

# 洪水氾濫水に伴う地下空間への浸水の 流入・伝播過程に関する実験的研究

多田 彰秀<sup>1</sup>・古本 勝弘<sup>1</sup>・本田 洋平<sup>2</sup>  
松尾 一良<sup>3</sup>・松尾 拓也<sup>4</sup>

<sup>1</sup>長崎大学工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町 1-14)

<sup>2</sup>㈱相愛 愛媛営業所 (〒790-0952 松山市朝生田町 7-12-10)

<sup>3</sup>佐世保市港湾部 (〒857-0877 佐世保市万津町 3-5)

<sup>4</sup>厚生労働省長崎労働局 (〒852-8535 長崎市岩川町 16-16)

## 1. はじめに

東京、大阪および名古屋に代表されるわが国の大都市においては、空間の有効利用の観点から地下空間の開発や利用が積極的になされてきた。とくに、1994年に改正された建築基準法では地下室の利用規制が緩和され、その結果として、地下空間の開発や利用がそれまで以上に推進されるようになった。しかし、地下空間での防災対策は「防火」が中心であったため、『水害対策』はほとんど議論されておらず、地下空間の浸水の危険性さえも意識されてこなかったのが事実である。このような中、1999年6月には福岡市で一名が、1999年7月には東京都内で一名が地下室に流れ込んだ大量の氾濫水で溺死した。さらに、2000年9月の東海豪雨では、氾濫水が地下鉄駅部に流れ込み、随所で軌道冠水を生じ、運行に大きな支障をきたした。言い換えれば、1999年および2000年の集中的な豪雨は、地下鉄や地下街など大都市の地下空間が洪水氾濫水に対して如何に脆いものであるかを露呈したといっても過言ではない(写真-1参照)。このような大都市における事態は、豪雨時ばかりでなく、高潮時や地震時にも生じる可能性が高いものと予想される。したがって、地下空間での河川水や海水による浸水被害の予測、浸水防御策および避難誘導システム等に対して有用な情報を提供するため、地下空間への洪水氾濫に伴う浸水の流入・伝播過程を水理的に明らかにするとともに、浸水解析する手法を確立することは、防災工学上も重要課題である。

このような地下空間における浸水対策の一つとして、洪水氾濫水に伴う浸水の予測シミュレーションを実施し、

地下空間での浸水に対する避難誘導システムを確立することが早急に望まれる。本論文では、このような課題を解決するための第一段階として、地下空間での浸水予測シミュレーションを実施する際の境界条件となる階段入口から地下空間へ流入する流量に着目し、その水理特性に影響を及ぼすと予想される階段入口の構造形式・各種諸元をJR博多駅地下街に通じる階段入口を対象に現地調査している。さらに、得られた現地調査の結果に基づき作製された階段模型を用いて水理実験を行い、階段入口から地下空間へ流入する流量の評価式を提案する。とくに、地上部の主流方向に開口する直階段からの流入流量および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を対象としている。なお、前者については、階段入口の地上部に段差(ステップ)を設けた場合と設けない場合の流入流量の比較から、地上部での段差(ステップ)の設置効果についても検討を加える。



写真-1 階段入口から地下街へ流れ込む濁流<sup>1)</sup>

## 2. 博多駅地下街へ通じる階段入口の現地調査

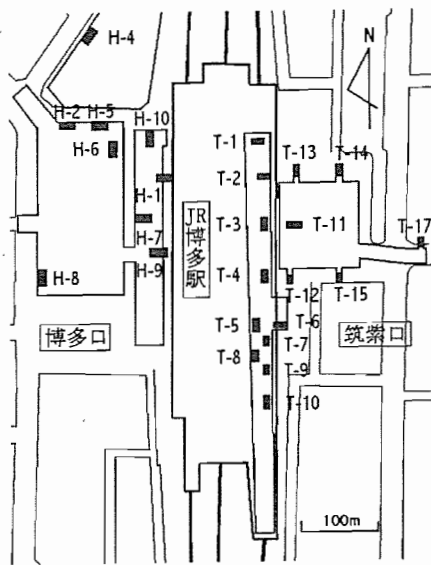
### (1) 現地調査の概要<sup>2)</sup>

1999年6月の福岡豪雨に伴って地下空間への浸水被害が発生したJR博多駅地下街を対象に、地上部から地下街への通路となっている筑紫口方面16ヶ所、博多口方面9ヶ所、計25ヶ所の階段入口(図-1参照)で現地調査を1999年12月9日に実施した。調査方法は、巻尺、定規およびデジタルカメラを用いて、地下街へ通じる階段入口の①幅員、②階段の勾配、③地上部と地下街との高低差(階高)、④階段ステップの高さ(けあげ高)、⑤階段ステップの幅(踏み幅)、⑥階段総数、⑦踊り場の踏み幅、⑧段差(ステップ)の有無および⑨段差(ステップ)の高さ・延長などを詳細に測量した。

### (2) 現地調査結果およびその考察<sup>2)</sup>

現地調査から得られた測量データに基づいて、複雑な構造を有する階段入口の形式について分類を試みた。その結果、図-2に示すような4つの基本パターンに大別されることが分かった。すなわち、25ヶ所の階段入口のうち、直階段が13ヶ所(2ブロック:6ヶ所、3ブロック:7ヶ所)と最も多く、ついで折れ階段(右折れ:5ヶ所、左折れ:1ヶ所)が6ヶ所、折返し階段が4ヶ所であった。残り2ヶ所については、特殊な形状(直階段と螺旋階段がつながった形状および直階段の踊り場から他の階段につながった形状)のため基本パターンから除外した。なお、図-2(i)に示す直階段は、地上部から踊り場(A)、踊り場(A)から地下部をそれぞれ1ブロックとみなし、2ブロックから構成されているものと考えた(図-3参照)。

表-1は、図-3に定義されている直階段(2ブロック)の



■ : 調査対象とした階段入口

図-1 JR博多駅周辺の階段入口と調査地点

場合の各諸元について整理したものである。この表より、階段の幅員は3.9m、けあげ高は0.15m、踏み幅は0.31m、1ブロック当りの階段総数は15段、踊り場の踏み幅は1.41m等が確認できる。これらの平均値は、表-2に示す立体横断施設(例えば、歩道橋)の標準値<sup>3)</sup>を満足している。

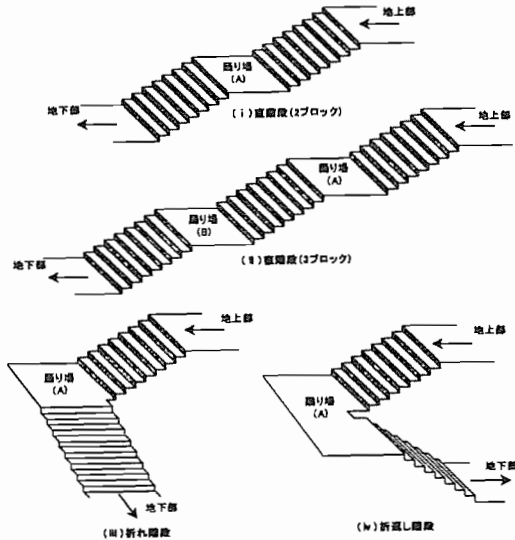


図-2 階段入口の構造形式

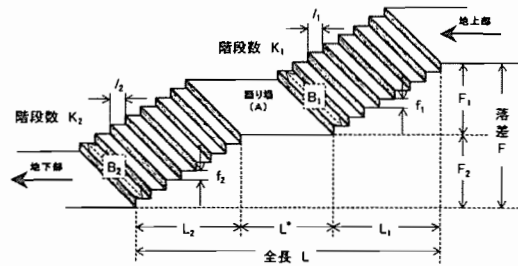


図-3 直階段(2ブロック)に関する構造諸元の定義

表-1 階段入口の構造諸元〔直階段(2ブロック)〕

		(単位: mm)							
		T-2	T-4	T-5	T-8	T-9	H-4	平均	
① ブロック	$k_1$	15段	17段	16段	16段	13段	18段	16段	
	$f_1$	146	151	154	153	154	154	152	
	$l_1$	326	315	315	315	323	300	316	
	$F_1=f_1k_1$	2190	2567	2464	2448	2002	2772	2407	
	$L_1=(k_1-1)l_1$	4564	5040	4725	4725	3876	5100	4672	
	$F_1/L_1$	0.4798	0.5093	0.5215	0.5181	0.5165	0.5435	0.5148	
② ブロック	$k_2$	16段	14段	16段	16段	19段	18段	17段	
	$f_2$	148	151	146	155	148	154	150	
	$l_2$	326	313	317	324	326	300	318	
	$F_2=f_2k_2$	2368	2114	2338	2480	2812	2772	2480	
	$L_2=(k_2-1)l_2$	4890	4069	4755	4860	5865	5100	4923	
	$F_2/L_2$	0.4843	0.5195	0.4913	0.5103	0.4795	0.5435	0.5047	
		$B_1$	4434	4520	4400	3500	2960	3778	3932
		$B_2$	4434	4520	4400	3500	2960	3778	3932
		$L^*$	1518	1515	1510	1510	1220	1204	1413
		$F$	4558	4681	4800	4928	4814	5544	4888
		$L$	10970	10624	10990	11095	10961	11404	11007
材質		A	A	A	A	A	A	B	—

[材質] A:プラスチックパネル B:石タイル

表-2 立体横断施設の標準値<sup>3)</sup>

階段のけあげ高; $f$	15cm
階段の踏み幅; $l$	30cm
踊り場の踏み幅; $L^*$	1.2m以上

出典: 日本道路協会

「立体横断施設技術基準・同解説」

さらに、図-4は1ブロック毎の階段落差  $F_i$  と水平距離  $L_i$  との関係を示したものである。図中には、折れ階段および折返し階段の場合のデータも同様な処理を施して併記されている。図より、階段入口の形状に関係なく  $F_i$  と  $L_i$  とは比例関係にあることが確認できる。なお、図中の実線は、最小二乗法より算出した回帰式である。この式より階段の平均勾配は  $\theta=25^\circ$  となる。

また、写真-2 に示すような地上部の階段入口に設けられた段差(ステップ)についても調査を行った。その結果、JR 博多駅地下街に向かう階段入口での段差(ステップ)の設置率は 44% (11/25) と予測していたほど大きくなかった。とくに、段差(ステップ)が設けられている

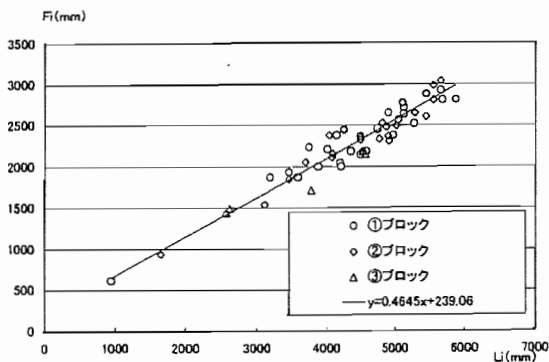


図-4 階段落差  $F_i$  と水平距離  $L_i$  との関係



写真-2 地上部の階段入口に設けられた段差(ステップ)

階段入口は、すべて屋外に面していた。なお、段差(ステップ)のけあげ高の平均値は 0.11m、段差(ステップ)の踏み幅の平均値は 2.1m であった。

### 3. 階段入口から流入する流量の評価について

(1) 地上部の主流方向に開口する直階段から流入する流量の評価式<sup>4)</sup>

#### a) 水理実験の概要

構造形式として半数を占めた直階段を対象として地下空間へ流入する流量の評価式を提案するため、フルード相似則(縮尺 1/15)を採用して図-5 に示すようなアクリル製の階段模型を製作し、水理実験を行った。なお、模型の各諸元については表-3 に示すとおりである。実験は、図-5 のA点の水深( $h_a$ )をパラメータとして変化させ、流れが定常になったことを確認した後、①階段部へ流入する流量( $Q$ )、②A点の断面平均流速  $V_s$ (2点法)、③地上部(b点~a点の区間)の水面形などについて三角堰、電磁流速計およびポイントゲージ等を用いて計測した。とくに、階段入口の地上部に段差(ステップ)を設けない場合(Run-1 および Run-2)と段差(ステップ)を設けた場合(Run-3 および Run-4)の比較を通して、地上部の段差の設置効果についても検討を加えた。

#### b) 水理実験結果とその考察

図-6 に示すフローチャートに従って、階段入口から地下部へ流入する流量  $Q$  の評価式を誘導した。その結果、表-4 のように(2)式の流量係数  $C_{*}$  および(べき乗定数  $a$  が求まった。

図-7 は、地上部A点の水深  $h_a$  と(2)式で評価される流量  $Q$  との関係(Run-1; 段差なし)を太線で示したものである。図中には、A点で計測した断面平均流速  $V_s$  より算定された  $Q_{cv}(\Delta)$  と(1)式より求めた Run-2 の  $Q_c(O)$  がプロットされている。 $Q_{cv}$  の値は、すべての実験ケースで(2)

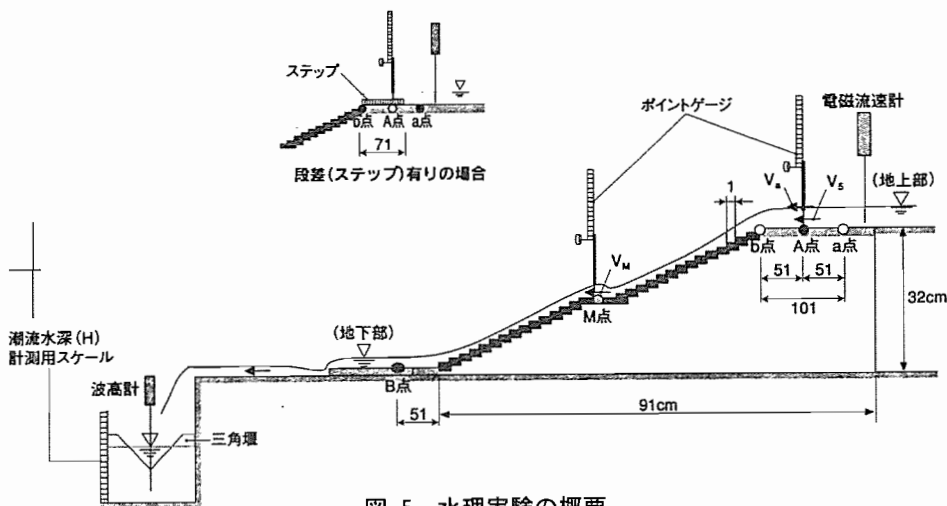


図-5 水理実験の概要

表-3 階段入口模型の諸元

	実階段の諸元(平均値; JR博多駅)	水理模型の諸元(縮尺1/15)
階段入口の幅員 (B)	3.00m	20.0cm
階段のけあげ高 (f)	0.15m	1.0cm
階段の踏み幅 (l)	0.30m	2.0cm
1ブロック当りの階段数	15段	15段
踊り場の踏み幅 (L')	1.50m	10.0cm
段差(ステップ)のけあげ高	0.11m	0.8cm
段差(ステップ)の踏み幅	2.10m	14.0cm

Run-1、Run-3

- ①A点の水深 $h_5$ を変化させて $V_5$ 、 $Q_D$ 、 $H$ を計測  
直角三角堰を越流する流量 $Q_D$ は、ストップウォッチとメスシリンダーを用いて直接測定

直角三角堰の流量公式

$$Q = \frac{8}{15} C_* \sqrt{2g} H^{3/2} \dots\dots\dots(1)$$

$Q$ : 直角三角堰の越流量( $\text{cm}^3/\text{s}$ )、 $C_*$ : 流量係数  
 $g$ : 重力加速度( $980\text{cm}/\text{s}^2$ )、 $H$ : 直角三角堰の越流水深( $\text{cm}$ )

- ②計測された $Q_D$ と $H$ を(1)式に代入し、最小二乗法を用いて $C_*$ を算定  
A点での平均断面流速 $V_5$ (2点法)より流入流量 $Q_{CV}$ を算定

- ③地下空間へ流入する流量の評価式

$$Q = C_* B h_5^a \dots\dots\dots(2)$$

$C_*$ : 直階段の流量係数、 $B$ : 階段の幅員( $\text{cm}$ )  
 $h_5$ : A点での水深( $\text{cm}$ )、 $a$ : 定数

上式((2)式)に計測した $h_5$ 、 $Q_D$ を代入し、最小二乗法より $C_*$ 、 $a$ を算出

Run-2、Run-4

- ④A点の水深( $h_5$ )を変化させて水面形、三角堰の越流水深( $H$ )、踊り場M点の水深( $h_M$ )、地下部B点の水深( $h_B$ )を計測

- ⑤トレーサーによる流下時間の計測

- ⑥ $H$ およびRun-1(Run-3)の実験結果より特定した $C_*$ を(1)式へ代入し、越流量 $Q_C$ を算出

- ⑦ $h_5$ を(2)式に代入して流入流量 $Q$ を算定

図-6 流量評価式の誘導フローチャート

表-4 流量評価式(2)の流量係数 $C_*$ とべき乗定数 $a$

実験ケース名	$C_*$	$a$	段差の設置
Run-1	20.98	1.88	なし
Run-3	30.55	1.38	あり

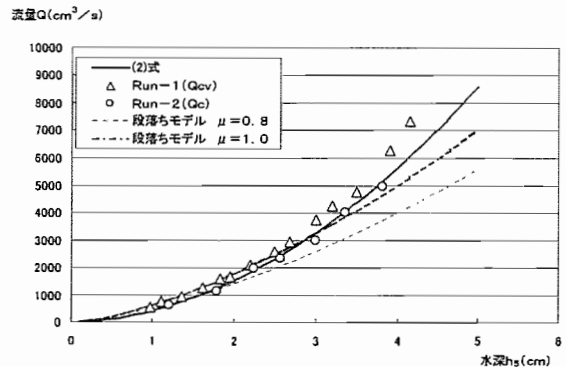


図-7 階段入口からの流入流量(段差なし)

式の値よりも大きくなっている。これはA点の断面平均流速 $V_5$ を流心軸上で2点法によって算出したため、 $Q_{CV}$ を過大評価しているものと考えられる。一方、 $Q_C$ は(2)式よりも小さいことが分かる。しかし、両者は(2)式の曲線を挟んで分布しており、平均的には(2)式の妥当性が確認できる。さらに、図中には段落ちモデル<sup>5)</sup>に流量係数 $\mu = 0.8$ および $\mu = 1.0$ を与えた場合の流量がそれぞれ細破線および太破線で示されている。A点の水深 $h_5$ が3cm以下の場合には、流入流量 $Q$ をここで提案する(2)式から算出しても段落ちモデルで求めても大差がないことが明らかとなった。また、表-5に示す $Q_C$ および $Q$ の比較より、(2)式は、A点の水深 $h_5$ が、 $h_5 < 1\text{cm}$ および $h_5 > 4\text{cm}$ の範囲では適用が難しいものと判断される。一方、 $1\text{cm} \leq h_5 \leq 4\text{cm}$ の範囲内では、ほぼ $0.95 < Q/Q_C < 1.05$ の関係が成立していることも確認できる。なお、既往の研究では段落ち部の流量を次式より算定している<sup>6)</sup>。

$$Q = C B h_f^{3/2} \dots\dots\dots(3)$$

ただし、 $h_f$ : 段縁の水深、 $C$ : 流量係数、 $B$ : 水路幅である。本論文では、洪水氾濫に伴う地下空間への浸水の予測シミュレーションを実施する上で重要となる境界条件

表-5 実験ケースの水理量 (Run-2 および Run-4)

ケース名	越流水深 $H_*$ (cm)	A点の水深 $h_{5*}$ (cm)	越流量 $Q_C$ ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )	M点の水深 $h_M$ (cm)	B点の水深 $h_B$ (cm)	レイノルズ数 $Re = U_5 h_{5*} / \nu$	流入流量 $Q$ ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )
Run-2-1	4.26	1.21	624.4	0.44	0.41	2,383	600.4
Run-2-2	5.43	1.79	1,145.3	0.57	0.51	4,371	1253.7
Run-2-3	6.77	2.25	1,987.9	0.85	0.69	7,587	1927.3
Run-2-4	7.22	2.57	2,334.9	0.89	0.74	8,912	2474.6
Run-2-5	7.98	3.00	2,798.9	1.12	1.17	11,446	3310.0
Run-2-6	8.97	3.36	4,017.1	1.45	1.28	15,332	4095.9
Run-2-7	9.77	3.81	4,973.6	1.73	1.84	18,983	5187.7
Run-4-1	2.42	0.62	144.3	0.55	0.58	551	315.9
Run-4-2	3.30	0.91	313.4	0.50	0.55	1,196	536.4
Run-4-3	5.66	1.53	1,207.5	0.70	0.56	4,609	1098.8
Run-4-4	6.76	2.03	1,882.4	0.83	0.83	7,185	1623.3
Run-4-5	7.70	2.76	2,606.6	0.95	1.02	9,949	2480.3
Run-4-6	8.55	3.35	3,386.6	1.14	1.20	12,928	3240.4

レイノルズ数( $Re$ );  $U_5 = Q_C / (B h_{5*})$ ,  $\nu = 1.310 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$  ( $10^\circ\text{C}$ )

を明らかにするという主な目的のため、流入流量 $Q$ を評価する際に必要な水深(越流水深; $h_*$ )を『段縁(b点)から上流側へ  $5l$  のA点』でしか測定していない。一般的に、数値シミュレーションを実施する際に用いられる計算格子の水深は、格子サイズ内で平均化され、格子中央部で定義されることが大半である。ここでも、水理実験に際して、計算格子のサイズを階段入口の幅員( $B$ )と同じ程度、すなわち  $10l$  と考えた。このため、格子中央はb点から上流側へ  $5l$  の位置となり、A点が選択されたのである。さらに、既往の研究に基づけば<sup>6)</sup>、流量の増加とともに限界水深の発生位置が変化するので、それに伴って越流水深( $h_*$ )の測定位置を変化させる必要がある。したがって、流量評価式に採用する越流水深  $h_*$  の測定位置については、今回採用した  $h_5$  以外にも  $h_6$  や  $h_7$  等の妥当性について検討する余地が残されている。

図-8 は、地上部の階段端部b点(段縁)から上流側へ取った距離  $x$  と  $h/h_c$  ( $h_c$ : 限界水深)との関係を示したものである。各ケースとも  $h/h_c$  の値は上流側に向かうほど増加している。また、流入流量 $Q$ の増加(表-5 参照)とともに同一測点での  $h/h_c$  の値が減少傾向にある。これは、流入流量 $Q$ の増加に伴って、b点(段縁)近傍に出現する射流区間( $h/h_c < 1.0$ )が上流側へ拡大していくものと解釈できる。なお、b点(段縁)より下流側の階段直上の流れはすべて射流であり、 $h_5 > 3\text{cm}$  の条件下で流況が大きく変化する。すなわち、踊り場の段縁から流水が地下部に向けてジャンプするとともに、踊り場の段縁から下流側に5~6段の範囲で流下水が空洞となることも明らかとなった。

図-9 は、Run-2および Run-4の場合の  $Q_c$  と表-4 に示す 2 つの流量評価式とを併記して、比較したものである。A点の水深  $h_5$  が2cm を超えるあたりから、同一水深でも段差(ステップ)を設置している場合の方が階段へ流入する流量は小さくなるのが分かる。図-10 は、段差(ステップ)を設置している場合のb点(段縁)から上流側へ取った距離  $x$  と  $h/h_c$  ( $h_c$ : 限界水深)との関係を示したものである。図より、①段差の存在に伴ってb点~a点区間の流れの大半が常流となっていること、さらに、②段差

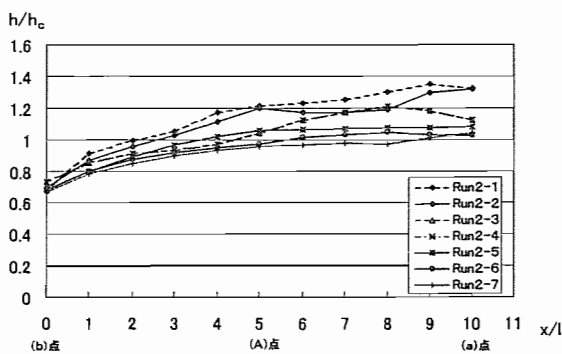


図-8 地上部 b 点~a 点間の水面形

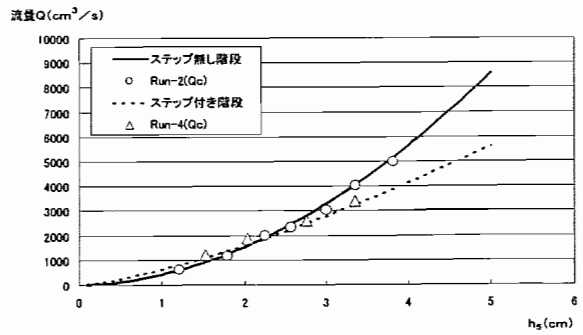


図-9 流入流量に及ぼす段差(ステップ)の影響

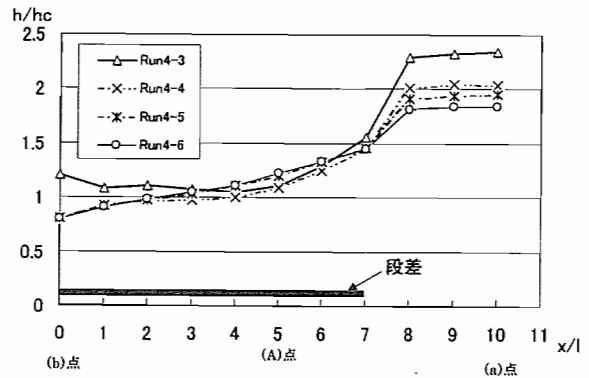


図-10 地上部 b 点~a 点間の水面形(段差あり)

が設置されていない場合より  $h/h_c (> 1.0)$  の値が大きくなっていることが確認できる。これらが、図-9の流入流量の評価式(段差がある場合)において同一水深でも流量が小さくなった理由であると考えられる。

(2) 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<sup>7)</sup>

#### a) 水理実験の概要

実験には図-10 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亚克力製模型を設置した。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<sup>8)</sup>より流量

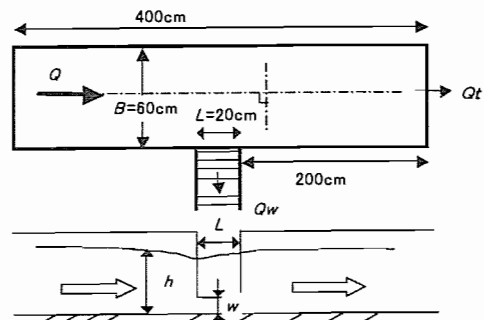


図-10 水理実験の概要

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。

#### b) 横越流堰の越流量に関する評価式<sup>8)</sup>

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>8)</sup>による次式がある。

$$Q = C_w \sqrt{2gL} (H_a - w)^{3/2} \quad (4-a)$$

$$C_w = -0.076F_r + 0.29(L/B) - 0.70 \quad (4-b)$$

ここに、 $Q$ :横越流量、 $L$ :横越流幅、 $B$ :水路幅員、 $H_a$ 、 $F_r$ :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  $F_r = Q_0 / (Bh(\sqrt{gh}Bh))$ 、 $Q_0$ :水路全流量、 $h$ :水深、 $w$ :堰高である。(4)式の適用範囲は  $L/B=3\sim 9$  である。一方、本論文で対象とする  $L/B < 1$  のような場合に(4-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、(4-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  $C_w$  の表示式を水理実験データに基づいて新しく求めることにした。

#### d) 水理実験結果とその考察

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(4-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-11 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併記されている。比較的小さい水深の実験であったために、主流の表面波や表面張力等の影響を受けてデータの散らばりが大きく、 $L/B$  や  $\Delta h/w$  ( $\Delta h$ :越流水深)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。

$$Q_w = C_w \sqrt{2gL} (H - w)^{3/2} \quad (5-a)$$

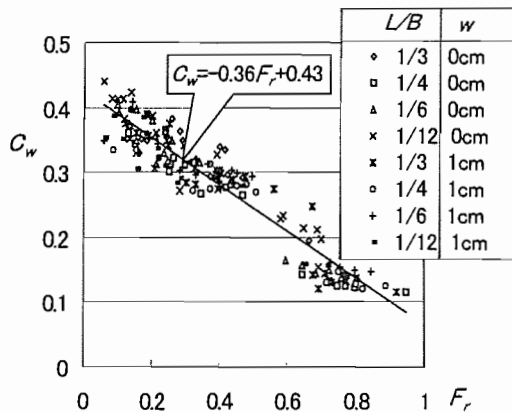


図-11  $C_w$  と  $F_r$  との関係

$$C_w = -0.36F_r + 0.43 \quad (5-b)$$

ここに、 $H$ : 階段入口直上流の全水頭および  $F_r = Q_0 / (\sqrt{gh}Bh)$  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、(5-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。(5-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る。

### 3. おわりに

本論文では、地下空間の浸水予測シミュレーションを実施する際の境界条件となる階段入口から地下空間へ流入する流量に着目し、その定量的な評価式について検討した。その結果、以下のようなことが明らかとなった。

- (1)直階段から地下空間へ流入する流量は、地上部A点の水深  $h_g$  の指数形式で評価できる。
- (2)地上部の階段入口に設置されている段差は、少なくとも地下空間での浸水被害を軽減もしくは遅延させる効果を有している。
- (3)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。

#### 参考文献

- 1) (財)建設工法研究所:《グラビア》福岡豪雨災害 6.29, 九州技報, 第26号, 2000.
- 2) 多田彰秀・井上啓由・本田洋平・古本勝弘:JR 博多駅地下街へ通じる階段入口の構造特性に関する現地調査, 長崎大学工学部研究報告, 第31巻, 第57号, 2001.
- 3) (社)日本道路協会:立体横断施設技術基準・同解説, 1979.
- 4) 多田彰秀・井上啓由・本田洋平・古本勝弘: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, 2001.
- 5) 高橋 保・中川 一・野村 出:洪水氾濫に伴う地下街浸水のシミュレーション, 京都大学防災研究所年報, 第33号, B-2, 1990.
- 6) (社)土木学会編:水理公式集, 昭和60年度版, 1985.
- 7) 松尾拓也・多田彰秀・本田洋平・古本勝弘: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.
- 8) 室田 明・福原輝幸・鋤田義浩:横越流堰の越流量の評価に関する研究, 土木学会論文集, No.363, II-4(ノト), 1985.

(2002. 12. 9 受付)