

1. 諸 言

近年、我が国では、局所的・短期間に強い雨が降る傾向にあり、土砂災害が頻発している。中でも土石流は、数 m にも及ぶ巨礫が一気に流れ込み、広範な地域に甚大な被害をもたらしている。土石流の対策工としては、河川に土石流を捕捉する砂防堰堤を設け、せき止めることが一般的である。その中でも、鋼製透過型砂防堰堤は、河川をせき止めずに水や砂を流し、災害発生時は先頭部に集中する巨礫が堰堤の透過部を閉塞することで後続の土砂を捕捉できる機能を持っている。

著者ら¹⁾は、砂防堰堤の前面傾斜角が土石流衝突荷重を与える影響を実験的に検討している。ただし、その荷重発生メカニズムについて解析的に検証されていない。

そこで本研究では、個別要素法を用いて直線水路実験の再現解析を行い、透過型砂防堰堤の前面傾斜角が土石流衝突荷重を低減するメカニズムを解析的に検証するものである。

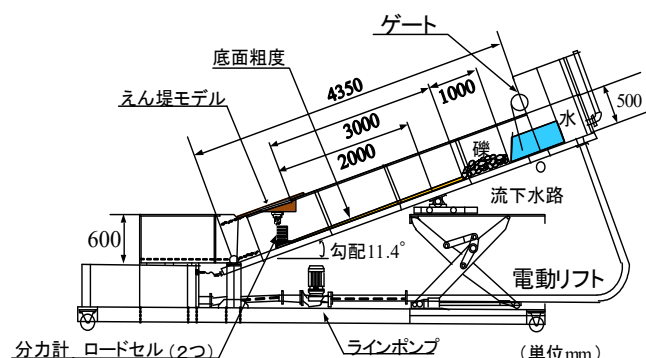


図-1 実験水路

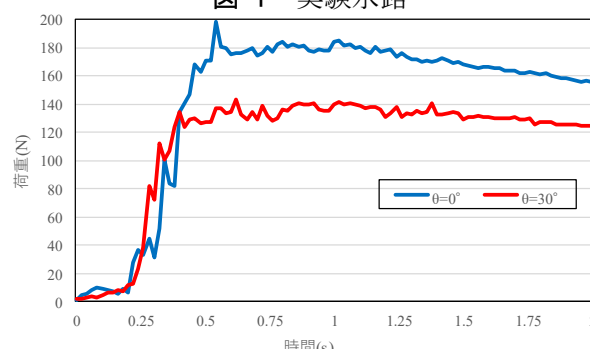


図-2 実験における荷重～時間関係

2. 実験の概要

著者らは、図-1 に示す可変勾配型直線水路に前面傾斜角が $0 \sim 30^\circ$ までの堰堤モデル 4 種類に対して、土石流を衝突させて衝撃荷重との関係を調べた。その実験ケースにおいて、前面傾斜角 $\theta = 0^\circ$ と 30° の結果を図-2 に示す。前面傾斜角 30° の最大衝撃荷重は前面傾斜角 0° の場合に比べ、約 30% ほど低減していることが判る。これは、実験結果の映像分析によって、前面傾斜角が 0° の場合では、段波形状のままに衝突しているのに対して、 30° の場合では、礫の塊がわずかな時間差を生じて、個々で衝突していることから段波形状が斜めに衝突している。このことから、衝撃荷重が急激に上昇することなく、やや緩やかに衝撃が発生することで、瞬間的に最大荷重が小さくなっていると考えられた。

3. 解析手法

個別要素法は、まず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。解析モデルは、図-3 に示すように礫材として球形要素、堰堤モデルとして円柱形要素を複数組み合わせる。流水は、計算負担を軽減するため、水路中の要素に水深と流速を直接与える流速分布モデル²⁾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、流速が変化するように設定した。

表-1 に、解析パラメータを示す。流速および球形要素の粒径分布は実験と同様とした。なお、土石流の配置の前段階として、礫を落下法によって実験と同様の条件下にし、流速分布モデルで再現し、流体力を与えることで土石流モデルとして流下させた。そして、衝突直前で解析を中断して、これを初期配置とする。この初期配置を図-4 に示す。このようにすることで、堰堤形状以外の土石流荷重の条件を均一にすることができる。

4. 解析結果

図-5 に、荷重～時間関係を示す。堰堤の角度にかかわらず 0.6 s まで荷重は大きくなり、その後若干低下し、0.8 s 以降はほぼ一定となる。これは実験結果とほぼ一致した

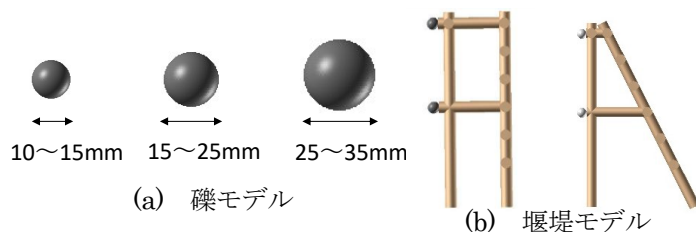


図-3 解析モデル



図-4 初期配置

表-1 解析初期値

項 目		値
流水モデル	流速(m/s)	2.0
	水深 (m)	0.15
	抗力係数	0.49
堰堤モデル	円柱要素	26
	球形要素	8
	傾斜角(°)	11.3
水 路	水路長 (m)	4.35
	水路幅 (m)	0.3
礫モデル	球形要素(10~15 mm)	2552
	球形要素(15~25mm)	467
	球形要素(25~35mm)	81
ばね係数	法線方向(N/m)	1.0×10^6
	接線方向(N/m)	3.5×10^5
	摩擦係数	0.404

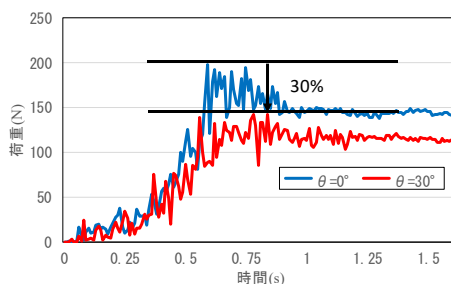


図-5 荷重～時間関係(解析)

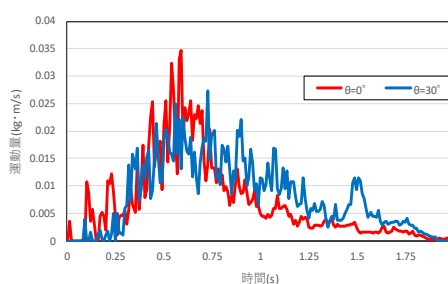


図-6 衝突総運動量～時間関係

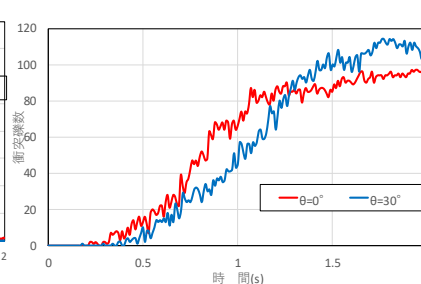


図-7 衝突礫数～時間関係

傾向にある。また、前面傾斜角を与えると直立堰堤の最大荷重は約 30%低減されることがわかる。この前面傾斜角による礫の減速効果の生起メカニズムを分析するため、図-6 に堰堤への衝突礫の運動量～時間関係を示す。ここで衝突礫の運動量とは、時々刻々の堰堤に衝突した礫が有する運動量の総和である。衝突した礫の運動量のピークは $\theta=30^\circ$ のものが、約 30%小さく、そのピーク発生時間がやや遅れ気味であることがわかる。つまり、衝突運動量の総和が影響している。総和には、個数の影響と衝突速度の影響が考えられる。そこで図-7 に示すように、2 つの解析における堰堤への衝突個数～時間関係を比較する。 $\theta=30^\circ$ の場合、荷重発生 of ピーク時、堰堤に衝突した礫の数が $\theta=0^\circ$ に比べて 35%ほど少なく、このため明らかに衝突個数の影響が大きいことがわかる。このことより、前面傾斜角が大きいと、先頭の停止した礫を乗り越えて堰堤に衝突するため単位時間に衝突する礫数が少なくなっており、総運動量が小さくなっていることがわかる。一方、運動量のピークを過ぎた後、 $t=0.75$ s から $\theta=30^\circ$ の方が $\theta=0^\circ$ に比べて大きくなっており、ピーク後にも礫の後続が先頭を超越し堰堤前面に衝突していることと、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、荷重が低減されていることを示してい

る。このことから、衝突に影響を与える力がこの時間的な遅れによって堰堤が受ける荷重が低減していると考えられる。

5. 結 言

本研究は、個別要素法を用いた実験の再現解析により、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、次の知見が得られた。

- ①堰堤に衝突した先頭部の礫が後続の超越を阻害することで、礫が集合体として固まって衝突することを防ぐ。
- ②それに伴い最大衝突荷重および最大衝突運動量のピーク発生に時間的な遅れが生じる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 堀口俊行, 香月智: 個別要素法による鋼製透過型砂防堰堤に対する巨礫衝突荷重解析, 砂防学会誌, Vol.70, No.3 pp51-57, 2017.5.