

## Seafloor Observation Network for Earthquakes and Tsunamis along the Japan Trench (S-net) - Current status of the S-net construction -

\*望月 将志<sup>1</sup>、植平 賢司<sup>1</sup>、金沢 敏彦<sup>1</sup>、眞保 敬<sup>1</sup>、汐見 勝彦<sup>1</sup>、功刀 卓<sup>1</sup>、青井 真<sup>1</sup>、松本 拓己<sup>1</sup>、関口 涉次<sup>1</sup>、高橋 成実<sup>1</sup>、中村 武史<sup>1</sup>、山本 直孝<sup>1</sup>、篠原 雅尚<sup>2</sup>、山田 知朗<sup>2</sup>

\*Masashi Mochizuki<sup>1</sup>, Kenji Uehira<sup>1</sup>, Toshihiko Kanazawa<sup>1</sup>, Takashi Shimbo<sup>1</sup>, Katsuhiko Shiomi<sup>1</sup>, Takashi Kunugi<sup>1</sup>, Shin Aoi<sup>1</sup>, Takumi Matsumoto<sup>1</sup>, Shoji Sekiguchi<sup>1</sup>, Narumi Takahashi<sup>1</sup>, Takeshi Nakamura<sup>1</sup>, Naotaka Yamamoto<sup>1</sup>, Masanao Shinohara<sup>2</sup>, Tomoaki Yamada<sup>2</sup>

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、2. 東京大学地震研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

The only real time seafloor monitoring system situated inside the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake ( the 2011 Tohoku earthquake ) source area at the time of the earthquake was the ocean-bottom seismic and tsunami observation system off the Sanriku coast deployed and maintained by Earthquake Research Institute, University of Tokyo. Three seismic and two tsunami observatories were installed on the system. We did not have adequate observatory networks which could measure and monitor earthquakes and tsunamis on the seafloor, even though a lot of earthquakes occur beneath the seafloor around Japan.

NIED ( National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention ) has launched the project of construction of an observatory network for tsunami and earthquake on the seafloor just after the occurrence of the 2011 Tohoku earthquake. It reflected on the situation that we could not monitor the outspread of the earthquake and the tsunami outbreak on site and in real time due to poor coverage of observation in ocean area. The project has been financially supported by MEXT ( Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology - Japan ).

The seismic and tsunami observatory network was named “S-net” . The S-net consists of 150 seafloor observatories and covers the focal region of the 2011 Tohoku Earthquake and its vicinity regions. Each observatory equips two sets of pressure gauge and 4 sets of three component seismic sensors. The 150 seafloor observatories are connected in line with submarine optical cables. And those optical cables are landed at 5 sites ( Hachinohe-city, Miyako-city, Watari-town, Kashima-city and Minami-Boso-city ) on the Pacific coast of Tohoku district, so then the S-net provides a real-time monitoring of earthquake and tsunami on the seafloor.

Six years has passed since the project started in 2011, the S-net seafloor observatory network is going to reach completion. Some data are being transmitted to Japan Meteorological Agency, and have been already used for surveillance of earthquakes and tsunamis. Full-scale operation of the S-net is expected to start in April, 2017.

We will report the current status of the construction of S-net seafloor observatory network in this presentation.

キーワード : S-net、海底観測網、地震、津波

Keywords: S-net, seafloor observatory network, earthquake, tsunami



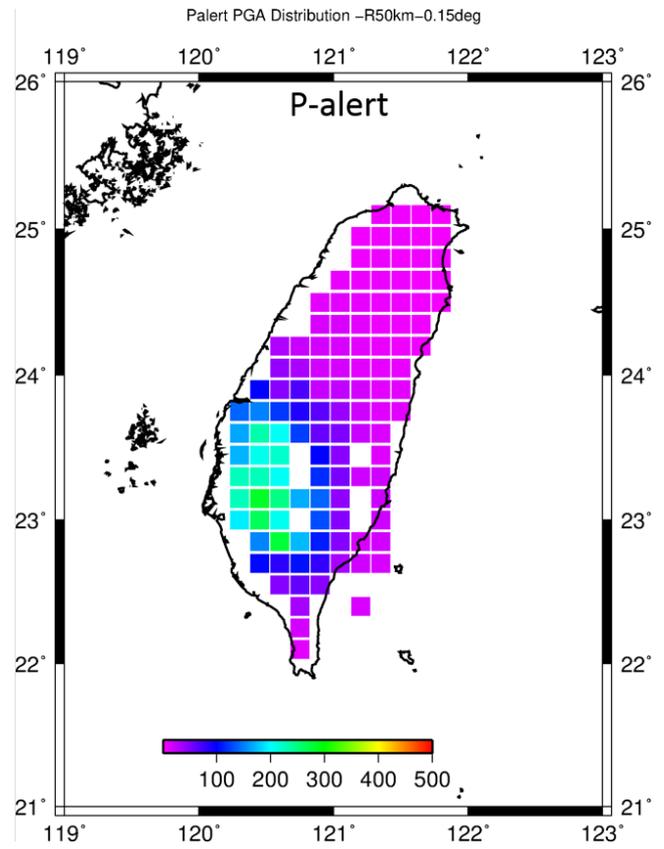
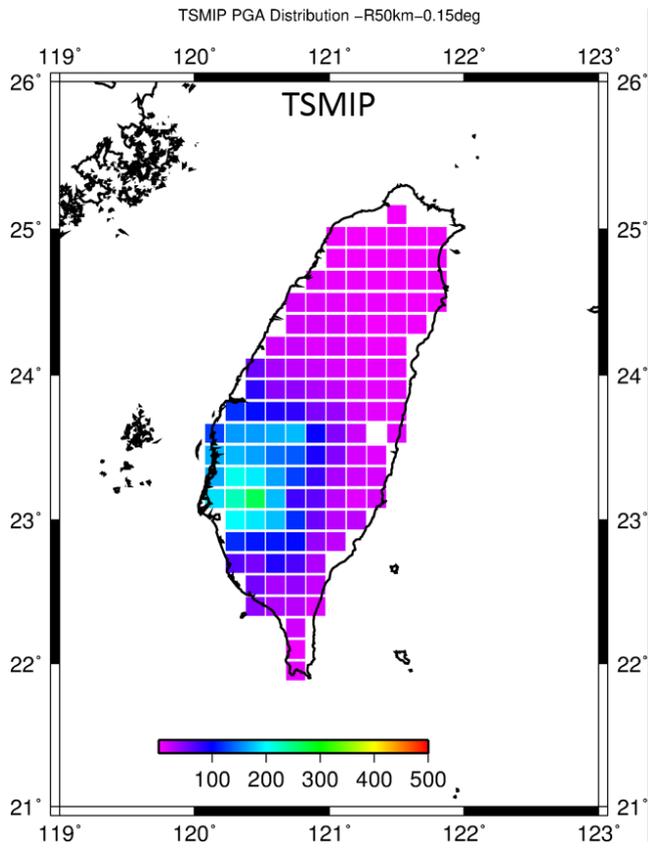
## Toward a near real-time shaking map using the P-alert seismic network in Taiwan

\*TA-YI CHEN<sup>1</sup>, Yih-Min Wu<sup>2</sup>

1. Seismological Center, Central Weather Bureau, Taiwan, 2. Department of Geosciences, National Taiwan University, Taiwan

Shaking maps are one of the useful information for hazard assessment after earthquakes occurred. Based on dense and real-time seismic network the detailed and fast shaking maps are available. The Central Weather Bureau of Taiwan (CWB) has operated two strong motion seismic networks. One is the real-time strong motion seismic network, named RTD, consisting of 110 stations. It can provide a shaking map within 15 minutes after an earthquake occurred. The other is the dense seismic network named Taiwan Strong Motion Instrument Project (TSMIP) consisting of more than 800 stations. However, the shaking map generated by the RTD seismic network cannot reveal actual ground motions due to poor station density. The TSMIP seismic network cannot transmit data in real time. Recently, the low-cost Micro-Electro Mechanical System (MEMS) accelerometers has been deployed in Taiwan, named P-alert seismic network, with about 609 stations transmitting data to the center in real time. The P-alert seismic network provides an opportunity to provide quick and real shaking map, but the ground motion records from the P-alert need to be corrected because all P-alert sensors deployed on the wall or pillar of buildings. To obtain real ground motion without building influence, we proposed an approach using TSMIP records to construct a transfer function for the P-alert records. Finally, once an earthquake occurred using the real-time P-alert data streams and corrected by the transfer function, the real ground-motion shaking maps become available.

Keywords: seismic network, shaking map, low-cost seismometer



# レーザ干渉計の一次校正による広帯域地震計の周波数特性評価

## Frequency response evaluation of broadband seismometer in primary calibration using laser interferometer

\*野里 英明<sup>1</sup>、穀山 渉<sup>1</sup>、新谷 昌人<sup>2</sup>

\*Hideaki Nozato<sup>1</sup>, Wataru Kokuyama<sup>1</sup>, Akito Araya<sup>2</sup>

1. 産業技術総合研究所、2. 東京大学

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. The University of Tokyo

広帯域地震計は、測定可能な周波数範囲が広く、近郊および遠く離れた地震波の計測に用いられ、震源メカニズムの解析に用いられる。広帯域地震計はバンドパス特性をもっており、低周波数領域では0.01 Hzもしくはそれ以下の低域カットオフ周波数をもつため、その周波数特性を評価するためには、低周波数で精密に振動する加振器およびその測定系を必要とする。そのため、産総研が保有する低周波振動校正装置を用いて、広帯域地震計の評価を行った。

本低周波振動校正装置は、振動加振器とレーザ干渉光計測システムで構成されており、評価対象であるセンサを振動加振器で振動させて、レーザ干渉光計測システムでその振動変位を測定することで、ある周波数におけるセンサの感度と位相遅れを算出する。振動加振器は特注で開発されたエアベアリング式の電動型である。0.4 mのストローク長をもち、加振可能な最大積載量は30 kg弱である。一方、レーザ干渉光計測システムは、安定化He-Neレーザ光源(波長: 632.8 nm)を搭載した2位相検出型ホモダイナミックレーザ干渉計を装備しており、振動変位に応じた、互いに90度位相の異なる2つの干渉信号を検出する。それら干渉信号はNI PXI 5922でサンプリング周波数10 MHzによってデジタル信号として記録され、信号処理プログラム内のアークタンジェントと位相展開によって、半波長あたり2pで規格化された位相角が得られ、振動変位を算出する。同時に、広帯域地震計からも速度の電圧信号をPXI 4462によってサンプリング周波数200 kHzで24 bitの高分解能で記録する。これら両者の波形に正弦波近似を行い、振動変位の変位振幅から速度振幅を算出した後に、速度振幅と電圧振幅の比から地震計の感度を求める。さらに、正弦波近似された両者の初期位相から、地震計の位相遅れも計算される。このように、長さの基準であるレーザ干渉計を用いて、加速度センサの単位加速度(入力)あたりの電気量(出力)を求めることを一次校正と呼び、ISO 16063-11で規定される。

国家標準研究機関である産総研は、加速度標準を産業界へ供給するために、低周波振動校正装置の測定の信頼性や国際同等性、およびそのトレーサビリティを確保する責務をもっている。従って、当該地震計の校正においても、速度は長さと言時間の組立量であり、出力信号は電気量であることから、それらの量も国家標準にトレーサブルになっている。長さの基準はCIPM勧告に基づいて、 $1.5 \times 10^{-6}$ のHe-Neレーザ波長の安定性が保証されており、時間の基準はJCSS校正されたルビジウムタイムベースによって確保されている。電気量の基準もJCSS校正された直流電圧発生器を用いてPXI 4622を自己校正することで、そのトレーサビリティを確保している。測定の信頼性および国際同等性については、国家標準研究機関が技能の同等性を評価し合う低周波振動国際比較(CCAUV.V-K3)において、0.15%という世界最高の不確かさで国際同等性を担保している。

広帯域地震計の周波数特性に関する情報は、製造メーカーによる試験成績書に記載されたカットオフ周波数もしくはpole・zeroのテーブルによって与えられている。その情報を使用して、地震波形の観測データを補正して解析することから、その周波数特性の信頼性は非常に重要であるが、その精度や安定性について報告された例はほとんどない。本研究では、低周波振動校正装置を用いて、Guralp製CMG-3T(広帯域地震計)の周波数特性を0.01 Hzから一次校正して、メーカーによる試験成績書との整合性について検証したので、その結果について報告する。

キーワード: 一次校正、レーザ干渉計、広帯域地震計、周波数特性

Keywords: primary calibration, laser interferometer, broadband seismometer, frequency response



# 光ファイバーをセンサーとして用いるDASテクノロジーを使った地震波観測システムの進歩

## Progress of Seismic Monitoring System using Optical Fiber and DAS Technology

\*木村 恒久<sup>1</sup>

\*Tsunehisa KIMURA<sup>1</sup>

1. シュルンベルジェ

1. Schlumberger

DASテクノロジーが、パイプラインのモニタリングや侵入者を感知するために、2011年頃から石油・ガス産業で使われており、位相差データを用いる最新の光ファイバーセンシング技術によって、近年、DASシステムを使って、VSPを含むサイズミックデータを記録できるようになったことを昨年の発表で紹介した。我々はこのシステムのことを、‘hDVS’と呼んでいるが、その第三世代の装置が2016年後半に完成した。

hDVSは、通常用いられるジオフォン等の電気・磁気的なセンサーでなく、光ファイバーを振動計測のセンサーとして使う。実際には、光ファイバーの振動に対するダイナミックストレインを計測しており、シングルモードファイバー、マルチモードファイバーの両者に使うことができ、つなげたファイバーの全長、もしくはパラメータで決めた長さだけをセンサーとして使うことができる。光ファイバー内での光の減衰や、光データのサンプリング周波数にも依るが、シングルモードファイバーの場合、第二世代のシステムでは、最大40km程度の長さまで対応することができ、マルチモードファイバーの場合、その長さが10km程度までとなる。第三世代の新しいシステムを使えば、50kmの長さを超えるシングルモードファイバーにも対応することができると思われる（hDVS/DASを使うことのできる理論的な光ファイバーの最大長は100km）。また、ラボの実験では、S/N比が、15dB向上したことが確認されている。

hDVS/DASを用いたシステムは、現状の地震波観測システムと比較して、次のような特長がある。

- a)既に設置してある光ファイバーを、地震波観測のセンサーとして用いることができる。
- b)一つのシステムで、点ではなく、最大50kmを超える長さの線状のセンサーとして観測することができる。
- c)既に張り巡らされている光ファイバー網を利用することによって、観測装置を容易に観測ネットワークとして構築できる。
- d)空間分解能やゲージ長をパラメータとして設定できる。
- e)光ファイバーのコア部は、石英ガラスできており、通常のセンサーを設置できない200°C以上の環境下でも、問題なく使える。
- f)光ファイバーセンサーは、受動センサーなので、故障を起こしにくい。
- g)万が一、地震・津波でファイバーが切れた場合でも、切れた箇所までのファイバーを用いて、観測を継続できる。
- h)波長分割多重方式を用いて、1本のファイバーを、通信と地震波観測の両方に使える可能性がある。

その他にも特長として認識される性質が見つけれられるだろう。

キーワード：DAS、hDVS、光ファイバー、地震波観測、地震、津波

Keywords: DAS, hDVS, optical fiber, seismic monitoring, earthquake, tsunami