

微粒子の浸透性に関する一次元注入実験

東京都市大学 学生会員 ○上村健太郎

東京都市大学 正会員 末政直晃

強化土エンジニアリング 正会員 佐々木隆光

佐藤工業 正会員 永尾浩一

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、浦安などの埋立地や河川堤防における液状化被害が重大な問題となった。液状化の発生を抑制する工法は過去の液状化被害の経験から数多く開発¹⁾されているが、規模やコストの問題³⁾から既設構造物直下や狭隘な土地における施工には適さない。既設構造物直下における施工には浸透注入などの地盤注入工法が採用される。地盤注入工法は小型の施工機械を用いることにより既設構造物直下における液状化対策工法の施工が可能である。また近年では、長期耐久性を有する薬液⁴⁾や極超微粒子セメントなどの浸透性が良好な懸濁系グラウト⁵⁾を用いた液状化対策に関する研究が行われ、室内試験や現場実験から耐久性や施工性が確認されている^{6)・7)}。しかし、これらの注入材は高価であり、重要構造物以外には用いられていないのが現状である。

そのため、本研究ではこれらの注入材よりも比較的安価なシリカ(SiO₂)微粒子を用いた微粒子系注入材の検討を行っている。本研究において用いる微粒子はSiO₂を主成分としたホワイトカーボン(White-carbon: 以下WC)である。WCの改良効果は地盤の密度増大により土骨格の強化を行うものである。しかし、これらの微粒子の浸透特性は未解明されていない。そのため、本論文では微粒子の浸透注入時における浸透特性を一次元注入実験により確認した。

2. 1次元注入実験

2-1. 実験概要

本実験は濃度を変化させた注入材を用いて浸透特性を検討することを目的として行なった。実験に用いた試料は既往の注入実験において注入材の浸透性が比較的良好であった硅砂5号を用いた。硅砂5号の物性値を図1に示す。供試体は高さ15.0cm、直径5.0cmと設定し、相対密度が60.0%になるように砂詰めを行なった。また、供試体の高さの変化による浸透性の変化を検討するために高さを50.0cmの供試体においても一次元注入実験を行った。この際の供試体の間隙体積はそれぞれ、133.7cm³、445.7cm³である。実験に用いた装置の概略図を図2に示す。砂詰め後、CO₂を透気し、脱気水を緩速注入することによって飽和させた。また、供試体作製後に定水位透水試験を行い、各供試体の透水係数を確認した。注入する注入材の濃度は重量比で4.0%および6.0%に調整されたWCと水の混合物である。試験条件を表1に示す。また、注入実験中に排出された排液量を測定することにより浸透注入量を算定し、排液の経時的な濃度変化を検討するために採取した排液を乾燥炉で炉乾燥させた。

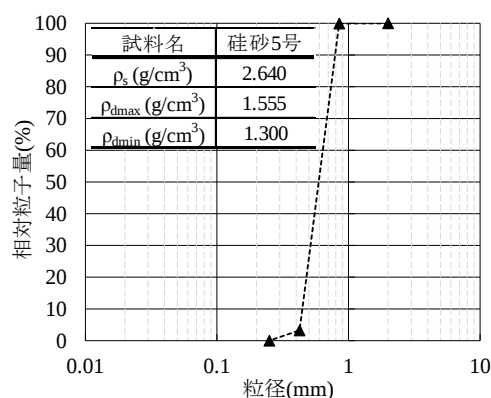


図1 試料の物性

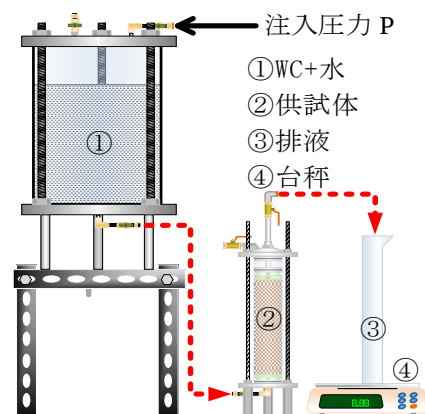


図2 実験装置
表1 実験条件

試料	注入圧力 (kPa)	注入材	WC濃度 (WC/水wt%)	供試体高さ (cm)
Case1	10	WC+水	4.0wt%	15.0
Case2	30			
Case3	60			
Case4	10			
Case5	30		6.0wt%	50.0
Case6	60			
Case7	10			
Case8	40			

キーワード ホワイトカーボン 浸透注入 目詰まり

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 Email : g1481705@tcu.ac.jp

2-2. 実験結果

図3(a), (b), (c)に注入時間と浸透注入量の関係を示す。それぞれの図中における点線は注入初期における注入量の増加傾向を示している。図の結果から、いずれのCaseも初期段階には浸透注入量がほぼ一定の割合で増加していることがわかる。しかしながら、注入圧力10kPaのCase1, Case4, Case7, 注入材濃度が6.0wt%であるCase5, Case8においては、単位時間あたりの注入量が注入時間を経るごとに減少していることが確認できる。これは、注入材中の微粒子が供試体間隙中に貯留され目詰まりを発生させたことが原因であると考えられる。対して、注入速度が高いCase2, Case3およびCase6では、注入量がほとんど低下せず、供試体の間隙を複数回置換した後も注入量が増加し続けていることが確認できる。これは、注入速度が速く注入材濃度が低い場合、供試体間隙内に微粒子が貯留されず流される、もしくは、累積注入量に対する微粒子の貯留量が低くなることに起因すると考えられる。このような実験結果から微粒子は注入材濃度が高く、初期の注入速度が低いほど、供試体間隙中に目詰まりを発生させる傾向にあると考えられる。ここで、Case4およびCase7を比較すると、浸透距離の長いCase7は浸透距離が短いCase4に比べ注入速度が遅いものの、同程度の注入量を超えたあたりで目詰まりが発生し、注入速度が低下し始めていることが確認できる。このことから、微粒子の目詰まりが流速および注入材の濃度だけでなく、間隙を通過した注入材量にも影響されることが示唆された。

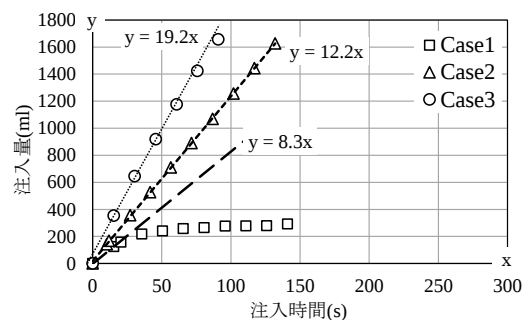
図4は注入時間と濃度比の関係を示している。ここで、濃度比とは、排液の微粒子濃度Cを注入材の初期における微粒子濃度 C_0 で除した値である。図からほとんどのCaseにおいて注入材濃度が低下することなく排出されていることから、間隙中を均一な注入材濃度で満たしていることが示唆される。一方で、排液の微粒子濃度の低下が認められないことから細孔内における微粒子の貯留量は少ないものと予測される。対して、Case1は注入時間を経るごとに排液濃度が低下している。これは、注入材の注入速度遅かったため、微粒子の目詰まりが供試体のある一部で発生したことに起因する。

3. まとめ

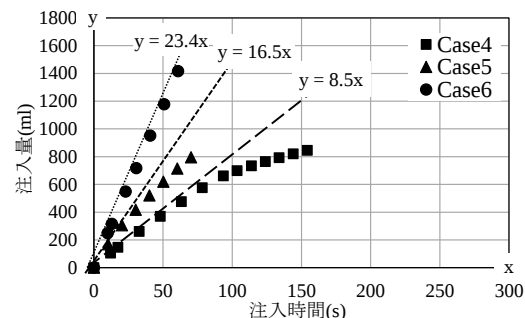
一連の実験から、微粒子の目詰まりは注入材の濃度、注入速度、累積注入量に影響されることが示唆された。注入速度が速い場合、注入材が均一に広がると考えられるが、微粒子の貯留量は少ない。一方、注入速度が遅い場合、微粒子の貯留量が増加するが供試体の一部で目詰まりを発生させてしまうため注入量は低下すると考えられる。そのため、地盤条件にあった微粒子の配合を選定する必要がある。

参考文献

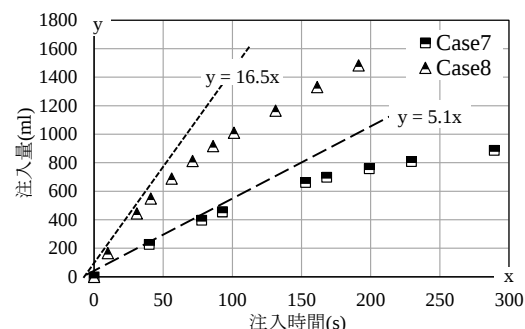
- 1) 地盤工学会関東支部造成宅地の耐震対策に関する委員会：宅地造成地の耐震対策に関する研究委員会報告会—液状化から戸建て住宅を守るための手引き—, pp84-85, 地盤工学会関東支部, 2014, 2) 柴田 徹：液状化対策の効果, 土質工学会・阪神大震災報告会-地盤被害とその教訓-講演概要集, pp29-30, 1995, 3) 安田進：東日本大震災後における住宅地の液状化対策工法の開発, 地盤工学会誌 Vol.62 No.6, pp.1-5, 2014, 3) 川井 俊介ほか：既設地盤直下の薬液注入工法の開発(その2)誘導式ボーリングを用いた注入システムの開発, 土木学会年次講演会講演概要集, Vol.60, pp.513-514, 2005, 4) 斎藤 潤ほか：超大型地震に対する極超微粒子注入材に液状化対策, 土木学会年次講演会講演概要集, Vol.66, pp.487-488, 2011, 5) 小山 忠雄ほか：恒久グラウト野外試験における12年後液状化強度の確認, 土木学会年次講演会講演概要集, Vol.67, pp.75-76, 2012, 6) 金沢 智彦ほか：極超微粒子注入材に液地盤注入工法の開発-材料特性-, 土木学会年次講演会講演概要集, Vol.65, pp.957-958, 2010



(a) 濃度 4.0wt%-15.0cm



(b) 濃度 6.0wt%-15.0cm



(c) 濃度 6.0wt%-50.0cm

図3 注入時間と注入量の関係

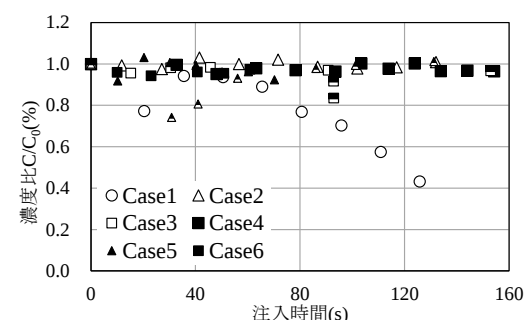


図4 注入時間と排液濃度の関係