

幌延深地層研究計画地下施設の施工

押野 善之

原子力発電所からの使用燃料を再処理した際に生じる高レベル放射性廃液は、ガラス原料と混合して一体化してガラス固化体にする。ガラス固化体は地上で数十年程度冷却貯蔵した後、深度 300 m よりも深い地層中に処分する。

幌延深地層研究計画地下施設工事は、高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る深地層の調査技術や工学技術の向上を目的とし、3立坑と水平調査坑道の研究施設を施工する工事である。本稿では、第2段階から開始した3本の立坑と深度 140 m、250 m、350 m に設ける水平調査坑道施工について紹介する。

キーワード：深地層、機械掘削方式、発破掘削方式、立坑施工用機械設備、水平調査坑道

1. はじめに

幌延町は、北海道の北部天塩郡に属し、北緯 45 度線の通る町である（図—1 施工場所位置図）。宗谷丘陵南西縁に位置し、西側にはサロベツ原野、東側にはなだらかな山々が連なる丘陵地帯である。



図—1 施工場所位置図

この地に計画された幌延深地層研究計画は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が、北海道天塩郡幌延町で 400 万～500 万年前に砂や泥が固まってできた堆積岩を対象とした地層における高レベル放射性廃棄物の処分技術の信頼性向上を目的として実施している。研究施設総敷地面積は、東京ドーム 4 個分、19 ヘクタールである。

調査研究開始から 20 年間に及ぶ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）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」と3つの段階に分けて調査研究をすすめている。

本稿では、第2段階から開始した3本の立坑と深度 140 m、250 m、350 m に設ける水平調査坑道施工について紹介する。

写真—1 に全体写真、図—2 に全体平面図、図—3 に幌延深地層研究センターレイアウト、図—4 に各立坑と水平調査坑道の代表断面図を示す。



写真—1 全体写真

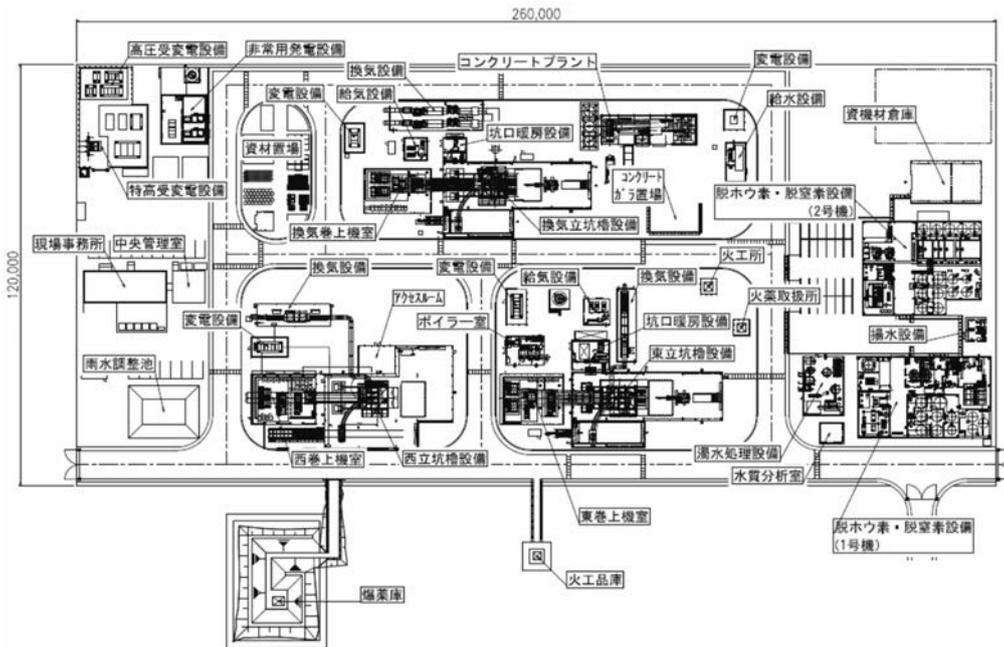
2. 工事概要

(1) 工事概要

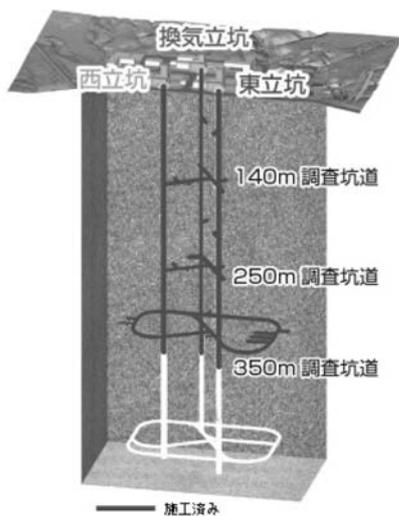
工事名称

幌延深地層研究計画 地下施設工事（第1期）

幌延深地層研究計画 地下施設工事（第1期2次）



図一2 全体平面図



図一3 幌延深地層研究センターレイアウト

発注者 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
 施工者 大成建設・大林組・三井住友建設JV
 工期

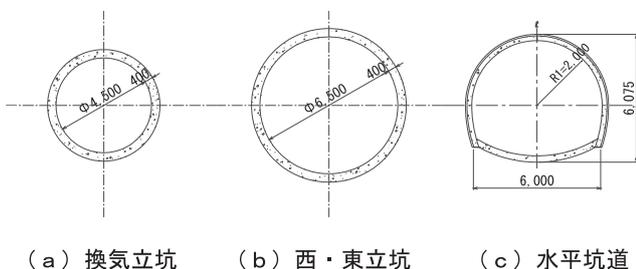
平成17年10月(第Ⅰ期工事着工)～令和4年3月(第Ⅱ期2次工事竣工予定)

工事内容

東立坑 (発破掘削) : ϕ 6.5 m, 深度 380 m まで
 換気立坑 (機械掘削) : ϕ 4.5 m, 深度 380 m まで
 西立坑 (機械掘削) : ϕ 6.5 m, 深度 365 m まで
 水平調査坑道(機械掘削) : SL幅 4~7 m, 延長 1068 m
 扇風機坑道 : 立坑 23 m (ϕ 1.95 m)
 : 横坑 6.2 m (SL幅 2.3 m)

3. 地質概要

地下施設施工地点周辺の地質は新第三紀の堆積岩であり, 上部は珩藻質泥岩(声問層), 下部は珩質泥岩(稚内層)である。これらの岩盤は, 空隙率が高い・単位体積重量が小さい・強度が低い, いわゆる軟岩に属する(一軸圧縮強度 5~25 MPa)。また, 透水性は低く, 膨張性の粘土鉱物の含有率が低いいため吸水による膨張性に乏しく, 中~高程度の耐スレーキング(乾湿等の環境変化に耐える)特性がある。地下水にはメタンガスを主成分とする可燃性ガスが溶存している他, 高い塩分濃度を有していることが挙げられる。近傍での既存の試錐調査結果より得られた岩盤の物理性状を表一に示す。



図一4 代表断面図

幌延深地層研究計画 地下研究施設整備 (第Ⅱ期) 等事業

幌延深地層研究計画 地下研究施設整備 (第Ⅱ期2次) 工事

工事場所 北海道天塩郡幌延町北進 432-2

表一 岩盤の物理性状

| 項目 | 声問層 | 稚内層 |
|---------------------|---|--|
| 単位体積重量 | 14~16kN/m ³ | 16~18kN/m ³ |
| 空隙率 | 60~65% | 40~50% |
| 一軸圧縮強度 (ボーリングコア) | 5Mpa程度 | 5~25Mpa |
| 透水係数 (原位置試験) | 10 ⁻⁹ ~10 ⁻⁸ m/s (10 ⁻⁷ ~10 ⁻⁶ cm/s) | 10 ⁻¹¹ ~10 ⁻⁶ m/s (10 ⁻⁹ ~10 ⁻⁴ cm/s) |
| 耐スレーキング指数 | 90%以上 | 95%以上 |
| 膨潤ひずみ指数 (円周拘束) | 0.04%以下 | 0.03%以下 |

4. 施工

(1) 立坑施工概要

立坑は換気・東・西の3立坑を施工した。

掘削方式の違いによる周辺岩盤に与える影響の調査とサイクルタイムの比較等のデータ取得を目的に、換気立坑は自由断面掘削機を用いた機械掘削方式、東立坑は発破方式を採用した。また両立坑を深度250mまで施工後に掘削を開始した西立坑は、ブレイカを使用した機械掘削方式を採用した。

いずれの立坑の施工も、ショートステップ工法を採用した。施工は以下の順序で行った。

- ① 1m 掘削
- ② 鋼製支保工建て込み
- ③ ロックボルトの施工
- ④ 行程①~③を再度繰り返す

⑤ 移動式鋼製円形型枠の設置

⑥ 覆工コンクリートの打設、養生

(2) 立坑施工用機械設備

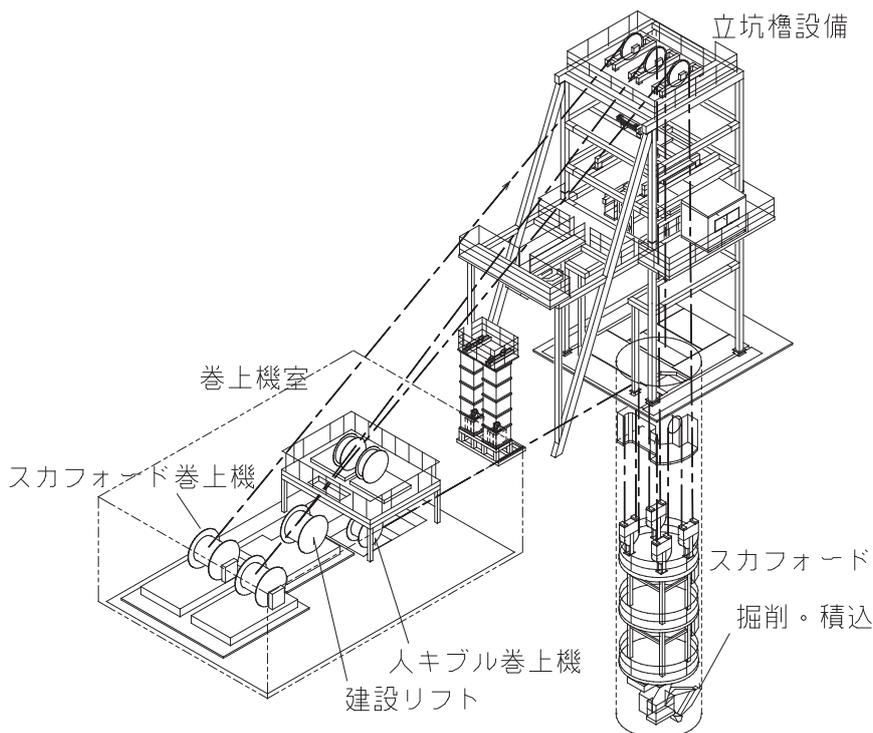
主要な立坑施工用機械設備を図一5の立坑設備全体図(東立坑例)に示す。

(a) スカフォード

スカフォード(ゴンドラ)は、複層の作業床で構成され地上から2本のワイヤーを使用して吊り下げている。地上のウインチから伸びる2本のワイヤーは、それぞれ4つのシーブを介し8点でスカフォードを支持している。上下移動は、スカフォードに設置したペンダントスイッチにより地上の巻上機が動作してウインチが回転することで行う。作業床には油圧機器類や制御電源の他、スカフォードを固定するために使用する壁面方向に伸縮する油圧ジャッキが配置されている。

立坑では掘削ズリ(以下、ズリという。)を、地上へ搬出するバケット(以下、ズリキブルという。)と立坑内に生コンクリートを搬入するバケット(以下、コンクリートキブルという。)を使用している。

スカフォード下部には、立坑を掘削するために必要な機械設備、ズリをズリキブルに積込む機械を装備した。また、作業床は覆工コンクリートを打設するための足場としても使用した。地上や立坑各深度からスカフォードへの往来は人キブルと呼ばれる工所用エレベータ(以下、人キブルという。)を使用した。



図一5 立坑設備全体図(東立坑例)

(b) 立坑櫓設備

櫓設備は、スcaffoldingや立坑内へ資機材の搬出入を行う建設リフトを支持するワイヤーの吊り用架台であり、各ワイヤーが通過する受けシーブを櫓設備の最上段に装備した。また、ズリを地上ズリピットへストックするため、建設リフトにより地上へ運ばれたズリキブルを転倒させる設備を装備した。建設リフトの運転操作は櫓設備の運転室で行った。

(c) 巻上機室

巻上機室にはスcaffolding本体を上下移動させるスcaffolding巻上機、ズリの搬出や鋼製支保工等の資材搬入などの揚重に使用する建設リフト巻上機、人キブルの揚重に使用する人キブル巻上機を設置した。それぞれの巻上機はワイヤーを巻いた電動ウインチを介して揚重している。

(3) 立坑の施工方法

(a) 東立坑

東立坑は発破による掘削を行った。主な施工順序を以下に示す。

- ①発破掘削用シャフトジャンボにて穿孔、装薬
- ②ジャンボを退避し、発破
- ③ズリを積込・地上搬出、地上ズリピットへストックし、1m掘削を進める
- ④支保工設置(1基目)、ロックボルト削孔・設置(1段目)
- ⑤ガスチェックボーリング
- ⑥行程①～⑤を再度繰り返す
- ⑦移動式鋼製円形型枠の設置

⑧覆工コンクリートの打設

ガスチェックボーリングは可燃性ガスの確認のために実施した。また、2基目の支保工設置後には、壁面観察を行い、切羽状態の確認と記録を行った。

ズリの積込は、スcaffolding下部に設置した0.35 m³バックホウタイプ、ズリの搬出は容量4.0 m³のズリキブルを使用した。代表施工状況図を図一6 東立坑施工状況図に示す。写真一2に発破掘削用シャフトジャンボ、写真一3に東スcaffolding、写真一4に東立坑掘削状況を示す。

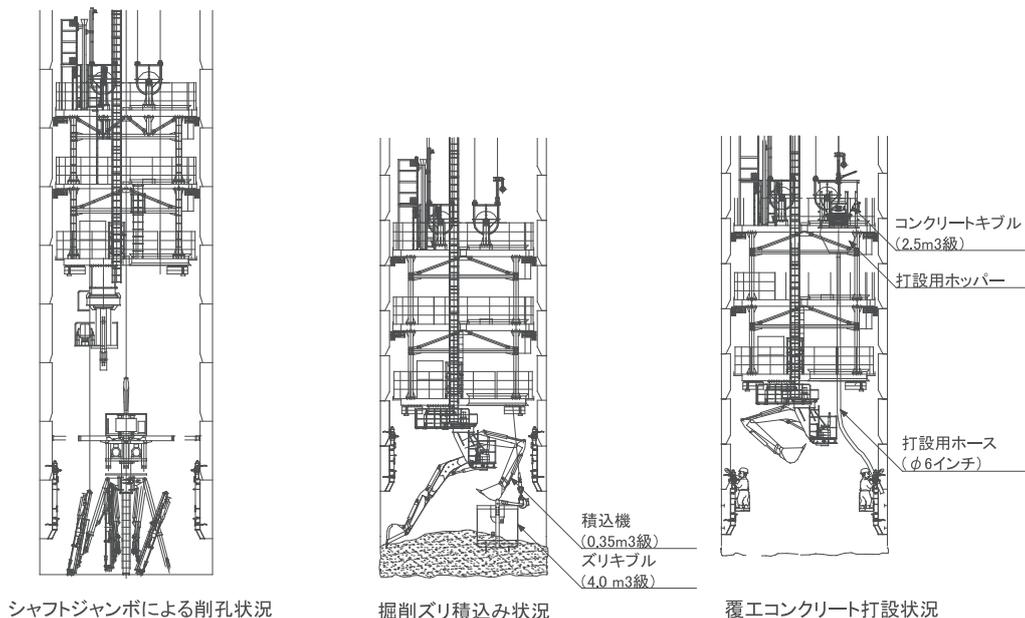
(b) 換気立坑

換気立坑は自由断面掘削機による機械掘削を行った。主な施工順序を以下に示す。

①自由断面掘削機による地山の掘削



写真一2 発破掘削用シャフトジャンボ



図一6 東立坑施工状況図

- ②ズリを積込・地上搬出，地上ズリピットへストックし，1 m 掘削を進める
- ③支保工設置（1 基目），ロックボルト削孔・設置（1 段目）



写真—3 東スカフォード

- ④ガステックボーリング
- ⑤行程①～④を再度繰り返す
- ⑥移動式鋼製円形型枠の設置
- ⑦覆工コンクリートの打設

ガステックボーリングと壁面観察は東立坑と同様に実施した。

掘削に使用した自由断面掘削機は，地山の強度が5～25 MPa の軟岩であることから49 kW の切削機を選定した。ズリの積込は，スカフォード下部に設置した0.15 m³バックホウタイプ，ズリの搬出は容量1.5 m³のズリキブルを使用した。

代表施工状況図を図—7 換気立坑施工状況図に示す。写真—5 に自由断面掘削機による掘削状況（換気立坑），写真—6 にズリ搬出状況（換気立坑），写真—7 に換気立坑スカフォードを示す。

(c) 西立坑

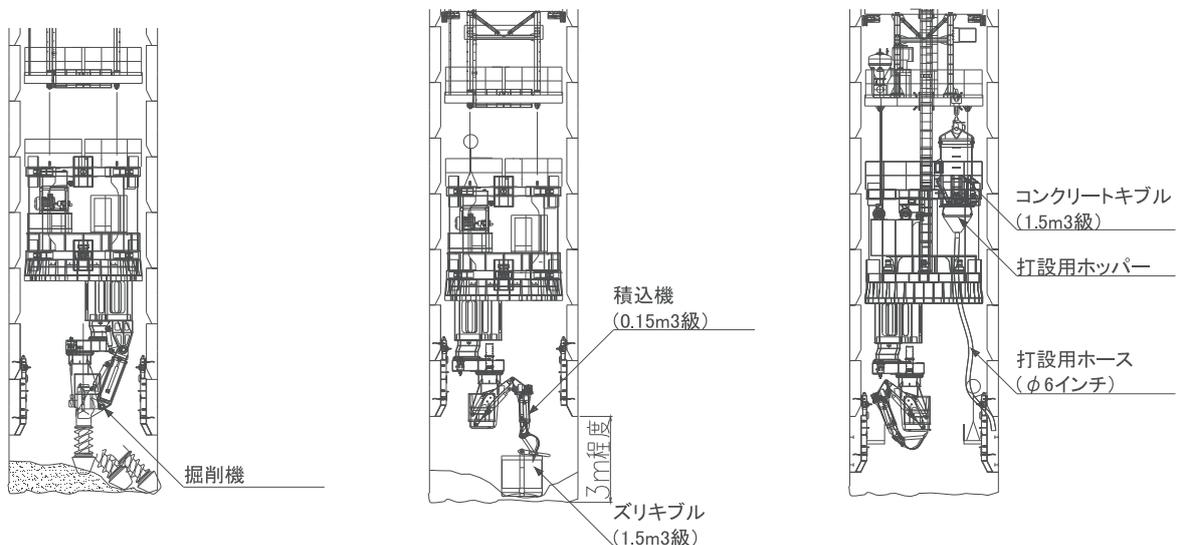
西立坑は，バックホウタイプの機械をスカフォード



写真—4 東立坑掘削状況



写真—5 自由断面掘削機による掘削状況（換気立坑）



自由断面掘削機による掘削状況

掘削ズリ積込状況

覆工コンクリート打設状況

図—7 換気立坑施工状況図



写真一六 ズリ搬出状況（換気立坑）



写真一七 換気立坑スカーフォード

の下に装備し、ブレイカによる機械掘削を行った。主な施工順序を以下に示す。

- ①ブレイカによる地山の掘削
- ②ズリを積込・地上搬出，地上ズリピットへストックし，1m掘削を進める

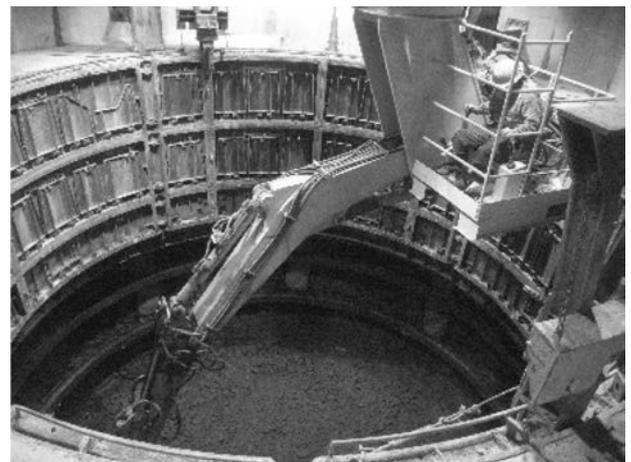
- ③支保工設置（1基目），
ロックボルト削孔・設置（1段目）
- ④ガスチェックボーリング
- ⑤行程①～④を再度繰り返す
- ⑥移動式鋼製円形型枠の設置
- ⑦覆工コンクリートの打設

ガスチェックボーリングと壁面観察は東・換気立坑と同様に実施した。

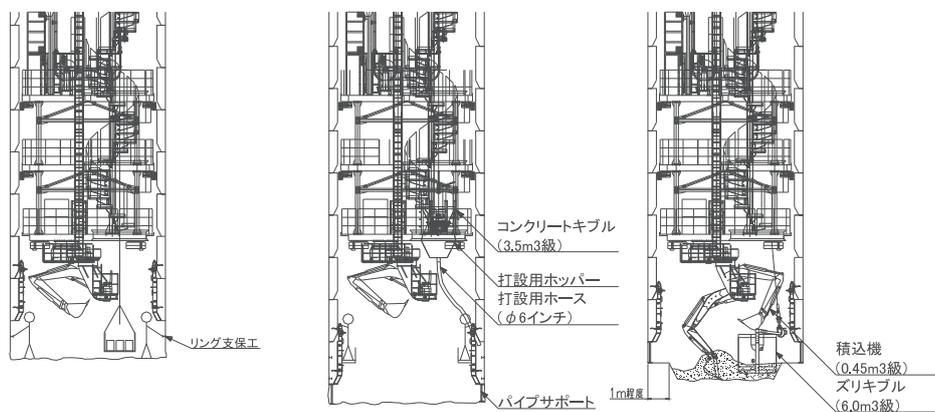
ズリの積込は、スカーフォード下部に設置した0.45 m³バックホウタイプ、ズリの搬出は容量6.0 m³のズリキブルを使用した。代表施工状況図を図一八 西立坑施工状況図に示す。写真一八にブレイカによる掘削状況（西立坑）、写真一九にズリ積み込み状況（西立坑）、写真一〇に立坑櫓設備（西立坑）を示す。

(4) 運搬設備の比較（西・東立坑）

西立坑は同径の東立坑が250 mまで掘削後に施工を開始した。このため、東立坑施工時のノウハウや改良すべき点を反映し、形状の工夫等により立坑内の運



写真一八 ブレイカによる掘削状況（西立坑）



支保工設置

コンクリート打設

掘削・ズリ出し

図一八 西立坑施工状況図



写真—9 ズリ積み込み状況 (西立坑)



写真—10 立坑櫓設備 (西立坑)

表—2 西立坑と東立坑の運搬設備容量比較表

| 運搬設備名称 | 東立坑 | 西立坑 | 用途 |
|-----------|--------------------|--------------------|------------------|
| コンクリートキブル | 2.5 m ³ | 3.5 m ³ | 覆工用生コンクリートの立坑内運搬 |
| ズリキブル | 4.0 m ³ | 6.0 m ³ | 掘削ズリの立坑内運搬 |

搬設備 (コンクリートキブル・ズリキブル) の容量を増加した。表—2 に西立坑と東立坑の運搬設備比較表を示す。

(5) 立坑掘削方式による掘削時間の比較

換気立坑深度 51 m ~ 250 m 区間, 東立坑 42 m ~ 140 m 区間において掘削方式による掘削時間の比較を行った。

サイクルタイムのうち, 最も多くの時間を占めるのは掘削工事である。換気立坑 (φ4.5 m) は機械掘削, 東立坑 (φ6.5 m) は発破掘削により施工を行った。掘削時間の比較を行ったところ, 換気立坑は東立坑の最大 1.5 倍程度の時間を要したが, これは立坑の掘削径やズリキブルの容量が異なることに関係し, 掘削断面積比/ズリキブル容積比=1.41 を考慮すると, 掘削方式の違いによる掘削時間への影響は小さいと言えた。しかし, 機械掘削は発破掘削と比較すると, 故障トラブルが多い。また, 掘削の進行に伴って機械設備は使用による劣化・消耗などにより故障頻度は増加した。これは, 地下水の塩分濃度が高く, 腐食が進みやすいために消耗の度合いが激しいことが影響した。

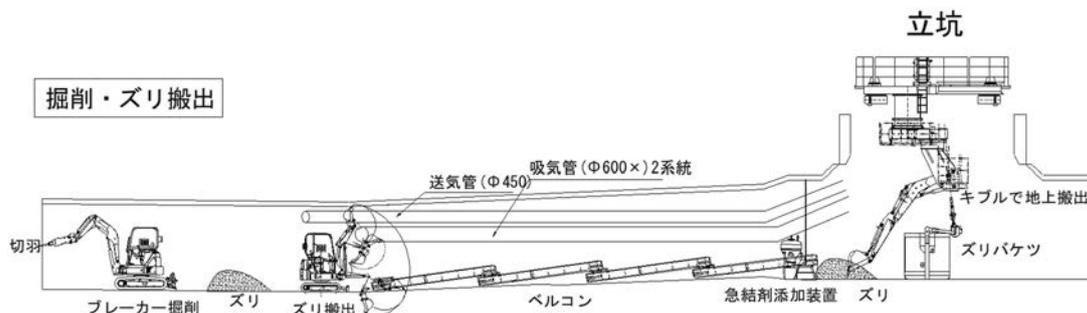
(6) 水平調査坑道の施工方法

水平調査坑道の施工は, 立坑の施工深度が同深度に達した時点で開始した。以下に主要な作業である掘削, 吹付, ロックボルトについて説明する。

(a) 掘削作業

水平調査坑道の掘削は 2 台の防爆型電動油圧ショベルを使用した。切羽側の油圧ショベルでブレイカ掘削を行った後, アタッチメントをバケットに交換して後方へズリを移動する。移動したズリは後方の油圧ショベルにより, 水平調査坑道内に連続して設置したベルトコンベアで立坑部へ運搬する。

立坑部では, スカフォード下のズリ積込機で, ズリをズリキブルへ積み込む。積み込まれたズリは建設リフトによって地上へ搬出, 地上ズリピットにストックされる。(図—9 掘削・ズリ搬出状況図)。写真—11 にブレイカによる掘削状況と写真—12 にベルコンへのズリ積み込み状況を示す。



図—9 掘削・ズリ搬出状況図



写真-11 ブレーカによる掘削状況



写真-12 ベルコンへのズリ積み込み状況

(b) 吹付作業

掘削後、切羽の一次吹付を行う。敷地内のバッチャープラントで練られた生コンをトラックミキサで立坑槽設備へ運搬し、コンクリートキブルへ積み込む。その後、建設リフトで立坑内へ投入し、コンクリートキブルからコンクリートポンプへ移送後吹付を行う。吹付は掘削直後の一次吹付、鋼製支保工と金網を設置後に行う二次吹付（図-10 二次吹付状況図）、FEM解析の結果、水平調査坑道分岐部付近などトンネル構造物に作用する荷重が増える場所に補強目的で行う三次吹付がある。写真-13に二次吹付状況を示す。

(c) ロックボルト施工

一次吹付後は、鋼製支保工と溶接金網の設置、二次吹付後、ロックボルトの施工を行う（図-11 ロックボルト施工状況図）。写真-14にロックボルト施工状況写真を示す。

(7) 可燃性ガス（メタンガス）対策

既存の試錐調査結果から、岩盤中に可燃性ガスの溶存が確認された。立坑、水平調査坑道施工時は以下の安全対策を実施しながら、掘削を進めた。



写真-13 二次吹付状況

- ①切羽付近で使用する水中ポンプや照明器具等の電気機器は防爆構造とした。また、切羽の排気及び送気用として延長した風管は、帯電防止用を使用し、後方に設置された換気設備は防爆構造とした。切羽で火気や非防爆機器を使用する場合、メタンガス濃度を測定し作業可能基準値 0.25 vol% 以下を確認して行った。

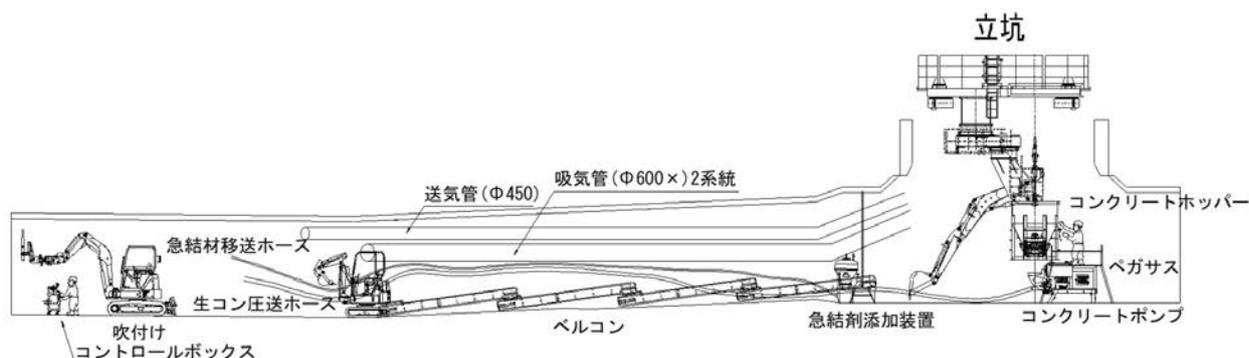


図-10 支保工建て込み後の二次吹付状況図

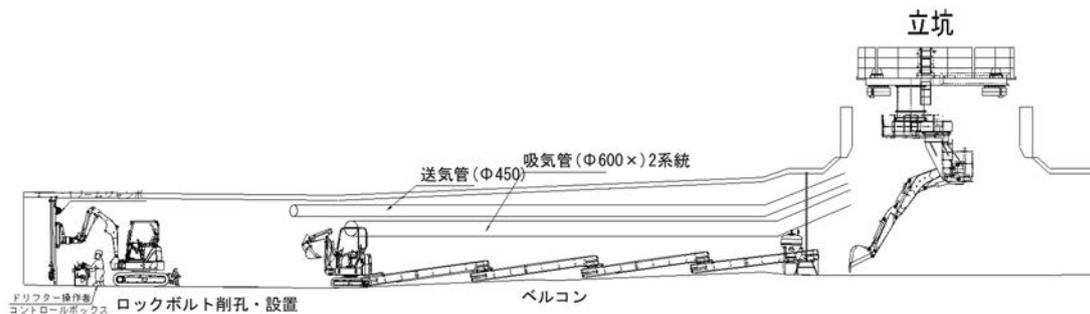


図-11 ロックボルト施工状況図

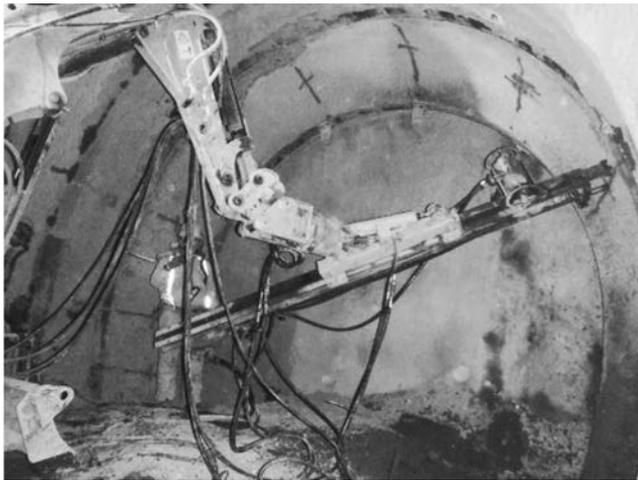


写真-14 ロックボルト施工状況

表-2 ガス濃度による作業基準

| ガス濃度 | 作業レベル | 作業基準 |
|-----------|--------|-----------|
| 0.25%未満 | 平常作業 | 日常管理を継続 |
| 0.25～0.5% | 一次警戒作業 | 火気使用作業禁止 |
| 0.5～1.0% | 二次警戒作業 | 発破作業禁止 |
| 1.0～1.5% | 作業中止 | 坑内作業員坑外退避 |
| 1.5%以上 | 作業中止 | 電源遮断 |

- ②メタンガス濃度に応じた作業基準を設定し遵守した。表-2にガス濃度による作業基準を示す。
- ③毎切羽、掘削開始前にガスチェック用ボーリングを実施し、ガス濃度測定を実施した。

(8) 停電対策

地下施設は、電力の安定供給が重要である。最大深度380mの地下施設への人の出入りは人キブルで行っている。また、前述の通り坑内は可燃性ガスが発生する環境であるため、常時換気設備が運転している。こ

のため、停電時の対策が必要となる。

電力は、北海道電力から33kVの特別高圧を受電し高圧及び低圧に変圧後、各所へ電気を供給している。落雷またはその他の原因により停電が発生した場合に備えて、基地内には750kVAの非常用発電機を3台設置した。停電発生時には自動的に非常用発電機が起動し、約4分で電源が回復する。

5. おわりに

現在も本施設における調査研究が続いており、令和2年1月に北海道及び幌延町に受理された「令和2年度以降における幌延深地層研究計画(案)」にて、令和10年度までの研究計画が示されている。

尚、本稿図-3, 5~7, 写真-2等は国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センターHPで公表されているので、興味のある向きはそちらを参照されたい。

謝辞

最後に、日頃より本工事の施工にあたりご指導、ご支援をいただいている「日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター」および地元関係者の皆様に心より感謝の意を表す。

JCMIA

【筆者紹介】

押野 善之 (おしの よしゆき)
大成建設㈱
札幌支店
幌延地下施設共同企業体工事
次長

