

斜面上の掃流砂量を考慮した２次元河床変動計算法に関する研究

徳島大学大学院 学生員 ○岸本哲佳

徳島大学 正会員 田村隆雄

１．はじめに：河道内に繁茂する植生群落を含む河川では、植生群落の存在により河床の深掘れを助長させ、それに伴い水流の蛇行を生み、護岸を危うくさせるといった治水上の問題があるため、河道内に繁茂する植生群落による河床変動を予測することは極めて重要である．本研究では、昨年使用したモデル¹⁾（Model 1）と斜面上の洗掘量を向上させたモデル（Model 2）の２ケースについて河床変動過程の計算を行い、実験値とモデル計算値の結果を比較して、数値計算モデルの再現性の検証、考察を行った．

２．斜面上の掃流砂量の概要：本研究で用いた数値計算モデルは、流れの基礎式と流砂の基礎式からなる．流れの基礎式は、連続式(1)と運動方程式(2)，(3)からなる．ここに、 u, v ： x, y 方向の流速、 M, N ： x, y 方向流量フラックス、 τ_{bx}, τ_{by} ： x, y 方向河床せん断力、 $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{yx}, \tau_{xy}$ ：乱流応力、 F_x, F_y ：植生抵抗である．本研究の特徴は、流砂の基礎式で、斜面上の掃流砂量を考慮したことである．実際、河床変動により傾斜砂面（以下、斜面という）が生じると、流砂の移動方向は掃流力方向から重力側に偏倚する．そこで、図１のような、 x, y

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial Mu}{\partial x} + \frac{\partial Mv}{\partial y} = -gh \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) - F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial Nu}{\partial x} + \frac{\partial Nv}{\partial y} = -gh \left(\frac{\partial H}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) - F_y \quad (3)$$

$$q_{Bx} = q_B \left\{ \frac{1}{\sqrt{\tan^2 \beta + 1}} \cos \theta_\xi - \frac{\tan \beta}{\sqrt{\tan^2 \beta + 1}} \cos \theta_\zeta \cdot \tan \theta_\eta \cdot \sin \theta_\xi \right\} \quad (4)$$

$$q_{By} = q_B \left\{ \frac{\tan \beta}{\sqrt{\tan^2 \beta + 1}} \cos \theta_\zeta (\cos \theta_\xi + \tan \theta_\xi \cdot \sin \theta_\eta) \right\} \quad (5)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{By}}{\partial y} \right) = 0 \quad (6)$$

軸を z 軸方向に向けて θ_ξ, θ_η 偏倚させた軸を ξ, η と定義し、また、この２軸に直行な座標軸 ζ を定義することにより、流砂方向を評価した．斜面上の流砂方向を考慮した掃流砂量式と連続式を(4)～(6)に示す．ここに、 q_{Bx}, q_{By} ： x, y 方向における流砂量、 β ：流砂の移動方向の偏角である．計算格子はデカルト座標系における定型直交格子を用いた．変数配置は、圧力振動を抑えることのできるスタッガード配置を用いた．

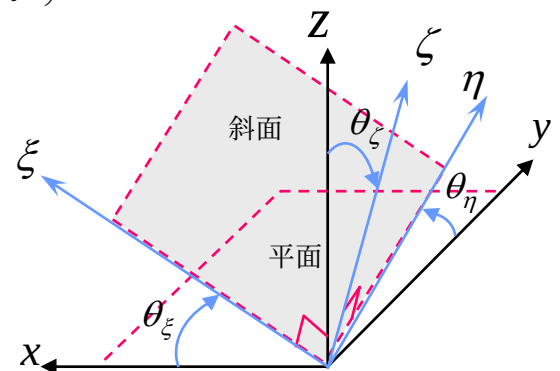


図１ 斜面上の座標定義

離散化方法として、移流項は計算を安定させるためにCIP法

を参考に考案した手法を用いた．この方法は流速の時間ステップが１ステップ前での流量フラックスの値をそのまま１メッシュ先に移流させるというものである．その他の空間微分項は、２次元精度の中央差分、時間については陽的なleap-frog法を用いた．

３．実験概要：実験で用いた水路は、水路長 5.65m、水路幅 1.0m、河床勾配 1/200 の矩形直線水路である．植生群落模型は水路側面に沿って左右交互に 0.5m間隔で配置した．なお、樹木群落模型には、直径 2.0mm、長さ 10cmの竹ひごを縦断方向に 5cm間隔、横断方向に 4cm間隔で設置した．また、ここでは灌木のような非水没型の植生を対象とし、河床材料として平均粒径 1.0mmの一樣砂を厚さ 7cmにわたって敷き詰めた平坦床とした．この水路に定常流量 5.0 l/s、無給砂で通水し、0.5、1、2、3、4、5 時間後の河床形状を測定

した。

4. 河床変動量：最終結果 5 時間後の実験と Model 1 および Model 2 の河床変動量を図 2 に示す。図 2 より Model 1 の数値計算結果では、植生域での堆積が確認でき、実験結果と比較すると、上流から 4 番目の植生域での土砂の堆積が一致している。洗掘に関して見ると、数値計算結果では、植生群落側方で洗掘が確認できる。しかし、実験結果では下流域水路中央部で局所的な洗掘による滯筋が形成されており、数値計算結果では再現されていなかった。

Model 2 の数値計算結果では、植生域での堆積が少なく、洗掘域・洗掘量が拡大しているのが確認できる。実験結果と比較すると、右岸側での洗掘の再現性は高いといえ、広域においての洗掘も見られ、再現性が高いといえる。しかし、Model 1 同様、滯筋の形成の再現がされていなかった。

5. 最大洗掘深：各横断方向の最大洗掘深を縦断方向に並べた図 3 より、各モデルの数値計算結果が実験結果よりも洗掘量が少なく、3.6m 地点から実験と大きく差が生じているのがわかる。実験では、下流域水路中央部で局所的な洗掘による滯筋が形成されたため、数値計算と差が生じた。実験と Model 1 との平均最大洗掘深の差は-19.7mm であり、実験と Model 2 との平均最大洗掘深差は-16.5mm であった。Model 2 では、洗掘域および洗掘量は Model 1 より大きくなり、約 16% 洗掘量が増加し、掃流砂量の向上が見込まれる結果となった。

6. まとめ：実験結果と数値計算結果では大きな差異が見られ、再現性の低い結果となった。その理由として、実験では、植生群落により縦渦が発生し、水路中央部での局所的な洗掘を起こしたのではないかと考えられる。また、滯筋が顕著に現れた 4.7m の地点で、流れが集中していたことから、流れの集中に伴う乱れの増加が、深掘れを促進させたと考えられる。本研究で用いた斜面上の掃流砂量を考慮したモデル (Model 2) では、掃流砂量の向上が評価できたため、今後、流れの基礎式に、このような縦渦の影響を考慮したモデルや合流部周辺での複雑な流れのモデル化を考慮することで、滯筋の再現が可能になると考える。

7. 参考文献：伊藤守己人，岡部健士，三好学：樹木群落を伴う河道の河床変動計算法に関する研究，土木学会四国支部第 15 回技術研究発表会講演概要集，II－16，pp. 119～120，2009。

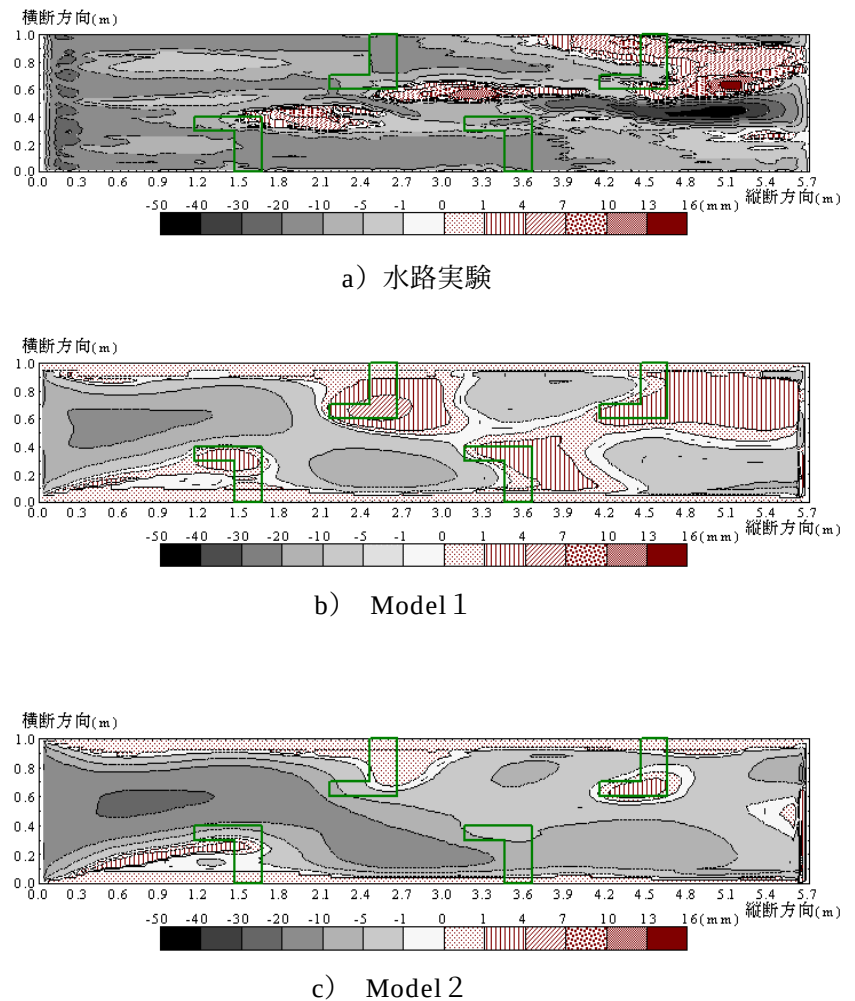


図 2 5 時間後の河床変動量図

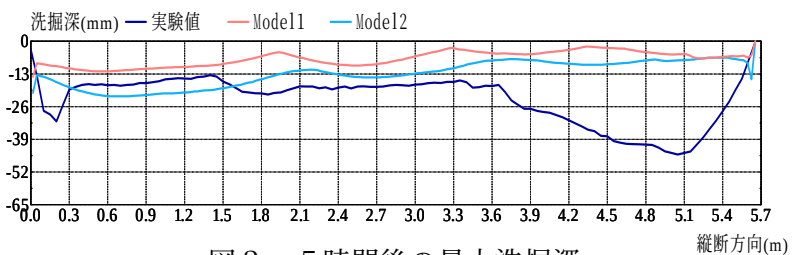


図 3 5 時間後の最大洗掘深