

ため池堤体強度データベースの構築と新たな強度予測式の提案
 Development of database about strength of small dam soil
 and new formula for strength and N-value

林 真美*・王 博涵*・毛利栄征*・三谷浩司**

Mami Hayashi・Wang Buhan・Yoshiyuki MOHRI・Hiroshi MITANI

1. 緒言

ため池は日本国内に 197,742 カ所¹⁾存在し、毎年 300 カ所以上が地震と豪雨による被害を受けている。ため池の安全性評価は、せん断強度である粘着力 C と内部摩擦角 ϕ を用いた安定解析を基本としている。ため池堤体に適用する強度を三軸圧縮試験などから求めることを原則としているが、指針「ため池整備」²⁾には N 値から強度を予測する式が示されている。それらの式は N 値 10 以下の予測値が大きく異なり、強度の低いため池堤体に用いるには大きな課題となっていた。本報告では、ため池の安全性を簡易的に予測するシステムの構築を目的とした「ため池堤体強度データベース」の構築と「ため池堤体強度予測式」を提案する

2. データベースの構築

主に近畿・中部圏（愛知県、香川県、京都府など）のため池で実施されている土質試験結果からデータベースを構築した。データ項目は次の項目である。ため池所在地(都道府県)、ため池名称、サンプリング位置(堤体、基礎地盤)、工学的分類、分類記号、 N 値、湿潤密度 ρ_t 、塑性指数 I_p 、粒度組成、細粒分含有率 F_c 、全応力時の粘着力 C_{cu} 、全応力時の内部摩擦角 ϕ_{cu} 、有効応力時の粘着力 C' 、有効応力時の内部摩擦角 ϕ' 。

3. 堤体土のせん断強度と N 値の関係

3.1 予測式の提案

データ分析結果を図 1、2 に示す。

全てのデータを土質分類により粘土シルトと礫砂質の 2 つに分類し、そのバラつきについて確認した。また、 N 値で区分し、その区間内の分布状況を確認した。具体的には N 値 2 ずつの 7 つの領域に区分し、粘着力と内部摩擦角について、それぞれ平均、有意水準 90% 上限、有意水準 90% 下限を求めた (図 2)。この 3 つの式が強度予測式の候補である。

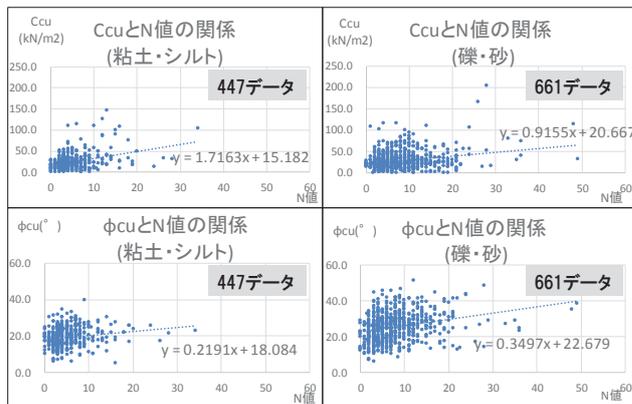


図 1 データ分析結果の例 1

(土質分類により分類したときの分析結果)

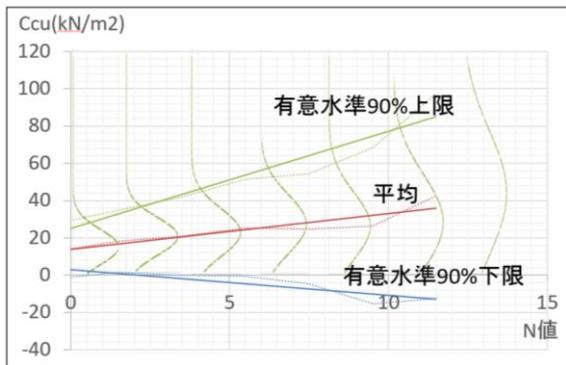


図 2 データ分析結果の例 2

(粘土シルトの全応力時の粘着力 C_{cu})

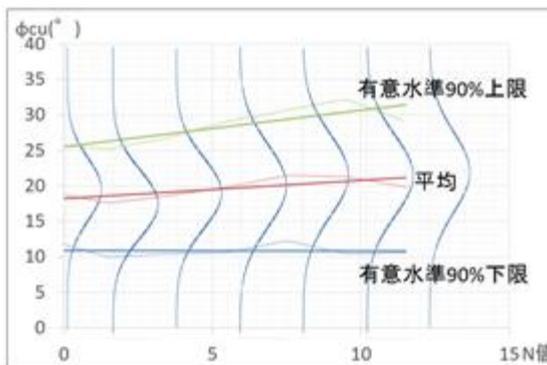


図 3 データ分析結果の例 3

(粘土シルトの全応力時の内部摩擦角 ϕ_{cu})

3つの式から求まる $C_{cu}(KN/m^2)$, $\phi_{cu} (^{\circ})$ を用いた安定解析の結果を示す(表1, 2)。解析では、藤沼ため池副堤の形状データを使用し、強度低下をしないものとしている。藤沼ため池副堤のボーリングデータから N 値=2として C_{cu} , ϕ_{cu} を算定して円弧すべり解析を行った。解析にはため池指針の塑性すべり解析に準拠するSERID(五大開発株式会社)を使用した。

粘着力 C_{cu} の有意水準 90%下限の式は、統計の性質上負の値を取ってしまうこと、有意水準 90%上限の式は高い安全率を与えてしまい危険であるため、候補から除外し、平均値を採用することとする。粘土シルトについて、粘着力 C_{cu} 平均($C_{cu}=17.73$)、内部摩擦角下限($\phi_{cu}=10.90$)の組み合わせでの表1の解析結果を見ると、安全率 F_s が1.148である。1.0は上回っているがほぼ妥当と判断する。最終的には、表3の強度予測式を提案する。粘土シルトの内部摩擦角 ϕ_{cu} については、傾きが0に近く、対象としたデータ範囲では N 値が増加しても内部摩擦角 ϕ_{cu} はほぼ変化しないため、 10.92° で一定とした。

4. 堤体土の地震時の強度低下

細粒分含有率 F_c : 10~48%の土の標準的な強度低下曲線⁴⁾は式(1)で表すことができる。

$$\phi_{cu} / \phi_{cu0} = 1 + \alpha \cdot DA \quad (1a)$$

$$\alpha = \min(\alpha 1, \alpha 2) \quad (1b)$$

$$\alpha 1 = -0.111 + 0.048 \rho_t \quad (\rho_t: \text{湿潤密度}) \quad (1c)$$

$$\alpha 2 = -0.048 + 0.002w \quad (w: \text{含水比}) \quad (1d)$$

ここで、 α : 係数、 DA : 両振幅ひずみ(%)である。土の諸元 $\rho_t = 1.708 g/cm^3$, $\rho_d = 1.240 g/cm^3$, $w = 37.75\%$, $G_s = 2.629$, $I_p = 17.7$, $F_c = 44.7$, と $DA=17\%$ として、地震動による強度低下量を推定する。

$$\phi_{cu} / \phi_{cu0} = 1 - 0.029 \cdot DA = 0.5$$

$$C_{cu} / C_{cu0} = 1 - 0.029 \cdot DA = 0.5 \quad (\text{粘着力も摩擦角と同様に低下するものと仮定}^4)$$

強度低下後の $C_{cu}=8.9$, $\phi_{cu}=5.5$ とすると、安全率は $F_s=0.7$ となり、決壊の危険性が高いことが評価される。

5. 結論

ため池堤体強度データベースを構築し、強度予測式を提案した。 N 値からの強度予測式と地震による強度低下を考慮することによって、藤沼ため池副堤の決壊を予測することができた。さらに、SERIDなどの塑性すべり解析に導入されている強度の標準低下モデル⁴⁾を用いて、すべり量を予測することができるので、小規模のため池については適用性を検証する価値は高い。

参考文献

1) 農林水産省 (2017.1.19) 「ため池」

http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/, (参照 2017.02.03)

2) 土地改良事業設計指針「ため池整備」、農林水産省農村振興局整備部設計課監修、H27.5

3) 毛利栄征、龍岡文夫、デューティン アントワン、矢崎澄雄：レベル2地震動に対するため池堤体の簡易耐震診断について、農業農村工学会誌、2015、83巻、12号

4) 毛利栄征、龍岡文夫、デューティン アントワン、矢崎澄雄：ため池堤体の耐震診断のための土の強度低下モデルの提案、農業農村工学会大会、2017

表1 安定解析の結果1(粘土シルトについて)

C_{cu}	平均	平均	平均	0	平均	上限	
ϕ_{cu}	平均	下限	上限	平均	0	平均	
水平	0.0	2.309	1.955	2.765	1.000	1.391	3.767
震度	0.15	1.380	1.148	1.660	0.507	0.785	2.208

表2 安定解析の結果2(礫砂について)

C_{cu}	平均	平均	平均	0	平均	上限	0	
ϕ_{cu}	平均	下限	上限	平均	0	平均	下限	
水平	0.0	2.893	2.324	3.536	1.000	1.756	4.632	1.001
震度	0.15	1.726	1.360	2.123	0.550	0.991	2.713	0.467

表3 提案する強度予測式

C_{cu}	粘土シルト	$C_{cu} = 1.92N + 13.89$
	礫砂	$C_{cu} = 1.10N + 20.18$
ϕ_{cu}	粘土シルト	$\phi_{cu} = 10.92$
	礫砂	$\phi_{cu} = 0.42N + 10.12$

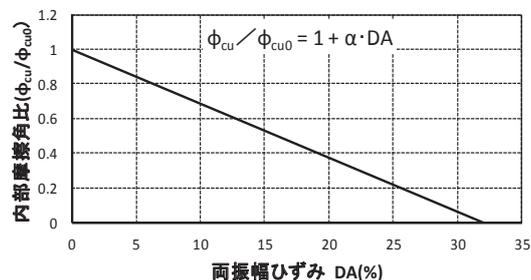


図4 砂質土の標準強度低下曲線