

# セミ・ダイナミック補正について

キーワード：プレート運動による位置変化  
地殻変動モデル  
ネットワーク型RTK-GPS  
測量精度改善  
セミ・ダイナミック補正要領（案）

測地技術調整官

宮 崎 清 博

# セミ・ダイナミック補正について

## 1. はじめに

わが国は、世界有数のプレート沈み込み帯に位置しているため、正確な測量に基づく測量成果を与えた基準点であっても、時間が経過するにつれてその位置が変化してしまうことは避けられない。プレート運動による相対位置の変化は、例えば本州の太平洋岸と日本海岸の間では年間数cmにも及ぶ。しかし、歪みの大きさとしては年間百万分の1以下であり、測量が局所的に行われているならば、測量成果を固定した値としていても実用上の問題はなかった。

ところが、GPSを利用した測量方式の導入に伴い、新点を設置する際に遠方の基準点を用いることが可能となった。このため、広域の地殻変動による相対位置の変化が実際の測量結果に反映され、成果値との間に無視できない差を生むことになった。しかも、測量成果を決定した時点から時間が経過するほど、地殻変動による差は増大していく。局所的な測量で求めた測量成果と広域の測量結果との不整合を解消するための方策が現実必要となった。

既知点の測量成果を常に現在の座標に改定することで、観測結果と既知点の測量成果との整合性を保つことはできる。しかし、既知点の測量成果そのものが時間と共に常に変化していくのでは、位置情報基準としての安定性が失われてしまう。このような設定では社会的混乱を招くおそれがあるとともに、測量成果を頻繁に改定するための、多大な経費と労力が必要となる。

こうした問題に対応するため、測量成果を常時変化させるのではなく、各観測点の観測結果等に対して基準日から観測日までの地殻変動を補正する手法（以下、「セミ・ダイナミック補正」という。）を導入することとした。測量時期に応じた補正量は常時変動するのではなく一定期間毎に更新され、この補正を観測値に加えることで、求める新点の測量成果と既知点の測量成果の基準日を統一する。これによって広域の測量結果と既存の測量成果との整合性を確保し、位置情報基準としての安定性を維持していくことが可能となる。

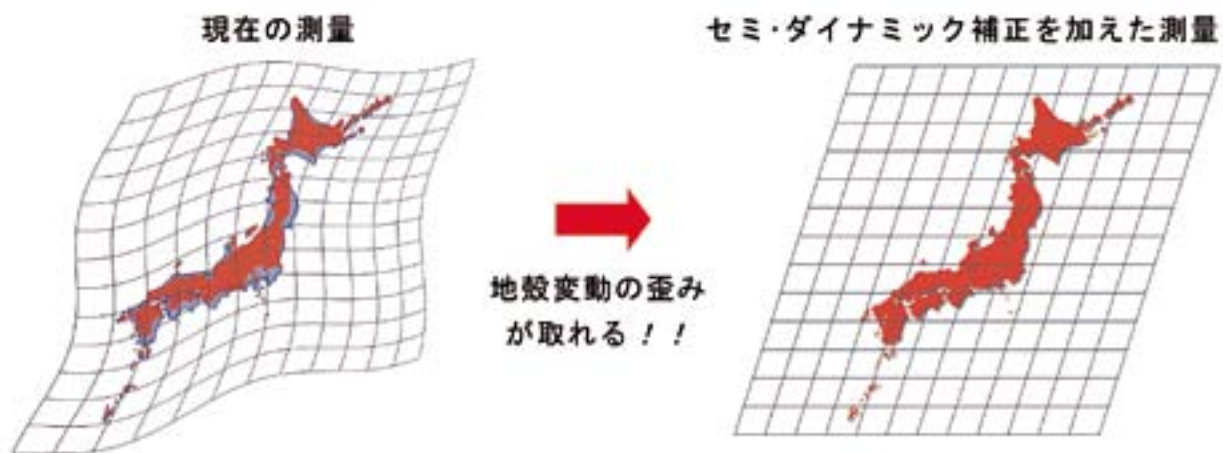


図-1 セミ・ダイナミック補正のイメージ図

## 2. 第6次基本測量長期計画における位置づけ

国土地理院では、第6次基本測量長期計画において、今後10年間に基本測量が果たすべき役割と課題を掲げている。この究極の目的は、「いつでも、どこでも、だれでも、現在の位置を正確に知ることのできる環境の実現」にある。このような環境の基盤としての役割を担うのが測地成果2000であるが、地殻変動の激しい日本列島において、地殻変動による成果の精度劣化をいかに効率よく防い

でいくかが、課題の一つとなっている。

地震・火山活動に伴う地殻変動については、これまで、再測量や再計算を行い、局部的に成果を改定することで対処してきたものの、プレート運動に伴う定常的な地殻変動については、対処方法が確立されていなかった。地殻変動の影響により生じた座標値の差は、日本列島全体の電子基準点の変位を平均すると、世界測地系に対して約 20cm (図-2) であり、2 ppm 程度の歪みが蓄積している。今後もこの歪みは累積していき、いずれは隣接電子基準点間の閉合差の許容範囲を超えてしまうような大きな相対位置の差を生み出すことになる。

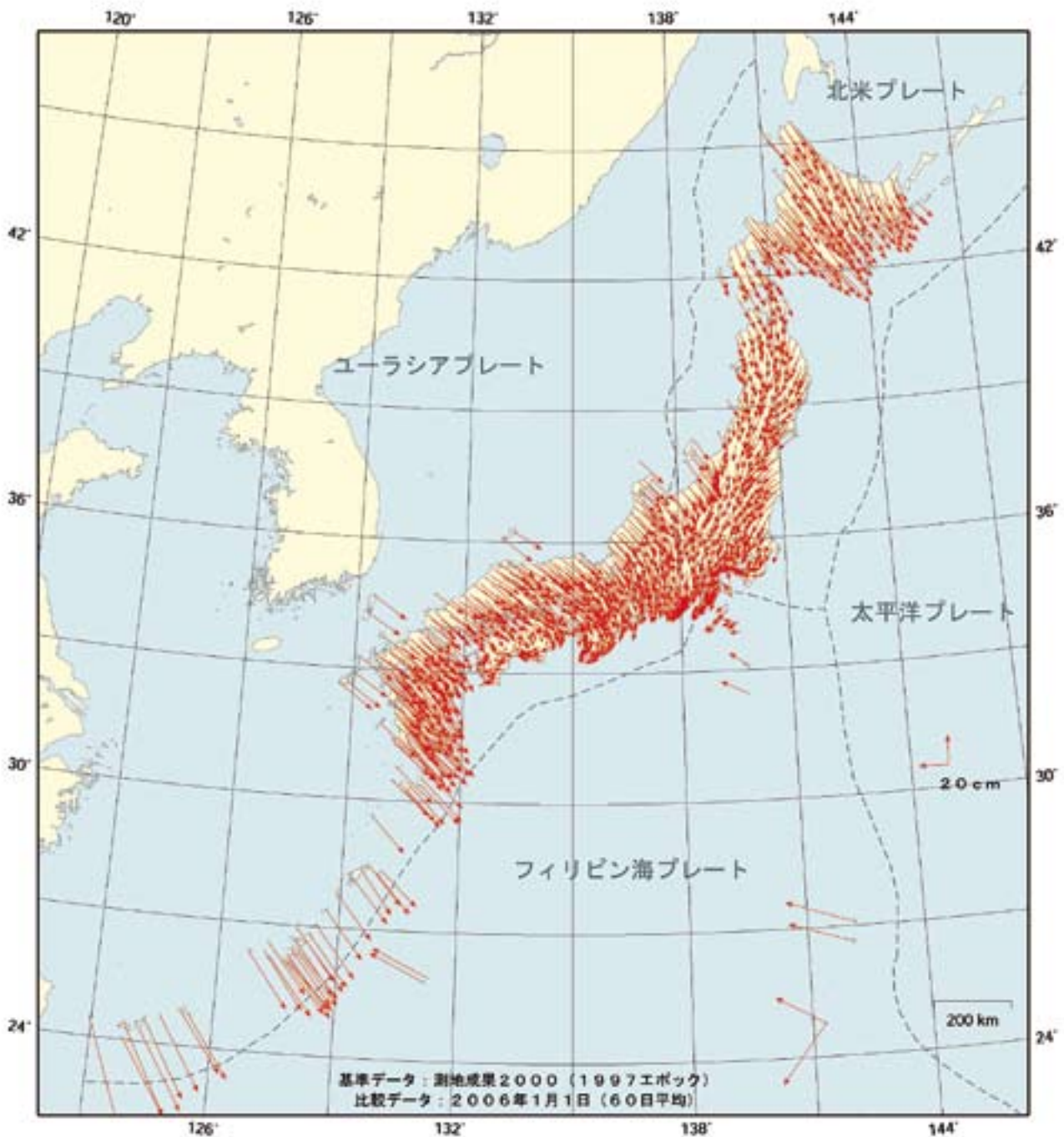


図-2 JGD2000 と 2006/1/1 (F2 解平均値) との座標差

このため、第6次基本測量長期計画に、「連続観測と繰り返し測量で得られる地殻変動データ等を活用し、地殻変動による位置情報の劣化を補正する手法を開発し、cmレベルの測量に必要な基準点成果を提供」することが重点施策として位置づけられているところであり、平成16年度からセミ・ダイナミック補正の導入に向けた調査研究を行ってきた。

### 3. セミ・ダイナミック補正導入に向けた調査研究

セミ・ダイナミック補正の実現には、地殻変動モデルの構築、補正量の提供手法の開発、モデルの維持管理手法とデータベースの開発等が必要である。これらのうち地殻変動モデルは、電子基準点や高度地域基準点の基準日から観測日までの座標時系列のモデル化と、モデル化された変動量を空間補間して任意の点における変動量を求める計算過程から成る。

平成16年度は、過去の電子基準点データを用いた日本列島全域の地殻変動による歪みの時間変化を調査し、測量に与え得る誤差を評価し、さらに電子基準点の地殻変動モデルの素案を作成した。

平成17年度は、前年度の素案モデルを元に実際の測量データ（四等三角点のスタティック測量）に適用し補正効果の検証を行った。また、ネットワーク型RTK-GPS測量による試験観測を通して、配信会社が独自に開発した補正手法との比較を行った。この試験観測では、電子基準点と新点のみを使用した。

平成18年度は、電子基準点の成果を擬似的に変えることで地殻変動を模して、それに対する地殻変動補正の効果を確認した。さらに、標準的な地殻変動補正方式の検討を行った。

#### 3.1 地殻変動補正による測量精度の改善

地殻変動モデルを実際の測量データに適用し、補正の有効性について確認するため、電子基準点を既知点とした四等三角点の測量データを用いて、電子基準点間の閉合差が補正によりどれくらい改善するか調査した。扱ったデータは、平成16年度に行われた全国28地区のデータである。

図-3に結果を示す。この図で、縦軸は各路線の結合差、横軸は隣接既知点間の地殻変動量の差である。青の直線は、現行の測量の結果を用いて、両者の相関をとったものである（地殻変動補正なし）。紫の直線は、地殻変動モデルにより補正を行った後、相関をとったものである。まず、補正なしの場合に、既知点間の変動量の差に比例して結合差が大きくなっていることが分かる。

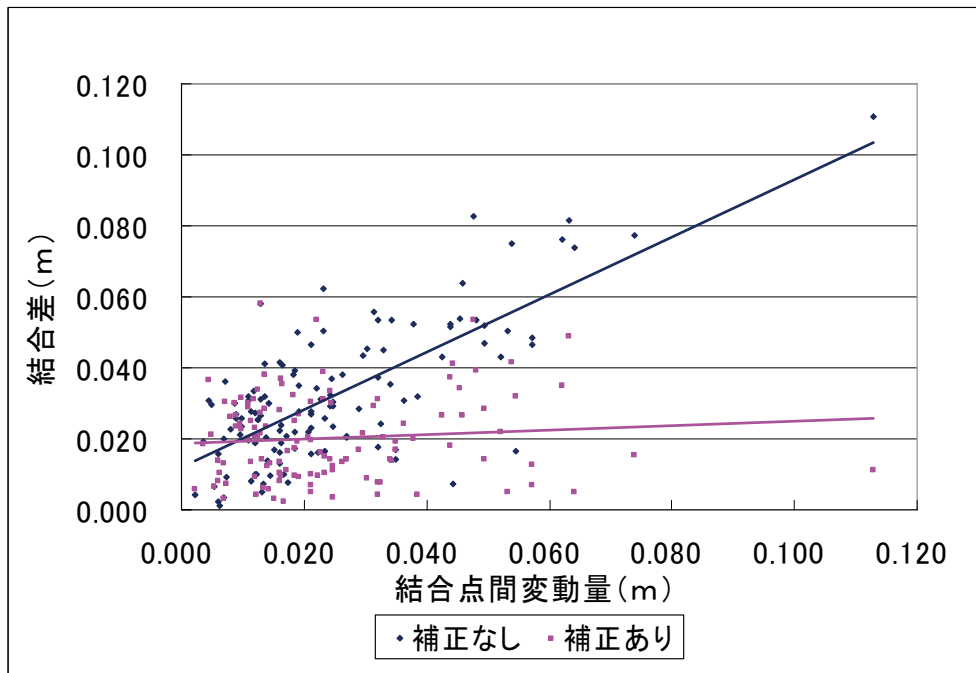


図-3 補正の有無による閉合差の違い

### 3.2 ネットワーク型 RTK-GPS における地殻変動補正

ネットワーク型 RTK-GPS では、ネットワークを構成する電子基準点間の距離は、概ね 30km から 70km である。したがって、現時点の地殻変動の歪みによる誤差が、電子基準点間で 10cm を超えることもまれではない。多くのデータを平均して解を求めるスタティック測量と異なり、短時間で解を得なければならぬリアルタイム測位では、電子基準点間の距離の観測値と成果とに 1 cm 以上の差が生じると、測位結果のばらつきが大きくなる。さらに差が大きくなれば、成果の誤差ではなく、観測値が異常であると判定されてしまい、解析ができなくなってしまう。

ネットワーク型 RTK-GPS のデータ配信各社は、この地殻変動による影響を補正するサービスを独自に提供している。配信各社による試験観測点は、数 m 間隔で数点設置され、複数の受信機・アンテナを用いて、同一の場所・時刻で異なる補正手法による解析結果を得る方法が取られた。

補正効果の検証は、試験観測点の位置を求める際に、補正を施した場合としない場合とで、基準値に対してどれくらい差が生じるかを評価することで行った。基準値は、24 時間のスタティック測量で、試験観測点 1 点の座標を求めた後、他の点をトータルステーションで決定した。

## 4. 調査研究の結果

### 4.1 セミ・ダイナミック補正データを得るための点間距離と補正データ更新期間

電子基準点間の閉合差から、観測値を補正することにより、閉合差が小さくなったことより有効と判断できる。補正がない場合、許容範囲を超過するような地域でも、補正を行うと、約 1/6 にまで改善されることもわかった。

以上のことから地殻変動データの推定に使用する基準点間隔（位置）及び地殻変動補正データの推定間隔（期間）は、

1. 出来るだけ近隣の基準点を使用
  2. 作成間隔（期間）は出来るだけ短く
- することにより有効的な補正量が求まると言える。

補正方法は、観測値に補正し平均計算を行う方法と平均結果に補正する方法があるが、どちらの方法でも計算誤差程度で求まる。このことは、トータルステーション等の測量でも同等の精度で地殻変動補正を行うことが可能ということである。

## 4.2 ネットワーク型 RTK-GPS の評価と課題

ネットワーク型 RTK-GPS 実証試験では、測位結果が地殻変動の影響を受けており、補正によってその影響が取り除かれ、測地成果 2000 との整合性が維持されていることが明らかになった。補正方式には、相対誤差を補正する方法と絶対誤差を補正する方法に大別されるが、どちらの手法で補正を行っても、両者の測位結果の差は 10mm 未満であり、現行のスタティック観測の結果とも、10mm 強で一致した。ネットワーク型 RTK-GPS の公称精度 20mm - 30mm を考えれば、地殻変動補正によって、スタティック測量と変わらない精度が得られたことが分かる。

しかし、補間元とする電子基準点の変動量にどのような値を用いるか、補間に使用する電子基準点をどのように選択するかは、配信各社の範疇にある。

例えば、ある網の中に、1 点だけ周囲と異なる傾向の変動が生じていたとする。この点を補間を含むか含まないかで、その点の周囲の補正量は異なる。これは、地震により局所的な成果改定が行われた地域で測量する際に、改定地域外の電子基準点だけを用いて地殻変動補正量を求めると、震源域の変動を反映できないことを意味しており、現に新潟中越地震後のネットワーク型 RTK-GPS 測量では、スタティック測量との違いが 10cm 程度の座標差となって現れた。

現在は、局所的な地域に最も隣接する電子基準点に結合することによって、この差を解消しているとのことである。

いずれにしても、測位結果や補正量のよい一致は見られたものの、各手法の精度を評価する統一的な基準は今のところない。また、シミュレーションのパターンも限られた場合にしか行われていない。このため、より多様な地殻変動のパターンに対して、補正結果や補正量の差を評価するとともに、上記の原因を考慮した、標準的な補正方法を確立する必要がある。

## 5. セミ・ダイナミック補正要領（案）

平成 18 年度には、これまでの調査研究結果を踏まえ、求める既知点・新点の測量成果を基準日に統一し、既知点と新点との測量成果の整合性を保ちつつ位置情報基準としての安定性を確保することを目的とした「セミ・ダイナミック補正要領（案）」が作成された。

この要領（案）は、セミ・ダイナミック補正に係る「用語の定義」、「地殻変動モデルの作成方法」、「観測結果等の補正方法」及び「監理方法等」を定めている。

セミ・ダイナミック補正の対象は、これまでの調査研究結果から電子基準点及び高度地域基準点測量等により検出可能な地殻変動とし、基準点の異常による個別の変動又は地震・火山活動による地域的な変動は対象としないこととしている。

なお、電子基準点網は、平均点間距離が 25km と長いため、これを補う形で高度地域基準点の変動量を地殻変動モデル作成の既知点に組み込むこととしている。

### 5.1 定義等

「セミ・ダイナミック補正要領（案）」では、いくつかの定義等を示している。

- ・セミ・ダイナミック補正とは、測地成果 2000 の基準日である 1997 年 1 月 1 日 0 時（以下、「元期」という。）から観測を行った時点（以下「今期」という。）までの間に生じた地殻変動の量（以下「地

殻変動量」という。)を、今期の観測結果等に補正することによって、元期において得られたであろう測量成果を求める計算のことをいう。

- ・地殻変動モデルとは、既知点及び新点における地殻変動量を与えるものをいう。
  - ・地殻変動パラメータとは、地殻変動量をグリッド化したものをいう。
- 地殻変動パラメータは、定期的、あるいは、所定の再現性が保てないとき更新する。

## 5.2 セミ・ダイナミック補正方法等

セミ・ダイナミック補正方法は、次の2つの方法による。

- ・既知点の座標値を元期に固定し、基線解析を行った後、得られた各基線ベクトルにその始点における地殻変動量を加え、終点における地殻変動量を差し引いて得られるベクトルを用いて、網平均計算を行う(表-1 a)。
- ・既知点の元期の座標値から地殻変動量により今期の座標値を求め、今期の座標値として固定し網平均計算を行った後、求めた新点の座標値を補正し元期に戻す(表-1 b)。

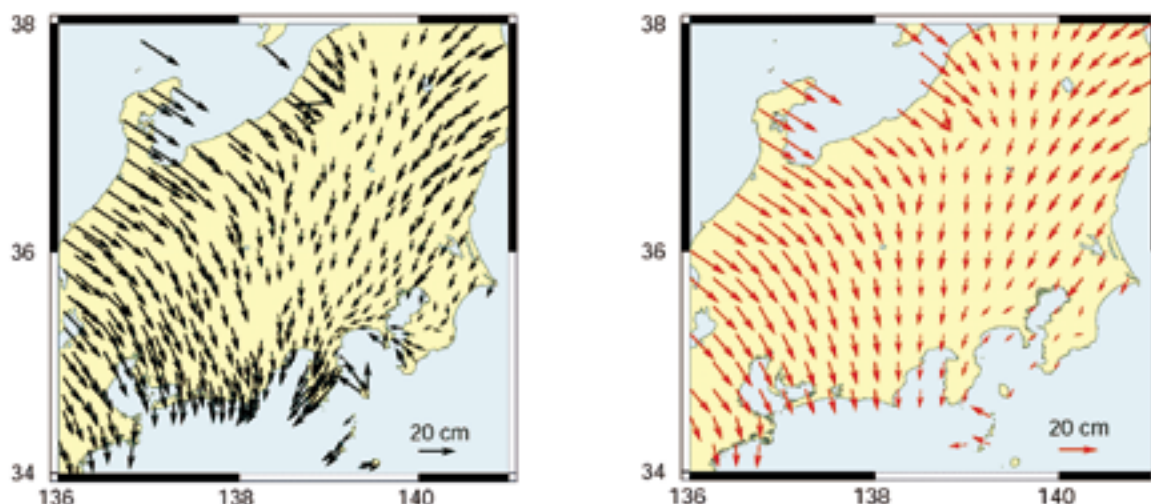
表-1 補正方法

a	b
既知点を元期に固定	既知点の座標値を補正し今期に固定
↓	↓
基線解析	基線解析
↓	↓
各基線ベクトルを補正する	網平均計算
↓	↓
網平均計算	新点座標値を補正し元期に戻す

## 5.3 モデルの概要

国土地理院では、電子基準点、高度地域基準点等を利用して定常的な地殻監視を行っている。電子基準点は、約25km間隔で設置されており、日々の座標を用いて元期から今期までの地殻変動量をいつでも得ることができる。これを空間的に補間することで、任意の観測点における地殻変動量を求めることができる。

また、GPSによる高精度な繰り返し観測が行われている高度地域基準点は、約10km間隔で設置されており、地殻変動の検出に、より長い時間を要するものの、電子基準点だけでは捉えきれない詳細な変動を得ることができる。高度地域基準点測量は、平成16年度から開始されており、全国を一巡するのは5～10年後であるが、このデータもモデルの高精度化に利用していくこととしている。



図－４ F2 解による電子基準点の地殻変動（左）とグリッド化した地殻変動モデル（右）

地殻変動パラメータの作成例を図－４に示す。骨格となる電子基準点の変動量（図－４左）からTKY2JGDやPatchJGDと同様な方法（Kriging法）を用いてグリッド化する（図－４右）。電子基準点網では目が粗くなっている部分を高度地域基準点が補う形となる。

## 6. 今後の取り組み・課題

### 6.1 試験運用による検証と公共測量への対応

平成19年度は、基本測量である基準点測量（四等三角点）へ試験的に導入し、さらに検証を行う予定である。また、今後は公共測量への適用調査を自治体等へ行っていくこととしている。

### 6.2 成果改定

たとえば、セミ・ダイナミック補正を導入したとしても、成果として表示されている基準点の座標値は、地殻変動を加味した、すなわち時間変化を加味した全地球的な測地系に基づく座標値を追従するわけではない。つまり、成果の座標値はGPSが準拠している測地系による座標値から次第に乖離していくことになる。精密な測位を行う際には、相対的な位置関係だけでなく、このような絶対的な座標値の差が問題となる場合もあり、いずれは測量成果を改定する必要があることには変わりない。

### 6.3 公共基準点の今後

自治体の中には、電子基準点を絶対位置の基準として、これに結合させる方法で独自の公共基準点の体系を組むことを構想し、動き始めているところもある。一方、大多数の自治体は、周辺の基本三角点の成果に整合した相対位置で決定されている膨大な地籍資料を保持しており、また、公共基準点もその重複を避けるため市町村境界付近にある基準点は、双方の自治体で使用されている。地域的測量結果の整合性を保つためには、相対的な位置関係の精度が確保されるように配慮する必要がある。

## 7. おわりに

定常的な地殻変動に起因する基準点の位置の変化によって「測地成果」を頻繁に改訂しなくてはならないといった問題は、セミ・ダイナミック補正の導入により回避される。また、これにより広域的な基準点を活用した測量方式の可能性も広がることになる。一方、これまで蓄積された測量結果、公



共測量成果，といった資産を生かすため，近傍の基準点に準拠した測量も継続することで，異なった測量手法から得た成果の整合性を確保していかなければならないであろう。

国土地理院は，目的にあった精度の測量が効率的に実施できるよう，今後も測地成果とそれに関連した制度，手法の整備に努めていきたいと考える。

#### 参 考 文 献

田中愛幸（2004）：地殻変動を補正するセミ・ダイナミック測地系構築の研究，調査研究年報，33-34.

田中愛幸（2005）：セミ・ダイナミック測地系の構築に関する調査研究，調査研究年報，33-34.

谷河寿朗（2005）：地殻変動補正の有効性の確認及び補正データ作成方法の検討，部外研究院報告.

田中愛幸ほか（2006）：セミ・ダイナミック測地系の構築に向けた取り組みについて，国土地理院時報，110，1-9.

国土地理院（2005）：ネットワーク型 RTK - GPS におけるセミ・ダイナミック補正手法に関する調査研究.

国土地理院（2006）：ネットワーク型 RTK - GPS における地殻変動補正手法の標準化に関する調査研究.

測地部（2007）：セミ・ダイナミック補正要領（案）及び同運用基準.