堆積軟岩における割れ目帯を対象とした物質移行試験に極超微粒子セメントを適用した深層調査ボーリングの施工事例

大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体　正会員　○白瀬　光泰
大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体　安部　章正，正会員　名合　牧人
（国研）日本原子力研究開発機構　石井　英一，青柳　和平
日鉄住金セメント（株）　若杉　伸一

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は，幌延深地層研究計画地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業の一環として，北海道天塩郡幌延町において，平成 23 年 2 月から平成 26 年 6 月まで地下施設建設工事を実施し，現在，施設の維持管理および研究事業を実施している．現在，研究事業の取り組みの一つとして，安全評価手法の高度化を目的に，岩盤を対象とした原位置トレーサー試験を実施している．本稿では，原位置トレーサー試験の一つである，堆積軟岩における割れ目帯を対象とした物質移行試験において，極超微粒子セメントを適用した深層調査ボーリングの施工事例を紹介する．

2. 地下研究施設および地質環境

地下研究施設は，3 本の立坑と水平坑道から構成される．地質としては，新第三紀の堆積泥岩である声問層および稚内層が分布している．水平の調査坑道掘削深度にあたる地下 250m から地下 350m 付近には声問層と稚内層の地層境界およびその下層に位置する稚内層 漸移帯が分布している（**図-1**）．地上からのボーリング調査により，声問層や稚内層の岩盤基質部分は透水係数にして 10^{-9}m/s 以下の低透水性であるものの，漸移帯中に発達した割れ目帯や断層部分では 10^{-6}m/s 程度の比較的透水性が高い部分も確認され，メタンガスの噴出も予測されている．

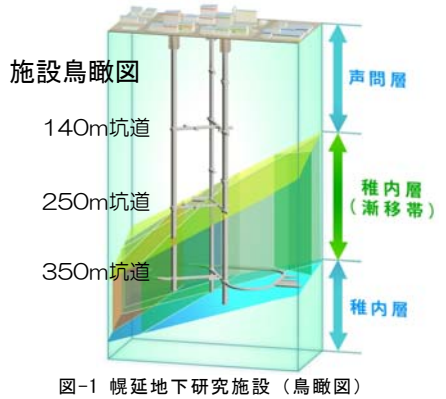


図-1 幌延地下研究施設（鳥瞰図）

3. 割れ目帯を対象とした物質移行試験の概要

稚内層 割れ目帯を対象とした物質移行試験は，東立坑（φ6.5m）の坑底（深度 380m）から掘削したボーリング孔を利用し，深度 460m 以深にて原位置トレーサー試験を実施するものである（**図-2**）．現在，1 孔目のボーリング孔（孔径：φ100mm 掘削長 109m）の調査が終了し，2 孔目のボーリング孔（孔径：φ100mm，孔間距離 2.6m **図-3**）の掘削を深度 500m（掘削長 120m）まで進め，水理試験等の調査を開始している．

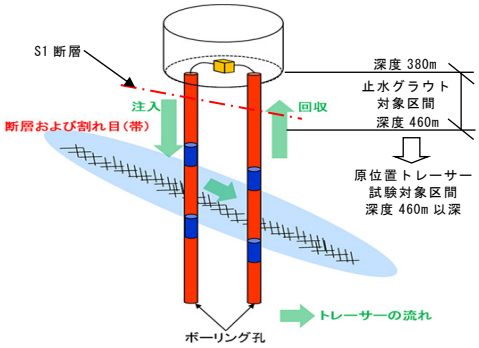


図-2 割れ目帯を対象とした物質移行試験　概念図 [1)]

4. 極超微粒子セメントを適用した深層調査ボーリング

4. 1 深層調査ボーリングの検討課題

既往の先行ボーリングの地質調査結果から，東立坑底盤深度 380m から約 15m～20m の地点（原位置トレーサー試験対象以浅）で，深度 350m 坑道掘削時に出水を生じた断層（S1 断層）の出現が予測された（**図-4**）．メタンガスの噴出を伴う断層に対する止水グラウトについて，超微粒子セメント [2)]（SF，平均粒径 4.0μm）を使用した既往の実績では，1m 離れた孔間距離においても先行して施工したボーリング孔と同様に後続のボーリング孔においても高透水性のメタンガス噴出が確認され，止水

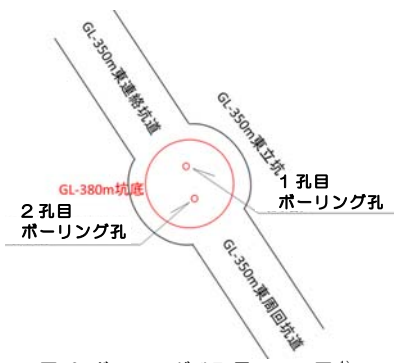


図-3 ボーリング孔配置　平面図 [1)]

キーワード：幌延深地層研究計画，物質移行試験，極超微粒子セメント
連絡先：〒098-3224　北海道天塩郡幌延町北進 432-2　大成・大林・三井住友 JV　TEL01632-5-2080

対策に多大な工費・工期をともなった．そこで本試験では，止水対策の一つとして，超微粒子セメントに比べて高い止水性能を示す極超微粒子セメント[2)]（Hyper NP-1500，平均粒径 1.5μm）を 1 孔目の深層調査ボーリングのグラウト注入材として一部適用し，2 孔目の止水対策を低減するよう計画した．なお，本止水対策は，原位置トレーサー試験にて対象とする岩盤（試験区間）の上部 深度 380m～460m の区間で実施する．

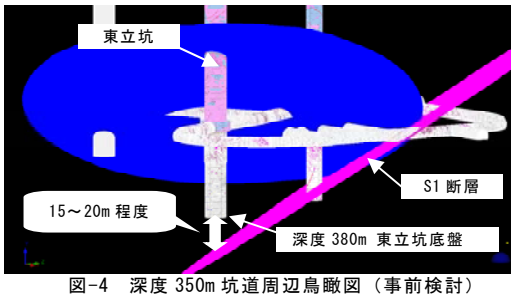


図-4 深度 350m 坑道周辺鳥瞰図（事前検討）

4. 2 施工

深層調査ボーリングに伴うグラウト注入は，湧水および地質の状況等を基に適宜，実施の可否を判断した．ボーリング施工状況を**写真-1** に示す。グラウト注入に使用した主要機材を**表-1** に示す．

写真-1 1 孔目深層ボーリング 施工状況（東立坑底 深度 380m）

表-1 グラウト注入に使用した主要機材

名称	形式	仕様
グラウトミキサ	LAM-250	縦型2槽式250ℓ×2 2.20kw
希釈装置	自動希釈(明昭)	φ25mm 20～30ℓ/min 0.75kw
循環ポンプ	ﾁｭｰﾌﾞﾎﾟﾝﾌﾟ	20ℓ/min 0.7MPa 0.75kw 100V
アジミキサ	(東陽商事)	70ℓ×1槽 0.75kw
グラウトポンプ	CP-10 (東邦地下)	120ℓ/min 8.0MPa 11.00kw
流量計/検出部・記録部	APR-MT(明昭)	流量圧力自動制御 60ℓ 6.0MPa
注入制御装置	ﾉｰﾄﾊﾟｿｺﾝ	注入自動制御

表-2 1 孔目深層ボーリング時 グラウト注入実績

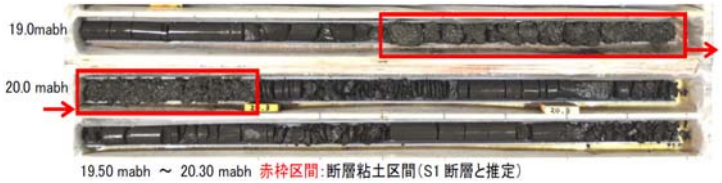
注入回数	注入前湧水量 (L/min)	注入区間上端標高 (m)	注入区間上端深度 (mabh)	区間長 (m)	セメント単位注入量 (kg/m)	注入量 (L)	材料名
1	20.0	-395.0	-15.0	5.3	21.1	464.1	低アルカリセメント※1
2	0.0	-395.0	-15.0	5.3	0.5	54.3	低アルカリセメント※1
3	15.0	-395.0	-15.0	5.3	30.4	614.9	低アルカリセメント※1
4	10.0	-398.8	-18.8	8.0	11.9	567.7	低アルカリセメント※1
5	10.0	-441.8	-61.8	4.0	1.1	90.2	低アルカリセメント※1
6	5.0	-398.0	-18.0	47.8	4.3	889.2	低アルカリセメント※1
7	2.0	-398.0	-18.0	47.8	2.1	601.4	低アルカリセメント※1
8	4.0	-398.0	-18.0	8.0	3.0	268.3	HNP-1500※2
9	2.0	-392.0	-12.0	14.0	1.3	226.3	HNP-1500※2
10	10.0	-392.0	-12.0	14.0	0.9	178.6	HNP-1500※2
11	15.0	-427.2	-47.2	22.8	7.1	569.0	SF※3
12	1.0	-438.2	-58.2	11.8	10.5	373.0	SF※3
13	0.6	-438.0	-58.0	23.0	0.7	158.6	SF※3
14	0.6	-418.0	-38.0	20.0	3.9	385.7	SF※3
15	0.8	-398.0	-18.0	3.0	5.2	366.0	SF※3
					合計	5,807 (L)	

表-3 2 孔目深層ボーリング時 グラウト注入実績

注入回数	注入前湧水量 (L/min)	注入区間上端標高 (m)	注入区間上端深度 (m)	区間長 (m)	セメント単位注入量 (kg/m)	注入量 (L)	材料名
1	1.8	-396.0	-16.0	5.4	5.0	155.5	HNP-1500※2
2	3.0	-396.0	-16.0	5.4	7.3	197.6	HNP-1500※2
3	0.2	-396.0	-16.0	7.4	1.7	112.9	HNP-1500※2
4	0.0	-441.0	-61.0	21.0	0.7	136.6	HNP-1500※2
5	2.9	-380.0	0.0	82.0	4.5	1035.9	SF※3
					合計	1,639 (L)	

※1：低アルカリ注入材，※2：Hyper NP-1500，※3：日鐵スーパーファイン
：NIPPON STEEL＆SUMIKIN CEMENT CO.,LTD.

止水対策を要すると想定していた断層（S1 断層）について，1 孔目では立坑底盤深度 380m から 19.5m～20.3m の区間に出現（**図-5**），孔口より湧水（最大 20L/min）がメタンガスとともに噴出した．出現した断層の角礫サイズは数 mm～数 cm であり，マトリクス部の粘土割合は多く，粘土の粘性も高く灰色を呈していることから凝灰質的な地質の可能性が高いものであった．1 孔目のボーリング（掘削長 109m）では，15 回 合計 5,807（L）のグラウト注入を実施した（**表-2**）．2 孔目では，立坑底盤深度 380m から 20.65m～21.45m の区間に断層（S1 断層）が出現した（**図-6**）．湧水量は最大 3L/min であり，1 孔目の状況とは異なり湧水・メタンガスの孔口からの噴出は無かった．2 孔目のボーリング（掘削長 120m）では，6 回 合計 1,639（L）のグラウト注入を実施した（**表-3**）．グラウト注入量の合計について，1 孔目 5,807（L）に対して 2 孔目 1,639（L）となり，1 孔目に比べ約 7 割ほどグラウト注入量を減じることができた．また，施工に伴う工期も約 7 割ほど短縮された．同じ断層と遭遇した際の湧水量およびメタンガス噴出状況が，1 孔目に比べ 2 孔目では明確に低減されていたことより，極超微粒子セメントを適用したグラウト注入は，止水対策としての効果が得られると考えられる．



19.50 mabh ～ 20.30 mabh 赤枠区間:断層粘土区間(S1 断層と推定)
図-5 1 孔目 ボーリング時に出現した S1 断層 コア写真

20.65 mabh ～ 21.40 mabh 赤枠区間:断層粘土区間(S1 断層と推定)
図-6 2 孔目 ボーリング時に出現した S1 断層 コア写真

5. まとめ

事前検討により，突発湧水を伴うと予測していた深度 400m 付近の堆積軟岩地質の断層に対し，極超微粒子セメントを適用したグラウト注入は，止水対策の効果が得られることが示唆された．今後は，立坑および水平坑道施工前の止水対策に，極超微粒子セメントの適用を検討していく．

参考文献,資料等：1）幌延深地層研究センターHP：https://www.jaea.jp./04/horonobe/index.html
：2）日鐵スーパーファイン（SF），Hyper NP-1500 カタログ：NIPPON STEEL＆SUMIKIN CEMENT CO.,LTD.