

瀬戸内海四国沿岸域における津波の周期特性について

Characteristic period of Tsunami in Seto Inland Sea

久保 喬¹・村上仁士²・上月康則³

Takashi KUBO, Hitoshi MURAKAMI and Yasunori KOZUKI

It is very important for tsunami disaster prevention in the coastal area of Shikoku Island to clarify a mechanism of tsunami propagation in the Seto Inland Sea. Especially, a resonance of tsunami is a dominant factor in such a narrow inland sea. In this study, numerical simulation of tsunami propagation is executed to estimate tsunami height and characteristic period in the Seto Inland Sea. According to the numerical analysis, a tsunami height does not decline during about 10 hours and a characteristic period of Harima-nada is about 60 minutes. The tsunami continued to be resonated for more than 20 hours in the Seto Inland Sea.

1. 緒 論

平成 18 年 12 月, 中央防災会議において四国 4 県全域が東南海・南海地震防災対策推進地域として指定され, 主として多大な被害が懸念されている太平洋に面した沿岸域において津波対策が進められている. 一方, 複雑な水域(灘)からなる瀬戸内海沿岸域における津波の挙動については, 宮本ら(2006)により津波挙動に及ぼす潮汐等の影響について明らかにされているものの, 未だ不明な点が多い. とくに瀬戸内海各灘における固有周期については, 津波防災において重要な影響因子であるにもかかわらず, その実態は明らかにされていない. そこで, 本研究では, 瀬戸内海における津波の応答特性と津波高を増幅させる要因を数値計算により明らかにすることで, 瀬戸内海各水域における津波の周期特性を詳細に把握することを目的とする. なお本研究では, 伊予灘から播磨灘における瀬戸内海内部の水域を瀬戸内水域と呼ぶことにする.

2. 津波伝播計算の概要

計算対象領域として, 図-1 に示すような千葉県以西の西日本が含まれる領域(以下, 計算領域 No. 1 と呼ぶ)と, 瀬戸内海を含む四国周辺海域を詳細に表現した領域(以下, 計算領域 No. 2 と呼ぶ)を設定した. 計算格子間隔は, 計算領域 No. 1 は 1350 m, 計算領域 No. 2 は 450 m とした. 津波伝播計算は非線形長波理論式をスタッガード・リーブフロッグ差分法で解析することにより行った. 計算条件としては, 陸域において完全反射条件を設定し, 計算対象時間は 20 時間, 計算時間間隔は 0.6 秒, 初期計算潮位は T.P.±0.0 m とした. 本研究

では安政南海地震津波と東南海・南海地震津波を検討対象とし, 前者には相田(1981)のモデル(安政南海: No. 20, 以下, 安政モデルと略称する), 後者には中央防災

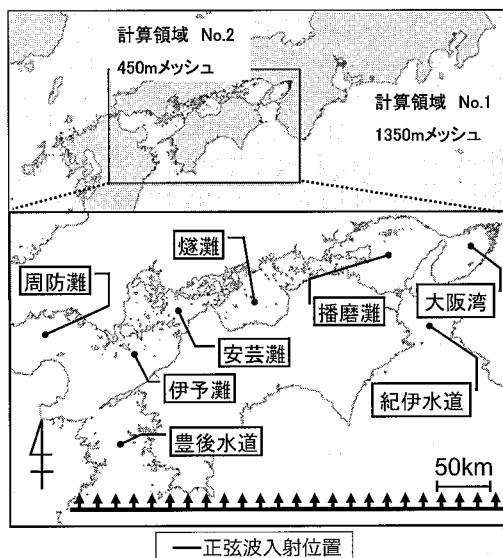


図-1 計算対象領域(上図), 各水域名および入射位置(下図)

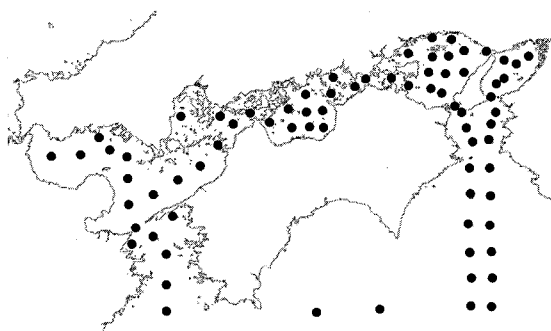


図-2 計算結果の評価点位置

1 正 会 員 修(工) 四国建設コンサルタント株式会社
2 フェロー 工博 徳島大学環境防災研究センター 客員教授
3 正 会 員 博(工) 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 教授

会議による想定東南海・南海地震津波モデル（以下、中防モデルと略称する）を用いた数値実験を実施した。さらに、瀬戸内海各水域における津波の周期特性を明らかにするため、さまざまな周期と振幅を与える正弦波モデルによる数値実験を実施した。

3. 瀬戸内海における津波高と減衰時間

安政モデルと中防モデルにより求めた瀬戸内水域での津波高の時間変化を図-3に示す。瀬戸内海の津波の特性を把握するには、平面的かつ閉鎖的に出入りが多い湾からなる灘と呼ばれる水域ごとの津波の特性を明らかにすることが重要である。

図-3(i)から(vi)までに示した各水域における津波高とその減衰時間を比較する。図-3によると、伊予灘から備後灘にかけての海域では、海面水位が津波により地震発生直後から最大で約50～60 cm上昇していることがわかる。また、同海域において、津波高が最大となるのは津波発生約8～10時間後である。最も津波高が大きくなった海域は備讃灘と播磨灘であり、津波高の最大値はいずれも約0.7 mである。津波高が0.2 m以下となるまでの時間は、津波発生後、伊予灘で約15～16時間、斎灘で約14～15時間、燧灘で約14～15時間、備後灘で約14～15時間、備讃瀬戸で約15～16時間、播磨灘で約16～17時間ある。この様に、瀬戸内海各水域において津波高の最大値や減衰時間は異なるものの、おおむねすべての水域において津波による海面上昇が長時間継続し、播磨灘のように津波高が大きく変動する海域

も認められる。これは、瀬戸内海の東西の両水道から進入した津波が閉鎖的な水域内に閉じ込められていると考えられ、瀬戸内海における1日2回潮に伴う潮流最強時と重なると港湾等に想定以上の危険が生じる等の問題が懸念される。

そこで津波の減衰時間を検討するために、地震発生後18時間から20時間における津波の収束性を確認する。図-4(a)に示した豊後水道から紀伊水道にかけての線上における津波高分布を図-4(b)と図-4(c)に示す。図-4(c)より、瀬戸内水域においては、津波発生20時間後には津波高は20 cm以下を示しているが、一部の隣接する水域に津波高の差異が認められ、波動成分が完全に減衰しているとは言えない。したがって、減衰の定義にもよるが、瀬戸内海における津波の減衰時間を議論する際は、20時間以上の時間スケールを考慮する必要があると言える。

4. 瀬戸内海の各水域における応答・周期特性

津波の周期、振幅に対する各水域の応答特性を把握するため、図-1(a)に示した計算領域No. 2において、安政南海地震の波源位置である33°N上のラインから、さまざまな周期と振幅の正弦波を入射させた。入射波の位

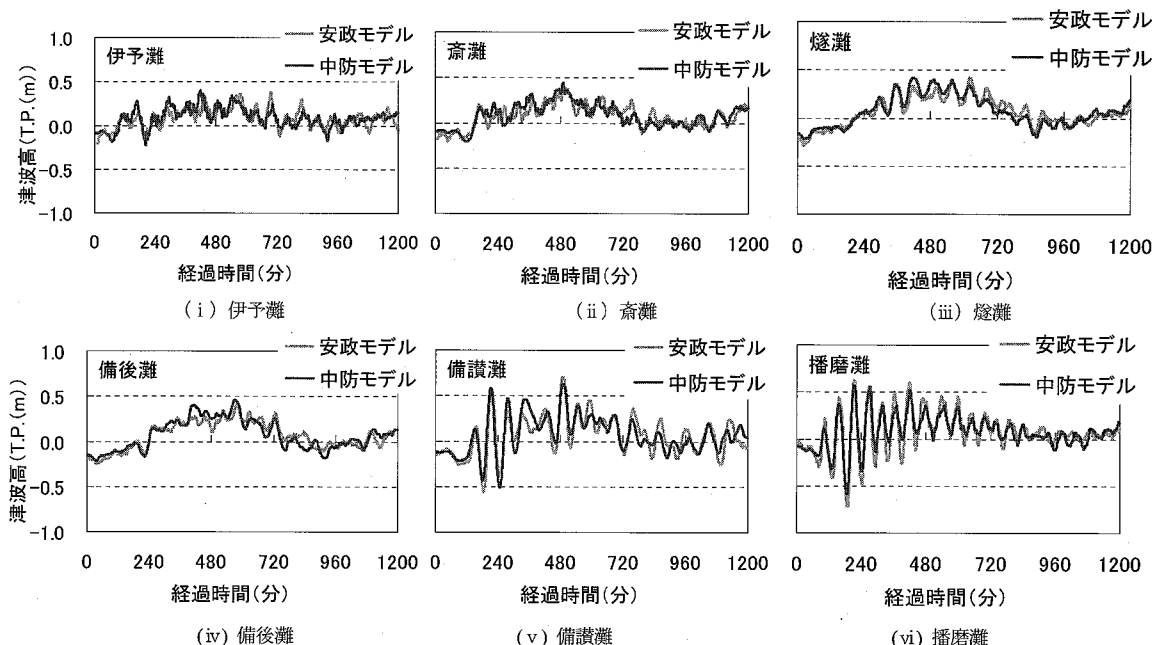
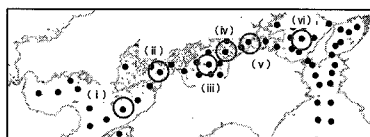


図-3 瀬戸内海における津波高の時間変化

相はライン上で同一とした。入射波の周期は、チリ地震津波において下関で170分の最大津波周期を観測している(1961)ため、周期の最大値を180分とし、10～180分の周期成分波を10分間隔で個別に入射させる18ケースを考え、振幅は、各周期成分について振幅を1, 3, 5 mとする3ケースを考えた。すなわち、ここでは計54ケースの計算を行った。

各水域において最大津波高を示した周期を振幅ごとに図-5に示した。計算結果によると、いずれの振幅においても播磨灘から備後灘までは、周期約60～70分の入射波に対する応答が高かった。この他の海域では、燧灘においては、振幅変化によらず周期180分、斎灘では70分、180分、伊予灘では70分において津波高が最大になった。とくに伊予灘～斎灘にかけては、正弦波の振幅の増加に

伴い、周期70分以上が最大津波高を示しており、周期70分以上の周期成分に注意を要することがわかる。

つぎに津波に対する瀬戸内各水域における周期応答を明らかにするため、図-6に瀬戸内水域における安政モデル、中防モデルにおける各水域の応答のパワースペクトルを示す。ここで、スペクトル解析には、最大エントロピー法を用いた。図-6(a)に示す安政モデルと図-6(b)に示す中防モデルの結果を比較すると、播磨灘から備後灘では両ケースで周期60～70分の周期が大きく応答していることがわかる。そこで、これらの周期成分が各水域の津波高に及ぼす周期特性と考えられる。

豊後水道、紀伊水道、大阪湾における津波の周期特性は、正弦波モデルで検討する場合、入射位置との距離が短いため短周期成分の影響を過大評価する可能性がある。そこで安政モデルと中防モデルを用いて、瀬戸内海への進入経路にあたる豊予海峡・鳴門海峡・明石海峡を数値

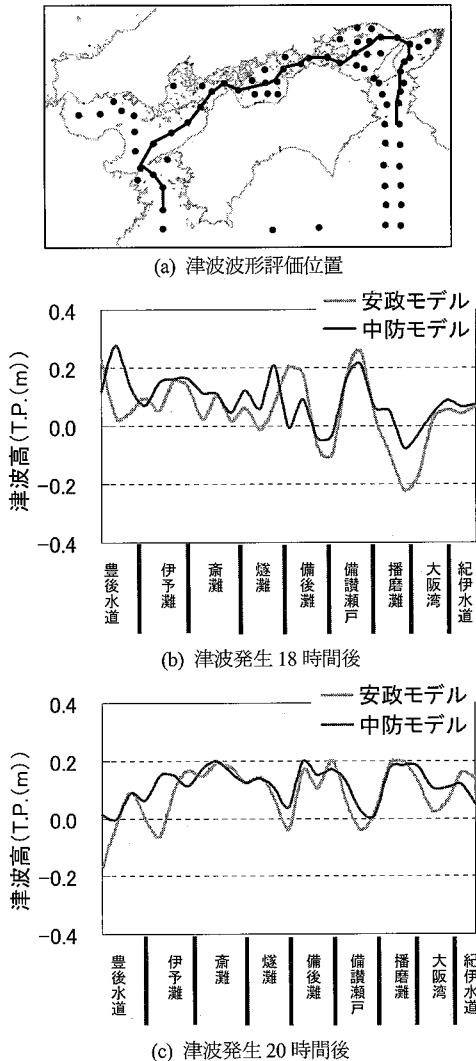


図-4 瀬戸内水域における津波波形分布

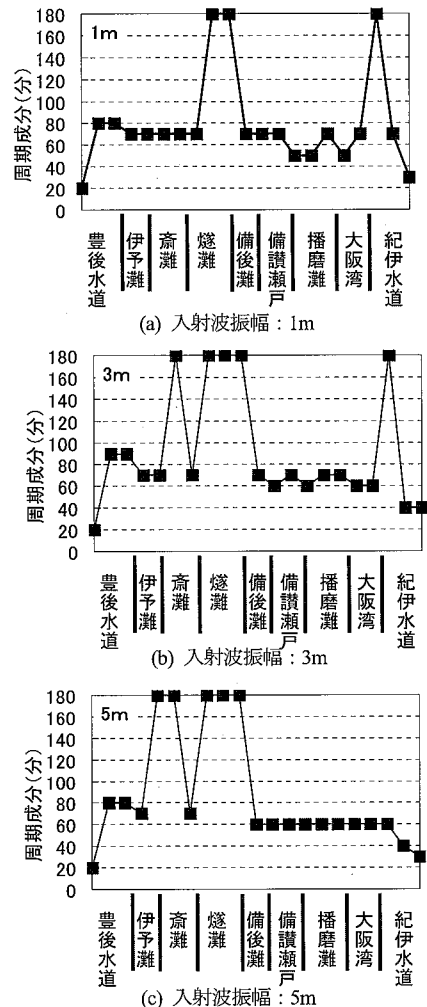


図-5 各海域において津波高が最大となった周期

計算上において閉鎖させ、豊後水道を一つの湾、紀伊水道・大阪湾を一つの湾と仮定して周期の応答特性を検討した。

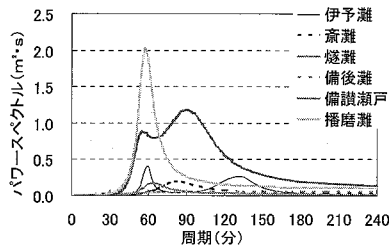
図-7に安政モデル、図-8に中防モデルによる解析結果を示す。安政モデルにおける入射波周期のピークは豊後水道と紀伊水道で約90分であった。図-6の結果によると、図-7(a)の豊予海峡では入射波でピークを示していなかった周期約70分と180分以上にもパワースペクトル

のピークが現れている。図-7(b)と図-7(c)に示した鳴門海峡、明石海峡でも同様に、入射波では卓越していない約50分と150分以上の周期成分にもピークが現れることわかる。これは、各水域がもつ固有周期に類するものによる影響が現れたものと考えられる。図-8に示した中防モデルでは、入射波周期のピークは豊後水道で約80分、紀伊水道で約70分であった。中防モデルにおいても安政モデルと同様に、各水域において入射波の卓越周期と異なる周期成分にもピークが表れており、その周期は安政モデルの結果とおおむね一致している。以上より、豊後水道での津波では、周期60～90分と150分以上、紀伊水道および大阪湾では、周期50～120分と150分以上の周期成分が津波高に影響を及ぼすことがわかった。

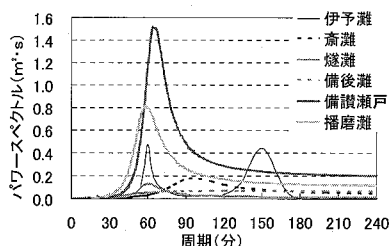
5. 瀬戸内海における津波透過特性

瀬戸内海における津波の進入経路としては豊後水道と紀伊水道がある。ここでは、瀬戸内海の津波における進入経路ごとの影響度について、片方の進入経路を計算上閉鎖する数値実験を行い、評価した。

はじめに豊予海峡を閉鎖し、紀伊水道、大阪湾側から進入する津波成分の影響について検討した。図-9に安政モデルと中防モデルによる豊予海峡を閉鎖したときの、各水域における周期特性を示す。安政モデルと中防モデルにおいて、播磨灘における応答に差異が認められるが、備讃瀬戸までの水域において応答が高く、紀伊水道・大阪側から進入する津波に対しては、備讃瀬戸までの水域

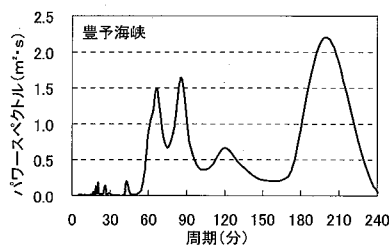


(a) 安政モデル

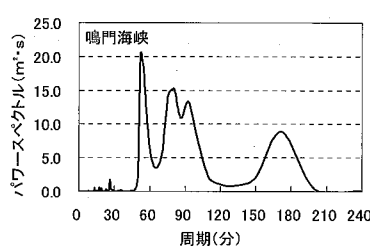


(b) 中防モデル

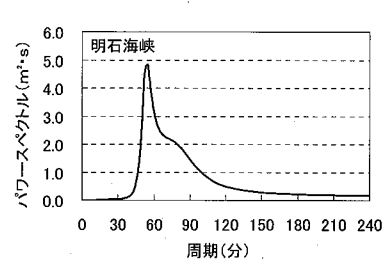
図-6 瀬戸内水域における周期応答



(a) 豊予海峡

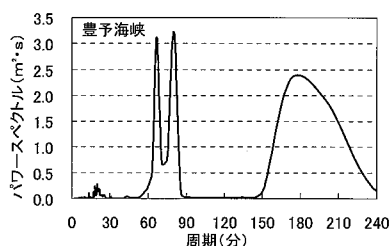


(b) 鳴門海峡

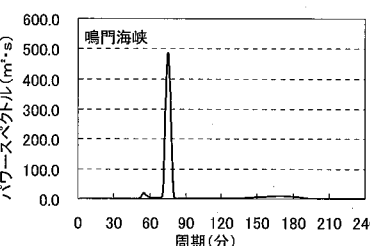


(c) 明石海峡

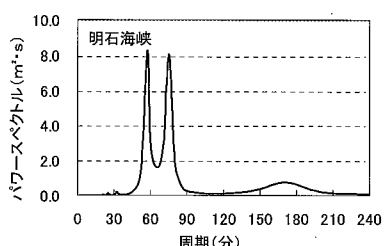
図-7 海峡閉鎖時の応答特性 (安政モデル)



(a) 豊予海峡

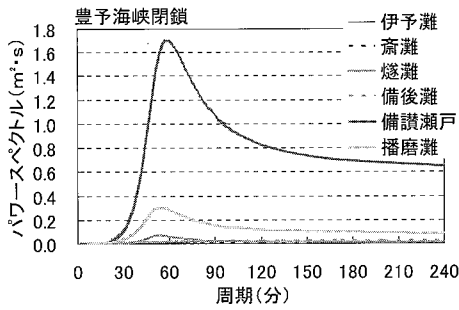


(b) 鳴門海峡

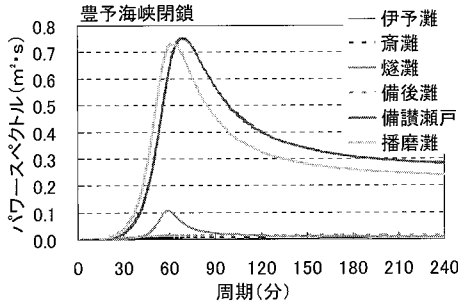


(c) 明石海峡

図-8 海峡閉鎖時の応答特性 (中防モデル)

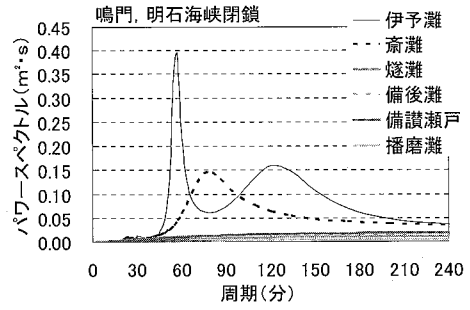


(a) 安政モデル

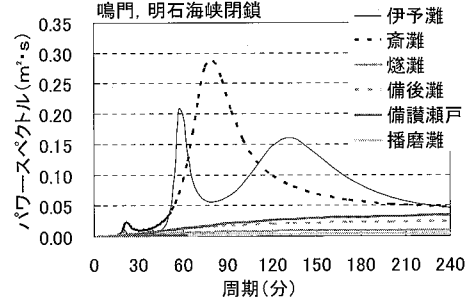


(b) 中防モデル

図-9 紀淡海峡から進入する津波に対する応答



(a) 安政モデル



(b) 中防モデル

図-10 豊後水道から進入する津波に対する応答

が津波高に及ぼす周期特性を有することがわかった。

つぎに、鳴門海峡と明石海峡を閉鎖した場合において豊後水道から進入する津波成分の影響について検討する。図-10に安政モデルと中防モデルによる鳴門・明石海峡閉鎖時の各水域における周期特性を示す。安政モデルと中防モデルによる結果を比較すると、周期成分を有する怪異は同様であり、いずれも斎灘までの水域において応答が高く、西の豊後水道側から進入する津波に対しては、斎灘までの水域が津波高に及ぼす周期特性を有することがわかった。これらを踏まえると、津波の周期特性から見ると瀬戸内海について燧灘を境に大きく東西2つに分けることができ、このような視点からの津波防災の検討が必要であることを示している。

6. 結 論

本研究は、瀬戸内海各水域における津波の津波高、減衰時間、応答特性、周期特性、透過性について、数値計算に基づき解析を行った。ここで得られた主要な結果は以下のとおりである。

- 1) 瀬戸内海における津波高と減衰時間は各水域によって異なり、また、地震発生後20時間においても津波の波動成分は完全に減衰しておらず、瀬戸内海における津波減衰時間に関する議論は、20時間以上の時間スケールを考慮するべきと示唆された。
- 2) 瀬戸内海における各水域が持つ周期特性は、播磨灘

から備後灘までと紀伊水道、大阪湾側においては、津波周期約60～70分までが津波高を局所的に増幅させる周期と考えられる。また、伊予灘から燧灘までは、津波周期60分以上の長周期成分、豊後水道では、周期成分約70～90分、または150分以上が津波高を大きくさせる周期特性と考えられる。

- 3) 瀬戸内水域における津波の応答特性は、播磨灘～備讃瀬戸まで、紀伊水道・大阪湾側から進入してきた津波に対して、伊予灘～斎灘までは豊後水道側から進入した津波に対してそれぞれの水域の周期特性が津波挙動に影響を及ぼしていると考えられる。

謝辞：最後に、本研究では貴重な助言を頂いた(株)アイ・エヌ・エーの宮本大輔氏に謝意を表します。また、本研究は科学研究費基盤研究(C)17510149(代表者：村上仁士)による研究の一部であることを明記し、謝意を表する。

参 考 文 献

- 相田 勇(1981)：南海道沖の津波の数値実験，地震研究所彙報，Vol. 56, pp. 713-730.
- 中央防災会議(2006)：「東南海、南海地震に関する専門調査会」第26回，20p.
- 宮本大輔・村上仁士・上原康則・久保 喬(2006)：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.