

マイクロバブル水混入工法の液状化対策効果

武蔵工業大学 学生会員 ○畔上 洋一
 同上 正会員 末政 直晃 片田 敏行
 佐藤工業(株) 正会員 永尾 浩一

1. はじめに

マイクロバブルを用いた液状化対策工法は、直径が約 10~100 μ m のマイクロバブルを含む高濃度空気溶存水を地中に混入することで液状化抵抗を高める工法である。気泡が微細なため、地盤内を効率よく改良を行えると考えられ、広範囲に迅速な液状化対策が必要とされる場所に、廉価でかつ施工が容易な工法として期待される。本研究では、マイクロバブル混入実験の飽和度変化特性を把握するための6m 円筒土槽実験および飽和度と液状化強度の関係を求めるための繰返し三軸試験を行い、本工法の有効性を検討した。

2. マイクロバブル混入実験

2.1 実験概要

実験装置は図-1 に示す内径 83mm、高さ 6.0m の円筒土槽を用いた。地盤は豊浦砂 ($\rho_s=2.640\text{g/cm}^3$ 、 $e_{\max}=0.973$ 、 $e_{\min}=0.609$) で作成し、地盤層厚 500cm、地盤全体の平均相対密度 $Dr=81.8\%$ であった。実験土槽は地盤中にマイクロバブルを混入時の地盤間隙内の空気量の蓄積変化を調べるため、図に示す ADR(Amplitude Domain Reflectometry : 土壌水分計) を土槽下部より 0.5m、1.5m、2.5m、3.5m、4.5m の位置に設置し、各地点での体積含水率 θ (土壌水分量) を計測した。なお、ADR から求められる体積含水率 θ は以下の式で表される。

$$\theta (\%) = V_w / V \times 100 \quad (1)$$

$$Sr(\%) = V_w / V_v \times 100 = \theta \cdot V / V_v \times 100 \quad (2)$$

ここで、 V_w : 間隙水の体積、 V : 土の体積、 V_v : 間隙の体積、 Sr : 飽和度である。また、その他の計測として地盤内間隙水圧3箇所(土槽下部から0m、2.5m、4.5m) とマイクロバブル水の混入流量 Q を調べた。実験は約 1 時間地盤に水道水を通水し、さらに脱気水を約 30 分通水し地盤の飽和度を高めた後、圧力下 (400kPa) でマイクロバブル作成装置により生成された過飽和状態の空気溶存水 (マイクロバブル水) を供試体下部より混入した。また、混入する際、より地盤の体積含水率を低下させる目的で、供試体直前にマイクロバブル発生装置を設け、さらにマイクロバブル化し混入を行った。マイクロバブル混入後、混入による圧力が消散されるまで放置し、体積含水率の変化を調べた。

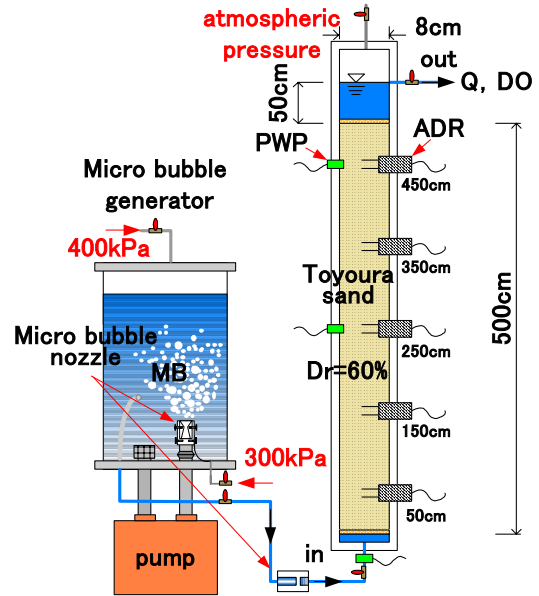


図-1 MB 水混入実験装置

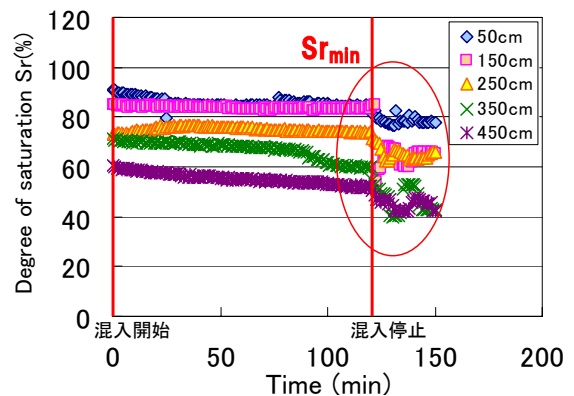


図-2 飽和度の経時変化

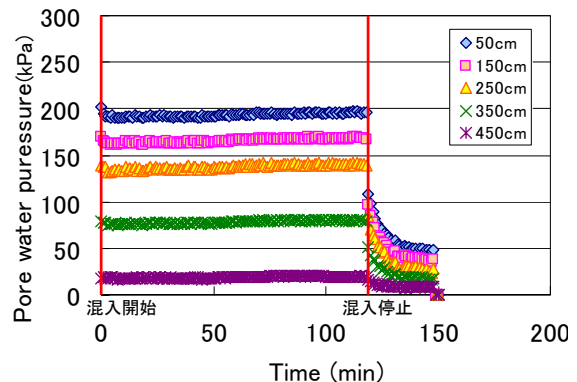


図-3 間隙水圧の経時変化

キーワード 繰返し三軸試験 マイクロバブル 液状化

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

2.2 実験結果および考察

実験より得られた飽和度および間隙水圧の経時変化を図-2、3に示す。これより、混入経過に伴い各位置での S_r は徐々に低下し収束傾向にあることが分かる。また、混入時の間隙水圧が低下するに伴い低下率は大きくなった。混入停止後は、混入圧力が消散されるに伴い S_r が低下した。ここで、マイクロバブル混入後の収束する飽和度を最終飽和度 S_{rmin} とし、これまでに実施した室内実験¹⁾および6m円形土槽実験のマイクロバブル混入後の S_{rmin} と間隙水圧の関係を図-4に示す。これより S_{rmin} は間隙水圧が小さいほど小さくなる傾向が見られる。これらは、間隙水圧の低下に伴い溶存空気が析出し、気泡径が大きくなるためと考えられる。マイクロバブル混入後の圧力の変化による S_{rmin} はボイルの法則 $PV=const.$ が成り立つとすると以下の関係が導ける。

$$S_{r2}(\%) = 100 + (S_{r1} - 100) \cdot P_1/P_2 \quad (3)$$

ここで、 S_{r1} ：混入直後の飽和度、 S_{r2} ：混入水圧消散後の飽和度、 P_1 ：混入直後の間隙水圧、 P_2 ：混入水圧消散後の間隙水圧である。図-4に混入後圧 $P_1=150\text{kPa}$ 時の飽和度 S_{r1} を80%と仮定したときの S_{rmin} の変化を示す。図より試験結果と類似した傾向があり、ボイルの法則により混入圧消散後の飽和度を予測することが可能であると考えられる。

3. 繰返し非排水三軸試験

3.1 試験概要

図-5に示す装置を用いて、不飽和砂の繰返し非排水三軸試験を行った。空中落下法により、直径5cm、高さ10cm、相対密度60%となる豊浦砂 ($\rho_s=2.648\text{g/cm}^3$, $e_{max}=0.961$, $e_{min}=0.603$) の円筒供試体を作製し、 CO_2 、脱気水を用いて飽和させた。圧密応力 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ で30分圧密した後、背圧 $B.P=98\text{kPa}$ で2時間放置し飽和度を高めた。その後マイクロバブル水を注入し、飽和度を所定の値まで低下させた。供試体の飽和度は、背圧を変化させたときのビュレットの水位変化を間隙空気の体積変化とし、ボイルの法則から算出した。試験は $S_r=100, 90, 80\%$ の供試体について、背圧 $B.P=98\text{kPa}$ 、初期拘束圧 $\sigma'_0=98\text{kPa}$ で側圧一定条件の下、周波数 0.2Hz の正弦波形で繰返し载荷を行った。

3.2 試験結果および考察

本研究では、両振幅ひずみ $DA=5\%$ に達するときを液状化と判定し、繰返し回数 $N_c=20$ 回で液状化に至る繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma'_0$ を液状化強度とする。図-6に試験から得られたせん断応力比と繰返し载荷回数の関係を示す。これより、マイクロバブルを混入することによって液状化強度が増加することが確認できた。また、 $S_r=80\%$ における R_{L20} は飽和砂の液状化強度 R_{sat} の1.7倍程度に増加することが分かった。マイクロバブル混入実験より、地盤飽和度は80%よりも低下させることが出来るので、マイクロバブル混入工法の液状化対策としての効果が示唆されている。

4. まとめ

マイクロバブル混入実験、繰返し三軸試験より本工法の有効性が示唆された。

<謝辞> 本研究を行うにあたり、山田早恵様、水上雄哉様には大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

<参考文献> 1) 山田, 末政ほか: マイクロバブル混入方法の適用性の検討, 土木学会第61回年次学術講演会Ⅲ部門, pp.719-720, 2006.9.

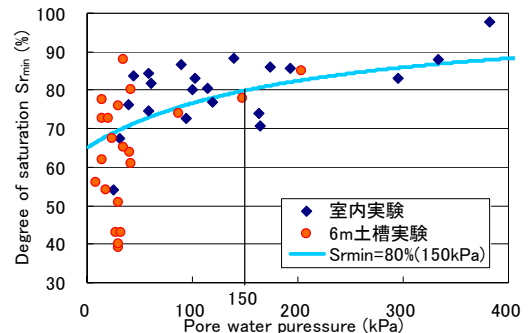


図-4 MB 水混入時の地盤飽和度変化

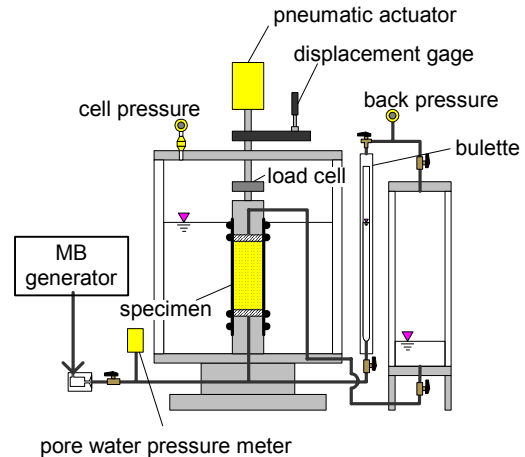


図-5 三軸試験装置

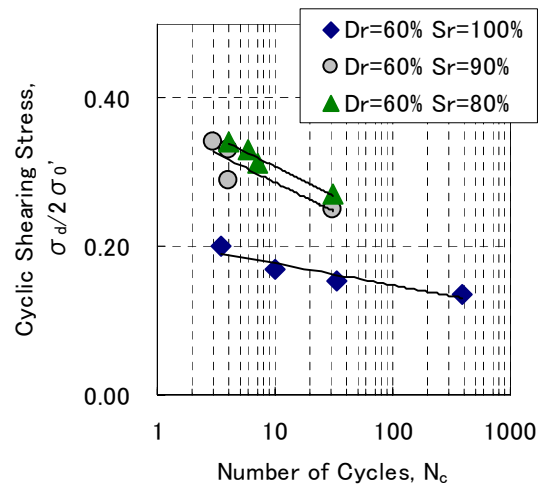


図-6 せん断応力比と繰返し载荷回数の関係