

## 紀伊半島地域の三角点標高成果改定 The Revision of Altitudes of Triangulation Points in Kii Peninsula

中部地方測量部 岩田昭雄<sup>1</sup>

Chubu Regional Survey Department Masao Iwata

測地部 越智久巳<sup>2</sup>

Geodetic Department Kumikazu Ochi

### 要 旨

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

紀伊半島では、三角点の標高成果に不整合がみられたため、平成 19 年度に「成果不整合地域における三角点改測（以下、「三角点改測」という.）」作業を実施し、紀伊半島南部で三角点 57 点を改測した。その結果、標高の変動量が+50cm を超える地域が広範囲に確認されたため、紀伊半島地域において三角点の標高成果を改定することとした。これまで三角点と電子基準点との間で測量成果の標高に不整合がみられたが、この成果改定によって、地殻変動の影響が解消された三角点の標高成果が提供可能となり、測量作業を効率的に行うことが可能となる。

本稿は、紀伊半島地域の標高成果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

三角点等の経緯度の成果は、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（以下、「明治頂天距離観測」という.）と近傍の水準点からの二等水準測量に基づいた値となっている。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値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」に改定されており、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、三角点と水準点の標高成果の間には地殻変動等の影響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。

これらに対応するためには、三角点の改測を行うことが最良であるが、約 10 万点もの三角点を全て改測することは現実的には不可能である。このため、測地基準課では、これまでに整備された三等三角測量の頂天距離観測データをはじめとして、高度地域基準点測量及び三角点改測等のデータを用いて、電

子基準点等の日本のジオイド 2000 に基づいた三角点標高の改算を順次進めていく計画である。

平成 20 年度においては、平成 19 年度に近畿地方測量部において、三角点の標高成果に不整合がみられた紀伊半島南部の 57 点を抽出し三角点改測を実施した結果（図-1）、+50cm を超える標高変動量が広範囲に存在していることが確認されたため、優先的に当該地域の標高成果改定に取り組んだ。

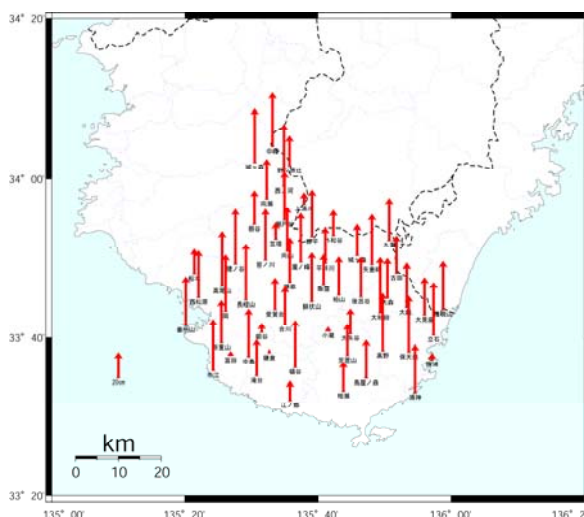


図-1 成果不整合地域における三角点改測による標高の変動ベクトル図

### 2. 標高改定の対象地域

本稿で標高改定を実施した紀伊半島地域の範囲は、三重県、大阪府、奈良県及び和歌山県の 1 府 3 県である。地域の選定では、公共測量等の測量作業が一般的に地方公共団体ごとに計画されることから、都道府県を単位に作業地域を選定した。

### 3. 標高改定に使用したデータと計算の手順

紀伊半島地域の三角点の標高成果改定の計算手順は、平成 19 年度に取り組んだ北海道地域の三角点標高成果改定（岩田，2008）の計算手順に準じて行った。

標高成果改定の計算は、平成 6 年度～平成 15 年度の高度基準点測量及び平成 19 年度の三角点改測等

の電子基準点を既知点とした測量の結果を用いて対象地域の骨格的な三角点の標高値を決定した。さらに、この骨格的な三角点の標高値を基に、明治頂天距離観測データを用いた改算により骨格的な三角点以外の一等～三等三角点の標高値を算出した。しかし、対象地域は、昭和 21 年(1946 年)南海地震に伴う復旧測量が広範囲に渡って実施されており、この復旧測量の頂天距離観測(以下、「南海頂天距離観測」という。)のデータも同様に計算へ使用して標高値を算出した。この南海頂天距離観測データから標高値が算出された三角点は、明治頂天距離観測データからも標高値が算出されている。現在の実用成果は南海頂天距離観測データから算出した標高値であるため、最終的な改算による標高値は、南海頂天距離観測データによる標高値とした。

四等三角点及び二等多角点等については、PachJGD(標高版)を用いて実用成果を補正する改算によって標高値を決定した。標高補正パラメータの構築は、算出した一等～三等三角点の各点の標高値と実用成果との差から、Kriging 法により各 3 次メッシュコード南西角グリッド(緯度経度の約 1 km 間隔)ごとの補正量を推定した。

この標高改定の計算手順を図-2 に示す。

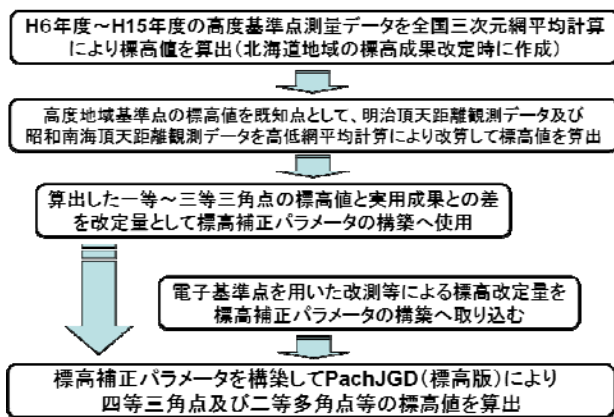


図-2 三角点標高成果改定の計算手順

#### 4. 平均計算による計算

##### 4.1 高度基準点測量の結果による標高改測

高度地域基準点(高度地域基準点は、日本の骨格となる三角点で全国に 2,400 点あり、電子基準点の補完的な役割を持っている。)の標高の改測は、北海道地域の標高を改定したときと同様に高度基準点測量全国三次元網平均計算の結果を使用した。この平均計算は、平成 6 年度～平成 15 年度までに行われた GPS 測量方式による高度基準点測量の結果を結合して同時に平均計算した結果である。この三次元網平均計算の結果には、高度地域基準点 1,102 点が含まれており、今回の対象地域に位置する三角点は、36

点が該当した。この三角点 36 点に関する基線ベクトルについては、三次元網平均計算の結果にある基線ベクトルの各成分の残差において 10cm を超えるものがなかったため、三次元網平均計算の標高最確値を今回の標高値として採用した。また、対象地域にある高度地域基準点 36 点のうち、3 点は移転及び再設等の措置が行われているため、頂天距離観測データの計算には、高度地域基準点 33 点を既知点とした。

##### 4.2 頂天距離観測データによる標高改算

算出された高度地域基準点 33 点の標高値を標高の既知座標として固定し、明治頂天距離観測データを用いた高低網平均計算によって 2,422 点(対象地域外の三角点を含む。)の標高を算出した。また、南海頂天距離観測データも同様に高度地域基準点 33 点のうち 12 点を既知点として高低網平均計算を行った。この計算によって、対象地域の一等～三等三角点の標高値を算出したことになり、各計算から算出される三角点の分布を図-3 に示す。

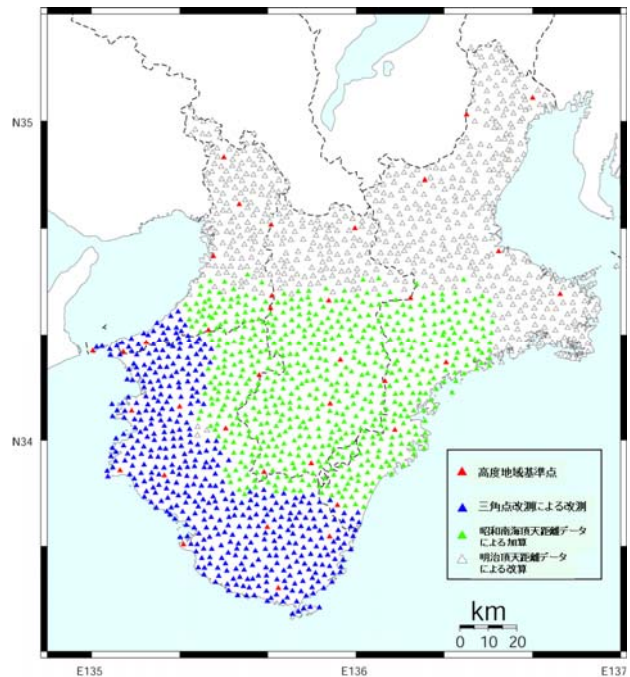
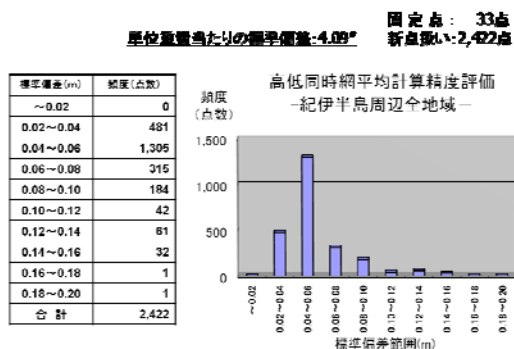


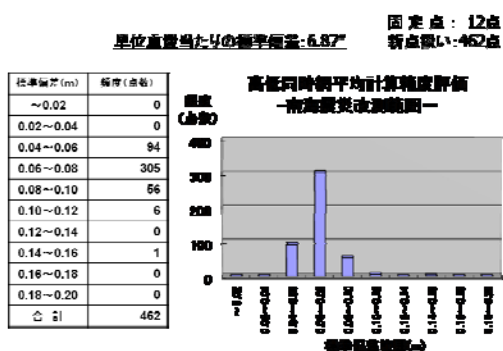
図-3 計算方法別による一等～三等三角点の分布図

高低網平均計算の精度評価としては、単位重量当たりの標準偏差と未知点(ここでは、新点扱いとした三角点を示す。)の標準偏差により行った。明治頂天距離観測データの高低網平均計算において、単位重量当たりの標準偏差は、4.09 秒と良好な結果であった(図-4)。また、新点扱いとした三角点の標準偏差では、14cm を超える三角点が 34 点あったが、全て標高改定の地域外に位置する三角点であった。南海頂天距離観測データの高低網平均計算において

は、単位重量当たりの標準偏差が 6.87 秒、新点扱いとした三角点の標準偏差でも 14cm を越える三角点がなく、良好な結果であった（図－5）。



図－4 明治頂天距離観測データの計算結果  
本計算には、南海震災改測範囲を含むとともに、該当府県以外の三角点も含む。



図－5 南海頂天距離観測データの計算結果

精度評価の結果を踏まえ、実用上問題のない標高値が得られたと判断された。また、明治又は南海地震の時に行った三等三角測量以降に行われた移転や改埋等の復旧測量の履歴による高低の履歴変化量を算出した。この履歴変化量は、三角点の実用成果の標高値から三等三角測量当時の標高値を差し引いて算出したものである。これによって、高度地域基準点を除く対象地域の一等地～三等三角点の標高値は、次の計算式となる。

$$H2 = H1 + dH$$

ただし、H2：成果となる標高値

H1：今回の高低網平均計算から算出した標高値

dH：履歴変化量{(実用成果の標高値)－(三等三角測量当時の標高値)}

頂天距離観測データによる計算は、対象地域よりやや広い範囲を計算しており 2,422 点であるが、対象地域において最終的に求めた一等地～三等三角点の標高値は、1,726 点であった。

## 5. 標高補正パラメータの構築

### 5. 1 電子基準点による改測等に伴う標高改定量の利用

標高補正パラメータの構築では、一等地～三等三角点の実用成果の標高値に対する改定量を変動データとし、実用成果の標高値を電子基準点や水準点に整合させる量となる。近年の電子基準点を既知点とした測量のうち、復旧測量の改測及び基準点測量の際に取付既知点とした三角点の改測による標高値は、これまで求めてきた頂天距離観測データによる標高値より信頼性が高い。従って、これらの電子基準点を既知点とした改測等による標高の改定量は、標高補正パラメータの変動データとして採用し、パラメータの構築の高精度化へ活用することとした。対象地域では、これに該当する三角点は、平成 19 年度までに 444 点であった。

### 5. 2 標高補正パラメータの構築

標高補正パラメータのデータとなる一等地～三等三角点は、高度地域基準点 36 点、頂天距離観測データから算出された 1,285 点及び 5. 1 の電子基準点を既知点とした改測等から求めた三角点 444 点の計 1,765 点の変動データとなった。この変動データを整理し、隣接する三角点との間で変動量(改定量)を比較した。その結果、明らかに周辺の三角点と様相が異なる三角点が 11 点あったため、これを標高補正パラメータのデータから除外とした。これによって、標高補正パラメータの構築には、1,754 点の変動データを与件とすることとした。

標高補正パラメータの構築は、北海道地域で行った方法と同様であり、データ形式変換ソフト( Transform3.4 )を用いて標高補正パラメータのデータのデータ変換を行い、Kriging 法により各 3 次メッシュコード南西角グリッド上のパラメータ(補正量)の推定を行った。

### 5. 3 標高補正パラメータによる改算と検証等

対象地域の全てを検証できてはいないが、平成 20 年度の三角点改測の改測量と構築した標高補正パラメータとを比較して外部評価を行った。この結果、三重県北部の標高補正パラメータが、三角点改測の改定量よりマイナス傾向が大きい結果であった。そのため、この平成 20 年度の三角点改測の一等地～三等三角点のうち、三角点改測の改測量と標高補正パラメータの補正量との較差が 20cm 以上となる三角点 21 点については、頂天距離観測データから算出した改定量と平成 20 年度の三角点改測の改測量とを差し替えて変動データを再度作成して標高補正パラメータを再構築した。

再構築した標高補正パラメータを検証するために、変動データとして採用していない三重県北部の四等



三角点 61 点について外部評価を行った。評価結果は 86%にあたる 53 点が 20cm 以内の較差に収まったため、再構築したパラメータを採用することとした。

対象地域では、四等三角点等が総数 3,135 点あるが、電子基準点や水準点の標高と整合していない四等三角点等は 1,750 点が該当し、これに標高補正パラメータを用いて標高値を改算した。

## 6. 標高改定量の概観

今回の改定で得た改定量を図-6 に示す。当該地域の高度基準点測量や三角点改測等の改定量は、紀伊半島南部で最大 +0.66m、三重県北部で最大 -0.85m の範囲となり、北方沈降、南方隆起の傾向を示している。南海地震に伴う復旧測量が行われた地域やその改測の結果を基に改定が行われた地域では、ほぼ隆起を示しており、沈降との境界線が過去に三角点の標高成果が改定された地域と未改定の地域エリアとの接合域と調和的である。

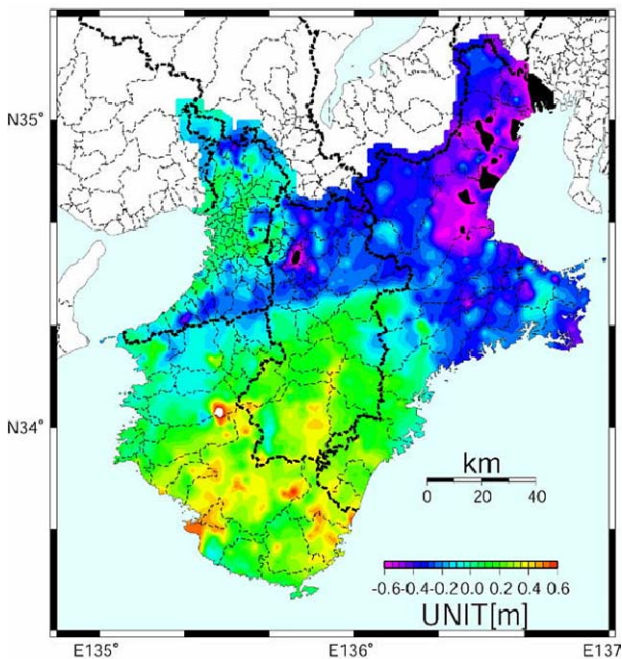


図-6 紀伊半島地域の三角点標高改定量図  
この標高改定量図は、三角点の標高改定量を基に構築した補正パラメータの量を表す。

## 7. 三角点の標高成果改定のまとめ

### 7. 1 高度地域基準点の標高成果改定

高度基準点測量の結果による標高値は、33 点であるが、三角点改測等ですでに改定されている三角点を除くと、29 点となる。

この 29 点の三角点については、平成 9 年度から平成 15 年度までに行われた測量の観測データを用いて、電子基準点の実用成果を固定した全国三次元網平均計算結果による標高値を用いて改定する。

### 7. 2 三角点改測を実施した三角点の標高成果改定

平成 19 年度に近畿地方測量部において実施した「成果不整合地域における三角点改測」を行った 57 点の三角点については、この改測による標高値を用いて標高成果を改定する。

### 7. 3 7. 1 及び 7. 2 に該当しない一等～三等三角点の標高成果改定

高度基準点測量及び三角点改測等が行われていない一等～三等三角点は、復旧測量の GPS 測量方式による再設及び移転や廃点等の措置が行われた三角点を除いたため、1,195 点となった。この一等～三等三角点については、明治頂天距離観測データ及び南海頂天距離観測データを用いて、高度基準点測量による標高値を既知として高低網平均計算により計算された標高値を用いて改定する。

### 7. 4 四等三角点や二等多角点等の標高成果改定

1,750 点の四等三角点や二等多角点等については、構築した標高補正パラメータを用いて補正した標高値を用いて改定する。なお、1,750 点の点数には、頂天距離観測データが存在しなかった三等三角点 3 点が含まれている。

### 7. 5 まとめ

7. 1～7. 4 の改測や改算による標高値への改定と構築した標高補正パラメータの公表を平成 21 年 4 月 1 日に行った。実用成果の標高を改定した三角点等の総点数は、3,031 点であった（表-1）。

表-1 作業方法別による改定した三角点数

実用成果を改定した三角点等の総点数	3,031 点
高度基準点測量による改測	29 点
成果不整合地域における三角点改測による改測	57 点
頂天距離観測データの計算による改算	1,195 点
標高補正パラメータによる改算	1,750 点

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。

**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.