

刃形堰に関する一考察 (第2報)

山口大学工学部 正員 ○羽田野袈裟義
 山口大学工学部 正員 河元 信幸
 建設技術研究所 正員 狩野 晋一
 大成ロテック 中務 憲一

1. 緒言

堰の水理はこれまで数多くの研究がなされており、流量計測の手段としての完全越流の堰水理はほぼ解決された状況にある。しかしながら、従来の堰公式は堰高に比べて流量規模(限界水深)が小さいことを条件づけており、適用範囲をはずれる水理条件に対しては大きな誤差を生じることが指摘されている。洪水時に堰を越える流れの水面形計算では、堰公式を組み合わせることになるが、その場合には広い範囲の水理条件に対応することが必要で、従来の堰水理では十分と難しい。本研究は、無次元パラメータに着目して刃形堰上の完全越流の水理を検討するものである。

2. 従来の刃形堰公式¹⁾

完全越流刃形堰の水理は堰水理の基本となるもので、これまで数多くの研究が行われて公式がいくつか提案されている。その中で石原・井田の式は修正レーボック(Rehbock)をさらに修正したもの²⁾でJIS規格に採用されており、既存の刃形堰の公式としては最も適合性が優れているものの1つと考えて良い。この公式は越流水深を h_1 、堰高を h_d としてm・秒単位で次式で与えられる。

$$q = C_d h_1^{3/2}; C_d = 1.785 + (0.00295/h_1 + 0.237h_1/h_d)(1 + \epsilon) \quad (1)$$

ここで ϵ は堰高に対する補正係数で、 $\epsilon = 0$ for $h_d \leq 1.0m$ 、 $\epsilon = 0.55(h_d - 1)$ for $h_d > 1.0m$ である。この式の適用範囲は幅 $\geq 0.5m$ 、 $0.3m \leq h_d \leq 2.5m$ 、 $0.03m \leq h_1 \leq 0.8m$ かつ $h_1 \leq h_d$ かつ $h_1 \leq \text{幅}/4$ である。上式からわかるように、流量係数の表現で堰高と粘性の効果に対する補正項の表現が次的に矛盾している。中川ら²⁾は $h_d > 2.0m$ で、 $h_1 < 0.06m$ および $h_1 > 0.5m$ では流量誤差は5%を越えると指摘している。

3. 無次元パラメータによる検討

(1) 限界水深/堰高と越流水深/堰高の関係

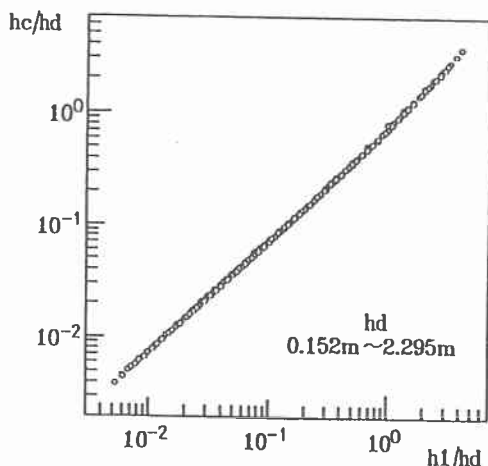
最近の研究により、刃形堰上の完全越流では限界水深・堰高比 h_c/h_d と越流水深・堰高比 h_1/h_d がほぼ一義的な関係をもつことが示唆されている³⁾。図-1は、この関係を広い水理条件のもとで行われたSchoder & Turner⁴⁾の実験値について調べた結果である。越流水深 $h_1 < 0.008m$ のデータは散乱したため図では除外した。図より、 $h_1 \geq 0.008m$ の範囲では h_c/h_d と h_1/h_d との関係がほぼ一義的であることがわかる。この関係を $X = \log(h_1/h_d)$ 、 $Y = \log(h_c/h_d)$ とにおいて適当な領域毎に両対数紙上で2次曲線近似して次式(2)を得た。

$$Y = 0.0043X^2 + 1.0162X - 0.3306; h_1/h_d < 0.4012$$

$$Y = 0.0177X^2 + 1.0177X - 0.2776; 0.4012 \leq h_1/h_d$$

$$< 1.255$$

$$Y = 0.0359X^2 + 1.0811X - 0.2819; 1.255 \leq h_1/h_d \quad (2)$$

図-1 h_c/h_d と h_1/h_d との関係

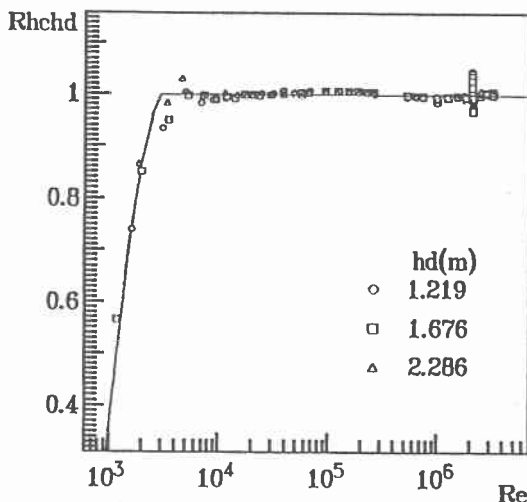
(2) 越流水深が小さいことの効果

越流水深が小さい領域では粘性の影響が出ていると考えられる。そこで、 h_1 を用いてレイノルズ数 $Re = h_1 (2g h_1)^{1/2} / \nu$ をとり、個々の堰のデータについて $Re > 5000$ の範囲で図-1の関係を一本の2次式で近似し、その結果と h_1/h_d の実験値から求めた h_c/h_d の計算値で h_c/h_d の実験値を規格化した値 Rhc と Re の関係を調べた。その一例が図-2である。図より、 Rhc は $Re > 5000$ ではほぼ1であるが、 Re が3000以下になると Rhc は急に減少するようになる。図中の曲線は $Re < 4000$ のデータに対して次式

$$\log(Rhc) = A(\log(R_{sc}) - \log(R_s))^B + 1 \quad (3)$$

を仮定し、 R_{sc} 、 A 、 B を種々変化させてこれらの最適値を求めた結果である。これらの値は次のようであった。

$$R_{sc} = 3000, A = -0.549, B = 1.60 \quad (4)$$

図-2 Rhc と Re の関係

4. 流量計算の結果

式(2)、(3)および(4)を組み合わせると越流水深 h_1 から限界水深 h_c 、したがって流量が計算される。図-3は、本法、修正レーボック式、フランシス式で求めた流量の計算値と実験値の比 Q_c/Q を h_1/h_d に対してプロットしたものである。図中の○は本法、▲は修正レーボック式、▼はフランシス式の結果である。図から明らかなように、従来式の適用範囲内では適合性は大同小異であるが、本法では、従来式の範囲外である $h_1/h_d > 1$ 、および $h_1 < 3$ cm の領域の適合性が明らかに改善されている。

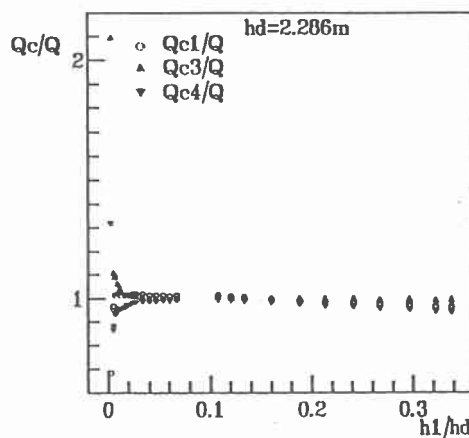
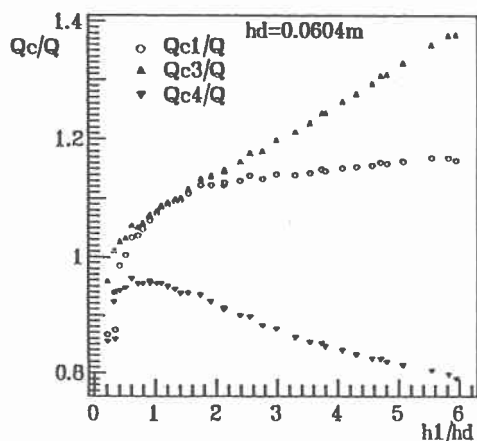


図-3 流量計算の結果

参考文献

- 1) 土木学会編：水理公式集、pp254、1971.
- 2) 中川博次・中川修：土木学会関西支部年次講演会、pp 79-80、1966.
- 3) 狩野・羽田野：土木学会51回年講、第2部、pp348-349、1996.
- 4) E.W.Schoder & K.B.Turner: Trans. of ASCE, Vol.93, pp999-1190、1929.