

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

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、実用化されている。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、既存の市街地や広域な河川堤防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。そのため、本研究では、液状化被害を軽減する効果を有し、且つ、安価な注入材であるシリカホワイト (Silica-White : 以下 SW)³⁾の開発を行う。本報告ではデジタルマイクロスコープを用いた間隙中における WC の観察を行った。また、WC の充填性について検討するために WC と水の混合物を注入材として用いた WC 充填試験を行ったので報告する。

2. SW について

本研究における注入材は、薬液(Silica-grout)にシリカ微粒子であるホワイトカーボン(White-carbon : 以下 WC)を混合した SW である。図-1 は SW 注入による改良効果のイメージである。SW の改良原理は、薬液注入工法の技術を応用して、SW を地盤の堆積状態を乱さず地盤内の間隙水と置換することによる地盤の密度増大および固化である。具体的には、微粒子シリカを地盤内の間隙水と置換することにより、地盤の間隙比 e が減少し、相対密度 D_r が増加するものである。これにより、SW 改良地盤は薬液の固化による変形拘束効果、間隙中の WC による沈下防止効果を発現する。この2つの改良効果により液状化被害を軽減する。

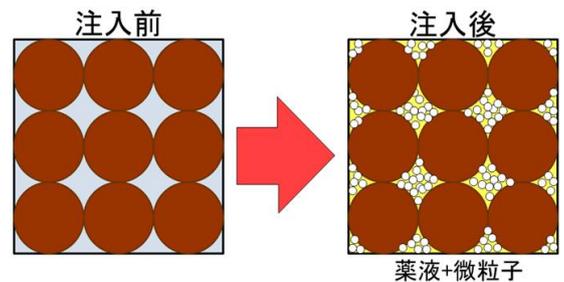


図-1 SW 改良効果のイメージ

表-1 SW 改良体の作製条件

	試料			注入材	作製方法	相対密度 D_r (%)
	試料名	ρ_{max} (g/cm ³)	ρ_{min} (g/cm ³)			
case1	珪砂6号	1.576	1.266	SW WC=2% Si=3%	空中 落下法	60.00
						60.00
case2	珪砂6号	1.576	1.266	SW WC=7.5% Si=3%	空中 落下法	60.00
						60.00

3. WC の充填状況の観察

3-1. 試験概要

本試験は SW 改良体の間隙中における WC の充填状況を確認することを目的として行った。試験に用いる SW 改良体の作製条件を表-1 に示す。供試体は空中落下法にて相対密度 60% となるように作製した。注入材にはすべての case において SW を用いた。SW はカスケードポンプおよび粒子粉碎装置にて細粒化した WC および濃度 3% の薬液を混合して作成した。また、WC 濃度は case1 においては重量比で 2% とし、case2 においては重量比で 7.5% とした。SW 改良体の間隙中の WC 充填状況の観察にはデジタルマイクロスコープを用いた。

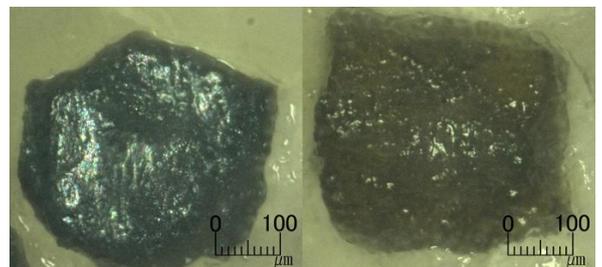


図-2 WC の充填の様子

(a) case1

(b) case2

キーワード 液状化対策 密度増大 ホワイトカーボン

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 E-mail : g101818@tcu.ac.jp

3-2. 試験結果

デジタルマイクロスコープによる case1, case2 における WC の間隙充填の様子をそれぞれ図-2(a), (b)に示す。図-2(a), (b)において、(a)の粒子の表面は滑らかであるが、(b)の粒子表面においては細かい凹凸が視認できた。これは、(b)の試料に多くの WC が付着しているためと考えられる。これにより、供試体に対して WC を注入することにより供試体間隙中に充填することが可能であることが分かる。また、その充填量は注入材の濃度に左右されると考えられる。

4. WC 充填試験

4-1. 試験概要

本試験は WC と水の混合物を供試体に注入した際の WC 充填量の変化の検討を目的として行った。試験条件、試験装置をそれぞれ、表-2, 図-3 に示す。供試体の寸法は、高さ 29.2cm, 直径 7.35cm とし、試料には豊浦砂を用いた。供試体は相対密度を管理するため、空中落下法にて作製した。この際の供試体の間隙 V_v の体積は 543.32cm^3 である。また、供試体は作製後、 CO_2 を透気させた後、脱気水を通水することによって完全に飽和させた。注入する注入材は WC 濃度が重量比で 7.0% である WC と水の混合物である。なお、注入材に混合する WC はカスケードポンプおよび粒子粉碎装置にて細粒化したものを用いた。注入材の注入による充填量の変化は注入時に供試体の重量の増加量 m_{wc} を経時的に測定することによって求める。充填量を表す指標には相対密度を用いる。WC の注入による相対密度の変化を求めるための算定式を式-1 に示す。

$$D_r = \frac{-\rho_{dmax} \rho_{dmin} V + \rho_{dmax} m_s + m_{wc}}{\rho_{dmax} - \rho_{dmin}} \dots \text{式-1}$$

D_r :相対密度(%), ρ_{dmax} :最大密度(g/cm^3), ρ_{dmin} :最小密度(g/cm^3),
 V :供試体体積(cm^3), m_s :砂の乾燥重量(g), m_{wc} :WC 充填量(g)

4-2. 試験結果

図-4 に注入量と相対密度の関係を示す。図-4 から注入量が増加するごとに相対密度が増加していることが確認できる。ただし、相対密度の増加率は間隙を約 1 回分置換する注入量である 500ml 付近までで最大であり、その後は注入量が増加するごとに小さくなり、注入量 1500ml 付近でほぼゼロとなる。また、間隙が注入材で満たされた際の理想的な相対密度は 71.33% であるが、図-4 においては 68% 程度が上限となっている。これは、供試体間隙中における注入量の増加に伴う WC の充填が発生しないことを示している。そのため、供試体間隙中における WC の充填量を増加させるためには、注入量を増加させるよりも、注入材に含まれる WC 量を増加させる必要があると考えられる。

5. まとめと今後の展望

注入材における WC 濃度を上昇させることにより、供試体の密度が増加すると考えられる。今後は、SW 改良体に対して一面せん断試験を行い、ダイレイタンシー特性などの改良効果を検討する。

参考文献

1)液状化対策の工法: <http://www.shijou.metro.tokyo.jp/pdf/senmonkakaigi/02/0630shiryou4.pdf> 2)液状化対策工法の体系的整理: <http://www.city.urayasu.chiba.jp/secure/26052/lasthoukoku02-03.pdf>
 3)東京都市大学: 徳山翔太: 新しい注入系液状化対策工法に関する研究: 東京都市大学卒業論文 2013 pp.31-41 pp.68-80

表-2 試験条件

	試料			注入材	作製方法	相対密度 D_r (%)
	試料名	ρ_{max} (g/cm^3)	ρ_{min} (g/cm^3)			
case1	豊浦砂	1.601	1.343	WC+水 WC=7.0%	空中 落下法	60.00

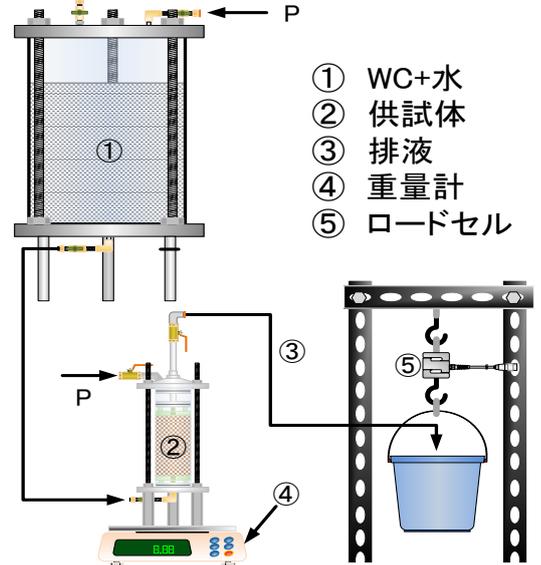


図-3 試験器具の概要

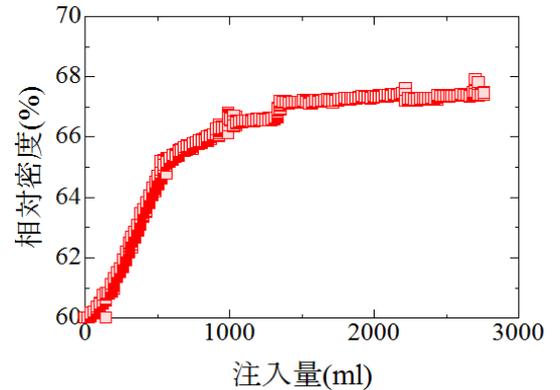


図-4 注入量と相対密度の関係