

マイクロバブル水を利用した地盤不飽和化による液状化対策工法の開発

武蔵工業大学 学生会員 ○岡田真幸 岡庭一憲
 同上 正会員 末政直晃 片田敏行
 佐藤工業株式会社 正会員 永尾浩一

1. はじめに

本研究では、施工が簡易かつ廉価であり、環境に優しい液状化対策工法としてマイクロバブル(Micro Bubble：以下MB)水を用いた液状化対策工法の開発を試みる。MB水混入工法は、直径が約10~100μmの気泡を含む高濃度空気溶存水を地盤内に混入することで効率良く液状化強度を増加させることが可能であると考えられており、新たな液状化対策工法として期待される。本報告では、①初期飽和度の異なる砂供試体の飽和度遷移過程を把握するためのMB水混入実験、②MB水を混入した改良体および未改良体の液状化強度を比較するための非排水繰返し三軸試験を行い、工法の有効性について検討した結果を示す。

2. MB水混入実験

2.1 実験概要

本実験では地盤内の初期飽和度の違いにより、連続的なMB水混入に伴う飽和度遷移過程を調べるためにMB水の混入実験を行った。図-1に試験装置を、表-1に試験条件を示す。MB水は、発生装置でセル圧400kPa、空気流入圧500kPaの圧力下で約10分攪拌させ生成したものをを使用した。試験供試体は、内径7.35cm、高さ30cmの亚克力樹脂製円筒容器を使用し、初期飽和度を調整するために以下の手法を用いることにより日光珪砂6号をそれぞれ充填させて作製した。CASE1では、空中落下法により充填し、二酸化炭素を透過後、脱気水を通水し初期飽和度 $S_{r0}=97.3\%$ とした。CASE2では、湿潤締め固め法により充填し、初期飽和度 $S_{r0}=24.2\%$ とした。なお、容器への充填高は約29.2cm、相対密度 $Dr=60\%$ であり、ボイリングを防ぐため、上下端面にポーラスストーンを設置した。実験は供試体背圧B.P.を0kPa(地表面付近)として、MB水混入圧を400kPaで供試体下部より連続的に混入を行った。なお、本実験では混入直前にMB水復元装置を使用した。計測は供試体の重量変化、MB水の通過流量、供試体流入後の溶存酸素量DOの変化を調べた。MB水混入に伴う飽和度 S_r は、以下の式を用い重量変化より算出した。

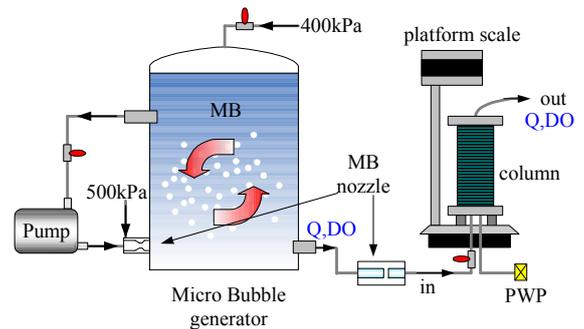


図-1 MB水混入実験概要

表-1 試験条件

CASE	ρ_s (g/cm ³)	e	Dr (%)	B.P. (kPa)	initial S_r (%)
CASE1	2.64	0.697	60.0	0	97.3
CASE2	2.64	0.697	60.0	0	24.2

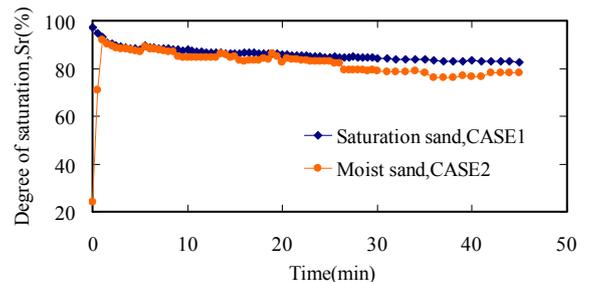


図-2 時間経過に伴う飽和度遷移過程

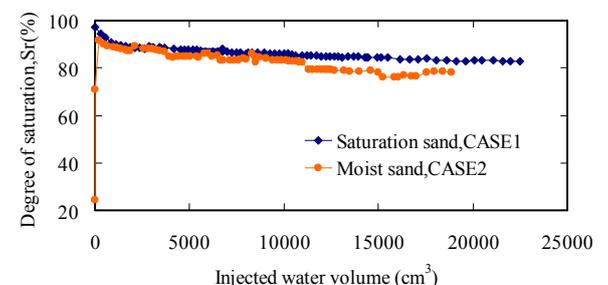


図-3 飽和度と混入体積の関係

$$S_r = \frac{V_w - \Delta W \cdot \rho_w}{V_v} \times 100 \quad (1)$$

ここで、 V_w (m³):間隙水の体積、 V_v (m³):間隙の体積、 ΔW (g/min):重量変化、 ρ_w :水の密度(g/cm³)である。

2.2 実験結果及び考察

図-2 に時間経過に伴う飽和度遷移過程を、図-3 に飽和度 S_r と混入体積の関係を、図-4 に時間経過に伴う溶存酸素量DOと水温の変化を示す。CASE1は混入直後から急激に減少し、最

キーワード マイクロバブル水 液状化 不飽和

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学地盤環境工学研究室 Tel&Fax 03-5707-2202

最終的に概ね 82.8%まで低下した。一方, CASE2 は混入直後に急激に飽和度 S_r が上昇し, その後徐々に飽和度が低下することで, 最終的な飽和度 S_r は概ね 78.0%となった。また, 供試体から排出される溶存酸素量 DO の変化は, CASE1, 2 共に若干の増加傾向が見られた。これは実験開始直後では, 砂粒子のエアポケットと呼ばれる部分に MB が付着することで溶存酸素量 DO が消費され排出される MB 水の溶存酸素量 DO は少ないが, 時間の経過とともにエアポケットが密となり, 排出される MB 水の溶存酸素量 DO が増加するということが考えられる。これより原位置における飽和度 S_r のばらつきが想定される地盤でも, MB 水により一様に飽和度を低下させることが可能であることがわかった。

3. MB 液状化強度試験

3.1 実験概要

図-5に示す装置を使用し, 飽和供試体及びMB水を混入した不飽和供試体を用いて非排水繰返し三軸試験を行った。試料は日光珪砂6号を用い, 空中落下法により直径5cm, 高さ10cm, 相対密度 $D_r=60\%$ の円筒供試体を作製した。供試体飽和のため, あらかじめ二酸化炭素を透過することで間隙空気と置換し, 脱気水を通水し飽和させた。また, 圧密応力 $\sigma'_c=98\text{kPa}$, で30分圧密することで飽和度 S_r を高めた。その後, MB水を混入圧117.6kPaで30分間混入し, 飽和度 S_r を90%まで低下させた。供試体の飽和度 S_r は, 背圧を変化させた際のビューレットの水位変化を間隙空気の体積変化とし, ボイルの法則を用いて算出した。試験は背圧 $B.P.=98\text{kPa}$, 初期拘束圧 $\sigma'_0=98\text{kPa}$ (GL-10m相当)で側圧一定条件の下, 周波数0.2Hzの正弦波で繰返し載荷を行った。表-2に試験条件を示す。

3.2 実験結果及び考察

本研究では, 両振幅ひずみ $DA=5\%$ に達する時を液状化と判定し, 繰返し回数 $N_c=20$ 回で液状化に至る繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma'_0$ を液状化強度とした。図-6に本試験から得られた液状化強度曲線を示す。また, 畔上ら¹⁾が行った豊浦砂, $D_r=60\%$, $S_r=100, 90\%$ の結果, 岡村ら²⁾が行った豊浦砂, $D_r=40\%$, $S_r=90\%$ の結果を併せて示す。本実験の日光珪砂6号におけるCASE1, 2の液状化強度は, 畔上らにより行われた豊浦砂の結果と概ね近似していることがわかった。これより, MB水を混入して $S_r=90\%$ とした供試体の液状化強度 R_{L20} は, 日光珪砂6号, 豊浦砂とともに飽和供試体の液状化強度 R_{sat} と比べ1.8倍程度の増加が見られた。但し, 岡村らとの結果と比較すれば, やや強度が劣ることがわかる。この原因の一つとして, 気泡径の違いが考えられるが, 今後, この点を考慮し試験を行う必要がある。

4. まとめ

MB水を利用した液状化対策工法は, 地盤中の飽和度を均一に低下させることができ, それに伴う液状化強度の増加が期待できる。以上より, 本工法の有効性が示唆された。

<参考文献>1)畔上洋一; マイクロバブル水を利用した液状化対策工法の開発に関する研究, 平成19年度 武蔵工業大学 修士論文, 付録

2)岡村ら(2005); 不飽和土の液状化強度に及ぼす空気圧縮性の影響, 第40回地盤工学研究発表会, pp.511-512

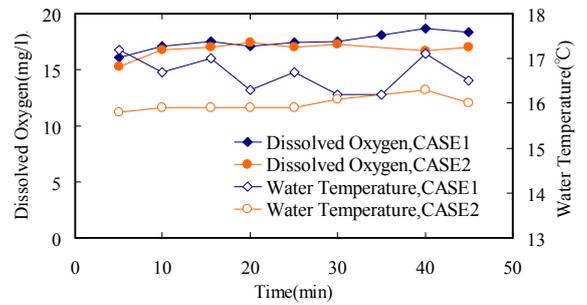


図-4 時間経過に伴う溶存酸素量と水温の変化

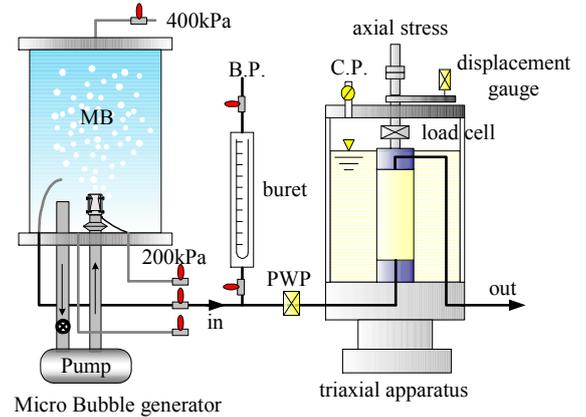


図-5 MB水液状化強度試験概要

表-2 試験条件

CASE	σ'_0 (kPa)	B.P.(kPa)	S_r (%)
CASE1	98	98	100
CASE2	98	98	90

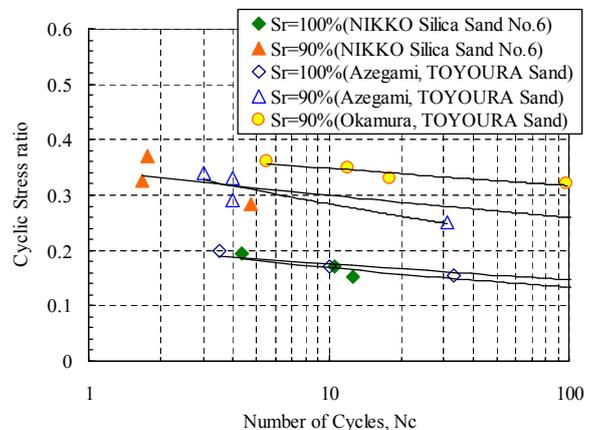


図-6 液状化強度曲線