

瑞浪超深地層研究所深度 500m におけるポストグラウチング技術 (その2)

— 止水性向上を目的とした新技術を採用した設計および湧水量予測 —

清水建設株式会社 正会員○小林 伸司 正会員 辻 正邦

日本原子力研究開発機構 正会員 見掛 信一郎 正会員 佐藤 稔紀

清水・鹿島・前田特定建設工事共同企業体 正会員 栗田 和昭

江口 慶多

瑞浪超深地層研究所では、深度 500m 研究アクセス南坑道掘削後にポストグラウチングを実施した。本稿では、文献調査結果に基づく新しいポストグラウチングの設計および施工後の湧水量予測について報告する。

1. ポストグラウチング設計のための文献調査

深度 500m の研究アクセス南坑道掘削前に実施したプレグラウチング技術は、(その1)に示した通り、高水圧と低透水性岩盤の条件下において有効であった。このような箇所において、さらなる湧水抑制を可能とする技術の実証を目的としてポストグラウチングを実施することとした。その設計にあたり、国内外における岩盤ポストグラウチングに係る文献調査を実施した。その結果、ポストグラウチングはプレグラウチングより動水勾配が大きい条件で実施する必要があるため亀裂内部の未固結のグラウトが湧水圧により流出しやすいこと、岩盤深部に浸透しにくいこと、表面リークが発生しやすいこと、さらには壁面に近いため安全上の観点から注入圧を上げられないことなどの問題点が判明した。また、それと同時に有効と考えられる対策技術を抽出した。それらを踏まえ、本設計では「効果的かつ効率的な施工」および「今後のグラウチング技術の高度化」に資するため、抽出した中から止水性向上に向けて優先度が高いと判断した新しい技術(表-1)を採用した。

表-1 文献調査から抽出した有用な新しい技術

項目	新しい技術	出典	従来の技術
(1) 注入範囲	プレグラウチング範囲の「外側範囲」の改良	スウェーデンの鉄道トンネルなどでの実績 ¹⁾	プレグラウチング範囲と重複範囲の改良
(2) 注入材料	溶液型グラウト	瑞浪深度 300m での試験施工の実績 ²⁾	普通セメント・超微粒子セメント
(3) 注入方式	複合動的注入	倉敷 LPG 貯槽建設工事の実績 ³⁾	静的注入

2. ポストグラウチング設計：新技術の採用

(1) 注入範囲：プレグラウチング範囲の外側範囲の改良

先行ボーリング調査結果や坑道掘削時の壁面観察結果から対象範囲には特定の方向に卓越した亀裂がみられないことから、ポストグラウト孔の削孔角度は既往の知見⁴⁾に基づきプレグラウト孔と逆向きに孔壁に対して 45° に設定した。また、注入範囲はプレグラウチング範囲の外側範囲を改良することを基本とした(図-1)。

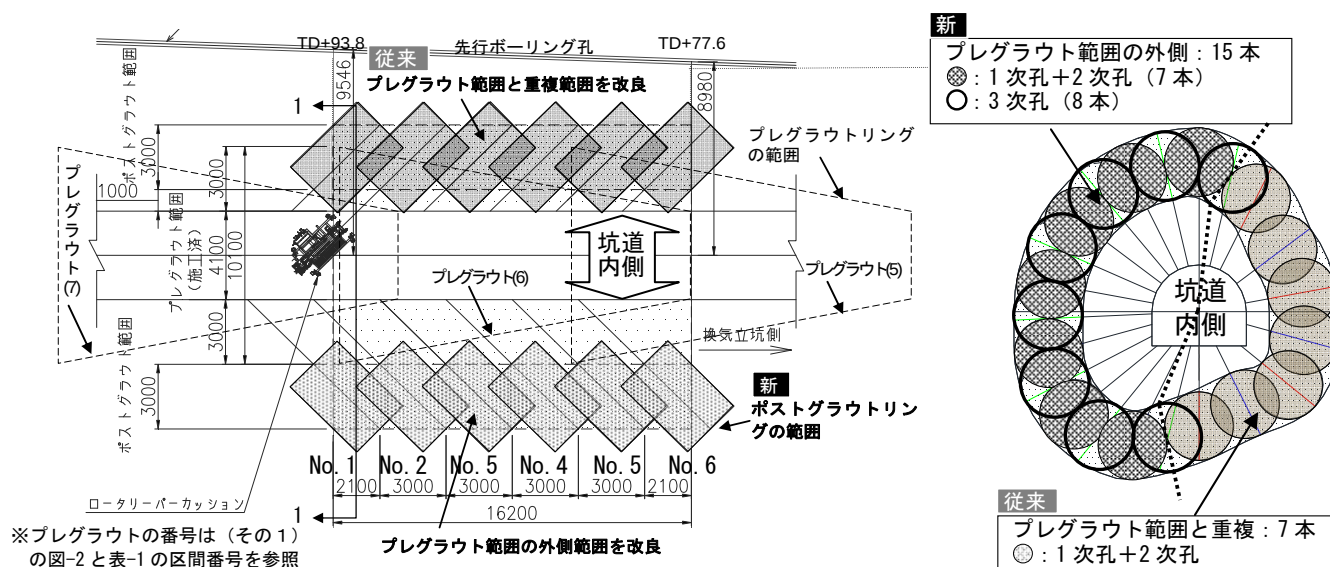


図-1 ポストグラウトリングの配置図 (左：平面図, 右：横断面図 (1-1 断面))

キーワード ポストグラウチング, グラウト設計技術, 大深度, 高水圧, 溶液型グラウト, 複合動的注入
連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設株式会社 TEL03-3561-3919 FAX03-3561-8673

動水勾配の小さい外側を改良することで、十分な注入圧によるグラウトの浸透を確保しながら、表面へのリークを同時に防ぐことが目的である。さらに、先行ボーリング側の注入孔については、従来通りプレグラウチング範囲と重複する範囲を改良し、効果を比較評価できる仕様とした。本稿では、同一断面の注入で形成する輪状の止水ゾーンをリングと定義する。今回はNo. 1～6 リングの設計である。

(2) 注入材料：溶液型グラウトの適用

今回の対象範囲は、超微粒子セメントによる4次孔までの綿密なプレグラウチングを実施したが、微細な亀裂が多く、ポストグラウチングの実施前には多くの湧水発生箇所が確認された。このため、セメント粒子が浸透できない亀裂の改良を目的として、深度300mで試験施工の実績がある浸透性の高い活性シリカコロイド系の溶液型グラウトを使用した(図-2)。さらに、北欧の溶液型グラウトの浸透理論(亀裂開口幅とゲルタイムと注入圧に基づく浸透距離の算定)に基づく配合設計手法に準じて配合毎の浸透距離を照査し、ゲルタイムが120分～35分の配合を採用した。ただし、最初のリング(図-1のNo. 1)は従来の超微粒子セメントを併用し、効果を比較評価できる仕様とした。

(3) 注入方式：複合動的注入の適用

複合動的注入は、注入ポンプに設置した動的周波数設定器(インバータ)の周波数を変えることで流量を変化させ、脈動の到達範囲の延伸効果のある長波(0.5Hz以下)と注入材の分散効果のある短波(1～30Hz)を組み合わせた複合波を伝播させる注入手法である(図-3)。複合波の効果により浸透距離の延伸効果のある従来の単動的注入(短波のみ)よりもさらに延伸効果を期待できることが実証されている⁵⁾。今回の施工でも岩盤深部への浸透距離の延伸を目的とし、最も延伸効果が期待できる複合動的注入を適用した。ただし、2番目のリング(図-1のNo. 2)では静的注入(通常注入)を併用して適用効果を比較評価できる仕様とした。

3. ポストグラウチング後の湧水量予測

施工後の湧水量はプレグラウチング時の湧水量算定で用いた既往の予測式⁶⁾をポストグラウチング用に展開し(数式1)、今回設計した条件に基づき予測した。

ここに、 Q_1 : 湧水量(m^3/sec)、 L : 区間長(m)、 $-h_0(t)+h$: 水頭低下量(m)、 r_0 : 坑道掘削半径(m)、 r_1 : 緩み領域の半径(m)、 $R(t)$: プレグラウチング範囲の半径(m)、 $R(\alpha t)$: ポストグラウチング範囲の半径(m)、 R_1 : 影響圏半径(m)、 k_0 : 緩み領域の透水係数(m/sec)、 k_w : 地山透水係数(m/sec)、 k_{gpre} : プレグラウチング範囲の透水係数(m/sec)、 k_{gpost} : ポストグラウチング範囲の透水係数(m/sec)とする(図-4)。

施工前に計測した区間湧水量は35.3 L/minであり、今回の施工条件をもとに湧水低減量を算定すると、全て超微粒子セメントを用いた場合で約7 L/min(20%減)、全て溶液型グラウトの場合で約14 L/min(40%減)となった。

参考文献

- 1) 例えば Bergh 他: Efterinjektering i Hallandsåstunneln - Analys av data från efterinjektering med cement och silica sol i den oinklädda delen av tunneln, Chalmers tekniska högskola, 2007 (スウェーデン語)。
- 2) 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, 2011。
- 3) 小林他: 倉敷基地 LPG 岩盤貯槽における高水圧下のグラウト施工実績と改良効果の評価について, 第42回岩盤力学に関するシンポジウム, 2014。
- 4) Brantbeger 他: Underground Design Forsmark, Layout D2 Grouting, SKB report, R-08-114, pp.53-54, 2009。
- 5) 横澤他: トンネル補助工法に適用する複合動的注入の研究, 建設の施工企画(712), 75-77, 2009。
- 6) 見掛他: グ라우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。



図-2 溶液型グラウト

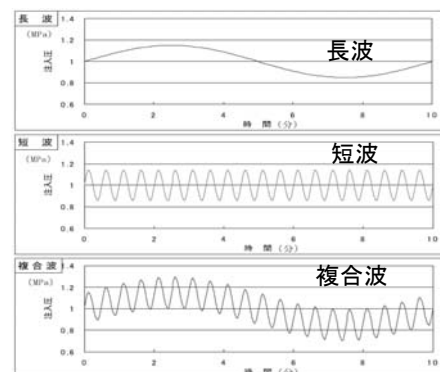


図-3 複合波の概念図⁵⁾

$$Q_1 = \frac{2\pi L(-h_0(t) + h_c)}{\ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) + \frac{\ln\left(\frac{R(t)}{r_1}\right)}{k_{gpre}} + \frac{\ln\left(\frac{R(\alpha t)}{R(t)}\right)}{k_{gpost}} + \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R(\alpha t)}\right)}{k_w}} \quad (\text{数式 1})$$

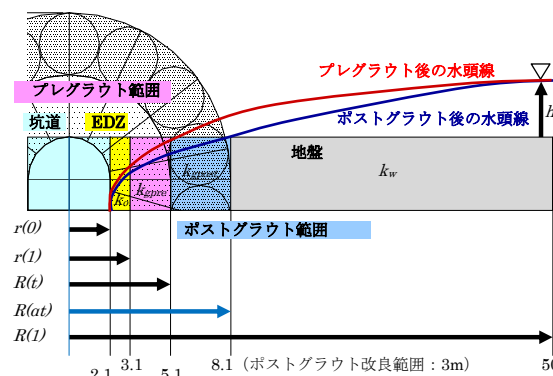


図-4 湧水量予測(理論解析)の考え方