

地震動の継続時間が砂の液状化発生に及ぼす影響に関する研究

九州工業大学 学生会員 ○春野友希
 九州工業大学大学院 学生会員 遠藤正悟
 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において広範囲に液状化が発生し、それによる被害は甚大なものとなった。そこで本研究では、この地震の特徴である地震動の継続時間が長いことに着目し、この特徴が砂の液状化特性に及ぼす影響を調べることを目的として実験的検討を行った。

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。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浦安市で観測された東方地方太平洋沖地震波形および神戸市で観測された兵庫県南部地震波形のそれぞれの時間軸を 20 倍したものをを用いた。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. 時刻歴および液状化強度曲線に関する実験結果

東北地方太平洋沖地震波形を用いた繰返し試験により得られた、相対密度 $D_r = 45\%$ における繰返し応力比 τ_{\max}/σ'_0 、せん断ひずみ γ 、過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_0$ の代表的な経時変化を図 1 に、同様にして兵庫県南部地震波形を用いた場合の繰返し応力比 τ_{\max}/σ'_0 、せん断ひずみ γ 、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。

東北地方太平洋沖地震波形を用いたときの結果については図 1 より、68s の時点で最大せん断応力 τ_{\max} に達し、せん断ひずみが急増し始めている。また、60s 経過してから過剰間隙水圧比が顕著に上昇し始め、68s の時点で過剰間隙水圧比が 1.0 に到達している。それとほぼ同時か直後にせん断ひずみが急増し始めて片振幅せん断ひずみが 3.75% に達し、液状化が発生して供試体が一気に軟化しているものと思われる。兵庫県南部地震波形を用いたときは図 2 より、27s の時点で最大せん断応力 τ_{\max} に達し、せん断ひずみと過剰間隙水圧比が急増している。それとほぼ同時に過剰間隙水圧比が 1.0 に到達し、片振幅せん断ひずみが 3.75% に達しており、液状化が発生して東北地方太平洋沖地震波形を用いた場合に比べて、供試体がより一層急激に軟化しているものと思われる。

相対密度 $D_r = 45$ 、65% の供試体に正弦波荷重を与えたときの繰返し応力比と繰返し回数との関係を図 3 に示す。また、同様の供試体に浦安市で観測された地震波による不規則荷重を与えたときの最大せん断応力比と片振幅

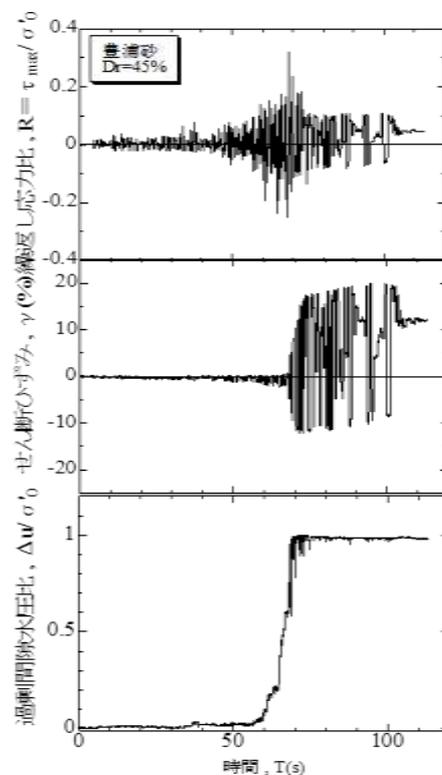


図 1 繰返し応力比、せん断ひずみおよび過剰間隙水圧比の経時変化 (東北地方太平洋沖地震)

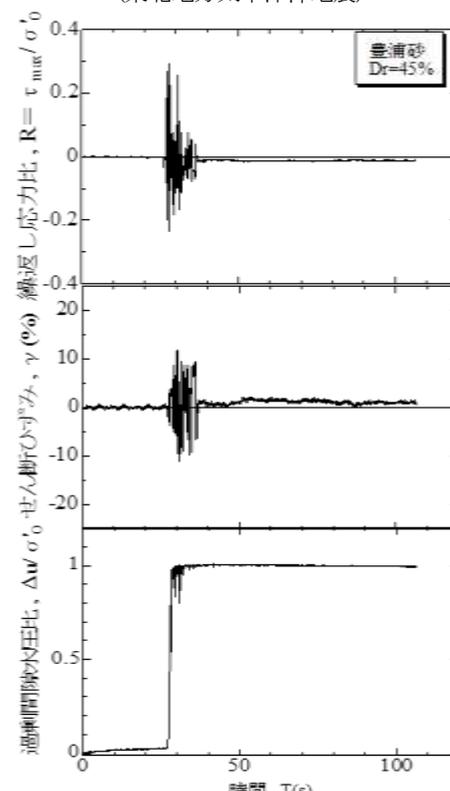


図 2 繰返し応力比、せん断ひずみおよび過剰間隙水圧比の経時変化 (兵庫県南部地震)

せん断ひずみの関係を図4に、神戸市で観測された地震波による不規則荷重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図5に示す。

正弦波荷重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する、図3より相対密度 $D_r=45\%$ のときの液状化強度比 $R_{120}=0.151$ 、相対密度 $D_r=65\%$ のとき $R_{120}=0.191$ という結果が得られた。また、地震波形を用い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する、東北地方太平洋沖地震の場合の液状化強度比は、図4より相対密度 $D_r=45\%$ のとき0.255、相対密度 $D_r=65\%$ のとき0.278という結果が得られた。同様に、兵庫県南部地震波形を用いた場合の液状化強度比は図5より、相対密度 $D_r=45\%$ のとき0.264、相対密度 $D_r=65\%$ のとき0.325という結果が得られた。この結果より、それぞれの相対密度において東北地方太平洋沖地震波形を用いたときの方が液状化強度比は低い値を示している。これは、地震動の継続時間が長い分、供試体に加わる波形が多かったためと考えられる。

これらの結果を用いて、東北地方太平洋沖地震のような継続時間の長い地震と兵庫県南部地震のような継続時間の短い地震の2ケースにお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 $C_1=0.67$ 、 $C_3 \cdot C_4 \cdot C_5=1.0$ とした。東北地方太平洋沖地震において、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、 $C_2=0.255/0.151=1.67$ となる。よって補正係数 C_w は $C_w=0.67 \cdot 1.67 \cdot 1.0=1.11$ となる。同様に、相対密度 $D_r=65\%$ のとき得られた結果より $C_2=0.278/0.191=1.46$ となり、 $C_w=0.67 \cdot 1.46 \cdot 1.0=0.97$ となる。よって、今回行った実験より、相対密度 $D_r=45, 65\%$ のそれぞれの補正係数は1.11, 0.97という結果が得られた。この結果より、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。兵庫県南部地震において、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、 $C_2=0.264/0.151=1.73$ となる。よって補正係数 C_w は $C_w=0.67 \cdot 1.73 \cdot 1.0=1.16$ となる。同様に、相対密度 $D_r=65\%$ のとき得られた結果より $C_2=0.325/0.191=1.70$ となり、 $C_w=0.67 \cdot 1.70 \cdot 1.0=1.13$ となる。よって、今回行った実験より、相対密度 $D_r=45, 65\%$ のそれぞれの補正係数は1.16, 1.13という結果が得られた。この結果より、それぞれの相対密度における補正係数は通常の地震の場合の補正係数 $C_w=1.0$ より多少大きくなっていることがわかる。これは、用いた地震波形が衝撃型に分類されるため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) 東北地方太平洋沖地震において相対密度 $D_r=45, 65\%$ のとき補正係数 C_w はそれぞれ1.11, 0.97という結果が得られた。また、兵庫県南部地震において同様の相対密度の条件で補正係数 C_w はそれぞれ1.16, 1.13という結果が得られた。
- 2) 補正係数 C_w を比較すると、継続時間の長い地震においては、中密な地盤になると、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.91-97, 1996.

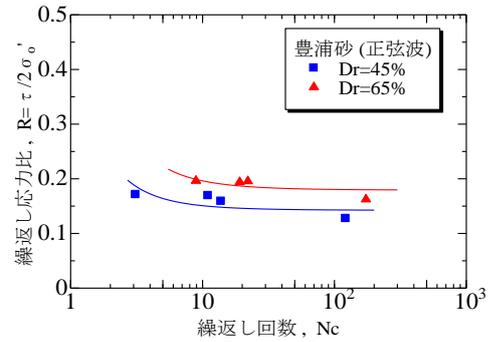


図3 繰返し応力比と繰返し回数の関係

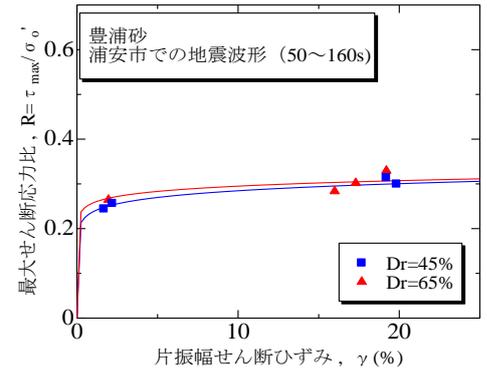


図4 Rとγの関係
(東北地方太平洋沖地震)

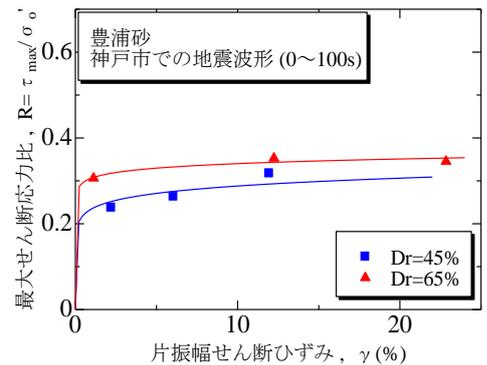


図5 Rとγの関係
(兵庫県南部地震)