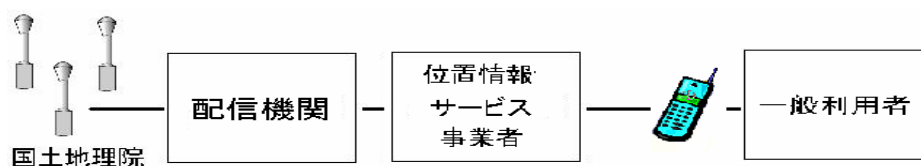


## 仮想基準点方式による RTK-GPS 測定の標準化に関する調査研究作業

実施期間 平成15年度  
企画部 中野 博美  
企画部測量指導課 沼川 邦男 松田 雅志

### 1. はじめに

国土地理院の電子基準点は、全国に1200点以上設置され、世界に類をみない高密度なGPS連続観測網を構築している。また、平成14年4月の改正測量法で世界測地系を採用したことにより、測地成果2000の骨格としての重要な役割が追加された。さらに平成14年5月から大都市圏等を中心とする200点でリアルタイムデータの提供を開始し、現在では931点でリアルタイムデータの提供を行っている。リアルタイムデータの提供にともない(社)日本測量協会がリアルタイムデータ配信機関に選定され、現在までに3社が位置情報サービス事業者として登録されている。これらの配信機関が、一般利用者にデータを配信することにより、さまざまな場面で高精度なリアルタイム測位が可能となった。

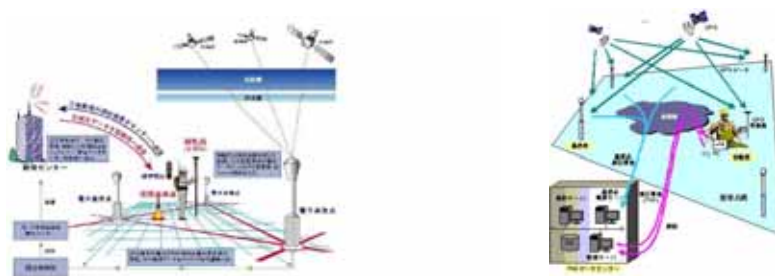


リアルタイムデータ提供の流れ図

高精度リアルタイム測位技術については、「RTK-GPSを利用する公共測量作業マニュアル」(以下「RTK-GPSマニュアル」という)の制定以降、GPS測量に関連した各種の新技术が開発されてきた。

電子基準点のリアルタイムデータ公開によるRTK-GPSは、リアルタイムでかつ高精度な測位を行うことができるようになったが、電子基準点と移動局の距離が長くなるに従い精度の低下が起これ、また10km以上を超えると測位精度の確保が困難になる。

仮想基準点方式は、3点以上の電子基準点を利用することにより、電子基準点と移動局間の距離に関係なく、短距離基線のRTK-GPSと同等な測位精度を実現したもので、すでにVRS方式及びFKP方式が実用段階にある。



仮想基準点方式 (左: VRS 右: FKP) のイメージ

このような背景を踏まえ本調査研究作業では、仮想基準点方式によるRTK-GPS測量を公共測量へ導入する

ため、技術的課題、作業手順及び精度管理について「RTK - GPSマニュアルに準じたマニュアル(案)」を作成するとともに、GPS測量の基礎的な誤差要因として挙げられているアンテナ位相特性の調査、その補正量の検出及び適正な補正手法の標準化を行うことを目的として実施した。

## 2. 研究内容

本調査研究作業では、「GPS測位技術の標準化検討委員会」の下に「仮想基準点方式マニュアル(案)作成ワーキンググループ」、「GPSアンテナ位相特性ワーキンググループ」を設置し、各ワーキンググループが実験を行い、その報告について委員会が検討を行った。

仮想基準点方式マニュアル(案)作成については、GPS測位技術の標準化検討委員会からの提案により、RTK - GPSマニュアルの手法に準じて担当ワーキンググループが実験を行い、得られた結果から所要の精度が確認できた測量方法と測量手順によりマニュアル素案を作成し報告書としてまとめた。

GPSアンテナ位相特性については、GPS機器の調査を行いその結果から、基線解析に使用しているアンテナ定数が、公共測量では各社の定数を、基本測量では国土地理院の定数を、それぞれ使用しているため同一機種で違いがあること、さらにアンテナ中心の定義についても統一された基準がないことがわかった。また、平成14年4月の国土交通省公共測量作業規程改訂以降、電子基準点が既知点として使用されていることから、異機種間のGPS観測が行われアンテナ位相特性の相違による測位誤差が生じていることがわかった。今回、担当ワーキンググループでは、アンテナ定数の統一、GPS測量機の異機種間基線解析の問題点を明らかにし最適な方法を探るため、検証作業を行い報告書としてまとめた。

## 3. 得られた成果

### (1) 仮想基準点方式マニュアル(案)作成ワーキンググループのまとめ

#### 1) 基準点測量

基準点測量の実験では、GPS測量機2台で行う間接法とGPS測量機1台で行う間接法及び直接法について、スタティックで観測し網平均を行った結果と、実際に仮想基準点方式で観測し網平均を行った結果とを比較し検討を行った。

##### 間接法(GPS測量機2台)

GPS測量機2台の同時観測による間接法は、2ヶ所の観測点で仮想基準点方式による同時観測を行い、得られた観測値から基線解析により2点の座標を求め、その座標差から観測点間の基線ベクトルを求めた。観測値の点検は、基線ベクトルの環閉合及び往復観測における重複基線ベクトルの比較により行い、平均計算は、既知点2点を固定した三次元網平均計算を行った。点検計算、三次元網平均計算の重量及び計算による許容範囲はRTK - GPSマニュアルに準じた。

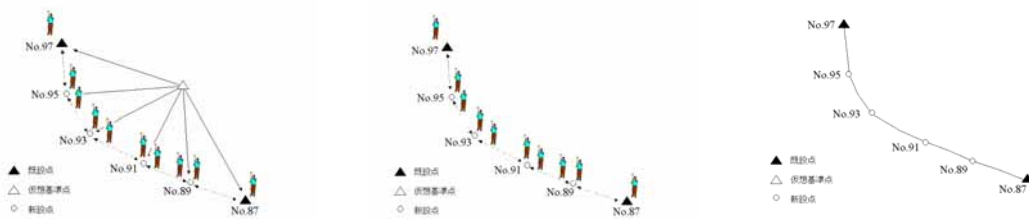
結果は、水平・鉛直成分とも $\pm 2$ cm以内であり、3・4級基準点測量の精度を有することが確認できた。この観測方法は、観測値及び点検結果とも安定しており、精度面から見る限り今回の観測例の中では最も適した観測方法だと考える。ただし、機材人員等作業効率は、1台による観測方法より劣ることとなる。

##### 間接法(GPS測量機1台)

GPS測量機1台による間接法は、各測点で仮想基準点方式による観測を行い、得られた観測値から間接法(GPS受信機2台)の場合と同様に基線ベクトルを求めた。2点間の観測に数10秒の違いがあっても、仮想基準点からの基線ベクトルに含まれる誤差要因及び誤差量は同じと考え、「準同時観測の間接法」と定義した。観測値の点検及び平均計算は、間接法(GPS測量機2台)の場合と同様に行った。

結果は、水平成分の一部に $\pm 3$ cmを超える値が見られるが、往復観測による重複基線ベクトルの比較による

点検を行うため、許容値を超過したものについては再測等を行なうことで精度を確保することが可能と考えられる。



間接法(GPS測量機2台及び1台)の観測例(右:VRS 中:FKP)及び左:平均図

#### 直接法(GPS測量機1台)

GPS測量機1台による直接観測法は、指定した位置又は単独測位の任意位置に仮想基準点を設置し、作業地域の全ての点で観測を行い仮想基準点からのベクトル値を求めた。観測値の点検は基線ベクトルの環閉合により行い、平均計算は既知点2点を固定した三次元網平均計算を行った。点検計算、三次元網平均計算の重量及び計算による許容範囲はRTK-GPSマニュアルに準じた。

結果は、水平成分は $\pm 2\text{cm}$ 以内、鉛直成分は一例を除いて $\pm 3\text{cm}$ 以内であり、3・4級基準点測量の精度を有することが確認できた。この方法は、公共測量作業規程第22条運用基準の路線図形との関係について注意が必要である。なお、直接法は仮想基準点を生成できるVRS方式でのみ利用できる。



直接法(GPS測量機1台)による観測例及び平均図

#### 2) 地形測量・応用測量

地形測量・応用測量では、RTK-GPSマニュアルに基づき実験を行い、その結果をフィードバックして「仮想基準点方式マニュアル(案)」を作成した。実験の結果は、ほぼ公共測量作業規程の精度を確保することができたが、時間的な問題で既設基準点との整合及び精度管理の方法の確立までには至らなかった。

#### 3) 仮想点位置と観測点との距離に関する精度検証

現行のRTK-GPSマニュアルでは、直接観測法の場合既知点と観測点の距離を500m以内と規定しているが、仮想基準点方式で同様の制限が必要か3例の実験を行った。その結果、仮想点と観測点間の距離が5km程度までは測定結果に影響がないことが確認され、仮想基準点測量方式マニュアル(案)では、信頼性も考慮し3kmまでとした。

#### 4) 網外での測位精度検証

作業地区が、電子基準点の配置により網外になる場合(突出した臨海部等)でも精度が確保できるか検証を行った。検証は定点観測を行う観測点が、電子基準点の網内及び網外10km・20km・30kmに設置されるよう電子基準点の組み合わせを変更し、観測値の比較を行った。その結果、距離が離れるほど観測に必要な諸条件の低下がみられたが、10km以内であれば標準偏差水平 $\pm 1\text{cm}$ 、高低 $\pm 2\text{cm}$ の値が確保できた。

## (2) アンテナ位相特性ワーキンググループのまとめ

### アンテナ定数の取り扱いについて

アンテナ定数の扱いについて指針を作成するために、「GPSアンテナ位相特性決定作業要領(案)」(平成15年9月)を作成し、国土地理院構内にあるアンテナ検定架台を使用して、各社の代表的なアンテナ12種の位相特性の検証を行った。その結果、NGS(アメリカの測地に関する機関: National Geodetic Survey)が決定している位相特性値と同等の結果が得られることが実証された。

GPSアンテナ位相特性決定作業要領(案)を使用し、検証結果から得られた位相特性データを基線解析に使用することで、各社のアンテナが混在する場合でも良好な結果を出すことができた。また、PCV(位相中心の変動: Phase Center Variation)の補正を標準とすることが基線解析結果の精度向上、アンテナ定数の標準化につながることを実証された。

### GPS測量機を使用した基準点測量での基線解析結果

異なるGPS測量機の組み合わせによる観測、また、同一機種で観測した場合でも、基線解析にはアンテナ位相特性補正を実施することが、最善の方法であることが基線解析の結果から得られた。

### ワーキンググループからの報告内容

アンテナ位相特性の補正については、NGSが決定した位相特性テーブルにより補正することを標準とし、NGSの位相特性テーブルがない機種の場合には、「GPSアンテナ位相特性決定作業要領(案)」に基づいて測定された値を国土地理院テーブルとして登録・公開をする。なお、アンテナ定数の定義を「アンテナ本体の底面から電気的中心(位相中心)までの高さ」とし、アンテナ位相特性の定義は、「アンテナの平均的な位相中心及び、位相中心の変動(PCV)を指す」とすることを本ワーキンググループで提案し、検討委員会でも了承された。

## 4. 結論

### (1) 仮想基準点測量方式マニュアル(案)について

作成された仮想基準点測量方式マニュアル(案)の3・4級基準点測量については、院内において更に検討し平成16年度の出来る限り早い時期に公表することとしている。また、地形測量・応用測量については、作業効率と既設基準点との整合及び精度管理の方法について、平成16年度に具体的な検証を行い、早い時期に公開することとしている。

### (2) アンテナ位相特性について

GPSアンテナ位相特性決定作業要領(案)は、院内で更に検討を行った後に、測量機器の性能評価に反映させる予定であるが、位相特性テーブル登録と公開方法、アンテナ定数証明書及び各GPS観測手簿等の帳票、アンテナ位相特性の補正方法の周知等が今後の検討課題である。

## 参考文献

- [1] Schupler, et al., Signal Characteristics of GPS User Antennas, NAVIGATION Journal of The Institute of Navigation Vol 41 No.3, Fall 1994
- [2] GPSアンテナ位相特性に関する技術報告 - アンテナ定数検定架台によるキャリブレーション - (国土地理院技術資料)
- [3] RTK - GPSを利用する公共測量作業マニュアル(国土交通省国土地理院)
- [4] GPSアンテナ位相特性モデル決定作業要領(案) (平成15年9月 測地第二課)