

56 合流点における土砂堆積シミュレーション

八千代エンジニアリング株式会社 ○井戸清雄

建設省 土木研究所 砂防研究室 石川芳治、草野慎一、前田昭宏

1. はじめに

砂防で対象とする山地河川が合流する地点では、流送土砂が多いため合流点に大量の土砂が堆積し、流水、流送土砂の溢水氾濫や堤防決壊による氾濫の原因となる。このため、流路工計画における合流点処理の計画にあたっては合流点特有の堆積現象に対する十分な検討が必要である。

平成2年度は、合流点の土砂堆積現象を検討するために水理模型実験を行った。¹⁾本研究では、水理模型実験の代わりに合流点の土砂堆積、浸食現象を数値シミュレーションにより再現することを目的に計算モデルを作成し、実験結果の再現計算を実施した。本研究は緒についたばかりで十分な成果は得られていないが、検討過程、計算結果について報告する。

2. 計算手法

この計算モデルは基本的には、次の3式を連立して、差分化²⁾して解くもので、平面的な河床変動を計算するものである。

2.1 平面流れを表現する運動方程式

計算域の平面座標をX-Y座標として示し、X方向の運動方程式を整理すると以下のとおりである。ただし、Y方向については同型であるので省略する。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\beta \cdot u \cdot M) + \frac{\partial}{\partial y} (\beta \cdot v \cdot M) \\ = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + 2\varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \varepsilon \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、M、N：X、Y方向の流量フラックス、 β ：運動量補正係数、u、v：X、Y方向の流速、h：土石流等流体の水深、g：重力加速度、 τ_{bx} 、 τ_{by} ：各々X、Y方向の底面せん断応力、 ρ_0 ：流体の密度、H：水位(=z+h)、z：地盤高、h：水深、 ε ：渦動粘性係数である。

τ_{bx} 、 τ_{by} 項は、流体としての抵抗力であり、マンニング型の抵抗則を用いると、以下のように表される。

$$\tau_{bx} = \rho_0 \cdot g \cdot n^2 \cdot u \cdot \sqrt{(u^2 + v^2)} / h^{1/3} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、g：重力加速度、n：マンニングの粗度係数である。

また、式(1)の右辺第3項、第4項は清水³⁾の研究に準じた。

2.2 流水の連続式

土石流、洪水流の連続式は下記の通りである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \dots\dots\dots (3)$$

2.3 流砂量の連続式

流砂量の連続式は、次のようになる。

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \cdot \left\{ \frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right\} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

ここに、Z: 河床高、 λ : 空隙率、 q_{Bx} 、 q_{By} : X、Y方向の単位幅当りの流砂量と側岸流砂量の和。

2.4 流砂量式

流砂量式は、流下方向は芦田・高橋・水山式を用い、流下方向に直角方向は次の横断方向の流砂量式³⁾を用いた。

$$q_{sby} = \left(\frac{V_b}{U_b} - \frac{\tau^*c}{\mu_s \cdot \mu_k \cdot \tau^*} \frac{\partial Z}{\partial Y} \right) \cdot q_{bx} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 V_b 、 U_b は河床付近のY、X方向の流速であるが今回のモデルでは考慮していない。 τ^*c 、 μ_s 、 μ_k は各々無次元限界掃流力、静止及び動摩擦係数である。

3. 実験概要と計算条件

3.1 実験概要

実験水路は図-1に示したような2本の直線水路で構成されており、本川は一定勾配1/120、幅1mのコンクリート水路である。支川は合流角度や水路勾配、支川幅を変えることのできる木製水路である。支川の合流角度3種(30°、60°、90°)、支川水路勾配2種(1/20、1/50)、支川幅2種(20cm、50cm)をとることができる。その実験結果については、昨年度、発表された。¹⁾

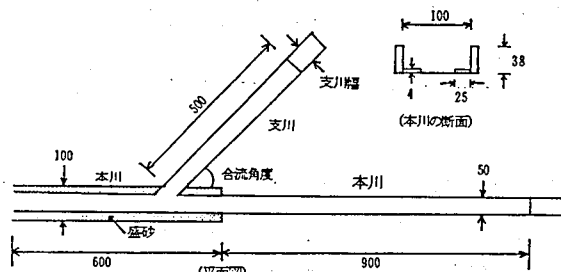


図-1 実験水路の概要図(単位: cm)

3.2 計算条件と計算ケース

計算の対象とした実験は、支川の合流角度が30°、90°、各々支川勾配1/20、1/50のものである。すなわち、4種類の実験を対象とした。計算は、表-1に示すように9ケースの計算を行った。計算は、芦田・高橋・水山式の係数(通常12.0)と式(5)の係数 $\mu_s \cdot \mu_k$ (通常0.45~0.48)を変化させて計算した。

支川の条件は表-1に示したが、本川はすべて勾配1/120、流量2.12 l/s、供給流砂量5.5 cc/s、濃度0.26%、通水時間30分の総給砂量は16,500 (l)である。また、粗度係数は水深の測定結果から逆算して0.02とし、河床材料の代表粒径は0.5 mmとした。

4. 計算結果

計算結果のうちCASE-1-1の結果について通水後5、10、20、30分後の計算結果(流速ベクトル図)とその各々の実験結果(写真)との比較を図-2に示す。実験結果では、通水当初は側岸浸食はそれほど進まず、時間の経過によっても浸食が進み、流れが蛇行する。計算結果でも、この傾向は表現され通水後5、10分では水路左岸壁まで流れが実験結果と同様達しておらず、20分後では側壁に達している。最終的には、流れは蛇行し、実験結果を傾向的には再現することができた。

表-1 計算ケースと計算条件

ケースno	支川の勾配	支川 川幅 (m)	合流 角度	供給 流砂量 (CC/S)	給砂 濃度 (%)	給砂量 (CC)	水山式 の係数	側岸式 の係数
CASE-1-1	1/20	50	30°	25.9	1.84	77,700	12.0	0.48
CASE-1-2							24.0	0.48
CASE-1-3							24.0	0.24
CASE-2-1	1/50			3.5	0.25	10,500	12.0	0.48
CASE-2-2							24.0	0.48
CASE-2-3							24.0	0.24
CASE-3-1	1/20		90	25.9	1.84	77,700	12.0	0.48
CASE-3-2			90				24.0	0.48
CASE-3-3	1/50		90	3.5	0.25	10,500	12.0	0.48

また、支川合流角度が90°（勾配1/20）の場合も同様に結果が得られた。支川勾配が1/50のケースでは、支川からの流砂量が少ないためか側岸の浸食は実験ではほとんど生じていないが、計算でも浸食が少なく実験と計算結果がほぼ対応した。

5. 考察

しかし、計算結果と実験結果とでは次の点の差が大きく、まだ、十分な再現性が得られているとは言えない。①計算の方が流れの蛇行が急激すぎる。蛇行の波長が計算の方が短い。②側岸浸食を受ける箇所、浸食深に差がある。

また、流砂量式の係数を調整するだけでは、再現性を高めることができず、流れ方向の流砂量、その法線方向の流砂量を与えるモデルを再検討する必要がある。

今後、実験の再現計算のみでなく、実河川への適用も行い、計算モデルの向上を図りたいと考える。

*) 参考文献

- 1) 草野、石川、福澤：合流点での土砂堆積に関する検討、平成3年度砂防学会研究発表会概要集p.126
- 2) 高橋、中川、西崎：堤防決壊による洪水危険度評価に関する研究、京都大学防災研究所年報第29号
- 3) 清水康行：沖積河川における流れと河床変動の予測手法に関する研究、北海道開発局土木研究所河川研究室（北海道大学学位論文）

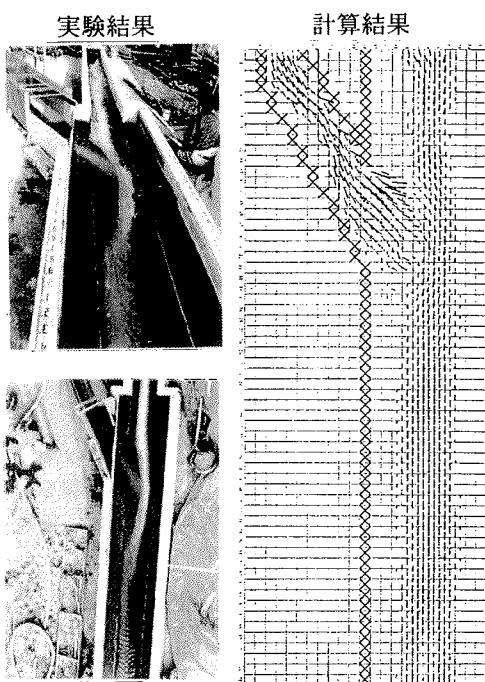


図-2. (1) 通水 5 分後



図-2. (2) 通水 10 分後

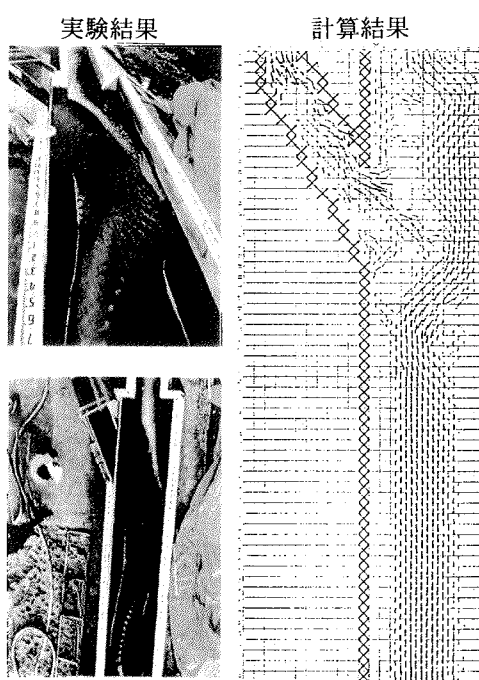


図-2. (3) 通水 20 分後



図-2. (4) 通水 30 分後

図-2 実験結果（写真）と計算結果（CASE-1-1、流速ベクトル）との比較