

洪水破堤による三大都市圏の浸水解析

THE INUNDATION ANALYSIS IN THE THREE MAJOR METROPOLITAN AREAS BY THE DIKE BREAK OF FLOOD

村瀬将隆¹・中島勇介²・武田 誠³・川池健司⁴

Masataka MURASE¹, Yusuke NAKAJIMA², Makoto TAKEDA³,
Kenji KAWAIKE⁴

The flood disaster occurred in the Shounai River basin, JAPAN, due to the heavy rain of typhoon 15, 2012. As the water level of the Shounai River was very high, evacuation information was issued to 1,000,000 citizens of Nagoya city. The serious hazard may occur in the case of the dike break. A lot of underground space (subway, underground center, etc.) exist in Nagoya city region, Osaka city region and Tokyo city region. The underground space has the brittleness of water disaster. Takeda et al developed the inundation analysis model of urban area in consideration of the water behavior of the subway line. In this study, the analysis model was applied to large scale inundation of the three metropolitan areas. From analysis results, it was found that the features of the inundation of Nagoya, Osaka and Tokyo, especially, inundation characteristics related to dike break point, ground elevation distribution and topography. Moreover, it was also shown the risk of Osaka from the view point of the underground inundation.

Key Words : The three metropolitan areas, Subway, Inundation, Dike break, Numerical analysis

1. はじめに

近年, 地球温暖化による異常気象や大型台風の影響により豪雨災害, 洪水災害が増加している。平成27年には, 台風18号の大雨により鬼怒川で洪水が発生し, 堤防決壊により, 常総市, 結城市, 筑西市, 下妻市, つくばみらい市の5つの市に及ぶ大規模浸水が生じた。また, 平成23年には名古屋市の側を流れる庄内川でも大きな洪水が発生し, 名古屋市民の100万人に対して避難勧告が発令された。このとき, 志段味地区における越水被害は生じていたが, 破堤による大規模な浸水被害は生じていない。仮に, 大規模な浸水が生じれば, 高度に発展した地下空間施設(地下街や地下鉄)を有する都市域では, 氾濫水が地下空間へ流入し甚大な被害を引き起こすことが容易に想像できる。したがって, 地下空間を有する都市域において, 大規模浸水を対象に解析を行い, その浸水特性を把握することは, 減災や危機管理の面から非常に重要と考える。

最近では, 地下空間の浸水に着目した研究が精力的に

行われている。池内ら¹⁾は, 荒川が決壊した場合の地上部と地下鉄などの浸水状況を把握することを目的とし, 地下鉄などの出入り口およびトンネルにおける止水板や防潮扉を反映した詳細な解析モデルを構築し, 浸水状況とその対策を検討している。関根ら²⁾は都市内の道路ネットワーク, 下水道および河川を対象に豪雨による内水氾濫解析を実施し, 氾濫水の地下鉄への流入の可能性と地下鉄内の浸水域拡大過程を検討している。岡部ら³⁾は淀川の洪水破堤を考慮し, 大阪の海老江処理区に流入した氾濫水の地下鉄とそこから地下鉄内を伝播する氾濫水について検討を行っている。

武田・島田ら⁴⁾は, 庄内川を対象に, 破堤箇所を想定した氾濫解析により, 地表面の浸水特性を明らかにした。さらに, 地下空間への流入水量を見積もり, 破堤箇所による流入水量の違いと, その観点からの破堤箇所の重要性を明らかにした。武田・西田ら⁵⁾は, 武田・島田らの解析モデルに地下空間および地下鉄線路内における水の挙動の解析モデルを加えて, 大規模浸水時の地下鉄線路内の浸水の様子を明らかにした。本研究では, 武田・

キーワード: 三大都市圏, 地下鉄, 浸水, 破堤, 数値解析

¹学生会員 中部大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Chubu University.

²学生会員 中部大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Chubu University.

³正会員 中部大学教授 工学部都市建設工学科 Professor, Faculty of Engineering, Chubu University, (E-mail:mtakeda@isc.chubu.ac.jp)

⁴正会員 京都大学准教授 防災研究所 Associate Professor, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.

西田らの解析モデルを活用して、名古屋（庄内川）、大阪（淀川）、東京（荒川）の三大都市圏における浸水特性について検討する。

2. 地下空間への流入を考慮した氾濫解析

(1) 洪水氾濫解析

河川の洪水流には1次元不定流モデルを、都市域の氾濫域にはデカルト座標の平面2次元不定流モデルを、地下鉄線路の流れにはスロットモデルによる1次元不定流モデルを適用し、地下街・地下鉄駅を1つのボックスとして連続式を考慮した水理計算を行っている。また、河川と氾濫格子の間の堤防では越流現象を考慮し、水位が堤防高よりも高い状況下では自動的に越流流量を求めた。庄内川、淀川および荒川では200m、都市域では50m、地下鉄線路は50m程度の格子幅の計算格子を設定し、小河川は氾濫域の非計算格子として扱っている。

(2) 計算領域および条件

a) 計算領域と計算条件

名古屋、大阪、東京の計算領域を図-1、図-2、図-3に示す。名古屋の計算では庄内川の河口から3km～17kmまで、大阪の計算では淀川の河口から3km～15kmまでを2km毎に、東京の計算では荒川の河口から3km、6km、10km、12km、17km、22kmの箇所、100m幅で破堤(破堤箇所の堤防天端が堤内地盤高に置き換わる)させた想定破堤氾濫解析を実施した。

名古屋の解析では、庄内川の計画高水流量を基にピーク値が4400 m³/sとなる流量ハイドログラフを庄内川の上流端に与えた。破堤の時間は計算開始から19時間後、計算時間は36時間とした。大阪の解析では、淀川の計画高水流量を基にピーク値が12000 m³/sとなる流量ハイドログラフを淀川の上流端に与えた。東京では、荒川の計画高水流量を基にピーク値が8800 m³/sとなる流量ハイドログラフを淀川の上流端に与えた。破堤の時間は計算開始19時間後、計算時間は61時間とした。なお、それぞれの計算では、河川の下流端には洪水ピーク時に満潮となる大潮の水位を与えた。

b) 地下街・地下鉄駅と地下鉄線路のモデル化

本研究では、地下街・地下鉄駅の面積、底面高と線路の線形と高さを整備した。地下街・地下鉄駅の面積、線路の線形はWebにある数値地図を基に整理した。駅における地下鉄線路高を基礎として、縦4.35m×横7.75mの地下鉄断面があり、線路の高さは駅の線路高から線形補間して求めた。名古屋の地下空間の入口情報は現地調査の

値を用い、大阪の地下空間の入口情報には名古屋の調査の最頻値(道路から歩道の段差(d2=0.15m)、歩道から地下空間の入口の段差(d3=0.15m)、横幅(B=4m))を与えた。予め5mメッシュ標高値より地下鉄の入口付近の地盤高(z1)を求め、これを道路面とした。数値計算において氾濫水位(H)を求めた後で、入口の水深を以下の方法で求めた。

$$h_{in} = H - (z1 + d2 + d3) \quad (1)$$

ただし、 h_{in} が計算された水深よりも大きい場合には、 h_{in} を水深に置き換えた。その後、次式を用いて、流入流量を求めた。

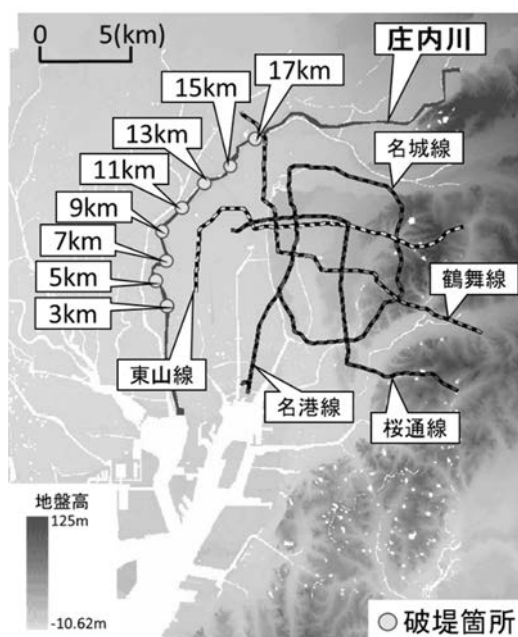


図-1 名古屋の計算領域



図-2 大阪の計算領域

$$Q_{in} = h_{in} B \sqrt{gh_{in}} \quad (2)$$

名古屋の地下鉄の各駅の高さに関する情報は、現地調査を行うことで入手した。また、大阪と東京の解析では、線路断面の天井の上0.5mに地下街・地下鉄の底面高があると仮定した。乗換駅では複数の底面高が現れるので、一番高い値を地下街・地下鉄駅の底面高とし、地下街・地下鉄駅と地下鉄線路の間には接続箇所があり、その幅の総長を20 mとした。本研究では、地上にある入口の止水板および地下空間のポンプ排水は考慮していない。

3. 解析結果

(1) 名古屋の場合

地下鉄を考慮しない場合と考慮する場合の名古屋における破堤箇所毎の計算終了時の氾濫水量と最大浸水深を用いた氾濫面積を図-4に示す。まず、図-4の結果から破堤箇所において、氾濫面積と氾濫水量の違いがあることが分かる。また、地下鉄を考慮しない場合の氾濫水量は、地下鉄を考慮する場合の地上と地下の総水量と一致している。このことは、質量保存の観点からの計算モデ

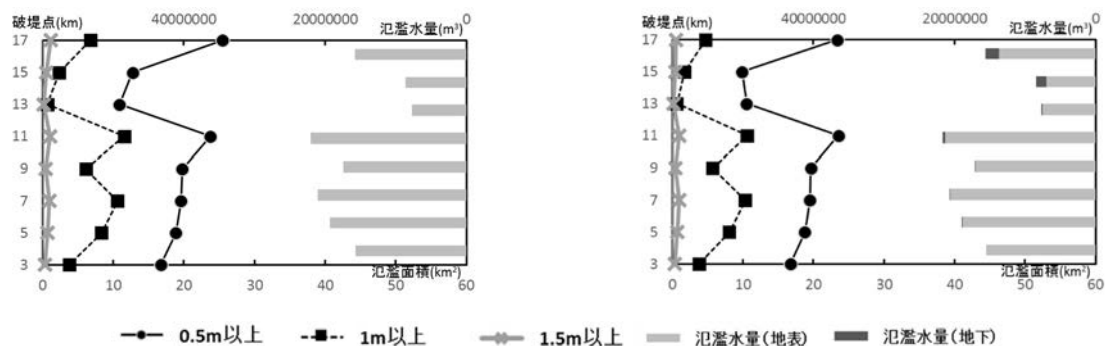
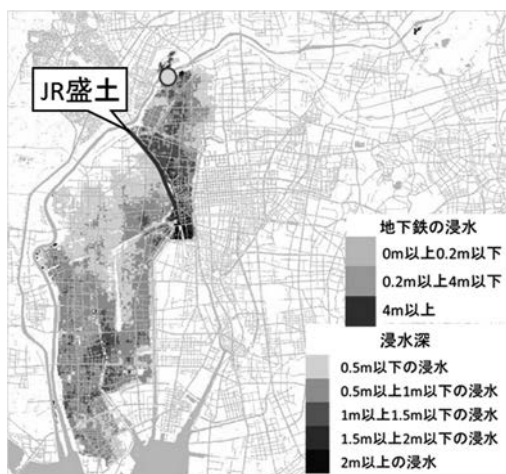
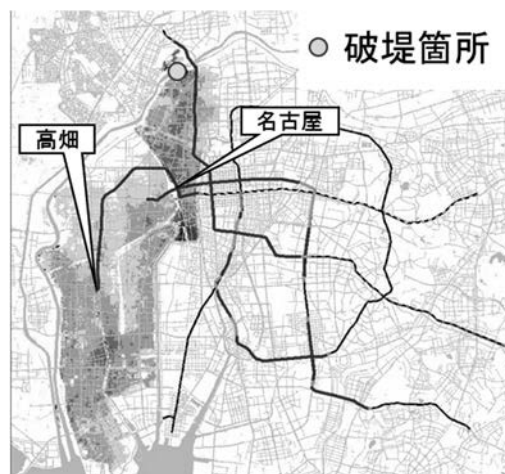


図-4 名古屋の氾濫水量と氾濫面積



地下鉄を考慮していない場合



地下鉄を考慮した場合

図-5 名古屋の最大浸水深の分布

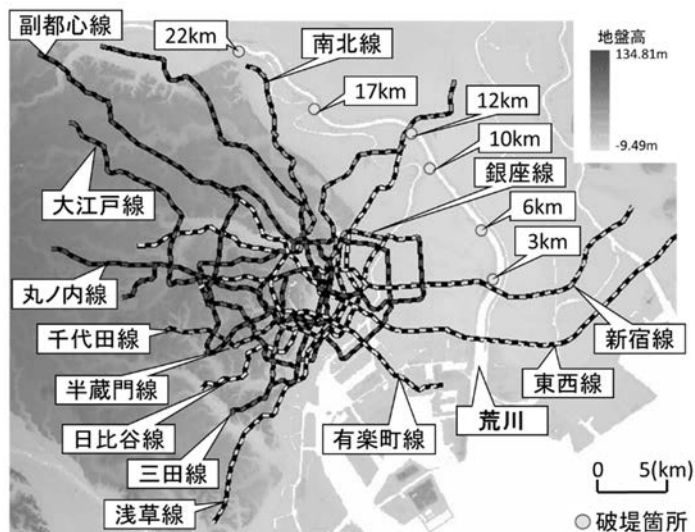


図-3 東京の計算領域

ルの妥当性を示している。さらに、図-4から、庄内川の河口から15kmと17kmの解析において、地下空間に多くの氾濫水が流入することが示された。それに伴い、地上の氾濫面積が減少していることが分かる。これらの破堤箇所はJR盛土よりも上流側であり、これらの場所で破堤が生ずれば、氾濫水は地下空間の入口が多く存在する名古屋駅前に集まって流下するので、地下空間への流入が多くなると考えられる。17km破堤における、地下鉄

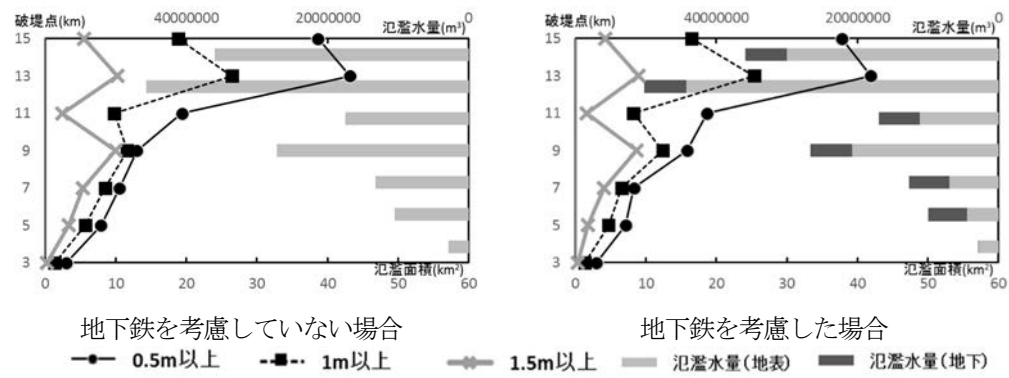


図-6 大阪の氾濫水量と氾濫面積

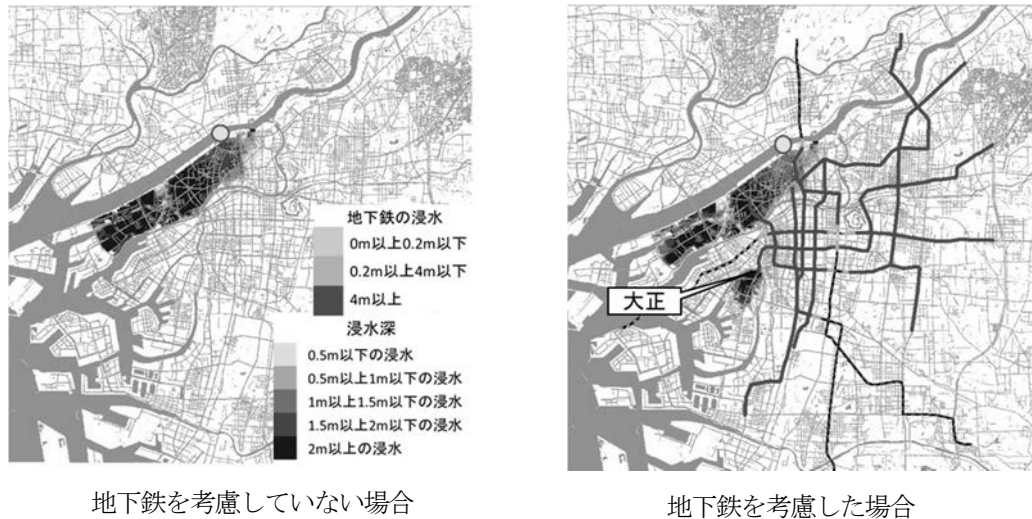


図-7 大阪の最大浸水深の分布(9km地点の破堤の場合)

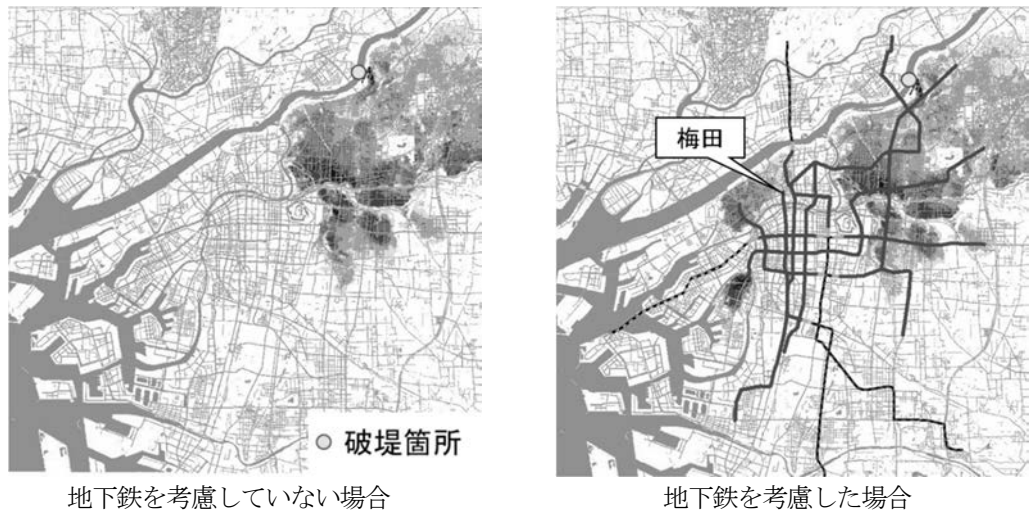


図-8 大阪の最大浸水深の分布(15km地点の破堤の場合)

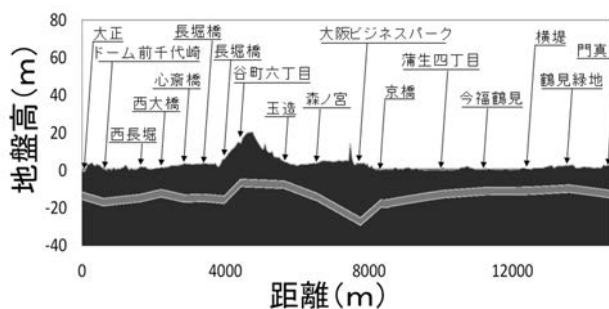


図-9 長堀鶴見緑地線の縦断方向水位(破堤箇所 9km地点)

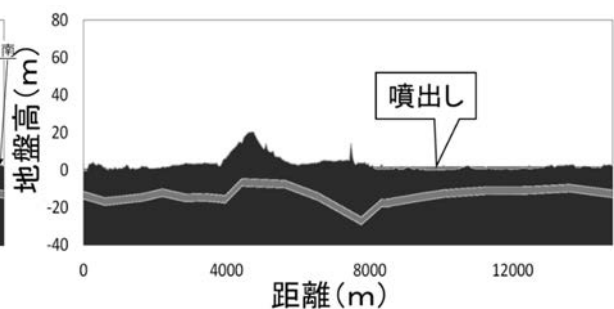


図-10 長堀鶴見緑地線の縦断方向水位(破堤箇所 15km地点)

を考慮しない場合と考慮する場合の最大浸水深の分布を図-5に示す。本図から、地下鉄を考慮することで、最大浸水深がわずかに低下している様子がわかる。名古屋の地盤高は東側が高くなっており、図-5の結果から庄内川から溢れた氾濫水が東方に拡がらないことが示された。また、地下鉄も同様に東方の線路高が高くなっており、地下の浸水も東方に拡がらない。庄内川の河口から17km地点で破堤した場合、氾濫水は鶴舞線から流入し、地上からの氾濫水の流入や乗換駅を通じて、他の線路へ広がっている。桜通線は名古屋の地下鉄線路内の中で最も線路高が低いため、広範囲に浸水が拡がっていく様子が示された。

(2) 大阪の場合

地下鉄を考慮しない場合と考慮する場合の、大阪における破堤箇所毎の計算終了時の氾濫水量と最大浸水深を用いた氾濫面積を図-6に示す。図-2に示すように、大阪の地盤高は全体的に低く、計算領域中央の地盤が高くなっている。図-6の結果から大阪の浸水は河口から3km以外の破堤箇所で大量の氾濫水が地下空間へ流入しており、地下への流入量は破堤箇所が違ってほぼ同様であった。これは、大阪が低平地に位置しており、地

盤の低い地域に地下鉄が建設されているためと考えられる。ここで、9km破堤と15km破堤の最大浸水深の分布を図-7、図-8に示す。図-7の結果から、9km破堤では、小河川域で囲われた梅田駅周辺に浸水が大阪の解析では大川（旧淀川）を非計算領域としているため、地上の浸水はその川を跨いで広域に拡がらない。しかし、図-9と図-10に示すように、地下鉄線路を水路として水が流れ、他地域で溢れることから、地下鉄の有無による浸水の様子の違いがみられた。

(3) 東京の場合

地下鉄を考慮しない場合と考慮する場合の、東京における破堤箇所毎の計算終了時の氾濫水量と最大浸水深を用いた氾濫面積を図-11に示す。東京の解析結果では、河口から6km、12km、17kmの破堤箇所で大規模の氾濫水が地下へ流入している。また、ここで、17km破堤の最大浸水深の分布を図-12に示す。図-12の結果から、17km破堤の場合、地上の浸水は西側には拡がらないことが示された。これは、図-3に示すように、東京の地盤高は西側の地盤が高くなっており、氾濫水は、河川に沿って流下したためと考えられる。また、東京の解析において地下鉄内に氾濫水が流入した場合、地上で浸水

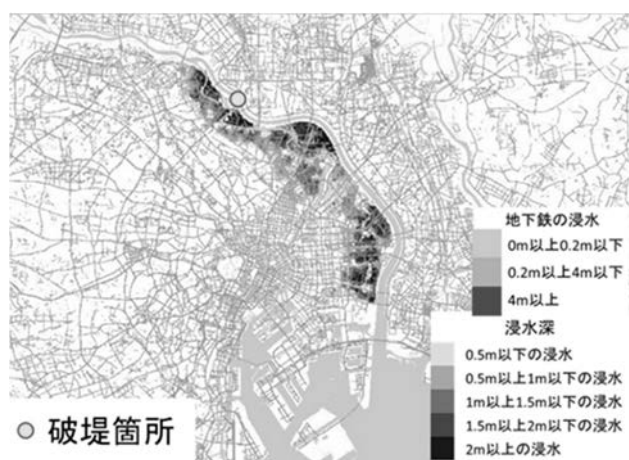
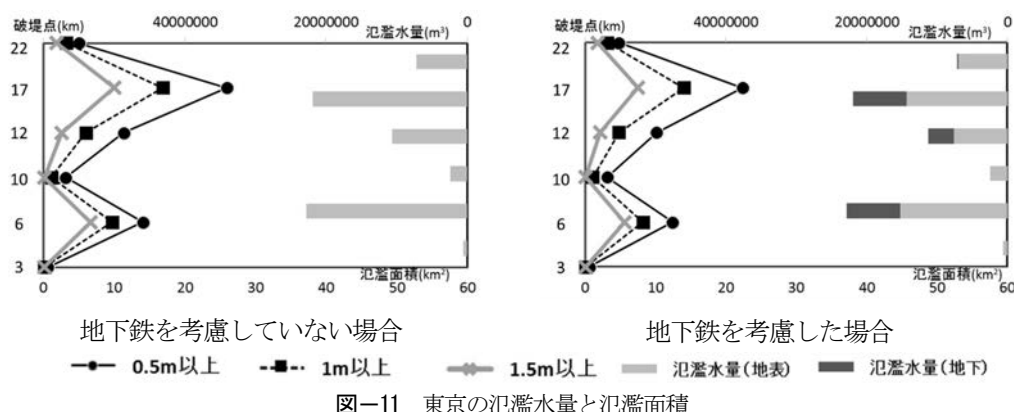


図-12 東京の最大浸水深の分布(17km地点の破堤の場合)

していない地域よりも離れた地域の地下鉄線路まで浸水が広がることが示された。

(4) 名古屋と大阪と東京の浸水特性の比較

本研究では、破堤箇所毎の浸水の様子を考察し、名古屋では河口から 15km や、12km、17km の破堤により、多大な水が地下空間の入口の多い名古屋駅周辺へ流れ込むため、地下へ流入する流量が多くなり、地下鉄線路が水没する浸水が生じている。しかし、他の破堤箇所では、浸水深が小さく、広く分布することから、地下空間への多大な流入は無く、地下浸水も生じにくいといえる。大阪では、低いところに地下空間の入口があり、地下鉄線路も地盤高の低い場所を通過している。したがって、ひとたび大規模浸水が生じれば、低い方へ流入し、地下空間の入口で浸水が流入して多大な被害になると共に、鉄道線路を伝って浸水があふれ出す可能性もあることが分かった。これは場所（都市）による浸水特性の違いであり、大阪では破堤に伴う地下浸水について検討する必要性が高いものとする。東京では、河口から 6km、12km、17km の地点の破堤の場合の氾濫水量が大きくなることが分かった、この 3 箇所の解析結果から氾濫水量は河口から 6km の地点の解析の方が氾濫水量は大きい、氾濫面積は河口から 17km の地点の解析の方が大きいことが分かった。このことから 17km の地点の破堤においては、広範囲に浸水が広がる。また、地上で浸水していない東京駅周辺の地下鉄線路内まで氾濫水が広がっていくことが分かった。

4. おわりに

本研究では、武田・西田らにより開発された地下鉄を有する都市の浸水解析モデルを用い、名古屋と大阪と東京の洪水氾濫に適用して大都市の浸水特性を考察した。本研究により得られた成果は、以下のようである。

- 1) 名古屋では、JR 盛土よりも上流側の場所で破堤が生ずれば、氾濫水は名古屋駅前に集まって流下するので、地下空間への流入が多くなる。ただし、名古屋は東側が丘陵地であり、破堤氾濫による浸水は東部へは広がらない。この点は地下鉄の水理でも同様であり、地下鉄浸水も西側のみで生じる。

2) 大阪では、破堤箇所による浸水面積、氾濫水量が異なることが示されたが、地下空間への氾濫水量の値は破堤箇所が違ったとしても、ほぼ同じ値となっている。これは、大阪は低平地に地下空間が存在するため、洪水氾濫による氾濫水が多く地下空間へ流入し、鉄道線路も低い場所を通っているため、広域に浸水が及んでおり、満水になっているためと考えられる。また、鉄道線路を伝って水が広がっており、ある場所では陸上へ流出していることが示された。

3) 東京では、破堤箇所の違いによって地上の浸水に大きな違いが見られた。また、東京の解析では、地上で浸水していない東京駅周辺の地下鉄線路内まで氾濫水が広がっていくことが示された。

前述したように、名古屋と大阪と東京における地下鉄を考慮した浸水解析により、それぞれの特徴が明らかとなり、特に、大阪における地下空間の浸水に対する脆弱性が示された。また、本研究で検討したように地下鉄を考慮することで、地上の浸水のみでは検討できなかった地下鉄線路を伝って氾濫水が広範囲に広がる現象や地下鉄線路内が満水になることで浸水が溢れ出す現象を検討することができた。

参考文献

- 1) 池内幸司，越智繁雄，安田吾郎，岡村次郎，青野正志：大規模浸水時における地下鉄等の浸水想定と被害軽減方策の効果分析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.68，No.3，pp136-147，2012。
- 2) 関根正人，関根貴広：東京都心部の地下空間への氾濫水の流入危険度とトンネル内の浸水域拡大過程に関する検討，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.72，No.4，I_1369-I_1374，2016。
- 3) 岡部良治，寺田光宏，土井峻平，石垣泰輔：外水氾濫における地下鉄軌道を伝播する氾濫水の挙動予測に関する検討，土木学会第 71 回年次学術講演会，II-116，2015。
- 4) 武田誠，島田嘉樹，川池健司，松尾直規：庄内川の想定破堤氾濫による地下空間への流入水量の検討，第 20 回地下空間シンポジウム，pp155-164，2015。
- 5) 武田 誠・西田貢士郎・村瀬将隆・川池健司・松尾直規：地下鉄を考慮した都市の浸水解析，第 21 回地下空間シンポジウム，2016。