

マイクロバブル水の混入条件における飽和度低下効果の検討

東京都市大学	学生会員	○小林森雄
東京都市大学	正会員	末政直晃
佐藤工業株式会社	正会員	永尾浩一
東海旅客鉄道株式会社	正会員	岡庭一憲

1. はじめに

日本は世界有数の地震国であり、沖積平野や海岸埋立地など、液状化の起きやすい地帯に多くの構造物が立地している。これらの地帯では地盤が緩く堆積している軟弱地盤であることが多く、地震時において大規模な液状化被害が懸念されている。そのため液状化被害を防ぐために対策が急務とされている。しかし既往の液状化対策工法はそのほとんどが、施工費が高価であるゆえ、経済性に見合う比較的重要な構造物に対してしか対策が行われていないのが現状である。また近年、土壤汚染対策法の施行に伴い、土壤汚染に関する問題も軽視できなくなり、液状化対策工法においても環境面にも配慮すべきであると考えられる。そこで、本研究では施工が比較的簡易でかつ廉価であり、環境に優しい液状化対策工法として、地盤に微細な気泡を混入するマイクロバブル（以下 MB）水混入工法を提唱する。

本報告では混入条件を変化させて飽和供試体に MB 水を混入させ飽和度低下に関して考察を行った結果を示す。

2. マイクロバブル水混入工法

本研究で提案する MB 水混入工法は、直径が数十マイクロメートル程度の気泡を含む高濃度空気溶存水を地盤に混入することで、地盤を不飽和させ液状化強度を高める工法である。この工法は、地震時において液状化の際に発生する過剰間隙水圧を、粒子間に混入した気泡が収縮することによって吸収し、砂同士の噛み合いを保つことで液状化抵抗を上昇させる工法であり、新たな液状化対策工法として期待される。図-1 に工法のメカニズムの概略図を示す。

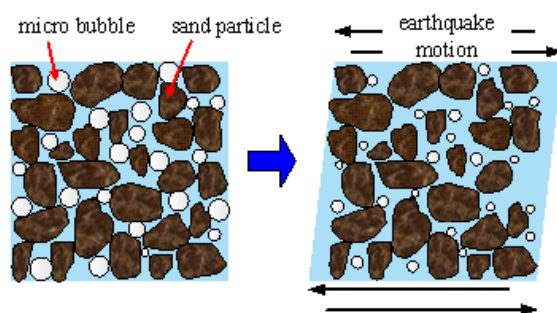


図-1 マイクロバブル水混入工法メカニズム

3. 室内カラム実験

3-1. 実験概要

本研究では MB 水混入工法の有効性を確認するために既往の研究において室内カラム実験を行ってきた¹⁾。しかしながら、供試体への MB 水混入時における、混入流速や供試体の圧力の条件が一定であったことから、本実験では MB 水混入時の混入流速や供試体内の圧力を変化させ飽和供試体に MB 水を連続的に混入して、供試体の飽和度 S_r の低下を調べ、考察を行った。

実験装置概要図を図-2 に示す。供試体は内径 7.35cm、高さ 30cm のアクリル製円筒容器のカラムを使用した。試験試料には豊浦砂を用いて、空中落下法により相対密度 D_r を 60% の供試体を作成した。供試体の飽和は、二酸化炭素を透過後、脱気水を通水することで飽和度 S_r 約 100% の地盤を作成した。MB

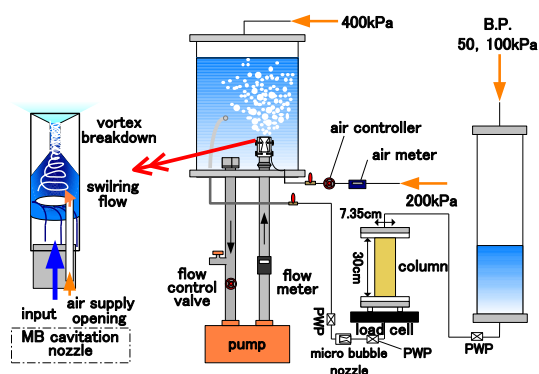


図-2 実験装置概要図

表-1 実験条件

Case	Case1	Case2	Case3
weight(g)	1864.1	1864.2	1864.2
$D_r(\%)$	60.00	60.02	60.02
$V_v(\text{cm}^3)$	532.83	532.8	532.8
$V_w(\text{cm}^3)$	525.71	525.67	532.52
flow velocity	fast(400kPa)	slow(300kPa)	fast(400kPa)
B.P.(kPa)	50	50	100

キーワード：液状化、マイクロバブル、不飽和土、室内実験

連絡先：〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 地盤環境工学研究室 連絡先：03-5703-2202

水生成には筑波大学京藤教授制作のノズルを用いた加圧溶解式のMB発生装置を使用し、セル圧 400kPa、空気流入圧 200kPa の压力下で約 30 分間攪拌して生成したものを使用した。

実験条件を表-1 に示す。本実験では MB 水混入時にセル圧を Case1 と Case3 では 400kPa、Case2 では 300kPa の压力下で混入を行い、混入時の流速を変化させた。また、実地盤の地下水位を模擬し供試体カラムと排水側タンクには Case1 と Case2 では 50kPa を、Case3 では 100kPa の圧力 (B.P) を加えた。更に Case1 では MB 水の耐久性を調べるため、MB 水混入後に地下水の流れを模擬し脱気水を通水した (フラッシング)。なお、飽和度 S_r は式 (1) より、重量変化を計測することにより算出した。

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

ここで、 $V_w(\text{cm}^3)$: 間隙水の体積、 $V_v(\text{cm}^3)$: 間隙の体積、 $\Delta W(\text{g})$: 重量変化、 $\rho_w(\text{g}/\text{cm}^3)$: 水の密度である。

3-2. 実験結果

実験結果として図-3 に経過時間と飽和度の関係を図-4 に通過流量と飽和度の関係を図-5 に通過流量と混入流速の関係を示す。図より混入流速の違いでは、わずかに流速が高い方が飽和度の低下が大きい。最終的に安定した飽和度に差はあまり見られなかった。混入流量においては、同じ混入流量では同程度の飽和度の低下が見られ、今回の実験試料においては地盤に蓄積する空気量は流速の影響はほとんどないと考えられる。

地盤条件の違いによる (Case2, 3) 飽和度 S_r の変化に関しては、最終的に安定した飽和度 S_r で比較すると、Case2 (B.P=50kPa) の方が Case3 (B.P=100kPa) に比べ飽和度 S_r の低下量が多いことが分かる。これは、混入圧と地盤の間隙水圧との差が大きいほど気泡が析出しやすく、気泡体積も大きくなるため、供試体内により蓄積したためと考えられる。これらの結果より実地盤において MB 水を混入する場合、改良深度が浅い方が、より飽和度 S_r の低下が大きくなることが想定される。

図-6 に Case1 のフラッシングの結果として通過流量と飽和度の関係を示す。図より脱気水混入 (フラッシング) 直後に飽和度が急激に上昇したことが分かる。しかしながら、その後飽和度は 85% を境に安定している。これは、間隙内のある一定の気泡が脱気水によって置換及び流出されるが、ある程度の気泡は供試体内に脱気水を通水しても土粒子内に残存し続けると想定される。今回は計測時間が少なかったため MB 水の長期的耐久性としては不確定な面もあるが、地下水の流れによる耐久性はあると考えられる。

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- ・MB 水を地盤に混入する際、深い地盤より浅い地盤の方が飽和度の低下が大きいことが分かった。
- ・地盤の間隙内に定着した気泡は、地下水の流れを受けてもさほど流出せず、短期的安定性が確認された。

<参考文献> 1) 岡庭一憲; マイクロバブル水を用いた新しい液状化対策工法の研究, 武蔵工業大学修士論文, 2010

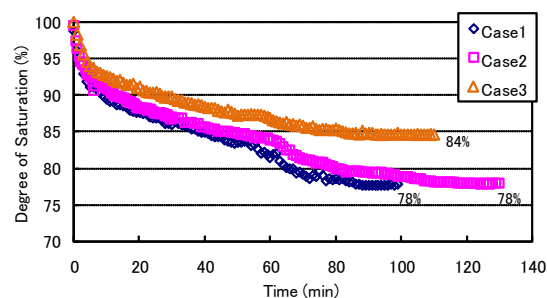


図-3 通過流量と飽和度 S_r の関係

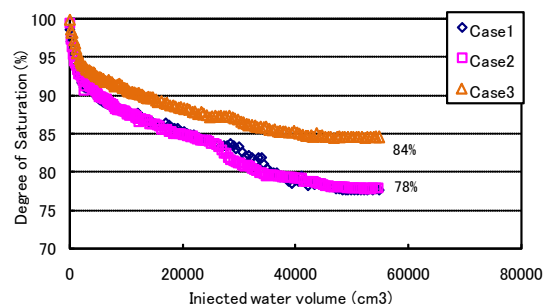


図-4 通過流量と飽和度の S_r の関係

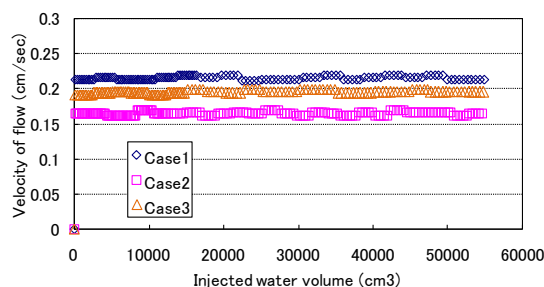


図-5 通過流量と混入流速の関係

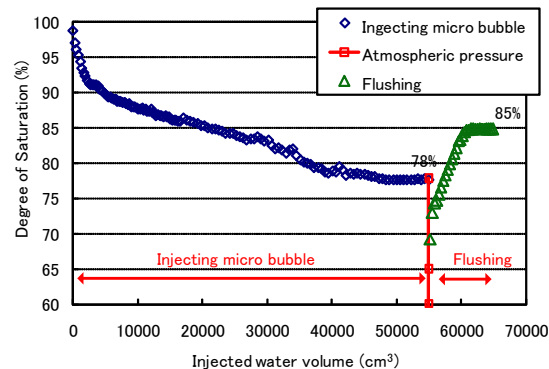


図-6 フラッシングによる MB の耐久性