

令和6年能登半島地震における緊急測量調査 Emergency Field Survey for the 2024 Noto Peninsula Earthquake

測地部 植田勲¹・畔柳将人²・小川拓真・服部晃久³・岡村盛司
Geodetic Department UEDA Isao, KUROYANAGI Masato, OGAWA Takuma,
HATTORI Akihisa and OKAMURA Seiji

測地観測センター 田上節雄⁴・橋本哲志⁵
Geodetic Observation Center TANOUE Setsuo and HASHIMOTO Satoshi

地理地殻活動研究センター 宮本純一²・神宮章克⁶
Geography and Crustal Dynamics Research Center
MIYAMOTO Junichi and JINGU Akikatsu

要 旨

令和6年(2024年)1月1日に発生した令和6年能登半島地震に伴い、電子基準点や陸域観測技術衛星2号「だいち2号」の解析結果から、能登半島を中心に大きな地殻変動が検出された。

国土地理院では、これらの解析結果について、より正確に変動を把握することを目的として、1月19日から1月23日及び1月30日から2月2日にかけて緊急測量調査を実施した。

緊急測量調査では、特異な変動が見られた電子基準点の現地調査、「だいち2号」によるSAR画像解析により検出された能登半島北西部での約4mの隆起の現地測量による確認、地震に伴う余効変動の検出のための小型GNSS観測装置の設置を実施した。また、地震に伴い公表を停止している基準点測量成果の改定に必要なデータを取得した。

この結果、能登半島北西部にある三等三角点「五十洲(いぎす)」(輪島市門前町)で4.10m(暫定値、成果改定量は4.11m)の隆起を確認したほか、電子基準点成果の改定や座標補正パラメータ作成時に観測データの取扱いを決定する上で重要な役割を果たした。また、小型GNSS観測装置は地震後に発生した余効変動の検出に活用された。

1. はじめに

国土地理院は、令和6年能登半島地震(以下「能登半島地震」という。)発生当日から、電子基準点のデータ解析により、能登半島を中心とした広い範囲での地殻変動の様相を明らかにし、それ以後もデータの蓄積に伴い詳細な解析結果を随時公表していた(越智ほか, 2024)。また、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が運用する陸域観測技術衛星2号「だいち2号」(ALOS-2)(以下「だいち2号」という。)観測データのピクセルオフセット解析により、能登半島北西部で最大約4m(暫定値)の隆起、最大約2m

(暫定値)の西向きの変動を検出していた(石本ほか, 2024)(図-2, 図-3)。しかしながら、この顕著な隆起が観測された地域には、電子基準点が設置されていないため、正確な変動量や今後予想される余効変動を捉える手段がない状況であった。さらに電子基準点「富来」及び「能登島」では、観測データからピラーの傾斜と思われる変動が検出されていた。

一方で、被災地においては早期に災害復旧・復興事業の実施が必要であり、そのためには能登半島地震に伴い1月5日に停止された電子基準点、三角点、水準点等の測量成果を修正し、迅速に公表しなければならない。

国土地理院は、このような状況下で、早急に現地の状況を把握し、現地測量によるデータを取得する必要があると判断し、1月19日から1月23日(第1班)及び1月30日から2月2日(第2班)の2回にわたって緊急測量調査を実施した。

このうち第1班は、国土地理院緊急災害対策派遣隊(Technical Emergency Control Force)(以下「国土地理院TEC-FORCE」という。)として編成され、現地へ派遣された。国土地理院TEC-FORCEは、大規模自然災害が発生し、又は発生するおそれがある場合に国土交通省防災業務計画及び国土地理院防災業務計画に基づき設置され、運営される。リエゾン(災害対策現地情報連絡員)、被災状況調査班及び地理情報支援班の3つの班で構成されており、災害発生地域及びその周辺地域における地殻変動把握のための緊急測量は被災状況調査班の現地調査グループが担っている。

2. 事前調整及び行動計画策定

2.1 関係行政機関との連携

国土地理院では、発災当初より石川県庁にリエゾンとして職員を派遣し、派遣職員は派遣先からの要望の伝達、本院との連絡調整、情報収集を担っている。今回、リエゾンを通じ、現地への進入ルートや道路の復

旧状況の情報収集を行い、派遣時期を決定した。併せて、関係機関へ、踏査選点、小型 GNSS 観測装置の設置協議及び観測等の調整を行った。これらから得られた情報及び現地宿泊状況から、拠点富山県高岡市とした行動計画を策定した。

2.2 装備等の準備

調査地域は道路や水道等のインフラが大きな被害を受けており、さらに余震により道路が再度被災し、孤立状態になることも想定して、自己完結型の派遣体制として携行缶入りの自動車用燃料、簡易トイレ、飲料水や食料等を準備した。

3. 緊急測量調査の実施

3.1 現地進入

第1班は4名、第2班は5名で編成し、富山県高岡市を拠点とし日々、日帰りで見地に赴いた。

使用した官用車は緊急通行車両確認標章及び緊急通行車両確認証明書の交付を受けており、一般車両の通行が規制されている区間であっても、現地の被災状況が許せば通行可能である。ルート選定にあたっては、規制区間であった「のと里山海道」、「能越自動車道」の一部区間を通行するルートのほか、通行止めや渋滞等を考慮にいれ、能登半島西岸を北上する国道249号線を通行するルートも使用した。

能登半島地震によって甚大な被害を受けた輪島市内への進入は容易ではなく、高岡市から輪島市門前町へは、片道で約4時間を要した(写真-1)。



写真-1 道路の被災状況。

3.2 能登半島北西部の変動量の確認(第1班)

輪島市門前町五十洲にある三等三角点「五十洲(いぎす)」は、最も大きな隆起量が想定される地域にあること、平成19年(2007年)能登半島地震後に今回の緊急測量と同じ測量方法(電子基準点を既知点としたGNSS測量)で測量成果が決定されていることから、より正確な隆起量の検出が見込めるため第

一優先の観測点に設定した。このほか、同様の条件で輪島市門前町和田付近にある公共基準点1点(2級基準点「基II-2」、平成29年新設)を観測対象とした(図-1)。



図-1 国土地理院 TEC-FORCE での調査地点変動量の確認箇所及び小型 GNSS 観測装置設置箇所。

三等三角点「五十洲」への唯一の進入経路は通行可能な時間帯が制限されていたため、これを考慮して行動計画を立てた。三角点へは30分程度の登山で到達し、観測作業は順調に進捗した(写真-2)。三角点からは隆起して陸化した海岸が一望できた(写真-3)。なお、観測の様子は国土地理院 YouTube チャンネルで公開している。

(https://www.youtube.com/watch?v=MTSCf_ZVKMQ)



写真-2 三等三角点「五十洲」での GNSS 観測(1月20日)。



写真-3 隆起により陸化した海岸。(三等三角点「五十洲」から望む)

得られた観測データを解析した結果、三等三角点「五十洲」では、ほぼ西向きに 1.48 m の水平変動、4.10 m の隆起、2 級基準点「基 II-2」では、ほぼ西向きに 1.23 m の水平変動、2.77 m の隆起（いずれも暫定値）が確認された。これらの結果は、「だいち 2 号」観測データのピクセルオフセット解析結果と調和的であり（図-2,3）、1 月 31 日に国土地理院ウェブサイト上の「令和 6 年能登半島地震に関する情報」ページから公開した。

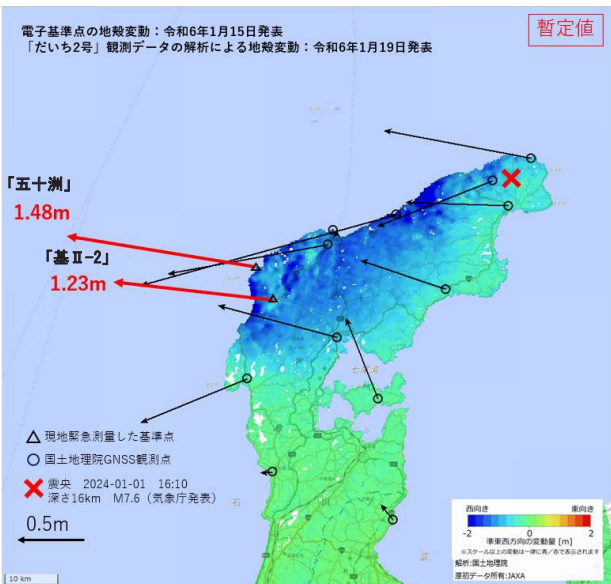


図-2 緊急測量調査結果（赤矢印）と電子基準点による観測（黒矢印）による水平変動ベクトル。背景図は「だいち 2 号」ピクセルオフセットによる SAR2.5 次元解析結果（準東西成分）。

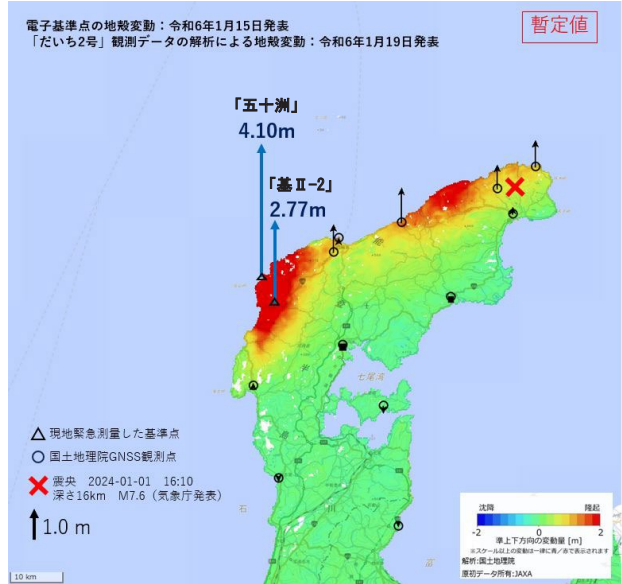


図-3 緊急測量調査結果（青矢印）と電子基準点による観測（黒矢印）による上下変動ベクトル。背景図は「だいち 2 号」ピクセルオフセットによる SAR2.5 次元解析結果（準上下成分）。

3.3 小型 GNSS 観測装置の設置（第 1 班）

大きな地殻変動が検出された能登半島北西部において地震後に発生すると予想される余効変動を捉えるため、国土地理院で開発した小型 GNSS 観測装置（小林ほか, 2024）を 3 基設置することとした。

小型 GNSS 観測装置の設置候補地は、緊急撮影による空中写真（国土地理院, 2024）等を活用し、事前に図上にて選点した。良好な観測環境であること、小型 GNSS 観測装置を設置できるスペースが確保できること、安全管理上の問題がないことなどを確認し、土地の所有者又は管理者から設置許可を得た。

小型 GNSS 観測装置はコンパクトで機動性に優れており、関連する資材を含めても 3 基分をワンボックスタイプの車両 1 台で運搬可能であった。今回は、電源としてソーラーパネルを使用するため、単管パイプを用いてソーラーパネルを固定する架台を組み立てた（写真-4）。架台は設置作業を簡略化するため、自重と土嚢で固定されている。GNSS アンテナは、沈下を防ぐため地面に打ち込んだ脚杭上に設置した三脚に設置した。国土地理院本院との通信を確認し、周囲に立入規制ロープを張って設置を完了した（写真-5, 6, 図-1）。その後、小型 GNSS 観測装置は順調に観測データを蓄積し、余効変動の検出に成功した（小林ほか, 2024）。



写真-4 小型GNSS観測装置「七浦(しつら)」設置風景。
1月20日設置。



写真-7 電子基準点「能登島」の基礎部分(1月31日)。



写真-5 小型GNSS観測装置「道下(とうげ)」。1月20日設置。



写真-6 小型GNSS観測装置「赤神」。1月21日設置。

3.5 電子基準点周辺の基準点でのGNSS観測(第2班)

電子基準点「富来」及び「能登島」は、断層モデルから推定される変動量や周囲の電子基準点の変動ベクトルと整合的でないことから、局地的な変動の有無を確認するため、電子基準点「富来」の周辺にある四等三角点2点(写真-8、図-4)及び電子基準点「能登島」の周辺にある公共基準点3点でGNSS観測を実施した(写真-9、図-5)。

電子基準点周辺の基準点での観測で得られた変動量は、「だいち2号」観測データのピクセルオフセットによるSAR2.5次元解析結果とおおむね整合的であった(表-1, 2)。一方で電子基準点「富来」及び「能登島」の変動量は周囲の変動量とは整合していないことが明らかになったため、公表している地殻変動ベクトル図の表示から除外する対応となった(越智ほか, 2024)。



写真-8 四等三角点「貝田」(左)、「八幡」(右)でのGNSS観測(2月1日)。

3.4 電子基準点の現地調査(第2班)

電子基準点「輪島2」, 「富来」, 「能都」及び「能登島」において、傾斜測定及び現地調査を実施した。

「輪島2」では現地調査時に設置場所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が判明したが、当面は観測を継続するためバッテリーの交換を行った。「富来」ではピラーの傾斜測定を行うとともに周囲一帯に地割れ及び液状化があることを確認した。「能都」では傾斜測定を実施し、「能登島」では電子基準点の基礎部の周囲に地割れがあることを確認した(写真-7)。



写真-9 公共基準点「基II-5」でのGNSS観測(1月31日)。

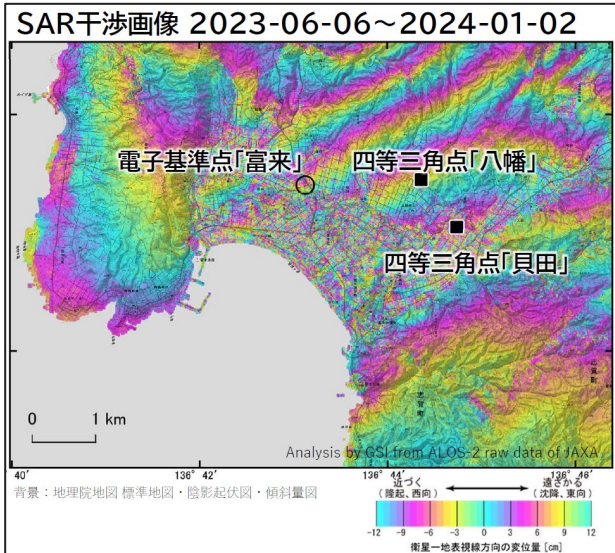


図-4 緊急測量調査における電子基準点「富来」周辺でのGNSS観測点の位置図。背景図はSAR干渉解析結果。

表-1 電子基準点「富来」周辺でのGNSS観測結果と「だいち2号」観測データのピクセルオフセットによるSAR2.5次元解析の準上下方向(上段)及び準東西方向(下段)の比較。

基準点名	GNSSでの変動量	SAR解析結果 準上下方向
電子基準点「富来」※	+0.087m	+0.1m
四等三角点「八幡」	+0.19m	+0.1m
四等三角点「貝田」	+0.04m	+0.1m

基準点名	GNSSでの変動量		SAR解析結果 準東西方向
	南北方向	東西方向	
電子基準点「富来」※	+0.329m	-0.804m	-0.3m
四等三角点「八幡」	-0.39m	-0.24m	-0.3m
四等三角点「貝田」	-0.32m	-0.27m	-0.2m

四等三角点の基準日は、「八幡」が平成26年3月13日、「貝田」が平成26年3月13日。SAR2.5次元解析は令和6年1月19日発表。

※電子基準点「富来」の変動量にはピラーの傾斜による影響を含む。

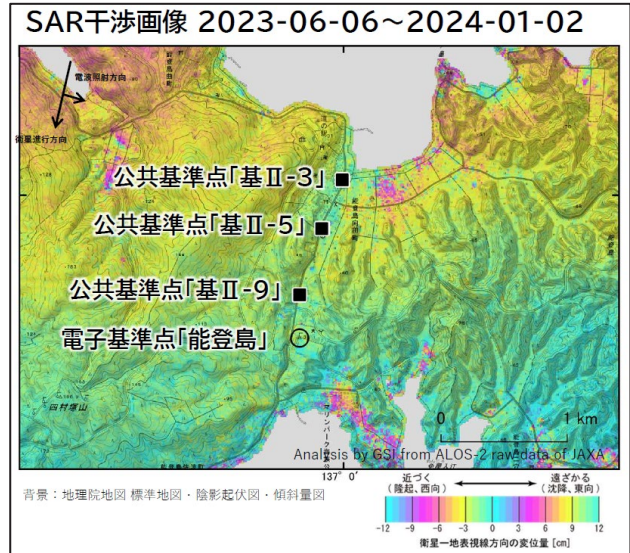


図-5 緊急測量調査における電子基準点「能登島」周辺でのGNSS観測点の位置図。背景図はSAR干渉解析結果。

表-2 電子基準点「能登島」周辺でのGNSS観測結果と「だいち2号」観測データのピクセルオフセットによるSAR2.5次元解析の準上下方向(上段)及び準東西方向(下段)の比較。

基準点名	GNSSでの変動量	SAR解析結果 準上下方向
電子基準点「能登島」※	-0.313 m	-0.1 m
公共基準点「基II-9」	-0.04 m	-0.1 m
公共基準点「基II-5」	-0.14 m	-0.1 m
公共基準点「基II-3」	-0.19 m	-0.1 m

基準点名	GNSSでの変動量		SAR解析結果 準東西方向
	南北方向	東西方向	
電子基準点「能登島」※	+0.608 m	-0.236 m	-0.2 m
公共基準点「基II-9」	+0.25 m	-0.37 m	-0.2 m
公共基準点「基II-5」	+0.23 m	-0.30 m	-0.2 m
公共基準点「基II-3」	+0.26 m	-0.41 m	-0.2 m

SAR2.5次元解析は令和6年1月19日発表。

※電子基準点「能登島」の変動量にはピラーの傾斜による影響を含む。

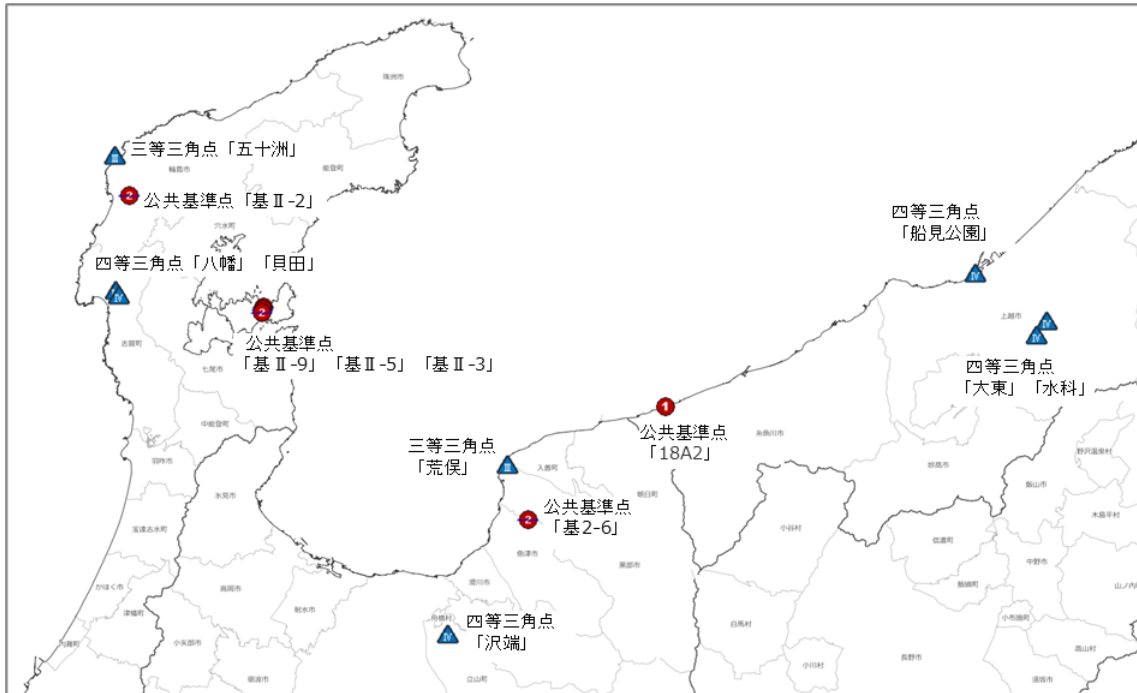


図-6 GNSS観測を実施した基準点.

3.6 基準点成果改定及び座標補正パラメータ検証のためのGNSS観測（第1班，第2班）

基本基準点及び公共基準点でのGNSS観測を3.2節及び3.5節で述べた点を含め、石川県、富山県及び新潟県の計14点で実施した（図-6）。得られた観測データは、基準点の測量成果改定に使用され、能登半島地震に伴う座標補正パラメータ作成の基礎資料として使用されている（岩下ほか，2024）。

4. まとめ

国土交通省では、能登半島地震において発災翌日から、全国の地方整備局等から被災地にTEC-

FORCEを派遣し、被災地の早期の復旧支援を行っている。国土地理院においても、測量や地理空間情報の専門家として隊員を石川県庁や現地に派遣した。今回の緊急観測調査で得られたデータは、宇宙測地技術で得られた地震に伴う地殻変動の確認、地震後の余効変動の検出及び復旧・復興工事に必要な基準点の測量成果の早期公表に貢献した。インフラの応急復旧途中の状況での現地作業は、難しい局面もあったが、平時からの準備と業務で培われた現場力が発揮されたと言える。

（公開日：令和6年12月27日）

参考文献

- 石本正芳，服部晃久，三木原香乃，小門研亮，小林知勝（2024）：だいち2号で捉えた令和6年能登半島地震に伴う地殻変動，国土地理院時報，138，17-24. doi: 10.57499/JOURNAL_138_03
- 岩下知真子，多田直洋，高築晶，山田直輝，中久喜智一，井上武久，田上節雄，高木悠，植田勲，若杉貴浩，森克浩，宗包晃子，高松直史，齋田宏明，宮崎隆幸（2024）：令和6年能登半島地震に伴う基準点測量成果の改定，国土地理院時報，138，63-74. doi: 10.57499/JOURNAL_138_10
- 小林知勝，中川弘之，松尾功二，松本紗歩，服部晃久，宗包浩志，桑原將旗，宮本純一，加古考範，岩本健吾，岩田和美，古屋智秋，植田勲，多田直洋，畔柳将人，小川拓真（2024）：小型GNSS観測装置で捉えた令和6年能登半島地震の地震時・地震後の地殻変動，国土地理院時報，138，25-32. doi: 10.57499/JOURNAL_138_04
- 国土地理院（2024）：令和6年能登半島地震に関する基本図情報部の対応，国土地理院時報，138，43-49. doi: 10.57499/JOURNAL_138_07
- 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（2024）：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，国土地理院時報，138，9-15. doi: 10.57499/JOURNAL_138_02