

日大 理工 学 尾 崎 元 治
日大 短大 正 山 中 康 資
日大 理工 正 安 田 津 陽 一
日大 理工 正 安 田 津 陽 一

鉛直平板上・下流側の流れが常流であるとき、流量 Q 、平板高 S 、および下流水深 h_1 によって平板を越える流れの流況は種々変化する。従来の研究では、流況が系統的に把握されておらず、流況の特性について十分に明らかにされていない。ここでは、常流中の鉛直平板を越える流れについて系統的に検討を行い、下流水位の変化に伴う流れのフローパターン、平板前・後面に作用する圧力分布、および平板に作用する抗力について明らかにし、相対平板高 S/h_1 (h_1 は平板による流線の曲がりの影響を受ける直前の平板上流側の水深) によって平板を越える流れの特性が3つに区分されることを示した。

1. 鉛直平板を越える流れの流況

鉛直平板を越える流れの流況は、流量 Q 、平板高 S および下流水深 h_1 によって変化する。図-1に示されるような流況が観察される。すなわち、(a) Surface jet (平板を越えた流れが水面に沿って下流側の水面にわずかにくぼみを生じる流況)、(b) Surface wave (平板下流側の水面が波状を呈する流況)、(c) Plunging condition (平板を越えた流れが潜り込む流況)、(d) Limited jump (平板を越えた流れが水路末に到達し、その直下流で直ちに跳水が形成される流況)に流況は大別される。

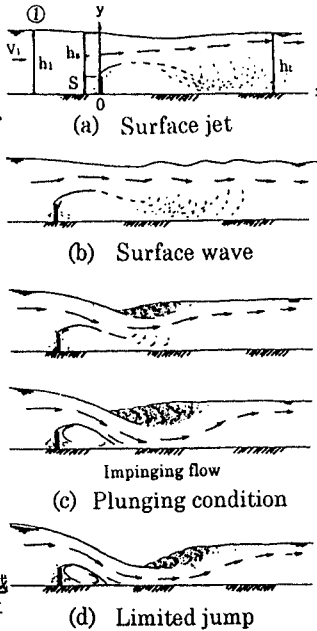


図-1 鉛直平板を越える流れの流況

各流況が形成される領域を式(1)の関係に基づき整理すると図-2のように示される。

$$f(h_1/h_1, S/h_1, F_1) = 0 \quad (1)$$

相対平板高 $S/h_1 \leq 0.8$ の場合、主流が水面に沿う流況(Surface jet、Surface wave)に対応)も、潜り込む流況(Plunging condition)に対応)も、下流水位の変化に伴い、平板を通過する流線の曲率が変化し、平板上流側の水位が変化する。なお、Plunging conditionの下限を示すLimited jumpより下流水位が低くなった場合は、平板上流側の水位は常に一定となる。

$S/h_1 \leq 0.8$ において下流水位の変化に伴う流れのフローパターンは、相対平板高 S/h_1 によって、3つに区分されることが各流況の形成領域から理解される。すなわち、 $0.1 \leq S/h_1 \leq 0.15-0.2$ の場合、表面渦を伴う流況は形成されず、平板を通過する流れ(主流)がその下流側で水面に沿う流況(Surface jet、Surface wave)が形成される。また、 $0.4 \leq S/h_1 \leq 0.8$ の場合、下流水位の上昇下がる方向によってPlunging conditionとSurface waveとの境界を示す水理条件が異なる(履歴効果が認められる)。さらに、 $0.2 \leq S/h_1 \leq 0.3-0.4$ の場合、下流水位の変化に伴い、Surface jet、Surface wave、およびPlunging condition(Limited jumpを含む)が観察され、各流況ともに下流水位の上昇下がる方向に関わらず、同一な水理条件で形成される。

2. 平板に作用する圧力

平板前・後面に作用する流体運動による圧力 dynamical pressure p_a 、 p_b の実験値を次元解析的考察から得られた式(2)、(3)の関係に基づき整理した一例を図-3~6に示す。

$$p_a / (\rho v_1^2 / 2) = f(y/S, S/h_1, F_1, B/h_1) \quad (2)$$

$$p_b / (\rho v_1^2 / 2) = f(y/S, S/h_1, F_1, B/h_1) \quad (3)$$

図に示されるように、平板に作用する圧力分布についても、相対平板高 S/h_1 によって特徴づけられ、大きく2つに区分される。すなわち、 $S/h_1 \leq 0.3-0.4$ の範囲で形成される流況においては、前面の圧力分布形状がアスペクト比 B/h_1 の影響を受ける場合

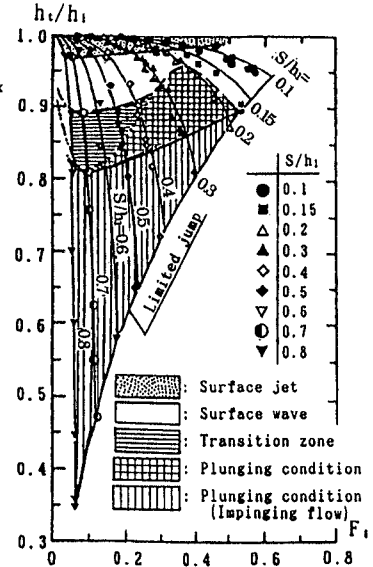


図-2 鉛直平板を越える流れの

流況形成領域

$S/h_1=0.2, F_1=0.12$, Surface jet

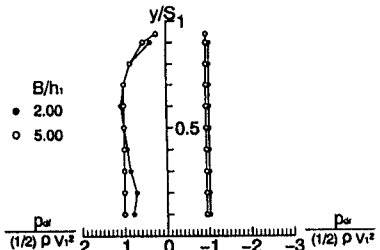


図-3 鉛直平板前、後面に作用する圧力

$S/h_1=0.6, F_1=0.05$, Surface jet

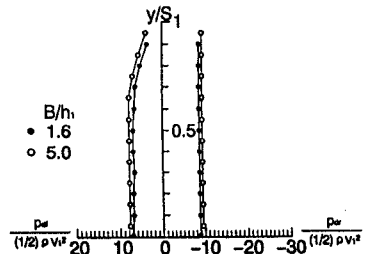


図-4 鉛直平板前、後面に作用する圧力

開水路流 局所流 抗力

〒101 東京都千代田区神田駿河台1-8 TEL 03-3259-0668 FAX 03-3259-0409

がある。一方、 $S/h_1 \geq 0.4-0.5$ では、前面の圧力分布形状に対するアスペクト比の影響は認められないものの(図-4, 6)、平板後面に形成される渦によって後面の圧力分布形状が変化する(図-6)。それらの比較を流況ごとに述べる。

Surface jet $S/h_1 \leq 0.3-0.4$ の場合、与えられた $S/h_1, F_1$ に対して $B/h_1 \leq 2$ の場合と $B/h_1 \geq 3-4$ の場合を比較すると、前面の圧力分布は、 $B/h_1 \leq 2$ の場合、S字型の分布形状を顕著に示す(図-3)。このとき、平板に接近する流れは3次元的になり、側壁近くの隅角部では平面的な渦が形成され、平板前面の中央部近くで顕著な渦が形成される。一方、 $B/h_1 \geq 3-4$ の場合、平板前面の渦の形成が間欠的であるため、渦の圧力分布への影響が小さく顕著なS字型の分布形状を示さない。0.4-0.5 $\leq S/h_1 \leq 0.8$ の場合、 B/h_1 に関わらず、平板前面の渦の形成が間欠的であるため、顕著なS字型の分布形状を示さない(図-4)。なお、後面の圧力分布は、静水圧分布と平行で、後面に形成される渦の圧力分布への影響はほとんどなく直線的である(図-3, 4)。

Plunging condition 0.4-0.5 $\leq S/h_1 \leq 0.8$ の場合、平板前面の渦の形成が間欠的であるため、前面の圧力分布は、顕著なS字型の分布形状を示さない(図-6)。また、0.1 $\leq S/h_1 \leq 0.3-0.4$ の場合、平板前面に渦は形成されるものの、その大きさが小さいため、渦の圧力分布への影響が小さく、前面の圧力分布は顕著なS字型の分布形状を示さない(図-5)。平板後面の圧力分布については、0.4-0.5 $\leq S/h_1 \leq 0.8$ の場合、後面に形成されている渦の圧力分布への影響が大きいため、弓型の形状を示す(図-6)。なお、0.1 $\leq S/h_1 \leq 0.8$ において平板前・後面の圧力分布に対するアスペクト比の影響はほとんどみられない。

平板に作用する抗力

鉛直平板中央部の単位幅あたりに作用する抗力 P の実験値を式(4)の関係に基づき整理すると、図-7が得られる。図中の破線は Limited jump の場合の C_d を示す。ここに、 C_d は抗力係数である。

$$C_d = P / \{ (\rho v_1^2 S / 2) \} = f(S/h_1, F_1) \quad \text{ただし、} P = \int_0^S p_{df} dy - \int_0^S p_{dr} dy \quad (4)$$

図-7に示されるように、抗力係数 C_d の F_1 に対する変化特性が相対平板高 S/h_1 によって3つに区分される。すなわち、0.1 $\leq S/h_1 \leq 0.15-0.2$ の場合、 F_1 に関わらず、 C_d の大きさは、ほぼ一定である。この場合、Surface jet または Surface wave のいずれかの流況が形成されることから、平板を通過する流線の曲がり角が小さく F_1 による C_d の変化が小さいものと考えられる。一方、 $S/h_1 \geq 0.4-0.5$ の場合、 F_1 のわずかな変化によって C_d の大きさが大きく変化し、 C_d の大きさの程度が通常の空気流などで報告されている場合よりも大きい。これは、各流況によって平板直上の水面勾配および平板を通過する流線の曲がり角が大きく変化し、自由水面の影響を大きく受け、さらに C_d を①断面(図-1(a)参照)での運動エネルギー $(1/2) \rho v_1^2$ を用いて表示したためと考えられる。0.2 $\leq S/h_1 \leq 0.3-0.4$ の場合については、各流況によって平板を越える流線の曲がり角が変化することから、 F_1 による C_d の変化が認められる。

各 S/h_1 による鉛直平板に作用する抗力を算定するための実験式として式(5), (6)が得られた。

$$C_d = \{ 110 (S/h_1)^4 + 1.15 \} \exp(100 A F_1) \quad A = 8.7 (S/h_1)^{1/2} - 2.2 \quad 0.1 \leq S/h_1 \leq 0.4 \quad (5)$$

$$C_d = \{ 48 (S/h_1)^4 + 2.8 \} \exp(100 A F_1) \quad A = 4.85 (S/h_1)^4 - 7.2 (S/h_1)^2 + 4.9 (S/h_1) \quad 0.4 \leq S/h_1 \leq 0.8 \quad (6)$$

まとめ

常流中の鉛直平板を越える流れの流況を系統的に把握し、平板に作用する圧力の大きさと分布形状および抗力について明らかにした。それにより相対平板高 S/h_1 によって、平板を越える流れの特性が3つに区分され、0.1 $\leq S/h_1 \leq 0.15-0.2$ 、0.2 $\leq S/h_1 \leq 0.3-0.4$ 、および 0.4-0.5 $\leq S/h_1 \leq 0.8$ での特性が示された。

<記号>

B: 水路幅 F_1 : 平板上流のフルード数 ($=v_1/\sqrt{gh_1}$)
g: 重力加速度 h_1 : 平板上流の水深 h_t : 下流水深
hs: 平板設置位置の水深 y : 水路床からの高さ
 v_1 : 平板上流の平均流速 ($=q/h_1$) q : 単位幅流量
 p_r : 平板前面に作用する流体運動による圧力 ($=p_r - p_a$)
 p_{dr} : 平板後面に作用する流体運動による圧力 ($=p_r - p_a$)
 p_r : 平板前面に作用する圧力 p_r : 平板後面に作用する圧力
 p_s : 平板設置位置の水の重量による圧力 ($=w(h_s + S - y)$)
S: 平板高 w : 水の単位体積重量 ($=\rho g$)

<参考文献>

- 1) Wu, S. and Rajaratnam, N.: Submerged flow regimes of rectangular sharp-crested weirs, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, July, 1996, pp. 412-41
- 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) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Yamanaka, Y.: Drag on vertical sill of forced jump, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 29, No. 1, 1991, pp. 29-47
- 4) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Yamanaka, Y.: Discussion of 'Drag on vertical sill of forced jump', Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 30, No. 2, 1992, pp. 280-288
- 5) 大津, 山中, 安田 (1997) 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 pp. 741-745

$S/h_1=0.2, F_1=0.40$, Plunging condition

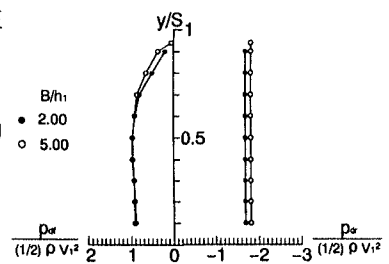


図-5 鉛直平板前、後面に作用する圧力

$S/h_1=0.6, F_1=0.14$, Plunging condition

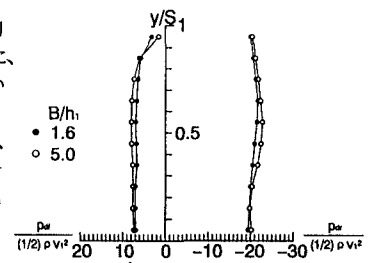


図-6 鉛直平板前、後面に作用する圧力

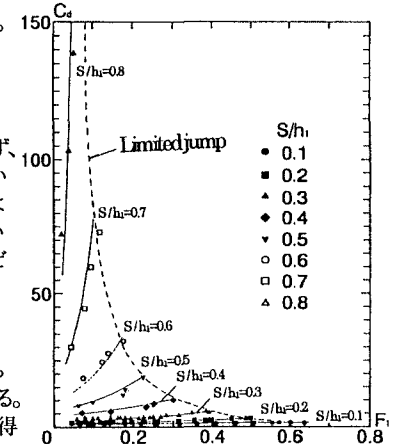


図-7 鉛直平板に作用する抗力係数