

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）
— グ라우チング実績と適用技術の有効性評価 —

清水建設株式会社 正会員 〇辻 正邦 正会員 小林 伸司
（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 江口 慶多

1. はじめに

瑞浪超深地層研究所の深度 500m レベルの研究アクセス南坑道の施工にあたり、先行ボーリングの調査結果に基づいて湧水抑制対策を必要と判断し、プレグラウチングの仕様を検討した¹⁾。本稿では、その仕様をもとに施工したプレグラウチングの実績と、適用したグラウチング技術の有効性評価について報告する。

2. プレグラウチングの施工実績

プレグラウチングの施工に際し、排水ポンプ能力を考慮した許容湧水量を満足し、効率的に坑道掘削を進める必要があったため、「探り削孔によるプレグラウチング要否の判定」「地質状況に応じた注入材料の選定」「内挿法による追加孔の設定」「チェック孔による改良効果の確認」を実施した。研究アクセス南坑道における各グラウチングの施工位置と地質概要を図-1 に、注入結果の概要を表-1 に示す。探り削孔は、区間④で透水性が低く総注入量が少なかったことから、予測した割れ目が坑道に交差ししない可能性があることを考慮し、それ以降の区間の掘削前に実施した。プレグラウチングの要否は、深度 500m の排水ポンプ能力に基づく研究アクセス南坑道全体の許容湧水量（300L/分）から判定した。使用材料は、開口幅 4mm 以上の割れ目が存在すると予測した区間⑤に普通セメントを用い、その他の区間はそれ以下の微細な割れ目の改良を目的として超微粒子セメントを用いた。また、区間③、区間⑤、区間⑥においては 4 次孔まで追加孔を設けたあと、チェック孔により確認を実施した。区間毎のセメント注入量は、ヘアークラックと明瞭な開口割れ目が密集・混在する区間⑥が最も多く（約 9.3t）、その後施工した区間⑦（約 4.2t）、横坑交差部近傍の区間③（約 3.6t）の順に多い結果となった。

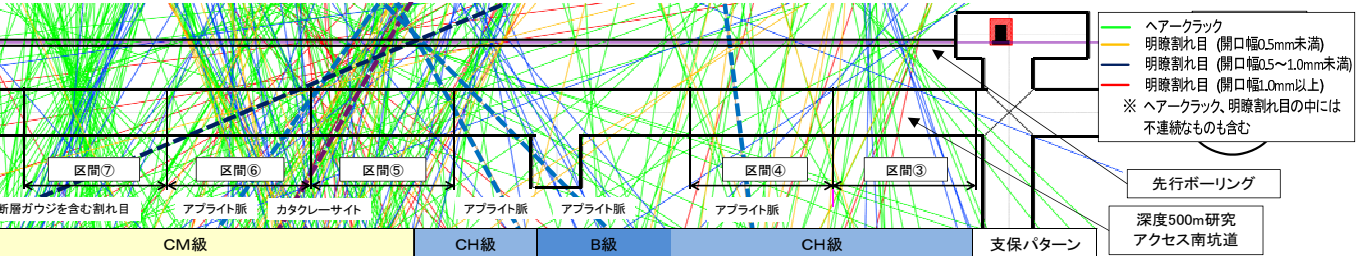


図-1 各グラウト区間の施工位置および先行ボーリング調査に基づく地質概要
表-1 注入結果の概要

注入区間	区間⑦	区間⑥	区間⑤	区間④	区間③
予測した割れ目の概要	ヘアークラックの密集部	明瞭割れ目密集部 ヘアークラックも密集	明瞭割れ目密集部	明瞭割れ目あり	明瞭割れ目あり
探り削孔の湧水量	最大 95L/分	最大 60L/分	最大 80L/分	（探り削孔なし）	（探り削孔なし）
使用材料	超微粒子セメント	超微粒子セメント	普通セメント	超微粒子セメント	超微粒子セメント
注入孔数[削孔長]	19 孔 [16m]	25 孔 [16m]	24 孔 [16m]	19 孔 [16m]	23 孔 [16m]
注入量[セメント量]	11,998L [4,157kg]	22,843L [9,330kg]	9,437L [2,012kg]	1,637L [377kg]	12,390L [3,617kg]
最終次数孔	3 次孔＋チェック孔	4 次孔＋チェック孔	4 次孔＋チェック孔	3 次孔＋チェック孔	4 次孔＋チェック孔

2. 掘削後の地質・湧水状況

壁面観察結果では、全区間を通じて開口幅 1mm 以下の割れ目にもグラウト充填が認められた。底盤の地質スライス図を図-2 に示す。先行ボーリング調査から予測した CM 級区間の区間⑤～⑦だけでなく、横坑交差部近傍の区間③においても割れ目が密集していた。区間⑦の掘削終了時にアーチ部の湧水調査を実施したところ、湧水は主に

これらの割れ目密集エリアに認められた。湧水の発生箇所（壁面での調査結果を底盤に投影）を図-2 に合わせて示す。なお、換気立坑の排水量を基に算定した研究アクセス南坑道全体の掘削後の概算湧水量は 161L/分であった。

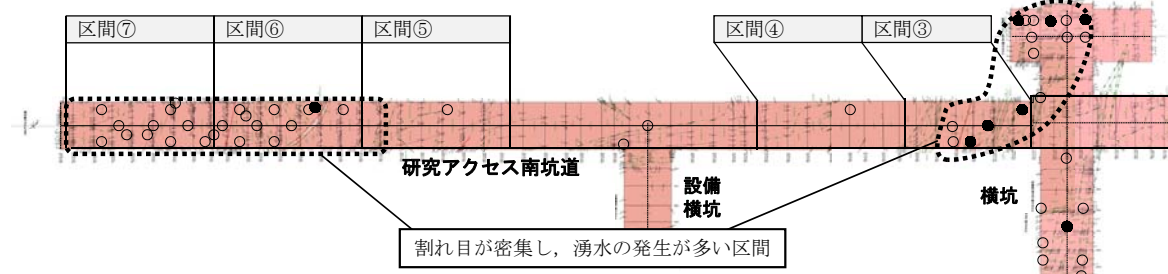


図-2 坑道底盤の地質スライス図と湧水の発生箇所（湧水箇所：○，1.5L/分以上の湧水箇所：●）

3. 適用技術の有効性評価

材料別の改良限界¹⁾と区間毎の各注入次数孔の最大ルジオン値を表-2 に示す。区間⑤～⑦では、既往の改良限界値に到達したことから、十分な改良ができたといえる。ただし、区間⑥と⑦は図-2 に示すように少量の湧水や滴水の発生する箇所が多く、これらは超微粒子セメントで止水できないへアークラックに起因すると考えられる。一方、区間③は、注入次数を増やしても改良限界値に到達していない。この原因として、グラウト注入時に隣接する坑道壁面からリークが発生したことや、掘削による緩み（亀裂開口）などが構造上発生しやすく、難しい施工条件であったと推察できる。このような条件下では、追加孔やチェック孔基準などの注入仕様に改善の余地があると考えられる。次に、グラウチング設計時の湧水量予測手法¹⁾を用い、区間毎の予測湧水量（計算値）を算定した結果を合わせて表-2 に示す。その結果、実測値（161L/分）は計算値の合計（292L/分）の半分程度となった。ただし、この実測値は区間③～⑦以外に湧水が多い横坑の湧水量も含むことから、当該区間の概算湧水量（実測値）はさらに計算値を下回ると考えられる。その理由として、予測湧水量の算定にグラウト範囲の透水係数を「一様な改良限界値」と仮定したことが考えられる。実際の透水係数は岩盤割れ目がない部分など低透水性部と改良部の平均値であるため、予測湧水量が過大に算定された可能性がある。なお、注入を実施しなかった区間の湧水は少なく、探り削孔による判定は効率的な施工に有効であった。以上のように、探り削孔、材料選定、追加孔の設定、チェック孔による確認を適切に実施したことにより、概算湧水量（実測値）は許容湧水量の約半分となり、また、効率的に坑道掘削を進めることができた。したがって、本坑道に適用したグラウチング技術は、高水圧と低透水性岩盤といった既往実績がほとんどない条件下において有効であったと評価できる。

表-2 各区間における注入次数孔の最大ルジオン値および湧水量の比較

注入区間	区間⑦	区間⑥	区間⑤	区間④	区間③
改良限界(セメント種類)	0.2Lu (超微粒子)	0.2Lu (超微粒子)	0.7Lu (普通)	0.2Lu (超微粒子)	0.2Lu (超微粒子)
各注入次数孔の最大ルジオン値 (Lu)	0 次:2.9 1 次:5.0 2 次:0.2 3 次:0.2* チェック:0.1	0 次:2.9 1 次:25.0 2 次:4.3 3 次:0.9 4 次:0.4 チェック:0.2*	0 次:0.3 1 次:3.8 2 次:1.9 3 次:1.0 4 次:1.7 チェック:0.7*	1 次:0.1 2 次:0.1 3 次:0.0 チェック:0.0	0 次:3.4 1 次:1.0 2 次:1.0 3 次:0.5 4 次:0.5 チェック:0.8
予測湧水量 (計算値)	76 L/分	76 L/分	51 L/分	49 L/分	40 L/分
計算値の合計	292 L/分				
概算湧水量 (実測値)	161 L/分 (ただし、区間③～⑦以外も含む)				
許容湧水量	300 L/分				

* 太字は既往の改良限界値（超微粒子セメント：0.2Lu，普通セメント：0.7Lu）と一致

4. おわりに

CM 級区間のへアークラック密集部から一定量の湧水が発生したように、高水圧下では普通セメントと超微粒子セメントの材料選定だけでは湧水抑制効果に限界があると考えられる。このため、許容湧水量に応じて超微粒子セメントより浸透性が高く改良限界値が低い溶液型グラウト²⁾などを使用材料として検討することが望ましい。

参考文献

- 1) 小林他：瑞浪超深地層研究所の深度 500m におけるグラウト技術（その 1），土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集（投稿中），2014。
- 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講演論文集，179-194，2011。