

ため池堤体土の不攪乱及び再構成試料の せん断強度特性の比較と堤体の安定性評価への影響

宮崎大学 学生会員 ○工藤啓幹

宮崎大学 正会員 神山惇

宮崎大学 正会員 福林良典

1. はじめに 平成 25 年度より全国のため池で豪雨及び地震に対する堤体の安全性について調査点検が実施されている。この点検では、防災重点ため池を優先的に土質調査などの詳細な調査が実施されている。そのような状況下で、平成 30 年 7 月豪雨で多くのため池が決壊し、死傷者が生じた。決壊したため池の多くは防災重点ため池に指定されていなかったため、農林水産省は、選定基準の見直しを行った¹⁾。この新基準により、今後、防災重点ため池の数は増加すると考えられる。

一方、ため池堤体の土質調査では、原位置から採取された不攪乱試料に対して室内土質試験が実施されている。しかし、ため池は全国 20 万箇所もあるため、不攪乱状態の土試料採取を行う土質調査にあたっては、多大な労力に加えて高額な費用と長期に渡る調査が必要となる。

そこで乱れを受けた攪乱試料から不攪乱試料の強度定数が推定しその結果を堤体の安定計算に活用することを検討する。このことにより、調査時に不攪乱状態でのサンプリングが省略でき、ため池の調査点検を加速させることができる。

本論文では、ため池堤体土試料を用いて不攪乱試料および不攪乱試料を乱して再構成した試料に対して三軸試験を実施し、両者のせん断強度特性を比較評価した。また、両者の強度定数を用いて堤体の安定計算を行い、強度定数の違いが堤体の安定性に与える影響について検討した結果を報告する。

2. 試験方法 本試験に用いた堤体土試料は山口県内に存在する 4 箇所のため池 A～D から採取したものである。採取にはシンウォールサンプラー及びトリプルチューブサンプラーを用いた。なお、不攪乱試料の採取及び三軸試験は、山口県内の堤体調査の一環として実施されたものである。堤体の築造年代は、すべてのため池において不明である。堤体土は細粒分を含む砂質土である。堤体土 A、B 及び D は低塑性であり、堤体土 C は非塑性である。これらの 4 つの堤体土の I_p 、 F_c は他

表-1 堤体土の物理特性と不攪乱試料採取時の状態量

堤体土	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	細粒分含有率 F_c (%)	塑性指数 I_p	不攪乱試料採取時		
				自然含水比 w_n (%)	湿潤密度 ρ_{in} (g/cm ³)	乾燥密度 ρ_{ds} (g/cm ³)
A	2.682	34.8	9.6	25.5	1.880	1.498
B	2.713	49.3	12.6	36.0	1.900	1.397
C	2.691	40.5	N.P.	39.1	1.742	1.252
D	2.639	49.3	28.6	30.4	1.913	1.467

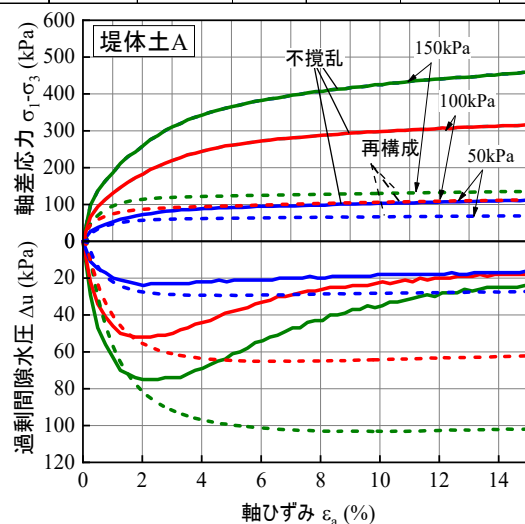


図-1 せん断挙動(堤体土 A)

県のため池の堤体土(例えば2)の物性値から大きく外れてはおらず、4 つの堤体土と類似した堤体土から成るため池は全国に数多くあると考える。表-1 に各堤体土試料の物理特性と不攪乱試料採取時の状態量を示す。

供試体の作製については、不攪乱試料はサンプラーにより採取されたサンプルを直径 5cm、高さ 10 cm の三軸試験用供試体に成形した。再構成試料は不攪乱試料を自然乾燥させ、所定の含水比になるように蒸留水を加えながら十分練返し、高さ 10 cm、内径 5 cm のモールド内にて突き固め、含水比と湿潤・乾燥密度が、それぞれの不攪乱供試体の初期状態(採取時)と同等になるように作製した。背圧は 200kPa とし、二重負圧法により供試体を飽和し、圧密前の間隙水圧係数 B 値が 0.95 以上であることを確認した。その後は所定の圧密応力で圧密し、ひずみ速度 0.1 (%/min) で軸ひずみ $\varepsilon_a=15\%$ に達するまで非排水せん断を行った。不攪乱供試体は 1 箇

所のため池につき3本、計12本実施した。

3. 試験結果と考察 図-1 に堤体土 A の不攪乱と再構成試験のせん断挙動を示す。軸差応力 σ_1 - σ_3 は、不攪乱・再構成試験ともに、 $\varepsilon_a=2\%$ に達するまで急上昇し、その後は明確なピークを示すことなく $\varepsilon_a=15\%$ まで緩やかに単調増加することが分かる。不攪乱の軸差応力 σ_1 - σ_3 は、軸ひずみの増加に伴ってひずみ硬化するせん断挙動を示した。再構成ではひずみ硬化は見られず $\varepsilon_a=2\%$ 付近から定常状態に達した。また、再構成試験は側圧の増加による軸差応力 σ_1 - σ_3 の変化は小さかった。この傾向は、堤体土 A 以外の3つの堤体土試験においても同様であった。

過剰間隙水圧 Δu に着目すると、不攪乱試験の Δu はせん断開始初期に増加した後、徐々に減少している。不攪乱試験は、セメンテーションなどの年代効果により比較的強固な粒子構造になっており、負のダイレイタンスの発生が制限され、密詰めめの砂のような挙動を示したと考えられる。

表-2 に各堤体土の内部摩擦角 ϕ' と粘着力 c' を示す。不攪乱・再構成の ϕ' は互いに近い数値を示す。両者の強度差は約 $1\sim 2^\circ$ で、顕著な差は見られなかった。 c' は、再構成試験よりも不攪乱試験の方が高い、または近い値を示している。これは、再構成試験は攪乱を受けたことにより、セメンテーションが崩れたことが原因として考えられる。

次に、不攪乱及び再構成試験の強度定数の違いが堤体の安全率に及ぼす影響を検討するために修正フェレニウス法による安定解析を行った。モデルとなる堤体は、堤高 $H=2, 5, 10, 15\text{m}$ 、勾配は $1:1.8$ とした。強度定数の違いによる影響を調べるため今回は貯水及び浸潤線については考慮しない。図-2 に堤体土 A, B の不攪乱及び再構成試験の強度定数を用いた安全率 F_s を示す。ため池 A は不攪乱と再構成試験の c' に 2.5kPa の差があり、 $H=2\text{m}$ の場合に F_s に 27% 程度の差が生じる。しかし、 $H=10\text{m}$ 以上になると F_s は不攪乱試験と近い値を示す。これは堤高が低いと、 c' がせん断抵抗力に大きく寄与するため、 c' の違いが F_s に与える影響が大きくなった。

堤体土 B の F_s は、 c' の差が 0.3kPa と非常に小さいため、堤高によらず F_s は不攪乱と再構成で近い数値を示している。 c' の差の値によっては、 F_s に与える影響が大きくなるが、再構成試験の F_s は安全側での評価となる。

表-2 各堤体の強度定数

試料名	供試体の状態	粘着力 c' (kPa)	内部摩擦角 ϕ' ($^\circ$)
堤体土 A	不攪乱	4.9	36.9
	再構成	2.4	34.8
堤体土 B	不攪乱	0.3	38.6
	再構成	0.0	36.7
堤体土 C	不攪乱	0.0	36.5
	再構成	4.9	35.2
堤体土 D	不攪乱	1.8	36.6
	再構成	0.0	35.5

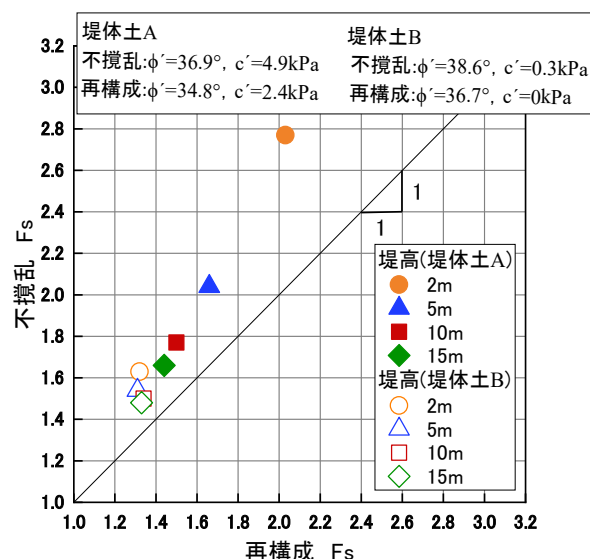


図-2 不攪乱と再構成試験の強度定数を用いた安全率 (堤体土 A, 堤体土 B)

ため、堤体の規模によっては再構成試験の ϕ' 、 c' を利用することも可能と考える。今後は貯水時の水圧も考慮した安定解析を進める予定である。

4. まとめ 本研究から得られた知見を以下に示す。

- (1) 内部摩擦角 ϕ' は、不攪乱及び再構成試験両者の間で顕著な差は見られなかった。よって、堤体土から採取される再構成試験から不攪乱試験の ϕ' を推定することは可能である。
- (2) 不攪乱と再構成試験の粘着力に大きな差がある場合は安全率を過小評価する。そのため、堤体の規模により再構成試験の粘着力の取り扱いに注意する必要がある。

参考文献

- 1) 農林水産省 web ページ「平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた今後のため池対策の進め方について」
http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/181113_9.html (アクセス日: 2018/11/19)
- 2) 堀俊和: 農業用ため池の豪雨災害に関する研究, 農業工学研究所報告, Vol.44, pp.139-247, 2015.