

II-53

床止め周辺流れの数値計算

北海道大学工学部 学生員 松島 郁
北海道大学工学部 正 員 黒木 幹男
北海道大学工学部 正 員 板倉 忠興

1. はじめに

急流河川の多いわが国には床止めが多くみられる。床止めは河床低下の防止や河床勾配の緩和、跳水による位置エネルギーの滅殺等に有効である。しかし床止めは河道を横断する構造物であるため、設置、維持管理に注意を払わないとかえって水の流下を妨げ、水害の危険性を高めることになる。特に複断面水路に設置された床止め周辺では、洪水時流れが低水路に乗り上げたり、逆に高水敷から低水路に落ち込み集中したりし、複雑な流況を示す。それはまた、河床形態にも大きな影響を及ぼし合い、現実の河川における流況は一層複雑なものになっている。従来、床止め工周辺のような複雑な流れについては、水理模型実験によって検討していたが、近年跳水を伴う常、射流混合流れの数値計算が可能になりつつある。本研究ではMacCormack法を用いて平坦河床及び砂州河床の床止め周辺流れの数値計算を行った。

2. 計算方法

計算には、X,Y方向の直交座標系を用い、基礎方程式は以下のように示される。

$$U_t + E_x + F_y + S = 0$$

ここに

$$U = \begin{pmatrix} H \\ Qx \\ Qy \end{pmatrix} \quad E = \begin{pmatrix} Qx \\ \frac{Qx^2}{H} + \frac{1}{2}gH^2 \\ \frac{QxQy}{H} \end{pmatrix} \quad F = \begin{pmatrix} Qy \\ \frac{QxQy}{H} \\ \frac{Qy^2}{H} + \frac{1}{2}gH^2 \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 \\ -gH(Sox - Sfy) \\ -gH(Soy - Sfx) \end{pmatrix}$$

$$Sfx = \frac{N^2 * Qx * \sqrt{Qx^2 * Qy^2}}{H^{10/3}}$$

$$Sfy = \frac{N^2 * Qy * \sqrt{Qx^2 * Qy^2}}{H^{10/3}}$$

: x,y方向のエネルギー勾配

H: 水深、Qx, Qy: x,y方向の単位幅流量

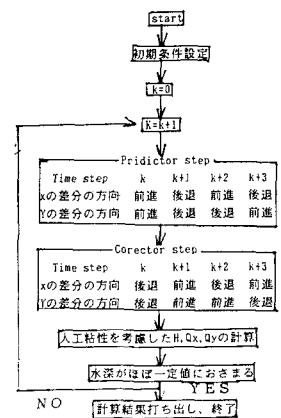
Sox, Soy: x, y方向の河床勾配

計算は2次元MacCormackスキームを用いた。計算の流れは図-1のようになる。例えばkステップのMacCormackスキームは次のようになる。

Predictor Step

$$U_{i,j}^p = U_{i,j}^k - \frac{\Delta y}{\Delta x} (E_{i,j}^k - E_{i,j-1}^k) - \frac{\Delta t}{\Delta y} (F_{i,j}^k - F_{i,j-1}^k) - \Delta t S_{i,j}^k$$

図-1 計算の流れ図



Numerical Analysis of Flows near the Consolidation Works

by Kaoru Matsushima, Mikio Kuroki Tadaaki Itakura

Corector Step

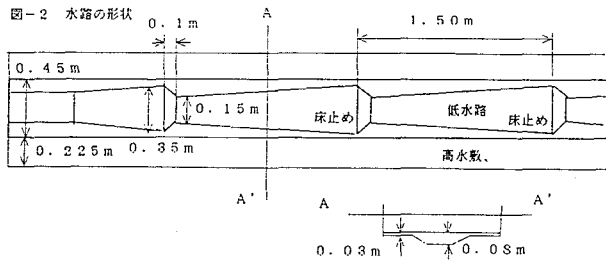
$$U_{i,j}^n = U_{i,j}^{n-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} (E_{i+1,j}^{n-1} - E_{i,j}^{n-1}) - \frac{\Delta t}{\Delta y} (F_{i,j+1}^{n-1} - F_{i,j}^{n-1}) - \Delta t S_{i,j}^{n-1}$$

$$U_{i,j}^{n+1} = \frac{1}{2} (U_{i,j}^n + U_{i,j}^{n-1})$$

多くの場合このまま計算を続けていくと解は発散してしまう。
そこで基礎方程式に人工粘性項を取り入れ、解の発散を防いだ。

3、水路の形状

計算の対象とした床止め及び水路の形状を図-2に示す。水路長を6.5m、川幅を0.9mとし、落差0.05mの床止めを1.5m間隔で3基設置した。河床勾配は1/33 7.5, 高水敷の勾配は1/25, 高水敷と底水路の間の法面及び床止めの勾配は1/2とした。流れの低水路から高水敷への乗り上げ、高水敷から低水路への落ち込みが明確になる様、低水路の横断面の形状の変化を大きくした。上下流端1mは、底水路の勾配を高水敷と同じにし、横断面の形状の変化を無くした。粗度係数nは高水敷及び法面の上半分、上下流端1mの部分でn=0.06, その他河床部分及び法面の下半分でn=0.03とした。



砂州河床は、筆者らがこれとは違った形状の床止めを含んだ複断面水路で移動床実験を行った際に得た砂州を適度に歪ませて用いた。砂州波長を床止めの間隔と等しくし、砂州の深掘れが丁度床止めをまたぐ位置にした。床止め直下0.2mには水叩きがあると想定し、高低差を平坦河床と等しくした。また、床止め上流の深掘れは床止めの天端より約3cm低くなっている。

4、初期条件及び境界条件
初期条件
MacCormack法では計算の初めに全ての計算点で水深及び単位幅流量を与える必要がある。計算が進むに従ってそれらの値は水理学的に適合した値に近づいていく。

4、初期条件及び境界条件

初期条件

MacCormack法では計算の初めに全ての計算点で水深及び単位幅流量を与える必要がある。計算が進むに従ってそれらの値は水理学的に適合した値に近づいていく。

平坦河床の計算では、初め全ての横断面で図-2に示すような水深を与えた。つまり、縦断方向には全ての地点で一定の水深を与えた。QXの初期値は各点での水深、X方向の勾配、粗度係数から Manning式によって求め、QYは全ての点で0とした。砂州河床の初期水深は、平坦河床の計算で得た水面高と砂州河床高の差を用い、x,y方向の単位幅流量は、平坦河床の計算で得た各点の流速と砂州河床での初期水深の積とした。

境界条件

本計算では上下流端及び左右岸のH,QX,QYを与える必要がある。上下流端の境界条件はBOXスキーム等様々なものを試したが、うまくいかなかった。結局上下流端では等流状態であるとみなした。例えば上流端ではH(0,J)=H(1,J), QX(0,J)=QX(1,J), QY(0,J)=0とすると計算はうまくいった。しかし、この条件は現実の状況を表してはおらず、今後検討を要する。左右岸の境界には反射法を用いた。例えば右岸ではH(I,0)=H(I,2), QX(I,0)=QX(I,2), QY(I,0)=-QY(I,2)とした。

5、結果

表-1の様な条件で満足できる結果が得られた。計算回数は平坦河床、砂州河床共に1500回、時間にして6.0秒間である。それぞれの河道中央の水面形を図-3及び図-4に、河床のコンター図を図-5、6に示す。

表-1 計算の条件

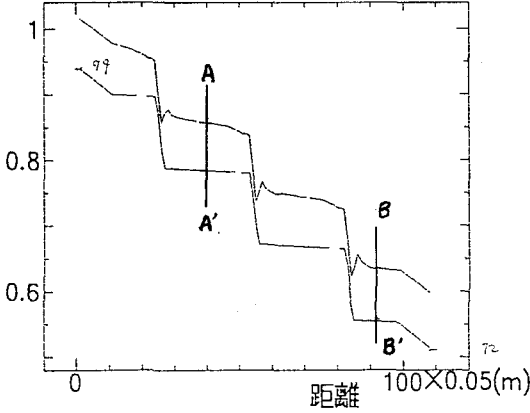
格子間隔	dx=dy=0.05m
dt	0.004sec
人工粘性係数	κ=1.0

また、中央の床止め周辺の水面コンター図を図-7、8に、流速ベクトル図を図-9、10に示す。床止め上流での流れの高水敷へ乗り上げ、下流での底水路への落ち込み、床止め中央部での流れの集中、跳水の発生等が分かる。また、砂州河床では床止めを越えて流れが蛇行している様子、蛇行の外側では流れが高水敷に乗り上げ、平坦床の高水敷より速い流速を示しているのが分かる。

6、終わりに

今回の形状とは異なるが、いくつかの複断面水路の床止め周辺流れと比較してみると、今回の結果はかなり実際の流れに近いものとなった。砂州河床のものについては実際の流れと比較する必要があるが、今後、砂州がどのような位置にあるとき床止め周辺が最も危険な状態となるか。あるいはその時どの位置が最も危険になるかを計算によりある程度予測することができるようになれば幸いである。

高さ (m) 図-3 平坦河床中央の水面形



高さ (m) 図-4 砂州河床中央の水面形

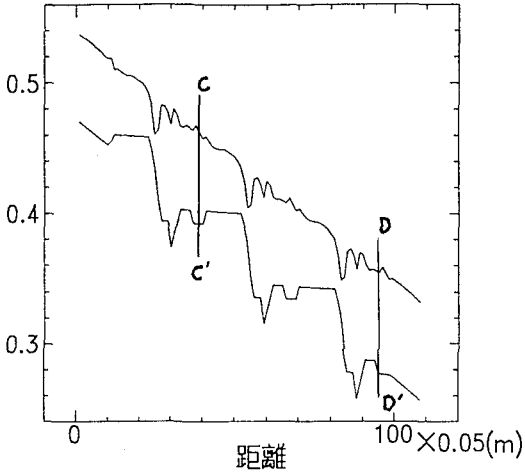


図-5 平坦河床のコンター図

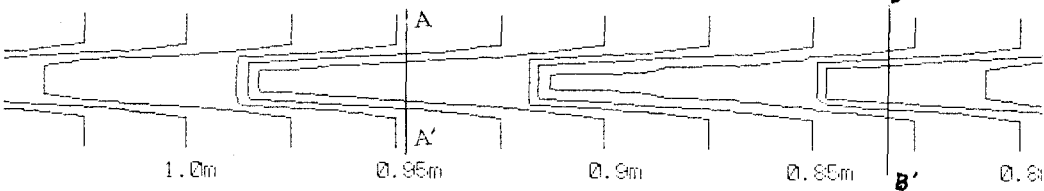
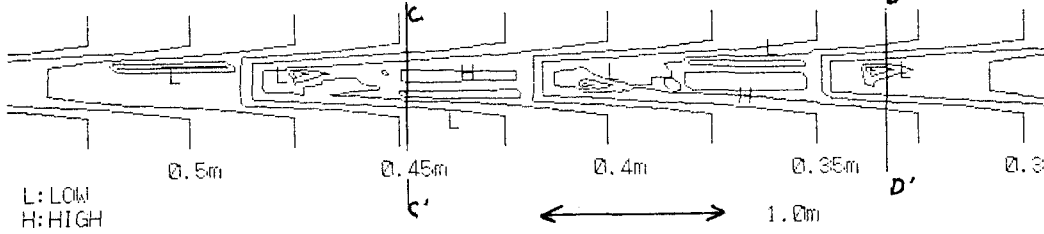
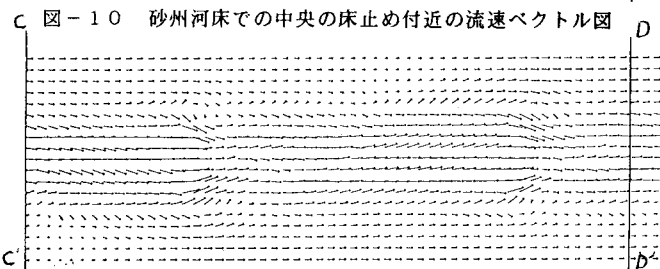
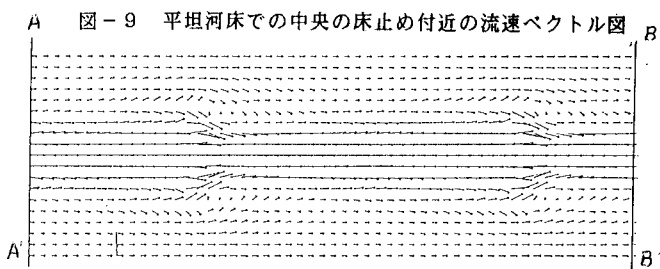
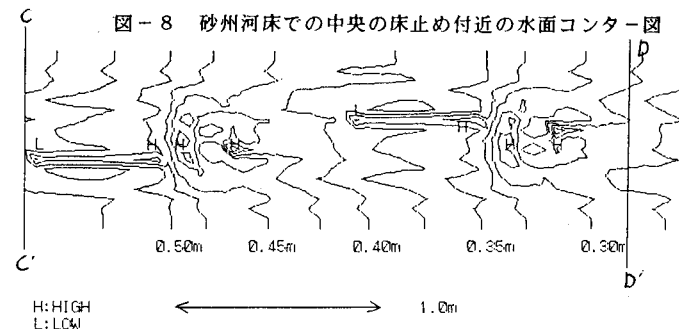
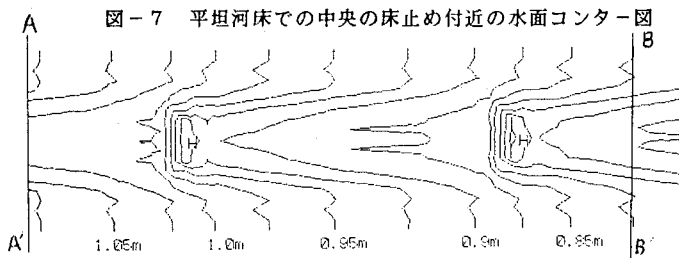


図-6 砂州河床のコンター図





参考文献

- 1) R.J.Fenema, M.H.Chaudhry: Explicit Methods for 2-d Ttransient Free Surface Flows, Journal of Hydraulic Engeneering, 1990
- 2) 崇田、清水、渡辺: MacCormack法を用いた常・射流計算、開発土木研究所月報 No448, 1990
- 3) 長谷川、納、水柿: 2次元MacCormack法を用いた射流分岐水路の流れの解析、土木学会北海道支部論文報告集、平成4年度
- 4) 川島、福岡: 床止め工を有する複断面河道の平面流れの計算、土木学会第48回年次学術講演会、平成4年度
- 5) 松島、黒木、板倉: 床止め周辺流れと河床変動、土木学会北海道支部論文報告集、平成4年度
- 6) 内島、早川、篠原、松崎: 砂州河床河川の移動床歪模型実験、土木学会北海道支部論文報告集、平成3年度