

2013年2月6日ソロモン地震津波の規模 Magnitude of the Solomon Tsunami of February 6, 2013

羽鳥 徳太郎^{1*}
HATORI, Tokutaro^{1*}

¹ なし

¹ nome

2013年2月6日01時12分(UTC)に、南太平洋のソロモンとニューヘブリデスの2海溝が接する屈折域で大地震が発生した(10.738S,165.138E, M8.0,USGS)。津波が太平洋全域で観測され、震源に近いネンドー島(サンタクルーズ島)で死者10人、流失・全壊家屋590の被害を出した。余震分布によれば、津波波源域は東西に長さ250km、幅120kmと推定される。本稿では検潮記録(WC/ATWC,NOAA,気象庁)をもとに、津波の規模や太平洋域の振幅偏差を調べ、周辺域で発生した津波と比較検討する。

震央距離と片振幅値の関係図によれば、津波マグニチュードは $m = 2$ と判定され、地震規模と比べて標準的である。各地の片振幅値は、震源南方のニューカレドニアと付近の島々で40-49cmが目だって大きい。震源で、東西方向の断層が大きく変動した、と考えられる。各地の最大波の片振幅値は、日本では6-40cm(八丈島で突出)。ハワイ10-18cm、米国西岸7-20cm。南米沿岸が比較的大きく、ガラパゴス・コキンボでは17-19cmであった。波高分布のパターンは、過去のソロモン・バヌアツ津波と共通している。

キーワード: ソロモン地震, 津波規模, 津波源, 2013年2月6日, 振幅偏差

Keywords: Solomon Tsunami, Tsunami magnitude, February 6, 2013, Tsunami source, amplitude deviation

最大波の遅れ時間の空間分布からみえる反射波の到達 -1993年北海道南西沖津波の場合 Arrival times of reflected waves and the maximum phases of tsunami?the 1993 Hokkaido Nansei-oki Tsunami

阿部 邦昭^{1*}; 岡田 正実²; 林 豊³
ABE, Kuniaki^{1*}; OKADA, Masami²; HAYASHI, Yutaka³

¹なし, ²気象研究所, ³気象研究所
¹none, ²MRI, ³MRI

はじめに：津波の盛衰を考える上で、最大波のできる要因を把握することが重要である。太平洋の津波では欽明海山やハワイ諸島のような遠方で反射した津波が、第1波が到達してから6-17時間後に日本に到達し、最大波になる場合があることが報告されている(阿部他、2013)。日本海の津波の場合、対岸の大陸からの反射波がある(羽鳥、1983)。対岸はハワイに比べて近く、海岸線での反射波が津波波形の時間変化の中でどのように現れるかは興味があるところである。そこで1993年北海道南西沖津波について津波最大波の到達時間の空間変化を調べ、反射波との関連性を調べた。

方法：稚内から浜田まで日本海沿岸にある20検潮所の記録から潮位変化を除いて、7月12日の発震時から6時間の1分ごとの津波による水位変化を取り出す。6時間は津波が対岸と2往復はできる時間である。除去するための天文潮位はインターネットの潮位計算のサイトから最寄の検潮所における1時間潮位値を引用し、比例配分と平滑化を行って1分間隔の潮位曲線として用意した。こうして求めた津波の水位変化から、第1波、最大波の到達時刻を読み取る。到達時刻は第1波の場合は押し引きの開始を、最大波の場合はそのピークをもって決めた。一方、津波の走時は岡田・中村(1993)による伝播図、および想定反射体からの伝播図をもとに、各検潮所の値を求めた。反射体はロシアでは、ナホトカ東部の外海に面した海岸、朝鮮では束草(Sokcho)付近の海岸を想定した。津波の波源として長軸の方向は南北で長径190kmの楕円を使用している。伝播距離は伝播図上で波源からの波面に垂直な波線を想定し、検潮所までの波線の長さをキルビメータで測定した。横軸に伝播距離、縦軸に所要時間をとって、第1波、最大波は観測値を、ロシア、朝鮮からの反射波は計算値、さらに検潮所で反射して、朝鮮で再反射し検潮所に到達した波の所要時間の計算値をプロットする。

結果：発震時を22時17分として求めた観測値と、反射波の走時計算値を重ね合わせた結果を図1に示した。伝播距離のプラスは波源中央から南方向、マイナスは北方向の距離である。最大波の出現時間と反射波の走時を比べると、最大波がロシア反射波の到達以前に現れるもの、ロシアと朝鮮の反射波の中間に現れるもの、検潮所で反射し、朝鮮でさらに反射して返ってきた反射波の走時に近い時刻で出現するものの3種に分類されることがわかる。一番目は波源からの直達波である。二番目のものは、観測された最大波の走時が想定した2つの反射波走時の中間にあることから、ロシアと朝鮮の中間のどこかで反射したことを示すと解釈できる。近くの2点ペアで見つかる事例が多いことは、局所的に励起されたものでないことを示すものである。南北の8点がこれに分類されることは広範囲にユーラシア大陸からの反射波が到来したことを意味する。三番目の最大波はその走時が想定されるものの分布と平行でやや短い。これは最初の反射点が検潮所近傍ではなく、波源により近い海岸であるとすると説明できる。つまり第1波が波源に近い日本の海岸で反射し、朝鮮で再反射して到達したものである。伝播距離500-1100kmという広範囲でほぼ同時に到達したのは、日本海の水深分布が関係している。これは広範な領域で定常波へ移行する過程であることを示唆している。

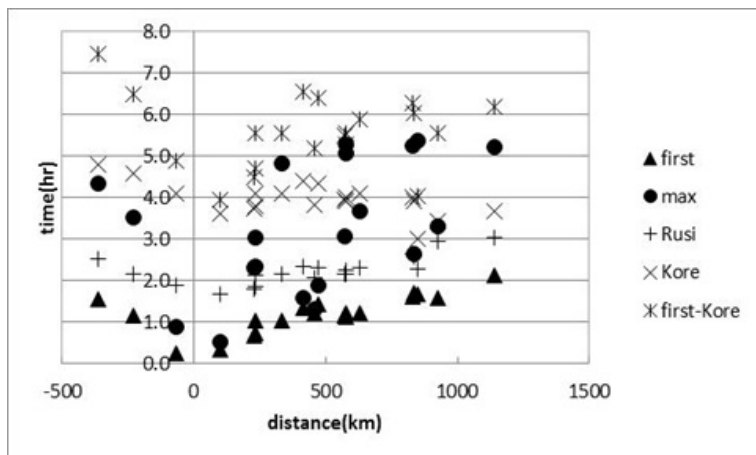
キーワード: 津波, 最大波, 遅れ時間, 反射波, 1993 津波

Keywords: Tsunami, maximum phase, late arrival, reflected wave, 1993 Tsunami

HDS27-02

会場:418

時間:5月1日 09:15-09:30



2011年東北地方太平洋沖地震と過去の津波高さの定量的比較 Quantitative comparison of the 2011 Tohoku earthquake and past tsunami heights

佐竹 健治^{1*}; 都司 嘉宣²; 原田 智也³; 石辺 岳男¹; 西山 昭仁¹; 楠本 聡⁴

SATAKE, Kenji^{1*}; TSUJI, Yoshinobu²; HARADA, Tomoya³; ISHIBE, Takeo¹; NISHIYAMA, Akihito¹; KUSUMOTO, Satoshi⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 東大地震研究所 現所属 深田地質研究所, ³ 東大総合防災情報研究セ/地震研究所, ⁴ 東大地震研究所 現所属 ダイヤコンサルタント

¹ Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ² ERI, the University of Tokyo, Now at Fukada Geological Institute,

³ CIDIR/ERI, the University of Tokyo, ⁴ ERI, the University of Tokyo, Now at Dia Consultants

三陸沿岸における2011年東北地方太平洋沖地震の津波の高さは、1896年明治三陸津波の約1.5倍、1933年昭和三陸津波の約3倍であった。また、1960年チリ津波の約4倍、2010年チリ津波の約14倍であった。茨城・千葉県の沿岸では、1960年、2010年チリ津波の1.6倍、3.6倍であった。三陸海岸はリアス式海岸であり、津波高さは地形による影響を大きく受ける。そこで過去の津波の調査地点がよくわかっているデータを選択し、字や小さな湾など1km程度の範囲内で対比される地点において、津波高さを比較し、比と相関係数を計算した。

三陸沿岸において1896年津波と比較可能な83地点での津波高さ比(1896/2011)の中央値は0.69で、相関係数は0.34であった。1933年津波とは94地点で比較でき、比の中央値は0.33、相関係数は0.47であった。特に三陸南部(宮城県)では2011年津波が以前の三陸津波に比べて高かった。三陸中部(岩手県)に限ると、2011年津波は1896年の約1.2倍、1933年の約2倍である。1960年チリ津波とは98地点で、2010年チリ津波とは12地点で2011年津波と比較でき、津波高さ比の中央値は0.25と0.07であった。相関係数はそれぞれ0.17、0.14と、三陸津波に比べて小さかった。1896年、1933年、2011年の津波は、その波源となる地震の震源やタイプが異なるが、三陸沿岸においては同様な津波高分布をもたらした。すなわち、津波高さは地震の震源・タイプよりも局地的な地形の影響を大きく受けている。一方で、チリ津波の高さ分布との相関は低かった。これは、入射した津波の卓越周期がおよそ2倍以上長かったためと考えられる。

1960年・2010年のチリ津波に対しては、茨城・千葉県沿岸においても同様の比較を行った。津波高さはそれぞれ24、14地点で比較でき、高さの比の中央値はそれぞれ0.62、0.28で、相関係数は0.63、0.41であった。相関係数が比較的高いのは、北から南に向かって津波高さが減少するという一般的な傾向と、千葉県旭市などですべての津波が局地的に高くなったためと考えられる。

2011年津波の測定値は、都司ほか(2011, 地震研彙報)による120地点での測定値を用いた。範囲内に複数の測定値がある場合は中央値を用いた。過去の津波については、1896年津波は山名(1896, 東北大津波防災実験所研究報告, 1988に再掲)、伊木(1897, 震災予防調査会報告)・松尾(1933, 土木試験所報告)による報告を、1933年津波については松尾(1933, 1934, ともに土木試験所報告)、国富(1933, 験震時報)、地震研究所(1934, 地震研彙報別冊)による報告を、1960年津波については合同調査班・気象庁による報告書(ともに1961)を、2010年津波については、都司・他ならびに今井・他による報告(ともに2010, 土木学会論文集)を用いた。詳細なデータはTsuji et al. (Pageoph, in press)に掲載される。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波, 1896年明治三陸津波, 1933年昭和三陸津波, 1960年チリ津波, 2010年チリ津波

Keywords: The 2011 Tohoku earthquake, tsunami, 1896 Sanriku tsunami, 1933 Sanriku tsunami, 1960 Chile tsunami, 2010 Chile tsunami

チリで反射して日本で観測された津波－2011年東北地方太平洋沖地震津波 Tsunami reflected from Chilean coast and observed in Japan - the 2011 off Tohoku Tsunami

岡田 正実^{1*}; 阿部 邦昭²; 林 豊¹
OKADA, Masami^{1*}; ABE, Kuniaki²; HAYASHI, Yutaka¹

¹ 気象研究所地震火山研究部, ² なし

¹MRI, JMA, ²None

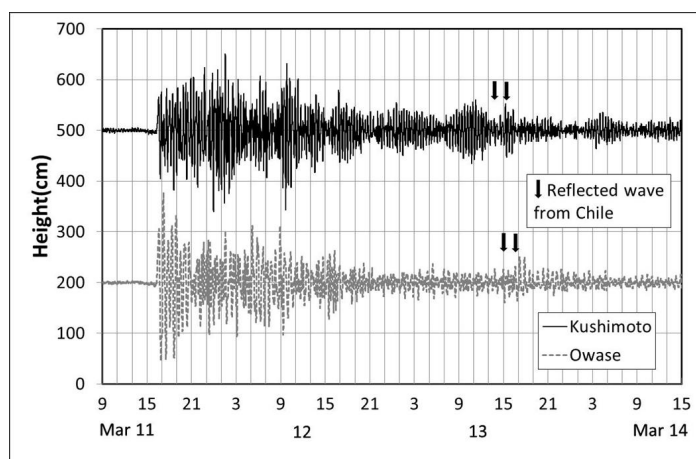
はじめに：2011年東北地方太平洋沖地震津波は太平洋を横断して、南米チリの検潮所で観測されたことがNOAAによって報告されている。チリの海岸線は長大で、反射波はかなり強い指向性を持って、日本の方向へ向かうことになる。そこでチリからの反射波が日本で観測されているのではないかと考え、調べたので報告する。

方法：反射波の確認は予測される時刻に振幅の大きな波が見出されることで行われる。往路伝播時間は、地震発生からチリのタルカーノの記録で第1波引き波とそれに続く顕著な2つの押し波の開始までの時間とした。復路は1960年チリ津波が大陸で反射してから日本に到達するまでの時間であるが、大陸反射波の始まりは、日本の検潮記録で第1波に続く時間で、反転波形の始まりの部分とした。これはチリ津波の波源が海岸を含む陸棚にあり、タルカーノが1960年チリ津波の波源域内であり、かつ反射点であったことを想定している。

結果：往路の伝播時間を表す、タルカーノの第1、2、3波の走時はそれぞれ22.8、23.6、24.8時間である。復路は、1960年チリ津波の走時から串本で23.1時間、尾鷲で24.5時間である。2011年の津波で、串本と尾鷲で観測される反射波は、2つの伝播時間の和である。第1波は振幅が小さく確認できないので、第2、3波の反射波の到来時刻を図1に示す。串本の場合、46.7、47.9時間、尾鷲の場合、48.1、49.3時間である。観測された波形で、第2波から第3波の予想到達時刻で振幅が増加しているのが確認できる。串本のこの部分の波形はタルカーノの波形に類似している。これらの事実からこの振幅の変化はチリの反射波であると考えられる。この部分の振幅変化は、それ以前のものに比べて小さいが、2点でほぼ同時に振幅の増加が観測されており、反射波であることを支持するものである。

キーワード: 津波, チリ, 日本, 反射波, 2011 津波

Keywords: tsunami, Chile, Japan, reflected wave, 2011 tsunami



Disaster Warning System in Thailand through Enterprise Engineering Perspective Disaster Warning System in Thailand through Enterprise Engineering Perspective

LEELAWAT, Natt^{1*} ; SUPPASRI, Anawat² ; IMAMURA, Fumihiko²
LEELAWAT, Natt^{1*} ; SUPPASRI, Anawat² ; IMAMURA, Fumihiko²

¹Tokyo Institute of Technology, ²Tohoku University

¹Tokyo Institute of Technology, ²Tohoku University

Introduction

Identify, assess and monitor disaster risks and enhance early warning has been set as one of the five priority areas of action in the Hyogo Framework for Action 2005-2015. This study is a part of our research project on disaster warning process management analysis as well as Leelawat et al. (2013).

Enterprise Engineering & DEMO

Enterprise engineering is an interdisciplinary field focusing on investigating of each aspect of the enterprise, including a business process, information flow, and organizational structure (Dietz, 2006). While most of the current modeling tools (e.g., BPMN) cannot achieve the enterprise engineering principles, *Design and Engineering Methodology for Organizations (DEMO)* (Dietz, 2006; Perinforma, 2012), an enterprise engineering and business process modeling language, has capability to demonstrate the validity of some principles (Dietz & Hoogervorst, 2012). Thus, DEMO has been selected in this study.

Data Collection

(Primary and Secondary) Data collection took place during Aug.-Dec. 2013. The face-to-face interviews with the acting Director of National Disaster Warning Center (NDWC) of Thailand and the Director of the Seismological Bureau, Thai Meteorological Department (TMD) were conducted in Sep. 2013 through the semi-structured style interviews, together with the observation.

Findings and Discussion

There are 2 main actual players in the Thai warning system as mentioned. The case has been analyzed by DEMO. According to Perinforma (2012), the *Organization Construction Diagram (OCD)* and *Transaction Product Table (TPT)* have been created to show the compact form of the system. DEMO shows its capability to express the sketch of the organization, together with some interesting issues.

First, we can understand the authority and responsibility from OCD and TPT. It can be seen that announcement decision is authorized to only NDWC (i.e., one actual warning announcer). It is a good practice because it does not create the confusion that may occur from many announcing sources.

Second, through the TPT, we can see the chain of warning message announcement, from monitoring information to seismological information. It means that the duty of declaring seismological disaster and declaring warning is separated to different actor roles which in turn increase the performance because each executor can focus on their responsibility works and increase the accuracy since the seismological information has been confirmed by the initiator.

Third, by comparing with Japanese case, it can be seen that the warning system in Japan is mainly executed by one organization (i.e., JMA) while Thai case contains 2 main organizations plus other 4 monitoring organizations regarding to the aspect of information. One reason is probably from the different government hierarchical structures which separated the expertise into each departments (in different ministries) in Thai case.

Acknowledgements

The study was supported by the ACEEES and the Risk Solutions 2013 project of Tokyo Tech. The authors would like to acknowledge Capt. Song Ekmahachai (acting Director of NDWC), Mr. Burin Wechbunthing (Director of Seismological Bureau), Prof. Junichi Iijima (Tokyo Tech), and Dr. Jing Tang for their advice and support.

References

Dietz, J. L. G. (2006). *Enterprise Ontology - Theory and Methodology*. Heidelberg: Springer-Verlag.

Dietz, J. L. G., & Hoogervorst, J. A. P. (2012). The Principles of Enterprise Engineering. In *Advances in Enterprise Engineering*

HDS27-05

会場:418

時間:5月1日 10:00-10:15

VI (pp. 15-30). Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Leelawat, N., Suppasri, A., & Imamura, F. (2013). Analyzing the essence of the disaster warning system in Japan. In *Proceedings of the Second International Education Forum on Environment and Energy Science 2013*.

Perinforma, A. P. C. (2012). *The Essence of Organisation Version 1.2*. South Holland: Sapio.

キーワード: Design and Engineering Methodology for Organizations, Disaster Management, Enterprise Engineering, Thailand, Tsunami, Warning System

Keywords: Design and Engineering Methodology for Organizations, Disaster Management, Enterprise Engineering, Thailand, Tsunami, Warning System

A methodology for near-field tsunami inundation forecasting and its application to the 2011 Tohoku tsunami

A methodology for near-field tsunami inundation forecasting and its application to the 2011 Tohoku tsunami

GUSMAN, Aditya^{1*}; TANIOKA, Yuichiro¹
GUSMAN, Aditya^{1*}; TANIOKA, Yuichiro¹

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University

We develop a new methodology for near-field tsunami inundation forecasting (NearTIF). This method required site-specific pre-computed tsunami inundation and pre-computed tsunami waveform database. Information about tsunami source of an event is required as an input for the method to work. By this method, we will not attempt to obtain a reliable earthquake source model for an event. Instead, any available information about tsunami source such as earthquake moment magnitude, earthquake fault model, or tsunami source model will be used. After information about the tsunami source is obtained, tsunami waveforms at near-shore points can be simulated in real-time during an event. Simulating tsunami waveforms by solving the linear shallow water equation on low-resolution bathymetric data does not take long time, therefore it is suitable to be used in real-time. By using root mean square analysis, a scenario that gives the most similar tsunami waveforms in the database is selected as the best-fit site-specific scenario. Then the corresponding pre-computed tsunami inundation of the best scenario is selected as the tsunami inundation forecast.

The pre-computed tsunami database is built from thrust earthquake scenarios of simple rectangular fault models with moment magnitude ranged from Mw 8.0 to 9.0. We arrange a total of 56 reference points along the subduction zone off the east coast of Honshu, Japan as the center top of the fault planes. The points are grouped into four depth categories of shallowest, upper intermediate, lower intermediate, and deepest plate interface. The earthquake scenarios for each depth category have moment magnitude range of Mw 8.0 to 9.0, Mw 8.0 to 8.9, Mw 8.0 to 8.8, and Mw 8.0 to 8.7, respectively, from the shallowest to the deepest plate interface, making a total of 532 scenarios.

Sites are chosen based on their coastal geomorphology (i.e. bay, lagoon, isthmus) or location of coastal community. Virtual observation points at which tsunami waveforms is computed are placed strategically near-shore, around a bay at depth of deeper than 30 or 50 m depending on the bathymetry.

We test the algorithm to hindcast tsunami inundation along the Sanriku coast that was generated by the 2011 Tohoku earthquake. To produce accurate tsunami inundation map, accurate information about tsunami source is required. We used source models for the 2011 Tohoku earthquake previously estimated from GPS, W phase, or offshore tsunami waveform data. These source models could be available before tsunami hits the shore. The forecasting algorithm is capable of providing a tsunami inundation map that is similar to that obtained by numerical forward modeling, but with remarkably faster speed. Using a regular laptop computer, the time required to forecast tsunami inundation in coastal sites from the Sendai Plain to Miyako City is approximately 3 min after information about the tsunami source is obtained. We found that the tsunami inundation forecasts from the GPS (5 min), W phase (5 min and 10 min) fault models, and tsunami source model (35 min) are reliable for tsunami early warning purposes and considerably similar to the observation. This method can be used to develop a future tsunami forecasting systems with a capability of providing tsunami inundation forecasts in the near field locations.

キーワード: near-field tsunami inundation forecast, pre-computed tsunami database, tsunami early warning

Keywords: near-field tsunami inundation forecast, pre-computed tsunami database, tsunami early warning

「みちびき」と「きく8号」を用いたGPS津波計の沖合展開 An offshore type of GPS tsunami meter using QZSS and ETS-VIII satellites

寺田 幸博^{1*}; 橋本 剛正²; 本橋 修²; 山本 伸一³; 和田 晃⁴; 加藤 照之⁵

TERADA, Yukihiro^{1*}; HASHIMOTO, Gousei²; MOTOHASHI, Osamu²; YAMAMOTO, Shinichi³; WADA, Akira⁴; KATO, Teruyuki⁵

¹ 高知高専, ²JAXA, ³NICT, ⁴ 日立造船, ⁵ 東大地震研

¹Kochi National College of Technology, ²Japan Aerospace Exploration Agency, ³National Institute of Information and Communications Technology, ⁴Hitachi Zosen Corporation, ⁵The University of Tokyo

東日本大震災が投げかけたGPS津波計への開発課題は、さらなる沖合への展開が可能となるGPS測位法の改良と、被災してもリアルタイムデータを継続的に発信できる機能の確保であった。測位法の課題解決には、離岸距離の影響を受けない精密測位法を必要とし、海上のブイにおいて単独で精密に測位できる方法を確立することであった。波浪程度の短周期の海面変動にはPVD (Point precise Variance Detection method) 法¹⁾を適用し、津波や潮汐の長周期変動にはPPP-AR (Point Precise Positioning method with Ambiguity Resolution) 法²⁾を適用することが有効であることを、室戸岬沖35kmに設置したGPS津波計実験機で実証してきた (<http://tsunamigps.com>)。また、技術試験衛星Ⅷ型「きく8号」を用いて、ブイ上でPVD法によって求めた波浪データを陸上に送る実験を行い、洋上ブイから衛星通信によってデータを伝送する技術的見通しも得てきた^{3),4)}。

沖合展開に制限のないGPS津波計とするには、PPP-AR法をブイ上で機能させる必要がある。このために精密暦(時計と軌道の精密な情報)をブイに送り届ける必要があり、この手段として準天頂衛星初号機「みちびき」のLEX (L-band experiment) 信号に精密暦を載せることを計画した。準天頂衛星から放送的に発信される精密暦を洋上ブイで受信するシステムが確立できれば、将来、西太平洋全域にGPS津波計を配備した場合でも、各ブイで一斉に精密単独測位法による津波観測が可能になる。実験では、国土地理院の電子基準点GPS観測データから精密暦を計算し、これを「みちびき」のLEX信号に乗せて室戸沖GPS津波計のブイ上で単独測位できるようにした。また、測位結果は、「きく8号」を用いて被害が無い地域に見立てた大阪に送り、インターネットでリアルタイムにデータ公開を行った。実験の結果は良好であった。本研究は、文科省宇宙科学技術調整委託費及び科研費基盤研究(S)212210007で支援されていることに謝意を表す。

1) H. Ishiki, et al., 測地学会誌, Vol.46, No.4, pp.253-267

2) M. Leos, et al., ION GNSS 2008, GA, pp. 397-405

3) 山本他, 第57回宇科連, 2013, 3D09

4) 寺田他, 第57回宇科連, 2013, 3D10

キーワード: QZSS, ETS-VIII, GPS津波計, PVD法, PPP-AR法
Keywords: QZSS, ETS-VIII, GPS Tsunami Meter, PVD, PPP-AR

ベクトル津波計リアルタイム観測にむけた wave Glider の長期運用 Long-term deployment of Wave Glider for a real-time tsunami monitoring system using the Vector Tsunameter

浜野 洋三^{1*}; 杉岡 裕子¹; 藤 浩明²
HAMANO, Yozo^{1*}; SUGIOKA, Hiroko¹; TOH, Hiroaki²

¹ 海洋研究開発機構, ² 京都大学

¹JAMSTEC, ²Kyoto University

We have been developing a real-time tsunami monitoring system by using the Vector Tsunameter(VTM), in which we use an unmanned surface vehicle called Wave Glider, manufactured by Liquid Robotics Inc. The WG, equipped with both an acoustic and a satellite communication modems, can be used to transmit data messages from the VTM to shore. In order to investigate the feasibility for this type of station-keeping operation, we made a long-term deployment of the WG at sea area. We deployed the WG on September 22, 2013 at 38 14.99N, 143 35.13E, water depth = 3420.1 m. We set 6 waypoints along a circle (200m in diameter) centered at the above position, so that the WG trace the watch circle. The experiment had been continued until the WG was caught by a drift net and delivered to the Kesenuma port on December 6, 2013.

The 75-days deployment of WG gives valuable information on the performance of the WG. As for the feasibility of WG for the station-keeping operation, two problems become apparent. During the experiment, the WG sporadically escaped from the watch circle and drifted away following the ambient water current, and it returned to the circle after several days of trip. Four excursions occurred during the first 50 days, and the total of the excursion period is 20 days. For monitoring slow activities such as crustal deformation, this performance is acceptable. However, some improvements are required for monitoring the short period signals such as tsunami. The other problem is the reduction of speed over water occurred after about 2 months operation. In the middle of November, the speed abruptly decreased to less than 0.5 knots and remains low until the end of the experiment.

Based on the detailed analyses of the navigation data sets and inspection of the WG, we conclude that the twist of the umbilical cable, which connects the surface float to the sub-surface glider, triggered both the excursion and the speed reduction. The small size of the watch circle and the short distance between the waypoints (about 100 m) are main cause of the twist. The short distance causes large and frequent changes of glider heading. Since the float can not follow the abrupt changes of heading, differential rotation of the glider relative to the float arises and enhances the twist of the cable. This twist of the cable increases water drag to the WG, and the stress of the cable due to the twist inhibit the rotation of the WG. These effects reduce the movability of WG, and the speed reduction start the drift of WG following the ambient current motion. The twist of the cable mainly occurs while the WG follows the path along the watch circle. On the other hand, during the excursions, glider heading is fixed and rewinding of the cable was observed. This rewinding reduces the drag force to the WG and assist the WG in returning to its home circle.

Extreme reduction of the speed is observed after 2 months of deployments. Inspection of the WG right after the recovery indicates that the propulsion system of the sub-glider had been working well until the end of the experiment, whereas the float suffered by the biofouling of eboshi-gai (goose barnacle). The biofouling seems responsible for the speed reduction, but theoretical estimate suggests that the hydrodynamic drag due to the biofouling is not sufficient to explain the observed speed reduction. The twist of the cable and the biofouling both contribute to the speed reduction. These analyses suggest larger size of the watch circle may improve or solve the present two problems of the excursion and the speed reduction.

キーワード: 津波, 津波計, リアルタイム観測, 海底観測

Keywords: tsunami, tsunameter, real-time observation, seafloor observatio

GEONET リアルタイム解析システム (REGARD) の全国対応 Enhancement of GEONET Real-time Analysis System for Covering over Japan

矢萩 智裕^{1*}; 宮川 康平¹; 川元 智司¹; 大島 健一¹; 山口 和典¹; 村松 弘規¹; 太田 雄策²; 出町 知嗣²; 三浦 哲²; 日野 亮太²; 齊田 優一³; 道家 友紀³
YAHAGI, Toshihiro^{1*}; MIYAGAWA, Kohei¹; KAWAMOTO, Satoshi¹; OSHIMA, Kennichi¹; YAMAGUCHI, Kazunori¹; MURAMATSU, Hiroki¹; OHTA, Yusaku²; DEMACHI, Tomotsugu²; MIURA, Satoshi²; HINO, Ryota²; SAIDA, Yuichi³; DOUKE, Yuki³

¹ 国土地理院, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 日立造船株式会社

¹Geospatial Information Authority of Japan, ²Graduate School of Science, Tohoku University, ³Hitachi Zosen Corporation

国土地理院では全国に約 1,300 点の GNSS 連続観測施設 (電子基準点) を設置し, 1 Hz サンプリングの GNSS 連続観測を実施している. データ取得及び解析系まで含めた一連のシステムは GEONET (GNSS 連続観測システム) と呼ばれ, GEONET で得られた観測データや解析結果等は, 我が国の位置の基準を定める測量や地殻変動監視, 高精度測位サービス等の幅広い分野で利用されており, 現代社会を支えるインフラの一つとしての役割を担っている.

防災面においても, これまで GEONET は地震や火山活動に伴う地殻変動の検出等で大きな貢献を果たしており, 平成 23 年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) 後には, 短周期地震計等により推定された地震発生直後の地震規模が過小評価だったことを踏まえ, より信頼度の高い津波警報初期値への利用を視野に, GEONET のリアルタイムデータを用いた地殻変動結果による地震規模の即時推定技術について大きな期待が寄せられているところである.

このような背景を踏まえ, 国土地理院では, 平成 23 年度から東北大学との協同研究の下, 新たな GEONET のリアルタイム解析システム (REGARD: Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation Monitoring) の開発を進めてきた. REGARD では, GEONET で収集されたデータを RTKLIB 2.4.1 (Takasu, 2011) をベースとした解析エンジンで処理し, RAPiD アルゴリズム (Ohta et al., 2012) 又は緊急地震速報 (Kamigaichi et al., 2009) を用いて検知された地震発生に伴う各電子基準点の変位量を入力値として矩形断層モデルの即時自動計算 (西村, 2010) を実行することで, 地震規模が推定される.

平成 24 年度からは東北地方を中心とした 143 観測点によるプロトタイプ版を開発して連続稼働の試験運用を実施するとともに, GEONET 運用後に発生した過去の大規模地震時の観測データ等を利用したシステムの能力評価を行ってきた. 一例として, 平成 23 年東北地方太平洋沖地震のケースでは, 推定される矩形断層モデルと CMT との比較では位置及びメカニズムに若干の差異はあるものの, 地震発生から約 3 分で Mw8.9 を推定可能であること, Mw7.5 を下回る規模の地震の場合には S/N 比が低くなり推定精度が落ちること等が明らかとなった. 平成 25 年度には, プロトタイプシステムをベースに, 解析範囲を全国の電子基準点に拡大するとともに, 解析システムを GEONET 中央局内で二重化すること等により冗長性を高めた新たな全国対応システムを構築した. また, 解析設定ファイル作成や結果ファイル閲覧等の支援機能についても追加で実装している. 同システムについて平成 26 年 4 月から本格的な運用に向けた試験を開始している.

本講演では, 過去の観測データから得られた検証結果及び全国対応システムの概要を報告するとともに, 将来的な津波警報への活用に向けた取り組みや課題について報告する.

キーワード: GEONET, リアルタイムキネマティック GPS, リアルタイム

Keywords: GEONET, RTK-GPS, Real-time

沖合津波データのみから求められた波源を用いた2011年東北地方太平洋沖地震津波シミュレーション
Tsunami inundation modeling of the 2011 Tohoku tsunami using the source estimated from the offshore tsunami records

馬場 俊孝^{1*}; 高橋 成実¹; 金田 義行¹
BABA, Toshitaka^{1*}; TAKAHASHI, Narumi¹; KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

沖合観測点の増加に伴い、沖合津波データの解析による津波波源のリアルタイム推定が現実味を帯びてきた。本研究では、将来の津波警報への応用を視野に入れて、沖合津波データのみから推定された津波波源がどれほど精度よく陸上の津波浸水を再現するかについて、2011年東北地方太平洋沖地震津波のシミュレーションから検討した。津波シミュレーションにおいては、波源は沖合データのみインバージョン解析によって求められた Saito et al. (2011) のものを、支配方程式には仙台平野周辺でソリトン分裂波の発生が確認されているため非線形分散波理論を用いた。ネスティング手法により波源から仙台平野に向かって徐々に空間分解能を上げ、仙台平野周辺では緯度経度方向に2/9秒(約5m)間隔の格子を設定した。また、津波浸水計算において陸上建物は摩擦係数として表現されることが一般的であるが、ここでは高分解能な格子を使用しているため、建物形状をそのまま地表面形状として地形に埋めこむことにした。このため、底面摩擦の係数は陸域、海域ともに同じ値を用いた。津波計算には海洋機構が開発した JAGURS を使用した。JAGURS は MPI と OpenMP により並列化されたコードで、クラスターコンピュータ等を用いて、ここで扱うような大規模計算も現実的な時間で終わることができる。以上のスキームで計算された最大浸水高分布を、地震後に実施された痕跡高調査の結果と比較した。Aida (1978) の津波再現指標である K と κ を用いれば、本モデルによる津波の再現性は $K=0.97$ 、 $\kappa=1.27$ と表現される。計算モデルが妥当かどうかの判断条件は、広域な痕跡高を用いた場合、 $0.95 < K < 1.05$ 、かつ、 $\kappa < 1.45$ とされ、本研究の計算モデルはこの条件を十分に満たした。従来、検潮儀を用いた津波インバージョンでは、検潮儀が湾奥に位置し局所的な地形の影響を受けやすいこと、また、検潮儀の応答特性により、津波の短周期成分を記録できずに痕跡高に比べて小さな振幅になることがあり、検潮記録をもとに検討された波源モデルでは痕跡高をうまく再現できない傾向があった。本研究を通じて、海底水圧計など沖合データから求められた波源はそのような問題はなく、高精度に津波浸水を予測できると考えられる。

キーワード: 2011年東北地震津波, 非線形分散波理論, シミュレーション
Keywords: 2011 Tohoku tsunami, Nonlinear dispersive theory, Simulation

即時CMT解を利用した東南アジアの即時津波解析システム Real-time tsunami simulation and visualization system using rapid CMT solutions in Southeast Asia

稲津 大祐^{1*}; 齊藤 竜彦¹; 熊谷 博之²; プリード ネルソン¹; 福山 英一¹
INAZU, Daisuke^{1*}; SAITO, Tatsuhiko¹; KUMAGAI, Hiroyuki²; PULIDO, Nelson¹; FUKUYAMA, Eiichi¹

¹ 防災科学技術研究所, ² 名古屋大学
¹ NIED, ² Nagoya University

インドネシア・フィリピン近海では多くの地震が発生している。防災科学技術研究所では、BMKG (インドネシア)、PHIVOLCS (フィリピン)、GFZ (ドイツ) などとともに、インドネシア・フィリピン陸域において、多数の(数十 km 間隔) 広帯域地震計により、地震活動のリアルタイムモニタリングを行っており、地震発生とともに自動解析 (SWIFT システム (Nakano et al. 2008)) により、震源・CMT 解を即時推定している。特に、巨大地震の際には、地震動に加え津波がさらなる脅威となるため、即時的な津波解析・予測が強く望まれる。

我々は、東南アジア領域における即時津波解析・予測システムを構築している (稲津ほか 2013 地震学会)。現時点で、以下の一連のシミュレーション・可視化をまとめて実行するシステムとなっている (1~4)。解析・予測の枠組みは、基本的に、地震波観測データから CMT 解を即時推定し、その解に基づき矩形断層モデルで津波の初期値を与え、その伝播を数値的差分法によって積分するものである。

- 1) SWIFT システムにより、CMT 推定解の基本情報 (時刻、震源、Mw、メカニズムなど) を得る。
- 2) Mw に応じ、スケーリング則から矩形断層の幅・長さ・すべり量を与える。津波予測のばらつきの観点から、異なるスケーリング則を用い、複数の断層パラメータを得る。ここでは、ある Mw に対し、すべり量が大きい・小さい (つまり、断層面積が狭い・広い) の 2 種類のパラメータを準備する。
- 3) ダブルカップルに基づき、メカニズムは 2 種類の候補が挙げられるので、2 種類のスケーリング則を用い、津波初期値として 4 通りの候補を得る。Okada (1985) に基づき、これら 4 通りのパラメータそれぞれについて地表変位を計算する。この際、鉛直変位のみでなく、水平変位と海底傾斜の積に基づく海水上下変位、および、震央周辺の水深に關係する水平短波長減衰効果も考慮し、津波 (海水位) の初期値を与えられるようにした。
- 4) 4 通りの初期値に基づき、それぞれ伝播シミュレーション (たとえば、線形長波モデル) を実施する。シミュレーションとともに、時刻ごとの津波高の領域マップと予め指定した点における津波時系列の可視化を行う。また、シミュレーションが適当な積分時刻まで終わったとき、その都度、最大津波高の領域マップ・沿岸近傍でのグラフなども可視化する。

発表では、具体的な津波事例において、上記の作業で作成した図・動画などを紹介する。

キーワード: CMT, 津波, 即時解析

Keywords: CMT, Tsunami, Rapid analysis

津波警報の情報価値との関係が明確な適切な採点法 Proper scoring systems with definite connections to information values of tsunami warn- ings

林 豊^{1*}
HAYASHI, Yutaka^{1*}

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

新たな予測手法を導入して津波警報を確実に改善するには、予報精度を適切に評価する採点法が存在し、新手法を導入した場合に発表されるであろう予報の採点結果(スコア)が従来手法による予報のスコアを上回ることが必要条件である。しかし、この条件を満たす手順を経て津波警報の新手法が導入された実績はなく、それどころか、津波警報を採点する適切な方法も知られていない。

雨が降るか降らないかのように現象の有無を対象とする二値予報を対象とした採点法で、気象予報の分野で広く使われるものには、予報を利用した場合の効用増加分の期待値と結び付けられたものがある。その際、予報利用者が現象に備える対策コスト(C)と無対策時のロス(L)に対する効用関数(U)が既知で、現象が有ると予報されれば必ず対策をとると仮定する。また、予報の保全対象のコスト/ロスモデルとして $U(-C)/U(-L)$ について単純な確率密度分布を仮定している。一般には、ある予測対象セット(例えば一定期間)の現象の有無について、予報あり実況あり(的中 N_a)、予報あり実況なし(空振り N_b)、予報なし実況あり(見逃し N_c)、予報なし実況なし(的中 N_d)の各頻度である4つの数値を式にあてはめて、スコアが算出される。例えば、スキルスコア($ETS \equiv (N_a - K)/(N_a + N_b + N_c - K)$ 、ただし $K \equiv (N_a + N_b) \cdot (N_a + N_c)/(N_a + N_b + N_c + N_d)$)がこのような採点法である。

本研究では、津波警報の情報の性格に合った採点法を新たに開発するために、以下の全ての条件を満たす採点式を導出した。

- (1) 津波警報なし実況なしの的中頻度は計数不可能なため、 N_d を用いないスコアであること。
 - (2) 津波警報ありの場合に予報利用者が必ず対策を取るという仮定は実態に即していない。そこで、予報利用者は、津波警報ありの場合、対策を取ると取らないの二つの選択肢から選び、津波警報なしの場合、常に対策を取らないとする。効用の変化量は、対策を取る時は $U(-C)$ 、無対策で現象が起きる時は $U(-L)$ とする。
 - (3) 予報利用者は、警報の空振り率($FAR \equiv N_b/(N_a + N_b)$)の期待値、および、 $U(-C)$ 、 $U(-L)$ を知っており、期待効用($E_x(U)$)を最大化する行動を選択するという合理的な意思決定をする。対策を取れば $E_x(U) = FAR \cdot U(-C)$ 、対策を取らなければ $E_x(U) = (1 - FAR) \cdot U(-L)$ であるから、 $U(-L)/U(-C) < FAR/(1 - FAR)$ を満たせば対策を取らない方が合理的である。これは、空振り率が高いほど、無対策で現象が起きて失う効用が大きいほど、また、対策を取ることで失う効用が小さいほど、警報は無視されやすいことをモデル化したものである。
 - (4) 保全対象の $U(-C)/U(-L)$ の確率密度について、(a) 一様モデル $f(x) = 1, 0 \leq x \leq 1$ 、(b) 単調減少モデル $f(x) = 2 - 2x$ 、(c) 単調増加モデル $f(x) = 2x$ の三種の分布を仮定する。
 - (5) スコアは警報の情報価値に比例した値とする。ここで、予報利用者が(3)のとおり行動して、 $N_a + N_b$ 回の警報で、対策を取って失わずに済んだ効用と対策に要した効用の合計を(4)の分布について積分したものを ΔU とする。警報が存在しない場合には毎回 $-U(-L)$ の効用を失うので、それで割った $V \equiv -\Delta U / ((N_a + N_c)U(-L))$ を情報価値と定義する。
結果、(a),(b),(c)の各モデルから導かれるスコアは次のとおり。
(a) からは、 $V = N_a^2 / (2(N_a + N_b)(N_a + N_c))$ を得られる。優れた予報 $N_a \gg N_b$ かつ $N_a \gg N_c$ ならば、スレットスコア($CSI \equiv N_a / (N_a + N_b + N_c)$)を用いて、 $V \approx CSI/2$ と近似できる。
(b) からは、見逃し率 $M \equiv N_c / (N_a + N_c)$ を用いて $V = (2/3)(1 - FAR)(1 - M)(1 + M/2)$ を得られる。見逃しが少ない予報($N_c \ll N_a$)では $V \approx (2/3)(1 - FAR)(1 - M/2)$ となる。
(c) からは、 $V = (1 - FAR)^2(1 - M)/3$ が得られる。
- このように、最適な採点法は、災害対策によって異なるコスト/ロスモデルにより変わる。社会構造を反映した採点法を用いて、適した予測手法を選択するべきことが分かる。大会では、これら採点法の具体的な適用に向けての課題も議論したい。

キーワード: 期待効用理論, 合理的な意思決定, コスト/ロスモデル, スコア, 二値予報

Keywords: binary forecast, cost-loss model, expected-utility theory, rational decision-making, score

天保14年(1843)根室沖地震津波の浸水高分布 Tsunami height distribution of the 1843 Tenpo Nemuro-oki earthquake

都司 嘉宣^{1*}; 堀江 岳人²; 橋本 佳祐²; 佐々木 崇之²; 馬淵 幸雄³; 岡田 清宏³; 畔柳 陽介³; 大家 隆行³; 栗本 昌志³; 木南 孝博⁴; 今村 文彦⁵
TSUJI, Yoshinobu^{1*}; HORIE, Takehito²; HASHIMOTO, Keisuke²; SASAKI, Takayuki²; MABUCHI, Yukio³; OKADA, Kiyohiro³; KUROYANAGI, Yousuke³; OOIE, Takayuki³; KURIMOTO, Masashi³; KINAMI, Takahiro⁴; IMAMURA, Fumihiko⁵

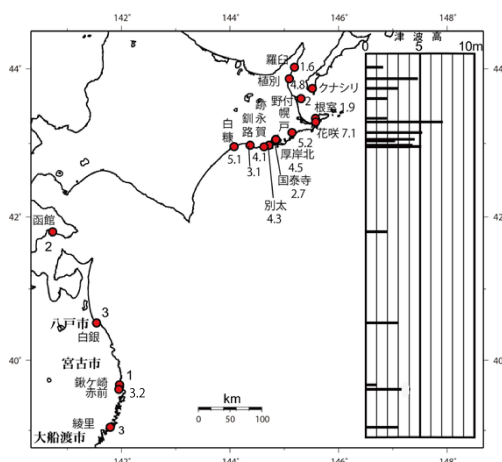
¹ 深田地質研究所, ² (株) アルファ水工コンサルタンツ, ³ パシフィックコンサルタンツ (株), ⁴ 頸城技研 (株), ⁵ 東北大学災害科学国際研究所

¹Fukada Geolog. Inst., ²Alpha Hydraulic Eng.Consultant, ³Pacific Consultant, ⁴Kubiki Techno., ⁵IRIDeS, Tohoku Univ.

天保十四年三月二十六日(1843-IV-25)の午前6時頃に根室沖海域で生じた地震(M7.5)による津波は、釧路および根室海岸に大きな被害をもたらしたが、津波の記録は岩手県大船渡市綾里から北海道知床半島にまで及んでいる。この津波の史料は「増訂・大日本地震史料 第三巻」(武者編、1941、以下M3と記す)、「新収日本地震史料 第四巻」(地震研究所、1984、S4と略す)に掲載されている。釧路地方では、蝦夷三官寺の一つである厚岸の国泰寺の『日鑑記』(M3-p448、S4-p805)が、国泰寺に隣接する出張会所やアイヌの板物置が流され浸水で海のようになったこと、厚岸の向岸で番屋やアイヌの住居が1軒も残らず流され、34人の死者が出たこと、ポロト(現浜中町)でアイヌが11人死亡したことを伝えている。クスリ(釧路)場所の役人が松前藩へ出した報告書の控である『御用諸書物留』(S4-p803)には、「釧路会所の36km東のセンホウシとそれに隣接するベツフトで小屋1軒、草葺1軒が流失した。アトエカ(跡永賀)でアイヌの住居2軒が流失した」と記されている。根室地方では、明治期に作成された『根室一等測候所報告』(M3-p449)に天保2年(1831)ホロモシリ村生の山本小七の証言が載せられている。それによると、当時野付にいた小七は、津波は野付沖で大小二波に分かれ、大波は目梨(知床半島)に向かい、小波が野付に来たという。知床半島では、現在の羅臼と植別がこの当時の目梨郡の主要集落であった。なおM3-p425には、天保7年7月25日の項に誤置されたこの津波の根室市花咲の記事(『根室一等測候所報告』)があり、「天保六未ノ年八月、海嘯あり。各所の漁舎を流し、花咲尤も強く、同所に居住する蝦夷人小屋五十余戸、漁舎倉庫共悉く流失し、為に蝦夷人をして山超えせしめ、現今の「ホニヲイ」に転住せし由なり」と、年代を誤って花咲の津波遭難とその後のホニヲイへの集団移転が記されている。三陸海岸では八戸、宮古湾の鎌ヶ崎と赤前、および大船渡市綾里(M3では天保6年6月25日の項に誤置されている、p417)に記録がある。これらの記録の基づき、釧路地方、根室地方、および三陸海岸の各現地地で調査・測量を行った結果、図を得た。本研究は(独)原子力安全基盤機構からの委託業務「平成25年度津波痕跡データベースの高度化—確率論的津波ハザード評価に係る痕跡記録の調査、および波源モデルのデータベース化—」(代表:東北大学 今村文彦)として行ったものである。

キーワード: 歴史地震, 歴史津波, 北海道, 根室, 釧路, 千島海溝

Keywords: historical earthquake, historical tsunami, Hokkaido, Nemuro, Kushiro, Kuril trench



境界積分を用いた断層運動による海底地盤変位の計算法 A new calculation method for seabed displacement due to fault slip by boundary integration

秋山 伸一^{1*}; 藤原 広行²; 橋本 紀彦¹
AKIYAMA, Shinichi^{1*}; FUJIWARA, Hiroyuki²; HASHIMOTO, Norihiko¹

¹ 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社, ² 独立行政法人防災科学技術研究所
¹CTC, ²NIED

地震による津波の計算では、断層運動に従って現れる海底面の鉛直変位を津波の初期水位と見なすことが多い。このような地盤変位を求める手段として、半無限弾性体内部の矩形断層によって発生する変位の解析解 (Okada, 1985) が広く用いられている。

この解析解を用いて、不規則な形状を持つ震源断層による地盤変位を求める場合には、不規則な面に沿って矩形の小断層を多数貼り付けるなどして震源断層をモデル化することになる。その結果、作成された断層モデルには、場所によって隣り合う矩形の小断層が重なるか、あるいは小断層に覆われていない部分が現れるようになる。したがって、このような断層モデルを用いて地盤の変位を計算すると、小断層が重なる部分の近傍では過大な変位が求められ、また、小断層に覆われていない部分の近傍では変位が過小に評価される。このような変位のギャップは、震源断層が海底面から深い位置にあれば余り目立たないが、浅い位置にあると無視できなくなる。こうした問題を解決するためには、不規則な形状を忠実にモデル化できる手法が必要となる。

このような背景から、本研究では境界積分を用いた海底地盤の変位計算法を開発した。周知のように、断層運動に伴う地盤の変形は、Green の定理を場の支配方程式に適用することで、地表面と断層面上の境界積分によって表される。さらに、海底地盤を半無限弾性体と仮定すれば、境界条件を満足する Green 関数を用いることによって、海底面の変位は断層面における境界積分のみで求められる。この計算法では、境界積分を数値的に行うため、境界要素法で用いられている線形要素を取り入れて変位の連続性を保証した計算を実施する。ただし、断層面が浅く、海底面に近い場合には Green 関数の特異性の影響が現れるので、Gauss の積分公式に基づく通常の数値積分を行うと計算の精度が著しく低下する。そこで、本手法では、こうした特異性の影響を正確に評価して積分計算が行える PART 法 (Hayami and Brebbia, 1988) を採用する。本発表では、本手法の定式化と検証結果、さらに適用例について報告する。

なお、本研究は、防災科研で進められている「全国を対象とした津波ハザード評価」の一環として実施した。

参考文献

- Okada, Y. (1985) Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1435-1154.
Hayami, K. and Brebbia, C.A. (1988) Quadrature methods for singular and nearly singular integrals in 3-D boundary element method, (Invited paper), *Proc. 10th Int. Conf. on Boundary Elements*, Southampton, Computational Mechanics Publication with Springer-Verlag, Vol. 1, pp. 237-264.

キーワード: 海底地盤変位, 断層運動, 数値計算, 境界積分, Green 関数の特異性, PART 法

Keywords: seabed displacement, fault slip, numerical calculation, boundary integration, singularity of Green's function, PART method

確率論的津波ハザード評価に向けた浸水深ハザード評価の検討 Inundation hazard mapping toward probabilistic tsunami hazard assessment

齊藤 龍^{1*}; 藤原 広行²; 平田 賢治²; 村嶋 陽一¹; 村田 泰洋¹; 井上 拓也¹; 秋山 伸一³; 阿部 雄太³; 松山 尚典⁴; 遠山 信彦⁴

SAITO, Ryu^{1*}; FUJIWARA, Hiroyuki²; HIRATA, Kenji²; MURASHIMA, Youichi¹; MURATA, Yasuhiro¹; INOUE, Takuya¹; AKIYAMA, Shinichi³; ABE, Yuta³; MATSUYAMA, Hisanori⁴; TOHYAMA, Nobuhiko⁴

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

¹KOKUSAI KOGYO CO., LTD. (KKC), ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED),

³ITochu Techno-Solutions Corporation (CTC), ⁴OYO Corporation

平成 24 年度から開始した日本周辺海域の津波ハザード評価に向けた取り組みの一環として、津波遡上範囲における確率論的なハザード情報を面的に表現する手法の検討を行った。これまでの津波ハザード評価では、ある想定地震とその発生確率を考慮した津波シミュレーション結果を用いて、海岸線や沿岸などの評価地点における津波水位の頻度を確率論的に推定し、海岸部の脆弱性が評価・研究されてきた。主に重要施設周辺を対象にしているが、市街地や河川周辺などの浸水想定区域に対して同様の評価を行うことも今後必要になると考える。また、全国を概観した確率論的津波ハザード評価では、津波波源となる可能性のある全ての震源を設定することで、日本全国の沿岸津波水位を確率論的に予測・評価することを試みている。しかし、津波シミュレーションに必要な膨大な計算とデータ処理のため、陸域の最小計算格子サイズは 50m に設定されている。そのため、浸水深分布を正しく表現することが難しい。地形データの解像度を細かくし計算格子サイズを小さくすることで、より詳細な浸水深ハザード評価を行うことができると期待できる。

そこで本研究では、陸前高田市市街地を例に、市街地周辺の地形データと計算格子サイズを 10m で設定し、津波遡上範囲の各計算格子において浸水深のハザード曲線を作成し、確率論的な浸水深分布を予測した。想定した地震は長期評価などに基づいた多数の震源と発生頻度で設定した。ある閾値に達する浸水深の年超過確率は、波源モデルの年頻度と地震発生確率から求めた。

キーワード: 津波ハザード, 津波浸水深, 確率, ハザード曲線

Keywords: Tsunami hazard, Tsunami inundation, Probability, Hazard curve

特性化断層モデルにおける滑り不均質による不確実性の検討 Uncertainty for tsunami hazard caused by heterogeneous slip on the characterized source model

阿部 雄太^{1*}; 橋本 紀彦¹; 是永 眞理子¹; 藤本 啓介¹; 秋山 伸一¹; 藤原 広行²; 平田 賢治²
ABE, Yuta^{1*}; HASHIMOTO, Norihiko¹; KORENAGA, Mariko¹; FUJIMOTO, Keisuke¹; AKIYAMA, Shinichi¹; FUJIWARA, Hiroyuki²; HIRATA, Kenji²

¹ 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社, ² 防災科学技術研究所

¹ ITOCHU Techno-Solutions Corporation, ² National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

本研究では、「全国を対象とした津波ハザード評価」の実施に向けて、津波の特性化断層モデルの滑り不均質の違いによる津波水位の不確実性について検討を行った。

確率論的津波ハザード評価では、設定した津波波源モデル群に対し数値シミュレーションにより沿岸での津波水位を推定し、各種の不確実性を考慮して、計算結果を統合することで、ハザードカーブを作成している。津波の数値シミュレーションは、波源モデルを元に海底地盤変動量を計算してこれを初期津波水位とし、津波伝播計算によってハザード評価の対象とする沿岸での津波水位を算出する。このため津波計算結果は、波源モデルの各種断層パラメータ（規模、発生位置、傾斜角、走向角、滑り角、滑り不均質性など）によって変化する。

「全国を対象とした津波ハザード評価」では、海溝型の地震については震源断層がプレート境界面に沿うと仮定し、津波波源を特性化することによって断層の傾斜角・走向角・滑り角の値は固定し、不確実性を考慮しないこととしている（遠山・他, 2014, 本大会）。一方で、規模、発生位置、滑り不均質性については、その値を確定することが難しく、また津波水位に大きく影響すると考えられることから、複数の波源モデル群を計算することで、その不確実性を考慮している。ここで、滑り不均質とはすべり量分布の空間的な不均質のことを指し、既往の震源インバージョン研究との比較から、特性化断層モデルでは滑り量が平均滑り量の2倍となる「大すべり域」、または平均すべり量の4倍となる「超大すべり域」によって表現している（是永・他, 2014, 本大会）。本研究では、滑り不均質による不確実性をより簡便に考慮する方法として、滑り不均質による津波水位のばらつきを対数正規分布で近似できると仮定し、分布の平均値になると推定される一つの滑り分布パターンにばらつきを与えてハザード評価する方法を検討した。津波水位のばらつきの大きさや分布の平均値となる滑りパターンを調べるため、大すべり域の位置を変化させた複数の滑り不均質モデルのパラメータスタディを行った。パラメータスタディは、まず地形変化の影響がない一様水深の地形モデル（理想地形モデル）において、複数の滑り不均質パターンの計算を行い、理想地形モデルでのばらつきを評価した。つぎに、伝播経路の特性や観測点近傍のサイト特性を考慮するために、実際の地形モデル（実地形モデル）を用いたパラメータスタディを行った。その結果、M8以下の比較的規模の小さな地震においては、両者にはばらつきの大きさに大きな違いはないことが分り、中央に大すべりのある滑りパターンが平均値に最も近く、ばらつきの大きさは対数標準偏差で0.09以下であった。

なお本研究は、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, 確率論的ハザード, 特性化断層モデル, すべり不均質

Keywords: Tsunami, Probabilistic Hazard Assessment, Characterized tsunami source model, heterogeneous slip distribution

津波波源モデルの特性化に向けた大すべり域の検討 Large slip area in characterized Tsunami source model toward Tsunami Hazard assessment

是永 眞理子^{1*}; 秋山 伸一¹; 阿部 雄太¹; 橋本 紀彦¹; 平田 賢治²; 藤原 広行²; 松山 尚典³; 村嶋 陽一⁴
KORENAGA, Mariko^{1*}; AKIYAMA, Shinichi¹; ABE, Yuta¹; HASHIMOTO, Norihiko¹; HIRATA, Kenji²; FUJIWARA, Hiroyuki²; MATSUYAMA, Hisanori³; MURASHIMA, Yoichi⁴

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

従来の決定論的なハザード評価の手法では、既往の津波痕跡を再現しうる最良モデルを利用することが一般的。しかし、この手法ではこれまで発生していない規模や波源域から伝播する津波のリスクを評価することは難しい。一方、確率論的津波ハザード評価の手法では、津波の発生源となる地盤変動を引き起こす断層運動のモデル化において、原理的に考えられる全ての波源を対象としなければならず多量の計算コストを必要とする。実際にはそれらの波源を構成する母集団から適切にサンプルするように配慮しながら、断層モデルを特性化（簡略化）することで現実的な計算量に抑えることが可能となる（遠山・他, 2014, 本大会）。確率論的津波ハザード評価では、こうした特性化により、一つの断層モデルではなく想定される複数の断層モデルをひとつの群として捉え、このモデル群としてのばらつきを与えることで実現象を包含することを目的とする。ここでは、津波波高に大きく影響を与えるすべり量の「不均質さ」に着目し、断層上で大きくすべる領域が全体に占める面積の割合を設定する手法について検討する。

2011年東北太平洋沖地震津波（以後、2011東北津波）の波源インバージョン研究より得られた断層面すべり量比率の分布を調べると、それぞれの波源インバージョン研究毎に最大すべり量や要素断層の大きさは違うものの、津波波高に大きく寄与したとされる領域のすべり量比率、面積の割合は大同小異である。そこで、本研究では、波源インバージョン時に仮定された要素断層の大きさに依らないように、震源全体のモーメントの単位面積当たりの平均値に対する各要素の単位面積モーメントの比率を「規格化すべり量比率」として算出し、それぞれの要素断層が占める面積の割合と規格化すべり量比率の関係性を分析した。2011東北津波以外のM9クラスの地震津波、およびM8クラスについても規格化したすべり量による面積比率を算出した。その結果、M9クラスについては、平均すべりの2倍の領域を「大すべり域」と定義した場合、その面積は全体面積の30%、平均すべりの4倍の領域を「超大すべり域」と定義した場合、その面積を同10%とした3段階の特性化が必要であり、M8クラスについては「大すべり域」の面積を全体の30%とした2段階の特性化が最適であることがわかった。本発表では、これらの特性化断層モデル群を用いてシミュレートした津波波高と、詳細な再現モデルによる津波波高を比較し、前者が後者を網羅することを確認する。

本件は、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, 確率論的ハザード, 特性化断層モデル, すべり不均質

Keywords: tsunami, probabilistic hazard assessment, characterized fault model, heterogeneous slip distribution