

支川合流を考慮した土石流の一次元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 ○前田大介, 中谷加奈, 水山高久
立命館大学理工学部 里深好文

1. はじめに

急勾配の山地河川において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、並びに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。その結果発生した土砂は、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。写真1は、平成21年7月に土石流が発生した山口県防府市、八幡谷溪流の航空写真である。この写真からも、上流から複数の崩壊・土石流が発生して土砂移動が起こったことが判読できる。



写真1：山口県防府市八幡谷溪流で発生した土砂移動
(アジア航測株式会社より提供)

しかしながら、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(例えば, SERMOW¹⁾)。それら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に、各地で整備が進められている砂防構造物の影響など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 Kanako 等では、支川合流が存在する場合は次のような手法が取られる。

- ・本川のみを一次的に解析
- ・本川と支川の合流を独立して別々に計算
- ・最初に支川の計算を行い、支川出口での流出流量・流出土砂量を、そのまま本川合流地点における

横からの流入流量・流入土砂量として設定

このような方法の問題点は、各支川における土砂移動イベント(例えば小規模河道閉塞の決壊)のタイミングの違いが、本川での河床変動やハイドログラフへ及ぼす影響について、適切な議論を行うことができない点にある。

表1：キネマティックウェーブ法と
ダイナミックウェーブ法の概要

	キネマティック ウェーブ法	ダイナミック ウェーブ法
運動 方程式	$s_e = s_f$ 駆動力=抵抗力 とする	$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = s_e - s_f$ 慣性項と圧力項を考慮する
h と v の 関係	$v = \alpha h^m$	互いに独立
上下流の 影響	上流→下流 ○ 上流←下流 ×	上流→下流 ○ 上流←下流 ○
堰堤	堰上げが 考慮できない	考慮できる

ここに、 s_e :駆動力、 s_f :抵抗力、 g :重力加速度、 v :流速、
 t : 時間、 x :計算点間隔、 h :水深、 α, m : 定数

2. 目的

本研究では、ダイナミックウェーブ法を用いて支川合流を考慮した土石流・土砂流の数値シミュレーション手法(以後、「支川合流モデル」と呼ぶ)について検討する。ダイナミックウェーブ法を用いることで、各地で整備が進められている砂防構造物の効果についても検討することが可能になる。また、各支川について供給ハイドログラフを設定することによって、支川由来の小規模河道閉塞の決壊などが、本川へ及ぼす影響を検討することが可能になる。

3. 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については高橋モデル³⁾を採用した。

(1a)水・土砂を含めた全容積の保存式・合流点以外

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

(1b)水・土砂を含めた全容積の保存式・合流点

$$\frac{\partial h}{\partial t} = i + q_{in本} + q_{in支}$$

(2a)土砂の体積の保存式・合流点以外

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

(2b)土砂の体積の保存式・合流点

$$\frac{\partial Ch}{\partial t} = iC_* + q_{Sin本} + q_{Sin支}$$

(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, $q_{in本}$: 単位幅辺りの本川からの流入流量(水+土砂), $q_{in支}$: 単位幅辺りの支川からの流入流量(水+土砂), $q_{Sin本}$: 単位幅辺りの本川からの流入流砂量, $q_{Sin支}$: 単位幅辺りの支川からの流入流砂量, 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。

4. 手法

河川データを分割して, SERMOW や結合モデル⁴⁾の計算手法を援用した合流を考える。計算点配置としては, スカラー量とベクトル量を算出する点を交互に配置する, 図1の様なスタaggerドスキームを採用する。

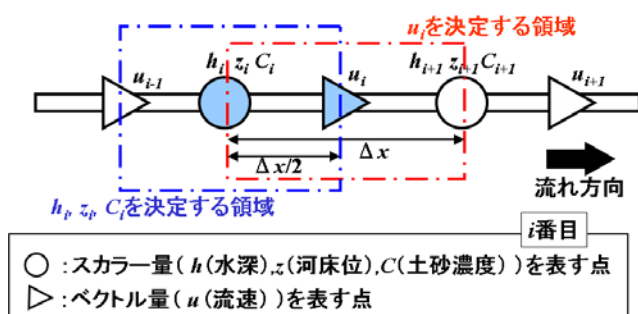


図1: スタaggerドスキームでの変数配置

支川合流モデルでは, 時間ステップ Δt 毎に, 支川と本川部分の一次元計算を連続して行っている。合流部においては, 支川からの流量及び流砂量を本川への強制的な横流入として与える。また, 横流入を与えた合流点直下のスカラー点での河床位と流動深を, 支川の下流端境界条件として用いることにより, 合流点における堆積の遡上などの影響で支川と本川が互いに関係づけられる。(図2参照)

ダイナミックウェーブ法であるので, 本来であれば逆流を考慮する必要があるが, 現段階ではモデルを簡略化するために, 本川から支川への逆流は考慮しないこととしている。(つまり $q_{in本} > 0$, $q_{in支} > 0$, $q_{Sin本} > 0$, $q_{Sin支} > 0$)

また, 支川と本川の合流角度については, 検討する必要があるが, まずは, 合流角度がほぼ無視できる平行に近い角度でスムーズにエネルギーを失うことなく合流するものと仮定した。

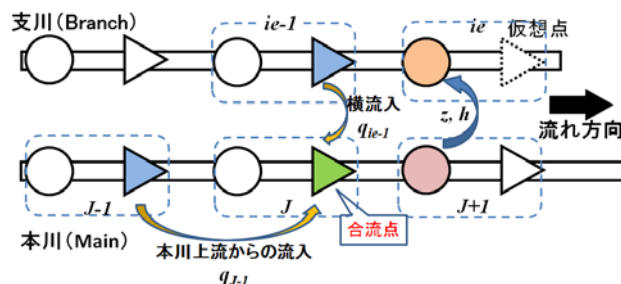


図2: 合流部における計算点の接続方法

5. おわりに

現段階においては, 検討事例が用意できていないが, 研究発表までには仮想流域において検討する予定である。その上で, 今後支川の供給ハイドログラフが変化することによる本川での河床変動やハイドログラフへの影響を考察したい。

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.
- 4) 和田ら (2008): 土石流計算における1次元・2次元シミュレーションモデルの結合, 砂防学会誌, Vol. 61, No. 2, p. 36-40.