

DASテクノロジーを使ったリアルタイム津波観測の可能性

Potential for real-time Tsunami Monitoring using DAS Technology

*木村 恒久¹

*Tsunehisa KIMURA¹

1. シュルンベルジェ

1. Schlumberger

DASテクノロジーは、パイプラインのモニタリングや侵入者を感知するために、2011年頃から石油・ガス産業で使われている。最新の光ファイバーセンシング技術によって、近年、DASシステムを使って、VSPを含むサイズミックデータを記録することができるようになった。また、井戸内の流体の流れを、流体が流れる時に発生する振動を観測することによって、定性的に把握し、井戸内の生産状況をモニタリングする試みも行われている。我々はこのシステムのことを、‘hDVS’と呼んでいる。

hDVSは、通常用いられるジオフォン、ハイドロフォン、圧力ゲージ等の電気・磁気的なセンサーでなく、光ファイバーを振動計測のセンサーとして使う。実際には、光ファイバーの振動に対するダイナミックストレインを計測しており、シングルモードファイバー、マルチモードファイバーの両者に使うことができ、つなげたファイバーの全長、もしくはパラメータで決めた長さだけをセンサーとして使うことができる。

通常の電気・磁気的な津波センサーは、特に2011年の東日本大震災後、東北沖の太平洋、または日本沿岸各地に地震計とともに設置されてきた。しかし、通常のセンサーは、点としてのデータしか収集することができなく、しかも設置にかかるコストや、センサーの設置環境の制限により、設置される数と場所に限りがある。そのため、センサー間の距離が長いのが現状で、そのセンサー間を通り過ぎる津波をモニタリングすることはできない。

2011年の東日本大震災の際、限られた津波センサーと、地震計での観測により、到達時の津波の高さと、到達予想時間が割り出された。NHK等の番組およびメディアの報道によれば、その情報の不確かさが、避難する人々の行動を遅らせたり、不適切な場所への避難を促した原因の一つだという見解がある。非常に限られた数のセンサーから得られるデータを使って、想定外の巨大な津波を観測し、その行動を予測することは不可能である。

hDVSシステムの場合、既存の、主にデータ通信用の目的で設置してある海底光ファイバーケーブルを、線状の海水の流れを計測するセンサーとして扱うことができ、センサーの設置コストと設置にかかる時間を低く抑える事ができる。特に、国際海底光ファイバーケーブルは、地震が起きやすいプレート同士が重なる領域から一直線に地上局へと引き込まれているので、その間の海水の流れを連続して観測することができる。そのような海底光ケーブルを用いた流れのデータが、数十kmの長い距離において連続して観測されれば、巨大な津波が再び押し寄せた際、その津波の状況を把握する確かなデータとなる可能性がある。津波の高さが増すに従って、津波が起因の振動が大きくなると予想されるので、hDVSのデータを用いて、津波の高さを予測することも可能だと思われる。2011年の東日本大震災の際、幾つかの海底光ファイバーケーブルが切れたと報告されているが、そのことで光通信は途絶えるが、hDVSを用いた地震・津波観測は、切れた箇所までのファイバーを用いて、観測を継続することができる。

hDVSテクノロジーを使えば、海岸から数十km沖合から、津波が発達して押し寄せる様子を連続して観測し、その情報が、より確かな津波警報をもたらし、近未来に起こると予想されている巨大津波災害から、より多くの人命を救えることを確信している。

キーワード : DAS、hDVS、光ファイバー、津波、リアルタイム観測、流れ
Keywords: DAS, hDVS, optical fiber, tsunami, real-time monitoring, flow

日本海溝、南海トラフ及び相模トラフ沿いを対象とした確率論的津波ハザード評価のための津波予測解析

Tsunami simulations for probabilistic tsunami hazard assessment in the Japan Trench, the Nankai Trough and the Sagami Trough

*齊藤 龍¹、鬼頭 直²、橋本 紀彦³、村田 泰洋¹、井上 拓也¹、高山 淳平¹、村嶋 陽一¹、松山 尚典²、秋山 伸一³、中村 洋光⁴、平田 賢治⁴、藤原 広行⁴

*Ryu Saito¹, Tadashi Kitou², Norihiko Hashimoto³, Yasuhiro Murata¹, Takuya Inoue¹, Jyumpei Takayama¹, Yoichi Murashima¹, Hisanori Matsuyama², Shinichi Akiyama³, Hiromitsu Nakamura⁴, Kenji Hirata⁴, Hiroyuki Fujiwara⁴

1. 国際航業株式会社、2. 応用地質株式会社、3. 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、4. 防災科学技術研究所

1. KOKUSAI KOGYO CO., LTD, 2. OYO Corporation, 3. ITOCHU Techno-Solutions Corporation, 4. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

防災科研は、日本全国の沿岸において想定される津波ハザードの確率論的な評価を行うための手法の検討に着手し（藤原・他、2013）、すでに日本周辺のいくつかの海域における検討内容及び評価結果を報告してきた（平田・他、2014、2015、2016、JpGU）。また、評価作業の一環として実施した津波予測解析の結果についても、それぞれの海域毎に報告してきた（高山、2016、JpGU；齊藤、2016、地震学会）。今回は、これまで報告してきた日本海溝沿い、南海トラフ沿い及び相模トラフ沿いで発生する地震を対象に実施した津波予測解析の内容をとりまとめ、計算で得られた太平洋沿岸の津波高さの特徴について考察する。津波予測解析の対象になる地震は、津波を起こし得る地震が対象であるため、海溝及びトラフから沈み込むプレート境界に沿って発生する地震並びにその近くで発生する地震とした。ただし海域断層の地震については、その断層の正確な位置や過去の活動が調べられていないものが少なくないため本発表では取り扱わないこととした。日本海溝沿いの震源域は、「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価（第二版）（地震調査委員会、2011）」に示されている領域区分に基づき、本検討で評価領域を13分割した領域の組み合わせおよそ40パターンとした。設定する特性化波源断層モデルは「震源を特定して設定する地震」が571個と「震源を特定しにくい地震」が1319個である（遠山・他、2014、JpGU）。南海トラフ沿いの震源域は、「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）（地震調査委員会、2013）」に示されている18分割された領域区分に基づき、長期評価によって示されている組み合わせ15パターン及び長期評価に示されていない組み合わせおよそ210パターンとした。設定する特性化波源断層モデルは「震源を特定して設定する地震」が3897個と「震源を特定しにくい地震」が48個である（遠山・他、2015、JpGU）。相模トラフ沿いで設定する震源域は、「全国地震動予測地図2014年版（付録-1）（地震調査委員会、2014）」に示されている5分割された領域区分に基づく組み合わせ12パターンとした。設定する特性化波源断層モデルは「震源を特定して設定する地震」が135個と「震源を特定しにくい地震」が928個である（鬼頭・他、2016、JpGU）。これらの計約6900個の特性化波源断層モデルを使い、確率論的津波ハザード評価に必要な津波予測解析を鹿児島県から北海道までの太平洋沿岸を対象に実施した。沿岸付近の計算格子サイズを50mで設定し、震源域から沿岸域までを一括して津波高さを予測するため、外洋から沿岸へ順に1350m、450m、150m、50mで計算格子サイズを細分化し接続した。陸域では遡上境界条件、外洋の計算領域外縁では無反射透過境界条件をそれぞれ課した。それぞれの評価地点における津波は、海底摩擦及び移流を考慮した二次元非線形長波理論による支配方程式をStaggered grid, Leap-frog法で差分化し解くことによって求めた。初期水位分布については、特性化波源断層モデルによって計算される海底地殻変動量をOkada（1992）の手法で求め、その鉛直変位に、地殻変動量の水平変位からの鉛直方向への寄与分を考慮することで算出した。今後、これらの津波予測解析の結果を太平洋沿岸の最大水位上昇量のデータセットとして整備しつつ、幅広い利用促進に向けたデータベース化にも取り組む。本研究は、防災科研の研究プロジェクト「自然災害に対するハザード・リスク評価に関する研究」の一環として実施した。

キーワード：津波ハザード、津波予測解析、日本海溝、南海トラフ、相模トラフ

Keywords: Tsunami hazard, Tsunami simulation, the Japan Trench, the Nankai Trough, the Sagami Trough

日本海溝・南海トラフ・相模トラフ沿いにおける確率論的津波ハザード評価の統合方法

Integration of Probabilistic Tsunami Hazard Assessments along Japan Trench, Nankai Trough and Sagami Trough

*阿部 雄太¹、是永 真理子¹、秋山 伸一¹、松山 尚典²、村田 泰洋³、平田 賢治⁴、藤原 広行⁴

*Yuta Abe¹, Mariko Korenaga¹, Shinichi Akiyama¹, Hisanori Matsuyama², Yasuhiro Murata³, Kenji Hirata⁴, Hiroyuki Fujiwara⁴

1. 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、2. 応用地質株式会社、3. 国際航業株式会社、4. 防災科学技術研究所

1. ITOCHU Techno-Solutions Corporation, 2. OYO Corporation, 3. KOKUSAI KOGYO Co., Ltd., 4. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

防災科研において2012年度から開始した「全国を対象とした津波ハザード評価」では、これまでに日本海溝沿い（平田他, 2015）、南海トラフ沿い（阿部他, 2016a）、相模トラフ沿い（阿部他, 2016b）の3つの海域において発生する地震について、震源の多様性などの様々な不確かさを考慮した確率論的津波ハザード評価を実施してきた。本研究では、複数の海域で発生する津波の危険性を総合的に評価するため、上記の3海域での確率論的津波ハザード評価の統合を試みた。

各海域における波源断層モデルは、基本的に地震調査委員会による長期評価に準拠して震源域を作成し、不均質すべりの分布の不確かさを考慮するため各震源域に対してすべり分布の異なる複数個の波源断層モデルを設定した。長期評価がされていない地震、例えば震源域が海域全体に渡る最大クラスの地震や、規模が小さく震源を予め特定するのが困難な地震については、先行研究（平田他, 2015; 阿部他, 2016a; 阿部他, 2016b）において独自に震源域及び波源断層モデルを作成した。なお、規模の小さい地震は不均質すべりによる津波高さへの影響が小さいと考え、一つの震源域に対して波源断層モデルを一個設定し、不均質すべりの影響はバラツキによって評価した。

地震の発生確率の算出方法として、現時点から今後30年間の津波の危険度を評価するための「現時点でのハザード」と、数千年から数万年に1回程度の低頻度で発生する非常に大きな津波の危険度を評価するための「長期間平均ハザード」の2条件で確率を算出し、それぞれの条件でハザード評価を行った。長期評価において平均発生間隔などの情報が示されている地震については、現時点でのハザードでは長期評価での発生確率算出方法と同様の方法を用いて、BPT分布を用いた更新過程あるいは定常ポアソン過程によって30年発生確率を算出し、長期間平均ハザードでは定常ポアソン過程によって30年発生確率を算出した。長期評価されていない地震については、2条件共に過去の対象海域の地震活動からマグニチュードと発生頻度に関するG-Rモデルを作成して、30年発生確率を算出した。一つの震源域に対して複数個の波源断層モデルが設定されている場合には、各波源断層モデルに対して発生確率を均等に分配した。

沿岸評価地点において各海域のハザードカーブを計算し、各海域での地震発生を独立事象と考えてハザードカーブの統合を行った。また全ての沿岸評価地点で求めたハザードカーブに対して、任意の最大水位上昇量を超過する確率を参照し、その超過確率の空間的分布を示すハザードマップを作成した。ハザードマップの傾向としては、東日本の太平洋側沿岸では日本海溝が、西日本の太平洋側沿岸では南海トラフが支配的であり、相模トラフ沿いの地震は発生確率が他の海域に比べて低いことから、3海域を統合したハザード評価への寄与が小さかった。

キーワード：確率論的津波ハザード評価、確率、長期評価、津波解析

Keywords: probabilistic tsunami hazard assessment, probability, long-term evaluation, tsunami analysis

建物スケールの陸域遡上津波の再現計算

Simulation of Tsunami Inundation in City Scale Model

*宮下 卓也¹、森 信人²

*Takuya Miyashita¹, Nobuhito Mori²

1. (株) 建設技術研究所、2. 京都大学防災研究所

1. CTI Eng. Co., Ltd., 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. 研究の目的 2011年の東北地方太平洋沖地震による津波は、遡上後、市街地において複雑な挙動を示した。津波の被害評価には最大浸水深を用いることが多いものの、実際の被害状況は最大浸水深の分布と必ずしも一致しないことが確認され、市街地スケールにおける被害評価に関する見直しが求められている。このため、今後の沿岸都市域での津波被害予測には、土地利用を粗度で表現するモデルから建物スケールでの詳細な解析モデルが必要となる。本研究では、2次元と準3次元海洋(Q3D)モデルを用いて、市街地を対象とした津波変形実験のに対する再現計算を行い、遡上後の津波伝播特性について評価を行う。

2. 研究内容 (1) Q3Dモデルによる津波実験の再現計算：遡上波の水位時系列や流速などの詳細な比較を行うため、Park et al.(2013)による実際の市街地を1/50スケールで模擬した津波遡上実験を検証対象とした。市街地モデルは、長さ48.8m、幅26.5mの矩形型平面水槽に設置され、計算は、準3次元海洋モデルであるROMSを用いて行った。ROMSの基礎方程式は静水圧近似を用いたEuler方程式である。水平方向には直交座標系、鉛直方向には σ 座標系を用い、空間解像度は4cmである。地形データは、市街地モデルをレーザプロファイラで1mmの精度で計測したものをそのまま数値計算に用いた。鉛直混合には $k-\epsilon$ モデル、水平混合にはSmagorinskyモデルを用いた。遡上前の砕波減衰については、波高水深比を用いた砕波帯のエネルギー減衰を付加し評価した。合計31地点における実験結果を比較対象にQ3Dモデルの精度検証を行った。測点が汀線から伝播する波向に平行な建物間に設置された地点では、砕波による大規模渦によるエネルギー散逸を考慮していないことから、水位についてはやや過大評価となったが、流速と質量フラックスは全体的に実験値とよく整合した。一方で、構造物の背後にあたる点では、波の回折や干渉が大きく影響し、十分な精度を得られなかった。(2) 渦動粘性の変化による質量輸送の検証：水平渦動粘性係数 ν_t を、時間・空間ともに一定とし、0.000、0.005、0.010 [m²/sec]の3条件で計算し、差異を検証した。 ν_t を0.010としたケースでは、 ν_t を0.000としたケースに対して、最大流速が計算領域の陸域部の中間で30%程度、最も内陸の地点では50~70%程度減少した。特に水平渦動粘性係数が影響する渦スケールの違いにより、建物間の幅が狭く流れが速い領域における進行速度に大きな差異が現れた。(3) Q3Dモデルと2Dの比較：Q3Dモデルに加えて、鉛直層を1層に落とした2Dモデルを用いて実験の再現計算を行った。2Dモデルによる最大浸水深分布は、内陸部において、Q3Dモデルに比べて小さくなる傾向がある。さらに底面摩擦係数を変化させて比較した結果、2Dモデルは、水位の大きさに関係なく、底面摩擦や渦による散逸を鉛直方向一様に受けるため、流速の鉛直分布を考慮できるQ3Dモデルよりも結果が摩擦係数に鋭敏に反応し、またエネルギー散逸が大きくなる傾向があることを明らかにした。

3. 主要な結論 (1) Q3Dモデルを用いて、市街地のモデルを設置した津波実験の再現計算を行い、実験値と比較した。数値モデルは、遡上波に平行な構造物列間では良好な結果を示すが、構造物の背後での計算精度は不十分であった。(2) 大きさの異なる水平渦動粘性を用いた解析により、市街地のように波の進行幅が変わりやすい地形では、渦粘性係数の値が波の進行する速度に大きく影響することが確認された。(3) さらにQ3Dモデルと2Dモデルの解析結果の比較により、浸水深が減少する内陸部においては、2つのモデル間の差異が大きくなり、2Dモデルでは底面摩擦係数の影響が大きくなることを確認した。

キーワード：津波、準3次元

Keywords: tsunami, quasi-3D

三次元海洋・津波・粒子追跡結合シミュレーションに基づいた巨大津波による底泥巻き上げと重金属輸送の推定

Transportation of sediment and heavy metal resuspended by a giant tsunami based on three dimensional, tsunami, ocean, and particle tracking coupled simulations

*中田 聡史¹、林 美鶴²、越村 俊一³

*Satoshi Nakada¹, Mitsuru Hayashi², Shunichi Koshimura³

1. 神戸大学海事科学研究科、2. 神戸大学内海域環境教育研究センター、3. 東北大学災害科学国際研究所

1. Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University, 2. Research Centre for Inland Seas, Kobe University, 3. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

南海トラフ巨大地震はマグニチュード8~9程度で、将来30年以内に70%の確率で発生するとされており、巨大津波が発生し海洋環境も甚大な被害を受ける可能性が高い。例えば、津波によって海底では底質の巻き上げが発生し、底質中の重金属等の有害物質や赤潮の原因となる植物プランクトンのシストが海水中に放出される可能性がある。特に、大都市に面した沿岸海域、例えば大阪湾奥部においては、底質中にシストや重金属が高濃度で存在しており、津波によってこれらも巻き上がると、水環境が富栄養化・重金属汚染される可能性も考えられる。そこで本研究では、内閣府が新想定(平成24年)した南海トラフ津波断層モデルに基づいて三次元津波・海洋結合シミュレーションを実施し、底泥重金属の代表としての亜鉛がどのようにして巻き上げられ、移流・拡散されるのかを粒子追跡シミュレーションに基づいて調べた。巻き上げの指標となる無次元せん断応力を計算し、海域周辺において津波後に海水中の亜鉛濃度がどの程度高くなるのかを推定した。粒子シミュレーションから次の結果が得られた。大阪湾の東湾では巻き上げが発生し、湾奥ではそれが顕著となる“ホットスポット”が形成され、そこから海洋中に放出された底泥・重金属(亜鉛)は、主に河口循環によって一旦海洋上層へと鉛直的に運ばれた後、沖向きへと輸送される。亜鉛を含んだ海水は、潮流や風によって湾内に広範囲に広がっていき輸送される。亜鉛が粒子に吸着せず再堆積しない場合は、亜鉛は紀淡海峡および紀伊水道を通過して、次第に南向きに輸送されると考えられる。その結果、津波襲来後のホットスポットは、海底泥内の高い亜鉛濃度が低下し、底質環境および生態系は改善される可能性が示唆された。

キーワード：巨大津波、重金属、粒子追跡シミュレーション、南海トラフ巨大地震、大阪湾

Keywords: Giant tsunami, Heavy metal, Particle tracking simulation, Mega-earthquake along Nankai trough, Osaka Bay

和歌山県田辺市・串本町間の海岸での宝永地震(1707)および安政南海地震(1854)の津波高分布

Distribution of the heights of the tsunamis of the 1707 Hiei and the 1854 Ansei-Nankai Earthquakes on the coast between Tanabe City and Kushimoto Town, Wakayama Prefecture

*矢沼 隆¹、都司 嘉宣²、石塚 伸太郎¹、上野 操子¹、松岡 祐也³、小田桐 (白石) 睦弥⁴、佐藤 雅美⁵、芳賀 弥生⁵、今村 文彦⁵

*Takashi Yanuma¹, Yoshinobu Tsuji², Shintaro Ishizuka¹, Misako Ueno¹, Yuya Matsuoka³, Mutsumi Odagiri(Shiraishi)⁴, Masami Sato⁵, Yayoi Haga⁵, Fumihiko Imamura⁵

1. 株式会社パスコ、2. 公益財団法人 深田地質研究所、3. 東北大学、4. 花巻市博物館、5. 東北大学災害科学国際研究所
1. PASCOCO Co.Ltd., 2. Fukada Geological Institute, 3. Tohoku, 4. Hanamaki City Museum, 5. IRIDeS, Tohoku Univ.

紀伊半島の和歌山県側の田辺市と最南端の串本町の海岸は、歴代の南海地震の震源域の近傍に位置する海岸であって、常に大きな津波被害を生じてきた。この海岸をおそった昭和21年(1946)昭和南海地震の記念碑は、数多く見つけることができる。江戸時代にもこの海岸は、宝永地震(1707)、および安政南海地震(1854)の津波による被災記録が数多く残されている。これらの歴史記録に基づく現地調査と津波浸水、あるいは遡上高さの推定は、羽鳥(1980)によって概略の調査が行われた。しかし、その後37年もの年月が経過して新たな地震史料集の刊行、あるいはGPSを応用した測定技術の進歩によって、より細密な調査が可能となってきた。本研究では主として、田辺市から串本町までの海岸を対象として、武者(1941, 1951)の「増訂大日本地震史料」、および地震研究所から刊行された「新収 日本地震史料 III、V別巻5-2、補遺、続補遺」(1983,1987,1989,1994)に掲載された古文書から集落の津波被害、浸水範囲、および津波到達点の情報を含む記録を抽出してデータベースを作成し、集落ごとに集計して調査指針ノートを作成し、2017年1月17日から20日まで、3泊4日の現地調査および標高測量を行った。

古文書記録に、津波到達点がピンポイントで示されている場合には、その記載に従って現地で標高測定を行いその数値を津波高さとした。集落での浸水、破損、全壊、あるいは流失家屋数の記録のみが残っている場合には、当時の全戸数に対する比率を算出し、地上冠水厚さを推定し、これを集落の代表点の標高に加えることによって浸水高を推定した。江戸時代の各津波被災集落の市街地の広がり具合を知るため、現代の二万五千分の一地形図とともに明治期の五万分の一地形図を入手しておいた。江戸期の集落の形状は、明治期のそれと大差ないのが通常である。今回の調査点の大部分は旧熊野街道(大辺路)沿いに市街地が存在するため、原則として旧熊野街道上の集落代表点を一点選択してその標高を測定し、越村ら(2009)を参照して、①大多数の家屋の流失、または全潰の場合は地上冠水厚さは3mかそれ以上とする、②10%~70%程度の家屋流失、又は全潰の場合は地上冠水厚さは2mとする、③数軒の流失は冠水厚さは1.5m、④ただ1軒の流失全壊、あるいは破損、浸水にとどまる場合には、地上冠水厚さは1mとして、集落の代表点の標高に加えることとした。

田辺市新庄地区は、すでに同地区の公民館によって、津波到達位置の調査と、石碑の建立、測定が行われているので、今回の調査では、新庄地区での測定は東光寺門前峠点(ドウの坂)のただ1点だけ調査を行うにとどめた。

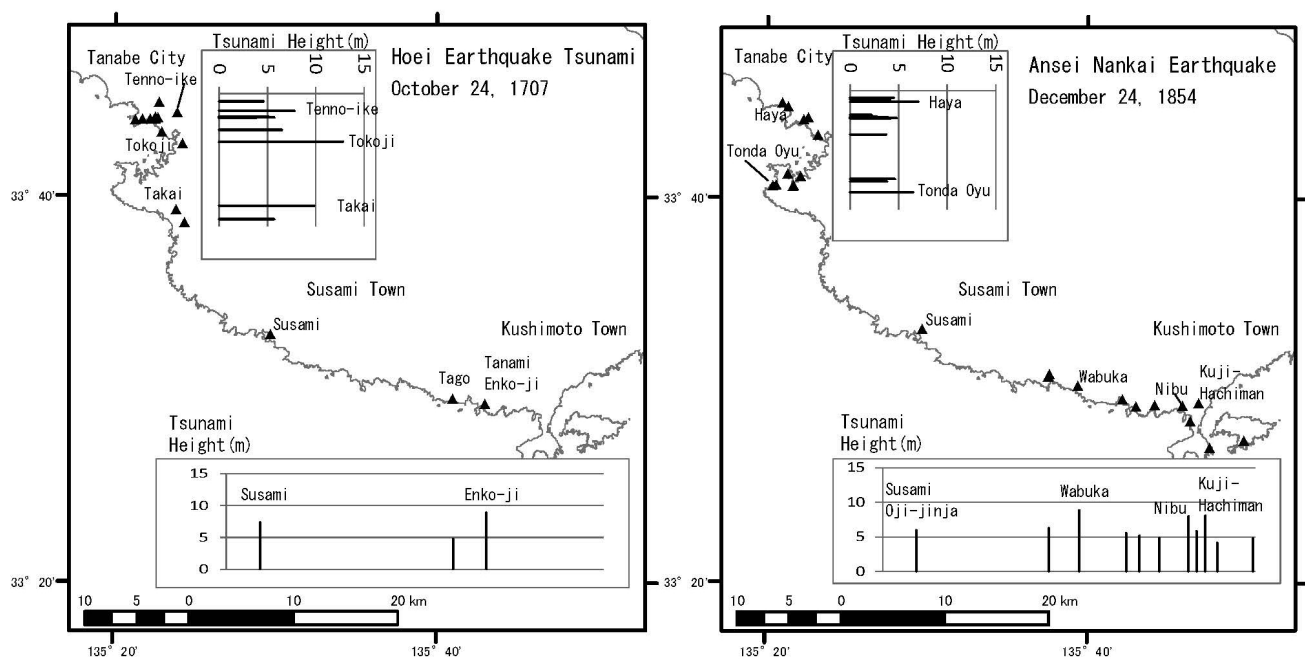
得られた宝永地震(1707、左図)、および安政南海地震(1854、右図)の津波浸水高分布を図に示す。宝永地震の津波では、田辺の中心市街地を構成する本町、紺屋町、片町では総家数411軒で、流失154軒、潰家158軒、大破119軒を出した(田所氏記録)。この3町の標高は2.0~2.2mであるため、地上冠水3mとして、ここでは浸水高5.1mとする。田辺市街地背後の天王池の際(きわ)まで浸水したとされ、その遡上高は

7.8mと推定される。新庄地区では、新庄の谷筋と、その南隣の跡ノ浦の谷筋をさかのぼった海水が、その東光寺門前下の峠点で合流したと伝えられ、ここでは海水は標高12.8mに達したことが確認できた。さらに白浜町富田（とんだ）の高井集落は、全体が標高6.8mの高所にありながら、周辺の集落とともに「一軒も残らず」と記録されている。さらに、すさみ町周参見の万福寺の宝篋印塔は、宝永地震の16年後の1723年に建てられたものであるが、これには宝永津波によって134人の死者があったことを示している。この死者数は当時の周参見の総人口の何割という死者率であったはずである。周参見の市街地の大部分の家屋の流失、あるいは全潰を伴っていたことは必然的である。周参見を縦貫する熊野古道の集落の中心付近の標高は、4.4mであったが、地上冠水厚さを3mと推定して、ここでの浸水高さは7.3mと推定する。宝永津波では、田辺から周参見付近まで、津波高さはおしなべて7~13mであったことは注目すべきである。安政南海地震(1854)の津波は、田辺市・白浜町では4~6m程度であったが、串本町に近づくにつれて津波高さが高くなる傾向が見られる。

謝辞：この研究は原子力規制庁からの受託業務「平成28年度原子力施設等防災対策等委託費（太平洋沿岸の歴史津波記録の調査）事業」（代表：東北大学 今村文彦）の成果の一部をとりまとめたものである。

キーワード：宝永地震、安政南海地震、歴史地震、津波災害

Keywords: Hoei Earthquake-Tsunami, Ansei Nankai Earthquake-Tsunami, Historical earthquakes, Tsunami disaster



2003年十勝沖地震の津波痕跡高から推定した特性化波源断層モデル（再現モデル）

A Characterized Fault Model estimated from the Tsunami height of the 2003 Tokachi-oki earthquake

*鬼頭 直¹、平田 賢治²、藤原 広行²、長田 正樹²、根本 信¹、松山 尚典¹、村田 泰洋³、秋山 伸一⁴
*Kito Tadashi¹, Kenji Hirata², Hiroyuki Fujiwara², Masaki Osada², Nemoto Makoto¹, Hisanori Matsuyama¹, Yasuhiro Murata³, Shin'ichi Akiyama⁴

1. 応用地質株式会社、2. 防災科学技術研究所、3. 国際航業株式会社、4. 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
1. OYO Corporation, 2. NIED, 3. KOKUSAIKOGYO CO., LTD, 4. CTC (ITOCHU Techno-Solutions Corporation)

1. 再現モデル作成の目的

防災科学技術研究所では、東北地方太平洋沖地震を契機として、日本全国の沿岸を対象とした確率論的津波ハザード評価の研究を進めている（藤原・他, 2013, JpGU）。平成24年度から開始され、日本海溝沿い、南海トラフ沿い及び相模トラフ沿いの海域において断層すべりの不均質性を簡略化した「特性化波源断層モデル」を設定し、津波伝播計算による沿岸の津波高から確率論的に津波ハザードを評価している。現在、千島海溝沿いの海域において特性化波源断層モデルを設定し、確率論的津波ハザード評価を実施している。そのような評価をおこなう上で「特性化」の枠組みが有効であることが求められるが、これは、適当にチューニングを加えた、1つの特性化波源断層モデルが過去の地震津波をある程度良好に再現することをもって確認することが可能である。今回、千島海溝沿いの地震津波波源に対する確率論的な津波ハザード評価をおこなうに際し、特性化波源断層モデルの妥当性・有効性を検証するため、2003年十勝沖地震の津波痕跡高をある程度再現する特性化波源断層モデルを、地震調査委員会 (2017) の津波レシピに基づき作成したので、その結果について報告する。

2. 再現モデルの作成方法

曲面的なプレート面上の断層すべりを表現するため、千島海溝から沈み込んでいる太平洋プレートの上面に約5km x 5kmの要素断層を配置した。すべり角は太平洋プレートの北米プレートに対する相対運動方向に基づき設定した。地震調査委員会 (2004) の長期評価で示されている2003年十勝沖地震の震源域を四角形で近似して断層面とし、この断層面内に大すべり域（平均すべり量の2倍のすべり量を持つ領域）を1個設定した。地震規模は同長期評価で認定されているMw8.3とし、この地震規模に相当する地震モーメントから、 $M_0 = mDS$ を用いて、断層の平均すべり量を計算した。これらの断層パラメタを固定し、大すべり域の位置、アスペクト比及び断層全体に対する大すべり域の面積比率を未知パラメタとして、グリッドサーチ法によって最も再現性の高いモデルを求めた。未知パラメタは以下のように定義した。

①大すべり域の位置に関して、既往研究(Tanioka et al.2004,Yamanaka and Kikuchi 2003)ですべり量が大きいと推定された領域周辺に海溝軸と平行方向に3通り、直交方向に3通りの合計9パターン設定した。

②既往研究のすべり量分布に基づき、大すべり域のアスペクト比（海溝軸に平行方向の長さ/海溝軸と直交方向の長さ）を3パターン（0.9,1.0,1.1）設定した。

③既往研究のすべり量分布に基づき、断層全体に対する面積比率を3パターン(25%,30%,35%)設定した。

これらの合計81の特性化波源断層モデルに対してフォワード・モデリングを実施した。

3. 再現性の評価

モデルの再現性を評価する指標として、残差二乗和を用いた。痕跡データとしては東北大学の「津波痕跡データベース」(<http://irides.tohoku.ac.jp/project/tsunami-db.html>)から、是永・他(2013)の条件に合致するように選別した2003年十勝沖地震の津波痕跡高を用いた。残差二乗和が最小値を示すモデルは、震源域の西端に大すべり域が位置し、大すべり域の断層全体に対する面積比率が25%、大すべり域のアスペクト比が

0.9のモデルとなった。選定したモデルに関して、相田(1977)の幾何平均 K と幾何標準偏差 κ を計算したところ、それぞれ $K=0.98$ 、 $\kappa=1.48$ を示し、この観点においても、2003年十勝沖地震の津波痕跡高を概ね再現する特性化波源断層モデルを求めることができたと考えられる。今後、特性化波源断層モデルの妥当性・有効性を担保するために、過去の地震の津波痕跡高を、特性化の枠組みの中で、ある程度説明する特性化波源断層モデルを各海域で求めていく予定である。

本研究は防災科研の研究プロジェクト「自然災害に対するハザード・リスク評価に関する研究」の一環として実施している。

キーワード：2003年十勝沖地震、特性化波源断層モデル、長期評価

Keywords: 2003 Tokachi-oki earthquake, Characterized fault model, Long-term evaluation

海洋レーダを用いた伊勢湾・三河湾における連結副振動の観測

Observation of Coupled Seiche System in Ise Bay and Mikawa Bay by HF Radar

*渡久地 優¹、藤井 智史²、日向 博文³

*Yu Toguchi¹, Satoshi Fujii², Hirofumi Hinata³

1. 琉球大学大学院 理工学研究科、2. 琉球大学 工学部 電気電子工学科、3. 愛媛大学大学院 理工学研究科

1. Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus, 2. Department of Electrical and Electronics Engineering, University of the Ryukyus, 3. Department of Civil and Environmental Engineering, Ehime University

2011年に東北沖で発生した地震による津波・副振動を、伊勢湾および三河湾に設置されていた海洋レーダが観測していた。従来の津波観測機器は定点観測が主流であるが、海面の表層流速を観測可能な海洋レーダは、津波の到来や副振動の観測に有用なものとなる。副振動とは、沿岸域での湾水の共振現象であり、津波などの外力で励起され、異常潮位や急流を発生・継続させる。したがって、沿岸域での防災を考慮するうえで、その観測は非常に重要なものとなる。

本研究では、伊勢湾・三河湾にそれぞれ2局設置されていた海洋レーダおよび湾内に設置された潮位観測点を用いて、津波の到来・副振動の観測を行った。副振動については、伊勢湾での海洋レーダ観測流速場にEOF解析を行い、Loomisの方法と比較することで振動モードを求めた。伊勢湾内では30-40分、60-80分そして120-140分の周期帯で顕著に副振動が発達しており、このうち60-80分そして120-140分は伊勢湾で広域に振動、30-40分の周期帯では局所的な振動の増幅が見られた。

また、津波到来時、三河湾湾奥での水位変動は伊勢湾奥と交互に振動していた。伊勢湾と三河湾は湾口付近で接続しており、それらの振動モードは密接な関係があると考えられる。本発表では、伊勢湾に設置された海洋レーダ観測に加え、三河湾に設置された海洋レーダによって観測された流速場も併せて副振動の解析を行う予定である。

キーワード：副振動、伊勢湾、海洋レーダ

Keywords: Seiche, Ise Bay, HF Radar

震源過程解析のすべり分布を使用した、2016年11月福島県沖の地震の津波解析

Analysis of the November 2016 Fukushima tsunami using the slip distribution of the seismic source process analysis

*中田 健嗣¹、藤田 健一¹、吉田 康宏²、林 豊¹、対馬 弘晃¹、勝間田 明男¹

*Kenji Nakata¹, Kenichi Fujita¹, Yasuhiro Yoshida², Yutaka Hayashi¹, Hiroaki Tsushima¹, Akio Katsumata¹

1. 気象庁気象研究所地震津波研究部、2. 気象庁気象大学校

1. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2. Meteorological College, Japan Meteorological Agency

2016年11月22日に福島県沖でMw6.9の地震が発生した。この地震により、仙台港で1.4mなど、北海道から和歌山までの広い範囲で津波が観測された（気象庁, 2016）。

この津波を再現するため、まず一様すべりの矩形断層（一枚断層）を仮定して津波数値シミュレーションを行った。断層のパラメーターは、CMT解析のメカニズムとマグニチュードのスケールリング則で与えた断層サイズ・すべり量を用いた。この結果では、沿岸の仙台港等の観測記録の第一波でみられるような短周期の津波に比べて、波長が長くなり合わない。このため、より小さな波源の断層サイズであった可能性が考えられた。

そこで本研究では、短波長のすべり不均質を推定する震源過程解析の結果を津波の評価に用いた。まず、震源過程解析で小断層上のすべり分布を求める。ここで、震源過程解析に与えた破壊開始点は、一元化震源（気象庁, 2016, 地震・火山月報（防災編））を参考に、北緯37.353度、東経141.603度、深さ10kmとした。断層面は、複数試した結果、観測波形との一致が良いF-netのCMT解析解を採用し、走向：47度、傾斜：38度、初期すべり角：-90度、で与えた。その後、その個々の小断層による海底面の地殻変動を計算した。その地殻変動を足し合わせたものを海面水位として与え、津波を計算した。ここで、海面水位は震源時に瞬間的に与えられるとした。地形データは、最小で50mメッシュ（内閣府中央防災会議, 2003）を用いた。小断層による地震モーメントを足し合わせた結果のMwは7.2(剛性率30GPa)、7.0(剛性率15GPa)であった。

計算で求めた沿岸の津波波形は、観測された津波の短周期の波の形状や振幅を良く表した。計算で得られた第一波と反射波の位相を観測のそれに合わせるため、初期水位を南西方向に平行移動させた。その結果、津波の波源は余震分布により近くなるとともに、沿岸の津波観測記録と非常に良く合う結果が得られた。最終的に、西へ0.07度、南へ0.12度だけ平行移動した場合がもっとも観測記録に合った。震源過程解析の結果は、破壊開始点の位置により左右される場合がある。今回の事例の場合、破壊開始点を緯度経度で0.1度程度平行移動させても、結果として得られるすべり分布には大きな影響がなかった。

さらに、最適な初期水位に合うような断層を一枚断層で与えるとどうなるかを調べた。予備的な解析の結果、Mw6.9に対して断層長さ20km、幅15km、すべり量6.3mという、Mw 6.9のスケールリング則からはかなり外れた断層を設定する必要があることが分かった。ただし、ここで剛性率は15GPaを仮定した。このような大きなすべり量は、局所的には震源過程解析のすべり分布でも表れており、妥当な範囲にあると考えられる。

今回のようなマグニチュードによる断層サイズやすべり量のスケールリング則から外れた地震の場合、震源過程解析による小断層のすべり分布の情報をういた津波の波源が効果的である。また、解析を即時的に行う場合、水平位置の不確定性に対応するため、グリッドサーチである程度の誤差を許容した計算を複数行い、結果を取り出すという方法が考えられる。謝辞： 津波数値解析にはTUNAMI-N2を用いました。

キーワード：2016年11月の福島県沖の地震の津波、震源過程解析

Keywords: November 2016 Fukushima tsunami, source process analysis

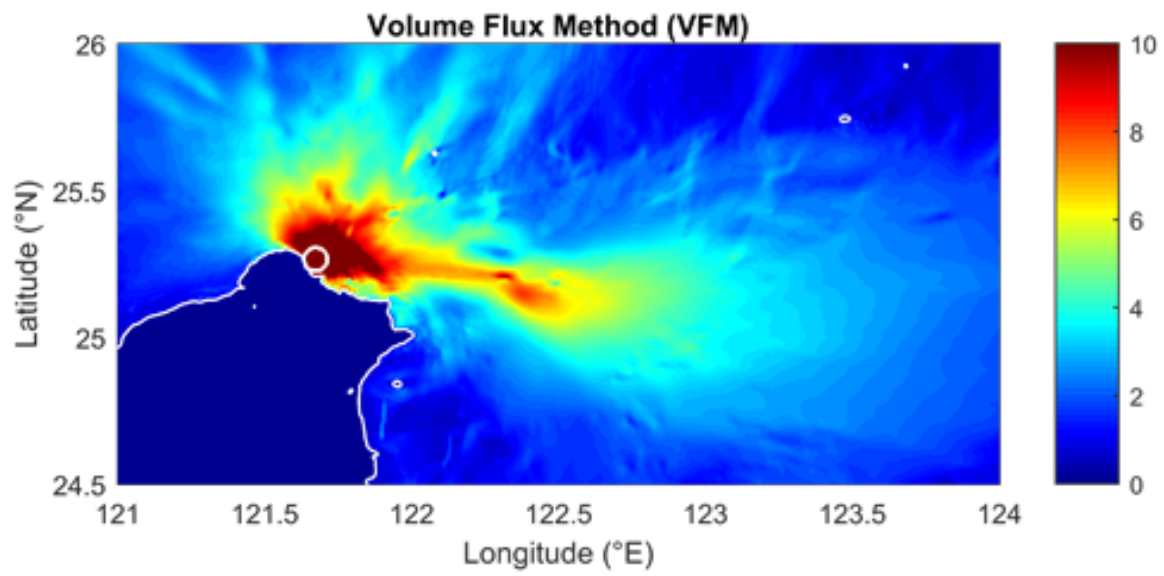
The Development of Volume Flux Method and the Application on the 1661 Luermen event

*Tso-Ren Wu¹, Han Wu¹, Shun-Kai Hu¹, Yu-Lin Tsai¹

1. National Central University

In 1661, Chinese navy led by General Koxinga at the end of Ming Dynasty had a naval battle against the Netherlands. This battle was not only the first official sea warfare that China confronted the Western world, but also the only naval battle won by Chinese Navy so far. This case was significant because it altered the fate of Taiwan until today. One of the critical points that General Zheng won the battle was entering Lakjemuysse bay unexpectedly. Luermen bay was and is an extremely shallow bay with a 2.1 m maximum water depth during the high tide, which was not possible for a fleet of 20,000 marines to cross. Hence, no defense was deployed from the Netherlands side. However, plenty of historical literatures mentioned a strange phenomenon that helped Chinese warships entered the Luermen bay, the rise of water level. In this study, we will discuss the possible causes that might rise the water level, e.g. Tsunami, storm surge, and high tide. We analyzed it based on the knowledge of hydrodynamics. We performed the newly developed Volume Flux Method (VFM) for finding the potential tsunami sources, and the COMCOT tsunami model was adopted for the nonlinear scenario simulations, associated with the high resolution bathymetry data. Both earthquake and mudslide tsunamis were inspected. Other than that, we also collected the information of tide and weather for identifying the effects from high tide and storm surge. After the thorough study, a scenario that satisfies most of the descriptions in the historical literatures will be presented. The results will explain the cause of mysterious event that changed the destiny of Taiwan.

Keywords: Mudslide Tsunami, Storm Suge, volume flux method (VFM), COMCOT, 1661 Luermen naval battle



Processing Real Time Tsunami Potential of Earthquakes using Early-est

*Mehmet YILMAZER¹, Fatih TURHAN¹, Ocal NECMIOGLU¹, Aysegul KOSEOGLU¹

1. Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute

In this study current status and results of the Processing Real Time Tsunami Potential of Earthquakes Project (Supported by the Research Fund of the Bogazici University, PN12002) will be presented. Bogazici University - Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute –Regional Earthquake and Tsunami Monitoring Center (KOERI-RETMC) is providing tsunami-warning services in the Eastern Mediterranean, Aegean and Black Seas since 1 July 2012 and has been accredited as a Tsunami Service Provider of ICG/NEAMTWS at its 13th session during 26-28 September 2016 in Bucharest, Romania. The main purpose of the this project is evaluation of usefulness of the Early-Est method (Lomax and Michelini) by the RETMC for the rapid and robust assessment of the tsunami potential of an earthquake for early warning and emergency response depending both on moment magnitude and rupture duration of the earthquake based on $T_d T_0$ and $T_d T_{50} E_x$ discriminants. Both real time data and the off-line earthquake waveform data are being processed using Early-est software package. In the initial phase of the project, the waveform data belonging earthquakes that have M6.5 available from all over the world are being archived and processed. So far, approximately 1000 events have been processed and prepared for statistical analysis. Next step would be the analysis of the relation between theoretical assumptions and processing results in terms of moment magnitude and tsunami potential. At the end of the study, performance of the method will be investigated using real time processing results are collected during the project period. We would like to thank Dr. Anthony Lomax for his cooperation and support in the operationalization of Early-Est in RETMC.

Keywords: Tsunami, Rupture Duration, Early-Est, Tsunami Potential Discriminant

Beamforming detection of possible tsunami forerunners at the Korean coast

*Satbyul Kim¹, Emile Okal², Tae-Seob Kang¹

1. Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, 2. Department of Earth and Planetary Sciences, Northwestern University

Korea is mostly surrounded by sea and the west and south offshore have shallow depth which is 51 m and 71 m of the average depth respectively. The eastern sea of Korea has relatively deeper average depth (about 1,497 m) as well as it increases rapidly along the coast, so the sea between the eastern Korean Peninsula and the Japanese Arc is such as a huge bath. When the 2011 Tohoku earthquake occurred, it not only generated a devastating tsunami in the Sanriku region, but also caused small waves in the back-arc region of Japan. They were recorded at several tidal gauges along the coast of the East Sea (Japan Sea) (e.g. Shevchenko et al., 2014; Murotani et al., 2015), and Murotani et al. referred to them as “tsunami forerunner”. The Nankai Trough, which is located to the southeast of Japan, is one of the regions capable of producing a large M9 earthquake in the future (Parsons et al. 2012). Therefore, there is a reason to believe that a potential earthquake may cause sea waves originating in southeastern Japan to reach the Korean Peninsula. In this study, we explore whether a large Nankai earthquake will produce a tsunami forerunner in the back-arc region of Japan observable on the Korean coast. We conducted a numerical tsunami simulation to obtain synthetic waveforms using a 1707 Hiei earthquake model proposed by Furumura et al. (2011). We created two virtual arrays, AR01 and AR02, to obtain synthetic waveforms. Array AR01 is located to the southeast of Korea to detect the tsunami forerunner and array AR02 is between southern Korea and Kyushu Island to record the main tsunami coming from the Nankai Trough. We then used beamforming analysis to verify the direction of tsunami arrivals using simulated waveforms at the two arrays. We determine the direction of a tsunami forerunner using waveforms from array AR01. Because the wave front of the tsunami forerunner is parallel to the array, waves generated in the northwest region of Japan show a back-azimuth angle that points in the north and north-northwestern directions. The distribution of beam-energy at array AR02 clearly shows that the main tsunami generated in the Nankai trough comes from the southeast. The beam-forming technique using tsunami waveforms is not able to accurately determine the direction of tsunami forerunner arrivals because the amplitude of the waves is small and the region has strongly varying bathymetry.

Keywords: tsunami, beamforming detection, Korean coast