

マイクロバブル混入工法の適用性の検討 - その2：液状化特性

武蔵工業大学 学生会員 ○畔上 洋一 山田 早恵香
 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

大型地震の頻発する近年において、河川堤防などの既設構造物への早急な液状化対策が急務となっている。しかし、既存の対策工法はコストが高く、広範囲にわたる施工は経済的に困難である。そこで、低コストの液状化対策工法として、地盤内に気泡を混入することで飽和度を低下させ液状化強度を増加させる¹⁾気泡混入工法が注目されている。本研究では、マイクロバブルを混入した不飽和砂供試体の繰返し三軸試験を行い、その液状化強度特性について検討した。

2. 試験概要

試料には豊浦砂を用い、空中落下法により直径5cm、高さ10cm、相対密度60%の円筒供試体を作製した。CO₂、脱気水を用いて供試体を飽和させた後、マイクロバブルを混入して不飽和状態にした。供試体の飽和度は、ボイルの法則を用いて、背圧を増加させたときの間隙空気の体積変化から算出した。試験は、背圧 $u_{BP}=98kPa$ 、初期有効応力 $\sigma'_c=98kPa$ として周波数 0.2Hz の正弦波形で繰返し载荷を行った。

3. 飽和度の測定方法

間隙中の空気について、ボイルの法則より次式が成り立つ。

$$p_0 V_0 = (p_0 + \Delta p)(V_0 - \Delta V) \quad (1)$$

ここで、 p_0 は背圧（絶対圧）、 Δp は背圧増分、 V_0 は間隙空気体積、 ΔV は空気の体積収縮量である。式(1)において、 $p_0 V_0 = \text{const.}$ とすると以下のように表される。

$$\Delta V = V_0 - \frac{\text{const.}}{p_0 + \Delta p} \quad (2)$$

式(2)において、 Δp が無限大のときの ΔV の値は直線の切片 V_0 となる。本試験では、背圧を増加させたときのビューレットから供試体内に流入する水量 ΔV を計測し、直線近似により V_0 を求め、飽和度 S_r を算出した。

4. 試験結果・考察

4.1 载荷時のせん断応力比

本研究では、繰返し载荷回数 20 回で軸ひずみ両振幅 5% に達するせん断応力比を液状化強度比 R_{L20} とした。本試験では、供試体の液状化強度を岡村らの理論²⁾を用いてあらかじめ推定し、安全率として 0.8 倍した値を繰返し载荷時のせん断応力比とした。今回試験を行った供試体 case1~3 の飽和度、せん断応力比、繰返し回数を表-1 に示す。case2 では、算出した応力比 0.25 で载荷したが、200 回の繰返し载荷でも液状化に至らなかった。そこで、安全率を考慮せずに応力比 0.30 で続けて载荷したが、200 回を超えても液状化しなかった。さらに応力比 0.396 で载荷したとき、10 回で軸ひずみ両振幅が 5% に達したが、供試体は液状化せずせん断破壊した。これを受けて、case3 においては応力比 0.342

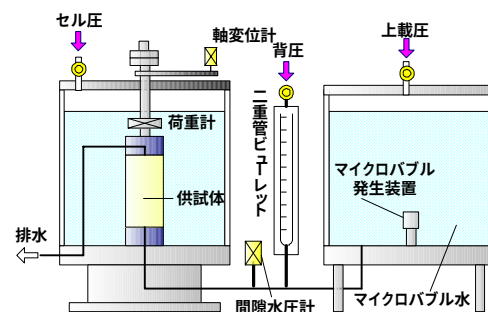


図-1 試験装置概略図

表-1 各供試体の飽和度、せん断応力比、繰返し回数

	飽和度 S_r (%)	推定液状化強度 R_{L20}	せん断応力比 τ / σ'_c	繰返し回数 N_c (回)
case1	91.0	0.314	0.249	30
case2	91.6	0.310	0.250	200
			0.300	200
			0.396	10
case3	91.4	0.312	0.342	3

case1~3 の飽和度、せん断応力比、繰返し回数を表-1 に示す。case2 では、算出した応力比 0.25 で载荷したが、200 回の繰返し载荷でも液状化に至らなかった。そこで、安全率を考慮せずに応力比 0.30 で続けて载荷したが、200 回を超えても液状化しなかった。さらに応力比 0.396 で载荷したとき、10 回で軸ひずみ両振幅が 5% に達したが、供試体は液状化せずせん断破壊した。これを受けて、case3 においては応力比 0.342

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

で載荷したが、3回で液状化が発生した。岡村らの理論によれば case1~3 はほぼ同程度の液状化強度だが、試験結果より、case1, 3 に比べて case2 は明らかに高強度であることがわかる。

4.2 供試体の時系列波形履歴

繰返し三軸試験より得られた供試体の時系列波形履歴を図-2に示す。図-2(a)の飽和砂では、過剰間隙水圧比が1に達した時点から急激に軸ひずみが増加しており、典型的な飽和砂の液状化挙動を示している。また、図-2(b)の不飽和砂でも(a)と同様の挙動を示しているが、同じ繰返し回数でもせん断応力比が大きい。また、過剰間隙水圧比のグラフから、液状化後の有効応力の回復が大きいことが確認できる。これらは、不飽和砂に特有の液状化挙動である。図-2(c)は、軸ひずみが一定の割合で徐々に増大しており、液状化時とは異なる挙動を示している。

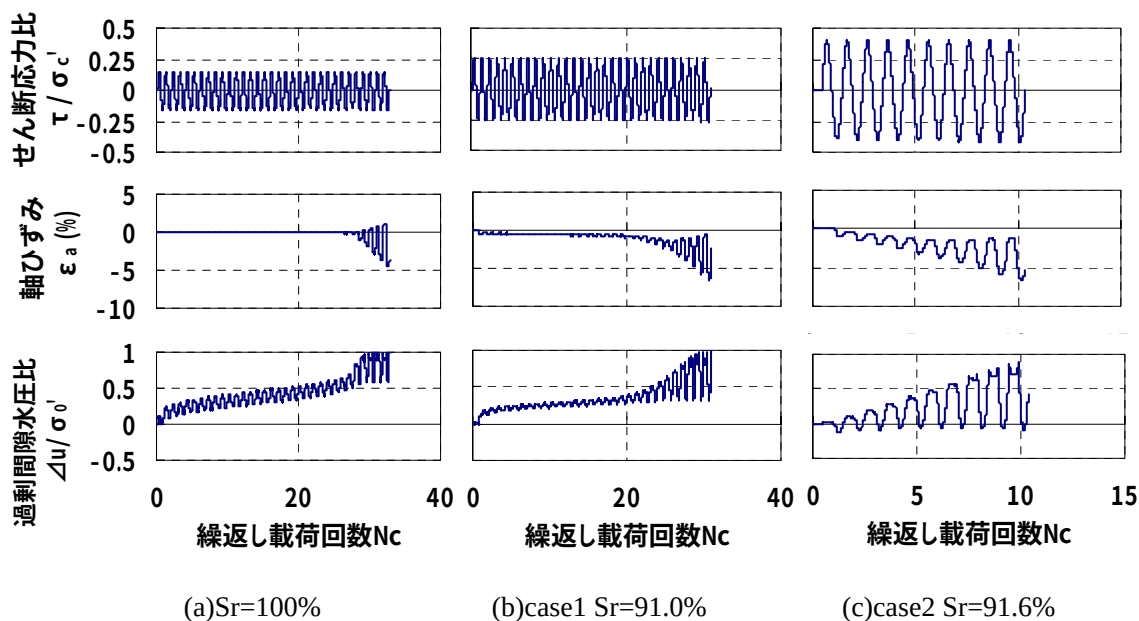


図-2 時系列波形履歴

4.3 液状化強度曲線

case1~3のせん断応力比-繰返し回数関係を図-3に示す。また同図中に、飽和砂の液状化強度曲線および岡村らによる Sr=90%の液状化強度曲線を示す。図中の case1~3のプロットはいずれも飽和砂の液状化強度曲線より上部にあることから、マイクロバブルを混入した供試体は液状化強度が増加したといえる。また、case1, 3に対して、case2は強度が高く、岡村らの結果を参照すると飽和度は90%以下に相当すると考えられる。試験条件の違いは、マイクロバブルの混入時間が挙げられ、case1, 3は30分、case2は45分であった。よって、供試体の飽和度低下量は、マイクロバブルの混入量に依存すると考えられる。

5. まとめ

マイクロバブルを混入することで砂供試体の飽和度が低下すると、それに伴い液状化強度は増加する。また、マイクロバブルの混入量を多くするほど、より供試体の液状化強度は増加する。

<参考文献>

- 1) 吉見 吉昭(1999)：砂地盤の液状化，技報堂出版株式会社
- 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

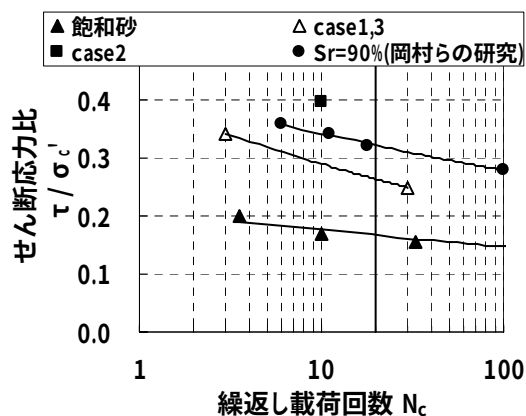


図-3 液状化強度曲線