

都市部における浸水解析に資する 三次元地下鉄GISデータの構築

ESTABLISHMENT OF THREE-DIMENSIONAL SUBWAY GIS DATA FOR INUNDATION ANALYSIS IN URBAN AREA

杉本 賢二^{1*}・奥岡 桂次郎²・谷川 寛樹³

Kenji SUGIMOTO^{1*}, Keijiro OKUOKA², Hiroki TANIKAWA³

The space of underground expanding with development of city is vulnerability to urban flooding in local heavy rain, therefore inundation analysis of urban area takes on increasing importance. Since subway system as urban public transport is configured as continuous space station facilities with connected by a tunnel, flooded water is expected to diffuse over a wide area through the underground construction. In this study, we established three-dimensional subway GIS data in Nagoya City based on records and drawings of construction. Using three-dimensional shaped subway GIS data, tsunami inundated area of subway stations and train lines caused by the Nankai Trough Earthquake were analyzed. It can be found that stations of Meiko Line close to the coastal are submerged by the over 1m flooding and it has been estimated tsunami run-up through the train line occurs.

Key Words : subway, GIS, three-dimensional shape, urban flooding, tsunami inundation

1. はじめに

大都市部では人口の増加に伴う地上空間の開発制約により、ライフラインや地下鉄、地下街などの都市インフラ及び経済活動の場として地下空間の利用が拡大している。とりわけ地下鉄は、現在日本全国の12都市で45路線、総延長約800kmにわたり運行されており、仙台市や福岡市、東京都では新路線が建設中あるいは検討中である¹⁾。したがって、既に高度利用化された地下空間を抱える大都市中心部だけでなく、都市部近郊においても地下空間の利用が今後進展し続けていくと考えられる。

一方で、都市の多重階層で最も低いところに位置する地下空間は水害に対して脆弱である。局所的な短時間豪雨により、浸透性の低いアスファルトに覆われた市街地から溢れた、排水処理能力を超えた水が地下へ流入し、浸水する被害が多く発生している。例えば、1999年の福岡豪雨²⁾や2000年の東海豪雨³⁾、2013年の御陵駅⁴⁾、米国では2012年のハリケーン・サンディ⁵⁾などでは深刻な浸水被害により地下鉄が不通となり、数日間にわたって都市

機能が麻痺した。このように、都市機能の一端を担っている高度利用化された地下空間が浸水することにより、地下構造物が被害を受けるだけでなく、市民生活や経済活動へも甚大な被害をもたらす。

加えて、建物や交通機関の高密度化によるヒートアイランド現象や気候変動の進行により、所謂ゲリラ豪雨など極端事象の発生回数が増加するとともに、その強度が増すといわれている⁶⁾。また、日本の大都市の多くは低地の平野部に集中しているが、近い将来発生するとされる南海トラフ地震では、最大40mを超える津波により広域で浸水被害が発生するとされている⁷⁾。特に沿岸部に位置する大阪市や名古屋市のにおいても津波遡上と河川沿いでの氾濫が予想されており、大都市では降雨のみならず津波による浸水被害を分析する重要性が高まっている。

このような背景から、大都市部の地下空間を対象とした浸水解析に関する研究が多くなされている。井上ら(2002)⁸⁾は地下空間の浸水仮定を解析可能な数学モデルを開発し、戸田ら(2004)⁹⁾はそれを福岡豪雨の再現計算に適用しモデルの妥当性を検証した。関根・河上(2005)¹⁰⁾は

キーワード：地下鉄，GIS，三次元形状，都市型水害，津波浸水

¹ 正会員 名古屋大学大学院 特任講師 環境学研究科 Designated Lecturer, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University. (E-mail : k.sugimoto@nagoya-u.jp)

² 正会員 名古屋大学大学院 助教 環境学研究科 Assistant Professor, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University.

³ 正会員 名古屋大学大学院 教授 環境学研究科 Professor, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University.

渋谷駅を、関根・小松(2006)¹¹⁾は溜池山王駅を対象に、地下鉄駅構内における浸水拡大過程と避難経路に関する検討を行った。池内ら(2012)¹²⁾は荒川氾濫域を対象に、地下鉄の防水施設と乗換駅での接続性を考慮した浸水分析を行った。尾崎ら(2014)¹³⁾は大阪市梅田地区を対象に、降雨強度別に地上の内水氾濫解析と地下街の浸水特性を明らかにした。また、津波浸水に関しては、浅野ら(2014)¹⁴⁾は大阪市梅田地区を、朝日ら(2014)¹⁵⁾は名古屋市市営地下鉄名港線を対象として、それぞれ地上と地下空間における浸水氾濫解析を行った。

しかし、これらの既往研究では地下鉄駅周辺を中心とした比較的狭い範囲を対象としているものが多く、地下鉄の特徴であるトンネルによる駅間の接続性を考慮した広域での分析は少ない。これには、地下構造物の三次元形状に関する空間データが乏しいことが起因している。地下は地上とは異なり航空機や人工衛星による観測が困難であり、上下水道やガス管などはその重要性和秘匿性からGISデータとして一般に公開されていることは稀である。そのため、既往研究では地下空間の管理者からデータ提供を受けるか、研究者自身が図面を収集しているため、他の研究者が利用するには制約が大きく、あるいは管理者との関係により分析結果が省略される¹⁶⁾など、一般利用には課題を抱えている。

以上の背景から、本研究では大都市部における浸水解析に利活用できる、地下鉄網の三次元形状を表すGISデータを構築することを目的とする。そのために、名古屋市市営地下鉄を対象に、工事記録や施工図面をもとに、路線のラインデータと駅出入口のポイントデータを作成する。また、地下鉄三次元GISデータを用いた浸水解析として、南海トラフ地震による津波浸水被害について、地下鉄駅の浸水判定と地下路線を通じた津波遡上の推計を行う。

2. 地下鉄GISデータの作成

(1) データの作成方法

既往研究において課題であったデータの利用制約を鑑みて、本研究では地下鉄GISデータを、名古屋市交通局による工事記録や施工図面(以下、原典資料とする)をもとに作成する。作成に用いた原典資料を表-1に示す。なお、原典資料が入手できなかった上飯田線(平安通～上飯田；0.8km)と桜通線の一部(野並～徳重；4.2km)についてはデータ作成の対象外とした。以下では、原典資料をもとにした地下鉄GISデータの作成方法について説明する。

まず、原典資料の平面路線図をデジタル化し、GISソフトウェア(ESRI社、ArcMap 10.2.2)上で幾何補正とジオ

表-1 地下鉄GISデータの作成に用いた原典資料

路線 (区間)	資料
東山線(全線)	名古屋市交通局編 (1986) 「資料集・名古屋の地下鉄建設」
名城線(大曽根～新瑞橋)	
名港線(全線)	
鶴舞線(全線)	
桜通線(中村区役所～今池)	名古屋市交通局編 (1990) 「中村区役所・今池間工事記録：名古屋市高速鉄道第6号線」
桜通線(今池～野並)	名古屋市交通局第一工事事務所・名古屋市交通局第三工事事務所編 (1994) 「今池・野並間工事記録：名古屋市高速鉄道第6号線」
名城線(大曽根～砂田橋)	名古屋市交通局第一工事事務所編 (2000) 「名古屋市高速鉄道第4号線大曽根・砂田橋間工事記録」
名城線(砂田橋～名古屋大学)	名古屋市交通局第一工事事務所、名古屋市交通局第三工事事務所編 (2004) 「名古屋市高速鉄道第4号線砂田橋・名古屋大学間工事記録」
名城線(名古屋大学～新瑞橋)	名古屋市交通局工事事務所編 (2005) 「名古屋大学・新瑞橋間工事記録：名古屋市高速鉄道第4号線」

レファレンスによる位置合わせを行う。位置合わせの際に背景地図として、国土地理院が公開している「地理院タイル」の標準地図を用いた。次に、平面路線図をもとに、路線部分をラインデータとして、地下鉄駅出入口をポイントデータとして、それぞれフィーチャ作成を行う。

続いて、路線ラインデータに対し、原典資料の縦断面図をもとに高さ情報を付与することにより三次元フィーチャを作成する。縦断面図では路線上の地点における標高と、工事始点あるいは駅基準点からその地点までの距離が示されている。なお、資料中の標高は名古屋港基準面(N.P.)であり、東京湾平均海面(T.P.)より1.412m低くなっている。標高値は基準点からの距離にしたがって記載されている地点ごとに、路線ラインデータの高さ情報として付与するが、地図の縮尺等の影響により図面上の距離と作成したラインデータの距離には若干の誤差が生じている。そのため、原典資料の路線総延長に対する各地点までの距離に応じて誤差分を按分する補正を行った。

(2) 地下鉄GISデータの概要

以上の手順により作成した地下鉄GISデータは、路線をラインデータとして作成しているため、空間解像度に合わせた分割や分析が可能である。例えば、図-1に東山線の縦断面図について、地表面の標高と路線及び駅の標高を可視化したものを示す。ここで地表面の標高値は、国土地理院の基盤地図情報「5mメッシュ(標高)」から、路線の最近隣に該当する標高値を空間検索し、N.P.に変換したものである。図より伏見駅以西では路線が地面が海面より低いゼロメートル地帯の地下に敷設されているため、トンネル自体の標高も-15m前後と深くなっている。一方で、千種駅以东は起伏の激しい丘陵地の地形に合わせ、路線軌面も上下している様子がわかる。

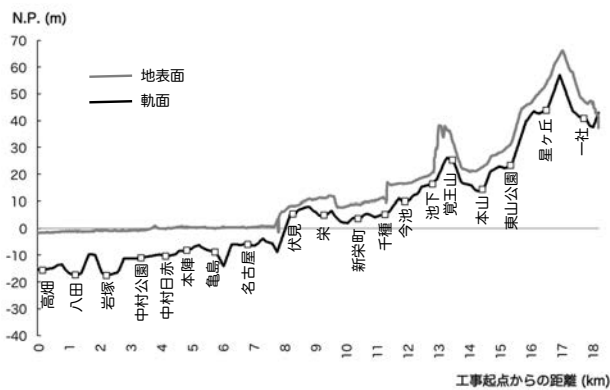


図-1 東山線の路線と地表面の縦断面図

3. 津波浸水分析

(1) 条件設定

作成した地下鉄GISデータを用いた浸水解析として、本研究では近い将来起こるとされている南海トラフ地震による津波を想定した分析を行った。南海トラフ地震では関東から九州地方に至る広域において甚大な津波被害が生じるとされている。条件設定として、津波浸水域と津波高について、内閣府⁷⁾による津波想定のうち名古屋市の津波被害がもっとも大きくなる、“ケース1：「駿河湾～紀伊半島沖」に「大すべり域+超大すべり域」を設定”し、“地震動により堤防が機能しなくなる場合”の条件下での推計結果を用いた。浸水に関するGISデータは空間解像度10mのポイントデータである。

地下鉄への浸水解析は以下の手順による。津波による流入は駅出入口からのみとし、地上に設置されている換気口は原典資料に記載がないために場所の特定が困難であったことから、排気口からの浸水はないものと仮定する。また、地震動と津波浸水により、排水のために設置されているポンプ施設が稼働しないことを想定する。そのため、まず浸水域のデータと地下鉄出入口ポイントデータとを重ね合わせ、出入口地点での浸水判定を行う。次に浸水すると判定された出入口には津波高を付与し、地下鉄駅の出入口が1つでも浸水した場合にはその駅が水没し、路線ラインデータのうち駅の中心点に該当する地点から浸水が始まると仮定する。最後に、その駅中心地点における標高に、軌面からトンネル上部までの高さを加えた標高値を下回る区間が浸水するという設定で計算を行った。

(2) 津波浸水の推計結果

前節による条件設定のもとでの津波浸水について、表-2に浸水被害を受ける駅名と出入口での津波高を示す。路線別では東山線では海岸部に近い高畑駅と八田駅が、名城線では標高が低い堀田駅が浸水すると判定された。一方で、名古屋港へ南進する名港線は標高も低く海岸部

表-2 津波浸水被害を受ける駅と出入口

駅名 (路線名)	出入口番号 [津波高]
高畑駅(東山線)	1 番 [0.15m], 4 番 [0.1m], エレベーター [0.09m]
八田駅(東山線)	1 番 [0.54m], 2 番 [0.67m], 3 番 [0.64m], 4 番 [0.57m], 5 番 [0.8m], エレベーター [0.62m]
堀田駅(名城線)	1 番 [0.82m], 2 番 [1.05m], 3 番 [0.95m], 4 番 [0.54m], エレベーター [0.8m]
日比野駅(名城線)	1 番 [0.08m], 2 番 [0.04m], 3 番 [0.06m], 4 番 [0.07m], 5 番 [0.15m], エレベーター [0.08m]
六番町駅(名城線)	1 番 [0.6m], 2 番 [0.78m], 3 番 [0.9m], 4 番 [0.52m]
東海通駅(名城線)	1 番 [1.03m], 2 番 [0.96m], 3 番 [1.05m], 4 番 [0.94m], エレベーター [0.94m]
港区役所駅(名城線)	1 番 [1.35m], 2 番 [1.26m]
築地口駅(名城線)	1 番 [1.34m], 2 番 [0.54m], 3 番 [0.4m], 4 番 [1.6m], エレベーター [0.34m]
名古屋港駅(名城線)	1 番 [1.47m], 2 番 [0.35m], 3 番 [1.6m]

に近い場所に位置しているために、起点である金山駅を除いてすべての駅が浸水し、名古屋港駅や港区役所駅では1mを超える津波高となることが推計された。

なお、名古屋市市営地下鉄では駅出入口の段差と止水板が設置されており、これらの高さを仮に30cmとすると、もちろん名古屋港駅や港区役所駅では浸水を免れることはできないが、高畑駅と日比野駅では止水板により浸水を防ぐことが可能である。加えて、今回の津波想定では津波の到達は地震発生から約5時間後であることから、止水板の設置だけでなく、乗客の避難誘導や土のうの使用準備の時間は十分にあると考えられる。

次に、図-2に東山線の浸水範囲について示す。東山線では高畑駅と八田駅からの流入により1.5kmにわたり路線が浸水すると推計された。なお、止水板により高畑駅は浸水を免れるが、八田駅では防ぐことができないために、八田駅からの路線を通じた遡上が起きるために同様の推計結果となる。また、図-3に名港線と名城線の浸水範囲について示す。名城線では堀田駅からの流入が路線を通じて隣の駅である伝馬町駅を超え、浸水範囲は1.8kmにおよぶ。さらに、名港線では浸水判定において、金山駅を除く駅で水没と判定されたことから浸水範囲が大きく合計で4265.5mが浸水することが推計され、これは名港線の路線延長のうち約7割が浸水することになる。特に海岸部に最も近い名古屋港駅から、港区役所駅と東海通駅の間にかけて3駅を含む1.8kmの浸水になり、浸水被害が非常に大きくなる。ただし、日比野駅を起点とした1.5kmの浸水範囲は、止水板により防ぐことができることが明らかとなった。

4. まとめと今後の課題

本研究では大都市部における浸水解析に利活用できる、地下鉄網の三次元形状を表すGISデータを構築すること

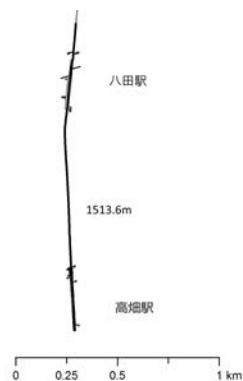


図-2 東山線の浸水範囲

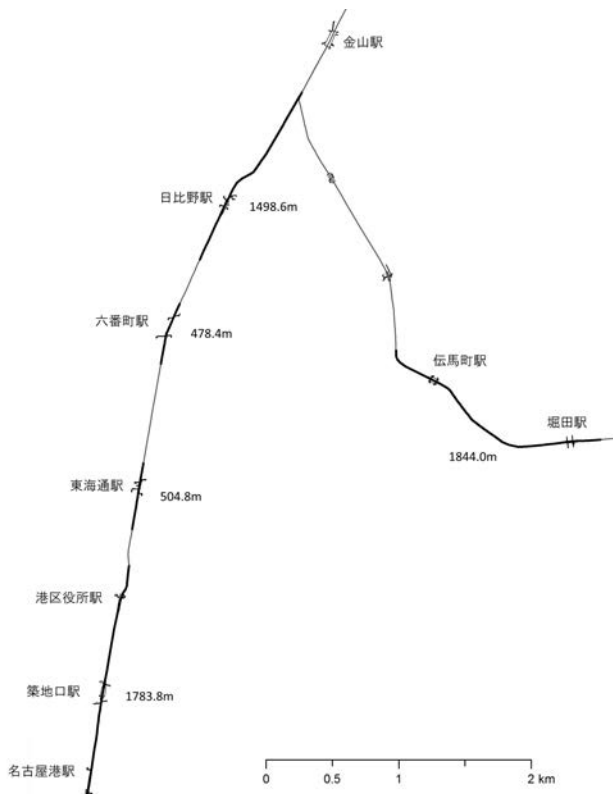


図-3 名港線と名城線の浸水範囲

を目的に、名古屋市市営地下鉄を対象として路線のラインデータと駅出入口のポイントデータを作成した。また、地下鉄三次元GISデータを用いた浸水解析として、南海トラフ地震による津波浸水について、地下鉄駅の浸水判定と地下路線を通じた津波遡上による被害の推計を行った。その結果、止水板により浸水を免れる駅もあるが、海岸部に近い名港線では1mを超える津波高によって路線の7割が浸水することが明らかとなった。また、名城線伝馬町駅では隣接する駅の浸水が路線を通じて遡上するなど、空間配置と接続性による影響を明らかにした。

今後の課題として、以下の二点が挙げられる。まず、本研究の浸水解析は非常に単純化したものであることから、更なる精緻なモデルを用いた分析をこなう必要がある。次に、名古屋市では内水氾濫ハザードマップが作成されており、津波による浸水被害を受けない地域を対象

とした、広域での地下鉄GISデータを用いた内水氾濫解析に利活用されることが期待される。

謝辞：本研究は、文部科学省のグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）事業環境情報分野「環境情報技術を用いたレジリエントな国土のデザイン」の一環として実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本地下鉄協会：平成 26 年度地下鉄事業の現状，2014.
- 2) 楠田哲也：災害報告 1999.6.29 福岡豪雨，土木学会誌，Vol.84，No.11，pp.42-44.
- 3) 中部建設協会：自然に学び，自然に備える -近年の豪雨災害記録集，2012.
- 4) 国土交通省：台風 18 号における地下鉄の浸水について，2013.
- 5) 国土交通省：米国ハリケーン・サンディに関する現地調査報告書，2013.
- 6) IPCC：Fifth Assessment Report - Climate Change, 2013.
- 7) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）津波モデル編 -津波断層モデルと津波高・浸水域について，2012.
- 8) 井上和也，戸田圭一，川池健司，栗山健作，大八木亮：地下空間における浸水過程の解析について，京都大学防災研究所年報，Vol.45，B，pp.173 - 184，2002.
- 9) 戸田圭一，大八木亮，井上和也，間島真嗣：都市水害時の地下空間の浸水過程について，京都大学防災研究所年報，Vol.47，B，pp.293-302，2004.
- 10) 関根正人，河上展久：都市域における内水氾濫と地下鉄に接続する地下空間の浸水に関する数値解析，水工学論文集，Vol. 49，pp.595-600，2005.
- 11) 関根正人，中村淳：地下鉄駅が立体的に接続する地下空間における浸水過程に関する数値解析，水工学論文集，Vol.50，pp.667-672，2006.
- 12) 池内幸司，越智繁雄，安田吾郎，岡村次郎，青野正志：大規模水害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，pp.136-147，2012.
- 13) 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，pp. I_1417-I_1422，2014.
- 14) 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，pp. I_1435-I_1440，2014.
- 15) 朝日一堯，戸田祐嗣，辻本哲郎：地上・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位の水害脆弱性に関する基礎的検討，河川技術論文集，Vol.20，pp.12-17，2014.
- 16) 関根正人，竹順哉：大規模地下空間を抱える東京都心部を対象とした内水氾濫ならびに地下浸水の数値解析，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.69，No.4，pp. I_1567-I_1572，2013.