

三軸試験における透水による内部侵食を受けたまき土のせん断特性

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
山口大学大学院 学生会員 石丸太一
宮崎大学 正会員 神山 惇

1. はじめに 東北地方太平洋沖地震の発生以降、ため池の安全性評価について社会的関心が高まっている。ため池は江戸時代以前に築造されたものが多く、人力施工のため、築堤時の締固めが不十分であり、近年では堤体の老朽化による劣化が懸念されている。ため池堤体盛土内で起こる様々な作用の中でも、水の浸透による内部侵食は、ため池決壊による水害を引き起こす要因の一つである。ため池堤体は堤体内部を流れる浸透流の影響を受け、細粒分が移動し、堤外へ流出している可能性がある。パイピングのようにのり面に孔が出現するケースもあるが、見た目では変化が分からない少量の内部侵食が地盤の強度特性に与える影響は必ずしも十分に明らかにされていない^{1),2)}。本研究では供試体の土粒子の流出が可能なように改良した三軸圧縮試験機において透水を行った後、排水せん断試験を行うことで、土粒子の移動や流出がせん断強度にどのように影響するのか検討した。

2. 土試料および試験方法 本研究に用いた土試料は宇部まき土である。供試体寸法は直径 5cm、高さ 10cm であり、初期含水比 10%、目標締固め度 D_c は 85%、90% の 2 ケースとした。透水は動水勾配 3 で行い、その後、背圧を 100kPa とし、有効拘束圧 $\sigma'_c=30\text{kPa}$ で圧密した。次いで、透水時に土粒子の流出が可能となるように三軸試験機 (図-1) のペ

デスタルに漏斗状のくぼみを設け、2mm 径の孔が 49 個あいた亚克力板と 420 μm または 250 μm の網目状のメッシュ (写真-1) を敷き、その上に供試体を設置した。脱気水が上部タンクから供試体上部～下部を通り、下部タンクに排水と土粒子が集まる仕組みとなっている。上部、下部タンク (図-1) の水位が最初は動水勾配が 5 になるように、タンクの高さを調節した。下部タンクの容量 (785ml) が一杯になるまで透水を行ったのち、排水せん断を行った。本試験では、上部および下部タンクに背圧を作用させ、透水中の有効拘束圧が 30kPa を保つように留意した。また、250 μm のメッシュを使用したケースでは排出土砂の質量と排水の濁度を測定した。本実験では、佐藤ら²⁾ が定義した侵食率をパラメータとして結果を整理した。

3. 試験結果と考察 表-1 に三軸圧縮試験の試験条件を示す。図-2 (a), (b) に軸ひずみ ε_d と軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の関係を示す。全ケースにおいて、透水の有無による定常状態強度に大きな変化はなかった。 $D_c=90\%$ では、250 μm メッシュ径を使用した場合で透水により応力・ひずみ関係の立ち上がりの接線勾配が緩やかになり、ピーク強度がいくぶん低下した。この原因として、透水により砂骨格から細粒分が抜け出し、局所的に脆弱な部分が現れたことが考えられる。 $D_c=85\%$ では、透水により応力・ひずみ関係の立ち上がりの接線勾配が急になり、ピーク強度が早く現れた。これは透水による細粒分の流出とともに間隙の目詰まりが生じ、密の部分がせん断面上に現れたことで初期段階での軸差応力が大きくなったためと考えられる。図-3 (a), (b) は今回実施した 6 ケースの試験におけるキーワード 三軸圧縮試験 内部侵食 細粒分

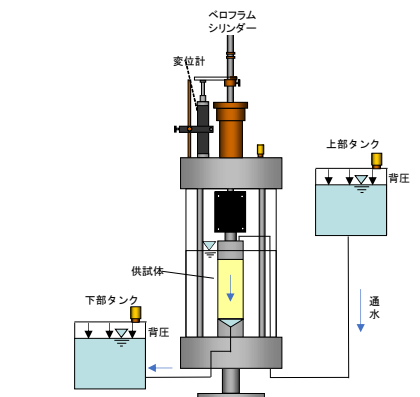


図-1 三軸試験における通水経路



写真-1 アクリル板とメッシュ
(左からアクリル板、250 μm メッシュ、420 μm メッシュ)

表-1 試験条件

供試体No.	1	2	3	4	5	6
メッシュ径 (μm)	0(ろ紙)	0(ろ紙)	420	420	250	250
目標締固め度 (%)	90	85	90	85	90	85
透水の有無	無	無	有	有	有	有

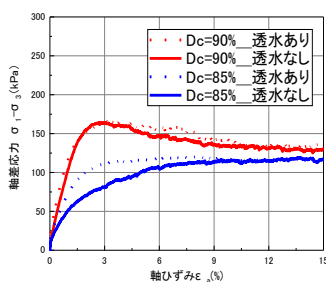


図-2 (a) 軸ひずみと軸差応力の関係 (メッシュ径 420 μ m)

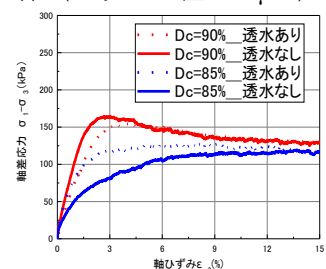


図-2 (b) 軸ひずみと軸差応力の関係 (メッシュ径 250 μ m)

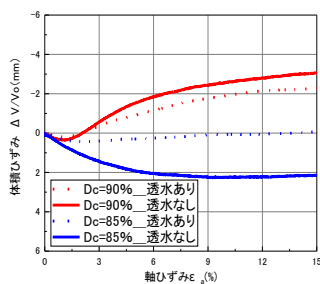


図-3 (a) 軸ひずみと体積ひずみの関係 (メッシュ径 420 μ m)

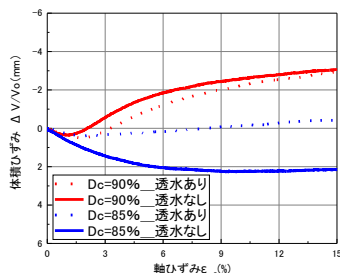


図-3 (b) 軸ひずみと体積ひずみの関係 (メッシュ径 250 μ m)

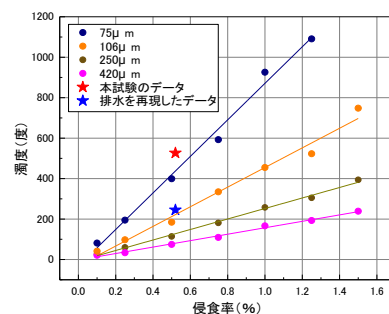


図-4 (a) 想定侵食率と濁度の関係 ($D_c=90\%$ を想定)

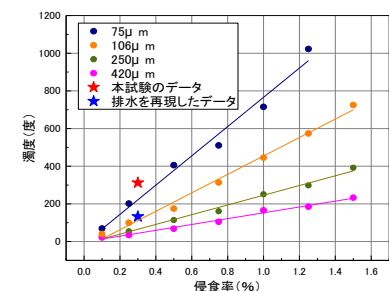


図-4 (b) 想定侵食率と濁度の関係

る ϵ_a と体積ひずみ $\Delta V/V_0$ (ΔV :排水量, V_0 :供試体の圧密後の体積)の関係を示したものである。 $D_c=85\%$ では、透水により過圧密状態に近い挙動を示した。透水中に土粒子の移動とともに、供試体の砂骨格そのものが圧縮された可能性がある。また、表-2に排出土砂の粒径による内訳を示した。ここで、供試体 No.5, 6 (表-1)について、下部タンクに排出された土粒子の粒径をせん断後に分析したところ、75 μ m以下の土粒子が7~9割占めていることが分かった。さらに、侵食率、濁度、粒径の相互関係を調べるため、75 μ m, 106 μ m, 250 μ m, 420 μ mのふるいにかけた試料をそれぞれ785mlの蒸留水に所定の量を入れた疑似排水を作製し、粒径ごとの侵食率と濁度の関係を調べた結果を図-4 (a), (b)に示す。佐藤ら²⁾が示したように、排出量と濁度には相関があり、本結果からも侵食率と濁度の間には比例関係があることが分かった。また、同図には、表-2に示した各粒径の土粒子をそれぞれの割合で混合し、別途作製した疑似排水の濁度の値をプロットしている。実際の試験後の排水には、75 μ m以下の土粒子も含まれており、作製した疑似排水の濁度よりも大きな値が計測された。濁度は粒径に大きく影響されるため、75 μ m以下の土粒子についても詳しく調査する必要がある。また、供試体の目詰まりの影響についても、今後検討していく予定である。

表-2 排出質量の粒径による内訳

締固め度 (%)	全質量 (g)	粒径 (μ m)	質量 (g)	割合 (%)
90%	1.83	106~250	0.32	17.5
		75~106	0.16	8.7
		~75	1.24	67.8
85%	0.97	106~250	0.14	14.4
		75~106	0.09	9.3
		~75	0.84	86.6

4. 結論 本研究から得られた結論を以下に要約する。

- 1) 透水により、ピーク強度や定常状態強度の変化はなく、応力・ひずみ関係の初期部分にわずかに影響を与えるのみであった。供試体下部に土砂が移動することによる間隙の目詰まりの発生が考えられる。
- 2) 透水によって体積変化の挙動に差がみられた。 $D_c=90\%$ と85%では、透水による挙動の変化に違いがあった。 $D_c=85\%$ の場合、透水により砂骨格から細粒分が抜け出し、砂骨格自体の圧縮変形も生じたと考えられる。
- 3) 250 μ mメッシュを使用した場合、流出土砂の約7~9割が75 μ m以下の細粒分であることが分かった。
- 4) 濁度測定により侵食率を予測できるかどうか試みたが、濁度は土粒子の粒径に大きく影響しており、土粒子の粒径が75 μ m以下のよりミクロな検討が必要である。

参考文献 1) 佐藤真理, 桑野玲子: 内部侵食が地盤の変形・強度特性に及ぼす影響の定量的評価, 生産研究, 66巻 4号, pp.325-329, 2014. 2) 佐藤真理, 桑野玲子: 流出土の濁度による土砂流出の定量評価, 生産研究, 64巻 4号, pp.187-191, 2012.