

都市域における大規模地下空間の現状と都市型水害に関する防災上の課題
PRESENT CONDITIONS OF A LARGE-SCALE UNDERGROUND SPACE IN AN URBAN AREA
AND ISSUES ON DISASTER PREVENTION AGAINST URBAN FLOODS

景山健彦^{*}・増田尚弥^{**}・福神和興^{**}・猿橋崇央^{*}

Takehiko KAGEYAMA, Naoya MASUDA, Kazuoki FUKUJIN and Takao SARUHASHI

Many recent typical urban flood disasters caused by heavy rainfalls in different parts of Japan have been far exceeding design capacities of flood control facilities. These events remarkably exposed the inadequacy of these facilities to prevent flood disasters, vulnerability of underground facilities against inundation and problems of insufficient information about floods. In this study, the present conditions of large-scale underground spaces and disaster countermeasures (including non-structural measures) in the central part of Osaka city are investigated. The results of investigation and outcomes of simulated results by an inundation flow model, carried out using unstructured meshes combined with sewer network model, are presented. Then, evaluation of the possibility of inundation and vulnerability of large-scale underground space against urban flood disasters are discussed.

「Key words」: urban flood disasters, large-scale underground space,
disaster countermeasures, inundation flow model

1. はじめに

わが国は山地が多く、全国土の10%にすぎない沖積平野（洪水時の河川水位より低い地域）に全人口の約50%、総資産の約75%が集中している。このためいったん河川が氾濫すると被害は深刻である。

特に都市河川の流域においては、昭和30年代から人口・資産の集中が急激に始まり、流域の開発による市街化が進行した。流域の市街化によって、森林や農地といった保水機能の高い土地がアスファルトなど不透水性のもので覆われ、水路に水が集められることで流出域における「保水機能」が低下している。

また、洪水時にある程度の湛水が許容されていた水田等の土地が宅地へと変わることにより「遊水機能」が低下している。このような保水機能や遊水機能の低下が進むことにより平常時は河川流量が極端に少ない反面、降雨時は流域に降った雨水が短時間に集中して流出するようになった。このため、河川や下水道に大きな負担がかかるようになる一方で、その整備が追いつかないことから溢水等が発生し都市機能の麻痺や地下街の浸水をもたらす、いわゆる都市型水害が近年多発している。

さらに、平成11年の福岡水害、平成12年の東海水害など、近年都市部における浸水被害は、都市型水害対策の重要性を改めて認識させた。

キーワード: 都市型水害, 大規模地下空間, 防災対策, 氾濫解析モデル

* 正会員 (株) ニュージェック 河川グループ

** 非会員 (株) ニュージェック 河川グループ

市街地とくに地下空間における浸水被害の危険性が增大しているにもかかわらず、通常の河川改修や下水道施設の増補による浸水被害の防止が市街化の進展によりきわめて困難となっている。このため平成16年5月に「特定都市河川浸水被害対策法」が施行され、これにもとづき、特定都市河川及び特定都市河川流域の指定、流域水害対策計画の策定等の措置により、総合的な浸水被害対策を推進することとされている。

加えて、指定された対象域に存在する不特定多数が利用する地下街等については、浸水時の避難計画を策定することが努力義務として課せられることとなった。

この様な社会情勢を受け、本研究では、大阪市中央部における大規模地下空間（地下街・地下鉄・地下駐車場等）を対象とした調査結果を基に、大規模地下空間の位置・出入り口および換気口の場所、開口部数高・防災対策（ソフト対策を含む）の有無等について整理した。

また、その結果と非構造格子モデルを用いた地表面の想定氾濫解析に下水道詳細モデル（ブライスマン・スロットによる一次元不定流解析）を加えた解析を実施し、シミュレーション解析結果から浸水の可能性について検証を行い、都市型水害に関する大規模地下空間が抱える防災上の課題について考察を行った。

特に、防水板・防水扉等による浸水防止および遅延対策については、現在の対策が人力による対応がほとんどを占めており、膨大な施設数を考慮すると水害時の有効性が課題と考えられる。このため、防水対策設備の自動化、浸水までに確実に対応できる体制づくりの検討や接続先の民間ビルを含めた統一的な考え方に沿った止水基準の検討等課題の抽出を行った。

2. 都市域における大規模地下空間の現状

2.1 大規模地下空間の存在状況

2.1.1 全国の主要地下街

比較的資料の得やすい地下街の存在状況を見ると、北は札幌市、南は長崎県佐世保市にまでに及び、1,000 m²以上の床面積を持つ地下街は1都2府1道10県で66箇所が存在する。このうち、10,000 m²以上の床面積の地下空間は33箇所にも達し、最大は大阪市のクリスタ長堀（81,818 m²）となっている。それに続き、東京駅の八重洲地下街（73,253 m²）、神奈川県川崎市の川崎地下街アゼリア（56,916 m²）、愛知県名古屋市のセントラルパーク地下街（56,369 m²）などがある。

また、今回は調査を実施していないが、これら地下街以外にも地下鉄・地下駐車場などの大規模地下空間が多数存在し、我が国に存在する大規模地下空間は相当の数に上るものと推測される。

これら大規模地下空間の多くが都市部の低平地に存在し、一旦地表部の浸水が発生することになれば、大規模地下空間の被害が懸念されるところである。

表－1 近年の代表的な都市型水害

発生年	水害名	雨量	概要	備考
平成5年8月	鹿児島水害	73.0mm/hr	西鹿児島駅周辺や繁華街が浸水し、都市機能が麻痺した。鹿児島市の周辺では、土砂災害が発生し、主要国道やJR線が寸断され、国道や列車の乗客らが取り残される被害が発生した。	地下空間に浸水発生
平成5年8月	東京都心での豪雨	76.0mm/hr	東京都心で豪雨が降り、JR線の品川駅、地下鉄の赤坂見附駅、飯田橋駅等が浸水し、地下鉄が終日運休となった。さらに、都心部では交通網が麻痺し、都市機能が麻痺することとなった。	地下空間に浸水発生
平成10年9月	高知県の水害	129.5mm/hr	高知市において、記録的な豪雨が観測され、内水氾濫が発生し、浸水家屋は約2万棟にも上り、道路冠水、停電、電話の不通等の被害が発生した。	
平成11年6月	福岡水害	77.0mm/hr	福岡市で、観測史上最大の豪雨を記録し、市内の河川が氾濫し、氾濫水が都市機能の集中するJR博多駅周辺にまで流入。ビルの地下、地下街、地下鉄駅構内に多量の氾濫水が侵入。	地下空間に浸水発生（死者1名）
平成11年7月	東京都心での豪雨	131.0mm/hr	東京都練馬区を中心とした、限られた地域で雷を伴う豪雨が発生。新宿区においては、民間ビルの地下室の浸水により死者1名。	地下空間に浸水発生（死者1名）
平成12年9月	東海豪雨	93.0mm/hr	名古屋及びその周辺地域は年間降水量の約3分の1以上が1日で降るといふ記録的な集中豪雨に見舞われ、名古屋市を始めとする東海地方の広範囲で浸水被害等が発生し、都市機能が麻痺する甚大な被害が生じた。	地下空間に浸水発生
平成15年7月	福岡水害	99.0mm/hr	H11年続き、福岡市内を流れる御笠川が氾濫し、あふれた水がJR博多駅周辺に流れ込んだ。JRは北九州、筑豊の各線で始発から運転を見合わせ、福岡市営地下鉄も一部区間でストップするなど交通機関の乱れも続いた。	地下空間に浸水発生

2・1・2 大阪府中心部における大規模地下空間

2・1・1 で示したように、我が国には多数の大規模地下空間が存在するが、詳細な資料を全国的に収集することは、非常な労力を必要とする。本研究では「大阪府都市型水害対策検討委員会」⁹⁾において実施された大阪府中心部における大規模地下空間調査結果を基に、大阪府中心部における大規模地下空間の存在状況を示した。

(a) 地下鉄等

大阪府の中心部では、市街化が極度に進んでおり、地上部での新たな鉄道用地の取得がほとんど不可能なことから、地下鉄以外の鉄道においても、一部地下空間を利用している路線が存在している。

地下空間を利用した鉄道施設としては以下に示す5社12路線が存在する。

- ・大阪市営地下鉄（御堂筋線、谷町線、四つ橋線、中央線、千日前線、堺筋線、長堀鶴見緑地線）
- ・JR西日本（東西線）
- ・近畿日本鉄道（東大阪線、大阪線）
- ・京阪電気鉄道
- ・阪神電気鉄道



図－1 地下空間位置図

(b) 地下街

先ほど示した、全国の主要地下街にも含まれるが、大阪市内には表－2 に示すように14の地下街がある。

このうち最大のものは、クリスタ長堀（81,818 m²）であるが、ダイヤモンド地下街、ホワイティーうめだ、ディアモール大阪、プチシャンゼリゼ等は民間ビルや地下鉄駅等で複雑につながっている。これらの床面積を合計すると79,404 m²となり、クリスタ長堀と同程度の床面積となり、国内最大規模の地下街が2箇所も大阪に存在することとなる。

表－2 大阪府の代表的な地下街

No.	名称	面積 (m ²)	建設年代
1	大阪駅前ダイヤモンド地下街	37,100	H7
2	なんばウオーク	36,475	S45
3	ホワイティーうめだ	27,715	S38
4	ディアモール大阪	10,852	H7
5	アベノ橋地下センター	9,244	S43
6	ドーチャ地下街	7,963	S41
7	大阪京橋公園サンクンガーデン	7,800	H2
8	なんなんタウン	7,157	S32
9	プチシャンゼリゼ	3,737	S49
10	中之島地下街	3,512	S40
11	クリスタ長堀	81,818	H9
12	船場センタービル	31,248	S45
13	なんばCITY	36,223	S57
14	阪急ナビオ・三番街	45,000	S44
合計		345,844	

(c) 地下駐車場

大阪府の中心部では、鉄道と同様に市街化が極度に進んでいるため地上部での大規模な駐車場用地の確保が困難なこと。また、近年の車社会の情勢を考慮し、都心部における駐車場不足を解消するため、地下駐車場の整備が公的機関等により進められている。大阪府中心部に存在する主な地下駐車場を以後に示す。

- ・扇町駐車場
- ・東長堀駐車場
- ・長居公園地下駐車場
- ・本町駐車場
- ・靱駐車場
- ・土佐堀駐車場
- ・宮原地下駐車場
- ・上汐駐車場
- ・大阪駅前駐車場
- ・谷町駐車場
- ・豊崎駐車場
- ・桜橋駐車場
- ・長堀駐車場
- ・安土町駐車場
- ・塩草駐車場

2・2 大規模地下空間の防災対策の現状

大阪府中心部における大規模地下空間調査結果を基に、大規模地下空間の浸水被害に対する防災対策の現状について、とりまとめを行った。

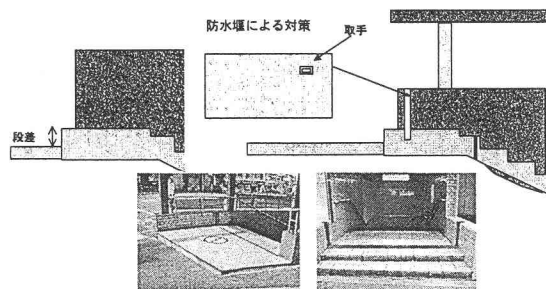
(a) 地下鉄等

地下鉄等には、浸水対策が必要な箇所として、駅出入口、換気口等及び路線の地上出入口等が挙げられるが、現状の浸水対策は、ヒアリング調査によると、図－2、3に示すように、防水堰・防水扉等による対策が実施されている。

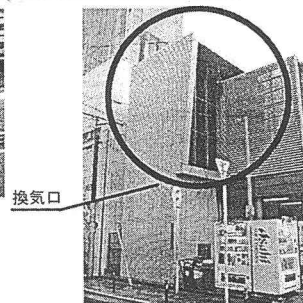
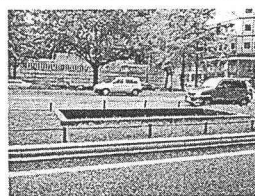
表－3にそれぞれの対策をとりまとめて示す。

表－3 地下鉄等における防災対策

場所	設備	設置箇所	止水目標	施設の状況	対応時間	備考
駅出入口	防水堰(手動)	駅構内出入口	防潮水門方式の堤防高0. P. 4. 5mに対応している場合が多い。	・比較的低浸水深が低い場合に対応 ・構造は、角落とし、引き戸、起伏ゲート等がある。	60分程度	・地下空間と民間ビルとの接続が多い。 ・接続先民間ビルの防水対策は各管理者にまかされている。
	防水扉(手動)	駅構内から出入口の階段部		・防水堰では止水目標をクリアできない場合に対応。 ・浸水位が防水堰を越えた場合に防水扉を閉める。	60分程度	
	土嚢	—		・応急対策として設置	—	
	段差	駅構内出入口	15cm程度	・ほぼ全ての箇所に設置	—	
路線内	防水扉(手、電動)	地上から地下部への出入口	—	・主要河川からの洪水氾濫に対応 ・構造はマイターゲート型が多い(一方向の水圧のみ対応)。	60分程度	—
換気口	パネル	換気口	—	・古くに建設された路線では、開口部が地表近くとなっているものもあるが、その他は、塔形式、ビル屋内に接続する形式となっている。	—	—



図－2 駅出入口の対策



塔形状の換気口

図－3 換気口の対策

(b) 地下街・地下駐車場

地下空間として調査対象とした施設は、公共性が高く大規模でかつ地下鉄駅等に接続している地下街、公共事業の一環で建設されている地下駐車場の2種類とした。

このため、民間ビルの地下駐車場や民間ビルの地下室、個人住宅の地下室等は調査対象から除外している。大阪府中心部における地下空間は、大阪市西部に集中しており、特に JR 大阪駅周辺では、地下街、地下駐車場、地下鉄駅等が複雑に接続している。

ヒアリング調査から判明した地下街の防水対策の概要を表－4に示す。開口部(地下駐車場の場合には車両出入口)に対する防水対策としては、地上からの浸水に対し、各階段と道路との接合部に防水堰等を設置

して、土嚢と併せて水災対策を行い、浸水の防止を図ることとなっている。

表－４ 地下街・地下駐車場における防災対策

種別	設備	設置箇所	止水目標	施設の状況	対応時間	備考
地下街	防水堰	地下街出入口	止水目標は0.P.+4.5m、0.P.+4.0m等と様々であり、独自に氾濫解析を行い設定している施設もある。特に、統一された基準はない。	大部分の地下空間出入口で採用されている。防水堰の高さは0.5～1m程度。	60分程度	地下空間と民間ビルとの接続が多く、接続先民間ビルの防水対策は各管理者にまかされている。
	防水扉	駅構内から出入口の階段部		近年設置されているものは防水扉等に対応している出入口もある。	－	
	土嚢	－		応急対策として設置。	－	
地下駐車場	防水堰	車両出入口及び利用者出入口	特になし。	0.5m～1.0mの防水堰の設置。	－	

3. シミュレーションによる危険度の抽出

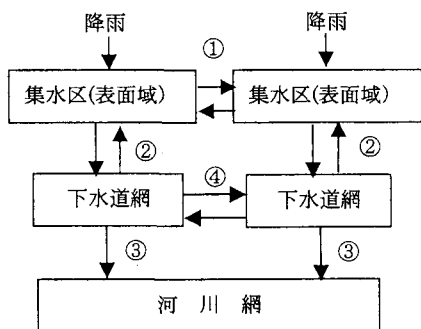
低平地に位置する都市部における内水氾濫の危険性の高い地域を推定するため、以下に示すような解析モデルを用いて解析を実施するとともに、その結果から大規模地下空間の危険度について検証を行った。以後にその結果を示す。

3.1 解析モデルの概要

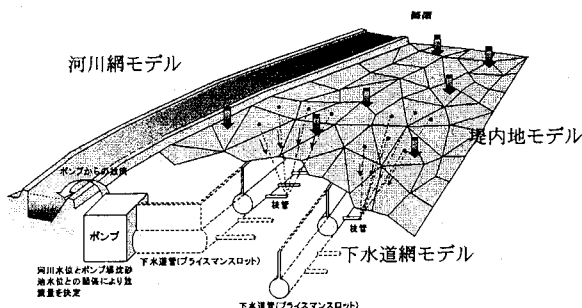
本研究では、「河川網モデル」、「下水道網モデル」、「堤内地モデル」の3つで構成される氾濫解析モデルによって大阪市域の氾濫解析を行った。

河川網モデルでは特性曲線法を用いた一次元不定流解析によりモデル化を行った。下水道網モデルでは、管路流・開水路流を同時に計算可能なスロットモデルを用いて一次元不定流解析を行った。堤内地モデルでは川池ら²⁾の非構造格子モデルを用いて氾濫流の平面二次元不定流解析を行った。なお、解析は図－4および5に示すように以下のような流れで行った。

- ・堤内地に降った降雨のうち下水道に排水可能な水は下水道を介して河川網に排出し、排水しきれない水および下水道から逆流した水は堤内地を氾濫させる。
- ・河川網に流下能力以上の水が排出された場合、河川水を堤内地に氾濫させる。



図－４ 解析の流れ



図－５ モデル概念図

河川網では、次の連続式と St. Venant 式を特性曲線法により解くことで、一次元不定流解析を行った。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = s_0 - s_f \quad \dots\dots\dots 3.1.2$$

モデル化した河川ネットワークを図-6に示す。ここで、河川網の上流端(図中の□)には、寝屋川流域(大阪市西部域の上流域)氾濫解析モデルにより算出された流量を与え、下流端(図中の△)には潮位を与えた。河川網に付随する洪水処理施設として、毛馬排水機場から淀川への排水および住之江抽水所から海への排水の影響を考慮した。

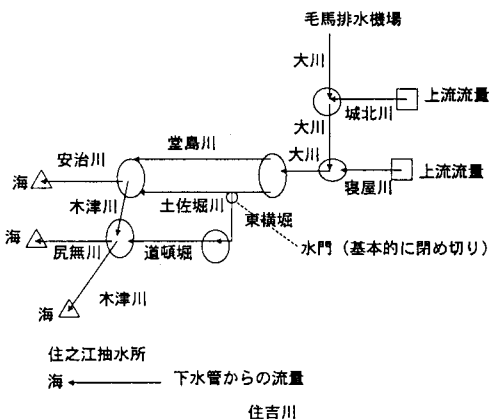


図-6 河川ネットワーク図

下水道は Preissman のスロットモデル⁴⁾により一次元不定流解析を行った。Preissman のスロットモデルとは下水道の管頂部に仮想のスロットを設けることで、管路流、開水路流を同一の方程式系で解析するモデル、

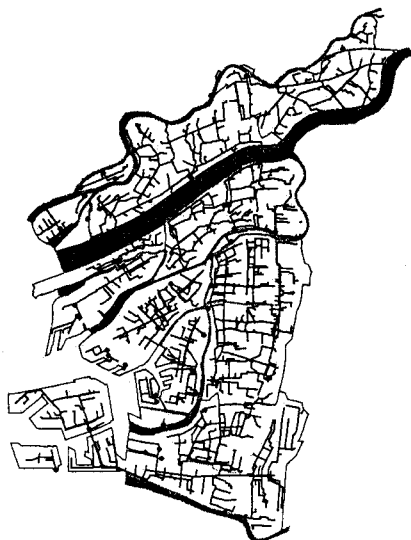
$$\left[\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 \cdot v \cdot |v|}{R^{4/3}} + f \frac{v \cdot |v|}{2gD} \right] = 0 \quad \dots\dots\dots 3.1.4$$

ここに、 v :流速、 g :重力加速度、 R :径深、 H :水位、 n :粗度係数、 f :損失係数、 D :管径、 A :通水断面積、 Q :流量、 q :単位幅当りの横流入量である。また、仮想のスロット幅は以下の式を用いて算出した。

$$B_f = \frac{A \cdot g}{a^2} \dots\dots\dots 3.1.5$$

ここに、 B :スロット幅、 a :圧力伝播速度であり、本研究では過去の解析事例を参考とし、伝播速度は10m/sとした。

本研究では下水道台帳より管径 1,000mm 以上の下水道管を幹線下水道として上記のモデル化を行い、その他の下水道管は枝管として簡易なモデル化を行った。枝管は、各堤内地格子の重心から最寄りの幹線下水道中心に到達する最短距離の線分で表現し、各堤内地格子につき 1 本ずつ存在するものとした。枝管には最大排水能力（本研究では大阪市下水道の計画値の単位面積当たり 60mm/h）を設定し、



圖一 7 下水道網圖

最大排水能力までの水は下水道に流入するが、これを越える氾濫水は地上に残るものとした。また、枝管の最大排水能力と長さから枝管容量を設定し、枝管から幹線下水道に入りきらない水をこの容量までは貯留するものとした。

また、ポンプ場の沈砂池を矩形管としてモデル化し、諸元（底面高、制限水位、底面積）は図面から設定した。ポンプは沈砂池内の水を排出するものとし、ポンプ吐出量は各ポンプの性能曲線を用いて、沈砂池水位および吐出先水位から算出した。さらに、ポンプ以外の排水施設として雨水吐き（下水道管から河川に直接水を排水する堰）のモデル化も行い、排水量を算出した。図-7にモデル化した下水道網図を示す。

3.1.3 堤内地モデル

堤内地では、道路や鉄道、河川網や下水道の集水区などの境界を適切に表現するため、非構造格子モデルを用いて解析する。基礎式には、以下の連続式と移流項を省略した運動量式を用いた。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = r_e + \frac{Q_{riv}}{A} - \frac{Q_{out}}{A} \dots\dots\dots 3.1.6 \\ \frac{\partial M}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 M \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \dots\dots\dots 3.1.7 \\ \frac{\partial N}{\partial t} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 N \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \dots\dots\dots 3.1.8 \end{array} \right.$$

ここで、 h :格子の水深、 M, N : x, y 方向の流量フラックス、 r_e :有効雨量、 Q_{riv} :河川からの流入流量、 Q_{out} :格子から下水道への排水流量、 A :格子面積、 u, v : x, y 方向の流速、 n :粗度係数であり、 Q_{out} は以下のようにして決定する。

$$Q_{out} = CB\sqrt{(h_1 - h_2)^3} \dots\dots\dots 3.1.9$$

ここに、 C :越流係数 (=1.55)、 B :メッシュ内マンホール周長、 h_1 :メッシュ水位、 h_2 :排出先幹線下水道水位である。ただし、マンホールは直径 60 cm で、1ha あたり 10.7 個存在するものとした。

また、有効雨量 r_e は以下の式で算出した。

$$r_e = f \times r \dots\dots\dots 3.1.10$$

ここに、 f :土地利用から算出した流出率、 r :雨量である。

また、粗度係数 n はビルなど建造物による氾濫水の阻害の影響を考慮して以下の式⁹⁾で算出した。

$$n^2 = n_0^2 + 0.020 \times \frac{\theta}{100 - \theta} \times h^{4/3} \dots\dots\dots 3.1.11$$

ここに、 n :粗度係数、 n_0 :底面粗度係数 θ :建物占有率、 h :格子の水深である。また n_0 は、

$$n_0^2 = \frac{n_1^2 A_1 + n_2^2 A_2 + n_3^2 A_3}{A_1 + A_2 + A_3} \dots\dots\dots 3.1.12$$

で算出され、ここに、 A_1 :格子内の農地面積、 A_2 :格子内の道路面積、 A_3 :格子内のその他の面積、 n_1 :0.060、 n_2 :0.047、 n_3 :0.050 である。

また、鉄道、道路などの線上構造物は格子の辺上に盛土として設定し、格子間の通過量を算出した。

本研究の対象領域には 8 つの下水道の集水区が存在し、この集水区をもとに堤内地を 16,398 個の非構造格子に分割した。図-8 に解析

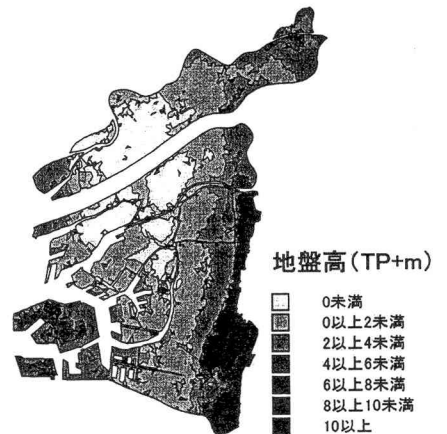


図-8 地盤高図

格子を設定した地盤高図を示す。

3.2 シミュレーション結果から見た大規模地下空間の危険度

大阪府中部域の水災特性について、平成 12 年 9 月に東海地方をおそった「東海豪雨」（時間最大 93 mm /hr）程度の降雨量となった場合について検討を加えた。

なお、計算条件は、以下のとおりである。

- ・治水施設：現状の整備状況（H13 年度末）
- ・降雨条件：東海豪雨（総降雨量 567mm，時間最大雨量 93mm）
- ・その他の条件：淀川，大和川，神崎川の河川水位は計画高水位

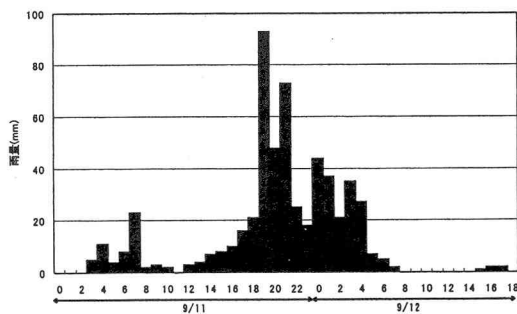
河川では，細江川で溢水氾濫が生じ，ほぼ全域で内水氾濫による浸水が発生しており，盛土構造物（河川堤防及び道路等）沿いの地域では浸水深が大きくなる傾向にある。

また，時間の経過とともに，JR 大阪駅周辺や木津川，細江川沿いの地盤が低い箇所に氾濫水が集中する。

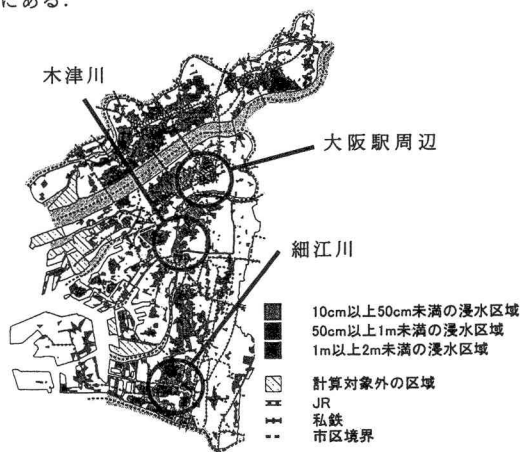
計算対象領域の約 33 % の地域で 0.1m 以上の浸水，約 6 % の地域で 0.5m 以上の浸水が発生する。

なお，局地的に地盤が低い所では 1.0m 以上の浸水が発生しており，JR 大阪駅等の都市機能の集中する地域に約 0.5 ～ 1.0m の浸水が発生する結果となっている。

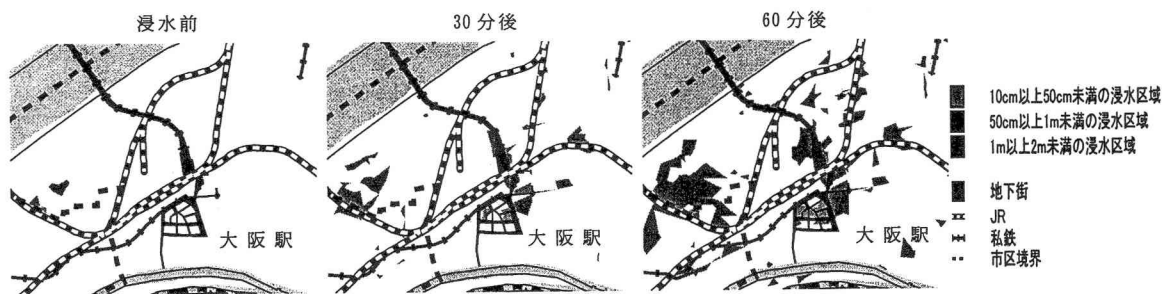
JR 大阪駅周辺には，四つ橋線，御堂筋線，谷町線，JR 東西線，阪神線，地下街，地下駐車場等の大規模地下空間が密集しており，浸水の危険性が高いものと考えられる。



図－9 東海豪雨実績ハイレイトグラフ



図－10 東海豪雨規模の降雨による想定最大浸水深



図－11 浸水状況の時間変化（大阪駅周辺）

4. 大規模地下空間が抱える水防災上の課題

4.1 防災上の課題

2.2 で述べた大規模地下空間の防災対策について，上述の危険度を考慮し，課題を考察した。

現在，設置されている防水対策は手動のものがほとんどであり，対策に必要な時間は 60 分程度と見込ま

れている。しかし、現況能力以上の降雨が発生した場合、局所的ではあるが1時間程度で10cm以上の浸水が発生する可能性があり、時間内に対策が可能か疑問が残る。また、浸水対策の必要な箇所は膨大な数に上り、全域的な浸水が発生した場合には対応が不可能であると考えられる。

なお、JR大阪駅周辺では民間ビル等が接続しているが、民間ビルの防水対策については各管理者にまかされており、実際にどのような対策が行われているか不明確な状況となっており、事実上防災対策が不可能となっている。

以上、ハード的な課題について述べたが、ソフト対応策の一つとして避難上の課題について考察する。

まず、大規模地下空間は外界と遮断されている場合が大多数を占め、降雨・浸水深等の情報が得にくく、避難判断が遅れることが予想される。

浸水する空間が限定されることから、地上と比較して浸水深の上昇速度が速く、避難に時間的余裕が少ない。特に、地下空間が小規模であればあるほど、浸水深の上昇速度も速くなるものと考えられる。

また、地下と地上は階段等で接続されており、その階段部に流れ込んだ水は階段の勾配と幅に応じた速度で流れ込むため、それに逆らって避難しなければならないことや地下空間が何層にもなっている箇所では地上から最もはなれ、避難に時間を要する最下層に浸水した水が集中する等の課題がある。

4.2 防災対策の提案

大規模地下空間の浸水の場合、地表開口部から地下の空間に水が流れ込むとその空間は水没するため、逃げ遅れれば確実に人命が失われる可能性が高く、早急に検討を行い、実施可能な対策から順次整備を進めていくことが必要とされる。

本研究では、大規模地下空間の調査結果等を考慮し、現時点で考え得る防災対策について、提案を行う。

まず、大規模地下空間の対策では、安全に、確実に避難することが最も重要である。大規模地下空間からの避難は、地表開口部から浸水がはじまる前に完了することが望ましく、地上で浸水が発生した場合、地下空間利用者及び管理者が状況把握できるような警報システムの設置が必要である。

また、逃げ遅れた場合や緊急時のために、上階へのハッチやはしご等による緊急避難用施設の設置、安全に避難できるように浸水しても足下等を照らすことが可能な非常照明灯の設置、浸水時においても開きやすい扉の設置等、避難のための対策を事前に実施することが重要である。

なお、浸水した水の流入経路と避難経路が重なる場合や防水堰、防水扉が避難の妨げとなることも考えられるため、地表から地下空間への浸水の特性、地下空間内部での浸水の特性を十分に把握して避難経路を設定し避難誘導体制を明確化するとともに、水災時でも避難経路が分かるような表示システムの設置が必要である。さらに地下鉄では、車両が運行している最中に浸水が発生した場合、乗客及び職員の避難計画策定が必要である。

次に、施設による対策方法としては、浸水させない、浸水の開始時間の遅延、迅速に避難できるような施設整備が考えられる。現在、地下の出入口部でのマウントアップや防水板等による防水対策が行われているが、想定される浸水に対して防水機能及び浸水の遅延機能を十分に発揮できるように、防水堰、防水扉等の設備の見直しを行う必要がある。

また、換気口においては浸水に対して十分な高さを確保することも重要である。

ただし、これらの対策の見直しについては、接続先の民間ビルを含めて統一的な考え方に沿った止水基準を検討する必要がある。防水板や防水扉による対策の場合には、防水対策設備の自動化や浸水までに確実に対応できる体制づくりを行うことも重要である。

さらに、電源設備等が浸水しないような地上及び高所への移設、主要な設備の設置してある部屋に浸水しないように施設内部での防水扉等の設置、予備電源等の確保、浸水した水を排水するポンプの拡充等が必要である。

表－５ 防災対策一覧

項目	概要
浸水時の避難	・ 浸水センサーの設置と警報システムの設置。 ・ 緊急避難用施設の設置（はしごや上階へのハッチ等）。 ・ 避難経路の非常用照明灯などの設置（床埋め込み式照明等）。 ・ 浸水しても開きやすい扉の設置。 ・ 避難誘導体制の明確化（地下空間や地下鉄利用者及び職員）。
浸水対策施設等	・ 出入口、換気口における防水堰等の耐水対策の見直し。 ・ 換気口について浸水に対して安全な高さを確保する。 ・ 排水口からの逆流防止施設の設置。 ・ 民間ビルを含めて統一した止水基準の設定。 ・ 防水板及び防水扉等の設置作業が必要な対策については、それらが有効に機能するように設置手順及び体制の整備を行うか、耐水対策の自動化及び遠隔操作可能なシステムとする。 ・ 電源設備等を地上及び高所へ設置。 ・ 電源設備等が設置してある部屋の防水扉等による耐水対策。 ・ 予備電源等の確保。 ・ 排水ポンプの拡充。

５．おわりに

本研究を進めるにあたって、既往検討成果の利用を快く承諾して下さいました大阪府都市環境局工務課の方々、シミュレーションモデルの作成にあたってご指導・ご教授頂きました京都大学防災研究所井上所長、戸田教授、長崎大学川池助手に厚く御礼申し上げます。

６．参考文献

- 1) 大阪府都市型水害対策に関する提言 平成 15 年 3 月 大阪府都市型水害対策検討委員会
- 2) 川池健司・井上和也・林 秀樹・戸田圭一：都市域の氾濫解析モデルの開発，土木学会論文集，No.698 / II-58，pp.1～10，2002.
- 3) 井上和也・戸田圭一・前田 修：河川網が発達した領域での氾濫解析法とそのメコンデルタへの適用，水工学論文集，第 44 巻，pp.485～490，2000.
- 4) Chaudhry, M. H. : Applied Hydraulic Transients, Van Nostrand Reinhold, 1979.
- 5) 氾濫シミュレーション・マニュアル（案） 平成 8 年 2 月 建設省土木研究所