

## 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

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<sup>1)2)</sup>。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<sup>3)</sup>。

WC の地盤注入は密度増大の改良効果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  $\mu\text{m}$  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、本報告では WC の細粒化を行うとともに細粒化の確認するために WC の粒径分析を行った。また、細粒化した WC を豊浦砂で作製した供試体に対して注入することにより、WC の充填状況を確認した。

## 2. WC の粒径分析 (Case1-Case3)

## 2-1. 試験概要

本試験は粉砕前後の WC の粒径を検討することを目的として行った。図-1、表-1 に WC 粉砕装置の概略、試験条件を示す。WC の粉砕原理は旋回流が圧力開放される際に発生する渦崩壊の原理を利用したもので、図に示す高揚程のポンプの吐出口に旋回噴射ノズルを取り付け、表-1 の条件で攪拌し、WC の粉砕を行った。粒度測定にはレーザー回折式粒度分布測定装置(株式会社島津製作所製:SALD-3100)を用いた。

なお、粒度計測試料は、試験の都合により Case1 は WC 粒子そのものであるが、Case2 は粉砕装置による粉砕後、約 3 週間スターラーでゆっくりと攪拌し続けた後に 1 日静置してから測定したもの、Case3 は粉砕後 1 日静置したものをを用いた。

## 2-2. 試験結果

レーザー回折式粒度分布測定装置により測定された粒径加積曲線を図-2 に示す。図より粉砕後の WC の分布形状が左方に移動し、粒径が細粒化されていることが確認できる。しかしながら Case2 と Case3 を比較すると、WC 混合量の多い Case3 の粒度分布が大きくなる結果となった。この要因として、WC 混合量が多い場合、WC の再凝集が生じ粒径が大きくなりやすいことや、WC 混合量に対する粉砕時間が短かったことなどが考えられる。

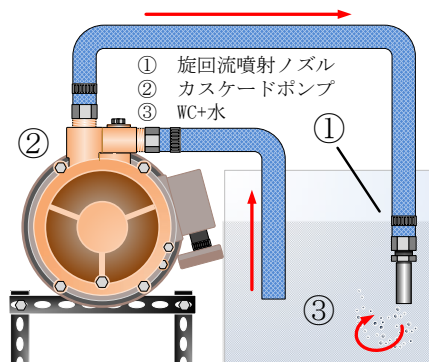


図-1 粉砕装置の概略

表-1 試験条件

|       | 試料                    | 攪拌時間<br>(分) |
|-------|-----------------------|-------------|
| Case1 | WC                    | 0           |
| Case2 | WC+水<br>(WC/水=4.0wt%) | 30          |
| Case3 | WC+水<br>(WC/水=7.5wt%) | 30          |

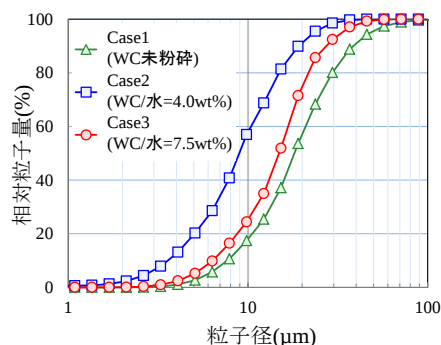


図-2 WC の粒径加積曲線

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. WC 充填試験 (Case4-Case6)

#### 3-1. 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 充填量の変化を検討する目的で行った。試験条件、充填試験装置の概要をそれぞれ表-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( $\rho_{dmax}=1.601\text{g/cm}^3$ ,  $\rho_{dmin}=1.343\text{g/cm}^3$ ,  $\rho_s=2.648\text{g/cm}^3$ )を用いた。供試体は相対密度  $D_r$  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体積量  $V_v$  は  $543\text{cm}^3$  である。また、供試体は作製後、 $\text{CO}_2$  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 と水を混合した WC 水である。混合する WC は Case4, Case5, Case6 それぞれにおいて、水に対し重量比で 4.8wt%, 7.5wt%, 9.6wt% とした。なお、WC 水に混合する WC は粉碎装置にて 30 分攪拌し細粒化したものを用いた。注入による充填量の変化の検討には相対密度  $D_r$  を用いた。また、相対密度  $D_r$  は WC の充填により変化する間隙比  $e_{wc}$  を代入することにより算定した。間隙比  $e_{wc}$ 、相対密度  $D_r$  の算定式を式-1、式-2 に示す。

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

$e_{wc}$ : WC の充填により変化する供試体の間隙比,  $V_v$ : 供試体の間隙体積( $\text{cm}^3$ ),  
 $V_{vwc}$ : 充填される WC の体積( $\text{cm}^3$ ),  $V_s$ : 豊浦砂の体積( $\text{cm}^3$ )

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

$D_r$ : WC の充填により変化する相対密度(%),

$e_{dmax}$ : 最大間隙比=0.972,  $e_{dmin}$ : 最小間隙比=0.654

#### 3-2. 試験結果

注入量と相対密度  $D_r$  の関係を図-4 に示す。図より全ての Case において WC 水の注入により相対密度  $D_r$  が増加していることが確認できる。相対密度  $D_r$  は、間隙体積量  $V_v$  の 500ml 付近まで増加し、その後、増加割合は小さくなる傾向となった。また、Case4, Case5 では、間隙充填後に相対密度  $D_r$  の増加がほとんど発生せず、WC の蓄積はあまり見られないものの、Case6 に関しては、注入量が 500ml 付近を超えても、相対密度  $D_r$  の増加傾向が表れている。このことから、濃度の高い注入材を注入することによって間隙体積量  $V_v$  を 1 回分入れ替えるだけの注入量を超えても WC の充填量を増加させることが可能であると考えられる。また、相対密度  $D_r$  の増加傾向についても濃度の高い注入材を注入した方が高くなることから、濃度の高いほど有効に充填されることが考えられる。しかし、注入材の濃度が高い場合、粘性抵抗が増加し、浸透性が低下する。そのため、WC 水の充填は、地盤条件に応じた適切な注入材の配合条件を検討する必要があると考えられる。

#### 4. まとめ

本試験により WC を細粒化することによる浸透性の向上と密度の増加を確認した。水に対する WC の混合量は、多いほど改良の効率は高くなる傾向にあるが、粉碎した粒子が凝集しやすくなり微細な状態に保てない可能性がある。今後は、WC の混合量、WC 粉碎直後における測定など、様々な条件を変化させ粒径分析を行うとともに、WC の注入による改良効果を繰返し三軸試験による液状化強度も確認していく。

#### 参考文献

- 第2回 豊洲新市場予定地における土壌汚染対策等に関する専門家会議：液状化対策の工法，東京都中央卸売市場，<http://www.shijou.metro.tokyo.jp/pdf/senmonkakaigi/02/0630shiryu4.pdf>
- 浦安市液状化対策技術検討調査委員会：液状化対策工法の体系的整理，<http://www.city.urayasu.chiba.jp/secure/26052/lasthoukou02-03.pdf>
- 徳山翔太：新しい注入系液状化対策工法の開発：第40回土木学会関東支部技術研究発表会，2014.3

表-2 試験条件

|       | 試料  | 注入材                   | 作製方法  | 相対密度 $D_r$ (%) |
|-------|-----|-----------------------|-------|----------------|
| Case4 | 豊浦砂 | WC+水<br>(WC/水=4.8wt%) | 空中落下法 | 60             |
| Case5 | 豊浦砂 | WC+水<br>(WC/水=7.5wt%) | 空中落下法 | 60             |
| Case6 | 豊浦砂 | WC+水<br>(WC/水=9.6wt%) | 空中落下法 | 60             |

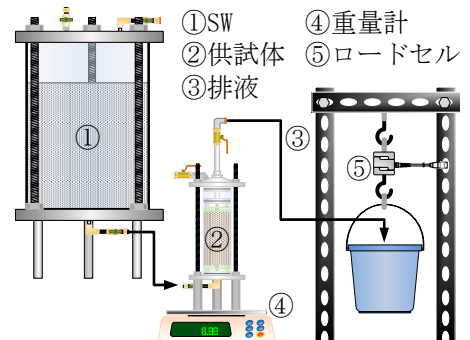


図-3 試験器具の概要

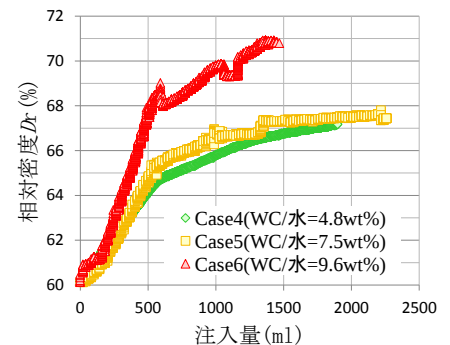


図-4 注入量と相対密度  $D_r$  の関係