

開水路における漸縮係数に関する実験的研究

Experimental Study on Coefficient of Conversion Loss in Irrigation Open Channels with Gradually Width-Contracted Part

○藤山 宗*・樽屋啓之**・中田 達**・浪平 篤**・
伊藤祐二***・糸井和朗***・酒井一人****

FUJIYAMA So, TARUYA Hiroyuki, NAKADA Toru, NAMIHIRA Atsushi,
ITO Yuji, MOMII Kazuro and SAKAI Kazuhito

1. はじめに 昨今のストックマネジメント事業では、ある限定された区間にて補修・補強等が行われ、水路幅の変化が生じる可能性がある。そのため、今後、増大するストックマネジメント事業による水路改修を想定し、多様な水路形状やその形状変化に伴う流況の変化と漸縮係数との関係性について検討することは極めて重要である。以上のことから、本研究では、開水路漸縮部を対象に水理模型実験を実施し、水路形状にかかわる重要なパラメータである漸縮部の縮小角度 θ と水路幅縮小比(水路幅変化部の下流水路幅 B_2 /上流水路幅 B_1) が漸縮係数 f_{qc} に及ぼす影響を評価することを目的とする。なお、本報の詳細は、藤山ら(2016)を参照されたい。

2. 研究の方法

2.1 実験方法 実験水路は、水路延長 $L=10\text{m}$ 、水路壁高 $H=17\text{cm}$ 、水路幅 $B_1=14.5\text{cm}$ 、水路勾配 $I=1/1,000$ のアクリル製の長方形断面開水路である。上流端から $350\sim 366.5\text{cm}$ の $L_2=16.5\text{cm}$ 区間では、水路幅の縮小区間を設けており、最下流部には、自由に水位調整が可能な転倒ゲートが設置されている。実験条件は、水路幅縮小比 $B_2/B_1=0.5$ にて、縮小角度 $\theta=12.5^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ の 6 パターンとし、 $B_2/B_1=0.7$ にて、 $\theta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ の 5 パターンとした。流量は $0.002\sim 0.006\text{m}^3/\text{s}$ の範囲で転倒ゲートを用いて調節し、各パターンに対して流量条件を変えて複数ケースの計測を行った。

2.2 漸縮係数 f_{qc} の算定方法 漸縮係数 f_{qc} は、開水路漸縮部の上流および下流の水深、最下流部における流量の計測結果をもとに、式(1)を用いて算出した。なお、式(1)、式(2)にて用いる開水路漸縮部の上下流の水深は、それぞれ、上流では 5 点、下流では 6 点の水深(水路横断面の中央にて計測)の算術平均値(それぞれ、 h_1, h_2)を採用した。

$$f_{qc} = \frac{\Delta h + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - h_f}{\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}} \quad (1)$$

$$h_f = \frac{Q^2 \cdot l}{2} \left(\frac{n^2}{R_1^{4/3} \cdot A_1^2} + \frac{n^2}{R_2^{4/3} \cdot A_2^2} \right) \quad (2)$$

ここで、 Δh : 水位変化量 (m) ($=h_1-h_2$)、 f_{qc} : 漸縮係数、 v_1 : 開水路漸縮部の上流における流速 (m/s) ($=Q/(h_1 \cdot B_1)$)、 v_2 : 開水路漸縮部の下流における流速 (m/s) ($=Q/(h_2 \cdot B_2)$)、 g : 重力加速度 (m/s^2) ($=9.81 \text{ m/s}^2$)、 h_f : 摩擦損失水頭 (m)、 Q : 流量 (m^3/s)、 A_1, A_2 :

* (株)三祐コンサルタント Sanyu Consultants Inc. ** 農研機構農村工学研究所 National Institute for Rural Engineering *** 鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima University **** 琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus キーワード : 開水路, 漸縮係数, 水理模型実験

開水路漸縮部の上下流の通水断面積 (m^2), l : 対象区間長 (m) (=0.95m), n : マニングの粗度係数 (実験水路における予備実験結果に基づき, $n=0.009s/m^{1/3}$ を採用), R_1, R_2 : 開水路漸縮部の上下流の径深 (m) ($=A/P$), P : 潤辺 (m) である.

3. 結果と考察

3.1 下流フルード数 F_{r2} と漸縮係数 f_{qc} の関係 図-1 は, F_{r2} と f_{qc} の関係を示す. 検討した各 θ において, f_{qc} は $F_{r2}=0.3\sim0.7$ の範囲でばらつきが見られるものの, F_{r2} の違いによる特定の変化傾向は認められない. また, θ が大きくなるにつれて, f_{qc} の分布は上方に移動する. $\theta=12.5^\circ$ の時, f_{qc} ($=0.0\sim0.2$) は最小となり, $\theta=75^\circ$ の時, f_{qc} ($=0.2\sim0.4$) は最大となる.

3.2 縮小角度 θ と漸縮係数 f_{qc} の関係 図-2 は, θ と f_{qc} の関係を示す. 図中には, 図-1 にて示した θ 毎の f_{qc} の算術平均値を示す. 水路幅縮小比 $B_2/B_1=0.5$ の場合における f_{qc} は, $\theta=12.5^\circ$ の時, $f_{qc}=0.08$ となり, θ が大きくなるにつれて増大し,

$\theta=75^\circ$ の時, $f_{qc}=0.30$ となった. θ と f_{qc} の関係から, 多項式近似を行った結果, 高い相関 ($R^2=0.91$) が得られた. また, $B_2/B_1=0.7$ の場合における f_{qc} は, $\theta=75^\circ$ の時, $f_{qc}=0.12$ であり, $B_2/B_1=0.5$ の場合 ($f_{qc}=0.30$) と比べると f_{qc} は 0.18 低下し, B_2/B_1 が大きくなることによる f_{qc} の減少が見られた. $B_2/B_1=0.7$ の場合でも, 実験ケースは少ないものの多項式近似により θ - f_{qc} 間で高い相関 ($R^2=0.72$) が得られた. 以上の結果から, 両近似曲線の差異が f_{qc} に及ぼす B_2/B_1 の一般的な影響を表すと考え, その影響は $\theta=90^\circ$ で最大となり, $\theta=12.5^\circ$ では極めて小さく, θ が拡大するほど B_2/B_1 の影響が大きいことが分かった.

Hinds(1928)によれば, 水路幅の縮小に伴う形状損失を小さくするために, 縮小角度 θ は最大で 12.5° とし, その時の漸縮係数 f_{qc} は 0.1 とすることが提唱されている. 本研究では, $B_2/B_1=0.7$ の f_{qc} は, $\theta=75^\circ$ のように大きい場合であっても $f_{qc}=0.12$ であった (図-2). 図-2 より, B_2/B_1 が大きくなるほど f_{qc} は小さくなる傾向を示すことから, 水路改修を行う際, 少なくとも B_2/B_1 が 0.7 以上の場合には, $f_{qc}=0.1$ 程度を見込むことが適当であると考え.

また, f_{qc} にはばらつきが有るため, 図-2 にて示した近似式を用いて設計を行うと, 危険側での f_{qc} の評価を行うおそれがある. そのため, 近似式は, 設計を行う上での参考という位置付けとなるが, 設計の一助となるものと考え.

【参考文献】 1) 藤山ら (2016): 農業用水路における漸縮係数に関する実験的研究, 土木学会論文集 B1, Vol.72, No.4, pp.I_547-I_552. 2) Hinds, J. (1928): The Hydraulic design of flume and siphon transitions, Trans. ASCE, Vol.92, pp.1423-1459.

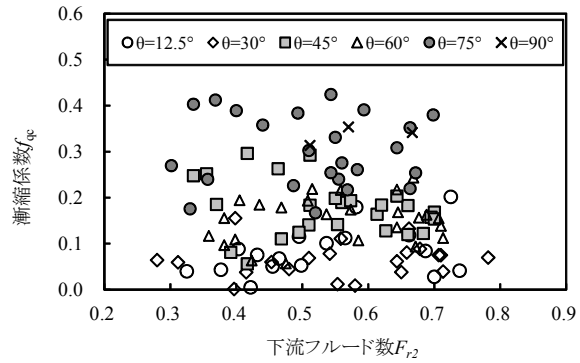


図-1 下流フルード数 F_{r2} と漸縮係数 f_{qc} の関係 ($B_2/B_1=0.5$)

Relation between downstream Froude number F_{r2} and coefficient f_{qc} of conversion loss

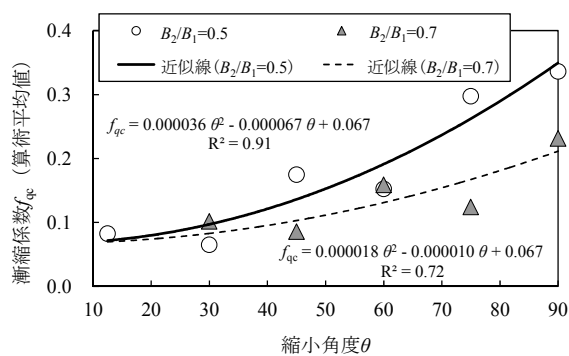


図-2 縮小角度 θ と漸縮係数 f_{qc} の関係

Relation between reduction-angle θ and coefficient f_{qc} of conversion loss