

運動量の定理に基づく Ogee 堰の水理検討

建設技術研究所 正会員 ○多田羅謙治

山口大学 フェロー 羽田野袈裟義、正会員 李洪源、非会員 泉卓樹

1. 結論

堰を有する河川の水理計算では不等流計算と堰水理を組合わせるが、現地の堰に多い Ogee 堰については完全越流の流量公式が与えられているが、洪水時に問題となる潜り越流に対してはまったく手づかずの状態である。

本研究では、Ogee 堰の水位と流量の関係を、完全越流と潜り越流の両方について、刃形堰の普遍的関係との対比の形で分析する。

2. 運動量の定理に基づく刃形堰の水理検討の結果

従来の堰水理の最大の課題は、エネルギー損失を無視できない堰部の流れ（局所流）の水位と流量の間の関係を、ベルヌイの定理（運動エネルギーと位置エネルギーの釣合）が示唆する基本形の中で流量係数を実験的に決定することである。一方、運動量の定理に基づく取扱¹⁾は、水圧の合圧力、運動量フラックス、抵抗項の3項の釣合から示唆される関係に基づく。結果は、**刃形堰の完全越流**：越流水深／堰高比 h/h_d と限界水深／堰高比 h_c/h_d の間に堰高によらない次の一義的な関係が確かめられている。

$$h_c/h_d = \alpha(h/h_d)^2 + \beta(h/h_d) \quad (1)$$

ここで、 $\alpha=0.0552, \beta=0.6981$ である。これは流量評価に用いる。逆に流量から越流水深を求める場合には式(1)を h/h_d に関する2次方程式として解いた次式を用いる。

$$\frac{h}{h_d} = \frac{-\beta + \sqrt{\beta^2 + 4\alpha(h_c/h_d)}}{2} \quad (2)$$

刃形堰の潜り越流： h_1 と h_2 を堰頂基準の堰上流水位と堰下流水位、 h を完全越流の越流水深として、

$$h_1/h = A(h_2/h_c)^2 + B(h_2/h_c) + C \quad (3)$$

ここで、 A, B, C は h_2/h_c の範囲に応じて次の値

- ① $0 \leq h_2/h_c \leq 1.5$; $A=0.135, B=0.047, C=1.0$
- ② $1.5 \leq h_2/h_c \leq 2.5$; $A=0.131, B=0.006, C=1.072$
- ③ $2.5 \leq h_2/h_c \leq 5.5$; $A=0.014, B=0.542, C=0.460$

が与えられている。ここで、 h_1 と h_2 はそれぞれ堰頂基準の堰上流水位と堰下流水位である。式(3)は実用上の広範囲にわたって一義的な関係を与える。本研究では式(1)～(3)を普遍的な関係とみなしてこれらを基準にして Ogee 堰のデータを解析する。

3. Ogee 堰の実験データの解析

データ解析は堰高が3ケース、堰上流面が鉛直と勾配1/2の傾斜の両ケースに対して、流量と下流水位を系統的に変えて行われた Glen Cox²⁾の実験データを用いて行った。実験に用いた Ogee 堰の諸元は、堰高を h_d 、堰頂部の曲率半径を R として、次のようである：

- A. $h_d=1.24\text{ft}$, $R=0.3938\text{ft}$; B. $h_d=2.13\text{ft}$, $R=0.3938\text{ft}$
- C. $h_d=6.211\text{ft}$, $R=0.4437\text{ft}$

(1) 完全越流

$h_c/h_d \sim h/h_d$ の関係：図1は堰上流面が鉛直の結果を示す。

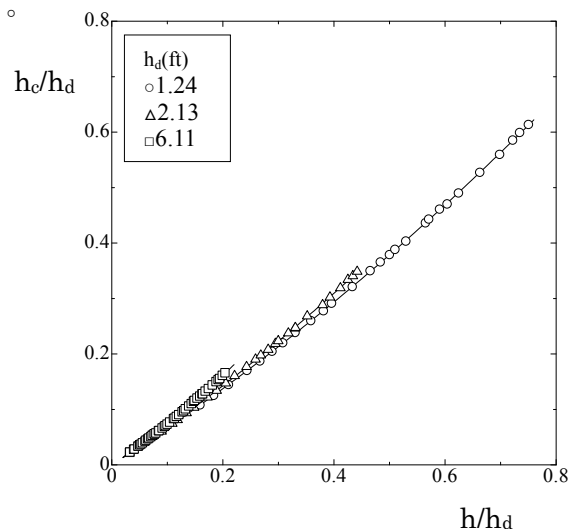


図1 $h_c/h_d \sim h/h_d$ の関係（上流面鉛直）

キーワード Ogee 堰、運動量の定理、越流水深／堰高比、限界水深／堰高比、刃形堰との関係

連絡先 〒541-0045 大阪市中央区道修町1-6-7 (株)建設技術研究所 大阪本社 水工部 TEL 06-6206-5594

図から明らかなようにこの関係は刃形堰の場合の関係と同様で右上がりの曲線である。また、同一の h/h_d に対して堰が高いほど同一の h/h_d に対して大きい h_c/h_d を与えることが認められる。ただこの図では堰上流面が 1/2 勾配の場合との差異が認識されにくい。

$h_c/h_d \sim h/h_d$ の関係の刃形堰との比較： $h_c/h_d \sim h/h_d$ の関係では堰による違いが明瞭でないため Ogee 堰の h_c/h_d の実験値 $(h_c/h_d)_o$ を同一の h/h_d に対して刃形堰がとると想定される値 $(h_c/h_d)_s$ で割った値を図 2 に示す。

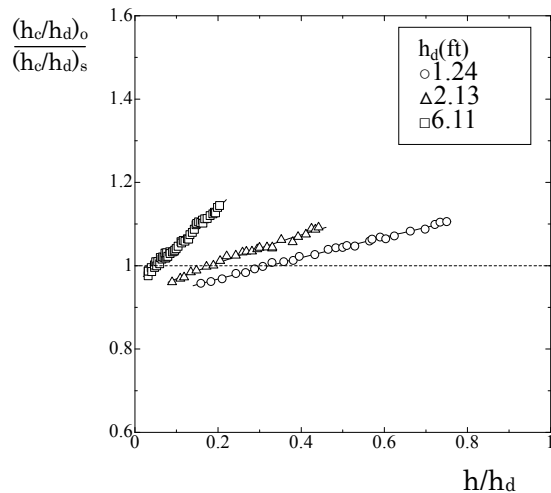


図 2 $(h_c/h_d)_o/(h_c/h_d)_s$ と h/h_d の関係

図によると、両者の関係はほぼ直線近似が可能で、Ogee 堰は h/h_d が小さい範囲では刃形堰に比べて流量が小さいが、 h/h_d が大きい範囲では刃形堰に比べて流量が大きい。また、図は示さないが、同一の h/h_d では上流面が鉛直の堰では 1/2 傾斜の堰より流量が大きい。

$Y=h_c/h_d$, $X=h/h_d$; $F(X)=Y_o/Y_s$ と置いて定式化した結果は

$$F(X) = aX + b \quad (4)$$

となり上流面が鉛直の場合の係数は、

$$A. a=0.2472, b=X+0.9197 ; B. a=0.3465, b=0.9363$$

$$C. a=0.9188, b=0.9537$$

次に、越流水深の評価の必要性から図 2 と逆に、Ogee 堰の h/h_d の実験値 $(h/h_d)_o$ を同一の h_c/h_d に対して刃形堰で想定される値 $(h/h_d)_s$ で割った値を図 3 に示す。

$Y=h_c/h_d$, $X=h/h_d$; $G(Y)=X_o/X_s$ と置き定式化した結果は、

$$G(Y) = cY + d \quad (5)$$

であり、上流面が鉛直の場合について示すと、

$$A. c = -0.2593, d = 1.0620 ; B. c = -0.3961, d = 1.0522$$

$$B. c = -0.9763, d = 1.0321$$

上で得た式(4)と(5)の中の定数の値は特定の堰のものであり、今後の系統的な調査により式中の係数の堰形

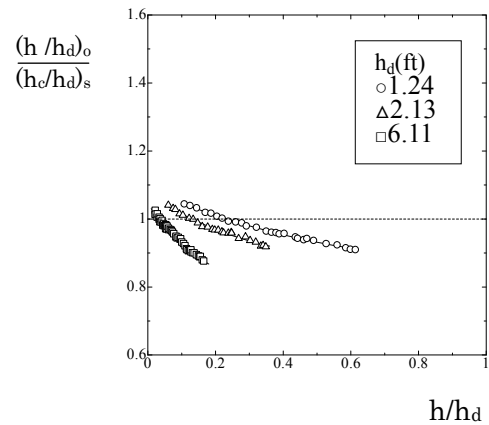


図 3 $(h/h_d)_o/(h_c/h_d)_s$ と h_c/h_d の関係

状や水量による変化傾向を確認し、定式化する。

(2) 潜り越流

刃形堰で得られた式(3)の関係をヒントに $h_1/h \sim h_2/h_c$ の関係を GlenCox の Ogee 堰資料で調べた。図 4 はその結果を h_c/R の範囲ごとに示す。図では描点が h_c/R の値により系統的に分布しており定式化が期待される。

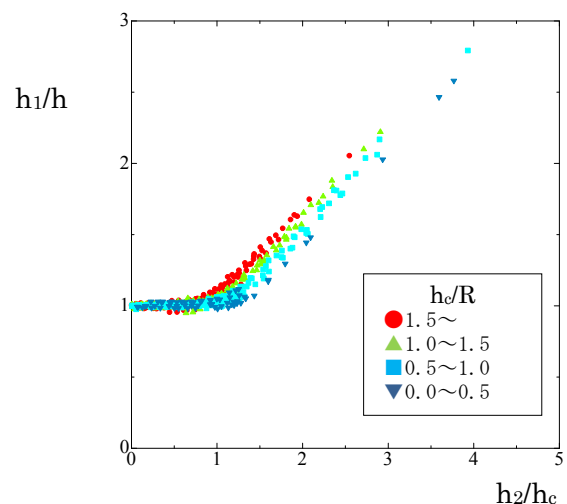


図 4 h_1/h と h_2/h_c の関係

4. 結語

以上、Ogee 堰のデータを解析し、刃形堰の関係との類似性を調べた。それによると、完全越流、潜り越流の両方で、刃形堰の関係を基に整理することの可能性が示唆された。今後は広範囲のデータで系統的に調査し、定式化をめざす。

参考文献

- 1) 羽田野・多田羅：運動量の定理の示唆に基づく刃形堰の水理検討，土木学会論文集，2014.
- 2) Glen N.Cox: The submerged weir as a measuring device, Bull., University of Wisconsin, 1928.