

低越流堰の流量係数について

九州大学工学部

○上田年比古

全

崎山 正常

1. まえがき 堰の越流係数に関する研究は完全越流については、かなり実験的に行はれてゐるが、不完全越流および潜堰状態についてはあまり行はれてゐない。本報は先に著者らが発表した潜堰に関する実験報告^{1),2)}を補足して、あらたに広頂堰を交えた20種の模型について行はった実験から、従来用ゐられてゐる本間公式による越流係数を検討し、さらに実験資料を整理して、不完全越流および潜堰の流量算定式の導出を試みたものである。

2. 実験概要 実験は図-1のように、矩形量水堰から一定の流量を流し水路下流端の水位調節板を順次上げて堰の下流側の水位を上げ、定常状態になるのをまつて堰の上下流の水位を測定した。水位測定位置は堰天端より0.7m上流と28.3m下流の位置であつた。模型堰は木型で作り、図-2、表-1に示した寸法で図-2のAB線、CD線ど3部にわけ各部を種々に組合せた。

3. 堰の越流係数 従来用ゐられてゐる本間公式³⁾をあげると、

$$\text{完全越流: } Q = mbh_1\sqrt{2g h_1} \quad \dots (1)$$

$$\text{不完全越流: } Q = (\alpha' \frac{h_1}{d} + \beta) b h_1 \sqrt{2g h_1} \quad \dots (2)$$

$$\text{潜 堰: } Q = m' b h_2 \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \quad \dots (3)$$

$$\text{完全越流係数: } m = \alpha' \frac{h_1}{d} + \beta \quad \dots (4)$$

$$\text{潜堰越流係数: } m' = 2.6 m \quad \dots (5)$$

ここに、 Q :流量、 b :越流中、 h_1 および h_2 :堰天端より測つた上流側および下流側水深、 d :堰高、 α 、 β 、 α' 、 β' :係数である。図-3の(a)および(b)は著者らが行

つたA型およびR型模型についての数

種の流量に対する実験結果例である。流量を一定にして下流水位を順次上げてゆくと図-3に示す一本の線と左から右に通つてゆく。

完全越流係数 m の式は図-4に示すようにほぼ

(4)式で示されA型では

図-3 (a)~A 型

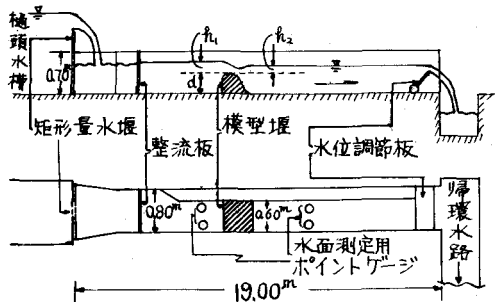


図-1 実験概要図

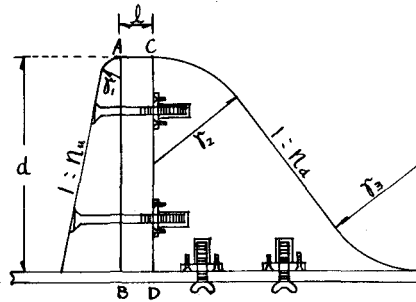


図-2 模型堰

表-1 模型堰の寸法

模型	η_u	γ (cm)	l (cm)
A	0	1	0
B	0	1	4.5
C	0	1	10.0
D	0	1	15.0
E	0	3	0
F	0	3	4.5
G	0	3	10.0
H	0	3	15.0
I	0	3.5	0
J	0	3.5	4.5
K	0	5.5	10.0
L	0	5.5	19.5
M	0.25	3	0
N	0.25	3	4.5
O	0.25	3	10.0
P	0.25	3	19.5
Q	0.50	3	0
R	0.50	3	4.5
S	0.50	3	10.0
T	0.50	3	19.5

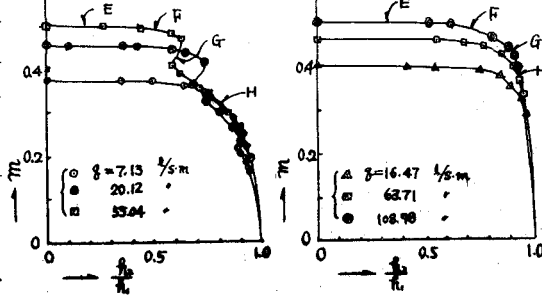


図-3 (b)~R 型

ただし
 $d = 20 \text{ cm}$
 $\gamma = 10 \text{ "}$
 $\eta_u = 0.8 \text{ "}$
 $\gamma_b = 10 \text{ "}$

$$m = 0.416 \left(\frac{R_2}{d} \right) + 0.330 \quad \dots\dots (6)$$

がえられた。表-1 に示す各種の堰でもほぼ同様な結果となり、係数 α , β は表-2 に示す値がよい。

次に不完全越流および潜堰状態では図-3 の軸では測定値の関数関係を考察するのに不便であるので

(3) 式からえられる m' について図示した。ニ水の A 型および R 型に対するものを図-5 の (a) および (b) に示している。これによると各流量に対する不完全越流

および潜堰部の m' は明瞭に区別されてあらわれている。なお、これらの図の水平直線は本間公式の (5) 式による m' であって各流量に対する完全越流の m に 2.6 倍した値である。これによると (5) 式の m は厚さの薄い A 型堰では実測値による m よりかなり大きな値をとることがわかる。また厚さの厚い R 型堰では $\frac{R_2}{R_1} = 0.7$ の近傍では実測による m' とほぼ一致するが $\frac{R_2}{R_1} \geq 0.7$ では (5) 式による m' は実測による m より過小の値をよこすことがわかる。

表-2 α, β の値

堰型	α	β
A	0.416	0.330
B	0.325	0.275
C	0.244	0.253
D	0.208	0.235
E	0.199	0.437
F	0.244	0.333
G	0.193	0.310
H	0.282	0.277
I	0.198	0.422
J	0.213	0.343
K	0.166	0.327
L	0.148	0.295
M	0.273	0.405
N	0.210	0.355
O	0.177	0.330
P	0.148	0.278
Q	0.253	0.415
R	0.228	0.350
S	0.175	0.325
T	0.182	0.270

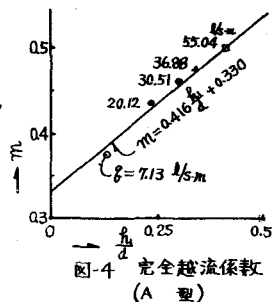


図-4 完全越流係数 (A 型)

4. 不完全越流および潜堰の流量算定

式 図-5 から本間公式の m' を用いれば潜堰の算定流量は R 型のような厚さの厚い堰の $\frac{R_2}{R_1} = 0.7$ 付近を除いてかなりの誤差をよこすものと考えられるので、著者らは実験値を整理して、あらたに不完全越流から潜堰部にわたる流量算定式を導出した。まず、厚さの薄い堰では著者らが先に報告したように $m' y^{\frac{1}{4}} \sim X$ の関係は図-6 の (a) のようにほぼ直線式で表わされる。この式は

$$m' y^{\frac{1}{4}} = 0.516 X + 0.444 \quad \dots\dots (7)$$

となる。ニに $X = \frac{R_1}{d}$, $y = \frac{R_2}{d}$ である。

したがってこの式よりえられる m' は (3) 式

に入れれば A 型における潜堰の流量算定式がえられる。

次に R 型のような厚さの比較的厚い堰から応頂堰に対して検討した結果、図-7 の (b) のように $X = m' \sqrt{\frac{1 - (\frac{R_2}{R_1})^3}{1 + X}}$, $Y = \frac{R_2}{R_1}$ の軸に対して、一つの堰についての各流量に対する測定値はほぼ一つの曲線上に集った。この曲線式は不完全越流から $Y \leq 0.97$ の潜堰部に至る範囲で

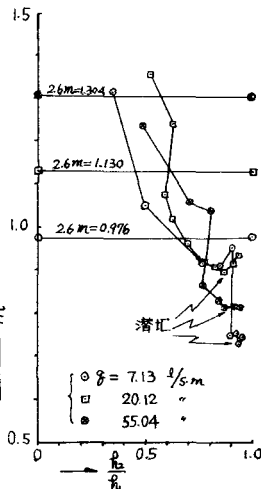


図-5 (a) ~ A 型

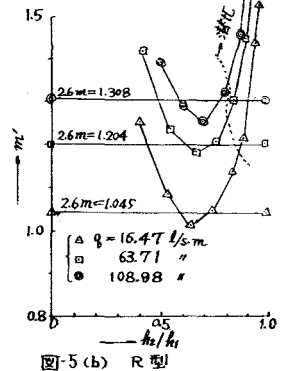


図-5 (b) R 型

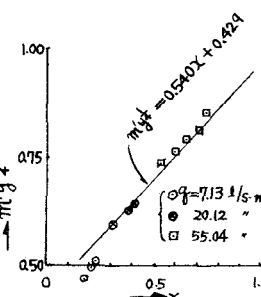


図-6 (a) ~ A 型

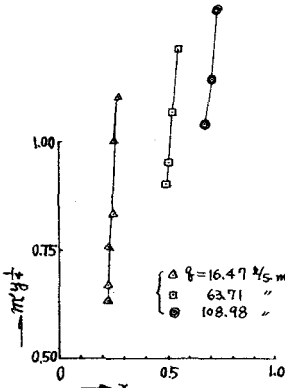


図-6 (b) ~ R 型

$$Y = 1 - AX^3 - BX \quad \text{----- (8)}$$

の式型が妥当であつた。ここに A , B は堰形状によって変る係数である。なお、 X , Y 軸について厚さの薄い A 型堰を適用すると図-7 (a) のように測定値がかなり分散し厚さの薄い堰への (8) 式の適用は困難なよりである。したがつて堰厚の比較的厚い堰について (8) 式の A , B を求めると表-3 のようになる。さらに、

$$K_1 = \frac{B}{A} \left\{ 1 - \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 \right\}^{-1}, \quad K_2 = -\frac{1}{A} \left\{ 1 - \frac{h_2}{h_1} \left\{ 1 - \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 \right\}^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad \text{とあけば (8) 式は、}$$

$$m^3 + K_1 m' + K_2 = 0 \quad \text{----- (9)}$$

となる。検討の結果 (9) 式は常に唯一つの正の実根をもつ式であるから、 h_1 , h_2 を測定し表-3 の A , B を用い、(9) 式から m' を求めれば、不完全越流より潜堰部にわたつて m' を知る事ができ (3) 式から流量を求めることができる。

5. 流量算定式の比較 本流量算定式と本間公式および鍋岡公式とによる算定流量の比較を図-8 の (a) および (b) に示している。本流量算定式によるも

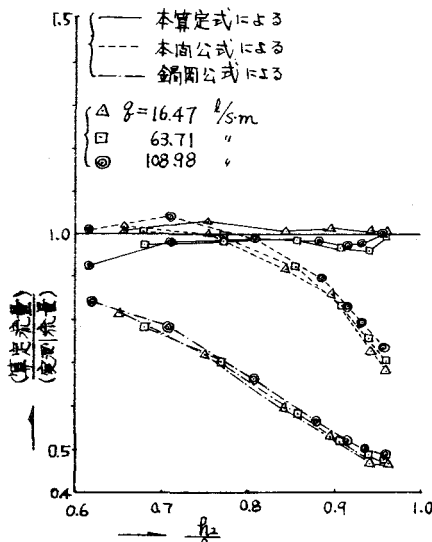
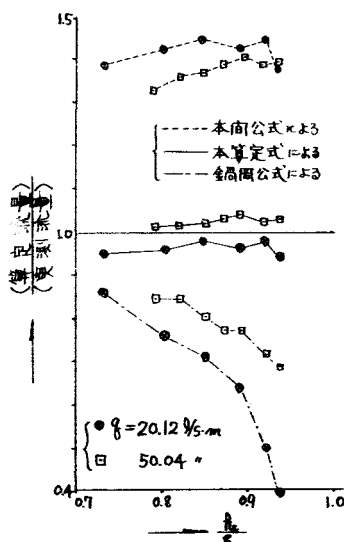


図-8 (a) 流量算定比較図 (A型)

図-8 (b) 流量算定比較図 (R型)

$0.6 < \frac{h_2}{h_1} < 0.8$ 付近を除いて、過小の値を与えることがわかる。思うに潜堰の越流係数に対する式 (5) は完全越流の式 (1) と潜堰の式 (3) とが $\frac{h_2}{h_1} = \frac{2}{3}$ で一致する条件から求められたものであり、潜堰部でこの係数が妥当であるかどうかについての検討は充分には行なわれていないと考える。ただ図-3 の軸について実験値を plot した検討はあるが潜堰部では実験値は垂直に近く並ぶので、このような軸についての検討は不明確なものとなると考える。また本間公式による流量算定は、まず流量 Q を仮定して (1), (4) 式より m を求め (5) 式より m' を求め、(3)

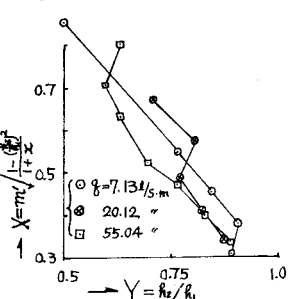


図-7 (a) ~ A型

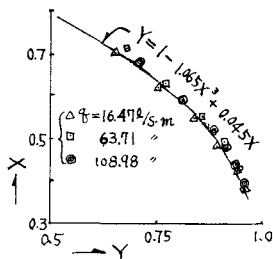


図-7 (b) ~ R型

表-3 A, B の値

模型	(A)	(B)
A	—	—
B	0.803	0.160
C	1.267	0.087
D	1.730	0.012
E	0.377	0.146
F	1.246	-0.083
G	1.658	-0.120
H	1.718	-0.106
I	0.560	0.065
J	1.208	-0.068
K	1.622	-0.118
L	2.157	-0.160
M	0.390	0.138
N	1.016	-0.044
O	1.577	-0.140
P	1.935	-0.094
Q	0.482	0.093
R	1.065	-0.045
S	1.695	-0.158
T	1.910	-0.112

のを実験線 (a) 図は (7) 式, (b) 図は (9) 式による。本間公式によるものを実験線で示している。本流量算定式によるものがほぼ 1.0 の線の付近に実在して、計算値と実験値がほぼ一致していること、本間公式によるものが A 型では過

大の値を、R 型では

式から Q を求め、これが始めの仮定値と一致するまで行いうけの試算法であり、この英(7)および(9)式から m を求め(3)式により流量を求めるが、(9)式の場合 m の3次式を解く面倒はあるが計算は簡単なようである。

次に銅岡公式⁴⁾による流量算定を行うにあたり、A型に対しては、これに合致する型がなかったのでこれに最も近い型として $\frac{d}{b} = 15$, $n_d, n_u = 0 \sim 1.0$ を選び、これに対する補正式、 $\Delta(\frac{m}{m_0}) = 5.72 \cdot \frac{n_u}{n_d} (1 - \frac{n_u}{n_d}) \exp\{-4.62(1 - \frac{n_u}{n_d})\}$ を用い、R型に対しては $\frac{d}{b} = 5$, $n_d, n_u = 0 \sim 1.0$ に対する式 $\Delta(\frac{m}{m_0}) = 5.30 \frac{n_u}{n_d} (1 - \frac{n_u}{n_d}) \exp\{-5.11(1 - \frac{n_u}{n_d})\}$ を用いた。ここに b は堤頂中である。これによる算定結果を図8の鎖線に示している。これによるとA型、R型とも過小の値を方えていることがわかる。

6. むすび 以上によって低越流堤の流量算定式を実験的に導き、その検討を行なったが、これまで知りえた結果をのべる。

① 完全越流について：完全越流係数 m はほぼ(4)式で表わされる。

② 不完全越流および潜堤部について

i) 本間公式は、潜堤部に対して堤厚の薄い堤では一般に過大の値を与える。堤厚の厚い堤では $\frac{n_u}{n_d} = 0.7$ 付近を除いて過小の値を与える。

ii) 堤厚の薄い堤の潜堤部の流量係数 m' は、ほぼ(7)式のように $m' y^{\frac{1}{3}} = Mx + N$ ($= m$), N は堤によって決まる定数)で表わされる。

iii) 堤厚の厚い堤の不完全越流から潜堤部については、(3)式の m はほぼ(9)式で表わされる。(8)式の A の値は、堤厚が厚くなると大きくなる。 B の値の堤厚による関係は明らかでない。

iv) 銅岡公式に対しては充分な検討を行うことはできなかったが、A型、R型堤についてはおかしの誤差を生ずるようである。

参考文献

- 1) 上田年比古, 崎山正幸: 潜堤の流量について; 土木学会 第19回年次学術講演会 講演概要 II-13
- 2) 上田年比古, 崎山正幸: 潜堤の流量算定式について; 九州大学工学集報 第37巻 第3号
- 3) 本間 仁: 低越流堤の流量係数(第2編); 土木学会誌 Vol 26 No.9 86 15.9
- 4) 銅岡昭三: 低いガムの溢流に関する研究; 電研報告(土木-3301) 86 28.10