

東北地方日本海側を中心とした水準点の測量成果の改定 Revision of Leveling Survey Results on the Japan Sea Coast of Eastern Honshu

測地部 大滝修・加古考範・井上武久¹・兒玉篤郎

Geodetic Department Osamu OOTAKI, Takanori KAKO, Takehisa INOUE
and Tokuro KODAMA

測地観測センター 湯通堂亨・三浦優司・古屋智秋²・佐藤明日花³

Geodetic Observation Center Toru YUTSUDO, Yuji MIURA, Tomoaki FURUYA
and Asuka SATO

要 旨

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(M9.0, 最大震度7)の余効変動により、水準点測量成果に生じた実際の標高との乖離を解消するため、平成27年度から平成29年度まで日本水準原点から東北地方の広い範囲で水準測量を実施した。この結果に基づき、平成28年度の太平洋側に引き続き、平成29年度は内陸から日本海側の水準点測量成果の改定を行った。

1. はじめに

国土地理院では、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下「東北地方太平洋沖地震」という。)に伴い広い範囲で地殻変動が観測されたことから平成23年10月に測量成果の改定を行った。

しかし、地震後の余効変動の影響は、東北地方の広い範囲で確認されているため、平成27年度から平成29年度にかけて水準測量を実施し、特に変動が大きい太平洋側の測量成果については、平成28年度に測量成果の改定を行った(井上ほか, 2017)。

一方、内陸部から日本海側にかけては、太平洋側に比べて変動量は小さいものの、電子基準点の観測結果から最大15cm程度の上下変動があることがわかっている。このため、改定した太平洋側の水準点との整合を図る必要があること、公共測量等に正確な高さの基準を与える必要があること等から、平成29年度に測量成果の改定を行った。

本稿では、平成27~29年度の測量結果から東北地方の日本海側を中心に実施した水準点と電子基準点(標高)の測量成果の改定について報告する。

2. 水準点測量成果の改定

2.1 水準点改測作業の概要

2.1.1 実施した水準測量の概要

実施した水準路線と測量の精度(環閉合)を図-1に示す。水準測量は3年に分けて実施し、平成27年度実施を緑色、平成28年度実施を青色、平成29年度実施を赤色で示す。

2.1.2 観測精度の検証

水準測量で得られた比高データは、環閉合計算により精度評価を行った。環閉合させた3つの環につ

いては、いずれも良好な精度が得られた。測量時期に約2年間の違いがある平成27年度の実施路線を含む環においても良好な結果が得られた理由としては、余効変動に伴う標高の変動が、太平洋沿岸部において引き続き比較的大きいものの、その範囲が徐々に狭くなっていることが挙げられる。

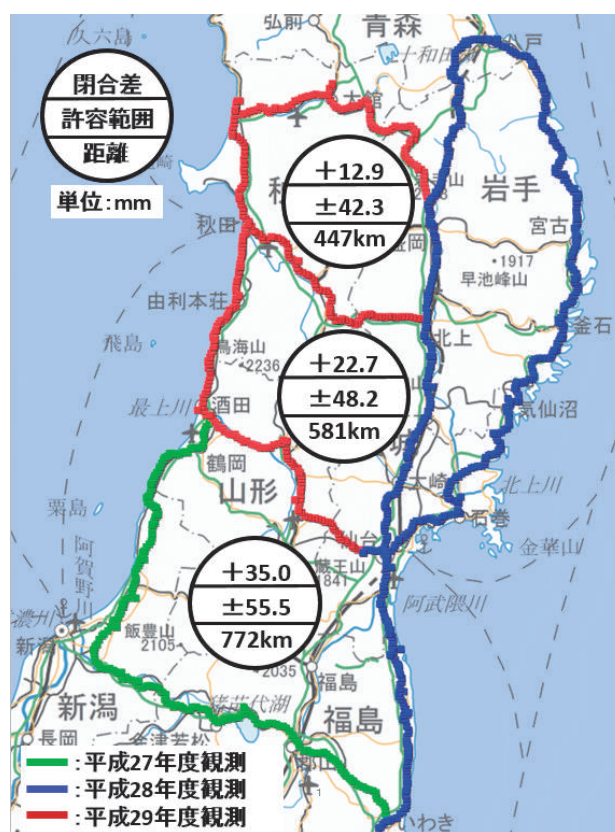


図-1 水準測量路線図と環閉合結果

2.2 水準点の測量成果改定の計算手順

2.2.1 水準網平均計算の固定点と測量成果改定範囲の決定

測量成果の改定は、「復旧測量作業実施要領(平成28年3月改正)」に基づき実施した。以下に、復旧測量作業実施要領を抜粋する。

【抜粋】

「水準測量において、既設水準点の成果不整合が確認された場合の測量成果の修正基準は以下を標準とする。

- ① 測量成果に対する隣接水準点との変動量の差が15mm以上の場合。
- 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測量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）。

具体的な計算手順は以下のとおりである。

(1) 平成28年度に測量成果を改定し、平成27年度及び平成29年度に測量した始点となる4点(交5490, 交5466, 交2179, 交4201)を固定して網平均計算を行った。

(2) (1)の結果、復旧測量作業実施要領の基準値を超えない大館一能代付近は改定しないこととした。その結果、網平均計算は、交5490, 5927, 5870を固定点とした路線と、交9, 交5466, 交2179, 交4201を固定した路線とに分けて行った。

(3) 図-2の紫色で示した今回測量を行っていない路線(二等路線含む)については、その路線の両端点の改定後の測量成果を固定して、平成23年度の水準測量値を用いて網平均計算を行った。なお、余効変動の影響が大きい岩沼市から郡山市に至る路線(図-2の黄色)については、電子基準点の変動量を考慮して網平均を行った。詳細は後述する。

(4) 開放路線で測量成果を算出している電子基準点付属金属標とそれに至る路線の水準点については、今回の測量結果から算出した水準点の改定値と当時の測量結果から、電子基準点付属金属標と路線の水準点の測量成果を算出した上で、電子基準点の楕円体高の変動量と成果改定量が2cm以内で整合した場合は測量成果を改定した。

2.2.2 水準網平均計算と精度評価

図-2に、水準網平均計算で固定点とした水準点の位置等を示す。最終的な網平均計算(網の標準偏差)の結果は、北側の3点固定の路線は1.38mm、南側の4点固定の路線は1.30mmと良好であった。

2.2.3 接続する未改測の水準路線について

今回測量成果の改定を行った水準路線とそれに接続する未実施の水準路線(今回は水準測量を実施し

ていない水準路線)のうち、郡山市の交2114と会津若松市の交4264については、隣接点との不整合がそれぞれ+38mm, -37mmと大きかったため、較差緩和措置として路線の一部の水準点成果を改定した。また、新潟県新発田市の交4410に隣接する路線の水準点4411, 4412については、地盤沈下地域にあって交4410と較差を生じるため、今後公共測量(地盤沈下調査測量)の成果を用いて改算することとしている。これらの位置関係を図-3～図-5に示す。



図-2 固定点位置等と測量成果改定の範囲

2.2.4 電子基準点の変動量を考慮した測量成果改定について

今回、測量を実施していない路線のうち、岩沼市の交2169から国道4号に沿って郡山市の交2114に到る路線(図-2の黄色の路線)は、電子基準点の観測データから楕円体高の変動量の勾配が地震後も大きいことが確認されていたため、平成23年度の測量結果を用いて改算することは大きな誤差を生じる。そのため、この路線については、電子基準点データにより標高変動量を計算し、過去の水準測量観測データを補正した上で網平均計算を行い、改算を実施した。具体的な計算過程を以下に示す。

- ① 各電子基準点において、F3解基線成分データを基に日々の楕円体高を算出する。
- ② 日々の楕円体高に対して線形あるいは対数関数でフィッティングし、電子基準点毎に時系列での標高変動場モデルを作成する。
- ③ 計算した標高変動場モデルから、水準測量の観測

日と特定の基準日（新観測日と設定した日）の楕円体高を求め、その期間の楕円体高変化量を算出する。

④ 電子基準点毎に求めた楕円体高変化量からクリギングを用いた空間補間計算により、5km メッシュの標高補正パラメータを作成する。作成した標高補正パラメータを用いてバイリニア補間を実施し、各水準点の変動量（電子基準点の寄与分）を推定する。

⑤ 各水準点で推定した変動量を用いて、水準測量比高を補正する。

⑥ 補正を行った比高を基に水準網平均計算を実施する。

なお、この適用に当たっては、平成 28 年度に現地において、GNSS 測量による検証作業を実施して適用の可否を検討した。

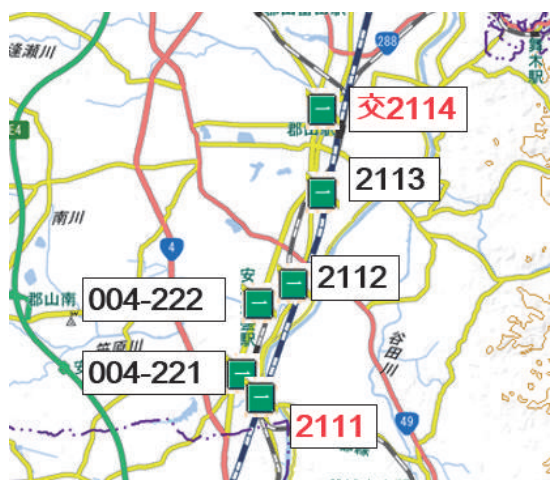


図-3 未改測路線との不整合を調整するため郡山市の交 2114 と 2111 を固定して 4 点を改算



図-4 未改測路線との不整合を調整するため会津若松市

の交 4264 と 6687 を固定して 3 点を改算



図-5 地盤沈下地域にある交 4410 の測量成果を改定したため隣接する 4411, 4412 と較差を生じるので後日改算する

2.3 改定した水準点数

今回、測量成果を改定した水準点の数を表-1 に示す。改定量が大きかった水準点は、宮城県岩沼市の 2168 で+14.3cm、山形県村山市の 960556A（電子基準点「村山」）で-14.2cm などである。

2.4 電子基準点で検知された上下変動との比較

改定した水準点の測量成果を検証するため、水準路線に組み込んで測量した電子基準点（二等水準点）の測量成果の改定量（旧標高値と新標高値の差）と電子基準点で検知された楕円体高の変動量を比較した。結果を表-2 に示す。

ほとんどの電子基準点において成果改定量と電子基準点の楕円体高の変化量が較差 2cm 以内と良く一致しており、改定した電子基準点（二等水準点）の測量成果の改定量が、電子基準点における変動量と整合的であることが確認できた。なお、「村山」は冬の融雪用地下水くみ上げによる特異な地盤変動が見られることから、大きい較差となっていると考えている。ちなみに、後述するように、今回の改定では電子基準点の標高を改定して楕円体高を変更しない。このことによる高さの不整合は、ジオイド高の誤差として残ることになり、GNSS 水準測量を行う際に近隣の三角点や公共基準点との乖離として課題が残る。

3. 電子基準点の測量成果（標高）の改定

電子基準点の測量成果（標高）の改定は、水準路線に組み込まれた電子基準点及びその路線に囲まれた範囲にある電子基準点の合計 79 点である（図-6）。また、電子基準点の標高は、水準取り付け実施の有無により測量成果算出方法が異なるため、それぞれ

について、3.1 及び3.2 で述べる。

なお、電子基準点の標高以外の測量成果（楕円体高、緯度、経度）は、測量成果を使用する際に、地殻変動によるひずみの影響を補正する「セミ・ダイナミック補正」が適用されるため改定しない。

表-1 県別の水準点測量成果改定数

県	測量成果を改定した水準点数
岩手県	57 点
宮城県	44 点
秋田県	175 点
山形県	229 点
福島県	186 点
新潟県	100 点
合計	791 点

表-2 電子基準点により検知された変動量との比較

電子基準点名称	所在地	成果改定量と電子基準点による変動量との較差：単位 mm
安代	岩手県八幡平市	-7.5
岩城	秋田県由利本荘市	+19.7
鶴岡	山形県鶴岡市	+14.8
新潟山北	新潟県村上市	+7.3
水原 A	新潟県阿賀野市	基準日にデータ無
新発田 A	新潟県新発田市	基準日にデータ無
本荘	秋田県由利本荘市	+17.2
酒田	山形県酒田市	+4.0
山形新庄	山形県新庄市	-2.3
村上	新潟県村上市	+7.3
鹿角	秋田県鹿角市	+3.5
河辺	秋田県秋田市	+15.5
西仙北	秋田県大仙市	+10.4
横手	秋田県横手市	-6.8
象潟	秋田県にかほ市	+7.4
猪苗代 1	秋田県猪苗代町	+8.2
鹿瀬	新潟県阿賀町	-4.9
岩手松尾	岩手県八幡平市	-13.8
村山	山形県村山市	-43.0
黒川	新潟県胎内市	-20.0
仙台	宮城県仙台市	+3.6

3.1 水準取り付けを実施した電子基準点の標高

水準測量路線に組み込まれて測量成果を改定した電子基準点、旧観測データで測量成果を改定した電子基準点（42 点：図-6 緑●）は、標高区分「水準

測量による」となり、GNSS 水準測量の既知点に使用できる点となる。

3.2 水準取り付けを実施していない電子基準点の標高

電子基準点の標高改定地域（図-6）において、水準取り付けが実施されなかった電子基準点（37 点：図-6 黄●）については、標高区分を「GNSS 水準による」として改定を実施した。

各県別において、電子基準点の測量成果（標高）を改定した対象点数は、表-3 のとおりである。

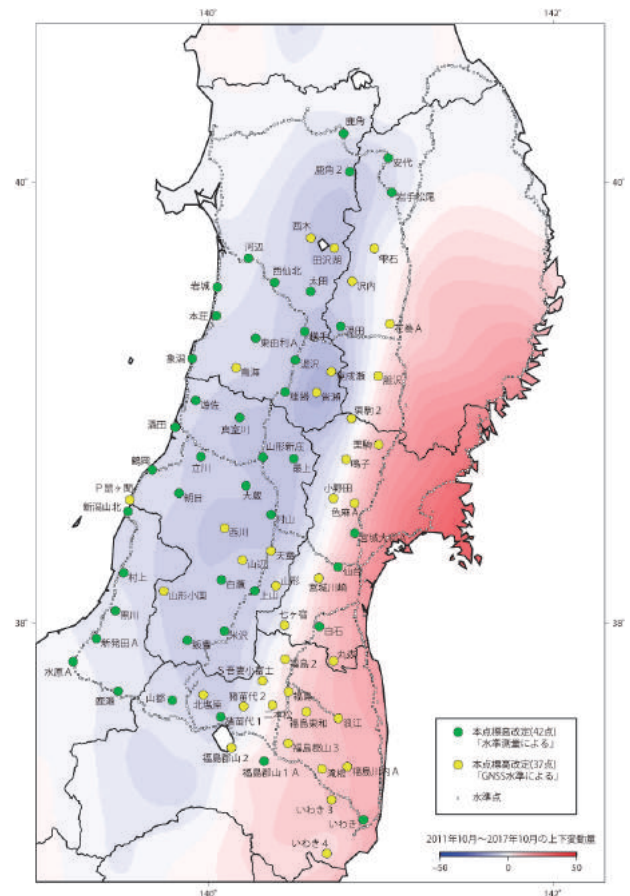


図-6 電子基準点の標高改定地域と改定区分

表-3 各県別の電子基準点成果改定点数

標高区分	水準測量による	GNSS 水準による	計
岩手県	3	4	7
宮城県	3	8	11
秋田県	12	5	17
山形県	14	6	20
福島県	4	14	18
新潟県	6	0	6
合計	42	37	79

4. まとめ

国土地理院は、国家基準点の測量成果を管理・提供することで公共測量をはじめとする各種測量に位置と標高の基準を与えている。

東北地方の水準点については、東北地方太平洋沖地震後の余効変動による地殻変動の影響を受けているため、平成28年度に内陸の国道4号の路線及び太平洋側の水準点と電子基準点（標高）の測量成果を改定し、平成29年度に国道4号から西側の日本海側の水準点と電子基準点（標高）の測量成果を改定した。

これにより、現段階において公共測量等の基準となる標高を提供することができた。

その一方で、以下の課題も挙げられる。

①電子基準点の標高区分が「水準測量による」から「GNSS水準による」に変更になった点があり、

GNSS水準を行う際の与点として使用できなくなった。

②電子基準点成果のうち標高を改定しても楕円体高を改定しないため、これによる高さの差はジオイド高の誤差として扱われるので、水準点と周辺の三角点や公共基準点との不整合が残ってしまう。

これらの課題に対しては、今後の新たな標高体系や測地基準座標系の検討の中で議論され、解決することになると考えている。

現在も余効変動は小さくなりつつも継続していることから、引き続き余効変動の状況をモニターし、測量成果の維持管理を着実に実施する。

（公開日：平成30年10月2日）

参考文献

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, 重松宏実, 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.

井上武久, 大滝修, 植田勲, 山下達也, 白井宏樹, 鈴木啓, 古屋智秋, 檜山洋平 (2017): 東北地方太平洋側を中心とした水準点の測量成果の改定, 国土地理院時報, 129, 169-175.

山下達也 (2017): 東北地方太平洋沖地震の余効変動に伴う水準測量成果改定検証に係るデータ取得作業, 国土地理院測地部作業報告書.

山下達也 (2017): 電子基準点データによる水準点の標高変動補正-九州地域における検証-, 国土地理院測地部技術報告書.