

繰返し三軸圧縮試験によるシリカバブル改良体の液状化強度特性

東京都市大学 学生会員 ○鈴木健太
 東京都市大学 国際会員 末政直晃
 佐藤工業株式会社 正会員 永尾浩一
 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

2011年3月11日に東日本大震災が発生し、千葉県浦安市を中心に液状化被害を及ぼした。液状化被害が生じた地域は、海岸埋立地や地盤が緩く堆積している軟弱地盤であった。このような軟弱地盤には、液状化対策工法が必要である。しかし、既存の液状化対策工法は、高コストのため液状化が起きやすい広域な河川堤防などの施工が適さない。また、既設構造物への適用が困難な場合がある。近年では、東海・南海地震における大型地震の発生が予測されており、既存の液状化対策工法に関する問題を解決する低コストで施工が容易な新しい液状化対策工法が急務である。

本報告では、これらの問題点に着目し、シリカ薬液とマイクロバブル(Micro-Bubble: 以下MB)水を混合させたシリカバブル混入工法(Silica-Bubble: 以下SB)を提案する。本報告では、一段階注入方式(薬液溶存)によるシリカ濃度2%のSBを注入したSB2%改良体とシリカ薬液2%改良体の繰返し三軸圧縮試験による液状化試験を実施し、本工法の強度特性について検討を行った結果を示す。

2. SB 混入工法

本研究では低濃度シリカ注入材¹⁾に着目し、注入材とMB水を合わせたSB水を用いることで、MB水による気泡収縮効果と低濃度シリカ注入材による変形抑制を兼ね合わせることを目的とした新しい液状化対策工法であると検討している。お互いの短所を補う効果により地盤の強度や耐久性をより向上させることを期待している。

3. 繰返し三軸圧縮試験による液状化試験

3-1. 試験概要

本研究では、SB供試体の強度特性を調べるために、SB供試体とシリカのみの供試体について試験を実施した。また、畔上らによる $S_r=100\%$ の飽和砂³⁾、小林らによる $S_r=90\%$ の不飽和砂²⁾と比較を行った。SB2%供試体とシリカ2%供試体は、ともに養生期間7日以上とし繰返し三軸圧縮試験を行った。試験条件を表-1に示す。圧密圧力 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ で圧密することによって飽和度 S_r を高めた。尚、試験は初期拘束圧 $\sigma'_0=100\text{kPa}$ 、背圧 $B.P=100\text{kPa}$ で側圧一定条件の下、周波数0.1Hzの正弦波で载荷を行った。繰返し载荷の際、両振幅ひずみ $DA=5\%$ に達した後に、再圧密を行い再圧密体積ひずみと最大せん断ひずみの関係を求めた。

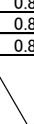
3-2. 試験結果及び考察

本研究から得られた実験結果と既往の研究の三軸試験結果の代表例を図-1に示す。本研究では、両振幅ひずみ $DA=5\%$ に到達した時点の繰返し载荷回数 N_c を液状化と判定し、繰返し载荷回数 $N_c=20$ 回で液状化に至る繰返し応力比 $P/(2Ac\sigma'_0)$ を液状化強度 R_L20 とした。過剰間隙水圧・繰返し载荷回数の関係に着目すると、Case3のSB2%は、Case6のシリカ2%、Case8の不飽和砂 $S_r=90\%$ 、Case14の飽和砂よりも緩やかに過剰間隙水圧が上昇し、収束傾向に向かった。気泡による過剰間隙水圧の抑制効果が発揮されたと考えられる。その結果、SB2%の軸差応力・有効平均主応力の関係は、薬液による変形抑制効果とMB水による気泡収縮効果により有効平均主応力が緩やかに減少した。尚、軸差応力・軸ひずみの関係に着目すると、Case3は、薬液の特性より引張方向による破壊する挙動を示した。

本試験より得られた液状化強度曲線を図-2に示す。SB供試体の液状化強度 R_L20 は、飽和砂の液状化強度 R_L20 より2.88倍となり、不飽和砂 $S_r=90\%$ の液状化強度 R_L20 より1.17倍と高くなった。また、SB2%の液状化強度 R_L20 は、シリカ2%と不飽和砂の液状化強度 R_L20 の中間程度となった。SB2%とシリカ2%で液状化強度 R_L20 に差が生じるのは、気泡が空隙内に生じるためにシリカ2%よりも粘着力が低下することにより液状化強度 R_L20 が低くなったと考えられる。

本試験より得られた再圧密体積ひずみと最大せん断ひずみの関係を図-3に示す。相対密度60%の飽和砂⁴⁾よりもSB2%とシリカ2%ともに相対密度80%の飽和砂の体積ひずみまで抑制した。尚、SB2%とシリカ2%の再圧密体積ひずみとせん断ひずみの関係は、ほぼ同値となった。

表-1: 試験条件

	供試体	$P/(2Ac/\sigma'_{\text{v}})$	B値	相対密度
Case1	シリカバブル2%	0.3	0.63	60
Case2		0.35	0.68	
Case3		0.4	0.75	
Case4		0.45	0.67	
Case5	シリカ2%	0.35	0.83	
Case6		0.4	0.83	
Case7		0.45	0.87	
Case8	不飽和砂 ²⁾	0.21		
Case9		0.29		
Case10		0.3		
Case11		0.34		
Case12	飽和砂 ³⁾	0.11		
Case13		0.18		
Case14		0.19		

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 g1281713@tcu.ac.jp

キーワード 液状化, シリカバブル, 繰返し三軸圧縮試験

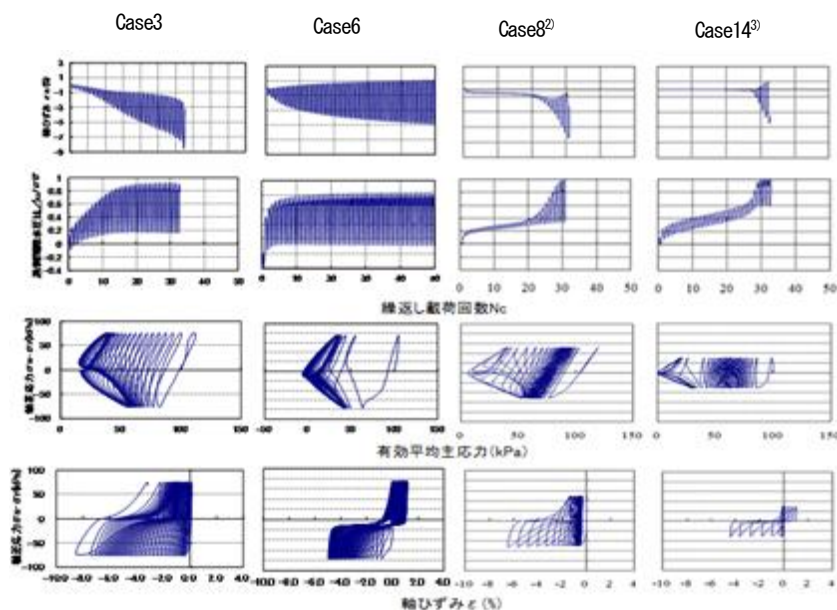


図-1：三軸試験結果

本研究より得られた軸差ひずみと繰返し載荷回数を図-4に示す。
Case13の飽和砂は、載荷回数が増加すると共に軸差ひずみが大幅に上昇した。Case10の不飽和砂は、飽和砂と同様に軸差ひずみが大幅に上昇したが、気泡の収縮効果により飽和砂より、軸差ひずみが上昇するのを遅延させた。Case6のシリカ2%は、初期に軸差ひずみが上昇したが、その後一定のひずみ量にとどまった。Case3のSB2%は、初期に軸差ひずみが上昇したが、シリカ2%よりも緩やかに軸差ひずみが上昇した。このことは、MB水による気泡の収縮効果と薬液による変形抑制の効果が発揮されたと思われる。

7. おわりに

本研究で得られた結果を以下に示す。

1) SB2%は、過剰間隙水圧の減少と有効平均主応力の消失の抑制効果が強かった。このことは、薬液による変形抑制効果とMB水による気泡の収縮効果の互いの効果を兼ね合わせたためと思われる。

2) 液状化強度曲線に関しては、SB2%は、シリカ2%と不飽和砂 $S_r=90\%$ の中間程度となった。SB2%とシリカ2%は、シリカ濃度が同じでも液状化強度 R_{L20} に差が生じた。これは、SB2%は、気泡が存在するため、シリカ2%よりも粘着力が低下したために、液状化強度 R_{L20} が小さくなったためと考えられる。

3) 再圧密体積ひずみと最大せん断ひずみに関して、SB2%とシリカ2%は再圧密体積ひずみがほぼ同じ値となった。相対密度 $Dr60\%$ のSB供試体とシリカ2%の供試体は、相対密度 $Dr60\%$ の飽和砂よりも再圧密体積ひずみが小さい値となり、相対密度 $Dr80\%$ の飽和砂の体積ひずみと近い値になった。また、SBは、シリカのみと比べて気泡が混入しているため経済的であると考えられる。

4) 軸差ひずみと繰返し載荷回数に関して、飽和砂と不飽和砂 $S_r=90\%$ は、大幅に軸ひずみが上昇した。しかし、SB2%とシリカ2%共に初期に軸差ひずみが上昇したが、飽和砂と不飽和砂 $S_r=90\%$ のように大幅に軸ひずみが上昇することなく、その後一定のひずみ量にとどまった。このことから、SB2%は、シリカ2%と同様な効果を発揮できたことが示された。尚、SB2%は、土粒子の間に気泡が混入しているため、シリカ量を減らし、低コストで施工可能であると考えられる。

<参考文献>

- 1) 地盤注入開発機構；カタログ「パーマロック ASF-II」
- 2) 畔上洋一：マイクロバブル水を利用した液状化対策工法開発に関する研究。武蔵工業大学修士論文，2007
- 3) 小林森雄：マイクロバブル水混入工法の適用性向上に関する研究。東京都市大学修士論文，2011
- 4) 佐々木勉，龍岡文夫，山田真一：液状化による砂地盤の沈下予測法について，第17回土質工学研究発表 pp. 1661-1664, 1982

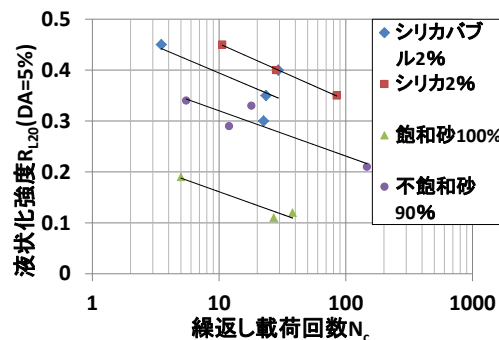


図-2：液状化強度曲線

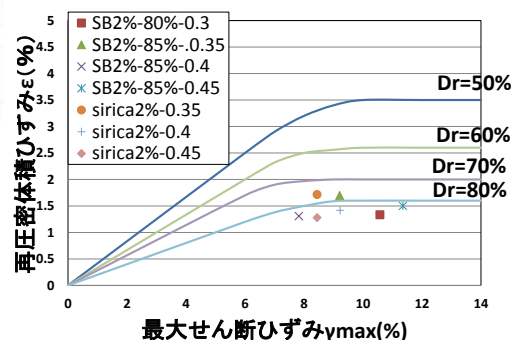


図-3：再圧密体積ひずみと最大せん断ひずみ

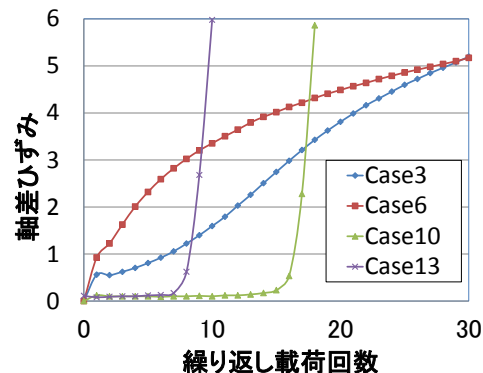


図-4：軸差ひずみと繰返し載荷回数