



基本控制點衛星定位測量作業規範探討

史天元 楊名
陽明交通大學土木系 成功大學測量系
日期：2023年4月7日




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering




綱要

- 前言
- 研究說明
- 研究成果
- 結論與建議




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

1/23




前言：背景

- GNSS 星系持續發展
 - ◆ 美國的GPS、俄羅斯的Glonass、歐盟之Galileo、中國之BeiDou，為全球涵蓋者；日本QZSS、印度NavIC區域性星系
- 定位技術發展
 - ◆ 「單點精密定位」(PPP)及即時動態服務的普及化
- 「參考基準」




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

2/23



前言：作為

- 探討「衛星定位測量」應用於「基本控制點」測設與檢測之作業規範
- 現有國際規範回顧，並進而就本土需求，規劃更新




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

3/23

研究說明

- 蒐集分析國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料
- 辦理專家座談會
- 研提作業手冊草案


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

4/23

國際GNSS控制測量規範/手冊


- 日本GSI (2020)
- 中國大陸 (NRTK2020)
- 澳洲 (2020)
- 紐西蘭(2012; NRTK 2017)
- 英國(2010)
- 美國(2012, USGS)
- 加拿大(2010; RTK2015)


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

5/23

研究成果


- 比較日本、中國大陸、澳洲、紐西蘭、英國、美國及加拿大七個國家手冊或規範差異，及應用於相關實務作業之優劣勢。
- 在部分國家，如日本，多種GNSS測量技術均包含在同一規範內，但是在其他國家，卻將不同技術分別陳述於不同文件中。如中國大陸，將「網路即時動態測量」，單獨列為一項規範。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

6/23

日本GSI

- 重點項目在於多星系之導航衛星系統環境中，針對控制測量作業之建議與要求
 - ◆ 多星系觀測量之處理方式：「混合」與「統合」
 - ◆ 「混合」各星系分別求解後合併
 - ◆ 「統合」所有觀測量同時求解，需解決ISB


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

7/23

日本GSI -2


- GNSS測量與數據處理的方法
 - ◆ 靜態法、快速靜態法、動態法、RTK、網絡型 RTK，在 RTK部分涵括以後處理方式進行之作業
- 觀測量之多星系
 - ◆ 納入GPS、GLONASS、Galileo、以及QZSS


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

8/23

日本GSI -3


- 規定的項目中
 - ◆ 使用接收儀等級
 - ◆ 最少觀測時段長度
 - ◆ 觀測之衛星數目
 - ◆ **不包含**幾何圖形強度相關指標


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

9/23

日本GSI -4


- 對於「點位遮蔽仰角」，本手冊中沒有規範
- 「點位遮蔽仰角」高的區域
 - ◆ 對空視域狹窄，能夠觀測到的衛星數亦少
 - ◆ 藉由多星系之「統合」方式，以達成測設控制點之目的。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

10/23

中國大陸

- 中國大陸國家基本控制點衛星測量作業
 - ◆ 靜態測量-全球定位系統(GPS)測量規範，GB/T 18314-2009
 - ◆ 網路即時動態測量-衛星導航定位基準站網絡實時動態測量(RTK)規範


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

11/23

中國大陸 -2

■法定坐標系統為2000國家大地坐標系 (China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)

- ◆長半徑、扁率、地球自轉角速度-GRS80
- ◆地心引力常數-WGS84



中國大陸 -3

■靜態測量與控制點級別

- ◆中國大陸將衛星控制點依精度區分為A、B、C、D、E共5級
 - A級點位由CORS (Continuously Operating Reference Station)連續運行基準站所構成
 - 重要性及用途約相當於TWD97之大地基準點。



中國大陸 -4

| 級別 | 坐標年變化率中誤差 | | 相對 精度 | 坐標分量 年平均中 誤差 (mm) | 相鄰基準 站間平均 間距(km) |
|----|-----------------|-----------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| | 水平分量 (mm/yr) | 垂直分量 (mm/yr) | | | |
| A | 2 | 3 | 1×10^{-8} | 0.5 | 100~200 |



中國大陸 -5

■網路即時動態測量(Network RTK, NRTK)


- ◆在仰角高度15度以上的同一星系(例如GPS星系)衛星個數必須至少為5顆且PDOP值不得大於6
- ◆較國土測繪中心略為嚴格
 - 仰角遮罩15°、GPS衛星至少5顆、PDOP值小於10



中國大陸 -5

■ NRTK 直接獲得坐標成果

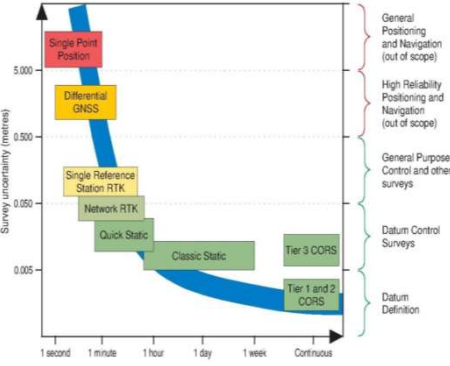
- ◆ e-GNSS 動態測量成果是定義在 e-GNSS 坐標系統，因此現行規定是將 e-GNSS 坐標成果利用國土測繪中心「控制測量網形平差程式」轉換為虛擬基線網後，再經由網形平差計算獲得最終的控制點坐標成果



 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

16/23

澳洲

■ 區分為基準定義測量 (Datum Definition)、基準控制測量 (Datum Control Survey) 與一般控制測量 (General Purpose Control and other surveys)

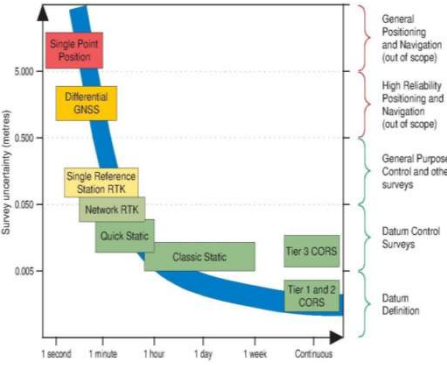




 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

17/23

澳洲 -2

■ 單點定位、電碼差分不適用於控制測量





 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

18/23

紐西蘭

■ 紐西蘭 (New Zealand) 是全球第一個採用「時變基準」(Time-variant datum) 的國家，基於實際執行效率的考量，使用之方式為「半動態基準」(Semi-dynamic datum)

■ LINZ (負責大地基準與測量體系) 目前已停止所有一、二等控制點之測量


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

19/23

紐西蘭 -2

- 零級之PositionNZ CORS網為持續觀測、每日解算，即時獲得最新坐標
 - ◆ 隨時更新，以追求最佳之成果與基準的定義
 - ◆ 一、二等控制點之坐標則依據PositionNZ CORS所產出之模式，經由NGA 程序更新
 - NGA之執行頻率為數年，視改正量需求而定(Scott King, LINZ, 個人聯繫，2022-06-01, 06-02)


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

20/23

英國

- 本研究蒐集獲得之GNSS測量指南即為RICS 所發行(RICS, 2010)
 - ◆ 另參考TSA(2008, 2012, 2015)三份文件，均以說明、探討Network RTK的實務為主題，內容深具參考價值，但是並非規範
- 測量方法
 - ◆ 靜態(Static)、動態(Dynamic)、即時動態(Real-time dynamic)


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

21/23

小註

- 英式英文 ← → 美式英文

Part 2 – Technical commentary

4 GNSS survey methods


- 4.1 General principles
- 4.2 Static surveys
- 4.3 Dynamic surveys
- 4.4 Real-time dynamic surveys


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

22/23

英國 -2

- 在儀器方面，不排除在適當情境使用單頻接收儀
- 提供了一些綜合的基本概念，如「最少觀測6顆衛星、GDOP值最大為3、電離層活躍性為一般
- 建議控制測量使用靜態或快速靜態GNSS基線測量方法，並使用精密星曆。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

23/23

美國

- 已經完成高程現代化(Height modernization)作業，擁有全國性的高精度混合式大地起伏模式(Hybrid geoid)



美國 -2

- 美國地質調查所(U.S. Geological Survey, USGS)規範文件
 - ◆ Methods of Practice and Guidelines for Using Survey-Grade Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to Establish Vertical Datum in the United States
 - ◆ 專責於運用公分級精度的測量型(Survey-grade) GNSS 建立美國的高程系統(Vertical datum)



美國 -3

- 單測站(Single base)線上定位使用者服務(Online Positioning User Service, OPUS)
 - ◆ 使用者只須將GNSS接收儀收集的單站靜態觀測資料上傳至網站，即可經由電郵信箱收到計算服務的成果報告
 - ◆ 靜態測量OPUS-Static (OPUS-S)及快速靜態測量OPUS-Rapid Static (OPUS-RS)
 - ◆ OPUS-S觀測時間長度必須在2小時以上



美國 -4

- 傳統靜態測量與網形平差(Network Surveying and Processing)
- 即時(Real-time)測量



美國 -5

■維吉尼亞州運輸部(Virginia Department of Transportation, VDOT)於2021年所發布的GNSS控制測量規定

- ◆VDOT允許測量人員在確認成果精度滿足或超過規格要求的情況下使用OPUS
- ◆將OPUS的平差成果報告(Adjustment report)一併納入給VDOT的報告文件。

國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

28/23

加拿大 (Alberta)

■觀測取樣間隔

- ◆數據採樣頻率取決於許多因素，例如衛星配置幾何變化、週波脫落檢測和基線長度
- ◆基線小於 20 公里，觀測時間短於 20 分鐘；數據採樣間隔應為 5 秒
- ◆超過 20 公里的基線和超過 20 分鐘的觀測；數據採樣間隔應為 15 秒

國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

29/23

加拿大 (Alberta)

■新的或現有的Alberta省測量控制點與加拿大基礎網絡整合時，至少觀測3小時，數據採樣間隔不長於15秒。

國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

30/23

基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料

- 國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範比較說明
- 我國測量基準及參考系統訂定之建議
 - ◆參考國外坐標系統範例，例如澳洲GDA2020，研提維護更新TWD97之建議
- 衛星控制點長期管理維護機制之建議
 - ◆對於CORS觀測數據處理與分析的標準流程提出建議
- 現行衛星控制點測量作業規範及精度修正建議

國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

31/23

專家學者座談會

- 111年9月21日辦理座談會
- 邀請中興大學蔡榮得教授、健行科技大學李振燾教授、臺灣大學韓仁毓教授、成功大學郭重言教授、中山大學薛憲文教授、逢甲大學洪本善教授、中正大學鄭凱謙教授及國防大學李宜珊副教授共8位國內大地測量、衛星測量或基本測量相關領域專家學者與會討論



基本控制點衛星定位測量作業手冊草案版本差異比較

- 貳、坐標系統
 - ◆ 原始版
 - 本作業規範所採用之坐標系統是基於地球地心地固坐標系統(ECEF)之WGS84坐標系統



基本控制點衛星定位測量作業手冊草案版本差異比較


- 貳、坐標系統
 - ◆ 修正版
 - 基本測量實施規則第六條規定，基本控制測量之地心坐標、橢球坐標及平面坐標值計算，應以中央主管機關所定之坐標系統為依據，並以一九九七坐標系統（TWD97）命名。
TWD97坐標系統包含原始的1997.0成果（與ITRF94@1997.0一致），以及後續發展的不同成果版本，例如TWD97[2010]（與ITRF94@2010.0一致）、TWD97[2020]（與ITRF14@2020.0一致）等



參、衛星追蹤站

- ◆ 原始版
 - 衛星追蹤站為一全天候二十四小時連續接收衛星訊號之多功能資料接收站，除做為一、二等衛星控制點施測時之最高等控制外，並建立精密詳實之衛星資料庫，可提供測量、地震、工程、營建、農業、國防、航管、警政等各界應用。
- ◆ 修正版
 - 依據基本測量實施規則第六條，中央主管機關應選定衛星追蹤站作為大地基準，並將其測量成果作為訂定坐標系統之依據。衛星追蹤站為全天候二十四小時連續接收GNSS衛星訊號之多功能資料接收站（CORS），除包含大地基準站外，必要時得包含一等衛星控制點GNSS連續站。衛星追蹤站觀測資料應與國際GNSS服務（IGS）站觀測資料進行聯合解算，並以IGS站之坐標及速度量作為先驗資訊，解算衛星追蹤站之坐標及速度量。





 國立陽明交通大學 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering


■ 觀測作業規劃

◆ 參考基準

- 衛星追蹤站應以IGS站作為參考基準(本項新增)
- 一等衛星控制點應以衛星追蹤站或IGS站作為參考基準(增加IGS站)
- 二等衛星控制點應以一等衛星控制點或衛星追蹤站作為參考基準


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering


36/23


 國立陽明交通大學 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

■ 觀測儀器


◆ 原始版

- 採用雙頻衛星接收儀，當AS (Anti-spoofing)關閉時，且至少具電碼接收能力，當AS開啓時，仍能記錄L1全波長及L2全波長或半波長載波相位。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

(<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>)


37/23


 國立陽明交通大學 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering


■ 觀測儀器

◆ 修正版

- 觀測時採用之測量型GNSS衛星接收儀，應具備至少接收雙頻三星系觀測資料之功能，並附有兩年內由國家度量衡標準實驗室或國際實驗室認證聯盟所認證之實驗室相互承認辦法之認證機構所認證之實驗室出具的校正報告。
- 觀測時採用之天線盤應具有明確定義的天線相位中心偏移量及變化量，且相關參數須登錄在美國國家大地測量局 (NGS) 天線盤率定參數網頁 (<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>)



 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

38/23



 國立陽明交通大學 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

解算軟體 (本項新增)

- 衛星追蹤站及一等衛星控制點資料解算時應優先採用國際知名之科學性GNSS解算軟體。
- 二等衛星控制點資料解算時可採用科學性軟體或隨接收儀配備之商用軟體。



 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

39/23




精密單點定位

現行精密單點定位靜態測量之成果精度足以符合一等、二等衛星控制點測量作業需求，但由於精密單點定位之成果坐標是定義在IGS精密星曆使用之ITRF參考框架，而非法定之TWD97（以及後續發展之TWD97[2010]、TWD97[2020]等）坐標系統，因此無法直接應用於一等、二等衛星控制點測量作業，必須經過適當的轉換程序才能獲得最後成果。




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

40/23




新增條文

- 精密單點定位
 - 於控制點精密單點定位靜態測量結束後，收集控制點鄰近均勻分佈、至少3個衛星追蹤站(得包含一等衛星控制點GNSS連續站)之相同時段觀測資料，並使用相同之解算軟體、處理相同星系之資料，獲得各點位之精密單點定位計算成果
 - 計算過程使用之精密星曆、衛星時錶誤差等各類產品應為IGS產製之最終(Final)產品，不得為精度較差之快速(Rapid)、超快速(Ultra-rapid)、或即時(Real-time)產品。




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

41/23




新增條文(續)

- 精密單點定位(續)
 - ◆ 將上述點位之精密單點定位成果坐標轉換為虛擬基線網。其中連結衛星追蹤站之虛擬基線分量和由衛星追蹤站已知坐標反算之基線分量應滿足(一)相對定位靜態測量精度規範對於基線重複性之規定
 - ◆ 約制衛星追蹤站之已知TWD97（或TWD97[2010]、TWD97[2020]等）法定坐標，經由虛擬基線網平差計算得到控制點坐標及其精度




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

42/23



結論

- 本研究蒐集與比較日本、中國大陸、澳洲、紐西蘭、英國、美國及加拿大等七個國家衛星測量手冊或規範，及分析應用於相關實務作業之優劣勢，做為我國基本控制點衛星測量作業規範之參考。
- 本研究辦理專家學者座談會，回顧國際現有衛星測量規範，並進而就本土需求，更新現有規範提出建議及討論。




國立陽明交通大學, 土木工程學系
National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

43/23

結論 -2


- 完成「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」基本控制點衛星定位測量作業手冊草案。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

44/23

建議

- GNSS之技術發展仍在進行中，部分議題如多星系整合、即時動態定位，已可以於國外先進國家規範中見到。但是**精密單點定位**則目前尚未有發現，我國與國際其他國家之情況或有差異，列入規範手冊者須有本土實施後豐富經驗建立之確定性，本研究完成基本控制點衛星定位測量作業手冊草案，後續建議進一步驗證，再行實施。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

45/23

建議 -2

- 對於地籍測量而言，由於測區範圍小、地殼變動一致性高，較不會受到框架變形的影響；大範圍測繪業務則會受到地殼變動不一致之影響，產生控制測量精度難以符合規範的現象，目前大約每10年即需更新TWD97坐標系統。
- 建議參考澳洲雙框架策略，新增一個和國際地球參考框架(ITRF)同步的臺灣時變參考框架(TTRF)；並藉由建立TWD97與TTRF之間的轉換模式，管理與維護我國衛星控制點之坐標變動狀況。


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

46/23

謝謝


 國立陽明交通大學, 土木工程學系
 National Yang Ming Chiao Tung University, Department of Civil Engineering