

直線開水路の二次流に及ぼす境界面効果の検討

日本大学工学部 学生員○永福 貴之

日本大学工学部 正 員 長林 久夫

日本大学工学部 正 員 木村 喜代治

1. 目的 直線開水路流れの主流速方向に直交する流れを二次流といい、これは自由水面側の側壁領域と底面側の隅角部に、水路規模オーダーの渦構造を形成することや、主流速度の2%程度の流速であるが壁面せん断応力分布を歪める要因となることが報告されている。最大流速発生位置が自由水面から降下する現象は、水面側の二次流の存在から説明されており、流速計による実験的検討、渦度方程式や代数応力モデルによる数値計算から検討が行われているが、水理量や壁面粗度に対応した最大流速位置低下の機構を完全には解明するには至っていない。本研究は種々の水路状況に伴う二次流を、 b/h 比（水路幅水深比）や水路粗度状況および水理量、最大流速位置が水面下にある場合とない場合について検討し、その発生機構を解明するための基礎的研究である。

2. 計算方法 流下方向 x に対して、時間的に平均化された水理量が変化しないとし、 $y-z$ 平面での流れ関数値 ϕ による二次流の基礎方程式を式（1）に示す。式（1）右辺は二次流発生項であり、 ε_{yz} は渦動粘性係数である。乱流強度 $(\overline{w'^2} - \overline{v'^2})$ の分布を推定式により、表-1の4種類の条件で与えた。計算は式（1）を差分法で展開し、陽解法により各測点の流れ関数値を求め、（2）式で流速を求める。そして4計算条件による二次流の特性について検討した。

二次流の基礎方程式

流れ関数定義式

$$\left(\frac{\partial^4}{\partial y^4} - 2 \frac{\partial^4}{\partial y^2 \partial z^2} + \frac{\partial^4}{\partial z^4} \right) \phi = - \frac{1}{\varepsilon_{yz}} \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} (\overline{w'^2} - \overline{v'^2}) \quad \cdots (1) \quad v = \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad w = - \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad \cdots (2)$$

3. 検討 図-1の条件で、さまざまな組み合わせの流速ベクトル図を作成したが、ここでは条件そのものについての検討を行うことにする。

条件1の水深変化による流速ベクトル図の一例を図-1に示す。浅い水深から深い

水深になるにつれて、底面発生渦が徐々に大きくなり、ある程度の水深までいくと、成長が止まり、その上部の中間層に複数の渦が発生したり、大きさが拡大されて、水面渦に伝播する。

条件2の勾配変化による流速ベクトル図の一例を図-2に示す。勾配が急勾配になるにつれて、底面発生渦、水面渦の強度が増大し、わずかながら大きさも拡大されていくが、渦の配列には変化はみられない。

条件3の粗度変化による流速ベクトル図の一例を図-3に示す。二次流の回転方向は同一であるが、側壁粗度高さの違いで渦の強さに差が生じる。水深8cmでは粗度変化により、水路内に一つの大きな側壁渦を形成するはずであったが、最大流速位置を低下させているために、水面側にもう一つの渦が形成された。

条件4の最大流速位置が水面と水面下の場合では、水深変化による比較を行う。最大流速位置が水面下による水深変化は図-1に、最大流速位置が水面による水深変化は図-4に示す。図-1の場合は、水面渦が時計回転となっており、実験の傾向と一致している。図-4の場合は、反時計回転となる。これは水面付近での流速減少がないために底面渦が伝播し、一つの大きな循環が生ずることを示している。よって水面中央での下降流の発生は、最大流速位置が水面下にあることが条件となることが分かった。

表-1. 計算条件による組み合わせ

- | |
|---|
| 条件1. 水深変化 ($H=5, 8, 10, 13, 15, 18, 20\text{cm}$) |
| 条件2. 勾配変化 ($I=1/1000, 1/600, 1/300, 1/100, 1/50$) |
| 条件3. 粗度変化 (粗度の高さ=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5cm) |
| 条件4. 最大流速位置が水面と水面下の場合 |

