

異なる条件下で圧密した細粒分を含む砂の液状化特性と微小変形特性

(株)大林組 正会員 太田 行
 東京大学生産技術研究所 正会員 古関潤一

1. はじめに

細粒分を含む砂質土は、きれいな砂よりも長期圧密することにより液状化強度が増加しやすい¹⁾。この長期圧密の効果をより短時間で再現する方法として従来から用いられてきた方法の一つに過圧密があり、また最近では高温圧密も検討されるようになった^{2)~4)}。しかし、微小変形特性に及ぼす長期圧密/過圧密/高温圧密の影響について、体系的に検討した例はまだ少ない。ここでは、異なる条件下で圧密した細粒分を含む砂質土の液状化特性と微小変形特性について報告する。

2. 試験方法

豊浦砂にナトリウムベントナイト（液性限界 $w_L = 357\%$ 、塑性限界 $w_p = 25.1\%$ ）を乾燥重量比で 5% 混合した人工試料（最大間隙比 $e_{max} = 0.975$ 、最小間隙比 $e_{min} = 0.561$ 、土粒子密度 $\rho_s = 2.646\text{g/cm}^3$ ）を、含水比 5% に調整してモールド内に 10 層に分けて投入し、ランマーで締め固めることにより相対密度約 50%・高さ 15cm・直径 7.5cm の円筒供試体を作製した。

供試体作製後、有効拘束圧 $\sigma'_c = 10\text{kPa}$ で自立させ飽和し、 σ'_c が 100kPa に達するまで等方的に載荷した。その後、長期圧密ではエージング時間を 1日 / 20日 / 100日に変えて圧密した。過圧密では $\text{OCR} = 2 / \text{OCR} = 4$ となるように σ'_c をそれぞれ 200kPa / 400kPa まで増加させて 1日間保持し、100kPa まで除荷してから 1時間放置した。高温圧密では 5日間の圧密を行い、その間にセル水温を常温から 60 度に上昇させ約 4日間保った後に常温に戻した。このような各圧密の後、 σ'_c を等方的に 10kPa まで除荷し、さらに $\sigma'_c = \sigma'_0 = 100\text{kPa}$ まで再載荷した後、非排水繰返し三軸試験（液状化試験）を行った。

この等方載荷 / 除荷 / 再載荷の過程で、 σ'_c を 10kPa ずつ変化させる毎に、その応力状態を排水状態で 10 分間保ち、その後に軸ひずみ片振幅が 8×10^{-6} の軸方向微小繰返し載荷を非排水および排水条件下で実施した。

3. 試験結果および考察

各圧密条件下で圧密した試料の液状化強度曲線を図 1 に示す⁴⁾。図中には軸方向微小繰返し載荷を行わなかった試験結果もあわせて示した。圧密時間が長いほど、過圧密比が大きいほど液状化強度は増加した。また、圧密時に試料を高温にしたものも液状化強度が増加した。

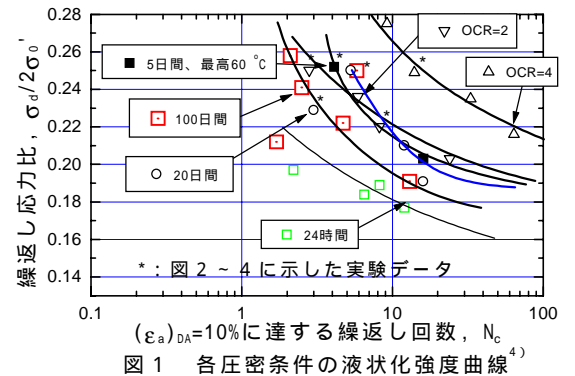


図 1 各圧密条件の液状化強度曲線⁴⁾

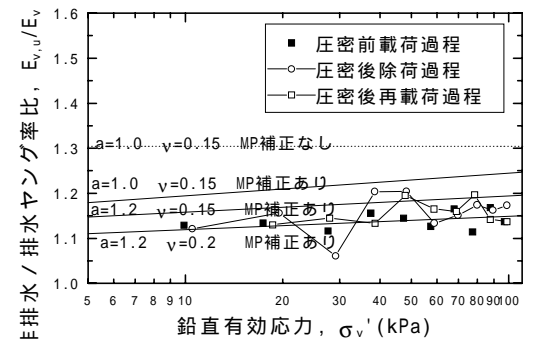


図 2 (a) 20日間圧密前後でのヤング率比の変化

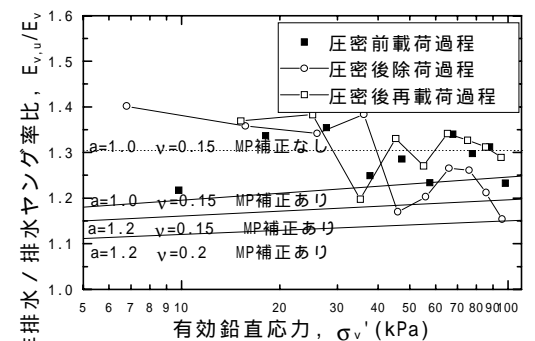


図 2 (b) 100日間圧密前後でのヤング率比の変化

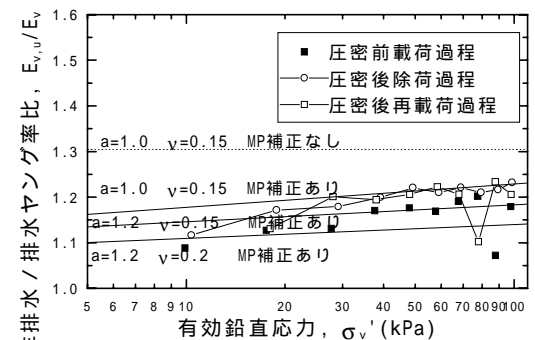


図 2 (c) 過圧密(OCR=2)前後でのヤング率比の変化

次に図 2 (a) ~ (e)に示すのは、圧密前後での等方応力の載荷 / 除荷 / 再載荷過程で測定した非排水鉛直ヤング率と排水鉛直ヤング率の比を有効鉛直応力 (= 拘束圧) に対してプロットした図である。図中には、初期異方性と応力状態誘導異方性を考慮した弾性モデル⁵⁾による理論値も示し、初期異方性を表す定数 a (等方応力下での排水鉛直ヤング率と排水水平ヤング率の比) と基準ポアソン比 およびメンブレンペネトレーション (MP) 補正の有無を変えて、実測値と比較した。まず図 2 (a)(b)から、長期の圧密をしても試料の初期異方性・ポアソン比は変化しない傾向が見られた。 a の値そのものは 20 日間圧密した試料と 100 日間圧密した試料で異なったが、これは供試体間でのばらつきに起因すると考えられる。次に図 2 (c)(d)から、過圧密比を大きくすると測定値が全体として上方にシフトし初期異方性が減少する傾向が見られた。最後に図 2 (e)から、高温圧密をしても初期異方性・ポアソン比に変化は見られなかった。

図 3 (a)(b)に示すのは、せん断中 (液状化試験中) に測定した非排水鉛直ヤング率から、前述の弾性モデル⁵⁾を用いて、土の骨格構造を直接反映すると考えられる排水鉛直ヤング率を推定し各試験間で比較した図である。この図から、高温圧密をした試料のせん断中の推定排水鉛直ヤング率は明らかに大きいですが、その他の圧密条件下で圧密した試料に関しては、大きな違いは見られなかった。すなわち、図 1 に示した液状化強度は、高温圧密に関してはせん断中の推定排水鉛直ヤング率の大きさと対応するが、他の試験についてはそのような対応関係は見られなかった。

図 4 に示すのは、ダイランシー特性について有効応力経路のせん断初期の立ち上がりを各試験間で比較したものである。図 1 に示した液状化強度が大きい試験ほど有効応力経路が右方に立ち上がっており、液状化強度とダイランシー特性の間には明確な対応関係が見られた。

4. まとめ

長期圧密 / 過圧密 / 高温圧密をすると液状化強度は増加し、せん断初期のダイランシー特性の違いと対応する。過圧密をすると試料の微小変形特性の初期異方性が消失し、高温圧密するとせん断中の推定排水鉛直ヤング率が増加する傾向がある。

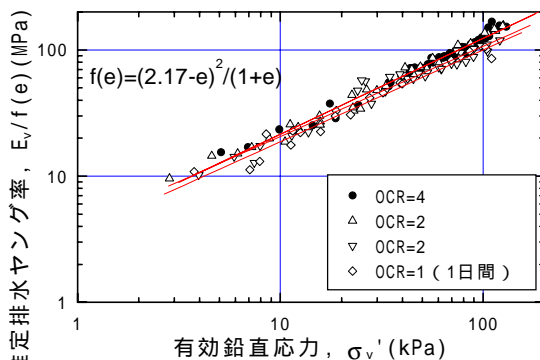


図 3 (b) せん断中の推定排水ヤング率 (2)

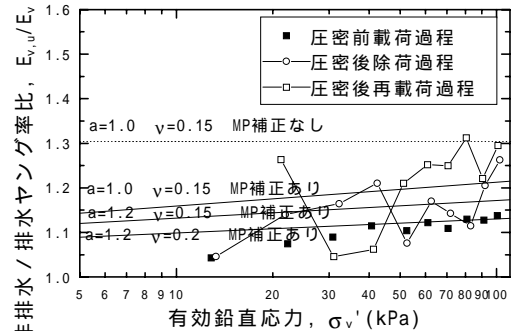


図 2 (d) 過圧密 (OCR=4) 前後でのヤング率比の変化

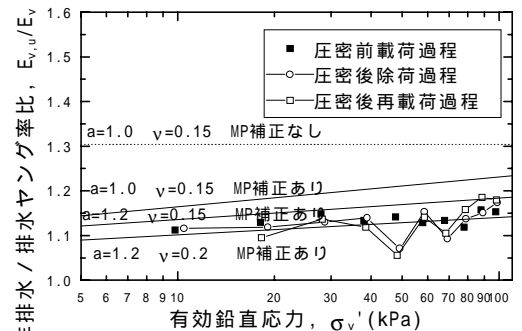


図 2 (e) 高温圧密前後でのヤング率比の変化

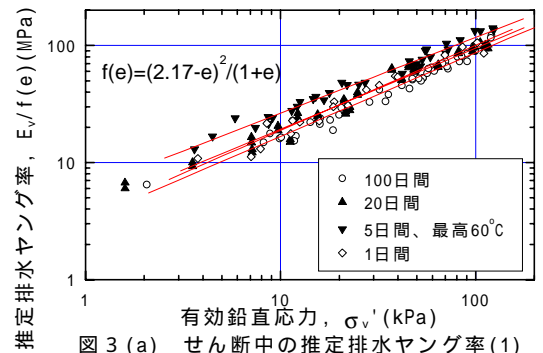


図 3 (a) せん断中の推定排水ヤング率 (1)

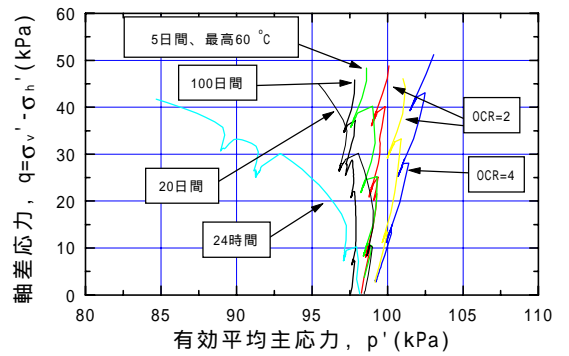


図 4 有効応力経路の比較

参考文献: [1]若松ら(1990)“埋め立て地における液状化履歴と埋め立て後の経過年数との関係”第 25 回土質工学研究発表会[2]後藤茂(1994)“高温環境で養生した砂質土の液状化特性”第 29 回土質工学研究発表会[3]真栄城徳泰ら(1998)“細粒分を含む砂の液状化特性に及ぼす圧密温度の影響”第 33 回地盤工学研究発表会[4]太田行ら(2000)“細粒分を含む砂の液状化特性に及ぼすエージング時間と過圧密の影響”第 35 回地盤工学研究発表会、投稿中[5]濱谷正司ら(1997)“豊浦砂の排水繰返し三軸試験における弾性的変形特性”第 32 回地盤工学研究発表会