

II-180

越流型水制周りの流れ場の3次元数値解析

東京大学工学系研究科 正会員 河原能久
 東京大学大学院 彭 静

1. はじめに

多自然型川づくり事業が進展しつつある。そのなかで水制や人工わんどの造成は有力な手法とみなされ、実施されてきている。水制に関する研究・調査例はいくつかあるが、しかし、水制周辺の洪水時の流れ場に関しては、3次元性も強く未だ不明な点も多い。本研究では、水制周りの流れ場の基礎的な特性を理解することを目的とし、平坦な直線河道内に設置された根固め水制を越える流れを対象として、3次元数値解析を行った。ここでは数値解析により得られた知見を報告する。

2. 数値解析法と計算条件

解析対象の概要と解析に用いた座標系を図-1に示す。基礎方程式は、連続の式、運動量の式、乱流エネルギーの輸送方程式、及びエネルギー散逸率(ϵ)の輸送方程式であり、乱流モデルとしては、Zhu-Shihにより改良された $k-\epsilon$ モデルで用いている。この乱流モデルは、渦動粘性係数中の係数 c_μ を平均流と乱れのタイムスケールの比(η)の関数とするものであり、乱れの異方性を正確に表現するものではないが、標準的な $k-\epsilon$ モデルと比較すると、実現性条件を満足させつつ、剥離域の大きさをより正確に表現するものである。係数 c_μ の表現は以下のである。

$$\nu_t = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad c_\mu = \frac{0.667}{5.5 + \eta} \quad (\text{標準 } k-\epsilon \text{ では } 0.09 \text{ で一定})$$

$$\eta = \frac{Sk}{\epsilon}, \quad S = (2S_{ij}S_{ij})^{1/2}, \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

その他のモデル定数や輸送方程式の式形は標準 $k-\epsilon$ モデルと同一である。

基礎方程式をスタガード格子網上で有限体積法により離散化する。収束解はSIMPLEアルゴリズムを用いて求めている。

計算条件は次のようである。水深：4m、川幅：50m、流量：680(m³/sec)、水制：高さ1m、長さ5m、幅2m、河道・水制とも粗度高さ：10cmとし、水制間隔を4通り変化させた。表-1に計算条件を示す。なお、計算領域内には水制を3基設置し、1番目の水制から順次流れが変化していく様子を検討できるようにした。しかし、以下では2番目と3番目の水制の間について、しかも水制付近に限定して結果を示す。

境界条件としては、上流端にて一様な値を、下流端にて流出条件を与えた。また、底面及び側壁では壁関数法を使用し、水面は平坦で対称面と仮定した。流れ場の初期値として、連続の式とオイラーの方程式を解いて得られた流速と圧力の分布を与えた。これにより計算時間の短縮をはかった。

3. 結果と考察

図-2にケース-2における異なる高さでの流速ベクトルの分布を示している。河床に近い高さでは、水制先端

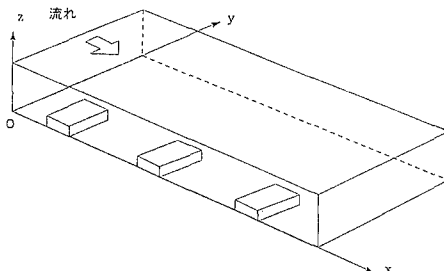


図-1 解析対象と座標系

表-1 計算条件

ケース	水制間隔	格子点数
1	15.0(m)	70 × 31 × 17
2	10.0(m)	60 × 31 × 17
3	8.0(m)	56 × 31 × 17
4	5.0(m)	48 × 31 × 17

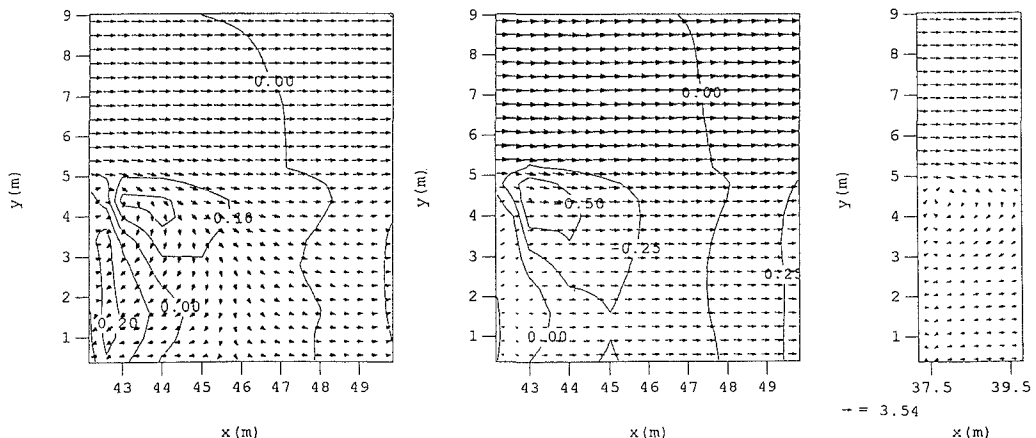
部付近で流れが水制背後に回り込み、主流の流向が反転する逆流領域が形成されていることが認められる。その逆流領域の大きさは流下方向に4m程度で水制の突き出し部の長さの約8割と小さく、水制が水没していない場合の流れとは大きく異なっている。水制の天端高さより10cm低い高さでの流速分布を図(b)に表す。水制の下流側では主流速度は小さいものの、逆流領域は見当たらない。図中の曲線は水深方向の流速成分の等値線(単位:m/s)を示し、正の値は上昇流を意味する。図(b)では、水制の先端部付近から後方にかけて下降流が存在し、水制背後の側壁付近では及び水制前面では上昇流が生じている。一方、河床付近では下降流の発生領域は狭くなり上昇流の領域は広がっている。このように水制周辺での流れは強い3次元性を有する。

図-3は水制間隔を極端に小さくしたケース-4の、河床より20cm高さでの流速ベクトルを示している。水制の間の流れ全体が逆流域になり、流速は小さい。

図-4はケース-1から4までの河床の剪断応力分布を比較したものである。剪断応力は水制の先端部付近とその下流及び水制背後の逆流領域の中央付近で大きな値をとる。水制先端部周辺では流速と乱れの強さが大きいために、逆流域内では流速は大きくないが乱れが強いため、大きな剪断応力が発生していると推測される。ケース-1から3では、剪断応力の大きさや分布形状は極めて類似しているが、ケース-4の結果は他のケースと異なっている。水制背後に同規模の逆流領域が形成される限り、水制間隔の剪断応力に及ぼす影響は少ないと考えられる。

今後、水深、水制の高さ・角度の流速や河床・側壁の剪断応力に及ぼす影響の系統的な検討や河道の形状や土砂輸送を取り入れた解析へと発展させていく予定である。末尾ながら、解析の機会を与えてくださった建設省武雄工事事務所に謝意を表します。

参考文献 Zhu,J. and T.H.Shib: Comp. Fluid Dynamics J., Vol.3, No.3, 343-354, 1994.

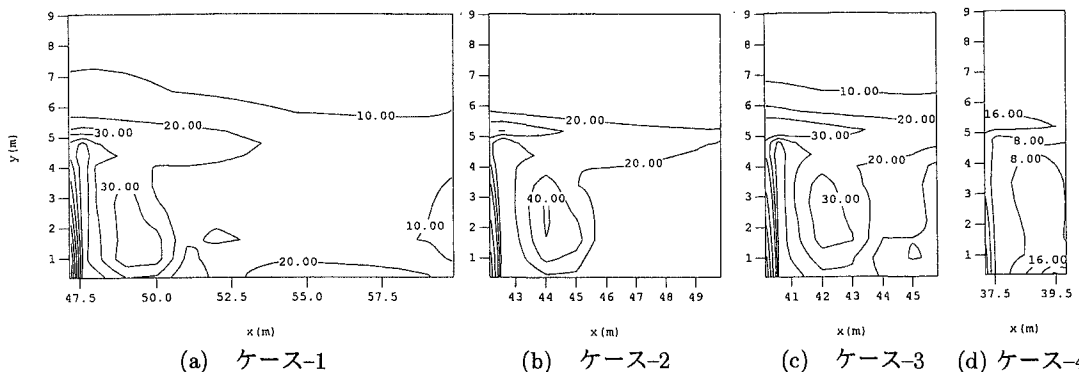


(a) 河床より高さ20cm

(b) 河床より高さ90cm

図-3 ケース-4における流速分布

図-2 ケース-2における流速分布



(a) ケース-1

(b) ケース-2

(c) ケース-3

(d) ケース-4

図-4 河床の剪断応力分布