

ゲートからの流出の縮流係数のレイノルズ数依存について

松江工業高等専門学校 正会員 ○荒尾 慎司

九州産業大学 フェロー会員 羽田野袈裟義

松江工業高等専門学校 学生会員 亀井 悠喜信

1. はじめに

河川や灌漑用水路などで流量制御に用いられるスルースゲートの自由流出に関する流量係数 C は、縮流係数を C_c として次式で与えられる^{1), 2) 3), 4)}.

$$C = \frac{q}{a\sqrt{2gh_0}}; \quad C = C_c \sqrt{\frac{1}{1 + C_c a/h_0}} \quad (1)$$

ここに、 q は単位幅流量、 a はゲート開度、 g は重力加速度、 h_0 はゲートの上流側水深である。

従来研究の主要な課題に、1) 一般に示される $C_c \sim a/h_0$ の関係がゲート開度 a により系統的に異なり a/h_0 が C_c の主要因子であるとの取扱いに疑問、2) C_c と C の関係づけが殆ど皆無、3) 治水計画に不可欠なゲート上流側水深の評価式が皆無、などがある。

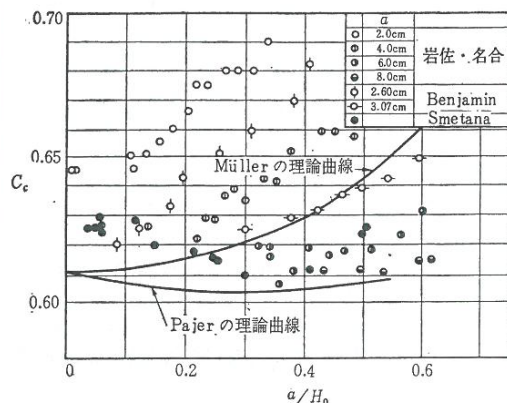
本研究では、既往の詳細な測定データ^{3), 4)} を入念に分析し、縮流係数 C_c のレイノルズ数依存を明らかにして縮流係数 C_c の定式化を行ない、流量と上流側水深の評価のための資料を提供する。

2. 縮流係数に関する従来の知見

縮流係数 C_c の式形は、ポテンシャル理論に基づく理論解析によりゲート開度 a とゲート上流水深または上流水頭の比すなわち a/h_0 または a/H_0 との関係で模索されてきた。図-1 は水理公式集の記載例である。図によると、実験値が示す C_c と a/H_0 の関係はゲート開度 a により系統的に異なっており、室内実験の結果に関する限り a/H_0 を C_c の主要因子として取り扱うことが適切でないことがわかる。そこで信頼できると思われ、しかも系統的に行われたものとして名合^{3), 4)}の実験データを調べる。

3. 名合の自由流出に関する実験データ

名合^{3), 4)}は、スルースゲートからの自由流出に関して水路幅 $B=10, 15, 20, 30, 40\text{cm}$ に対しゲート開度 a の比 $a/B=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ について流量

図-1 縮流係数 C_c と a/H_0 の関係²⁾

係数 C と縮流係数 C_c の値について全 265 組の実験データを得ている。以下、その実験データからレイノルズ数により縮流係数 C_c を定式化する。

4. データ解析の結果

4.1 縮流係数のレイノルズ数依存

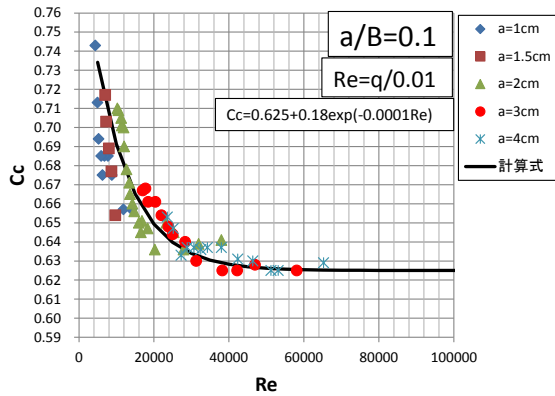
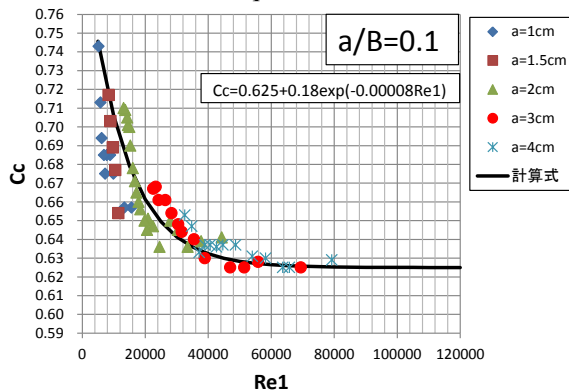
$a/B=0.1$ の場合に得られたレイノルズ数と C_c の関係を、全データの回帰式と共に図-2 に示す。なお、力学的にはレイノルズ数は $Re=q/\nu$ (ν : 動粘性係数) が合理的であるが、式 (1) の形で流量評価に用いるためには上流側水深 h_0 を用いたレイノルズ数の表現が必要になる。そこで $Re=q/\nu$ に加え、次式の Re_1 を用いた表現を示す。

$$Re_1 = \frac{a\sqrt{gh_0}}{\nu} \quad (2)$$

簡単のため $\nu=0.01\text{cm}^2/\text{s}$ とした。同図によると、 Re と Re_1 のいずれを用いた場合も縮流係数 C_c はレイノルズ数の増加により単調減少してほぼ一定値に漸近し、同じレイノルズ数ではゲート開度 a が大きいほど C_c が大きい傾向が認められる。この図は従来の整理法 (図-1) に比べてデータのまとまり方で明らかに優れており、縮流係数の整理方法として図-2 のまとめ方が合理的であることを示唆している。

キーワード スルースゲート、縮流係数、レイノルズ数、上流側水深の評価

連絡先 〒690-8518 松江市西生馬町 14-4 松江工業高等専門学校、環境・建設工学科 TEL 0852-36-5225

(a) $Re = q/v$ による整理(b) Re_1 (式(2)) による整理図-2 レイノルズ数と C_c の関係

4.2 レイノルズ数を用いた縮流係数の定式化

次に、流量とゲート上流側の水深 h_0 の評価のため、図-2 の C_c と Re および Re_1 の関係をゲート開度ごとに定式化した。具体的には C_c の関数形を次式

$$C_c = 0.62 + \beta_A \exp(-\gamma_A \times Re) \quad (3)$$

$$C_c = 0.62 + \beta_B \exp(-\gamma_B \times Re_1) \quad (4)$$

の形とし、 β と γ をゲート開度 a の関数として取り扱うことが適当と考えられる。そこで、ゲート開度 a のみに基づくレイノルズ数を次式

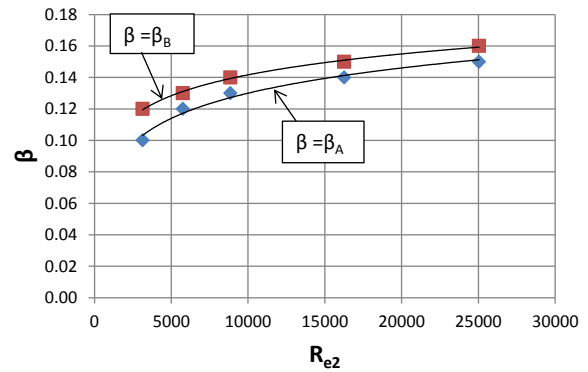
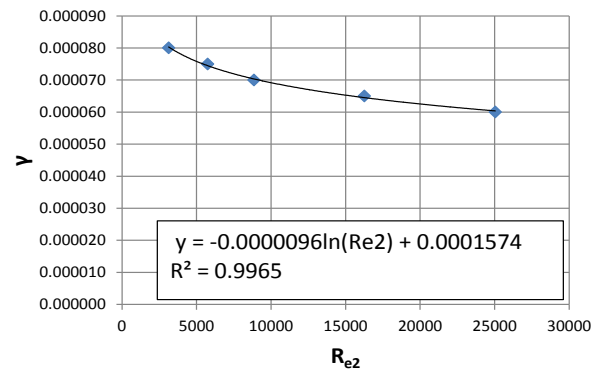
$$Re_2 = \frac{a\sqrt{ga}}{v} \quad (5)$$

で定義し、式 (3) と式 (4) の β と γ をゲート開度 a ごとに求めた結果を式 (5) のレイノルズ数 Re_2 に対して図示したものがそれぞれ図-3 と図-4 である。図より、式 (3) と式 (4) 中の β と γ は次式で近似できる。

式 (3) の関係：

$$\beta_A = 0.0231 \ln(Re_2) - 0.0831 \quad (6)$$

$$\gamma_A = -0.0000096 \ln(Re_2) + 0.000157 \quad (7)$$

図-3 Re_2 と β の関係 (式(6)と式(8))図-4 Re_2 と γ の関係 (式(7)と式(9))

式 (4) の関係：

$$\beta_B = 0.0192 \ln(Re_2) - 0.0349 \quad (8)$$

$$\gamma_B = \gamma_A \quad (9)$$

以上で縮流係数 C_c の定式化がなされた。これよりゲートからの自由流出の流量と上流側水深の評価が可能になる。流量は式 (4) と式 (1) より計算され、上流側水深は式 (3) と式 (1) から求まる次式により計算される。

$$h_0 = \frac{K + \sqrt{K^2 + 4aC_cK}}{2} \quad (10)$$

ここで $K = q^2 / (2ga^2C_c^2)$ である。

5. 結語

本研究により縮流係数の評価式が得られ、冒頭に述べたゲートの水理の課題が解決された。今後はこの研究成果を種々の実験結果により検証を行う。

参考文献：

- 1) 椿東一郎：水理学 I，森北出版，pp.198-200，1973。
- 2) 土木学会：水理公式集 昭和 46 年改訂版，pp.284，1971。
- 3) 名合宏之：京都大学学位論文，1973。
- 4) 名合宏之：土木学会論文報告集，第 264 号，pp.77-86，1977。