

## 福山内港地域における津波災害の拡大要因について

向井厚志    堤行彦    石尾広武    澤田結基    加藤誠章    横山真

### 要旨

福山内港地域は瀬戸内海につながる福山港入江の周辺地域であり、海洋由来の自然災害による危険性を有している。南海トラフ地震発生時の福山港沖合では、津波によって通常潮位より最大1.4mの海面上昇が生じると予測されている。この津波が福山港入江に侵入した際の海面変動を数値計算で求めたところ、津波は最大2.8mまで増幅することが示された。津波の到達が満潮時と重なった場合、平均海面からの高さが最大4.6mの海面上昇となる。さらに、副振動や吸い上げ効果、吹き寄せ効果によって、最大1m程度の海面上昇が加わることも予想される。福山内港地域の護岸堤防の一部は標高3.5m程度であり、地震動による堤防の破損がない場合であっても平野内部に津波が侵入する危険性があると言える。

キーワード：福山内港地域、南海トラフ地震、津波、数値計算

### 1 はじめに

福山市立大学が位置する福山内港地域は瀬戸内海につながる福山港入江を含んでおり、様々な海洋関係の自然災害による影響を受けうる環境にある。そうした自然災害のうち、特に甚大な被害をもたらすものとして、津波が挙げられる。岡山県備前県民局（2007）は過去の南海地震発生時における岡山県南部の被害状況をまとめており、1946年昭和南海地震（M8.0）および1854年安政南海地震（M8.4）の際に、それぞれ最大1m弱および5m程度の津波が岡山県沿岸部に到達したことを記している。これらの地震は南海域を震源域とするが、近い将来に発生する南海トラフ地震では、南海域だけでなく、東海域、東南海域、日向灘域を含む広大な震源域も想定されており、安政南海地震時よりも大きな津波が瀬戸内海に伝播する可能性が考えられる。

内閣府（2012A）の南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループによると、満潮時における福山市の平均津波高は3m、最大津波高は4mと見積もられている。津波高は海岸線の形状や海底地形に強く

依存しており、隣接する地域であっても大きく異なる場合がある。実際、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の際には、わずか数km離れた地域間で津波高の差異が10m以上にもなることが速報値として報告されている（東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ、2011）。したがって、福山港入江内に伝播する津波を検討するためには、瀬戸内海とつながる福山港周辺の津波高を知る必要がある。

海上保安庁は、内閣府（2012B）が発表した南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）の断層モデルを使用して、南海トラフ地震発生時の津波伝播をシミュレーションしている。その計算結果によると、津波の到達によって、福山港の約3km沖合では潮位が最大1.4m上昇する。なお、この値は海洋潮汐の影響を含んでいない。福山港周辺の海面が満潮時に約2m上昇することを考慮すると、満潮時にいて津波到達時の潮位は平均海面より最大3m程度高くなることが予想される。

福山港入江には標高3.5m以上の護岸堤防が設置されており、海上保安庁のシミュレーション結果をみると、地震動や液状化等による堤防破壊が起きない

かぎり、津波による福山内港地域への浸水の恐れは低いように感じられる。しかし、津波が福山港入江に侵入した場合、入江奥に進むほど海底が浅く、幅が狭くなる地形効果によって、津波が増幅されることが予想される。さらに、気象条件によっては、さらに潮位が上昇する可能性もある。2004年9月に中国地方の日本海沿岸を東進した台風0418号は、広島県沿岸部に高潮災害を引き起こした（広島地方気象台、2004）。このとき、台風最接近時の広島港では、満潮時に近かったため、警戒基準を上回る最高潮位2.68mを記録した。また、気象擾乱によって海が荒れると、港湾等で副振動と呼ばれる固有振動が発生することが知られている（仲井他、2016）。閉鎖的な海域である入江内では、この副振動による海面上昇も無視することができない。

本研究では、南海トラフ地震発生後の福山港入江における潮位変化をシミュレーションし、津波の到達によって生じる海面上昇量を見積もった。シミュレーション方法の妥当性は、福山港入江で観測された副振動をある程度再現できることから確認された。さらに、高潮の原因となる吸い上げ効果や吹き寄せ効果を考慮することで、特殊な気象状況下における津波による海面上昇量も見積もった。

## 2 福山港入江で観測された副振動

福山港入江は瀬戸内海に面した福山港から続く距離約8.5kmの折れ曲がった細長い水路であり、その幅は約500mから150mへと内陸部ほど狭くなっている。本研究では、図1に示す点A、B、Cの3か所にIn-Situ社製水位計Rugged TROLL 100を設置し、潮位変化の連続観測を実施した。観測期間は2021年9月1日～11月4日の約64日間であり、測定間隔は15秒である。また、福山市立大学にIn-Situ社製気圧計Rugged Baro TROLLを設置し、上記期間の気圧変化を1分間隔で測定した。さらに、同大学屋上にOnset社製ウェザーステーションを設置して、2021年9月21日～11月4日の約44日間、1分間隔で風向・風速変化の連続観測も行った。

本研究の潮位観測は水圧計を使用しており、生の

観測値には潮位変化とともに海面に加わる気圧変化も含まれている。この気圧変化の影響を取り除くため、15秒ごとに得られた潮位観測値にアンチエイリアシング・フィルタを適用して1分値に変換し、潮位観測値から気圧変化を除去した。その後、海水密度として1024kg/m<sup>3</sup>を仮定し、水圧を潮位に換算した。以後、この潮位に換算したのちのデータを潮位観測値と呼ぶ。

図1の点Dは広島県港湾漁港整備課の潮位測定局であり、その潮位観測値は広島県土木建築局河川課「広島県河川防災情報システム」で公開されている。本研究では、2021年9月1日～11月2日に同潮位測定局で5分ごとに観測された潮位変化を比較対象として使用した。

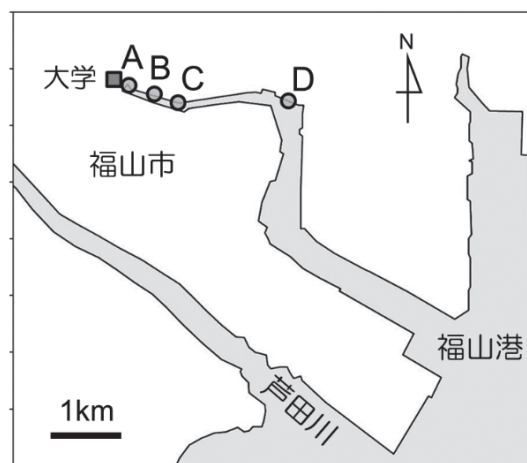


図1. 福山港入江の潮位観測点

図中●印の点A,B,Cは本研究で設置した潮位観測点であり、点Dは広島県港湾漁港整備課の潮位測定局である。また、図中の■印は気象観測を実施した福山市立大学を示す。

図2は、福山市立大学で得られた気象観測値とともに、本研究で観測された潮位変化の一例として点Bの潮位観測値を示す。潮位観測値には1日以下の周期帯で振動する海洋潮汐が明瞭に現れている。点A、C、Dの潮位変化は点Bとほぼ一致しており、点Bとの相関係数はいずれも0.99を上回っている。入江最奥部の海面は、最大4m程度の変動幅でほぼ一様な上

下動を繰り返していることになる。

大気圧は1000～1025hPaで変化しており、2021年9月17日には四国北部を東進した台風2114号によって10時間で約10hPaの気圧低下が生じた。風向・風速変化の観測が実施された2021年9月21日以降の観測期間中の最大風速は約6m/sである。風速変化には日中の12時頃に最大となる日変化が現れている。北北西の風が卓越しているが、日中には南西の風や北東の風もみられる。

潮位観測値に含まれる海洋潮汐以外のシグナルを調べるため、潮汐解析プログラムBAYTAP-G (Tamura et al., 1991) を潮位観測値に当てはめて海洋潮汐成分を推定し、潮位観測値から取り除いた。図3は、こうして得られた潮位残差の周波数特性の一例を示す。周波数特性の計算にはFFTを使用した。1分値である点A～Cの潮位残差に関しては、区間32768データ(約22.8日)を60分ずつ移動させながら複数のスペクトルを求め、それらの平均スペクトルを計算した。一方、点Dの潮位残差は5分値であり、点Dの周波数特性を調べる際には、区間8192データ(約28.4日)を80分ずつ移動させて求めた複数のスペクトルを平均した。

図3にみられるように、潮位残差のスペクトルには、24、12、8時間等、24時間を整数で除した値の周期付近に鋭いピークが現れている。これらは取り除ききれなかった海洋潮汐を表している。また、0.7時間(約42分)および0.2時間(約13分)の周期付近に幅広いピークがみられる。これらのピークは他の潮位観測点でも確認できる。表1は、各観測点のスペクトルにおいて、1時間以下または20分以下の短周期側に現れる最大のピークの周期と振幅をまとめたものである。いずれの観測点においても周期41分前後のピークが現れており、その振幅は入江奥に向かうほど大きくなっている。また、点A～Cでは、20分以下の周期帯の中で周期12分前後にもピークがみられ、これらの振幅も入江奥に向かうほど大きくなっている。なお、点Dに関しては、潮位観測値が5分値であることから、周期20分以下の周波数特性は確認できなかった。以上のことから、福山港入江内の海域では周期約41分および12分付近の潮位変化が励起

されていることが推察される。

図4は、点Bの潮位残差にローパス・フィルタを適用して、周期1時間以下の短周期成分のみを抽出した結果である。副振動は、常時、0.01mオーダの大きさで現れているが、特に台風2114号が接近した2021年9月17日頃には0.4m弱の振幅まで励起されていたことがわかる。

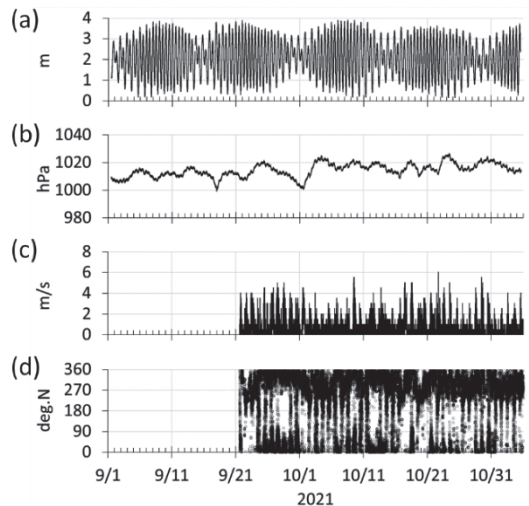


図2. 福山港入江の潮位観測値および気象観測値

(a)点Bで観測された潮位変化, および, 福山市立大学で観測された(b)気圧変化, (c)風速変化, (d)風向変化. 風向の角度は北から時計回りを正とする。

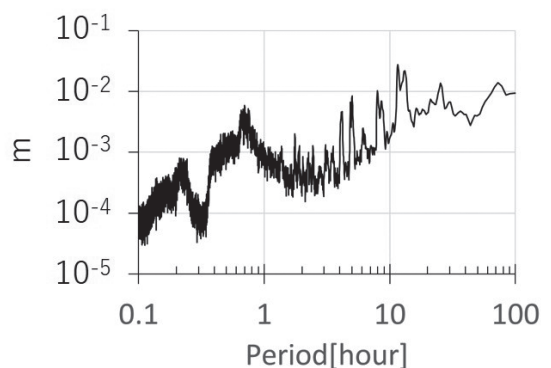


図3. 潮位観測点Bの潮位残差の周波数特性

点Bの潮位観測値から海洋潮汐成分を取り除いたのちの潮位残差にFFTを当てはめて求めた周波数特性。

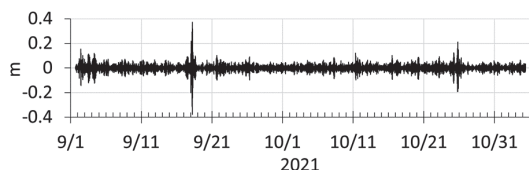


図4. 潮位観測点Bで観測された副振動

点Bの潮位観測値から海洋潮汐成分を取り除いたのちの潮位残差にローパス・フィルタを適用して周期1時間以下の短周期成分を抽出した結果。

表1 福山港入江で観測された副振動の周期(分)と振幅(mm)

副振動①は1時間以下の短周期帯に現れる最大のピークに対応し、副振動②は20分以下の短周期帯に現れる最大のピークを示す。

点	副振動①		副振動②	
	周期	振幅	周期	振幅
A	41.9	5.9	12.7	0.8
B	40.6	4.6	13.6	0.4
C	41.9	4.5	9.0	0.3
D	41.9	4.5	—	—

### 3 副振動の数値計算

図3および表1の周波数特性に現れたピークが副振動によるものであることを確認するため、柿沼他(2009)の計算方法を参考にして福山港入江内の潮位変化のシミュレーションを行った。この計算方法は、様々な平面形状および静水深分布を有する湾を対象に、非線形浅水方程式系に基づく数値モデルを適用して、規則波が入射する場合の湾の応答特性を計算するものである。図5は、シミュレーションで用いた福山港入江の水深分布を示している。日本水路協会の海底地形デジタルデータによると、瀬戸内海に面した福山港付近の水深は約15mである。また、現時点で入江内の水深データは入手できておらず、シミュレーションに必要な水深分布は不明であるが、点D付近の水深が5m程度であることはわかっている。そこで本研究では、点C付近の水深を3mとし、水深15mの福山港から入江に沿って一様な傾斜で海底面

が傾いていると仮定した。なお、点Cから入江最奥部までは、一様な水深3mとしている。

シミュレーションで使用した格子点間隔は10mであり、各格子点の潮位変化は非線形浅水方程式を用いて0.0125秒の時間ステップで計算した。この方程式で使用する重力加速度、水平拡散係数および海底摩擦係数は、それぞれ柿沼他(2009)と同じ $9.8\text{m/s}^2$ 、 $3.0\text{m}^2/\text{s}$ および0.0026とした。また、境界条件として、海岸線上の格子点において、海岸線に直交する流速がゼロになるようにした。

振動源は図5の縦軸0kmの海域であり、その格子点に振動波形を与えた。この振動波形は計34種類の三角関数の合成波形であり、各三角関数の振動数は0.5cph(周期2時間)から約0.167cph刻みで最大6.0cph(周期10分)までとした。図6(a)は、本研究で用いた振動波形を示す。振動源では常にこの振動波形の潮位変化が生ずることとし、非線形浅水方程式を用いた数値計算を実施した。図6(b)は、点B近傍の格子点で得られた潮位変化の計算結果を示す。

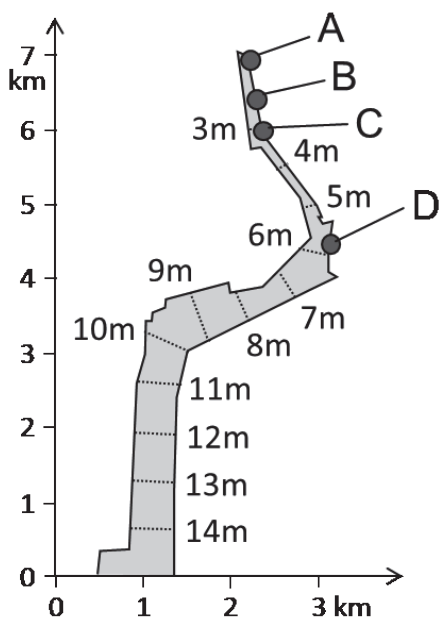


図5. 数値計算で用いた福山港入江の水深分布

図中の数値は水深を表す。●印は点A～Dの配置を示す。

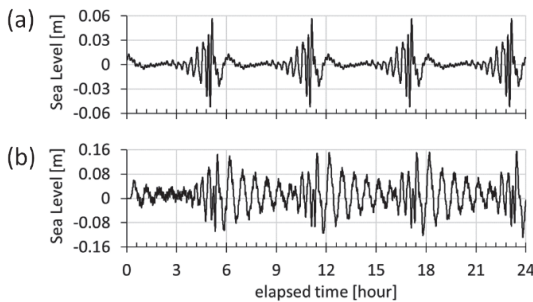


図6. 振動源および潮位観測点Bの潮位変化  
(a)振動源に与えた振動波形, (b)点B近傍の格子点における潮位変化の計算値.

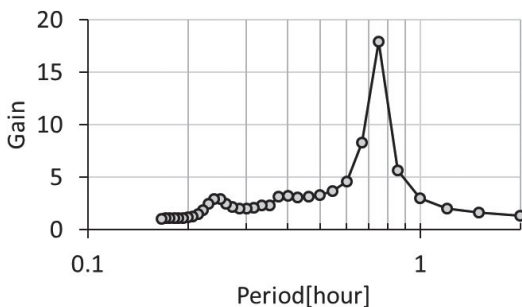


図7. 潮位観測点Bにおける潮位変化の増幅率

数値計算で得られた各格子点における潮位変化の1秒値にFFTを適用して周波数特性を調べた. 図7は, 潮位変化の振幅を振動源の振幅で除して潮位変化の増幅率を計算した結果の一例である. 周期45分で潮位変化の増幅が最も大きく, その増幅率は約18倍であった. また, 周期14分付近にも増幅率のピークがみられ, その増幅率は約3.0倍である. これらの周期は図3や表1に現れたピークの周期に近く, 観測されたこれらのシグナルはいずれも副振動を表していると考えられる.

図7は点B近傍の格子点における計算結果であるが, 他の3か所の潮位観測点近傍の格子点においても同様な増幅率の特徴が得られている. 表2は, 各潮位観測点近傍の潮位変化の計算結果に基づいて, 2種類の副振動の周期および増幅率をまとめた結果である.

最大の増幅率をもたらす副振動は, いずれの潮位

観測点においても周期45分に現れており, その増幅率は入江奥に向かうほど大きくなっている. 一定水深の長方形湾内に生ずる副振動の周期は解析的に求めることができ, 水深10m, 長さ8.5kmの場合, その周期は56.5分となる(例えば, 尾島他, 1987). 本研究で観測された周期41分付近の副振動および数値計算から得られた周期45分の副振動はこの振動モードに近く, 福山港に節をもち福山港入江全体を1/4波長とするような固有振動によるものと考えられる.

一方, シミュレーションから得られた周期20分以下の副振動は, 点Cが若干異なるものの, 大部分が周期14.4分に現れている. これは周期12分前後で観測された副振動に対応していると考えられる(表1). 増幅率の計算値は, 点A~Cに関しては, 入江奥に向かうほど大きくなっており, この特徴も観測された副振動と定性的に一致している. 入江最奥部から最も遠い点Dでは周期20分以下の副振動が観測できていないが, シミュレーションによると点Cよりも大きな増幅率を示す. 図1にみられるように, 福山港入江は点D付近で約90°折れ曲がっており, 点Dより奥側の長さ2.5kmの入江が閉鎖的な長方形の海域ととらえることもできる. 水深4m, 長さ2.5kmの長方形水域を考えたとき, 中央に節をもつ1/2波長の振動モードでは, 周期13.3分の振動が現れる. この周期は表1および表2に示す副振動②の観測結果および計算結果に近い. したがって, 入江最奥部から伸びた長さ2.5kmの長方形海域で共鳴した海面変動が周期20分以下に出現しているものと推察される.

表2 福山港入江内で予測される副振動の周期(分)と増幅率の計算値

副振動①は1時間以下の周期帯に現れる最大のピークであり, 副振動②は20分以下の周期帯に現れる最大のピークを示す.

点	副振動①		副振動②	
	周期	振幅	周期	振幅
A	45.0	18.4	14.4	3.9
B	45.0	17.9	14.4	3.0
C	45.0	16.9	15.0	1.7
D	45.0	12.6	14.4	2.5



#### 4 福山港入江内における津波伝播の数値計算

前章のシミュレーションは観測された副振動をおおむね再現することができており、これを用いることによって福山港入江内の潮位変化をある程度精度に予測することができるものと考えられる。そこで、本研究では、南海トラフ地震発生時の津波による福山港入江内の潮位変化をシミュレーションした。

図5の縦軸0km地点に与える振動源の振動波形として、海上保安庁が公開している福山港沖合3km地点における地震発生後の潮位変化を用いた。図8は、シミュレーションによって得られた南海トラフ発生後の点B近傍の潮位変化を示している。

福山港沖合3km地点では、地震発生約4.8時間後に最初の大きな潮位変化が現れ、その海面上昇量は約1.3mである。一方、点B近傍では、最初の大きな潮位変化は地震発生約4.9時間後であり、振動源に対して10分弱の遅れがみられる。その海面上昇量は2.5mであり、福山港に到達した津波が約2倍に増幅されることがわかる。図8に示した振動源の潮位変化には、周期1時間前後の変化成分が卓越している。副振動のシミュレーションから得られた図7をみると、周期60分の増幅率は約3倍である。したがって、福山港入江内の津波の増幅は入江の地形的な効果によるものと言える。

表3は、シミュレーション結果に基づいて津波による海面上昇の最大値およびその発生時間をまとめたものである。振動源では地震発生約5.87時間後に最大の潮位上昇1.36mが現れるのに対して、入江内部の点A～Dでは、4～7分遅れで最大2.31～2.76mの潮位上昇が現れている。その発生時間は入江奥に進むほど遅く、潮位上昇量は大きくなっている。閉鎖的な海岸線に囲まれた入江内に侵入した津波が入江奥で行き場を失って重なり合い、増幅している様子が伺える。

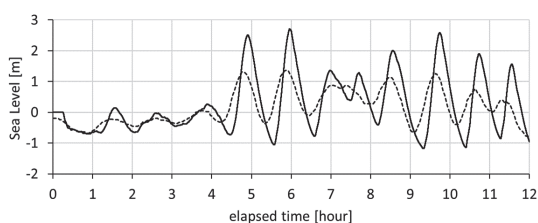


図8. 福山港入江における津波シミュレーション  
実線は点B近傍の格子点における潮位変化の計算結果であり、点線は振動源として与えた福山港沖合3km地点における地震発生後の潮位変化を示す。

表3 津波伝播時の最大潮位上昇量およびその発生時間  
Srcは海上保安庁が計算した福山港沖合3km地点を示す。発生時間は地震発生からの経過時間である。

観測点	最大上昇量 [m]	発生時間 [hour]
A	2.76	5.98
B	2.71	5.96
C	2.64	5.96
D	2.31	5.93
Src	1.36	5.87

#### 5 考察

前章のシミュレーション結果によると、南海トラフ地震発生後、福山港に到来した最大1.36mの津波は入江内を伝播する過程で増幅され、福山市立大学近傍の入江最奥部で約2倍の2.8m弱に増大することが推測された。点A～Cが位置する福山港入江の護岸堤防は、北側で約4.0m、南側で約3.5mの高さとなっており、地震動や液状化等による堤防破壊がなければ、シミュレーション通りの津波が侵入したとしても堤防を乗り越えて浸水が広がることはないように思える。しかし、こうした津波に加えて、さらに海面を上昇させる要因がいくつか存在する。

ひとつ目は海洋潮汐である。海上保安庁が推定した津波による潮位変化には、海洋潮汐を含む定常時の海面高を基準としている。第2章で推定された海洋潮汐成分では、観測期間中、点A～Dで最大1.76～1.79mの海面上昇が現れた。したがって、満潮時

においては、福山港入江の津波の高さは本研究の推定値2.3～2.8mに、海洋潮汐による1.8m弱の海面上昇を加えた4.1～4.6mとなることが予想される。この値は福山港入江最奥部の南側に設置された護岸堤防の高さを上回っており、南海トラフ地震による津波到達が満潮時と重なると、護岸堤防を越えて海水が流れ込む危険性があると言える。

また、気象条件によっては、高潮の原因となる吸い上げ効果や吹き寄せ効果が加わり、潮位をより高めることになる。向井(投稿中)は潮位観測値に基づいて福山港入江の吸い上げ効果や吹き寄せ効果を調べており、表4および表5に示す応答特性が得られている。気圧低下に伴う海面上昇を表す吸い上げ効果では、1hPaの気圧低下によって約1時間後に約0.01mの潮位上昇が現れることになる(表4)。また、吹き寄せ効果による海面上昇はN79°～101°を風上とする東風によって生じており、東風が1m/s強まると、1～2時間後に海面が約0.1m上昇する(表5)。これらのことは、気圧低下が大きいほど、また東風

表4 吸い上げ効果の応答係数および応答の遅れ

応答の遅れは、気圧変化に対する潮位変化の遅れを示す。

観測点	応答係数 [m/hPa]	応答の遅れ [hour]
A	-0.013	0.8
B	-0.013	1.1
C	-0.013	1.2
D	-0.015	1.2

表5 吹き寄せ効果の方位、応答係数および応答の遅れ

方位は、最大の吹き寄せ効果をもたらす風上の方向であり、北から時計回りを正とする角度で表している。応答の遅れは、「方位」方向の風速成分の変化に対する潮位変化の遅れを示す。

観測点	方位 [°]	応答係数 [m/(m/s) <sup>2</sup> ]	応答の遅れ [hour]
A	079	+0.17	1.7
B	085	+0.14	1.7
C	101	+0.10	0.9
D	083	+0.14	1.9

が強まるほど、福山港入江の海面が高く上昇することを意味する。

1992～2021年の30年間に福山特別地域気象観測所で得られた気象観測値を用いて、福山港入江の吸い上げ効果および吹き寄せ効果を推定したとき、それらの最大値はそれぞれ0.52～0.61mおよび1.44～2.65mと推測された。ただし、この見積もりに使用した気象観測値は福山市松永町に位置する観測点で得られたものであり、必ずしも福山港入江周辺の気象状況を反映しているとは限らない。

気圧変化に関しては、本研究で得られた気圧観測値と福山特別地域気象観測所の観測値はよい一致を示しており、両者間の相関係数は0.99以上である。しかし、風向・風速に関しては、両者の食い違いがある程度みられる。例えば、N90°方向の風速変化のうち、周期1.2日以上の中周期成分を比較したとき、両者間の相関係数は0.8に留まっており、最大風速は福山市立大学で0.3m/s、福山特別地域気象観測所で1.1m/sであった。一般に福山市立大学の方がやや弱い風速となっており、その大きさは福山特別地域気象観測所の約3割である。吹き寄せ効果が風速の二乗に比例することを考えると、過去30年間の風向・風速観測値から推測された吹き寄せ効果の最大値は、上記の0.09倍である0.13～0.24mとなる可能性がある。

副振動も海面上昇を加算する要因となりうる。副振動は台風接近時のような荒れた天候で波が高い状況下で発達する。台風接近時は大幅な気圧低下や風速増大をもたらす、顕著な吸い上げ効果や吹き寄せ効果と同時に副振動の発達が生じる可能性もある。本研究では台風2114号の接近による副振動の発達が観測されており、そのときの副振動による海面上昇の最大値は0.26～0.37mであった。

表6は、点A～Dで南海トラフ地震発生後に予測される最大の海面上昇量をまとめた結果である。なお、満潮時や副振動発達時の海面上昇量は、本研究の観測期間中に得られた最大値を当てはめた。福山港入江での津波の増幅に加え、満潮時の海面上昇量、吸い上げ効果、吹き寄せ効果、副振動を合わせると、5.4～5.7mとなる。しかも、吸い上げ効果や吹き寄

せ効果、副振動といった気象要因がない場合であっても、満潮時と重なることで4 m以上もの海面上昇が生じる可能性があることに注意する必要がある。最悪の事態を想定し、福山内港地域の津波対策を進める必要があると言える。

なお、本研究のシミュレーションでは、入江内の海底地形として実際の地形ではなく、図5に示す仮の単純な傾斜形状を使用しており、実際の潮位変化を正確に予測できていない可能性がある。今後、入江内の海底地形に関する情報を収集し、より正確なシミュレーションを行うことで、津波波形の増幅が図8や表3に示すような結果になるのか検証する必要がある。

また、本研究で検討していない津波被害を拡大させる要因として、液状化現象による地盤沈下や津波による海底洗掘現象が挙げられる。南海地震発生時に岡山県沿岸部では江戸時代以降の干拓地で液状化現象を伴う大規模な地盤沈下が発生した(岡山県備前県民局, 2007)。地盤沈下は相対的な海面上昇をもたらし、津波被害を拡大させる。同じ江戸時代以降の干拓地である福山平野においても、南海トラフ地震発生時に大規模な地盤沈下が生じることも想定され、護岸堤防の沈下によって海水の流入が容易になる危険性も考えられる。一方、海底洗掘現象は津波によって海底土砂がえぐられる現象であり、その土砂は港湾内に運ばれる。津波とともに海底土砂が入江内に入り込むと、入江内が土砂で埋まり、海底地形が変化することになる。これは、福山港入江の潮位変化に関するシミュレーション結果に重大な影響を及ぼすことになるため、今後、より詳しく影響を検証する必要があると言える。

表6 地震発生後の海面上昇の最大値(m)の推定

観測点	A	B	C	D
津波	2.76	2.71	2.64	2.31
満潮	1.78	1.79	1.76	1.78
吸い上げ	0.52	0.53	0.52	0.61
吹き寄せ	0.24	0.18	0.13	0.18
副振動	0.37	0.35	0.32	0.26
計	5.67	5.56	5.37	5.14

## 6 まとめ

南海トラフ地震発生時、福山港入江には瀬戸内海から津波が伝播してくる。福山港沖合では、通常潮位より最大1.4m弱の海面上昇が生じると予測されている。本研究では、非線形浅水方程式を用いた数値シミュレーションによって、津波伝播に伴う福山港入江の潮位変化を計算した。シミュレーション方法の妥当性は、観測された副振動が再現できることによって確認した。この津波シミュレーションでは、福山港入江に侵入した津波が最大2.8mまで増幅する結果が得られた。津波の到達が満潮時と重なった場合、満潮による約1.8mの海面上昇と合わせて、平均海水面からの海面の高さが最大4.6m程度に達すると考えられる。この値は福山港入江最奥部の護岸堤防の高さを超えている。また、気象状況によっては、吸い上げ効果や吹き寄せ効果、副振動が強まり、さらに最大1 m程度の海面上昇が加わることも想定される。地震動による堤防破壊がない場合であっても、福山内港地域へ津波が侵入する危険性があり、この状況を考慮した津波対策を進める必要があると言える。

## 謝辞

本研究は2021年度教員研究費(重点)「福山内港地域の津波被害に及ぼす地形的および局地気象学的な影響の解明」を用いて行った。また、福山港入江内の潮位観測を実施するにあたり、広島県東部建設事務所港湾課よりご指導をいただくとともに、広島県土木建築局河川課の潮位測定値を使用させていただいた。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- 岡山県備前県民局, 2007, 岡山県南部における南海地震の記録-一昭和南海地震・安政南海地震一, p.10-11.
- 内閣府, 2012A, 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について, 資料1-2都府県別市町村別最大津波高一覧表<満潮位>,



- [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1\\_2.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1_2.pdf) (2022年9月1日閲覧)
- 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ, 2011, 東北地方太平洋沖地震津波情報, <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/8737626/www.coastal.jp/ttjt/> (2022年9月1日閲覧)
- 海上保安庁, 津波防災情報 福山港, [https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAIYO/tsunami/6/06\\_FUKUYAMA/index.html](https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAIYO/tsunami/6/06_FUKUYAMA/index.html) (2022年9月1日閲覧)
- 内閣府, 2012B, 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)について, 資料1-1南海トラフの巨大地震による津波高・震度分布等, [https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1\\_1.pdf](https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1_1.pdf) (2022年9月1日閲覧)
- 広島地方気象台, 2004, 平成16年(2004年)台風第18号に関する広島県内の気象速報, <https://www.jma-net.go.jp/hiroshima/siryo/saigai/t0418sokuhou.pdf> (2022年9月1日閲覧)
- 仲井圭二・橋本典明・額田恭史, 2016, 全国沿岸における副振動の広域的出現特性, 土木学会論文集. B3, 海洋開発, 72(2), pp.318-323.
- 広島県土木建築局河川課: 広島県河川防災情報システム, <https://www.kasen-bousai.pref.hiroshima.lg.jp/rivercontents/> (2022年9月1日閲覧)
- Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe and M. Ishiguro (1991): A procedure for tidal analysis with a bayesian information criterion. *Geophys. J. Int.*, 104, pp.507-516.
- 柿沼太郎・豊福大志・井上太介, 2009, 様々な形状の湾における湾水振動の数値解析, 土木学会論文集B2(海岸工学), B2-65(1), pp.216-220.
- 尾島勝・常松芳昭・柿沼忠男・名合宏之・斎藤隆・余越誠一郎・鈴木幸一, 1987, 水理学 I, 朝倉書店, p.196-197.
- 向井厚志, (投稿中), 福山港入江の海面変動に及ぼす局地気象学的な影響, 土木学会論文集B2(海岸工学).

# Factors on the Expansion of Tsunami Disaster in the Fukuyama Inner Harbor Area

Atsushi MUKAI, Yukihiro TSUTSUMI, Hiromu ISHIO, Yuki SAWADA, Nobuaki KATO, Makoto YOKOYAMA

## Abstract

The Fukuyama inner harbor area is located around the Fukuyama Port Inlet that connects to the Seto Inland Sea. This area has some risk of natural disasters from the ocean. The Nankai Trough Earthquake is predicted to cause a sea level rise of 1.4 meter in the offshore area of Fukuyama Port due to tsunami. We calculated the tsunami propagation in the inlet and showed that the tsunami would be amplified up to 2.8m in maximum height. If the tsunami would approach in full tide, the sea level could rise by about 4.6 meter. In addition to that, the secondary undulation, the inverse barometer and wind-drift effects could cause an additional rise of sea level by 1 meter. Nevertheless, a part of the embankment around the inlet is about 3.5 m high. Therefore, there is a risk of tsunami intrusion into the Fukuyama plain, even if the embankment would not be damaged by severe seismic motions.

Keywords : Fukuyama inner harbor area, Nankai Trough Earthquake, tsunami, numerical simulation

DOI : 10.15096 / UrbanManagement.1511