

Ⅲ-A127 セメント安定処理した砂質土の再液状化特性に関する一考察

山口大学大学院 学生会員 松尾 晃
 山口大学工学部 正会員 山本哲朗 鈴木素之
 ㈱エイトコンサルタント 伊達明彦

1. まえがき 砂質土に微量のセメントを添加して液状化の発生を抑制するセメント安定処理工法に関する研究はいくつか行われ、現場でその有効性も実証されている。しかし、非常に大きな加速度の地震によってセメント安定処理した砂質土地盤に液状化が発生した後、余震あるいは次の地震に対する液状化強度は必ずしも十分に明らかにされていない。著者らはセメント安定処理した砂質土の液状化特性および再液状化特性を振動台実験によって調べている。本論文ではその実験結果と考察について述べる。

2. 試料およびセメント 実験には、土試料として豊浦標準砂(以下、豊浦砂)と宇部市の地山表層部で採取した宇部まさ土(以下、まさ土)を用いた。表-1 および図-1 にそれぞれ両土試料の物理定数および粒径加積曲線を示す。なお、セメントには高炉セメントB種を用いた。

3. 実験装置および方法 実験には振動台上に固定されたケルマン型単純せん断箱を使用した。実験装置の概略および仕様の詳細については、文献1)で述べている。振動時に供試体に発生する水平応力の測定は、振動方向に2箇所と、振動方向に直交する方向に2箇所の計4箇所で行った。

鉛直応力はドーナツ状の鉛製の重錘で供試体表面に作用させ、せん断応力は振動時の重錘などの慣性力によって加える。今回の実験では、すべて初期の有効鉛直圧 $\sigma'_{v0}=49\text{kPa}$ の下で行った。

供試体は以下の手順で作製した。まず、乾燥状態の土試料に質量比で5%に相当するセメントを添加し、十分に混合した後、分離防止剤溶液(濃度 100mg/kg)を加え、空気を抜きながら攪拌した。これらをせん断箱内に静かに投入した。試料を3層に分けて詰めた後、供試体表面に鉛直圧 σ'_{v0} を作用させ、排水状態で所定の日数養生させた。養生期間は1, 3, 14日とした。各養生日数が経過後に振動台を駆動し、周期 1/3sec, 振幅一定の正弦波状加速度を与えて初回の液状化実験を行った。

再液状化実験は、初回の液状化の後に供試体内に発生した間隙水圧を消散させ、再度振動台を駆動させて行った。なお、液状化は両振幅せん断ひずみ γ が10%に達したときと定義した。

4. 結果および考察 図-2(a)および(b)にそれぞれ豊浦砂およびまさ土の試験結果を示す。横軸は液状化を生じるまでの繰返し回数 n_L 、縦軸は供試体底面に作用する応力比 τ/σ'_{v0} であり、図は初回の液状化実験および再液状化実験より得られた液状化強度曲線を示したものである。図から安定処理土は、セメントを添加することで、初回の液状化強度は未処理土のそれよりも極めて大きいことがわかる。それは養生日数が長くなるほど大きい。一方、再液状化強度は、未処理土のそれと同程度であるか、それより大きくなっており、初回の液状化強度と同様に、養生日数が長くなるほど大きくなっている。また、未処理土の再液状化強度(記号:●)は初回の液状化強度(記号:○)よりも大きくなっている。これは、初回の液状化後に行った排水圧密による密度増加が原因と考えられる。しかしながら、処理土の再液状化強度は、養生日数が等しい場合、

表-1 土試料の物理定数

	Toyoura sand	Ube masado
Specific gravity G_s	2.655	2.624
Maximum grain size D_{max} (mm)	0.850	4.750
Average grain size D_{50} (mm)	0.185	0.840
Uniformity coefficient U_c	1.82	16.62
Maximum void ratio e_{max}	0.929	0.902
Minimum void ratio e_{min}	0.619	0.569
Fines content F_c (%)	0.2	11.2

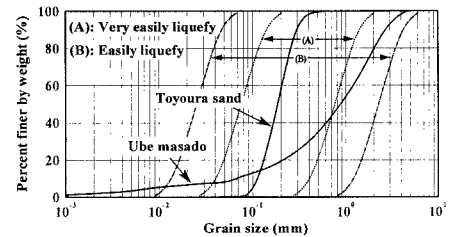


図-1 土試料の粒径加積曲線

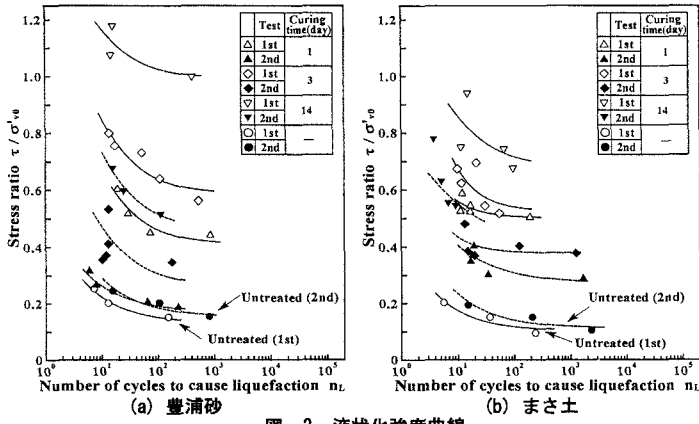


図-2 液状化強度曲線

初回の液状化強度よりも小さくなっている。これは、養生時に形成されていたセメントによる土粒子間の結合が初回の振動により部分的に外れ、供試体内に固結状態の異なる部分が生じたためと考えられる。14日養生したまさ土の再液状化実験後の供試体では、破壊せず固体状を保っていた部分と破壊して液体状を呈していた部分が確認され、供試体内において破壊の様相が著しく異なっていた。写真-1(a), (b)にこれらの微視的構造を走査型電子顕微鏡で観察したものを示す。両者には、針状のセメント水和物であるエトリンガイトの生成がみられる。また、破壊が生じた部分に比べると、破壊が生じなかった部分にエトリンガイトの形成を明瞭にみる事ができる。これらの電子顕微鏡写真により、上述した供試体内に固結状態の異なる部分が生じたと考えられる。

図-3(a)および(b)に、それぞれ豊浦砂およびまさ土の実験結果について、 $n_L=20$ の時の初回および再液状化強度 $R(=\tau/\sigma'_{v0})$ を未処理土のそれらで正規化した $(R_T/R_U)_{1st}$ および $(R_T/R_U)_{2nd}$ と、養生日数 t との関係を示す。初回および再液状化強度比の上昇カーブは類似しており、その勾配は養生日数が3日目程度までは急激に大きくなり、その後次第に緩やかになっている。各実験ごとの初回および再液状化強度比と養生日数との関係を图中的式で近似した。これらの式で $t \rightarrow \infty$ とすると、いずれもある漸近値が得られ、養生日数が十分に経った後の初回および再液状化強度をある程度推定することができる。

5. まとめ 本論文の結論を以下に示す。1) セメント安定処理した豊浦砂およびまさ土の初回の液状化強度は未処理のそれに比べて著しく増加した。2) セメント安定処理した豊浦砂およびまさ土の再液状化強度は、未処理のそれと同程度であるか、それより増加した。3) 処理土の再液状化強度は初回の液状化強度に比べ小さくなった。4) 上記3)の理由として、初回の振動により土粒子間の結合が外れ、セメントの部分的な固結状態の違いが生じたためと考えられる。5) 未処理土と処理土の初回の液状化強度の比は養生日数が経つにつれて増加し、ある一定値に漸近する。また、それらの再液状化強度の比についても同様の傾向がある。

謝辞 実験を手伝って下さった梶川美緒さんおよび森章一郎君に厚く感謝の意を表します。

参考文献 1) 山本哲朗, 鈴木素之, 伊達明彦, 松尾晃, 森章一郎: セメント安定処理地盤の液状化特性に関する実験的研究, 第34回地盤工学会, 1999(投稿中)。

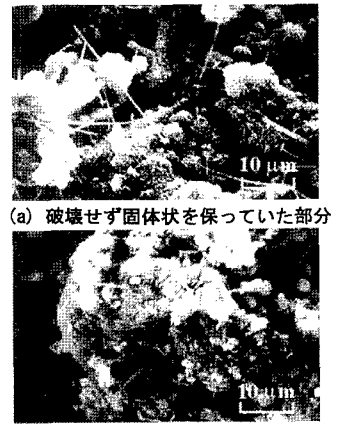


写真-1 14日養生におけるまさ土の再液状化後の走査型電子顕微鏡写真
(a) 破壊せず固体状を保っていた部分
(b) 破壊して液体状を呈していた部分

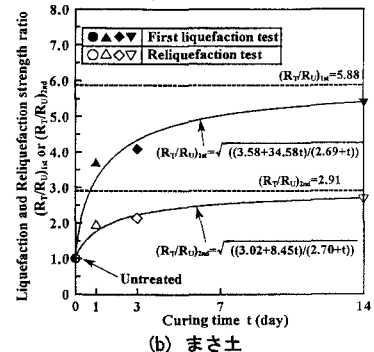
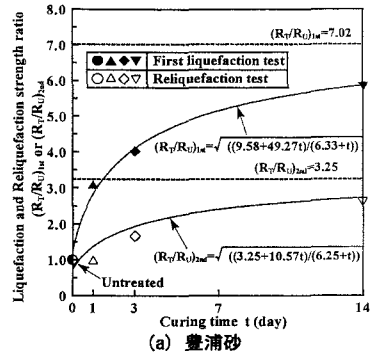


図-3 液状化強度比および再液状化強度比と養生日数との関係
(a) 豊浦砂
(b) まさ土