

新北市政府 110 年度自行研究報告

臺灣水平速度場精度分析與應用

研究機關：新北市樹林地政事務所

研究人員：王昱凡

研究期程：110.01.01—110.10.31

新北市政府 110 年度自行研究成果摘要表

計 畫 名 稱	臺灣水平速度場精度分析與應用
期 程	自 110 年 1 月 1 日至 110 年 10 月 31 日
經 費	無
緣 起 與 目 的	國家大地基準所提供的測繪成果及坐標資訊，若能維持長時間的穩定與精確性，將能有效的為該區域內各測繪點位提供具有一定精度之參考坐標值以茲應用，然而，臺灣目前使用的一九九七國家大地坐標基準 (TWD97@2010)，由於沒有點位坐標的速度值，因此仍屬於靜態的大地基準，在複雜的地表結構與板塊運動活躍的影響下，其使得臺灣大地基準精度的維持更為艱辛。自半動態基準的概念提出以來，臺灣地區運用歷年 GPS 衛星觀測連續站與移動站的資料，已陸續推算得臺灣地區半動態基準所需的 速度場模型(目前完成水平方向)。因此，本研究將驗證臺灣全區水平速度場的精度，並以臺灣近年基本控制點的檢測成果，探討歷年基本

	控制點的實測坐標值與經由水平速度場推算得的坐標值之差異量，以評估分析水平速度場應用於臺灣地區測繪作業的可達精度。
方 法 與 過 程	本研究為使目前臺灣地區建立之水平速度場模型能夠有效應用於國家大地基準並維持其精度，將參酌紐西蘭及日本等目前已實施半動態基準模型之國家的作法與策略，驗證目前臺灣全區水平速度場的精度，研究資料方面以近年內政部國土測繪中心的全國基本控制點檢測成果，探討 2013、2016 及 2017 年等歷年基本控制點的實測坐標值與經由半動態基準水平速度場推算得的坐標值之差異量，藉以評估分析水平速度場應用於臺灣地區基本控制點位測繪作業的可達精度。其次，以臺北市、新北市及基隆市等北北基大臺北都會區為本研究之研究範圍，並且更細部探討新北市各地政事務所管理轄區之通用性，作為臺灣地區性基本控制點資訊維護、更新及應用之參考。

研究發現及建議	在臺灣半動態基準變形模型之應用方面，臺灣基本控制點坐標會因地表的變形導致各年度在坐標上存在水平方向上的差異量，且該差異量將會隨著檢測時間間隔的增加而逐年上升。在地籍測量實務應用探討方面，本研究則認為符合容許誤差比率在數值上與時間間隔成正向相關，然比率之增幅則與時間間隔無直接關聯，且模型內插所獲得之成效將明顯優於外插成果。在區域性半動態基準之應用成效上，於大臺北都會區範圍中基本控制點之位移狀況相對於臺灣西南部較為穩定，即使差異量不高，仍然可以透過半動態基準變形模型之修正達到縮小差異量提高精度之效果。在大臺北都會區各縣市之建議上，認為可於應用半動態基準修正後，透過公告並暫停其點位聯測及應用仍未達到容許誤差範圍之點位直至重新檢測時再作更新之方式，有效維護各點位坐標精度品質。最後本研究針對我國現行作業規範建議方面，認為半動態基準修正了坐標之絕對精度，因此在
---------	--

	應用上必須為全國性的坐標統一更新以維持坐標與坐標間的相對精度關係。
備註	

摘要

國家大地基準所提供的測繪成果及坐標資訊，若能維持長時間的穩定與精確性，將能有效的為該區域內各測繪點位提供具有一定精度之參考坐標值以茲應用，然而，臺灣目前使用的一九九七國家大地坐標基準（TWD97@2010），由於沒有點位坐標的速度值，因此仍屬於靜態的大地基準，在複雜的地表結構與板塊運動活躍的影響下，其使得臺灣大地基準精度的維持更為艱辛。自半動態基準的概念提出以來，臺灣地區運用歷年 GPS 衛星觀測連續站與移動站的資料，已陸續推算得臺灣地區半動態基準所需的速率場模型（目前完成水平方向）。因此，本研究首先將驗證臺灣全區水平速率場的精度，並以臺灣近年基本控制點的檢測成果，探討 2013 年、2016 年及 2017 年等歷年基本控制點的實測坐標值與經由水平速率場推算得的坐標值之差異量，以評估分析水平速率場應用於臺灣地區測繪作業的可達精度，其次，藉以提出臺灣各地區辦理測繪基本控制測量之參考建議，作為各地區基本控制點資訊維護、更新及應用之參考。

關鍵字：水平速率場精度、半動態基準、基本控制點。

壹、前言

國家大地基準所提供之坐標資訊及測繪成果，若能維持長時間的穩定與精確性，不僅能有效的為該區域各測繪點位提供具有一定精度之參考坐標值以茲應用，對於學術研究、都市社會建設、地質環境控管等方面亦能給予極大之協助。然而地表的狀態並非靜止不動，由於板塊運動頻繁，導致許多位處於板塊交界之國家所頒佈訂定的國家大地基準，將會隨著板塊時間性的位移與彼此間的交互作用而產生誤差並呈現動態不穩定之情況。臺灣目前所應用最新之國家大地基準為一九九七坐標系統 2010 年成果 (TWD97[2010])，該坐標系統為一九九七坐標系統 (TWD97) 之延續並進行維護更新後之成果展現。而維護更新之原因係有鑑於臺灣地處歐亞板塊與菲律賓海板塊之交界，板塊運動劇烈且頻繁，再加以多年來天然環境災害，如地震、洪災等之發生所導致之地表位移，致使 TWD97 於實務操作與應用上產生精度逐年下降之問題。

針對地表構造不均勻的位移，許多位於板塊交界之國家亦作出必要且有效之應對措施以防止國家大地基準逐年失準，而其中最普遍的方式為將原先之大地基準導入速度場模型之概念，使國家大地基準成為一種半動態模式的大地基準形式。紐西蘭自 1998 年建立新的大地基準 NZGD2000 後，即採用半動態基準之概念，計算板塊運動之水平速度場模型，將地表運動所導致的坐標位移影響納入考慮，2013 年之後，因應坎特伯雷地區 (Canterbury) 受地震所致之地表嚴重變形，嘗試加入了區域變形模型之概念以更新維護震後之局部變形問題 (Grant et al., 2015)；日本則於 2002 年公告的國家大地基準 JGD2000 坐標系統以及 2011 年 10 月因 311 宮城外海地震影響導致大規模的地殼變動所修正訂定之 JGD2011，在水平向方面亦應用了半動態模型來修正坐標值。

在臺灣方面，郭徐伸 (2014) 利用 1,100 個臺灣 GPS 連續站與移動站之資料應用克立金法 (Kriging) 及雙線性內插法建立臺灣全區的水平速度模型；景國恩、孔冠傑 (2014) 亦利用 GPS 觀測站資料，分別應用克立金法以及塊體模型法針對臺灣西南部建立半動態基準模型。然於現行法規面以及實務操作上，臺灣目前並沒有一套完整且一致性之規範。國土測繪法僅針對相關名詞與內容作簡易廣泛之闡述，有關基本測量實施之精度規定、作業方法、實施程序及其他相關事項，則由中央主管機關以基本測量實施規則另定；在基本測量實施規則以及相關控制測量實施手冊

中，對於有關利用半動態基準進行誤差修正之相關研究亦無政策性的應用規範，使半動態基準模型之建立成果無法實際投入現行國家政策中。

綜上所述，本研究目的為使目前臺灣地區建立之水平速度場模型能夠有效應用於國家大地基準並維持其精度，將參酌紐西蘭及日本等目前已實施半動態基準模型之國家的作法與策略，驗證目前臺灣全區水平速度場的精度，研究資料方面以近年內政部國土測繪中心的全國基本控制點檢測成果，探討 2013、2016 及 2017 年等歷年基本控制點的實測坐標值與經由半動態基準水平速度場推算得的坐標值之差異量，藉以評估分析水平速度場應用於臺灣地區基本控制點位測繪作業的可達精度。其次，以臺北市、新北市及基隆市等北北基大臺北都會區為本研究之研究範圍，並且更細部探討新北市各地政事務所管理轄區之通用性，作為臺灣地區性基本控制點資訊維護、更新及應用之參考。

貳、 文獻回顧

一、 大地基準

大地基準之類型依據其考慮變形之方式以及速度場模型的建立與否，區分為靜態基準、動態基準及半動態基準(Grant *et al.*, 1999; Tregoning & Jackson, 1999; 邱元宏, 2016): 靜態基準 (Static Datum) 為在大地基準公告時，僅公布特定時刻之坐標點位後，該坐標值即固定不變，將點位速度場定義為 0，並未考慮任何速度場之變因，我國採用之 TWD67、TWD97 及最新的 TWD97[2010] 坐標系統目前皆屬於靜態基準；動態基準 (Dynamic Datum) 考量板塊具有連續而穩定的移動，將控制點坐標加入其變動量進行計算，由定義之特定參考時刻起算，加入速度場模型修正量，最終得出觀測時刻之點位坐標，使控制點坐標隨時間而變動；半動態基準 (Semi-dynamic Datum) 透過將基準坐標定義於某個特定或參考時刻後，利用變形 (包含速度場及同震位移場) 模型將另一個特定時刻的坐標或觀測值轉換修正至所定義之特定或參考時刻，而通常所定義之參考時刻皆定義於動態全球參考系統，即國家參考框架 ITRF 之下以維持整個基準與全球參考系統間的連繫關係，如圖 1 所示，其仰賴高穩定且精確的速度場模型以有效地進行時間上的轉換進而修正地表變形造成的誤差，相較於動態基準的即時更新，速度場模型本身僅須作周期性的更新維護。

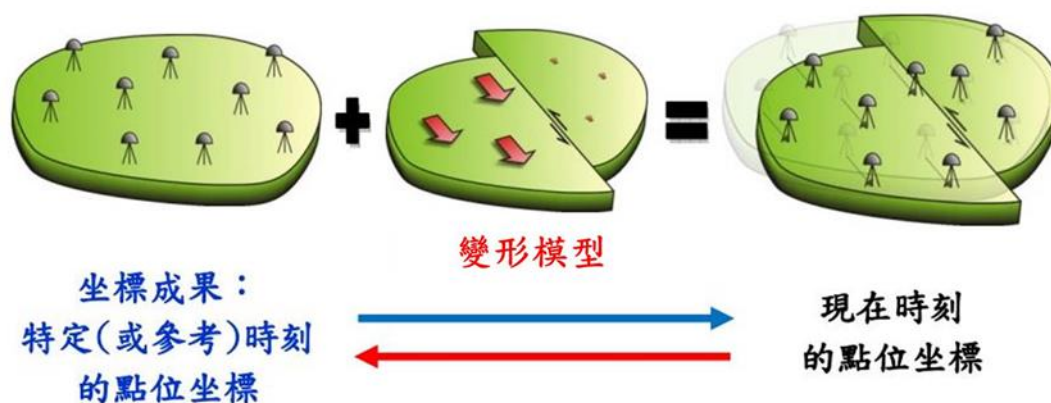


圖 1 半動態基準示意圖

資料來源：內政部國土測繪中心，2013

半動態基準考量了地殼變形的情況並以此建立速度場模型，而地表變形的型態，可以利用地震循環(earthquake cycle)的概念來表達，一次的地震循環週期包含了震間變形(interseismic deformation)、同震變形(coseismic deformation)和震後變形(postseismic deformation)三個時期：震間變形為前一次地震時期與下一次地震時期之間，板塊與板塊彼此長時間穩定的相對位移與斷層鎖定，其變形大多數呈現線性位移；同震變形為地震發生時所導致的部分區域地表瞬間位移，其變形為短時間且永久性位移；震後變形為地震發生導致同震變形之後地表所持續大約一年甚至更長時間的非線性位移。(Bourne *et al.*, 1998; Chlieh *et al.*, 2004; McCaffery, 2002; Nur and Mavko, 1974; Thatcher and Rundle, 1984; Tse and Rice, 1986; Roeloffs, 1996; Peltzer *et al.*, 1996)

二、 紐西蘭及日本大地基準與速度場模型應用

紐西蘭因位處於澳大利亞板塊及太平洋板塊之交界處，致使該國所建立之國家大地基準控制點會隨著板塊運動之影響而產生位移，據此，紐西蘭土地資訊局(Land Information New Zealand, LINZ)自 1998 年開始重新定義並建立了當地全新國家大地基準 NZGD2000 (New Zealand Geodetic Datum 2000)，將大地基準納入了半動態基準的概念，坐標系統採用參考時刻約制於 2000.0 之 ITRF96 參考框架，其他任意時間之坐標點位則利用施加變形模型推算而得 (Grant *et al.*, 1999 & Grant *et al.*, 2015)。

日本的半動態基準最早由日本國土地理院 (Geospatial Information Authority, GSI) 於 2002 年公告了新的國家大地基準 JGD2000 (Japanese Geodetic

Datum 2000) 取代舊有的東京基準 (Tokyo Datum)，將成果約制於 1997.0 之 ITRF94 參考框架後，再行計算國內一等至三等控制點坐標 (Hatanaka *et al.*, 2003; Tsuji and Matsuzaka, 2004)。之後由於 311 宮城外海地震影響導致大規模的地殼變動，GSI 於 2011 年 10 月修訂最新的國家大地基準 JGD2011 (Japanese Geodetic Datum 2011)，針對受到該地震影響之地殼變形區域，重新計算受影響範圍之控制點坐標值，並採用參考時刻於 2011.4 之 ITRF2008 參考框架，國內其餘影響較小或未受影響區域之坐標則維持原來 1997.0 時刻的 ITRF94 參考框架，因此 JGD2011 具有兩個不同的定義時刻的參考框架 (內政部，2013)。

紐西蘭和日本在震間速度場之建立方面，分別以雙三次樣條內插法及克立金法建立網格速度值，再以雙線性內插法估算任意點位之速度量；採用資料內容上，紐西蘭利用該國 GPS 連續站及移動站資料建立速度場模型，而日本則利用各年 GPS 連續站觀測網 (GPS Earth Observation Network, GEONET) 觀測資料建立變位模式推估震間之修正影響量，獲得非線性的變位量 (Tsuji and Komaki, 2005)；於同震位移場方面，紐西蘭利用 GPS 觀測站的監測資料先行建立錯位模型，推估點位位移量後以此建立三角網為同震模型，而日本同樣利用 GPS 觀測站的監測資料，利用克立金法內插計算地震前後點位位移量，以此估算地震時所造成之影響量 (內政部，2016)，比較表如表 1 所示。

表 1 紐西蘭與日本半動態基準模型建立比較表

	紐西蘭	日本
震間變形資料	GPS 連續站 GPS 移動站	GPS 連續站
震間變形模型建立方法	雙三次樣條內插法 雙線性內插法	克立金法 雙線性內插法
同震變形資料	GPS 連續站 GPS 移動站	GPS 連續站 GPS 移動站
同震變形模型建立方法	建立錯位模型 不規則三角網	克立金法 雙線性內插法
震後變形應用	無	無

三、臺灣大地基準應用現況

臺灣之大地基準坐標系統由於精度逐年下降以及測量技術的進步等原因，自使用三角點控制測量的 TWD67 坐標系統至現今採用衛星定位測量的 TWD97 坐標系統與 TWD97[2010]坐標系統，歷經多次的更新與維護。我國目前大地基準之維護方式包含：

- (一)、 坐標系統之更新：包含以衛星定位測量取代傳統 TWD67 坐標系統三角測量方式而建立的 TWD97 坐標系統，以及經過「大地基準及坐標系統更新維護機制」會議討論，確立沿用一九九七坐標系統（TWD97）之點位成果及基準框架，更新為 TWD97[2010]坐標系統（林文勇等，2012）。
- (二)、 特殊事件部分基本控制點檢測：2010 年莫拉克颱風針對南投縣、嘉義縣市、臺南市、高雄市、屏東縣、臺東縣及其外圍地區進行基本控制點之檢測及補建作業（內政部國土測繪中心，2018a）；2018 年臺灣東部花蓮地區芮氏規模 6.26 地震，內政部國土測繪中心於同年以 107 年 5 月 2 日台內地字第 1071303162 號函公布 0206 花蓮地震後基本控制點檢測成果，依據檢測成果顯示靠近震央之三等控制點平面位移量最高已達 1.2 公尺，其相關受影響之基本控制點以及 GNSS 連續站最新坐標皆已公告（內政部國土測繪中心，2018b）。
- (三)、 基本控制點檢測作業：依內政部「基本測量及圖資測製實施計畫」，延續 2010 年莫拉克颱風災區基本控制點檢測及補建作業，內政部國土測繪中心於 2011 年（僅針對臺灣北部地區）、2012 年、2013 年、2016 年、2017 年及 2018 年皆進行了臺灣基本控制點的檢測作業以維護國家大地基準之品質（內政部，2017a）。
- (四)、 基本控制點管理維護：一等、二等及三等基本控制點由中央單位管理負責，而接續之四等基本控制點，則交由各縣市政府機關主導管理與測設。

自半動態基準概念提出以來，已有許多專家學者對於臺灣地區是否得以仿效國外適用半動態基準，進而嘗試提出並建立相關之水平速度場模型有一定程度之研究與貢獻。針對臺灣西南部地區，景國恩、孔冠傑（2014）利用 2004 年至 2010 年觀測之經濟部中央地質調查所架設於臺灣西南部地區的 221 個 GPS 移動站以及交通部中央氣象局、中央研究院、中央地質調查所、國土測繪中心等單位共同建立之 44 個 GPS 連續站之觀測資料，參考 International GNSS Service 公佈的精密星曆以

獲得所需之衛星軌道參數，約制 GUAM、IISC、IRKT、PERT 以及 TSKB 等 5 個 IGS 測站於 ITRF2008 坐標系 2005.0 時刻，獲得 GPS 連續站每日坐標值及 GPS 移動站各時段坐標解，並透過時間序列分析，並利用最小二乘法估計各測站相對於澎湖測站 (S01R) 的各坐標分量時間序列，以獲得各站 2004 至 2010 年的水平速度量，運用 GPS 移動站的水平速度量，運用克立金法建立臺灣西南部水平速度模型如圖 2，黑色箭頭為 GPS 移動站速度場，綠色箭頭為克立金內插法所建立的網格速度模型，模型可維持其精度約 25 年。而針對臺灣全區，郭徐伸 (2014) 利用臺灣 287 個 GPS 連續站以及中央地質調查所 823 個移動站，連續站觀測資料分別相對於澎湖站 (S01R) 或相對於金門站 (KMNM)，利用克立金法以臺灣縱谷為界分別進行內插獲得臺灣網格點之速度量，以建立臺灣水平速度場模型，再運用雙線性內插法獲得臺灣全區任意點位之速度量。其後景國恩等 (2017) 將水平速度模型分為速度網格模型與位移網格模型，利用克立金法以臺灣縱谷斷層為界分別建立對應之水平速度網格模型；位移網格模型則考慮 2016 年美濃地震，應用超快速星曆解算 GPS 資料即可短時間獲得精度需求範圍內之同震位移場，而模型本身則應用斷層錯位模型推求地表同震位移模型。

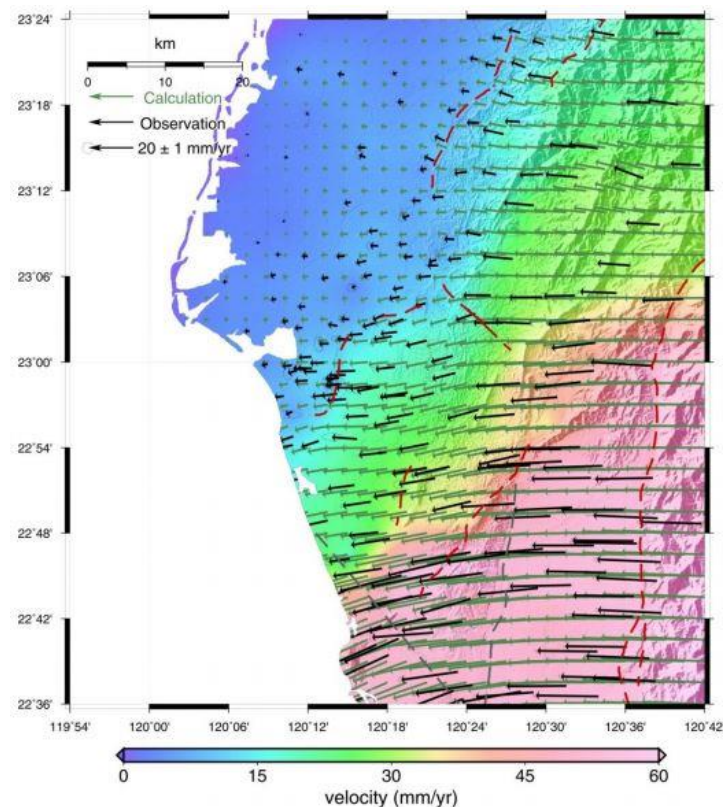


圖 2 克立金法建立臺灣西南部速度場模型

資料來源：景國恩、孔冠傑，2014

參、 模型建置與資料處理

一、 模型建置

半動態基準之概念簡單而言即為在一靜態基準上導入因地表變形所導致的變形模型。而變形模型包含了水平速度網格模型以及位移網格模型(景國恩等,2017)，本研究將採用內政部於2013年至2017年建立之半動態基準模型成果作為各年度基本控制點精度驗證之基礎，相關模型建置方式如下：(內政部，2016；2017b)

(一)、 水平速度網格模型

水平速度網格模型主要針對地表大範圍長期且穩定的變形量進行修正，本研究於資料方面僅使用GPS連續站資料；在觀測時間及數量上，為求水平速度之完整一致性，將僅採用2016年以前蒐集之測站觀測資料，採用2000年1月至2016年09月包含地質調查所、中央氣象局、國土測繪中心等共計437個GPS連續站觀測資料，並利用Bernese 5.0軟體解算各測站每日坐標成果。

模型之速度量為各站相對於KMN的速度量，藉由臺灣GPS連續站相對於KMN的每日坐標值以及坐標時間序列成果進行估計。利用GPS連續站最小約制於KMN的每日坐標與時間序列成果加上地震事件所造成的影響，並考量非線性的震後變形之估計相對困難，故本研究假設地震發生前後測站的速率無改變，據此模型採用兩種型態擬合坐標時間序列：

GPS連續站中在所觀測資料期間內沒有因地震導致的地表位移，利用式3.1進行擬合：

$$y(t_i) = a + bt_i + v \quad \text{式 1}$$

其中， a 為截距； b 為測站速率； t_i 為時間序列中第 t_i 特定時刻； v 為殘差值。

GPS連續站中在所觀測資料期間因地震導致的地表明顯位移，但震後連續站在速率上無明顯改變，利用式3.2進行擬合：

$$y(t_i) = a + bt_i + \sum_{j=1}^{n_c} c_j H(t_i - T_j) + v \quad \text{式 2}$$

其中， c_j 地震所造成的同震位移； n_c 為造成同震位移的總地震數； T_j 為地震發生的時間； H 為階層函數。

GPS 連續站依照式 1 及式 2 進行擬合後，可獲得全臺 GPS 連續站速度量，再加上經濟部中央地質調查所共 785 個 GPS 移動站之歷年觀測成果亦最小約制於 KMN 且速度場計算方式相同，兩者共同估計速度量成果，據此建立臺灣地區地表水平速度模型如圖 3 所示，另考慮池上斷層為潛移斷層，模型將縱谷斷層視為不連續速度邊界，因此將臺灣分為兩個水平網格區域，並利用克立金內插法推估建立臺灣地區地表水平速度網格模型如圖 4。網格模型誤差如圖 5 所示，其誤差分布可發現標準差較大之區域多位於觀測點位資料分布較少的地方，如中央山脈及鄰近區域。

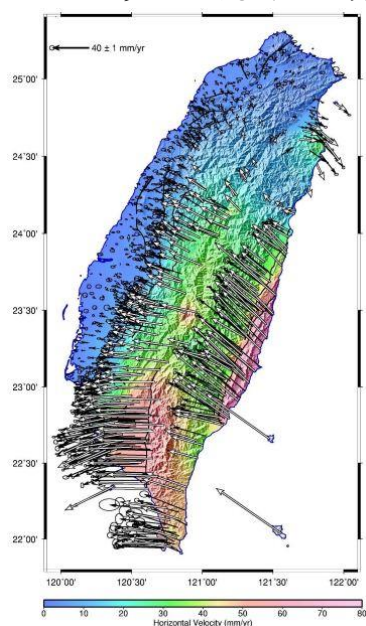


圖 3 臺灣地區水平速度模型

資料來源：內政部，2016

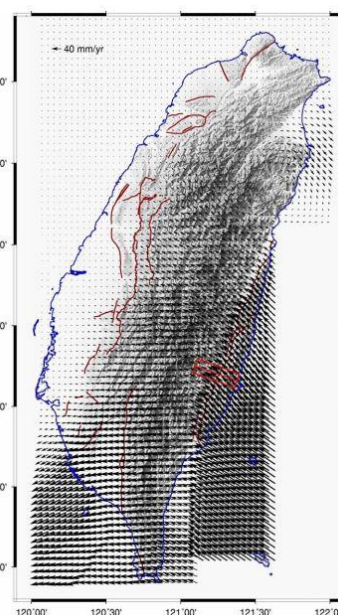


圖 4 臺灣地區水平速度網格模型

資料來源：內政部，2016

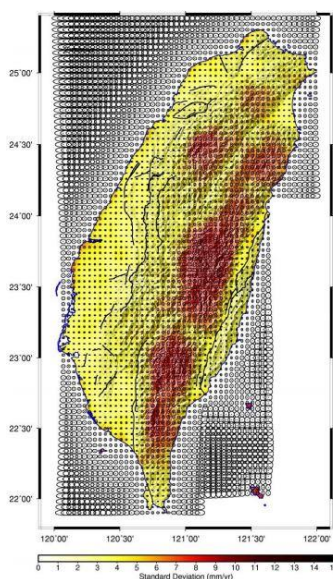


圖 5 臺灣地區水平速度網格模型誤差

資料來源：內政部，2016

（二）、 位移網格模型

臺灣地區位移網格模型係針對地表特定區域發生地震導致的同震位移所建立的修正模型，目前臺灣建立之模型為 2016 年於臺灣南部發生之美濃地震所造成的影響。主要利用 GPS 連續站共計 320 站的坐標資訊，以超快速星曆方式解算各站之坐標時間序列，並利用式 1 擬合美濃地震發生前 5 天及發生後 3 天之坐標時間序列，藉以估算各 GPS 連續站之同震位移。

於模型建立方面，採用斷層錯位模型推算同震位移模型，以單一斷層面，首先將斷層幾何參數初始值設定為走向(strike) 270.29° 與傾角(dip) 48.23° ，並利用蒙地卡羅法搜尋獲得最佳斷層面幾何參數為走向 282.67° 、傾角 7.94° 與斷層滑移角(rake) 30.64° ，接續利用 AutoBATS 提供的震源機制解推算各格點水平方向之同震位移如圖 6 所示，據此建立美濃地震之位移網格模型。

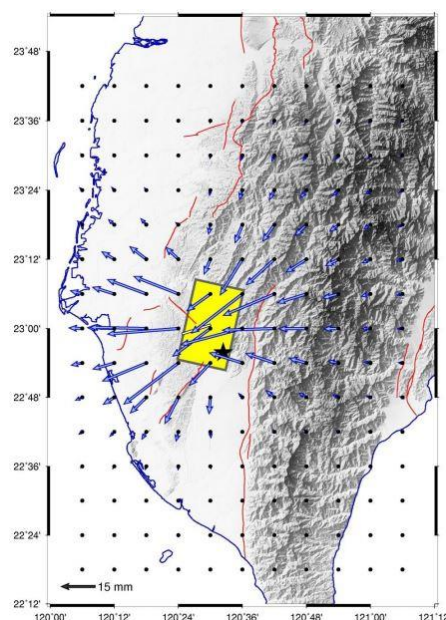


圖 6 美濃地震水平地表同震位移場

資料來源：內政部，2016

二、 資料處理

本研究之目的為參考其他已實施半動態基準模型國家之作法策略後建立臺灣半動態基準模型並進行水平方向之精度驗證與分析，以評估其適用性及可行性。而內政部國土測繪中心近年來分別於 2013、2016 及 2017 年皆進行我國基本控制點位的檢測，代表我國多數基本控制點位均擁有三個不同時刻的實測坐標成果，且該坐標與臺灣半動態基準模型建置方式相同，皆為最小約制於金門測站(KMNM)，因此在

資料的蒐集上，本研究採納並統整臺灣 2013、2016 及 2017 年所檢測之基本控制點位坐標成果為主要資料，以進行半動態基準模型精度驗證分析。

在資料內容的蒐集上，由於臺灣每年檢測之基本控制點因內政部國土測繪中心每年度政策不同，再加上時間、天然因素、點位本身毀損滅失或其他種種原因，導致各年度所檢測之點位數量不一致，點位內容亦有所差異。本研究首先統整 2013 與 2016、2013 與 2017 以及 2016 與 2017 年度之間的基本控制點共同觀測點位，並由於各年度間的共同點仍有數個明顯差異過大之離群點位，為完整呈現基本控制點位於地表現實中之變動情況，本研究對於差異量明顯之離群點位予以剔除不採計，最終採用之各年度基本控制點共同點位：2013 與 2016 年計 1342 點；2013 與 2017 年計 1289 點；2016 與 2017 年計 1596 點，相關統計如表 2 所示。

表 2 各年度間基本控制點共同點位數量統計表

各年度間\點位	共同點位數量	離群值點位數量	採納點位數量
2013、2016	1345	3	1342
2013、2017	1293	4	1289
2016、2017	1598	2	1596

肆、 實證分析

臺灣近期應用之國家大地基準為 TWD67、TWD97 及 TWD[2010]坐標系統，三者皆屬於靜態基準，亦即當坐標成果公布之後即固定不變，不會因為時間演進產生地表變形而導致的位移所影響，也因此當大地基準在長時間未更新的情況下，將導致點位的坐標與公告坐標之間的差異量逐年增加。本研究利用 2013 與 2016 年、2013 與 2017 年以及 2016 與 2017 年各年度間基本控制點的共同檢測點作為研究標的，透過實際檢測成果以及利用半動態基準變形模型進行修正後之成果，先進行臺灣全區的

精度分析，並針對北北基等大臺北都會區及新北市區域進行更進一步的精度探討。

一、坐標 N、E 分量差異量分析

本研究首先比較不同年度之間各基本控制點於 N 分量及 E 分量之差異，以 t_1 表示距今時間較短之年度； t_2 表示距今時間較長之年度，根據式 3 及式 4 計算後獲得 2013 與 2016 年、2013 與 2017 年及 2016 與 2017 年共三組年度點位坐標 N、E 分量之差異量。

$$dN = N_{t1} - N_{t2} \quad \text{式 3}$$

$$dE = E_{t1} - E_{t2} \quad \text{式 4}$$

另針對臺灣半動態基準變形模型之應用策略，首先將基本控制點共同檢測點中前期年度的點位坐標值視為特定時刻下之坐標成果，利用式 5 及式 6 將臺灣水平速度場模型以及考慮美濃地震之同震位移場模型同時解算，獲得經半動態基準變形模型推算修正之後期年度的點位坐標值，其中 N_{t1} 為前期年度點位 N 坐標； N_{t2} 為後期年度點位 N 坐標； I_N 為 N 方向速度量； n 為經歷年數； C_N 為 N 方向位移量； E_{t1} 前期年度點位 E 坐標； E_{t2} 為後期年度點位 E 坐標； I_E 為 E 方向速度量； C_E 為 E 方向位移量。接續，分別將所推算的 N、E 坐標值根據式 3 及式 4 進行計算後，獲得三組修正後坐標成果與當年實際檢測點位成果 N、E 分量之差異量

$$N_{t2} = N_{t1} + I_N \times n + C_N \quad \text{式 5}$$

$$E_{t2} = E_{t1} + I_E \times n + C_E \quad \text{式 6}$$

基本控制點各點位坐標 N、E 分量之差異量比較表示如圖 7 至圖 9，本研究發現在應用半動態基準變形模型進行修正之後，N、E 分量的差異量皆有減少的趨勢；而在 N、E 分量之間的比較上，無論是實際檢測坐標抑或是應用模型修正之 N 分量差異量，整體而言，N 分量精度皆相對於 E 分量較為優良。

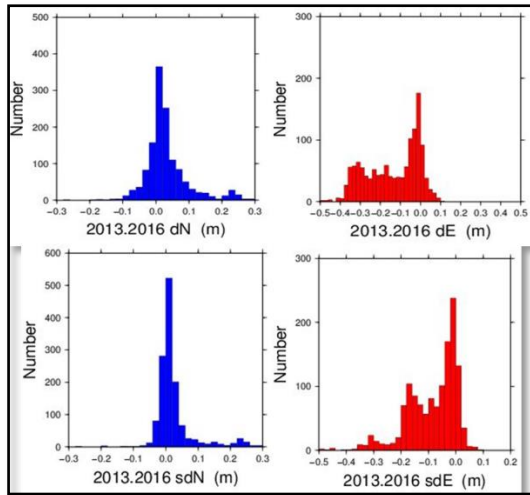


圖 7 2013 與 2016 年坐標 N、E 分量實際與修正後差異量圖

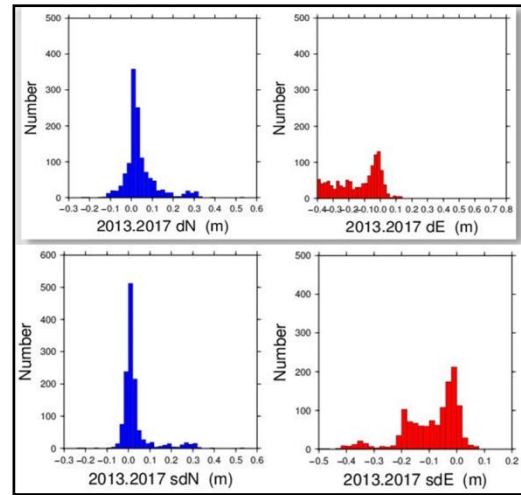


圖 8 2013 與 2017 年坐標 N、E 分量實際與修正後差異量圖

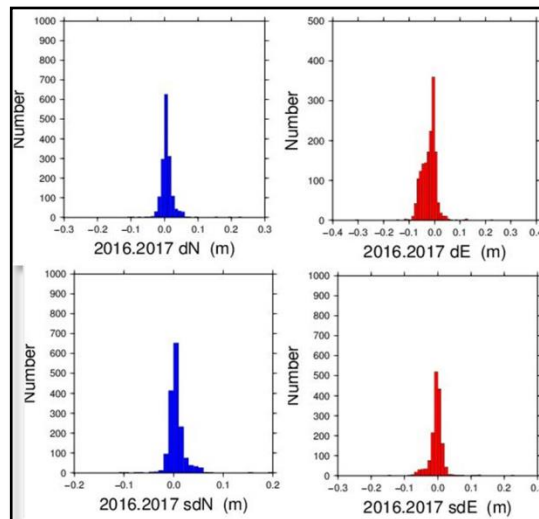


圖 9 2016 與 2017 年坐標 N、E 分量實際與修正後差異量圖

二、 總差異成果分析

針對總差異成果分析方面，本研究將利用式 7 獲得各年度間基本控制點共同點位之總差異量值，其中 dN 代表基本控制點之 N 分量差異量； dE 代表基本控制點之 E 分量差異量。據此獲得 2013 與 2016 年、2013 與 2017 年及 2016 與 2017 年年度間的點位坐標總差異量以及前期年度修正至後期年度的基本控制點位後之坐標成果與後期年度實際檢測坐標成果間的總差異量，差異量比較表示如圖 10 至圖 12。針對基本控制點各點位坐標於總差異量表現上，透過比較圖可發現坐標在應用半動態基準變形模型修正後，總差異量與各年度間總差異量相較皆有下降的趨勢。

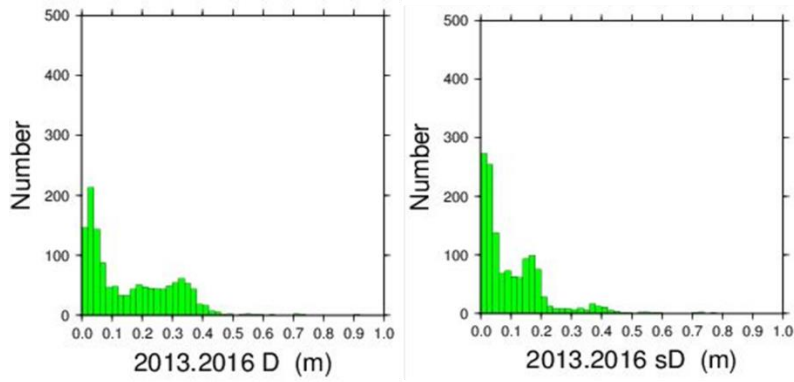


圖 10 2013 與 2016 年坐標總差異量實際與修正後比較圖

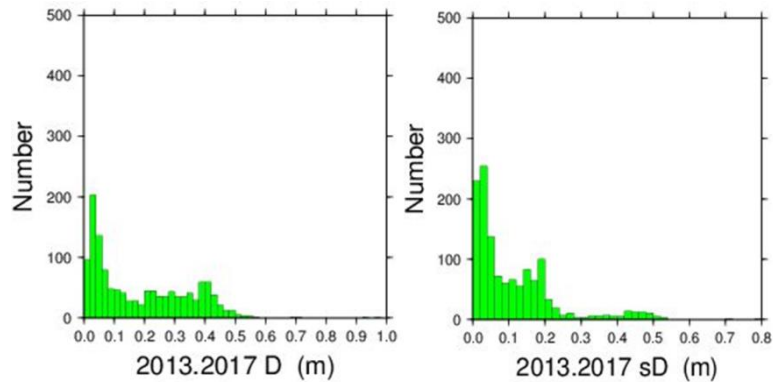


圖 11 2013 與 2017 年坐標總差異量實際與修正後比較圖

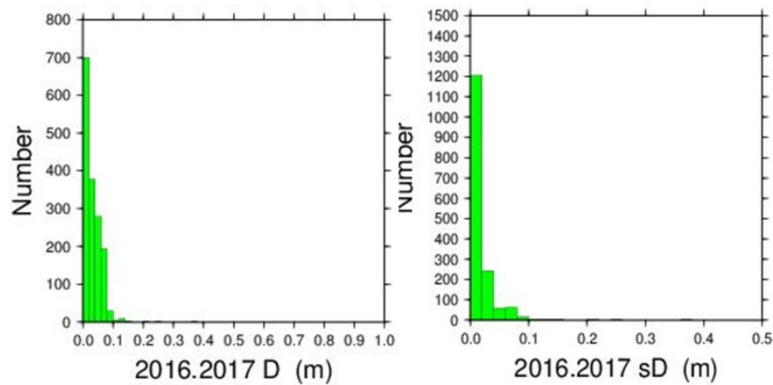


圖 12 2016 與 2017 年坐標總差異量實際與修正後比較圖

於應用半動態基準修正後基本控制點坐標與實際檢測坐標間，以及年度與年度間實際檢測坐標，其差異量、點位位置及差異向量資訊比較，本研究以圖 13 至圖 15 分別呈現，圖中每一個基本控制點（Basic control points）位置以圓點 Points 表示，箭頭方向為差異方向，箭頭長短則依點位坐標間的差異量以比例縮放，並以色塊深淺表示點位差異量多寡。從各對照圖中可顯示，在坐標的成果修正上，其坐標差異量皆有顯著的改善，且修正的方向與實際位移方向一致。

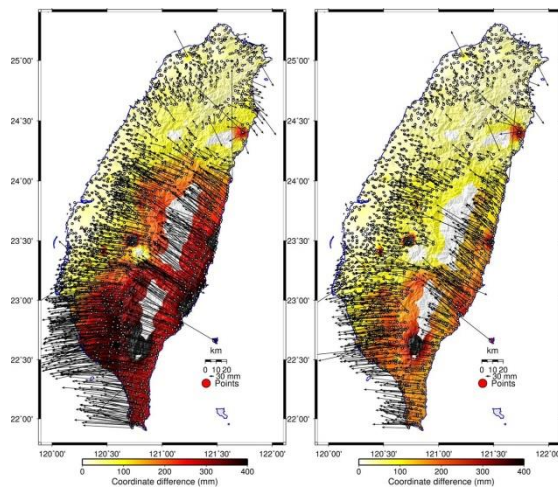


圖 13 模型修正的坐標與實測坐標差異量圖(2013 年與 2016 年)
(左圖為修正前；右圖為修正後)

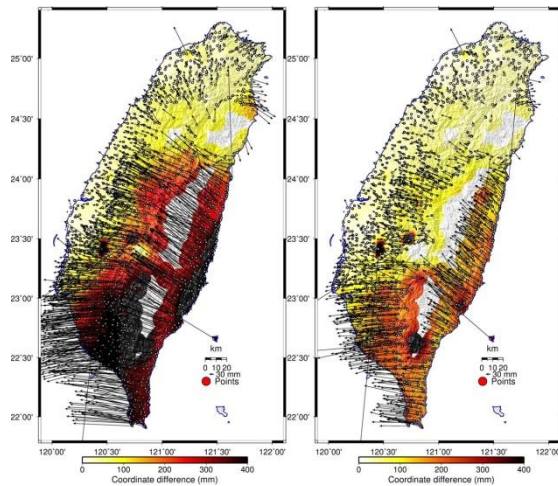


圖 14 模型修正的坐標與實測坐標差異量圖(2013 年與 2017 年)
(左圖為修正前；右圖為修正後)

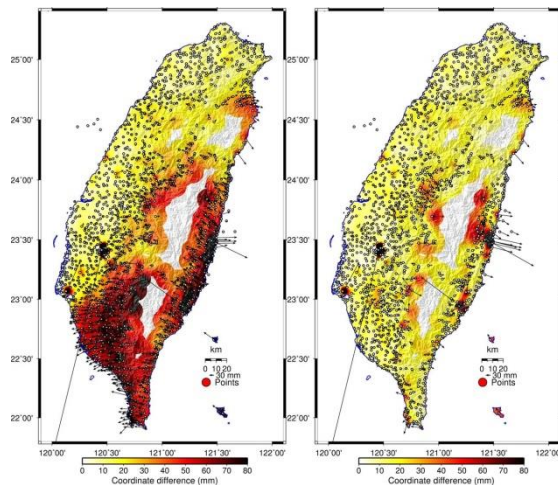


圖 15 模型修正的坐標與實測坐標差異量圖(2016 年與 2017 年)
(左圖為修正前；右圖為修正後)

接續，針對基本控制點應用半動態基準變形模型修正後與當年檢測坐標間之差異量數據統計分析部分，本研究為考慮基本控制點位因非地表自然變形（如天然災害、人為因素等）導致點位產生的差異量包含大量半動態基準無法修正之參數進而影響半動態基準修正品質，因此首先分別計算年度間採納點位（1342 點、1289 點以及 1596 點）修正前與修正後點位差異量之平均值與標準差，並以 3 倍標準差計算離群值門檻，再行剔除離群值點位後重新計算各採納點位修正前與修正後點位差異量之平均值。其次，本研究再以式 7 計算各年度間臺灣半動態基準變形模型之誤差比率，利用誤差比率探討半動態基準之修正程度與成效。相關數據計算成果如表 3 所示。

誤差比率 =

$$\text{半動態基準修正後差異量平均值} \div \text{半動態基準修正前差異量平均值} \quad \text{式 7}$$

表 3 基本控制點應用變形模型修正前後之坐標差異數據統計表

	原平均值	標準差	3 倍 標準差	離群值 門檻	剔除後 平均值	誤差比率
2013. 2016 修正前	0.162	0.186	0.559	0.720	0.157	0.555
2013. 2016 修正後	0.092	0.151	0.453	0.545	0.087	
2013. 2017 修正前	0.194	0.246	0.738	0.932	0.186	0.493
2013. 2017 修正後	0.100	0.209	0.626	0.726	0.092	
2016. 2017 修正前	0.035	0.128	0.383	0.417	0.032	0.498
2016. 2017 修正後	0.019	0.127	0.380	0.399	0.016	

根據本研究之研究成果配合表 3 所示，首先在差異量最大值方面，2013 年修正至 2016 年時，位於花蓮縣瑞穗鄉點號 U259 點位原差異量為 0.730 公尺，本為 3 倍標準差以外之離群值點位，而經修正後差異量為 0.531 公尺，符合 3 倍標準差範圍；2013 年修正至 2017 年時，差異量最大值為臺東縣鹿野鄉點號 V123 點位，原差異量為 0.930 公尺，經修正後差異量為 0.689 公尺；2016 年修正至 2017 年時，修正前

基本控制點差異量最大值同為點號 V123 點位，差異量為 0.378 公尺，經修正後差異量為 0.310 公尺。由上述情況可知，擁有最大差異量之點位在地理位置上皆位於臺灣東部地區，而在經過模型修正之後皆能有效達到降低差異量之成效。另 2016 年修正至 2017 年誤差修正量相對較少，本研究認為可能原因為 2016 年修正至 2017 年僅間隔 1 年時間，且由於超出本研究建立半動態基準之採用資料年度，因此推算之修正坐標係利用外插方式產生，將有極大可能擁有推算上的不確定性甚至錯誤之情況。接續，本研究針對 3 組分析標的採納點位之差異量平均值進行比較，基本控制點位檢測時間於相隔 3 年（2013 年與 2016 年）、相隔 4 年（2013 年與 2017 年）以及相隔 1 年（2016 年與 2017 年）時，發現臺灣基本控制點坐標會因地表的變形導致各年度在坐標上存在水平方向上的差異量，且該差異量將會隨著檢測時間間隔的增加而逐年上升；而在點位經修正後其差異量平均，各時間間隔所產生之坐標差異量皆獲得了大幅度的改善。最後，於誤差比率分析方面，透過差異量之誤差比率可判斷臺灣基本控制點之修正程度，比率越小代表整體點位經半動態基準修正後與檢測坐標之差異量越小，其修正程度越高；而本研究針對 3 組分析標的採納點位之修正前後差異量平均值計算其誤差比率，其中 2016 年修正至 2017 年時儘管推算之修正坐標係利用外插方式產生造成錯誤修正機率提升，然本研究認為由於相隔時間僅 1 年，因此仍能達到一定之修正程度；另 2 組研究標的之誤差比率中則以 2013 年修正至 2017 年擁有較高之修正程度。

而在地籍測量實務應用探討方面，由於基本控制點為地籍測量之依據，且於實務測量作業上，基本控制點於土地複丈中皆可於檢驗無誤後直接應用於測量作業，再者根據地籍測量實施規則第 73 條明定應用數值法實施地籍測量時圖根點至界址點之位置誤差容許範圍，因此本研究以該條文規範最嚴謹之市地容許誤差 2 至 6 公分作為精度統計依據。而政府單位進行複丈業務時，考量基本控制點、加密控制點及圖根點等因障礙物阻擋、部分點位滅失導致距離過長等因素，必須再建立圖根點以外之補點輔助測量作業，因此考慮誤差傳播導致的偏差，儘管法規明定市地容許誤差為 2 至 6 公分，實務上仍會盡量避免點與點之間因誤差接近 6 公分導致最後圖根點至界址點間超出容許誤差範圍。綜上所述，本研究將以市地容許誤差範圍之中位數，即 4 公分，以及實際符合容許誤差範圍 6 公分等兩個面向作為精度分析依據，應用半動態基準變形模型修正後分析坐標點位坐標改善情況，統計成果如表 4 所示：

表 4 臺灣差異量符合容許誤差統計表

		差異量 4 公分內		差異量 6 公分內	
		修正前	修正後	修正前	修正後
2013 ↓ 2016	點位數量	1342			
	符合點位數	360	512	503	666
	符合比率 (%)	26.8	38.2	37.5	49.6
	比率增幅 (%)	11.4		12.1	
2013 ↓ 2017	點位數量	1289			
	符合點位數	300	476	437	621
	符合比率 (%)	23.3	36.9	33.9	48.2
	比率增幅 (%)	13.6		14.3	
2016 ↓ 2017	點位數量	1596			
	符合點位數	1079	1526	1357	1566
	符合比率 (%)	67.6	95.6	85.0	98.1
	比率增幅 (%)	28.0		13.1	

依據表 4 彙整結果，首先就容許誤差 4 公分以內為門檻時作探討，基本控制點位坐標於進行半動態基準變形模型修正前之符合容許差比率，檢測時間間隔 3 年（2013-2016）、4 年（2013-2017）以及 1 年（2016-2017）時依序為 26.8%、23.3% 以及 67.6%；而於進行半動態基準變形模型修正後之符合容許差比率依序為 38.2%、36.9% 以及 95.6%；在符合比率增幅程度上以測時間間隔 3 年時的 11.4% 最低，檢測時間間隔 1 年時則擁有 28.0% 的最高增幅。另在以容許誤差 6 公分以內為門檻時，基本控制點位坐標於進行半動態基準變形模型修正前之符合容許差比率，檢測時間間隔 3 年、4 年以及 1 年時依序為 37.5%、33.9% 以及 85.0%；而於進行半動態基準變形模型修正後之符合容許差比率依序為 49.6%、48.2% 以及 98.1%；在符合比率增幅程度上以測時間間隔 3 年時的 12.1% 最低，檢測時間間隔 4 年時則擁有 14.3% 的最高增幅。綜上所述，本研究認為半動態基準模型應用於基本控制點

坐標之修正在整體精度表現上將會有顯著提升，且符合容許誤差比率於數值上與時間間隔成正向相關，然時間間隔並非比率之增幅大小之直接因素；本研究亦發現檢測時間間隔 4 年相較於 3 年無論於 4 公分或 6 公分容許誤差門檻時皆擁有較高的符合比率增幅，故認為時間間隔位於半動態基準建立資料期間時，隨著時間間隔增加，符合容許誤差比率之增幅將更大，與本研究前述差異量誤差比率以 2013 年修正至 2017 年擁有較高修正程度之結論相符。另於未符合誤差範圍之點位中，以臺灣西南部與東部分布數量最多，代表該區域受到地表變形影響之程度相較於臺灣北部地區甚高。

三、 區域精度成果分析

(一)、 大臺北都會區成果分析

本研究同樣採用 2013、2016 及 2017 年檢測之基本控制點坐標，選取各年度位於臺北市、新北市及基隆市之共同點位，比較共同點位年度間檢測坐標值之差異量以及坐標應用半動態基準變形模型進行修正推算後坐標值與年度檢測坐標值之差異量，將各年度間大臺北都會區內共同點位，直接計算半動態基準變形模型修正前後平均值並得出誤差比率，計算成果如表 5 所示：

表 5 大臺北都會區變形模型修正前後之坐標差異數據統計表

	平均值	誤差比率
2013. 2016 修正前	0.026	0.769
2013. 2016 修正後	0.020	
2013. 2017 修正前	0.027	0.704
2013. 2017 修正後	0.019	
2016. 2017 修正前	0.011	1
2016. 2017 修正後	0.011	

由計算成果顯示，大臺北都會區差異量平均值皆明顯低於臺灣全區之平均值，

且誤差比率相較於臺灣全區誤差比率為高，代表大臺北都會區於半動態基準之應用上，其獲得修正之程度低於全臺整體修正情況。而在各年度間誤差比率之比較分析上，2013 年修正至 2016 年及 2013 年修正至 2017 年誤差比率分別為 0.769 及 0.704，以 2013 年修正至 2017 年擁有較高之修正程度，與全臺分析結果一致。另 2016 年修正至 2017 年在平均值四捨五入後獲得誤差比率為 1，代表本研究所採用之半動態基準變形模型在大臺北都會區 2016 年與 2017 年間並沒有產生修正坐標差異量之成效，本研究認為可能原因為 2016 年修正至 2017 年時所推算之修正坐標係利用外插方式產生且由於點位差異量過小，因此造成錯誤修正機率提升。

而在地籍測量實務應用探討方面，本研究仍然將我國市地容許誤差範圍之中位數，即 4 公分，以及實際符合容許誤差範圍 6 公分兩部分作為精度分析依據進行統計分析，成果如表 6 所示：

表 6 大臺北都會區差異量符合容許誤差統計表

		差異量 4 公分內		差異量 6 公分內	
		修正前	修正後	修正前	修正後
2013 ↓ 2016	點位數量	103			
	符合點位數	93	97	100	101
	符合比率 (%)	90.3	94.2	97.1	98.1
	比率增幅 (%)	3.9		1.0	
2013 ↓ 2017	點位數量	99			
	符合點位數	87	95	98	99
	符合比率 (%)	87.9	96.0	99.0	100
	比率增幅 (%)	8.1		1.0	
2016 ↓ 2017	點位數量	109			
	符合點位數	109	109	109	109
	符合比率 (%)	100	100	100	100
	比率增幅 (%)	0		0	

依表 6 統計表進行分析探討，本研究顯示儘管點位坐標因長時間應用僅產生相對少量誤差，但在應用半動態基準變形模型之後，點位之差異量仍然會因模型之修

正而使坐標精度獲得提升。在坐標改善情況分析上，大臺北都會區利用半動態基準進行坐標修正後在檢測時間間隔4年以內之符合誤差範圍比率皆可達到90%以上，因此在地籍測量實務應用上，本研究認為各縣市可於應用半動態基準修正後，透過公告未達到容許誤差範圍之點位並暫停其點位聯測及應用直至各縣市點位誤差不敷使用重新檢測時再作更新之方式，有效且更精確地維護各點位坐標精度品質。

(二)、 新北市成果分析

本研究另以新北市為例，將新北市以區域內9個地政事務所轄區進行劃分，分析各地政事務所應用基本控制點進行測量作業時的點位實際精度情況，研究範圍中各年度間應用半動態變形模型修正前後超出容許誤差4公分及6公分之點位及所管轄之地政事務所則統整如表7所示：

表7 新北市基本控制點應用半動態基準修正前後超出容許誤差點位統計表

		超出容許誤差4公分 (差異量由小至大)	超出容許誤差6公分 (差異量由小至大)
2013 至 2016 (間隔3年)	修正前	N573 (樹林)、N989 (汐止)、 F152 (汐止)、N401 (淡水)、 N365 (瑞芳)、N054 (新店)、 N901 (汐止)、N828 (汐止)、 F253 (樹林)	N828 (汐止)、F253 (樹林)
	修正後	N365 (瑞芳)、N401 (淡水)、 N901 (汐止)、N828 (汐止)、 F253 (樹林)	F253 (樹林)
2013 至 2017 (間隔4年)	修正前	N737 (新店)、F292 (新店)、 N392 (新店)、N365 (瑞芳)、 F152 (汐止)、N989 (汐止)、 N054 (新店)、N401 (淡水)、 N901 (汐止)、N828 (汐止)、 F253 (樹林)	F253 (樹林)
	修正後	N401 (淡水)、N828 (汐止)、 N901 (汐止)、F253 (樹林)	無
2016 至 2017 (間隔1年)	修正前	無	無
	修正後	無	無

依據本研究統計成果顯示，首先在板橋、中和、新莊及三重4所地政事務所轄

區內之基本控制點方面，於正常情況之下，短時間受震間變形及同震變形之影響程度較小，且暫無使用半動態基準模型修正之需要。在坐標檢測時間間隔 1 年時，無論以容許誤差 4 公分或 6 公分為門檻時，新北市各基本控制點位皆能在未應用半動態基準時達到本研究之精度門檻，亦即半動態基準對於新北市而言在間隔 1 年的時間並無應用之需要即能符合現行臺灣法令規範。在坐標檢測時間間隔 3 年方面，以容許誤差 4 公分為精度門檻時，新北市共計有 9 點基本控制點超出精度範圍，以汐止地政事務所轄區共計 4 點最多，另以樹林地政事務所轄區中點號 F253 差異量最大，而經半動態基準修正後，將減少為 4 點基本控制點超出精度範圍；以容許誤差 6 公分為精度門檻時，新北市共計有 2 點基本控制點超出精度範圍，分別為汐止地政事務所轄區點號 N828 以及樹林地政事務所轄區點號 F253，經半動態基準修正後，將僅剩 F253 超出精度範圍。在坐標檢測時間間隔 4 年方面，以容許誤差 4 公分為精度門檻時，新北市共計有 11 點基本控制點超出精度範圍，以新店及汐止地政事務所轄區內 4 點最多，另以樹林地政事務所轄區中點號 F253 差異量最大，而經半動態基準修正後，將減少為 4 點基本控制點超出精度範圍；以容許誤差 6 公分為精度門檻時，新北市僅樹林地政事務所轄區點號 F253 超出精度範圍，惟在經修正後將可使其符合容許範圍。綜上所述，板橋、中和、新莊及三重地政事務所轄區內基本控制點目前並無超出 4 公分及 6 公分誤差容許範圍內之情況，其餘地政事務所轄區內之基本控制點，以資料蒐集時間範圍內而言，在長時間經模型修正後將有一定能力使點位符合容許範圍。

伍、 結論

綜合本研究之相關文獻統整與實證分析，在臺灣半動態基準變形模型之應用方面，臺灣基本控制點坐標會因地表的變形導致各年度在坐標上存在水平方向上的差異量，且該差異量將會隨著檢測時間間隔的增加而逐年上升，且修正後位移方向上皆與點位實際位移方向相近。另本研究認為若點位坐標資料位於臺灣半動態基準建置所蒐集之觀測資料期間內，時間間隔越長將使誤差比率越小，代表半動態基準變形模型的修正程度越高；而研究資料時間若位於模型建立資料期間之外時，由於須透過外插推估修正後坐標，因此容易提高錯誤修正的可能。在地籍測量實務應用探討方面，本研究則認為符合容許誤差比率在數值上與時間間隔成正向相關，然比率之增幅則與時間間隔無直接關聯，且模型內插所獲得之成效將明顯優於外插成果。

在區域性半動態基準之應用成效上，於臺北市、新北市及基隆市大臺北都會區範圍中，基本控制點之位移狀況相對於臺灣西南部較為穩定，即使差異量不高，仍然可以透過半動態基準變形模型之修正達到縮小差異量提高精度之效果。在大臺北都會區各縣市之建議上，認為可於應用半動態基準修正後，透過公告並暫停其點位聯測及應用仍未達到容許誤差範圍之點位直至重新檢測時再作更新之方式，有效維護各點位坐標精度品質。最後本研究針對我國現行作業規範建議方面，認為半動態基準修正了坐標之絕對精度，因此在應用上必須為全國性的坐標統一更新以維持坐標與坐標間的相對精度關係；方式上則透過公告最新之水平速度場以及期間因地震導致的同震位移場資訊，由使用者考量需求將原公告之法定坐標進行解算；在應用時機上，本研究認為透過容許誤差符合比率作為更新時機之門檻，於符合比率低於規定比率後即應公告最新半動態基準修正資訊。

本研究透過臺灣基本控制點應用半動態基準變形模型進行修正後，坐標於水平方向精度上獲得有效之提升，證明了半動態基準應用於現行臺灣測量實務上之可行性，亦針對研究之成果提供半動態基準制定規範之建議，希冀能作為現今基本控制點之維護、更新、應用以及我國未來地籍測量實務上之參考。

參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2018a，平面控制，<http://www.nlsc.gov.tw/cp.aspx?n=1482>（最後瀏覽日期：2021 年 10 月 1 日）。
- 內政部國土測繪中心，2018b，內政部公告 0206 花蓮地震後基本控制點檢測成果。
- 內政部國土測繪中心，2013，102 年度建置現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告。
- 內政部國土測繪中心，2016，105 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告。
- 內政部國土測繪中心，2017a，地籍圖重測 106 年計畫。
- 內政部國土測繪中心，2017b，105 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告。
- 孔冠傑，2013，台灣西南部動態坐標系統之建立，*國立成功大學測量及空間資訊學系碩士學位論文*。
- 邱元宏，2016，時變基準於臺灣基本測量與地籍測量影響探討，*國立交通大學土木工程學系博士學位論文*。
- 林文勇、劉至忠、劉正倫，2012，臺灣大地基準之一九九七坐標系統 2010 年成果，*地籍測量*，第 31 卷第 3 期，頁 1—15。
- 郭徐伸，2014，建立台灣半動態基準之水平速度模型，*國立成功大學測量及空間資*

訊學系碩士學位論文。

景國恩、孔冠傑，2014，台灣西南部半動態基準之建立，*國土測繪與空間資訊*，2，2，頁 85-105。

景國恩、楊名、陳鶴欽、林文勇、梁旭文、劉正倫，2017，臺灣半動態基準之建立與展望，*國土測繪與空間資訊*，第 5 卷第 2 期，頁 83-109。

Bourne, S. J., P. C. England, and B. Parsons, 1998, The motion of crustal blocks driven by flow of the lower lithosphere and implications for slip rates of continental strike-slip faults, *Nature*, 391, pp.655-659.

Chlieh, M., J. B. de Chabalier, J. C. Ruegg, R. Armijo, R. Dmowska, J. Campos, and K. L. Feigl, 2004, Crustal deformation and fault slip during the seismic cycle in the north Chile subduction zone, from GPS and InSAR observations, *Geophys. J. Int.*, 158, pp.695-711.

Grant, D.B., Blick, G.H., Pearse, M.B., Beavan, R.J., Morgan, P.J., 1999, The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000, *Presented at IUGG99 General Assembly, Birmingham UK*, pp. 18-30.

Grant, D.B., Donnelly, N., Crook, C., Amos, M., Ritchie, J., Roberts, C., 2015, Special feature—managing the dynamics of the New Zealand spatial cadaster, *Journal of Spatial Science*, 60, 1, pp. 3-18.

Hatanaka, Y., T. Iizuka, M. Sawada, A. Yamagiwa, Y. Kikuta, J. M. Johnson and C. Rocken, 2003, Improvement of the Analysis Strategy of GEONET, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 49, pp.1-35.

Nur, A., and G. Mavko, 1974, Post-seismic viscoelastic rebound, *Science*, 183, pp.204-206.

Peltzer, G., P. Rosen, F. Rogez, and K. Hudnut, 1996, Postseismic rebound in fault step-overs caused by pore fluid flow, *Science*, 273, pp.1202-1206.

Roeloffs, E., 1996, Poroelastic techniques in the study of earthquake-related hydrological phenomena, *Advances in geophysics*, 37, pp.135-195.

Thatcher, W., and J. B. Rundle, 1984, A viscoelastic coupling model for the cyclic deformation due to periodically repeated earthquakes at subduction zones, *J. Geophys. Res.*, 89, pp.7631-7640.

Tregoning, P., Jackson, R., 1999, The need for dynamic datums, *Geomatics Research Australasia*, 71, pp. 87-102.

Tse, S.-T., and J. R. Rice, 1986, Crustal earthquake instability in relation to the depth variation of frictional slip properties, *J. Geophys. Res.*, 91, pp.9452-9472.

Tsuji, H. and S. Matsuzaka, 2004, Realization of Horizontal Geodetic Coordinates 2000, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 151, pp.11-30.

Tsuji, H. and K. Komaki, 2005, Towards the Realization of Geo-Referencing Infrastructure for Dynamic Japan (GRID-Japan), *Bulletin of the Geographical*

Survey Institute, 52, pp.1–11.