

密な砂の液状化抵抗に及ぼす繰返しせん断履歴の影響

東北大学工学部土木工学科 学生会員 ○岡田拓郎

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 正会員 風間基樹, 渦岡良介, 仙頭紀明

1. はじめに

近年、原子力発電所等の高い安全性が求められる施設において、大地震波を想定してかなり密な砂においても、液状化に対する安全性を照査している。一方室内試験で液状化抵抗を調べる際、サンプリングの際に試料に乱れが生じ、現場の液状化強度を過小評価することがあると指摘されている。よって現場の液状化強度を再現するために、サンプリングした試料に、中ひずみレベルの繰返しせん断履歴を加えることが提案される¹⁾。

そこで本研究では、中空ねじりせん断試験機を用いて、非排水繰返し载荷前に繰返しせん断履歴を与え、履歴によって液状化抵抗がどの程度変化するか評価した。また過圧密履歴を与えた実験²⁾も行い履歴の種類の違いについても検討した。

2. 試料および実験方法

試料として用いた砂質土は土粒子密度 2.7 g/cm^3 で、**図-1**に示す粒度分布を有する細粒分混り砂である。なお細粒分含有率は 7.9% 、平均粒径は 0.5 mm である。供試体は、外径 7 cm 、内径 3 cm 、高さ 10 cm の中空円筒形とし、水中落下法により目標間隙比を 0.55 になるように、バイブレーターでモールドに振動を与えて締固めて作製した。 20 kPa で予備圧密後、脱気水を十分に通水し、背圧を $98 \text{ kPa} \sim 294 \text{ kPa}$ 载荷して飽和させた。その後所定の圧密圧力で圧密した後、後述する繰返しせん断履歴 (Preshearing: 以後 PS と呼ぶ) を排水条件で与えた。履歴を与えた後、

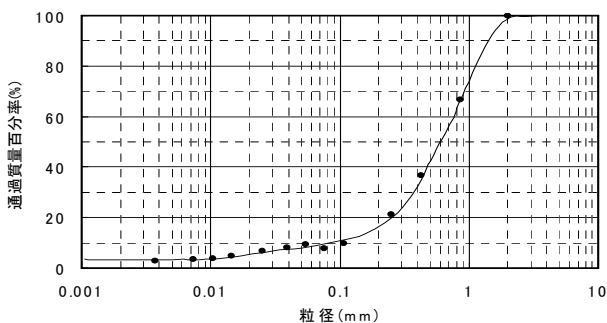


図-1 粒径加積曲線

非排水条件にて**図-2**に示す不規則せん断応力波を与えた。なお繰返しせん断履歴が単調载荷時のせん断特性に及ぼす影響を調べるため、中空ねじりせん断試験機を用いて $C\bar{U}$ 試験を行なった。

実験ケースと PS 载荷前後のせん断剛性の変化を**表-1**に示す。実験における等方圧密圧力は 196 kPa である。なおせん断剛性はせん断ひずみレベルが 2.5×10^{-5} の時の値である。**表-2**は過圧密を与えたケースの結果である。過圧密比は 3 として、実験における等方圧密圧力は 98 kPa である。なおケース $1 \sim 4$ は非排水繰返し試験であり、ケース $5 \sim 8$ は $C\bar{U}$ 試験である。

3. 結果および考察

ケース $1 \sim 4$ の試料が液状化に達した時刻を**表-3**に示す。過剰間隙水圧比の時刻歴を**図-3**に示す。また不規則せん断応力波の拡大図も示す。液状化した時刻は過剰間隙水圧比が 0.95 になった時点と、片振

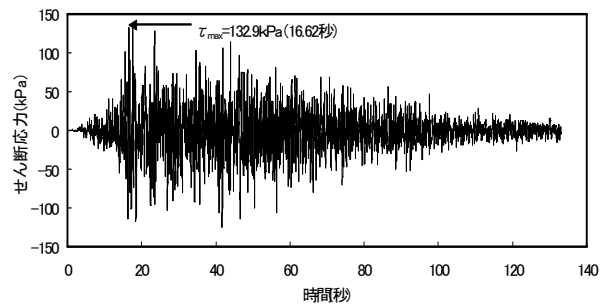


図-2 不規則せん断応力波

表-1 実験ケース (PS 履歴)

ケース	せん断剛性 (MPa)		せん断履歴の方法	間隙比
	圧密後	PS後		
1	112.2	—	なし	0.556
2	100.8	109.0	$\gamma = 0.1\%$, 2000回	0.555
3	99.2	97.7	$\gamma = 0.01\%$, 2000回	0.563
5	104.1	—	なし	0.559
6	112.6	116.4	$\gamma = 0.1\%$, 2000回	0.551
7	114.5	110.6	$\gamma = 0.01\%$, 2000回	0.590

註) $\sigma'_{vo} = 196 \text{ kPa}$

表-2 実験ケース (過圧密履歴)

ケース	せん断剛性 (MPa)		間隙比
	履歴前	履歴後	
4	58.6	66.1	0.559
8	84.6	85.7	0.585

註) $\sigma'_{vo} = 98 \text{ kPa}$

幅せん断ひずみが 2.5%と 5%になった時点とした。

せん断履歴を与えていないケース 1 では、16.62 秒付近で最大せん断応力が発生し、その後の除荷によって過剰間隙水圧比が 0.95 以上となり液状化した。0.1%のひずみ履歴を与えたケース 2 では、表-1 からわかるように若干のせん断剛性の上昇が見られ、液状化($R_v=0.95$)までに 19.61 秒を必要とし、**図-3** に見られる通り過剰間隙水圧比も上昇しにくくなっている。

このことからケース 2 はケース 1 に比べて、液状化に対する抵抗性が高くなったことがわかる。

0.01%のひずみ履歴を与えたケース 3 では、若干のせん断剛性の減少が見られる。15.6 秒付近でせん断応力約 100kPa に達し、その後の除荷によって過剰間隙水圧比が 0.95 以上となり液状化した。これは 0.01%のひずみ履歴は、液状化に対する抵抗性にほとんど寄与していないものと考えられる。

過圧密を与えたケース 4 では、若干のせん断剛性の上昇が見られ、液状化までに 17.4 秒を必要とした。このことから、ケース 4 はケース 1 に比べて、液状化に対する抵抗性が若干高くなったことがわかる。

次に単調載荷試験($\bar{C}U$ 試験)の結果を、せん断応力比-せん断ひずみ関係を **図-4** に示す。

0.1%のひずみ履歴を与えたケース 6 では、強度が若干増加している。0.01%のひずみ履歴を与えたケース 7 では、ケース 5 に比べ若干強度が低下しているが、間隙比が低いことによる影響と考えられ、0.01%のひずみ履歴は、液状化に対する抵抗性にほとんど寄与していないものと考えられる。過圧密履歴を与えたケース 8 では、若干の強度の上昇が見られた。

4. まとめ

中空ねじりせん断試験を用い、ひずみ履歴または過圧密履歴を与えた後、不規則波による液状化試験を行った結果、次の結果が得られた。

- 0.1%のせん断履歴を与えたケースでは、若干の液状化抵抗の増加が見られたが、0.01%のひずみ履歴を与えたケースでは、液状化抵抗はほとんど変化しなかった。
- 過圧密履歴を与えたケースでは、せん断剛性の若干の増加が見られたが、液状化抵抗に大きな変化は見られなかった。

参考文献

- 1) Tokimatsu, K, Yamazaki, T, Soil liquefaction evaluations by elastic shear moduli Soils and foudtaion Vol. 1.26, No. 1, 25-35, 1986.
- 2) 風間基樹, 仙頭紀明, 森友宏, 過圧密履歴を受けた砂質地盤の液状化抵抗, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp.711-716, 2002.

表-3 液状化に達した時刻 (単位: 秒)

ケース	$r_v=0.95$	$\gamma=2.5\%$	$\gamma=5\%$
1	16.81	16.32	17.15
2	19.61	18.49	22.24
3	16.21	15.88	16.29
4	17.4	17.15	17.63

註) 単位(秒)

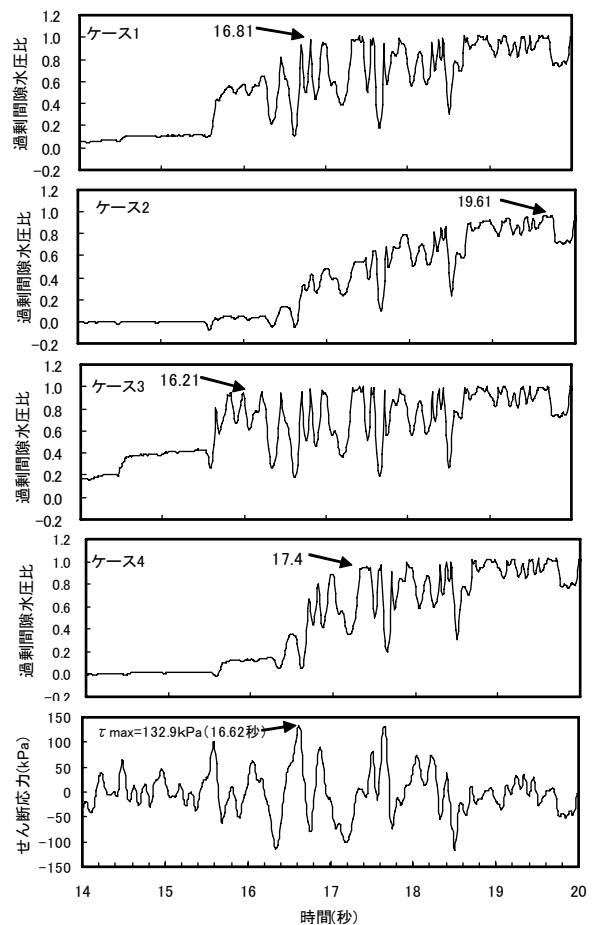


図-3 過剰間隙水圧比の時刻歴

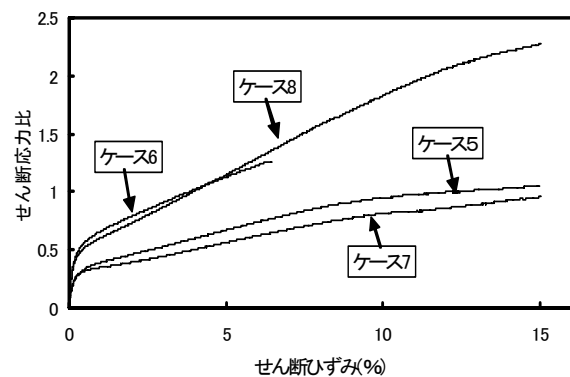


図-4 $\bar{C}U$ 試験 応力-ひずみ関係