

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3)

— ポストグラウチング仕様, 注入実績概要, 新しい技術の施工性 —

清水・鹿島・前田特定建設工事共同企業体 正会員○栗田 和昭 正会員 草野 隆司
 清水建設株式会社 正会員 辻 正邦 正会員 小林 伸司
 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

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、ポストグラウチングに適用した注入仕様および注入実績の概要を示すとともに、新しい技術を適用して得られた知見について報告する。

1. ポストグラウチング仕様

No.1 および No.2 リングは (その2) の設計で示した通り新技術の比較評価ができる「仕様確認」リングとし、残り 4 リングは「標準」リングとした (表-1 参照)。更に、標準リングの施工順序は新しいリングが完了したリングを内挿するよう設定した (その2の図-1 参照)。その他の注入仕様と主な施工機械を表-2 に示す。

表-1 各リングの仕様

	リング	対象孔	注入材料	注入手法
仕様確認	No.1	上部 11 本	超微粒子セメント 1・2次:超微粒子セメント, 3次:溶液型グラウト	静的注入 (通常注入)
		下部 11 本		
	No.2	上部 11 本	溶液型グラウト	1次:静的注入, 2次・3次: 複合動的注入 静的注入
		下部 11 本		
標準	No.3 ~6	全 22 本	溶液型グラウト	複合動的注入

表-2 ポストグラウチングの注入仕様と主な施工機械

項目	仕様	
注入仕様	注入本数	・最大*156本:1リングあたり26本(1次孔7本, 2次孔7本, 3次孔8本, チェック孔4本)
	注入管理圧力	・湧水圧+1.5MPa(約5MPa)を基本とする
	注入速度	・10L/min(最大20L/min)を基本とする
	注入終了基準	・注入管理圧力下で注入時間**90分を確保し、流量0.5L/minに低下後10分間ダム押し注入、または注入規定量(溶液型500L, 超微粒子セメント1,300L)到達。
	注入材料	・超微粒子セメント (No.1 リングのみ) ・溶液型グラウト (5Lu 以上は超微粒子セメント)
	配合	・超微粒子セメントは W/C=6 より高濃度へ切替え
機械	注入ポンプ	・三連単動プランジャーポンプ(吐出量:最大120L/min, 吐出圧力:最大8MPa)
	ミキサー, パッカー	・攪拌容量:200L×2, 攪拌軸回転数:180rpm, ・水圧式パッカー:最大膨張圧9MPa
	複合動的注入設備	・長波:0.01~0.50Hz, 短波:2.0~10.0Hz 【初期仕様(設定値)】:長波0.06Hz, 短波6.0Hz

* 湧水量がない孔に対する注入省略, 2次孔の透水性が低い場合の3次孔省略基準により, 減少する可能性あり。
 ** 90分未満でも流量がゼロ(0.0L/分)の場合はダム押しに移行して注入完了。
 *** 開始配合からスタートし, 定圧注入時に流量増加時やリーク発生時には, 段階的にゲルタイム35分までの短い配合に変更する。

2. 注入実績の概要

注入実績の概要を表-3 に示す。リングあたりのグラウト孔はチェック孔を含めて26本, 全6リングで合計

表-3 ポストグラウトリング毎の注入実績のまとめ

リング	削孔本数	注入孔本数	総湧水量*(L/min)	平均単位湧水量*(L/min/m)	平均ルジオン値*(Lu)	超微粒子セメント		溶液型グラウト		
						総注入量(L)	単位注入量*(kg/m)	総注入量(L)	単位注入量*(L/m)	
No.1	仕様確認	26	25	35.0	0.32	0.58	3051.4	8.1	801.3	23.6
No.2		26	23	254.9	1.62	0.75			11757.5	95.6
No.3	標準	25	9	41.0	0.38	0.25			1585.4	39.4
No.4		26	20	28.1	0.24	0.27			2700.8	27.4
No.5		19	10	12.0	0.13	0.28			3083.1	65.4
No.6		19	6	5.9	0.07	0.23			565.2	26.9
計		141	93	376.9	平均0.52	平均0.42	3051.4	平均8.1	20493.3	平均54.9

* 総湧水量:各孔の湧水量の合計, 平均単位湧水量:各孔の単位湧水量についてのリング毎または全孔の平均値, 平均ルジオン値:各孔のルジオン値についてのリング毎または全孔の平均値, 単位注入量:各孔の注入量についてのリング毎または全孔の平均値。

キーワード ポストグラウチング, グラウト施工, 大深度, 高水圧, 溶液型グラウト, 複合動的注入
 連絡先 〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64 瑞浪換気立坑工事 TEL0572-67-3061 FAX0572-66-4130

156本の仕様であったが、No. 5とNo. 6リングでは2次孔の透水性が低く、3次孔を省略したことから合計141本の削孔実績であった。そのうち、湧水量がない場合は注入を省略したため、注入を実施したのは93本であった。また、溶液型グラウトのみを注入したリングのうち総湧水量・平均単位湧水量・平均ルジオン値・総注入量が最も大きいのはNo. 2リングであった。施工状況を図-1に示す。



図-1 施工状況

3. 新しい技術の施工性

(1) 注入範囲：プレグラウチング範囲の外側の改良について

プレグラウチング範囲の外側注入時は、壁面リークがほとんど発生せず良好な施工結果であった。No. 1リングではグラウト孔のパッカー位置より手前部から滴水（自孔リーク）が多く発生したが、パッカーを1m壁側に設置してプレグラウチング範囲と重ねることによりNo. 2リング以降の自孔リークを減らすことができた。

一方、プレグラウチングと重複範囲を注入時は、水押し試験時に壁面へ大量の注水リークが発生した孔があった。その際は、パッカーを深部に設置すること、複合動的注入の設定効果を弱めることや溶液型グラウトを短いゲルタイムの配合に変更することにより、リークすることなく水押し試験と注入が実施できた。しかし、いずれもグラウト浸透効果を弱める処置のため、十分な止水ゾーンが形成できないことが懸念された。

(2) 注入材料：溶液型グラウトの適用について

No. 1リング付近の壁面上部は超微粒子セメントのみで改良し（表-1）、自孔リークを含めた上部からの滴水が多かったのに対し、他リングでは全て溶液型グラウトを用いて滴水が比較的少なかった。このことから、微細亀裂への浸透性が高い溶液型グラウトの適用効果が高いと推察できる。また、湧水量が数L/min程度のグラウト孔が多いなか、No. 2リングでは



完全に止水

図-2 大量湧水のグラウト孔の溶液型グラウトによる止水結果

1孔のみで130L/minの大量湧水の孔が出現した（図-2）。水押し試験の結果は3Lu以下であったため超微粒子セメントではなく溶液型グラウトを注入したところ、完全に止水することができた。ただし、注入規定量による終了基準（500L到達、表-2）では止水できず、流量による終了基準（ダメ押し注入、表-2）により再注入を実施して止水可能となった。これ以降はダメ押し注入による終了を優先することによって良好な止水効果が発揮されたことを確認するとともに、注入規定量については350L/m（孔長あたりの規定量）が妥当であるという知見を得た（その4の図-3参照）。ダメ押し注入で終了した場合は、ゲル化寸前までの注入となることでグラウトの亀裂内部からの流出防止に有効であったと推察できる。透水性の低い孔では注入量が少なく廃棄率が多いという問題があったが、溶液型グラウトは透水性の低い孔から高い孔まで有用であることが確認できた。

(3) 注入方式：複合動的注入の適用について

平均5.0MPaの高圧注入のためか複合動的注入の圧力変動が大きい傾向にあり、周波数の設定値を長波0.10Hz、短波6.0Hzと変更することで安定した注入が可能となった。一定圧で注入中に注入流量（注入速度）が増加する場合、複合波を制御・切断することで即座に注入流量が元に戻ることが判明した。また、注入流量が1~2L/min程度の場合、一時的に複合波が切断されたときは注入流量が0L/minとなり注入ができず、再度複合波を与えると注入流量が回復した。以上のことから、本手法は状況に応じて設定値を適宜変えることができるため操作性が高く、未適用時には浸透できない微細な亀裂にまで浸透可能と考えられるため水密性向上に有効であったと言える。