

1. まえがき

砂の液状化強度に及ぼす動的応力履歴の影響についてはまだ良く説明されていない。今回、履歴の影響を調べるために振動三軸試験機を用いて実験を行ったのでその結果を以下に報告する。

2. 実験方法

実験に用いた振動三軸試験機は軸方向加振型のものであり、加振周波数0.5 Hzの正弦波で応力制御により実験を行った。供試体は豊浦標準砂を用い空中落下法でモールドに詰め、水浸し凍結させたものである。圧密後相対密度で50%前後のものを目標とした。こうして作製した供試体を試験機にセットして融解後、CO₂ガス、脱気水を供給して飽和化した。B係数 ≥ 0.95 を確認してから有効拘束圧 $\sigma'_c = 1.0$ MPaで圧密した。試験項目は表-1に示した4種類である。表中、設定応力比 $R_l (= \sigma_d / 2\sigma'_c)$ は $\sigma'_c = 1.0$ MPaに対して設定したものである。なお液状化の判定は両振幅 $D_A = 5\%$ で行った。

3. 実験結果

図-1に標準試験の結果を示した。図中の実線で記入された曲線は筆者等の既存の実験結果、建設省土木研究所等での実験結果を参考に豊浦標準砂における平均曲線として定めたものである。繰り返し回数 $N_l = 20$ 回での応力比、すなわち液状化強度は0.19程度である。図-2はバック・プレッシャーの操作によつて過圧密状態にした供試体の液状化試験結果である。図-2の応力比 R_l はバック・プレッシャーによる有効拘束圧 σ'_c の減少を $\Delta\sigma_{BP}$ とすると $R_l = \sigma_d / 2(\sigma'_c - \Delta\sigma_{BP})$ で示されを量である。図中に実線で示した曲線は図-1と同様に豊浦砂の平均曲線の勾配を考慮して定めた。さて図-2によればバック・プレッシャーが上昇するにつれて液状化強度が増す事は明らかである。次に図-3に動的応力履歴試験(非排水)の結果を示す。応力比 R_l は初期載荷後の間隙水圧の上昇分 Δu を考慮して $R_l = \sigma_d / 2(\sigma'_c - \Delta u)$ で算定した。初期載荷での間隙水圧の上昇は $\Delta u / \sigma'_c = 0.1 \sim 0.3$ 程度である。これは静的応力履歴試験の $\Delta\sigma_{BP} = 0.1$ MPa、0.2 MPaに見合う値である。過圧密の影響を考慮しても静的応力履歴試験の結果より全体に強度は大きい。バラツキは在るが、初期載荷時の応力比 R_0 が大きい程、強度は大きい様である。なお、初期載荷時の繰り返し回数との関係は

表-1 実験内容一覧表

実験項目	要		
標準試験	通常の液状化試験 (実験個数=8個)		
静的応力履歴試験	$\sigma'_c = 1.0$ MPaで圧密後、バック・プレッシャーを 0.1 kg/cm^2 ないし 0.2 kg/cm^2 増加し、過圧密状態とした後設定応力比 $R_l = 0.18$ で液状化させた。 (実験個数=11個)		
動的応力履歴試験 (非排水)	ある初期載荷応力比 R_0 で右表の組み合わせで加振した後、いつたん停止し、設定応力比 $R_l = 0.18$ で液状化させた。 (実験個数=18個)	R_0	繰り返し回数
		0.10	20, 30, 40, 50, 100
		0.12	10, 20, 30, 40, 100
		0.14	10, 20, 30, 40, 50
0.16	10, 20, 40		
動的応力履歴試験 (排水)	設定応力比 $R_l = 0.18$ で非排水状態で加振し、 $\Delta u / \sigma'_c = 0.3$ 迄上昇後、いつたん停止し排水する。同条件で数回繰り返しした後、最終的に $R_0 \geq 0.18$ で液状化させた。 (実験個数=5個)		

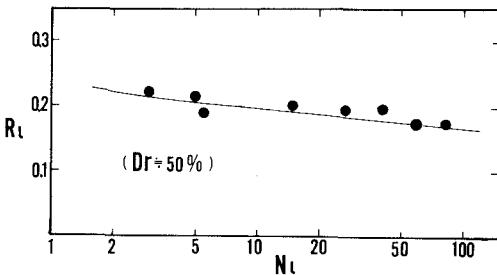


図-1 標準試験結果

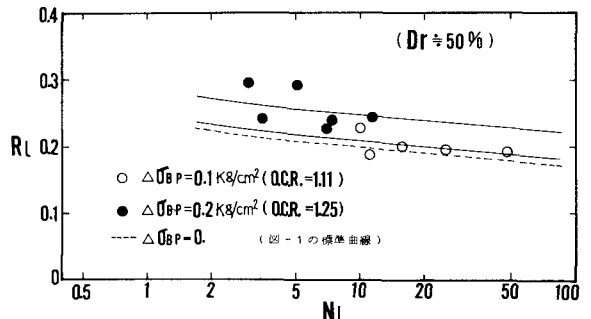


図-2 静的応力履歴試験結果

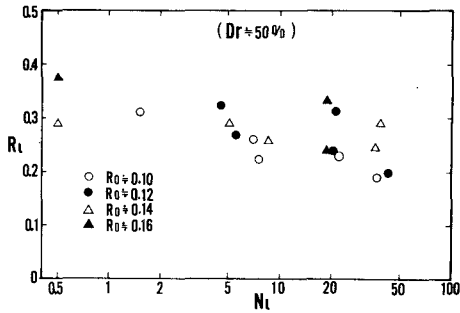


図-3 動的応力履歴試験結果 (非排水)

今回は調べていない。動的応力履歴試験 (排水) 時の間隙水圧の上昇曲線の一部を図-4 に示した。 $\Delta u / \sigma'_{c0} \div 0.3$ に至る繰り返し回数は、加振と排水を繰り返す事によつて、同一の応力比でありながら増加して行く。これは明らかに強度の増加を示している。各載荷段階毎の体積変化は微小であり、相対密度の変化はすべて1%未満であった。図-5 は以下に述べる手順で、各載荷段階毎の強度増加の割合を推定しようとしたものである。

まず、豊浦砂における $\Delta u / \sigma'_{c0} \sim N / N_L$ の平均曲線を作製し、 $\Delta u / \sigma'_{c0}$ と N から液状化に至る回数 N_L を推定した。更にこの N_L を用いて $R_L = A \cdot N_L^b$ (ただし、今回の場合にはこれまでの豊浦砂の実験結果を参考にして $b = -0.077$ とした。) の関係より第1回載荷時の N_L に見合う様に2回目以降の応力比 R_L を推定した。なお最終的には液状化に至らしているので、その場合には実測の R_L と N_L を記した。4回ないし5回の繰り返しでは顕著な強度の増加が見られる様である。図-6 は強度増加の様子を N_L の比によつて示したものである。

4. まとめ

以上に述べて来た4種類の実験結果を総合的に検討するために、実験結果を図-7 に併せて示した。結論としては以下の事が言えよう。

- (1) 静的な応力履歴により作り出した過圧密状態によつて R_L は標準試験より大きくなる。
- (2) 動的非排水応力履歴によつても R_L はかなり大きくなり、その増加の仕方は同じ過剰間隙水圧においても(1)より大きい。
- (3) 動的排水応力履歴によつてもこれまで言われている様に R_L は大きくなり、その大きさは今回程度の載荷回数 (max 5回) では載荷回数が増す程大きい。

5. 参考文献

- 1) 横田、今野、今井、サンプルの凍結が動的せん断強度に及ぼす影響、J S C E 1978
- 2) 岩崎、龍岡、安田、不攪乱砂質土の非排水動的強度の正規化表示、J S S M F E 1978
- 3) Seed 他 "Influence of Seismic History on Liquefaction of Sand", ASCE 1977
- 4) Ladd "Specimen Preparation and Stability of Sands", ASCE 1977

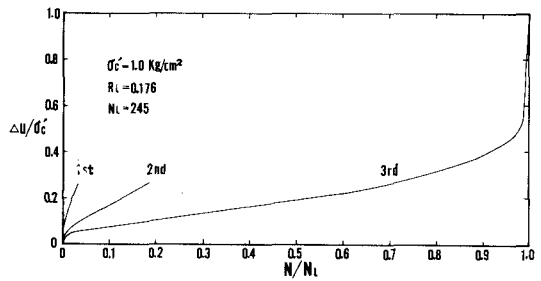


図-4 動的応力履歴試験 (排水)による間隙水圧上昇曲線

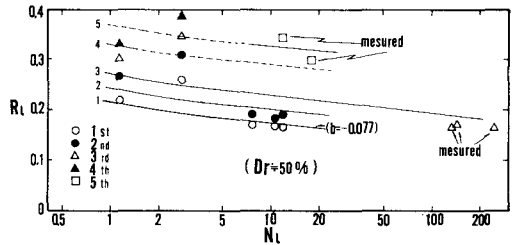


図-5 動的応力履歴試験結果 (排水)

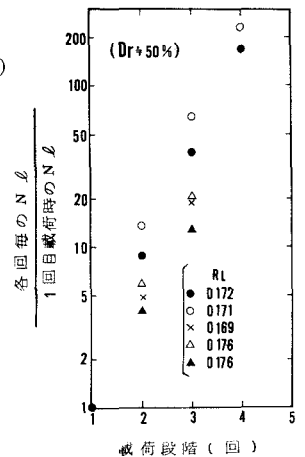


図-6 推定液状化回数 N_L の比

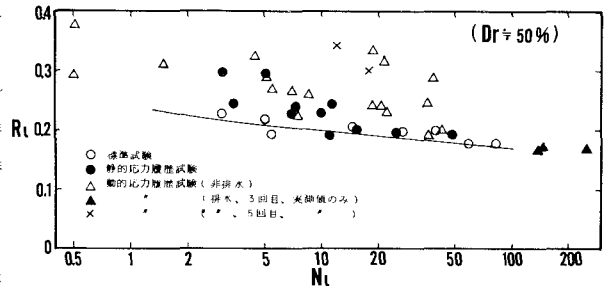


図-7 各実験のまとめ