

10 m メッシュと 50 m メッシュによる津波シミュレーションの比較 —清水港を例として—[†]

土屋主税^{*1}, 橋本崇史^{*2}, 鈴木充広^{*2}, 山内明彦^{*3}

Comparisons of the tsunami simulation results using 10 m grid and 50 m grid in Shimizu port[†]

Chikara TSUCHIYA^{*1}, Takafumi HASHIMOTO^{*2}, Michihiro SUZUKI^{*2}, and Akihiko YAMAUCHI^{*3}

Abstract

The authors performed tsunami simulations in Shimizu Port, Shizuoka Prefecture, using bathymetric data at 10 m grid and 50 m grid. The two simulation results, assuming the giant Nankai Trough earthquake, show no significant difference in the distribution of maximum tsunami flow speeds and highest water levels for the use of overlooking the tsunami behavior. We carefully examined the areas showing large differences between the simulation results.

1 はじめに

津波の数値計算には、津波の水平スケールに比べて十分小さい地形メッシュサイズと、計算の安定のためのクーラン条件を満たす十分小さい計算時間間隔をとる必要がある。このうち、津波の水平スケールについては、沿岸域や陸上への遡上過程で非常に小さくなると考えられる。陸域での津波の遡上や浸水を現実的に表現するため、津波浸水想定の設定の手引き（国土交通省，2012）では、沿岸域から陸域で 10 m メッシュの使用を推奨している。

沿岸域の津波とメッシュサイズについては、稲垣・他（2001）が、理想的な V 字地形を用いたシミュレーションにより、津波の挙動のメッシュサイズ依存性を確認している。メッシュサイズに依存しないシミュレーションを実現するために

は、メッシュサイズを平均波長の 40 分の 1 程度以下、湾口幅の 5 分の 1 程度以下にすることが望ましいと報告している。

一方、現実的な地形を用いたシミュレーションについてメッシュサイズ細分化の影響を評価した研究は少ない。内閣府の南海トラフ巨大地震のモデル検討会は、10 m メッシュ計算と 50 m メッシュ計算における沿岸の津波高を公表している（内閣府，2012）。そこでは、10 m メッシュ計算の方が高い津波高を示す地域もあれば、50 m メッシュ計算の方が高い津波高を示す地域もあると報告されている。しかし、津波による海域の流速や流向については言及されていない。そのため、海域のハザードマップである海上保安庁の津波防災情報図を活用するうえで、海域の流れのメッシュサイズ依存性を明らかにする必要がある

[†] Received September 18, 2015; Accepted November 12, 2015

*1 環境調査課 Environmental and Oceanographic Research Division

*2 海洋調査課 海洋防災調査室 Geodesy and Geophysics Office, Hydrographic Surveys Division

*3 測量船「拓洋」 Survey Vessel *Takuyo*

る。

津波防災情報図は、通常 50 m メッシュの地形データを用いたシミュレーションにより作成しているが、東海地域の重要な港の一つである清水港については、過去に 10 m メッシュの地形データが作られていた。本稿では、津波に伴う湾内の流れについて、メッシュサイズの異なる 2 つのシミュレーションを比較した結果を報告する。陸に面した領域は複雑な地形を示すため、本稿では立ち入らない。メッシュサイズの違いに着目するため、外部条件をそろえてシミュレーションを行った。

2 数値計算

2.1 計算条件

津波の計算には、海上保安庁で導入している津波解析支援 GIS システムを用いた（細萱・他，2005）。支配方程式は非線形長波方程式である。地震発生から 12 時間にわたり積分計算を行った。対象とする震源断層モデルは、当該区域の津

断層モデル

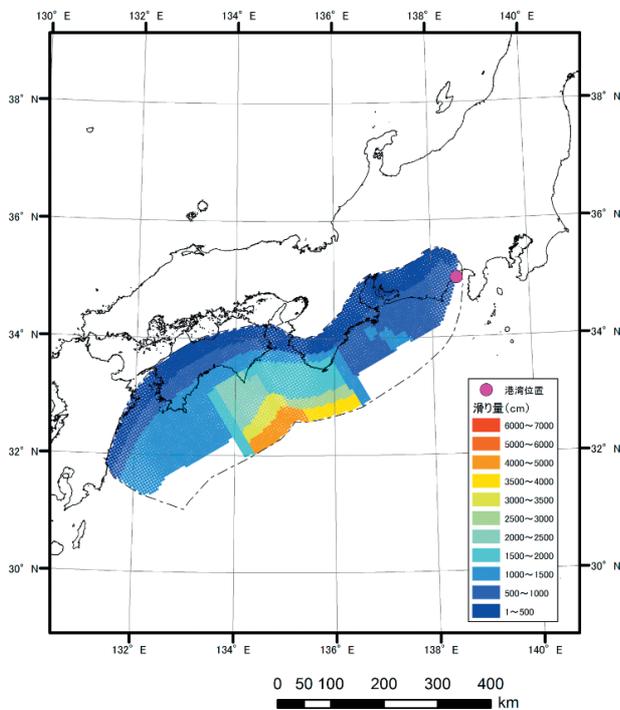


Fig. 1. Slip distribution of the focal region for this study.

図 1. 計算で与えた震源のすべり分布。

波防災情報図でも用いられている、想定南海トラフ巨大地震「ケース⑧（駿河湾～愛知県東部沖と三重県南部～徳島県沖に『大すべり域+超大すべり域』）」（内閣府，2012）を用いた（Fig. 1）。計算の基準面は満潮時水面を用いた。水深データは、ランベルト正角円錐図法に投影し、メッシュ化した。Fig. 2 に赤枠で示すように、メッシュサイズ 4050 m, 1350 m, 450 m, 150 m, 50 m, 10 m の各区域を、沖合から入れ子状に配置した。50 m メッシュの水深値は、同じ緯度経度における 10 m メッシュの水深値を採用した。50 m メッシュと 10 m メッシュの水深値を Fig. 3 に示す。

2.2 計算にかかる時間とデータサイズ

計算に使用した DELL PRECISION T 3600 は、CPU としてクロック数 2.80 GHz の Intel Xeon を搭載している。50 m メッシュの計算は 208 分で終了したのに対し、10 m メッシュの計算には 4220 分を要した。現在の津波防災情報図作成には、計算、解析、図の調整の各手順が必要となるため、計算時間の数倍程度の時間がかかる。津波防災情報図は港湾ごとに作成しており、たとえば、南海トラフ巨大地震を震源として 109 図作成

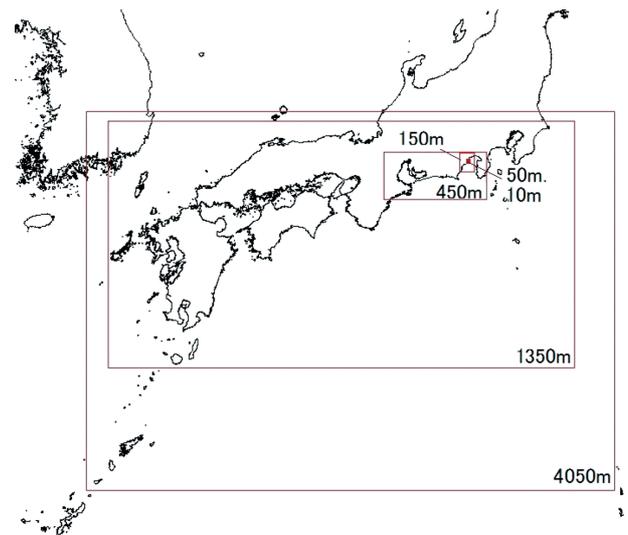


Fig. 2. Distribution of calculation areas with grid size of the topographic model.

図 2. 地形メッシュサイズごとに設定した計算区域の配置。

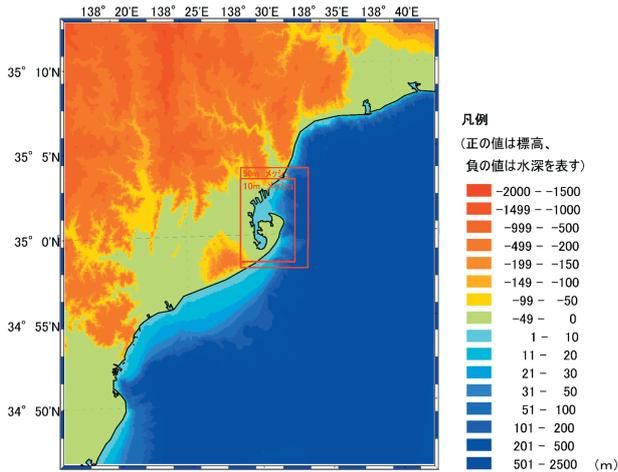


Fig. 3. Distribution of depth in the 50 m and 10 m grid areas.

図3. 地形メッシュサイズ 50 m, 10 m の区域の水深.

している. 10 m メッシュを用いた計算を現在の作業環境で行うには, 計算区域の再検討や解析過程の簡素化など, 計算の高速化の検討が必要である.

また, 計算結果は, スナップショットに対応したファイルなどを csv 形式で書き出している. 50 m メッシュの計算結果は 11.9 GB であったのに対し, 10 m メッシュの計算結果は 192 GB であった. これほどデータ量が大きいと, データを管区海上保安本部に配布するための処理や転送に時間がかかりすぎることが予想されるため (管区海上保安本部でのデータ加工については, 鈴木・他, 2015 を参照), 出力データの形式の変更等の工夫が求められる.

3 結果と考察

3.1 津波の到達のタイミング

Fig. 4 には, 湾内の地点⑥-⑬ (Fig. 5) における, 50 m メッシュ計算 (青線) と 10 m メッシュ計算 (赤線) での水位変動の時系列を示す. Fig. 4 において, 地点⑥-⑬の津波高は, 2 m ずつ下にずらして描いている. まず, 津波の高さに着目すると, それぞれの地点で 10 m メッシュ計算と 50 m メッシュ計算とも約 3 m 上昇していることがわかる. その高さ, 時刻ともに殆ど違いは見られない. 水位がはじめて 2 m に達する時

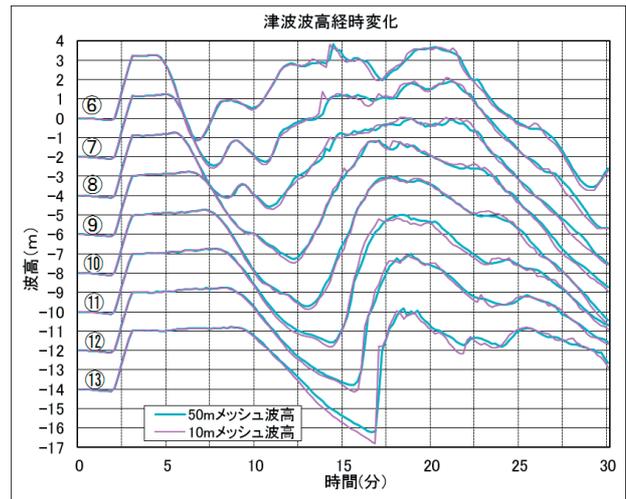


Fig. 4. Time series of water level at ⑥-⑬ from the top. Respective time series are shifted by 2 m.

図4. 水位の時間変化. 上から順に, 地点⑥-⑬の結果を示す. それぞれ 2 m ずつずらしている.

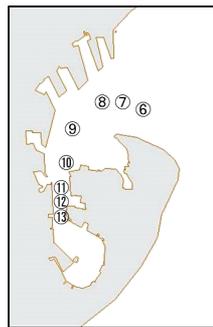


Fig. 5. The locations of ⑥-⑬ for Fig. 4.

図5. 図4における地点⑥-⑬の位置.

刻を比べたところ, 二つの計算で一致していることが確かめられた.

3.2 最大流速の分布

Fig. 6 は, 地震発生から 12 時間に現れた流速の最大値の分布である. 50 m メッシュ計算と 10 m メッシュ計算の最大流速の差は大部分で 1 knot (約 0.5 m/s) 以内であった. 10 m メッシュ計算の流速最大値の空間平均は 4.5 knot (約 2.3 m/s) であったので, これに比べて十分小さな差に収まっている.

最大流速の最も顕著な差は, Fig. 6 の赤枠で囲った湾中央部で見られた. Fig. 7 にこの領域のスナップショットを示す.

計算開始 33 分後, 13 knot (約 6.6 m/s) 以上の非常に強い北向きの流れが港内狭隘域にみられ

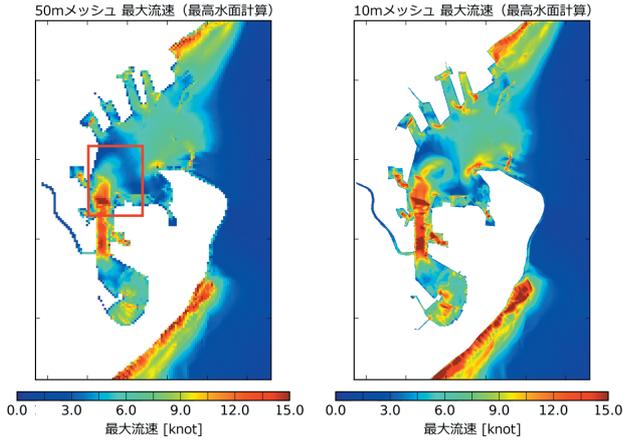


Fig. 6. Maximum flow speed for 50 m grid (left) and 10 m grid (right). The area enclosed by a red square is enlarged in Fig. 7.

図6. 最大流速の分布. 赤枠は, 図7の範囲を示す.

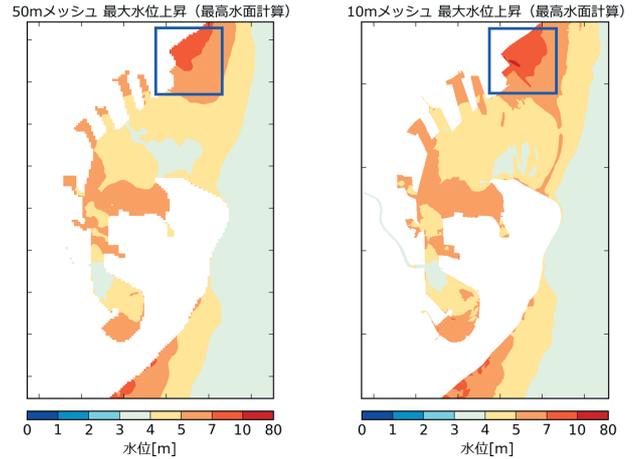


Fig. 8. Maximum water level for 50 m grid (left) and 10 m grid (right). The areas enclosed by blue squares are enlarged in Fig. 9 and 10.

図8. 最大水位上昇の分布. 青枠は, 図9及び図10の範囲を示す.

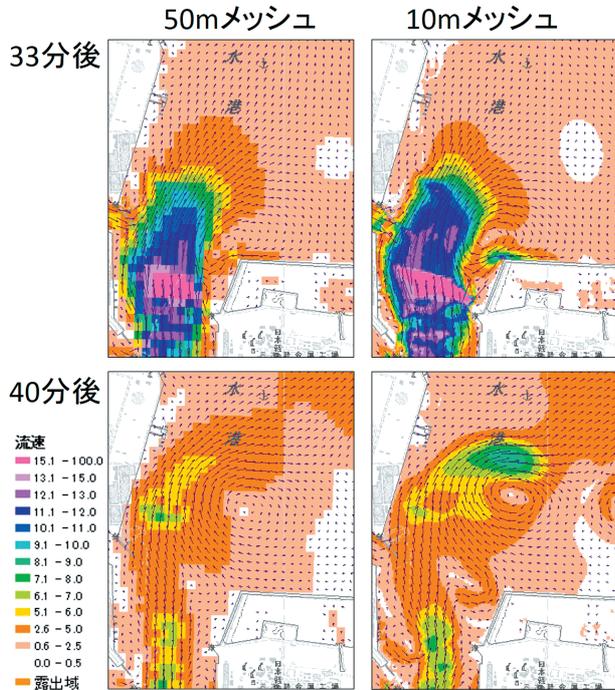


Fig. 7. Snapshots of flow and speed for 50 m grid (left) and 10 m grid (right), for 33 minutes (top) and 40 minutes (bottom) after the calculation start at the central area of the Shimizu port. Each arrow shows the current direction.

図7. 清水港中央部における流速のスナップショット. 矢印の方向は流れの方向を示す.

る (Fig. 7). 計算開始 40 分後には, 強流域は下流に移動し, 小規模な渦を形成している. 10 m メッシュ計算では, 50 m メッシュ計算に比べ, 流速の大きな部分がより下流に移動している. 渦

の北側では最大流速分布に差がみられるが, この領域ではどちらも計算開始 40 分後に渦が現れており, この渦の移動の様子の僅かな違いが最大流速の差の原因であることがわかった.

Fig. 6 赤枠内の港内狭隘域は 50 m メッシュ 10 個の幅で表現されている. この狭隘部より奥は複雑な地形をしているため, 50 m メッシュと 10 m メッシュで津波の流速に違いが現れたと考えられる.

3.3 最大水位上昇の分布

水位上昇の最大値の分布を Fig. 8 に示す. 50 m メッシュ計算と 10 m メッシュ計算の結果は大部分で 0.5 m 以内に収まっていた. 50 m メッシュ計算と 10 m メッシュ計算の最大水位上昇は十分に一致しているといえる.

最大水位上昇の分布に最も顕著な差がみられたのは外洋との接続域である. 10 m メッシュ計算には, 50 m メッシュ計算ではみられない帯状の最大水位上昇極大域がみられる. Fig. 9 と Fig. 10 に, Fig. 8 の青枠で囲った領域を拡大したスナップショットを示す. Fig. 9 中央に, 東に先端をもつ護岸がある. この岸は計算格子に対し約 45 度の角度をなしている. このため, 10 m メッシュではなめらかに表現されているように見えるが,

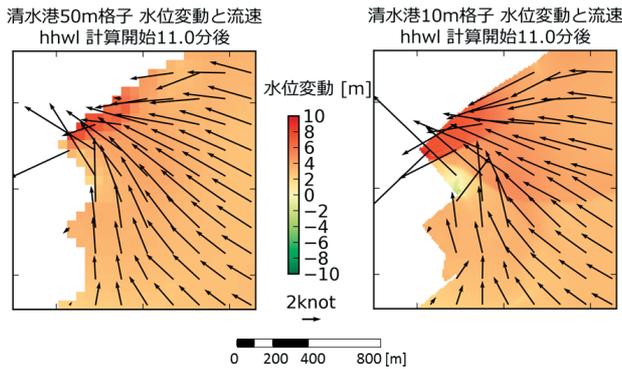


Fig. 9. Snapshots of flow and water level for 50 m (left) grid and 10 m grid (right) for 11.0 minutes after the calculation start at the north-eastern area of the Shimizu port. Each arrow shows the current direction.

図9. 清水港北東部における流速（矢印）と水位（カラーコンター）の計算開始11.0分後のスナップショット。矢印の方向は流れの方向を示す。

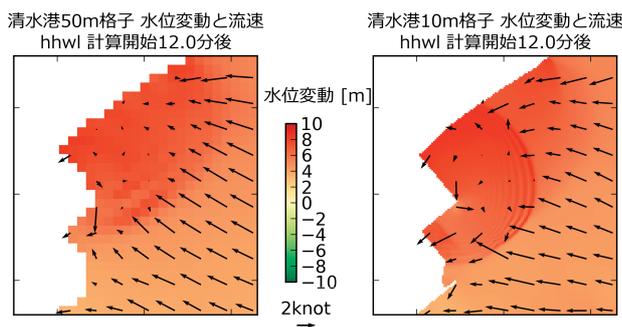


Fig. 10. Snapshots of flow and water level for (left) 50 m grid and (right) 10 m grid for 12.0 minutes and after the calculation start at the north-eastern area of the Shimizu port. Each arrow shows the current direction.

図10. 清水港北東部における流れ（矢印）と水位（カラーコンター）の計算開始12.0分後のスナップショット。矢印の方向は流れの方向を示す。

50 m メッシュでは格子の凹凸が目立つようにみられる。

計算開始11分後（Fig. 9）には、図中北側の興津海岸に押し波が到達し水位が上昇している。水位上昇域は海岸線で反射し南下している。10 m メッシュ計算では、計算開始12.0分後（Fig. 10）に、東に延びた護岸に反射波が到達し、また、同

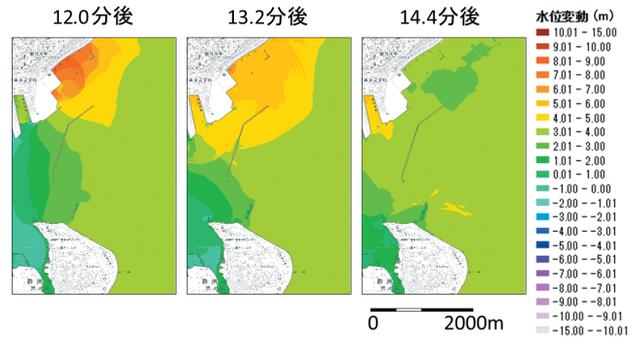


Fig. 11. Snapshots of water level for 10 m grid for 12.0, 13.2, and 14.4 minutes after the calculation start.

図11. 外洋との接続域における計算開始後12.0, 13.2, 14.4分後の10 m メッシュ計算の水位変動のスナップショット。

心円状の波構造が現れる。この同心円状の波の水平波長はメッシュサイズの倍程度である。50 m メッシュ計算では同心円状の波構造は明瞭には見られない。

Fig. 11 には、10 m メッシュ計算の地震発生から12.0, 13.2, 14.4分後の水位変動のスナップショットを示す。12.0分後には同心円状の水位変動が図左上に認められる。同心円状の波のうち南側の波群は、その後、波群としてのまとまりを保ったまま南下していることがわかる。この際、わずかに西側に曲がりながら進行している様子も見られる。この経路は外洋との接続域で帯状に湾曲して延びる10 m メッシュ計算の最大水位上昇の極大域の位置に一致していた。この経路に沿って海底地形を確認すると、西ほど浅い傾斜になっていた。長波の屈折の理論からは、波は浅い海域へ向かうことが示されているので、この計算で現れた波群の経路の湾曲は、波の屈折で説明できると考えられる。

10 m メッシュ計算に見られた帯状の最大水位上昇極大域は現実に津波が押し寄せた時にも現れるだろうか。10 m メッシュの同心円状の波の水平波長がメッシュサイズの倍程度であることから、同心円状の波構造が強い振幅を持ったのはメッシュサイズの制約が原因となった可能性がある。より小さなメッシュを用いれば、より広い波

長帯域の波が生成されうるので、ある波長の波に強い振幅を持たない可能性がある。以上のように、生成される波長が異なれば伝播の様子も異なるため、最大水位上昇の極大域の10 mメッシュのシミュレーション結果は現実の津波の挙動と異なるかもしれない。

4 まとめ

清水港について、10 mメッシュと50 mメッシュを用いた津波シミュレーションを行い、結果を比較した。津波の到達時刻は両方の計算で一致していた。最大流速、最大水位上昇は、一部の領域を除いて10 mメッシュ計算と50 mメッシュ計算の結果は、最大水位上昇の差は0.5 m以内、最大流速の差は1 knot (約0.5 m/s) 以内に収まっていた。最大流速の違いが港内中央部で見られたが、両方の計算に現れる渦の下流への移動の様子が僅かに異なることが原因であると考えられる。また、最大水位上昇の違いが外洋との接続域で見られたが、これは、50 mよりも短い波長の波が、10 mメッシュ計算では現れたためであることがわかった。

現段階では、津波防災情報図は、発生が予想される津波の挙動の概要を提供するものであり、この目的においては、現在行っている50 mメッシュ計算の結果と10 mメッシュ計算の結果はほぼ一致しているといえる。また、データの加工や管区海上保安本部等へのデータの提供を考慮した場合、10 mメッシュ計算では時間コストが非常に大きいため、現状では、50 mメッシュ計算により津波防災情報図を作成する方が妥当である。しかしながら、将来、防災対策のために、より詳細な情報が必要となった場合は、断層モデルや地形データの精度等を考慮し、10 mメッシュ計算を検討する必要があると思われる。

謝 辞

匿名の査読者の意見により本稿は改善され、また今後の解析における有益な意見を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

文 献

- 稲垣和男・木場正信・田中寛好・高尾誠 (2001) V字状湾および港湾内の空間格子間隔が津波数値計算結果に及ぼす影響に関する検討, 海岸工学論文集, 48, 336-340.
- 国土交通省 (2012) 津波浸水想定の設定の手引き.
- 内閣府 (2012) 津波断層モデル編—津波断層モデルと津波高・浸水域等について—, 南海トラフの巨大地震モデル検討会 第二次報告書.
- 細萱泉・山内明彦・渡辺一樹・加藤幸弘・長屋好治・矢沼隆 (2005) 津波解析支援GISによる津波防災情報図の作成, 海洋情報部技報, 23, 1-7.
- 鈴木充広・古河泰典・難波徹 (2014) 津波防災情報図シミュレーション成果の再利用, 海洋情報部研究報告, 52, 97-106.

要 旨

静岡県清水港について、(海底)地形データの10 mメッシュを用いた津波シミュレーションの計算結果を、50 mメッシュ計算結果と比較した。南海トラフ巨大地震を想定した場合に発生する津波の最大流速、最大水位上昇の分布には、津波の挙動の概要を示すという津波防災情報図の目的から見て、問題となるような大きな差は出なかった。また、最大流速、最大水位上昇の差が最も大きな領域について、詳細な比較を行った。