

ため池堤体土の低拘束圧下における繰返しせん断強度に及ぼす初期せん断応力の影響

山口大学大学院 学生会員○神木雄一

山口大学大学院 正会員 鈴木素之

ケイズラブ 正会員 河内義文

長野工業高等専門学校 正会員 松下英次

山口大学大学院 学生会員 神山 惇

1. はじめに 東日本大震災以降, ため池の安全性についての社会的関心が高まり, 平成 25 年度より全国各地で危険ため池に対する一斉点検が実施されている. 通常, ため池堤体も含めた盛土法面には静的な初期せん断応力が作用しているため, ため池堤体の耐震性評価では初期せん断応力を受けた状態での動的強度特性を考慮することが重要である.

また, 法面内のすべりを考えると, 低拘束圧条件での検討もまた重要である. これらは堤体土の強度特性の変化に与える重要な要因と考えられるが, 現在までに十分な検討がなされていない. そこで, 本研究では非排水繰返し三軸試験により物理特性の異なる再構成堤体土試料に対して低拘束圧下における初期せん断応力を受けたため池堤体土の非排水繰返しせん断挙動および強度特性に与える影響を調べた. 本文では, 天端や法面付近などの低拘束圧領域を想定し, 有効拘束圧 30kPa の試験結果について報告する.

2. 土試料および試験方法 本研究に用いた堤体土試料は山口県内に存在する 3 箇所の堤体土 A, C および E から採取したものである. 表-1 に各堤体土試料の物理特性を示す. 堤体土 A, C は塑性指数 $I_p=14.5, 16.7$ の低塑性であるが, 堤体土 E は非塑性である. また, 比較のために豊浦標準砂(以下, 豊浦砂と略記)に対しても同様の試験を行った. いずれの試料も細粒分を含む砂質土およびシルトである. 三軸試験の供試体サイズは直径 5cm, 高さ 10cm であり, 採取された不攪乱試料と同一の初期状態量となるように突固め・再構成した. 背圧は 200kPa とし, 初期せん断なし(初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma'_c=0$, σ_s : 軸差応力, σ'_c : 有効拘束圧)の場合, $\sigma'_c=30\text{kPa}$ で圧密した. 初期せん断あり($\sigma_s/2\sigma'_c=0.3$)の場合は $\sigma'_c=30\text{kPa}$ となるように, 有効側圧 σ'_3 ならびに有効軸圧 σ'_1 を調整し, 排水条件で初期せん断応力 $\sigma_s=\sigma_1-\sigma_3$ を過剰間隙水圧が発生しないように作用させた. 圧密終了後, 周波数 $f=0.1\text{Hz}$ で両振幅軸ひずみ ε_{DA} またはピーク軸ひずみ $\varepsilon_p=10\%$ に達するまで非排水繰返し载荷を行った.

表-1 土試料の物理特性

試料名	採取深さ(m)	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_L(\%)$	$w_P(\%)$	I_p	$F_c(\%)$	主な鉱物
A	1.00~2.00	2.711	44.6	30.1	14.5	74.4	石英、ウモホライト、曹長石
C	2.00~3.00	2.638	40.3	23.6	16.5	36.1	石英、曹長石
E	8.00~9.01	2.691	44.5	NP	NP	40.5	石英、カオリナイト曹長石
豊浦砂	-	2.639	-	-	NP	0	石英、カオリナイト曹長石

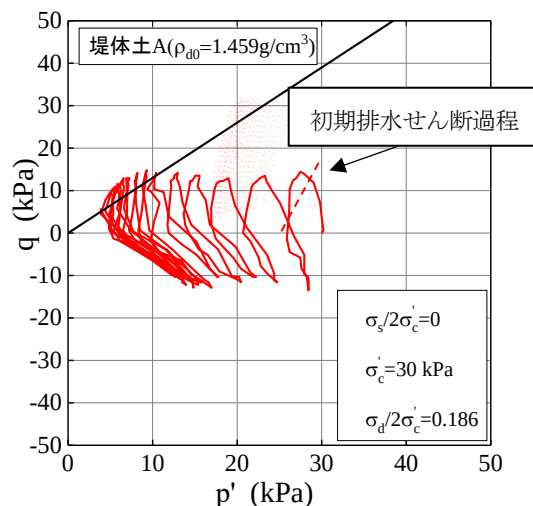


図-1 有効応力経路(堤体土 A)

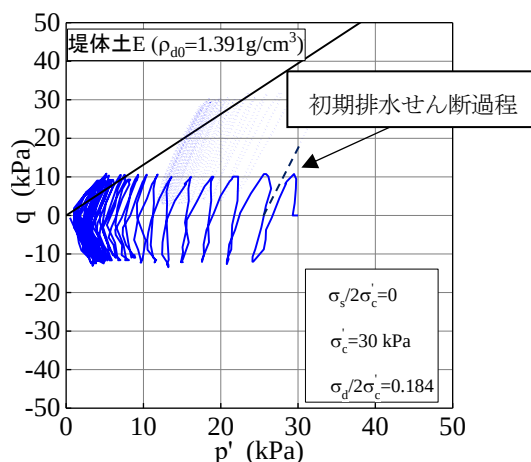


図-2 有効応力経路(堤体土 E)

キーワード 堤体 繰返し三軸試験 初期せん断応力

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2 丁目 16 番 1 号 山口大学大学院創成科学研究科 鈴木素之 Tel 0836-85-9303

3. 試験結果と考察 図-1、図-2 にそれぞれ堤体土 A，E の有効応力経路を示す．実線は初期せん断がなし，点線は初期せん断がある場合の試験結果である．また，同図には既往の静的三軸試験の結果¹⁾から得られた限界状態線を示している．堤体土 A の試料では初期せん断なし，初期せん断ありの場合ともに有効応力は原点に達することなく定常状態に至っている．堤体土 E の初期せん断がない場合では，有効応力は繰返し载荷初期に著しく減少し，最終的に液状化に至った．一方，初期せん断ありの場合の挙動は最終的に有効応力を一定に保ったまま定常状態に至っている．図-3，図-4 はそれぞれ初期せん断なしとありの場合の繰返し強度曲線における繰返し回数 $N=20$ 回のときの繰返しせん断強度比の値 $(\sigma_d/2\sigma'_c)_{N=20}$ （繰返しせん断強度比）と有効拘束圧 σ'_c との関係である．図中の $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の結果は著者らの研究結果を引用した²⁾．両図より，初期せん断応力の有無によらず，豊浦砂（相対密度 $D_r=70\%$ ）では有効拘束圧が低くなると，繰返しせん断強度比は高くなる．豊浦砂（ $D_r=50\%$ ）では初期せん断なしの場合，有効拘束圧の低下に対して繰返しせん断強度比は変わらず，初期せん断ありの場合，有効拘束圧の低下とともに繰返しせん断強度比はわずかに低下している．豊浦砂においては， D_r が大きいほど，低拘束圧下では土粒子の噛み合わせにより，繰返しせん断強度比が増加したと考えられる³⁾．一方，堤体土の場合，初期せん断の有無によらず，有効拘束圧の低下に対して繰返しせん断強度比はわずかに低下している．堤体土は細粒分を多く含んでいるため，どちらの有効拘束圧においても土粒子の噛み合わせ効果が発揮されなかったと考えられる．図-5 は拘束圧と初期せん断 0 と 0.3 の強度差の関係である．堤体土では有効拘束圧 30kPa，50kPa のいずれの場合でも強度差の変化はほぼ見られなかった．

4. 結論 本研究で得られた結論を以下に要約する．

- 1) 初期せん断がない条件では，非塑性細粒分を含む堤体土 E のみ液状化が発生した．一方，初期せん断応力がある条件では，いずれの堤体土も液状化は発生せずに定常状態に至る有効応力経路を示した．
- 2) 初期せん断がない条件では，塑性を有する堤体土 A の方が繰返しせん断強度比は大きくなった．しかし，初期せん断応力がある条件では，非塑性堤体土 E の方が繰返しせん断強度比は大きくなった．堤体土 C は他の堤体土よりも密詰めであるため，砂のダイレイタンスによって繰返しせん断強度が最も高かった．
- 3) ため池堤体土の繰返しせん断強度比は有効拘束圧の低下とともにわずかに低下する．なお，堤体土は細粒分を多く含んでいるため，低拘束圧下でインターロッキング効果が発揮されなかったと考えられる．

謝辞 本研究は山口県農林水産部の協力のもとで実施された．関係各位に謝意を表す．

参考文献 1) 神山惇，鈴木素之，河内義文，松下英次：ため池堤体土における不攪乱試料の強度特性比較，第 50 回地盤工学研究発表会，pp.417-418，2015． 2) 神山惇，鈴木素之，河内義文，松下英次：初期せん断応力を受けたため池堤体土の動的強度特性，地盤と建設，Vol.34，No.1，pp.53-61，2016． 3) 安田進，小宮真悟：砂質土の低拘束圧下における液状化後の変形特性，土木学会地震工学論文集，pp.1-4，2003．

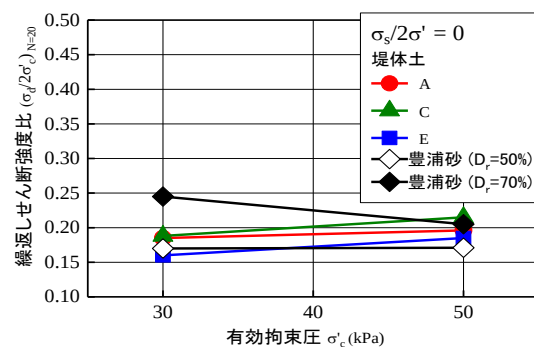


図-3 拘束圧と繰返しせん断強度比の関係（初期せん断なし）

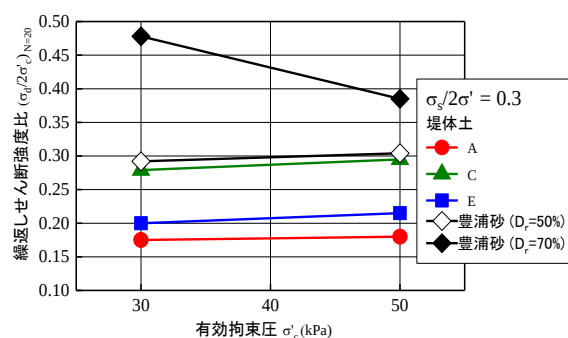


図-4 拘束圧と繰返しせん断強度比の関係（初期せん断あり）

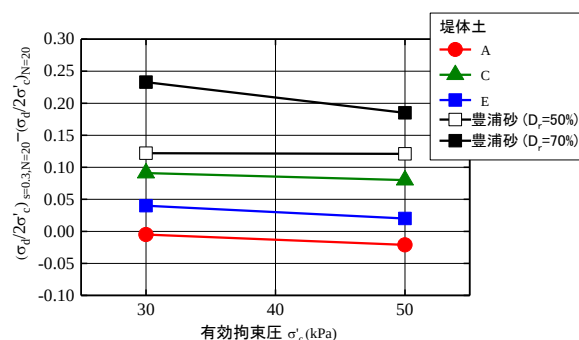


図-5 拘束圧と初期せん断の有無による強度差の関係