JAEA-Research 2016-010 DOI:10.11484/jaea-research-2016-010



幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験

-大口径掘削機の開発、模擬オーバーパック、緩衝材および埋め戻し材の製作-

The In-situ Experiment for Performance Confirmation of Engineered Barrier System at Horonobe Underground Research Laboratory - Production of Casing Drilling Machine for Large Diameter Pit, Simulated Overpack,

Buffer Material Blocks and Backfilling Materials -

中山 雅 松崎 達二 丹生屋 純夫 Masashi NAKAYAMA, Tatsuji MATSUZAKI and Sumio NIUNOYA

> バックエンド研究開発部門 幌延深地層研究センター 深地層研究部

Horonobe Underground Research Department Horonobe Underground Research Center Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

August 2016

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4 電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency. Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Institutional Repository Section,

Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2016

幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験 一、大口径掘削機の開発、模擬オーバーパック、緩衝材および埋め戻し材の製作

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 幌延深地層研究センター 深地層研究部

中山 雅, 松崎 達二*1, 丹生屋 純夫*2

(2016年6月13日 受理)

日本原子力研究開発機構が、北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画は、堆積岩を対象に深地層の研究開発を実施するものであり、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上 や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発のための研究開発を実施している。

幌延深地層研究計画は、「地上からの調査研究段階(第1段階)」、「坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第2段階)」および「地下施設での調査研究段階(第3段階)」の3つの段階に分けて実施している。平成26年度からは、第3段階の調査研究として、幌延深地層研究センターの地下施設(以下、幌延URL)の350m調査坑道(試験坑道4)において、人工バリア性能確認試験を実施している。人工バリア性能確認試験は、幌延の地質環境をひとつの事例に、処分孔 竪置き方式を対象として実規模の人工バリアを設置し、実環境下において人工バリア定置後の再冠水までの過渡期の現象を評価する事を目的としている。具体的には、①地層処分研究開発の第2次取りまとめで示した処分概念が実際の地下で構築できることの実証、②人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認、③熱-水-応力・化学連成挙動に関わる検証データの取得、である。

本報告では、人工バリア性能確認試験における原位置での施工に際して、事前に開発や製作を 伴う、処分項竪置き方式の試験孔掘削のための大口径掘削機の新規開発、模擬オーバーパックの 製作、緩衝材および埋め戻し材の製作について取りまとめるとともに、その品質管理の実施状況 について述べたものである。

幌延深地層研究センター:〒098-3224 北海道天塩郡幌延町字北進432番地2

*1 サンコーコンサルタント株式会社(2014年3月まで技術開発協力員)

*2 大林組

The In-situ Experiment for Performance Confirmation of Engineered Barrier System at Horonobe Underground Research Laboratory Production of Casing Drilling Machine for Large Diameter Pit, Simulated Overpack, Buffer Material Blocks and Backfilling Materials -

Masashi NAKAYAMA, Tatsuji MATSUZAKI*1 and Sumio NIUNOYA*2

Horonobe Underground Research Department Horonobe Underground Research Center Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management Japan Atomic Energy Agency Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received June 13, 2016)

The Horonobe Underground Research Laboratory (URL) Project has being pursued by Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to enhance the reliability of relevant disposal technologies through investigations of the deep geological environment within the host sedimentary formation at Horonobe, northern Hokkaido. The URL Project consists of two major research areas, "Geoscientific Research" and "Research and Development on Geological Disposal Technologies", and proceeds in three overlapping phases, "Phase I: Surface-based investigations", "Phase II: Investigations during tunnel excavation" and "Phase III: Investigations in the underground facilities", over a period of around 20 years. Phase III investigation was started in 2010 fiscal year.

The in-situ experiment for performance confirmation of engineered barrier system (EBS experiment) had been prepared from 2013 to 2014 fiscal year at G.L.-350m gallery, and heating by electric heater in simulated overpack had started in January, 2015. One of objectives of the experiment is acquiring data concerned with Thermal -Hydrological - Mechanical - Chemical (THMC) coupled behavior. These data will be used in order to confirm the performance of engineered barrier system.

In this report, it is summarized the production of casing drilling machine for large diameter pit, simulated overpack, buffer material blocks and backfilling material for EBS experiment.

Keywords: Geological Disposal, HLW, Horonobe URL, Engineered Barrier System, In-situ Experiment, Sedimentary Rock, Casing Drilling Machine for Large Diameter Pit, Simulated Overpack, Buffer Material Block, Backfilling Material

^{*1} SUNCOH CONSULTANTS CO., Ltd. (former Collaborating Engineer, until March 2014) *2 OBAYASHI CORPORATION

目 次

1. はじめに	1
2. 全体計画	3
3. 大口径掘削機の開発	5
3.1 試験孔掘削技術の検討	5
3.1.1 掘削技術の検討	5
3.2 大口径掘削機の製作	6
3.2.1 大口径掘削機による試験孔の掘削フロー	6
3.2.2 大口径掘削機本体	8
3.2.3 鋼製ケーシングおよび中堀オーガー	9
3.3 地上での確認試験	13
3.3.1 確認試験の目的	13
3.3.2 確認試験の概要	13
3.3.3 試験結果	14
4. 模擬オーバーパックの製作	20
4.1 模擬オーバーパック	20
4.1.1 模擬オーバーパックの仕様	20
4.1.2 模擬オーバーパックの製作	20
4.2 加熱用ヒーター	24
4.2.1 ヒーターの仕様	24
5. 緩衝材ブロックの製作	26
5.1 緩衝材ブロックの仕様	
5.2 緩衝材ブロックの製作	27
5.2.1 ベントナイトとケイ砂の混合土の製作	28
5.2.2 圧縮成型	29
5.2.3 梱包、保管	31
5.3 品質管理	33
5.3.1 ベントナイトとケイ砂の混合土	33
5.3.2 緩衝材ブロック	35
6. 埋め戻し材の製作	40
6.1 埋め戻し材の仕様	40
6.2 使用材料	
6.2.1 掘削土(ズリ)	40
6.2.2 ベントナイト	41
6.3 埋め戻し材の製作(転圧締め固め用およびブロック製作用)	43
6.3.1 埋め戻し材の製作	43
6.3.2 品質管理	44
6.4 埋め戻し材(転圧締め固め)	47
6.5 埋め戻し材ブロックの製作	47
6.5.1 製作	47
6.5.2 品質管理	51
7. まとめ	55
謝辞	55
参考文献	
付録	57
付録 CD	

Contents

1. Introduction	1
2. Objective	3
3. Development casing drilling machine for large diameter disposal pit	5
3.1 Drilling technique for large diameter disposal test pit	$\dots 5$
3.1.1 Technological study of drilling large diameter pit	5
3.2 Production of casing drilling machine for large diameter	6
3.2.1 Flow of drilling test pit using a casing drilling machine for large diameter	6
3.2.2 Body of a casing drillig machine for large diameter	8
3.2.3 Casing and auger	9
3.3 Ground test	13
3.3.1 Objective of ground test	13
3.3.2 Outline of ground test	13
$3.3.3\mathrm{Results}$	14
4. Production of simulated overpack	20
4.1 Simulated overpack	$\dots 20$
4.1.1 Specifications of simulated overpack	20
4.1.2 Production	20
4.2 Electrical heater	24
4.2.1 Specification of heater	24
5. Production of buffer material blocks	26
5.1 Specifications of buffer material block	26
5.2 Production of buffer material blocks	27
5.2.1 Mixing bentonite and silica sand	28
5.2.2 Compaction and casting	29
5.2.3 Packing and storage	31
5.3 Quality management	33
5.3.1 Quality management for mixed bentonite and silica sand	33
5.3.2 Quality managemen for buffer material block	35
6. Production of backfilling material	40
6.1 Specifications of backfilling material	40
6.2 Materials	40
6.2.1 Rock waste	40
6.2.2 Bentonite	41
6.3 Production of backfilling material (for compaction and blocks)	43
6.3.1 Production of backfilling material	43
6.3.2 Quality management for backfilling material	44
6.4 Backfilling material for compaction method	47
6.5 Production of backfilling material blocks	47
6.5.1 Compaction and casting	47
6.5.2 Quality management for backfilling material blocks	51
1. Summary	00
Acknowledgement	00
Amon dire	96
Appendix	97
Appendix OD	

Figure contents

Fig. 1	Layout of Horonobe URL and the location of Niche No.4 in 350m gallery	1
Fig. 2	Schematic cross-section view of test pit at Niche No.4	2
Fig. 3	Overall plan of EBS experiment	3
Fig. 4	Flow of drilling test pit using casing drilling machine for large diameter	7
Fig. 5	Procedure drilling test pit using casing drilling machine for large diameter	7
Fig. 6	Composition of casing drilling machine for large diameter	8
Fig. 7	Size of casing drilling machine for large diameter	8
Fig. 8	Measure line of dimensional check for casing	11
Fig. 9	Design value of Augers	13
Fig. 10	Ground test image	14
Fig. 11	Measure line of casing size	19
Fig. 12	Structure of simulated overpack	20
Fig. 13	Structure of heater in simulated overpack	25
Fig. 14	Schematic plane view of buffer material	26
Fig. 15	Flowchart of compacting buffer material block	27
Fig. 16	Calibration curve of bentonite mixing rate	35
Fig. 17	Measure lines of buffer material block	36
Fig. 18	Grain size distribution of rock waste	41
Fig. 19	Calibration curve of bentonite mixing rate for backfilling material	46
Fig. 20	Flowchart of compacting backfilling material block	49
Fig. 21	Measure lines of backfilling material block dimension	52

Table contents

Table 1	Time schedule of Production work	4
Table 2	Comparison of drilling methods in test pit	6
Table 3	Evaluation of drilling methods for large diameter test pit	6
Table 4	Specification of casing and auger	. 11
Table 5	Result of dimensional check for casing	12
Table 6	Dimensional tolerance	12
Table 7	Result of dimensional check for auger	13
Table 8	Comparison size of casing before-after drilling	18
Table 9	Results of ground test	19
Table 10	Chemical composition of carbon steel for simulate overpack	24
Table 11	Specifications of buffer material block	27
Table 12	Shape of buffer material block	27
Table 13	Test item for mixed bentonite and silica sand	33
Table 14	Water content of bentonite and silica sand	33
Table 15	Water content of buffer material	34
Table 16	Adsorbed amount of methylene blue for bentonite and silica sand	34
Table 17	Adsorbed amount of methylene blue for buffer material	35
Table 18	Confirmation items of buffer material block	36
Table 19	Measurement values for fan-shaped block (Extracted data)	37
Table 20	Measurement values for cylinder block	37
Table 21	Specification of backfilling material	.40
Table 22	Water content of waste rock	42
Table 23	Water content of bentonite (kunigel V1)	43
Table 24	Quantity of backfilling material	45
Table 25	Water content of backfilling material	45
Table 26	Adsorbed amount of methylene blue for bentonite and waste rock	.45
Table 27	Adsorbed amount of methylene blue for backfilling material	47

Table 28	Specification of backfilling material block	.47
Table 29	Specification of compacting machine for backfilling material	.48
Table 30	Quality control items	.51
Table 31	List of number of blocks	.52
Table 32	Material input, compacting pressure, and compression rate and time	
(Extr	acted data)	.52
Table 33	Dimension of extracted backfilling material blocks (Extracted data)	.53
Table 34	Dry density of extracted backfilling material blocks (Extracted data)	.53

Photo contents

Photo 1	Produced casing drilling machine for large diameter	9
Photo 2	Casing	9
Photo 3	Auger (distant view)	10
Photo 4	Auger (near view)	10
Photo 5	Shakedown of casing drilling machine	15
Photo 6	Appearance of casing drilling	15
Photo 7	Appearance of drilling with small auger	16
Photo 8	Appearance of drilling with middle and large auger	17
Photo 9	Drawing casing	.18
Photo 10	Ingot of carbon steel	21
Photo 11	Heating treatment	21
Photo 12	Forging process	21
Photo 13	Hollow forging process	22
Photo 14	Intermediate check	22
Photo 15	Normalizing process	22
Photo 16	Surface finishing process	23
Photo 17	Surface appearance	23
Photo 18	Bottom cover	23
Photo 19	Upper cover	24
Photo 20	Weight-A	24
Photo 21	Appearance of heater	25
Photo 22	Confirmation of bentonite (kunigel V1) input	.28
Photo 23	Putting silica sand into mixer	28
Photo 24	Mixing bentonite and silica sand by eirich mixer	28
Photo 25	Packing buffer material into sandbag	28
Photo 26	Storage situation of buffer material	28
Photo 27	Compression molding press and mold (distant view)	29
Photo 28	Compression molding press and mold (near view)	29
Photo 29	Buffer material input to mold	29
Photo 30	Mold after input buffer material	30
Photo 31	Planarize the surface process (prepared to press)	30
Photo 32	Compression process	31
Photo 33	After compression	31
Photo 34	Removing mold from buffer material block	31
Photo 35	Fan-shaped buffer material block	31
Photo 36	Preparation for wrap/curing	32
Photo 37	Wrapping	32
Photo 38	Wrapped block	32
Photo 39	Write ID and date of wrapping	32
Photo 40	Curing by bubble wrap	32
Photo 41	Crate of buffer material blocks	32
Photo 42	Storage situation	33

Photo 43	Measurement of block thickness	
Photo 44	Visual appearance of fan-shaped block (ID: 1/8-016)	
Photo 45	Visual appearance of cylinder block (ID: S-006)	
Photo 46	Sieving rock waste	
Photo 47	Rock waste after sieving	40
Photo 48	Pot mixer	43
Photo 49	Making backfilling material	
Photo 50	Compacting machine for buffering material block	
Photo 51	Making backfilling material block	
Photo 52	Curing backfilling material blocks	51
Photo 53	Storage situation	51
Photo 54	Dimension measurement	53
Photo 55	Mass measurement	53
Photo 56	Visual appearance of a backfilling material block (ID: 5474-2)	54

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)幌延深地層研究センターが、北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画は、堆積岩を対象に深地層の研究開発を実施するものであり、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化に向けた基盤的な研究開発および安全規制のための研究開発を実施している。

幌延深地層研究計画は、「地上からの調査研究段階(第1段階)」、「坑道掘削(地下施設建設) 時の調査研究段階(第2段階)」および「地下施設での調査研究段階(第3段階)」の3つの段階 に分けて実施している。第3段階は平成22年度から開始しており、平成25年度からは幌延深地 層研究センターの地下施設(以下、幌延 URL)の深度350m 調査坑道(試験坑道4)において、 人工バリア性能確認試験を実施している。人工バリア性能確認試験は、幌延の地質環境をひとつ の事例に、処分孔竪置き方式を対象として実規模の人工バリアを設置し、実環境下において人工 バリア定置後の再冠水までの過渡期の現象を評価することを目的としている。具体的には、①地 層処分研究開発の第2次取りまとめ¹⁾(以下、第2次取りまとめ)で示した処分概念が実際の地下 で構築できることの実証、②人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認、および③熱・水・応 力・化学連成挙動に関わるデータの取得、である。Fig.1に人工バリア性能確認試験の実施場所を、 Fig.2に概念図を示す。

本報告では、処分項竪置き方式を模擬した試験孔を掘削のための大口径掘削機の新規開発、試験に使用する模擬オーバーパック(以下、模擬 OP)、緩衝材および埋め戻し材の製作および品質 管理について述べる。



Fig. 1 Layout of Horonobe URL and the location of Niche No.4 in 350m gallery



Simulated Overpack

Fig. 2 Schematic cross-section view of test pit at Niche No.4

2. 全体計画

人工バリア性能確認試験の全体計画に関わるフローを Fig. 3 に示す。平成 25 年 11 月から試験 用の坑道(350m 調査坑道の試験坑道 4)の掘削に始まり、平成 26 年 11 月までに、試験孔の掘 削、各種計測センサーの設置を行いながらの緩衝材・模擬オーバーパック(以下、OP)の設置、 坑道の埋め戻しおよびコンクリートプラグの施工を行った。その後、各種計測システムを整備し、 計測および模擬 OP 内のヒーターによる加熱を順次開始するとともに、外部から試験孔部および 埋め戻し部外周への注水を開始した。加熱および注水の開始は平成 27 年 1 月である。なお、コン タクトグラウトはプラグコンクリートの収縮がある程度収束した平成 27 年 5 月に実施した²。

原位置での作業とは別に、それぞれの段階の施工に間に合う様に、試験孔掘削のための大口径 掘削機の開発、模擬 OP、緩衝材ブロックおよび埋め戻し材などの製作を行った。

本報告では、全体計画フロー(Fig. 3)における「Production work」のうち、分析を除いた製作に関わる項目について述べる。以下、3章では大口径掘削機の開発、4章で模擬オーバーパックの製作、5章で埋め戻し材および埋め戻し材ブロックの製作、について記述する。また、それぞれの作業における予定と実績を示した工程表をTable 1に示した。



Fig. 3 Overall plan of EBS experiment

ltere		2013			2014													
nem	Quanity	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Casing drilling machine	1 set																	
Simulated Overpack	1 set																	
Buffer material blocks	136 blocks																	
Backfilling material	240 ton																	
Backfilling material blocks	8700 blocks																	

 Table 1
 Time schedule of Production work

■ : Planning schedule, ■ : Actual schedule

3. 大口径掘削機の開発

3.1 試験孔掘削技術の検討

3.1.1 掘削技術の検討

人工バリア性能確認試験の試験孔は、Fig. 2 に示すように直径 2.4 m、深さ 4.2 m の大口径の 孔であり、孔内に支保は設置しないこととしている。そのため、試験孔掘削から緩衝材の定置ま での期間に孔壁の崩落などを抑止するために、ライナープレートなどによる孔壁の保護を想定し、 掘削方法を検討した。

- ① ラインドリリング+人力掘削 直径 200 mm 程度のノンコアボーリングでラインドリリングすることにより、周辺岩盤 との縁を切り、試験孔内部の岩盤を削岩機などにより破砕して掘削土(ズリ)を搬出する。掘 削の進捗に合わせて、ライナープレートを設置し、緩衝材定置までの支保とする工法。
- ② 大口径ボーリングマシン 大口径ボーリングマシンにより、試験孔を掘削する工法。掘削完了後にケーシングを設 置し、緩衝材定置までの支保とする。
- ③ チェーンカッター+汎用軟岩掘削機 チェーンカッターにより周辺岩盤との縁を切り、試験孔内部を汎用の軟岩掘削機を用い て掘削・ズリ出しを行う工法。掘削が完了した後にケーシングを設置し、緩衝材定置まで の支保とする。
- ④ 全旋回ケーシング+ワイヤーソー切断 直径 2.4 mの全旋回ケーシング掘削により、周辺岩盤との縁を切り、試験孔内部の岩盤 をワイヤーソーによりブロック状に切断し、掘削土(ズリ)として搬出する。掘削に使用した ケーシングをそのまま残置し、緩衝材定置までの支保とする工法。
- ⑤ 全旋回ケーシング+中堀オーガー掘削

上記と同様、直径 2.4 m の全旋回ケーシング掘削により、周辺岩盤との縁を切り、試験 れ内部の岩盤をオーガーにより掘削し、ズリ出しを行う。掘削に使用したケーシングを残 置し、緩衝材定置までの支保とする。これらの作業を単一の施工機械で実施する工法。た だし、新規に機械の開発が必要となる。

上記の各工法について、掘削方法および支保方式を Table 2 にまとめて示した。

初期の計画では、予算および工程などの観点から①を想定していた³が、作業の安全性確保に課題があったことから、地下施設建設における施工業者からの技術提案により④が示された。これにより当初計画に比して試験孔の品質(孔壁、孔底の平滑度)は格段に改善されたが、将来の放射性廃棄物の処分場が軟岩中に建設される場合の処分孔掘削工法を考慮し、更に以下の点を検討した。

- ・ 狭隘な地下空間において、一貫施工が可能な機械設備となること
- ・ 多数の処分孔掘削の連続施工が可能な、高い掘削効率と機動性を持つこと
- ・ より安全でシンプルな施工が可能となること

検討結果を Table 3 に示す。その結果、全旋回ケーシング+中堀オーガー掘削工法を採用することとした。

本工法は、静的かつ周辺地山への掘削影響が少ない全周ケーシング掘削機と、ケーシング内の 掘削および掘削土(ズリ)出しを容易に行うことのできるオーガー掘削機を一体化した掘削機械で あり、コンパクトな機械設備に集約することで狭隘な軟岩地下空間で一貫施工が可能となる。さ らに、単一の機械で試験孔(処分ピット)を掘削することができることから、多数の試験孔(処分ピ ット)を迅速に掘削することが可能となる。また、機械設備を集約することで、危険性のある複数 の工種の作業員の交代や輻輳が無くなることから作業リスクが低減すると考えられる。以降、本 機械設備を大口径掘削機と称する。

No	Candidate technique	Excav	ation System	Support System		
110.		Circuit	Inside			
1	Line drilling & Excavating by human power	Line drilling	Piston drill	Liner plate sheeting		
2	Large diameter boring machine	Large diameter	boring machine	Casing (after drilling)		
3	Chain cutter & General purpose excavator	Chain cutter	General purpose excavator for soft rock	Casing (after drilling)		
4	All turning casing & Wire sow	Casing drilling	Wire saw	Casing (along with drilling)		
5	All turning casing & Auger	Casing drilling	Auger	Casing (along with drilling)		

Table 2Comparison of drilling methods in test pit

Table 3Evaluation of drilling methods for large diameter test pit

				Cor	nfirmatic	on Item	
			Quality	Control			
No.	Candidate technique	Safety*	Damage Control	Finish of wall surface	Cost /Efficiency	Applicable Rock	Overall Judgement
1	Line drilling & Excavating by human power	Δ	Δ	Δ	0	Broadly applicable	Δ Wall surface isn't smooth.
2	Large diameter boring machine	0	Δ	0	Δ	Broadly applicable	۵ Equipment becomes large scale. Cost performance is inferior.
3	Chain cutter & General purpose excavator	Δ	Δ	0	0	Available to soft rock	Δ There are problems in safety control and explosion protection. It's unsuitable at narrow space.
4	All turning casing & Wire sow	Ø	Ø	Ø	0	Available to soft rock	© It's suitable at narrow space.
5	All turning casing & Auger	Ø	Ø	0	Ø	Development of a new specialized machine for soft rock is needed. Advantage for sequential construction	©© Superior in safety control. It has broad utility for future construction.

* Including explosion protection for flammable gas (methane gas)

3.2 大口径掘削機の製作

3.2.1 大口径掘削機による試験孔の掘削フロー

試験孔の掘削は、鋼製ケーシングを継ぎ足しながら行い、所定深度(試験坑道4の路盤から約5.3m)に到達後、中堀オーガーでケーシング(掘削に使用した鋼製ケーシングを残置)内部を掘

削する。

鋼製ケーシングは、搬入経路や揚重作業などを考慮し深度方向に4分割とし、中堀オーガーの 直径は大・中・小の3段階とした。掘削フローを Fig. 4に、掘削のイメージを Fig. 5に示した。



Fig. 4 Flow of drilling test pit using a casing drilling machine for large diameter



Fig. 5 Procedure drilling test pit using casing drilling machine for large diameter

3.2.2 大口径掘削機本体

大口径掘削機の製作に当たっては、坑内用鋼管先受工法専用機械(イタリア製)のベースマシン部に、削孔機械(ドイツ製)のパワーヘッド部を取り付ける事によって、自走を可能とした。 大口径掘削機の構成イメージを Fig. 6 に、機械寸法を Fig. 7 に示す。また、製作した大口径掘削 機を Photo 1 に示す。



Fig. 6 Composition of casing drilling machine for large diameter





Photo 1 Produced casing drilling machine for large diameter

3.2.3 鋼製ケーシングおよび中堀オーガー

鋼製ケーシングは、1st、2nd、3rd、End の 4 分割とし、保管用のスペースに配慮して後半に 継ぎ足すことになる 2 つ (3rd および End ケーシング)を半割にできる構造とした。また、削孔 中に過熱状態になるビット周辺を冷却するため、ケーシング肉内に通水路を内蔵して、削孔時に 水を連続的に供給できるようにした。Photo 2 に鋼製ケーシングの外観を示す。

中堀オーガーは岩盤状況に応じて臨機応変に中堀の掘削径を選択可能とするために、大径 $\phi2200 \text{ mm}$ 、中径 $\phi1050 \text{ mm}$ および小径 $\phi650 \text{ mm}$ の3種類を製作した。Photo 3および Photo 4 に中堀オーガーの外観を示す。

製作した鋼製ケーシングおよび中堀オーガーの仕様を Table 4 に示す。



(a) 1st casing



(b) End casing (halved)

Photo 2 Casing



Photo 3 Auger (distant view)



(a) Auger (large)



(b) Auger (middle)



(c) Auger (small) Photo 4 Auger (near view)

	14010 1	opeemieatio	n of cabing and a	agoi	
		S	pec	Excavating	Amount of
Item		Diameter	Height	length	excavation
	туре	(mm)	(mm)	(mm)	(m ³)
	1st (with bit)	2,400	1,400		
	2nd	2,300	1,300		
Casing	3rd	2,300	1,300	_	-
	End	2,300	1,300		
	Total	-	5,300	4,300	
	Small	650	600	4,300	1.43
Augor	Middle	1,050	1,000	4,300	2.30
Auger	Large	2,200	1,000	4,300	12.62
	Toto	al	-	-	16.34
Н	lole amount of e	xcavation (ϕ 2	.4m×4.3m depth)	19.44

Table 4Specification of casing an	nd auger
-----------------------------------	----------

製作したケーシングの寸法検査の測線を Fig. 8 に、測定結果を Table 5 に示す。なお、ケーシングの許容値は寸法公差(JIS B 0405、Table 6)に基づき設定した。また、中堀オーガーの設計 寸法を Fig. 9 に、寸法測定結果を Table 7 に示す。ケーシングおよびオーガーのどちらも設計値 との誤差は十分に小さく、設計通りに製作されたことを確認した。



Fig. 8 Measure line of dimensional check for casing

			Design	Permitted	Measured	Гинан	
Casing	Measure line*		value	value	value		Judgement
			[mm]	[mm] [mm]		[[[]]]	
	Outor	Bit part	2400		2400	±0	Acceptance
	diameter	A-C	2380		2380	±0	Acceptance
	ulumeter	B-D	2360	±8.0	2379	-1	Acceptance
	Inner	A-C	2280		2278	-2	Acceptance
1st	diameter	B-D	2200		2277	-3	Acceptance
		A-E			1401	+1	Acceptance
	Hoight	C-G	1400	+4 0	1402	+2	Acceptance
	Heighi	B-F	1400	±0.0	1401	+1	Acceptance
		D-H			1401	+1	Acceptance
	Outer	A-C	2200		2378	-2	Acceptance
	diameter B	B-D	2380	+0 0	2378	-2	Acceptance
	Inner	A-C		±0.0	2276	-4	Acceptance
Orad	diameter	B-D			2276	-4	Acceptance
Zna	Height	A-E	1300	+4 0	1300	±0	Acceptance
		C-G			1300	±Ο	Acceptance
		B-F		±6.0	1300	±0	Acceptance
		D-H			1300	±0	Acceptance
	Outer	A-C	0200		2382	+2	Acceptance
	diameter	B-D	2360	+0.0	2380	±0	Acceptance
	Inner	A-C		±0.0	2282	+2	Acceptance
Qrad	diameter	B-D	2200		2280	±0	Acceptance
310		A-E			1300	±0	Acceptance
	Unight	C-G	1200	+/ 0	1300	±0	Acceptance
	Heighi	B-F	1300	±0.0	1300	±Ο	Acceptance
		D-H			1300	±0	Acceptance
	Outer	A-C	0200		2382	+2	Acceptance
	diameter	B-D	2360	10.0	2376	-4	Acceptance
	Inner	A-C	0000	±8.0	2283	+3	Acceptance
En el	diameter	B-D	2280		2276	-4	Acceptance
End		A-E			1300	±0	Acceptance
	Uniopt	C-G	1200	+/ 0	1300	±0	Acceptance
	Height	B-F	1300	±6.0	1300	±0	Acceptance
		D-H			1300	±0	Acceptance

Table 5Result of dimensional check for casing

*: Refer to Fig. 8. 3rd & End casing is connected along the line of A-E & C-G.

Table 6	Dimensional tole	rance
Tolerance class	1000~2000	Over 2000
Very coarse	±6.0	±8.0



Table 7 Result of dimensional check for auger

Auger	Measure line	Design value [mm]	Measure value [mm]	Error [mm]	Judgement
Small	Width	650	650	±Ο	Acceptance
(<i>ф</i> 650 mm)	Height	600	600	±Ο	Acceptance
Middle	Width	1050	1050	±0	Acceptance
(φ1050 mm)	Height	1000	1000	±Ο	Acceptance
Large	Width	2200	2200	±O	Acceptance
(<i>ф</i> 2200 mm)	Height	1000	1000	±O	Acceptance

3.3 地上での確認試験

3.3.1 確認試験の目的

製作した大口径掘削機の自走性能、削孔性能、ケーシングの引き抜き撤去動作の実用性および 半割構造の鋼製ケーシングの実用性を確認し、地下での適用試験に先立ち、地上での各種性能確 認試験を行った。なお、地下での適用性確認試験においては、狭隘な作業スペースを考慮し、ケ ーシングの引き抜き撤去は、油圧ジャッキを使用した。

3.3.2 確認試験の概要

(1) 実施項目

地上での確認試験においては、以下の項目を実施する。

- ・ 自走性能の確認:前後進、スロープ・カーブにおける走行性、安定性
- ・ サイクルタイムの確認:ケーシング脱着、オーガー脱着、ロッド脱着
- ・ ケーシング掘削の性能確認:削孔長 1.3 m における削孔速度、鉛直性

- ケーシング引き抜き性能の確認:削孔長 1.3 m における引き抜き速度、鉛直性
- 中堀オーガー掘削の性能確認:小・中・大径の各オーガーにおける掘削性
- 半割ケーシングの確認:ゆがみ、変形

(2) 試験方法

地下施設の模擬地盤として、幅 3.5 m×長さ 3.5 m×深さ 2.0 m の範囲で 1:3 モルタル(7日強 度: 20 MPa 以上)を打設し、大口径掘削機で実際に模擬地盤を掘削した。模擬地盤を含めた試験 のイメージを Fig. 10 に示す。



確認項目ごとの実施内容を以下に示す。

 \bigcirc 自走性能

単管パイプなどを用いて坑道を模擬したアーチや、試験坑道4入り口部分の10%勾配 を造成し、大口径掘削機の自走性や安定性を確認する。

- (2)ケーシング掘削 模擬地盤に対して、ケーシング掘削を実施し、削孔時間や深度などを随時計測する。掘 削には 1st ケーシング (ビット付き) と 2nd ケーシングを使用する。
- (3) 中堀オーガー掘削 ケーシング掘削後、装備を交換し中堀オーガー掘削を実施する。オーガーは小径→中径 →大径の順とする。
- ケーシング引き抜き 掘削後にケーシングを引き抜き、その状況を目視確認する。
- ⑤ ケーシングの確認 全ての掘削作業の終了後、ケーシングについて、変形や損傷の有無を目視および計測に より確認する。

3.3.3 試験結果

地上での確認試験は、平成25年12月24日~27日に、群馬県館林市にて実施した。確認項目 ごとの実施状況を以下に示す。

自走性能

工場敷地内を、模擬地盤(モルタル)を打設した箇所まで走行し、自走性能を確認した。 また、模擬地盤の手前には、単管パイプなどを用いて試験坑道4の幅と高さを模擬したゲ ートを設け、作業中に機材が坑道と干渉しないことを確認した。実施状況を Photo 5 に示 す。

② ケーシング掘削

1st ケーシングおよび 2nd ケーシングを順次接続し、模擬地盤(モルタル)を掘削した。 実施状況を Photo 6 に示す。ケーシング接続時の中心あわせに多少時間を要したが、問題 なく掘削ができることを確認した。





(a) Front view

(b) Side view



(c) Passage of imitation tunnel by tube pipe Photo 5 Shakedown of casing drilling machine



(a) Adding 1st and 2nd casing Photo 6 Appearance of casing drilling

③ 中堀オーガー掘削
 深度 1.3m 程度までケーシング掘削した後、2nd ケーシングを中堀オーガーに交換し、

ケーシング内部を掘削した。オーガーは小径→中径→大径の順に交換し掘削した。掘削状況を Photo 7 および Photo 8 に示す。オーガーの交換後の中心合わせに時間を要する場面はあったが、掘削は順調に進んだ。ただし、中堀オーガー(大径)の刃先形状に改善すべき点が見られたため、実施工時までに改良することとした。



(a) Change 2nd casing to auger (1)



(b) Change 2nd casing to auger (2)





(c) Centering (d) Drilling with auger (small) Photo 7 Appearance of drilling with small auger



(c) Full view of drilling Photo 8 Appearance of drilling with middle and large auger

④ ケーシング引き抜き

オーガー掘削状況を確認後、再びオーガーを 2nd ケーシングに交換し、ケーシングの引き抜きを実施した(Photo 9)。引き抜き作業中問題となる点は見受けられなかった。



Photo 9 Drawing casing

⑤ ケーシングの確認

ケーシング引き抜き後、ケーシングの外径および内径などを測定し、使用によるケーシングの変形、ゆがみ、座屈などを確認した。掘削前後の寸法測定結果を Table 8 に示す。 掘削前後のケーシング寸法の差異は 4mm 以内であり問題ないと判断した。

Casing	Measure line*		Before excavation [mm]	After excavation [mm]	Difference [mm]
			2277	2277	±0
	Inner	E-G	2272	2271	-1
	diameter	B-D	2280	2278	-2
1st Opposite side distance		F-H	2279	2278	-1
	Orana asita	A-G	2575	2573	-2
	Opposite	C-E	2576	2574	-2
	distance	B-H	2581	2582	+1
	distance	D-F	2576	2578	+2
Inner diameter 2nd	A-C	2277	2276	-1	
	Inner diameter	E-G	2276	2276	±0
		B-D	2277	2276	-1
		F-H	2277	2278	+1
	Orana asita	A-G	2622	2621	-1
	Opposite	C-E	2618	2622	+4
	distance	B-H	2622	2621	-1
	distance	D-F	2623	2621	-2

rasie s semparisen sine er easing serere areer ariting	Table 8 🛛 (Comparison	size o	of casing	before-after	drilling
--	-------------	------------	--------	-----------	--------------	----------

*: Refer to Fig. 11.



Fig. 11 Measure line of casing size

以上の地上における確認試験結果を Table 9 にまとめた。一連の作業において特筆すべき異常 は確認されず、地下での試験孔の掘削が可能であると考えられる。

	T	
Confirmation Item	Content of implementation	Results
Appearance, Mechanism	Visual confirmation about assembling of the machine and casing	There were no significant problems while at work.
Traveling Performance	Visual confirmation of traveling performance • under leveling situation, irregular ground situation and slope situation • for fine control performance such as rotation and forward & backward in the installation work	There were no significant problems while at work.
Casing Excavation #1	Confirmation of drilling situation using 1st casing from 0 to 1 m depth	There were no significant problems while at work.
Connection of Casings	Confirmation of the connection status of the 2nd casing to 1st casing	It took a lot of time to centering of the casings. After centering, there were no significant problems.
Casing Excavation #2	Confirmation of drilling situation using connected casing (1st and 2nd) from 1 to 1.3m depth	There were no significant problems while at work.
Drawing of connected Casing	Confirmation of drawing situation of connected (1st and 2nd) casing	There were no significant problems while at work.
Exchange Attachments	Confirmation of exchange situation of the rotating attachment	There were no significant problems while at work.
Connecting Small Auger	Confirmation of the connection status of the small auger	There were no significant problems while at work.
Drilling by Small Auger	Confirmation of drilling situation using small auger from 0 to1.3m depth	It took a lot of time to centering of the auger before drilling and adding of a rod. After that, there were no significant problems.
Connecting Middle Auger	Confirmation of the connection status of the middle auger	There were no significant problems while at work.
Drilling by Middle Auger	Confirmation of drilling situation using middle auger from 0 to 1.3m depth	It took a lot of time to centering of the auger before drilling and adding of stem rod. After that, there were no significant problems.
Connecting Large Auger	Confirmation of the connection status of the large auger	There were no significant problems while at work.
Drilling by Large Auger	Confirmation of drilling situation using large auger from 0 to 1.3m depth	There were problem about the placement and the shape of cutting edge of the bit.
Drawing 1st Casing	Confirmation of drawing situation of 1st casing	There were no significant problems while at work.

Table 9Results of ground test

4. 模擬オーバーパックの製作

4.1 模擬オーバーパック

4.1.1 模擬オーバーパックの仕様

人工バリア性能確認試験では、オーバーパックの候補材料として第2次取りまとめ¹⁾で示され ている炭素鋼オーバーパックの仕様例を採用し、炭素鋼として圧力容器用炭素鋼鍛工品である SFVC1を使用することとした。本試験における、模擬OPの要件としては、①実際の(ガラス固 化体を封入した)オーバーパックと重量および大きさが同等であること、②表面温度が制御でき ること、③表面の腐食状態(面積、深さなど)が評価できること、および④試験場所である深度 350mで想定される最大圧力(緩衝材の膨潤圧および静水圧)に耐えうる力学的構造を持つこと、 などが挙げられる。これらの要件および地下施設建設における設備などを考慮し、模擬 OP の構 造を決定した(Fig. 12)。模擬 OP 本体は筒状とし、上下の蓋はボルトにより固定する構造とし た。実際の OP の重量(5.7t)および温度を再現するために、内部に6個の錘をいれ、空洞部分に は熱媒体としてのオイルを充填し、ヒーターにより加熱する構造とした。



Fig. 12 Structure of simulated overpack

4.1.2 模擬オーバーパックの製作

模擬 OP の材料である SFVC1 は炭素鋼鍛造品であり、日本工業規格(JIS G 3202)に則り、以下 のような工程を経て製作される。

- 材料選定・切断
- ② 予熱·加熱
- ③ 鍛造
- ④ 中間検查(寸法·外観)
- ⑤ 熱処理(焼きならし)
- ⑥ 機械加工
- ⑦ 完成検査

Photo 10~Photo 17 に模擬 OP 本体の製作過程を示す。表面は腐食の進行度を把握するために、 #600 相当とした。



Photo 10 Ingot of carbon steel



Photo 11 Heating treatment



Photo 12 Forging process



Photo 13 Hollow forging process



Photo 14 Intermediate check



Photo 15 Normalizing process



Photo 16 Surface finishing process



Photo 17 Surface appearance

同様の工程で製作した上下の蓋、および錘を Photo 18~Photo 20 に示す。



Photo 18 Bottom cover



Photo 19 Upper cover



Photo 20 Weight-A

本体部分および上下の蓋の化学成分を Table 10 に示す。上下の蓋は同じ素材から製作したため、化学成分は同一となっている。熱処理方法や機械的特性については、付録に添付した材料証明書を参照されたい。

Table 10 Olicinical composition of carbon steel for simulate over paci	Table 10	Chemical	composition	of carbon	steel for	r simulate	overpack
--	----------	----------	-------------	-----------	-----------	------------	----------

	С	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr	Мо	Cu
Standard value of SFVC1 (%)	≦0.30	≦0.35	0.40~ 1.35	≦0.030	≦0.030	-	-	-	-
Body (%)	0.27	0.26	0.47	0.014	0.007	0.04	0.10	0.03	0.07
Cover (%)	0.21	0.20	1.04	0.012	0.012	0.01	0.12	0.00	0.01

4.2 加熱用ヒーター

4.2.1 ヒーターの仕様

模擬 OP 内に設置するヒーターは、発熱部をガラス固化体と同等の長さ(1350mm)に設定し、 試験中に速やかに設定温度に到達させるために、発熱量は最大で 13kW とした。模擬 OP には内部 に充填するオイルを攪拌する機能は付与していないので、熱対流により内部の温度を均一にするこ とを指向し、発熱部を上下ふたつに分けた。ヒーターの構造を Fig. 13 に、外観を Photo 21 に示す。



Fig. 13 Structure of heater in simulated overpack



Photo 21 Appearance of heater

5. 緩衝材ブロックの製作

5.1 緩衝材ブロックの仕様

緩衝材の仕様については、第2次取りまとめ¹⁾および、幌延の地下環境条件を対象に検討した 結果⁴⁾から、乾燥密度 1.60 Mg/m³、ケイ砂混合率 30 wt%を標準とし、ケイ砂については、3 号と 5 号を 1:1 で混合したものを使用した。また、ブロックの分割数については、公益財団法人原子力 環境整備促進・資金管理センター(以下、原環センター)が製作した緩衝材の搬送定置装置^{5),6)}に よる真空把持装置での定置を想定し、8 分割とした。

人工バリア性能確認試験では、試験孔の直径が 2400 mm であり、緩衝材と試験孔の隙間および緩衝材ブロックの隙間を考慮し、膨潤後の乾燥密度が 1.60 Mg/m³ となるように緩衝材ブロックを製作した。試験では、Fig. 14 に示すように緩衝材と試験孔の隙間にはケイ砂を充填し、円柱形ブロック(または、模擬 OP)と扇形ブロックの隙間には、緩衝材と同配合の粉体(ベントナイト:ケイ砂=70:30 wt%)を充填することとした。



Fig. 14 Schematic plane view of buffer material

これらを考慮し、次式から緩衝材ブロックの製作時の乾燥密度を算出した。

$$\rho_{d_0} \times A_B + \rho_{b_s} \times A_G = \rho_d \times (A_T - A_W - A_S)$$

ここで、

ρ_{do}:緩衝材ブロックの制作時の密度 [Mg/m³]

ρ_d:緩衝材ブロックの膨潤後の密度 = 1.60 Mg/m³

ρ_{bs}:円柱形ブロック(または模擬 OP)と扇形ブロックの隙間に充填する緩衝材(粉体)の密度=1.0 Mg/m³

AT:試験孔の断面積 [m²]

Aw:円柱形ブロック(または模擬 OP)の断面積 [m²]

AB:扇形ブロックの断面積 [m²]

Ag:円柱形ブロック(または模擬 OP)と扇形ブロックの隙間の断面積 [m²]

As:試験孔側面と緩衝材ブロックの隙間のうち、ケイ砂の断面積 [m²]

である。

なお、試験孔と緩衝材ブロックの隙間に入れるケイ砂の間隙率は、JIS Z 8901 試験用粉体1説 明書⁷⁷を参考に、ケイ砂の粒子密度(2.7 Mg/m³)と見かけ(嵩)密度(0.65 Mg/m³)から算出し た値(75.9 %)を用いた。上記の式から、

 $\rho_{d_0} \approx 1.80 \text{ Mg/m}^3$

が得られる。

Table 11 に緩衝材ブロックの仕様を、Table 12 に製作したブロックの個数を示す。扇形ブロックについては、埋め戻し後の試験坑道 4 において見学者等の理解促進のため展示用のブロック(33 個)も含まれている。

	Specifications	Remarks				
Matariala	Bentonite (Kunigel V)	Kunimine Industries Co.,Ltd.				
Materials	Silica sand	Nittoren Genryo K.K.				
Mixing rate	Kunigel V1 70wt% Silica sand 30wt%	Silica sand (No.3:No.5=1:1)				
Mixing water	tap water					
Water content	10.5 %					
Dry density	1.8 Mg/m ³	soon after compaction (after swelling: 1.6 Ma/m ³)				

Table 11 Specifications of buffer material block

Table 12	Shape	of buffer	material	block
	Dilupo	or barror	mattai	DIOOR

Buffer block shape	Dimension	Number of pieces
Fan-shaped (1/8)	external diameter: 2260mm internal diameter: 860mm thickness: 350mm central angle: 45°	129 (including 33 blocks for exhibits)
Cylinder	diameter: 820mm thickness: 350mm	7

5.2 緩衝材ブロックの製作

上記 5.1 で示した仕様に基づいて、緩衝材ブロックを製作した。Fig. 15 に製作のフローを示 す。以下に各手順の実施方法について記述する。なお、品質管理に関わる計測項目については、 5.3 で述べる。



Fig. 15 Flowchart of compacting buffer material block

5.2.1 ベントナイトとケイ砂の混合土の製作

ベントナイトとケイ砂をそれぞれ計量し、アイリッヒミキサにて混合した。材料の混合状態を 目視で確認し、ムラの無いように混合時間を調整した。製作した混合土は含水比が変化しないよ うに、内袋付きの大型土のう袋に保管し、圧縮成型を行う工場へ搬送した。Photo 22~Photo 26 に材料投入状況および混合状況などを示した。



Photo 22 Confirmation of bentonite (Kunigel V1) input



Photo 23 Putting silica sand into mixer



Photo 24 Mixing bentonite and silica sand by eirich mixer



Photo 25 Packing buffer material into sandbag



Photo 26 Storage situation of buffer material

5.2.2 圧縮成型

上記 5.2.1 で製作した混合土(ベントナイト:ケイ砂=70:30wt.%)を圧縮成型して、緩衝材ブロックを製作した。製作手順は、①金型への材料投入、②材料の敷き均し、③圧縮成型、④金型の脱型である。以下にそれぞれの手順の実施状況を示す(Photo 27~Photo 35)。



Photo 27 Compression molding press and mold (distant view)



(a) Compression molding press (b) Mold with funnel for material input Photo 28 Compression molding press and mold (near view)



(a) Distant view (b) Near view Photo 29 Buffer material input to mold



Photo 30 Mold after input buffer material



(a) Planarize the surface process (1)



(b) Planarize the surface process (2)





(c) Planarized surface (1) (d) Planarized surface (2) Photo 31 Planarize the surface process (prepared to press)



Photo 32 Compression process



Photo 33 After compression





(a) Demolding process (1)
 (b) Demolding process (2)
 Photo 34 Removing mold from buffer material block



(a) Buffer material block (side)
 (b) Buffer material block (upper surface)
 Photo 35 Fan-shaped buffer material block

5.2.3 梱包、保管

製作した緩衝材ブロックは、含水比の変化を抑えるため 1 個ずつラップで養生(Photo 36~ Photo 38) した上で、製造年月日および ID 番号を記載し(Photo 39)、4 個ずつ木箱に収納した (Photo 40、Photo 41)。木箱に収納された緩衝材は、倉庫に移送し保管した(Photo 42)。なお、 ID 番号は以下に示すように、形状およびシリアル番号からなる。

ID 番号の例

<u>1/8</u> ブロック形状 1/8:扇形 S:円柱型 <u>001</u> シリアル No.



Photo 36 Preparation for wrap/curing



Photo 37 Wrapping



Photo 38 Wrapped block



Photo 40

Curing by bubble wrap



Photo 39 Write ID and date of wrapping



Photo 41

Crate of buffer material blocks



Photo 42 Storage situation

5.3 品質管理

5.3.1 ベントナイトとケイ砂の混合土

混合土の品質を確認するため、混合前のベントナイトとケイ砂、および混合土について、含水 比およびメチレンブルー吸着量の測定を行った。Table 13 に試験数量および頻度を示す。

Materials	Test item	Frequency
Bentonite (Kunigel V1)	Water content (JIS A 1203)	1 sample every two days
	Adsorbed amount of methylene blue (JBAS-107-91)	1 sample (3 specimens)
Silica sand	Water content (JIS A 1203)	1 sample every two days
	Adsorbed amount of methylene blue (JBAS-107-91)	1 sample (3 specimen)
Mixed bentonite	Water content (JIS A 1203)	1 sample from every batch
(buffer material)	Adsorbed amount of methylene blue (JBAS-107-91)	1 sample every two days (3 specimens)

Table 13	Test item	for mixed	bentonite	and silica	sand
----------	-----------	-----------	-----------	------------	------

(1) 含水比

混合前のベントナイト(クニゲル V1)およびケイ砂の含水比を測定した。混合作業は3回に分け て実施した。3回の平均は、Table 14に示すようにクニゲル V1 で 8.0%、ケイ砂で 0.1%であっ た。また、混合土(混合後の緩衝材材料)の含水比についても測定した結果、平均は 10.5%とな った。測定結果の詳細を Table 15 に示す。

rasio ri inator componente di someonite and sand	Table 14	Water content of bentonite and silica sar	nd
--	----------	---	----

Mixing	Water co	ontent (%)
batch No.	Bentonite	Silica sand
1	8.4	0.1
2	8.4	0.1
3	7.2	0.1
Average	8.0	0.1

Mixing batch No.	Batch No.	Water content /%	Mixing batch No.	Batch No.	Water content /%
	1	10.0		25	10.9
1	2	9.9		26	10.9
	3	10.1		27	10.6
	4	10.1		28	10.7
1	5	10.0		29	11.0
2	6	10.1		30	10.8
	7	10.1		31	10.8
	8	10.1		32	10.7
	9	10.1		33	10.8
	10	10.1		34	10.9
	11	9.9		35	11.1
	12	10.0	2	36	11.0
	13	9.9	3	37	11.0
	14	10.0		38	10.8
	15	10.1		39	10.9
	16	10.0		40	11.1
	17	10.1		41	10.9
	18	10.1		42	11.0
	19	10.2		43	11.1
	20	10.2		44	11.2
	21	10.2		45	10.9
	22	10.7		46	10.5
3	23	11.1		47	10.7
	24	10.8			
		Average			10.5

Table 15 Water content of buffer material

(2) メチレンブルー吸着量

クニゲル V1 とケイ砂の混合土である緩衝材材料のベントナイト混合率を推定するために、混 合前のクニゲル V1 とケイ砂のメチレンブルー吸着量を測定し、検量線を作成した。メチレンブ ルー吸着量試験の結果を Table 16 に、検量線を Fig. 16 に示す。

混合後の緩衝材材料に対して行ったメチレンブルー吸着量試験の結果を Table 17 に示す。併せて、検量線から算出したベントナイト混合率を示した。その結果、緩衝材材料のベントナイト混合率は 68.8%~70.3%となり、目標としたベントナイト混合率(70%)に対して、誤差は 2%程度であることを確認した。

Table 16 Adsorbed amount of methylene blue for bentonite and silica sand

Material	Adsorbed amour	nt of methylene blu	ue [mmol/100g]
Bentonite	94	92	90
Silica sand	0	0	0



Fig. 16 Calibration curve of bentonite mixing rate

Table 17 Adsorbed amount of methylene blue for buffer material

Mixing	Adsorbed c	mount of me	hylene blue [I	mmol/100g]	Mixing rate of
batch No.	specimen1	specimen2	specimen3	average	bentonite [%]
1	62	66	66	64.7	70.3
2	62	64	64	63.3	68.8
3	62	66	66	64.7	70.3

5.3.2 緩衝材ブロック

緩衝材ブロックの設計重量は乾燥密度 1.8 Mg/m³、含水比 10.5%から扇形ブロック、円柱形ブ ロックで 299 kg および 368 kg となる。乾燥密度の誤差範囲を 0.1 Mg/m³とすると、質量にして、 それぞれ±16kg および±20kg の誤差範囲となるが、緩衝材への要求性能から、乾燥密度が設計 値を下回ることは避けるべきである。そのため、製作時の投入量は設計重量よりも大きくなるよ うに設定した。金型への付着量などを考慮し、扇形ブロックで設計投入量に対し、+13 kg の 312 kg として製作を開始した。その後、製作の進捗に伴う作業性の向上などから実投入量を見直し、 設計投入量に対し、+7 kg の 306 kg とした。また、円柱形ブロックの実投入量は扇形ブロックの 実績を参考に、設計投入量に対し、+9 kg の 377 kg とした。

緩衝材厚さを確保するための加圧力については、これまでの実績から300t以上と設定したが、 ブロックごとに制御を行った結果、510~800tとなった。また、製作したブロックの外観を目視 にて確認し、明らかなひび割れや欠けなどが無いことを確認した。

緩衝材ブロックの品質確認項目を、Table 18 に、ブロック厚さの測定箇所を Fig. 17 に示す。 また、測定値を抜粋して Table 19 および Table 20 に、測定状況を Photo 43 に示す。なお、全て のブロックに対する測定値は付録に示した。

Confirmation item	Reference volue	Frequency
Communication	Fan-shaped: 299±16 kg	ricqueriey
Block mass	Cylinder: 368±20 kg	
	(Dry density: 1.8±0.1 Mg/m ³ , Water content: 10.5 %)	
Thickness of block	350±5 mm	
Input of mixed bentonite	Fan-shaped: 299+13 or 7 kg	Every block
inpor or mixed bernomic	Cylinder: 368+9 kg	
Compacting prossure	Loaded force: over 300 ton	
	Compacting pressure: over 10 MPa	
Pressure holding time	over 20 minutes	
Visual appearance	Visual check (Photo of front, back, right, left, upper and bottom side)	once monthly

 Table 18
 Confirmation items of buffer material block





(a) Fan-shaped block (b) Cylinder block Fig. 17 Measure lines of buffer material block

		Table 19	Measureme	nt values for	fan-shap	ed block (I	Extracted d	lata)		
!	Input mixed	Loaded	Compacting	Pressure		Thickr	ness of block	< [mm]		Block mass
0	bentonite [kg]	force [t]	pressure [MPa]	holding time [min]	Θ	3	3	4	L	[kg]
1/8-001	312	800	18.4	20	351	351	351	350	702.2	311.5
1/8-021	312	850	19.5	20	351	351	350	350	702.0	311.5
1/8-041	306	710	16.3	20	351	351	351	351	701.6	305.5
1/8-061	306	002	16.1	20	351	351	350	350	702.0	305.0
1/8-081	306	009	13.8	20	350	350	351	351	701.4	306.0
1/8-101	306	580	13.3	20	350	350	350	350	701.4	305.0
1/8-121	306	550	12.6	20	350	350	350	350	701.4	305.5
Reference value	299+13 or 7	≥300	≥10	≧20		35()土5		700	299±16

bloc
cylinder]
for
values
Measurement
ole 20

Block mass	[kg]	822 376.0	822 376.5	821 376.0	822 376.0	821 376.5	821 377.0	821 376.5	0 368±20
			-	-	-	C	0	C	82
[mm]	4	35	35	35	35	35(35(35(
ess of block	3	351	351	351	351	350	350	350	+5
Thickné	3	351	351	351	351	351	351	351	350:
	Ð	351	351	351	351	351	351	351	
Pressure	[min]	20	20	20	20	20	20	20	≧20
Compacting	pressure [MPa]	14.9	14.9	13.1	14.9	13.4	13.1	13.2	≧10
Loaded	E	800	800	700	800	720	700	710	≧300
Input mixed		377	377	377	377	377	377	377	368+9
Ē	<u>כ</u>	S-001	S-002	S-003	S-004	S-005	S-006	S-007	Reference value



(a) Height direction (b) Radial direction Photo 43 Measurement of block thickness

緩衝材ブロックの外観について、目視での確認に加えて抽出したブロックの写真撮影を実施した。目視および写真による確認から、表面が密実で端部の欠けが少ないブロックを製作できた。 外観写真を Photo 44 および Photo 45 に示す。なお、撮影した全ての写真は付録 CD に示した。











(e) Bottom (f) Back Photo 44 Visual appearance of fan-shaped block (ID: 1/8-016)



(e) Bottom (f) Back Photo 45 Visual appearance of cylinder block (ID: S-006)

6. 埋め戻し材の製作

6.1 埋め戻し材の仕様

埋め戻し材の仕様については、第2次取りまとめ¹⁾で基本設計が示された後、幌延の地下環境 条件を対象に検討した結果⁴⁾から、ベントナイト混合率40%、乾燥密度1.8 Mg/m³が示されてい る。人工バリア性能確認試験では、幌延URLから発生した掘削土(ズリ)を用いた場合の埋め戻し 材の仕様について検討した。その結果、転圧締め固めおよびブロックとしてTable 21に示す仕様 を設定した⁸⁾。

以下に、人工バリア性能確認試験で使用した埋め戻し材の製作および品質管理について述べる。

	Backfilling material for compaction	Backfilling material block			
Material	Bentonite and rock waste (Wo	akkanai formation)			
Mixing rate of bentonite	40 %				
Grain size of rock waste	Under 20 mm				
Mixed water	Well water in Horonobe town ⁹) (using for Horonobe UR construction)				
Water content	33 – 39 % 30 %				
Dry density	1.2 Mg/m ³	1.4 Mg/m ³			

Table 21	Specification	of backfilling	material
		0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	

6.2 使用材料

6.2.1 掘削土(ズリ)

(1) ふるい分け(粒度調整)

埋め戻し材の製作に使用した掘削土(ズリ)は、幌延 URL の西立坑の深度約 330 m~340 m の稚 内層を掘削した際に発生したものであり、掘削土(ズリ)置場にて振動ふるい機を用いて粒径 20 mm 以下に調製した。ふるい分けされた掘削土(ズリ)は内袋つきの大型土のう袋に保管した。ふる い分けの実施状況とふるい分け後の掘削土(ズリ)の状況を Photo 46 および Photo 47 に示す。本 作業は、埋め戻し材の転圧締め固め施工試験 ⁸に使用した掘削土(ズリ)の調製と併せて実施した。 調整後の掘削土(ズリ)の粒度分布を Fig. 18 に示す。



Photo 46 Sieving rock waste



Photo 47 Rock waste after sieving



Fig. 18 Grain size distribution of rock waste

(2) 含水比の測定

粒度調製した掘削土(ズリ)の含水比を JIS A 1203 に従って土のう袋ごとに測定した。Table 22 に含水比の測定結果を示す。含水比は最大で 39.7%、最小で 27.5 %であった。Table 22 に示した試料 No.のうち、No.1~No.105 は埋め戻し材ブロック用に、No.106 以降は転圧締め固め用の 製作に使用した。含水比の平均は埋め戻し材ブロック用で 33.6%、転圧締め固め用で 35.2%であった。

6.2.2 ベントナイト

ベントナイトはクニミネ工業製の Kunigel V1 を使用した。ロット No.ごとに含水比試験(JIS A 1203)を実施した結果を Table 23 に示す。含水比は最大で 11.2 %、最小値で 7.7 %であった。 平均値は埋め戻し材ブロック用で 9.0 %、転圧締め固め用で 8.9 %であった。

N.L.	Water content	NL.	Water content		Water content	N.L.	Water content
NO.	%	NO.	%	NO.	%	NO.	%
1	31.4	51	32.7	101	32.3	151	34.3
2	32.2	52	29.6	102	29.8	152	29.7
3	32.2	53	29.4	103	29.7	153	30.0
4	32.0	54	38.3	104	33.7	154	29.8
5	39.1	55	36.1	105	34.7	155	32.8
6	32.0	56	29.9	106	30.6	156	32.9
7	33.6	57	31.3	107	34.1	157	35.5
8	34.3	58	33.7	108	37.6	158	36.4
9	31.1	59	33.8	109	35.8	159	35.5
10	36.8	60	32.4	110	37.2	160	37.2
11	35.2	61	39.7	111	36.7	161	35.9
12	32.8	62	35.8	112	36.8	162	35.2
13	33.5	63	32.8	113	37.5	163	35.6
14	32.9	64	31.4	114	36.4	164	37.7
15	36.2	65	33.2	115	34.8	165	30.1
16	35.7	66	33.8	116	33.8	166	38.7
17	34.9	67	38.3	117	36.9	167	30.2
18	35.1	68	36.5	118	36.8	168	31.4
19	33.3	69	37.0	119	37.8	169	36.9
20	32.2	70	36.4	120	37.2	170	32.2
21	31.7	71	37.0	121	37.6	171	31.8
22	36.0	72	30.1	122	37.1	172	34.0
23	33.3	73	31.3	123	36.5	173	34.8
24	32.3	74	35.1	124	37.6	174	35.9
25	32.2	75	32.4	125	35.2	175	37.1
26	35.2	76	37.0	126	33.3	176	36.8
27	34.3	77	32.3	127	36.4	177	36.4
28	34.9	78	32.4	128	36.7	178	29.5
29	37.4	79	34.7	129	37.6	179	36.3
30	29.6	80	36.0	130	37.2	180	36.0
31	34.8	81	33.5	131	38.3	181	32.4
32	35.5	82	36.5	132	37.5	182	32.3
33	33.6	83	36.1	133	35.9	183	32.6
34	30.7	84	31.5	134	33.9	184	32.4
35	33.5	85	37.2	135	35./	185	37.0
36	33.7	86	36.5	136	32.9	186	36.2
3/	33.6	8/	31.1	137	36.1	187	36.2
<u>ა</u> გ	34.7	88	35.6	138	36.2		
39	33.3	89	37.1	139	32.9		
40	35.0	90	35.6	140	35.5		
41	30.0	71	33.1	141	33./		
4Z	37.Z	72	27.0	142	30.3 27.0		
43	31.3	73	27.7 07 F	143	37.0		
44	34.4	74	27.3	144	37.2		
4J 14	33.0	7J Q2	<u>∠0.J</u> 33.0	140	38 1		
40 17	30.7	70 07	33.0	140	34.9		
4/ /2	32.3 33 1	92	31.2 31.2	14/	31.6		
49	20.1	90	32.4	1/19	33.7		
	.1/ 0						

Table 22Water content of waste rock

No.1~105 : For Buffering material block, No.106~187 : For compaction

14510		of Soffoothies (hunninger + 1)
Lot No.	Water content (%)	Remark
306250	9.7	
306255	8.3	
306257	9.0	
306260	9.0	For Pufforing material block
306262	9.8	For Burrening material block
306266	8.6	
306267	8.8	
306268	8.4	
306321	7.7	
306289	11.2	For compaction
306331	7.7	

Table 23Water content of bentonite (kunigel V1)

6.3 埋め戻し材の製作(転圧締め固め用およびブロック製作用)

6.3.1 埋め戻し材の製作

掘削土(ズリ)とベントナイトの混合および含水比の調整は、幌延深地層研究センター敷地内に 仮設の試験室を設置して行った。

埋め戻し材は粒度調整した掘削ズリ(稚内層)とベントナイトを計量し、コンクリートの練り 混ぜ用の汎用的なミキサーであるポットミキサーにて混合した。使用したミキサーの外観を Photo 48 に示す。本作業は、掘削土(ズリ)の粒度調製と同様に、転圧締め固め施工試験 ⁸用の埋 め戻し材製作と併せて実施した。

混合時の加水量の調整は、埋め戻し材ブロック用混合土については材料の乾燥を考慮して混合 土の設定目標含水比 30%+2%の32%を基準として、転圧締め固め用混合土については混合土の 設定目標含水比 33%~39%の中間値の36%を基準として加水を行った。混合時間については、 材料の混合状況を目視確認しながら混ぜむらの無いように適宜調整した。製作した埋め戻し材は、 含水比が変化しないように内袋付の大型土のう袋に詰めて保管した。一連の製作状況をPhoto49 に示す。



Photo 48 Pot mixer



(e) Backfilling material (f) Stor Photo 49 Making backfilling material

(f) Storage situation

6.3.2 品質管理

(1) 製作数量

人工バリア性能確認試験において、試験坑道 4 を埋め戻す部分の体積から、必要となる埋め戻し材ブロックの数量および転圧締め固め用の埋め戻し材の数量を算出し、製作を行った。製作数 量を Table 24 に示す。

	Quantity of backfilling material (t)	Remark		
For backfilling material block	141	Sandbags: 230 Blocks: 8700		
For compaction	100	Sandbags:172		

Table 24Quantity of backfilling material

(2) 含水比

製作した埋め戻し材に対し、含水比試験を JIS A 1203 に従って実施した。埋め戻し材ブロック 用、転圧締め固め用について、それぞれを収納した大型土のう袋から 15 袋を抽出し、1 袋に付き 1 試料を採取して実施した。含水比試験結果を Table 25 に示す。埋め戻し材ブロック用の平均含 水比は 32.3 %(目標値 32 %)、転圧締め固め用混合土の平均含水比は 37.1 %(目標値 36 %)と なり、概ね目標値どおりの埋め戻し材を製作することができた。

No.	Water content (%)	Remark	No.	Water content (%)	Remark	
1	30.0		16	39.6		
2	31.8		17	35.7		
3	34.0		18	34.7		
4	27.9		19	39.2		
5	31.8		20	38.2		
6	33.5		21	36.0		
7	31.9	For Backfilling material block	22	37.6		
8	34.4		23	38.9	For	
9	33.7		24	34.1	compaction	
10	34.4		25	36.2		
11	33.7		26	38.2		
12	32.7		27	36.8		
13	32.5			28	36.9	
14	33.0		29	39.8		
15	31.7		30	34.5		
Ave.	32.3		Ave.	37.1		

Table 25 Water content of backfilling material

(3) ベントナイト混合率

製作した埋め戻し材のベントナイト混合率を確認するため、ベントナイト 100%および掘削土 (ズリ)(ベントナイト 0%)のメチレンブルー吸着量を測定し、検量線を作成した。 メチレンブルー吸着量の測定結果を Table 26 に示し、作成した検量線を Fig. 19 に示す。

 Table 26
 Adsorbed amount of methylene blue for bentonite and waste rock

Material	Adsorbed amount of methylene blue [mmol/100g]		
Bentonite	28	29	30
Waste rock	92	94	92



Fig. 19 Calibration curve of bentonite mixing rate for backfilling material

次に、製作した埋め戻し材に対するメチレンブルー吸着量を測定し、上記で作成した検量線を 基に各バッチのベントナイト混合率を求めた。メチレンブルー吸着量およびベントナイト混合率 の結果を Table 27 に示す。なお、Table 27 と Table 25 に示したバッチ No.は同じ土のう袋を示 している。

ベントナイト混合率の平均は、ブロック製作用の埋め戻し材で38.9%、転圧締め固め用の埋め 戻し材で39.9%となり、概ね目標とするベントナイト混合率40%の埋め戻し材が製作できた。

Mixing batch	Adsorbed c	imount of met	mmol/100g]	Mixing rate of	Remark	
No.	specimen1	specimen2	specimen3	average	bentonite [%]	
1	58	58	58	58.0	45.5	For backfilling
2	56	55	56	55.7	41.9	material block
3	54	56	55	55.0	40.8	
4	58	58	57	57.7	45.1	
5	57	56	57	56.7	43.5	
6	50	52	52	51.3	35.0	
7	50	50	50	50.0	33.0	
8	56	55	53	54.7	40.4	
9	56	55	55	55.3	41.3	
10	50	50	49	49.7	32.5	
11	51	51	50	50.7	34.1	
12	48	48	49	48.3	30.3	
13	48	48	49	48.3	30.3	
14	57	58	58	57.7	45.1	
15	57	58	58	57.7	45.1	
16	53	55	55	54.3	39.7	For compaction
17	53	55	53	53.7	38.8	
18	52	53	54	53.0	37.7	
19	54	55	55	54.7	40.4	
20	52	53	53	52.7	37.2	
21	53	56	55	54.7	40.4	
22	56	56	56	56.0	42.4	
23	57	56	56	56.3	42.9	
24	53	55	54	54.0	39.3	
25	56	55	57	56.0	42.4	
26	53	55	55	54.3	39.7	
27	56	55	56	55.7	41.9	
28	53	52	53	52.7	37.2	
29	52	55	54	53.7	38.8	
30	54	55	55	54.7	40.4	

 Table 27
 Adsorbed amount of methylene blue for backfilling material

6.4 埋め戻し材 (転圧締め固め)

転圧締め固め用の埋め戻し材の製作および品質管理については、6.3 で記述したとおりであるため、省略する。

6.5 埋め戻し材ブロックの製作

6.5.1 製作

(1) 埋め戻し材ブロックの仕様

埋め戻し材ブロックの仕様は、事前の検討[®]により、製作性、加工性、埋め戻しの作業性などを 考慮し、Table 28 に示す様に設定した。1 個あたりの重量は 16.38 kg となる。

Item	Specification
Dry density (Mg/m ³)	1.4
Dimension (mm)	300 × 300 × 100
Water content (%)	30

Table 28 Specification of backfilling material block

(2) 使用材料および使用機械

使用する材料は、6.3 で製作したブロック製作用の埋め戻し材である(Table 25 および Table 27 参照)。ブロック製作に使用した圧縮成型機の仕様を Table 29 に、外観を Photo 50 に示す。 埋め戻し材ブロックの製作には、同型の圧縮成型機を 2 台使用した。

Table 29 Specification of compacting machine for backfilling materi

Item	Specification
Nominal pressure (kN)	800
Dimension of machine (mm)	1,420×900×3,490
Mass of the machine (kg)	4,000
Hydraulic motor (kW)	22
Hydraulic tank (L)	80
Dimension of mold (mm)	300×300×300
Piston size (mm)	299×299





(a) Compacting machine (distant view)(b) Near view of mold and pistonPhoto 50 Compacting machine for buffering material block

(3) 製作手順

埋め戻し材ブロックの製作フローを Fig. 20 に示す。製作の主な工程を以下に示すとともに、 Photo 51 に製作状況を示す。製作は札幌市内の工場で行った。

- 圧縮成型機の点検、金型清掃
- ② 埋め戻し材用混合土の計量
- ③ 金型内への材料投入、敷均し
- ④ 敷均した材料の上に付着防止用シートの設置
- ⑤ 压縮成型、压縮保持
- ⑥ 金型内からのブロック抜き出し
- ⑦ ブロックの寸法、質量測定
- ⑧ ブロック外観確認



Flowchart of compacting backfilling material block Fig. 20





Input material to mold and planarize the ④ 3 surface Photo 51 Making backfilling material block (1/2)

i.

Putting a sheet on planarised surface (to avoid material attaching to piston)



 \bigcirc Dimension check

(8) Check appearance Photo 51 Making backfilling material block (2/2)

(4) 梱包、保管

製作した埋め戻し材ブロックは、寸法および外観の確認の終了後すぐに乾燥を防ぐためにラッ プで養生し、シリアル番号および圧縮成型機の番号からなる ID 番号を記載した後、輸送および保 管用のパレットに積載した。ID 番号の記載例を以下に示す。

ID 番号の例	0001	—	1
	シリアル No.		圧縮成型機番号
			(1または2)

パレット1枚あたり、3列×3列×6段(計54個)を積載した。輸送および保管の際には、埋 め戻し材ブロックの変形を防ぐため、パレットは最大2段積みまでとし、温度が0℃以下となら ないように温度管理された倉庫に保管した。梱包および保管状況について Photo 52 および Photo 53 に示す。



(a) Wrapping (b) Packing for storage Photo 52 Curing backfilling material blocks



Photo 53 Storage situation

6.5.2 品質管理

既往の検討結果⁸⁾を基に、埋め戻し材ブロックの品質管理項目および確認頻度を Table 30 に示 すように設定した。以下に、それぞれの項目についての確認結果を示す。

Tuble 55 Quality control norms				
Item	Setup value	Control criteria	Frequency	
Number of blocks	8700	-	-	
Material input	16.38 kg	±1 % (±0.16 kg)		
Compacting pressure	Gauge pressure: 230 kg/cm ² Compacting pressure: 7.1 MPa	-	Every block	
Compression rate	30 mm/s	-	Every block	
Compression time 40 s		±2 s		
Dimension of block	300mm×300mm×100mm	±2 mm		
Block mass 16.38 kg		±1 %	2 DIOCKS/DUY	
Block appearance	No significant crack, edge defect	-	1 block/month	
Storage	Confirmation of storage situation by visual or photo	-	3 times during storage	

Table 30Quality control items

(1) 製作数量

人工バリア性能確認試験において必要となる埋め戻し材ブロックを 8700 個製作した。坑道壁 面近傍の隙間をできるだけ小さくするために、製作した 8700 個のうち 609 個については、切断 加工を施した。切断加工後のブロック数の内訳について Table 31 に示す。

	Size (mm)	Number of blocks
Standard	300×300×100	8091
1/2 of standard	300×150×100	580
1/3 of standard	300×100×100	451
2/3 of standard	300×200×100	250

Table 31 List of number of blocks

(2) 材料投入量、成型圧力、圧縮速度、圧縮保持時間

材料投入量、成型圧力、圧縮速度、圧縮保持時間の測定結果を抜粋して Table 32 に示す。全ブ ロックに対する測定結果は付録に掲載する。材料投入量は、サンプルブロック製作時の実績⁸⁾か ら、含水比 30%、飽和度 90%の乾燥密度 1.389 Mg/m³を基に算出した 16.25 kg に設定した。こ の場合の設計上の 16.38 kg との差は管理基準値である±0.16 kg 以内である。Table 32 から、材 料投入量等が十分に管理され製作されたことが分かる。

製作には圧縮成型機を2台用い、1台あたりの1日(8時間)での製作個数は最大で50個程度であった。

Table 32Material input, compacting pressure, and compression rate and time
(Extracted data)

	Materie	al input	Compacting	Compression	Compression
ID	Measured value	Difference from	pressure	rate	time
	(kg)	setup value (kg)	(MPa)	(mm/s)	(s)
0001-1	16.25	-0.13	7.1	30	40
0100-1	16.25	-0.13	7.1	30	40
1000-2	16.25	-0.13	7.1	30	40
2000-1	16.25	-0.13	7.1	30	40
5000-1	16.25	-0.13	7.1	30	40
8000-2	16.25	-0.13	7.1	30	40
8700-2	16.25	-0.13	7.1	30	40

(3) 寸法、質量

製作した埋め戻し材ブロックの寸法および質量を測定した。測定は、それぞれの圧縮成型機に 対して、製作を行った日の午前および午後の1個目の埋め戻し材ブロックを標準として実施した。 実際に測定を行ったのは 639 個である。寸法の測定位置は Fig. 21 に示すように、W および L 方 向でそれぞれ 2 か所、H 方向で 4 か所である。測定状況を Photo 54 および Photo 55 に、測定結 果の抜粋を Table 33 に示す。なお、測定した全データは付録に掲載する。

寸法の平均は、W 方向: 300.8 mm、L 方向: 300.8 mm、H 方向: 100.0 mm であり、質量の 平均は 16.230 kg であった。これらの結果から、寸法および質量について十分な管理の下に製作 されたことが分かる。



Fig. 21 Measure lines of backfilling material block dimension



Photo 54 Dimension measurement



Photo 55 Mass measurement

Table 33	Dimension	of extracted	backfilling	material	blocks	(Extracted	data)
----------	-----------	--------------	-------------	----------	--------	------------	-------

	W (mm)		L (mm)		H (mm)					Mass		
U	W1	W2	Ave.	L1	L2	Ave.	H1	H2	H3	H4	Ave.	(kg)
0001-1	301.11	300.91	301.0	301.09	301.04	301.1	101.10	100.80	100.69	100.39	100.7	16.230
1279-2	300.99	301.03	301.0	300.99	300.99	301.0	100.77	100.70	100.60	100.62	100.7	16.230
2716-1	300.80	300.83	300.8	300.79	300.72	300.8	99.70	99.68	99.80	99.60	99.7	16.230
4320-1	300.77	300.78	300.8	300.75	300.76	300.8	99.86	99.78	99.76	99.79	99.8	16.235
6071-2	300.69	300.70	300.7	300.71	300.70	300.7	100.20	100.10	100.00	100.08	100.1	16.240
7400-1	300.81	300.80	300.8	300.82	300.79	300.8	99.80	99.83	99.80	99.82	99.8	16.235
8338-2	300.82	300.78	300.8	300.92	300.79	300.9	100.13	99.91	99.69	99.61	99.8	16.235
8700-2	300.98	300.96	301.0	300.89	300.95	300.9	100.07	100.06	99.70	100.11	100.0	16.230
Average	e of 639	blocks	300.8			300.8					100.0	16.230

(4) 乾燥密度

上記(3) で抽出した埋め戻し材ブロックについて、それぞれ乾燥密度を算出した。計算には製作に使用した埋め戻し材の平均含水比 32.3% (Table 25 参照) および設定含水比 30%を用いた。

その結果、抽出したブロック 639 個の平均湿潤密度が 1.794 Mg/m³となり、乾燥密度は 1.356 Mg/m³ (含水比 32.3%) および 1.380 Mg/m³ (含水比 30.0%) であった。埋め戻し材の平均含 水比 32.3%を用いて計算した乾燥密度の結果の一部を Table 34 に示す。なお、全データは付録 に掲載した。

Table 34Dry density of extracted backfilling material blocks (Extracted data)

ID	ID Mass (kg) Average length (mm) W L H		ge length	(mm)	Volume	Wet density	Dry density (Mg/ m³)
ġ			(m³)	(Mg/ m ³)	Water content 32.3 %		
0001-1	16.230	301.0	301.1	100.7	9.13 x10 ⁻³	1.778	1.344
1279-2	16.230	301.0	301.0	100.7	9.12 x10 ⁻³	1.779	1.345
2716-1	16.230	300.8	300.8	99.7	9.02 x10 ⁻³	1.799	1.360
4320-1	16.235	300.8	300.8	99.8	9.03 x10 ⁻³	1.798	1.359
6071-2	16.240	300.7	300.7	100.1	9.11 x10 ⁻³	1.794	1.356
7400-1	16.235	300.8	300.8	99.8	9.03 x10 ⁻³	1.798	1.359
8338-2	16.235	300.8	300.9	99.8	9.03 x10 ⁻³	1.797	1.358
8700-2	16.230	301.0	300.9	100.0	9.06 x10 ⁻³	1.792	1.355
		of 639 blocks	1.794	1.356			

(5) 外観

外観の確認は製作時に随時行っており、明らかにひび割れや欠け、付着防止用のシートの巻き 込みなどが見られたものは破棄した。製作期間中、ひと月に1個程度の埋め戻し材ブロックを抽 出し、表面状態を撮影した。撮影方向の正面は Fig. 21 に示した方向とした。一例として Photo 56 に ID: 5474-2 の外観を示す。他の撮影データは付録 CD に掲載した。全体的に、表面が密実で端 部の角欠けの少ない埋め戻し材ブロックが製作できた。



(e) Upper (f) Bottom Photo 56 Visual appearance of a backfilling material block (ID: 5474-2)

7. まとめ

幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験について、地下での施工に必要な機材お よび材料の設計・製作を実施した。本報告は、その製作および品質管理状況について述べたもの である。

- 大口径掘削機の開発 処分ピットを模擬した試験孔を掘削するために、大口径のケーシング掘削機を開発、製作 した。地上にて、原位置岩盤相当の強度を持つモルタルを用いて掘削試験を行い、ケーシ ング掘削およびケーシングの引き抜きが可能であることを確認した。
- ▶ 模擬オーバーパックの製作 炭素鋼(SFVC1)を鍛造し、胴体部および上下の蓋、をボルト止めする方式とし、内部に はおもりを入れることで実際のオーバーパックの質量を再現した。また、内部に熱源とし て電気ヒーターを設置し、熱伝導体としてのオイルを充填する構造とした。
- 緩衝材ブロックの製作 地層処分実規模試験施設などの実績から、ブロックは円周方向に8分割の扇形とし、中心 のブロックは円柱形とした。圧縮成型によりブロックを製作し、変形・変質を防ぐための 養生を施し、保管した。
- ▶ 埋め戻し材の製作

埋め戻しは、転圧締め固め工法および埋め戻し材ブロックとし、掘削土(ズリ):ベントナイト=6:4の埋め戻し材を製作した。掘削土(ズリ)は粒径を20mm以下とし、含水比を調整しながらベントナイトを加え、練り混ぜて製作した。製作した埋め戻し材は乾燥を防ぐために内袋つきの大型土のう袋に保管した。また、製作した埋め戻し材を圧縮成型し、埋め戻し材ブロックを製作した。埋め戻し材ブロックの大きさは、現場での人力による施工を考慮し、300 mm×300 mm×100 mmとした。

謝辞

本報告書の内容は、幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第Ⅱ期)等事業において実施された。実施にあたっては、大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体の城まゆみ氏(現 原環 センター)、本島貴之氏、白瀬光泰氏をはじめとする多くの関係者の方々のご協力をいただいた。 この場を借りて、これらの関係各位に深く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: "わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性– 地層処分研究開発第2次取りまとめ- 分冊2 地層処分の工学技術", JNC TN1400 99-022, 1999.
- 2) 中山雅ほか, "幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験計測データ集(平成 26 年度)", JAEA-Data/Code 2015-013, 2015, 53p.
- 3) 日本原子力研究開発機構: "幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第Ⅱ期)等事業 要求水 準書 平成 22 年 8 月 20 日 改訂版", https://www.jaea.go.jp/02/compe/pfi/pfi.html, 2010.
- 4)藤田朝雄ほか, "幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階)研究成果報告書 分冊「地層処分研究開発」", JAEA-Research 2007-045, 2007, 140p.
- 5) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター, "平成 24 年度原子力発電施設広聴・ 広報等事業 地層処分実規模設備整備事業 報告書", 2014.
- 6) 中司昇ほか,"地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究-平成 24 年度成 果報告-(共同研究)", JAEA-Research 2013-034, 2014, 70p.
- 7) (一社)日本粉体工業技術協会, JIS Z 8901 試験用粉体 1 説明書, http://www.appie.or.jp/
- 8) 中山雅ほか, "幌延深地層研究計画における人工バリア性能確認試験-坑道の埋め戻し材に関する検討-", JAEA-Research 2016-002, 2016, 280p.
- 9) 山本卓也ほか, "幌延深地層研究センターにおける試錐調査(HDB-1 孔)", JNC-TJ1400 2002-010, 2002, 921p.

付録

CD-ROM 収録データ

- ・ オーバーパック材料証明書.pdf
- ・ ケイ砂品質証明書.pdf
- ・ ベントナイト品質成績書_緩衝材.pdf
- ・ ベントナイト品質成績書_埋め戻し材.pdf
- ・ 緩衝材ブロック製作データ.xlsx
- ・ 埋め戻し材ブロック製作データ.xlsx
- ・ 埋め戻し材ブロック成型圧力.xlsx

This is a blank page.

_

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本ì	単位		
本平里	名称	記号		
長さ	メートル	m		
質 量	キログラム	kg		
時 間	秒	s		
電 流	アンペア	Α		
熱力学温度	ケルビン	Κ		
物質量	モル	mol		
光度	カンデラ	cd		

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単	位の例			
AI 立長 SI 組立単位	SI 組立単位			
名称	記号			
面 積 平方メートル	m ²			
体 積 立方メートル	m ³			
速 さ , 速 度 メートル毎秒	m/s			
加 速 度メートル毎秒毎秒	m/s^2			
波 数 毎メートル	m ⁻¹			
密度,質量密度キログラム毎立方メートル	kg/m ³			
面 積 密 度 キログラム毎平方メートル	kg/m ²			
比体積 立方メートル毎キログラム	m ³ /kg			
電 流 密 度 アンペア毎平方メートル	A/m ²			
磁 界 の 強 さ アンペア毎メートル	A/m			
量 濃 度 ^(a) , 濃 度 モル毎立方メートル	mol/m ⁸			
質量濃度 キログラム毎立方メートル	kg/m ³			
輝 度 カンデラ毎平方メートル	cd/m ²			
屈 折 率 ^(b) (数字の) 1	1			
比 透 磁 率 (b) (数字の) 1	1			
(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では	t物質濃度			

(substance concentration)ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

			SI 租立单位	
組立量	名称	記号	他のSI単位による 表し方	SI基本単位による 表し方
平 面 角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体鱼	ステラジアン ^(b)	$sr^{(c)}$	1 (b)	m^2/m^2
周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz	-	s ⁻¹
力	ニュートン	Ν		m kg s ⁻²
E 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	$m^{-1} kg s^{-2}$
エネルギー,仕事,熱量	ジュール	J	N m	$m^2 kg s^2$
仕 事 率 , 工 率 , 放 射 束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電 荷 , 電 気 量	クーロン	С		s A
電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{2} kg^{1} s^{3} A^{2}$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^{-1}$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{2} A^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^2 A^2$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光東	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量,比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 s^2$
線量当量,周辺線量当量, 方向性線量当量,個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	$m^2 s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(1) ダール kat [s¹ mol]
 (w)SH接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはや コヒーレントではない。
 (h)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。 実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明 示されない。
 (a)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d)へルツは周期現象についてのみ、ペラレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。 セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。それシウス度とケルビンの
 (a)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、温度器や温度開隔を表す整備はどもらの単位で表しても同じである。
 (b)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g)単位シーベルト(PV,2002,70,205) についてはCIPM物告2(CI-2002)を参照。

表4.単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

	S	[組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	リニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	kg s ⁻³
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{2} K^{1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^{2} s^{2} K^{1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 s^2$
熱伝導率	「ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電 荷 密 度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電東密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘 電 辛	コアラド毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透 磁 率	ペンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^1$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	ダレイ毎秒	Gy/s	$m^{2} s^{3}$
放 射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	$m^{-3} s^{-1} mol$

表 5. SI 接頭語						
乗数	名称	記号	乗数	名称	記号	
10^{24}	э 9	Y	10 ⁻¹	デシ	d	
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	с	
10^{18}	エクサ	Е	10^{-3}	ミリ	m	
10^{15}	ペタ	Р	10^{-6}	マイクロ	μ	
10^{12}	テラ	Т	10^{-9}	ナノ	n	
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р	
10^{6}	メガ	М	10^{-15}	フェムト	f	
10^3	+ 1	k	10^{-18}	アト	а	
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z	
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	v	

表6.SIに属さないが、SIと併用される単位				
名称	記号	SI 単位による値		
分	min	1 min=60 s		
時	h	1 h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	1°=(π/180) rad		
分	,	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad		
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad		
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²		
リットル	L, 1	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³		
トン	t	$1 t=10^3 kg$		

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

表され	表される数値が実験的に得られるもの				
名称	記号	SI 単位で表される数値			
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J			
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ^{·27} kg			
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da			
天 文 単 位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m			

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海 里	М	1 M=1852m
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ cm})^2=10^{-28} \text{ m}^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位しの粉結的な間径は
ベル	В	対数量の定義に依存。
デシベル	dB -	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値				
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J				
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N				
ポアズ	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s				
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$				
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$				
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx				
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²				
マクスウエル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$				
ガウス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T				
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4 π)A m ⁻¹				
(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≦ 」						

は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例							
名称				記号	SI 単位で表される数値		
キ	ユ		IJ	ſ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq	
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$	
ラ				K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy	
$\scriptstyle u$				Д	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv	
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$	
フ	T.		N	"		1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m	
メー	ートル	/系	カラゞ	ット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg	
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa	
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa	
+1	ы		11	_		1 cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J	
15	Ц		9		cal	(「IT」カロリー), 4.184J(「熱化学」カロリー)	
3	ク			~	u	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$	