

## 鋼製透過型砂防堰堤の土石流捕捉確率に関する基礎的検討

防衛大学校 ○学生会員 片出 亮 正会員 香月 智

## 1. 緒言

平時の流砂を妨げず、土石流時に閉塞して災害を防ぐ性能を期待され写真-1のような透過型砂防堰堤が建設されている。設計指針<sup>1)</sup>では、格子間隔と最大礫径( $D_{95}$ )との比で制約されるが、その信頼性評価の手法は未だ検討されていない。本研究は、礫捕捉性能評価への確率的アプローチを試みたものである。

## 2. 評価手法と基本式

図-1に示すように、一格子(幅  $w$ , 高さ  $h$ )に土石流中の巨礫が近づいて順次に格子にほぼ平均的な時間間隔で到達するものとし、その格子が一旦「閉塞される( $E_s$ )」と、以後の土石流は堰き止められるとする。このとき、堰き止め完成が  $i$  番目の礫の到達後に完成する確率  $P(E_i)$  は、幾何分布に従うことになる。

$$P(E_i) = (1 - P_s)^{i-1} P_s \quad (1)$$

ここで、 $P_s$  :  $i$  番目からの数個の巨礫の組み合わせによって閉塞が成功する確率であり、図-2に示すような  $n=1 \sim 7$  個までの閉塞パターンのいずれかが完成するものとした。すなわち、

$$P_s = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_{sn} \quad (2)$$

ここで、 $P_{sn}$  : 対数正規確率分布に従う球形礫の連続する  $n$  個が図-2に示す閉塞パターンを満足する確率、 $\alpha_n$  :  $P_{sn}$  が成立した条件下において、実際の閉塞が成功する確率。

$\alpha_n$  は、連続する巨礫の到着タイミングや位置などに支配されるが、概して個数が多くなるほど小さくなるものと考えられるので、次式を用いるものとした。

$$\alpha_n = n^b \quad (3)$$

ここで、 $b$  : 負の係数であり、図-3のようになる。

$P_{sn}$  については、図-2に示す幾何学的条件を数式として整理する。例えば、 $n=1$  と  $2$  では次式のようになる。

$$E_1 = 2r_1 \geq \min(w, h) \quad (4)$$

$$E_2 = r_1 + r_2 \geq \sqrt{(w - r_1 - r_2)^2 + (h - r_1 - r_2)^2} \quad (5)$$

ここで、 $r_1, r_2$  : 閉塞に携わる礫の半径。なお、イベント  $E_2$  の中には、イベント  $E_1$  を満足する場合も含まれるため次式のようになる。

$$P_{s1} = P(E_1) \quad (6)$$



写真-1 鋼製透過型砂防堰堤

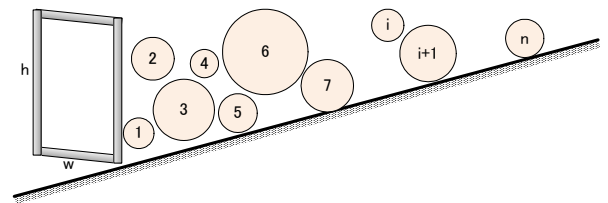


図-1 礫の到達順位モデル

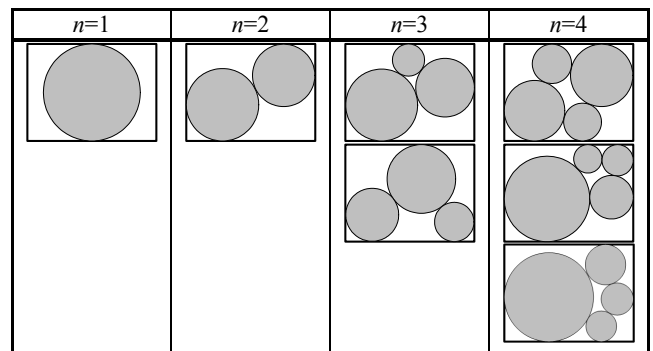
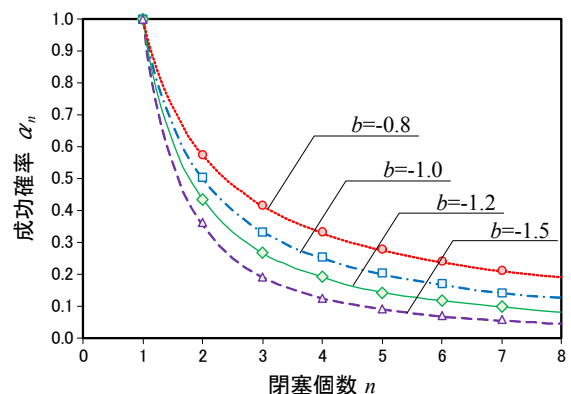


図-2 格子閉塞必要条件

図-3 閉塞成功確率  $\alpha_n$ 

$$P_{s2} = P(E_2 \cap \bar{E}_1) \quad (7)$$

ここで、 $\bar{E}_1$  :  $E_1$  の余事象。  $P_{st}$  の計算についてはモンテカルロ法を用いた。

キーワード：鋼製透過型砂防堰堤、土石流、礫捕捉確率

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL: 046-841-3810 FAX: 046-844-5913

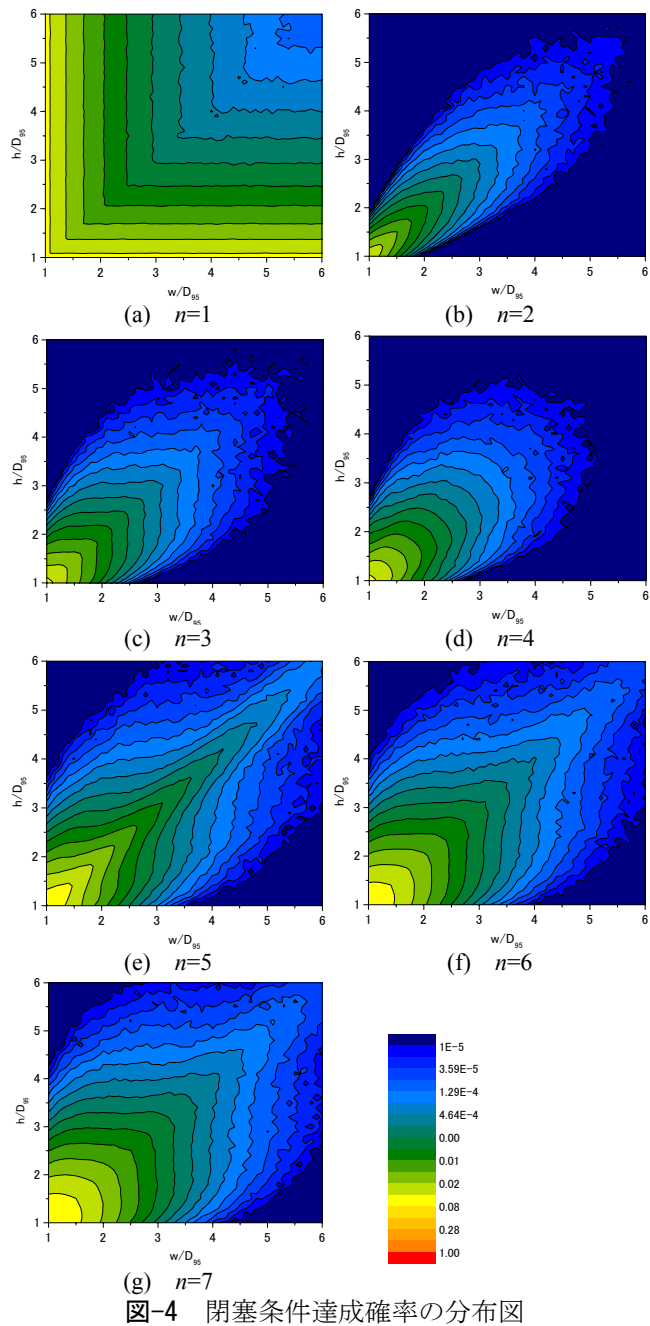


図-4 閉塞条件達成確率の分布図

3. 計算例

いま、土石流中の巨礫の  $D_{95}$  を 1.0[unit] として、平均  $\bar{D}=0.36[\text{unit}]$ 、変動係数 100% の対数正規確率分布に従う場合の  $P_{si}$  を  $w$  と  $h$  を変化させて求めると図-4 のようになる。これに式(3)の  $b$  を -1.2 としたうえで  $P_s$  を求めると図-5 のようになる。当然のことながら、 $w$  と  $h$  が小さい領域では  $P_s$  は大きく、かつ  $w$  と  $h$  に関して  $45^\circ$  線上を挟んで軸対象となる。また、図-5 の a-a' ~ d-d' 断面を抽出すると図-6 のようになり、 $w$  と  $h$  の増加に伴い  $P_s$  が減少し、一定の値に収束することがわかる。

この結果を用いて図-7 に示すような 2 つの格子形状を保有した堰堤を対象として、礫の通過個数の平均値と標準偏差を求めると表-1 のようになる。一格子高さが Type2 の格子の 6 倍である Type1 の堰堤では、通過期待値が 281.8 個と Type2 の 118.6 個に比して 2.4 倍も

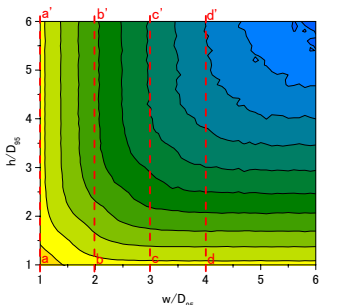


図-5  $P_s$  の分布図

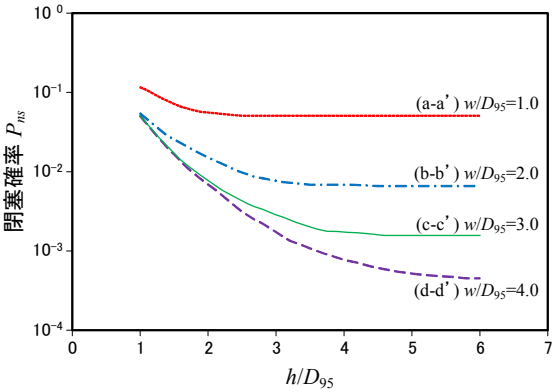


図-6  $h/D_{95}$  と  $P_s$  の関係

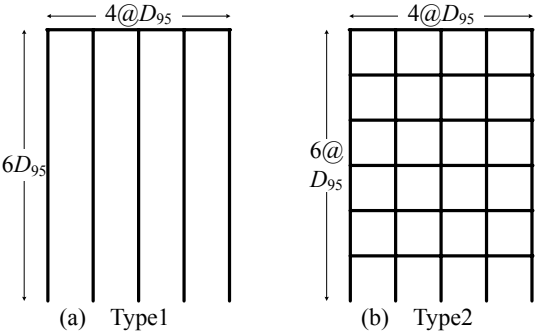


図-7 検討構造形状

表-1 計算結果

| Type | $w/D_{95}$ | $h/D_{95}$ | 格子数 | 通過期待値 | 標準偏差 |
|------|------------|------------|-----|-------|------|
| 1    | 1.0        | 6.0        | 4   | 281.8 | 62.3 |
| 2    | 1.0        | 1.0        | 24  | 118.6 | 26.6 |

大きくなることから、細かい格子の堰堤を設置することにより、礫の捕捉確率向上させることが可能となることがわかる。

4. 結言

本研究では、鋼製透過型砂防堰堤における礫捕捉性能評価への確率的アプローチを試みた。その結果、構造形状の格子を細かくすることによって捕捉確率が向上することを示した。

参考文献

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策設計技術指針及び同解説，社団法人 全国治水砂防協会，2007，11。