

# 個別要素法を用いた鋼製透過型砂防堰堤に作用する荷重評価手法

防衛大学校 学生会員 ○嶋川 理 小松喜治  
正会員 堀口俊行 香月智 別府万寿博

## 1. 緒 言

近年、我が国では、局所的かつ短期的に集中して降雨が生じる傾向にあり、その影響によって土砂災害が頻発している。中でも土石流は、大きさが数 m にも及ぶ巨礫が含まれるので、下流や山裾の広範な地域に甚大な被害をもたらす。土石流の対策工としては、河川に土石流を直接受け止める砂防堰堤を設けるのが一般的であるが、鋼製透過型砂防堰堤は、通常時は水や砂を流し、災害発生時は、堰堤の透過部を閉塞することで後続の土砂を捕捉するものである。

近年の透過型堰堤の被災事例としては、平成 26 年 7 月に長野県南木曽町で発生した土石流が挙げられる。この土石流では、梨子沢第 1 砂防堰堤の構成部分の一部が土石流の衝撃力によって損傷した。一方、別支川ではあるが、近傍にあった梨子沢第 2 堰堤は大きく破壊することなく巨礫を捕捉していた。この 2 つの堰堤に衝突した土石流の水深、流速といった条件は異なると考えられるが、2 つの堰堤では、土石流が衝突する前面の傾斜角が、梨子沢第 1 砂防堰堤では直立であったのに対し、梨子沢第 2 堰堤では前面に傾斜が設けられていた。このことから土石流が受ける衝突面の角度によって衝撃荷重が大きく影響するのではないかと考えられる。

以前から、著者ら<sup>2)</sup>は砂防堰堤の前面傾斜角が土石流衝突荷重を低減することを実験的に検証してきたが、土石流から堰堤に生じる衝撃荷重の発生メカニズムについて解析的に検証できていない。

そこで本研究では、個別要素法を用いて透過型砂防堰堤の土石流衝突荷重を再現し、荷重～時間関係を推定する。さらに、基礎的段階として低減効果のメカニズムについて検討するものである。

## 2. 実験の概要<sup>2)</sup>

著者らは、図-1 に示す可変勾配型直線水路に前面傾斜角  $\theta_{LS} = 0 \sim 30^\circ$  までの堰堤モデルを使用し、衝突荷重をロードセルで計測することで、前面傾斜角における衝撃荷重の影響について調べた。図-2 に、解析の対象である  $\theta_{LS} = 0^\circ, 30^\circ$  の実験結果を示す。ここでは、礫のみの土石流に対して、前面傾斜角  $\theta_{LS} = 30^\circ$  の最大衝撃荷重は前面傾斜角  $\theta_{LS} = 0^\circ$  の場合に比べ、約 30 % 低減した。さらに、最大衝撃荷重が生起するまでに、わずかな時間差が生じることが分かった。これは、衝突面と土石流先端における礫の運動形態が前面傾斜角によって影響されるためと考えられる。



写真-1 第 1 梨子沢堰堤



写真-2 第 2 梨子沢堰堤

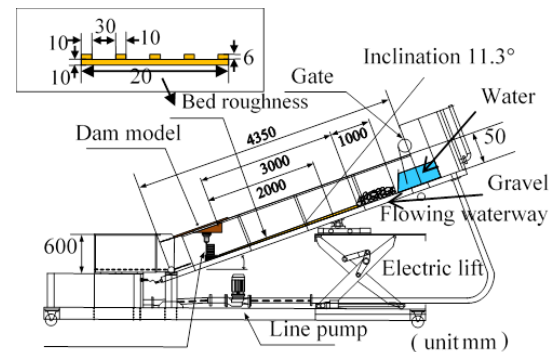


図-1 実験水路

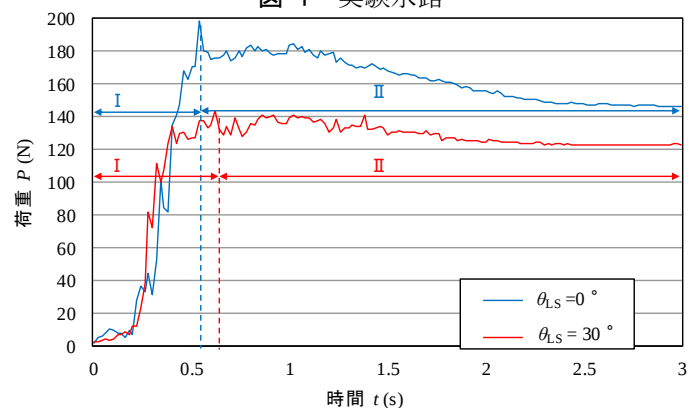


図-2 荷重～時間関係(実験)

## 3. 解 析

### 3.1 解析手法

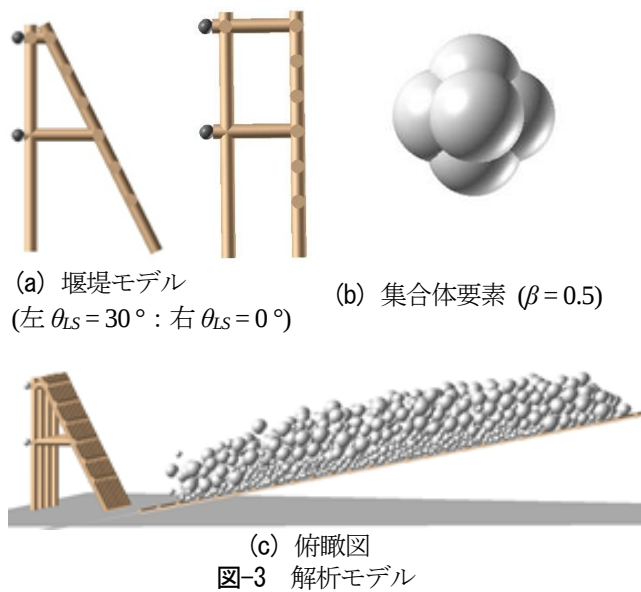
個別要素法は、各要素が接触状態にあるかを判定し、接触したならば、要素間に仮定の接触ばねを与え、要素同士の重なり量から接触力を算定し、時々刻々要素の運動方程式を解くことにより、要素の変位を求め、その要素の運動を追跡する手法である。

### 3.2 解析モデル

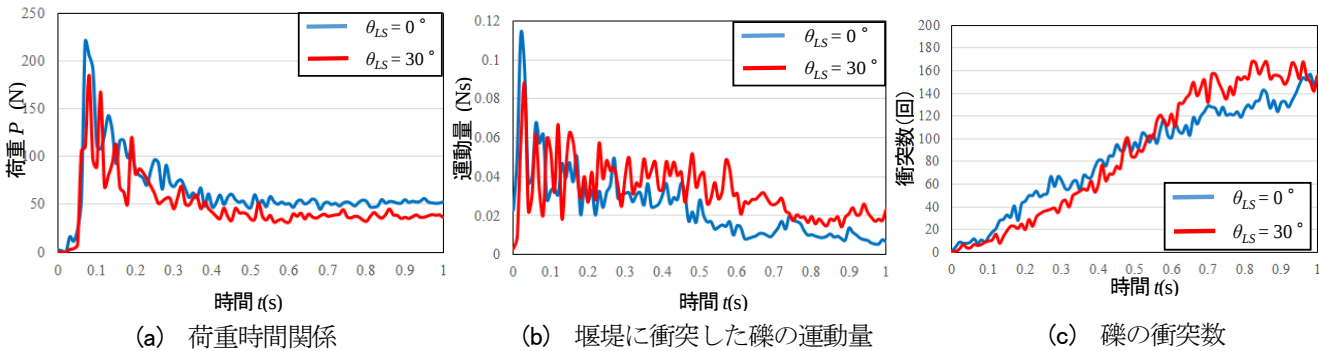
図-3 に示すように球形要素、円柱形要素、平面要素および球形要素を複数組み合わせた集合体要素（六等球形対象配列集合体要素）を使用する。表-1 に、解析諸元を示す。流速は、実験と同様にし、集合体要素の粒径分布は、南木曽の被災状況の調査結果を参考に決定した。流水は、計算を簡易に行うため、水路中の要素に水深と流速を直

キーワード 土石流、荷重、鋼製透過型砂防堰堤、前面傾斜角、個別要素法

連絡先 〒239-0803 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 : 080-5603-4846 E-mail : em57045@nda.ac.jp



| 表-1 解析諸元  |            |               |                   |
|-----------|------------|---------------|-------------------|
| 項 目       |            |               | 値                 |
| 流水        | 初期流速 (m/s) |               | 2.0               |
|           | 初期水深 (m)   |               | 0.2               |
|           | 抗力係数       |               | 0.5               |
| 堰堤<br>モデル | 円柱形要素      |               | 26                |
|           | 球形要素       |               | 8                 |
| 水路        | 平面要素       |               | 4                 |
|           | 円柱形要素 (粗度) |               | 51                |
| 礫モデル      | 集合体<br>要素  | 粒形(1.0~1.5cm) | 2552個             |
|           |            | 粒形(1.5~2.5cm) | 467個              |
|           |            | 粒形(2.5~3.5cm) | 81個               |
| 要素間<br>ばね | ばね<br>定数   | 法線方向Kn(N/m)   | $1.0 \times 10^6$ |
|           |            | 接線方向Ks(N/m)   | $3.5 \times 10^5$ |
|           | 摩擦係数tanφ   |               | 0.004             |
|           | 計算条件       | 時間刻みΔt(s)     |                   |



接与える澁谷ら<sup>3)</sup>の流速分布モデルを使用した。また、堰堤の礫捕捉量によって堰堤前面の水深が増えるように設定した。

3.3 解析結果

図-4に、解析結果を示す。前面傾斜角を設けた場合は、最大衝突荷重を約20%低減できている。この傾向は、実験における低減効果をおおむね再現できている。

図-4(b)に、堰堤に衝突した礫の平均速度と運動量を示す。衝突時の礫の運動量が $\theta_{LS}=0^\circ$ の方が大きく、前面傾斜角による礫の減速効果が確認することができる。衝突した礫の運動量の最大値は $\theta_{LS}=30^\circ$ の場合、 $\theta_{LS}=0^\circ$ と比較すると約20%低減している。さらに、低減効果が大きいのは、衝突時から0.1s間において生じている。これは、わずかな時間差における個々の礫の運動形態の変化が、低減効果に影響していることがわかる。

さらに、図-4(c)のように $\theta_{LS}=30^\circ$ の場合、荷重のピーク時に堰堤に衝突した礫の数が $\theta_{LS}=0^\circ$ に比べ、30%程少なく、このため運動量が小さくなっている。つまり、前面傾斜角により、先頭の礫を越えて堰堤に衝突するため一度に衝突する礫数が少なくなっており、運動量が小さくなっている。また、運動量のピークを過ぎた後は概して $\theta_{LS}=30^\circ$ の方が、運動量が大きくなっており、礫の減速が緩やかで、礫の運動量がすぐに荷重に変換されず、衝撃的な荷重が低減されていることがわかる。

4. 結 言

本研究は、個別要素法を用いて実験の再現解析から、堰堤の前面傾斜角が荷重に与える影響について検討したものである。

その結果、荷重が低減されるメカニズムは以下の2点である。①堰堤に衝突した先頭部の礫が後続の超越を阻害して、礫が短時間に集中して衝突することを防ぐ。②礫の減速が緩やかとなるため、運動量変化に伴う荷重が小さくなる。

今後の課題として、礫と堰堤における接触力の評価（応力テンソル評価）や土石流の先頭部における要素の速度ベクトルの評価（速度差の変化）を行い、衝突時における荷重発生メカニズムについてミクロな視点で検討する必要がある。

参考文献

1) 国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所：梨子沢流域砂防堰堤に関する検討会資料，p1-88，2014.8.  
2) 小松善治，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撃荷重に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.64A，pp.779-788，2018.3.  
3) 澁谷一，堀口俊行，香月智，大隅久，石川信隆：円柱形集合要素を用いた個別要素法による根付き流木の捕捉シミュレーション，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol. 67，No. 2 (特集号)，Vol. 14，I\_323-I\_334，2011.7.