

(6) フリュームによる流量測定法について

京都大学工学部 正員 岩佐義朗
公 成 社 正員 絹川 定

支配構造物による流量測定は、水深を一実で測ればよいから、古くよりしばしば用いられてきた。これらの構造物のなかで、フロームは高水頭を要しないから、欧米諸国では灌漑用水路などに広く使用されている。こうした実例として、Parshall, Inglis,あるいは de Marchi のフロームがあり、それらの規格はすでに標準化されている。

フロームによって流量を測定する場合、その流量に対してフロームは支配構造物として分類されなければならない。すなわち、支配断面があらわれることが必要である。一般に、フローム内の水流は漸変流であるから、圧力分布も近似的に静水圧とみなされ、したがって、境界面抵抗の表式に便利な運動量方程式を用いると、水面形状は次式によってあらわしてよい。

$$\frac{dh}{dx} = \left\{ g \sin \theta - \frac{\tau}{\rho g R} + \frac{\rho Q^2}{g A^2} \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right) \right\} / \left\{ g \cos \theta - \frac{\rho Q^2}{g A^3} \left(\frac{\partial A}{\partial h} \right) \right\} = f_1(x, h) / f_2(x, h) \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 x はフロームに沿う距離、 h は水深、 Q は流量、 A は流水断面積、 R は径深、 g は重力の加速度、 θ は傾斜角、 ρ は水の密度、 β は運動量補正係数である。

フロームが支配構造物となるための設計上の必要条件は、(1)式で表わされる水面形方程式に鞍形点があることである。図-1は(1)式で表わされる水流の遷移特性を幅の狭がる水路において実験的に明らかにした一例であって、鞍形点の流量測定法に対する水文学的意義が容易に理解される。すなわち、一定の流量($Q=5.4 \text{ l/sec}$)に対し、下流端水位を5.085cmより高めると、下流側水位の影響が支配断面となる鞍形点を越えて上流側に伝わり、いわゆる Submerged となり、もはや一実測定で流量を決定することができない。これに反して、下流端水位を低下させると、流れは常流より鞍形点を通過して射流に遷移するが、下流端水位の影響によって、上下流側より追跡された水面形が共軛関係になったところで跳水現象がおこり、流れは急激に常流に遷移する。このような状態がフロームにあらわされると、フロームは支配構造物となり、流量は一実測定によって決定される。なお、図には鞍形点の近傍で波動があらわれているが、岩佐は鉛直加速度による効果を導入し、三次の Automonous 方程式の幾何学的性質を解析し、その発生条件を明らかにしている。

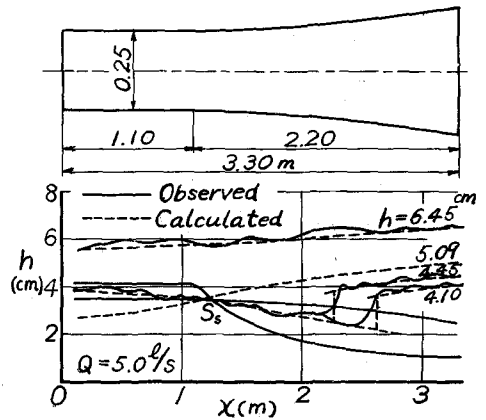


図-1 幅の狭がる水路における遷移特性

ここで跳水現象がおこり、流れは急激に常流に遷移する。このような状態がフロームにあらわされると、フロームは支配構造物となり、流量は一実測定によって決定される。なお、図には鞍形点の近傍で波動があらわれているが、岩佐は鉛直加速度による効果を導入し、三次の Automonous 方程式の幾何学的性質を解析し、その発生条件を明らかにしている。

図-2は同様な実験を木製水路で行った一例と計算結果とあわせて示したものである。この場合、水路の断面形状が折線的に変化しているから、(1)式より厳密には鞍形点の位置を定めることができない。近似的に $f_1(x, h) = 0$ の不連続部が $f_2(x, h) = 0$ と交る点で鞍形点

生じると仮定して計算を進めているが、両者は限界水深の近傍以外ではよく一致していることがわかる。

図-3は図-2に示したフリュームにおいてParshallが行っている幅の狭まる部分の1/3の断面、すなわち $x=1.4\text{ m}$ の英における実測水位と実験流量の関係を示し、(1)式による計算値と比較したものであって、両者はきわめてよく一致し、水深の一実測定による流量測定が十分の精度で行いうることを示している。しかしながら、水流は非線型的法則に支配されるから、流量が水深の累指数に比例するという関係は、一義的に決定することができない。

これらの実験より、フリューム内の水流が(1)式の数学的性質によって決定されるという遷移流理論の妥当性を明らかにすることができた。

実用に供せられている流量測定用フリュームに対する遷移流特性の応用として、Parshallフリュームについて考察を進めよう。

表 Parshall フリュームによる流量測定

スロート幅 (ft)		1	2	8
流 量 (cfs)		0.8	8.0	32.0
水 深 計 算 (ft)	Parshall (ft)	0.35	1.00	1.00
	計算 (ft)	0.41	1.13	1.06
	水深誤差 (%)	17.1	13.0	6.0
流量誤差 (%)		25.6	19.5	9.0

表はスロート幅が1'、2'および8'というフリュームにそれぞれ0.8、8.0、32.0 cfsの流量を流した場合について、Parshallの実験値と(1)式を用いて計算した結果とを比較したものである。この値が一致しないのは、Parshallフリュームの底勾配が不連続に変化し、また幅の狭まる部分で水平床であるから、計算に用いたManning型の抵抗法則が水流の現象を正しく表現しておらず、したがって鞍形底の位置を近似的に仮定し、(1)式を追跡したからであろう。すなわち、Parshallフリューム内の水流の水理学的特性を数学的に正しく表現すれば、このフリュームの水理学的機能もここに述べた遷移流の水理学的解析法によって十分明らかにすることができるであろう。

最後に本研究を遂行するに当たり、終始御懇切な指導を賜わった石原藤次郎教授に深謝するとともに、本研究は文部省科学研究費によって行ったものであることを付記する。

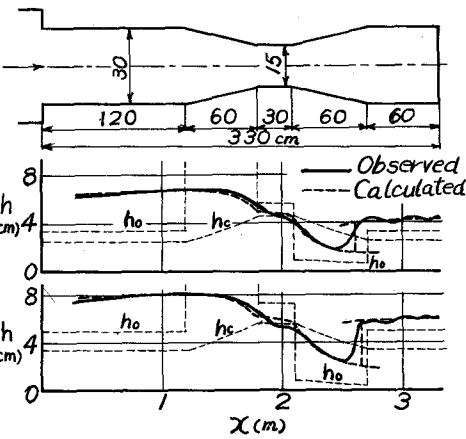


図-2 幅の变化する水路における水面形状

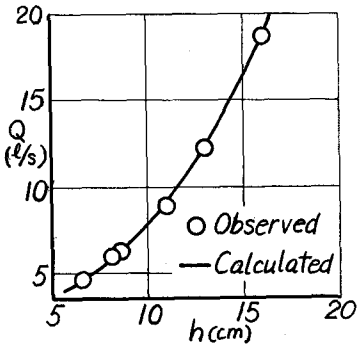


図-3 水深と流量との関係