

平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震に伴う基準点成果の改定について The Revision of Geodetic Coordinates of Control Points Associated with the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007

測地部 岩田昭雄・成田次範・田上節雄

Geodetic Department Masao IWATA, Tsunonori NARITA and Setsuo TANOUE

要 旨

2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分頃、新潟県中越沖を震源とするマグニチュード 6.8、最大震度 6 強を観測した「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」（以下、「中越沖地震」という。）が発生した。

測地部では、地震活動で大きな地殻変動が認められた地域において、公共測量等に正確な位置の基準を与えるため、三角点及び水準点の緊急測量調査を実施するとともに、緊急測量調査の結果を踏まえ、さらに範囲を拡大し、高度地域基準点測量及び高精度三次元測量を実施した。これらの測量結果に基づき、地殻変動が認められた地域の三角点 406 点及び水準点 39 点の測量成果の改定を、2008 年 7 月 1 日までに完了した。今回の成果改定では、想定される変動量により、地域毎に幾つかの異なる対応によって効率的に改定事業を進めた。

本稿では、地域毎の施策と求められた改定成果に加え、公共測量での負担軽減を目的に、地震に伴う地殻変動による位置の変化を補正するために構築した補正パラメータの概要について報告する。

1. はじめに

新潟県柏崎市西山，刈羽村割町新田，長岡市小国町及び長野県飯綱町芋川で震度 6 強を観測した中越沖地震では、広範囲で地殻変動が発生し、局所的には複雑な変動パターンが見られ、震源断層直近では大きな歪みが推定された。電子基準点の観測データの解析により、柏崎市の海岸地域の「柏崎 1」が北西方向へ約 17cm 移動し、「柏崎 2」が約 7cm 沈降したことが検出された。さらに電子基準点の観測データの解析結果等から求められた震源断層モデルによると、平均的な水平歪み量が 2 ppm（10km で 2cm）を超えると推定される陸域は 1,200km²を超える範囲に及んだ。

測地部は、被災地の詳細な地殻変動を把握するため、7 月 18 日より機動観測課を中心に職員 6 名を派遣し、緊急の高精度三次元測量（水準測量）の観測を行った。また、震源断層モデル及び干渉 SAR 解析結果などを基に、地殻変動の大きな地域の電子基準点 6 点及び三角点 324 点の測量成果の公表を、7 月 20 日に停止した。成果公表を停止した三角点については、早急に改測等の復旧測量を実施するため、7 月 25 日より緊急測量調査を開始した。これらの三角

点の改定成果は、高度地域基準点測量による改測、三角点改測、三角点改測結果と平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震（以下、「中越地震」という。）に伴い実施された改測データを用いた改算及び補正パラメータによる改算により対応した。水準点については、さらに広域な高精度三次元測量を行い、これらの作業が完了したものより順次改定成果を公表していくこととした。また、補正パラメータについては、国及び地方公共団体等の所有する公共測量成果を補正するため、提供可能な範囲においては、水平及び標高パラメータとも国土地理院のウェブサイト公表することとした。

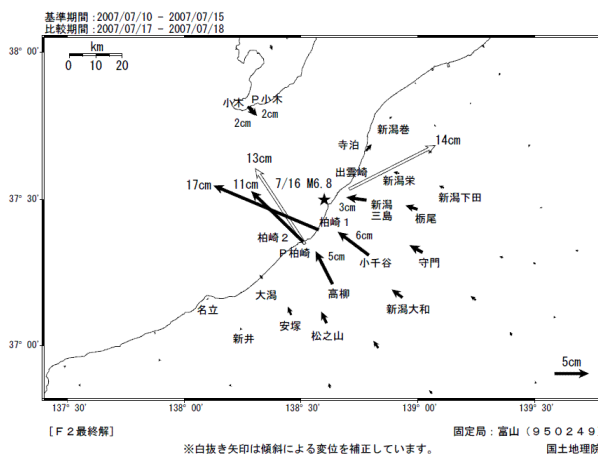


図 - 1 電子基準点水平変動ベクトル図

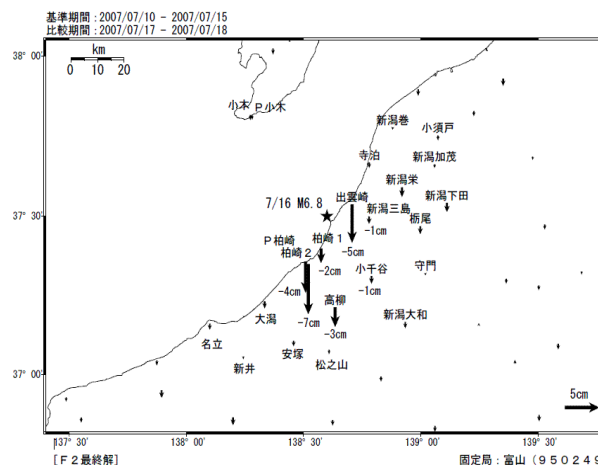


図 - 2 電子基準点上下変動ベクトル図

2. 基準点成果の公表停止

測地基準課は、震源断層モデルに基づき水平歪み図を作成し、平均的な水平歪み量が2 ppm を超えると推定される地域の三角点 324 点について、7月20日に成果の公表を停止するとともに、記者発表及びウェブサイトにより周知を図った。水準点については、緊急の高精度三次元測定の観測結果を待って対応することとし、ウェブサイトで公表停止地域及び周辺地域で測量を行う場合は注意するよう呼びかけた。さらに成果公表停止に伴う対応先を明確にするため、問い合わせ先を明記し対応にあたった。



図 - 3 成果公表停止地域

成果公表停止地域の範囲は、都市再生街区基本調査を実施した柏崎市全域を中心に、中越地震に伴い三角点改測作業が実施されたエリア（図 - 4 参照。測量網で示された部分）を含む形となった。このことは、都市再生街区基本調査の街区基準点成果や平成16年時の改測作業の成果を使用して実施している公共測量にも影響を与える。また、停止エリアに接合する停止エリア外の部分では、水平歪み量が2 ppm 以下と想定できるため、歪み量は微少であると考えられた。これらの状況を勘案し、平成16年時に実施した三角点改測作業の観測データを活用した改算による成果改定も視野に入れ、基準点成果の改定計画を検討した。

表 - 1 成果公表停止基準点数

市町村名	電子基準点	三角点				三角点計	合計
		一等	二等	三等	四等		
柏崎市	3	0	7	42	54	103	106
出雲崎町	1	0	1	4	14	19	20
刈羽村	0	0	0	5	11	16	16
長岡市	1	1	3	27	56	87	88
小千谷市	1	0	2	10	31	43	44
上越市	0	1	2	10	20	33	33
十日町市	0	0	1	8	14	23	23
合計	6	2	16	106	200	324	330



図 - 4 緊急測量調査作業地域図

3. 三角点緊急測量調査

測地基準課では、成果の公表を停止した地域において、地震に伴う詳細な地殻変動の把握及び災害復旧・復興に資するため、三角点の緊急測量調査を実施した。調査作業は、実施中の豊予海峡・来島海峡地区 GPS 渡海水準測量選点作業を急遽変更して対応した。7月25日に作業員2名(職員1名,測手1名)が広島県福山市から新潟県長岡市に移動するとともに、安全管理員がつくば市から長岡市に旅行し合流する体制とした。

被災地における、1班での8日間という短期間の作業のため、計画段階での80点の調査対象点を全て調査することは困難であった。このため、調査効率を勘案し、北端及び南端に位置する出雲崎町及び上

越市の三角点を優先して調査した。調査未了地域の三角点については、その後実施する三角点改測作業中に順次調査を行いながら観測を進めることとした。8 月 1 日までの期間に被災地の 43 点の三角点調査を実施した。調査地域において、何箇所かで崩積土による通行規制等があったものの、短期間で 43 点の三角点の調査が実施できたのは、調査地域が比較的平坦地であり、徒歩時間が短かったためスムーズに作業が進んだと考えられる。

4．三角点改測作業

直営による三角点改測作業は、8 月 21 日から 9 月 27 日までの日程で、安全管理員 3 名（課長・課長補佐 3 名によるローテーション）、作業員 8 名（職員 4 名、測手 4 名）の編成で作業車 3 台を使用し実施した。職員 4 名ともに複数回の緊急測量経験があり、如何に効率よく成果提供を行うか、どのような配点密度で改測を行えばパラメータ算出に有効かなどのノウハウがあり、改測作業は順調に進んだ。また、数名の職員は中越地震の際の改測作業にも従事していたため、重複する三角点の状況等も把握しており、その情報は観測方法の決定に対して有効に生かされた。観測は、緊急測量調査結果による 43 点と観測作業中に並行して調査を行った 65 点（内 2 点は街区基準点）の合計 108 点を実施した。



図 - 5 三角点改測作業状況写真

特に平成 16 年時の改測作業地域の改算も視野に入れた観測では、固定点とする三角点の観測に労力を費やした。従前の震災に伴う三角点改測作業では、地殻変動が認められた地域における復旧・復興事業を最優先とし、使用頻度が高く短期間に観測が可能な基準点を優先して選定していた。しかしながら、改算を考慮すると網の端の三角点及び固定点の配点密度を考慮して基準点を決定しなければならず、1 時間程度の徒歩時間を要する三角点においても観測

を実施した。



図 - 6 平成 16 年度(左)と平成 19 年度(右)の同一三角点の観測状況の変化

直営による三角点改測作業では、地震前の実用成果との比較で、最大値として水平成分で 16.9cm、上下成分でマイナス 28cm の変動結果が得られた。

外注作業においては、北陸地方測量部発注により、国土調査経費を用いて緊急基準点改測作業として実施した。期間・作業量・作業内容は以下のとおりである。

新潟県中越沖地震に伴う緊急基準点改測

【柏崎地区】

作業量：改測 35 点

作業期間 H19.8.24～H19.11.22

観測期間 H19.9.25～H19.10.5

三角点の効用保全を目的に、四等三角点 2 点の傾斜改埋及び四等三角点 1 点の低下改埋を実施。

【柏崎北部地区】

作業量：改測 38 点

作業期間 H19.8.24～H19.12.5

観測期間 H19.10.9～H19.10.25

三角点の効用保全を目的に、四等三角点 4 点の傾斜改埋を実施。四等三角点 1 点亡失のため、後日、該当点を廃点。

5．高度地域基準点測量

地震に伴う詳細な変動をさらに広域で捉えるため、当該地域において高度地域基準点測量を外注作業により実施した。中越地区として、長岡市、柏崎市、小千谷市、十日町市、上越市に位置する、一等三角点 4 点、二等三角点 12 点、三等三角点 4 点の計 20 点の作業量とした。このうち柏崎市の山林に位置する二等三角点「椎谷」は、三角点の直近に地震に伴う亀裂が生じていたため、崩落等の危険性を考慮し、ふもとの公園内に移転した。また、平均図に組み込まれた電子基準点 11 点のうち、アンテナ架台基礎上面が地中形式となっている 02 番台の 2 点を除き、架台の傾斜測定を合わせて行っている。作業は当初計画どおり、8 月 15 日から 11 月 29 日までに実施された。

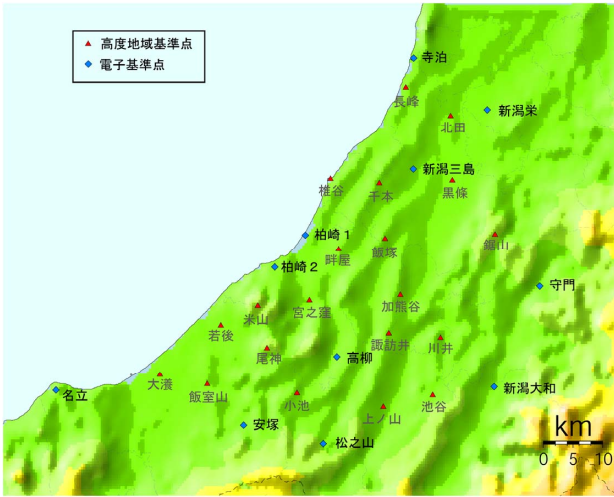


図 - 7 高度地域基準点測量作業地域図

計算結果の変動量等を考慮し、成果公表停止地域内に位置する10点(「椎谷」含む)については改測点として、高度地域基準点測量結果を用いて成果を改定した。

表 - 2 高度地域基準点における成果改定点一覧

等級種類	冠字番号	名称	復旧区分
二等三角点	黄(4)	椎谷	移 転
一等三角点	呂(1)	千本	改 測
二等三角点	張(5)	飯塚	改 測
二等三角点	張(7)	畔屋	改 測
二等三角点	張(2)	加熊谷	改 測
二等三角点	張(9)	宮之窪	改 測
一等三角点	館(13)	米山	改 測
二等三角点	張(12)	若後	改 測
二等三角点	張(18)	諏訪井	改 測
二等三角点	張(13)	尾神	改 測

6. 平成16年(2004年)新潟県中越地震に伴う三角点改測データを用いた改算

成果公表停止範囲には、中越地震に伴い三角点改測作業が実施された地域が含まれていた。該当地域は、長岡地区(国改186部)、小千谷地区(国改189部)の一部であったが、両地区は中越沖地震の震源断層からある程度離れており、その変動には歪みは少ないと判断できる。このため、該当する三角点の外周に位置する数点については三角点改測作業で改測するものの、その他の三角点については、中越地震に伴う三角点改測のデータを用いて、改測した三角点を固定点として改算により改定成果を求めることとした。両地区の改算平均図を図-8, 9に示す。この改算平均図に基づき、三次元網平均プログラムGSI3DME_G2N(Ver1.4)を用いて、長岡地区においては16点、小千谷地区においては46点の計62点の三角

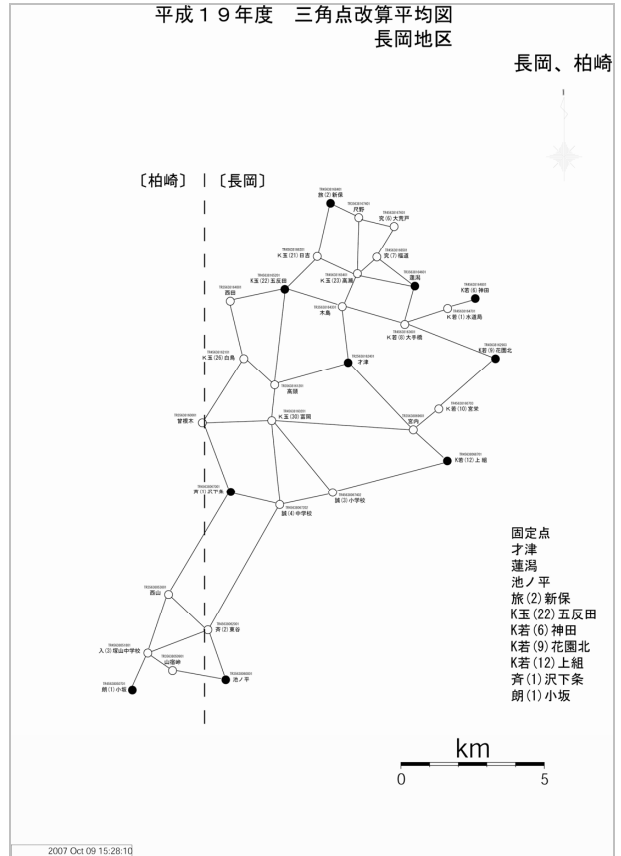


図 - 8 長岡地区三角点改算平均図

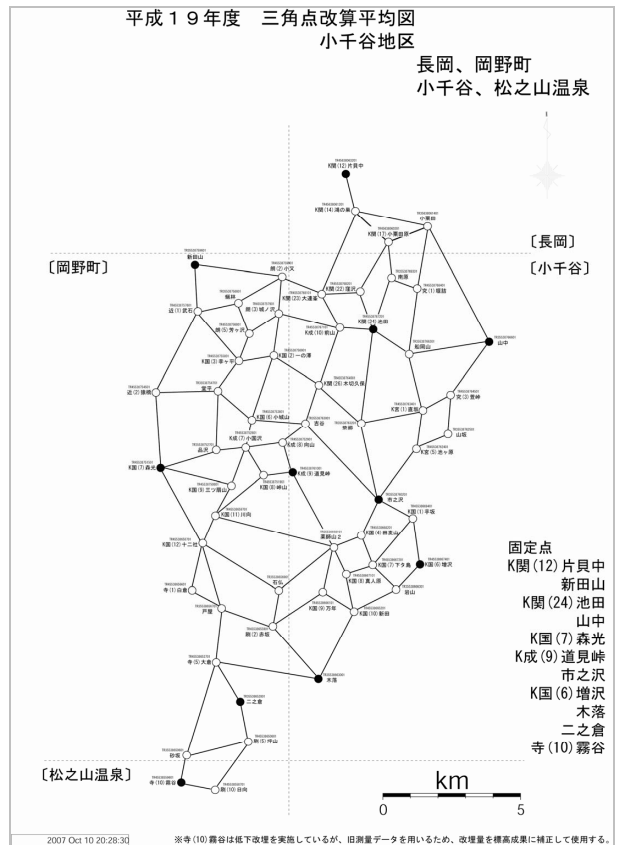


図 - 9 小千谷地区三角点改算平均図

点の改定成果を算出した。

両地区の三次元網平均における基線ベクトルの 3 次元 XYZ 成分の最大残差は、長岡地区では 42mm，小千谷地区では 29mm であった。実用上，特段支障のない改算成果が算出できたと判断できる。

7. 高精度三次元測量

7.1 概要

地震に伴う地殻上下変動を把握するとともに，地震による災害復旧・復興事業に必要な測量に正確な高さの基準を与えるために，8 月中旬から高精度三次元測量（柏崎地区：上越市から柏崎市，出雲崎町から燕市及び，刈羽村から長岡市を經由して小千谷市に至る水準路線）を外注作業により実施した。あわせて隣接する電子基準点付属標 4 点（小千谷，柏崎 2，大潟，寺泊）及び直江津港検潮場への取付観測を実施した。

当初作業は機動観測課を中心に緊急に行われた高精度三次元測量の実施路線（以下，「緊急測量路線」という。）を除く 99km の観測量として開始した。水準点自体には，地震に伴う故障点は存在しなかったものの，緊急測量路線との検測において，余効変動と考えられる較差が生じたため，震源断層付近においては，緊急測量路線と重複して観測を行うよう観測を 26 km（電子基準点「出雲崎」及び「柏崎 1」付属標取付観測及び柏崎験潮場取付観測含む）追加し，125 km に観測量を変更して実施した。これに伴い，作業期間も当初計画の 8 月 15 日～12 月 6 日までを 8 月 15 日～12 月 18 日までに変更した。高精度三次元測量柏崎地区実施路線図を図 - 10 に示す。

7.2 水準点成果の改定

高精度三次元測量の観測結果による変動図を図 - 11 に示す。

水準点成果の改定は，実用成果（2000 年度平均成果）からの変動量が，隣接点の変動量に比べて，15 mm を超える水準点について実施した。

この結果 39 点（一等水準点 34 点，二等水準点¹ 5 点）の水準点の成果を改定した。

なお，機動観測課を中心に実施した緊急測量路線内の水準点成果改定については，高精度三次元測量作業柏崎地区における成果改定と同時に実施した。

¹ 二等水準点は電子基準点付属標と兼用している点である。なお，電子基準点「寺泊」の二等水準点は制限内のため改測点から除外した。

平成 19 年度 精密測地網高精度三次元測量 柏崎地区

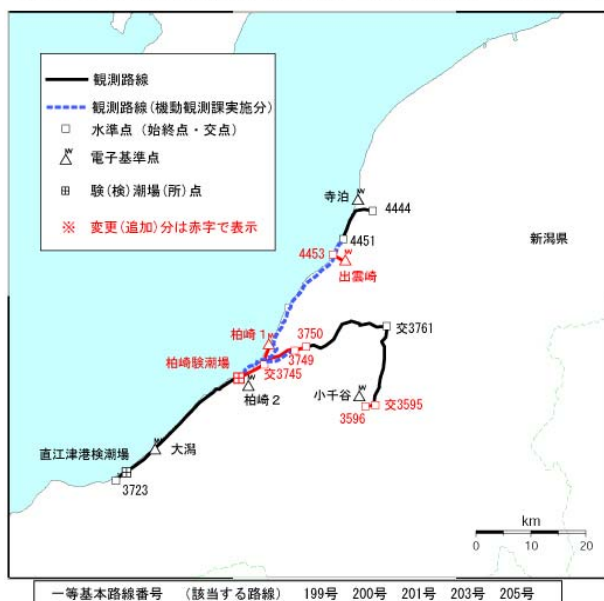
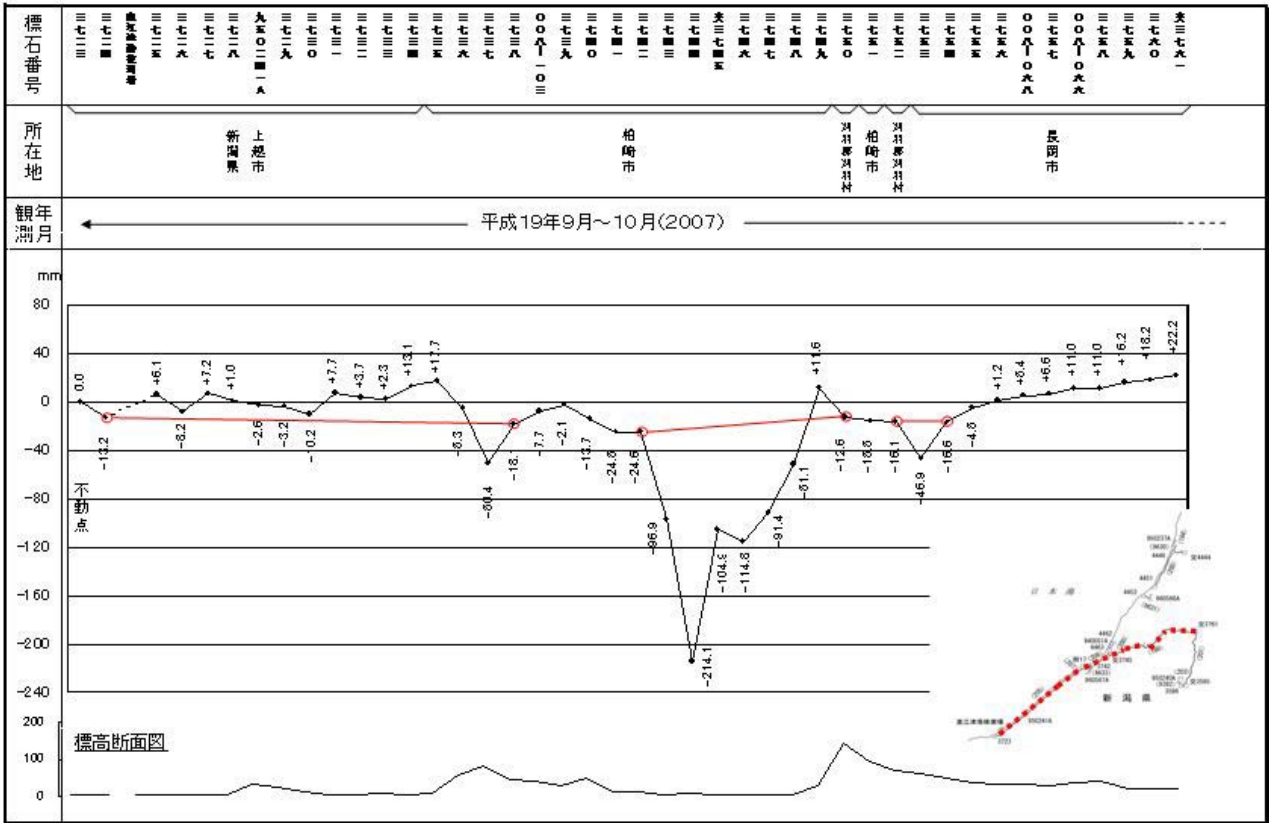


図 - 10 高精度三次元測量観測路線図

水準測量 (高精度三次元測量) 柏崎地区 変動図

自) 新潟県上越市 至) 新潟県長岡市



自) 新潟県長岡市 至) 新潟県燕市

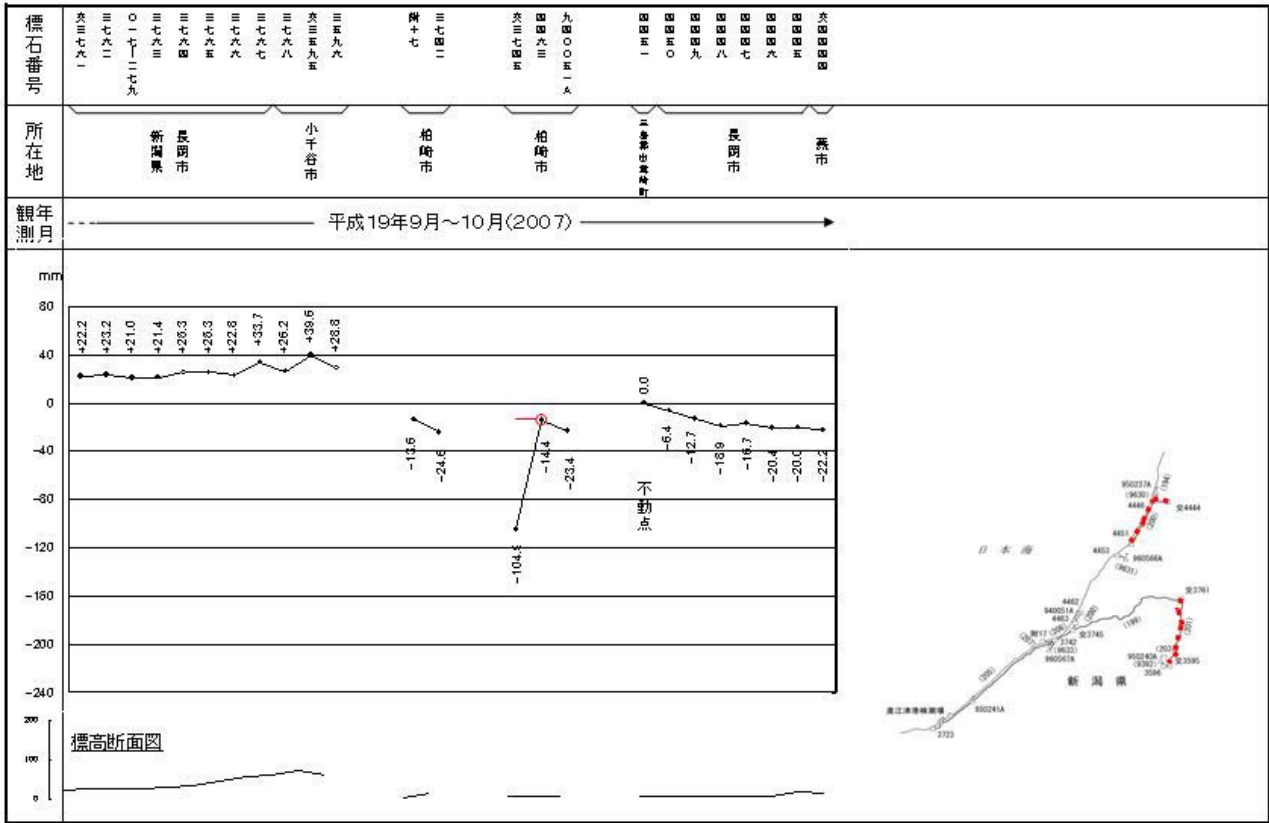


図 - 11 高精度三次元測量柏崎地区変動図

8．補正パラメータの構築と適用

8．1 補正パラメータの構築

成果公表停止範囲の 225 点の三角点については、改測及び改算により改定成果を公表したものの、残りの 99 点については、改定成果が求められていない状況であった。改定成果が求められていない三角点は、改測点及び改算点に挟まれるよう帯状に存在していたため、改測、改算三角点の成果改定量を変動データとして、補正パラメータ方式により改定成果を求めることとした。三角点改測 175 点（成果停止範囲外の 19 点を含む）、改算 62 点（成果停止範囲外の 3 点を含む）及び高度地域基準点全 20 点の計 257 点の変動データより、周辺改定量と明らかに様相の異なる変動データは除外し、補正パラメータを構築した。除外した変動データは、水平座標補正パラメータでは 24 点分、標高補正パラメータでは 15 点分となる。これらの点の中には、地滑り等の地震に伴う地殻変動以外の影響が含まれている恐れのある三角点が存在する。Transform3.4 を用いて、グリッドデータ化は Kriging 法により各 3 次メッシュコード南西角グリッド上の変動量推定を行い、PatchJGD 及び PatchJGD（標高版）用の補正パラメータを作成した。作成した各補正パラメータの精度は、内部評価方式で確認した。水平座標補正パラメータの内部評価の距離成分における標準偏差は ± 9 mm、標高補正パラメータの内部評価の標準偏差は ± 16mm となっ

た。実用上問題のない補正パラメータが構築できたと判断し、この補正パラメータを使用して成果未改定三角点 99 点の改定成果を算出した。

なお、成果未改定三角点 99 点のうち、長岡市小国町に位置する四等三角点 3 点については、長岡市において地籍再調査のための検証測量作業が行われていたため、北陸地方測量部より「公共測量成果を使用した基準点成果の修正について」承認申請があり、平成 20 年 5 月 7 日付け国地測基第 6 号により測地

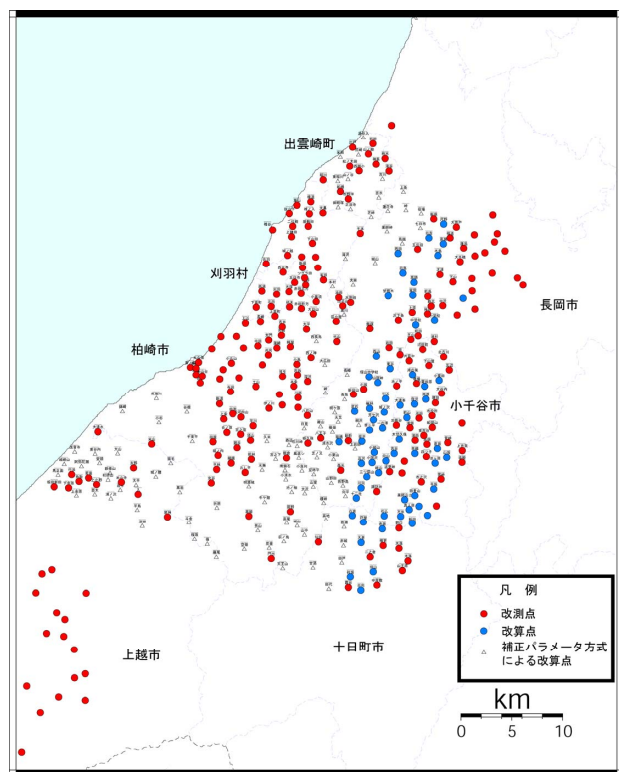


図 - 12 補正パラメータ方式により改算成果を求める三角点の配置状況図

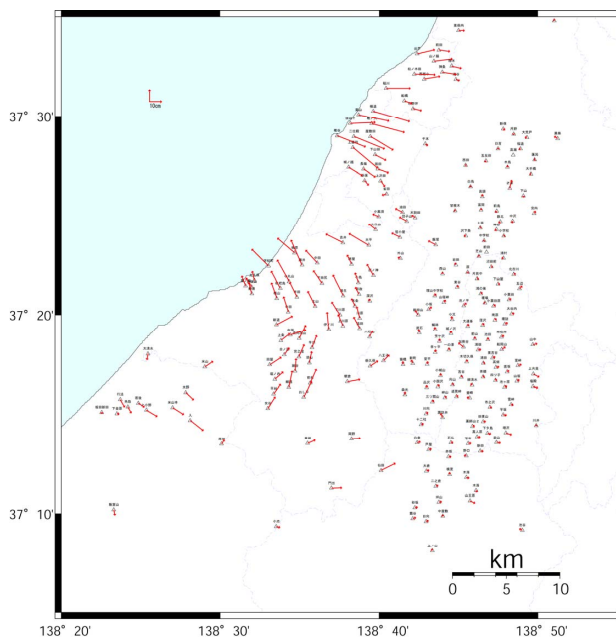


図 - 13 座標補正パラメータ構築に用いた変動データ

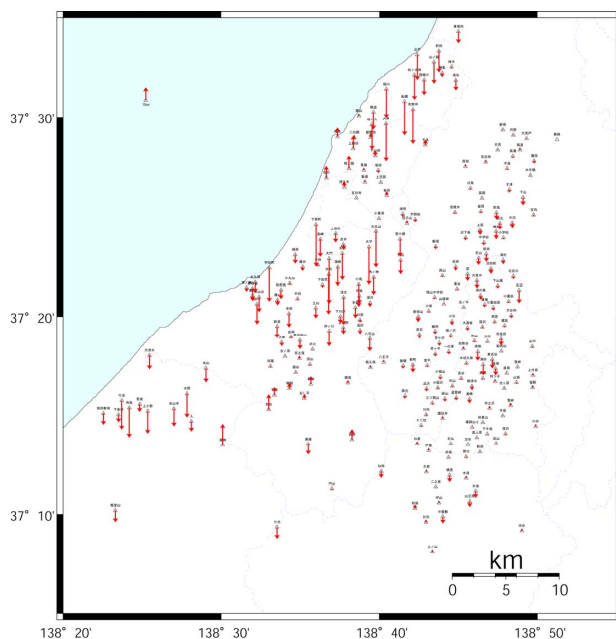


図 - 14 標高補正パラメータ構築に用いた変動データ

部長承認され、改測扱いにより成果が改定された。また、この3点に隣接する三等三角点1点及び四等三角点2点については、改定量も微少であったため、上記3点との整合性を考慮し、改算成果による成果改定は行わず、従前成果のまま成果公表停止解除の措置を行うこととした。

8.2 補正パラメータの適用

成果未改定三角点のための補正パラメータとして、成果公表停止範囲全域のパラメータファイルを作成したが、公共測量成果を補正するために公開するパラメータの範囲については検討する必要があった。検討の結果、中越地震に伴い三角点改測作業が実施された地域と震源断層近傍の刈羽村の地域においては、以下の理由により補正パラメータの提供は行わなかった。中越地震に伴う三角点改測作業では、水平変動の方向・大きさに一様な規則性が見出せないとして、対象地域全ての三角点を改測により成果改定を行うとともに、公共測量成果においても改測、改算で成果改定を進めるとして、補正パラメータは提供されなかった。対象地域の全ての三角点の改測成果の公表完了が平成17年12月22日であり、2年程度の期間しか経過していない状況では、中越地震に伴う公共測量成果の改定の進捗率は低いと推測される。このような状況では、中越沖地震に伴う変動パラメータを公表することで誤った使用が危惧されるとともに、公共測量の指導・助言においても混乱が予想され、必ずしも公共測量での負担軽減に繋がらないと考えた。また、刈羽村の地域では、水平成果改定量において、北部は改定ベクトルが東南東方

向を示しているものの、南部は北西方向を示しており、狭い範囲で改定量が大きく変化し、改定量に明確な規則性が見出せなかった。このような地域では、未知点（グリッド上）の変動量を推定し、補完するKriging法は適当でなく、作成された補正パラメータの信頼性も疑わなければならない。

このため、公共測量成果を補正するために公開するパラメータについては、中越地震に伴い三角点改測が実施された地域と刈羽村の地域を除外し、行政区を考慮のうえ提供範囲を決定した。提供範囲は、水平座標及び標高補正パラメータとも同範囲として、柏崎市、上越市、出雲崎町、刈羽村を対象に、北緯37度09分30秒以北、北緯37度35分00秒以南、東経138度46分00秒以西のうち、北緯37度24分00秒以北、北緯37度27分30秒以南、東経138度40分30秒以西の矩形領域を除く陸域とした。なお、除外した刈羽村の矩形地域に位置する三角点は、全て改測により成果改定が行われているため、補正パラメータ方式により改算した三角点はない。

公表した補正パラメータでは、出雲崎町北部の長岡市との行政区付近、及び上越市北部に位置するパラメータ南端部においては、改定量が十分収束していないため、この地域の利用には注意を必要とする。どちらも山林域であるが、実施する公共測量によっては点検測量等を実施のうえ、精度確認を行うべきである。

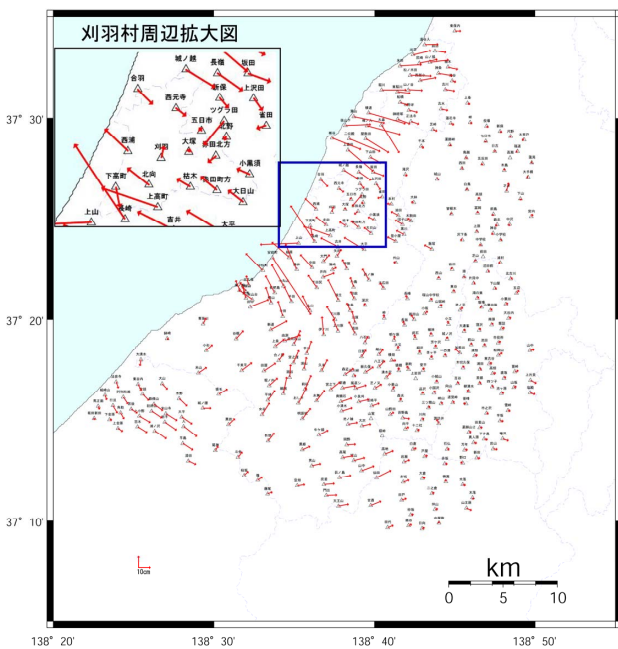


図 - 15 三角点成果改定量図（水平成分）

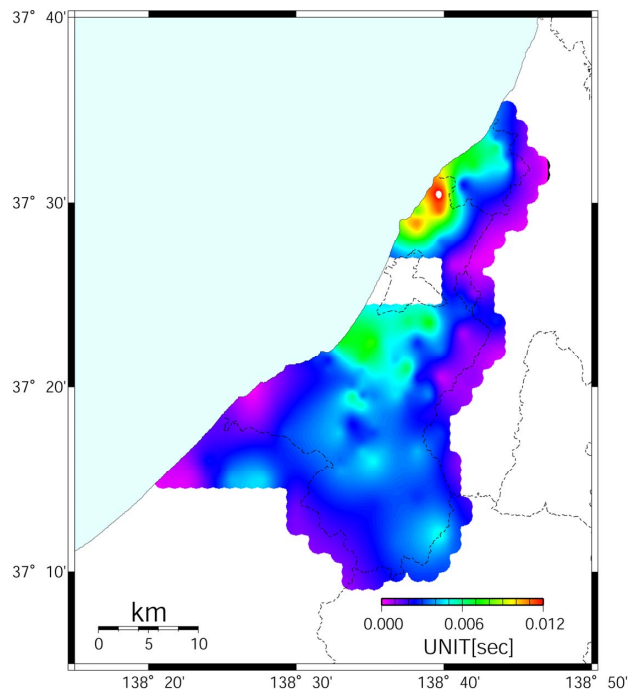


図 - 16 公表した水平補正パラメータの大きさ（秒）

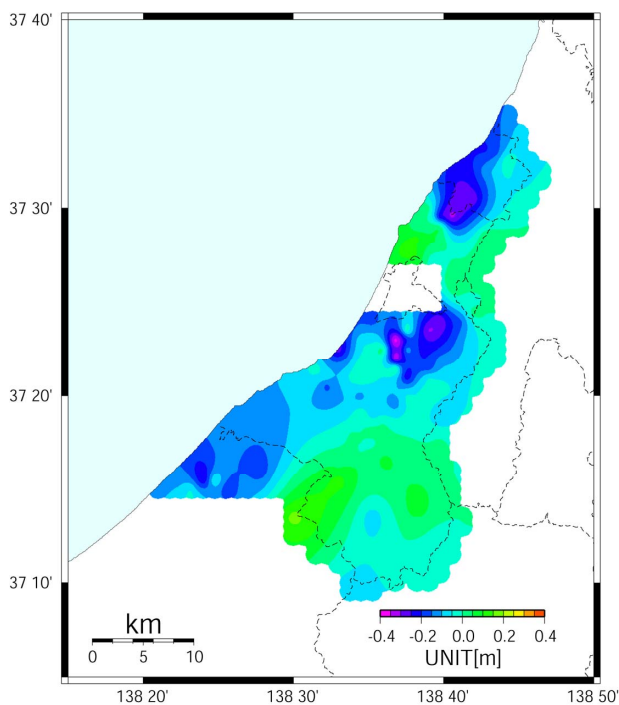


図 - 17 公表した標高補正パラメータの大きさ (m)

9. まとめ

測地部では、災害復旧・復興に資するため、速やかな成果改定を目標に最大限の取り組みを図った。今回取り組んだ中越沖地震に伴う 455 点の基準点成果改定の内訳及び公表日は、表 - 3 及び図 - 18 のとおりである。

表 - 3 基準点測量成果の改定内訳

種別	成果公表年月日	点数	備考
電子基準点	平成19年8月17日	6点	出雲崎、新潟三島、柏崎1、柏崎2、小千谷、高柳
三角点	平成19年12月7日	164点	三角点改測102点 (うち19点は成果停止範囲外) 改算62点 (うち3点は成果停止範囲外)
	平成20年2月1日	147点	三角点改測147点 (うち64点は成果停止範囲外)
	平成20年7月1日	92点	補正パラメータによる三角点改算
		3点	公共測量成果を使用した改測
3点		成果公表停止解除	
水準点	平成20年3月10日	39点	一等水準点34点 電子基準点(二等水準)5点

改測基準点から求められた成果改定量の状況としては、最大値は水平及び標高とも、柏崎市北部の出雲崎町との行政区付近の海岸地域であり、水平成分で東方向に約 30cm、標高成分では約 36cm の沈降となっている。

測地部では、発災後 1 年以内に成果改定を完了する計画で事業を進め、ほぼ計画どおりに成果改定を完了することができた。ただし、今回の成果改定では、補正パラメータの提供に関する検討に時間を要した。被災地は積雪地域であるため、改測作業は

冬季前に終了しており、補正パラメータの提供やその範囲を迅速に決定することで、さらに速やかに成果改定を完了することも可能であった。しかしながら、その点においては、今回の中越沖地震に伴う成果改定事業は、今後の重要な道筋を示すことができたと考える。電子基準点や三角点等の国家基準点成果のみを高精度に改定したとしても、その成果を基に作成された広範な公共測量成果の改定までをケアしなければ国土地理院の使命を果たしたとはいえず、そのような考え方に基づき、可能な限り公共測量での負担を軽減することを念頭にパラメータの提供及びその範囲を決定した。成果改定範囲全域の補正パラメータを提供することが理想であるが、地殻変動の様相(変動量,歪み)、公共測量への影響、地域特性(地形,人口)等を踏まえた上で、パラメータを提供すべきでないと考えられる地域は除いても、提供可能な範囲は提供する方針とした。今後は、今回の考え方を基本として対応し、さらに早急に被災地における成果改定を完了させることが望まれる。

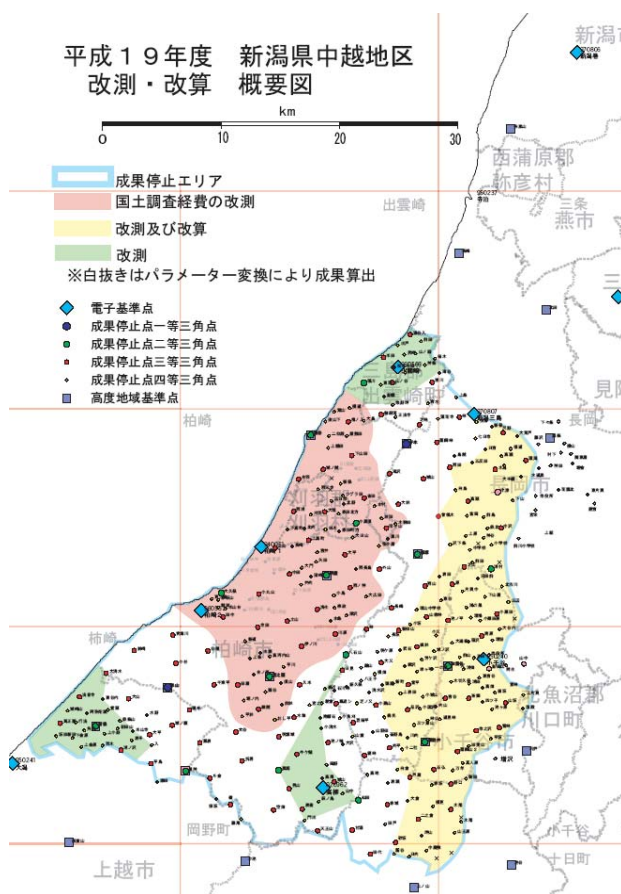


図 - 18 基準点成果改定概要図

今回の成果改定事業によって改定された基準点成果及び提供した補正パラメータにより、震災復旧・復興が進み、1日も早く被災された住民の方々の生活が取り戻されることを強く願うものである。

緊急測量調査 三角点改測 高度地域基準点測量、高精度三次元測量、改算及び補正パラメータ構築作業に携わった職員及び測手は次の方々である。

職員

測地基準課 後藤清，岩田昭雄，田上節雄，
千田進一，大中泰彦，大森秀一，
徳留護，齋藤郁雄，瀬川秀樹，
岩田和美

計画課 岡村盛司

機動観測課 池田尚應，佐々木利行，横川正憲，
塩谷俊治

北陸地方測量部 益子栄，伊藤純一

測手

佐藤忠義，伊東政志，朝比奈政朗，
中島宗治

謝 辞

本稿で報告した現地測量作業の実施に当たっては、新潟県をはじめ、柏崎市、長岡市、小千谷市、出雲崎町、刈羽村など関係市町村、林野庁、北陸地方整備局及び基準点敷地所有者など多くの方々の協力及び理解によって早期に完了することができた。また、国土地理院内にあっても、災害対策本部を核とした職員の協力があったて遂行することができた。以上、関係諸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 沼川邦男，平井英明，白井康友，志茂久男，根本恵造，大滝三夫，土井弘充，斉藤 正，真野宏邦，湊 敏弘，田上節雄，徳留 護，菅原 準，河和 宏，田中愛幸，住谷勝樹，井上武久，千葉浩三，山田晃子，岩田和美，千田進一，齋田宏明，齋藤郁雄（2005）：平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震に対する測地部の取り組み，国土地理院時報，No.107，35-44。
- 土井弘充，白井康友，大滝三夫，斉藤 正，湊 敏弘，千葉浩三，井上武久，住谷勝樹，菅原 準，田中愛幸，齋田宏明，矢萩智裕，小島秀基，湯通堂 亨，雨貝知美，岩田昭雄（2005）：平成 15 年（2003 年）十勝沖地震に伴う基準点成果の改定，国土地理院時報，No.108，1-10。
- 後藤 清，田上節雄，徳留 護，和田弘人，雨貝知美，岡村盛司（2008）：平成 19 年（2007 年）能登半島地震についての測地部の対応，国土地理院時報，No.115，1-9。
- 岩田昭雄（2008）：北海道地域の三角点標高成果改定について，国土地理院時報，No.116，1-8。