

シリカ微粒子の土粒子間注入に関する研究

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株式会社 正 会 員 佐々木隆光

佐藤工業株式会社 正 会 員 永 尾 浩 一

1. はじめに

液状化現象に関する諸研究は、1964 年における新潟地震の影響により発生した液状化被害を契機に行われてきた。その研究の成果から、現在までに多くの液状化対策工法が開発されてきた。しかし、既存の液状化対策工法は高強度である反面、高コストで、大規模な施工機械を用いる場合が多い^{1) 2)}。そのため、既存の市街地などでは液状化対策工法の施工が困難となる。2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震以降、各地で今後の液状化対策についての議論がなされているが、安価で良好な施工性を有する液状化対策工法の必要性が指摘されている。そこで、本研究ではシリカ微粒子の一種であるホワイトカーボン(White-carbon: 以下 WC)を用いた安価な注入材の検討を行っている。WC の地盤注入は地盤の密度増大を期待したものであり、地盤の液状化強度の増加とともに液状化後の沈下を抑制する効果により液状化被害を軽減することが可能であると考えられる。しかし、WC は通常、数十 μm 以上の凝集体を形成しているため、土骨格を乱さず間隙内に WC の充填を行うためには、WC を細粒化する必要がある。そこで、本研究では、渦崩壊の原理を利用した WC の細粒化を行った。これにより、WC の細粒化および浸透注入に成功した。また、本報告では、粉碎した WC の浸透性を確認する目的で、豊浦砂で作製したカラムに対する一次元注入実験を行った。

2. 1 次元注入実験

2-1. 実験概要

本実験は WC と水の混合物を供試体に注入した際の注入に伴う充填量の変化および浸透注入量、透水係数の関係を確認する目的で行った。試験条件を表 1 に示す。供試体は円筒で、その寸法は、すべて高さ 90.0cm、直径 5.00cm とした。また、試料には豊浦砂($\rho_{\text{dmax}}=1.601\text{g/cm}^3$, $\rho_{\text{dmin}}=1.343\text{g/cm}^3$, $\rho_s=2.648\text{g/cm}^3$)を用い、各供試体の相対密度 D_r を 60%とし、空中落下法にて作製した。また、それぞれ供試体作製後、 CO_2 を透気させた後、脱気水を通水し完全に飽和させた。注入する注入材は、Case1, Case2, Case3 において濃度をそれぞれ 4.0wt%, 7.5wt%, 10.0wt% に調整した WC($\rho_{\text{wc}}=2.63\text{g/cm}^3$)と水の混合物であり、それぞれ粉碎装置にて 30 分攪拌し、WC を細粒化したものである。WC は粉碎することにより平均粒径 D_{50} が $20\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ に減少する。なお、注入材の注入に伴う WC の充填量の変化には相対密度 D_r を用いることとした。ここで、図 1 に実験装置の概要を示す。注入材を供試体に充填することにより、供試体の間隙比 e_{wc} が変化する。間隙比 e_{wc} は、WC 充填に伴う重量変化を図 1 中の重量計から読み取り、充填された WC の体積 V_{wc} に変換することにより算定する。間隙比 e_{wc} の算定式を式 (1) に示す。さらに、算定した間隙比 e_{wc} から相対密度 D_r を求めた。相対密度 D_r の算定式を式 (2) に示す。また、注入材の注入により排出される間隙水の重量を図 1 中のロードセルで計測することにより、注入材の浸透注入量を求めた。

$$e_{\text{wc}} = \frac{V_v - V_{\text{vwc}}}{V_s + V_{\text{vwc}}} \dots (1)$$

V_{vwc} : 充填される WC の体積(cm^3), V_s : 豊浦砂の体積(cm^3)

$$D_r = \frac{e_{\text{max}} - e_{\text{wc}}}{e_{\text{max}} - e_{\text{min}}} \dots (2)$$

D_r : WC の充填により変化する相対密度(%)

表 1 実験条件

Case	試料	注入材 (WC/水wt%)	供試体寸法(cm)	
			高さ	直径
Case1	豊浦砂	WC+水 (4.0wt%)	90.0	5.00
Case2	豊浦砂	WC+水 (7.5wt%)	90.0	5.00
Case3	豊浦砂	WC+水 (10.0wt%)	90.0	5.00

キーワード 液状化対策 ホワイトカーボン 密度増大

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 2 に注入時間と浸透注入量の関係を示す。図の一点鎖線は初期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。しかしその後は、単位時間当たりの注入量が低下し、注入材濃度が高いもののほど低下割合が大きい。このことは、粘性のある流体が経時的に供試体の間隙を置換していったことを示唆している。そのため、注入抵抗の大きい濃度の高い Case ほどグラフの曲率が大きくなったと考えられる。

図 3 に浸透注入量と平均透水係数の逆数 k^{-1} の関係を示す。図中の点線は Case1 における k^{-1} の初期の増加傾向であり、一点鎖線は Case2, 3 における k^{-1} の初期の増加傾向を示している。図から濃度の低い Case1 では k^{-1} の増加量が一定であるのに対して、Case2, 3 では初期から曲率が現れていることがわかる。このことは、WC が供試体の間隙内に捕捉されていることを示している。また、間隙体積を置換するだけの注入材を注入した後に、どの Case とも k^{-1} が急激に増加していることが分かる。これは、供試体の間隙を置換した後においても WC の蓄積が発生しているためと考えられる。

ここで、表 2 に注入開始から 4000s 経過後の各 Case の相対密度 D_r を示す。表から Case3 が最も高い相対密度 D_r を示していることが分かる。また、Case3 は注入した注入材が最も少ないことが図 2 から読み取れることから、注入材濃度の高い注入材を用いたほうがより効果的に改良を行えると考えられる。

以上の結果より、相対密度 D_r は WC 濃度が高いもののほど大きくなることが確認できる。また、図 2, 図 3 に着目すると、濃度が高い Case において、グラフの曲率が大きくなるような挙動を示している。このことは、注入材濃度が高いほうが供試体の間隙に捕捉されやすいことを示している。

3. まとめ

粉碎後の WC は 90.0cm 程度の供試体であれば注入は可能であるが、注入材の濃度が高いほど目詰まりを起こしやすく均一な改良が困難となる可能性が示唆された。ただし、改良の効果は濃度が高い Case の方が良好であると考えられる。また、WC の粒径を小さくすることにより、目詰まりを発生させずに濃度の高い注入材を用いて均一な改良を行える可能性がある。今後は、WC の更なる細粒化を検討するとともに、豊浦砂よりも粒径の大きな試料を用いて一次元注入実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 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, pp1-5, 2014.06.01
- 2) 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, 2013.05

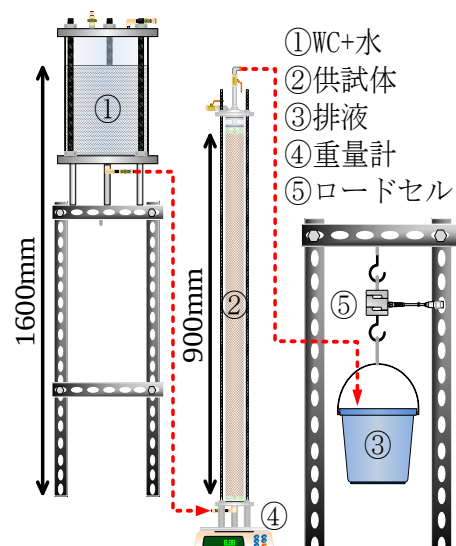


図 1 実験装置の概要

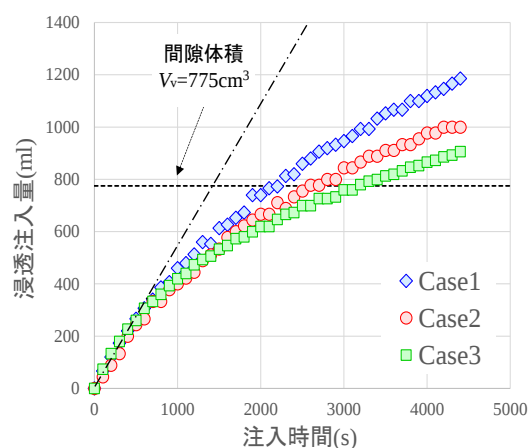


図 2 注入時間と浸透注入量の関係

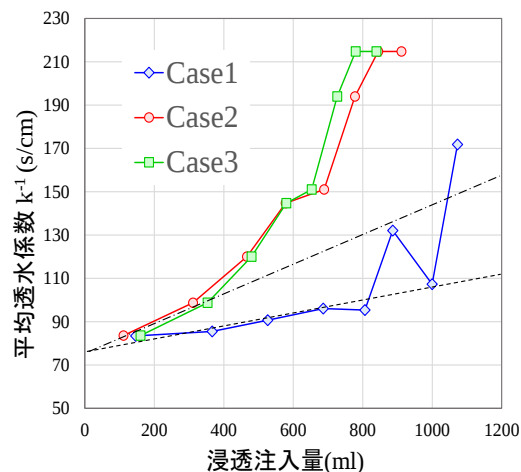


図 3 浸透注入量と平均透水係数の逆数 k^{-1} の関係

表 2 4000s 経過後の各 Case の D_r

Case (WC/水wt%)	Case1 (4.0wt%)	Case2 (7.5wt%)	Case3 (10.0wt%)
相対密度 D_r (%)	65.9	71.2	72.3