

豪雨時の越流被害に対するため池堤体の信頼性設計

Risk evaluation and reliability-based design of earth-fill dams for overflow due to heavy rains

○西村伸一 森 俊輔 藤澤和謙 村上 章

NISHIMURA Shin-ichi, MORI Shunsuke, FUJISWA Kazunori and MURAKAMI Akira

1. はじめに

ため池は、江戸時代以前に建造されたものも多く、老朽化が激しく、豪雨によって毎年ため池が決壊するという事態が起こっている。ため池が決壊することにより周辺地域に災害が確実に及ぶことになる。本研究では、周辺への被害額を考慮して、改修の判定基準を決定する際の、豪雨時におけるため池堤体の越流のリスク評価を目的とする。ここでは、改修の前後における総コストの計算を行い、余水吐の改修効果について議論する。

2. 越流確率の計算方法

今回は、越流した場合、堤体が破壊に至ると仮定し、越流確率を算定するものとする。降雨を確率現象と見なした、貯留効果¹⁾を考慮した場合の越流確率 P_f の計算過程を図-1に示す。 P_f は、岡山市における年最大1時間降雨量および24時間降雨量に乱数を適用し、貯留効果を考慮して計算をする。 $h_d \leq h_p$ となる確率を越流確率 P_f と定義する。ここで、 h_d : 余水吐の設計越流水深(m), h_p : 貯留効果を考慮した計算による最大水深(m)である。越流確率は、 $h_d \leq h_p$ を満足する回数を総シミュレーション回数で割った値とする。さらに、確率が一定値になるまでシミュレーションを繰り返す。

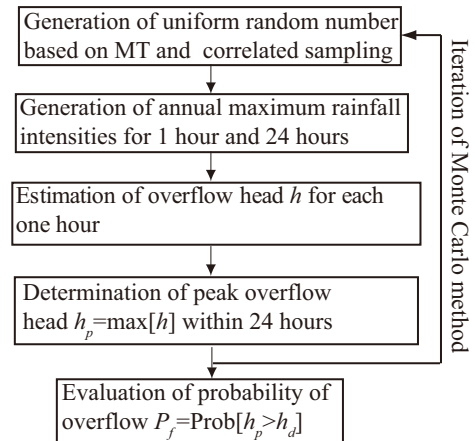


図-1 越流確率の計算アルゴリズム
Calculation algorithm for probability of overflow

3. 信頼性設計法

期待総費用は、改修による利益を余水吐の現在の状況と計画改修後の期待総費用をそれぞれ求め、その差として求める。供用年 t 年に対する期待総費用は次式で定義される。

$$C_T = C_0 + C_f \cdot E[n] \quad (1) \quad E[n] = \begin{cases} \sum_{k=1}^t [P_{fc}(1-P_{fc})^{k-1} \{1+(t-k)P_{ff}\}] & \text{(Current)} \\ t \cdot P_{ff} & \text{(Improved)} \end{cases} \quad (2) \quad C_D = C_{TC} - C_{TI} \quad (3)$$

ここで、 C_T : 期待総費用, P_{fc} : 改修前の越流確率, P_{ff} : 改修後の越流確率, C_0 : 改修費, C_f : 想定被害額, t : 供用年である。改修前後の期待総費用をそれぞれ C_{TC} , C_{TI} とし、改修による利益を次式の C_D を用いて評価する。

表-1 解析対象のため池の諸元
Profiles of analyzed earth-fill dams

	流出係数 f_p	流域面積 $A(\text{ha})$	越流係数 C	洪水吐幅 $B(\text{m})$	満水面積 $A_w(\text{m}^2)$	限界水深 $h_d(\text{m})$	貯留量 $V(\text{m}^3)$	初期水深 $H_{wl}(\text{m})$
A池	0.75	0.179	1.35	6.2	7700	0.54	18900	10.00
B池	0.75	0.179	2.11	4.6	3100	0.54	5000	7.50
C池改修前	0.76	0.128	1.77	4.0	3400	0.34	10800	8.10
C池改修後	0.76	0.128	4.10	4.4	3400	0.34	10800	8.10
D池改修前	0.76	0.128	1.39	4.2	3400	0.40	15700	9.80
D池改修後	0.76	0.128	3.78	4.4	3400	0.40	15700	9.80

4. 解析対象および洪水解析結果

ここでは、図-2に示すため池群（A, B, C, D）を解析の対象とする。ため池の諸元を表-1に示す。ため池は、すべて改修されるが、洪水吐が改修されるのは、C, D池のみで、この2つのため池に関しては改修前後で越流確率が変化することになる。越流確率を求めるためにモンテカルロ法を3,000万回繰り返すものとする。ここで、ため池C, Dは、上流のC池が破堤すれば必ずD池が破堤するが、D池のみが破堤するケースは見られなかったため、この2つの池を併せてCD池と表記することにする。

本研究では、被害域を同定するために、越流した場合の洪水シナリオシミュレーションを実施している。洪水シミュレーションの方法として二次元浅水方程式を有限体積法によって解く方法²⁾を用いる。図-3に、A, B, C, Dのすべてが破堤した場合の最大水深を示す。

5. 信頼性解析結果

表-2にはため池堤体の改修費用と、破堤した場合の補修費用を示している。ここでは、簡単のため2つの費用は同じと仮定した。表-3には、破堤のパターンに応じた越流確率（破堤確率）と想定被害額を示している。これらの値に基づきからリスクが計算されるが、CD池の改修によってリスクが大幅に減じている。このリスクに基づいて期待総費用と改修効果を式(4)に示す。すなわち、改修によって4,600万円程度の効果が見込めることになる。

$$C_D = C_{TC} - C_{TI} = 245,162 - 199,287 = 45,875 \text{ (1,000JPY)} \quad (4)$$

6. まとめ

降雨データに基づき、ため池堤体の越流確率を算出し、期待総費用を算定する方法を示した。また、想定被害域を有限体積法により推定した。今回は、特に、余水吐の改修効果に着目し、これが改修前後における期待総費用の差によって評価できることを示した。

謝辞：本研究の研究の遂行に際して、岡山県備前県民局には便宜を図っていただいた。記して謝意を表する。

引用文献 1) 農業土木学会 (2006): 土地改良事業設計指針「ため池整備」 2) Yoon, T. H. and Kang, S-K (2004): Finite volume model for two-dimensional shallow water flows on unstructured grids, *J. Hydraul. Eng.*, pp.678-688.

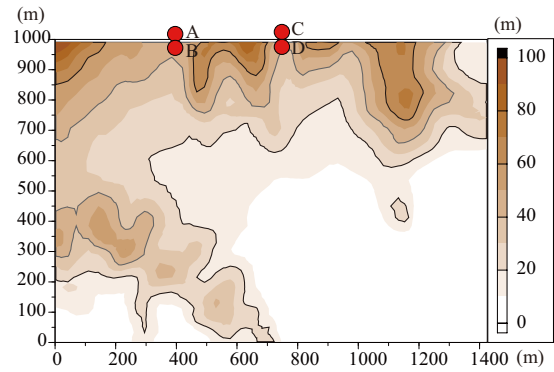


図-2 ため池の位置と地形

Positions of earth-fill dams and surrounding topography

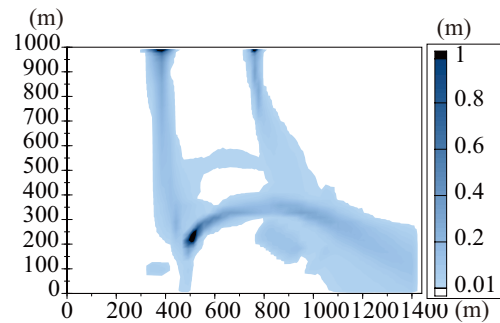


図-3 浸水領域における最大水深 (全ため池が破堤した場合)

Maximum head of flooding discharge

表-2 ため池堤体の改修・修復費用
Improvement and restoration costs of earth-fills

	改修費 C ₀ (千円)	修復費 (千円)
A池	0	91,400
B池	0	66,300
C池	199,200	
D池		

表-3 信頼性解析とリスク評価結果
Results of reliability analysis and risk evaluation

越流パターン			CD池改修前	CD池改修後	想定被害額	CD池改修前	CD池改修後
A池	B池	CD池	越流確率 P _{TC}	越流確率 P _{TI}	C _r (千円)	リスク R(千円)	リスク R(千円)
破堤			0.00000E+00	0.00000E+00	782,096	0	0
破堤	破堤		7.00000E-07	7.00000E-07	851,363	30	30
破堤	破堤	破堤	0.00000E+00	0.00000E+00	1,105,027	0	0
破堤		破堤	0.00000E+00	0.00000E+00	1,016,895	0	0
	破堤		0.00000E+00	1.73333E-06	660,537	0	57
	破堤	破堤	1.75000E-06	0.00000E+00	970,936	85	0
		破堤	8.49495E-03	0.00000E+00	576,925	245,048	0
合計			---	---	---	245,162	87