

## II-291

## 常流中に設置された鉛直平板前面に作用する圧力について

日本大学短期大学部 正 山 中 康 資

日本大学短期大学部 正 畑 中 勝 守

日本大学理工学部 正 大 津 岩 夫

従来、常流中に設置された鉛直平板前方の内部流況については、ほとんど検討がなされていない。以前、筆者らの常流中に設置された鉛直平板を越える流れの研究により、平板直前に渦が形成されていることが実験的に見いだされた<sup>1)</sup>。また、鉛直平板を越える流れの流況がSurface jet<sup>1), 2)</sup>の場合については、レーザー流速計(L.D.V)によってもこの渦を確認している。ここでは、簡単な流入条件、境界条件を仮定し、2次元Navier-Stokesの式を計算することにより、平板直前に形成される渦の存在について説明を加えた。また、このような計算により求められた平板前面に作用する圧力を示した。

## 1. 鉛直平板直前の内部流況

レーザー流速計を用いて測定したSurface jet(平板を越えた流れが水面に沿い、平板下流側の水面にわずかにくぼみが生じる流況、図-1)の場合の鉛直平板直前の流速分布の一例を図-2に示す。図中の $\bar{u}$ は時間平均流速、 $v_1$ は平板上流の断面平均流速( $=Q/(Bh_1)$ )、 $y$ は水路床からの高さ、 $h$ は水深、 $x$ は平板前面から下流方向への距離、 $S$ は平板高である。また、 $h_1$ は平板による流線の曲がり影響を受ける直前の上流水深( $x=-10S$ の水深)、 $Q$ は流量、 $F_1$ は平板上流のフルード数( $=v_1/\sqrt{gh_1}$ )、 $g$ は重力加速度、 $B$ は水路幅である。図-2より、平板直前で逆流が生じていることから、平板直前に渦の形成が認められる。

## 2. 鉛直平板直前に形成される渦の存在についての一説明

ここでは、流れを2次元流と仮定し、流入部での乱れを無視し、図-3に示される領域境界、および簡単な流入条件、境界条件のもとで、2次元Navier-Stokesの式を計算することにより、平板直前に形成される渦の存在の説明を試みる。すなわち、図-3に示される流入条件、境界条件に対して、平板前、後面および底面付近のメッシュを特に細かく分割し(図-4)、2次元非圧縮性粘性流体のNavier-Stokesの式(1)、(2)と連続の式(3)を用い、有限要素法と流速修正法<sup>3)</sup>により計算した。

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right) + v \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{R} \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} + u \left( \frac{\partial v}{\partial x} \right) + v \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{R} \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここに、 $x, y$ は無次元座標値( $=x/S, y/S$ )、 $u, v$ は $x, y$ 方向の無次元流速( $=u/U, v/U$ )、 $p$ は無次元圧力( $=p/\rho U^2$ )、 $t$ は無次元時間( $=Ut/S$ )、 $R$ はレイノルズ数( $=US/\nu$ )である。また、 $U$ は流入部代表流速である。流入断面では流速分布のみを与え、 $1/7$ 乗則( $u=(y/h)^{1/7}$ )とした。底面および平板表面では $u=v=0$ (Non-Slip条件)とし、流出断面では次のように仮定した。  $p=0, \quad \sigma_x = -p/(2R) (\partial u / \partial x) = 0, \quad \tau_y = \partial u / \partial y + \partial v / \partial x = 0$

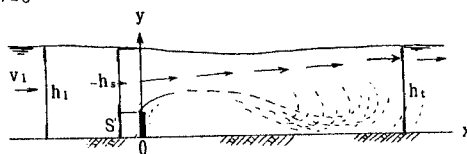


図-1 鉛直平板を越える流れの流況 (Surface jet)

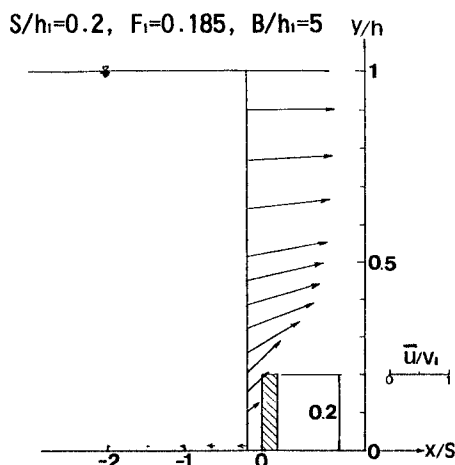


図-2 鉛直平板直前の流速分布

キーワード：流体力、局所流

連絡先：〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1 TEL・FAX 0474-69-5596

水面に相当する領域境界は水平に固定し、次のように仮定した。  $v=0$ ,  $\tau_x = \partial u / \partial y + \partial v / \partial x = 0$

$h=5$ ,  $Re=4000$ における平板近傍の時間平均流速ベクトル( $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ )を図-5に示す。ここに、 $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ は $x$ ,  $y$ 方向の時間平均流速を示す。流速の時間平均値は $t=150$ から $t=182$ までの時間平均値である。なお、本計算では、 $t=100$ 程度から安定した計算結果が得られている。図中のベクトルの大きさは $\sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$ から計算した。図-5より、平板直前に渦が形成されていることが認められる。

### 3. 鉛直平板前面に作用する圧力

計算から得られた $Re=4000$ における $S/h=0.2$ ( $h=5$ )、 $0.3$ ( $h=3.33$ )の平板前面に作用する時間平均圧力(○印)、および実験から得られたアスペクト比 $B/h_1=5$ 、 $S/h_1=0.2$ ,  $0.3$ におけるSurface jetの場合の水路中央部の平板前面に作用する流体運動による圧力(dynamical pressure) $p_{at}$ (◆印)を図-6, 7に示す。ここに、 $p_{at}=p_t-p_s$ ,  $p_s=w(h_s+S-y)$ ,  $p_t$ は水路中央部の平板前面の高さ $y$ の位置に作用する圧力、 $p_s$ は平板設置位置の水の重量による圧力(静水圧)、 $w$ は水の単位体積重量( $=\rho g$ )、 $h_s$ は平板上の水深である(図-1)。なお、実験によると、アスペクト比 $B/h_1 \geq 3 \sim 4$ の場合、平板に接近する流れが2次元적であり、平板直前に渦は存在するものの顕著ではなく、その渦の形成が間欠的である。そのため、渦の平板前面の圧力分布への影響の程度が小さく、S字型の分布形状を顕著に示さない<sup>4)</sup>。

### 4. ま と め

実際の流れの状況とは異なるが、簡単な流入条件、境界条件を仮定し、2次元Navier-Stokesの式を計算しても、平板直前に渦が形成される結果が得られた。また、このような計算によって求められた平板前面に作用する圧力については、実験値と比較して同程度のオーダーを示す結果が得られた。

### 参考文献

- 1) 大津、山中、安田：常流中に設置された鉛直平板に作用する抗力、水工学論文集、第41巻、1997年2月、pp. 741～746
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Yamanaka, Y.: Discussion of 'Submerged flow regimes of rectangular sharp-crested weirs', Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, (to be published)
- 3) 保原、大宮司編：数値流体力学－基礎と応用－、東京大学出版会、pp. 96～101
- 4) 山中、大津：常流中の鉛直平板に作用する圧力の特性、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、第2部、1996年9月、pp. 270～271

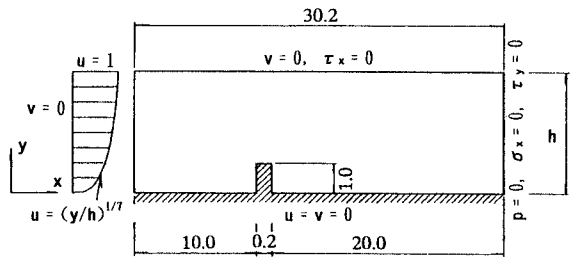


図-3 計算で用いた流入条件・境界条件

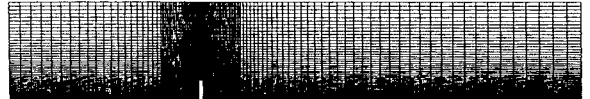


図-4 計算で用いた要素メッシュ

$S/h_1=0.20$ ,  $Re=4000$ ,  $t=150.0 \sim 182.2$ の時間平均値

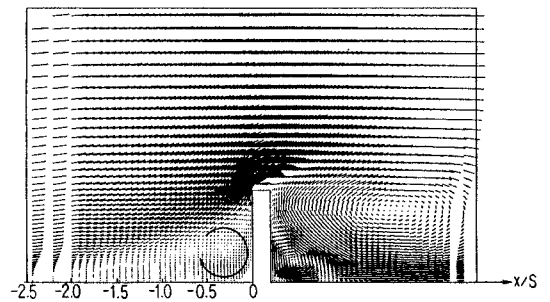


図-5 鉛直平板近傍の時間平均流速ベクトル

$S/h_1=0.2$ ,  $Fr=0.065$ ,  $B/h_1=5$ , Surface jet

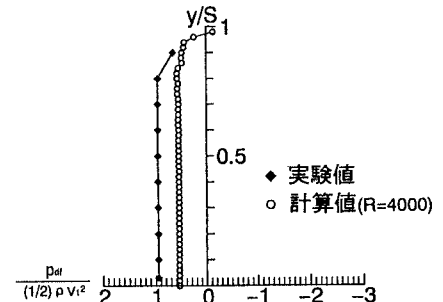


図-6 鉛直平板前面に作用する圧力分布

$S/h_1=0.3$ ,  $Fr=0.08$ ,  $B/h_1=5$ , Surface jet

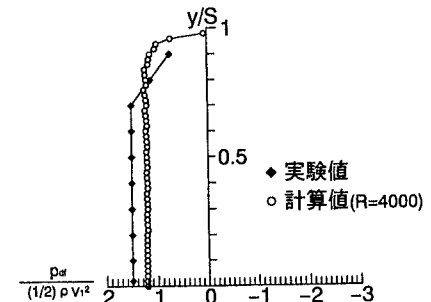


図-7 鉛直平板前面に作用する圧力分布