

## 天然ダムの数値解析を見据えた河川流に関する基礎的研究

九州大学工学部 学生会員 ○田伏 雅也 九州大学基幹教育院 正会員 陳 光斉

### 1. 背景および目的

天然ダムは、豪雨・地震・火山噴火などを誘因として斜面崩壊が生じ、その崩壊土砂が河道を閉塞する現象である。天然ダムは形成されると、上流側では水没し、崩壊すると下流側では土石流という甚大な被害を引き起こす可能性がある。しかし、天然ダムの被害に対するハード対策には限界があり、災害の起こりうる位置やその規模を事前に推定するなどソフト対策が重要となる。本研究グループでは、天然ダムを数値解析によりシミュレーションすることを目指している。このシミュレーションが実用化されることは、天然ダムのソフト対策にとってとても有益である。

本研究グループで天然ダムを解析する手法として、河川流と斜面崩壊の連成シミュレーションによる解析を提案した。しかし、精度や汎用性が不十分で、実用化には至っていない。本研究は、天然ダムの解析の一部である「河川流のモデル化」を対象にしている。

河川流のモデル化には、PRM (Particle Recycling Method) という手法を用いる。そのモデルを下の図-1に示す。

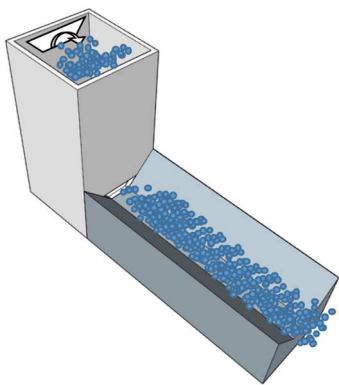


図-1 PRM モデル

PRM では上流側にタンクを設置し、水路に河川流をモデル化する。このモデルの特徴は、上流からの水の供給をタンクに置き換え、また水路を流れ切った粒子を再びタンクに戻す、つまりリサイクルすることである。タンクに戻す際には、水路の端の地点での速さをそのまま引き継ぎ、位置のみを書き換えることでタンクへのリサイクル流を作る。このモデルを採用するメリットとして、必要最小限の解析領域のなかで河川流をモデル化できることであ

る。これは天然ダムの解析を見据えたものであるため、計算を最小限にとどめることを最優先とした。

PRM モデルには、図 1 中に示す 3 つの解析パラメータがある。 $K_f$  (水路の摩擦係数)、 $\Delta h$  (粒子排出ゲートの高さ)、 $h_0$  (タンクの初期水位) である。これらのパラメータを調整することにより、モデル流の流速・水深をコントロールする。

天然ダムの形成・崩壊には、河川の流速および水深が深く関わっている。つまり、これらを忠実に再現することが求められる。PRM モデルで言えば、3 つのパラメータをうまく調整し、狙った流速・水深のモデル流を作ることが求められる。そこで本研究では、河川流を忠実に再現するためのパラメータの決定方法を提案し、検証した。

### 2. 提案した方法

- (1) 河川床の様子から、マンシングの粗度係数を介して水路の摩擦係数  $K_f$  を決定する。
- (2) PRM モデルを水理学の理論式により計算し、再現する河川流の流速・水深にあう  $\Delta h, h_0$  の組み合わせを探す。

### 3. モデル流の水理学的計算とマンシングの粗度係数

PRM モデルをタンクと水路に分けて考えることで、モデル流の流速・水深を水理学的に計算することができる。ここでは、図-2に示すモデルについて考える。

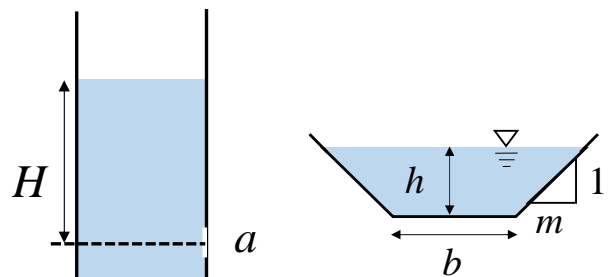


図-2 PRM モデルのタンクと水路

この時、まずタンクからの流出流量  $Q$  は、

$$Q = Ca\sqrt{2gH} \quad (1) \quad C \text{ は流量係数}$$

で求められる。この流出流量で台形水路を流れる時、水深  $h$  と平均流速  $U$  はそれぞれ、

$$Q = \frac{1}{n} h(b+mh) \left\{ \frac{h(b+mh)}{b+2h(1+m)^{1/2}} \right\}^{2/3} I^{1/2} \quad (2)$$

$$U = \frac{Q}{h(b+mh)} \quad (3)$$

$n$  はマンニングの粗度係数

で求められる。

ここで、マンニングの粗度係数には水路床の様子と以下のような関係がある。

表-1 河川におけるマンニングの粗度係数

水路の種類	$n$ の値
線形、断面とも規則正しく水深大	0.025~0.033
同上、河床が礫、草岸	0.030~0.040
蛇行していて、瀬淵のあるもの	0.033~0.045
蛇行していて、水深の小さいもの	0.040~0.055
水草が多いもの	0.050~0.080

#### 4. 摩擦係数 $K_f$ とマンニングの粗度係数 $n$ の関係

2の(1)を可能にするため、 $K_f$  と  $n$  の関係を以下の方法で求めた。

- (a) 適当な  $K_f$  を決め PRM モデルで解析
- (b) 流速・水深の解析値を式(2), (3)に代入  $n$  の値を計算する
- (c) 下の表の条件で(a), (b)を繰り返す。

	$\Delta h$ (m)	$h_o$ (m)	$K_f$
Case 1	0.6	3.5	0.010~0.070

上記の方法で求めた  $K_f$  と  $n$  の関係を図-3に示す。

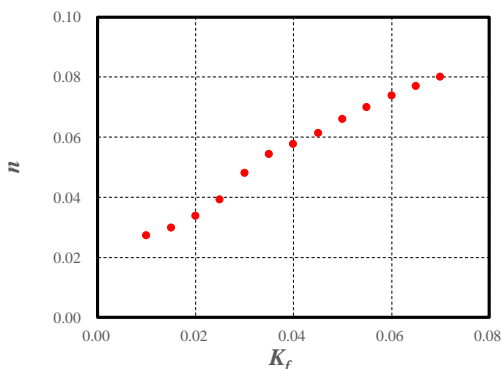


図-3  $K_f$  と  $n$  の関係 (Case 1)

解析結果から、 $K_f$  と  $n$  は線形関係にあることが分かった。またこれを具体的な式に表すと、

$$K_f = 1.06n - 0.02 \quad (4)$$

となった。また下の表に示す条件でも解析した。

	$\Delta h$ (m)	$h_o$ (m)	$K_f$
Case 2	0.4	3.5	0.020~0.060
Case 3	0.6	3.0	
Case 4	0.6	4.0	

解析結果を図-4に示す。

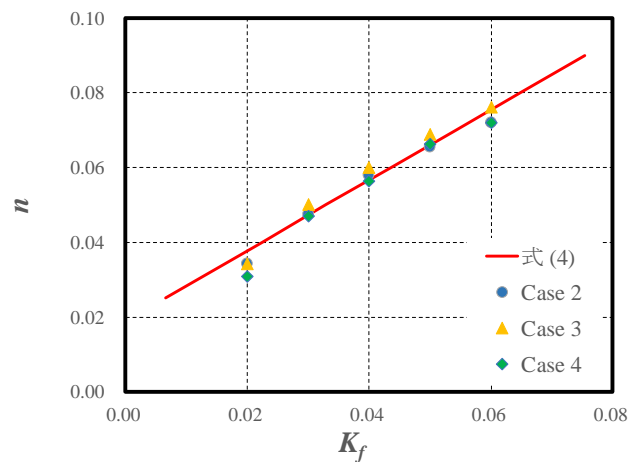


図-4  $K_f$  と  $n$  の関係 (提案式と Case 2~4)

グラフから、式(4)と Case 2~4 の値がほとんど重なっていることが分かる。つまり、 $\Delta h$  や  $h_o$  を変化させたとしても、 $K_f$  と  $n$  の関係には影響せず、1対1の関係にあると言える。このことから、 $K_f$  は他の2つのパラメータに関係なく、水路床の様子により決定できると言える。 $K_f$  を決めることができれば、式(1)~(3)により、 $\Delta h$  と  $h_o$  を理論的に決定することができる。以上により、提案した方法で PRM モデルを用いて狙った流速・水深の再現が可能である。

#### 参考文献

- 1) Wei Wang, Guangqi Chen, Suhua Zhou, Peideng Jing, Long Zhan : Modeling of Open Channel Flow for Landslide Dam Formation Analysis Using Smoothed Particle Hydrodynamics Method : 斜面災害における予知と対策技術最前線に関するシンポジウム 福岡 2015 論文集, pp.89, 2015.
- 2) 小松利光 矢野真一郎ら : 新編 水理学, 理工図書株式会社, pp.73, 2011.