

ため池堤防の越流決壊に伴う洪水流出予測手法の提案 Proposal of Flood Outflow Prediction Method for Overbank Breach of Reservoirs

原田 紹臣*, 里深 好文**, 水山 高久*
Norio HARADA*, Yoshifumi SATOFUKA** and Takahisa MIZUAYAMA*

1. はじめに

近年、国土強靱化を目的とした流域治水対策において、既存ため池の有効活用が期待されている。一方、地震や集中豪雨の影響によるため池決壊に伴う洪水流出及びその下流域で発生する甚大な洪水被害が報告¹⁾されており、それらのリスクの把握は重要である。

そこで、本研究ではため池堤防から越流決壊に伴って流出する洪水流出過程に関して、実溪流において筆者らが実施したため池堤防の決壊実験結果²⁾を対象に、提案する河床変動解析モデルを用いて再現計算し、モデルの適用性について検証した。さらに、実規模におけるため池堤防からの流出過程に影響を与える要因に関して条件を変化させた検討により考察した。

2. ため池堤防の越流侵食過程に関する数値計算

本研究では、筆者らが実施した小規模な堤防決壊の実験結果²⁾を対象に、二次元河床変動解析モデルを用いて堤防の侵食過程及び洪水流出過程について再現計算し、実験結果との比較を通じてモデルを検証する。

(1) 既往実験の概要

筆者らの実験は、河床に堆積物がなく露岩している河道幅約 5m 程度の溪流において比較的均一な粒径の土砂を用いて堤防を作製し、自然湛水させた後に決壊させた。実験における堤防形状等の概要を図-1 に示す。

(2) 支配方程式

二次元的な場での x 方向（流下方向）における流水の運動方程式、 y 方向（横断方向）における流水の運動方程式、流れの連続式、流砂の連続式及び河床の連続式は、それぞれ次のように表される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = i_b \quad (3)$$

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chu}{\partial x} + \frac{\partial Chv}{\partial y} = i_b C_s \quad (4)$$

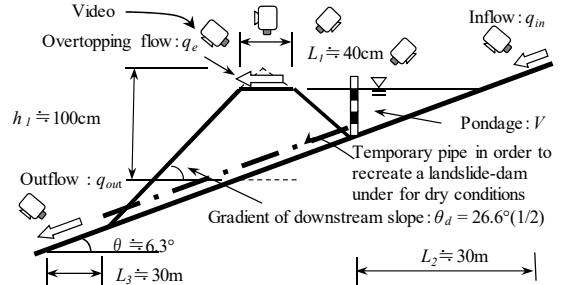


図-1 実溪流において作製したため池堤防の形状²⁾

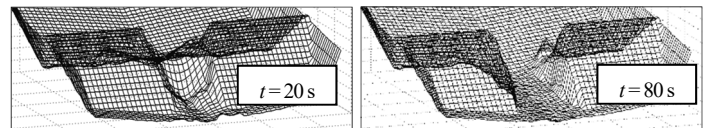


図-2 堤防侵食過程の解析結果（可視化）の一例

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i_b = 0 \quad (5)$$

ここに、 x は流下方向の距離、 y は横断方向の距離、 u は x 方向の平均流速、 v は y 方向の平均流速、 t は時間、 ρ は流動層の密度、 p は圧力、 ε は渦動粘性係数、 τ_x 、 τ_y は x 、 y 方向の河床せん断力、 h は流動層深、 g は重力加速度、 z は河床高、 C は流動層における土砂濃度、 C_s は河床の堆積濃度、 i_b は堆積物の侵食または堆積速度である。なお、河床せん断抵抗則はマニング則を用いて算出し、圧力に関しては静水圧近似を行っている。河床侵食速度については、土砂濃度を用いた従来のモデル³⁾をそのまま用いる。

(3) 解析条件

実験とほぼ同じ条件を想定した解析条件として、土砂の粒径を 1.5 mm、内部摩擦角を 37 度、 $\Delta t = 0.001$ s、 $\Delta x = 0.1$ m、 $\Delta y = 0.1$ m、 $\rho = 1.1$ kg/m³、マニングの粗度係数を 0.05 m^{-1/3}s とし、越流侵食による堤防の侵食過程及び洪水流出過程について解析した。

(4) 解析結果と実験結果との比較

越流侵食による堤防の拡幅過程の解析結果を三次元的に表現したものを、図-2 に示す。縦侵食と拡幅侵食（側岸侵食）過程を図-2 に示しており、定性的だが再

*京都大学大学院農学研究科/Kyoto Univ., **立命館大学/Ritsumeikan Univ., キーワード：ため池, 越流侵食, 数値解析, 実験

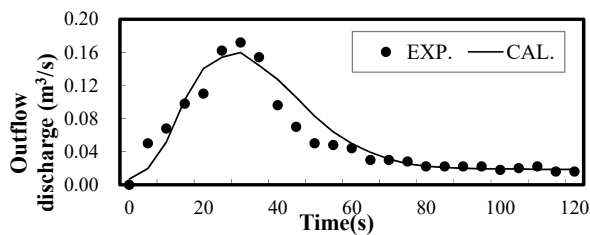


図-3 流出ハイドログラフの実験値と計算結果

表-2 実規模への適用性に関する解析ケース

Type	Dam height (m)	Dam volume(m ³)
CASE 1-1	5.8	7,400
CASE 1-2	18.0	910,000
CASE 1-3	5.8	42,600
CASE 1-4	5.8	96,000

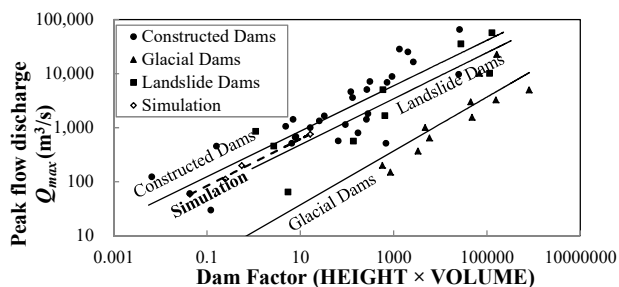


図-3 流出ピーク流出量とダムファクター⁴⁾に一部調整の関係

現性について確認している。また、流出ハイドログラフの実験結果と解析結果との比較を図-3に示す。全体的に、実験の傾向が再現できていることが確認された。

3. 実規模における洪水流出に与える影響の検討

提案する二次元河床変動解析モデルを用いて、実規模（スケール）への適用性について検討した。

(1) 解析モデルの実規模への適用性に関する検証

表-2に示す過去に発生した災害事例⁴⁾ (CASE 1-1, 1-2) 及びそれを基に仮定した条件 (CASE 1-3, 1-4) を用いて解析した。なお、適用性について検証するため従来から経験的に求められているピーク流出量とダムファクター（ダム高さ (m) とダム決壊時の上流貯水量 (10⁶ m³) との積) との関係⁴⁾に本解析結果をプロットしたグラフを図-3に示す。本解析結果は従来の経験則と似た傾向を示しており、実規模への適用に関して妥当性があることが分かった。

(2) 洪水流出過程に影響を与える要因に関する検討

実規模におけるため池堤防からの洪水流出過程に影響を及ぼす要因に関して、ダム湛水量、ダム高さ及び堤防の上下流法勾配をそれぞれ変化させて検討した (表-3)。ダム高さを一定とし、湛水量を変化させて解析した結果を図-4に示す。各ケースのピーク流出量の比と湛水量の比が近似していることが分かる。これ

表-3 洪水流出過程に影響を与える要因に関する解析ケース

Type	Dam height (m)	Dam volume(m ³)	Gradient of slope	
			Up(u)	Down(d)
CASE 2-1	6.0	2,600	1/2.5	1/2.5
CASE 2-2		5,200		
CASE 2-3		7,800		
CASE 2-4	2.0	2,600	1/2.0	1/2.0
CASE 2-5	4.0			
CASE 2-6	6.0			
CASE 2-7	6.0	7,800	1/2.0	1/2.0
CASE 2-8			1/2.5	1/2.5
CASE 2-9			1/3.0	1/3.0
CASE 2-10	1/2.5	1/3.0	1/2.5	1/2.0
CASE 2-11			1/3.0	1/3.0
CASE 2-12			1/2.0	1/2.5
CASE 2-13	1/3.0	1/2.5		

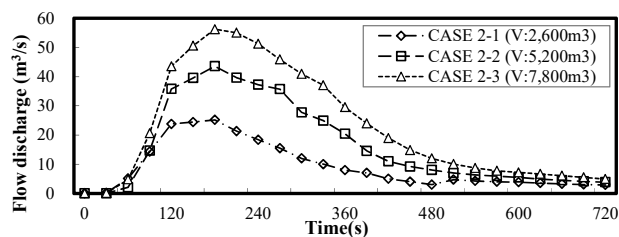


図-4 ダム湛水量(V)を変化させた洪水流出過程の相違

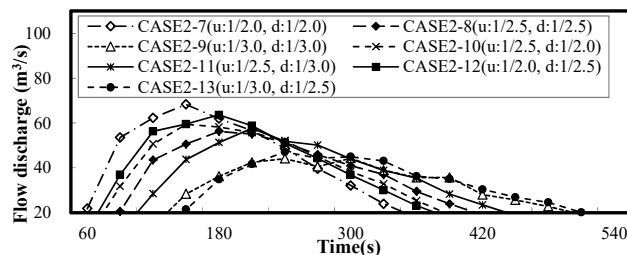


図-5 堤防の法勾配(up, down)を変化させた洪水流出過程の相違

より、湛水量が洪水流出に強く影響を与えていることが分かる。堤防の上下流における法勾配をそれぞれ変化させて解析した結果を、図-5に示す。堤防における上下流の勾配とも急になる程、ピーク流出量が大きい傾向を示している。本研究において、洪水流出過程が従来から報告されている下流側の勾配だけでなく、上流側の勾配にも影響されていることが分かった。

参考文献

- 1) 小嶋創・吉迫宏・竹村武士・李相潤・正田大輔・三好学・安芸浩資；中山間傾斜地谷部の決壊事例に基づくため池決壊氾濫解析手法の検討，農業農村工学会論文集，Vol. 92, No. 1, pp. 29-40, 2024.
- 2) 原田紹臣・里深好文；堆積部中の不飽和浸透過程を考慮した侵食に関する研究，河川技術論文集，vol.18, pp.287-292, 2012.
- 3) 高橋保・中川一；豪雨時に発生する石礫型土石流の予測，砂防学会誌，Vol.44, No.3, pp.12-19, 1991.
- 4) John E. Costa; Floods from dam failure, *Flood geomorphology*, pp.436-439, 1988.