

臺灣衛星連續站坐標時間序列分析與 平面坐標基準適用期之探討

周逸屏* 陳國華** 景國恩*** 楊 名**** 陳鶴欽*****

論文收件日期：108年10月28日

論文修改日期：109年05月18日

論文接受日期：109年05月25日

摘 要

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處，為板塊運動活躍地區，由於板塊間的相對運動，使得臺灣目前使用的一九九七坐標系統2010年成果（簡稱TWD97[2010]），在精度上逐漸失去其準確性。近年來，臺灣地區逐步利用衛星觀測資料建立國家坐標系統，藉以維護其精度及延長適用期。本研究進行357個GPS衛星連續觀測站每日坐標的時間序列分析，以瞭解臺灣地區衛星連續觀測站的坐標時間序列擬合精度，成果顯示臺灣地區衛星連續觀測站在水平方向的時間序列擬合精度（95%信賴區間）為 ± 12.0 mm，並利用坐標時間序列分析得到的GPS衛星連續觀測站速度推得臺灣地區的地表應變速率，以搭配測量作業規範檢視臺灣各地區TWD97[2010]成果的應用精度，提出各行政區適用的坐標系統建議，以提升測繪作業精度。依據本研究結果顯示，臺灣多數地區的TWD97[2010]公告成果在使用約10年之後，即無法符合高精度測量作業的需求，特別在西南部以及東部地區即有更新坐標系統之必要。

關鍵詞：一九九七坐標系統2010年成果（TWD97[2010]）、衛星連續觀測站、坐標時間序列分析、應變速率

* 碩士，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。

** 副教授，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系。TEL：(02)86741111#67420，E-mail：khchen@mail.ntpu.edu.tw。

*** 副教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

**** 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系。

***** 課長，內政部國土測繪中心控制測量課。

A Study on the Coordinate Time Series Analyzing of CORS and Applications of the Horizontal Coordinate System in Taiwan

Yi-Ping Chou*, Kwo-Hwa Chen, Kuo-En Ching***,
Ming Yang****, He-Chin Chen*******

ABSTRACT

Taiwan is located at the plate boundary between the Eurasian plate and Philippine Sea plate. Due to the relative motions between the two plates, the accuracy of the current static geodetic datum, TWD97[2010] are decreasing with time. In recent years, Taiwan has gradually established the national geodetic datum using the GPS data for maintaining the internal accuracy. By means of analyzing the coordinate time series on 357 continuously operating reference stations (CORS) data in Taiwan, the results showed the accuracy average is ± 12 mm (under 95% confidence interval) in the horizontal component. In addition, based on the strain rate estimation from the CORS data, this study provided the suggestions on choosing the optimum coordinate system to maintain the accuracy of the field surveying in Taiwan. As the results, it showed that the coordinate system could only be used within 10 years for the requirements of the field surveying at a high level in most area of Taiwan. Especially in the southwest and the eastern regions of Taiwan, the coordinate system should be update in time.

Key words: TWD97[2010], continuously operating reference station (CORS), coordinate time series analyzing, strain rate

* Master, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.

** Associate Professor, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University.
TEL: +886-2-8674-1111 #67420, E-mail: khchen@mail.ntpu.edu.tw.

*** Associate Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

**** Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

***** Section Chief, Control Surveying Section, National Land Surveying and Mapping Center, M.O.I.

一、前 言

臺灣位於板塊構造活動頻繁地區（Yu et al., 1997; Yu et al., 1999; Yu and Kuo, 2001），使得境內測量控制點隨時間累積而產生絕對與相對位置之變動，為維護坐標系統的精確性，臺灣歷經若干次的國家坐標系統更新。在這些歷程中，多採用重新施測點位坐標並固定於某公告時刻的靜態式更新方法，例如一九九七坐標系統2010年成果（簡稱TWD97[2010]）的作法。然而，在臺灣這樣複雜的板塊構造環境下，此種僅描述公告時刻控制點位置的靜態式坐標系統，在使用一段時間後，將面臨點位變動使得精度逐漸降低的情況，導致無法符合測量作業規範的要求。因此，有效掌握測量控制點隨時間變動的趨勢，進而建立可描述點位地表位移量的時間修正函數模型（本文稱之為地表變形模型），據以修正控制點位與時間相關的地表位移量，乃為一可行且能有效節省重新測量所需龐大人力、經費之國家坐標系統精度維護方式（內政部國土測繪中心，2016；2017；2018；2019）。

地表變形模型主要包含地表速度場模型與地表同震位移模型，藉由點位的坐標時間序列分析，可得到點位的位移速度，進而可建立地表的速度場模型；利用地震事件的前後地表位移量，則可建立該地震的地表同震位移模型，整合這兩個模型之後的地表變形模型，即可作為提供國家坐標系統精度維護使用，延長國家坐標系統的適用期。

近年，半動態參考框架（Semi-kinematic reference frame）概念逐漸被採用於坐標系統之維護，運用建置完成的地表變形模型，可將某公告時刻的已知控制點坐標推算至外業觀測時刻，進行當日觀測量的約制網平差計算後，再將新測點位的當日坐標利用地表變形模式回推至公告時刻，使與公告的國家坐標系統一致，即為半動態參考框架的概念。國際上，許多位於板塊交界地區的國家，例如：紐西蘭、日本及美國，現階段均採用半動態參考框架的概念建立其國家坐標系統，例如紐西蘭的NZGD2000、日本的JGD2011及美國的NAD83（Grant et al., 1999; Tsuji and Matsuzaka, 2004; Pearson et al., 2010）。半動態參考框架涵蓋靜態的國家坐標系統與地表變形模型，可有效修正點位坐標的地表位移影響，提升國家坐標系統的精度與使用期（Grant et al., 1999；內政部國土測繪中心，2013；2016；2017；2018；2019；Ching and Chen, 2015；邱元宏，2016；Li et al., 2019）。

然而，半動態參考框架的準確度有賴於高品質的地表變形模型，運用GPS連續觀測站資料進行坐標時間序列分析以建立地表速度場模型為精度品質控制的主要關鍵之一。因此，本研究首先進行臺灣地區衛星連續觀測站的水平坐標時間序列分

析，藉以了解坐標時間序列的擬合精度與水平速度場模型品質。

另一方面，本研究藉由檢視臺灣現行的測量作業規範，探討TWD97[2010]坐標成果的適用期為何？透過臺灣地區地表應變速率的推算，討論各行政區對於TWD97[2010]坐標成果的適用情況，提出坐標系統應用或更新的參考建議，以提升測量成果精度。

二、衛星連續觀測站坐標時間序列分析

本文使用2000年1月至2017年9月共357個GPS衛星連續觀測站的每日坐標成果進行坐標時間序列分析，藉以了解坐標時間序列的擬合精度。

（一）坐標時間序列擬合

本研究首先利用基線解算處理軟體Bernese 5.2進行GPS衛星連續觀測站的每日資料解算，獲得各衛星連續觀測站的每日坐標，接續利用（式1）進行坐標時間序列的擬合（Nikolaidis, 2002）：

$$y(t_i) = a + bt_i + c \cos(2\pi t_i) + d \sin(2\pi t_i) + e \cos(4\pi t_i) + f \sin(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_g} g_j \cdot$$

$$H(t_i - T_{eq}) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot t_i + \sum_{j=1}^{n_k} k_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot \exp^{-(t_i - T_{eq})/\tau_j} + v_i \dots\dots\dots (1)$$

其中，a為截距項，b為震間期（inter-seismic period）地殼運動速率，c、d為年週期（annual period）變化之振幅；e、f為半年週期（semi-annual period）變化之振幅， g_j 為同震位移量或人為更換天線造成的不連續跳動； h_j 為震後線性速率改變量， k_j 為震後變形呈指數衰減的現象； v_i 為殘差項。其中H為階梯函數（Heaviside step function）， τ_j 為鬆弛時間（relaxation time），代表震後變形衰減至總變形量1/e所需時間。

經由坐標時間序列分析後可獲得如圖1之成果（以草屯站CAOT為例），透過移除圖中的速率、週期性訊號以及地震事件訊號之後，可得到時間序列擬合的殘差值（residual），如圖2所示，藉此評估時間序列的擬合精度。

（二）坐標時間序列擬合

1. 全臺的整體擬合精度

經由坐標時間序列分析的結果，可瞭解臺灣地區各衛星連續觀測站的每日坐標

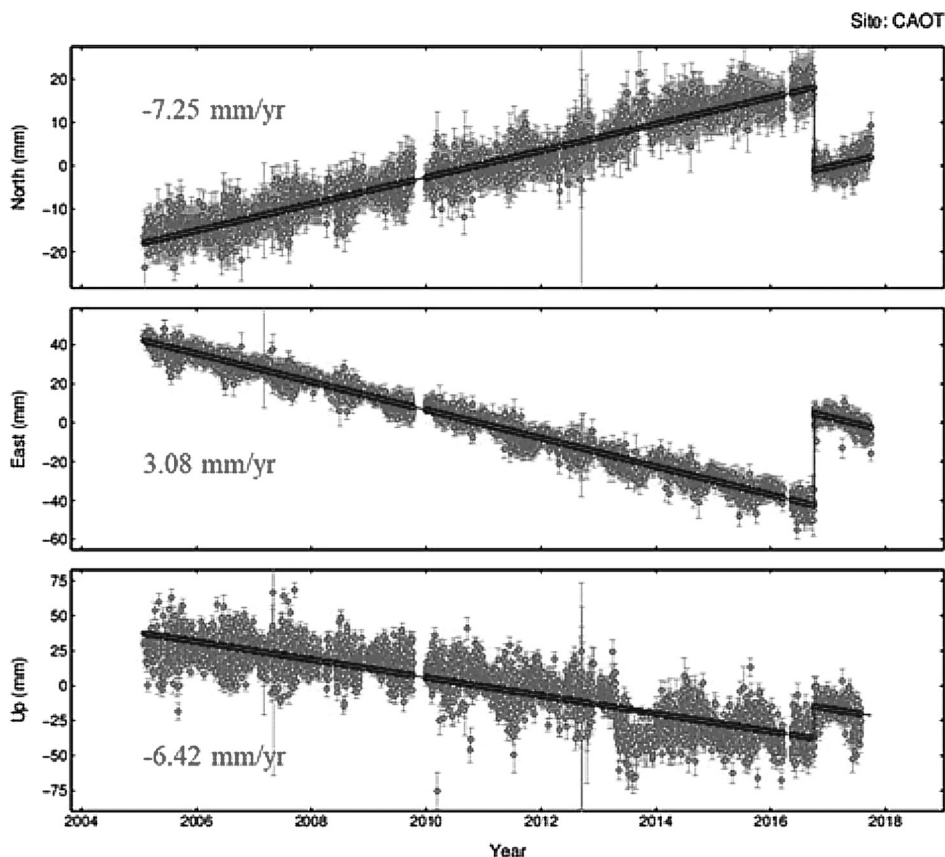


圖1 草屯站（CAOT）坐標時間序列擬合成果圖。紅色圓圈為原始坐標時間序列，藍色圓圈為擬合後的坐標值，綠線為擬合線。

擬合情況。由結果得知臺灣GPS衛星連續觀測站的整體平均精度，在E分量為 ± 4.8 mm，N分量為 ± 3.4 mm，水平方向的精度為 ± 6.0 mm，如圖3所示，可知坐標時間序列擬合精度的分布具有區域性，花東縱谷地區與西南部山麓地區的數值較大。

2. 西南部與東部地區擬合精度

依據坐標時間序列擬合之統計結果，得知臺灣西南部衛星連續觀測站的平均精度在E方向為 ± 4.9 mm，N方向為 ± 3.3 mm，水平方向則為 ± 5.9 mm，如圖4所示，可得知其與全臺的整體精度相近，但離散程度較小，表示西南部地區的衛星連續觀測站之坐標時間序列擬合結果較全臺的結果更趨於一致。

另由圖5可顯示臺灣東部地區衛星連續觀測站的平均擬合精度，在E方向為 ± 6.1

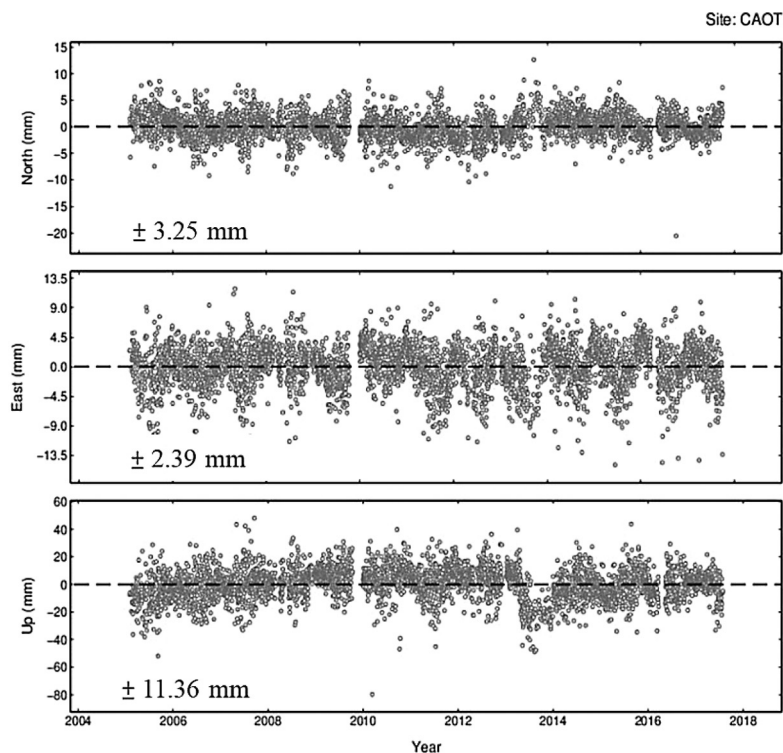


圖2 草屯站（CAOT）坐標時間序列之殘差圖。
紅色圓圈為移除地表速率及同震位移後的殘差值。

mm，N方向為 ± 4.6 mm，水平方向為 ± 7.8 mm，可得知東部地區衛星連續觀測站的整體精度低於全臺整體精度，表示東部地區各衛星連續觀測站的坐標時間序列擬合品質較不一致。

三、行政區坐標系統選擇建議

若要檢測測量控制點的公告坐標是否可用？可依據相關的測量作業規範，進行點位間相對位置是否變化之檢驗，如果點位之間的地表位移方向大致相同，則其間的對應坐標較能維持原有的相對關係（內政部國土測繪中心，2016；2017；2018；2019）。然而，若點位之間的相對位置變化並非完全一致，則隨著時間的增長，控制點位之間的相對位置將逐漸改變，當其間的位移量超過規範值時，則須進行點位坐標的更新。如何偵測控制點位之間的相對位置已產生相對的變化？利用地表的應

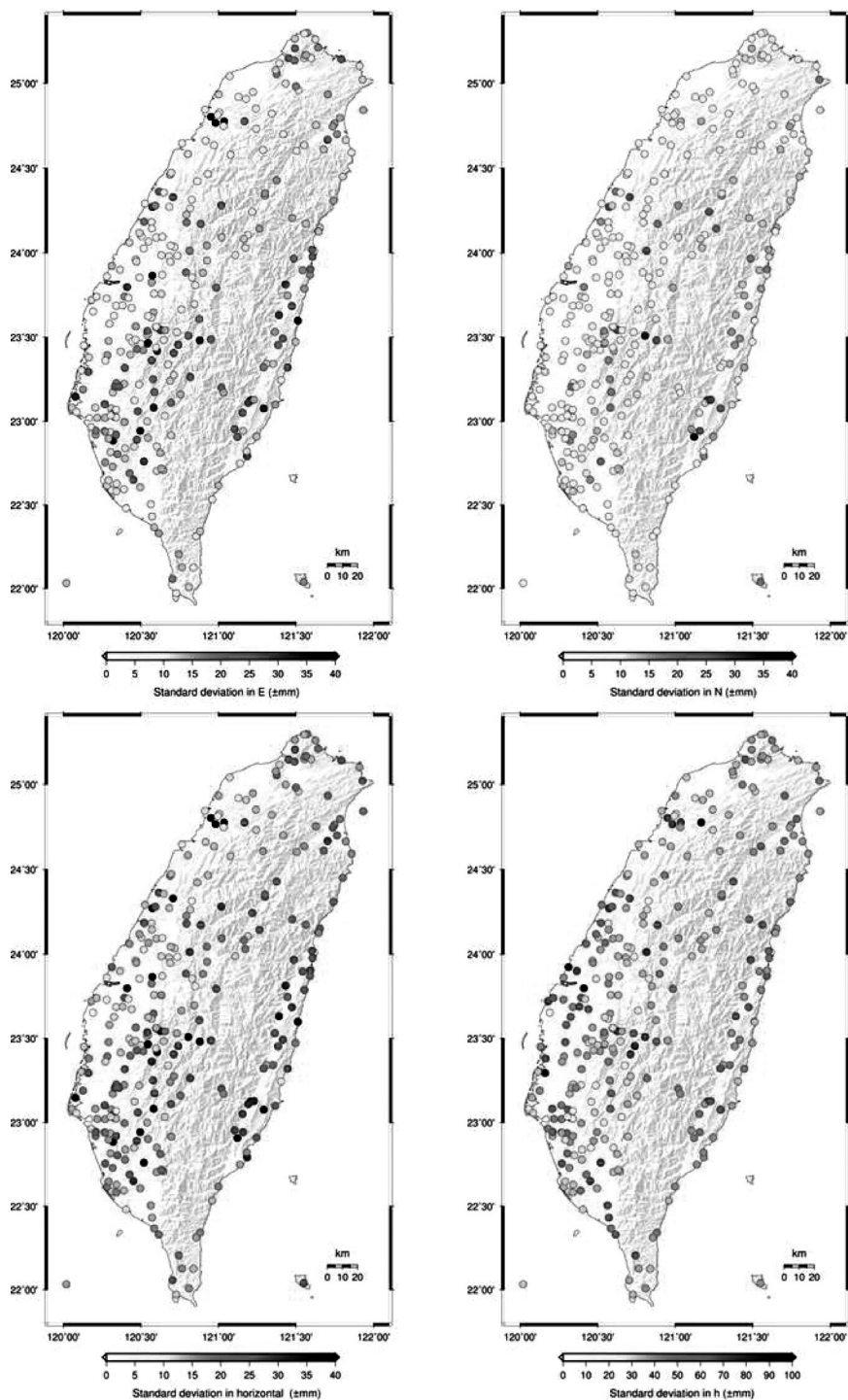


圖3 臺灣地區GPS衛星連續觀測站之坐標時間序列分析各分量擬合精度分布圖，圓圈為衛星連續觀測站之位置，圓圈之顏色表示擬合精度大小。

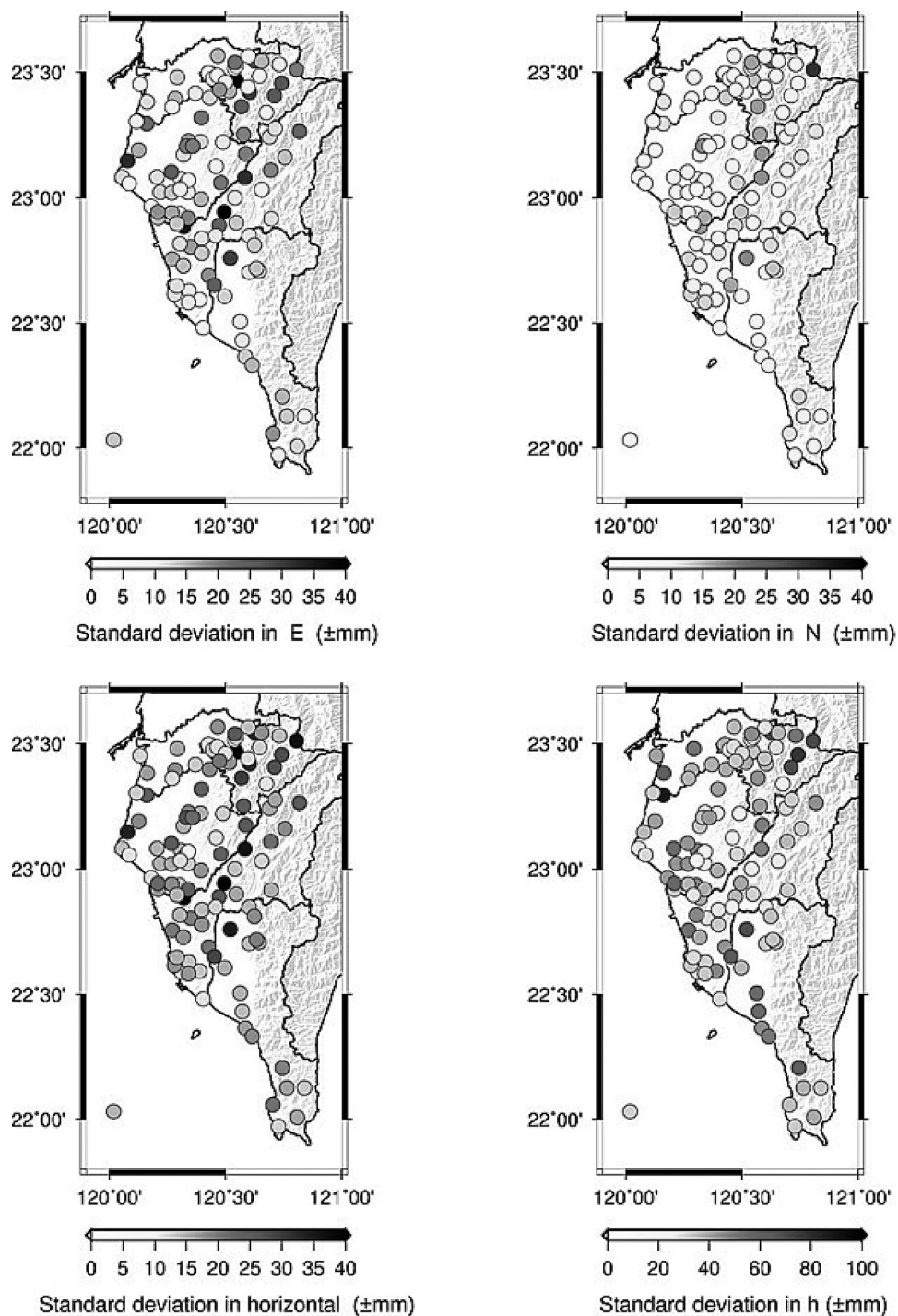


圖4 臺灣地區GPS衛星連續觀測站之坐標時間序列分析各分量擬合精度分布圖，圓圈為衛星連續觀測站之位置，圓圈之顏色表示擬合精度大小。

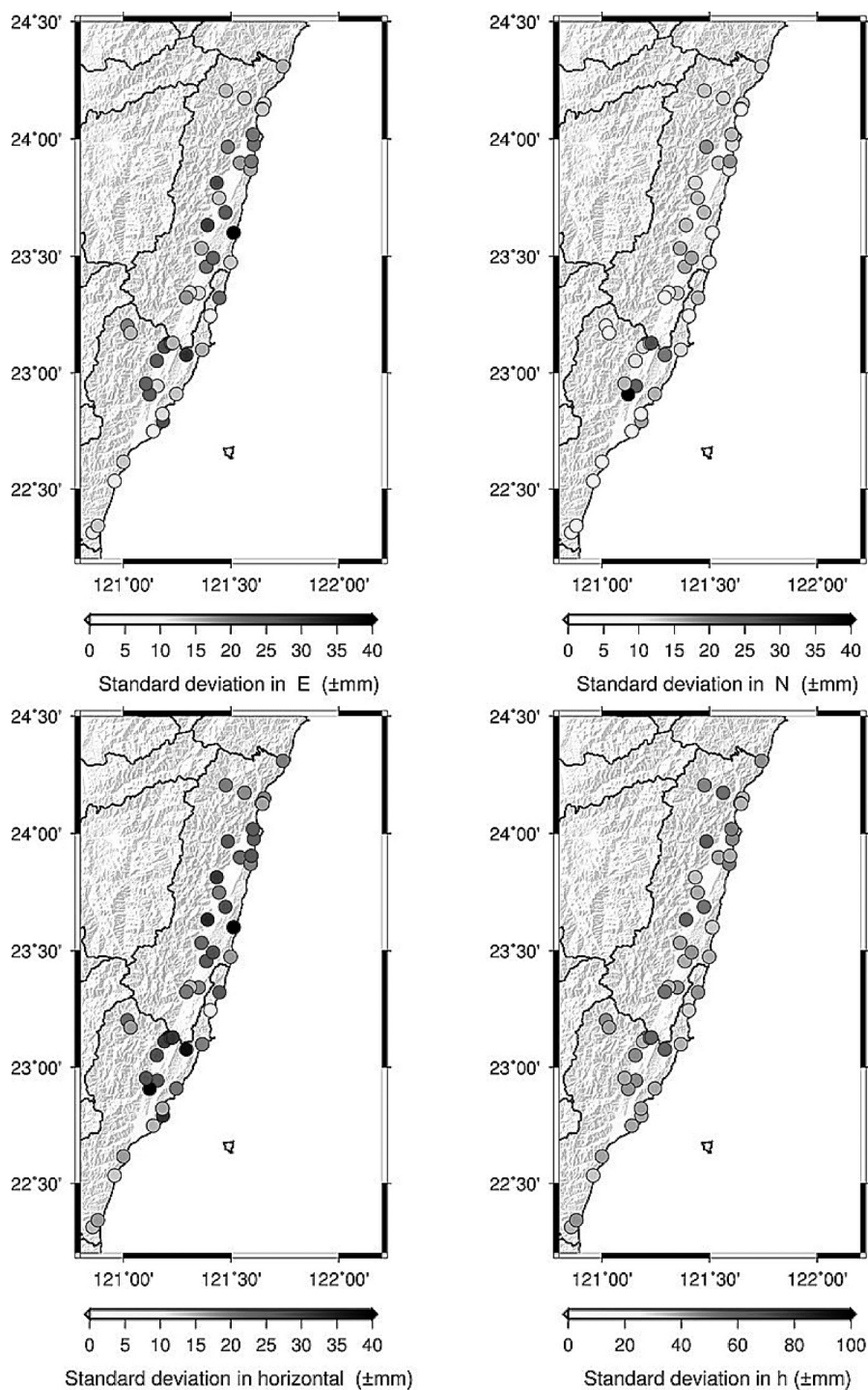


圖5 臺灣東部地區GPS衛星連續觀測站之坐標時間序列分析各分量擬合精度分布圖，圓圈為衛星連續觀測站之位置，圓圈之顏色表示擬合精度大小。

變速率資訊為一直觀且可行的判斷線索。測量控制網內的任一條觀測基線之應變速率（ $\dot{\epsilon}$ ）可表示為：

$$\dot{\epsilon} = \frac{\left(\frac{dL}{dt}\right)}{L} \dots\dots\dots (2)$$

其中L為基線長，dL為基線變化量，dt時間間隔。

應變速率即為觀測基線於單位時間內的長度變化率，可視為基線長度的平均變化量，因此，若控制點的公告坐標受到地表變形影響而產生隨時間的變化，則兩控制點之間的基線長度變化量與其應變速率的關係函數可由（式2）整理如下：

$$\text{基線長度變化量 (mm)} = \text{應變速率} \times \text{基線長度 (L)} \times \text{使用期} \dots\dots\dots (3)$$

將式3對照於測量作業規範，可求得應變速率與作業規範之間的函數關係，藉此可作為分析各行政區公告坐標系統適用期之用，方式如下：

（一）地表應變速率分析

利用測站的速度及其與鄰近測站的間距，可推得待求點位的應變速率（Shen et al, 1996）。本研究使用2000年1月至2017年9月共357個GPS衛星連續觀測站，以及2000年1月至2016年10月共785個GPS衛星時段觀測站，總計1,143個觀測站之資料，依據（式1）得到臺灣的地表水平速度場如圖6（a），並繪製0.045×0.045度規則網格點，使用鄰近網格點的各測站速度即可推算規則網格點的應變速率，獲得臺灣地區的地表應變速率圖如圖6（b）。

本研究接續依據現行的控制測量及地籍測量作業規範，進行TWD97坐標系統2010年成果（TWD97[2010]）的適用期分析，評估當使用期分別為10年與20年時的適用情況，提供各縣市政府決策其坐標系統更新時機的參考。

1. 控制測量應用探討

臺灣目前使用的控制測量作業規範，主要為國土測繪法基本測量實施規則，分別就衛星定位測量、三角三邊測量及精密導線測量等方式訂定對應的相對精度規範。由於本研究使用的資料為GPS衛星定位測量成果，因此，本研究的主要分析對象為衛星定位測量作業規範，整理如表1。

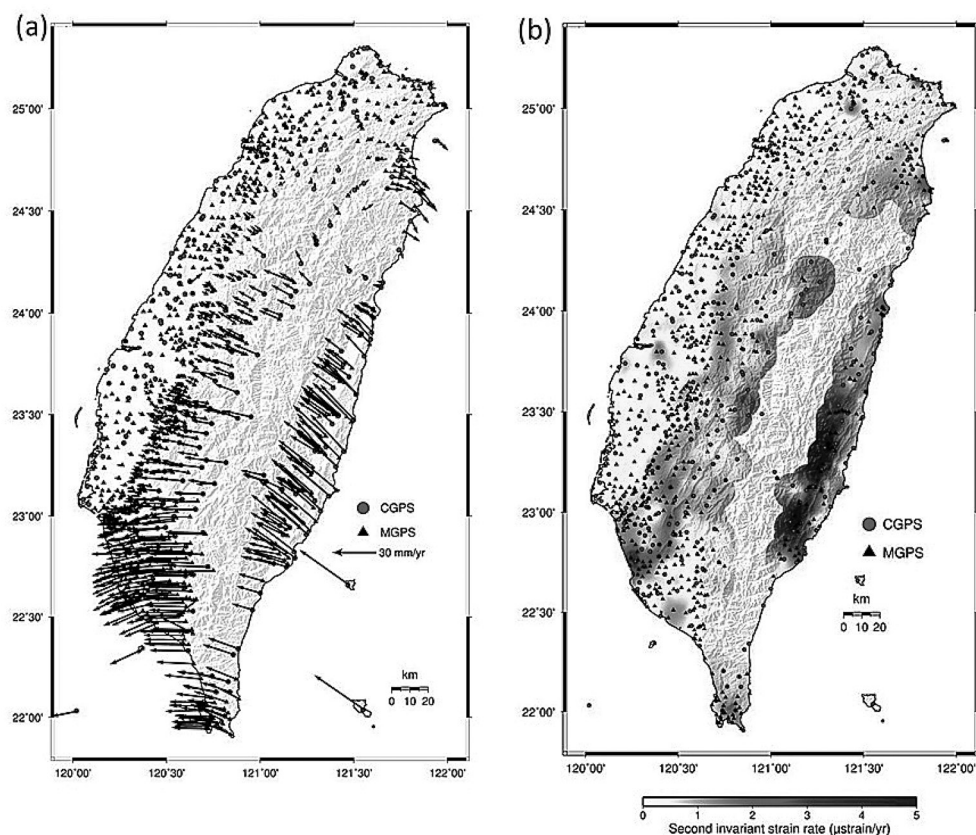


圖6 臺灣地區地表水平應變速率及測站分布圖。CGPS/Continuous Station為GPS衛星連續觀測站；MGPS/Mobile station為GPS衛星時段觀測站。
(a) 臺灣地區水平速度場圖。(b) 臺灣地區地表水平應變速率圖。

表1 國內衛星控制測量之相對精度規範

法規	項目	等級	精度規範	備註
基本測量 實施規則	基線長度	一等衛星控制點	$10 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6}L$	L：公里 (KM)
	較差	二等衛星控制點	$20 \text{ mm} + 4 \times 10^{-6}L$	

首先，本研究以規範訂定的誤差容許值進行分類，再據以估計坐標系統於各適用期所對應的應變速率，計算方式如下：

$$\text{應變速率} (\mu\text{strain/yr}) = \frac{\text{基線較差(mm)}}{\text{基線長度 (km)} \times \text{使用期 (yr)}} \dots\dots\dots (\text{式4})$$

據此得到測量精度規範與地表應變速率間的對應關係。

本研究先分別計算臺灣一等及二等衛星控制點相鄰間距的平均值，得到結果分別為13 km及5 km，並以此作為基線長度L的代表值，以推算各級控制點基線較差的誤差容許值，即可分析得知坐標系統於各地區使用10年或20年之後，是否仍符合規範的情況。

由表1可知一等衛星控制點的精度規範為 $10\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}L$ ，依據估算的一等衛星控制點平均距離（13公里）代入計算可得其規範值，得知當坐標系統使用10年後，若某地區的地表應變速率高於 $0.28\mu\text{strain}$ ，則該地區的地表相對位移量即將不符合一等衛星控制點的作業規範；同理，在地表應變速率大於 $0.14\mu\text{strain}$ 的地區，其坐標系統的使用期限至多僅能達20年，隨後即無法符合一等衛星控制點的規範，即需要進行坐標系統的更新，據此，本研究分別獲得一等衛星控制點在使用10年與20年後之各地區適用情形如圖7、8所示。依此類推，整理一、二等衛星控制點的作業規範與各地區的地表應變速率，並分析坐標系統使用10年與20年之後的結果如表2所示。

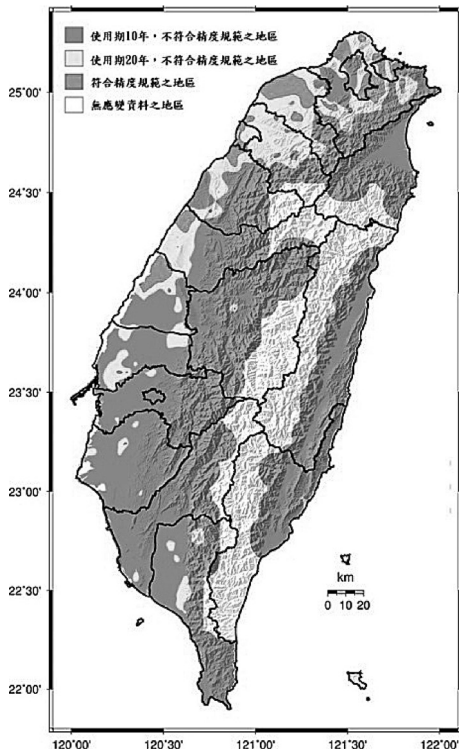


圖7 一等衛星控制點之規範
適用情形

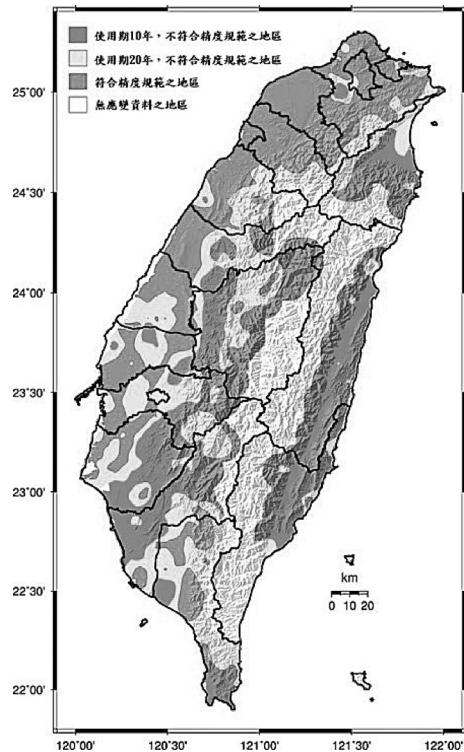


圖8 二等衛星控制點之規範
適用情形

表2 基本測量實施規則之衛星控制點作業規範與地表應變速率關係

項目	基線長度 較量差	測站 平均間距	容許 誤差	精度不符合地區的地表應變速率	
				使用期10年	使用期20年
一等控制點	$10 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} L$	13 km	36 mm	大於0.28 $\mu\text{strain/yr}$	大於0.14 $\mu\text{strain/yr}$
二等控制點	$20 \text{ mm} + 4 \times 10^{-6} L$	5 km	40 mm	大於0.80 $\mu\text{strain/yr}$	大於0.40 $\mu\text{strain/yr}$

2. 地籍測量應用探討

地籍測量作業主要區分有圖解法與數值法，在地籍測量實施規則中分別具不同的精度規範。圖解法地籍測量由於考量較多的自然或人為因素影響，因此，其規範較為寬鬆，甚或有誤差容許值高於地表變形的情況（邱元宏，2016）。因此，本研究僅探討數值法的地籍測量作業規範（中華民國106年1月9日台內地字第1051310441號令修正發布），如表3所列。

表3 地籍測量之相對精度規範

項 目		等級	精度規範
戶地測量	圖根點至界址點之位置誤差 (最大誤差)	市地	0.06 m
		農地	0.20 m
		山地	0.45 m
	界址點間施測邊長與坐標反算邊長	市地	$0.02 \text{ m} + 0.003 \text{ m} \sqrt{S}$
		農地	$0.04 \text{ m} + 0.01 \text{ m} \sqrt{S}$
		山地	$0.08 \text{ m} + 0.02 \text{ m} \sqrt{S}$
土地複丈	圖根點及界址點檢測 (點位間施測邊長與坐標反算邊長)	市地	$0.04 \text{ m} + 0.005 \text{ m} \sqrt{S}$
		農地	$0.08 \text{ m} + 0.01 \text{ m} \sqrt{S}$
		山地	$0.08 \text{ m} + 0.02 \text{ m} \sqrt{S}$

(S係邊長，單位為公尺)

依據地籍測量實施規則第73條，實施戶地測量時，圖根點至界址點位置的誤差依不同地區（市地、農地、山地）有其規範要求，本研究續以（式4）進行分析，坐標系統的使用期仍設定為10年與20年，以了解測量控制點成果於市地、農地及山地的適用情形如表4，各地區的規範適用情形如圖9、10所示，可以發現在大多數地區，縱使有地表位移的情況，但大多仍可符合地籍測量實施規則之各項作業規範要求。

表4 圖根點至界址點位置誤差之精度規範與地表應變速率對應關係表

項目	最大誤差 (mm)	對應的地表應變速率	
		使用期10年	使用期20年
市地	60	大於6.0 $\mu\text{strain/yr}$	大於3.0 $\mu\text{strain/yr}$
農地	200	大於20.0 $\mu\text{strain/yr}$	大於10.0 $\mu\text{strain/yr}$
山地	450	大於45.0 $\mu\text{strain/yr}$	大於22.5 $\mu\text{strain/yr}$

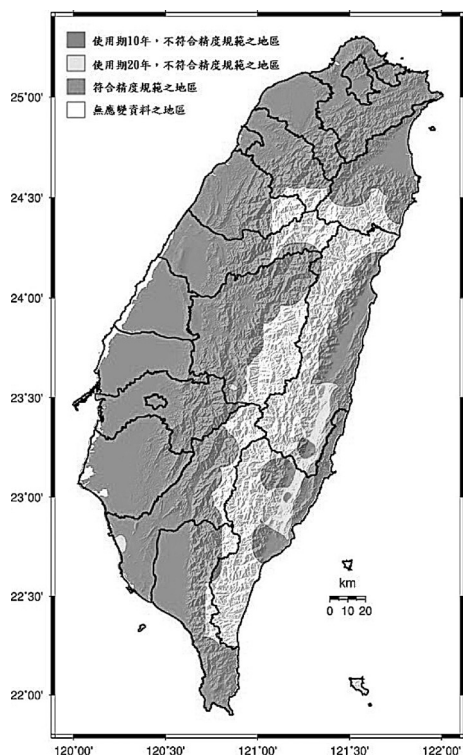


圖9 圖根點至界址點位置誤差之市地規範適用情形

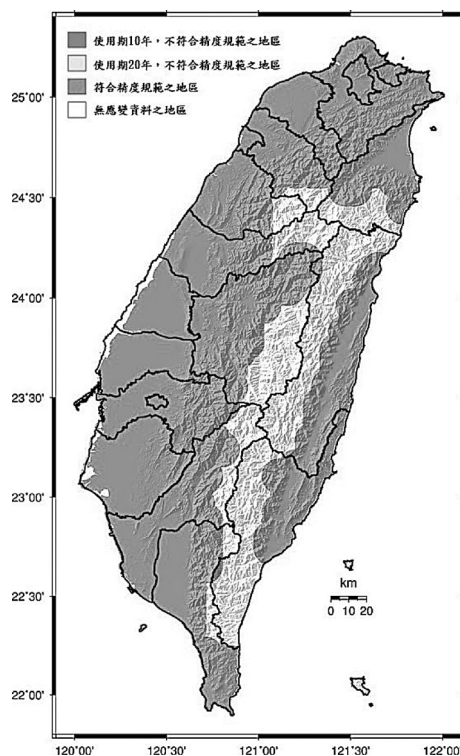


圖10 圖根點至界址點位置誤差之農地規範適用情形

(二) 各行政區坐標系統選擇之建議

本研究探討各行政區選用坐標系統之適用情況，提供TWD97[2010]) 坐標成果於各行政區使用的參考建議。

1. 控制測量應用分析

本節設定的坐標系統使用期仍分別為10年與20年，並對照各級控制點規範整理得表5及圖11之建議，分述如下：

(1) 北部地區（基隆市、臺北市、新北市、桃園市及新竹縣市）

由於北部地區地表的應變速率大多小於 $0.5\mu\text{strain/yr}$ ，使得地表點位間的相對變化較小。因此現階段在基隆市、新北市、臺北市、桃園市以及新竹縣市等北部地區的TWD97[2010]坐標成果仍可適用。

(2) 中部地區（苗栗縣、臺中市、彰化縣、南投縣及雲林縣）

中部地區的地表應變速率較北部地區為大，由圖11可知，建議目前臺中市、苗栗縣、彰化縣及雲林縣等仍可採用TWD97[2010]坐標成果，但應逐漸進行更新

表5 臺灣行政區坐標系統之選擇建議

行政區	適用之坐標系統	行政區	適用之坐標系統
基隆市	TWD97[2010] 仍可適用	雲林縣	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新
臺北市	TWD97[2010] 仍可適用	嘉義縣	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新
新北市	TWD97[2010] 仍可適用	嘉義市	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新
桃園市	TWD97[2010] 仍可適用	臺南市	TWD97[2010] 大部分須更新
新竹縣	TWD97[2010] 仍可適用	高雄市	TWD97[2010] 大部分須更新
新竹市	TWD97[2010] 仍可適用	屏東縣	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新
苗栗縣	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新	宜蘭縣	TWD97[2010] 大部分須更新
臺中市	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新	花蓮縣	TWD97[2010] 大部分須更新
彰化縣	TWD97[2010] 仍可適用， 但應逐漸更新	臺東縣	TWD97[2010] 大部分須更新
南投縣	TWD97[2010] 大部分須更新		

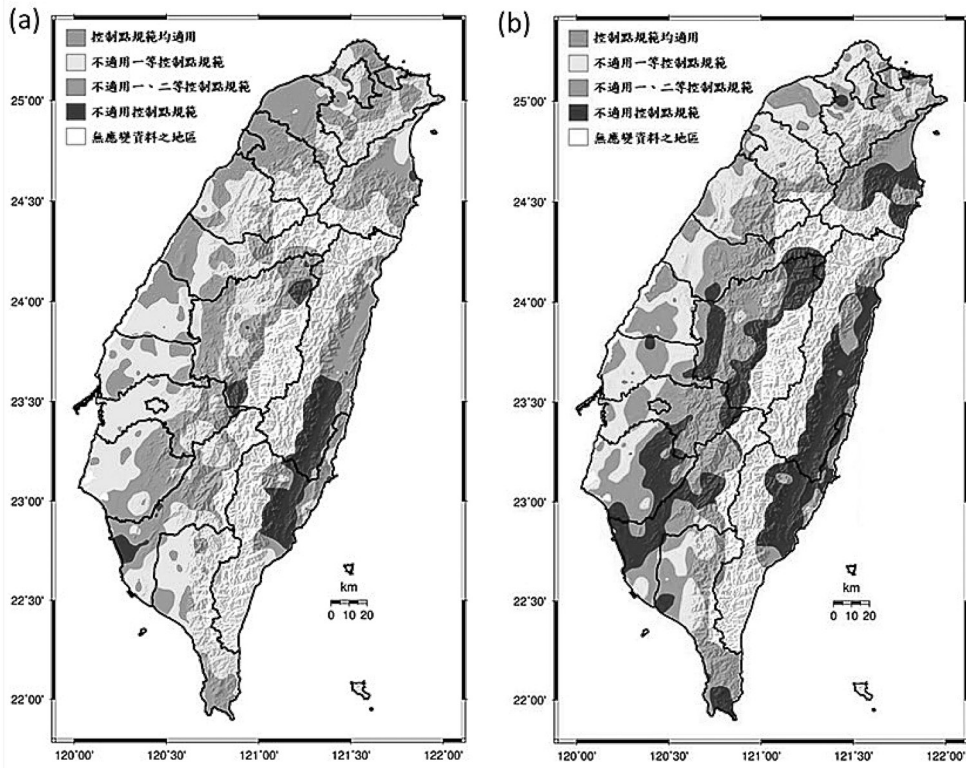


圖11 臺灣地區TWD97[2010]坐標成果適用情形。

(a) 坐標系統使用10年的適用情形。(b) 坐標系統使用20年的適用情形。

作業；至於南投縣地區，由於該區域地表相對變形較顯著，則建議應大部分更新TWD97[2010]坐標成果。

(3) 南部地區（嘉義縣市、臺南市、高雄市及屏東縣）

南部的嘉義縣、屏東縣地表應變情況較小，因此建議仍可採用TWD97[2010]坐標成果，但應逐漸進行更新作業；臺南市及高雄市則建議應大部分更新TWD97[2010]坐標成果。

(4) 東部地區（宜蘭縣、花蓮縣及臺東縣）

東部地區的宜蘭縣、花蓮縣及臺東縣等，由於其地表的相對變形明顯，因此建議應大部分更新其TWD97[2010]坐標成果。

綜合而論，臺灣北部地區的地表變形量較中、南、東部地區平緩，其坐標成果可維持較久的使用時間，而在地表變形較大的地區，則使用期較短。另一方面，亦由於地表變形的型態為板塊自然變動的情況，實不易以行政區界做為劃分，因此，

在跨行政區界而有不同的坐標成果使用建議時，應仍以現況的控制點檢測成果做為判斷依據，採取逐漸更新的方式，使該地區的坐標成果趨於一致。

2. 地籍測量應用分析

由圖7至11的成果以及表1至4的規範可得知，由於地籍測量的作業規範相較於衛星控制點規範較為寬鬆，因此，全臺各地區仍可採用TWD97[2010]坐標成果，其亦均能符合地籍測量實施規則第73、74及247條的相對精度規範，達到地籍測量作業相對精度的需求。

四、結 論

臺灣位於板塊活躍地區，受到板塊運動影響，使得公告的坐標系統逐漸產生誤差。本研究利用GPS衛星連續觀測站的坐標時間序列分析成果得到各測站的速度，以推得各地區的地表應變速率，並透過檢視現行測量作業規範探討臺灣各地區TWD97[2010]坐標成果的適用情形，提供各行政區坐標系統使用的參考。

依據GPS衛星連續觀測站的坐標時間序列分析結果，可獲知各站坐標時間序列擬合的整體平均精度在E方向為 ± 4.8 mm，N方向為 ± 3.4 mm，水平方向則為 ± 6.0 mm。並得知GPS衛星連續觀測站的時間序列擬合精度具有區域性，西南部的平均精度在E方向為 ± 4.9 mm，N方向為 ± 3.3 mm，水平方向則為 ± 5.9 mm；東部地區衛星的平均擬合精度，在E方向為 ± 6.1 mm，N方向為 ± 4.6 mm，水平方向為 ± 7.8 mm。可得知東部地區觀測站時間序列擬合的整體平均精度低於全臺的平均精度，顯示東部地區的擬合品質較不一致。

國家坐標系統應具備穩定與準確等性質，然而，由臺灣地表的相對變形情況來看，坐標系統大多在公告使用10年之後，即已無法符合臺灣多數地區衛星控制測量作業的規範要求，尤其在西南部與東部地區更為顯著。但是，就地籍測量作業而言，多數地區尚能符合地籍測量實施規則的相對精度要求。為達有效維持國家坐標系統的精度與一致性，近年國際上與國內陸續推動的半動態參考框架的概念或可成為維護臺灣大地基準之最佳選擇。

致 謝

本研究承蒙內政部國土測繪中心102、105-108年度「精進現代化TWD97國家坐標系統變位模式」案提供GPS衛星連續觀測站資料與經費支援，使本研究得以順利完成，特此申謝。

參考文獻

- 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，2017，106 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，2018，107 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，2019，108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告。
- 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論文。
- Ching, K.-E., and K.-H. Chen, 2015, Tectonic effect for establishing a semi-dynamic datum in Southwest Taiwan, *Earth Planets Space*, 67, 207. DOI:10.1186/s40623-015-0374-0
- Grant, D., G. H. Blick, M. B. Pearse, R. J. Beavan, and P. J. Morgan, 1999, The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000, Paper presented at the IUGG99 General Assembly, Birmingham, UK.
- Li, C.-K., K.-E. Ching, K.-H. Chen, 2019, The ongoing modernization of the Taiwan semi-dynamic datum based on the surface horizontal deformation model using GNSS data from 2000 to 2016, *J Geod*, 93, pp. 1543-1558. DOI:10.1007/s00190-019-01267-5
- Nikolaidis, R., 2002, Observation of Geodetic and Seismic Deformation with the Global Positioning System, Ph.D. Thesis, University of California, San Diego.

- Pearson, C., R. McCaffrey, J. L. Elliott, and R. Snay, 2010, HTDP 3.0: Software for Coping with the Coordinate Changes Associated with Crustal Motion, *Journal of Surveying Engineering*, 136(2), pp. 80-90. DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000013
- Shen, Z. K., D. D. Jackson, and B. X. Ge, 1996, Crustal Deformation Across and Beyond the Los Angeles Basin from Geodetic Measurements, *J. Geophys. Res.*, 101(B12), pp. 27957-27980. DOI:10.1029/96JB02544
- Tsuji, H., and S. Matsuzaka, 2004, Realization of Horizontal Geodetic Coordinates 2000, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 51. pp. 11-30.
- Yu, S.-B., H.-Y. Chen, and L.-C. Kuo, 1997, Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274(1), pp. 41-59.
- Yu, S. B., L. C. Kuo, R. S. Punongbayan, and E. G. Ramos, 1999, GPS observation of crustal deformation in the Taiwan-Luzon Region, *Geophysical Research Letters*, 26(7), pp. 923-926. DOI:10.1029/1999GL900148
- Yu, S. B., and L. C Kuo, 2001, Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 333(1-2), pp. 199-217. DOI:10.1016/S0040-1951(00)00275-4

