

豪雨時の越流被害に対するアースダムの信頼性設計

岡山大学大学院環境学研究科 正会員 ○西村伸一

岡山大学大学院環境学研究科 森 俊輔

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ものも多く、老朽化が激しいため、約 2 万個が改修を必要としているが、豪雨によって毎年少くない数のため池が決壊している。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、豪雨時におけるため池堤体の越流によるリスク評価を行うことを目的とする。さらに、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、次の二つの方法で越流確率を算定するものとする。通常、ため池では、流入量が余水吐の能力を超えた場合に水位が増加し、ついには越流すると考える。方法 1 は、簡便であるが、安全側の仮定で、余水吐の水位が上昇に向かった時点で、越流すると判断する方法とする。しかし、実際は、余水吐の水位が上昇し始めてから越流するまでは若干余裕があり、これを貯留効果と呼ぶ。方法 2 は、厳密に貯留効果を考慮しようとする方法である。それぞれの計算方法は次のとおりである。

1) 方法 1: 降雨データから年最大平均有効降雨強度 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。越流確率 P_1 は式 (1) で定義することができる。

$$P_1 = \text{Prob}[Q_d \leq Q_p] \quad (1) \quad Q_d = C_d \cdot B \cdot h_d^{3/2} \quad (2)$$

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \cdot r_e \cdot A \quad (3)$$

ここで、 Q_d : 余水吐能力 (m^3/s)、 Q_p : 洪水流量 (m^3/s)、 C_d : 流量係数、 B : 堰の有効幅 (m)、 h_d : 余水吐の設計越流水深 (m)、 A : 流域面積 (km^2) である。

2) 方法 2: 貯留効果を考慮した場合の越流確率 P_2 の計算過程を図-1 に示す。 P_2 は、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¹⁾。

$h_d \leq h_p$ となる確率を越流確率 P_2 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 (図-2)。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 2 つの値の平均値とする。

3. 信頼性設計法

期待総費用は、越流確率 P_1 , P_2 を用い、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の差として求める。期待総費用は、一般に次式で定義される。

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

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

キーワード: 信頼性設計, リスク評価, アースダム, 越流, 降雨強度分布, 豪雨災害

連絡先 (〒 700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学環境理工学部・TEL&FAX: 086-251-8162)

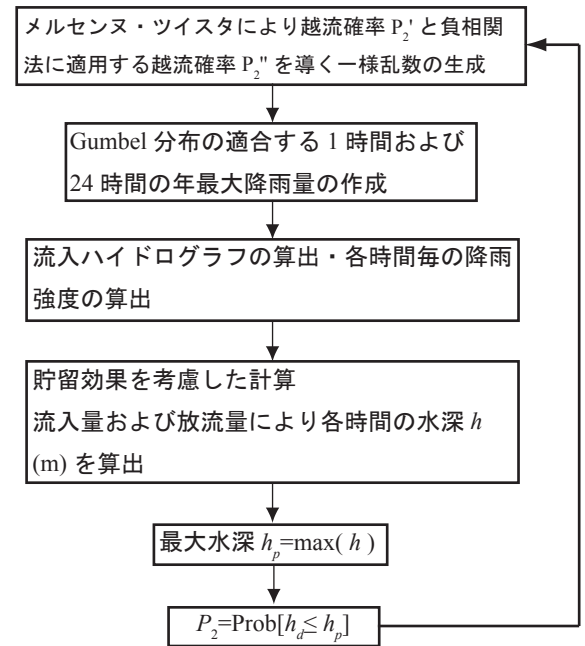


図-1 越流確率の計算過程

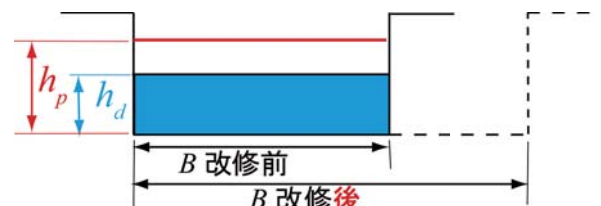


図-2 余水吐における水深の定義

の期待総費用をそれぞれ C_{Tb} , C_{Ta} とし、改修による利益を次式の C_D を用いて評価する。

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

4. 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。改修によって、余水吐の能力が増大するように設定されている(図-2)。また、降雨特性として、岡山市におけるものをを用いることとし、図-3に、年最大10分、1時間、24時間降雨強度の分布を示している。図では、観測値に Gumbel 分布を適合させたものを示している。解析では、この降雨特性を用いたものをケース1とする。また、豪雨の確率が現況よりも高くなる場合を想定した解析も実施し、これをケース2とし、年最大降雨量を1.25倍した場合を想定する。図-4には、平均有効降雨強度分布を与えており、この値と、式(1)~(3)を経由して、 P_1 が計算される。2つの解析方法で算出した越流確率を、それぞれ表-2に示している。ケース1の場合、方法1によると、現在の状況による余水吐では越流確率 $P_1=0.07$ であるが、計画改修後の越流確率は $P_1=0.00004$ となり、安全性が相当高まっているといえる。方法2による越流確率 P_2 は、 P_1 と比較すると低い値となり、方法1ではかなり安全側の設計になることが分かる。計画改修後において越流確率 P_2 は非常に低く、0に近い値となっている。降雨ケース2については、越流確率 P_2 を計算しており、結果によると、現在の堤体での越流確率は、ケース1の7倍となっている。次に、表-3に与える改修費用 C_0 と想定被害額 C_f を用いて、期待総費用の計算を行っている。これらに基づいて、供用年50年とした場合の余水吐の改修前後における期待総費用と改修による利益を表-4に示している。これによると、ケース1の場合、 P_2 では、改修によって $C_D=160$ (百万円)の利益が生じることになる。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10倍になっている。このことから、豪雨の発生が高くなると、期待総費用の上昇に伴い、改修による利益(効果)も非常に大きくなることが理解できる。

5. 結論

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。今回は、特に、余水吐の改修効果に着目し、これを改修前後における期待総費用の差によって評価した。期待総費用は、今後、改修の優先順位決定に用いることもできると考えられる。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、浸透破壊やすべり破壊など、他の要因で決壊する可能性も高いため、今後は、これら他の決壊要因に対しても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」

表-1 流出特性と余水吐の緒言

パラメータ	現在の状況	計画改修後
流域面積 A (km ³)	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	4.10
堰の有効幅 B (m)	4.0	4.4
越流水深 hd (m)	0.34	0.34

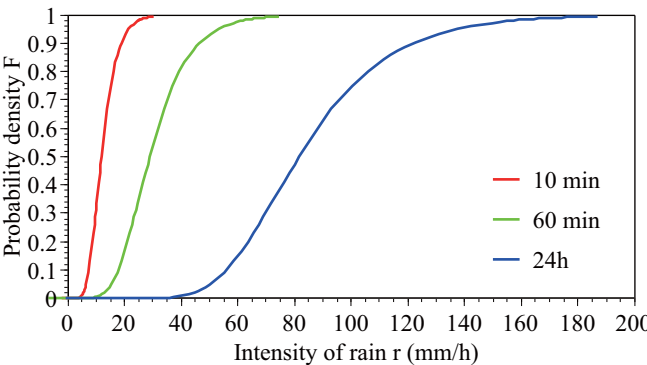


図-3 年最大降雨強度分布 (岡山市, 45 年間)

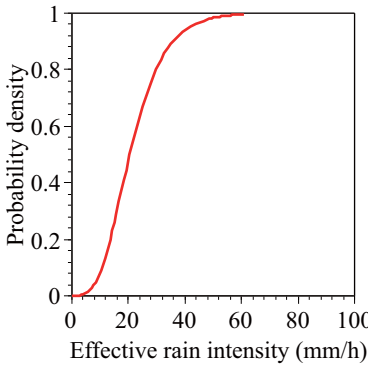


図-4 平均有効降雨強度分布 (岡山市, 45 年間)

表-2 越流確率の計算結果

降雨ケース	ケース1	ケース1	ケース2
越流確率	P_1	P_2	P_2
現在の状況	0.066219	0.008619	0.055760
計画改修後	0.000039	0.000000	0.000003

表-3 諸コスト

改修費 C_0 (千円)	被害額 C_f (千円)
87,500	574,769

表-4 総コストの計算結果

	C_D (千円)	C_{Tb} (千円)	C_{Ta} (千円)
P_1	1,814,411	1,903,031	88,621
P_2 (ケース1)	160,197	247,697	87,500
P_2 (ケース2)	1,514,870	1,602,456	87,586