

II-38

2次元モデルを用いた水制を含む河道の計算

北海道開発局開発土木研究所	正員	崇田徳彦
北海道大学工学部	正員	清水康行
北海道大学工学部	正員	板倉忠興

1. はじめに

水制を含む河道の中長期的な縦断変化予測を行う場合、横断方向変化が非常に卓越しているため、一般に用いられている不等流計算では十分な精度が期待できない場合がある。縦断方向変化に加え横断方向変化も予測可能なモデルとして2次元浅水流モデル¹⁾があげられる。この場合、水制近傍の局所的な流れの予測には水制一本一本を計算に組み入れる必要があるが、上記に述べたような河道全体としての洗掘箇所の把握を行う場合には、計算時間が膨大になり有効な手法ではない。

本研究では、水制一本一本を計算に組み入れるのではなく水制をモデル化²⁾(水制群を粗度化、高水敷化および死水域化)し計算の簡略化を行う。これを蛇行部水制基礎実験³⁾および札内川大型模型実験⁴⁾との比較を行い、どのモデル化が妥当で合理的であるか検討を行なう。

2 基礎式

2次元浅水流モデルの基礎式を式(1)、(2)および(3)に示す。

$$u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + \frac{uv}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} - \frac{\tau_s}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} - \frac{u^2}{r} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - \frac{\tau_n}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial s} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial n} \left(\nu_t \frac{\partial v}{\partial n} \right) \quad (2)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(uh)}{\partial s} + \frac{\partial(vh)}{\partial n} = 0 \quad (3)$$

ここで、 s, n は流下方向、横断方向距離、 u, v は s, n 方向の水深平均流速、 h は水深、 p は圧力、 ρ は流体の密度、 r は曲率半径、 τ_s, τ_n は s, n 方向の河床せん断力である。

流下方向の流砂量式は式(4)で示す Meyer-Peter-Muller の式を用いる。

$$\frac{q_{bs}}{\sqrt{sgd^3}} = 8(\tau_s - \tau_{*c}) \quad (4)$$

ここで、 τ_{*c} は限界せん断力である。

横断方向の流砂量式は河床横断斜面の効果を考慮した長谷川⁵⁾による式(5)で示す。

$$q_{bn} = q_{bs} \left(\frac{\tau_s}{\tau} - 7. * \frac{h}{r} - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\nu_s \nu_k \tau_s}} \frac{\partial z}{\partial n} \right) \quad (5)$$

ここで、 $\tau = \sqrt{\tau_s^2 + \tau_n^2}$ 、 ν_s および ν_k はそれぞれ静止(=0.45)および動摩擦係数(=1.0)、 z は河床高である。

2 実験条件

表-1 水理諸条件

	蛇行基礎実験	札内川大型模型実験
流量 (m^3/s)	0.003	0.4
水深 (m)	0.03	1.1(下流端)
川幅 (m)	0.3	170(平均)
河床勾配	1/242	1/220(平均)
粒径 (m)	0.02	0.0005
通水時間 (h)	5	48

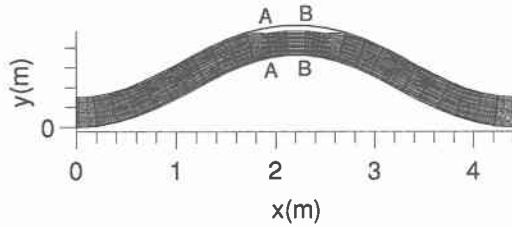


図-1 蛇行計算格子点

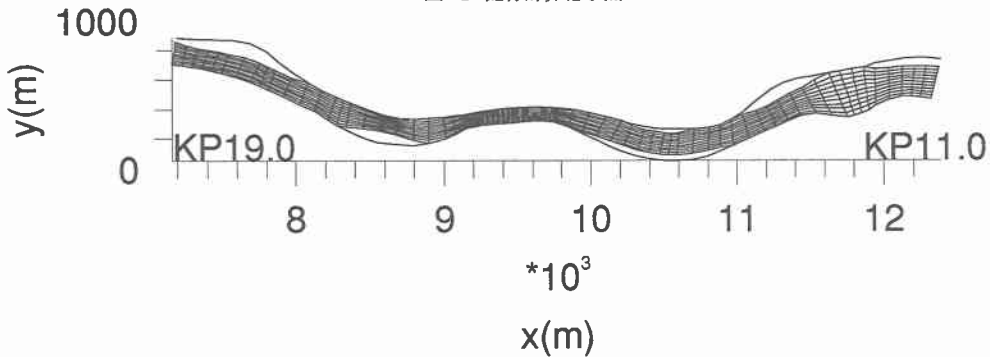


図-2 札内川計算格子点

2-1 蛇行基礎実験

基礎実験は蛇行水路外岸部に不透過水制を5基(水制長:0.06m, 水制幅:0.006m)設置し, 水制設置前後の河床変化を測定した. 蛇行形状は Sin-generated Curve の式(6)を用いた.

$$\theta = \theta_0 \sin\left(\frac{2\pi}{L}S\right) \quad (6)$$

ここで, θ ; 水路蛇行角, θ_0 ; 水路の最大蛇行角 (28.662), L ; 水路の蛇行波長 (474cm), S ; 水路中心に沿った距離である. 水理諸条件を表-1に示す.

2-2 札内川大型模型実験

札内川大型模型実験は昭和63年度より平成5年度まで札内川の河道予測を目的とし継続的に行なわれた. このなかでも, 今回着目した実験は平成3年の現況河道に水制郡を加えた実験であり,

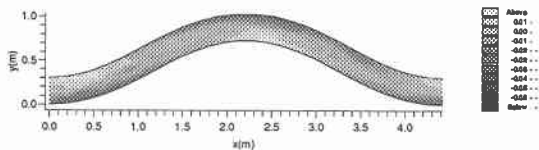


図-3 蛇行部実験結果 (水制なし)

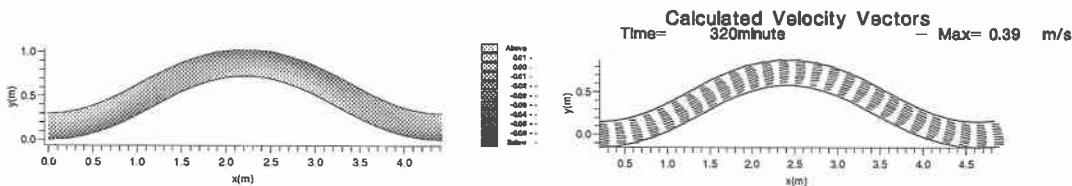


図-4 蛇行部計算結果 (水制なし)

河道全体を把握することを目的とした実験である。水理諸条件を表-1に示す。

3 計算条件

水制をモデル化する方法は様々考えられるが、今回は以下の3通りの方法を用い検討する。

(1) 水制郡の粗度化

水制を含む計算点の粗度を大きくする(今回の計算では粗度係数として0.1を用いた)。

(2) 水制郡の死水域化

水制を含む計算点の流速および水深を0とする。

(3) 水制郡の高水敷化

水制の先端を連ねるように低水路幅を設定する。図-1および図-2に基礎実験および大型模型実験の計算格子点を示す。 x 軸方向が縦断方向であり y 軸方向が横断方向である。横断軸の線が抜けている箇所が水制が設置されている箇所であり、高水敷化している。

3 計算結果と実験結果の比較

図-3および4は実験結果および計算結果の河床コンター図および流速ベクトル図(計算結果のみ)を示す。これによると砂州の規模や発生位置等は的確に予測していると考えられる。図-5は水制設置後の河床コンター図を示す(なお、水制内の河床変化については省略する)。図-6, 7および8はそれぞれ水制郡を粗度, 死水域および高水敷化した時の河床コンター図および流速ベクトル図を示す。水制郡を粗度として扱った図-6では粗度の増加により抑制された流速が左岸に集まり下流域にまで影響を与えている。水制郡を死水域として扱った図-7では流心が水制設置対岸側に移行したことによる土砂堆積の減少が再現されている。ただ、水制先端域の洗掘深は同規模であるものの洗掘範囲は長めになっている。水制郡を高水敷化して扱った図-8についても水制郡を死水域として扱った図-7と同様な結果となっている。図-9はA-A, B-B断面の形状変化を示す(A-A, B-B断面の位置は図-1およびそれぞれの河床コンター図に示す)。横軸は横断距離を表し内岸側が0(m)である。縦軸は初期河床からの変位量を示す。実線は実験結果であり、破線および点線は水制を死水域化および高水敷化した計算結果である。なお、水制を粗度化した計算結果については実験結果とかなりずれているために省略する。これによると、A-A断面の計算結果は水制先端域の洗

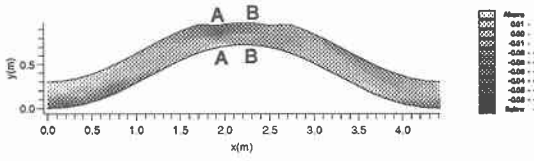


図-5 蛇行部実験結果

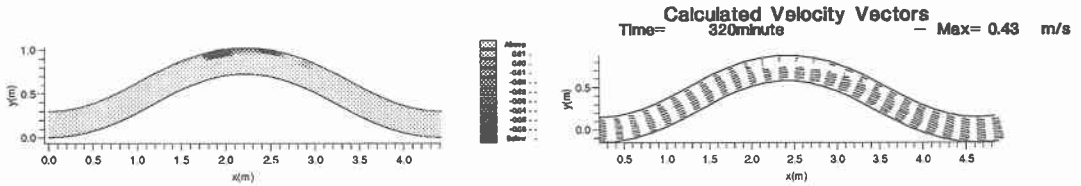


図-6 蛇行部計算結果(1)(水制を粗度化)

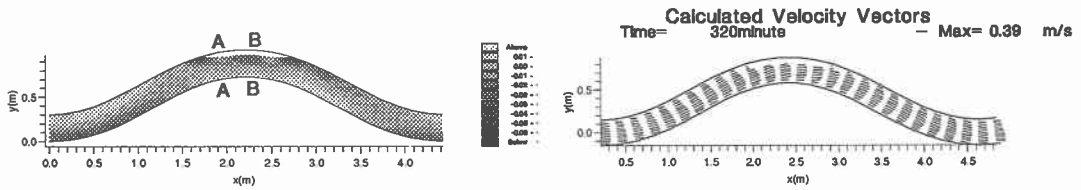


図-7 蛇行部計算結果(2)(水制を死水域化)

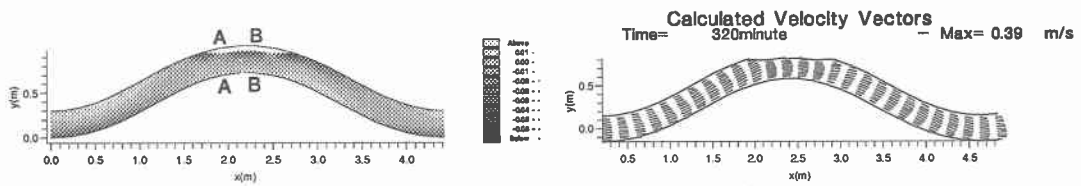


図-8 蛇行部計算結果(3)(水制を高水敷化)

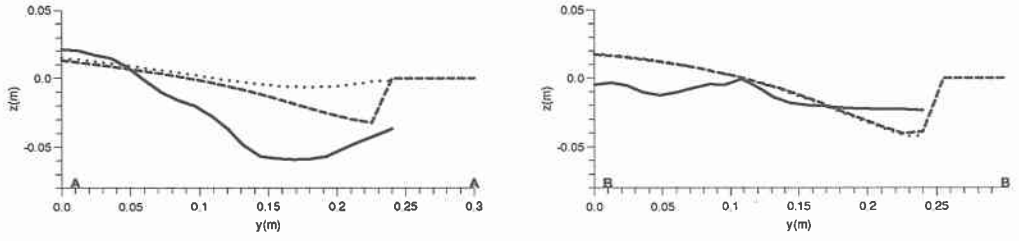


図-9 横断形状変化比較

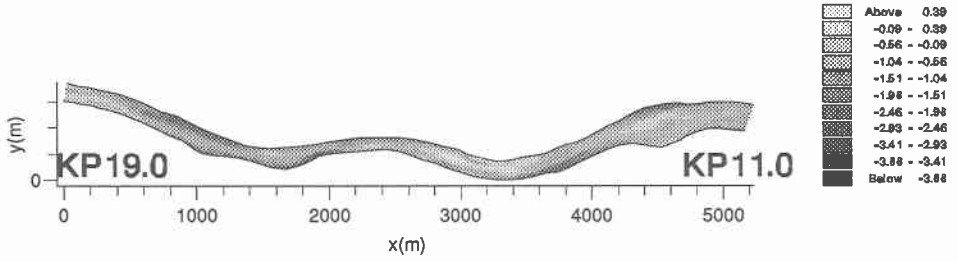


図-10 札内川大型模型実験結果(河床コンター図)

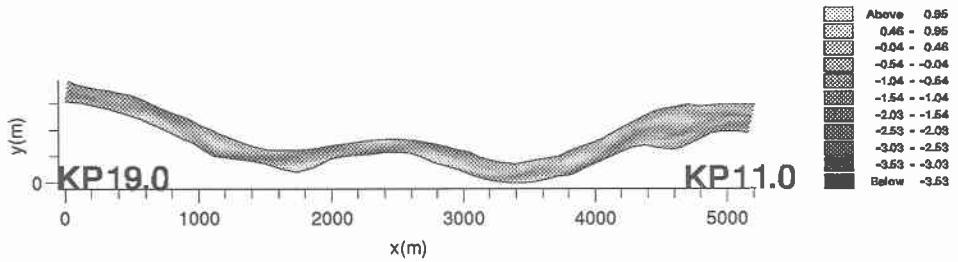


図-11 札内川計算結果(河床コンター図)

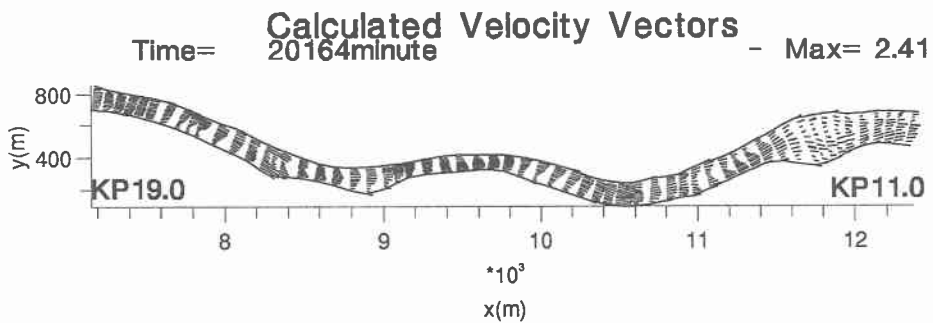


図-12 札内川計算結果(流速ベクトル図)

掘があまり良く表われていないが、B-B断面の計算結果はほぼ横断形状を再現しているものと考えられる。このことは、水制郡の上流部近傍では実際よりも河床変化が小さめの値を示すが、それ以外ではほぼ良好な値を示すものと考えられる。

次に札内川大型模型実験との比較を行なう。基礎実験では水制郡を高水敷化および死水域化のどちらでも同様な計算結果となっているが、現地再現実験のような場合、水制長が様々であるために水制のある箇所流速および水深を0した場合、解が非常に不安定となり、収束解を得ることができなかった。このため、大型模型実験に関しての再現計算は水制郡を高水敷化した方法のみを検討する。図-10は札内川大型模型実験の通水後の河床コンター図であり、図-11および12は計算結果の河床コンター図および流速ベクトル図を示す(図はすべて水制郡を高水敷化している)。全体的な洗掘量および堆積量を見ると、洗掘はほぼ同規模であるが、堆積は若干計算値の方が大きめの値をしている。これは実験の際に行なっている給砂量を計算では充分に見積もっていないために生じたものと考えられる。複列の発生位置を見ると、 $x=1000$ および $4400(\text{m})$ 付近で生じているのが良く再現されている。洗掘の発生位置を見ると、実験では $x=2000(\text{m})$ 付近で洗掘している状況は計算では再現されていないものの他の洗掘位置はほぼ良好に再現されているものと考えられる。

4 まとめ

水制をモデル化する方法は様々考えられているが、今回の検討により水制を粗度の増加として見積もったのでは水制の効果を実験で再現することが困難であることが示された。一方、水制郡を高水敷化することにより、河道全体としての洗掘箇所の把握を行なうことが可能であることが示された。

参考文献

- 1) 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, 北海道大学博士論文, pp.48~110, 1990
- 2) 山田浩次, 黒木幹雄, 板倉忠興; 蛇行河道における水制の効果に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第50回, pp.534~539, 1993.
- 3) 蛇行河川水理実験業務報告書, 平成7年3月
- 4) 札内川大型模型実験業務報告書, 平成4年3月 tem[5] 長谷川和義; 沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究, 北海道大学博士論文, pp.1~184, 1983