平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による GPS 観測施設・験潮場の被災状況及び復旧対応

Emergency Repair and Restoration of Damaged GPS and Tide Stations after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

測地観測センター　大島健一・三浦優司・影山勇雄・古屋有希子・矢萩智裕・丸山一司
Geodetic Observation Center
Kenichi OSHIMA, Yuji MIURA, Isao KAGEYAMA, Yukiko FURUYA, Toshihiro YAHAGI and Kazushi MARUYAMA

要　旨

測地観測センターでは，電子基準点をはじめとした GPS 連続観測点，潮位観測施設（験潮場）を維持・管理し，国土の保全及び防災の役割を担う位置情報，地殻変動，潮位等の情報を提供している．

2011 年３月 11 日に発生した平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震（以下，「東北地方太平洋沖地震」という．）は，地震の揺れだけではなく，地震に伴う津波によって北海道から関東沿岸部にかけて多大な被害をもたらした．測地観測センターが維持管理する GPS 連続観測点と潮位観測施設においても，停電，通信回線の中断といった観測の障害が多数発生するとともに，施設が倒壊するなどの被害が発生した．本稿では，東北地方太平洋沖地震に伴って生じた GPS 連続観測点及び験潮場の被災状況と復旧対応について報告する．

１．GPS 連続観測点の被災状況及び復旧対応

１．１　作業の概要

測地観測センターでは，地震発生直後から GPS 連続観測点の緊急解析を進めた．平時は，電子基準点からの観測データはリアルタイムで国土地理院宇宙測地館にある GEONET 中央局に収集されているが，地震発生後，停電や回線断等の影響により北海道から東北にかけての電子基準点 358 点の観測データが収集できなくなった．このうち 196 点の電子基準点については，平時に使用する回線に加え，災害時等を想定し，携帯電話網を利用した通信二重化を平成 21 年度に行っていたため，その通信回線を利用して観測データを回収することができた．また，電子基準点では停電時に備え 24 時間～72 時間対応可能なバッテリーを装備しており，地震による停電後も数時間は観測を継続することができた．

現地の被災状況が明らかになる中で，空中写真による判読により，電子基準点「田老」（岩手県宮古市），「名取」（宮城県名取市），地殻変動観測施設「Ｓ南相馬」（福島県南相馬市）の３点が津波により浸水していることが判明した．

地震による被害が広範囲に及び，特に津波被害の大きかった太平洋沿岸部では，電気・電話等のライフライン復旧に相当な時間を要することが想定されたことから，通信二重化未対応点での観測データ回収及び主要点でのソーラーパネルによる電源復旧作業を行った．

また，その後の調査により，浸水した電子基準点２点については，架台本体が浸水による腐食のため長期間の使用に問題があること，地殻変動観測施設にいたっては架台自体が倒れていることが判明したため，平成 23 年度第一次補正予算により復旧することとなった．

１．２　緊急復旧作業

１．２．１　作業の概要

現地からの情報が限られる中，観測施設の状況確認及びデータ回収等を実施するため，地震発生から２日後に緊急調査班を編成し，現地での緊急復旧作業を実施した．資機材や日数等の制限を勘案し，地理地殻活動研究センターの助言を得ながら，余効変動を監視する上で重要となる，岩手県から宮城県にかけての観測データが収集できなくなった電子基準点を重点的に調査し，観測データの回収及び応急復旧を実施することとした．現地進入計画を立てる中で，国土地理院職員のみで対応できない不測の事態にも備える必要があると判断されたため，（株）栄光エンジニアリングと緊急随意契約を結び作業にあたることとした．緊急調査班は，班長以下職員３名，業者２名で編成され，作業車２台で３月 13 日深夜に本院を出発し，14 日早朝から 17 日まで現地作業を実施した．その結果，４日間で９点の現地調査及び復旧作業を行った．

なお，この時点ではまだ津波被害が甚大であった沿岸部で人命救助活動が続いており，その作業の妨げにならないよう，沿岸部については，基本的に調査対象地域から除外した．

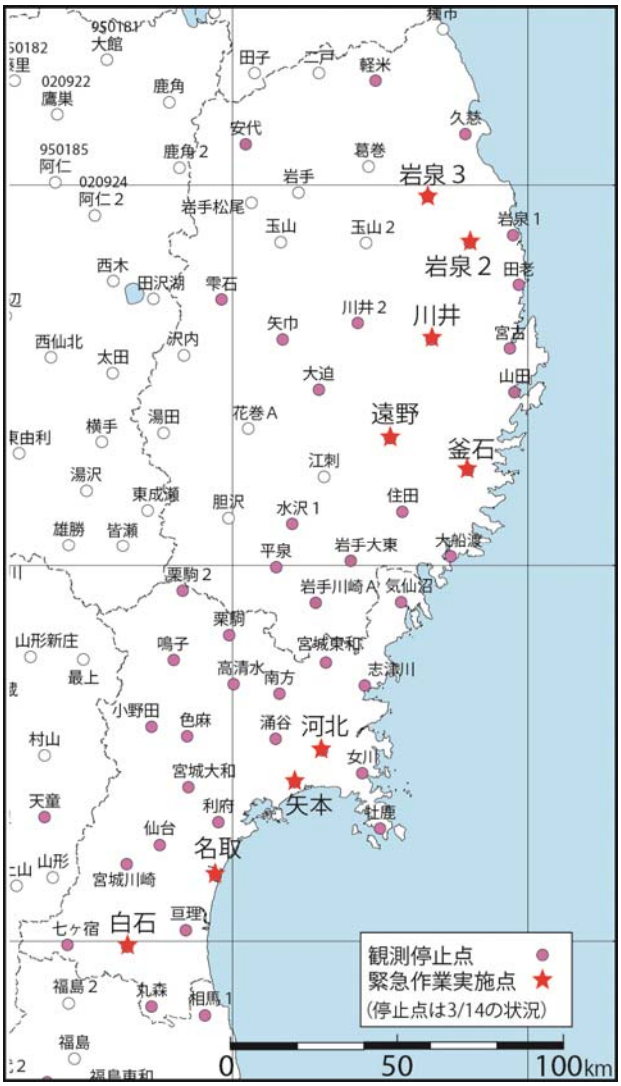
１．２．２　電子基準点の現況確認と復旧

１）現地進入状況

現地進入にあたっては，東北地方測量部から宮城

県北部地方の道路状況調査の情報提供があり，現地において安全かつ効率的に移動することができた．作業期間は，３月 13 日深夜から 17 日までの発災後間もない時期であったが，縦ルートの東北自動車道及び横ルートの沿岸部に向かう道路は，東北地方整備局，東日本高速道路株式会社（NEXCO 東日本）等の懸命の啓開活動（「くしの歯」作戦）により，応急復旧のため段差等があるものの，目的地まですべて通行することができた．

現地の燃料不足は深刻で，岩手・宮城ともガソリンスタンドは給油待ちの長蛇の列ができていた．緊急調査班は，出発前の情報により，官用車と作業車の２台分の燃料を調達し現地入りしていたため，燃料確保の心配をすることなく円滑に作業を進めることができた．



図－１　緊急復旧作業実施地域図

２）緊急調査・復旧作業

３月 13 日から 17 日にかけて実施した各電子基準点の緊急現況調査及び復旧作業については，以下のとおりである（図－１）．

①電子基準点「白石」（宮城県白石市）（写真－１）
- 目視では異常なし．
- 停電継続中．
- ソーラーパネル設置等による応急復旧（図－２）及び通信不通のため受信機内の観測データを回収．一部欠測あり．

②電子基準点「川井」（岩手県宮古市）
- 電子基準点収納箱の蓋が開いていることを確認．原因は地震の揺れによるものと推測．
- 受信機，通信機器とも正常稼働を確認．通信不通のため受信機内の観測データを回収．一部欠測あり．

③電子基準点「岩泉２」（岩手県岩泉町）
- 目視では異常なし．
- 受信機，通信機器とも正常稼働．
- 通信は不通，携帯電話が使用可能であったため，本院より FOMA によるデータ取得を依頼．一部欠測あり．

④電子基準点「岩泉３」（岩手県岩泉町）
- 目視では異常なし．
- 地震発生前から欠測なし．通信不通のため受信機内の観測データを回収．

⑤電子基準点「釜石」（岩手県釜石市）
- 目視では異常なし．
- 周辺地域は停電しているが観測点は正常稼動．電子基準点が設置されている中学校が避難所になっていることから優先的に復旧されたものと推測．
- 通信不通のため受信機内の観測データを回収．一部欠測あり．

写真－１　電子基準点「白石」ソーラーパネル設置後

⑥電子基準点「遠野」（岩手県遠野市）
- 目視では異常なし．
- 電力は回復しているが通信は不通．受信機内の観測データを回収．地震発生前から欠測なし．

⑦電子基準点「河北」（宮城県石巻市）（写真－２）
- 目視では異常なし．電子基準点内の垂球の状態から西方への僅かな傾斜を確認．
- 停電継続中．
- ソーラーパネル設置等による応急復旧（図－３）及び通信不通のため受信機内の観測データを回収．一部欠測あり．

⑧電子基準点「矢本」（宮城県東松島市）
- 目視では異常なし．
- 停電継続中．
- ソーラーパネル設置等による応急復旧（図－３）及び通信不通のため受信機内の観測データを回収．一部欠測あり．

写真－２　電子基準点「河北」の応急復旧作業風景

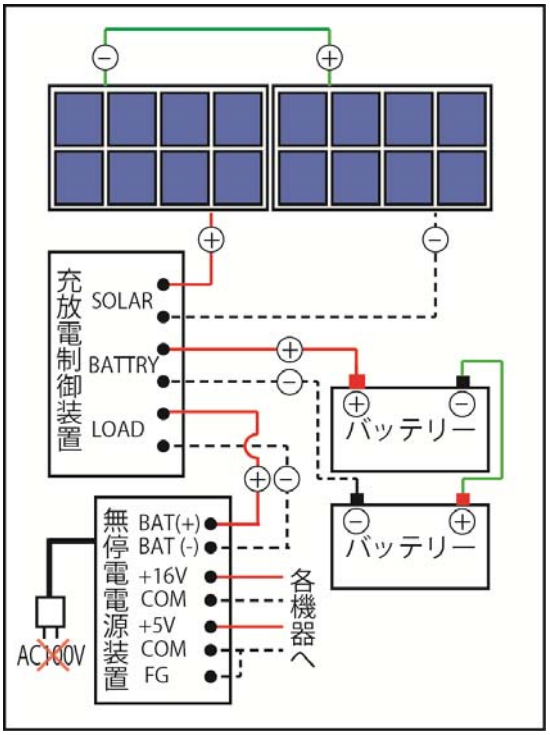
写真－３　津波により被災した電子基準点「名取」

⑨電子基準点「名取」（宮城県名取市）（写真－３）
- ピラー表面に津波による約２ｍの浸水痕あり．電子基準点周囲は瓦礫が山積．
- 内部機器の状態は良好なことから，収納箱内部への浸水は防げたものと推測．
- ソーラーパネル設置等による現地での観測再開は断念．観測データが記録されているメモリカードを回収．

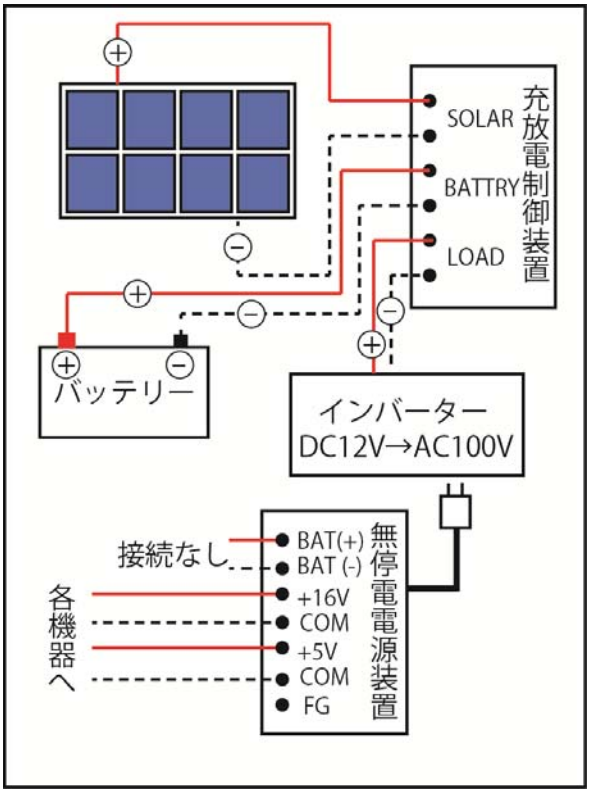
３）ソーラーパネルによる電源確保について

今回の緊急復旧作業では，別業務で使用予定のソーラーパネル及びバッテリーの在庫があったため，観測再開のための応急復旧が可能であった．また，電子基準点移設作業等の受注者とすぐに連絡が取れ，資機材等の手配も緊急時に関わらず調達できたことが，作業を進める上で非常に重要な要素となった．

２）で述べたとおり，電子基準点「白石」，「河北」及び「矢本」でソーラーパネル設置等による応急復旧を実施したが，帰庁後に確認したところ，「白石」については日中のみ観測データがあり，「河北」及び「矢本」においては復旧作業後約 24 時間で観測が完全に停止したことが判明した．原因として，「白石」ではソーラーパネルで発電した電力が観測機器の動作のみに使われ，バッテリーを充電するには発電量が足りなかったこと，「河北」及び「矢本」については，ソーラーパネル１枚では観測に必要な電力をまかなうことができず，交換したバッテリーの電力を



図－２　ソーラーパネル２枚による応急復旧配線図（電子基準点「白石」）



図－３　ソーラーパネル１枚とインバーターによる応急復旧配線図（電子基準点「河北」及び「矢本」）

消費した段階で観測停止状況になったこと等が推測された．図－２に「白石」で，図－３に「河北」及び「矢本」で設置したソーラーパネル等の配線図を示す．図－２は，「白石」で採用した 12V のソーラーパネル２枚を直列接続し，合計 24V のソーラーパネルとして使用する場合の配線図である．ソーラーパネルによる発電が行われている場合には，充放電制御装置を介しバッテリーへの充電を行いつつ，同時に無停電電源装置へ 24Ｖの給電が行われる．また，夜間等の発電がない時はバッテリーから無停電電源装置へ給電される．なお，この接続の場合には，商用電源が回復した際に無停電電源装置→充放電制御装置へと電流が逆流するため，無停電電源装置のコンセントを抜いておく必要がある．

図－３は，12V のソーラーパネル１枚を使用し，インバーター（DC12V→AC100V への変換）を介して無停電電源装置を稼働させる場合の配線図である．「白石」での作業では図－２に示すように無停電電源装置の配線を変更したが，後日の撤去時に再度配線の付け替えが必要となり，作業が煩雑になることが懸念された．そのため，「河北」及び「矢本」での作業では，無停電電源装置のコンセントをインバーターに接続するだけのより簡易な本方式を採用した．ソーラーパネルによる発電が行われている場合には，充放電制御装置を介しバッテリーへの充電，出力（LOAD）からインバーターへの 12V の給電が行われる．夜間等の発電がない時はバッテリーから出力される．

図－２，図－３とも配線の変更には問題がなかったものの発電量が少なく観測が継続できなかったと推測された．配線直後はバッテリーが充電された状態であるため，一見観測が再開したように見えても，実際にはソーラーパネルからの給電がされていない可能性があることに留意する必要がある．

１．３　電子基準点等の本格復旧に向けて

津波により被災した電子基準点「田老」「名取」，地殻変動観測施設「Ｓ南相馬」の３点については，地殻変動監視及び復旧・復興に必要な位置情報の提供のために重要であること及び津波の影響により長期間の使用には耐えられないと判断されたこと等の理由から，既存の設置位置近傍への移設を検討することとなった．

１）選点作業

平成 23 年度第一次補正予算による復旧が認められたことから，4 月 18 日から 20 日及び５月 16 日から 18 日の２回に分けて現地での選点作業を行った．また，あわせて電子基準点保守業者による応急復旧作業を実施した．地殻変動観測施設「Ｓ南相馬」については，東京電力福島第一原子力発電所（以下，「福島第一原発」という．）の事故による影響から地震後写真判読のみの情報収集しかできなかったが，本調査時に地震後初めて現地調査を行い，被災状況の把握を行った．

２）選点の留意点

選点にあたり，津波浸水域は選点候補地から除外した．理由としては，津波浸水域が広範囲であり，選点時点でまだ復興計画が定まっていなかったことから，今後大規模に土地利用が変化する可能性があったためである．

候補地の選点については，土地条件図をもとに現地の地盤の状況を確認しつつ作業を進めた．また，帰庁後に，地理空間情報プラットフォームに登録されている地方整備局のボーリングデータを参考に地質の状況を確認した．その結果，「田老」は宮古市立田老第一小学校（新点名「田老Ａ」），「名取」は仙台市立四郎丸小学校（新点名「仙台太白」），「Ｓ南相馬」は道の駅南相馬（新点名「Ｓ南相馬Ａ」へそれぞれ移設先を決定した．また，「Ｓ南相馬Ａ」については，地殻変動観測施設であるものの，福島第一原発事故の影響により観測が停止している電子基準点「小高」（福島県南相馬市）を補間する重要な場所に位置す

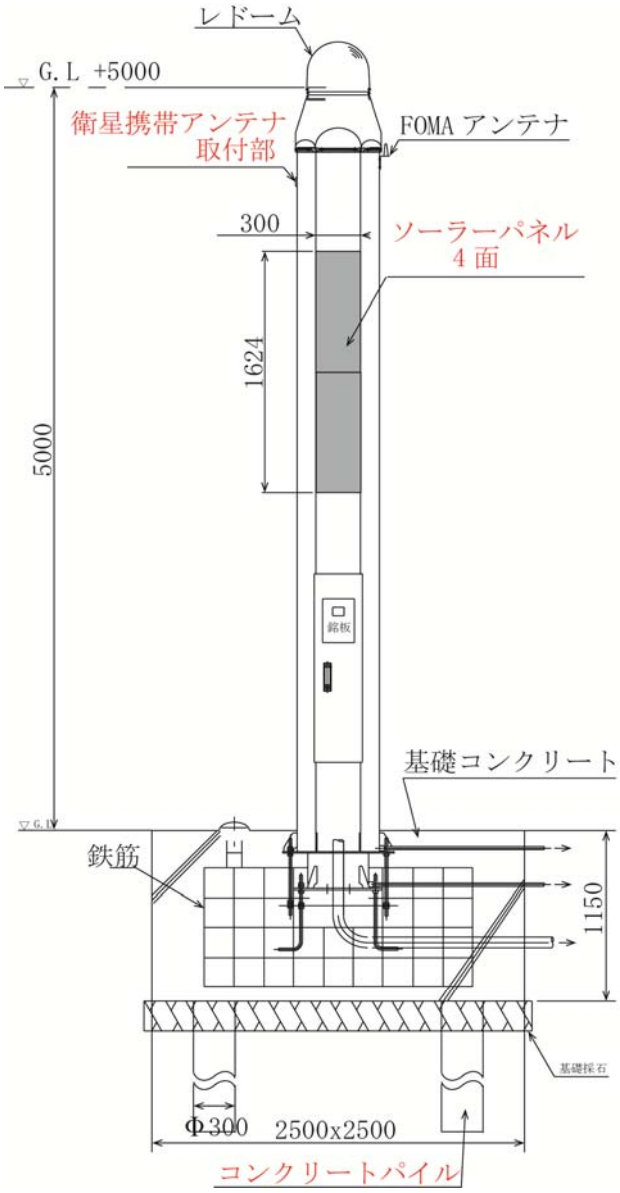
ることから，電子基準点と同様の仕様とすることが決まった．

１．４　本格復旧する電子基準点の仕様の概要

今回の広範囲に及ぶ大規模災害の経験から，電子基準点を復旧するにあたり災害対応能力の向上を第一優先に考えた仕様としている．具体的には，災害時においても観測を継続するための緊急時の電力・通信能力の向上及び設置箇所の軟弱地盤への対応等である．その詳細を以下に示す．

１）電力・通信確保方法

設置する３点では，電子基準点ピラー側面の４面にソーラーパネルを１面あたり２枚設置し計８枚設置する仕様としている．これにより，停電が長時間に及んだ場合でもソーラー発電により観測を継続することが可能となる．また，緊急作業時の教訓から，商用電源とソーラーパネルからの電源の自動切替機を導入し，停電の復旧状況に応じて自動で電源が切り替わるようにした．さらに，ピラー上部には，衛星携帯電話を設置するための加工を施し，携帯電話不通時でも衛星携帯電話と外部アンテナを現地に持っていくことで比較的簡単に通信の確保が行えるようになっている（図－４）．



図－４　復旧する電子基準点等の構造図

２）地盤対策

選点時の調査で，「仙台太白」及び「Ｓ南相馬Ａ」の設置予定地は，地盤支持力が弱いことが懸念された．しかし，既存の位置から大きく外れることは，電子基準点の配点バランスから望ましくないため，地盤対策を行った上で両点を設置することとした．

電子基準点は，これまでも地殻変動監視上重要である点及び軟弱地盤に設置する場合には，コンクリートパイルを設置している．これらの経験から，「仙台太白」及び「Ｓ南相馬Ａ」の２点については，直径 30cm，長さ８ｍのコンクリートパイルを４本設置することとした（図－４）．

なお，コンクリートパイルの打設にあたっては，セメントミルク工法を選択した．この工法は，パイル打設箇所にあらかじめドリルで所定の深度の穴を開け，その穴にコンクリート製の杭を埋め込む工法である．打撃により杭を打ち込む打撃工法より騒音・震動の発生が少ない工法であるため，住宅地・教育施設等における工事の際に適している．

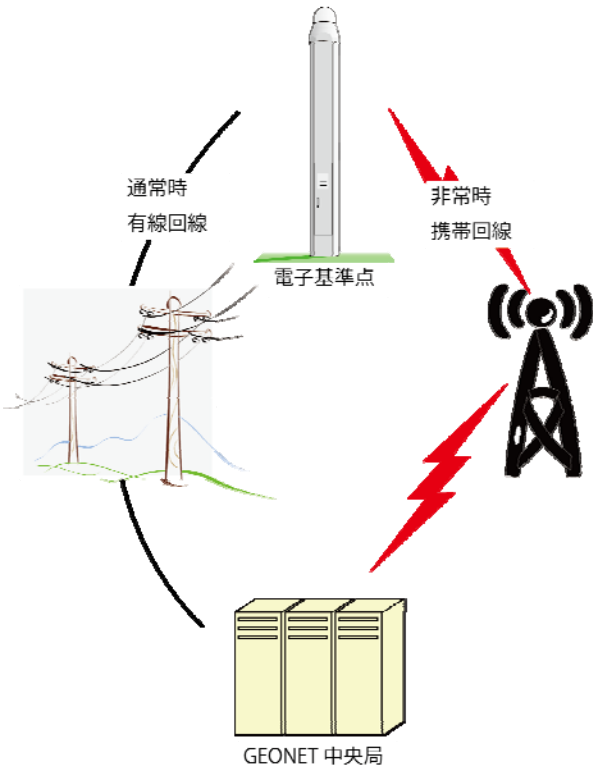
１．５　GEONET 中央局における対応の概要

GEONET 中央局（以下，「中央局」という．）は，全国に設置している電子基準点等(1379 点)の観測データを収集しており，うち 1268 点については１秒サンプリングデータ（以下，「リアルタイムデータ」という．)を 24 時間リアルタイムで収集するとともに，収集した観測データの解析を定常的に行っている．３月 11 日 14 時 46 分の地震発生から約１時間までは最大で 37 点のリアルタイムデータの停止に留まっていたが，約１時間半が経過した時点で平時に利用している通信回線の途絶により停止点数が大幅に増加し，北海道から東北地方にかけて 358 点に達した．

１）地震直後のデータ収集

リアルタイムデータの送信が停止した電子基準点のうち，平成 21 年度に通信二重化が実施され，かつ携帯電話網が利用できた電子基準点については，中央局から観測データの回収を進め，結果的に計 196 点から地震後の観測データを回収することができた（図－５）．国土地理院自体も地震後停電となったが，

宇宙測地館については自家発電装置により解析作業を継続することが可能であった．



図－５　通信二重化のイメージ図

２）緊急解析の実施

３月 11 日の 15 時から 18 時の３時間分の観測データを用いて緊急解析を実施したところ，電子基準点「河北」が水平方向に約 4.0m移動し，上下方向に約 0.7m沈降したという結果が得られた．この結果は,同日 21 時に開催された地震調査委員会に第一報として報告されている．また，緊急調査班や測地部機動観測課が現地で回収したデータについても届き次第登録し，迅速解（Q3 解）の再解析を実施した．再解析の結果，電子基準点「牡鹿」(宮城県牡鹿町)で，今回の地震に伴う最大変動量である水平方向約 5.3m，上下方向約 1.2mが検出された（水藤ほか，2011a)．

３）解析固定点の変更

地震後に得られた解析結果から，地震に伴う地殻変動が，GEONET 定常解析の解析固定点である国土地理院構内の電子基準点「つくば１」(茨城県つくば市)を含む広範囲に及ぶことが判明した（水藤ほか，2011a)．定常解析のうち，迅速解（Q3）及び速報解（R3）に利用する「つくば１」の座標値は，同じく国土地理院構内にある IGS 観測点「TSKB」から取り付けた座標値と速度から求めた区分直線モデルを用いて計算している（中川ほか，2009)．この区分直線モデルには今回の地震に伴う地殻変動の影響は考慮されていないため，地震後もそのまま使い続けた場合，地震後の「つくば１」の位置とのオフセット分がスケール誤差として全ての観測結果に影響を及ぼし，高精度の地殻変動監視に支障を及ぼす恐れがあった.そこで,地震後の初期対応として,「つくば１」の地震に伴う変動量を計算し，初期座標値に加味して解析を行った．その後，地震後の余効変動についても,「つくば１」を含む広い範囲で継続していることが判明したことから（水藤ほか，2011b)，再度解析固定点の検討を行い，余効変動の影響が比較的小さく，解析結果が安定して得られていることから，定常解析のバックボーン観測点（広域網構成点）の１つでもある電子基準点「与論」(鹿児島県与論町)に変更することとし，地震後のデータ全てについて再解析を実施している（古屋・影山，2011)．なお，定常解析のうち最終解（F3）については，日本周辺の IGS 観測点を固定点として解析した結果を座標値として採用しているため（小谷ほか，2009)，地震に伴う変動が加味された解析結果が安定的に得られている．

１．６　今後の課題等

今回の地震後のライフラインの復旧状況の経過を見ると，電力は津波で大きな被害を受けた地域を除いて概ね約１週間で復旧している．このことから，電子基準点のバッテリーを予め 72 時間（３日）対応としておくことで，緊急時の保守作業は，充電済みバッテリーへの交換及び観測データの回収に集中すればよくなり，より多くの観測点を調査することが可能となる．また，地震直後の緊急復旧作業では，限られた資機材を有効に活用するため，ソーラーパネルを電子基準点１点あたり１枚としたが，逆に発電量が少なく観測が十分に継続できないという課題が残った．ソーラーパネルを用いて臨時の電源復旧を行う場合には，ソーラーパネルの枚数を増やし並列接続を行う，または必要最低限の機器のみの動作に抑えて節電対策を行う等の対応が必要である．

現在，一次補正予算を利用し，被災地の電子基準点のバッテリーを 72 時間対応に改造を行っている．また，三次補正予算を利用し，その他の全国の電子基準点についても 72 時間対応に改造する予定である．また，今回の津波で被災した電子基準点等３点の移設に際しては，電子基準点ピラーにソーラーパネルを常時設置するほか，電源を自動で切り替える電源切替機を設置し，災害対応能力の強化対策を行う予定である．

２．験潮場の被災状況及び復旧対応

２．１　験潮（国土地理院 潮位観測）について

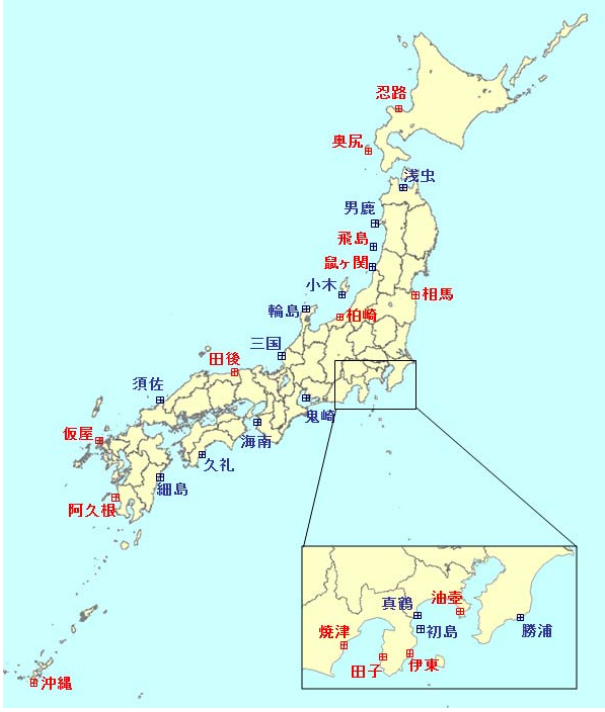
国土地理院は，全国 27 ヶ所において潮位連続観測を実施している（以下，27 ヶ所の潮位観測施設のことを「験潮場」という.）（図－６）．国土地理院が実施する潮位観測の主な目的は，平均海面から土地の高さの基準を決め，地殻変動を監視することにある．

国土地理院における潮位観測の歴史は古く，明治初期から潮位データを取得しており，特に，「油壺」（神奈川県三浦市），「細島」（宮崎県日向市），「輪島」（石川県輪島市）及び「忍路」（北海道小樽市）の４験潮場では，100 年を超える潮位データを蓄積している．これらのデータは，土地の高さの基準や地殻変動の監視といった目的だけでなく，日本の長期的な海面変動を把握するデータとしても活用されている（気象庁）．

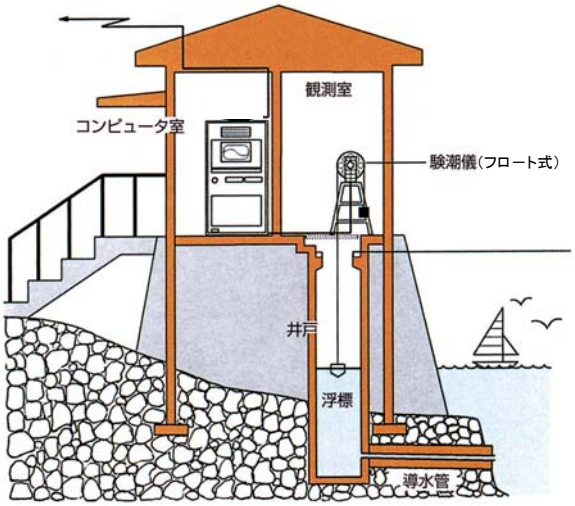
国土地理院の験潮場では，潮位データの良否を確認するため，月２回の頻度で験潮場の定期保守作業を行っている．この定期保守作業は，験潮場付近の住民・業者と契約を結び，業務を委託している（以下，定期保守業務を「看視業務」，定期保守作業を実施する担当者を「看視者」という.）．看視業務は，潮位データを自画紙に記録していた頃は毎日実施していたが，現在はデジタルデータとして記録されるため，点検作業である原子測定の実施及び旬報作成の作業を月２回行っている（国土地理院，1994）．

国土地理院の験潮場では，「初島」（静岡県熱海市）を除き，フロート式験潮儀を採用して潮位観測を実施している．フロート式験潮儀は，フロートと呼ばれる浮標を浮かべ，フロートの上がり下がりから潮位を観測する機器である．フロートは，ワイヤーでプーリー（滑車）につながれており，フロートの動きが，プーリーの回転と連動することで，潮位データとして記録される（図－７，写真－４）．なお，「初島」では，観測井戸と機器室が離れていることから水圧式験潮儀を採用している（写真－５）．

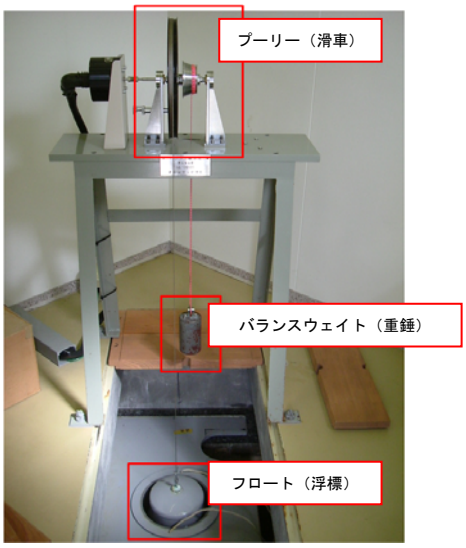
各験潮場で取得した潮位データは，専用回線（IP-VPN）を通して，１秒値がリアルタイムに国土地理院測地観測センター内に設置された験潮サーバに保存される．また，各験潮場にある収録装置の記録媒体（メモリーカード）には 30 秒毎の潮位データが保存されており，通信が途切れた場合でも，験潮サーバからデータ回収命令を送れば，各験潮場にある収録装置の潮位データを再取得できる仕組みとなっている．



図－６　験潮場位置図（赤字：気象庁の津波観測点として登録されている験潮場）



図－７　験潮場の概略図



写真－４　フロート式験潮儀各部の名称

写真－５　水圧式験潮儀センサー部（初島）

国土地理院，河川局，港湾局，気象庁，海上保安庁の潮位データは，国土交通省「豪雨災害対策緊急アクションプラン」の一環として，気象庁に集約され，国土交通省防災情報提供センターホームページ（http://www.mlit.go.jp/saigai/bosaijoho）から提供されることとなった．それに伴い，2006 年５月に，関係５機関で潮位情報の共有についての協定書を締結し，国土地理院の験潮場で取得した潮位データは，気象庁にリアルタイムで転送され，津波や高潮の監視といった防災面でも活用されている．特に，国土地理院の験潮場 27 ヶ所のうち，14 ヶ所については，気象庁の津波観測点として位置づけられており，地震発生後の津波警報・注意報の発令・解除等に役立てられている（図－６）．

２．２　東北地方太平洋沖地震直後の対応

東北地方太平洋沖地震により，北海道から関東にかけての太平洋側沿岸では，地震に伴う津波によって甚大な被害を受けた．国土地理院を含む各機関が所有する潮位観測施設も，津波によって大きな被害を受け，潮位データを取得できないといった状況が発生した．以下，地震発生直後から３月 15 日までの５日間に行った対応について記載する．

国土地理院の潮位観測施設では，東北地方太平洋沖地震直後から，「相馬」（福島県相馬市）と「油壺」の潮位データが取得できなくなった．その後，15 時 21 分に「勝浦」（千葉県勝浦市）で，15 時 24 分に「伊東」（静岡県伊東市）で，それぞれ津波の第１波を観測するなど，太平洋沿岸の験潮場で次々に津波が観測されていった．そのような状況の中，15 時 56 分に北海道から東北にかけての験潮場の潮位データが転送されない事態が発生した．通信ができなくなった験潮場は，「忍路」，「奥尻」（北海道奥尻町），「浅虫」（青森県青森市），「男鹿」（秋田県男鹿市），「飛島」（山形県酒田市）及び「鼠ヶ関」（山形県鶴岡市）の６験潮場である．原因は，地震に伴い潮位データ転送用の専用回線である IP-VPN 回線での通信ができなくなったことによるもので，３月 12 日 12 時 50 分に通信が回復するまで，潮位データを取得できない状況が続いた．その後，通信回復に伴い，国土地理院本院の験潮サーバからデータ収録装置にアクセスし，保存された潮位データを回収した．

地震発生直後から，各地方測量部の協力も得て，各験潮場の看視者の安否確認を実施した．地震発生当日，相馬験潮場の看視者と連絡を取ることができなかったが，２日後の３月 13 日に連絡を取ることができ，看視者全員の無事を確認した．

３月 13 日に神奈川県に出ていた津波注意報が解除されたことに伴い，地震発生後から潮位観測が中断した「油壺」の確認を看視者に依頼したところワイヤーが滑車から外れているとの連絡が入ったため，験潮機器の保守契約を結んでいる（株）TEAC 担当者に復旧作業を依頼した．３月 15 日に現地作業を実施し，「油壺」の潮位観測を再開した．

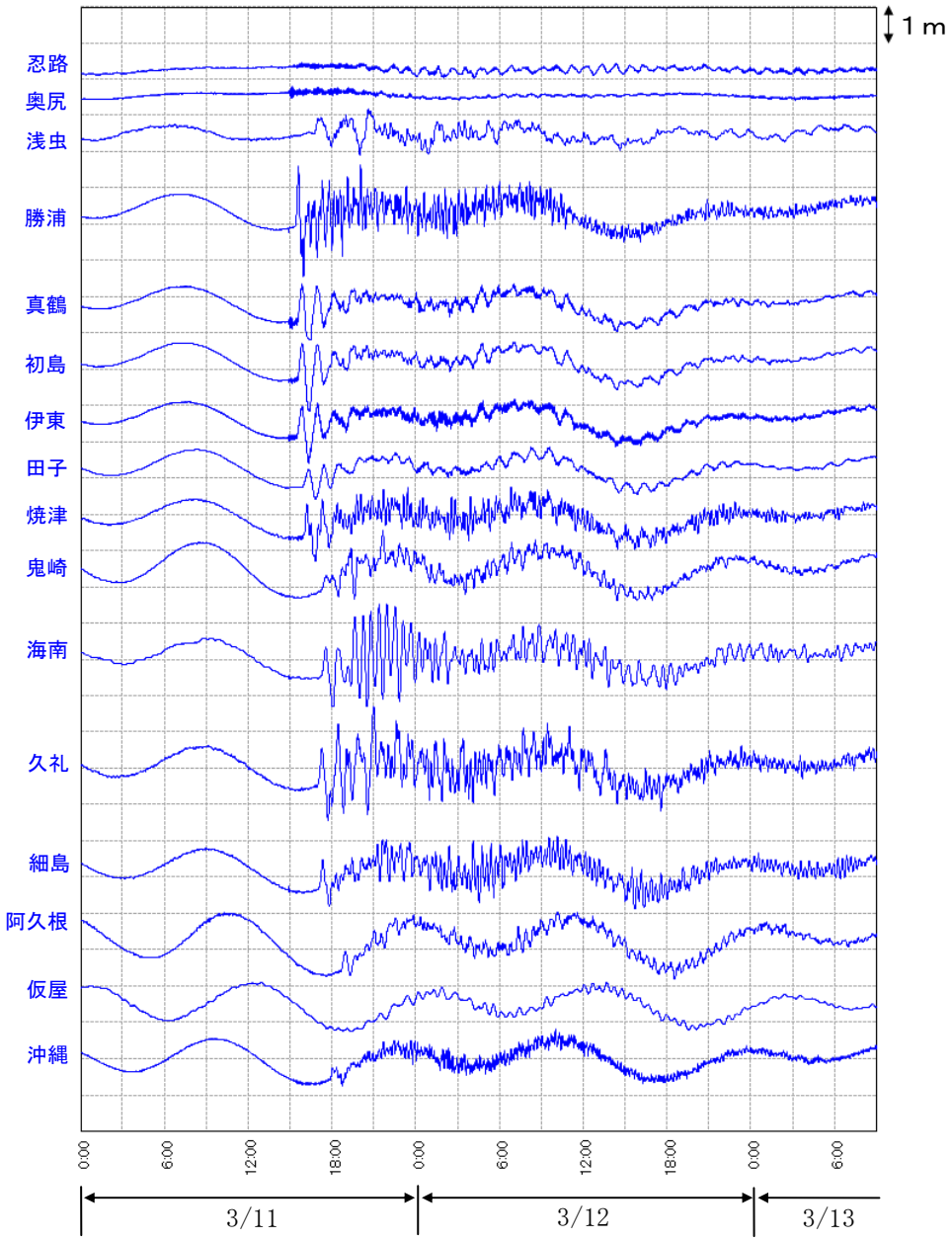
写真－６　空中写真による相馬験潮場の被災状況判読
上：地震前の相馬験潮場（1975 年９月撮影）
下：地震後の相馬験潮場（2011 年３月撮影）

国土地理院では，地震発生の翌日（３月 12 日）から，測量用航空機で災害地域の空中写真を撮影している．撮影した空中写真は，撮影日の翌日（３月 13 日）から順次ホームページ上で公開された（長谷川ほか，2011）．３月 13 日に，ホームページ上に公開された空中写真を用いて「相馬」の状況を判読したところ，地震後の津波によって建物自体が全壊している可能性が高いことが分かった(写真－６).なお，他機関の担当者にも同サイトを紹介し，潮位観測施設の被災状況把握に活用して頂いている．

２．３　験潮場で観測した津波

国土地理院の験潮場で観測した津波の潮位データを，図－９に示す．国土地理院の験潮場の中で，最も大きな津波が観測されたのは,「勝浦」の最大波約 1.6mであった．続いて,「久礼」(高知県中土佐町)の最大波約 1.4m,「海南」(和歌山県海南市）の最大波約 1.3mであった．

「相馬」が設置されていた相馬港では，気象庁において，通常の潮位観測では捉えきれない大津波を計測する観測機器（以下,「巨大津波計」という.）を設置している．気象庁発表の資料によると，相馬港において，巨大津波計で観測した津波の第１波は 9.3mであった（気象庁).



図－９　国土地理院験潮場で観測された東北地方太平洋沖地震に伴う津波波形（主に太平洋側）

２．４　相馬験潮場の現地調査

2011 年４月 18 日～４月 20 日にかけて，３名の１班体制で,被災した電子基準点の調査と合わせて「相馬」験潮場の現地調査を実施した.「相馬」があった場所は，水没しており，験潮場の井戸のみが残っている状況であった（写真－７）．これは,「相馬」が設置されていた護岸自体が津波によってえぐりとられたことを示唆しており，周辺にあった構造物もほとんど流され，さら地に近い状態となっていた.

写真－７　「相馬」験潮場の現地写真
上：地震前の「相馬」験潮場（2008 年９月撮影）
下：地震後の「相馬」験潮場（2011 年４月撮影）

「相馬」の潮位データを標高と関連づけるための附属水準点が，験潮場から約 100m離れた場所にある．附属水準点の状態を確認したところ，附属水準点は瓦礫に埋もれていたものの，石蓋を含めて特に損傷は見られず，正常と判断できた（写真－８）.

相馬港には,国土地理院の「相馬」験潮場の他に,福島県が福島県相馬港検潮所を管理している．福島県相馬港検潮所の建物を確認したところ，津波によって観測機器と扉が壊れ，電線は切断されていた．しかし，観測井戸や建物の外壁には大きな損傷は見られず，観測機器，電源及び通信を整備すれば，早急な復旧が可能と推測されたため（写真－９），現地調査後，福島県相馬港検潮所の管理者である福島県相馬港湾建設事務所に対し,「同検潮所に観測機器を暫定的に設置して潮位観測を再開したい」との旨を相談した．後日，福島県相馬港検潮所の建物を借用する協議を福島県と結び，相馬港での潮位観測再開への目途をつけた.

写真－８　「相馬」の附属水準点
上：遠景，下：近景

写真－９　福島県相馬港検潮所の現地写真
上：外観，下：室内

２．５　相馬港での潮位観測再開に向けた取り組み

東北地方太平洋沖地震による津波によって，東北地方にある多くの潮位観測施設が被災した．現地での潮位データが取得できず，津波や高潮の監視に支障がでており，相馬港での潮位観測の早急な再開が求められた．

２．４に述べたとおり，福島県の協力のもと，福島県相馬港検潮所を利用した潮位観測を実施できることとなったが，観測を再開するにあたっての懸案事項が３点ほどあった．

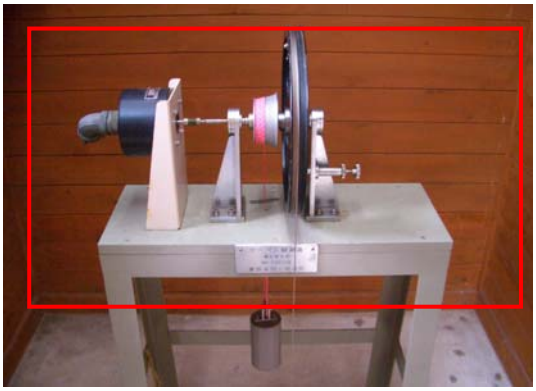
１点目は，験潮儀の手配である．国土地理院で使用しているフロート式験潮儀は，製作を依頼してから作成するため，早急に手配することが難しい．そこで，入手が容易な汎用の水位計等も含めて，設置する機器について検討を行った．最終的には，「油壺」験潮場の旧施設に保管され，観測には使用されていなかった験潮儀の上部を取り外し，福島県相馬港検潮所に運び入れて設置することに決定した．(写真－10，11)．

２点目は，電源の確保である．相馬港は津波で被災しており，福島県相馬港検潮所において，一般の電線を通じて電力を得ることができないため，自前で電力を確保する必要があった．そこで，検潮所の屋上にソーラーパネルを設置し，バッテリーに電気を蓄える方式を採用することとした(写真－12,13)．過去３年の気象データを参考に 10 日間ほど無日照でも稼動できる容量のバッテリーを準備した．

３点目は，通信の確保である．被災前，相馬験潮場からつくばにある験潮サーバまでの潮位データ転送には，有線の専用回線（IP-VPN）を利用していた．しかし，電力と同様，港が被災している状況で有線回線を敷設することは現実的ではなく，無線での通信方式を採用することとなった．測地観測センターでは，電子基準点の災害時の通信対策として，携帯電話網を利用した通信の二重化を行っている．パケット通信には，（株）エヌ・ティ・ティ・ドコモ の FOMA 通信を使用しているが，今回，その携帯電話網を活用し，福島県相馬港検潮所からつくばにある験潮サーバまで潮位データを転送する方式とした（写真－14，15）．潮位データは，これまで通り１秒値の潮位データを取得し，既存のシステムとの整合を保つ仕様とした．

上記の懸案事項等を考慮しながら，6 月 11 日から現地で機器取り付け作業を実施し，6 月 15 日に相馬港での潮位観測を再開した．潮位観測の再開にあたっては，記者発表を行い，相馬港の潮位データは，国土地理院ホームページ「潮位を測る」（http://tide.gsi.go.jp/）の潮位データ提供画面から取得することができる（図－10）．また，国土交通省防災情報提供センターホームページ（http://www.mlit.go.jp/saigai/bosaijoho/），気象庁ホームページ「潮位観測情報」（http://www.jma.go.jp/jp/choi/）において潮位グラフが公開されている．

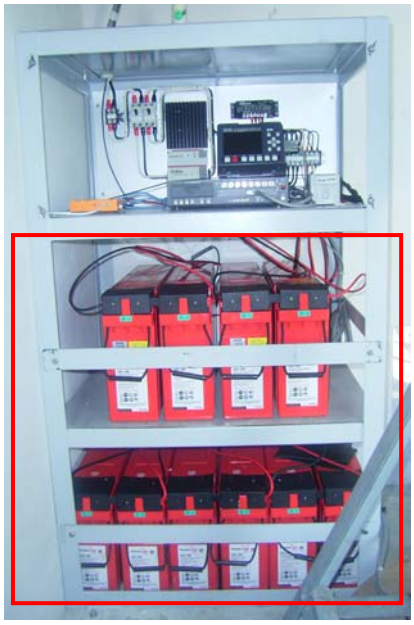
相馬港での潮位観測を開始してから１ヶ月も経過しない７月 10 日午前９時 57 分，三陸沖でマグニチュード 7.3 の地震が発生した．気象庁は 10 時０分に津波注意報を発表し，相馬港では 11 時 37 分に９cm の津波が観測された．この他には，11 時 13 分に仙台港で 10cm，11 時 20 分大船渡で 10cm の津波が観測されており，３月 11 日の本震以降最初に観測された津波となった（気象庁）．その後，これらの観測結果を踏まえ，気象庁は 11 時 45 分に津波注意報を解除しており，震災発生後約３ヶ月で再開した相馬港での潮位観測は，適切な防災情報の提供に寄与している．



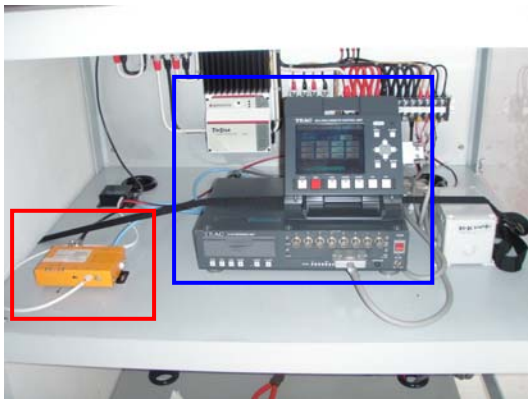
写真－10　油壺験潮場の旧施設にあった験潮儀
（機器上部の取り外しを実施）

写真－11　福島県相馬港検潮所での験潮儀
取り付け作業

写真－12　福島県相馬港検潮所に
設置したソーラーパネル

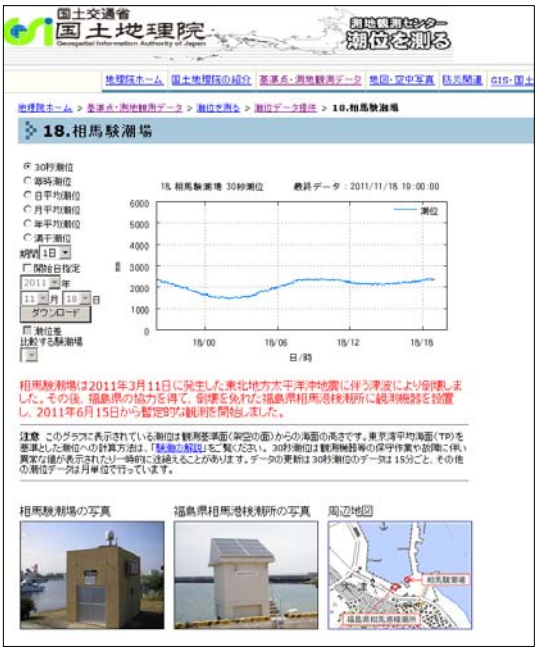


写真－13　福島県相馬港検潮所内に
設置したバッテリー



写真－14　福島県相馬港検潮所に設置した
潮位データ収録装置（右）と
パケット通信端末（左）

写真－15　福島県相馬港検潮所に
設置したパケット通信アンテナ



図－10　潮位データ提供画面（相馬）

２．６　今後の取り組みについて

福島県の協力により，福島県相馬港において暫定的な観測を再開できた．しかし，福島県相馬港検潮所も建物は倒壊を免れたものの，被災している状況であるため，国土地理院では，一次補正予算により相馬験潮場の再建設を行う．相馬験潮場の建設にあたっては，2011 年 11 月現在，東北地方整備局営繕部において，国土地理院，福島県と協議の上，建物の基本設計を行っており，相馬港の復旧作業の進捗を待って建設に着手することとなる．

今回，東北地方太平洋沖地震発生から１時間後の３月 11 日 15 時 56 分から翌日の 12 時 50 分まで，潮位データの通信回線（IP-VPN）が機能せず，一時的に潮位データが取得できなくなった．国土地理院の験潮場のうち，14 ヶ所は気象庁の津波観測点として津波警報・津波注意報等の防災情報に活用されてい

ることから，地震直後のデータ転送の中断は，大地震に伴い発生する津波を監視する上で致命的である．地震直後においても潮位データを安定して取得するため，国土地理院では，三次補正予算において，地震で被災した「相馬」を除く 13 ヶ所の験潮場の通信二重化と非常用電源の強化を要求し，認められたことから，今後，機器等を整備する．

通信二重化とは，既存の有線回線（IP-VPN）がダウンした際に，携帯電話網を用いて潮位データを取得するもので，これにより災害時の通信強化が図られる．また，非常用電源の強化とは，これまで停電時に 24 時間程度の供給量であった無停電電源装置を 72 時間対応に強化するもので,地震により停電が発生した場合でも，津波が収束するまでの観測を継続する予備電源として十分なものに変更する．併せて，観測機器の防水対策も行う．

上記の取り組みにより，大地震時においても潮位データを安定して取得・提供することができ，津波の検出や地殻活動の監視など防災・減災対策により一層の貢献が期待できる．

３．まとめ

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震が発生し,大きな揺れと地震に伴う津波により，東北地方をはじめとする東日本に大きな被害をもたらした．経験したことのない揺れや津波によって，測地観測センターが維持管理する GPS 連続観測点・験潮場においても，施設の被災，停電，通信回線の中断といった障害が発生し，対応に追われた．本稿は，測地観測センターで実施した東北地方太平洋沖地震での被災状況の調査及び復旧対応についてまとめたもので，今後起こりうる大地震時に今回の経験を生かしていく．

現在，測地観測センターでは，電子基準点・験潮場の通信機能及び非常用電源を強化しており，大規模災害時に観測を継続するための対策を進める．また，大地震時に現地調査班及び解析班を編成し，迅速に対応できるように，人材の育成に努め，緊急対応の強化を図っていく．

謝　辞

本作業に際して，福島県，気象庁，株式会社栄光エンジニアリング，株式会社 TEAC，日立造船株式会社，その他関係機関より器材の調達及び機器設置，その他さまざまな便宜をはかっていただいた．厚く御礼申し上げる．

参 考 文 献

長谷川裕之，齋藤勘一，高橋広典，首藤隆夫，甲斐納，廣田三成，柴原充，畠山裕司，根本正美，大野裕幸，石関隆幸（2011）：東日本大震災に対する基本図情報部の取り組み，国土地理院時報，122，79-89.

国土地理院（1994）：験潮 100 年のあゆみ，国土地理院技術資料 B１-No.21.

小谷京湖，畑中雄樹，吉田賢司，宗包浩志（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）解析固定点座標算出について，国土地理院時報，118，17-21.

水藤尚，西村卓也，小沢慎三郎，小林知勝，飛田幹男，今給黎哲郎，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011）：GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う地震時の地殻変動と震源断層モデル，国土地理院時報，122，29-37.

水藤尚，西村卓也，小沢慎三郎，飛田幹男，原慎一郎，矢来博司，矢萩智裕，木村久夫，川元智司（2011）：GEONET による平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に引き続いて発生している余効変動と余効すべりモデル，国土地理院時報，122，39-46.

中川弘之，畑中雄樹，湯通堂亨，石倉信広，豊福隆史，小谷京湖，宮原伐折羅，岩下知真子，川元智司，宗包浩志，石本正芳，菅原安広（2009）：GPS 連続観測システム（GEONET）の新しい解析戦略（第４版）によるルーチン解析システムの構築について，国土地理院時報，118，１－８.

古屋有希子，影山勇雄（2011）：東北地方太平洋沖地震に伴う定常解析（R3 及び Q3）解析固定点の変更について，技術報告書.

気象庁：気候変動監視レポート 2010，http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2010/pdf/ccmr2010_all.pdf（accessed 30 Nov.2011).

気象庁：平成 23 年３月地震・火山月報（防災編），http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/gaikyo/monthly201103/201103index.html（accessed 30 Nov.2011).

気象庁:東北地方太平洋沖地震以降,津波警報・津波注意報を発表した地震,http://www.seisvol. kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/tsunami-w.html（accessed 30 Nov.2011).