

博多駅周辺における地下空間調査と浸水解析

INUNDATION ANALYSIS OF THE UNDERGROUND SPACE AROUND JR HAKATA-EKI STATION

橋本晴行¹・朴 埼璨²・池松伸也³

Haruyuki HASHIMOTO and Shinya IKEMATSU

¹九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

E-mail: hasimoto@civil.kyushu-u.ac.jp

²河川環境総合技術研究所 (706-821 韓国大邱市壽城区泛漁 4 洞 197-2 東信 B/D4F)

³九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡 744)

1. はじめに

1999年6月29日早朝、福岡市では6月の1時間雨量としては観測史上最大の集中豪雨(77mm/hr)が発生した。この豪雨は、御笠川流域を中心に隣接河川流域を含めて空間的に一様な強度の雨を流域全体にもたらしたのが特徴的であった。これにより、博多駅周辺では、御笠川およびこれに合流する山王放水路が氾濫し、浸水被害を発生させた¹⁾。

この水害は、個別ビルの地下飲食店勤務の女性従業員が逃げ遅れて水死するなど、水害に対する地下空間の危険性を露呈させた。

それから4年後の、2003年7月19日未明、御笠川流域の上流の太宰府市において最大時間雨量99mm、連続総雨量315mmにも及ぶ集中豪雨が再び発生した。この豪雨は上流の山地部を中心に発生し、下流の福岡市内は小雨であったが、博多駅周辺には再び洪水氾濫が引き起こされた²⁾。

博多駅周辺には地下駐車場を始め、飲食店、地下鉄駅など多様な地下空間が存在しているが、その多くは、2度の浸水被害を受けることとなった。そのため、地下空間の浸水危険度の評価法を確立することが急務となっている。

本研究は、博多駅周辺の地下空間を対象としてその用途や構造について実態調査を行うとともに、1999年水害を対象として地下空間の浸水の再現計算を行なうとともに、2003年水害を例として止水版の効果を検討したものである。

2. 1999年水害による地下空間の浸水状況と地下空間の調査

(1) 地下空間の浸水状況

図-1は、博多駅周辺の1999年浸水エリアにおける地下駐車場など地下空間の入口の位置を示している。ここに、■は浸水した地下空間、▲はその他の地下空間を示す。水害時の主な地下浸水の状況は次のようである。図-1中のA点付近でのビル地下駐車場では、当時駐車場入口に高さ40cmの止水版が設置されており、止水版を越えた地下浸水量は1995m³であった。

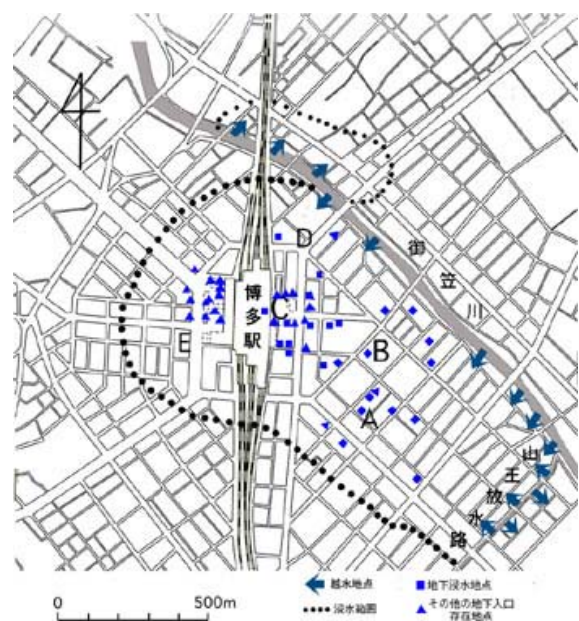


図 - 1 1999年浸水地域における地下空間入口

地下鉄博多駅筑紫口では、10時42分における17番出入口からの流入を皮切りに、11時00分、12・13・14・15番出入口から流入し始めた。また、出入口に隣接するビルからも雨水がコンコース、ホームに浸水し、軌道内も冠水した。また、中央口においてもJR博多駅のコンコースから雨水が浸水し、天井部分からの漏水が長時間続いた。砂袋・長机・止水版及び防水シート等の対策が講じられ、コンコース内には約2000m³の水が進入した。

(2) 地下空間の調査

2002年6月25日～2003年2月8日にかけて、博多駅周辺に存在する地下空間について、その用途、入口の形態、床面積、地下入口幅、道路から入口までの段差、階段勾配などの調査が行われた³⁾。また、1999年水害時の地下空間の浸水深、流入量も調べられた。

浸水被害が発生した23か所(図-1中の■点)の個別ビル地下空間について、調査結果を図-2(a)～(e)、図-3に示す。ここに図-2(c)はそのうちの15か所における地下床面積の分布である。

地下空間の用途は、駐車場が15箇所、飲食店が8箇所、その他が6箇所あり、そのほとんどは駐車場と飲食店で占められていた。このうち複数用途は6箇所であった。入口の形態は、階段が16箇所、スロープが14箇所であった。前者は飲食店など、後者は駐車場のそれであった。

地下空間のスケールは、まず床面積は90～1710m²であった。1,000m²以上のものは駐車場であった。入口幅は0.75m～8.2mであった。その内、4m以上の入口幅は駐車場であった。道路から入口までの段差は0～49.5cm、入口勾配は7.3°～37.9°であった。その内、駐車場入口は5～15°、飲食店などは25～40°の範囲であった。

浸水深は(図-3)、実態が明らかにされたビルにおいては、0.2m～5.85m、流入量は45～22,000m³であった。

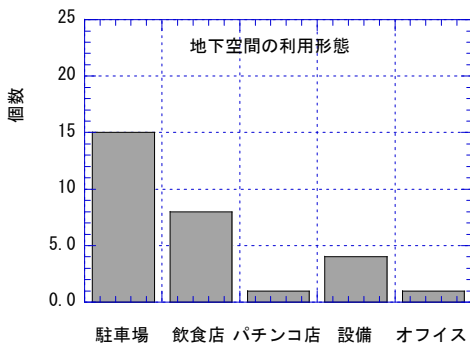


図-2(a) 浸水した地下空間の用途

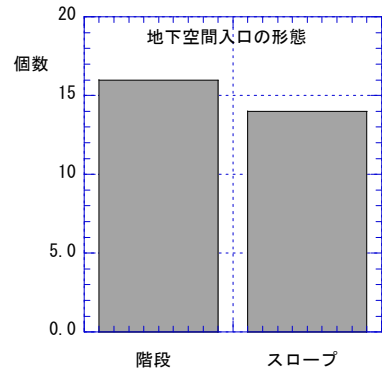


図-2(b) 浸水した地下空間の入口形態

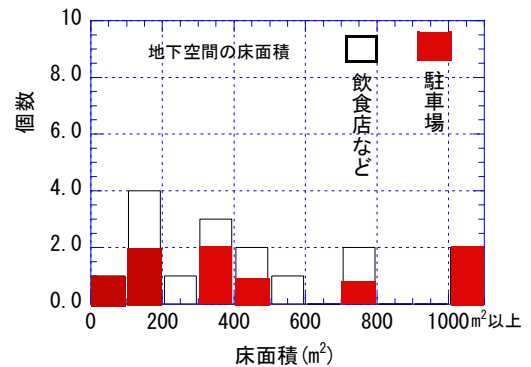


図-2(c) 浸水した地下空間の床面積

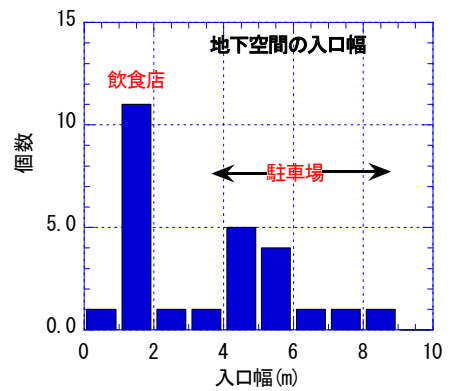


図-2(d) 浸水した地下空間の入口幅

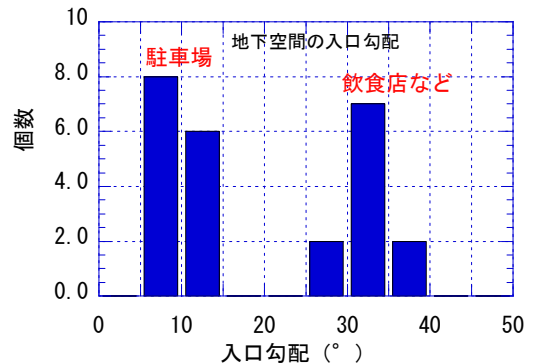


図-2(e) 浸水した地下空間の入口勾配

表-1は、地下鉄博多駅筑紫口側出入口の調査結果を示す。表-1から、次のこと明らかになった。地下鉄博多駅筑紫口側出入口の形態はいずれも階段であった。スケールとしては、入口幅は2.0m~3.25m、道路から入口までの段差は16.3~30.0cm、入口階段勾配は25.8°~26.8°であった。浸水量は全体で2,000m³であった。

3. 1999年水害を対象とした浸水解析

入口におけるスロープや階段の勾配は、個別ビルでは7.3°~37.9°、地下鉄入口では25.8°~26.8°となり、いずれも急勾配であった。従って、地下空間入口の階段の頂点は支配断面となるので、そこでは限界水深となり、地下流入量は入口における浸水深と入口幅によって決定される。そのハイドログラフを求めるため、博多駅周辺を対象に2次元氾濫計算が行われた^{4), 5)}。

(1) 地下浸水の解析

地下空間での浸水を解析するため、本研究では、地下空間の規模により個別ビル地下階のような小規模地下空間と地下鉄駅のような大規模地下空間とに分け、小規模地下空間の場合、流入流量 $Q(m^3/s)$ と満水に要する時間を調べることで地下空間の危険度を把握する。大規模地下空間では流入流量 $Q(m^3/s)$ と地下空間内での水の挙動を調べる。ここで、階段と狭い通路を流路とみなし、1次元非定常流解析を行うことで各地点での流量と水深の時間変化を評価する。また、広い地下空間では2次元非定常流解析を行う。

流入流量 $Q(m^3/s)$ と地下浸水量 $V(m)$ は、2次元氾濫解析で得られた各地点での浸水深を用いて段落ち式から評価する。

(2) 小規模地下空間での地下浸水量

図-4は、例として、Tビル(図-1中のA点)入口の浸水深の時間変化を示している。このビルでは、水害当時40cmの止水版が設置された。10時20分頃には止水版を越えて地下への浸水が始まった。止水版を考慮した浸水深の計算結果は、10時30分浸入を示しており、観測とほぼ一致している。

図-5は、同ビルにおける地下浸水量の計算結果である。計算結果では1741.9m³となり、実際の湛水量1,995m³と概ね一致した。これを床面積738.84m²で割ると、水深は計算では2.36m、実際は2.70mであった。計算において、水深が2.36mになるまでに要した時間は浸水開始から83分であった。

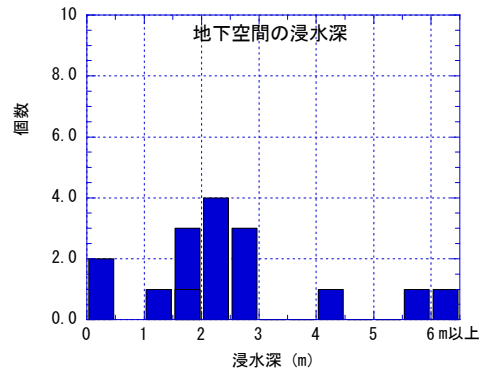


図-3 被災した地下空間の浸水深

表-1 地下鉄博多駅出入口の調査結果

	入口幅 (m)	入口段差 (cm)	入口勾配 (°)	実際の流入量 (m ³)
12番出入口	2.0	30.0	26.8	2,000
13番出入口	2.5	26.4	26.3	
14番出入口	3.0	21.5	26.4	
17番出入口	3.0	16.3	25.8	
15番出入口	3.25	24.6	25.9	

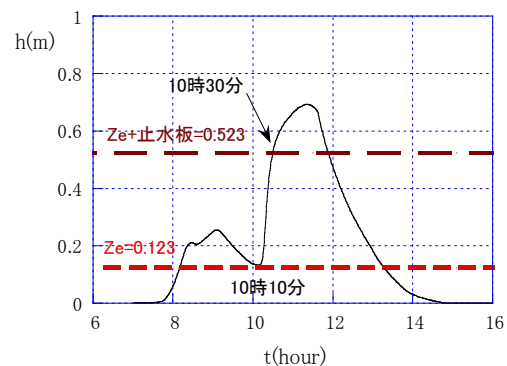


図-4 Tビル(図-1中のA点)入口での浸水深時間変化

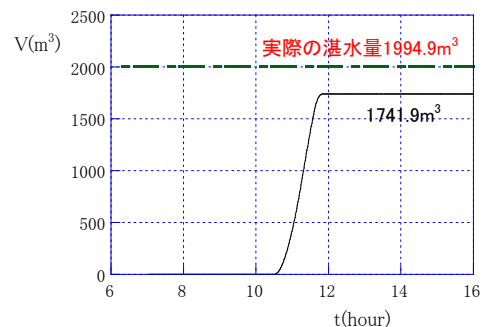


図-5 Tビルへの流入量と時間との関係

(3) 大規模地下空間での地下浸水

大規模地下空間での地下浸水の実例として、地下鉄博多駅で発生した浸水をシミュレーションする。まず、浸水深の計算結果をもとに地下流入量を計算した。水害当時土嚢・止水板などの浸水対策が講じられていたが、それらの高さの情報がないため、その高さを40, 45, 50cmと仮定して計算した。計算結果を表-2に示す。ほとんどの流入は17番出入口から発生しており、危険度の最も高い出入口であることがわかる。

地下浸水流の挙動をシミュレーションするため、地下鉄博多駅をモデル化する。図-6の0-D区間は階段と狭い通路とで構成されており、ここでは一次元非定常流として解析する。初期条件としてはドライベットを想定した。また、流入口の境界条件として、氾濫計算で得られた17番の出入口での浸水深の計算結果(図-7)と、段落ち式から求めた流量を図-6中の0点で与えた。計算対象時間は1999年6月29日10時~1999年6月29日13時である。

計算に際しては、空間刻み幅は Δx 変数、時間刻み幅は、 $\Delta t=0.2\text{sec}$ とした。

D点より西側に位置するコンコース部では二次元非定常流解析を行った(図-8)。初期条件としてドライベットを想定し、D点での境界条件として、一次元非定常流計算で得られた水深と流量の結果を与えた。計算対象時間は1999年6月29日10時~1999年6月29日13時である。差分化にはスタガードスキームを採用した。空間刻み幅は $\Delta x=\Delta y=2\text{m}$ 、時間刻み幅は $\Delta t=0.1\text{sec}$ とした。図-8中のE地点では地下2階に通じるエスカレータがあるため、この地点の水理量は段落ち式により求められた。

図-9は11時30分における流量ベクトルの計算結果を示す。計算では11時30分頃に流量がピークになって17番の通路からエスカレータ方向にながれた。また、水深は全区間において0.07~0.09mであった。E地点での流量の時間変化を図-10に示す。E地点での全流量は 948.5m^3 であり、D点での流量の約64%となった。計算ではこの流量が地下2階に流れ込んだことになる。

4. 2003年水害による地下空間の浸水状況

2003年7月19日未明、御笠川が博多駅周辺で再び洪水氾濫を発生させた。前回の水害から4年経過しており、いくつかの地下空間では水害対策が実施されていた。

表-2 地下鉄博多駅出入口における流入量の計算結果

止水板・土嚢	なし	40cm	45cm	50cm
12番	4802.8	52.7	0.1	0
13番	3904.6	0	0	0
14番	6235.7	24.6	0	0
15番	10474.2	357.7	99.2	1.3
17番	41305.2	4517.0	2996.1	1812.5
合計	66722.55	4951.96	3095.4	1813.8

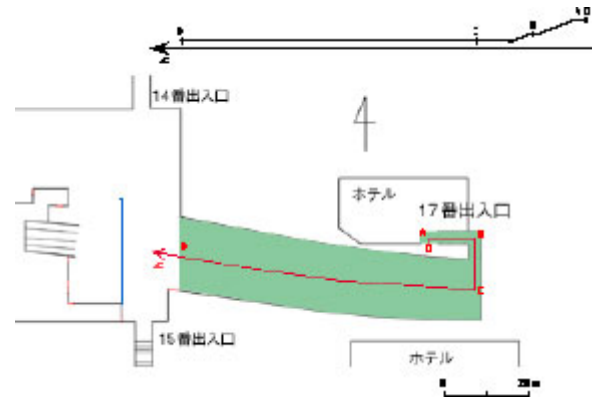


図-6 地下鉄博多駅筑紫口側改札口付近の平面図

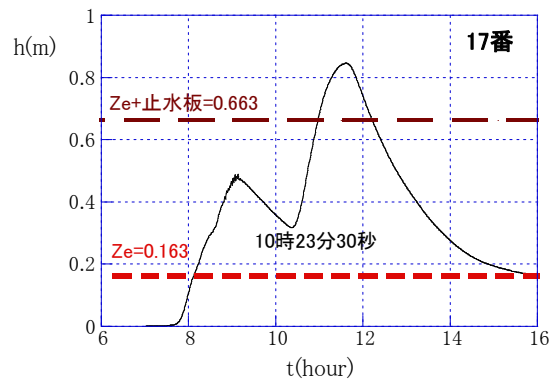


図-7 地下鉄博多駅17番出入口における浸水深の計算結果

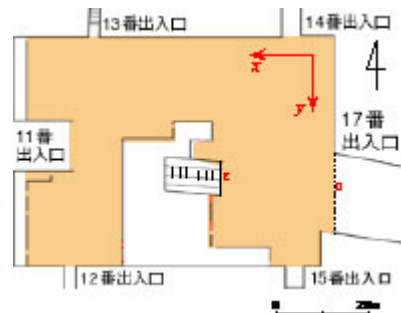


図-8 地下鉄博多駅改札口

そこで 2003 年水害による地下浸水の被害の実態を明らかにするため、2003 年 12 月～2004 年 1 月において、博多駅周辺の地下空間について浸水被害の実態調査が行われた²⁾。調査対象地下空間の位置を図-11 に示す。

図-12 は、調査対象の個別ビルの地下空間の利用形態について調べたものである。博多駅周辺では、多くの地下空間が駐車場、店舗として利用されていることが分かる。

図-13 は、博多駅周辺の個別ビルおよび地下鉄博多駅構内における地下浸水量を 99 年水害時と比較して示している。図は大別して 3 グループに分けられる。まず、99 年水害で大量の地下浸水があった筑紫口側の個別ビルについて、今回の水害で止水に成功し少量の浸水量に止まったところと、前回なみあるいはそれ以上に浸水したビルがあることが分かる。前者は、人が常駐し止水に成功した箇所であり、後者は、管理人などが帰宅し職員不在で浸水した箇所である。一方、博多口側の個別ビルでは、浸水時間が筑紫口側より遅かったために止水板の設置に成功した地点も数カ所あった。しかし、ある地点では、99 年水害よりも水位が高くなり、60cm の止水板を氾濫水が乗り越えて浸水した。

図-14 は地下空間の浸水深を示している。浸水深が 0.5m 以下の比較的軽微な浸水をした箇所、1m～4m 浸水した箇所、6m 以上浸水し激甚な被害を受けた箇所の 3 つに大別される。これは、1999 年水害(図-3)と同じ傾向である。

図-15 は地下鉄博多駅筑紫口の平面図である。2003 年水害も 1999 年水害と同様に、各出入口から氾濫水が進入したが、止水板設置後は、15 番と 17 番出入口からそれを越えて流入があった。特に、15 番出入口では、隣接するホテルが改装中であったため、ホテル周辺から流入し、ホテルでは地下 3 階まで水没した。その結果、氾濫水は地下鉄連絡路を通じて地下鉄改札口方向に流れ込んだ。流れ込んだ氾濫水は、一部は 11 番出入口付近に湛水するとともに、残りは改札口を通過して地下鉄博多駅構内まで流入した。地下鉄ホームの浸水量は前回は約 2 千 m³であったが¹⁾、今回は約 1 万 m³にも達した。浸水深は改札口付近で 7 時頃 $h=20\text{cm}$ であった。

表-2 において、既に、99 年 6 月水害を事例とした氾濫シミュレーションに基づいて、博多駅筑紫口周辺の地下鉄出入口における止水板の効果について、その有効性の検討を行っている。止水板が設置された場合には、大部分は 15 番と 17 番出入口から氾濫水が越えて流入することが明らかにされている。

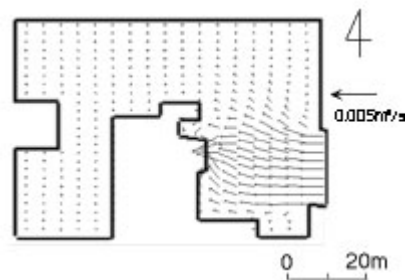


図 - 9 流量ベクトル (11 時 30 分)

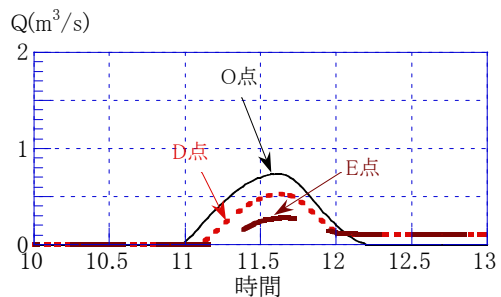


図 - 10 地下鉄改札口付近の流量ヒドログラフ

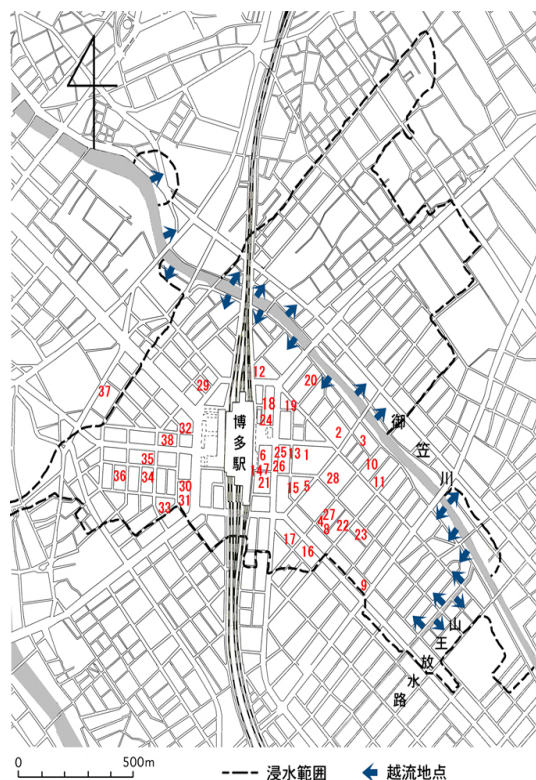


図 - 11 2003 年水害における調査対象の地下空間

これは、15 番と 17 番出入口付近が地形的にもっとも低いところであることを示している。実際、2003 年水害でも、15 番と 17 番出入口から高さ 45cm の止水板を越えて氾濫水が流入した。

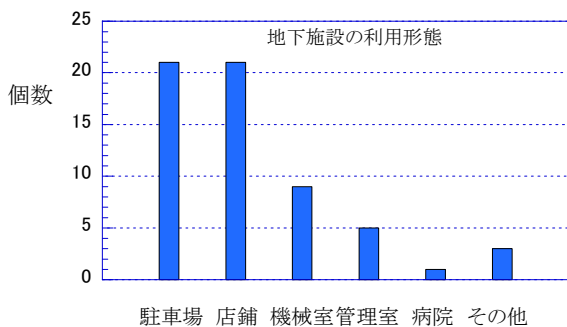


図-12 調査対象ビルの地下空間の利用形態

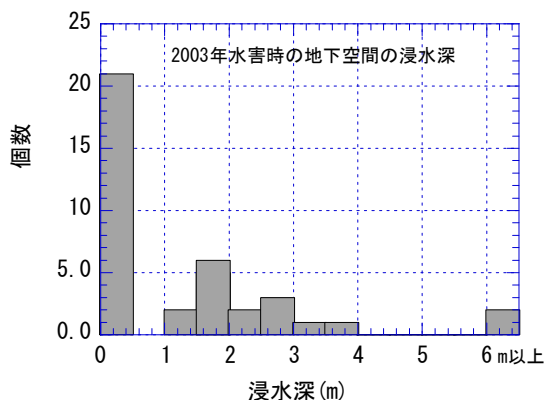


図-14 2003年水害時の地下空間の浸水深

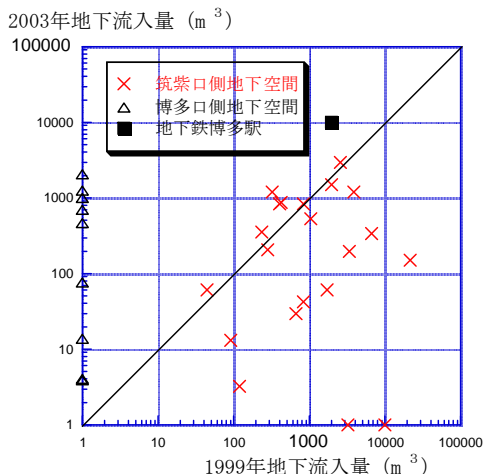


図-13 99年水害と03年水害における地下空間浸水量の比較

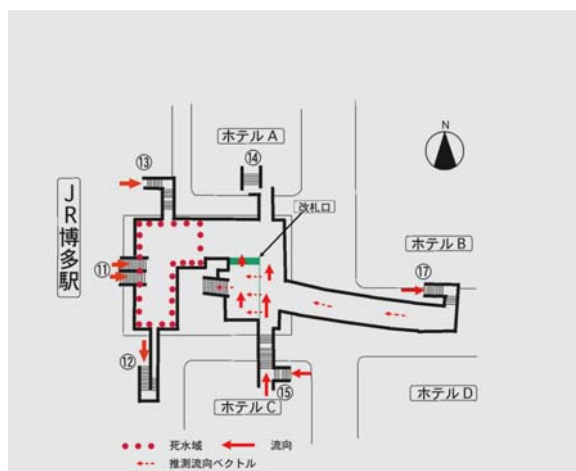


図-15 地下鉄博多駅筑紫口（地下1階）の平面図

5. おわりに

1999年6月29日、2003年7月19日において、浸水被害を受けた博多駅周辺の地下空間を対象に、被害の実態やスケールについて調査を行った。また、1999年水害について、地下浸水シミュレーションを行い、地下空間の危険度について考察した。その結果、個別ビルなど小規模地下空間では、流入流量と湛水量、流入時間を調べることで危険度の評価ができることを示した。また止水版の効果を定量的に明らかにした。一方、地下鉄博多駅などの大規模地下空間では、流入水の挙動解析を行い、各地点での水深、流速を評価することで危険度の把握が可能となることを示した。

参考文献

- 1) 橋本晴行・松永勝也・南里康久：1999年6月福岡水害における氾濫水の挙動と水害体験者の対応・意識、自然災害科学, J. JSNDS 20-1 43-58, 2001.
- 2) 橋本晴行, 朴埼瑛, 池松伸也, 加藤修二：御笠川流域の洪水氾濫と博多駅周辺の地下空間浸水被害調査, 橋本晴行(編)：2003年九州豪雨災害に関する調査研究, 平成15年度科学研究費補助金(特別研究促進費(1))研究成果報告書, 35-48, 2004.
- 3) 橋本晴行, 朴埼瑛, 前田あかね, 加藤修二：博多駅周辺の地下空間調査と浸水予測シミュレーション, 第22回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, 129-130, 2003.
- 4) 橋本晴行, 朴埼瑛, 渡辺政広：1999年6月福岡水害時に発生した博多駅周辺の洪水および氾濫流の再現計算, 自然災害科学, 21(4), 369-384, 2003.
- 5) 橋本晴行, 朴埼瑛：建物密度を考慮した市街地洪水氾濫解析—1999年6月福岡水害を事例として—, 都市水害モデルの総合比較に関するワークショップ, 京都大学防災研究所, 1-5, 2003.

(2008. 10. 16 受付)