

# 50 オープン型砂防ダムの土石流捕捉効果に関するシミュレーション

防衛大学校 ○深和岳人 香月 智 石川信隆

## 1. 緒言

近年、流砂系管理において「流す砂防」が注目され、災害性の小さい土砂は流下させ土石流中の砂礫を塞ぎ止めるオープン型砂防ダムが建設されるようになってきた。このオープン部の幅は中小出水(洪水)時の粒径の細かい土砂は流下させ、土石流発生時には砂礫の最大粒径が捕捉され急造ダムが構築されるという2つの条件を満たすように設定される必要がある。本研究は、土石流に含まれる砂礫の挙動を個別要素法により表現して、オープン部の閉塞過程についてシミュレーション解析し、捕捉性能のランダム性について検討したものである。

## 2. 解析基本式

土石流中に含まれる砂礫要素を図-1のように2次元の円形要素にモデル化できるもの仮定し、着目する*i*要素に働く力を自重、浮力、流体力及び他要素との接触力とに分類できるものとする。この時、*x*, *y* 方向及び回転の運動方程式は次式のようになる。

$$m_i \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = \sum_{j=1}^{n_i} (-F_{ij}^N \cdot \sin\theta_{ij} + F_{ij}^S \cdot \cos\theta_{ij}) - F_w \cdot \cos\theta_b \quad (1a)$$

$$m_i \cdot \frac{d^2y}{dt^2} = \sum_{j=1}^{n_i} (F_{ij}^N \cdot \cos\theta_{ij} + F_{ij}^S \cdot \sin\theta_{ij}) - F_w \cdot \sin\theta_b - m_i \cdot g + \rho_w \cdot V_i \cdot g \quad (1b)$$

$$I_i \cdot \frac{d^2\omega_i}{dt^2} = \sum_{j=1}^{n_i} R_i \cdot F_{ij}^S \quad (1c)$$

ここで、 $m_i$ :要素の質量、 $I_i$ :慣性モーメント、 $\omega_i$ :回転角、 $\theta_{ij}$ :全体座標系と要素*i*と*j*の中心点を結んだ線とのなす角度、 $\rho_w$ :水の密度、 $V_i$ :要素の体積、 $F_{ij}^N$ ,  $F_{ij}^S$ :それぞれ半径方向及び接線方向に生ずる*j*要素との接触力、 $F_w$ :流体力、 $\theta_b$ :河床勾配、 $g$ :重力加速度、 $R_i$ :要素半径。

さらに、接触力および流体力は次式によって求まる。

$$F_{ij}^N = k^N \cdot \delta^N + C^N \cdot \dot{\delta}^N \quad (2) \quad F_{ij}^S = k^S \cdot \delta^S + C^S \cdot \dot{\delta}^S \quad (3)$$

$$F_w = C_D \cdot \rho_w \cdot A_s \cdot (v_w - v_x \cdot \cos\theta_b - v_y \cdot \sin\theta_b)^2 \quad (4)$$

ここで、 $k^N$ ,  $k^S$ :それぞれ半径方向及び接線方向のハネ係数、 $\delta^N$ ,  $\delta^S$ :それぞれ半径方向及び接線方向のハネ変形量、 $\dot{\delta}^N$ ,  $\dot{\delta}^S$ :それぞれ半径方向及び接線方向のハネ変形速度、 $C_D$ :抗力係数、 $A_s$ :斜面方向へ投影した要素の面積、 $\rho_w$ :水の密度、 $v_w$ :水の速度、 $v_x$ ,  $v_y$ :要素の*x*, *y* 方向の速度。

## 3. 解析例

### 3.1 解析条件

解析で想定したダム形状は、図-2に示すようなスリット型のダムの開口部に横方向に鋼管のスリット棒を設置したものである。開口部の3次元的形状や大きさにより、混相流体の挙動が異なるが、ここでは無視できるものとした。この開口部に設置する鋼管の本数を3本から6本までパラメトリックに変えるものとし、表-1に示す4ケースについて計算する。解析開始の初期状態は、図-3に示すようなスリットダムの後方10(m)に高さ3(m)で矩形形状に成形された礫塊が平均流速2(m/s)の流水に押し流されるように迫っている状態を想定した。なお河床勾配は、20°とした。礫塊の総個数は1000個であり、粒径分布は過去の研究により対数正規分布に従うものとし、平均値0.77(m)、標準偏差0.29(m)とする分布形状を与えるものとし、最大礫径は1.3(m)とした。表-2に砂礫の条件を示す。

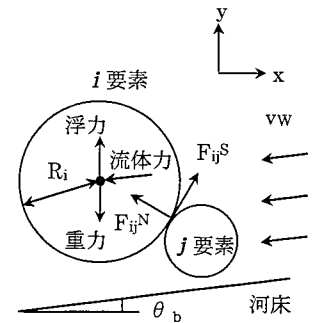


図-1 座標系と砂礫に働く外力

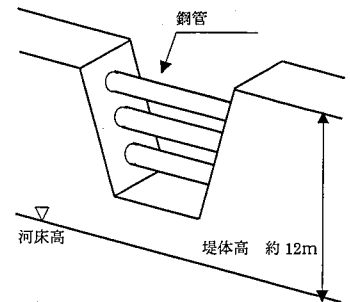


図-2 想定したダム形状

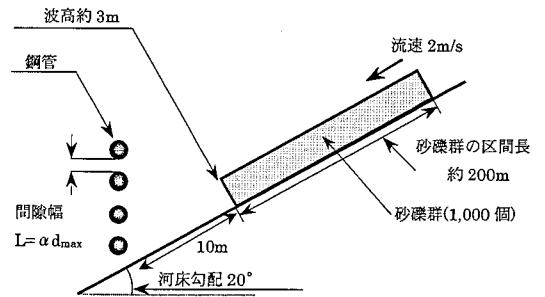


図-3 解析モデル

表-1 想定ダムの諸元

ダムモデル	最上段の高さ	スリット幅 (L)	鋼管本数	鋼管直径	L/d <sub>max</sub>
Type-1	11.4m	1.3m	6	0.6m	1.0
Type-2	13.0m	2.0m	5		1.5
Type-3	12.8m	2.6m	4		2.0
Type-4	11.7m	3.3m	3		2.5

表-2 砂礫の諸元

粒径	個数	密度	ハネ係数	減衰係数
1.3m	100	2.62 (g/cm <sup>3</sup> )	法線方向 400 (KN/cm)	法線方向 3.5 (KN·sec/s)
1.1m	140			
0.9m	200		接線方向 133 (KN/cm)	接線方向 2.0 (KN·sec/s)
0.7m	240			
0.5m	220			
0.3m	100			

### 3.2 解析結果と考察

図-4に最大礫径・鋼管間隙比( $L/d_{max}$ )が2.0における土石流塊の移動とスリット $\Delta$ による捕捉状況の時刻歴変化を示す。5秒後に土石流の先頭部が $\Delta$ に到達し一時的に塞き上げられるが、いずれの間隙も閉塞することなく通過してしまう。35秒後には間隙最下段部が一次閉塞するものの、不安定な状態であったため、後続

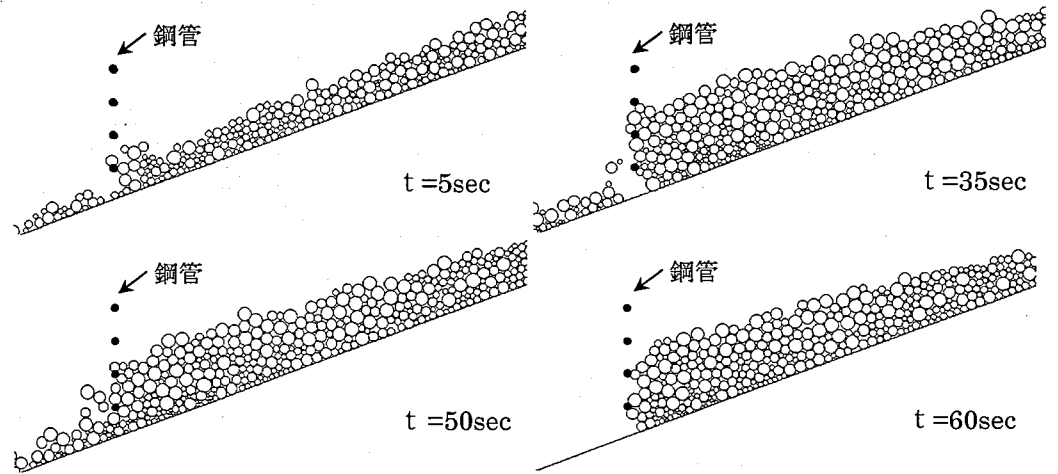


図4 スリット閉塞過程の時間変化 ( $L/d_{max}=2.0$ )

の砂礫の衝突により架橋構造は崩れ再度砂礫は通過する(50秒)。その後、60秒後には最下段と2段目の間隙が複数の砂礫による架橋構造により閉塞し後続流を塞き止めた。このとき捕捉個数は409個(捕捉確率41%)であり、半数以上は通過したことになる。

図-5に  $L/d_{max}$  を変化させた場合の捕捉状況の最終形状の一例を示す。 $L/d_{max}=1.0$ では、 $\Delta$ 最上級のスリット鋼管まで土石流塊が溜まって完全に閉塞されていることがわかる。 $L/d_{max}=1.5$ では、3段目の鋼管まで礫塊が溜まり閉塞している事がわかる。 $L/d_{max}=2.0$ の他の例では、1段目のみが閉塞し捕捉量が少ないことがわかる。

次に初期配列のばらつきの影響をみるために同一条件で配列を変更して、各ケース20通りずつ計算した。図-6は土石流捕捉率 $\sim L/d_{max}$ 関係として各ケース20回分の捕捉確率をプロットしたものである。また、これらの結果の平均値と標準偏差を示したものが、表-3である。これらより、 $L/d_{max}=1.5$ までは概ね80%以上の捕捉率を期待できるものの、2.0では40%近くまで確率が低下し、ばらつきも大きい。2.5では0%となり、全く捕捉を期待できないことがわかる。

### 4. 結言

本研究は、個別要素法を用いてオープン型砂防ダムの土石流捕捉シミュレーション解析を試みたものである。提案手法によって従来の水理実験で得られていた知見がほぼ追跡できるとともに、ランダムシミュレーションにより捕捉確率とそのばらつきを評価することができた。

### 参考文献

- 1) 水野秀明, 水山高久, 南哲行, 倉岡千郎: 個別要素法を用いた鋼管製透過型砂防ダムの土石流捕捉効果に関するシミュレーション解析, 砂防学会誌, Vol.52, No.6, pp.4-11, 2000.
- 2) 山本彰, 山本修一, 鳥井原誠, 平間邦興: 砂防ダムに作用する土石流の衝撃力に関する研究, 砂防学会誌, vol.51, No.2, pp.22-30, 1998.
- 3) 水山高久, 小橋澄治, 水野秀明: 格子ダムのピーク流砂量減少率に関する研究, 砂防学会誌(新砂防), Vol.47, No. 5(196号), pp.8-13, 1995.

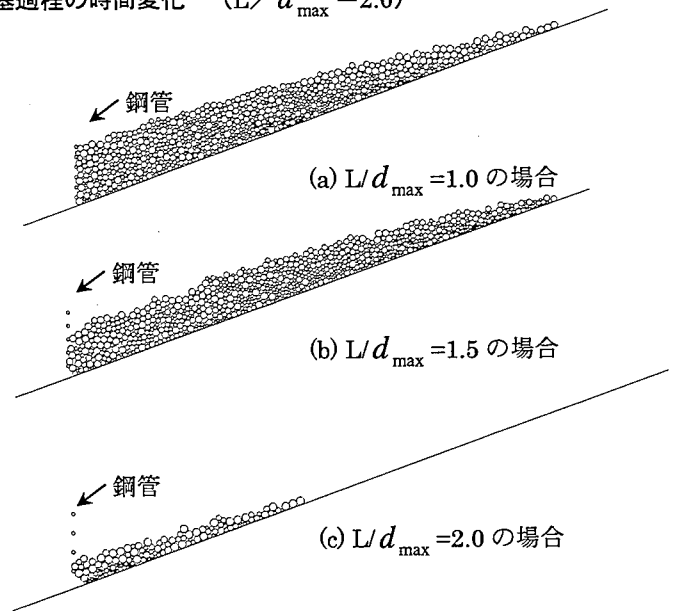


図-5 捕捉状況の最終形状

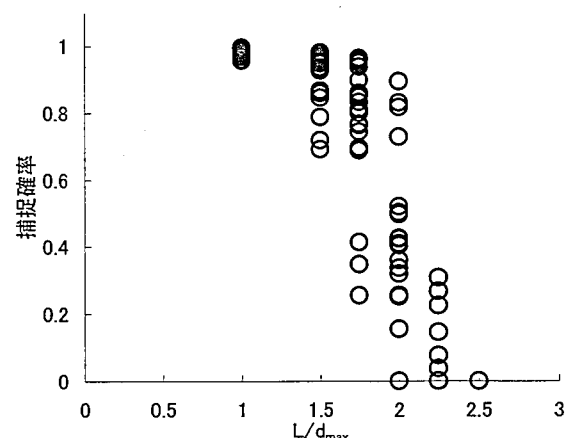


図-6  $L/d_{max}$  と捕捉確率の関係

表-3 捕捉確率の平均値と標準偏差

	$L/d_{max}$				
	1.0	1.5	1.75	2.0	2.25
平均値	98.12	90.79	75.96	42.21	5.26
標準偏差	1.06	8.53	19.53	24.18	9.67