建物形状・配置を考慮した名古屋港周辺における可能最大級高潮の3次元浸水解析

二村 昌樹¹・川崎 浩司²・村上 智一³・下川 信也⁴・
飯塚 聡⁵・西田 修三⁶

¹正会員 (株)ハイドロ総合技術研究所 研究開発センター
(〒530-6126 大阪市北区中之島 3-3-23 中之島ダイビル 26F)

E-mail: nimuramk@hydrosoken.co.jp

²正会員 (株)ハイドロ総合技術研究所 (名城大学・特任教授, 大阪大学/大阪市立大学・客員教授)
(〒530-6126 大阪市北区中之島 3-3-23 中之島ダイビル 26F)

E-mail: kawasaki@hydrosoken.co.jp

³正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
(〒305-0006 つくば市天王台 3-1)

E-mail: tmurakami@bosai.go.jp

⁴正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
(〒305-0006 つくば市天王台 3-1)

E-mail: simokawa@bosai.go.jp

⁵非会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門
(〒305-0006 つくば市天王台 3-1)

E-mail: iizuka@bosai.go.jp

⁶正会員 大阪大学 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘 2-1)
E-mail: nishida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

建物が密集する都市部において、建物が高潮の浸水過程に与える影響は大きい。本研究では、建物の形状および配置を考慮した格子幅 2m の高潮浸水解析モデルを構築し、可能最大級の高潮による 3 次元高潮浸水解析を実施した。その結果、堤内地に侵入した高潮は建物の影響を強く受け、特に建物の間の細い道路で流速の速い流れが生じることがわかった。また、防潮扉の開放/閉鎖条件が流速の空間分布に大きく影響するという知見が得られた。建物の形状および配置を考慮することで、局所的な危険箇所を表現できるため、ハザードマップや避難計画の検討に有用な情報といえる。

Key Words : storm surge simulation, potential typhoon, building configuration and layout, T-STOC

1. はじめに

我が国の3大都市圏は湾奥部の低平地に位置しており、湾口部が南側を向いているという地形的特性から、過去には伊勢湾台風を筆頭に大規模な高潮が発生している。同地域では既往の高潮災害に基づき計画された防潮施設が整備されているが、計画を上回る高潮の発生時には堤内地に大規模な浸水が発生する恐れがある。その際にはハザードマップや避難計画等のソフト面の対策が重要と考えられ、対策の検討においては堤内地における詳細な浸水過程が基礎情報として有用である。

高潮による遡上解析は、平面2次元モデルや σ 座標系に基づく準3次元モデルの適用事例が多い(例えば、柴木ら¹⁾、山城ら²⁾)。その際、建物の影響は底面粗度³⁾として間接的に反映している場合が多いが、3大都市圏のよう

な建物が密集する低平地の都市部において、陸域の浸水過程に建物が与える影響は大きいことが予想される。二階堂ら⁴⁾は、建物を透過率および抗力として考慮したモデルと粗度係数によるモデルを比較し、浸水深が増加することを示している。また、より直接的に建物形状や配置を考慮した数値計算に関する研究としては、津波を対象とした事例(ファムら⁵⁾、金井ら⁶⁾)や、津波および高潮を対象とした事例(岡本ら⁷⁾)が存在するが、適用事例は十分とはいえない。

そこで、本研究では、名古屋港周辺地域を対象として、建物形状および配置を直接組み込んだ高解像度の高潮浸水解析モデルを構築する。そして、地球温暖化により想定される可能最大級の高潮による3次元高潮浸水解析を実施し、建物形状および配置が高潮の浸水過程に与える影響について検討する。

2. 建物形状・配置を考慮した高潮浸水解析モデルの構築

(1) 解析モデル

本研究では、港湾空港技術研究所が開発した津波シミュレータT-STOC⁹⁾に対して、著者らが台風気象場を考慮できるように改良し、精度検証を実施したモデル^{9), 10)}を使用した。T-STOCは、連続の式とNavier-Stokes方程式をポアラス近似により拡張した式を基礎方程式としており、計算領域内の地形や構造物を空隙率および透過率で表現することができる。T-STOCは準3次元静水圧近似モデルSTOC-MLと3次元非静水圧モデルSTOC-ICの2つで構成されており、両者の連成により沖合から沿岸部までの流動場の挙動の一体的な解析が可能である。本研究では、メッシュ幅が異なる6領域をネスティングし、全ての領域をSTOC-MLを用いて解析を行った。

(2) 解析領域

対象とした解析領域を図-1に示す。各領域の水平メッシュ幅は810m~2mである。810m~10m領域の水深および地盤高は内閣府の公表データを基に作成した。2m領域の設定については後述する。鉛直方向のメッシュについては、名古屋港周辺海域の平均水深を考慮して、水深10mの位置で二層に分割した。つまり、水深10m以浅の

海域および陸域は鉛直一層のモデルとなる。

(3) 建物形状・配置を組み込んだ地形モデルの構築

図-2に示すように、名古屋港の北東部に位置する名古屋港水族館周辺を対象に、建物の形状・配置を組み込んだメッシュ幅2mの地形モデルを構築した。対象領域は東西750m×南北400mである。建物モデルは解像度2mの航空レーザ測量の計測結果より作成した。地盤高は10m領域データに対して、建物が位置するメッシュに建物高さを反映した。建物の壁面はNo-Slip条件とした。

図-2の黒色、黄色で示す位置に防潮壁および防潮扉を線境界として配置した。防潮壁の天端高は現地調査に基づきT.P.+4.5mに設定した。以降、防潮扉は南西側から順番に扉A~扉Gと呼称する。本研究では、防潮扉が開放/閉鎖の2条件に対して解析を実施した。

(4) 解析条件

本研究で使用する台風気象場は、村上ら¹¹⁾の大気-海洋-波浪結合モデルにおいて、名古屋港における可能最大級高潮が発生した気象場を採用した。村上らは、地球温暖化がIPCCのA1Bシナリオに進んだ場合の2099年気候条件に、台風渦位ボーガスを用いて台風を発達させ、この台風に対して50通りの初期化を施し、大気-海洋-波浪結合モデルを用いて潮位偏差を評価している。台風

中心位置の移動経路は、図-1(a)に赤線で示すように伊勢湾の西側を通過しており、吹き寄せ効果大きい。

解析時間は27時間とし、このうち最初の6時間は助走期間として台風を同一位置で発達させた。時間刻みはCFL条件を満たす範囲で可変とした。また、潮位条件は名古屋港の朔望平均満潮位 (T.P.+1.20m) にIPCCのA1Bシナリオで予測されている海面上昇量の最大値0.48mを加えたT.P.+1.68mに設定した。

3. 可能最大級高潮の浸水解析

(1) 堤内地の浸水過程

将来気候下の可能最大級台風を対象に、防潮扉を開放／閉鎖の2条件で高潮浸水解析を実施した。解析結果の一例として、防潮扉開放条件の流速分布を図-3に示す。同図は名古屋港ポートタワー位置から北側に向けた視点である。 $t = 18:50$ の流速分布 (図-3(a)) において、防潮

(a) $t = 18:50$

(b) $t = 19:10$

図-3 2m 領域の流速ベクトル分布 (防潮扉開放条件)

扉Cから侵入した高潮が左右に拡がりながら国道154号を北上し、流れの一部は建物配置の影響を受けて分流している。また、北東側の防潮扉Gから侵入した高潮は建物の間の道路に流れが集中し、4m/s 前後の速い流れとなっている。防潮扉Gから南下した流れは物流センターの南側で西向きに変化している。この流れは道路に沿っており、堤内地では建物や微地形の影響によって複雑な流動場が形成されていることがわかる。一方、堤外地に

おいてもポートハウスの北側の流れは建物により2つに分流し、流れが集中するために流速値が3m/s 前後となっている。また、20分後の $t=19:10$ (図-3(b))においては、高潮潮位が防潮堤の天端高を上回るため、堤内地のほぼ全域が浸水する。開口部となる防潮扉CおよびDから北向きの流れが生じているが、流速は浸水深が増大したため、 $t=18:50$ (図-3(a))と比較して小さい。

次に、防潮扉閉鎖条件における同一時刻の流速分布を

(a) $t=18:50$

(b) $t=19:10$

図4 2m領域の流速ベクトル分布 (防潮扉閉鎖条件)

図-4 に例示する. $t = 18:50$ (図-4(a)) では, 防潮壁の防護効果により堤内地の浸水はほとんど発生しておらず, 一方で堤外地の浸水範囲が広く, 防潮壁前面において東向きの流れが発生している. また, 防潮壁の一部箇所では, 越流に伴い流速が大きくなっている. 一方, $t = 19:10$ (図-4(b)) においては防潮壁を越流した流れが堤内地へ侵入し, 浸水範囲は防潮扉開放条件 (図-3(b)) と大きな差がなく, 10m 領域までを対象とした著者らの先行研究¹⁰⁾と同じ傾向である. ただし, 流動場には差異がみられ, 防潮扉閉鎖条件では建物の間を通過して国道 154 号に向かう東向きの流れが卓越している. 台風の北上に伴い名古屋港周辺の風向きが南西から西に徐々に変化しており, $t = 19:10$ においては 2m 領域の西側で台風の吹き寄せ効果が強くなったため, 西側の防潮壁からの越流量が多い

ことから東向きの流れが卓越したと考えられる.

以上より, 建物の形状および配置を考慮した効果として, 建物間の細い道路の流れを評価できるようになったことが挙げられる. 流れが集中することで流速が速くなるため, 避難の際には危険箇所になり得ることがわかる. また, 防潮扉の開放/閉鎖により堤内地の浸水過程が大きく変わる点に留意する必要がある.

(2) 最大流速分布の比較

名古屋港周辺の陸域における最大流速分布を図-5 に示す. 図は海域を白抜き, 浸水していない建物を灰色で示している. 防潮扉閉鎖条件 (図-5(b)) より, 建物間の細い道路を中心に 10m/s を上回る速い流れが生じている様子を確認できる. 対象地域の道路幅は国道 154 号を除

(a) 防潮扉開放条件

(b) 防潮扉閉鎖条件

図-5 陸域における最大流速分布

いて10m前後のため、高解像度のメッシュ幅の設定と建物のモデル化の効果といえる。

防潮扉閉鎖条件と開放条件(図-5(a))を比較すると、堤外地においては2ケースの間に大きな差はみられない。一方で防潮壁の近傍や堤内地の道路においては、防潮扉開放条件の流速が小さくなっている。高潮が防潮壁を越流した際、防潮扉開放条件では既に堤内地の浸水が発生しており、浸水深が閉鎖条件と比較して大きいことで流速が抑制されたためと考えられる。

4. おわりに

本研究では、建物の形状・配置を考慮した高解像度の3次元高潮浸水解析モデルを構築し、可能最大級の高潮浸水解析を行った。本研究で得られた知見を以下に記す。

- 1) 建物等が多く存在する地域の詳細な浸水過程を検討するためには、従来の底面粗度係数を用いた平面2次元モデルではなく、建物の形状・配置のモデル化や境界条件等の設定が可能な3次元モデルを利用することが重要であることを示した。
- 2) 建物の形状および配置を考慮することで、局所的な危険箇所を表現できるため、ハザードマップや避難計画の検討に有用な情報となり得る。
- 3) 防潮扉の開放／閉鎖により、堤内地の浸水過程や流速分布に大きな影響を与えることが明らかとなった。

謝辞：本研究の一部は、科研費・基盤研究(C)(一般)(課題番号：18K04377, 19K04971)であることを付記し、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 柴木秀之, 鈴山勝之, 江崎竜夫：越流と越波を考慮した高潮浸水の数値計算, 海洋開発論文集, 第24巻,

pp.459-464, 2008.

- 2) 山城賢, 百合野晃大, 横田雅紀, 児玉充由, 橋本典明：非構造格子海洋流動モデルによる高潮氾濫シミュレーション, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, pp.I_205-I_210, 2016.
- 3) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.356-360, 1998.
- 4) 二階堂竜司, 五十嵐雄介, 神保正暢, 岡本慎太郎, 三浦心, 程谷浩成, 平野宜一, 中園大介：建物の評価手法の違いが高潮・高波の浸水被害に及ぼす影響, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.73, No.2, I_229-I_234, 2017.
- 5) ファムバンフック, 長谷部雅伸, 高橋郁夫：VOF法を用いた3次元津波解析に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, I_071-I_075, 2012.
- 6) 金井則之, 本橋英樹, 野中哲也, 中村真貴, 古村孝志, 原田隆典：工場内津波浸水予測および対策への広域3D津波シミュレーションの適用, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, I_515-I_520, 2015.
- 7) 岡本修, 小田勝也, 石川健二, 田中聡：港湾施設の減災効果に関する地盤高モデルによる数値シミュレーション, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.63-68, 2008.
- 8) 富田孝史, 本多和彦, 千田優：高潮津波シミュレータ(STOC)による津波被害解析手法, 港湾空港技術研究所報告, 第55巻, 第2号, pp.3-33, 2016.
- 9) 二村昌樹, 川崎浩司, 村上智一, 下川信也：津波シミュレータ T-STOC の高潮解析への適用と精度検証, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, pp.I_559-I_564, 2018.
- 10) 二村昌樹, 川崎浩司, 村上智一, 下川信也, 飯塚聡：津波シミュレータ T-STOC を用いた可能最大級台風による名古屋港周辺の高潮浸水解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No.2, pp.I_229-I_234, 2019.
- 11) 村上智一, 深尾宏矩, 吉野純, 安田孝志：温暖化シナリオ A1B の下での今世紀末に予想される最大級台風による伊勢湾全域の高潮・高波, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.67, No.2, pp.I_406-I_410, 2011.

(Received February 6, 2020)

(Accepted May 1, 2020)

THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS OF STORM SURGE AROUND NAGOYA PORT BY POTENTIAL MAXIMUM TYPHOON WITH CONSIDERATION OF BUILDING CONFIGURATION AND LAYOUT

Masaki NIMURA, Koji KAWASAKI, Tomokazu MURAKAMI,
Shinya SHIMOKAWA, Satoshi IIZUKA and Shuzo NISHIDA

Buildings would have an effect on the inundation process of storm surge at densely built-up areas. In this study, we constructed a numerical model with 2m-grid mesh considering building configuration and layout, and calculated three-dimensional storm surge inundations due to potential maximum typhoon. As a result, inundation process behind coastal structures was found to be strongly affected by building configuration. It was also confirmed that flow velocity on narrow roads between buildings becomes faster. Opening or closing condition of tide gates was revealed to have a strong impact on the spatial distribution of velocity. A three-dimensional inundation simulation of storm surge with building configuration and layout would provide useful information on the examination of hazard maps and evacuation planning.