

越流型水制群を有する開水路流れの 3 次元数値解析

Three dimensional numerical simulation of open channel flows with a series of spur dikes

河原能久, 香大工, 〒761-0396 高松市林町 2217-20, E-mail:kawahara@eng.kagawa-u.ac.jp
Yoshihisa KAWAHARA, Kagawa University, 2217-20, Hayashi-cho, Takamatsu, Kagawa, 761-0396

Three-dimensional unsteady numerical calculations are carried out for turbulent flows in an open channel with a series of spur dikes along a sidewall, where highly complex flow field is formed. A non-linear $k-\varepsilon$ model is employed for the turbulent stresses with the sigma coordinate system to take full account of spatial variation in free surface level. Comparisons between the present calculation and the relevant experiment demonstrate that the numerical model can reasonably well predict the mean velocities, water surface elevation and turbulent stresses near spur dikes. The distributions of pressure and wall shear stress on and around spur dikes are also shown.

1. はじめに

水制は、洪水時に河岸浸食を防止するという本来の機能だけでなく、水制周辺に多様な流れ場を創出するため、河川生態系を保全する機能を有するために利用が進められている。洪水時に水没する水制周辺の流れは、強い 3 次元性や非定常性を示し、水深方向の圧力分布も静水圧分布からずれるとともに局所洗掘が発生する。水制工の設計には洪水時の複雑な流れの解析手法を開発することが必要である。

著者らはこれまでに洪水時の越流型水制周辺の流れ場と水面変動と河床変動を解析することのできる数値解析コードを開発してきた⁽¹⁾。本研究では、非線形乱流モデルを用いた非定常計算を行い、流れの再現性を検討するものである。

2. 基礎方程式

デカルト座標系での基礎方程式は以下のものである。乱流モデルとしては Shih らの非線形 $k-\varepsilon$ モデル⁽²⁾を使用している。

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial U_j U_i}{\partial x_j} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - u_j u_i \right)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial U_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \text{Prod} - \varepsilon$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial U_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} \text{Prod} - C_{\varepsilon 2} \varepsilon)$$

$$u_j u_i = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} 2S_{ij}^* + 2C_2 \frac{k^3}{\varepsilon^2} (-S_{ik}^* \Omega_{kj}^* + \Omega_{ik}^* S_{kj}^*), \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$S_{ij}^* = S_{ij} - \frac{1}{3} S_{kk} \delta_{ij}, \Omega_{ij}^* = \Omega_{ij}, S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right), \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

$$S^* = \sqrt{S_{ij}^* S_{ij}^*}, \Omega^* = \sqrt{\Omega_{ij}^* \Omega_{ij}^*}, U^* = \sqrt{S_{ij}^* S_{ij}^* + \Omega_{ij}^* \Omega_{ij}^*}, W^* = \frac{S_{ij}^* S_{jk}^* S_{ki}^*}{S^{*3}}$$

$$C_\mu = \frac{1}{6.5 + A_3^* U_s^*(k/\varepsilon)}, C_2 = \frac{\sqrt{1 - 9C_\mu^2 (S^*(k/\varepsilon))^2}}{1 + 6S^* \Omega^* (k^2/\varepsilon^2)},$$

$$A_3^* = \sqrt{6} \cos \phi, \phi = \frac{1}{3} \arccos(\sqrt{6} W^*)$$

$$c_{\varepsilon 1} = 1.42, c_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

水面変動を考慮した解析を行うために、水面から河床までの領域を 0 から平均水面 \bar{h} までの領域に変換する σ 座標系を導入し、基礎方程式を書き換えた。また、水面の位置 Z は次式で示される運動学的条件から算出した。

$$\frac{\partial Z_s}{\partial t} + U_s \frac{\partial Z_s}{\partial x} + V_s \frac{\partial Z_s}{\partial y} = W_s$$

境界条件は、主流方向方向には周期境界条件、壁面において壁関数法、自由水面では水面に垂直方向の流速をゼロとし、その他の未知量に対しては対称条件としている。

3. 計算結果

実験では幅 60cm の直線水路に水制の模型（水路幅方向の長さ 10cm, 高さ 5cm, 幅 3cm）を 40cm 間隔で多数個設置し、3 成分の平均流速を電磁流速計で測定した。図-1 に水制工間の壁面付近での平均流速ベクトルについて、実験結果と計算結果を比較している。また、図-2 では水制の周辺における水面変化を壁面付近について比較している。良好に一致している。その他の結果の比較から、本計算手法が水制周辺の流れや水深について妥当な結果を与えることを確認した。

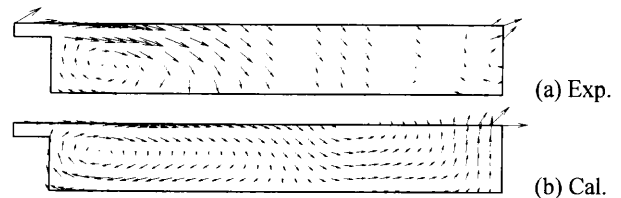


Fig.1 Comparison of U-W vectors near the sidewall.

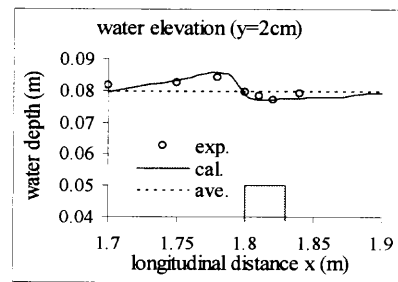


Fig.2 Comparison of water surface elevation.

参考文献

- (1) Peng, J., Tamai, N. and Kawahara, Y., "Numerical modeling of local scour with spur dikes", Proc. 28th IAHR Congress(1999), pp.B110-B115.
- (2) Shih, T. H., Zhu, J. and Lumley, J. L., "A new Reynolds stress algebraic equation model," Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, Vol.125(1995), pp. 287-302.