

支川合流を考慮した土石流数値シミュレーション手法の検討

京都大学大学院農学研究科 ○中谷加奈・前田大介・坂田拓朗・水山高久
立命館大学理工学部 里深好文

1. 背景と目的

山地河川では、大きな降雨イベントが発生した際に、崩壊や小規模河道閉塞の決壊、溪床堆積物の移動などが、複数の溪流から発生することがある。発生した土砂は、土石流や土砂流として流下し、本川に合流する場合が多い。

しかし、急勾配の山地河川において合流を考慮した計算手法は少ない。SERMOW¹⁾ についても、キネマティックウェーブ法を用いた計算手法であるため、砂防構造物の影響を考慮した計算を実施することは難しい。

一方、ダイナミックウェーブ法を用いた土石流数値シミュレーションにおいては(例えば、Kanako²⁾)、砂防構造物の機能を評価することはできるが、合流を考慮したものは殆ど無い。そのため、支川合流が存在する場合は次のような手法が取られる。

- 本川と支川を独立して個別に計算
- まず支川の計算を行い、支川出口での流出流量・流出土砂量を、そのまま本川合流点での横からの流入流量・流入土砂量として設定
- まず支川の計算を行い、支川出口での堆積厚結果を合流点の初期河床として本川を計算する

上述した方法の問題点は、各支川における土砂移動イベントが起こるタイミングが同時の場合には、本川における河床変動やハイドログラフへ及ぼす影響を、合理的に表現できない点である。

本研究では、ダイナミックウェーブ法を用いた支川合流を考慮した土石流シミュレーション手法を提案し、その適用を行った。また、支川合流部での流動・堆積過程について模型水路実験とシミュレーション結果の比較・検討を行った。

2. 合流モデル

2.1 基礎方程式

本研究で用いた基礎方程式を以下に示す。なお、抵抗則や侵食堆積速度式は高橋モデル³⁾を採用した。

(1)水・土砂を含めた全容積の保存式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial vh}{\partial x} = i$$

(2)土砂の体積の保存式

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chv}{\partial x} = iC_*$$

(3)運動方程式

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau}{\rho h}$$

(4)河床変動の式

$$\frac{\partial z}{\partial t} + i = 0$$

ここに、 h : 流動深, v : 流速, C : 土砂濃度, z : 河床位, g : 重力加速度, t : 時間, H : 流動面標高 $H=h+z$, i : 侵食・堆積速度, ρ : 間隙流体の密度, C_* : 河床堆積物の体積濃度, τ : 河床せん断力である。

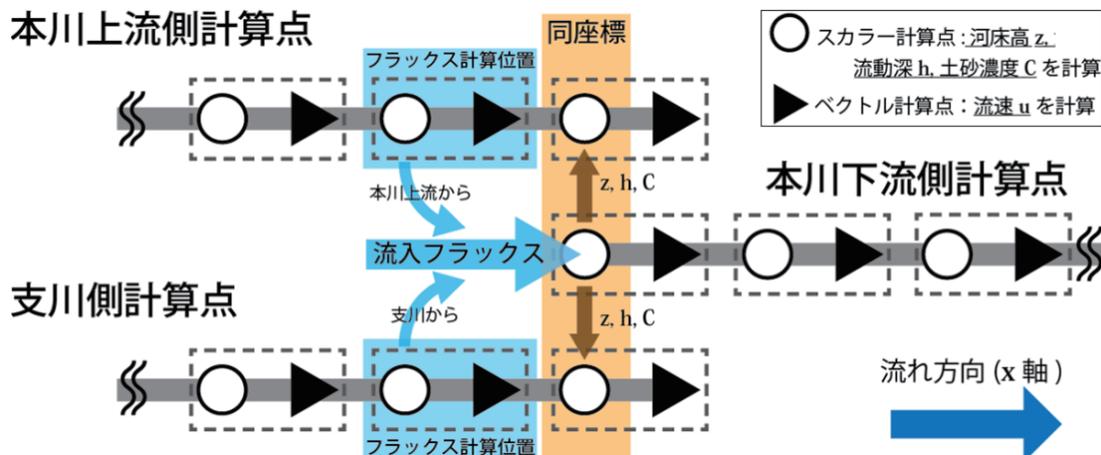


図1：合流部分における接続処理

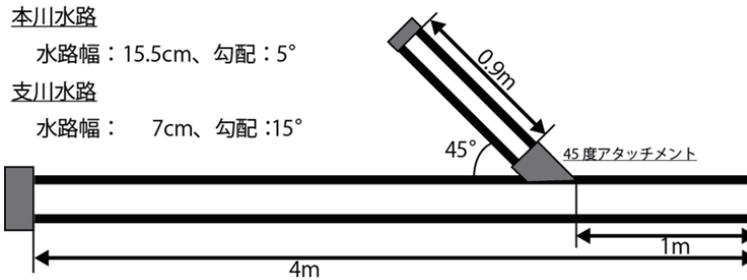


図2：模型水路概要(45度)

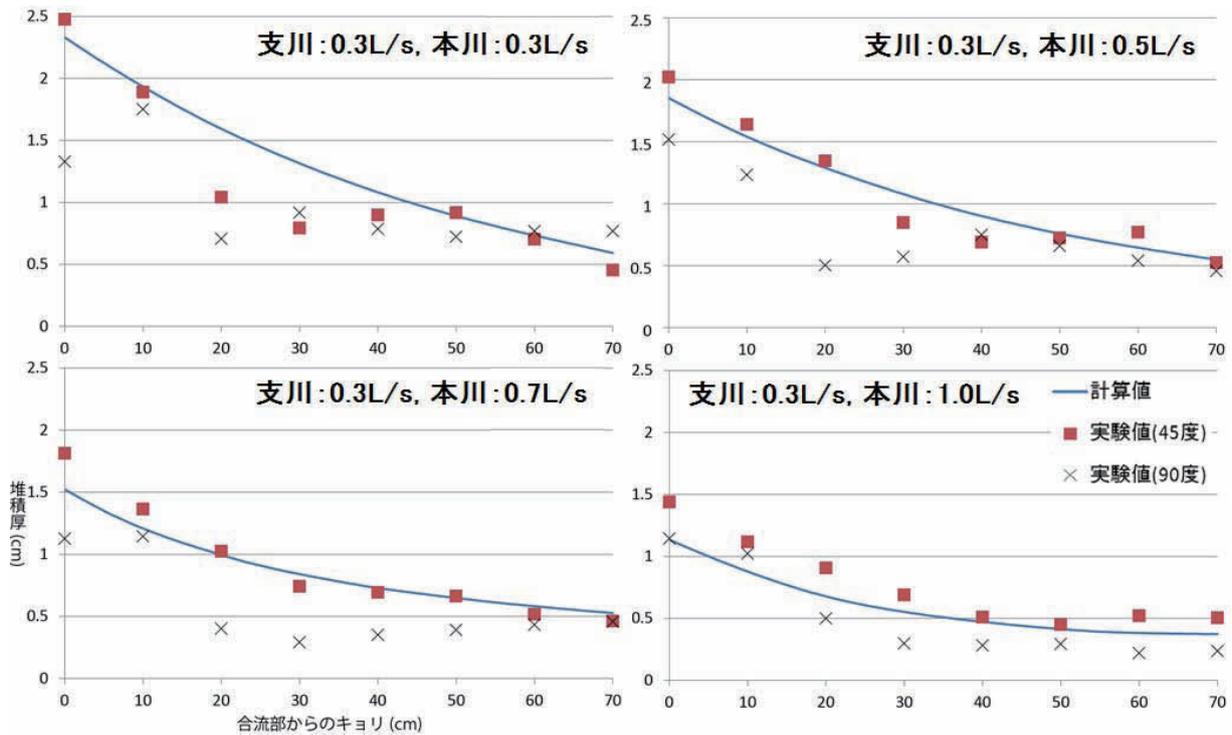


図3：土砂堆積結果（縦軸：堆積厚[cm]，横軸：合流部からの距離[cm]，25秒後）

2.2 合流部における接続処理

本川・支川の合流点において、それぞれの河道から合流点への流入フラックスを合流後の本川河道に与えることで接続した。図1のように、合流点の本川上流側、支川上流側にそれぞれ仮想点(河床位、水深は合流後の本川上流端と同じ)を設けて、それぞれの仮想点に流入するフラックスを合計したものを合流後の本川河道への流入フラックスとしている。なお、合流角度は考慮していない。

3. 合流実験

図2の様に、本川・支川が45度、90度で合流する模型水路を作成した。支川水路には土砂を敷き(厚さ5cm, 粒径2.9mm)、水路の上流端から一定流量で支川は25秒間、本川は60秒間、水を供給した。支川は0.3(L/s)と0.5(L/s)の2ケース、本川は0.3(L/s)～1.0(L/s)まで0.1(L/s)ずつ変化させた8ケースで合計16ケースの流量を設定して、水位・堆積厚を計測した。

4. 結果・考察

3章と同じ条件でシミュレーションを実施した。図3は開始から25秒後の合流部より下流側における土砂堆積結果を示している。

合流角45度では、実験値と計算値について、比較的良好な相関が見られた。一方、合流角90度では、合流部直下で土砂堆積が局所的に増大して、計算値との差が大きい。この傾向は、特に本川流量が小さい場合にみられる。本川流量が大きい場合には、合流角度に関わらず、下流側ほど堆積厚が単調に減少して、計算値の傾向とよく対応した。

参考文献

- 1) 高橋ら(2000)：山岳流域における土砂流出の予測，水工学論文集，Vol.44，p.717-722.
- 2) 中谷ら(2008)：GUIを実装した土石流一次元シミュレータ開発，砂防学会誌，Vol.61，No.2，p.41-46.
- 3) 高橋(2006)：土砂流出現象と土砂害対策，近未来社，p.178-184