

土石流中の巨礫に作用する流速が透過型砂防堰堤の巨礫捕捉効果に与える影響

中央大学大学院 学生会員 ○合田 明弘 中央大学大学院 学生会員 小石 一字
中央大学大学院 学生会員 柿沼 太貴 中央大学 フェロー会員 山田 正

1. 緒言

透過型砂防堰堤は、土石流先端部に巨礫が集中する性質を利用して巨礫群を開口部で閉塞させ土石流全体を捕捉する施設であり、土石流・流木の対策施設として位置づけられている¹⁾。透過型砂防堰堤による土石流中の巨礫捕捉に関する実験や解析が多くなされており、近年は水理実験を補完するために、不連続体解析の1つである個別要素法²⁾を用いた土石流の巨礫捕捉解析が数多く行われている。例えば、深和ら³⁾は土石流の最大粒径 d_{max} と鋼管間隔 l の比(以下、 l/d_{max})の値をパラメトリックに変化させて土石流捕捉解析を行い、 l/d_{max} が1.5以下のときに高い確率で巨礫を捕捉することを示した。個別要素法を用いた巨礫捕捉解析において、水と巨礫の相互作用を考慮することは解析が複雑になることや捕捉効果を評価する際に重要な因子とならないことから、水の流速を与え、巨礫に作用する水流の影響を抗力として表現することが多い。他方で、土石流の観測によると、土石流の流下速度は含まれている石礫の粒径、水量、流路勾配などによって変化するが、礫の目立つ土石流では3～10 m/s程度の値が報告されている⁴⁾。したがって、巨礫に作用する水の流速にも3～10 m/s程度の幅があると考えられるが、巨礫捕捉解析において、巨礫に作用する流速が透過型砂防堰堤での巨礫捕捉に与える影響について検討が行われていない。そこで本研究は、2次元個別要素法を用いた巨礫捕捉解析を行い、土石流の巨礫に作用する流速が透過型砂防堰堤の巨礫捕捉効果に与える影響について検討を行う。

2. 解析概要

本研究では、2次元個別要素法を用いて巨礫捕捉解析を行う。個別要素法解析の詳細は深和ら⁴⁾の論文を参考にされたい。本解析では、土石流の主部は巨礫群の移動のみとし、土石流の巨礫(直径30 cm以上)を解析中で球として表現している。また、細かい砂礫はそれらに比較して十分に小さいものと見なし、周囲の流水として表現できるものとする。図-1は巨礫捕捉解析例と解析に使用した粒径加積曲線、解析基本値、透過型砂防堰堤の諸元である。粒径加積曲線は焼岳での観測結果⁵⁾を参考に、解析基本値は深和ら³⁾を参考にした。設定した透過型砂防堰堤は、鋼管部分を通る2次元断面とし、 l/d_{max} は透過型砂防堰堤の指針の変遷¹⁾を参考に、 $l/d_{max}=1.0, 1.5, 2.0$ の3つを設定した。本解析では直線勾配20°の斜面を採用し、透過型砂防堰堤の鋼管位置の上流側100 m地点より上流側に巨礫群を配置し、巨礫群は自重作用と水から受ける一様流によって斜面を流動するものとする。巨礫に作用する流速 u が透過型砂防堰堤巨礫捕捉に与える影響を見るために、一様流として $u=2.0$ m/s, 5.0 m/sの2つの流速を与え、また河床付近では流速が小さくなることから、河床付近の流速は0.5 m/sとした。なお、これまでの土石流の観測⁴⁾を踏まえて、巨礫の捕捉が開始してから30秒間流速 u を与えた。その後はどちらの流速の条件でも後続流の土石流の流下を表現するために、1.0 m/sの流速に変化させた。

3. 結果と考察

透過型砂防堰堤の巨礫捕捉効果の評価は、以下の式で行う。

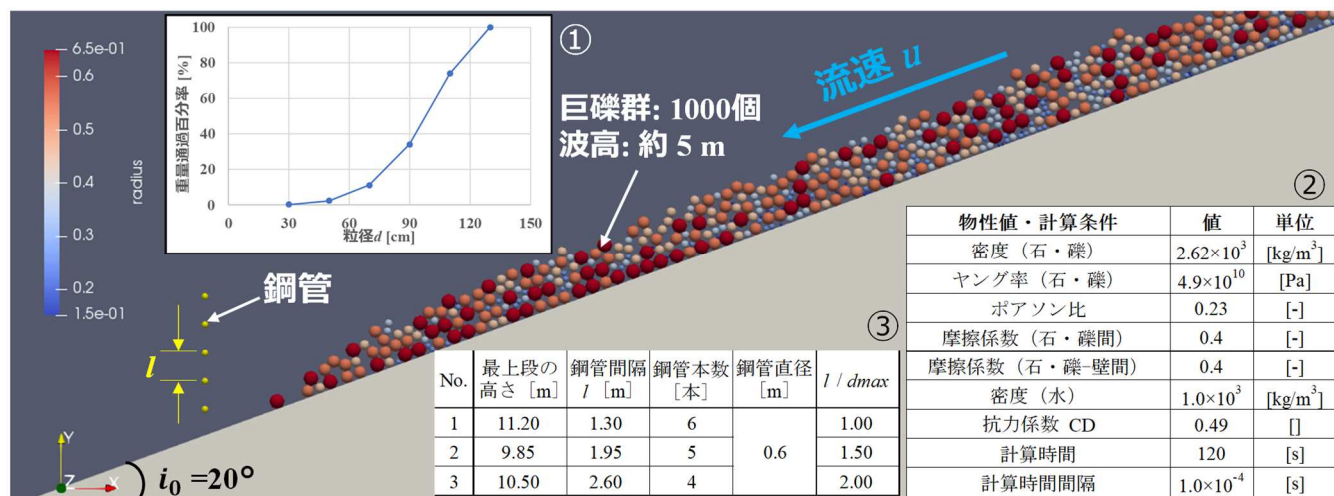


図-1 巨礫捕捉解析例と、解析に使用した①粒径加積曲線②解析基本値③透過型砂防堰堤の諸元

キーワード 土石流, 透過型砂防堰堤, 巨礫捕捉解析, 個別要素法, 捕捉率

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL : 03-3817-1805 E-mail : a14.nh6h@g.chuo-u.ac.jp

$$P = \frac{N_T - N_{pass}}{N_T}$$

ここで、 P :捕捉率、 N_T :全巨礫数、 N_{pass} :透過した巨礫数である。巨礫捕捉量のバラツキを見るために、図-2の解析条件で巨礫の初期位置をランダムに変えて、それぞれ100回ずつの計算を行った。

図-2は l/d_{max} と巨礫に作用する流速を変化させたときの巨礫の捕捉率の関係である。 l/d_{max} に着目すると、 $l/d_{max}=1.0, 1.5$ の場合では、捕捉率の最大値と最小値の差が10%程度、四分位範囲も5%程度であり、バラツキが小さいことがわかる。したがって、この l/d_{max} では捕捉率が大きく、バラツキが小さいことから高い確率で巨礫を捕捉できることがわかる。 $l/d_{max}=2.0$ の場合は、 $l/d_{max}=1.0, 1.5$ の場合に比べて、捕捉率のバラツキが大きいことがわかる。次に流速 u に着目すると、 $u=5.0$ m/sの場合では、 $u=2.0$ m/sと比べて、全ての l/d_{max} で箱髭図が全体的に低い値にシフトしており、その変化は鋼管間隔が小さいほど大きくなる。この結果の要因として、 $l/d_{max}=1.0, 1.5$ の場合は、 $u=2.0$ m/sのときに巨礫によって形成された閉塞構造が安定で一度閉塞すると崩れないが、 $u=5.0$ m/sになり巨礫に作用する流速が大きくなると、形成された閉塞構造が崩れて巨礫が砂防堰堤を透過してしまうことが考えられる。その後、すぐに新たな閉塞構造が形成されることで、さらなる巨礫の透過を防いでいるため、捕捉率は80%以上であり、バラツキも小さいことがわかる。 $l/d_{max}=2.0$ の場合、どちらの流速でも閉塞構造が崩れて巨礫が透過するため、同程度の値を持つ箱髭図になっていることがわかる。

図-3は $l/d_{max}=2.0$ の場合の捕捉率のヒストグラムである。この結果を見ると、それぞれの流速で捕捉率のピーク値が10%~30%と70%~90%の間にそれぞれあり、捕捉率は2つのピーク値を持つことがわかる。したがって、 $l/d_{max}=2.0$ では、巨礫を70%以上と高い確率で巨礫を捕捉できる場合と、捕捉率30%以下と巨礫をほとんど捕捉できない場合の2通りを持つことがわかる。この要因として、巨礫が集中する先端部を捉えきれたときは高い捕捉率になるが、先端部を捉えきれないと、粒径の小さい礫が多い後続流が捉えられず透過してしまい、捕捉率が小さくなることが考えられる。

4. まとめ

巨礫に作用する流速が透過型砂防堰堤の巨礫捕捉効果に与える影響を明らかにするために2次元個別要素法を用いた巨礫捕捉解析を行った。得られた主な知見を以下に示す。

- [1] $l/d_{max}=1.5$ 以下の場合、高い確率で巨礫を捕捉することができる。
- [2] $l/d_{max}=1.0, 1.5$ の場合で、巨礫に作用する流速 $u=5$ m/sのとき、 $u=2$ m/sのときに比べて、捕捉率の箱髭図の値は全体的に小さくなり、捕捉率のバラ

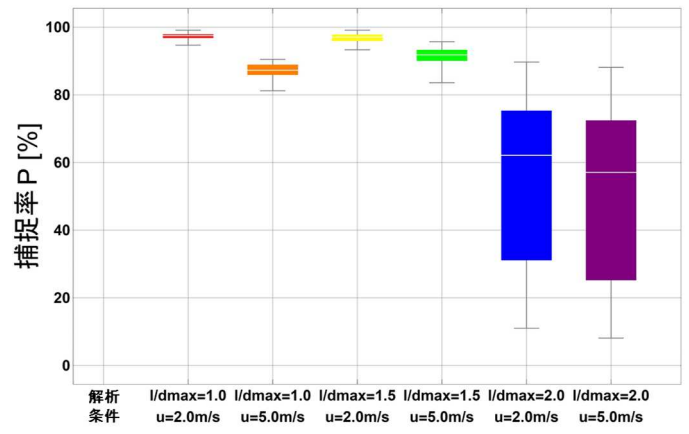


図-2 l/d_{max} と流速を変化させたときの捕捉率

〔巨礫に作用する流速が大きいき、捕捉率は小さくなり、バラツキは大きくなる。〕

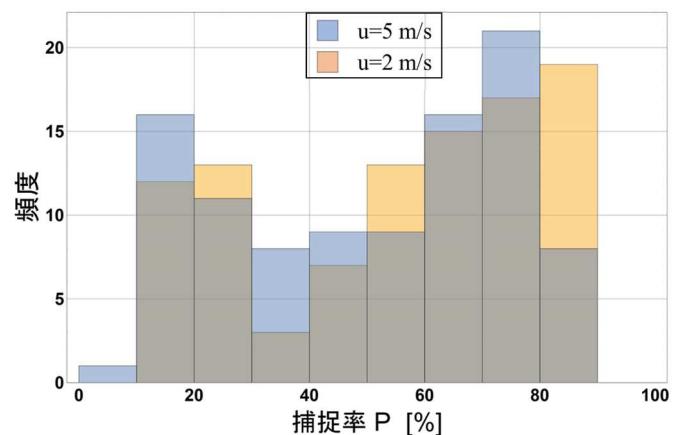


図-3 捕捉率のヒストグラム($l/d_{max}=2.0$)

〔どちらの流速の条件でも捕捉率は10%~30%と70%~90%の間にそれぞれピーク値を持つ。〕

ツキは大きくなる。 $l/d_{max}=2.0$ の場合は、どちらの流速でも捕捉率の箱髭図は同程度の値を持つ箱髭図になる。

- [3] $l/d_{max}=2.0$ の場合、どちらの流速の条件でも捕捉率のピーク値は10%~30%と70%~90%の間にそれぞれあり、2つのピーク値を持つ。

参考文献

- 1) 田畑茂清, 守山浩史: 鋼製透過型えん堤工法・設計法の変遷と課題, 砂防学会誌, Vol.64, No.6, p.47-51, 2010
- 2) Cundall, P. A. and Strack, O. D. L.: A discrete model for granular assemblies, Geotechnique, Vol.29, No.1, p.47-65, 1979.
- 3) 深和岳人, 香月智, 石川信隆, 山田正: オープン型鋼製砂防ダムの礫捕捉効果に関する個別要素法解析と確率的評価, 土木学会論文集, No.703/I-59, p.165-176, 2002.
- 4) 高橋保: 土石流の流れ学, ながれ 3, p.307-317, 1984.
- 5) 諏訪浩, 奥西一夫: 土石流の流動特性・材料特性と規模一焼岳上々堀沢の土石流一, 京都大学防災研究所年報, 第33号 B-1, 1990.