

臺灣地區重大地震對e-GNSS系統營運影響之因應作為

蕭世民¹ 陳鶴欽²

摘要

e-GNSS即時動態定位系統提供2公分定位精度的即時動態定位服務，現為國內重要的空間資訊蒐集工具，惟臺灣位於板塊碰撞地區，長期擠壓造成地表持續位移，e-GNSS系統須配合定期更新坐標以維持基準站之相對關係。參考107年0206花蓮地震之檢測數據分析結果，未來針對突發的大地震，內政部國土測繪中心應啟動應變機制，透過檢測、基準站坐標及模型更新等作為，維持系統服務效能與精度，同時亦應檢測區域內之基本控制點，確認其精度符合後續應用測量使用。

關鍵字：e-GNSS系統、地震、VBS-RTK、基準站。



¹內政部國土測繪中心 技士 Email：23051@mail.nlsc.gov.tw

²內政部國土測繪中心 課長

網路化 RTK 定位原理

網路化RTK技術係採用多個衛星基準站所組成的觀測網絡來估算涵蓋範圍內之定位誤差，配合最鄰近的實體基準站觀測資料，建構虛擬基準站作為RTK主站使用，因該虛擬基準站與待測移動站間距離甚短，定位誤差模型具有高度相關的特性，在RTK差分解算的過程中，系統誤差即可完整地消除，獲得高精度及高可靠度的定位成果。

為達到前述定位精準成果，維持觀測網內之相對關係相當重要，亦即基準站間坐標反算距離與實際空間距離要越接近越好。臺灣本島地區受板塊擠壓因素影響，各地區有不同方向與量級之位移量，為解決此一問題，內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）自103年起，每2年1次約制測繪中心基準站（LSB0）TWD97【2010】坐標，重新解算各基準站之坐標值，以維持系統服務之效能。

107 年 0206 花蓮地震

107年2月6日晚上23點50分，花蓮縣近海發生規模6級淺層地震，造成花蓮市附近區域多處建築物倒塌及人員傷亡，為確認及維持該區域e-GNSS系統服務效能與精度，本中心啟動一連串檢測作為，於2月8日公告基準站位移情形並派員進行e-GNSS檢測作業，檢測53個基準站中，位移量超過1公分的基準站有11個，最大位移量為交通部中央氣象局之花蓮氣象站（HUAL，約45公分）。嗣於2月23日重新公告基準站坐標成果，因檢測三維坐標轉換模型結果未達本中心預期精度（平面優於5公分，高程優於10公分），另自2月27日~3月21日辦理基本控制點檢測工作，期間辦理工作項目、時間如圖1。

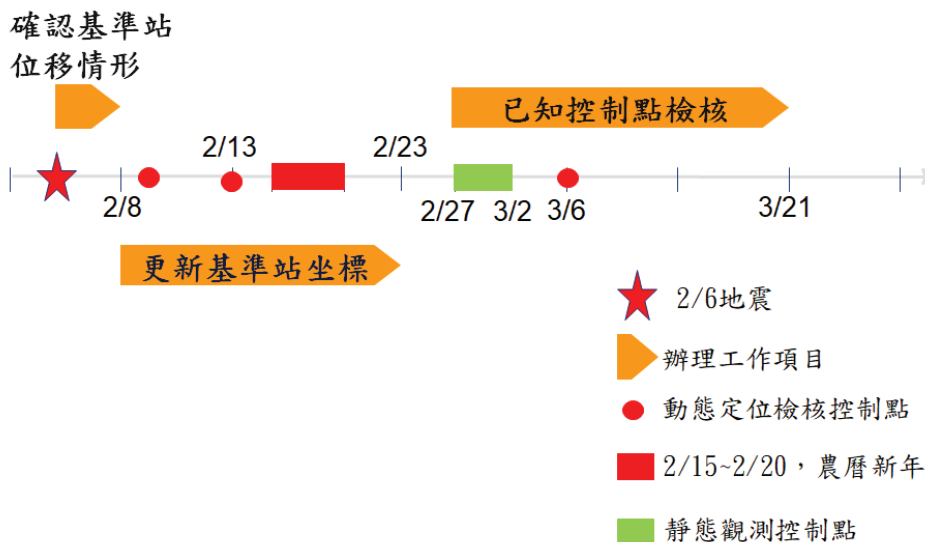


圖1 0206花蓮地震因應作為時間表

基準站位移與定位服務效能之關係

0206花蓮地震發生後，本中心隨即針對區域內e-GNSS系統基準站與基本控制點辦理檢測作業，過程中透過分析0206花蓮地震前後基準站位移狀況，搭配該地區基本控制點檢測作業成果，以實測方式驗證e-GNSS系統服務在大地震後、更新基準站坐標後與更新三維坐標轉換模型後之效能與精度，獲得以下結論。

- 在未受地殼變動影響的外島地區（金門、馬祖及澎湖地區）或e-GNSS系統坐標剛完成更新時的臺灣本島地區，其基準站相對關係良好（坐標反算結果與實測距離幾乎一致），故誤差模型內插算出的誤差量搭配實體基準站觀測資料，可以準確地顯示當地電離層及衛星軌道誤差等誤差之影響量，使用者在範圍內可快速得到精準的固定解成果。
- 臺灣本島地區每年受板塊擠壓，地表會產生穩定的位移，分析其位移量可發現具有大範圍、均勻及一致性等特性，以整個臺灣來看，不同區域間因位移量與方向不一致，在區域交界兩側之基準站間會發生坐標反算結果與實測距離差異較大現象，但因此為大範圍區域整體移動，絕大部分基準站間仍會維持良好的相對關係，待測點位與最近的實體基準站位移量亦相當，故使用者求得固定解的時間會隨著基準站間相對關係變差而逐漸變長，但仍能維持相對可靠之定位精度。e-GNSS系統為解決此問題，已自103年起定期每2年更新1次系統坐標，同時更新三維坐標轉換模型。
- 當發生如0206花蓮地震之類的大地震，地表通常在小範圍內會產生不規則的位移量，針對本次地震發現問題如下：
 1. 基準站位移造成相對關係變差，導致系統服務效能降低，造成RTK求得固定解時間變長或甚至無法求解。
 2. 雖已完成基準站坐標更新，由於基準站分布間距為數公里至數十公里不等，如果地表位移不均勻，僅以基準站作為共同點進行更新之三維坐標轉換模型，將無法完整表現小區域內複雜之地表擠壓變形狀況，就會發生其網格修正量難以完全反應小範圍變動量，導致部分已知點e-GNSS成果經轉換至法定坐標系統後，與公告坐標有較大較差。
 3. 複雜的地表變形同時會造成範圍內已知控制點相對關係不佳，其精度恐無法供各項應用測量後續使用。
- 為解決前述問題，應針對範圍內之基本控制點辦理靜態測量，以逐級加密概念更新已知點坐標成果，可重新恢復範圍內基本控制點間相對關係；同時利用其基線計算出基本控制點之新e-GNSS成果，作為共同點納入新三維坐標轉換模型中，方能提升坐標轉換精度。

檢測作業流程說明

依據本次經驗，本中心建立一個e-GNSS系統遭遇地震後，自我檢查服務精度並修正恢復的標準作業程序。基本上，地震規模愈大其所可能導致的災害應該愈大。但由於地震是一種能量的釋放，以地震波的形式向四方傳播過程中，能量會因岩層的摩擦、吸收而衰減，所以災情大小通常會與震源深度、震央距離相關（交通部中央氣象局地震測報中心網頁）。本中心規劃於地震發生後，參考交通部中央氣象局公告之地震報告，依據其地震規模、地震深度及震央位置等資訊，評估該地震是否有可能對e-GNSS系統服務造成影響。

經參考本中心「106年度精進現代化TWD97國家坐標系統變位模式工作總報告書」中彙整之地震事件相關統計數據，若發生地震芮氏規模6以上且地震震源深度在30公里以內，或地震芮氏規模7以上之地震，且地震震央位於臺灣本島陸地，或離海岸線20公里範圍內之地震，本中心將啟動檢測機制，研擬流程如下：

- (一) 檢測初期應先確認檢測範圍、時間與蒐集基準站資料。首先以震央為中心半徑 50 公里畫圓作為初步檢測範圍，可依地震芮氏規模適時擴大檢測範圍，確認檢測範圍內之基準站數量及其所屬單位；接著聯絡各資料交換單位，以地震發生時間為基準，分別向前向後各蒐集至少 3 小時的衛星觀測資料，為爭取時效性，以商用衛星基線解算軟體搭配預估精密星曆（IGU）或廣播星曆解算，並分析比較地震前後基準站位移量。
- (二) 考量前述資料解算之誤差（使用商用軟體、採用預估精密星曆（IGU）或廣播星曆及觀測時間長短等因素），若解算成果顯示地震前後基準站位移量未超過3公分，視為對系統服務無影響；若超過3公分，則代表此地震對地表造成一定規模的影響，應觀察主震後餘震發生之頻率，待地殼活動較穩定後，蒐集至少連續7天之基準站觀測資料，以Bernese軟體搭配IGS之快速精密星曆（IGR），約制測繪中心基準站（LSB0）重新解算e-GNSS系統坐標，更新地震前後位移量超過1公分之基準站坐標及三維坐標轉換模型。
- (三) 挑選均勻分布於檢測區域之基本控制點，利用e-GNSS系統服務辦理檢測，驗證三維坐標轉換服務精度是否符合國土測繪中心預期（平面精度優於5公分，高程精度優於10公分），若有則結束檢測作業；若否，則擴大辦理基本控制點檢測作業，流程圖如圖2。

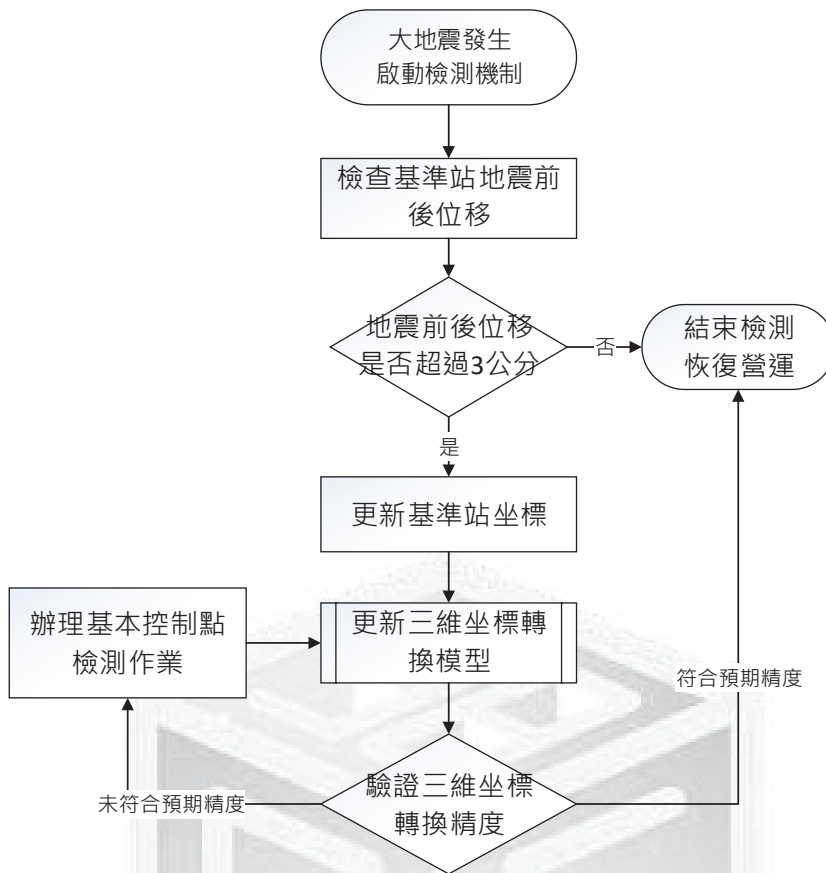


圖2 e-GNSS系統檢測作業流程圖

參考文獻：

- 內政部國土測繪中心，2018，重大地震對臺灣地區e-GNSS系統營運之因應實務研究。自行研究報告。
- 內政部107年4月20日台內地字第1071302871號公告。
- 交通部中央氣象局地震測報中心網頁，2019，<https://scweb.cwb.gov.tw/zh-TW/Guidance/FAQdetail/31>，2019/6/19。
- 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書，P86。