

## 東北地方の三角点標高成果改定 The Revision of Altitudes of Triangulation Points in Touhoku Region

測地部 湯通堂 亨・東海林 靖・嵯峨 諭<sup>1</sup>・檜山洋平

Geodetic Department

Toru YUTSUDO, Yasushi SHOUJI, Satoshi SAGA and Yohei HIYAMA

### 要 旨

国土地理院は、位置の基準となる基準点の測量成果（緯度、経度、標高）を提供している。

三角点の標高成果は、世界測地系に移行されたときに改定していないため、地域においては不整合がみられる。そのため、国土地理院では北海道地域、紀伊半島地域に続き、東北地方の標高改定を実施した。

本稿では、東北地方の標高成果の改定の計算手法や得られた成果をまとめたものである。

### 1. はじめに

三角点の経緯度の成果は、平成 14 年度の測量法の改正時に世界測地系に基づいた「測地成果 2000」に移行したが、標高成果は改定されていない。三角点の標高は、明治から大正にかけて行われた三等三角測量での隣接点間の頂天距離観測と近傍の水準点からの二等水準測量に基づいた値（以下、「明治成果」という。）となっている。一方、水準点の成果は、1986 年から 1999 年に行われた一等水準測量の観測データを用いた全国同時網平均計算により求めた「2000 年度平均成果」へ改定されており、地殻変動等による影響が解消された値となっている。このため、三角点と水準点との標高成果の間には地殻変動等の影響が解消されていないことによる乖離が生じており、「2000 年度平均成果」を基準として求められている電子基準点の標高成果と同様の乖離が存在し、整合性の高い成果への改定が求められている。

### 2. 対象となる三角点の整理

東北地方（青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県の 6 県）の三角点標高成果改定では、作業を実施するにあたり該当地方の三角点 21,328 点（平成 22 年 8 月 31 日現在、多角点、図根点を含む。）を次のように整理した。

- 1) この改定作業から除外する三角点として、これまでの三角点改測作業等により電子基準点や水準点に整合した成果を持つ三角点。
- 2) 高度地域基準点測量作業の実測値による改測とする三角点。
- 3) 1) 及び 2) による作業から算出した標高と明治成果との差から構築した標高補正パラメ

ータによる補正計算で標高成果を改算する三角点。

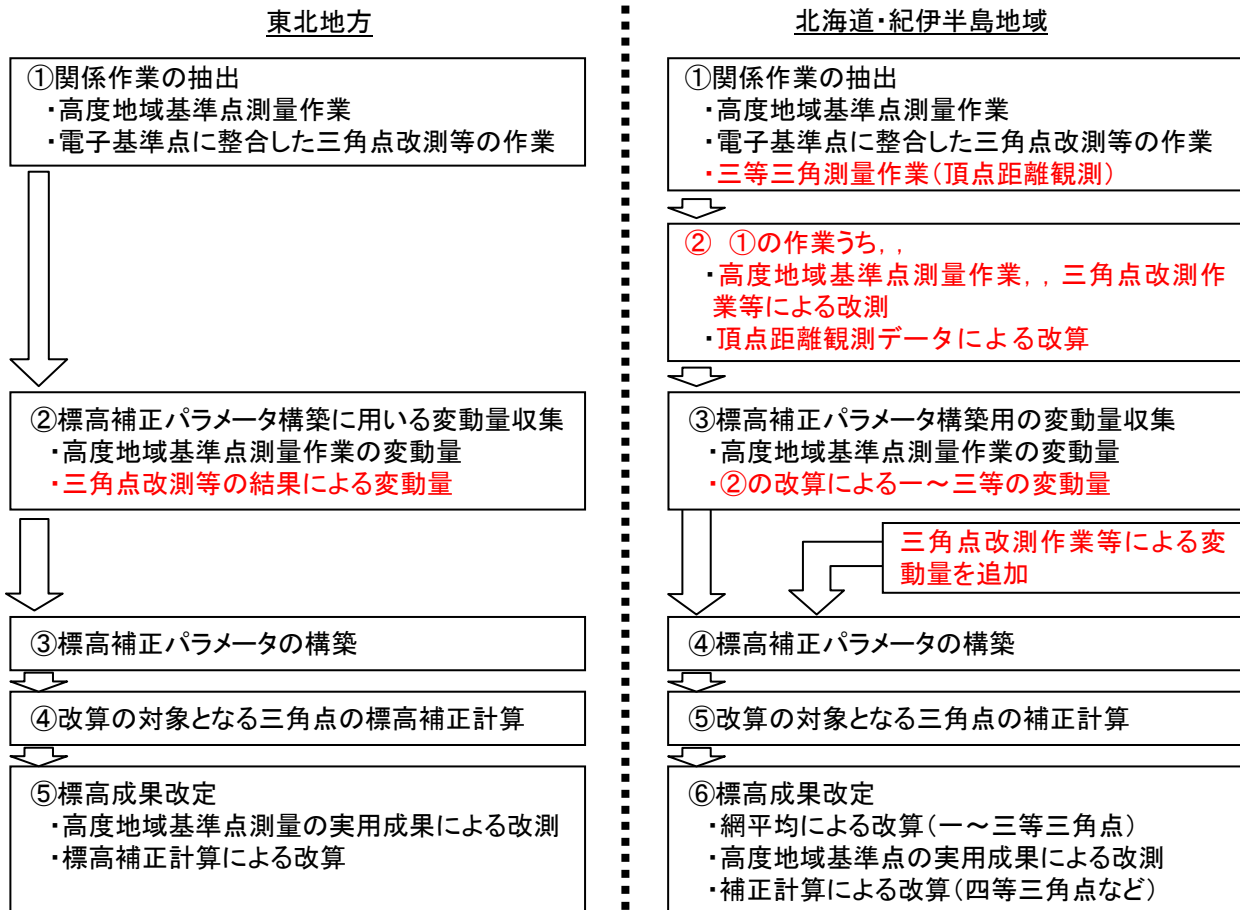
このように三角点を整理して標高成果改定作業を行う。そのうち 3) の手法については、北海道地域及び紀伊半島地域の標高成果の改定手法を一部変更した。両方法の標高成果改定作業の手順を図-1 に示す。変更点は、明治に観測した三等三角測量時の頂天距離観測データを用いた網平均計算の結果を使用しなかったことである。これは、標高補正パラメータの構築に使用した高度地域基準測量を実施した三角点（以下、「高度地域基準点」という。）が東北地方では密に観測されていること、また、三等三角測量の頂天距離観測データを用いた網平均計算の結果に代えて、電子基準点を既知点とした GPS 測量方式による基準点測量の結果による変動量を利用することにより、標高補正パラメータを構築する与件として十分なデータ数であったためである。

### 2. 1 標高成果改定から除外する三角点

標高成果の改定を必要としない三角点は、すでに電子基準点や水準点の標高成果と整合した成果が公開されている三角点となる。その判断基準として、次の条件を満たす測量作業（新点設置、改測、地震に伴う緊急対応等）を実施している三角点について調査して選定した。

- ・平成 17 年度以降で電子基準点を既知点として測量作業を実施している三角点。
- ・電子基準点を既知点として改測された三角点をさらに既知点として、測量作業が実施された三角点。
- ・GPS 固定点（四等三角点の偏心点）及びその本点。

このような条件を満たす測量作業の種類を表-1 に示す。表-1 の区分に該当する測量作業ごとに対象となる三角点の選定を東北地方測量部と連携して行ったところ、この改定作業の対象外となる三角点は 4,904 点となった



図ー1 東北地方標高成果改定の手順と北海道・紀伊半島地域の標高成果改定手順との比較

表ー1 標高成果改定対象外となる三角点の測量作業一覧

<p><b>◆東北地方測量部で実施した測量◆</b>                  H13年度 三角点改測                  H13年度 地域基準点測量                  -----H14年4月(世界測地系に移行)-----                  H14~H15年度 基準点測量                  H14~H15年度 三角点改測                  H14年度 復旧・受託測量                  H15年度 復旧・受託測量                  -----H16年7月(電子基準点標高成果改定)-----                  H16~H21年度 基準点測量                  H16~H21年度 復旧・受託測量                  H17~H18年度 街区基準点測量</p>	<p>H20年度 三角点改測(H20岩手宮城内陸地震)                  H21年度 三角点改測                  H22年度 基準点測量等  <b>◆測地部で実施した測量◆</b>                  H15年度 三角点改測(宮城北部地震)                  H16年度 GPS固定点及び本点の改算                  H20~H21年度 三角点改測                  (H20岩手宮城内陸地震)                  H20~H21年度 三角点改算                  (H20岩手宮城内陸地震)                  H17~H20年度 高度地域基準点測量</p>
--	--

2. 2 高度地域基準点測量作業の実測値による改測とする三角点

東北地方の高度地域基準点測量は、平成17年度から平成20年度まで行われている。三角点の標高成果の改定基準は、変動量が20cm以上かつ公共測量への影響を考慮することとしており、両者の条件を満たすことが少ないため成果の改定がなされないことが大半となっている。そこで高度地域基準点測量が行

われた三角点は、本作業において、改測として標高成果の改定を行うこととした。しかし、平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震(以下、「岩手・宮城内陸地震」という。)に伴う緊急対応や地方公共団体の要請による改測等により、基準点の成果が電子基準点に整合した成果に改定され、すでに公開されている三角点はこの改定作業から除外となるため、高度地域基準点測量の観測値を用いた標高成果の改

定となる三角点は262点となった。

### 2. 3 標高補正パラメータによる改算対象の三角点

2. 1及び2. 2に該当しない三角点については、3. で構築する標高補正パラメータを用いて標高補正計算を実施する三角点とした。

## 3. 標高補正計算

### 3. 1 標高補正パラメータの構築

標高補正パラメータの構築に用いる変動量は、改測作業が行われた三角点で、次の①と②の差(②-①)を変動量とした。

#### ①変動量算出の基準となる標高(明治成果)

平成14年に日本測地系から世界測地系に移行したときに成果公開されていた標高成果。ほとんどの三角点が明治成果であるが、成果不整合地域(例えば福島県いわき市)の不整合解消のため移行前に改測されている三角点もある。

#### ②改測作業後の成果(変動量等を含む成果)

平成17年度以降に実施された測量作業のうち、電子基準点に整合している標高成果。

平成17年度以降の測量作業による標高成果を採用したのは、平成16年7月に電子基準点の標高成果が改定されて現在の電子基準点の標高成果に至っており、基準点体系において標高成果の整合を図るためである。標高補正パラメータを構築する際には、東北地方以後の改定作業の整合を図るために、東北地方に加えて、隣接県となる4県(茨城県、栃木県、群馬県、新潟県)の地域の変動量も含めて構築することとした。

その結果、構築に使用できる変動量を計算できる三角点は、2,263点であった(ただし、災害対応による測量作業の重複を含む)。これらの三角点については、復旧測量作業の履歴を踏まえて、以下のとおり整理を行った。

- 1) 高度地域基準点測量による変動量では、周囲の変動と様相が大きく異なる場合は、原因が特定できず除外した。また、この高度地域基準点のうち、三角点の改測等により標高改測が行われ、すでに成果が公開されている高度地域基準点は、その三角点の改測等の測量作業による変動量を採用することとした。
- 2) 三角点の変動量をベクトルで図示し、周囲の変動と比較して次のような特異な様相を示す三角点は除外することとした。
  - ・変動ベクトルの方向が逆向きの三角点。
  - ・周囲の変動より明らかに大きい変動量を示す三角点(周囲より3倍かつ30cm以上の差を目安とした。)

- 3) 測量作業に幾度か利用されている三角点は、次のとおり変動量を採用することとした。
  - ・標高成果が改定されている場合は、改定した時の改定量を変動量とする。
  - ・標高成果が改定されていない場合は、直近の測量作業で計算された標高値と明治成果との差をもって変動量とする。
- 4) 「平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震に伴う緊急対応」で公開したPatchJGD(標高版)の地殻変動前の標高値から変動後の標高値へ補正する補正パラメータ(以下、「岩手・宮城内陸地震の補正パラメータ」という。 )との整合を図るため、本作業の標高補正パラメータを構築するときは、岩手・宮城内陸地震の補正パラメータを構築した際に利用した変動量を取り込むこととした。
- 5) 内部評価として、三角点の変動量とその地点の標高補正パラメータによる補正量とを比較し、その差の傾向が周囲と比べて違う三角点については標高補正パラメータの構築から除外した。

整理の結果、標高補正パラメータの構築に使用した三角点は1,913点であり、図-2のとおりである(ただし、岩手・宮城内陸地震の補正パラメータ構築に使用した三角点は除く。 )。

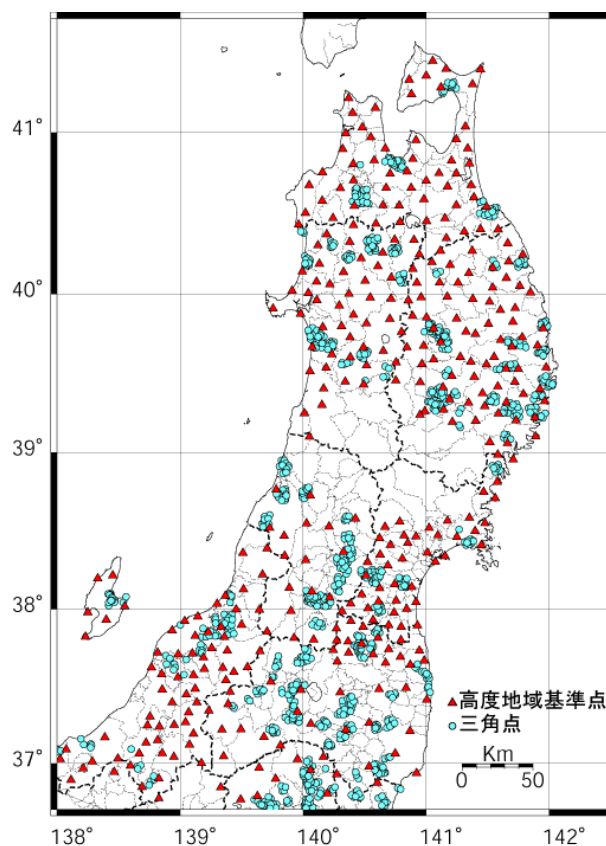


図-2 標高補正パラメータの構築に使用した三角点

標高補正パラメータは、1,913 点の三角点の変動量から3次メッシュコード南西角グリッド上の補正量をKriging法により推定(使用したソフトウェアはTransform3.4)して求めた。

標高補正パラメータの構築は、試算と本計算の2段階に分けている。構築に用いた三角点上で、,、試算した標高補正パラメータによる補正量と実際の変動量を比較し、,、周囲の三角点と比べて差が大きい三角点は三角点固有の変動量を含むとして除外し本

計算を行った。

標高補正パラメータの構築後、岩手・宮城内陸地震の補正パラメータを組み込むため、当該地域については、本作業で作成した標高補正パラメータと岩手・宮城内陸地震の補正パラメータとを差し替えた。該当地域の境で大きいところで約18cmの不連続が発生したが、標高を改測するときの基準である20cm以内と同精度であるため、これを採用することとした。補正パラメータ構築のフローを図-3に示す。

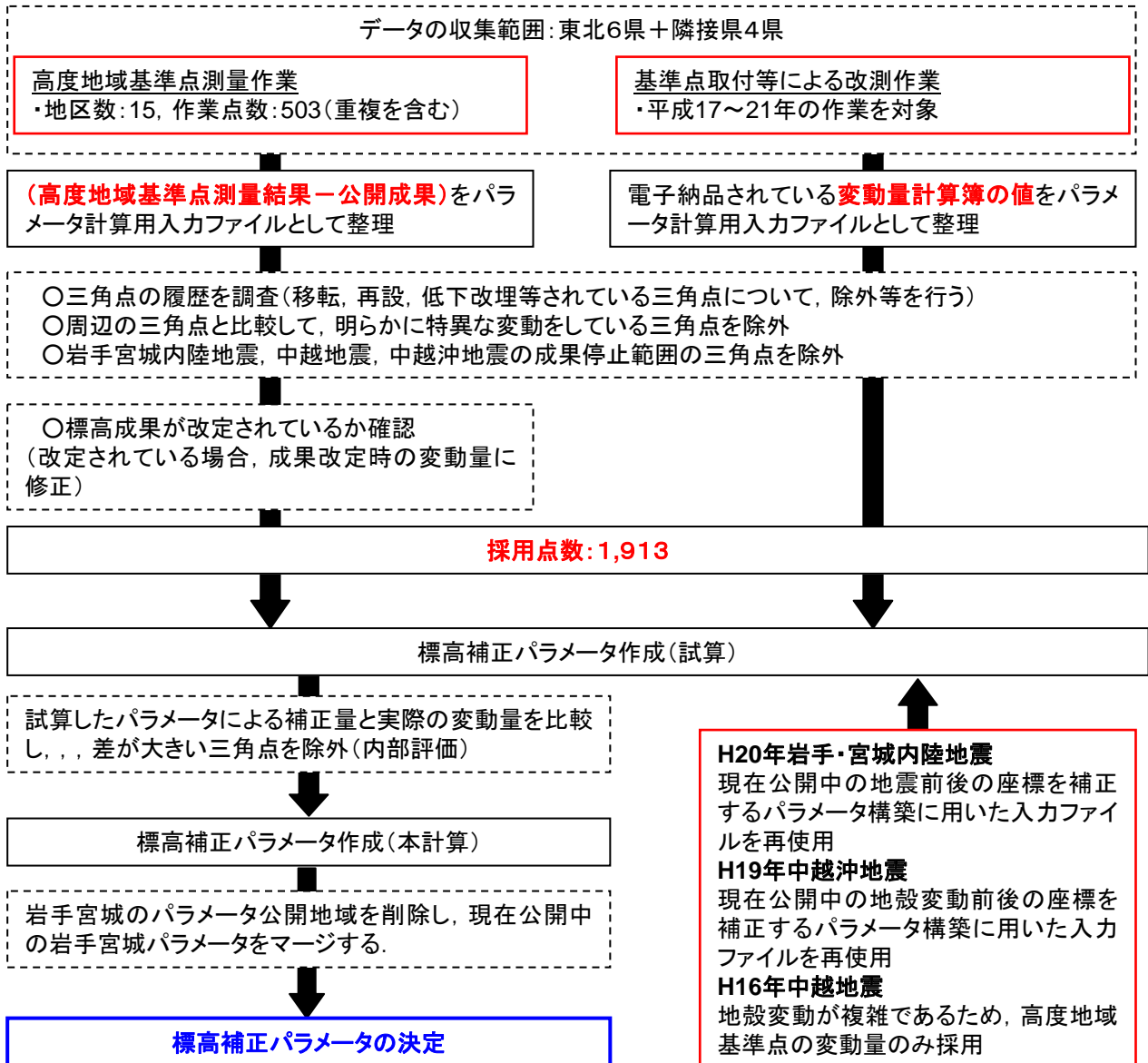


図-3 東北地方標高補正パラメータ構築のフロー図

### 3. 2 標高補正パラメータの評価及び補正計算

標高補正パラメータの構築にあたり、内部評価と外部評価を行った。内部評価としては、標高補正パラメータ構築に用いた三角点において、測量作業による計算から求めた標高値と標高補正パラメータに

よる補正計算から求めた標高値との比較を行った。その結果、標高値の差が±5cm以内に収まった三角点は、約90%であり良好な結果が得られた。図-4に内部評価のヒストグラムを示す。

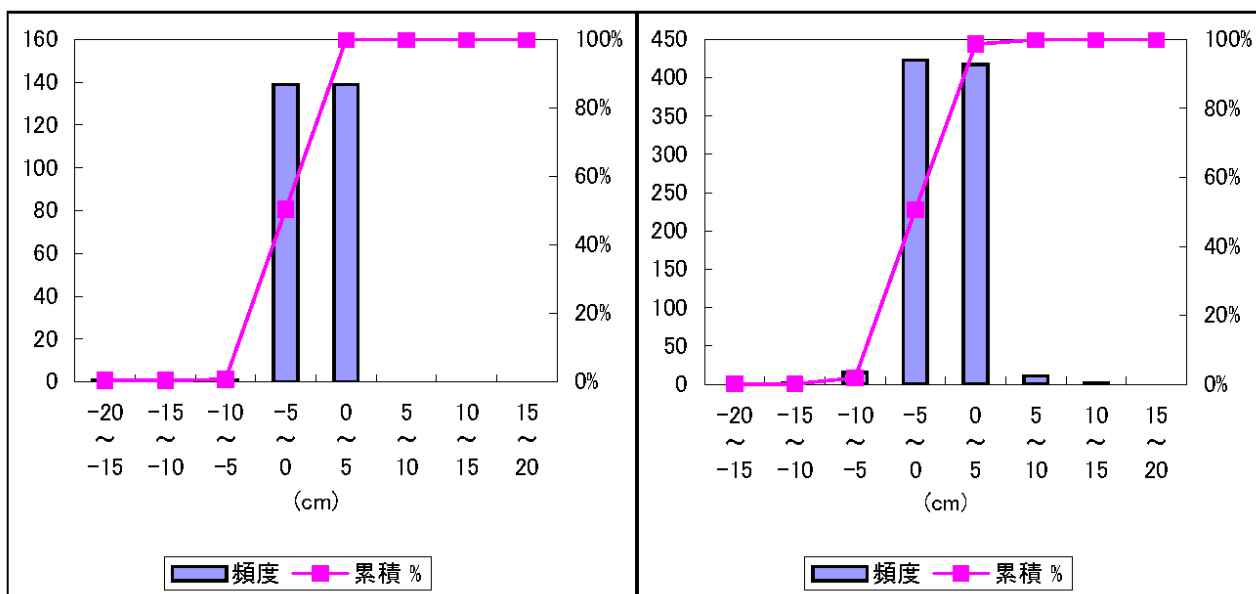


図-4 標高補正パラメータ構築に使用した三角点による内部評価。左図は高度地域基準点測量による標高値と標高補正計算による標高値との差をヒストグラムに、右図は三角点の改測等による標高値と標高補正計算による標高値との差をヒストグラムに表す。

外部評価としては、ネットワーク型 RTK-GPS 測量 (VRS 方式) の単点観測法 (以下、「ネットワーク型 RTK-GPS 測量」という。) による観測結果との比較を実施した。ネットワーク型 RTK-GPS 測量で観測した三角点を図-5 に示す。観測点は、標高補正パラメータ構築時に補正量が外挿となる海岸線付近、狭い範囲で標高補正パラメータの勾配が大きい地域、岩手・宮城内陸地震の補正パラメータの境となる地域の三角点から選点している。この観測結果から得た標高値と標高補正パラメータによる標高補正計算の標高値とを比較し表-2 に示す。

ネットワーク型 RTK-GPS 測量による外部評価では、比較した標高値の差に対する標準偏差が 0.132m であり、ほぼ良好な結果といえる。三角点「丸子」については、差が 40cm と他に比べて大きい。近隣の三角点「南山」では差が 13cm のため、三角点「丸子」の成果の標高値が持つ固有の問題ではないかと判断した。

また、公共基準点において、平成 17 年度以降に改測された公共基準点の成果が入手できたので、この改測結果から標高補正パラメータの外部評価を行った。公共測量点の位置を図-5 に、その評価結果の一覧を表-3 に示す。この評価結果では、比較した標高値の差に対する標準偏差が 0.121m であり、良好な結果といえる。

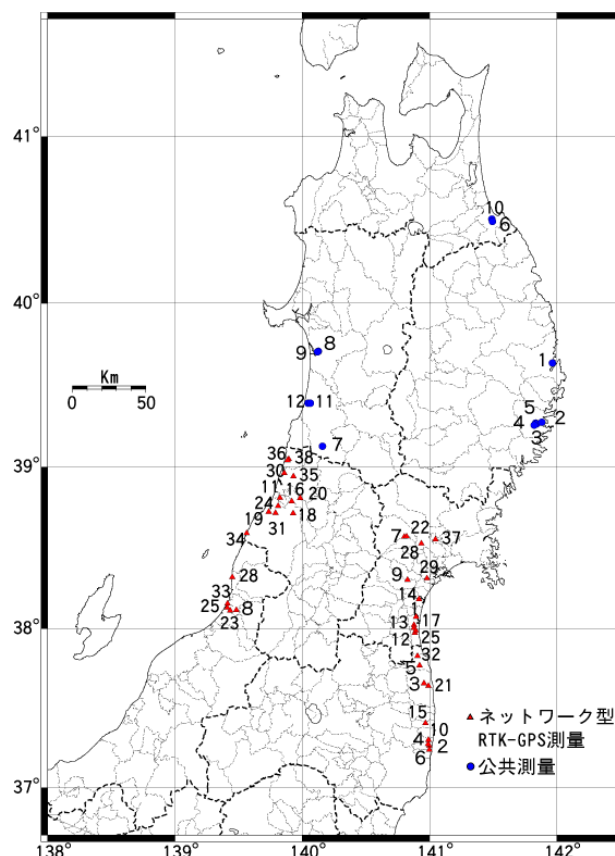


図-5 外部評価を実施した三角点、公共基準点の配点図。三角点ではネットワーク型 RTK-GPS 測量 (VRS 方式) を実施している。番号は、表-2 又は表-3 の番号に対応する。

表-2 ネットワーク型 RTK-GPS 測量 (VRS 方式) による観測値と改算値との比較

番号	点名	基準点コード	RTK-観測値(m)	改算値(m)	RTK-改算値(m)	備考
1	下熊	TR45740078101	1.593	1.807	-0.214	
2	稲荷前	TR35739138301	20.715	20.904	-0.189	
3	諏訪	TR45640378601	20.770	20.955	-0.185	
4	仲川原	TR45540772901	14.298	14.482	-0.184	
5	坪田	TR45640571301	19.627	19.810	-0.183	
6	二ツ沼	TR35541608001	54.541	54.691	-0.150	
7	鳴瀬川	TR45740668401	48.045	48.193	-0.148	岩手・宮城内陸地震の境
8	中野堂	TR45739133801	18.402	18.509	-0.107	
9	吉成	TR45740365601	165.231	165.305	-0.075	
10	二枚橋	TR45540775901	79.310	79.380	-0.070	
11	村下	TR35839166601	6.198	6.263	-0.065	
12	町下	TR45640776001	4.556	4.620	-0.064	
13	一本松	TR45740072001	1.615	1.675	-0.060	
14	高柳	TR45740271301	2.838	2.895	-0.057	
15	野上	TR45640078701	73.860	73.900	-0.040	
16	小中島	TR45839174301	8.075	8.115	-0.040	
17	大谷地	TR45640779002	2.065	2.093	-0.028	
18	市野山	TR45839075401	69.833	69.860	-0.027	
19	殿田	TR45839056901	14.249	14.273	-0.024	
20	中棚	TR35839176801	17.925	17.938	-0.013	
21	上渋佐	TR35640376901	9.673	9.682	-0.009	
22	中島	TR45740668501	38.917	38.919	-0.002	岩手・宮城内陸地震の境
23	野口	TR45739132501	10.213	10.208	0.005	
24	京田	TR35839160501	9.482	9.462	0.020	
25	東田	TR45640778102	2.819	2.786	0.033	
26	南新保	TR45739134302	2.678	2.633	0.045	
27	上海府	TR45739338601	5.771	5.721	0.050	
28	南谷地	TR45740672501	18.649	18.585	0.064	岩手・宮城内陸地震の境
29	山路	TR35740376801	8.188	8.122	0.066	
30	高田	TR45839365901	5.660	5.573	0.087	
31	井ノ岡	TR45839065301	15.899	15.809	0.090	
32	光正寺	TR35640578201	18.429	18.332	0.097	
33	稲荷山	TR35739138301	15.082	14.983	0.099	
34	小岩川	TR45739740501	3.587	3.483	0.104	
35	境興野	TR45839372401	11.613	11.484	0.129	
36	南山	TR45839474001	7.263	7.133	0.130	
37	牛飼	TR45741606301	12.200	11.918	0.282	岩手・宮城内陸地震の境
38	丸子	TR45839475101	4.470	4.016	0.454	

(黄色のセルは 20cm 以内, 赤色のセルは 20cm 以上を示す.)

表-3 公共測量の観測値と改算値との比較

番号	点名	公共実測値(m)	改算値(m)	公共-改算値(m)
1	H17-116・磯 1-2	2.643	2.806	-0.163
2	H17-124・N04	41.935	42.08	-0.145
3	H17-124・N011	37.433	37.542	-0.109
4	H17-124・No12	31.071	31.179	-0.108
5	H17-124・N08	36.832	36.935	-0.103
6	H16-261・(4)	45.04	45.098	-0.058
7	H20-159・N06	502.699	502.717	-0.018
8	H18-140・基 1-1	5.384	5.397	-0.013
9	H18-140・基 1-2	5.54	5.547	-0.007
10	H16-261・(1)	53.58	53.514	0.066
11	H16-263・101	7.39	7.227	0.163
12	H16-263・0001	27.07	26.847	0.223

(黄色のセルは 20cm 以内, 赤色のセルは 20cm 以上を示す.)

これらの評価結果から構築した標高補正パラメータの精度は良好であったと考えられる。その標高補正パラメータの補正量の概観を図-6に示す。

標高補正パラメータと PatchJGD (標高版) を使用し、2.3に該当する16,162点の三角点について標高補正計算を行った。

改定した標高成果は、平成22年10月1日に公開された。三角点の標高成果改定に伴い、公共測量においても標高成果改定が必要となる。公共測量成果の改定については、標高補正プログラム「PatchJGD(標高版)」及び公共測量成果改定マニュアルを用いて行うよう、国土地理院の各地方測量部及び沖縄支所で助言及び指導を行っている。

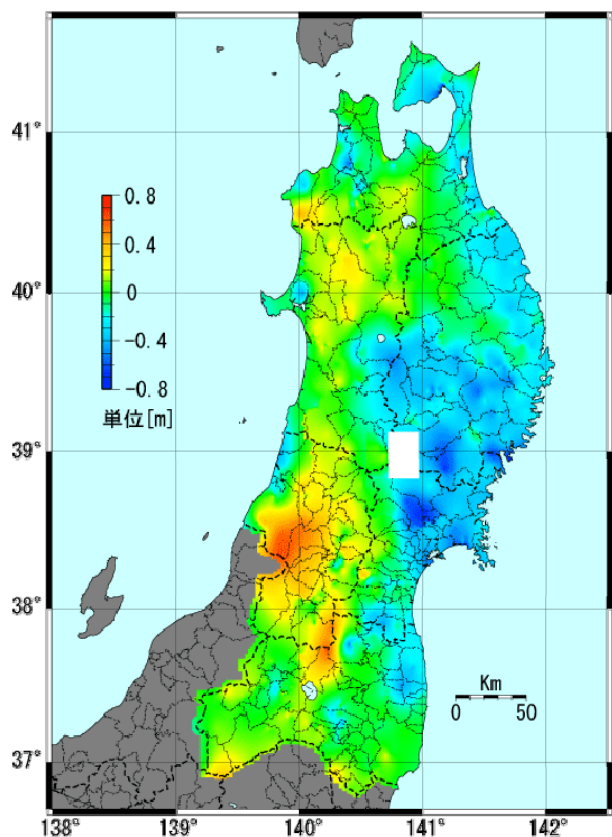


図-6 構築した標高補正パラメータの補正量の概観。中央部の空白地域は「平成20年岩手・宮城内陸地震」により、複雑な地殻変動が観測されたためパラメータを公開していない地域。

#### 4. まとめ

標高成果改定の対象となった三角点16,424点のうち、高度地域基準点測量の観測値を用いた改測は262点であった。残りの16,162点については構築した標高補正パラメータを用いた補正計算による改算を行った(表-4)。補正による最大改定量は、プラス方向で62.2cm、マイナス方向で66.0cmであった。

表-4 標高成果改定の内訳

高度地域基準点測量による改測	262点
標高補正パラメータによる改算	16,162点
計	16,424点

**参 考 文 献**

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, 116, 1-8.