

気泡混入水による砂質土供試体の液状化強度特性

防災科学技術研究所 正会員 ○中澤 博志, 田端憲太郎
 佐藤工業 正会員 前田 幸男, 須佐見朱加, 永尾 浩一
 東京大学 正会員 濱本昌一郎
 産業技術総合研究所 正会員 神宮司元治
 基礎地盤コンサルタンツ 正会員 山田 眞一, 青山 祥吾

1. はじめに

東日本大震災以降, 不飽和化液状化対策工法の提案が積極的に行われ, その施工性の確認や効果が実証されつつある. その中の一つに, 直径 $\phi 10 \sim 100 \mu\text{m}$ の気泡径を用いたマイクロバブル工法¹⁾がある. 同工法では, マイクロバブル(以下, MB)を混入した水を地下水と置換することで気泡を液状化層に拡散させ, 液状化対策効果を得ようとするものである. 一方, 昨今, 汚染土壌を原位置で浄化するために, ファインバブル(以下, FB)を用いた工法²⁾が注目されている. この土壌浄化で用いるFBは, MBよりも更に細かい $\phi 10 \text{nm} \sim 10 \mu\text{m}$ の微細な気泡であり, 気泡表面が負に帯電しているため, FB水を地中で循環させることで重金属イオンを捕捉することができる. この工法も, MB工法と同様に不飽和化の一種と捕らえると, 液状化対策として期待ができるが, FB水についての効果は, 不明であるのが現状である. 本報告では, MBおよびFB混入水を用いた砂質土供試体を用い繰返し非排水三軸試験を実施し, 液状化強度特性を確認した.

2. 地盤材料および試験方法

室内試験で用いた地盤材料は飯豊珪砂6号であり, その代表的な物理特性を表-1に示す. 表-1より, D_{50} が 0.299mm の比較的単粒な特徴を有することがわかる. この飯豊珪砂6号を用い, 土の繰返し非排水三軸試験(JGS0541)を行ったが, 最初に, 供試体作製は, 空中落下法により相対密度 D_r が概ね60%程度になるよう落下高を調整してモールドに試料を充填し, $\phi 50 \text{mm} \times H 100 \text{mm}$ の供試体を作製した. その後, 飽和供試体に脱気水, 不飽和土については, MB水およびFB水を用い通水した. この際, MB水については, 写真-1に示す精製ノズルにより空気溶存時の背圧 200kPa , MB水精製時の圧力 220kPa で作製しながら供試体へ注水した. 一方のFB水については, 別途発生措置により作製し, 冷蔵庫で保管したFB水を供試体に注水した.

繰返し載荷時の条件は, いずれのケースも背圧B.P.が 200kN/m^2 , 初期有効拘束圧 σ'_c が 50kN/m^2 , 載荷周波数 f が 0.1Hz の正弦波で試験を実施し, 液状化強度 $R_L(DA=5\%, N_c=20)$ を求めた. また, 試験前には, 弾性波速度から飽和度を推定することを目的として, 三軸試験機のキャップ, ペDESTALに装着したベンダーエレメントBEによるP波およびS波速度の測定を実施した.

3. 弾性波測定結果

弾性波速度の計測は, 飽和, FB水およびMB水による繰返し非排水三軸試験各供試体で実施し, 各ケースの平均値を求めた.

表-1 試料の物理的性質

項目	単位	飯豊珪砂6号
土粒子の密度 ρ_d	g/cm^3	2.651
粒度組成	中砂分	%
	細砂分	%
	シルト分	%
	平均粒径 D_{50}	mm
	均等係数 U_c	-
最大間隙比 $e_{\max}$	-	0.876
最小間隙比 $e_{\min}$	-	0.520

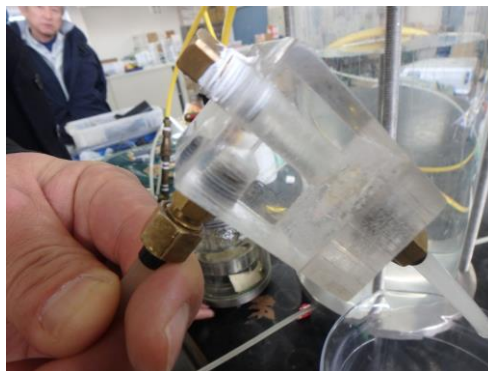


写真-1 MB水精製ノズル

表-2 弾性波測定結果

水の種類	B値	V_p (m/s)	V_s (m/s)
脱気水	1.00	2011	191
FB	0.51	839	209
MB	0.39	722	179

キーワード 液状化対策, 不飽和化, 液状化強度, マイクロバブル, ファインバブル, 弾性波速度

連絡先 〒305-0006 茨城県つくば市天王台 3-1 (研) 防災科学技術研究所 TEL 029-863-7308

表-2 に計測結果をまとめ示す。同表より、供試体密度に依存する S 波速度 V_s については、いずれのケースも D_r が概ね 60% であることから大きな差異は無く、ほぼ同じ値を示している。一方、P 波速度 V_p については、間隙水の種類により大きな違いが見られ、脱気水については 2000m/s 以上、MB 水および FB 水の V_p は脱気水に比べ半分以下の値を示している。また、FB 水、MB 水の順に小さくなっており、B 値とも調和的であることがわかる。

4. 液状化試験結果

図-1 に一連の試験から得られた液状化強度曲線を示す。脱気水と比較して、MB 水、FB 水の両ケースは全体的に液状化強度が上昇傾向にあることがわかる。しかし、繰返し載荷回数 N_c は 20~40 の範囲のプロットを確認すると、MB 水と FB 水では傾向が異なり、FB 水の方が繰返し応力振幅比の増加程度が顕著であることから、気泡の違いによる液状化抵抗上昇への寄与メカニズムが異なる可能性があり、更なる検討が必要であると考えられる。

5. 不飽和砂質土における液状化強度の評価

一般に、 R_L は試料の違いや密度等の各種要因によりその強度は異なる。したがって、飽和度の違いに伴う R_L への影響を把握するため、脱気水を用いた供試体の R_L を R_s 、FB 水や MB 水による不飽和状態の R_L を R_u として、図-2 に既往の結果³⁾を含め、 V_p と液状化強度増加率 R_u/R_s の関係を示す。同図より、FB 水、MB 水ともに、 V_p の低下に伴い R_L が増加する既往の関係と調和している様子がわかる。特に既往の関係では、 V_p が 700m/s を下回ると、 R_L が急増する傾向を示しているが、今回の通水方法では、FB 水、MB 水ともに、変化点付近にプロットされている。次に、弾性波速度比 V_p/V_s と R_u/R_s の関係を図-3 に示す。既往の関係では、概ね単一の相関関係が示されているが、今回扱った FB 水、MB 水共に、プロットは少ないものの調和的であった。

不飽和化に伴う液状化強度の評価について考えると、対象地層における原位置の B 値を測定できないため、PS 検層その他から得られる弾性波速度を利用し液状化対策効果を推定できる可能性があることがわかった。

5. まとめ

今回、室内要素試験のみで、FB 水と MB 水の飽和度の液状化強度への効果について、弾性波速度により検討を行った。原位置での評価手法として、動的コーン貫入時の過剰間隙応答による手法も並行して検討していることから、別途、報告したいと考えている。

参考文献 1) Nagao et al. :In-situ applicability test of soil improvement for housing sites using Micro-Bubbles against soil liquefaction in URAYASU, Japan, 25th International Ocean and Polar Engineering Conference, pp.845-852, 2015. 2) IDEC 株式会社ホームページ : http://jp.idec.com/cms/pdf/usr/technology/finebubble/TEGA010102_1.pdf (2016.4.1 閲覧) 3)中澤博志他：地盤の弾性波速度による液状化発生条件の検討，土木学会論文集 C, Vol.62, No.2, pp.346-359, 2006.

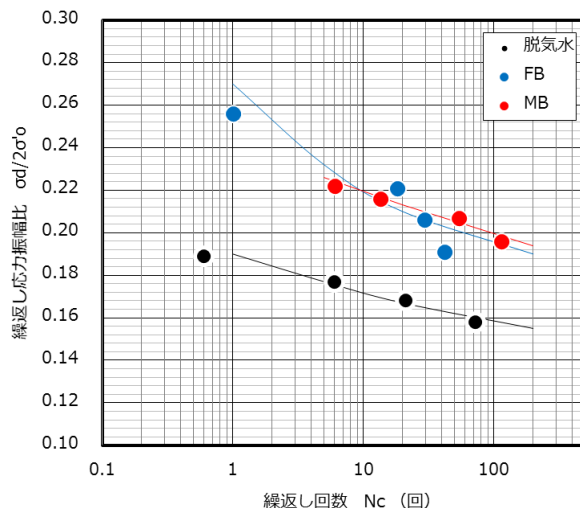


図-1 液状化強度曲線

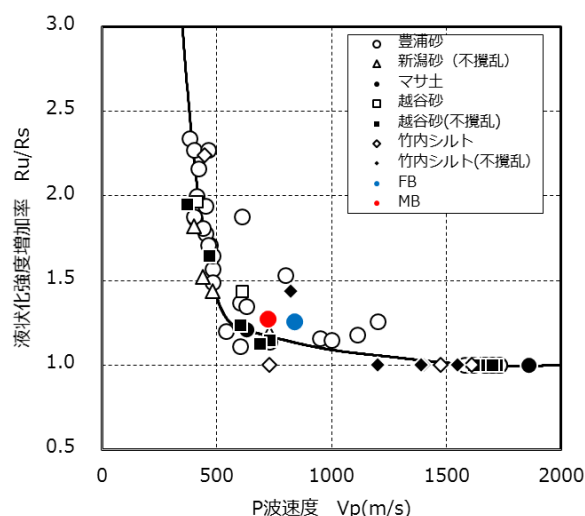


図-2 P 波速度と液状化強度増加率の関係

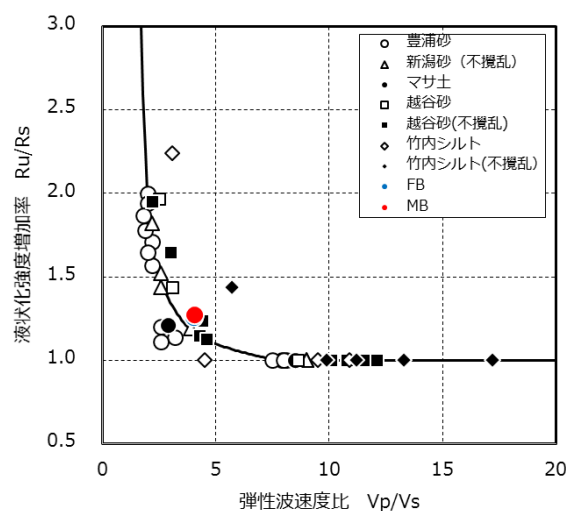


図-3 弾性波速度比と液状化強度増加率の関係