第Ⅱ部門　　　離散渦法を用いた複断面開水路流れにおける水平渦の発達シミュレーション

京都大学工学部地球工学科　学生員　○神谷　敦史
京都大学大学院工学研究科　フェロー　禰津　家久
京都大学大学院工学研究科　正会員　山上　路生

1. 緒言

複断面開水路流れでは大規模水平渦が発生し，低水路と高水敷の間で運動量交換や物質輸送が促進される．このような水平渦の水理特性を解明することは河川環境学および水工学において非常に重要であり，これまで可視化計測などの多くの実験的研究が行われてきた．また，最近ではコンピュータ技術と高精度な乱流モデルの開発が進み，数値シミュレーションも精力的に行われている．例えば，灘岡・八木（1998）[1]は水深平均した2次元のLESモデルを開発して水平渦の発達プロセスやReynolds応力の分布特性を再現している．しかしながら，これまでの数値計算のほとんどが差分法によるものである．差分法はオイラー解析であるため計算格子が必要であり混相流や風波流れのような複雑な境界面流れの計算には適用がかなり困難である．一方，境界要素法を適用した離散渦法はラグランジュ解析であるためメッシュを組む必要がなく複雑な境界面流れに比較的容易に適用できるメリットをもつ．そこで，本研究では離散渦法をベースにした3次元の数値モデルを開発して複断面開水路流れにおける水平渦の発達の再現を研究目的とした．さらに，PIVによる水理実験の結果を用いて精度検証も行った．

2. 計算方法

離散渦法ではビオ･サバールの法則と渦度方程式を用いて個々の微小渦の分布から瞬間速度場を計算する．本研究では離散渦法のアルゴリズムとしてBeale & Majda（1982）[2]が提案したStick法を用いて計算した．**図-1** に計算領域のモデル図を示す．ここでx，yおよびzはそれぞれ流下方向，鉛直方向および横断方向座標である．また，それらに対応する流速成分をU，VおよびWとした．本研究では**図-1** のように計算領域を鉛直方向に5層に分割して3次元的に数値解析した．次に**図-2** にせん断領域のモデル図を示す．この図のように流れ場は一様流と微小渦で構成した．**表-1** に計算条件を示す．ここでHは低水路上の水深，hは高水敷上の水深，Dは高水敷高さで$H=h+D$であり，Bは水路幅，B_fは高水敷幅，Qは流量を表す．

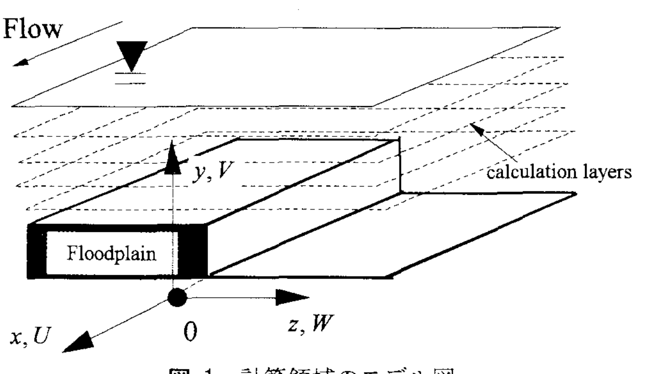

図-1　計算領域のモデル図

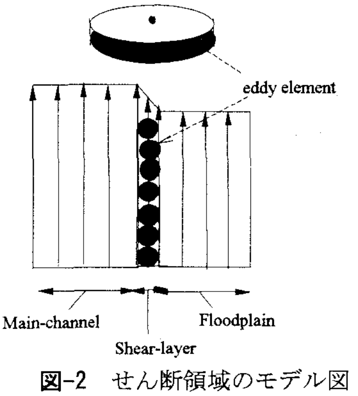

図-2　せん断領域のモデル図

表-1　計算条件

H(cm)	h(cm)	B(cm)	H/D	B_f/B	Q(l/s)	Fr	Re
7.2	2.2	40	1.44	0.5	1.8	0.12	7500

Atsushi KAMIYA, Iehisa NEZU and Michio SANJOU

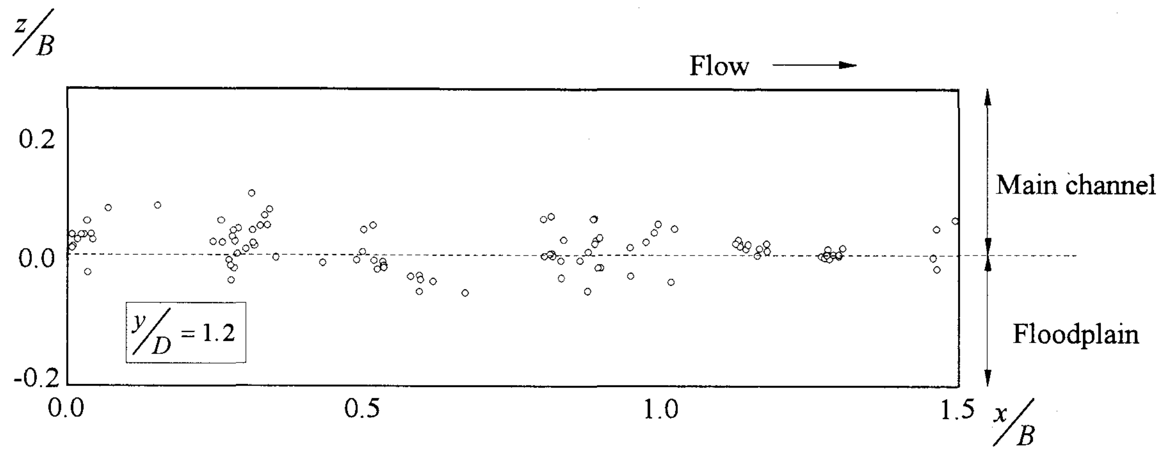

図-3　微小渦要素の分布

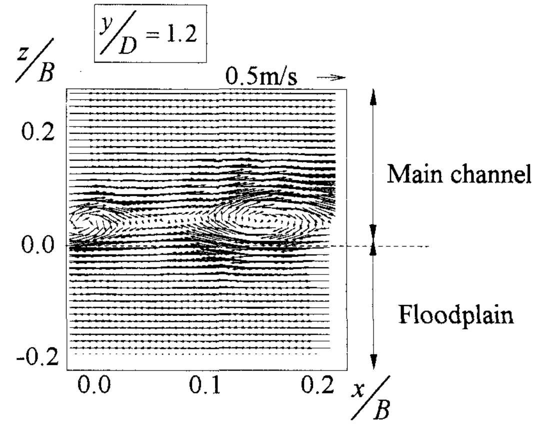

図-4　瞬間ベクトル図

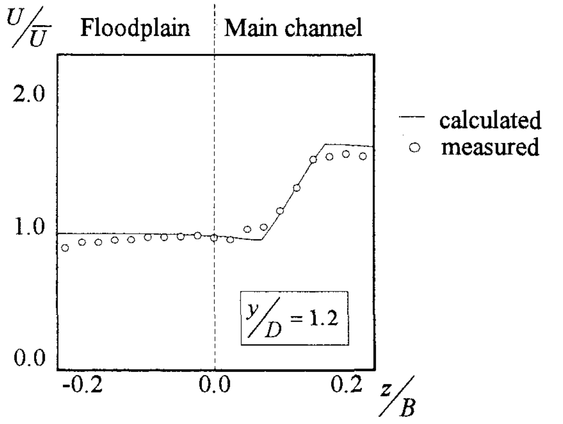

図-5　主流速の横断方向分布

3.　結果と考察

図-3 に $y/D=1.2$ における十分に時間経過したときの微小渦要素の分布を示す．計算の初期状態では低水路と高水敷の境界部に一列に配列していた微小渦群が時間の経過とともに微小渦が局所的に集合して渦塊となることがわかる．この渦塊が**図-4** の瞬間ベクトル図に示されるように大規模水平渦を構成する．なお，この**図-4** は $y/D=1.2$ における横断方向に平均した平均主流速による移動座標系で表示した．このように離散渦法によって微小渦が時間とともに渦塊となり大規模水平渦が発生するプロセスがよく再現できた．**図-5** に $y/D=1.2$ における横断方向に平均した時間平均主流速 $\overline{U}$ によって無次元化した平均主流速 U の横断方向分布を示す．また，PIV による可視化計測で得られた主流速分布も合わせて示した．この結果から計算値は実験値とほぼ一致しており主流速分布を良好に再現できていることがわかる．

4.　結言

本研究では離散渦法によって複断面開水路流れにおける水平渦の発達プロセスを再現することに成功した．また，PIV による乱流計測の結果と比較することで本モデルの計算精度の有効性を示した．

参考文献

1)　Nadaoka,K. and Yagi,H. : Shallow-water Turbulence Modeling and Horizontal Large Eddy Computation of River Flow, *J.Hydraulic Eng.*, ASCE, Vol.124, No.5, pp.493-500, 1998.

2)　Beale,J.T. and Majda,A. : “Vortex Methods-1:Convergence in Three Dimensions”, *Math.Comp.*, Vol.39, pp.1-27, 1982.