

高潮を対象とした 地下鉄を有する名古屋の浸水解析

INUNDATION ANALYSIS CONSIDERING THE WATER BEHAVIOUR OF SUBWAY DUE TO STORM SURGE

武田 誠^{1*}・中村皐太郎²・中島勇介³・川池健司⁴

Makoto TAKEDA^{1*}, Kotaro NAKAMURA², Yusuke NAKAJIMA³,
Kenji KAWAIKE⁴

Recently, the risk and the measures of water disaster of underground space in urban areas have been examined. In many discussions, heavy rain was treated as the external force of inundation of underground space. And water stop plate at the gate of underground space and evacuation system were discussed as countermeasures of inundation disaster of underground space. In generally, though the water stop plate may be effective for the countermeasures of the inundation due to heavy rain, it is impossible to prevent inflow of storm surge to underground space. Moreover, any urban cities have subway network. If large scale inundation occurs, the inundation water may flow to the rail way of subway and spread widely in underground space. In this study, numerical analysis model considering the water behavior of the subway network and overland area is developed. Analysis area is the Nagoya city, and the inundation due to storm surge is examined. From analysis results, it is found that the inundation water depth increases in the area along the sea. And the inundation occurred in the Meiko line near the sea.

Key Words : *Underground space, Subway, Inundation, Storm surge, Numerical analysis*

1. はじめに

近年, 高度な地下空間の利用が進められており, 大都市においては地下街, 地下鉄が多数建設されている. 一方, 地下空間の浸水に対する脆弱性が指摘されており, 大規模な浸水が生ずれば, 都市の低い個所に位置する地下空間に氾濫水が流入し, 広く拡がり, 甚大な災害を引き起こす可能性は否定できない. 平成27年には台風18号による豪雨の影響を受けて鬼怒川で洪水が発生し, 破堤氾濫が生じた. このような大規模な氾濫災害が大都市で生じた場合の被害の深刻さは容易に想像できる.

尾崎ら¹⁾, 関根ら²⁾など, 近年, 地下空間の浸水被害を扱った研究は盛んに行われている. これらの研究では, 大阪や東京に位置する地下街を対象に, 豪雨に伴う内水氾濫や避難シミュレーションを実施しており, 地下空間の浸水特性や現実的な浸水対策, 避難対策を報告してい

る. さらに, 最近では, 津波による地下浸水特性の評価³⁾, 内水氾濫モデルによる広域の洪水氾濫解析⁴⁾など, 広域浸水およびそれによる地下空間の浸水特性が議論されている. また, 内閣府では地下鉄を考慮した浸水解析が実施されており⁵⁾. さらに, 地下鉄を考慮した都市浸水に関する朝日らの研究⁶⁾も報告されている. 本研究は, 東京を対象にした池内らの研究⁷⁾と同様の目的をもって実施しており, 名古屋を対象としていること, 外力として高潮氾濫を対象にしていることに特徴がある.

武田・島田ら⁸⁾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. その結果, JR盛土構造物の上流側である河口から17km地点の庄内川左岸を破堤させた場合, 氾濫水が地下空間の入口が多数存在する名古屋駅前に集

キーワード: 地下空間, 地下鉄, 浸水, 高潮, 数値解析

¹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@jsc.chubu.ac.jp)

²非会員 中部大学工学部都市建設工学科 Faculty of Engineering, Chubu University.

³学生会員 中部大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Chubu University.

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

まり流下するので、多くの水が地下空間へ流入することが示された。さらに、氾濫水量が多いため、その水は一つの駅に留まらずに、地下鉄線を伝って広域に拡散することが予想された。武田・西田⁸⁾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の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検討した。その結果、17km地点の左岸堤防が破堤した場合、地下鉄が水没するが、名城線の東部など丘陵地を通過している鉄道線路には浸水が及ばないことが明らかとなった。本研究は、名古屋市を対象とした都市氾濫の研究のひとつと位置づけられ、高潮氾濫が生じた場合の浸水特性を明らかにする。

2. 氾濫解析法

(1) 解析モデル

本研究では、武田・西田⁸⁾の都市における洪水氾濫解析モデルを基礎とする。本解析モデルは、洪水流解析と浸水解析、地下鉄線路の浸水、地下街および地下鉄駅の水輸送を考慮している。洪水流解析には一次元の運動量方程式および連続式を用いた。また、浸水解析には平面二次元の運動量方程式および連続式を用いた。地下鉄線路の浸水解析にはスロットモデルを考慮した一次元の運動量方程式と連続式を用いた。地下街と地下鉄駅は、一つのボックスとしてとらえ、多数ある地上の入口および接続された地下鉄線路との氾濫水の流入・流出を考慮している。なお、解析モデルの詳細は武田・西田⁸⁾を参考にさせていただきたい。

本研究の対象は、高潮による都市浸水である。そこで、海域の計算格子に、計算値である伊勢湾台風による高潮の潮位偏差⁹⁾と潮汐値(大潮の満潮を想定し1.3m)を合算して与え、海岸堤防を考慮して、高潮氾濫を表現した。

(2) 計算領域および計算条件

図-1に計算領域を示す。本計算では、河口から志段味までの庄内川の河川区間およびそれらを包含する陸域を計算格子とした。また、平成23年9月の台風15号による洪水を対象とし、河川上流端には当時の洪水流量と支川の矢田川の流量を合算して与え、下流端には庄内川の高潮偏差に潮汐値を合算して与えた。ただし、本計算では庄内川の破堤は考慮していない。また、海域の計算格子には、伊勢湾台風の再現計算の潮位偏差⁹⁾に潮汐値(大潮の満潮を想定し1.3m)を合算して与えている。潮位偏差の一例として、名古屋における計算結果を図-2に示す。本計算では堤防の有無による計算結果の比較を行うことで、堤防の効果を明らかにしている。

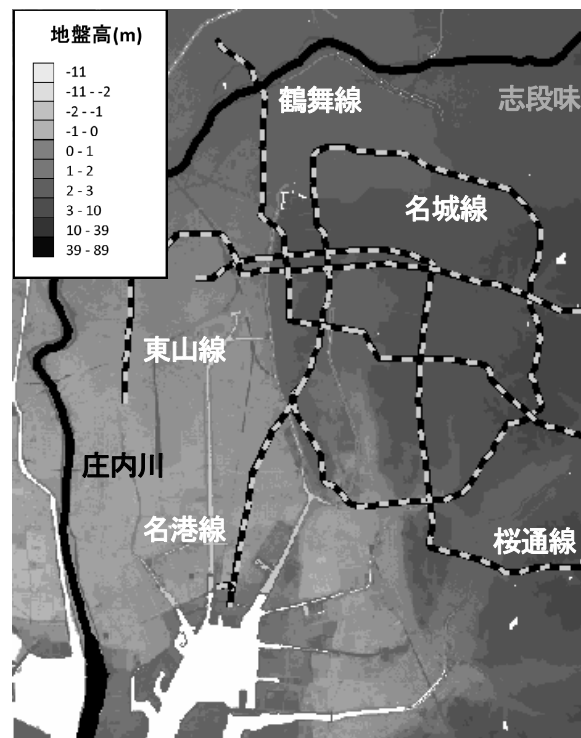


図-1 計算領域

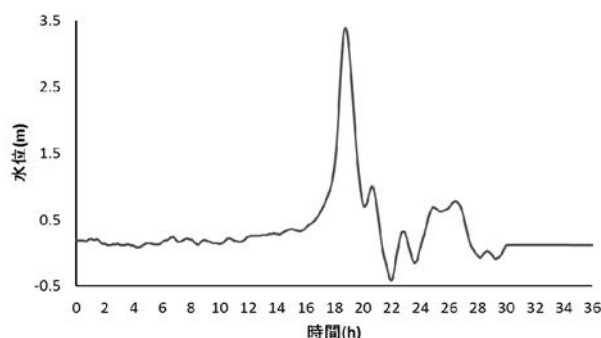


図-2 名古屋港の潮位偏差

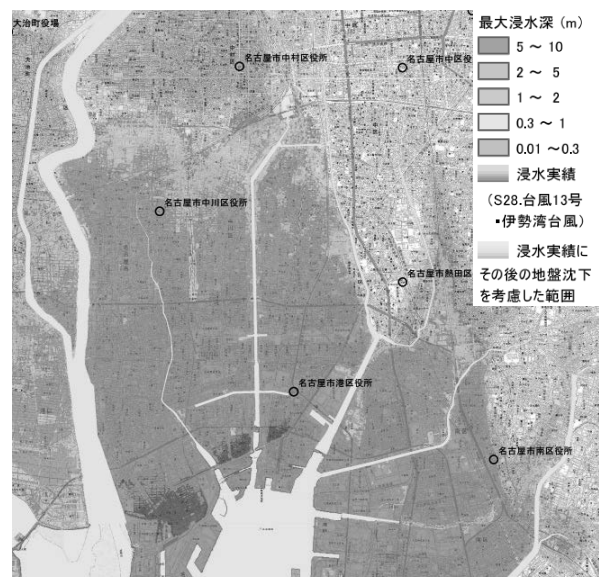
3. 計算結果

(1) 計算結果の妥当性評価

本研究では、伊勢湾台風の再現計算による潮位偏差に満潮時の潮汐値の合算を仮定して、その高潮による都市の氾濫計算を行っている。このような想定計算であるため、計算結果の妥当性評価を実施することが難しい。そこで、愛知県が示している高潮による被害想定¹⁰⁾との比較を行った。愛知県が行った伊勢湾(名古屋港)・衣浦港の想定では、室戸台風級の台風が伊勢湾台風のコースを通った場合を想定しており、名古屋港で6.5mの最大潮位となっている。したがって、直接的な比較ができないため、浸水の傾向について考察する。図-3に本計算で求められた堤防無しの計算結果(最大浸水深の分布)と、愛知県が示している高潮浸水の被害想定(最大浸水深の分布)を示す。本図から、両者は類似した浸水の様子となっていることが分かる。しかし、北部において計



(a) 本計算による最大浸水深



(b) 愛知県の被害想定

図-3 最大浸水深の分布

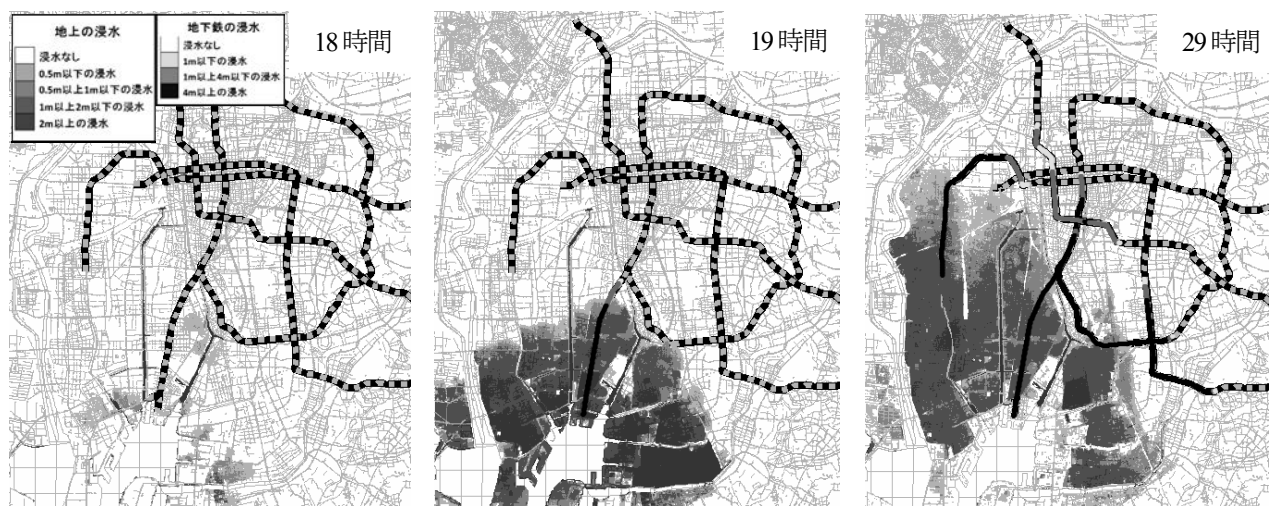


図-4 浸水深の時間変化

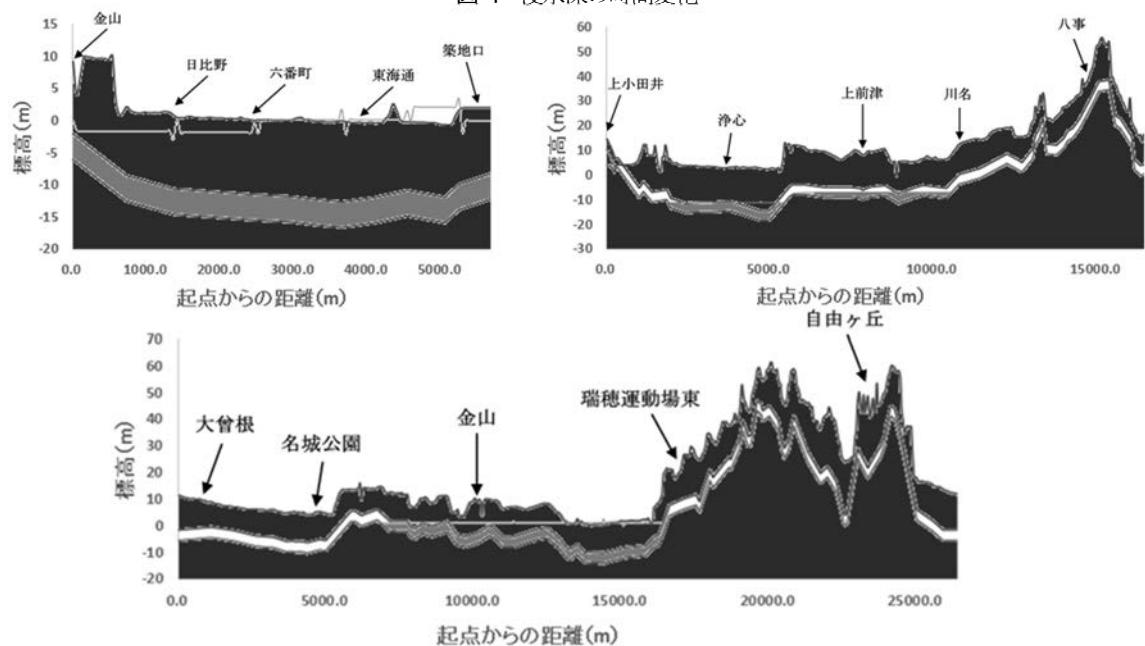


図-5 鉄道内の浸水深の分布 (36時間)

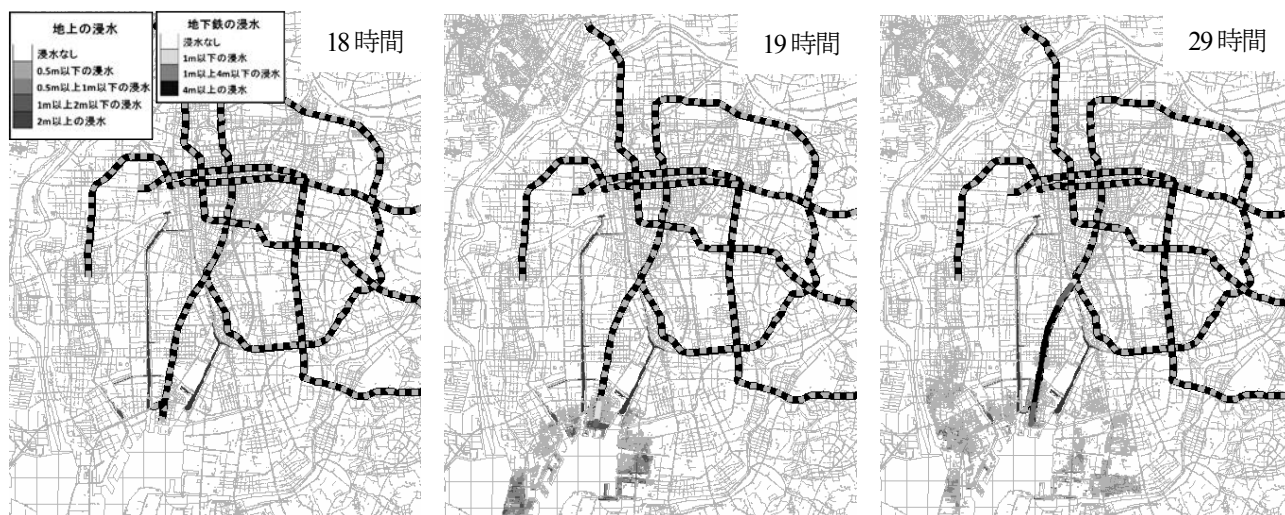


図-6 浸水深の時間変化

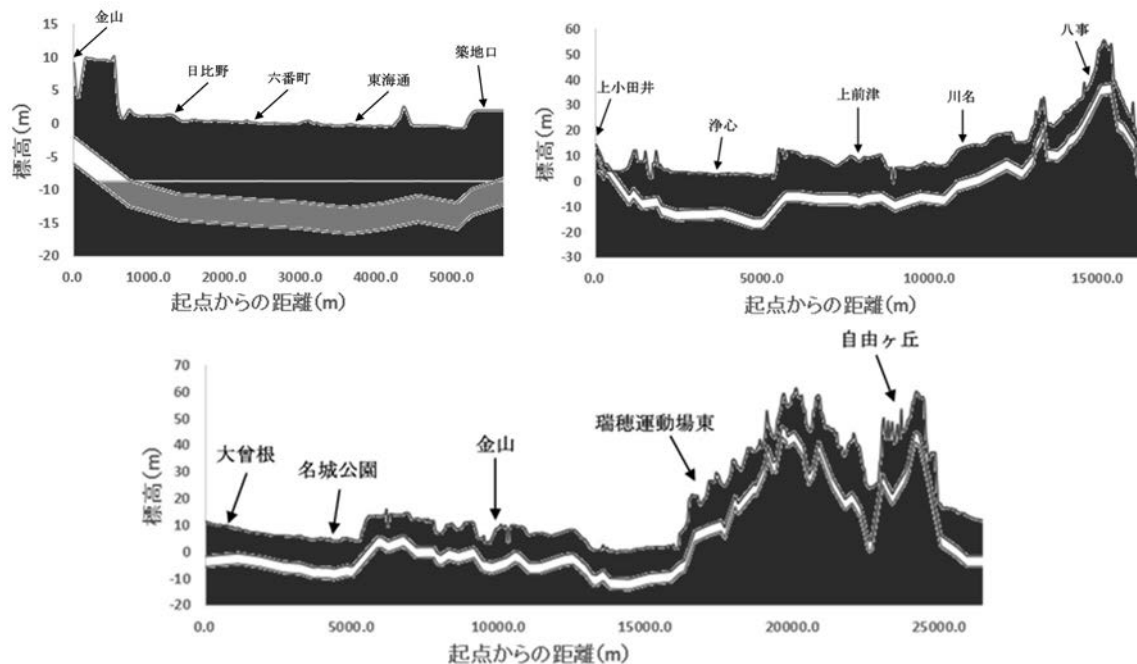


図-7 鉄道内の浸水深の分布 (36時間)

算結果は愛知県の被害想定よりも浸水が広がっている。これは、愛知県が用いた地盤高情報と本研究の地盤高情報の不一致も考えられるが、高潮に関する境界条件が異なることから、ここでの妥当性評価は十分なものではなく、さらに検討する必要がある。

(2) 堤防が無い場合の高潮による浸水特性

図-4に堤防が無い場合の、陸域の浸水深および地下鉄線路内の浸水深の時間変化を示す。本図から18時～19時に浸水深が急に増加することが分かる。これは、図-2からも分かるように、潮位変化がこの時に大きいことが原因であり、その後、浸水が名古屋市の中央部に移り、広がっていることが分かる。また、図-4には、同時に、地下鉄の浸水も示している。本図から名港線では先に浸水

が生じ、地下鉄線路内を通して名城線にも広がっていることが分かる。一方、氾濫水は東山線の高畑駅周辺にも進行し、そこから地下鉄内へ流入している。すなわち、高潮氾濫の場合、海から浸水が生じることから複数の経路で陸上の浸水が生じ、複数の入口から地下空間へ流入し地下鉄内を拡がることが考えられる。このような影響を受けて、地下鉄内の浸水は複雑な経路をたどることが示された。また、図-5に地下鉄線路内の浸水の様子を示す。本図から、鉄道内の浸水は線路の高さの影響を受けて、ある一部のみで浸水している。浸水を受けている箇所は海域に近いところであり、その区域での浸水は妥当な結果と考える。また、多くの地下鉄線路内で水没している結果となっている。この場合、非常に危険な状況であることから、避難などの対策が重要である。

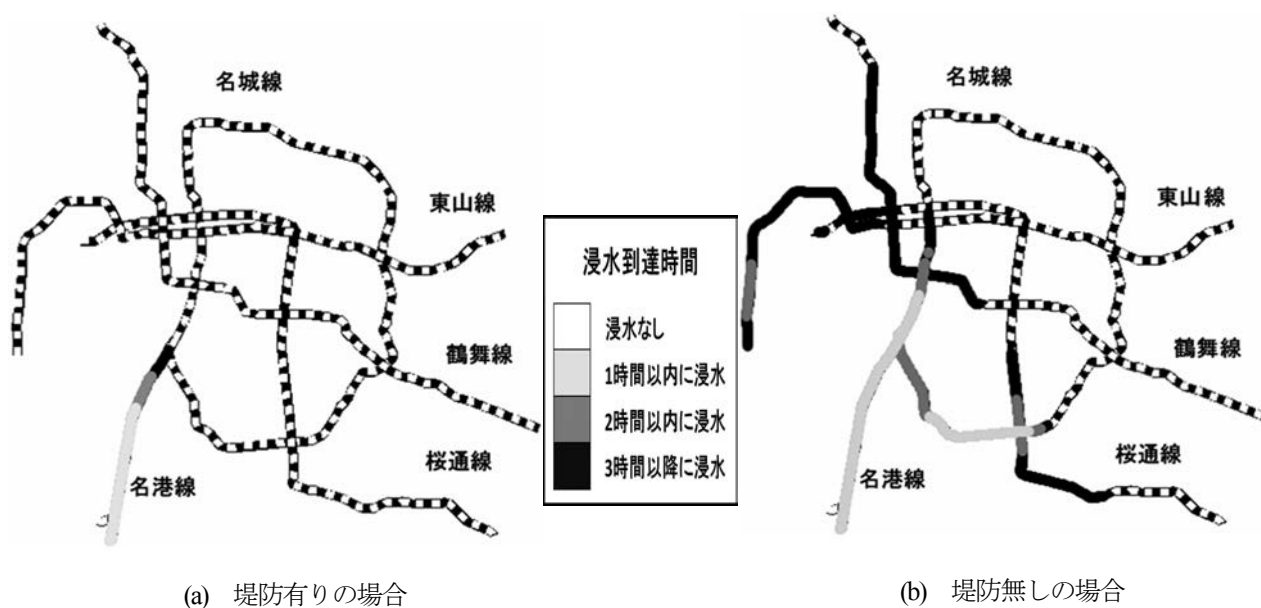


図-8 0.2m以上の浸水を受ける最短時間

(3) 堤防が有る場合の高潮による浸水特性

図-6に堤防がある場合の、陸域の浸水深および地下鉄線路内の浸水深の時間変化を示す。図-4と比較すると、浸水深が低下していることが分かる。このことから、堤防の効果が示されている。また、地下空間の浸水の様子も、名城線においては水没の危険性があるが、その他の線路の浸水の様子が大きく変化していることが分かる。すなわち、堤防の存在により、浸水深が低下し、地下空間への流入水量も大きく減少している。図-7の地下鉄線路内の浸水深の分布も同様の様子であり、堤防の効果が示されている。本研究が対象とした計算条件（伊勢湾台風による再現計算）では、堤防が機能した場合、大規模な地下空間への浸水が生じないことが示された。また、名古屋の地下鉄では、名港線など高潮災害が危険視される箇所では、地下流入を防ぐ対策が採られている。本研究では、その条件の考慮が出来ておらず、より現実的な検討は今後の課題である。

(4) 浸水を受ける時間について

鉄道の線路に浸水が及んだ時を一つの目安として、線路内の水深が0.2mになる最短時間を示したものが図-8である。堤防が無い場合は、名港線が最も早く浸水を受け、次に東山線が浸水を受ける。このような浸水特性は浸水のプロセスと関係し、武田・西田らが示した鶴舞線から浸水する庄内川の洪水破堤（破堤箇所は河口から17kmの左岸）による浸水の様子とは大きく異なることが示された。また、堤防の有無における違いも明らかであり、堤防が有る場合は地下浸水が小さくなるため、名港線のみが浸水し、他の線路には浸水が見られない。したがっ

て、浸水を受ける時間も見られない。

4. おわりに

本研究では高潮による大規模浸水における地下空間を有する都市の浸水被害について数値解析的な検討を行った。特に地下鉄の浸水による被害を定量的に明らかにした。本研究で得られた成果を以下に記す。

- 1) 武田・西田らの解析モデルを基礎として、高潮による都市浸水の検討を行った。まず、妥当性評価のため、愛知県が公表している高潮による浸水想定との比較を行った。その結果、浸水深の分布の一致を示すことが出来た。しかし、詳細な妥当性評価は今後の課題として残った。
- 2) 伊勢湾台風による高潮偏差に満潮時の潮汐値を合算して、高潮潮位を設定し、都市の浸水解析を行った。まず、堤防が無い場合の解析を実施し、広域な浸水の拡がり、地下空間への流入とその浸水の地下鉄線路を伝う拡がりの様子を示した。この解析では、地下鉄への流入として大きく二つの経路があることを示した。また、堤防が有る場合の浸水の様子を示し、堤防の効果によって、地上の浸水の様子も激減し、それに伴い地下空間への流入水量が大きく減少していることも示された。名港線では線路が水没していたが、実際には地下空間への流入対策が採られており、本研究ではその考慮ができていない。この点は今後の課題であり、本計算結果はそのような誤差を含んでいることを認識する必要がある。

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。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 尾崎平, 浅野統弘, 石垣泰輔, 戸田圭一: 短時間集中豪雨に伴う内水氾濫による地下街浸水特性の考察, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, I_1417-I_1422, 2014.
- 2) 関根正人, 河上展久: 都市における内水氾濫と地下街浸水の被害予測に関わる数値解析, 水工学論文集, 第 47 巻, pp889-894, 2003.
- 3) 浅野統弘, 尾崎平, 石垣泰輔, 戸田圭一: 南海トラフ巨大地震による津波来襲時の大規模地下空間の浸水予測, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, I_1435-I_1440, 2014.
- 4) 関根正人, 池田遼: 東京東部低平地を対象とした浸水・氾濫の数値解析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.70, No.4, I_1429-I_1434, 2014.
- 5) 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.
- 6) 朝日一堯, 戸田祐嗣, 辻本哲郎: 地上一地下鉄トンネルの統合氾濫解析による地下鉄路線およびその周辺地域の水害脆弱性に関する基礎的検討, 河川技術論文集, 第 20 巻, pp.413-418, 2014.
- 7) 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論文・報告集, pp155-164, 2015.
- 8) 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論文・報告集, 2016.
- 9) 澁谷容子, 中條壮大, 森信人, 金洙列, 間瀬肇: 気候変動に伴う最大クラス台風経路と高潮偏差および再現期間の推定 -伊勢湾における検討, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 71, No. 2, I_1513-I_1518, 2015.
- 10) 愛知県: 高潮浸水想定図, <http://www.pref.aichi.jp/soshiki/kowan/0000077972.html>. (平成 28 年 9 月 30 日確認)