

水制周辺の2次元河床変動計算

鳥取大学工学部 正 員 道上 正規

鳥取大学工学部 正 員 檜谷 治

(株) 日水コン 正 員 〇松ヶ下 伸介

1. はじめに 水制周辺の河床変動は、非常に局所的であり、河床形状の予測には1次元解析では河床縦断形状の予測にとどまるために、平面河床形状の取扱いが可能な2次元解析が必要になる。また、水制前面では強い下降流が発生するなど鉛直流が卓越するために、圧力分布に静水圧分布を仮定することには問題があると思われる。そこで本研究では、圧力分布を考慮し、さらに河床の勾配補正と流砂の非平衡性を考慮した2次元河床変動計算法を提案し、従来行われた水路実験に適用して、計算方法の妥当性について検討する。

2. 基礎方程式および計算方法 河床変動の計算方法としては、従来より著者らが行っている方法^{1) 2)}を基本的に用いるが、今回新たに考慮した流況計算での圧力分布、河床変動計算時の勾配補正および流砂の非平衡性について若干の説明を行う。

<圧力分布> 運動方程式中の圧力 p を静水圧 p_0 とこれからの偏差 p' に分けて次式で表す。

$$p = p_0 + p' = \rho g (z - z_0) + p' \quad (1)$$

ここで、 w が時間的にあまり変化がないものとして時間項を省略し、式(1)を用いることにより、 z 方向の運動方程式は、以下ようになる。

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_h \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_h \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_v \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (2)$$

上式を差分化し、 p' を求めることとする。

<勾配補正> 実験において、洗掘孔内である勾配以上になると砂のずり落ちが発生していたために、本研究でもこれを考慮し、河床勾配が 31° (6割勾配) 以上にならないように勾配を補正している(図1参照)。

<流砂の非平衡性> 実験の場合は水制先端では掃流力が大きいために、掃流形式というよりも浮遊形式で砂が移動しており、計算でみられる現象とは異なっている。そこで本研究では、流砂量に関しては芦田・道上の平衡状態の流砂量式から求めるものとし、水制前面のメッシュでの流出流砂量のみは全て、水制先端を原点として次式に示す確率 p_d で下流部へ流出すると仮定して計算を行っている。

$$p_d = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{x}{L^2} \cdot \exp \left(-\frac{x}{L} \right) \quad (3)$$

上式は、従来1次元での非平衡場のdeposited-rateを2次元に拡張したもので、 x は水制先端からの距離、 L は平均のstep-lengthであり、平均粒径の100倍とした。したがって、河床変動計算は、まず水制前面からの流砂量を無視した形でいき、その後式(3)を用いて水制前面からの流砂量を下流域に堆積させるというものである(図2参照)。

以上のことを考慮して表1に示す条件で計算を行った。

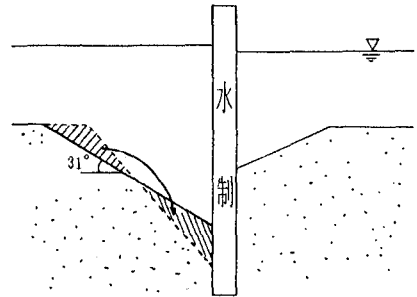


図1 勾配補正

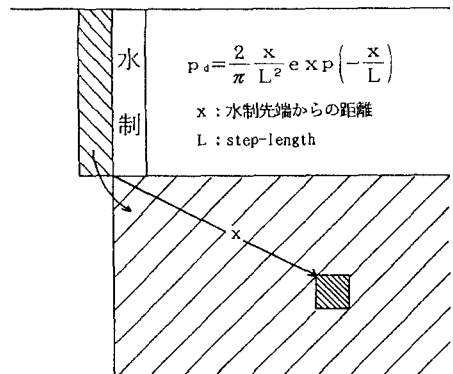


図2 流砂の非平衡性

表1 計算条件

メッシュ	50×20
流量 Q (m ³ /sec)	0.004
水路幅 B (m)	0.40
水制長 l (m)	0.10
路床勾配 i	1/300
粗度係数 n	0.01535
等流水深 h_s (m)	0.0285
摩擦速度 u_* (m/sec)	0.0305
平均粒径 d (m)	0.0006
流入土砂量 $Q_{s,i,n}$ (m ³ /sec)	3.9788×10^{-8}
流れの計算時間間隔 ΔT_1 (sec)	0.003
河床変動の計算時間間隔 ΔT_s (sec)	0.20

3. 実験結果および計算結果

実験結果 まず水制先端で洗掘が始まり、その後は、水制によって発生した下降流に起因する逆流渦の影響で洗掘孔が徐々に拡大していくと同時に、洗掘部が水制前面より水制設置側の側壁へと移動していく様子がみられた。そして、通水開始後約20分で平衡状態となった。その時の河床形状を初期河床からの変動量で示したものが図3である。

計算結果1 (静水圧分布、勾配補正) 従来の計算方法である圧力分布に静水圧分布を仮定した結果を図4に示す。図は、初期河床からの洗掘を正とし0.5cm間隔で示したものでありできるだけ図中にも示している。これをみれば洗掘は水制先端だけで発生し、実験でみられたように洗掘部が水制先端から水制前面に移動し、洗掘孔が拡大する様子もなく洗掘が停止した。この原因は、実験では水制前面での下降流によってそれにともなう逆流渦が発生して洗掘孔の拡大につながっていたが、計算ではこのことが再現できないためであった。

計算結果2 (非静水圧分布、勾配補正、流砂の非平衡性) 本研究で提案した計算方法での計算結果を図5に示す。先の結果と比べて洗掘孔は拡大し、最大洗掘深は約5cmとなり、実験値と比べれば約2/3ではあるが、洗掘形状および堆積の形状も類似しており再現性はよいと言える。また、洗掘孔が水制背後に回り込む様子や洗掘部が側壁側へと移動する様子も再現できている。しかしながら、洗掘深が実験に比べ過小評価されるのは、河床変動計算時の掃流力の評価、流砂量式に鉛直流が評価されていないことなどが考えられ今後の課題である。

最後に、本研究は文部省科学研究費補助金、一般研究(B)、課題番号03452213の援助を受けている。記して深甚なる謝意を表す。

<参考文献> 1) 道上ら：河川湾曲部の2次元河床変動計算、第42回中四講演概要集、pp. 178-179, 1990.
2) 檜谷ら：連続湾曲部における三次元流計算、水工学論文集第34巻、pp. 295-300, 1990.

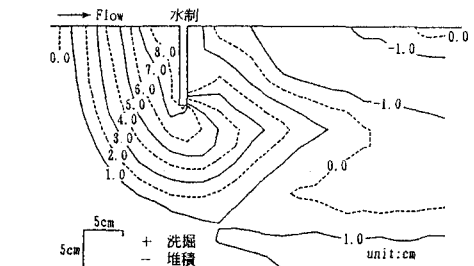
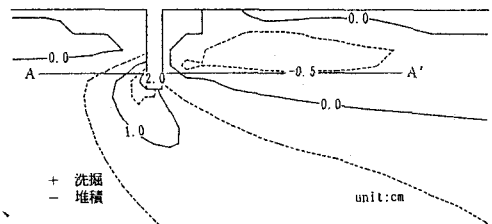


図3 河床変動量コンター (実験結果)



(a) 河床変動量コンター

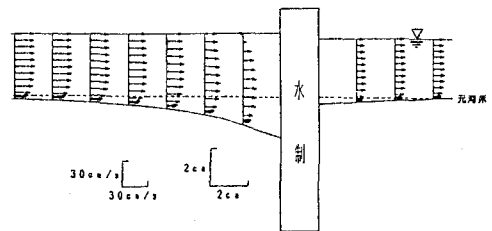
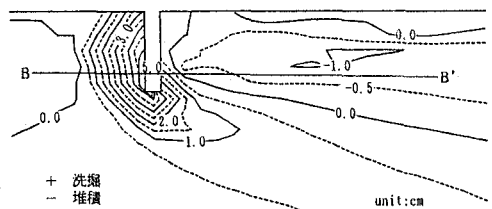
(b) (u, w) ベクトル

図4 計算結果1



(a) 河床変動量コンター

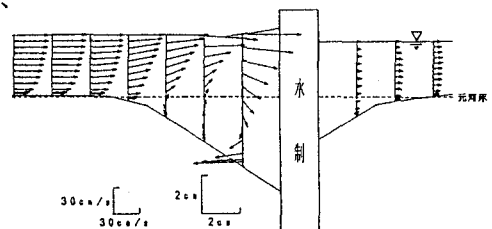
(b) (u, w) ベクトル

図5 計算結果2