

宇都宮大学工学部	正 員 杉山 均
宇都宮大学工学部	秋山光庸
宇都宮大学工学部	学生員○山中和典
芝浦工業大学システム工学部	平田 賢

1. 緒言

直線状河川では、その河床に整然と配列した縦筋 (sand ridge) が存在し、縦渦群により生成されることが知られている。Matthes⁽¹⁾は水面が渦輪のように盛り上がるボイル現象はこの縦渦によるものと推測した。この縦筋と縦渦が伴う流れを詳細に検討した Nezu-Nakagawa⁽²⁾の実験を対象として数値解析を行い、その流動挙動を考察することを本研究の目的とする。

2. 解析手法

2.1 計算対象モデル: 数値解析においては、より実験を踏襲する意味より、助走区間を含めた三次元流路として解析を行う。Fig.1にその座標系および対象としたモデル形状を示す。

2.2 レイノルズ応力方程式: 数値計算上障害となる対流項、拡散項に対しては Rodi⁽³⁾による近似を適用し、圧力・歪み相関項のモデル化は、基本的に Launder-Reece-Rodi⁽⁴⁾により提案されたものに従うが、一部制約条件について修正を加えてモデルを構築した⁽⁵⁾。散逸項に対しては、流れが高レイノルズ流れであり、局所等方的であることを仮定してモデル化を行った⁽⁵⁾。

2.3 境界適合座標系: 計算を行う上で境界条件の設定が問題となるが、これには境界条件の設定が容易な境界適合座標系⁽⁶⁾を採用することで対処した。

2.4 数値解析: 計算領域は系の対称性を考慮して1/4断面とした。Fig.2に計算格子図を示す。格子数は $25 \times 25 \times 50$ 点である。計算レイノルズ数は実験値と同様 1.3×10^4 とした。乱流エネルギー k 、乱流散逸方程式 ε の境界条件に対しては、壁関数を用いた。入口条件は実験においても不明であるため $k = U_b \times 10^{-5}$ 、 $\varepsilon = k^{3/2}/D_h$ (D_h : 水力直径、 U_b : バルク速度) と小さな値を設定し、出口は、ノイマン条件として計算を行った。数値解析は、有限差分近似により行い、計算諸量の格子点配置は、Regular Grid 法によった。支配方程式の対流項の差分近似は QUICK (三次精度の風上差分) を使用した。

3. 結果と考察

計算においては、助走区間距離として $100D_h$ の長さを設けている。実験結果と比較する際には完全発達乱流領域の結果と比較する意味より $95D_h$ における結果で実験結果との比較をしている。この位置が完全発達領域に当たることは、管路中心部主流速度の発達より確認している。

3.1 平均速度場の比較: Fig.3に主流速度等値線の実験結果と

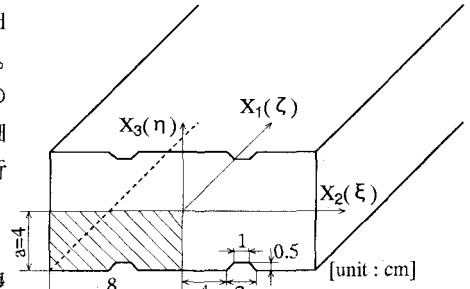


Fig. 1 Subject of calculation and coordinate system

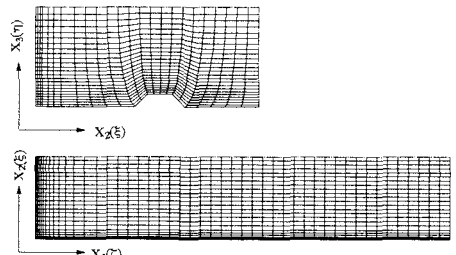


Fig. 2 Calculation grids

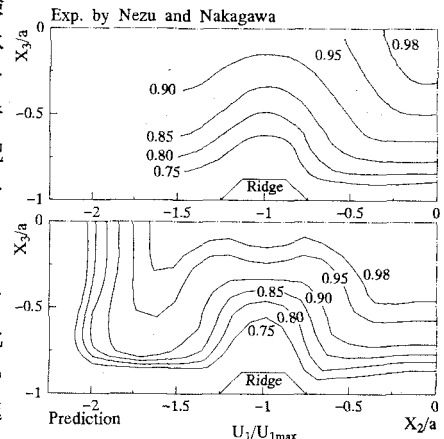


Fig. 3 Contours of mean primary velocity

の比較を示す。各値は断面内最大主流速度により無次元化してある。ridge 上では低速流が大きな領域を持ち、trough 上では高速流が大きな領域を持ち支配的である。これは実験、数値解析とも一致している。また、実験ではコーナ部付近での測定が行われておらず不明だが、計算においては、コーナ部においても等値線の突き出しがみられる。これは ridge 付近と同様に縦渦(第二種二次流れ)によるものと思われる。

Fig.4に縦渦の実験結果、計算結果を示す。実験において、縦渦は trough から ridge へ向かって流れ、ridge 上で上下対称軸へと向かう上昇流となる。その後、対称軸に沿って中心部に向かって流れ、中心部で下降流となり、大きな循環流を形成している。計算はこの点を良好に予測しており、渦中心位置についても良好に予測していると思われる。また、計算ではコーナ部近くでコーナへ向かう流れが存在する点、コーナ部から ridge へ向かう二次流れの方が、中心部からのものより大きい点等が特徴的な点として指摘される。

3.2 変動速度場の比較: Fig.5に垂直応力の差($\overline{u_2^2} - \overline{u_3^2}$)の実験結果と計算結果の比較を示す。計算値が実験結果と異なる点として ridge の左右に負の領域が存在する点が挙げられるが、これは二次流れにより値の小さい $\overline{u_2^2}$ が運びこまれたものと推測される。また、Nezu ら⁽²⁾は上下対称軸近傍にて負の領域が存在することを特徴的な点として論文の中で指摘しているが、同様な結果を計算結果も示している。

Fig.6にせん断応力 $\overline{u_2 u_3}$ 等値線図の両結果を示す。計算は実験と比較するとその領域については差があるものの、傾向は良く捉えている。ridge 部で高いせん断応力値が存在することが実験、計算の両方から理解でき、コーナ部でも高い値が存在することが計算より理解できる。

4. 結論

計算結果をもとに、Nezu-Nakagawa⁽²⁾の示した実験結果と比較・検討し、次の結論を得た。(1) 本解析は比較的良好に実験結果を予測している。(2) 側壁から ridge に向かう二次流れは左右対称軸からのそれよりも大きく、縦筋の形成に影響を与えるものと思われる。

参考文献

- (1) Matthes, G.H., Trans. Amer. Geophy. Union, Vol.28, pp.255-265, 1947.
- (2) Nezu, I. and Nakagawa, H., J. of Hydraulic Eng., ASCE, Vol.110, No.2, pp.173-193, 1984.
- (3) Rodi, W., Z., Angew. Math. Mech., 56, pp.t219-t221, 1976.
- (4) Launder, B.E., Reece, G.J. and Rodi, W., J. Fluid Mech., Vol.68, pp.537-566, 1975
- (5) 杉山、秋山、芹沢、機論, 56-531, B, pp.3328-3335, 1990
- (6) 杉山、秋山、平田、上野、機論, 57-541, B, pp.2943-2949, 1991

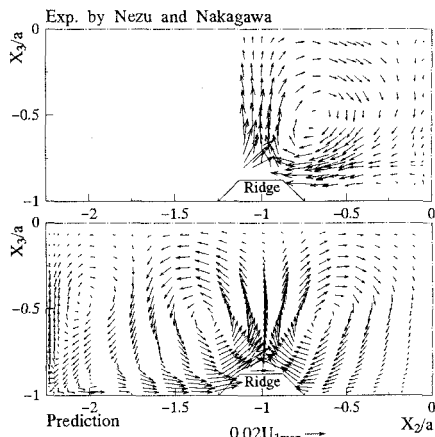


Fig. 4 Cellular secondary vector

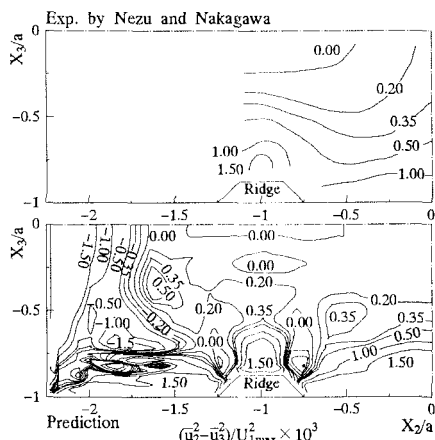


Fig. 5 Contours of normal stresses

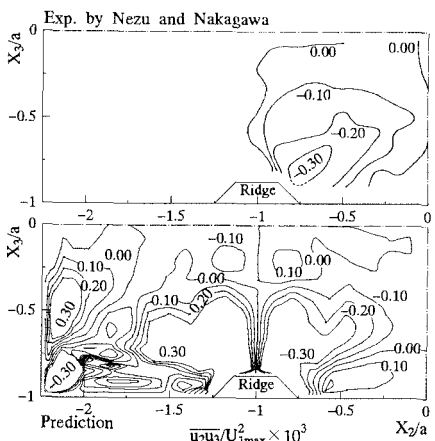


Fig. 6 Contours of shear stress