

極超微粒子注入材による地盤注入工法の開発 ー材料特性ー

日鐵セメント株式会社 正会員 ○ 金沢 智彦 若杉 伸一
 岡山大学大学院 正会員 西垣 誠
 鹿島建設株式会社 正会員 山本 拓治
 日特建設株式会社 正会員 阿部 義宏

1. はじめに

液状化対策, 耐震補強, 地盤強化, 止水を目的として, 地盤注入工法が用いられる. この工法は, グラウトミキサーで混合した注入材を地盤内に浸透させ固結させる工法であり, 他の地盤改良工法に比べて, スライム等の建設副産物の発生が無く, 施工設備も小規模で済む. そのため, 構造物が隣接し合う都市現場の狭隘部での施工にも有効である. しかしながら, 砂質土地盤に十分に浸透し, かつ強度発現性に優れた注入材料はいまだ存在しない. そこで, 筆者らは, 高い浸透性, 高い強度発現性, 高い耐久性を有する新しい注入材による地盤注入工法の開発を進めている. 本論文では, 従来のセメント系注入材よりもさらに粒径を小さくし, 砂質土地盤への注入性を改良した極超微粒子注入材の材料特性について報告する.

2. 極超微粒子注入材の概要

セメント系注入材は, 図-1 に示すように粒径の大きさにより, 注入可能な地盤が限定される. 現在市販されている中で最も粒径の小さい超微粒子注入材でも細砂程度までであり, シルト分が含まれる地盤への適用は難しいとされている. セメント系注入材の浸透性を改良する上で, セメントの粒径を小さくすることが必要不可欠であるが, 単純に粒径を小さくしただけでは, 浸透性の向上は期待できない. なぜなら, 一般的に粉体の粒径を小さくすれば, 粒子は凝集し易くなり, 粗大な粒子を形成しやすくなるためである. また, セメントは粒径を小さくすることで, 水と接触後直ちに粗大な水和物を生成する. したがって, これらの粗大な凝集粒子や水和物が浸透性に悪影響を及ぼす原因になると考えられる. 一方, 超微粒子注入材の浸透性は, 同程度の粒径であっても砂質土への浸透性に差があることが知られており²⁾, セメントより水和反応が遅い高炉スラグなどの混和材の利用が有効である.

このような観点から, 極超微粒子注入材には, 浸透性を向上させるべく粒径を小さくするとともに, 粗大な水和物の生成を抑制するため, 主原料として高炉スラグを使用した. また, ポリカルボン酸系分散剤を使用し, 高速攪拌することで凝集粒子を分散させた. 表-2 に極超微粒子注入材の化学成分を, 図-2 にレーザー散乱・回折法により測定した極超微粒子注入材のドライ状態(粉体)とスラリー状態の粒径加積曲線を示す. 図中には, 市販の超微粒子セメントを併記比較した. 図-2 より, 極超微粒子注入材の平均粒径(D50)は1.5 μm であり, 超微粒子注入材(4 μm)に比べて約1/3の小ささである. また, 水, 分散剤および注入材を混合攪拌したスラリー状態でも, ドライ状態と同様の粒度分布を示している. 以上のように, 浸透性の低下要因である粗大な粒子や水和物の生成を抑制し, 浸透性の向上を可能とした.

土粒子径 (mm)	2		0.42	0.074	0.005	
土質名	レキ	砂		シルト	粘土	
		粗砂	細砂			
透水係数 (cm/s)	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-5}	
超微粒子注入材						
微粒子注入材						
汎用セメント						

図-1 セメント系注入材の適用可能地盤¹⁾

表-2 密度と化学成分

	極超微粒子注入材
密度(g/cm ³)	2.94
SiO ₂ (%)	32.1
Al ₂ O ₃ (%)	15.0
Fe ₂ O ₃ (%)	0.9
CaO(%)	44.9
MgO(%)	5.6

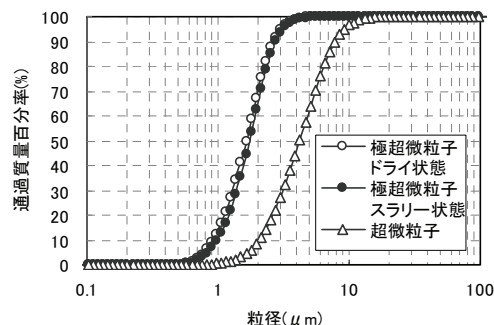


図-2 粒径加積曲線

キーワード 地盤注入工法, 極超微粒子注入材, 高炉スラグ, 浸透性, 粒径

連絡先 〒050-8510 室蘭市仲町 64 番地 日鐵セメント(株) TEL 0143-44-1697

3. 試験概要

セメント系注入材に求められる性能として、浸透性はさることながら、粘性が低く圧送性に優れること、材料分離が少ないこと、注入完了後は速やかに硬化することが挙げられる。そこで、極超微粒子注入材の材料特性の把握を目的として、粘度測定試験、ブリーディング試験、凝結時間測定試験および圧縮強度試験を行った。表-3 に注入材の配合を、表-4 に試験方法を示す。

4. 試験結果と考察

(1) 粘性

図-3 に粘度を示す。極超微粒子注入材の混合攪拌直後の粘度は約 $4\text{mPa}\cdot\text{s}$ 、混合攪拌から 6 時間経過後の粘度は $3\text{mPa}\cdot\text{s}$ であり、低い値を維持した。超微粒子注入材と比較すると、ほぼ同程度の粘性が得られており、同様の圧送性が得られると考えられる。

表-3 注入材の配合

注入材	水 注入材比 (%)	配合(L)		分散剤	
		水 (g)	注入材 (g)	種類	添加量
極超微粒子	40 400	546 924	1364 231	ポリカルボン酸系	3%
超微粒子	40 400	546 924	1364 231	ナフレン系	1%

表-4 試験方法

試験項目	試験方法
粘度測定試験	B 型粘度計 (M1 ローター, 60rpm) 水注入材比 400%
ブリーディング試験	「JSCE-F 532」ポリエチレン袋法に準拠 水注入材比 400%
凝結時間測定試験	「JIS R 5201」ビガー針法に準拠 水注入材比 40%
圧縮強度試験	水注入材比 40%, $\phi 50 \times 100\text{mm}$

(2) ブリーディング率

図-4 にブリーディング率を示す。超微粒子注入材の 24 時間経過後におけるブリーディング率は 83% と大きい値を示しているのに対し、極超微粒子注入材は極めて小さい 4% であり、高い分離抵抗性が確認された。この分離抵抗性は、スラリー中において、極超微粒子注入材の極微小な粒子が分散状態を保持することによって、粒子の沈降が抑制されたものと考えられる。

(3) 凝結時間

図-5 に凝結時間を示す。極超微粒子注入材の終結時間は、超微粒子注入材の約 30 時間に対して、約 20 時間であり、10 時間程度短縮されることが確認された。

(4) 圧縮強度

図-6 に圧縮強度を示す。極超微粒子注入材の圧縮強度は材齢 3 日で 50N/mm^2 であり、超微粒子注入材に比べて凝結完了後は速やかに硬化が進行し、早期に強度が発現することが確認された。なお、超微粒子注入材は、使用した分散剤が遅延性を有している影響により強度発現性が低下していると考えられる。

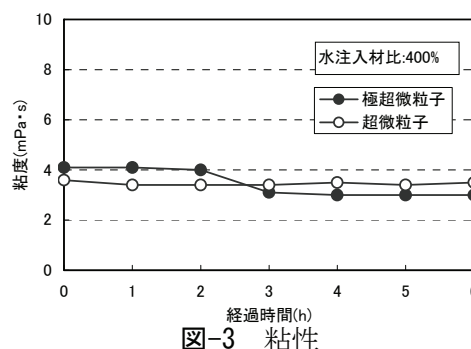


図-3 粘性

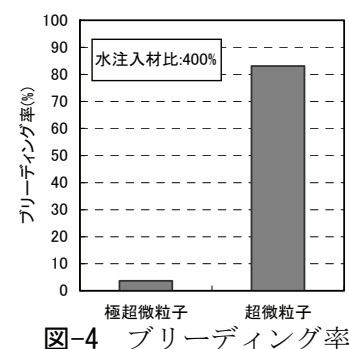


図-4 ブリーディング率

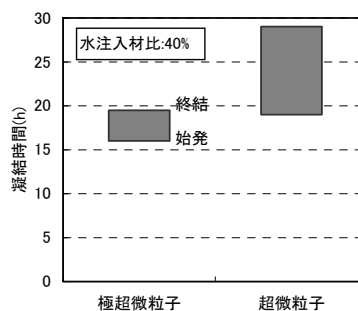


図-5 凝結時間

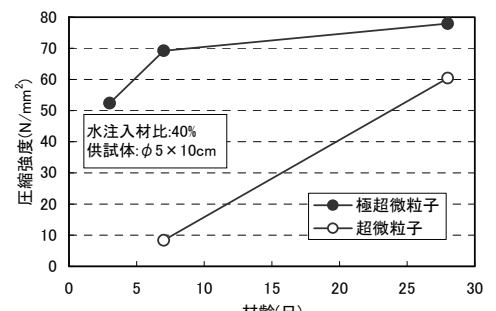


図-6 圧縮強度

5. まとめ

極超微粒子注入材の材料特性は、以下のようにまとめられる。①粘性は超微粒子注入材と同程度であった。②材料分離は少なく、高い分離抵抗性を示した。③凝結時間は超微粒子注入材より 10 時間程度早く、約 20 時間であった。④圧縮強度は早期に高い強度を発現し、材齢 3 日で 50N/mm^2 であった。

参考文献 1)西垣誠, Chegbeleh Larry Pax, 金沢智彦: 高浸透性セメント系注入材による地盤改良, 未来材料, Vol.8, No.9, pp.46-51, 2008.

2)Raymond Henn.el al.: Additional Test Results for Comparison of Penetration of Grout Made with Various Ultrafine cement products, Rapid Excavation and Tunneling Conference Proceedings, pp.1039-1050, 2005.