

深地層の研究施設計画検討委員会(第11回)

幌延深地層研究計画における 第2/3段階の進捗状況と第1段階の評価 4) 低アルカリ性セメント材料開発と湧水対策

平成23年9月5日

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット



低アルカリ性セメント材料開発

低アルカリ性セメント材料の開発

開発の必要性

- 支保工としてセメント系材料を使用
 - ⇒地下水がセメントとの接触によって高アルカリ化 (pH12.5程度)
 - ⇒緩衝材・岩盤を変質
 - ⇒人工バリア・天然バリアとしての性能に影響
 - ⇒低アルカリ性セメントの使用 (第2次取りまとめ等)



HFSC : **H**ighly **F**ly-ash contained **S**ilica-fume **C**ement

- 低アルカリ化のメカニズム (ポゾラン反応)
 - ポゾラン反応によるポルトランドイト ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) の消費
 - 低Ca/Si比のCSH (珪酸カルシウム水和物) の生成 (pH<11)

低アルカリ性セメント材料開発

調査研究の目標と進捗状況

	第1段階	第2段階	第3段階	目標
施工性	施設設計 基本配合の選定 施工性確認 (地上試験)	施工試験 (140/250/350m)		<ul style="list-style-type: none"> ● 支保工材料としての実用性の提示 ● 設計強度に対する配合選定の考え方の提示
pH低下挙動・影響調査		pH低下挙動の確認 (室内試験) pH低下挙動のモデル化, モデルの高度化	周辺岩盤・地下水への影響調査 影響評価手法の適用性確認	<ul style="list-style-type: none"> ● 周辺環境への影響評価手法の提示 ● 周辺環境への影響調査事例の提示

現段階(平成23年度)は第2/3段階を並行して実施中

- 施工試験終了(140/250m)
- 影響調査開始(140m)

ポゾランの混合割合の決定

- pH低下：ポゾランの混合割合50%以上
- 施工性：シリカフェームを20%で固定

HFSC 配合	普通ポルトランドセメント (OPC)	ポゾラン材料	
		シリカフェーム (SF)	フライアッシュ (FA)
HFSC424	40%	20%	40%
HFSC325	30%	20%	50%
HFSC226	20%	20%	60%

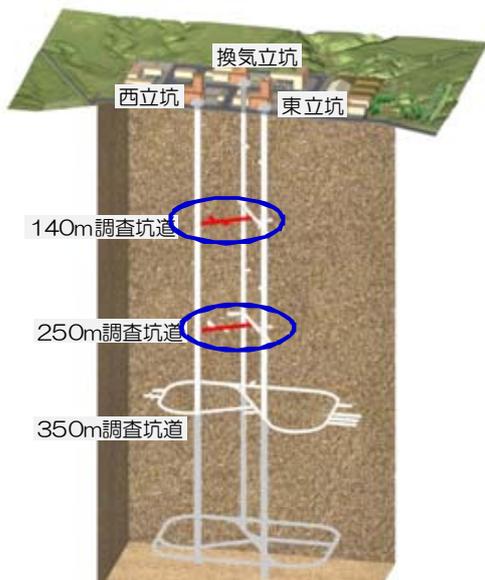
強度/pH



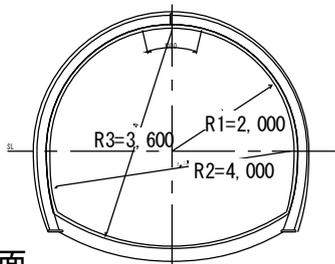
● 幌延地下施設の設計基準強度：36 N/mm² → **HFSC424を標準**

- 使用材料：地下施設建設で使用する材料を基本とする
 - 現地材料：FA, 骨材, 混和剤
 - 現地材料以外：OPC, SF

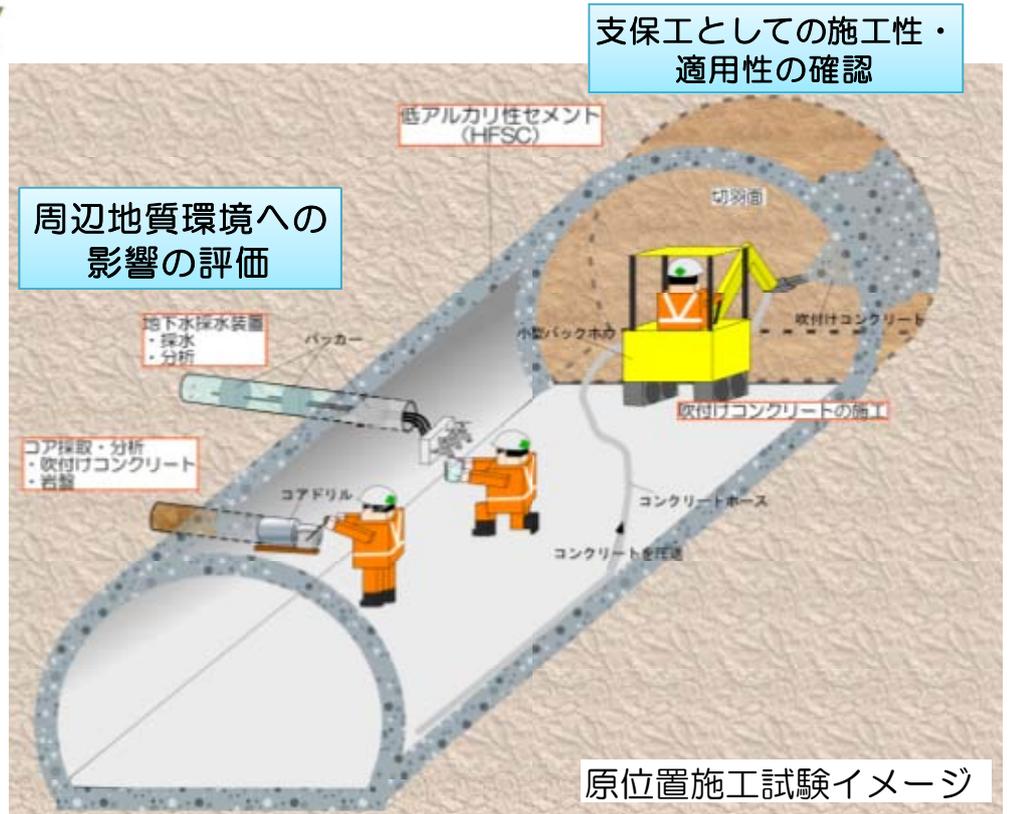
原位置施工試験



このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります



標準断面



支保工としての施工性・適用性の確認

周辺地質環境への影響の評価

原位置施工試験イメージ

吹付けコンクリートの配合

配合	水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単用量 (kg/m ³)						
			水	結合材			細骨材	粗骨材	混和剤*
				OPC	SF	FA			
HFSC424 (140m)	30.0	59.7	150	200	100	200	974	655	3.25
HFSC424 (250m)	35.0	60.2	175	200	100	200	945	638	5.25
OPC (140m)	43.3	56.9	173	400	-	-	1,068	806	2.00
BB (250m)	40.0	55.7	170	400		25	990	802	2.40

BB：高炉セメント（B種）

* OPC/BB：高性能減水剤NT-1000，HFSC：高性能AE減水剤SP8SV



地上での確認試験状況

吹付け性状の比較



吹付け施工状況（140m）

施工性の評価（目視評価：5点満点）

セメント種類	HFSC (140m)	HFSC (250m)	OPC (140m)	BB (140m)
混合状態	4	4	4	4
脈動状態	3.5	4	4	4
ノズルだれ	3.5	4	4	4
急結状態	4	4	3	3
粉じん	4	4	3	3.5
付着状態	4	3.5	3	3
平均	3.8	3.9	3.5	3.6

● 通常の掘削サイクルの中でHFSCを使用しても、施工性に問題のないことを確認

- OPC/BBと同等の施工性を示す
- 急結状態、粉じん、付着状態についてはOPC/BBよりも良好

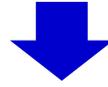
地下吹付け-コア強度確認

配合	28日強度 N/mm ²	設計基準強度(28日) N/mm ²
OPC	37.2	36.0
HFSC(140m)	44.8	
HFSC(250m)	41.2	



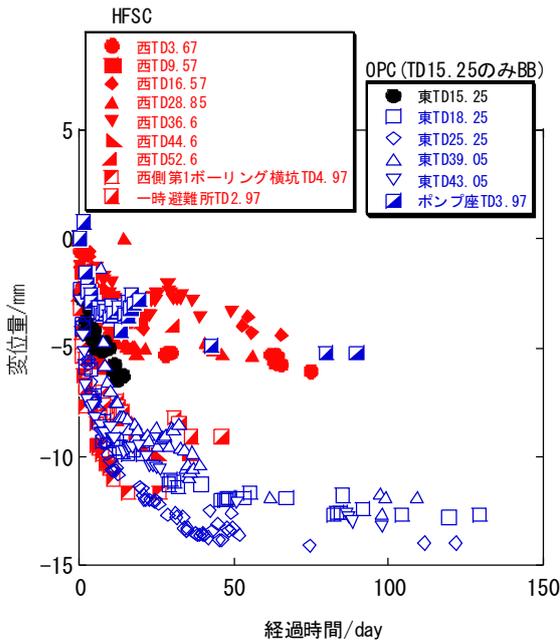
型枠への吹付け状況

地下での施工時に型枠に吹付けた
コンクリートからコアを採取

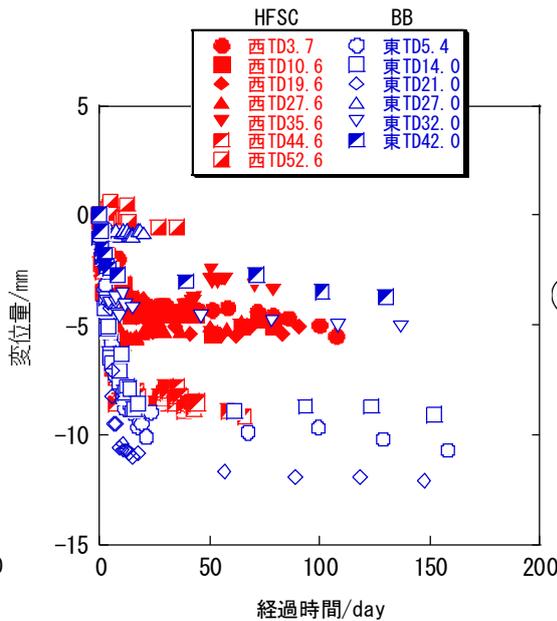


施工時にも設計基準を満たす
強度発現を確認

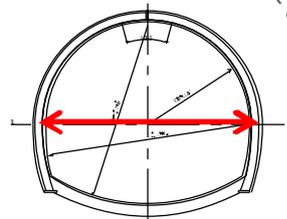
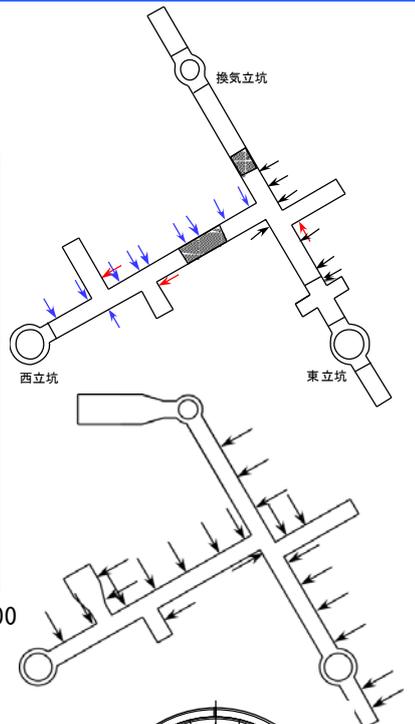
内空変位の比較



140m調査坑道



250m調査坑道



HFSCとOPC/BBの間に顕著な差は見られない

低アルカリ性セメントの開発-現状までの成果

● 地上での試験

- 幌延URL工事で使用しているバッチャープラントを使用して、適切な配合を選定
 - ✓ 配合選定→現地のバッチャープラントを用いた場合の最適配合を選定
 - ✓ 初期性状の確認→選定した配合で設計基準強度を上回ることを確認
 - ✓ 吹付け性状の確認→幌延URL工事での実機を用いた施工性を確認

● 地下施設での試験

- 幌延URLの140/250m調査坑道での施工に使用して、施工性を確認
 - ✓ 支保材料として実用性確認
 - 掘削サイクルの中で施工性を確認、内空変位量もOPC/BBと同等
 - ✓ 設計基準強度を上回る強度発現を確認
 - ✓ 周辺地質環境への影響の評価→実施中



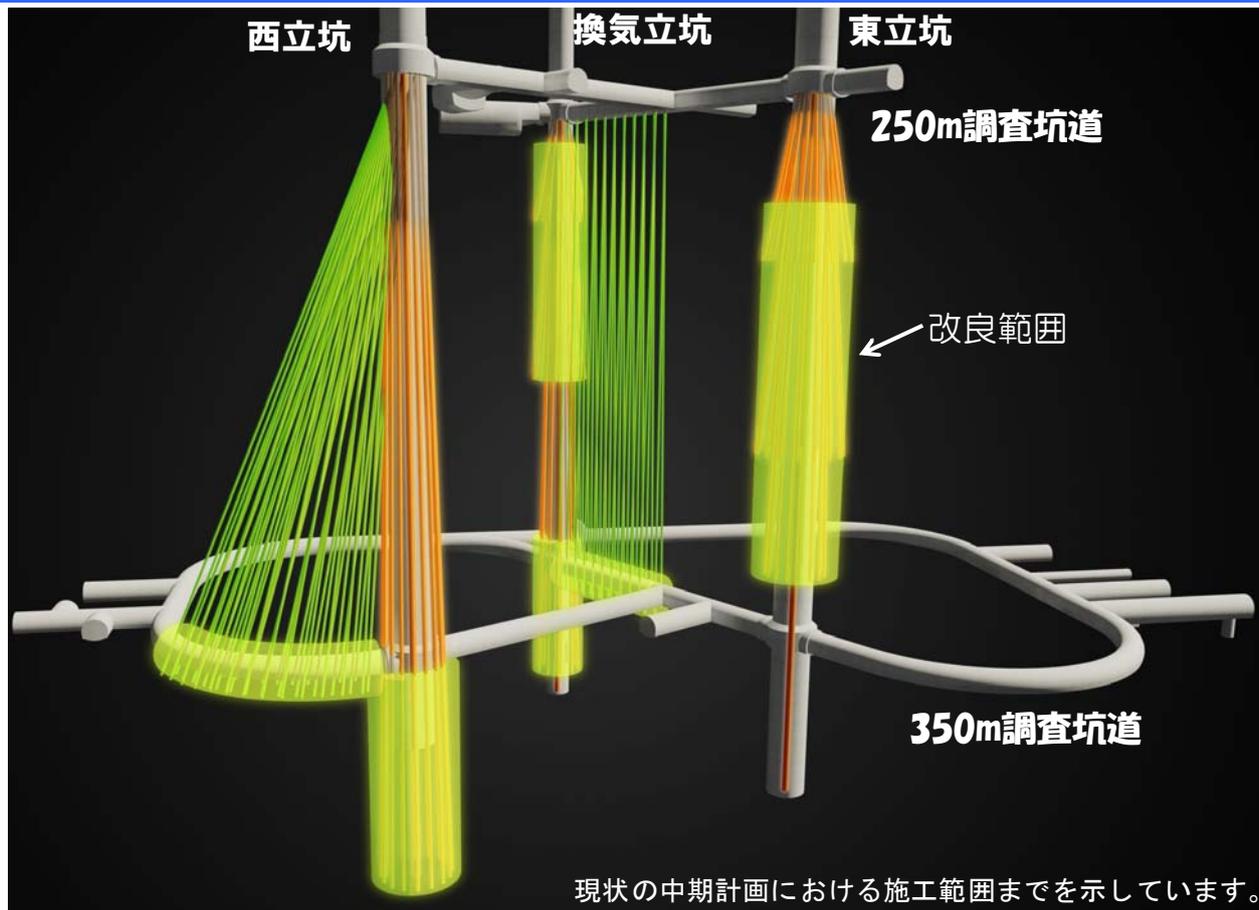
- ◆ 低アルカリ性セメント材料の**実用性を確認**(実際の坑道への適用は世界初)
- ◆ 通常のセメント材料 (OPC/BB) と**同様の手順による施工が可能**なことを確認

10

湧水対策

11

湧水対策(グラウト)計画

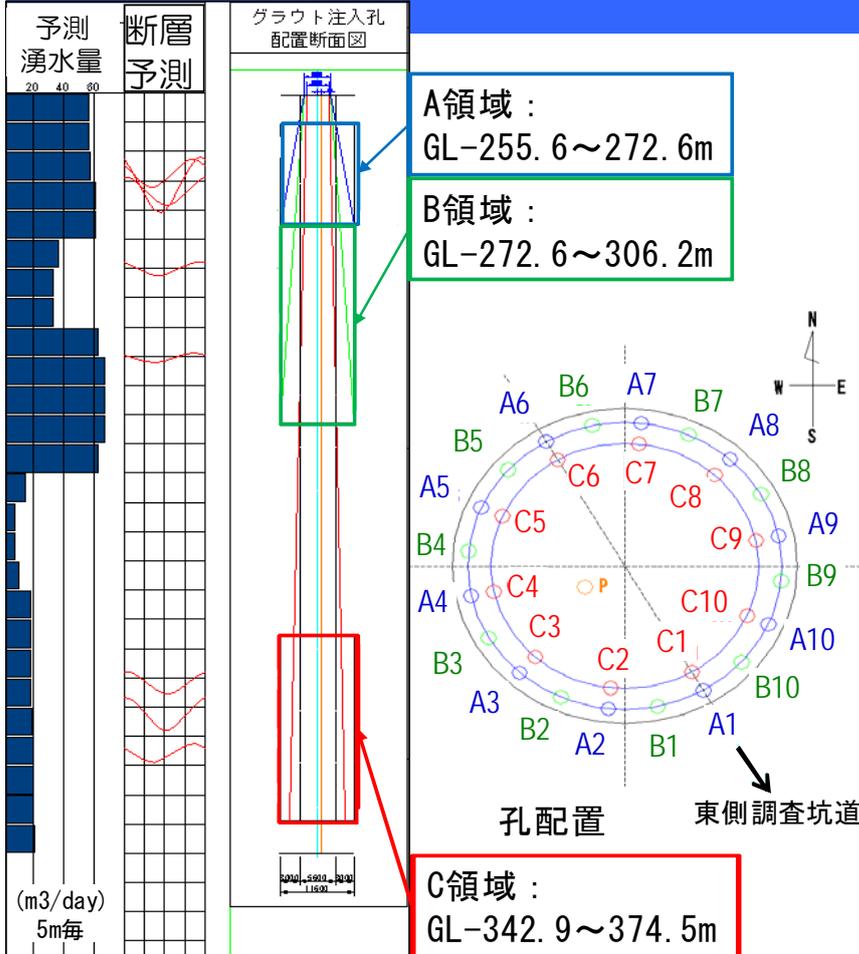


現状の中期計画における施工範囲までを示しています。

湧水対策工事(グラウト)

- 目的:
 - 立坑壁面からの**湧水量の抑制**
- 改良目標値: 湧水量が**450m³/day**以下(500m掘削時)
 - 1Lu(≒ 1.3×10^{-7} m/sec)以下
 - 3次孔注入終了時点で全てのステージで1Lu以下である場合, チェック孔の施工へ移行
 - チェック孔で**50%以上が0.1Lu以下とする**
- 改良範囲:
 - 既往の調査ボーリング(HDB-3孔、HDB-6孔、PB-V01孔)結果から想定した**高透水層を対象**

グラウト注入計画

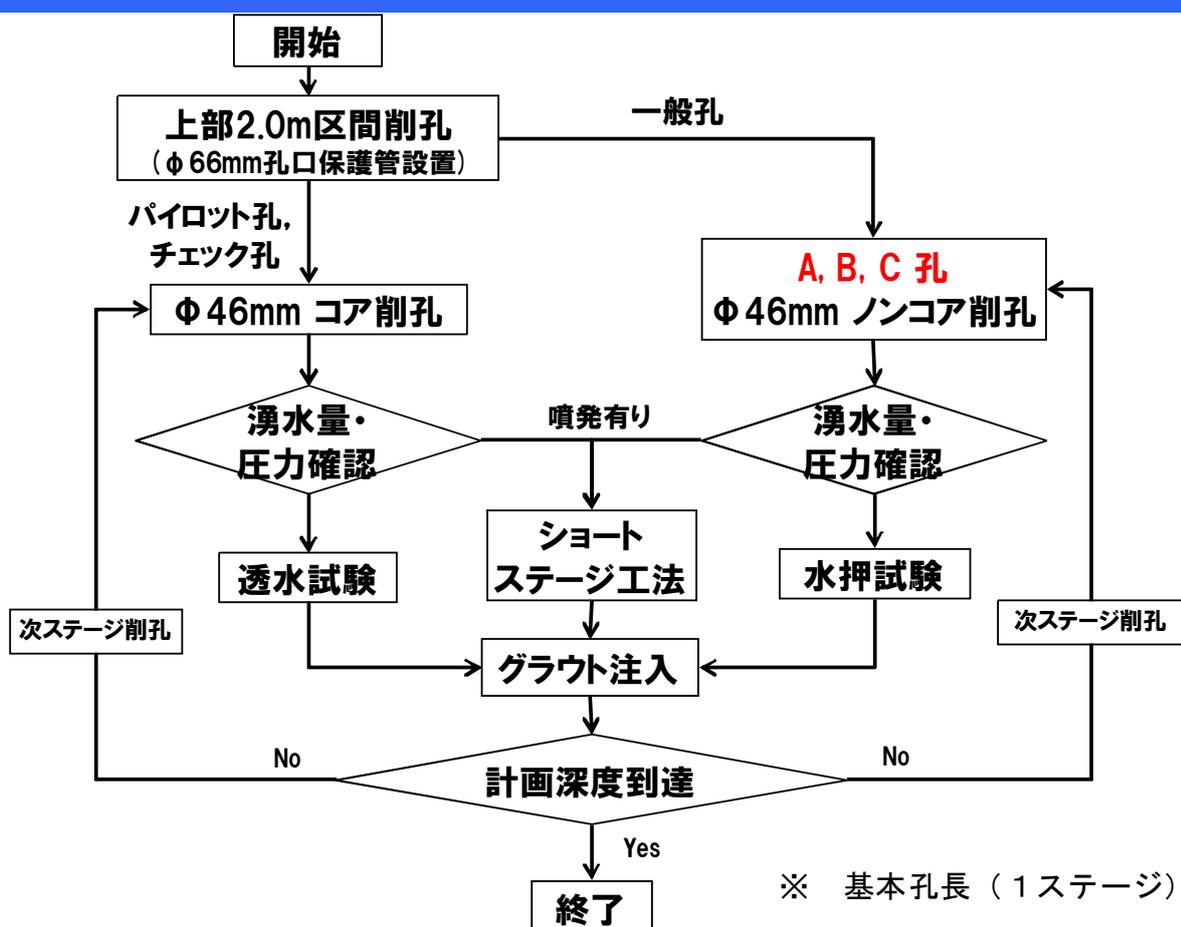


グラウト施工確認試験結果から
(換気側第1ボーリング横坑)



- 高圧の湧水・ガスの噴出 (噴発)
 - プリペンダー (暴噴対策) の設置
- 割れ目細部への注入, 早期硬化, 強度発現
 - 早期硬化型超微粒子注入材 (SF-X3) の使用

グラウト工詳細施工フロー



※ 基本孔長 (1ステージ) は5.0m

グラウチングの概要

● 注入配合

- 配合は、**W/C=20~0.8**の11段階
- 薄い配合 (W/C=20) から順次注入を実施
- 100L注入毎に、配合を切替 (流量低減状態の場合、同種配合で継続)

● 注入圧力

- 有効圧力で**1.0MPa**
- 限界圧力がある場合には、「**限界圧力+0.2MPa**」
- ガス圧が存在する場合には、注入状況に応じて最大圧力を変更

● 注入完了基準

- **0.1L/min・ST**以下で30分のダメ押し
- 注入量の総量が**1,100L/ST**に達した場合
- 流量が減少傾向で、完了できると判断できる場合は同配合で継続
ただし、同一配合で200L注入しても変化がない場合は配合切替
そして、配合がW/C=0.8に達した場合は100L注入で終了

※ 削孔中に孔崩れや暴噴が発生した場合には、その時点で削孔を止め、注入 (ショートステージ)

グラウト注入曲線の例

基礎処理工事日報						観延地下研究施設整備(第II期)等事業		周辺リークあり。		日報作成者	
施工日: 2011年6月3日											
施工場所	回数	孔番	追加側	ステージ	回数						
換気立坑	3	B6		04-2	01						

流量 ℓ/min	圧力 MPa	時間	作業種別	作業時間		注入圧力		配合	注入量 (ℓ)	セメント (kg)	備考
				自	至	開始	終了				
			水押し	7:04	7:08	0:04					
			水注入	7:34	8:04	0:30	0.071	1.440	1: 20.00	100.0	4.9
			水注入	8:04	8:24	0:20	1.440	1.457	1: 10.00	100.0	9.7
			水注入	8:24	8:44	0:20	1.457	1.459	1: 6.62	100.0	14.4
			水注入	8:44	9:03	0:19	1.459	1.460	1: 4.90	100.0	19.1
			水注入	9:03	9:23	0:20	1.460	1.454	1: 3.86	100.0	23.8
			水注入	9:23	9:43	0:20	1.454	1.453	1: 3.17	100.0	28.5
			水注入	9:43	10:03	0:20	1.453	1.460	1: 2.67	100.0	33.3
			水注入	10:03	10:23	0:20	1.460	1.459	1: 2.30	100.0	38.0
			水注入	10:23	11:03	0:40	1.459	1.490	1: 2.00	200.0	85.6
			水注入	11:03	11:51	0:48	1.490	1.512	1: 1.00	220.3	165.0
			ダメ押し	11:51	12:21	0:30	1.512	1.523	1: 1.00	0.7	0.5

No.	計器圧力 MPa	試験点圧力 MPa	単位透水量 ℓ/min/m
1	0.040	0.040	3.3
2	0.040	0.040	3.7

項目	値	単位
孔口標高 (m)	0.000	
上端深度 (m)	-19.00	
上端標高 (m)	0.00	
区間長 (m)	3.00	
角度 θ x (°)	0.0	
角度 θ y (°)	0.0	
全削孔長 (m)	22.00	
種別	水押し	
透ルジオン値 (Lu)	78.4	
ルジオン露出点	1-2	
限界圧力 (MPa)	0.000	
最大圧力 (MPa)	0.040	
湧水圧力 (MPa)	0.000	
単位注入セメント量 (kg/m)	140.9	
最大注入圧力 (MPa)	1.621	
最大注入速度 (ℓ/min)	5.300	
注入開始濃度 (C:W)	20.00	
注入終了濃度 (C:W)	1.00	
注入時間 (時:分)	4:47	
中断時間 (時:分)	(0:00)	
判定	異常なし	
判定	注入完了	

材料記録	材料名	練上量	注入量	廃棄量
ミルク (ℓ)		1300.0	1221.0	79.0
セメント (kg)	日鐵ポイト	481.98	422.82	59.16
	マフィ-150	2.39	2.10	0.29

噴発事象への対応

- 施工中，砂の**細粒分を伴う噴発**が多発（リボーリング時）
 - ロッド内部への砂の侵入・埋没

対応

- グラウト材料の変更
 - 早期硬化型超微粒子注入材（SF-X3）
 - ➡ **コロイド注入剤（日鉄コロイド）（ $\geq 1\mu\text{m}$ ）**
 - ➡ **超微粒子注入材（SF）（ $< 1\mu\text{m}$ ）**
- 配合の変更
 - ➡ **噴発時，開始配合をW/C=1.0もしくは0.8とする，硬化促進剤を添加する，・・・など**

グラウト使用材料一覧(カタログ値)

	名称	材料名	平均粒径 (μm)	備考
早期硬化型超微粒子注入材 (標準)	スーパーファインX3	注入材 (水硬性超微粒子)	4.3	
	スーパーファインX3用硬化促進剤	硬化促進剤	-	プレミックス
	デンカES	急硬剤	-	状況により添加
	ESセッター D100	凝結調整剤	-	状況により添加
コロイド注入剤	日鉄コロイド	注入材 (微粒子)	8.0	
	マイティ150	高性能減水剤	-	
	デンカES	急硬剤	-	状況により添加
	ESセッター D100	凝結調整剤	-	状況により添加
超微粒子注入材	スーパーファイン	注入材 (水硬性超微粒子)	2.5~3.5	
	マイティ150	高性能減水剤	-	
	デンカES	急硬剤	-	状況により添加
	ESセッター D100	凝結調整剤	-	状況により添加

注入後（換気立坑GL-250.5～-253.0m）の岩盤状況

