

粘性土から構成される既設ため池の耐震照査に関する一試算

株式会社エイト日本技術開発 正会員 ○金 聲漢
同 上 風見健太郎

1. 既設ため池の補強に係る背景と課題

東日本大震災における藤沼湖（福島県須賀川市）の決壊は、多量の貯水が濁流となって下流の集落を襲い、死者・行方不明者8名、家屋全壊 22 戸等の甚大な被害が発生したことでため池の被災として記憶に新しい。しかしながら、豪雨や地震によるため池被害は、これまでも多数発生しており、その経済損失や地域住民の被害は我々の想像する以上の状況にある。

全国には約 21 万力所のため池があり、2ha 以上の大規模ため池の 3/4 が江戸時代以前に築造された老朽ため池である。さらに、このうちの 1.4 万力所（以上、農水省）が下流に住宅、公共施設等がある警戒ため池として指定されている。一方で、これらため池の 7 割強が地元水利組合及び個人所有のものであり、改修や補強は豪雨災害による災害復旧事業等が無い限り、遅々として進まない状況にあった。

このような中、前出の藤沼湖での被災を踏まえ、農水省の働きにより、全国でため池の耐震診断が行われることとなった。

本報告は、この耐震診断における現状とその課題を問題提起として示すものである。

2. ため池整備指針に基づく耐震診断の課題

ため池の耐震診断は、設計基準である土地改良事業設計指針「ため池整備」¹⁾に基づき行われている。本指針では、有効応力強度を用いた円弧すべり計算により、常時・レベル 1 地震時ともに安全率 $F_s \geq 1.2$ を満足することを求めている。

その結果、堤体が特に、粘性土で構成されている既設ため池では、過去に豪雨や地震による被災履歴を持たない健全なため池であっても、 $F_s < 1.0$ となることも少なくなく、レベル 1 地震時に安全率 1.2 を確保することはなかなか困難な場合が多い。

これは、三笠ら²⁾が指摘するように、せん断中の

過剰間隙水圧が発生する材料（粘性土）のすべり安全率を適切に求めるためには、有効応力強度 c' 、 ϕ' を用いるだけでなく、破壊時の過剰間隙水圧 Δu を考慮した厳密な有効応力解析を実施する必要がある、単に静水圧のみを考慮して計算すると、せん断強度を過小評価するために、すべり安全率を小さく見積もるためである。

このような状況にありながら、現在、日本全国で実施されているため池耐震診断は、粘性土で構成される既設ため池の安定計算に、ため池整備指針を遵守した有効応力強度 c' 、 ϕ' を用いて安定計算を実施し、本来、十分な安定性を有する可能性のある多くのため池までもが、非適合ため池 ($F_s < 1.2$) と判定され、これらを管理する自治体、診断に携わる技術者の頭を悩ませている。

3. 試算事例の紹介

ここでは、ため池整備指針に規定される有効応力強度 c' 、 ϕ' を用いた場合の円弧すべり計算結果と、前出の三笠の一般全応力法²⁾を用いた場合の計算結果を対比して示すことで、粘性土で構成された堤体の安全性評価をどのように実施すべきかについての判断材料を提示しようとするものである。

(1) 試算対象

表 1 に試算対象とした 5 つのため池諸元を示す。これらため池は、過去に豪雨・地震ともに被災履歴はなく、現地での点検結果においても、すべりや原見出しなどの兆候が見られない極めて健全なため池である。

表 1 試算の対象としたため池諸元

	堤高 m	天端幅 m	のり面勾配	堤体土質	型式
case1	7.0	5.0	1:1.1	礫混じり粘土	均一型
case2	7.0	4.4	1:1.1	礫混じり粘土	均一型
case3	10.6	7.0	1:1.7	礫混じり粘性土	均一型
case4	7.5	3.0	1:1.2	礫混じり粘性土	均一型
case5	4.0	2.5	1:1.2	礫混じり粘性土	均一型

キーワード ため池耐震診断, 有効応力解析, 一般全応力法, 円弧すべり解析

連絡先 〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11 株式会社エイト日本技術開発 TEL 03-5341-5111

(2) 計算に用いた堤体のせん断強度

計算に用いた堤体のせん断強度（有効応力、全応力）を表 2 に示す。これら強度は、堤体から乱れの少ない試料を採取して実施した三軸 CUB 試験結果から整理して求めたものである。なお、表中の全応力強度は、地盤工学会「地盤材料試験の方法と解説」に示される物理的に意味のある整理方法で求めた。

表 2 堤体のせん断強度

	有効応力		全応力	
	c' kN/m ²	ϕ' °	c_{cu} kN/m ²	ϕ_{cu} °
case1	6.7	28.9	32.1	24.7
case2	21.3	21.0	36.9	16.9
case3	8.0	32.6	38.4	16.8
case4	10.8	32.3	32.0	33.4
case5	12.5	34.6	28.4	24.7

図 1 に表 1 の case3 の堤体から乱れの少ない方法により採取した試料により実施した三軸 CUB 試験の有効応力及び全応力のモールの包絡線を重ね書きして示す。図中、本ため池における平均有効拘束圧 σ_c' の範囲を示すが、小拘束圧下の強度特性が重要なことから、試験拘束圧 $\sigma_c' = 20 \sim 150 \text{ kN/m}^2$ の範囲で 4 供試体（2 シリーズ）で試験を行い、異常データを棄却してモール円を描いた。

図より、ため池堤体の平均有効拘束圧の範囲では常に、全応力の包絡線が有効応力の包絡線よりも上位にあることが分かる。

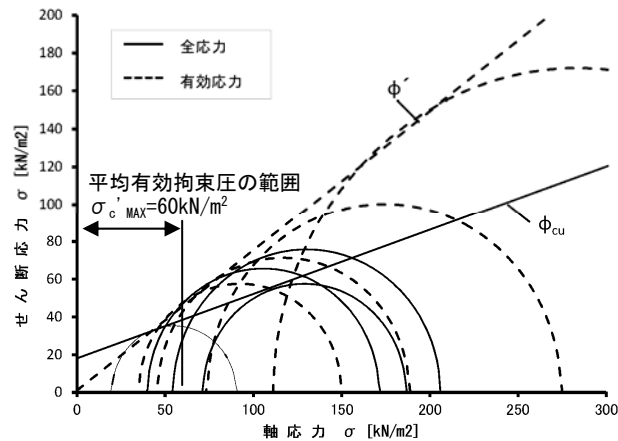


図 1 case3 の包絡線の比較

(3) 計算手法

有効応力強度を用いる解析についてはため整備池指針¹⁾に示されるフェレニウス法を、全応力強度を用いる解析は三笠²⁾らの論文に示される一般全応力法の考え方に基づき、すべり面の強度にその深度での平均有効拘束圧に対応した非排水せん断強度を与

えることで円弧すべり安全率を求めた。

(4) 計算結果

計算結果の一覧を表 3 に示す。なお、表中の網掛け・太字は $F_s < 1.2$ の結果を示している。計算の結果、有効応力強度を用いた計算のうち、3 ケースで地震時の許容安全率を満足できず、いずれも 1.0 程度以下の値を示し、L1 地震時においても、深刻な状況にあることを示唆するものとなった。

一方、全応力強度を用いた解析結果も表 3 に併記している。表より、いずれのケースも許容値を満足することが確認される。

表 3 試算結果一覧表

	有効応力		全応力	
	常時	地震時	常時	地震時
case1	1.472	0.978	2.951	2.305
case2	1.780	1.244	2.229	1.704
case3	1.773	1.086	1.636	1.210
case4	1.573	0.990	1.943	1.255
case5	1.841	1.268	2.616	2.162

※網掛け、太字は $F_s \geq 1.2$ を下回った結果を示す。

4. まとめ

以上、粘性土を主体とした堤体を対象とした全応力強度を用いた場合の円弧すべり計算結果を、現行のため池整備指針に規定される有効応力強度を用いた場合の試算と対比し、両者には著しい乖離のあることを示した。粘性土を主体とした盛土の場合、一般には吸水膨張による強度低下が懸念される。ただし、老朽ため池の場合には、江戸時代に築造され、長い年月にわたり乾湿繰り返しを受けてきた履歴より、これからさらに吸水膨張による強度低下が生じるとはなかなか考えにくい。また、少なくとも地震時に限定すれば、粘性土からなる堤体のせん断破壊形態は非排水条件にあることから、全応力強度に基づく解析を用いることに問題はないものとする。

なお、農工研による講習会テキスト³⁾には、今後の展開として、粘性土に対する L1 地震時の安定検討に非排水強度を用いることを検討中である旨示されている。一刻も早く、全国で展開している耐震性能照査の現場にて、非排水強度を適用可能となることが望まれる。

参考文献

1) 土地改良事業設計指針「ため池整備」 公益社団法人 農業農村工学会 平成 18 年 2 月
2) フィルダム安定解析法 一般全応力法と有効応力法の比較 望月秋俊、三笠正人 1984 年 4 月
3) 第 2 回ため池研究会 テキスト(毛利栄征)、平成 26 年 3 月