

刃形堰の水理に関する一考察

山口大学工学部 正員 羽田野袈裟義
建設技術研究所 正員〇狩 野 晋一

1. はじめに

刃形堰の水理についてはこれまでに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、従来の研究では堰高に比べて流量規模（限界水深）が小さいケースが専ら検討されてきた。洪水時に堰を越える流れを不等流計算する場合、堰公式を組み合わせることになるが、上記の水理条件を考慮すると、従来の公式をそのまま使うことには注意が必要である。本研究は、無次元パラメータに着目し、刃形堰の水理に2・3の検討を加える。

2. 流水抵抗の係数

堰上・下流の河床は水平とする。堰高を h_d 、堰頂からとった上流水位を h_1 、下流水位を h_2 、単位幅流量を q 、堰の単位幅あたりの流水抵抗を F_0 とし、堰上流と下流の水面高さ測定位置での圧力が静水圧であると仮定する。このとき、運動量補正係数を1として2断面に運動量の定理を適用すると、

$$\rho q^2 \left(\frac{1}{h_d + h_2} - \frac{1}{h_d + h_1} \right) = \frac{1}{2} \rho g (h_d + h_1)^2 - \frac{1}{2} \rho g (h_d + h_2)^2 - F_0 \quad (1)$$

係数 K_P を用いて F_0 を次式： $F_0 = K_P \cdot 1/2 \rho g h_d^3$ (2) でおくと、 K_P は次のように表現される。

$$K_P = \frac{h_1}{h_d} (1-x) \left[2 + \frac{h_1}{h_d} (1+x) - \frac{2 h_c^3}{h_d^3} \cdot \frac{1}{(1+x \cdot h_1/h_d)(1+h_1/h_d)} \right] \quad (3)$$

ここで、 $h_c = (q^2/g)^{1/3}$ は (h_c は限界水深)、 $x = h_2/h_1$ は潜り度である。式(3)は、 K_P を3つのパラメータ h_c/h_d 、 $x = h_2/h_1$ および h_1/h_d により表現している。

3. 無次元パラメータの検討

図-1は、 K_P の表現式に現れる3つのパラメータ相互の関係を、Glen Coxの実験データを用いて調べた結果である。図は、3つのパラメータのうち2つが独立で残る1つは従属量であることを示し、流量公式に相当する関係を表している。堰高は0.348m、0.610m、0.991m、1.809mの4とおりであるが、 h_1/h_d と h_2/h_1 の関係が堰高によらず h_c/h_d のみにより決定される。これはGlen Coxの2種類のogee堰の一連の実験でも認められた。

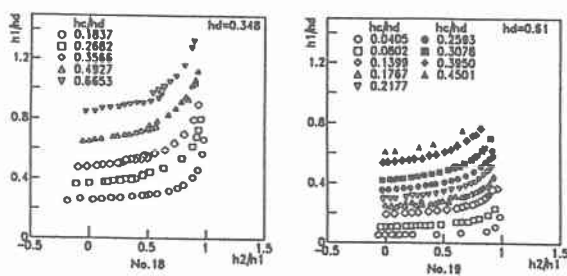


図-1 パラメータ相互の関係

以下では図-1の関係の定式化を試みるが、まず完全越流の関係を調べる。

(1) 完全越流

完全越流では、流量が h_2 に依存しないから上記のパラメータ間の関係は h_1/h_d と h_c/h_d との関係となる。図-2は、Glen Coxのすべての刃形堰データでその関係を調べたものである。図中の実線は直線近似を試みたものである。図より両者を1本の直線で近似することはできないが、範囲を限定すれば直線近似が可能で、 h_{10} を完全越流における h_1 として次式で表すことができる。

$$h_{10}/h_d = \alpha (h_c/h_d)^K \quad (4)$$

図-2のデータでは、 $h_c/h_d < 0.1$ では $\alpha = 1.429$ 、 $K = 1$ 、そして $h_c/h_d \geq 0.1$ では $\alpha = 1.367$ 、 $K =$

0.988 であった。式(4)の変形として、堰高と越流水深から流量の算定には式(4a)を、堰高と流量から越流水深の算定には式(4b)を用いればよい。

$$q = gh_{10}^{3/2} (h_{10}/h_d)^{3(1/k-1)/2} (1/\alpha)^{3/2k} \quad (4a)$$

$$h_{10} = h_c (h_c/h_d)^{k-1} \quad (4b)$$

従来の堰公式では流量係数の中に堰高や越流水深が生じる形で現れ、また堰高と流量から越流水深の算定には繰り返し計算が必要であるなど不合理あるいは不都合な点があった。Glen Coxのデータでは、従来の堰公式と式(4a)による流量計算値と実験値の誤差は同程度であったが、堰高が高い方の2つのケースでは式(4a)の方が良好であった。ただし、以下の計算で、 h_{10} は従来式から求めたものを用いる。

(2) 潜り越流の検討

潜り越流の流量公式は流量係数を C_s とおいて式(5)で表現され、 h_1 はその変形として式(5a)で表される。

$$q = C_s \sqrt{g} h_1^{3/2} (1 - h_2/h_1)^{1/2} \quad (5); \quad h_1 = h_c (C_s \sqrt{2})^{-2/3} (1 - h_2/h_1)^{-1/3} \quad (5a)$$

また、 h_c と h_{10} が式(4b)の関係をもつことに着目し、次のようにおく。

$$h_1/h_{10} = R (1 - h_2/h_1)^{-1/3} \quad (6)$$

図-3は式(6)の両辺の関係を図示したものの一例である。図中の実線は式(6)で $R=1$ とおいた関係である。横軸の値が1から離れる(潜り度が増す)ほど R が1より減少する。そして横軸の値が0.1以下の部分では、描点は実線とほぼ平行に分布するようである。この関係は次の式で表現される。

$$R = 1 - A |\log_{10}(1 - h_2/h_1)|^M \quad (0 < h_2/h_1 < 0.9); \quad R = 1 - A \quad (0.9 \leq h_2/h_1 < 1.0) \quad (7)$$

また、 $0.9 \leq h_2/h_1 < 1.0$ の範囲では、式(6)は、 $h_1/h_{10} = (1 - A)((1 - h_2/h_1)/0.1)^{-1/3}$ (6a)

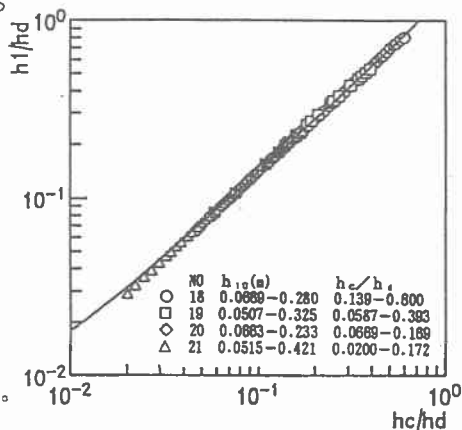


図-2 h_1/h_d と h_c/h_d の関係 (完全越流)

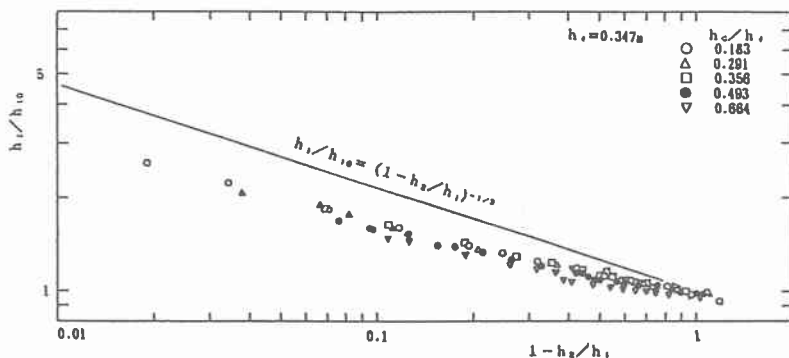


図-3 h_1/h_{10} と潜り度 h_2/h_1 の関係

式(7)の M は一部のデータを除き、0.55から0.70程度であるので、平均値0.633を用いて式中の A を調べた。図は省略するが、 A は h_c/h_d により系統的に変化し、次式で近似される。

$$A = 0.21 \quad (h_c/h_d \leq 0.3) \quad A = 0.229 \log_{10}(h_c/h_d) + 0.33 \quad (h_c/h_d > 0.3) \quad (8)$$

この関係は、潜り堰の流量係数が潜り度だけでなく h_c/h_d も含むべきことを意味している。

参考文献: 1) Glen Nelson Cox(1928): Bulletin of the University of Wisconsin.