

HDS27-01

会場:418

時間:5月1日 09:00-09:15

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。南米沿岸が比較的に大きく、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190 km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500-1100 km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。

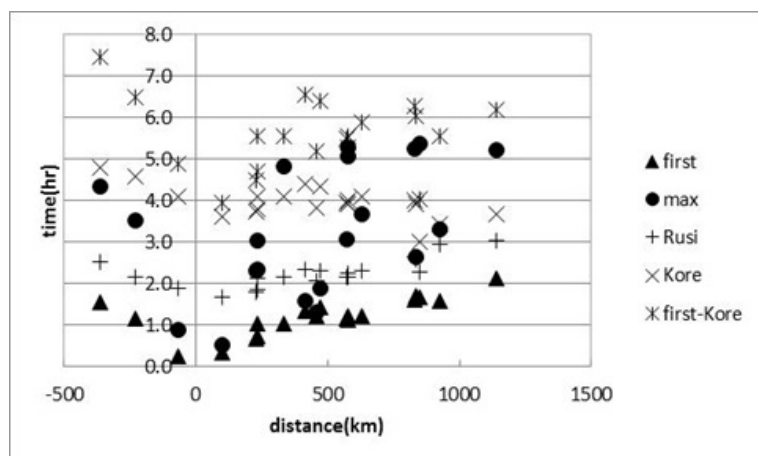
キーワード: 津波, 最大波, 遅れ時間, 反射波, 1993 津波

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

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

³CIDIR/ERI, the University of Tokyo, ⁴ERI, 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 1 km 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

HDS27-04

会場:418

時間:5月1日 09:45-10:00

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

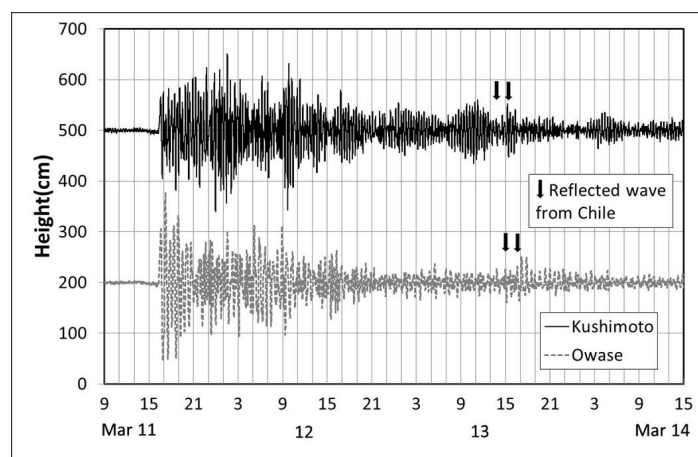
はじめに：2011年東北地方太平洋沖地震津波は太平洋を横断して、南米チリの検潮所で観測されたことが NOAA によって報告されている。チリの海岸線は長大で、反射波はかなり強い指向性を持って、日本の方向へ向かうことになる。そこでチリからの反射波が日本で観測されているのではないかと考え、調べたので報告する。

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

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, ² JAXA, ³ NICT, ⁴ 日立造船, ⁵ 東大地震研

¹ Kochi National College of Technology, ² Japan Aerospace Exploration Agency, ³ National Institute of Information and Communications Technology, ⁴ Hitachi Zosen Corporation, ⁵ The 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認することであった。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 Kesennuma 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深分布を、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

¹NIED, ²Nagoya 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れば、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、震央周辺の水深に関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 $V = (2/3)(1 - FAR)(1 - M)(1 + M/2)$ が得られる。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

HDS27-13

会場:418

時間:5月1日 12:30-12:45

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

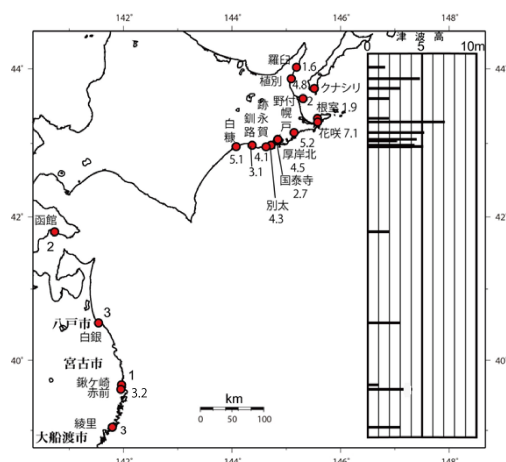
¹ 深田地質研究所, ² (株) アルファ水工コンサルタンツ, ³ パシフィックコンサルタンツ (株), ⁴ 頸城技研 (株), ⁵ 東北大学災害科学国際研究所

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、草蔵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、小波が野付に來たという。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、宮古湾の鉾ヶ崎と赤前、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、p 417)に記録がある。これらの記録のに基づき、釧路地方、根室地方、および三陸海岸の各現地で調査・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 真理子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かり、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 真理子^{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す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

津波の誘導磁場を利用した高所からの大津波遠隔観測の可能性 Large tsunami remote observations from high altitude using the induced magnetic field of tsunami.

舘畑 秀衛^{1*}; 浜野 洋三²
TATEHATA, Hidee^{1*}; HAMANO, Yozo²

¹ 気象庁地磁気観測所, ² 海洋研究開発機構
¹JMA, ²JAMSTEC

東北地方太平洋沖地震津波では、青森県から茨城県に及ぶ広い範囲に 10m 以上の大津波が来襲し、気象庁を含む、殆ど全ての津波観測施設が流出しただけでなく、気象庁の巨大津波計も観測不能となった。津波予報の効果が不十分であっただけでなく、津波の観測も出来なかったのは大きな課題であった。対して、地磁気観測所の父島観測点では、海拔 155m の高台から 1.8m の津波を、誘導磁場によって観測していた。父島の過去の津波に対する事例解析の結果、概ね 1 m 以上の津波に関して誘導磁場の信号を検知可能と思われる。

津波誘導磁場による津波の観測は、感度と S/N の点で弱点が有るものの、検潮儀等による観測と異なって遠隔観測の特徴を持つため、大津波でも被害を受けない高台から観測できる優位性を持っている。もし三陸沿岸の高台に地磁気センサーが巨大津波計として設置されていたならば、施設が破壊されることなく、大津波に耐えて観測を継続できたと思われる。

三陸沿岸に地磁気センサーが、一種の電磁式巨大津波計として設置されていたなら、得られると期待される津波の誘導磁場の波形と特性の検討結果等を紹介する。

キーワード: 津波, 巨大津波計, 誘導磁場

Keywords: tsunami, Huge tsunami meter, induced magnetic effect

東京湾内外における津波のスペクトル解析 Tsunami spectral analysis in and around Tokyo Bay

瀧川 朗^{1*}; 室谷 智子¹; Heidarzadeh Mohammad¹; Wu Yifei¹; 佐竹 健治¹
TAKIGAWA, Akira^{1*}; MUROTANI, Satoko¹; HEIDARZADEH, Mohammad¹; WU, Yifei¹; SATAKE, Kenji¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo

関東地方沿岸は度々、巨大地震による大津波に襲われてきた。そのうち 1923 年の大正関東地震 (M7.9) による津波の高さは、東京湾の内外で大きく異なっていたことが報告されている。例えば、房総半島南側および伊豆半島東側から相模湾といった東京湾外の沿岸域では 3~10 m の津波が押し寄せたのに対して、湾内の品川・船橋・千葉では 1 m 未満であった (羽鳥ほか, 1973, 関東大地震 50 周年論文集)。

一方、2011 年の東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) による津波は関東地震によるものとは異なり、湾内外での高さの違いがあまり見られなかった。例えば東京湾入口付近の館山・鋸南でそれぞれ 1.45, 1.60 m であったにも関わらず、東京湾入口で減衰することなく東京・船橋でもそれぞれ 1.46, 2.84 m であった (Sasaki et al, 2012, CEJ)。

これら 2 つの地震による津波の挙動の違いの原因を知ることが、将来首都圏に押し寄せる津波を見積もる上で重要である。そこで我々は、両地震の津波シミュレーションによる再現波形および東北地方太平洋沖地震の観測波形のスペクトル解析を行い、東京湾内での津波の卓越周期が両地震で異なることを発見した。関東地震による津波の卓越周期は約 100 分であったのに対し、東北地方太平洋沖地震のそれは約 70 分であった。我々は前者を東京湾の固有振動 (相田, 1996, 地震)、後者を相模湾の固有振動 (今井ら, 2011, 地震学会) によるものと推測した。今後は、これらの卓越周期の違いと津波の挙動との関連性を考察していく予定である。

キーワード: 津波, スペクトル解析, 東京湾, 1923 年大正関東地震, 2011 年東北地方太平洋沖地震

Keywords: Tsunami, Spectral analysis, Tokyo Bay, 1923 Kanto earthquake, 2011 Tohoku earthquake

観測に基づいた津波エネルギー減衰の周期依存性 - 2011 年東北地方太平洋沖地震の事例 -

Wave period dependence of the tsunami energy decay based on observation: In the case of the 2011 Tohoku-oki Earthquake

田野邊 睦^{1*}; 今井 健太郎²; 林 豊³; 今村 文彦²
TANOBE, Atsushi^{1*}; IMAI, Kentaro²; HAYASHI, Yutaka³; 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

¹Graduate School of Engineering, Tohoku University, ²IRIDeS, Tohoku University, ³Meteorological Research Institute

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震により, 東北地方沿岸地域をはじめとした広い地域で甚大な被害が発生した. このような巨大地震の際には, 強震動や津波陸上氾濫の影響で交通網が寸断される可能性は十分考えられる. 救援経路としての海路の安全確保に関する指標提示, すなわち津波の収束情報は円滑な救援・復旧活動にとって重要といえる. 地震発生から早期に海路の安全確保を行うためにも, 津波の減衰過程を正確に把握することは重要である. 一方で, 津波収束を判断する明確で科学的な基準は未だ存在していないのも現状である(林ら, 2010).

本研究では, 2011 年東北地方太平洋沖地震で観測された津波波形を用いて, 津波減衰過程の特徴を津波到達時間と, 移動自乗平均振幅の最大値発現時間との関連から明らかにし, 加えて, 観測波形の持つ各周期帯成分に着目して, その減衰過程の特徴を明らかにすることを目的とする.

2. 解析方法

2011 年東北地方太平洋沖地震による津波観測波形(気象庁, NOWPHAS, 国土地理院)のうち, 日本列島太平洋沿岸および沖合で観測されたものから 20 点を解析対象とした. 計測間隔は 30 s に統一し, さらに, 潮汐成分除去のため 128 min のハイパスフィルターを用いて津波成分を抽出した.

波源と観測点位置の関係で, 観測点毎に津波の振幅は大きく異なる. このため, 林ら(2010)が定義する移動自乗平均振幅の最大値を用いて, 正規化処理を行った. この正規化波形を解析に用いた.

津波は様々な周期の波を含んでおり, 周期毎にその減衰過程も異なることが示唆されている(Rabinovich ら, 2013). 潮汐を除いた波形に加えて, 2-16 min, 16-32 min, 32-64 min, 64-128 min のバンドパスフィルターを用いてフィルタリング処理を施した. これらの各周期帯の波形から移動自乗平均振幅を算出し, 林ら(2010)の方法による解析処理を行った. 減衰関数は移動自乗平均振幅の最大値以降の時間変化から求めた. 本研究では, T_t は第一波の最大値が観測された時間, T_m は移動自乗平均振幅の最大値, TL は T_m と T_t の差と定義した. τ は時定数である. τ は平均的な振幅が $1/e$ に減ずるのに要する時間という意味を持つ.

3. 解析結果

(1) 各観測点における τ の特性

潮汐を除いた周期帯における各観測点の τ と T_t の関係を整理した結果, 沿岸沖合に関わらず, τ と T_t は正の相関にあることがわかる. また, 沖合と沿岸の観測点を比較すると, 沿岸の方が沖合より τ が長くなる傾向にある. これらは T_t が長くなるにつれて, 大規模な海底構造の影響が大きくなり, 伝播経路が複雑になる事や, 沿岸観測点近傍のローカルな湾構造に起因した副振動の影響によるものと考えられる.

(2) 各周期帯における τ の特性

各周期帯における TL と τ の関係を整理した結果, 沿岸観測点における 64-128 min の波形成分では, TL は短い τ が長くなる傾向が見られた. 一方で 32 min 以下の波形成分では, TL が有意に長くなる観測点がみられた. 加えて, TL が長い観測点間でも τ に差が見られた. これらは, 一部周期帯の波が観測点近傍で補足されたことや, 二次波源からの散乱波などの影響によるものと考えられる.

4. 結論

本研究では, 2011 年東北地方太平洋沖地震時の津波波形を用い解析を行い, 津波エネルギーの減衰過程を特徴付ける要因として, 以下の結果が得られた.

- ① 沿岸沖合に関わらず, τ と T_t は正の相関にあり, 沿岸観測点の方が τ より長くなる傾向にある.
- ② 大局的な傾向としては, 短周期成分よりも長周期成分の方が τ は長くなる.
- ③ 32 min 以下の波形成分については TL が長くなる観測点がみられた.

謝辞

本研究の一部は, JSPS 科研費 24310132 の助成を受けたものである. また, 津波観測波形は気象庁, 国土交通省, 国

HDS27-P03

会場:3 階ポスター会場

時間:5 月 1 日 18:15-19:30

土地理院から提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

キーワード: 津波, 減衰, 時定数, 周期

Keywords: tsunami, decay, decay time, period

2011 年東北地方太平洋沖地震発生直後の日本海沿岸での微小変動 Oscillations starting immediately after the 2011 Tohoku earthquake in Japan Sea

室谷 智子^{1*}; 岩井 麻樹²; 佐竹 健治¹
MUROTANI, Satoko^{1*}; IWAI, Maki²; SATAKE, Kenji¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 横浜市立大学

¹ERI, the Univ. of Tokyo, ²Yokohama City Univ.

2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9) の発生時に、日本やロシアの日本海沿岸域での検潮記録は、地震発生数分後から微小変動を記録している。しかし、この地震によって太平洋側で発生した津波が津軽海峡を抜けて日本海沿岸域に到達して観測されるまで、約 2~3 時間かかる。地震発生後から約 2 時間に渡る微小変動は、約 10 分の卓越周期を持っているが、地震発生直後の約 10 分間では、約 1~2 分の周期も卓越している。この卓越周期約 10 分程度の変動は、日本海において傾斜を有する海底地形が地震時に変動した際、水平成分の変動が鉛直方向へ影響を及ぼす変動を考慮することによって、説明が可能である。

地震発生直後、顕著に微小変動が観測されている検潮所として、日本沿岸の深浦、佐渡、富山、能登 (気象庁) や粟島 (海上保安庁)、ロシア沿岸の Rudnaya Pristan, Preobrazhenie, Nakhodka (Shevchenko et al., 2013: Pageoph) が挙げられる。これらの検潮所の津波波形を再現するため、Satake et al. (2013, BSSA) の断層モデルから Okada (1985, BSSA) の式によって地殻変動を求め、それを初期条件として津波波形を計算した。JTOPO30 による 30 秒グリッドの海底地形データを用いて地殻変動の鉛直成分のみから計算した津波波形は、ほとんど変動を示さなかった。それに対し、水平成分の変動による鉛直方向への変動の寄与を考慮すると (Tanioka and Satake, 1996: GRL), 地震発生直後からの微小変動は計算されたが、波形の再現性は良くなかった。日本周辺の検潮所に関しては、M7000 シリーズからさらに細かい 5 秒グリッドの海底地形データを作成し、同じように津波波形を計算したところ、30 秒グリッドデータによる結果よりは波形の再現は良くなった。それでも、地震発生直後から約 10 分間続く周期約 1~2 分の短周期の変動は再現できなかった。さらに細かい地形データを用いることで再現性は向上するかもしれない。一方、日本海沿岸近くの F-net の地震波形記録を見ると、同程度の振幅の地震動が観測されており、周期約 1~2 分の短周期の変動は、検潮儀が地震波を捉えている可能性がある。そこで、ローパスフィルターによって水位変動の短周期成分を落とすと、観測波形と計算波形は良く一致した。ロシア沿岸域の検潮所は、震源域からの距離が 500km 以上とかなり離れているため、直交座標系ではなく、球座標系で求めた地殻変動 (Sun et al., 2009: Geophys. J. Int.) を用いて津波波形を計算したが、直交座標系での津波波形と大差はなかった。ロシア沿岸での波形の再現には、細かいグリッドの海底地形や、検潮儀が設置されている湾等の形状などを考慮する必要があると考えられる。

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。また、気象庁、海上保安庁による潮位データと、F-net による地震波形を使わせていただきました。

キーワード: 2011 年東北地方太平洋沖地震, 2011 年東北地震津波, 日本海, 海底変動

Keywords: the 2011 Tohoku earthquake, the 2011 Tohoku tsunami, Japan Sea, seafloor displacement

The 24 September 2013 tsunami in the Makran region, northwestern Indian Ocean The 24 September 2013 tsunami in the Makran region, northwestern Indian Ocean

HEIDARZADEH, Mohammad¹ ; SATAKE, Kenji^{1*}
HEIDARZADEH, Mohammad¹ ; SATAKE, Kenji^{1*}

¹Earthquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo

¹Earthquake Research Institute (ERI), The University of Tokyo

Tsunami waves were observed in the northwestern Indian Ocean following the Mw 7.7 Pakistan inland earthquake on 24 September 2013. We analyze eleven tide gauge records as well as one DART record of this tsunami and perform numerical modeling of tsunami. The tsunami registered a maximum wave height of 109 cm in Qurayat tide gauge station (Oman). Spectral analysis showed that the most governing period of the tsunami waves was around 12 min though wavelet analysis showed that parts of the tsunami energy were partitioned into other period bands of 7 and 16 min. Distribution of aftershocks in the region showed that all of them were located inland indicating that the tsunami was generated by submarine geological phenomena triggered by the earthquake. Tsunami backward ray tracing showed that the tsunami source was possibly located at offshore Jiwani (Pakistan) and the tsunami was most likely generated immediately after the main shock. Tsunami modeling assuming a pile-up structure at the location of the new island was not successful in reproducing the observed sea level records. A landslide source with a length of about 15-20 km, a thickness of 100-150 m located at 61.72°E and 24.60°N seems capable of fairly reproducing the observed sea level records. This event was the second tsunami recorded in the Makran region since 1945, and may be evidence for hazards from landslide-generated waves following seismic activities.

キーワード: Northwestern Indian Ocean, Tsunami, Makran subduction zone, Landslide, Spectral analysis, Numerical modeling
Keywords: Northwestern Indian Ocean, Tsunami, Makran subduction zone, Landslide, Spectral analysis, Numerical modeling

Pre-computed Tsunami Database with Additional Slip Near to the Trench for Tsunami Early Warning in Southern Java Pre-computed Tsunami Database with Additional Slip Near to the Trench for Tsunami Early Warning in Southern Java

SUNENDAR, Haris^{1*} ; TANIOKA, Yuichiro¹ ; GUSMAN, Aditya¹ ; LATIEF, Hamzah²
SUNENDAR, Haris^{1*} ; TANIOKA, Yuichiro¹ ; GUSMAN, Aditya¹ ; LATIEF, Hamzah²

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Bandung Institute of Technology

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Bandung Institute of Technology

We build tsunami database based on simple fault model scenarios for the Java trench subduction zone. We have 480 points along the subduction zone with distance between each other of 20 arc-min. This points are used as the center of simple fault model scenarios. Each point is the center of several fault models with different moment magnitudes. We used a magnitude to fault length and width scaling relationship for the fault model scenario. The moment magnitudes for the fault model scenarios are from Mw 6.3 to Mw 9.0 with interval of 0.3. The fault depth parameter is also a variable for the fault model scenario. We used depth between 10 km to 60 km with interval of 10 km.

From each fault model scenario we simulate tsunami propagation by solving the linear shallow water equations. We used bathymetry data based on Indonesian navy chart and GEBCO bathymetric dataset. The grid size for the tsunami simulation is 1 arc-min. The pre-computed maximum tsunami heights and tsunami arrival time at every point along the coast are stored in a database.

If a real earthquake occur at any location in the forecasting domain then the pre-computed tsunami heights from 16 scenarios are retrieved from the database. These 16 scenarios are those that are surrounding the actual hypocenter and each of the scenario has the closest higher or closest lower magnitude to the actual one. Then the tsunami heights from these scenarios are used in interpolation methods to get the tsunami height forecast. The tsunami heights from two scenarios with a same hypocenter and different moment magnitudes are interpolated by logarithmic interpolation. Then the tsunami heights with different depths and different epicenters are interpolated using linear interpolation and bilinear interpolation, respectively. The the interpolated tsunami heights is group into district administrative regions, then the maximum height for each administrative region is selected. The selected tsunami heights are categorized into three different warning levels. These levels are tsunami smaller than 0.5 m, between 0.5 m to 3 m, and larger than 3 m.

We apply this method to forecast the tsunami generated by the 1994 East Java earthquake. The 1994 earthquake is classify as a tsunami earthquake (Newman and Okal, 1998; Pollet and Kanamori, 2000). The earthquake moment magnitude was estimated to be Mw 7.6 (Abercrombie et al., 2001), Mw 7.8 (Bilek et al., 2006; USGS), Mw 7.9 (Pollet and Kanamori, 2000). Our result shows that the forecasted tsunami heights underestimate the actual tsunami heights. One of the main cause could be the fact that we used simple fault model scenarios which sizes were estimated from scaling relationship of magnitude to fault dimension of regular earthquake but not tsunami earthquake. Previous studies shows tsunami earthquake may generate large slip near the trench (Tanioka and Satake, 1996; Satake et al., 2013). Therefore to obtain a more accurate forecast, the fault model scenarios near the trench should represent fault model for tsunami earthquake event.

キーワード: pre-computed tsunami database, tsunami earthquake, tsunami early warning

Keywords: pre-computed tsunami database, tsunami earthquake, tsunami early warning

Simulation of tsunami inundation from future megathrust earthquake scenarios of Central Peru

MAS, Erick^{1*}; ADRIANO, Bruno²; PULIDO, Nelson³; KOSHIMURA, Shunichi¹
MAS, Erick^{1*}; ADRIANO, Bruno²; PULIDO, Nelson³; KOSHIMURA, Shunichi¹

¹International Research Institute of Disaster Science, IRIDeS, Tohoku University, ²Graduate School of Engineering, Tohoku University, ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, NIED

¹International Research Institute of Disaster Science, IRIDeS, Tohoku University, ²Graduate School of Engineering, Tohoku University, ³National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, NIED

Great tsunami events like the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami might occur around the world in the future. In particular at areas of the Pacific Rim or the Andaman Sea as history has confirmed. In this study we will focus on the central coast of Peru on the western Pacific. The earthquake history of Peru accounts for many devastating tsunami disasters in the past (1555, 1586, 1609, 1630, 1655, 1678, 1687, 1746). The potential damage to national infrastructure exposed in Callao and Lima could yield to a heavy economical breakdown in Peru. It is of great importance to assess and estimate the future tsunami inundation scenarios in order to grasp the extent of possible damage and the severity of it. Consequently, this study evaluates the tsunami hazard and the related features of inundation at the central coast areas of Peru based on possible megathrust earthquakes.

The source model we used in this study ($M_w = 8.90$) was obtained from results of the interseismic coupling distribution in subduction areas using GPS monitoring data as well as historical earthquake recurrence information (Pulido et al., 2011). This slip model was used to generate twelve additional slip scenarios for strong ground motion simulation, by adding spatially correlated short-wavelength slip heterogeneities (Pulido et al., 2012).

Here, we used these thirteen scenarios to evaluate the tsunami hazard of Callao area in Peru. From results of strong ground motion simulations Pulido et al. (2012) reported that the slip scenario with the deepest along strike slip average ($M_w = 8.86$) was the worst case scenario for strong ground motion in Lima-Callao area. On the other hand, in this study the slip model with the largest peak slip ($M_w = 8.87$) yielded the highest tsunami inundation and maximum velocity near shore. Such differences on maximum scenarios for peak ground acceleration and tsunami height reveals the importance of a comprehensive assessment of earthquake and tsunami hazard in order to provide plausible worst case scenarios of strong ground motion and tsunami inundation.

Acknowledgments

This study was carried out under the framework of the SATREPS project "Enhancement of Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation Technology in Peru, project sponsored by the Japan International Cooperation Agency (JICA) and the Japan Science and Technology Agency (JST). Our appreciation goes to the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) and the International Research Institute of Disaster Science (IRIDeS), Tohoku University for their support.

References

Pulido, N., Tavera, H., Aguilar, Z., Chlieh, M., Calderon, D., Sekiguchi, T., Nakai, S., and Yamazaki, F. (2012). Estimation of slip scenarios of mega-thrust earthquakes and strong motion simulations for Central Andes, Peru realizations (poster S33A-2505). In *American Geoscience Union Fall Meeting 2012*, number section III, pages 1?2, San Francisco, California, USA.

Pulido, N., Tavera, H., Perfettini, H., Chlieh, M., Aguilar, Z., Aoi, S., Nakai, S., and Yamazaki, F. (2011). Estimation of Slip Scenarios for Megathrust Earthquakes: A Case Study for Peru. In *4th IASPEI/IAEE International Symposium*, pages 1?6, Santa Barbara, CA, USA.

キーワード: megathrust earthquake, megatsunami, numerical simulation, tsunami Peru, scenarios
Keywords: megathrust earthquake, megatsunami, numerical simulation, tsunami Peru, scenarios

確率論的手法による海底地すべり津波波源推定手法のメキシコ湾への適用 Identification of submarine landslide tsunami sources: A probabilistic approach for the Gulf of Mexico

嶋原 良典^{1*}; Horrillo Juan²
SHIGIHARA, Yoshinori^{1*}; HORRILLO, Juan²

¹ 防衛大学校システム工学群建設環境工学科, ² テキサス A&M 大学ガルベトン校

¹National Defense Academy, ²Texas A&M University at Galveston

2004 年インド洋津波や 2011 年東北地方太平洋沖津波の被害を受け、過去の歴史津波の記録が不足している地域であっても、津波リスクを科学的に評価する必要性に迫られている。その中でもメキシコ湾は津波リスクの不確実性が特に大きい地域であるが、地質学的見地から、中規模程度の地震に引き起こされる海底地すべりによって巨大津波が発生する可能性が指摘されている。

本研究は、モンテカルロシミュレーションに基づいた確率論的手法を用いて、メキシコ湾で発生する可能性のある海底地すべり津波波源を推定することを目的としている。具体的には、まず、海底地すべりの発生位置や深さ等の地形条件を、観測データから決定された確率分布を用いて求める。次に、地形条件に対応する土質パラメータや地震による水平加速度を求め、海底斜面の安定性解析を行う。同解析から海底地すべり発生が認められる場合、既往の予測式を用いて津波波源振幅を計算する。最終的に、海底地すべりを発生させる地震の発生率と津波の発生確率の積から、海底地すべり津波発生年確率を求める。本研究では上記のモデルに基づき、数千年から 1 万年までの再現周期に対する海底地すべり津波波源を推定した。

キーワード: 津波, 海底地すべり, モンテカルロシミュレーション
Keywords: tsunami, submarine landslide, the Monte Carlo Simulation

不均質すべり発生モデルを用いた津波波高の確率的解析と不確実性評価 A stochastic analysis and an uncertainty assessment of tsunami wave height using a random source parameter model

福谷 陽^{1*}; Suppasri Anawat¹; 今村 文彦¹
FUKUTANI, Yo^{1*}; SUPPASRI, Anawat¹; IMAMURA, Fumihiko¹

¹ 東北大学災害科学国際研究所

¹ International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

東北地方太平洋沖地震型の断層領域を対象に、不均質なすべり分布を持つ断層モデルを生成し、ロジックツリーを用いて確率論的津波ハザード解析を行った。確率論的津波ハザード解析結果と東北地方太平洋沖地震の観測結果とを比較した結果、観測結果 6.7m は、再現期間にして約 1112 年 (0.50 フラクタイル)、約 1129 年 (単純平均)、約 490 年 (0.95 フラクタイル) という幅が示された。すべり分布のパターン数が確率論的津波ハザード解析結果に及ぼす影響を確認したところ、波高が比較的小さい場合には、すべり分布のパターン数がハザード解析結果に及ぼす影響は殆どなかった。一方、波高が比較的大きい場合には、すべり分布の数を 1 パターンにすると、すべり分布の数が 3 パターン・5 パターンの場合よりも、各フラクタイル点における再現期間が大きく見積もられた。波高によっては、すべり分布のパターン数が解析結果に及ぼす影響は大きいと言える。また、再現期間 1000 年の津波波高の頻度分布を確認したところ、当然のことながら、考慮するすべり分布の数を増やす程、計算される津波波高の不確実性が増大することが確認できた。津波波高の不確実性を定量的に図る指標値として、津波波高の 90 % 信頼区間と変動係数を定義したところ、基本的には各フラクタイル点の波高が高い場所で、90 % 信頼区間が高くなっていた。変動係数が一番高くなっていた茨城県沖合の地点においては、断層領域内のアスペリティ位置の違いによる最大波高の変化が変動係数の大きさに寄与していることが確認された。また、岩手県沿岸のリアス式海岸部における変動係数の結果を見ると、リアス式海岸半島部の先端沖合地点で大きく、湾奥部地点で相対的に小さい値となっていた。これは、リアス式海岸特有の地形効果による影響であることが確認できた。

キーワード: 確率論的津波ハザード解析, 不確実性解析, ロジックツリー, CRSP モデル

Keywords: probabilistic tsunami hazard assessment, uncertainty analysis, rologic tree, CRSP model