

硅砂の低拘束圧下における液状化強度および液状化後の変形特性

東京電機大学	フェロー会員	安田 進
東京電機大学	正会員	田中 智宏
東京電機大学	学生会員	○直井 賢治
東京電機大学	非会員	舟越 あゆみ

1.はじめに

ここ数年幾つかの設計指針において、従来の仕様設計法から性能設計法に移行しつつある。性能設計における照査手法の一つとして模型実験及びその再現解析が多用されている。模型実験は一般的に深さが最大でも 1m 程度の規模であるため、その模型地盤における挙動は低拘束圧領域下での変形挙動となる。土の力学的性質は拘束圧に依存するため模型地盤に対する詳細な再現解析を行うとなると、この低拘束圧領域での地盤物性が必要となる。そこで本研究では、低拘束圧状態が再現できる繰返し中空ねじりせん断試験機を用いて硅砂の液状化強度比 R_L 、液状化後の変形特性を求め、密度の影響について比較検討した。

2.試験方法

実験には繰返し中空ねじりせん断試験装置を用いた。この装置は、供試体に与える拘束圧が低いいため拘束圧を水頭差で加えて、供試体上面キャップの軽量化も図っている。また、メンブレン張力を極力少なくするため $t=0.20\text{mm}$ のメンブレンを用いている。試料には模型実験で多く用いられる相馬硅砂 6 号を用いた。試料の粒径加積曲線を図 1 に示す。拘束圧は 10kPa とし、砂の相対密度は $D_r = 26, 52, 82\%$ とした。供試体寸法は外径 10cm 、内径 6cm 、高さ 10cm とした。供試体作成には試料を漏斗から落下させる空中落下法を採用し、細心の注意を払って漏斗が約 12 秒で 1 周するような速度で回転させながら投入し、1 周したところで反転する箇所をランダムに変化させた。次に供試体を有効拘束圧分の負圧にて自立させ、負圧を側圧に置換した後に 2 時間以上二酸化炭素を通し、12 時間以上かけて通水した。 B 値が 0.95 以上であり、飽和していることを確認した上で、軸方向変位を固定し、非排水状態で載荷を行った。載荷方法は、液状化試験では応力制御により正弦波応力とし載荷速度は 0.1Hz とした。液状化後の変形特性を求める試験では、最初に非排水状態で正弦波応力を 20 波繰返し、その後非排水状態を保ったまま静的単調載荷を行った。静的単調載荷はひずみ制御で載荷速度を $14\%/min$ とした。なお、試験ではメンブレンの張力補正を行いながら、載荷を行っている。

3.試験結果

(1)液状化強度比

繰返し載荷によりせん断ひずみ両振幅が 7.5% に至った時に液状化発生と判断し、この繰返し回数 N_c とせん断応力比 τ/σ'_c の関係をプロットし液状化強度曲線とした。これより繰返し回数が 20 回のときのせん断応力比を読み取り、液状化強度比 R_L とした。図 2 に相馬硅砂の各密度における液状化強度曲線を示す。この図に示すように密度が $D_r=50\%$ 程度以下であるときは R_L の差は小さいが、密度が大きくなると R_L はさらに大きくなり曲線の立ち上がりも急となった。

キーワード：液状化、繰返しせん断、低拘束圧

連絡先：〒350-0394、埼玉県比企郡鳩山町石坂、東京電機大学理工学研究科建設環境工学専攻、TEL 049-296-5819

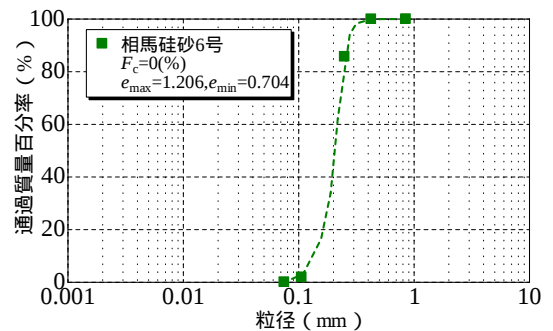


図 1 硅砂の粒径加積曲線

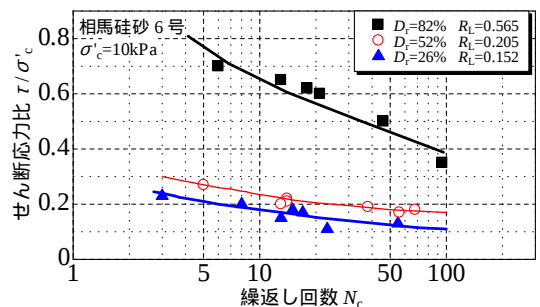


図 2 硅砂の液状化強度曲線

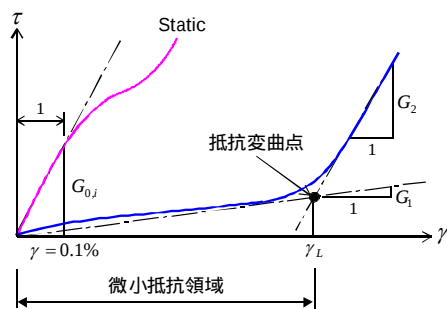
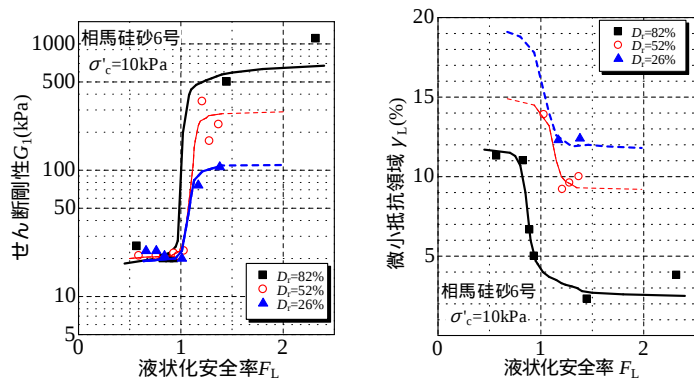


図3 応力 - ひずみ関係の模式化

図4 液状化後の G_1 、 γ_L - F_L の関係

(2)液状化後の変形特性

液状化した地盤にせん断応力を加えると、非常に小さな応力で大きなせん断ひずみが発生した。図3にせん断応力 - せん断ひずみ関係を模式的に示すが、せん断ひずみがある値でせん断応力は急増し、強度は回復した。過剰間隙水圧は強度の回復後と共に減少した。そこで液状化後の地盤の強度が回復する前（微小抵抗領域 γ_L ）における割線勾配をせん断剛性 G_1 と定義した。 G_1 - F_L 関係および γ_L - F_L 関係を図4に示す。ここで F_L は液状化の激しさを表す指標であり、 F_L が小さいほど激しく液状化したと言える。この図より F_L が大きくなるほど G_1 が大きくなり、 F_L が1より大きい場合には、相対密度が大きくなるほど G_1 は大きくなった。 F_L が1より小さい、つまり激しく液状化すると、 G_1 の値に大きな差は見られなかった。 γ_L は F_L が大きくなるほど小さくなり、密度が大きくなるほど小さくなった。これは激しく液状化した地盤及び緩い地盤ほど土粒子の噛み合わせがはずれるため、強度が回復するまでに生じるひずみの量が大きくなったためと考えられる。

安田・稲垣ら¹⁾はこれまでに十数種類の試料について、液状化強度比 R_L と液状化後のせん断剛性 G_1 を拘束圧で除したせん断剛性比 G_1/σ'_c を求め、それらの関係式を提唱している。図5に示したこの関係は主に通常拘束圧下のデータにより得られたものであるが、同図に拘束圧 10kPa における相馬硅砂 6 号及び既往の豊浦砂のデータを重ねると、この関係と概ね同様の傾向を示す結果となった。

4.まとめ

相馬硅砂 6 号に対して液状化強度比 R_L 、液状化後の変形特性を求め密度の影響について比較検討する目的で繰返しねじりせん断試験を行ったところ、以下のことがわかった。

- (1) 密度が大きくなるほど、液状化強度比 R_L は大きくなり、曲線の傾きは急となった。
- (2) 液状化安全率 F_L が大きいほど、かつ密度が大きいほどせん断剛性 G_1 は大きくなり、微小抵抗領域 γ_L は逆に小さくなった。
- (3) 通常拘束圧下のせん断剛性比 - 液状化強度比の関係に拘束圧 10kPa における相馬硅砂、豊浦砂の結果を重ねると概ね同様の傾向を示した。

【参考文献】

- 1)安田進・稲垣太浩・長尾和之・山田真一・石川敬祐：液状化を含む軟化時における種々の土の変形特性、第40回地盤工学研究発表会発表講演集、No.263、pp.525-526、2005。2)安田進・齋藤盛文・直井賢治：低拘束圧領域における2つの砂の液状化強度の比較について、第43回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.463-464、2008。

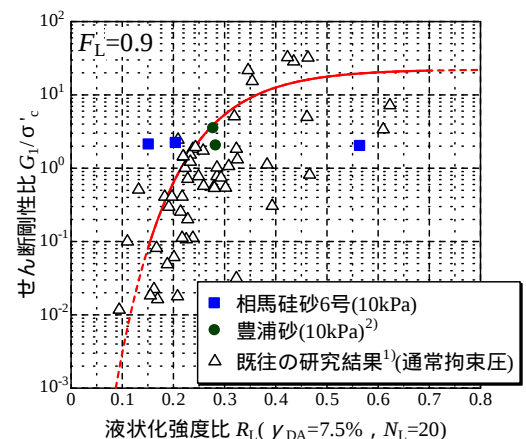


図5 通常拘束圧の結果との比較