

## 粉砕シリカを混合したマイクロバブル水注入工法に関する研究

東京都市大学 学生会員 ○蓮 沼 佑 晃

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) 正 会 員 佐々木隆光

佐藤工業(株) 正 会 員 永 尾 浩 一

### 1. はじめに

既存の液状化対策工法は、大規模な施工機械を用いる場合が多く、宅地などの狭隘な土地における施工には適さない。そのため、現在、安価かつ良好な施工性を有する液状化対策工法の開発が求められている。そこで、本研究ではマイクロバブル(Micro-Bubble:以下 MB)水に粉砕したシリカ(Silica:以下 SiO<sub>2</sub>)固化体を加えた、新しい注入材であるバブルホワイト(Bubble-White:以下 BW)を開発することを目的としている。しかしながら、SiO<sub>2</sub> 固化体の細粒化が十分でない場合浸透注入を行うことが困難である。そこで、本報告では、作製条件の異なる SiO<sub>2</sub> 固化体において粉砕後の粒径を比較するため、粒度分布測定を行った。また、微細粒子の砂供試体に対する注入特性を確認するため、粉砕した SiO<sub>2</sub> 固化体および平均粒径が 1μm 程度の溶融シリカ(丸釜釜戸陶料株式会社:MS-1)を用いて注入実験を行い考察した。

### 2. Bubble-White について

BW とは、MB 水および粉砕した SiO<sub>2</sub> 固化体を混合した新しい注入材である。BW は MB 水の注入による地震時の間隙水圧上昇の抑制効果と SiO<sub>2</sub> 固化体の注入による密度増大効果の 2 つの効果を併せ持つ。この 2 つの改良効果により、MB が許容できる以上の地震動を受け液状化が発生したとしても、その後の沈下を軽減することが可能であると考えられる。しかしながら、SiO<sub>2</sub> 固化体の細粒化が十分でない場合浸透注入を行うことが困難であると指摘されており、ハンドミキサー、ミキサーを用いて一次粉砕した後にカスケードポンプを用いて二次粉砕を行うことで SiO<sub>2</sub> 固化体を細粒化した材料を用いている。図-1 に二次粉砕の概略図を示す。BW に関する既往の研究では BW の注入によって改良した供試体を用いた小型振動台実験から、液状化後の再圧密沈下抑制効果が確認されている。しかしながら、既往の研究においても SiO<sub>2</sub> 固化体の浸透性は未だ説明されておらず、細砂に対して注入するためには粉砕が不十分であった。そのため、本研究では、SiO<sub>2</sub> 固化体の養生条件を変化させて粉砕し、粒径を測定した。試料条件を表-1、測定結果を図-2 に示す。また、本研究にて用いた溶融シリカと呼ばれる微粒な粉砕ガラスについての粒径分析結果も同図に示す。本報告では、これらの微粒子を用いた一次元注入実験を行った。

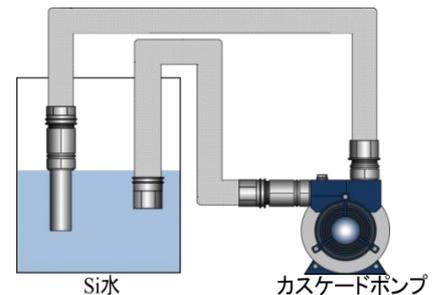


図-1 二次粉砕の概略図

表-1 測定試料条件

case	試料	粉砕前 薬液濃度 (%)	養生期間 (day)	加熱養生期間 (hour)	二次粉砕 時間 (min)
case1	MS-1	-	-	-	-
case2	SiO <sub>2</sub>	12	7	2	30
case3				-	

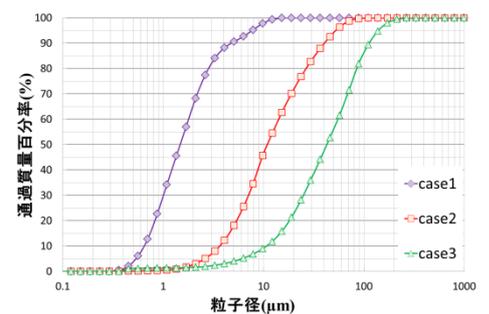


図-2 測定結果

表-2 供試体条件

case	試料 (珪砂)	注入材	直径 (cm)	高さ (cm)	注入前 濃度(%)	注入圧力 (kPa)
case1	5号	SiO <sub>2</sub> 水	5	15	1.93	8.8
case2	6号			10	3.41	160
case3	5号	15		3.26	8.8	
case4	7号	MS-1水		15	3.97	8.8
case5					3.84	60

### 3. 砂供試体を用いた微粒子注入実験

#### 3-1. 実験概要

本実験は砂供試体に SiO<sub>2</sub> 水と MS-1 水をそれぞれ注入し、試料および注入材の違いによる注入特性の変化を確認することを目的に行った。供試体条件を表-2、注入実験概略図を図-3 に示す。注入材は 7 日間の湿潤養生に

キーワード SiO<sub>2</sub> 固化体, マイクロバブル, 液状化対策

〒158-8557 東京都 世田谷区 玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104 (代) E-mail : g1218070@tcu.ac.jp

加え、加熱養生を2時間行った  $\text{SiO}_2$  固化体を 30min 二次粉砕した  $\text{SiO}_2$  水と MS-1 を用い、重量比でそれぞれ 1.1wt%, 4.0wt% になるように加水して調整した。供試体は、硅砂 5 号、硅砂 6 号、硅砂 7 号を用いて直径 5.0cm、所定の供試体高さになるように円筒アクリルモールド内に作製した。なお、この際の相対密度は 60% であり、空中落下法により作製した。また、注入実験では排液の重量を測定することによって浸透注入量を算出し、排出された排液を採取し、炉乾燥することで注入に伴う排液の経時的な濃度変化を測定した。

### 3-2. 実験結果および考察

$\text{SiO}_2$  水の注入結果を図-4、MS-1 水の注入結果を図-5、全 case における注入時間と置換率の比較を図-6 に示す。濃度比  $C/C_0$  は  $C$  を排液濃度、 $C_0$  を注入材濃度として算定した。また、置換率は注入量を各 case で用いた供試体の間隙体積で除した値にて示した。なお、注入材の濃度は排液採取時の重量と、排液乾燥後の重量の差により算出した。

図-4 より case1, case2 において、注入量が間隙体積を完全に置換する前に排液濃度の上昇を確認した。このときの供試体の置換率は、どちらも間隙体積の 70% ~ 80% 程度である。これは、注入材が拡散し逸走したことによるものと考えられる。また、注入材が排出されるまでの供試体の置換率は case1 の方が case2 より小さい値となっている。これは供試体に使用した硅砂 5 号の方が硅砂 6 号よりも間隙が大きいためと考えられる。また図-6 について、注入初期の注入時間に対する置換率が case1 より case2 の方が大きいのは、圧力により注入速度が一時的に高くなったためと推測される。しかし、case2 の間隙は case1 より小さく微粒子を捕捉しやすいため、濃度比は case1 より小さくなったと考えられる。図-5 より case3 ~ case5 において case1, case2 同様、注入量が間隙体積を完全に置換する前に排液濃度の上昇を確認できる。case3 は、同じ試料を用いている case1 と比較すると注入量が明らかに増加している。これは、注入材の粒径が小さくなることで一定時間あたりの注入量が増加し、注入速度が高くなったためと考えられる。図-6 より case4, case5 は、粒径の小さい硅砂 7 号を用いており間隙が硅砂 5 号より小さいため、case3 と比較して注入開始から 150sec 経過後の累積注入量は少ない。また、case4 と case5 では注入初期の注入速度に差があるものの注入時間 45sec あたりからはほぼ注入速度が等しくなっている。このことから一定速度で注入できたケースは排液の濃度比もほぼ一定の値に収束するため供試体内に薬液が均一に注入されていることが想定される。一方で、注入速度が変化したケースは、注入の途中段階で供試体内の間隙が閉塞されてしまい注入材が均一に注入されない可能性が考えられる。

実験から、供試体に用いた試料の粒径、注入材の粒径および濃度の違い、また、注入速度の違いによって供試体に対する微粒子の充填性が変化することが示唆された。

### 4. 今後の展望

今後は、多様な条件において  $\text{SiO}_2$  固化体の粉砕を行い粉砕後の粒径のさらなる細粒化を検討する。また、改良効果を検討するために繰返し三軸試験による液状化試験を行う予定である。

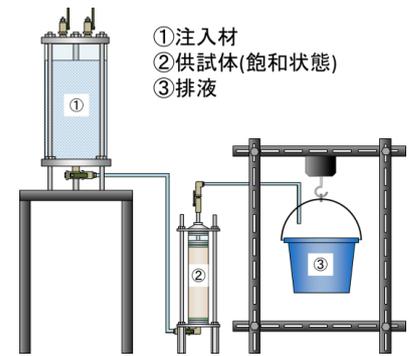


図-3 注入実験概略図

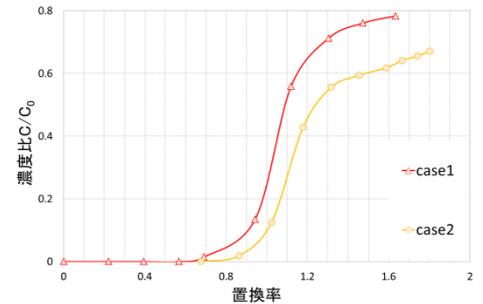


図-4 注入結果 ( $\text{SiO}_2$ )

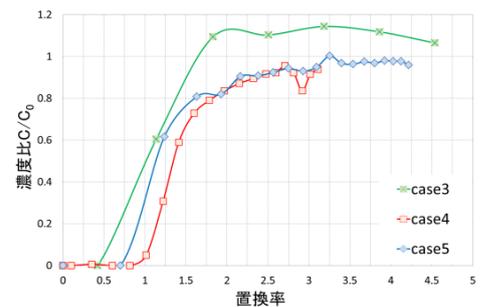


図-5 注入結果 (MS-1)

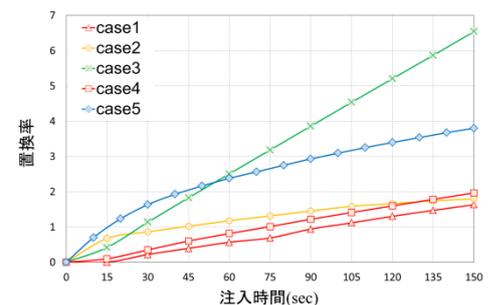


図-6 注入時間と置換率の関係