

超大型地震に対する極超微粒子注入材による液状化対策

鹿島建設株式会社	正会員	○齋藤 潤	田中 俊行	北本 幸義
日特建設株式会社	正会員	竹内 仁哉		
日鐵セメント株式会社	正会員	金沢 智彦		
岡山大学大学院	正会員	西垣 誠		

1. はじめに

港湾、空港、道路等の土木施設において、地震時に発生する液状化による被害を防ぐために、水ガラス系の溶液型恒久薬液による注入工法が頻繁に採用されている。しかし、東北地方太平洋沖地震のような超大型の地震に耐えるためには、現状の液状化対策工法に比べて、より高い安全性が確保できる施工法が望まれる。そこで、筆者らは、従来の超微粒子注入材よりさらに粒径の細かい極超微粒子注入材による地盤注入工法の研究に取り組んでいる¹⁾。その中で、現状の溶液型薬液注入材に比べて、同等の経済性および浸透性を有し、かつ高い強度ならびに耐久性を有する新しい液状化対策工法を開発した。本報では、極超微粒子注入材の動的変形および液状化特性を調べて、現状の薬液注入材と比較検討した結果、ならびに砂地盤を対象に現場試験を実施し、施工性を検証した結果を示す。

2. 極超微粒子注入材の材料配合

図-1 に極超微粒子注入材の粒径加積曲線を示す。平均粒径 D_{50} は、従来の超微粒子注入材 ($4\mu\text{m}$) に比べて、さらに約 $1/3$ 倍の $1.5\mu\text{m}$ 程度である。また、普通ポルトランドセメントの $20\mu\text{m}$ に比べて、約 $1/13$ である。この材料は、水和反応の遅い高炉スラグを使用して、ポリマー構造を有する特殊分散剤を使用することで、高度な分散性を保持して、高い浸透性を発揮できる¹⁾。

液状化対策型の材料配合は、現状の溶液型薬液注入材と同等の経済性や浸透性を確保するため、粉体成分を調整した。また、水粉体比 W/P は、これまでの研究結果¹⁾から、設計どおりの改良長が得られる 800% に選定した。

3. 極超微粒子注入材の浸透性

液状化対策の対象となる細粒分含有率 6% の模型飽和地盤(直径 56.7cm ×高さ 50cm 、東北珪砂 7 号、相対密度約 80%)に対して、練混ぜた液状化対策型の極超微粒子注入材を注入速度 $80/\text{min}$ で計 120 注入した。その後、砂を撤去して、写真-1 に示す改良体(設計改良径 37.6cm)を取り出して浸透性を調べた。図-2 に示す注入結果から、設計改良径に対して約 100% とほぼ目標どおりの実改良径が得られ、溶液型薬液注入材と同等の浸透性を有することを確認した。なお、懸濁型薬液注入材は設計改良径の 70% であった。

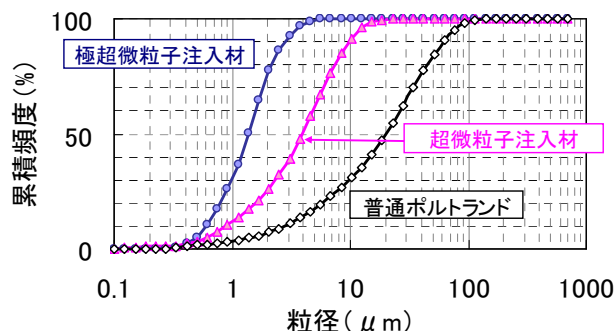


図-1 注入材の粒径加積曲線

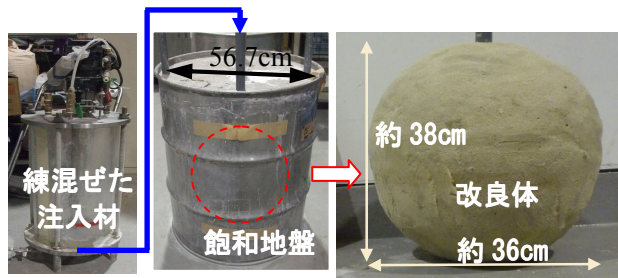


写真-1 注入試験と改良体

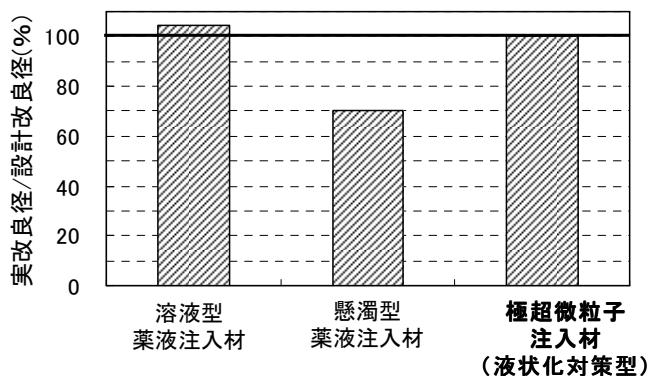


図-2 注入試験結果

キーワード 地震、液状化、動的変形、注入工法、極超微粒子セメント注入材、薬液注入
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL0424-89-7003

4. 極超微粒子注入材の動的変形および液状化特性

アクリル製モールド(径 5cm)に飽和地盤として東北珪砂 7 号を相対密度約 80%に調整し, 下部から 0.35MPa の圧力で極超微粒子注入材を注入して作製した供試体を, 10cm の長さに切断して材令 28 日で試験に供した. 動的変形試験は JGS 0542 に, 液状化試験は JSF T541 に準拠して行った. 周波数は 0.1Hz の正弦波とし, 1 ステージは 11 波の繰返しとし, 10 波目のデータを採用した. 有効拘束圧は 100kPa とした.

図-3にせん断剛性 G とひずみ γ の関係を示す. 図中に, 相対密度 60%の東北珪砂 8 号を改良した溶液型薬液注入材および未改良砂を併記した. 初期せん断剛性率 G_0 を比較すると, 溶液型薬液注入材は約 50MN/m^2 であり, 未改良砂と同等の値を示した. 一方, 液状化対策型の極超微粒子注入材は, セメント系改良土と同程度の約 220MN/m^2 の高い剛性を示し, 溶液型薬液注入材の 4 倍以上の値となった. 図-4に軸ひずみの両振幅 5%のときの液状化強度曲線を示す. 繰返し载荷 20 回のときの繰返し応力振幅比 $R_{L20}(=\sigma_d/2\sigma'_0)$ は, 未改良砂で約 0.2, 薬液注入材で約 0.8 であった. 一方, 液状化対策型の極超微粒子注入材は 1.2 であり, 薬液注入材の 1.5 倍, 未改良砂の 6 倍の高い液状化強度を有した. なお, 材令 28 日の一軸圧縮強さは, 溶液型薬液注入材が 200kN/m^2 であるのに対して, 液状化対策型の極超微粒子注入材は約 1000kN/m^2 であった.

5. 極超微粒子注入材の現場施工性

極超微粒子注入材の施工性の検証を目的として, 砂質土地盤を対象に現場注入試験を実施した. 沖積砂層(細粒分含有率 3%, 相対密度 100%以上, 透水係数 $4.7 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$, N 値 27)を対象地盤として, 目標直径 2m の改良体を構築した. 注入材の配合は $W/P=400\sim 800\%$ とし, $15\sim 200/\text{min}$ の速度で注入した結果, 設計どおりの出来形が得られた. 写真-2 に現場注入出来形の一例を示す. 以上から, 極超微粒子注入材は, 液状化の対象となる砂地盤での現場施工性を検証できたと判断される.

6. まとめ

液状化対策型の極超微粒子注入材は, 溶液型薬液注入材と同様の浸透性を有すると共に, 溶液型薬液注入材に比べて 4 倍のせん断剛性を, 1.5 倍の液状化強度を有することを確認した. さらに, 液状化が対象となる地盤で, 注入工法の現場施工性を実証することができた. この材料による対策工法は, 超大型地震に対しても, 従来の薬液注入工法に比べて, より高い安全性や耐久性を確保できると共に, 大津波によって沿岸域の地盤の洗掘や浸食防止も期待できると考えられる.

参考文献 1) 小泉ほか: 極超微粒子注入材による地盤改良工法の開発, 第 9 回地盤改良シンポジウム, 2010.

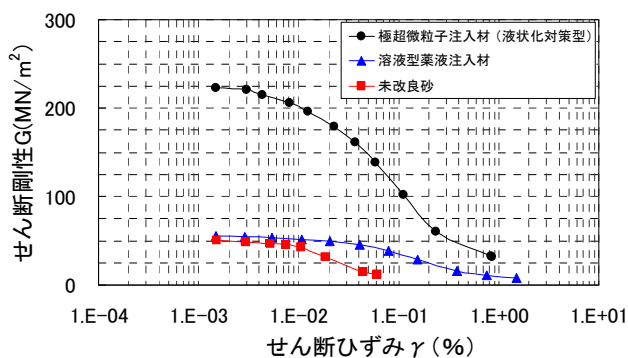


図-3 せん断剛性 G とひずみ γ の関係

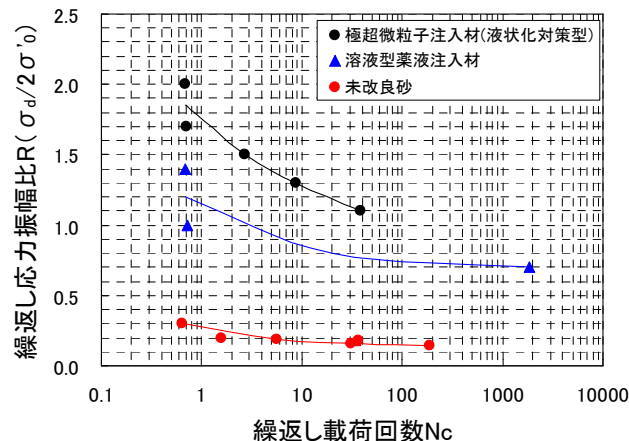


図-4 液状化強度曲線(軸ひずみの両振幅 5%)

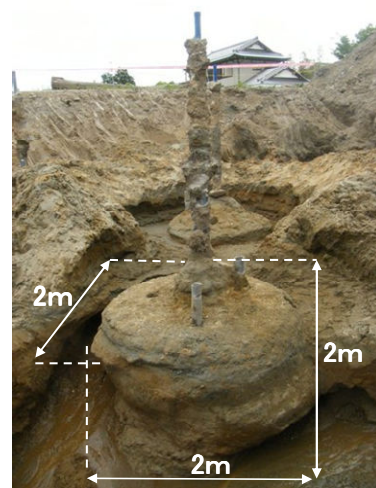


写真-2 沖積砂層を対象とした現場注入出来形