

2種類の継続時間の異なる不規則荷重を受ける細粒分含有砂の液状化特性

九州工業大学大学院 学生会員○春野 友希
九州工業大学大学院 国際会員 永瀬 英生 廣岡 明彦
九州工業大学 非会員 小野 虎太郎

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、東京湾岸の埋立地や千葉・茨城等の沿岸部および内陸部で広範囲に液状化が発生し、それにより住宅、道路、港湾施設、ライフライン等に甚大な被害が生じた。本地震にはこれまでに発生した地震に比べ、地震動の継続時間が非常に長いという特徴がある。また、近年では埋立地が増えており、埋立地では浚渫土と呼ばれる細粒分を含む土が多く使用されている。そのため本研究では、地震動の継続時間が長いこと、地盤に細粒分が含まれることに着目し、これらの特徴が液状化特性に及ぼす影響を検討した。

2. 試料および実験方法

試料には関門航路浚渫工事より採掘した浚渫土を用いた。試料の物理的性質は、土粒子密度 $\rho_s=2.703(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、最大間隙比 $e_{\max}=1.479$ 、最小間隙比 $e_{\min}=1.073$ 、細粒分含有率 $F_c=10\%$ である。供試体は外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形で、水中落下法により相対密度 $D_r=45\%$ になるように作製した。その後脱気水を通水し十分飽和させ、初期鉛直有効拘束圧 $\sigma_{v0}'=49\text{kPa}$ で等方圧密を行った。圧密終了後、軸方向変位を拘束し、非排水状態で繰返し載荷を行った。繰返し載荷には、0.1Hz の正弦波形と図 1 に示す千葉県浦安市で観測された東北地方太平洋沖地震波形(以下、TU 波形と呼ぶ。)、図 2 に示す兵庫県神戸市で観測された兵庫県南部地震波形(以下、HK 波形と呼ぶ。)のそれぞれの時間軸を 20 倍したものをを用いた。なお、TU 波形では図 1 の赤色で示した 50.0~160.0(s)の範囲、HK 波形では図 2 の青色で示した 0~100.0(s)の範囲を載荷に用いる波形とした。また繰返し載荷後、非排水条件を保ったまま載荷速度 $\dot{\gamma}=5\%/\text{min}$ のひずみ制御方式にて静的単調載荷試験を行った。

3. 細粒分と地震動の継続時間が液状化発生特性に及ぼす影響

正弦波荷重を与えたときの繰返し応力比と両振幅せん断ひずみ $DA=7.5\%$ に至るまでの繰返し回数との関係を図 3 に示す。また、TU 波形、HK 波形を与えたときの最大せん断応力比と片振幅せん断ひずみ SA の関係を図 4、5 に示す。正弦波形を与えた場合の、繰返し回数 20 回のときの繰返し応力比を液状化強度比 R_{120} とすると、図 3 より $R_{120}=0.162$ という結果が得られた。また、地震波形を用いた場合の、片振幅せん断ひずみ $\gamma_{SA}=3.75\%$ のときの繰返し応力比を液状化強度比 R_{SA} とすると、TU 波形を用いた場合、 $R_{SA}=0.261$ となった。同様に HK 波形を用いた場合、 $R_{SA}=0.342$ となった。これらの繰返し載荷試験による実験結果を用いて補正係数 C_w を求めた。この補正係数 C_w は $R=C_w \cdot R_L$ という実験によって求められる液状化強度比 R_L から実際の地震時

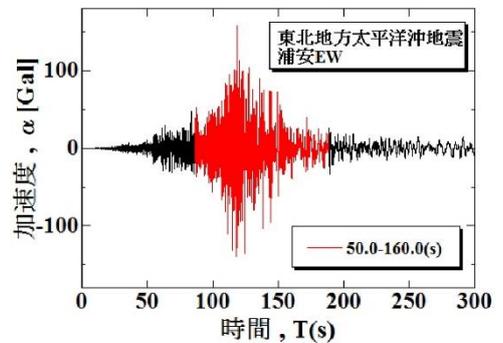


図 1 千葉県浦安市での地震波形

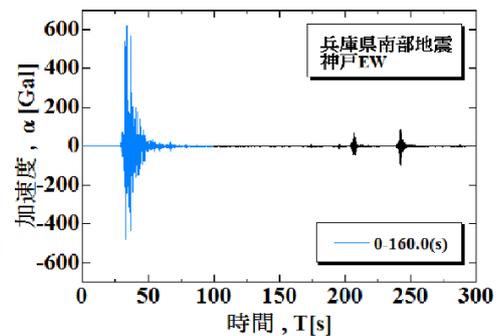


図 2 兵庫県神戸市での地震波形

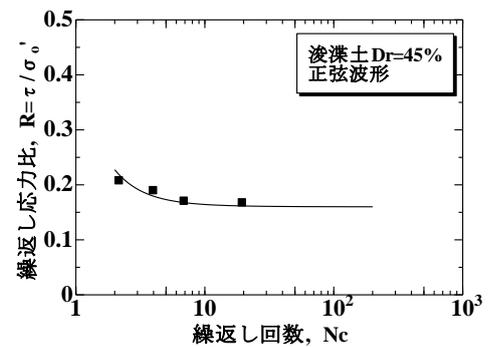


図 3 R と N_c の関係

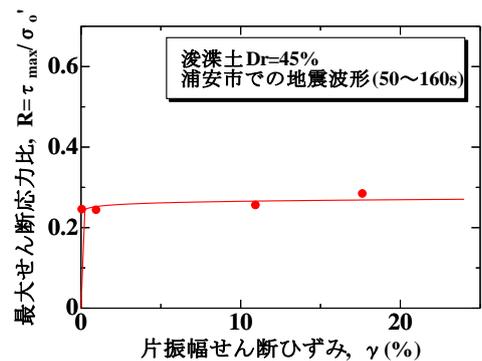


図 4 R と γ の関係(TU 波形)

表 1 液状化強度比, 補正係数 C_2 , C_w

	正弦波形		TU 波形		HK 波形	
	浚渫土	豊浦砂	浚渫土	豊浦砂	浚渫土	豊浦砂
液状化強度比	0.162	0.155	0.261	0.267	0.342	0.281
C_2			1.61	1.71	2.12	1.81
C_w			1.08	1.14	1.42	1.21

におけるせん断強度比 R を求める際に用いられる補正係数である。 $C_w=C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$ となっており, 静止土圧係数 $K_0=0.5$ と仮定すると $C_1=0.67$ となり, C_3, C_4, C_5 は, $C_3 \cdot C_4=1.0, C_5=1.0$ とした。また C_2 においては地震波形による繰返し応力比を正弦波形による繰返し応力比で除したものであり, それぞれの波形に対して TU 波形では $C_2=0.261/0.162=1.61$, HK 波形では $C_2=0.342/0.162=2.12$ という値が得られた。これらより補正係数 C_w を求めると TU 波形では $C_w=0.67 \cdot 1.61 \cdot 1.0 \cdot 1.0=1.08$, HK 波形では $C_w=0.67 \cdot 2.12 \cdot 1.0 \cdot 1.0=1.42$ という値となった。これらの値と豊浦砂による既往データ²⁾に修正を加えたものを合わせて表 1 に示す。表 1 より TU 波形において液状化強度比に大きな違いは見られなかったが, HK 波形においては豊浦砂に比べ浚渫土の場合, 1.2 倍以上の液状化強度比が得られた。これは細粒分により粘着性の摩擦抵抗が発揮され, 液状化強度比が大きくなったと考えられる。この影響により, 補正係数 C_w を見ると, TU 波形では 1.0 に近い値をとっているが, HK 波形においては 1.42 と 1.0 よりもかなり大きい値となっている。

4. 地震動の継続時間が液状化後の変形特性に及ぼす影響

TU 波形, HK 波形を用いて液状化させた後の静的単調載荷試験により得られたせん断応力とせん断ひずみの関係を図 6, 図 7 に示す。また, 繰返し載荷を行わず, 静的せん断試験のみを行った供試体のデータを static とした。豊浦砂では下に凸のバイリニアとなる結果²⁾が得られているが, 細粒分を含む砂の場合は, TU 波形, HK 波形のどちらも右肩上がりの直線に近い下に凸の曲線で表されており, 豊浦砂に比べ剛性回復が緩やかとなっている。

5. 結論

本研究では継続時間の異なる地震波形を用いて細粒分を含む砂の液状化試験を行い, 液状化強度特性および液状化後の変形特性について検討した。以下に, 本研究で得られた知見を示す。

- 1) 地震動の継続時間が長いと細粒分の影響は小さいが, 継続時間が短い衝撃型の地震動であればその細粒分による影響は大きくなる。
- 2) 細粒分を含む砂の場合は地震動の継続時間に関わらず, 剛性回復が緩やかになる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp.132-149, 2012.
- 2) 遠藤・春野ら：2 種類の継続時間の異なる不規則荷重を受ける砂の液状化特性, 第 49 回地盤工学研究発表会, pp.457-458, 2014.

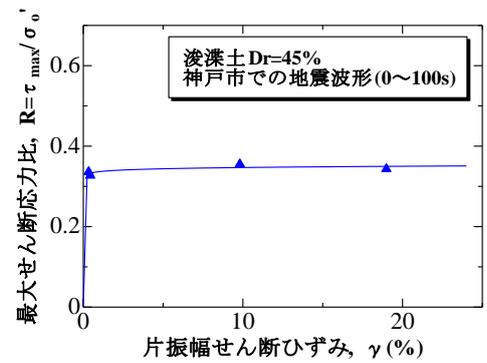


図 5 R と γ の関係(HK 波形)

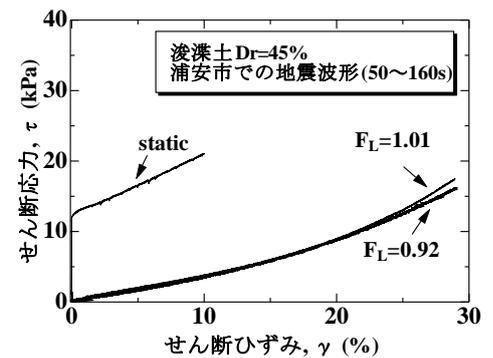


図 6 τ と γ の関係(TU 波形)

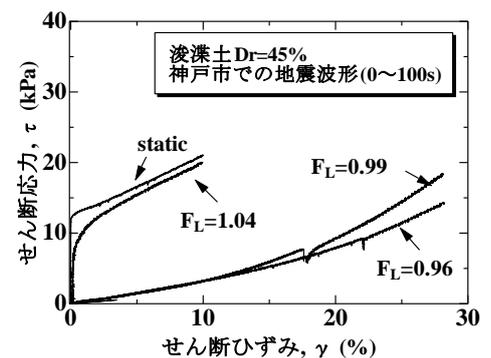


図 7 τ と γ の関係(HK 波形)