



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	薄刃円筒堰の流量係数について
Author(s)	有江, 幹男; Arie, Mikio; 飯田, 誠一 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 28, 157-163
Issue Date	1962-03-06
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40694
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_157-164.pdf



薄刃円筒堰の流量係数について

有 江 幹 男
飯 田 誠 一
山 口 弘
山 崎 輝 夫

On the Discharge-coefficients of Sharp-edged Cylindrical Weirs

Mikio ARIE
Sei-ichi IIDA
Hiroshi YAMAGUCHI
Teruo YAMAZAKI

Abstract

A cylindrical type of weir is extensively used as a spill way or a device of over-flow to keep a constant level of water in vessels. However, no reports of a systematic study concerning the discharge coefficients is accessible.

After detailed investigations of the flow over several sizes of cylindrical weirs, it was found that there are three typical flows of different characteristics. In this paper, experimental formulae to describe each of these characteristics of flows are obtained by analysing the experimental data after the technique of dimensional analysis.

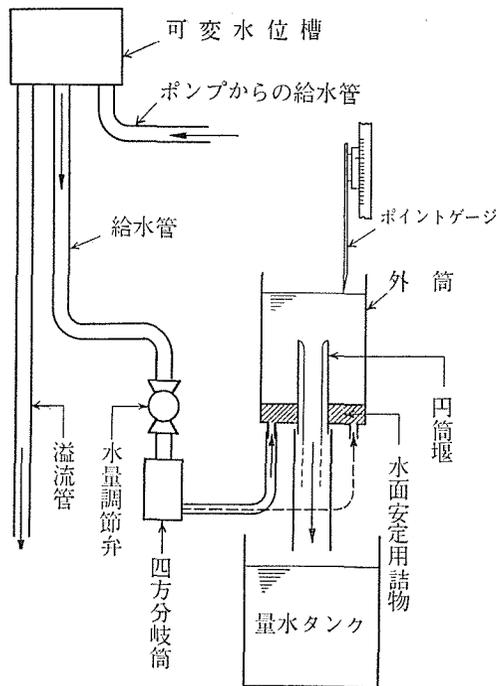
I. 緒 言

シャフト式余水吐および容器内の水位を一定に保つために、しばしば円筒形の放水管が使用される。この種の放水管を目的に応じて適切に計画する場合、たて型円筒堰の流量係数に関する系統的な資料を必要とするが、かかる結果をまとめた報告は極めてまれである。孔からの流出に関する理論および実験としては、古くから Borda の報告をはじめ多くの文献があるが、いずれも特殊な円筒堰からの流れに対してのみ適用できるにすぎない。

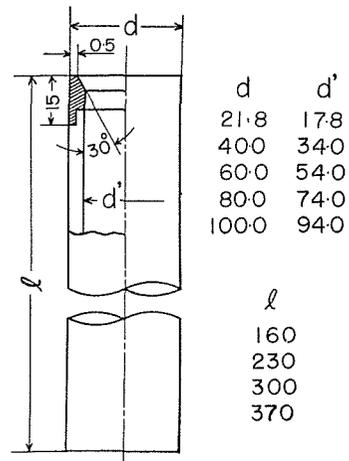
この報告では、たて型円筒堰からの流れを詳細に検討した結果、堰水頭と流量との間に三種類の異なった特性の流れを認めることができたので、これらを次元解析によってまとめ、それぞれの流れに対する実験式を求めてある。

II. 実 験 装 置

測定用の水は渦巻ポンプにより一定水位を保ちうるヘッド・タンクへ揚水し、そこから水



第1図 実験装置の配置図

第2図 円筒堰および口金の主要寸法
(単位 mm)

水量調節弁を通して4本の分岐管より直径300 mmの実験用外筒へ導かれ、円筒堰から溢流するようになっている。これらの流路を実験装置の配置図について示せば第1図のようである。

堰水頭は直接ポイント・ゲージにより1/10 mmまで読みとれるようになっており、流量は量水タンクにより測定する。流れの状態を観察するため、外筒は透明な硬質ビニール、円筒堰は口金の部分を砲金で作ったほかは透明なアクリル樹脂で作製されている。また円筒堰は外径が21.8, 40.0, 60.0, 80.0, 100.0 mmの5種類で、長さはそれぞれが370, 300, 230, 160 mmの4通りに変えられるようになっている。口金の部分および円筒堰の主要寸法は第2図に示す通りである。なお附加的な測定値を得るため、上記の円筒堰以外に外径21.8および40.0 mmの間に数種類の砲金製円筒堰を使用している。

III. 次元解析

一般に測定値を用いて流れの特性をまとめる場合、次元解析による方法がしばしばとられる。いま、円筒堰の流れに関する変数として次のようなものをとることとする。

堰水頭	: h_1	[m]
吸出管の長さ	: l	[m]
吸出管の外径(内径)	: $d(d')$	[m]
外筒の直径	: D	[m]
流量	: Q	[m ³ /sec]

重力の加速度 : g [m/sec²]

水の密度 : ρ [kg sec²/m⁴]

これら7個の変数のうち、基本単位は [kg], [m], [sec] の3個であるから、 ρ , Q , d を繰り返し変数としてとれば π -定理により

$$\pi_1 = Q^2/gd^5, \quad \pi_2 = h_1/d, \quad \pi_3 = l/d, \quad \pi_4 = D/d$$

なる4個の π -項が得られる。したがって流れはこれら各項の関数として表わされるから

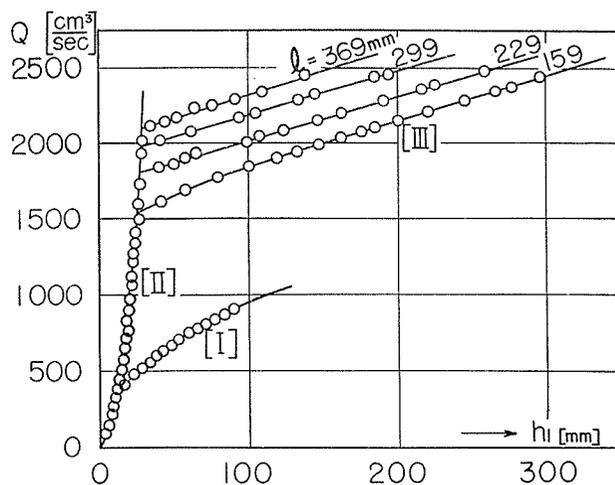
$$F(Q^2/gd^5, h_1/d, l/d, D/d) = 0 \quad (1)$$

によって流れの特性が示されることになる。

IV. 実験結果

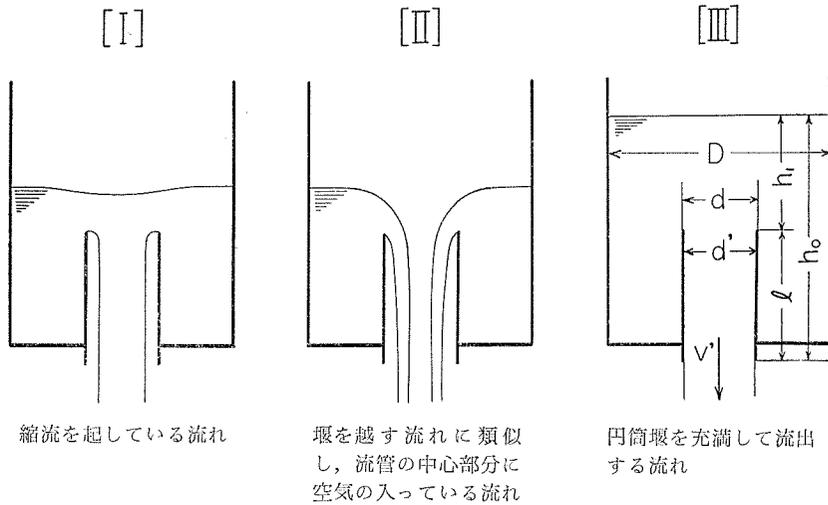
円筒堰の直径を5種類、長さを4通り変えて測定した結果を、一例として外径40.0 mmの円筒堰について、たて軸に流量、横軸に堰水頭をとって図示すれば第3図のようである。

これより明らかなように、流れには流量と堰水頭との関係において全く異なる特性を呈する3種の流れが認められる。すなわち、堰水頭の増加割合にくらべて比較的流量の増加割合の少ない [I] の流れ、および堰水頭の微小な増加が流量の増加に著しい影響をもつ [II] の流れ、さらに堰水頭の増加割合に対する流量の増加割合が [I] の流れに類似はしているが円筒堰の長さ l が流量に関係している [III] の流れである。



第3図 $d=40.0$ mm の円筒に対する $Q-h_1$ 曲線

堰水頭を次第に増加してゆく場合には、まず [II] の流れが現われ、次いで遷移域を越えて [III] の流れとなる。[I] の流れは比較的不安定であって、[II] の流れにおける中心部分の空気を取除いた場合にのみ現われる。これら3種の流れの状態を図示すれば第4図のようである。



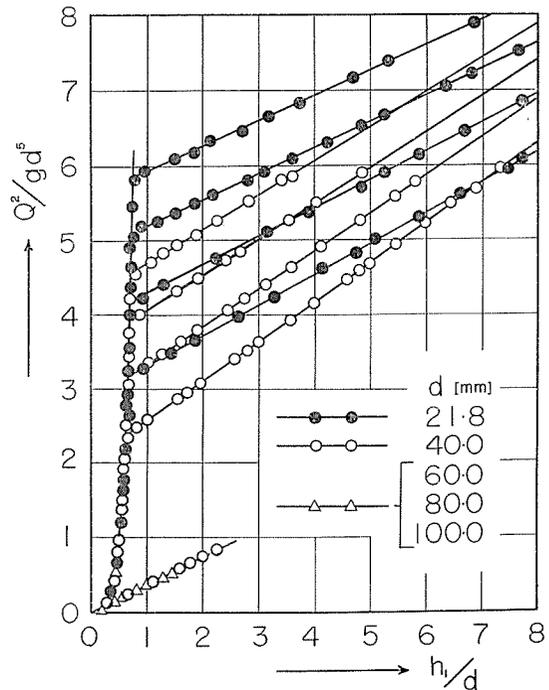
第4図 円筒堰からの種々な流れ

以上の流れに対する測定結果を次元解析により得られた無次元項 Q^2/gd^5 および h_1/d について整理し、図示すれば第5図のようになる。これより円筒堰の長さ l が関係しない [I], [II] の流れでは外径のいかんにかかわらずすべて Q^2/gd^5 と h_1/d とで整理されることがわかる。一方 [III] の流れに対しては第4図に示した流出状態から判断して、円筒堰の内径 d' を基準にした整理の方法が適当であると考えられ、さらに l/d' および D/d' の影響も考慮に入れなければならないので、第5図とは異った方法で整理しなければならない。以下、[I], [II], [III] の流れに対して順次実験結果をまとめてみる。

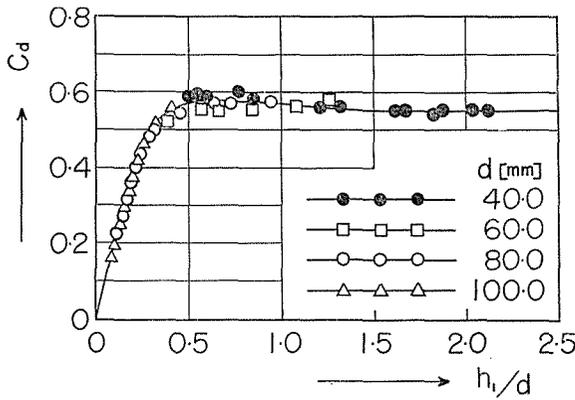
§1. [I] の流れに対する考察

この種の流れは第5図からも明らかのように $Q^2/gd^5 - h_1/d$ 曲線はほぼ直線になっている。このことは表面張力の影響を無視した場合、次に示す簡単な理論より推察することができる。すなわち $v^2/2g = h_1$ において、便宜的な流量係数 C_a を用いて $\frac{Q}{\pi/4 d^2} = C_a v$ と書けば

$$C_a = \frac{Q}{\pi/4 d^2 \sqrt{2g h_1}} \quad (2)$$



第5図 $\frac{Q^2}{gd^5} - \frac{h_1}{d}$ 曲線



第6図 [I] の流れに対する C_d-h_1/d 曲線

る範囲では表面張力の影響が現れわて h_1/d と共に減少し $h_1/d < 0.25$ で h_1/d と C_d とはほぼ比例関係をもつようになることがわかる。

§2. [II] の流れに対する考察

第4図からも明らかなように [II] の流れは堰を越す流れに類似しているから次の関係にあることが推察できる。

$$\frac{Q^2}{gd^5} = A \left(\frac{h_1}{d} \right)^k \quad (4)$$

ただし、 A および k は実験的に決定されるべき定数である。

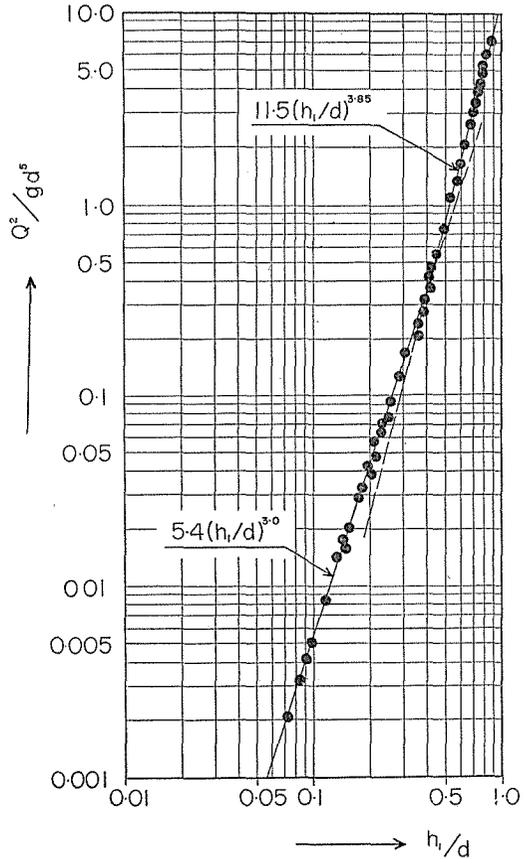
いま、 A および k を求めるため、両対数方眼紙上に Q^2/gd^5 と h_1/d の値を図示したのが第7図である。この図より、 h_1/d がほぼ0.35以下では $k=3.0$ であり、堰を越す流れにおける指数と全く同一であって、 h_1/d が0.35以上になれば堰を越す流れと異ってきて、中心部分の空気柱が吸込まれるために音を発し幾分不連続的な流れとなる。この場合に指数は3.0より大きくなって $k=3.85$ となる。したがて [II] の流れを $h_1/d \leq 0.35$ と $h_1/d \geq 0.35$ なる範囲に分けてそれぞれに適用できる実験式を求めれば

あるいは

$$\frac{h_1}{d} = \frac{8}{C_d^2 \pi^2} \cdot \frac{Q^2}{gd^5} = C \frac{Q^2}{gd^5} \quad (3)$$

となるから、 $h_1/d - Q^2/gd^5$ 曲線は直線的になるためである。

いま、(2)式より流量係数 C_d を求め、これを h_1/d について図示すれば第6図のようになる。これより $h_1/d > 0.5$ なる範囲ではほぼ(2)式が立し C_d の値は $C_d=0.55$ 程度であり、 $h_1/d < 0.5$ なる



第7図 [II] の流れに対する $\frac{Q^2}{gd^5} - \frac{h_1}{d}$ 曲線

$$\frac{Q^2}{gd^5} = 5.4 \left(\frac{h_1}{d} \right)^{3.0}, \quad \left(\frac{h_1}{d} \leq 0.35 \right) \quad (5)$$

$$\frac{Q^2}{gd^6} = 11.5 \left(\frac{h_1}{d} \right)^{3.85}, \quad \left(\frac{h_1}{d} \geq 0.35 \right) \quad (6)$$

となる。

§ 3. [III] の流れに対する考察

[III] の流れは円筒を充滿して流出する流れであって、[I] および [II] の流れとは本質的に異なるため、内径 d' を基準にして考察しなければならないが第 3 図からも明らかなように、同一堰水頭に対して円筒の長さ l の変化により流量が変化する。このことは l が吸出水頭を与えるためと考えられるから、流動損失を管の長さに関係あるものその他のものに分けて考えれば (第 4 図 [III] を参照)

$$v' = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d'^2}$$

であるから

$$\begin{aligned} h_1 + l = h_0 &= \lambda \frac{l}{d'} \frac{v'^2}{2g} + \zeta \frac{v'^2}{2g} + \frac{v'^2}{2g} \\ &= \frac{v'^2}{2g} \left(1 + \zeta + \lambda \frac{l}{d'} \right) \end{aligned}$$

すなわち

$$\frac{h_0}{d'} = \frac{8Q^2}{\pi^2 g d'^5} \left(1 + \zeta + \lambda \frac{l}{d'} \right) \quad (7)$$

となる。ただし

- d' : 円筒環の内径
- v' : 円筒環を流れる平均流速
- λ : 円筒の摩擦損失係数
- ζ : 入口損失係数

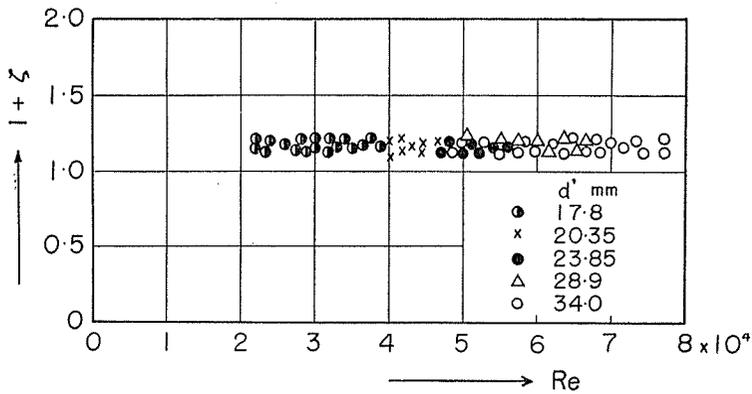
である。いま、(7) 式における λ の値を Reynolds 数の適用範囲が 3×10^3 から 1×10^5 である Blasius の式を用いて表わすことにすれば

$$\lambda = 0.3164 R_e^{-0.25}, \quad R_e = \frac{v' d'}{\nu}$$

であるから

$$1 + \zeta = \frac{h_0 \pi^2 g d'^4}{8Q^2} - \frac{0.3164}{R_e^{0.25}} \frac{l}{d'} \quad (8)$$

となる。この式より $(1 + \zeta)$ と Reynolds 数との関係を測定値について求め、図示すれば第 8 図



第8図 [III] の流れにおける入口損失係数 (ζ)

のようになる。これより、 $(1+\zeta)$ の値は Reynolds 数に対してはほぼ一定値 ($1+\zeta=1.1\sim 1.25$) となっていることがわかる。

V. 結 論

円筒堰の流れには堰水頭の高さによって三種類の異なった流出状態があり、[I] の流れは縮流部分が大きいので、円筒堰の外径に比較して流量が少なく表面張力の影響が認められない範囲では $h_1^{3/2}$ に比例し、(2) 式において定義した流量係数はほぼ 0.55 となっている。[II] の流れは堰を越す流れに類似して、 $h_1/d \leq 0.35$ なる範囲では流量が $h_1^{3/2}$ に比例し、 $h_1/d \geq 0.35$ となれば $h_1^{3.85/2}$ に比例している。これらの場合に適用できる実験式はそれぞれ (5) 式および (6) 式である。円筒を充滿して流れる [III] の流れでは流量と $h_1^{3/2}$ とは比例関係にあって、 l が吸出水頭を与えると同時に (7) 式からわかるように管内の摩擦損失および入口損失をも考慮しなければならない。この場合、[III] の流れを明確にするために、管摩擦係数として Blasius の式を用いれば入口損失係数 ζ は 0.1 から 0.25 の範囲にあり、これは J. Weisbach の実験結果に一資料を与えるものである。

以上を総括して、シャフト式余水吐および溢流管には水位の安定が早く、流出量の大きい [II] の流れが適当であると考えられる。したがって、それらを計画する場合にはかかる流出状態が実現できるように水量に応じて (5) 式および (6) 式により円筒の外径を決定すべきである。なお、本文には明示しなかったが、外筒の底から堰までの高さによる影響および D/d あるいは D/d' の影響はほとんど認められなかった。