

水制工を含む水路の流れと 河床変動に関する数値計算

Computation of flow and river-bed variation near groyne

* ** *** ****

戸嶋 光映・清水 康行・荒井 信行・三谷 紀一

by koei TOJIMA, yasuyuki SHIMIZU, nobuyuki ARAI and norikazu MITANI

This paper describes the computed result of two-dimensional flow and bed variation in straight channel with a groyne. The bed load is calculated by the Meyer-Peter-Müller formula at stream line and the Hasegawa formula at cross stream line. The computed result is successfully compared with the experimental result.

Keywords: groyne, numerical model.

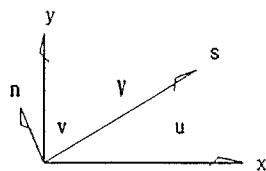
1. はじめに

従来より河岸を保護する手段の一つとして、水制工は数多く設置されてきた。しかし、水制工の設置方法及びその効果については、実際の施工例や水理模型実験などの経験的な方法により把握する機会が多い。本研究は、水制工を含む水路の流れと河床変動を予測するために、清水・板倉¹⁾による2次元浅水流モデルを用いた河床変動計算法をもとに実用的な数値計算モデルを開発し、本モデルを用いて単断面直線水路における非越流型不透水制工（単一）実験例により再現計算を実施し、モデルの妥当性について検証を行った結果である。

2. 計算方法

2-1 座標系の定義

図-1に座標系を示す。計算格子は水路の流下方向をx軸、それと直交する方向をy軸として設定し流れについては、主流方向（流線）をs軸、それと直交する方向をn軸とする。



u, vは x, y軸方向の水深平均流速

Vはu, vの合成流速

図-1 座標系

2-2 流れの計算

流れの運動方程式を(1), (2)式、連続式を(3)式で与える。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[\epsilon \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\epsilon \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\epsilon \frac{\partial v}{\partial x} \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[\epsilon \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\epsilon = \kappa u_* h/6 \quad (4)$$

ここに、hは水深、Pは圧力、ρは水の密度、τ_x, τ_yはx, y軸方向の河床せん断力、εは渦動粘性係数、κはKarman定数、u_{*}は摩擦速度である。

ここで、水制は側壁に直角方向に設置することとし、水制地点でu=0（不透水制）を境界条件として与える。

-
- * 正会員 北海道開発コンサルタント(株) 水工部
 - ** 正会員 北海道開発局 開発土木研究所 水工部 河川研究室
 - *** 正会員 北海道開発コンサルタント(株) 水工部
 - **** 正会員 北海道開発コンサルタント(株) 水工部

2-3 河床変動計算

1) 掃流砂量式

流れの計算において得られた流速 u, v より流線を求め、流線方向(s軸)はMeyer-Peter Muller式、流線に対し直角方向(n軸)は長谷川の式²⁾を適用する。

① s軸方向の流砂量式

$$q_s = 8\sqrt{\sigma g d} (\tau_* - \tau_{*c})^{1.5} \quad (5)$$

ここに、 $\sigma = \rho_s / \rho - 1$ 、 ρ_s : 砂の密度、 g : 重力加速度、 d : 粒径。

また、 τ_{*c} は砂の無次元限界掃流力であるが、河床勾配の影響を考慮した安藤・黒木・板倉³⁾による(6)式で求める。

$$\tau_{*c} = \tau_{*cH} \cos \theta_s \cos \theta_n \sqrt{1 - (\tan \theta_n / \mu_s)^2} - \tau_{*cH} / \mu_s \cdot \sin \theta_s \sqrt{1 + \sin^2 \theta_n} \quad (6)$$

ここに、 τ_{*cH} は岩垣の実験式による無次元限界掃流力、 θ_s 、 θ_n はs, n軸方向の河床勾配。

(5)式中の τ_* は(7)式とする。

$$\tau_* = u_*^2 / \sigma g d \quad (7)$$

② n軸方向の流砂量式

$$q_n = q_s \left(\frac{v}{V} - \frac{\tau_{*c}}{\mu_s \mu_k \tau_*} \frac{\partial \eta}{\partial n} \right) \quad (8)$$

ここに、 μ_s は砂の静止摩擦係数(=1.0)、 μ_k は砂の動摩擦係数(=.45)、

η は河床高(鉛直方向 上向き正)。

また、 v はらせん流による底面流速である。従来より一樣湾曲流路において発達したらせん流の底面流速については(9)式の形が提案されており、ここでは水路全体で(9)式が成立するとする。

$$v = -N \cdot u \cdot h / r_s \quad (9)$$

ここで、 N は係数でありEngelundの結果($N = .7$)を用いる。 r_s は流れの計算で求めた流線の曲率半径とし(10)式で表す。

$$\frac{1}{r_s} = \frac{1}{(u^2 + v^2)^{1.5}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} u^2 + \frac{\partial u}{\partial x} uv + \frac{\partial v}{\partial y} uv - \frac{\partial u}{\partial y} v^2 + \frac{1}{r} \frac{u}{(u^2 + v^2)^{0.5}} \right) \quad (10)$$

ここに、 r は水路の曲率半径。

2) 流砂の連続式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) = 0 \quad (11)$$

ここに、 t は時間、 λ は河床材料の空隙率であり、 x, y 軸方向の掃流砂量 q_x, q_y は(12)、(13)式で与えられる。

$$q_x = \frac{1}{V} (u q_s - v q_n) \quad (12)$$

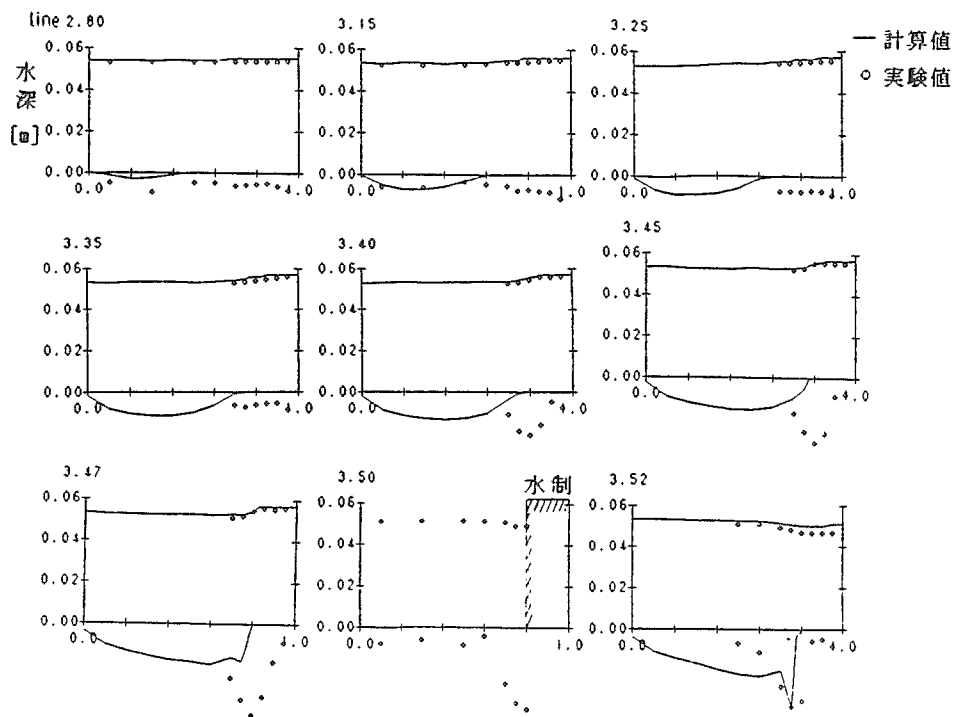
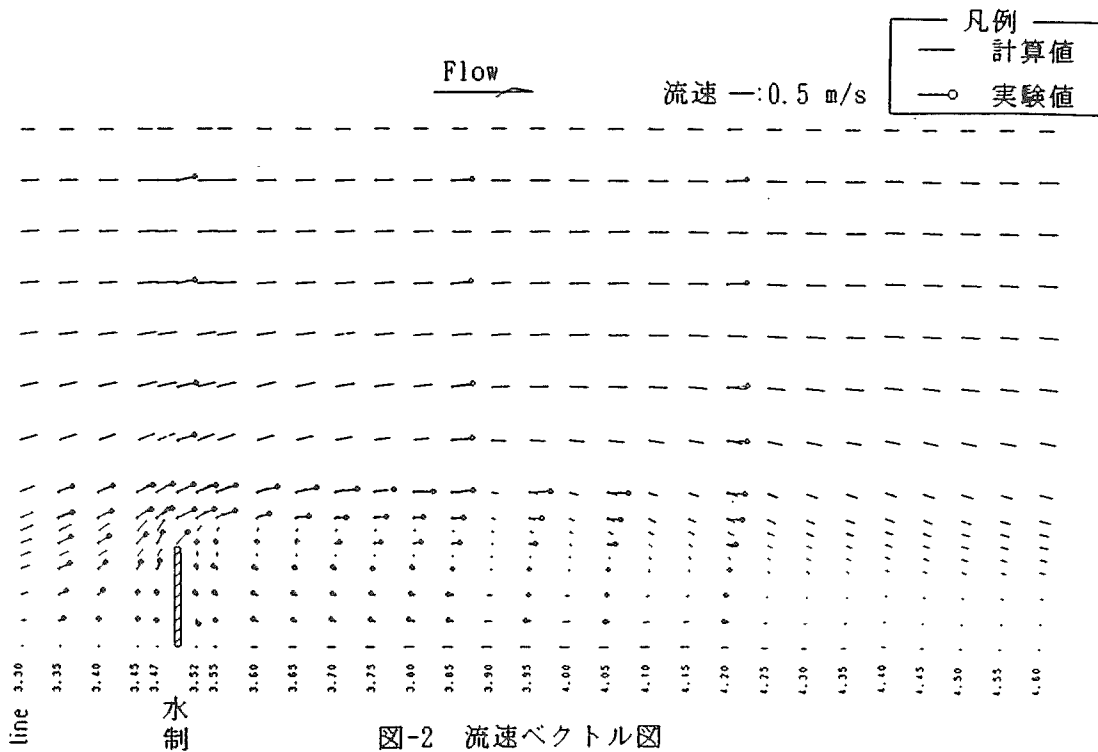
$$q_y = \frac{1}{V} (v q_s + u q_n) \quad (13)$$

3. 計算例

単断面直線水路における移動床・不透水制工の実験例をもとに、表-1の計算条件により、再現計算を行った。実験結果と計算結果を比較して、図-2に流速ベクトル図、図-3に横断図を示す。

表-1 計算条件表

流量 [L/s]	水路幅 [cm]	河床勾配	水制長 [cm]	河床材料平均粒径 [mm]	下流増水率 [cm]	計算時間 [hour]
16.5	100	1/1000	20	1.4	5	5



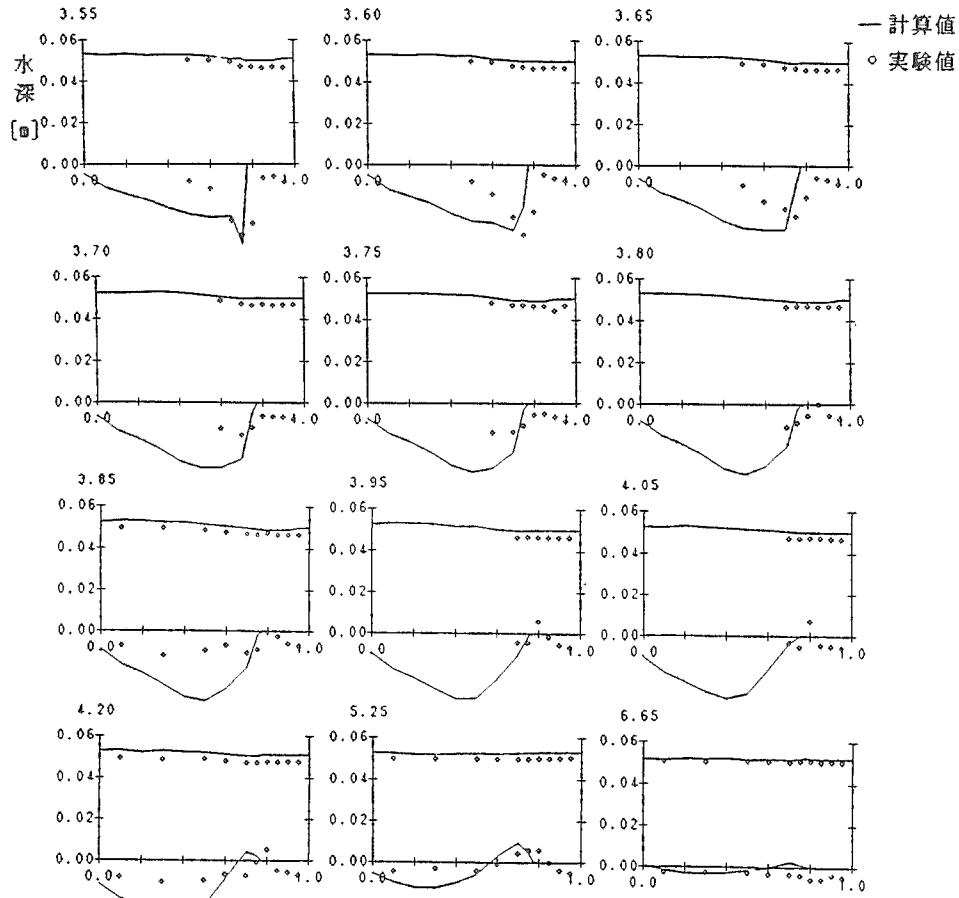


図-3 横断面

4. まとめ

水制周辺を含む全体的な流れの特性（水面形、流速ベクトル）については実験値と計算値で比較的良好一致を示している。河床変動については、水制先端付近から下流側の洗掘状況は実験値と計算値とで同様の傾向となっており、本モデルの実用上の可能性が示された。しかしながら、河床変動については、未だ十分な精度が得られているとは言い難く、今後種々検討を要すると考えられる。特に水制先端付近の局所洗掘現象は非線形であり、本モデルで得られた解が安定な平衡点となっているかなどさらに検討を加えたいと考えている。

謝辞 本研究の遂行にあたり、北海道開発局開発土木研究所河川研究室・環境研究室、北海道大学土木工学科河川研究室の皆様方に、有益な御助言を頂いた。ここに謝意を表す。

参考文献1)清水康行・板倉忠興；河川における2次元流れと河床変動の計算，土木試験所報告第85号，1986 2)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，北海道大学学位論文，1984 3)安藤浩二・黒木幹男・板倉忠興；混合粒径から成る粘着性河岸の浸食，土木学会北海道支部論文集第48号，1992