

## 令和6年能登半島地震に伴う基準点測量成果の改定 Revision of the Results of Control Points after the 2024 Noto Peninsula Earthquake

測地部 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<sup>1</sup>

Geodetic Department IWASHITA Chimako, TADA Naohiro, TAKATSUKI Akira,  
YAMADA Naoki, NAKAKUKI Tomokazu, INOUE Takehisa,  
TANOUE Setsuo, TAKAGI Yu and UEDA Isao

測地観測センター 若杉貴浩・森克浩・宗包晃子・高松直史・齋田宏明・宮崎隆幸  
Geodetic Observation Center WAKASUGI Takahiro, MORI Katsuhiko,  
MUNEKANE Akiko, TAKAMATSU Naofumi, SAITA Hiroaki and MIYAZAKI Takayuki

### 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、石川県をはじめとした広い範囲において測量成果に影響が生じ得る大きさの地殻変動を確認したため、該当する電子基準点、三角点、水準点等の測量成果の公表を1月5日に停止した。

国土地理院では、これらの基準点の復旧測量に取り組み、2月7日に電子基準点の改定した測量成果を公表、2月15日には測量成果の公表を停止した地域の一部について、電子基準点の測量成果改定量から作成した補正パラメータ、同パラメータにより改算した三角点等の測量成果を公表した。また、三角点、水準点の復旧測量を、緊急測量として実施した。6月27日に、能登半島の一部の三角点、水準点について、改測作業による測量成果を公表し、7月10日には電子基準点及び三角点の成果改定量から求めた補正パラメータ、同パラメータにより改算した三角点の測量成果を公表した。

### 1. はじめに

基本測量の基準点は、国の機関や地方公共団体が実施する公共測量の基準として使用されており、震災に伴う復旧・復興のための各種公共事業等における測量の基準としても不可欠なものである。

令和6年能登半島地震(以下「能登半島地震」という。)により影響を受けた地域では基準点(電子基準点、三角点、水準点等)の位置が大きく変動し、時点の測量成果が公共測量等で利用できないことが想定されたため、測量成果の公表を停止した。その後、電子基準点については観測データの蓄積後に測量成果を改定した。三角点・水準点等については、現地で復旧測量を実施し、測量成果を改定した。本稿では、能登半島地震に伴う基準点測量成果の改定について報告する。

### 2. 基準点測量成果の取扱い

基準点の測量成果については、1月4日までの解

析で得られた電子基準点日々の座標値(迅速解(Q5)、速報解(R5))、衛星SAR解析画像等の情報を基に能登半島地震の影響を受けた範囲を検討し、その結果を受け1月5日に測量成果の公表を停止した。

電子基準点については、これまで主に地震時に推定される震源断層モデル等に基づいて計算された最大剪断ひずみがおおむね2 ppm(電子基準点の平均的な点間距離約20 kmに対し約40 mmに相当)を超える範囲で測量成果の公表を停止してきた(例えば、檜山ほか、2011)。これは、測量法第34条で定める作業規程の準則(以下「準則」という。)で電子基準点のみを既知点とする測量の場合に規定されている許容範囲(水平60 mm+20 mm $\sqrt{N}$ 、高さ150 mm+30 mm $\sqrt{N}$ ;ただし、Nは辺数)を十分に満たす。しかし、特に大きな地殻変動が観測された場合、測量成果の公表を停止していない地域との接合部にひずみが集中し、そのままでは境界をまたいで測量する際に準則で定められた所定の許容範囲を超過してしまう可能性がある。

このため、境界をまたいで測量をした際にも許容範囲を十分満たすよう、電子基準点日々の座標値(速報解(R5))を基に水平方向の地殻変動量が3 cm以上であることを目安として、市町村界等も考慮して測量成果の公表を停止する電子基準点を決定した。対象となった電子基準点は、図-1に示すように、石川県、富山県、新潟県、長野県及び群馬県の60点である。

三角点及び地殻変動観測点(以下「三角点等」という。)については、基本的には市町村を単位(例外として、佐渡市については、市町村合併前の市町村界を考慮して設定)とし、図-1に示した成果公表を停止する電子基準点の配置から選定した市町村に位置する計4,349点の三角点等を対象として、測量成果の公表を停止した(図-2)。これらの三角点等については、一部は改測、そのほかについては改測結果を含めて作成した補正パラメータによる改算により測量成果を改定することとした。

水準点については、電子基準点で捉えた高さ方向の地殻変動の分布から、能登半島北部を中心とした能登半島の範囲で大きな変動があることを確認したため、能登半島で環を組む一等水準路線及び穴水町から能登町、珠洲市、輪島市に至る二等水準路線の水準点計 157 点 (図-3) について測量成果の公表を停止し、復旧測量を実施することとした。

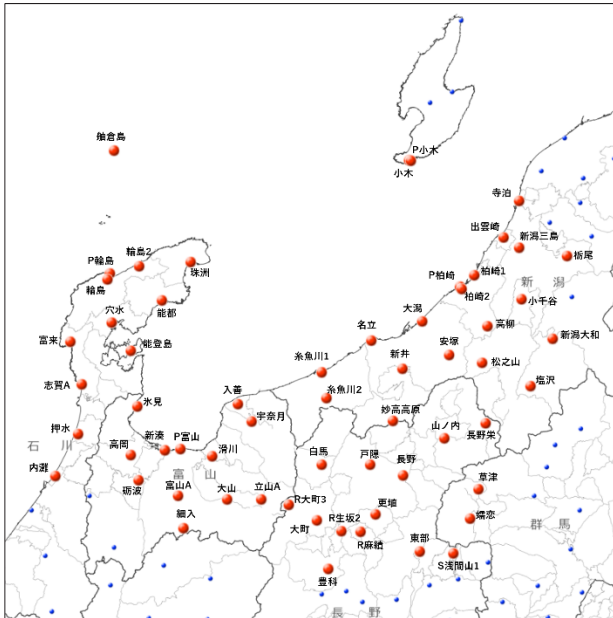


図-1 電子基準点 測量成果公表停止対象点配置図.



図-3 水準点 測量成果公表停止点.

### 3. 電子基準点の測量成果の改定

#### 3.1 測量成果の改定手法と改定結果

被災地において早期に災害復旧・復興等の事業を実施するためには、地震後の正確な位置に基づく測量作業が必要であり、その測量の基準となる基準点の測量成果を早急に改定する必要がある。特に電子基準点の測量成果については、公共測量等だけでなく三角点の測量成果の改定作業にも利用されるため、迅速な改定が求められる。このため、電子基準点の測量成果については、いくつかの段階に分け順次改定を行うこととした。測量成果の改定に係るタイムラインを表-1 に示す。

##### 3.1.1 電子基準点の測量成果 (経緯度)

電子基準点測量成果の改定計算には、これまで主に学術用精密基線解析ソフトウェア GAMIT/GLOBK を用い、測量成果の公表を停止した地域周辺の電子基準点の測量成果を固定して基線解析及び平均計算を行うことにより、新たな測量成果を算出してきた。しかし、今回の測量成果の公表を停止した地域には日本海に突き出す能登半島が含まれており、日本海側に既知点とする電子基準点が存在しないため、能登半島の先端部で計算の誤差が大きくなる懸念があった。このため、今回の測量成果の計算は以下の手法を用いることとした。

- 1) 1月4日から6日までの3日間の電子基準点日々の座標値 (最終解 (F5)) を基に、測量成果の公表を停止した地域内における電子基準点間の地震後の相対的な位置関係を算出



図-2 三角点等 測量成果公表停止対象地域図.

※佐渡島は旧行政区域データを使用しています。

表-1 電子基準点（本点・付属標・水準点）の測量成果の改定に係るタイムライン（令和6年9月末時点）。

日時	本点（経緯度）	本点（標高）	付属標（経緯度）	付属標（標高）	水準点
1月5日	60点公表停止	60点公表停止	55点公表停止	55点公表停止	51点公表停止
2月7日	57点改定	10点改定 47点停止解除			39点停止解除
2月29日			51点改定	8点改定 43点停止解除	8点改定（三等）
4月30日	1点改定 <sup>*1</sup>	1点停止解除 <sup>*1</sup>	1点改定 <sup>*2</sup>	1点停止解除 <sup>*2</sup>	1点停止解除 <sup>*2</sup>
6月27日		7点改定 <sup>*3</sup>		7点改定 <sup>*3</sup>	7点改定（二等） <sup>*3</sup>

\*1 「P輪島」及び「輪島2」は移設等により復旧予定

\*2 「富来」「能登島」「輪島2」は移設等により復旧予定

\*3 「珠洲」「能都」は後発作業で実施された水準取付の結果を踏まえて測量成果を改定予定

- 2) 2024年1月1日を基準日とした地殻変動補正パラメータを利用し、測量成果の公表を停止した地域を取り囲むように位置する電子基準点22点の今期座標（2024年1月1日時点）を算出
- 3) これらを用いて測量成果の公表を停止した地域の内外にひずみが集中しないよう平均計算を実施
- 4) 先述の地殻変動補正パラメータを用いて測量成果となる元期座標を算出

改定した測量成果に、測量成果の公表を停止した地域内部や測量成果の公表を停止していない地域の電子基準点との接合部で顕著なひずみがないことが確認できたため、斜面崩壊により亡失した電子基準点「P輪島」並びに観測データを早期に収集できなかった「舢倉島」及び「輪島2」を除く57点については、地震から約1か月後の2月7日に改定した測量成果を公表した。

その後、電子基準点「舢倉島」については、観測データの収集を終えた後、4月30日に改定した測量成果を公表した。なお、斜面崩壊による亡失を確認した「P輪島」及びピラーの傾斜を確認した「輪島2」は移設等による復旧を行う予定である（令和6年9月末時点。詳細は越智ほか、2024を参照）。

### 3.1.2 電子基準点の測量成果（標高）

水準点の測量成果の公表を停止した地域外の電子基準点47点については、改定した経緯度の測量成果を公表した2月7日と同日に、標高の測量成果についても公表の停止を解除した。また水準点の測量成果の公表を停止した地域内の電子基準点10点については、早期の復旧・復興を支援する目的から、地殻変動の影響のない既知点（二等水準点との併用点となっている電子基準点）として「新湊」「上平」「松任」を使用し、電子基準点測量作業規程に定めるGNSS水準方式によって地震後の標高の測量成果を算出し、同じく2月7日に公表した。「舢倉島」

については、観測データの収集後に電子基準点日々の座標値（最終解（F5））で上下方向に顕著な変動が確認されなかったため、4月30日に公表の停止を解除した。

その後、5章で後述するとおり、水準点の測量成果の公表を停止した地域等に位置する電子基準点付属標における水準測量（以下「水準取付」という。）が行われた。このうち7点について、水準取付の結果を基に算出した付属標の標高に地震前の付属標と本点の標高の差を加えることで水準測量に基づく標高の測量成果を算出し、6月27日に公表した。

なお、「珠洲」及び「能都」については、両点を含めた水準取付が後発作業で実施されたため、その結果を踏まえて、測量成果を改定する予定である（令和6年9月末時点）。

### 3.1.3 電子基準点付属標の測量成果（経緯度）

地震による電子基準点本体への影響を確認するため、能登半島に位置する各電子基準点の緊急測量調査を実施した結果、「富来」及び「輪島2」を除いては、顕著なピラーの傾斜がないことが2月中旬までに確認された。また、「能登島」については、電子基準点本体には傾斜はなかったものの、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可能性が判明した。

これらの調査結果を踏まえ、「富来」「能登島」「輪島2」を除く地震後の電子基準点付属標の測量成果は、本点と付属標の相対位置が地震によって変わらないものとして、本点の改定した測量成果（経緯度）に地震前の本点と付属標の経緯度差を加えることで算出することとした。この手法を用いて、観測データを早期に収集できなかった「舢倉島」及び先述した「富来」「能登島」「輪島2」を除く電子基準点51点について地震後の測量成果を算出し、2月29日に公表した。その後、「舢倉島」については、電子基準点本点と同様に4月30日に改定した測量成果を公

表した。

なお、ピラーの傾斜が確認された「富来」及び局所的な地盤の変動の影響を受けたと見られる「能登島」については移設を行う予定である。

### 3.1.4 電子基準点付属標の測量成果（標高）

水準点の測量成果の公表を停止した地域の外に位置する電子基準点付属標 43 点の標高の測量成果については、改定した経緯度の測量成果を公表した 2 月 29 日と同日に、公表の停止を解除した。また、水準点の測量成果の公表を停止した地域内の 8 点については、GNSS 水準方式によって算出した電子基準点本点の標高の測量成果に地震前の付属標と本点の標高の差を加えることで、地震後の測量成果を算出し、同じく 2 月 29 日に公表した。「舳倉島」については、電子基準点本点の標高の測量成果と同様に、4 月 30 日に公表の停止を解除した。

その後、水準点の測量成果の公表を停止した地域等に位置する電子基準点付属標については水準取付が実施され、「富来」「能登島」「珠洲」「能都」を除く 7 点について、6 月 27 日に水準測量に基づく測量成果を公表した。

### 3.1.5 電子基準点の測量成果（水準点）

電子基準点は電子基準点本点の測量成果及び電子基準点付属標の測量成果のほか、付属標の標識上面の標高である水準点の測量成果を持つ。水準点の測量成果の公表を停止した地域の外に位置する 39 点については、2 月 7 日に公表の停止を解除した。また、水準点の測量成果の公表を停止した地域内の 8 点については、GNSS 水準方式によって算出した電子基準点本点の標高の測量成果に地震前の付属標と本点の標高の差を加えることで、地震後の測量成果（三等水準点）を算出し、2 月 29 日に公表した。「舳倉島」については、電子基準点本点及び付属標の標高の測量成果と同様、4 月 30 日に公表の停止を解除した。

その後、水準取付の結果を基に、電子基準点本点及び付属標の標高の測量成果と同様、「富来」「能登島」「珠洲」「能都」を除く 7 点について、6 月 27 日に水準測量に基づく測量成果（二等水準点）を公表した。

## 4. 三角点の測量成果の改定

### 4.1 三角点復旧測量の方針

地震後の測量成果をできるだけ早く提供するという観点から、能登半島地震では、電子基準点で観測された地殻変動を基に、成果停止地域を大きく二つの地域に分けて、測量成果の改定及び補正パラメータの作成・提供を検討・実施した。一つ目は、地震

時の変動量が後述する地域と比較して小さく、空間パターンが比較的単調な地域であり、これは成果停止地域のうち、群馬県、新潟県、富山県（氷見市を除く）、長野県が該当する（以下「範囲 1」という。）。二つ目は、それ以外の範囲、すなわち成果停止地域のうち、石川県及び富山県氷見市である（以下「範囲 2」という。）。二つの地域の境界の決定方法の詳細は 4.3.1 節で述べる。範囲 1 では、電子基準点の測量成果の改定量（以下「電子基準点成果改定量」という。）を用いて作成した補正パラメータを用いて三角点等の測量成果を改定した。範囲 2 では、（一社）全国測量設計業協会連合会との協定に基づく緊急測量によって改測作業を実施した後、この結果を用いて補正パラメータを作成し、緊急測量を実施していない三角点について、この補正パラメータにより測量成果を改定した。ただし、範囲 2 には、緊急測量実施後にも補正パラメータを提供できないと判断される地域が残ったため、この地域では、補正パラメータによる測量成果の改定は行っておらず、測量成果の公表は停止されたままである。以下、詳細を述べる。

## 4.2 三角点改測の概要

### 4.2.1 三角点改測対象の選定

改測を行った三角点の測量成果の改定量（以下「三角点成果改定量」という。）を用いて補正パラメータを作成するため、改測対象の選定では、地殻変動の影響が大きいと想定される能登半島内の三角点を対象とした。また、地殻変動量を適切に得るために、高度地域基準点測量等により電子基準点を既知点とする GNSS 測量が行われている点を主として、図上で配置を検討し 30 点を改測対象として選定した。

なお、衛星 SAR の解析によって最大の変動量が推定された地域に電子基準点が存在していなかったことから、先行して現地緊急測量調査（植田ほか、2024）を実施している。これらの三角点については、別作業により改測計算が実施されるため、この改測対象選定からは除外した。

### 4.2.2 改測作業と変動量

三角点 30 点の測量は、迅速に復旧に資する位置情報を得ることを目的として（一社）全国測量設計業協会連合会と締結している災害協定に基づく緊急測量（高度基準点測量作業 2 地区）として実施した。

測量を行った地域は、甚大な被害のため現地での宿泊ができず、日々、遠方から移動することになった。また、能登半島の地勢上、アクセスできる道路が限られるため渋滞が発生し、現場までの移動時間が長くなることにより 1 日の作業時間が限られ、測量作業の遅延が発生した。

国土地理院による現地緊急測量調査結果を含め、高度基準点測量作業により得られた三角点 33 点の水平及び上下成分の成果改定量を図-4 及び図-5 に示す。成果改定量の最大値は水平方向については四等三角点「黒島」(輪島市市門前町)で 2.240 m, 上下方向については三等三角点「五十洲(いぎす)」(輪島

市市門前町)で 4.11 m であった。いずれも、衛星 SAR 観測データの解析により大きな変動量が推定された能登半島北西部に位置する三角点であり、衛星 SAR の解析結果と整合的である。また、上下方向の変動量については、三角点が捉えた地殻変動では過去最大のものであった。改測により改定した三角点の測量成果は 6 月 27 日に公表した。

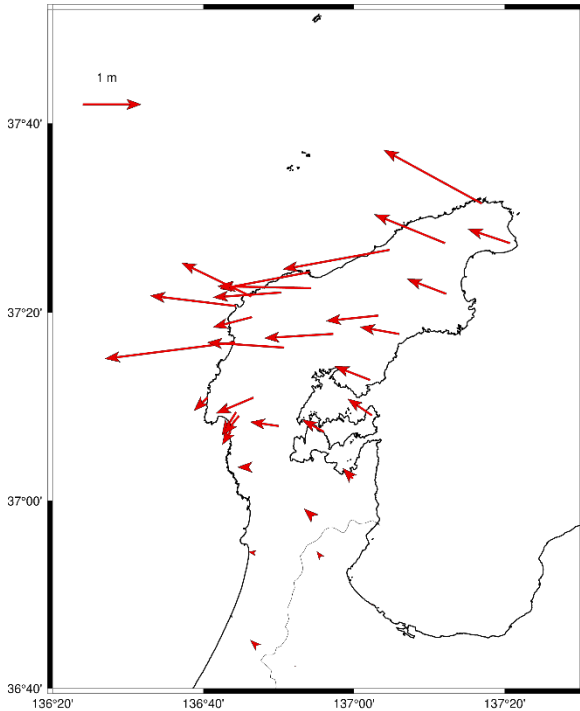


図-4 三角点成果改定量 水平ベクトル図.

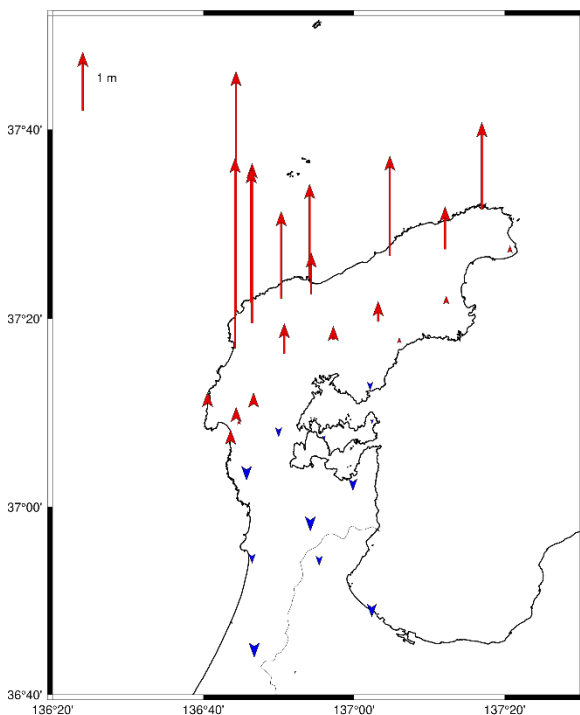


図-5 三角点成果改定量 上下ベクトル図.

#### 4.3 補正パラメータの構築と三角点改算

4.1 節で述べたように、補正パラメータの構築は電子基準点成果改定量のみで作成する範囲と、電子基準点成果改定量と三角点成果改定量を使用して作成する範囲に分割した。過去、同一地震によるパラメータについて、分割して提供した事例がないため、提供方法や、接合部分の処理が課題となった。

##### 4.3.1 三角点補正パラメータ作成の範囲決定

###### 1) 範囲 1

電子基準点成果改定量(試算値)から、参考として全域の補正パラメータを試作し、補正パラメータをベクトルとして図示し(図-6)、勾配が緩やかで空間パターンが単調である範囲を電子基準点成果改定量から補正パラメータ算出ができる地域と考え、市町村界(新潟県佐渡市においては旧市町村界)を境界として新潟県、群馬県、長野県、富山県(氷見市を除く)を範囲 1 とした(図-7)。

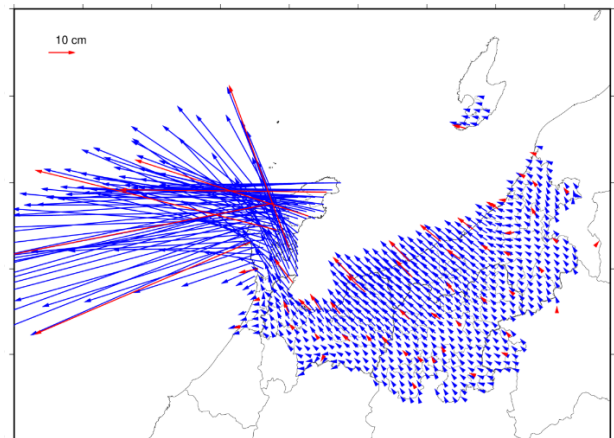


図-6 電子基準点成果改定量(試算値)を用いて作成した補正パラメータのベクトル図。改定方法検討段階における試算値を使用。最終的な成果改定量との差はほとんどない。青:パラメータベクトル,赤:電子基準点成果改定量(試算値)。

###### 2) 範囲 2

範囲 1 に含まれない成果停止地域(石川県及び富山県氷見市)を範囲 2 とした。ただし、衛星 SAR 解析画像などからこの範囲には液状化の影響がある地域、変動が大きいかつ複雑な地域が含まれることが

わかっているため、作成したパラメータが補正に利用できるかを検証し、提供範囲を決定した。

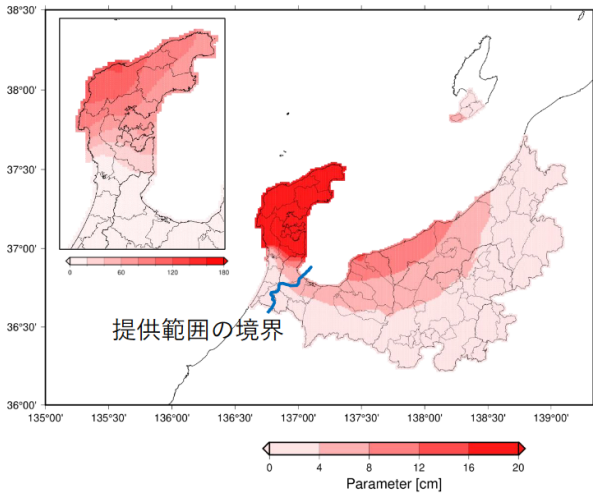


図-7 電子基準点成果改定量（試算値）を用いて作成した補正パラメータ水平成分の大きさ及び提供範囲境界。

#### 4.3.2 範囲1における補正パラメータ

##### a) 使用する電子基準点の選定

補正パラメータ作成に使用する電子基準点として、成果停止地域では、2月7日に測量成果が公表された57点のうち、緊急測量調査でピラーの傾斜等が指摘された「富来」「能登島」を除いた、55点を使用することとした。また、今回の地震で成果改定されていない電子基準点を固定とするため、測量成果の公表範囲の周囲22点を変動量0として入力データに加え、計77点によりパラメータを作成した（図-8）。

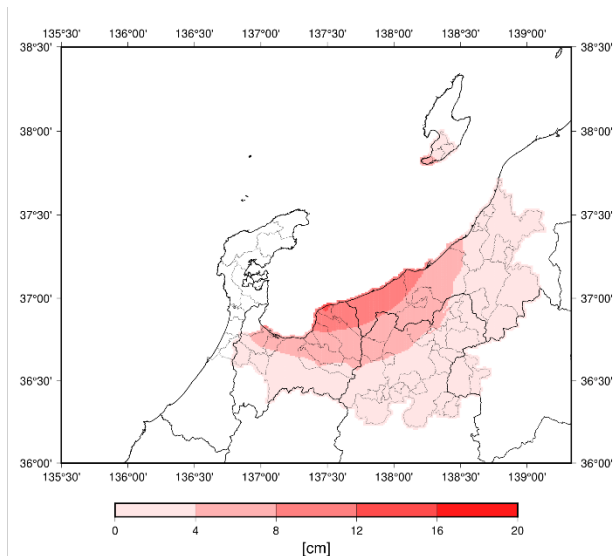


図-8 範囲1において作成した座標補正パラメータ。

なお、範囲1における電子基準点の上下方向の変動量は、 $-1.6\text{ cm} \sim 3.3\text{ cm}$  であり、「復旧測量作業実施要領」に基づく三角点の標高についての測量成果の修正基準（電子基準点から求めた平均値と成果値の較差20 cm以上）を考慮すると上下方向の補正パラメータは不要であると判断し、同範囲の標高補正パラメータは作成しないこととした。

##### b) 補正パラメータの精度評価

作成した補正パラメータについて、内部評価と外部評価を実施した。内部評価は、補正パラメータ適用エリア内に存在する、補正パラメータ作成に用いた点に対して補正量を求め、成果改定量と比較してその整合性を確認する評価方法である。先例である平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震や平成28年（2016年）熊本地震の補正パラメータ構築の際には、セミ・ダイナミック補正の内部評価基準を準用し、較差の標準偏差の許容範囲を20 mmとしており（大滝ほか，2016），今回も20 mmを精度目標とした。

内部評価の結果を表-2に示す。較差の標準偏差は0.4 mmであり非常に再現性が高く、目標精度である20 mmに収まっている。

表-2 内部評価の結果。

	緯度方向 dB	経度方向 dL
最大値 (m)	0.0014	0.0023
最小値 (m)	0.0000	0.0001
標準偏差 (m)	0.0003	0.0004

また、外部評価については、範囲1内に位置する現地緊急測量調査を実施した4点及び高度基準点測量作業を実施した2点について、改測の結果と地震前の成果値に補正パラメータを適用した結果の差を比較することで実施した。6点での外部評価の結果、改測結果と補正パラメータによる改算結果の較差は最大で19 mmであった（表-3）。

表-3 座標補正パラメータの適用エリア内における外部評価結果（平面直角座標での較差）。

三角点名 ( ) 内は等級	較差 (m)	三角点の所在地
稲葉山 (II)	0.012	富山県小矢部市
太田 (III)	0.013	富山県高岡市
荒俣 (III)	0.019	富山県黒部市
沢端 (IV)	0.003	富山県中新川郡立山町
大東 (IV)	0.011	新潟県上越市
船見公園 (IV)	0.005	新潟県上越市

以上の内部評価及び外部評価から、補正パラメータは十分な精度を持って作成されていると判断した。

c) 補正パラメータによる改算

現地緊急測量調査の結果から改測を実施した4点を除いた、範囲1内の三角点等について、作成した補正パラメータにより改算を行った。補正パラメータは水平位置に関する座標補正パラメータのみ作成されているため、この範囲では標高の改算は実施していない。改定した三角点等の測量成果について、座標補正パラメータとともに、2月15日に公表した。

4.3.3 範囲2における補正パラメータ

a) 使用する電子基準点・三角点の選定

範囲2の補正パラメータ作成に使用する電子基準点としては、範囲1と同様に「富来」「能登島」を除いた範囲2内と範囲2周辺の測量成果を改定した電子基準点19点のほか、範囲2周辺の測量成果を改定していない「鳥越」「上平」「松任」「福光」の4点を変動量0として加えた。また、先に作成した範囲1との境界部分において補正量に段差を生じさせないため、範囲1と範囲2の境界部分に位置するグリッドの範囲1の座標補正パラメータでの補正量をそのままパラメータ作成の入力値とした。

三角点については、改測による成果改定量を持つ33点のうち、周囲の電子基準点と異なる変動を示す点や衛星SAR解析画像で複雑な変動がみられる地域にある点等は、補正パラメータ構築の入力値から除外することを検討した。

衛星SARの干渉解析画像で複雑な変動がみられる地域に位置する三角点「八幡」「貝田」の2点(図-9)は、地盤沈下等の局所的変動が想定されるため、水平・上下方向の入力データから除外した。

「第二上大田」は周囲の電子基準点よりも大きな変動量が見られ、三角点固有の問題がある可能性から、水平・上下方向の入力データから除外した。

「太田」については、周囲の電子基準点より大きな沈降が見られ、三角点固有の問題がある可能性から上下方向の入力データから除外した。

「五十洲」「黒島」の2点については、変動量が極端に大きいため、上下方向の入力データから除外した。

「南時国」「若山中」「日置小中」の3点については、入力データを含めて標高補正パラメータを作成した場合に、能登町の南東部沿岸の地域において、断層モデルから計算される変位量や衛星SAR三次元解析結果から作成された標高補正パラメータ(高木ほか, 2024)と比較して過剰な変動補正量が生じることが分かったため(図-10)、上下方向の入力データから除外した。これらの点は能登半島北部の、

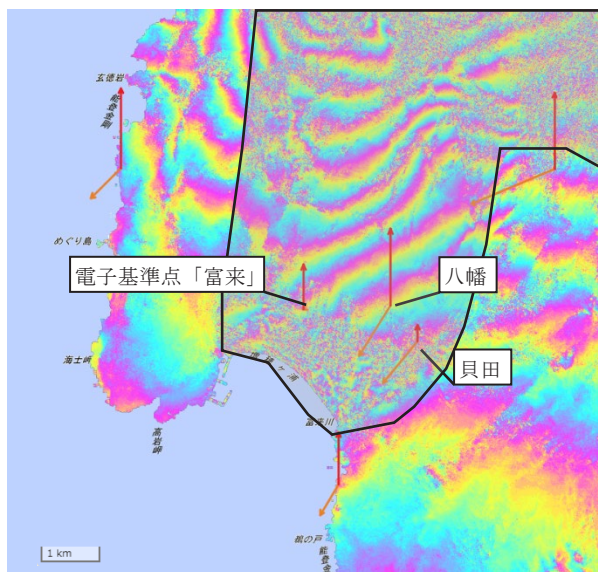


図-9 衛星SAR解析画像で複雑な変動がみられる地域の事例(黒線範囲内)。矢印は電子基準点、三角点における成果改定量を示す。

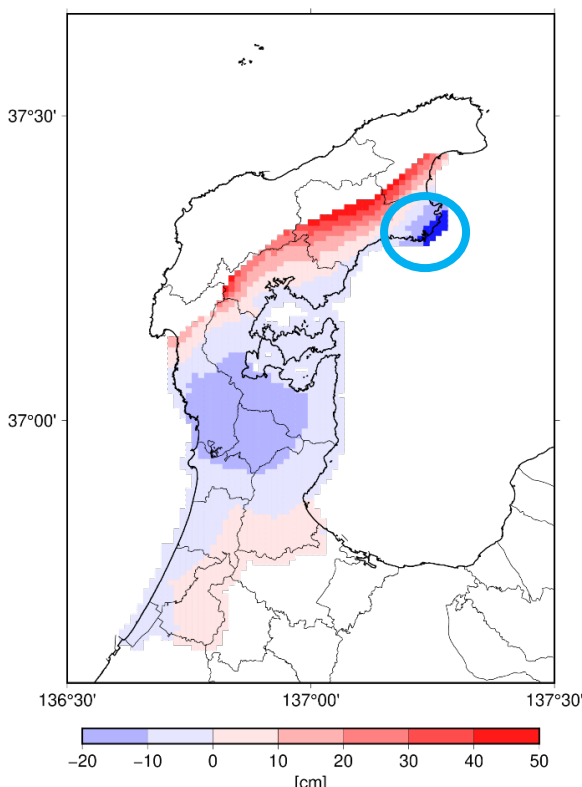


図-10 過剰な変動補正が生じた標高補正パラメータの例。「南時国」「若山中」「日置小中」の3点を入力値として使用した場合に、水色の円で囲んだ地域に過剰な変動が見られる。

特に上下方向の変動量及び変動勾配の大きい地域に存在している。仮にこれらの点を含めて計算した場合に、三角点配置及び密度の関係からクリギング法による補間計算での当該点の比重が高くなり、過剰

な補正量となるものと推測される。

以上の検討の結果、座標補正パラメータ作成では 30 点、標高補正パラメータ作成では上下方向では 24 点の三角点のデータを入力値とした。

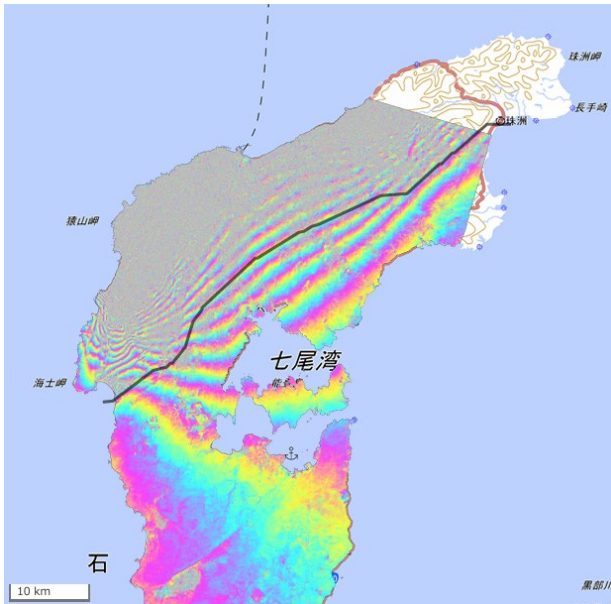


図-11 能登半島地震前後の衛星 SAR 解析画像と補正パラメータ適用エリアの北側境界部 (図内黒線)。解析画像は、令和 5 年 6 月 6 日 (地震前) と令和 6 年 1 月 2 日 (地震後) のデータに基づく。

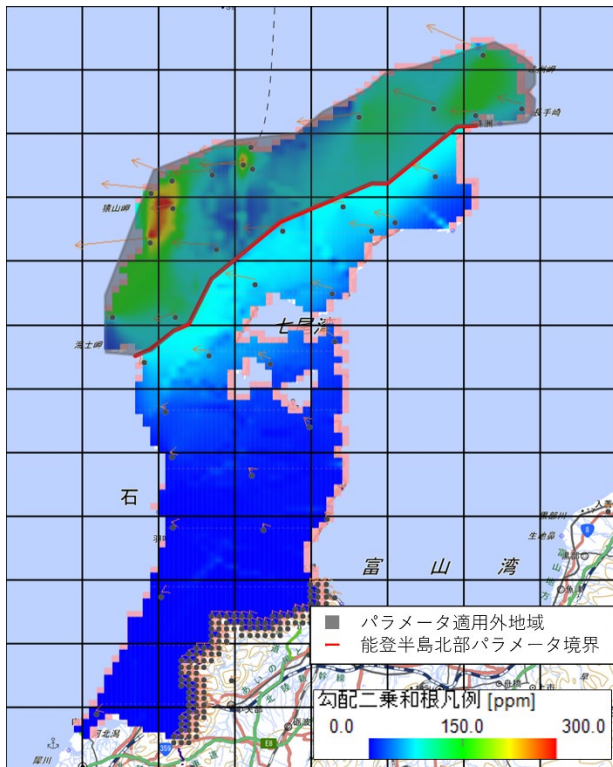


図-12 座標補正パラメータの勾配二乗和平方根と補正パラメータ適用エリアの北側境界部 (図内赤線)。

#### b) 衛星 SAR 解析結果を用いた適用エリアの選定

衛星 SAR 解析画像からは、輪島市を中心とした能登半島北側の地域や羽咋郡志賀町富来周辺で非干渉域が見られた。これらの地域では大規模な地殻変動や液状化等による局所的な変動が見られることから、補正パラメータを適切に構築することが難しいと考えられるため、これら地域を補正パラメータ適用エリアから除外する方針とした (図-11)。

また、パラメータの適用エリアの北側の境界の決定にあたっては、作成した座標補正パラメータの勾配二乗和平方根を確認し、正確な補正計算を実施できる目安であるおおよそ 100 ppm 以内となるよう適用エリアを決定した (図-12)。

#### c) 補正パラメータの精度評価

範囲 1 について 4.3.2 b) で実施したように、範囲 2 についても内部評価を実施した。目標精度については、範囲 1 と同じく較差の標準偏差の許容範囲を 20 mm とした。

座標補正パラメータ適用エリア内にある 20 点についての内部評価の結果を表-4 に示す。較差の標準偏差は、緯度方向 4 mm、経度方向 4 mm となり、目標精度である 20 mm 以内に収まっている。標高補正パラメータ適用エリア内にある 20 点についての内部評価結果を表-5 に示す。較差の標準偏差は 3 mm であり目標精度である 20 mm に収まっている。

以上の内部評価から、補正パラメータは適切に作成されていると判断した。作成した補正パラメータを図-13 に示す。

表-4 座標補正パラメータの内部評価結果。

	緯度方向 dB	経度方向 dL
最大値 (m)	0.015	0.016
最小値 (m)	0.000	0.000
標準偏差 (m)	0.004	0.004

表-5 標高補正パラメータの内部評価結果。

	dH
最大値 (m)	0.012
最小値 (m)	0.000
標準偏差 (m)	0.003

#### d) 補正パラメータによる改算

作成した補正パラメータ (図-13) を用いて、改測及び高度地域基準点測量を実施していない 518 点の三角点の測量成果の改算を実施した。改算に伴う新・旧成果の差について、水平方向の最大値は、三等三角点「七海」(石川県鳳珠郡穴水町) で約 1.14 m、上下方向の最大値は、それぞれ三等三角点「宮地」(石

川県鳳珠郡能登町)で 0.35 m, 三等三角点「黒氏」(石川県鹿島郡中能登町)で-0.17 mであった。

なお、能登半島北方沖の舳倉島に位置する一等三角点「舳倉島」については、補正パラメータの作成及び補正パラメータの適用による改算が困難であることから、当該三角点から約 120 m の距離の地点に設置されている電子基準点「舳倉島」と同じ変動量であるとみなし、電子基準点「舳倉島」の成果改定量を用いて改算を実施した。

改定した三角点の測量成果について、座標補正パラメータ、標高補正パラメータとともに、7月10日に公表した。

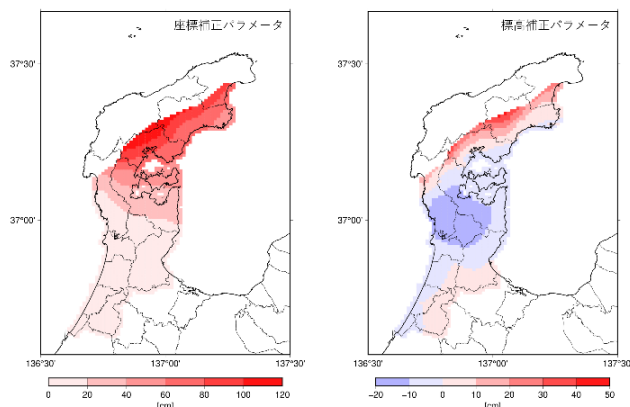


図-13 範囲2において作成した座標補正パラメータ(左)及び標高補正パラメータ(右)。

#### 4.4 三角点改測作業の追加及び補正パラメータ

先に実施した 30 点の三角点改測結果から能登半島の南部地域については補正パラメータを作成することができた。しかし、北部地域については補正パラメータ作成のためのデータが不足していると考えられること、南部地域でも液状化等の影響が想定される地域等での三角点成果の点検、パラメータの検証が必要であることから、追加で 100 点の三角点の改測作業を実施することとした。9 月頃より順次測量が開始され、12 月中に成果が得られる見込みである。これらの成果を基に、7 月時点で補正パラメータが作成していない地域について、補正パラメータの作成を検討する予定である。

### 5. 水準点の測量成果の改定

#### 5.1 水準点改測の概要

##### 5.1.1 改測路線の概要

改測を実施した水準測量路線を図-14 に示す。測量路線には範囲内で水準取付が可能な電子基準点 15 点を含む。水準点の測量成果公表の停止の範囲は、能登半島の環となる一等水準路線及び二等水準路線であるが、変動傾向を確認するため、路線を延長し、

東側は電子基準点「入善」、西側は「松任」までの測量とした。また、本来は能登半島北岸に位置する二等水準点も測量を実施すべきところであるが、地震による被害のため、計画時点では観測が不可能と判断し、測量を実施していない。なお、測量業務の発注が 2 時期に分かれたため、遅れて開始した作業地区については、先行した地区の成果計算とは別に成果とりまとめを行うこととした。

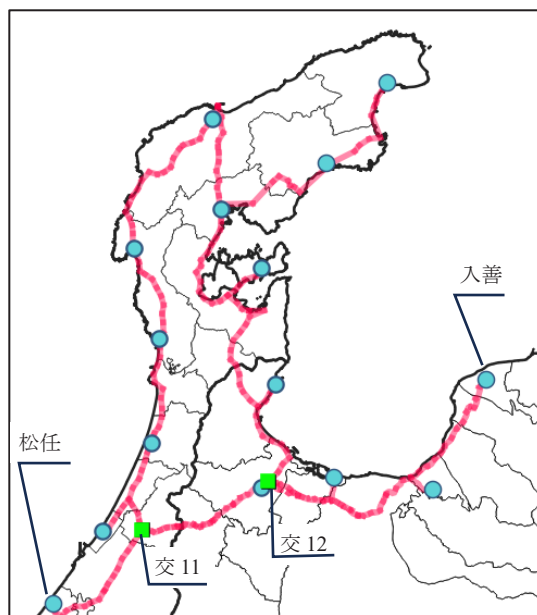


図-14 水準測量路線。水色円：水準取付を行う電子基準点、黄緑：既知点とする交点。

##### 5.1.2 観測作業及び観測結果

水準測量は、三角点の改測と同様に(一社)全国測量設計業協会連合会と締結している災害協定に基づく緊急測量(前半4地区、後半2地区)として実施した。

観測結果は水準測量作業規程に則り環閉合による点検を行い、精度を確認した。一等水準路線における許容範囲は $\pm 2.0 \sqrt{S}$  mm (S: 観測距離 km) であり、今回の場合は、環の総距離が 258 km であったことから、環閉合の許容範囲は $\pm 32.1$  mm となる。これに対して、観測の閉合差 5.9 mm であり、十分に許容範囲に収まるデータが得られた。また、網平均における既知点とする交点については、前回観測比高との比較により、局所的な変動が起きていないことを確認した。

#### 5.2 水準測量成果改定

##### 5.2.1 測量成果改定の方針

水準点の成果改定は、基本的に改測によるものとし、復旧測量作業実施要領の第3条4項(2)水準点②に基づき実施した。

### 第3条4(2)水準点

- ② 変動図を作成し、地域的な成果不整合の状況を把握した場合には、①に示す基準に関わらず路線毎又は地域毎に成果の修正を行うことができる。ただし、計算の既知点として使用する水準点は、原則として以下の条件を満たすものとする。
- ・ 過去の変動を考慮し、可能な限り変動が少ない水準点を選定する。
  - ・ 一等水準点においては、既知点間の結合差が  $6\sqrt{S}$  mm 以内 (S: 点間距離 km 単位)。

路線形状から、最も適切と考えられる交 11 と交 12 の 2 点を既知点とする網平均計算の実施を検討した。しかし、今回の観測による交 11 と交 12 の間の比高と地震前の成果値による比高との較差は 66.2 mm となり、最短距離を用いて計算した場合、既知点間の結合差の許容範囲である  $6\sqrt{S}$  mm を超過することが分かった。そのため、交 11、交 12 より環の外側に延長した路線を用いて交点を含めた成果改定も検討事項となるが、閉合差等から現況に十分整合した観測データが得られていると判断されること、交点間の較差には能登半島地震以外での変化も含まれていると考えられること、交点の改測のためにはより遠方までの水準測量が必要となることから、交点の測量成果改定は実施せず、交 11 と交 12 を既知点とした網平均により測量成果を改定することとした。

#### 5.2.2 水準点の改測結果と成果公表

成果改定の方針のとおり、交 11 と交 12 の 2 点を既知点とした水準網平均を実施し、一等水準点 126 点、電子基準点 (二等水準点) 7 点の成果を 6 月 27 日に公表した。この改測作業において最大の成果改定量は、一等水準点 9 2 6 3 における +3.2862 m であった (図-15)。

なお、穴水町から珠洲市にかけての二等水準路線については、後発作業で実施されているため、水準観測完了後に別途計算し公表する予定である (令和 6 年 9 月時点)。

### 6. セミ・ダイナミック補正計算に用いる地殻変動補正パラメータへの影響

測量作業で行うセミ・ダイナミック補正計算で使用する地殻変動補正パラメータについては、基本的に年度毎に適用するパラメータを作成している。その際、通常は 1 月 1 日を今期 (基準日) として電子基準点の位置座標を推定し、測量成果である元期位置座標との差を入力データとしてパラメータを作成する (檜山ほか, 2010)。そして、そのパラメータを同年 4 月 1 日から翌年 3 月 31 日までの間の測量に

おけるセミ・ダイナミック補正で利用する。しかし本年は能登半島地震が、基準日である 1 月 1 日に発生したため、対応を検討した。

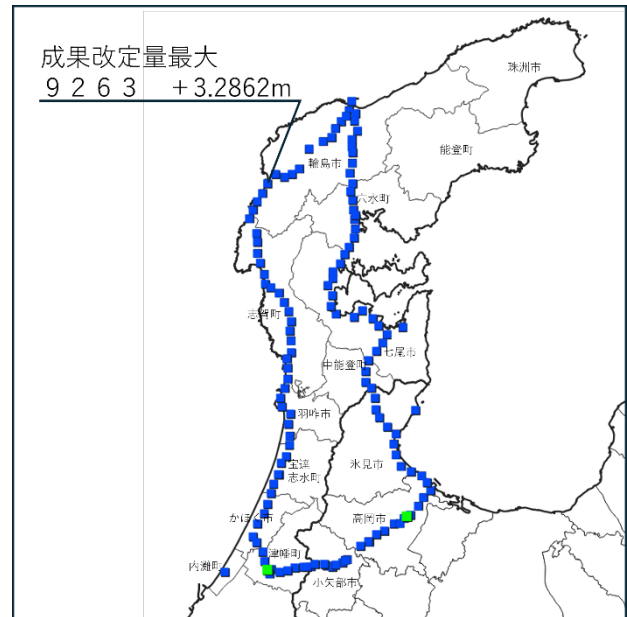


図-15 青: 地震後成果公表 (6/27) した水準点 (133 点), 黄緑: 既知点とした水準点 (交点 2 点)。

#### 6.1 地震と地殻変動補正パラメータの関係

電子基準点の測量成果の改定が必要な地震が発生した場合でも、電子基準点日々の座標値で捉えられた地殻変動量と電子基準点成果改定量はおおよそ一致すると考えられる。そのため、セミ・ダイナミック補正を行う際には、通常、地震後も引き続き同一の地殻変動補正パラメータを使用することが可能である (図-16)。

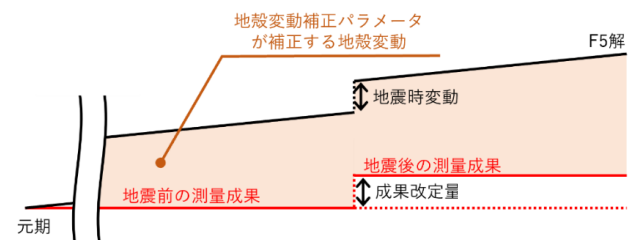


図-16 地殻変動補正量、地震時地殻変動及び地震発生時の成果改定量の関係: 地震時変動量と成果改定量がおおよそ一致している場合は、地殻変動補正パラメータで補正すべき量は変わらない。

しかし、能登半島地震では、電子基準点の地殻変動量と測量成果改定量に、北西方向に一律の 3 cm 程度の差があることが確認された (図-17)。

これは、成果の改定領域の北側に既知点とする電子基準点が存在していないこと、また、測量成果の

計算で既知点に使用した電子基準点において、実際にはわずかながら地殻変動が生じていることなどが影響し、バイアスが生じたと考えられる。このため、地震後の測量で利用するための地殻変動補正パラメータとしては、地震後のある時点を基準日として今期座標を推定し、地震後に改定された測量成果との差により作成すべきと判断した。

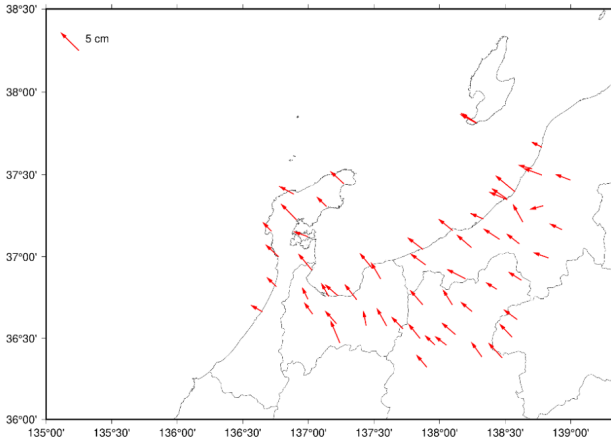


図-17 電子基準点成果改定量と電子基準点日々の座標値（最終解（F5））による地殻変動量の差（水平）。

## 6.2 令和6年度地殻変動補正パラメータの作成

能登半島地震の発生日が地殻変動補正パラメータの基準日であり、令和6年度パラメータの公開前であったこと、また、先に述べた影響を考慮し、令和6年度に利用する地殻変動補正パラメータは、令和6年2月1日を基準日として作成することとした。パラメータ作成には、基準日における電子基準点の推定位置座標と地震後に改定された電子基準点の測量成果を用いた。

結果として、より地震後の測量成果に適合する地

殻変動補正パラメータが作成されるとともに、利用者へ提供を開始する時期（3月末）は変更せず、測量作業に利用できる状況となった。

## 7. まとめ

能登半島地震による地殻変動の影響を受けた電子基準点、三角点、水準点の測量成果について、復旧測量を実施し改定するとともに補正パラメータを作成し公表した。

電子基準点については、被災地における早期の災害復旧・復興等事業を支援するため、いくつかの段階に分けて測量成果の改定を行った。

三角点については、改定した測量成果をできるだけ早く提供するという観点から、測量成果の公表を停止した地域を変動の大きさ等に基づいて2地域に分けて、2段階で測量成果の改定と、補正パラメータの作成・提供を行った。また、地震時の変動と成果改定量の差が、セミ・ダイナミック補正のための地殻変動補正パラメータに影響を与えると判断し、令和6年度の地殻変動補正パラメータの作成において、基準日を変更する対応をとった。これらにより、公共測量等で利用できる正確な位置の基準を提供した。

三角点の測量成果改算のための補正パラメータ作成では、これまでどおり、改測した電子基準点や三角点の測量成果の改定量を基に作成したが、作成にあたっては、衛星 SAR 解析結果や断層モデルから計算される変位量から作成される補正パラメータが参考になることが分かった。

これらの対応は今後の地震発生時の基準点測量成果の適切な管理のため、参考になるものである。

（公開日：令和6年12月27日）

## 参考文献

- 檜山洋平，森下遊，山尾裕美，湯通堂亨，越智久巳一，岩田昭雄（2010）：セミ・ダイナミック補正の導入について，国土地理院時報，120，55-61。
- 檜山洋平，山際敦史，川原敏雄，岩田昭雄，福崎順洋，東海林靖，佐藤雄大，湯通堂亨，佐々木利行，重松宏美，山尾裕美，犬飼孝明，大滝三夫，小門研亮，栗原忍，木村勲，堤隆司，矢萩智裕，古屋有希子，影山勇雄，川元智司，山口和典，辻宏道，松村正一（2011）：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震に伴う基準点測量成果の改定，国土地理院時報，122，55-78。
- 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
- 大滝修，井上武久，植田勲，山下達也，山口和典，白井宏樹，鈴木啓，三木原香乃（2016）：熊本地震に伴う基準点成果の改定，国土地理院時報，128，177-187. doi: 10.57499/JOURNAL\_128\_29
- 高木悠，石本正芳，小林知勝，宗包浩志（2024）：衛星 SAR 解析結果を用いた座標・標高補正パラメータ作成の試み，国土地理院時報，138，75-81. doi: 10.57499/JOURNAL\_138\_11

植田勲, 畔柳将人, 小川拓真, 服部晃久, 岡村盛司, 田上節雄, 橋本哲志, 宮本純一, 神宮章克 (2024) : 令和6年能登半島地震における緊急測量調査, 国土地理院時報, 138, 57-62. doi: 10.57499/JOURNAL\_138\_09