

メルカリ震度による津波からの適切な避難方法 A proper method of Mercalli intensity-based evacuation from tsunami

林 豊^{1*}; 勝間田 明男¹; 宮岡 一樹¹; 対馬 弘晃¹; CATALAN Patricio²; BAQUEDANO Jose²; ZELAYA Cecilia³; ORELLANA Victor⁴; 馬場 俊孝⁵
HAYASHI, Yutaka^{1*}; KATSUMATA, Akio¹; MIYAOKA, Kazuki¹; TSUSHIMA, Hiroaki¹; CATALAN, Patricio²; BAQUEDANO, Jose²; ZELAYA, Cecilia³; ORELLANA, Victor⁴; BABA, Toshitaka⁵

¹ 気象研究所, ² フェデリコ・サンタマリア工科大学, ³ チリ海軍水路海洋部, ⁴ チリ内務省国家緊急対策室, ⁵ 徳島大学
¹Meteorological Research Institute, ²Federico Santa Maria Technical University, ³SHOA, Chilean Navy, ⁴National Office of Emergency of the Interior Ministry, ⁵Tokushima Univ.

Three national organizations in Chile cooperate for tsunami early warning operations. National Seismology Center, University of Chile (CSN) operates real-time seismic analysis, Hydrographic and Oceanographic Service of the Chilean Navy (SHOA) evaluates the necessity of tsunami alerts or alarms by using CSN data, and National Office of Emergency of the Interior Ministry (ONEMI) is the only responsible in disseminating warnings and prompting residents to evacuate directly. For example, after the Iquique earthquake on April 1, 2014 (moment magnitude (M_w) 8.2 by CSN), a tsunami warning was issued for all coastlines of mainland Chile, because tsunami forecast areas have not been defined in Chile yet. Another example is the case of the earthquake on July 13, 2014 (at 4:56 p.m. local time; local magnitude (M) 5.6 by CSN); based on the MSI reports from the coastal cities, ONEMI issued precautionary evacuation of the coastal edges of Iquique, but it was soon canceled. It is found that this false alarm likely was caused by an inadequate standard procedure of Mercalli Scale Intensity (MSI)-based.

This paper shows that deriving an empirical relationship among MSI, epicentral distance (Δ), and M enable us to optimize the parameters of MSI-based precautionary evacuation, so that consistency between TFC-based warnings and MSI-based evacuation is assured.

The Japan Meteorological Agency (JMA) began operation of a quantitative tsunami warning system in 1999 (Kamigaichi, 2011); TFCs were used from 1977 to 1999. The version used from 1987 to 1999 has three curves relating Δ and M, which were used as the thresholds between four tsunami warning categories (major tsunami, tsunami, tsunami advisory, and no tsunami).

After compiling data of the earthquake catalog by CSN, tsunami observation data by SHOA, and some additional tsunami numerical calculation, we can apply TFC. Then, an empirical equation among MSI, M_w , and Δ (e.g., $MSI = a M_w - b \log_{10} \Delta + c$, where a , b , and c are constants) can be derived from MSI data collected by ONEMI and an earthquake catalog by CSN. When the range of precautionary evacuation by MSI-based method is defined "within $r(M)$ km from any coast city in which MSI is s or higher", parameters $r(M)$ and degree s can be determined almost equivalent to the curves of thresholds used in the TFC method. If M and MSI at a coastal area in concern are available, MSI-based method can be applied just after the earthquake. Duration of strong shake or MSI at remote cites can substitute M.

This indicates that optimization of parameters of the MSI-based method for consistency to the TFC method is promising approach to improve the reliability of early tsunami warnings in Chile. This methodology could also be applicable to other countries. By the way, the issue of real-time measurement and acquisition of objective MSI can be solved by tsunami alarm equipment (Katsumata *et al.*, in the same session).

Acknowledgements: This work is partly supported by SATREPS program by JICA and JST.

キーワード: チリ, 津波警報, 計測メルカリ震度, 予備的避難, 津波予報図

Keywords: Chile, early tsunami warning, instrumental Mercalli Scale Intensity, precautionary evacuation, tsunami forecast chart

スタンドアロン型津波警報器の試作 Prototype of standalone tsunami alarm equipment

勝間田 明男^{1*}; 林 豊¹; 宮岡 一樹¹; 対馬 弘晃¹; 馬場 俊孝²
KATSUMATA, Akio^{1*}; HAYASHI, Yutaka¹; MIYAOKA, Kazuki¹; TSUSHIMA, Hiroaki¹; BABA, Toshitaka²

¹ 気象研究所, ² 徳島大学

¹Meteorological Research Institute, JMA, ²The University of Tokushima

ゆれを感じたらすぐ高所に移動することは、最も早い津波からの避難方法の一つである。大地震の後には広域の停電などもあり、テレビ・ラジオを通じた情報収集が難しくなることもある。もし、地震直後にその地点のゆれから、津波来襲の危険性を判定する装置があると、津波避難の助けになると考えられる。

強い地震動があるということは、震源断層が近くまで伸びていることを意味する。また、強震動の継続時間が長いことは、地震の規模が大きいことを意味する。もし、強震動が30秒以上続くようであれば、地震のマグニチュードは7.5以上である可能性がある。また、もし強震動が60秒以上続くようであれば、マグニチュードが8.5かそれ以上である可能性がある。強震動の継続時間からのマグニチュード推定は、あまり高い精度が望めるものではなく規模の推定もかなり大まかにはなるが、もし停電などで他の情報が全く得られないような環境であれば、貴重な情報になりうる。また、加速度を積分して得られる速度振幅からは従来の方法に基づくマグニチュード推定もある程度可能であると考えられる。

現在では安価なMEMSセンサーが容易に入手可能である。また、多くの小型計算機もある。現在、我々は、MEMSセンサー・ワンチップマイコン・小型コンピューターなどを使った津波の可能性を知らせる単独で機能する機器の試作を行っている。

一方、震度自体もその装置の出力の一つとして考えている。震度は世界的にみれば人の感覚に基づいて測られている。日本で行われているように、計測震度がネットワークを通じて地震直後に収集できるようであれば、被災地域の早期把握に役立つと見られる。既に、計測値と改訂メルカリ震度との関係に関する報告がいくつもあり、それらを用いて改訂メルカリ震度相当値を示すことは容易である。震度それ自体も津波避難の基準として使うことができる(林・他, 当大会)。チリでは、そのように震度に基づいた避難がなされている。日本でもかなり以前には、人が報告する震度に基づき直接津波警報が出されていた。同じような方法が、地震観測網が十分ではない国では適用可能と考えられる。震度を計測する機器はそのような場合にも役立つものであると考えられる。

謝辞

計測部の構成において、「痛い日記」・「はじめてのPIC」などのWEBページを参照した。この調査は、部分的にSATREPSプロジェクト「津波に強い地域づくり技術の向上に関する研究」の一環として行っている。

キーワード: 津波警報器, 計測震度, マグニチュード, 強震動継続時間

Keywords: tsunami alarm, instrumental seismic intensity, magnitude, strong-motion duration

インドネシア・フィリピン・チリのリアルタイム地震パラメータ推定システムと連動した津波予測システムの開発 Real time earthquake information and tsunami estimation system for Indonesia, Philippines and Chile regions

プリードネルソン^{1*}; 稲津大祐²; 齊藤竜彦¹; 仙田丈二¹; 福山英一¹; 熊谷博之³
PULIDO, Nelson^{1*}; INAZU, Daisuke²; SAITO, Tatsuhiko¹; SENDA, Jouji¹; FUKUYAMA, Eiichi¹;
KUMAGAI, Hiroyuki³

¹ 防災科学技術研究所, ² 東京大学 海洋アライアンス, ³ 名古屋大学

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²UTokyo Ocean Alliance, The University of Tokyo,

³Nagoya University

Southeast Asia as well as South American regions are within the most active seismic regions in the world. To contribute to the understanding of source process of earthquakes and long term seismic activity, the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention NIED maintains the international seismic Network (ISN) in the Asian-Pacific region. Continuous seismic waveforms from broadband seismic stations in Indonesia (148), Philippines (12), and Northern Chile (18) are currently received in real time at NIED, and used for automatic location of seismic events. Using these data we perform automatic as well as manual routine estimation of moment tensor of seismic events ($M_w > 4.5$ in Indonesia and Philippines, and $M_w > 4.0$ in Northern Chile) by using the SWIFT program developed at NIED (Nakano et al. 2008). Since January 2015 we started the real time calculation of local tsunamis in Indonesia, Philippines and Northern Chile using a tsunami simulation code and visualization system developed at NIED (Inazu et al. 2014), as well as earthquake source parameters estimated by SWIFT. The goals of the system are to provide a rapid and reliable earthquake and tsunami information in particular for large seismic events in the region, and produce an appropriate database of earthquake source parameters and tsunami simulations for research.

The system uses the preliminary hypocenter location and magnitude of earthquakes automatically determined at NIED by the SeisComP3 system (GFZ) from the continuous seismic waveforms in the region, to perform the automated calculation of moment tensors by SWIFT, and then carry out the automatic simulation and visualization of tsunami. The system generates maps of maximum tsunami heights within the target regions and along the coasts and display them along with the fault model parameters used for tsunami simulations. Tsunami calculations are performed for all events with available automatic SWIFT/CMT solutions. Tsunami calculations are re-computed using SWIFT manual solutions for events with $M_w > 5.5$ and centroid depths shallower than 100 km. Revised maximum tsunami heights as well as animation of tsunami propagation are also calculated and displayed for the two double couple solutions by SWIFT. Detailed procedure for tsunami simulation is as follows;

1. Calculate two finite fault models based on seismic moment, fault mechanisms and centroid location by SWIFT, as well as by an empirical scaling relating seismic moment and fault dimensions. We use a large stress drop model by assuming, a fault length over fault width ratio of 2, and a fault average slip to fault length ratio of $5e-5$ (Utsu 2001). These values approximately correspond to a fault average stress drop of 5MPa, implying larger values of simulated tsunami as compared to the values obtained from other scalings (i.e. Murotani et al 2008).

2. Compute the seafloor deformation using the dislocation theory (Okada 1985), for the source models obtained in step 1. In addition to the vertical seafloor deformation, we incorporate the contribution of horizontal seafloor deformation to the vertical component due to sea-floor gradient (Tanioka and Satake 1996 GRL).

3. Carry out the tsunami simulation based on a linear long-wave model and a long-wavelength filtering effect in the deep seas (Kajiura 1963).

4. Automatically publish the earthquake parameters and tsunami simulation results in the following web site:

<http://www.isn.bosai.go.jp/en/index.html>

Acknowledgments

Seismic data from Indonesia and Philippines is received at NIED under a cooperative research with BMKG (Indonesia), PHIVOLCS (Philippines), and GFZ (Germany). Data from Northern Chile is being provided by the IPOC (Integrated Plate Boundary Observatory of Chile) and Universidad de Chile.

キーワード: インドネシア, フィリピン, チリ, 地震パラメータ, 津波予測, リアルタイム

Keywords: Indonesia, Philippines, Chile, Earthquake parameters, Tsunami forecast, Realtime

津波即時予測のための線形分散波理論に基づく理論津波波形データベースの作成 Development of tsunami waveform database based on linear dispersive-wave theory for real-time tsunami forecasting

対馬 弘晃^{1*}; 林 豊¹; 馬場 俊孝²; 安藤 和人³; 加藤 季広⁴

TSUSHIMA, Hiroaki^{1*}; HAYASHI, Yutaka¹; BABA, Toshitaka²; ANDO, Kazuto³; KATO, Toshihiro⁴

¹ 気象研究所, ² 徳島大学, ³ 海洋研究開発機構, ⁴ 日本電気株式会社

¹Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, ²University of Tokushima, ³Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁴NEC Corporation

沖合で観測される津波波形から津波波源をリアルタイムに推定し、沿岸の津波を即時に予測する手法は、津波が沿岸に来るより前に、津波を精度良く求めるための有効な手段の一つである。気象研究所では、こうした予測を実現するため、tFISH [Tsushima et al., 2009, JGR] を開発し、現在も改良を進めている。本研究では、この予測手法の構成要素の一つであるグリーン関数データベースの高精度化を行う。tFISH では、地震発生前に、地震発生の可能性がある海域を網羅できるように、多数の要素波源をモデル領域の該当海域に配置し、各波源についての津波伝播計算を行って、各沖合津波計・沿岸地点等における津波波形をデータベース化する。これにより、地震発生後は、データベース内の津波波形を抽出し組み合わせることで、線形の波形逆解析による波源推定や、重ね合わせによる予測津波波形の合成を、短時間のうちに完了させることができる。一般に、沖合を伝播する津波は、線形長波近似でよく再現できるため、これまではこの近似に基づいてグリーン関数を計算していた。しかしながら、近年の沖合津波観測事例の蓄積とその解析によって、沖合津波計の波形を再現する上で、波数分散性の考慮が必要な場合があることがわかってきた [例えば, Saito and Furumura, 2009, JGR]。また、分散性を含む観測波形を入力とする波源推定において、線形長波近似に基づくグリーン関数を用いると、分散性を考慮していないことによるモデル化の誤差が、波源推定精度を大幅に低下させることも明らかになっている [Saito et al., 2010, JGR]。線形分散波理論に基づく津波計算は、線形長波計算に比べて計算コストが極めて高いものの、データベースとして事前準備しておけば、リアルタイム予測で行う計算は、従来と同じ手順により短時間で完了する。そこで本研究では、観測技術の高度化によって得られた観測データを最大限に活用した津波即時予測の実現に向けて、線形分散波理論に基づくグリーン関数のデータベースを構築する。

線形分散波方程式に基づく津波伝播の数値計算には、Baba et al. [2015, PAGEOPH] による JAGURS を用いた。JAGURS は、京コンピュータ上で OpenMP と MPI を駆使した並列計算を実施できるようにチューニングされている。本研究では、将来地震発生の可能性がある領域を網羅できるように、千島・日本海溝と南海トラフ沿いの海域に、波源サイズや位置を変えながら合計約 3300 の波源を配置した。こうした大量の波源に対する津波計算を現実的な時間内で完了できるようにするため、1つのジョブの投入により、すべての要素波源による分散波津波計算を同時に実施できるように設計・実装を行った。1000 を超える波源群の津波計算は、ユーザが指定したノード数で波源毎に並列計算され、異なる波源間の同期処理は行われず、南海トラフ沿い領域の合計約 1000 波源の計算を実施したところ、約 4000 ノードを同時使用することにより、約 20 時間ですべての計算を完了させることができた。これらの計算結果は、品質管理のための点検を経て、データベース化される。現在は、南海トラフ沿いの計算を完了し、千島・日本海溝沿いのデータベース作成を進めている。

本研究は、「HPCI 戦略プログラム」(分野 3) 防災・減災に資する地球変動予測の補助を受けて実施した。また、本研究の計算には京コンピュータを活用した。

キーワード: 津波即時予測, データベース, 線形分散波理論, 京コンピュータ

Keywords: real-time tsunami forecasting, database, linear dispersive-wave theory, K computer

船舶GNSS測位高度による巨大津波の計測の可能性 Possibilities of measuring great tsunamis using GNSS-based ship height positioning

稲津 大祐^{1*}; 早稲田 卓爾¹; 日比谷 紀之¹
INAZU, Daisuke^{1*}; WASEDA, Takuji¹; HIBIYA, Toshiyuki¹

¹ 東京大学

¹The University of Tokyo

津波の沖合観測はその予測および波源の推定に非常に役立つ。海底圧力やGPS海水位ブイがその観測のためによく使われる。そうしたリアルタイム観測に基づく即時予報技術は実用化されてきている (Tang et al. 2012 JGR Oceans; Tsushima et al. 2012 JGR Solid Earth)。予測や波源推定の可能性を広げるために、この他の沖合計測技術を検討しておくことは有益である。本研究では、船舶搭載のGPS測位高度記録による巨大津波の計測の可能性を検討している。高精度測位法であるキネマティック精密単独測位 (PPP) を使うことで、沖合において (数十 cm の振幅の) 巨大津波 (数十分以内の時間スケール) を計測できる可能性がある。通常の相対測位や単独測位ではこうした信号の検知は難しい。一方で、これらの低精度測位法に基づくGNSS機材は、AIS (Automatic Identification System) データ取得・送信のため、多数の船舶に広く用いられている。現状のAISデータには高度情報は含まれていないが、将来採用されることはあり得る。現在、多数の船舶による、低精度な場合を含め、高度測位が得られる場合の巨大津波の早期検知の可能性の検討を行っている。

キーワード: 津波, GNSS, 船舶, 高度

Keywords: tsunami, GNSS, ship, height

日本海で発生する地震津波の沖合と沿岸での津波高の関係 Relationship between tsunami heights at offshore and coastal points in the Sea of Japan

Gusman Aditya^{1*}; 室谷 智子¹; 佐竹 健治¹
GUSMAN, Aditya^{1*}; MUROTANI, Satoko¹; SATAKE, Kenji¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

日本海東縁部では1993年北海道南西沖地震 (Mjma 7.8), 1983年日本海中部地震 (Mjma 7.7), 1964年新潟地震 (Mjma 7.5), 1940年積丹半島沖地震 (Mjma 7.5), 1833年庄内沖地震 (M 7.5) など過去にいくつかがマグニチュード7.5を超える地震が発生しており, 津波による被害をもたらした。将来発生しうる地震津波の評価のため, 2014年に国土交通省は日本海東縁部沿岸に影響を及ぼすM6.8~7.9の60の津波断層モデルを公表した。

1993年北海道南西沖地震の際にかなりの津波被害を受けた奥尻島の青苗地区を対象として, 国交省の津波断層モデルと高解像度の地形データを用い, 津波シミュレーションを行って, 水深約50mの沖合での津波高と沿岸での津波高を比較した。その結果, 沿岸での津波高が4m以下となる津波に関しては, 沿岸での波高は沖合での波高の約3.5倍という比例関係にあった。得られた回帰式は, 粗いグリッドの地形データを用いて津波シミュレーションを行った際の, 沿岸での津波高を推定するための増幅率として扱うことができる大きな津波については, そのような比例関係は得られなかった。

日本海沿岸全域に対しても同様に国交省の60の津波断層モデルを用いて, 水深約50mの沖合と沿岸での津波高の計算を行い, 156の市町村について沿岸域で1m以上の津波高が予想され, 津波被害をもたらす可能性がある断層を抽出した。線形長波式によって計算された沖合と沿岸での津波高の関係は, 場所によって異なるが, 海底地形の傾斜による起因が大きいと思われる。

謝辞: この研究は文部科学省受託研究「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環として行われました。

キーワード: 津波シミュレーション, 津波浸水域, 海域活断層, 日本海

Keywords: Tsunami simulation, Tsunami inundation, Active faults, The Sea of Japan

津波シミュレーション結果のアレイ処理による遠地津波の波線の自動作成と伝播経路の特定 Estimation of tsunami propagation paths using the array analysis of tsunami simulation results

中田 健嗣^{1*}; 宮岡 一樹¹; 勝間田 明男¹
NAKATA, Kenji^{1*}; MIYAOKA, Kazuki¹; KATSUMATA, Akio¹

¹ 気象庁気象研究所

¹ Meteorological Research Institute, JMA

日本から遠く離れた遠地で発生した地震による津波は、日本沿岸には最大波が第一波から遅れて発現することが多くある。実際、例えば、2010年チリ中部沿岸の地震による津波の際には、根室市花咲に最初の押し波が到達後、約1時間半後に高い波が到達、さらに約4時間半後に最大波が観測された(気象庁,2010)。そのため、日本沿岸で観測される津波がいつ、どこから伝播してくるかを容易に把握できるようにしておくことは、津波の監視上、重要であると考えられる。

伝播経路は、海底地形による屈折を計算して波線を理論的に得る方法があり、計算機で行う Satake (1988) や手作業による渡辺 (1985) の例がある。また、伝播図(例えば、2010年チリ中部沿岸の地震について、気象庁,2010)がある。これらは精度良く理論的に得られるが、実際の地震の事例に関して、任意の時間帯にどの経路からやってきたか等の情報まではない。また津波シミュレーションでは、振幅も含めた水位分布(スナップショット)を確認できるが、伝播経路を1枚の図で確認できる形にはならない。そこで、本研究では、日本付近で観測される津波記録に対応した伝播経路を、時間帯別に1枚の図に自動で図示できることを目的とした。

手法は次の方法を試みた。津波シミュレーション計算(Tanioka (1998)等)により各計算格子で得られる水位の時系列波形をアレイ観測データと見立てる。それに、地震等で行われている複数の波形を足し合わせて処理するアレイ処理(センブランス解析)(Neidell and Taner, 1971)を適用して、ある基準点に対する到来方向を求め、それを過去の時間にさかのぼって繰り返し行うことで津波の伝播経路(波線)を得る。アレイは、ある基準点を囲むように、経度、緯度方向にある格子間隔だけ離れた複数の点で構成する。アレイ処理点の波形はそれぞれ似た波形であることを前提とするが、あまり基準位置から近い点だと到来方向を変化させたときのコントラストが出ないため、ある程度は基準点から離す必要がある。基準点とアレイ処理点の2点間の距離と2点の平均水深を用いた位相速度から遅れ時間を求め、すべてのアレイ処理点の波形について遅れ時間だけずらした波形を足し合わせ、1つの波形とする。その波形に対して、ある時刻について時間幅で足し合わせ、元波形の足し合わせで割り、センブランス値とする。以上を、到来方向を変化させて行い、最大の場合をその基準位置に対する波の到来方向とする。さらに、これを、ある固定の距離だけ到来方向に過去にさかのぼったときの時間を求め、次のステップの時刻を算出する。現在までの解析であるが、次のとおり設定した。アレイ構成点数(基準位置を四角で取り囲むよう設定):8点、基準位置とアレイ処理点間の経度・緯度方向の格子数:21(緯度に依るが、5分*21格子=約1.7度、約150km)、到来方向走査間隔:10度、1ステップあたりのさかのぼり距離:110km、センブランス値の時間幅:40~60分。

適用事例として、2010年チリ中部沿岸の地震(Mw8.8)を対象とした。1枚断層でシミュレーション計算(空間5分格子)を行い、その結果を日本付近の沖合の観測記録(DART(NOAA)3地点、北から順に21419、21413、52401)と比較し、最初の数波(2~3時間分)(日本沿岸での後続波は考えず、太平洋を伝播してきた最初の数波の部分に着目)が概ね合っていることを確認した。これらの時間帯の時系列波形の個々の波について時間を逆にたどり伝播経路(波線)を得た。21413では第一波で大きな波が一つの波群となっており、これから波線をたどった結果、チリの波源域に向かって直線的な波線が得られた。これは津波の放射方向と一致している。一方で、21413の北側の21419や南の52401では第一波の後、1~2時間ほど経過してから大きい波が現れている。この第一波から大きい波までの波群について個々に波線をたどると、それぞれ異なる伝播経路の波線が得られた。これは、異なる伝播経路であるハワイの北側や南側等を通るルートを通る津波が通過し、それらの波が重ね合わさっていることを示していると考えられる。これらは水位分布から津波の伝播を確認したところ、傾向が合っていた。今回のケースでは、センブランス値の時間幅をあまり小さく(10~20分)とると波線が安定しない場合があった。波群を安定して追跡するためには、津波の記録の周期等に合わせる必要があるだろう。

本手法では、実際に観測された沖合の波形に対応する計算波形にアレイ処理を適用することで個々の波群に対応する伝播経路を自動で1枚の図に時間帯別に図示できた。このような図は津波監視の参考となるものとする。また、今回、観測記録と比較が容易な沖合の観測点からさかのぼりとしたが、沖合の21419等と同様に沿岸の検潮所地点でも遅れて高い波が現れており、得られる伝播経路の図は、沿岸の検潮所にも参考になるものとする。

キーワード: 津波シミュレーション, 波線解析, 最大波, アレイ解析, 伝播経路, 遠地津波

Keywords: tsunami simulation, backward ray analysis, maximum wave, array analysis, propagation path, distant tsunami

実測に基づいた土佐清水港内外の海面変動に関する一考察 An investigation of sea level fluctuation around the Tosashimizu Port by observed data

田野邊 睦^{1*}; 今井 健太郎²; 林 豊³; 阿部 邦昭⁴; 今村 文彦²
TANOBE, Atsushi^{1*}; IMAI, Kentaro²; HAYASHI, Yutaka³; ABE, Kuniaki⁴; IMAMURA, Fumihiko²

¹ 東北大学大学院, ² 東北大学災害科学国際研究所, ³ 気象研究所, ⁴ なし

¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, ²IRIDEs, Tohoku University, ³Meteorological Research Institute, ⁴None

1. はじめに

津波などの長周期波が港湾部に侵入すると、その地形条件と津波の周期によっては副振動が発生する可能性がある。これまでの津波事例でこのような副振動が確認されている。固有周期に起因した水位変動に対する研究は観測データを用いた手法1や数値計算を用いた手法2を用いて、対象とした港湾の海面変動とその地形条件から副振動の卓越周期を求め、さらにその増幅特性について議論をしている。しかし、その多くが対象とした港湾内のみを解析したものであり、湾内の海面変動の駆動力を担う湾外を含めた解析研究は少ない。

本研究では、既往研究によって1,3, その副振動特性が比較的明らかにされている高知県土佐清水港を対象として、その湾内外で潮位観測を実施し、土佐清水港内外で発生する副振動の特性について検討を行うことを目的とする。

2. 観測データ

本研究では、高知県土佐清水港内外に水圧計を計7器設置し、2014年9月10日から2014年12月9日までの期間、計測間隔15秒で潮位観測を行った。得られた観測データに対して潮汐成分を除去するために8-128minのバンドパスフィルタによる処理を施した。湾内の水面変動の実態を把握するために、潮汐を除いたデータを気象擾乱の影響を受けていない期間(以下、平時)と気象擾乱(気象イベント)の影響を受けている期間(以下、気象イベント時)に分割し、それぞれを別個の解析対象とした。

上記の観測データに対してスペクトル解析を行い、土佐清水港における副振動の実態や特性の考察を行った。

3. 結論

本研究では、2014年9月10日から2014年12月9日までの潮位データを解析し、土佐清水港における副振動の実態・特性に付いての検討を行い以下の結果を得た。

① 平時のスペクトル解析の結果から、土佐清水港は港内では平時のメリアン式から求められる固有周期である20min周辺で強いピークを持ち、港奥から港口に近づくにつれ40min近辺にピークが現れ始める。港外では40, 60, 85minといった周期帯にピークがみられた。

② 気象イベント時の観測点のスペクトル解析の結果から、土佐清水港内で2040min近辺で強いピークが見られる。一方で湾後部湾外では40minのピークは見られず3075min近辺でピークがみられた。

以上の結果から、平時・気象イベント時共に湾内外でピークが現れる周期帯は異なっており、土佐清水港はその内外で異なる副振動特性をもつ様子が確認された。また、イベント時に港内で現れた40min近辺のピークは湾の固有周期とも異なり、その生成要因については、今後の検討が必要である。

謝辞

謝辞: 本研究はJSPS科研費(代表: 林豊, 基盤研究(B): 研究課題番号24310132)の補助を受けました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

1. 阿部邦昭(2011): 静振の再測から求めた湾や港の卓越周期(2) 西南日本太平洋岸, 日本歯科大学紀要, vol.40, pp.23-30
2. 高橋将(1986): 石狩湾の津波と副振動, 北海道大学工学部研究報告, vol.130, pp.17-32
3. 村上仁士, 島田富美男(1979): 現地資料および実測に基づく副振動の特性に関する考察(2), 第26回海岸工学講演会論文集, pp.129-132

キーワード: 副振動, スペクトル, 土佐清水

Keywords: secondary undulation, spectrum, Tosashimizu

芦ノ湖で発生したサイスミック・セイシュ Seismic - Seiche generated at Lake Ashinoko

原田 昌武^{1*}; 板寺 一洋¹; 行竹 洋平¹
HARADA, Masatake^{1*}; ITADERA, Kazuhiro¹; YUKUTAKE, Yohei¹

¹ 神奈川県温泉地学研究所

¹ Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

湖の水位は、その形状や水深などによって規定される固有周期を持ち、その周期によって振動する。この振動は気圧変動や風などの気象的な要因や、湖に振動を与える外的要因によっても発生し、セイシュ (seiche、静振) と呼ばれている。ここでは、特に地震によって励起されたものをサイスミック・セイシュと呼ぶ。

神奈川県箱根町にある芦ノ湖については古くからセイシュの研究が行われており、中村・吉田 (1901) は水位観測を行い、同湖の固有周期を求めた。彼らの解析結果によれば、定常時の芦ノ湖の水位は T1 (周期 15.38 分)、T2 (周期 6.76 分)、T3 (周期 4.63 分)、T4 (周期 3.90 分)、T5 (周期 3.11 分) の 5 つの固有周期を持つことが示されている (Nakamura and Honda, 1911)。この研究の後、1930 年 11 月 26 日に芦ノ湖直近 (南側) で北伊豆地震 (M7.3) が発生した。今村・小平 (1932) は、この地震によって励起された芦ノ湖のサイスミック・セイシュの周期は、Nakamura and Honda (1911) によって指摘された T1 と T2 が卓越しており、特に T2 の振動が顕著であったことを明らかにしている。

そこで我々は、芦ノ湖の最近の水位観測データを用いて、芦ノ湖における静穏時のセイシュ (水位変動の固有周期)、および地震によって励起されたサイスミック・セイシュの特徴を調査した。水位観測は芦ノ湖北端部の湖尻水門付近において実施しており、テレメータによって 1Hz サンプリングデータがリアルタイムに送信される。これらの秒値データから、1 分平均値データを作成し、タイムウィンドウを 256 分としたランニング・スペクトルを計算した。その結果、静穏な期間の振幅スペクトルからは、T1 および T2、T3、T5 の周期が現れていることがわかった。また、東北地方太平洋沖地震 (2011.03.11、M9.0) の後には、顕著なサイスミック・セイシュが発生しており、その際には T3 と T5 の周期の振幅が増大し、最大 20 時間程度継続していることが明らかとなった。さらに、静穏時には見られなかった T4 と、T5 よりもさらに短周期の波 (ここでは、T6 (周期 2.19 分) とする) が地震後に顕著に励起されていることがわかった。

東北地方太平洋沖地震によって励起されたサイスミック・セイシュは上記の通りであるが、本発表ではその他の地震によるセイシュの発生状況や、その発生メカニズムについて議論する。

キーワード: サイスミック・セイシュ, 芦ノ湖, スペクトル解析, 固有周期

Keywords: Seismic-Seiche, Lake Ashinoko, Spectrum Analysis, Natural Periods

津波による大阪湾の海底堆積物の再懸濁 Resuspension of Marine Sediment in Osaka Bay by Tsunami

林 美鶴^{1*}; 鈴木 綜人¹; 中田 聡史¹
HAYASHI, Mitsuru^{1*}; SUZUKI, Soyo¹; NAKADA, Satoshi¹

¹ 神戸大学

¹ Kobe University

南海トラフ地震で引き起こされる津波で、大阪湾の海底堆積物が巻き上げられるか（再懸濁が起こるか）を無次元剪断応力により推定した。また、再懸濁が発生する／しない条件を検討した。現在予測される津波（最大流速 1.8 m/s）では、大阪湾の西部（水深 30m 以上）では含水率が低いため（57 %以下）、再懸濁は発生しない。一方、東部（水深 30m 以下）では再懸濁が発生する。東部の 90 % 占める領域では含水率が高いため（60 %以上）、弱い流速でも（0.5m/s）再懸濁が始まる。比較的含水率の低い海域（47%以上）も含め、2.9m/s 以上になると東部の全域で再懸濁が発生する。特に、淀川河口などでは、強い流速が断続的に発生するため、巻き上げが起り続ける Hot Spot となる。大阪湾の東部の海底堆積物は多くの物質や生物を含有していることから、懸濁物だけでなく、これらの海中へ放出が海洋環境に影響を与える可能性がある。

キーワード: 津波, 堆積物, 再懸濁, 大阪湾, 南海トラフ, 剪断応力

Keywords: Tsunami, Sediment, Resuspension, Osaka Bay, Nankai Trough, Shear stress

17世紀北海道巨大津波が東北地方に与える影響 Effects of the 17th century great Hokkaido tsunami on Tohoku regions

伊尾木 圭衣^{1*}; 谷岡 勇市郎¹
IOKI, Kei^{1*}; TANIOKA, Yuichiro¹

¹ 北海道大学理学研究院附属地震火山研究観測センター

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

Historically, great underthrust earthquakes occurred off east Hokkaido, Japan because the Pacific plate subducts beneath the Okhotsk plate. Also, tsunami deposits by prehistoric tsunami have been found off east Hokkaido on the coast of Pacific Ocean.

Previous study suggest that the 1611 Keicho tsunami earthquake is the 17th century great earthquake (Okamura and Namegaya, 2011). In this study, we examined effects of the 17th century great tsunami generated off east Hokkaido on the coast of Pacific Ocean in Tohoku region.

We estimated fault model of the 17th century great earthquake by using locations and elevations where tsunami deposits were found (Ioki and Tanioka, 2013). The result shows that tsunami inundation spread far inland were explained by a large rupture area at deep part of the plate interface. Surveyed tsunami heights near the coast were explained by very large slip amount at shallow part of the plate interface near the trench. The total seismic moment of the 17th century great earthquake was calculated to be 1.7×10^{22} Nm (M_w 8.8).

Tsunami heights and inundation were also calculated along the coast of Pacific Ocean in Tohoku region. Computed tsunami heights along the coast were almost less than 4 m and computed tsunami inundation area is very small at Yamada bay. Even if slip amount of estimated fault model is two or three times larger, computed tsunami inundation area in Tohoku region is small. Tsunami inundation area by the 1611 Keicho tsunami were not explained by our estimated fault model. By an effect of directivity, high tsunami was propagated toward east Hokkaido and low tsunami was propagated toward Tohoku.

キーワード: 津波, 巨大地震, 北海道, 千島海溝

Keywords: tsunami, great earthquake, Hokkaido, Kurile trench

Tsunami simulation for the Korean Peninsula using a Nankai-Tonankai earthquake scenario

Tsunami simulation for the Korean Peninsula using a Nankai-Tonankai earthquake scenario

Kim Satbyul^{1*}; 福山 英一²; 齊藤 竜彦²; KANG, Tae-Seob¹
KIM, Satbyul^{1*}; FUKUYAMA, Eiichi²; SAITO, Tatsuhiko²; KANG, Tae-Seob¹

¹Pukyong National University, ²Nat'l Res. Inst. Earth Sci. Disas. Prev.

¹Pukyong National University, ²Nat'l Res. Inst. Earth Sci. Disas. Prev.

There is a Korean historical document which records an observation of anomalous tidal waves at Jeju Island in 1707. The date corresponds to the occurrence of the great 1707 Hoi earthquake (M8.4) which occurred in the Nankai trough off southwestern Japan. This record suggests a possibility that the tsunami waves caused by the Hoi earthquake reached the Korean peninsula. In this study, we investigate whether the tsunami caused by an anticipated Nankai-Tonankai earthquake will affect to the Korean peninsula or not. We conducted a tsunami simulation based on the nonlinear longwave equations with a dynamic rupture scenario that breaks the whole Nankai-Tonankai area as a single event. We used the dynamic rupture scenario computed by Hok et al. (2011, JGR). The simulation shows tiny tsunami arrivals in Jeju Island about 4 hours after the start of tsunami propagation. At 12 points around the Jeju Island and 2 points between China and Jeju, tsunami heights are computed. We obtained larger tsunami heights (~0.08 m) at the western side of the Jeju than the eastern side (~0.05 m), and we observed the largest amplitude (~0.17 m) at the southwestern coast. Also, we found that a larger tsunami wave reaches the eastern coast of China, in contrast to the Korean peninsula. Small tsunami amplitudes are observed at Jeju Island because the first tsunami wavefronts attenuated while turning around Kyusyu Island. This kind of simulation would be useful to understand how tsunamis originating at southwestern Japan propagate to Korea, which will serve for the mitigation of tsunami disasters in the Korean peninsula.

キーワード: Tidal waves record at Jeju Island, Nankai-Tonankai earthquake, Numerical simulation

Keywords: Tidal waves record at Jeju Island, Nankai-Tonankai earthquake, Numerical simulation

歴史記録に基づいた1854年安政南海地震による高知県西部沿岸の津波高さと被害率との関係
Relationships between heights and damage of the 1854 Ansei Nankai tsunami along west coast of Kochi prefecture, Japan

行谷 佑一^{1*}; 今井 健太郎²
NAMEGAYA, Yuichi^{1*}; IMAI, Kentaro²

¹産総研 活断層・火山研究部門, ²東北大 災害科学国際研究所
¹IEVG, AIST, ²IRIDeS, Tohoku University

歴史時代の津波の高さを推定するには、歴史資料に書かれた記述、とくに具体的に高さのわかる記述をもとに現地で測定するのが一般的である。一方で記述の中には流失などの被害を受けた家屋の戸数のみが記されている場合がある。この場合、ある程度の高さの津波が浸水したことは確かであるが、その情報から津波高さを簡単には推定できない。推定するには津波の高さと被害率とを結びつける、津波被害関数（たとえば、Koshimura et al., 2009, JDR）を利用することが有効と考えられる。しかしながら津波被害関数は基本的には近年発生した津波が対象とされている。現代と江戸時代とは家屋の強度に違いがあると考えられるので、江戸時代における津波の高さと家屋の被害率との関係を構築することが望ましい。そこで本研究では1854年安政南海地震津波による被害数を整理し、算出される被害率と津波高さとの関係を調べた。利用した史料は『新収日本地震史料第5巻別巻5』に掲載された『嘉永甲寅年大地震筆記 徳永達助記録』である。ここには流失や全潰、および大破などの被害を受けた家屋の数が記載されている。そこでこの被害数から Hatori (1964, BERI) を参考に被害率（ $[\text{流失家屋数} + \text{全潰家屋数} + \text{半潰家屋数} \times 0.5 + \text{大破小破家屋数} \times 0.5] / [\text{全家屋数}]$ ）を算出した。各集落の全家屋数は本史料に記載されていないため、寛保郷帳に記された家屋数を利用した。つぎに、被害率が算出された集落（高知県西部の沿岸集落、中土佐町～土佐市の一部）について津波高さを既存文献（たとえば都司・他, 1994, 歴史地震）をもとに整理し、被害率と対応づけた。この結果、津波の高さが2 m の場合は被害率が0であったが、5 m を越えると被害率は急激に上昇し0.8 を越す傾向がみられた。

キーワード: 津波高さ, 被害率, 安政南海地震津波, 高知県

Keywords: tsunami height, damage ratio, the 1854 Ansei Nankai earthquake tsunami, Kochi prefecture

日本海で発生したM7クラスの地震の津波断層パラメータの推定 Tsunami source model of M7 earthquakes occurred in the Sea of Japan

室谷 智子^{1*}; 佐竹 健治¹; 原田 智也¹
MUROTANI, Satoko^{1*}; SATAKE, Kenji¹; HARADA, Tomoya¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, the Univ. of Tokyo

日本海東縁部では、太平洋側と比べて、大地震の規模は小さく、また発生頻度も低いものの、20世紀にはM7.5以上の大地震(1940年積丹半島沖地震(Mjma 7.5), 1964年新潟地震(Mjma 7.5), 1983年日本海中部地震(Mjma 7.7), 1993年北海道南西沖地震(Mjma 7.8))が発生している。これらの地震に関しては、地震波形や津波波形を用いた詳細な解析が行われているが、M7程度の地震については詳細な解析は少ない。日本海東縁部には多くの海域活断層が存在し、M7クラスの地震でも震源が陸に近ければ、地震動や津波による被害を受ける可能性がある。そこで本研究では、日本海で発生した1964年男鹿半島沖地震(Mjma 6.9), 1971年サハリン西方沖地震(Mjma 6.9), 1983年青森県西方沖地震(Mjma 7.1)によって観測された津波波形を再現するための断層パラメータの推定を行った。

上記の3地震について、津波波形を計算し、検潮所での観測波形との比較を行った。津波波形の計算は、JTOPO30とM7000シリーズの海底地形データから作成した3秒(90m)のグリッドデータと非線形長波式を用い、JAGURS(Baba et al., 2015, PAGEOPH)の並列津波計算コードによった。1964年の地震では、江差・福島・岩崎・船越・船川・秋田・酒田・下瀬・新潟の9か所、1971年は稚内・香深・天塩・羽幌・留萌・小樽・忍路・岩内とサハリンのKholmsk・Nevelskの10か所、1983年は稚内・仙法志・石狩・岩内・江差・吉岡・三厩・深浦・能代・船川・酒田・粟島・岩船・両津の14か所の検潮所で観測された津波波形を用いた。入力とした津波断層モデルは、遠地実体波インバージョン(Kikuchi and Kanamori, 1991, BSSA)によって得られた不均質すべりモデルと、試行錯誤的に推定した矩形断層パラメータを用いた。遠地実体波インバージョンによって得られたパラメータは、1964年の地震は断層サイズ90 km x 40 km, Mw 6.8, 平均すべり量0.2 m, 1971年は断層サイズ70 km x 40 km, Mw 6.8, 平均すべり量0.2 m, 1983年は断層サイズ30 km x 30 km, Mw 6.7, 平均すべり量0.3 mであった。このうち1971年と1983年の不均質断層モデルから計算された津波波形は、観測波形に比べて振幅がかなり小さかったため、矩形断層での平均すべり量を大きくしたところ、振幅の大きさは再現されるようになった。遠地実体波インバージョンで得られた地震モーメントは、やや過小評価の可能性もある。また1964年の地震を含め、走時が一致しない観測点も多く、津波波形の再現に向けて、観測記録の時刻精度の確認や断層の位置や走向などをさらに修正する必要がある。引き続き、遠地実体波インバージョン結果の精査と非線形分散波式による津波波形の計算を行い、観測波形との比較から断層パラメータの推定を行っていく予定である。

謝辞: 本研究は、文部科学省受託研究「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環によって実施されました。日本での検潮所の記録は、東京大学地震研究所の津波波形画像検索システムのデータを使用させていただき、サハリンでの検潮記録は、IMGGのG. Shevchenko氏とA. Loskutov氏にご提供いただきました。また、徳島大学の馬場氏には、JAGURSの並列津波計算コードをご提供いただきました。

キーワード: 津波断層モデル, 断層パラメータ, 津波波形解析, 日本海東縁部

Keywords: tsunami source model, fault parameter, tsunami waveform analysis, eastern margin of the Sea of Japan

大すべり域, 超大すべり域, 破壊開始点および地震規模の不確かさを考慮した多数
津波シナリオの提案と南海トラフへの適用例
Multiple Tsunami Scenarios considering Large Slip Zone, Super Large Slip Zone, Hypocen-
ter and Seismic Magnitude

門廻 充侍^{1*}; 高橋 智幸²

SETO, Shuji^{1*}; TAKAHASHI, Tomoyuki²

¹ 関西大学大学院 社会安全研究科, ² 関西大学 社会安全学部

¹Graduate School of Safety Science Kansai University, ²Faculty of Safety Science Kansai University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波により我が国は甚大な被害を受けた。この津波災害は、想定を超えた外力により、著しく被害が拡大することをあらためて示した。想定外を防ぐためには多数シナリオが有効であり、津波防災においても様々な検討がなされてきた(例えば、高橋ら, 1995; 河田ら, 2003a; 河田ら, 2003b; 鈴鹿ら, 2004; 富岡ら, 2005; 鈴木・河田, 2012)。しかし、その多くは巨視的断層パラメータを中心にしたもので、アスベリティなどの微視的断層パラメータに関する不確かさの考慮は十分とは言えない。

東北地方太平洋沖地震津波の発生を受け、内閣府(2012)は大すべり域と超大すべり域を踏まえた津波断層モデルを発表している。同モデルを受け、様々な機関が新たな断層モデルの想定を行っている。しかしながら、大すべり域および超大すべり域の位置や形状に関する考え方は異なり、標準の考え方は定まっていない。例えば、震源域が同じでも大すべり域および超大すべり域の形状や位置が異なれば、発生する津波の特徴も異なる。それ故に、大すべり域および超大すべり域を設定する標準モデルが必要とされている。

門廻・高橋(2014)は大すべり域および超大すべり域の不確かさを多数津波シナリオに導入する汎用的なモデルの提案を行い、南海トラフの巨大地震を対象に同モデルを適用した。このモデルは、背景領域、大すべり域、超大すべり域で構成されており、各領域の面積、すべり量、形状、位置および破壊開始点を設定する必要がある。同モデルの主な特徴は、津波断層における大すべり域の面積割合などの係数を決めると機械的に多数津波シナリオが設定できる点である。結果として、門廻・高橋(2014)は15ケースの多数津波シナリオを示した。しかしながら、破壊開始点の不確かさ、複数のLSZ, SLSZ, 地震規模の不確かさを考慮していない点が改善点となっていた。

そこで本研究では、上記3点をさらに考慮することができる新たなモデルを提案する。門廻・高橋(2014)と比較した場合、本研究で提案するモデルの特徴は、(1)スケーリング則を考慮して地震規模の不確かさを検討できる、(2)1組に加え、2組の大すべり域、超大すべり域を検討できる、(3)破壊開始点の不確かさを検討できる点にある。提案モデルを南海トラフに適用し、多数津波シナリオの設定手順を具体的に示した。その結果、提案モデルでは、数百ケースのシナリオが想定された。想定されたシナリオを用いて、津波伝播計算を実施し、GPS波浪計において水位変動を出力した。旧モデルと比較するために、GPS波浪計において24時間以内に観測される最大水位変動量を検討した。

キーワード: 津波断層, 不確かさ, 南海トラフ, GPS 波浪計

Keywords: Tsunami fault, Uncertainly, Nankai trough, GPS buoy

確率論的津波浸水深ハザード評価における沖合での津波水位の不確実性の影響 Effect of uncertainty in offshore tsunami heights on the probability inundation hazard assessment

阿部 雄太^{1*}; 是永 眞理子¹; 秋山 伸一¹; 松山 尚典²; 村嶋 陽一³; 藤原 広行⁴

ABE, Yuta^{1*}; KORENAGA, Mariko¹; AKIYAMA, Shinichi¹; MATSUYAMA, Hisanori²; MURASHIMA, Yoichi³; FUJIWARA, Hiroyuki⁴

¹伊藤忠テクノソリューションズ, 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

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

様々な種類の地震によって生じる津波の危険性を評価するため、津波による陸域の浸水深に対する確率論的ハザード評価の適用が検討されてきた(齊藤・他, 2014, JpGU)。一般に、ある地震によって発生した津波が沿岸から内陸部に向かってどのように浸水するかの推定は津波伝播の数値シミュレーションにより決定論的に求められる。ただし、この計算結果には震源特性・伝播特性・サイト特性などの様々な不確実性が内在しており、この不確実性は沖合または沿岸の津波水位のばらつきとして現れる。津波による陸域での浸水深を確率論的に評価しようとする、数値計算において防潮堤のような構造物を設定した場合には、津波が構造物を越えるかどうかで陸域の浸水の結果が大きく変わる。すなわち、ある地震の計算結果において津波が構造物を越えなかった場合においても、沖合の津波水位の不確実性によって津波が構造物を越える可能性があり、その影響を評価する必要がある。

本研究では、陸前高田市における確率論的浸水深ハザード評価の検討事例を基に、沖合の津波水位の不確実性の影響の評価方法を提案する。まず、沖合と陸域にそれぞれ津波の評価地点を設置し、沖合最大津波水位と陸域最大浸水深の相関関係について調べた。沖合最大津波水位-陸域最大浸水深の分布は、津波水位が小さい波源モデル群ではばらつきが大きいものの、津波水位が大きくなるにつれてばらつきが小さくなり直線で近似できることが分かった。つぎに、分布を近似する相関直線を求め、これを沖合の最大津波水位から陸域の最大浸水深を推定するためのモデルとした。陸域評価地点において浸水しなかった波源モデル群を用いて沖合で不確実性を考慮したハザードカーブを計算し、このハザードカーブを相関直線によって陸域の浸水深ハザードカーブへと変換した。

本発表では、防潮堤を超えた計算結果のみから求められるハザードと防潮堤を超えない計算結果も含めたハザード評価結果を比較し、両者の差異について考察を加える。本研究は、防災科研において進められている「全国を対象とした津波ハザード評価」の一環として実施された。

キーワード: 津波, 浸水, ハザード評価, 確率

Keywords: tsunami, inundation, hazard assessment, probability