

II-131

潜り堰を越える流れの特性

日大院・理工 学 小島 大輔
 日本道路公団 正 尾崎 元治
 日 大・理工 正 安田 陽一
 日 大・理工 正 大津 岩夫

まえがき 堰の上・下流側の流れが常流であるとき、堰周辺の流況は、流量 Q 、下流水深 h_1 、堰高 S 、および堰の幾何学的形状によって種々変化する。各流況の形成条件や水深間の関係^{1)~3)}については、現在のところ必ずしも明確とはいえず、特に相対堰高が小さい場合については不明な点が多いのが現状である。堰を越える流れ、特に潜り堰を越える流れの水理特性について解明することは、流下能力の推定、堰下流側の水叩きの設計、および堰下流側から堰上流側への水面形追跡を行うためにも必要なことである。ここでは、堰高、堰頂の長さ、および堰前・後面の勾配を変化させ、台形および長方形断面における潜り堰を越える流れの水理特性を広い範囲の実験条件のもとで検討を行った。

堰を越える流れの流況 流況は、流量 Q 、堰高 S 、堰頂の長さ L 、堰前・後面の勾配 m 、および下流水深 h_1 によって、種々の様相を呈し、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 (堰を越えた流れが水面に沿い、堰下流側の水面にわずかな窪みが生じる流況)、(b) Surface wave (堰頂または堰下流側の水面が波状を呈する流況)、(c) Plunging condition (堰を越えた流れが潜り込む流況)、(d) Limited jump (堰を越えた流れが水路床に到達し、その直下流で直ちに跳水が形成される流況) に大別される。なお、広頂堰において、Surface wave が形成される場合、鉛直平板の場合^{4), 5)}と異なり、堰頂の水面近くで表面渦が生じる流況や堰下流側に一つの定常的な wave が生じる流況が形成される。各流況の形成領域を式(1)の関係に基づき整理したものを図-2 に示す。

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

下流水深の変化に伴う流れのフローパターンは、相対堰高 S/h_1 によって3つに区分される。 $0.1 \leq S/h_1 \leq 0.15 \sim 0.2$ の場合、下流水深の変化に伴い、Surface jet および Surface wave が形成されるが Plunging condition は形成されない。 $0.3 \sim 0.4 \leq S/h_1 \leq 0.9$ の場合、下流水深の上げ下げの方向によって、Plunging condition と Surface wave との境界を示す水理条件が異なる。すなわち、履歴効果が認められる。さらに、 $0.2 \leq S/h_1 \leq 0.3 \sim 0.4$ の場合、各流況共に下流水深の上げ下げの方向に関わらず、同一な水理条件で形成される。図-2 に示されるように、鉛直平板の場合と長方形断面の場合では、履歴効果が認められる相対堰高の範囲の違いは顕著ではないが、台形断面の

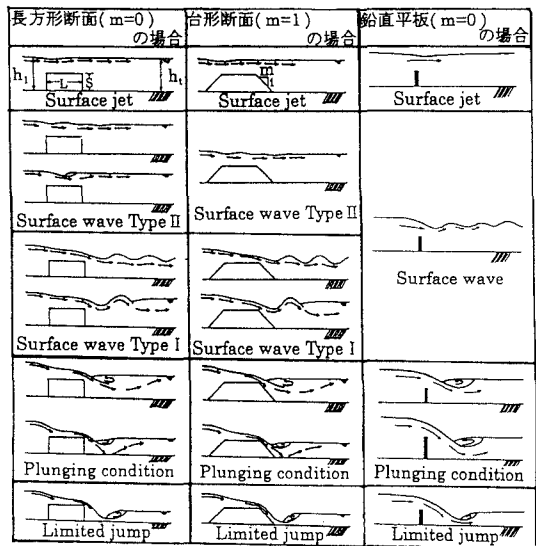


図-1 堰を越える流れの流況

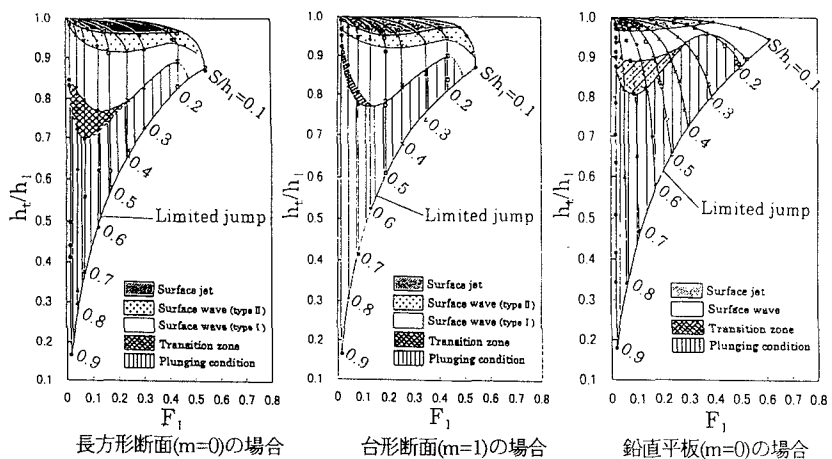


図-2 堰を越える流れの流況形成領域図

キーワード：開水路流、堰、潜り堰

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8 Tel. 03-3259-0668 FAX. 03-3259-0409

場合は、履歴効果の認められる相対堰高の範囲が $0.6 < S/h_1 \leq 0.9$ と狭くなる。これは、台形断面の広頂堰の場合、堰後面に勾配を有するため、下流水位を下げている場合でも堰を越える流線の曲がりが大きくなり、主流が傾斜面に沿い易くなるため、履歴が生じにくくなったものと考えられる。また、Surface wave が形成される領域については、鉛直平板の場合、長方形断面の広頂堰の場合に比べて、形成範囲が狭くなる。これは、同一の流量、堰高、および下流水深に対して、鉛直平板の場合、堰を越える流線の曲率が大きくなるため、堰を越える流れ（主流）が潜り込み易くなるものと考えられる。

堰上・下流側の水深間の関係 水深間の関係について、式(2)の関係に基づき整理したものを図-3、図-4に示す。

$$h_1/h_c = f(h_1/h_c, S/h_c, m, h_0/L) \quad (2)$$

ここで、完全越流を「堰下流側の水深の影響が堰上流側に及ばず、堰頂で常流から限界流を経て、射流へと遷移する流れ」と定義し、潜り越流を「堰下流側の水深の影響が堰上流側に及び、堰頂では常流である流れ」と定義した。また、不完全越流を「堰下流側の水深の影響が堰上流側に及び、堰頂では限界流が形成されている流れ」と定義した。この定義に従って完全越流、不完全越流、潜り越流の境界を定めた。それらの境界は、実験的に次式で示すことが出来る。

完全越流と不完全越流との境界

$$h_1/h_c = 1.02(h_1/h_c) + 0.15 \quad (0.1 \leq h_0/L \leq 0.4)$$

$$h_1/h_c = 0.145 \exp\{1.7(h_1/h_c)\} \quad (h_0/L \geq 5)$$

不完全越流と潜り越流との境界

$$h_1/h_c = 1.01(h_1/h_c) + 0.06 \quad (h_0/L \geq 0.1)$$

完全越流と不完全越流との境界については、広頂堰の場合、堰前・後面の勾配に影響されないことが実験的に確かめられた。

これは、 $m=1$ の場合においても堰を越える流線の曲がり方が堰後面の勾配よりも小さいため、完全越流と不完全越流との境界に対して、勾配の影響が見られなかったものと考えられる。なお、堰頂の長さが小さい場合、限界流が生じる断面において、流線が曲げられているため、境界が、堰後面の勾配に影響され易くなる。不完全越流と潜り越流との境界については、堰前・後面の勾配および堰頂の長さの影響はほとんど認められない。これは、不完全越流と潜り越流との境界において、堰下流側では常に水面に沿った流れとなるため、境界が勾配および堰頂の長さに大きく影響されないものと考えられる。

まとめ 常流中に設置された長方形断面や台形断面の広頂堰、または鉛直平板を越える流れの流況を系統的に把握し、流況が3つに大別されることを示し（図-1）、下流水深の変化に伴う流れのフローパターンを3つに区分した。また、各流況が形成されるための水理条件（図-2）を示した。各種の堰を越える流れの特性を比較することにより、流況の形成については堰前・後面の勾配に影響されるものの、堰上・下流側の水深間の関係は勾配の影響をほとんど受けないことを明らかにした。また、堰頂の長さの影響を明らかにし、鉛直平板を越える流れについては、上流水深は常に下流水深の変化の影響を受けることを示した。また、広頂堰について堰上・下流側の水深間の関係および流況の観察から、完全越流、不完全越流、潜り越流の形成領域を明確にし、それぞれの境界を示した。

<記号>

S:堰高 Q:流量(=qB) B:水路幅 q:単位幅流量 L:堰頂の長さ h_1 :堰上流側の水深 h_2 :堰下流側の水深 h_0 :越流水深(= $h_1 - S$) h_c :限界水深 F_1 :堰上流側のフルード数(= $v_1 / \sqrt{gh_1}$) v_1 :堰上流側の平均流速(= $Q / (Bh_1)$) g:重力加速度

<参考文献>

- 1)土木学会 水理公式集 昭和60年版 第4編 発電編 pp.286~288.
- 2)IAHR.Hydraulic Structures Design Manuals : Chapter8.D.S.Miller(editor),(1994). Discharge characteristics.pp.24-28,pp.93-97.
- 3)H. M. Fritz and W. H. Hager,(1998). "Hydraulics of Embankment Weirs" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.124,No9, pp.963-971.
- 4)I. Ohtsu, Y. Yasuda, and Y. Yamanaka (1997). Discussion of "Submerged Flow Regimes of Rectangular Sharp-Crested Weirs" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.123,No10 pp.927-929.
- 5)尾崎、山中、安田、大津(1997) "常流中の鉛直平板を越える流れの特性" 土木学会第52回年次学術講演会, pp.664-665.

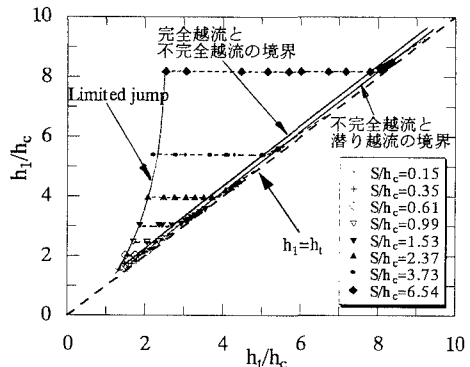


図-3 広頂堰上・下流側の水深間の関係

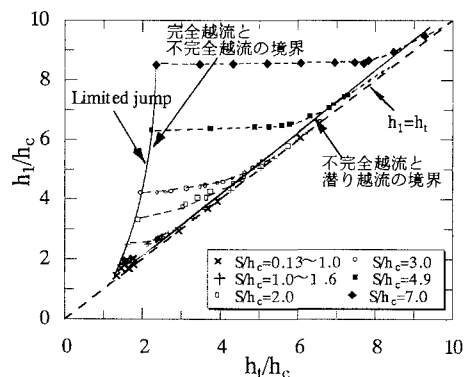


図-4 鉛直平板上・下流側の水深間の関係