降雨統計モデルに基づいたため池の越流確率の算定と信頼性設計

Reliability-based Design of Earth-fill Dams against Overflow with Statistical Model of Precipitation

○長尾遥奈　西村伸一　藤澤和謙
NAGAO Haruna, NISHIMURA Shin-ichi and FUJISAWA Kazunori

1. はじめに　本研究は，豪雨時のため池の越流確率を算定しようとするものである．実際の降雨データから決定した統計モデルに基づいた乱数を用いて疑似降雨を生成し，実降雨パターンに近い降雨波形を再現する．生成した擬似降雨を用いてため池堤体の越流確率を算定し，その結果に基づいて期待総費用を求め洪水吐の改修効果を評価した．

2. 擬似降雨作成の過程　降雨の統計モデルを決定するために，岡山気象台で収集された，1952 年～1960 年，1976 年～2009 年（44 年分）の年最大観測値を使用した[3)]．44 通りある図 1 のような実際の 72 時間連続降雨分布を使用し，降り始めから a 時間目の降雨強度 x(mm/h)の累積分布 x-F を表すと図 2 となる．72 時間分の累積分布を用いて，図 3 に示す方法で擬似降雨の各時間の降雨強度を 1 セット 72 個として生成すると，a 番目に生成された乱数 X_a は擬似降雨の a 時間目の降雨強度となる．すべての時間の降雨強度を連続させた擬似降雨の一例を図 4 に示す．

3. 降雨量の再配分　対象観測値の特性に影響され越流が起こるパターンが固定されることを防ぐため，擬似降雨は越流確率の算定にそのまま用いる場合と，図 5 に示す年最大実降雨の 72 時間総雨量を表す極値分布から総雨量乱数を生成し，疑似降雨波形に基づく総雨量をこれにすり合わせて擬似降雨における 1 時間ごとの降雨量を再配分した場合についても検討する．実際の総雨量分布に従う乱数 T を用いて次式より擬似降雨の 1 時間降雨量を再配分する．

$$X_i' = \left(T \Big/ \sum_{i=1}^{72} X_i \right) \cdot X_i$$

X_i, X'_i :再配分前後の降雨強度
T:実降雨総雨量分布に従う乱数

得られた X_i'を 72 時間分連続させ，降雨量再配分を行った場合の擬似降雨とする．

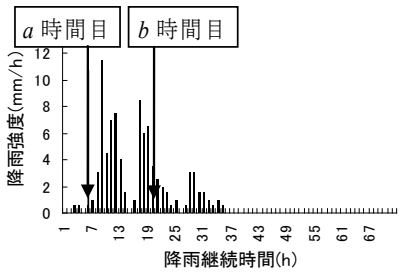

図 1　実際の降雨分布の例
An example of actual precipitation

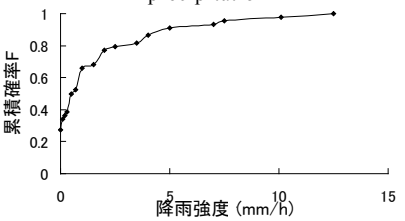

図 2　a 時間目における降雨強度の累積分布（a=6）
Cumulative probability distribution of precipitation intensity at 6th period

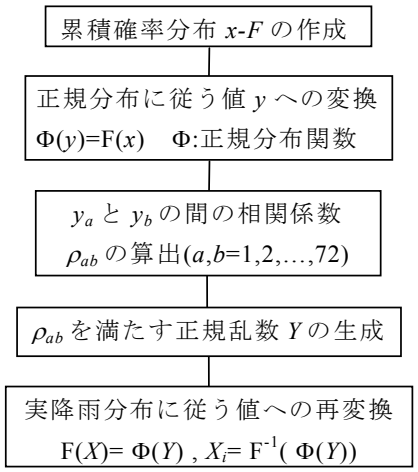

図 3　擬似降雨生成のフロー
Flowchart for generation of random numbers to simulate precipitation

岡山大学大学院環境学研究科　Graduate School of Environmental Science, Okayama University
キーワード：ため池，越流確率，信頼性設計

4. 越流確率の算出　越流確率の算出は貯留効果を考慮して洪水吐水深 h の計算に以下の式で表せる水の流出入変化を用いる.

$$Q_{in} = (1/3.6)\cdot f_p \cdot r \cdot A \ , \quad Q_{out} = C \cdot B \cdot h^{3/2}$$

Q_{in} :流入量，A:流域面積，r :降雨強度，f_p:流出係数
Q_{out} :放流量，C :越流係数，B :堰の有効幅，h:水深

この過程で流入量 Q_{in} を求める際，降雨強度 r に作成した擬似降雨を使用する.流出係数 f_p については 0.7～0.8 の範囲[4]で一様乱数を用いた. 流出入量の変化から貯留量を求め一時間ごとの水位を計算し，最高水位である越流総水頭 h_p を得た. h_p が洪水吐の設計限界水深 h_d を上回る場合を越流と定義すると, 越流確率 P の条件式は P=prob[h_d<h_p]で与えられる.

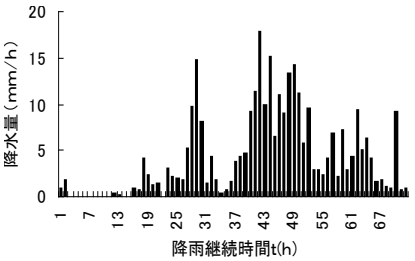

図 4 作成した擬似降雨の例
An example of simulated precipitation

5. 改修効果の評価　算出した越流確率 P から，期待総費用 C_T 及び最終的に評価する改修効果 C_D は次式より計算できる.

$$C_T = C_0 + C_f \cdot E[n] \qquad C_D = C_{Tb} - C_{Ta}$$

$$E[n] = \begin{cases} \sum_{k=1}^{t} \left[P_b (1-P_b)^{k-1} \{ 1 + (t_l - k) P_a \} \right] & \text{（改修前）} \\ t \cdot P_a & \text{（改修後）} \end{cases}$$

C_0 :改修費，C_f:推定被害額，C_{Tb}, C_{Ta} :改修前後の期待総費用
$E[n]$: 供用年 t における越流発生回数の期待値，P_b ,P_a: 改修前後の越流確率

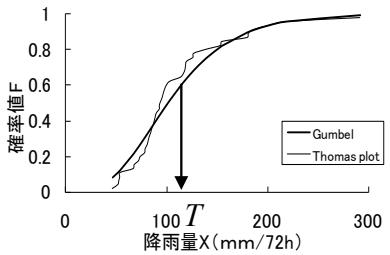

図 5　年最大連続降雨の確率分布
Cumulative distribution of maximum annual continuous precipitation

6. 算定結果　あるため池について疑似降雨の降雨量再配分を行わない場合(A)と行う場合(B)について越流確率を算出すると，表 1 のように降雨量再配分を行う場合に越流確率が大きく計算され，安全側の意思決定を行うことができる. B の場合を採用し改修費 C_0 が 87500 千円，破堤した場合の推定被害額が 574769 千円, 供用年を 100 年として算定した結果が表 2 である. 改修効果は 5557 万 9 千円となった.

表 1　越流確率
Overflow probability

	越流回数	越流確率 P
A 改修前	581	0.000581
改修後	0	0.000000
B 改修前	2877	0.002877
改修後	16	0.000016

A:降雨量再配分無し B:降雨量再配分有り

7. 結論　本研究では，降雨統計モデルを用いた擬似降雨の作成手法を提案し，洪水吐能力との比較により越流確率を算定し，改修費用や破壊損失費用を考慮した信頼性設計法を提案した。実際のため池を対象に，本手法を適用し，改修効果を評価することができた.

表 2　改修効果　Effect of improvement

	期待値 $E[n]$	期待総費用 C_T(千円)	改修効果 C_d(千円)
改修前	0.250532	143998	
改修後	0.001600	88420	55579

参考文献　1)農林水産省農村振興局整備部設計課(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

2)岩井重久，石黒政儀(1970) : 応用水文統計学，森北出版，109-118

3)岡山地方気象台 電子閲覧室 (http://www.data.kishou.go.jp/etrn/prefecture/index66.html)

4)農林水産省農村振興局 (2006) : 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　計画「排水」基準，基準の運用，基準及び運用の解説，技術書，農業土木学会，205-206