地下鉄を考慮した 名古屋と大阪の大規模浸水解析

村瀬将隆¹・中島勇介²・武田 誠³・川池健司⁴・松尾直規⁵

¹ 学生会員 中部大学大学院工学研究科建設工学専攻 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

E-mail: tc15015-9664@sti.chubu.ac.jp

² 学生会員 中部大学工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

³ 正会員 博士(工学) 中部大学教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

E-mail: mtakeda@isc.chubu.ac.jp

⁴ 正会員 博士(工学) 京都大学准教授 防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

⁵ フェロー 工学博士 中部大学教授 工学部都市建設工学科 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

近年、東日本大震災による津波災害や、平成 27 年の鬼怒川破堤による洪水災害など、大規模な浸水災害が生じている。地下鉄や地下街など高度に地下空間が活用されている都市域に対して大規模な浸水災害が生ずれば、その氾濫形態は複雑化することが考えられ、地下空間の浸水被害のみでは無く、地下鉄の線路が新たな水路となり、他地域への浸水を広めることも考えられる。本研究は、名古屋と大阪の地下鉄を有する都市域を対象に、洪水破堤による大規模な浸水解析を行い、地下鉄の有無による浸水被害の違いや地域による浸水特性を明らかにする。

Key Words: Urban inundation analysis, Underground space, Subway, Nagoya, Osaka

1. はじめに

近年、地球温暖化による異常気象や大型台風により豪雨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たものの、幸いにも破堤とそれに伴う大規模浸水は生じていない。仮に、大規模な浸水が生ずれば、高度に発展した地下空間施設（地下街および地下鉄）を有する名古屋市では、その地下空間へ氾濫水が流入し、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、その浸水特性を予め把握することは、減災や危機管理の面からも非常に重要と考える。

近年、地下空間の浸水に着目した研究が精力的に実施されている。そのなかで、地下鉄に関わる研究事例を挙げれば、つぎのようである。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の把握を目的と

し、地下鉄などの出入口およびトンネルにおける止水板、防水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への流入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。

著者らも名古屋を対象に洪水破堤に伴う地下街・地下鉄を考慮した都市の浸水解析を実施し、その成果をまとめている^{4) 5)}。著者らが開発したモデルは、河川洪水流を一次元不定流解析で、氾濫水の挙動をデカルト座標系の平面二次元不定流解析で表現し、地下街および地下鉄駅を一つのボックスとしてとらえ、地下鉄の線路における水の挙動をスロットモデルを考慮した一次元不定流解析で表現している。これらのデータの多くは Web 上で入手可能であり、汎用性の高い解析ツールとなっている。

地下空間を含めた都市の浸水状況は与えられる外力と共に地盤高分布や地下空間の位置が大きく影響するものと考えられる。そこで、本研究では、本解析モデルを名古屋と大阪に適用し、洪水破堤に伴う大規模浸水の様子

を明らかにするとともに、両者の比較を行うことで地形や地盤高分布の違いによる浸水の特徴を明らかにする。

名古屋の研究事例は、既に武田・西田ら⁵⁾によって報告されているが、ここでは、計算条件を再度設定し、大阪との比較のために浸水特性を簡潔にまとめている。

2. 解析の概要

(1) 洪水氾濫解析

本研究では、武田・西田ら⁵⁾が開発した洪水氾濫解析モデルを使用し、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が計算される。庄内川および淀川では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

図-1 名古屋の計算領域

図-3 庄内川の下流端水位と流量ハイドログラフ

図-2 大阪の計算領域

図-4 淀川の下流端水位と流量ハイドログラフ

(a) 計算領域と破堤条件

名古屋と大阪の計算領域をそれぞれ図-1、図-2に示す。名古屋の計算では、河口から3km～17kmまで、大阪の計算では、河口から3km～15kmまでを2km毎に100m幅で破堤（破堤箇所の堤防天端が堤内地の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。

(b) 計算条件

境界条件の流量と水位を図-3と図-4に示す。名古屋の解析では、庄内川の上流端に、計画高水流量を基にピーク値が4400m³/sとなる流量を与え、河川の下流端には破堤時間に満潮となる大潮の水位を与えた。破堤は計算開始19時間後に行い、計算時間は36時間とした。一方、大阪の解析では、淀川の上流端流量に、計画高水流量を基にピーク値が12000m³/sとなる流量を与え、河川の下流端には破堤時間に満潮となる大潮の水位を与えた。破堤時間は計算開始19時間後、計算時間は61時間とした。

(c) 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

図-5 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-6 名古屋の最大浸水深の分布

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(0.15m)、歩道から地下空間の入口の段差(0.15m)、横幅(4m))を与えた。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20mとした。なお、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破堤箇所毎の名古屋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-5に示す。まず、図-5の結果から破堤箇所において、浸水面積と氾濫水量に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。

図-7 拡大した名古屋の最大浸水深の分布

(左：地下鉄なし、右：地下鉄あり)

図-8 計算終了時の東山線の縦断面図

このことは、質量保存の観点からの計算モデルの妥当性を示している。さらに、図-5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すれば、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。河口から3kmから13kmの破堤の場合、破堤箇所による氾濫面積、氾濫水量の違いがみられ、地下空間への流入は少ないことが分かる。17km破堤における、地下鉄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-6に示す。また、図-7は最大浸水深の

図-9 大阪の氾濫水量

地下鉄を考慮していない場合

地下鉄を考慮した場合

図-10 大阪の最大浸水深の分布(9km地点の破堤の場合)

地下鉄を考慮していない場合

地下鉄を考慮した場合

図-11 大阪の最大浸水深の分布(15km地点の破堤の場合)

図-12 長堀鶴見緑地線の縦断方向水位(破堤箇所 9km 地点)

図-13 長堀鶴見緑地線の縦断方向水位(破堤箇所 15km 地点)

分布に差がみられる場所を拡大したものである。地下鉄を考慮することで、赤枠で囲われている箇所において最大浸水深が低くなっていることがわかる。名古屋の地盤高は東側が高くなっており、図-6の結果から庄内川から溢れた氾濫水が東方に広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広がらない。図-8は計算終了時の東山線の縦断面図である。図-8の様子からも線路高の高い地域に水が広がらないことが分かる。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。名古屋の桜通線は名古屋の地下鉄線路の中で最も線路高が低いため、広範囲に浸水が広がっていく様子が見られた。

(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氾濫水量と氾濫面積を図-9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-9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規模な氾濫水が地下へ流入しており、地下への流入量は破堤箇所が違ってもほぼ同様であった。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-10、図-11に示す。図-10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集中している。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広がらない。しかし、図-12と図-13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に違いがみられた。

(3) 名古屋と大阪の浸水特性の比較

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

(a) 9km地点の破堤

(b) 15m地点の破堤

図-14 名古屋の浸水深の分布（17km地点の破堤）

図-15 大阪の浸水深の分布

流入は無く、地下浸水も生じにくいといえる。一方、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考えられる。

3. 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をまとめると以下のようである。

- 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。そのような特徴もあり、破堤箇所毎の浸水面積、氾濫水量が異なっている。ただし、名古屋は東側が丘陵地であるので、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、地下鉄浸水も部分的である。
- 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過しているので、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) 前述したように、本研究では名古屋と大阪における地下鉄を考慮した浸水解析を実施した。本研究により、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。

謝辞：本研究は文部科学省委託事業気候変動リスク情報創生プログラム「課題対応型の精密な影響評価」のもとで行われたことを記す。

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.

(2016.9.30 受付)

LARGE SCALE INUNDAITON ANALYSIS IN CONSIDERATION OF THE WATER BEHAVIOUR OF SUBWAY LINE IN NAGOYA AND OSAKA

Masataka MURASE, Yusuke NAKAJIMA, Makoto TAKEDA, Kenji KAWAIKE
and Naoki MATSUO

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 and Osaka city region. The underground space has the brittleness of water disaster. Nishida and Takeda et al developed the inundation analysis model of urban area in consideration of the water behavior of the subway line. In this study, it was to clarify the features of urban inundation by applying the model of Nishida and Takeda et al. in Nagoya and Osaka. From analysis results, the features of the inundation of Nagoya and Osaka was clearly shown. Moreover, it was also shown the risk of Osaka from the view point of the underground inundation.