

VI-45 新しいグラウト材の研究開発（その3） —— 室内拡大注入試験 ——

日本基礎技術(株)技術本部	正員 寺戸 康隆
西松建設(株)土木設計部	正員 寺本 勝三
電気化学工業(株)特殊混和剤事業部	寺村 悟
日本基礎技術(株)技術研究室	真居 正信

1. まえがき 今日、ジオフロンテやウオーターフロンテの開発のための地盤・岩盤注入におけるグラウト材には従来にない浸透性と長期耐久性に優れた材料が希求されている。筆者らは安定性があり一次粒子が超微粒のシリカフュームを主材にした新材料（シリカライムと命名）の開発を進めてきた。

第一段階では硬化剤の選定試験により反応材を消石灰に絞り各種配合による強度特性を確認した¹⁾。

第二段階では高浸透性を確保するためスラリーの高分散化の方法を試み、テーブルテストにおける評価法として簡易浸透装置（Φ50mm）の標準砂にグラウトを自然流下させる浸透性試験を実施し、浸透性を調べた²⁾。その結果、超微粒スラリーは凝集によって分散性が悪く一次粒子にくらべはるかに大粒化すること、通常の消石灰スラリーはブリージングが激しく、また浸透性の面ではまだ大きな粒子が含まれること、シリカフュームと消石灰が接触あるいは交わると瞬時に凝集が生じること等から、浸透性が阻害されることが分かった。そのため、凝集を遅らせ高分散性を維持させるための分散剤の開発を進めるとともに、化学的方法だけでは限界があるので、更に機械的分散化のため湿式粉碎攪拌の方法を研究した。今回、注入供試体（Φ300mm）の模型地盤に対して粉碎攪拌の仕様を変えて作成した各種材料・配合のスラリーの注入試験を実施し、スラリーの粒度組成を中心にした物性値と浸透性（グラウタビリティ比）の関係を調べた結果、新材料（シリカライム）の適用性がより明らかになったので結果をここに報告する。

2. 試験概要

2.1 試験装置 注入試験装置は図-1に示す。

Φ300mmの注入供試体に標準砂あるいは珪砂7号を水締めしたものを模型地盤にし、注入方式は短ニップルによる全断面静圧注入方式を採用した（最初ストレーナーを模型地盤に挿入したが、砂による目詰まりが著しかったので取り止めた）。加圧装置はエアを使用した。混合攪拌には粉碎攪拌機（ミル）を使用した。回転数と攪拌時間は種々のケースを試みた。

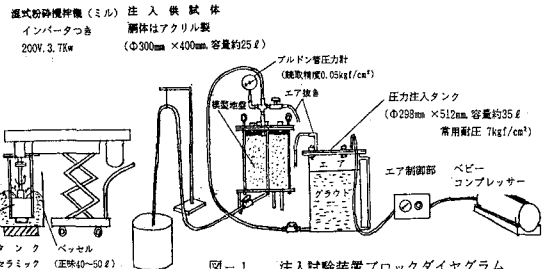


図-1 注入試験装置ブロックダイアグラム

2.2 試験方法 最初に地盤の乾燥密度、間隙率および相対密度を測定したのち透水試験を行い、引き続きグラウトの注入試験を行った。グラウトは事前にミルで粉碎攪拌し、スラリーのファンネル粘性、回転粘度計の粘性、粒度等を測定した。

粒度分析はレーザー回折による分析装置によって即時に求めた。

2.3 使用材料 シリカライム（主材：シリカフューム，反応材：消石灰，比率は1：1）を使用し、比較材料として超微粒子セメントを使用した。分散剤はシリカライム、シリカフューム、消石灰ともポリカルボン酸（濃度40%）を使用した。添加は基本的には粉碎攪拌終了直前に行った（あと添加）。

なお、粘性が増加して攪拌しにくくなるとその時点で一部を消化した。超微粒子セメントの分散剤に

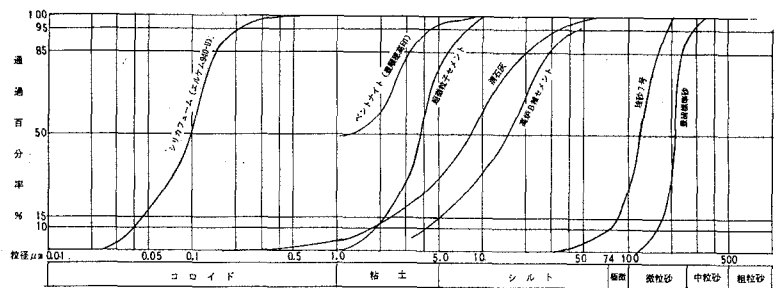


図-2 注入材料および模型地盤の粒度分布

はマイティ150(濃度40%)を使用した。主材と反応材の混合方法は、短時間攪拌のケースでは粉体同時攪拌としたが、長時間攪拌のケースではそれぞれのスラリーを攪拌し、そのあと混合攪拌した(スラリーの攪拌時間が異なる場合は短い方の時間を解析ではカウントした)。水比は主材と反応材に対し4倍と3倍のケースを選んだ。図-2は使用注入材料と模型砂地盤の粒度分布を示す。

3. 試験結果 注入試験結果のうち主要なケースを表-1に示す。これによると、グラウトの浸透性にはグラウト材の物性や仕様のうちスラリーの粒度(粉体の一次粒子の粒度ではない)が最も重要なファクターであり、細かいほど浸透性が良いことが示される。また、スラリーの粒度は特に粉碎攪拌のエネルギーに依存することが分かる。浸透性は同表中のシリカライム(1)(ミルの仕様:900rpm, 4.5h)と超微粒子セメントがともに良く、シリカライム(2)はミルの攪拌時間が短かすぎたと言える。また、超微粒子セメントの注入では時間経過とともにある程度の流量を維持するには若干の昇圧が必要であったことから、これよりもシリカライム(1)の方がやや浸透性が優れている言うこともできる。図-3はミルの回転数・回転時間とシリカライムスラリーの平均粒径の関係を示したものである。

図-4はミルによる攪拌での時間経過の分散化の過程を粒度分布からみたものである。頻度の山が1つになり平均粒径が小さくなることが読み取れる。図-5は水およびグラウトの注入試験における注入圧力と流量の関係を示す。グラウトビリティ比と浸透実績とを対比すると、一般に言われている浸透条件 $D_{15}/G_{85} \geq 15$ 、 $D_{10}/G_{95} \geq 8$ と概ね整合する(付表省略)。

4. まとめ 筆者らが開発してきた新材料の室内拡大注入試験によって次のような結果が得られた。(1) 浸透性はグラウト材の混合スラリーの実際の粒度分布に依存し、主に平均粒径が小さいほど浸透性が良い。(2) 混合スラリーの実際の粒度分布と平均粒径はスラリーの分散化に依存し、これには粉碎攪拌機(ミル)が有効であり、分散性は超微粒の材料では回転数と攪拌時間に依する。

5. あとがき 今後はミルの仕様を詰め、分散剤との併用方法についての研究を進め、また現場試験を通じて実用化に当たっての着目点を洗い出すことを考えている。

表-1 注入試験結果総括表

注 入 材 料	模型地盤の性状				攪拌混合条件				スラリーの出来上り物性				注 入 結 果	
	間隙率 n	含水率 w	液性指数 I _p	相対密度 G _s	水比 Dr	分 散 剤 濃 度 k cm ³ /s	ミルの 回転数 rpm	攪拌 時間 h	密度 g/cm ³	粘度 cP	775 粘 度 cP	775 粘 度 cP	流量 Q cm ³ /s	平均浸透係数 k _s cm/s
シリカライム (1)	0.44	0.73	3.57	2.01	3	0.5	900rpm	4.5h	1.14	20.5	10	0.52	30.0cm 21.8分	11.1 2.3 $\times 10^{-3}$
シリカライム (2)	0.45	0.67	2.01	3	0.5	0.5	900rpm	1.5h	1.15	20.4	6.5	3.5	13.3cm 30分	3.0 —
超微粒子 セメント	0.43	0.81	1.86	4	0.75	0.5	500rpm	30分	1.16	18.9	—	—	38.3cm 22.5分	12.9 1.4 $\times 10^{-3}$

注-1) 模型地盤: 塩砂7号。注-2) 平均浸透係数はグラウトと水と同じように考えたときの透水係数

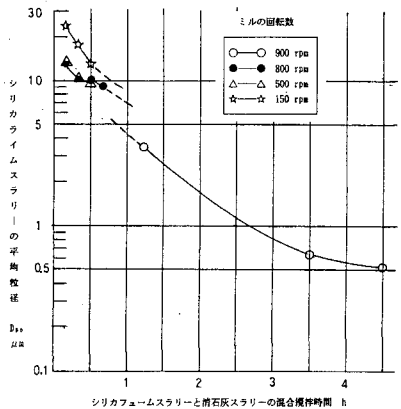


図-3 ミルの回転数・攪拌時間とシリカライムスラリーの平均粒径の関係 (ミルによるシリカライムスラリーの分散効果)

粒度分析装置: HORIBA製LA-910レーザ回折/散乱式粒度分析測定装置
粉碎攪拌機(ミル): 三井鉱山製DM-5(回転数 900rpm)

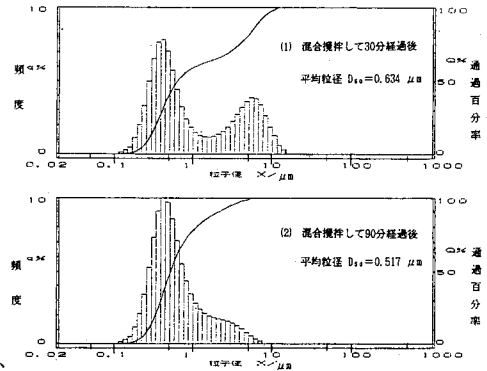


図-4 ミルの攪拌時間経過に伴うシリカライムスラリーの分散化・粒度分布の変化

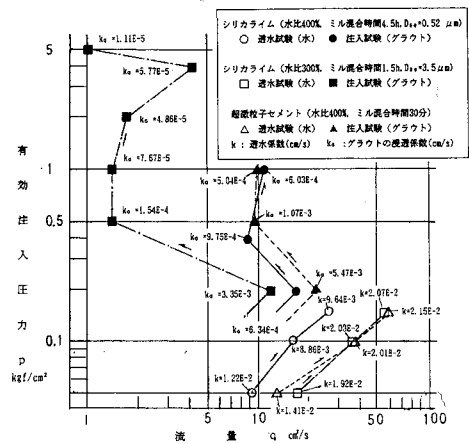


図-5 注入試験の有効注入圧力・流量曲線

〔参考文献〕 1) 原田, 寺本, 寺戸: 新しいグラウト材の研究開発(その1), 土木学会第47回年次学術講演会, 1992. 9. 2) 寺戸, 寺本, 玉井, 柏: 新しいグラウト材の研究開発(その2), 土木学会年次学術講演会, 1993. 9.