

II-166

開水路流れにおける水深規模の渦運動について

京都大学防災研究所 正員 石 垣 泰 輔

京都大学防災研究所 正員 今 本 博 健

1. は じ め に

直線開水路における充分に発達した乱流状態の流れで観察される水深規模の渦運動について、速度ベクトル計測法による速度3成分同時計測結果と流れの可視化結果を用いてその構造を検討してきた。その結果、図-1に示すような3次元構造モデルを提示した¹⁾。本報告は、このような3次元挙動の発生・発達過程の説明を試みた結果を示すものである。

2. 流れの3次元挙動

図-1に示すように、路床付近より上昇した流体は水面に達して拡がり、横断方向に移動して下降流となる。上昇部は流れが集中して強いものであるのに対し、下降部は流れが発散して弱い。上昇部・下降部はともに流下方向に連なる。このような流れが図に示すような3次元ラセン構造を持つ。このモデルは、水深規模の流体運動に着目した実験結果に基づいて提案したものであり、平均速度分布の計測結果が示すような流れの多層構造との関連は明確でない。流れは、乱れの発生が支配的な路床近傍、図-1のような構造が見られる主流部、および開水路特有の境界を持つ水面近傍、の3層に分けられる。以下に路床近傍の構造と主流部の構造に一連の説明を加えた結果を示す。

3. 水深規模の渦運動の発生・発達過程

路床近傍での乱れの発生を説明するモデルは、(1) Vortex filament model, (2) Vortex sheet model, (3) Eddy model の3種類に分類される。この領域における横断方向軸を持つ渦度の発生および可視化結果に見られる渦塊としての運動を考慮すると、渦線の集合として渦面が形成されるとする(2)の Vortex sheet model が妥当と考えられ、ここではこのモデルを採用する。

渦線の渦度の大きさが路床近傍の速度勾配で表わされるとすれば、壁面での滑り無しの条件から路床近傍の速度の平面分布が渦度の大きさの分布を表わすことになる。図-2は中立粒子トレーサを用いたLLS可視化法により得た結果であり²⁾、路床近傍の水平断面内で撮影されたトレーサのパスラインの間隔より速度を算定したもので、瞬間速度の平面分布を示している。図より、路床近傍の速度分布は一様ではなく、渦度は非一様分布をすることが確認される。

渦度の大きさの異なる渦線が渦面を形成する場合、図-3に示すような渦線の配列パターンが考えられる。ここでは便宜上、渦度の大きさを円の大きさを表わし、図内の矢印は誘導速度の大きさを表わしている。

1つの渦線は、ビオ＝サバールの法則に基

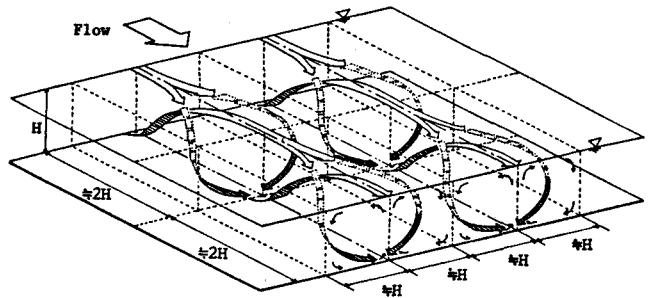


図-1 開水路流れにおける水深規模の渦運動

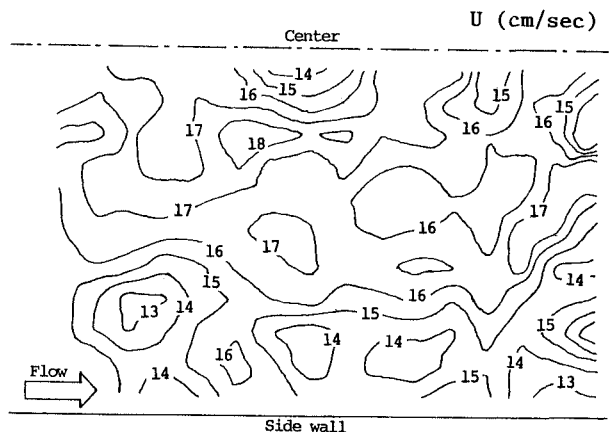


図-2 路床近傍の速度の平面分布

づいて渦度の大きさに応じた誘導速度を隣り合う渦線に与える。渦度の大きさが一様（A図）あるいは大・小・大・小（B図）と配列された場合は、相互に打ち消し合う誘導速度を隣り合う渦線に与えるために渦線は上下運動をせず、渦面の位置は保たれる。これに対しC図およびD図のように、一様な渦度を持つ渦線のなかの一部に大きさの異なった渦線が存在する場合には、その渦線の前後のものが上下運動を始める。さらに、E図およびF図のような配列では複数の渦線が上下方向に移動し、渦面としての上下運動を生ずる。また渦面が下降する部分も壁面の存在により反作用で上昇し、広範囲の渦面が上昇する。

上昇した渦面は、路床近傍の領域から抜け出して主流部に入ると引き伸ばされるため（Vortex stretching）、鉛直および流下方向渦度が発生する。この渦面は、構成する渦線がビオ＝サバルの法則に従って巻き上り、主流に乗って大規模な渦運動へと発達する。この現象は翼先端で発生するLanchesterの渦と類似するものと考えられる。

主流部ではレイノルズ数が大きく、粘性の効果が小さいため、Lagrangeの渦定理が示すように渦運動は持続し、ある寿命時間の後に減衰すると考えられる。このような渦運動のなかで水深規模のものが流下とともに発達して図-1に示したような3次元構造を形成する。また、水深規模の渦運動は前述した渦面の引き伸ばしに関与し、より安定したスケールの運動になると考えられる。

4. お わ り に

以上をまとめたものが図-4である。路床近傍に形成された渦面は、渦度の非一様性のために上下運動を始める。渦度分布の非一様性が大きいほど渦面は速く高くもり上る。主流領域まで達した渦面は主流により引き伸ばされつつ上昇し、ビオ＝サバルの法則に従って巻き上り大規模な渦運動へと発達する。これらの渦運動は、ある寿命時間存続し、水深規模の運動が発達して図-1のような3次元の挙動を示すようになる。

参考文献：1) 今本・石垣：30回水講，p565-570, 1986. 2) 今本・石垣：京大防災研年報28号B2，p471-486, 1985.

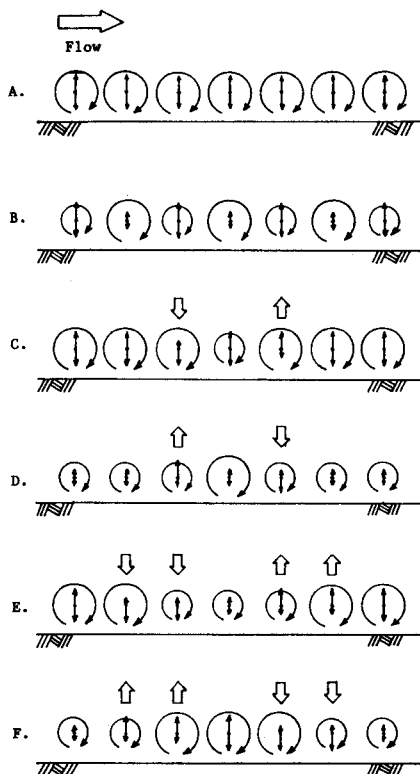


図-3 渦線の配列パターン

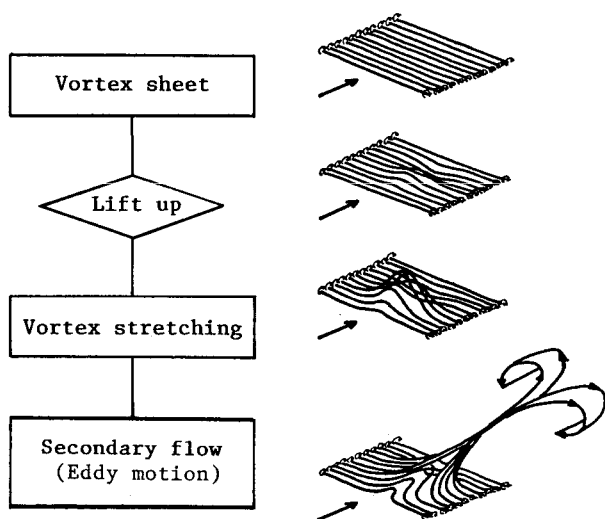


図-4 開水路流れにおける水深規模の渦運動の発生・発達過程