

(15) 締固めた砂質土の液状化強度特性

建設省 土木研究所 正会員○東 拓生
 建設省 土木研究所 正会員 大塚 久哲
 建設省 土木研究所 正会員 二宮 嘉朗

1) まえがき

現在各種の規準類で、液状化の判定法に用いられているFL法は、地震時に地盤内に発生する最大せん断応力比(L)と、地盤の動的せん断強度比(R)の比から液状化に対する抵抗率(F_L値)を求めることにより判定を行うものである¹⁾。

この判定法で対象としているのは緩詰めめの砂質土であり、密な地盤の場合については、その検討例も少ない²⁾。しかしながら、地盤改良等の液状化対策の検討を行うためには、締め固められた砂質土についての動的強度特性を十分に把握することが必要である。

本文は、密な砂質土の一樣振幅および非一樣振幅の正弦波による繰返し非排水三軸試験を行い、供試体の密度および載荷波形特性が液状化強度に与える影響について検討した結果を報告するものである。

2) 試験方法

試験には豊浦標準砂を用い、突き固めによって相対密度の調整を行い、D_r=55%, 70, 80, 90%の供試体を製作した。0.3kgf/cm²で自立させ、その後横圧に置き換えてCO₂および脱気水によって供試体を飽和させ、拘束圧を0.5kgf/cm²、背圧2.0kgf/cm²とし、載荷振動数0.1Hzの一樣振幅および非一樣振幅の正弦波で試験を行った。

D_r=55%, 70%, 90%については、非一樣振幅の正弦波による載荷も行った。図-1に載荷に使用した波形、表-1にこれらの波形の振幅の低減特性を示す。波形Aは、一樣振幅の正弦波で、波形B, Cはこれまでに地盤上で観測された水平方向394成分の地震波形から、最大加速度発生前および発生後それぞれの振幅の繰返し低減特性を、地震動のマグニチュード(M)ごとに整理することにより作成した非一樣振幅の正弦波である³⁾。周波数0.1Hz, 繰返し回数を20回とし、波形Bは5.0 ≤ M < 6.0、波形Cは7.0 ≤ M < 8.0でそれぞれ整理を行ったものである。この試験結果から、波形の不規則性を考慮するための補正係数C₂¹⁾が、想定する液状化の程度(ひずみ振幅、残留間隙水圧)、外力波形、相対密度によってどの様な影響を受けるかを検討した。

また過去に行われた、豊浦標準砂を用いたD_r=30%のゆる詰めめの試験結果についても比較を行った。

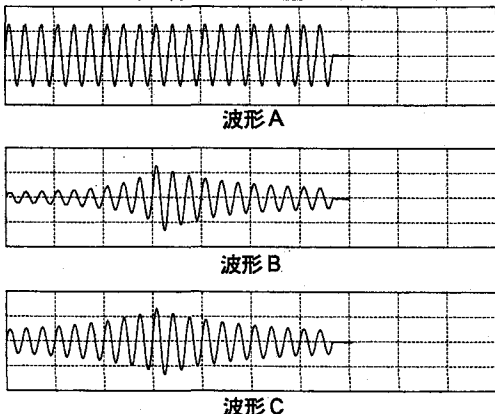


図-1 載荷波形

表-1 載荷波形の振幅の低減特性

波形名	整理を行った地震規模	a	
		最大加速度発生前	最大加速度発生後
波形B	5.0 ≤ M < 6.0	1.7	4.4
波形C	7.0 ≤ M < 8.0	5.2	5.8

$$\eta_a(i) = \frac{1}{1 + \frac{1}{a}(i-1)}$$

η_a(i): 最大振幅との比
 i: 繰返し回数

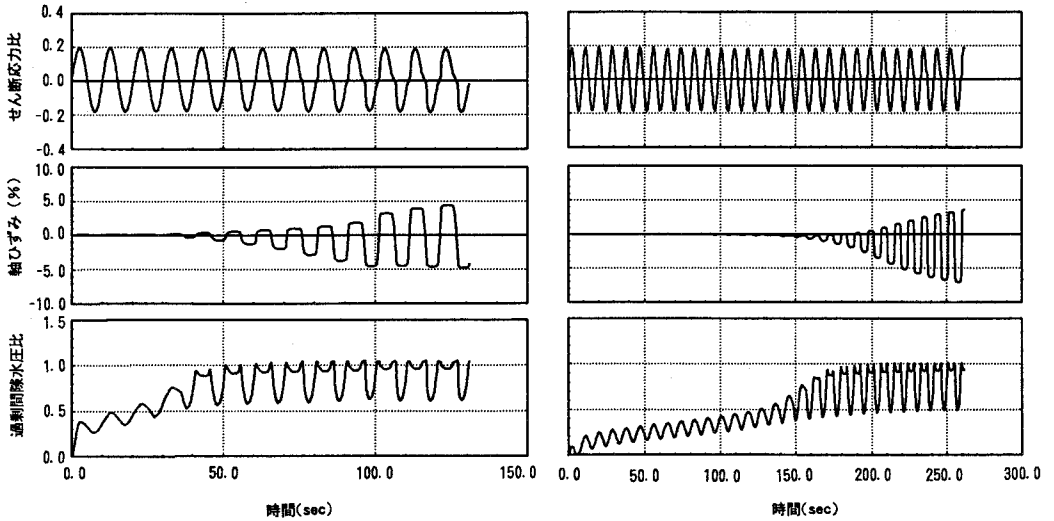


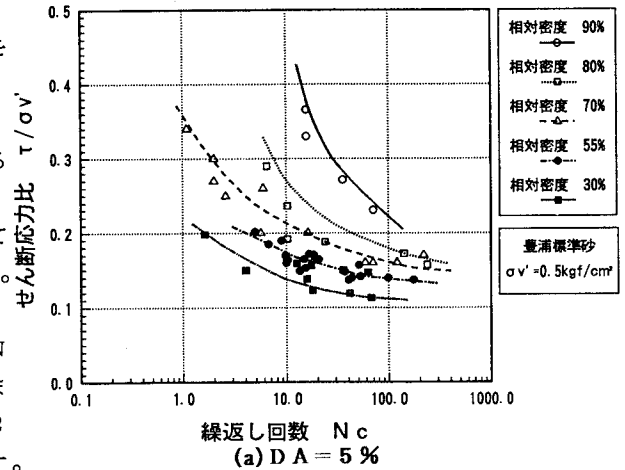
図-2 一様振幅正弦波による試験結果

3) 一様振幅正弦波による繰返し载荷試験

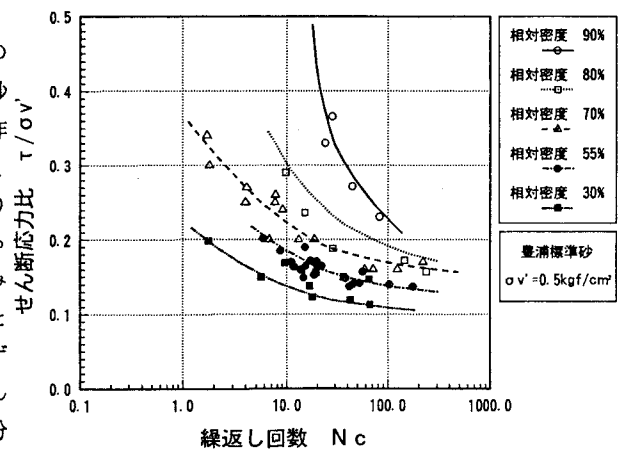
図-2に、試験結果の代表的な例を示す。(a)図が $D_r=55\%$ 、(b)図が $D_r=80\%$ であり、両者ともに同じ応力比および拘束圧で試験を行った結果である(a)図は、軸ひずみおよび過剰間隙水圧比ともに急激に増加するのに対して(b)図の強度の低下は遅くなっている。

図-3に、軸ひずみ両振幅(DA)5%および10%での繰返し回数(Nc)とせん断応力比の関係を示す。また、図-3から読みとった载荷回数20回でのせん断応力比を表-1に示す。図-3の $D_r=30, 55\%$ については既存結果を引用した。ただし、 $D_r=55\%$ のものは空中落下法、 $D_r=30\%$ のものは飽和砂の圧密によってそれぞれ供試体を製作している。この図から相対密度が高くなるほど、せん断応力比は大きくなり平均曲線の傾きも左上がりになって急になっていることが分かる。また、軸ひずみ両振幅5%および10%を比較すると相対密度が大きくなるに従って、ひずみレベルを増大させるのに必要なせん断応力比は大きくなっていることが分かる。

図-4に、軸ひずみ両振幅5%および



繰返し回数 N_c
(a) $DA = 5\%$



繰返し回数 N_c
(b) $DA = 10\%$

図-3 繰返し回数とせん断応力比

び10%での相対密度と動的せん断強度比 R_{120} の関係を示す。この図より、相対密度の増加にともなってせん断応力比は急激に増加することが分かる。また、相対密度の大きいものは、ひずみの増加に必要な荷重応力比も大きくなる事が分かる。

4) 非一樣振幅正弦波による繰返し荷重試験

図-5に実験により得られた有効応力経路を示す。(a), (b)は、相対密度55%でそれぞれ波形B, 波形Cの結果である。また(c), (d)に、相対密度90%の結果を示す。(a)(b)を比較すると波形Bは、最大せん断応力 (τ_{max}) 発生前および発生後の微小な振幅によっての有効応力の低下はあまり見られず、ほぼ τ_{max} のみの影響しか受けないことが分かる。それに対して波形Cは、 τ_{max} 発生後の荷重によっては

あまり影響は受けないが、初期の荷重に対しては、かなりの有効応力の低下が見られる。過去に行われた試験によっても τ_{max} 発生後の荷重に較べて、発生前の方が有効応力の低下に影響を与えやすいことが確認されている⁴⁾。

(c)(d)は相対密度90%と、非常に密な試験であるが、有効応力の低下は緩詰めの場合と同様の結果が得られた。ただし、(c)(d)ともに完全液状化後の荷重によ

って有効応力がかなり上昇しており、完全液状化後もかなりの強度を有していることがわかる。

図-6は、20波の荷重で発生した最大過剰間隙水圧比および最大軸ひずみ両振幅と最大せん断応力比 (τ_{max}/σ'_c) との関係を示しており、(a)は相対密度55%、(b)は相対密度70%、(c)は相対密度90%の結果を示している。波形Bと波形Cを比較すると、緩詰めの場合は結果に大差はないが、密になると波形Bと波形Cの差は大きくなっている。また密詰めの場合は、最大軸ひずみ両振幅が5%以上になると強度が急激に増加しているが、その立ち上がり始めるひずみレベルは相対密度の増加にともなって小さく

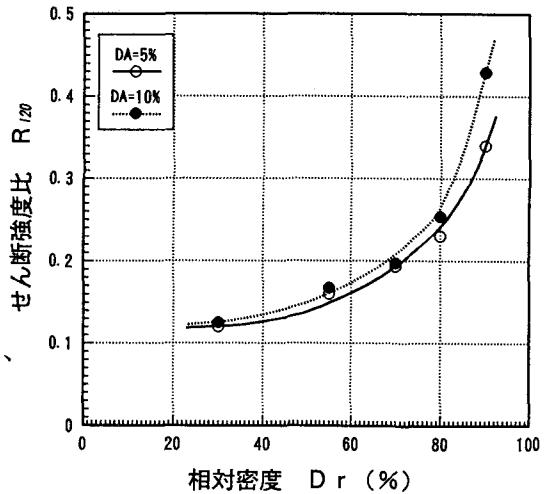


図-4 相対密度と動的せん断強度比

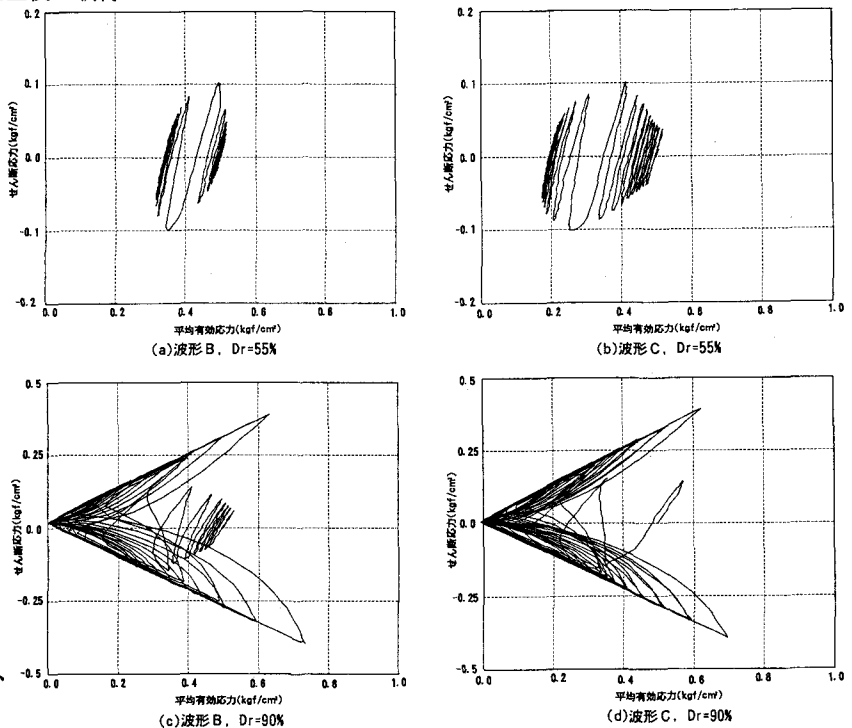


図-5 非一樣振幅正弦波による試験結果

なっていることがわかる。

図-6から読みとった波形の不規則性に対する補正係数 C_2 と、相対密度 D_r の関係を図-7に示す。ひずみレベルの小さい領域では相対密度による影響は小さいが、ひずみレベルが増大すると、特に波形Bにおいては C_2 に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

4) あとがき

液状化強度は相対密度の増加に伴って、急激な増加を見せており、密度-液状化強度関係が直線関係でないことがわかる。また、波形の不規則性に関する補正係数 C_2 は、衝撃的な波形ほど大きくなり、またひずみレベルの大きい領域では、相対密度の影響を受けることが分かった。

本文の検討では、攪乱砂を対象とし拘束圧条件を限定して、相対密度による影響のみを検討したが、今後は拘束圧、粒度特性、過圧密比、および圧密時間についても検討し、密なあるいは締め固めた砂質土の動的強度の検討を行う予定である。また C_2 については、今後も地震動波形を用いた繰返し三軸試験によって検討を行いたいと考えている。

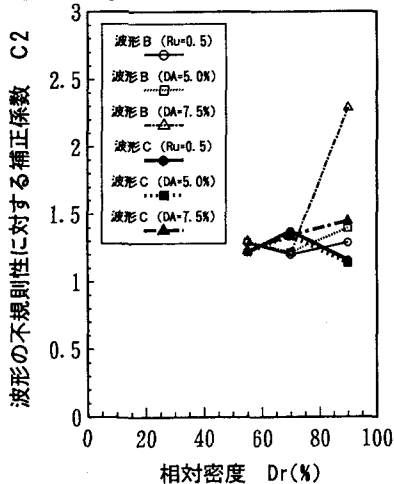
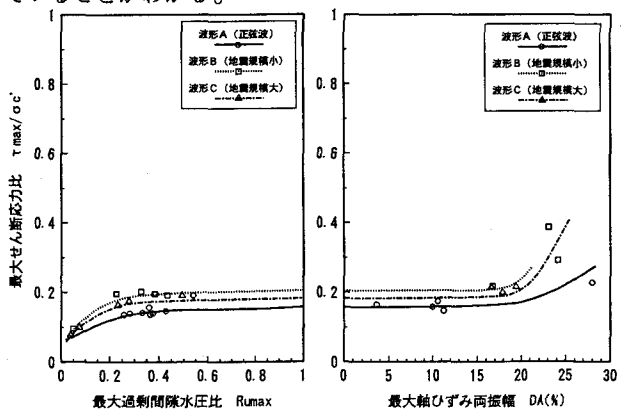
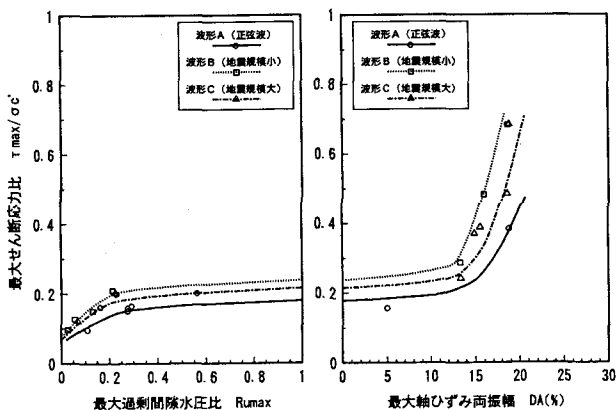


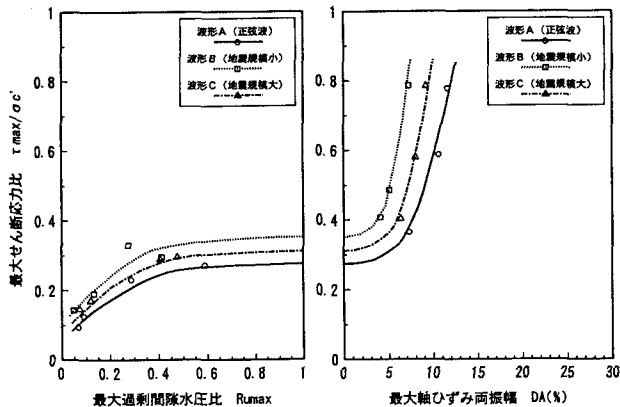
図-7 相対密度と C_2



(a)相対密度55%



(b)相対密度70%



(c)相対密度90%

図-6 最大過剰間隙水圧比、最大軸ひずみ両振幅と最大せん断応力比

(参考文献)

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書V 耐震設計編・同解説
- 2) 國生剛治・吉田保夫・長崎清: 密な砂地盤のN値による液状化判定法, 第19回土質工学研究発表会講演集pp. 559~562, 1984
- 3) 二宮, 常田: 地震動波形の不規則性に関する基礎的研究, 第48回土木学会年次学術講演会概要集平成5年9月
- 4) 東, 常田, 松本: 外力の不規則性に関する繰返し非排水三軸試験, 第27回土質工学研究発表会発表講演集 平成4年6月