

平成 15 年 (2003 年) 十勝沖地震に伴う基準点成果の改定

The Revision of Geodetic Coordinates of Control Points Associated with the Tokachi-oki Earthquake in 2003

測地部

土井弘充・白井康友¹・大滝三夫²・斉藤 正・湊 敏弘³
千葉浩三・井上武久・住谷勝樹・菅原 準・田中愛幸・齋田宏明

Geodetic Department

Hiromitsu DOI, Yasutomo SHIRAI, Mitsuo OHTAKI, Tadashi SAITO,
Toshihiro MINATO, Hiromi CHIBA, Takehisa INOUE, Katsuki SUMIYA,
Jun SUGAWARA, Yoshiyuki TANAKA and Hiroaki SAITA

測地観測センター

矢萩智裕・小島秀基・湯通堂 亨・雨貝知美・岩田昭雄⁴

Geodetic Observation Center

Toshihiro YAHAGI, Hideki KOJIMA, Toru YUTSUDO,
Tomomi AMAGAI and Masao IWATA

要 旨

国土地理院では、2003 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震 (M8.0) 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測定の基準を与えるため、国土地理院が設置していた電子基準点、三角点及び水準点等約 6,700 点の成果を 2005 年 4 月に改定した。これらの基準点は、地球上における水平位置や高さを正確に測定した点で、すべての測定の基本となるものである。

また、国土地理院では、地震の影響により位置が変化した公共基準点等の成果改定を支援するため、地殻変動による水平位置の変化を補正するための座標補正ソフトウェア「PatchJGD」を作成し、国土地理院のホームページ上で公開している。

本報告では、国土地理院が実施した十勝沖地震に伴う基準点成果改定の概要について報告する。

1. はじめに

十勝沖地震は海溝型巨大地震であったことから、広域に地殻変動が発生した。電子基準点の観測データの解析により、えりも町の電子基準点が最大約 87cm 東南東方向に移動し、大樹町の電子基準点が約 31cm 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から求められた震源モデルによると、平均的な地殻の水平歪み量が 2 ppm (10km で 2 cm) を超える地域は約 3 万 k m^2 に及んでいた (図-1)。

また、海域を震源域とするプレート境界付近で発生した地震であったため、水平変動は概ね同一方向となり、最大歪み量は日高山脈付近の 11ppm 程度であると推定された。

すべての三角点の再測量は作業期間及び必要経費

の点から実用的でないため、骨格的な三角点において高度地域基準点測量を行い、空間的に詳細な水平変動を捉えた上で、電子基準点と三角点の成果を改定した。また、十勝沖地震に伴う広域の上下変動を把握するとともに、水準点成果の精度・正確さを保つため、2003 年度及び 2004 年度に実施した高精度三次元測量 (水準測量) 結果に基づいて上下変動の大きな地域の水準点について成果を改定した。

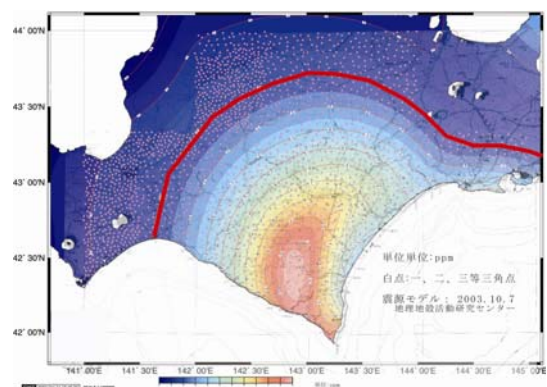


図-1 十勝沖地震に伴う水平歪みの大きさ
赤線は水平歪み量が 2 ppm を示す

2. 電子基準点の成果改定

2.1 概要

地殻変動の様相、公共測量への影響、地域の特性、投入可能な予算と人員、基準点体系の目的等を総合的に検討した結果、震源モデルによる平均的な地殻の水平歪み量が 2 ppm 以下の電子基準点 8 点を固定し、成果改定地域内 (平均的な地殻の水平歪み量が 2 ppm 以上) にある電子基準点 73 点の改定成果を最新の観測データを用いて算出した。この内、三角点

成果改定地域内に設置してある電子基準点 59 点の改定成果を 2005 年 4 月 1 日に公表した。

2. 2 GPS 観測データ

GPS 観測データは、2004 年 6 月 1 日を基準日とした。今回の地震による余効変動は長期間継続していたが、5 月末以降の一箇月当たりの変動量が 1 cm 未満に減少していたこと、8 月に実施した高度地域基準点測量の現地計算に電子基準点の改定成果を使用することを考慮して基準日を決定した。GPS 観測データは基準日の前後 2 日間、計 5 日間の 24 時間データを使用した。

2. 3 GPS 基線解析方法

GAMIT(学術用基線解析ソフトウェア)を使用して、以下のとおり GPS 基線解析を実施した。

- 1) GPS 衛星の暦情報は精密暦 (IGS 最終暦) を使用した。
- 2) 使用する GAMIT の解析可能最大点数を 45 点に設定しているため、成果改定地域内にある電子基準点を A グループ 43 点と B グループ 43 点 (図-2) に分けて GPS 基線解析を実施した。
- 3) A グループの電子基準点と B グループの電子基準点をネットワーク結合するため、電子基準点 5 点: 美瑛 (940007), 釧路市 (940010), 足寄 (950121), 阿寒 1 (950124), 上士幌 2 (020874) を重複して使用した。
- 4) 基線解析の設定パラメータの一つである固定点の座標拘束条件は、通常の解析では水平成分で 0.01~0.03m, 鉛直成分で 0.03~0.10m を採用しているが、地震による変動量を考慮した結果、水平成分, 鉛直成分とも 0.10m を採用した。

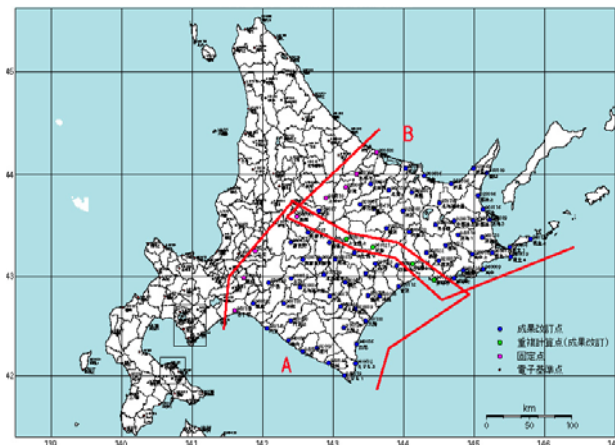


図-2 成果改定計算グループ

2. 4 GPS 基線解析の調整計算方法

GLOBK(学術用調整計算ソフトウェア)を使用して、以下のとおり調整計算 (平均計算) を実施した。

また、調整計算結果を地震発生後の電子基準点の改定成果とし、地震前の成果との差から各電子基準点の変動量を算出した (図-3)。

- 1) 固定点は、成果改定地域の外周に位置する電子基準点 8 点: 苫小牧 (950136), 長沼 (940014), 三笠 (960516), 美瑛 (940007), 上川 (960510), 白滝 (020863), 丸瀬布 (950111), 湧別 (960503) を使用した。
- 2) 固定点の成果は測地成果 2000 (現行成果) を使用した。
- 3) A グループ 5 セッション, B グループ 5 セッションの GPS 基線解析結果 (合計 10 セッション) により、調整計算を実施した。

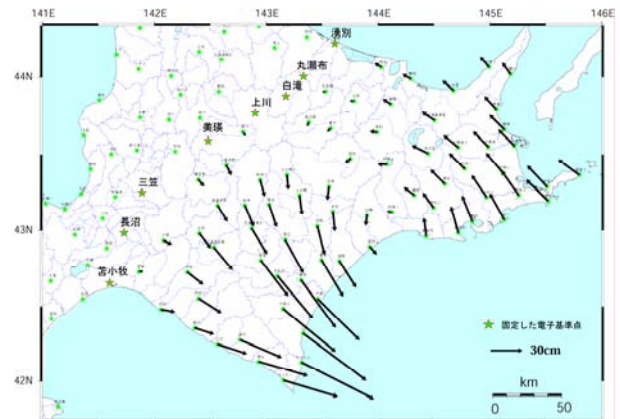


図-3 電子基準点の変動量

2. 5 精度管理

基線解析結果の精度管理は、日間較差によって行った。A グループの電子基準点 43 点では 5 セッションの各解析座標値の平均較差と最大較差は、水平成分では 0.008m と 0.028m であり、鉛直成分では 0.034m と 0.049m であった。また、B グループの電子基準点 43 点では 5 セッションの各解析座標値の平均較差と最大較差は、水平成分では 0.013m と 0.030m であり、鉛直成分では 0.032m と 0.049m であった。A グループ, B グループともほぼ同程度の解析結果が得られており、不良データ等による異常値は含まれていないことが確認できた。

2. 6 電子基準点改定成果の公表

調整計算結果の評価を踏まえ、以下の方針で電子基準点 59 点の改定成果を 2005 年 4 月 1 日に公表した。

- 1) 生田原 (020861), 東川 (020867) は三角点成果改定地域外に位置するが、電子基準点間の成果の整合性を重視して改定成果を公表する。
- 2) 恵庭 (960522) は成果改定量が小さく、固定点の外周に位置するため成果改定はしない。
- 3) 網走から根室にかけての地域に設置している電

子基準点 10 点に加え、三角点の成果改定地域外に位置する北見(950114), 中標津(950113), 標津(950115)の改定成果は, 2005 年度に同地域の三角点改定成果を公表する時に合わせて公表する。

4) えりも地域の標高の変動量が 20cm 程度となるため, 電子基準点間の成果の整合性を重視し, 電子基準点の標高成果を公表する。

3. 高度地域基準点の成果改定

3. 1 概要

2004 年度から高度基準点測量の後継事業として開始された「高度地域基準点測量」により, 水平変動の大きな日高・十勝・釧路地方の三角点の再測量を実施した。高度地域基準点測量は, 電子基準点網(点間距離 20~25km) だけでは把握できない複雑な地殻変動パターンを平均距離 10km (電子基準点と組み合わせた場合) の高度地域基準点網(一等~三等三角点により構成) で克明に捉えるとともに, 変動する日本列島における正確な水平位置の基準(精度 1 cm) を提供するために実施する。

3. 2 高度地域基準点測量の実施

3. 2. 1 作業地域及び作業量

基準点成果改定地域を対象に, 高度地域基準点測量を日高・十勝・釧路地方において, 外注作業 5 地区(浦河, 苫小牧, 平取, 帯広, 置戸 合計 150 点)及び直営作業 1 地区(釧路 46 点)を実施した。

3. 2. 2 観測作業

高度地域基準点 196 点(一等~三等三角点から選点)において, 電子基準点を既知点とした多角測量方式による GPS 観測(静的干渉測位方式)を実施した。GPS 観測は, 単位多角形毎に 1 級 GPS 測量機を使用して, データ取得間隔 30 秒, 連続観測時間 6 時間により 1 セッション観測を実施した。

3. 2. 3 GPS 基線解析方法

GAMIT を使用して, 以下のとおり GPS 基線解析を実施した。

- 1) GPS 衛星の暦情報は精密暦(IGS 最終暦)を使用した。
- 2) 基線解析は平均図に基づき各々の単位多角形毎に実施した(図-4)。

3. 2. 4 GPS 基線解析の調整計算方法

GLOBK を使用して, 以下のとおり調整計算を実施した。

- 1) 既知点となる電子基準点の成果は, 改定成果(網平均計算結果)を使用した。
- 2) 多固定による調整計算を作業地区(高度地域基準点約 30 点)単位に実施した。

- 3) 作業地区を結合させるため, 隣接地区間で共通に使用できる電子基準点を 3 点以上重複させた。
- 4) 電子基準点間の改正成果の整合性が高いこと, 隣接地区間で共通に使用できる電子基準点を重複させていることから, 各作業地区を一括しての調整計算は実施しなかった。

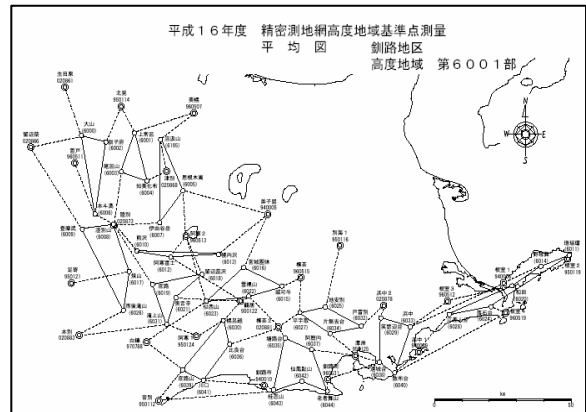


図-4 釧路地区平均図

3. 2. 5 高度地域基準点改定成果の公表

GLOBK による調整計算結果を地震発生後の高度地域基準点の改定成果とし, 2005 年 4 月 1 日に公表した。また, 地震前の成果との差から各高度地域基準点の変動量を算出した(図-5)。

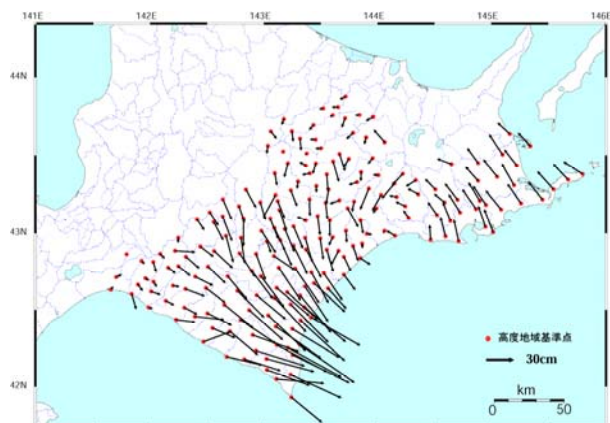


図-5 高度地域基準点の変動量

4. 地震等に伴う座標補正ソフトウェアの開発

4. 1 概要

平成 15 年(2003 年)十勝沖地震のように広域に地殻変動が生じた場合, より効率的な基準点成果を改定する手法が必要である。このため, 電子基準点及び高度地域基準点の変動量から, 改測作業を実施しなかった三角点の変動量を補間計算して, 地震後の測量成果を算出する座標補正ソフトウェア「PatchJGD」を新たに開発した。

座標補正ソフトウェア「PatchJGD」は, 座標補正

プログラムと座標補正パラメータファイル、並びに関連する文書より構成されている。

座標補正ソフトウェア「PatchJGD」の適用については、地震により生じる地殻の歪みが規模やメカニズムにより様々な様相を示すことから、個々の地震について検討する必要がある。

4. 2 座標補正プログラム

座標補正プログラムは、座標補正パラメータファイルを読み込み、利用者から入力された任意の座標値に応じて必要なパラメータを使用してバイリニア補間（格子点4点の変動量による補間法）を行い、変動後の座標値に近似的に補正する（図-6）。ただし、入力する座標値は、世界測地系「日本測地系2000（ITRF94系）：GRS80楕円体」に準拠していることが前提である。



図-6 座標補正プログラム「PatchJGD」

4. 3 座標補正パラメータファイル

座標補正パラメータファイルには、適用できる地震名や対象エリア等を説明した注釈文と地域毎の座標補正パラメータ（以下、「座標補正パラメータ」という。）が記載されている（表-1）。

表-1 座標補正パラメータファイル

for PatchJGD Ver. 1.0.0 001		
2003年9月26日に発生した「平成15年(2003年)十勝沖地震」による地殻変動を補正する地域毎の座標補正パラメータです。対象エリアは、主として北海道東南部です。		
..... 途中の記載は省略.....		
MeshCode	dB(sec)	dL(sec)
62436280	-0.00928	0.01573
62436281	-0.00945	0.01594
62436282	-0.00958	0.01622
62436198	-0.00882	0.01575

座標補正パラメータは JIS X0410（地域メッシュコード）により設定された格子点（点間隔は、緯度方向 30 秒・経度方向 45 秒）における座標補正量である（図-7）。

電子基準点・高度地域基準点の変動量（緯度差と経度差、単位は秒）を元に、クリギング法（格子点以外の点の既知の値から、格子点の未知の値を推定するアルゴリズムの一つ）によりグリッド化処理を行い、格子点における緯度方向の補正量 dB と経度方向の補正量 dL を計算した。

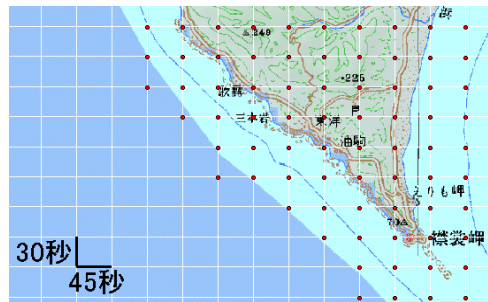


図-7 地域メッシュコードによる格子点

4. 3. 1 座標補正パラメータの作成方法

座標補正パラメータを以下のとおり作成した。

- 1) 座標補正パラメータの作成範囲は利用者の利便性を考慮し、市町村単位で設定した。
- 2) 地域メッシュデータを地球地図で使用している行政界データにより作成した。また、成果改定範囲の地域メッシュデータは、陸地部分のメッシュ及び海岸線上から海側に 2 km 程度のバッファを含めたメッシュの格子点(4点)から構成した。
- 3) 電子基準点及び高度地域基準点の変動量の大きさと方向を検討し、周囲の観測点と傾向が異なり、地殻変動による変動でない判断される点を削除し、新旧座標値ファイルを作成した。
- 4) 新旧座標値ファイルを使用し、Transform Ver3.4によるクリギング処理等を行い、メッシュコード単位での補正量を算出した。
- 5) 算出した補正量から、各種マスクをかけて陸地部分のデータを抜き出した。
- 6) 算出した補正量に、改定範囲地域のメッシュに該当するパラメータを抜き取り、最終的な座標補正パラメータを作成した。

4. 3. 2 座標補正パラメータの作成

日高・十勝・釧路地方において座標補正パラメータを2回作成した。初回版の座標補正パラメータを電子基準点、高度地域基準点及び3時間観測した検証点の変動量により作成した。

初回版の座標補正パラメータの精度評価を踏まえ、

除外する高度地域基準点の変動量と追加する検証点の変動量を再検討し、最終版の座標補正パラメータを作成した。また、成果改定地域(市町村)の見直しを行い、変動量の小さい苫小牧市、勇払郡早来町及び追分町を成果改定地域から除外した。

(1) 初回版の座標補正パラメータの作成

初回版の座標補正パラメータは、電子基準点 72 点、高度地域基準点 196 点、3 時間観測を実施した検証点 7 点、計 275 点の変動量を検討の結果、変動量の大きさと方向が周囲の観測点と傾向が異なる高度地域基準点 6 点と検証点 1 点の変動量を削除し、電子基準点 72 点、高度地域基準点 190 点、検証点 6 点、計 268 点の変動量を使用して作成した。

(2) 最終版の座標補正パラメータの作成

最終版の座標補正パラメータは、電子基準点 80 点、高度地域基準点 182 点、及び検証点 17 点、計 279 点の変動量を使用して作成した。

初回版の座標補正パラメータの精度評価を踏まえ、以下の変更を加えた。

- 1) 固定点に使用した電子基準点 8 点を追加した。
- 2) 初回版の座標補正パラメータによる補正量と検証作業による変動量の整合性が良好であることから、1 時間観測を実施した検証点 11 点の変動量を追加した。
- 3) 高度地域基準点の変動量の大きさと方向を再検討の結果、さらに高度基準点 6 点の変動量を削除

した。

- 4) 電子基準点に近接している高度地域基準点 2 点の変動量を削除した。

最終的に座標補正パラメータ作成に使用した電子基準点、高度基準点及び検証点の変動量を図-8に示す。

白抜きで表示されている変動量は、座標補正パラメータ作成から削除した以下の変動量である。

- 1) 大きさと方向が周囲の観測点の傾向と異なる高度地域基準点及び検証点の変動量
- 2) 電子基準点に近接(概ね 2 km)している高度地域基準点及び検証点の変動量
- 3) 高度地域基準点に近接(概ね 4 km)している検証点の変動量

4. 4 GPS 測量による検証作業

座標補正ソフトウェア「PatchJGD」による補正値の信頼性を確認するため、電子基準点を既知点とした独立な GPS 観測による検証作業を以下のとおり実施した。また、検証作業による改測値を検証点の改定成果とした。

- 1) 座標補正パラメータ作成地域に検証点を均等に配置するため、一等三角点 1 点、三等三角点 7 点、四等三角点 31 点を選点した。
- 2) 検証作業を 2004 年 9 月 6 日～17 日(12 日間: 1 班編成)に 14 点、10 月 12 日～22 日(11 日間: 3 班編成)に 25 点、計 39 点実施した。

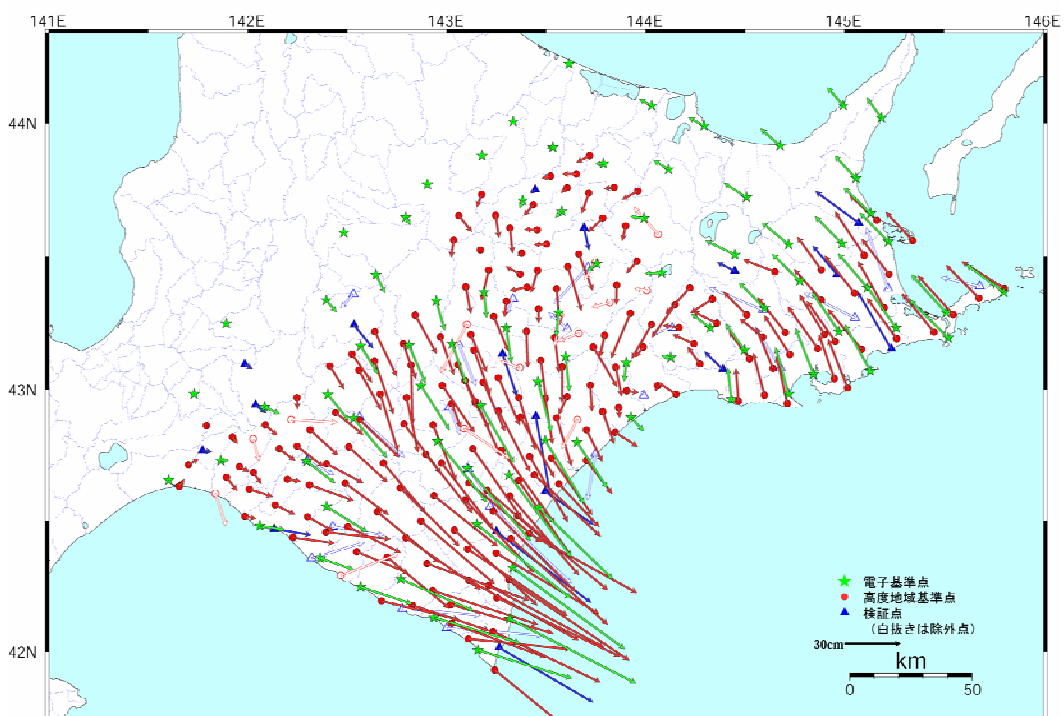


図-8 座標補正パラメータ作成に使用した変動量

- 3) 検証点 7 点は高度地域基準点測量を実施していない空白地域を補完するため、座標補正パラメータ作成用に 3 時間観測を実施した。その他の検証点 32 点は検証用に 1 時間観測を実施した。
- 4) 電子基準点 3 点以上を既知点として、検証点 1 点毎に 1 時間観測値は GPSurvey, 3 時間観測値は GAMIT を使用して基線解析を実施した。

4. 5 精度評価

4. 5. 1 内部評価

座標補正パラメータの妥当性を評価するため、内部評価により座標補正パラメータと座標補正パラメータの作成に使用した変動量の整合を確認した。

(1) 初回版の座標補正パラメータの内部評価

座標補正パラメータ作成に使用した電子基準点 72 点・高度地域基準点 190 点・検証点 6 点の内、成果改定地域内に設置している電子基準点 57 点・高度地域基準点 184 点・検証点 4 点について、再測量による改測値と座標補正パラメータによる補正値を比較した。標準偏差は緯度方向 4mm, 経度方向 3mm であった。

(2) 最終版の座標補正パラメータの内部評価

座標補正パラメータの作成に使用した電子基準点 80 点・高度地域基準点 182 点・検証点 17 点の内、成果改定地域内に設置している電子基準点 57 点・高度地域基準点 173 点・検証点 14 点について、再測量による改測値と座標補正パラメータから計算した補正値を比較した。標準偏差は緯度方向 3mm, 経度方向 3mm であり、初回版と同様に整合性が非常に高いことが確認できた。

4. 5. 2 外部評価

(1) 初回版の座標補正パラメータの外部評価

座標補正パラメータ作成に使用しなかった任意の点での座標補正ソフトウェア「PatchJGD」による補正値の信頼性を確認するため外部評価を行った。

検証点 33 点について検証作業による改測値と座標補正ソフトウェア「PatchJGD」による補正値を比較した。標準偏差による比較結果は、緯度方向約 7cm, 経度方向約 6cm であった。座標の較差では、全体の 61%が 10cm 以内であり、82%が 15cm 以内であった。

座標の較差が 21cm であった検証点(四等三角点禿山)については、原因として砂っぽい崖の上の海側に面した道路脇にあること、昭和 29 年に(三角法により)設置され、片面が海に面しているために突き出しの網となっていたことが考えられる。

(2) 最終版の座標補正パラメータの外部評価

最終版の座標補正パラメータ作成に使用した検証点 11 点を除いた検証点 22 点について、検証作業による改

測値と座標補正ソフトウェア「PatchJGD」による補正値を比較した(図-9)。

標準偏差による比較結果は、緯度方向約 9cm, 経度方向約 8cm であった。座標の較差では、全体の 50%が 10cm 以内であり、77%が 15cm 以内であった。

検証点に使用した三角点の設置時の測量精度や電子基準点を利用した測量結果と測地成果 2000 構築のアルゴリズムの根本的な座標差など様々な誤差を考慮すると良好な結果であった。

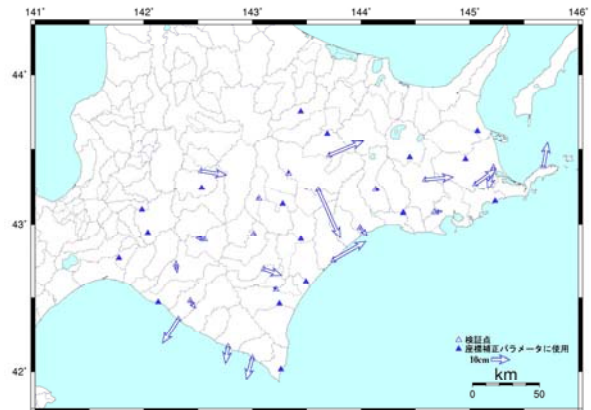


図-9 外部評価による補正値と改測値の較差

4. 6 座標補正ソフトウェアによる三角点成果改定

座標補正ソフトウェア「PatchJGD」の使用方法は、Web上で 1 点毎に経緯度又は平面直角座標を入力し、変動前の座標値を変動後の座標値に補正する方法と一度に複数の経緯度または平面直角座標を一括補正する方法がある。

表-2 座標補正を実施した三角点の内訳

一等三角点	6 点
二等三角点	279 点
三等三角点	758 点
四等三角点	3, 187 点
多角点等	974 点



図-10 電子基準点及び三角点成果改定地域

網走地方に設置している電子基準点及び三角点については、2005 年 11 月に成果を改定する予定である。

成果改定地域内には改測作業に基づき成果改定した三角点以外に 5,204 点の三角点等が設置されている。それらの基準点成果を効率的に補正するため、一括補正処理を実施した。座標補正を実施した三角点の内訳を表-2 に示す。また、電子基準点及び三角点の成果改定地域を図-10 に示す。

5. 水準点の成果改定

5. 1 概要

十勝沖地震の発生により大きな上下変動が生じた地域の水準点の改定成果を 2005 年 4 月 20 日に公表した。

最初に水準点成果改定地域を決定するため、1 点固定による水準点網平均計算を実施し、各水準点の網平均計算結果と 2000 年度平均成果を比較した。この結果から水準点成果改定地域の外周に位置する変動量の小さい一等水準交差点 4 点を固定し、多固定による水準点網平均計算を実施した。次に観測していない水準路線について、上記で求められた一等水準点（水準点網平均計算結果）を固定して、旧観測データによる補間計算を実施した。

これらの計算結果から成果改定地域に設置している水準点 1,235 点（水準路線：2,670km）の成果を改定した。

5. 2 高精度三次元測量（水準測量）の実施

2003 年に震源域周辺の詳細な地殻の上下変動を把握するため、緊急測量（釧路市から帯広市、豊頃町を經由して門別町に至る水準路線 481km）を実施した。

2004 年度においても、十勝沖地震に伴う広域の上下変動を把握するとともに、水準点成果の精度・正確さを保つため、2003 年度に実施した水準路線以外の北海道中部・東部・西部の水準路線 2,102km について高精度三次元測量（水準測量）を実施した。

観測路線により構成した各環の閉合差は、図-11 に示すとおり良好な結果であった。

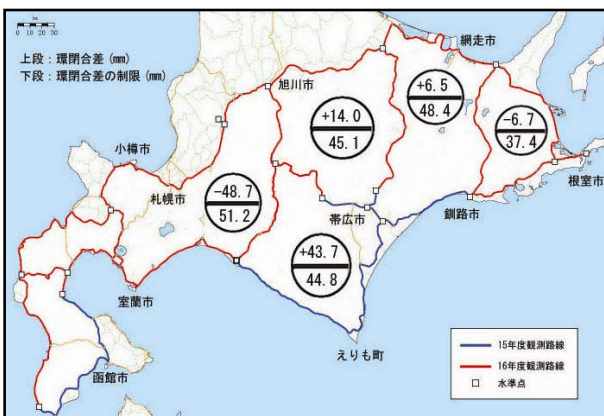


図-11 観測路線により構成した各環の閉合差

5. 3 成果改定方針

成果改定を以下の方針で実施した。

1) 水準点の成果改定地域を特定するため、2003 年度及

び 2004 年度の観測値を使用して 1 点固定による水準点網平均計算を実施する。

2) 1 点固定による水準点網平均計算結果から選定した一等水準点（2000 年度平均成果）を固定して、多固定による水準点網平均計算を実施する。その計算結果を各水準点の改定成果とする。

3) 水準点網平均計算に含まれていない水準路線は、利用可能な最新の観測値を使用して、単路線の場合は両端を固定、複数路線の場合は端点すべてを固定して水準点網平均計算を実施する。それらの計算結果を各水準点の改定成果とする。

5. 4 計算方法

5. 4. 1 1 点固定による水準点網平均計算の実施

成果改定地域と固定点を選定するため、忍路駒場付近の一等水準点 6997 を固定し、2003 年度及び 2004 年度の観測値を使用して、1 点固定による同時網平均計算を実施した。2000 年度平均成果と同時網平均計算結果の比較により、十勝沖地震による地殻の上下変動の影響が少ないと思われる一等水準交差点 6、一等水準交差点 29、一等水準交差点 47、一等水準交差点 45 の 4 点を固定点として選定した（表-3、図-12）。

表-3 固定点として選定した一等水準点（単位 m）

固定点	2000 年度平均成果	6997 固定の網平均計算	2000 年度平均成果との差
交 6	4.2995	4.2754	-0.0241
交 29	107.8821	107.8486	-0.0335
交 47	122.7099	122.6770	-0.0329
交 45	6.6171	6.5592	-0.0579

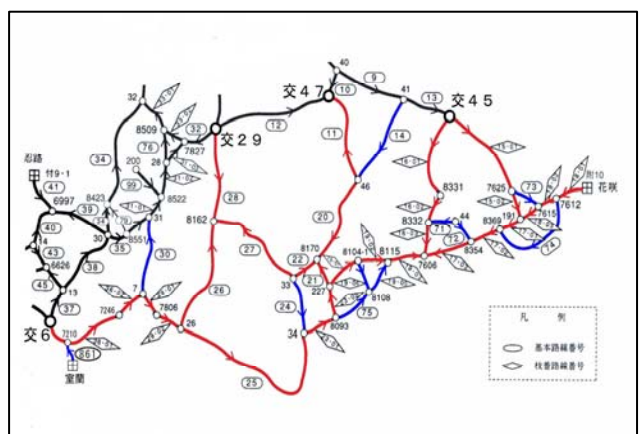


図-12 網平均計算に使用した一等水準路線

5. 4. 2 多固定による水準点網平均計算の実施

一等水準交差点 6、29、47、45（2000 年度平均成果）を固定して多固定による水準点網平均計算を実施した。

ただし、一等水準交差点6は成果不良のため2004年度高精度三次元測量作業による改測値を使用した。

計算結果の精度

単位重量当たりの標準偏差：1.47mm

水準交差点の標準偏差：最小値 10.04mm, 最大値 15.37mm

十勝沖地震による地殻の上下変動の影響が大きな虻田町～苫小牧市～えりも町～釧路市～斜里町に至る路線で水準点網平均計算結果により決定した改定成果と2000年度平均成果を比較した(図-13)。

十勝沖地震の震源域に近い広尾町に設置している一等水準点8048付近の沈下量が最大で約19cmであった。

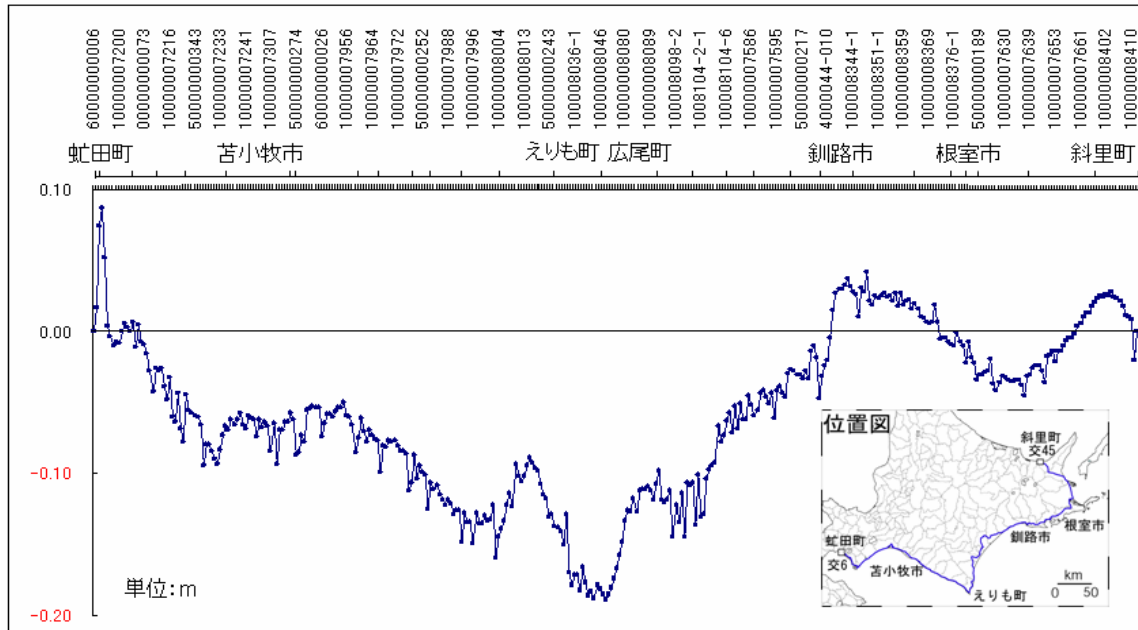


図-13 一等水準路線(虻田町～斜里町)における改定成果と2000年度平均成果の比較結果

5. 4. 3 一等水準点の補間計算の実施

改測路線の内、観測しなかった一等水準路線(13路線)について、路線毎に両端点の水準点成果(網平均計算結果)を固定し、旧観測値により補間計算を実施した。補

間計算結果を表-4に示す。

表-4 一等水準点の補間計算結果

路線番号	距離 Km	許容値 m	閉合差 m	観測年度
1100-1	22.969	0.0719	+0.0006	2004
1100-2	30.205	0.0824	-0.0108	1913
1100-3	14.079	0.0563	+0.0367	1913
1400	87.325	0.1402	-0.0107	1969
1900	30.855	0.0833	+0.0033	1952
2400	58.194	0.1144	+0.1215	1969
2500-1	19.807	0.0668	+0.0451	1952
2500-2	19.953	0.0670	-0.0160	1952
3000	75.164	0.1300	-0.0517	1991 1993 2004
0071-0072	46.606	0.1024	+0.0723	1953 1977
7300	21.060	0.0688	-0.0194	1955
7400	54.283	0.1105	+0.0586	1953
7500	30.368	0.0867	-0.0233	1912

表-5 許容範囲を超過した一等水準路線

路線番号	距離 Km	許容値 m	閉合差 m	観測年度
1501-10	2.225	0.0224	+0.0347	1976
1501-11	1.942	0.0209	+0.0848	1994
1501-12	2.281	0.0227	+0.0271	1974
1601-11	3.973	0.0299	-0.0843	1961
1601-12	2.694	0.0246	-0.0388	1975
1702-102	5.129	0.0340	+0.0424	1953
1703-11	1.384	0.0176	-0.0203	1994
1703-16-11	5.035	0.0337	-0.0734	1975
1703-19-1	1.791	0.0201	+0.0589	1973
1802-10	2.010	0.0213	+0.0219	1986
1802-11	2.206	0.0223	-0.0361	1974
1803-14-1	2.006	0.0212	+0.0320	1986
1803-14-2	2.029	0.0214	-0.0227	1974
1903-12	4.828	0.0330	-0.0398	1977
2000-10	2.046	0.0215	+0.0220	1979
2400-10	3.800	0.0292	+0.0973	1953
2600-11	1.562	0.0187	+0.0191	1981
3000-10	2.482	0.0236	+0.0699	1991

両端点の水準点成果による比高と旧観測値による比高の閉合差の許容値は $15\text{mm}\sqrt{S}$ （ S ：路線長で km 単位）を標準とした。2400 号路線の閉合差は許容範囲を超過したが、微小であるため計算結果を採用した。

次に新たな道路建設等により部分的に改測路線から外れた一等水準路線（68 路線）について路線毎に両端点の水準点成果（網平均計算結果）を固定し、旧観測値により補間計算を実施した。

表－5 で示す 18 路線は、許容範囲（ $15\text{mm}\sqrt{S}$ ）を超過したが計算結果を採用した。なお、廃点処理されていた水準点 36 点は計算から除外している。

5. 4. 4 二・三等水準点の補間計算

二・三等水準点路線による水準路線網 6 地区について複数の端点（一等水準点網平均計算結果）を固定して、水準点網平均計算を実施した。単位重量当たりの標準偏差を表－6 に示す。

また、二・三等水準路線 15 路線について、単路線毎に両端点（一等水準点及び二・三等水準点網平均計算結果）を固定し、旧観測値を使用して補正計算を実施した。水準路線 100900, 101200, 101700 の閉合差が許容範囲の $15\text{mm}\sqrt{S}$ を超過したが 101200, 101700 号路線は単年度の観測値であることから計算結果を採用した。

表－6 単位重量当たりの標準偏差

水準路線番号	標準偏差 mm
100500-100700	6.3
101300-101900	4.9
102000-102100-102200	4.5
102300-102400-102500	7.6
103200-103800	8.9
104000-104200	3.9

5. 5 改定成果と 2000 年度平均成果の比較結果

水準点成果改定地域内にある一、二、三等水準点総点数 1,235 点（水準路線：2,670km）の改定成果を 2003 年度及び 2004 年度に実施した水準測量結果による水準点網平均計算及び旧観測値を使用した補間計算により求めた。

一等水準点の改定成果（多固定による水準点網平均計算結果）と 2000 年度平均成果の比較結果を図－14 に示す。比較結果による北海道中部・東部・西部地域の平均的な上下変動量は -5.4cm と沈下傾向であり、十勝沖地震の震源域に近い広尾町付近の沈下量は約 -19cm であった。苫小牧市周辺の約 -11cm の沈下量は、この地域が泥炭地域であることから広域な地盤沈下が生じたものと考えられる。また、伊達市（ $+9\text{cm}$ ）の隆起傾向は有珠山の火山活動の影響と考えられる。他に釧路町（ $+3\text{cm}$ ）、斜里町（ $+3\text{cm}$ ）、弟子屈町（ $+4\text{cm}$ ）と若干の隆起傾向が散在しているが原因は不明である。

6. まとめ

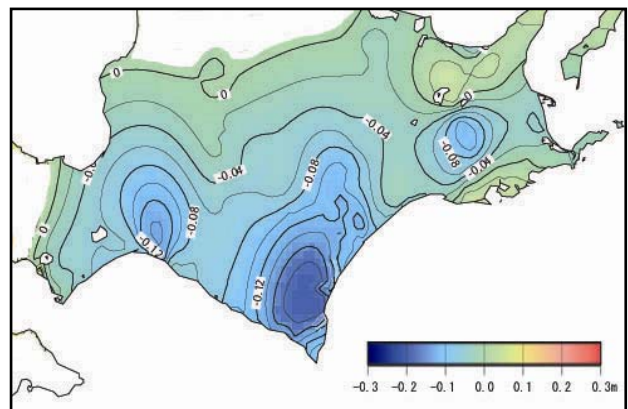
三角点の成果改定は、これまで改測を中心に行われてきたが、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震では、広範囲の三角点成果を効率的に改定するため、電子基準点及び骨格的な三角点の改測と座標補正ソフトウェア「PatchJGD」による改算を組み合わせた方法を初めて採用した。

今回の成果改定により広範囲に概ね一様な地殻変動が発生した場合の成果改定手法が確立した。引き続き 2005 年度に網走地方に設置している三角点の成果を同様な手法により改定する予定である。

水準点成果については、2003 年度及び 2004 年度に実施した高精度三次元測量（水準測量）による最新の観測結果を使用した水準点網平均計算及び補間計算により改定した。

これにより、水準点成果に含まれていた十勝沖地震の発生により広域的に生じた地殻の上下変動による影響を取り除くことができた。

今後とも地震や火山活動により地殻変動が生じた場合は、電子基準点の観測データの解析結果や現地調査結果により成果改定範囲を決定し、改測作業や改算又は座標補正ソフトウェア「PatchJGD」により速やかに改定成果を公表していく。



図－14 水準点標高改定成果と 2000 年度平均成果の比較結果

謝 辞

座標補正ソフトウェア「PatchJGD」による成果改定にあたって、開発者である飛田幹男氏（地理地殻活動研究センター宇宙測地研究室主任研究官）より指導・助言を頂いた。また、座標補正パラメータ作成にあたって成果改定地域のメッシュデータを高桑紀之氏、藤村英範氏（地図情報部情報普及課ネットワーク技術係）に作成して頂いた。以上の方々に深く感謝致します。

参考文献

- 飛田幹男 (2002) : 世界測地系移行のための座標変換ソフトウェア“TKY2JGD”, 国土地理院時報, 97, 31-51.
- 辻 宏道, 白井康友, 大滝三夫, 杉原和久, 川本利一, 高島和宏, 木村 勲, 井上武久 (2004) : 平成 15 年度 (2003 年) 十勝沖地震に対する測地部の取り組み, 国土地理院時報, 105, 3-10.
- 飛田幹男 (2005) : 地殻変動に伴う座標値補正を行う座標補正ソフトウェア「PatchJGD」, 国土地理院技術資料 H・1-No. 5.