

河川合流点における本川・支川の支配領域を考慮した一次元河床変動モデルに関する検討

立命館大学大学院理工学研究科 ○白石安優夢
立命館大学工学部 里深好文 藤本将光
アジア航測株式会社 岡野和行

1. はじめに

2011年9月の台風12号により、紀伊半島では大規模な水害が発生した。奈良県赤谷地区では深層崩壊が発生し、その堆積により河道閉塞が形成された。さらに、流出した土砂は川原樋川と赤谷川の合流点において堆積し、河床上昇を引き起こした。

このような河床変動は下流域にも影響を及ぼすため、合流点における現象を高精度に再現可能な一次元河床変動モデルの構築が求められる。

既報^[1]では、流量および運動量に基づいて支川幅を予測するモデルを提案したが、その予測精度には課題が残されている。そこで本研究では、河川合流点を考慮した一次元河床変動計算に用いる支川幅の算定式の精度向上を目的として、二次元数値計算モデルを構築し、その妥当性を検討した。

2. 解析概要

本研究で利用した二次元河床変動計算モデルの基礎方程式を示す。水理計算には、以下に示すような連続式と運動方程式を用いた。

[連続式]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0$$

[運動方程式]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial x} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

ここに、 h は水深、 u は x 方向の平均流速、 v は y 方向の平均流速、 p は圧力、 ρ は水の密度、 τ はせん断応力、 ε は渦動粘性係数である。

流砂量の計算には、芦田・道上の掃流砂量式を利用した。芦田・道上の掃流砂量式で計算した流砂量を流

速方向に分解し、 $x \cdot y$ 方向成分を求めた。河床高の変化量の計算には、流砂量の連続式を用いた。流砂量の連続式は次式で表される。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} \right) = 0$$

ここに、 z_b は河床高、 q_{bx} は x 方向の単位掃流砂量、 q_{by} は y 方向の単位掃流砂量、 λ は間隙率である。

水路条件については、水路幅0.7mの本川と水路幅0.4mの支川が直角に合流する図1のような水路とした。河床勾配は、本川勾配を1/100、支川勾配を1/25に設定した。初期河床形状は計算開始時点の形状を水路実験と同様にするために、図1の灰色部分に堆積厚を追加した。

本研究では、2つのケースを対象として数値実験を行った。case1では、先行研究^[2]における水路実験のうち、支川流量がピーク時の条件を用いた。case2では、同じく先行研究^[2]の水路実験における本川流量のピーク終了時の条件を用いた。各ケースにおける本川流量、支川流量、堆積厚および張出幅の条件については、表1に示す。表1の条件で60秒間の計算を実施し、60秒のときの各計算点の流速と河床変動量を確認した。

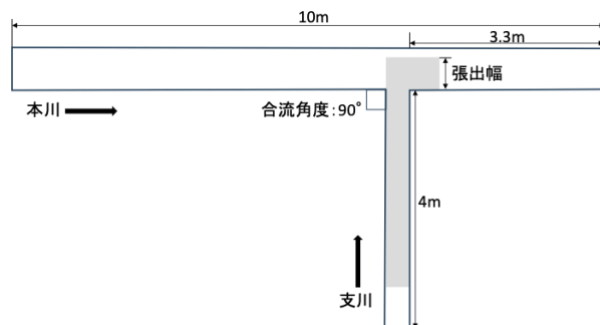


図1 実験水路概要

表1 数値実験条件

	本川流量 (L/s)	支川流量 (L/s)	張出幅 (cm)	堆積厚 (cm)
case1	2.0	8.0	60	2.5
case2	1.6	1.4	50	5.0

3. 結果・考察

case1の数值実験の結果である図3と、水路実験の結果の図2を比較した。数值実験の結果、水路実験で確認されている合流後の本川左岸側における流速の増大と同様の傾向が再現された。水路実験では最大流速が1.0m/s程度になるのに対して、数值実験では最大流速が0.6m/sとなった。水路実験では、合流後の水路の多くの範囲において流速が0.5 m/s以上となるのに対し、数值実験では0.2 m/s以上にとどまっている。このことから、数值実験は水路実験と比較して全体的に流速が小さい傾向にあるといえる。

case2の数值実験の結果である図5と、水路実験の結果の図4を比較した。合流後の本川右岸側および支川において土砂の堆積が生じる現象と、合流後の本川左岸側において土砂の侵食が発生する現象を再現することができた。支川および合流後の本川右岸側・左岸側における堆積厚は、実験結果と同程度の値を示した。合流後の本川中央部では、実験結果と比較して堆積量が小さいが、支川幅は同じ程度に計算されることが確認された。

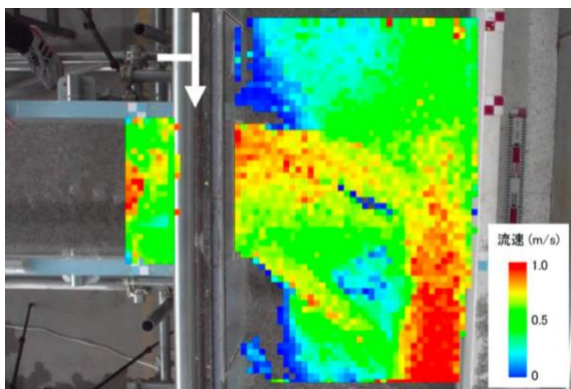


図2 水路実験による流速分布図

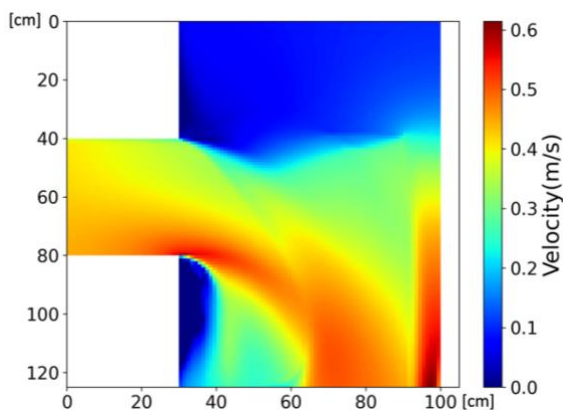


図3 数值実験による流速分布図(case1)

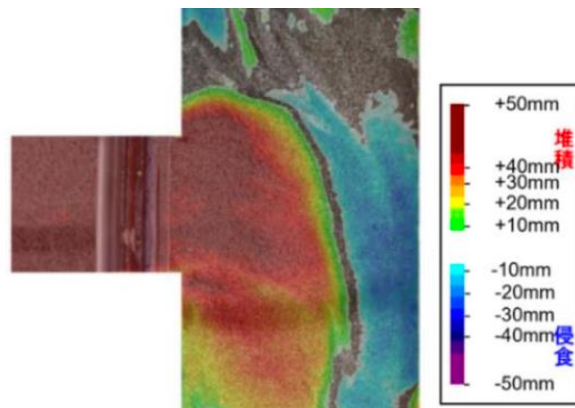


図4 水路実験による河床変動分布図

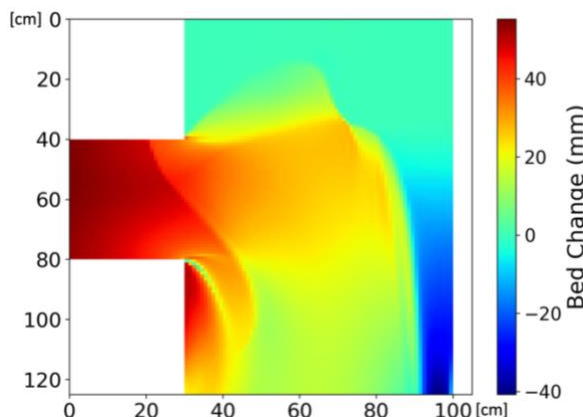


図5 数值実験による河床変動分布図(case2)

4. おわりに

本研究では、二次元数值実験を行い、先行研究の実験結果との比較によりモデルの妥当性を検証した。その結果、本モデルは一定の再現性を有することが確認された。

一方で、合流点を考慮した一次元河床変動計算の精度向上には、合流点付近における支川流の支配領域を明らかにし、それに基づいた支川幅の予測式を構築することが重要であると考えられる。

今後は、本研究で構築した二次元河床変動モデルに支川幅を出力する機能を追加し、支川幅の予測式の高度化について検討を進めていく必要がある。

参考文献

- [1]白石ら：洪水時の河川合流点における氾濫リスク軽減に関する研究，令和7年度砂防学会研究発表会概要集，2025
- [2]北村ら：掃流砂による河川合流部の河床変動について，令和2年度砂防学会研究発表会概要集，2020