

広島大学工学部

名倉宏之

大学院

○ 渡辺英正

著者らは、従来より水門の流出機構に及ぼす形状要素の影響を統一的に把握するための研究をおこなってきたが、本研究はその一環として、リップ・エクステンションの影響について理論的、実験的な検討をおこなったものである。

1. 水門形状のモデル化

水平床面に設置された水門からの流出量、あるいは水門に作用する流体力の特性は、縮流係数の特性を知ることでほぼ説明される。

リップ・エクステンションを有する水門の縮流係数を求めるにあたっては、水門の形状を下記のようにもデル化する。リップ・エクステンション(BC部)を有する水門の本質としては、一般に図

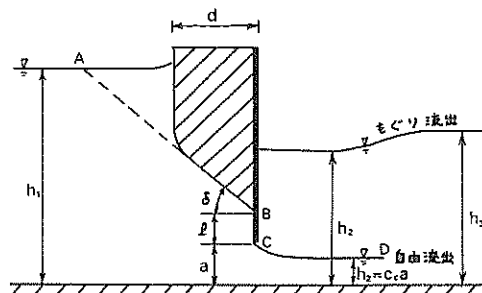


図1. リップ・エクステンションを有する水門

1の斜線で示されるような形状のものが多い。リップ・エクステンションがない場合のこのような水門の縮流係数は、水門の厚さ d が十分大きい場合には、実用上底面傾斜角の等しい傾斜水門(ABで示されている)に対するものとはほぼ一致するとみなされる。そこで理論解析においては、モデル水門として図のABで示される傾斜水門の流出端に、BCで示される鉛直リップを有する水門を取り扱う。なお水門の厚さ d の影響については、実験的に考察する。

2. 解析法および解析結果

2.1 縮流係数

理論解析においては、下記の仮定をおこなう。
 (1) 流れは2次元ポテンシャル流である。
 (2) 上流水面は水平である。
 (3) 流出後は図1のCDで示されるような流速一定の自由流線が形成される。
 以上の仮定を用いると、不連続流の解析は与えるLevi-Civitaの方法によって、下記の式が得られる。

$$C_c = \frac{1}{(a/h_1)} \left(\frac{1 - \sin \theta_A}{1 + \sin \theta_A} \right)^{\frac{\delta}{2}} \left(\frac{1 + \sin \theta_B}{1 - \sin \theta_B} \right)^{\left(\frac{\delta}{2} - \frac{1}{2} \right)} \quad (1)$$

$$\frac{l}{a} = \frac{2 C_c}{\pi} \int_0^{\theta_0} \left(\frac{\sin \theta_A + \sin \theta}{\sin \theta_A - \sin \theta} \right)^{\frac{\delta}{2}} \left(\frac{\sin \theta_B + \sin \theta}{\sin \theta_B - \sin \theta} \right)^{\left(\frac{\delta}{2} - \frac{1}{2} \right)} \tan \theta \, d\theta \quad (2)$$

$$\frac{l}{a} = \frac{1}{(a/h_1)} - 1$$

$$-2 C_c \sin \delta \frac{1}{\pi} \int_0^{\theta_0} \left(\frac{\sin \theta_A + \sin \theta}{\sin \theta_A - \sin \theta} \right)^{\frac{\delta}{2}} \left(\frac{\sin \theta_B + \sin \theta}{\sin \theta_B - \sin \theta} \right)^{\left(\frac{\delta}{2} - \frac{1}{2} \right)} \tan \theta \, d\theta \quad (3)$$

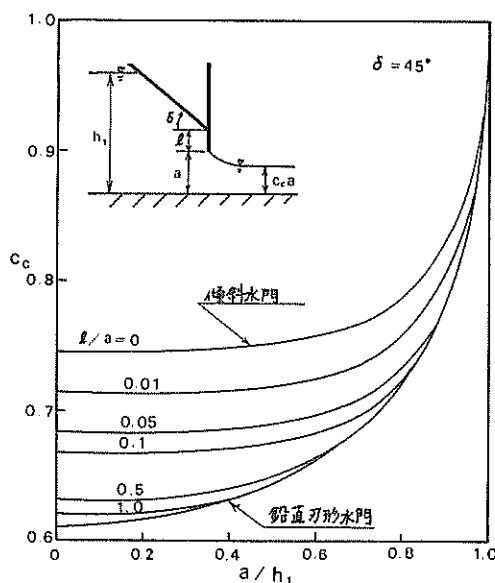


図2. 縮流係数 ($\delta = 45^\circ$)

ここに、 C_c : 縮流係数、 l : リップエクステンションの長さ、 a : 木門の開き高、 δ : 木門底面の傾斜角(図の方向を正とする)、 h_1 : 上流水深、 σ_A, σ_B : 補助平面における点Aおよび点Bの値($0 \leq \sigma_B < \sigma_A \leq \frac{\pi}{2}$)以上の3式より、 η_{A1} 、 η_{A2} および $\omega \delta$ を与えると縮流係数 C_c が求まる。図3は計算結果の一例として、 δ が 45° の場合の縮流係数の値を示したものである。この図において曲線の上限は傾斜木門の値を示し、下限は鉛直刃形木門の値を示している。

2) 流量係数

自由流出時、およびせきり流出時の流量係数は、縮流係数を用いて表わされるが、その誘導についてはここに報告をしたのでここでは省略する。なお理論結果は後に実験値とともに示す。

3) 圧力分布

木門底より木門板上の点までの鉛直距離を y とすると、その点の圧力 P はBernoulliの式を用いて以下のようにあらわされる。これらの式中の σ は圧力を求める点の補助平面における値である。また h_2 は木門板直下流の水深であり、自由流出時には $h_2 = a$ とする。

A B部 ($0 \leq \sigma \leq \sigma_B$)

$$\frac{P}{\rho g a} = \frac{(h_1 - h_2)}{a} \left[1 - \left\{ \left(\frac{\sin \sigma_A - \sin \sigma}{\sin \sigma_A + \sin \sigma} \right)^{\frac{\delta}{\pi}} \left(\frac{\sin \sigma - \sin \sigma_B}{\sin \sigma + \sin \sigma_B} \right)^{\left(\frac{1}{2} - \frac{\delta}{\pi} \right)^2} \right\}^2 \right] + \frac{(h_2 - y)}{a} \quad (4)$$

$$\frac{y}{a} = 1 + \frac{l}{a} + \frac{2 C_c \sin \delta}{\pi} \int_{\sigma_B}^{\sigma} \left(\frac{\sin \sigma_A + \sin \sigma}{\sin \sigma_A - \sin \sigma} \right)^{\frac{\delta}{\pi}} \left(\frac{\sin \sigma - \sin \sigma_B}{\sin \sigma + \sin \sigma_B} \right)^{\left(\frac{1}{2} - \frac{\delta}{\pi} \right)} \tan \sigma \, d\sigma \quad (5)$$

B C部 ($0 \leq \sigma \leq \sigma_B$)

$$\frac{P}{\rho g a} = \frac{(h_1 - h_2)}{a} \left[1 - \left\{ \left(\frac{\sin \sigma_A - \sin \sigma}{\sin \sigma_A + \sin \sigma} \right)^{\frac{\delta}{\pi}} \left(\frac{\sin \sigma - \sin \sigma_B}{\sin \sigma + \sin \sigma_B} \right)^{\left(\frac{1}{2} - \frac{\delta}{\pi} \right)^2} \right\}^2 \right] + \frac{(h_2 - y)}{a} \quad (6)$$

$$\frac{y}{a} = 1 + \frac{2 C_c}{\pi} \int_0^{\sigma} \left(\frac{\sin \sigma_A + \sin \sigma}{\sin \sigma_A - \sin \sigma} \right)^{\frac{\delta}{\pi}} \left(\frac{\sin \sigma - \sin \sigma_B}{\sin \sigma + \sin \sigma_B} \right)^{\left(\frac{1}{2} - \frac{\delta}{\pi} \right)} \tan \sigma \, d\sigma \quad (7)$$

これらの式を用いて計算した結果は後に実験値とともに示す。

3. 実験装置および実験方法

実験には、幅40cm、高さ60cm、長さ10mのアクリライト製水平直線水路を使用した。木門としては、アクリライト製の傾斜部($\delta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$)にステンレス製の鉛直リップ($l = 3 \sim 60\text{mm}$)を取り付けたものを用いた。木門の開き高は6.0cmとした。圧力は、木門板に内径2mmの銅パイプを取り付け、それとビニールチューブで接続されたマノメーターを用いて測定した。

4. 実験結果とその考察

1) 縮流係数

図3は縮流係数の実験結果の一例である。理論解析で得られた縮流係数の値(たとえば図2)には、重力の影響が考慮されていないため、絶対的の値は実験値と一致しないことが予想される。この図では重力の影響を除去し、リップの長さの影響を明確にするため、横軸には η_A 、縦軸には $(C_c - C_c(90^\circ)) / (C_c(45^\circ) - C_c(90^\circ))$ をとっている。ここに $C_c(90^\circ)$ および $C_c(45^\circ)$ はそれぞれ鉛直刃形木門、および 45° の傾斜木門の縮流係数の値である。図中の実線は理論値であるが、実験値の傾向とよく一致していることがわかる。またリップエクステンションを施すことにより、縮流係数は傾斜木門の値よりさらに減少し、 η_A が1.0

程度になるとほとんど鉛直刃形水門の値に等しくなることがわかる。

2) 流量係数

図4は自由流出時の流量係数を縮流係数の場合と同様の方法で整理したものである。流量係数の理論値は $C = C_c / \sqrt{1 + C_c a / h_1}$ として計算し、実験値は $C = Q / ba \sqrt{2g h_1}$ として得たものである。ここに b は水路幅である。この図より実験値と理論値はよく一致している。またリップエクスパンションの流量係数に及ぼす影響は、縮流係数の場合と同様な傾向を示していることがわかる。なおもぐり流出時の流量係数については、縮流係数の理論値を用いて計算した結果が実験値とよく一致した。(詳細は講演時に出べる。)

3) 水門の厚さ d の影響

前項までは、ここに述べたモデル水門に対する理論および実験の結果であるが、ここでは水門の厚さ d を考慮した場合にその影響がどの程度

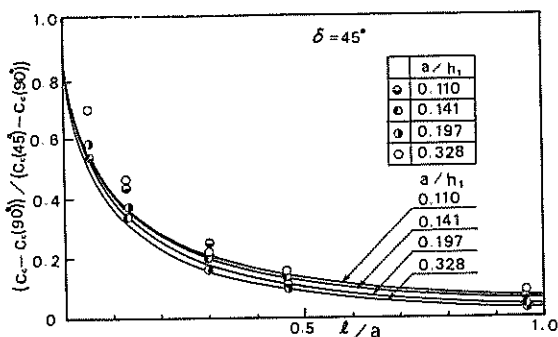


図3. 縮流係数

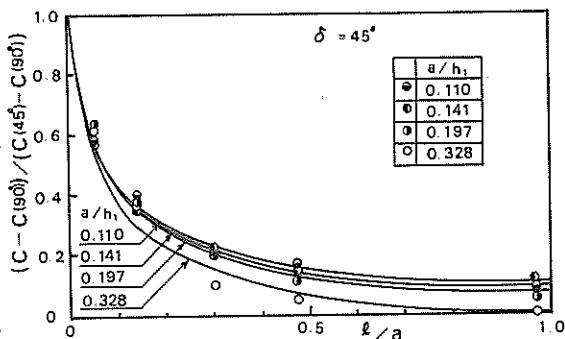


図4. 流量係数

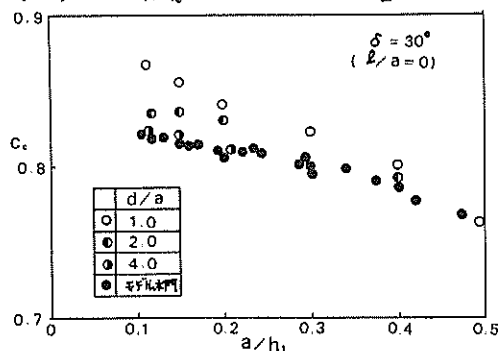


図5. 縮流係数 ($l/a=0$)

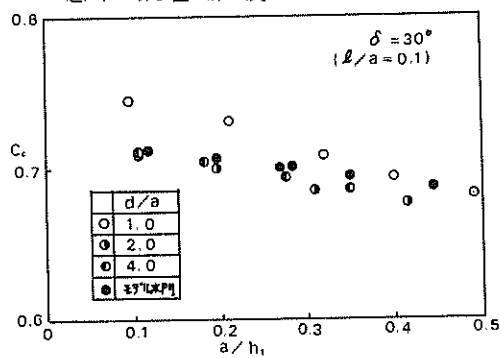


図6. 縮流係数 ($l/a=0.1$)

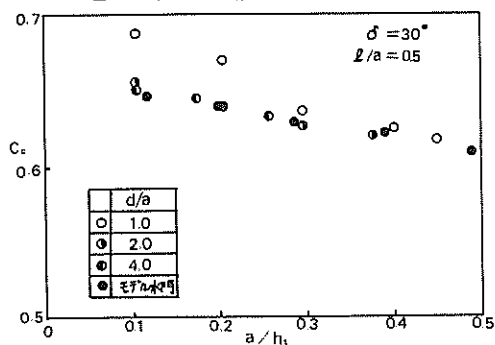


図7. 縮流係数 ($l/a=0.5$)

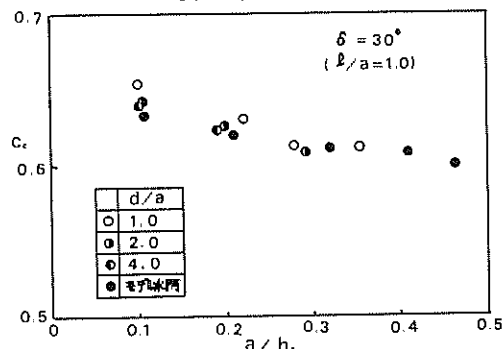


図8. 縮流係数 ($l/a=1.0$)

度であるが、縮流係数の実験結果を用いて検討する。図5, 6, 7および8は、 δ が 30° の場合において、 l/a が0, 0.1, 0.5, 1.0の場合の縮流係数の実験値を示したものである。各図において、 l/a が1.0, 2.0および4.0の場合の値がモデル水門の値と比較されている。これらの図によると、 l/a が4.0以上になると、この値に対してほぼモデル水門の値に一致することになる。なお、 δ が 45° および 60° の場合には、水門の厚さの影響は、 δ が 30° の場合に較べて少なくなることは、傾斜底水門の実験結果より推定される。²⁾

4) 圧力分布

図9および図10は自由流出時の傾斜部および鉛直リップ部の圧力分布を示したものであり、図11および図12はせきり流出時のものを示している。これらの図は圧力分布の一例であるが、他の実験条件の場合もほぼこれらと同様であり、理論値と実験値はよく一致することを示している。

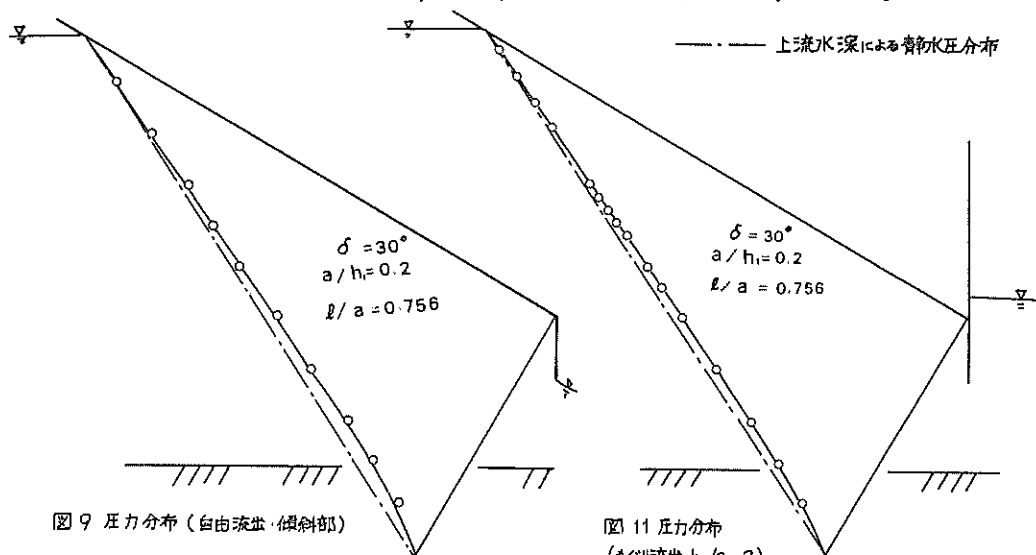


図9 圧力分布 (自由流出・傾斜部)

図11 圧力分布
(せきり流出 $h_2/a = 2$)

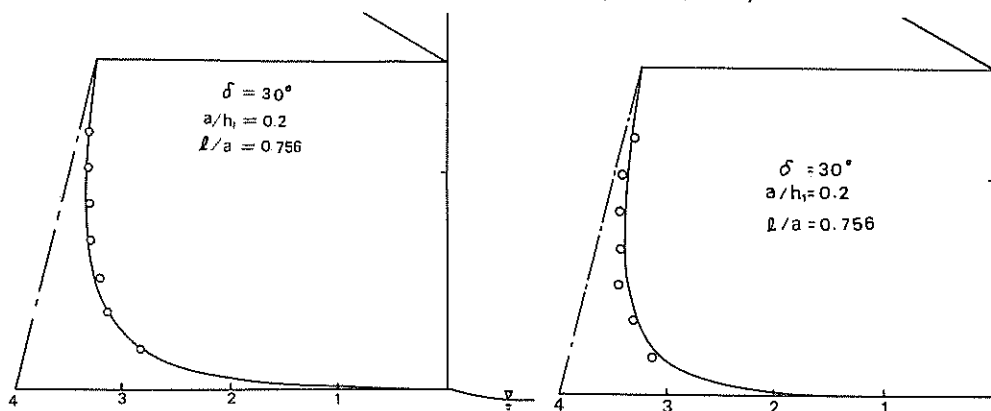


図10 圧力分布 (自由流出・リップ部)

図12 圧力分布 (せきり流出 $h_2/a = 2$)

参考文献

1) 石合宏之: 傾斜底水門の縮流係数の理論解, 土木工学部研究報告, 第19巻第1冊, 昭45年10月
2) 石合宏之, 根原圭司, 楠喜我: 傾斜底水門の流出係数について, 第23回中四支部年講, 昭46年5月