大気-海洋-波浪結合モデルに基づく 現在気候下の最大級台風による 三河湾での高潮と高波の解明

村上 智一1・深尾 宏矩2・吉野 純3・安田 孝志4

¹正会員 (独) 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1) E-mail: tmurakami@bosai.go.jp

²学生会員 岐阜大学 大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1) E-mail: q3130028@edu.gifu-u.ac.jp

³正会員 岐阜大学 大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1) E-mail: jyoshino@gifu-u.ac.jp

> ⁴フェロー 愛知工科大学(〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗50-2) E-mail: coyasuda@aut.ac.jp

本研究では、現在気候下の最大級台風による三河湾での高潮と高波の科学的実態解明を目的として、台風渦位ボーガスを組み込んだ大気-海洋-波浪結合モデルを用い、台風の進路と中心気圧が互いに従属関係にある200個の熱力学的最大級台風をさまざまなコースで三河湾に来襲させ、高潮や高波を予測した.

その結果,三河湾の既往最大潮位偏差2.75 mを上回る高潮が三河湾の広い範囲で発生し,特に湾西側奥の高浜および湾東側奥の前芝では、潮位偏差がそれぞれ4.0 mおよび3.7 mに達することがわかった。この高浜および前芝での高潮は、既往最大を1 m近く上回るものであり、その超過継続時間もそれぞれ70分および80分となることから、三河湾の湾奥では大きな高潮災害が発生する危険性があると言える.

Key Words: storm surge, typhoon, Mikawa Bay, present climate, numerical simulation

1. はじめに

三河湾は、平均水深が8 m程度と非常に浅く、高潮が発生し易い湾であるため、台風5313号によって海岸法制定や三面張り工法の契機となる海岸工学上重要な高潮災害が発生している。また、伊勢湾台風によって、三河湾での観測史上最大となる潮位偏差2.75 mの高潮が湾東側奥の衣浦港で発生しり、三河湾に面した市町村全体で死者・行方不明者78名に及ぶ被害²⁾となった。最近では、台風0918号によって三河港で潮位偏差2.6 mの高潮が発生し、輸出自動車の冠水や空コンテナが浮遊散乱する被害が生じた。

しかしながら、台風観測データが揃う1951年以降で見ると、三河湾に高潮災害を発生させた大型台風の来襲は上述の3つの台風に限られ、上述の最大潮位偏差2.75 mも同じ伊勢湾台風によって名古屋港で発生した日本の観測史上最大の潮位偏差3.5 mに比べると小さく、災害の規模も小さなものであった。そのため、三河湾の計画潮

位偏差は、伊勢湾の計画値(名古屋港で3.55 m、四日市港で3.0 m)に比べると低い1.71~2.75 mに設定³されて来た

しかしながら、伊勢湾台風級の台風が三河湾に対して 最悪に近いコースを通って来襲すれば、現在気候の下で あっても計画潮位偏差はもちろん既往最高潮位偏差をも 大きく上回る高潮が発生し、大きな災害につながる危険 性がある。そのため、地球温暖化による台風巨大化の影響を云々する以前に、現在気候の下で伊勢湾台風級の台 風が最悪のコースで三河湾に来襲した場合に発生する可 能性のある最大の高潮はいかなるものであるかを大気・ 海洋力学の基礎方程式(大気ー海洋一波浪結合モデル) に基づいて科学的に明らかにしておく必要がある。

そこで本研究では、台風渦位ボーガス⁴を組み込んだ 大気-海洋-波浪結合モデル⁹を用いて予測計算を行い、 現在気候下の最大級台風による三河湾での高潮と高波の 実態の解明を試みる.このモデルは、大気・海洋力学的 の基礎方程式に基づいて熱力学的に最大級まで発達させ た台風を任意の地域に来襲させ、そこでの高潮や高波の科学的予測を可能とするものである。具体的には、このモデルを用いて現在気候(伊勢湾台風時の環境場)の下で熱力学的最大級台風(ほぼ伊勢湾台風級)を発生させ、これを200通りの異なる進路で三河湾に来襲するようにモデルの初期化を施す。そして、高潮や高波などの予測計算を行い、潮位偏差、波高、風速の時空間分布特性について検討し、三河湾における最大級の高潮・高波の時空間分布特性を明らかにする。

2. 計算方法

本研究では、台風初期場の作成に台風渦位ボーガス⁴を用いる。この台風渦位ボーガスは、台風環境場の渦位を長い周期で変化する地域固有の渦位平均場と短い周期で変動する渦位偏差場に分離し、後者の渦位偏差場に対して摂動を加えることで、局所気象場を含めた周辺環境場に矛盾することなく任意の地域に可能最大級台風を通過させることが可能となっている。

この台風渦位ボーガスを組み込んだ気象モデル $\mathbf{MM5}^0$ に高潮の規模を決定付ける外洋からの海水流入を高精度 に再現できる多重 σ 座標系沿岸海洋モデル \mathbf{CCM}^0 および 波浪モデル \mathbf{SWAN}^8 を結合させ、大気、海洋および波浪 場を 1 つの系として計算する 5 . その概要を \mathbf{ZCM}^{-1} に示す. この結合モデルは、台風 \mathbf{ZCM}^{-1} に示す。この結合モデルは、台風 \mathbf{ZCM}^{-1} にあることが明らかとなっており 5 、三河湾の高潮予測を高精度で行えるモデルである.

ここでは、伊勢湾台風を現在気候の可能最大級台風と仮定し、それを三河湾に来襲させるように前述の台風渦位ボーガスを用いて初期化する. 具体的には、ECMWFの再解析データERA40に基づく1959年9月の環境渦位場を渦位平均場と渦位偏差場に分離し、渦位偏差場を東方向に最大0.65度平行移動させるとともに、台風を北緯26.0~26.5度、東経134.6度~139.6度の間に200ケース埋め込み、台風初期場を作成する.

そして,**表-1**に示す計算条件の下で1.5日間の三河湾(図-2)の高潮・高波の計算を行う.

3. 計算結果

図-3および4は、三河湾に来襲する想定台風200ケースの進路と中心気圧の時間変化をそれぞれを示したものである。また、第1章で述べた台風5313号、伊勢湾台風および台風0918号と後述するCase 5、47および124をカラーで併せて示した。想定200台風の進路(図-3参照)は、それぞれ東経136.0°の琵琶湖上から137.75°の浜松付近

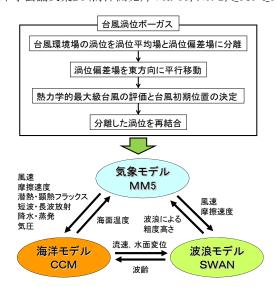


図-1 台風渦位ボーガスを組み込んだ大気 - 海洋 - 波浪結合モデルの概要

表-1 結合モデルの計算条件

気象モデル MM5	計算領域I	N23.6~39.6,E127.0~143.9
	計算領域Ⅱ	N 33.9 ~ 35.2, E 136.0 ~ 137.6
	水平格子数	I: 199×160, II: 52×52
	水平解像度	I:9km, II:3km
	鉛直層数	23層
	タイムステップ	I:30秒, II:10秒
	大気境界層スキーム	Eta M-Y scheme
	雲物理過程	Reisner graupel scheme
	放射過程	Dudhia's radiation scheme
海洋モデル CCM	計算領域	N34.2~35.1,E136.5~137.4
	タイムステップ	2秒
	水平解像度	450 m
	水平格子数	209×208
	多重σ座標の領域数	7
	全層数	31層
波浪モデル SWAN	計算領域I	N28.2~35.2,E135.0~139.0
	計算領域Ⅱ	N33.2~35.1,E135.3~138.4
	計算領域Ⅲ	N34.2~35.1,E136.5~137.4
	水平格子数	I: 300×523, II: 300×192, III: 209×208
	タイムステップ	150秒
結合モデル	交換時間間隔	300秒

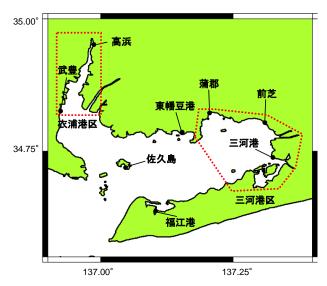


図-2 三河湾およびその主要地点

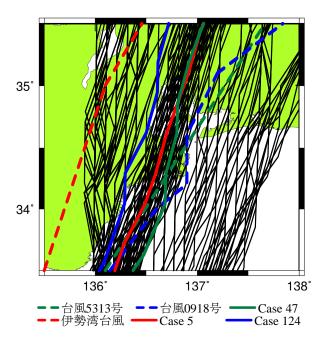


図-3 想定 200 台風の進路; 台風 5313 号, 伊勢湾台風および台風 0918 号と Case 5, 47 および 124 の進路をカラーで併せて示す.

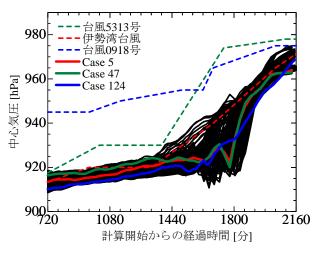


図-4 想定 200 台風の中心気圧の時間変化;台風 5313 号, 伊勢湾台風および台風 0918 号と Case 5,47 および 124 の中心気圧の時間変化をカラーで併せて示す.

までの広い範囲を通過して三河湾に来襲しており、三河湾で顕著な高潮を発生させた台風5313号、伊勢湾台風および台風0918号と同様の進路のものも含まれている.

また、図-4に示される想定200台風の中心気圧の時間変化の様子は、ケース毎で異なっている。これは、結合モデルが大気・海洋力学の基礎方程式の下で台風の進路と中心気圧を互いに従属関係にあるとして扱っているためであり、水温の高い領域を通過するケースは強い台風強度が保たれる一方で、高い山岳部を通過するケースは台風強度が減衰するなどの差が生じている。そのため、海上を長時間通過するケースが、より強い勢力を保ったまま三河湾に来襲している。このことを鑑みれば、本研

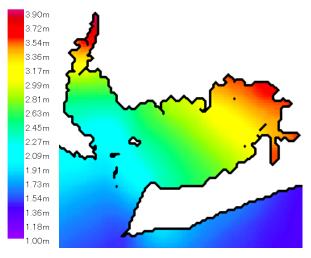


図-5 想定 200 台風による三河湾での潮位偏差の全ケースかっ全計算期間中の最大値の空間分布

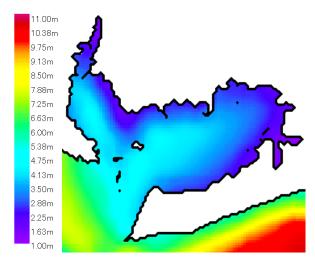


図-6 想定 200 台風による三河湾での有義波高の全ケースかっ全計算期間中の最大値の空間分布

究で想定していない伊勢湾の西から台風が来襲し、三河湾の東へ抜けるような気象環境場では、台風が長時間陸上を通過する上に鈴鹿山脈などの高い山岳部に影響され、本研究の想定200台風に比べて大きく減衰すると推察される。このことから、本研究で想定した200ケースの台風は、三河湾に可能最大級高潮・高波を発生させる台風を含むものと判断される。そして、想定200台風の上陸時間は、計算を開始してから1440分から1680分後であり、その際の中心気圧は、伊勢湾台風の上陸時の中心気圧930 hPaと同じもしくは10 hPa下回る920~930 hPaであった。

図-5は、想定200台風による三河湾での潮位偏差の全ケースかつ全計算期間中の最大値の空間分布を示したものである。これより、衣浦港区および三河港区(図-2参照)の広い範囲で伊勢湾台風による既往最高潮位偏差2.75mを上回ることが明らかとなった。

図-6は、想定200台風による三河湾での有義波高の全

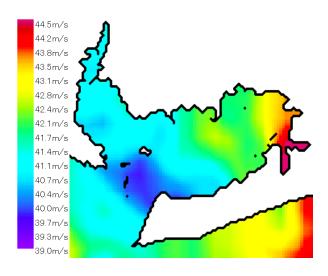


図-7 想定 200 台風による三河湾での風速の全ケースかつ全 計算期間中の最大値の空間分布

ケースかつ全計算期間中の最大値の空間分布を示したものである. 三河湾の中央部では有義波高が5 mに達し, 三河港や衣浦港など複雑な形状を持つ港湾に囲まれた湾 奥部でも1.5 m近い有義波高が生じている.

図-7は、想定200台風による三河湾での風速の全ケースかつ全計算期間中の最大値の空間分布を示したものである。これより、三河湾の全域で40 m/sを超える強い風が吹き、特に三河港付近では三河湾で最大となる45 m/s 近くに達することがわかる。このような強風に伴って図ー5および6に示した大きな潮位偏差と有義波高が生じたものと判断される。

図-8は、想定200台風による主要地点(図-2参照)で の最大潮位偏差を示したものである. これより, 三河湾 西側奥の高浜では、全地点で最大となる4.0 mの潮位偏 差が生じ、三河湾の既往最大潮位偏差 2.75 m (高浜での 計画潮位偏差も同じ2.75 m³) を上回るのみならず、伊勢 湾台風時に名古屋港で発生した日本の観測史上最大の潮 位偏差3.5 mをも超えることが明らかとなった. この大 きな高潮は、図-3および4に示されるCase 124の台風によ るものであり、その進路は、伊勢湾台風と台風5313号お よび0918号の進路の間を通り、上陸時の中心気圧も伊勢 湾台風のものより10 hPa低い920 hPaであった。また、湾 西側奥の高浜に次いで湾東側奥の前芝、蒲郡および三河 港での潮位偏差が大きく, それぞれ3.7 m, 3.6 mおよび 3.4 mに達している。前芝および蒲郡で最大潮位偏差を 引き起こしたCase 5の台風および三河港で最大潮位偏差 を引き起こしたCase 47の台風(図-3および4参照)は、 高浜で最大潮位偏差を引き起こしたCase 124の台風と比 べると上陸時の中心気圧はほぼ同じ920hPaであるものの, 進路はより東寄りのコースを通っている. また, 港の北 側が海に面する福江港や吹送流のせき止めが起こらない

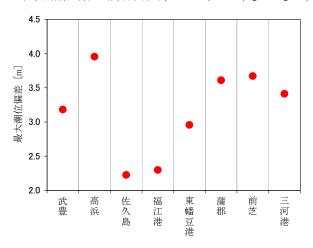


図-8 想定 200 台風による主要地点(図-2 参照) での最大 潮位偏差

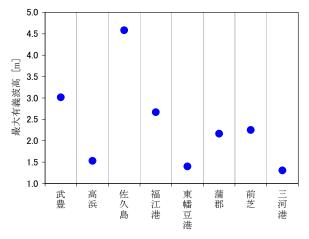


図-9 想定 200 台風による主要地点 (図-2 参照) での最大 有義波高

湾中央部の佐久島(図-2参照)では、一般的には大きな高潮が発生しにくいが、熱力学的最大級台風が最悪のコースで来襲すれば、それぞれ2.3 mおよび2.2 mの潮位偏差が生じることが図-8より示される。このことから、三河湾の湾奥のみならず全域において高潮災害が発生する可能性があると判断される。

図-9は、想定200台風による主要地点(図-2参照)での最大有義波高を示したものである。これより、湾中央部に位置する佐久島では、最大で4.6 mの有義波高が生じることがわかる。また、複雑な港湾に囲まれる高浜や三河港では、波高が小さくなるのは当然であるが、それぞれ1.5 mおよび1.3 mの有義波高が生じており、これと図-8に示した3 mを超える大きな潮位偏差を併せて考えると沿岸構造物に対する被害が拡大されるものと推察される。

図-10~14は, 前述のCase 124の高浜, Case 124の武豊, 高浜Case 5の蒲郡, Case 5の前芝およびCase 47の三河港 (図-2参照) における潮位偏差, 有義波高および風速の

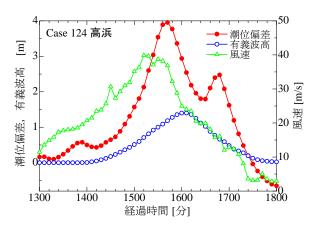


図-10 Case 124 による高浜 (図-2 参照) での潮位偏差, 有 義波高および風速の時間変化

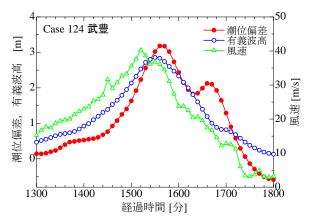


図-11 Case 124 による武豊 (図-2 参照) での潮位偏差, 有 義波高および風速の時間変化

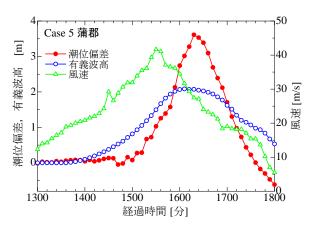


図-12 Case 5 による蒲郡 (図-2 参照) での潮位偏差, 有義 波高および風速の時間変化

時間変化をそれぞれ示したものである. 図-10より,最大潮位偏差を記録した湾西側奥の高浜での風速,潮位偏差および有義波高のピーク時刻は,計算開始からそれぞれ1520分後,1570分後および1590分後であり,僅か70分の間に風速,潮位偏差および有義波高の極大値が集中することが明らかとなった.これは,熱力学的最大級台風

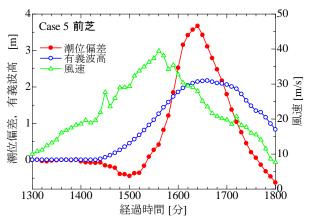


図-13 Case 5 による前芝 (図-2 参照) での潮位偏差, 有義 波高および風速の時間変化

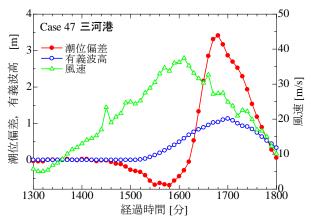


図-14 Case 47 による三河港 (図-2参照) での潮位偏差, 有 義波高および風速の時間変化

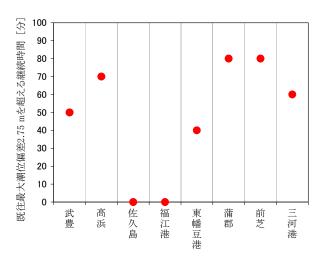


図-15 主要地点(図-2参照)毎の最悪ケースにおいて潮位 偏差が2.75mを超過する継続時間

が最悪のコースで来襲すれば強風,高潮および高波が同時に発生し、複合災害となる可能性を示しており、避難などの防災対策には複合災害を視野に入れる必要があると言える。また、図-12~14に示される湾東側奥の蒲郡,前芝および三河港においても、それぞれ80分、80分およ

び90分の短時間に風速,潮位偏差および有義波高の極大値が集中しており,これら湾東側奥の地域でも複合災害発生の可能性があると判断される.

図-15は、主要地点(図-2参照)毎の最悪ケースにおいて潮位偏差が既往最大潮位偏差2.75 mを超過する継続時間を示したものである。これより、超過継続時間は、湾西側奥の高浜で70分、湾東側奥の蒲郡、前芝および三河港でそれぞれ80分、80分および60分となっていることがわかる。これら高浜、蒲郡、前芝および三河港での計画潮位偏差は、既往最大潮位偏差と同じ2.75 mであることから、三河湾の湾奥において計画潮位偏差を超える高潮が長時間にわたって継続し、激甚な高潮災害が発生すると予測される。

4. おわりに

本研究では、伊勢湾台風時の環境場を現在気候と仮定し、その下で発生する熱力学的最大級台風(ほぼ伊勢湾台風級)が200通りの異なる進路で三河湾に来襲する場合の高潮・高波予測を行った。

その結果、三河湾の既往最大潮位偏差2.75 mを上回る高潮が三河湾の広い範囲で発生し、湾西側奥の高浜および湾東側奥の前芝では、潮位偏差がそれぞれ4.0 mおよび3.7 mに達することがわかった。この高浜および前芝での高潮は、既往最大を1 m近く上回るものであり、その超過継続時間もそれぞれ70分および80分となるだけでなく、ここに1.5 mを超える高波と40 m/sを超える強風が同時に加わることから、三河湾の湾奥では高潮による災害を中心とした複合災害が発生し、激甚な被害となることが懸念される.

謝辞:本研究は,科学研究費補助金基盤研究(B)(2) 24360199および(独)防災科学技術研究所プロジェクト「沿岸災害の予測技術と危険度評価技術の開発」による成果である.ここに併せて謝意を表する.

参考文献

- 1) 愛知県:伊勢湾台風災害復興誌, pp. 43-49, 1964.
- 3) 運輸省第五港湾建設局,(財)沿岸開発技術研究センター:平成11年度伊勢湾高潮検討調査報告書,p. 74,2000.
- 4) 吉野 純, 岩本学士, 村上智一, 安田孝志: 台風渦位ボーガスに基づく東京湾地域における可能最大風速の大気力学的評価, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第67巻, pp. I_411-I_415, 2011.
- 5) 村上智一, 安田孝志, 吉野 純: 気象モデルおよび 多重 σ 座標系海洋モデルを用いた台風 0416 号による 広域高潮の再現, 土木学会論文集 B, Vol. 63, No. 4, pp.282-290, 2007.
- Dudhia, J.: A nonhydrostatic version of the Penn State-NCAR mesoscale model: Validation test and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 121, pp. 1493-1513, 1993.
- 7) 村上智一,安田孝志,大澤輝夫:気象場と結合させ た湾内海水流動計算のための多重 σ座標モデルの開 発,海岸工学論文集,第51巻,pp.366-370,2004.
- 8) Booij, N., Holthuijsen, L. H. and Ris, R. C.: The SWAN wave model for shallow water, *Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng.*, Vol. 1, pp. 668-676, 1996.
- 9) Murakami, T., J. Yoshino, T. Yasuda, S. Iizuka, and S. Shimokawa: Atmosphere-Ocean-Wave Coupled Model Performing 4DDA with a Tropical Cyclone Bogussing Scheme to Calculate Storm Surges in an Inner Bay, Asian Journal of Environment and Disaster Management, Vol. 3, No. 2, pp. 217-228, 2011.

PREDICTION OF POSSIBLE MAXIMUM STORM SURGES AND HIGH WAVES IN MIKAWA BAY UNDER A PRESENT CLIMATE

Tomokazu MURAKAMI, Hironori FUKAO, Jun YOSHINO and Takashi YASUDA

This study aims at investigating space and time-distributions of possible maximum storm surges and high waves caused by potential typhoons in Mikawa Bay under a present climate. A meteorological field surrounding Typhoon Vera (1959) was assumed as the present climate which generates the potential typhoons. Under this condition, a potential vorticity bogussing scheme of a tropical cyclone initialized 200 cases of potential typhoons striking Mikawa Bay. Then, the spatial and temporal distributions of the storm surges and the high waves in Mikawa Bay under the 200 initial fields were predicted by using an atmosphere–ocean—wave coupled model.

The results show that the potential storm tide over a large area of Mikawa Bay exceeds 2.75 m which is the largest storm tide ever recorded in Mikawa Bay. In particular, the storm tide in Takahama, located at the eastern inner part of Mikawa Bay, reaches 4.0 m in the maximum and exceeds 2.75 m during 70 minutes. Hence, there is a possibility of an occurrence of the storm surge disaster in Mikawa Bay under the present climate.