

岡山大学工学部 正 員 名合 宏之
 岡山大学工学部 正 員 前野 詩朗
 岡山大学工学部 学生員 ○山田 賢三
 (株)駒井鉄工所 正 員 太田 勝

1. まえがき ゲートに作用する流体力特性に関する研究は、従来より、個々の実用水門に対する模型実験的なものが多く、一般的な取り扱いがなされていないために研究成果の実際への適用は限られている。とくに、越流型フラップゲートに関する研究はほとんどなされていないようであり、実際の水門設計に対しても、作用する流体力に関する確立された設計指針がないのが現状である。ところが、越流型フラップゲートは水位・流量制御が比較的簡単であるという利点があり、近年において、多く設置されるようになってきた。そこで、本研究では、越流型フラップゲートに作用する流体力特性を解明するための基礎として、2次元ポテンシャル流を仮定した理論解析および水理模型実験を行ない、比較検討したものである。

2. 理論解析方法 図1はフラップゲートの流出モデルである。実際現象においては重力の影響を受けるためナップは図中の点線で示されるようになるが、ゲート板上の圧力分布を近似的に求めようとする現問題では、実線で示されるナップ形状、すなわち、重力の影響を無視した2次元ポテンシャル流を仮定して解析する。ゲート板上の任意の点Pに作用する圧力を p とすれば以下に示すエネルギー方程式および連続の式が得られる。

$$H_0 = H_1 + v_A^2/2g = y + p/\rho g + v_P^2/2g = D + v_C^2/2g \quad \text{---(1)}$$

$$v_A H_1 = v_C C_c (H_1 - D) \quad \text{---(2)}$$

式(1)および式(2)を p について解けば次式が得られる。

$$\frac{p}{\rho g D} = \frac{D-y}{D} + \left\{ \left(\frac{H_1-D}{D} \right) (1-q^2) \right\} / \left\{ 1 - C_c^2 \left(\frac{H_1-D}{H_1} \right)^2 \right\} \quad \text{---(3)}$$

ここに、 $q = v_P/v_C$ である。上式において、点Pにおける流速 q ($v_C = 1$ とする) が与えられれば圧力が求まるわけである。流速 q は等角写像の方法により求めることができる。すなわち、図1のZ平面对応する複素ポテンシャル平面(W平面)は図2に示されるとおりであり、このW平面の帯状領域は図3に示される補助平面(ζ 平面、 $\zeta = re^{i\sigma}$)の半径1の4分の1円内につぎの関係によって写像される。

$$w = -\frac{2C_c(H_1-D)}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{1}{2}(\zeta + \zeta^{-1})\right) + iC_c(H_1-D)$$

ここで次式で定義される関数を導入する。

$$dw/dz = -u + iv = -e^{i\omega}, \quad \omega = \theta + i\tau \quad \text{---(4)}$$

ここに、 u, v は水平および鉛直方向の流速成分であり、 θ は流れの方向を表わしており、合速度の大きさ q は e^τ で表わされる。結局、このようにして導入された関数 ω を ζ 平面の4分の1円内で決定し、ゲート板が円周上の点に対応することを考慮し、 q, y および C_c を求め、その結果を用いると式(3)は次のようになる。(式の誘導の詳細は参考文献参照)

$$\frac{p}{\rho g D} = \frac{2C_c(H_1/D-1)\sin\delta}{\pi} \int_0^\sigma \left(\frac{\sin\sigma_1 + \sin\sigma}{\sin\sigma_1 - \sin\sigma} \right)^{\delta/\pi} \cdot \tan\sigma \, ds + I(H_1) \left\{ 1 - \left(\frac{\sin\sigma_1 - \sin\sigma}{\sin\sigma_1 + \sin\sigma} \right)^{2\delta/\pi} \right\} \quad \text{---(5)}$$

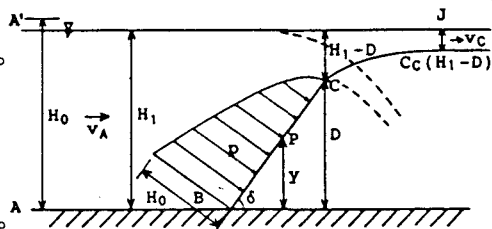


図1 流出モデル (Z平面)

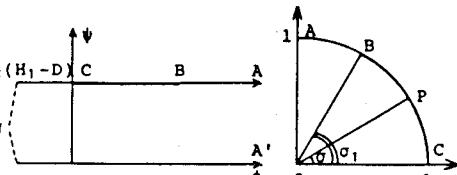


図2 W平面

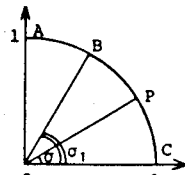


図3 ζ平面

$$\text{ここに, } I(H_1) = \left(\frac{H_1 - D}{D} \right) \left(1 - C_c^2 \left(\frac{H_1 - D}{H_1} \right)^2 \right), \quad C_c = \frac{H_1}{H_1 - D} \left(\frac{1 + \sin \sigma_1}{1 - \sin \sigma_1} \right)^{-\delta/4}$$

また, σ_1 は点 B に対応する α 平面上の偏角であり, つぎの関係式を満足するものである。

$$\frac{D}{\sin \delta} = \frac{2C_c(H_1 - D)}{\pi} \int_0^{\sigma_1} \frac{(\sin \sigma_1 + \sin s)^{\delta/4}}{(\sin \sigma_1 - \sin s)^{\delta/4}} \tan s \cdot ds$$

3. 実験方法 実験は, 長さ 16.0 m, 幅 0.6 m, 深さ 0.4 m の水平直線水路の下流端から 4.25 m の位置にフラップ長 0.2 m のアクリライト製のフラップゲートを設置して行なった。また, 圧力の測定はゲート中央部に銅パイプを取り付け, ビニールチューブを通してマンメータに接続して水柱の高さを読みとる方法で行なった。なお実験においては, ゲート傾斜角 δ を 15° から 45° まで 5° ずつ変化させ, 理論においては $\delta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ について解析した。

4. 結果および考察 図 4 は, ゲート傾斜角 45° の場合の圧力分布である。 $(H_1 - D)/H_1$ を変化させて図示している。図中の点線はゲート下端部における水圧を H_0 とした場合の静水圧分布を示し, 実線は理論値を示している。

また, 実験値は記号でプロットしている。この図より, $(H_1 - D)/H_1$ が小さい場合は理論値と実験値はよく一致しているが, $(H_1 - D)/H_1$ が大きくなるほど, 実験値はゲート下部で理論値より小さく, ゲート上部では理論値より大きくなっているのがわかる。同様に, 図 5 はゲート傾度 15° の場合の圧力分布を図示している。この図も図 4 と同様な傾向を示しているのがわかる。このように, $(H_1 - D)/H_1$ (越流水深)

が大きくなるほど, 理論値と実験値が一致しなくなること, 上流水深 H_1 に対する速度水頭の比が大きくなるためと考えられる。すなわち, ゲート下端部において理論では流速を 0 としているが実験では 0 となっていないこと, また, ゲート上部ではゲート板表面に沿う流れの速度が重力の影響により理論値より実験値のほうが小さくなっているためと考えられる。つぎに, 図 4 は静水圧状態とした場合のゲートに作用する全圧力の値を F_0 , 理論値および実験値による全圧力の値を F_d とし, それらの比 F_d/F_0 と $(H_1 - D)/H_1$ との関係を, 理論値は実線で, 実験値は記号で示している。この図より, $(H_1 - D)/H_1$ が大きくなるほど F_d/F_0 は小さくなっている。ゲート傾斜角でみると, 30° および 45° では比較的良好に理論値と実験値は一致している。図 5 は,

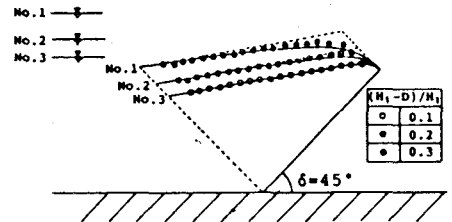


図 4 圧力分布と $(H_1 - D)/H_1$ の関係

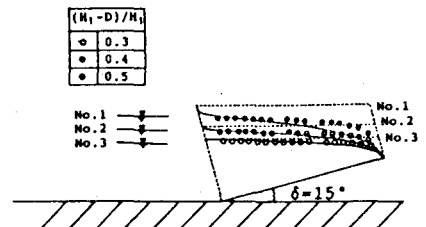


図 5 圧力分布と $(H_1 - D)/H_1$ の関係

水路底から圧力中心までの鉛直距離を L とした場合の L/D について示したものである。この図より, $(H_1 - D)/H_1$ が大きくなるほど L/D も大きくなることがわかる。また, $(H_1 - D)/H_1$ が小さい場合は理論値と実験値はほぼ一致しているが, 大きくなるほど実験値のほうが理論値よりも大きくなるのがわかる。このことは, 圧力分布図のところでも説明したように, ゲート上部での理論値と実験値との圧力差が影響しているものと考えられる。

参考文献

名合宏之: 開水路底流型水門の流出機構に関する水理学的研究, 京都大学学位論文, 昭和 47 年 8 月

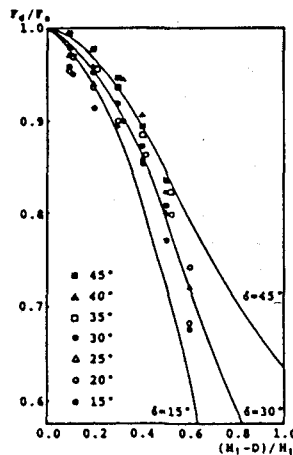


図 6 ゲートに作用する全圧力

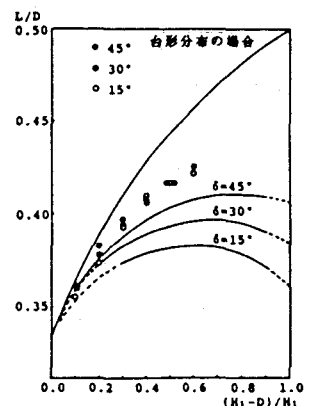


図 7 圧力中心の位置