

日本海溝海底地震津波観測網（S-net）について

植平賢司*

* 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

要 旨

日本海溝海底地震津波観測網（S-net）は北海道から千葉県沖の太平洋側の海底に設置される世界でも類を見ない大規模なリアルタイム地震津波観測網である。この観測網の目的は津波即時予測の高度化、緊急地震速報の高度化、地震像の解明であり、災害の軽減に資することが期待されている。

1. はじめに

日本海溝海底地震津波観測網（Seafloor observation network for earthquakes and tsunamis along the Japan Trench, 通称S-net）は、東北日本太平洋側の海底に設置される世界に類がない大規模なリアルタイム地震津波観測網である。S-netの整備事業は東日本大震災後の平成23年11月に始まった。北海道沖から千葉県房総半島沖合までにかけて150の観測点を平成28年度末までに敷設する。観測網の目的は災害軽減に資するための津波即時予測の高度化、緊急地震速報の高度化、地震像の解明である。ちなみにこれまでより最大30秒程度早く海域での地震の発生を捉え、またこれまでよりも最大20分程度早く津波を実測できるようになる。地震と津波の波形データは、気象庁をはじめとする関係機関に即時にデータ流通され、監視と地震調査研究のために活用される。本稿では防災科学技術研究所が文部科学省の補助金により進めているこのプロジェクトの概要、進捗状況等を紹介する。

2. 背景と目的

2011年3月11日14時46分に平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）が発生した。この地震は日本周辺で観測された歴史上最大のマグニチュード9.0であり、この地震により宮城県栗原市で最大震度7を記録したのを筆頭に北海道

から九州にかけて有感となった（気象庁、2011）。更にこの地震により発生した巨大津波が日本の海岸に押し寄せ、2万人超の死者・行方不明者を出し、また、広範囲にわたって甚大な物的被害も発生した。この東北沖地震により様々な分野で様々な課題が浮き彫りになったが、その一つとして、陸域に展開されている地震観測網のデータからのみでは地震・津波に関する的確で正確な情報を提供出来なかった事が挙げられる。

東北沖地震発生当時の地震観測点の状況は、24時間365日連続でリアルタイム観測しているものについて、陸上では防災科学技術研究所、気象庁、大学等の各機関を併せて1500点弱があったが、海域については55観測点、しかも北海道から千葉県沖合に限定すると16点のみであった（図-1）。地震の発生をより早く検知するためには地震計が震源に近い位置にあればある程良い。東北沖地震であれば、震央付近に観測点があったとすれば陸上のみの観測網データに比べて10数秒程度（P波速度を7km/secと仮定）早く検知出来、その分早く緊急地震速報のような情報発信が可能となる。また、震源域を取り囲むように観測点が配置することにより、震源の位置や発震機構等の情報が正確となる。例えば陸域の観測網データのみで東北沖地震のような海域の震源位置を求めた場合、その位置の誤差が数10km（特に震源の深さ）になることは珍しくない。地震発生直後に津波情報を予測する時には、地震のマグニチュード・震源の深さ・発震機構等の情報を基にしているため、

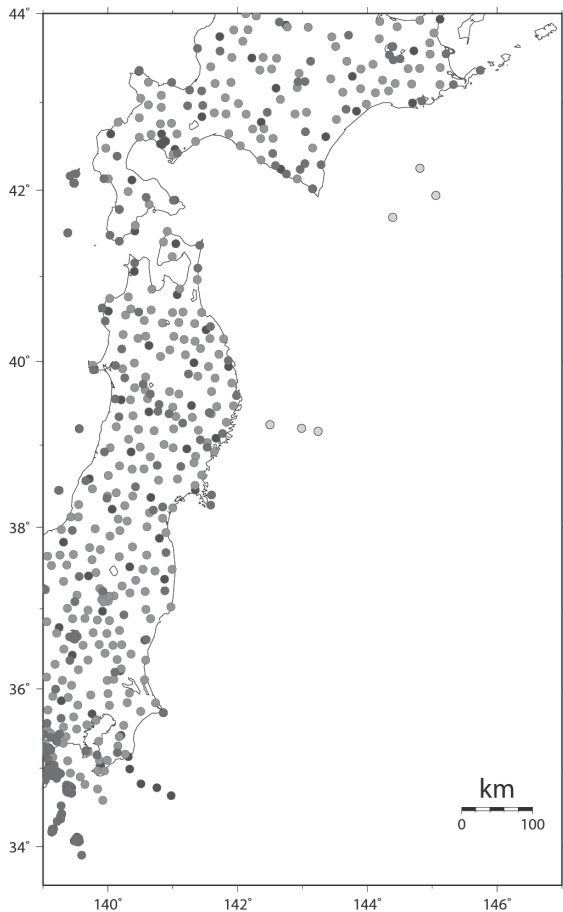


図-1 東北沖地震発生当時の東日本におけるリアルタイム地震観測点の分布
陸域と比べ、海域には北海道沖に3点、釜石沖に3点、房総沖に4点、相模湾に6点あるのみであった。

これらの情報が正確であればある程、より精度の良い津波情報の発信が可能となる。

また、東北沖地震の時点、東北沖のリアルタイムで津波を計測可能な観測点についても、震源域付近では、海岸部にある驗潮記録、海岸から約20km付近の場所に設置されていたGPS波浪計（国土交通省港湾局が全国15カ所に設置）、東京大学地震研究所による釜石沖の海底ケーブルに接続されていた2つの津波計と、数も少なかった。

このような背景のもと、また東北地方太平洋沖では引き続き規模の大きな海溝型地震が発生し、今後も強い揺れや高い津波に見舞われるおそれがあること等（地震調査研究推進本部、2011）から、S-netの整備が始まった。整備の目的は津波即時予測の高度化と緊急地震速報の高度化である。またS-netによる地殻活動のリアルタイムモニタリングは千島海溝・日本海溝周辺の高陸境界域で発生する地震の姿を解明し将来の地震発生の予測に貢献することが期待されており、このような地震像の解明が第三の目的で

ある。S-netは現在SIPで研究開発を進めている津波遡上の即時予測においても基盤となる観測網である。

3. S-netの概要

S-netは北海道から千葉県沖にかけて合計150の観測装置（地震計・津波計）を全長約5,700kmの光海底ケーブルで結び、観測データを陸上局経由で24時間・356日リアルタイムで送信するものである。陸上局からは地上の通信回線網を通じて防災科学技術研究所のデータセンター、東京大学地震研究所バック

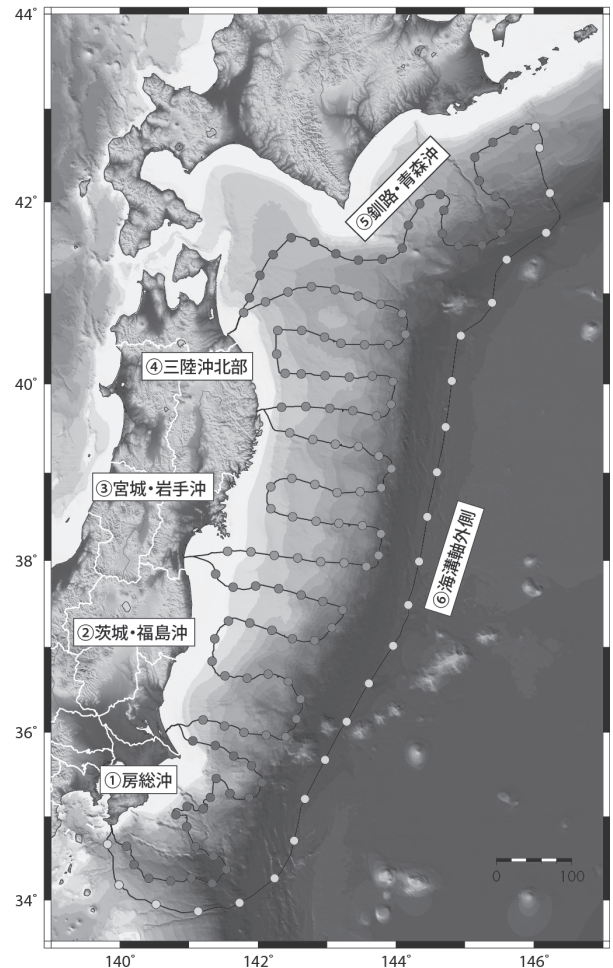


図-2 日本海溝海底地震津波観測網の観測装置とケーブルの配置図。①から⑥までの6サブシステムで構成される。

アップセンター、気象庁、大学等の研究機関、その他関係機関にリアルタイムで配信される。

150の観測装置は海溝軸直交方向に約30km間隔、海溝軸に平行な方向に50～60km間隔の格子状になるように配置している（図-2）。これは、津波を励起するM7.0からM7.5以上規模の地震の震源域の中に少なくとも1つの観測装置を配置するため、また、

れ、残りの 5fp 乃至 4fp がデータ伝送に使われる。

通信は波長分割多重伝送 (WDM) 方式により行う。観測装置からのデータ通信については、1 波長 1fp で陸上局とは 1 対 1 で対応しており、観測装置の伝送部の障害は他に影響を与えないようになっている。

観測装置は直径 34cm、長さ 226cm のベリリウム銅耐圧容器の中に収容されている (図-4)。観測装置は主電源部、光アンプ部、電源制御部、伝送部、センサー部から成っている。センサーは冗長化 (地震計、津波計)・広帯域化 (地震計) のため計 6 セット搭載されている。地震計は、サーボ型加速度計が 3 成分 2 式で、計測範囲はハードウェア的な設定でそれぞれ $\pm 2G$ と $\pm 5G$ に設定してある。 $\pm 2G$ のものについてはプログラマブル・ゲイン・アンプにより更に $\pm 0.0625G$ の計測レンジの設定もある。この他、水晶振動式加速度計 1 式 (計測範囲は $\pm 2G$)、速度計 (固有周波数 15Hz) 1 式が地震計として格納されている。津波計は水晶振動式高精度水圧計 (周波数出力型) が 2 式セットされている。水深換算で数 mm の分解能を有す。水圧計は水圧を感知するために非耐圧部に格納されているが、データ収録を行う水密部とは新たに開発した 4 芯フィードスルーにより接続されている。

観測データは陸上局からの時刻情報をもとにタイムスタンプが付けられ、両方の陸上局に同じデータが送信される。1 観測装置あたり計 6 セットの 22 チャンネルのデータが送信される。

4.2 陸上局の概要

現在のところ、千葉県南房総陸上局、茨城県鹿島陸上局、宮城県亘理陸上局、岩手県宮古陸上局、青森県八戸陸上局の 5 局を整備した (図-5)。南房総局、鹿島局、宮古局はケーブル陸揚げ地から 1.5 km 程度離れた標高 25 m ~ 30 m の高台にコンテナ型陸上局を整備した。亘理陸上局については亘理町が新築した施設“きずなぼーとわたり”の 3 階に陸上局を整備、八戸局についてはケーブル陸揚げ地の隣接地にコンテナ型陸上局を整備した。

陸上局では海底ケーブルを通じて観測装置に給電を行う給電機能、GPS 時計からの時刻情報の送信機能、また、観測装置からのデータを受信し、光信号を電気信号に変換し、それをデータセンターにデータを送信する機能がある。

海底部への給電は、1.1A の定電流給電である。① ~ ⑤ では最大 3,000V、⑥ では最大 5,000V の直流電源で供給される。また、長期間の停電に備え、1 週間程度稼働可能な非常用発電機設備も備えている。



図-5. 陸上局の概要

左上：コンテナ型陸上局、右上：亘理陸上局 (“きずなぼーとわたり” 3 階)、左下：光伝送装置等の陸上端局装置、右下：高圧給電装置

4.3 観測システムの強靱化のための工夫

災害軽減のための常時監視に使う観測網の目的と、これからの 20~30 年にわたる長期間の運用を考え、想定される故障・事故に対して強靱であるように、観測網の配置・観測装置・伝送方式・電源供給方式に工夫をしている。

まず、ケーブル切断のリスクを回避するよう行っている。例えば、底引き漁・貝桁漁等の漁具及び走錨によるケーブル損傷を避けるため、ケーブル及び観測装置を水深 1,500m 以浅については基本的に海底 1m 程度に埋設している (図-3)。また、海底地すべりや乱泥流の発生しそうな海底地形の場所を避けるようケーブルルートを選定した。また、東北沖地震時には海底地すべりや乱泥流によりケーブルの障害が発生しているが、過去の通信ケーブル障害情報を入手し、可能な限りそのような場所を迂回するようケーブルルート及び陸揚げ地の選定を行った。また、津波により陸上局が使用不能とならないよう、基本的に標高 20~30m 程度の場所に陸上局の設置場所を選定した。ケーブルの両端陸揚げと双方向伝送による海底ケーブル障害への対応も考慮している

ケーブルの陸揚げ部と局舎を結ぶ陸上管路についても、東北沖地震の通信回線等の管路被害状況を鑑み、十分な深度での埋設を行っている。

観測装置については、高信頼性の装置を使用している。センサーについては地震計 4 セットと津波計

2 式と複数収納することにより、冗長性をもたせている。地震計については、不具合の原因となり易いジンバル機構の必要のないタイプを採用した。その他電源部や光アンプ部などは海底通信用中継器に用いられている高信頼性部品を採用し、製造環境・技術も同様の工程を採用することにより信頼性を確保している。また、ベリリウム銅合金性の耐圧容器を用い、レーザ溶接により水深 8,000m まで耐えられる水密構造を確保している。

伝送方式については、まず、海底部は WDM 方式を採用することで、各観測装置を 1fp の 1 波長に対応させることにより、陸上局とは 1 対 1 の対向接続になるようにしている。このことにより、どの観測装置に発生する障害も他の観測装置のデータ伝送に影響を与えないようになっている。陸上部については、データセンターまでの物理回線を 2 本引き、別々のコントロールセンターに送信する。そして各コントロールセンターからデータセンターへ送信される。防災科学技術研究所のデータセンターの他に、東京大学地震研究所にバックアップセンターも設置する事により、冗長性を確保している。また気象庁、大学等関係機関へのデータ配信は防災科学技術研究所のデータセンターを経由することなく、データ配信網のコントロールセンターから直接配信される仕組みになっているので、データセンターの障害がデータ配信に影響を及ぼさない形となっている。

陸上局の電源のインフラ障害については、1 週間分の燃料を備えた非常用発電機を設置することにより、停電に備えている。

表 1 日本海溝海底地震津波観測網の仕様概要

観測網の設置海域	房総沖から北海道沖までを 6 海域に分けて、観測網を順次整備。全体で 150 観測点の観測網を構築。海域の区分け：房総沖、茨城・福島沖、宮城・岩手沖、三陸沖北部、釧路・青森沖、海溝軸外側。
地震・津波観測点の配置	日本海溝軸に直交する方向（およそ東西）に約 30km 間隔、海溝軸に沿う方向（およそ南北）に 50-60km 間隔に地震・津波観測点を配置。マグニチュード 7.5 クラスの地震の震源域にリアルタイムの地震・津波観測点が少なくとも 1 点は配置するというコンセプト。
観測システム	海溝軸内側の 5 海域に設置する観測網については、約 25 台の地震・津波観測装置と約 800 km の海底ケーブルで構成し観測装置を 30 km 間隔で配置するシ

	ステム。海溝軸外側に設置する観測網については、観測装置を 60 km 間隔で配置し、約 1450 km の海底ケーブルを使用する観測システム。
観測装置	一体型の地震・津波観測装置であり、ベリリウム銅合金製円筒型耐圧容器(外径 34 cm, 長さ 226 cm) に地震および津波の観測装置 1 式を収容。重量約 650 kg, 最大使用水深 8000 m。
消費電力	約 70 W
地震センサー	方式と特性の異なるセンサー4 式により冗長性の確保、観測の広帯域化、計測範囲の拡大。 計測範囲±5 G の加速度計(日本航空電子(株)製 JA5TYPEⅢA) 3 成分 1 式 計測範囲±2 G の加速度計(日本航空電子(株)製 JA5TYPEⅢA) 3 成分 1 式 計測範囲±2 G の水晶振動式加速度計(Quartz Seismic Sensors 社製周波数出力型) 3 成分 1 式 固有周期 15 Hz の速度計(OYO-GEOSPACE 社製 OMNI-2400) 3 成分 1 式
津波センサー	水晶振動式高精度水圧計 ((PARO SCIENTIFIC 社製周波数出力型) 2 式で冗長構成。水柱換算 約 1 mm の分解能。
AD 変換	24 ビット分解能のアナログ-デジタル変換器を使用
海底ケーブル	光ファイバー 12 芯構成、(株)OCC 社製 SC-500, 水深 20m 以浅に 2 重外装ケーブル、水深 2000 m 以浅に 1 重外装ケーブル、水深 2000 m 以深は無外装ケーブル(外径 17 mm)。全長約 5700 km の光ケーブルを海底に敷設。
陸上局	陸上局配置場所：千葉県南房総市、茨城県鹿島市、宮城県亙理町、岩手県宮古市、青森県八戸市。可能な限り高台に設置。停電に対応するため、1 週間分の燃料を備えた非常用発電装置を配備。釧路・青森沖、海溝軸外側の観測網は当面北海道浜中沖で海中接地した状態で運用するため、現状では北海道に陸上局は無い。
ケーブル給電	直流定電流給電 1.1 A。
データ伝送方	光ファイバー 2 芯で 1 伝送路とし波長多重(最大 8 波長)により観測装置と陸上

式〈海〉	局を専用波長で対向接続。観測点の電源制御に光ファイバー2芯1組を専用使用。最大で40点の観測システムが構築可能。
海底下埋設	水深1500mより浅い海域では、海底ケーブルと観測装置を海底下1m程度に埋設。
データ伝送方式〈陸〉	IP-VPN網を利用して、防災科学技術研究所Hi-net観測網のEarthLANと同様な伝送監視体制。
データの刻時	陸上局から高精度基準信号を送って海底観測装置内で刻時。高精度基準信号は、水晶振動式水圧計および水晶振動式加速度計の周波数出力を接続するカウンタ回路の基準信号源にも利用。

5. おわりに

平成27年度末から房総沖から北海道沖までの5海域の観測網(S1～S5)について試験運用を開始した。

図-6に観測波形例を示す。現在のところ計125観測点のデータを防災科学技術研究所にリアルタイムで連続伝送して伝送系各部の最適化等を進めている段階であるが、この5月末から受信体制整備のため気象庁にもデータ配信を開始した。残る海溝軸外側への観測網の構築をすすめ、平成28年度末に日本海溝海底地震津波観測網の整備を完了する予定である。いろいろな分野でのデータの利活用をすすめることも重要であり、現時点では災害軽減に関連して自治体、鉄道事業者、電力事業者等と具体的な検討を行っている。

参考文献

- 気象庁(2011)：平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震，
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/index.html。
- 地震調査研究推進本部(2011)：東北地方太平洋沖地震関連情報，
<http://www.jishin.go.jp/main/tohoku/kaisetsu.pdf>。

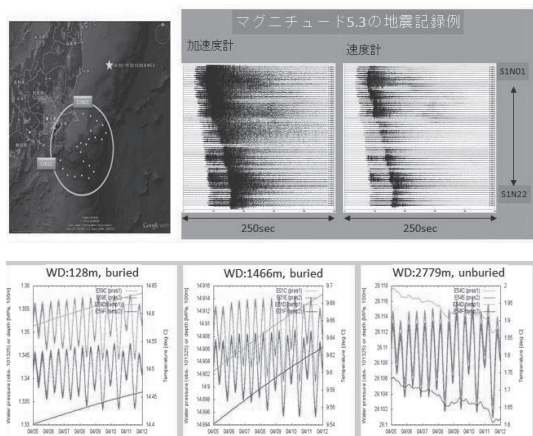


図-6 観測記録例

上：福島県で発生したM5.3の地震の房総沖観測網による記録例、下：海底水圧計の記録例、水深128m(埋設)、水深1466m(埋設)、水深2779m(海底面設置)におけるフィルター等の処理なしの水圧記録