

山地河川の合流点における河床変動の時空間特性に着目した水路実験と一次元河床変動計算モデルの適用性の検討

株式会社建設技術研究所 ○日名純也, 村上正人, 西尾潤太, 藤井朗汰, 草野恭真, 中西千鳥, 井内拓馬
 国土交通省 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 山田啄也, 青野友哉
 国土交通省 近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 高原晃宙
 立命館大学 理工学部 里深好文

1. はじめに

山地河川において土砂流出が活発な支川が合流すると、合流点付近での土砂堆積に伴う水位上昇や偏流による河床洗堀など、複雑な水・土砂の流れが生じる。これまで山地河川の支川合流に着目した実験的な研究が行われてきている。建設省土木研究所(1994)¹⁾は支川の本川の合流角度によって合流点付近の堆積高や水位に差異が生じることを明らかにしている。増田ら(2008)²⁾は本川と支川のピーク流量を変化させた実験を行い、支川ピークが先行するケースでは本川対岸側で局所的な洗堀が生じ、その後の本川流量増加により河床が平坦化し初期河床に戻ることを確認している。

紀伊山系砂防事務所では、一次元河床変動計算等の数値計算手法を用いて、土砂・洪水氾濫対策計画の立案、施設効果の評価を行っている。一次元河床変動計算モデルは、計算負荷が小さく広範囲の縦断的な河床変動予測に良く用いられるが、横断方向に一律の河床位・水位を計算しているため、平面的な河床形状の変化や局所的な侵食・堆積の予測には課題がある。

そこで本稿では、山地河川の合流点における河床変動を対象に一次元河床変動計算モデルを用いる際の課題把握や今後の改良に資するデータを取得することを目的に、水路実験を行い合流点付近における河床位の縦横断計測を実施した。さらに、実験で計測した河床位と一次元河床変動計算モデルの計算結果を比較検証することで、モデルの適用性を評価した。

2. 実験方法

2.1 実験条件

岡野ら(2025)³⁾の実験を参考に、表1に示す条件で水路実験を行った。本川水路の下流端から250cmの地点に合流角度45°で支川水路が合流する。水と土砂の供給は水路の上流から行い、初期河床は土砂を3cmで敷き詰めた状態とした。供給土砂と河床材料は珪砂4号を使用した。実験のハイドログラフは支川の流量ピークが本川ピークよりも18分先行する波形とし、通水時間は144分間とした(図1)。

2.2 河床位の計測方法

河床位は実験の通水中に横断側線上で鋼尺による直接測定を行った。計測位置は本川に9測線(下流端から72, 122, 172, 222, 250, 300, 350, 400, 450cm)、支川の4測線(18, 68, 118, 168cm)とし左岸, 中央, 右岸の3箇所計測した(図2)。計測間隔は6分または18分間隔とした。

3. 一次元河床変動計算

3.1 計算モデル

本稿では、国総研資料第874号⁴⁾と第1048号⁵⁾に準拠した非平衡・不定流の一次元河床変動計算モデルを用いて計算を行った。現行の土砂・洪水氾濫対策計画の検討に用いられている一次元河床変動計算モデルと同等のモデルである。

3.2 計算条件

実験条件と同様の条件を基本とし、支川の下流端水位の処理方法の異なる2ケース(C-1, C-2)を行った。

C-1では、支川の下流端水位は等流水位を与え、本川と支川は個別に計算した。C-2では、本川水位の影

表1 実験条件

諸元	実験条件	
実験水路	本川	幅70cm, 勾配1/100
	支川	幅40cm, 勾配1/25
合流角度	45°	
水の供給条件	ピーク流量比	本川:支川=10:1
	ピーク時間差	支川18分先行
	ピーク流量	本川8.0/s (36分~54分)
		支川0.80/s (18分~36分)
実験時間	144分 (2時間24分)	
土砂の供給条件	芦田・道上式から求める平衡流砂量を供給	
河床条件	移動床 (厚さ3cm)	
実験砂	珪砂4号	

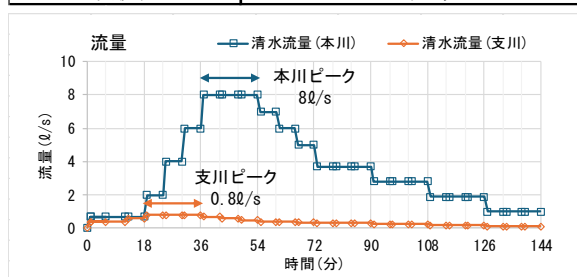


図1 実験ハイドログラフ

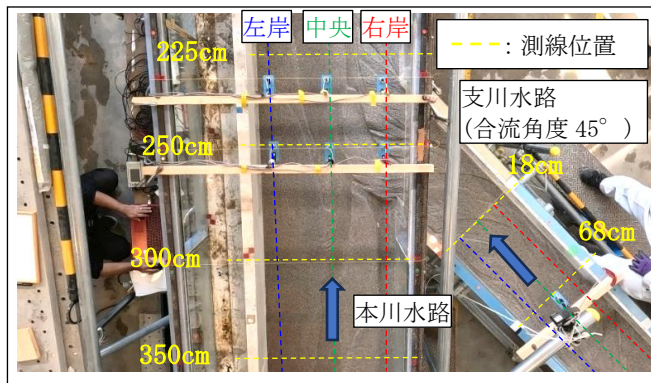


図2 合流点付近の実験水路と河床位計測位置

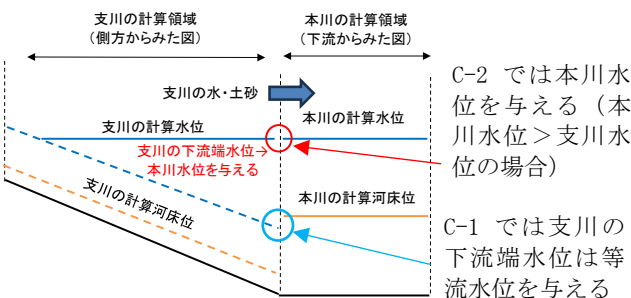


図3 支川下流端の処理方法

響を計算上考慮するために、支川の下流端水位は本川水位を与えて、支川の下流端と本川の合流点の水位が連続するように計算を行った(図3)。

4. 実験結果と計算結果の比較

支川水路と本川水路における河床位の実験結果と一次元河床変動計算結果を比較した。ハイドログラフが大きく変化するタイミングである(a)36分後、(b)54分後、(c)72分後と(d)144分後の4時刻を整理した。

4.1 支川水路の河床変動

実験結果をみると計測範囲(18cm~168cm)の平均堆積高は(a)0.9cm, (b)1.4cm, (c)1.6cm, (d)1.8cmであり、時間経過とともに土砂堆積が進行した(図4)。

計算結果(C-1)では実験結果よりも下流側の堆積が過小となった。計算結果(C-2)では計測範囲とほぼ同区間20cm~170cm区間の平均堆積高は(a)0.9cm, (b)1.4cm, (c)1.6cm, (d)0.9cmであり、72分後までは時間経過とともに土砂堆積が進行し、実験結果と同程度の結果であった。実験終了時には下流側の土砂が再移動した。C-2では支川の下流端水位が本川水位と連続しているため、本川の水位上昇の影響による支川内の堆積を再現することができたと考えられる。

4.2 本川水路の河床変動

実験結果をみると(a)支川ピーク後には支川合流地点の250cmより下流の右岸側(支川合流側)で最大2.3cm堆積, 左岸側(対岸側)で最大2.3cm侵食が生じた。(b)本川ピーク後には合流点250cm右岸の堆積高が減少したが下流側は1~2cm程度の堆積が維持された。左岸側は下流側で最大2.4cm侵食が生じ、中央の河床位も172cm地点で1.8cmの侵食が生じた。その後、(c)から(d)実験終了時にかけて、右岸側には最大2.3cmの堆積が維持されたが、左岸側と中央の河床位は河床が平坦化し初期河床程度となった(図5)。

計算結果は(C-1)と(C-2)の間に大きな違いはなかった。実験結果では左右岸で河床変動傾向に差異が見られたが、一次元河床変動計算では、横断方向には一様

の河床位・水位となるため、このような左右岸の差異は再現できなかった。

5. おわりに

本稿は、本川と支川のピーク流量比10:1の条件で合流角度45度の水路実験を実施し、合流点周辺の河床変動の時空間特性について分析し、一次元河床変動計算モデルの適用性を評価した。

支川内部の河床変動に対する本川水位の影響については、支川下流端と本川合流点の水位を連続させることで精度向上することが確認できた。実験で確認された左右岸での河床変動傾向の差異は、一次元河床変動計算モデルでは再現は困難である。今後は計算の目的や求められる精度を踏まえて、モデルの改良や現地観測データとの比較検証を行うことが課題である。

謝辞 立命館大学理工学部の学生、スタッフの皆様には、実験に協力いただきました。感謝の意を表します。

参考文献 1)建設省土木研究所(1994):山地河川の合流点土砂堆積特性, 土木技術資料36-6 2)増田ら(2008):本支川の出水のずれによる合流点の河床変動に関する研究, 砂防学会誌, Vol.61, No.4 3)岡野ら(2025):合流角度が異なる水路実験に基づく山地河川の支川合流に関する考察, 砂防学会誌, Vol.78, No.1 4)国土技術政策総合研究所(2015):豪雨時の土砂生産をとまなう土砂移動解析に関する留意点 5)国土技術政策総合研究所(2018):河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き(案)

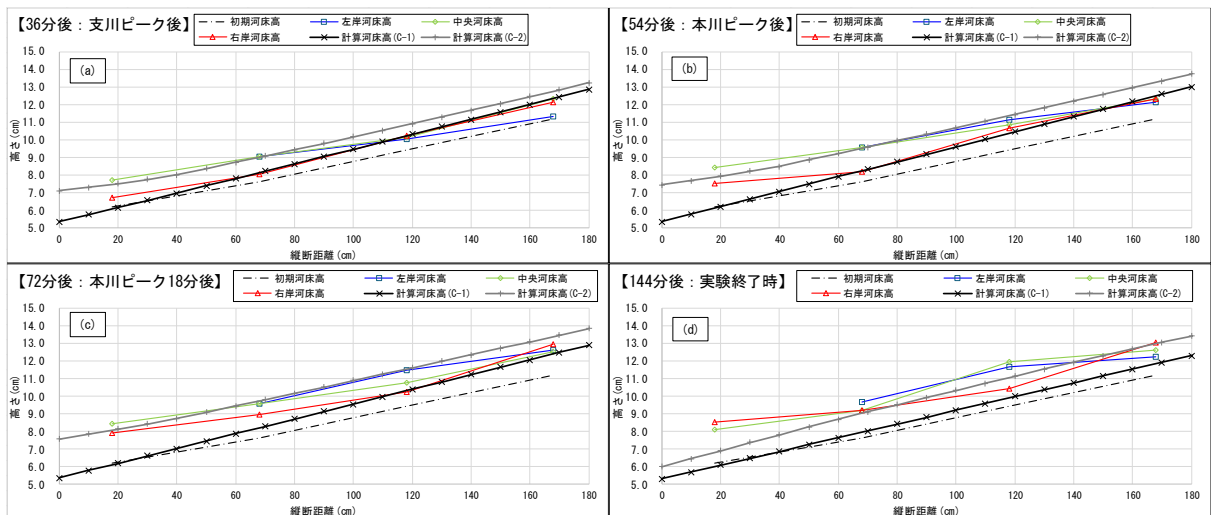


図4 支川水路の河床位計測結果と計算結果(C-1とC-2)の比較図

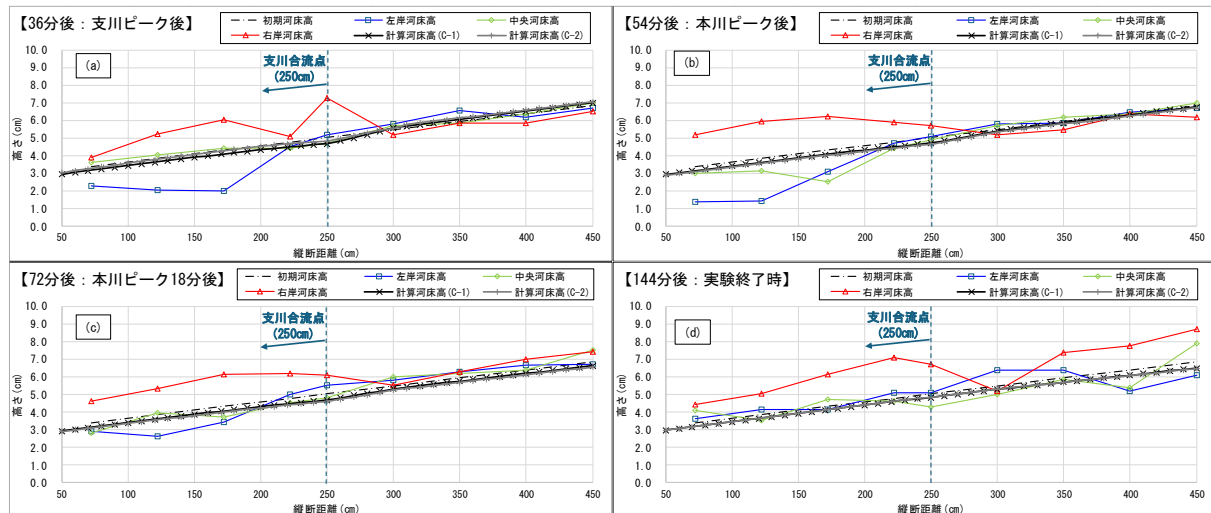


図5 本川水路の河床位計測結果と計算結果(C-1とC-2)の比較図