

中華民國地籍測量學會期刊

國土測繪與空間資訊

Taiwan Journal of Geoinformatics

第一卷 第一期 (創刊號)

中華民國一〇二年一月



VOLUME 1, NO. 1

Jan. 2013

PUBLISHED BY CHINESE SOCIETY
OF CADASTRAL SURVEY

國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

(原名「地籍測量」)

編輯委員會

主任委員 楊 名 國立成功大學測量及空間資訊學系

編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元 國立交通大學土木工程學系

吳 究 國立中央大學太空及遙測研究中心

洪本善 逢甲大學都市計畫與空間資訊學系

洪榮宏 國立成功大學測量及空間資訊學系

陳春盛 健行科技大學應用空間資訊系

黃灝雄 國立政治大學地政學系

曾義星 國立成功大學測量及空間資訊學系

楊明德 國立中興大學土木工程學系

趙鍵哲 國立台灣大學土木工程學系

總編輯 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

執行編輯 (依姓氏筆劃順序排列)

伍瑋雯 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

何美娟 內政部國土測繪中心

林宜璇 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

陳鶴欽 內政部國土測繪中心

游豐銘 內政部國土測繪中心

發行人 盧鄂生

出版所 中華民國地籍測量學會

國土測繪與空間資訊
TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第一卷第一期 (創刊號)

民國一〇二年一月

Vol. 1, No. 1

January 2013

目 錄

CONTENTS

高頻 GPS 連續站動態定位時間序列之精度分析

洪煌凱、饒瑞鈞、陳鶴欽.....1

Precision analysis of kinematic position time series from high-rate continuous GPS observations

Huang-Kai Hung, Ruey-Juin Rau, He-Chin Chen

利用水氣微波輻射儀提升 GPS 定位精度之研究

葉大綱、林承毅、王傳盛.....16

Enhancing the precision of GPS positioning by using the measurements from water vapor radiometer

Ta-Kang Yeh, Cheng-Yi Lin, Cheng-Yi Lin

利用地籍建物測量成果資料建立建物樓層平面圖之研究

江渾欽.....31

Study on establishment of Building floor plans base on result map of building survey

Hun-Chin Chiang

新一代台灣大地水準面模式：防災、監測、高程現代化之應用

黃金維、許宏銳、黃啟訓.....57

A New Geoid Model of Taiwan : Applications to Hazard Mitigation, Environmental Monitoring and Height Modernization

Cheinway Hwang, Hung-Jui Hsu, Chi-Hsun Huang

理事長的話:

本學會自民國七十年四月十八日創立以來，當時正值全國大力推動「台灣地區土地測量計畫」，企求迅速完成『地籍圖重測計畫』、『基本控制點檢測計畫』、『基本圖測製計畫』等三大計畫，同時配合電腦科技之發展，又努力發展『數值地籍測量』與建置『地政資訊系統』，在張前理事長維一領導之下，隨即成立「地籍測量」會刊編輯委員會，自民國七十一年起至民國八十二年間，每年出版會刊一期。在此十二年期間共刊登地籍測量相關文章達七十四篇之多，其他文章計十一篇，合計八十五篇，平均每期七篇，可見當年測量前輩無不傾全力推銷地籍測量新觀念、新知識，共同切磋發展，無形之中已自然蔚成地籍測量學術之風氣。

民國八十三年理監事改選，由劉金標先生接任理事長，基於本會刊已有深厚的基礎，也為求本會刊能繼續成長茁壯，更重要的是希望維持一定之水準，故責由本人(受聘接任編輯委員會主任委員)聘請學者專家開始建立論文審查機制，並區分增列「論文」、「技術報告」、「會務報導」，且改為每年兩期，同時會刊封面改採固定格式，並公開徵求本學會標章俾置於會刊封面，經評選結果由邱仲銘教授所提作品獲選，其標章延用至今。經試辦一年後，隔年自民國八十四年起隨即改為每年四期之季刊，同時又增列「業務報導」、「新科技介紹」、「張老師信箱」等專欄，後又於民國八十六年增列「法令」專欄。故自民國八十三年改編至民國一百年以來，共出版 70 期，合計刊登地籍測量相關論文 62 篇，其他測量論文 69 篇，技術報告 118 篇，合計達 249 篇。在此期間測繪技術與空間資訊之發展更是突飛猛進，所謂 3S (RS、GPS、GIS) 應用，已是『無所不在』，更是『無遠弗屆』。撰文投稿其貢獻是具體的，編輯任務則是艱鉅的，長期以來諸多學者及編輯工作群熱心參與奉獻，更撰稿以補天窗，使本會刊得以延續至今，本人亦藉此機會代表學會表達最高之敬意。

民國一百年理監事改選，由本人接任理事長，同時聘請成大測量與空間資訊系主任楊名接任編輯委員會主任委員，鑑於近十餘年來測量學術論文之範圍日益廣

闊，論文內容多以 3S 方面理論性之研究為主要稿源，較屬實務面應用性之地籍測量，由於在學位論文或升等方面其研究價值漸低，再加上本會刊刊名為「地籍測量」，亦影響稿源而日益匱乏，依上述統計每期獲稿專屬地籍測量者已不足一篇。又鑑於我國民間社團出版之測量相關學術期刊，目前僅餘航遙測學會出版之「航測及遙測」與本學會之「地籍測量」，從當今測繪與空間資訊之蓬勃發展現象觀之，似欠缺一個完整的民間測繪學術發表園地。經採納楊名教授的建議，希望改版為專屬學術論文，並期待三年後能申請為 TSSCI 認可之期刊。案經民國一百零一年六月二十七日本學會第十六屆第五次理監事聯席會通過，並確定新期刊名稱為「國土測繪與空間資訊」並自民國一百零二年元月創刊，至於原地籍測量會刊除學術論文外，其餘篇幅仍保留，將著重建立地籍測量知識分享平台為主，另行改為電子版季刊，繼續為會員服務。

二十一世紀是一個十倍數變遷的時代，也是一個知識經濟與網路創新服務的時代，在此改變的時代，唯有尋求改變才得以繼續往前發展。各種研究真正的價值在於能暢導新觀念、新方法，最終能落實應用並服務人類，學術期刊也可算是帶動人類文明代代相傳，往前持續發展之動力，以目前國內測繪相關期刊而言，以中文發表之文章能廣泛供國人閱讀之需求空間仍很大，故應鼓勵作者除以英文投國外期刊發表外，更應另以中文於國內中文期刊發表，尤其針對國內實務工作者而言。「國土測繪與空間資訊」期刊可說是一個跨越地籍測量範疇，廣納各方相關論文，供產官學研各界共同參與的公共論壇與學術研究園地，除了有賴各測繪領域專家不吝賜稿與指教外，尚有賴本會全體會員及社會各界之熱忱支持，更要感謝本屆編輯委員會主任委員、各位委員，及工作同仁之積極與辛勞，終得以完成創刊任務。

盧鄂生 101.12.20

編輯委員會主任委員的話：

對於一份屬於學會的學術刊物而言，崇高的理想性是不可或缺的。

過去三十年來，在各屆理事長與編輯委員會成員的堅持下，「地籍測量」會刊一直是國內測量界的重要精神糧食，學會也一直肩負著提升台灣測繪科技水平的崇高使命與理想，其貢獻是有目共睹的！

自民國八十年以來，隨著衛星科學與網路技術的快速發展，測繪科技的面貌產生了重大的變化，逐漸由傳統的控制測量、界址測量、地形圖測製演變為今日通稱的3S科技，包含了遙感探測(Remote Sensing, RS)、全球定位系統(Global Positioning System, GPS)、以及地理資訊系統(Geographical Information System, GIS)；其應用面也從傳統的測量製圖演變為包含了國土測繪、空間資訊、地理資訊系統、地表變動監測、防救災監測與規劃、環境變遷、海洋測繪、國土規劃與管理、都市與區域計劃、土地重劃與利用、土地法規與政策等相關領域。

事實上這樣巨大的外在變化，也帶給了「地籍測量」會刊一個非常嚴峻的考驗：稿源日漸匱乏而且越來越少的投稿論文內容是與地籍測量的理論與應用相關的。這不得不促使我們進一步思考，如何才能繼續堅持地籍測量學會提升台灣測繪科技水平的理想？

在航遙測學會的「航測及遙測」期刊正朝向全英文化發展的狀況下，我們認為國內需要有一個屬於全體測繪產官學研界的中文學術論文發表園地，並且應該由地籍測量學會率先踏出第一步，因此在盧理事長、理監事和編輯委員會成員的大力支持下，「國土測繪與空間資訊」期刊從而誕生！

「國土測繪與空間資訊」將以半年刊的方式出版，涵蓋內容包含了完整的現代測繪科技理論與應用。除了廣納相關領域之高品質論文外，編輯委員會將規劃不同主題之專刊(Special Issue)，以介紹國內外測繪科技的最新發展與空間資訊的特殊應用給全體會員以及所有的讀者。

楊 名 101.12.25

高頻 GPS 連續站動態定位時間序列之精度分析

洪煌凱¹ 饒瑞鈞^{2*} 陳鶴欽³

論文收件日期：101.03.21

論文修改日期：101.05.20

論文接受日期：101.08.10

摘要

本研究利用 GPS 連續站觀測資料進行動態定位處理，並利用恆星日濾波法與空間濾波法改進坐標時間序列之重複性，期而促進 GPS 在短時間監測位移之效能。研究成果發現，1 Hz GPS 觀測資料經過恆星日濾波法以及空間濾波法修正之後，可有效降低標準差至水平方向約 0.8-1.0 cm，垂直方向約 1.8-4.6 cm。本文再以 2010 年 3 月 4 日之甲仙地震為例，利用 GPS 取得地震時間段之同震與地震波波形，並與積分後之強震儀資料進行比對。結果可知，甲仙地震造成測站 CISH、MLON 與 SHWA 有東西向 1.0 cm 之同震位移量。相較於強震儀紀錄探測地震波形，GPS 與強震儀位移獲得之地震波大致相符，但取樣頻率為每秒 1 筆之 GPS 位移仍不足獲得完整正確之波形。

關鍵詞：GPS 連續站、甲仙地震、空間濾波法、恆星日濾波法

¹ 博士班研究生，國立成功大學地球科學學系。

² 副教授，國立成功大學地球科學學系。

³ 技正，內政部國土測繪中心；兼任助理教授，建國科技大學。

* 通訊作者，TEL: (06)2757575 # 65425，E-mail: raurj@mail.ncku.edu.tw。

Precision analysis of kinematic position time series from high-rate continuous GPS observations

Huang-Kai Hung¹, Ruey-Juin Rau^{2*}, He-Chin Chen³

Abstract

Modified sidereal filtering and Spatial filtering methods are used to improve the precision of kinematic position time series generated from continuous GPS stations. The results show the precision of GPS kinematic position time series after filtering are 0.8-1.0 cm and 1.8-4.6 cm in horizontal and vertical components, respectively. The co-seismic displacements in station CISH、MLON and SHWA from Jiashian earthquake is 1.0 cm in EW direction. The seismic waveform derived from GPS is consistent with integral seismic displacement, but the GPS waveform has aliasing due to lower sampling rate of measurements.

Keywords: Continuous GPS, Jiashian Earthquake, Modified Sidereal Filtering, Spatial Filtering

¹ Ph.D. Student, Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University.

² Associate Professor, Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University.

³ Specialist, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior; Adjunct Assistant Professor, ChienKuo Technology University.

* Corresponding Author, TEL: +886-6-275-7575#65425, E-mail: raurj@mail.ncku.edu.tw.

一、前言

GPS 定位技術經超過 20 年之發展與應用，目前已被廣泛的被應用於國家基本測量與地表監測。台灣至今所使用之 TWD97 坐標框架系統，均使用靜態 GPS 定位技術所建立(Yang et al., 2001)。「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」明定一等、二等之衛星控制點之 GPS 觀測時間需超過 4 小時與 2 小時以上。因此，此後之國家衛星控制點均利用 GPS 靜態測量進行建立與維護。隨著求解單一時刻之周波未定值技術之發展，GPS 動態定位(Kinematic GPS)與即時動態定位技術(GPS-RTK)大幅縮短了定位所需的時間(Hofmann et al., 1994; 楊名與余致義, 1997)。於是，動態定位也被應用於土地複丈、圖解地籍圖數化與圖根點之增、補建作業(楊名與余致義, 1997; 陳芳茂與周天穎, 2002; 蘇添旺與高書屏, 2003; 鄭彩堂與高書屏, 2001)。而之後的虛擬參考站技術(VBS-RTK)之建立，讓 RTK 使用者不需要自行架設基站，即可獲得與精度 RTK 定位相同或以上之定位成果(Rizos, 2002; 曾清涼等, 2004)。目前國土測繪中心的 e-GPS 系統(<http://www.egps.nlsc.gov.tw/>)就是涵蓋台、澎、金、馬全區之虛擬參考站系統，並開放給一般企業與民眾之使用並廣泛應用於各種工程與控制測量之作業(王敏雄等, 2006; 高書屏等, 2006; 崔國強與王敏浩, 2006; 劉榮增等, 2011)。

然而，對於在台灣之 GPS 連續站(CGPS)進行動態定位分析來推求地表位移仍少。目前國內大部份的文獻利用 GPS 連續站探測地表位移仍以靜態定位為主，並應用於地殼長期速度變化、山區地滑及地下水效應等(Yu et al., 1997, 2001; Hu et al., 2006; Su et al., 2009)。而在國外相關文獻已有利用高頻(取樣率高於 1 秒)GPS 動態定位成果來擷取因地震所產生之搖晃與永久位移(Larson et al, 2003; Bock et al., 2004; Bilich et al., 2008)、橋樑因車流所造成之振動問題以及高樓因風動所引致之搖晃問題進行探討(Hristopoulos et al., 2007; Kogan et al., 2008)。在台灣之相關研究，則有利用高頻 GPS 動態定位探測 2002 年台北 331 地震與 2006 年屏東恆春地震來獲取其瞬時地表運動(Chen et al., 2004, 2008)。

台灣目前所架設之連續站，已趨近於 400 站(<http://gps.earth.sinica.edu.tw/>)，而提供 1 秒之高頻資料也超過 200 站。本研究蒐集及解算台灣高頻 GPS 觀測資料，並對於其位移時間序列進行分析與探討，並利用濾波法改善其位移重複性之程度，期望提升台灣在連續站用於監測動態位移之精度。之後並以 2010 年甲仙地震為例，說明經濾波改正後之結果進行監測同震位移之能力。

二、資料蒐集與解算方法

(一) 資料來源說明

來來本研究蒐集內政部國土測繪中心與中央氣象局之 7 站 CGPS 觀測資料，包含金門烈嶼 LEYU、澎湖吉貝 JIBE、澎湖湖西 HUSI、澎湖外鞍 WIAN、澎湖七美 CIME、高雄旗山 CISH 與台南新化 SHWA，如圖 1 所示，觀測時間為 2010 年 3 月

1 日至 3 月 4 日，共 4 天，觀測取樣頻率為 1 秒。衛星軌道資料使用由 International GNSS Service (IGS)機構所提供之最終解(IGSF)。

(二) GPS 動態定位解算方法

本研究所使用之解算軟體為 GAMIT/GLOBK 10.35 之 TRACK 模組。TRACK 動態相對定位模組為麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology)行星、地球與大氣科學系教授 Tom Herring 團隊所研發之動態解算後處理軟體(Chen, 1998; Herring et al., 2009)。該軟體在計算每時刻之位置之前已處理了全時段之觀測量，並且利用卡曼濾波(Kalman Filter)技術估計在解算位置時所需之參數。對於週波未定值之求解，TRACK 使用 Melbourne-Wubena 寬巷組合應用於在長基線之網型，藉以消除電離層之影響。為取得最佳之解算成果，TRACK 軟體會持續迭代至未收斂之週波未定值數為最小。針對 10 公里以內之基線，利用區域環境之一致性，在差分的過程可消除大部份之誤差，使定位之成功率較高。而隨著基線長度增加，兩地之電離層與對流層遲延量變異性較大，因此利用差分濾除誤差之效能降低，其定位精度亦隨之降低。在大於 100 公里之基線，週波未定值常有不收斂之情形。此時 TRACK 可利用在 GAMIT 靜態計算中所獲得參數代入第二次之解算來獲得更佳之定位成果。該軟體經超過之十年持續更新與進步，其定位精度與模式均有所提升，在空載光達之定位應用(King et al., 2009)與地震波導致之地表位移(Davis and Smalley, 2009)均獲得良好之結果。TRACK 動態定位模組之演算細部流程於圖 2 所示。

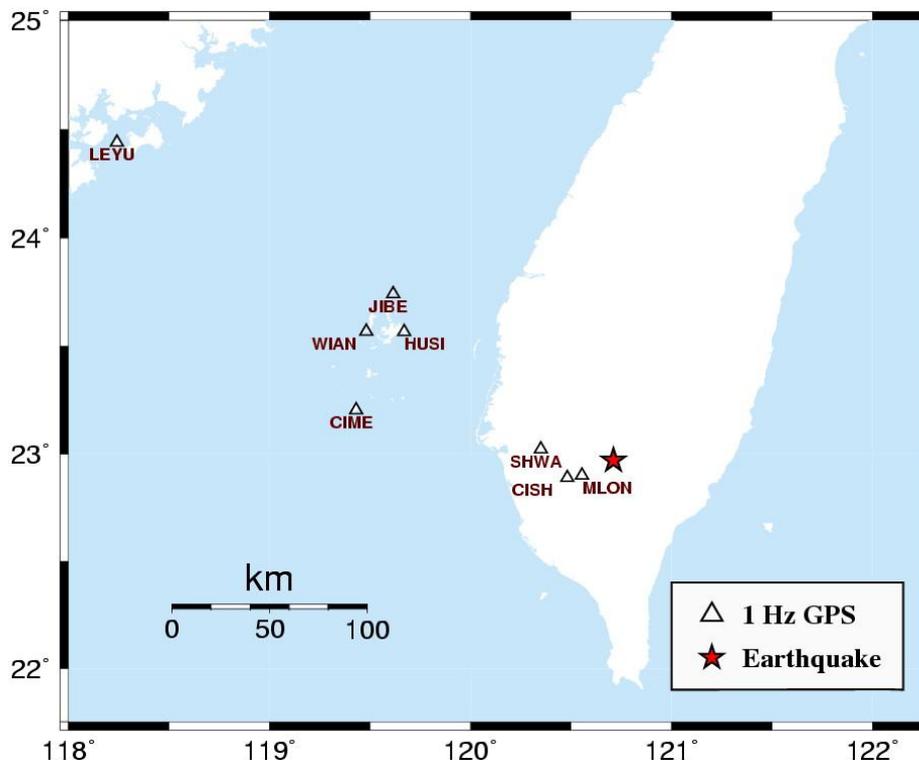


圖1 GPS 連續站之分布圖。其中烈嶼站 LEYU 為本文所使用之參考站，澎湖 JIBE WIAN、HUSI、CIME 等 4 站用來組成空間濾波，而離震央約 40 公里內之 SHWA CISH、MLON 等 3 站乃用來探討高頻 GPS 之精度與在地震發生時之反應訊號

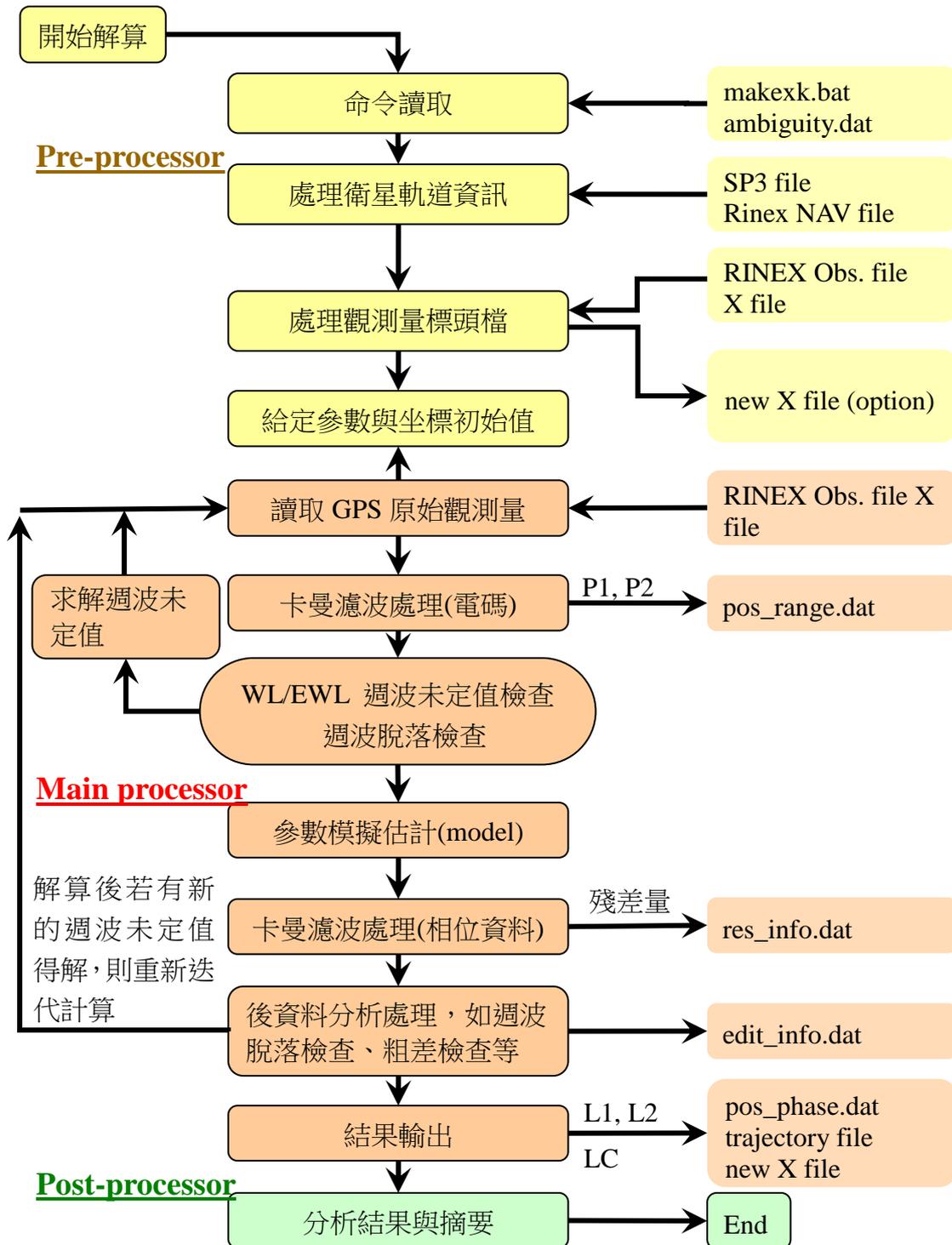


圖2 GPS 動態定位解算模組 TRACK 之演算流程 (修改自 Chen, 1998)

(三) 濾波種類與說明

1. 恆星日濾波(Sidereal Filtering)

恆星日之定義是地球上某點對某個恆星連續兩次經過其上空同一點之時間間隔。恆星日由於地球之自轉速度些微快於 24 小時，其時間段約略小於一天，且由於地球章動(nutation)之作用而導致恆星日時間間隔並不固定。平均恆星日約為 23

時 56 分 4 秒，比太陽日少了 236 秒。Bock et al.(2000)首先提出 GPS 連續站進行動態定位解算，其定位成果偏差會有一恆星日之重複週期，並首次提出恆星日濾波法提昇定位精度。Choi et al. (2004) 發現 GPS 衛星群之軌道週期均不一致，並且也會隨時間而改變，並提出了修正恆星日濾波法 (Modified Sidereal Filtering)，其軌道重複時間則比平均恆星日少 9 秒。Agnew and Larson(2007)更建立了對單一衛星估計其重複軌道週期之演算法，並公開計算軟體，只要輸入星曆資料，即能獲得某時段某顆衛星之重複週期，而該研究所建議之週期為 247 秒(比平均恆星日少 11 秒)。

為了實際理解恆星日濾波法之作用，我們利用圖 3 來說明。圖 3 為旗山站(CISH)與美濃站(MLON)經動態定位後所得之東西向坐標時間序列，計算時所鎖定之參考站為烈嶼(LEYU)。圖 3 之三條黑線分別為 2010 年 3 月 1 日、2 日、3 日之時間序列，橫軸為該天之時間，單位為秒，起算 0 秒為該天之格林威治時間 0 點，對應於中原時間為早上 8 點，顯示之時間段乃從 0 秒至 2400 秒。縱軸則為位移，單位為公釐(mm)。觀察 CISH 三天之位移序列發現，動態定位之成果有約 3 cm 之變異(藍色線)。為獲得 3 月 4 日經恆星日濾波後之位移量，我們將 3 月 1 日至 4 日之 GPS 每時刻坐標解，以(86400-247)秒之週期，取得 1 日至 3 日之某時刻之加權平均值，而該值即為恆星日濾波之改正量，如公式(1)所示。圖 3 之第 4 條序列(Modified Sidereal Filtering)即為提供給 3 月 4 日序列來扣除之濾波改正量(綠線)。所求得之恆星日濾波改正量與 4 日之時間序列比較(第 5 條序列)之差即為經恆星日濾波改正量後之坐標序列(第 5 條序列)。圖中第 6 條序列在約 1150 秒之時段有一較大之變動，該變動可對應至甲仙地震之時間。

$$(mp_i)_d = \sum_{k=d-3}^{k=d-1} \left[\frac{(x_i)_k}{(\sigma_i^2)_k} \right] / \left[\sum_{k=d-3}^{k=d-1} \frac{1}{(\sigma_i^2)_k} \right] \quad (1)$$

$$(x_i)_d^{flt} = (x_i)_d - (mp_i)_d \quad (2)$$

其中，mp 為與恆星日濾波改正量，d 表示天數，i 為資料取樣之某時刻(epoch)， x_i 為某時刻之坐標值，而 σ_i 為單一時刻坐標之標準差(formal error)。

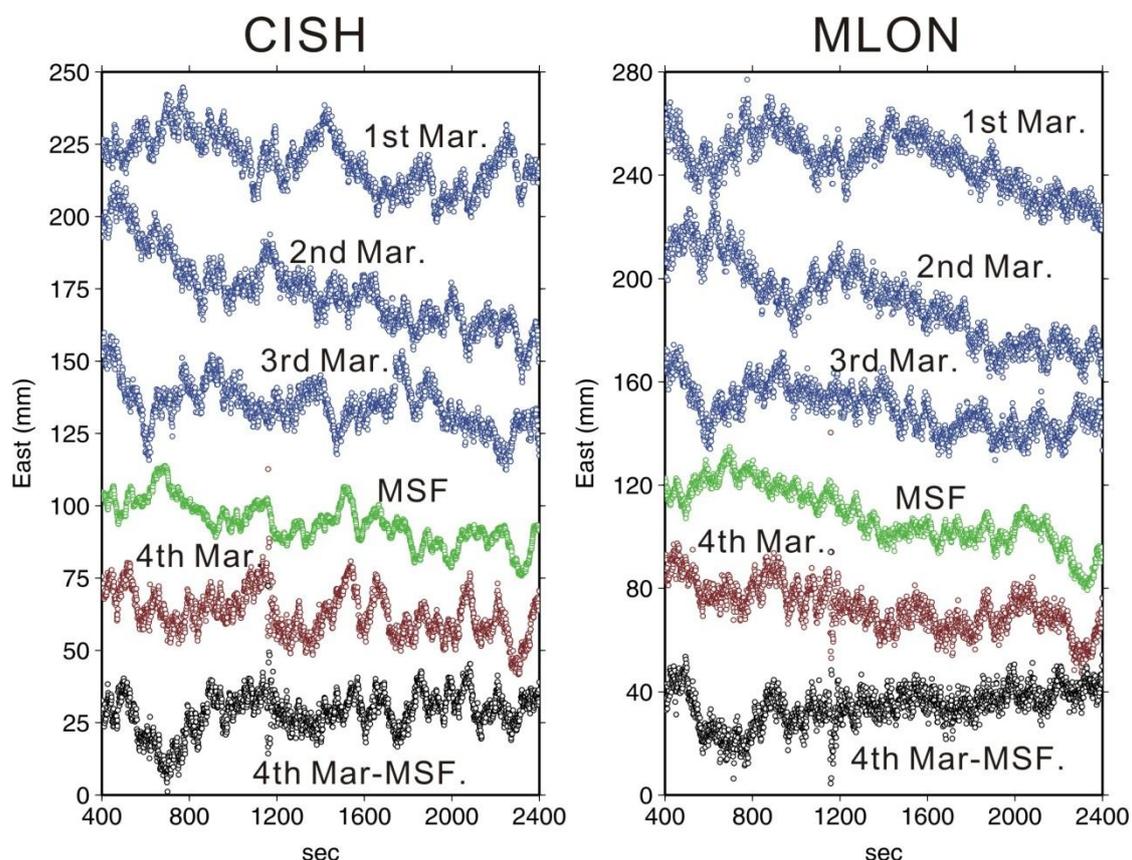


圖3 恆星日濾波法示意圖。由上而下第 1-3 條序列分別為旗山站 CISH 與美濃站 MLON 於 3 月 1 日至 3 日之東西向每時刻坐標解。第 4 條序列則是經由 1 日至 3 日之位移資料組成之 3 月 4 日恆星日濾波改正量(MSF)。第 5 條序列則為 3 月 4 日(發震日期)之坐標序列。第 6 條序列則為 3 月 4 日之坐標序列扣除 MSF 之成果

2.空間濾波(Spatial Filtering)

空間濾波技術最先是用於 GPS 每日靜態定位之時間序列成果，乃藉由估計一個區域中 GPS 測站群在同一天之共同誤差偏移量(common mode noise)，再對每一時間序列扣除該偏移量以提升座標精度之方法。本技術最先由 Wdowski et al.(1997)所提出，之後便廣泛成為 GPS 每日位移時間序列之既定流程(Nikolaidis, 2002)。空間濾波法乃透過計算與目標站相鄰站之時間平均，統計 S 個測站的總和之後，計算出共同平均的殘差值，該殘差即為該時刻之修正量，如公式(3)、(4)所示。Bilich et al.(2008)將此法應用於高頻動態定位時間序列上，並配合恆星日濾波法改善其動態定位精度，獲得在 2003 年於阿拉斯加之 Danali 地震之震波波形。

因此在本研究中，我們將金門烈嶼站 LEYU 選為參考站，求待測站之位移。為了在組成空間濾波時不要受到個別站之環境影響，我們選定透空度良好且距離相鄰的 4 站，即澎湖地區的 JIBE、WIAN、HUSI 以及 CIME 站，來做為組成空間濾波之基準站，如圖 4 所示。最後將此 4 序列同一時刻之位移量進行平均，即得到空間濾波修正量，即為圖 4 中第 5 條序列。

$$\bar{\varepsilon}(d) = \frac{\sum_{s=1}^N \varepsilon_s(d)}{N} \quad (3)$$

$$\hat{O}_s(d) = O_s(d) - \bar{\varepsilon}(d) \quad (4)$$

其中， $\varepsilon(d)$ 為某時刻殘差量， s 為某 GPS 站之序號， N 為用來產生濾波之 GPS 站之總數， $O(d)$ 為某時刻之原觀測量。公式(3)說明利用平均法取得某時刻之空間濾波改正值，公式(4)說明原始序列減去空間濾波改正值而獲得改正後時間序列。

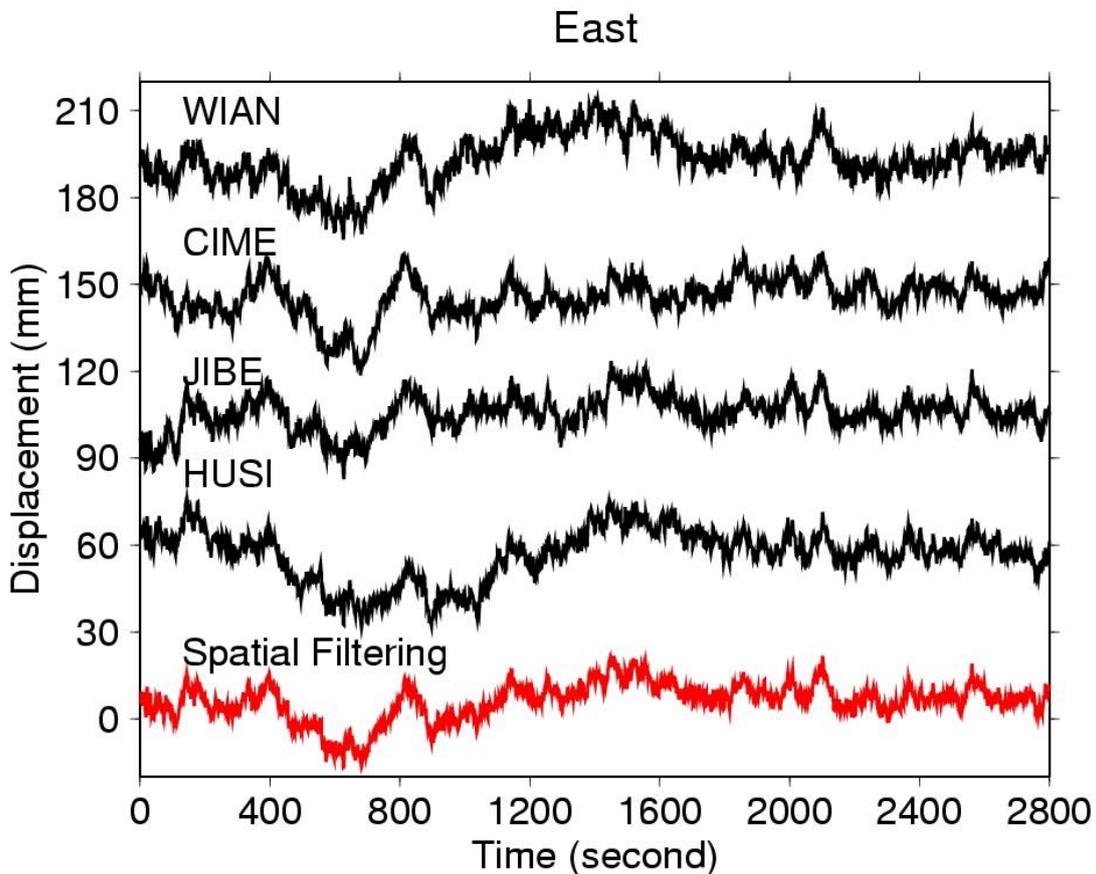


圖4 空間濾波法示意圖。圖中前4條序列由上至下依序為 GPS 測站 WIAN、CIME、JIBE 與 HUSI 在 3 月 4 日格林威治時間 0 時起算至 2800 秒之東西向時間序列，第 5 條序列則是由前 4 條序列所組成之空間濾波改正量

三、研究結果

本研究為了解 GPS 連續站之動態定位經兩種濾波法所得之精度成果，並應用於 2010 年 3 月 4 日甲仙地震之同震位移估計，我們主要以離甲仙地震震央附近之旗山站 CISH、美濃站 MLON 與新化站 SHWA 之定位成果進行探討。其定位精度經濾波改正前後之序列標準差如表一所示。未經濾波之結果在水平向之標準差約在 12-17

mm，原始高程向標準差則約為 120-180 mm。經恆星日濾波改正後，精度可改善至水平向 8-12 mm，高程向 35-50 mm。序列經恆星日濾波與空間濾波改正後，標準差可進一步提升至水平向為 4-10 mm，高程項為 18-46 mm，比原始之序列提升了 2 倍以上之精度。針對 CISH 等 3 站之序列成果分析，如圖 5 所示，未經濾波之序列有約 30 mm 振幅之波動，並且有向下偏移之趨勢，高差可超過 4 cm。而經兩濾波後之成果，能有效的將波動降低和去除低頻之偏移。圖 6 則進一步利用頻譜分析說明兩種濾波在不同頻率下之精度改正功效。由原始序列與經恆星日濾波後之成果比較後，我們發現恆星日濾波(MSF)可有效濾除頻率 0.01 Hz 以下之雜訊(等同週期 100 秒以上之雜訊)。而加入空間濾波(SP)後，其 0.01 Hz 以下之雜訊較 MSF 為弱，但對於頻率 0.01-0.2 Hz 間之雜訊折減則較 MSF 為強。

圖 7 顯示 CISH 等 3 站在甲仙地震時間段前後之坐標位移情形。圖中仍可顯示二種濾波法對位移序列重複性之改進效果。圖中發現在甲仙地震發震後約 10 秒，三方向之序列均產生明顯之振動。觀察經過濾波後之東西向序列，發現在 CISH 站與 SHWA 在振動後產生一向西之永久變形，約 1 cm。而 SHWA 站則是向東位移約 1 cm。此外，3 站在地震發生時均產生振幅 6 cm 以上之震動。

為了探討 GPS 解析地震波波型之能力，我們利用台南新化站 SHWA 為例，並且取得在此站附近之強震站(CHY063)作比較。強震站所記錄之觀測量為加速度，因此在與 GPS 結果比較前，我們先將該資料進行積分，其處理程式為 IRIS 機構之 SAC 軟體，而獲得強震儀位移，如圖 8 所示。兩者資料比較後發現，在地震發震後約 30 秒，序列均有較大之位移產生，依據強震儀位移之結果，其最大振幅分別為南北向 16 cm，東西向 29 cm 與高程向 12 cm。GPS 位移與強震儀位移大致相同，但強震儀在震前與震後時段有明顯之低頻位移，而 GPS 結果較為平穩。相較於強震儀結果，GPS 位移重複性較差，特別在高程向更明顯。此外，在地表搖動之時間段，雖然兩觀測在同時刻之位移一致，但 GPS 位移和強震儀位移所得之波形仍有偏差，GPS 位移所得之最大振幅也比強震儀結果為小。

表1 CISH 等 3 個 GPS 連續站之動態定位在三方向之分析結果，其中 RAW 為未經濾波之序列標準差，而 MSF 與 SP 分別代表經恆星日濾波與空間濾波後之作用

		CISH(mm)	MLON(mm)	SHWA(mm)
East	RAW	11.9	13.5	14.1
	after MSF	8.2	10.0	8.5
	after MSF and SP	4.5	7.2	5.2
North	RAW	11.7	16.8	15.7
	after MSF	10.1	12.4	9.3
	after MSF and SP	4.3	10.8	5.2
Vertical	RAW	117.5	176.3	122.5
	after MSF	34.9	41.2	49.0
	after MSF and SP	17.9	45.6	46.0

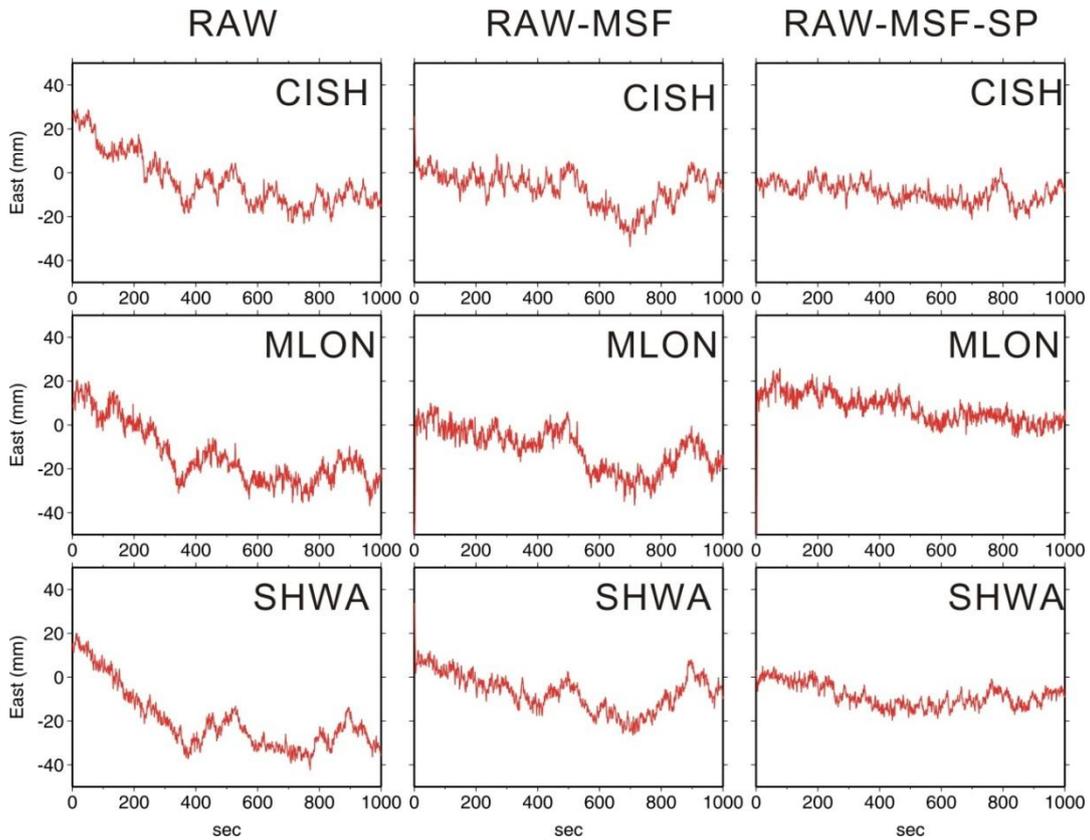


圖5 CISH 等三站在地表穩定時段於濾波前後之動態定位時間序列成果。各站之第一條序列為原始結果(RAW)，第二條與第三條分別為經恆星日濾波(MSF)後與恆星日濾波+空間濾波(MSF+SP)後之成果

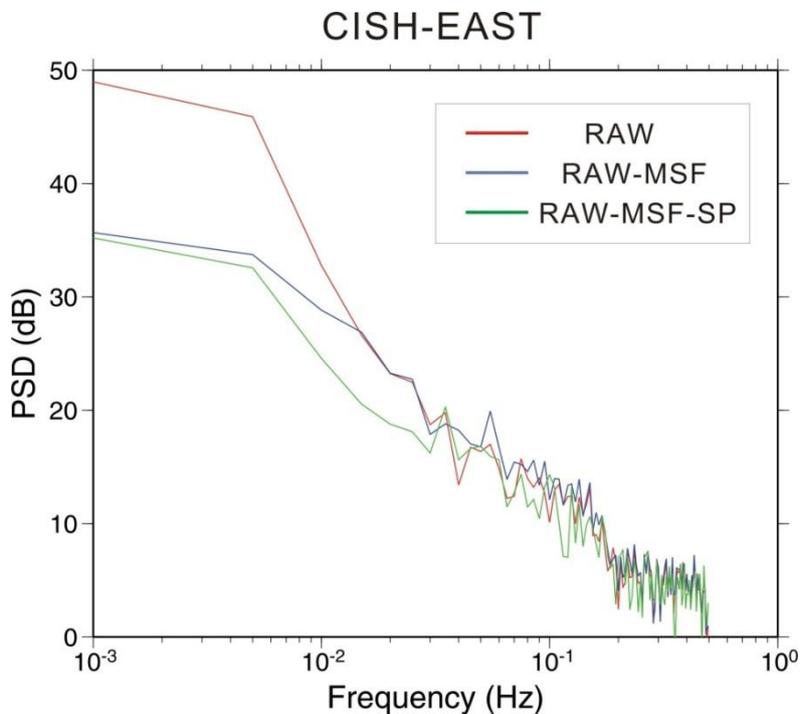


圖6 CISH 站東西向坐標時間序列之頻譜圖。圖中紅線為原始序列，藍線則為經 MSF 改正，綠線則為經 MSF+SP 改正後之成果

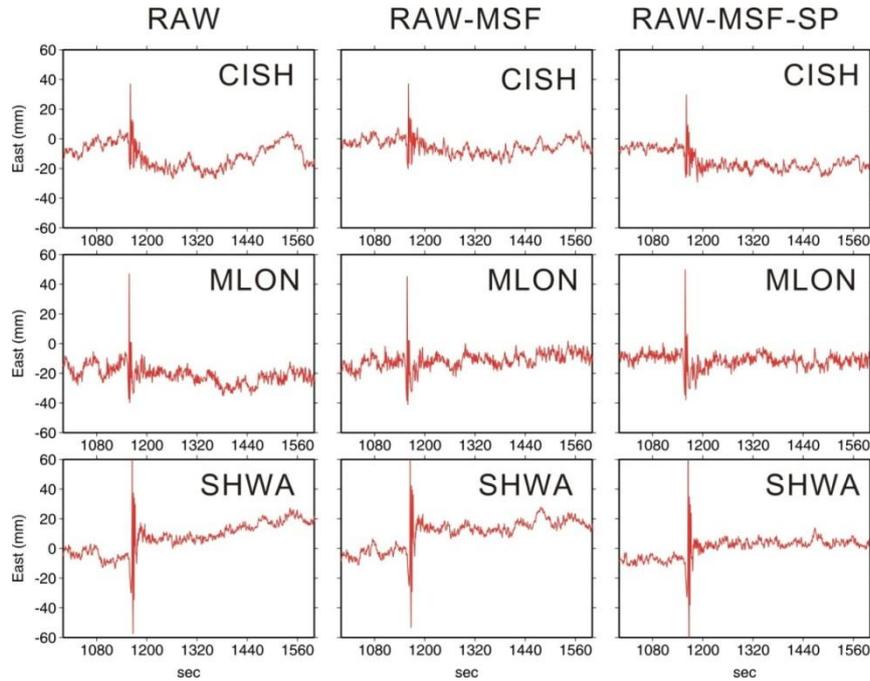


圖7 CISH 等三站在甲仙地震影響時段於濾波前後之動態定位時間序列成果。圖中灰線為發震時間。在發震時間後約 10 秒後可發現因地震所引致之地表位移。在東西向序列中，濾波前序列成果不易判斷出是否有永久位移之存在，但在濾波後在 CISH 與 MLON 能發現有一向西約 1 cm 之永久位移，SHWA 也發現有一向東約 1 cm 之永久位移

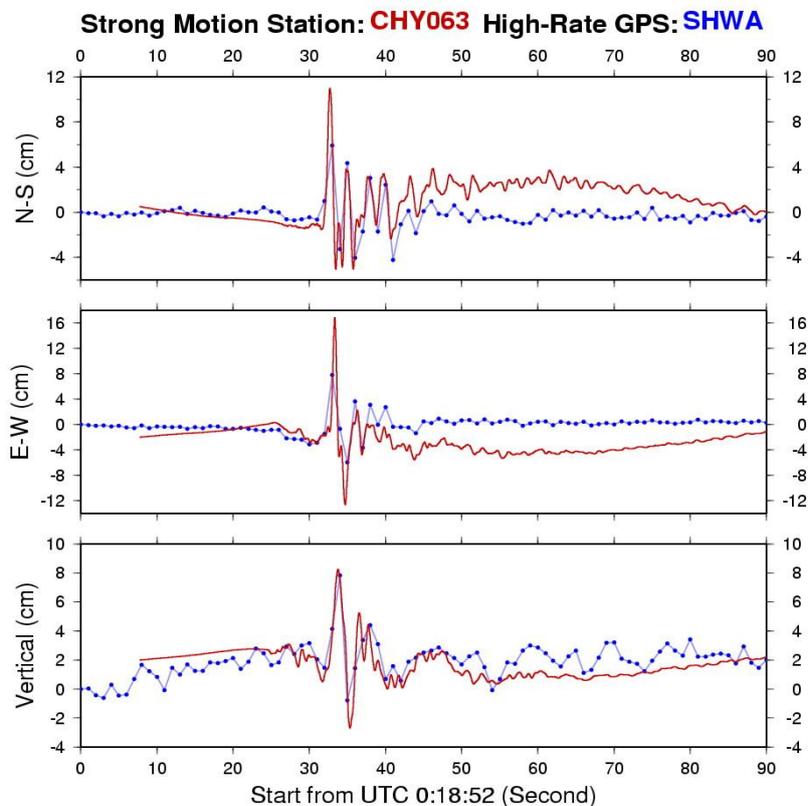


圖8 GPS 站 SHWA 與其共點之強震站 CHY063 在甲仙地震發震時段所獲取之位移成果。橫軸為時間，0 秒代表甲仙地震發震時間

四、研究討論

本研究利用恆星日濾波與空間濾波法對 GPS 動態定位位移序列進行改正，提升位移序列之精度，並實際應用於探測地震前後之永久變形與地震當下之地震波波形。由結果發現，以旗山站 CISH 為例，標準差由原先之南北向 11.7 mm，東西向 11.9 mm 和高程向 117.5 mm 改進至 4.3 mm、4.5 mm 和 17.9 mm，水平項精度提升至少 2 倍，高程向至少 5 倍。單就恆星日濾波之改正效果而言，水平向均能有效改善其精度約 15-66%。高程向精度改善則為 150-328%。經恆星日濾波加上空間濾波後之成果，水平向可進一步改善至 56-171%，高程向為 116-556%。經頻譜分析結果顯示，恆星日濾波與空間濾波之主要雜訊折減频段不同。恆星日濾波的主要雜訊折減频段為週期約 100 秒以上之低頻雜訊，而空間濾波則為週期 10-100 秒之雜訊。由 Bock et al.(2000)對恆星日濾波之描述，認為該濾波主要是折減多路徑效應(multipath)對動態定位之影響。多路徑效應之原因乃與連續站周遭之環境有關，因此在我們的結果可以得知，多路徑效應對動態定位之影響，高程向比水平向為大。

本研究利用濾波後之位移序列估計 CISH 等三站之同震位移，如圖 6 所示。我們發現原始時間序列均無法確定地震前後之永久位移。但在濾波後，我們在東西向序列可發現一明顯約 1 cm 之向西位移，南北向與高程向仍無法明確斷定是否有位移存在。依據 Hsu et al.(2011)對甲仙地震用 GPS 每日解估計同震之結果，CISH、MLON 與 SHWA 之東西向同震位移分別為向西 15.4 mm、向西 14.8 mm 與向東 10.6 mm。若假設每日解之同震結果即等同於地震當下之位移，我們可以得知經濾波後之動態位移序列有能力檢測 1 cm 以上之地表位移。

在檢測地震波波形方面(圖 7)，我們發現 GPS 位移與強震儀積分後之位移結果大致相符。但我們也可發現 GPS 位移的重複性較差，特別在高程向。比較兩者之波形，可以發現強震儀所得之波形較為完整，GPS 位移則因取樣率過低而使得波形造成扭曲。由 Bilich et al.(2008)與 Larson(2009)曾說明 GPS 應用於探測地震波之優缺點，其優點在於 GPS 位移是直接觀測量，不像強震站與寬頻地震站，需要進行數值積分以及相關儀器與尺度改正。而傳統利用地震儀資料求取同震位移也常因處理方法不同與濾波频段設定不同而有所差異。缺點則為精度較差，須要有相關濾波方法進行改善，並且規模過小的地震無法探測。本研究在同震位移觀測能檢測 1 cm 以上之水平位移，而在地震波形擷取則有取樣率過低之問題，說明 1 Hz GPS 觀測仍不足以觀測近場地震波形。

五、結論與建議

(一)結論

1. GPS 連續站動態位移經恆星日濾波法與空間濾波可有效促進位移序列精度，改善程度可從水平向從 12.0-17.0 mm 到 4-10 mm，高程向從 120-180 mm 到 18-46 mm。

2. 利用濾波改正後之 GPS 位移序列可發現旗山站 CISH 與美濃站 MLON 在甲仙地震後之同震位移為向西 1 cm，新化站 SHWA 為向東 1 cm。略低於每日解所獲得之結果。
3. 利用 GPS 位移序列探測地震波波形之結果顯示，GPS 與強震儀位移所獲得之地震波大致相符，但取樣頻率為每秒 1 筆之 GPS 位移仍不足獲得完整正確之波形。

(二)建議

本研究證明了恆星日濾波與空間濾波在台灣 GPS 連續站應用於動態定位於地表位移的促進，將動態定位原先之公分級精度提升至公釐級。此項技術可實際應用於國家控制點之維護。未來台灣之 GPS 連續站可望成為國家基本控制點之一，而求得站台因自然或人為造成之坐標變化乃成為必行之工作，而將本研究之技術應用於 GPS 連續站坐標維護，則能獲得精確之坐標變化及坐標變化當下的時間點。

恆星日濾波法與空間濾波法可配合即時動態定位進一步改進成即時化與自動化，能將 GPS 連續站之公釐級精度坐標成果以動態即時展示，更可廣泛應用於即時控制點維護與地表位移位移動測等。

誌謝

本研究承蒙交通部中央氣象局委託研究計畫案”高取樣率 GPS 定位解算及其在地震學之應用研究”之支持，以及國土測繪中心和中央氣象局之 GPS 觀測資料之提供。感謝 IGS 服務中心提供之精密星曆資料。

參考文獻

- 王敏雄、劉致忠、劉正倫、蕭輔導，2006，e-GPS 衛星基準網之 VBS-RTK 即時動態定位系統測量成果分析，《地籍測量》，第 25 卷，第 2 期，頁 1-19。
- 高書屏、梁崇智、李旭志，2006，VRS-RTK 應用於圖根點測設成果分析—以竹山鎮為例，《地籍測量》，第 25 卷，第 3 期，頁 1-16。
- 崔國強、王敏浩，2006，網路 RTK 於地籍測量應用之研究—以花蓮地區為例，《地籍測量》，第 25 卷，第 3 期，頁 17-34。
- 陳芳茂、周天穎，2002，應用 RTK 於圖解地籍圖數化地區之戶地測量可行性研究，《地籍測量》，第 21 卷，第 1 期，頁 39-57。
- 曾清涼、余致義、楊名、羅正方、林漢良，2004，台灣 e-GPS 系統建置理論與實務，《地籍測量》，第 23 卷，第 2 期，頁 13-26。
- 楊名、余致義，1997，即時動態 GPS 測量應用於控制測量與戶地測量之設計與實驗，《地籍測量》，第 16 卷，第 4 期，頁 1-32。
- 劉榮增、黃立信、何啟佑，2011，e-GPS 系統應用於地籍圖重測加密控制測量之研究，《地籍測量》，第 30 卷，第 2 期，頁 16-31。

- 鄭彩堂、高書屏，2001，以 RTK 結合限制條件與附加參數輔助圖解地區土地複丈之初步研究，《地籍測量》，第 20 卷，第 4 期，頁 55-62。
- 蘇添旺、高書屏，2003，RTK 應用於大型都會區圖根點新補建模式之研究－以臺中市為例，《地籍測量》，第 22 卷，第 4 期，頁 1-22。
- Agnew, D. C., and K. M. Larson, 2007, Finding the repeat times of the GPS constellation, *GPS Solutions.*, 11(1), pp. 71-76.
- Bilich, A., J. F. Cassidy, and K. Larson, 2008, GPS Seismology: Application to the 2002 Mw 7.9 Denali Fault Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(2), pp. 593-606.
- Bock, Y., R. M. Nikolaidis, P. J. de Jonge, and M. Bevis, 2000, Instantaneous geodetic positioning at medium distances with the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research*, 105(B12), pp. 28,223-28,253.
- Bock, Y., L. Prawirodirdjo, and T. I. Melbourne, 2004, Detection of arbitrarily large dynamic ground motions with a dense high-rate GPS network, *Geophysical Research Letters*, 31, L06604, doi: 10.1029/2003GL019150.
- Chen, G., 1998, *GPS kinematic positioning for the airborne laser altimetry at Long Valley, California*, Thesis(Ph. D.), Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge.
- Chen, H. Y., L. C. Kuo, and S. B. Yu, 2004, Coseismic movement and seismic ground motion associated with the 31 March 2002 off Hualien, Taiwan, Earthquake, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(4), pp. 683-695.
- Chen, H. Y., J. C. Lee, L. C. Kuo, S.B. Yu and C.C. Liu, 2008, Coseismic surface GPS displacement and ground shaking associated with the 2006 Pingtung earthquake doublet, offshore southern Taiwan, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences.*, 19(6), pp. 683-696.
- Choi, K., A. Bilich, K. Larson, and P. Axelrad, 2004, Modified sidereal filtering: Implications for high-rate GPS positioning, *Geophysical Research Letters*, 31, L22608, doi: 10.1029/2004GL021621.
- Davis, J. P. and R. Smalley Jr., 2009, Love wave dispersion in central North America determined using absolute displacement seismograms from high-rate GPS, *Journal of Geophysical Research*, 114, B11303, doi: 10.1029/2009JB006288.
- Herring, T. A., R. W. King, and S. C. McClusky, 2009, *Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.35*, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Collins J., 1994, *GPS Theory and Practice*, 3rd edition, New York: Springer-Verlag.
- Hristopulos, D. T., S. P. Mertikas, I. Arhontakis, and J. M. W. Brownjohn, 2007, Using GPS for monitoring tall-building response to wind loading: filtering of abrupt

- changes and low-frequency noise, variography and spectral analysis of displacements, *GPS Solutions*, 11(2), pp. 85-95.
- Hsu, Y. J., S. B. Yu, L. C. Kuo, Y. C. Tsai, and H. Y. Chen, 2011, Coseismic deformation of the 2010 Jiashian, Taiwan earthquake and implications for fault activities in southwestern Taiwan, *Tectonophysics*, 502(3-4), pp. 328-335.
- Hu, J. C., H. T. Chu, C. S. Hou, T. H. Lai, R. F. Chen, and P. F. Nien, 2006, The contribution to tectonic subsidence by groundwater abstraction in the Pingtung area, southwestern Taiwan as determined by GPS measurements, *Quaternary International*, 147, pp. 62-69.
- King, M. A., 2009, The GPS contribution to the error budget of surface elevations derived from airborne LIDAR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), pp. 874-883.
- Kogan, M. G., W. Y. Kim, Y. Bock, and A. W. Smyth, 2008, Load response on a large suspension bridge during the NYC marathon revealed by GPS and accelerometers, *Seismological Research Letters*, 79(1), pp. 12-19.
- Larson, K. M., P. Bodin, and J. Gomberg, 2003, Using 1-hz GPS data to measure deformations caused by the Denali fault earthquake, *Science*, 300, pp. 1,421-1,424.
- Larson, K. M., 2009, GPS seismology, *Journal of Geodesy*, 83, pp. 227-233.
- Nikolaidis, R., 2002, *Observation of geodetic and seismic deformation with the Global Positioning System*, Thesis (Ph.D.), University of California: San Diego.
- Rizos, C., 2002, Network RTK research and implementation – A geodetic perspective, *Journal of Global Positioning Systems*, 1(2), pp. 144-150.
- Su, M B., I. H. Chen, and C. H. Liao, 2009, Using TDR cables and GPS for landslide monitoring in high mountain area, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(B8), pp. 18,057-18,070.
- Wdowinski, S., Y. Bock, J. Zhang, P. Fang, and J. Genrich, 1997, Southern California permanent GPS geodetic array: Spatial filtering of daily positions for estimating coseismic and postseismic displacements induced by the 1992 Landers earthquake, *Journal of Geophysical Research*, 102(8), pp. 18,057-18,070.
- Yang, M., C. L. Tseng, and J. Y. Yu, 2001, Establishment and maintenance of Taiwan Geodetic Datum 1997, *J. Surveying Engineering*, 127(4), pp.119–132.
- Yu, S. B., H. Y. Chen, and L. C. Kuo, 1997, Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, pp. 41-59.
- Yu, S. B., L. C. Kuo, Y. J. Hsu, H. H. Su, C. C. Liu, C. S. Hou, J. F. Lee, T. C. Lai, C. C. Liu, C. L. Liu, T. F. Tseng, C. S. Tsai and T. C. Shin, 2001, Preseismic deformation and coseismic displacements associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(5), pp. 995-1,012.

利用水氣微波輻射儀提升 GPS 定位精度之研究

葉大綱^{1*} 林承毅² 王傳盛³

論文收件日期：101.03.26

論文修改日期：101.08.31

論文接受日期：101.10.14

摘要

GPS 水平坐標的精度約在 1~2 mm，高程坐標的精度約在 5~10 mm。垂直定位精度較差的理由除了衛星在天空中的分佈有其理論上的極限值，造成垂直方向的衛星分布情況較差；也由於對流層折射的影響，特別是水氣所造成的訊號遲延量無法有效的消除，至今仍是 GPS 定位需要克服的重要課題之一。本研究利用水氣微波輻射儀(Water Vapor Radiometer, WVR)的觀測資料，配合不同長度的基線及不同的天候狀況來進行定位精度的評估，結果發現在計算中若使用 Neill 模式配合水氣微波輻射計觀測資料來進行誤差改正，在未降雨的時候只需先將 WVR 原始觀測資料透過亮溫修正程式進行校正，即可提升 5%的定位精度；但若未將 WVR 資料進行校正，而直接導入 WVR 原始觀測資料來進行改正，反而會降低 GPS 基線解算的精度。此外，在降雨的時候不論 WVR 資料是否經過校正，皆無法利用此一觀測資料來修正 GPS 對流層誤差。

關鍵詞：水氣微波輻射儀、全球定位系統、對流層延遲誤差

¹ 副教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

² 課員，內政部國土測繪中心。

³ 博士後研究員，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

* 通訊作者，TEL:(02)86741111#67430，E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw。

Enhancing the precision of GPS positioning by using the measurements from water vapor radiometer

Ta-Kang Yeh^{1*}, Cheng-Yi Lin², Chuan-Sheng Wang³

Abstract

The horizontal precision of GPS positioning is 1~2 mm and the vertical precision of GPS positioning is 5~10 mm. The reason that the vertical precision is worse than the horizontal precision shall be the distribution of the GPS satellites. Moreover, the water vapor in the atmosphere can't be eliminated effectively is also the important reason. In this study, the data of Water Vapor Radiometer (WVR) was adopted to correct the tropospheric delay for the GPS positioning in different weather. The results indicated that if the data of WVR after calibration was adopted to correct the tropospheric delay, the precision of GPS positioning can be enhanced about 5% in the period without rainfall. On the other hand, if the observation of WVR without calibration was employed, the precision of GPS positioning can't be enhanced anymore. Moreover, whatever the WVR data was calibrated or not in the period with rainfall, we can't use this observation to correct the tropospheric delay for the GPS data processing.

Keywords: Global Positioning System, Tropospheric Delay, Water Vapor Radiometer

¹ Associate Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

² Officer, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior.

³ Post-Doctoral Fellow, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

* Corresponding Author, TEL: +886-2-86741111#67430, E-mail: bigsteel@mail.ntpu.edu.tw.

一、前言

內政部國土測繪中心已建置全國性 e-GPS 衛星定位基準網，其定位標準差可達平面 1 cm、高程 2 cm 以內，定位內部精度可達平面 2 cm、高程 4 cm 以內(葉大綱等，2011)；使用 e-GPS 衛星定位基準網，相較於傳統 RTK，不僅操作方式簡便、更可以有效節省人力與物力，其定位的可靠度與精度更大為提高。由於 e-GPS 系統對於參考主站之坐標精度要求甚高，主站坐標的相對誤差一旦大於 2 cm，就會導致解算基線及區域誤差模式無法進行求解(內政部土地測量局，2006)，在擁有多項 GPS 誤差因素干擾下，要使主站坐標達到誤差標準之內確實是一大挑戰。然而，GPS 誤差來源中，尤其以訊號延遲效應影響甚大，大氣中的水氣含量會產生明顯影響 GPS 訊號傳遞的乾、濕延遲誤差，其中乾延遲誤差雖可靠氣象模式進行消除，但濕延遲誤差卻是難以準確的修正(Yeh et al., 2012)。

微波輻射計可精確測定大氣中的水氣含量與分布，是做為 GPS 定位時，修正沿著路徑濕延遲誤差的最佳異質觀測。其觀測原理在於水氣主宰輻射量及濕延遲量，因此從微波輻射量可推估濕延遲量或大氣水氣含量，其精確度達 3~7%，即約 2 mm 等級(王傳盛，2009)。透過高精度的數據資料，可有效的修正 GPS 濕延遲誤差，大幅提升 e-GPS 主站定位精度，使 e-GPS 系統免於主站坐標誤差過大而無法解算基線及區域誤差，裨益 e-GPS 定位技術發揮其最大的效益。因此，本研究嘗試以內政部國土測繪中心之 e-GPS 追蹤站網進行對流層延遲效應的估計工作，期望透過對流層濕延遲量的評估，用以修正 GPS 對流層延遲誤差；而觀測資料則採用 e-GPS 連續接收站的觀測資料，並利用水氣微波輻射儀的資料進行約制校正，以期能對各 GPS 應用領域帶來更精確的成果及效益。

二、對流層延遲誤差與改正方法

對流層對於 GPS 衛星訊號之影響主要是在於訊號傳遞的速度比在真空中要慢，以及訊號之傳播路徑是曲線而非直線，此兩者乃是由傳播路徑上之折射率所引起。前者是由於對流層折射率大於真空折射率，因而造成速度的延遲；後者則是因為大氣層各個高度之折射率不同，而使其傳遞路徑形成彎曲的延遲。當衛星觀測仰角大於 15 度時，其幾何延遲部分不大於 1 公分(Bevis et al., 1992)通常可以不考慮，若是更進一步僅考慮天頂方向訊號傳播，則根據司乃耳定律(Snell's law)訊號傳播的路徑會呈直線，幾何延遲便可去除，如圖 1 所示。

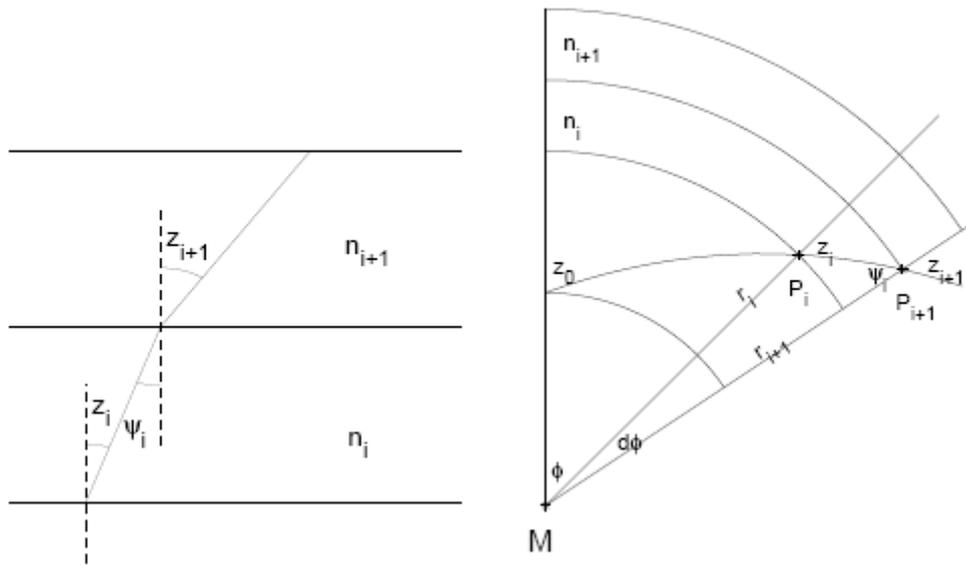


圖 1 司乃耳定律訊號折射示意圖(Kleijer, 2004)

在大氣層中，對流層延遲量可以寫為(王傳盛，2009)：

$$D_{trop}^z = 10^{-6} \left[\int_H^{\infty} \left(k_1 \frac{P_d}{T} \right) dz + \int_H^{\infty} \left(k_2 \frac{e}{T} \right) dz + \int_H^{\infty} \left(k_3 \frac{e}{T^2} \right) dz \right] \dots\dots\dots(1)$$

式中， P_d ：乾空氣分壓， T ：絕對溫度， e ：水氣分壓， K_1 、 K_2 、 K_3 為經驗常數。由理想氣體定律空氣密度可寫成：

$$\rho = \rho_d + \rho_w = \frac{M_d}{R} \left[\frac{P}{T} - \left(1 - \frac{M_w}{M_d} \right) \frac{e}{T} \right] \dots\dots\dots(2)$$

其中， ρ_d ：乾空氣密度， ρ_w ：溼空氣密度， R ：莫耳氣體常數等於 $8.314\text{J/mol} \times \text{K}$ ， M_w ：水氣的莫耳質量， M_d ：乾空氣的莫耳質量等於 28.9644 g/mol 。

大氣層通常符合流體靜力方程式：

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g \tag{3}$$

代入上式積分可得：

$$\int_H^{\infty} \frac{P}{T} dz = \frac{RP_s}{M_d g_m} + \left(1 - \frac{M_w}{M_d} \right) \int_H^{\infty} \frac{e}{T} dz \tag{4}$$

其中， P_s 是地表總大氣壓值(mb)， g_m 是大氣垂直空氣柱質量中心的重力加速度(m/s^2)，將上式代入延遲積分可以得到：

$$D_{trop}^Z = 10^{-6} \left\{ \frac{k_1 R}{g_m M_d} P_s + \int_H^\infty \left[\left(k_2 - k_1 \frac{M_w}{M_d} \right) \frac{e}{T} + k_3 \frac{e}{T^2} \right] dz \right\} \quad (5)$$

此式亦可寫為：

$$D_{trop}^Z = D_{trop,h}^Z + D_{trop,w}^Z \quad (6)$$

上式等號右邊第一項(以 $D_{trop,h}^Z$ 表示)可藉著測量地表總大氣壓值得到，稱為乾延遲，等號右邊第二項(以 $D_{trop,w}^Z$ 表示)必須要知道大氣層溫度和水氣壓的剖面資訊才能計算，通常稱為溼延遲。由於上式過於複雜，一般使用模式近似之，常用的模式有 Saastamoinen 模式、Hopfield 模式和 Niell 模式。

(一) Saastamoinen 模式(Saastamoinen, 1973)

$$D_{trop,h}^Z = 0.002277 \times P \quad (7)$$

$$D_{trop,w}^Z = 0.002277 \times \left[\left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) \times e - B \right] \quad (8)$$

其中 P 為地表壓力(單位：mb)， T 為地表溫度(單位：K)， e 為地表水氣分壓(單位：mb)， B 為修正係數。

(二) Hopfield 模式(Hopfield, 1971)

$$D_{trop,h}^Z = 10552 \times 10^{-5} \times \frac{P}{T} (4.136 + 148.72 \times (T - 173.16) - H_T) \quad (9)$$

$$D_{trop,w}^Z = 7.46512 \times 10^{-2} \times \frac{e}{T^2} (11000 - H_T) \quad (10)$$

其中 P 為地表壓力(單位：mb)， T 為地表溫度(單位：K)， e 為地表水氣分壓(單位：mb)， H_T 為測站高程(單位：m)。

(三) Niell 模式(Niell, 1996)

$$D_{trop,h}^Z = \frac{\frac{1}{1 + \frac{a_{dry}}{1 + \frac{b_{dry}}{1 + c_{dry}}}}}{\sin \varepsilon + \frac{a_{dry}}{\sin \varepsilon + \frac{b_{dry}}{\sin \varepsilon + c_{dry}}}} + \frac{1}{\sin \varepsilon} \left[\frac{\frac{1}{1 + \frac{a_{ht}}{1 + \frac{b_{ht}}{1 + c_{ht}}}}}{\sin \varepsilon + \frac{a_{ht}}{\sin \varepsilon + \frac{b_{ht}}{\sin \varepsilon + c_{ht}}}} \right] \times \frac{H}{1000} \quad (11)$$

$$D_{trop,w}^Z = \frac{\frac{1}{1 + \frac{a_{wet}}{1 + \frac{b_{wet}}{1 + c_{wet}}}}}{\sin \varepsilon + \frac{a_{wet}}{\sin \varepsilon + \frac{b_{wet}}{\sin \varepsilon + c_{wet}}}} \quad (12)$$

其中 ε 為衛星仰角， H 為高程，不同下標之 a 、 b 、 c 為相關係數和常數。本研究採用 Bernese 5.0 軟體，以最小二乘法解算 GPS 觀測資料，並估計天頂向延遲量。將對流層濕延遲輸入 Bernese 計算軟體時，由於輻射計所觀測的延遲量格式無法被 GPS 軟體所接受，輸入方式是將輻射計觀測的濕延遲轉成 RINEX (Receiver Independent Exchange Format) 的 M 檔(Met 檔，意指氣象檔)或 Bernese 的 M 檔，並完成三維定位計算與分析，藉以比較實測資料與經驗模式之量測精度，並針對三維定位之精度進行分析。

以載波相位觀測方程式計算待測站站標(X_j, Y_j, Z_j)時，先將 $D_{trop,h}^Z$ 以模式求得的延遲量代入；且已知電離層延遲量的大小與載波頻率的平方成反比，故可利用雙頻載波無電離層線性組合，消除電離層延遲量。接著使用最小二乘法計算坐標，當測站站標已知，衛星位置由精密星曆可知，則測站至衛星的幾何距離即為已知值，可表示如下式(Wang *et al.*, 2008)：

$$\varphi_{ij}^{pq}(t) = \frac{f}{c} \left\langle D_{i,trop}^Z(t) \cdot [M(\theta_i^p) - M(\theta_i^q)] - D_{j,trop}^Z(t) \cdot [M(\theta_j^p) - M(\theta_j^q)] \right\rangle \quad (13)$$

f : 頻率

c : 光速

θ_i^p : 為測站 i 觀測衛星 p 的仰角

θ_i^q : 為測站 i 觀測衛星 q 的仰角

θ_j^p : 為測站 j 觀測衛星 p 的仰角

θ_j^q : 為測站 j 觀測衛星 q 的仰角

$M(\theta)$: 映射函數，只要觀測仰角已知，映射函數即為一常數

$D_{trop}^Z(t)$: 接收站天頂向對流層大氣延遲量

式中欲求解的未知數有 i 、 j 兩站天頂向對流層延遲量，但求解時可觀測到的衛星顆數不只有兩顆，因為觀測量大於未知數數量，此處採用最小二乘法進行參數求解。

目前的 GPS 定位精度中，平面坐標的定位精度約在 1~2 mm 左右，高程坐標的定位精度約在 5~10 mm 左右(Yeh et al., 2011)。高程定位精度較差的理由有兩個：第一，因為衛星在天空中的分佈狀況有其理論上的極限值；因此觀測者的最低仰角幾乎都定在 15 度(Santerre, 1991)。第二，由於對流層的折射誤差；特別是水氣所造成的電磁波訊號延遲(Emardson and Jarlemark, 1999)。

GPS 衛星訊號在傳播的路徑中會穿過大氣層，會使 GPS 衛星訊號的傳播路徑改變及傳播速度改變，造成電磁波延遲到達。電離層的影響可以使用雙頻電離層線性組合消除大部分，但中性大氣層，主要為對流層與平流層下部的氣體所引起的，必須使用模式或其他觀測儀器消除。而對流層延遲量可以分為兩種類型：第一種為流體靜力延遲，又稱乾延遲，第二種為溼延遲。乾延遲的量值在天頂方向約為 2.3 公尺，可以透過地表壓力值來模式化進而移除乾延遲，其精度可達 mm 等級(Bevis et al., 1992)，但濕延遲無法有效地以模式移除。

上述 Saastamoinen(1973)所推導的靜力延遲(Zenithal Hydrostatic Delay, ZHD)經過許多的驗證，其精度可達 1 mm 或更優的等級(Mendes and Langley, 1999)。Hopfield (1971)所導出的天頂向流體靜力延遲和 Saastamoinen 模式僅有少許的差異(Bock and Doerflinger, 2001)。這些地表氣象經驗模式，也都被應用在估計天頂向濕延遲 (Zenithal Wet Delay, ZWD)。然而由於水氣在大氣中的時間和空間的不均勻性，使得應用地表氣象模式估計 ZWD 仍存在許多的問題。ZHD 模式在中緯度地區其精度約在 2~3 mm。從地表氣象資料推估 ZWD 其誤差約達 3~5 cm，而鋒面過境時則可達 5~8 cm(Liou and Huang, 2000)。Kim et al. (2003)在進行地區性高精度 GPS 監測的任務中，發現地表氣象參數的觀測有益於 GPS 定位，但由於所使用的大氣數學模擬模式仍屬經驗式，再加上大氣水氣場變化迅速，因此在對測站周圍進行溫度、濕度、壓力及水氣觀測並進行計算後，雖然能對 GPS 定位有所助益，但仍會留有殘差在計算所得的成果之中。併用標準的大氣狀況及經驗氣象模式，來代替地面站的氣象觀測資料時，會得到不錯的計算結果(Dodson et al., 1996)，不過這只針對長時間的資料分析，其原因在於偶發的氣象事件會被平均掉。對於常年的資料分析，氣候的變化可以被觀察及偵測出來，但對於數小時或數天的測量，特殊的大氣情況，會反應在每日的坐標計算成果變化上。Klobuchar and Kunches(2003)發現大氣對流層影響 GPS 定位的延遲量，會隨著觀測仰角的變低而呈倍數的增加。除非能準確地觀測溫度、濕度、壓力及水氣含量，並導入氣象方程式於定位計算中，而不再使用標準大氣狀況，才可精進 GPS 定位成果。

水氣微波輻射儀(Water Vapor Radiometer, WVR)為一遙測水氣及相關資訊的儀器，WVR 觀測可以提供精確的路徑濕延遲來修正 GPS 定位。天頂靜力延遲通常使

用經驗氣象模型，並配合地表氣象資料或標準大氣資料來進行評估，並利用映射函數來進行其它方向的靜力延遲估算，而濕延遲量則是從利用 WVR 遙測水氣含量獲得。若使用 WVR 於直接修正 GPS 衛星訊號的斜向濕延遲量時，該方法所展現出精度的改進，對 22~850 公里的基線而言，GPS 垂直坐標從 2 cm 進步到 1 mm(Alber et al., 1997)。不過，GPS 觀測誤差與大氣中水氣總量約成線性關係，該技術用於台灣能否達到同樣精度，仍有待進一步研究(Liou et al., 2001)。地面 WVR 的發展已在前面提及，其改進成果已經展現出在天頂濕延遲有 5 mm 的等級(Weckwerth et al., 1999)。地面 WVR 快速掃描的能力，現在已允許在小於 10 分鐘之內，連續的進行 5 顆 GPS 衛星斜向濕延遲的量測。這樣的方法已有報告指出在 43 公里基線觀測 11 天的垂直坐標方面達到 1.2 mm 等級的精度(Alber et al., 1997)，這個實驗是使用直徑 85 公分的 choke ring 天線盤，能使多路徑效應降到最低。

在國內方面，直到最近幾年才由內政部引進輻射計配合 GPS 觀測，王傳盛(2009)探討參數估計和輻射計觀測修正對對流層延遲參數與 GPS 高程坐標的影響，他發現以水氣微波輻射計資料進而配合異質觀測修正方式，其結果大致與地表氣象觀測資料配合異質觀測修正方式雷同；其對靜態觀測的基線長度與 GPS 高程坐標而言，影響量值約都在公分等級；但就 GPS 高程坐標的多日平均標準差而言，則較地表氣象觀測資料為穩定。雖然參數估計方式的多日平均標準差，都較輻射計觀測修正方式為穩定，但如果以對流層延遲量而言，事實上水氣微波輻射計應當是最為可靠(在天氣好的情況下)，而參數估計所求得的延遲量卻不一定能得到真正的絕對量，所以良好的水氣微波輻射儀資料進而配合異質觀測修正方式，事實上是對 GPS 高程求解的精度有所提升。

三、基線資料蒐集與誤差修正

本研究共蒐集了三條基線的觀測資料，包括北港到墾丁(基線長度 187 km)、太麻里到墾丁(基線長度 77 km)和台南到墾丁(基線長度 130 km)的 GPS 與 WVR 資料；第一條基線北港到墾丁的觀測期間為 2010 年 9 月 17 日到 25 日，第二條基線太麻里到墾丁的觀測期間為 2010 年 11 月 4 日到 9 日，第三條基線台南到墾丁的觀測期間為 2010 年 11 月 13 日到 17 日。也由於台灣僅有兩台 WVR，因此將其中一台固定安置在觀測環境最佳的墾丁站，另一台則按照實驗之設計，依序搬移至北港、太麻里及台南。而在資料處理的機制上，我們總共採用了五種對流層延遲改正方式，分別為 Saastamoinen、Hopfield、Niell、Niell+MET (模式配合地面氣象資料)和 Niell+WVR (模式配合水氣微波輻射計觀測資料)。

首先，第一條基線北港到墾丁的計算成果如表 1 及圖 2 所示。其中可以發現 Neill 模式及 Neill 模式配合地面氣象資料來進行修正的效果最佳(3D 標準差為 10.5 mm)，使用 Saastamoinen 模式及 Hopfield 模式的結果次之(3D 標準差為 11.6 mm)，但 Neill+WVR 加上輻射計觀測資料修正的結果，標準差反而大幅增加(3D 標準差為

24.4 mm)，尤其在北向和高程方面有較大的變化，推測應為下列兩項原因所造成。第一個原因是觀測期間凡那比颱風來襲造成強降水，WVR 雖然有降低降雨影響的機構，但在大雨情況下效果不佳，因此造成亮溫大幅增加，且亮溫的擾動也大幅增加，會產生不合理的對流層濕延遲觀測量；第二個原因是凡那比颱風造成墾丁輻射計傾倒，使得輻射計觀測數據不合理。由於這兩個原因使得利用輻射計觀測資料來修正北港到墾丁的基線計算使得結果更糟。不過由於北港和墾丁兩站都有長期的輻射計觀測資料，我們將在下一章闡述選取適當的資料，再進行一次基線計算，來探討降雨對基線計算的影響。

表 1 固定墾丁計算北港坐標之三維方向標準差一覽表

Model	North (mm)	East (mm)	Height (mm)	3D (mm)
Saastamoinen	2.9	1.7	11.1	11.6
Hopfield	3.1	2.2	10.9	11.5
Niell	2.1	1.9	10.0	10.4
Niell+MET	2.1	1.9	10.1	10.5
Niell+WVR	9.0	2.3	22.5	24.4

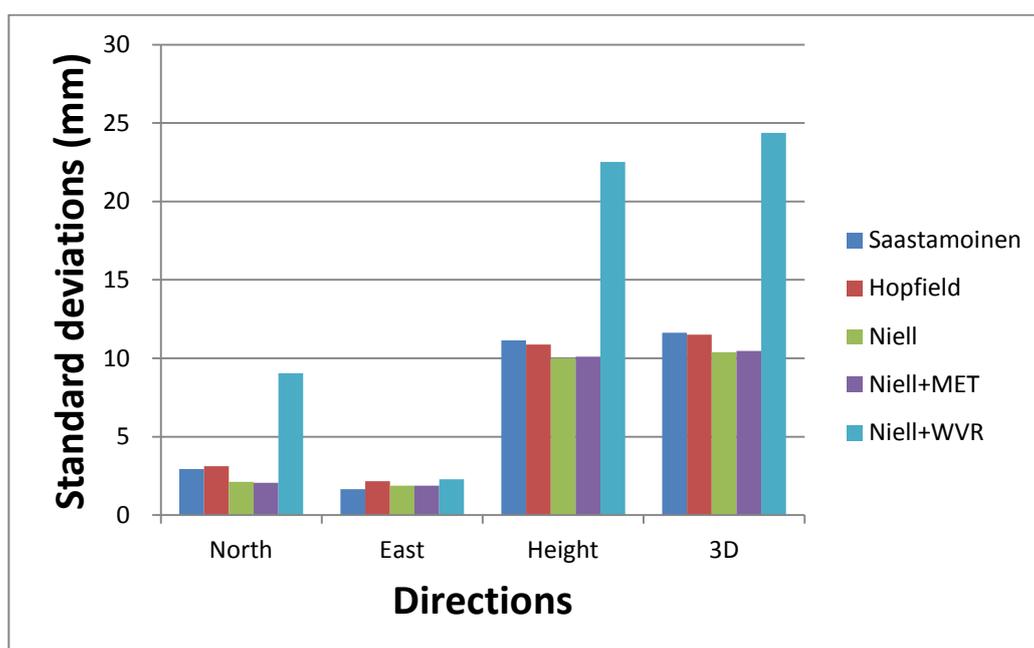


圖 2 固定墾丁計算北港坐標之三維方向標準差分布圖

其次來看第二條基線太麻里到墾丁的計算成果如表 2 及圖 3。結果顯示 Saastamoinen 模式及 Hopfield 模式在這裡的表現最佳(3D 標準差為 4.7 mm)，Niell 模式及 Niell+MET 模式次之(3D 標準差為 5.0 mm)，Niell+WVR 的結果雖然不像第一條基線有大錯誤，但是其定位標準差仍然最大(3D 標準差為 5.8 mm)。主要原因可能為觀測期間剛好遇到梅姬颱風也有較大降雨，造成亮溫飆高影響濕延遲的觀測；此外太麻里附近的地形對空通視較差可能也會造成一些影響，未來做進一步測試時

會將前兩項因素盡量消除，再探討修正對流層誤差的計算成果。

表 2 固定墾丁計算太麻里坐標之三維方向標準差一覽表

Model	North (mm)	East (mm)	Height (mm)	3D (mm)
Saastamoinen	3.1	1.0	3.0	4.4
Hopfield	2.6	1.4	3.7	4.7
Niell	3.2	1.2	3.6	5.0
Niell+MET	3.0	1.1	3.8	5.0
Niell+WVR	3.5	1.7	4.3	5.8

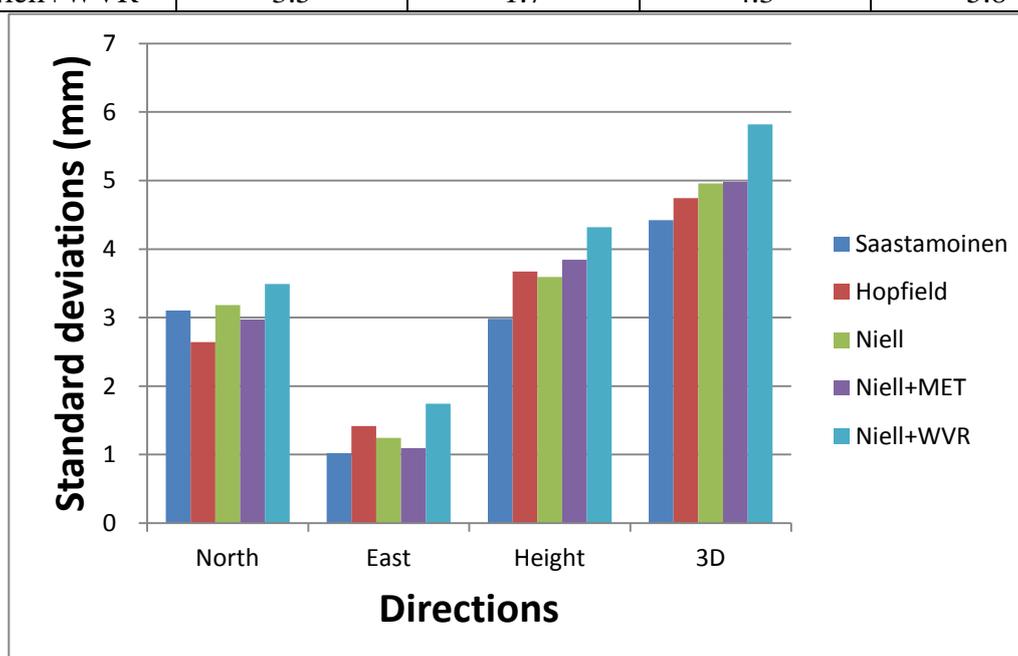


圖 3 固定墾丁計算太麻里坐標之三維方向標準差分布圖

最後來看第三條基線台南到墾丁的計算成果如表 3 及圖 4。以成果看來本研究所採用的五種計算方式並無明顯的差異(3D 標準差皆介於 6.6~7.0 mm)，但 Niell+WVR 雖在 N 方向比其他方法來的好，但平均來說標準誤差仍稍大，其原因可能還是觀測期間有降雨現象，造成亮溫飆高影響濕延遲的觀測所致。

表 3 固定墾丁計算台南坐標之三維方向標準差一覽表

Model	North (mm)	East (mm)	Height (mm)	3D (mm)
Saastamoinen	3.3	4.9	3.0	6.6
Hopfield	3.7	5.0	3.1	6.9
Niell	3.4	4.7	3.3	6.7
Niell+MET	3.5	4.8	3.5	6.9
Niell+WVR	3.1	5.2	3.5	7.0

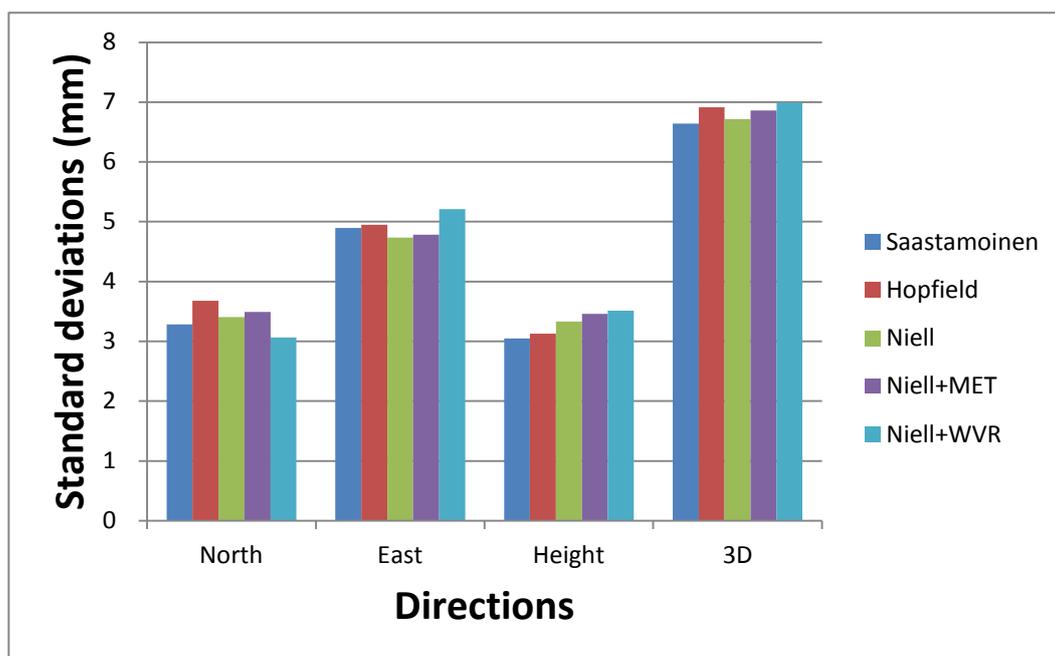


圖 4 固定墾丁計算台南坐標之三維方向標準差分布圖

由於此次的三次外業觀測資料恰巧遇到天候狀況不佳，因此造成解算精度反而降低，此一現象在文獻中也發現有同樣的問題(Wang et al., 2008)；因此在下一章節當中，我們將擷取不同天候狀況的資料來進行分析，進一步探討降雨對 WVR 觀測數據的影響。

四、不同天候狀況的誤差改正探討

為了進一步分析降雨對 WVR 誤差修正的影響，我們從北港和墾丁輻射計的連續觀測資料中，篩選無降雨時期和降雨時期的資料來進行計算。無降雨時期為 2010 年 7 月 1 日到 11 日(其中 5 日、6 日無資料)，降雨時期為 2010 年 8 到 6 日至 14 日，在資料處理上除了採用第三章的五種計算模式之外，第五種 Neill+WVR 還區分成 Neill+WVR1 及 Neill+WVR2，前者代表導入 Bernese 進行修正的 WVR 觀測資料為原始數據(校正前)，後者則代表導入 Bernese 進行修正的 WVR 觀測資料為透過亮溫修正程式改正過後的數據(校正後)，而未降雨時期的計算結果如表 4 及圖 5 所示。可以發現，Neill+WVR2 經過校正的 WVR 觀測資料，若應用在對流層誤差的修正上，有著最佳的表現(3D 標準差為 7.6 mm)；但若將原始觀測資料直接應用在 GPS 誤差改正上，其計算結果反而是最糟的(3D 標準差為 8.9 mm)因此未來在應用 WVR 來進行誤差修正時，必須小心使用該觀測資料方能獲得較佳的成果；而剩下的四種資料處理模式，其計算成果並無太大的差異。

表 4 未降雨時期固定墾丁計算北港坐標之三維方向標準差一覽表

Model	North (mm)	East (mm)	Height (mm)	3D (mm)
Saastamoinen	3.7	2.6	6.6	8.0
Hopfield	3.5	2.5	6.6	7.8
Niell	3.5	2.7	6.8	8.1
Niell+MET	3.5	2.5	6.7	7.9
Niell+WVR1	4.6	2.3	7.3	8.9
Niell+WVR2	4.2	2.3	6.0	7.6

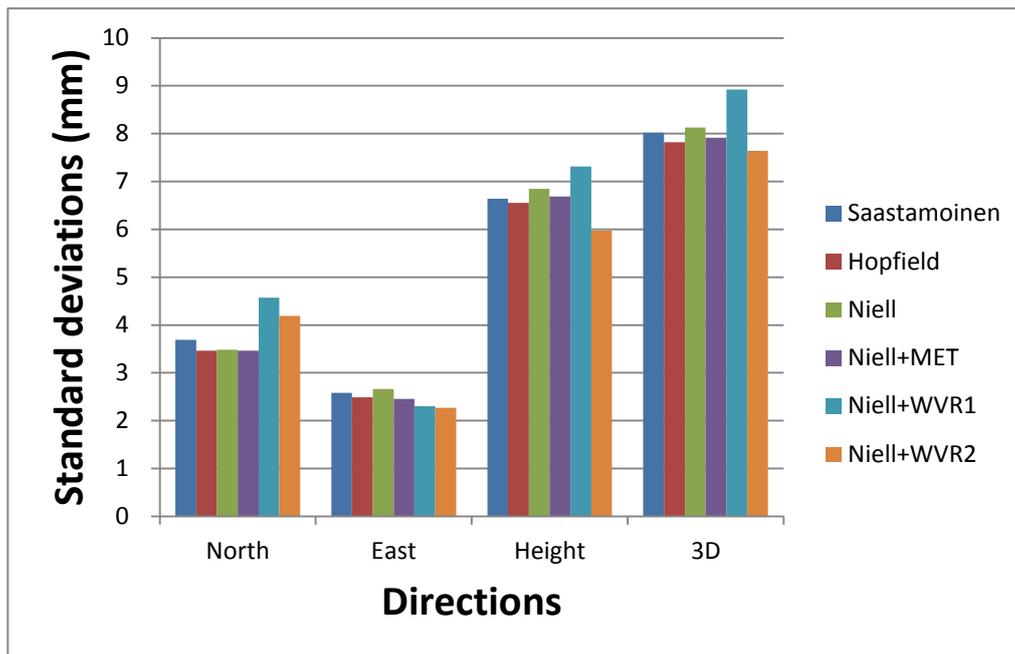


圖 5 未降雨時期固定墾丁計算北港坐標之三維方向標準差分布圖

再依相同的方法來進行資料處理，可得降雨時期的計算結果如表 5 及圖 6 所示。其中，表現最佳的為 Saastamoinen 模式(3D 標準差為 8.4 mm)，其次為 Niell 與 Niell+Met (3D 標準差為 9.3 mm)，接下來是 Hopfield 模式(3D 標準差為 9.8 mm)，表現最差的為 Niell+WVR1 (3D 標準差為 10.9 mm)，此一結果與第三章類似。因為受到降雨的影響使得 WVR 觀測的濕延遲量有較大的誤差，若將該資料導入 GPS 計算來進行修正，反而會降低 GPS 定位之精度；特別要注意的是，即使該觀測資料透過亮溫修正程式來進行校正，再將校正後的 WVR 觀測資料導入 GPS 誤差改正，其定位精度也僅有微幅的提升(3D 標準差為 10.7 mm)，仍然比不上傳統應用模式來進行改正的成果。因此，以目前台灣現有的儀器來說，利用 WVR 觀測資料來進行對流層誤差修正僅適用於天候較佳未降雨的時期，若當地發生降雨，還是採用傳統的模式修正可以獲得較佳的定位成果。

表 5 降雨時期固定墾丁計算北港坐標之三維方向標準差一覽表

Model	North (mm)	East (mm)	Height (mm)	3D (mm)
Saastamoinen	5.4	1.9	6.1	8.4
Hopfield	5.2	2.2	8.0	9.8
Niell	6.2	2.4	6.5	9.3
Niell+MET	6.1	2.4	6.5	9.2
Niell+WVR1	5.8	3.0	8.8	10.9
Niell+WVR2	6.3	3.0	8.1	10.7

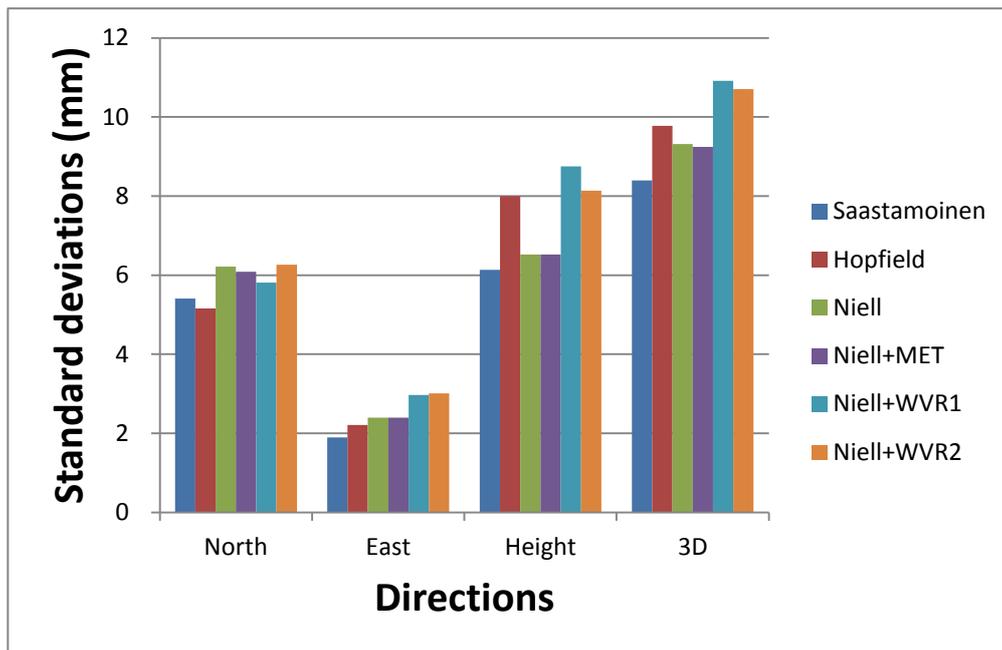


圖 6 降雨時期固定墾丁計算北港坐標之三維方向標準差分布圖

五、結論與建議

- (一) 對流層改正若採用傳統的模式 Saastamoinen、Hopfield、Niell，或者是利用模式配合地面氣象資料(Niell+MET)來進行修正，皆有相當穩定的表現且不受天候的影響。
- (二) 在計算中若使用模式配合水氣微波輻射計觀測資料(Niell+WVR)來進行誤差改正，在未降雨的時候只需先將 WVR 原始觀測資料透過亮溫修正程式進行校正，即可提升 5%的定位精度；但若未將 WVR 資料進行校正，而直接導入 WVR 原始觀測資料來進行改正，反而會降低 GPS 基線解算的精度。在降雨的時候不論 WVR 資料是否經過校正，皆無法利用此一觀測資料來修正 GPS 對流層誤差。
- (三) 目前內政部所擁有的水氣微波輻射儀雖有防降雨遮罩，但結果顯示在大雨中的

效果不佳。從觀測資料可看出，當雨水或雨滴無法及時從天線罩移除時，將會造成亮溫值的飆高，因此產生不合理的濕延遲量，使得基線計算的擾動增加，未來應避免使用下雨時的 WVR 觀測資料。

- (四) 水氣微波輻射儀的觀測資料包含了天頂向及斜向的濕延遲量，而本研究目前只採用了天頂向的濕延遲量來進行修正，或許就是這個原因使得加入濕延遲改正後的定位準確度無法明顯提高；故建議未來的研究者可以嘗試修改程式，導入斜向的對流層濕延遲量，應可進一步提升在惡劣天氣下的濕延遲修正效能。

誌謝

本研究能夠順利完成，感謝國立中央大學太空與遙測研究中心劉說安教授、顏翔崑博士所提供之水氣微波輻射儀野外觀測資料，以及內政部國土測繪中心所提供之 e-GPS 基準站連續觀測資料。

參考文獻

- 內政部土地測量局，2006，《e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告》，內政部土地測量局。
- 王傳盛，2009，《對流層延遲效應與全球定位系統高程定位之研究》，國立中央大學太空科學研究所博士論文。
- 葉大綱、吳建廷、楊明遠、黃金城、韓治安，2011，利用七參數進行 TWD67、TWD97 與 e-GPS 定位坐標之轉換—以中壢地區為例，《地籍測量》，第 30 卷，第 1 期，頁 14-29。
- Alber, C., R. Ware, C. Rocken, and F. Solheim, 1997, GPS surveying with 1 mm precision using corrections for atmospheric slant path delay, *Geophysical Research Letters*, 24(15), pp.1859-1862.
- Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. H. Ware, 1992, GPS Meteorology - Remote-Sensing of Atmospheric Water-Vapor Using the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research*, 97(D14), pp.15787-15801.
- Bock, O. and E. Doerflinger, 2001, Atmospheric modeling in GPS data analysis for high accuracy positioning, *Physics and Chemistry of the Earth Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(6-8), pp.373-383.
- Dodson, A. H., P. J. Shardlow, L. C. M. Hubbard, G. Elgered, and P. O. J. Jarlemark, 1996, Wet tropospheric effects on precise relative GPS height determination, *Journal of Geodesy*, 70(4), pp.188-202.
- Emardson, T. R. and P. O. J. Jarlemark, 1999, Atmospheric modelling in GPS analysis and its effect on the estimated geodetic parameters, *Journal of Geodesy*, 73(6),

pp.322-331.

- Hopfield, H. S., 1971, Tropospheric effect on electromagnetically measured range: prediction from surface weather data, *Radio Science*, 6(3), pp.357-367.
- Kim, D., R. B. Langley, J. Bond, and A. Chrzanowski, 2003, Local deformation monitoring using GPS in an open pit mine: Initial study, *GPS Solutions*, 7(3), pp.176-185.
- Kleijer, F., 2004, *Troposphere modeling and filtering for precise GPS leveling*, Ph.D dissertation, Delft University of Technology.
- Klobuchar, J. A. and J. M. Kunches, 2003, Comparative range delay and variability of the earth's troposphere and the ionosphere, *GPS Solutions*, 7(1), pp.55-58.
- Liou, Y. A. and C. Y. Huang, 2000, GPS observations of PW during the passage of a typhoon, *Earth, Planets and Space*, 52(10), pp.709-712.
- Liou, Y. A., Y. T. Teng, T. Van Hove, and J. C. Liljegren, 2001, Comparison of precipitable water observations in the near tropics by GPS, microwave radiometer, and radiosondes, *Journal of Applied Meteorology*, 40(1), pp.5-15.
- Mendes, V. B. and R. B. Langley, 1999, Tropospheric zenith delay prediction accuracy for high-precision GPS positioning and navigation, *Navigation*, 46(1), pp. 25-34.
- Niell, A., 1996, Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *Journal of Geophysical Research*, 101(B2), pp.3227-3246.
- Saastamoinen, J., 1973, Contributions to the theory of atmospheric refraction, *Bulletin Geodesique*, 107(1), pp.13-34.
- Santerre, R., 1991, Impact of GPS satellite sky distribution, *Manuscripta Geodaetica*, 16, pp.28-53.
- Wang, C. S., Y. A. Liou, and T. K. Yeh, 2008, Impact of surface meteorological measurements on GPS height determination, *Geophysical Research Letters*, 35, L23809, doi: 10.1029/2008GL035929.
- Weckwerth, T. M., V. Wulfmeyer, R. M. Wakimoto, R. M. Hardesty, J. W. Wilson, and R. M. Banta, 1999, NCAR–NOAA lower-tropospheric water vapor workshop, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(11), pp.2339-2357.
- Yeh, T. K., C. Hwang, J. F. Huang, B. F. Chao, and M. H. Chang, 2011, Vertical displacement due to ocean tidal loading around Taiwan based on GPS observations, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 22(4), pp.373-382.
- Yeh, T. K., B. F. Chao, C. S. Chen, C. H. Chen, and Z. Y. Lee, 2012, Performance improvement of network-based RTK-GPS positioning in Taiwan, *Survey Review*, 44(324), pp.3-8.

利用建物測量成果圖

建立建物樓層平面圖籍資料之研究

江渾欽^{1*}

論文收件日期：101.09.16

論文修改日期：101.10.13

論文接受日期：101.11.04

摘 要

建物第一次測量係指建物所有權人或管理人，檢附建物使用執照、竣工平面圖、建物套繪圖等資料，向地政事務所申請依其區分範圍測繪其建物位置圖及建物平面圖後，領取所核發之建物測量成果圖，作為辦理建物登記之依據。建物測量成果圖內容包括了建物地籍位置圖、主附屬建物平面圖、面積計算式以及建物相關屬性資料等，保存了建物的細部資料，具有發展三維地籍與多目標應用之價值。

本研究說明如何利用現保存於地政事務所之建物測量成果圖資料(含影像式與向量式圖檔)，予以轉換、編輯、接合製作出具有位相關係且可垂直疊合成完整建物之建物樓層平面數值圖檔，並檢討作業過程中可能遇見之疑義以及作業工時分析，最後依建築使用執照所記載之建物樓層高度，將其塑立出具有包含建物產權範圍之三維模型資料，可作為後續推動三維地籍與多目標應用之基礎資料。

關鍵字：三維地籍、多目標地籍、建物測量成果圖、建物樓層平面圖

¹ 副教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

* 通訊作者，TEL:(02)26741111#67420，E-mail: vincent@mail.ntpu.edu.tw。

Study on establishment of Building floor plans base on result map of building survey

Hun-Chin Chiang^{1*}

Abstract

Building survey is the process initiated by property owner or manager who audits the building licences, construction plan, and Cadastral mapping, follows by lodging building location map and building plane request to the Land Offices, which eventually issues the result maps of building survey. The result map of building survey contains building location maps, plane map of main and attached buildings, area of ownership and other related attributes of the property. It captures detail information of the building and is the foundation for the future development of 3D and multipurpose cadastre database.

This study describes a method to integrate existing result maps of building survey (in the forms of vector data or scanned images) and transform into floor plans of buildings. Implications of potential ambiguities have been discussed and labour/time resource requirements have been analysed. This research also demonstrates the use of height information contained in the building licenses to enhance the floor plans into 3D cadastre models, which can be applied in future multipurpose cadastre database or cyber city development applications.

Keywords: 3D Cadastre, Floor Plan, Multipurpose Cadastre, Result Map of Building Survey

¹ Associate Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

* Corresponding Author, TEL:+886-2-267-41111#67420, E-mail: vincent@mail.ntpu.edu.tw.

一、前言

政府單位為保障民眾不動產之權益，建立了不動產的登記制度。建物測量即是在辦理建物登記前，依所有權人或管理人，所檢附之建物使用執照、竣工平面圖、建物套繪圖等資料，依其區分範圍測繪其位置圖及平面圖後，核發建物測量成果圖並據以辦理相關事宜。

建物測量所得結果為區分所有權之權利範圍建物平面圖資料，以建號為單位，因此，每一建號建立一份建物測量成果圖資料，傳統過去都僅為核發謄本而使用，故繪製完成之建物測量成果圖均以掃描方式予以存檔。依申請需求印製予建物所有權人。內政部自 96 年度起已要求全國各地政事務所建物測量業務採用建物測量系統建立向量化建物測量成果資料，可加速民眾申請建物測量與謄本核發之效率，亦可提後續多目標之加值應用。

隨著都市化的發展，城市人口密度增加，土地使用越來越複雜，各都會區的建築型態越趨複雜且密集，城市土地朝向垂直方向的立體化利用，地表、地上及地下空間可分層開發並有不同權屬，此種土地利用方式的三維空間權利範圍界定與管理成為重要的議題，因此，近年來國際地籍測量師協會(International Federation of Surveyors; FIG)正大力推動三維地籍(3D Cadastre) 並倡導多目標地籍 (multipurpose cadastre ; MPC) 的發展。三維地籍是對土地和其三維產權範圍給予權利及限制的地籍登記。三維產權範圍是指權利人之物權空間權利界線，三維產權情況指不同的產權範圍內可能具有不同土地使用類型，彼此間是相互關聯或為更複雜的產權情形 (Stoter, 2004)。FIG 的第 3 委員會(Cadastre and Land Management)與第 7 委員會 (Cadastre and Land Management) 聯合自 2001 年起擬定推動計畫，鼓勵各國研擬發展，並自 2010 年起至 2014 年擬定 5 年工作時間表，辦理成果研討會交換作業經驗與成果 (Van Oosterom et al., 2011)，目前許多國家均已有顯著之成果 (Rahman et al., 2011 ; Guo et al., 2011; Stoter et al., 2004; Rajabifard et al., 2012)。三維地籍是未來地籍發展重要的趨勢。

台灣建築改良物的產權登記，乃以建物測量成果圖之資料為基準，因此，如何將原本單一建號所屬之建物平面圖資料，組合成同樓層多建號之建物樓層平面圖，作為未來建立三維地籍的基礎資料，為一重要課題。故本研究主旨即探討如何利用現有之建物測量成果圖資料(含影像式與向量式圖檔)，予以轉換、編輯、接合製作出具有位相關係且可垂直疊合成完整建物之建物樓層平面數值圖檔，再依建築使用執照所記載之建物樓層高度，予以塑立出以產權為範圍之三維地籍模型資料，作為未來推動三維地籍或數位城市發展之應用參考。

二、建物測量成果圖

建物測量成果圖內容包括了建物地籍位置圖、建物平面圖、面積計算式以及建物相關屬性資料(包括坐落、門牌號、建物式樣與使用執照號碼、主建物及附屬建物面積大小等)。過去多由地政事務所的測量人員依申請人繳交之竣工平面圖，依地籍

測量實施規則之規定，將所有權人之主建物、附屬建物、共同使用等部份依建築物最大投影面予以繪製出 1/100~1/200 之建物平面圖，經面積計算後據以辦理建築改良物之所有權登記，並核發建物所有權狀。過去測量建物測量成果圖均以手繪後存於紙本上，後雖有利用電腦輔助繪圖工具如 AutoCAD 繪製，但仍是用謄繪方式描於紙圖上收存。為達地政資訊化跨所、跨縣市核發權證，因此，各地政事務所自民國 88 起陸續將紙本建物測量成果圖均予以掃描成建物測量成果圖影像檔。

內政部為建立起向量式建物測量資料，於民國 89 年起委託筆者研究開發「建物測量資訊系統」(江渾欽，2000)，再經後續功能增修後，自民國 93 年起轉全國各地政事務所使用，此外，為使「簡化建物第一次測量」繳交之成果資料亦能符合向量式建物測量資料格式，又再於民國 96 年開發「簡化建物第一次測量資訊系統」，提供民間單位利用單機系統建立建物測量相關成果資料。

建物測量資訊系統乃利用 CAD 之圖元繪製與編輯、圖形顯示與儲存，結合 GIS 之圖形與屬性關聯、多邊形套疊分析...等功能。系統架構分為下列五大模組：

- (一) **作業案件設定**：連結地政整合系統，讀取測量案管資料，設定收件號、申請人、建物門牌、主體結構、使用執照、基地坐落等資料。
- (二) **平面圖繪製**：以樓層為作業單位，分別繪製平面圖。樓層的平面界線，將自動組成封閉多邊形，再輸入案號、主建物或附屬建物、用途等屬性。
- (三) **位置圖套疊**：以棟為作業單位，進行平面圖套合地籍圖，以計算位置參數。
- (四) **成果圖編輯**：以申請案件為單位，逐一將各案號之平面圖、位置圖、面積計算式、說明文字等，製作1或多頁面之建物測量成果圖。
- (五) **資料庫處理**：將成果寫入暫存檔，登記完成後填入建號，再更新地政整合系統資料庫。

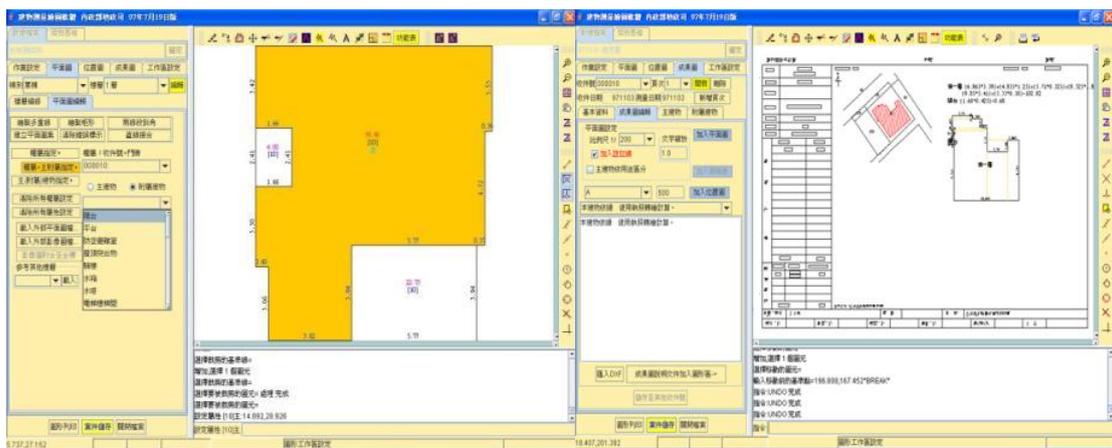


圖1 建物平面圖繪製

圖2 建物測量成果圖編輯

自 96 年起全台地區建物測量作業已規定採用數值建物測量系統繪製建物測量成果圖，並建立儲存數值資料。目前地政事務所存有之建物測量成果圖包括有早期手繪、電腦輔助繪圖所建立之建物測量成果資料(掃描影像式檔案)與使用建物測量資訊系統所建立之建物測量成果資料(向量式檔案)兩類型資料，其所佔比例約為 9:1。(江渾欽，2011b)

三、建物樓層平面圖製作流程設計

「建物樓層平面圖」為建立三維地籍建物空間資料模型的二維基礎向量資料，各多邊形之間必須存在空間位相關係及個別屬性資料紀錄。建物樓層平面圖之製作具有下列三項重點：1.向量資料建置、2.屬性資料設定、3.位相關係建立。

向量資料建置部分，目前各地政事務所保存之建物測量成果圖大部分皆已掃描為影像式(網格)資料以作為謄本核發或圖資之查詢檢索使用，若要進行空間資料之分析處理與應用，則必須再進行向量格式轉換(data conversion)，過去圖解地籍圖數值化作業即多是將地籍圖掃描後再數值化處理。目前，在地政資訊系統之「建物測量資訊系統」可直接建立向量資料。因此從影像式建物測量成果圖或新建建物測量成果圖，取得向量式建物平面圖結果，其基礎概念與預期成果皆為有跡可循。另由於建物測量成果圖的主要功用在於辨明產權劃分之情形，許多建物細緻結構部分如樓梯、柱等建築結構並不納入登記繪製項目，因此，若有這方面資訊的需求，則必須再藉由竣工平面圖或外業調查取得。

屬性資料設定部分，向量式建物平面圖之建立只是完成空間圖形轉換的工作，其圖形與圖形彼此之間的區分，可藉由建物測量成果圖上的個別屬性資料特性，分別賦予各多邊形之權屬建號及主附屬建物用途屬性，建立建物圖形特定屬性資訊。

空間位相資料建立之部分，包括水平位相及垂直位相之建立。水平位相可能因為建物本身產權劃分或建物類型的情況不一，致使建物平面圖係以建號為單位分別測繪，為求完整之建物樓層平面圖，必須使同一層樓各建號之個別向量化結果，利用空間資料處理方式將相鄰多邊形重新接合；而垂直位相則是樓層與樓層間的垂直投影對齊關係，將各樓層平面調整至同一坐標系統上，並運用控制點或基準線設定的方式，以套疊方法建立各樓層平面圖正確的垂直位相關係。圖 3 為建物樓層平面圖向量化作業之程序示意圖(張毅雄，2010)。循序由圖形資料建置、屬性設定及位相關係建立等步驟進行。

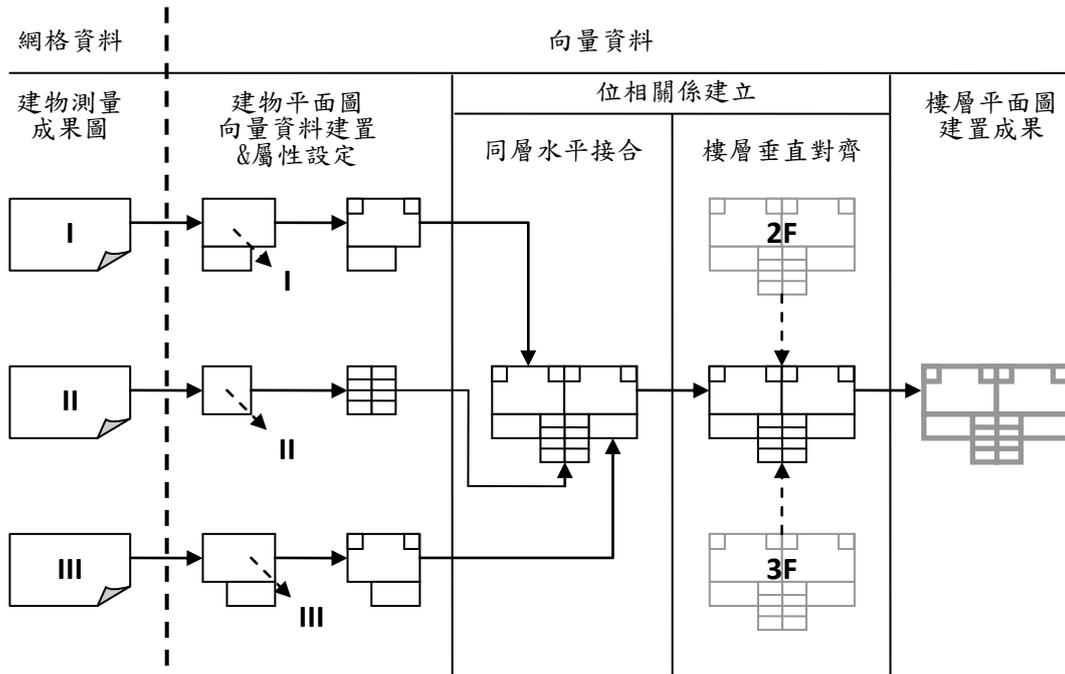


圖 3 建物樓層平面圖向量化作業程序示意圖

資料來源：張毅雄，2010

綜合上述說明，本研究設計之建物樓層平面圖製作作業設計，其流程細目如圖 4 所示。

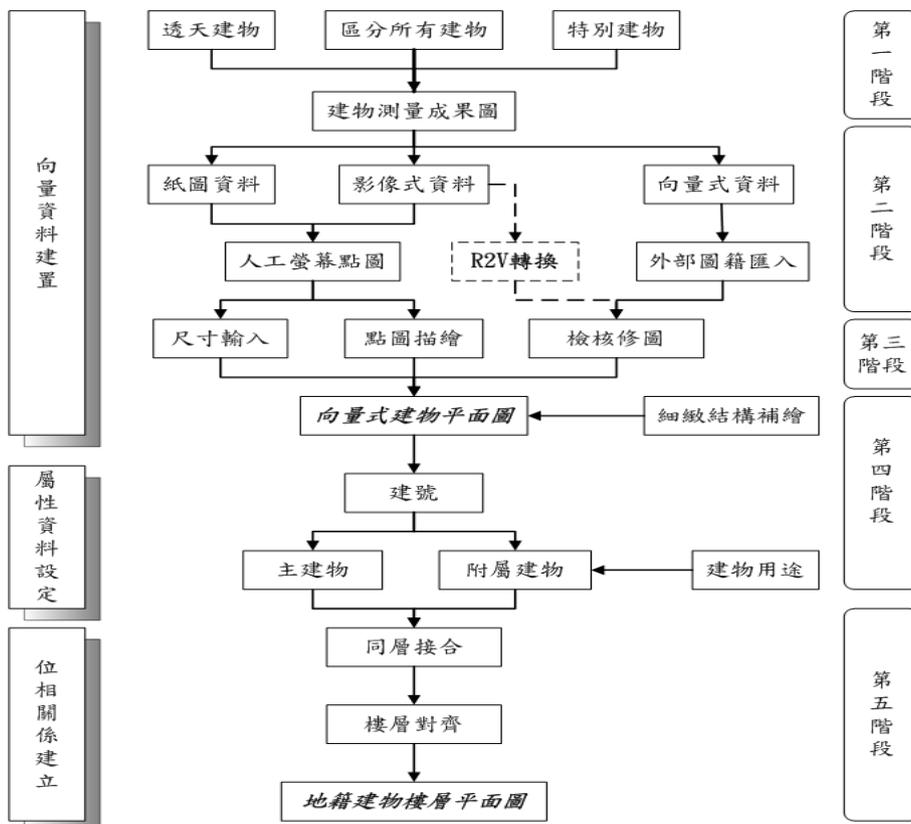


圖 4 建物樓層平面空間資料製作流程圖

資料來源：江澤欽，2009

建物測量數值化成果之樓層平面圖，實質上是具有樓層屬性之2D圖資。由於製作過程中均已建立了各建號之位相關係，因此可利用外牆、主附建物共用牆、權屬牆(圖5)等將各建號之平面圖予以接合成建物樓層平面圖，配合竣工平面圖及各樓層模型的垂直位置，連結使用執照資訊，可獲取地面線(GL)到各樓層之高度，正確呈現3D建物模型使不同樓層之樓層三維模型對齊，未來即可疊合成一棟模型主建物及附屬建物結構之三維地籍建物模型(如圖6)。

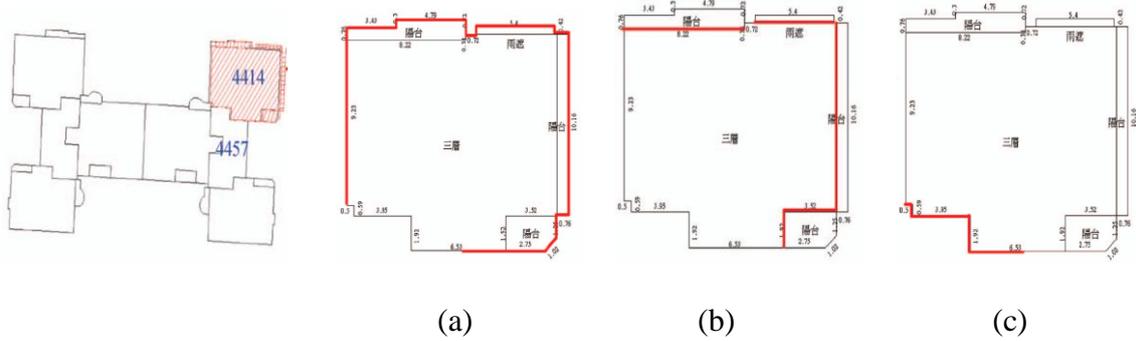


圖 5 建物多邊形邊界牆

資料來源:江渾欽，2009

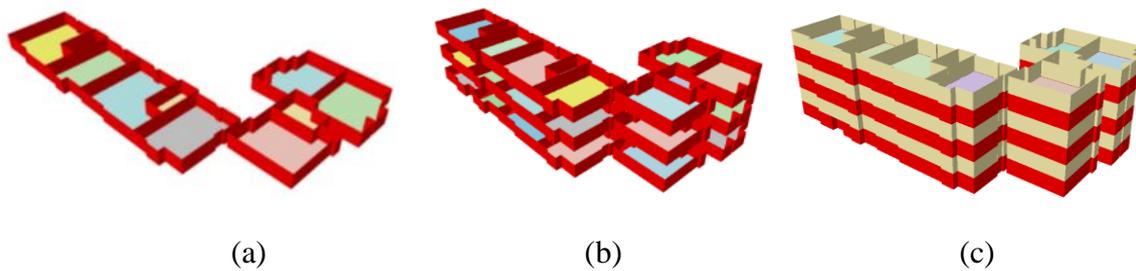


圖 6 立體樓層模型

資料來源:馮怡婕，2009

四、建物測量平面圖及其位置數值化系統與作業準則設計

本文研究期間受內政部委託依上述理念進行開發「建物測量平面圖及其位置數值化作業系統」，依目前地政事務所保留之掃描影像式建物測量成果圖資料，以及竣工平面圖之類型，研擬建物樓層平面圖之作業。建物測量平面圖及其位置數值化系統之八大功能架構，各項功能作用說明如下：

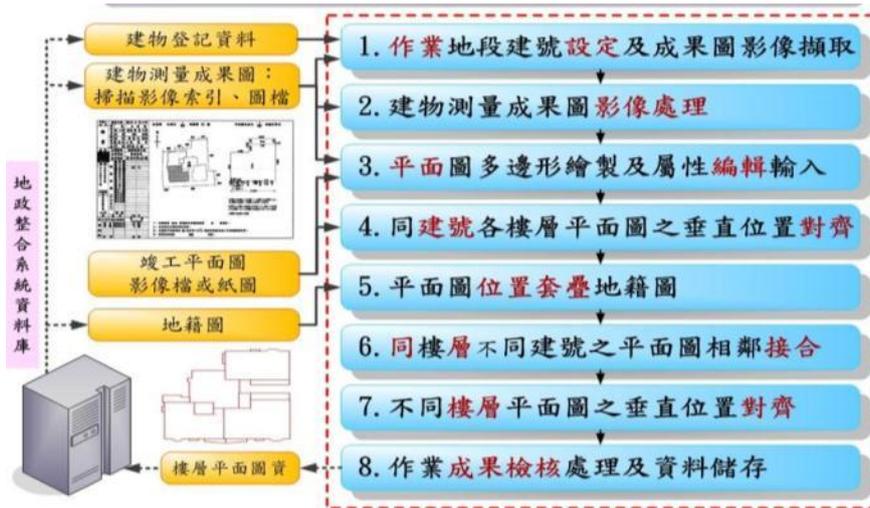


圖 7 建物測量平面圖及位置數值化系統作業程序

資料來源:江渾欽, 2009

(一) 挑檔設定

協助尋找指定地段內，尚未建立向量檔之建號，依指定建號，尋找具有相同基地坐落、相同使用執照號之全部建號。最後，擷取建物測量成果圖影像檔、建物基地坐落、建物分層或附屬建物等圖資，供後續程序使用。

(二) 影像處理

包含了之人工螢幕點圖作業、自動向量化作業...等多項影像處理與向量編輯功能。

(三) 平面編輯

指定建號及棟別及樓層，進行平面繪圖、編輯作業。提供多邊形之位相建立，以及建號、用途、主附屬建物等屬性輸入操作。

(四) 建號對齊

可調整平面圖之方向為水平或垂直，讓指定建號及棟別之各樓層，能有一致之坐標系統，即建號在各樓層之垂直投影位置須相同。

(五) 位置套疊

逐一套疊建號位置，取得坐標轉換參數。可分為兩個程序：先框選影像之位置圖，選取影像與地籍圖之對應界址點，將位置圖影像套疊至地籍圖。再選取平面圖與位置圖影像之對應折點，將平面圖套疊至影像位置圖。

(六) 同層接合

同棟各建號在位置圖套疊後，雖然都已取得絕對坐標。但是，平面圖繪製之尺

寸誤謬，或位置圖套疊產生之誤差，均可能導致建號之相鄰界線，無法正確密合。必須以建號為單位調整平面位置，使同樓層建號間正確鄰接。

(七) 樓層對齊

修正同棟各樓層垂直投影之對應關係，操作方式與建號對齊相似，但本應以樓層為單位進行作業。

(八) 成果檢核

建物登記資料與平面圖數值化成果，分析比對分層面積；建物基地坐落與位置數值化成果，套合比對地籍圖。列示疑義資料供檢核，以管控成果資料之品質。

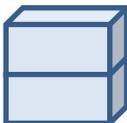
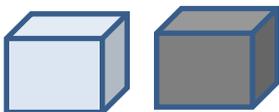
本研究為使建物測量成果圖資經由數值化作業，製作出向量式建物樓層平面圖資，資料儲存包括了地籍建號資訊、基地坐落、樓層多邊形、樓層資訊、樓層位置資訊等，所繪製出之樓層平面圖向量成果可以具備精確的尺寸面積、空間位置及屬性資訊，為後續立體圖資建置之重要基礎。因此，進行影像式建物測量成果圖數值化作業前，須先研擬作業原則與規範，以為後續作業之標準與檢核依循。

由於建物樓層平面圖製作過程涉及許多人為辨識與人工操作的部分，而不同的操作者在作業過程中，除了依照上述作業流程進行以外，其最後的成果檢視應符合作業標準，以確保成果資料品質的正確性與一致性。

(一) 向量資料建置

1. 平面圖繪製可採用「測量成果圖模式」或「竣工平面圖模式」作業(如表 1)。一棟建物為一個建號的情況下選擇「測量成果圖模式」；一棟建物多建號或者一建號分布於多棟建物的情況下則必須選擇「竣工平面圖模式」。

表 1 建物平面圖繪製模式

測量成果圖模式	竣工平面圖模式	
		
一棟建物一個建號	一棟建物存在多建號	一建號分布於多棟建物

2. 繪製建物測量成果圖之平面圖時，除參考原記載幾何圖形外，應依原建物測量成果圖上所標註之尺寸辦理。亦即成果圖上尺寸註記則為向量資料數化建置作業的主要依據來源之一(如圖 8)。

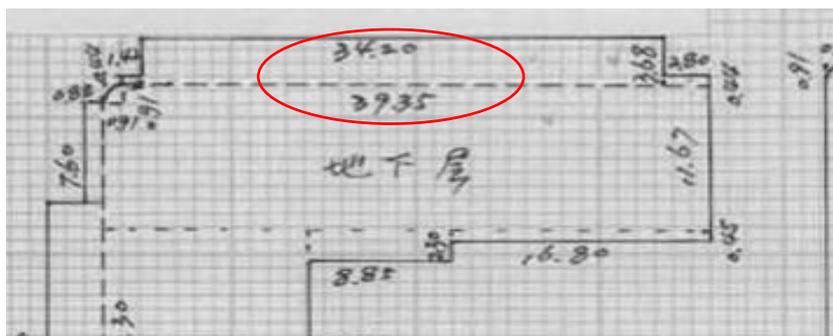


圖 8 建物測量成果圖內建物平面圖之尺寸標示

3. 採「測量成果圖模式」作業時，可利用影像處理、平面編輯、建號對齊、位置套疊、同層接合及樓層對齊等作業程序進行建物平面圖及位置數化作業；採「竣工平面圖模式」時，則跳過建號對齊、同層接合及樓層對齊的程序，於新增樓層時即可複製繪製完成之樓層，省去同一層樓層接合或不同樓層之間對齊的工作，如公寓大樓等集合住宅之型態。
4. 建物面積之計算，應依據建造執照設計圖或使用執照竣工平面圖，以平方公尺為單位，算至平方公尺以下二位，第三位以下四捨五入，其計算式並應詳細列明。至平面邊長，係以建照執照設計圖或使用執照竣工平面圖上註明之邊長為準，以公尺為單位，量至公分為止。
5. 以影像式建物測量成果圖作為參考底圖時，應先經過適當的影像處理及比例尺轉換，方可於平面圖影像上描繪多邊形之方式。常可用於天井、挑空等空間建築形態，即島形區(island)圖形(如圖 9)，無充分可參考之定位點時。

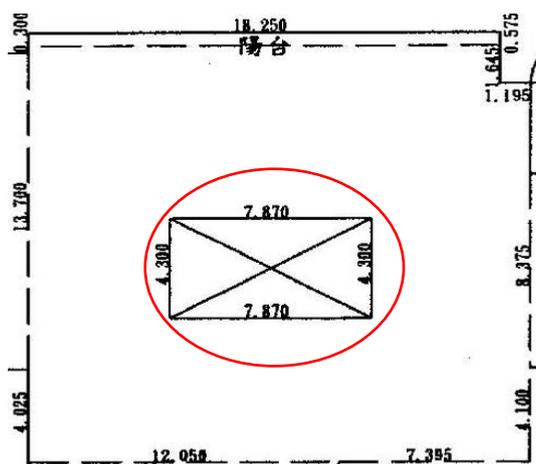


圖 9 建物平面圖之島形區資料

6. 常利用影像編輯處理進行編修之情形包括(1)建物測量成果圖之圖例未標示圖形到其他線段之距離(2)從建物測量成果圖之計算式無法取得可用資訊(3)參考竣工平面圖後還是無法確認實際距離。

7. 平面圖繪製編輯完成後須給定圖形權屬，主、附建物權屬依照建物測量成果圖上標示進行指定。系統最後的成果檢核功能會依照於平面編輯賦予的主、附屬建物權屬產製檢核報表，以供繪圖人員進行建物面積和權屬之檢核。
8. 建物測量成果圖面積計算，應依據竣工平面圖，若無竣工平面圖，則可參考原建物測量成果圖面積計算式(如圖 10)，藉由公式判斷協助比對圖上尺寸註記。常用的計算公式如下(如表 2)：

表 2 常用面積計算式

幾何圖形類型	面積公式	備註
矩形	長*寬	
平行四邊形	長*高	
梯形	(上底+下底)*高/2	
三角形	底*高/2	
圓形	半徑*半徑*圓周率	扇形=圓形面積*圓心角
弓形	弦*弦高*2/3	

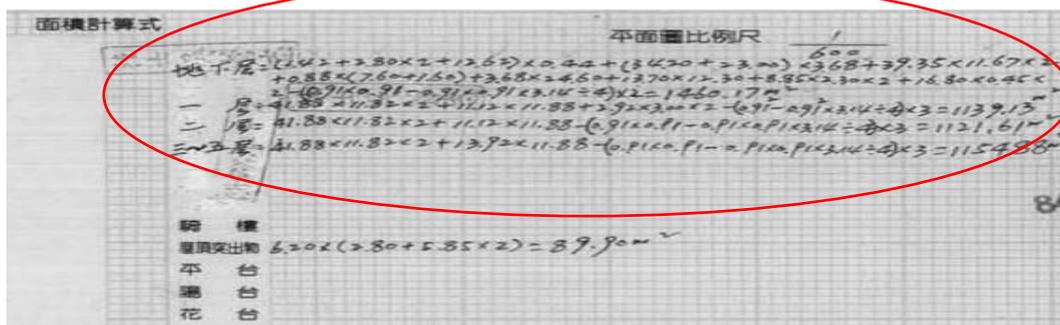


圖 10 建物測量成果圖面積計算示

9. 多邊形數化完成面積檢核(如表 3)，原登記面積與向量繪製之計算面積兩相互比對，其誤差值及誤差率應為 0，但若部分誤差值產生原因係受到進位誤差(如四捨五入、無條件進位、無條件捨去…)之影響，致產生「登記面積」與「計算面積」之間的誤差，其誤差值及誤差率容許值須在 1% 以下，即不得超過誤差值 ± 0.01 。有錯誤情況發生時，應先詳細比對向量式多邊形之各線段尺寸及面積是否正確，如果在數化成果中皆無任何錯誤，則可能是原始圖資本身存在錯誤，應列為疑義案例，並辦理更正。

表 3 建物登記面積與重新數化後面積比較

樓層	登記面積	數化面積			
第一層	200.00	200.00	0	0	OK
第二層	150.00	150.01	0.01	0	OK
第三層	150.00	151.00	1.00	0.02	錯誤

10. 面積檢核由作業系統自動計算而成，但因原登記(資料庫)內容可能因登記格式

不一，造成「登記面積」與「計算面積」之間無法透過電腦自動比對之情況，則必須改由透過人工方式自行檢核或加總成果，其精度要求同前項規定。如下例說明雖比對不一，但實際上皆為相同的內容(如表 4、表 5)。

表 4 原建物登記樓層名稱不一致

樓層	登記面積	計算面積	誤差值
地下層	500	0	500
地下一層	0	500	500
.....

表 5 原建物面積加總方式不一致

樓層	登記面積	計算面積	誤差值
屋頂突出物	100	0	100
屋頂突出物一層	0	50	50
屋頂突出物二層	0	50	50
.....

11. 採「測量成果圖模式」作業時，建物皆必須遵守一棟建物存取於一個檔案(ZSO 檔)。避免影響後續的位置套疊與樓層高度設定。

(二) 位相關係建立作業

1. 為避免個獨立建號之建物平面圖組合成以樓層為單元之樓層平面圖時，鄰接關係產生空隙(gap)與碎多邊形(sliver)等空間圖形交錯的情況(如圖 11)，導致後續成果應用出現空間上的錯誤。應仔細檢驗同樓層各多邊形是否存在重疊情形，若有誤謬應依照檢核結果將錯誤部分重新修正，確保空間資料的正確性。

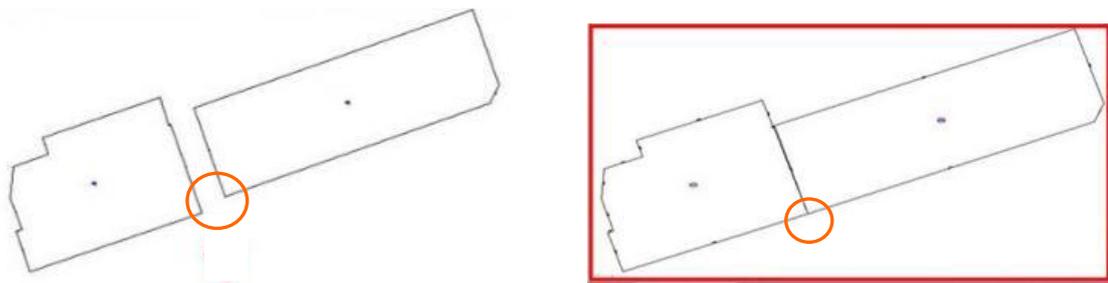


圖 11 同層平面接合

2. 採用竣工平面圖模式繪製時，可以省略同層接合步驟。
3. 編輯樓層處理完成後，應確認資料編輯處理完成，以儲存至案件資料，否則資料不會更新至實際位置。點選後，系統會出現訊息提示窗確認本樓層是否已處理完成，以加入至實際資料。
4. 建物樓層平面圖樓層對齊是為建立各樓層平面圖之共同全區空間坐標系，使各樓層平面具有正確的垂直位相關係。其參考對齊方式可利用(1)以控制點／邊進行對

齊(如圖 12)，(2)參考竣工平面圖之樓梯間、共同轉角處為控制點位，或柱子位置作為判定依據(如圖 13)，(3)參考航照影像(如圖 14)，(4)外業調查。

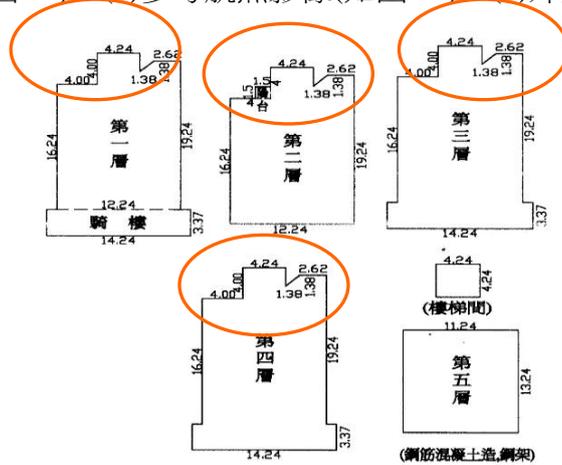


圖 12 參考控制點辦理作業

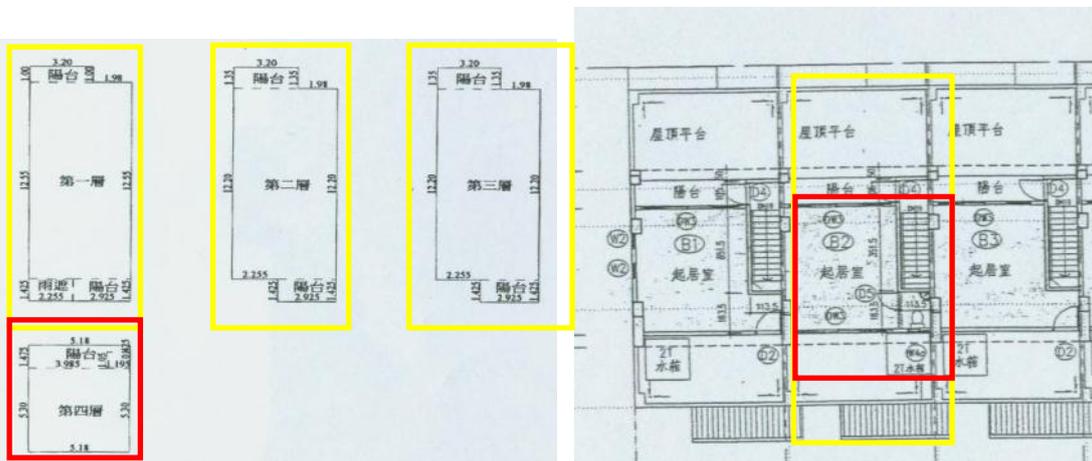


圖 13 參考竣工平面圖辦理作業

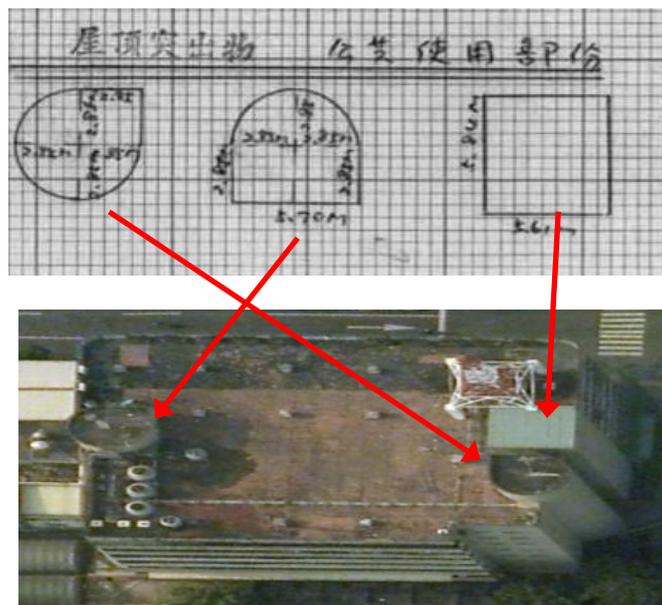


圖 14 參考航照圖辦理作業

(三) 地籍位置套疊作業

1. 位置圖套疊結果應使建物坐落於指定地號中，若從作業成果檢核中判定出建物越界情形，應視實際情況檢查及調整是否位置套疊作業有誤；如果為原圖本身問題，則依照簡化建物第一次測量第五條作業要點規定，建物位置涉及越界爭議者，應由申請人依測量法規辦理。
2. 檢核建物是否有越界情形時，可利用千分之一地形圖作為空間越界作為檢核依據，然而某些建物本身可能即存在跨地號之情況，則不屬於建物越界之範疇。
3. 進行建物數值化作業套疊位置圖時，若建物測量成果圖影像檔缺少位置圖資訊、或位置圖上之建物外圍難以辨識時，應立即調閱原建物測量成果紙圖進行查對，確認是否為掃描成果圖時產生疏漏情況。
4. 若數值化後之位置圖與原始成果圖影像上之位置圖不符時，即指該建號多邊形數值化後的位置圖與原成果圖於地籍圖中所佔之大小比例不一致(如圖 15)。應先詳細比對繪製建號各線段尺寸與面積是否正確，如皆無任何錯誤，則可能就是原始紙圖繪製之位置圖有誤。

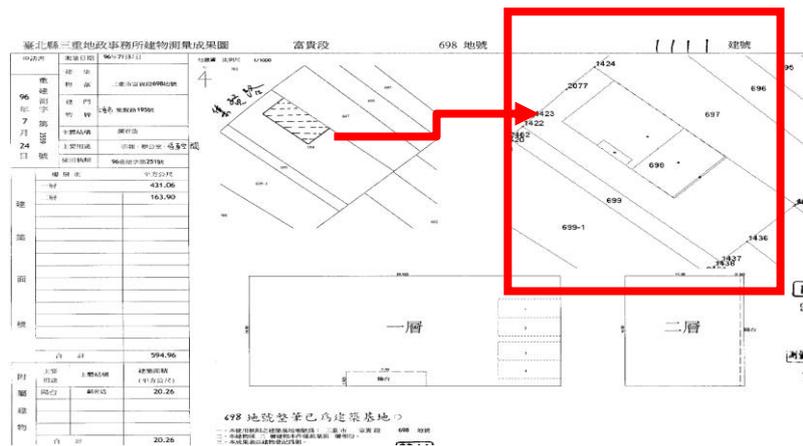


圖 15 地籍套疊位置作業

數值化作業之成果為樓層平面圖，而樓層平面圖是否能實現增值應用效益，最大關鍵在於圖資之精度品質。因此，數化作業須有效解決下列兩項問題。

1. 尺寸標註疏漏、數字模糊或不符：線尺寸不正確時，平面圖鄰接會出現空隙或重疊。
2. 建物之共用使用部份，無法判識位置：會導致樓層平面圖資料不完整。

五、疑義問題討論

本文於研究執行期間，實務作業依建物測量成果圖或參考竣工平面圖所繪出之結果與地政事務所原有繪製之建物測量成果圖不符，致產生疑義之現象。依作業經

驗本文將實際發生疑義之可能問題歸納為如下之七類：

(一)原建物測量成果圖建物面積計算錯誤。

建物測量成果圖上之面積計算式明確，但與建物平面圖上所標尺寸註記不同，致繪圖面積計算與原資料面積不同。如圖 16 原面積計算 $22.59 \times 10.78 + 1.24 \times 1.0 + 5.74 \times 0.12 + 12.07 \times 0.12 - 3.5 \times 3.55 - 3.46 \times 6.45$ 應該等於 212.1554，不等於 210.00。

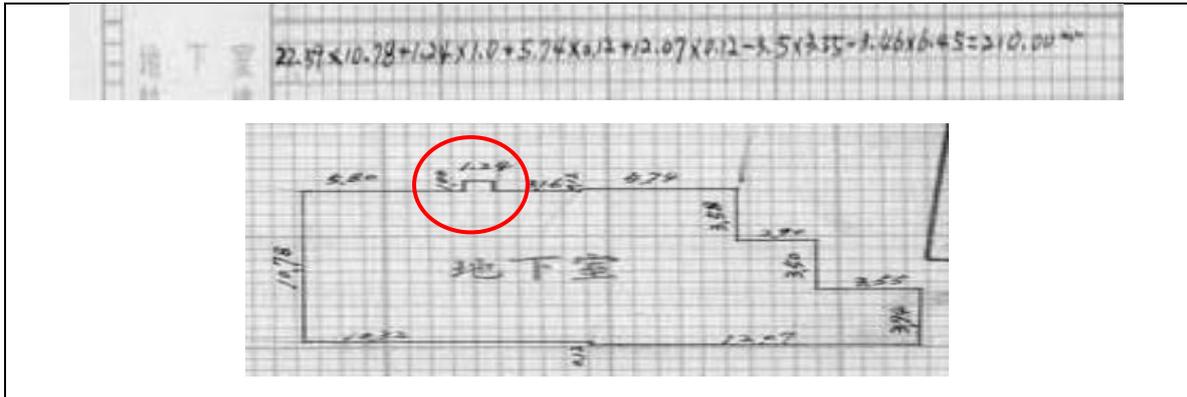


圖 16 建物測量成果圖建物面積計算錯誤例

(二)原建物測量成果圖之建物，位置標示不清或遺漏。

參照建物測量成果圖繪製建物樓層平面圖時，發覺有部分建物座落位置不明確、如圖 17 有夾層但未清楚標註、有屋頂突出物未標示位置，致樓層內部位相無法得知與套疊。

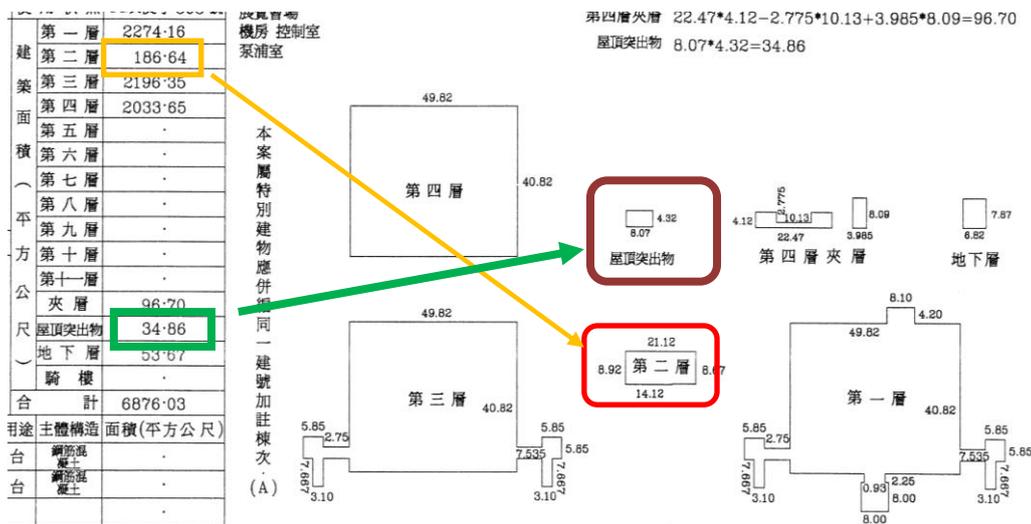


圖 17 建物測量成果圖之建物位置標示不清例

(三)原建物測量成果圖之建物圖被污染或缺漏。

建物測量成果圖掃描時解析度不足，或建物測量成果圖註記模糊或有缺漏者，致重繪時無法依循原圖作業。如圖 18 為計算式無法判讀尺寸，可能致重繪

後面積不符。

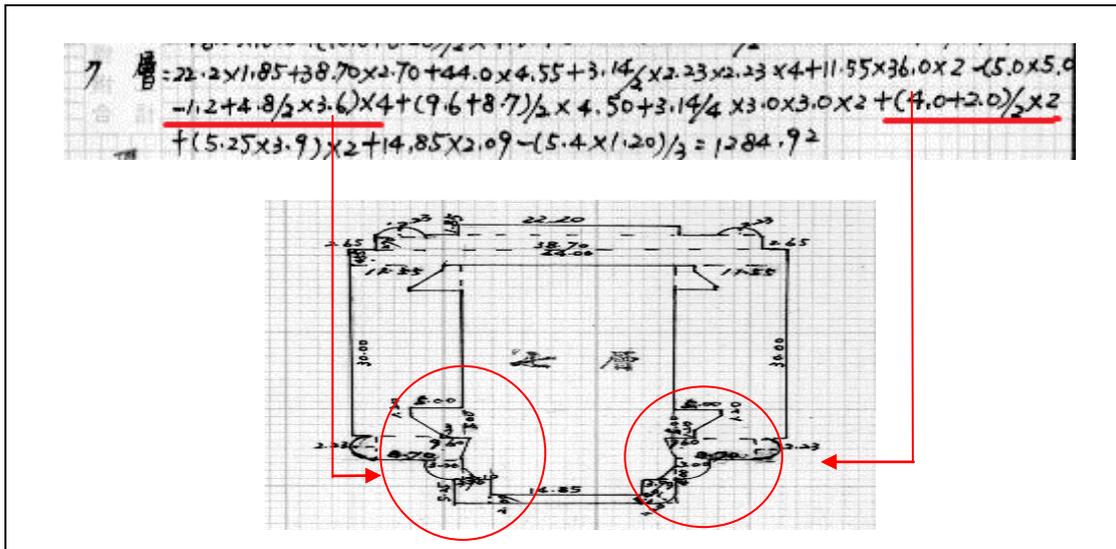


圖18 建物測量成果圖之建物註記模糊例

(四) 資料庫面積與建物測量成果圖不符。

建物測量成果圖上之計算面積與登記資料之建物面積不符。如圖 19 為屋頂突出物計算與圖例符合且正確，但登記面積卻誤植為 91.01。

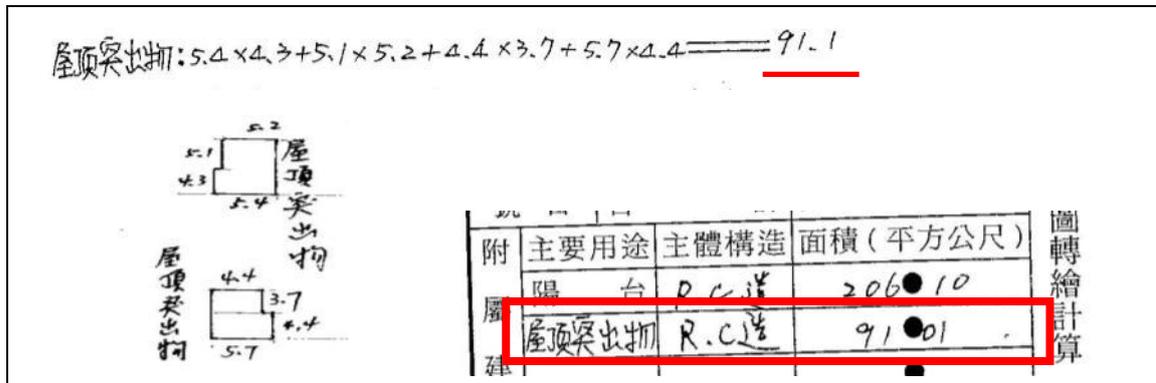


圖19 建物測量成果圖上之計算面積與登記資料之建物面積不符例

(五) 重複登記，同一筆地號有兩棟建物重疊。

建物改建後原有建號未刪除，致使同一地號位置有重複登記建物，造成同一筆地號有兩棟建物重疊。

(六) 圖簿不符(建物測量成果圖檔案名稱錯誤)。

測量成果圖檔案名稱錯誤，致使無法確認該土地上之建物為何所屬。

(七) 其他。

其他無法歸類項目者,如執行「位置套疊」時，依建物測量成果圖上之位置圖套疊，但程式判定建物越界 (如圖 20)。

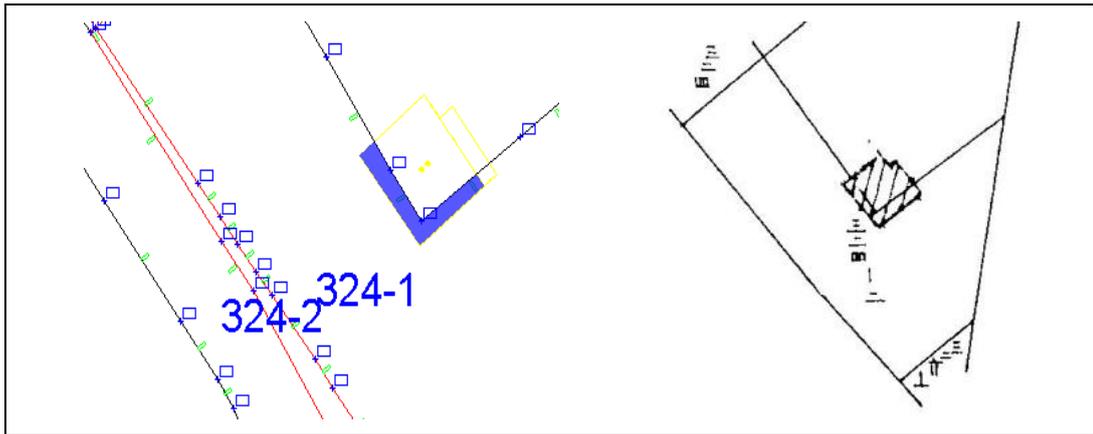


圖20 建物位置套疊誤謬例

出現疑義之圖資，可能是因重新數化作業時，作業人員的辨釋有誤，也有可能是原繪製建物測量成果圖有錯、或為原有建物量成果圖有標註不足的情形。未來實務執行時，遇有疑義問題時，均應報請原所轄地政事務所進行檢討處理。本文研究期間就現行地籍測量成果發生疑義或發現誤謬情形時，處理方式經與地政事務所共同檢討，整理出處理之作業流程建議如圖 21(江渾欽，2011a)。

- (一)處理 A：純因謄寫錯誤或因數化人員判釋的錯誤，或圖例標註尺寸和計算式誤植，面積計算總合無誤，僅須辦理成果圖訂正，修正圖例標註尺寸和計算式者，如疑義類型 2、3、6、7 者，可於校對後予以重新檢視修定建物測量成果圖資料。
- (二)處理 B：若計算式明確而因圖例不符，導致計算結果錯誤，但誤謬在容許公差範圍，須辦理建物成果圖訂正者，須先簽請核定後修正建物測量成果，另告知所有權人。
- (三)處理 C：若因誤謬導致須辦理建物測量成果圖變更與建物標示登記者，則須依規定辦理，即簽請核准後進行修正建物測量成果圖，告知所有權人辦理建物變更登記。

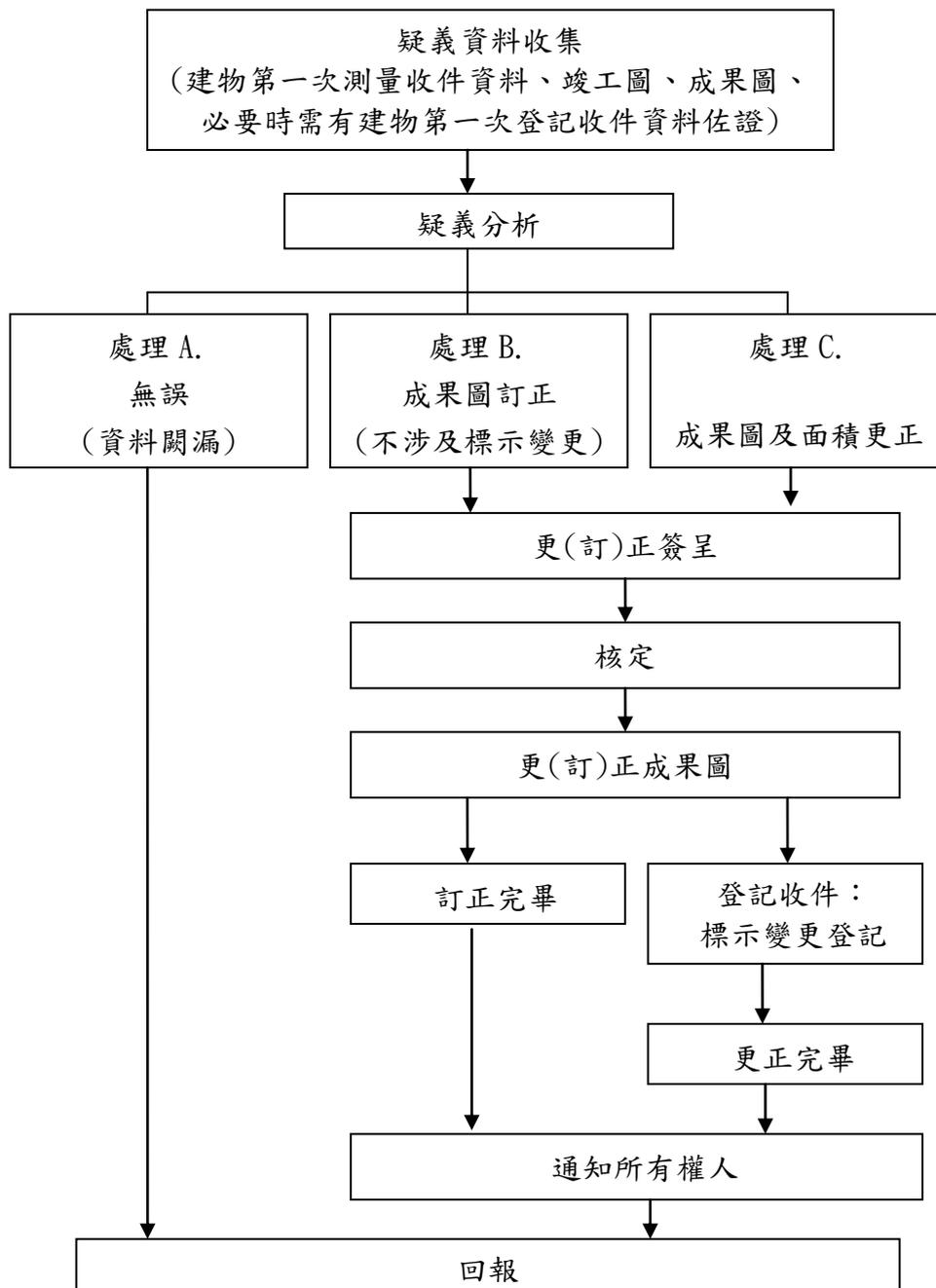


圖21 建物平面圖疑義處理流程

六、實作例與分析

本研究以高雄市鼓山區最上石大樓為例，進行私有建物之試作，本棟大樓為14層共計82個建號，總樓地板面積10,695平方公尺，位於高雄市鼓山區美術東二路132巷32號~48號門牌。執行作業成果如圖22~27圖(江渾欽，2011b)。



圖22 建物實景圖

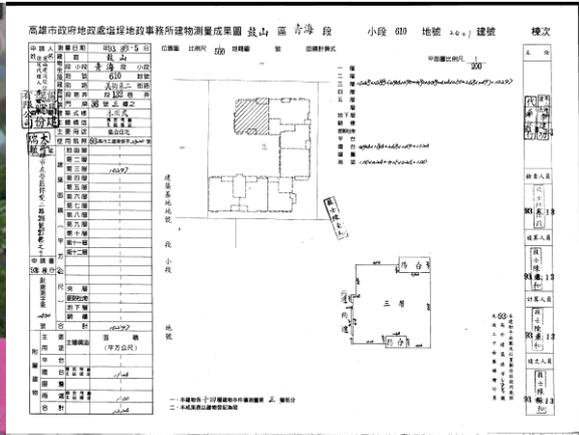


圖23 建物測量成果圖

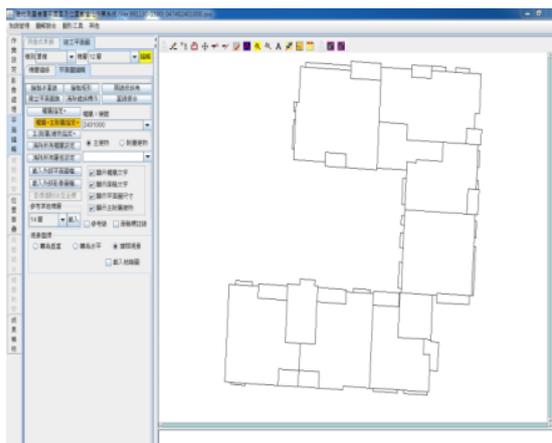


圖24 樓層平面圖接合

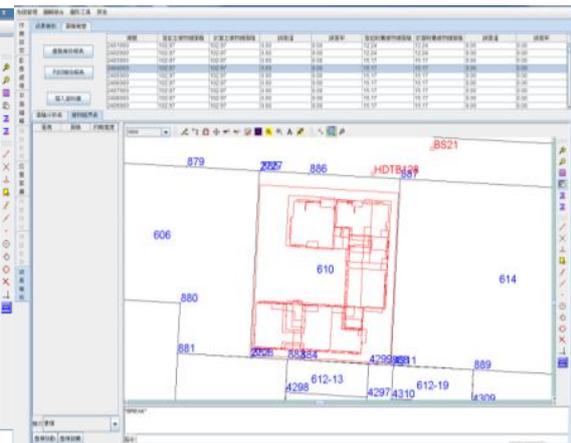


圖25 樓層垂直對齊

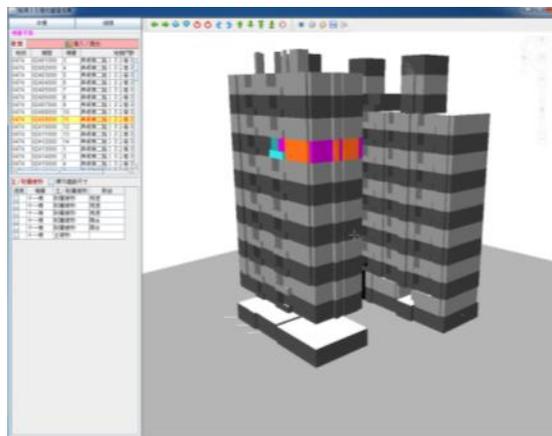


圖26樓層模塑與建號查詢

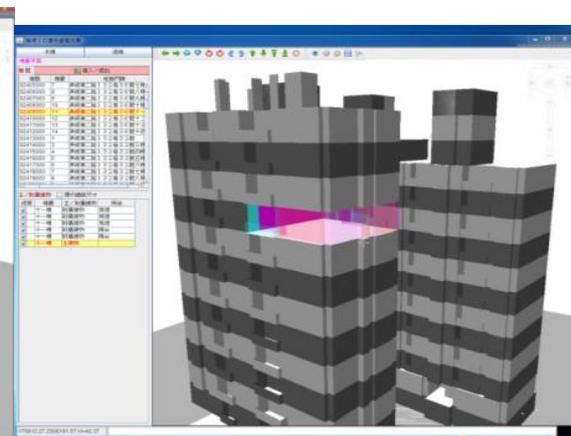


圖27樓層權利範圍透視

公有建物以台北大學公共事務學院大樓為例進行之試作，本棟大樓為9層共計 1 個建號，總樓地板面積10,695平方公尺，位於新北市三峽區大學路151號。執行作業成果如圖28~33圖(江渾欽，2011a)。



圖 28 公共事務學院實景圖

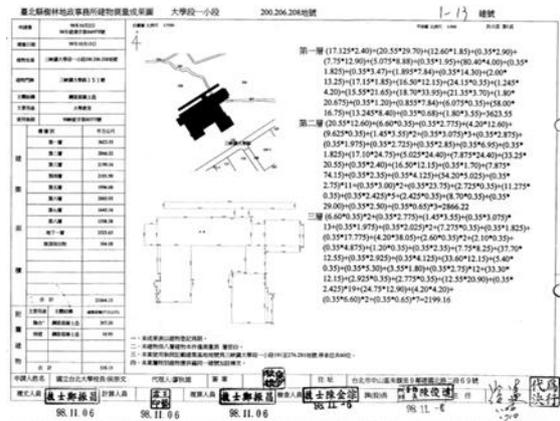


圖 29 建物測量成果圖

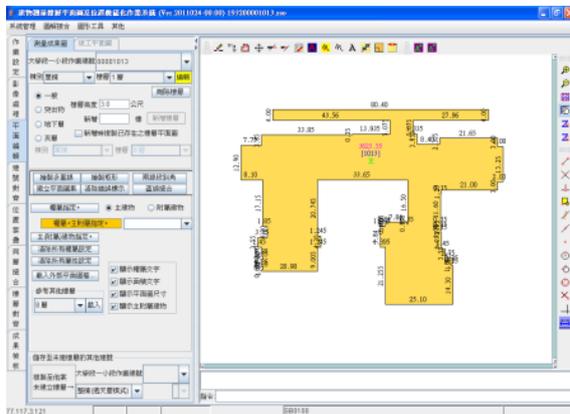


圖 30 建物樓層面圖

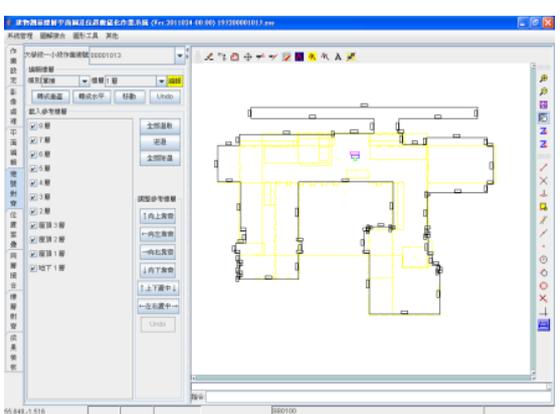


圖 31 樓層對齊

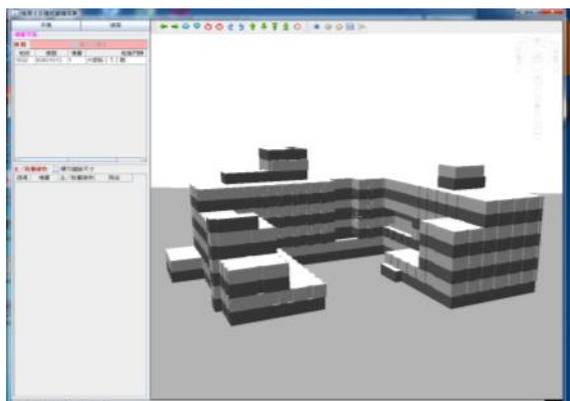


圖 32 三維地籍成果-1

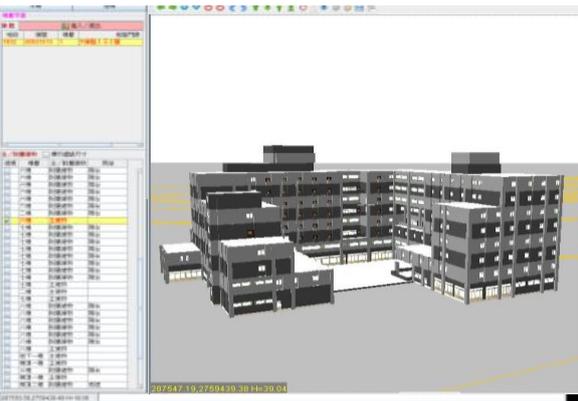


圖 33 後續可發展成果

就作業所需工時來討論，樓層平面圖的製作可分為公、私有建物，共同影響因素按影響程度來看依序為建築物結構、樓地板面積、樓層數，三者皆會影響繪製作業的難易度。表6為本研究就實務作業經驗歸納之公、私建物資料製作比較。表7公有建物樓層平面圖製作例，表8為公有建物作業工時分析表。表9為私有建物樓層平

面圖製作例，表10為私有建物作業工時分析表。

表6 公、私建物資料製作比較

	普遍情況	作業模式	影響因素(依影響程度排序)	繪製作業上之優勢	繪製作業上之劣勢
公有建物	一棟一建號 (位於私有建物中的公有單位除外)	測量成果圖模式	建築物結構、樓地板面積、樓層數	樓層數少	建物結構較複雜
私有建物	一棟多建號	竣工平面圖模式	建築物結構、樓地板面積、樓層數	建物結構較單純	戶數及樓層數多

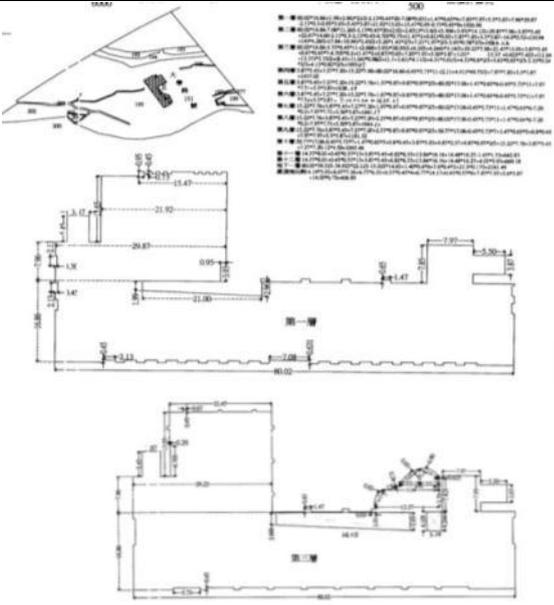
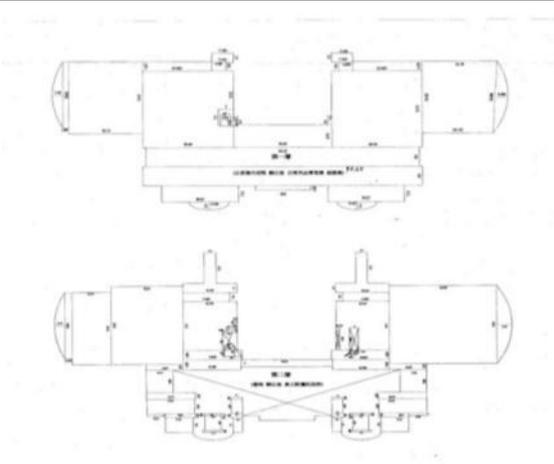
資料來源：本研究整理

表7 公有建物樓層平面圖製作例

建物類型	作業方式(困難點)	作業工時	繪製之建物圖像
里民活動中心 地上3層樓 平均樓地板面積 206.18 m ²	建物形狀為規則矩形，繪製容易。	2	
啟智學校 地上3層樓 平均樓地板面積為 776.97m ²	系統無法繪製角度，故先使用 <u>影像處理</u> ，以測量成果圖之影像檔為底圖描繪後再進行平面編修。 第一層的樓地板面積小於其他樓層，故樓層對齊需 <u>竣工平面圖</u> 輔助。	4	

資料來源：本研究整理

表 7 公有建物樓層平面圖製作例(續)

建物類型	作業方式 (困難點)	作業 工時	繪製之建物圖像
<p>臺北大學文學院 地上 12 層 地下 1 層 平均樓地板面積 1532.28 m²</p>		13	
<p>新北市政府 地上 33 層 地下 4 樓 平均樓地板面積 4293.7 m²</p>	<p>建物算式複雜且有許多 箕空的區塊，須透過 影像處理繪製。</p>	48	

資料來源：本研究整理

以上述案例歸納重新整理，以樓層數與單層樓地板面積區分製成下表。

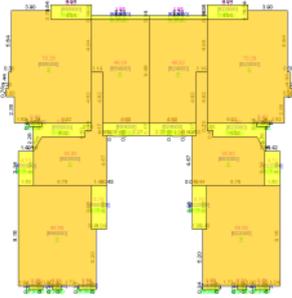
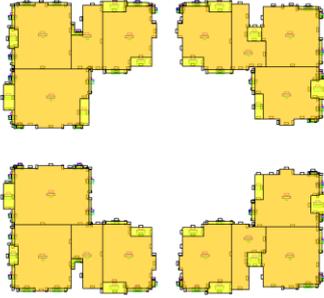
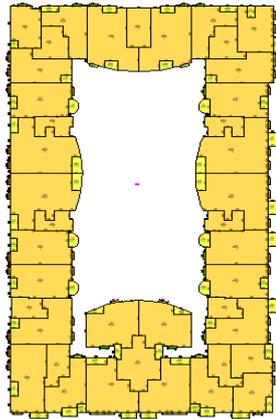
表8 公有建物作業工時分析

樓層數(Floor)	1-3	4-6	7-9	10-14	14↑	色框代表繪製所需之作業時間 此以對建置系統相當熟練且以連續繪製的時間計算。 綠色: 5hr 以下 藍色: 5-10 小時 紅色: 10 以上 橘色: 20/30 小時以上 此表以公有建物為標準，當建物形狀更複雜時，繪製所需時間將增加。
單層樓地板面積(m ²)						
1- 480						
480-800						
800-4000						
4000 ↑						

註：以測量成果圖模式設定繪製並套疊建物向量檔。

資料來源：本研究整理

表9 私有建物樓層平面圖製作例

樓層平面			
建號數	全棟計 66 建號(12 層)	全棟計 144 建號(13 層)	全棟計 367 建號(15 層)
平均樓底板面積	1825m ²	3762 m ²	8680 m ²
工時	約 5 小時	約 10 小時	約 24 小時

資料來源：本研究整理

樓層數在15層以下，單棟總數化單元在100以下的私有建物，同屬同一個作業時間級距(5小時以下)，原因在於私有建物(集合住宅為主)三樓以上的建物外觀普遍類似，甚至相同，因此可透過系統功能進行樓層複製，如此便可節省數化作業時間。同理，樓層數在15層以下，單棟總數化單元為100-200之間的私有建物亦是在同個作業時間級距內。由表4可知，隨著戶數(建號數)增加，要花較多時間進行同層之間不同建號的接合。

表10 私有建物作業工時分析

樓層數 (Floor) 單棟總數化單元	10↓	10-15	15↑	此以對應用系統相當熟練且以連續繪製的時間計算。 色框代表繪製所需之作業時間 綠色: 5 小時以下 藍色: 5-10 小時 紅色: 10 小時以上 橘色: 20/30 小時以上 此表以私有建物為標準，當建物形狀更複雜時，繪製所需時間將增加。 數化單元=300 平方公尺
	100↓			
100-200				
200↑				

資料來源：本研究整理

上表分析均以圖資準備完整，以統操作熟練且對建物測量瞭解之專業繪圖人員，以接近連續繪製所花費的時間，實務上所列作業時間參考時應酌予放寬。

七、結 論

由於城市土地有限，隨著人口增加，城市密度增加，城市土地朝地上及地下空間結合開發，在有限的城市空間中提高土地利用程度，城市土地的立體化開發涉及到土地使用權、收益權、處分權和立體空間權利的問題，且隨著權利意識的提高也開始重視陽光權、通風權、景觀權等空間權利，因此土地的三維空間所有權和使用權需要由三維地籍進行管理。三維地籍也是目前國際測量師協會(FIG)目前正擬定推動的計畫。

樓層平面圖即為建立三維地籍建物模型的基礎資料，以樓層平面圖作為建物樓地板，再以樓層高度拉伸，即可建立以產權為範圍之建物產權模型，有助於未來三維地籍之推動。樓層平面圖取得方式雖然可以由建管單位或竣工圖取得，但惟只有地政事務所保存登記之建物測量成果圖才具有產權範圍之認定，並可藉由建號與地號之連結，串聯地政整合系統資料，除可達產權管理之目的，作為空間權利、建物實價估算、另因建號具門牌號，可再連結民政資訊系統，進行三維戶政系統之管理，有助於社會安全管理與決策支援應用。

建物測量成果圖因僅具所有人所屬之權利範圍，因此，對於一個樓層具多建號之建物，尚須進行建物平面圖之接合，方可製作出建物樓層平面圖，同時對多層數之建物，須進行垂直對齊與地籍位置套疊處理。本研究經多年分析、試作與檢討，規劃出由建物測量成果圖資料製作建物樓層平面圖的流程，並據以設計開發出應用作業系統-建物平面圖及其位置數值化作業系統。該系統可對影像式建物平面圖進行重繪後接合，或接合向量式建物平面圖，兩者均具有對整棟建物登記面積與新建各樓層圖資總和面積之檢核，確定新建之樓層平面圖建物與登記資料符合規定。

本文研究期間，對私有建物(多為到建號多樓層)與公有建物(多為單一建號多樓

層)各進行了約5000個建號的試辦作業，由於建物測量成果圖完成的時間跨包括20年，品質不一致，部分可能具有誤謬，因此作業時對產生的疑義歸納出了7種類型，出現的疑義可能是原成果圖誤謬可能是新作業人員判定有誤，故有疑義均應交由地政事務所再行檢核與確認，涉及產權登記者需依相關規定辦理變更。較多之疑義於屋突位置(原多未具位置關係)，面積計算式與標註尺寸不合致檢核面積有誤等。採用內政部地政資訊系統之建物測量系統繪製之建物平面圖可直接儲存至資料庫成為向量式資料，因而直接選取所需建物平面圖進行連接。

本文承內政部地政司與高雄市政府地政局多年的協助與委託研究，已達具體可用之成果，目前所開發之建物測量平面圖及位置數值化作業系統已可提供下載使用，如何再多吸取實際運作經驗，藉以持續提昇軟體功能；如何利用竣工圖資料，建立細緻性之三維地籍建物模型；如何整合營建築管理單位欲推動之建築資訊系統(Building Information Modeling, BIM)，直接讀取建物測量所需之三維地籍建物模型圖資，減少地政事務所作業能量；如何利用稅捐單位之房屋稅平面圖籍，補足未登記建物之樓層平面，有效地擴大資料應用效益與範圍，如何加速進行三維地籍的推動與發展，藉以與國際發展中之多目標地籍(Multipurpose Cadastre)接軌等等，均是後續極需面對的課題與挑戰。

誌謝

本文承兩位匿名審查者提供修正寶貴意見，特此致謝。
也特別感謝本文研究期間參與計畫執行作業之同仁的辛勤與努力的付出。

參考文獻

- 江渾欽，2000，建物測量資訊系統之規劃設計與建立，《第十九屆測量學術及應用研討會論文集》，頁 867-877。
- 江渾欽，2009，《國土資訊系統計畫基礎境建置第二期作業「多目標地籍圖立體圖資建置及查詢系統(第二期)」期末報告書》，高雄市政府地政處委託。
- 江渾欽，2011a，《內政部「多目標地籍圖立體圖資建置案」期末報告書》，內政部地政司委託。
- 江渾欽，2011b，《高雄市政府「多目標地籍圖立體圖資建置與查詢系統案」功能增修及圖資建置期末報告書》，高雄市政府地政局委託。
- 馮怡婕，2009，《多尺度三維地籍建物資料流通架構建立之研究》，國立台北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文。
- 張毅雄，2010，《地籍建物資訊模型建立之研究》，國立台北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文。
- Guo, R., L. LI, B. HE, P. Luo, S. Ying, Z. Zhao and R. Jiang, 2011, 3D cadastre in China - a case study in Shenzhen City, 2nd International Workshop on 3D Cadastres: Netherlands.
- Rahman, A. A., T. C. Hua and P. VAN Oosterom, 2011, Embedding 3D into multipurpose

- cadastre, *FIG Working Week 2011* : Morocco.
- Rajabifard, A., M. Kalantari, and I. Williamson, 2012, Land and property information in 3D, *FIG Working Week 2012*: Italy.
- Stoter, J. E., 2004, *3D Cadastre*, Thesis (Ph.D.), Delft University of Technology: Netherlands.
- Stoter, J. E., P. Van Oosterom, H. D. Ploeger, and H. Aalders, 2004, Conceptual 3D cadastral model applied in several countries, *FIG Working Week 2004*: Greece.
- Van Oosterom, P., J. E. Stoter, H. Ploeger, R. Thompson, and S. Karki, 2011, World-wide inventory of the status of 3D cadastres in 2010 and expectations for 2014 , *FIG Working Week 2011*: Morocco.

新一代台灣大地水準面模式：防災、監測、高程現代化 之應用

黃金維^{1*} 許宏銳² 黃啟訓²

論文收件日期：101.09.22

論文修改日期：101.10.23

論文接受日期：101.11.05

摘 要

全球定位系統(GPS)已對傳統的測繪產生革命性的變化，GPS 已廣泛使用於防災及環境監測。許多 GPS 應用中，需利用大地水準面模式(Geoid)將橢球高轉為正高。絕大部分的工程應用使用正高系統，而非橢球高系統。本文收集現有的陸地，海洋及空載重力，並分別對陸測及空載資料進行粗差偵測及系統誤差修正。為了填補中央山區陸測重力資料不足的區域，本文提出一套漸進式整合法將空載重力資料與現有重力資料進行有效的整合並重建山區重力訊號。重力法大地起伏模採用以快速傅立葉變換(Fast Fourier Transform, FFT)為基礎的 Stokes 積分理論來計算，過程中搭配傳統去除-計算-回復法，長波長分量使用地球重力模型(Earth gravitational model 2008, EGM08)展開至 720 階，短波長分量則考慮殘餘地形模型(Residual Terrain Model, RTM)。新一代大地起伏模型使用七條“觀測”大地起伏來進行精度評估，這些驗證資料分布於七條主要道路的一等水準點上，由位於山區的 central 及 south 兩條檢核線的結果顯示漸進式整合法可以改善至 5 公分以內的精度，混合型大地起伏模型透過整合重力法及觀測大地起伏計算而得，本文所發展的新一代大地起伏模型已廣泛在產官學界應用於橢球高與正高間的轉換，內文中亦有列舉些應用案例，例如光達(Lidar)產製數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)、淹水範圍估計及高程現代化。

關鍵字：大地起伏、正高、全球定位系統、重力異常、高程現代化

¹ 教授，國立交通大學土木工程學系教授。

² 博士候選人，國立交通大學土木工程學系。

* 通訊作者，TEL: (03)5712121 #54937，E-mail: cheinway@mail.nctu.edu.tw。

A New Geoid Model of Taiwan : Applications to Hazard Mitigation, Environmental Monitoring and Height Modernization

Chein-Way Hwang^{1*}, Hung-Jui Hsu², Chi-Hsun Huang²

Abstract

The Global Positioning System (GPS) have revolutionized the conventional surveying and mapping practice, and has been used extensively in hazard mitigation and environmental monitoring. For many GPS applications, it is necessary to transform GPS-derived ellipsoidal height to orthometric heights (OHs) with a Geoid model. The OH system, instead of the ellipsoidal height system, is used in most engineering applications. In this paper, existing land, marine and airborne gravity anomalies are collected and processed to remove data outliers and systematic errors. In order to supplement mountainous regions where only few land gravity data exist, a progressive combination method was applied to merge airborne gravity with land gravity and then to reconstruct the gravity signals over mountainous area. The Stokes formula based on the FFT technique was used to compute the geoid model with the standard remove-computation-restore procedure. The latest global gravity model, EGM08, is used as the long wavelength part of the geoid. The residual terrain model (RTM) contributes to the short wavelength part of the geoid. The new geoid model is evaluated using “observed” geoidal heights at Taiwan’s first-order leveling benchmarks along 7 major routes. Results of validation along central and south routes show that the progressive combination method improves the accuracy of mountainous geoidal heights by 5cm. A hybrid geoid model is determined by merging GPS-derived and gravimetric geoidal heights. The geoid model is now widely used in Taiwan for ellipsoidal height-orthometric height conversion. Sample applications in Lidar DEM generation, flood estimation, and height modernization are discussed.

Keywords: Geoid, GPS, Gravity Anomaly, Height Modernization, Orthometric Height

¹ Professor, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

² Ph.D. Candidate, National Chiao Tung University.

* Corresponding Author, TEL: +886-3-5712121 #54937, E-mail: cheinway@mail.nctu.edu.tw.

一、前言

在海洋中，大地水準面(Geoid)為一近似於平均海水面之等位面，而在陸地上，Geoid 則視質量分佈而定。國際大地測量學會(International Association of Geodesy, IAG)成立了 Geoid 的服務組織，稱 International Geoid Service (IGeS, <http://www.iges.polimi.it>)，提供計算 Geoid 的資料及軟體，並經常舉辦國際講習班，IAG 的 Commission 2 (gravity field)，推動許多大型跨國 Geoid 計畫，已經完成歐盟、非洲、東南亞、南美等區域之高精度 Geoid。中國大陸則於 2008-2011 年更新現有(於 1999 年完成)之中國大陸 Geoid 模式。日本最新的 Geoid 模式於 2005 年完成(Kuroishi and Keller, 2005)，美國最新的 Geoid 模式為 GEOID12A model (理論見 Wang et al., 2012; Roman et al., 2009; 最新 Geoid 網格見 <http://www.ngs.noaa.gov/GEOID/>)。美國則正推動全國空載重力，預計若干年後完成一新的美國 Geoid 模式。

Geoid 模式受到重視的原因為(1)新的測繪技術需要 Geoid (2)測繪資料在防災及環境監測之重要性日增。新的測繪科技包括 GPS、Lidar、及 InSAR 等。測繪科技用於防災及監測之例子如 GPS 監測邊坡滑動及地層下陷(Hwang et al., 2008)、GPS 監測大樓震動及沉陷、Lidar 監測大規模邊坡變動及大範圍地層下陷、Lidar 監測海岸線變遷等。新測繪科技應用中，Geoid 扮演重要角色。例如，以 GPS 高控法航測製作 DEM 及 Lidar 方法製作 DEM 時，需要高精度的 Geoid 以推求正高。又如，GPS 水準測量中，需要 Geoid 將橢球高轉為正高。Geoid 在地球物理及板塊理論亦有重要的應用。

過去(2007 年前)的 Taiwan Geoid 模式(e.g., Hwang et al., 2007)，因資料的密度及精度的增加而逐年改善。Geoid 精度與重力密度及高程相關，在平地約為數公分，在山區(高程>2000m)約為 10-20 公分。然而由於缺乏全面的 Geoid 精度檢核資料，正確的 Geoid 精度與空間的關係無法知悉。最近(自 2002 年起算)，由於國際上的若干重要的衛星重力任務 CHAMP(http://op.gfz-potsdam.de/champ/index_CHAMP.html)及 GRACE(<http://www.csr.utexas.edu/grace/>)任務發射，及 2008 年發射的 GOCE(http://www.esa.int/esaLP/ESABQK1VMOC_LPgoce_0.html)任務，大幅提昇 Geoid 的長波長基準。而台灣附近(含離島)的空載、船載、陸測重力，在其空間密度及精度已大幅改善。本文已收集全台灣目前最新的重力資料並對所有資料進行編輯，然後整合所有不同類型重力資料，最後建立台灣目前最新的大地起伏模式，此模式已廣泛被 Lidar、GPS 水準測量、高程現代化發展及其他測繪單位所使用。

二、重力資料

(一)陸測重力資料

現有的陸測重力點為臺灣近二十年來(1980~2006)，由中央研究院 (Yen et al., 1990; Yen et al., 1995)、中國測量工程學會 (黃金維等, 1998) 和內政部國土測

繪中心 (黃金維, 2001; 陳春盛, 2003) 等單位所蒐集, 本文依資料蒐集的時間將陸測重力資料區分為兩組, 其中一組為 1980~2003 年期間所蒐集的資料, 由於此組資料包含不同時期所蒐集的資料, 存在系統性的偏差與坐標系統不一致的問題, 因此透過嚴密的資料處理及編輯不僅將明顯的粗差去除, 所有重力異常資料皆轉換至同一坐標系統且相對於 Geodetic Reference System 1980 (GRS80) (Moritz, 1980b), 共 3641 點重力觀測值, 分布如圖 1 (a) 所示。另外一組為內政部委託中興測量公司於 2004~2006 年間辦理的臺灣一、二等重力測量, 重力異常資料相對於 GRS80 系統, 分布如(圖 1 (b))所示, 使用的儀器為 Graviton EG、CG-5 相對重力儀。由於此組不僅資料數據龐大, 是一重力觀測量超過一萬筆以上的重力網, 且受到部分施測區域為山區及丘陵的限制, 資料品質不易維護, 因而本文採用 Hwang et al. (2002)提出的加權約制重力網平差來重新偵測並剔除可能存在的粗差並進行重力精度評估, 細節將於 2.1.1.1~2.1.1.4 小節討論之。

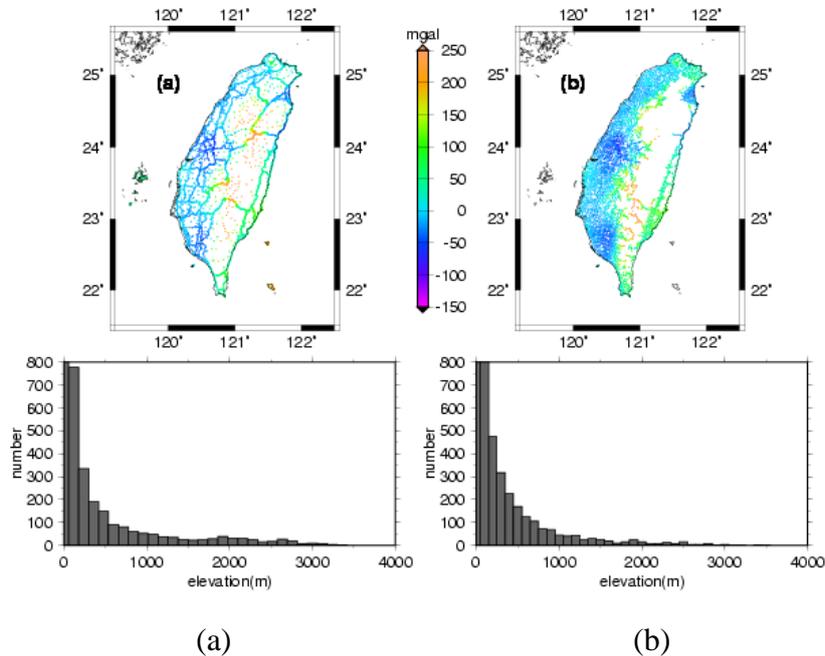


圖 1 (a)陸測重力點位分佈圖(1980~2003); (b)陸測重力點位分佈圖(2004~2006)

1. 重力網平差

內政部委託中興測量公司於 2004~2006 年間辦理台灣一、二等重力測量, 其中一等重力點採均勻分布成網格狀且須附合於已知點, 不像以往內政部所辦理之一等水準點上實施重力測量工作, 完全分布在道路線狀, 一等點間平均距離約 3km~5km, 為配合一等重力網必須附合於已知重力網之前題下, 依已知重力點的分布情形將台灣地區大致分成數個區域。而規劃原則依公路路線採由外向內包圍的方式進行, 即由平原區(如省道一號公路以西地區)至丘陵區(如省道一號公路至省道三號公路地區)再至山區(如省道三號公路以東地區)的方式, 陸續完成分區內各測點之一等重力觀測作業, 總計共規劃 241 條測線。

二等重力點之觀測方式與一等重力網相同, 二等重力網必須附合於一等重力網

點位上，均採均勻分布成網格狀為觀測原則。二等重力點之點位分佈比一等重力點密集，亦即會有更多的節點，平均約 1.5km~2km 即有一重力點。亦規劃依公路路線採由外向內包圍的方式進行，亦即由平原區至丘陵區再至山區的方式，陸續完成分區內各測點之二等重力觀測作業，總計共規劃 1302 條測線。使用的儀器為 L&R Graviton EG、Scintrex CG-5 相對重力儀及 FG5 絕對重力儀。

(1) 相對重力觀測方程式組成

在進行平差計算時，將原始相對重力觀測值為儀器讀數(z)，經過初步的化算、率定函數、儀器漂移改正及其他環境因素的改正(Torge, 1989) 後，組成之觀測方程式如下：

$$l(t) + v = g + N_0 + \Delta F(z) + D(t) \quad (1)$$

其中 t 為觀測時間； $l(t)$ 為約化後之重力觀測值； v 為 $l(t)$ 的殘差； g 為重力值； N_0 為儀器基準(constant bias)； $\Delta F(z)$ 為率定函數； z 為重力儀讀數；單位為計數器單位(CU)； $D(t)$ 為重力儀漂移函數。(1)式中的 $\Delta F(z)$ 及 $D(t)$ 為重力儀器的系統誤差，可以數學模式來模擬，本文中的 $\Delta F(z)$ 使用的數學模型為(Torge, 1989):

$$\Delta F(z) = \sum_{k=1}^m \tilde{Y}_k z^k + \sum_{l=1}^n (\tilde{x}_l \cos \omega_l z + \tilde{y}_l \sin \omega_l z) \quad (2)$$

其中 $\tilde{Y}_k, \tilde{x}_l, \tilde{y}_l$ 即為使用者所要改正的係數， ω_l 為讀數的頻率， m, n 趨近於無限大。此外，重力儀的漂移函數可透過多項式擬合:

$$D(t) = \sum_{p=1}^s d_p (t - t_0)^p \quad (3)$$

其中 t_0 為初始時間； s 為多項式的階數，視重力儀特性而定，一般很少超過 2。按(1)式則兩站 i, j 約化後的重力觀測值($\Delta l_{i,j}$)為:

$$\Delta l_{i,j} + v_{i,j} = g_j - g_i + (\Delta F(z_j) - \Delta F(z_i)) + (D(t_j) - D(t_i)) \quad (4)$$

其中 $v_{i,j}$ 為 $\Delta l_{i,j} = l_j - l_i$ 的殘差； t_i, t_j 為其觀測時間。(2)式中，儀器基準 N_0 因相減而消除。若有 n 個觀測量，則觀測方程式矩陣可表示為:

$$L^b + V = AX \quad (5)$$

其中 L^b 為觀測量向量，矩陣大小為 $n+1$ ； V 為殘差向量，矩陣大小為 $n \times 1$ ； A 為設計矩陣； X 為未知數向量，矩陣大小為 $u \times 1$ ，未知數可能包含重力值 g_i 、重力儀率定參數 $\tilde{Y}_k, \tilde{x}_l, \tilde{y}_l$ 及漂移率參數 d_p 。

(2) 加權約制平差

重力網平差過程中，通常會選定一個或一個以上的固定點做為平差時的控制點，以確保所有的未知點位皆位於同一基準上。加權約制平差之計算模式，是平差前能

給控制點一個先驗變方，也就是給控制點一個適當的權值，用來控制平差過程中控制點的誤差量。加權約制平差的數學模式為：

$$\begin{aligned} L_1^a &= F_1(X^a) \\ L_x &= X^a \end{aligned} \quad (6)$$

設 L_1^b 為 L_1^a 之觀測量， L_2^b 為控制點之值(即 L_x)，利用(6)式，以 L_1^b 和 L_2^b 組成之觀測方程式為：

$$V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} \hat{X}^a - \begin{bmatrix} L_1^b \\ L_2^b \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中 $\hat{X}^a = \begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix}$ ， \hat{X}_1 代表其他未知參數的向量， \hat{X}_2 為約制用控制點未知參數之向量， $A_1 = \frac{\partial F_1}{\partial X^a}$ ， $A_2 = \frac{\partial L_x}{\partial X^a}$ 。重力觀測之權矩陣為 $P = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_x \end{bmatrix}$ ，其中 P_1 為觀測量之權值， P_x 為約制用控制點值之權值。利用最小二乘法求解出未知參數之估值 \hat{X}^a 為：

$$\hat{X}^a = (A_1^T P_1 A_1 + A_2^T P_x A_2)^{-1} (A_1^T P_1 L_1^b + A_2^T P_x L_2^b) \quad (8)$$

後驗單位權中誤差為：

$$\hat{\sigma}_0 = \pm \sqrt{\frac{\bar{V}^T P \bar{V}}{n-u+r}} \quad (9)$$

其中 n 為觀測次數， u 為未知參數的個數， r 為控制點的數目。經誤差傳播得未知參數 \hat{X}^a 之變方-協變方矩陣(variance-covariance matrix)為：

$$\sum_{\hat{X}^a} = \sigma_0^2 (A_1^T P_1 A_1 + A_2^T P_x A_2)^{-1} \quad (10)$$

其中 σ_0 為先驗單位權中誤差。 \hat{X}^a 之後驗變方-協變方矩陣為：

$$\hat{\Sigma}_{x_a} = \hat{\sigma}_0^2 (A_1^T P_1 A_1 + A_2^T P_x A_2)^{-1} \quad (11)$$

(3) 平差模式之整體測試 (Global Model Test)及重力觀測值的粗差偵測

當重力觀測粗差存在於資料中時，是無法以平差的方式來改正，此時所得之平差結果必會不正確。再者，若所使用的數學模式及隨機模式不正確亦會得到錯誤的平差結果。根據下列之條件式，若成立則表示所用之模式是正確且完整的。

$$\chi^2 = \frac{m \hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} < \chi_c^2(1-\alpha, m) \quad (12)$$

其中 $\sigma_0^2, \hat{\sigma}_0^2$ 分別為先驗、後驗單位權變方， m 為平差之自由度、 $\chi_c^2(1-\alpha, m)$ 為當信心水平為 $(1-\alpha)$ ，自由度為 m 時之 χ^2 分佈之臨界值。反之，若(12)式不成立即表示：

- a. 有粗差存在於重力資料中：檢核所有觀測資料並藉由粗差偵錯之測試進行資料之偵錯及剔除。
- b. 數學模式不適當：須針對所使用之模式加以分析並重新修正。
- c. 所用之權值不正確：檢核是否有差一個尺度之關係。
- d. 先驗權值 σ_0^2 估計不當。

臨界值 $\chi_c^2(1-\alpha, m)$ 可以近似公式計算(Koch, 1987):

$$\chi_c^2(1-\alpha; m) = m \left[\chi_{1-\alpha} \left(\frac{2}{9m} \right)^{1/2} + 1 - \frac{2}{9m} \right]^3 \quad (13)$$

$$x_{1-\alpha} = t - \frac{2.515517 + 0.802853t + 0.010328t^2}{1 + 1.432788t + 0.189269t^2 + 0.001308t^3}, \quad t = [2 \ln(1/\alpha)]^{1/2} \quad (14)$$

粗差偵側有很多個方法，如 Baarda's Data Snooping 方法、Pope's τ -Test 方法等，本文偵錯方式乃採用 Pope's τ -Test 方法，使用此法時需計算殘差之協變方矩陣，加權約制法解算的法方程式如下。首先令 $\bar{N} = A_1^T P_1 A_1 + A_2^T P_X A_2$ ， $z = [V_1 \ V_2]^T$ ，則(7)式可表示為：

$$z = [\bar{N}^{-1}(A_1^T P_1 \ A_2^T P_X) - I] \begin{bmatrix} L_1^b \\ L_2^b \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} L_1^b \\ L_2^b \end{bmatrix} \quad (15)$$

經誤差傳播即可得殘差之協變方矩陣

$$\sum_z = \hat{\sigma}_0^2 G \begin{bmatrix} P_1^{-1} & 0 \\ 0 & P_X^{-1} \end{bmatrix} G^T = \hat{\sigma}_0^2 \begin{bmatrix} P_1^{-1} - A_1 \bar{N}^{-1} A_1^T & -A_1 \bar{N}^{-1} A_2^T \\ -A_2 \bar{N}^{-1} A_1^T & P_X^{-1} - A_2 \bar{N}^{-1} A_2^T \end{bmatrix} \quad (16)$$

令 v_i 為第 i 個觀測量之殘差，由 \sum_z 之對角元素開方即可求得 v_i 之標準偏差 σ_{v_i} 。若

$$\frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} > \tau_c \left(1 - \frac{\alpha}{n}; 1, m \right) \quad (17)$$

則第 i 個觀測量即為粗差。(17)式中 n 為觀測量之數目， τ_c 為當信心水平為 $(1-\alpha/n)$ ，平差之自由度為 1 及 m 時之臨界值。平差時若以加權約制解算，則(17)是可測試其約制之值是否合理。若(17)式成立則該觀測量應於資料中剔除再做計算。當殘差之協變方矩陣不易計算且重力觀測量之間彼此為不相關時，可採用下列近似公式：

$$\sigma_{v_i} \approx \sqrt{\frac{n-u}{n}} \times \frac{\hat{\sigma}_0}{\sqrt{P_i}} \quad (18)$$

P_i 為第 i 個觀測量之權值。

(4) 成果分析

一、二等相對重力測量的原始觀測數據共有 12435 筆資料，其中約制 11 個已知重力點，反覆進行重力網平差及粗差偵測，移除其中 67 筆測試粗差，最後通過整體測試(Global Model Test) (Hwang et al., 2002)的平差後未知重力點共有 4356 筆，儀器精度估值為 0.0489 mGal，觀測量殘差分布符合常態分布(如圖 2(a)所示)，其最大值、最小值分別為 0.197 mGal 與-0.186 mGal，標準偏差為 0.036mGal。圖 2(b)顯示平差後各未知重力點之中誤差分布圖，其最大值、最小值分別為 0.099 mGal 與 0.003 mGal，均方根為 0.039mGal。

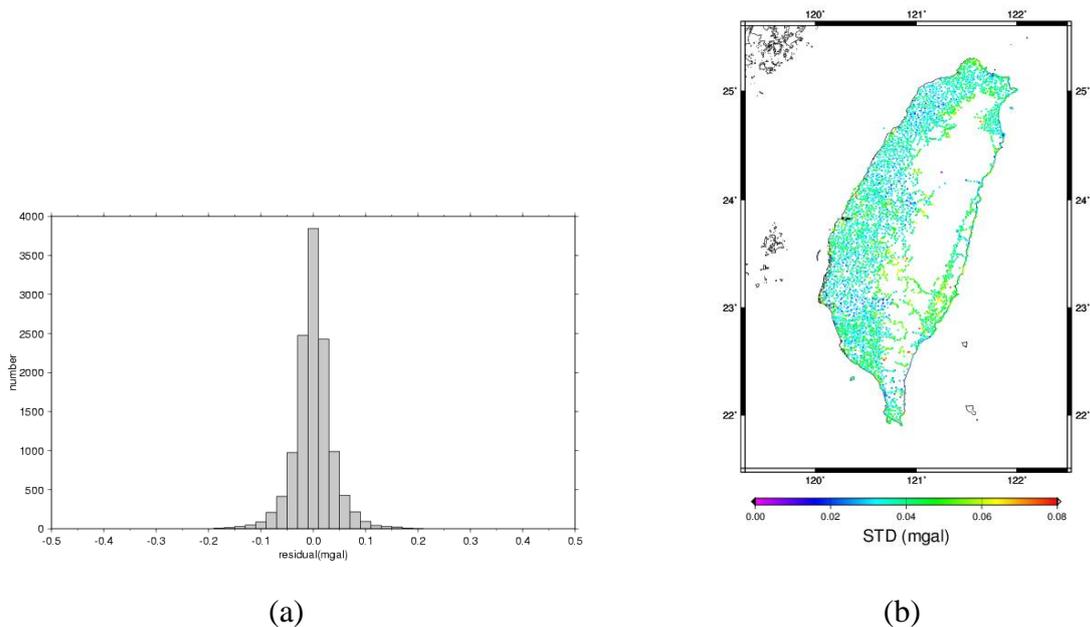


圖 2 (a)相對重力觀測量殘差之統計直方圖 (b) 未知重力點之中誤差分布圖

(二) 船測重力資料

1. 近岸船載重力測量

臺灣本島目前是使用以基隆為起算原點的高程系統(TWVD2001)，然而各離島之高程基準則因海域的阻隔均為各自獨立之區域性高程系統，為了改善各離島周圍的大地起伏模型精度進而解決臺灣本島與離島間的高程系統不一致的問題，內政部國土測繪中心於 92 年開始於本島沿岸及離島周圍如基隆、澎湖、小琉球、綠島及蘭嶼進行船載重力測量，如圖 3(a)所示，儀器為 L&R Air-Sea II (LCR, 2003)、ZLS Dynamic Gravity Meter，取樣頻率為 1Hz，為了蒐集近岸的重力資料，使用噸數較小的漁船，卻因小型載具易於受到海浪的影響使得重力資料產生噪聲誤差，因而使用罩窗寬度約 120-150 秒之高斯濾波器來消除高頻訊號誤差，使得沿軌跡之空間解析度下降至約 500 公尺。此外，為了提升重力資料的精度，對每一航次進行編輯，將各條航線轉彎處資料拿掉，並使用 linear drift model (Hwang and Parsons, 1995)來吸收交叉點誤差並組成觀測方程式，再利用最小二乘法求解進而改善每一條航線的

船測重力精度。

2. 臺灣環海船載重力測量

本組重力資料為臺灣環海船載重力資料(如圖 3(b))，主要是取自美國國家地球物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC) 所下載之船測重力資料，由於資料皆為 1990 年前所蒐集，GPS 定位技術甚差，因而本文以衛星測高資料計算得之海洋重力修正此船測重力資料(Hwang and Parsons, 1996)，修正時假設船測重力系統誤差為時間的線性函數，並以最小二乘法解算每一航次的參數來修正該航次蒐集的重力。而較為靠近岸邊的船測重力資料主要取自中央大學於 1996 年使用 R/VI' Atalante KSS30 船載重力儀所蒐集之重力資料(Hsu et al., 1998)，經篩選後共約 4014 點。經交叉點平差後，R/VI' Atalante KSS30 資料的交叉點差值的標準偏差為 2.6 mGal，全部船測資料則為 11.2 mGal。

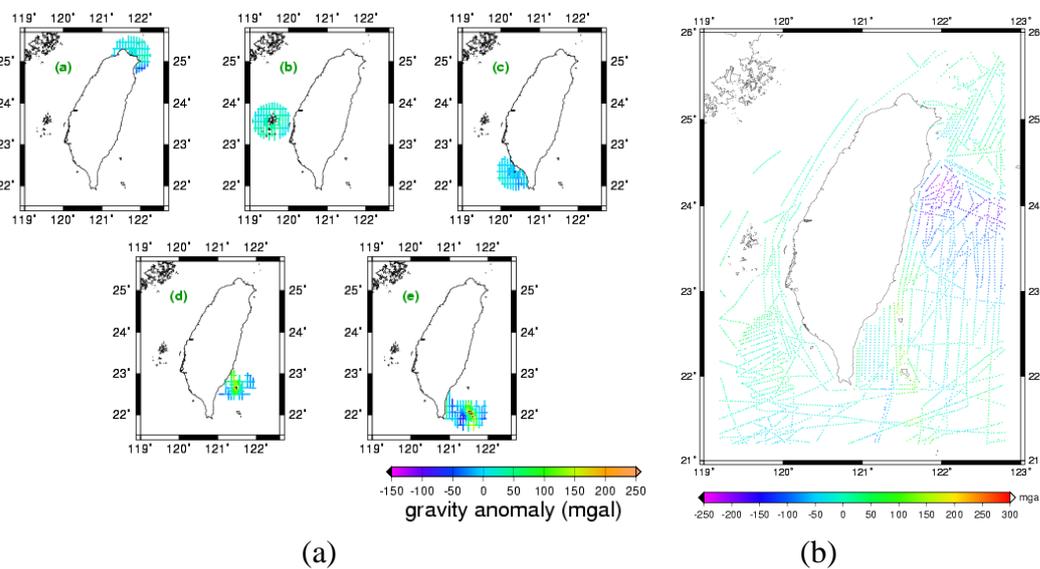


圖 3 (a)近岸船載重力資料分佈圖；(b)臺灣環海船載重力資料分佈圖

(三) 空載重力資料

臺灣本島為地勢狹長且崎嶇複雜的地形，四周環海，且境內超過 70% 為高山或丘陵所覆蓋，尤以中央山脈超過三千多公尺之地勢為最，自由空間重力異常最高可達 450mGal，臺灣東部海域地形構造較為複雜且為斷層帶交接處，自由空間重力異常驟降至-250mGal，為臺灣附近重力變化較大的區域，此外還有黑潮經過此區域。臺灣海峽為典型的淺水區域，船測重力資料較為稀少，過去皆以測高重力為主要的重力資料來源，然而此區域的地形較淺，海潮、濕對流層參數無法精確估計(Hwang and Hsu, 2008)，測高波容易受到複雜地形及近岸陸地的干擾導致測距精度不佳(Deng, 2003)。受限於此地理環境，重力測量工作難以在山區、部分海域及海陸交接處實行，導致重力資料分布不均，因而內政部於 2004~2009 年辦理 3 次空載重力測量工作 (Hwang et al., 2012)，分別為(a) Campaign 1 (island-wide over Taiwan): 平均

高度為 5156m，(b) Campaign 2 (Kuroshio Current): 平均高度為 1620m，(c) Campaign 3 (Taiwan Strait and South China Sea): 平均高度為 1620m，如圖 4 所示，並由交通大學執行之。

Campaign 1 已於 2005 年 5 月結案(黃金維，2005)。從 2004 的 7 月 6 日第一次施測起，至 2005 年 3 月 21 日為止，共進行了 43 個測量工作天，總時數將近 200 小時，儀器為 L&R Air-Sea II (LCR, 2003)。施測航線圖如圖 4(a)，北向航線共 64 條、航線間隔 4.5 公里；東西向航線共 22 條、航線間隔 20 公里；東北-西南向航線共 10 條、航線間隔 5 公里；西北-東南向航線共 6 條、航線間隔 30 公里。測量之航高為 16000 英尺，即約 5156 公尺；航速為每小時 160 海浬，約每小時 306 公里。每秒觀測一筆資料(1Hz)，若配合飛機航速 306 km/hr，約每 85 公尺測得一筆重力值，並使用罩窗寬度約 150-180 秒之高斯濾波器處理。

Campaign 2 主要的測量區域為臺灣東部海域，該海域有地球重要的洋流「黑潮」經過，藉由空載重力測量的方式，取得黑潮流域的重力資料，則有助決定黑潮區域之大地水準面，且若能結合衛星測高資料，則可用於決定黑潮之平均海流與季節、跨年變化，並可作為臺灣本島及離島高程基準聯測之重要數據。自 2006 年 3 月 6 日第一次施測起，至 2008 年 8 月初為止，因內政部所提供之飛機故障維修、重力儀儀器調度及天候影響等因素，經展期三次，始完成約 30 個空載外業測量工作天，飛行總時數約 130 小時，儀器為純量式 L&R Air-Sea Gravity System II 重力儀。施測航線圖如圖 4(b)，南北向航線共 36 條、航線間隔 5 公里；東西向航線共 7 條、航線間隔 60 公里。考慮到地形起伏、施測精度、施測時間、飛航安全等因素，飛行航高定為 1620 公尺(5000 英尺)，航速以不超過 280 km/hr 為原則。每秒觀測一筆資料(1Hz)，若配合飛機航速 280 km/hr，約每 77 公尺能測得一筆重力值，並使用罩窗寬度約 150-180 秒之高斯濾波器處理。

Campaign 3 測量區域為臺灣西部海域與東沙群島，除了可補足西部沿岸的重力資料，其成果對於臺灣西部海域大陸棚的研究亦有所貢獻。外業測量工作時程始於 2008 年 12 月 9 日至 2008 年 9 月 13 止，共 27 個工作天，飛行總時數約 115 小時，儀器為純量式 L&R Air-Sea Gravity System II 重力儀。規劃之航線圖如圖 4(c)，南北向航線共 54 條、航線間隔 5 公里；東西向航線共 15 條、航線間隔 25 公里。飛行航高定為 1620 公尺(5000 英尺)，航速以不超過 280 km/hr 為原則。每秒觀測一筆資料(1Hz)，若配合飛機航速 280 km/hr，約每 77 公尺能測得一筆重力值並使用罩窗寬度約 150-180 秒之高斯濾波器處理。

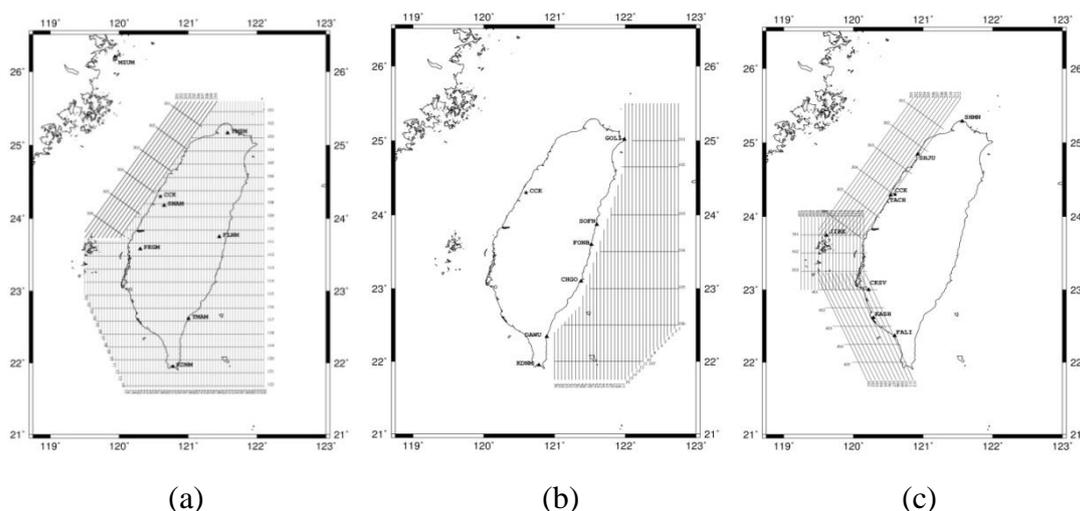


圖 4 (a) Campaign 1 ; (b) Campaign 2 ; (c) Campaign 3

空載重力資料含有諸多系統誤差，如 $E\ddot{v}ot\ddot{v}$ 效應所造成的誤差、重力儀的漂移誤差、重力基準誤差、重力參考場的不一致等(Wessel and Watts, 1988)。為了減少測量時產生的系統誤差，發展交叉點平差法模式化每條航線重力異常的偏差值(Bias)及漂移值(Drift)，雖然成功吸收了部分的系統誤差，然而沿著測線的重力訊號依然存在著帶狀的系統誤差(如圖 5)，造成的原因可能是交叉點太少導致多餘觀測量不足，使得無法非常有效的估計系統誤差(Hwang et al., 2007)。以 Campaign 1 其中一條測線為例，然後將一測高重力網格向上延續至空載資料的高度並內插出相對於空載重力位置的重力異常。向上延續的公式如下：

$$G(u, v) \Big|_{z=h} = e^{-2\pi f_r} G(u, v) \Big|_{z=0} \quad (19)$$

其中 $f_r = \sqrt{u^2 + v^2}$ 為徑向頻率(Radial Frequency)， $G(u, v) \Big|_{z=h}$ 和 $G(u, v) \Big|_{z=0}$ 分別為重力在 h 高度及海水面上的傅立葉變換，為了修正此偏移量，假設其誤差來源皆由儀器漂移、基站、基準偏移所造成，再假設空載重力系統誤差為時間的二次多項式，公式如下：

$$\delta g = d_0 + d_1 t + d_2 t^2 \quad (20)$$

其中 d_0 為常差(bias)， t 為自某一參考時刻起算之時間。然後利用最小二乘法求解後，再以平差後的差值來改正原有的空載重力。利用(20)式擬合空載重力和測高重力的差值，經平差後，獲得 d_0 、 d_1 及 d_2 等係數分別為 3.347、-0.215 及 0.017，且空載重力和測高重力差值的平均值和標準差從平差前的 4.368 和 2.795mGal 降到平差後的 0.000 和 2.048mGal。

為了後續的重力整合，本文使用向下延續方法(Downward Continuation)搭配去除回復法將空載重力異常資料約化至海平面上(Hsiao and Hwang, 2011)，向下延續法的公式如下：

$$G(u, v) \Big|_{z=0} = e^{2\pi h f_r} S_G(f_r) G(u, v) \Big|_{z=h} \quad (21)$$

其中 $S_G(f_r)$ ：高斯濾波。

由於向下延續法是一種不穩定的處理過程，可能過度放大訊號的雜訊，尤其是中高頻的部分，因而在執行向下延續法之前，先移除參考重力場之長波長重力分量及由地形資料計算而得之短波長重力分量，再將此殘餘重力異常透過公式(21)向下延續至海平面，最後再將海平面之長短波長之重力分量回復之。地形重力效應是使用 Gaussian quadrature 逐點計算其重力效應 (Hwang et al., 2003)。Hsiao and Hwang (2011)認為地形重力效應的考量於向下延續的應用中，只有在地勢變化較大的區域才有明顯的效果，海面上之空載重力應用此法進行向下延續反而有可能會使結果變差，因此本文只有橫跨臺灣中央山脈的 Campaign 1 在其向下延續時才有考慮地形重力效應，然而，測區幾乎在海平面上的 Campaign 2 及 Campaign 3 在其向下延續時則並沒有考慮地形重力效應。

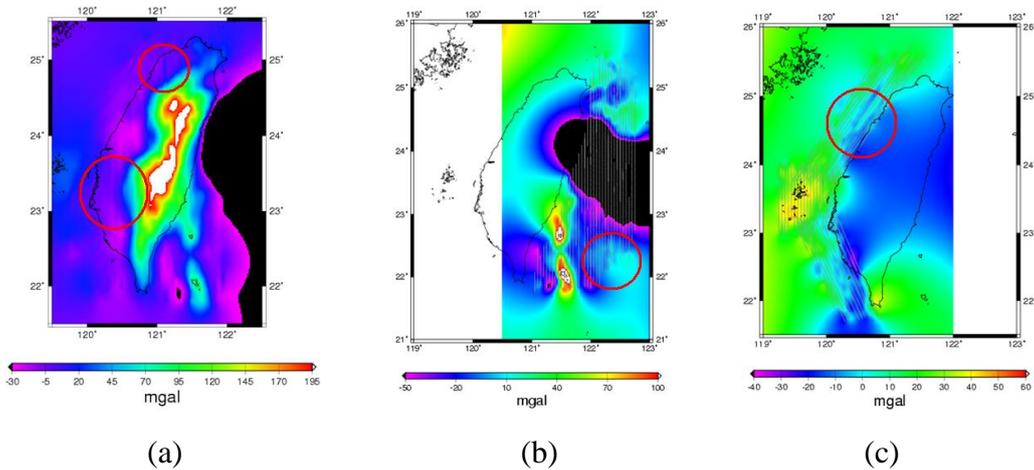


圖 5 平差處理後的空載重力網格 (a) Campaign 1 (b) Campaign 2 (c) Campaign 3

(四) 測高重力資料

為了填補海上及沿岸船載重力資料之不足，本節發展多測高數據反演臺灣附近測高海洋重力異常模型，並比較幾種不同波形重定技術，試圖找出此區域最理想之波形重定演算法(retracker)來改善沿岸因波形不佳導致測距精度不良的情形。測高數據分為重複週期與非重覆週期數據兩類，重複週期資料包括 Geosat/ERM、ERS-1/35d(1.5-year mean)、ERS-2/35d(2-year mean)和 T/P(5.6-year mean)，並將其週期資料進行平均以減少其噪聲誤差及時變效應，處理細節詳見(Hwang et al., 2006)，而非重複週期資料則為 retracked-Geosat/GM 和 retracked-ERS-1/GM 測高數據。為了決定臺灣附近最理想的波形重定演算法，比較 Sub-Waveform Threshold (Yang et al., 2011)、threshold and beta-5 等波形重定演算法，並採用 Yang et al.(2011)所提出的沿軌跡海水面高差異的標準偏差(Standard Deviations of Differenced SSHs)當作選取指標來評估此研究區最理想的波形重定演算法，以門檻值為 0.2 的 sub-waveform threshold retracker (Yang et al., 2011)為臺灣附近最理想之波形重定演算法。

本文使用 Inverse Vening Meinesz (IVM) formula (Hwang, 1998) 搭配去除回復法 (Remove-Compute-Restore Procedure) 來進行 2'x2' 測高海洋重力異常的計算，以 NCTUA 表示(如圖 6 所示)。使用的參考重力場為 EGM08 展開至 2190 階(Pavlis et al., 2012)。重力反演的程序是先將 10HZ retraced-Geosat/GM 及 20HZ retraced-ERS-1/GM 之測高觀測數據進行多項式擬合成 2Hz 資料來提高單點精度及計算的效率，取樣的細節可參考 Hwang et al. (2006)，並將所有沿軌跡之海水面高做大地梯度計算，再將其組成南北、東西垂線偏差分量來進行測高海洋重力異常的反演。使用 Hsu et al. (1998) 所收集的船測重力資料來進行精度評估，結果顯示 NCTUA 的精度與 Sandwell V18.1 (Sandwell and Smith, 2009)及 DNSC08 (Anderson et al., 2009) 全球重力異常網格精度相當。

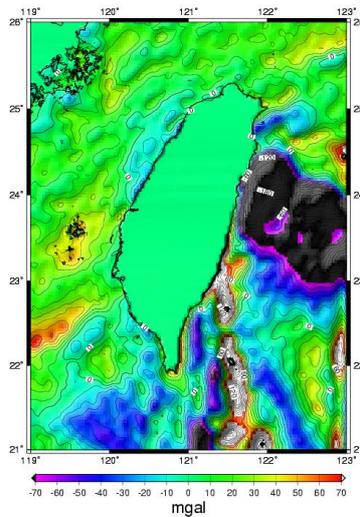


圖 6 測高海洋重力異常圖

三、GPS/Leveling 資料

目前內政部提供在 north、central、south、east 4 條有 24 小時觀測 GPS 的一等水準點，可用為 Geoid 精度評估之用。然而此 4 條水準線並不足以代表台灣全區。考量到現有 GPS/Leveling 資料幾何上的分佈，沿著一等水準路線另外蒐集東南部地區 15 點(南迴公路、台 9 線，Tai9)、西北部地區 20 點(台 3 線，Tai3)及中部地區 15 點(台 18 線，Tai18)的水準點進行 24 小時的 GPS 測量，如圖 7 所示，以作為評估 Geoid 精度之用。再者，若實測大地起伏精度佳，空間密度夠，則可與重力大地起伏合併，而得一混合型(Hybrid) Geoid。若實測大地起伏中，其 GPS 系統與 ITRF 系統一致，則此混合型大地起伏之座標系統自動為 ITRF 系統，而其對應之高程基準與台灣之高程基準(TWVD2001)一致。

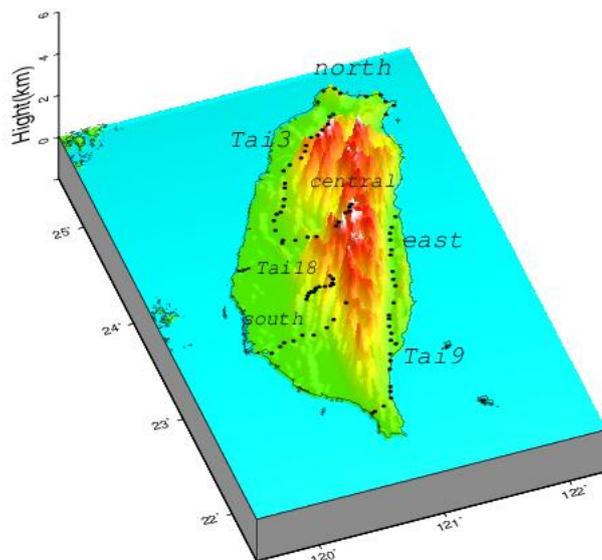


圖 7 大地起伏檢核路線分佈圖

新蒐集的幾條檢核線之 GPS 測量考慮現場透空條件，於透空條件較差的水準點附近進行偏心觀測，尋找透空良好之轉點來穩定 GPS 測量的精度，之後再以水準測量所得到的正高差來當做橢球高差進行高差修正以便得到水準點位上的橢球高，然而如果選擇的轉點距離太遠，則需考慮兩點間大地起伏高差的影響，此處使用 EGM08 展開至 360 之大地起伏模型來計算，公式如下：

$$h_{BM} = h_{ref} + \Delta h_{gps} \quad (22)$$

$$\Delta h_{gps} = \Delta H_{level} + \Delta N \quad (23)$$

其中 ΔN 為兩點間的大地起伏高差， ΔH_{level} 為兩點間的水準正高差， Δh_{ref} 為轉點的橢球高。

由於台灣位於板塊交界處，地殼活動頻繁、雲林區域超抽地下水等因素造成某些區域存在速度場變化的問題，尤其是雲林區域及與板塊交接處最為接近的東南區域存在每年變化數公分的情形(如圖 8 所示)，因此本文所蒐集的 GPS/Leveling 資料亦有考慮水準點速度場變化的修正量 (Ching et al., 2011)。

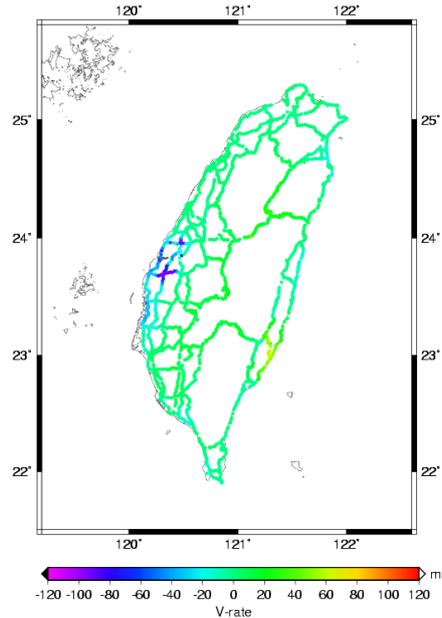


圖 8 台灣一等水準點的垂直速度場變化，2000-2008 (mm/year)

四、重力整合

本文的重力整合策略為事先將所有重力資料分為兩組，其中一組為 包含陸測重力、船測重力、向下延續至海水面之 1500 公尺航高東西空載重力(campaign 2&3) 及測高重力資料，此組資料被稱做 Data A，如圖 9 所示，另外一組為向下延續至海水面之 5000 公尺航高空載重力資料，並將此組資料根據其對應臺灣地形高度分類成四組資料，對應的地形高度分別為 0-1km、1-2km、2-3km 及 3-4km，其中僅使用對應地形高度超過 1km 以上的空載重力資料，此組資料被稱做 Data B。如此分類的想法是基於考慮 5000 公尺航高空載重力主要是貢獻於重力資料稀少之中央山脈區域，然而其任務涵蓋範圍涉及臺灣全島，為了避免於所有重力資料整合過程中，平地區域之頻帶限制(band-limited)的空載重力資料降低高精度的陸測重力資料，因而採用 ”漸進式整合法(progressive combination)” 將 Data A 與 Data B 進行整合來提升山區大地起伏模型精度。本文主要根據上述的 Data A 及 Data B 兩組資料進行漸進式整合，並且分別測試了四個階段不同重力資料的整合，如下所示：

階段一：使用最小二乘配置法將 Data A 進行網格化，其中假設測高重力網格與向下延續至海平面的空載重力網格為點資料，此外，由於 Data A 包含各種不同空間解析度與精度的重力資料，為了消除各種資料間的不一致性，簡單的採用 GMT 軟體(Wessel and Smith, 1998)所提供的 “blockmedian” 演算法來處理每單一網格內不同的重力資料。最小二乘配置法公式如下所示 (Moritz, 1980a)：

$$\Delta \hat{g} = C_{\Delta \hat{g} \Delta g} (C_{\Delta g \Delta g} + D)^{-1} \Delta g \quad (24)$$

其中 $\Delta \hat{g}$ 和 Δg 分別為預估值及觀測值的向量。 $C_{\Delta g \Delta g}$ 為觀測值間的協變方矩

陣， $C_{\Delta g \Delta g}$ 為預估值與觀測值之協變方矩陣， D 為觀測值誤差量之間的協變方矩陣。在此階段中，假設陸測、船測、測高及空載重力資料的精度分別為 0.1, 1.0, 5.0, and 3.0。採用的異常階數變方(anomaly degree variance) 為結合 EGM08 模型與 Tscherning and Rapp (1974)所發展的異常階數變方，其中低階的部分為 EGM08 模型展開至 360 階，高階部分為 Tscherning and Rapp (1974)所發展的 T/R 模型裡的模型四。

階段二：整合前，事先將階段一的結果輸出成點資料，然後採用簡單的直接整合法將階段一的結果與對應於地形高度 1-2km 變化的 5000 公尺航高空載重力資料進行整合，如圖 10(b)所示，之後再一次的使用 bockmedian 演算法將兩組資料進行濾波處理，最後再透過最小二乘法配置法進行網格化。

階段三：此組所使用的方法與階段二類似，不同的地方為透過整合輸出成點資料的階段二與對應於地形高度 2-3km 變化的 5000 公尺航高空載重力資料，如圖 10(c)，進行整合。

階段四：此組所使用的方法與階段三類似，不同的地方為透過整合輸出成點資料的階段三與對應於地形高度 3-4km 變化的 5000 公尺航高空載重力資料，圖 10(d)，進行整合。

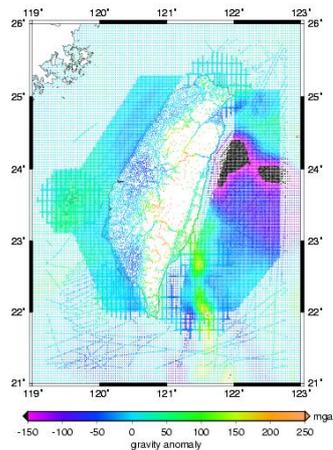


圖 9 Data A 的分布

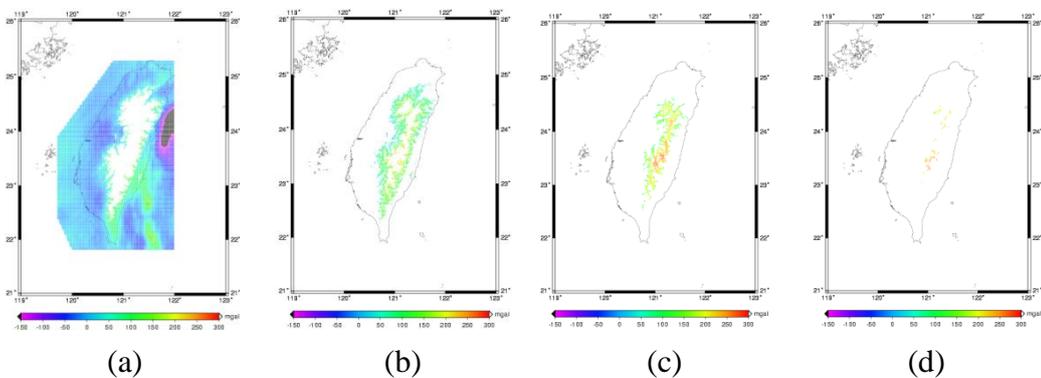


圖 10 5000 公尺航高空載重力資料(Data B)對應於地形高度變化的分布情形 (a) $0 \text{ km} < E < 1\text{km}$, (b) $1 \text{ km} < E < 2\text{km}$, (c) $2 \text{ km} < E < 3\text{km}$ and (d) $3 \text{ km} < E < 4\text{km}$

五、大地起伏計算

由於整合後之重力異常為網格資料，考慮大地起伏模式的計算效率，使用以 FFT 為基礎的 Stokes 公式來計算大地起伏模式，使用的 FFT 方法參考 Hwang et al. (2007)，Hsiao and Hwang (2011) 及 Featherstone et al. (1998)。使用 Stokes 積分搭配去除回復法分別將上述四組重力模型進行重力法大地起伏的計算，長波長分量使用 EGM08 模型展開至 720 階，短波長分量則考慮 RTM (Forsberg, 1984)。最後透過七條檢核線進行重力法大地起伏模型的精度評估，表 1 為 4 個不同階段之重力法大地起伏模型與七條檢核線差異的標準偏差，GPS 大地起伏由橢球高減去正高求得。結果顯示隨著整合對應地形高度由低至高的空載資料(圖 10(b)-(c))，不僅於七條檢核線上皆有改善，更成功的改善中橫檢核線(Central)的大地起伏精度至 2 公分。

表 1 四個不同階段之重力大地起伏模型與七條檢核線 GPS 大地起伏的差異量之標準偏差

(單位:公尺)

	north	east	central	south	Tai3	Tai9	Tai18
階段 1	0.038	0.102	0.130	0.199	0.043	0.153	0.183
階段 2	0.019	0.079	0.063	0.125	0.031	0.105	0.131
階段 3	0.016	0.074	0.020	0.038	0.039	0.098	0.082
階段 4	0.015	0.070	0.020	0.036	0.039	0.097	0.080

六、臺灣混合型 (HYBRID) 大地起伏模型

為了於高程現代化的應用中提供 Global Navigation Satellite System (GNSS) 使用者具信賴的 Geoid 模型來進行橢球高與正高的高程轉換介面，解決重力法大地起伏模型與觀測法大地起伏(GPS/leveling)之系統性的偏移量，吾人利用除了上述的七條檢核線外，還包含內政部所提供之一等一級、一等二級水準點上之 GPS 資料，共約兩千點觀測法大地起伏來進行系統性偏移的修正。具體做法為透過這些觀測法大地起伏的平面位置資訊內差出重力法大地起伏的值，將相對應位置上的所有觀測法大地起伏值與重力法大地起伏值相減，並透過 GMT 軟體中的”surface”指令將此差異量製作成一網格資料，以此網格資料修正至原重力法大地起伏模型，稱此模型為混合型 (Hybrid) 大地起伏模型，此模型是將階段 4 的結果與所有 GPS/Leveling 資料進行整合，檢核成果如表 2，此表說明此模型的精度。然而，由於 GPS/Leveling 資料分布不夠均勻，因而可能於網格化時產生系統誤差。

表 2 混合型大地起伏與 GPS 大地起伏的差異量統計(單位:公尺)

Leveling route	Max	Min	Mean	Std dev
north	0.037	0.001	0.015	0.011
east	0.073	0.000	0.028	0.029
central	0.024	0.001	0.010	0.009
south	-0.005	-0.141	-0.052	0.052
Tai3	0.001	-0.042	-0.015	0.014
Tai9	0.114	-0.072	0.004	0.050
Tai18	0.160	0.009	0.077	0.045

七、大地起伏模式在防災、監測及高程現代化之應用

(一) 光達應用

近年來大範圍高精度高解析度 DEM 之產製技術中，主動式遙感探測技術已日趨成熟，尤其光達以高頻率發射雷射光速進行掃描，可快速的蒐集地形資訊，於台灣及國際上皆被廣泛的應用。使用光達技術對相同研究區之地形進行重複性的觀測來獲得地表變形資訊的研究很多，例如地層下陷、斷層偵測及邊坡滑動監測等，極端的案例如颱風及地震等天災可能造成的大範圍且快速地形變化也可透過光達技術來進行快速的監測。光達所測得的高程訊息是相對於參考橢球面的橢球高，透過一簡單的轉換關係可直接轉換成正高(H)，轉換公式如下：

$$H = h - N \quad (25)$$

其中 h 、 N 分別為橢球高與大地起伏。透過大地起伏模式可於任何位置獲得 N 。舉例來說，圖 11(a)、圖 11(b)皆為陽明山的光達點雲分布圖，且分別建構於不同高程基準的高程變化，圖 11(a)為相對於參考橢球面的橢球高，圖 11(b)為相對於大地水準面的正高，圖 12 為對應光達點雲位置上的大地起伏值分布圖，大地起伏值平均約 20 公尺並隨著高程變化。透過經過此研究區的五個一等水準點正高來與光達所測得正高(經過高程轉換)進行精度評估，正高差異約為-4.047 m 至 -0.075 m。其中幾點較大差異歸因於光達觀測量的誤差，必須更進一步於光達點雲數據處理上進行改善來減少此差異量。

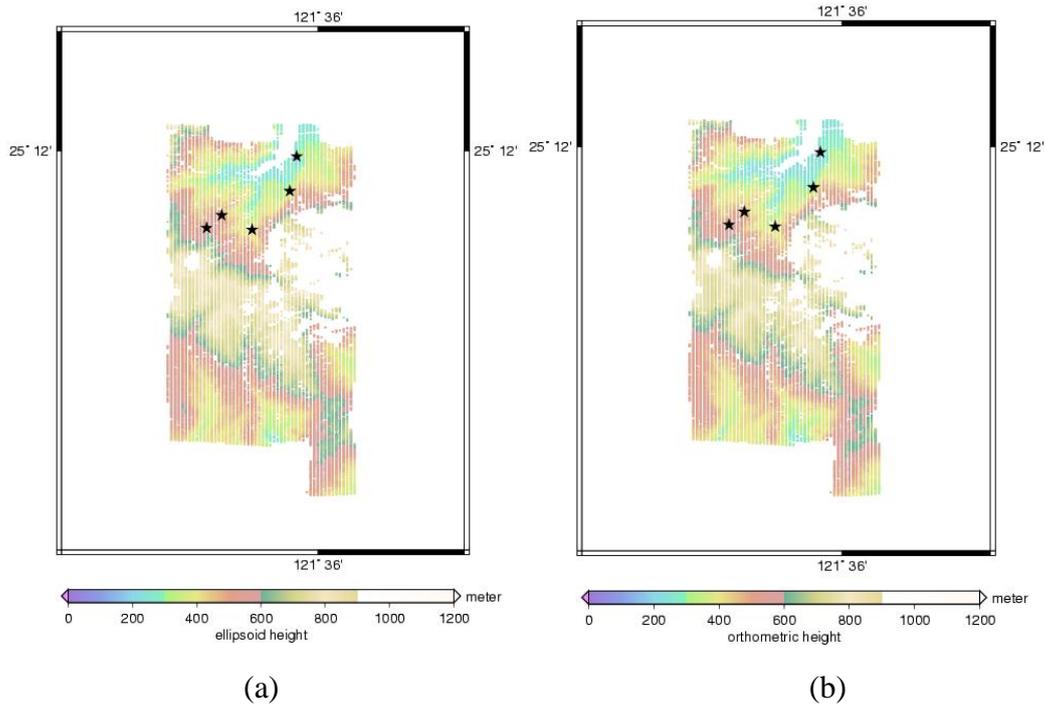


圖 11 施測於陽明山的光達點雲資料(a)橢球高(b)正高

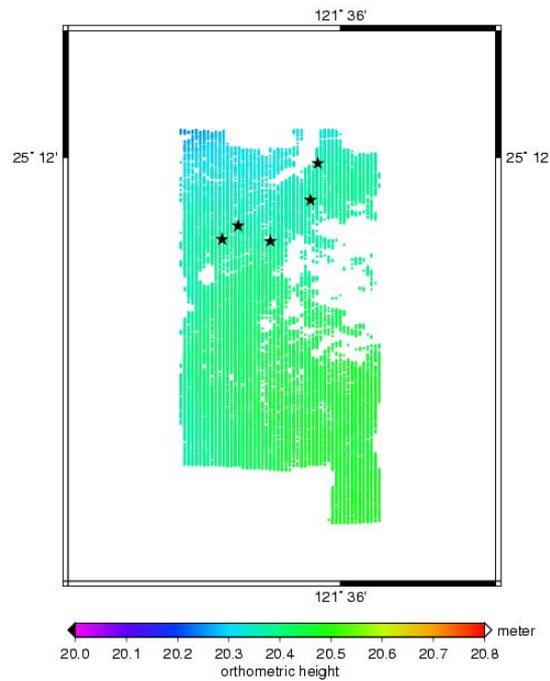


圖 12 對應於光達點雲位置上的大地起伏值分布圖

(二) 淹水範圍估計

地球的大氣和海洋因溫室效應而造成溫度上升，南、北極及格陵蘭冰層融化使得海面上升，臨海地勢較低之區域將面臨被淹沒的困境。透過靜態淹水模擬可了解較易受到海水淹沒區域之分布範圍，並以此結果當做防災規畫之依據。由於存在水往低處流的事實，水的流動不僅僅是依據著地形高低，最主要是受到重力等位面

的影響，因而實際上淹水與否取決於大地水準面。過去淹水模擬都是直接使用數值高程模型(DEM)當基準，然而此模型之高程基準主要分為橢球高與正高兩種系統，淹水模擬應選用正高系統之模型。廖貞如(2010)結合交通大學發展的大地起伏模式及地形進行地面淹水狀況的推估，使用的數值高程資料為 2000 年太空梭雷達製圖任務(SRTM)於台灣地區之資料，此 SRTM 高程系統建立於 EGM96 上，由於此模型僅展開至 360 階，空間解析度不佳，因而將其參考面轉換至空間解析度較高之重力大地起伏值(Hwang et al., 2007)。圖 13 為全台灣地區正高與橢球高之不同高度的淹溢面積統計表及其長條圖，其結果顯示當橢球高與正高之淹水面積於水深 10 公尺以內所造成的範圍差異很大，因此若使用橢球高模擬會產生低估的情形，採用正高進行淹水模擬才能獲得較正確的資訊。

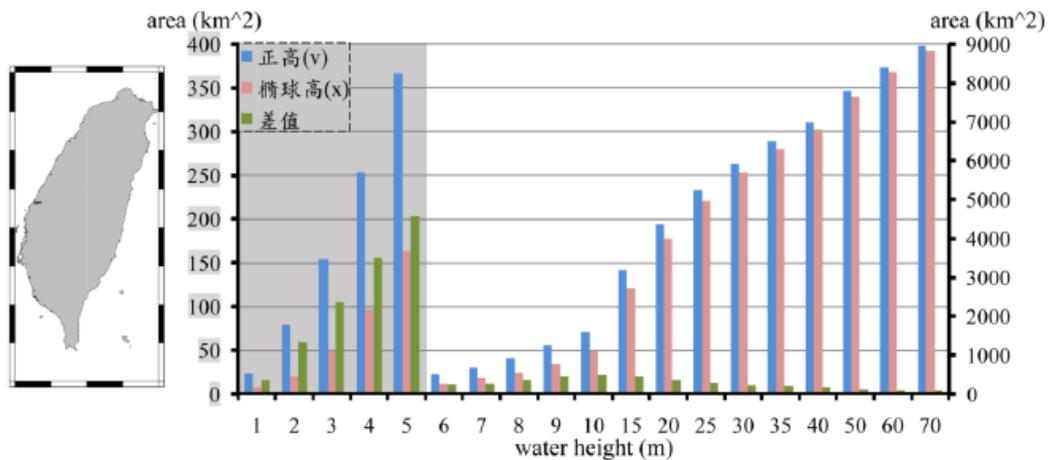


圖 13 全台灣地區正高與橢球高之不同高度的淹溢面積統計表及其長條圖(摘錄自廖貞如, 2010)

(三)大地起伏模式與高程現代化

提議台灣發展高程現代化需採用本文所發展的大地起伏模式，並擬定台灣高程現代化芻議如下：

1. 政府部分：

(1) 發展與維護大地水準面模式

- a. 蒐集與更新重力資料庫
- b. 使用最新的全球重力參考場模型
- c. 建立全台灣大地起伏模式的誤差模型
- d. 根據地球動力估計大地水準面模式的變化

(2) 決定所有 eGPS 站(<http://www.egps.nlsc.gov.tw/index.html>)的傳統正高

- a. 定義及維護基隆與離島高程基準並決定高程基準差異
- b. 採用傳統水準測量來決定所有 eGPS 的正高，測量規範達最高標準
- c. 利用連續 GPS 決定 eGPS 站垂直速度場

- d. 增加下列 eGPS 軟體的數據處理能力
 - (a) 透過差分 eGPS 站與使用者間的橢球高與大地起伏差來決定兩者間的正高差
 - (b) 利用使用者的 GPS 定位誤差(基線長度或其他等因素)、大地起伏模式誤差模型來估計使用者的正高精度
- e. 修正離島與本島之高程基準差異量，表 3 為離島與本島之高程基準差異量(黃金維，2010)

表 3 離島與本島之高程基準差異量(單位:公尺)

	Δh	ΔN	ΔH_g	ΔH_p	基準差異
琉球-基隆	3.140	0.230	2.910	2.732	0.178
綠島-基隆	6.633	4.062	2.571	2.241	0.330
蘭嶼-基隆	10.977	4.388	6.588	5.715	0.873
澎湖-基隆	-1.231	-2.135	2.492	1.924	0.568

2. 使用者部分:

- (1) 視所需之橢球高精度來決定所採用的 GPS 定位時間長短；其橢球高精度可另行估計
- (2) 使用 eGPS 計算軟體來決定正高及其誤差

以下為一案例之測試，研究區域為恆春半島上之 eGPS 測量成果，包含 4 個追蹤站及台一線、台九線之水準點，共 126 個點(如圖 14 所示)。一等水準點測到 4 個 eGPS 站之 Antenna Reference Point (ARP) 使用一等水準測量作業規範 $\sigma = 2.5 \text{ mm}/\text{SQRT}(K)$ 。此外，eGPS 測量之橢球高的精度約為 10-15 cm。表 4 結果顯示四個追蹤站的水準正高與本文模型所推算的正高差異約數公分，表 5 顯示動態 GPS 橢球高搭配大地起伏模式來推算正高，標準偏差可達 7.7 公分。

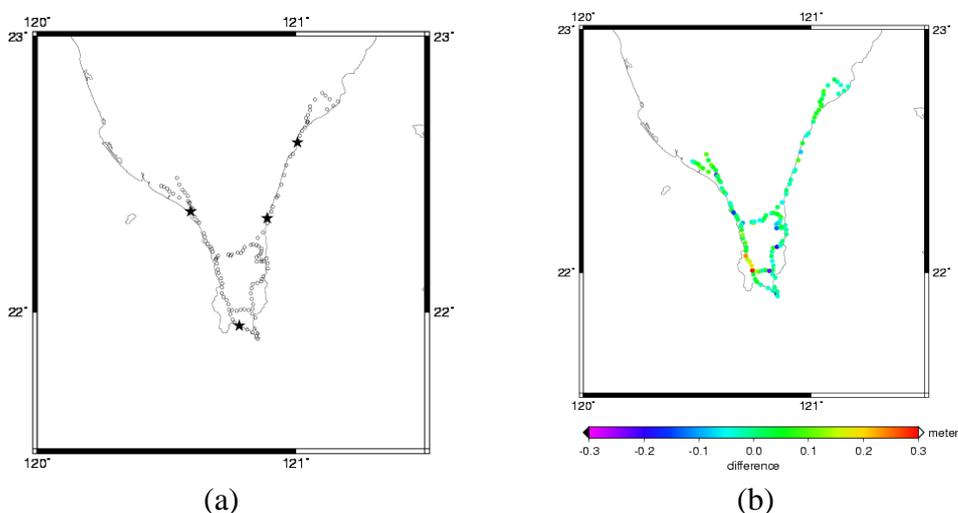


圖 14 (a) eGPS 點位分布圖；(b) eGPS 正高差異分布圖

表 4 4 個追蹤站的 Geoid-based 正高與 TWVD2001 正高之差異(單位:公尺)

點號	點名	eGPS 橢球高	Geoid-based 正高 ^a	TWVD2001 正高	正高差
太麻里	TMAM	58.722	34.632	34.5969	-0.035
大武	DAWU	40.980	17.603	17.6080	0.005
枋寮	FALI	41.650	19.700	19.6860	-0.014
墾丁	KDNM	58.260	36.118	36.1240	0.006

Geoid-based 正高^a: GPS 橢球高搭配大地起伏模式推算的正高

表 5 eGPS 的 Geoid-based 正高與 TWVD2001 正高之差異統計(單位:公尺)

	最大值	最小值	平均值	標準偏差
Geoid-based 正高 -TWVD2001 正高	0.299	-0.234	0.011	0.077

八、結論與建議

臺灣地區因地形特殊，不僅有山地、丘陵及平原地區，還有許多離島分佈於本島周圍，為了因應這樣的地理環境，臺灣有各種不同類型的重力資料，其中陸測重力資料的空間分布及品質更是區域大地起伏模型達到公分級精度的主要條件，重新對陸測重力資料進行網行平差之後，不僅剔除其中 67 筆粗差，平差後重力資料的平均精度約 0.04mGal。受限於陸測重力資料在中央山區蒐集不易，藉由漸進式整合法將空載資料填補至中央山區路測重力資料稀少的區域，已有效改善位於山區的 central 及 south 兩條檢核線的大地起伏模型達約 5 公分以內的精度，然而，礙於現有 GPS/leveling 皆呈線狀分布且分布不均，無法全面評估模型精度。

混合型大地水準面模式的精度為決定高程現代化應用範圍的關鍵項目之一，目前台灣 GPS/Leveling 資料不足且皆為線狀分布，對於評估大地水準面模式整體的精度及台灣混合型大地水準面模式的計算皆嫌不足。反觀台灣目前 e-GPS 系統各測站具有分布均勻且連續觀測的特性，是提供檢核資料的良好工具。建議應全面進行 e-GPS 的正高測量作業，其高精度(cm 級)且分布均勻的特性除了增加此系統服務的多樣化，對於台灣混合型大地水準面模式的發展更有著莫大的幫助。

誌謝

本研究由內政部地政司，內政部國土測繪中心及國科會贊助。本文之大地水準面模式網格可自內政部地政司取得。

參考文獻

- 黃金維、郭重言、儲慶美、甯方璽，1998，《臺灣重力網平差及重力資料整合》，測量工程，第40卷，第3期，頁71-82。
- 黃金維，2001，《一等一級水準點上實施重力測量工作報告書》，內政部。
- 黃金維，2005，《空載重力技術研究工作報告書》，內政部。
- 黃金維，2010，《臺灣本島與離島高程連測計畫97年度連測作業報告書》，內政部國土測繪中心。
- 陳春盛，2003，《一等二級水準點上實施重力測量工作報告書》，內政部。
- 廖貞如，2010，《從大地水準面及地形推估地面淹水狀況》，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
- Anderson, O. B., P. Knudsen, and P. A. M. Berry, 2009, The DNSC08GRA global marine gravity field from double retraced satellite altimetry, *Journal of Geodesy*, 84 (3), pp. 191-199.
- Ching, K. E., M. L. Hsieh, K. M. Johnson, K. H. Chen, R. J. Rau, and M. Yang, 2011, Modern vertical deformation rates and mountain building in Taiwan from precise leveling and continuous GPS observations, 2000–2008, *Journal of Geophysical Research*, 116, B08406, doi:10.1029/2011JB008242.
- Deng, X., 2003, *Improvement of Geodetic Parameter Estimation in Coastal Regions from Satellite Radar Altimetry*, Thesis Ph.D., Curtin University of Technology: Australia.
- Forsberg, R., 1984, A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modeling, rept. 355, *Department of Geodetic Science and Surveying*, The Ohio State University: Columbus.
- Featherstone, W. E., J. D. Evans, and J. G. Olliver, 1998, A meissl-modified Vanicek and Kleusberg kernel to reduce the truncation error in gravimetric geoid computations, *Journal of Geodesy*, 72(3), pp. 154-160.
- Hsiao, Y. S., and C. Hwang, 2011, Topography-assisted downward continuation of airborne gravity: application to geoid determination in Taiwan, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 21(4), doi: 10.3319/TAO.2009.07.09.01(T).
- Hsu, S. K., C.S. Liu, C. T. Shyu, S. Y. Liu, J. C. Sibuet, S. Lallemand, C. Wang, and D. Reed, 1998, New gravity and magnetic anomaly maps in the Taiwan-Luzon Region and their preliminary interpretation, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 9, pp. 509-532.
- Hwang, C., and B. Parsons, 1996, An optimal procedure for deriving marine gravity from multi-satellite altimetry, *Geophysical Journal International*, 125, pp. 705-718.
- Hwang, C., and B. Parsons, 1995, Gravity anomalies derived from Seasat, Geosat, ERS-1 and TOPEX/POSEIDON altimetry and ship gravity: a case study over the Reykjanes

- Ridge, *Geophysical Journal International*, 122, pp. 551-568.
- Hwang, C., 1998, Inverse Vening Meinesz formula and deflection-Geoid formula: applications to the predictions of gravity and Geoid over the South China Sea, *Journal of Geodesy*, 72, pp. 304-312.
- Hwang, C., C. G. Wang, and L. H. Lee, 2002, Adjustment of relative gravity measurements using weighted and datum-free constraints, *Computers & Geosciences*, 28(9), pp. 1005-1015, doi: 10.1016/S0098-3004(02)00005-5.
- Hwang, C., Wang, C. G., and Y.S. Hsiao, 2003, Terrain correction computation using Gaussian quadrature: effect of innermost zone, *Computers & Geosciences*, 29 (10), pp. 1259-1268.
- Hwang, C., and H. Y. Hsu, 2008, Shallow-water gravity anomalies from satellite altimetry: case studies in the East China Sea and Taiwan Strait, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 31 (5), pp. 841-851.
- Hwang, C., J. Guo, X. Deng, H. Y. Hsu, and Y. Liu, 2006, Coastal gravity anomaly from retracked Geosat/GM altimetry: improvement, limitation and the role of airborne gravity data, *Journal of Geodesy*, 80(4), pp. 204-216.
- Hwang, C., Y. S. Hsiao, H. C. Shih, M. Yang, K. H. Chen, R. Forsberg, and A. V. Olesen, 2007, Geodetic and geophysical results from a Taiwan airborne gravity survey: Data reduction and accuracy assessment, *Journal of Geophysical Research*, 112, B04407, doi:10.1029/2005JB004220.
- Hwang, C., W. C. Hung, and W. C. Liu, 2008, Results of geodetic and geotechnical monitoring of subsidence for Taiwan High Speed Rail operation, *Natural Hazards*, 47, pp. 1-16.
- Hwang C., H. C. Shih, Y. S. Hsiao, and C. H. Huang, 2012, Airborne gravity surveys over Taiwan Island and Strait, Kuroshio Current and South China Sea: comparison of GPS and gravity accuracies at different flight altitudes, *Marine Geodesy*, 35(3), pp. 287-305.
- Kuroishi, Y., and W. Keller, 2005, Wavelet approach to improvement of gravity field-Geoid modeling for Japan, *Journal of Geophysical Research*, 110, B03402 doi:10.1029/2004JB003371.
- LCR, 2003, *Instruction manual for Lacoste & Romberg model S air-sea dynamic gravity meter system II*, LaCoste & Romberg Inc., Texas: Austin.
- Moritz, H., 1980a, *Advanced Physical Geodesy*, Karlsruhe: Wichmanns.
- Moritz, H., 1980b, Geodetic reference system 1980, *Bulletin Géodésique*, 54(3):395-405, doi: 10.1007/BF02521480.

- Pavlis, N. K., S. A. Holmes, S. C. Kenyon, and J. K. Factor, 2012, The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008), *Journal of Geophysical Research*, 117(4), B04406, doi:10.1029/2011JB008916.
- Roman, D., Y. M. Wang, J. Saleh, and X. Li, 2009, National Geoid height Models for the United States: USGG2009 and GEOID09, *ACSM-MARLS-UCLS-WFPS Conference 2009*: Utah.
- Sandwell, D. T., and W. H. F. Smith, 2009, Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge Segmentation versus spreading rate, *Journal of Geophysical Research*, 114, B01411, doi:10.1029/2008JB006008.
- Tscherning, C. C., and R. H. Rapp, 1974, Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulations, and the deflections of the vertical implied by anomaly degree-variance models, *Reports of the Department of Geodetic Science*, 208, pp.1-89.
- Torge, W., 1989, *Gravimetry*, New York: Walter de Gruyter.
- Wang, Y. M., J. Saleh, X. Li, and D. R. Roman, 2012, The US gravimetric Geoid of 2009 (USGG2009): model development and evaluation, *Journal of Geodesy*, 86(3), doi: 10.1007/s00190-011-0506-7.
- Wessel, P., and W. H. F. Smith, 1998, New, improved version of Generic Mapping Tools released, *EOS: Transactions of the American Geophysical Union*, 79(47), doi: 10.1029/98EO00426.
- Yang, Y., C. Hwang, H. J. Hsu, E. Dongchen, and H. Wang, 2011, A sub-waveform threshold retracker for ERS-1 altimetry: a case study in the Antarctic Ocean, *Computers & Geosciences*, 41, doi:10.1016/j.cageo.2011.08.017.

投稿須知

所有稿件以未曾在國內、外以任何形式刊載為限，且稿件內容不得有侵犯他人著作權或商業宣傳行為，否則由作者自行負法律之責任。文體以中文或英文撰寫為原則，並附中文及英文摘要。稿件須加註標點、分段及編列頁碼。內容編排以下列順序為原則：（一）封面：包括中文及英文之論文名稱、作者姓名、作者所屬單位、聯絡地址、電話、傳真、電子郵件住址；（二）中、英文摘要及關鍵詞等；（三）內文；（四）註釋；（五）謝誌；（六）參考文獻；及（七）附錄與圖表。審查通過後，無法直接由電腦列印之圖、表，應另附完稿之圖、表（不超過A4紙張），以利編排。圖或照片應以黑白為原則，如需彩色印刷請作者自行負擔費用。內文所引用之文獻須列於參考文獻，參考文獻請以姓氏筆劃多寡，依序以中文列出，之後再依英文姓氏之英文字母，依序以英文列出。各項格式書寫方式，請參考下列說明：

各項格式說明如下：

壹、文書檔案採 A4 直式橫寫書格式，版面邊界分別為上（2.54cm）、下（2.54cm）、左（3cm）、右（2.8cm），字體以標楷體及英文 Times New Roman 等兩種字體排版。

貳、首頁（Title page），應包含下列內容：

一、標題（Article Title）：包括中、英文章篇名。

二、作者（Author's Name）：

1. 包括中、英文作者姓名。
2. 分別以中、英文註腳載明作者的職稱、單位。若作者有數人，則以阿拉伯數字 1, 2, 3... 個別標示。
3. 須標示通訊作者（加註*），註明連繫電話、E-mail，英文電話請以國際電話方式書寫。

三、摘要（Abstract）：包括中、英文摘要。

四、關鍵字（Keywords）：包括中文、英文關鍵字，分別列於中、英文摘要之下。

參、正文（Manuscript）

一、稿件標題章節編號層次及順序

中文請按「一，（一），1.，（1），a」順序排列；英文則按「1，1.1，1.1.1...」順序排列。

二、引述用例

（一）直接引述：

中文請用單引號「 》」；英文請用雙引號“ ”，並以括弧標示引述文獻頁次。

（二）引述中復有引述，或特殊引用時：

中文單引號「 》」在外，雙引號『 』在內。英文雙引號“ ”在外，單引號‘ ’在內。

三、文獻引述用例

(一) 文中註明引述文獻

1. 請以 (作者, 年份) 方式表示。
2. 若有數篇文章以分號 (;) 區隔; 中英文文獻分開, 並各自以引述文獻之出版年份先後依序排列。
3. 若同一作者, 有數篇文章同時引述, 則以 (作者, 年份 1、年份 2); 若同一作者有同一年發表文章同時引述, 則以 (年份 a, b) 表示。
4. 若一篇文章有 2 位作者, 請全部列出。中文為 (作者 A 與作者 B, 年份); 英文為 (作者 A and 作者 B, 年份)
5. 若一篇文章有 3 位以上作者 (含 3 位), 中文請用 (第一位作者等, 年份); 英文請 (第一位作者 *et al.*, 年份) 用。
6. 英文期刊第一作者姓在前, 名在後, 第二作者之後, 名在前, 姓在後。

(二) 文中已有作者姓名時

1. 請以作者 (年份) 方式表示
2. 若有數篇文章同時引述, 則以作者 A (年份)、作者 B (年份) ... 表示
3. 若有必要加註說明時, 請用註腳, 內文註腳號碼使用上標

四、圖版、插圖及表用例

1. 圖名請置於圖之正下方, 並以圖 1、圖 2..... 方式表示。
2. 表名請置於表格之正上方, 並以表 1、表 2..... 方式表示。
3. 若引用他人圖表需註明資料來源。

五、公式寫法用例

以(1)、(2)、(3)……依序編號。例： $\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$ (1)

肆、參考文獻(References)

- 一、專書：作者，年份，《書名》，版次，出版地：出版者。
- 二、期刊論文：作者，年份，篇名，《期刊名》，卷期數，頁碼。
- 三、研討會論文：作者，出版年，論文名稱，《研討會名稱》。
- 四、博碩士論文：作者，年份，《論文名稱》，學校科系名稱(碩/博士論文)。
- 五、網路等電子化資料：作者 (單位)，年份，篇名，網站名稱，網址。
- 六、技術報告或研究報告：作者，年份，《報告名稱》，研究單位。

中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」 期刊論文審查辦法

中華民國 101 年 09 月 25 日第 16 屆第 6 次理監事聯席會議通過

第一條 為規範「國土測繪與空間資訊」期刊論文審查辦法(以下簡稱本辦法)，得依本會編輯委員會組織簡則第二條規定訂定之。

第二條 來稿經登記後由總編輯就來稿性質，邀請相關專長之編輯委員推薦審查委員。編輯委員會負責對審查委員及投稿作者保持雙向匿名方式審查，審查作業程序如附圖。

第三條 審查委員應於接到論文後三週內審查完畢，並將論文審查表(如附表)，連同論文寄回編輯委員會，審查意見表中須明確勾選其中一項：

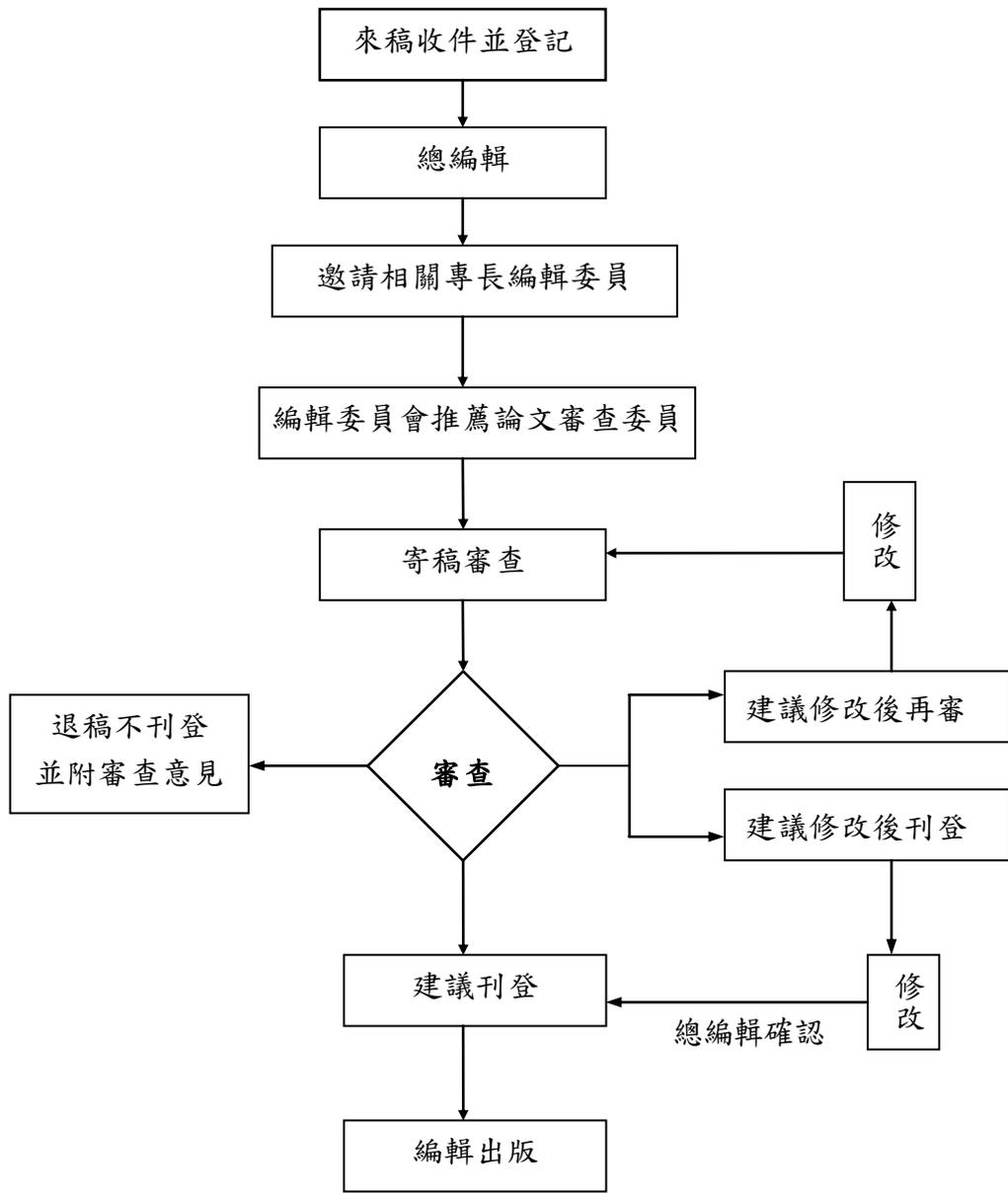
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

第四條 審查結果處理方式：

處理 方式 第一位 審查委員 意見 第二位 審查委員 意見	刊登	修改後刊登	修改後再審	不適刊登
刊登	刊登	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後刊登	寄回修改	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	不適刊登
不適刊登	第三位審查	第三位審查	不適刊登	不適刊登

附註：再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施，修改時亦同。



論文審查流程圖

國土測繪與空間資訊
TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第一卷第一期 (創刊號)

民國一〇二年一月

Vol. 1, No. 1

January 2013

目 錄

CONTENTS

高頻 GPS 連續站動態定位時間序列之精度分析

洪煌凱、饒瑞鈞、陳鶴欽.....1

Precision analysis of kinematic position time series from high-rate continuous GPS observations

Huang-Kai Hung, Ruey-Juin Rau, He-Chin Chen

利用水氣微波輻射儀提升 GPS 定位精度之研究

葉大綱、林承毅、王傳盛.....16

Enhancing the precision of GPS positioning by using the measurements from water vapor radiometer

Ta-Kang Yeh, Cheng-Yi Lin, Cheng-Yi Lin

利用地籍建物測量成果資料建立建物樓層平面圖之研究

江渾欽.....31

Study on establishment of Building floor plans base on result map of building survey

Hun-Chin Chiang

新一代台灣大地水準面模式：防災、監測、高程現代化之應用

黃金維、許宏銳、黃啟訓.....57

A New Geoid Model of Taiwan : Applications to Hazard Mitigation, Environmental Monitoring and Height Modernization

Cheinway Hwang, Hung-Jui Hsu, Chi-Hsun Huang