

洪水氾濫に伴う地下空間への横流入量の実験的評価(その2)

長崎大学工学部 学生会員 ○田辺 雅一 長崎大学工学部 正会員 多田 彰秀
 長崎大学工学部 正会員 古本 勝弘

1. はじめに

1999年および2000年にかけての地下空間で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¹⁾がなされている。その際に、境界条件として地上部の階段入口から地下空間へ流入する流量を正確に与える必要がある。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、多田ら²⁾の研究がある。一方、流れの方向に対して直角に開口する階段入口から地下空間へ流入する流量の評価式としては、松尾ら³⁾によって次のように提案されている。

$$Q_w = C_w \sqrt{2gL(H-w)^{3/2}} \dots (1-1) \quad C_w = -0.36F_r + 0.43 \dots (1-2)$$

ここに、 Q_w :階段入口から地下空間へ流入する流量、 L :階段入口の幅員、 B :水路幅、 H 、 F_r :階段入口直上流の全水頭($=h + Q^2 / (2gB^2h^2)$)およびフルード数($=Q / (\sqrt{gh}Bh)$)、 Q :水路全流量、 h :水深、 w :段差の蹴上げ高である。両式は、代表的な横越流堰からの越流量の評価式⁴⁾を参考にして誘導されたものである。使用された実験データは、(1-2)式のまわりにばらつきが大きく、精度の面で検討の余地が残された(図-1参照)。そこで、本研究では松尾ら³⁾の水力実験における問題点を改善し、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地下空間へ流入する流量の評価式を新たに求めようとしたものである。

2. 水力実験の概要

水力実験には図-2に示すような幅 $B=60\text{cm}$ 、長さ 400cm の水平矩形水路を用いた。水路の左岸側と底部は木板で、右岸側は流況が視視できるようにアクリル板を用いて製作されている。水路下流端から 200cm 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。全流量 Q は上流端のバルブの開度によって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3種類、地上部に設けた段差(蹴上げ高 $w=1\text{cm}$)の有無で計6ケースの実験を行った(表-1参照)。地上部に相当する水路の末端流量 Q_1 および階段入口から流入する流量 Q_w は、それぞれ三角堰を用いて計測した。とくに、松尾ら³⁾の水力実験では軽減策がなされなかった表面張力の影響をできるだけ除外するため、越流水深が 3.00cm 以上のデータを中心に実験を行うことにした。一方、越流水深が 3.00cm よりも小さいケースについては、点滴装置を用いて界面活性剤(水2lに対して食器用洗剤100mlを添加したもの)を階段入口の直上流の右岸から注入することによって、表面張力の影響を軽減することにした。さらに、JIS(規格番号:JIS B8302)に従って、新しく製作した階段入口部の段差の形状を図-3に示す。これによって、段差の頂部においても表面張力の影響が除外されるように試みた。

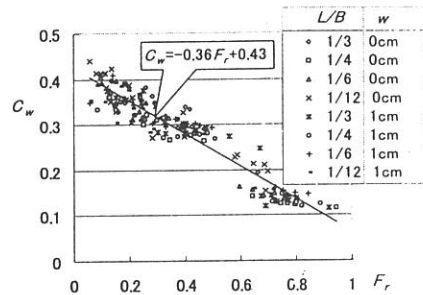


図-1 松尾ら³⁾の実験データ

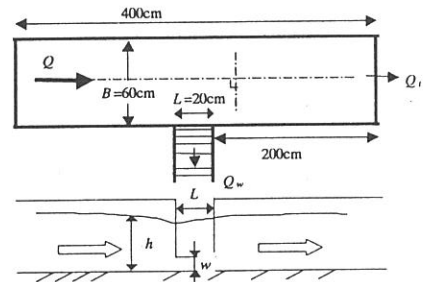


図-2 実験装置の概要

表-1 実験ケース

	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-5	Run-6
L/B	1/3	1/3	1/4	1/4	1/6	1/6
w(cm)	0	1	0	1	0	1

3. 実験結果および考察

全流量 $Q (=Q_w+Q_r)$ と階段入口から地下空間へ流入する流量 Q_w との関係明らかにするため、 Q_w/Q を流量分配率と定義する。図-4 は、Run-1、Run-2 および Run-5 の Q_w/Q と階段入口上流側の主流フルード数 F_r との関係を示したものである。 F_r の増加に伴って Q_w/Q が減少している。すなわち、階段入口から地下空間へ流入する流量は、地上部主流の有する慣性力(フルード数 F_r)の大きさに著しく支配されているものと判断される。また、3つのケースを比較すると Run-1 の Q_w/Q が他の2ケースよりも大きな値となっている。このことから、 L/B および w は Q_w に影響を及ぼすパラメータと考えられる。

階段入口から地下空間へ流入する流量 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(1-1)式に代入して C_w を求めるとともに、主流のフルード数 F_r との関係を整理したものが図-5 および図-6 である。両図には最小2乗法で求められた回帰直線も実線、破線および一点鎖線で併記されている。同一の $L/B(=1/3)$ の条件下で段差の有無による相違を明らかにした図-5 では、段差のある Run-2 の方が Run-1 の C_w よりも常に大きく

一方、段差のない場合の Run-1、Run-3 および Run-5 を対象に、 L/B の値が C_w に及ぼす影響を比較したものが図-6 である。図中の3ケースの回帰直線は次のとおりである。

$$L/B=1/3(\text{実線}) : C_w = -0.22F_r + 0.37 \dots \dots (2-1)$$

$$L/B=1/4(\text{破線}) : C_w = -0.22F_r + 0.38 \dots \dots (2-2)$$

$$L/B=1/6(\text{一点鎖線}) : C_w = -0.25F_r + 0.39 \dots \dots (2-3)$$

なお、相関係数はそれぞれ 0.93、0.92、0.90 であった。これらの式より、傾きは3ケースともほぼ同じ値であるが、切片の値($F_r=0$ のときの C_w の値)は全て異なった値となっていることがわかる。したがって、 L/B の影響が C_w の値に現れたものと考えて、階段入口から地下空間へ流入する流量の評価式として次式を提案する。

$$Q_w = C_w \sqrt{2gL(H-w)^{3/2}} \dots \dots (3-1)$$

$$C_w = -0.22F_r - 0.12(L/B) + 0.41 \dots \dots (3-2)$$

4. まとめ

本研究では、表面張力の影響を軽減しながら主流方向に対し直角に開口する階段入口から地下空間へ流入する流量の評価式を実験的に求めた。その結果、流量係数 C_w は、主流のフルード数 F_r と L/B に影響されることがわかった。さらに、(3-1)式および(3-2)式が求められたが、段差のある場合については適用可能性を今後検討していきたい。

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) 松尾ら：洪水氾濫に伴う地下空間への横流入量の実験的評価，平成13年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，第2分冊Ⅱ・80，2002。
- 4) 室田ら：横越流理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。

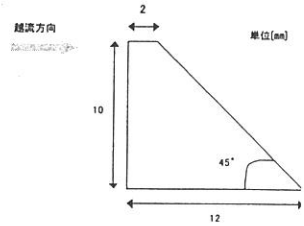


図-3 段差の形状

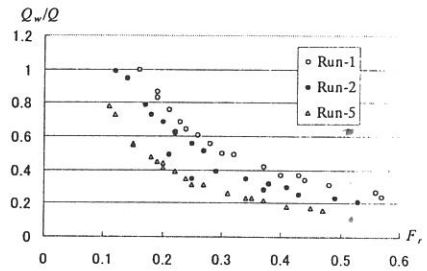


図-4 分配率と F_r の関係

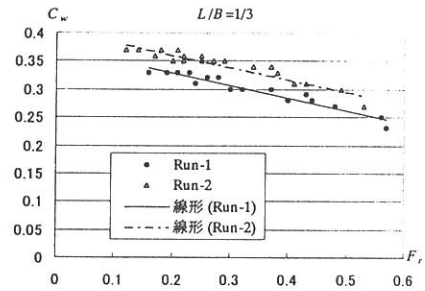


図-5 C_w と F_r の関係($L/B=1/3$)

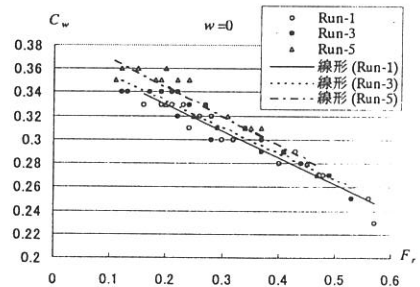


図-6 C_w と F_r の関係($w=0$)