

# 透過型砂防堰堤の礫捕捉確率に関する検討

防衛大学校 ○学生会員 片出 亮 正会員 香月 智  
(財) 砂防・地すべり技術センター 嶋 丈示

## 1. 緒言

写真-1 のような透過型砂防堰堤の要求性能は、通常時には流砂を下流に流すが、土石流時には巨礫によって開口部を閉塞して災害を防ぐという相反する機能が要求される<sup>1)</sup>。これを達成するため、この格子間隔と最大礫径  $D_{95}$  との比によって設計しているが、その信頼性評価の手法については未だ検討されていない。そこで本研究は、礫捕捉性能評価への確率的評価手法について検討したものである。



写真-1 透過型砂防堰堤

## 2. 評価手法と基本式

図-1 に示すように、幅  $w$ 、高さ  $h$  の一格子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 ( $E_1$ )」と、以後の土石流は堰き止められるとする。このとき、 $i$  番目の礫の到達後に堰き止めが完成する確率  $P(E_i)$  は、幾何分布に従うことになる。

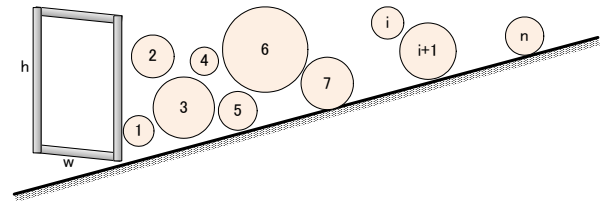


図-1 礫の到達順位モデル

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

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 (格子閉塞確率) であり、 $n=1\sim7$  個までの閉塞条件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  $n$  個によって閉塞条件を満足する確率 (閉塞必要条件達成確率) であり、閉塞条件は  $n \leq 4$  では図-2 に示す条件を、また  $n \geq 5$  では格子面積と閉塞礫の投影面積比が 0.7 以上となる条件とした、 $\alpha_n : P_{sn}$  が成立した条件下において、実際の閉塞が成功する確率 (閉塞成功確率)。

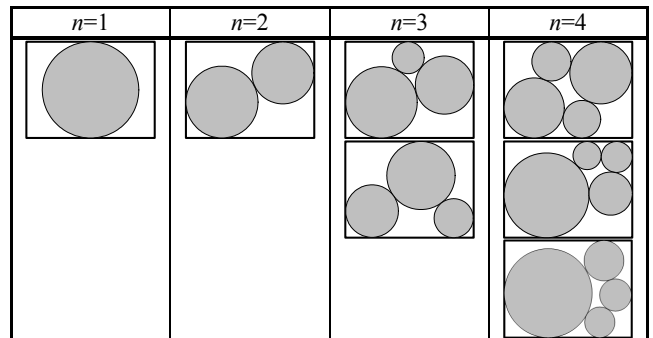


図-2 格子閉塞必要条件

$\alpha_n$  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経験的なパラメータであるため、現地調査等により決定することができるが、本研究では閉塞個数の増加に伴い減少するものと考え、次式によりモデル化した。

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

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、 $n=1, 2$  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、事象  $E_2$  の中には、事象  $E_1$  を満足する場合も含まれるため次式

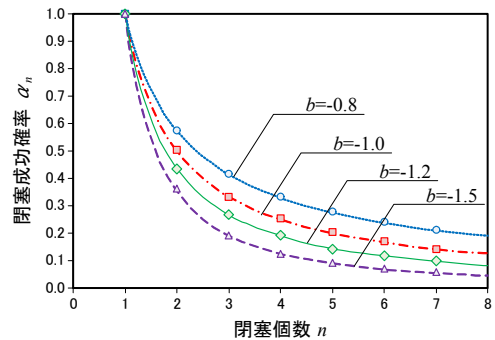


図-3 閉塞成功確率  $\alpha_n$

のようになる。

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

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

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

## 3. 計算例

いま、土石流中の巨礫の直径のばらつきが対数正規確率分布に従い、変動係数が一定 (100%) であるもの

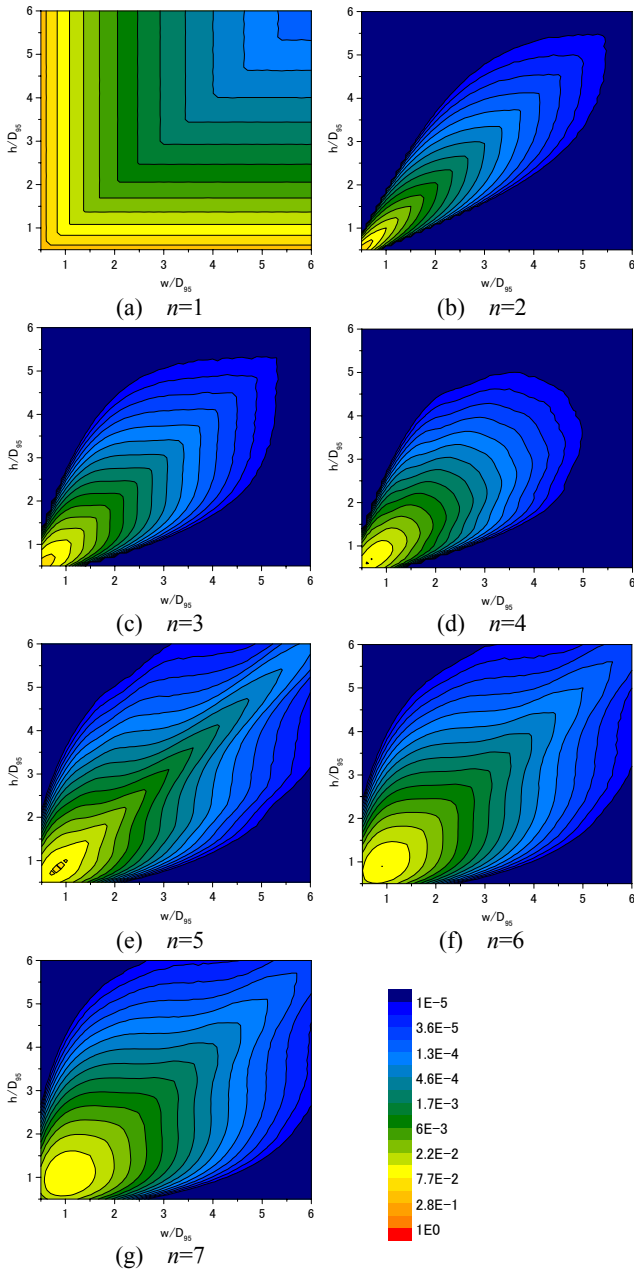


図-4 閉塞必要条件達成確率の分布図

とした場合の  $P_{sn}$  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  $-1.0$  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、 $w/D_{95}$  と  $h/D_{95}$  が小さい領域では  $P_s$  は大きく、かつ  $w/D_{95}$  と  $h/D_{95}$  に関して  $45^\circ$  線上を挟んで軸対象となる。また、図-5 の  $P_s$  の回帰式を求めると次式となる。

$$P_c = \exp[A(\ln X)^2 + B \ln X + C] \quad (8-a)$$

$$X = (h/D_{95} + w/D_{95})/\sqrt{2} \quad (8-b)$$

$$Y = | -h/D_{95} + w/D_{95} |/\sqrt{2} \quad (8-c)$$

$$A = 0.07Y^4 - 0.31Y^3 + 0.63Y^2 + 0.07Y - 0.97 \quad (8-d)$$

$$B = -0.25Y^4 + 1.19Y^3 - 2.77Y^2 + 0.18Y - 1.56 \quad (8-e)$$

$$C = 0.25Y^4 - 1.36Y^3 + 3.79Y^2 - 1.07Y - 1.32 \quad (8-f)$$

なお、この曲面は図-6 であり重相関係数は  $0.99$  であることから、式(8)を用いることにより  $P_s$  を再現できることがわかる。

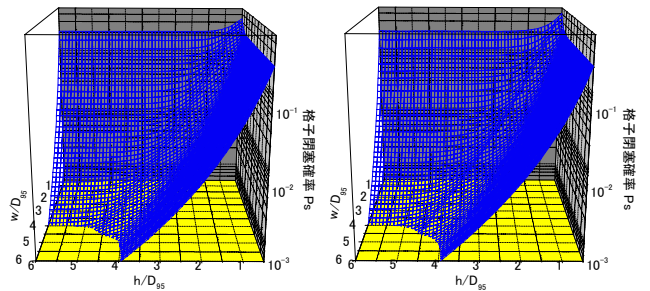


図-5  $P_s$  の分布図

図-6  $P_s$  の近似曲面

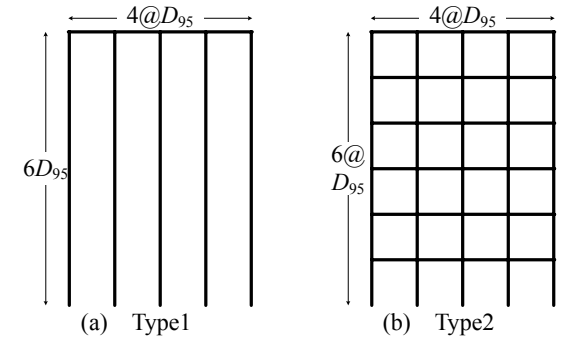


図-7 検討構造形状

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	395.1	86.2
2	1.0	1.0	24	149.4	32.9

以上の結果を用いて図-7 に示すような捕捉面を保有した 2 種類の砂防堰堤を対象として、礫の通過個数の平均値と標準偏差を次式により求める。

$$\bar{n}_p = m(1 - P_s)/P_s \quad (9)$$

$$\sigma_{n_p}^2 = m(1 - P_s)/P_s^2 \quad (10)$$

ここで、 $\bar{n}_p$  : 礫通過個数の期待値、 $\sigma_{n_p}^2$  : 礫通過個数の標準偏差、 $m$  : 格子数。

表-1 より、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 395.1 個と Type2 の 149.4 個に比して 2.6 倍も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、礫の捕捉確率を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。この際、一格子の閉塞確率に対する近似式を導出したうえで、格子形状による捕捉確率の影響を考察した。その結果、提案式が格子を細かくすることによる捕捉確率の向上を説明できることを示した。

#### 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。