

鋼製砂防堰堤が受ける土石流の衝撃荷重評価に関する検討

防衛大学校 正会員 ○堀口俊行 香月 智
砂防鋼構造物研究会 フェロー 石川信隆

1 緒言

写真-1 に示すような透過型の鋼製砂防堰堤は、流砂系における土砂管理に配慮して、堰堤開口部によって水や砂を流す機構となっている。そのため、土石流を捕捉するため、先頭部に巨礫が集中する特性を利用することで、透過部を巨礫が閉塞し、土石流全体を受け止めるものである。よって、堰堤の鋼材が巨礫を含む土石流に対して衝撃力に耐える必要があり、衝撃荷重を正確に把握することが重要である。

例えば、写真-1 (a) に示している構造の堰堤が平成 26 年で発生した長野県南木曾での土石流で、上部が破損し、鋼管の一部が流された。この構造形式は、それまで破損事例がなく、鋼製砂防堰堤の中では、冗長性を有する頑健な構造物であるとされていた。一方で、写真-1 (b) に示すような同じ構造形において土石流を受け止める前面が斜めの堰堤では、同じ災害で発生した土石流で衝突を受けても破損が軽微であった。

そこで本研究は、鋼製砂防堰堤が受ける衝撃力評価を実験的に行い、堰堤形状における荷重の影響を検討するものである。その際、4 種類の前面の角度が異なる砂防堰堤を用いて、堰堤に生ずる衝撃荷重について検討するものである。

2 実験の概要

2.1 実験内容

図-1 に、実験水路の概略図と諸元を示す。鋼製砂防堰堤モデルを勾配 11.4° の水路に設置した。土石流モデルは、堰堤モデルから 3.0 m の位置より 1.0 m 程度に敷きならし、その後ろから 0.3 m の高さまで貯めた水を一挙に流し込むことで生起させた。また、その土石流モデルを堰堤モデルに衝突させて、分力計とロードセル 2 つの合力によって衝撃荷重を評価した。なお、計測は止水した後水が流れ終わるまで行った。

堰堤モデルから 2.0 m の長さに粗度を設置して土石流の段波を形成させた。なお、この実験は土石流が乗り越えないことを前提にした実験を行っており、礫モデルや流木モデルが越流していないことを確認している。

2.2 供試体

図-2(a) に粒径分布を示す。これは、石礫型土石流をモデルとして決定した。図-2(b) には、礫モデルを示す。礫モデルの呼称粒径は、10 mm, 20 mm, 30 mm のものである。比重は 2.6 で、合計 40 kg 分の礫を用いており、堰堤モデルに礫が捕捉された時に満砂になるように体積を決定した。また、図-2(c) の流木モデルは、径 6 mm, 長さ 120 mm の木材を用いた。その流木モデルを礫モデルの体積の 10% 含ませ、流木混じり土石流とした。

2.3 堰堤モデル

写真-2(a), (b) に 4 種類の堰堤のうち、堰堤傾斜角 $\theta_L = 0^\circ, 30^\circ$ のモデルを示す。なお、堰堤傾斜角とは写真-



(a) 梨沢第1砂防堰堤 (b) 梨沢第2砂防堰堤

写真-1 梨子沢地区の鋼製砂防堰堤

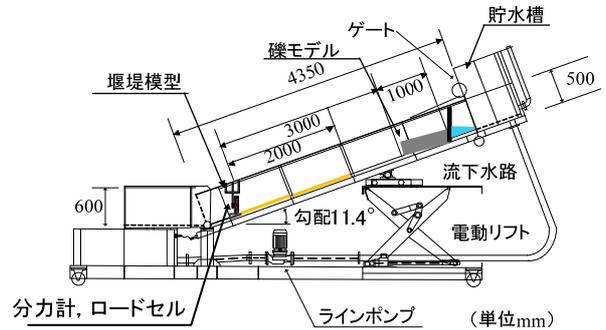
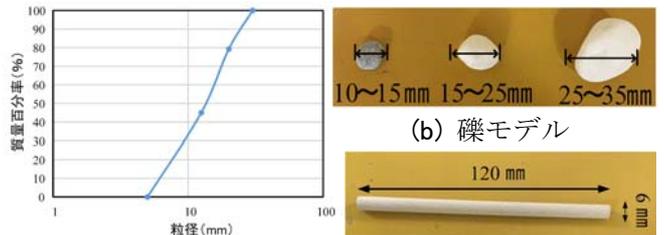
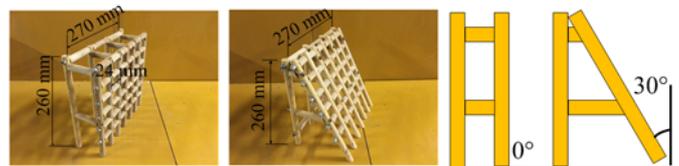


図-1 実験装置



(a) 粒径分布 (b) 礫モデル (c) 流木モデル

図-2 供試体



(a) $\theta_L = 0^\circ$ (b) $\theta_L = 30^\circ$ (c) 堰堤傾斜角

写真-2 堰堤モデル

表-1 実験ケース

傾斜角 (θ_L)	勾配 (θ)	供試体	ケース数	総数
0°	11.4°	礫	7	42
10°				
20°		礫 + 流木 (0, 30°)		
30°				

2(c) のように矩形のモデルを 0° とし、傾斜が大きくなると堰堤傾斜角も大きくなるものである。

2.4 実験ケース

表-1 に、実験ケースを示す。実験は堰堤傾斜角 ($\theta_L = 0$,

キーワード 土石流, 鋼製砂防堰堤, 衝撃荷重

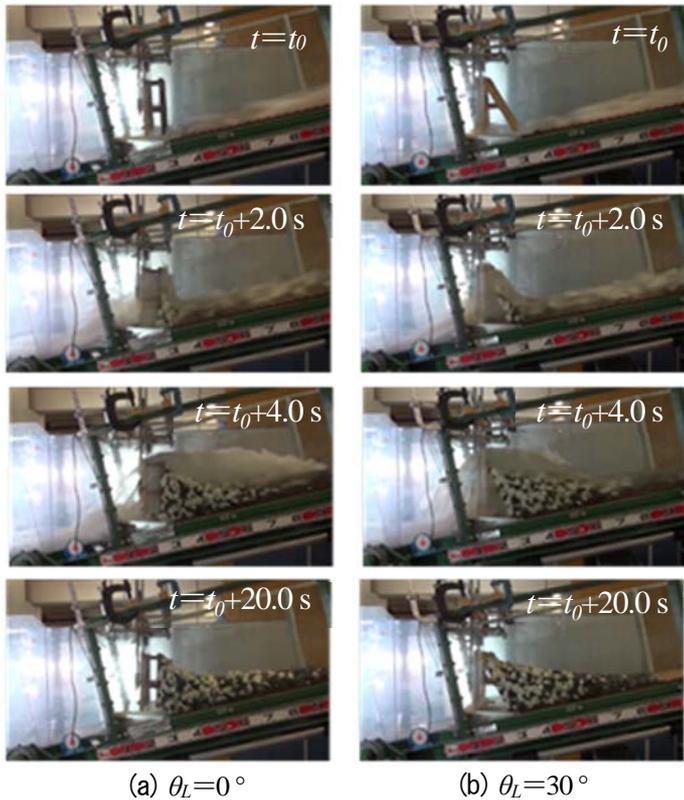


写真-3 実験状況の時刻歴応答

10, 20, 30°), 礫のみの土石流および流木混じり土石流をもとに組み合わせて、計42 ケースについて実験した。

3 実験結果

ここでは、堰堤傾斜角 $\theta_L=0^\circ$, 30° の結果を焦点に述べる。写真-3 に、実験ケースごとの時刻歴応答を示す。まず、 $t=t_0$ とは礫が堰堤に衝突する直前である。次に、 $t=t_0+2.0\text{s}$ では、堰堤に土石流モデルが衝突し、堰堤高さの半分程度に達している。この時が、一気に衝撃荷重が大きくなる瞬間である。さらに、 $t=t_0+4.0\text{s}$ は、ほぼ土石流が堰堤の天端付近まで到達されて捕捉されている。その後は、堆積形状に変化はなく後続流のみが通過している。最後に、 $t=t_0+20.0\text{s}$ では止水時から水が完全に流れしており、礫のみが堆積している。

図-3 に、土石流および流木混じり土石流の衝撃荷重～時間関係を示す。まず、土石流モデルの衝撃荷重は 0.5 s 以降、衝撃荷重が上がり、そのまま水が抜けるにつれて小さくなっている。最大衝撃荷重は、堰堤傾斜角 $\theta_L=0^\circ$ では 185 N である。一方、堰堤傾斜角 $\theta_L=30^\circ$ では 130 N である。すなわち、堰堤の角度が変わることで 50 N ほど小さくなる。さらに、流木混じり土石流は、荷重の上がり方が少し遅れて徐々に大きくなる。さらに、堰堤傾斜角が大きくなるにつれて、礫のみの土石流の実験と同様に衝撃荷重が小さくなる。また、流木が混じると礫のみの土石流の実験に比べて明らかに衝撃荷重が小さくなっている。これは、流木が混じることで礫の前面に捕捉された後に礫が衝突するため、緩衝材のような効果を発揮することで衝撃荷重が小さくなるものと考えられる。

図-4 は、各堰堤の最大衝撃荷重を示しており、礫のみの土石流および流木混じり土石流ともに堰堤傾斜角が大きくなるほど衝撃荷重が小さくなるのがわかる。この

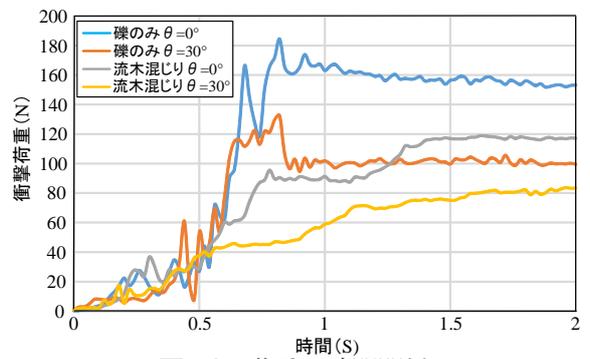


図-3 荷重～時間関係

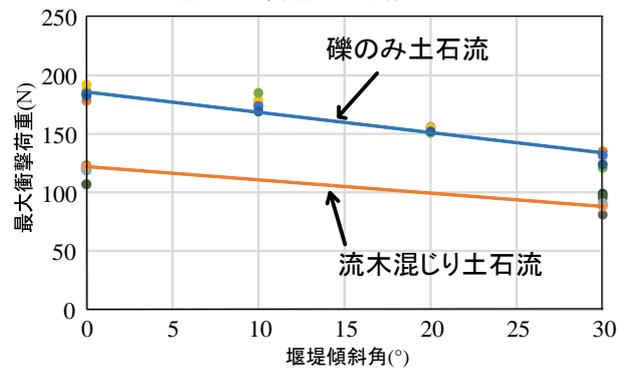


図-4 各堰堤における最大衝撃荷重

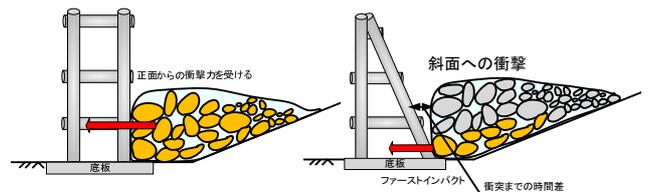


図-5 衝撃荷重メカニズム

ことから、堰堤の前面角度によって衝撃荷重が低減されることが分かる。

図-5 は、衝撃荷重のメカニズムを堰堤傾斜角の違いに比較考察したものである。段波の前面がほぼ直立していることを前提とすると、堰堤全面で衝撃を受ける。一方、前面を斜めにすると、下部から時間差をもって衝突が生じることになる。すなわち、下部で停止した礫は、上部の礫の移動を抑制する効果を発揮し、衝撃荷重が小さくなる。

4 結言

本研究は、鋼製砂防堰堤が受ける土石流の衝撃荷重を評価するために、実験で得られた衝撃荷重～時間関係をもとに、堰堤傾斜角ごとの衝撃荷重メカニズムを比較して衝撃力について検討した。

- 1) 衝撃を受ける面の角度(堰堤傾斜角)が変わることで、土石流の衝撃荷重が変化する。
- 2) 流木混じり土石流では、流木が緩衝材のような効果を発揮して衝撃荷重が小さくなる。

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，2014。
- 2) 香月 智，渋谷 一，大隅 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, 16-29, 2013.2