第Ⅱ部門

透過性砂防ダムによる土石流堆積シミュレーション

京都大学防災研究所	フェロー	高橋 保	京都大学防災研究所	正会員	中川 一
京都大学防災研究所	正会員	里深好文	京都大学大学院	学生員	〇王 浩民

1. はじめに 従来から土石流対策として、砂防ダム等の構造物による、いわゆるハード対策が実施されて いる。その基本的な考え方は、土砂の流出の防止、または流出量の軽減である。このような基本的な機能を 常に維持することを目的として、約20前に透過性砂防ダムが開発された。これは平常時および中小出水時 には土砂を流せることにより、砂防ダムが満砂して空容量を失うことを防ぎ、土石流の発生時には、その先 端の巨礫により透過部が閉塞されることを利用し、ダム上流域に土石流を堆積させようとするものである。 そこで、本研究では、透過性砂防ダムによる土石流の堆積過程に着目し、水路実験及び数値シミュレーショ ンを行い、透過性砂防ダムの土石流調節制御機能を解明しようとしている。

2.実験概要 実験に使用した水路は図 1 に示すような、 全長 5m, 幅 10cm, 高さ 20cm の可変勾配鋼製水路であり, 水路床には平均粒径 0.3cm の混合砂で粗度を貼付し、水路 勾配は18度とした。実験は以下の手順で行う。まず、上流 端より水路の 1.5m 区間に,厚さ 10cm で砂礫材料を敷き, 長時間水を与えて、飽和させた後、上流端より所定の流量 を与えることにより、土石流を発生させる。次に、実験水



路の下流端に設置した透過性砂防ダム透過部の閉塞状況と土石流の堆積状況を計測する。

3.計算モデル 数値計算においては、まず式(1)~(6)の運動方程式、全体積の連続式、砂粒の連続式、 河床位式,侵食或いは堆積速度式などを流れ方向に Δx の区間に区分した一次元差分計算をすることによって, 土石流の発達・減衰過程及び流速、流量などの土石流特性値を求めることができる。

$$q_{t} = Ch^{5/3} \sin^{1/2} \theta \cdots (1) \qquad \qquad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_{t}}{\partial x} = i(c_{*} + (1 - c_{*})s_{b}) + r \cdots (2) \qquad \qquad \frac{\partial ch}{\partial t} + \frac{\partial (cq_{t})}{\partial x} = ic_{*} \cdots (3)$$

$$\frac{\partial z_{b}}{\partial t} + i = 0 \cdots (4) \qquad \qquad i = \delta \frac{c_{\infty} - c}{c_{*} - c_{\infty}} \frac{q_{t}}{d_{m}} \quad (\textcircled{e}) \qquad \qquad (5) \qquad \qquad i = \delta \left(1 - \frac{U}{PU_{e}}\right) \frac{c_{\infty} - c}{c} U \quad (\texttt{u}) \qquad \qquad (6)$$

ここに、 q_i :土石流の単位幅流量、h:流動深、 θ :流路勾配、C:係数、 s_h :堆積層の飽和度、r:単位 長さあたりの横流入量, i:侵食或いは堆積速度, c*:静止堆積層における砂礫濃度, zb:河床位である。

次に,流れが土石流に発達した場合は,式(7)~(9)のような粒径選別過程を記述できる方程式系を流 動深方向にも区分した鉛直二次元の差分式の下で解くことにより、土石流先端部への巨礫の集中とそれによ る土石流流量や流速などの水理量への影響をも求めることができる1)。

粒子kの上昇速度

∂t

$$\frac{v^{2}}{gd_{m}} = \frac{4}{3} \frac{1}{c_{D}} \frac{(\sigma - \rho)\cos\theta}{\{(\sigma - \rho)c + \rho\}} |V_{d}|$$
$$|V_{d}| = r_{d}^{1/3} \left| \frac{2}{1 + r_{d}} \frac{(0.5r_{d}^{1/3} + 0.5 + \lambda^{-1})^{2}(r_{d}^{1/3} + \lambda^{-1})^{3}}{(1 + \lambda^{-1})^{5}} - 1 \right| \cdots (7)$$

移流速度

 $u = \frac{2}{3d} \left[\frac{g\sin\theta}{0.02} \left\{ c + (1-c)\frac{\rho}{\sigma} \right\} \right]^{1/2} \left\{ \left(\frac{c^*}{c}\right)^{1/3} - 1 \right\} \left\{ h^{3/2} - (h-z)^{3/2} \right\} \cdots (8)$

キーワード:土石流 透過性砂防ダム 閉塞 堆積 京都府宇治市五ヶ庄京大防災研究所 tel:0774-384121 固体分連続式

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + \frac{\partial (c_k u)}{\partial x} + \frac{\partial (c_k v)}{\partial z} = 0 \cdots (9)$$

ここに、 c_D : 抗力係数、 $r_d = \{d_k / d_m\}^3$ 、 d^k : 粒子 k の粒径、 λ : 線濃度、 c_k : 粒径 k の土砂濃度である。

更に、透過性砂防ダムの閉塞確率を求めることによって、透過性砂防ダムの閉塞による土石流堆積が求められる²⁾。具体的には、土砂濃度 c、速度vが瞬間的に一定であるとして、ある時間間隔 T_L の間に、i 個の粒子がランダムな時間 t_i ($0 < t_i < T_L$)に、ランダムな位置 x_i を流下し、ダム透過部へ到達して柱に衝突すると考えると、粒子が柱を軸に回転している間は、後続粒子の通過可能間隔 Lが小さくなる。すなわち、粒子が接している柱の直径が大きくなったのと等価であると考える。従って、粒子と柱との衝突の有無によって、新しい柱の直径を計算し、ダムが閉塞するかどうかを判断する。すなわち、 T_L の間に $m(i \ge m)$ 回の試行をし、そのつどダムが閉塞するかどうかを判定する。同じ条件下でこの試行をN回繰り返し、 T_L 時間内で閉塞した回数Mを求め、閉塞確率FをF = M/Nで評価する。

さらに、 T_L を変えて計算すれば、 T_L とFとの関係が離散的に求められる。しかし、実際の数値解析に用いる閉塞確率は T_L より遙かに小さい時間間隔 Δt に対する瞬間閉塞確率Pでなければならないので、PをFを用いて表しておくことが必要である。そこで、今、c、vが瞬間的に一定であるならば、Pが一定であると考えると、 $T_L = n\Delta t$ 秒後の閉塞確率はF=1-(1-P) * となるので、Pを求めることができる。

こうして, 土石流流動モデルに粒径選別効果を取り入れ, さらに透過性砂防ダム閉塞モデルを組み合わせることにより, 土石流の発生, 発達, 透過部の閉塞による堆積過程を一貫して計算できる。

4. 計算結果 図2は閉塞後の河床位の実験値と計算値とを比較したものである。透過部の閉塞に関して, 石礫濃度、移動速度等の土石流特性値によって算出した瞬間閉塞確率がある乱数値を超えた場合は閉塞と判 定しており,乱数発生時の初期値の違いによって,ダム透過部の閉塞状況はそれぞれ若干異なる。そこで, 同じ実験に対し,10ケースの再現計算の結果を細線で示し,これらを平均したものを図中の太線で示した。 本手法により,ダム透過部の閉塞の実験結果は概ね再現できていると言えよう。



5. 終わりに 本研究では,透過性砂防ダム閉塞 モデルと連続体の原理に基づいた土石流の流動モ デルを組み合わせることによって,透過性砂防ダ ムの閉塞とその閉塞による土石流の堆積過程を再 現した。今後,この手法を用いて,透過性砂防ダ ムの土石流調節効果について検討していく予定で ある。



参考文献

1) 高橋 保・中川 一・原田達夫:混合粒径材料からなる渓床侵食型土石流の予測,京大防災研究所年報 第 33 号 B-2, 1 9 9 0

2) 高橋 保・中川 一・里深好文・王浩民:格子型砂防ダムの閉塞モデル,水工学論文集,第45巻,2001年

-153-