三重県における東海・東南海・南海三連動型地震の 津波解析および歴史津波との比較検討

Numerical Analysis of Tsunami in Mie Prefecture Due to Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake and Comparison with Historical Tsunamis

川崎浩司¹・鈴木一輝²・松浦 翔³・奥野真行⁴

Koji KAWASAKI, Kazuki SUZUKI, Sho MATSUURA and Naoyuki OKUNO

This paper investigates tsunami characteristics on the coast of Mie Prefecture due to Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake based on the numerical results with a two-dimensional depth-integrated flow model. The earthquake scales were respectively set to M8.7 and M9.0 which corresponds to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. As a result, the tsunami propagation and inundation characteristics were confirmed to mainly depend on the magnitude of the earthquake, coastline geometry and bathymetric topography. Comparison of the numerical results and the survey data of the 1707 Hoei earthquake tsunami and the 1854 Ansei-Tokai earthquake tsunami indicated that it is of importance from a viewpoint of disaster mitigation to discuss an earthquake along the Nankai Trough with a large scale of M9.

1. はじめに

南海トラフ沿岸は日本有数の津波常襲地帯として知られており、これまでに1707年宝永地震や1854年安政東海地震などによって、甚大な地震津波の被害を受けてきた。政府の中央防災会議（2003）は、東南海・南海地震の被害に加え、東海・東南海・南海三連動型地震による被害についても検討し、三連動型地震の規模をM8.7とした場合、死者は約24,700人、経済被害は約81兆円に達するとした。しかしながら、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、国内観測史上最大のM9.0を記録し、同地震による津波は、東日本の太平洋沿岸部を中心に深刻な被害を引き起こした。これを受け、内閣府に「南海トラフの巨大地震モデル検討会」が設置され、南海トラフ沿いで発生しうる最大級の巨大地震が検討され、津波高の推計結果が公表された（南海トラフの巨大地震モデル検討会, 2012）。

今後、地震および津波に対する防災・減災対策を講じる上では、地震規模の違いによる津波特性を把握することは極めて重要であるといえる。特に、三重県は水深が浅い伊勢湾やリアス式海岸など多様な海岸、海底地形を有しており、地震規模による津波特性が各地域で異なると考えられる。

本研究では、現在、懸念されている東海・東南海・南海三連動型地震を対象に、従来、想定された地震規模M8.7に加え、M9.0で発生した場合の津波解析を実施し、地震規模や地形特性などの観点から、三重県沿岸部の津波伝播・浸水特性について考究することを主たる目的とする。さらに、本研究で得られた予測結果と既往の研究で実施された1707年宝永地震や1854年安政東海地震における津波の調査結果を比較することにより、M9クラスの巨大地震・津波を議論する必要性について検証する。

2. 津波解析の概要

非線形長波理論に基づく平面2次元計算モデルを用いて、津波解析を実施した。沖合から沿岸付近にかけて格子間隔が小さくなるように、格子間隔（1350m, 450m, 150m, 50m）の異なる4つの領域を設定し、領域間で流量・水位を接続するネスティング計算を行った。

津波を励起する地殻変動量は、地震規模がM8.7である場合は中央防災会議（2003）により推定された値を設定した。一方、地震規模をM9.0とする場合はM8.7の地殻変動量を2.82倍することで、波源域を変えずM9.0の規模とした。なお、本研究では、地震発生と同時に地盤が隆起・沈降するものとし、地震による地殻変動量をそのまま初期水位とした。

本研究では、沿岸部での津波伝播特性および陸上における津波浸水特性を議論する。陸側境界条件としては、遡上しないように汀線で完全反射する条件と、津波が汀線で遡上する条件（小谷ら, 1998）の2種類を設定した。なお、遡上条件を課した場合には、河川堤防や防波堤などの防災構造物が完全に機能する場合と全壊する場合を

1 正会員	博(工)	名古屋大学准教授 大学院工学研究科社会基盤工学専攻
2 学生会員	修(工)	名古屋大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻
3 学生会員		名古屋大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻
4		三重県防災対策部防災企画・地域支援課

表-1 計算ケース

Case	地震規模	陸側境界条件	構造物条件
1	M8.7	遡上	機能
2			全壊
3		完全反射	全壊
4	M9.0	遡上	機能
5			全壊
6		完全反射	全壊

それぞれ検討し、完全反射条件を課した場合には、構造物が全壊した場合のみを対象とした。

以上の条件をまとめると、表-1に示すとおりであり、全6ケースの数値計算を実施した。なお、潮位条件は対象とする地域の推定潮位の年間最高値を与え、計算時間は地震発生から6時間後までとした。

3. 沿岸部の津波伝播特性

三重県沿岸部の津波伝播特性を議論するにあたり、歴史津波の記録が残っている地区や人口密集地、津波による人的被害が危惧される地区を中心に、三重県沿岸部における152地点の評価点を設定し、津波高および津波到達時間を検討した。なお、本章においては、完全反射する条件を課したCase 3およびCase 6による予測結果を用いて、津波伝播特性を議論する。

図-1に各評価点における津波高および津波到達時間を示す。なお、ここでは、津波到達時間を地震発生時から水位が20cm上昇するまでの時間として定義した。図-1(a)

より、三重県全域で、M9.0の津波高はM8.7の2倍程度となることがわかる。太平洋沿岸では、M9.0の場合、多くの地点でT.P.+10mを越える非常に高い津波が来襲している。また、評価点ごとに津波高が大きく変化しており、特に三重県志摩市などリアス式海岸を有する地域では、局所的にT.P.+20m程度の津波高となっている。一方、伊勢湾沿岸では、閉鎖性海域のため、太平洋沿岸に比べて津波高が低下していることがわかる。ただし、M9.0においては、これまで津波被害が軽微であるとされてきた伊勢湾沿岸においてもT.P.+5m程度の津波高を示し、鳥羽市や松阪市周辺の一部の地域では、津波高が約T.P.+10mに達している。

津波到達時間を示す図-1 (b) をみると、太平洋沿岸と伊勢湾沿岸では、津波到達時間が顕著に異なることが明らかである。震源域に近い太平洋沿岸では、地震発生から10分以内に津波が到達しており、東北地方太平洋沖地震津波の到達時間約30分に比べて極めて早いことがわかる。一方、伊勢湾沿岸では太平洋沿岸に比べて津波の到達時間が遅く、湾口部では地震発生から約30分後に津波が到達している。また、北上するに従って津波の到達が遅くなる傾向にあり、湾口部と湾奥部では津波の到達に1時間程度の差が認められる。これは、湾奥部が湾口部より震源域から離れていることに加えて、外洋に比べて水深が浅い伊勢湾では津波の伝播速度が遅くなることも要因の一つである。また、太平洋沿岸では、地震規模による津波到達時間の違いがほとんどみられないものの、伊勢湾沿岸では、地震規模の増大に伴い、津波の到達が

図-1 各評価点における津波高および津波到達時間 (Case 3, Case 6)

図-2 代表点における水面変動の比較 (Case 3, Case 6)

若干早まっている。これは、津波の伝播速度が水深のみならず、津波高の増大に伴う波の非線形効果によるためである。つまり、M9.0では、M8.7に比べ津波高が大きいため、津波の伝播速度が大きくなる。その結果、波源域から離れた地域では、地震規模の増大に伴い、津波の伝播速度が大きくなり、津波の到達時間が早くなる。

図-2に、太平洋沿岸と伊勢湾沿岸の代表点における水面変動をそれぞれ示す。図-2(a)に示す太平洋沿岸に位置する熊野市井戸町では、地震発生直後に極めて大きい第1波が到達し、時間経過によって水面変動が大きく変動・減衰している。図-2(b), (c)に示す伊勢湾湾口部に位置する二見町二見浦と伊勢湾の湾奥部に位置する木曽岬町では、到達する津波の高さは小さいものの、M8.7とM9.0ともに、第1波から1時間以上経過した後に最大波が確認される。さらに、津波の到達から長時間にわたり水位の高い状態が継続していることがわかる。これは、狭い湾口部を通じて湾内に進入した津波が逆に外洋へ出て行きにくいためであると推察される。このことから、伊勢湾沿岸では、一旦、津波被害が発生すると、その影響が長時間続く可能性が高いといえる。

4. 陸上における津波浸水特性

陸域への遡上を考慮した各計算ケースにおける伊勢湾沿岸南部の最大浸水深の空間分布を図-3に例示する。なお、図中では浸水深のほかに、標高にしたがって平野部

図-3 伊勢湾湾内の最大浸水深の分布

図-4 太平洋沿岸の最大浸水深の分布

を緑色に、山岳部を茶色に着色している。同図より、M8.7とM9.0ともに、構造物が全壊した場合 (Case 2, Case 5) では、完全に機能した場合に比べ著しく浸水範囲が拡大し、松阪市周辺では海岸から5km以上離れた地点にまで浸水していることがわかる。これは、標高の低い平野部が広がっているためであり、一度、津波が防潮堤や河川堤防を越えると浸水が広範囲に拡大することを示唆している。また、平野部には、人口密度が高い四日市市、鈴鹿市、津市、松阪市などが位置しており、平野部で浸水が拡大した場合には深刻な人的・物的被害が生じると推察される。

図-4に各計算ケースにおける太平洋沿岸の最大浸水深

図-5 歴史津波と予測結果における浸水高分布 (Case 2, Case 5)

の空間分布を例示する。同図より太平洋沿岸では、地震規模や構造物条件によって浸水範囲に大きな差はみられないものの、浸水深が大きく変化することがわかる。特に、図-4 (d) に示すM9.0において構造物が全壊した場合 (Case 5) では、複数の地域で浸水深が8m以上となっている。太平洋沿岸のリアス式海岸の陸上は、背後を山々に囲まれ、わずかな低地が形成されている。そのため、地震規模が増大した場合でも、浸水範囲の拡大はわずかであるが、Case 5でみられたように、低地において極めて大きな浸水深となっている。なお、このような低地には集落が形成され、人口が集中しているため、津波によって壊滅的な被害が生じる恐れがある。また、図-4 (c) より、M9.0において構造物が機能した場合 (Case 4) においても、一部の地域で8m以上の浸水深が生じている。このことから、防波堤などのハード対策のみでは、最大クラスの津波に対して、十分な防災対策を取ることは困難であると示唆される。一方で、このような地域では、背後に山々を有し、周囲に避難可能な高台が数多く存在している。そのため、ハザードマップの作成や適切な避難経路の設定、避難訓練の徹底といったソフト対策が有効であり、ソフト対策とハード対策を組み合わせた総合的かつ減災的な視点に立った対策が重要であるといえる。

5. 歴史津波との比較

本章では、本研究で仮定したM9.0の予測結果と歴史津波の記録を比較し、M9クラスの地震津波を議論する必要

性について検討する。本研究では、歴史津波として、三重県において甚大な被害を残したとされる1707年宝永地震と1854年安政東海地震を対象とする。三重県沿岸における歴史津波の記録については、これまで数多くの調査が行われてきた。本研究では、羽鳥 (1978, 2005)、飯田 (1985)、都司ら (1991)、行谷ら (2005) による調査結果を用いて議論する。これらの研究では、古文書や伝承による記録のほか、浸水記録に基づいて詳細に浸水高を測定している。なお、防波堤や堤防が十分に整備されていなかった当時の状況を踏まえ、構造物が全壊した場合 (Case 2, Case 5) の予測結果を用いて、調査結果との比較を行う。また、詳細な調査地点が明記されていない場合は、近傍の海岸線上における予測結果と比較した。

図-5に、宝永地震と安政東海地震における各地点の津波調査結果と予測結果の比較をそれぞれ示す。なお、予測計算で浸水が確認されなかった地点については、浸水高をT.P.+0mと表記している。同図より、宝永地震と安政東海地震の両歴史津波の調査結果ともに、一部の地点では、M8.7の予測結果を上回っていることがわかる。さらに、一部の調査地点では、M8.7において浸水が確認されないものの、M9.0に引き上げることによって歴史津波と同様に浸水が生じる地点も認められる。ここでは、一例として、松阪市石津町、鳥羽市常安寺、度会郡南伊勢町奥出における安政東海地震津波の到達点と予測結果による浸水域の比較を図-6～図-8にそれぞれ示す。なお、図中の矢印は行谷ら (2005) によって津波の到達が確認

図-6 歴史津波の到達点と浸水域の比較 (松阪市石津町)

図-7 歴史津波の到達点と浸水域の比較 (鳥羽市常安寺)

図-8 歴史津波の到達点と浸水域の比較 (南伊勢町奥出)

された地点を示している。各図より、地震規模がM8.7である場合は、歴史津波の津波到達点へ浸水が認められない。しかしながら、M9.0とすることで、浸水域が拡大し、歴史津波の到達点に浸水が生じていることがわかる。

以上のことから、M9クラスの地震を1つのシナリオとして検討することは、今後、最大クラスの津波へのハード・ソフト対策を議論するにあたり、極めて重要であるといえる。

6. おわりに

本研究では、東海・東南海・南海地震が従来の想定であるM8.7に加えて、M9.0で発生した場合において津波の数値解析を実施し、三重県における沿岸部の津波伝播特性と陸上における津波浸水特性を議論した。さらに、1707年宝永地震と1854年安政東海地震における既往の津波調査結果と本計算結果を比較検討した。本研究で得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) 地震規模や地形特性によって、津波特性が大きく異なることを明示した。具体的には、地震規模が増大することによって、津波高が2倍程度になること、波源域から離れた地域では、波の非線形効果によって津波の到達が若干早くなることが判明した。

- (2) 伊勢湾沿岸では、湾口部が狭いといった地形特性に起因して、時間経過とともに水位変動が減衰せず、津波被害が発生しうる状態が長時間継続することを示唆した。
- (3) 伊勢湾沿岸部では、構造物が全壊した場合に、広範囲に浸水が生じ、甚大な人的・物的被害が生じることを示唆した。さらに、太平洋沿岸では、M9.0において、構造物が完全に機能した場合でも、津波浸水が発生することから、最大クラスの津波に対してソフト対策とハード対策を組み合わせた総合的かつ減災的な視点に立った対策が重要であることを明示した。
- (4) M8.7とM9.0のそれぞれの予測結果と歴史津波の調査結果を比較検討したところ、今後、津波減災レベル(構造物対策の適用限界を超過する津波)に対応した対策を策定するにあたり、M9クラスの地震・津波を対象に検討することは極めて意義があるといえる。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、国土交通省中部地方整備局より河床高に関するデータを提供頂いた。また、本論文の執筆にあたり、名古屋大学大学院工学研究科技術補佐員・高須吉敬氏に協力を頂いた。ここに謝意を表する。なお、本研究の一部は、科学研究費補助金・若手研究(A)(研究代表者:名古屋大学・川崎浩司、課題番号:21686046)であることを付記し、感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 飯田汲事 (1985): 明応地震・天正地震・慶長地震・宝永地震・安政地震の震害と震度分布, 東海地方地震・津波災害誌 (飯田汲事教授論文選集), 飯田汲事教授論文選集発行会, pp. 68-91.
- 国土地理院 (2011): 津波による浸水範囲の面積 (概略値) について (第5報) (オンライン), <http://www.gsi.go.jp/common/000059939.pdf>, 参照2012-3-15.
- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998): GISを利用した津波遡上計算と被害推定法, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 356-360.
- 中央防災会議 (2003): 東南海, 南海地震の被害想定について (オンライン), 東南海, 南海地震等に関する専門調査会 (第14回), 資料2, pp. 38-40, <http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/14/>, 参照2012-2-10.
- 都司嘉宣・日野貴之・矢沼 隆・岩崎伸一・北原糸子 (1991): 安政東海地震津波 (1854 乙未 23) の浸水高の精密調査, 歴史地震, 第7号, pp. 43-56.
- 行谷佑一・都司嘉宣 (2005): 宝永 (1707)・安政東海 (1854) 地震津波の三重県における詳細津波浸水高分布, 歴史地震, 第20号, pp. 33-56.
- 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (2012): 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) (オンライン), 巻末資料, pp. 25-27, http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai_trough/nankai_trough_top.html, 参照2012-4-9.
- 羽鳥徳太郎 (1978): 三重県沿岸における宝永・安政東海地震の津波調査, 地震研究所彙報, 第53号, pp. 1191-1225.
- 羽鳥徳太郎 (2005): 伊勢湾岸市街地における安政東海津波 (1854) の浸水状況, 歴史地震, 第20号, pp. 57-64.