

瑞浪超深地層研究所換気立坑建設工事における プレグラウチングの現状

Pre-excavation Grouting in Construction of Mizunami Underground Research Laboratory

原雅人¹・木下晴信²・池田幸喜²・山本勝²・延藤遵³
Masato Hara, Harunobu Kinoshita, Koki Ikeda, Masaru Yamamoto
and Jun Nobuto

¹正会員 東京電力株式会社松本電力所土木建築グループ (〒390-0811 長野県松本市中央4-1-17)

E-mail: hara.masato@tepcoco.jp

²日本原子力研究開発機構東濃地科学センター (〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64)

³正会員 清水建設株式会社土木技術本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3シーバンスS館)

E-mail: nobuto@shimz.co.jp

In the excavation for the ventilation shaft of the Mizunami Underground Research Laboratory, pre-excavation grouting with ordinary Portland cement is conducted to reduce the water inflow. The target value for the hydraulic conductivity of grouted zone is set to be 2 Lugion, considering mainly the capacity of water treatment facility. In this paper, the grouting work conducted up to the depth of GL.-220m is summarized. By reviewing the water inflow and hardened cement injected into rock fractures observed at shaft wall, the validity of grouting method so far is evaluated.

Key Words : pre-excavation grouting, underground research laboratory, shaft, cement grout, granite

1. はじめに

日本原子力研究開発機構は、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発のうち、深地層の科学的研究を実施する研究施設として岐阜県瑞浪市に瑞浪超深地層研究所を建設中である。同研究所を構成する2本の立坑(図-1参照)は完成時には深度1,000mに達し、国内の土木分野では他に類を見ない大深度立坑になる予定である(平成20年8月31日段階で主立坑深度300.2m, 換気立坑深度252.2mまで掘削完了)。この建設工事から得られる工学的データを蓄積し、分析することで、将来の地層処分施設建設工事のみならず、他の大深度掘削工事に対しても有益な資料を提供できるものと考えられる。

立坑周辺の地質は、深度約170m以深に中生代白亜紀の土岐花崗岩が分布し、これを新第三紀中新世の堆積岩である瑞浪層群が覆っている。土岐花崗岩は、強度的には硬質であるが、岩盤中に存在する透水性割れ目の存在により掘削時にある程度の湧水が発生することが当初より想定されていた。さらに、花崗岩中の地下水にふっ素、ほう素等が環境基準を上回

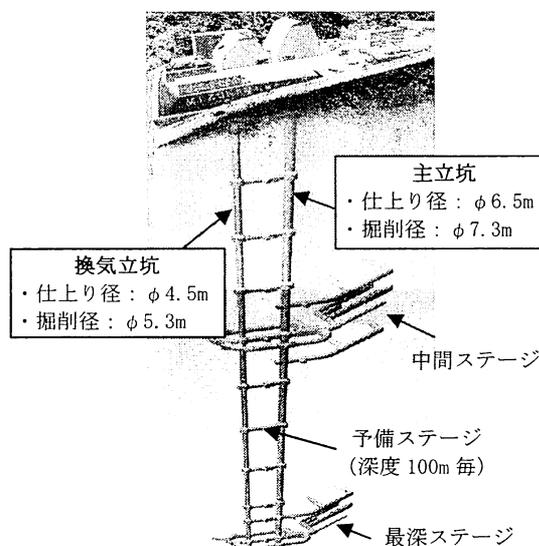


図-1 瑞浪超深地層研究所のレイアウト

る濃度で含有していることが判明したため、湧水を適切に処理するとともに、湧水の発生量をより厳しく抑制する必要が生じた。そこで、排水処理能力等を考慮して湧水量を4割程度に低減することを目標に、普通ポルトランドセメントを用いたプレグラウ

トを実施している^{1)~2)}。改良目標値は、解析的に検討した結果、グラウト改良部のルジオン値として2Lu (=約 $2.7 \times 10^{-7} \text{m/s}$) に設定している。

従来の立坑工事においては、一般的に断層破碎帯や未固結層等の地質不良部において掘削工事の進捗を妨げるほどの大量湧水が発生した場合にグラウトが実施されている。例えば、小倉山立坑においては透水係数が 10^{-5}m/s オーダーの断層破碎帯において700~1,800L/分の湧水が発生した場合にグラウトが注入されている³⁾。それに比べて、2Luという値はダムのカートングラウトに関する最も厳しい基準値であることを考慮すると、瑞浪立坑工事は、我が国の立坑建設技術に対して湧水抑制実績に関する大変貴重な施工データを提供出来るものと考えられる。

本報告では、これまでのプレグラウト実績を整理、分析することで、現在実施しているプレグラウト方法の妥当性について考察している。

2. 換気立坑建設地点の土岐花崗岩

地上からのボーリングデータに基づいて実施した事前設計では、深度約170m以深の花崗岩は、電研式岩盤分類でCH~B級の良好な岩盤を想定していた。また、立坑掘削時に切羽で実施した壁面観察結果でも、堆積岩との遷移層における岩石強度の低い花崗岩(深度170m~175m, CL, CM級が出現)や割れ目の多い区間(深度210m~226m, 部分的にCM級が出現)を除いて、基本的に岩石強度が100MPaを超えるCH級の堅硬な岩盤が出現している(図-2参照)。

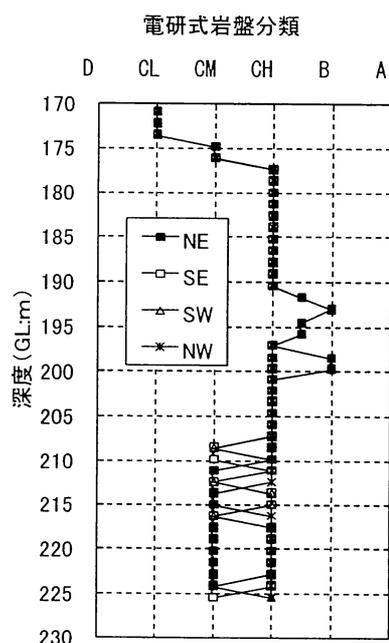


図-2 壁面観察に基づく岩盤分類結果
(坑壁面を4方向(NE, SE, SW, NW)に分割表示)

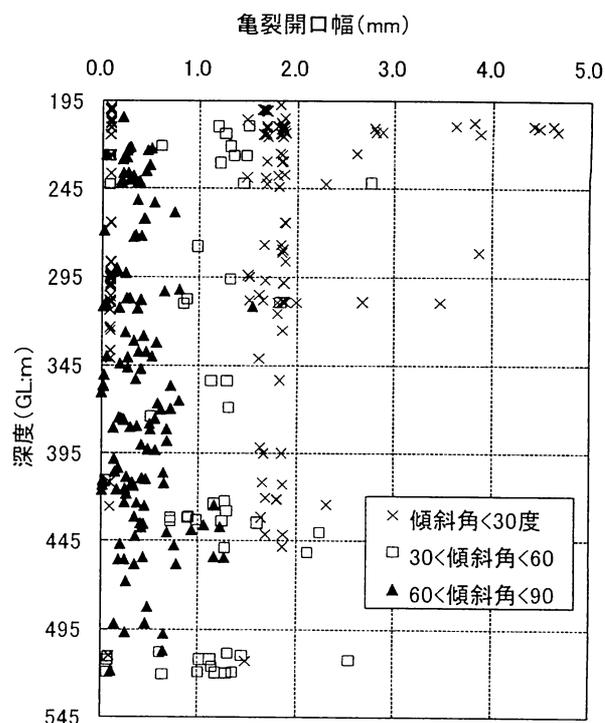


図-3 深度200m以深における岩盤亀裂開口幅
(パイロットボーリングにおけるBTV観察結果)

次に、換気立坑の坑底(深度191.6m)から実施した深度526mまでのパイロットボーリングにおけるBTVの観察結果(岩盤亀裂の本数、及び亀裂開口幅)を図-3に示す。同図に示すように、花崗岩中には開口性の割れ目が多数存在しており、特に深度200m~220m区間には数mmオーダーの亀裂開口幅を有した傾斜角30度未満の低角度を有する割れ目が密集しており、パイロットボーリング掘削時においても600L/分という大量湧水が発生している(3章において後述)。

3. プレグラウト工

(1) 概要

これまでに換気立坑においては、立坑掘削のためのプレグラウトが2回(接続部、一般部)、ボーリング横坑掘削のためのプレグラウトが1回、ボーリング掘削時の大量湧水抑制のための簡易的なグラウト注入が5回、合計8回のグラウト注入が実施されている(表-1、図-4参照)。

グラウトを注入したボーリング孔は、前述のパイロットボーリング(以下、PB孔と称す。グラウト注入を2回実施(2回目は2ステージに分割して注入))に加えて、深度200mのボーリング横坑から削孔した3本の先行変位ボーリング孔(以下、DB-A

孔、DB-B 孔、DB-C 孔と称す) である。それぞれのボーリングの平面配置を図-5 に示す。また、これらのグラウト工の概要を(2)節以降に示す。

表-1 グラウト注入一覧表

順番	グラウト実施場所
1	PB 孔(第 1 回目:深度 201.3m~231.0m 区間)
2	立坑接続部(深度 191.6 m~203.2 m 区間)
3	ボーリング横坑部(深度 191.6m~203.2m 区間)
4	PB 孔(第 2 回目:深度 200.2m~526.0m 区間)*
5	DB-A 孔(深度 204.1 m~216.6 m)
6	DB-B 孔(深度 200.2 m~242.2 m)*
7	DB-C 孔(深度 200.2 m~252.2 m)*
8	立坑一般部(深度 203.2 m~220.8 m 区間)

* ボーリング 孔を 2 ステージに分割して注入

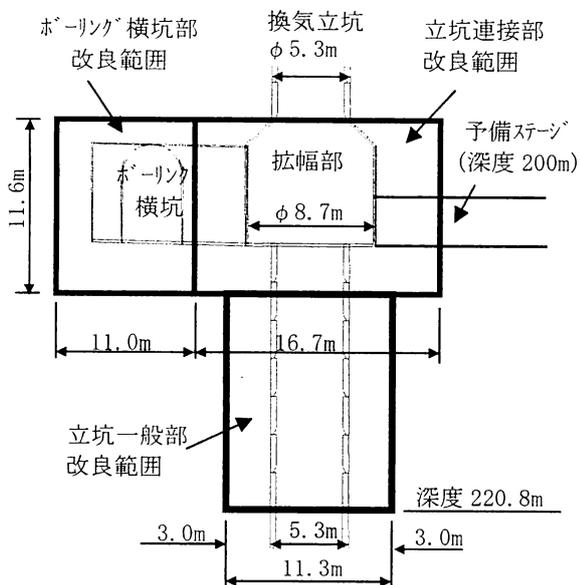


図-4 プレグラウト実施箇所(側面図)

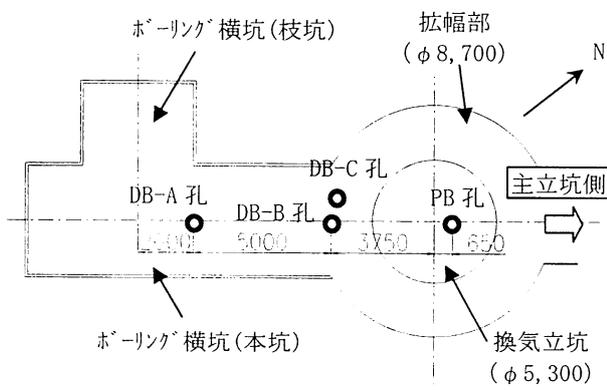


図-5 ボーリング平面配置図

*DB-C 孔は、立坑中心から 3.75m、DB-B 孔から 1.0m 離れた地点に位置する

(2) ボーリング孔におけるグラウト工

ボーリング孔のグラウト工は、孔自体からの大量湧水を抑制するための簡易的なグラウト注入であるため、注入方法を厳密に設定したわけではないが、概ね以下の方法でグラウトを注入した。

- ① グラウト材料：普通ポルトランドセメントに分散剤をセメント量の 1.0wt% 混和
- ② 注入管理圧：2.0MPa 程度（湧水圧 + 0.8 ~ 1.0MPa 程度）
- ③ 注入速度：4~10L/分程度
- ④ 停止基準：注入管理圧で吐出量が 1.0L/分以下に達した後に 30 分間ダメ押し注入

グラウト注入前に測定された湧水量と、グラウト注入後にボーリング孔を再削孔した際に測定された湧水量を表-2 にまとめて示す。同表よりグラウト注入の結果、ボーリング孔からの湧水量が注入前湧水量の 0.8~5.4% に低減されたことがわかる。

次に、水セメント比ごとのグラウト注入量を PB 孔に関しては表-3 に、DB 孔に関しては表-4 にそれぞれ示す。これらの表より、数 mm オーダーの開口割れ目が存在する深度 200m~220m 区間では、換気立坑及びその近傍に位置する PB 孔、DB-B 孔、DB-C 孔において、それぞれ 112.1kg/m (第 1 回目の注入)、59.0kg/m、21.5kg/m のセメントが注入されたことがわかる。注入セメント量が注入順序に応じて低下していることから、透水性割れ目が段階的にグラウトにより閉塞され改良されたものと考えられる。しかしながら、DB-C 孔は DB-B 孔と 1.0m しか離れていない上に DB-B 孔において 59.0kg/m ものセメントが注入されたにも関わらず、DB-C 孔削孔時に 61.2L/分の湧水が発生し、セメントが 20kg/m 以上注入されている。このことは、DB-B 孔のグラウト注入では、注入孔周辺 1.0m の範囲に存在する透水性割れ目を完全には止水改良出来なかったことを意味しており、DB-B 孔位置においては存在(或いは、開口)していない岩盤割れ目が DB-C 孔において出現したものと考えられる。

表-2 ボーリング孔におけるグラウト結果

注入箇所	PB孔		DB-A孔	DB-B孔	DB-C孔
	1回目	2回目			
湧水量 (L/分)	注入前	600	160	420 ²⁾	61.2 ³⁾
	注入後	8.0	— ⁴⁾	3.6	3.2
残留湧水率 ¹⁾	1.3%	—	2.2%	0.8%	5.4%

1) 残留湧水率 = 注入後湧水量 / 注入前湧水量

2) 深度 220.2m 以深からの湧水量は 1.3L/分

3) 深度 223.2m 以深からの湧水量は 0.69L/分

4) 再削孔を実施していないため注入後湧水量は不明

表-3 PB孔におけるグラウト注入量

		第1回目	第2回目	
			1ステージ	2ステージ
水セメント比別 注入量 (L)	8:1	1,200	-	-
	4:1	800	-	-
	2:1	800	200	-
	1.5:1	-	200	-
	1:1	3,491	1,933	3,532
	0.8:1	-	-	1,101
	0.5:1	-	-	200
総注入量 (L)		6,291	2,333	4,833
総セメント量 (kg)		3,328	1,666	3,917
注入区間 (GL:m)		201.3 ~ 231.0	400 ~ 526.0	200.2 ~ 526.0
注入区間長 (m)		29.7	126.0	325.8
単位セメント量 (kg/m)		112.1	13.2	12.0

表-4 DB孔におけるグラウト注入量

注入箇所	DB-A孔	DB-B孔		DB-C孔		
		1ステージ	2ステージ	1ステージ	2ステージ	
水セメント比別 注入量 (L)	2.0:1	567	391	800	69	400
	1.5:1	-	-	1,000	-	-
	1.0:1	-	-	200	-	-
	0.8:1	829	-	146	-	358
総注入量 (L)		1,396	391	2,146	69	758
総セメント量 (kg)		989	169	1180	30	494
注入区間 (GL:m)		204.1 ~ 216.6	220.2 ~ 242.2	200.2 ~ 220.2	223.2 ~ 252.2	200.2 ~ 223.2
注入区間長 (m)		12.5	22.0	20.0	29.0	23.0
単位セメント量 (kg/m)		79.1	7.7	59.0	1.0	21.5

(3)立坑接続部におけるグラウト工

a) 探り削孔

立坑掘削に先立ち、深度192.45mより探り削孔を6本（図-6中にNo.2, 4, 5, 6を表示）実施して水押し試験を実施した結果、2Luを超える箇所が多数存在し、ボーリング横坑側のNo.4においては削孔時に100L/分程度の大量湧水が発生した（図-6参照）。そこで、坑底に底盤コンクリート（厚さ650mm）を打設してプレグラウト工を実施することとした。

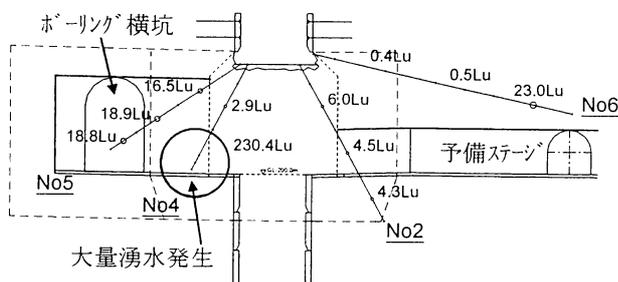


図-6 探り削孔における水押し試験結果（側面図）

b) 注入方法

最初のプレグラウト実施区間であったため、本注入の前にグラウト注入時のリーク防止を目的としてゲルタイム調整が可能なLW⁽⁴⁾（3号水ガラスにセメントを混和し、ゲルタイムを2分に調整）を用いてカバーロックを3m程度構築した（図-7参照）。その後、セメントによる本注入を以下の要領で実施した。

- ① 改良範囲：掘削損傷領域、湧水量に関する理論解析の結果等を考慮して立坑周辺の3mに設定
- ② 注入孔：設計で規定する注入孔（規定孔）を注入順序に従って1次孔、2次孔に分割し、それぞれ32本削孔し（図-7参照）、規定孔注入後に規定孔間にチェック孔を26本削孔（立坑用削孔機械であるシャフトジャンボにより削孔）
- ③ ステージ長：1ステージを5m以下に設定し、フロントステージ方式で注入
- ④ グラウト材料：普通ポルトランドセメントに分散剤をセメント量の1.0wt%混和
- ⑤ 配合切替：水押し試験によるルジオン値に応じて表-5に示す切替基準を採用
- ⑥ 注入圧力：湧水圧+差圧1MPaを注入管理圧（最大圧力）に設定
- ⑦ 注入停止基準：注入管理圧に到達後、注入量が0.2L/分/m以下に低下した後に30分間のダメ押し注入を実施
- ⑧ 追加孔の判定基準：以下の3種類の基準を満たさない場合に追加孔を削孔
 - ・改良目標値（2Lu）の超過確率が15%以下
 - ・2Lu以上のステージが連続して存在しない
 - ・4Lu以上のステージが存在しない

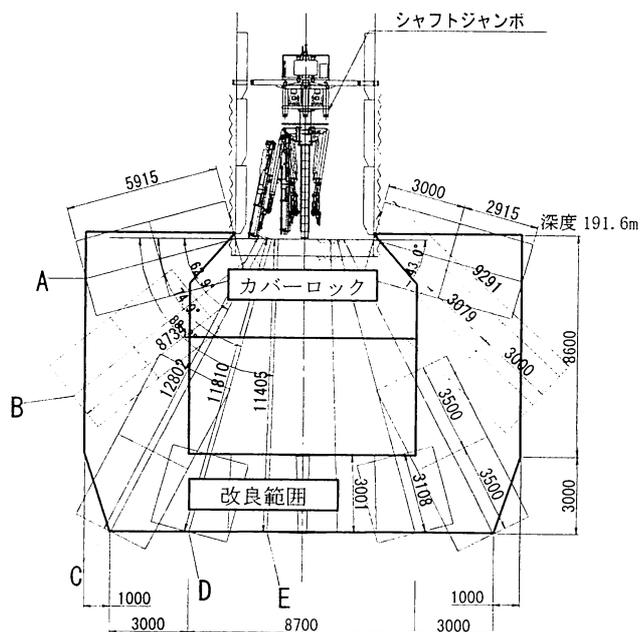


図-7 規定注入孔配置図（立坑接続部）

表-5 ルジオン値に応じた配合切替基準

ルジオン値	水セメント比 (W/C) 毎の注入量 (L)						
	8	6	4	2	1.5	1.0	合計
Lu<5	400	400	400	400	600	800	3,000
5≤ Lu<10	—	400	400	400	800	1,000	3,000
10≤ Lu<20	—	—	400	800	800	1,000	3,000
20≤ Lu	—	—	—	800	1,000	1,200	3,000

c) 注入結果

注入回数毎に、各ルジオン値に対する超過確率を示した超過確率分布図を図-8 に、ルジオン値と単位セメント量の関係を図-9 に示す。図-8 より、1次孔、2次孔、チェック孔と注入が進むごとに、ルジオン値が大きく低減していることがわかる。また、図-9 より、ルジオン値と単位セメント量に相関性が見られ、注入回数が進むごとに単位セメント量が減少していることがわかる。

次に、立坑掘削時の壁面観察において観察された湧水状況とグラウト充填が確認された割れ目本数を表-6 にまとめて示す。同表より、深度 196m 程度以深においては、湧水が滲水程度に抑制されており、さらに一部の開口割れ目においてはグラウト充填が確認されていることから、グラウトによる改良効果があったものと考えられる。

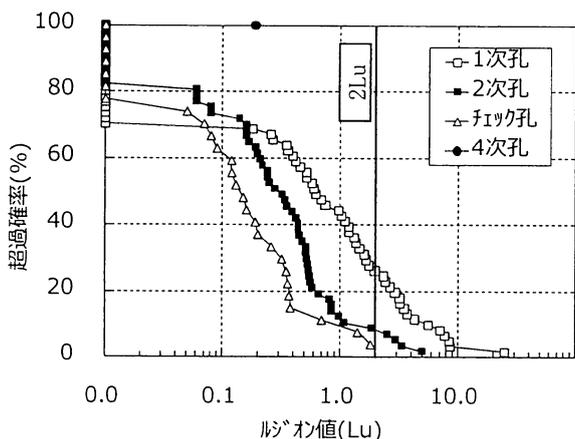


図-8 ルジオン値の超過確率分布図 (立坑接続部)

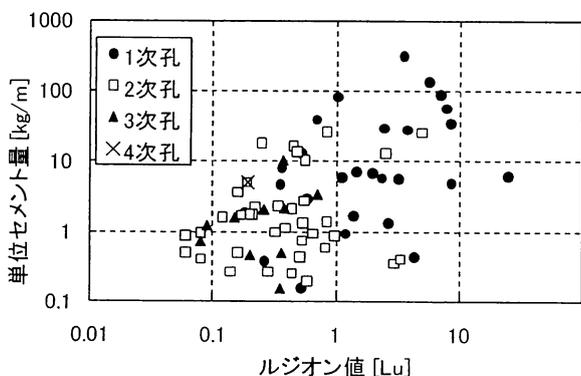


図-9 Lu 値と単位セメント量の関係 (接続部)

表-6 接続部掘削時の壁面観察結果

深度 (m)	湧水箇所		グラウト充填割れ目本数
	岩盤割れ目	グラウト孔	
191.0 ~ 192.2	滴水程度	3箇所 (計 3L/分)	0本
192.2 ~ 193.7	流水 3箇所 (計 2.3L/分)	1箇所 (計 0.5L/分)	0本
193.7 ~ 195.2	流水 1箇所 (計 0.2L/分)	無し	0本
195.2 ~ 196.2	滴水程度	無し	1本 ¹⁾
196.2 ~ 197.8	滲水程度	無し	0本
197.8 ~ 200.2	滲水程度	無し	1本 ²⁾

1)幅 2cm, 長さ 30cm の低角度割れ目内にグラウトが充填
2)密集した低角度割れ目内に幅 10mm でグラウトが充填

(4) ボーリング横坑部におけるグラウト工

a) 注入方法

深度 196.2m まで立坑を掘削した段階で坑底に底盤コンクリート (厚さ: 520mm) を打設し、立坑壁面にはコンクリートによるバルクヘッドを構築して、シャフトジャンボにより水平方向に削孔してグラウト注入を実施した (図-10 参照)。

最終的にボーリング横坑として掘削する範囲 (図-10 中の追加改良範囲) については、接続部での施工実績を踏まえて、主に規定孔削孔時の大量湧水と注入時のリークを抑制する観点から規定孔 (1次孔, 2次孔) に先立って、0次孔としてグラウトを注入した。注入孔数は、0次孔が 8本, 1次孔が 29本, 2次孔が 29本, チェック孔が 21本である。他の注入仕様は、立坑接続部と同様とした。なお、注入後のボーリング横坑は上半 (深度 193.23m ~ 196.39m) と下半 2回 (深度 196.39m ~ 198.99m と

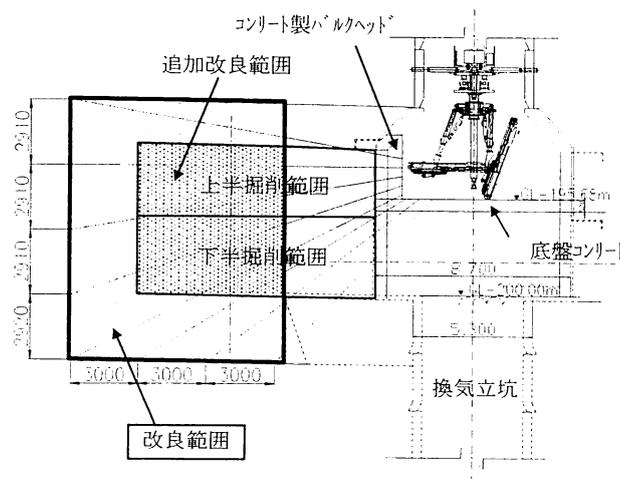


図-10 規定注入孔配置図 (ボーリング横坑部)

深度 198.99m～-200.19m) の計 3 回に分割して掘削した。

b) 注入結果

注入回数とルジオン値の超過確率分布図を図-11 に、ルジオン値と単位セメント量の関係を図-12 に示す。これらの図より、0 次孔（特に、図-12 において点線で囲んだ 2 孔）の注入において大量のセメントを注入した結果、その後の多くの規定孔（1, 2 次孔）及びチェック孔において注入前のルジオン値は目標値（2Lu）以下に低減しており、単位セメント量も比較的少量に抑えられていることがわかる。

次に、立坑掘削時の壁面観察において観察された湧水箇所とグラウト充填が確認された岩盤割れ目本数を、上半については表-7 に、下半については表-8 に示す。これらの表より、上半に比べて下半（特に本孔の 10.7m 以奥と枝坑）においてグラウト充填が確認された割れ目本数が多いことがわかる。これは、図-6 に示した探り削孔においても横坑下半において大量湧水が発生する開口割れ目が確認されたことと整合する。また、主に高角度（傾斜角 60 度以上）の割れ目にグラウト充填箇所が多数確認されているが、グラウト充填開口幅が 10mm 以上とかなり広い割には、グラウトは所々に断続的に浸透していることが特徴的である（図-13 参照）。

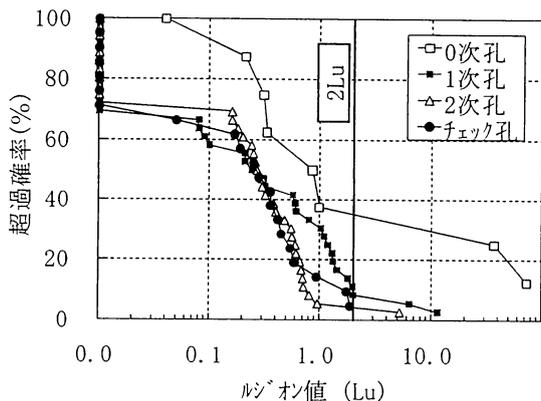


図-11 ルジオン値超過確率分布図（ボーリング横坑部）

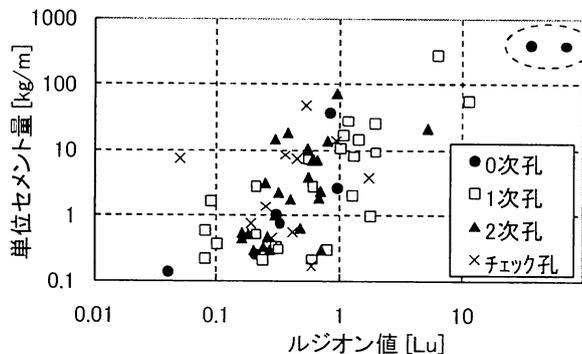


図-12 Lu 値と単位セメント量の関係（横坑部）

表-7 横坑部（上半）掘削時の壁面観察結果

	立坑中心からの距離 (m)	湧水箇所		グラウト充填割れ目本数	
		岩盤割れ目	グラウト孔	低角 ¹⁾	高角 ²⁾
本坑	4.35～6.80	滲水程度	6箇所(計 0.1～1L/分)	0本	0本
	6.80～7.80	滲水程度	4箇所(計 0.5～2L/分)	0本	0本
	7.80～10.60	滴水程度 ³⁾	3箇所(滴水)	0本	0本
	10.60～12.70	滴水程度 ³⁾	1箇所(計 0.1L/分)	1本 ⁴⁾	0本
	12.70～14.85	滴水程度 ³⁾	1箇所(計 0.5L/分)	1本 ⁵⁾	3本 ⁶⁾
枝坑	2.0～4.8 ⁷⁾	滴水程度 ³⁾	1箇所(計 0.5L/分)	1本 ⁸⁾	4本 ⁹⁾
	4.8～5.10 ⁷⁾	滴水程度 ¹⁰⁾	無し	0本	4本 ¹¹⁾

1) 傾斜角 30 度未満, 2) 傾斜角 60 度以上, 3) 低角度割れ目密集部からの滴水, 4) グラウト充填幅 3mm, 5) グラウト充填幅 4～10mm, 6) グラウト充填幅 1～3mm, 7) 本坑中心からの距離を示す, 8) 一部に充填, 9) グラウト充填幅 8～25mm, 10) 高角度割れ目と低角度割れ目密集部からの滴水, 11) グラウト充填幅 10～70mm

表-8 横坑部（下半）掘削時の壁面観察結果

	立坑中心からの距離 (m)	湧水箇所		グラウト充填割れ目本数	
		岩盤割れ目	グラウト孔	低角	高角
本坑	4.35～6.70	滲水程度	1箇所(計 2.0L/分)	0本	0本
	6.70～10.70	滲水程度	1箇所(計 2.0L/分)	1本 ¹⁾	1本 ¹⁾
	10.70～14.85	滲水程度	無し	3本 ²⁾	11本 ³⁾
	6.70～14.85 (最下段)	滲水程度	無し	0本	12本 ⁴⁾
枝坑	2.0～5.10	滲水程度	無し	1本 ⁵⁾	11本 ⁶⁾
	2.0～5.10 (最下段)	滲水程度	無し	0本	14本 ⁷⁾

1) 一部に充填, 2) グラウト充填幅 1～20mm, 3) グラウト充填幅 1～30mm, 4) グラウト充填幅 1～30mm, 5) グラウト充填幅 1mm, 6) グラウト充填幅 1～15mm, 7) グラウト充填幅 1～25mm

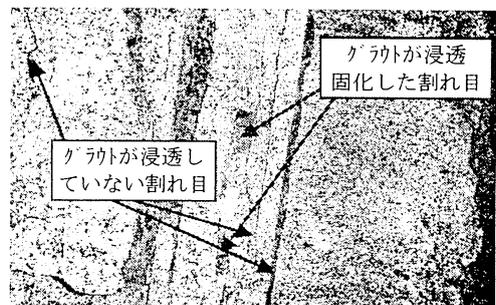


図-13 ボーリング横坑におけるグラウト充填状況

(5) 立坑一般部におけるグラウト工

a) 注入方法

ボーリング横坑と同様に、規定孔（1，2次孔）に先立って0次孔により立坑掘削範囲（図-14中の追加改良範囲）についてもグラウトを注入した。注入孔数は、0次孔が5本、1次孔が5本、2次孔が5本、チェック孔が9本である。また、削孔長が約22mと長い上に、シャフトジャンボの固定が出来ない等の理由で、立坑接続部に専用の削孔機を持ち込み、鉛直方向に注入孔を削孔した。ステージ長については従来通り5mを基本とするが、施工の合理化を図るために、0次孔の第1ステージや2次孔の一部についてはステージ長を10m程度に伸ばした。

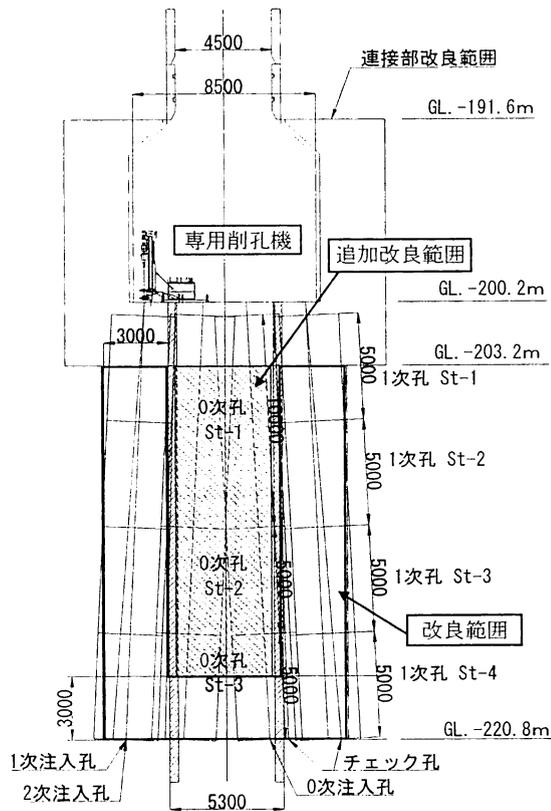


図-14 注入孔配置図（立坑一般部）

b) 注入結果

注入回数とルジオン値の超過確率分布図を図-15に示す。これらの図より、0次孔のルジオン値及び単位セメント量は全体的に1次孔に比べて小さいことがわかる。これは、立坑掘削範囲に位置する0次孔が捕捉した岩盤割れ目の多くは、ボーリング掘削において実施した簡易的なグラウト注入により既に改良されていたためではないかと考えられる。

次に、立坑掘削時の壁面観察において確認された湧水状況とグラウト充填が確認された割れ目本数を表-9にまとめて示す。同表より、PB孔により確認

された数 mm オーダーの開口割れ目の存在にも関わらず、掘削時の壁面からの湧水は滴水程度にまで抑制されており、さらに多数の岩盤割れ目においてグラウト充填が確認されていることがわかる。

上記より考えると、大量湧水が予測された深度200～220m 区間に関しては、ボーリング掘削において単一のボーリング孔を注入孔として実施した PB孔及び DB孔におけるグラウトにより大量湧水を発生させる割れ目が閉塞され、その後立坑一般部のグラウト工として実施した本格的な注入により残りの透水性割れ目を比較的少数の注入孔（チェック孔を含めて24本）により効率的に閉塞できたのではないかと考えられる。また、グラウト充填状況の例として、レンズ状に充填されたグラウト状況の写真を図-17に、深度210.4m～213.0mにおける壁面観察結果を図-18に示す。これらの図のように、グラウトが充填された割れ目開口幅は最大で10mmを超える大きさであるにも関わらず、グラウトは割れ目全長のうち充填鉱物等の存在しない限定的な範囲に充填されていることが特徴的である。このため、グラウト材は1本の注入孔から岩盤割れ目内を2次元のディスク状に浸透したのではなく、1次元のチャンネル状に浸透したのではないかと推測される。このことは、DB-B孔のグラウト注入により1m離れたDB-C孔が完全には改良されなかったことと整合する。

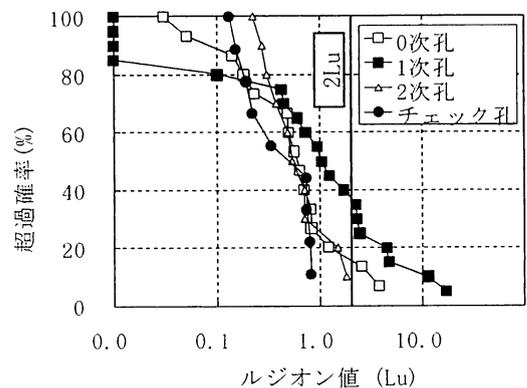


図-15 ルジオン値超過確率分布図（一般部）

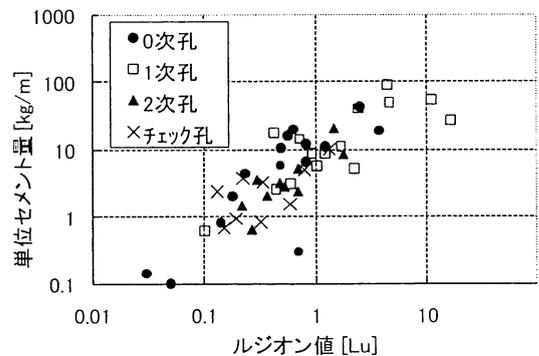


図-16 Lu値と単位セメント量の関係（一般部）

表-9 一般部掘削時の壁面観察結果

深度 (深度 m)	湧水箇所		グラウト充填 割れ目本数
	岩盤割れ目	探り削孔	
200.2 ~202.6	滴水程度	無し	3本(幅1mmでス ポット状)
202.6 ~205.2	滴水程度	無し	0本
205.2 ~207.8	滴水程度	無し	1本(幅1~2mm のレンズ状)
207.8 ~210.4	滴水程度	無し	8本 ¹⁾
210.4 ~213.0	滴水程度	無し	3本 ²⁾
213.0 ~215.6	滴水程度	1箇所(計 1.0L/分)	1本 ³⁾
215.6 ~218.2	1箇所(計 1L/分未満)	無し	3本(幅1~3mm でスポット状)
218.2 ~220.8	滴水程度	1箇所(計 1.0L/分)	0本
220.8 ~223.4	滴水程度	1箇所 (滲水)	3本(幅1~5mm で充填)
223.4 ~226.0	滲水程度	無し	7本 ⁴⁾

1) 水平方向割れ目に幅2~30mmでグラウトがレンズ状に充填,
2) 水平方向割れ目に幅1~10mm(5箇所)で、鉛直方向割れ目に幅1mm(2箇所)でグラウトが充填, 3) 水平方向割れ目に幅2~3mmでグラウトが充填, 4) 主に水平方向割れ目に幅1~40mmでグラウトが充填

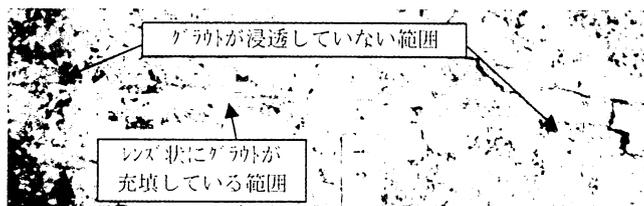


図-17 レンズ状に充填されたグラウト材
(深度207.8m~210.4m)

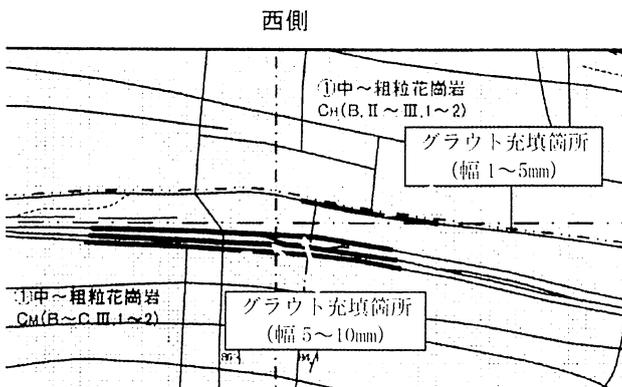


図-18 立坑一般部(深度210.4m~213.0m)における割れ目分布とグラウト充填状況の例

4. おわりに

深度191.6mの立坑坑底から実施した探り削孔及びPB孔の結果からは、立坑掘削時に大量の湧水が発生することが懸念されたが、本書に記載したプレグラウト注入を実施したことにより換気立坑からの湧水量は接続部掘削前からほとんど増大しておらず、ほぼ一定の値(300~400L/分)で推移している。この値は、グラウトを実施した場合の立坑への湧水量の予測解析の結果とほぼ同等であり、現在のところ本書に記載したグラウト注入方法により所定の品質(グラウト改良部のルジオン値を2Lu以下)を確保しているものと言える。

一方で、表-5に示した配合切替基準(特に、初期配合の設定方法)やステージ長の設定等に関しては、合理化の余地があるのではないかと考えている。今後は、深度に伴い増大する湧水圧に起因して所定の湧水抑制効果を維持するために更なる工夫改善が必要となることが予想されるが、同時に注入方法の合理化についても検討を加えていきたいと考えている。

なお、本書に記載していない深度226m以深については、立坑掘削に先立ち坑底より3本の探り削孔を実施し、岩盤の透水係数が2Lu以下であることを確認しながら掘削を継続中である。現在(平成20年8月29日)までのところ、グラウトを注入する必要性は生じておらず、順調に立坑掘削を進めているところである。今後も、突発湧水等に十分に留意して安全に立坑掘削を進展させるとともに、将来の処分場建設工事等の大深度岩盤掘削工事に資する施工データの蓄積に努めていく所存である。

参考文献

- 1) 原 雅人, 久慈雅栄, 南出賢司, 見掛信一郎, 佐藤稔紀, 池田幸喜: 瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題(その4) - 瑞浪超深地層研究所における湧水抑制対策としてのプレグラウティング施工 -, 土木学会第62回年次学術講演会概要集, 2007.
- 2) 原 雅人, 木下晴信, 池田幸喜, 山本 勝, 矢萩良二, 菊池真司, 川野広道, 牛田和仁, 延藤 遵, 南出賢司: 瑞浪超深地層研究所 換気立坑における湧水抑制対策としてのプレグラウティング施工, 土木学会第63回年次学術講演会概要集, 2008.
- 3) 乾登志夫, 杉村昌利: 名勝小倉山に200mの立坑を掘る 山陰本線小倉山トンネル, トンネルと地下, Vol. 17, No. 7, 1986.
- 4) 最新地盤注入工法技術総覧編集委員会: 最新地盤注入工法技術総覧, p. 88, 1997.