

结合 GPS/Leveling 和正高改正确定 GPS 常年观测站正高

尹弘植, 黄鹤, 李东河

(成均馆大学校 建设环境系统工学科, 韩国 水原 440-746)

Determination of Orthometric Height for GPS Permanent Station Using GPS/Leveling and Orthometric Correction

YUN Hong-sic, HUANG He, LEE Dong-ha

摘要:利用精密几何水准测量结合 GPS/Leveling 方法计算韩国行政自治部管辖内 30 所 GPS 常年观测站天线基准点的正高。并联合进行对水准点和 GPS 常年观测站偏心点的重力测量,使用正高改正方法计算出其改正量,提高正高的精确度。

关键词:GPS 常年观测站;几何水准测量;GPS/Leveling;重力测量;正高改正;正高

一、引言

韩国政府 2001 年修正了《测量法》,宣布 2003 年起共同使用 ITRF2000 基准的世界坐标系和原有的贝塞尔(BESSEL1841)坐标系,2010 年起全面采用世界坐标系。此举将大力推动 GPS 技术的广泛使用,使 GPS 成为最主要的测量手段。韩国共有 85 所 GPS 常年观测站,主要分布在 NGII(14), MOGAHA(30), MOMAF(24), KASI(9), KIGAM(6) 及 KCSC(2)。这些 GPS 常年观测站的建立目的和具体用途有些不同,但都公布了所辖 GPS 常年观测站世界坐标系坐标与椭球体高,供 GPS 测量用户利用。但因其正高尚未精密确定,导致无法广泛地应用于 GPS-RTK, GPS/Leveling 和地籍等测量^[1]。本文对 MOGAHA 管辖内 30 所 GPS 常年观测站确定了正高。

计算 GPS 常年观测站正高可从附近几个一等水准点开始起算,针对传统几何水准测量文献^[2]认为韩国国土平均海拔较高,70% 的面积为山地和丘陵地带,尤其东北部的地形最为险峻崎岖,因此地形起伏严重地区应实行重力测量来实行正高改正,得出准确正高。

二、GPS 常年观测站正高计算

1. 计算方法

GPS 常年观测站正高的计算包括以下几个步骤:① GPS 常年观测站偏心点(Eccentric Point,简称

EP)和附近一等水准点间的精密水准测量;② 对精密水准测量的起、终点进行重力测量计算其正高改正量,并通过平差确定偏心点正高;③ 偏心点与 GPS 常年观测站天线基准点(Antenna Reference Point,简称 ARP)间高差利用 GPS/Leveling 方法确定;④ 综合确定 GPS 常年观测站正高并验证。GPS 常年观测站与偏心点、天线基准点见图 1,整个计算思路见图 2。

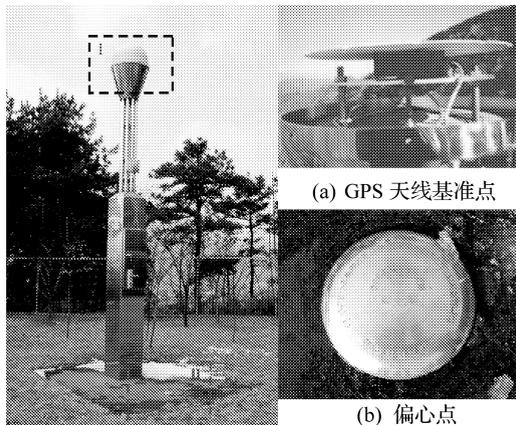


图 1

地表面某一点的正高可定义为海平面上的高度即大地水准面为基准的几何高度,美国国家大地测量局对正高的解释为垂直交叉大地水准面到一点间所有重力等势面垂线的距离。表示如下:

$$H_A = C_A / \bar{g} \quad (1)$$

其中, H_A 为 A 点的正高; C_A 表示 A 点的大地位数; \bar{g}

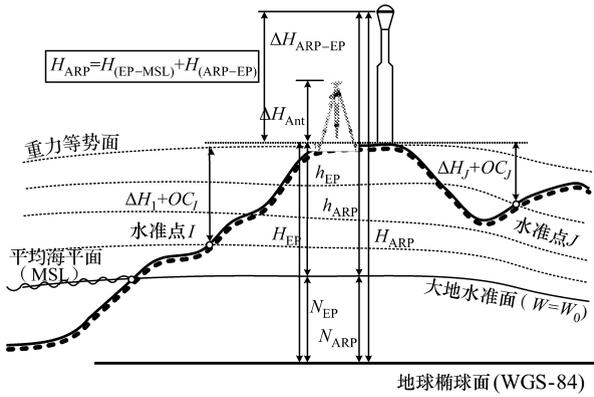


图2 GPS常年观测站天线基准点、偏心点与各要素间高程关系

为A点到大地水准面间垂线上的平均重力。

由于重力等势面不平行,几何水准测量所得两点间高差不等于正高差,因此须加入正高改正量。正高改正可将几何高差转变为正高差,基本公式如下:

$$\Delta H_{AB} = \Delta v_{AB} + OC_{AB} \quad (2)$$

其中, ΔH_{AB} 为 A, B 间正高差; $\Delta v_{AB} = \sum_i \delta v_i$ 是 A, B 间几何水准差 δv_i 的总和; OC_{AB} 为正高改正量。

正高改正的方法比较多,文献[2]利用1986年韩国 NGII 测定水准点观测数据和重力数据,针对5种正高改正方法作了比较,结果表明:文献[3]的方法比较适合韩国地形和情况。本文也采用了此方法,其公式如下^[3]:

$$OC_{AB} = 0.114 \times 10^{-3} \times H_m \times \Delta H_{AB} - 1.02 \times 10^{-3} (\Delta g_B^{Bou} - \Delta g_A^{Bou}) \times H_m - 0.83 \times 10^{-3} \times \sin 2\phi_m \times S \times H_m \quad (3)$$

其中, $\Delta g_B^{Bou}, \Delta g_A^{Bou}$ 为 A, B 点 Bouguer 异常; S 为两点间东西距; H_m 为平均高; ΔH_{AB} 为 A, B 间高差。

MOGAHA 的 GPS 常年观测站由 4~5 m 高的不锈钢支柱构成,无法以传统方式确定准确高,因此采用 GPS/Leveling 方法确定观测站偏心点与天线基准点高差。为了检验此方法的有效性和精确度,选定 KCSC 两个 GPS 常年观测站进行了实验:使用

全站仪 (TC2003) 和 GPS (Trimble 4700), 分别进行了几何水准测量和 GPS/Leveling 测量,其差距为 2.1 mm, 0.5 mm, 表明 GPS/Leveling 方法可替代几何水准测量,适用于因客观地形条件因素无法进行几何水准测量的情况。

2. 测量数据

几何水准测量采用高精度电子水准仪 (DINI12), 按照“水准测量作业规定”(NGII 内规) 要求进行,往返观测距离共 282 km。

GPS/Leveling 方法所使用的 GPS 数据分两种: 一为 GPS 常年观测站数据; 二为偏心点上使用 Trimble 5700 观测的, 其水平/垂直精度分别为 $\pm(5 \text{ mm} + 0.5 \times 10^{-6} D) / \pm(5 \text{ mm} + 1.0 \times 10^{-6} D)$ 。GPS 数据采样间隔 15 s, 截止高度角 10° , 连续观测 3 h 以上。

相对重力测量使用 Lacoste & Romberg 重力仪 (G-200, 精度: 0.01 mGal), 遵循 NGII“2 等重力测量作业规定”, 以韩国标准科学研究院绝对重力基准点 (DAEJ; $g = 979\,829.609 \text{ mGal}$) 为基准。共观测 104 点 145 次, 采用大闭合环套小闭合环方式。利用 DNSC“Gradj”程序进行最小二乘平差^[4], 求出绝对重力值、Bouguer 和 Free-air 异常, 并将 Bouguer 异常值代入式(3)。

三、成果分析

表 1 为利用上述方法计算得出的 GPS 常年观测站天线基准点正高成果, 其误差范围在 $\pm 3 \text{ cm}$ 之内, 正高改正量最大为 23.132 2 mm, 最小为 0.000 1 mm, 平均为 0.54 mm。最明显点为连接 CHJU (济州岛汉拿山, 韩国境内最高山) 和 CHCN (江原道春川市, 位于东北部地势高) 和附近水准点的水准路线。两点均处在海拔较高的地区, 再次验证了正高改正的必要性。

为了验证计算成果的精度, 分析了误差源并设定预期误差, 再与计算成果作了比较。误差源是根据测量规范和理论误差模型来分析的, 详细说明参见表 2。

表 1 GPS 常年观测站 ARP 正高的计算结果(例)

站名	所在地名	重力值/mGal	偏心点水准成果/m (几何水准测量)	ARP 与偏心点间高差/m (GPS/Leveling)	ARP 正高/m	1σ
BOEN	Boeun	979 813.83	181.098 7	4.220	185.318 7	0.030 8
CHAN	Cheonan	979 883.69	40.516 7	4.917	45.433 7	0.033 7

表2 GPS常年观测站正高测定的主要误差源

误差类型	基准		说明
	测量规范	理论误差模型	
水准点高程误差		$\pm 15 \sqrt{S_1}$ mm	——无法模型化 ——使用测量规范的限差 —— S_1 :往(返)测距离/km
几何水准测量误差	$\pm 2.5 \sqrt{S_2}$ mm	$D \sqrt{2N(\sigma_{r/D}^2 + \sigma_a^2)}$	—— D :平均 —— N :水准仪架设次数/路线 —— σ_a :水准仪水平误差(") —— $\sigma_{r/D}$:读数误差/km —— S_2 :往(返)测距离/km
GPS/Leveling 误差		$\pm (5 \text{ mm} + S_3)$	——无测量规范 ——使用理论误差模型 —— S_3 :GPS基线距离/km

综合以上误差源,分别以测量规范和理论误差模型为基准的测定 GPS 常年观测站天线基准点可能包含的预期误差分别表示为 $\sigma_{E_1}, \sigma_{E_2}$:

$$\sigma_{E_1} = \pm \sqrt{15^2 S_1 + 2.5^2 S_2 + (5 + S_3)^2} \quad (4)$$

$$\sigma_{E_2} = \pm \sqrt{15^2 S_1 + (D \times 1000)^2 \times 2N \times (\sigma_{r/D}^2 + (\sigma_a/206264)^2) + (5 + S_3)^2} \quad (5)$$

再根据此计算方式给出四项预期误差,即实测数据和测量规范的两种方式,得出的误差分别是:14.34 mm,15.04 mm,27.90 mm,28.26 mm。图3表示 GPS 常年观测站正高的标准偏差和正态分布。四项预期误差均分布在置信度 0.95 的置信区间内,均大于均值 12.96 mm,表明 GPS 常年观测站正高成果稳定。CHJU 和 YECH 站点误差超出置信区间,认为附近水准点所包含误差是主要原因,但仍处于“水准测量作业规定”精度要求范围内。

正与 GPS/Leveling 等方法确定了韩国行政自治部管辖下的 30 所 GPS 常年观测站正高。结果表明利用此方法可在 ± 3 cm 的范围内确定 GPS 常年观测站的正高,并建议一定要实施正高改正,预期误差可通过测量规范和理论误差源分析来预测。综上所述,可以认为利用本文提出的方法确定 GPS 常年观测站天线基准点正高是可行的,结果是可靠的。

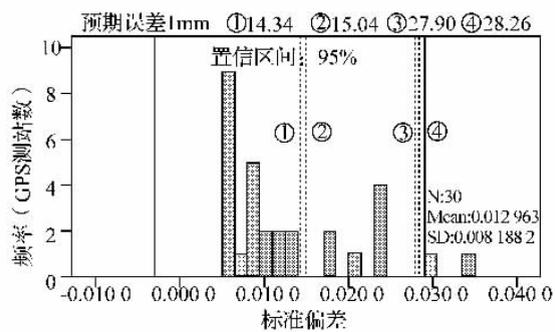


图3 正高测定误差的频率与过失误差的检验

四、结束语

结合传统几何水准测量、相对重力测量、正高改

参考文献:

- [1] 刘大杰,姚连璧,周全基. GPS水准的拟合基准面高程系统[J]. 测绘学报,2000,29(增刊):11-15.
- [2] YUN H S, CHO J M. Calculation of Precision Orthometric Height by Orthometric Correction[J]. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, 2004,22(2): 117-125.
- [3] STRANG VAN HEES G L. Practical Formulas for the Computation of the Orthometric, Dynamic and Normal Heights [J]. Zeitschrift für Vermessungswesen, 1992,11:727-734.
- [4] TSCHERNING C C, FORSBERG R, KNUDSEN P. Description of the GRAVSOFT Package for Geoid Determination[A]. Proceedings of 1st Continental Workshop on the Geoid in Europe[C]. Prague:[s. n.],1992.