

継続時間の長い不規則荷重を受ける砂の液状化発生に関する検討

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。これにより液状化が発生しやすくなったことと、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こと等が考えられる。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 $\rho_s = 2.645(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、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。供試体作製後には、脱気水を通水して間隙圧係数 B 値が 0.95 以上となるように供試体を飽和化し、初期有効拘束圧 $\sigma'_0 = 49\text{kPa}$ で等方圧密を行った。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

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りやすくなるという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 $C_w^{(1)}$ 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²⁾。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。

相対密度 $D_r = 45, 65, 85\%$ の供試体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それぞれ図 2, 4, 6 に示す。また、同様の供試体に浦安市で観測された地震波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の関係をそれぞれ図 3, 5, 7 に示す。正弦波を与えた場合の液状化強度比は繰返し回数が 20 回のときの繰返し応力比であるとして、図 2 より相対密度 $D_r = 45\%$ のときの液状化強度比は $R_{120} = 0.151$ である。同様にして、正弦波を与えた場合の液状化強度比は図 4, 6 より、相対密度 $D_r = 65\%$ のとき $R_{120} = 0.185$ 、相対密度 $D_r = 85\%$ のとき

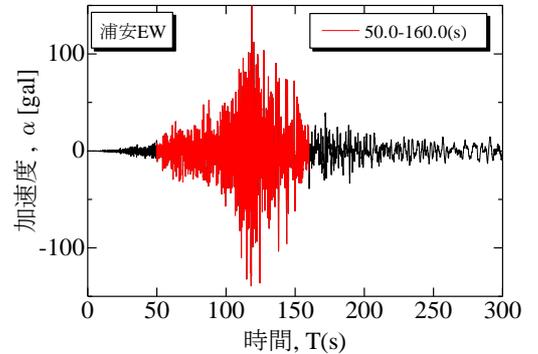


図 1 千葉県浦安市での地震波形

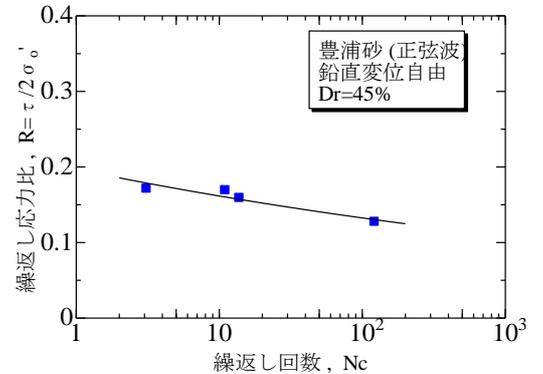


図 2 繰返し応力比と繰返し回数の関係 (Dr=45%)

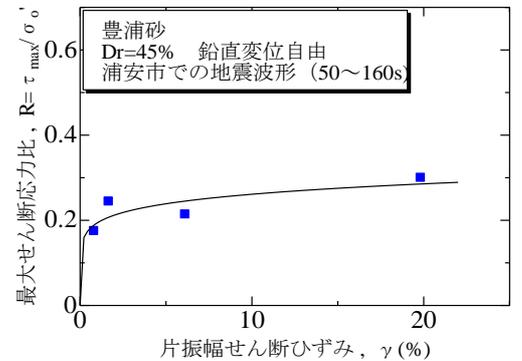


図 3 最大せん断応力比と片振幅せん断ひずみの関係 (Dr=45%)

キーワード：ねじりせん断試験 砂 液状化強度 東北地方太平洋沖地震

連絡先：〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1 TEL：093-884-3111

$R_{120}=0.217$ という結果が得られた。また、地震波を与えた場合の液状化強度比は片振幅せん断ひずみが 3.75%のときの最大せん断応力比であるとして、図 3 より相対密度 $D_r=45\%$ のときの液状化強度比は 0.230 である。同様に、地震波を与えた場合の液状化強度比は図 5, 7 より、相対密度 $D_r=65\%$ のとき 0.275、相対密度 $D_r=85\%$ のとき 0.288 という結果が得られた。

これらの結果を用いて、それぞれの相対密度における補正係数 C_w を算出した。 $C_w=C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5$ であり、静止土圧係数 $K_0=0.5$ と仮定して $C_1=0.67$ 、 $C_3 \cdot C_4 \cdot C_5=1.0$ である。相対密度 $D_r=45\%$ のとき得られた結果より C_2 を算出すると、 $C_2=0.230/0.151=1.51$ となる。よって補正係数 C_w は $C_w=0.67 \cdot 1.51 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0=1.01$ となる。同様に、相対密度 $D_r=65\%$ のとき得られた結果より $C_2=0.275/0.191=1.44$ となり、 $C_w=0.67 \cdot 1.44 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0=0.96$ となる。また、相対密度 $D_r=85\%$ のとき得られた結果より $C_2=0.288/0.217=1.33$ となり、補正係数 C_w は $C_w=0.67 \cdot 1.33 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0=0.88$ となる。よって、今回行った実験より、相対密度 $D_r=45, 65, 85\%$ のそれぞれの補正係数は 1.01, 0.96, 0.88 という結果が得られた。 $D_r=45\%$ の緩詰めの場合は、通常地震の場合の補正係数 $C_w=1.0$ と変わらない。このことから、相対密度 D_r が 45%の緩詰めの場合では、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あまりないものと考えられる。しかし、相対密度 D_r が 65, 85% と高くなると、補正係数 C_w は 0.96, 0.88 と小さくなり補正係数への影響が現れることがわかる。このことから、密な地盤になるにつれて補正係数 C_w を小さく設定することで正確な液状化判定ができる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) 相対密度 $D_r=45, 65, 85\%$ のとき補正係数 C_w は 1.01, 0.96, 0.88 という結果が得られた。
- 2) 補正係数 C_w を比較すると、緩詰めの場合においては継続時間の影響をあまり受けないが、中密または密な地盤になると、継続時間の影響を受け補正係数を小さく設定することで、より精度の高い液状化判定が可能になることが明らかになった。

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, pp.37-38, 2012.

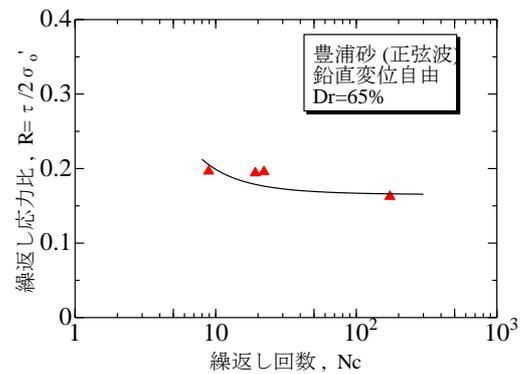


図 4 繰返し応力比と繰返し回数の関係 (Dr=65%)

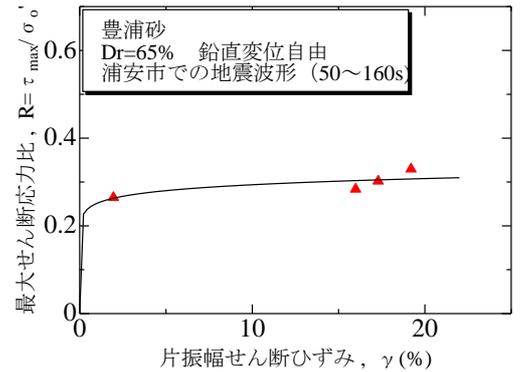


図 5 最大せん断応力比と片振幅せん断ひずみの関係 (Dr=65%)

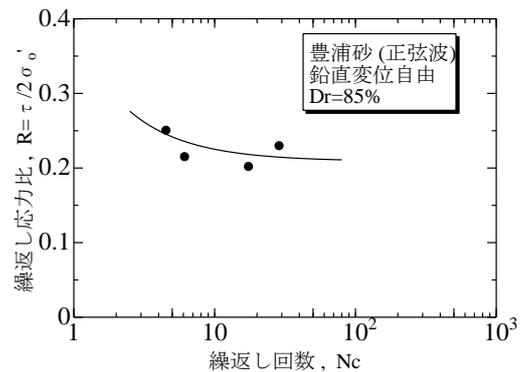


図 6 繰返し応力比と繰返し回数の関係 (Dr=85%)

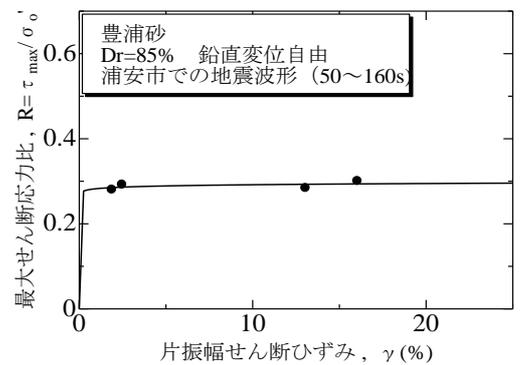


図 7 最大せん断応力比と片振幅せん断ひずみの関係 (Dr=85%)