

南海・東南海地震発生時の岡山市への津波遡上シミュレーション

(株) 山陽設計 非会員 仲村 春香
岡山大学大学院 正会員 ○吉田 圭介
岡山大学大学院 フェロー会員 前野 詩朗

1. はじめに

日本は四方を海に囲まれ、数百年周期で大規模な地震津波が発生して、その度に甚大な被害を被っている。近い将来、発生が予測されている巨大地震には、東海地震、南海地震および東南海地震が挙げられる。この3つが連動して生じる地震は南海トラフ巨大地震と呼ばれ、近年、その対策が課題となっている^{1),2)}。岡山県ではこの巨大地震津波による浸水想定範囲を設定し、ハザードマップとして公表しているが、浸水速度や浸水時間といった浸水過程は明らかにされていない。

そこで本研究では、南海トラフ巨大地震が発生した際に岡山市への被害が最大となるシナリオを対象に、岡山市内への津波の遡上シミュレーションを行った。本研究の目的は、津波の河川遡上や浸水状況を明示することで、岡山県民の危機意識を向上すると共に、研究成果を今後の津波対策に役立てることである。

2. 対象とする地震津波と解析の概要

南海トラフの巨大地震モデル検討会(2012)³⁾によれば、想定される地震発生箇所(すべり域)は11通りに分類されており、地震に起因する初期津波波形はこのすべり域毎に異なる。内閣府の中央防災会議ではこれらの初期波形をもとに広域の津波解析を実施し、日本各地の沿岸域での津波高(以下、「内閣府津波高データ」と呼ぶ。)を算出している。本研究で検討した津波波形は、岡山市に來襲する津波高が最大と予想されている、「④四国沖・大すべり域設定」のケースである。図-1にはこのケースを対象とした場合の岡山県・山田港(図-3 参照)の津波高を示す。図-1中、横軸は地震発生時からの時間、縦軸は津波高(m, T.P.基準)を示す。

本研究で対象とした浸水解析の範囲は、岡山市が設定しているハザードマップの浸水想定範囲を参考にしており、図-2中の黒枠に示す通り、東西方向に16km、

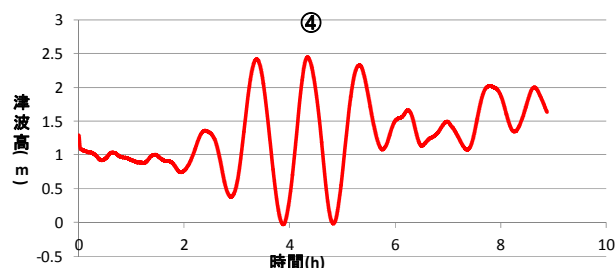


図-1 岡山県山田港の津波高(T.P.)の時系列(南海トラフ地震の「④四国沖に大すべり域」を設定した場合)

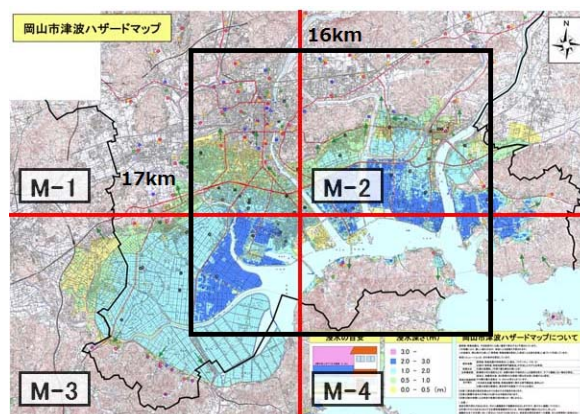


図-2 津波来襲時の岡山市の浸水想定範囲
(岡山市ホームページより抜粋)

南北方向に17kmの領域である。解析で必要となる地盤高データや地被抵抗(マニングの粗度係数)には内閣府の中央防災会議が提供するデータを用い、解析領域を50m幅の正方形格子に分割して、有限差分法によりシミュレーションを行った。

3. 基礎方程式

本研究では津波の非線形性を考慮した非線形長波理論に基づく以下の方程式を用いた^{4),5)}。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

表-1 シミュレーションケース

	地盤沈下	津波高
Case1	考慮しない	山田港におけるデータ
Case2	考慮しない	Case1の1.8倍
Case3	考慮する	山田港におけるデータ

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} = 0 \quad (3)$$

ここで、 t は時間、 x, y はデカルト座標、 η は水深、 M, N は x, y 方向の線流量、 h は初期状態の水深、 D は全水深、 g は重力加速度、 n はマニング粗度係数である。解析では、陸域と水域を区別するために水際水深 h_* （= 0.3m）を設け⁶⁾、計算の安定条件には長波の波速と水流速に基づく CFL 条件を考慮した。

4. シミュレーションの方法

本研究では児島湾の初期水位を 0.5m、児島湖の初期水位を-0.5m と与えた。平常時、児島湾と児島湖は「児島湾締め切り堤防」で仕切られている。これら初期水位の設定値は、各々の一日の平均値（岡山県備前県民局 農地農村計画課）を参考にした。本研究では 3 つのシナリオ（解析条件）を想定して、津波による浸水過程の数値シミュレーションを行った。各々の Case に関する説明を表-1 に示す。

Case1 では内閣府の中央防災会議で提示された津波高（岡山県山田港の水位）の時系列データを解析の境界条件としてそのまま用いる。一方、Case2 では Case1 のデータを 1.8 倍して、最大津波高が 3.3m を超えるものとした。これは、内閣府津波高データを参考に、岡山市へ来襲する最大津波高（表-2、岡山市南区④）を想定したものである。また、Case3 では地震に伴って河川堤防の破壊や地盤沈下が生ず

表-2 岡山市の最大津波高の予測値

	④	⑨	⑩
岡山市中区	2.6	2.6	2.5
岡山市南区	3.3	3.0	3.2
岡山市東区	3.1	2.9	3.0

（単位：m）

注）数字④、⑨、⑩は、南海トラフの巨大地震モデル検討会で検討されている地震発生箇所の区分を示す。

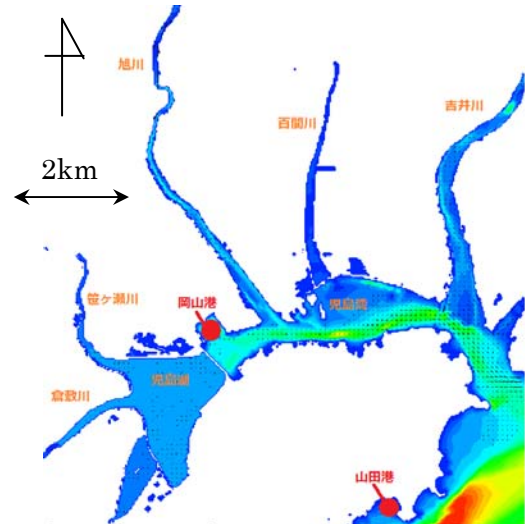


図-3 岡山市内の河川と港湾の位置関係

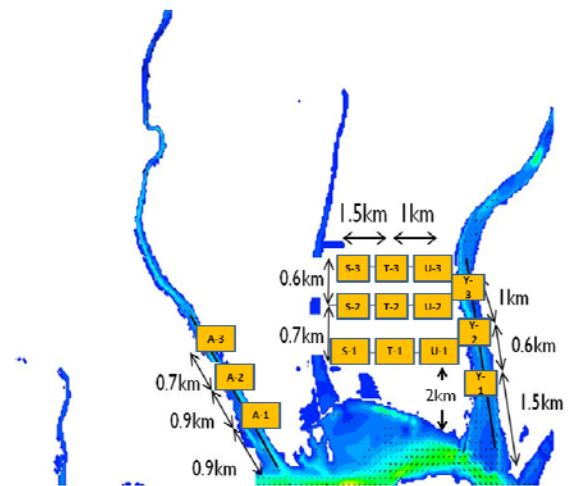


図-4 浸水状況把握箇所の説明図

ることを考慮し、津波解析の開始時点で地盤高データを修正したものである。

解析範囲内には旭川、吉井川、倉敷川および笹ヶ瀬川が存在するが、この中で旭川と吉井川には定常流量 50m³/s を設定した。本研究では以上の条件の下で、地震発生より 3 時間後 0.5m の水位（図-1 参照）から 11 時間後までの 8 時間分の浸水解析を行った。

5. 解析結果と考察

5.1 Case1

津波が生じて浸水が始まるのは解析開始後 30 分後であり、先ず吉井川河口付近から浸水が始まり、次第に岡山港や旭川下流からも浸水が進んでいく。このケースでは 8 時間後には、旭川より東側で約 60km² 浸水している (図-5(a))。

一方、旭川、倉敷川近くの様子からは、児島湾締め切り堤防や百間川水門の存在が浸水被害を抑制していることが分かった。また、浸水過程の可視化結果によれば、岡山港周辺では標高が低いため、浸水は時間の経過と共に拡大していくことが分かった。

図-6(a)には S-3 地点 (図-4 参照) での流速と水位の時間変化を示す。旭川と吉井川に囲まれた領域での平均的な浸水速度は 0.1m/s (U-1,2,3), 0.188m/s (T-1,2,3) 及び 0.355m/s (S-1,2,3) であった。また、U,T,S 各地点での津波の到達時間は表-3 に示す通りである。各地点で得られた流速の最大値は約 1.1m/s であった。

5.2 Case2

このケースでは Case1 と比べて浸水範囲が旭川の東側だけでなく西側にも広く及び、百間川上流付近まで浸水することが分かった (図-5(b))。津波高が大きくなったことで河川堤防を越流し、岡山市の浸水想定範囲よりも広い範囲で浸水している。

図-6(b)には S-1 地点での流速と水位の時間変化を示す。各地点での平均浸水速度は 0.19m/s (U-1,2,3), 0.38m/s (T-1,2,3) 及び 0.54m/s (S-1,2,3) であった。各地点での津波の到達時間は表-4 に示す。Case1 と比較すると、到達時間は 4 割程度小さい値をとっていることが分かる。各地点での最大流速は 2.0m/s であった。

5.3 Case3

地震津波では、地盤変化や津波による流体力が河川堤防や沿岸の水利構造物を破損する場合がある。そうした場合、地盤高が局所的に低くなり、その箇所から岡山市内へ津波が浸水する可能性が考えられる。そこで、本ケースでは解析範囲内の複数箇所において、解析初期の時点で地盤高を低く修正して解析を行った。

ただし、どの箇所が地盤変化を起こすかは確定できないため、津波被害を増大させる可能性がある箇所を意図的に選定した。

解析終了時点の計算結果を図-5(c)に示す。児島湾締め切り堤防の水門が存在しない場合、児島湾と児島湖では水位差があるため、児島湾から児島湖への流入がある。これに伴う流量と津波で生じる波形とが重なりあい、倉敷川の方面にも津波が遡上して、浸水していく。

複数箇所から津波が浸水していくために、このケースでは地表面の流速は他のケースより小さく、平均的な浸水速度は 0.08m/s (U-1,2,3), 0.18m/s (T-1,2,3) および 0.34m/s (S-1,2,3) であった。例として、図-6(c)には S-1 地点での流速と水位の時間変化を示した。また、各地点での津波の到達時間は表-5 に示す通りである。

6. 結論と今後の課題

本研究では南海・東南海地震が発生した際の岡山市沿岸部で生ずる津波の遡上および浸水シミュレーションを行うことで、浸水過程の概略を示すことができた。計算格子を 50m と設定したことで、空間解像度が必ずしも十分ではなく、例えば、主要道路等の社会インフラの影響を直接的には扱っていない。

このことから、十分に津波の遡上・浸水過程を再現できていないと言えないため、今後は細かい計算格子を利用して、浸水過程の解析を行う必要がある。また、Case3 における地盤高の修正は必ずしも地震動や地盤、及び堤防の構造に関する知見に基づいていないため、今後は適切な箇所を検討し、より現実的な条件の下で再現性の高い解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 富田孝史, 廉慶善, 鮎貝基和, 丹羽竜也: 東北地方太平洋沖地震時における防波堤による浸水低減効果検討, 海岸工学論文集, 第 59 巻, pp.156-160, 2012.

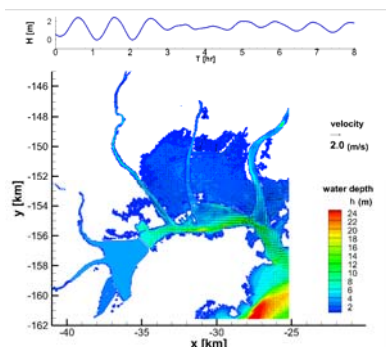


図-5(a) 8 時間後の浸水範囲
(Case1)

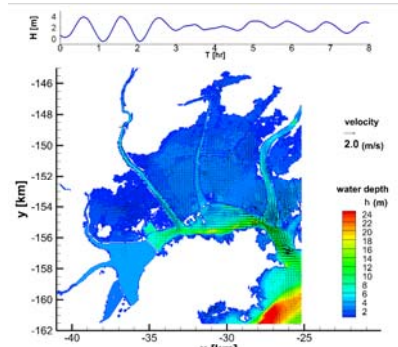


図-5(b) 8 時間後の浸水範囲
(Case2)

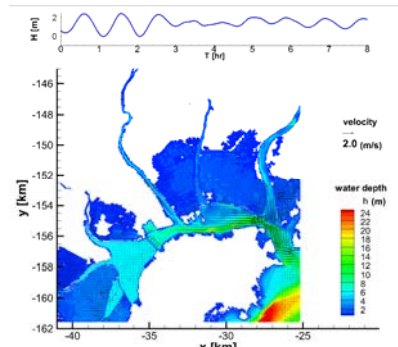


図-5(c) 8 時間後の浸水範囲
(Case3)

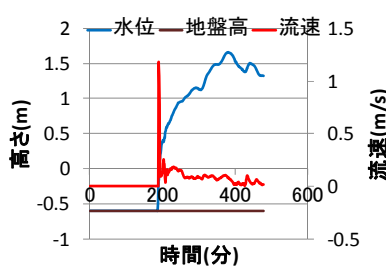


図-6(a) Case1:S-3 での
流速と水位の時間変化

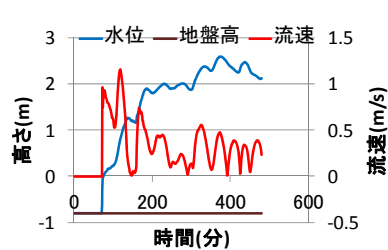


図-6(b) Case2:S-1 での
流速と水位の時間変化

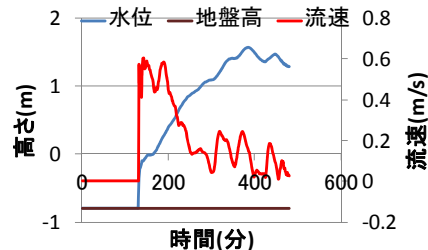


図-6(c) Case3:S-1 での
流速と水位の時間変化

表-3 津波到達時間 (Case1)

S-3	188	T-3	198	U-3	276
S-2	127	T-2	127	U-2	208
S-1	127	T-1	83	U-1	61

(単位:分)

表-4 津波到達時間 (Case2)

S-3	112	T-3	118	U-3	162
S-2	84	T-2	71	U-2	78
S-1	72	T-1	61	U-1	50

(単位:分)

表-5 津波到達時間 (Case3)

S-3	195	T-3	208	U-3	329
S-2	149	T-2	130	U-2	219
S-1	131	T-1	86	U-1	63

(単位:分)

浸水シミュレーションの手引き, 2011.

5) (財)国土技術研究センター: 津波の河川遡上解析の手引き, 2007.

6) 長田信寿: 一般座標系を用いた平面2次元非定常流れの数値解析, 水理公式集 例題プログラム集, 2001.

2) 長谷部雅伸, 大竹健司, 古村孝志, 木全宏之, 征矢雅宏, 石井やよい, 佐藤俊明: 南海トラフでの最大クラスの地震を想定した瀬戸内海における津波伝播シミュレーション, 海岸工学論文集, 第 59 巻, pp.166-170, 2012.

3) 南海トラフの巨大地震モデル検討会: 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告), 2012.

4) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波