

II-101 天然ダムの越流侵食による土石流規模

京都大学大学院 学生員 匡 尚富

京都大学防災研究所 正会員 高橋 保

1. はじめに: 従来の研究によれば天然ダムは大体(1)越流侵食、(2)すべり決壊、(3)進行性崩壊の3過程のどれかをたどって決壊する。その結果形成される土石流の規模はそれぞれの決壊過程に応じて異なる。したがって、天然ダムの決壊による土石流規模を予測するには各決壊過程のメカニズムを明らかにし、それぞれの予測手法が与えられる必要がある。本研究ではその一環として、まず天然ダムが越流侵食する場合の土石流規模の簡単な予測手法を提案する。

2. 理論的考察: 天然ダムが形成された後、上流からの給水が継続すると、堤体の透水係数が十分小さい場合、堤体中の浸透流の進行に比べて、ダム上流の水位上昇速度が大きく、やがて、越流が生じて、越流水が堤体を侵食する、この際、堤体の法勾配が土石流形成条件を満足しており、法長さが十分に長ければ、土石流が形成される。このような越流型の土石流は先にわれわれが提案した変勾配堆積物上の土石流予測理論を堤体上流側法面の存在や、侵食の進行に伴う越流流量の計算など、多少の修正を加えることによって得られる方程式系によって解析が可能である。ここでは、天然ダムの形成される前の水流の計算及び形成後ダム頂点より上流の貯水の計算、越流流量の計算は不定流の基礎式を用いる。また、透水係数が小さいため、浸透水による影響を無視する。(図1を参照)

(1) 不定流の基礎式(略)

(2) 流量の計算式: 越流が生じた後、堤体頂点より下流側では次の式¹⁾を用いる。

$$q = CR^p h \sin^{1/2} \left(\tan^{-1} \frac{\partial Z}{\partial X} \right) \quad \text{----- (1)}$$

$$C = R^{1/6} / n, \quad p = 1/2 \quad (C_L \leq 0.02 \text{ の場合})$$

$$C = 0.7 g^{1/2} h / (d_m R), \quad p = 3/2 \quad (0.02 < C_L \leq 0.4 C_{L1} \text{ の場合})$$

$$C = \frac{2}{5 d_m} \left\{ \frac{g}{0.02} \left\{ C_L + (1 + C_L) \frac{\rho_m}{\sigma} \right\} \right\}^{1/2} \left\{ \left(\frac{C_{DL}}{C_L} \right)^{1/3} - 1 \right\}, \quad p = 3/2$$

($C_L > 0.4 C_{L1}$ の場合)

(3) 流動層全体の連続式:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial X} = i \quad \text{----- (2)}$$

(4) 固体粒子成分の連続式:

$$\frac{\partial V_L}{\partial t} + \frac{\partial (q C_L)}{\partial X} = \begin{cases} i C_{L1} & ; i \geq 0 \\ i C_{DL} & ; i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{\partial V_F}{\partial t} + \frac{\partial [q (1 - C_L) C_F]}{\partial X} = \begin{cases} i C_F & ; i \geq 0 \\ i (1 - C_{DL}) C_F & ; i < 0 \end{cases} \quad (4)$$

(5) 侵食と堆積速度: 不飽和堤体を考えているので侵食速度²⁾は

$$\frac{i}{g h} = K (\sin \theta)^{3/2} \left\{ 1 - \frac{\sigma - \rho_m}{\rho_m} C_L \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta} - 1 \right) \right\} \left(\frac{\tan \phi}{\tan \theta} - 1 \right) (C_{\infty} - C_L) \frac{h}{d_m}$$

; $K = 0.06$ ----- (5)

また、堤体下流部では堆積の生じることがあると考えられ、堆積速度は

$$i = \beta \frac{C_{L\infty} - C_L}{C_{DL}} \frac{q}{d_m} \quad \text{----- (6)}$$

(6) 堤体或は堆積層の厚さDの変化:

$$\frac{\partial D}{\partial t} + i = 0 \quad \text{----- (7)}$$

ただし、q: 単位幅流量、C: 係数、R: 径深、p: 定数、h: 流動深、Z: 河床高(天然ダムの形成された後、

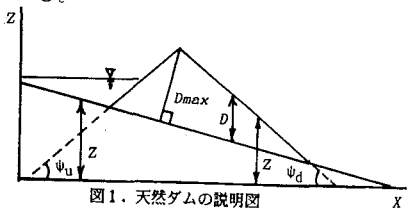


図1. 天然ダムの説明図

堤体表面を河床とする), n :河床粗度, C_L :流動中の粗粒成分の全容積中の割合, d_m :代表粒径, ρ_m :流動物の見かけ密度, C_{DL} :流動物が停止して堆積する際には粗粒成分によってその構造が決定されるものと考えたときの容積濃度, $C_L \cdot C_F$:堆積層中の粗粒・細粒成分の容積濃度, i :侵食・堆積速度 ($i > 0$:侵食, $i < 0$:堆積), $V_L \cdot V_F$:高さ h の流動層の柱の中に含まれる粗粒・細粒成分の体積, C_F :細粒成分が水と細粒成分とを加えた容積中に占める割合, K :定数, ϕ :粒子の内部摩擦角, θ :河床勾配 ($=\tan^{-1}(\partial Z / \partial X)$), $C_L \infty$:粗粒成分の平衡濃度である。

3. 実験と計算結果との比較考察: ここで、高橋・八木³⁾の実験結果を使った。その実験条件とパラメータが表1に示されている。以上の方程式系を用いて差分法で数値シミュレーションモデルを開発した。モデルのプロセスが図2のように表されている。また、表2のパラメータを用いて表1の実験条件に対する計算を行なった。その結果と実験結果との比較をそれぞれ図3、図4、図5のように示している。両者はほぼ一致しているが図3では堤体の決壊完了までの時間は実験値より少し遅くなっており、また、図4と図5の堤体下流端より1.4mの下流地点における最大流動深とピーク流量の計算値は実験値より少し大きくなっている。その原因は計算においては浸透水を無視したが実験では透水係数が小さながら、越流による侵食が進行すると同時に堤体の深部が飽和になりつつあり、侵食が飽和部分に達すると侵食速度が半乾燥状態より大きくなり、また、浸透水のある場合では、越流流量が浸透水のない場合より小さい等と考えられる。

表1. 実験条件

g cm/s	θ	ϕ_u	ϕ_d	ϕ	D_{max} cm	d_m cm
20	18	30	30	36	15	0.8

表2. 計算条件とパラメータ

ΔX cm	ΔT s	C_L	C_{DL}	C_F	C_{DL}	K	α	β	σ
2.00	0.01	0.65	0.65	0.0	0.50	0.05	0.0007	0.05	2.65

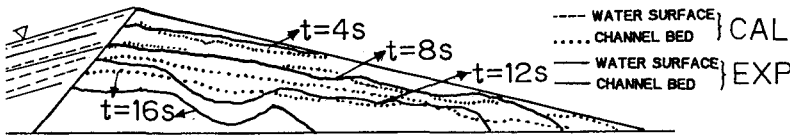


図3. 堤体形状の計算値と実験値との比較

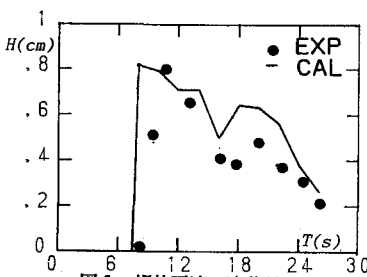


図4. 堤体下流の流動深の計算値と実験値の比較

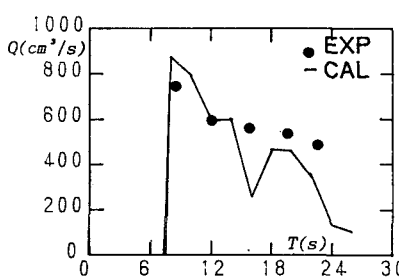


図5. 堤体下流の流量の計算値と実験値の比較

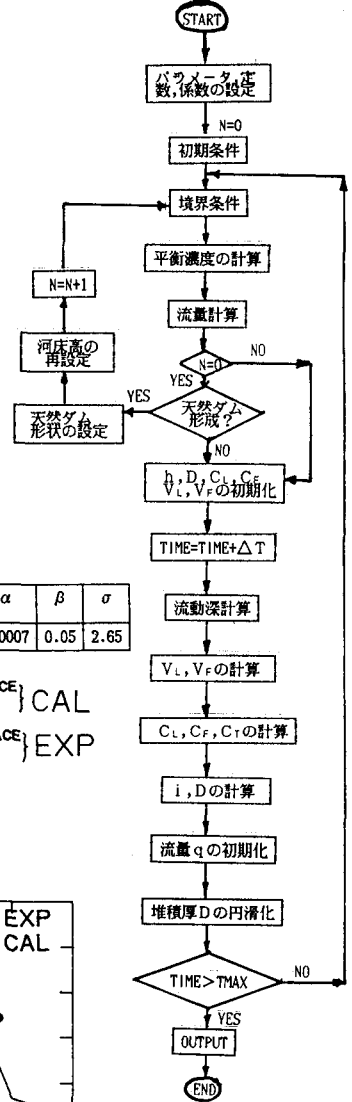


図2. フローチャート

4. おわりに: 本研究は堤体の透水性が無視できるほど小さい場合について天然ダムの越流侵食による土石流規模の予測手法を提案したが今後は浸透流の計算を加えた天然ダムの越流侵食、すべり決壊及び進行性崩壊による土石流規模の予測手法を提案するつもりである。

<参考文献> 1) 高橋・匡:防災研年報, 29B-2, 1986. 2) T. Takahashi et al: IAHS No. 165, 1987, PP167-177. 3) 高橋・八木:防災研年報, 26B-2, 1983.