

直線水路における横越流堰の分水特性に関する従来の研究と課題

九州共立大学工学部 学生員 瀧田 康雄 九州共立大学工学部 正会員 荒尾 慎司
同 上 非会員 田端 浩平 九州大学工学部 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

横越流堰の越流機能に関する研究は河川の放水路・遊水地計画や合流式下水道及び灌漑施設等の設計等に関連して古くから多数の研究者により取り組まれているが、これまでの研究成果が下水道施設の設計・計画に必ずしも十分に生かされていないように思われる。

本報告の目的は、合流式下水道の雨水吐き室に設置されている横越流堰として多用されている直線型横越流堰の越流特性に関する従来の実験的・理論的研究成果をもとに、その意義・今後の課題等を示すことにある。

2. 横越流堰の越流特性に影響を及ぼす構造上・水理学上の要因

横越流堰の越流特性は構造及び水理学上の以下の要因に支配されている。

・構造上の要因

- ①水路幅（流下方向に一様、非一様）、②水路勾配、③水路の横断面形状（長方形、台形、三角形、円形）
④堰長、⑤堰高、⑥堰頂部の形状（刃形堰、円形頂部堰、広頂堰）、⑦堰の湾曲度（直線、湾曲）

・水理学上の要因

- ①フルード数、②レイノルズ数、③堰区間の越流水深、④堰下流側の境界条件

以下では、水路幅が流下方向に一定な直線水路に設置されている横越流堰に限定して述べる。

3. 横越流堰の越流特性に関する従来の研究

1) 研究概要

横断面形状が流下方向に一様な直線水路における横越流堰の水面形状は、図-1に示すようにFraserにより5種に分類されている。図中の y_1 、 y_2 はそれぞれ堰上流端での水深、限界水深を表わしている。横越流堰からの単位長さ当たりの越流量 q_s は次式で表わされる。

$$\frac{dQ}{dx} = -q_s = -\frac{2\sqrt{2g}}{3} C(y-W)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

ここに、 Q は水路内の流量、 x は堰上流端からの流下距離、 g は重力加速度、 C は堰区間での平均的な流量係数、 y は水路底面を基準とした水深（横断方向の測定位置は研究者によって異なる場合もあるが、中央で計測していることが多い）、 W は堰高である。

(1)式の係数 C の値が横越流量の計算精度を左右する。従来の研究でこの係数の算定方法が種々提案されており、係数 C は一般的に次式に示すような4つの無次元数と堰頂部の形状パラメータの関数で表わされる。

$$C = f \left\{ F_r \left(= \frac{V}{\sqrt{gy}} \right), \frac{W}{y}, \frac{L}{B(D)}, \frac{W}{B(D)}, \text{堰頂部の形状} \right\} \quad (2)$$

ここに、 F_r はフルード数、 V は水路内の主流方向の断面平均流速、 L は堰長、 $B(D)$ は水路幅（円形管では直径 D ）である。

表-1に従来の研究概要を示す。横越流堰の越流特性に関する実験的研究はParmley(1905)、理論的研究はNimmo(1928)により始められ、これ以後種々の実験的・理論的検討がなされている。水路の横断面形状はほとんどが長方形断面であり、その他、円形や台形等に関する研究が数例見られる。堰長比 $L/B(D)$ 、堰高比 $W/B(D)$ については種々検討されている。また堰区間の流れに関しては、常流・射流いずれも検討例は多

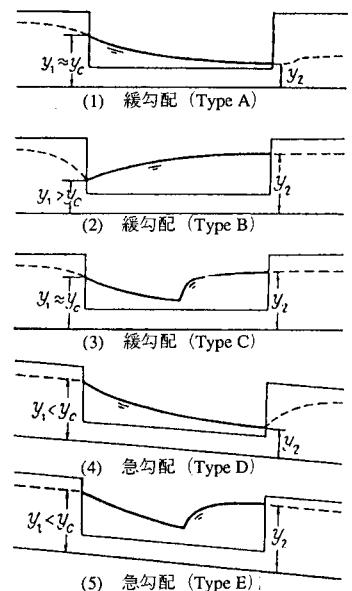


図-1 堰区間の水面形状 (by Fraser)

いが、堰区間で跳水が発生する研究例は非常に少ない。

2) 流量係数 C_T について

流量係数 C は (2) 式の無次元数の中で、特にフルード数 F_r によって大きく変化する (後述の図-2 参照)。研究者によっては係数 C の定義が (1) 式と異なるものもあるため、以下では、次式のように流量係数を統一して従来の研究成果を考察する。

$$C_T = \frac{2\sqrt{2g}}{3} C \tag{3}$$

図-2 は、従来の研究成果の中で比較可能なものを取り上げて示したものである。図の横軸の F_r は堰上流端でのフルード数である。なお、図中には De Marchi と下水道設計基準による係数 C_T の値も示している。長方形一様断面水路においては Subramanya ら、James らのものが有用と思われるが、これらの式には堰長比 (L/B) や堰高比 (W/B) は考慮されておらず、問題が残る。射流の場合、水理公式集にも掲載されている中川らの式では流量係数をかなり小さく見積もることになる。跳水を Frazer 以外で定式化している研究例は見られない。台形一様断面水路においては、坂本ら (常流) が一種の側壁勾配 (図-2 中の破線) のみについて検討している程度である。坂本らの式では、係数 C_T の値は F_r の増加に伴って直線的に減少する。Subramanya らや James らのものと比べると係数 C_T の値は断面形状が異なるにも関わらず、比較的近い値になることがわかる。円形管路に設置されている横越流堰に関して定式化しているのは Uyumaz らだけである。しかし、Uyumaz らが提案している式には堰高比 (W/D) が考慮されておらず、課題も残されている。また、下水道施設の雨水吐き室に設置されている横越流堰の堰頂部の形状には、広頂堰も多く見受けられ、これに関する検討も必要である。図-2 に示すように、De Marchi や下水道設計基準による流量係数を用いた越流量の計算値にはかなり大きな推定誤差を生ずる場合もあるので、今後、直線型横越流堰を設計する際には、従来の研究成果をもっと活用すべきである。

《参考文献》荒尾慎司、瀧田康雄、楠田哲也：直線水路における横越流堰の分水特性に関する実験的研究及び理論的研究の検証ーレビューと課題一、下水道協会誌 (平成12年2月掲載可)

表-1 直線水路における横越流堰の従来の研究概要

研究者	横越流堰の断面形状	L/B (L/D)	W/B (W/D)	水路勾配	水面形状	堰頂部の形状	実験的・理論的研究等の区分
Parmley(1905)	長方形	—	—	—	射流	刃形	実験
Engels(1917)	長方形	—	—	—	常流	—	実験
Coleman et al(1923)	長方形	—	—	—	射流	—	実験
Ninno(1928)	台形、長方形	23.1	0.88	1/330	常流	刃形	実験・理論
Tyler et al(1929)	長方形	—	—	—	常流	—	実験
Forchheimer(1930)	長方形	—	—	—	常流	—	理論 (漸縮)
De Marchi(1934)	長方形	—	—	—	Type A, B, D	—	実験・理論
Gentilini(1938)	長方形	—	—	—	—	—	実験
Braine(1947)	長方形、円形	—	0.50	1/1000	射流	—	実験・理論
Babbitt(1953)	円形	—	—	—	射流	—	実験
Frazer(1957)	長方形	0.33 ~ 7.50	0.07, 0.11, 0.23	水平 (実験)	Type A, B, C, D, E	刃形	実験・理論
Ackers(1957)	長方形	—	—	—	Type A	—	理論
Allen(1957)	円形	1.54, 2.00, 2.50, 3.00, 6.00	0.17, 0.25, 0.33	水平, 1/370, 1/176, 1/119, 1/88, 1/70	Type A (理論)	刃形	実験・理論
Collinge(1957)	長方形	1.00, 3.00	0.17, 0.50	水平, 1/350	Type A, B	刃形	実験
岩佐ら(1963)	長方形	—	—	水平, 1/500, 1/250	Type A, B, C	—	実験
岩佐ら(1965)	長方形	4.00	0.10, 0.20, 0.30	常流, 射流	—	刃形	実験・理論
中川ら(1966)	長方形	4.00	0.10, 0.20, 0.30	常流, 射流	—	刃形	実験・理論
中川ら(1968)	長方形	1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0	0.15, 0.20	1/1000	射流	刃形	実験・理論
Subramanya et al(1972)	長方形	0.21, 0.33, 0.40, 0.61, 0.62, 0.85, 1.00	0.00, 0.13, 0.18, 0.34, 0.41, 0.62, 0.84	水平	Type A, B	刃形	実験・理論
El-Khashab et al(1976)	長方形	2.63, 5.03	0.22 ~ 0.51	縦勾配 ~ 急勾配	Type A, B, D	—	実験・理論
Ramanunthy et al(1980)	長方形	0.50, 1.00	0.20, 0.40, 0.60, 0.61	水平	Type B	刃形	実験・理論
James et al(1982)	長方形、台形、円形、三角形	—	—	常流, 射流	—	—	理論
Uyumaz et al(1985)	円形	0.60, 1.00, 1.60, 2.00, 2.40, 3.00, 3.40	0.24, 0.32, 0.40, 0.48, 0.56	水平 ~ 1/50	Type A, B, D	刃形	実験・理論
田中ら(1988)	長方形	3.00, 4.00	0.30, 0.50	—	Type B	刃形	実験・理論
渡岡(1991)	円形	3.11	0.44	1.7/1000	—	—	実験
坂本ら(1997)	台形	0.87, 1.30, 1.74	0.26	—	Type B	刃形	実験・理論

注) 表中の / は記述なし、— は不明を示している。

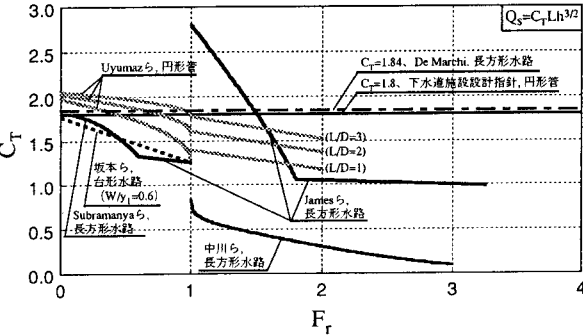


図-2 流量係数 C_T と堰上流端でのフルード数 F_r の関係