

流水抵抗を考慮した広頂堰の水理に関する検討

(株) 水巧技術コンサルタント 正会員 ○ 三 上 直 宏

山口大学 フェロー会員 羽田野袈裟義

国土交通省山口河川国道事務所 杉村貴志 小田村匠

(株) 建設技術研究所 正会員 多田羅謙治 群馬工業高等専門学校 正会員 永野博之

1. 結論

日本には堰を有する河川が数多く存在するが、固定堰は治水上の障害となる。堰を有する河川の水理計算では堰直上流の水深を境界条件として与えて上流へと進めるが、従来の堰公式はこれに必要な精度を有するとはいえない。従来公式の最大の課題は、堰を越える流れのエネルギー損失を無視したトリチェリの定理を流量表現の基本とする点である。

本研究では、羽田野ら¹⁾が刃形堰に適用した運動量の定理に基づく解析方法を実用場で使用が多い広頂堰の完全越流に適用してその水理を規定する無次元パラメータを導出し、Bazin²⁾やGovinda Rao³⁾らによる既往の系統的な実験資料を用いて流量評価式と越流水深評価式を検討する。

2. 従来公式について

広頂堰の流量公式としてGovinda Raoらの式が提案されている。これは、越流水深 h 、単位幅流量を Q 、流量係数を C として次の形式で与えられる。

$$Q = CBh^{3/2} \quad (1)$$

流量係数 C は越流水深／堰厚比 $h/L \leq 1.5 \sim 1.9$ の範囲で h/L の範囲ごとに $m \cdot s$ 単位で与えられ、 $h/L \geq 1.5 \sim 1.9$ に対しては刃形堰に一致するとしている。その他の適用範囲は $0 < h/h_d \leq 1$ とされる。ただ、これは堰高30cmだけの実験に基づき、それ以外の堰高では保証されない。

3. 運動量の定理によるパラメータの導出

ここで、広頂堰上の完全越流について、図-1の設定で運動量の定理に基づき、堰高、水位、流量の間の関係に關与する無次元パラメータを導出する。水の密度を ρ 、重力加速度を g 、単位幅流量を q とし、堰の上流で流速分布がほぼ一様で圧力が静水圧分布とみなされる断面①と堰の下流端直上流の堰上の断面②の間の流体に運動量の定理

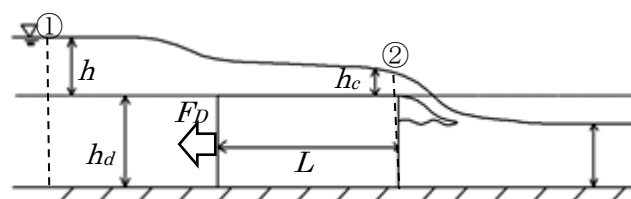


図-1 広頂堰を越える流れの模式図

を適用する。

その際、断面②における水深が限界水深であると仮定する。また、堰上流面は水圧を受け、その反作用として水を上流向きに押している。これを単位幅当たり F_D と見積もる。この他に堰頂上面の摩擦抵抗を考え、摩擦応力の係数を f とする。このとき運動量の式は次式となる。

$$\rho \left(\frac{q^2}{h_c} - \frac{q^2}{h_d + h} \right) = \frac{1}{2} \rho g (h_d + h)^2 - F_D - f \frac{1}{2} \rho \left(\frac{q}{h_c} \right)^2 L \quad (2)$$

流体力係数 K_D を導入して $F_D = K_D \frac{1}{2} \rho g h_d^2$ とおくと、 K_D は次式で表される。 K_D の表現式には、堰高 h_d 、越流水深 h 、限界水深 h_c 、堰厚 L を含むため、流量評価式と越流水深評価式はこれらの間の関係から求める。

4. 既往実験データに基づく検討

4.1 流量評価式と越流水深評価式の導出

これらの評価式は、広範囲の条件で系統的に行われたBazinの実験データ(No.86~No.119)を用いて検討する。堰は堰高 $h_d = 0.75m, 0.50m, 0.35m$ 、その各々に対して堰厚 $L = 0.20m, 0.10m, 0.05m$ である。流量評価式と越流水深を無次元パラメータ間の関係から求めるが、流量評価式は h_c/h の、越流水深評価式は h/h_c の関数形として求められた。図-2と図-3はこれらの関数形を求めるための図である。これらの図から、 h_c/h と h/h_c の関数形が次のように求められた。

キーワード 広頂堰、完全越流、運動量の定理、流量評価式、越流水深評価式

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 電話 0836-85-9353

流量評価式：

1) $h_d/L \geq 1$ の場合

$$\frac{h_c}{h} = 0.679 \left(\frac{h}{L} \right)^{0.137} ; \frac{h}{L} < 2.85 \quad (3a)$$

$$\frac{h_c}{h} = 0.785 ; \frac{h}{L} > 2.85 \quad (3b)$$

2) $h_d/L \leq 1$ の場合

$$\frac{h_c}{h} = 0.313 \left(\frac{h}{h_d} \right)^{0.0315(h_d/L)} \times \left(\frac{h_d}{L} \right)^{-0.61} \quad (4)$$

越流水深評価式：

1) $h_d/L \geq 1$ の場合

$$\frac{h}{h_c} = 1.40 \left(\frac{h_c}{L} \right)^{-0.082} \quad (5a)$$

2) $h_d/L \leq 1$ の場合

$$\frac{h}{h_c} = 3.08 \left(\frac{h}{h_d} \right)^{-0.029(h_d/L)} \times \left(\frac{h_d}{L} \right)^{0.594} \quad (5b)$$

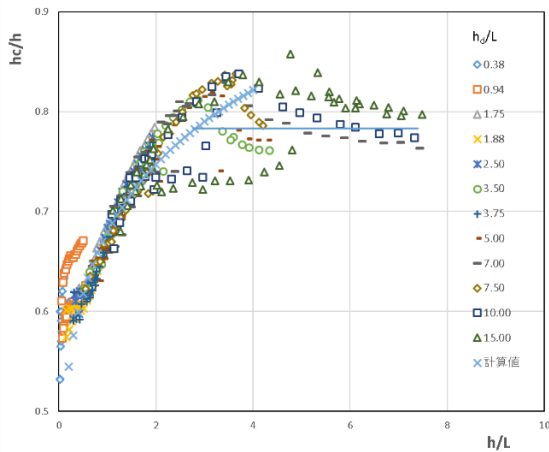


図-2 h_c/h と h/L の関係

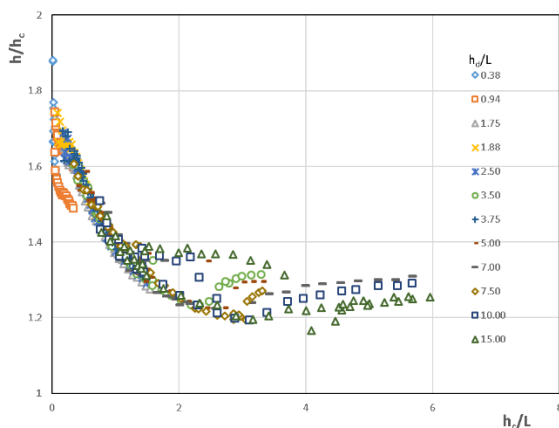


図-3 h/h_c と h/L の関係

4.2 検討結果

流量と越流水深の実験値を従来式および上式による計算値で除したものをそれぞれ K_q と K_h とし、これらを Bazin と Govinda Rao らの実験に適用した結果を図-4 から図-6 に示す。図-4 と 5 の比較から、本提案式は

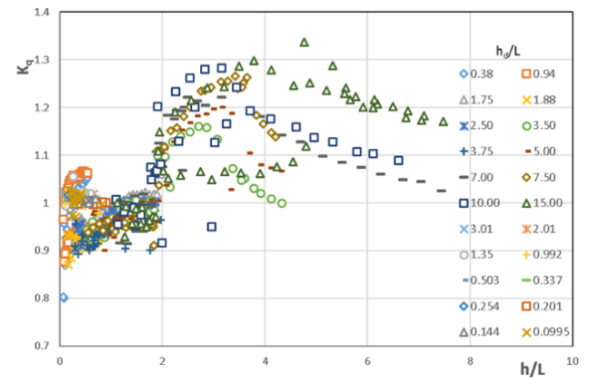


図-4 Govinda Rao らの式の適用結果

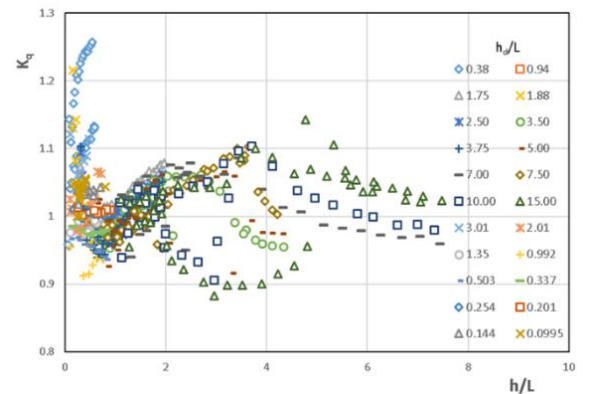


図-5 本提案式の適用結果

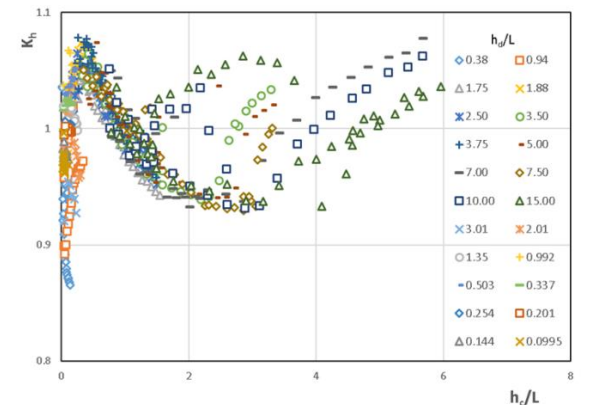


図-6 越流水深評価式の適用結果

Govinda Rao らの式に比べて大きい越流水深（大流量）において良好な適合度を有することがわかる。

5. 結語

運動量の定理に基づき広頂堰上の完全越流の水力を検討し、流量評価式と越流水深評価式を導いた。提案式は既往実験の結果を良好に再現した。今後は他の実験で検証する。

6. 参考文献

- 1) 羽田野ら：山口大学工学部研究報告, Vol.66, No.2, 2015.
- 2) Bazin: Annales des Ponts et Chaussees, Ser.6, Vol.6, 1888.
- 3) Govinda Rao ら： La Houille Blanche, No5, 1963