

II-10 支配断面の水理とそのフリュームへの適用について

京都大学工学部 正員 岩佐義朗
建設省中部地建 正員 O 上田 治

フリュームによる流量測定法は、各種のせきによるものにくらべて、損失水頭が小さく、また泥でん物の影響を少なくしうるから、上下水道やかんがいなどの分野において有効とされている。いま、フリュームを、流量測定のために断面形状、底こう配といった水路特性の変化部をもち、その流れは漸変流であって、測定すべき流量範囲で常に支配断面があらわれて常流より射流へとせん移し、任意の1点における水深測定によって流量を推定しうるような調節構造物であると定義する。したがって、支配断面における条件として、 x を流下方向の距離とすれば、つぎの関係がえられる。

$$\sin \theta_c (1 + h_c K_c) = \frac{Q^2}{A_c^3} \left\{ \frac{1}{C^2 R_c} - \frac{\alpha}{g A_c} \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_c \right\} \quad \text{----- (1)} \quad \text{および} \quad \cos \theta_c = \frac{\alpha Q^2}{g A_c^3} \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right)_c \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 Q ; 流量、 A ; 流水断面積、 h ; 水深、 R ; 径深、 C ; Chézy の係数、 θ ; 水路底こう配、 K ; 水路底の曲率半径、 α ; Coriolis のエネルギー係数、 g ; 重力加速度、添字 c は支配断面における値を示す。あるいは、(1)式を(2)式でわって、 $\tan \theta_c = i_c$ とおくと

$$i_c (1 + h_c K_c) = \left\{ \frac{g A_c}{\alpha C^2 R_c} - \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_c \right\} / \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right)_c \quad \text{----- (3)}$$

となる。特異点の理論によれば、上式で与えられる支配断面における自由表面の位置は鞍形点でなければならない。

新しくモデルを開発する場合、もっとも計測の行ないやすいものとして、支配断面の位置が流量のいかんにかかわらず一定となるもの、あるいはフリューム内の流れを常に等流状態にしうるものが考えられる。著者らは、もっとも基本的な場合として、長方形断面で幅のみが変化するフリュームをとりあげ、考察をすすめた。この場合、(3)式は

$$i_c + m_c \lambda_c = \frac{g n^2}{\alpha} \cdot \frac{(1 + 2 \lambda_c)^{4/3}}{h_c^{4/3}} \quad \text{----- (4)}$$

となる。ここに、水路幅を B 、 $\lambda = h/B$ 、 $m = dB/dx$ としており、抵抗則として Manning の粗度係数 n を用いている。

i) 支配断面の位置が近似的に一定となるフリューム

$m_c/i_c = P$ において (4)式を書きなおすと

$$\frac{g n^2}{\alpha} \cdot \left(\frac{1}{i_c B_c^{1/3}} \right) = \frac{(1 + P \lambda_c) \lambda_c^{1/3}}{(1 + 2 \lambda_c)^{4/3}} \quad \text{----- (5)}$$

となる。上式の右辺を $G(\lambda)$ とおき、 λ_c の変化に対する $G(\lambda)$ の挙動をみると 図-1 のようである。図-1 よりわかるように、 $P=1$ としたとき、 λ_c が 0.25~1.0 の範囲では、 $G(\lambda)$ はほぼ一定とみなすことができ、こう配 i_c は一定としているから、(5)式より B_c はほぼ一定となる。いいか

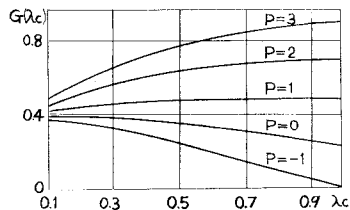


図-1

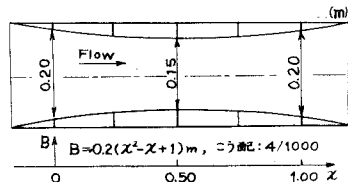


図-2 Model I フリューム平面図

えれば、幅と幅の変化率および底こう配の適当な値を組み合わせることにより、支配断面の生じる位置が、ある流量範囲では、ほぼ一定となるフリュームが作られることになる。

こうしたフリュームの一例として、幅の変化が $B=0.2(X^2-X+1)m$ で与えられるようなモデル(図-2)を実際に製作し、実験を行なって理論と検討した。(擬似)等流水深、限界水深および水面形の各曲線を求めると図-3のようである。ここに、 $\alpha=1.0$ 、 $n=0.01$ 、 $g=9.8m/sec^2$ としている。図-3より支配断面の位置は $X=50.95cm$ であることがわかる。この点における水深と流量の関係は、(2)式により容易に求められる。理論値と実測値を示したものが図-4であるが、かなりよく一致している。また水面形状についても同様のことがいえ、任意の断面における水深の一定計測により、流量を十分な精度で推定できることがわかった。

ii) 水面形曲線が(擬似)等流水深曲線に一致するフリューム
こうしたフリュームが存在するためには、特異点の理論より、支配断面において(4)式および次式を満足しなければならない。

$$\frac{2(3+10\lambda_c)}{3(1+2\lambda_c)} i_c m_c + \frac{(2\lambda_c-3)\lambda_c}{3(1+2\lambda_c)} m_c^2 + h_c \left(\frac{dm}{dx} \right)_c = 0, \quad m_c < 0, i_c > 0 \quad \text{-----(6)}$$

(4)および(6)式により数値計算を行なった結果のひとつを用いてモデル(図-5)を製作し、実験により理論の妥当性を検討した。(擬似)等流水深曲線(水面形曲線と一致)および限界水深曲線は、図-6のようであり、流量の変化に対する支配断面の位置変動が大きいことがわかる。また例として $X=10cm$ における水深と流量の関係を示すと図-7のようである。この種のフリュームは、水深流量曲線がどの断面でも同一であることが特長であるが、測定流量範囲を大きくするとフリュームが長くなるのが欠点となる。したがって、この種のものは特殊の用途に限られよう。

以上、二つのモデルについて理論解析および実験結果を示したが、さらに検討をすすめ、もっとも好ましいフリュームを得るために努力したいと思っている。

参考文献：岩佐・上田「流量測定用フリュームについて」

第8回水理講演会講演集 1963, 10.

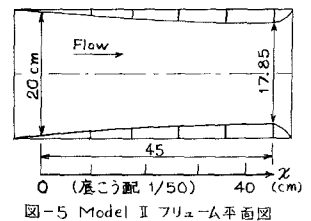
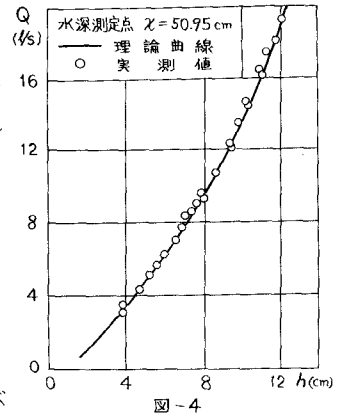
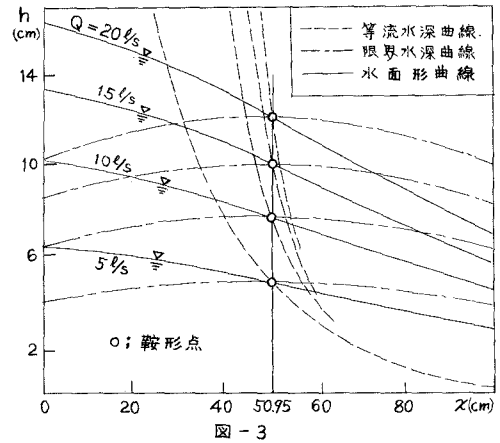


図-5 Model II フリューム平面図

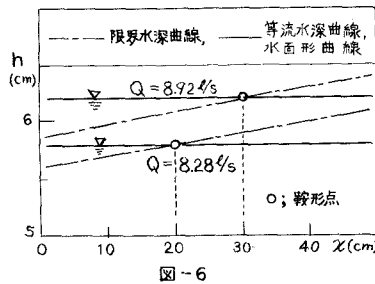


図-6

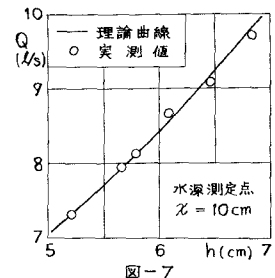


図-7