

## 異なる2種類の土石流接近形状が与える動的な土石流荷重に関する研究

防衛大学校 正会員 ○堀口俊行, 香月智 学生会員 小松喜治

## 1 緒言

砂防構造物の主たる要求性能は、流出する土砂を捕捉することであり、副次的に水系生態の保護がある。この2つのトレードオフな性能を有するものとして透過型砂防堰堤（以下、透過型と呼ぶ）がある。この際、砂防構造物は、土砂を捕捉するので、その土石流衝突力と堆砂圧荷重を支えるように設計されている。その構造安定計算は、不透過型砂防堰堤の設計基準を準用している<sup>1)</sup>。ところで、対象としている土石流の接近形状は、勾配や流量によって異なることが分かっており、砂防構造物に作用する土石流荷重について不確かな点が多くある。水山ら<sup>2)</sup>は、水路勾配と無次元化した流量から土石流形状のパターンを二つに分けて土石流荷重を評価している。しかし、複雑な形状を有している透過構造に作用する荷重は、衝突位置や土石流の形状によって、荷重分布の偏りがあるため堰堤高さ方向に荷重分布を詳細に計測する必要がある。

そこで本研究は、異なる接近形状を有する土石流荷重について計測し、透過型における作用モーメントについて比較検討するものである。

## 2. 実験の概要

実験は、勾配  $\theta=13^\circ, 15^\circ$  と設定した直線水路を用いている。流速が衝突荷重に影響を与えるため、流速  $v=2.4\text{ m/s}$  となるように、堰堤モデルの上流側の河床状態および河床勾配を決定した。つまり、先頭集中型は勾配が高く、くさび型は勾配が緩やかになっている<sup>2)</sup>。図-1に、流下時におけるそれぞれの土石流形状の概略を示している。図-1(a)に示すような先頭集中型を形成させるには、河床勾配  $\theta=15^\circ$  とし、堰堤前面より上流 50 cm には底面に栈粗度を配置した。さらに、その上流に礫を並べて、段波を形成しやすくするように工夫した<sup>3)</sup>。次に、図-1(b)に示すようなくさび型は、勾配  $\theta=13^\circ$  とし堰堤前面より上流 50 cm には何も設置せず木製の板をそのまま敷いた。その上流 50 cm には、底面に栈粗度を配置し、その上流に礫塊を並べ水流を与え、先頭部分が平滑化された形状を発生させた。

写真-1に、堰堤モデルを示す。堰堤モデルは本堤部と荷重計測部の2つの機構に分かれている。写真-1(a)に本堤部を示す。本堤部は高さ 540 mm、幅 290 mm、質量は 4.9 kg であり、底板の後端と底面を蝶番で連結することで回転できるようになっている。また、上部に載せる重錘質量  $W$  を変化させることで、抵抗モーメント  $M_r$  を変えることが可能となっている。写真-1(b)に、荷重計測部を示す。この計測部に写真-1(c)に示す鉄棒梁の両側端にロードセルをそれぞれ貼り付けたものをセットしており、各段に力が作用すると、水平方向にスライドするように工夫した。

礫モデルは、呼称粒径 10 mm, 20 mm, 30 mm を体積比 1:1:1 となるように混合した。礫材の比重は 2.6 であり、礫全体の総重量は 60 kg である。

土石流は、0.3 m の高さまで貯めた水を前方の礫塊に流し込むことで生起させた。堰堤モデルが転倒したことを確認

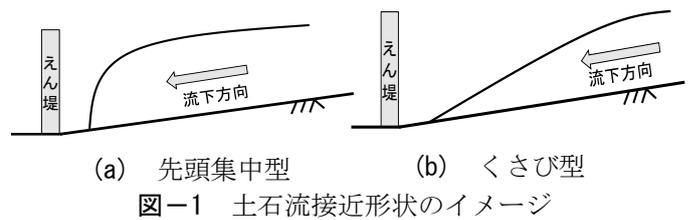


図-1 土石流接近形状のイメージ

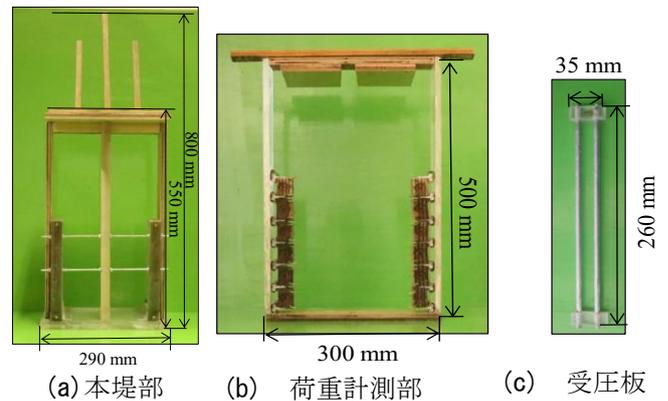


写真-1 堰堤モデル

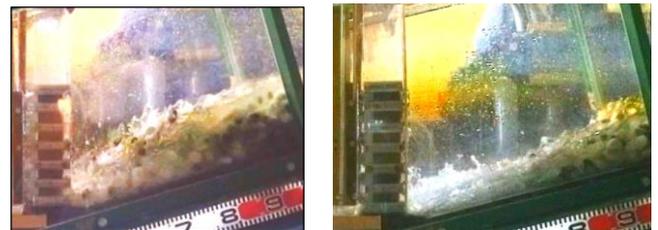


写真-2 衝突直前（流下過程）

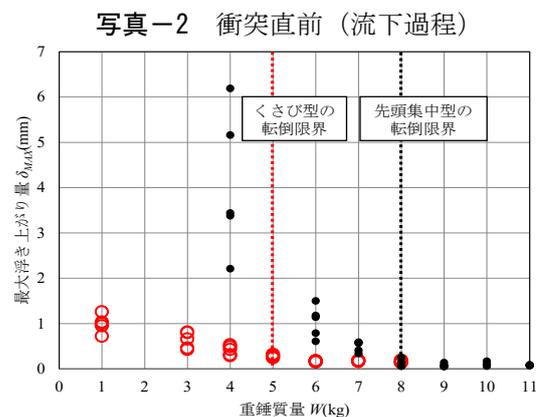


図-2 最大浮き上がり量～重錘質量関係

するために変位計を堤底に設置した。実験は各重錘質量 5 回ずつ行った。

実験では、土石流を衝突させ、堰堤モデルの変位（浮き上がり量  $\delta$ ）および衝突荷重の時刻歴を計測した。

## 3. 実験結果

写真-3 に衝突前の土石流の先端形状を示す。写真-

キーワード 動的荷重, 透過型砂防堰堤, 直線水路実験, 転倒限界, 土石流形状

連絡先 〒239-868 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL: 046-841-3810 FAX: 046-844-5913

3(a)に、先頭集中型の接近形状を示す。先端部には、礫が集中し、段波となって接近している。写真-3(b)に、くさび型の接近形状を示す。先端部には、礫よりも水が先行して接近している。

図-2に、衝突実験における最大浮き上がり量～重錘質量関係を示す。重錘質量が大きくなるにつれて、最大浮き上がり量は小さくなり、0.2 mm を超えなくなり一定の値となる。つまり、先頭集中型の転倒限界は重錘質量  $W=8$  kg (抵抗モーメント:  $30.6 \text{ N}\cdot\text{m}$ )、くさび型の転倒限界は重錘質量  $W=5$  kg (抵抗モーメント:  $22.1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ) となる。

図-3に、転倒限界における総荷重～時間関係を示す。くさび型の最大総荷重の平均は155 N、先頭集中型の最大総荷重の平均は227 N、一方、くさび型の総荷重の1.5倍である。また、最大総荷重に達する時間は、先頭集中型では、土石流が衝突して0.26 s後、くさび型は0.65 s後であり、最大衝突荷重までの経過時間が2.5倍に伸びている。

図-4に、転倒限界における総作用モーメント～時間関係を示す。くさび型の最大総作用モーメントの平均は22.6  $\text{N}\cdot\text{m}$ 、先頭集中型の最大総作用モーメントの平均は31.4  $\text{N}\cdot\text{m}$ であり、くさび型の1.4倍であった。また、最大総作用モーメントに達する時間は、先頭集中型で土石流が衝突して0.4 s後、くさび型は0.85 s後である。これも同様に経過時間が2.1倍に伸びている。つまり、先頭集中型の方がくさび型よりも大きな荷重となる。

図-5に、各段における最大荷重の比較を示す。先頭集中型は1～4段目はくさび型の2倍、5、6段目は1.5倍となっている。1～4段目の荷重の比率が大きいのは、先端部に礫が集中して衝突したことに起因することが考えられる。

図-6に、土石流高さ～到達時間関係を示す。流速は同じになるように設定しているが、土石流の上昇する係数(上昇係数)は、先頭集中型は  $C_r=0.83 \text{ m/s}$ 、くさび型は  $C_r=0.66 \text{ m/s}$  であり、土石流の到達する時間は先頭集中型の方が早く堰堤高さに到達する。このことから、総荷重および総作用モーメントに達する時間が伸びている。以上のことより、堰堤の転倒抵抗性能に与える衝撃的効果が大いなのは先頭集中型の土石流である。

#### 4. 結言

本研究は、2つの異なる接近形状を有する土石流荷重について計測し、透過型における作用する衝撃荷重分布とその転倒モーメントについて比較したものである。本研究で得られた成果を以下のように示す。

- 1) 転倒限界を確認できる実験装置を提案して、水平方向の土石流荷重を計測し、堰堤高さごとの荷重の結果から作用モーメントを算出することが出来た。これによって、土石流形状の違いによって、大きく荷重が変化していることが分かった。
- 2) 先頭部集中型の土石流荷重が大きいことが分かった。一方で、底面に近いところでの荷重を比較すると、大きく変わらない。このことから衝突の流速が同じであっても、土石流の接近形状により、衝撃効果を確認することができた。特に、礫が先頭に集中する土石流の総荷重はくさび型より1.5倍、総作用モーメントは1.4倍であった。

#### 参考文献

- 1) 財団法人 砂防・地すべり技術センター 鋼製砂防構造物委

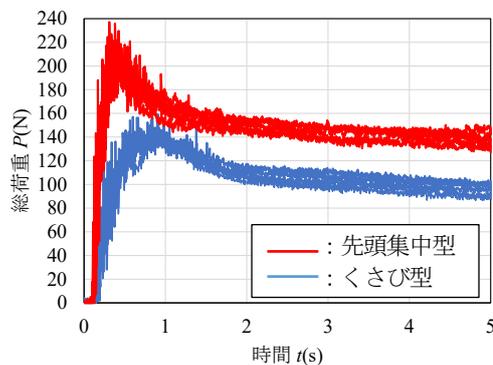


図-3 総荷重～時間関係

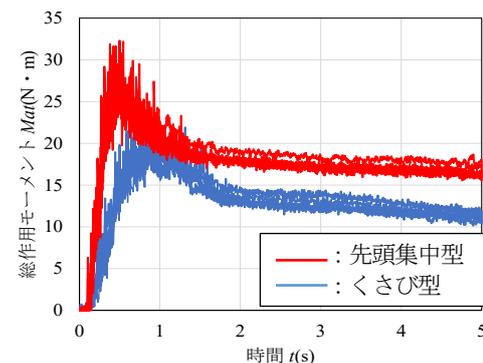


図-4 総作用モーメント～時間関係

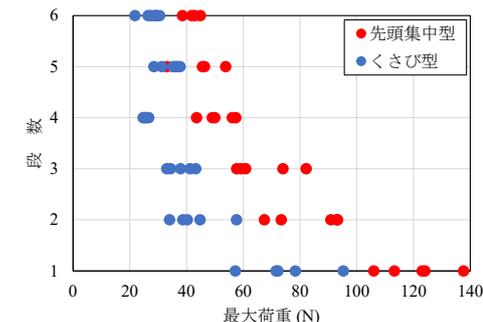


図-5 各段の最大荷重の比較

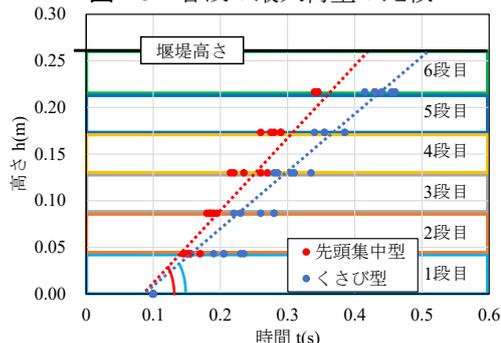


図-6 土石流の高さ～到達時間関係

員会編集：平成 21 年版 鋼製砂防構造物設計便覧，エッセイエプロ，2010

2) 水山高久，下東久巳，中西宏，松村和樹：鋼管製透過型砂防ダムに対する土石流荷重に関する実験的研究，新砂防，Vol.37，No.5，1985

3) 芦田和男，道上正輝：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第 306 号，pp.59-69，1972。