

## 流木混じり土石流における透過型砂防堰堤が受ける衝撃荷重評価

中央大学大学院 学生会員 ○合田明弘 フェロー会員 山田 正  
防衛大学校 学生会員 嶋川 理 正会員 堀口俊行

### 1. 緒言

我が国では、梅雨前線や台風等による集中豪雨によって土砂災害が頻発している。近年は、山地流域で発生した流木が土砂と混ざって土石流となり、河川を流下し、狭窄部や橋脚に詰まることにより、氾濫被害を増大している。近年の流木被害を踏まえ、土石流対策施設として透過型砂防堰堤や流木捕捉工等の透過構造を有する施設の設置が原則となった<sup>1)</sup>。透過型砂防堰堤(以下、透過型という。)は、土石流先端部に巨礫が集中する性質を利用して巨礫群を開口部で閉塞させ土石流全体を捕捉する施設である。この構造は堰堤に直接、土石流が衝突するため衝撃荷重を評価する手法が求められている。透過型に作用する流木混じり土石流荷重において、渋谷ら<sup>2)</sup>は水路実験を行い、土石流中に流木が混じると、最大荷重が減少することを示し、先行して捕捉された流木塊による緩衝効果が主たる要因であると指摘している。しかし、緩衝効果において実験的な分析であるため、解析に基づく定量的な評価が必要である。

そこで本研究では、実験室規模の土石流実験から得られた荷重～時間関係を個別要素法解析で再現し、流木混じり土石流の衝撃荷重評価の適用性を検討するものである。

### 2. 実験概要<sup>3)</sup>

実験は、水路長4.5 m、水路幅30 cm、深さ50 cm可変勾配型直線水路(図-1)を用いて行った。河床勾配 $\theta$ は、梨子沢第1砂防堰堤設計諸元である $\theta = 11.3^\circ$ に固定した。図-2に、堰堤モデルと荷重計測要領を示す。堰堤モデルは高さ27.0 cm、幅23.0 cmの模型である。土石流荷重は、堰堤モデルの下流側に2個のロードセルと1個の分力計を配置して計測した。また、堰堤モデルは上端部で吊ることで、底板との摩擦を受けないように工夫している。堰堤モデルが土石流から受ける力は、3つのロードセルの合計値を用いている。なお、後述する衝突荷重はこれらの荷重計による測定値の総和である。礫材の比重は2.6、礫全体の総重量は35 kgである。流木は、直径6.0 mm、比重0.98、長さ120 mmの木材を用いた。流木総量は礫の体積の10%となる500本とした。流木と礫材を混合して流木混じり土石流とした。

### 3. 解析概要

本研究は、個別要素法を用いて衝撃荷重の解析を行った。運動方程式の解法は文献<sup>4)</sup>の通りである。

#### 3. 1 解析モデル

図-3は、解析に用いた粒径加積曲線であり、実験で用

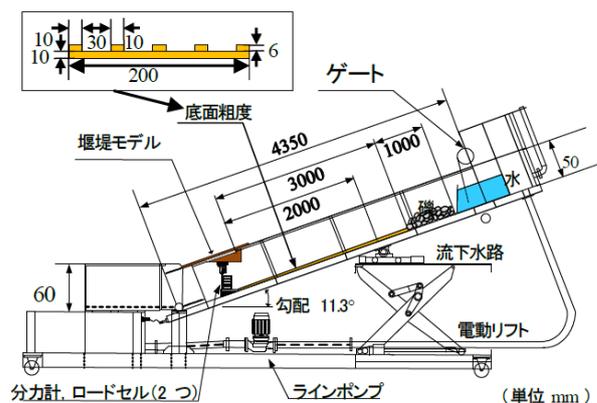


図-1 実験装置

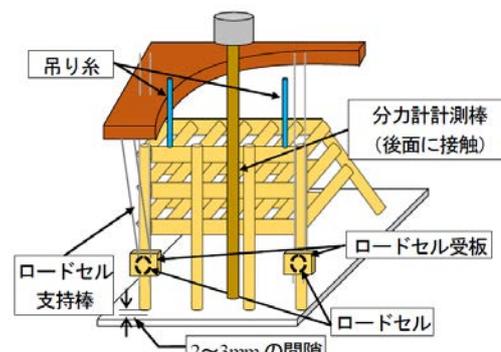


図-2 堰堤モデルと荷重計測要領

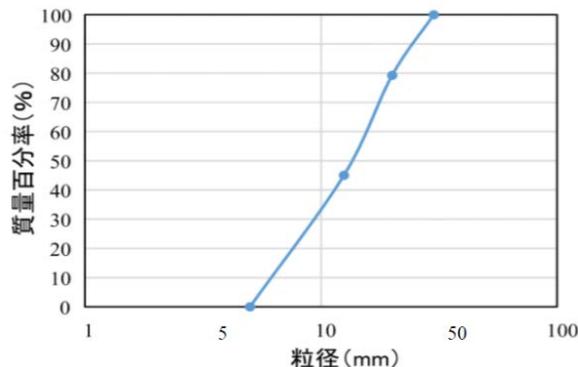


図-3 解析に用いた礫材の粒径加積曲線

いられた粒径加積曲線を参考にしてしている。図-4は解析モデルの概要図であり、実験と同様に土石流と堰堤を配置している。実験結果から、初期水深は15.0 cm、初期流速は2.0 m/sに設定して解析を行った。衝撃荷重は、堰堤モデルと後方に固定された球形要素から得られたばね力を用いている。このばねは、接触判定を無視する常設の連結ばねを使用しており、解析が安定する限界の大きなばね剛性を用いた。

#### 3. 2 捕捉堆積過程

図-5に、実験(左図)と数値解析(右図)の捕捉堆積過程を示す。図-5(a)は、堰堤に到達した時間 $t_0$ のときの土石

流の状況である。土石流先頭部に流木が集中しており、段波を形成していることがわかる。解析でも流木が先頭部に集中しており、概ね再現できている。図5-(b)は、後述する時間～荷重関係で、最大衝撃荷重付近になる時間の状況である。実験では、透過部で先頭部に集積した流木と粒径の大きい白色の礫を捕捉し、水深が上昇している。また、流木が堰堤の前面に沿って高く盛り上がっている。解析でも、先頭部の流木を捕捉し、後続流を捕捉していることがわかる。さらに、流木が土石の上端部分もしくは先頭部に集中し、せりあがる景況についても再現できている。図-5(c)は、後続流の捕捉過程を示している。透過部が閉塞されているため、水がせり上がって流れている。解析では、やや流木が多くせりあがっているが定性的な振舞いは似ている。図-5(d)は堆積状態を示している。流木と礫は堰堤に捕捉され停止しており、流木と礫の分級現象や捕捉景況は、実験も解析も同様の景況に見える。

### 3. 3 荷重～時間関係

図-6に、荷重～時間関係を示す。実験と解析、共に衝撃荷重は土石流先頭部が到達してから約0.25秒後に最大荷重付近まで上昇し、約0.15秒間最大荷重付近の値を計測し続けている。実験では、約1秒間かけて徐々に荷重が減衰するが、解析では、急激に荷重が減少しており、実験とやや異なる。しかし、最大荷重と継続時間を概ね再現できている。実験規模における最大荷重評価の予測可能である。

### 4. 結 言

本研究は、透過型砂防堰堤が受ける流木混じり土石流の衝撃荷重を評価するために再現シミュレーションと荷重～時間関係について検討したものである。得られた知見を以下に示す。

- 1) 個別要素法を用いて実験規模の流木混じり土石流の再現解析が可能であることを示した。それぞれの分級現象や捕捉景況も概ね再現できた。
- 2) 実験で得られた荷重～時間関係を概ね再現することができ、最大衝撃荷重については予測可能である。
- 3) 今後の課題として、堆積時における荷重の低減部分について異なるため、今後準静的な堆積荷重についての再現性について検討する予定である。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，国土技術政策総合研究所資料 No.904，2016。
- 2) 渋谷一，香月智，國領ひろし，大隈久，石川信隆：透過型砂防堰堤に作用する流木混じり土石流荷重に関する実験，砂防学会誌，Vol.65，No.1，pp.54～61，2012.6
- 3) 小松喜治，堀口俊行，香月智，石川信隆，水山高久：鋼製透過型砂防堰堤の前面傾斜角が土石流衝突荷重に及ぼす構造工学論文集，Vol.62A，pp.779～778，2018。

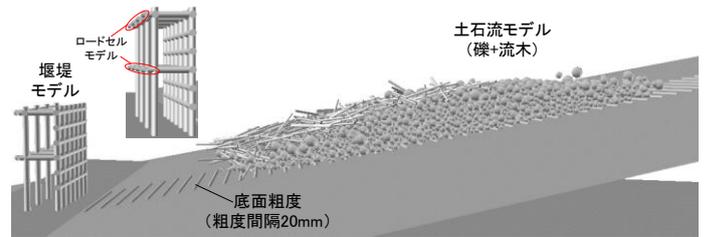


図-4 解析モデル

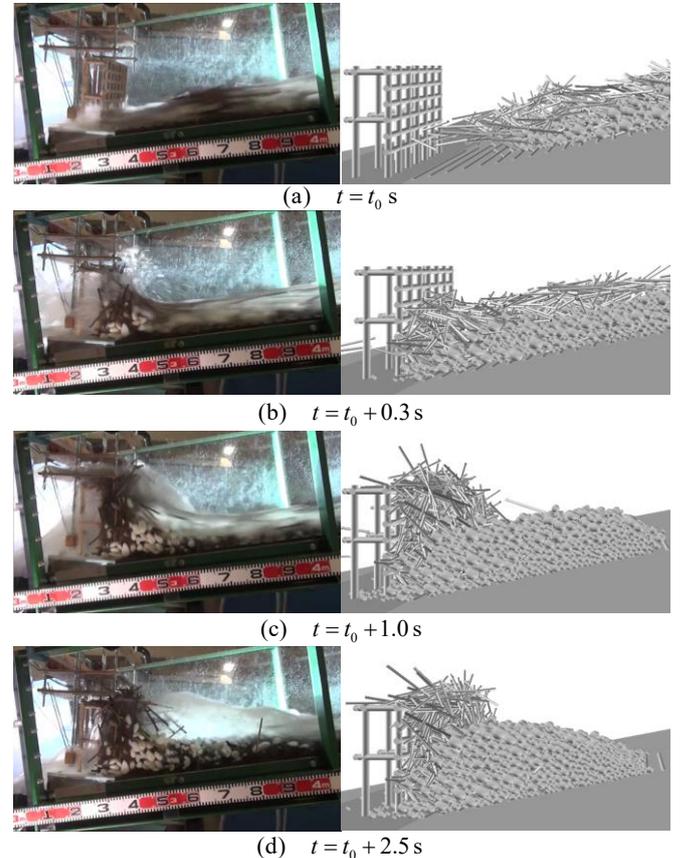
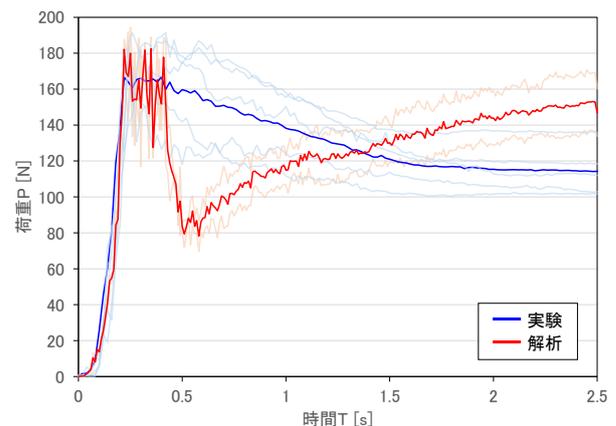


図-5 捕捉堆積過程（左：実験，右：数値解析）

〔 解析で分級現象や捕捉景況を概ね再現できている 〕



〔 実験で得られた荷重時間関係を概ね再現できている。最大衝撃荷重の再現性が高い。 〕

- 4) 香月智，渋谷一，大隈久，國領ひろし，石川信隆：個別要素法による透過型砂防堰堤の流木混じり土石流捕捉解析，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol. 69，No.1，pp.16-29，2013。