

福井県沿岸における津波シミュレーション

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-05-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大堀, 道広, 松本, 美優, 小嶋, 啓介, 山本, 博文 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10098/10886

福井県沿岸における津波シミュレーション

Tsunami Simulation for Coastal Line of Fukui Prefecture

大堀 道広*
(福井大学 附属国際原子力工学研究所)
松本 美優**
(福井大学 工学建築建設工学科,
現在福井県庁)
小嶋 啓介***
(福井大学学術研究院 工学系部門)
山本 博文****
(福井大学学術研究院 教育・人文社会系部門)

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)に伴う津波は北海道から関東の太平洋側岸に押し寄せ、甚大な被害をもたらした。津波は海岸に引く時に重力と相まって非常に強い力で長時間にわたって作用し続け、地震で破壊しかけたもしくは破壊した建物などを引き倒し、海中に押し流し、大量の漂流物を発生させた。この地震は発生が日中であったことから、各地で津波が押し寄せる様子が大量の映像として記録・配信され、人々が逃げまどう姿や家々や車などが濁流に流される光景など、これまで被害写真でしか見ることができなかった津波の破壊力を目の当たりにした。東北地方の太平洋沿岸域は津波の常襲地帯とされるが、近年これほどの大きな津波が広範囲で観測されたことはなく、想定外と言われるのも無理のないことであった。

ところで、著者らが住む福井では我が国の災害史の中でも最大級に甚大な被害を生じた1948年福井地震も発生しているが、それにも拘わらず防災意識が非常に低くなっているとされるのは、福井地震から既に70年もの年月が経っており、ほとんどの市民が福井地震を経験していないことに加え、全国的にみて有感地震が少ないため地震国であることさえ忘れてしまいがちなことも関連しているのであろう。

福井県では大きな津波が襲来し、広い範囲に被害が生じたことを示す確かな記録は残されていない¹⁾。一方、最近の日本海側の津波発生に関連する研究プロジェクトが複数実施されており²⁾⁻⁴⁾、この中で福井県嶺南地方の高浜町園部地区における津波堆積物調査では津波により運ばれたとみられる砂層が発見されており、過去には調査地点まで津波が浸水したと考えられている⁵⁾⁻⁷⁾。本研究では、若狭湾周辺で津波の発生が懸念される海域断層の地震に伴う津波シミュレーションを行い、高浜町園部地区での津波堆積物調査結果と整合する解析条件を導く。さらにこの条件をもとに、福井県沿岸の津波シミュレーションを行い、今後の津波堆積物調査や津波防災の参考となる基礎的な

(キーワード：津波シミュレーション, 津波堆積物, 高浜町園部地区, 若狭海丘列付近断層)

* Michihiro Ohori
(Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui, Tsuruga)
** Miyu Matsumoto
(Department of Architecture and Civil Engineering, University of Fukui, Fukui.)
*** Keisuke Kojima
(Department of Architecture and Civil Engineering, University of Fukui, Fukui)
**** Hirohumi Yamamoto
(Department of Education, University of Fukui, Fukui)

資料を提示する。

2. 福井県における津波堆積物に関する研究

これまでの福井県沿岸での津波堆積物調査には、関西電力、日本原子力発電、日本原子力研究開発機構の3電力事業者が合同で行ったもの⁸⁾や、文部科学省委託研究の「日本海地震・津波調査プロジェクト」³⁾の一環として行われた山本らの研究⁵⁾⁻⁷⁾などがある。これらの概要を紹介する。

電力事業者による津波堆積物調査⁸⁾は、2011年10月から2012年12月に関西電力、日本原子力発電、日本原子力研究開発機構の3社合同で行ったもので、若狭湾における津波の痕跡に関するデータ拡充を図ることを目的に行われた。調査位置は大きく分けて、三方五湖およびその周辺、久々子湖東方陸域、猪ヶ池の3か所であり、各地点においてボーリングにより完新世(約1万年前以降)の地層を網羅するように試料採取を行い、X線CTスキャンを併用した肉眼観察をした後に、微化石層分析等を実施して海から運ばれた痕跡(砂層など)を調査し、津波堆積物の有無が評価されている。この調査結果によれば、三方五湖周辺および久々子湖東方陸域では津波により形成されたと考えられる堆積物は認められず、猪ヶ池においては津波により形成されたと考えられる堆積物が確認されているものの、現在の津波予想を上回るようなものではなかったとされている。

文部科学省委託研究の「日本海地震・津波調査プロジェクト」³⁾では、北海道から九州に至る日本海側の地形特性に対応した津波堆積物の新たな認定手法も含めた検討と履歴・遡上範囲の解析を行い、歴史時代以前における津波波源の推定につながる基礎資料を得ることを目的としている。プロジェクトの研究課題の一環として、新潟大学・福井大学などの合同調査チームが、津波の履歴を堆積物から明らかにするために若狭湾沿岸を対象として種々の津波堆積物調査を実施している⁵⁾⁻⁷⁾。山本ら^{5)、6)}は、高浜町菌部地区でトレンチ調査及びハンドコアラーによる調査を行っている。2013年の調査では2層準(1m以浅、3m前後)にイベント砂層(1m以浅には最大で3層の砂層)が認められており、年代は14~16世紀及び5,000年~5,500年ごろであるという結果が得られている。イベント砂層は海側より供給されており海岸線より550m以上の内陸側まで分布している。イベントとしては海岸線より200mほどまでなら高潮による可能性もあるが、550m以上となると津波の可能性が高いと考えられる⁹⁾。なお、この調査で発見された津波堆積物は1586年の天正地震によるものか、津波の高さはどのくらいか、津波の波源はどこかなど、いくつかの課題を残した。さらに、山本ら⁷⁾は、高浜町菌部地区では1m以浅の泥炭質層中に最大で3層のイベント砂層が認められ、砂は主に浜堤の切れ間(笠原川)から入り込んだ津波によりもたらされたと考えている。しかし、年代の特定をするには十分な結果が得られず、津波の波源などについても同様であった。山本ら⁷⁾の調査地点と津波堆積物とされるイベント砂層の分布図を図1に示す。

調査地点のある菌部地区の海側に位置する和田海岸沿いには、高さ10mほどの浜堤があり、これを津波が乗り越えて内陸側まで浸水するには相当大きい津波でなければならないことから、山本ら⁷⁾は浜堤の切れ間を流れる笠原川より津波が遡上し、調査地点付近で越流したことにより、津波堆積物が形成されたと推察している。本研究では、津波シミュレーションに基づき、高浜町菌部地区の津波堆積物調査地点に津波が遡上する解析条件を探索する。



図1 高浜町菌部地区調査地点とイベント砂層の分布図
 [左：調査地点の概略位置，右：調査点の詳細位置]

3. 解析方法および解析条件

本研究では、津波の数値計算プログラムとして、東北大学で開発された開発プログラム TSUNAMI を基に(株)構造計画研究所がGUI(Graphical User Interface)環境を整備したTSUNAMI-Kを用いる。数値計算には構造格子を用いた差分法が用いられ、格子の種類は直交座標格子を、変数の配置方法(空間領域の差分)には staggered 格子が、時間領域の差分には leap-flog 法がそれぞれ採用されている。Leap-Flog 法は安定な解析法で中立安定となるため散逸誤差が発生しない特徴を有する。なお、オリジナルのプログラム TSUNAMI は IDNDR (国際防災の10年)の際に IUGG (国際測地学・地球物理学連合) と UNESCO (国際連合教育科学文化機関) の IOC (政府間海洋学委員会) との連携により推進された TIME (Tsunami Inundation Modeling Exchange) プロジェクトの活動の一環として津波災害の危険性が高い国々に配布され、19 개국 36 機関において利用実績があり、UNESCO における津波の標準評価法として広く認識されている。この解析方法の詳細は文献^{10),11)}を参照されたい。

本研究では、TSUNAMI-K を用いて、図2の解析領域に対して、時間刻みを0.1秒とし、地震発生から120分間の津波の伝播を計算する。非線形長波方程式を解き、津波の遡上を計算する。解析領域の格子サイズは、外側から450m, 150m, 50mと設定する。本研究で対象とする若狭海丘列付近断層は赤色の折れ線部分で表される。この海域断層の断層パラメータには、「日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書」²⁾を参照し、表1の設定値を基本解析条件として用いる。ただし、マグニチュードに関しては福井県¹⁾のシミュレーションの解析条件を参考にしてMw7.6とし、平均滑り量を調整している。

津波の初期条件となる海底面の静的変形量はMansinha and Smylieの方法¹²⁾を用いて評価する。海底地形データ(海底水深データ)には、沖合いでは(財)日本水路協会・海洋情報研究センターの海域水深データJTOPO30の1kmメッシュの水深データ(日本近海の30秒グリッド水深データ)¹³⁾を、海岸付近では海上保安庁の500mメッシュの水深データ¹⁴⁾をそれぞれ用いる。さらに、遡上解析に必要な陸上の地形データには国土地理院の50mメッシュの標高データ¹⁵⁾を用いる。その他、潮位の基準は0mとし、非線形方程式の海底摩擦項に関連するManningの粗度係数は一律0.025とする。

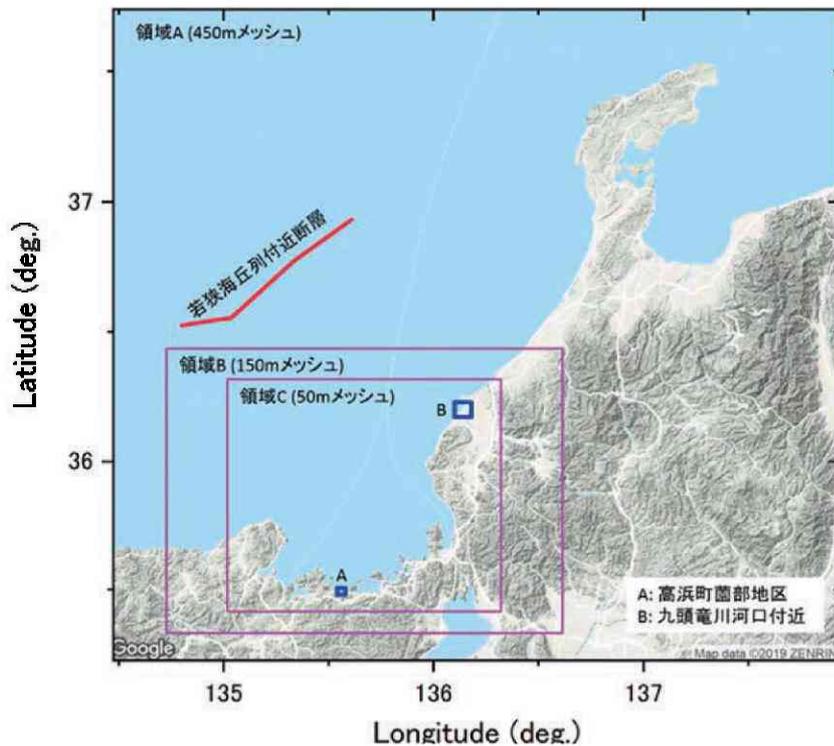


図2 解析モデルの対象範囲

表1 若狭海丘列付近断層の断層パラメータ

緯度	経度	走行角	傾斜角	すべり角	断層長	断層幅	平均すべり量	Mw
36.5243	134.8006	81	60	264	21.1	14.5	6.43	7.6
36.5547	135.0374	47		145	36.3			
36.7748	135.3371	54		215	29.9			

4. 計算結果と考察

本研究の目的は、日本海域の海底断層の活動を想定した津波シミュレーションを行い、津波災害に対する意識が低い福井県の住民の意識改革に資する資料を提供することにある。断層パラメータの想定基準としては、福井県で実施された津波堆積物調査から過去に津波が襲来したとされる地域（高浜町菌部地区）に津波が達することを想定する。そのため、前章に述べた地形条件と表1の断層パラメータを基本解析条件（以降“ケース1”とする）として津波シミュレーションを行った上で、高浜町菌部地区の津波堆積物調査地点に津波が浸水する条件を探索するために、考察と解析条件の変更を試行錯誤した。以下に基本ケース（ケース1）の浸水分布図をはじめ、これを出発点として解析条件を変化させながら試みた他の解析ケース（ケース2～7）の結果を示す。

4.1 基本解析条件を用いた場合（ケース1）

前章に述べた地形条件と表1の断層パラメータによる基本解析条件を用いる場合を基本ケース（ケース1）とし、津波シミュレーションを行った結果を図3に示す。ケース1では、笠原川の河口付近の津波の最大高さは1.2m～1.6m程度となり、浜堤を超えられないことがわかる。笠原川の地形も考慮されておらず、ここを津波が遡上することができないため、津波堆積物の調査地点には津波は達しないことが確認される。

4.2 断層のすべり角を90°とした場合（ケース2）

次に、基本解析条件のうち若狭海丘列付近断層の3つのセグメントすべてのすべり角を90°（逆断層）にした場合をケース2とし、解析を行った。国土交通省・日本海における大規模地震に関する調査検討会ではこの断層を逆断層と解釈しながらも、横ずれ断層の分布地域に含まれるとし、表1のように、断層を構成する3つのセグメントのすべり角には、正断層と横ずれ成分を含む逆断層ならびに正断層の値が与えられている。一方、福井県の検討ではすべり角は90°と設定されている。ここでは福井県の設定値を参照する。解析結果を図4に示す。

ケース2では、笠原川の河口付近の津波の最大高さや浸水深は4.1m～5.1m程度となり、ケース1と比べて数倍高くなっている。浸水深分布図を観察した結果、ケース1の結果よりも浸水域が広い範囲に分布していることが確認される。しかし、ケース2でも津波は浜堤を超えることができず、津波堆積物調査地点の浸水は見られない。以上より3つのセグメントのすべり角を90°（逆断層）にする条件変更は、影響力がたいへん大きいことがわかる。

4.3 断層のすべり量を2倍にした場合（ケース3）

続いて、基本解析条件のうちすべり量を2倍にした場合をケース3とした。この場合、地震の規模を表わすマグニチュードは0.2増加し、Mw7.8となる。これは益川ら¹⁶⁾、Ohori et al.¹⁷⁾に見られるように、断層パラメータの不確実性を考慮したもので、日本海側の過去の津波被害地震では最大級に相当するが、想定外をなくす意味では検討すべき解析条件とされる。解析結果は割愛する。

ケース3では、笠原川の河口付近の津波の最大高さや浸水深は2.1m～2.6m程度となり、ケース1と比べて約2倍弱、ケース2に比べて約半分程度である。ケース3の浸水域の範囲はケース2のそれよりも小さくなっていることがわかる。従って、ケース3でも津波は浜堤を超えられず、津波堆積物調査地点に津波は達していない。以上より、すべり量を2倍にすることにより地震規模が大きな地震となり、基本ケースに比べて浸水深や最大波高が大きくなることがわかる。

4.4 海水面を1m上昇させた場合（ケース4）

これまでのケースでは基本解析条件のうち断層パラメータの一部を変化させて解析を行ってきたが、ケース4では断層パラメータはそのままとし、海水面を1.0m上昇させた場合について解析を行った。1.0mとしたのは以下の2点を考慮したからである。まず、国土交通省・日本海における大規模地震に関する調査検討会²⁾によれば、日本海側の他の地域で現在よりも過去は標高が低かったとされ、1000年間で1mほどの割合で上昇し現在に至っているという。これより、高浜町菌部地区で観察された津波堆積物が天正時代あたりのものであると仮定し、当時からおよそ500年経過したとすれば0.5mほど今よりも低かったと見積もれる。この0.5mを海面上昇により補正する。また、日本海側の平均的な水位は0.2mとされるが、石川県¹⁸⁾の検討例(0.46m)や富山県¹⁹⁾の検討例(0.5m)などを参考に、ここでは0.5mとして、先述の500年間の上昇分0.5mの補正と合わせて、1.0mの海面上昇を想定した。解析結果は割愛する。

ケース4では、笠原川の河口付近の浸水深は2.0m～2.4m程度となり、これまでの検討ケースの中ではケース3の結果に比較的近いことを確認した。ケース4では浸水深分布図はケース1よりも若干広がりを見せたものの、津波は浜堤を超えておらず、津波堆積物調査地点に津波は到達していない。総じて、1mの海面上昇では、津波堆積物調査地点への浸水には影響がないことが確認された。

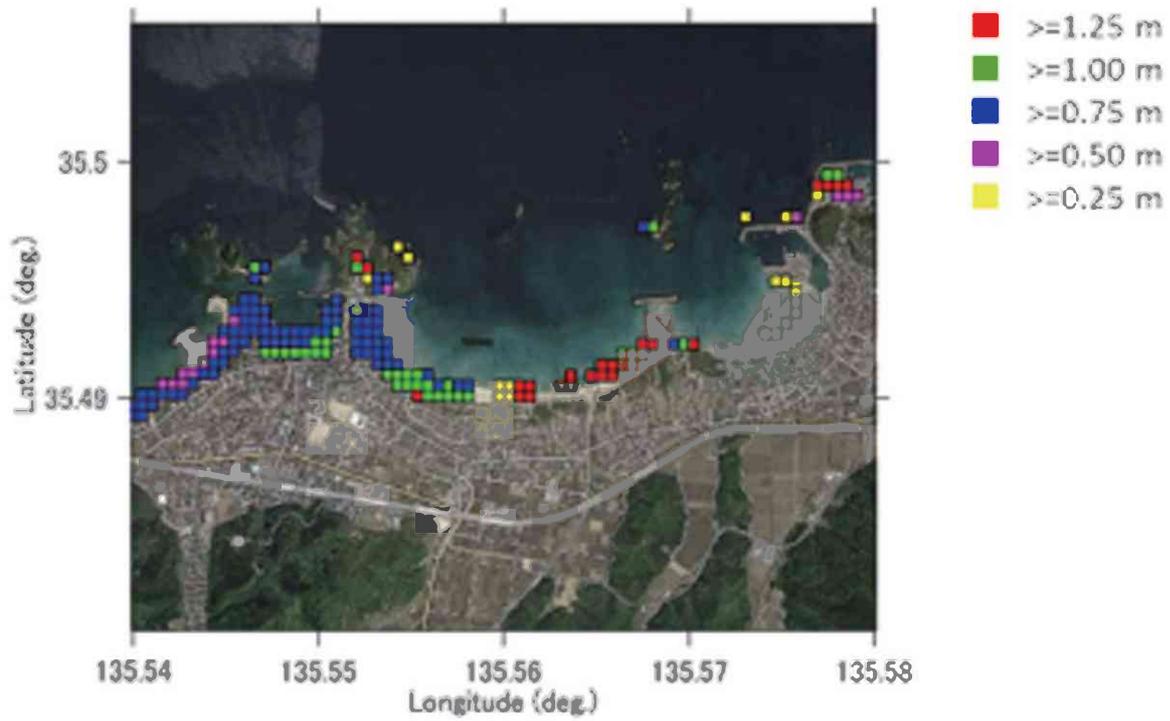


図3 高浜町菌部地区の津波浸水分布(ケース1)

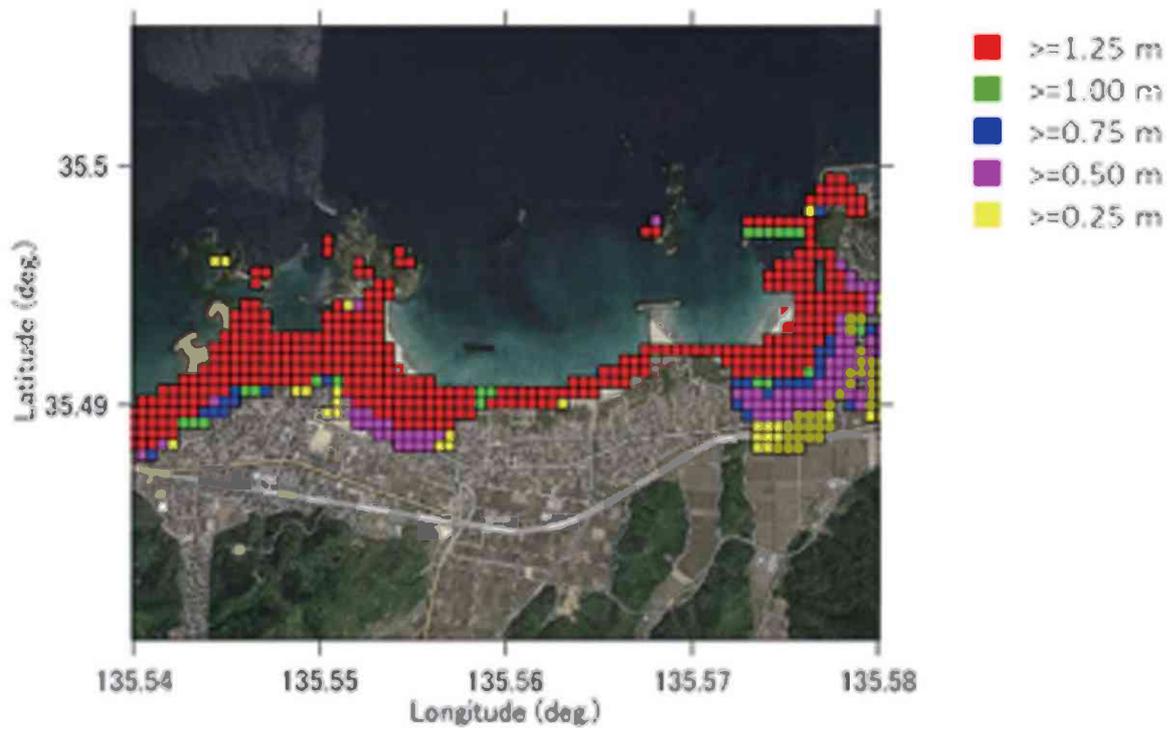


図4 高浜町菌部地区の津波浸水分布(ケース2)

4.5 笠原川の地形条件を考慮した場合（ケース5）

これまでの解析条件では、笠原川の地形条件は考慮されておらず、津波堆積物調査地点への浸水には浜堤を乗り越える必要があり、基本ケースの解析条件をもとにそれを実現することは難しいことがわかった。そこで、山本ら⁷⁾が推察するように、津波は浜堤の間を流れる笠原川を津波が遡上して越流すると想定し、この川の地形条件を考慮した場合について考える。なお、明治26年の古地形図によれば、現在の笠原川の河口からの小浜線あたりまでの約600mの部分は直線的な運河のような形状が見られることから、笠原川の地形条件を考慮することは的外れなものではない。現在および過去の地形図を参照し、笠原川河口から国道付近までの区間（幅50m、長さ600m、総計12メッシュ）の標高を0mとし、笠原川からの津波の遡上を可能とするように変更し、ケース5とした。解析結果は割愛する。

ケース5では、全般的にはケース1と同等の結果となるが、津波は笠原川を遡上し、内陸600mに達しており、津波が初めて津波堆積物調査地点付近まで近づく結果が得られた。しかし笠原川の地形条件を考慮しただけでは、遡上した津波は越流せずにそのまま留まり、津波堆積物の調査地点に到達できていないことが確認された。笠原川を遡上した津波の高さは河口付近で約1.2m、国道付近では約0.7mであり、笠原川からの越流条件となる7mには及ばない。

なお、高浜町菌部地区の津波調査地点付近の地形変化は緩やかで、50mメッシュの地形情報で十分近似できるような印象を覚えた。ただし、笠原川に関しては幅50mのモデル化はやや粗過ぎるのではという懸念もあり、同様の解析条件で笠原川と津波堆積物の調査地点を含む範囲に50/3mのメッシュサイズとする4番目の領域を追加して解析を行ったところ、これまでと同じ結果が得られることを確認している。これはケース5ばかりでなく、後述するケース6、ケース7についても同様の確認をしている。

4.6 複数の解析条件を組み合わせた場合（ケース6、ケース7）

ケース1からケース5までの結果を踏まえて、いくつかの解析条件を組み合わせることが効果的ではないかと考え、その組み合わせ方を検討した。

これまでの検討から、基本解析条件（ケース1）に対して、すべり角を90°にすることで浸水範囲が大きく広がること（ケース2）、すべり量を2倍にすることで最大波高や浸水深が大きくなること（ケース3）、笠原川の河口から600mほどの部分の標高を0mとすることで笠原川を津波が遡上すること（ケース5）、以上が確認されている。

さらに、ケース1とケース2において、若狭海丘列付近断層の3つのセグメントからの津波が、高浜町菌部地区の沖合いでどのような波形を描くかを作図により確認したところ、ケース1の場合は各セグメントからの津波の波形形状が異なったが、ケース2の場合はいずれのセグメントも逆断層のため波形に類似性が見られ、そのプラス側の最大値の出現時間が合うように、真ん中のセグメントのみ60秒遅らせることで最大値の出現時間が一致し、津波が高くなることが確認された。

これらを踏まえて解析を繰り返し行った結果、すべり角を90°、すべり量を2倍、笠原川の河口から600mほどまでの区間を標高0m、さらに中央のセグメントによる地震発生を60秒遅らせた場合（ケース6）に、津波堆積物調査地点に津波が到達し、期待していた結果が得られた。解析結果を図5に示す。津波高さは、笠原川の河口付近では約8.2m、笠原川を遡上して国道付近では約8.4mとなり、越流して津波堆積物の調査地点付近を浸水させている。なお、笠原川河口の左岸側の浜堤には高さ8mのところがあり、津波はここを乗り越えて、浜堤の背後に達しているが、浸水深は約50cm程度ですぐに消失し、津波堆積物の調査地点には達していない。

次に中央のセグメントによる地震発生を60秒遅らせずに、3つのセグメントすべて同時に地震を発生させた場合（ケース7）とどれほど結果に差が出るのかを調べてみた。解析結果を図6に示す。津波高さは、笠原川の河口付近では約7.2m、笠原川を遡上して国道付近では約8.0mとなり、笠原川を越流して津波堆積物の調査地点付近を浸水させている。ただし、浸水範囲は小さくなっていること

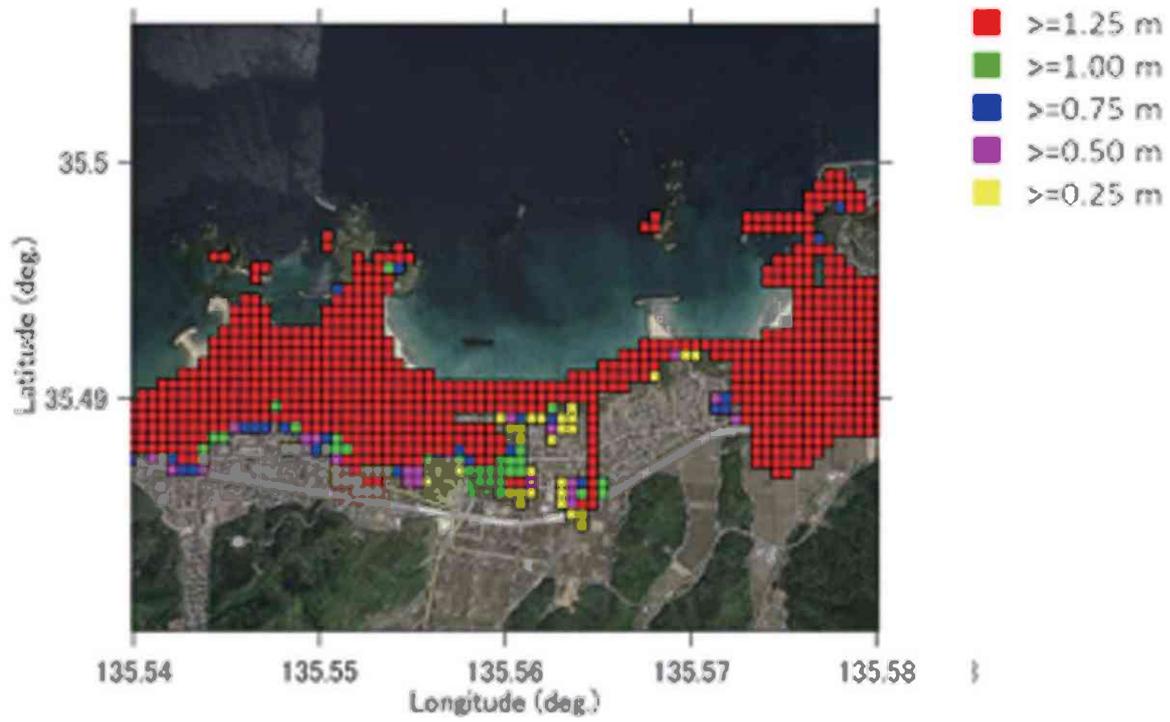


図5 高浜町菌部地区の津波浸水分布(ケース6)

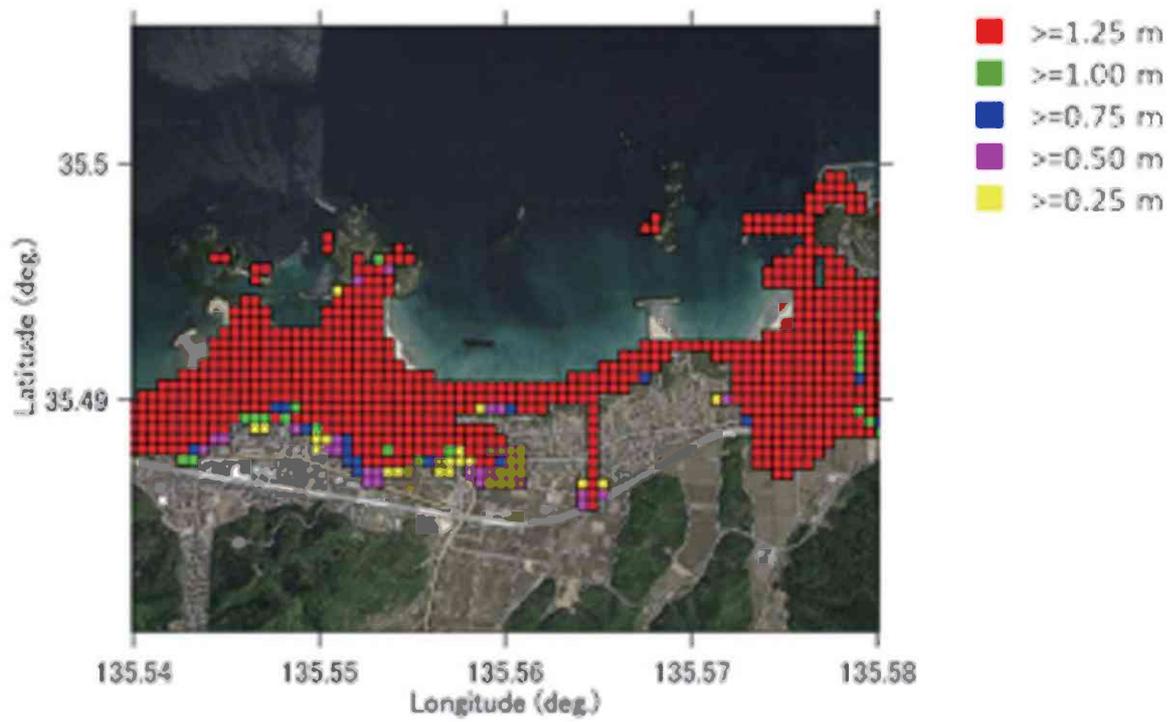


図6 高浜町菌部地区の津波浸水分布(ケース7)

がわかる。

4.7 検討を通じて導かれた解析条件

本章では基本解析条件に基づく解析結果（ケース1）を基準として、解析条件を一つだけ変化させた解析（ケース2～ケース5）を行い、その影響を確認した上で、各解析条件を組み合わせることで津波堆積物調査地点に津波が到達する結果（ケース6、ケース7）を導いた。これまでの検討を通じて、断層のすべり角を 90° とすること（ケース2）、すべり量を2倍にすること（ケース3）、笠原川を津波が遡上できるような地形条件を与えること（ケース5）、以上の3点を同時に満足することが、若狭海丘列付近断層を波源とする場合の高浜町菌部地区の津波堆積物調査地点に津波が浸水する解析条件なることがわかった（ケース7）。さらに、この断層を構成する3つのセグメントのうち、中央のセグメントの地震発生時刻を60秒遅らせることで、津波の浸水状況が津波堆積物調査結果により整合することがわかった（ケース6）。この時、笠原川河口付近では津波の最大高さが8mを超えており、津波堆積物の対象地点に浸水するには、笠原川河口付近においてこれと同等の津波高さの襲来が必要になるとみられる。

5. 福井県沿岸における津波の伝播性状

前章で得られた菌部地区の津波堆積物調査地点に津波が到達する解析条件（ケース6）を用いた場合に福井県沿岸の津波伝播性状がどのような結果になるかを、既往の検討で設定されている断層モデルを用いた場合と比較する。なお、前章では、表1に示す日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書²⁾の断層モデルを用いた場合をケース1とし、福井県の津波シミュレーションに用いられた断層モデルを参照した場合をケース2としていた。ここでは、ケース6の解析条件を基本として、笠原川に関する地形条件はケース6のままとして、断層モデルのみを既往のものに変更していることから、厳密にはケース1、ケース2とは解析条件が異なるため、以降はケース1'、ケース2'とする。なお、ケース2'では中央のセグメントの地震発生時間を60秒遅らせており、ケース6との違いはすべり量が1/2になっていることのみとしている。この点においても、ケース2'はケース2とは解析条件がわずかに異なっている。

前章で対象とした高浜町菌部地区以外で、ケース6における津波の遡上域について観察したところ、九頭竜川河口付近が特に注目された。そこで、この地点における津波の浸水状況について、ケース1'、ケース2'、ケース6の結果を図7に示す。これより、ケース6では、九頭竜川河口付近に最大高さ7～8mの津波が襲来し、九頭竜川を遡上し、九頭竜川右岸に大きな浸水域を生じさせていることがわかる。また、福井港でも浸水域が広く分布している。一方、ケース1'およびケース2'では、九頭竜川河口付近における津波高さがそれぞれ2m程度、4m程度で、九頭竜川への津波の遡上も弱まり、ケース6に比べると津波浸水域が非常に小さくなっていることがわかる。

なお、ケース1'とケース2'には断層のすべり角の違いやセグメント単位での地震発生時刻の違いはあるものの、両者とも同じ形状で同じ規模（Mw7.6）の地震に伴う津波の伝播性状を表わしている。従って図7においてケース1'とケース2'の結果に見られる違いは、断層パラメータの違いによる影響を表しており、津波災害の経験が少ない福井県では同じ地震規模であっても防災意識を啓発するためにも、また想定外をなくすためにも、市民にとって最悪となるような断層パラメータを選択することも必要に思われる。

以上のように、前章で導いた解析条件（ケース6）は、既往の津波想定以上に大きな津波を福井県沿岸にもたらしることがわかる。既往の津波想定では解析条件を裏付ける観測事実が十分とは言えなかったが、本研究で導いた解析条件は、高浜町菌部地区付近の津波堆積物調査地点の浸水条件を満たしており、この点が非常に重要である。今後、同地区の陸域の詳細地形データや過去の汀線や標高などを可能な限り反映することで、さらに解析条件の精緻化が図れると考える。

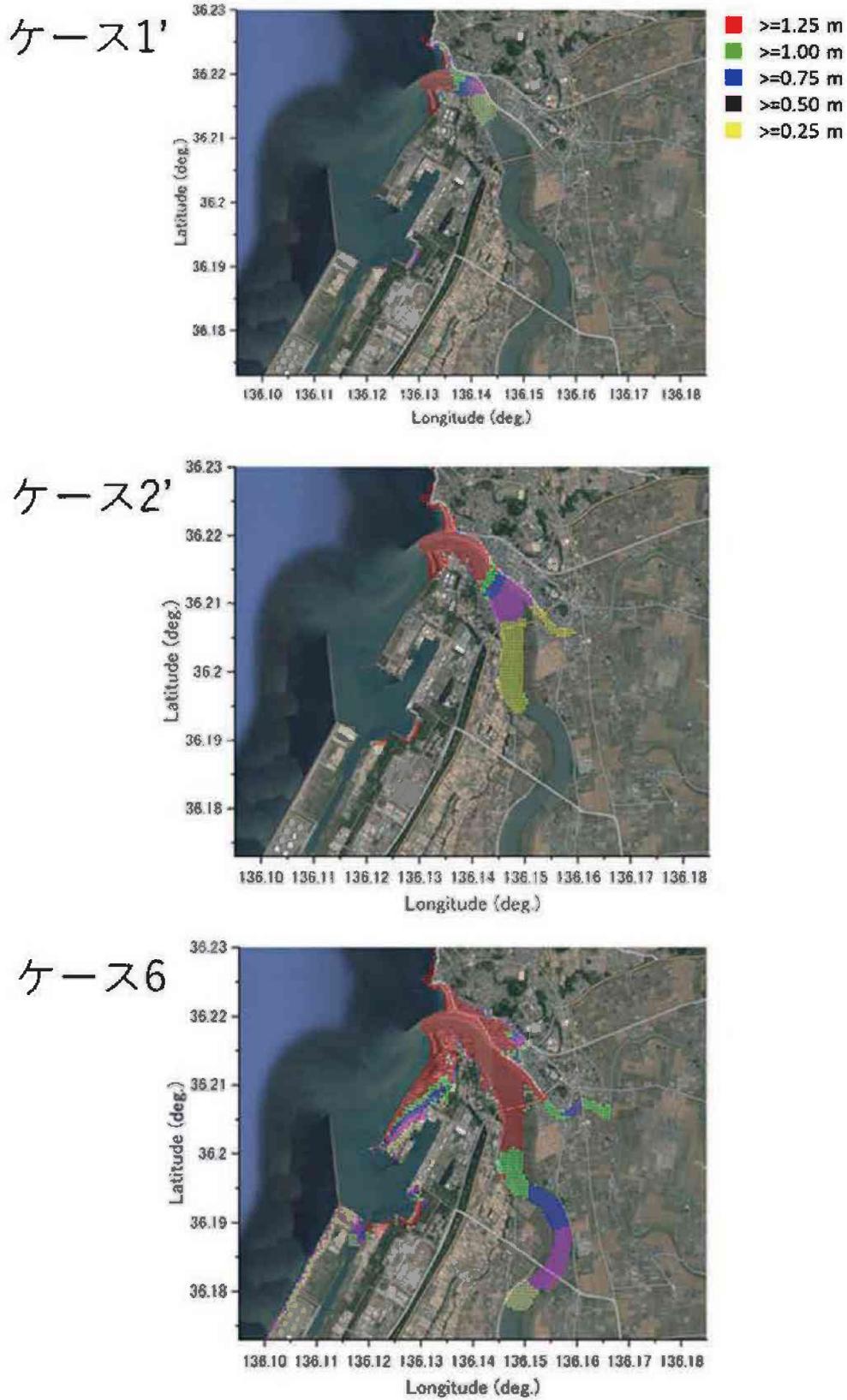


図7 九頭竜川付近における津波浸水分布

6. まとめ

本研究では、福井沿岸への津波被害が懸念される若狭海丘列付近断層の地震に伴う津波シミュレーションを行い、断層パラメータをはじめとする解析条件を変えながら、高浜町菌部地区の津波堆積物調査地点に津波が達する解析結果を導いた。その解析条件は、断層のすべり角を 90° とすること、すべり量を2倍にすること、中央のセグメントのみ断層破壊を60秒遅らせること、笠原川を津波が遡上できるような地形条件を与えること、以上4つの条件を同時に満足することで、若狭海丘列付近断層を波源とする場合に菌部地区の津波堆積物調査地点に津波が浸水することがわかった。この時、福井県の沿岸全体に現在の想定以上の大きな津波が襲来することも確認している。

実際には過去にこのような条件で地震が起こったかどうかはわからないが、本研究では今後の津波堆積物調査や津波防災において参考となる基礎資料になり得る成果が得られたと考える。国土地理院¹⁵⁾からは5mメッシュおよび10mメッシュの標高モデルが公開されており、今後、計算環境を整備の上、これらの詳細地形モデルを用いた検討を実施する予定である。

謝 辞

数値計算にあたり、ご助言を頂きました(株)構造計画研究所の安重晃氏に謝意を表します。本研究の遂行に際して、福井大学地域環境研究教育センター・平成30年度研究支援経費の支援を受けましたことを記します。なお、作図においてはGoogle Mapを背景図として利用しております。

参考文献

- 1) 福井県安全環境部危機対策・防災課:「福井県における津波シミュレーション結果の公表について」、2012年9月3日。(http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/kikitaisaku/kikitaisaku/tunami-soutei.html)
- 2) 国土交通省・日本海における大規模地震に関する調査検討会:「日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書(本文)」, 2014年9月。(http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa)
- 3) 文部科学省委託研究:「日本海地震・津波調査プロジェクト(研究代表:東京大学地震研究所)」, 2018年10月29日。(http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/Japan_Sea/index.html)
- 4) 文部科学省委託研究:「海域における断層情報総合評価プロジェクト(研究代表:海洋研究開発機構)」, 2016年12月。(https://www.jishin.go.jp/database/project_report/kaiiki/kaiiki-chukan/)
- 5) 山本博文, 卜部厚志・佐々木直広・清水水康博・片岡香子(2013):若狭湾沿い海岸地域における津波堆積物調査(予報), 日本地球惑星科学連合大会, MIS23-20.
- 6) 山本博文, 卜部厚志・佐々木直広, 清水水康博, 片岡香子(2015):若狭湾沿い, 高浜町の海岸低地におけるトレンチおよびハンドオーガーによる津波堆積物, 日本地球惑星科学連合大会, MIS25-04.
- 7) 山本博文, 本多翔, 佐々木直広, 卜部厚志(2016):若狭湾沿岸で見出された津波堆積物, 日本地質学会第123回学術大会.
- 8) 関西電力, 日本原子力発電, 日本原子力研究開発機構:「若狭湾沿岸における津波堆積物の調査結果について」, 2012年12月18日。(https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2012/1218-1_1j.html)
- 9) 山本博文:私信.
- 10) 後藤智明, 小川由信(1982): Leap-frog法を用いた津波の数値計算法, 東北大学工学部土木工学科資料, 52p.
- 11) Intergovernmental Oceanographic Commission(1997): IUGG/IOC TIME PROJECT, Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme (Manuals and Guides No.35), Part 1, Chapter 1, pp.1-19, UNESCO. (http://tsunami190245.tripod.com/tsh.pdf)
- 12) Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971): The displacement fields of inclined faults, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 61, pp.1433-1440.

- 13) (財)日本水路協会・海洋情報研究センター：「JTOPO30 - 日本近海 30 秒グリッド水深データ」.
(<http://www.mirc.jha.jp/products/finished/JTOPO30/>)
- 14) 海上保安庁：「500m メッシュの水深データ」. (http://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/depth500_file_j.html)
- 15) 国土地理院：「基盤地図情報・数値標高モデル」. (<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>)
- 16) 益川優里, 小嶋啓介, 大堀道広 (2016): 若狭湾における津波シミュレーション, 第 35 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp.1-2.
- 17) Ohori M., Y. Masukawa, and K. Kojima (2018): Tsunami Hazard Assessment for the Hokuriku Region, Japan: Toward Disaster Mitigation for Future Earthquakes, InTech Open Book, “Natural Hazards - Risk Assessment and Vulnerability Reduction” . (ISBN 978 - 953 - 51 - 6297 - 1)
- 18) 石川県危機管理監室危機対策課：「石川県津波浸水想定区域図の作成について」. 2017 年 9 月 6 日.
(http://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/kikikanri_g/tsunami_info.html)
- 19) 富山県総合防災局防災・危機管理課：「津波シミュレーション調査の結果の概要について」.
(http://www.pref.toyama.jp/cms_pfile/00017580/01067018.pdf)