

溶液型グラウトの岩盤亀裂内での高水圧抵抗性に関する室内模型実験

清水建設 正会員 ○杉山 博一

清水建設 正会員 延藤 遵

1. はじめに

筆者らは溶液型グラウトの岩盤亀裂内での高水圧抵抗メカニズムを検討するため、平行平板装置を用いた模型実験を行ってきた^{1), 2)}。本研究では、より実際に近い状態を再現することを目的に、人工的に作成した亀裂のある岩石供試体を用いて同様の模型実験を行い、溶液型グラウトの高水圧抵抗性について検討した。

2. 実験の概要

(1) 溶液型グラウトの配合

本研究で用いた溶液型グラウトの配合を表-1に示す。配合名はコロイダルシリカの型番でもあり、これまでの研究で用いてきたHiシリカ-30と、それよりもさらに粒径が小さく浸透性に優れるHi-R³⁾を対象とした。

(2) セン断強度試験

溶液型グラウトのせん断強度特性を把握するため、直径5cm、高さ10cmのホモゲルの供試体を作成し、材齢を1, 7, 28日として一軸圧縮試験(JIS A1216)、および三軸圧縮試験(JGS 0521)を行った。圧縮速度はいずれも1mm/minであり、三軸圧縮試験の拘束圧は50, 100, 150kPaの3条件とした。せん断強度試験の結果を表-2にまとめる。

(3) 人工亀裂のある岩石供試体を用いた高水圧抵抗性実験

図-1に実験装置の概要図を示す。岩石供試体はブロック状の稲田花崗岩を3点曲げによって割り、亀裂面が直径位置になるように直径10cm、高さ20cmの円柱状に成形した。供試体の周囲にはシリコンを充填して止水性を確保した。

実験手順は、まずグラウトする前に透水試験を行い、水理学的亀裂開口幅および亀裂の透水係数を求めた。その結果を表-3に実験条件として示す。次に表に示した配合のグラウトを岩盤亀裂内に充填する。1日後に図-1に示すように経路を脱気水で満たしたのち、高水圧を作用させて限界水圧を求める実験を行った。具体的には、空圧制御式ピストンを用いて水圧を段階的に上げていき、その時の水の浸透量をピストンに取り付けた変位計の計測値から求めた。

表-1 溶液型グラウト(1L)の配合

配合名		コロイダル シリカ	硬化 促進材	イオン 交換水	合計
Hi-30	質量(g)	970.4	14.7	192.7	1177.8
	容積(mL)	800.0	7.3	192.7	1000.0
Hi-R	質量(g)	968.0	10.9	194.5	1173.5
	容積(mL)	800.0	5.5	194.5	1000.0

表-2 溶液型グラウトのせん断強度

		qu (kN/m ²)	Cu (kN/m ²)
Hi-30	1日後	24.5	19.2
	7日後	43.5	28.1
	28日後	67.0	41.7
Hi-R	1日後	25.1	16.4
	7日後	36.2	22.5
	28日後	48.1	57.8

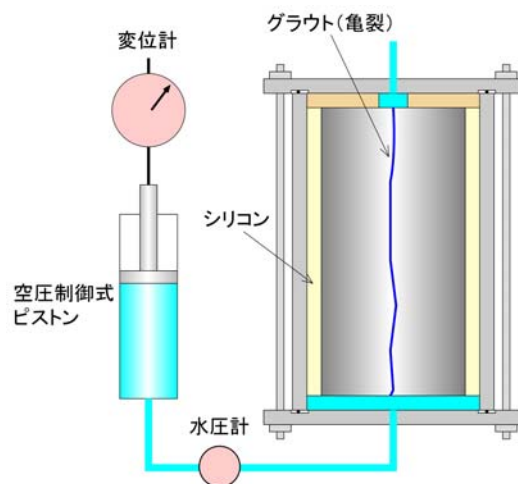


図-1 実験装置の概要図

表-3 実験条件

供試体名	平均水理学的 亀裂開口幅 e (μm)	亀裂の 透水係数 k (m/s)	使用した グラウト 配合名
#1	88	6.4×10^{-3}	Hi-30
#2	71	3.9×10^{-3}	
#3	147	1.8×10^{-2}	
#4	232	4.2×10^{-2}	
#5	340	9.5×10^{-2}	Hi-R
#6	85	5.6×10^{-3}	

キーワード 岩盤亀裂, 溶液型グラウト, 止水

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 TEL: 03-3820-6978

3. 高水圧抵抗性実験の結果

図-2 に作用させた水圧と亀裂への透水量（流量）を示す。図-3 は図-2 の横軸，縦軸をそれぞれ動水勾配，亀裂の透水係数に換算したものを示す。両図から，グラウトが押し出される状況は大きく 2 パターンに分けることができる。一つは亀裂開口幅が狭いケースで，この場合，グラウトが十分に充填されていない箇所があるため，载荷開始直後から多少その部分から漏水し，圧力上昇過程で徐々に透水量が増加する傾向がある。もう一つは亀裂開口幅が大きいケースで，この場合，グラウトは亀裂にほぼ完全に充填されているため，载荷開始直後から透水はほとんどなく，圧力上昇過程で突然抜けるという傾向がみられた。表-4 に図-2,3 から読み取った限界水圧をまとめた。

4. 考察

グラウトの高水圧抵抗性を評価する検討式²⁾を示す。

$$\tau_s = \frac{e \cdot p}{2L} = \alpha \cdot Cu \quad (1)$$

ここに， τ_s ；亀裂面とグラウトとの平均付着強度， e ；亀裂開口幅， L ；亀裂長， p ；限界水圧， Cu ；グラウトのせん断強度（1 日後の粘着力）， α ；平均付着強度と粘着力の関係を示す係数

式(1)を用いて試算した平均付着強度と係数 α を表-4に示す。限界水圧の時に亀裂とグラウトの間に発揮される平均付着強度は 0.3kN/m^2 程度で，せん断強度の 1.5%程度（係数 $\alpha=0.015$ ）と評価できる。図-4 に亀裂長 0.2m ，注入 1 日後を条件とする場合の亀裂開口幅と抵抗水圧の関係を示す。実験で確認された限界水圧を検討式で試算できていることが分かる。

5. まとめ

溶液型グラウトの岩盤亀裂内での高水圧抵抗性について検討した。今回設定した実験条件の範囲では溶液型グラウトと岩盤亀裂との平均的な付着強度は，溶液型グラウトのせん断強度の 1.5%程度見込むことができることを確認した。今後は進行性破壊の可能性や長期的な安定性について検討する予定である。

謝辞：本論文をとりまとめるにあたり，日本大学の三田地教授，学部生（当時）の鈴木拓君，武田太郎君にご協力をいただきました。さらに，強化土エンジニアリング様よりコロイダルシリカのサンプルを提供していただきました。ここに謝意を表します。

参考文献：1)新貝文昭ら：地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 5）－溶液型グラウト材料の適用性に関する試験－，土木学会第 64 回年次学術講演会，2009。

2)杉山博一ら：耐久性に優れた溶液型グラウトの岩盤亀裂内での高水圧抵抗メカニズムに関する実験と考察，第 40 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，講演番号 36，土木学会，2011。

3)延藤遵ら：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集，講演番号 32，土木学会，2011。

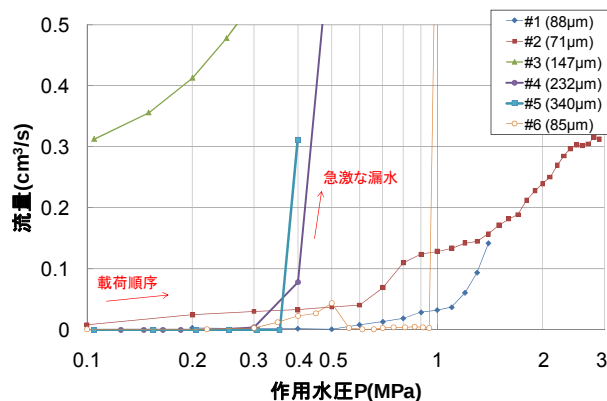


図-2 作用水圧と透水流量の関係

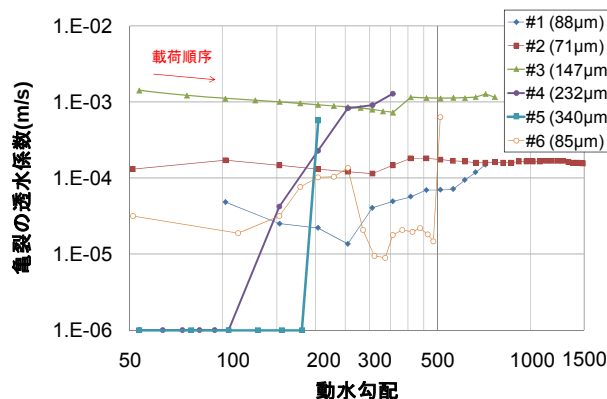


図-3 動水勾配と亀裂の透水係数の関係

表-4 実験結果のまとめと試算結果

グラウト 配合	供試 体名	水理学的 亀裂 開口幅 e (μm)	限界水圧 p (MPa)	平均 付着強度 τ_s (kN/m ²)	係数 α
Hi-30	#1	88	1.2	0.26	0.014
	#2	71	1.6	0.28	0.015
	#3	147	0.8	0.29	0.015
	#4	232	0.5	0.29	0.015
	#5	340	0.35	0.30	0.015
Hi-R	#6	85	1.0	0.21	0.013

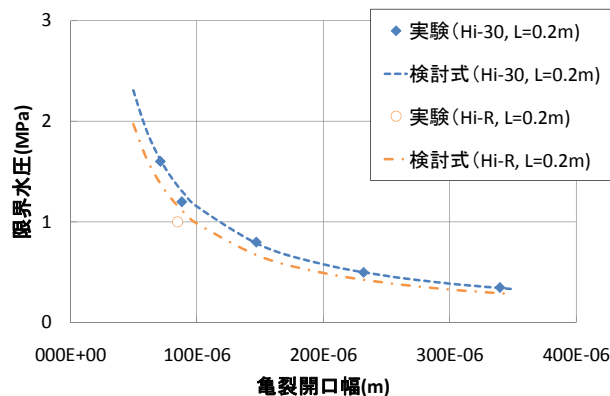


図-4 実験結果と検討式（試算）の比較