

# 伊勢湾・三河湾における津波最大水位と その到達時間の空間分布に関する考察

藤田 祥平<sup>1</sup>・加藤 茂<sup>2</sup>・岡辺 拓巳<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 いであ株式会社 名古屋支店水圏部  
(〒455-0032 愛知県名古屋市港区入船 1-7-15)  
E-mail: fjt21645@ideacon.co.jp

<sup>2</sup>正会員 豊橋技術科学大学大学院教授 工学研究科建築・都市システム学系  
(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)  
E-mail: s-kato@ace.tut.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 豊橋技術科学大学大学院助教 工学研究科建築・都市システム学系  
(〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1)  
E-mail: okabe@ace.tut.ac.jp

近年、南海トラフ巨大地震を想定した津波の伝播計算とその結果を用いた津波防災に関する研究が数多く行われている。本研究の対象とする伊勢湾・三河湾に襲来する津波は、地形的特徴から必ず伊勢湾口を通過するため、湾口周辺での情報を湾内各地に襲来する津波の事前情報と考えることができる。加えて、2014年には伊勢湾口沖にGPS波浪計が設置され、湾内に襲来する津波の情報を早期に入手できる可能性が高まった。そこで本研究では外洋から伊勢湾・三河湾に襲来する津波のシミュレーションを実施し、湾内での津波の最大水位とその到達時間の空間分布の特徴を把握し、湾内の津波危険度分布について考察した。伊勢湾内においては、知多半島先端が特に水位伝達率が高く、最大水位到達時間も短いため、津波による被害発生危険度が高い地域であることが明らかになった。

**Key Words :** *Tsunami simulation, maximum water level, arrival time, Ise bay, Mikawa bay*

## 1. はじめに

平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震による津波は、東北地方沿岸を中心に広い領域で甚大な被害を及ぼした。被害拡大の要因として、想定範囲を外れたものを超える規模の地震津波が襲来してきたことが挙げられる。さらに、海岸保全施設に依存した防災対策であったことや、津波発生から度重なる情報修正により死傷者数の増加に繋がったと指摘している<sup>1)</sup>。震災以降、地震津波に関する研究が数多く行われている。例えば、川崎ら<sup>2)</sup>は平面2次元数値モデルを用いた津波再現計算を実施し、東海地方における襲来津波の特性を明らかにした。東海地方沿岸部は岬、島、湾など地形的条件による影響で津波が増幅する傾向があることを示した。

近い将来の津波発生が懸念されている南海トラフ巨大地震への対策は早急に行うべき課題として挙げられる。南海トラフ地震は、過去の巨大地震を超える国内観測史上最大のM9.0クラスの巨大地震として発生する恐れがあるとされ、川崎ら<sup>3)</sup>は、懸念されるM9.0規模の巨大地

震による津波を想定した伝播シミュレーションを実施している。伊勢湾など湾口部が狭い地形では、津波が減衰せず、長時間津波が襲来することを指摘している。

本研究の対象とする伊勢湾・三河湾において、今後の防災・減災対策を考えるためには、湾内における詳細な津波の挙動について把握する必要がある。伊勢湾・三河湾に襲来する津波は、地形的特徴から必ず伊勢湾口を通過するため、湾口周辺での情報を湾内各地に襲来する津波の事前情報として考えることができる。従って、湾口部と湾内各地での津波情報に関する対応関係を把握できれば、沖合から津波が襲来してきた場合に、湾口における情報を湾内での避難行動等の減災対策に役立てることが可能になると考えられる。加えて、2014年に伊勢湾口沖にGPS波浪計が設置され、湾内に襲来する津波の情報を早期に入手できる可能性が高まった。そこで本研究では、外洋から伊勢湾・三河湾に襲来する津波のシミュレーションを実施し、湾内での津波の最大水位とその到達時間の空間分布を把握し、湾内の津波危険度分布について考察を行った。

## 2. 津波シミュレーションの概要

本研究では、COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model, Liu ら<sup>4)</sup>) を用いて、伊勢湾・三河湾に來襲する津波の伝播シミュレーションを行った。

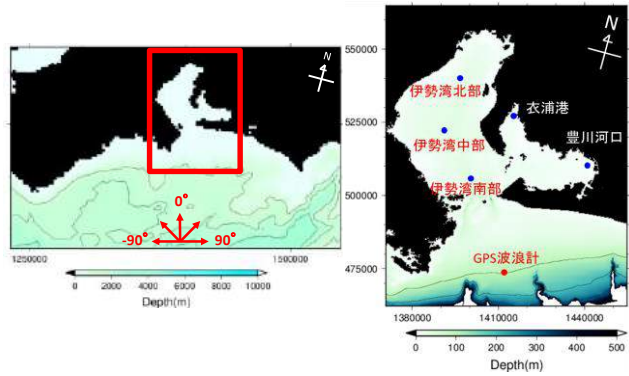
COMCOT は、基礎方程式に線形及び非線形の浅水方程式を用いている。また、波の生成、伝播、遡上、浸水を含めた解析を行うことが可能である。座標系として極座標系と直交座標系の両座標系に適応しており、一つのグリッド領域から最大 12 個のサブ領域まで結合することが可能である。数値計算手法として差分法を用いており、時間差分には Leap-frog 法、変数の空間配置にはスタガード格子を用いている。詳細は Liu ら<sup>4)</sup>、Wang<sup>5)</sup>を参照されたい。

## 3. 湾口部における津波水位の特徴

湾口部と湾内各地の応答特性を把握するために、湾口部に來襲する津波 (最大水位) の特徴を把握した。

ここでは、図-1 に示す(a) 2430 m 格子と(b) 270 m 格子による一段階ネスティングによる伝播シミュレーションを行った。海底地形データは、中央防災会議の南海トラフ巨大地震モデル検討会で使用されたデータを用いた。この海底地形データは、(財) 日本水路協会作成の水深メッシュデータや海底地形デジタルデータ、海上保安庁発行の海図を用いて作成されている。また、陸域の地形データは、国土地理院作成の基盤地図情報、各種レーザ測量データおよび河川縦横断測量データを用いて作成されている。なお、本研究で用いた粗度係数は、中央防災会議南海トラフ巨大地震モデル検討会で採用されている小谷ら<sup>6)</sup>を参考にした水域における粗度係数と同様の値を用いた。

入射波 (外洋からの來襲波) には、図-2 に示す sin 波 ( $H=2, 3, 4 \text{ m}/T=1000, 2000, 3000, 4000 \text{ s}$ : 計 12 ケース) を用い、図-1(a)の下方境界から入射させた。領域 2 の計算では、境界条件に領域 1 での計算結果を用い



(a) 領域 1 (2430 m 格子) (b) 領域 2 (270 m 格子)

図-1 計算領域と出力地点

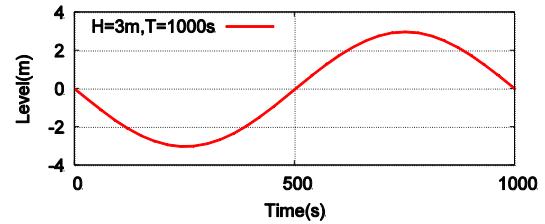


図-2 入射波 ( $H=3 \text{ m}$ ,  $T=1000 \text{ s}$ )

ることで接続した。また、水面変化データの出力地点は図-1(b)に示す GPS 波浪計設置箇所 (以下、GPS 地点) とした。入射角度は、図-1(a)中に示したように伊勢湾軸方向を 0 度として 15 度刻みで -90 度から 90 度 (時計回りを正) の範囲で変化させ、様々な津波の來襲角度を想定した。

図-3 は入射角度に対する GPS 地点での最大水位を示している。入射角度が湾軸方向 (0 度) から  $\pm 30$  度変化すると、GPS 地点での最大水位 (伊勢湾に侵入する津波に相当) は大きく低下することが確認された。波高を変化させたケースにおいても同様の傾向を示しており、伊勢湾口付近では入射角度が湾軸方向に近づくにつれて、高波高の津波が來襲する可能性が高くなると考えられる。また、入射角度が湾軸方向から傾くにつれて、GPS 地点にて地形的条件による回折現象によってエネルギー散逸が大きくなり、水位が減衰するとして推測される。

湾軸方向 (0 度) に対する各來襲角度での最大水位の比 (減衰率) を算出した結果を図-4 に示す。來襲する津波の周期が長くなるほど最大水位の減衰率が大きくなることが確認された。湾軸方向から來襲角度が傾くことで、

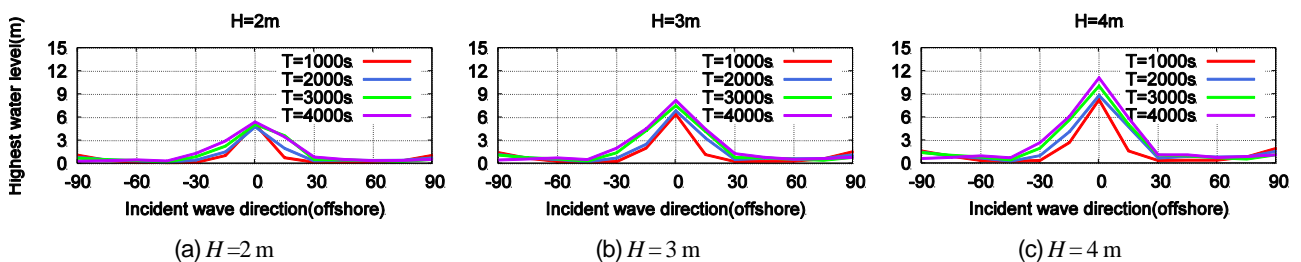


図-3 GPS 地点における最大水位

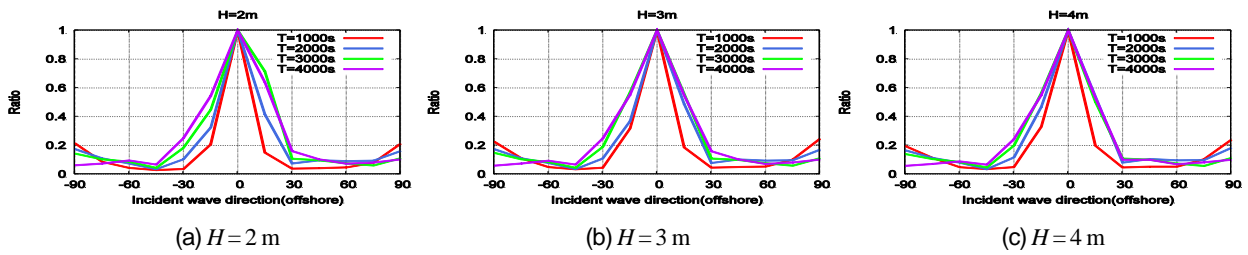


図-4 GPS 地点における最大水位減衰率

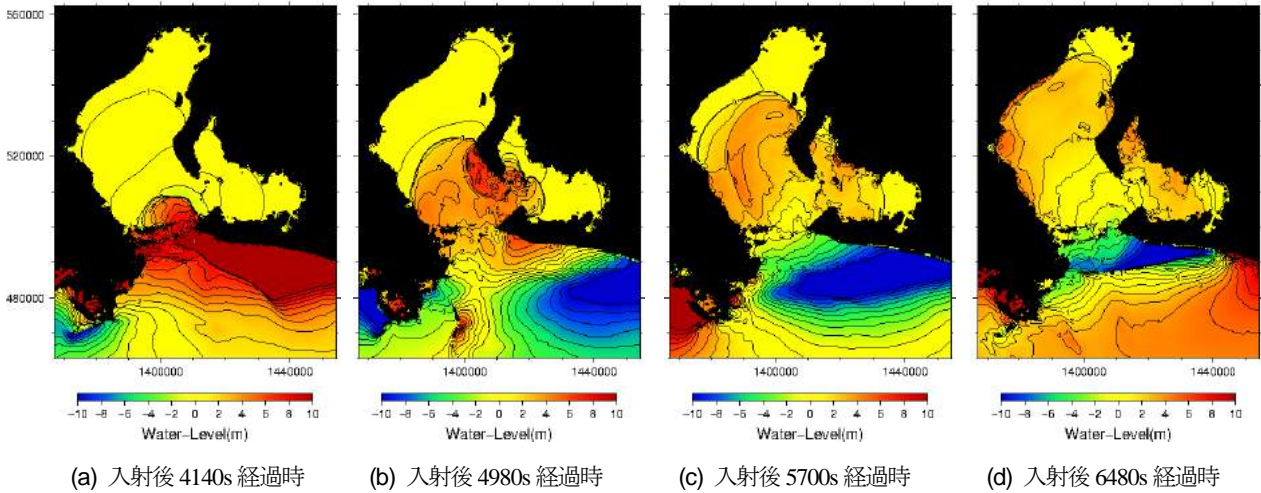


図-5  $H=3\text{ m}$ ,  $T=3000\text{ s}$ における津波の侵入過程

地形的条件による影響が長周期になるほど大きくなり、その結果、長周期になるほど減衰率が増加する傾向となったと推測される。

#### 4. 湾内での津波挙動の把握

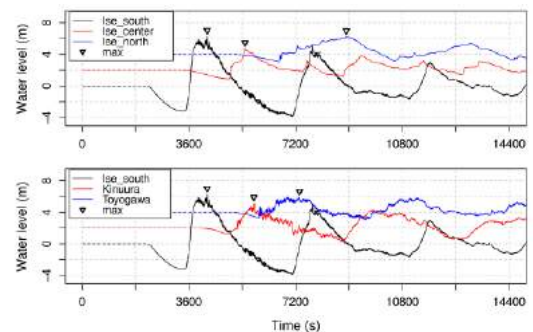
伊勢湾・三河湾における津波の挙動を把握するために、2430 m 格子に、270 m, 90 m および 30 m 格子による小領域での高解像度計算を追加した三段階ネスティングを行った。入射波は、3 章で実施したシミュレーションと同様に図-2 の sin 波 ( $H=2\sim 4\text{ m}$ ,  $T=2000\sim 4000\text{ s}$ ) を用いた。

##### (1) 湾内の津波挙動に及ぼす入射波高の影響

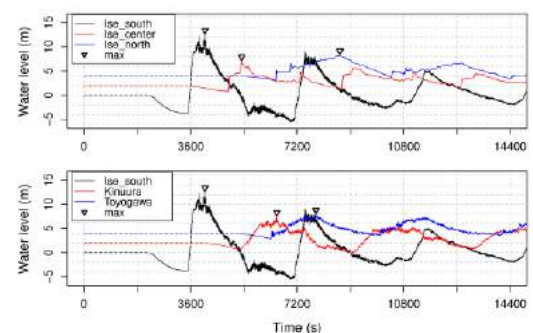
図-5 に、 $H=3\text{ m}$ ,  $T=3000\text{ s}$  の入射波を用いた場合における津波侵入過程を図-5 に示している。湾内の津波挙動として、湾口部から津波が来襲した後 (図-5(a))、津波は知多半島に衝突している (同(b))。知多半島から反射した波が伊勢湾西部 (津港周辺) に向かって伝播し (同(c))、その後北上して津波が伝播している様子が確認できる (同(d))。

次いで、波高の異なる入射波を用いた場合における湾内の津波挙動を、伊勢湾・三河湾の代表地点での水位変動時系列を比較することで確認した。出力代表地点として、伊勢湾を伊良湖岬 (伊勢湾南部)、伊勢湾中部、名古屋

屋港 (伊勢湾北部)、三河湾を衣浦港 (三河湾西部)、豊川河口 (三河湾東部) を選択している (図-1(b))。図-6 は、周期を 3000 s に統一し、 $H=2\text{ m}$  の入射波を用いた場合の湾内各地の水位変動 (図-6(a)) と、 $H=4\text{ m}$  の入射波を用いた場合の水位変動 (同(b)) を示している。傾向



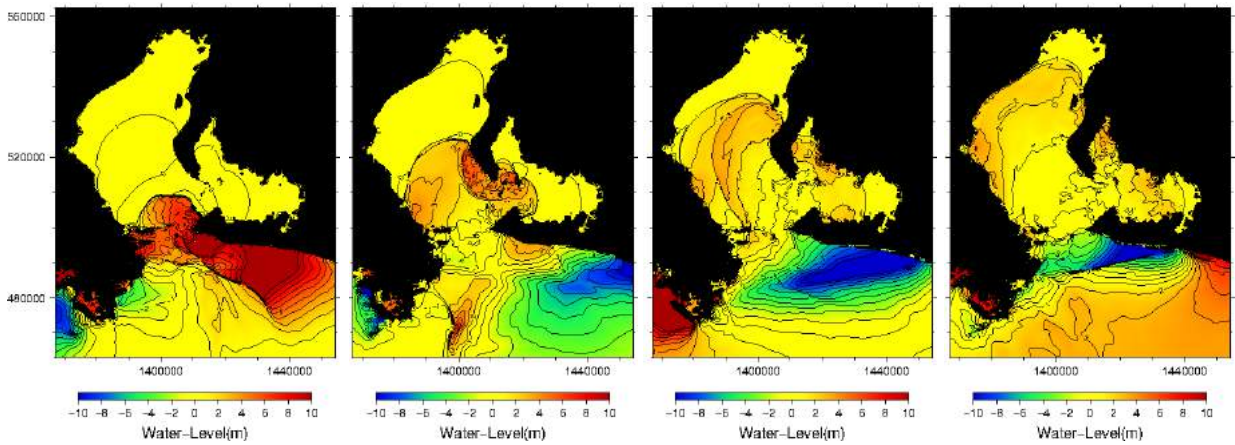
(a)  $H=2\text{ m}$  (上段：伊勢湾内，下段：伊勢湾～三河湾内)



(b)  $H=4\text{ m}$  (上段：伊勢湾内，下段：伊勢湾～三河湾内)

図-6 異なる入射波高を用いた場合の各地点の水位変動





(a) 入射後 3660s 経過時 (b) 入射後 4560s 経過時 (c) 入射後 5280s 経過時 (d) 入射後 5880s 経過時

図-7  $H=3\text{ m}$ ,  $T=2000\text{ s}$ における津波の侵入過程

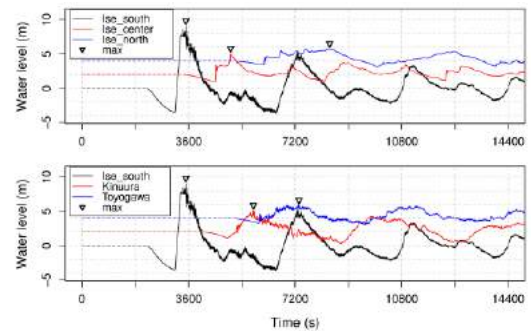
が明瞭であった地点を代表地点として、各地点の水位変動を比較した結果、来襲する津波の波高が変化した場合でも湾内における津波の最大水位の伝播過程は同様であることが明らかになった。

## (2) 異なる入射波周期を用いた場合の湾内の津波挙動

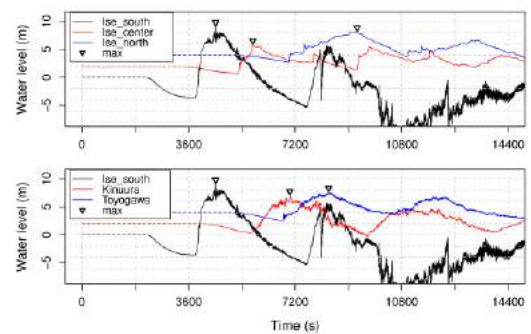
異なる周期の入射波を用いた場合における湾内の津波挙動を把握した。  $T=2000\text{ s}$  の入射波を用いたケース (図-7) は前述した異なる波高の津波が湾内に来襲した場合 (図-5) と同様の津波挙動であることが確認できる。さらに、入射波の波高を  $H=3\text{ m}$  に統一し、周期を  $T=2000, 3000, 4000\text{ s}$  に変化させたケースを用いて津波の伝播について比較した。

$T=2000\text{ s}$  および  $T=4000\text{ s}$  の入射波を用いた場合における各地点の水位変動を図-8(a), (b)に示す。水位変動の出力地点は図-6と同様である。また、引き波から始まる入射波であるため、1800s 周辺から急激に水位低下が示されている。湾内各地の水位変動を比較した結果、来襲した津波の周期が異なる場合でも津波の最大水位の伝播過程は大きく変化しないことが明らかになった。

以上により、来襲する津波の波高、周期が異なる場合でも湾内における津波の挙動は同様の進行過程となることが明らかになった。また、湾口部から入射した津波は知多半島に衝突し、反射した波が伊勢湾西部に向かって伝播していることが確認された。三河湾においては、三河湾口部に位置する島々に衝突が確認され、その衝突した波が三河湾全域に伝播している。また、波高や周期が変化した場合でも湾内での津波挙動は同様であるが、伝播する津波水位は湾口部から侵入する津波水位が異なるため (図-3)、湾内各地に到達する津波水位は差が生じることが明らかになった。



(a)  $T=2000\text{ s}$  (上段：伊勢湾内, 下段：伊勢湾～三河湾内)



(b)  $T=4000\text{ s}$  (上段：伊勢湾内, 下段：伊勢湾～三河湾内)

図-8 異なる入射波周期を用いた場合の各地点の水位変動

## 5. 最大水位分布と到達時間の空間分布

湾内各地と GPS 地点 (伊勢湾口部) での最大水位の比 (水位伝達率) を求めることで、湾内の最大水位分布を把握した。また、GPS 地点で最大水位が計測されてから各地点で最大水位が計測されるまでの経過時間を最大水位到達時間とし、その分布を把握した。両結果を比較することで、同じ湾内でも地域性を考慮した津波に対する危険度の把握や減災対応を検討することが可能であると考えた。なお、4 章にて行った津波シミュレーションと同様の計算条件 (波高、周期、入射角度) を用いている。また、湾軸方向 (入射角 0 度) で来襲する津波の最大水位が顕著に高くなることが既に確認されているため、検

討ケースとして来襲角度0度のケースを用いる。

とが推測される。

### (1) 湾内における最大水位伝達率

図-9 に周期を変化させた場合の最大水位伝達率を示している。知多半島先端部や伊勢湾口部、伊勢湾南西部（伊勢周辺）において赤色であり、高い水位伝達率を示している。前述したように津波が湾口部から湾内に侵入する際に、知多半島に衝突し、伊勢湾西部に向かって伝播する。これが、当地域の水位伝播率が高くなった要因として考えられる。また、伊勢湾口部も同様に高い水位伝達率を示している。湾口部では、外洋から来襲してきた津波が湾内に侵入する際に、そのまま湾口部に衝突するため、水位伝達率も高くなっていると考えられる。また、伊勢湾南西部（伊勢市周辺）も橙色を示し、やや高い水位伝達率になることが特徴的である。

三河湾内では北西部（衣浦、一色周辺）が高い水位伝達率を示している。上述したように、三河湾東部では、三河湾口部に位置する島々に津波が衝突するため、波の遮蔽に加え、回折現象により水位の伝達率が低くなるこ

### (2) 湾内における最大水位到達時間の空間分布

図-10 に周期を変化させた場合の最大水位到達時間の空間分布を示している。最大到達時間は、知多半島先端部や伊勢湾口部では30分程度（橙色）で到達している。上述したように、津波が湾内に侵入する時に必ず初めに知多半島先端部に衝突しているため、最大水位に到達する時間が早くなる。そして、伊勢湾北西部（四日市）では、1時間程度（黄色）で到達し、伊勢湾南西部（伊勢周辺）では最大水位に到達するまで1時間半以上（緑色）の時間を要することが示されている。

三河湾では、北西部（衣浦、一色周辺）で伊勢湾北西部（四日市周辺）と同様の1時間程度（黄色）で最大水位に到達することが明らかになった。三河湾東部（豊橋周辺）は、三河湾西部に比べ、到達するまでに要する距離が長いので、最大水位に達する時間が長くなることが推測される。

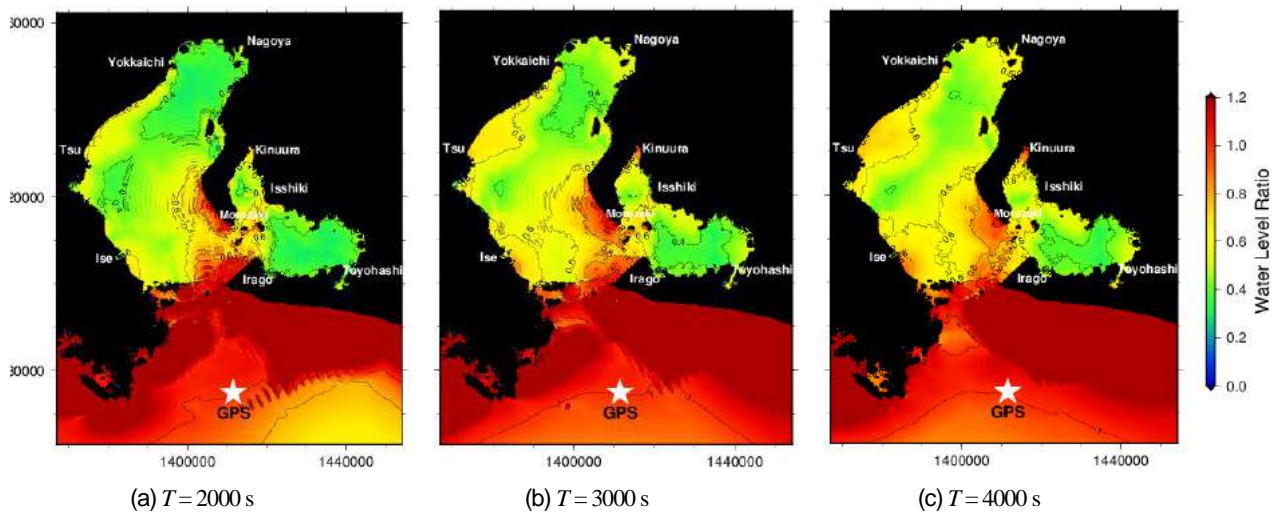


図-9 GPS 波浪計に対する津波水位伝達率

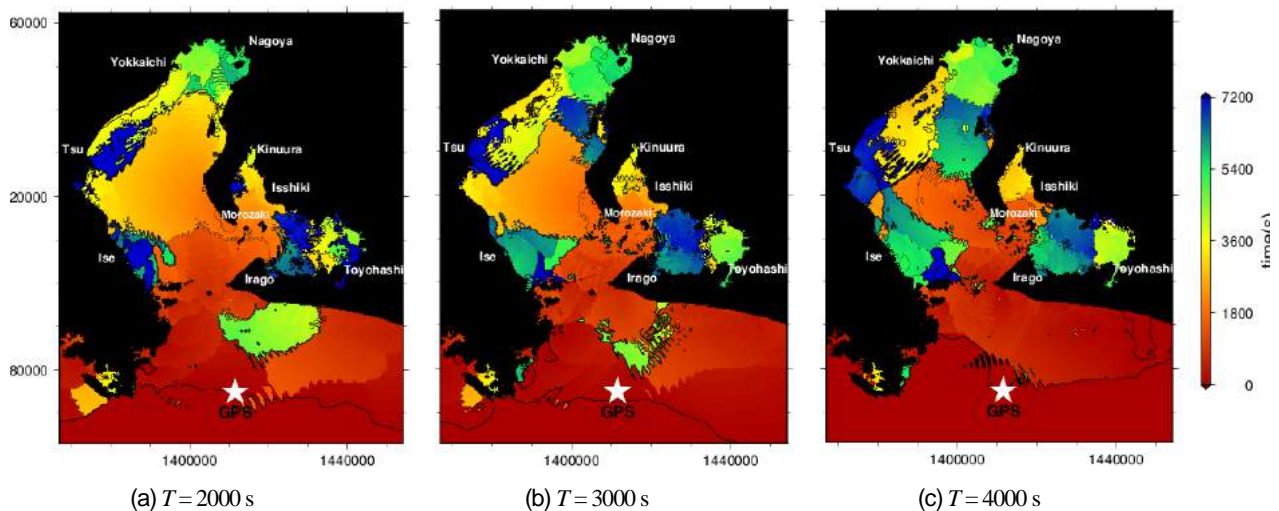


図-10 GPS 波浪計到達後の最大水位到達時間

### (3) 湾内における津波被災危険地域の把握

本章 1, 2 節で述べた結果より, 双方を比較することで, 湾内における津波被災危険度を地域ごとに検討することができる。湾内でも特に, 知多半島や伊勢湾口部では水位伝達率が高く, 最大水位到達時間も短いことから, 津波による被災危険度が高い地域と判断することができる。また, 三河湾内では, 北西部が同様に危険地域と判断でき, 高い波高の津波が早く到達する点から両地域では津波に対し, 防波堤の嵩上げなどのハード面の防災対策を重視した方が良いと考えられる。一方, 伊勢湾南西部(伊勢周辺)では, 水位伝達率が高いが, 到達時間は長く, 三河湾東部(豊橋周辺)では水位伝達率は低く, 到達時間も長いことから, 両地域に関しては, 適切な情報が提供されれば避難のための時間が確保できると考えられるため, ハード面の強化よりもソフト面の強化を重視することで減災に繋がるのが考えられる。

## 6. 結論

本研究では, 伊勢湾・三河湾を対象とし, COMCOT を用いて, 外洋から伊勢湾・三河湾に襲来する津波伝播シミュレーションを実施した。その結果を基に, 湾口部を湾内各地に到達する津波水位の応答関係を分析し, その特性の把握を行った。以下に得られた知見を示す。

外洋から湾口部に襲来する津波は, 湾軸方向(0度)から襲来角度を傾けると最大水位が大きく低下することが確認された。そのため, 防災・減災を考えるに当たり, 湾軸方向から襲来する津波の対策に注意を払う必要があることが明らかになった。

湾内における津波の挙動では, 襲来する津波の波高・周期が異なる場合でも, 湾内での津波挙動(進行過程)は同様の傾向であることを示した。しかし, 外洋から湾

口部に襲来する津波水位が異なるため, 湾内における津波水位には差が生じることが確認された。

GPS 地点に対する湾内各地での最大水位から最大水位伝達率を求め, その空間分布から湾内の危険地域を把握した。伊勢湾では, 知多半島先端周辺が特に高い水位伝達率を示し, 最大水位到達時間も短いため, 津波被災危険度が高い地域であることが明らかになった。また, 伊勢湾北西部にも, 周辺海域より津波水位伝達率が高く最大水位到達時間が短い地域が確認され, 湾内の津波危険度に空間的な特徴があることが確認された。三河湾では, 北西部(衣浦, 一色周辺)の水位伝達率が高く, 最大水位到達時間が短いことから津波被災危険度が高い地域であると考えられる。三河湾全体でみると, 東部より西部の方が高い津波被災危険度を有していると考えられる。

謝辞: 本研究は, 科学研究費(課題番号: 25282113)の補助を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 中央防災会議: 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波に関する専門調査会報告, 41p, 2011.
- 2) 川崎浩司・鈴木一輝・高杉有輝・高須吉敬: 東北地方太平洋沖地震による東海地方の津波特性, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, 186-190, 2013.
- 3) 川崎浩司・鈴木一輝: 東海・東南海・南海三連動型巨大地震に伴う津波伝播特性に関する研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, 144-149, 2012.
- 4) Liu, P.L.-F.・S.B.Woo, S. B.・Cho, Y. S.: Computer programs for Tsunami Propagation Inundation, Technical Report, Cornell University, 117p, 1998.
- 5) Wang, X.: User Manual for COMCOT Version 1.7 (First Draft), 59p, 2009.
- 6) 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, 土木学会論文集 B2, Vol.45, No.2, 356-360, 1998.

## SPATIAL DISTRIBUTION OF MAXIMUM TSUNAMI WATER LEVEL AND ITS ARRIVAL TIME IN ISE BAY AND MIKAWA BAY

Shohei FUJITA, Shigeru KATO and Takumi OKABE

There are many researches on disaster mitigation and countermeasure for a tsunami caused by Nankai Megathrust Earthquakes in the future. Owing to the topographic feature of Ise Bay and Mikawa Bay, the tsunami coming from Pacific Ocean has to pass through Ise Bay mouth to intrude into the bays. Tsunami information around the bay mouth can be considered as a prior information of tsunami arrival in the bays. In 2014, GPS wave gauge had been installed off Ise Bay mouth so that it will be possible to obtain the tsunami information in advance. This study aims to grasp the characteristics of a spatial distribution of the maximum water level and its arrival time in Ise Bay and Mikawa Bay by numerical simulations of tsunami propagation coming from the ocean. As a result, higher water level and shorter arrival time of maximum water level are indicated around the top of Chita peninsula in the bays. Furthermore, the northwest part of Ise Bay is also exposed by high water level. In Mikawa Bay, the western part has high risk than the eastern part for tsunami disaster. The distribution of tsunami risk in Ise Bay and Mikawa Bay is investigated in this study.