

# 鋼製透過型堰堤モデルの土石流捕捉シミュレーション解析

砂防鋼構造物研究会○石川信隆, (一財)砂防・地すべり技術センター 嶋丈示  
(株)建設技術研究所 松原智生, (株)防災技術コンサルタント 舘澤寛  
防衛大学校 香月智, 京都大学大学院 水山高久

## 1. 緒言

近年, 鋼製透過型砂防堰堤が土石流のうち礫のみを捕捉した例があった(写真-1 参照<sup>1)</sup>). 本研究は, この礫捕捉状態のシミュレーション解析を行うための基礎的段階として, まず鋼製透過型砂防堰堤モデルの土石流捕捉実験を行った. 次に, 渋谷ら<sup>2),3)</sup>が開発した流木混じりの土石流に対する個別要素法プログラムを用いて, 土石流捕捉シミュレーション解析を行い, その妥当性を検討するものである. ただし, 本研究では, 礫を球形モデルと仮定して計算した.



写真-1 雄忠志内川の砂防堰堤の礫捕捉状況<sup>1)</sup>

## 2. 鋼製透過型砂防堰堤モデルの土石流捕捉実験

### 2.1 実験概要

解析に先立ち, 鋼製透過型砂防堰堤モデルの土石流捕捉実験を写真-2 のように行った. すなわち, (株)建設技術研究所の実験水路(水路幅 20cm, 水路勾配 18°)を用いて, 土石流モデルの礫(礫径 1.0cm 以上:1cm のマス目の篩に残った礫)7760 個を長さ 1.85m, 高さ 5.0cm にわたって敷き詰め, 上流から毎秒 3.0L の水を流して, 下流 5.0m に位置する鋼製透過型堰堤モデル(鋼管間隔 D95x1.5 倍:1.5cm, 鋼管径 1.0cm, 鋼管の高さ 15cm)の礫捕捉状況を調べた.

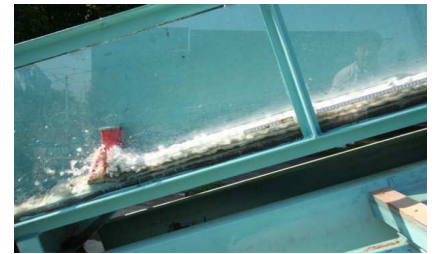


写真-2 土石流捕捉モデル実験

### 2.2 実験結果

写真-3 は, 鋼管間隔 D95x1.5 倍:1.5cm 間隔の場合の礫捕捉状況を示したものである. その結果, 流出した礫の個数は 60 個, 捕捉率は 99.2%であった. なお, 流速は 1.40m/s であった.



写真-3 実験による礫捕捉状況

## 3. 個別要素法による土石流捕捉シミュレーション

渋谷ら<sup>2),3)</sup>が開発した流木混じりの土石流捕捉シミュレーションプログラムを用いて, 上記のモデル実験を解析した. 礫は球形モデルにより表現し, 流速分布は図-1 に示すように底面に対して鉛直方向に線形に変化するモデルとした. すなわち, 水面上の流速を  $U_s$  と与え, 底面上の流速を実験観察からその 8 割となるようにした. また実験観察から水流は礫の先頭から 10cm 後方の領域にのみ存在するものと仮定した.

### 3.1 計算条件

礫の敷き厚は 5.0cm とし, 水路底面および水路側面を計 3 枚の平面要素により表現して, 透過型砂防堰堤モデルを図-2 のように描写した. また, 流量は 3.0L/sec (流速 1.4m/sec, 水深 1cm にて表現)で, 再現計算時間は 10s, 計算間隔時間  $10^{-6}$ s, 礫の接触ばね定数は, 法線方向  $K_n=10^6$ N/m, 接線方向  $K_s=1.5 \times 10^5$ N/m, 減衰定数は  $h=0.20$ , 摩擦係数  $\tan \phi=0.404$  である.

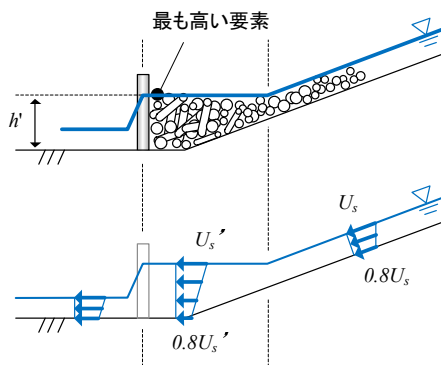


図-1 解析モデルの流速分布

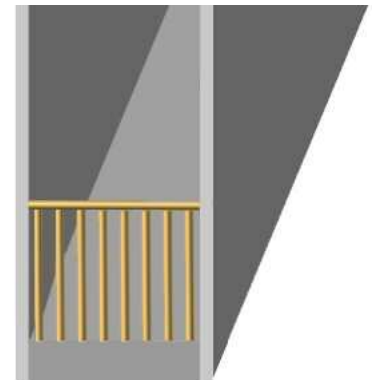


図-2 砂防透過型堰堤モデル

### 3.2 計算結果

#### (1) 礫捕捉状況の比較

礫を球形要素として、礫径 1.0cm から 1.5cm まで 0.1cm 刻みで計算を行った。礫径を変化させた理由は、実験で用いた礫径が 1.0cm 以上であり、また完全な球形ではないためである。礫捕捉状況の実験結果は写真-4 のようになり、計算結果は、礫径 1.0cm および 1.4cm の場合がそれぞれ図-4 (a) および (b) のようになった。これより礫径 1.4cm の場合の方が実験結果の堆積状況にほぼ一致していることが分かる。

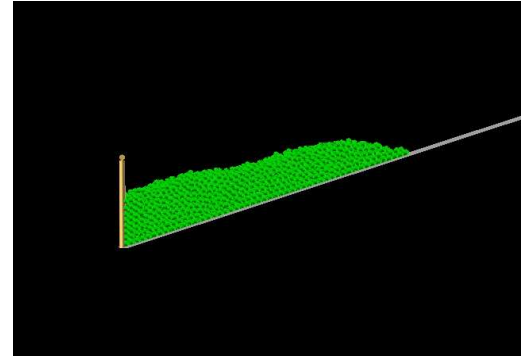
#### (2) 捕捉率の比較

表-1 は、捕捉率(捕捉個数/礫の総個数)を礫径の変化に応じて実験結果と比較したものである。

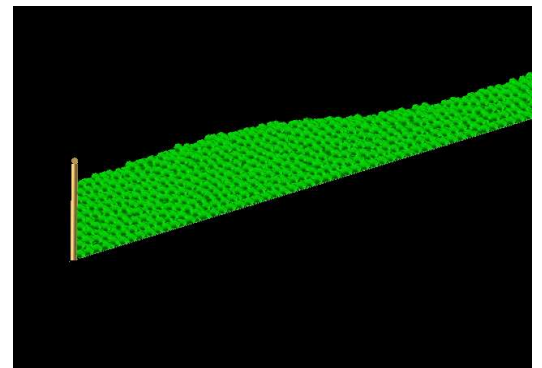
これより、礫径 1.0cm 以上の実験における捕捉率は 99.2% であった。一方、本解析では実験の礫のような凸凹状態をモデル化できず礫径をすべて球形として一定としているため、礫径を 1.0cm から 0.1cm 刻みで増加させた。その結果、解析による捕捉率は、礫径が増加することによって実験値に近づくことがわかった。この理由は、実験における礫形が写真-3 のように凸凹があり、一旦絡まるとアーチアクションなどによって捕捉しやすいが、解析では球形なため鋼管に絡みにくく、また同じ径の場合には図-5 のようなアーチアクションが起こりにくいためと考えられる。よって、鋼管間隔 1.5cm (D95x1.5 倍) の場合、礫径 1.5cm の場合が最も捕捉率が実験に近くなることが分かった。また実際の礫径分布は変化しているもので、解析においても礫の凹凸や礫径分布を変化させる必要があると思われた。



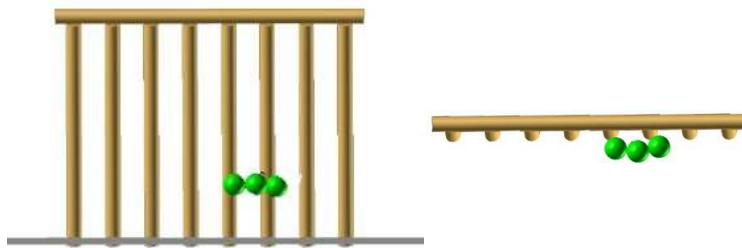
写真-4 実験 (粒径 1.0cm 以上)



(a) 計算 (礫径 1.0cm の場合)



(b) 計算 (礫径 1.4cm の場合)



(a) 上流側より

(b) 上より

図-5 アーチアクションによる捕捉 (礫 3 個の場合)

図-4 計算による捕捉状況

表-1 礫径による捕捉率

項目	実験結果	礫径 1.0cm	礫径 1.1cm	礫径 1.2cm	礫径 1.3cm	礫径 1.4cm	礫径 1.5cm
礫の総個数	7760 個	7760 個	7760 個	7760 個	7760 個	7760 個	7760 個
捕捉個数	7700 個	6903 個	7110 個	7332 個	7405 個	7409 個	7581 個
流出個数	60 個	857 個	650 個	428 個	355 個	351 個	179 個
捕捉率	99.2%	89.0%	91.6%	94.5%	95.4%	95.5%	97.7%

### 4. 結び

本研究ではモデル実験の結果を踏まえ、礫を球形とした個別要素法による礫捕捉状況を調べたもので、礫径を増加させることによって、実験をよくシミュレーションできていることが分かった。今後、礫径分布を変化させた実験や解析を行い、また礫の凸凹などを考慮した個別要素法の開発など、より実際に近い解析手法を確立して、写真-1 のような雄忠志内川の砂防堰堤の礫捕捉状況についてシミュレーション解析をしていきたい。

### 参考文献

- 1) (財) 砂防・地すべり技術センター, 鋼製砂防構造物設計便覧, 平成 21 年版, p.183.
- 2) 渋谷一・原木大輔・香月智, 3次元個別要素法による透過型砂防堰堤の流木混じり土石流の捕捉シミュレーション, 応用力学論文集, Vol.12, pp.449-460, 平成 21 年 8 月.
- 3) 渋谷一・香月智・大隅久・石川信隆, 3D-DEM による流木捕捉シミュレーション解析, 砂防学会誌, Vol.63, No.6, pp.13-22, 平成 23 年 3 月.