

K_0 圧密された細粒分を含む砂質土の液状化特性

正会員 沼田 佳久 正会員 中根 淳

1. はじめに

豊浦砂をベースとした細粒分含有率(F_c)の異なる砂質土に対して、初期相対密度(D_{ri})を一定として K_0 圧密を行った後、拘束圧一定条件の下で繰返し非排水三軸試験を実施した。本論では、得られた供試体の破壊形態の違いに基づき、液状化強度の取り扱いについて考察した結果を報告する。

2. 試料および試験方法

試料には、砂分として $74\mu\text{m}$ ふるいに残った豊浦標準砂、細粒分として $74\mu\text{m}$ ふるいを通じたクレイサンドを用いた。細粒分含有率(F_c)は、重量百分率で0, 5, 10, 20%の割合となるよう十分混合し、計4種類の試料を作成した。各試料の物性値を表-1に、粒径加積曲線を図-1に示す。供試体の作成方法は、振動台上に直径50mm、高さ100mmのモールドを設置して振動させながら、漏斗を用いて空気乾燥した試料を落下高さの無い状態で円を描くようにモールド内に充填する方法とした。この方法により、試料充填終了時の相対密度(D_{ri})が70%となるように供試体を作成した。次に、試料を飽和状態にした後、軸差応力が98kPaになるまで K_0 圧密を行い、有効拘束圧一定条件で、 K_0 圧密非排水三軸圧縮・伸張試験および周波数 $f=0.1\text{Hz}$ の正弦波で繰返し非排水三軸試験を実施した。なお、 K_0 圧密は、拘束圧により側方ひずみを $\pm 0.05\%$ となるように制御しながら、所定の軸差応力となるまで軸力を一定の速度で漸増させる方法とした。

表 - 1 試料一覧

試料番号	T100-00	T95-05	T90-10	T80-20
重量比(砂:細粒分)	100:00	95:5	90:10	80:20
塑性指数:Ip	NP	NP	NP	NP
D_{60} (mm)	0.22	0.215	0.21	0.2
D_{30} (mm)	0.16	0.15	0.14	0.12
D_{10} (mm)	0.12	0.114	0.075	0.0027
均等係数:Uc	1.83	1.89	2.84	74.1
曲率係数:Uc'	0.97	0.92	1.26	26.7

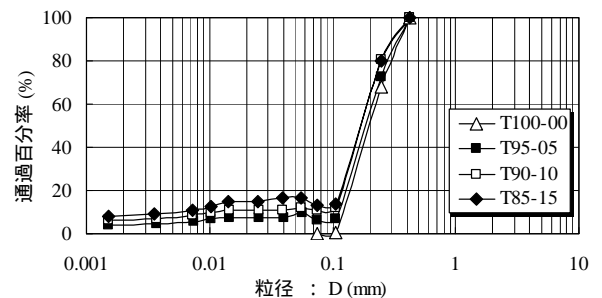


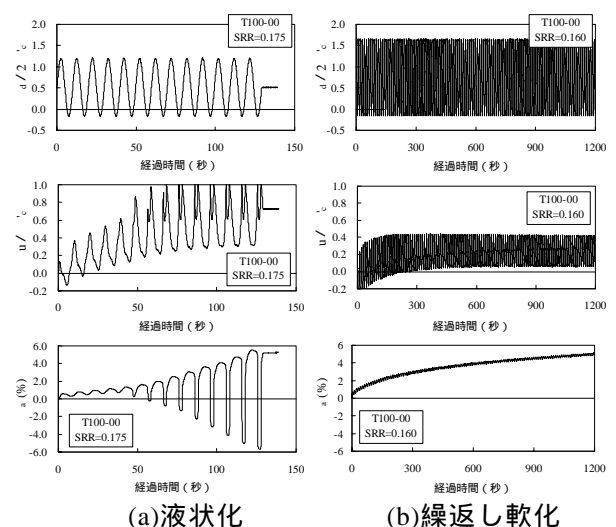
図 - 1 各試料の粒径加積曲線

3. 試験結果および考察

図-2は、液状化試験結果の一例としてT100-00の繰返し軸力比($\sigma_d/2\sigma'_c$)、過剰間隙水圧比(u/σ'_c)および軸ひずみ(ϵ_a)の時刻歴図を示したものである。供試体の破壊形態は、過剰間隙水圧の上昇により有効拘束圧を消失し、液体的な挙動を呈する液状化(図-2(a))と、過剰間隙水圧がある程度上昇した後横這い状態となり、有効応力が残留した状態で ϵ_a が圧縮側に蓄積する繰返し軟化(図-2(b))に分かれた。どちらの破壊形態となるかは、初期せん断応力と繰返しせん断応力片振幅との大小関係に依存しており、式(1)に示す応力反転比;SRR(Stress Reverse Ratio)により区別することができる。

$$SRR = (\sigma_d - \sigma_{dini}) / 2\sigma'_c \quad (1)$$

ここに、 σ_d : 繰返しせん断応力片振幅、 σ_{dini} : 初期せん断応力、 σ'_c : 初期有効拘束圧。つまり、液状化と繰返し軟化の変化点は、T100-00では $SRR > 0$ の範囲内に明確に存在し、T90-10では $SRR > 0$ の範囲内にあるものの極めて $SRR=0$ に近く、T80-20では $SRR > 0$ の範囲で瞬時に液状化、



(a)液状化 (b)繰返し軟化

図 - 2 繰返し非排水三軸試験結果

キーワード：液状化、細粒分、 K_0 圧密、繰返し非排水三軸試験、繰返し軟化

連絡先：鉄建建設(株)技術センター 〒286-0825 千葉県成田市新泉9-1 TEL 0476-36-2334

SRR=0の時に繰返し軟化となる．次に，各Fcにおいて液状化した時の u/v_c の時刻歴を図 - 3 に示す．軸ひずみは，Fcが増すほど圧縮側へ蓄積する傾向が顕著となり，液状化時点を判断するに際して両振幅軸ひずみの規定を適用できない．そこで，以下に述べる方法を用いた．図 - 4 は，T100-00における u/v_c と有効応力比(q/p')の関係を示したものであるが，供試体が液状化に至る過程において， q/p' の振幅は， q/p' が伸張側の破壊線に接近あるいは到達した直後から急激に大きくなるのがわかる．また，その時を境として u/v_c も上昇し，(u/v_c)=1.0に到達している．すなわち，この変化点において砂質土の挙動は液体的な状態に変化したと考えられる．この挙動は，Fcの違いに関係なく同様の傾向にあることから，本試験においては，この急変点の u/v_c を限界過剰間隙水圧比(u/v_c)_{LT}と称して液状化時点を判断する基準値とした．また，繰返し軟化となった砂質土の破壊時点の判断は，各試料がK₀圧密非排水三軸圧縮試験において，有効応力比が変化せずに $\dot{\epsilon}_a$ が進行する定常状態に移行する，($\dot{\epsilon}_a$)=5%を基準値として行った．

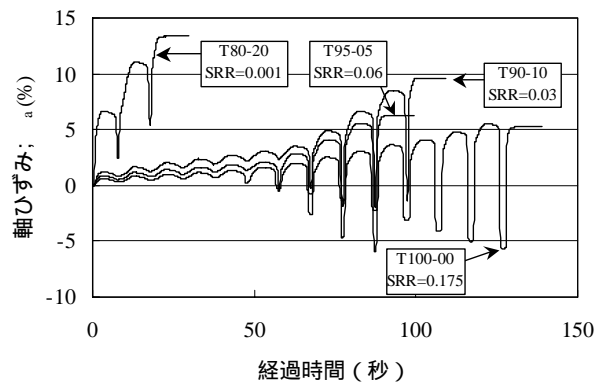


図 - 3 液状化時の軸ひずみ時刻歴図

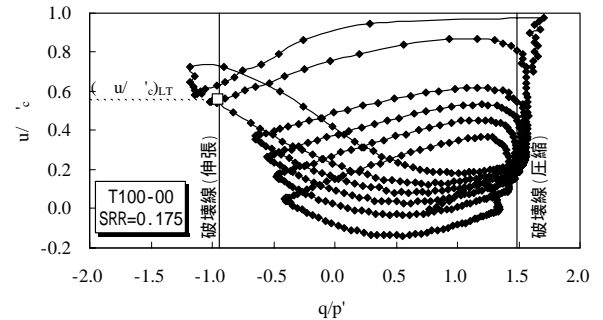


図 - 4 u/v_c と q/p' の関係

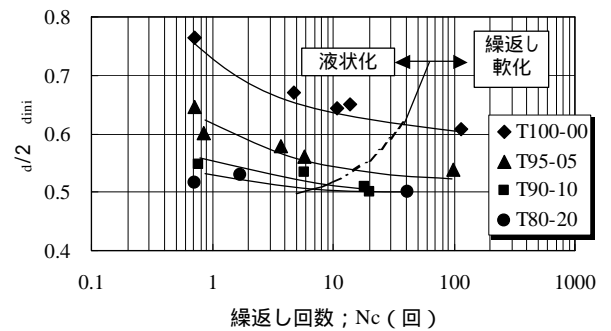


図 - 5 $d/2 \dot{\epsilon}_c$ と N_c の関係

4. 液状化強度の取り扱い

図 - 5 は，繰返し応力比($d/2 \dot{\epsilon}_c$)と(u/v_c)_{LT}となった時の繰返し回数(N_c)の関係を示したものである．図中の一点鎖線は，液状化となったSRRの最小値と繰返し軟化となったSRRの最大値の平均値をFc毎に求めて繋いだものであり，液状化と繰返し軟化の境界を示す．供試体の細粒分含有率(Fc)が0~20%の範囲で増加するほど，曲線は下降すると共に，液状化と繰返し軟化の境界になる N_c が少なくなる．繰返し強度比を規定するには，本来不規則な波である

地震波を等価な一定せん断応力に換算し，マグニチュードM=7程度に相当する $N_c=10 \sim 30$ 回を適用することが多い．しかし，例えば繰返し強度比の規定値を(N_c)=20とすると，T100-00では液状化の領域，T95-05~T80-20では繰返し軟化の領域となり，Fcによって対象となる破壊現象が液体的な現象と有効応力を残しつつ軟化する現象とに分かれる．以上より，砂質土のK₀圧密後の繰返し非排水三軸試験結果においては，規定する N_c に応じて得られる破壊形態がFcによって異なるため，その扱いに留意する必要がある．

5. まとめ

豊浦砂をベースとしたFcの異なるDriが一定の砂質土に対してK₀圧密を行った後，拘束圧一定条件で繰返し非排水三軸試験を実施した結果，以下の知見を得た．

供試体の破壊形態は，初期せん断応力と繰返し応力片振幅の大小により液状化と繰返し軟化に分かれる．

液状化の判定は，供試体が液体的な状態に変化する限界過剰間隙水圧比により評価できる．

繰返し回数~せん断応力比関係において，規定する繰返し回数(N_c)に応じて得られる破壊形態は，細粒分含有率(Fc)により液状化または繰返し軟化を示す場合があり，その扱いに留意する必要がある．

【参考文献】

- 1) 兵働正幸, 村田秀一, 安福規之: 初期せん断を受ける飽和砂の動的強度について, 第24回土質工学会研究発表講演集, pp.797-800, 1989.
- 2) 矢島寿一, 沼田佳久, 中根享: 細粒分を含む砂質土の液状化特性と液状化強度評価に関する一考察, 土木学会論文集No.624/47, pp.113-122, 1999.