

II-194

射流中に設置された鉛直平板に作用する抗力

日本大学 理工 正 粟津 清蔵
 日本大学 理工 正 大津 岩夫
 ○ 日本大学大学院 理工 学 山中 康資

射流中に設置された鉛直平板に作用する流体力を知ることが、射流水路の流水抵抗やエネルギー減勢等の問題解明の基礎として意義がある。射流が鉛直平板を乗り越え射流のまま流下する流れの流況は、飛散流況¹⁾の場合(このとき、平板後面はventilatedされている(図-1))とStanding swellが形成される場合²⁾(このとき、平板後面は水で満たされている(図-2))に分けられる。Karakiら²⁾は、Standing swellが形成される場合のIncipient jump condition³⁾の平板に作用する抗力について検討を行なっている。しかしながら、Standing swellが形成される領域全体における抗力の検討はなされていない。また、Standing swellの形成範囲が明確ではない。本研究では、Standing swellと飛散流況の形成範囲を明らかにし、さらに、鉛直平板に作用する圧力の大きさ、および抗力について実験的に検討を行なう。

* 射流が平板に衝突(strike)し、急激に方向を変える(splashing overする)流況(図-1)。

** 射流が平板上を定常うねり(standing swell)を伴って乗り越える流況(図-2)。

*** 与えられた F_1 に対して、 S/h_1 を大きくすると、ある段階で平板前方に表面渦が形成される流況へ変化する。この変化する直前の流況をIncipient jump conditionと呼ぶ。

1. 実験 長方形断面水平水路に鉛直連続平板(高さ $S=3\text{cm}$ 、 4.5cm 厚さ $l=2\text{cm}$)を設置し、鉛直平板前、後面に圧力取り出し孔を設け、それにマノメーターを接続し圧力を測定した。

2. Standing swellの形成範囲 射流が平板を乗り越える場合、式(1)の関係で実測値を整理すると図-3が得られる。
$$f(F_1, S/h_1) = 0 \quad (1)$$

図-3から、 $F_1 < 4.0$ 、 $S/h_1 < S_0/h_1$ の範囲ではStanding swellが形成され、 $F_1 \geq 4.0$ 、 $S/h_1 < S_0/h_1$ の範囲では飛散流況が形成されることが認められる。但し、 S_0/h_1 は、 $F_1 \geq 3.0$ の場合、式(2)で示され¹⁾、 $1.5 \leq F_1 < 3.0$ の場合、式(3)で示される。
$$S_0/h_1 = 0.227F_1 + 0.349 \quad (2) \quad S_0/h_1 = 0.689(F_1 - 1)^{0.581} \quad (3)$$

また、与えられた F_1 に対して、Incipient jump condition(図中の●印)が形成されるための S/h_1 は、Karakiら²⁾の実測値(図中の一点鎖線)よりも大きい値を示す傾向がみられる。

3. 平板前面に作用する圧力 平板前面に作用する圧力 p_r は、式(4)の関係で示される。

$$p_r / (1/2) \rho v_1^2 = f(y/S, F_1, S/h_1) \quad (4)$$

式(4)の関係に基づき、Standing swellが形成される場合の実測値を整理すると図-4が得られる。図-4から、平板前面に作用する圧力 $p_r / (1/2) \rho v_1^2 (y/S点)$ は、与えられた F_1 に対して、 S/h_1 にかかわらずほぼ同一の大きさを示す。よって、平板前面に作用する圧力は、式(5)の関係で示される。

$$p_r / (1/2) \rho v_1^2 = f(y/S, F_1) \quad (5)$$

この場合、圧力分布は静水圧分布よりも大きく、 $y/S=0.7 \sim 0.8$ で極大値、 $y/S=0.25 \sim 0.35$ で極小値を取るS字型の形状を示す。これは、平板前方 $0 < x'/S < 2.0$ の範囲に形成される三角形の渦によるためである(図-5の破線³⁾)。また、飛散流況の場合の平板前面に作用する圧力 $p_r / (1/2) \rho v_1^2 (y/S点)$ は、与えられた F_1 に対して、 S/h_1 にかかわらずほぼ同一の大きさを示す(図-6)。飛散流況の場合の平板前面に作用する圧力分布形状は、Standing swellが形成される場合(図-4)と異なった傾向を示す。これは、平板前方に形成される渦の形状が異なるためと考えられる(図-5の実線)。

4. 平板後面に作用する圧力 平板後面に作用する圧力 p_r は、式(6)の関係で示される。

$$p_r / (1/2) \rho v_1^2 = f(y/S, F_1, S/h_1) \quad (6)$$

式(6)の関係に基づき、Standing swellが形成される場合の実測値を整理すると図-4が得られる。図-4から、平板後面に作用する圧力 $p_r / (1/2) \rho v_1^2 (y/S点)$ は、直線的な分布で、与えられた F_1 に対して、 S/h_1 が大きいと大きくなる傾向を示す。また、静水圧分布よりも小さい傾向を示す。これは、平板を越える流れの流線が上に凸型で鉛直上向きの加速度が作用するためと考えられる。また、飛散流況を経て射流で流下する場合、平板後面はventilatedされプール状に水が溜る(図-1)。この場合の平板後面に作用する圧力(図-6)は、プールの水深に等しい静水圧分布とほぼ一致することが確かめられる。

5. 平板前面に作用する全圧力 平板前面に作用する全圧力 P_r は、式(5)の関係から、式(7)の関係で示される。
$$P_r / (1/2) \rho v_1^2 S = C_{dr} = f(F_1) \quad (7)$$

式(7)の関係に基づき、Standing swellと飛散流況が形成される場合の実測値を整理すると図-7が得られる。図-7から、standing swellが形成される場合の平板前面に作用する全圧力の算定式(8)が得られた(図中の実線)。なお、Karakiら²⁾の実測値(図中の破線)は、本実験の実測値とほぼ一致する。

$$C_{dr} = 0.16(F_1 - 3.30)^2 + 0.66 \quad (8) \quad 1.5 \leq F_1 < 4.0, \quad 0.4 \leq S/h_1 < S_0/h_1$$

また、飛散流況の場合の平板前面に作用する全圧力の算定式は、式(9)で示される(図中の一点鎖線)。

$$C_{dr} = 0.86 - 0.024F_1 \quad (9) \quad 4.0 \leq F_1 < 8.5, \quad 0.8 \leq S/h_1 < S_c/h_1$$

6. 平板に作用する抗力 平板に作用する抗力 P は、次元解析的な考察から、式(10)の関係で示される。

$$P/(1/2)\rho v_1^2 S = C_d = f(F_1, S/h_1) \quad (10)$$

式(10)の関係に基づき、Standing swellと飛散流況が形成される場合の実測値を整理すると図-8が得られる。図-8から、standing swellが形成される場合の平板に作用する抗力の算定式(11)が得られた。また、Incipient jump conditionの場合は、式(12)で示される。図中の実線は式(11)、破線は式(12)を示す。

$$C_d = 0.28F_1 - (0.3S/h_1 + 0.18) \quad (11) \quad 1.5 \leq F_1 < 4.0, \quad 0.4 \leq S/h_1 < S_c/h_1$$

$$C_d = 0.175(F_1 - 1) \quad (12) \quad 1.5 \leq F_1 < 4.0$$

また、図-8から、飛散流況の場合の平板に作用する抗力の値は、ほぼ $C_d=0.75$ であることが認められる。

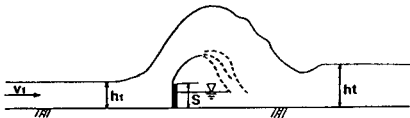


図-1

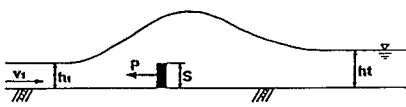


図-2

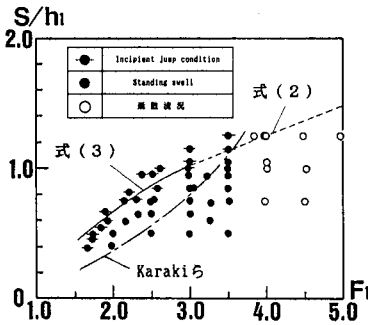


図-3

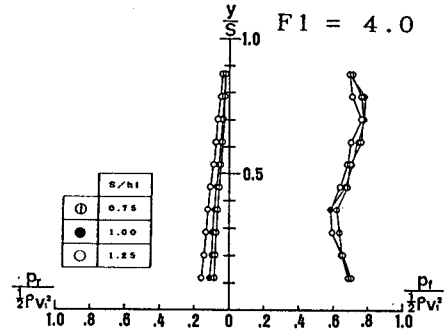


図-6

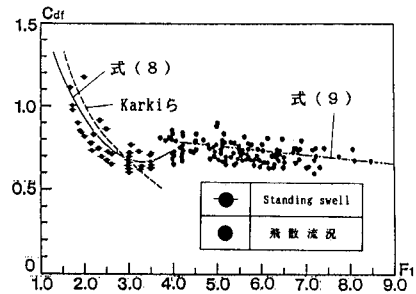


図-7

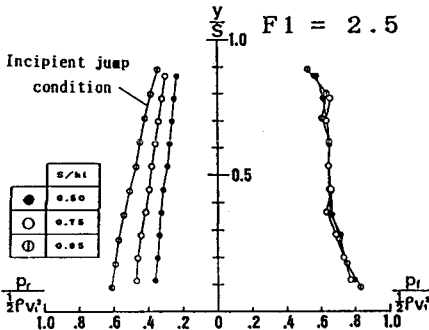


図-4

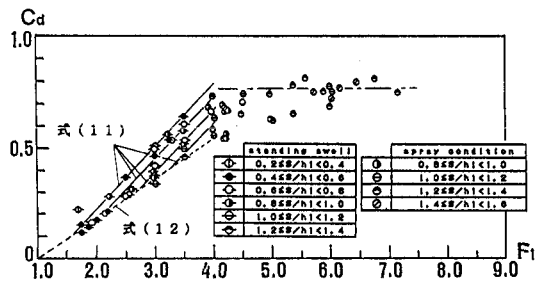


図-8

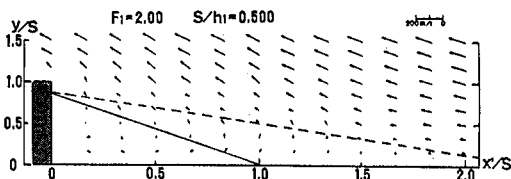


図-5

《記号》 h_1 : 平板上流の水深 v_1 : 平板上流の平均流速 F_1 : 平板上流のフルード数 ($=v_1/\sqrt{g h_1}$)

S : 鉛直平板の高さ h_2 : 平板下流の水深 y : 水路床からの高さ w : 水の単位重量

ρ : 水の密度 x' : 平板前面から上流方向への距離 C_d : 抗力係数

《参考文献》 1) 大津 岩夫: 鉛直シルによる強制跳水, 土木学会論文報告集, 第311号, 1981年7月

2) Karaki, K.S.: Supercritical Flow over Sills at Incipient Jump Condition, Proc. ASCE, Hy. Oct., 1972

3) 山中, 黒津, 大津: シルに作用する圧力の分布形状に関する考察, 第41回土木学会年次講演会, 1986年11月