幅厚堰の流量係数について

石川工業高等専門学校 正員 市本 博

1. はじめに

近年河川の改修計画に伴ない，砂防ダムが随所に建設されその効果は国土保全からみて，きわめて大きいものがある。砂防ダムの正確な流量係数がわかれば経済的な断面を設計することができ，また，洪水時の流量観測も容易になる。刃形堰や越流形堰の流量係数については従来よりかなりの研究がなされているが，砂防ダムのような幅厚堰については若干の研究しかなされておらず，まだ不明確な点が多いのが現状のようである。

砂防ダムは一般に矩形か台形断面が多いので，本研究においてもこれに類似した模型堰を各4種類造り流量係数の水理学的特性について研究を行なった。

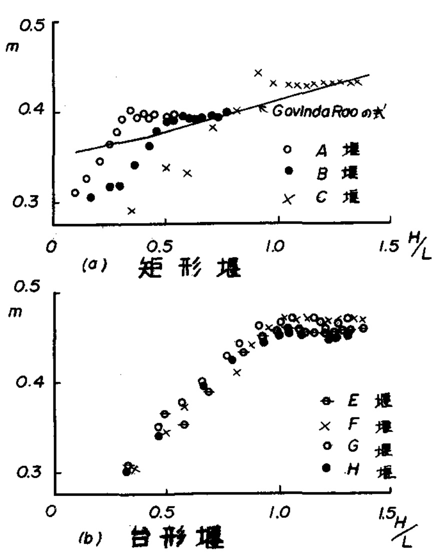
2. 実験装置と模型

鋼製水路（$50\times50\times1800^{cm}$）のほぼ中央部に模型堰を設置し流量の範囲は $2.5\ell/s$ ～ $55\ell/s$ でベンチュリー計で計量した。潜り越流の実験は下流端のゲートで水位を調節し，越流水深及び水面形の測定はポイントゲージを使用，堰上の流速測定にはピトー管を使用した。使用した模型堰は表－1のとおりでD堰のみ両端に半径1.5cmの丸味が付いている。

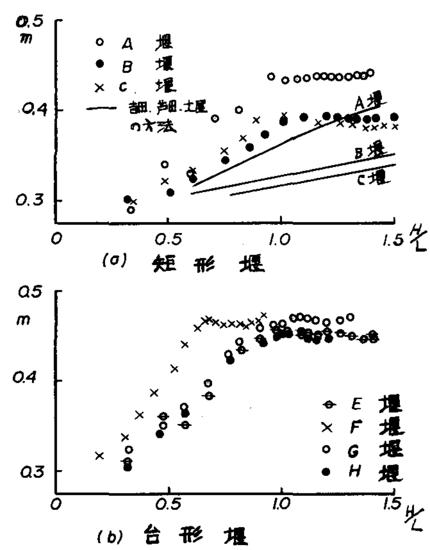
表－1 実験に使用した堰

矩形堰	(L, Hd)		台形堰	(10cm, L′, Hd)	
名称	L	Hd	名称	L′	Hd
A	10 cm	10 cm	E	30 cm	10 cm
B	20	10	F	40	15
C	30	10	G	50	10
D	40	20	H	70	10

3. 完全越流の流量公式



図－1 mとH/Lの関係図



図－2 mとH/Lの関係図

堰上Hなるエネルギーを持つ流れを考えた場合、堰上の越流水深h，越流量Q，越流幅B，重力の加速度をgとすれば

$$H = h + \frac{1}{2g}\left(\frac{Q}{Bh}\right)^2 \text{ ------------------ } (1)$$

で与えられる。Bélangerの法則によれば $h = 2/3\,H$ であり，流量係数をμとして書き直すと

$$Q = 0.385\,\mu BH\sqrt{2gH} \text{ ------------------ } (2)$$

となり，ここで $0.385\mu = m$ とおくと

$$Q = mB\sqrt{2g}\,H^{\frac{3}{2}} \text{ ------------------ } (3)$$

となる。矩形堰（A,B,C），台形堰（E,F,G,H）について流量と越流水深を測定し，(3)式より流量係数mを算出した。流量係数mと堰頂の長さL及び堰の高さH_dがどのような関係にあるかをみるため，mとH/L，mとH/H_dの関係図を図－1と図－2に示した。これより，流量係数mはH/L，H/H_dが大きくなるに従ってほぼ直線的に増加し，ある値以上になるとmは一定値をとるようになる。これらを整理すると表－2のようになる。mが一定となる値は台形堰（F堰のみH_dが異なる）では，0.448～0.467の範囲内であるのに対し，矩形堰ではA堰だけが極端に大きな値となったがB堰，C堰では0.386～0.388で一定となった。

表－2　完全越流の実験結果

		H/Lとの関係	H/Lの適用範囲	H/H_dとの関係	H/H_dの適用範囲	mの一定値
矩形堰	A	$m = 0.258\frac{H}{L} + 0.202$	0.3～0.9	$m = 0.258\frac{H}{H_d} + 0.202$	0.3～0.9	0.438
	B	$= 0.269\frac{H}{L} + 0.284$	0.1～0.5	$= 0.138\frac{H}{H_d} + 0.243$	0.3～1.0	0.388
	C	$= 0.364\frac{H}{L} + 0.269$	0.1～0.3	$= 0.155\frac{H}{H_d} + 0.248$	0.3～1.0	0.386
台形堰	E	$= 0.255\frac{H}{L} + 0.219$	0.3～0.9	$= 0.255\frac{H}{H_d} + 0.219$	0.3～0.9	0.450
	F	$= 0.249\frac{H}{L} + 0.218$	0.3～1.0	$= 0.376\frac{H}{H_d} + 0.228$	0.2～0.7	0.467
	G	$= 0.276\frac{H}{L} + 0.210$	0.3～0.9	$= 0.276\frac{H}{H_d} + 0.210$	0.3～0.9	0.462
	H	$= 0.253\frac{H}{L} + 0.216$	0.3～0.9	$= 0.253\frac{H}{H_d} + 0.216$	0.3～0.9	0.448

Kingの研究によれば広頂堰のmの一定値は0.413，また，Keutnerの実験によれば幅2.0m，堰高0.5mの堰ではmの一定値は0.320となっており，いずれも一致した値とはなっていない。流量係数は堰高及び堰頂幅によってもかなり影響を受けるものと思われるので、このことについて若干検討してみることにした。まず，Govinda Raoが $0 < h/L \leqq 2$ についてmの式を提案しているので図－1の(a)に実線で書き入れてみるとGovinda Raoの式はH/Lが0.4以下ではmが0.35に近似するが，0.4以上では直線的に増加し続け実験値と近い値とはなるが傾向としては一定した値とはならずかなり異なるようである。1つの幅厚堰についてはmをH/Lの関数で表わすのは容易であるが，どんな幅厚堰にも適要できるような式で表わすにはどうしても無理がともなうように思われる。図－1の(b)より，F堰のみ高さが異なるがどの堰も傾向が同じことから堰高及び法面勾配が異なっても、それ程影響はないように思われる。図－2の(a)には古川・芦田・土屋の方法によってmを求め実線で書き入れてみると，mは一定した値とはならず常に大きくなる傾向があり，本実験とは異なる値となった。また，Beresinskiの方法によれば$L = 30\,cm$の場合、$H/H_d = 0.5$では$m = 0.320$，$H/H_d = 1.02$では$m = 0.340$，$H/H_d = 2.0$では$m = 0.370$となりH/H_dは小さい場合と大きい場合に本実験値とよく一致するが$H/H_d = 0.9$～1.6付近ではやや大きく異なって

いる。mが一定となる時の流量はA堰では26 ℓ/s，B堰では28 ℓ/s，C堰では26 ℓ/sではとんど同流量で一定値になる事が認められる。本間は堰の下流側勾配1/1付近，上流側勾配垂直～3/2の場合は

$$m = 0.29 + \frac{H}{H_d} \quad ------------------ \quad (4)$$

の式を与えている。本間が実験に用いた堰の高さは15 cm，法勾配については多少異なるが本実験の結果と比較してみると，例えばH/H_dが0.5の場合(4)式では$m = 0.450$となるがF堰では0.420，G堰では0.357，H堰では0.346となりF堰を除いてかなり小さい値となった。これはF堰のみ本間の使用した堰高と同じであるが，他の堰は異なっていることから堰高の違いによるものと考えられる。

4. 潜り越流

潜り越流の理論的な形は流量係数をm'とすれば

$$Q = m' B h_2 \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad -------------- \quad (5)$$

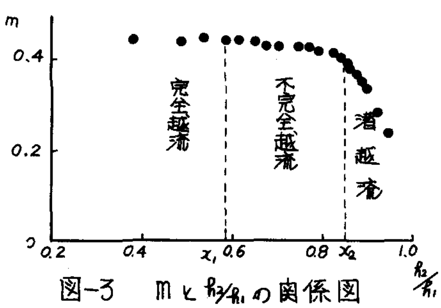
となる。h_1は上流側越流水深，h_2は下流側越流水深で$Q/B = q$とおくと

$$\frac{q}{h_1\sqrt{2gh_1}} = m' \left(\frac{h_2}{h_1}\right)\sqrt{1 - \frac{h_2}{h_1}} \quad ----------- \quad (6)$$

となる。$h_2 = 2/3\, h_1$の時，完全越流$q = m h_1 \sqrt{2gh_1}$に等しくなるから(6)式より$m' = 2.6m$となる。図－3のような$q/h_1\sqrt{2gh_1}$とh_2/h_1の関係において完全越流と潜り越流との間には不完全越流部が入り，この部分については(6)式と異なった式を作らねばならない。この部分の基本的な式として本間は次式を与えている。

$$\frac{q}{h_1\sqrt{2gh_1}} = \alpha \left(\frac{h_2}{h_1}\right) + \beta \quad ------------- \quad (7)$$

α，βについて本間と同様な方法で実験によって求めてみると表－3のような結果となった。



図－3　mとh_2/h_1の関係図

表－3　潜り堰の実験結果

		x_1	$-\alpha$	β	x_2	m'/m
矩形堰	A	0.44	0.292	1.128	0.83	2.607
	B	0.46	0.595	1.273	0.90	2.602
	C	0.60	0.813	1.487	0.89	2.607
台形堰	E	0.44	0.569	1.250	0.90	2.602
	F	0.32	0.493	1.157	0.91	2.602
	G	0.76	2.135	2.622	0.93	2.600
	H	0.55	0.748	1.411	0.90	2.604

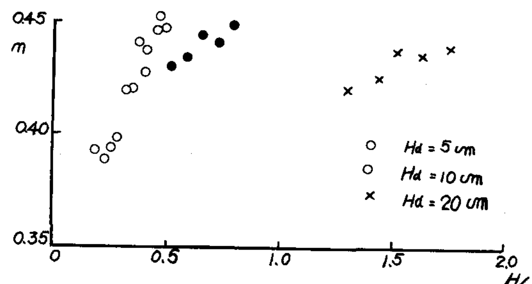
G堰のみα，βの値はかなり大きくなった。これはx_1の値が他の堰に比べ非常に大きくなったためで，G堰以外については本間の結果によく近似した値となり、矩形堰については本間の場合はh_2/h_1が0.5以下の場合に不完全越流部が生じていないが、本実験の場合は0.5以上の場合だったので不完全越流部が生じα，βの値は表－3に示すとおりとなった。

5. 堰高の違いによる流量係数の検討（矩形堰）

堰の上流端に半径1.5cmの丸味のついたD堰を使用して堰の上・下流にそれぞれ3mにわたって鉄板を敷き、鉄板の高さを変えることにより堰の高さを5cm, 10cm, 20cmに変化させ実験を行なった。

流量係数mとH/Hdとの関係は図－4に示すが、これはmが一定値になる前のものでほぼ直線的に増加するのでこれを一次式で表わすと、

$$\left.\begin{array}{l} Hd=5\,cm \\ m=0.0353\dfrac{H}{Hd}+0.377 \\ Hd=10\,cm \\ m=0.0642\dfrac{H}{Hd}+0.396 \\ Hd=20\,cm \\ m=0.2439\dfrac{H}{Hd}+0.355 \end{array}\right\} \quad \text{------} \quad (8)$$



図－4 堰高の違いによる m と H/Hd の関係

堰の高さが10cmで勾配が0.0642と小さいが同じ高さのC堰は0.155と大きく、角部に丸味を付けることによってmが大きく変化することが認められる。

6. むすび

矩形堰、台形堰についての流量係数はともに流量の少ない間はH/L、H/Hdに比例してほぼ直線的な増加を示すので一次式で表わしうる。大きい流量の場合はほぼ一定値をとるので、洪水時等における流量係数は一定値をとればよいのだが前にも述べたとおり研究者によっても多少異なっており、また、堰の角端に丸味が付いている場合には、かなり異なってくるものと考えられるので今後この問題についても研究をすすめたいと考えている。

参考文献

1) 水理公式集（昭和46年改訂版）：土木学会　P 262 ～ 265

2) 水理公式集（昭和38年改訂版）：土木学会　P 174 ～ 175

3) 吉川秀夫・芦田和男・土屋昭彦：幅厚せきの流量係数に関する一考察，土木研究所報告，

4) 本間仁：低越流堰堤の流量係数，土木学会誌，第26巻，6号及び9号　1940