

有限の堰高を有する横越流堰の流量係数

九州工業大学工学部 学生員 ○俣賀 円
 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

都市河川での浸水被害を防止するには、横越流堰を利用した洪水調節池が有効である。越流量を予測するには流量係数を求めなければならない。流量係数の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つであるにもかかわらず、既往の研究^{1), 2)}ではこれらを独立に変化させていない。これは、1つのパラメータを固定し、他の3つのパラメータを変化させて実験を行うことが困難だからである。近年、相対堰高をゼロにして行われた実験によって、相対水深の影響が微小であることが証明された³⁾。

本研究は、有限の相対堰高を有する横越流堰において、フルード数、相対堰高、相対堰長の3つのパラメータを系統的に変化させ、流量係数を求めたものである。

2. 理論的考察

図-1に横越流堰の概要を示す。ここに、 L は堰長、 B は主水路幅、 S は堰高、 h は水深である。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での諸量を表している。単位幅越流量 q_* は次式で与えられる。

$$q_* = \frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (h - S)^{3/2} \quad (1)$$

ここに、 C_M は流量係数、 g は重力加速度である。

Subramanya & Awasthy²⁾は相対堰高 S/h_1 がゼロおよび有限の場合において次式を提案した。

$$C_M = 0.611 \sqrt{1 - 3Fr_1^2 / (Fr_1^2 + 2)} \quad (Fr_1 < 0.9) \quad (2)$$

相対堰高 S/h_1 が有限な場合において、Ranga Raju *et al.*は式(3)を、James & Mitriは式(4)を、Hagerは式(5)を、Singh *et al.*は式(6)を、Borghei *et al.*は式(7)を提案した。

$$C_M = 0.81 - 0.60Fr_1 \quad (0.1 \leq Fr_1 < 0.5) \quad (3)$$

$$C_M = 0.45 - 0.06(Fr_1 - 0.6) \quad (0.6 \leq Fr_1 < 1.0) \quad (4)$$

$$C_M = \frac{9}{10\sqrt{2}} \sqrt{\frac{Fr_1^2 + 2 - S/h_1}{3Fr_1^2 + 2 - 2S/h_1}} \quad (0.3 \leq Fr_1 < 2.0) \quad (5)$$

$$C_M = 0.33 - 0.18Fr_1 + 0.49S/h_1 \quad (0.25 \leq Fr_1 \leq 0.4) \quad (6)$$

$$C_M = 0.7 - 0.48Fr_1 - 0.3S/h_1 + 0.06L/B \quad (0.2 \leq Fr_1 \leq 0.8) \quad (7)$$

しかし、以上の研究で行われた実験では、1. に記した4つのパラメータを系統的に変化させていない。

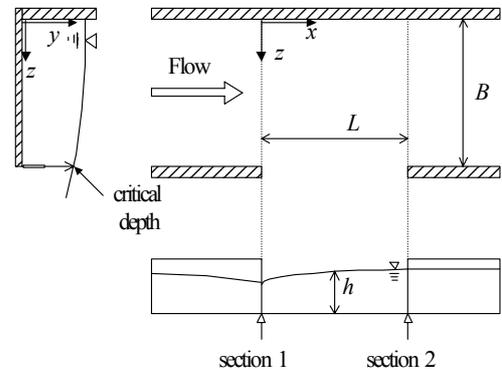


図-1 横越流堰の概要

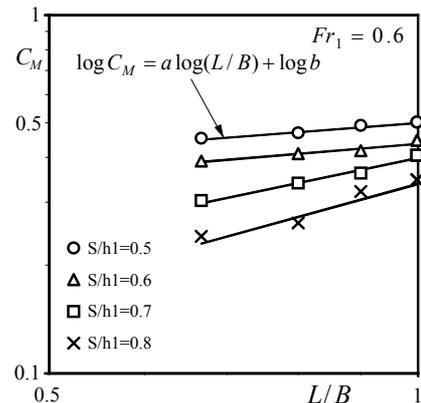


図-2 流量係数 C_M と相対堰長 L/B の関係

3. 実験装置および実験条件

実験は全長5.0m、高さ0.3m、水路幅0.4mの亚克力製水路で行った。水路勾配 $\sin \theta$ は1/2000に固定されている。相対水深 h_1/L を0.21に固定した状態で、フルード数 Fr_1 を4通り(0.4, 0.6, 0.7, 0.8)、相対堰長 L/B を4通り(0.67, 0.8, 0.9, 1.0)、相対堰高 S/h_1 を4通り(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)に変化させた。流量 Q_1 、 Q_2 、 Q_w と堰区間の水深を計測した。

4. 実験結果および考察

図-2はフルード数 Fr_1 を0.6に固定した状態で、流量係数 C_M と相対堰長 L/B との関係を相対堰高 S/h_1 ごとに両対数表示したものである。流量係数 C_M は相対堰長 L/B に対して線形的に変化している。そこで、両者の関係を次式の線形近似で求めた。

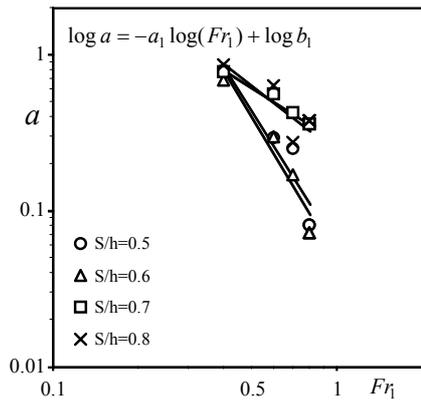


図-3 傾き a と Fr_1 の関係

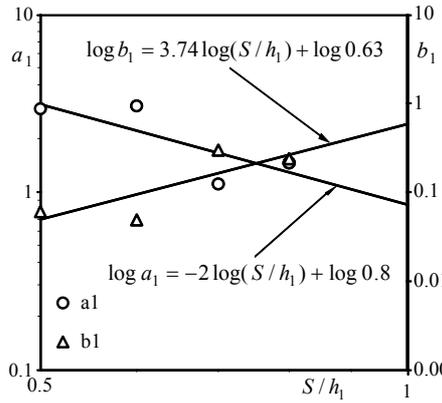


図-4 傾き a_1 および切片 b_1 と S/h_1 の関係

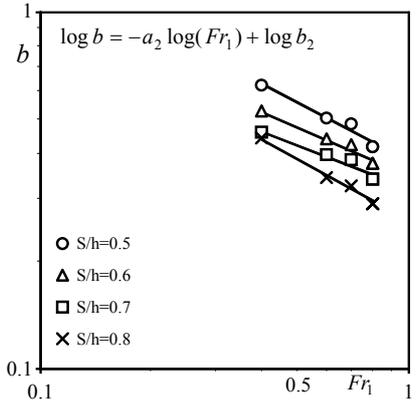


図-5 切片 b と Fr_1 の関係

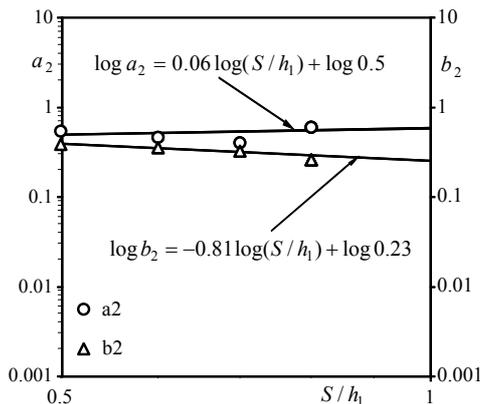


図-6 傾き a_2 および切片 b_2 と S/h_1 の関係

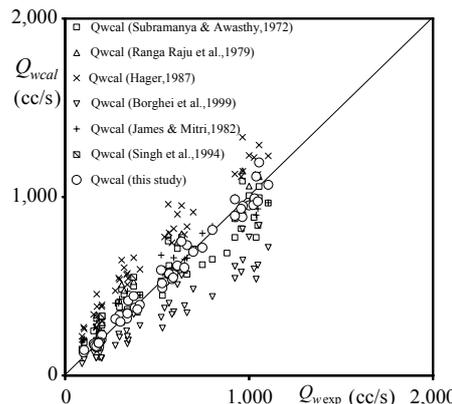


図-7 Q_{wexp} と Q_{wcal} の関係

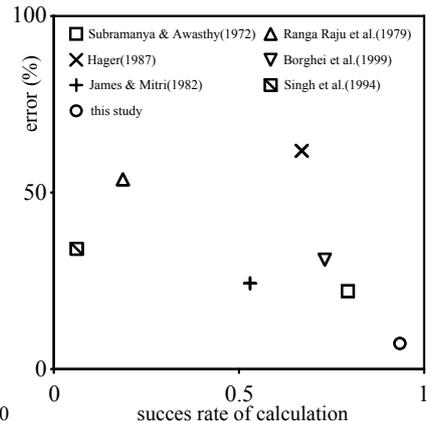


図-8 Q_{wcal} の誤差と計算成功率の関係

$$\log C_M = a \log(L/B) + \log b \tag{8}$$

その他のフルード数 Fr_1 の場合について、同様に傾き a および切片 b を求めた。傾き a および切片 b はフルード数 Fr_1 および相対堰高 S/h_1 の関数となる。

まず、傾き a について検討する。図-3 に傾き a とフルード数 Fr_1 との関係を示し、両者の関係を次式の線形近似で求めた。

$$\log a = -a_1 \log(Fr_1) + \log b_1 \tag{9}$$

傾き a_1 および切片 b_1 は相対堰高 S/h_1 のみの関数となる。

図-4 に式(9)の傾き a_1 および切片 b_1 と相対堰高 S/h_1 の関係を示し、両者の関係を次式で求めた。

$$\log a_1 = -2 \log(S/h_1) + \log 0.8 \tag{10}$$

$$\log b_1 = 3.74 \log(S/h_1) + \log 0.63 \tag{11}$$

傾き a に関する解析と同様に、切片 b に関して解析を行う。図-5 に切片 b とフルード数 Fr_1 との関係を示す。両者の関係を次式で求めた。

$$\log b = -a_2 \log(Fr_1) + \log b_2 \tag{12}$$

図-6 に式(12)の傾き a_2 および切片 b_2 と相対堰高 S/h_1 の関係を示し、両者の関係を次式で求めた。

$$\log a_2 = 0.06 \log(S/h_1) + \log 0.5 \tag{13}$$

$$\log b_2 = -0.81 \log(S/h_1) + \log 0.23 \tag{14}$$

式(8)~(14)より次式が求められた。

$$C_M = 0.23 (Fr_1)^{-0.5 (S/h_1)^{0.06}} (S/h_1)^{-0.81} \times (L/B)^{0.63} Fr_1^{-0.8 S/h_1^{-2}} (S/h_1)^{3.74} \tag{15}$$

図-7 に本研究の提案式(15)および既往の経験式(2)~(7)を用いた予測越流量 Q_{wcal} と実測越流量 Q_{wexp} の関係を示す。この図から提案式(15)の精度が他の研究者の提案式の精度よりも高いことがわかる。ところで、越流量を計算するに当たり、計算が発散する場合がある。そこで、計算対象とした 64 ケースにおいて、計算が成功した割合を計算成功率と定義し、図-8 に計算成功率と Q_{wcal} の誤差との関係を示す。提案式(15)は予測精度、計算成功率のどちらも既往の研究を上回っており、実用性が高いといえる。

5. おわりに

本研究では、フルード数 Fr_1 、相対堰長 L/B および相対堰高 S/h_1 を系統的に変化させた実験を行い、横越流堰の流量係数を式(15)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.
- 3) 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 常松智博, 俣賀円: 相対堰高がゼロで接近流が常流の場合の横越流堰の流量係数, *水工学論文集*, 第49巻, 2005 (印刷中) .