

ため池のリスク評価と信頼性設計

Risk evaluation and reliability-based design of earth fill dams

○西村伸一 松浦 健

NISHIMURA Shin-ichi and MATSUURA Ken

1. はじめに

ため池防災のため、各地では改修が進められつつあるが、それらの改修に際しては低コスト化が望まれている。そこで、本研究では、コストを最小化するための最適改修計画の決定手法の開発を最終目的とする。今回は、その第一段階として、ため池堤体の破壊確率と想定被害総額から、リスクを評価し、その値と堤体の更新費用からため池改修に関わる期待総費用を求めている。改修（ここでは前刃金工法）前後の総費用の比較を行い、改修効果を評価した。

2. 解析モデル

ここでは、図-1に示すモデルを解析に用いており、図(a)は改修前、図(b)は改修後をそれぞれ示している。即ち、均質型のため池を前刃金工法によって改修する場合を想定している。表-1には材料定数を示す。材料の構成式としては、通常モール・クーロン則を仮定し、強度定数としては、粘着力 c' および内部摩擦角 ϕ を考える。ここでは、強度定数を確率変数と考えているが、粘着力と内部摩擦角に対して、変動係数をそれぞれ、0.2と0.1を仮定する。地盤は空間的に相関性を有しているがそれを表現する自己相関関数として次式を仮定する。

$$r(\Delta x, \Delta z) = \exp\left[-\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{l_z}\right)^2}\right] \quad (1)$$

ここで、 Δx , Δz は、水平方向、鉛直方向の2点間の距離、 l_x および l_z は水平・鉛直の相関距離であるが、ここでは、 $l_x = 10 \text{ m}$, $l_z = 2 \text{ m}$ と仮定する。解析の際は、これらの確率変数に乱数を割り当て、モンテカルロ法の施行を繰り返し、破壊確率を求める。今回は、1000回の試行を行っている。

3. 信頼性設計理論

信頼性設計理論の範疇では、ライフサイクルコストLCCは、耐用年 t 年に対して、期待総費用 C_T として式(2)で与えられることになる。また、破壊損失は、1年当たりの破壊確率 P_f とそれに対応した破壊損失 C_f から式(3)によって得ることができる。

$$C_T(t) = C_I + C_M(t) + C_F(t) \quad (2)$$

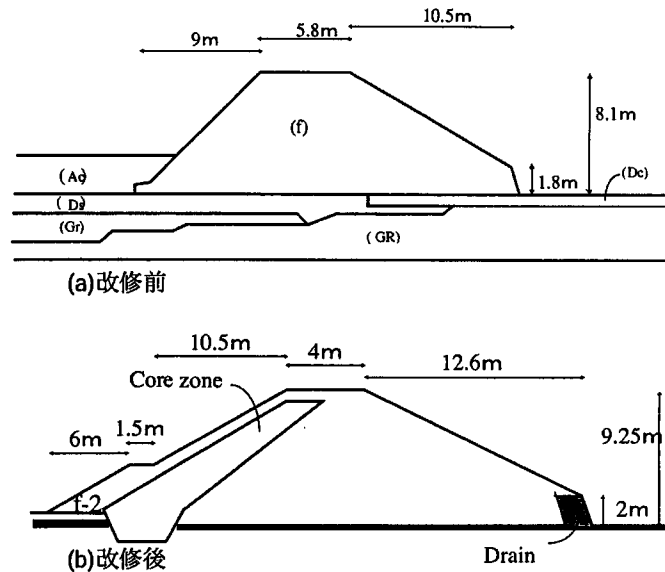


図-1 ため池の解析モデル
Models of analyzed earth fill dam

表-1 ため池堤体・地盤の材料定数
Material properties of earth fill dam and ground

Material	Wet density (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Friction Angle (°)	Permeability (m/d)
f	19.8	6	38	3.28
Ac	14.0	10	0	8.64x10 ⁻⁵
Ds	19.0	6	38	1.64x10 ⁻¹
Dc	15.0	38	0	8.64x10 ⁻⁶
Gr	20.0	50	38	1.00x10 ⁻⁵
GR	24.0	318	50	8.64x10 ⁻⁶
Core	17.6	20	27	8.64x10 ⁻⁴
f-2	17.1	19	26	3.28

$$C_F = \int_0^t P_{fa} C_f dt \quad (3)$$

C_I : 初期費用 + 更新費用 C_M : 維持管理費用

C_F : 期待損失費用

4. 解析結果および考察

今回は、設計洪水位に震度0.15を考慮した場合の堤体の安定性を解析の対象とする。第一に、ため池の改修前後の浸透流の解析を行い、間隙水圧を算定した。飽和・不飽和浸透流解析によって求められた圧力水頭値を図-2に示す。安定解析には弾粘塑性有限要素法²⁾を用いるが、図-3には、せん断強度低減法³⁾によって実施した安定解析結果が示されている。図は、強度定数の平均値を用いて求められた安全率に対応した相当粘塑性ひずみ速度分布を示している。図によると、改修前の塑性化領域は堤体の上流側のみならず下流側に広がっている。一方、改修後は、上流側に塑性化領域が現れ、すべり面らしき形を形成している。1000回のモンテカルロ法の試行の結果、改修前の破壊確率は、0.153、改修後の破壊確率は0.0と算定された。また、今回の計算例では、実際のため池に関するものを参照し、各種費用として次の値を用いている。

更新費用：143,700,000 円

決壊による想定被害額：944,813,000 円

今回は、確定的な震度を用いているため、時間に関連する要因を考慮せず、維持管理費を考慮しない。また、決壊した場合に、更新費用相当額で堤体の復旧を図るものとする。改修前後の期待総費用は次のようになる。

改修前： $C_{T1} = (944,813 + 143,700) \times 0.153 = 166,542$ 千円

改修後： $C_{T2} = 143,700 + (944,813 + 143,700) \times 0 = 143,700$ 千円

従って、改修による防災効果によってもたらされる便益は、 $C_{T1} - C_{T2} = 22,842$ 千円となる。

5. まとめ

信頼性設計理論に基づき、ため池の改修を例に、改修前後の期待総費用の比較を行った。ただし、今回は時間要因を考慮していない。また、ため池の破壊をすべり破壊に限定した。実際のため池の崩壊要因としては豪雨時の浸透破壊、越流が支配的と考えられ、今後考慮していく必要がある。

謝辞：本研究を進めるに当たって、岡山県農林部・柳田一広氏、長田照孝氏には、ため池に関する情報の提供などご配慮を賜った。記して謝意を表す。

参考文献：1) 地盤工学会中国支部(2002), "第3回地下水コロキウム in OKAYAMA 数値解析講習会テキスト-AC-UNSAF3D-", ; 2) Owen, D. R. J. and Hinton, E.(1980): *Finite elements in plasticity: Theory and Practice*, Pineridge Press, U.K.; 3) 鵜飼恵三(1990): 安定解析におけるせん断強度低減法の有用性, 土と基礎, 38(1), pp.67-72.

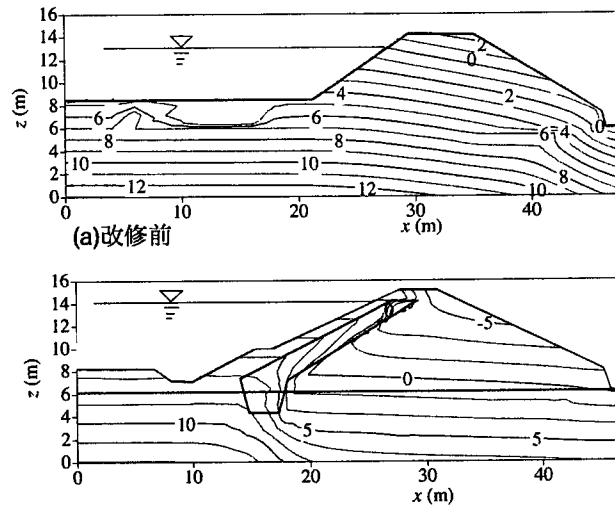


図-2 圧力水頭分布 (単位:m)
Pressure head distributions

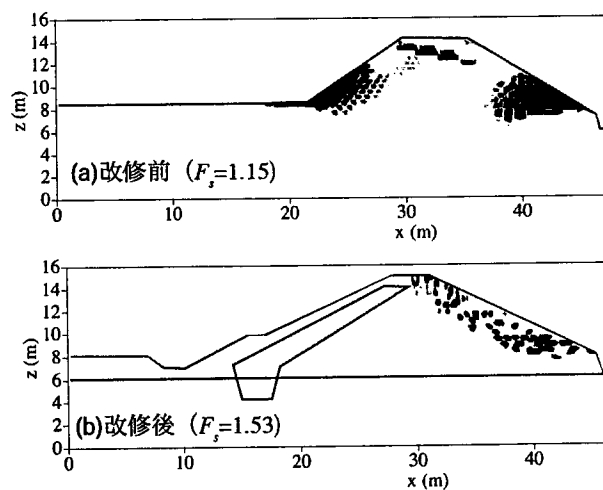


図-3 相当粘塑性ひずみ速度 (塑性化領域) の分布
Distributions of equivalent visco-plastic strain rate