

Gate 流出量の理論的算定

和歌山工業高等専門学校 正員 の 田 中 光
和歌山工業高等専門学校 正員 小 池 一 臣

I ま え が き

Gate やせきの解析は流量と水面形の同時決定という難題のため、従来水理学上の一つの盲点となっており、参考書などでも理論的説明は殆ど省略されている。本文は水面形を使わずに水門からの流出を常流と射流の関係としてとらへ、常流から射流への遷移ではエネルギー損失のない代りに比力の減少があり、逆に射流から常流へでは比力が等しくエネルギーの損失をとまなうという特性⁽¹⁾の応用として、水門流出に対してエネルギー および運動量(比力)の連立方程式をたて、縮流係数を考えずに直接に流出量を求めるものである。

II 自由流出；(図-1) 水門から上流を常流水深、下流は射流の対応水深、接近流速は平均流速として、底面摩擦を無視した水平水路において1次元解析を行なう

$$\text{エネルギー式} \quad E = h_1 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{h_1} \right)^2 = h_e + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{h_e} \right)^2 \quad (1)$$

$$\text{比力式} \quad F = \frac{h_1^2}{2} + \frac{Q^2}{g h_1} = \frac{h_e^2}{2} + \frac{Q^2}{g h_e} + \frac{P}{w} \quad (2)$$

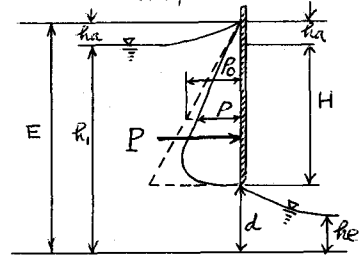


図-1 自由流出

h_1 : 常流水深, h_e : 射流水深, Q : 単位巾流量
 P は水門板に働く力で、a) 基本力として常流水位における静水圧力。補足力としては b) 接近水頭による圧力増 c) 2次元ポテンシャル流としたときの水門板面に沿つての下降流速による圧力減を総合した水平力とする。上記の(b), (c) はともに

Q の関数として示しうる。(なお底面摩擦力および損失なども Q の関数として上2式に追加しうる)。式(1), (2)において h_1 を既知(測定値)とすれば、任意の P に対して Q と h_e は求まるはずである。したがつて常流水位に対する静水圧力 P を求め、 Q を出し、その Q に対して P を逐次補正すれば正しい P, Q, h_e は求まる。一般的には Q による P の変化は小さいので、本文では略算的に流線網図を参考にして図-2のような等流速線網を仮定した。ある等流速線を BCD とし、 BC は開き d の中点 A を中心とする4分円弧、 CD は $\frac{d}{2}$ とすると

$$\text{連続式から} \quad Q = v(BC + CD) = v \left\{ \frac{\pi}{2} \left(Z - \frac{d}{2} \right) + \frac{d}{2} \right\}$$

$$\text{ベルヌーイ式から} \quad E = \frac{v^2}{2g} + Z + \frac{P}{w} = Z + \frac{P}{w} \quad (\text{左側})$$

$$\text{し} \quad P \neq P_0 \text{ は分布圧力) 故に} \quad P = \int_a^E P dz = \int_a^E P_0 dz - \frac{w}{2g} \int_a^E v^2 dz$$

$$\text{故に} \quad P = P_0 - w Q^2 \left(\frac{0.02527}{d} - \frac{1}{48.36(E - 8.78d)} \right) \quad (\text{単位} m) \quad (3)$$

$$\text{つまり、} \quad P_0 = \frac{w}{2} (H + h_a)^2, \quad E = h_1 + h_a, \quad h_a = \frac{1}{2g} \frac{Q^2}{h_1^2}$$

であり、 Q がわかれば P_0, E は求まり、 P も出る。

III もぐり流出 (自由流出にも適用可能)

従来もぐり流出解析上の難点は出口とベナコントラ

間の縮流状況、エネルギー損失などの扱いであったが、本文では流出量は上流(常流)と出口付

Tanaka Akira, Koike Kozutomi

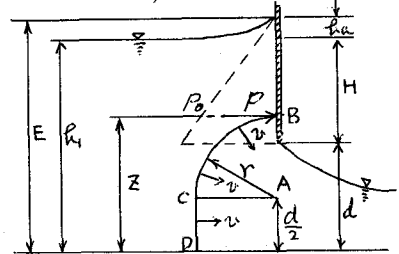


図-2 等流速線略図

近の條件(自由流出のときは大気圧下)によって定まる。

したがって出口における水のたまり深さ h_2 の水圧の代りに、それと等しい空気圧力下にある自由流出に置き代えても流量にはほとんど差がないはずである。よって図-3の[I-II]断面で

$$\text{エネルギー式} \quad E = h_1 + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_1} \right)^2 = h_e + \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{A_e} \right)^2 + (h_2 - d) \quad (4)$$

$$\text{比力式} \quad F = \frac{h_1^2 + \frac{Q^2}{gA_1^2}}{2} = \frac{h_e^2 + \frac{Q^2}{gA_e^2}}{2} + (h_2 - d)d + \frac{P}{W} \quad (5) \quad P \text{は式(3)と同じ}$$

h_e は $W\eta = W(h_2 - d)$ の空気圧力を加えたときの射流水深であり、仮空の水深である。換言すると出口の流速及び圧力分布は複雑なため、出口における比エネルギー、比力の計算を、それらと大きさが等しく、静水圧分布をなすとした仮空の射流対称水深断面において行なう代理計算である。

次に断面[II-III]間においてはエネルギー式は使えず、比力式にあるものとし、水門裏側に作用する静水圧の力 P' を加へ

$$\frac{h_1^2 + \frac{Q^2}{gA_1^2}}{2} + (h_2 - d)d + \frac{(h_2 - d)^2}{2} = \frac{h_e^2 + \frac{Q^2}{gA_e^2}}{2} + \frac{P'}{W} = \frac{(h_2 - d)^2}{2}$$

式(4)、(5)で $h_2 = d$ とおけば自由流出の式(1)、(2)と全く一致し、式(6)ではいわゆる跳水の公式に一致する。したがって式(4)、(5)、(6)と後の(4')、(5')

(7)、(8)はすべて自由流出、まぐり流出、跳水の共通式であり、理論上には任意の h_1 、 h_3 に対し g 、 h_e は決まり、流れは確定出来る。しかし計算上は h_2 をパラメーターとして式(4')、(5')の3次方程式をつくり、各式ごとに g と h_e のグラフを描き、その交点をもつて g 、 h_e を求めるのが便利である。

$$h_e^3 - \left\{ h_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - (h_2 - d) \right\} h_e^2 + \frac{Q^2}{2g} = 0 \quad (4')$$

$$\text{ただし } \alpha = \frac{0.02527}{d} - \frac{1}{48.36E - 8.78d} \quad (\text{単位 } m)$$

$$h_e^3 + \left\{ 2 \left\{ \frac{P'}{W} + (h_2 - d)d \right\} - h_1 - 2 \left(\alpha + \frac{1}{gA_1^2} \right) Q^2 \right\} h_e + \frac{2Q^2}{g} = 0 \quad (5')$$

$$\text{なお式(4')より更に } g = \frac{2\sqrt{2g}}{A_1} \frac{h_1 h_e}{\sqrt{h_1 + h_e}} \sqrt{1 - \frac{h_2 - d}{h_1 - h_e}} \quad (7) \quad \text{流量係数 } C \text{ とせば } Q = C d \sqrt{2g} h_1^{3/2}$$

$$C = \frac{h_e}{d} \sqrt{\frac{h_1}{h_1 + h_e}} \sqrt{1 - \frac{h_2 - d}{h_1 - h_e}} \quad (8)$$

図-4はHenry図表との比較である。まぐり部分における作図は、 d 、 h_1 、 h_2 を与えて g 、 h_e 、 C ならびに h_3 を計算する。次に h_1/d と曲線 h_3/d の交点 $\times$ によりHenryの C を求める。さらに h_1/d と計算で求めた C の値の線の交点を $\odot$ とすれば、両者の差 $\odot \times$ は同じ h_1/d 、 h_3/d に対する C の値のHenryと本計算との違いを示し、全般的には破線のようにある。

IV おおび 以上水門流出口から水面形

を追ってベナコントラクタを出し、流量を求める従来の方式に較べ、本解法は基本的、一般的である上、初等水理学の説明の延長上にあり、かつ摩擦係等の導入も容易なうえ、実験値との適合性もかなり良いので初歩の解説用には好適と考える。

参考文献 (1) 田中光：跳水現象の把握に関する考察(55年度 関西支部講演概要)

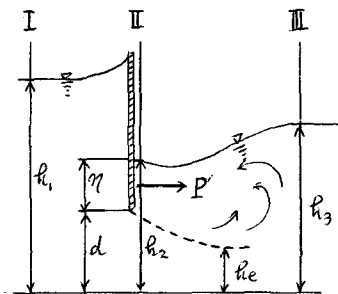


図-3 まぐり流出

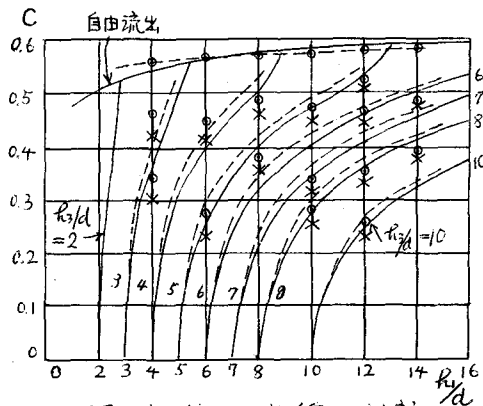


図-4 Henry曲線との比較