

岩盤シールドを対象とした逆流グラウト工法の注入効果の評価

(株)大林組 正会員 ○山下 健司 正会員 諸富 鉄之助
正会員 三浦 俊彦 山内 健二

1. はじめに

シールド工事は、長距離化・大深度化が進んでおり、高水圧下でのビット交換が増加している。シールド工事では、人が切羽に入りビット交換するため、地盤改良による止水が必要になる場合が多い。従来は、地上やシールド機内から削孔・注入するため、工費・工期面で不利となっていた。そこで、削孔せず止水性を確保できる逆流グラウト工法を岩盤泥水シールド現場に適用した。本工法は施工件数がまだ少なく、対象地盤・水圧等の施工条件に応じた施工方法（注入圧・養生時間等）や材料選定方法（強度・ゲルタイム等）が確立されていない。そこで本研究では、逆流グラウト工法の設計手法の確立を目的とし、現場を室内で模擬できる試験装置を考案し、まずは、本工法採用現場の再現性・注入効果を確認した。その後、養生時間をパラメータとして注入効果への影響を評価した。

2. 逆流グラウト工法

施工手順は次の通りである。①流体を停止し地下水圧を確認する。②排泥ポンプで強制的にチャンバー内の泥水を排泥し切羽圧を低下させる。排泥ポンプを停止し、排水量と切羽圧低下量から切羽解放時の湧水量を確認する。③機内の注入孔から地下水圧より若干高い圧力で注水し、岩盤の亀裂に逆流（水流）を発生させる。④別の注入孔からグラウト材を注入し、逆流にのせて亀裂にグラウト材を充填させる（図1）。⑤充填が進むと、逆流流量が徐々に減少していく。逆流流量がなくなった時点で終了する。⑥排泥ポンプで切羽圧を低下させ湧水量を再確認する。効果が不十分な場合は、③～⑤を繰り返す。

3. 試験方法

3.1 供試体作製 地盤は、亀裂を有する岩石コアにより模擬した。高さ20cmの岩石（透水係数 1×10^{-9} m/s以下）2片を合わせて $\phi 5$ cmでコア抜きし、200 μ mのステンレス薄片（スペーサー）を挟み、亀裂を設定した。その後、中心部に亀裂を有する2つの岩石半円柱をエポキシ樹脂でカラム内に固定した（図2）。3体の供試体を作製し、それぞれ透水係数は $7.2 \times 10^{-6} \sim 2.2 \times 10^{-5}$ m/sの範囲であった。

3.2 注入試験 試験装置の模式図を図3に示す。コンプレッサーにより圧力をかけ、水タンクからカラム内の亀裂に下向流で水を流し（逆流水）、チューブポンプにより送液された2液がT字管内でシヨットし、その後流水に乗って亀裂内に流れ込む装置である。水タンク直下の水圧計、カラム上盤内側の土圧計、水配管に取付けた流量計（出力下限値40 mL/min）により、注入時の水圧・逆流量を経時的に測定した。逆流量の減少は、グラウトが亀裂を閉塞することによる供試体透水係数の低減を意味している。また、カラム上部の土圧計地点の水圧は現場における切羽圧に相当し、この圧力を注入圧と定義した。

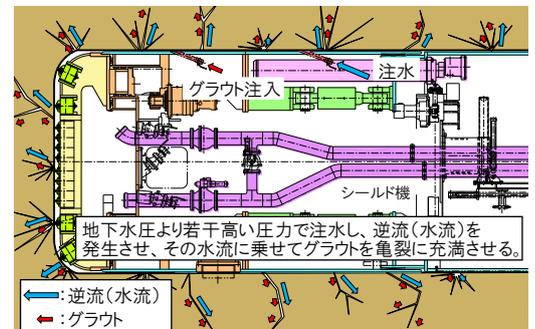


図1 逆流グラウト工法模式図

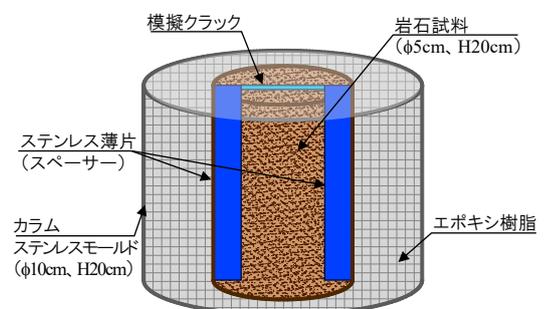


図2 供試体模式図

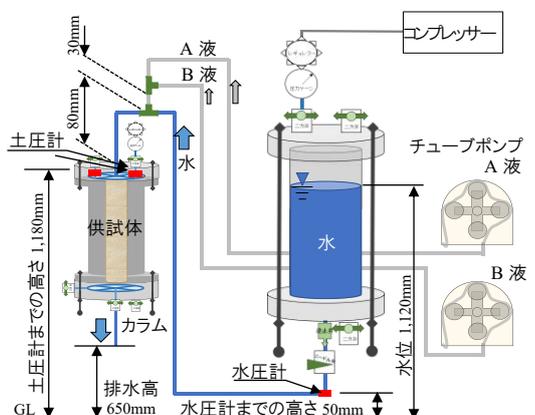


図3 注入装置模式図

キーワード 逆流グラウト工法, シールド, 注入工法, 高水圧, 岩石, 透水係数

連絡先 〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 自然環境技術研究部 TEL 042-495-1081

再現した現場施工条件と本検討で設定した試験条件を表 1 に示す。配管内での閉塞を防ぐため、ゲルタイムは 50s とした。これらのグラウトの品質を満足する配合を決定するため、セメント添加率、B 液添加率およびグラウトの温度をパラメータとした事前配合試験を実施した。その結果、A 液中セメント率 420 kg/m^3 、B 液添加率 25%、温度 10°C の条件でグラウトを採用した。

3.3 透水試験 注入効果を確認するため、養生後の供試体を用いて透水試験を実施し、透水係数の低減量を評価した。亀裂内のグラウトが水圧で押し出されないことも評価するため、透水試験中に圧力を増加した。上限値は再現現場の地下水圧である 375 kPa とした。

4. 試験結果

4.1 注入試験 一例として、透水係数 $k = 2.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ の供試体について、注入時の逆流流量・圧力変化を図 4 に示す。注入に伴い、逆流流量が減少し、注入圧が増加した。7 min 経過後に逆流流量がなくなり、亀裂がグラウトにより閉塞されたことを確認した。

4.2 透水試験 再現性を確認するため、現場施工条件と一致している養生時間 24 h のケースについて評価した。閉塞後の透水係数と圧力の関係を図 5 に示す。こちらも図 4 と同様の供試体のケースである。初期と比べて 1 オーダー程度、透水係数が減少した。また圧力が 375 kPa まで増加しても透水性は増加しないことから、グラウトの破壊もしくは亀裂からの剥離が発生しなかったと言える。現場でも注入後の湧水量は、注入前の $1/10$ 程度まで減少したことから、うまく現場を再現できたと考えられる。

次に養生時間による注入効果の違いについて考察する。養生時間 6, 12, 24 h のケースにおける結果を表 2 に示す。供試体の違いにより初期透水性にばらつきはあるが、養生時間が長いほど、透水係数が大きく減少している。ここから、現場の湧水低減量の目標値に合わせて、養生時間を設計できる可能性が示唆された。また、養生時間が 6 h と短時間であっても、 375 kPa 以上の耐力を有することを確認した。なお、今回は現場での地下水圧 375 kPa を付加してもグラウトの破壊・剥離が見られなかったため、養生時間の短縮、すなわち強度低下によるグラウト耐力の変化については評価できなかった。

5. おわりに

新しい地盤改良工法である逆流グラウト工法について、室内レベルで現場施工条件・現象を再現した。透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 程度の岩盤に対しての本工法の有効性を確認した。さらに養生時間をパラメータとして注入効果の違いを評価し、養生時間の増加が透水性低減量に影響することを確認した。今後は、より現場条件を再現できるように、グラウトのショット方式等を改良する予定である。さらに初期透水性やグラウト配合をパラメータとして試験し、本工法の適用範囲の検証や施工・材料の設計手法確立に向けたデータ取得を実施していきたい。

表 1 現場施工条件と試験条件

項目		単位	現場	試験室
地盤	地質	-	石灰岩	
	透水係数	m/s	1×10^{-5} 程度	$7.2 \times 10^{-6} \sim 2.2 \times 10^{-5}$
グラウト	材料	-	A 液:セメントベントナイト B 液:ケイ酸ソーダ	
	強度	MPa	3.6	
	ゲルタイム	s	20	50
初期逆流流量	L/min/m ²	86.6		
初期逆流水圧	kPa	外圧より若干高い圧力 現場:静水圧, 試験:大気圧		
グラウト注入量	L/min/m ²	3.0		
ショット方式	-	ベンチュリ管	T 字管	
養生時間	h	24	6, 12, 24	

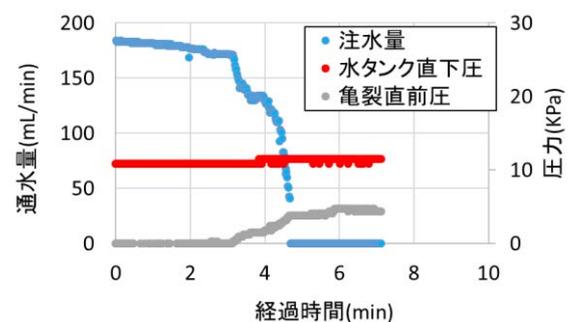


図 4 注入試験結果 ($k = 2.2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$)

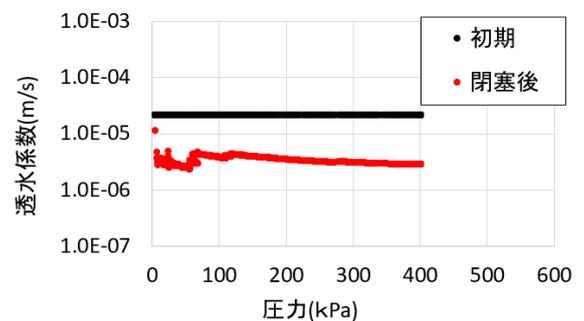


図 5 透水試験結果 (24 h 養生)

表 2 試験結果

実験ケース		結果		
養生時間	初期透水係数	閉塞後透水係数	透水係数比率	ゲル耐力
h	m/s	m/s	%	kPa
24	2.2×10^{-5}	3.3×10^{-6}	15	> 375
12	2.1×10^{-5}	3.7×10^{-6}	18	> 375
6	7.2×10^{-6}	3.2×10^{-6}	44	> 375