

昇降式水準測量と比較した GNSS 水準測量による標高の検証 「GPS のみのケース」および「GPS と GLONASS のケース」について

中央工学校 正会員 ○久保寺貴彦

中央工学校 非会員 草野 克己

1. はじめに

標高の基準面はジオイド面である。ジオイド面は山脈や地球内部の密度に影響を受けて、起伏が存在している。直接水準測量である昇降式水準測量(写真 1)は、標尺を鉛直(重力の作用する方向)に立てることにより、ジオイド面を基準とした高低差を直接観測して、標高が求められることから、公共測量作業規程 準則(以下、準則という)の水準測量の標準とされてきている。一方、間接水準測量である GNSS 測量(写真 2)は、測点間の基線ベクトルを観測して、標高を計算により間接的に求めている。GNSS 測量は、準拠楕円体を基準面としているため、標高を求めるにはジオイド・モデルが別途必要であって、そのジオイド・モデルによって標高が左右され、準則の水準測量には今日に至るまで長らく採用されていない。よって、水準点が近傍に全く存在しないような山間部のダム工事において3級水準点程度の標高を必要とする場合でも、多大な作業量をかけて昇降式水準測量を実施する他なかった。このような背景の中、国土地理院は効率化を図り、高精度ジオイド・モデルを整備することによって GNSS 測量でも3級相当の水準測量に用いられるようにしてきている。この高精度ジオイド・モデルは、まず、2013 年 4 月に西日本に整備されて「日本のジオイド 2011+2000」と呼ばれ、そして、2014 年 4 月から全国に拡張整備され「日本のジオイド 2011」(Ver.1)と呼ばれる。これにより、2014 年 4 月から全国的に 3 級水準測量相当の GNSS 水準測量が実用化された。

本研究の目的は、長野県軽井沢町の水準点から 4 km ほど離れた山地の同一の新点において、GNSS 水準測量および昇降式水準測量を実施して、それぞれ網平均計算を行って得られた標高の成果値を比較検証することである。



写真 1 昇降式水準測量



写真 2 GNSS 水準測量

2. GNSS 水準測量と昇降式水準測量の方法

今回実施した GNSS 水準測量と昇降式水準測量の要点を表 1 に示す。等級と新点は同一である。GNSS 水準測量で使用した衛星は、「GPS のみのケース」および「GPS と GLONASS のケース」の 2 種類である。国土地理院の GNSS 水準測量の標準的な作業マニュアルによると観測時間は 6 時間以上とされているが、実施した GNSS 水準測量は、バッテリーの消耗問題から 5 時間が限界であった。ここで総観測時間は、観測時間と観測人数を乗じた時間である。GNSS 水準測量によって、総観測時間は昇降式水準測量に比べて 1/50 程度に短縮でき、効率が飛躍的に良くなったことがわかる。なお、GNSS 水準測量で用いたジオイド・モデルは、「日本のジオイド 2011」(Ver.1)である。

表 1 今回実施した GNSS 水準測量と昇降式水準測量の要点

測量方式	等級	新点数	使用した既知点	使用した衛星	観測年月日	観測時間	観測人数	総観測時間
GNSS 水準測量	3 級	1 点	電子基準点 3 点	GPS, GLONASS	2014 年 9 月 23 日	5 h	1 人	5 h
昇降式水準測量	3 級	1 点	一等水準点 3 点	なし	2013 年 9 月 19 日, 20 日	11 h	24 人	264 h

キーワード : ジオイド・モデル, GNSS 水準測量, 昇降式水準測量, GPS, GLONASS

連絡先 : 〒114-8543 東京都北区王子本町 1-26-17 TEL 03-3906-1211 E-mail kubodera_t@chuoko.ac.jp

3. 平均図

GNSS 水準測量の平均図を図 1 に示す。既知点は、標高区分が水準測量による電子基準点(佐久 960610, 軽井沢 950269, 川上 960613)である。新点は 4101 である。昇降式水準測量の平均図を図 2 に示す。既知点は、一等水準点(018-050, 018-049, 546)である。新点は 4101 である。なお、交点を 3 点設けた。区間のバランスを取るため、交 1 と交 3 を街道の交差点から南下させて、その南下させた分の路線は 2 本分の路線が存在する。つまり、018-050～交 1 と交 2～交 1 が存在し、また、交 2～交 3 と 546～交 3 が存在する。

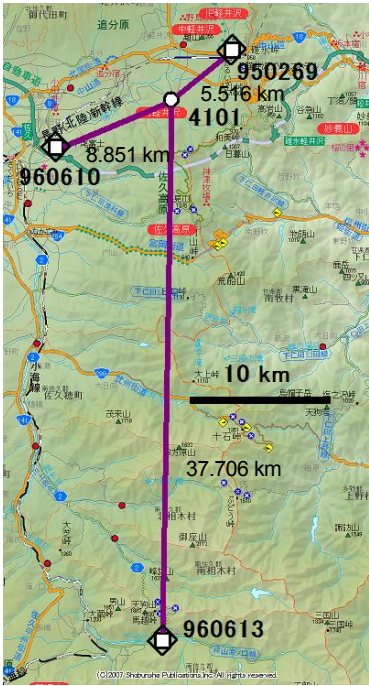


図 1 GNSS 水準測量の平均図



図 2 昇降式水準測量の平均図

4. 点検計算

GNSS 水準測量の点検計算を表 2 に示す。電子基準点のみの閉合差の許容範囲は、準則に従って、水平面の南北方向の閉合差 ΔN および水平面の東西方向の閉合差 ΔE は式(1), 高さ方向の閉合差 ΔU は式(2)である。観測の閉合差は、「GPS のみのケース」および「GPS と GLONASS のケース」とも許容範囲内であることがわかる。

表 2 GNSS 水準測量の点検計算

点検路線 (電子基準点間)	観測距離 S [km]	ΔN [m]		ΔE [m]		ΔU [m]	
		GPS のみ	GPS と GLONASS	GPS のみ	GPS と GLONASS	GPS のみ	GPS と GLONASS
960610～4101～950269	14.367	0.004	0.008	-0.010	-0.012	-0.046	-0.026
950269～4101～960613	43.222	0.003	0.002	0.012	0.015	0.008	0.008
960613～4101～960610	46.557	-0.007	-0.010	-0.001	-0.003	0.038	0.018
許容範囲		0.088		0.088		0.192	

表 3 昇降式水準測量の点検計算

点検路線(既知点間)	観測距離 S [km]	観測の閉合差 dh [m]	許容範囲 [m]
018-050～交 1～4101～交 3～交 2～018-049	11.299	+ 0.006	0.050
018-049～交 2～交 1～4101～交 3～546	10.964	- 0.024	0.050
546～交 3～4101～交 1～018-050	9.81	+ 0.017	0.047

昇降式水準測量の点検計算を表 3 に示す。3 級水準測量の既知点から既知点までの閉合差の許容範囲は、準則に従って、式(3)である。観測の閉合差 dh は、許容範囲内であることがわかる。

表 4 新点 4101 の成果値

測量方式	標高の最確値 [m]		最確値の標準偏差 [m]	
	GPS のみ	GPS と GLONASS	GPS のみ	GPS と GLONASS
GNSS 水準測量	919.928	919.946	0.018	0.021
昇降式水準測量	919.921		0.008	
較差(=GNSS 水準-昇降式水準)	+ 0.007	+ 0.025		

5. 網平均計算

GNSS 水準測量および昇降式水準測量それぞれに網平均計算を行った。その結果、得られた新点の標高の最確値およびその標準偏差を表 4 に示す。GNSS 水準測量において「GPS のみのケース」と「GPS と GLONASS のケース」で標高が 2cm ほど異なることがわかった。GPS と GLONASS 間の高さ方向での微小な不整合が考えられる。GNSS 水準測量「GPS のみのケース」により、昇降式水準測量と較差 7mm という高精度の標高が得られた。標準偏差は、昇降式、「GPS のみ」、「GPS と GLONASS」の順で良いことがわかる。GNSS 水準測量は、5 時間の観測時間でも観測データが十分に平均化されて、マルチパスや大気のゆらぎなどの影響を軽減し、高精度の成果を得られたと考える。