

耐久性に優れた溶液型グラウトの水圧抵抗性に関する原位置試験

清水建設 正会員 ○延藤遵, 杉山博一, スウェーデン王立工科大学 辻正邦

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研究の基盤となる深地層の科学的研究を目的として岐阜県瑞浪市において瑞浪超深地層研究所を建設中である(図1)。同研究所の換気立坑は良好な花崗岩中に位置しているが、花崗岩中に存在する透水性割れ目より立坑掘削時に湧水が発生する。そこで、高い湧水抑制効果と耐久性が期待できるコロイダルシリカグラウト(以下、溶液型グラウトと称す)を用いた試験施工を、換気立坑の深度300mのボーリング横坑で実施した。この試験施工において、岩盤中に注入した溶液型グラウト浸透範囲に9MPaを超える水圧を作用させ、グラウト材の抵抗力を確認する水圧抵抗性試験を実施した。本書では、試験施工の概要とその結果に対する簡易な試算結果を報告する。

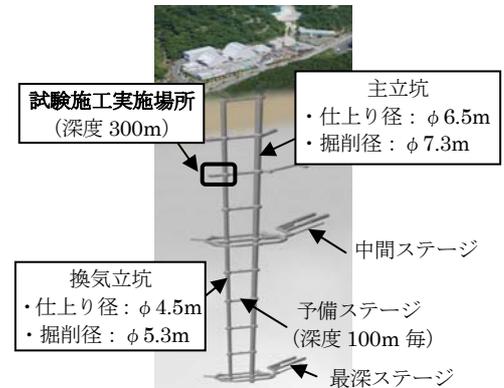


図-1 瑞浪超深地層研究所のレイアウト計画

2. 試験施工の概要

(1) グラウト注入試験

ボーリング横坑の底盤から下向きに、ボーリング孔を7本(孔径66mm, 孔長6m)削孔し、パイロット孔の周囲に1次孔3孔と2次孔3孔を、孔間隔が先端で1.5m以下となるように配置した(図2)。グラウト材として強化土エンジニアリング製パーマロック Hi-R を使用し、パイロット孔を除く6孔に湧水圧(0.8~1.2MPa) + 2MPa で注入(パッカーをボーリング深度3mに設置)した結果、1次孔②と③、2次孔④の3孔で100Lを超えるグラウトを注入出来た(表-1)。改良効果は、パイロット孔の湧水量とルジオン値により確認しており、ルジオン値はグラウト注入前の0.29Luから、1次孔注入後に0.04Lu、2次孔注入後に0.0Luに低下した(図3)。また、グラウト注入時に、パイロット孔の湧水圧を測定した結果、最初にグラウト注入した1次孔③において湧水圧が特に有意に上昇(0.6MPa)しており、パイロット孔との連結性が高いことが確認された。パイロット孔と1次孔③の区間湧水量測定結果(表-2)より判断すると、両孔ともに5~6m間に透水性割れ目が存在し、同区間で連結していたものと考えられる。

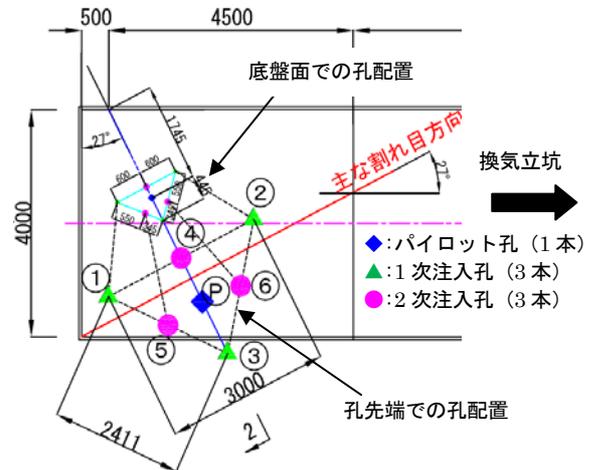


図-2 グラウト孔配置図(平面図)

表-1 グラウト注入結果一覧表

注入孔番号	注入順序	Lu値	最大注入圧 (MPa)	グラウト注入結果		
				ゲルタイム	注入量	注入時間
1次孔①	2	0.1	3.2	180分	13.6 L	60分
1次孔②	3	0.5	3.0	120分	104.5 L	119分
1次孔③	1	0.7	2.8	180分	156.0 L	132分
2次孔④	4	0.4	2.9	120分	104.9 L	117分
2次孔⑤	6	0.2	3.0	120分	15.0 L	60分
2次孔⑥	5	0.0	3.0	120分	1.4 L	29分

(2) 水圧抵抗性試験

グラウト注入後2日間養生した後に、パイロット孔に超高圧エアパッカーを設置し、2MPaから1MPaずつ段階的に昇圧し(3分間圧力を保持)、グラウト改良区間に最大10MPaまで水圧を作用させることとした。深度3mにパッカーを設置して1回目の注水を実施したところ7MPaまで昇圧した際に、2次孔④から注水のリークが見られた。次に、パッカー設置深度を4mに下げて、2回目の昇圧を実施したところ、5MPaまで昇圧した際に、注水量が急激に増加し、8.5MPaで昇圧を終了した。3回目は、2回目と同条件にて昇圧した結果、5MPaまではほぼ

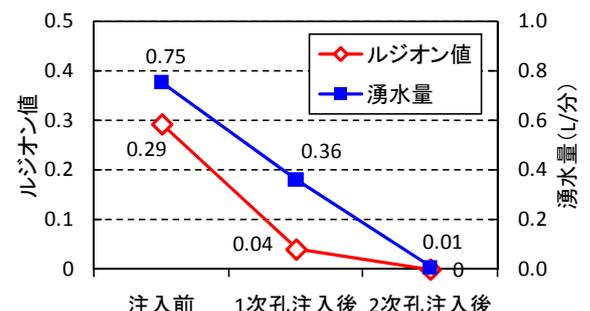


図-3 ルジオン値と湧水量(パイロット孔)

キーワード: 溶液型グラウト, 水圧抵抗性, コロイダルシリカ, 試験施工

連絡先: 〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3 シーバンスS館, TEL:03-5441-0552, FAX:03-5441-0512

同様な履歴を示したが、5MPa 以降の注水量の増加は緩やかとなり9MPaまでは安定して昇圧可能であった。しかし、9.5MPa まで昇圧すると、ポンプの吐出量が限界に達したため試験を終了した。パイロット孔からの湧水量は、試験開始時は0.01L/分であり、2回目と3回目の試験後は0.13L/分まで増加したが、翌朝には0.10L/分に減少した。グラウト注入前の湧水量が0.75L/分であることから、9MPa 以上の水圧を作用させた後も、グラウト材による湧水抑制効果が大きく低下したわけではないと言える。

3. 水圧抵抗性試験結果の分析

Fransson ら²⁾ は、湧水圧・湧水量測定結果より、(式-1)により透水量係数 T_f (m²/s) を推定し、3乗則を用いて(式-2)により割れ目の亀裂開口幅 b を推定する方法を提案している。

$$T_f \approx \frac{Q}{dh} \quad \text{(式-1)}, \quad b = \left(\frac{12\mu_w \cdot T_f}{\rho_w \cdot g} \right)^{1/3} \quad \text{(式-2)}$$

ここに、 Q : 湧水量(m³/s), dh : 水頭(m), g : 重力加速度(m/s²)
 ρ_w : 水の密度(kg/m³), μ_w : 水の粘度 (Pa・s)

1次孔③のBTV観察では、深度5~6mに7本の亀裂が存在することが確認されている。7本の亀裂が、開口幅が等しいディスク状の2次元亀裂であると仮定すると、湧水量が1.76L/分(湧水圧=0.8MPa)であることより、(式-1)と(式-2)より1本の亀裂の開口幅は40μmとなる。この7本の亀裂にグラウトが均等に145.7L(156.0Lの注入量より注入孔中に残る10.3Lを差し引く)注入された場合、グラウトの浸透範囲は12.9mとなり、パイロット孔周囲には少なくとも1次孔③の注入により12.0mの改良範囲が存在することになる(図5)。室内試験結果より溶液型グラウトの花崗岩との付着強度は0.2kN/m²以上と推定されている³⁾。孔径の66mm幅で抵抗する1次元状付着抵抗モード(図-6)を想定すると、仮に均一に付着抵抗力が発揮された場合には、最大120MPaまで抵抗可能となるため、9.5MPaの高圧に抵抗できたものと推定される。

$$p = \frac{2L\tau}{B} = \frac{2 \times 12m \times 200N/m^2}{40 \times 10^{-6}m} = 1.2 \times 10^8 N/m^2 (= 120MPa)$$

4. まとめ

溶液型グラウトの水圧抵抗性に関する原位置試験を実施した結果、9MPaを超える水圧を作用させても湧水抑制効果が大きく低下することはなかった。注入後のグラウト材が有する水圧抵抗力は、亀裂特性(開口幅、形状等)やグラウト注入範囲により変わることが予想されるが、その抵抗メカニズムは現状では明白ではない。本報が、同種の研究を進展させる上で、何らかの参考になれば幸甚である。なお、今回の試験施工の実施に際しては日本原子力研究開発機構の山本氏、松井氏、神谷氏、石井氏(当時)、ライト工業の春山氏、大西氏、熊田氏、応用地質の下山氏に多大の協力を得た、ここに記して感謝の意を表する。

参考文献: 1) 延藤 尊, 辻正邦, 草野隆司, 見掛信一郎, 神谷 晃, 石井洋司: 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) 2) Fransson Å.: Characterization of a fractured rock mass for a grouting field test. Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.16, pp.331-339 (2001) 3) 杉山博一, 延藤 尊: 耐久性に優れた溶液型グラウトの水圧抵抗性に関する室内実験, 第66回土木学会年次学術講演会(2011)

表-2 区間湧水量 (L/分)

測定区間	パイロット孔	1次孔			2次孔		
		①	②	③	④	⑤	⑥
湧水圧 (MPa)	0.8	1.2	1.0	0.8	0.9	0.0	0.0
3.0~4.0m	0.0	0.15	1.15	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0~5.0m	0.04	0.01	0.53	0.0	0.17	0.0	0.0
5.0~5.5m	0.03	0.07	0.02	1.76	1.92	0.0	0.0
5.5~6.0m	0.68						

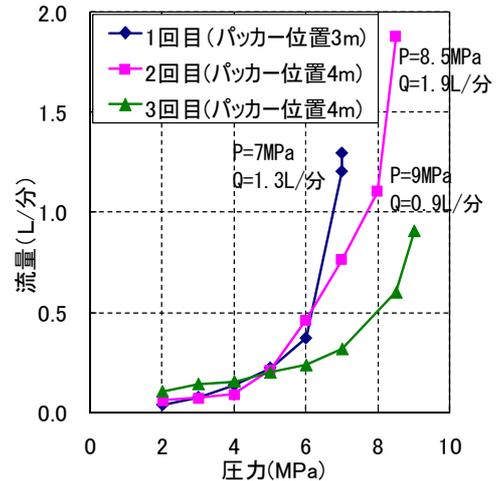


図-4 注水圧力と注水流量の関係

表-3 流出抵抗性試験前後の湧水量

試験回数	パッカー設置深度(m)	湧水量 (L/分)	
		開始時	終了後
1回目	3.0	0.01	0.06
2回目	4.0	0.06	0.13
3回目	4.0	0.11	0.13*

*翌朝には0.10L/分に減少

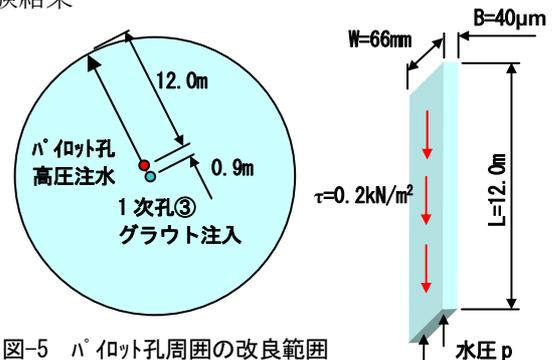


図-5 パイロット孔周囲の改良範囲

図-6 抵抗イメージ図