

ひずみ制御非排水繰返し三軸試験による砂の強度評価

中央大学大学院 学生会員 ○齊藤 王二郎  
 中央大学大学院 学生会員 石田 和希  
 中央大学 正会員 齋藤 邦夫  
 中央大学 正会員 石井 武司

1. はじめに

本研究では硅砂7号に対し、ひずみレベルをパラメータとしたひずみ制御非排水繰返し三軸試験を行った。ひずみ制御で試験を行うことで、ひずみレベルの違いによる繰返しせん断挙動の違いは材料の粒径によるという可能性を示した。また、応力 - ひずみ関係から、せん断に伴う剛性低下率と累積損失エネルギーを算出し、ひずみレベルの違いによる繰返しせん断特性を評価した。

2. 使用試料及び試験方法

表 - 1 試料の物理特性

$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$	$D_{50}$ (mm)	$D_{10}$ (mm)	$U_c$
2.647	1.234	0.669	0.176	0.120	1.55

試料には硅砂7号を使用した。同試料の物性値を表-1に示す。供試体寸法は直径5cm、高さ10cmである。空中落下法により  $Dr \approx 80\%$  になるよう作成した。また、供試体の飽和は炭酸ガスを通気させた後、脱気水を十分通水させることで行った。これにより B 値はすべての供試体において 0.96 以上の値となった。次いで、背圧  $\sigma_B = 200 \text{ kPa}$ 、 $\sigma'_c = 200 \text{ kPa}$  で 30 分間等方圧密した。非排水繰返し三軸試験はひずみ制御で行い、周波数  $f = 0.1 \text{ Hz}$ 、繰返し回数  $N = 100$  回とし、軸ひずみ片振り振幅  $\epsilon_a = 0.5\%$ 、 $0.3\%$ 、 $0.2\%$ 、 $0.1\%$ 、 $0.02\%$  の 5 ケース行った。載荷試験中のデータ計測間隔は 10 回/s である。

3. 試験結果と考察

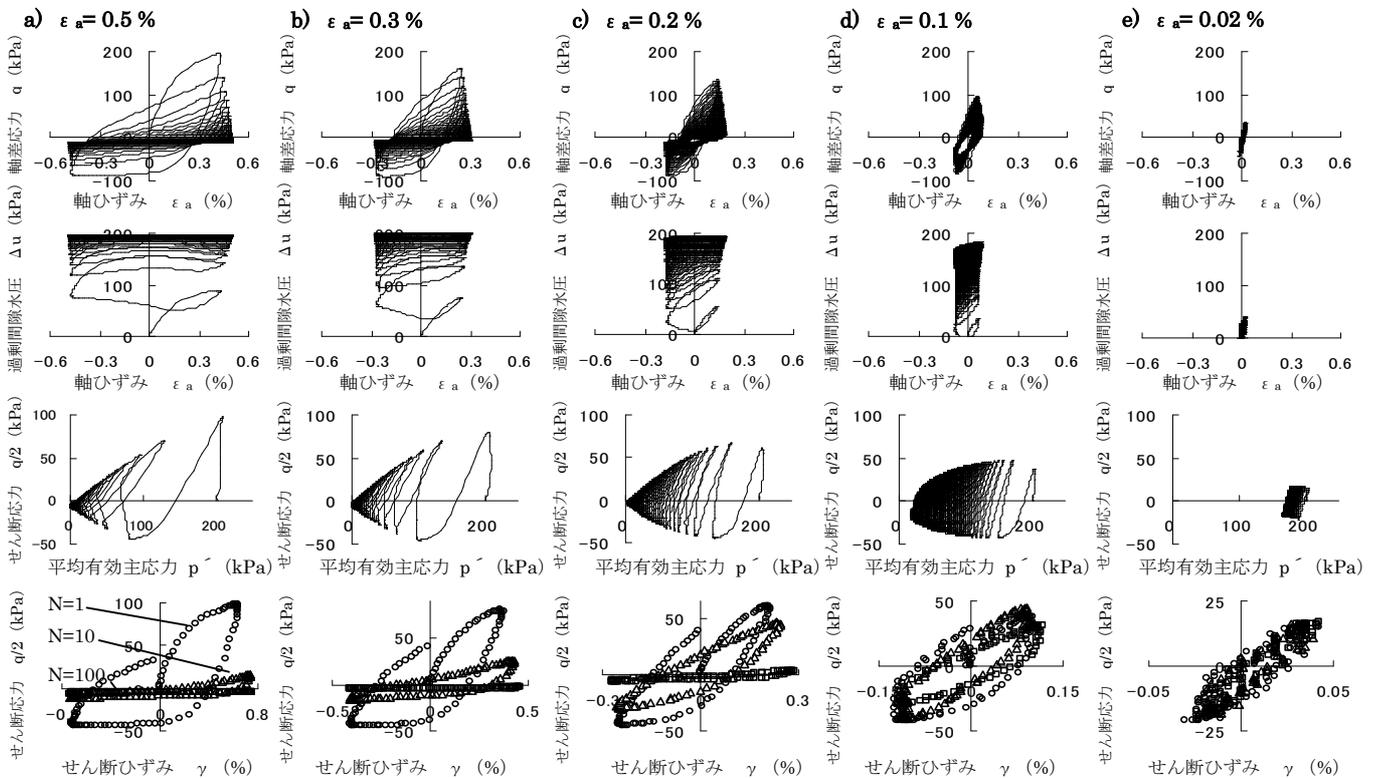


図 - 1 ひずみ制御非排水くりかえし三軸試験結果

キーワード 非排水繰返し三軸, ひずみ制御, 粒径加積曲線, 累積損失エネルギー, 剛性低下率

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 土木工学科 地盤環境研究室 TEL 03-3817-1812

3. 1. 繰返し载荷に伴う液状化要因

ひずみ制御による繰返し三軸試験結果を図-1に示す。グラフは上から、軸差応力 $q \sim$ 軸ひずみ $\epsilon_a$ 関係、過剰間隙水圧 $\Delta u \sim$ 軸ひずみ $\epsilon_a$ 関係、有効応力経路である。一番下のグラフは、繰返し回数 $N=1, N=10, N=100$ のせん断応力 $\tau \sim$ せん断ひずみ $\gamma$ 関係を示したものである。また、硅砂7号の粒径加積曲線を図-2に、試験結果から求めた剛性低下率 $G_N/G_1 \sim$ 繰返し回数 $\log N$ 関係と、過剰間隙水圧比 $\Delta u_N/\sigma'_c \sim$ 繰返し回数 $\log N$ 関係をそれぞれ図-3と図-4に示す。なお、 $G_1, G_N$ とはそれぞれ、 $q \sim \epsilon_a$ 関係を $\tau \sim \gamma$ 関係に換算して求めた繰返し回数1回目と $N$ 回目の割線せん断剛性である。これらの結果を総括すると、 $\epsilon_a \geq 0.2\%$ では液状化し、 $\epsilon_a \leq 0.1\%$ では液状化しないことが分かる。では、この違いが何によってもたらされるのかを考える。今回用いた供試体寸法は高さ10cmなので、 $\epsilon_a=0.2\%, 0.1\%$ は0.2mm, 0.1mmに相当する。ここで図-2に着目すると、0.2mmは通過重量百分率70%であり0.1mmは3%であることが分かる。すなわち、このひずみレベルに対応する粒径の存在割合が、液状化が起きるか起きないかの違いをもたらしていると思われる。しかしながら、実際に液状化をもたらす要因は負のダイレイタンシー特性であり、これは拘束圧、相対密度、均等係数、粒子形状などによって変化するため、今後検討していく必要がある。

3. 2. 剛性低下率～累積損失エネルギー関係

繰返し载荷に伴い土の要素に蓄積される累積損失エネルギーは、ヒステリシスループに囲まれた面積の累積値で計算できる。単位体積(1cm<sup>3</sup>)当たりの累積損失エネルギーは、 $q \sim \epsilon_a$ 関係を $\tau \sim \gamma$ 関係に換算し、ベクトルの外積を利用することで求めた。図-5に正規化累積損失エネルギー $\Sigma W/\sigma'_c \sim$ 繰返し回数 $N$ 関係を示す。この図から、直線で示されるひずみレベルのものは液状化せず、収束傾向を示すものは液状化すると言える。またグラフの曲率が大きいほど、液状化しやすいと言える。図-6は図-3と図-5を組み合わせた、剛性低下率～正規化累積損失エネルギー関係である。この関係を用いることで、地震時に想定地盤へ入力するエネルギーから地盤の剛性低下を予測することが可能となる。図から、液状化するようなひずみレベル、すなわち塑性変形による靱性を加味するようなひずみレベルにおける評価に適していると思われる。

4. まとめ

1) 液状化するかしないかの判断は、 $\epsilon_a$ に対応する砂の粒径によって評価できる可能性がある。2) 剛性低下率～累積損失エネルギー関係は液状化するようなひずみレベルにおける評価に適している。

参考文献

1) 増田昌昭、風間基樹、柳澤栄司：ひずみ制御繰返し三軸試験による土の非排水繰返し強度評価、第32回地盤工学研究発表会(1997) 2) 原忠・天野真輔ら：繰返し三軸試験機による砂礫材料の損失エネルギーの検討、第35回地盤工学研究発表会(2000)

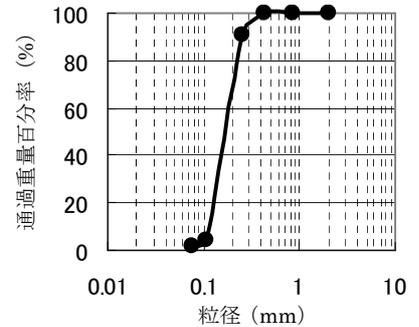


図-2 硅砂7号の粒径加積曲線

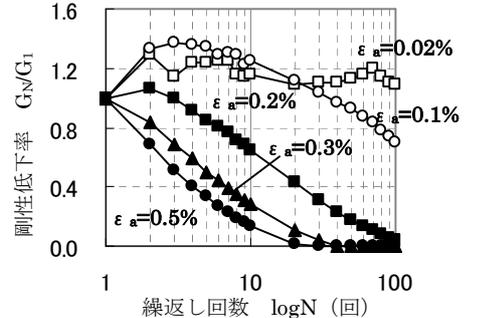


図-3 せん断剛性低下率 - 繰返し回数関係

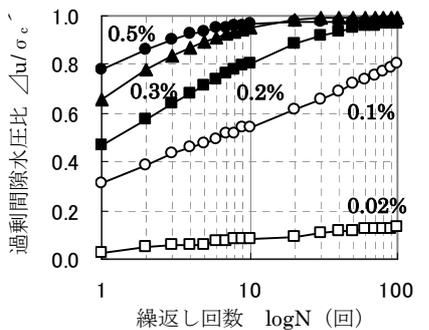


図-4 過剰間隙水圧比 - 繰返し回数関係

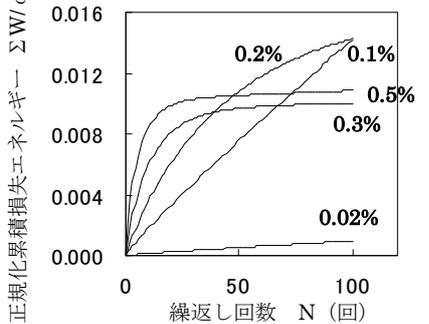


図-5 正規化累積損失エネルギー - 繰返し回数

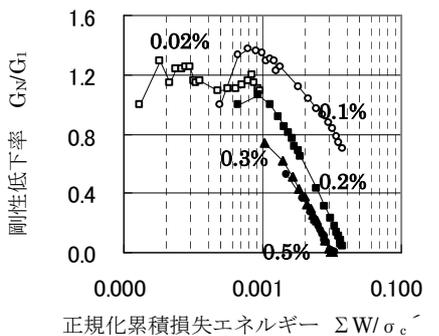


図-6 剛性低下率 - 正規化累積損失エネルギー