

和歌山工業高等専門学校 正員 田中 光

[I] ま え が き 水門をせきからの流出量の算定は本来同種の水理現象であるにも拘らず、実用式と理論解とに水門とせきとでは記述に一貫性を欠き混迷を極めている。その理由は根本的には急変流或は局所流といった水理學上困難な部類に属するので、止むを得ない面もあるが、実用面の重要性を考えると放置は許さぬ事である。本研究の目的はそれらについて精度の高い実用的な統一理論解の開発にある。従来せきからの流出水は急変ながら水面形の連続な流れとして扱われていた。しかし水門をせきが水路の途中に設置された流れに比べて不連続な工作物であつて、マクロ的にはそれらを境として流れは常流から射流状態へと不連続的に急変していることもまた明白な事実である。筆者の研究は後者の見地に立ち、流出口付近の複雑な水理の部分は遷移区間とみなして殆ど見做す、出口から相当距離はなれて流れ(流線)が単純化した上下流の処に検査面を設定し、連続、エネルギー、比力(運動量を特に比力の形で使う)の方程式をたて流量を求める。本報はせきに関してであるが、水門(水平水路上に設けた)との差異は一言でいえば水門では流出水の方向が水平で静水圧分布をなすのに対し、せきでは等圧(大気圧)で降下角を持つという端条件の違いにあざなくなる。前報³⁾では実験値(TIS式代用)との差が多いので、今回はせき上流側の仮定の合理化(連名報告分)とともに、本報では下流ナップ検査面の諸元(米国開拓局ナップ表²⁾ $x/E=1.7$, $y/E=-1.0$, $\cos\theta=0.5812$ の再検討を行なうものである。

[II] ナップ曲線の数式化と特性 下、上のナップをそれぞれ水2次の放物線 $y/E=a(x/E)^2+b(x/E)+c$ $y'/E=a'(x/E)^2+b'(x/E)+c'$ とおき最小2乗法により係数 a, b, c, a', b', c' を求める。 h_a/E の範囲としては実用面を考慮し $0.002, 0.02, 0.04, 0.06$ の4つの場合をとつた。この範囲をとれば、越流水深 H と堰上げ高 h_d の比 H/h_d がそれぞれ $0.123, 0.498, 0.837, 1.182$ にあたり略充分と考える。次にせきからの水平距離 x/E を横軸に、その距離での鉛直断面の厚さを h/E とし、縦軸にとれば $h/E=y/E-y'/E$ であるから図-1のようになる。これによれば h/E は $x/E=0.4 \sim 1.0$ の間は落下と共に順調に減小しているが、2.0付近

に到つて異状なふくらみが現れる。その程度は h/E の3.6%以下と僅かであるが、現象としては明かに異状である。 x/E の $0.4 \sim 1.0$ の間の曲線の整合状態から単なる測定値のバラツキとは考えられず、今後の解明を必要とするが、ここでは解明がないうちに、 $x/E=2.0$ 付近に h/E の極大値が存在することは、そこで下側と上側のナップが平行、したがつて全断面にわたり平行とみなし得る。図-1では縮尺の関係上ふくらみが誇張されて見えるが、実さいは極めて緩やかな曲線をなす。最小2乗法

に使用するデータの範囲としてはSカーブを避け $x/E=1.8, 2.0, 2.2, 2.4$ の4断面をとつた。下、上ナップの平行位置は $dy/dx = dy'/dx$ から $x/E = \frac{b-b'}{2(a-a')}$ となり、その位置での諸元を求めると表-1のようになる。

この表によれば h_a/E の如何に拘らず x, y, y', h などは全般的にはよく近似していることが認められる。このうち流量計算上直接に必要なものは、 y/E と θ であるから、 y/E の値を統一にとり、それに対応する諸元を求めたものが表-2である。なお統一の y/E としては h_a/E の範囲の中間部 $0.02 \sim 0.04$ の間の

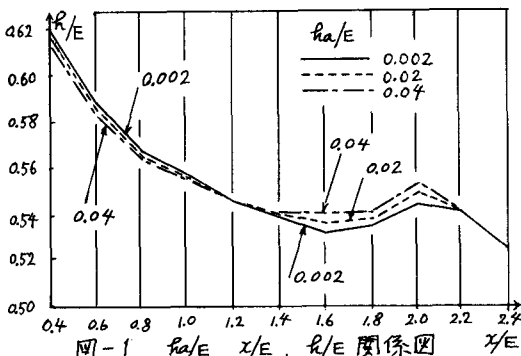


図-1 $h_a/E, x/E, h/E$ 関係図

h_a/E	0.002	0.02	0.04	0.06	備考
x	2.0596	2.0415	2.0259	2.0506	1 は上側ナップを示す
y	-1.5467	-1.5289	-1.5080	-1.5380	
y'	-1.0026	-0.9775	-0.9547	-0.9997	
h	0.5441	0.5514	0.5533	0.5583	
θ	59.67°	59.52°	59.40°	59.66°	下側ナップ角

表-1 下、上ナップ平行位置の諸元

-1.52 をとった。平行位置の近傍なので上と上の $\cos\theta$ の値は殆ど等しく、代表値としては 0.02~0.04 の中間の 0.508 を採用する。

h_a/E	0.002	0.02	0.04	0.06	備考
x	2.0439	2.0362	2.0330	2.0283	$\cos\theta = 0.508$ と決定
$\cos\theta$	0.5077	0.5082	0.5079	0.5089	
$\cos\theta'$	0.5088	0.5086	0.5073	0.5105	
y'	-0.9760	-0.9680	-0.9667	-0.9618	
r	0.5440	0.5514	0.5533	0.5582	

(Ⅲ) 流量計算 $y = -1.52E$, $\cos\theta = 0.508$ を

$$\text{連続の式 } \frac{g}{\sqrt{2g}} = \frac{2}{3} \cos\theta \{ (2E)^{3/2} - (2E - R)^{3/2} \} \dots\dots(1)$$

$$\text{比力の式 } \frac{(H + R_d)^2}{2} + 2(H + R_d)R_d = \frac{P}{W} + \cos^2\theta (4ER - R^2) \dots\dots(2)$$

表-2 $y/E = -1.52$ の諸元

に代入する。ただし上式は $y/E = -1.0$ を前提としているので、ここでは式(1)の $2E$ は $(E + 1.52E) = 2.52E$ に、また式(2)の $4E$, すなわち $(2 \times 2E)$ は $(2 \times 2.52E)$ とおき替えて計算する。

上記の2方程式から求まる g と TIS 公式から求めた g とを比較することにする。ただし筆者らの解法はナツプにおいて一部実験値からの結果をとり入れてはいるものの、基本的には完全流体的な仮定に基いており、フルード相似が可能との見解から、TIS 公式との比較に当たっても TIS 式中縮尺効果の出る項 ($\frac{0.00295}{H}$) と E は除外した。したがって変形した TIS 式は $g = KH^{3/2}$, $K = 1.785 + 0.237 \frac{H}{R_d}$ (1^m 幅で $m^{3/2}$) となる。なお今回の連名報告では死水領域の角度を 71.5° としているが、ナツプ部の修正結果、本報では 72.9° とした。

H^m	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
$g \text{ m}^3/s$	2.0538	1.7264	1.4248	1.1503	0.8996	0.6728	0.4743	0.30447	0.1625
TIS- g	2.022	1.7062	1.4129	1.1426	0.8957	0.6730	0.4755	0.30499	0.1639
$g/\text{TIS-}g$	0.0157	0.0118	0.0084	0.0067	0.0043	-0.0002	-0.0026	-0.00171	-0.0086

表-3 (変形) TIS 式との比較

但し せき上げ高 $R_d = 1.0^m$

H^m	0.1	0.08	0.06	0.04	0.03
$g \text{ m}^3/s$	0.05657	0.04036	0.02616	0.01421	0.00921
TIS- g	0.05719	0.04082	0.02644	0.01435	0.00931
$g/\text{TIS-}g$	-0.01101	-0.0112	-0.0109	-0.0102	-0.0111

表-3 によれば誤差の率は最末端部を除き

ほぼ $\pm 1.0\%$ 程度に収まる。 R_d が 1.0^m 以外の場合は相似率から求まる。例えば $R_d = 0.4^m$, $H = 0.2^m$ の場合は $R_d = 1.0^m$, $H = 0.5^m$ の流量 $0.6728 \text{ m}^3/s$ から

$$g = 0.6728 (\text{TIS では } 0.6730) \times \left(\frac{0.4}{1.0}\right)^{3/2} = 0.1702 \text{ m}^3/s \quad (\text{TIS では } 0.17026 \text{ m}^3/s) \text{ となる。}$$

なお誤差の率は $H = 0.5^m$ のときと変わらない。なお実際の流量との比較では縮尺効果の除外分の補正が必要である。

(Ⅳ) 実用式への発展

以上はナツプ中の条件の単純化した部分における鉛直断面の厚さ R を連続及比力(運動量)の連立高次方程式を解いて求めるものであるが(エネルギー式は $\sqrt{2gH}$ の形式で導入済み)、表-1, 2 によれば、 R 自体が h_a/E の違いに拘らず他の諸元と同様に非常に近似した数値を示していることがわかる。したがって適当な断面を選べば y/E , $\cos\theta$, R/E とともに初めから常数とみなし得る可能性があり、その場合は計算の手順は大幅に簡素化出来るはずである。試算の結果は $y/E = -0.21$, $\cos\theta = 0.785$, $R/E = 0.556$ 位が適当である。以下結果のみを記せば連続の式(1)から(但し $2E$ の代りに $E + 0.21E = 1.21E$ とおく) $g = KE^{3/2} = K(H + R_d)^{3/2}$ が誘導される。ここに K は y/E , $\cos\theta$, R/E から求まり、いわゆる流量係数にあたる。前記数値の場合 $K \div 1.86$ 。この式はフランシス式 $g = 1.84 \{ (H + R_d)^{3/2} - R_d^{3/2} \}$ または $g = 1.84 H^{3/2}$ と形は似ているが内容は全く異なる。また上式の $(H + R_d)^{3/2}$ を展開すれば $g = 1.86 \{ 1 + 0.2647 \left(\frac{H}{H + R_d}\right)^2 + \dots \} H^{3/2} \div 1.86 \{ 1 + 0.3 \left(\frac{H}{H + R_d}\right)^2 \} H^{3/2}$ となり、バザン(或は沖)タイプの形に近づく。レーボック式や TIS タイプとは式の形は非常に異なるが、流量計算の結果は上記諸式中最もよく一致し、TIS 式適用の全領域にわたり誤差率は最末端部を除いて $\pm 1.0\%$ 以内に収まる。ただしこの場合の TIS 式は完全な式とする。さきの場合と異なり、今回は実験値(ナツプ部の y/E)を大幅に使用するからであるが、詳細は別の機会にゆずる。(参考文献)(1) 田中: 跳水現象の把握に関する一考察(昭55 関西支部)(2) 田中, 小池: gate 流出量の理論的算定(昭56 関西支部)(3) 田中: 鉛直及びせき越え流量の算定(昭56 全国大会)