

GNSS 水準測量がもたらす可能性

渡辺 利光・白戸 丈太郎 (アジア航測株式会社)

1. はじめに

「スマート・サーベイ・プロジェクト」の活動の中に、GNSS 測量による標高測量（以下、GNSS 水準測量）がある。このGNSS 水準測量の実現に向けて、検証作業による精度確認を得て、平成 25 年 4 月にマニュアルが公表された¹⁾。その後、マニュアルが 3 回改正（平成 26 年 4 月、平成 27 年 5 月、平成 27 年 7 月）されて、作業の効率化が図られている²⁾。例えば、平成 25 年 4 月当初は衛星の観測時間が実質 6 時間以上（3 時間以上、アンテナ高 10cm 以上変えて 2 セッション）であったのに対して、改正後 5 時間以上に短縮されている。しかし、改正後に直接水準測量との精度を確認した事例が、公表されていない。そこで、本稿では、検証として公共測量の 1 級水準測量と比較した。さらに、今回の検証作業を実作業量として作業の効率化が実現され

たかを確認したので報告する。また、マニュアルの規定枠を超えた場合の例を示し、新たな可能性についても確認したので併せて報告する。

2. 実施方法

2.1 観測条件

表 1 のとおり観測条件によって 3 ケース設定した。ケース 1 では、マニュアルに準拠した方法である。ケース 2 では、新たに節点 6 点を加え、さらに路線長を 200km 未満まで拡大した。ケース 3 では、路線長 200km 未満、さらに観測距離を節点なしで 100km 以下に設定した。その他にも、観測時間を 12 時間、24 時間の連続観測にしたケースや、軌道情報の放送層を精密層にしたケースを設定したが、ケース 1 からケース 3 の解析結果と顕著な差は見られなかったため、省略する。

表 1 ケースごとの観測条件一覧表

項目	ケース1	ケース2	ケース3	備考
使用点	既知点3点 新点2点	既知点3点 節点6点 新点2点	既知点3点 新点2点	既知点・節点は電子基準点を使用
路線長	60km 未満	200km 未満	200km 未満	
観測距離	6km～40km	6km～40km	6km～100km	
観測時間	5時間以上	5時間以上	5時間以上	
使用衛星	既知点・節点：GPS+GLONASS, 新点：GPS			

2.2 精度確認方法

精度の確認では、データ解析の信頼性と観測結果の妥当性との 2 点から検証した。

データ解析の信頼性では、基線解析や三次元網平均計算の解析がマニュアルに記載されている許容範囲に収まるかを検証した。

観測結果の妥当性では、マニュアルに記載されていないため、GNSS 水準測量結果と 1 級水準観測で直接取り付けた観測結果とを比較することにより検証した。つまり、GNSS 水準と 1 級

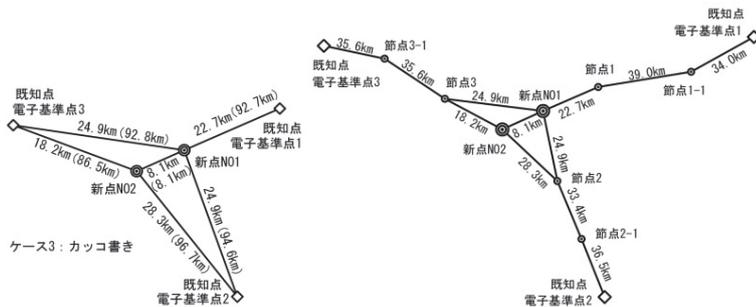


図1 平均図イメージ (ケース 1・3)

図2 平均図イメージ (ケース 2)

水準の両方で観測した新点を比較・検証した。また、これらの観測は期間を空けず実施することで、地震等の地殻変動や経年変化の影響を小さくした。また、比較の方法は、下記に示す①、②で確認した。

- ①公共測量の3級水準測量の許容範囲(既知点から既知点までの閉合差： $15\text{mm}\sqrt{S}$)での確認
- ②マニュアルの効果である目標精度 $30\text{mm}\sim 50\text{mm}^3$ での確認

①では、1級水準観測から得られた標高値を既知点とし、3級水準測量と同等の測量であるGNSS水準測量の標高値の「閉合差」で比較・検証した。②では、観測点位置での1級水準の標高値とGNSS水準の標高値との差(「標高差」)で比較・検証した。

2.3 効率性の確認方法

ケース1からケース3のそれぞれについて作業量を算出し、GNSS水準測量の効率性を確認した。確認方法は、GNSS水準測量が上述のとおり3級水準測量に相当することから、3級水準測量の標準歩掛より標準的な作業量を算出し、今回の検証作業に係るGNSS水準の

実作業量と比較した。

2.4 利用例

ケース1からケース3のそれぞれの特徴に応じて考えられる利用例を示した。

3. 実施結果

3.1 精度確認

(1) データ解析の信頼性の確認

表2にケースごとに基線解析や三次元網平均計算結果が許容範囲に入っているかを検証項目ごとに整理した。全てのケースが許容範囲に収まっており、信頼性のあるデータであることが確認できた。

(2) 観測結果の妥当性の確認

表3に新点 NO 1、NO 2について、1級水準測量の標高値とケースごとのGNSS水準測量の標高値とを整理した。

NO 1からNO 2までの「閉合差」は、概ね良好であることを確認した。しかし、ケース3では、3級水準測量の許容範囲 42mm ($15\text{mm}\sqrt{S}$ 、 S は路線長 8.1km) を満足していないことを確認した。これは、ケース3が約 100km の長距離基線であるため、ケース1、2に比べて共通衛

表2 精度管理表(基線解析や三次元網平均計算)

項目		最大較差・最大閉合差 (mm)			許容範囲 (mm)
		ケース1	ケース2	ケース3	
基線ベクトルの較差	水平 ($\Delta N, \Delta E$)	14	9	12	20
	高さ (ΔU)	25	30	36	40
既知点間の楕円体高閉合差		31	44	60	*
斜距離の残差		11	2	9	80
新点の楕円体高の標準偏差	NO1	16	12	10	50
	NO2	23	14	14	50

* 103 (ケース1)、207 (ケース2)、203 (ケース3)

表3 1級水準標高値とGNSS水準標高値の比較表

点名	1級水準標高値 (m)	ケース1		ケース2		ケース3		許容範囲 (mm)
		GNSS値 (m)	標高差 (mm)	GNSS値 (m)	標高差 (mm)	GNSS値 (m)	標高差 (mm)	
NO1	562.179	562.138	41	562.130	49	562.138	41	50
NO2	770.115	770.109	6	770.107	8	770.137	-22	50
閉合差			35		41		63	42

表4 3級水準とGNSS水準との削減比一覧表

区分		ケース1 (路線長 77km)			ケース2・3 (路線長約 280km)		
		3級水準	GNSS水準	削減比	3級水準	GNSS水準	削減比
外業	所要日数	21.56	3.00	0.13	78.40	3.00	0.04
	延人日数	80.08	6.00	0.07	291.20	6.00	0.02
全体	所要日数	32.34	7.00	0.22	117.60	7.00	0.06
	延人日数	104.72	12.00	0.11	380.80	12.00	0.03

星数が少ないことに起因しているものと考え。NO 1,NO 2の位置での「標高差」は、全てのケースについて、マニュアルの目標精度である 50mm 以内であることを確認した。

3.2 効率性の確認

表4に標準的な3級水準の作業量と今回の実作業量とを、作業時間(所要日数)と経費(延人日数)の観点から整理した。全体(外業と内業)の所要日数では、ケース1で78%、ケース2・3で94%の削減効果があることを確認した。また、全体の延人日数では、ケース1で89%、ケース2・3で97%の削減効果があることを確認した。傾向としては、GNSS水準の既設点間の距離が大きいくほど、作業時間、経費ともに削減率が大きく効率性がよいといえる。

3.3 利用例

利用例としては、災害発生に伴う公共施設の変動把握など早期対応が求められる現場があげられる。以下、ケースごとに利用例を示す。

(1) ケース1の利用例

ケース1は、路線長 60km(半径 30km)までの災害対応に役立つ。例えば、離岸堤等に沈下が発生した場合、渡河水準等に代えて利用するのに有効な手段であると考え。

(2) ケース2の利用例

ケース2は、ケース1に比べて路線長を 200km(半径 100km)に設定しており、県を超えた広域的な災害対応に役立つ。例えば、熊本地震の場合には、図3に示すように熊本県内(半径

30km)では地震の影響が大きく既知点として使用できない。そこで、本ケースを適用すれば、影響の少ない隣接県の既知点(図3の緑色点)を使用でき、有効な手段であると考え。ただし、節点を可能な限り電子基準点とするのが作業効率面から理想である。

(3) ケース3の利用例

ケース3は、ケース2と異なり節点を設けおらず観測距離を 100kmと設定でき、広域的な災害対応に役立つ。例えば、熊本地震や東日本大震災などの大規模地震で、周辺の電子基準点の使用停止中の場合に有効な手段であると考え。ただし、東日本大震災では、東日本エリアのほとんどの電子基準点の使用停止中だった

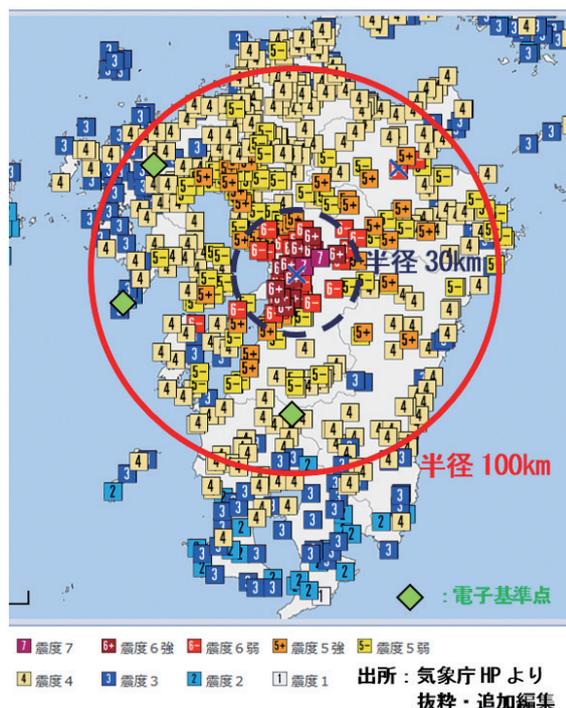


図3 震度分布図 (2016年4月16日)

め、ケース2の節点の考え方も組み合わせて利用する必要がある。

また、実務上、どのケースについても、作業規程の準則第17条第3項の規程の適用を受ける必要がある。特にケース2、ケース3では、当該規程の適用を受ける際には精度検証結果等が必要である。

4. まとめ

GNSS水準測量の精度確認や効率性の確認をケースごとに行った。その結果、ケース3では閉合差が3級水準測量の許容範囲を上回るものの、それ以外では、どのケースも良好であることを確認した。また、今回のGNSS水準の実作業量を標準的な3級水準測量の作業量と比較した結果、どのケースも削減効果が高く、効率性が非常によいことを確認した。さらに、災害の規模による対応方法の指針を示したことにより、GNSS水準測量のさらなる利用に寄与するものと確信している。

今後は、GPSにGLONASS、QZSS、Galileoを加えたマルチGNSS水準測量により、如何に高精度かつ効率的な位置情報を取得できるかを検討する予定である。

■参考文献

- 1) 後藤清、他9名：測量の効率化・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—、国土地理院時報、124集、pp.56-71
- 2) 国土地理院（2015）：GNSS測量による標高の測量マニュアル
- 3) 国土地理院（2014）：衛星測位を活用した測量の効率化〈GNSS測量による標高の測量マニュアル〉〈電子基準点のみを既知点とした基準点測量マニュアル〉—利用の手引き—

■執筆者

渡辺 利光 (わたなべ としみつ)
アジア航測株式会社



(共著者) 所属は筆頭著者に同じ

白戸 丈太郎 (しらと じょうたろう)