

2種類の地震波形を用いた場合の砂の液状化強度特性に与える荷重の不規則性の影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○井手上真人

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

松本啓祐

1.はじめに

液状化に関する砂の液状化強度を表す指標として、液状化強度比 R_{i10} が用いられているが、地震時においては、せん断応力が不規則に変化するため、 R_{i10} を用い、不規則性を考慮した実地盤の液状化強度を推定することが必要とされてきた。本研究では、非排水繰返し三軸試験を行い、2種類の地震波形を用いた場合の砂の液状化強度特性に与える荷重の不規則性の影響について検討を行った。

2.試料および実験方法

試料には豊浦砂を用い、空中落下法により、相対密度 $D_r=40$ 、70%で供試体を作製した。供試体は直径 7.5cm、高さ 15.0cm の円柱形のものであり、圧密条件は有効拘束圧 49kPa の等方圧密とした。

正弦波を用いた繰返し三軸試験では、通常行われる砂の液状化試験と関連させるため、載荷周波数を 0.1Hz とし、不規則波を用いた試験では、兵庫県南部地震(1995 年)の際に神戸市ポートアイランドの地表面で観測された NS 方向の加速度波形、十勝沖地震(1968 年)の際に八戸で観測された NS 方向の加速度波形を用い、その時間スケールを実地震波の 1 倍、20 倍とした。図 1 にこれらの加速度時刻歴(時間スケール×1)を示す。本研究では、繰返し三軸試験装置を用いているため、不規則波の場合、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実験を行った。なお、不規則荷重は油圧載荷装置を用いて制御した。

正弦波を用いた試験では繰返し回数 20 回で両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ を生じさせる繰返し応力比を液状化強度比 R_{i20} とし、不規則波の場合は、最大軸ひずみ ε_{max} が 2.5% 生じるときの CM-test と EM-test の最大せん断応力比の平均を液状化強度比 R_{imax} と定義することとした。それらを用いて次式より、補正係数 C_2 を求めた。 $R_{imax}=C_2 \times R_{i20}$
なお、以下では実験に用いた地震波形、すなわち兵庫県南部地震波形を H 波形、同様に十勝沖地震波形を T 波形と称することとする。

3.実験結果

図 2、図 3 に H 波形および T 波形(時間スケール×1)を用いた EM-test で得られる代表的な時刻歴を示す。これらの図を見ると、どちらのケースにおいても応力比のピーク値付近で過剰間隙水圧比が 1.0 に達し液状化状態となり、

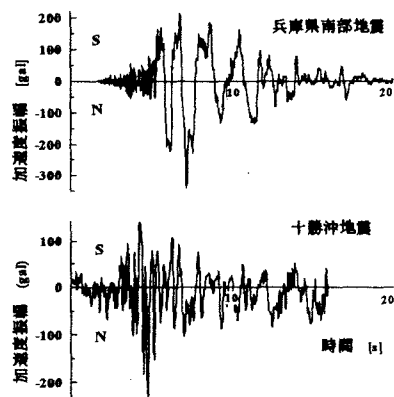


図 1 加速度時刻歴

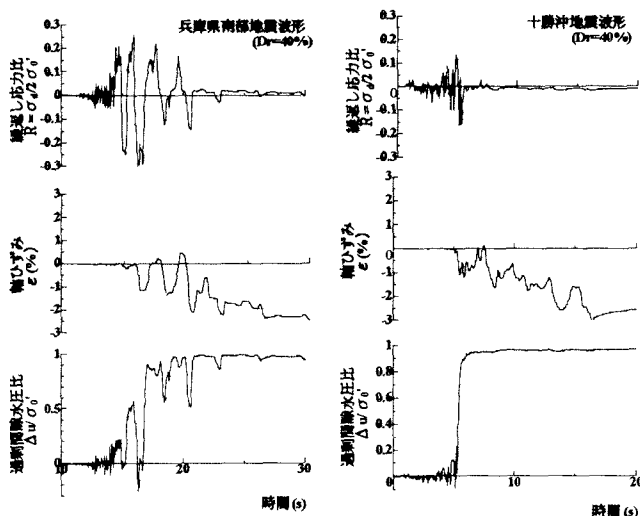


図 2 時刻歴(兵庫県南部地震波形) 図 3 時刻歴(十勝沖地震波形)
(時間スケール×1) (時間スケール×1)

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			
十勝沖地震 (Dr=40%, time×1)	0.256	0.156	0.206	0.111	1.86
十勝沖地震 (Dr=70%, time×1)	0.498	0.325	0.412	0.204	2.02
十勝沖地震 (Dr=70%, time×20)	0.416	0.304	0.360	0.204	1.76
兵庫県南部地震 (Dr=40%, time×1)	0.300	0.196	0.248	0.111	2.23
兵庫県南部地震 (Dr=70%, time×1)	0.437	0.377	0.407	0.204	2.00
兵庫県南部地震 (Dr=70%, time×20)	0.416	0.379	0.398	0.204	1.95

その後は応力振幅が大きく減衰しているが、その微小な応力振幅によっても軸ひずみが大きくなっていることが分かる。したがって、Dr=40%の緩い砂ではピーク後の振幅は強度にあまり影響しないものと考えられる。

相対密度 Dr=40、70%の供試体に T 波形、H 波形(時間スケール×1、20)を載荷した場合の最大せん断応力比 R_{max} と最大軸ひずみ ϵ_{max} の関係を図4に示す。これらの図より、すべての試験において EM-test のほうが CM-test より最大せん断応力比 R_{max} の値が小さくなっていることが分かる。これは、土が伸張側により変形し易いためと考えられる。また、Dr=70%の時間スケールを変化させた場合で比べると、T 波形のとき、時間スケールによってこれらの関係に違いが見られる。これは、T 波形、時間スケール×1 の場合、液状化が生じてから主にピーク後の応力振幅が供試体の変形に十分に追従していないからと考えられる。一方、H 波形のときは、その違いの傾向は明瞭でない。これは、ピーク後の応力振幅が H 波形よりも T 波形のほうが多いためではないかと考えられる。

CM、EM-test における最大せん断応力比を R_{lmax} とし、これらの平均値により算定した補正係数 C_2 の値を表 1 に示す。Dr=40%(時間スケール×1)および Dr=70%(時間スケール×20)の場合の補正係数 C_2 を見ると、H 波形のほうが T 波形よりも大きくなっていることが分かる。これは、H 波形のほうが T 波形よりもより衝撃型の地震波形であるためだと考えられる。ただし、この場合、T 波形による C_2 の値は既往の結果とよく一致している。一方、T 波形で Dr=70%の場合、 C_2 は時間スケール×1 のときのほうが時間スケール×20 の場合よりも大きくなっている。これは、前述したように、T 波形の時間スケール×1 の試験では荷重の追従性の低下により強度を過大評価したためと考えられる。ただし、Dr=70%で H 波形の場合、 C_2 の値は時間スケールにほとんど影響を受けていない。

4.まとめ

油圧式繰返し三軸試験装置を用いて 2 種類の地震波形を用いた場合の砂の液状化強度特性に与える荷重の不規則性の影響を調べた結果、次のような挙動が観測された。1) Dr=40%(時間スケール×1)、Dr=70%(時間スケール×20)では、補正係数 C_2 は十勝沖地震波形を用いた場合、既往の研究と近い値を示した。2)今回用いた兵庫県南部地震波形はより衝撃型に分類される。3) 時間スケール×1 から 20 に変化させると、兵庫県南部地震波形を用いた液状化試験では、補正係数 C_2 は変わらなかったが、十勝沖地震波形の場合、 C_2 は小さくなった。

(参考文献)安田進；液状化の調査から対策工まで、鹿島出版会

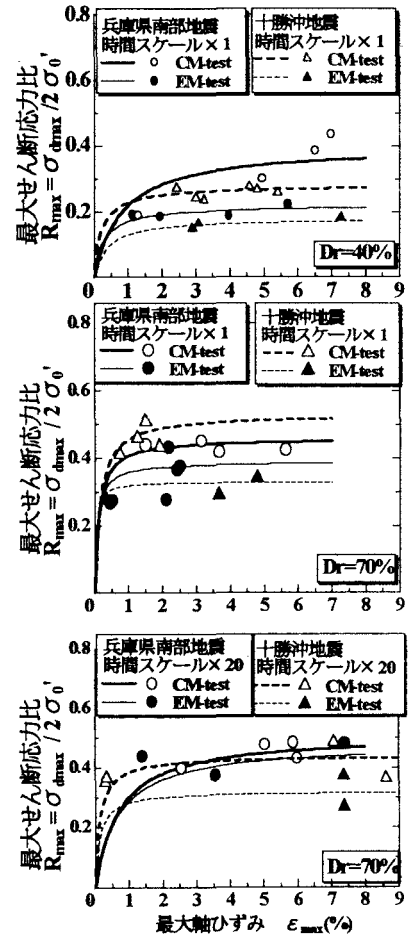


図 4 R_{max} と ϵ_{max} の関係