

# ため池堤体の安全率の簡易評価手法 Simplified method for evaluation of safety factor of earth-fill dams

○柴田俊文, 柴川晃輝, 西村伸一

○Toshifumi Shibata, Koki Shibakawa and Shin-ichi Nishimura

## 1. 背景と目的

日本に約 16 万箇所あるため池は、近年頻発する傾向にある豪雨災害や、発生が懸念されている南海トラフ地震などへの対策が喫緊の課題となっている反面、老朽化しているものも多い。しかし対象となるため池の絶対数が多いことから、対象のため池の安全性を簡易に評価し、改修の優先度を評価する必要がある。本論文では簡易にため池堤体を評価するため、応答曲面法を用いて安全率に関する推定式を導出する。

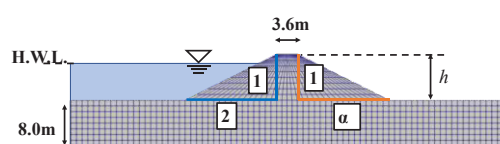


Fig. 1 有限要素モデル  
Finite element model

Table 1 解析に用いたパラメータ  
Parameters of analysis

下流斜面勾配 $\alpha$	1.43, 2.06
堤高 $h$ [m]	4.6, 13.2
透水係数 $k$ [m/s]	$1.35 \times 10^{-7}$ , $4.29 \times 10^{-6}$
粘着力 $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	3.26, 20.56
内部摩擦角 $\phi$ [°]	27.27, 35.94

## 2. ため池堤体モデルによる解析

最初に、堤体内の間隙水圧の影響を考慮するため有限要素法による飽和-不飽和浸透流解析を行う。Fig. 1の解析モデルを用い、AC-UNSAF2D<sup>1)</sup>により間隙水圧を求める。ここで、下流斜面勾配 $\alpha$  (1:  $\alpha$ )、堤高  $h$ 、堤体の透水係数を  $k$  とし、Table 1 に示す値をそれぞれ組み合わせて解析を行う。ただし粘着力と内部摩擦角は、後の安全率を求める過程で使用する。ため池上流側の貯水位は計画高水位を仮定して、堤高が 13.2m および 4.6m の場合はそれぞれ 9.9m および 3.5m とした。また、ため池下流側では、基盤部分の全水頭を 8m で一定とし、堤体の表面を降雨浸透境界に設定した。ここで降雨は考慮せず、基盤部の透水係数は  $1.0 \times 10^{-10}$  m/s としている。その後、堤体内の浸透流が定常になり

地下水水位が一定となった状態の圧力水頭を用いて、弾性解析を行う。弾性解析には DACSAR<sup>2)</sup>を用い、土の単位体積重量を  $\gamma = 19.3$  kN/m<sup>3</sup> として、ため池堤体の有効応力を評価する。この有効応力の値と Table 1 の粘着力、内部摩擦角から斜面安定解析を行い安全率を求める<sup>3)</sup>。最終的に解析で得られた安全率と Table 1 の値から、応答曲面を作成する。

## 3. ため池堤体モデルによる解析の結果

式(1)に安全率  $F_S'$  に対する応答曲面を示す。

$$F_S' = 0.5568 + 0.1206 \times \alpha + 0.0535 \times c + 0.004025 \times \phi + (-0.07859) \times h \quad (1)$$

ここで、透水係数は安全率に対する感度が低かったため、応答曲面の因子から除外している。Fig. 2 に、安全率  $F_S'$  と数値解析から直接求めた安全率  $F_S$  とを比較した結果を示す。

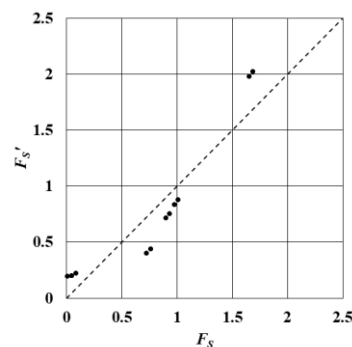


Fig. 2 解析結果に基づく安全率の比較  
Comparison of safety factor based on analytical results

所属：岡山大学学術研究院 環境生命科学学域 Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama Univ.,

キーワード：ため池, 安定解析, 応答曲面法

図中の破線は  $x=y$  の線を表しており、値は破線付近に分布していることから、作成した応答曲面は良好な精度を示していることが確認できる。

#### 4. 実在するため池データによる安全率の応答曲面

既往の報告で示される実在するため池 20 箇所のデータを用い、安全率の推定式を導出する。応答曲面の因子を下流法面の斜面勾配  $\alpha$ 、粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\tan\phi$ 、堤高  $h$ 、透水係数  $\log k$ 、単位体積重量  $\gamma$  とする。前章で 1 次式の応答曲面の精度が良好であったことから、因子が 1 次の項のみで構成される応答曲面を求める。加えて、2 次の交差項を含む応答曲面を導出する。式(2)に 1 次の項のみで構成される安全率  $F_{S1}'$ 、式(3)に交差項を含む安全率  $F_{S2}'$  の応答曲面を示す。

$$F_{S1}' = -0.27045 + 0.292303\alpha + 0.013375c + 0.309901 \tan\phi + 0.007174h - 0.02762 \log k + 0.030491\gamma \quad (2)$$

$$F_{S2}' = -77.9035 + 1.61943\alpha - 1.26634c + 71.89732 \tan\phi - 0.17269h - 15.9891 \log k + 1.477429\gamma - 0.0993\alpha c + 0.073542c\gamma + 13.2825 \tan\phi \log k + 0.014665h\gamma + 0.378842\gamma \log k \quad (3)$$

ここで、式(2)と(3)の精度を検証するため、応答曲面の作成に使用していない  $S$  池のデータを用いて結果を比較する。

**Fig. 3** および **Fig. 4** に、 $F_{S1}'$  と安定解析により得られた安全率  $F_S$  との比較、 $F_{S2}'$  と  $F_S$  との比較をそれぞれ示す。式(2)の決定係数は  $R^2=0.4829$  であり実際の安全率に対する精度は低い。また、 $S$  池のデータを式(2)に代入すると、 $F_{S1}'$  は  $F_S$  に比べて小さい値を示しており、高い汎用性を示している

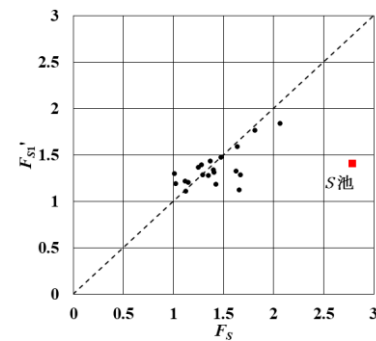
とは言い難い結果となった。同様に安全率  $F_{S2}'$  と  $F_S$  を比較すると決定係数は  $R^2=0.8435$  となり、式(3)の実際の安全率に対する精度は式(2)よりも高いことがわかるが、 $S$  池のデータを式(3)に代入したときに、 $F_{S2}'$  が負の値を示していることが確認できる。このことから交差項を含む式(3)では、応答曲面の作成に使用したデータに対しては忠実に適合している一方、未知のデータに対する適合性が失われた状態となっており、過学習が生じている可能性が高いことが考えられる。

#### 5. まとめ

本論文ではため池堤体を簡易に評価するため、応答曲面法を用いて安全率に関する推定式を求めた。数値解析の結果から導出した安全率の応答曲面は高い精度を示した。一方で、実在のため池のデータから得た安全率の応答曲面では、特に交差項を含む式において、精度の点で課題を残す結果となった。

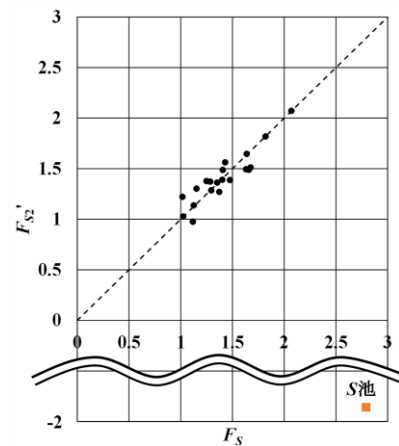
#### 参考文献

- 1) 岡山地下水研究会 (参照 2022.3.12) : [http://www.igeol.co.jp/okayama/kaiseki\\_pro.htm](http://www.igeol.co.jp/okayama/kaiseki_pro.htm)
- 2) Iizuka, A., Ohta, H. (1987): A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis. *Soils and Foundations*. **27**(3), 71–87.
- 3) 社団法人地盤工学会 (2009) : 斜面の安定・変形解析入門-基礎から実例まで-.



**Fig. 3** 一次式を用いた際の安全率の比較

Comparison of safety factor using only first-order term



**Fig. 4** 交差項を考慮した際の安全率の比較

Comparison of safety factor using interaction term