

第Ⅱ部門

急勾配湾曲水路における流れと河床・河道変動に関する基礎的研究

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○白井 秀和
 京都大学大学院工学研究科 正会員 細田 尚
 京都大学大学院工学研究科 正会員 音田 慎一郎

1. はじめに

これまで、土砂移動（地形変化）を伴う水の流れに関する多くの研究が行われてきたが、その研究の多くは、人が多く生活するような沖積河川を対象とするものが多く、ダムが建設されるような河川上流域を対象とするような研究は比較的少なかった。河川上流域を対象とする研究については、縦断地形変化を1次元河床変動計算によってある程度精度よく予測できるようになったが、堆積や浸食が引き起こす河床形状の横断的な変動を考慮した平面2次元的な評価はあまり行われていない。本研究では、急勾配単一湾曲水路における流れと河床・河道変動について検討し、急勾配での斜面崩壊を伴う流路変動を予測できる数値モデルの開発を研究の目的とする。

2. 解析に用いる基礎式

流れの基礎式は、次式の一般座標化した連続式と運動方程式を用いる。

[連続式]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{h}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{Uh}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{Vh}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

[運動方程式]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{M}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{UM}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{VM}{J} \right) \\ &= -gh \left(\frac{\xi_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho J} + \frac{\xi_x}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'^2} h \right) \\ & \quad + \frac{\xi_y}{J} \frac{\partial}{\partial \xi} \left(-\overline{u'v'} h \right) + \frac{\eta_x}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'^2} h \right) + \frac{\eta_y}{J} \frac{\partial}{\partial \eta} \left(-\overline{u'v'} h \right) \end{aligned} \quad (2)$$

本研究では土砂輸送形態として掃流砂のみを考え、掃流砂量は、流線方向に芦田・道上の式を、流線と直角の方向に長谷川の式を適用する。河床変動の基礎式には次式で表される流砂の連続式を用いる。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z_b}{J} \right) + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q_{b\xi}}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q_{b\eta}}{J} \right) \right) = 0 \quad (3)$$

また、河岸崩落・堆積モデルに関しては、あるセルとそれに隣接するセルにおいて斜面の角度が安息角を越えたとき崩落させ、安息角以下になるまで崩落・崩落と堆積を繰り返すという簡易モデルを用いる（図1参照）。

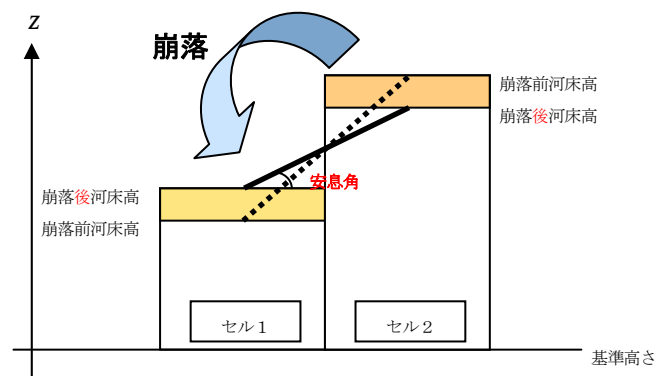


図1 河岸崩落モデル

数値解析手法として有限体積法を用い、変数はスタaggerドスキームで配置する。移流項の離散化はQUICK-schemeを、時間積分にはAdams-Bashforth法を用いる。

3. 単一湾曲水路における河床・河道変動の解析

計算対象とする水路は、河床材料を一樣粒径(粒径 $d=0.0018(\text{m})$)の砂とし、曲率半径 $r=2.0(\text{m})$ 、川幅 $b=0.5(\text{m})$ 、河床勾配 $1/80$ 、法面勾配 40° の台形断面の単一湾曲水路であり、計算格子は曲面や斜面上に沿うような曲線で構成された境界適合格子を用いる。

格子点は、主流方向には直線部で $0.1(\text{m})$ 間隔、湾曲部では 3° 間隔で格子点を置き、横断方向には等間隔に置く。

境界条件は、上流端で一定流量、一定水位を与えて、まず流れの計算のみを行い、流れが安定し定常状態になった状態を初期条件とし、そこから河床変動計算を始める。

	流量 (m^3/s)	初期 水深 (m)	計算 格子	水中 安息角
Cal-1	0.0085	0.0215	101×78	15°
Cal-2			101×155	15°
Cal-3			101×170	25°
Cal-4	0.0170	0.0320	101×170	25°

表 1 再現ケース

再現ケースを表 1 のように 4 ケース行った。その中で、流量 $Q=0.0085(\text{m}^3/\text{s})$ としたケースで実験結果と最も近い結果となった Cal-3 の結果を示す。図 2、図 3、は、それぞれ水深コンター図、流速ベクトル図である。また図 4 では湾曲部 70 度での計算によって得た横断方向の河床高と既往の実験によって得た横断方向の河床高の図を示す。

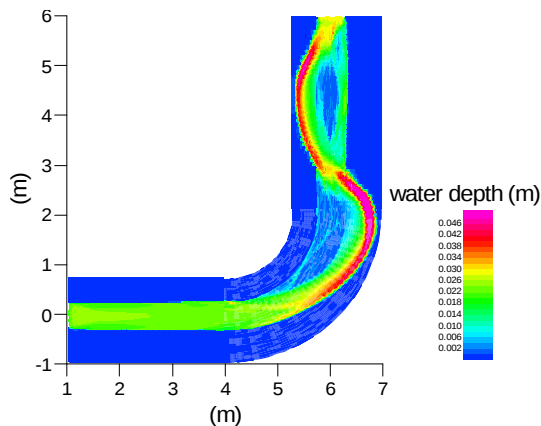


図 2 水深コンター図

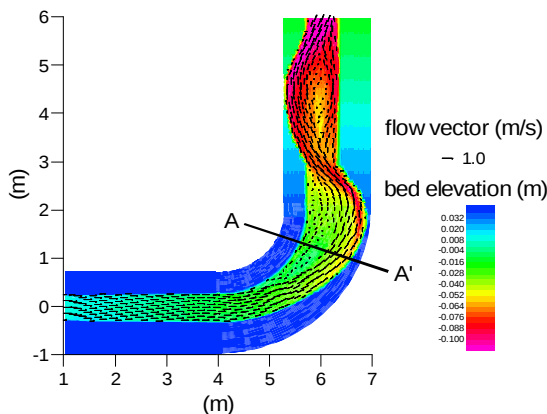


図 3 流速ベクトル図

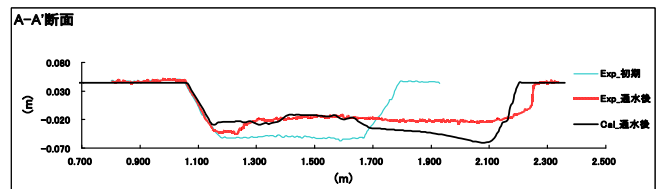


図 4 河床高横断面図(湾曲部 70°)

まず、図 2 の水深コンター図を見ると、湾局部入り口の外岸側で水深が高くなり、湾局部出口付近で水深の高いところが内岸側へとシフトしているのがわかる。次に、図 3 の流速ベクトル図を見ると、河床が比較的に低くなっている水みちで流速が大きくなっていることがわかる。また、図 4 の河床高の横断面のように各断面での侵食の位置は、実験の結果とある程度近い結果となった。しかし、湾曲部 70°以降での河床形状が実験では内岸側で河床が低くなるのに対して計算結果では外岸側で河床が低くなるという異なった結果となった。これは、実験では側岸侵食が間欠的に起こっているのに対して計算では側岸の侵食の計算を流れの計算間隔と同じ間隔つまり 0.0025(sec)ごとに計算を行っており、砂が少しずつしか崩れず、すぐに流されていくために外岸側に残らないためと考えられる。

4. まとめ

- 平側岸侵食は、流路を流れる掃流砂と関連して起こっていることがわかった。
- 水中安息角が小さい場合、側岸侵食の進行が大きくなることがわかった。
- 水中安息角、水際安息角を調整することで平衡流砂モデルでもある程度流路変動を再現できることを示した。しかし、間欠的な土砂の崩落を再現されず、土砂の崩落モデルの高精度化が今後の課題である。