

堰高がゼロの横越流堰の流量式に関する研究

九州工業大学工学部 学生員 ○武田雅俊
九州工業大学工学部 正会員 鬼束幸樹 秋山壽一郎
九州工業大学大学院 学生員 常松智博

1. はじめに

都市部での出水の被害を回避する方法として、横越流を利用した洪水調節池が挙げられる。今まで、横越流堰の流量式および流量係数は経験的に求められたものがほとんどである¹⁾²⁾。流量係数を決定するパラメータはフルード数、相対堰高、相対堰長および相対水深の4つである。既往の研究における実験では、2つ以上のパラメータを変化させているにも関わらず、流量係数の定式化に当たっては少ないパラメータで記述していることがほとんどである。これは、1つのパラメータだけを固定し、他のパラメータを変化させることは困難であることが挙げられる。本研究では、堰高をゼロにすることで相対堰高のパラメータを減じ、その他の3つのパラメータを系統的に変化させ、それぞれの影響について検討した。

2. 理論的考察

図-1に横越流堰の概要を示す。Lは堰長、Bは主水路幅、Sは堰高、hは堰上からの水位、φは越流方向とx軸との角度である。添字の1, 2, wはそれぞれ横越流堰区間への流入、流出および堰上断面の諸量である。堰上の単位幅当たりの越流量q_wは次式で与えられる。

$$q_w = -dQ/dx = h_w V_w \sin \phi \quad (1)$$

ここに、Qは主水路における流量、Vは断面平均流速である。流入断面1から堰上断面wへと流出する流れにおいて、比エネルギーが一定と仮定し、堰上で限界状態になることを利用すると次式が得られる。

$$V_w = V_c = \sqrt{\frac{2gh_1}{3} \left(\frac{Fr_1^2}{2} + 1 - \frac{S}{h_1} \right)} \quad (2)$$

$$h_w = h_c = \frac{2h_1}{3} \left(\frac{Fr_1^2}{2} + 1 - \frac{S}{h_1} \right) \quad (3)$$

ここに、Fr = V/√ghはフルード数である。また、堰上流速の流下方向成分は、堰区間直前の流速成分と等しいというSubramanya & Awasthy²⁾の仮定V_w cos φ = V₁を用いると式(1)は次式となる。

$$q_w = 2/3 \cdot C_M \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (4)$$

ここに、C_Mは流量係数である。

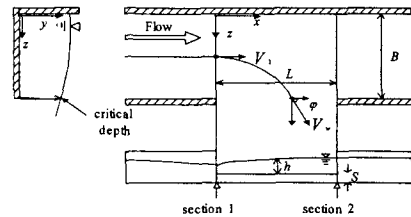


図-1 横越流堰の概要

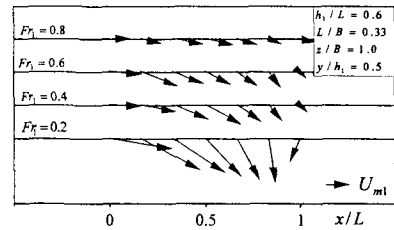


図-2 (a) 堰上での横越流角度の変化

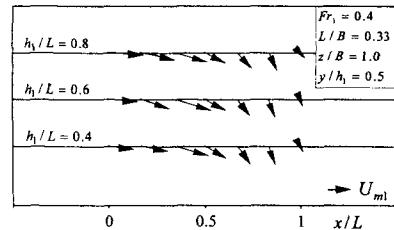


図-2 (b) 堰上での横越流角度の変化

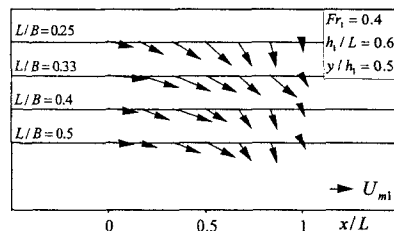


図-2 (c) 堰上での横越流角度の変化

3. 実験装置および実験条件

実験は全長5.0m、高さ0.3m、水路床勾配1/2000の亚克力製水路で行った。相対堰長L/Bを0.25, 0.33, 0.40および0.50、フルード数Fr₁を0.2から0.8まで0.2刻み、相対水深h₁/Lを0.4から0.8まで0.2刻みで変化させた。ただし、相対水深が0.8でFr₁が0.8のケースと相対堰長

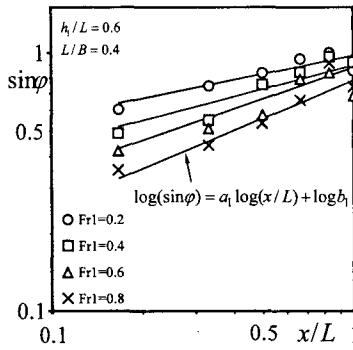


図-3 $\sin \phi$ と x/L の関係

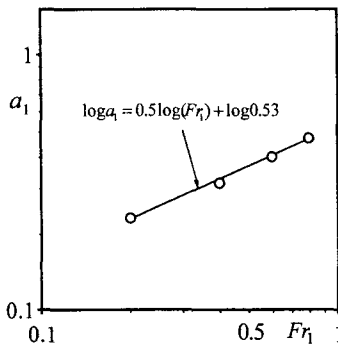


図-4 傾き a_1 と Fr_1 の関係

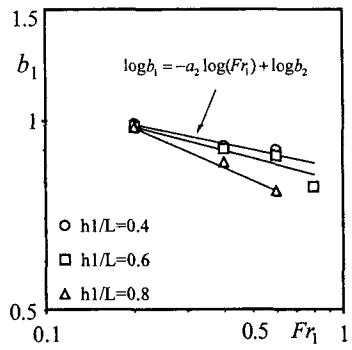


図-5 切片 b_1 と Fr_1 の関係

が0.5で Fr_1 が0.2のケースは装置の制約のため計測できなかった。流量 Q_1 、 Q_2 と堰区間の水深を計測すると共に、電磁流速計で流速を計測した。

4. 実験結果および考察

図-2(a), (b)および(c)にそれぞれ Fr_1 、 h_1/L 、 L/B を変化させた堰上ベクトルを示す。図-2(a)では、 Fr_1 の増加に伴い堰上ベクトルの長さが短くなっている。一方、図-2(b)より、 h_1/L の増加に伴い越流角度 ϕ が減少する様子が観察される。また、図-2(c)より、堰上ベクトルに及ぼす L/B の影響は微小であるといえる。また、図-2(a)~(c)より、 ϕ の変化率は堰始端直後では流下方向に急激に変化しているが、堰終端直前では変化が緩慢になっていることも観察される。そこで、図-3に各フルード数の越流角度の正弦成分 $\sin \phi$ の流下方向変化を両対数表示する。なお、 $y/h_1=0.25, 0.50, 0.75$ の各断面において越流角度の変化が微小であったため、 $\sin \phi$ は、3断面の越流角度を平均して求めた。両者の関係を次式で示す。

$$\log(\sin \phi) = a_1 \log(x/L) + \log(b_1) \quad (5)$$

図-4に h_1/L が0.4の場合の傾き a_1 と Fr_1 、図-5に切片 b_1 と Fr_1 の関係を示した。図-4より両者の関係は線形的であるため、両者の関係を次式で近似した。

$$\log(a_1) = 0.5 \log(Fr_1) + \log 0.53 \quad (6)$$

図-5より両者の関係を線形的と判断し次式で近似し、傾き a_2 および切片 b_2 を算出した。

$$\log(b_1) = -a_2 \log(Fr_1) + \log(b_2) \quad (7)$$

図-6に h_1/L と傾き a_2 と切片 b_2 の関係を両対数表示する。同様に a_2 および b_2 は相対水深の関数となる。

$$\log(a_2) = 0.83 \log(h_1/L) + \log 0.27 \quad (8)$$

$$\log(b_2) = -0.38 \log(h_1/L) + \log 0.69 \quad (9)$$

式(5)~式(9)から $\sin \phi$ は次式で示される。

$$\sin \phi = (x/L)^{0.53(Fr_1)^{0.5}} \times Fr_1^{-0.27(h_1/L)^{0.83}} \times 0.69(h_1/L)^{-0.38} \quad (10)$$

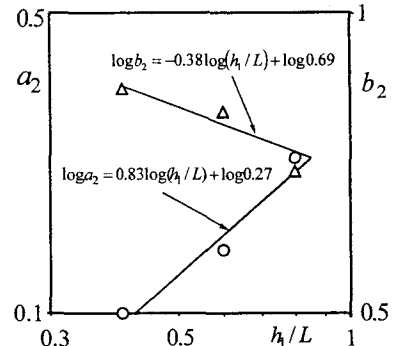


図-6 傾き a_2 および切片 b_2 と h_1/L の関係

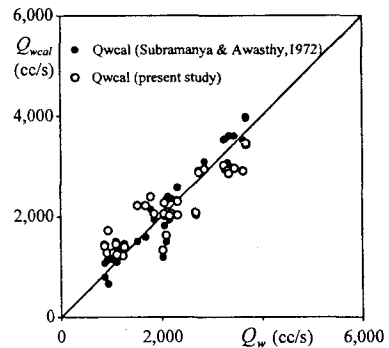


図-7 実測越流量 Q_w と予測越流量 Q_{wcal} の関係

図-7に実測越流量 Q_w と予測越流量 Q_{wcal} の関係を示す。式(10)を用いた予測越流量は必ずしもSubramanya & Awasthy²⁾の予測越流量よりも精度が高くないが、相対堰長を考慮しているという点で式(10)は優れている。

5. おわりに

本研究では、フルード数、相対水深および相対堰長の影響を独立に評価して、新しい流量式を(1), (2), (3)および(10)のように提案した。

参考文献

- 1) De Marchi, G, *L'Energia Elettrica*, Milan, Italy, Vol.11, pp.849, 1934.
- 2) Subramanya, A. and Awasthy, S.C.: Spatially varied flow over side-weirs, *J. Hydraulics Division*, ASCE, Vol.98, pp.1-10, 1972.