

瑞浪超深地層研究所深度 500m におけるグラウチング技術 (その1)

— 先行ボーリング調査結果に基づくグラウチング設計技術 —

清水建設株式会社 正会員○小林 伸司 正会員 辻 正邦

(独) 日本原子力研究開発機構 正会員 佐藤 稔紀 正会員 見掛 信一郎

清水・鹿島・前田特定建設工事共同企業体 正会員 草野 隆司 正会員 鵜飼 誉喜

1. はじめに

瑞浪超深地層研究所では、研究坑道（立坑及び水平坑道）の掘削工事にあたり、湧水・排水処理の低減と安全な施工の観点から坑道周辺の湧水抑制対策（グラウチング）を行いつつ、現在、深度 500m まで坑道掘削を進めている。大深度地下における坑道掘削工事では、高水圧と低透水性岩盤といった既往の実績がほとんどない条件下でのグラウチング技術が必要となるため、注入材料や注入範囲等に関する技術の開発を行っている¹⁾、²⁾。深度 500m 研究アクセス南坑道の掘削にあたっては、坑道掘削に先立ち実施した先行ボーリングの調査結果から湧水抑制対策が必要と判断したため、注入材料の選定等のプレグラウチング設計を行い施工した。本稿では、プレグラウチング設計技術として、先行ボーリング調査結果に基づく予測湧水量とプレグラウチングの仕様について報告する。

2. 先行ボーリング調査

深度 500m 研究アクセス南坑道の掘削に先立ち実施した先行ボーリングの割れ目情報（岩盤等級）・湧水量・水理試験結果（透水係数）を整理して図-1 に示す。同図では、ボーリング孔で観測された割れ目を坑道まで延長している。岩質は堅硬な比較的割れ目の少ない花崗岩であり、孔口からの深度 50～62m の明瞭な開口割れ目密集部と孔口からの深度 77～90m のヘアークラック密集部から多量の湧水が発生した。

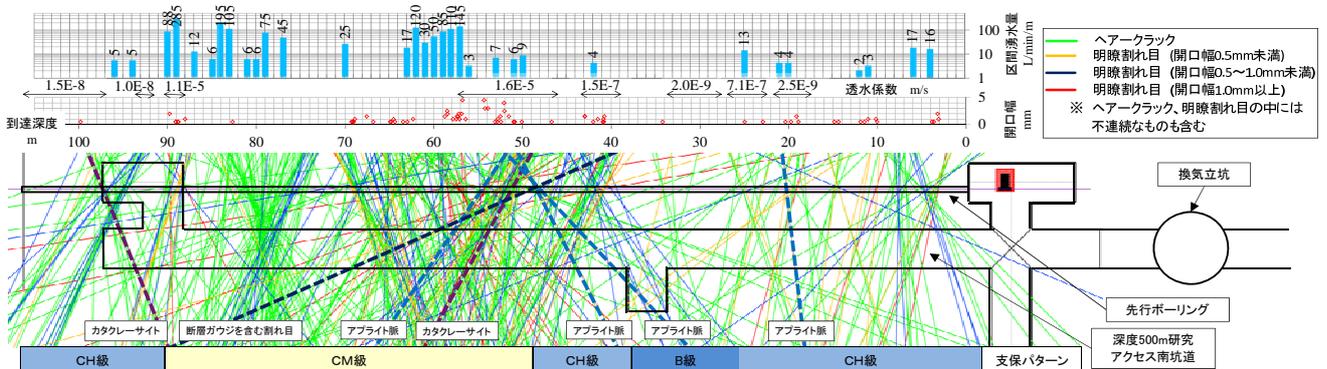


図-1 先行ボーリングの調査結果

3. 調査結果に基づく予測湧水量

坑道掘削後の湧水量は、既往研究²⁾で構築された以下の理論式を使用して予測した。なお、先行ボーリングの水理試験は限られた区間で実施しているため、先行ボーリング削孔時の湧水量から地山透水係数を算定した。

地山透水係数と先行ボーリング削孔時の湧水量の関係

$$Q_0 = \frac{2\pi L(-h_0(t) + h_c)}{\ln\left(\frac{R_1}{r(0)}\right) k_w}$$

※記号は表-1 参照

地山透水係数と坑道掘削後の予測湧水量の関係

$$Q_0 = \frac{2\pi L(-h_0(t) + h_c)}{\frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right)}{k_0} + \frac{\ln\left(\frac{R(t)}{r_1}\right)}{k_g} + \ln\left(\frac{R_1}{R(t)}\right) k_w}$$

※記号は表-1, 2 参照

先行ボーリングでは、多量の湧水を伴う区間（CM 級区間）と相対的に湧水量が少ない区間（CH 級区間）が両方出現したため、それぞれの区間における透水係数の代表値を推定した。透水係数推定のための設定値と透水係数の推定結果を表-1 に示す。次に、推定した透水係数をもとに坑道掘削時の坑道延長 1m あたりの湧水量を算定した。グラウト注入範囲の透水係数は、過去の換気立坑での注入実績^{1), 3)}からグラウト材料の改良限界を整理することで設定した。湧水量算定のための設定値を表-2 に、グラウト材料別の改良限界を表-3 に、

グラウト材料別の予測湧水量を図-2に示す。なお、グラウトなしの場合の湧水量は $k_g=k_w$ として求めた。

4. プレグラウチング仕様

先行ボーリング調査結果からは、B級区間ではプレグラウチング不要、CH級・CM級区間では必要と判断したが、確認のため探り削孔を行うこととした。図-3にプレグラウチング孔の配置例を示す。グラウト材料については、図-2から湧水量低減効果の高い超微粒子セメントを標準としたが、開口幅4mm以上の割れ目が存在する場合には粒径と浸透性能を考慮し普通セメントとした。高湧水圧（先行ボーリングにおいて3.2~3.6MPa）を考慮して設定した標準的な注入仕様と主な施工機械を表-4に示す。

5. おわりに

掘削進捗と坑道からの総湧水量に応じ適宜プレグラウチング仕様を見直し施工した結果、高水圧下での十分なグラウト改良効果が得られ、深度500mの排水ポンプ能力から設定した許容湧水量を下回った（注入実績と適用技術の有効性評価については、その2⁴参照）。

表-1 透水係数推定のための設定値と推定結果

	単位	CM級区間	CH級区間	備考
延長 L	m	41	54	図-1
湧水量 Q_0	L/min	1366	163	図-1
水頭低下量 $-h_0(t)+h_c$	m	350		湧水圧
影響圏半径 R_1	m	500		深度相当
ボーリング孔半径 $r(0)$	m	0.055		平均値
地山透水係数 k_w	m/sec	2.3×10^{-6}	2.1×10^{-7}	

表-2 湧水量算定のための設定値

	単位	CM級・CH級区間とも
坑道掘削半径 $r(0)$	m	2.1 等価半径
緩み領域の半径 r_1	m	3.1 緩み領域 1m
改良範囲の半径 $R(t)$	m	5.1 掘削面から 3m
改良範囲の透水係数 k_g	m/sec	グラウト材料の改良限界から算出 ($1Lu=1.3 \times 10^{-7}m/s$)
緩み領域の透水係数 k_0	m/sec	k_g の 10 倍と設定

表-3 換気立坑での注入実績

グラウト材料	適用箇所	改良限界 Lu
普通セメント	深度 200~220m 換気立坑	0.7~1
超微粒子セメント	深度 400~450m 換気立坑	0.2~0.5
溶液型グラウト	深度 300m 水平坑道	0.1~0.2

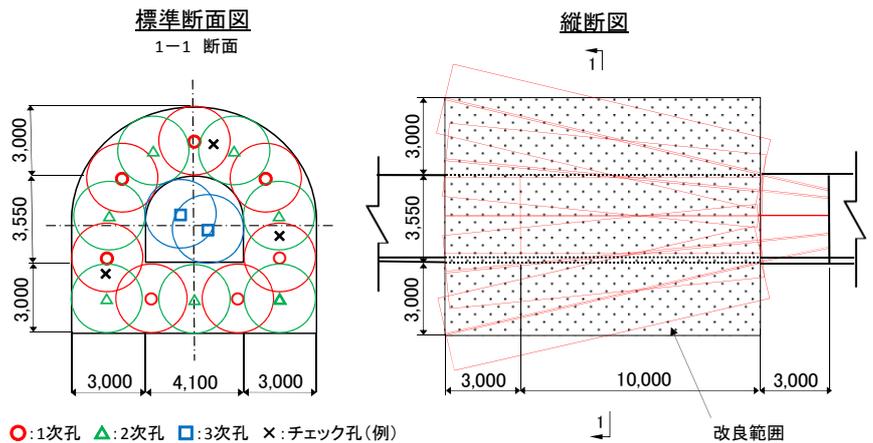
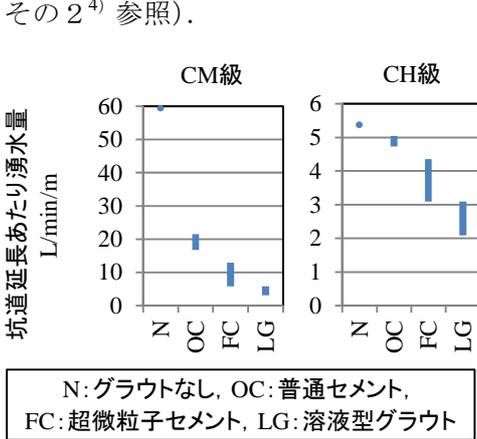


図-2 グラウト材料別予測湧水量

図-3 プレグラウチング孔の配置例

表-4 標準的な注入仕様と主な施工機械

項目	仕様	配合切替 (単位: L)				
		Lu	W/C			
注入仕様	注入管理圧力	湧水圧+1MPa (4.4~4.9MPa)				
	注入速度	基本 10L/min (最大 20L/min)				
	注入終了基準	注入管理圧力到達+注入速度 1L/min に低下後 30 分間ダメ押し, 最大注入量 3000L				
	注入材料	開口幅 ≥ 4mm: 普通ポルトランドセメント 開口幅 < 4mm: 超微粒子セメント+分散剤				
	配合切替	右表				
機械	注入ポンプ	三連単動ブランジャーポンプ (吐出量: 最大 120L/min, 吐出圧力: 最大 80kg/cm ²)				
	ミキサー	タンク容量: 250L×2, 攪拌容量: 200L×2, 攪拌軸回転数: 180rpm				
	パッカー	水圧式パッカー (最大膨張圧: 9MPa)				

参考文献

- 1) 延藤他: 瑞浪超深地層研究所深度 300m における耐久性に優れた溶液型グラウトの試験施工, 第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 179-184, 2011.
- 2) 見掛他: グラウチングの注入範囲設定に関する浸透力を考慮した評価理論の構築, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.0, No.1, 33-43, 2014.
- 3) 石井他: 深度 400m 以深の換気立坑掘削において実施したプレグラウチングの施工結果と考察, JAEA-Technology 2010-044, 2011.
- 4) 辻他: 瑞浪超深地層研究所深度 500m におけるグラウチング技術 (その 2), 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集 (投稿中), 2014.