

# 豪雨時のため池の越流リスクを考慮した信頼性設計

Reliability-based design considering overflow risk of embankment of irrigation tank for heavy rain

○森 俊輔\* 西村 伸一\*

○MORI Shunsuke and NISHIMURA Shinichi

## 1. はじめに

ため池は日本全国各地に、約 21 万ヶ所以上存在する。江戸時代以前に建造されたため池は老朽化が激しく、約 2 万個が改修を必要としている。豪雨によって毎年少くない数のため池が決壊している。そのため、ため池が決壊することにより周辺地域にも二次的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越流のリスク評価を目的とする。ここでは、特に余水吐の改修を対象としリスク評価を行う。

## 2. 解析方法

次の二つの方法で越流確率を算定する。今回は、越流した場合、堤体が破壊に至ると仮定する。方法 1 では貯留効果は考慮せず、安全側の結果を与える簡便法である。方法 2 はより厳密な方法である。

**方法 1:** 降雨データから年最大有効降雨強度  $r_e$  (mm/h)の確率分布を求める。分布形には極値分布の Gumbel 分布に適合させる。適合させることにより、ある任意年における越流確率を導ける。そこで、洪水流量による越流確率  $P_1$  は、 $P_1 = \text{Prob}[Q_d \leq Q_p]$  と定義する。

$$Q_d = C_d \cdot B \cdot h_d^{3/2} \quad (1)$$

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad (2)$$

ここで、 $Q_d$ : 余水吐能力( $\text{m}^3/\text{s}$ )  $Q_p$ : 洪水流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )  $C_d$ : 流量係数  $B$ : 堰の有効幅(m)  $h_d$ : 実際の余水吐の越流水深(m)  $A$ : 流域面積( $\text{km}^2$ )である。

**方法 2:** 貯留効果を考慮した場合の越流確率  $P_2$  は、年最大 1 時間降雨量および 24 時間降雨量にメルセンヌ・ツイスタを用いた乱数を適用し貯留効果を考慮して計算<sup>1)</sup>をする。 $h_d \leq h_p$ を満足する確率を越流確率  $P_2$  と定義する。ここで、 $h_d$ : 実際の余水吐の越流水深(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。この計算過程を、図 1 に示す。越流確率  $P_2$  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。今回は確率計算の高精度化をはかる目的でモンテカルロ法の一つ負相関法を用いる。ここで、計算過程で算出した越流確率  $P_2'$ (一様乱数  $u$  による計算結果)と  $P_2''$ (負相関法を適用した $(1-u)$ による計算結果)の二つの確率により、越流確率  $P_2$  は、次の式で得られる。

$$P_2 = (P_2' + P_2'') / 2 \quad (3)$$

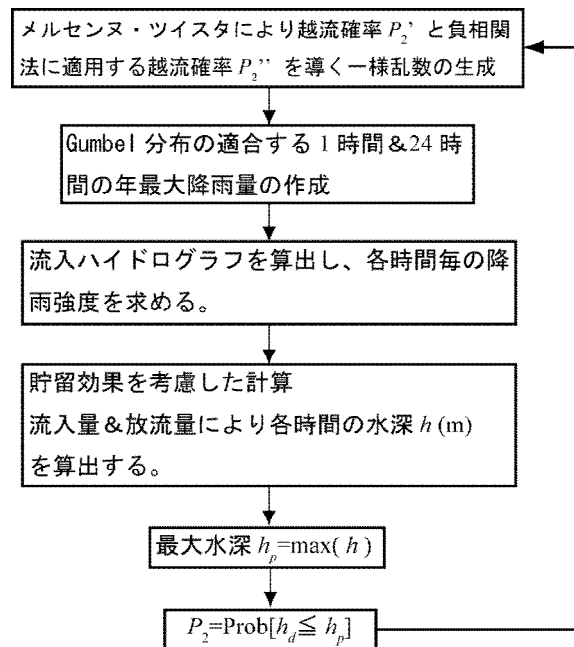


図 1 計算過程

Calculation process

\*岡山大学,環境学研究所:Okayama University, Graduate School of Environmental Science キーワード:信頼性設計, ため池の改修

期待総費用の計算方法：越流確率  $P_1, P_2$  を用い、改修による利益は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。期待総費用は次式で定義される。

$$C_T = C_0 + R$$

$$= C_0 + C_f \times P_i \times t \quad (4)$$

ここで、 $C_T$ ：期待総費用  $R$ ：リスク  $P_i$ ：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、 $C_{Tb}, C_{Ta}$  とする。改修による利益  $C_d$  は、次の式で得られる。

$$C_d = C_{Tb} - C_{Ta} \quad (5)$$

### 3. 解析結果と考察

本研究の解析対象として用いたため池の概要を表 1 に示す。そして、二つの解析方法で算出した越流確率の結果をそれぞれ表 2 に示す。方法 1 を用いた場合、現在の状況による余水吐では、越流確率  $P_1$  が約 0.07 であるが、計画改修後の越流確率  $P_1$  は 0.00004 となり安全性が高まるといえる。方法 2 では、越流確率  $P_2$  は、 $P_1$  と比較するとかなり低い値となった。計画改修後において越流確率  $P_2$  は非常に低く 0 に近い値となった(方法 2 ケース 1)。また、豪雨の確率が現況よりも高い場合も想定した解析を行った。具体的には、方法 2 で乱数を適用した年最大降雨量を 1.25 倍した年最大降雨量を用い越流確率  $P_2$  を計算した(方法 2 ケース 2)。結果、現在の余水吐の越流確率は 7 倍となった。改修費用  $C_0$  と想定被害額  $C_f$  を表 3 に与える。これらに基づいて供用年 50 年とした場合の期待総費用と余水吐の改修前後における改修による利益を計算した結果を表 4 に示す。ケース 1 とケース 2 で比較すると、ケース 2 の  $C_d$  の数値がケース 1 の  $C_d$  の数値の 4 倍になっている。このことから、豪雨の発生が高くなり期待総費用が上がると同時に改修による利益(効果)も大きくなる。

### 4. 結論

降雨データに基づきため池の余水吐に関して越流確率を算出し、期待総費用を算定する方法を示した。今回は、改修効果を余水吐の期待総費用によって評価した。さらに、期待総費用を用いることで改修の優先順位決定に用いることもできる。ただし、今回は越流という事象のみ考慮しており、実際には、浸透破壊などため池に関する他の決壊要因で破壊することがある。今後は、他の決壊要因に対しても解析を行い、検討する必要がある。

参考文献：1) 農業土木学会 (2006)：土地改良事業設計指針「ため池整備」，農業土木学会 29-32, 133-143

表 1 解析対象ため池の概要

Outline of irrigation tank

	現在の状況	計画改修後
流域面積 $A$ (km <sup>3</sup> )	0.128	0.128
洪水到達時間係数 $C$	315.36	315.36
流出係数 $f$	0.76	0.76
流量係数 $C_d$	1.77	4.1
堰の有効幅 $B$ (m)	4	4.4
越流水深 $h_d$ (m)	0.34	0.34

表 2 越流確率

Probability of over flow

	$P_1$	$P_2$	$P_2(1.25倍)$
現在の状況	0.066219	0.008619	0.055760
計画改修後	0.000039	0.000000	0.000003

表 3 費用

Costs

改修費 $C_0$ (千円)	被害額 $C_f$ (千円)
87500	574769

表 4 改修利益 (供用年 50 年)

Benefit of improve (life time period 50 years)

	$C_d$ (千円)	$C_{Tb}$ (千円)	$C_{Ta}$ (千円)
方法1	467453	556073	88620
方法2(ケース2)	114429	201929	87500
方法2(ケース2)	454553	542139	87586