南海トラフ地震下の鳴門・明石海峡部の津波波形を用いた岡山市に襲来する津波の予測モデルの検討

PREDICTION MODEL OF TSUNAMI HITTING OKAYAMA CITY USING WAVEFORM AT NARUTO AND AKASHI CHANNEL UNDER NANKAI TROUGH EARTHQUAKE

工代健太¹・前野詩朗²・赤穂良輔³・吉田圭介⁴
Kenta KUDAI, Shiro MAENO, Ryosuke AKOH and Keisuke YOSHIDA

¹ 学生会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

² フェロー会員 博士(工) 岡山大学大学院教授 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

³ 正会員 博士(工) 岡山大学大学院助教 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

⁴ 正会員 博士(工) 岡山大学大学院准教授 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

Okayama city is susceptible to tsunami disaster when Nankai Trough earthquake occurs because its coastal area is mainly occupied by a vast below-sea-level area. It is indispensable to predict tsunami behavior hitting the city previously for taking appropriate countermeasure under the earthquake. Although real-time tsunami forecast method by inverse analysis has been developed, it is difficult to predict tsunami waveform in a shallow inland sea where Okayama city faces. This research constructs a model for forecasting waveform of tsunami reaching Okayama city's coast before its arrival from tsunami waveform observed at Naruto or Akashi Channel which is located in east of the Seto Inland Sea. As the results of this research, relatively large tsunami at Yamada port is reproduced by this model as being numerically simulated. And this research shows the prediction model is usable for estimating highest tsunami height at Yamada port even if a tide is taken into consideration.

Key Words: Nankai Trough earthquake, Tsunami, Seto Inland Sea, Naruto and Akashi channel, tide

1. はじめに

2012 年に内閣府中央防災会議(以下中防災)は南海トラフ地震が発生した場合、瀬戸内海側の地域においても 2 から 3 m 以上の津波が押し寄せる可能性を示した。特に岡山県岡山市は臨海地域に地盤が軟弱で標高が T.P. 0m を下回る広大な干拓地を有し、南海トラフ地震発生時に岡山市臨海地域の大部分に津波が遡上することが岡山県により想定されるなど、津波被害に対して脆弱な地域である。そこで地震発生時に少しでも早く沿岸に到達する津波を予測することが岡山市の津波防災上において重要である。

既往の研究で検討されている沿岸への到達津波をリアルタイムで予測する方法には、インバージョン手法により沖合の GPS 波浪計で観測された津波波形から波源の水位変動を想定し、小領域に区分した波源の各部分の水位変動量からグリーン関数を用いて算出される対象沿岸地点の水位変動を重ね合わせ、その地点に打ち寄せる津波波形を予測するものがある。例えば安田ら¹⁾は中防災が 2003 年に発表した東南海・南海地震同時発生モデルに上述の方法を適用し、高知県室戸岬沖、和歌山県潮岬沖および浅川沖に設置された GPS 波浪計の地震発生 1 時間後までの津波観測データを用いて大

阪湾内に到達する地震発生から 8 時間分の津波波形が高い精度で推定できることを示した。しかし、この手法のもととなるグリーン関数の重ね合わせの原理が成り立つのは津波の非線形性が無視できる水深 50 m 以上²⁾の海域である。また、津波が伝播する過程での陸域からの反射波の影響が大きくなればこの手法による沿岸域へ到達する津波波形の推定精度が落ちる。瀬戸内海の水深はほとんどの部分で 50 m を下回っており、特に岡山が面する備讃瀬戸には多くの島が存在し、複雑な地形が見られることから、岡山沿岸に到達する津波波形を上記の方法で精度よく推定することは困難であると考えられる。

岡山の地理的な位置から岡山沿岸に到達する津波は鳴門海峡と明石海峡の 2 つの海峡を通ってくる津波の影響が大きいと考えられる(図-1)。そこで本研究では、南海トラフ地震発生時に各海峡における津波波形が観測された時点で、それらの結果をもとに岡山沿岸に到達する津波波形を簡易的に推定する津波予測モデル(以下簡易予測モデル)を検討する。数値解析で得たそれぞれの海峡経由の津波の挙動に関する結果をもとに、主に津波の海峡経由時の波高減衰及び海峡通過直後の波高と岡山沿岸到達時の波高の相関関係の 2 つを検討し、簡易予測モデルの構築を行う。ま

た、備讃瀬戸は大潮日には2 mを超える干満差が観測されており、南海トラフ地震発生時の潮汐位相によって、岡山沿岸の最大津波高が大きく異なることが考えられる。そこで、大潮日の潮汐と津波の同時解析を実施し、本予測モデルの潮汐場での適応性について検討する。以上の通り、本研究は南海トラフ地震発生時の岡山沿岸における津波を早期に予測し、津波からの避難などソフト面の津波対策の迅速化を図ることを目標として行う。

2. 平面2次元解析モデルと津波再現計算

計算は図-2に示す瀬戸内海と西日本の太平洋を含む範囲で行った。本解析は海域のみを計算の対象として、日本列島や瀬戸内海の島々の海岸線を閉境界として設定した。また、瀬戸内海の複雑な地形を良好に再現するため、三角形の非構造格子を用いた。2次元解析での津波の再現精度とメッシュサイズの関係を検討した長谷川ら³⁾の研究を参考に解析範囲のほぼすべての地点で各地点での津波の波長に20個以上のメッシュが含まれるようにその大きさを設定した。具体的には鳴門及び明石海峡では一辺の長さが約200 mから400 m、岡山沿岸を含む備讃瀬戸では約30 mから400 mの三角形メッシュを設けた。標高データは中防災が解析で使用しているものを元データとして使用した。太平洋域では810 m、瀬戸内海と紀伊・豊後水道を中心とする四国周

辺の海域では270 m、さらに岡山沿岸域では10 mごとのメッシュデータを使用し、それぞれの非構造格子の重心から最も近い測点のデータを各要素に適応した。マニングの粗度データは中防災の解析で海底の粗度データとして使用されている0.025を計算領域全体に与えた。支配方程式は2次元の浅水流方程式⁴⁾を使用し、重枝ら⁴⁾の非構造格子を用いた有限体積法モデルを適用することにより解析を行った。タイムステップは計算の安定性を十分に満たすため0.05 sに設定した。

中防災の津波シミュレーションの11の震源ケースのうち岡山県沿岸に最も大きな津波が想定されている四国沖に大すべり域を設定した震源ケースを対象に解析を実施した。また本研究では中防災の解析結果が得られる地点のうち岡山県玉野市山田港（位置は図-1の赤丸、以下山田港）の位置が岡山市沿岸に到達する津波挙動を検討するのに適すると考え、山田港の津波波形を岡山市沿岸に到来する津波挙動として以降の検討を進める。中防災の解析と同様に初期水位として解析範囲全体を山田港の2012年の最高潮位であるT.P. 1.29 mに合わせ、地震発生時の地盤変動データ（中防災提供）を海底の標高と海水面に与え、津波を再現した。図-3は中防災の解析と本解析で得られた山田港の津波波形のうち、特に波高が高い第2波から第4波が到達し終える地震発生7時間後までの波形を示している。中防災のものと波形が良好に一致しており、平面2次元解析モデルが高い津波再現性を有していることが分かる。

図-1 瀬戸内海の標高分布と主な地名

図-2 解析範囲

3. 津波波形の簡易予測モデルの構築

(1) 鳴門海峡および明石海峡経由の津波が山田港の津波波形に与える影響についての検討

吉田ら⁵⁾は相田の断層モデルを用いて、1854年の安政南海地震津波と同規模の南海地震津波を数値解析により再現し、瀬戸内海の津波伝播特性について検討した。ここでは、東の紀伊水道側から瀬戸内海に入ってきた津波と西の豊後水道側から入ってきた津波は地震発生から220分後に広島県福山と愛媛県新居浜を結ぶライン上（図-1）⁵⁾で合流することが報告されている。ここ

図-3 山田港の波形比較

図-4 紀伊水道白浜沖の解析波形

から播磨灘から岡山市が面する備讃瀬戸にかけては紀伊水道側から鳴門および明石海峡を經由して瀬戸内海に入ってくる津波の影響が卓越することが考えられる。図-4は上記の津波再現計算で得た紀伊水道入口にあたる和歌山県白浜沖（図-1の黄色の丸）における津波波形である。図-3の山田港の波形と比較すると共に各波の周期が約1時間であることから、岡山沿岸に打ち寄せる津波が紀伊水道経由のものであると推察される。

紀伊水道に入り込む図-4の①から④番の津波が、それぞれの海峡を通り山田港に到達する各津波に影響しているのかを把握するために、鳴門海峡と明石海峡のいずれか一方を封鎖したうえで初期水位を2章の津波再現計算と同様のT.P.1.29 mに合わせた津波解析を行った。図-5は鳴門海峡と明石海峡の拡大図である。上記の解析では封鎖する側の海峡を挟むように2本の開境界を図に示すように設定することで、外海から各海峡に入り込む津波の海峡の入り口における反射と播磨灘側への侵入を防止した。なおこの解析では西側の燧灘からの津波の影響は一端無視するため、上記の吉田ら⁵⁾の研究で東西の津波の合流が見られた広島県福山と愛媛県新居浜を結ぶラインの両側にも海峡部同様に2本の開境界を設定した。

図-6は鳴門海峡のみ津波を通した場合と明石海峡のみ津波を通した場合の山田港での津波波形を示したものである。図中の波番号は図-4の①から④に対応している。図-3と比較すると最初の第1波にあたる波は鳴門経由の①の波であり、波高が比較的大きな第2波から第4波は鳴門経由の②から④番の津波と明石経由の①から③番の津波がそれぞれ重なりあったものであることが分かる。表-1はこれらの関係をまとめたものである。

(2) 各海峡部の津波波高と山田港の波高の相関の検討

各海峡部の津波の波高とそれぞれの海峡を經由した津波の山田港での波高の相関関係について検討する。

図-7および図-8にそれぞれ(1)の解析で得た鳴門海峡の瀬戸内側（以下内側）と紀伊水道側（以下外側）と明石海峡の瀬戸内側（以下内側）と大阪湾側（以下外側）の津波波高を示す。水位データの抽出点の位置は図-5に示す通り、両海峡とも内側と外側の海峡の幅がおおよそ同じになる場所を選択した。これらの図から特に前半の比較的大きな津波に関して両海峡とも外側よりも内側の波高が小さく、特に海峡部の幅が狭い鳴門海峡では津波波高が海峡の外海側と瀬戸内側で大きく異なることが分かる。

本研究では、鳴門海峡と明石海峡の外側の津波波形を用いて山田港の津波波高を算定する簡易予測モデルを構築するため、以下の手順で波高の相関関係を検討した。検討に使用する波のサンプルを波高が小さいも

のから大きいものまでそろえるため、(1)の鳴門と明石の一方を封鎖した解析について初期の波源の水位変動を0.8倍、1.2倍に設定した解析結果も用いた。まず図-9および図-10は3つの波源ケースのそれぞれ鳴門及び明石の①から④番の波について、海峡の外側での津波波高を横軸に、内側と外側の波高比（内側の波高/外側の波高）を縦軸にプロットしたものである。これらの図からデータが取得できた範囲で横軸を説明変数 x 、縦軸を目的変数 y とした近似式が最小二乗法によりそれぞれ $y = -0.02x + 0.62$ 、 $y = -0.27x + 1.23$ で表されることが分かる。

次に図-11および図-12は鳴門海峡及び明石海峡の内側の波高を横軸に、それぞれの海峡のみを通過させた場合の山田港での波高を海峡の内側の波高で除した波高比を縦軸に上と同じ各12波についてプロットのしたものである。これらの図から両海峡とも波ごとにほぼ決まった波高比をとることが分かる。例

図-5 鳴門および明石海峡の拡大図
(青丸：内側，赤丸：外側，黒線：封鎖時の開境界)

図-6 鳴門、明石海峡を經由した津波の山田港の波形

表-1 波の対応関係

波番号(白浜沖)	①	①	②	②	③	③	④	④
經由する海峡	鳴門	明石	鳴門	明石	鳴門	明石	鳴門	明石
波番号(山田港)	1	2	2	3	3	4	4	5

図-7 鳴門海峡の津波波形

図-8 明石海峡の津波波形

例えば明石海峡の③番の波は海峡の内側の波高が等しかった他の波よりも波高比が高くなっているが波源の水位変動の倍率を変えた第3波同士を比べると海峡の内側の波高は差があるが、いずれも波高比が1.2付近にある。以上から各海峡の内側から山田港の間の波高の関係は海峡部での波高との相関関係よりも瀬戸内側に入ってきた波の順番によってほぼ一定に決まることが分かる。以上より各波について3つの波高比の平均値（図-11、図-12中の数字）をそれぞれの波の海峡通過後と山田港到達時の波高比とする。

図-11、図-12からどちらの海峡を経由する波についても、後から来る波の方が波高比が大きくなる傾向があることも分かる。宮本ら⁹⁾は太平洋側から瀬戸内海に進む津波の周期と瀬戸内の津波波高の増幅について検討し、播磨灘では津波の周期が約1時間の場合に最も津波が増幅することを示した。本解析では4波とも周期が約1時間であることから、播磨灘から備讃瀬戸東部にかけて津波の共振が時間の経過とともに進んだことが後から瀬戸内海に侵入した津波の波高比が大きくなった原因の1つとして考えられるが詳細な理由についてはさらなる検討が必要である。

(3) 各海峡部の津波が山田港に到達する時間の検討

表-2は(1)で実施した解析において、各波のピークが各海峡の外側から山田港に到達するのに要した時間を示したものである。津波の波速は伝播域の水深に依存する。各海峡から岡山市にかけて広がる播磨灘のほとんどの部分で海底の標高がT.P. -30 mからT.P. -50 mであり（図-1）、各波の波高差はそれぞれの波の到達時間差に大きく影響しないと考えられる。そこで各波の到達時間に若干の差があるが、今回は経由する海峡ごとに各波の平均をとり、鳴門海峡および明石海峡の外側から山田港までの津波到達時間差をそれぞれ1.32時間、1.85時間とする。

(4) 西側からの津波による水位上昇の影響の検討

図-13は2章の津波再現計算（燧灘分断前）と燧灘の中央部のみを2本の開境界によって分断し、西側からの

図-9 鳴門海峡外側の波高と内側と外側の波高比

図-10 明石海峡外側の波高と内側と外側の波高比

津波の影響を無視した解析の両方について地震発生から各時間後の瀬戸内海横断面上の水位分布と、さらにそれらの差を示したものである。まず水位分布に着目すると地震発生160分後から燧灘西部で西側から来る津波による水位上昇が見られる。次に水位差について見ると燧灘西部で水位上昇が始まった約120分後の地震発生280分後から山田港近海において西側からの影響による水位上昇が始まっていることが分かる。360分後には約0.32 mまで水位差が拡大していることが分かる。また、地震発生後280分後において、岡山の西側での水位差のグラフがほぼ線形になっている。以上のことを踏まえて、280分後から360分後の80分間で水位が一次関数的に0.32 cm上昇するモデルを次節で述べる山田港の簡易予測モデルに組み込む。

(5) 簡易予測モデルの構築および検証

(2), (3), (4)での検討事項を踏まえ、両海峡の外側の波形から山田港の波形を次の手順で再現した。

各海峡の外側の波形（図-7、図-8）を見ると、それぞれ第1波が来る前の時点で地震発生時に波源域の

図-11 鳴門海峡内側の波高と山田港の波高比

図-12 明石海峡内側の波高と山田港の波高比

表-2 各海峡から山田港への津波到達時間

波番号	①	②	③	④	平均
鳴門からの到達時間(h)	1.34	1.31	1.25	1.39	1.32
明石からの到達時間(h)	1.81	1.85	1.89	×	1.85

図-13 燧灘側からの水位上昇の過程

北側で起こる地盤沈下の影響で水位が約0.5 m下がっていることが分かる。そこで、初期水位から0.5 mを差し引いたT.P.0.79 mの線（図-7、図-8の緑線）を津波波形補正の振幅の基準とし、両海峡の外側の津波波形（図-7、図-8の赤線）からT.P. 0.79 mを差し引いたものを外側の津波の振幅とした。また、それぞれの波の山部とピーク前の引き波時の谷部の振幅の差を各波の波高とした。外側の津波の振幅に図-9、図-10で示した近似式により求めた波高比を波ごとに掛け合わせ、海峡の内側の振幅に変換した。さらに、これに図-11、図-12で波ごとに示した数値を掛け合わせ、山田港における各海峡経由の津波の振幅を推定した。なお、各海峡の波形は第1波による水位上昇が始まる時点（図-7、図-8の補正開始点）から使用した。

山田港（図-3）においても第1波が来る直前には初期水位から約0.5 mの水位低下が地盤沈下の影響により起こっているため、T.P. 0.79 mを振幅の基準として、上で求めた各海峡経由の津波の振幅を(3)で求めた時間差分をそれぞれ遅らせたものを足し合わせた。さらに(4)で検討した西側からの水位上昇モデルを加え、山田港における津波波形を推定した。

2章の津波再現計算の解析による山田港の波形（青線）と簡易予測モデルにより推定した山田港の波形（赤線）を図-14に示す。図中の予測開始点までは津波が山田港に到達しておらず、水位は津波の足し合わせの基準であるT.P. 0.79 mのまま表示している。この図から第1波の波高がやや過大評価されていることが分かるが、これは鳴門海峡の外側から内側の波高比を近似式により実際よりも大きく評価してしまった（図-8）ことが原因として考えられる。しかし、波高の大きな第2波から第4波の波高及び最大津波高はほぼ正確に再現できていることが分かる。

4. 潮汐場での簡易予測モデルの適応性の検討

(1) 潮汐の再現計算

本研究では2013年と2014年に岡山県宇野港（位置は図-1の青丸）の気象庁潮位観測における月最高潮位と月最低潮位の差が最も大きかった月の大潮日である13年1月14日の潮汐を再現した。潮汐の再現方法について図-2を用いて説明する。白木ら⁷⁾による四国沿岸の潮汐再現計算では、西日本の南の太平洋において東西方向に直線的で比較的緩い潮位勾配が確認された。このことを踏まえて本研究では計算範囲の南端と

図-14 波源からの波源から解析と予測波形の比較

ほぼ同緯度に属する3島の14日の潮位観測値（気象庁公開）を用い、計算範囲の南側境界の内、図-2の赤色で示した部分では那覇と南大東島、緑色で示した部分には南大東島と父島のを逆距離荷重法により補正した値を境界条件として与えた。図-15は潮汐再現計算により岡山県宇野港で得られた潮汐位相を観測データ（気象庁公開）と比較したものである。多少の位相のずれや潮位の違いはあるものの、潮位の時間的な変化や干満差は良好に再現できていることが分かる。

(2) 潮汐場における簡易予測モデルの適用方法

波高の高い第2波から第4波のいずれかの岡山沿岸への到達がそこでの満潮時と重なる場合の4ケース（7時、8時、9時、10時の各時間に地震発生を想定したケース）について、潮汐と津波の同時解析（以下潮汐-津波同時解析）を行った。図-16は7時に地震発生を想定したケースにおいて得られた鳴門、明石海峡の外側の津波波形（赤線）と4.(1)で説明した潮汐のみの再現計算で得られた潮位の時間的な変化（紺色の線）を示したものである。以下図-16を用いて潮汐場での簡易予測モデルの適用方法について説明する。潮汐場においても地震発生時の地盤沈下により瀬戸内海側の水位が0.5 m程度下がることを仮定し、両海峡外側における津波振幅の基準を時間ごとの潮位から0.5 mを差し引いた曲線（緑線）とした。次に各海峡の外側の津波高（赤線）から緑線の値を差し引いたものを外側の津波の振幅とし、波の山部とピーク到来前の谷部の振幅の差を各波の波高とした。以下3.(5)と同様の波高の補正を行って求めた山田港における両海峡経由の津波の振幅を潮汐再現計算で得た山田港の潮位から0.5 mを差し引いた曲線を基準に足し合わせた。また、この際3.(4)で求めた西側からの水位変動量モデルも3.(5)と同様に加えた。なお、各海峡部と山田港の津波の到達時間差は3.(3)のものと同一と仮定した。

(3) 津波予測モデルの潮汐場での検証結果

図-17は簡易予測モデルによって推定した山田港の津波波形を潮汐-津波同時解析で得た山田港の波形とともに4ケースについて示したものである。いずれのケースとも各波の到達時間はほぼ一致しており、特に

図-15 潮汐波形比較（岡山県宇野港）

図-16 潮汐場での両海峡の津波波形（左：鳴門、右：明石）

満潮付近に到達した波の最大津波高が良好に一致している。しかし、全体的に波高が過大評価になっており、特に7時と8時に地震が発生したケースの第1波、第2波や10時に津波が発生した場合の第4波についてはその傾向が顕著である。Lee ら⁸⁾は瀬戸内海の潮汐が津波に与える影響について検討し、潮汐が瀬戸内海のほとんどの沿岸部に到達する津波高を減衰させる傾向があることを示した。今回の簡易予測モデルは潮汐を考慮していない解析結果をもとに作成したため、津波波高を過大に評価していることが考えられる。

図-18は潮汐-津波同時解析において津波が鳴門海峡の外側に到達した時刻に4.(1)の潮汐再現計算で得られた海峡の外側と内側の潮位差と津波波高比(海峡の内側/海峡の外側)の関係を波番号ごとにプロットしたものである。このことから鳴門海峡の外側と内側の水位差が大きいほど、海峡通過に伴う波高の減衰が大きくなる傾向が見られる。さらに、この図から山田港の第1波、第2波に対応する鳴門経由の①番と②番の波では7時、8時に地震が発生した場合に、また山田港の第4波に対応する④番の波では10時に地震が起きた場合に外側と内側の波高比が小さくなっている。このことから、潮汐を考慮した場合、海峡部での津波の減衰が大きくなり、岡山沿岸の津波にも影響すること

図-17 潮汐場での波源からの解析と予測波形の比較（上から順に地震発生時刻が7, 8, 9, 10時

図-18 鳴門海峡部での潮位差と津波波高の減衰

が考えられる。

5. 結論

本研究では岡山市の津波対策の迅速化を目的として鳴門および明石海峡部における津波波形から岡山沿岸に襲来する津波を推定する簡易予測モデルを構築した。本研究により得られた主な結論を以下に示す。

- 1)南海トラフ地震発生時に鳴門および明石海峡に到来する最初の4波についての海峡通過時における波高の減衰は、海峡の外側の波高と波高比(内側の波高/外側の波高)の一次近似式によって再現できる。
- 2)各海峡の内側の波形と山田港の波高の比は海峡部の津波の波高の影響は少なく、到来する津波の順番ごとにほぼ一定の値となる。
- 3)簡易予測モデルにより、山田港に到達する津波のうち比較的波高が大きな第2波から第4波の最大津波高および波高がほぼ正確に予測された。
- 4)潮汐場において簡易予測モデルを使用した結果、4つの潮汐ケースとも津波が満潮時と重なり合う最大津波波高についてはほぼ正確に予測できた。

今後、簡易予測モデルの汎用性の向上を目指し、波源の位置が異なる場合の津波予測やさまざまな潮汐場における津波予測にも対応できるように予測モデルの拡張を図る。また、瀬戸内海に面する岡山市以外の地域への適用についても検討を進める。

参考文献

- 1)安田誠宏・高山知司・川村健太・間瀬肇：沖合観測情報を用いたインバージョン法によるリアルタイム津波予測，海岸工学論文集，第54巻，pp.196-200, 2007.
- 2)辰巳大介・富田孝史：震央位置を考慮したインバージョン法によるリアルタイム津波予測，海岸工学論文集，第55巻，pp.246-250, 2008.
- 3)長谷川賢一・鈴木孝夫・稲垣和男・首藤伸夫：津波の数値実験における格子間隔と時間積分間隔に関する研究，土木学会論文集，No.381/II-7, pp.111-120, 1987.
- 4)重枝未玲・秋山壽一郎・浦勝・有田由高：非構造格子を用いた有限体積法に基づく平面2次元洪水流数値モデル，水工学論文集，第45巻，pp.895-900, 2001.
- 5)吉田和郎・村上仁士・島田富美男・上月康則・大宅祥弘・大谷寛：瀬戸内海における津波の流速・津波高に及ぼす海峡・島の影響に関する一考察，海岸工学論文集，第50巻，pp.321-325, 2003.
- 6)宮本大輔・村上仁士・上月康則・久保喬：瀬戸内海における津波挙動に及ぼす潮汐および入射波高，周期の影響，海岸工学論文集，第53巻，pp.261-265, 2006.
- 7)白木喜章・柴木秀之：全球潮汐計算を利用した日本沿岸の広域潮汐計算について，土木学会論文集 B2 (海岸工学)，Vol.66, No.1, pp.226-230, 2010.
- 8) Lee, H.S. and Shimoyama, T.: Impacts of Tides on Tsunami Propagation in the Seto Inland Sea, Japan, *Proceedings of the 35th IAHR World Congress*, Proc.CD-ROM, 2013.

(2015. 9. 30受付)