.6.1-1 に示す。まず模擬 PEM 周囲 300mm を除く上部開放部の隙間充填材に対し、オーガを用いた機械的除去を行い、坑道と模擬 PEM の縁切りを行う。その後、下部狭隘部の隙間充填材をウォータージェットにより除去し、模擬 PEM と組立台コンクリートとの縁切りを行う。最後に上部開放部の模擬 PEM 周囲 300mm に残った隙間充填材を、ウォータージェットを用いた流体的除去技術による除去を行い、全体の除去を終了する。

来年度に実施する幌延 URL 試験坑道 2 での実証試験の計画図を図 5.6.1-2、図 5.6.1-3 に示す。

流体的除去に関し、多量の切削水の使用に伴い発生する流動化した充填材を含んだ排水について、試験坑道内に設置したタンクに一時的に貯留し、上澄み液については地下施設内に排水、流動化した充填材はタンクと共に地上へ上げて回収または、流動化した充填材をフレキシブルコンテナパックに分別し、地上へ搬出する計画としている。さらに、上述の流動化した充填材を含んだ排水の回収を効率よく行うため、回収系統を 2 系統準備し、回収ホース 1 にて流動化した充填材、回収ホース 2 にて排水（液体）を回収する計画としている。

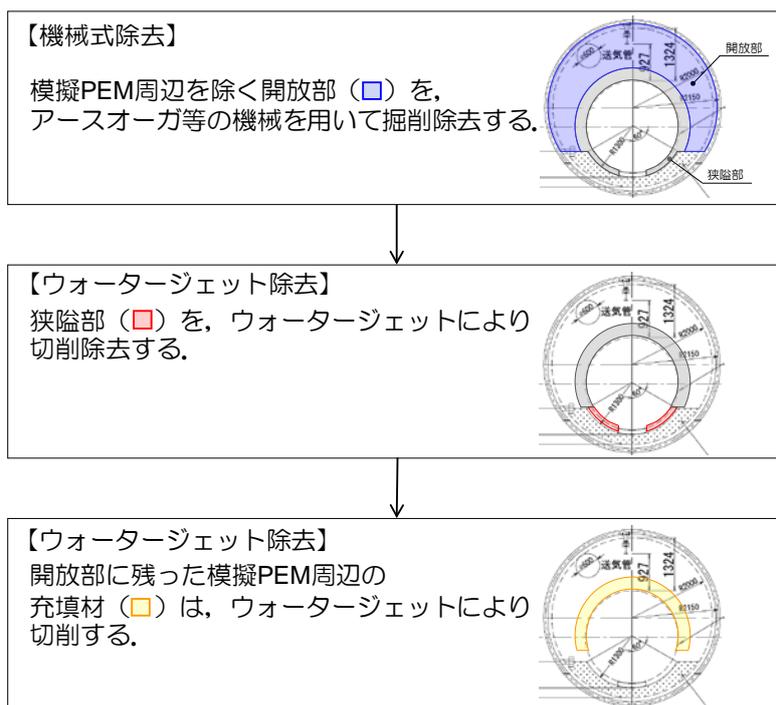


図 5.6.1-1 幌延 URL 隙間充填材除去技術に係る実証試験計画（案）

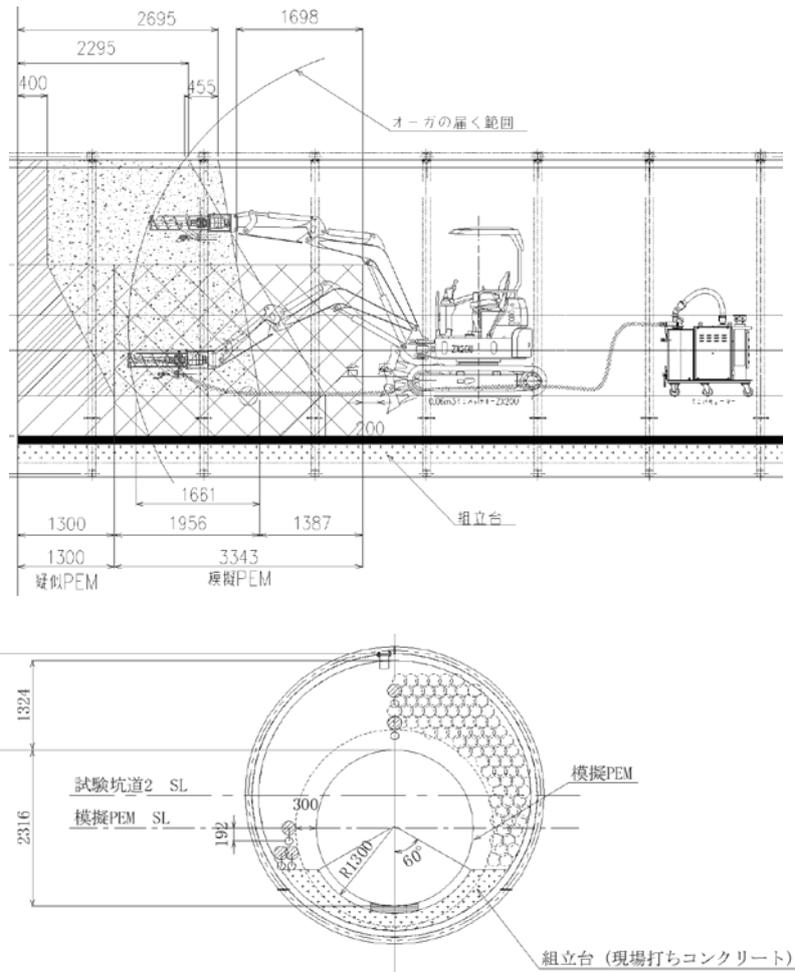


図 5.6.1-2 機械的除去技術に関する幌延 URL 試験坑道 2 での実証試験の計画図

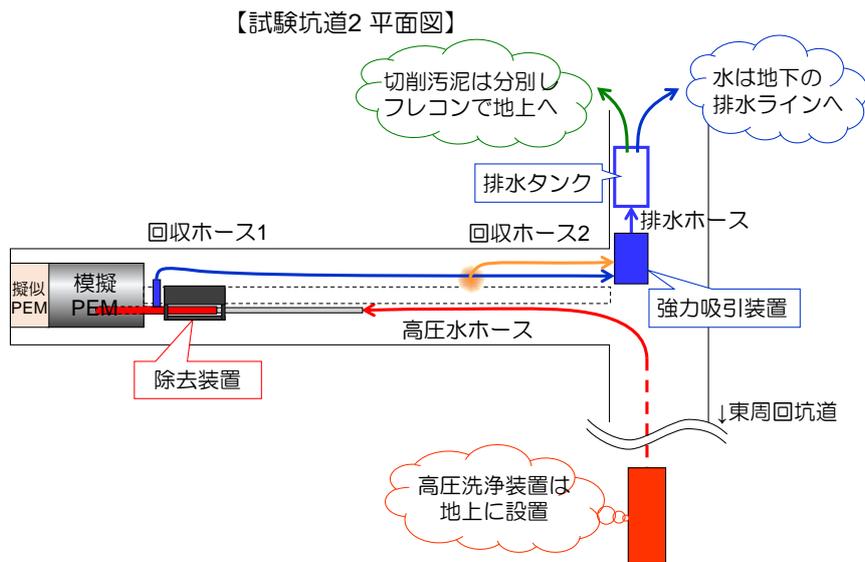


図 5.6.1-3 流体的除去技術に関する幌延 URL 試験坑道 2 での実証試験の計画図

5.7 隙間充填除去技術に関する今年度の成果まとめ

・機械的除去技術（オーガ方式）

上部開放部の隙間充填材（ベントナイト混合土）を対象とした機械的除去技術（オーガ方式）について、地上での要素試験を実施し、技術の適用の見通しを得た。

上部開放部の隙間充填材と同仕様の供試体（乾燥密度 1.6Mg/m^3 、含水比 16%、 $1\text{m}\times 1\text{m}\times 0.7\text{m}$ ）を鋼製枠内に準備し要素試験を実施した。製作したオーガ方式による機械的除去装置を用いて、1) 除去装置による切削・吸引捕集の可否、2) 1 孔あたりの切削量・時間、3) 連続的な切削の状態等に関する知見を得た。具体的には、供試体の中央部の切削・捕集（直径 200mm ・深さ 300mm 、切削量 0.006m^3 ）に対し、50 秒での切削・捕集が可能であった。また、連続的な除去においても、装置の一部の改良の結果、オーガ内・吸引ホース内の閉塞は発生せず、良好な除去が可能となった。一方で、地下での実証試験に向けて、狭隘な空間における操作性の向上や、除去対象の充填材を高含水比とした場合の本技術の適用性等に関するデータの取得や装置の改良が今後の課題となった。今後、これらの地上試験の結果より得た知見を基に、地下での充填材除去試験の計画を具体化していく。

・流体的除去技術（ウォータージェット方式）

下部狭隘部の隙間充填材（ベントナイトペレット）を対象とした流体的除去技術（ウォータージェット方式）について地上試験を実施し、その技術の適用の見込みを得た。

幌延 URL の下部狭隘部スケールを模擬した地上試験ヤードにおいて、ウォータージェット方式による流体的除去装置を用いた試験を行い、1) 噴射ノズルの選定、2) ノズルの動きと（円弧運動、前後運動の組合せ）による充填材の切削状況の確認、3) 地上施設における実寸大の下部狭隘部を対象とした除去手順の確認・設定に関する知見を得た。具体的には、噴射ノズルの選定の結果、PEM と周辺の縁切りのための「切削」にはトルネードノズルが適しており、噴射圧 20MPa までは、坑道面（コンクリート面）を傷めないことを確認した。PEM の回収装置が要求する動作環境の実現のための「仕上げ洗浄」には、配管洗浄用ノズルが適するとの結果を得た。また、地上試験を通じ、流体的除去技術に係る吸引捕集の観点からは、充填材の液性限界に対応する量の切削水を使用して充填材を十分に流動化させることで効率的な吸引捕集が可能となるとの見通しを得た。今後、これらの地上試験の結果より得た知見を基に、地下での充填材除去試験の計画を具体化していく。

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，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.
- [3] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 29 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，2018.
- [4] SKB : Techniques for freeing deposited canisters, SKB TR-00-15, 2000.
- [5] 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 26 年度地層処分高度化開発 報告書，2015.

第6章 地層処分実規模試験施設の運営

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 29 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 に「地層処分実規模試験施設の運営」、6.3 に「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、処分孔縦置きブロック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
- ・ 緩衝材定置試験の公開
- ・ ベントナイト体感試験の実施
- ・ 緩衝材可視化試験の公開
- ・ 広告等

6.2.2 施設の一般公開

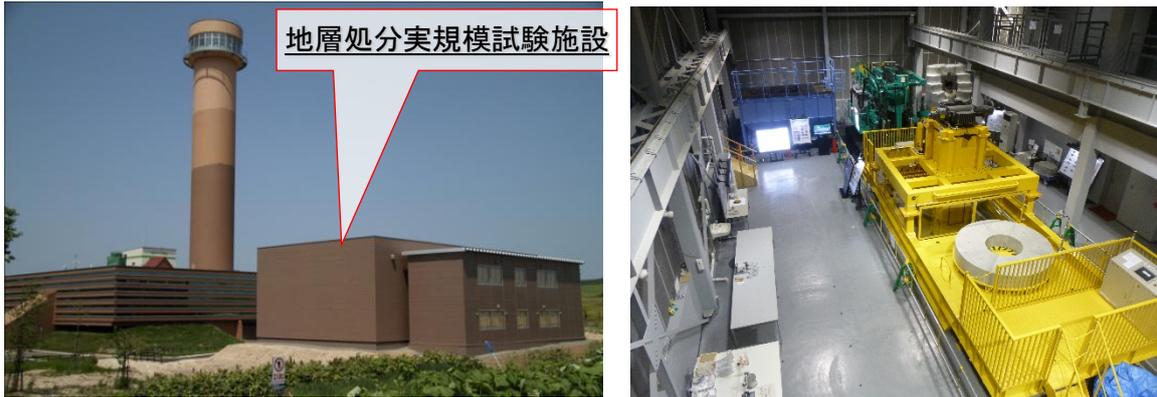
実規模試験施設は、国民への高レベル放射性廃棄物地層処分への理解を深めることを目的に、施設内を一般公開している。以下にその詳細について述べる。

(1) 地層処分実規模試験施設

平成 29 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、回収技術の一つである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

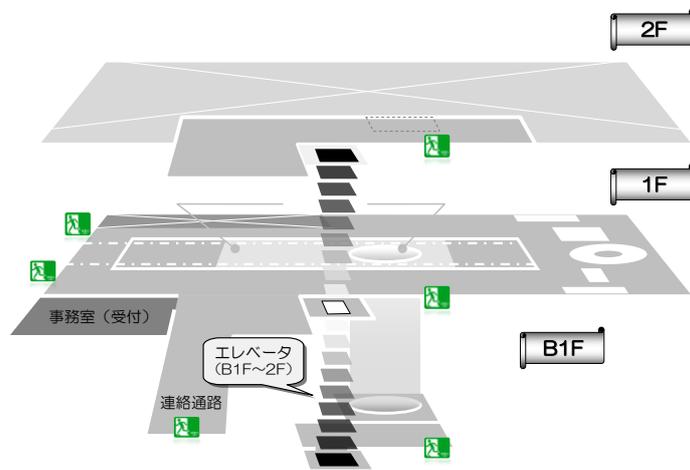


図 6.2.2-2 地層処分実規模施設内 全体図



図 6.2.2-3 実規模施設 展示状況

(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 30 年 4 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日
- 開館時間 9:00～16:00
- 休館日 毎週月曜日（月曜日が祝日または振替休日の場合は水曜日）
及び年末年始（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 人配置して、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。平成 30 年度は延べ 5,200 人の方が施設を訪れ、平成 22 年 4 月の施設開館からの累計は 54,435 人となった（平成 31 年 2 月 28 日までの集計）。

6.2.3 緩衝材定置試験の公開

本施設に対する理解向上のために、「おもしろ科学館 2018 in ほろのべ」の開催日に併せ、緩衝材定置試験を一般公開した。

(1) 試験公開日及び試験スケジュール

7 月 21 日（土）及び 22 日（日）に実施した。試験スケジュールをに示す。

表 6.2.3-1 試験スケジュール

実施日時		試験回数
2018 年 7 月 21 日	AM	2 回
	PM	3 回
2018 年 7 月 22 日	AM	2 回
	PM	3 回

(2) 来館者

792 人（実規模試験施設への 2 日間の延べ人数）

(3) 試験内容

緩衝材定置装置にて、遠隔操作を想定した監視カメラによる緩衝材の定置動作確認を行った。定置動作の手順を以下に示す。

- 動作 1：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 2：緩衝材台車をテレスコピックの下で停止させる。（自動運転）
- 動作 3：テレスコピックを緩衝材台車の上に降ろす。（自動運転）
- 動作 4：緩衝材台車を定位置（始動位置）へ移動する。（自動運転）
- 動作 5：模擬処分孔にテレスコピックを定置する。（自動運転）
- 動作 6：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）

なお、来館者に理解し易いように、監視カメラの映像を施設内に投影した（図 6.2.3-1 参照）。

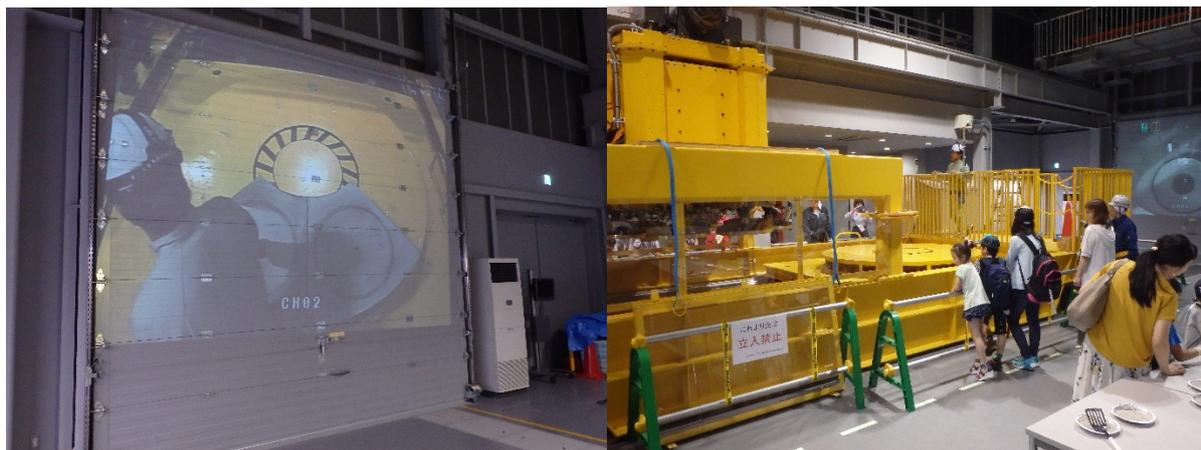


図 6.2.3-1 緩衝材定置試験公開状況（監視カメラ映像の投影）

6.2.4 ベントナイト体感試験の実施

「おもしろ科学館 2018 in ほろのべ」では、公開中の緩衝材ブロックの機能（低透水性、自己シール性、吸着性など）の説明だけではなく、緩衝材ブロックの原材料であるベントナイトを使用した体感試験も併せて実施した。

体感試験では、皿に敷き詰めた粉体ベントナイトに、食紅で着色した水を垂らして絵を描き、吸水したベントナイトを皿からすくい上げること（図 6.2.4-1）で、来館者にとって馴染みの薄いベントナイトという物質の性質に対する理解の向上を図った。



図 6.2.4-1 ベントナイト体感試験状況

6.2.5 緩衝材可視化試験の公開

地層処分実規模試験では処分孔縦置きブロック方式について、実物の緩衝材ブロック及びブロックを組立てたカットモデルを公開している。従来は来館者からブロック間の隙間について質問を受けた際、地下水による膨潤で隙間が塞がることを口頭で説明していた。これに対して、緩衝材ブロック同士が一体化していく過程を来館者に分かり易く示すため、小型の緩衝材ブロックを用いた可視化試験を継続して公開した。

(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) 緩衝材可視化試験の計画

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、アクリル製の試験容器に緩衝材ブロックを敷き詰めた試験装置を製作し、試験装置上部から塩ビ管内を伝って下部へ注水を行い、下から上へ水が流れて膨潤していく様子を、側面から観察できる可視化試験とした（図 6.2.5-1）。

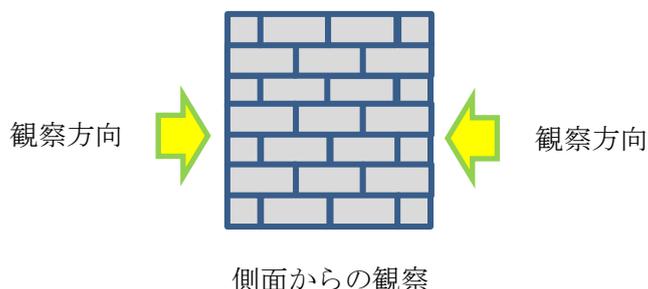


図 6.2.5-1 緩衝材可視化試験のイメージ図

(3) 緩衝材ブロックの作製

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 6.2.5-1 に示す。

表 6.2.5-1 緩衝材ブロックの仕様

	乾燥密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	液種	備考
緩衝材ブロック	1.6	9.32	幌延 URL の 地下水	クニゲル V1 : ケイ砂 = 7 : 3

2) 圧縮成型用型枠の構成

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、押治具、底板、ジョイントピンで構成される (図 6.2.5-2)。また、緩衝材の付着を防ぐため、底板、押治具底部をテフロンテープで被覆した。なお、成型ごとに型枠はブラシで清掃した。

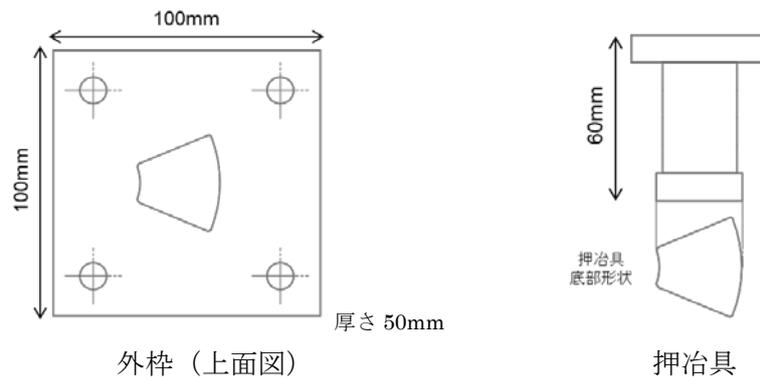


図 6.2.5-2 緩衝材成型用型枠

3) 圧縮成型の手順

- ① 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 6.2.5-3)。

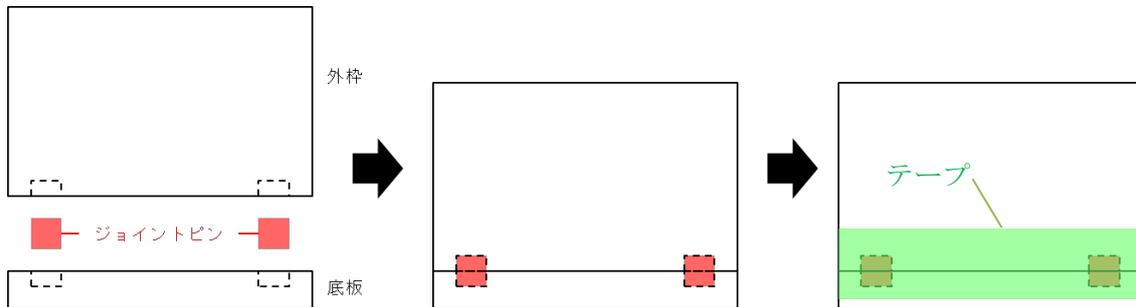


図 6.2.5-3 圧縮成型用型枠の組立

- ② 秤量したベントナイト混合土を型枠に投入し、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設置する (図 6.2.5-4)。

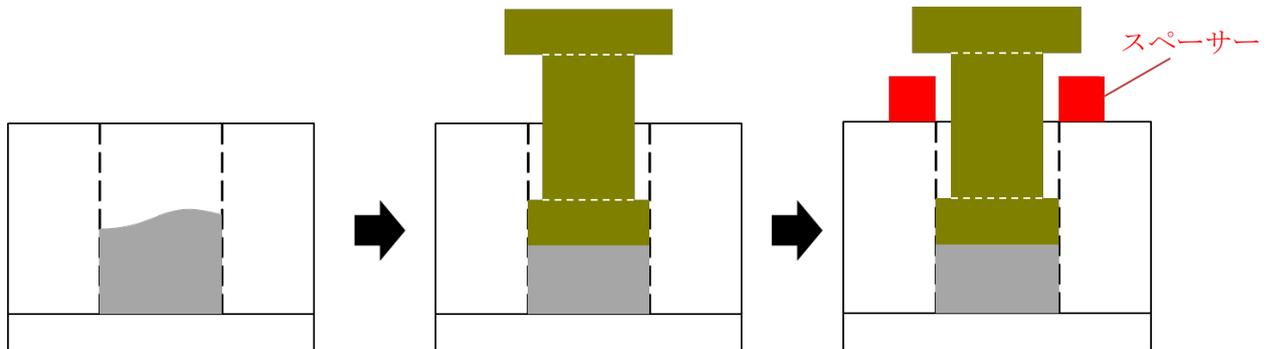


図 6.2.5-4 ブロック圧縮成型の準備

- 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 6.2.5-5)。

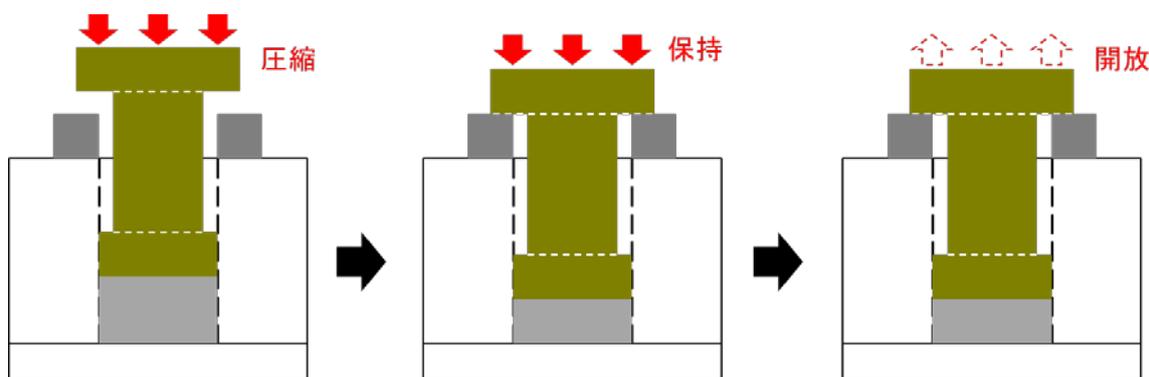


図 6.2.5-5 緩衝材の圧縮作業

- 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 6.2.5-6)。

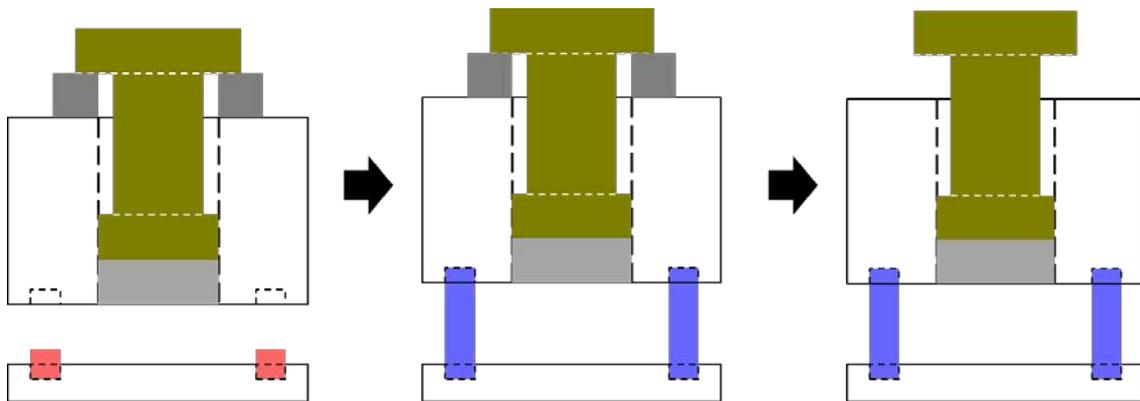


図 6.2.5-6 ジョイントピンの交換

- ⑤ 押治具で成型体を外枠から外す (図 6.2.5-7)。

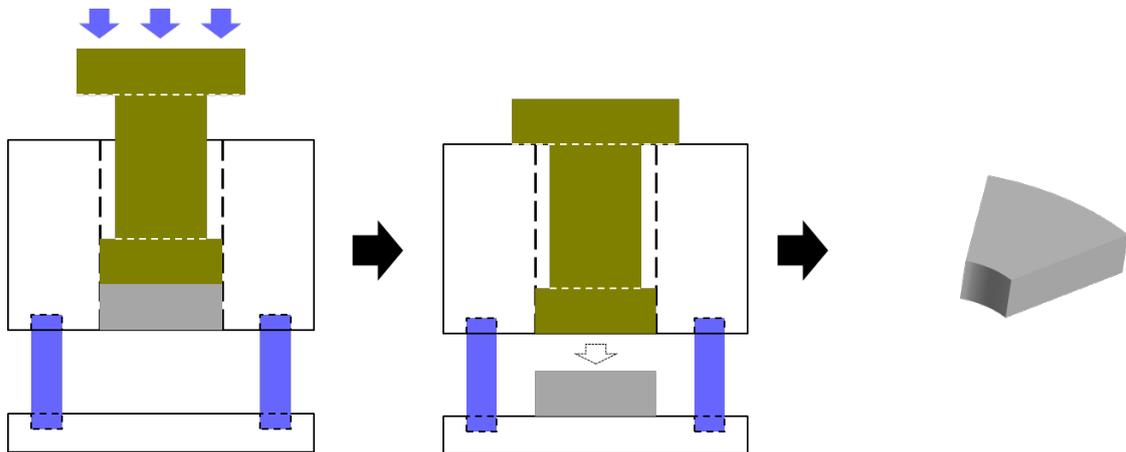


図 6.2.5-7 圧縮成型体の脱型

- 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 6.2.5-8)。



図 6.2.5-8 緩衝材ブロック

(4) 緩衝材可視化試験装置の製作

作製した緩衝材ブロック 8 個をリング状に組み合わせ、試験装置に 7 段並べて設置する。(図 6.2.5-9 参照) 緩衝材可視化試験装置の製作状況を図 6.2.5-10 に示す。

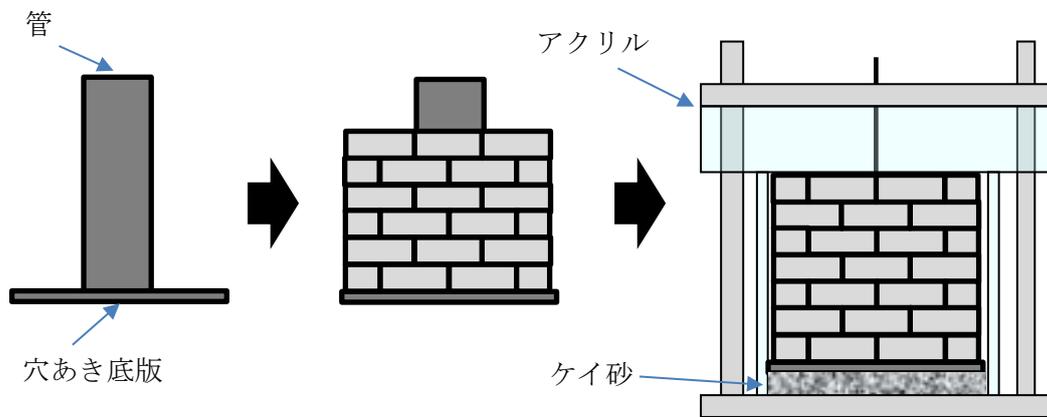


図 6.2.5-9 緩衝材可視化試験装置の組立手順図

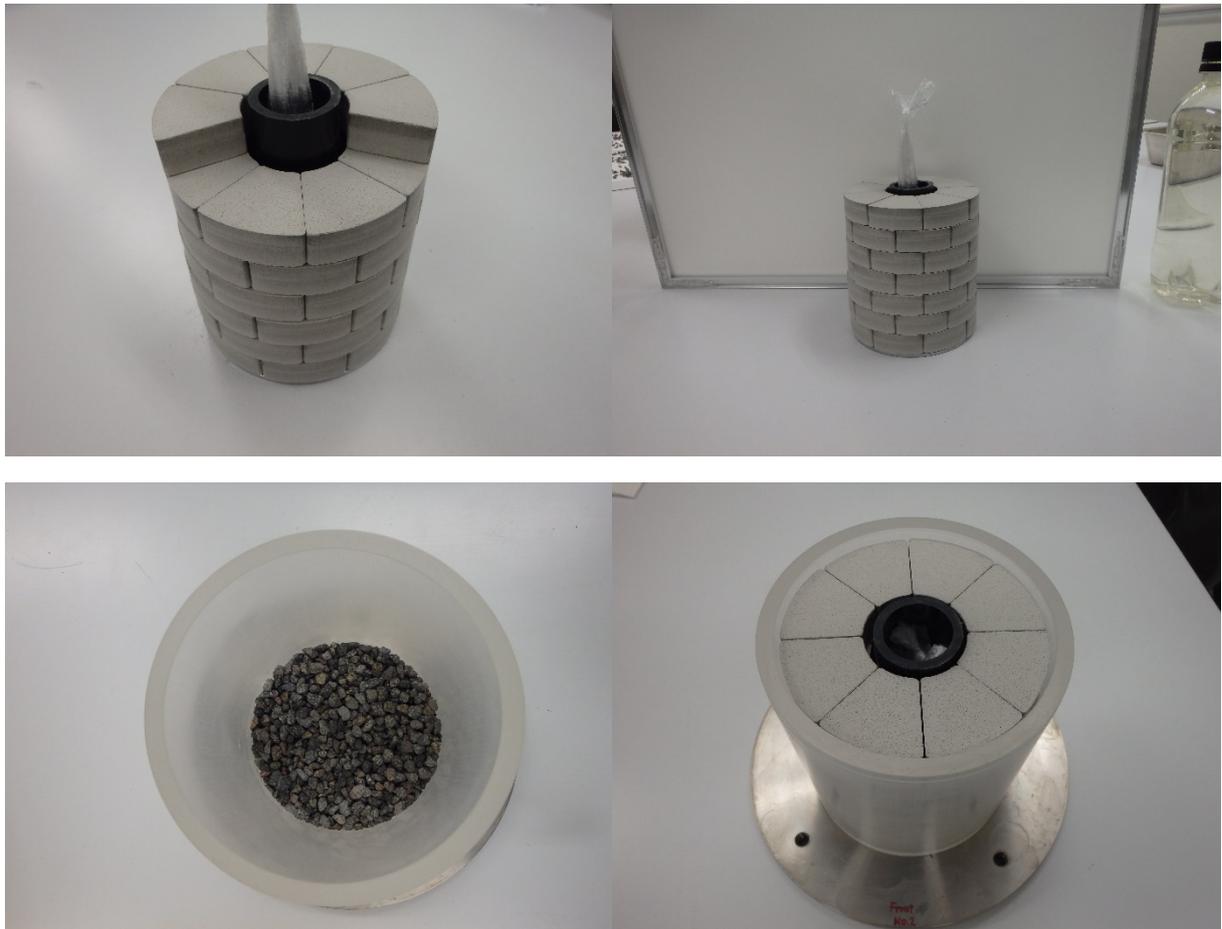


図 6.2.5-10 緩衝材可視化試験装置の製作状況

(5) 緩衝材可視化試験の実施

1) 試験方法

作製した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。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。緩衝材可視化試験の公開の様子を図 6.2.5-11 に示す。

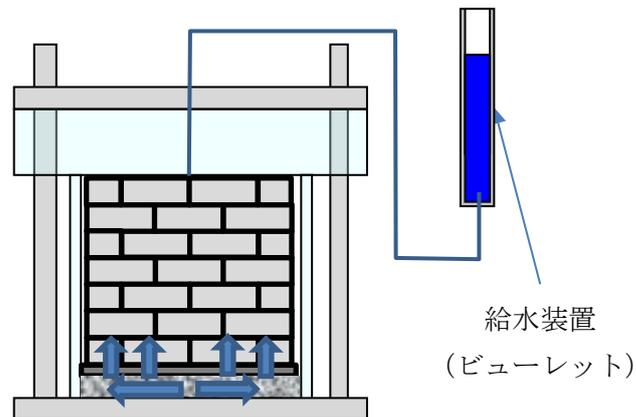


図 6.2.5-11 可視化試験の公開の様子

2) 試験結果

可視化試験における経過日数に対する緩衝材ブロック側面の状況を図 6.2.5-12 に示す。

図 6.2.5-12 より、12 日経過後に緩衝材ブロックの中間部分より浸潤が始まったが、これは緩衝材ブロックの内側に溜まった水がブロックの隙間が大きい部分から染み出たためと考えられる。その後は下部から徐々に浸潤していく様子が見られ、150 日後には緩衝材ブロックの全表面に渡り色に変化した。また、30 日頃から緩衝材ブロック同士の隙間が下部より徐々に塞がっている様子が確認されたものの、300 日経過後もすべての緩衝材ブロックの隙間は完全には塞がらなかったため、現在も継続して試験を行っている。

なお、緩衝材の膨潤により水の供給が制限された可能性もあるため、来年度は緩衝材膨潤後の水の供給方法について再度検討する予定である。また、来年度はより緩衝材ブロックの隙間の閉塞が可視化し易いように色のついた緩衝材ブロックを作製し可視化試験を行う予定である。

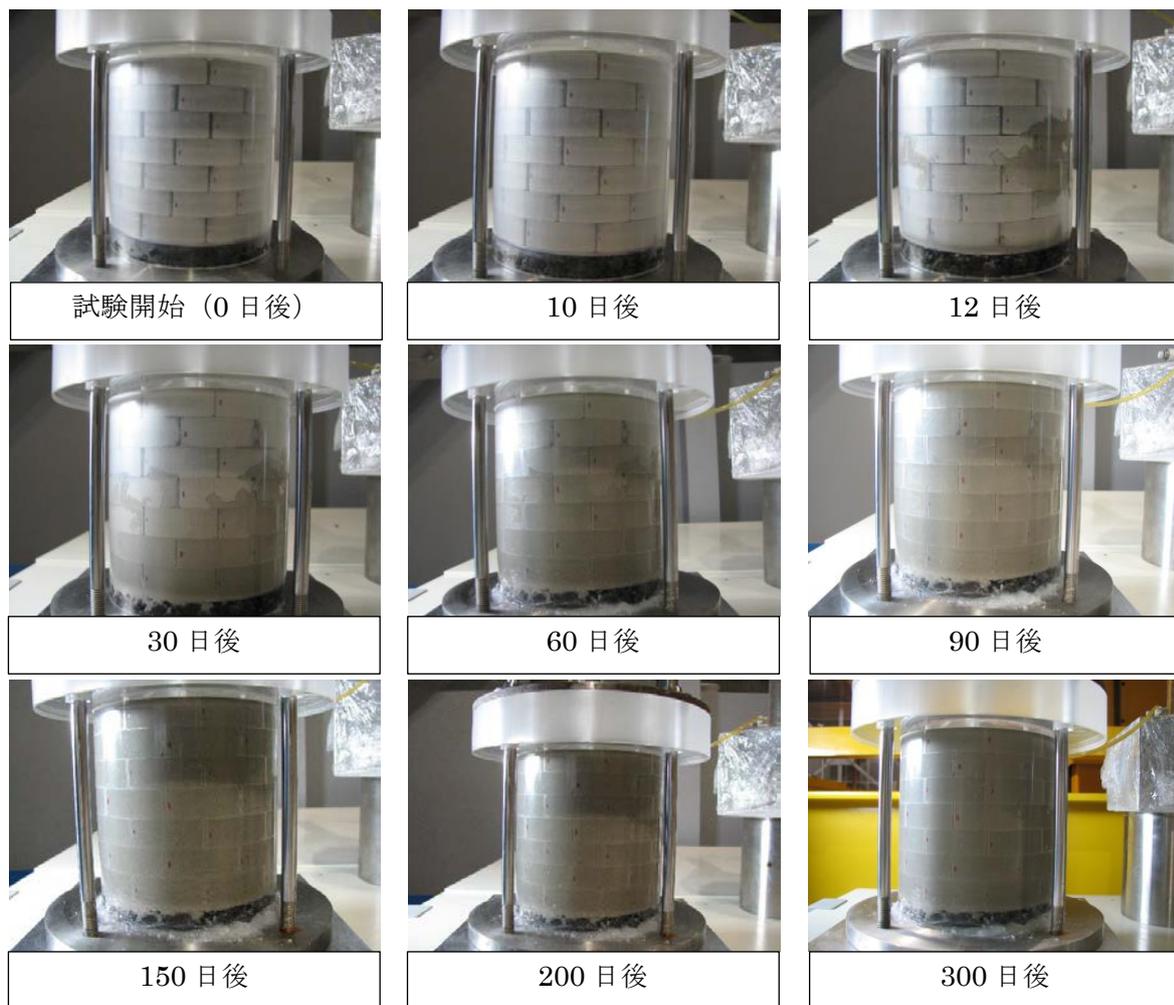


図 6.2.5-12 緩衝材ブロックの経時変化

(6) 来館者への対応

緩衝材可視化試験により、「隙間の接着方法」等の質問に対し、緩衝材可視化試験装置を用いて接着の状態を視覚的に示すことができるため、来館者への説明時に効果的なツールとして使用できる。

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。アンケートは、平成 31 年 2 月末現在で 3,439 人に回答いただいた。

6.3.1 アンケート回答者の属性

(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 54%が北海道内、約 43%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。

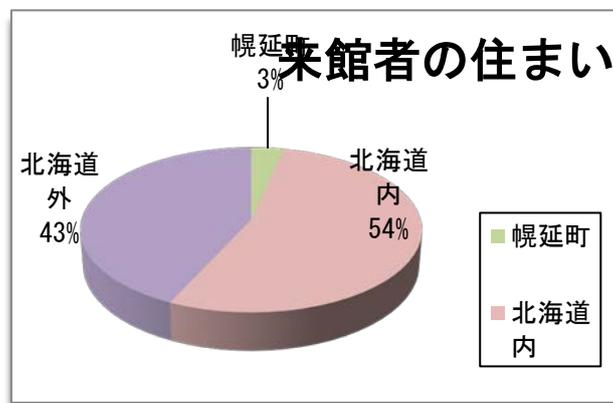


図 6.3.1-1 来館者住まいの分布

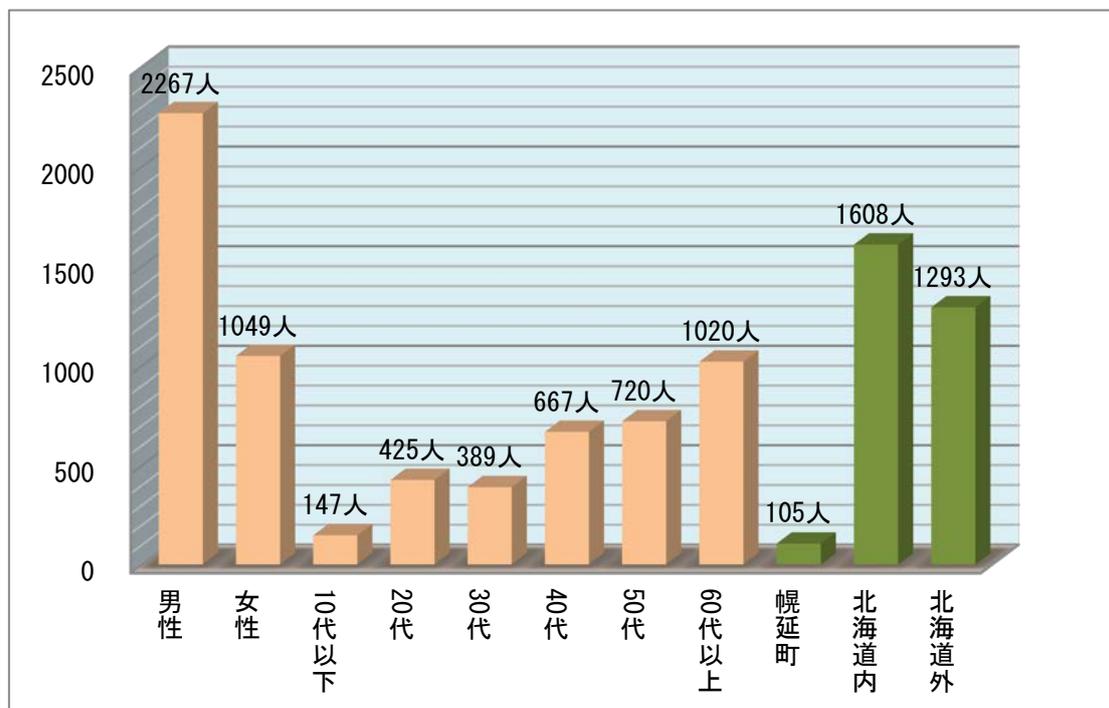


図 6.3.1-2 来館者属性の分布

(2) 当施設の情報取得方法

当施設の情報取得方法の分布を図 6.3.1-3 に示す。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 24%を占めており、広報活動の効果が得られたと考える。そのため、今後も引き続き、ホームページ、パンフレット、広告等を実施する計画である。

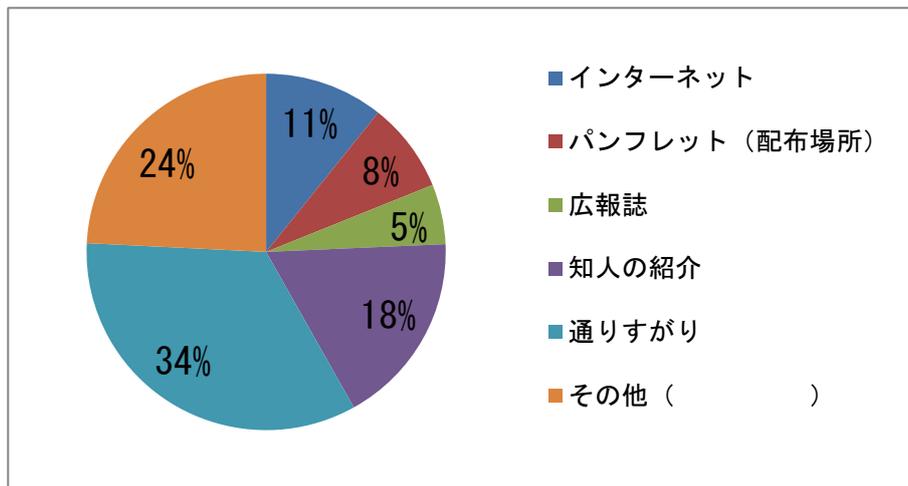


図 6.3.1-3 地層処分実規模試験施設の情報取得方法の分布

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、90%以上がわかった（よくわかった、大体わかった）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 91%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 83%を占めている。

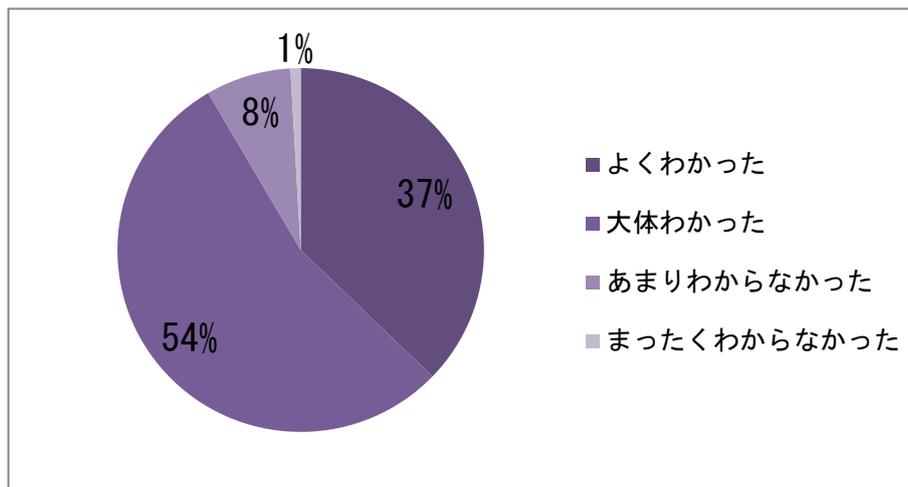


図 6.3.2-1 幌延深地層研究センターで行っている調査・研究内容について

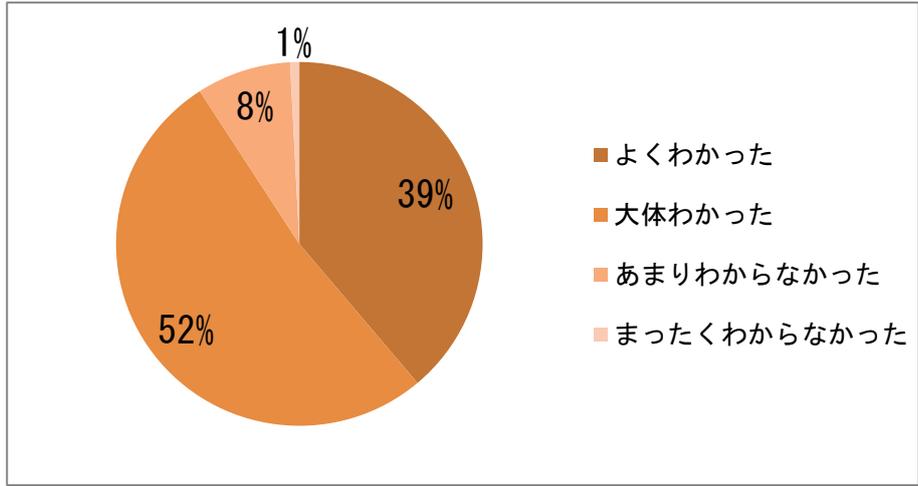


図 6.3.2-2 地層処分について

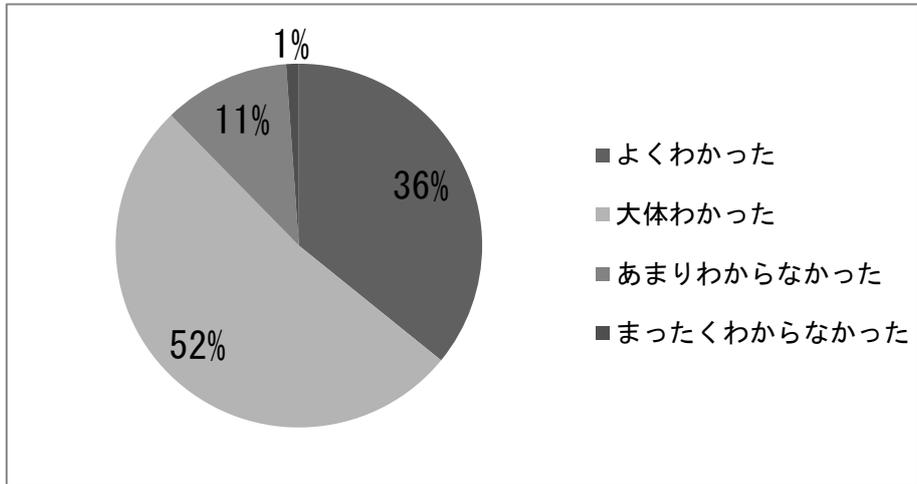


図 6.3.2-3 高レベル放射性廃棄物について

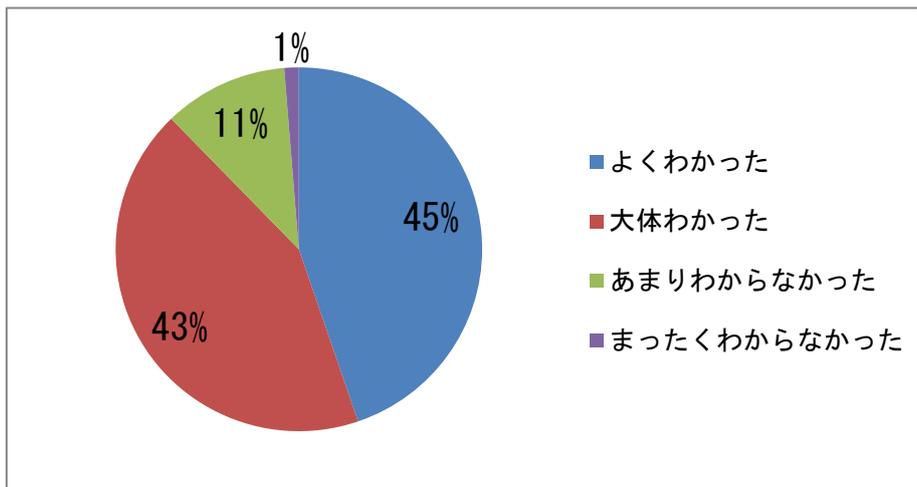


図 6.3.2-4 実物大の人工バリアについて

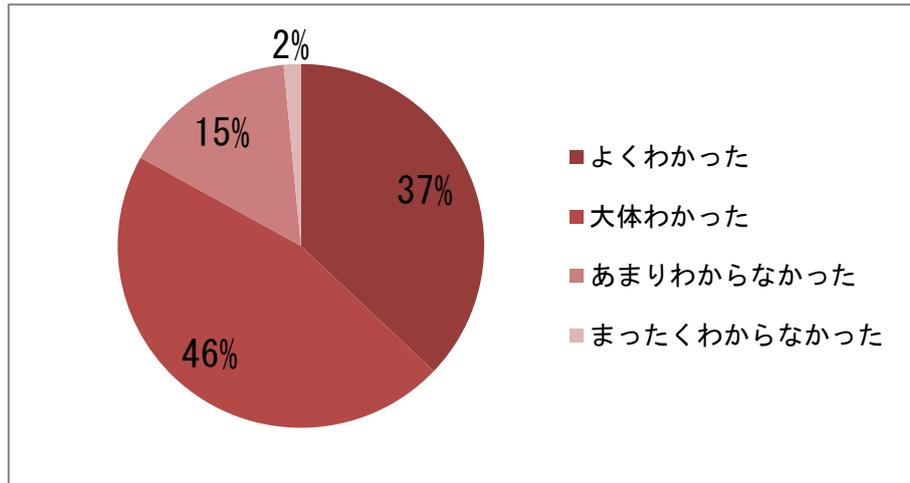


図 6.3.2-5 実物大の人工バリアを使った試験について

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。

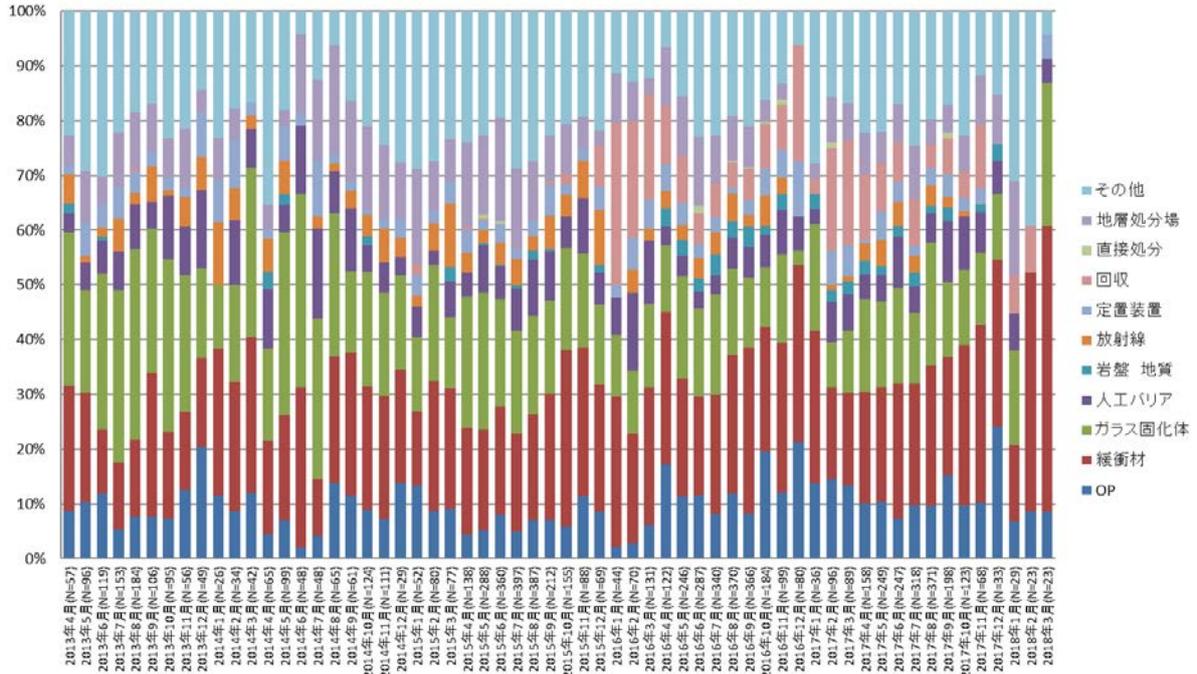


図 6.4.2-1 来館者との対話記録の分析例

6.5 まとめ

平成 30 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 30 年度（平成 31 年 2 月 28 日現在）において、実規模試験施設の来館者数は 5,200 人であった。
- ・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 2018in 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 792 人であった。
- ・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 24%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，2010.
- [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委託費（地層処分実規模設備整備事業）報告書，2011.
- [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，2012.
- [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，2013.
- [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，2014.
- [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，2015.
- [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.
- [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.

第7章 まとめ

7.1 平成 30 年度の成果

平成 30 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）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 地下環境での搬送定置・回収技術の実証的整備

(1) 搬送定置設備の実証的整備

地上試験設備による搬送定置設備に係る要素試験と実機試験を実施した。要素試験および実機試験で取得したデータを基に、以下に示す項目について確認した。

1) 浮上量

打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面でもエアを安定して供給でき、PEM を搬送できることを確認した。

2) 押引力

地上模擬坑道の打設コンクリート面において、幌延 URL と同等の動摩擦係数で、PEM を搬送できることを確認した。

3) エア圧力

エアベアリングの定格圧力範囲内で、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面でも PEM を搬送できることを確認した。

4) エア流量

コンプレッサの流量不足に対してエアベアリングへの供給空気増加対応の妥当性を確認し、打設コンクリート面及び充填材除去後の走行面でも PEM を搬送できることを確認した。

上記の確認結果より、幌延 URL 試験坑道 2 の走行面においても、段差や割れに対してモルタル補修等の適切な対応を取ることで、整備した定置・回収装置により PEM を搬送（定置及び回収）することが可能であると判断した。

(2) 隙間充填技術の実証的整備

これまでの要素試験・地上試験等で確認・設定された施工プロセス管理手法に基に、地下環境における隙間充填技術の実証試験を幌延 URL 試験坑道 2 にて実施した。下部狭隘部は、スクリーコンベア方式の移送によるベントナイトペレットの充填、上部開放部については、吹付け方式によるベントナイト混合土の充填を行い、各種のデータを取得することで、これまでに実施した要素試験・地上試験等から設定したプロセス管理手法の妥当性の確認を行った。

1) 下部狭隘部の隙間充填技術

スクリーコンベア方式の移送により充填した隙間充填材（ベントナイトペレット）の乾燥密

度は、左側狭隘部では 1.38Mg/m^3 、右側狭隘部では 1.40Mg/m^3 となり、目標の乾燥密度 1.37Mg/m^3 を満たす結果を得た。

2) 上部開放部の隙間充填技術

吹付け方式により充填した隙間充填材（ベントナイトペレット）について、コアサンプリングによる乾燥密度の平均値は 1.66Mg/m^3 （バラつき $1.39\sim 1.83\text{Mg/m}^3$ ）となり、目標の乾燥密度 1.6Mg/m^3 に対し $\pm 0.2\text{Mg/m}^3$ 程度となる結果を得た。この結果は、2017 度の地上試験における乾燥密度の平均値 1.61Mg/m^3 （バラつき $1.40\sim 1.7\text{Mg/m}^3$ ）と同程度の結果となった。

上記の結果から、下部狭隘部・上部開放部の充填技術の両技術ともに、所定の条件の下で施工プロセス管理を行うことで、一定の品質の確保と再現が可能であり、一般的な管理手法となりうる可能性を有することが示唆された。

(3) 隙間充填材除去技術の実証的整備

来年度の地下実証試験を見据え、今年度は、上述のオーガ方式による切削機構とバキュームによる吸引捕集機構を組み合わせた装置を製作し、製作した除去装置を用いた地上での除去試験を行い、本技術の整備・適用性に係るデータを取得した。

1) 機械的除去技術（オーガ方式）

上部開放部の隙間充填材と同仕様の供試体（乾燥密度 1.6Mg/m^3 、含水比 16%、 $1\text{m}\times 1\text{m}\times 0.7\text{m}$ ）を地上に準備し、製作したオーガ方式による機械的除去装置を用いて、1) 除去装置による切削・吸引捕集の可否、2) 1 孔あたりの切削量・時間、3) 連続的な切削の状態等に関する知見を得た。具体的には、供試体の中央部の切削・捕集（直径 200mm ・深さ 300mm 、切削量 0.006m^3 ）に対し、50 秒での切削・捕集が可能であった。また、連続的な除去においても、装置の一部の改良の結果、オーガ内・吸引ホース内の閉塞は発生せず、良好な除去が可能となった。

地上での要素試験を実施し、上部開放部の隙間充填材（ベントナイト混合土）を対象とした機械的除去技術（オーガ方式）について、その技術の適用の見通しを得た。

2) 流体的除去技術（ウォータージェット方式）

幌延 URL の下部狭隘部スケールを模擬した地上試験ヤードにおいて、ウォータージェット方式による流体的除去装置を用いた試験を行い、1) 噴射ノズルの選定、2) ノズルの動きと（円弧運動、前後運動の組合せ）による充填材の切削状況の確認、3) 地上施設における実寸大の下部狭隘部を対象とした除去手順の確認・設定に関する知見を得た。具体的には、噴射ノズルの選定の結果、PEM と周辺の縁切りのための「切削」にはトルネードノズルが適しており、噴射圧 20MPa までは、坑道面（コンクリート面）を傷めないことを確認した。PEM の回収装置が要求する動作環境の実現のための「仕上げ洗浄」には、配管洗浄用ノズルが適するとの結果を得た。

地上での試験を実施し、下部狭隘部の隙間充填材（ベントナイトペレット）を対象とした流体的除去技術（ウォータージェット方式）について、その技術の適用の見込みを得た。

今後、これらの地上試験の結果より得た知見を基に、地下環境での充填材除去に係る実証試験の計画を具体化する。

7.1.2 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営した。以下に今年度の運営実績を抜粋して示す。

- ・平成30年度（平成31年2月28日現在）において、実規模試験施設の来館者数は5,200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2018in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792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23.0%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。