

東京大学工学部 正員 樋口 芳朗
小野田セメント(株) 竹本 国博
同 中央研究所 正員 ○ 早川 秀雄

1. ま え が き

注入工事において、懸濁型グラウトは、無公害で発現強度が大きいなど多くの利点をもつが、浸透性が悪いという致命的な欠点を有していた。現在、わが国で最も細かいセメントとして、最大粒径 40μ 程度のコロイドセメントが市販されているが、その注入適用範囲を細砂（透水係数： $k \approx 10^{-3} \text{ cm/sec}$ ）の領域まで拡げるには至っていない。筆者らは、微粒子グラウトの注入における卓越性に着目し、その製造技術および注入工法に関し研究を重ねてきたところ、コロイドセメントよりさらに細かい最大粒径 10μ 、比表面積約 $8000 \text{ cm}^2/\text{g}$ の超微粒子グラウトの工業化を確立した。この超微粒子グラウト（以下、MCと略記する）の基礎物性の測定および注入実験を行い、懸濁型グラウトとしての新しい可能性を見出したので、ここに報告する。

2. 基礎物性

2.1 化学 成 分

MCの化学成分を表-1に示す。MCは無公害で無機質の注入材料である。

2.2 粒 度 組 成

MCおよび各種セメントの粒度分布を図-1に示す。MCは、50%粒径約 4μ の良く整粒された粉体である。また、MCミルクは、図-2に示すように、市販コロイドセメントなどに比較して、粒子の沈降速度が遅い。

2.3 圧 縮 強 度

水セメント比を300%としたミルクと水ガラス（㉔1号）75%水溶液を容量比で5:5になるように配合したグラウトの圧縮強度を図-3に示す。MCは、普通

ポルトランドセメントなどと比較して、初期強度の発現が著しく、また、28日材令で 23 Kg/cm^2 の強度を示す。JISモルタルでは、 $\sigma_{28}=540 \text{ Kg/cm}^2$ の強度を示す。

2.4 浸透限界

内径 10 cm 、高さ 20 cm のモールドを用いてMCの浸透限界を測定した。

粒度調整した3種類の入

工砂をモールドに詰め水で飽和した後、吐出量 3 l/min 、注入圧 2.0 Kg/cm^2 の条件でMCおよび各種セメントミルクを注入した。その結果を図-4に示す。注入結果によると、グラウト粒子が細くなる程その浸透性能は飛躍的に向上することが判明した。特に、細砂（ $k=1.32 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ ）においては、普通および早強

表-1 MCの化学成分 (%)

Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
0.3	29.0	12.2	1.2	48.9	5.6	1.2

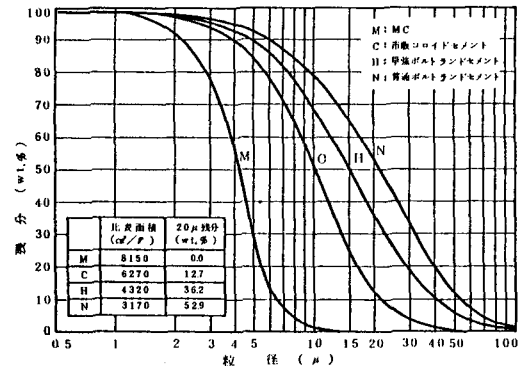


図-1 MCの粒度分布

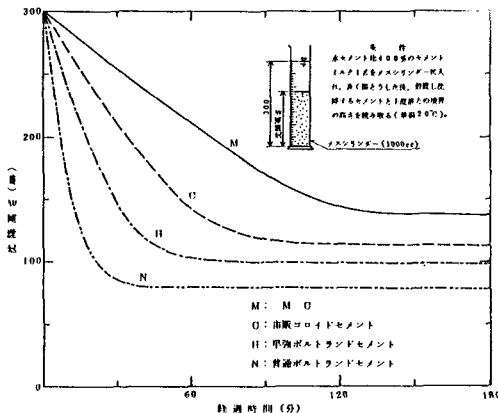


図-2 沈降試験結果

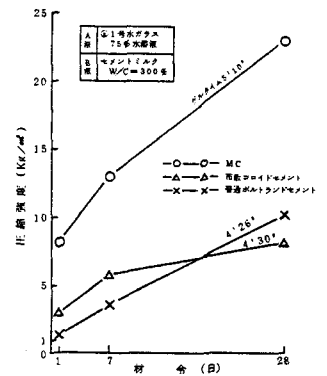


図-3 ホモゲル圧縮強度

ポルトランドセメントではフィルターを形成し、セメント粒子が閉塞してしまうため注入困難であった。また、コロイドセメントは、ミルク濃度 $180\text{kg}/\text{m}^3$ までしか注入できなかった。一方、MC は、ミルク濃度 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 以上でも浸透注入が可能であった。

3. 大型モールドによる注入実験

3.1 実験方法

図-5 に示す注入実験装置を用いて、透水係数の範囲が $10^{-2}\sim 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ の模擬地盤を対象に1ショット、1.5ショット方式の注入実験を行った。注入管は $\phi 40.5\text{mm}$ のストレナ加工したロッドに、リーク防止用のゴムチューブを被せたものを用いた。模擬地盤は木更津産の細砂と、該細砂に3.5wt.%の関東ロームを混合した複合砂との2種類を水締めして作製した。注入条件および注入結果を表-2 に示す。

3.2 実験結果

MC は、細砂の模擬地盤 ($k=2.43\times 10^{-3}\text{cm}/\text{sec}$) に対して、 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下の圧力で浸透注入された。また、複合砂の模擬地盤 ($k=3.75\times 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$) に対しても、図-6 に示すように浸透注入されていることが確認された。細砂の模擬地盤に対して、早強ポルトランドセメントの注入を試みたが、1ショット(実験№5)の場合はロッド先端付近に脈状注入され、1.5ショット(実験№8)の場合は注入圧が $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上となり、グラウトが上方にリークし注入困難となった。一方、MC の注入によって模擬地盤の透水

表-2 注入実験結果

実験 No.	模 擬 地 盤		グ ラ ウ ト				注 入 方 式 (シロ 別)	注 入 圧 (kg/cm ²)	注 入 量 (kg)	注 入 量 の ミ ン マ ュ ス	注 出 量 (kg/min)	固 結 体			注 入 状 況	
	砂の 種類	透水係 数 k(cm/sec)	種類	W/C (%)	助 剤 (%)	グ ゼ ル (C/g)						体 積 (cm ³)	透水係 数 k(cm/sec)			
1	細 砂	35.9	2.43×10 ⁻³	MC	200	4	ナシ	1	0.5	21.0	31.5	78.5	374	2.98×10 ⁻⁵	良好 浸透注入	
2	"	"	"	"	0	ノ	ノ	1	0.3~0.9	ノ	22.0	30.3	72.5	330	1.30×10 ⁻⁵	"
3	"	"	"	"	150	2	ノ	1	0.28 ~0.45	ノ	21.2	26.5	76.3	360	1.05×10 ⁻⁵	"
4	"	"	"	"	120	2	ノ	1	1.3~1.8	ノ	20.2	50.4	85.4	422	2.83×10 ⁻⁵	"
5	"	"	"	早 強 セメント	200	1	ノ	1	0.5~0.7	ノ	19.7	35.8	26.1	132	試料とれず	土質 軟化注入
6	"	33.8	3.08×10 ⁻³	MC+ 水ガラス	300	2	2'50"	1.5	0.4~0.7	7.9	8.9	6.97	74.7	4.46	4.06×10 ⁻⁴	良好 浸透注入
7	"	40.1	5.24×10 ⁻³	"	"	2	2'40"	1.5	0.7	8.8	9.5	6.11	試料保持のため ナシ	ナシ	"	"
8	"	"	"	早強土 水ガラス	350	1	2'00"	1.5	1.5~2.3	5.2	4.6	5.11	23.5	240	試料とれず	注入困難 土質ナシ
9	複合砂	34.0	3.75×10 ⁻⁴	MC	200	4	ノ	1	0.75 ~1.1	ノ	24.2	40.5	96.0	372	1.00×10 ⁻⁵	良好 浸透注入

(注) 1) 3号水ガラス40%水前液、2) 体積/注入量×100

4. 現場施工例

現在、上越新幹線中山トンネルにおいて約 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ の被圧水を有し、透水係数が 10^{-4} オーダーの未固結の火山砂地盤に対し、止水と地盤強化を目的としてMCを1.5ショット方式で注入し成果を得ている。また、トンネルの側壁コンクリートの根固

めを目的として、N値約20、透水係数が $7.2\times 10^{-3}\text{cm}/\text{sec}$ の砂地盤にMCミルクを注入したところ、浸透注入され、載荷試験の結果十分な地耐力が確認されている。

5. 結論

50%粒径約 4μ の整粒された超微粒子グラウトMCは、溶液型グラウトの浸透限界に匹敵する透水係数の範囲が $10^{-3}\sim 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ の地盤に浸透注入が可能であることが確認された。すなわち、MCは従来、懸濁型のグラウトでは注入が困難とされていた地盤に対しても効果的な注入が期待できる。また、無公害で耐久性を有するため仮設、暫定工事に限らず、永久地盤構造物にも適用することが可能となった。

6. おわりに

MCは、止水・遮水、ヒーピング防止、土圧軽減、支持力増加グラウトとして、その適用範囲を広げていくと思われる。また、シラス地盤やマサ土などのダム建設におけるカーテングラウトなどにも適用して行きたい。現在、いろいろと現場施工を実施しているので、その成果を別の機会に報告したい。

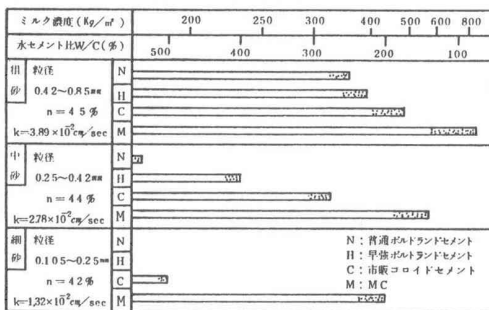


図-4 浸透限界実験結果

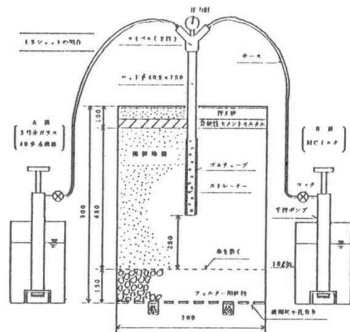


図-5 注入実験装置



図-6 MCの注入状況