

VI-32

超微粒子セメントとカリアイト粘土を用いた注入試験について

東京電力㈱ 正会員 井上 素行
東京電力㈱ 正会員 千代田将明
㈱間 組 正会員 T.D.P.OANH
㈱間 組 正会員 亀井 隆夫
日本基礎技術㈱ 安部 章正

1. まえがき

グラウト工において、注入材と注入方法の選定が重要である。土質地盤に注入を行い、水理特性を改善する場合、注入材については、①地盤破壊を生じることなく、確実に注入でき、効果が十分期待できること、②長期的に安定であることを満足するためには注入材は、粒径が十分小さく、低圧力で長時間の連続注入が可能のように流動性に優れるとともに将来的に固結して安定な材料であることが必要である。また、注入方法については堤体にバレーンやハイドリフタリング等による亀裂、浸透性破壊を生じさせないように低圧力、低速度の浸透注入を行うことが必要である。

本試験は透水係数 $10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$ の土質地盤を対象に超微粒子セメントとカリアイト粘土を混合した注入材の注入効果を室内試験により確認したものである。

2. 注入材と供試体作成方法

1) 注入材

注入材は日鐵セメント社製の超微粒子セメント（スーパーファイン、以下セメントと記す）とジークライ社製のカリアイト粘土（ジークライMC、以下粘土と記す）の混合物とした。各々の主な役割は材料の固結と材料分離抑制、グランドリテイの改善である。また固化時間を延長する目的で遅延剤（花王社製774150）を使用した。

表一 1 に注入材料の化学成分、図一 1 にセメントと粘土の粒径加積曲線を示す。

注入材は所定の水と遅延剤を70リットルのポリバケツ容器に入れてハンドミキサーを用い1分間混合した後、攪はんしながらセメント、粘土粉末の順で投入し3分間混合して作成した。

2) 注入材の配合選定

配合試験結果から表一 2 の注入材の選定基準に基づき表一 3 に示す注入材を注入試験用に選定した。

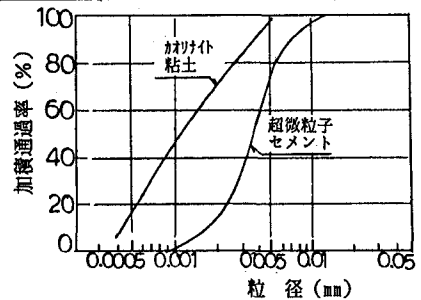
3) 供試体作成

地盤材料を $4.76 \sim 2 \text{ mm}$ 、 $2 \sim 0.42 \text{ mm}$ 、 $0.42 \sim 0.074 \text{ mm}$ 、 0.074 mm 以下の4試料に水洗いしながら7μで分級し、その後含水比が自然含水比付近になるまで自然乾燥した。

また、各々の粒径材料を適当な比率で混合し、直径10cm

表一 1 注入材料の化学組成 (%)

材料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO・MgO	SO ₃
超微粒子セメント	27	11	2	—	56	2
カリアイト粘土	56~58	26~28	—	6.5以下	2以下	—



図一 1 セメントと粘土の粒径加積曲線

表一 2 注入材の選定基準

評価項目	基準	備考
グランドリテイ	$D_{15}/G_{85} \geq 5 \sim 20$ (大きいほどよい)	D_{15} : 地盤の15%粒径 G_{85} : 注入材の85%粒径
注入材の最大粒径	$G_{max} < \frac{32\eta k}{n\rho g}$	η : 水の粘性係数=1.145cp k : 地盤の透水係数 (cm/s) n : 地盤の間隙率 ρ : 水の比重; g : 重力加速度
流動性	① $P_{70}-70 \leq 9.5 \text{ 秒}$ ② $T_{70}-70 \leq 25 \text{ 秒}$	現場適用時のポンプ圧送可能
硬化時間	3時間以上 (粘度の経時変化曲線の変曲点での時間)	

表一 3 注入試験に使用した注入材

配合番号	配合条件			試験結果			
	C/S	G/W	λ	マージン70-70 (秒)	P70-70 (秒)	1-10 ⁴ N/2 (dyn/cm ²)	硬化時間 (hr)
1	2/1	1/3	1.5	22.3	8.6	2.2	3
2	2/1	1/6	1.5	20.2	8.4	0.2	3
3	1/1	1/6	1.5	20.8	8.6	0.5	4
4	1/1	1/8	1.5	20.4	8.4	0.2	4

C/S: セメント/粘土比、G/W: (セメント+粘土)/水比、
 λ : 遅延剤/セメント比

高さ12.5cmのモルタルに締め固めた供試体で透水試験を行い、あらかじめ目標とする供試体の透水係数($10^{-5} \sim 10^{-2} \text{ cm/s}$)と粒度、密度の関係を求め、本試験用供試体の作成条件を決めた。次にこの条件下で直径56cm、高さ75cmのドラム缶に試料を重さ10kgのポリイソブレン・タンパーにより締め固めて供試体を作成した（図一2参照）。

3. 注入試験方法

静水圧により飽和させた供試体に透水試験を実施した後、注入試験を行った。注入後供試体を3日間養生したのち透水試験を行った。さらに試験後の供試体を解体し注入状況を観察した。

注入の管理は注入圧力と注入速度により行った。注入圧力は最大圧力を 0.18 kgf/cm^2 とし 0.04 kgf/cm^2 の刻みで昇圧し、各ステップの保持時間を10分間とした。最大注入速度は 0.6 リットル/分 ・注入区間 30 cm とした。

注入終了は①注入圧力が最大圧力に達し、しかも注入速度が 0.02 リットル/分 以下になった時、②規定注入量 9 リットル （注入率 $35 \sim 40\%$ に相当）に達した時、③注入材が供試体周囲の排水層に到達した時のいずれかの場合とした。

4. 試験結果と考察

表一4に試験結果を示す。また、図一3と4にそれぞれの地盤透水係数と注入率の関係、間隙率と透水係数の変化を示す。

試験結果により、次のことが判明した。

①透水係数 $k=7 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の地盤において配合No.2では注入率 $\alpha=15 \sim 38\%$ 、粘性が比較的大きい配合No.1の注入では注入率が小さく $\alpha=6\%$ 、また、 $k=2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 以下の地盤では配合No.3、4の注入率がそれぞれ6、7%となった。

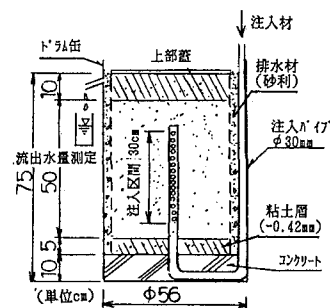
注入後の地盤の透水係数は間隙率の低減により注入前に比べて $1/6 \sim 1/12$ に小さくなった。

②注入材の粘性に影響を及ぼす主な要因として粘土添加量（粘土/セメント比 S/C ）と単位水量（水/（粘土+セメント） W/G ）が挙げられ、 S/C が大きいほど、 W/G が小さいほど注入材の粘性は増大する。

④注入材の注入速度は注入材の粘性による変化傾向は見られないが水の浸透速度のおよそ0.4倍となった。

5. あとがき

土質地盤への浸透注入において普通セメントよりさらに粒径が小さい超微粒子セメントとポリイソブレン粘土の混合材の注入効果が室内試験により確認された。超微粒子セメントとポリイソブレン粘土の混合材を現場の条件（流動性、固化時間等）に適合した配合を用いると共に低圧力、低速度で注入することにより、地盤破壊を生じることなく土質現場の水理特性を改善することが可能と考えられる。



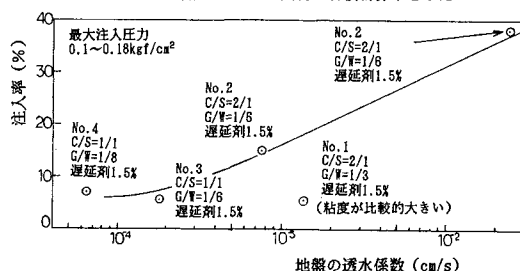
図一2 注入試験供試体

表一4 注入試験結果

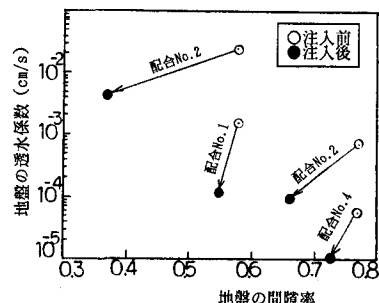
配合番号 ¹⁾	透水係数 (cm/s)		k/k_0	注入率 (%) ²⁾	注入材の透液係数 k' (cm/s)	k'/k_0	観 察 結 果
	注入前 k_0	注入後 k_1					
2	2.4×10^{-2}	4.4×10^{-3}	0.18	38	1.6×10^{-2}	0.67	供試体全面に浸透
1	1.4×10^{-3}	1.1×10^{-4}	0.08	6	1.2×10^{-4}	0.09	注入材が供試体周囲の排水層に到達した
2	7.6×10^{-4}	9.6×10^{-5}	0.13	15	3.1×10^{-4}	0.41	供試体の一部に浸透、浸透長さが比較的短い
3	1.9×10^{-4}	実施せず	—	8	—	—	同上
4	6.4×10^{-5}	9.0×10^{-6}	0.14	7	2.3×10^{-5}	0.36	同上

注1) 配合は表一3参照

注2) 注入率は地盤の間隙に対する注入材の容積百分率とした



図一3 地盤透水係数と注入率の関係



図一4 間隙率と透水係数の関係