

測定の効率化・低コスト化を実現
 -スマート・サーベイ・プロジェクトの取り組み-
 Realization of Efficient and Low-cost Surveys
 -Approach of Smart Survey Project-

測地部 後藤清・林保・飯村友三郎¹・越智久巳一・日下正明²・岩田和美・井上武久³・宮本純一・佐藤雄大・河和宏

Geodetic Department

Kiyoshi GOTO, Tamotsu HAYASHI, Yuzaburo IIMURA, Kumikazu OCHI,
 Masaaki KUSAKA, Kazumi IWATA, Takehisa INOUE, Junichi MIYAMOTO,
 Yudai SATO, Hiroshi KAWAWA

要 旨

国土地理院では、平成 24 年 11 月に GNSS 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、「SSP」という.) を平成 26 年 3 月までの約 1 年半の活動として始動させた。SSP 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)を平成 25 年 4 月に公表した。

平成 25 年度中に、二つのマニュアル(案)の試行作業等により、さらなる改善を図り実用化を推進する予定である。

本稿では、SSP の取り組み及び二つのマニュアル(案)の概要等について報告する。

1. はじめに

SSP 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、業務改善と地理空間情報の活用推進に資することを目的として、平成 23 年度と平成 24 年度に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定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、SSP 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(図-2)。

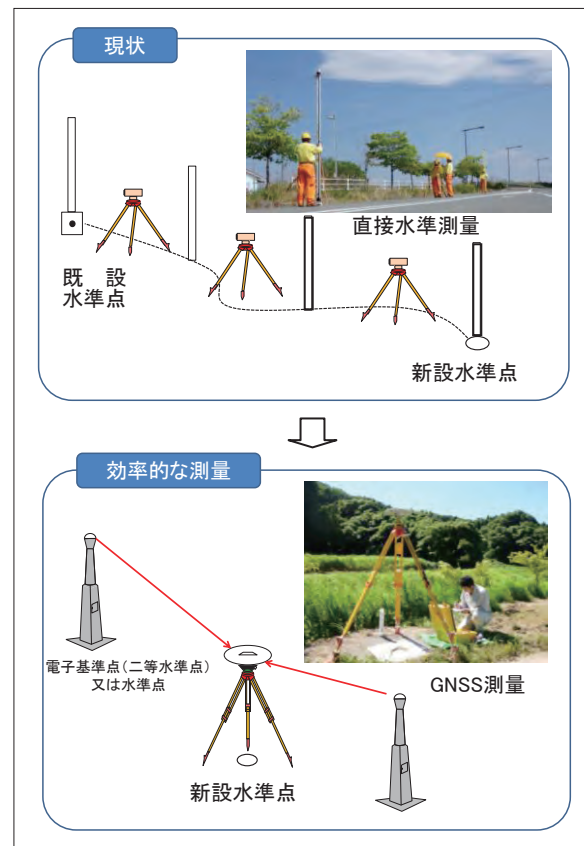


図-1 水準測量の現状と効率的な測定のイメージ

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二つのマニュアル(案)を策定し、平成 25 年 4 月 26 日に公表した。今後、平成 25 年度中に二つのマニュアル(案)の試行作業を行うとともに改正を行い、平成 26 年度から本格的な運用を開始する予定である。

なお、SSP による検討の背景となる技術的な要因としては、次のとおりである。

- 1) 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。

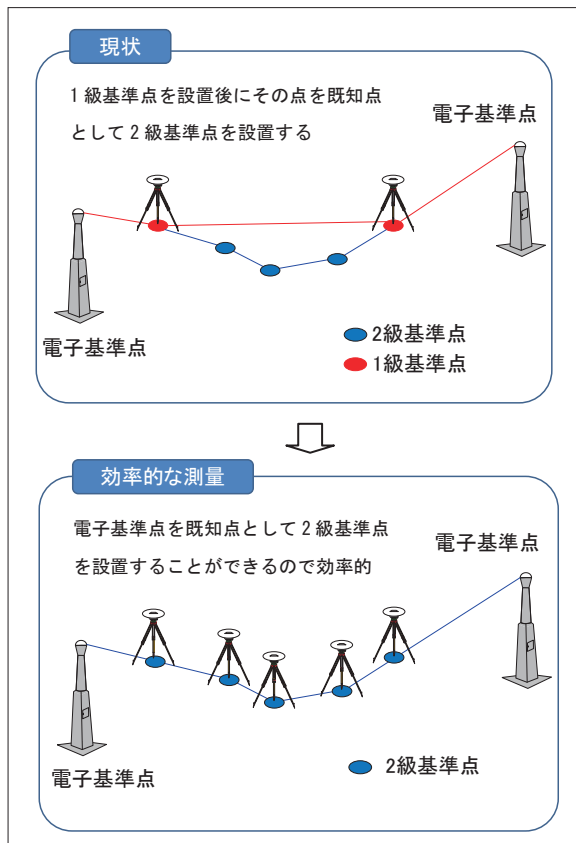


図-2 2級基準点測量の現状と効率的な測量のイメージ

2. SSPのこれまでの取り組み

SSPのこれまでの主な取り組み（活動内容）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、平成24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、作業マニュアル(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

平成25年3月に、二つのマニュアル(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)」を平成25年4月に公表した。

4) 標準歩掛の作成

平成25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

平成25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、マニュアル(案)を策定した。

3.1 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。

1) 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、3級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。

2) 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。

3) 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約20km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。

4) 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(10mm√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。

5) 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、3.4で後述の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。

- 6) 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。
- 7) 精度管理は次の4項目により行う。[]内は許容範囲である。
 - a) 2セッションの基線ベクトルの各成分の較差 [水平(NE) : 20mm, 高さ(U) : 30mm]
 - b) 既知点間の楕円体高の閉合差 [15mm√S]
 - c) 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]
 - d) 点検測量 (10%) 採用値との較差

3.2 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、平成25年4月26日に公表している(図-3)。

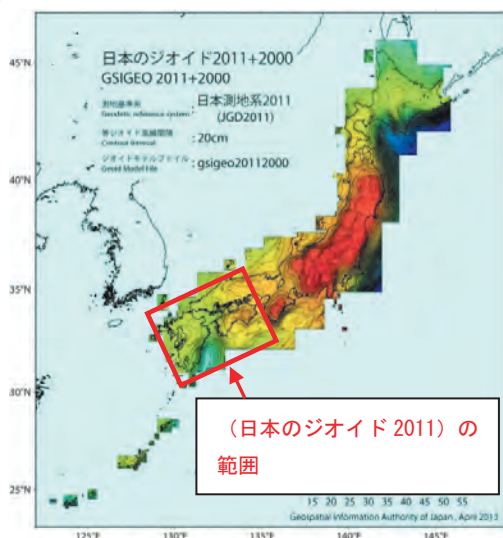


図-3 日本のジオイド2011+2000

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。

3.3 水準測量とGNSS水準測量の比較による検証

茨城県北部(高萩市, 常陸太田市, 大子町等)において、水準測量とGNSS水準測量を比較するための検証作業を実施した(図-4)。



図-4 水準測量とGNSS水準測量の比較による検証作業実施地域図

水準測量のデータは、平成25年1月に外注作業により実施した高精度三次元測量によるもので、GNSS観測データは、同月に直営作業により実施した検証作業によるものである。

水準測量は、一等水準点4177から電子基準点(里美)付属標を經由して電子基準点(大子)付属標までの55.3kmを実施し、GNSS観測は、上記の3点(内2点は偏心)及び公共測量の1級基準点(No.9)等で実施した。

- 1) 検証方法1(既知点2点, 新点1点)(図-5)

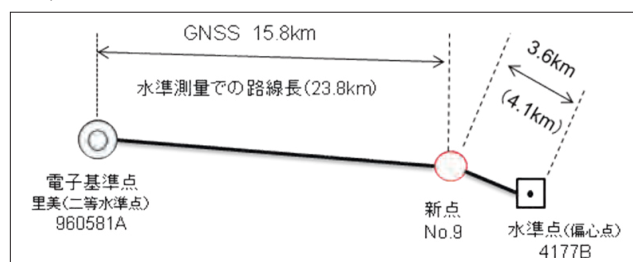


図-5 検証方法1のイメージ

水準測量のデータは、4177~No.9~960581Aの約28kmであり、これにより求めた各測点の標高は、表-1のとおりである。

表-1 水準測量により求めた各測点の標高

測点名	標高(m)	備考
4177	6.7351	測地成果2011
960581A	265.006	電子基準点里美(二等水準点)
No.9	78.971	新点
4177B	6.375	4177の偏差点

GNSS 観測は、既知点 2 点 (4177B, 960581A) 新点 1 点 (No.9) の 3 点で実施した。基線解析の結果は、表-2 のとおりである。

表-2 GNSS 観測の結果 (2 セッションの較差及び平均値)

自	至		DX (m)	DY (m)	DZ (m)
4177B	No. 9	第 1 セッション	2665.198	2181.275	1034.537
		第 2 セッション	2665.200	2181.278	1034.540
		較差	0.002	0.003	0.003
		較差 (NEU)	0.002	-0.004	0.002
		平均値	2665.199	2181.277	1034.539
No. 9	960581A	第 1 セッション	10827.384	11384.727	1836.271
		第 2 セッション	10827.390	11384.717	1836.263
		較差	0.006	-0.010	-0.008
		較差 (NEU)	0.000	0.004	-0.014
		平均値	10827.387	11384.722	1836.267

三次元網平均計算及び平成 25 年度実施予定のジオイド測量のデータ等を反映していない暫定ジオイド・モデルによるジオイド高から求めた No.9 の標高は、78.985m であり、水準測量により求めた標高 (78.971m) との差は+0.014m と良好であった。

精度管理の 3 項目の結果は表-3 のとおりである。

表-3 精度管理の結果 (検証方法 1)

項目	較差・閉合差 (mm)	許容範囲 (mm)
2 セッションの較差 (U 成分最大)	14	30
既知点間の楕円体高の閉合差	66	66
新点の楕円体高の標準偏差	24	50

2) 検証方法 2 (既知点 3 点, 新点 2 点) (図-6)

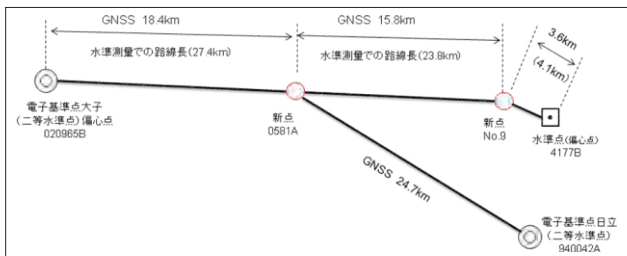


図-6 検証方法 2 のイメージ

水準測量のデータは、4177~No.9~960581A~020965A の約 55km であり、これにより求められた各測点の標高は、表-1, 表-4 のとおりである。

表-4 水準測量により求めた各測点の標高

測点名	標高 (m)	備考
940042A	107.346	測地成果 2011
020965A	139.654	電子基準点大子 (二等水準点)
020965B	138.761	偏心点

GNSS 観測は、既知点 3 点 (4177B, 020965B, 940042A), 新点 2 点 (No.9, 0581A) で実施した。なお、0581A は、電子基準点 (里美) 付属標であるが、新点扱いとして同点でアンテナタワーを用いて観測したデータを使用した。

GNSS の 4 基線の観測結果は、表-5 のとおりである。

表-5 GNSS 観測の結果 (2 セッションの較差及び平均値)

自	至		DX (m)	DY (m)	DZ (m)
4177B	No. 9	第 1 セッション	2665.198	2181.275	1034.537
		第 2 セッション	2665.200	2181.278	1034.540
		較差	0.002	0.003	0.003
		較差 (NEU)	0.002	-0.004	0.002
		平均値	2665.199	2181.277	1034.539
No. 9	0581A	第 1 セッション	10827.554	11385.196	1836.036
		第 2 セッション	10827.539	11385.204	1836.051
		較差	-0.015	0.008	0.015
		較差 (NEU)	0.002	0.003	0.022
		平均値	10827.547	11385.200	1836.044
0581A	020965B	第 1 セッション	13355.389	12235.725	3123.604
		第 2 セッション	13355.386	12235.747	3123.613
		較差	-0.003	0.022	0.009
		較差 (NEU)	-0.003	-0.015	0.018
		平均値	13355.388	12235.736	3123.609
940042 A	0581A	第 1 セッション	16782.707	-577.389	18716.942
		第 2 セッション	16782.697	-577.375	18716.954
		較差	-0.010	0.014	0.012
		較差 (NEU)	0.000	-0.004	0.020
		平均値	16782.702	-577.382	18716.948

三次元網平均計算及び暫定ジオイド・モデルから求めた No.9 の標高は 78.995m であり、水準測量により求めた標高 (78.971m) との差は+0.024m と検証方法 1 の場合より差が 0.010m 大きくはなったものの、概ね良好であった。また、0581A の標高は 265.031m であり、水準測量により求めた標高 (265.006m) との差は+0.025m であった。

精度管理の 3 項目の結果は表-6 のとおりである。

表-6 精度管理の結果(検証方法2)

項目	較差・閉合差 (mm)	許容範囲 (mm)
2セッションの較差 (U成分最大)	22	30
既知点間の楕円体高の 閉合差	63▲ 11◆	98▲ 92◆
新点の楕円体高の標準 偏差	23△ 16◇	50

▲は 020965B-4177B 路線、◆は 020965B-940042A 路線
△は新点 No. 9、◇は新点 0581A

3.4 標高差・基線長等と基線解析精度の関係

標高差等が基線解析に与える影響を把握するため、電子基準点4点の観測データを用いて、次の点に着目して基線解析を行った(図-7)。

- 1) 標高差(比高)の大小による再現性の違い。
- 2) 基線長の長短による再現性の違い。
- 3) 観測時間の長短による再現性の違い。
- 4) 放送暦と精密暦による比較。

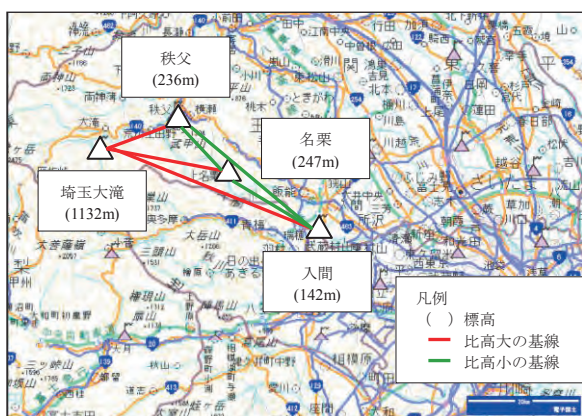


図-7 基線解析(6基線)

基線解析の概要は次のとおりである。

- 1) 解析に使用したデータ
 - a) 2012.2.1-2.7 (1週間), 2012.8.1-8.7 (1週間)
 - b) GPSデータのみ(RINEX Ver.2.10)
- 2) 解析時間(6種類)

24時間, 6時間, 3時間, 2時間, 1時間
いずれも9時(JST)からのデータを使用
- 3) 解析ソフトウェア

トリンプル TOWISE(TBC Ver.1.4)
- 4) 暦

放送暦, 精密暦(一部)

基線解析結果の高さ成分について、4つの着目点に関する評価を行った。

- 1) 比高が約1000mと極めて大きい場合は、バラツキが大きい。例として、6時間観測の標準偏

差が、比高が大きい基線で29mm、比高が小さい基線で15mmであった。

- 2) 基線長に依存した有意な差は見られなかった。
- 3) 観測時間3時間と6時間では有意な差は見られなかった。
- 4) 3時間観測において、放送暦と精密暦による有意な差は見られなかった。

3.5 アンテナ高の測定方法と精度

このマニュアル(案)は、3級水準点を設置するための、標準的な作業方法を定めているものであり、アンテナ高の測定精度が成果に直接影響を与えるため、測定方法が重要なポイントとなる。

平成25年1月10日に国土地理院構内において、レベルと標尺を使用する方法と、水平器と鋼巻尺を使用する方法を比較する実験を行った。

実験は、測定者2人一組を四組編成し、各組異なる水平器とJIS1級鋼巻尺(コンベックス)を使用して、アンテナ高約1.4m及び約2.0mの2パターンについて、大小目盛の読定者の交替などをしながら、各パターン延べ16読定を行った(写真-1)。

16読定のバラツキは小さく、ほとんど3mm以内であり、その平均値とレベル・標尺による測定値を比較した結果、アンテナ高約1.4mの方が2mmの差、アンテナ高約2.0mの方が1mmの差であった。

このことから、アンテナ高の測定は、水平器とJIS1級の鋼巻尺を使用する方法でも十分精度を確保できると判断した。



写真-1 アンテナ高測定の実験風景

3.6 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、ダム測量、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日数)を比較した(表-7)。

表-7 効率面の比較（マニュアル（案）6kmは1点、18kmと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

表-7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下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-8）。



図-8 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。

4.1 マニュアル（案）の特徴

マニュアル（案）の特徴は、作業規程の準則における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、平成14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。

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、平成22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。

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、本マニュアル（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。

4.2 セミ・ダイナミック補正の機能及び効果の検証

本マニュアル（案）を策定するにあたり、次のような検証を行った。

電子基準点（大子）の近傍に約500m間隔で新点（仮固定点）3点を設置してGNSS観測を行い、遠くの電子基準点（那須、烏山、里美）3点を既知点として求めた座標と、電子基準点（大子）から基線解析により求めた座標を比較した（図-9、図-10）。

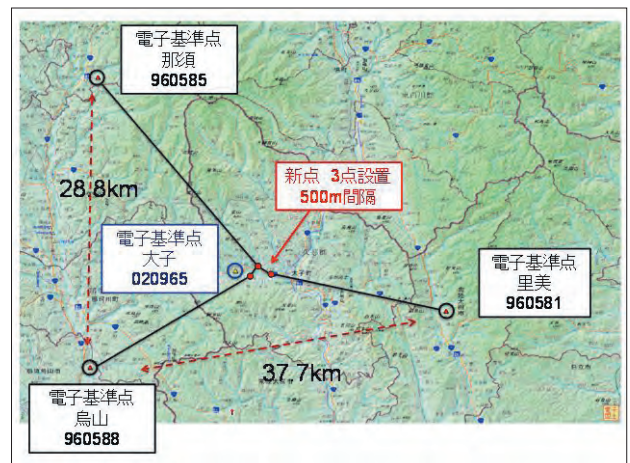


図-9 検証作業実施地域図

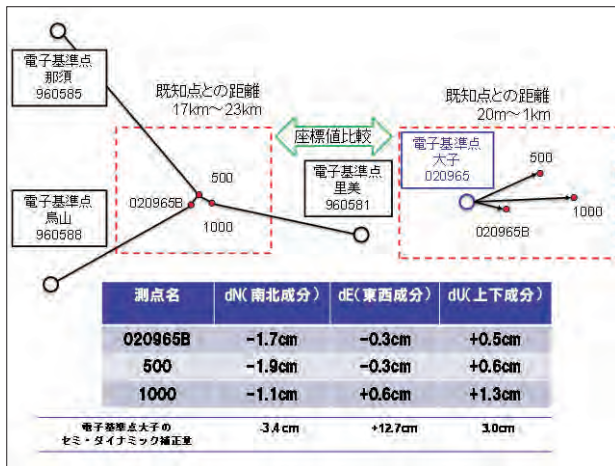


図-10 検証作業（新点座標の比較結果）

GNSS 基線解析に使用したデータは、10km 以上の基線については 2 時間分、10km 未満の基線については 1 時間分である。

電子基準点（那須，烏山，里美）を固定した三次元網平均計算による新点の座標と電子基準点（大子）を固定して放射状に行った基線解析結果の新点座標の差は、図-10 のとおり新点（500，1000，020965B）3 点とも 2cm 以内と良好であり、セミ・ダイナミック補正の機能及び効果を確認することができた。

5. SSP の今後の活動予定

SSP は、今後、次の予定で活動していく。

- 1) 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で測量データ等を取得し、マニュアル（案）の検証を行う。
- 2) 検討委員会を設置する。

（公開日：平成 25 年 10 月 4 日）

参考文献

国土地理院（2013）：GNSS 測量による標高の測量マニュアル（案）。
 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）。
 兒玉篤郎，森下遊，宮原伐折羅，河和宏，海老名頼利（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，73-84。

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，平成 26 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

SSP 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。

平成 25 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る方法によらない 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。