

不規則荷重を受ける砂の液状化特性に与える密度の影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○守真武弘
 九州工業大学工学部 正会員 永瀬英生 清水恵助 廣岡明彦
 九州工業大学工学部 押川亮彦

1.はじめに

従来、密な砂地盤は液状化しにくいと考えられていたが、兵庫県南部地震では、比較的密な砂礫地盤においても液状化が発生した。このため、砂の液状化特性に与える密度の影響について研究する必要がある。本研究では、正弦波および不規則波を用いた繰返し三軸試験により、液状化特性に与える密度の影響について考察した。また、繰返し载荷後の非排水せん断特性についても検討を行った。

2.試料および実験方法

試料は豊浦砂、神戸市ポートアイランドで採取したまさ土の再構成試料を用いた。豊浦砂の試験では空中落下法により $D_r=40\%$ 、 70% になるように作製した。まさ土の場合は、最大粒径が 9.5mm 、礫分含有率 $GC=40\%$ になるように調整し、湿潤締固め法により、供試体内における礫以外の部分の相対密度が $D_r=50\%$ 、 80% になるように作製した。供試体は直径 7.5cm 、高さ 15.0cm の円柱形であり、圧密条件は拘束圧 49kPa の等方圧密とした。

正弦波を用いた繰返し試験では载荷周波数を 0.1Hz とし、不規則波の場合においては兵庫県南部地震の際にポートアイランドの地表面で観測された最大卓越方向 NS 方向の加速度波形を用い、その時間スケールは実地震波と同一とした。図 1 にその加速度波形を示す。

正弦波を用いた繰返し载荷後の非排水せん断試験では、所定の軸ひずみ ($DA=5.0\%$ 以上) に達した後、繰返し载荷を止め、非排水状態を維持したまま、ひずみ制御方式で三軸圧縮試験を行った。不規則波を用いた場合は、EM-test 終了後に非排水せん断試験を行った。

3.実験結果

正弦波を用いた繰返し三軸試験における繰返し応力比 R と繰返し回数 N_c の関係を図 2 に示す。繰返し回数 20 回で両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ が生じるときの繰返し応力比を R_{120} とすると、 R_{120} は $D_r=70\%$ の場合、 $D_r=40\%$ のときの 1.8 倍程度に大きくなった。

不規則波を用いた繰返し三軸試験ではせん断波形の最大値を圧縮側 (CM-test) と伸張側 (EM-test) にそれぞれ作用させた。図 3 にこの試験で得られた代表的な時刻歴 (EM-test) を示す。正弦波の試験では一旦液状化が発生すると、軸ひずみは 10% 以上に増大するが、不規則波の試験では図 3 に示すように液状化が生じて、軸ひずみは高々数%とあまり大きくは発生していない。これは応力比のピーク付近を過ぎて過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_v$ が上昇し、液状化する頃には応力比が急激に減少していくという波形の不規則性が砂の挙動に現れたためと考えられる。

豊浦砂、まさ土における最大せん断応力比と最大軸ひずみの関係を図 4 に示す。CM、EM-test において最大軸ひずみ $\varepsilon_{\text{max}}=2.5\%$ が生じるときの最大せん断応力比を R_{imax} とし、これらの平均値により算

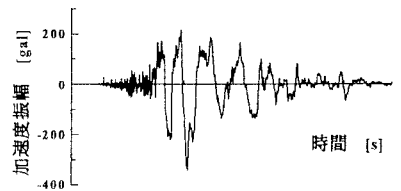


図 1 加速度波形

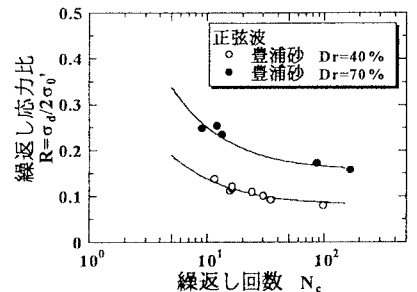


図 2 R と N_c の関係

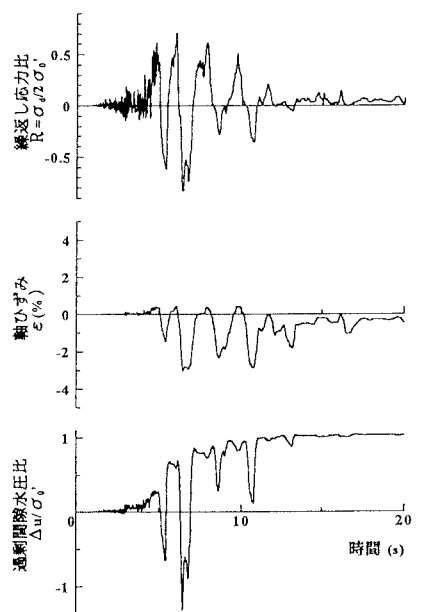


図 3 時刻歴(まさ土 $D_r'=80\%$)

表1 R_{lmax} の平均と補正係数 C_2

	R_{lmax}		R_{lmax} の平均	R_{l20}	C_2
	CM-test	EM-test			
豊浦砂($D_r=40\%$)	0.300	0.213	0.256	0.111	2.309
豊浦砂($D_r=70\%$)	0.775	0.550	0.663	0.204	3.248
まさ土($D_r=50\%$)		0.471			
まさ土($D_r=80\%$)		0.743			

定された補正係数 C_2 を表1に示す。この表より、補正係数 C_2 は豊浦砂の場合、 $D_r=70\%$ のほうが大きいことがわかる。

繰返し载荷後の非排水せん断試験の結果を図5に示す。豊浦砂の場合、液状化が生じた供試体は、初期状態においてほとんど軸差応力を発揮せず、完全に強度が失われた状態になり、軸ひずみがある程度大きくなると、供試体の強度が回復している。正弦波の試験では、繰返し応力比の影響はほとんどなく、 $D_r=70\%$ のほうが小さい軸ひずみで強度が回復している。また、不規則波を用いた場合は、正弦波を用いた場合とは傾向が異なっており、不規則波の試験のほうが小さい軸ひずみで強度が回復している。これは、図3の時刻歴を見ても分かるように、不規則荷重を受けたときは、正弦波の場合に比べ、軸ひずみの発生量が小さかったためと考えられる。また、繰返し载荷での最大軸ひずみが大きくなるほど、強度が回復するときの軸ひずみが大きくなっている。

まさ土の場合、液状化が生じた供試体においても、初期状態から強度が増加し、軸ひずみがある程度大きくなると強度はほぼ一定になっている。また、不規則波の载荷時に発生した最大軸ひずみが大きいほど、強度は小さくなり、 $D_r=80\%$ の場合のほうが $D_r=50\%$ のときより強度が大きくなっている。

4.まとめ

本研究では以下の挙動が観測された。

- ① 補正係数 C_2 は豊浦砂の場合、密度によって異なり、衝撃型地震に対する値1.82に比べ大きい値を示した。
- ② 豊浦砂を用いた繰返し载荷後の非排水せん断試験では、密度が高いほうが小さい軸ひずみで強度が回復した。また、不規則波の試験のほうが正弦波を用いた場合に比べ、小さい軸ひずみで強度が回復した。
- ③ まさ土を用いた繰返し载荷後の非排水せん断試験では、不規則波の载荷時に発生した最大軸ひずみが大きいほど、強度が小さくなり、また、 $D_r=80\%$ の場合のほうが $D_r=50\%$ のときより強度が大きくなった。

<参考文献>1)安田進(1988)：液状化の調査から対策工まで、鹿島出版、2)石原研而・他(1999)：非排水動的三軸試験によるまさ土の液状化特性、第34回地盤工学研究発表会講演概要集、pp.1005~1006、3)柳畑亨(1998)：三軸試験装置における緩い砂質土の非排水せん断特性に関する基礎的研究、九州工業大学博士論文

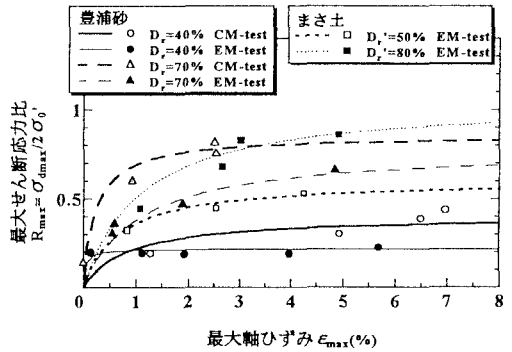


図4 R_{max} と ϵ_{max} の関係

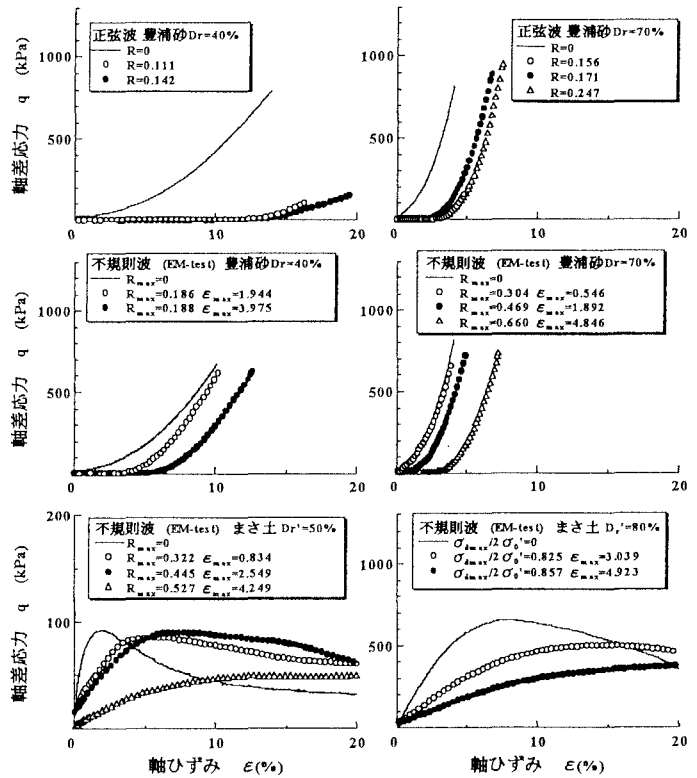


図5 繰返し载荷後の非排水せん断特性