

# 継続時間の長い不規則荷重を受ける砂の液状化発生特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○遠藤正悟 森智昭  
九州工業大学大学院 正会員 永瀬英生 廣岡明彦

## 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震はこれまでの地震と比べて地震動の継続時間が非常に長いという特徴が報告されている。これにより地盤が液状化した後も地震動が続いたため、液状化の程度が大きくなり、地表面が動きやすくなったと考えられる。そのため、このような特徴が液状化特性に及ぼす影響を調べることは重要であると思われる。そこで、本研究では、継続時間の長い不規則荷重を受ける砂の液状化発生特性について検討した。

## 2. 試料および実験方法

試料には、豊浦砂を用いた。試料の物理的性質は、土粒子密度  $\rho_s = 2.645(\text{g/cm}^3)$ 、最大間隙比  $e_{\max} = 0.981$ 、最小間隙比  $e_{\min} = 0.608$  である。供試体は外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形とし、空中落下法により所定の相対密度になるように作製した。圧密方法としては、供試体作製後、脱気水を通水し、間隙圧係数  $B$  値が 0.95 以上となる飽和した供試体を初期有効拘束圧  $\sigma_0' = 49\text{kPa}$  での等方圧密および圧密時における側方ひずみが  $\pm 0.05\%$  以内に収まるように側圧にて制御する  $K_0$  圧密の 2 パターンで実験とした。繰返し载荷には正弦波形と図 1 に示す浦安市で観測された東方地方太平洋沖地震波形の時間軸を 20 倍したものを用いた。载荷に用いた地震波形は 50.0~160.0(s) の範囲とした。本研究では正弦波荷重と不規則荷重を用いるため、液状化発生の判断はそれぞれ両振幅せん断ひずみ  $DA = 7.5\%$  と片振幅せん断ひずみ  $SA = 3.75\%$  のときとした。

## 3. 継続時間を考慮した液状化判定

浦安市での波形を用いた繰返し試験により得られた豊浦砂の液状化に至るまでの繰返し応力比  $\tau_{\max}/\sigma_0'$ 、せん断ひずみ  $\gamma$ 、過剰間隙水圧比  $\Delta u/\sigma_0'$  の代表的な経時変化を図 2 に示す。この図より、繰返し応力比が最大となる直前で過剰間隙水圧比が急激に上昇し、液状化に至っていることがわかる。

東北地方太平洋沖地震のような継続時間の長い地震が発生したとき、これまでの地震の場合と同様に液状化判定を行うと、液状化の発生が正確に判定できないのではないかと考えられる。これは継続時間が長い分、波形が多いため液状化の発生が起こりやすくなることが予測されるからである。実際に、昨年の実験結果より博多湾浚渫土を用いた場合、液状化判定で用いられる補正係数  $C_w$  を 0.9 に設定することで、より正確な液状化判定が行えるという結果が得られている<sup>2)</sup>。そのため、正確な液状化判定を行うために、正しい補正係数を設定する必要がある。ここに、補正係数  $C_w$  は、繰返し三軸試験で得られる液状化強度比から地震時せん断応力比を求めるための係数である。

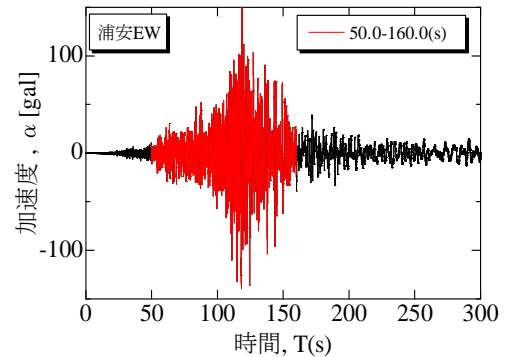
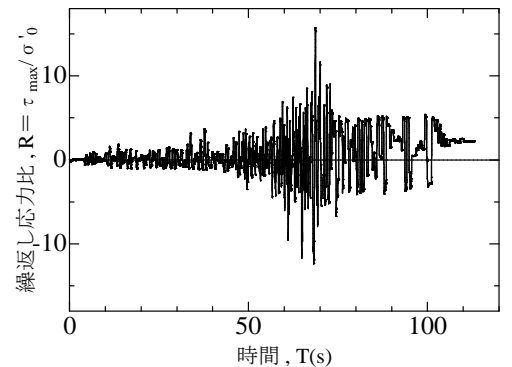
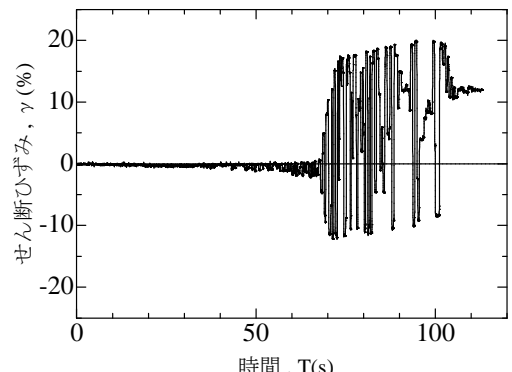


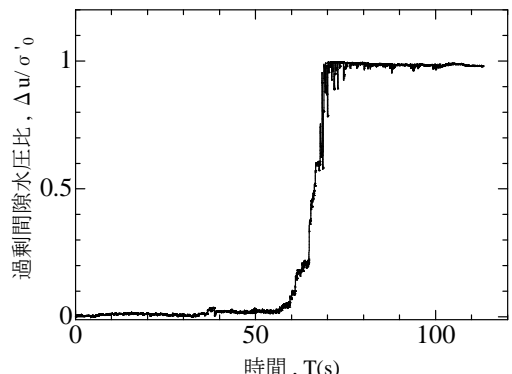
図 1 千葉県浦安市での地震波形



(a)



(b)



(c)

図 2 (a)繰返し応力比、(b)せん断ひずみ、および(c)過剰間隙水圧比の経時変化

等方圧密によって圧密された豊浦砂に正弦波を与えたときの繰返し応力比と繰返し回数の関係を図3に示す。この図より相対密度  $Dr=45\%$  のとき繰返し回数 20 回での液状化強度比は  $R_{120}=0.148$ 、 $Dr=65\%$  のとき  $R_{120}=0.185$  となる。また、等方圧密によって圧密された豊浦砂に浦安市で観測された地震波を与えたときの繰返し応力比と片振幅せん断ひずみの関係を図4に示す。この図より、繰返し応力比が 0.250 を超えると急激にひずみが大きくなる傾向が見られる。また、液状化強度比は 0.250 となる。これらの実験結果を用いて補正係数  $C_w$  を求めた。 $C_w=C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$  であり、 $C_1=0.67$ 、 $C_3=C_4=C_5=1.0$  である。得られた結果より  $C_2$  を算出すると、 $C_2=0.250/0.148=1.69$  である。よって補正係数  $C_w$  は  $C_w=0.67 \cdot 1.69 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0=1.13$  となった。

同様にして、 $K_0$  圧密によって圧密された豊浦砂に正弦波を与えたときの繰返し応力比と繰返し回数の関係を図5に示す。この図より、液状化強度比は  $R_{120}=0.129$  となる。また  $K_0$  圧密によって圧密された豊浦砂に浦安市で観測された地震波を与えたときの繰返し応力比と片振幅せん断ひずみの関係を図6に示す。この図より、繰返し応力比が 0.200 を超えると急激にひずみが大きくなる傾向が見られる。また、液状化強度比は 0.203 となる。これらの実験結果を用いて同様に補正係数  $C_w$  を求めると、 $C_2=0.203/0.129=1.57$  となり、 $C_w=0.67 \cdot 1.57 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0=1.05$  となった。

この2つの結果より、補正係数  $C_w$  を比較すると2つの試験とも通常の地震の場合の補正係数  $C_w=1.0$  とあまり変わらない。このことから、相対密度 45% の緩詰め豊浦砂の場合では、継続時間の長い地震であっても補正係数に対してその影響はほとんどないのではないかと考えられる。

#### 4. 結論

本研究では、継続時間の長い不規則荷重を受ける砂の液状化発生特性について調べ、その結果より液状化判定の際に用いられる補正係数に対する継続時間の影響を検討した。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 継続時間の長い地震波形を用いた場合、等方圧密において液状化強度に関する補正係数  $C_w$  は、 $C_w=1.13$  となった。また、 $K_0$  圧密において補正係数  $C_w$  は、 $C_w=1.05$  となった。
- 2) 補正係数  $C_w$  を比較すると等方圧密、 $K_0$  圧密の圧密条件において両方とも通常の地震の場合の補正係数  $C_w=1.0$  とほぼ等しい結果となった。このことから、相対密度 45% の緩詰め豊浦砂の場合においては、継続時間の長さが補正係数に与える影響はあまり見られないのではないかと考えられる。

なお、一般に地盤では相対密度は一様ではなく、相対密度が変化すると液状化強度も変化する。そのため、今後は、相対密度を 65%、85% と変化させて補正係数に対して相対密度および継続時間の影響を調べる予定である。

参考文献：1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, pp.108, 1993.

2) 岩國ら：継続時間の長い不規則荷重を受ける砂質土の液状化特性, 土木学会第 67 回年次学術講演会, pp37-38, 2012

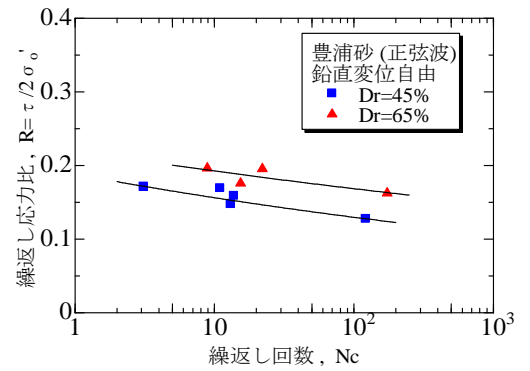


図3 R と  $N_c$  の関係(等方圧密)

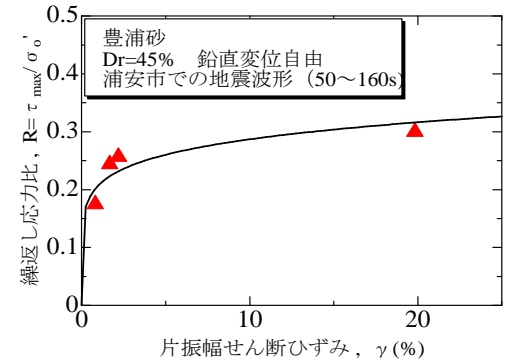


図4 R と  $\gamma$  の関係(等方圧密)

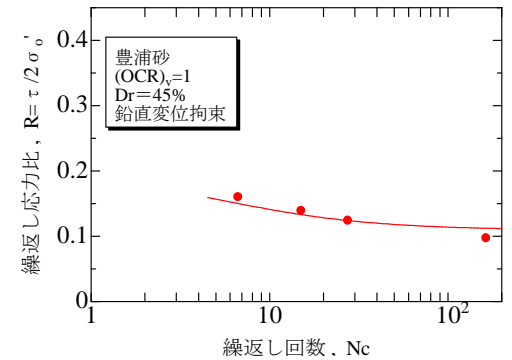


図5 R と  $N_c$  の関係( $K_0$ 圧密)

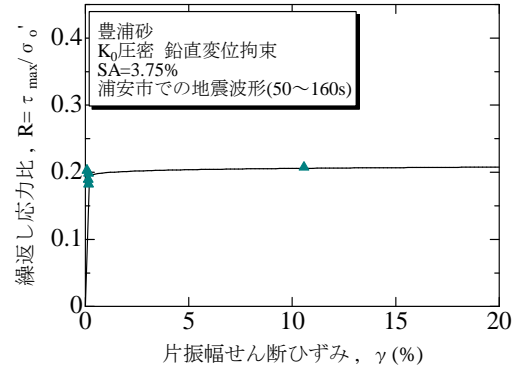


図6 R と  $\gamma$  の関係( $K_0$ 圧密)