

單頻差分網形平差與精密單點定位比較：
六龜 D015 大規模崩塌潛勢區簡易觀測站案例
Comparing the Differential Network Adjustment with PPP for Kaohsiung
Liugui D015 Monitoring Stations Single Frequency GNSS Data

史天元¹ 王慧蓉² 廖志中¹

摘 要

設置「簡易觀測站」，是目前針對「大規模崩塌潛勢區」進行監測與探討的具體作為。基於經費的考量，單頻 GNSS 接收儀為普遍採用的設備。本研究以高雄市六龜區 D015 為探討案例，以了解多年來所設置「簡易觀測站」之 GNSS 數據解算狀況。由前期研究成果，業已獲得明確結論，由於種種環境與實際作業之綜合影響，2017 年度 GNSS 接收之狀況不佳，數據缺漏、包含大量數據錯誤、等狀況十分頻繁。其中檔案中包含錯誤等問題，可以藉由增加作業工序方式排除。但是基本幾何圖形的限制，則非任何後處理可以解決。在以加拿大 CSRS-PPP 精密單點定位網際服務分析時，D015 區域六個 GNSS 觀測站於 2017 年 10 月所蒐集之數據，即便是單日靜態解，所呈現之成果，各站三向坐標平方和之根，均大於 1 m。由於在基線短時，電離層等環境影響因素在小區域中各站較接近，可以藉由差分獲得較好成果，本文即以「差分網形平差」進行 D015 的解算。成果顯示，平差後以誤差傳播估計之坐標不確定度，三向坐標平方和之根，在扣除兩筆粗差之後，最小約 0.054 m，最大 1.013 m。根據計算成果，本研究推論，單頻 GNSS 接收儀在短基線時，「差分網形平差」有潛力可以獲得釐米級精度。但是在研究期間 D015 區域所設置者，由於諸多因素如環境影響，大多數未能達成此標準。

ABSTRACT

Deploying a “simple monitoring station” is the current practice for monitoring the large-scale potential landslide sites in Taiwan. Due to financial considerations, single frequency GNSS receivers are utilized. This study takes the D015 site, located in Liugui, Kaohsiung city, as a sample to understand the performance of these GNSS stations. From previous studies, the data collected from these stations in 2017 have confirmed that there are many problems resulting from both implementation and environmental factors. Frequent data error and data voids were found. Some of these could be resolved with data processing, but not the problems from point determination

¹交通大學防災與水環境研究中心教授

²交通大學防災與水環境研究中心

geometry. While processed with Canadian CSRS-PPP services, the uncertainty presented as the square root of sum of the three dimensional estimated coordinate variances all larger than 1 m, for all six GNSS stations in D015. The data period covered was the month of October, 2017. Because the “differential network adjustment” method could produce better results when the baseline is short, this study evaluated the same dataset with this method. Daily static solutions were derived. Although not many day observations could be processed successfully, only about 10%, the result shows that the best results have uncertainty of 0.054 m and the worst uncertainty of 1.013 m, after two gross errors were removed. It may be concluded that short baseline network of single frequency receivers could reach cm level positioning with “differential network adjustment”. However, from the data of the study period from D015, the factors including environmental prevented this from being realized.

一、前言

依據空載光達、空照、地質圖等等資訊，中央地質調查所、林務局等單位以崩塌土方量預估達 10^5 m^3 以上為標準，在台灣劃定多處大規模崩塌潛勢區。在劃定之後，以設置「簡易觀測站」進行監測為主要作為。本研究之區域為高雄市六龜區 D015，位於林務局管轄的國有林班地內，即為如此作業的大規模崩塌潛勢區之一。監測站中有六站為全球導航衛星系統(GNSS, Global Navigation Satellite System)之接收站，採用雙星單頻接收器。由數據面觀察，所接收之星系為美國 GPS 與中國北斗(BeiDou)。這六站分別為 G1、G2、G3、G4、G5、G6，位置如圖 1 所示。本文以 106 年 10 月份 6 個監測站所蒐集到之數據進行探討。檔案中 GNSS 站站碼編號分別為 1501、1502、1503、1504、1505、1506，數據年代均為民國 106 年(西元 2017)，月份為 10 月(DOY274-304，304 為 11 月 1 日)，本研究所獲得各站數據日期不一致，G1 有 10 天、G2 有 24 天、G3 有 21 天、G4 有 31 天、G5 有 29 天、G6 有 14 天。本批數據除漏日漏時外，多站多日尚有次數、長短不一的斷訊，造成觀測時間零碎化。本研究採用 GFZRNX 程式集(GFZ, 2016)去除檔案中基本格式錯誤，並以該程式將同站一日中之多檔彙整為單一日檔(史天元等，2019a)。

史天元等(2019b)以各站觀測曆元最多之單日，採用加拿大 CSRS-PPP 網際服務，解算「精密單點定位」靜態解之坐標不確定度如表 1。作為比對的是位於交通大學光復校區工程二館樓頂之單頻(NCT1)與雙頻接收儀(NCTU)。NCTU 站使用 Trimble NetR9 接收儀 (Trimble, 2017)、Trimble Zephyr 2 Geodetic TRM57971.00 天線 (Trimble, 2014)。NCT1 站採用 u-blox LEA-6 晶片(u-blox, 2010)。D015「簡易觀測站」設置者，推論為採用 u-blox NEO/LEA-M8T 晶片(u-blox, 2016)。由三向坐標不確定度平方和之根為指標，在良好接收狀態的雙頻接收儀(NCTU)為 0.01m、單頻(NCT1)為 0.43m，而在 D015 大規模崩塌潛勢區的各站，不確定度均達公尺以上，相較 NCTU 與 NCT1 成果均差許多。

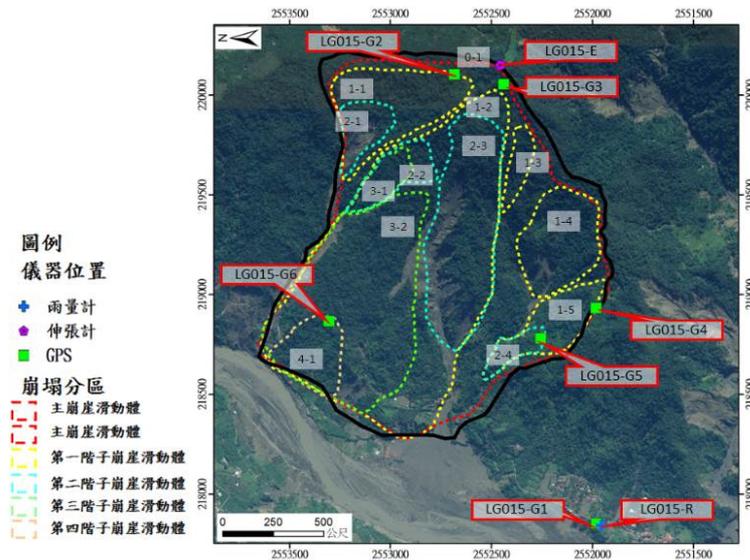


圖 1 高雄市-六龜區-D015 崩塌潛勢區簡易觀測站監測設備與位置
(屏東林區管理處, 2018)

由於單頻 GNSS 接收儀，無法由觀測量消除電離層誤差，故而其使用時機為在相對較短距離時相對應於參考站以差分方式解算。依照簡易監測站設置時的規劃(屏東林區管理處，2018)，在 D015 即為以 G1(1501)為參考站，使用網形平差方式求取各站座標時間序列。在這樣的規劃內，所能觀察的是各站相對於 1501 站之位移變化。如果發生整體系統性之位移，是沒有觀察能力的。基於設計規劃時之考量，本文以「差分網形平差」方式進行 D015 各 GNSS 站的解算，以了解依照原設計實務上達成之所規劃的監測區分能力。採用的求解方式為單日靜態，亦即一天解出一組坐標。

表 1 各檔案 CSRS-PPP 靜態解 95%誤差(單位：m; 史天元等, 2019b)

站名-DOY	N	E	h	平方和之根	GDOP(95%)
1501-284	0.348	0.550	0.900	1.11	3.9
1502-283	0.350	0.478	0.933	1.11	3.5
1503-291	0.653	1.265	1.625	2.16	7.1
1504-302	0.604	1.080	1.586	2.01	4.9
1505-277	0.675	0.901	1.956	2.26	5.7
1506-274	0.381	0.483	0.996	1.17	3.5
NCT1-274	0.131	0.227	0.343	0.43	2.6
NCTU-274	0.002	0.004	0.008	0.01	1.8

二、觀測環境討論

現地觀/監測儀器之設置，皆應有觀測環境之考量與需求。其中有部份為可以維護改善者，如雨量計上方為樹枝及樹葉擋住，恐會堵塞雨量計、影響量測結果，可以砍除。但是部份則不易改善，如受地形影響，或周邊房舍、樹木甚多，對空通視條件差，這些條件改善不易，而且需要持續。圖 2 為 D015 各簡易監測站周邊環境，共同的特色是附近植生茂密。由於植生的生長特性，對空通視的確保，需要持續的維護。



(a) 1501 環境



(b)1502 對空



(c) 1503 環境



(b)1504 環境



(e) 1505 環境



(f)1506 環境

圖 2 D015 簡易監測站環境

就 1501 站而言，站體位於道路的一側，除路的上方為開闊外，另一側亦有生長良好之植生。其他各站通視條件，由表 1 所列 GDOP 值觀察，最差者為 1503。

目前現有運作中之全球導航位星系統 (GNSS, Global Navigation Satellite Systems)，包含美國 GPS (Global Positioning System)、蘇俄 Glonass (Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya Sistema)、歐盟 Galileo、中國北斗 (BeiDou)。這些系統之定位，均本於交弧 (Arc Intersection) 之原理。因此，觀測量之幾何條件決定定位之品質甚或是否可以求解。當然，其他影響觀測的因子很多，諸如軌道誤差、電離層誤差、對流層誤差等等。衛星與測站所組成之幾何條件是定位不確定度的根本影響因子。這些幾何條件與空通視度有直接的關聯，在選址時，通常以 DOP (Dilution of Positioning) 指標量度 (Ghilani, 2018)。除幾何條件外，觀測量的數目是測量中求取品質的一個關鍵。因為大量的觀測量可以降低隨機誤差 (Random error) 的影響，同時

提升對於粗差(Gross error)的篩除能力。

GNSS 測量時選擇站點的首要作業條件，是需要對空通視良好，一般要求高度角 15 度以上能夠通視(Hu et al., 2016)、環周至少有 2/3 方位角區間沒有阻檔、GDOP(Geometric Dilution of Precision)值或 PDOP(Position Dilution of Precision)值在 4 以內。以這些條件檢驗六龜區-D015 大規模崩塌潛勢區簡易觀測站，均不理想。由衛星天空分佈圖，可以看到測站環周各站均有大小不一遮蔽角超過 30 度的區域。而且有許多高仰角處亦有軌跡斷斷續續，在 1503、1504、1505 特別顯著，推論為由植生遮蔽造成。由於樹枝與葉片，隨風擺動，以致引起衛星時而遮蔽、時而可見。

三、差分網形平差

表 1 之成果為由「精密單點定位」獲得，此方法屬於「絕對定位」，單頻觀測量由於電離層等誤差之模型化不確定度高，所以定位精度差。在使用「相對定位」時，此部份的誤差影響預期降低，精度可望提高，因此採用「差分網形平差」。本研究依據本區之原始規劃，以 1501 (G1)做為固定站。使用的計算軟體為 GrafNet 8.60 (NovAtel, 2014)，以一日一解之網型靜態計算。

由於 1501 站在此期間僅 10 天有觀測量，解算中又有多站數日觀測量因誤差過大遭計算軟體 GrafNet 8.60 剔除，因此整個十月間五個監測站計 155 站日，僅求解出 16 站日的座標，成功率以站日計算為 16/155，約為 10.3%。平差計算中採用精密星曆與鐘錶改正(NASA, 2018)表 2 所列為平移至 1501 之成果座標。其中標準偏差(σ_E 、 σ_N 、 σ_h)所表現者為由觀測量經由誤差傳播而得之形式誤差(Formal error)，1501 站在計算時為固定，其座標標準偏差值為軟體經平差後所估算。由標準偏差觀察，最好者為 1502 站十月 12 日之解，高程不確定度亦達 7 公分。另一項觀察為座標差值，如果該站實際上並無移動，則各日座標差值亦表現出不確定度，這一項的觀察亦不能支持本監測系統之 GNSS 成果可以辨識 2 公分之變位的論述。

若以平差後誤差傳播估計之坐標不確定度，三向坐標平方和之根評比。在扣除兩筆粗差之後，最小約 0.054 m，最大 1.013 m。根據計算成果，本研究推論，單頻 GNSS 接收儀在短基線時，「差分網形平差」有潛力可以獲得釐米級精度。但是在研究期間 D015 區域所設置者，由於環境影響因素，大多數未能達成此標準。

表 2 網型靜態計算成果

站名	日期	ΔE	ΔN	Δh	σ_E	σ_N	σ_h	平方和之根
1501					0.0122	0.0122	0.0122	0.021
1502	1011	2255.38	704.579	824.333	3.2066	0.7964	2.5951	4.201
1502	1012	2255.51	704.556	824.191	0.0281	0.0388	0.0732	0.087
1502	1013	2255.51	704.536	824.201	0.0676	0.1132	0.1695	0.215
1502	1027	2255.51	704.552	824.233	0.0201	0.0227	0.0445	0.054
1503	1004	2154.99	425.698	897.905	0.0568	0.0585	0.1648	0.184
1503	1026	2154.98	425.688	897.923	0.2747	0.2735	0.8766	0.958
1503	1027	2154.97	425.701	897.967	0.3777	0.4454	0.8272	1.013
1504	1005	1077.26	-1.0906	509.368	0.0949	0.0794	0.326	0.349
1504	1012	1077.25	-1.1109	509.369	0.0315	0.0422	0.074	0.091
1504	1014	1077.27	-1.1251	509.334	0.0538	0.0805	0.1463	0.175
1504	1026	1076.37	-0.8811	510.668	0.1494	0.2025	0.3945	0.468
1505	1004	922.483	281.093	306.773	7.6144	2.8379	16.514	18.405
1505	1027	922.454	281.144	306.781	0.048	0.0377	0.1579	0.169
1506	1005	1003.74	1314.82	158.77	0.0405	0.0532	0.1803	0.192
1506	1012	1003.74	1314.79	158.702	0.0335	0.0456	0.0956	0.111
1506	1013	1003.73	1314.82	158.736	0.0717	0.1236	0.1875	0.236

四、討論

經過實際演算與分析，本研究確認高雄市六龜區 D015 潛勢區所設置之單頻 GNSS 接收儀，2017 年 10 月之六個測站觀測量，無法達成規劃之目的。即便是以小區域差分網形平差，除成果不穩定、解算率低，所獲得最佳站日的坐標值，其不確定度亦大。整體而言，對於「大規模崩塌潛勢區」的地形變化，無法有效進行監測。

由於「大規模崩塌潛勢區」大多位於較為偏遠、交通不便之處，而且數目龐多，其監測工作不易進行。考量經費之有限，以單頻 GNSS 接收儀設置「簡易觀測站」，是一項很有誘因的選擇。本研究設置於交通大學工程二館樓頂之 NCT1 站單頻接收儀，採用 u-blox LEA-6 晶片。D015「簡易觀測站」設置者，推論為採用 u-blox NEO/LEA-M8T 晶片(u-blox, 2016)。每一代新的晶片，原則上其功能均較舊型優良。所以 D015 的接收儀如在良好對空通視及其他支援條件下，其表現應不次於 NCT1 站。這些「其他支援條件」，包含天線，如同王文喆(2019)所證實，天線的品質亦會影響成果品質，尤其是對於廉價的接收儀。

在數據處理方案方面，「差分網形平差」在短距離的條件下，單頻接收儀的觀測量確實可以獲得較為理想之成果。但是以使用 Trimble NetR9 接收儀，Trimble Zephyr 2 Geodetic TRM57971.00 天線的 NCTU 站，即便是採用「精密單點定位」，

單日靜態解三向坐標估值變方和之根在 NCTU 站亦可達 0.01m，而 D015「差分網形平差」成果中最理想的是 0.054m。由於缺乏實證，目前無法確認在清除 D015 各站植生、擴大對空通視度後，不確定度是否能夠提升至 0.01m。但是，可以推論的是即便使用 NCTU 站的儀器，在 D015 目前各站的環境條件下，測量所得成果亦不能達成 NCTU 站所獲得之坐標精度等級。

關於 GNSS 監測站觀測效能的影響因子，包含整個儀器系統、周邊設施、與環境，並非只有接收儀與天線。而就儀器而言，由文獻及經驗，大型且設計複雜的 GNSS 天線，以及訊號處理考量周延的接收器晶片，在訊號艱困地區如有植生覆蓋處，其表現較廉價的設計簡單型優良(Kaartinen et al., 2015; Ogundipe et al., 2014)。GNSS 接收儀的功能，亦並非簡單可以「單頻」與「多頻」完全界定。王文喆(2019)與 Wang, et al. (2019)交叉比較廉價的 ALLYSTAR HD9310 (<http://www.allystar.com/en/index.php?q=&m=news&a=newsinfo&id=32>)與 Trimble NetR9，兩者均為多頻多星系統。在訊號良好時，兩者表現接近；但是在訊號狀況具有挑戰時，Trimble NetR9 便展現其價值。

五、結語

每一項技術、儀器，均有其使用優勢，亦均有其限制。以 D015 而言，以 2017 年 10 月 GNSS 觀測數據而言，無法達成「大規模崩塌潛勢區」「簡易觀測站」規劃之目的。改善的首要問題，可能並非探討使用單頻或雙頻，而是 GNSS 在植生茂密、對空通視不佳時，其設置是否有效、有價值。無差別的使用 GNSS 接收器做為「大規模崩塌潛勢區」監測工具，而不經過評比，應非適當的作業方式。雖然採用大型且設計複雜的 GNSS 天線，以及訊號處理考量周延的接收器晶片，在訊號艱困地區如有植生覆蓋處，可能可以改善現況，獲得較目前所採用之廉價、設計簡單型設備產出較好的成果。但是環境如植生的影響，預期仍然存在，而且設備價格升高。因此，基於務實之考量，建議先行評估各個監測標的，在確定 GNSS 站適合設置之後，依據使用需求，決定採用限制條件多、監測成果不確定度高的廉價、設計簡單型單頻接收器，或是使用相對上不確定性低，但是價格較高的大型且設計複雜的 GNSS 天線，以及訊號處理考量周延的接收器晶片之雙頻或多頻接收器，才能成為考量的議題。

六、致謝

本研究所使用之六龜 D015 大規模崩塌潛勢區簡易觀測站 GPS 數據，為由林務局屏東林區管理處提供，謹此致謝。本研究進行之中，承蒙澳洲 Geoscience Australia 王傳盛博士分享 GNSS 數據前處理作業之經驗，亦謹此致謝。

七、參考文獻

1.王文喆，2019。低價位雙頻 GNSS 接收器即時動態定位效能分析，國立成功大學測

量及空間資訊學系碩士論文。

- 2.史天元、王慧蓉、廖志中，2019a。單頻 RINEX 3.02 檔案編修：六龜 D015 大規模崩塌潛勢區簡易觀測站數據前處理紀實，地籍測量，38(1):1-17。
- 3.史天元、王慧蓉、廖志中，2019b。以 CSRS-PPP 網際服務分析六龜 D015 大規模崩塌潛勢區簡易觀測站數據品質，地籍測量，38(2):1-20。
- 4.屏東林區管理處，2018。「國有林大規模崩塌及相關防災監控暨災害調查委託技術服務」成果報告書，委託單位：行政院農業委員會林務局屏東林區管理處。
- 5.GFZ, 2016. GFZRNx 1.05 Users Guide, DokuWiki, <http://escidoc.gfz-potsdam.de/ir/item/escidoc:1577894/components/component/escidoc:1685888/content>, last accessed on 2019/02/10.
- 6.Ghilani, Charles D., 2018. Elementary Surveying, An Introduction to Geomatics, 15th Edition, Pearson.
- 7.Hu, Yaxuan, Lin Cheng, Xiong Wang, 2016. Quality analysis of the campaign GPS stations observation in Northeast and North China, Geodesy and geodynamics,17(2):87-94.IGS,2017.IGSantennafiles,ftp://igs.org/pub/station/general/antenna_README.pdf, last accessed on 2019/02/22.
- 8.Kaartinen, Harri, Juha Hyypä, Mikko Vastaranta, Antero Kukko, Anttoni Jaakkola, Xiaowei Yu, Jiri Pyörälä, Xinlian Liang, Jingbin Liu, Yungshen Wang, Risto Kaijaluoto, Timo Melkas, Markus Holopainen, Hannu Hyypä, 2015. Accuracy of Kinematic Positioning Using Global Satellite Navigation Systems under Forest Canopies, Forests, 6:3218-3236; doi:10.3390/f6093218.
- 9.NASA, 2018. NASA Archives of Space Geodesy Data, Precise orbit: https://cdis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html;Clock:https://cdis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/clock_products.html;ReferenceFrame:https://cdis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/station_position_products.html.
- 10.NovAtel, 2014. GrafNav / GrafNet GrafNav Static User Guide, OM-20000147 Rev3https://www.novatel.com/assets/Documents/Waypoint/Downloads/NavNet860_Manual.pdf, last accessed on 2019/11/01.
- 11.Ogundipe, O., S. Ince and L. Bonenburg, 2014. GNSS Positioning Under Forest Canopy,ENC-GNSS2014conference, https://www.researchgate.net/publication/262484519_GNSS_Positioning_Under_Forest_Canopy, last accessed on 2019/10/30.
- 12.Trimble, 2014. Trimble Zephyr Antennas, Datasheet, Trimble Navigation Limited, product discontinued, original file not available online, a similar version could be accessed from, <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb>

[/Get/Document-876320/](#).

13. Trimble, 2017. NetR9 GNSS Reference Receiver Series, Datasheet, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-689228/022506-128J_NetR9_DS_USL_0517_LR.pdf, last accessed on 2019/2/23.
14. u-blox, 2010. LEA-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet, http://ec-mobile.ru/user_files/File/u-blox/LEA-6_DataSheet.pdf, last accessed on 2019/2/11.
15. u-blox, 2016. NEO/LEA-M8T u-blox M8 Concurrent GNSS Timing Modules Data Sheet, https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-LEA-M8T-FW3_DataSheet_%28UBX-15025193%29.pdf, last accessed on 2019/2/12.
16. Wang, Wen-Zhe, Feng-Yu Chu, Ming Yang, 2019. Performance Assessment of RTK Positioning with a Multi-GNSS Dual-frequency Low-cost Receiver, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing, Taiwan, paper #047.

