

洪水氾濫に伴う地下空間への横流入量の実験的評価

長崎大学工学部 学生会員 ○松尾 拓也 長崎大学工学部 正会員 多田 彰秀  
 長崎大学大学院 学生会員 本田 洋平 長崎大学工学部 正会員 古本 勝弘

1 はじめに

都市においては、地下鉄、地下街、地下駐車場など地下空間の開発・利用が盛んである。一方、洪水や高潮により浸水が起これば、地下空間の危険度や被害は地上部の比ではなくなる。このような地下空間の浸水災害の多発をうけて、地上部の洪水氾濫解析とともに地下空間の浸水を数値シミュレーションしようとする研究<sup>1)</sup>がなされている。その際に、地下空間の階段入口から流入する流量を評価する必要があり、流れの方向に開口する直階段からの流入量評価については著者ら<sup>2)</sup>のものがある。本研究は、これに続き、地上部の主流方向に対して直角に開口する階段入口から流入する流量の評価式を実験的に求めようとするものである。

2. 実験装置

実験には図-1に示すような幅  $B=60\text{cm}$ 、長さ  $400\text{cm}$  の水平矩形水路を用いた。水路の左岸側と底部は木板で、右岸側は流況が目視できるようにアクリル板を用いて製作した。水路下流端から  $200\text{cm}$  上流の右岸側に主流の流れに対して直角に開口する階段入口のアクリル製模型を設置した。実験は、上流端のバルブの開度によって流量を変化させるとともに、上流端近傍で整流し、下流端に堰を設けて階段入口の流況特性を変化させた。開口部の構造条件としては、階段入口の幅員  $L$  を4種類、地上部に設けた段差（蹴上げ高  $1\text{cm}$ ）の有無で計8ケースの実験を行った。とくに、 $L$  を変化させたのは、横越流に関する既往の研究より流量係数が  $L/B$  にも関係することを考慮したからである。水路末端の流量  $Q_t$  および階段入口から流下する流量  $Q_w$  は、それぞれ三角堰を用いて計測した。

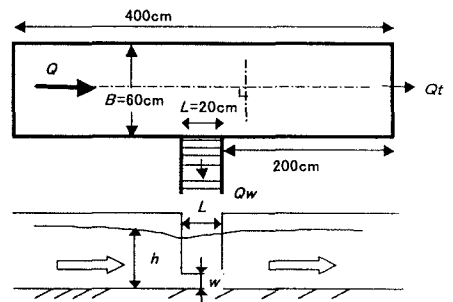


図-1 実験装置平面図

3. 流況変化

図-2および図-3は、上流端流量が等しく下流端条件の異なる流れの流速ベクトルと等水深線を示したものである。前者は下流端条件が堰上げなし、後者は堰上げ  $2\text{cm}$  の場合の実験ケースである。堰上げなしの実験ケースでは、水深が小さく流速が速い。一方、堰上げ  $2\text{cm}$  の場合には水深が大きく流速が遅くなっていることが分かる。その結果、主流方向の流速の大きな前者の方が後より階段に流れ込む流量は小さくなっている。このように階段入口から流入する流量は、主流のフルード数  $F_r$  に大きく影響されることが確認される。

4. 横越流堰の越流量に関する評価式

ここで対象とする流れの形態は、河川における横越流と同様と考えられる。代表的な横越流堰からの越流量の評価は室田ら<sup>3)</sup>による次式がある。

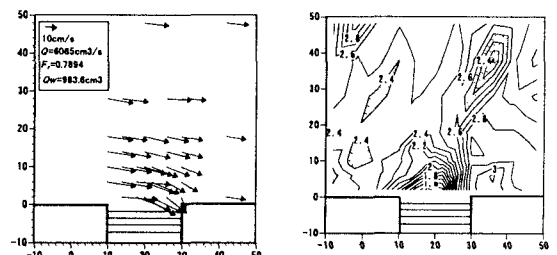


図-2(a) 流速ベクトル

図-2(b) 等深線

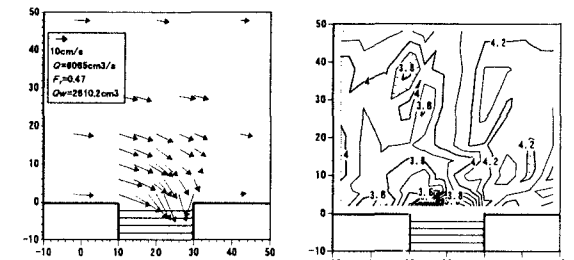


図-3(a) 流速ベクトル

図-3(b) 等深線

$$Q = C_w \sqrt{2g} L (H_a - w)^{3/2} \quad (1-a) \quad C_w = -0.076 F_r + 0.29(L/B) - 0.70 \quad (1-b)$$

ここに、 $Q$ :横越流量、 $L$ :横越流幅、 $B$ :水路幅員、 $H_a$ 、 $F_a$ :横越流堰がない場合の水路床基準の全水頭、およびフルード数  $F_a = Q_0 / Bh(gh)^{0.5}$ 、 $Q_0$ :水路全流量、 $h$ :水深、 $w$ :堰高である。既往の横越流堰からの流量式は、河川の治水用横越流堰を対象としているため、水路幅  $B$  に対して越流幅  $L$  が非常に大きい場合について求められている。すなわち、(1) 式の適用範囲は  $L/B=3\sim 9$  である。本研究で対象とする  $L/B < 1$  のような場合に(1-b)式を適用すると、 $C_w$  は負値となり全く適合しない。そこで、本研究では(1-a)式が階段入口から流入する流量の評価に適用できるものと考え、流量係数  $C_w$  の表示式を実験データより新しく求めることにした。

### 5. 実験結果

実験で得られた階段流入量( $Q_w$ )、水路床基準の主流の全水頭( $H$ )、幅員( $L$ )および蹴上げ高 ( $w$ ) を(1-a)式に代入して  $C_w$  を求め、階段入口上流部の主流のフルード数  $F_r$  との関係プロットしたものが、図-4である。図中には  $L/B$  および  $w$  を実験パラメータとして変化させた結果がプロットされているものの、これらの値の違いによる有意な差は認められない。本来、 $L/B$ 、 $\Delta h/w$  ( $\Delta h$ :越流水深)などは越流水脈の縮流に関するパラメータとして流量係数  $C_w$  に影響を及ぼす筈であるが、比較的小さい水深の実験であったため主流の表面波、流れ自身の不安定性や流入口の不整形等の影響を受けて、データの散らばりが大きく、それらの相違に基づく関係を明確に見出せなかった。そのため、流量係数  $C_w$  は主流のフルード数のみに支配されるものと見なして、階段入口から流入する流量の評価式として次式を得た。

$$Q_w = C_w \sqrt{2g} L (H - w)^{3/2} \quad (2-a) \quad C_w = -0.36 F_r + 0.43 \quad (2-b)$$

ここに、 $H$ : 階段入口直上流の全水頭 ( $= h + Q_0^2 / (2gB^2 h^2)$ ) および  $F_r = Q_0 / (\sqrt{gh} B h)$  である。

De Marchi や Forchheimer が理論的な解析で提案した横越流の流量式は、横越流堰前面の越流水深を用い、(2-a)式の  $C_w \sqrt{2g}$  が  $(2\sqrt{2g}/3)\mu$  (それぞれ  $\mu = 0.623, 0.644$ ) と置かれている。本実験データの整理に際しては、横流出の影響が及ばない直上流の水深を用いている。これは、氾濫解析で求められる地下入口上流部の水深から流入量を計算できるようにするためである。(2-b)式で  $F_r \rightarrow 0$  における  $C_w$  を上記の  $\mu$  に換算すると、 $\mu = 0.645$  となり Forchheimer が用いた値とほぼ一致する結果となっている。

### 5. まとめ

地上部の氾濫水が地下空間に流入するような流れを数値シミュレーションする場合、階段入口から流入する流量の評価することが不可欠である。本研究では、主流方向に対して垂直に開口する階段入口から流入する流量の評価式を実験的に求めた。流量係数  $C_w$  は、主流のフルード数  $F_r$  に大きく影響されることが明らかになったものの、 $L/B$  や階段蹴上げ高  $w$  による影響は明瞭に定式化できなかった。

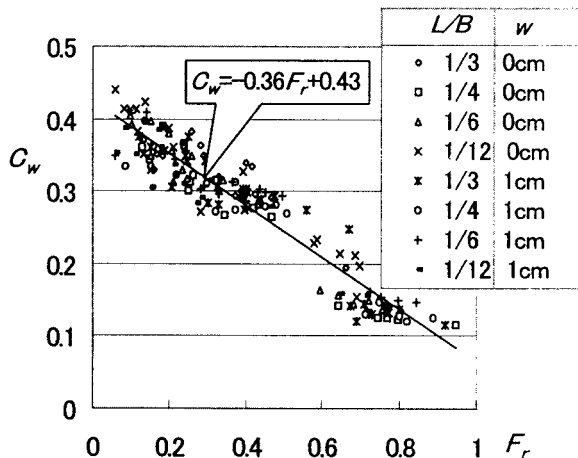


図-4  $C_w$  と  $F_r$  の関係式

参考文献 1) 戸田ら: 大都市の地下空間の氾濫浸水シミュレーション、地下空間シンポジウム論文・報告集、第5巻B-2、pp.209-216、1999。

2) 多田ら: 直階段から地下空間へ流入する流量の評価に関する実験的研究、水工学論文集、第45巻、pp.901-906、2001。

3) 室田ら: 横越流堰の越流量の評価に関する研究、土木学会論文集、第363号/II-4 (ノート)、pp.249-252、1985。