

地震時におけるため池堤体土の強度特性

神木雄一¹⁾ 鈴木素之²⁾ 河内義文³⁾ 松下英次⁴⁾ 神山惇⁵⁾

¹⁾ 山口大学工学部社会建設工学科 ²⁾ 山口大学大学院創成科学究科 ³⁾ (株) ケイズラブ

⁴⁾ 長野工業高等専門学校 ⁵⁾ 山口大学大学院理工学研究科

1. はじめに

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。また、堤体材料の非排水繰返し载荷に伴う強度低下特性を把握するための実験方法と強度低下を考慮した新たな Newmark 法 (Newmark-D 法) が提案されている¹⁾。通常、盛土内部には図-1 に示すような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の影響を受けた状態での動的強度特性を

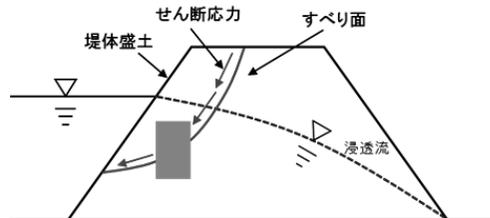


図-1 ため池堤体の断面模式図

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、低拘束圧下条件での検討が重要である。これ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 での試験結果について報告する。

表-1 土試料の物理特性

堤体土	採取深さ (m)	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	液性限界 $w_L(\%)$	塑性限界 $w_P(\%)$	塑性指数 I_p	細粒分含有率 $F_c(\%)$	地盤材料の分類名	主な鉱物の種類
A	1.00~2.00	2.711	44.6	30.1	14.5	74.4	シルト (低塑性限界)	石英, ウモホアイト, 曹長石
C	2.00~3.00	2.638	40.3	23.6	16.7	36.1	細粒分質礫質砂	石英, 曹長石
E	8.00~9.00	2.691	44.5	NP	NP	40.5	細粒分質砂	石英, カオリナイト
豊浦砂	—	2.639	—	—	—	0	砂	

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 ($\sigma_d/2\sigma'_c=0.3$) 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。

3. 試験結果と考察

図-2、図-3 にそれぞれ堤体土 E の初期せん断なしの有無別の軸差応力 q と軸ひずみ ε_a の関係を示す。初期せん断なしの場合、 ε_a は圧縮および伸長側にほぼ均等に発生している。一方、初期せん断ありの場合は、初期せん断応力が繰返しせん断応力よりも大きいため、圧縮側に軸ひずみが蓄積していることが分かる。図-4、図-5 にそれぞれこのときの有効応力経路を示す。ここに、応力パラメータとしては、平均有効応力 $p'=(\sigma'_1+2\sigma'_3)/3$ 、 $q=\sigma'_1-\sigma'_3$ である。また、同図には既往の静的三軸試験の結果²⁾ から得た限界状態線を示している。初期せん断なしの場合、有効応力は繰返し载荷初期に著しく減少し、その後も減少を続け、最終的に液化化に至った。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-6、図-7 は繰返し回数 $N=20$ 回で ε_{DA} または $\varepsilon_p=5\%$ に至る繰返しせん断強度比 $(\sigma_d/2\sigma'_c)_{N=20}$ と有効拘束圧 σ'_c との関係である。図中の $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の結果は昨年度の研究結果を引用した³⁾。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 $D_r=70\%$) では有効拘束圧が高いほど繰返しせん断強度比は低下している。豊浦砂 ($D_r=50\%$) では繰返しせん断強度比は変わらず、有効拘束圧の増加とともに繰返しせん断強度比は増加している。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インターロッキングが影響を及ぼし、繰返しせん断強度比が増加したと考えられる⁴⁾。一方で、堤体土においては細粒分を多く含んでいるため、土粒子の噛み合わせの効果が発揮されな

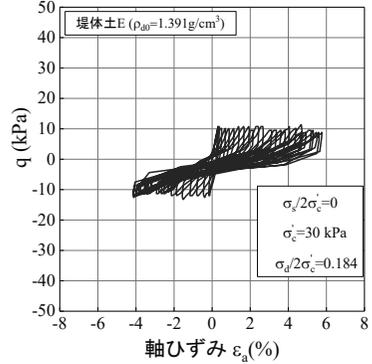


図-2 軸ひずみ-軸差応力関係図
(堤体土 E：初期せん断なし)

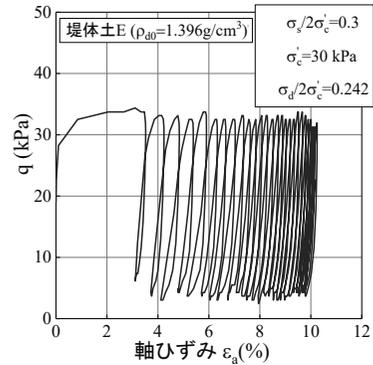


図-3 軸ひずみ-軸差応力関係図
(堤体土 E：初期せん断あり)

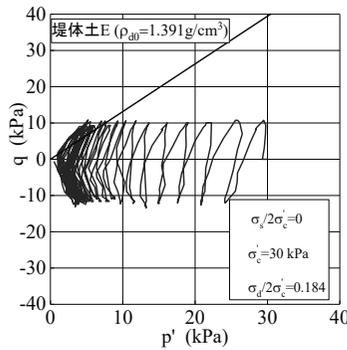


図-4 有効応力経路
(堤体土 E：初期せん断なし)

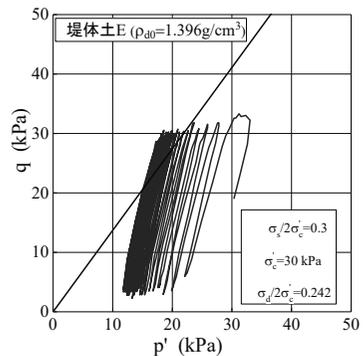


図-5 有効応力経路
(堤体土 E：初期せん断あり)

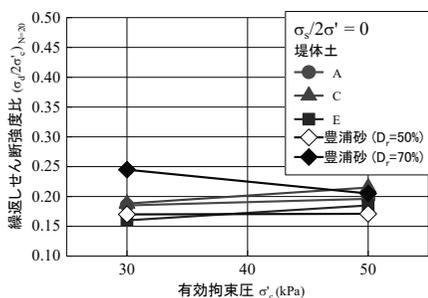


図-6 拘束圧と繰返しせん断強度比の関係
(初期せん断なし)

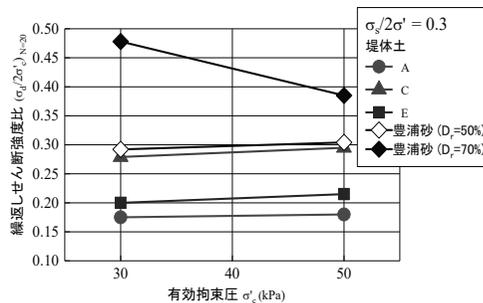


図-7 拘束圧と繰返しせん断強度比の関係
(堤体土E：初期せん断なし)

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、初期せん断応力が有る条件では、いずれの堤体土も液状化は発生せず、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ーの効果が発揮され、繰返しせん断強度が最も高かった。
- 3) 異なる低拘束圧下におけるため池堤体土の繰返しせん断強度は有効拘束圧の増加とともに増加する。また、堤体土は細粒分を多く含んでいるため、インターロッキングによる土粒子の噛み合わせの効果が発揮されない。

参考文献

- 1) 上野和広, 田中忠次, 毛利栄征, 龍岡文夫: 非排水繰返し载荷による飽和土の強度低下の評価法, 地盤工学会誌, Vol.63, No.3, No.686, pp.20-23, 2015.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.

