

個別要素法による土石流荷重の低減対策工の検討

防衛大学校 ○嶋川理 小松善治 堀口俊行 香月智

1. 諸 言

近年、我が国では局所的かつ短期的な強雨により土砂災害が頻発している。土砂災害の中でも土石流は数 m に及ぶ巨礫が流下することから生活区域に甚大な影響を及ぼす。土石流の対策構造物として、鋼製透過型砂防堰堤が用いられている。鋼製透過型砂防堰堤は冗長性を有する頑強な構造物として知られているが、近年の被災で破損・破壊した事例も確認されている。そのため、現行の設計荷重をレベルⅠとして、より大きなレベルⅡの設計荷重を設定する動きがある。しかし、レベルⅡ荷重が適用されると既存の構造物の中に条件を満たさない堰堤が生じる可能性がある。その対策として、既設の堰堤の部材を補強する方法や、堰堤の上流側に副堤を設けて本堤に作用する荷重を低減させる方法等が検討されている。

著者らは、堰堤の前面に小規模の透過型砂防堰堤（以下、低減対策工と呼称する。）を設置した際の荷重低減効果について検討した。しかしながらそのメカニズムについては未解明なままである。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、透過型砂防堰堤の上流側に設置した低減対策工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。

2. 実験の概要

著者らは、図-1 に示す可変勾配型直線水路の下流部に堰堤モデルと、最大礫径を基準に高さを 1D~3D の間で高さを変化させた低減対策工を本堤からの離隔距離を 1D の位置に設置し、土石流モデルを衝突させて最大衝撃荷重との関係を調べた。図-2 に最大衝突荷重と低減対策工の高さの関係を示す。低減対策工を設置した場合、設置しない場合と比較して概して荷重が低減されており、低減対策工高さが高いほどより荷重が低減されている。この際、低減対策工を設けない場合と $h = 3D$ では最大荷重に約 25 % 程差が生じている。

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、要素間に仮想の接触ばねを与え、要素同士の間より量から接触力を算定し、時々刻々要素の運動方程

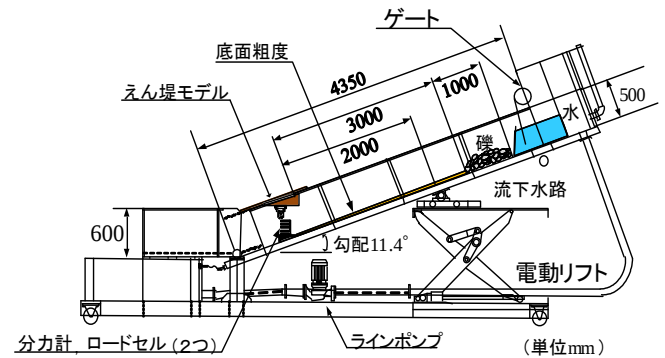


図-1 実験水路

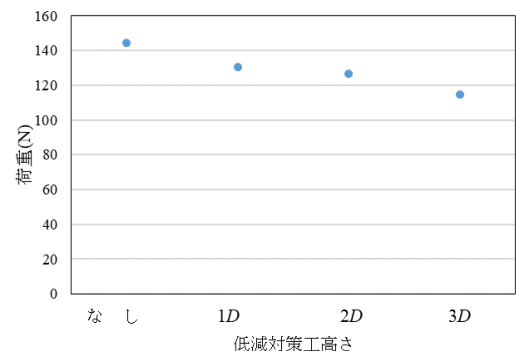


図-2 実験における最大衝突荷重

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使用。低減対策工も円柱形モデルを使用した。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深くなり、流速が変化するように設定した。

表-1 に、解析諸元を示す。流速及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、これを初期配置とした。この初期配置を図-4 に示す。このようにすることで、低減対策工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 に各ケースの荷重時間関係を示す。この時、低減対策工に土石流モデルの先頭部の礫が衝突した時間を $t = t_0$ s

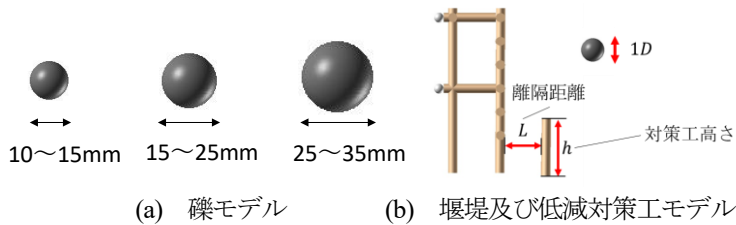


図-3 解析モデル



図-4 初期配置

表-1 解析諸元		
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
水路	傾斜角(°)	11.3
	水路長 (m)	4.35
	水路幅 (m)	0.3
礫モデル	球形要素(10~15 mm)	2120
	球形要素(15~25mm)	254
	球形要素(25~35mm)	726
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

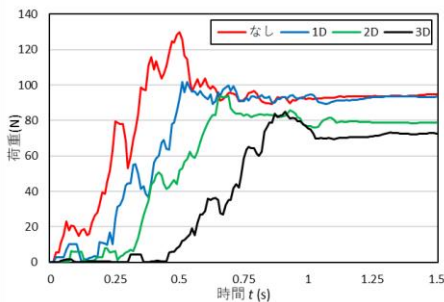


図-5 荷重時間関係 (解析)

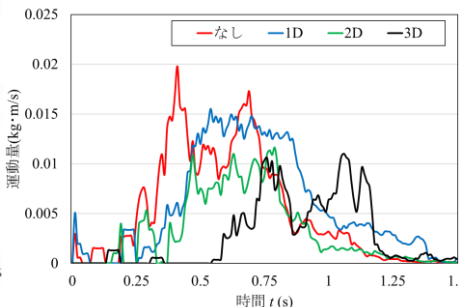


図-6 運動量～時間関係

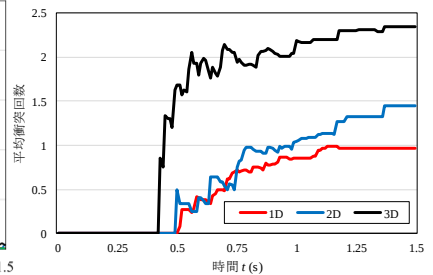


図-7 デッドゾーンとの平均衝突回数

としている。低減対策工を高くすることで最大荷重は低減されており、低減対策工を設けない場合と $h = 3D$ では最大荷重に約20%程差がある。礫の衝突の影響を確かめるために、堰堤に衝突した礫の運動量を確認する。図-6に、本堤に衝突した礫の運動量～時間関係を示す。低減対策工の高さが高くなると、本堤に衝突した礫の運動量も低減されている。衝突荷重のピークと運動量のピークの時間が概ね等しいことから、礫衝突の運動量が低減されたことにより衝突荷重が低減されたと考えられる。そのため、運動量を構成する要素の内、礫の総質量及び総速度の内、どちらが運動量に与える影響が大きいか、低減対策工が無いケースと、 $h = 3D$ で比較すると、総質量は約10%低減され、総速度は約20%低減されていた。このことから、運動量の低減については速度の影響が大きく、礫は低減対策工の設置によって何らかの減速効果を受け、その減速が礫の衝突に与える影響が大きいと言える。礫同士の衝突については、一般的にデッドゾーン³⁾と呼ばれる減速・停止した領域との衝突があると礫の速度は低減される。このため、本解析においても堰堤に捕捉され、 $v \leq 0.3 \text{ m/s}$ となった礫をデッドゾーンとして、後続礫が堰堤に衝突するまでのデッドゾーンの衝突回数を確認した。結果を図-7に示す。低減対策工高さが高くなるとデッドゾーンとの衝突回数が顕著に多くなっている

ことがわかる。これにより礫が減速し、衝突荷重に影響を与え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、低減対策工が土石流衝突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。デッドゾーンで捕捉された礫の影響で、低減対策工を高くすると、衝突礫の速度が低下するだけでなく、衝突礫の総量(質量)も減少し、衝突礫の総運動量を減少させる効果がある。低減対策工により形成されたデッドゾーンは本堤に衝突する礫の速度を低減する。これは、デッドゾーンと後続礫が衝突を繰り返すためである。

参考文献

- 1) 平松晋也ほか：平成26年7月9日長野県南木曽町で発生した土石流災害，砂防学会誌，Vol.67，No.3，pp.38 - 48，2014.
- 2) 小松喜治ほか：前置減勢工による土石流衝撃荷重低減効果に関する実験，構造工学論文集，Vol.65A，pp.867 - 875，2019.
- 3) Song D et al: Quantitative analysis of debris-flow flexible barrier capacity from momentum and energy perspectives, Engineering Geology Vol.251, pp.81-92. 2019.