

# 測量の効率化・低コスト化を実現 ～衛星測位と電子基準点の新活用法～

岩田和美・後藤清

国土地理院 測地部 計画課 (〒305-0811 茨城県つくば市北郷1番)

国土地理院では、2012年11月からGNSS（Global Navigation Satellite System：全球測位衛星システム）を活用して測量業務の効率化を図ることを目的とした「スマート・サーベイ・プロジェクト」（以下、「プロジェクト」という。）を2014年3月までの約1年半の活動として実施している。プロジェクトでは、公共測量において、全国どこでもGNSSの活用による標高の測量と電子基準点を活用した基準点測量が行えるようにするために、二つのマニュアル（案）を2013年4月に公表した。2013年度中に、マニュアル（案）の試行作業等により、さらにマニュアル（案）の改善を図り実用化を推進する予定である。

キーワード GNSS測量，ジオイド・モデル，電子基準点，GNSS水準測量

## 1. はじめに

プロジェクトを立ち上げた背景として、基準点等の利用者ニーズがある。

国土地理院では、利用者ニーズを把握するために、2011年度及び2012年度に基準点等の利用者を対象としてアンケート調査及びヒアリング調査を実施した。調査の結果から、水準点が不足していること、三角点が利用しにくい場所に設置されていることなどが測量の効率化を阻害している現状を把握した。この結果を受け、プロジェクトを立ち上げ、二つのテーマについて、検討することとした。

検討テーマの一つ目は、既設の水準点が作業地域の近傍にない場合、遠方の水準点から多大な時間をかけて直接水準測量を行っている現状を改善するために、GNSSを利用して必要な場所に簡便に水準点を設置できるようにすることである（図-1）。

二つ目は、三角点を使用せずに電子基準点から直接設置できる公共基準点が1級に限定されている現状を改善し、この適用範囲を2級まで拡大することである。

これら二つを実現するために、検証作業により精度確認を行い、公共測量に使用するマニュアル（案）を策定し、2013年4月26日に公表した。今後、2013年度中にマニュアル（案）の試行作業を行うとともにマニュアル（案）の改正を行い、2014年度から本格的な運用を開始する予定である。

なお、プロジェクトによる検討の背景となる技術的な要因は、次のとおりである。

(1) アメリカのGPSに加え、我が国の準天頂衛星システム（QZSS）、ロシアのGLONASS等、複数の衛星測位シ

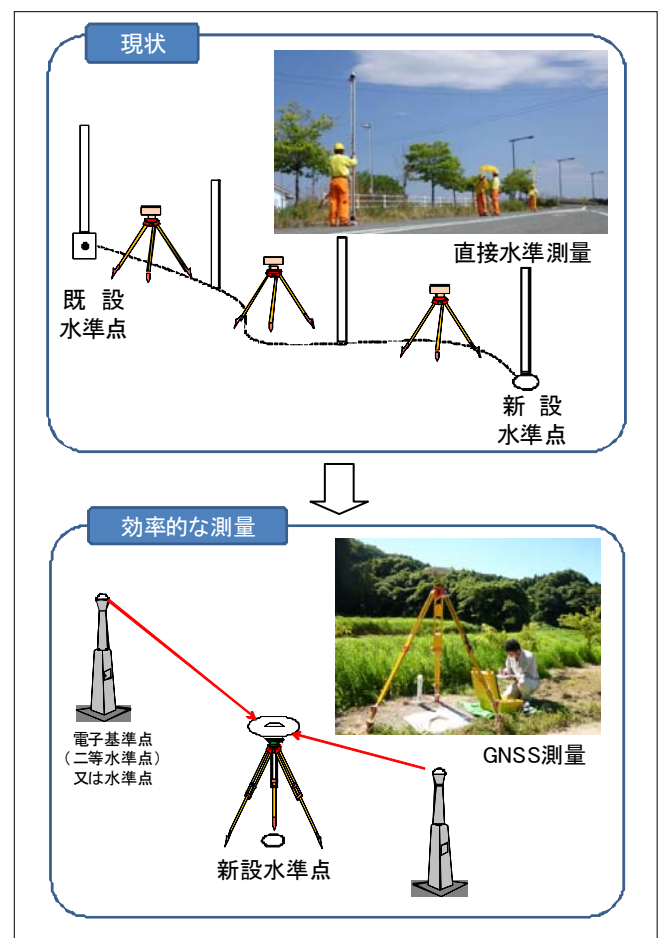


図-1 水準測量の現状と効率的な測量のイメージ

システムが運用されてきており、GNSS の利用が一層進むことが予想されること。

(2) GNSS 測量により得られる楕円体高を標高に換算する高精度なジオイド・モデルが構築されたこと。

(3) 地殻変動の影響を軽減するセミ・ダイナミック補正が定着してきたこと。

この新しい二つのマニュアル（案）による測量は、従来の測量方式に比較して、大幅な作業期間の短縮及び作業経費の軽減が期待できる。

## 2. プロジェクトのこれまでの取り組み

プロジェクトのこれまでの主な取り組みを報告する。

### (1) 二つの委員会の設置

測量業務の効率化を実現するために、2012 年度に二つの委員会を設置した。

一つは「測量業務の効率化に関する検討委員会」で、学識経験者、測量計画機関、国土地理院で構成し、マニュアル（案）、利用の手引を策定するための検討を目的として、委員会を3回開催した。

もう一つは「公共測量における GNSS の効率的な利用に関する委員会」で、学識経験者、農林水産省・国土交通省関係部局、国土地理院で構成し、効率的な測量の利用に関する検討を目的として、委員会を2回開催した。

### (2) パブリックコメントの実施

2013年3月に、マニュアル（案）に対するパブリックコメントを実施し、意見の一部を反映した。

### (3) 二つのマニュアル（案）の公表

「GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）」及び「電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案）」を2013年4月に公表した。

### (4) 標準歩掛の作成

2013年5月に二つのマニュアル（案）に対応する標準歩掛を作成した。

### (5) 啓発活動

2013年5月末から、講演会、講習会等において啓発活動を実施中である。

## 3. GNSS 測量による標高の測量

直接水準測量を行わなくても GNSS 測量によって標高を 3~5cm の精度で求めることを検討し、GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）を策定した。

### (1) マニュアル（案）の特徴

マニュアル（案）の特徴は、次のとおりである。

a) GNSS 測量と高精度なジオイド・モデル（以下、「日本のジオイド 2011」という。）により、水準点を設置することができる。

GNSS 測量と日本のジオイド 2011により、新点の標高を定める作業（以下、「GNSS 水準測量」という。）では、1 級水準測量、2 級水準測量の目標精度を達成することは困難であるため、3 級水準点を設置することを可能とした。

b) 既知点は水準点（一・二等水準点及び 1・2 級水準点）である。

電子基準点（二等水準点）を既知点とすると、その点での GNSS 観測は不要であり、より効率的に測量を行うことができる。

c) 既知点間距離は、60km 以内とする。

電子基準点 1,240 点の平均点間距離は 20 km である。そのうち付属標が二等水準点としての成果を有しているものは、約 800 点である。マニュアル（案）での既知点間距離は、日本全国ほとんどの地域での測量が可能であり、精度も確保できる 60km 以内とした。

d) 観測距離（一基線長）は、6km~40km とする。

6km 未満の場合は、3 級水準測量の往復観測の較差の許容範囲（ $10\text{mm}\sqrt{S}$ ）等を考慮すると、目標精度を達成することは困難であることから、適用しないこととした。

e) GNSS 測量の観測時間は 3 時間以上とし、アンテナ高を 10cm 以上変えて 2 セッション行う。ただし、観測距離が 10km 未満の場合の観測時間は、2 時間以上でよい。

観測時間は、電子基準点データを使用した試算結果を踏まえ、10km 以上の長基線については、3 時間以上とした。また、GNSS 基線の精度向上のため、2 セッション目は異なる衛星配置における GNSS データを取得すること、更にアンテナ高の誤測定防止及び精度向上のため、2 セッション目のアンテナ高測定は 10cm 以上変えることとした。

f) 三次元網平均計算は、2 セッションの基線ベクトルの平均値及び固定重量を使用して行う。

g) 精度管理は次の表-1により行う。

表-1 点検計算における許容範囲及び点検測量率

区 分		許容範囲
2 セッションの 基線ベクトルの 各成分の較差	水平 ( $\Delta N$ )	20mm
	水平 ( $\Delta E$ )	20mm
	高さ (U)	30mm
既知点間の楕円体高の閉合差		$15\text{mm}\sqrt{S}$
三次元網平均計算における新点の楕円体高の標準偏差		50mm

※点検測量率 (10%) : 採用値との較差

### (2) ジオイド・モデルの高精度化

GNSS 水準測量が可能となった最も大きな要因は、ジオイド・モデルを高精度に整備したことである。

これまで公表してきたジオイド・モデル (日本のジオイド 2000) は、内部評価における標準偏差は約 4cm であったが、重力ジオイド・モデルの高精度化、実測ジオイド高データ分布の均一化、モデル構築時の計算手法の改良等により、新しいジオイド・モデル (日本のジオイド 2011) の標準偏差は約 2cm となり、精度が格段に向上した (兒玉ほか, 2013)。

新しいジオイド・モデルを整備した地域は、中国、四国、九州地方であるが、これまでのジオイド・モデルと結合して「日本のジオイド 2011+2000」という名称で、2013年4月26日に公表している (図-2)。

残りの地域については、新しいジオイド・モデルの構築を進め公表する予定である。

したがって、現時点で本マニュアル (案) を適用できる地域は、中国、四国、九州地方に限られる。

### (3) 効率面の比較と利用の例

マニュアル (案) は、災害対応、路線測量、ダムの測

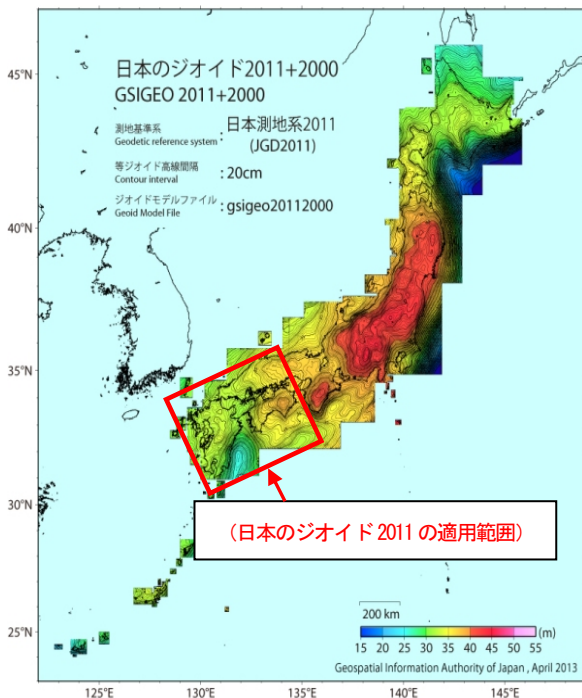


図-2 日本のジオイド 2011+2000

量などで使用することで、現行の測量よりも作業の効率化を図ることができる。

測量の規模として、6km, 18km, 36kmの3種類を想定して、本マニュアル (案) による測量と現行の3級水準測量について、標準歩掛を基に効率面 (外業の所要日数及び普通作業員も含めた技術者の延人日数) を比較した (表-2)。

表-2 から分かるとおり、このマニュアル (案) による測量は、規模が大きくなるほど外業に係る所要日数と技術者の延人日数の比率が小さくなり、効率化の効果が大きい。

このため、既設の水準点から遠い作業地域において利用することが効果的である。

利用の例として、地震災害の発生に伴う港湾施設の上変動把握など早期の災害対応がある。この場合、港湾施設に近い水準点も変動して使用できないため、変動していない遠くの水準点 (電子基準点 (二等水準点) 等) を使用することになる (図-3)。

表-2 効率面の比較 (マニュアル (案) 6kmは1点, 18km及び36kmは2点で比較)

区分	外業の所要日数			技術者の延人日数		
	6km	18km	36km	6km	18km	36km
現行	1.68	5.04	10.08	8.16	24.48	48.96
マニュアル (案)	1.50	3.00	3.00	8.50	17.00	17.00
比率	0.89	0.60	0.28	1.04	0.69	0.35

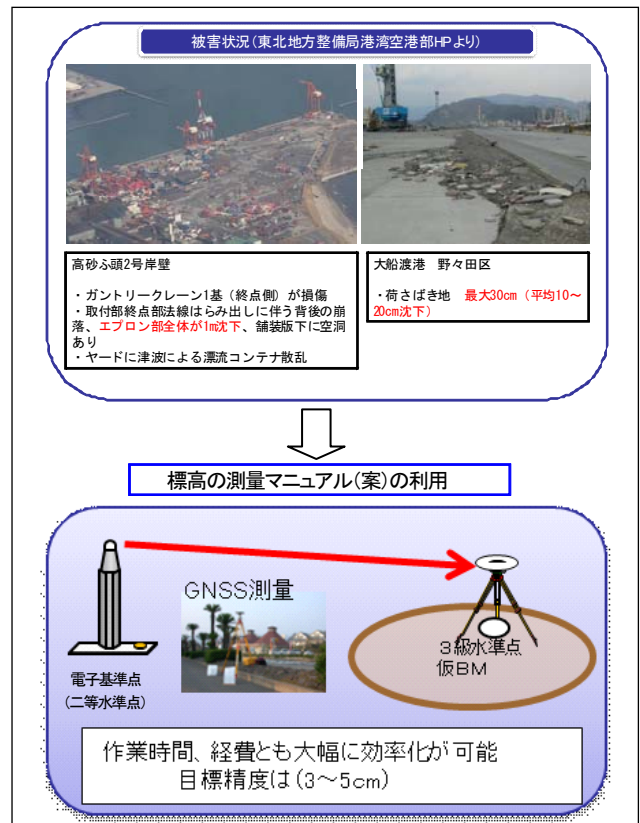


図-3 マニュアルの利用例 (港湾における災害対応)

## 4. 電子基準点のみを既知点とした基準点測量

三角点等を既知点としないで、電子基準点を利用することを検討し、電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案）を策定した。

### (1) マニュアル（案）の特徴

マニュアル（案）の特徴は、公共測量作業規程の準則（以下、「作業規程の準則」という。）における1級基準点測量と同様に、電子基準点を既知点とすることから、既知点での観測が不要であることと、セミ・ダイナミック補正を行うことである。

作業規程の準則では、公共基準点は、1級から4級に区分しており、均一な位置精度を保つために、上位級から順に階層的に設置する方法を採っている。

ただし、2002年度からは作業規程の準則において、1級基準点に限って、電子基準点のみを既知点とすることができるとしている。効率的な方法であることから、1級基準点測量の多くはこの方法で実施されている。

マニュアル（案）では、2級基準点まで適用範囲を拡大している（図4）。

遠く離れた電子基準点を既知点とするため、地殻変動による歪みが、新点と近隣の既設の基準点との整合性に影響を与えるため、2010年1月からセミ・ダイナミック補正を導入することにした。

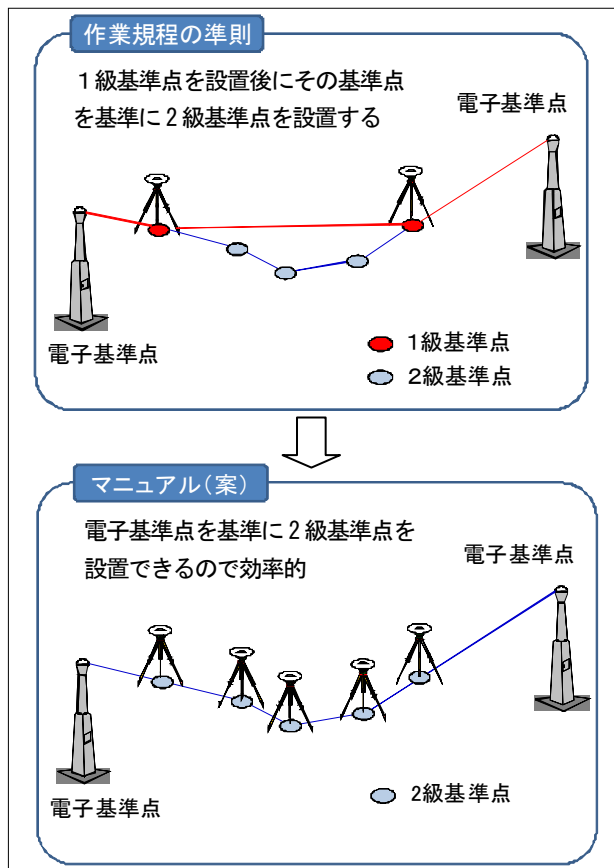


図4 作業規程の準則とマニュアル（案）のイメージ

2級基準点は、標準的な点間距離が500mであり、新点と既設の基準点との距離も短くなることから、マニュアル（案）ではセミ・ダイナミック補正を行うほかに、整合性を確認するため、必要に応じて点検のための観測を行うこととした。

## 5. プロジェクトの今後の活動予定

プロジェクトは、今後、次の予定で活動していく。

### (1) 二つのマニュアル（案）の検証

マニュアル（案）を使用した公共測量の測量記録等のデータ及び直営による試行作業における測量データ等を取得し、マニュアル（案）の検証を行う。

### (2) 検討委員会を設置

学識経験者、国土交通省、国土地理院で構成する「測量業務の効率化に関する検討委員会（Ⅱ）」を設置し、マニュアル（案）の改正に関する検討及び3級基準点測量、4級基準点測量における作業方法の効率化に関する検討を行う。

### (3) 二つのマニュアル（案）の改正

検証作業の結果及び検討委員会での検討結果を踏まえてマニュアル（案）を改正し、2014年度からマニュアルとして本格運用を開始する。

## 6. おわりに

プロジェクトでは、GNSSと電子基準点を活用して効率的に測量を行うための作業方法を検討し、マニュアル（案）を策定した。

2013年度中に検証を行い、マニュアル（案）を改正する予定であるが、改正のポイントとしては、GNSS観測時間の検討、GNSS基線解析、三次元網平均計算を含めた計算整理方法の検討等が考えられる。今後、さらに問題点の抽出、解決策の検討を行い、より良いものにして行く。

本稿では、特に測量作業の効率化の効果が大きいと思われる「GNSS測量による標高の測量マニュアル（案）」の内容に重点をおき記述した。このマニュアル（案）は、これまで100年以上続けてきた水準測量によらないGNSSを活用した方法を定めたものであり、精度面の検討が重要になる。

今後、必要な精度を確保しつつ測量業務の効率化・低コスト化を推進するよう取り組んでいく。

## 参考文献

- 1) 国土地理院（2013）：GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）。
- 2) 国土地理院（2013）：電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル（案）。
- 3) 後藤清，林保，飯村友三郎，越智久巳一，日下正明，岩田和美，井上武久，宮本純一，佐藤雄大，河和宏（2013）：測量の効率化・低コスト化を実現，国土地理院時報，124集，65-71.
- 4) 兒玉篤郎，森下遊，宮原伐折羅，河和宏，海老名頼利，黒石裕樹（2013）：新しいジオイド・モデル「日本のジオイド2011+2000」の構築，国土地理院時報，124集，73-83.