

先行堆積礫を有する直線水路の土石流荷重計測法

防衛大学校 ○齋藤 和樹 堀口 俊行

1. 緒 言

我が国は、国土の7割が山岳丘陵地であり、土砂災害の発生が多く報告されている。近年では、土石流対策工の一つである鋼製透過型砂防堰堤が大規模な土石流によって破損する事例が報告されている。さらに、透過型のポケットは常に捕捉できるように水や小砂礫が通常時は抜けるようになっている。そのため、堰堤の捕捉領域は空になっていることから基礎付近から正面に土石流が衝突するものと考えられる。土石流の調査によると第1波よりも第2波のほうが、場合によって作用荷重が大きいことや、複数回土石流が流れてくることで、堰堤に繰り返し衝撃的な荷重を受けることが想定されている。そのため、堰堤の捕捉領域の中腹ぐらいに大きな衝撃力を受けることで、継手部分の破損が生じており、各高さに受ける作用荷重についての詳細な検討をする必要がある²⁾。そこで、現行設計における荷重分布モデルとの検証も含めて、土石流の流れ方や堆積時の初期条件の影響について、各高さ方向における荷重について検討する必要がある。

そこで本研究は、直線水路を用いて先行堆積礫を設置した条件下での土石流の衝突荷重を計測し、各高さ方向における作用荷重について考察するものである。

2. 実験条件

図-1に、実験で使用した水路の諸元を示す。水路は水路長4.5m、水路幅300mm、水路高さ500mmの直線水路であり、水路底面は木材を敷いている。水路上部にタンクを配置しており、ゲートの開閉によって水を流下させる仕組みを有する。

写真-1に、堰堤モデルを示す。堰堤モデルは高さ280mm、幅300mmであり、木材を用いて作成している。各段に作用する土石流荷重を計測するため、写真-1(a)に示すように荷重計測装置を配置している。装置は、受圧部を7個設置しており、正面から受けた荷重を高さ方向ごと計測できる。写真-1(b)に示す受圧板の後方にロードセル(LMB-A-500N)を配置しており、それぞれの受圧部の左右に1つずつ計14個配置している。この装置を水路上流のゲートから約4.0m下流側に固定した。写真-2に、礫モデルを示す。礫モデルは、比重2.6であり、3種類の粒径の礫材を混合して用いた。表-1に、礫径ごとの重量を示す。図-1に示すように、礫モデルを水路上部に堆積させた。また、移動床として礫モデルを水路底面に配置した。流下要領は、図-1に示すように、堆積させた礫モデルの上流で水を30L溜めて一挙に流下させる、ダムブレイク方式を用いて流下させた。写真-3に先行堆積礫の配置を示す。先行堆積礫による土石流荷重の違いを確認するために、写真-3(a)に示すように先行堆積礫0%と写真-3(b)に示す、先行堆積礫50%の条件をそれぞれ5回ずつ行い、得られた土石流荷重を比較した。また、水路側面からハイスピードカメラを用いて撮影した。撮影条件は、

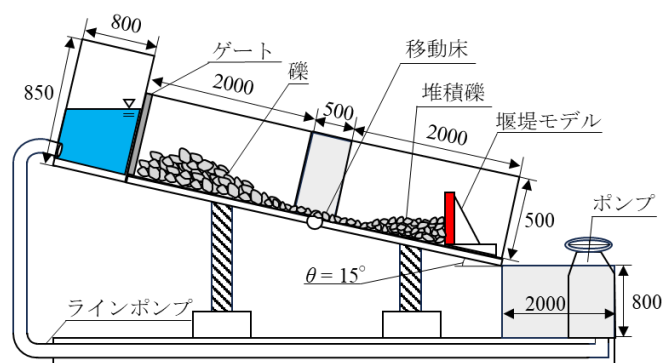
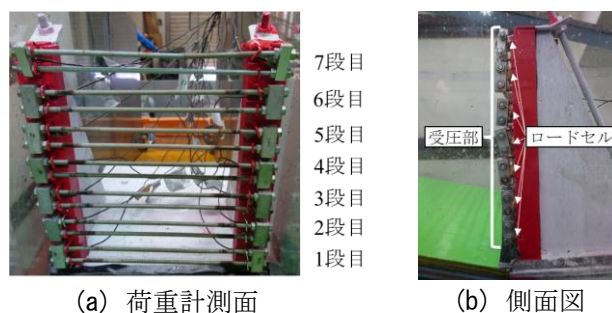


図-1 水路諸元



(a) 荷重計測面

(b) 側面図

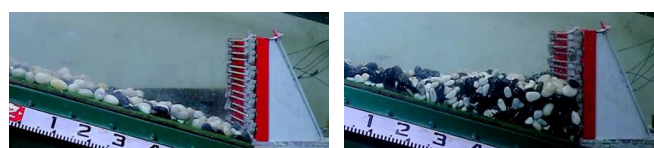
写真-1 荷重計測装置



写真-2 礫モデル

表-1 礫モデルの礫量

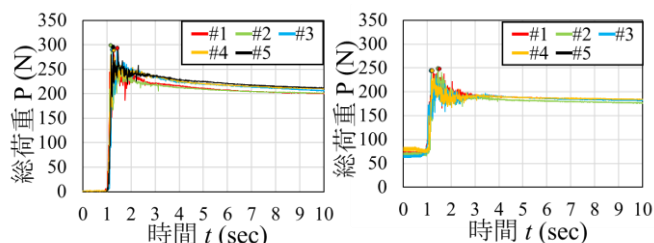
礫 径 (mm)	礫 量 (kg) 総量：75 kg	移動床礫量 (kg) 総量：30 kg
40~60	25.5	10.2
24~40	31.5	12.6
15~24	18.0	7.2



(a) 先行堆積礫 0 %

(b) 先行堆積礫 50 %

写真-3 先行堆積礫の初期条件



(a) 先行堆積礫 0 %

(b) 先行堆積礫 50 %

図-2 総荷重～時間関係

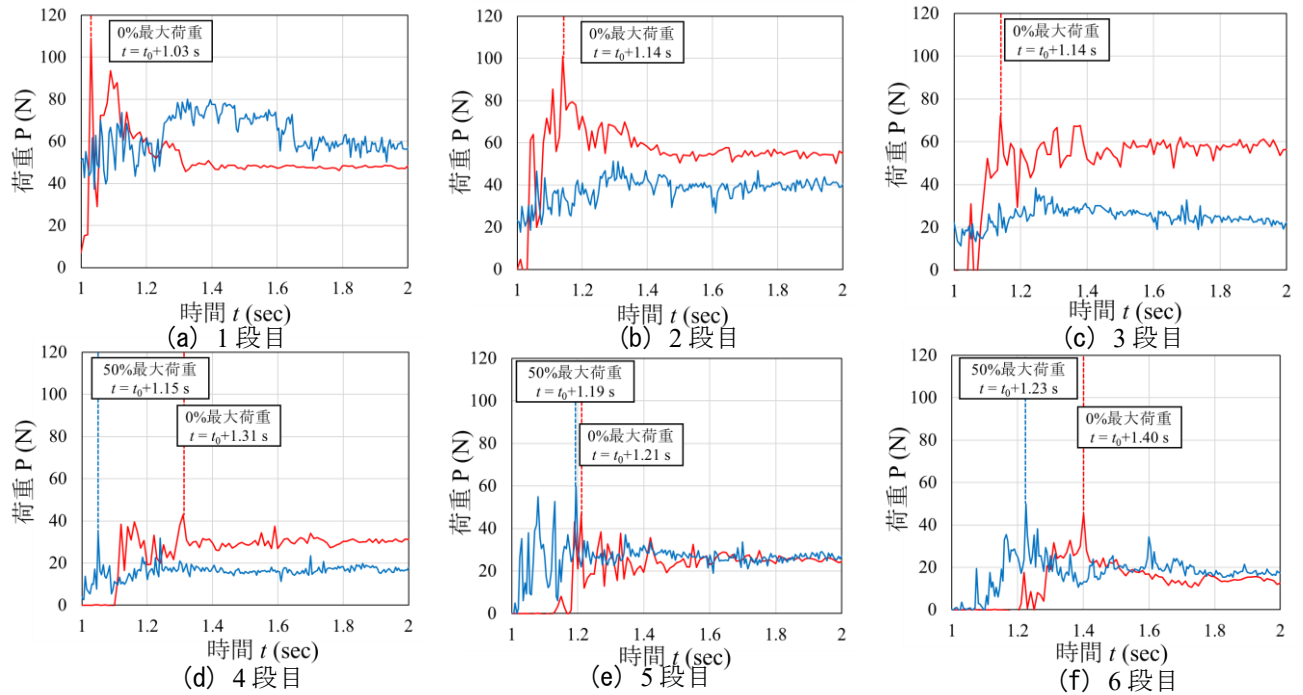
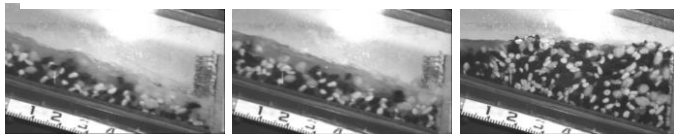
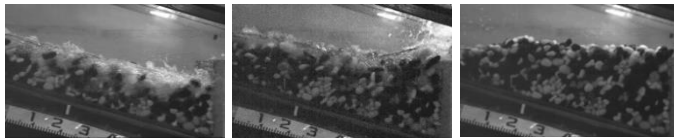


図-3 各段の荷重～時間関係



(a) $t = t_0 + 1.00$ s (b) $t = t_0 + 1.12$ s (c) $t = t_0 + 3.46$ s
写真-4 先行堆積礫 0%の流下景況



(a) $t = t_0 + 1.00$ s (b) $t = t_0 + 1.47$ s (c) $t = t_0 + 3.43$ s
写真-5 先行堆積礫 50%の流下景況

フレームレート 150fps, シャッタースピード 1/3000 である。

3. 実験結果

図-2 に、各段の荷重を合計した総荷重～時間関係を示す。荷重の立ち上がりの 1.0 s 前を 0 秒として整理している。図-2(a) に示す、先行堆積礫 0% の条件では、各ケースの総荷重のピーク値は、297～288 N である。図-2(b) に示す、先行堆積礫 50% の条件では、総荷重のピーク値は、249～273 N であり、先行堆積礫 0% の結果に比して総荷重が小さいことが分かる。これは先行堆積礫の影響によって、土石流先端の礫が先行堆積礫と細かな衝突を繰り返すことで速度を失うことで荷重が小さくなると考えられる。

図-3 に、各段の荷重～時間関係を示す。図-3(a) は、1 段目の荷重～時間関係の比較を示したものである。図-3(a)～(c) に示す、1～3 段目の荷重では、先行堆積礫 0% において衝撃的な荷重が確認できる。図-3(e)～(f) 示す、5～6 段目の荷重では先行堆積礫 50% の荷重が先行堆積礫 0% に比して大きな荷重が発生していることが分かる。このことから、土石流の先端部が衝突する位置において局所的な荷重が発生することが分かる。

写真-4 に、先行堆積礫 0% の流下景況を示す。写真-4(a) に示す、衝突直前を $t = t_0 + 1.00$ s として、写真-4(b) に示す、 $t = t_0 + 1.12$ s では、2,3 段目の荷重が最大となるため、当初の土石流先端部の衝突で総荷重が最大値となることが分かる。写真-4(c) に示す、 $t = t_0 + 3.46$ s では、流水の水深が堰堤天端部と一致した時である。

写真-5 に、先行堆積礫 50% における流下景況を示す。写真-5(a) に示す、衝突直前を $t = t_0 + 1.00$ s として、写真-5(b) に示す、 $t = t_0 + 1.47$ s では、総荷重が最大となる。写真-5(c) に示す、 $t = t_0 + 3.43$ s では、流水の水深が堰堤天端部と一致した時である。

以上の結果から、先行堆積礫が存在すると、先端の礫が先行堆積礫に衝突することにより速度を失い土石流の総荷重は低減すると考えらる。また、土石流先端部が当初衝突する箇所に局所的な荷重が作用することが明らかになった。

4. 結 言

本研究は、直線水路を用いて先行堆積礫を有する土石流の衝突荷重を計測するものである。得られた成果を以下に記載する。

- 1) 先行堆積礫の上部を土石流先端部が流下することにより、衝突が生起することで土石流先端速度が低下し、土石流荷重が小さくなると推測される。
- 2) 土石流先端部が当初衝突する部分に局所的な衝突荷重が生起することを明らかにした。

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：梨沢流域砂防堰堤に関する検討会，2014。
- 2) 嶋川理，堀口俊行，別府万寿博，香月智：個別要素法を用いた透過型砂防堰堤の損傷事例解析，土木学会論文集特集号（応用力学），Vol.79, No.15, 22-15044, 2023。