

定ひずみ繰返し三軸試験による乱さない砂の液状化抵抗の評価

東北大学 学生員○松田 理恵  
 東北大学 正会員 風間 基樹  
 東北大学 正会員 柳沢 栄司

1. はじめに

現在の液状化強度の評価法は定応力繰返し三軸試験が一般的である。しかし定応力試験では試験機によるひずみに限界があること、ひずみ速度及び低サイクルでの強度を考慮できない等の問題がある<sup>1)・2)</sup>。加えて定応力試験では疲労破壊的な強度低下をおこす粘性土と液状化現象により急激にせん断抵抗を失う砂質土の判別が不可能である。

本研究では定ひずみ試験を推奨すべく非排水定ひずみ繰返し三軸ステップ載荷試験<sup>3)</sup>における不攪乱試料及び再構成試料の液状化抵抗の差違について考察すること、ならびに不攪乱試料を用いた非排水定ひずみ繰返し三軸ステップ載荷試験及び非排水定応力繰返し三軸試験の比較を行った。

2. 試料および試験方法

試料は新潟県新潟市新光町から採取した不攪乱の砂質土（G.L.-18.5~-19.5m, N値27,  $\rho_s=2.640$ ,  $D_{50}=0.54$ ,  $U_c=2.07$ ,  $e_{max}=0.956$ ,  $e_{min}=0.620$ ,  $D_r=68\%$ ）である。試料はできる限り土粒子構造に変化を与えずにサンプリングし、現場で試料を凍結させ輸送及び保管中も凍結させていた。不攪乱の供試体は試料を凍結状態のまま直ナイフ等で削り作製した。供試体セット後3~4時間放置し、完全に解凍させた。再構成供試体は、試験後の不攪乱供試体試料を乱し炉乾燥（110℃）させたもので空中落下法により作製した。

$D_r$ は不攪乱試料に近くなるよう木づちでモールドに振動を与え調整した。供試体寸法はいずれも直径50mm, 高さ100mmで脱気水及び背圧98.6kPaで飽和させ、B値0.95を確保した。圧密は現位置の有効上載圧（ $\sigma'_v=176.45kPa$ ）で1時間等方圧密し、コックを閉めた後試験を行った。定ひずみ試験では周波数0.1Hzの正弦波荷重をひずみ振幅一定で、定応力試験では周波数0.1Hzの正弦波荷重を応力振幅一定の条件で繰返し三軸試験を行った。定ひずみ試験はステップ載荷法を用いた。1つのステップ載荷段階ではそのひずみレベルでの初期剛性に対して剛性が1/10に低下するまで繰返しせん断を加えた。また、剛性低下が1/10まで達しない場合は繰返し回数100回で次のステップに進むこととした。図-1に示すようにひずみレベルは6段階で軸ひずみ両振幅約0.4, 1, 2, 4, 8, 12%である。定応力試験では軸ひずみ両振幅が10%になるまで試験を行った。

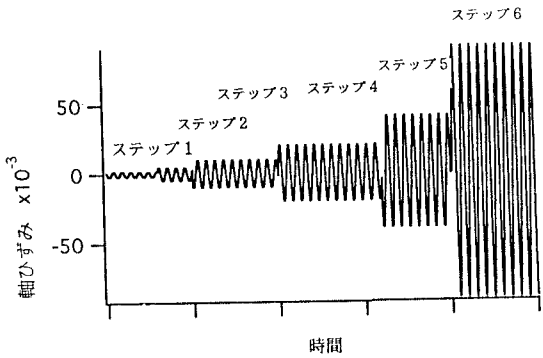


図-1 定ひずみステップ載荷試験における軸ひずみ%

表-1 定ひずみ試験における液状化までの累積損失エネルギー

	ステップ	軸ひずみ両振幅%	繰返し回数	正規化累積損失E
不攪乱 $D_r=52\%$	1	0.4	100	0.0361
	2	1	41	0.0213
	計		141	0.0574
不攪乱 $D_r=55\%$	1	0.4	100	0.0376
	2	1	43	0.0174
	計		143	0.0550
再構成 $D_r=62\%$	1	0.4	95	0.0276
再構成 $D_r=51\%$	1	0.4	58	0.0199
再構成 $D_r=26\%$	1	0.4	46	0.0175

3. 試験結果

3.1 定ひずみ試験における不攪乱と攪乱の比較

表-1で剛性が初期剛性の1/10に低下するまでに要した正規化累積損失エネルギーと繰返し回数の関係を示した。ここでいう正規化累積損失エネルギーとは累積損失エネルギーを有効上載圧で除したものである。比較のため不攪乱試料の $D_r$ とほぼ同じ $D_r$ を有する再構成試料と緩詰め（ $D_r=26\%$ ）再構成試料の試験を行った。この表より、再構成試料よりも不攪乱試料の累積損失エネルギーの方が大きいことから液状化抵抗も大きいことがわかる。また図-2は正規化累積損失エネルギーとひずみの関係で、黒塗りの点は液状化前を白塗りの点は液状化後を示している。図より液

状態後は各々のステップで蓄積される正規化累積損失エネルギーの差が少なくなっていくことがわかる。よって液状化後の累積損失エネルギーは試料の状態や締め具合によらずひずみに依存すると考えられる。この理由は初期の土粒子の骨格構造が崩れ不攪乱試料と再構成試料の構造に差がなくなったためと判断できる。

### 3.2 不攪乱試料を用いた定ひずみ試験と定応力試験の比較

図-3は不攪乱試料による定ひずみ試験及び定応力試験の繰返し回数と正規化累積損失エネルギーの関係である。図中で定ひずみ試験の繰返し回数100回まではひずみレベルを0.4, 100回以降は1%で行った。図-3より繰返し回数と累積損失エネルギーの関係は作用させるひずみや応力によって違いがみられる。これは当然ながら1回の繰返し荷载で供試体に作用した外力仕事量が異なるためである。また定応力試験では繰返し荷载によって破壊直前に累積損失エネルギーが急上昇する。一方、定ひずみ試験ではその上昇の程度は緩やかである。図-4はこれらの試験で得られた過剰間隙水圧比と累積損失エネルギーを時間を媒介変数として示した。この図から定応力試験における最終状態の過剰間隙水圧比はサイクリックモビリティによって非常に不安定な状態でせん断ひずみが発達していることがわかる。

以上から定応力試験は単に地盤が液状化するかしなないかという液状化強度評価法であるのに対し、定ひずみ試験は主に地盤が液状化した後の粘りを評価していると理解できる。従って定ひずみ試験では砂質土、粘性土、乾燥砂等の繰返し荷载による破壊過程を区別することができたいへん都合がよい。

### 4.まとめ

- (1)定ひずみ試験による不攪乱及び再構成試料の液状化後の累積損失エネルギーの差は減少していく。これは大ひずみでは土粒子の骨格構造及び不攪乱試料のセメンテーション効果等が完全に崩れた状態にあるためと判断できる。
- (2)定ひずみステップ荷载試験では各ひずみレベルでの液状化抵抗を知ることができる。また定ひずみ試験の極限状態は、液状化した地盤が完全に剛性を失ってしまった状態と対応しており定応力試験の極限状態とは異なるものである。これは液状化に伴う地盤の側方流動で重要な役割を果たす地盤の靱性を評価できる可能性がある。

#### 【参考文献】

- 1) 財団法人沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化ハンドブック，1997。
- 2) 風間基樹，柳沢栄司，増田昌昭：定ひずみ制御繰返し三軸試験による液状化強度評価の可能性，土と基礎，Vol.46, No.4, pp.167-170, 1998。
- 3) N.Okada, S.NEMAT-NASSER：Energy dissipation in inelastic flow of saturated cohesionless granular media, Geotechnique 44, No.1, pp.1-19, 1994。

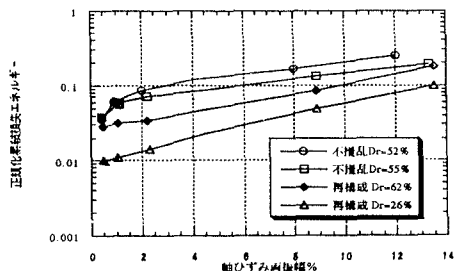


図-2 ひずみと正規化累積損失エネルギーの関係

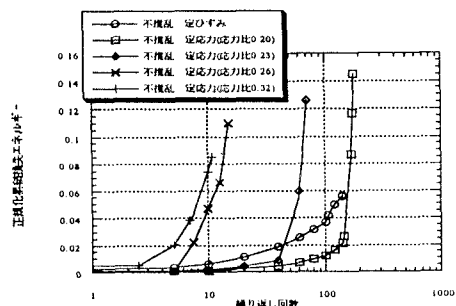


図-3 繰返し回数と正規化累積損失エネルギー

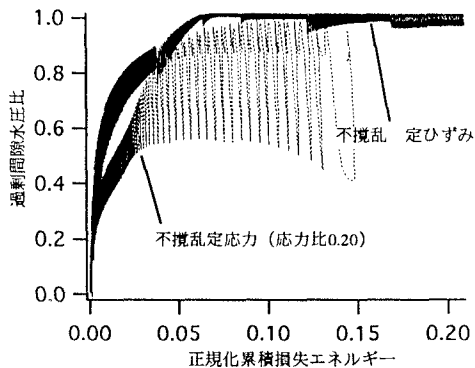


図-4 正規化累積損失エネルギーと過剰間隙水圧比の関係