

電子基準点を利用した基準点測量について

當山 忍、洲鎌 実吉、仲地 孝也

株式会社 沖縄建設技研（〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目7番5-103号）

キーワード：電子基準点、基準点測量、GNSS 測量、PCV 補正、セミ・ダイナミック補正

1. はじめに

測量法においては、国土地理院が行う「基本測量」、測量に要する費用を国又は公共団体が負担して行う「公共測量」、それ以外の「基本測量及び公共測量以外の測量」の3つに区分されている。

公共測量は、測量法の中で公共測量作業規定に基づき作業を行うものとされている。その中で、「公共測量作業規定の準則」が平成23年3月31日に一部改正された。

改正された内容は、基準点測量に関する変更が主な内容であり、下記に示すとおりである。

①各種の衛星測位システムに対応

これまでは各種測量にGPS衛星(米国)が利用できる規定であったが、GLONASS(ロシア)の本格的な稼働が始まったことに伴い、位置精度及び利用の有効性が確認できたことから、GLONASS衛星とGPS衛星を併用して利用できるようになった。

②セミ・ダイナミック補正を明文化

地殻変動に起因する基準点の位置誤差を補正する手法として公共測量にセミ・ダイナミック補正を適用することとなった。

ここでは、「基本測量」の成果である電子基準点を利用した公共測量における基準点測量について報告する。

2. 基本測量の成果及び種類

すべての測量の基礎となる基本測量の成果については、国土地理院の基準点成果閲覧サービスに登録されている。表-1に全国と沖縄における基本測量の成果を種別毎に示す。

表-1 基本測量成果一覧表

種別	一等三角点	二等三角点	三等三角点	四等三角点	五等三角点	電子基準点	GNSS固定点
全国	960	4,959	31,673	69,310	3	1,240	35
沖縄	21	7	96	812	3	25	0

①一等～三等三角点

2万5千分の1地形図を作成するための位置の基準となるものである。設置間隔は、一等三角点で約40km、二等三角点で約8km、三等三角点で約

4kmの間隔で、1辺15～18cmの柱石で設置されている。

②四等三角点

地籍調査又はこれに相当する調査の基準点として、国土交通省土地・水資源国土調査課の委任を受け、国土地理院が設置するもので、設置間隔は約2kmで、1辺12cmの柱石で設置される。

③五等三角点

三角点標石を設置するのが困難な小岩礁はその最高点を五等三角点とした。現在は、沖縄県(渡嘉敷村・竹富町)の小島の3ヶ所が残存している。

④電子基準点

電子基準点は、全国で約1,240ヶ所に設置されたGPS連続観測点で、外観は高さ5mのステンレス製ピラーで、上部にはGPS衛星からの電波を受信するアンテナ、内部には受信機と通信用機器等が格納されている(写真-1参照)。

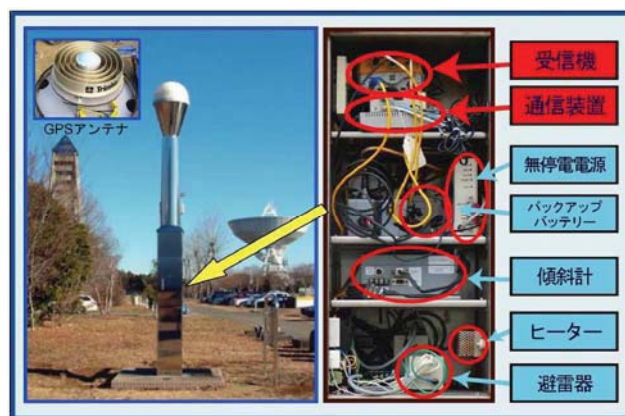


写真-1 電子基準点

⑤GNSS固定点

四等三角点の偏心点として設置したGNSS測量機による連続観測装置であり、地上型と屋上型がある(写真-2、-3参照)。

⑥インテリジェント基準点

測量作業及び基準点維持管理の効率化を目的に既存の基準点へICタグを設置したものである(写真-4参照)。



写真-2 GNSS 固定点(地上型)



写真-3 GNSS 固定点(屋上型)



写真-4 インテリジェント基準点



図-2 1級基準点計画図



図-3 3級基準点計画図

3. 基準点測量

基準点測量とは、既知点に基づき基準点の位置又は標高を定める作業と規定されており、計画した作業地域に目的とする基準点がない場合、又は基準点の数が少ない場合は、基準点を整備するための基準点測量を行う必要がある。

当該作業地域においても基準点が整備されていないことから、GNSS 測量による 3 級基準点 3 点を配置した公共測量実施計画書を立案し(図-1 参照)、公共測量の手続きに必要な「公共測量実施計画書」、「測量標・測量成果の使用承認申請書」、「製品仕様書」を作成し、国土地理院へ提出した。



図-1 実施計画書付図(立案時)

しかし、国土地理院より「当該作業地域においては 1 級基準点が整備されていないことから、1 級基準点を 1 点設置されたい」と助言を頂いたことから、1 級基準点を 1 点、3 級基準点を 2 点配置した作業計画へ見直した(図-2、図-3 参照)。

3-1. 選点・埋設

選点については、GNSS 測量で実施するにあたり、選点箇所の写真及び選点位置から東西南北方向の写真を撮影し、GPS 衛星からの電波を受信する際に障害物等の影響がないことが把握できるような資料を作成できるよう選点作業を実施した。

選点資料を基に、測量標設置予定箇所の土地所有者及び土地管理者から設置の承諾を取得する。1 級基準点点名 101、3 級基準点点名 301 に関しては、海岸線の岩礁に位置することから、海岸管理者の計画機関である沖縄県北部土木事務所河川海岸班より「測量標設置承諾書」を得た。また、3 級基準点点名 302 は、港湾施設の岸壁に位置することから、管理者である沖縄県北部土木事務所維持管理班より「港湾施設用地旅客施設・事務所使用許可申請書」にて設置の承諾を得た。さらに、3 級基準点の既知点である四等三角点アーガ山についても点の記を基に、GNSS 機器の設置する際の機械高及び電波受信における上空視界や樹木の伐採が必要かを事前に確認した結果、機械高を 3m とすることで観測が可能であった。

埋設については、真鍮製の金属標を準備し、岩礁に設置する 2 点に関しては、事前にコンクリートを打設できるよう型枠(幅 30cm×奥行 30cm×高さ 10cm)を設置し、翌日の観測に備えて促進剤を投与し保護石 4 個を配置して埋設した。岸壁の 1 点は、ドリルで穴をあけコンクリート用ボンドで設置した。

3-2. 観測

GNSS 測量では「セッション計画」を立案する必要がある。「セッション計画」において GPS 衛星運用情報の確認や解析ソフトウェアに付属するプランニング用ソフトウェアで飛来情報を確認し、衛星が天空に均等に配置され 5 衛星以上が同時に受信できる観測時間帯を決定する。また、観測時間は観測方法により異なり、今回は表-2 を基に、1 級基準点測量において「スタティック法」を、3 級基準点測量においては「短縮スタティック法」を採用した。

表-2 観測方法(作業規程の準則第 37 条二)
両

「スタティック法」による 1 級基準点測量では、観測距離が 10km を超えている場合、120 分以上の観測時間が必要となることから、下記の A 案及び B 案の観測時間帯を計画した。

観測日：2011/03/03 通算日 062

062A 案：観測時間 14：40～17：50 3 時間 10 分
点検測量 18：20～19：30 1 時間 10 分

62B 案：観測時間 09：40～12：50 3 時間 10 分
点検測量 13：20～14：30 1 時間 10 分

「短縮スタティック法」による 3 級基準点測量では、観測時間が 20 分以上必要となることから、下記の観測時間帯を計画した。

観測日：2011/03/04 通算日 063

063A：観測時間 10：00～10：30 30 分

063B：観測時間 11：30～12：00 30 分

点検測量 12：30～13：00 30 分

1 級基準点測量については、062A 案で観測を行い、基線解析を実施した。その結果、点検測量における電子基準点(本部)を既知点とした基線ベクトルが許容範囲を超えた為、再測が必要となった。

再測が必要となった原因としては、電子基準点に鳥等が飛来し、受信に影響を及ぼしたと考えられる。

再測にあたっては、再度「セッション計画」を見直し、下記の観測時間帯を再計画した。

観測日：2011/03/04 通算日 063

1 級基準点測量

063A：点検測量 09：20～10：30 1 時間 10 分

3 級基準点測量

063B：観測時間 13：30～14：00 30 分

063C：観測時間 15：00～15：30 30 分

点検測量 16：00～16：30 30 分

3 級基準点測量の既知点である四等三角点アーガ山の観測については、3m 程度の機械高にする必要があり、整準台を設置担当、三脚の伸縮担当及び脚立の固定担当とそれぞれ役割分担を行い、GNSS 機器を設置した。

観測終了後、基線解析を再度行い、すべて許容範囲内であることを確認し、観測を終了した。

3-3. 基線解析

1 級基準点測量の既知点は、電子基準点(伊是名)、(国頭)及び(本部)の 3 点を使用した結合多角方式である。電子基準点の観測データは、国土地理院ホームページ上の電子基準点データ提供サービスより稼働状況及びデータが入手でき、1 級基準点測量に電子基準点を使用する場合には、PCV 補正、セミ・ダイナミック補正が必要になる。基線解析は、株式会社ソキアトプコン製「GNSS 計算プログラム三次元網平均計算(観測方程式)」を使用した。

ここでは、電子基準点を既知点とした PCV 補正とセミ・ダイナミック補正について述べる。

(1)PCV 補正

これまでの GNSS 測量では、同一セッションにおいては同一機種による観測することが原則とされてきたが、最近、公共測量において電子基準点の利用が可能となる等、GNSS 測量機の異機種間による基線解析を行うケースが増えてきている。

その結果、状況によっては所定の精度を確保出来ないケースがある。そのような状況を踏まえて、個々の GNSS アンテナの位相特性の検証実験を行い(写真-5 参照)、その対応について検討してきた結果、スタティック測量に関して、これまでのアンテナ定数による補正でなく PCV 補正を実施した。これにより、同一セッションにおける異機種間観測での高さ方向の精度が保持・向上した。GNSS 測量において電子基準点を既知点として使用する場合は、電子基準点に設置されているアンテナがユーザーの使用しているアンテナと異なることから PCV 補正を用いなければならず、また異機種混在や同一機種間の基線解析でも PCV 補正を用いることとする(2005 年 7 月 1 日国土地理院お知らせより)。



写真-5 国土地理院検証実験風景

(2)セミ・ダイナミック補正

測量に利用される電子基準点は、地殻変動の影響により実際の地球上の位置と測量成果の示す座標値が時間とともにずれていき位置情報(緯度、経度、標高)の均一の精度を長期的に維持するため、この一様でない地殻変動による歪みの影響を補正するのがセミ・ダイナミック補正になる(図-4 参照)。

現在一般に公開している測量成果(測地成果2000)は1997年1月1日0時(UTC)を「元期」と呼び、一方「元期」に対して観測を行った時点(今期)と呼ぶ。「今期」から「元期」への補正には、補正パラメータを用いて行う。下記に補正方法と結果を示す(2009年1月1日国土地理院比較データより)。

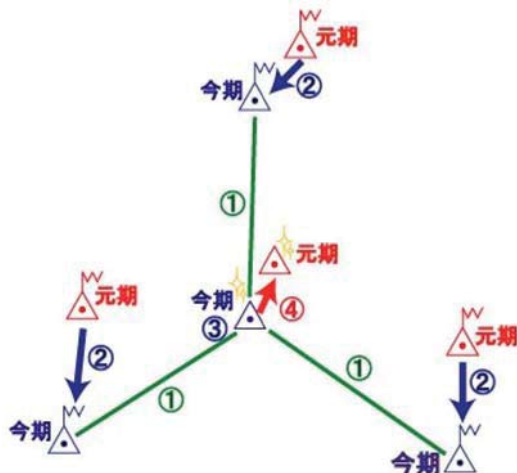


図-4 セミ・ダイナミック補正

- ①既知点の測量成果を固定して、基線ベクトルを求める
- ②補正パラメータを使って既知点の測量成果を今期の座標値に補正する。
- ③既知点の今期の座標値を固定して網平均計算を行い、新点の今期座標値を求める。
- ④補正パラメータを使って新点の今期座標値を1997年1月1日において得られたであろう元期座標値に補正する。

1級基準点点名101は、下表の結果となった。

	X	Y	H
今期	101627.7860	44986.8140	5.283
元期	101628.3098	44986.3966	5.254
差	0.5238	0.4174	0.029

結果 $\sqrt{0.5238^2+0.4174^2}=0.6697$

1997年1月1日時点での測量成果と2011年3月3日を比較すると0.670mの移動したことが分かる。

移動量0.670mは当時の成果や今回短時間に行った成果であって一概に地殻変動の影響とは言えない。

3級基準点測量は、四等三角点アーガ山から1級基準点点名101を既知点とし2点の新点を求めた単路線方式である。

アーガ山を固定点とした仮定三次元網平均計算により下記の結果を得た。

測点名	水平位置の閉合差		標高	
	閉合差	許容範囲	閉合差	許容範囲
101	0.012	0.156	-0.015	0.313

仮定三次元網平均計算から実用三次元網計算を行い下記の結果を得た。

測点名	仮定三次元網平均					
	X		Y		Z	
	偏差	許容範囲	偏差	許容範囲	偏差	許容範囲
アーガ山 ~301	0.001	0.020	-0.001	0.020	0.000	0.020
アーガ山 ~302	0.000	0.020	0.000	0.020	0.000	0.020
302 ~ 301	0.001	0.020	-0.001	0.020	0.000	0.020
301 ~ 101	0.000	0.020	0.000	0.020	-0.001	0.020
101 ~ 302	0.001	0.020	-0.001	0.020	-0.001	0.020

仮定三次元網平均は、既知点1点のみ固定され既知点同士の相対精度に左右されず平均図形は、観測値のみで決定される。そのため、固定既知点1点以外の既知点を新点として扱うため固定既知点に対して他の既知点の相対位置関係が変動ベクトルで確認できる。仮定網が許容範囲内であれば、次に実用網平均(全ての既知点を固定)を行う。実用網は多角固定解なので純粋な観測値のみの平均図形でなく既知点同士の相対精度に左右された平均図形になる。

4. おわりに

基準点測量は、測量成果の品質の良否が今後の工事等の公共事業に与える影響が大きいことに加え、地盤地図情報等の基準となることから、均一化された高い精度が要求される。

GNSS測量は、従来のTS測量に比べると人手や時間は少なく済む反面、機器の投資コストが高価であり、また、森林地帯や都市部での上空視界が十分に確保されていない場合や近くにレーダー、テレビ塔、通信局等の電波源や多重反射(マルチパス)を起こすような看板、トタン屋根等に影響されるなどの問題点もある。しかし、電子基準点の利用やGNSS観測における補正等が確立され高い精度で提供されることから、GNSS測量の需要は益々増える傾向にあると思われ、東日本大震災で復旧復興のための測量基準点の整備にGNSS測量が大きく役立っているようである。

以上

参考文献

※1-公共測量-作業規程の準則

※2-公共測量-作業規程の準則解説と運用

※3 国土交通省公共測量作業規程記載要領

社団法人 日本測量協会

※4 <http://www.gsi.go.jp/> 国土地理院ホームページ