

# GEONETにより捉えられた令和6年能登半島地震の際に生じた地殻変動 及び測地観測センターの対応

## Crustal Deformation of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Detected by GEONET and Responses of Geodetic Observation Center

測地観測センター 越智久巳一・若杉貴浩・山田晋也・宗包晃子・高松直史・齋田宏明・  
畔柳将人・宮崎隆幸・宮本純一・大森秀一・小門研亮・田村孝  
Geodetic Observation Center

OCHI Kumikazu, WAKASUGI Takahiro, YAMADA Shinya, MUNEKANE Akiko,  
TAKAMATSU Naofumi, SAITA Hiroaki, KUROYANAGI Masato, MIYAZAKI Takayuki,  
MIYAMOTO Junichi, OOMORI Syuichi, KOKADO Kensuke and TAMURA Takashi

### 要 旨

令和6年1月1日16時10分に石川県能登地方で令和6年能登半島地震が発生した。この地震では、石川県羽咋郡志賀町等で最大震度7、能登地方の広い範囲で震度6弱以上が観測された。国土地理院が運用するGNSS連続観測網(GEONET)では、電子基準点「輪島2」で西南西方向に約2.0mの水平変動、約1.3mの隆起を検出し、能登半島を中心に広い範囲で地殻変動を観測した。

甚大な被害を受けた能登地方の電子基準点等の現況を確認するため、緊急測量調査を行うこととし、被災地の人命救助活動等を妨げないよう慎重に計画して実施した。緊急測量調査においては、停電や通信回線の不通が回復を見込めない状況であったため、施設の被害状況を調査するとともに、GNSS連続観測を継続させる対応を行った。一部の電子基準点でピラーの傾斜等が確認されたため、移設等による復旧作業を実施した。

### 1. はじめに

本稿では、令和6年1月1日16時10分に石川県能登地方で発生した令和6年能登半島地震(以下「能登半島地震」という。)に伴い、電子基準点等によって観測された地震時の地殻変動に関して報告する。また、能登半島地震の影響により被害を受けた電子基準点への対応について報告する。

### 2. GEONETによる地殻変動の検出

GNSS連続観測網(GEONET)の観測データは、定常的に解析され、地殻変動の監視や震源断層モデルの推定に不可欠である。能登半島地震においては、電子基準点のリアルタイムデータを用いた解析と、地震後に得られる6時間から1日分の観測データを用いた定常解析により地殻変動の算出等を行い、関係機関へ情報提供を行った。

### 2.1 リアルタイム解析結果による地殻変動

測地観測センターでは、平成28年から、地震発生時の地殻変動の即時算出や地震規模の即時推定を目的として、電子基準点リアルタイム解析システム「REGARD(Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring)」を運用している(川元ほか、2016)。REGARDは、全国の電子基準点から収集した観測データをリアルタイムに解析し、得られた地震時地殻変動から震源断層モデルや地震の規模(マグニチュード)等を迅速に推定するシステムである。リアルタイム解析という手法であるため、検出できる地殻変動の精度は定常解析に比べて粗いが、地震直後で情報が非常に限られる中、地殻変動の把握や地震のメカニズムの解明に有用である。推定された結果は地震発生後10分程度で関係機関に共有され、津波警報更新の参考情報や政府の初動対応、鉄道運行における津波への対応力強化等に活用されている。

能登半島地震においては、通信回線の不通により能登半島地域のいくつかの電子基準点でリアルタイムデータを収集できなくなったものの、通信回線が正常に機能していた電子基準点のデータを用いて、地震発生後8分で地震に伴う地殻変動や推定した震源断層モデルの情報を提供した。また、この時に提供した地殻変動ベクトル図は、地震発生当日に地殻変動情報の第1報として国土地理院ウェブサイトに掲載した。

([https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101\\_noto\\_earthquake.html#10](https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html#10))

REGARDで得られた地殻変動ベクトル図及び電子基準点「輪島」の1秒間隔の座標変化グラフをそれぞれ図-1及び図-2に示す。図-1では、電子基準点「輪島」の約1.3mを最大に、能登半島の電子基準点で西向きに大きな変動が観測された。また、図-2では、地震が発生した時刻(1月1日16時10分頃)にステップ状の変位が認められることから、大きな地殻変動がわずかな時間で生じていたことが確認で

きる。

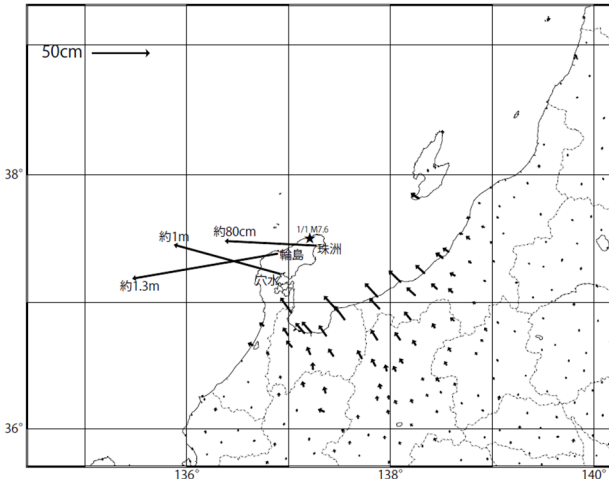


図-1 リアルタイム解析による能登半島地震に伴う地殻変動ベクトル図（水平成分）。

★は震央を示す。固定局は電子基準点「小松」（石川県）。

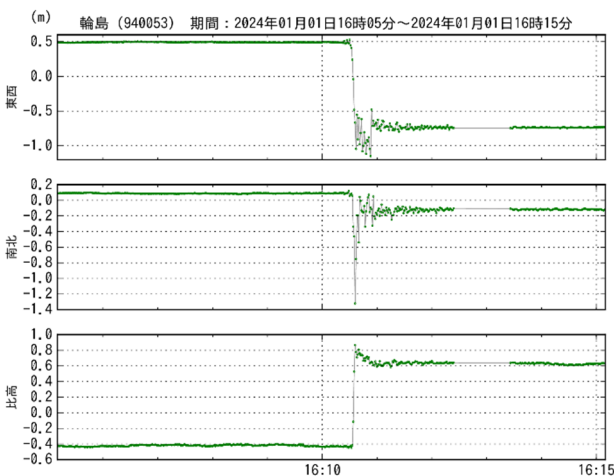


図-2 電子基準点「輪島」の1秒間隔の座標変化グラフ。各成分において地震発生の前後を描画。

## 2.2 定常解析結果による地殻変動

測地観測センターでは、国家座標の維持や地殻変動の監視を主な目的として、全国の電子基準点の日々の座標値を算出する定常解析を実施している。定常解析では、1日分の観測データを解析する最終解（F5）及び速報解（R5）、6時間分の観測データを解析する迅速解（Q5）を実施している（村松ほか、2021）。

能登半島地震においては、地震の翌日、1月2日に迅速解（Q5）を用いて地殻変動を算出して公開した後、再度、地殻変動の精査を行うため、1月9日及び15日に速報解（R5）、2月15日に最終解（F5）を用いて地殻変動を算出して公開を行った。

### 2.2.1 地震に伴う地殻変動の算出

#### 1月2日（地震発生翌日）

地震前の2023年12月25日から12月31日までの速報解（R5）7日間の平均値と、地震後の2024年1月1日18時から1月2日6時までの迅速解（Q5）12時間の平均値を算出し、地震前後の電子基準点の座標値を比較することで地震に伴う地殻変動量を算出した。通信回線の不通によりデータを収集できなかった電子基準点（1月2日時点で3点）の地殻変動量は算出できなかったが、それ以外の通信回線が正常に機能していた電子基準点の地殻変動情報を第2報として国土地理院ウェブサイトに掲載した。

([https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_20240101noto\\_2.html](https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_2.html))

第2報の地殻変動情報では、電子基準点「輪島」で西南西方向に1.2mの水平変動、1.1mの隆起を確認するなど、石川県や富山県、新潟県、長野県等の広い範囲で地殻変動が見られた。

1月2日に開催された政府の第394回地震調査研究推進本部地震調査委員会（臨時会）においても第2報と同じ地殻変動情報を資料として提出した。

#### 1月9日（地震発生8日後）

第2報の地殻変動情報の精査を行うため、地震後の座標値を1月2日から1月7日までの速報解（R5）6日間の平均値に更新して地殻変動を算出した。一時的な通信回復により観測データを取得することができた電子基準点「輪島2」を解析に追加したところ、当該基準点において、南西方向に約2.0mの水平変動、約1.3mの隆起が確認された。得られた地殻変動情報は第3報として国土地理院ウェブサイトに掲載した。

([https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_20240101noto\\_3\\_00001.html](https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_3_00001.html))

#### 1月15日（地震発生14日後）

通信回線の回復により観測データを取得した可搬型GNSS連続観測装置（REGMOS）「M珠洲狼煙」の観測データを加えて解析し、地殻変動情報を第4報として国土地理院ウェブサイトに掲載した。

([https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_20240101noto\\_4\\_00003.html](https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_4_00003.html))

#### 2月15日（地震発生45日後）

地殻変動の最終的な精査として、定常解析結果を速報解（R5）から最終解（F5）に更新して地殻変動を算出した。

解析には、電子基準点「舳倉島」の観測データを解析に加え、12月25日から12月31日までの7日間の最終解（F5）の平均値を基準として、地震後の

1月2日の最終解 (F5) の結果を比較して地殻変動量を求めた。この結果を地殻変動ベクトル図にして図-3に示す。能登半島を中心に大きな地殻変動が見られ、電子基準点「舳倉島」において南東方向に約0.3 mの顕著な地殻変動が新たに確認できた。

なお、電子基準点「能登島」及び「富来」は、後述の電子基準点の緊急測量調査で局所的な変動(3.1.3節で後述)が確認されたため、地殻変動ベクトル図の表示から除外した。この結果は、第5報として国土地理院ウェブサイトに掲載した。

([https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_20240101noto\\_5.html](https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_5.html))

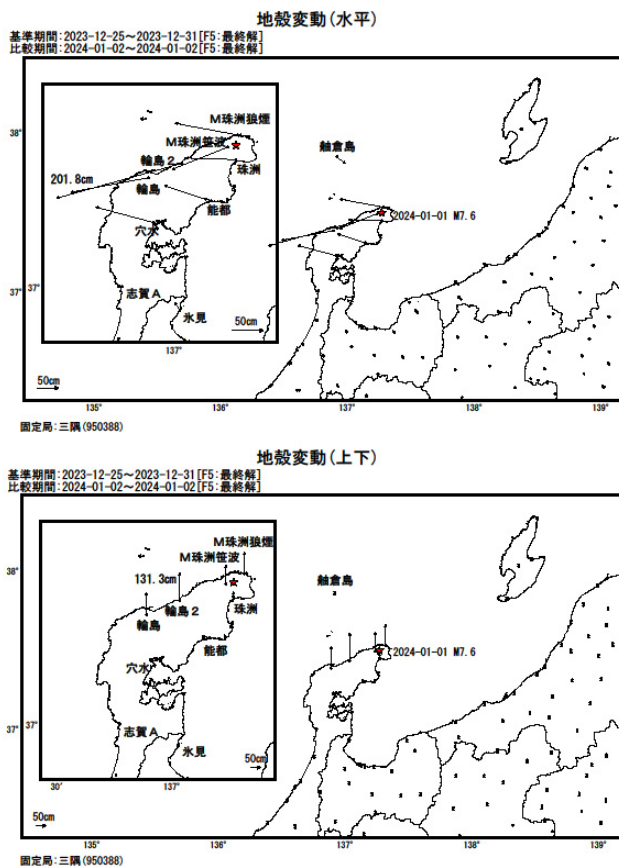


図-3 2月15日に公表した能登半島地震に伴う地殻変動ベクトル図。  
上図は水平成分を、下図は上下成分を示す。赤色の★は震央を示す。

### 2.2.2 地震後の余効変動の算出

1月2日の最終解 (F5) と、2月22日から2月24日までの3日間の速報解 (R5) の平均値とを比較し、能登半島地震後の余効変動の抽出を行った。座標値間の比較において、地震活動が活発になっていない2017年9月1日～2020年9月1日の期間は定常的な地殻変動が発生している状態と見なして、その変

動量を推定し、これを取り除いた非定常的な地殻変動量を余効変動として算出した。対象とした約2か月間において、電子基準点「能都」で北西方向に約3 cmの変動、電子基準点「輪島」で約4 cmの沈降を観測し、能登半島を中心に関東地方や中部地方の広い範囲で1 cmを超える変動が観測されるなど、余効変動と考えられる地殻変動が観測された(図-4)。

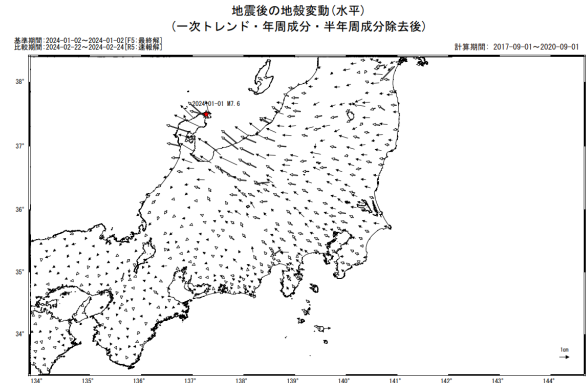


図-4 能登半島地震後の非定常的な地殻変動ベクトル図。赤色の★は震央を示す。固定局は電子基準点「三隅」(島根県)。一部の電子基準点は、傾斜等の影響を受けている可能性がある。

### 3. 被害を受けた電子基準点への対応

能登半島地震の影響による停電や通信回線の不通、斜面崩壊等が発生し、電子基準点のGNSS連続観測に影響が生じた。本章では、電子基準点の復旧対応について述べる。

#### 3.1 電子基準点の緊急測量調査

##### 3.1.1 緊急測量調査の経緯

電子基準点は、停電や通信障害の発生時にも観測が継続できるよう、さまざまな対策が施されている。停電対策として、商用電源が不通になった後でも、一週間程度の観測が可能な容量を有するバッテリーを備えている。通信回線については、VPN回線に加えて携帯電話網を利用した回線の二重化により観測データの確保に取り組んでいる。能登半島地震においても、これらの対策により停電が生じた期間中でも観測を継続することができた一方、停電が長期化した電子基準点においては観測が停止した。また、VPN回線及び携帯電話網の両方に不通が生じた電子基準点では、リアルタイムデータの収集が一時的にできなくなり、運用に影響が生じた。

加えて、電子基準点には、地面の変動による地殻変動とピラーの傾斜による見かけの変位を区別するために傾斜計が設置されており、そのデータは観測データと同様に収集されている。能登半島地震の前

後の情報を比較すると、電子基準点「富来」及び「輪島2」でピラーの顕著な傾斜を示す情報が得られた。

これらの状況を踏まえ、能登半島地震による電子基準点への影響を確認するため、関係部署と協力し、数回に分けて緊急測量調査（以下「緊急調査」という。）を実施した。その緊急調査の作業地域図を図-5に示す。



図-5 緊急調査の作業地域図。

### 3.1.2 緊急調査にあたっての準備

今回の地震被害の特徴の一つとして、三方を海に囲まれた半島であり、低平地が少なく山地形が多い等の特徴から、大規模な土砂の崩落等により多くの道路が被災し、被災地への進入・支援活動が困難であったことが挙げられる。このため、政府や国土交通本省の資料等及び北陸地方測量部や非常災害現地対策本部に派遣された情報連絡員（リエゾン）等から常に道路啓開状況等の情報を収集し、人命救助活動等の妨げとならないように調査時期及び調査箇所は慎重に検討した。加えて、被災地において派遣職員が余震等による被災・行動不能等不測の事態となった場合に備えて、食料、飲料水、携帯トイレ、自動車用燃料、ポータブル電源、防寒着等を準備して緊急調査に臨んだ。

### 3.1.3 緊急調査結果

調査を実施した電子基準点とその概要は、以下のとおりである。

- 1) 電子基準点「能登島」（1月10日）
  - ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
  - ・電子基準点周辺のアスファルト舗装に多数の亀裂を確認（写真-1）。
  - ・ピラーの傾斜量の測定を実施したが、傾斜測定の際の基準とする固定鉄付近の損傷により、正確な傾斜量は測定不能。



写真-1 電子基準点「能登島」における緊急調査の様子。

- 2) 電子基準点「穴水」（1月11日）
  - ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
  - ・1月2日から1月9日まで停電していたためバッテリーを交換（写真-2）。



写真-2 電子基準点「穴水」におけるバッテリー交換作業。

- 3) 電子基準点「内灘」（1月17日）
  - ・電子基準点の外観に損傷なし。

- ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
  - ・周辺の電子基準点に比べて地殻変動の様相が異なるため、液状化による影響を懸念して緊急調査を実施したが、ピラーの傾斜はなし。
- 4) 電子基準点「輪島」(1月18日)
- ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
  - ・1月1日から1月6日まで停電していたためバッテリーを交換。
- 5) 電子基準点「輪島2」(1月18日, 1月31日)
- <1回目(1月18日)>
- ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・1月1日から停電及び通信回線の不通が継続。
  - ・バッテリーによる観測が停止していたため、受信機内の1月8日までの観測データを回収。
  - ・ピラーの傾斜量を測定した結果、傾斜を確認。
  - ・バッテリーを交換するとともに、通信回線の早期回復が見込めなかったため、通信機器等の電源を落とし、なるべくバッテリーによる観測が継続する対策を実施。
- <2回目(1月31日)>
- ・1月18日以降の観測データを回収。
  - ・商用電源及び通信回線が回復していることを確認したため、通信機器等を起動して通常の観測を再開。
  - ・電子基準点を設置している小学校(廃校)のグラウンドが仮設住宅建設地となり、電子基準点の基礎上まで構造物が建築される予定であることを確認。
- 6) 電子基準点「富来」(2月1日)
- ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
  - ・電子基準点の基礎やその周辺に液状化の痕跡多数あり(写真-3)。
  - ・ピラーの傾斜量を測定した結果、傾斜を確認。
  - ・所在場所が避難所(小学校)であるため、電子基準点周辺を規制する安全対策を実施。



写真-3 電子基準点「富来」における緊急調査の様子。

- 7) 電子基準点「能都」(2月1日)
- ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
- 8) 電子基準点「珠洲」(2月7日)
- ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
- 9) 電子基準点「志賀A」(2月14日)
- ・電子基準点の外観に損傷なし。
  - ・受信機や通信機器等は全て正常に稼働。
- 10) 電子基準点「P輪島」(2月18日)
- ・斜面崩壊による亡失を確認(写真-4)。

地震発生直後から通信回線が不通となり、1月5日には国土地理院が撮影した航空写真で斜面崩壊に巻き込まれていることが示唆されていた。



写真-4 電子基準点「P輪島」の所在場所における斜面崩壊の状況。

### 3.1.4 REGMOS の緊急調査

測地観測センターでは、電子基準点を補完し、地震や火山活動等による局所的な地殻変動を詳細に捉える目的で、可搬型GNSS連続観測装置「REGMOS (Removable GNSS Monitoring System)」を設置・運用している。REGMOSは、ソーラーパネルや通信機器等を搭載し、商用電源や通信サービスがない場所においてもGNSS連続観測を行うことができる。石川県能登地方では、令和2年12月頃から活発な地震活動が継続していたことを受け、令和4年7月から石川県珠洲市内の2か所にREGMOS「M珠洲笹波」、「M珠洲狼煙」を設置し、地殻変動の監視を強化した。

2か所のREGMOSのうち、「M珠洲狼煙」については、地震直後から1月11日まで通信回線の不通により観測データが一時的に途絶していたため、2月8日に緊急調査を実施した。調査の結果、受信機や通信機器等の機器に異常は無く、また、傾斜等も確認されなかった。

### 3.2 電子基準点の復旧作業

#### 3.2.1 ソーラーパネル設置による電子基準点の復旧

3.1 節の緊急調査で述べたとおり、能登半島内の電子基準点については、2月中旬までに緊急調査を終了した。一方で、能登半島の沖合約50kmに位置する舢倉島に設置された電子基準点「舢倉島」は、地震直後から通信回線の不通により状況が不明であった。また、北陸電力から通電の見込が立たないとの情報を得たことから、緊急復旧作業を実施した。

舢倉島へのアクセスについては、通常であれば定期船を利用することになるが、能登半島地震以降、定期船は運休となっていた。このため、海上飛行が可能なヘリコプターを用いて、人員及び部材を輸送した。ヘリコプターの飛行は、有視界飛行が原則であるため、作業当日の朝に拠点となる小松空港から舢倉島へ飛行し、夕方には小松空港へ戻る計画としたが、気象・海象の急変により復路のフライトができなくなる可能性も考慮し、飲料水や食料、携帯トイレやツェルト等の緊急用物資も準備した。

緊急復旧作業では、商用電源及び通信回線の回復時期が未定であったため、長期的に観測を継続することを目的として、以下の作業を行うこととした。

- 1) ソーラーパネルの設置
- 2) 消耗したバッテリーの交換
- 3) 衛星携帯通信機器の設置
- 4) 消費電力を抑制するための観測設定の変更
  - ・データ取得間隔を30秒に変更
  - ・通信機器を1日1回起動するように変更

現地の滞在時間が非常に限られることから、いかなる不測の事態にも対応できるよう万全な体制で作業にあたった。天候調査の結果から、3月11日に現地で作業を実施し、観測を再開した(写真-5)。

写真-5 電子基準点「舢倉島」緊急復旧作業の風景。



その後、6月下旬に商用電源及び通信回線の回復を確認したため、7月18日に現地で電子基準点の通常の観測を再開させる作業を実施した。なお、3月に設置したソーラーパネル及び衛星携帯通信機器は、不測の事態に備え、バックアップ用の機器として接続したまま残置した。

#### 3.2.2 移設等による復旧

斜面崩壊により亡失した電子基準点「P輪島」、ピラーの傾斜が確認された電子基準点「富来」及び「輪島2」、周辺地盤の崩壊が激しく局所的な地盤の変動の影響を受けたとみられる電子基準点「能登島」の4か所については、復旧・復興に必要な地理空間情報の提供及び地殻変動の監視にとって重要であることから、移設等による復旧作業を実施することとした。

##### 1) 復旧における選点

「被災者の生活と生業(なりわい)支援のためのパッケージ」として令和5年度予算一般予備費による復旧が認められたことから、2月14日・15日をはじめ数回にわたり、現地で選点作業を実施した。

現地の選点作業前に、災害リスクを可能な限り避けるため、ハザードマップや土地条件図等をもとに、あらかじめ机上の選点を行った。机上の選点では、液化化現象や局所的な地盤の変動の影響を避けるため、旧版地形図や過去の空中写真、干渉SARの解析結果を参照し、地盤が強固と思われる箇所を候補地としてさらに絞った。

現地での選点作業の結果、電子基準点「P輪島」は、近傍に電子基準点「輪島」が設置されていることから、電子基準点の配置を考慮して輪島市門前町に再配置する復旧とした。また、電子基準点「輪島2」は、現在位置から東に4km程度離れた輪島市町野町に再配置する復旧、電子基準点「富来」は、現在位置から南西に3km程度離れた志賀町西海戸に再配置する復旧とした。「能登島」については、現在位置の近傍に移設する復旧とした。

##### 2) 復旧する電子基準点の仕様の概要

今回の大規模な災害の経験から、半島地域においては、道路啓開をはじめとするインフラやライフラインの復旧作業等に日数を要することが想定されるため、これまでの仕様を基本としたうえで、長期間の停電に対応できる能力の向上を考慮した設計とした。

具体的には、再配置により復旧する輪島市門前町及び輪島市町野町の電子基準点では、ピラー側面の4面にソーラーパネルをそれぞれ2枚、計8枚を設置する仕様としている。また、バッテリーの交換作

業を容易にできるように、収納箱内部の蓋の設計を改良したほか、バッテリーのさらなる増設ができるようにするため、収納箱の容量に余裕を持たせた構造とした。

#### 4. まとめ

令和6年1月1日に能登半島地震が発生し、大きな揺れと地震に伴う津波により、石川県能登地方は大きな被害を受けた。測地観測センターが維持管理する電子基準点においても、施設の被災、停電や通信回線の不通といった障害が発生し、対応に追われた。また、緊急調査では、堅固な観測施設である電子基準点のピラーが傾いたことを確認した。地震規模や立地環境によって、電子基準点は、目で確認できない観測施設の損傷を受けるため、地殻変動量の算出では、GNSS観測データを解析するだけでなく、傾斜計等の情報を参照したうえで判断をしなければならぬことが示唆された。本稿は、測地観測セン

ターで実施した能登半島地震にかかる地殻変動の監視、施設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、今後起こりうる大規模な地震時に経験を生かしていく。

現在、激甚化・頻発化する自然災害を踏まえて、電子基準点の非常用電源及び通信機能の強化を進めている。引き続き、大規模な災害が発生した場合に観測を継続するための対策を進める。また、大規模な地震時においても迅速適切に対応できるように、人材の育成に努め、緊急対応力の強化を図っていく。

#### 謝辞

本作業に際して、石川県、気象庁、北陸地方整備局、その他関係機関より様々な情報等を提供していただいた。厚く御礼申し上げます。

(公開日：令和6年12月27日)

#### 参考文献

- 川元智司, 檜山洋平, 古屋智秋, 佐藤雄大, 太田雄策, 西村卓也, 等々力賢 (2016) : 電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) プロトタイプの開発, 国土地理院時報, 128, 55-66.  
doi: 10.57499/JOURNAL\_128\_15
- 村松弘規, 高松直史, 阿部聡, 古屋智秋, 加藤知瑛, 大野圭太郎, 畑中雄樹, 攪上泰亮, 大橋和幸 (2021) : 新しいGEONET解析ストラテジによる電子基準点日々の座標値 (F5解・R5解) の公開, 国土地理院時報, 134, 19-32. doi: 10.57499/JOURNAL\_134\_03
- 令和6年能登半島地震に係る検証チーム (2024) : 令和6年能登半島地震に係る災害応急対応の自主点検レポート 令和6年6月
- 令和6年能登半島地震非常災害対策本部 (2024) : 被災者の生活と生業 (なりわい) 支援のためのパッケージ 令和6年1月