

河川堤防の浸潤破壊に対する確率論的安全性評価法の提案

復建調査設計株式会社	正会員	○市川	勇人
復建調査設計株式会社	正会員	清水	豊
復建調査設計株式会社	フェロー会員	吉浪	康行
清水建設株式会社	フェロー会員	鈴木	誠
広島工業大学工学部	フェロー会員	中山	隆弘

1. 序論

これまでの設計指針における浸透に対する河川堤防の安定性評価は、浸透流解析と円弧すべり法による安全率で行われてきた。しかし、安全率を用いた評価ではある程度堤防の安全性を判定することは出来るが、安全性の余裕について、定量的な評価を求めることは困難である。

そこで、本研究では豪雨に対する堤体の安全性余裕を、堤体盛土の地盤物性値の不確実性を定量的に評価し、局所破壊とすべり円弧を仮定した全体破壊に対して、確率有限要素法を用いて破壊確率や信頼性指標で評価することを試みた。

2. 解析方法

まず、浸透流解析の時系列解析を実施する。次に解析結果である各時刻歴の地下水位と流速ベクトルを外力にとり、地盤パラメータの不確実性を考慮した確率有限要素法を実施する。解析の結果得られた局所破壊と全体破壊に対する安全性余裕を確率論的に評価するとともに、円弧すべり法により算出した安全率との比較検討を行う。

2.1 確率有限要素法 (SFEM)

有限要素法は構造工学のみならず地盤工学の分野においても用いられているが、多くの場合、土の材料特性のもつ確率変動を無視して確定値として扱っている。しかし、盛土等の安定問題では材料定数の確率変動が解析結果に大きな影響を与えることから、確率変動を考慮できる確率有限要素法が開発された^{1), 2), 3)}。

解析において確率変数としたパラメータは、単位体積重量 γ 、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ であり、性能関数は、各要素の破壊確率と単一すべり面を想定したすべり面上における全体破壊について想定している。

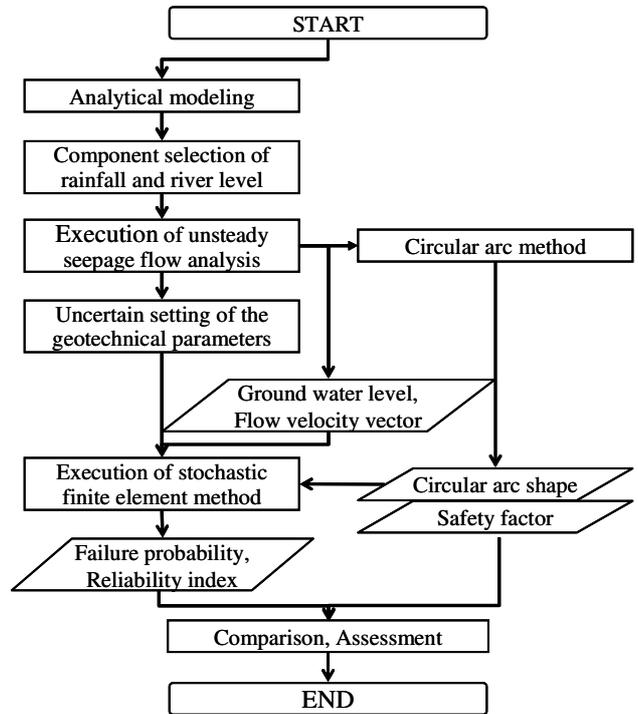


Fig. 1 Flowchart of the analysis

3. 解析概要

Fig.2 に示す堤防モデルは実際の堤防をモデル化したものである。数字は層番号を表しており、Table.1 は各地盤物性値である。また、有限要素は三角形定ひずみ要素であり、要素数は 4991 である。堤体の単位体積重量、粘着力および内部摩擦角の変動係数については既往の文献⁴⁾を参考にして Table.2 のように設定した。

また、浸透流解析に必要な外力条件（降雨量、河川水位）の時刻歴を Fig. 3 に示す。

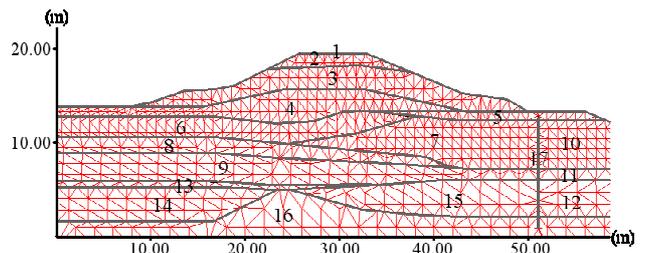


Fig. 2 Analytical model

キーワード 浸透流解析, 円弧すべり法, 安全率, 確率有限要素法, 信頼性指標
 連絡先 〒732-0052 広島県広島市東区光町 2-10-11 復建調査設計株式会社 TEL 082-506-1856

Table.1 Soil parameters

	γt (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	k (cm/s)
1	19.0	19.0	25.0	0.0	1.0×10^{-3}
2	19.0	19.0	17.0	22.0	1.0×10^{-5}
3	19.0	20.0	20.0	30.0	3.0×10^{-3}
4	19.0	20.0	0.0	35.0	2.0×10^{-1}
5	18.0	18.0	30.0	0.0	2.0×10^{-5}
6	19.0	20.0	94.0	15.0	3.0×10^{-3}
7	20.0	21.0	0.0	35.0	2.0×10^{-5}
8	18.0	18.0	0.0	50.0	1.0×10^{-2}
9	19.0	20.0	94.0	15.0	5.0×10^{-3}
10	20.0	21.0	0.0	35.0	1.0×10^{-1}
11	19.0	20.0	94.0	15.0	3.0×10^{-4}
12	20.0	21.0	0.0	35.0	1.0×10^{-5}
13	18.0	18.0	50.0	0.0	2.0×10^{-1}
14	19.0	20.0	0.0	30.0	3.0×10^{-3}
15	20.0	21.0	0.0	35.0	5.0×10^{-3}
16	20.0	21.0	0.0	40.0	1.0×10^{-6}
17	18.0	18.0	30.0	0.0	1.0×10^{-1}

Table 2 Coefficient of variation

	Coefficient of variation
Unit weight (γ)	0.02~0.08
Cohesion (c)	0.2~0.4
Internal friction angle (ϕ)	0.1~0.2

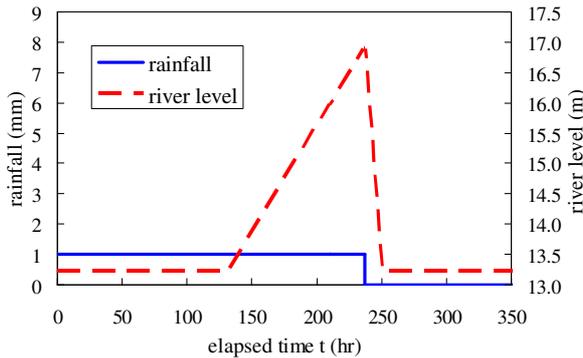


Fig. 3 External force model

この外力条件については、河川堤防の浸透に対する安全性検討を行う際に用いられている『河川堤防の構造検討の手引き』⁵⁾を参考に設定した。

4. 解析結果

Fig. 4にFsと θ の経時変化図を示す。ここでSFEM2は浸透力の影響を無視した解析結果である。SFEM2での θ とFsの挙動についてはよく一致している。しかし、浸透力を考慮したSFEMでの θ とは数値に差がある。特に河川水位が上昇するまでの時間帯の方が顕著であり、これは、浸透力を要素物体力として作用させるSFEMと円弧すべり法との解析手法の違いによるものである。

また、Fig. 5に θ と β の経時変化図を示す。同図によると、両者の挙動は比較的に良く一致している。したがって、河川水位等が変化する堤防の安全性を β で評価する意義は大きいものと判断できる。

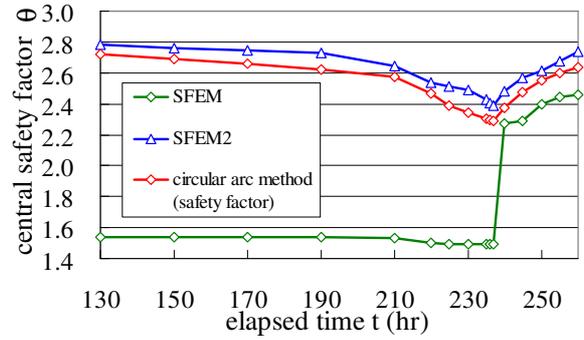


Fig. 4 Comparison between central safety factor and safety factor

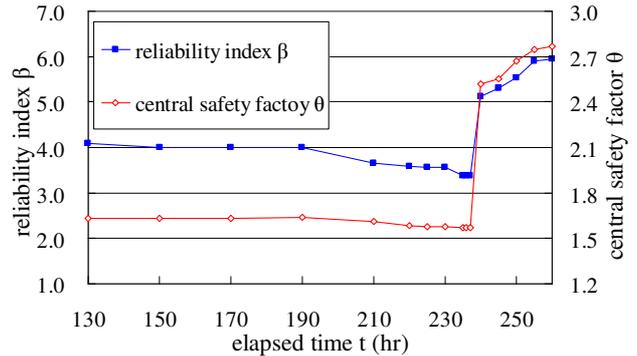


Fig. 5 Comparison between central safety factor and reliability index beta

5. 結語

堤防の中央安全率 θ と信頼性指標 β の経時的変化を比較した結果、河川水位の動向に関係なく、ほぼ同じ傾向が得られた。このことより、本手法のような方法により、河川水位等の変化する堤防の安全性を β で評価することの意義は大きい。

なお、今後の課題として、バラツキも大きく、浸透流解析結果(堤体内水位の時刻歴)にも大きく影響すると考えられる透水係数の不確定性や地盤物性値の空間的バラツキが堤防の信頼性指標に及ぼす影響について検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) K. Ishii & M. Suzuki: Stochastic finite element method for slope stability, Structural Safety, 4, pp.111-129, 1987.
- 2) 溜幸生, 桜井春輔: 確率有限要素法における破壊確率計算法の提案, 土木学会論文集, No.400/III-10, pp.225-231, 1988.
- 3) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986
- 4) 松尾稔: 地盤工学 信頼性設計の理念と実際, 技報堂, pp.62-71, 1984.
- 5) (財)土技術研究センター: 河川堤防の構造検討の手引き, JICE資料第102002号, 2002.