

111 年度基本控制點衛星定位測量 作業規範委託研究

成果報告

The Study on the guide book for establishing control
points and network with satellite surveying schemes

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國111年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

111 年度基本控制點衛星定位測量 作業規範委託研究

成果報告

The Study on the guide book for establishing control
points and network with satellite surveying schemes

受委託單位：國立陽明交通大學

主持人：史天元

研究期程：中華民國111年4月至111年11月

研究經費：新臺幣58萬2仟元

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國111年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

摘要

近年來，GNSS 星系持續發展，臺灣地區可以接收到的星系包含美國的 GPS、俄羅斯的 GLONASS、歐盟之 Galileo、中國之 BeiDou，為全球涵蓋者，加上日本的 QZSS 區域性星系，共有五個。

除了訊號源之增加，定位技術亦有顯著發展，明顯可見的是「精密單點定位」(Precise Point Positioning, PPP)與「即時動態定位」(Real-Time Kinematic Positioning, RTK)的普及化。除卻 GNSS 星系與技術之發展外，由於觀測量之改變，促進了「參考基準」的思考與審思，成為國際性議題。

本研究比較日本、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，就現有國際規範回顧，並進而就本土需求，辦理專家學者座談會，並提出「內政部辦理一、二等衛星控制點測量作業規範」修正草案。

關鍵字: 參考基準、衛星控制點、作業規範

Abstract

In recent years, the GNSS constellations are fast growing. Five constellations can be observed in the Taiwan region, namely, GPS of the United States, GLONASS of Russia, Galileo of the European Union, and BeiDou of China, which are global constellations, as well as QZSS of Japan, which is a regional constellation. Besides the increase of signal sources, the positioning technology is also evolving. The most significant advances would be the popularization of PPP (Precise Point Positioning) and real-time kinematic (RTK) positioning. Another subject which received intensive attention internationally is the reference datum which is mainly due to the improvement of observations.

This study compares the differences in guide books for GNSS operation in seven countries, including Japan, Mainland China, Australia, New Zealand, the United Kingdom, the United States and Canada, as well as the advantages and disadvantages of their application in related practices. Based on the comparisons, this study organized an experts-and-scholars panel discussion to discuss this issue, and proposed a draft guideline for the surveying of MOI's first-order and second-order satellite control points.

Keywords: reference datum, satellite control point, guideline

目錄

摘要.....	III
Abstract.....	IV
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	VIII
第一章 概述.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	1
1.3 研究項目.....	2
1.4 研究重要性.....	2
1.5 預期目標.....	3
1.6 研究進度.....	3
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 GNSS 背景.....	6
2.2 GNSS 研究檢討.....	13
2.3 導航衛星系統星系進展.....	15
2.3.1 星系.....	15
2.3.2 編碼與調制.....	21
2.3.3 定位效能.....	25
2.3.4 小結.....	27
2.4 全球導航衛星增強系統進展.....	28
2.4.1 增強系統.....	29
2.4.2 小結.....	41
第三章 研究說明.....	43
3.1 研究採用之方法.....	43
3.2 研究採用方法之原因.....	46
3.3 研究步驟.....	46
第四章 研究成果.....	48

4.1 辦理國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集.....	48
4.1.1 日本 GSI.....	49
4.1.2 中國大陸.....	55
4.1.3 澳洲.....	61
4.1.4 紐西蘭.....	67
4.1.5 英國.....	70
4.1.6 美國.....	74
4.1.7 加拿大.....	81
4.2 研提制訂我國基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料.....	84
4.2.1 國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範比較說明.....	84
4.2.2 我國測量基準及參考系統訂定之建議.....	84
4.2.3 衛星控制點長期管理維護機制之建議.....	85
4.2.4 現行衛星控制點測量作業規範及精度修正建議.....	85
4.3 辦理專家學者座談會.....	86
4.4 研提基本控制點衛星定位測量作業手冊草案.....	87
第五章 結論與建議.....	98
5.1 結論.....	98
5.2 建議.....	98
第六章 參考文獻.....	100
附錄一、報告審查意見及回覆	
附錄二、名詞解釋	
附錄三、國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範部分指標型數值整理	
附錄四、日本多 GNSS 測量手冊及手冊解說	
附錄五、中國大陸全球定位系統測量規範摘錄	
附錄六、中國大陸衛星導航定位基準站網絡實時動態測量規範摘錄	
附錄七、專家學者座談會會議紀錄	
附錄八、基本控制點衛星定位測量作業手冊草案版本差異比較	
附錄九、歷次會議簡報及已發表之論文	
附錄十、工作會議記錄	

圖目錄

圖 2-1 交弧法誤差環與誤差鑽石(下圖引用自 Mohan, 2017)	9
圖 2-2 GNSS 無線電波段	21
圖 2-3 GNSS 增強系統比較	31
圖 2-4 全球 SBAS 發展現況(Lekkerkerk, 2022)	32
圖 2-5 QZSS 衛星可見度【6】	34
圖 2-6 GAGAN 服務涵蓋區(https://gagan.aai.aero/gagan/)	34
圖 2-7 北斗三號 GEO 與 IGSO 衛星可見度	35
圖 2-8 Inmarsat GEO 衛星 ELERA 星群地面涵蓋	36
圖 3-1 研究步驟	47
圖 4-1 GNSS 測量技術(ICSM, 2020; Figure 2)	63
圖 4-2 使用 4 個已知水準點進行 Localization 的 RTN 測量	79

表目錄

表 1-1 工作進度表.....	4
表 1-2 工作項目完成內容及期程	5
表 2-1 導航衛星星系軌域構型、軌道面數目、高度(km)與衛星數目	16
表 2-2 導航衛星星系頻率、頻寬(MHz).....	20
表 2-3 導航衛星電碼.....	24
表 2-4 標準單點定位水平分量誤差(m).....	26
表 2-5 QZSS「太空訊號量距誤差」(m) (Kogure, 2020).....	26
表 2-6 站間空間不一致值 (m).....	27
表 2-7 消費型 SouthPAN SBAS Legacy L1 靜態測試成果 RMS(m).....	37
表 2-8 中級測量型 SouthPAN SBAS Legacy L1 靜態測試成果 RMS(m)....	37
表 2-9 DFMC 與 SBAS Legacy L1 靜態測試成果(m).....	37
表 2-10 PPP 靜態測試成果(m).....	37
表 2-11 GNSS 主要定位技術(改編自 EUSPA, 2020)	39
表 2-12 GNSS 誤差與處理方案(改編自 EUSPA, 2020).....	40
表 4-1 蒐集之國際規範.....	48
表 4-2 GNSS 設備性能	50
表 4-3 GNSS 相對定位技術觀測時間及資料獲取間隔規定	52
表 4-4 觀測衛星數在基線分析中不執行統合處理時	53
表 4-5 在基線分析中在 GPS-準天頂衛星和伽利略衛星之間進行統合處理 時.....	53
表 4-6 GNSS 衛星組合頻段	54
表 4-7 A 級控制點精度要求.....	56
表 4-8 B、C、D、E 級控制點精度要求.....	57
表 4-9 B、C、D、E 級控制點觀測基本要求.....	58
表 4-10 NRTK 外業測量基本要求.....	59
表 4-11 NRTK 接收儀精度要求.....	59
表 4-12 NRTK 平面控制測量技術要求.....	59
表 4-13 NRTK 平面控制點檢測要求.....	61

表 4-14 e-GNSS 地測檢核精度要求	61
表 4-15 儀器、技術、觀測時間長度、取樣頻率規定與適用之控制點等級 對照表	66
表 4-16 NGS GNSS 測量精度標準	77
表 4-17 加拿大現有「測量規範」	82

第一章 概述

1.1 研究背景

本研究之主旨在於探討「衛星定位測量」應用於「基本控制點」測設與檢測之作業規範，並就更新現有規範提出建議與規劃。當代科技的一項特色，是「衛星」之發展與應用，此一項目堪稱為區隔當代與經典之主要關鍵之一，與核彈同列為「人類世」辨識之重點。其中，「全球導航衛星系統」(Global Navigation Satellite System, GNSS)之成熟與應用，由現有系統中發展最初之美國 GPS (Global Positioning System)開始，便在空間資訊領域帶來革命性的改變。橢球體、橢球系統、與基於橢球之坐標，由在經典時代難以量度的一項觀念，落實為實際可以量測，甚至為易於量測之量體。因此，由美國開始，國際性的產生測量基準測設方式的改變，由以三角三邊技術為基礎的方法，轉化為以 GPS 為依據的作業方式。現行大地基準 TWD 97 (Taiwan Datum, 1997)，即為如此。

近年來，GNSS 星系持續發展，臺灣地區可以接收到的星系包含美國的 GPS、俄羅斯的 Glonass、歐盟之 Galileo、中國之 BeiDou，為全球涵蓋者，加上日本的 QZSS 區域性星系，共有五個。

除了訊號源之增加，定位技術亦有顯著發展，明顯可見的是「單點精密定位」(Precise Point Positioning, PPP)，與即時動態服務的普及化。除卻 GNSS 星系與技術之發展外，由於觀測量之改變，促進了「參考基準」的思考與審思，成為國際性議題。基於此三項發展，以 GPS 作業為主要考量的作業規範，國際上多國業已更新。本研究擬就現有國際規範回顧，並進而就本土需求，規劃更新。

1.2 研究目的

研究目的為透過基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集及辦理專家學者座談會，就現有國際規範回顧，並進而就本土需求，更新現有規範提出建議與規劃。

1.3 研究項目

一、辦理國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集

- (一) 至少蒐集 5 個國家基本控制點衛星測量作業相關手冊或規範。
- (二) 比較分析上開作業手冊或規範內容差異，及應用於相關實務作業之優劣勢。
- (三) 研提制訂我國基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料，討論議題應至少包括：
 1. 國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範比較說明。
 2. 我國測量基準及參考系統訂定之建議。
 3. 衛星控制點長期管理維護機制之建議。
 4. 現行衛星控制點測量作業規範及精度修正建議。

二、辦理專家學者座談會

- (一) 針對前項工作研提之議題，於 111 年 9 月 30 前辦理座談會，並至少邀請 5 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。
- (二) 座談會地點原則選定於機關第 1 會議室，必要時經機關同意後得更改地點或採線上方式辦理。
- (三) 座談會所需專家學者出席費、交通費、餐費、場地費(於機關以外地點舉辦時)或其他雜支均由本計畫負擔。

三、研提基本控制點衛星定位測量作業手冊草案

四、編撰成果報告

1.4 研究重要性

內政部於 87 年訂定臺灣地區 1997 大地基準(TWD97)及參考坐標系統，

公布 105 個一等衛星點及 621 個二等衛星點，後續鑑於臺灣地區位於地殼板塊碰撞劇烈地帶，部分地區點位已產生明顯位移，致套合引用有實務上困難，無法符合目前測繪作業之精度需求，另分別於 101 年 3 月 30 日台內地字第 1010137288 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2010 年成果（簡稱 TWD97[2010]）、109 年 8 月 10 日台內地字第 1090263608 號公告大地基準及一九九七坐標系統 2020 年成果(簡稱 TWD97[2020])。

隨著衛星測量技術及網路科技的快速發展，各國基本控制點測設方式已多採用衛星定位測量方式辦理，連續觀測站設置亦成為為國際大地基準應用趨勢，日本、紐西蘭及美國等位處於板塊相對運動顯著的國家，開始採用半動態基準維持及國家坐標系統之精確性。考量測量技術方法的演進，藉由國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集及辦理專家學者座談會，就現有國際規範回顧，並進而就本土需求，更新現有規範提出建議與規劃，使測繪技術與成果標準化，得以有效流通並整合運用，並與國際大地基準接軌。

1.5 預期目標

本研究預期成效希冀透過基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集及辦理專家學者座談會，就現有國際規範回顧，並進而就本土需求，更新現有規範提出建議與規劃，使測繪技術與成果標準化，得以有效流通並整合運用，並與國際大地基準接軌。

1.6 研究進度

本研究案自 111 年 4 月起至 111 年 11 月完成所有工作項目，整個工作期間約 8 個月，整體工作進度如表 1-1，工作項目完成內容及期程如表 1-2。

。

表 1-1 工作進度表

工作項目	月次	第 1 個月 (4 月)	第 2 個月 (5 月)	第 3 個月 (6 月)	第 4 個月 (7 月)	第 5 個月 (8 月)	第 6 個月 (9 月)	第 7 個月 (10 月)	第 8 個月 (11 月)
一、辦理國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集									
至少蒐集 5 個國家基本控制點衛星測量作業相關手冊或規範	預定	████████████████████							
	實際	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■				
比較分析上開作業手冊或規範內容差異，及應用於相關實務作業之優劣勢	預定		████████████████████						
	實際		■■	■■■■■	■■■■■	■■■			
研提制訂我國基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料	預定			████████████████████					
	實際			■■	■■■■■	■■■■■			
二、辦理專家學者座談會	預定						██████████		
	實際						■■■■■		
三、研提基本控制點衛星定位測量作業手冊草案	預定						████████████████████		
	實際						■■	■■■■■	
四、成果報告	預定							████████████████████	
	實際							■■	■■■■■
預定進度 (累積數)	預定	15%	30%	40%	55%	70%	85%	95%	100%
	實際	15%	30%	40%	55%	70%	85%	95%	100%

表 1-2 工作項目完成內容及期程

工作項目	完成事項	期程
一、辦理國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集		
至少蒐集 5 個國家基本控制點衛星測量作業相關手冊或規範	完成蒐集 6 個國家控制點衛星測量作業相關手冊或規範	期中報告完成
比較分析上開作業手冊或規範內容差異，及應用於相關實務作業之優劣勢	完成 6 個國家規範控制點衛星測量作業相關手冊或規範分析及應用	期中報告完成 5 個國家、 期末報告完成 1 個
研提制訂我國基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料	完成座談會會議資料	9 月 20 日定稿
二、辦理專家學者座談會	完成辦理專家學者座談會	9 月 21 日辦理
三、研提基本控制點衛星定位測量作業手冊草案	完成內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範草案	期末報告完成

第二章 文獻回顧

GNSS 之發展，始於美國 GPS 系統，該系統由美國政府於 1970 年代開始進行研製，1978 年 2 月首次發射，並於 1994 年全面建成(維基百科, 2022)。本研究 GNSS 主題背景部分，謹引用史天元等(2019)介紹，有關研究之檢討部分則分別以多星系議題、精密單點定位、即時動態服務、基準，四個議題予以概述。另納入導航衛星系統進展及全球導航衛星增強系統發展之探討。

2.1 GNSS 背景

GNSS 定位原理為交弧法(Arc Intersection)，亦即距離交會(Distance Intersection)，因為距離所提供之控制量，為以該距離為半徑之弧。在平面上，兩弧相交得一點。實務作業上為量度衛星至接收儀天線相位中心之距離，以衛星之位置為已知，由而交會得到接收儀天線相位中心之坐標。因此，GNSS 定位的基本精度，取決於幾何圖形的強度。交會以距離計算，因此距離量測的不確定性，亦影響 GNSS 定位精度。此外，如同所有交會法測量一樣，已知點坐標的精度，也是影響最後定位精度的因子。GNSS 處理的策略，在於如何降低或消除誤差的影響，基本策略可分為絕對與相對兩大程序。謹就定位原理、精度因子、與處理策略討論如下，本部分目的僅為介紹，並非周延地深入探討。

1、定位原理

衛星至天線中心距離的量測，採用電子測距儀(EDM, Electronic Distance Meter)的相位原理，因此距離量測包含有「整波數」與「零波長度」。一個完整相位(Phase)是 360 度，「零波長度」即由相位角乘上波長得到，相位角可以在接收儀上量取。「整波數」則為完整的許多個在電磁波傳送過程中的 360 度的數目，在 GNSS 領域又稱為「周波未定值(Cycle ambiguity)」，其量取需要進一步策略。在一般電子測距儀，由於距離較短，可以由不同波長的組合達成。例如使用波長 20,000m、2,000m、200m、20m 測距，將短波長的整波數由長波長的零波相位角求得

(Bannister et al., 1993; Ghilani, 2018)。當然，只使用長波長，亦可以估算距離，但是因為相位量測的解析度有限，在相位量測解析度相同的情況下，短波長所能達到的距離解析度與精度較為理想。使用多種長短波長組合的方法，所能量測的最長距離，受限於最長波長，如上述組合，最長可以量到 10,000m，因為電磁波發射端與接收端十分接近、同在一端，待測點為反射體在另一端，所能量測的距離是所能量測的光程之一半。

由衛星量取至地面某點的距離，雖然電磁波發射端與接收端分別位在距離兩端，光程即為距離。但是距離太長，GPS 星群之軌道高度為 20,180km，斜距則尚大於此，「整波數」不容易如地面上可通視的兩點間一樣求取。解決的策略是將電磁波訊號編碼，以人工設計的方式形成一個波長夠長的無線電波，讓整個波長長於衛星至地之距離。藉由在接收儀產生的電碼匹配接收到的衛星發射電碼，可以得到「零波」相位差。如果衛星與接收儀上的鐘錶為同步，由量測的「零波」相位差訊號可以得到由衛星傳送至天線的時間差。關鍵在於，編碼長度需要夠長，能夠長於電磁波由衛星到地面所需經過的時間。時間差乘以光速，就得到距離。可是，距離實在是太遠了。如果編碼夠長，所需接收的時間也增長，接收的難度也增加。因此，實務上 GPS 星群所使用的 C/A 碼 (Coarse/acquisition code)，其周期是 1 微秒(1×10^{-3} sec)，相當於約 299.8 km。整波長的部份，配合一些訊號接收與解算的策略求取。

因為基本的測量是量度時間差，因此精確的鐘錶是必須的，衛星上均配備了十分精確的原子鐘。但是，接收儀一般因為價格考量，大多只能使用相對價廉的石英鐘，時間相對上不穩定。天線相位中心點位在空間的坐標為三維，因此有三個未知數。由於接收儀的鐘與真實時間之間有一差值，將此一時間偏差作為未知數解算，可以獲得較好的成果，如此則一共有四個未知數，因此需要至少同時觀測四顆衛星方能求定。以電磁波編碼的方式進行距離測量，進而定位，稱為電碼定位。

電碼定位的解析度與精度受限於電碼，以美國 GPS 為例，電碼有兩套，其中 C/A 電碼定位精度較低，美國政府提供公開使用。P 電碼精度較高，僅保留給美國政府中獲得授權之單位人員使用。但是，科學發

展發現，無論是 C/A 電碼或 P 電碼，定位的精度仍然不如使用載波 (Carrier Wave) 的相位求解。如同調頻無線電台進行無線電廣播一樣，電碼的傳送是藉由調制 (Modulation) 於載波的方式達成。載波屬於無線電中的 L 波段，其波長短，因而解算的距離解析度高。以載波求取距離，稱為載波相位定位。但是，這時「整波數」的求解成了問題。由電碼確實可以估算相當接近的「整波數」，但是並不一定是正確解，還可以更好。「周波未定值」因此成為一個顯著的科學議題，其快速正確的求解更具有高度經濟價值。時至今日，已經有可以應用的演算法。

2、精度因子

GNSS 定位，影響的基本因子可以依其性質，分為幾何圖形、距離誤差、軌道誤差。在進行變形監測時，基於分離其他變形機制，如地潮、海潮、地球旋轉不穩定度、等之考量，影響的因子會涵括上述或更多。

幾何圖形的部分十分直觀，可以誤差界線的簡單圖解說明。如圖 2-1 所示，交會的角度是關鍵。在平面上，由一個已知點到一個待定點間的一段距離，對於幾何圖形提供的控制是一個以已知點為圓心的圓。其誤差界線是該圓的內外同心圓，又稱為「誤差環 (error donut)」 (Li, et al., 2003)。因此，由交會的兩段距離誤差界線 (誤差環) 所包絡的區域，亦即「誤差鑽石 (Error diamond)」，是由這四條誤差界線上的弧所構成 (陳永奇, 1991)。以平面兩個距離的相交，如果兩段精度相同，在相互正交 (90 度) 的圖形，其「誤差鑽石」最接近正方形。當由多段距離交會時，以由誤差界線包絡的「誤差鑽石」，愈接近圓形為愈理想。

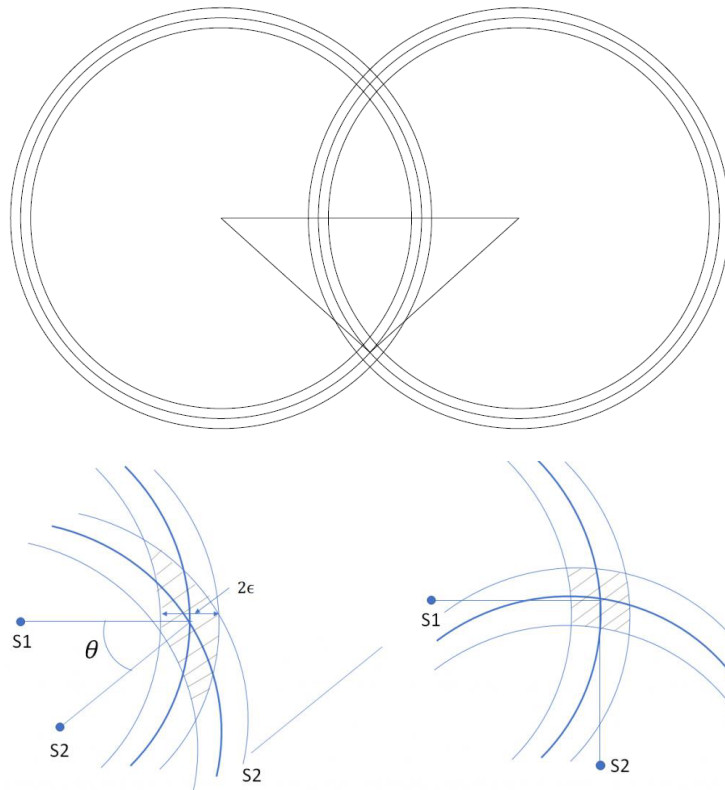


圖 2-1 交弧法誤差環與誤差鑽石(下圖引用自 Mohan, 2017)

在 GNSS 處理領域，幾何圖形的強度以 DOP(Dilution of Precision) 值為指標，依照不同的重點，區分為 GDOP(Geometric DOP，包含三維與時間)、PDOP(Position DOP，包含三維)、HDOP(Horizontal DOP，包含水平二維)、VDOP(Vertical DOP，僅有垂直向一維)、TDOP(Time DOP，僅有時間)等。這些指標是 $(G^T G)^{-1}$ 對角線元素組合， G 為僅含幾何圖形條件的設計矩陣，由無誤差的觀測量組成，DOP 值以零為最佳。這些指標也是 GNSS 數據處理中，應用於規範數據品質的標準項目，通常 GNSS 監測站以 GDOP 及 PDOP 為篩選指標。

在地球表面，能夠觀測到的衛星必須是高於地平線的，對空通視度 (Sky visibility) 就成為與圖形強度極為相關的因子。除了基本定位幾何圖形的強度，測量降低誤差影響的主要手段為「多餘觀測量」。「多餘觀測量」以性質區分，可以分為「重複性」的以及「幾何性」的。「重複性」的可以降低該觀測量的不確定度，「幾何性」可以增強設計矩陣、圖形強度。在 GNSS 的圖形方面，增加「多餘觀測量」的方法即為增加觀測

衛星的數目。能夠觀測到的衛星數目愈多愈好，分佈域均勻也愈好。對空通視度好，能夠接收到訊號的衛星數目便會多。這一點是在基礎 GNSS 站點選取分析時，以「對空通視圖」衡量設點位置優劣的理由。「重複性」的觀測量，在 GNSS 中，雙頻與多頻的採用亦具有此一效果。

距離是主要的觀測量，因此距離誤差是重要的不確定性因子。以電磁波量測距離，受到介質的影響。由衛星到地面所經過的光徑，經過電離層與對流層，因此分別產生電離層延遲效應、對流層延遲效應。由於電離層延遲效應的影響，對不同的頻率有不同的量值，GPS 系統乃使用兩個不同頻率的載波，以由其間差值，估算電離層延遲影響，由而予以改正。當然，這只能消除延遲中線性的部分，非線性部分無法藉此消除，但是已經可以改正電離層延遲效應中甚大之一部分。如果是單頻接收儀，只能接收一種載波，就 GPS 而言，就是接收 L1，則無法由本機接收的觀測量改正電離層延遲，需要使用模式計算出的值，或其他附近雙頻接收儀所得改正值。在以「多餘觀測量」降低誤差影響的考量上，單頻接收儀所能接收的觀測量是少於雙頻及多頻的，這是另一個單頻接收儀的劣勢。對流層延遲效應可以區分為乾效應與濕效應，通常採用模型估算，以降低影響。

以電磁波量測距離時，如果附近有物體產生多重途徑反射，則會使光徑增長，由而引發錯誤，這是測站附近的環境影響，稱為多途徑效應 (Multipath effect)。水面、金屬物質表面如屋頂、水塔等，是常見的多重途徑反射體。此外，電磁波的量測亦會受到周遭電磁波發射源的影響，如電臺、高壓電纜等，一般在選點時需要考量避免。Hu et al. (2016) 引用規範，要求測站距離無線電臺 200m 以上，距離高壓電纜超過 50m。此外，各個衛星上的時鐘雖然精確，但是仍然有誤差，會對於所測距離有影響。這一部分則由全球衛星觀測站網以大量計算得到，藉以消除或降低該項誤差影響。

高度角較低，也就是接近地平線的衛星，電磁波的路徑通過大氣層較厚。因而受到的延遲現象較為複雜、嚴重，延遲效應亦較難改正。為了避免這些誤差可能較大的觀測量影響整體定位品質，在計算篩選時通

常會設定最小高度角(Elevation cut off angle)。如 10 度、15 度，是常用的篩選值。在 CSRS-PPP 服務中，使用 7.5 度。這個選項是兩難的，因為由幾何圖形觀點，納入高度角低的衛星有助於強化圖形。

由衛星傳播下來的無線電波，是由接收儀所配置的天線接收，而天線之相位中心與所欲量測坐標點位間的幾何關係為何，需要藉由整置時對點、定平、量天線高得到。這些觀測量當然也有誤差。對於固定監測站而言，如果天線永不更換及移動，並不需要考量天線中心與測量樁間的關係。但是如果考量可能更換或移動天線，監測站應設置測量樁，並精確求定樁心與天線中心兩者間關係。另一項誤差，是天線相位中心不一定是天線幾何中心，尤其是高度方面，因此，天線製造商應提供天線相位中心至一個參考面的支距。此外，天線相位中心會隨衛星電磁波入射角度改變，而且不同的天線設計會有不同的改變。針對這個問題，IGS(International GNSS Service; IGS, 2017)制定了率定值資料標準 ANTEX (The Antenna Exchange Format，<https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/216104678-ANTEX-format-description>)，檔案副檔名為「.atx」(phase-center corrections file)，以供國際社群交換資料，並公布 ITRF2014 框架網中各站天線的率定值(igs14.atx)。歐洲框架組織的永久 GNSS 網(EUREF Permanent GNSS Network)，公告的檔案是「epn_14.atx」(http://epncb.oma.be/_documentation/equipment_calibration/)。美國 NGS(National Geodetic Survey, <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>)亦建立天線相位中心率定實驗室，但是採用的是相對率定(Relative Calibration, <https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/FAQ.xhtml#faq11>)。其他細節，謹此略過。由於天線相位中心的改變具有方向性，因此 GNSS 天線整置時，須將率定規範之北方標記，對正北方。比對電子測距儀整置，天線相位中心偏移誤差的影響，正如同儀器與稜鏡的「對點誤差」。

GNSS 定位作業中，乃以衛星在該時刻之位置為已知值。衛星的位置由軌道計算得到，因此軌道誤差是一個關鍵影響因子。除了軌道，聯同前所提到之衛星鐘錶誤差，IGS 統合各大分析中心之成果，發佈精密星曆(precise satellite orbits, 「.sp3」)、衛星鐘錶改正(precise satellite

clocks, 「.clk」)、地球旋轉參數(Earth rotation parameters, 「.erp」)等檔案(NASA, 2018), 是國際社群在處理 GNSS 數據時普遍使用的。

3、處理策略

GNSS 處理的策略, 在於如何降低或消除誤差的影響, 基本策略可分為絕對與相對兩大程序。絕對定位又為單點定位, 可以分為標準定位服務(Standard Positioning Service, SPS)與「精密單點定位」(Precise Point Positioning, PPP)。SPS 即為使用播報星曆, 以電碼所獲距離即時定位, 人們使用智慧型手機以 GNSS 定位時, 一般即為執行 SPS。「精密單點定位」則使用各種模式化、參數化的方式, 消除誤差影響, 且運用載波相位觀測量, 提升定位精度。依照假定的接收儀天線運動型態, 求解可以分為靜態(Static)與動態(Kinematic)。靜態設定天線位置為靜止, 求解時可以使用所觀測的整個時間序列中所有觀測量, 因此有許多的多餘觀測量, 可以獲得較好的精度品質。動態則假定天線位置為運動中, 每一時刻都有改變。固定監測站的數據可以靜態方式求逐日解, 而後以各日坐標變化, 了解速度與變形。但是也可以採用動態的方式解算, 每一個曆元, 均求出一解。但是真實運動中載臺上所蒐集的數據, 就只能以動態解算。由定位求解的時效要求區分, 可分為即時(Real Time)與後處理(Post Processing)。本研究所使用之加拿大 CSRS-PPP 網際精密單點定位服務(<https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>), 即為後處理的解算。即時「精密單點定位」目前正在蓬勃發展中, 目前 IGS 的 RTS(Real-time Service, <http://www.igs.org/rtts>)服務, 提供全球使用者 GPS 星群的即時精密星曆與鐘錶改正。

相對定位的策略為使用參考站計算, 藉由差分(Differencing)去除觀測量裡參考站與待定位站(移動站)間共同誤差因子, 如電離層、對流層等延遲影響。參考站必須為已知、具有坐標, 而且距離待定位站愈近, 誤差的共同性愈高, 相對定位的效果也愈好。相對定位只有一個參考站與一個待定位站時, 是基線解算。另一個強度更好的方法是網形平差, 由不限於一個參考站與多個待定位站組成。

相對定位也可以區分為動態與靜態, 動態時一般參考站為固定不動、

亦即靜止。相對定位也可以區分為即時與後處理，國土測繪中心提供的 eGNSS 服務便是即時相對定位，使用的是虛擬參考站(Virtual Reference Station, VRS)的方法。VRS 的策略是由一個 GNSS 連續固定站網，模型化所有誤差因子，在收到使用者服務要求時，根據使用者傳送之概略位置，求算出一個位於使用者附近的參考站，做為使用者差分定位使用。因為參考站是計算出來的，並非真實存在，故稱為虛擬參考站。因為採用使用者接收儀上的 RTK(Real Time Kinematic)功能進行差分定位，故而為相對定位。後處理的相對定位，無論靜態、動態，均為測量上常見。本研究用為比對 CSRS-PPP 成果者即為後處理相對定位。

絕對定位與相對定位，均可能需要一個分佈良好的 GNSS 連續固定站網。主要差異，在於絕對定位使用 GNSS 連續固定站網求取誤差改正所需模式與參數，各待定點之坐標與固定站之坐標無直接關係。而在相對定位中，待定點之坐標是與參考站的坐標相關聯的，參考站的意義即為測量中的「控制點」。

2.2 GNSS 研究檢討

依據近十年之發展，研究檢討以多星系議題、精密單點定位、即時動態服務、基準，概要說明。

1、多星系

由於各個星系之衛星軌道與配置不同，同時接收多個星系衛星訊號有助於增強幾何圖形，在對空通視受限區域，更可提升定位成功機率。因此，多星系之使用已為常態。多星系訊號處理策略可大分為各自定位後整合，與整合後統一定位。兩者之間，後者尤有效益。各自定位後整合的策略，需要解決的議題是衛星星系坐標系統與參考橢球體，以及時間系統之差異的轉換，如 GPS 與 Glonass 採用不同之參考橢球體。整合後統一定位則另需要系統間偏差(ISB, Inter System Bias)的改正，這項資訊須經由 GNSS 接收儀率定獲得。在國際規範中，日本之相關文件中將整合後統一定位之策略稱為「統合處理」。

2、精密單點定位

如前背景介紹中所述，提升定位精度的方法可以大分為相對與絕對，GNSS 發展初期以相對定位方式應用於較高精度需求時，如控制測量。在此情境，來自衛星星曆誤差在差分過程中大部分消除，因此即使使用廣播星曆作業，影響亦不大。隨同精密單點定位不確定性的降低，以此方式應用於控制測量，尤其是長時間觀測之後處理定位成果，已可列入控制測量應用之考量。

精密單點定位之基本原理在於直接使用未差分的原始電碼及載波相位觀測量，因此觀測方程式將包含衛星軌道誤差、衛星時錶誤差、衛星硬體延遲量、接收儀時錶誤差、接收儀硬體延遲量、電離層延遲量、對流層延遲量、載波相位週波未定值等許多誤差項目。

相對定位利用二次差分觀測量來消除衛星軌道誤差、衛星時錶誤差、衛星硬體延遲量等誤差項目；而精密單點定位則是利用 IGS 組織產製之衛星精密星曆、高更新率(high rate)衛星時錶誤差、衛星硬體延遲量等產品來改正這些誤差項目。隨著上述 IGS 產品的精度逐漸提升，精密單點定位的定位精度也逐漸提升，目前已達到與相對定位一致的水準。

3、即時動態服務

即時動態(RTK, Real Time Kinematic)定位、網型即時動態定位(Network RTK)，在日本、中國大陸，等相關測量規範中已經列入控制測量進行之可用方法。中國大陸採用獨立之專用規範方式建立標準文件。目前，即時動態精密單點定位(PPP-RTK)技術漸趨成熟，似亦可列入控制測量應用之考量。

4、基準

由於地球表面物件於空間參考坐標系中之位置，是時間之函數。因此，GNSS 採用定位之方式，採用動態基準(Dynamic Datum)。但是，實務上各國測量所採用之法定基準多仍為靜態，僅有少數國家應用不同形式之時變基準(Time Dependent Datum)，如紐西蘭採用之半動態基準(Semi-Dynamic Datum)。當 GNSS 測量定位所得為相應於動態基準時，其成果便須經過基準轉換方能使用。這一議題，在使用

Network RTK 時便已經顯現，在引進精密單點定位時更是必須考量。

參考國際規範，澳洲文件中即已納入標準手冊中。

2.3 導航衛星系統星系進展

「無線電導航」(RN)是應用無線電達成導航或輔助導航之目的，最早發展的系統為「無線電定向」(RDF)，由第一次世界大戰時期(1914-1918)開始應用。地基的 RN 系統，除了「定向」類，還有「自動回訊器」(Transponder)系統，以及「雙曲線系統」(Hyperbolic system)。至 1962 年，大功率地基的「雙曲線系統」LORAN-C，已部署於至少 15 個國家。其他的「雙曲線系統」包含英國的 Gee、Decca (Wikipedia, 2022)，以及美國的 Omega。美國發展的 LORAN 系列中，目前最晚近的系統為 eLoran (Enhanced LORAN; International Loran Association, 2007)，其功能定位為 GPS 之替代系統，相對於 GPS 以及其他的星基系統，eLoran 的脆弱度(Vulnerability)要低許多 (<https://www.microcontrollertips.com/eloran-a-terrestrial-alternative-to-gps/>)。

1957 年 10 月 4 日 Sputnik 衛星發射成功後，「無線電導航」進入星基時代。其中，「全球定位系統」(GPS, Global Positioning System)於 1978 年的開始運作，堪稱是近代文明發展的一項重要指標。GPS 的定位原理，仍然是延續地基「雙曲線系統」的「交弧法」(Arc intersection)。但是涵蓋能力大幅提升。如今，就測量的外業型態而言，「無線電導航衛星系統」(RNSS)業已大幅度的更換了以光學儀器為主的方式，這是一個顯著的改變。繼 GPS 之後，RNSS 有著相當大幅度的精進與改善，雖有部分是顯著的進展，但是總體上，是以漸進式的進化型態為主。本節由星系面向，簡要探討 RNSS 進展之部分內涵。

2.3.1 星系

在以定位、導航為目的之衛星星系(Satellite system, satellite constellation)中，目前達成全球涵蓋定位的有四個，另有兩個可以達成區域涵蓋。如表 2-1，GNSS 包含 GPS、GLONASS、Galileo、BeiDou，區域涵蓋(RNSS, Regional Navigation Satellite System)為印度發展的 NavIC 以及日本發展的 QZSS

(Quasi-Zenith Satellite System)。此處，要注意的是，RNSS 也是「無線電導航衛星系統」(Radio Navigation Satellite System)的簡稱，而 GNSS 屬於無線電導航，因此亦屬於 RNSS，只是 R 的含意之一是「無線電」，另一個是「區域」，實質上不相同，採用簡稱有增加混淆機率的影響。

QZSS 原為增強系統，表 2-1 中也包含了，列入「區域導航衛星系統」，因為目前 QZSS 有四顆衛星，包含一顆 GEO (QZS-3)、三顆 IGSO(QZS-2, 4, 1R)。預期在 2024 年 3 月底，QZSS 的衛星數目將增加為 7 顆，該星系本身便可以達成區域涵蓋的定位(Kogure, 2020)。雖然 QZSS 發射的訊號規格與 GPS 相同，當下的營運目標，為提供 GPS 定位作業的增強服務；但在星系本身可以提供獨立的定位能力時，實質上已經是符合 RNSS(「區域導航衛星系統」)之基礎要求。

在 BeiDou 之前，衛星星系均為單一星座(Constellation)，第 3 代 BeiDou 衛星(北斗三號)包含三組不同軌域構型，即 24 顆 MEO、3 顆 GEO、3 顆 IGSO，故 Yang et al. (2022)稱 BeiDou 為由三個星座組成。但是「衛星系統」(Satellite system)與「衛星星座」(Satellite constellation)在 EUSPA(2020)、維基百科 (https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_constellation)中似仍以等義視之。同時，QZSS 亦由多於一種軌域構型的衛星組成。

表 2-1 導航衛星星系軌域構型、軌道面數目、高度(km)與衛星數目

	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	NavIC	QZSS
軌域構型與軌道面數目	6xMEO	3xMEO	3xMEO	3xMEO, 3xGEO, 3xIGSO	GSO	4xIGSO, 2xGEO, 1xQGEO
軌道高度(km)	20,180	19,130	23,222	21,528(M) 35,786(G)	35,786	35,786
衛星總數	31	24	22	30	8	7(4)

簡要回顧衛星軌域構型(Orbital regimes)，依軌道高度，可以大分為低軌(LEO, Low Earth Orbit)、中軌(MEO, Medium Earth Orbit)、地球同步軌道(GSO, Geosynchronous Orbit)、高軌(High Earth Orbit)。LEO 軌道高度約 2,000 km 以下，GSO 為 36,000 km，MEO 介於兩者間(Seeber, 2003)。

GSO(Geosynchronous Orbit, 地球同步軌道)是一種特殊軌道, 與地球同步, 以地球為中心, 軌道周期與地球自轉周期一致, 為 23 小時 56 分 4 秒, 軌道高度約為 35,786 km, 於地球表面的軌跡為 8 字形, 可以在地球表面目標區全天可見。GEO(Geostationary Earth Orbit, 地球靜止軌道)是 GSO 的一個特例, 軌道面在地球赤道, 亦即其軌道面的傾角(Inclination)為 0° , 在地球表面的投影點(星下點, Substellar point)為固定, 且在赤道上。IGSO (Inclined Geosynchronous Orbit, 傾斜地球同步軌道)是標明不是 GEO 的 GSO。「高軌軌道」則為衛星高度大於 36,000 km, 因而繞地週期長於 24 小時。雖然「高軌軌道」之英文名稱組成字的首字母為 HEO, 但是文獻中少有使用 HEO 表示「高軌軌道」者。

除了 IGSO, HEO (Highly Elliptical Orbit)與「繞極軌道」(Polar orbit), 是另兩類特殊軌道(Seeber, 2003)。HEO 為軌道離心率(Eccentricity)高之軌道, 知名的案例包含「閃電軌道」(莫尼亞軌道, Molniya orbit), 離心率 0.737、遠地點高度約為 39,750km、近地點(Perigee)約為 600km (Kidder and Haar, 1990), 週期為 717.74min, 十分接近恆星日半日, 與 GNSS 星系中 MEO 衛星接近; 以及「凍原軌道」(Tundra orbit), 週期為 24 hr, 與 GSO 相當。離心率 0.24-0.4、遠地點高度 40,000km、近地點(Perigee)約為 25,000km, 週期為 1436min, 十分接近恆星日一日, 與 GNSS 星系中 IGSO 衛星接近; (https://en.wikipedia.org/wiki/Tundra_orbit)。「繞極軌道」衛星高度約為 800km, 因此為 LEO 之一種, 傾角為 60° 至 90° 。地球觀測衛星所常用的「太陽同步軌道」(Sun-synchronous orbit)便是一種「繞極軌道」(Seeber, 2003; https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_orbit)。

日本 QZSS 採用三種軌道構型(表 2-1), 其一為 QGEO (Quasi-Geostationary Orbit, 準地球靜止軌道), 依據 Kogure (2020)為傾角大於 1° 、離心率为 0.008 的 GSO。由於十分接近 GEO, 故稱 QGEO。QZSS 衛星軌道部份的名詞有些多元, 因為其軌道相對上有些複雜, Kogure (2020)又將 QGEO 稱為 QGSO。第二種構型是 QZO (Quasi-Zenith Orbit, 準天頂軌道), 這也是 QZSS 命名的緣由, QZO 雖然可以歸類於 IGSO, 但是也可以歸類為 HEO。因為其近地點高度約為 32,000km、遠地點高度約為 40,000km (ESA,

2021)、離心率 0.075，是偏心率較顯著的軌道(Cabinet office, 2018)。第三種構型是 GEO。

在 GNSS 衛星中，也有因發射失誤而進入 HEO 的案例。於 2014 年由俄國以 Soyuz 火箭發射的兩顆 Galileo 衛星，編號 GSAT0201 與 GSAT0202，因為發射作業失誤而進入錯誤的軌道，該軌道離心率为 0.162 (<https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/orbital-and-technical-parameters>)。雖然軌道錯誤，衛星因為功能正常，仍然可以提供定位與導航資訊，因此列入「可用」衛星，實務上可以提升衛星可見率及圖形強度。後續由於某些大量使用中的商業 GNSS 接收儀有處理 HEO 衛星資訊的問題，在 2020 年 11 月 30 日，歐洲 GSA (GNSS Agency)將這兩顆衛星設定為「非健康」(Unhealthy)，暫時除役，而成為備用 (<https://insidegnss.com/galileo-elliptical-auxiliary-satellites-removed-from-service/>)。這兩顆衛星也成為 GNSS 衛星群中，唯二的中軌道高度的偏軌道衛星。

除了上述星系，韓國規劃發展的 KPS (Korean Positioning System)是一個區域性的導航衛星系統，由三個 GEO 軌道衛星與四個 IGSO 衛星組成 (Choi, et al., 2020)。KPS 的 IGSO 衛星離心率为 0.075，與 QZSS 的 QZO 一樣。

英國在脫離歐盟之後，亦由 Galileo 計畫退出，因而籌擬建置自有、獨立之系統。「英國全球導航衛星系統」(United Kingdom Global Navigation Satellite System, UKGNSS)計畫於 2018-2020 年間執行，規劃建立 MEO 軌道星群，頻率及訊號與 GPS 相容，擬於 2030 年建置完成，並曾擬命名為「牛頓」(Newton)。目前執行中者則為「英國星基定位導航定時計畫」(United Kingdom Space Based Positioning, Navigation and Timing Programme, UK SBPNT)。2020 年英國與印度企業聯合收購衛星公司 OneWeb，因而擁有 OneWeb 的 650 個 LEO 衛星的星群。使得應用 LEO 衛星構建 GNSS 成為可能選項(Wikipedia, 2022f)。

導航衛星除了軌道方面的多元化，另一項重要的精進是訊號頻率的多元化。初期的 GPS 使用兩種載波頻率，L1 (1575.42 MHz)、L2(1227.6 MHz)。由 2010 年 5 月至 2016 年 2 月，所發射的 12 顆 Block IIF 衛星，以及後續

的 Block III 衛星上(目前已發射 4 顆)，增加 L5 (1176.45 MHz)(Wikipedia, 2022a)。

GLONASS 使用之頻率相對上較為複雜，在採用 FDMA (Frequency Division Multiple Access，分頻多重進接)時使用的有 L1 ($1602 \text{ MHz} + n \times 0.5625 \text{ MHz}$)、L2($1246 \text{ MHz} + n \times 0.4375 \text{ MHz}$)， n 是衛星頻率通道的編碼。在採用 CDMA (Code Division Multiple Access，分碼多重進接)的情況下，於 2011 年開始發射的 GLONASS-K1 衛星上有 L3 (1202.025 MHz)，規劃發射的 GLONASS-K2 衛星將有 L1 (1600.995 MHz)、L2(1248.06 MHz)的 CDMA 編碼訊息(Wikipedia, 2022b)。

Galileo 衛星的載波頻率 E1 (1575.42 MHz)、E6 (1278.5 MHz)、E5 (1191.795 MHz)；其中，E5 區分為 E5a (1176.45 MHz)、E5b (1207.14 MHz) (ESA, 2022; Wikipedia, 2022c)。

北斗三號衛星使用 B1C (1575.42 MHz)、B2a (1176.45 MHz)、B3I (1268.52 MHz) (ESA, 2020)。QZSS 衛星與 GPS 一致，因此是 L1 (1575.42 MHz)、L2(1227.6 MHz)、L5 (1176.45 MHz)。而 NavIC 則很不相同。

印度的系統名為 IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System)，其運作的系統名稱是 NavIC (Navigation with Indian Constellation)。除了使用 L 波段外，同時使用 S 波段，這兩個波段使用的頻率是 L5 (1176.45 MHz)、S band (2492.028 MHz)。NavIC 目前的 7 顆衛星，可以涵蓋印度及其周邊達 1,500 km，有增加為 11 顆衛星的規劃。全球涵蓋亦在規劃中，無線電頻率申請業已完備，其名稱為 GINS (Global Indian Navigation System)(Wikipedia, 2022d)。Upadhyay and Bhadouria (2021)報導 NavIC 將新增 L1 波段(1563.42-1587.42 MHz)。

各星系使用之頻率與頻寬，整理如表 2-2(Everything RF, 2021; ESA, 2014, 2022, 2020, 2021a, 2021b; Everything RF, 2017)，圖 2-2 為 GNSS 無線電波段，BeiDou 衛星申請獲得的頻率域區間與 Galileo 衛星相同。配合圖 2-2 及表 2-2，可以看出各星系間頻率之對應。

國際組織中協調、管理無線電頻譜的是「國際電信聯盟無線電通信部門」(ITU Radiocommunication Sector, ITU-R)。分配於無線電導航衛星系統

(RNSS) 的頻段，屬於 L 波段。於 L 波段上部(1,559-1,610 MHz)，有 GPS L1、Galileo E1 和 GLONASS G1，於低 L 波段 (1,151-1,214 MHz) 的底部有 GPS L5 和 Galileo E5(圖 2-2)。這兩個波段由於屬於航空器導航使用的區塊，受到較好的保護。其餘 GPS L2、GLONASS G2 和 Galileo E6 信號位於 1 215.6 - 1 350 MHz 頻段，因有其他的使用者，包含業餘無線電 (Amateur, 1240-1300)、地面無線電定位(Radio location)、地球探勘衛星(Earth exploration satellite)訊號等，較容易受到干擾(ESA, 2014)。

無線電波段的分配狀況，可在 IEEE 網站查詢(http://www.classic.grss-ieee.org/frequency_allocations.html)。

表 2-2 導航衛星星系頻率、頻寬(MHz)

	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	NavIC	QZSS
1	L1 (1575.42, 15.345)	G1 (1601- 1593)	E1 (1575.42, 24.552)	B1C (1575.42, 32.736)	L1 (1563.42- 1587.42)	L1 (1575.42, 12)
2	L2 (1227.6,11)	G2(1254- 1237)	E6 (1278.5, 40.920)	B3I (1268.52, 20.46)		E6 (1278.75, 20) L2C (1227.6, 11)
3	L5 (1176.45, 12.5)	G3 (1214- 1189)	E5 (1191.795, 51.150)	B2a (1176.45, 20.46)	L5 (1176.45, 24)	L5 (1176.45, 24)
4					S (2492.028, 15.6)	

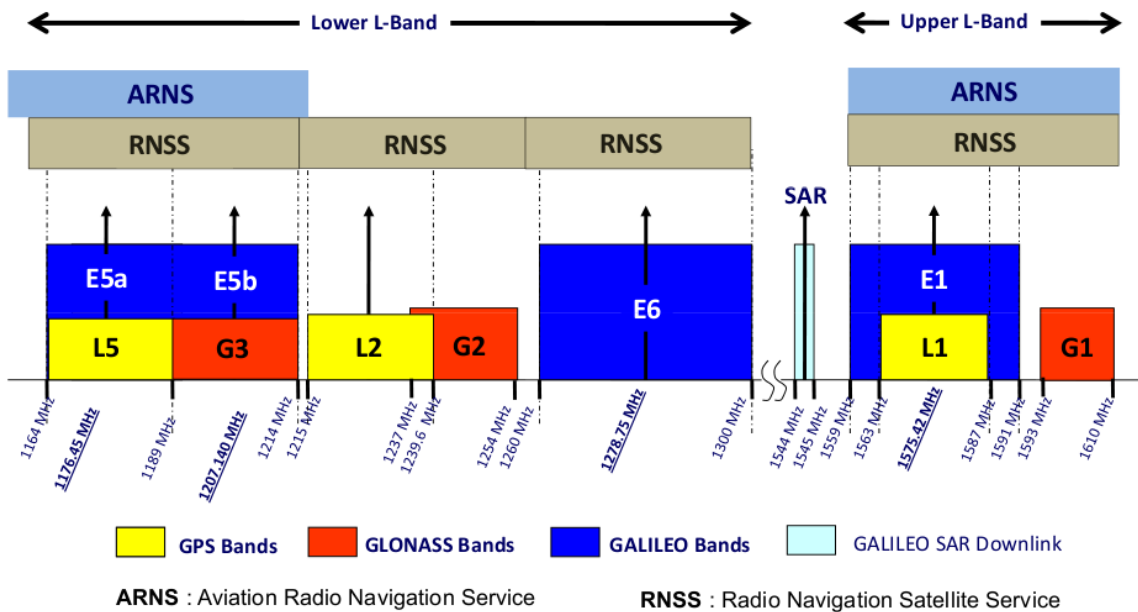


圖 2-2 GNSS 無線電波段

(https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/File:GNSS_navigational_frequency_bands.png)

目前導航衛星系統所使用為導航訊號傳送的頻率區間，如圖 2-2 所顯示，均在 L 波段。例外有兩個，分別是 NavIC 除 L 波段外亦使用 S 波段，以及前述英國 OneWeb 低軌星群，其使用之頻率為 Ku 波段，以該波段提供使用者服務，並以 Ka 波段作為衛星間通訊之用(Wikipedia, 2022)，但是後者僅為具有可能性。

2.3.2 編碼與調制

GNSS 太空端的論述，除了軌道與頻率外，現代化的進展包含編碼與調制的技術更新。GPS 早期的系統，使用 C/A 碼與 P 碼。C/A 碼僅調制於 L1 載波，P 碼則同時調制於 L1、L2 載波。C/A 碼是民用碼，P 碼是軍用碼。當下的 GPS 現代化就播送的訊號做了相當大幅度的更新，整體上有兩個面向：「無數據採集輔助」(Dataless acquisition aid)以及 導航(NAV) 資訊的「前向糾錯」(FEC, Forward Error Correction) 編碼。「無數據採集輔助」是數據之外的附加訊號，亦即為前導訊號，與數據訊號分離組成但是同步廣播。這種設計目的為提升收訊的能力，前導訊號比編碼數據更容易採集，並且在成

功採集後，可用於採集數據訊號。「無數據採集輔助」技術改進了 GPS 訊號的採集能力，並提高了以互相關(Cross-correlation)匹配電碼擷取距離觀測量的效能。第二項改進是在導航(NAV)資訊上使用前向糾錯 (FEC) 編碼。由於 NAV 數據的傳輸速率相對較慢(通常為每秒 50 位元)，因此小的中斷可能會產生巨大的影響，採用 FEC 對整體訊號接收品質之穩健度(Robustness)有顯著改進(Teunissen, Montenbruck, 2017)。

目前調制在 L1 載波上的訊號，除傳統 C/A 碼與 P 碼外，另有 M 碼與 L1C。其中，M 碼是新的軍用碼，有較 P 碼為強的抗干擾能力，抗破解的保密效能亦有改善，將完全取代 P 碼。相對應於 M 碼是 P 碼的現代化版本，L1C 是 C/A 碼的進階更新版。設計過程中，L1C 著重於與 Galileo E1 之互操作性(Interoperability)，如前所述，訊號結構包含兩個部份，L1CP 為前導訊號(pilot signal)，由 BOC(1,1) 與 BOC(6,1)兩種調制編碼以時間多工(time-multiplexing)之調制方式組成，此部分不含數據本體。L1CD 則純為 BOC(1,1)，內涵為數據。BOC 為「二進位偏置載波調制」(Binary Offset Carrier)，是在 Galileo 系統設計過程中發展出的一種分離波譜(Split Spectrum)載波調制方式(ESA, 2011; Spirent, 2011)。相對應的，傳統 C/A 碼與 P 碼為使用 BPSK (「二元相移鍵控」，Binary Phase Shift Keying) 方式調制。

在 L2 載波上，GPS 現代化的架構中，除了 P 碼外，增加了 L2C，以及將替代 P 碼的 M 碼。新增的 L5 載波，其頻率的選擇特別考量航空器導航的需求，有兩個部份，互為「轉象相差」(Phase quadrature)，使用之編碼分別為 I5 與 Q5(ESA, 2021a; Wikipedia, 2022e)。文件中，前導訊號與數據訊號以 d 與 p 表示，如 L5(d+p)、L1C(d+p)；亦有以 Q、I 表示，如 L5Q 為 L5 之前導訊號，L5I 為 L5 之數據訊號，而 L5Q 與 L5I 雖為兩組訊號，但是為一組電碼(ESA, 2021a)。

目前運作中的 GLONASS-M 與 GLONASS-K1 衛星上，以 FDMA 傳送的有民用(開放)碼 L1OF/L2OF 以及軍用(加密)碼 L1SF/L2SF，分別調制在 G1 與 G2 波段。以 CDMA 調制的在 G3 波段，L3OC 為開放碼。如同 GPS 的 L1C 一樣，分前置碼與數據兩部分，L3OCP 與 L3OCD，且互為「轉象相差」(ESA, 2019)。Galileo 衛星於 E1 波段提供之訊號為 E1OS，E5 波段有

E5a、E5b，以上為開放訊號。在 E6 波段為 CS，是商業性的加密碼(ESA, 2022)。BeiDou 星系，開放的訊號有 B1I、B1C、B2I、B2a、B2b、B3I，需要授權的管制型訊號有 B1Q、B1A、B2Q、B3Q、B3A (<https://customersupport.septentrio.com/s/article/Beidou-signals>)。

QZSS 在 L1 波段有 C/A、L1C、SAIF，L2 波段有 L2C，L5 波段有 L5，E6 波段有 LEX(ESA, 2021b)。NavIC 在 L5 波段有 SPS (Standard Positioning Service，標準定位服務)與 PS (Precision Service)的訊號，導航資訊則以 S 波段傳送(Wikipedia, 2022d)。Upadhyay and Bhadouria (2021)報導 NavIC 的預訂新增 L1 波段上調制有 SPS 訊號，與 GPS 等衛星之 L1C 相容，具有互操作性。

表 2-3 導航衛星電碼

	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou	NavIC	QZSS
開放	L1 C/A, L2C(d+p), L5(d+p), L1C(d+p)	FDMA L1/L2 C/A, CDMA L3	[E1A], E1(B+C) , [E6A], E6(B+C) , E5a(d+p) , E5b(d+p) , E5	B1C(d+p), B1I, B2A(d+p), B2B(d+p), B3I	L1 SPS ^(*a) , L5 SPS, S SPS	L1 C/A、 L1C、 SAIF、 L2C、 L5、E6 LEX
不開放	L1/L2 P(Y) ^(*b) , L1/L2 M(d+p)	FDMA L1/L2 P		B1Q、 B1A(d+p)、 B2Q、B3Q、 B3A	L5 PS S PS	

*a 由 NVS 系列衛星開始(Reddy, 2022; Upadhyay and Bhadouria, 2021)

*b 原規劃於 2020 年停止播送(Moran, 2014)

在訊號的傳送面向，除了編碼與調制外，「多工」(Multiplexing，多路複用)是另一個通訊和電腦網路領域的議題。「多工」通常表示在一個頻道上傳輸多路訊號或資料流的過程和技術。因為「多工」能夠將多個低速頻道整合到一個高速頻道進行傳輸，進而有效地利用了高速頻道。通過使用「多工」，可以避免維護多條路線，進而有效地節約營運成本(<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/多路复用>)。技術面包含「分時多工」(TDM, Time Division Multiplexing)、「分頻多工」(FDM, Frequency Division Multiplexing)、「空間多工」(SDM, Spatial Division Multiplexing)「分碼多工」(CDM, Code Division Multiplexing)、「極化分割多工」(Polarization Division multiplexing)和「軌道角動量多工」(Orbital angular momentum multiplexing)。

在「無線電導航衛星系統」中，「多工」的需求始於在單一載波上需要調制多於一種的訊號，如 GPS 系統的 L1 波段傳送 L1 C/A、P(Y)、M、L1C 四種，採用的是 CDMA (Code Division Multiple Access)。事實上除了 GLONASS 原始的 L1/L2 訊號是 FDMA 以外，其他星系訊號均採用 CDMA。

2.3.3 定位效能

導航衛星系統的定位效能，一般以標準定位服務(Standard Positioning Service)評量。應用於控制測量時，則相對定位網形平差是最常引用之方法。因此本部分由文獻回顧，整理出兩個面向的不確定度指標。

太空訊號量距誤差

影響定位不確定度的因子，包含軌道資訊的準確度、衛星幾何圖形、使用者觀測設備之效能、環境參數等。一般採用之指標與評量方法為以「精度衰減因子」(DOP, Dilution of Precision)做為衛星幾何圖形的量度，觀測量的不確定度則由太空部分與使用者部分之不確定度組成，因此，「使用者導航誤差」(UNE, User Navigation Error)為：

$$UNE = DOP\sqrt{SISRE^2 + UEE^2} \quad (1)$$

其中，SISRE (Signal-in-Space Range Error)為太空部分，UEE (User Equipment Error)為使用者部分。就導航衛星系統而言，其效能評量則為SISRE (Montenbruck, et al., 2018)。

「太空訊號量距誤差」(SISRE)主要因子為衛星軌道與時鐘，其評量公式為：

$$SISRE = \sqrt{(w_1^2 R^2 - 2w_1 R T + T^2) + w_2^2 (A^2 + C^2)} \quad (2)$$

R為軌道徑向誤差(Radial component error)，A為軌道沿軌向誤差(Along-track component error)，C為軌道跨軌向誤差(Cross-track component error)，T為時鐘誤差(Clock error)； w_1 、 w_2 為加權係數，各個星系不同。

Montenbruck, et al. (2020)以上述公式，分析以四個 GNSS 星系個別定位，於 IGS 站 WTZZ 在 2020 年 2 月 27 日 24 個小時雙頻觀測成果水平分量之 SISRE 及其他指標如表 2-4。在 SISRE 評量中，採用之方法為比對精密星曆與播報星曆，所使用之精密星曆，GPS、GLONASS、Galileo 為由歐洲 GNSS 分析中心 CODE (Center for Orbit Determination in Europe, Switzerland)計算之成果，BeiDou-3(北斗三號)則為採用中國武漢大學分析中心(WHU)成果。「差分電碼偏差」(DCBs, Differential Code Biases)則為使用中國科學院所計算之成果。DCB 是在相同或不同頻率的兩個 GNSS 電碼觀測值之間的系統誤差或偏差。由於 Montenbruck, et al. (2020)評量的是雙頻的

觀測量，因而需要 DCBs 的改正。

表 2-4 標準單點定位水平分量誤差(m)

(Montenbruck, et al., 2020)

星系	衛星數	訊號	UEE	SISRE	UERE	HDOP	DRMS
GPS	31	L1/L2 P(Y)	0.7	0.6	0.9	1.1	1.2
GLONASS	22	L1/L2 P	0.9	1.7	1.9	1.3	2.0
Galileo	22	E1/E5a	0.5	0.2	0.5	1.3	0.7
BeiDou-3	24	B1C/B2a	0.5	0.4	0.6	1.3	0.9

有關 QZSS 之 SISRE，效能規範(Performance specification)之值為小於 2.6m。Kogure (2020)所提供之評量，現有四顆衛星各自之平均值及最小、最大值如表 2-5。其中 QZS-1 之最大值發生於衛星鐘故障時，QZS-2 與 QZS-4 之最大值發生於導航資料上傳時，均為非正常狀態。

表 2-5 QZSS 「太空訊號量距誤差」(m) (Kogure, 2020)

衛星	平均	最小	最大
QZS-1	0.55	0.41	4.61
QZS-2	0.77	0.43	2.32
QZS-3	0.79	0.49	1.77
QZS-4	0.85	0.60	5.11

關於 NavIC，由於未能尋獲其 SISRE 分析之文件，謹引用 Ma et al. (2019) 之分析成果，NavIC 在其主要服務區之標準單點定位誤差為東西向約 1m，南北向及垂直方向約 2m。

在使用多星系標準定位服務時，較多的可用衛星可使衛星幾何圖形強度增加，造成(1)式之精度衰減因子 DOP 下降，從而導致使用者導航誤差 UNE 的降低，提升定位精度。

相對定位網形平差

前節以標準單點定位評量的，是使用電碼觀測量、以播報星曆，計算點位坐標時的定位效能，並沒有將載波相位觀測量納入。由於相位觀測量的解析度高於電碼許多，因此所得之定位成果品質亦要好許多。在多種的 GNSS

數據處理方法中，以控制點測量應用而言，靜態相對定位網形平差是最常引用之方法，本部分即採用此一方式評量。在文獻中，Ashour et al. (2021)應用位於埃及開羅的五個測站，分別以 Trimble R8、R8S、Net-9 型之 GNSS 接收儀觀測，觀測頻率為一秒一筆、高度角遮罩為 10° 。使用 Trimble TBC 第 5 版軟體進行網形平差計算，以五站中之一為固定點。表 2-6 為 GLONASS、BeiDou、Galileo 個別計算，以及合併計算之成果，與以 GPS 計算之參考值間位置之不一致誤差。此一位置誤差為以三向坐標差之平方和開根號計算得出。

$$\Delta P_i^j = \sqrt{(\Delta E_i^j)^2 + (\Delta N_i^j)^2 + (\Delta h_i^j)^2} \quad (3)$$

表 2-6 站間空間不一致值 (m)

(Ashour et al., 2021)

求解方式	距離固定點最近站(約 10km)			距離固定點最遠站(約 40km)		
	2 hr	6 hr	24 hr	2 hr	6 hr	24 hr
GLONASS	0.014	0.011	0.007	0.034	0.022	0.018
Galileo	0.011	0.008	0.006	0.021	0.014	0.004
BeiDou	0.023	0.008	0.017	0.027	0.030	0.009
合併	0.016	0.006	0.006	0.011	0.013	0.005

2.3.4 小結

「多星系多頻」是 GNSS 衛星目前發展的方向，增強訊號抗干擾能力與提升編碼的技術，亦可在發展中明確地看到。這些進展主要在提升 GNSS 訊號接收的效能，以及降低即時定位的不確定度。針對使用相位觀測量的使用者，如控制測量應用，雖然較佳的電碼即時解有助於「週波未定值」(Ambiguity)的求取，GNSS 現代化的影響在於：

1. 提供較多的波段，如增加 L5 波段。這不僅是增加觀測量，亦同時增加對於環境因子的推估，如電離層延遲效應。其中最顯著者，應為 NavIC 的 S 波段。由 S 波段與 L 波段的觀測量，對於電離層延遲效應的反衍，要較只應用 L 波段中的幾個子波段，效能強許多 (Wikipedia, 2022d)。但是有關由於增加 L5 與 S 波段，由而提升對

環境因子估算的能力，進而提升定位精度的實證，尚在蒐集文獻中。

2. 提供較高的衛星可用度(Availability)，由於衛星數目的顯著增加，同時刻空中可觀測的衛星數目大幅提升。這由 GNSS 接收儀之儀器規格可以充分反映，在 2022 年此刻，Trimble Alloy 接收儀可以同時觀測 672 個頻道(Channel)(Trimble, 2018)，所能獲取之訊號，包含 NavIC 的 S 波段。
3. 能有更好的幾何圖形強度，這也是由於衛星數目的顯著增加，同時刻空中可觀測的衛星數目大幅提升所導致(Leica et al., 2015)。尤其是 IGSO 與 GEO 衛星的增加，使得地球表面大多數地區，包含臺灣，GNSS 盲區大幅減少。
4. 提供較多的觀測頻率，使得可以在較短的觀測時間內完成整數週波未定值的求定。此外在多路徑效應較大的環境中，使用多頻觀測量也有較佳的週波未定值解算效能(Chu and Yang, 2014)。

由數據處理面論述，「多星系多頻」的運用價值不僅在於增加衛星的可用度，亦有提升定位精度與可靠度之效益。但是，是否能夠充分應用相位觀測量於如控制測量之應用，高精度星曆與衛星鐘錶改正是一個關鍵。除此外，多星系目前結合方式多為使用「混合」(Mixed solution)的方法，亦即各星系分別求解定位後再經最佳化過程合併得到估值。原則上最理想的方式或許為「統合」(Integrated solution)方式，由各個衛星獲得之距離觀測量直接平差，這時，許多各星系間的差異必須納入考量，包含「系統間偏差」(ISB, Inter System Bias)必須求定。因 ISB 值隨接收儀之電路設計而有差異，因此，如果接收儀之硬體、軟體不同，ISB 便原則上不相同(Håkansson, et al., 2017; Mi, et al., 2019; 國土地理院，2020、2020a)。

2.4 全球導航衛星增強系統進展

「全球定位系統」(GPS, Global Positioning System)的開始運作，堪稱是近代文明發展的一項重要指標。由此，讓衛星時代實現。就測量的外業型態而言，「全球導航衛星系統」(GNSS, Global Navigation Satellite Systems)業已

大幅度的更換了以光學儀器為主的方式，這是一個顯著的改變。但是，更宏觀的基本面，測量框架亦因 GPS 而可以達成全球一致。GPS 之前，天文測量是達成國際聯測的主要方式；因為，無論在地球何處，人們可以觀測到同一星空。雖然，各地因所處經緯度之不同，能夠觀測的星體並非相同，但是經過長期觀測的分析，可以建立基於同一框架的星表 (Star catalogue) (Wikipedia, 2022)。測量領域常使用的星表是「基本星表」(Catalogues of Fundamental Stars)，如 FK4，在 1963-1988 年間使用(Wikipedia, 2022a)。TWD67 的位置基準與方向基準，便是採用天文測量設置的，使用的星表便是 FK4。以一致的星表，藉由天文觀測，各地均可以獲得天文經度、天文緯度、天文方位角，由而達成全球的接軌。但是，大地經、緯度與大地方位角還需要經過垂線偏差 (Vertical deflection) 等的修正，才能獲得。這一部分，卻是十分不容易的。GPS 不但可以方便地獲得大地經、緯度，甚至可以獲得橢球高。因此，GPS 讓測量框架由區域而全球，其影響實為「範式轉移」(Paradigm shift)。

繼 GPS 之後，GNSS 有著相當大幅度的精進與改善，雖有部分是顯著的進展，但是總體上，是以漸進式的進化型態為主。本文由增強系統面向，簡要探討 GNSS 進展之部分內涵。

2.4.1 增強系統

GNSS 所提供的基本服務，包含定位 (Position)、導航 (Navigation)、校時 (Timing)，合稱為 PNT。依據定義，GNSS 增強系統是一種能夠提升其效能的方法。這些效能，包含針對 PNT 三項中，任一面向的精度 (Accuracy)、可靠性 (Reliability)、完整性 (Integrity)、連續性 (Contiguity)、以及可用性 (Availability) 之一項或多項。ESA (2018) 敘述此一增強，是藉由綜合外部資訊於資料處理過程中，而達成提升系統效能的方法。

依據 GNSS 接收器如何接收外部資訊，可以區分為星基增強系統 (SBAS, Satellite Based Augmentation System) 與地基增強系統 (GBAS, Ground Based Augmentation System)。由技術上區分，包含應用相對定位方式，藉由提供待定點各個觀測量由參考站或網所得之誤差改正值而達成者，亦有採用絕

對定位方式，藉由提供時鐘改正、精密星曆、電離層延遲改正、對流層延遲改正等誤差因子資訊者。因此，對應於相對定位與絕對定位，就所傳送資訊的內涵與結構，可以分為觀測空間表述(Observation Space Representation, OSR) 與狀態空間表述(State Space Representation, SSR)。OSR 是相對定位服務使用，SSR 則為絕對定位服務使用。

有關相對定位所需資訊，主要是由單一參考站或參考站網的 GNSS 觀測資料產出；絕對定位所需可能使用到使用 GNSS 以外資料，如氣象觀測資料及模式。新興的 GNSS 增強系統則會更進一步地使用到差異性更大的資訊。以自駕車之導航系統為例，可能使用的慣性系統、車輪里程計、視覺 SLAM、光達 SLAM、雷達，等之車輛上蒐集的訊息，以及導航地圖。這些「外部」資訊有助於 GNSS 處理中過濾多路徑效應、求解週波未定值、粗差移除、緩和 GNSS 斷訊的效應，等等之功能。

通常敘述 GNSS 增強系統時，以星基與地基區分，但是這僅是由改正訊號的傳送媒介著眼。星基系統使用衛星，如通訊衛星 Inmarsat；地基系統則使用地面無線電，如 UHF、MF、以及行動通訊。在 Ntrip 發展成熟之後，連接網路成為重點，而不再是訊號傳送的媒介。當代的 GNSS 增強服務中，部分同時具有星基與地基之功能。以美國 GPS 官網(<https://www.gps.gov/>)對於 GPS 增強系統的說明，廣域增強系統(WAAS, Wide Area Augmentation System) 是星基，美國全境的連續參考站網(CORS, Continuously Operating Reference Stations)、線上定位使用者服務(OPUS, Online Positioning User Service)，則是概念上為地基的增強系統。國際 GNSS 服務(IGS, International GNSS Service)，所提供的精密星曆與各式改正的產品，亦屬於地基概念的增強系統。美國曾經提供的一個增強服務，「國家差分 GPS 系統」(NDGPS, Nationwide Differential GPS System)，為針對美國水道的定位與導航，在 GPS 訊號有「選擇性提供」(SA, Selective Availability)時期提升精度的服務。SA 在 2000 年由 Bill Clinton 總統定案停止，NDGPS 則在 2020 年 6 月 30 日停止。NDGPS 也是一個地基的增強系統。

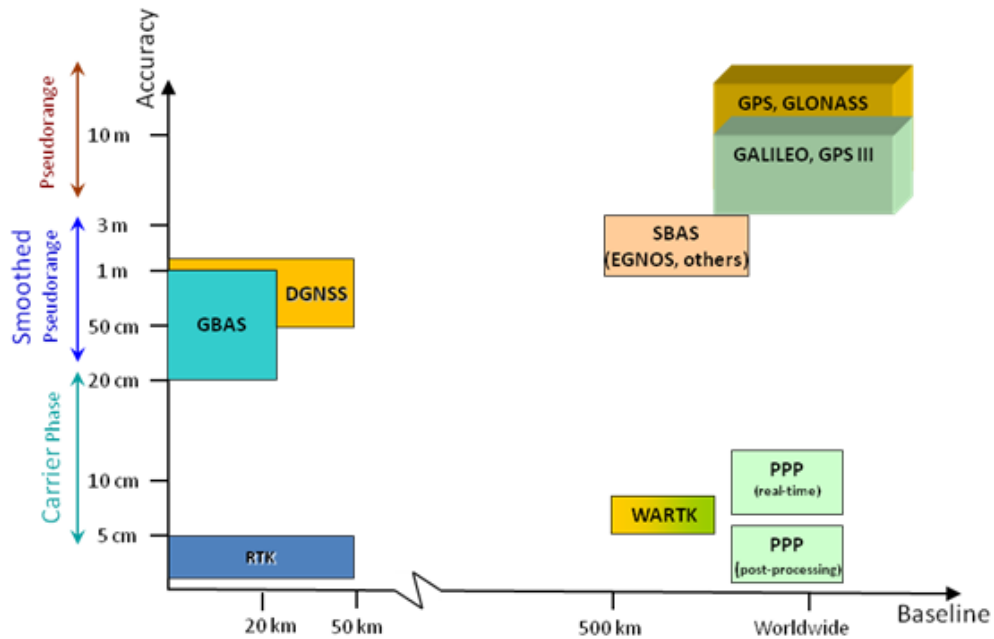


圖 2-3 GNSS 增強系統比較

(https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_Augmentation)

針對各型的 GNSS 增強系統，圖 2-3 為各系統類型之比較。由這個分類比較的方式，可以見到，圖 2-3 中所謂的「星基增強系統(SBAS)」是指某一類別的以衛星傳送訊息的服務，而不是涵蓋所有以衛星傳輸者。使用 PPP 技術，以衛星方式傳輸的服務，並沒有包含在 SBAS 中，而這正是未來發展的一個方向(EUSPA, 2020)。

本文所回顧之 GNSS 增強系統為引用歐洲全球導航衛星系統機構(GSA, European Global Navigation Satellite Systems Agency)，在使用者技術報告中的內涵(EUSPA, 2020)。

(一)星基增強系統

SBAS 可以較早開始發展之美國 WASS 為典型，除使用衛星傳播改正訊息，也自行發射定位訊號，以提升特定目標地區衛星的可及性、增強定位幾何條件，其他運作中系統包含歐盟 EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)、日本 MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System)、QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)、印度 GAGAN (GPS Aided GEO Augmented Navigation)。發展中的包含俄國 SDCM (System

for Differential Corrections and Monitoring)、中國 BDSBAS (BeiDou Satellite-Based Augmentation System)、韓國 KASS (Korea Augmentation Satellite System)、非洲和馬達加斯加航空安全局(ASCENA, Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar)發展的 A-SBAS (African-SBAS)、澳洲與紐西蘭 SouthPAN (SPAN, Southern Positioning Augmentation Network)。全球發展現況與各個 SBAS 服務地理位置如圖 2-4。

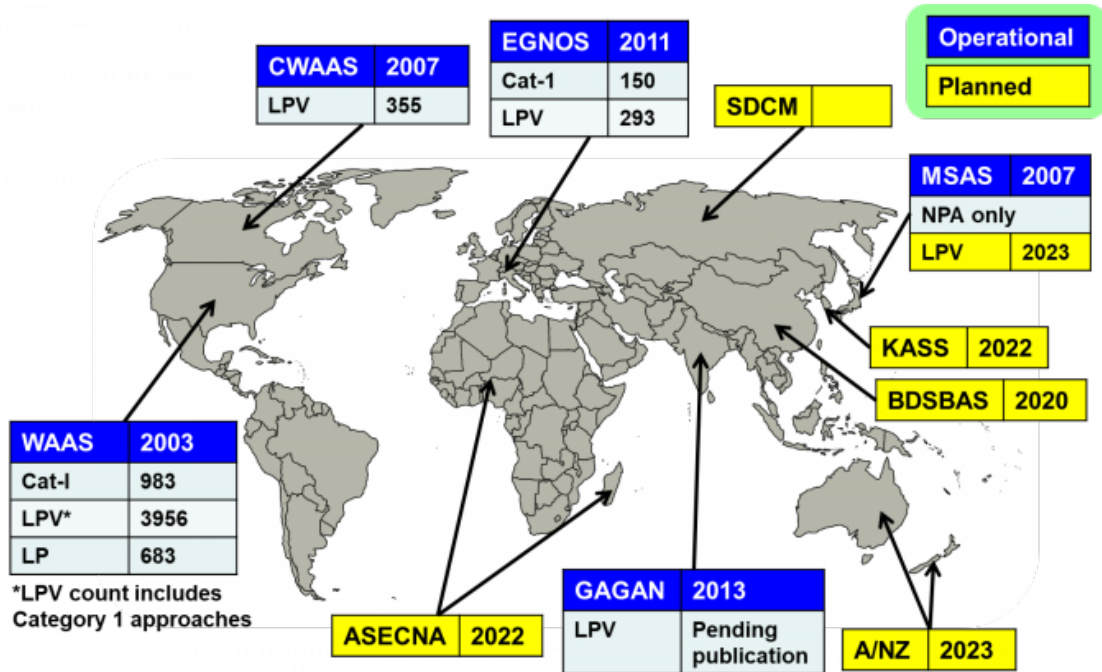


圖 2-4 全球 SBAS 發展現況(Lekkerkerk, 2022)

SBAS 使用的大多為地球靜止軌道衛星(GEO)，每個 SBAS 都提供由 GEO 衛星傳輸的測距訊號、廣域差分校正和一些附加參數(EUSPA, 2020)：

- GEO 測距：從 GEO 衛星傳輸類似 GPS 的 L1 信號，以增加用戶可用的導航衛星數量。
- 廣域差分 (WAD)：在廣域計算的適用 GNSS/GEO 導航服務的差分校正，以提高導航服務性能。
- GNSS/Ground Integrity Channel (GIC)：完整性資訊，用以告知安全導航服務的可用性。
- SBAS 提供的資訊包含：
- 對現有衛星導航服務(GNSS 和 GEO)的衛星軌道和時鐘校正，以

及與衛星相關的誤差估計(UDRE, User Differential Range Error)。

- 網格點的電離層校正，以及與電離層相關的誤差估計 (GIVE, Grid Ionosphere Vertical Error)。
- 對流層校正。

其中，衛星軌道/時鐘校正和電離層校正是動態建模的，SBAS 應向使用者傳送可供接收器使用的改正。對流層改正是靜態建模的，改正值以表格方式傳送，其值取決於用戶位置。除此之外，每顆支持測距服務的 GEO 衛星的導航數據也通過 SBAS 傳輸。

SBAS 雖為廣域，但是為區域型服務，以臺灣而言，日本、印度、澳洲及紐西蘭、與中國大陸，屬於鄰近地區。陳君豪(2018)探討臺灣飛航情報區可以接收到 GAGAN 與 MSAS 之訊號，但是位於服務區之邊界地帶。因此謹就此四區之 SBAS 情況，進一步說明。

日本的 MSAS 系統是一個典型的 SBAS，於 2007 年開始運作。太空端有兩顆地球靜止軌道的衛星，編號 MTSAT-1R、MTSAT-2；這兩顆衛星也是氣象衛星，對應編號為 Himawari-6、Himawari-7。MTSAT-1R 已於 2016 年停止運作。MTSAT-2 則於 2015 年以 Himawari-8 取代，運作至 2020 年，改由 QZSS 衛星 QZS-3 開始播送 SBAS 的訊號 (https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/MSAS_Space_Segment)，QZS-3 是 GEO 衛星 (<https://www.gpsworld.com/innovation-qzs-3-and-qzs-4-join-the-quasi-zenith-satellite-system/>)。因此，QZSS 亦具備 MSAS 之功能。如圖 2-5 所顯示，QZSS 對臺灣有良好涵蓋，甚至優於日本本土。

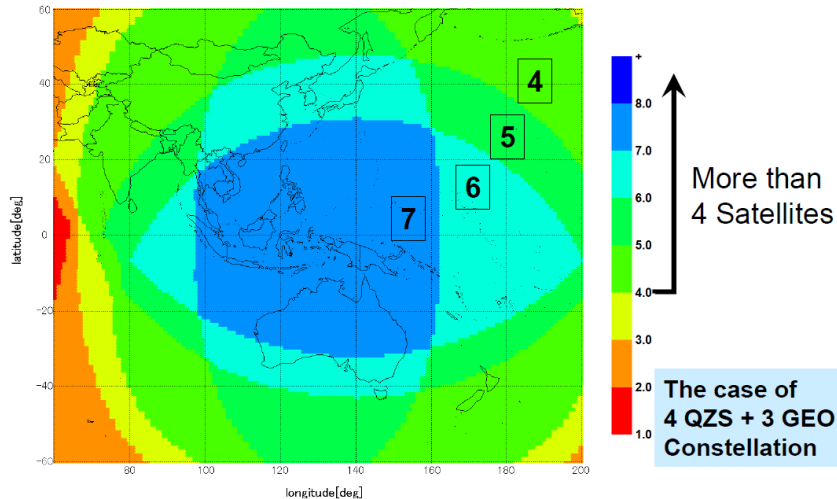


圖 2-5 QZSS 衛星可見度【6】

印度 GAGAN 為 GPS 之增強系統，太空端有三顆 GEO 衛星(GSAT-8, GSAT-10, GSAT-15)，運作中保持其中兩顆同步發送 SBAS 訊號，服務涵蓋範圍如圖 2-6 所示。GAGAN 訊號格式符合國際民用航空組織 (ICAO, International Civil Aviation Organization) 標準和建議措施 (SARPs, Standards and Recommended Practices) 規範。主要目的在提供印度飛航情報區(FIR, Flight Information Region)航空器導航所需資訊。GAGAN 的穩定度檢驗完成於 2013 年 6 月，發送之訊號為 L1，但是隨同 GPS 的現代化，目前已經規劃增加 L5(<https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GAGAN>)。

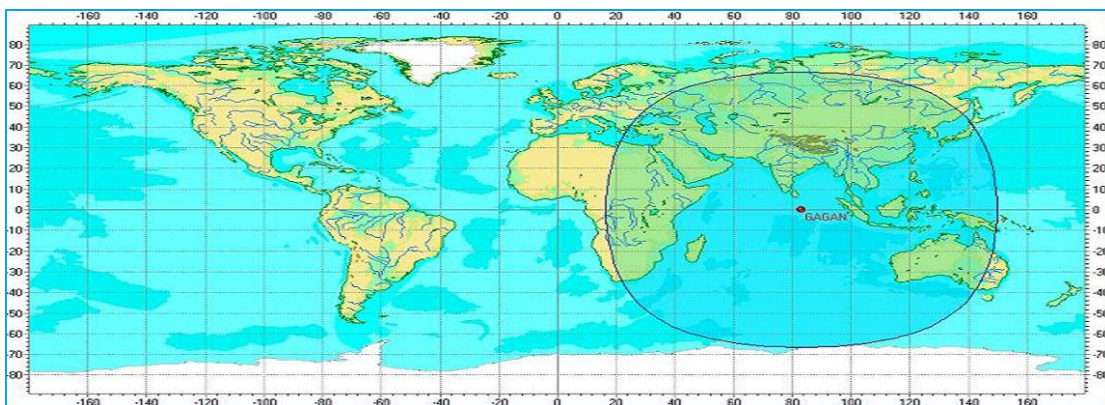


圖 2-6 GAGAN 服務涵蓋區(<https://gagan.aai.aero/gagan/>)

中國大陸發展的 BeiDou 星系中包含五顆 GEO 衛星，在目前運行的北

斗三號中有 3 顆，因此 BDSBAS 即以這三顆衛星提供服務。BeiDou 星系設計功能即包含四項定位服務(Yang, et al., 2022)：無線電衛星定位服務(Radio Determination Satellite Service, RDSS)、標準單點定位(Standard Point Positioning, SPP)、增強系統 BDSBAS，以及精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)，其中 PPP 是使用以 GEO 衛星發布的 B2b 訊號，稱為 PPP-B2b。Yang et al. (2022)針對 BDSBAS，以及 PPP-B2b 的效能有相當新近的說明；Liu et al. (2022)則是就 PPP-B2b 在中國大陸地區效能探討。圖 2-7 為北斗三號 GEO 與 IGSO 衛星可見衛星數目分布，臺灣雖然不在衛星最密集的區域，但是也位於良好有效的涵蓋內。

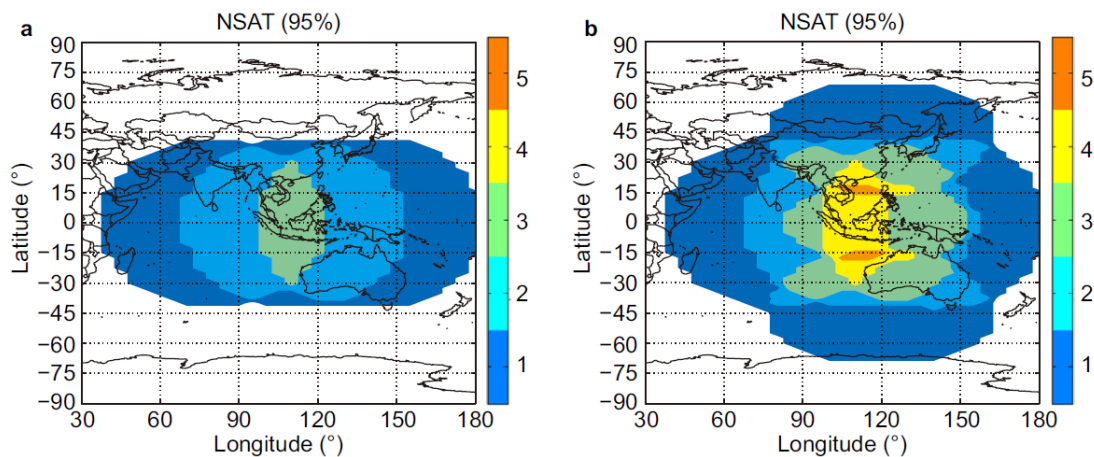


圖 2-7 北斗三號 GEO 與 IGSO 衛星可見度

(左：GEO 衛星；右：GEO 與 IGSO；Yang, et al., 2022)

BDSBAS 與 PPP-B2b，雖然均使用衛星傳送改正資訊，定位不確定度等級是相當不同的。雖然 BDSBAS 業已精進至可以使用雙頻，95%定位不確定度之水平部分為 1.31m、高程為 2.16m，這是因為定位求解是使用電碼。PPP-B2b 目前評量顯現不確定度約為水平 0.15m、高程 0.2m，若要求誤差在水平 0.3 m、高程 0.6 m 以內，需要經過 20 分鐘收斂時間(Yang, et al., 2022)。PPP-B2b 使用相位計算，所以有週波未定值求解的需求。就 SBAS 定義而言，PPP-B2b 亦屬於 SBAS，但是在「傳統」SBAS 服務以電碼求解的情況下，目前是並列的，如同圖 2-3 所歸類的。

澳洲與紐西蘭 SouthPAN 是另一項發展中的「星基增強系統」服務，業已於 2017-2019 年間完成測試平台(Testbed)階段(Marshall, et al., 2019;

Mitchell, 2019)。在這個階段中，使用的是 Inmarsat 的衛星，ELERA 星群目前有四顆衛星提供服務，為 L 波段衛星，其地面涵蓋如圖 2-8。由該圖可以看到，臺灣與澳洲、紐西蘭一樣，在 I-4F1 的涵蓋區域內。

SouthPAN 的定位服務分為三項：傳統 L1 SBAS (SBAS Legacy L1)、SBAS 雙頻多星系 (Dual Frequency Multi-Constellation, DFMC)、PPP。前兩者與 BDSBAS 對應，PPP 與 BeiDou 的 PPP-B2b 屬性相近。SBAS Legacy L1 顧名思義，僅使用 L1 波段，DFMC SBAS 不僅是雙頻且為雙星系，在測試平台階段提供 GPS L1/L2 與 Galileo E1/E5a 訊號，目標為次公尺級定位。PPP 服務的目標則為 10 cm。

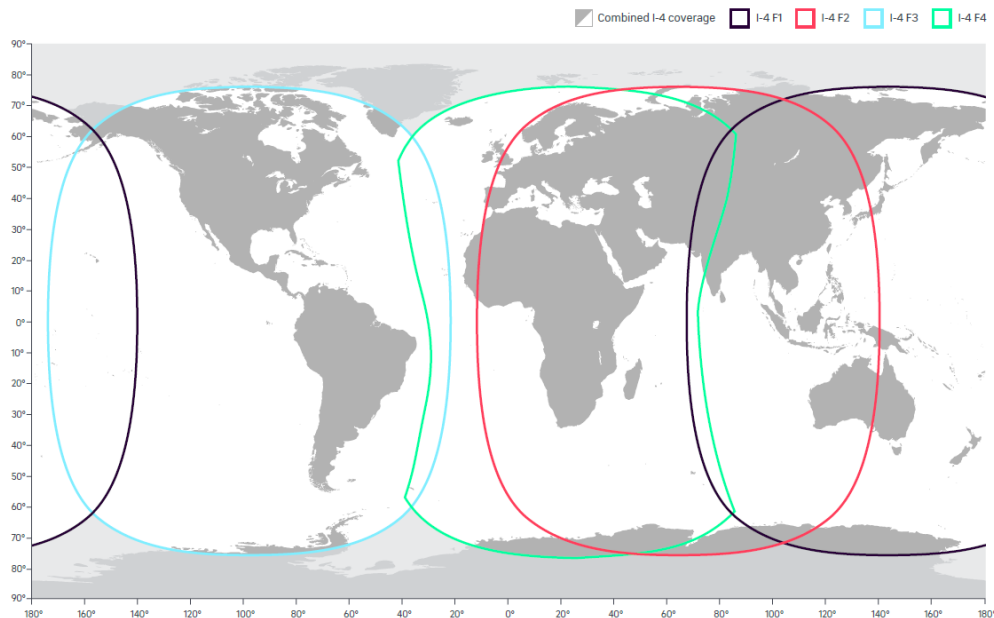


圖 2-8 Inmarsat GEO 衛星 ELERA 星群地面涵蓋

(<https://www.inmarsat.com/content/dam/inmarsat/corporate/core-assets/coverage-maps/document/I-4%20coverage%20May%202020.pdf>)

在 SouthPAN 的測試中，針對兩群的 GNSS 接收器評量。消費型 (Consumer grade) 機型定位為價格在 100 美元以內，測試包含 Antenova M20050、Quectel L76-L、SkyTraq V838、u-blox M8N；中級型 (Mid-range grade) 定位在於 100-3000 美元之間，測試完成 EoS Arrow Gold、Juniper Systems Geode、GMV magicUT。第三級為專業型 (Professional)，價格在 3000 美元以上。Marshall et al. (2019) 整理各型接收儀在 SBAS Legacy L1 服務定位的不

確定度，靜態成果列如表 2-7 及表 2-8，使用之天線為 Topcon G3-A1，為專業級的天線。

表 2-7 消費型 SouthPAN SBAS Legacy L1 靜態測試成果 RMS(m)

機型	Antenova	Quectel	SkyTraq	u-blox
水平	2.62	2.13	0.80	1.12
垂直	3.64	4.11	1.33	1.74

表 2-8 中級測量型 SouthPAN SBAS Legacy L1 靜態測試成果 RMS(m)

機型	Arrow Gold	Geode	magicUT
水平	0.44	0.47	0.49
垂直	0.49	0.74	0.73

Marshall et al. (2019)中尚有針對不同天線型號的測試，細節請參考原報告。整體的概約結論是，儀器的價格與其功能表現相關。

DFMC 與 SBAS Legacy L1 的比對，以及 PPP 功能測試，為使用 magicUT 與 Topcon G3-A1 天線進行，DFMC 與 SBAS Legacy L1 靜態測試成果如表 2-9。PPP 成果如表 2-10。

表 2-9 DFMC 與 SBAS Legacy L1 靜態測試成果(m)

	水平			高程		
	均值	標準偏差	RMS	均值	標準偏差	RMS
SBAS L1	0.50	0.50	0.70	-0.66	0.51	0.83
DFMC	0.07	0.38	0.38	-0.31	0.77	0.83

表 2-10 PPP 靜態測試成果(m)

傳送方式	水平			高程		
	均值	標準偏差	RMS	均值	標準偏差	RMS
GEO	0.015	0.038	0.041	0.022	0.071	0.074
SISNeT	0.020	0.042	0.047	-0.003	0.085	0.086
RTCM	0.016	0.033	0.037	-0.051	0.051	0.072

在 PPP 的測試中，比對的是三種訊號傳送方式，GEO 為單純的由衛星傳送，SISNet 為將衛星傳送的訊號，由地面經由互聯網(Internet)傳送，因此 GEO 與 SISNet 所提供的訊號是相同的。SISNet 是 EGNOS 為不易接收 GEO 衛星訊號地區、情境時所提供的服務 (<https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/SISNET>)。RTCM 則由互聯網傳送，所傳送之資訊較完整，所以資訊不對等，亦因而表現最好。尤其是在收斂時間方面，GEO 方式所需收斂時間為 72 分鐘，SISNet 為 83 分鐘，RTCM 只需要 29 分鐘。以上測試均為在開放天空、亦即對空通視良好時，不同場景與動態之測試，Marshall et al. (2019) 亦有說明，細節請參考原報告。概約而言，即時 PPP 已經可以達成 RMS 水平 0.04m、高程 0.08m 的量測不確定度。

地基增強系統

「增強系統」的定義就是能夠提升 GNSS 效能的作為，因此包含項目甚為寬廣。系統不包含太空部分的，即為地基。EUSPA (2020) 整理 GNSS 定位的六類主要技術，相對於標準單點定位(SPP)，其他五類均具有增強效能。

表 2-11 中，在「頻道數」欄位中，SF 表示單頻(Single Frequency)、DF 表示雙頻(Double Frequency)、TF 表示三頻(Triple Frequency)。「首次定位時間」(TTFF, Time To First Fix)，是指獲得位置解答所需時間。對於使用「載波相位」求解者，需要求解週波未定值，而此一作業是所需時間的關鍵。同時，PPP 原本定義為「精密單點定位」(Precise Point Positioning)，可以為即時，也可以為後處理，以浮數解做為成果亦可，RT-PPP (Real Time PPP) 以及 PPP-RTK 均為其分類。表 2-12 中之 PPP 為全球涵蓋，並不同 PPP 原本定義。配合表 2-12，可以了解 EUSPA(2020) 所稱之 PPP 為 RT-PPP，亦即為使用即時精密星曆與衛星時鐘改正資訊即時求解者。由於缺乏電離層與對流層之改正，所以週波未定值之求解需要長時間之求解，且不穩定。

表 2-11 GNSS 主要定位技術(改編自 EUSPA, 2020)

方法	SPP	DGNSS	SBAS	RTK	PPP-RTK	PPP
觀測量	電碼	電碼	電碼	載波相位	載波相位	電碼/載波相位
定位	絕對 (GNSS 參考框架)	相對	相對	相對	絕對 (追蹤站網參考框架)	絕對 (追蹤站網參考框架)
通訊需求	無	是	是(似GNSS)	是	是	是
頻道數	SF 或 DF	SF	目前SF 規劃DF	多為 DF	(SF) DF 或 TF	(SF) DF 或 TF
首次定位時間 (TTFF)	收到訊號 時間	如SPP + 接收到 改正訊號 時間	如 DGNSS	如 DGNSS + 解週 波未定 值時間	比PPP快， 比RTK慢	如RTK 但 是求解時間 顯著較長
水平精 度	5-10 m DF 15-30 m SF	< 1 m 至 < 5 m	< 1 m	1 cm + 1 ppm 基 線長	< 10 cm	< 10 cm 至 < 1 m
涵蓋	全球	可達 100s Km	可達 1000s Km	可達 10s Km	區域	全球

表 2-12 GNSS 誤差與處理方案(改編自 EUSPA, 2020)

	誤差	DGNSS (OSR)	SBAS(近 SSR)	RTK (OSR)	PPP-RTK (SSR)	PPP (SSR)
全球 (系統)	衛星軌道	O	O	O	O	O
	衛星時鐘	O	O	O	O	O
	衛星偏差	O	O	O	O	O
區域	電離層	O	O	O	O	X
	對流層	O	X	O	O	X
特性	空間擴展 性	SBAS 較佳		最差	次佳	最佳
	定位精度	DGNSS 較佳		最佳	次佳	最差

在表 2-12 中，現地誤差因子，如多路徑效應與接收器誤差，並未考量在內。由表 2-11 及表 2-12 所呈現之技術面，可以了解 RTK 是目前能提供最佳定位精度之增強方式。而 RTK 的實現，受限於主站與移動站間之距離。網路型 RTK (NRTK, Network RTK) 可以有效擴展服務空間範圍。但是由於亦採用 OSR 表述，「同時使用者」(Concurrent user) 數目之可擴展性受限大。相對上 PPP 採用 SSR 表述，可用廣播方式傳送，因此基本上「同時使用者」數目不受限。PPP-RTK 的使用者數目不受限，但是空間受限，這是因為區域性改正模型一方面有較高精度，另一方面具有地區針對性，為每一區域不同。

同時，就服務型態區分，由美國 GPS 增強系統之各類服務觀察，一類是提供即時差分服務，如「國家差分 GPS 系統」NDGPS；一類是連續參考站網，如美國全境的 CORS；另一類則是後處理服務，如線上定位使用者服務 OPUS。

就第一類而言，現行的系統是採用 NRTK 技術。如內政部國土測繪中心所運行之 eGNSS 服務。第二類是 CORS，於全球尺度，國際 GNSS 服務 (IGS)，所提供的精密星曆與各式改正的產品，是影響最為宏大的。但是 IGS 的 CORS 站是由國際各國所維護、提供的，包含在臺灣的站。於區域尺度，國土測繪中心所運行之 eGNSS 服務，其組成站網的各站，均為 CORS。若包含其他單位如中央氣象局、中央研究院、農委會等，及各大專院校所維護

者，臺灣目前 CORS 數量及密度屬於理想的。

第三類的為後處理平台，除美國 OPUS(<https://geodesy.noaa.gov/OPUS/>)以外，澳洲 AUSPOS(<https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>)是另一個知名的服務。OPUS 與 AUSPOS 的數據處理方式均為相對定位，藉由其境內之 CORS 站，提供差分定位。國際站體則使用 IGS 網。由於是相對定位，服務品質便受到 CORS 站的侷限，基本上對於其國境以外區域的定位效能是較低的。國土測繪中心所運行之 eGNSS 服務中，有一項是以 VRS 技術為後處理者，亦屬於此一類的增強系統。而在這個類別裡，最為亮眼的應屬加拿大 CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning, <https://webapp.csrscscrs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>)服務。本服務採用絕對定位技術，亦即為後處理 PPP，不僅是對全球開放的免費服務，而且服務區域涵蓋全球。

異質增強系統

在航空器上使用「慣性系統」(Inertial system)與 GNSS 結合，讓空載光達(Airborne lidar)與多線式影像系統如 Leica ADS，得以實踐。就 GNSS 而言，「慣性系統」是一項極為重要而且業已普遍的「增強系統」。由於與無線電定位無關，具有鮮明的「異質」特性。同時，可以結合以增強 GNSS 定位與導航功能的其他「異質」資訊，以地面車輛的自動駕駛為例，可以包含里程計(Odometer)、地磁感測器、地圖、光達 SLAM、氣壓計、即時串流光學影像等等(Chiang, 2020, 2020a)。這些應用多著重於 GNSS 可用性(Availability)受到挑戰之處，如都會叢林、隧道等，所需要的是「動態、即時」的定位，就系統而言，則多為地基，但是在 5G 行動通訊時代，訊號傳送可能經過衛星，其實訊號如何傳送，已非增強系統關鍵特徵。以自駕車領域的 GNSS 整合技術發展而言，每一個量測量均各自參與優化、平差，跨星系之觀測量由使用 ISB(Inter System Bias)方式整合處理(Mi, et al. 2019)。預期未來此一領域，將有更豐富的增強與應用的面向。

2.4.2 小結

GNSS 增強系統，目前以「定位確定度」作為指標，效能最好的是 RTK

與 NRTK，但是若以「同時使用者」數量之可擴充性為指標，PPP 最佳。若「定位確定度」與「同時使用者」數量兩者均納入指標，PPP-RTK 為最理想。若由技術基本面敘述，RTK 是採用「相對」、PPP 為「絕對」。由即時資訊傳送表述方式敘述，RTK 為採用 OSR(觀測空間表述)、PPP 採用 SSR(狀態空間表述)。這項發展在星基增強系統中亦可看到，如中國大陸 BDSBAS 與 PPP-B2b、澳洲與紐西蘭 SouthPAN 的三項服務：傳統 L1 SBAS、DFMC(SBAS 雙頻多星系)、PPP。

由即時定位與導航商業性服務之發展觀察，Fugro Marinestar (<https://www.fugro.com/our-services/marine-asset-integrity/satellite-positioning/marinestar>)、Veripos Ultra (<https://veripos.com/services/ultra-services>)、Trimble RTX (<https://positioningservices.trimble.com/services/rtx/>) 等等，均為 PPP-RTK 這個方向的发展。同時，IGS 的「即時服務」(Real Time Service, RTS; <https://igs.org/rt/>)，具體提供 RT-PPP 的應用發展。有關能夠提供良好 PPP、RT-PPP、PPP-RTK 的標準資訊格式，亦即採用 SSR 表述的開放格式發展，亦已完成數個現行版本，如 Compact SSR、SPARTN v2.0.1，可參考 Hirokawa & Ignacio (Hirokawa, et al., 2020)。以當下之觀察，就即時性的測量與導航標的，PPP-RTK 已經在實務應用階段，無論星基、地基，均是如此，發展方向為持續精進。但是在現階段能提供最高品質的增強服務技術為 RTK 與 NRTK。而若就不須即時，可以後處理的測量標的而言，應用最終版本精密星曆解算的 PPP，很可能已經達到、或十分接近，測量所需規範之水準，尤其是長時段觀測之靜態解。

第三章 研究說明

3.1 研究採用之方法

由於 GNSS 測量已經長期應用於控制測量及其他型態之測量工作，故而已經編寫公告相關作業規範及準則。目前既有文件包含：

- 1、內政部，民國 98 年；內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範；
- 2、內政部國土測繪中心，民國 101 年；辦理加密控制衛星定位測量作業手冊；

此外，相關計畫書與其他有關文件，其中包含 GNSS 作業規範描述者，有：

- 1、內政部，民國 93 年；內政部辦理「九十三年度一、二等衛星控制點檢測工作」服務建議徵求書；
- 2、內政部國土測繪中心，民國 98 年；「莫拉克颱風災區基本控制點檢測及補建作業」委外測量案服務建議徵求書。
- 3、內政部國土測繪中心，民國 102 年；102 年度基本控制點測量及管理維護作業計畫書；
- 4、內政部國土測繪中心，民國 105 年；105 年度基本控制點檢測作業計畫書；
- 5、內政部國土測繪中心，民國 105 年；業務標準作業程序，第三編，控制測量業務；
- 6、內政部國土測繪中心，民國 107 年；107—108 年度基本控制點檢測作業計畫書；
- 7、內政部國土測繪中心，民國 110 年；採用電子化全球衛星即時動態定位系統辦理控制測量作業手冊。

在以上這些文件中，多星系、精密單點定位、即時動態服務、基準，等議題，均尚未載入。因此，擬由回顧國際相關規範開始，檢討現況，規畫更新。

國外 GNSS 控制測量規範或手冊之相關文件，採用網際查找之方式，

所搜尋到之規範文件，包含下列。

1、日本(2020)

國土地理院，2020。マルチ GNSS測量マニュアル 測量マニュアル
測量マニュアル（案）—近代化—近代化 GPS、Galileo等の活
用—，國土交通省。

國土地理院，2020。マルチ GNSS測量マニュアル 測量マニュアル
測量マニュアル（案）—近代化—近代化 GPS、Galileo等の活
用—，解説，國土交通省。

2、中國大陸(2009, 2020)

中國國家標準化管理委員會，2009。全球定位系統測量規範，GB/T
18314-2009。

中國國家標準化管理委員會，2020。衛星導航定位基準站網絡實時動
態測量(RTK)規範，GB/T 39616-2020。

3、澳洲(2020, 2021)

ICSM, 2020. Guideline for Control Surveys by GNSS, Special Publication
1, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and
Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).

Queensland government, 2021. Guideline, GNSS Control Surveys,
Department of Transportation and Main Roads.

4、紐西蘭(2012, 2017)

LINZ, 2012. Guidelines for Simplified Geodetic Control Survey, V2.1,
National Geodetic Office, LINZ, New Zealand Government.

NZIS, 2017. NetworkRTK – New Zealand, A summary of the concepts,
methods, limitations and services in New Zealand, Version 17.01,
Positioning and Measurement, New Zealand Information Service.

5、英國(2010)

RICS, 2010. Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping, 2nd edition (GN 13/2010), the Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS). <https://www.rics.org/uk/upholding-professional-standards/sector-standards/land/guidelines-for-the-use-of-gnss-in-land-surveying-and-mapping/>.

TSA, 2008.. An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain, by Stuart Edwards, Peter Clarke, Sibylle Goebell, Nigel Penna, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC, and TSA. https://gnss.itacyl.es/documents/1088492/0/An_examination_of_commercial_network_RTK_GPS_services_in_Great_Britain_.pdf/959bfa2d-88cb-8c5a-cdc0-3461cda538b0?t=1596707078919.

TSA, 2012. Further testing of commercial Network RTK GNSS services in Great Britain (NetRTK -2), by Nigel Penna, Peter Clarke, Stuart Edwards, Matt King, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Issue 1 April 2012 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC. https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.

TSA, 2015. Guidance notes for GNSS Network RTK Surveying in Great Britain, Issue 4 May 2015 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC. https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.

6、美國(2012, 2021)

USGS, 2012. Methods of Practice and Guidelines for Using Survey-Grade Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to Establish Vertical Datum in the United States Geological Survey, Chapter 1 of Section D, Field Survey Methods, Book 11, Collection and Delineation of Spatial Data, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.

VDOT, 2021. GNSS and Control, Survey Manual, Chapter 5, Location and Design Division, Virginia Department of Transportation.

7、加拿大(2004)

Ontario government, 2004. Ontario Specification for GPS Control Surveys, Geomatics Office, Ministry of Transportation of Ontario, St. Catharines, and Provincial Georeferencing, Ministry of Natural Resources, Peterborough

3.2 研究採用方法之原因

本研究採用先行分析國外相關規範與手冊，以定義我國規範之撰寫方式與內容。

3.3 研究步驟

本案主要工作項目包含國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集分析並據以研提並辦理座談會，依前述結果研提基本控制點衛星定位測量作業草案，規劃之研究步驟如圖 3-1。

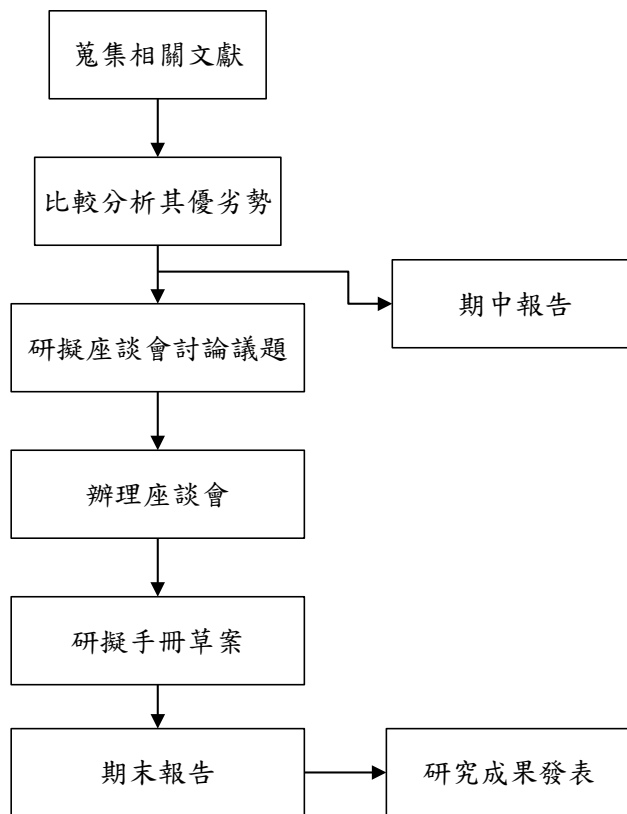


圖 3-1 研究步驟

第四章 研究成果

本節比較日本、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。謹此分別探討如後。並依據成果研提制訂我國基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料並提出內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範(草案)。

4.1 辦理國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集

本研究採用網際查找之方式，收集國際相關規範、指南與手冊，目前所搜尋到之規範，包含日本國土地理院(2020, 2020a)、中國國家標準化管理委員會(2009, 2020)、澳洲 ICSM(2014, 2020)、Queensland government (2021)、紐西蘭 LINZ (2012)、LZIS (2017)、英國 RICS (2010)、TSA (2008, 2012, 2015)、美國 USGS(2012)、VDOT(2021)、加拿大 Ontario government (2004)、Alberta Surveys & Technical Services Branch (2010)、Nature Resources Canada (2015)。各文件之概要描述如表 1。以下就其規範分析探討。

表 4-1 蒐集之國際規範

國家	文件	簡要內容
日本	國土地理院 (2020)	完整性之文件，以控制測量為對象。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。
日本	國土地理院 (2020a)	前項文件之附冊。
中國	中國國家標準化管理委員會 (2009)	針對使用靜態測量方式。
中國	中國國家標準化管理委員會 (2020)	針對使用基準站網絡實時(網路即時)動態測量(Network RTK，以下簡稱 NRTK)方式。

國家	文件	簡要內容
澳洲	ICSM (2014)	規範連續運行基準站(CORS, Continuously Operating Reference Station)架構、設計、設置等。
澳洲	ICSM (2020)	規範 GNSS 測量作業，包含靜態與即時；於基準連接、高程系統等面向有豐富的內涵。
紐西蘭	LINZ (2012)	第五級與第六級控制測量之作業規範，包含靜態與即時。
紐西蘭	NZIS (2017)	網路即時動態測量(NRTK)方式。
英國	RICS (2010)	GNSS 測量的完整手冊，測量方法包含靜態、動態、即時動態，也提到 PPP。對於操作環境之多路徑、大氣影響、無線電干擾等，均有建議。針對各項作業，提供了表單式的指南。
英國	TSA (2008)	針對網路即時動態測量(NRTK)方式。
英國	TSA (2012)	針對網路即時動態測量(NRTK)方式。
英國	TSA (2015)	針對網路即時動態測量(NRTK)方式。
美國	USGS(2012)	以高程基準建置為主題，對於 GNSS 實務作業有深入的描述。
美國	VDOT(2021)	美國維吉尼亞州(Virginia)交通處所制定之測量規範，GNSS 為整體規範之第五章。內涵中包含相當完整之基準連接、坐標投影、高程系統等。
加拿大	Ontario government (2004)	完整的測量作業規範，包含網形設計、測量、網形平差、成果驗證等。以 GPS 單星系基線測量方式為主，基本上是以靜態觀測方式測量。
加拿大	Alberta goernment (2010)	完整的測量作業規範，包含網形設計、測量、網形平差、成果驗證等。以 GPS 單星系基線測量方式為主，基本上是以靜態觀測方式測量。
加拿大	NR Canada (2015)	以即時動態定位與網路即時動態定位為主軸。

4.1.1 日本 GSI

令和 2 年(公元 2020 年)，日本國土交通省國土地理院發布更新版「多 GNSS 測量手冊(草案)」(國土地理院技術資料 G1-N0.18)，除手冊本體外，並有手冊之解說，如附錄四所示。在本版文件中，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。在本版手冊中，將多星系觀測量之處理方式，分為「混合」與「統合」兩大項，分別予以規範。

本套文件中，GNSS 測量與數據處理的方法，包含靜態法、快速靜態法、

動態法、RTK、網路型 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。規定的項目中，有可以接受之使用接收儀等級、最少觀測時段長度、觀測之衛星數目，但是不包含幾何圖形強度相關指標。

對於「點位遮蔽仰角」，本手冊中沒有規範。相反的，本手冊特別著重於「點位遮蔽仰角」高的區域，如何測得控制點。考量由於對空視域狹窄，能夠觀測到的衛星數亦少，因此唯有藉由多星系之「統合」方式，以達成測設控制點之目的。

僅就手冊中部份重要條款，列舉如後。

1、手冊的目的和適用範圍

本手冊在《條例》第十七條（設備等和工作方法的特殊規定）第三款中規定，定義了多 GNSS 測量的標準工作方法，統一了標準，並提供了所需的精度。目的是確保所需的精度。在本手冊中，除了使用 L5 和 Galileo 之外，假設在觀測條件惡劣的地方使用不同衛星定位系統之間的相位差分析，例如在天空能見度有限的建築物街道（以下簡稱“統合處理”）也有規定。

本手冊適用範圍為 1 級至 4 級參考點測量。

2、適用之儀器

在第五條規定：

「用於觀察的標準設備是表 4-2 所列設備或同等或更好的設備。

觀測 L5 時，除了具有一流的 GNSS 測量儀器性能外，還要使用具有 L5 接收功能的儀器。」

表 4-2 GNSS 設備性能

設備	性能（接收頻段數）	摘要
第一級 GNSS 測量機	根據規則附表 1	
第二級 GNSS 測量機		當觀測距離小於 10 公里時，可使用。

所以可以使用的接收儀是有規範限制的，上表中所引述之「根據規則附

表 1」，目前本研究尚未能確認、獲得該項資料。但是日本國土地理院採用正面表列各級機型之型號等資料，並以網際公告方式提供，「国土地理院登録機種一覽簿」中，包含多樣測量儀器，如經緯儀(セオドライト)等。其中，一級「GNSS 測量機」現有最大編號號碼至 226，(<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/kisyu/gnss-1.htm>，更新日 2022-11-10)，二級「GNSS 測量機」現有編號至 61(<https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/kisyu/gnss-2.htm>，更新日 2022-09-20)。

3、觀測時間、取樣頻率規定與適用之控制點等級

針對五種 GNSS 相對定位技術，對應一、二、三、四級之控制點，「觀測時間」與「資料獲取間隔」規定如表 4-3。

4、觀測衛星數

在這各項目中，以表 4-4 為主，表 4-5 為輔。表 4-4 以不採取「統合」處理者，表 4-5 則採用。

表 4-3 GNSS 相對定位技術觀測時間及資料獲取間隔規定

觀測方法	觀測時間	資料獲取間隔	摘要
靜態方法 (Static method)	120 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(2 個頻率, 超過 10 公里)
	90 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(3 個頻率 ※1、10km 以上)
	60 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(少於 10 公里) 第 3 級至第 4 級參考點測量
短時靜態方法 (Short static method)	20 分鐘以上	15 秒或更少	3~4 級參考點測量
動態方法 (Kinematic method)	10 秒以上※2	5 秒以下	3~4 級參考點測量
RTK 法※4	10 秒以上※3	1 秒	3~4 級參考點測量
網路類型 RTK 方法※4	10 秒以上※3	1 秒	3~4 級參考點測量
備考	※1 在 3 個頻率的情況下, 使用發射 3 個頻率的衛星確保第 4 項中規定的使用衛星數量。 ※2 可以獲取 10 個 epoch 或更多 epoch 資料的時間。 ※3 設置時間可以獲取 10 個 epoch 或更多的數據, 以便獲得整數解(Fix)。 ※4 應包括以後處理方式進行分析的情況。		

表 4-4 觀測衛星數在基線分析中不執行統合處理時

測量方法 GNSS 衛星組合	靜態方法	靜態方式 (10km 以上) 縮短靜態方法 運動學方法 RTK 方法 網路類型 RTK 方法
GPS-準天頂衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星和 GLONASS 衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星和伽利 略衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星 和伽利略衛星	6 個或更多衛星	7 個或更多衛星
GLONASS 衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
摘要	使用多個衛星定位系統的衛星進行觀測時、 每個系統使用 2 個以上衛星。	

表 4-5 在基線分析中在 GPS-準天頂衛星和伽利略衛星之間進行統合處理

時

觀察方法 GNSS 衛星組合	靜態方法	靜態方式 (10km 以上) 縮短靜態方法 運動學方法 RTK 方法
GPS-準天頂衛星和伽利 略衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星和伽利 略衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
摘要	使用 GLONASS 衛星進行觀測時，請使用兩顆或更 多顆 GLONASS 衛星。	

5、可使用的 GNSS 衛星組合頻段

本項規定似乎是以提供參考為目的，所列舉者為實務上目前各星系使用之頻段，而可以組合者。

表 4-6 GNSS 衛星組合頻段

用於觀察的頻率 GNSS 衛星組合	1 頻率	2 頻率	3 頻率
GPS-準天頂衛星	L1	L1+L2 或 L1+L5	L1+L2+L5
GPS-準天頂衛星 和 GLONASS 衛 星			
GPS-準天頂和伽 利略衛星			
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星 和伽利略衛星			
GLONASS 衛星		L1+L2	———

與本表相關的作業規範是：「如果基線長度為 10 公里或更長，則應以 2 或 3 個頻率進行基線分析。但是，如果基線長度小於 10 公里，則可以 1 個頻率、2 個頻率或 3 個頻率進行」。

6、坐標基準

由於採用相對定位的測量模式，所以測量成果為所採用之參考點所屬之基準。相關規定為，「基線分析的固定點的經緯度為成果表中的值（以下簡稱“曆元坐標”）或使用本單位(國土地理院)提供的地殼運動修正參數進行半動態修正得到的值（以下簡稱“主坐標”）。稱為“當期坐標”。用於半動態校正的地殼運動校正參數應與測量實施時間相對應。在後續的基線分析中，依次輸入使用定點的經緯度得到的經緯度」。

這裡提出了「曆元坐標」與「當期坐標」的差異，前者是公告坐標，後

者為經速度場化算後之目前此刻之坐標。相對應的，高程部分亦如是，其規定為「基線分析的固定點的橢球高應為從成果表的高程和大地水準面高度得到的值，應為曆元坐標或當期坐標。但是，如果固定點是電子參考點，它將是成果表的橢球高。在後續的基線分析中，依次輸入使用固定點的橢球高以得到橢球高」。

7、最小高度角、ISB 最大不確定度

低仰角高度角的衛星，其訊號之大氣層路徑較長，穿越時所受干擾亦較大，因此，多設定最小高度角，以求降低雜訊。本文件規定「GNSS 衛星的最小高度角以 15 度作為標準」，同時規定：「用於基線分析的 GNSS 測量儀器的高度角應為觀測時設定的接收高度角」。以此觀之，15 度為參考值，手冊允許採用其他值。

同時，執行統合處理時，往往需要應用 ISB，在手冊中規範其公差需小於 10mm。

4.1.2 中國大陸

中國大陸國家基本控制點衛星測量作業主要分別靜態測量及網路即時動態測量兩類，相應之最新作業規範分別為：(1)中華人民共和國國家標準，全球定位系統(GPS)測量規範，GB/T 18314-2009，內容摘錄於附錄五；(2)中華人民共和國國家標準，衛星導航定位基準站網絡實時動態測量(RTK)規範，GB/T 39616-2020，內容摘錄於附錄六。

1、坐標系統

中國大陸衛星測量之法定坐標系統為 2000 國家大地坐標系(China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)，和 TWD97 相同，是一個原點定義在地球質心、方位由國際時間局給定的地心坐標框架。CGCS2000 採用的參考橢球體參數中，長半徑、扁率、地球自轉角速度和國際大地測量與地球物理聯合會給定的 GRS80 (Geodetic Reference System 1980)數值相同，地心引力常數則是與美國給定的 WGS84 (World Geodetic System 1984)數值

相同，與 GRS80 之數值有微小的差異。此外，中國大陸部分的測繪成果仍定義在較舊的坐標系統(稱為地方坐標系)，主要有 1980 西安坐標系及 1954 北京坐標系兩類。

2、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(表 4-7)。其中 A 級點位由 CORS (Continuously Operating Reference Station)連續運行基準站所構成。這些點位是精度最高的衛星控制點，用於建立中國大陸之一等大地控制網、進行全球性的地球動力學與地殼變形研究及衛星軌道測定等用途。其重要性及用途約相當於 TWD97 之大地基準點。

表 4-7 A 級控制點精度要求

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

表 4-7 為 A 級控制點對於坐標、坐標年變化率之中誤差以及相對精度的規範要求。由於控制點坐標年變化率是參數之一，代表 A 級控制網整體平差時必須要考慮板塊運動和點位位移速度場。

A 級控制點選用之接收儀必須滿足下列功能：接收雙頻載波相位及雙頻電碼，同時觀測至少 24 顆衛星，採樣數據能力至少 1Hz，天線相位中心穩定性優於 3 mm 等要求。A 級控制點數據處理使用之軟體必須為高精度專業軟體，採用之衛星星曆必須為精密星曆，計算時使用之起算依據應為國際 GNSS 服務組織提供之 IGS 站坐標和原始觀測數據。

在網形平差方面，A 級控制網應先進行各子網之自由網平差(無約束平差)，並進行變方(方差)因子估計和改正數粗差偵錯。A 級控制網的整體平差可在 2000 國家大地坐標系或國際地球參考框架(ITRF)中進行，各子網曆元(epoch)不同時則是利用板塊運動和速度場模型進行統一歸算。整體平差時應引入起算點的完整變方-協變方矩陣，並乘以適當的鬆弛因子定權。

B 級控制點用於建立中國大陸之二等大地控制網、地方或城市之坐標

基準框架，重要性與用途約相當於 TWD97 的一等基本控制點。其精度要求為相鄰點(平均距離 50 km)之基線水平分量中誤差 5 mm、高程分量中誤差 10 mm，相對精度 1×10^{-7} 。選用之接收儀應具備雙頻全波長功能，且須依照規定檢驗後使用。控制點之觀測時段數應不少於 3 次，時段長度應大於 23 小時，採樣間隔為 30 秒，同步觀測之接收儀數不少於 4 台。

B 級控制點數據處理使用之軟體必須為高精度專業軟體，採用之衛星星曆必須為精密星曆，計算時使用之起算依據應為 A 級控制點或 IGS 站坐標和原始觀測數據。在基線處理成果檢核方面，需進行重複基線之較差檢核以及環線閉合差之檢核，合格之基線方可進入網形平差階段。B 級控制網之網形平差可與 A 級同步進行，先進行各子網之自由網平差再進行整體平差。

C、D、E 級控制點分別用於建立三等、四等、中小城市之大地控制網，其重要性與用途約相當於 TWD97 之二等、三等和四等基本控制點。精度要求如表 4-8。

表 4-8 B、C、D、E 級控制點精度要求

級別	相鄰基線分量中誤差		相鄰點間平均距離(km)
	水平分量(mm)	垂直分量(mm)	
B	5	10	50
C	10	20	20
D	20	40	5
E	20	40	3

C 級控制點選用之接收儀與 B 級相同，須為雙頻全波長接收儀；D、E 級選用之接收儀則可以為雙頻或者單頻。各類接收儀均須依照規定完成檢驗後使用。觀測時之基本要求如表 4-9。

C、D、E 級控制點基線解算可採用隨接收儀配備的商用軟體，但需經過有關部門的鑒定與批准後方可使用。基線解算採用之衛星星曆可為精密星曆或者廣播星曆，計算時使用之起算依據應為 A、B 級控制點坐標和原始觀測數據。

在基線處理成果檢核方面，需進行重複基線之較差檢核以及環線閉合差之檢核，合格之基線即可進入網形平差階段。網形平差分為自由網(最小

約制)平差和約制平差兩部分。使用通過最小約制平差檢驗後的基線分量作為觀測量，對於已知上級控制點之坐標、距離或方位進行強制約制或加權約制後得到最終的平差成果。

表 4-9 B、C、D、E 級控制點觀測基本要求

項目	級別			
	B	C	D	E
衛星截止高度角(°)	10	15	15	15
同時觀測有效衛星數	≥4	≥4	≥4	≥4
有效觀測衛星總數	≥20	≥6	≥4	≥4
觀測時段數	≥3	≥2	≥1.6	≥1.6
時段長度	≥23 h	≥4 h	≥60 min	≥40 min
採樣間隔(s)	30	10~30	5~15	5~15
註 1：計算有效觀測衛星總數時，應將各時段的有效觀測衛星數扣除其間的重覆衛星數。 註 2：觀測時段長度，應為開始記錄數據到結束記錄的時間段。 註 3：觀測時段數≥1.6，指採用網觀測模式時，每站至少觀測一時段，其中二次測站點數應不少於總點數的 60%。 註 4：採用基於衛星定位連續運行基準站點觀測模式時，可連續觀測，但觀測時間應不低於表中規定的各時段觀測時間的和。				

3、網路即時動態測量

中國大陸網絡實時動態測量(Network RTK，台灣習慣稱為網路即時動態測量，以下簡稱 NRTK)包含平面測量與高程測量，NRTK 平面測量依精度等級分為一級、二級、三級及圖根、碎部；NRTK 高程測量依精度等級分為等外及碎部。

中國大陸 NRTK 的坐標系統規定採用 CGCS2000，部分地區可依實際需要經由坐標轉換方法將觀測所得的 CGCS2000 坐標轉換至指定之地方坐標系。

在進行 NRTK 施測時，導航衛星的狀態必須符合表 4-10 之要求，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。

表 4-10 NRTK 外業測量基本要求

觀測窗口狀態	仰角高度 15° 以上的同一系統衛星個數	PDOP 值
良好	≥ 6	< 4
可用	5	≥ 4 且 < 6
不可用	< 5	≥ 6

相較於國土測繪中心現行 e-GNSS 外業測量規範的仰角遮罩 15°、GPS 衛星至少 5 顆、PDOP 值小於 10 之規定，兩者之規定接近，惟 NRTK 在 PDOP 值的要求較 e-GNSS 略為嚴格一些。

NRTK 使用之接收設備包括接收儀、天線和天線電纜、數據鏈設備、數據採集器等。接收儀之基本規格為雙頻或多頻接收儀，並符合表 4-11 之精度要求。

表 4-11 NRTK 接收儀精度要求

類型	平面標稱精度(mm)	高程標稱精度(mm)
技術指標	$10 + 2 \times 10^{-6} \times d$	$20 + 2 \times 10^{-6} \times d$
注：d 為基線長度，單位為 km		

相較於 e-GNSS 外業測量規定的水平分量 10 mm + 1 ppm、高程分量 20 mm + 1 ppm 精度規範，NRTK 對於接收儀精度的要求(10 mm + 2 ppm、20 mm + 2 ppm)略低於 e-GNSS，但兩者差別不大。

NRTK 平面控制測量技術要求如下表所示。NRTK 之測量規範與精度要求根據施測點位之等級而定，越高等級之點位相鄰距離越大且必須施測之測回數也越多。

表 4-12 NRTK 平面控制測量技術要求

等級	相鄰點間距離	點位中誤差	邊長相對中誤差	測回數
一級	≥ 500 m	5 cm	$\leq 1/20,000$	≥ 4
二級	≥ 300 m	5 cm	$\leq 1/10,000$	≥ 3
三級	≥ 200 m	5 cm	$\leq 1/6,000$	≥ 2
圖根	≥ 100 m	圖上 0.1 mm	--	≥ 2
碎部	--	圖上 0.5 mm	--	≥ 1
注：困難地區相鄰點間距離可縮短至表中數值的 2/3。				

NRTK 平面控制測量時，移動站可依實際需求，通過坐標轉換方法將觀測得到之 CGCS2000 坐標轉換為指定坐標系的平面坐標。在已有坐標轉換關係時，可以直接利用已知的參數進行轉換。在沒有已知轉換關係的情況下，可採用 3 個以上分布均勻的高等級控制點作為參考點求解轉換參數，惟轉換精度不得劣於 2 cm 且轉換關係的求解不得採用現場點校正的方法進行。

相較於國土測繪中心之規定，e-GNSS 動態測量控制點依點位間距與相對精度分為三類，大致可分別對應於表 3.2.6 之一級、二級、三級控制點。差異較大之處在於，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，這點作法與 NRTK 直接獲得坐標成果有很大的不同。

對於 NRTK 一級、二級、三級平面控制點測量而言，移動站作業之施測要求如下：

- (a)每次作業開始前，應進行至少一個同等級或高等級已知點的檢核，平面點位較差不得大於 7 cm。
- (b)NRTK 平面坐標轉換殘差不得大於 2 cm。
- (c)NRTK 觀測前設置的平面收斂門檻值不得大於 2 cm。
- (d)NRTK 觀測時應採用三角架定心、定平，每測回觀測曆元數不少於 20 個，採樣間隔不少於 2 秒，各測回的平面坐標較差不得大於 4 cm。
- (e)取各測回的平面坐標平均值作為最終結果。

對於 e-GNSS 動態測量控制點而言，目前之施測規定是每測回觀測筆數(曆元數)至少 180 個、資料記錄(採樣)間隔為 1 秒、各測回之平面坐標較差不得大於 2 cm (高程不得大於 5 cm)，均較 NRTK 作業規範嚴格。

NRTK 控制點成果須進行 100%的內業檢查和不少於總點數 10%的外業檢測，且在總點數少於 30 點時，檢測點不得少於 3 點。外業檢測可採用 NRTK 檢測法測量已知控制點或採用同等級精度重測法進行比較檢核。平面控制點外業檢核可採用相應等級的靜態測量測定坐標、全站儀測量邊長和角度等方法。NRTK 平面控制點檢測要求如表 4-13 所示。

根據國土測繪中心「採用電子化全球衛星即時動態定位系統辦理控制

測量作業手冊」，e-GNSS 亦規定強制附合網形平差計算成果須採用電子測距經緯儀進行實地觀測檢核，檢測距離之數量應大於測區內所有點位可通視方向總數的 15%，若實地可檢測距離之數量小於 10 條者，則全數辦理檢測。進行距離檢測時，若該點位鄰近可通視之點位大於 2 點以上，應同時辦理角度檢測。e-GNSS 地測檢核精度要求如表 4-14 所示。整體而言，e-GNSS 與 NRTK 在檢測要求方面的差異並不大。

表 4-13 NRTK 平面控制點檢測要求

等級	邊長校核		角度校核		坐標校核
	測距中誤差 (mm)	邊長較差的 相對誤差	測角中誤差 (")	角度較差限差 (")	坐標中誤差 (cm)
一級	15	≤1/14,000	5	≤14	5
二級	15	≤1/7,000	8	≤20	5
三級	15	≤1/5,000	12	≤30	5
圖根	20	≤1/3,000	20	≤60	--

表 4-14 e-GNSS 地測檢核精度要求

點位間距對應相對精度參考表		
點位間距	相對精度	角度較差
≥500 m	≤1/20000	≤20"
≥300 m	≤1/10000	≤20"
≥100 m	≤1/5000	≤30"

4.1.3 澳洲

澳洲為由原有的六塊英屬殖民地（即現在的州份）組成的聯邦，在聯邦政府之架構下，各州均有州政府之設置。本研究蒐集之文件，ICSM (2020) 為聯邦政府多個行政單位組成之跨單位測量與製圖委員會所制定，屬於聯邦文件；Queensland government (2021) 則為昆士蘭州(Queensland)之州政府文件。謹以 ICSM (2020) 討論如下。

本文件在目錄、表目錄、圖目錄之後，是本文件所使用之術語名詞及其

簡要定義。之後，共有六章，第一章包含前言(Introduction)，敘述本文件之考量與適用，以及相關規範性參考文件(Normative References)。第二章則敘述測量所使用之基準，以及與基準之連結。第三章為 GNSS 測量手冊，分就靜態測量(Static Surveys)與實時(即時)測量(Real-time Surveys)，規範 GNSS 儀器、觀測方式、以及數據處理。第四章為 GNSS 測量之不確定性分析，並就高程部分以專節敘述。第五章為針對即時 GNSS 測量之成果藉由坐標比對評量。第六章描述的是 AUSPOS 系統，該系統以線上方式，提供 GPS 觀測量數據處理之服務。

1、適用範圍與採用之定位技術

本文件以控制測量為適用範圍，並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)。將多種 GNSS 測量技術，以觀測時間為橫軸，成果坐標不確定度為縱軸，圖示如圖 4-1。本文件以 GNSS 作業為描述範圍，各級控制點之不確定度定義，導引至其他參考規範。在本文件中，引用「測量不確定度」(SU, Survey Uncertainty)作為分級。分級為：

- 水平<15 mm，幾何高<20 mm；
- 水平<30 mm，幾何高<50 mm；
- 水平<40 mm，幾何高<60 mm。

由圖 4-1 所列之 GNSS 測量定位技術，主要為相對定位的方式，除單點定位(Single Point Position)以外。差分 GNSS (Differential GNSS)是指以電碼進行差分作業之方式，其不確定度較大。其他縱軸方向在差分 GNSS 之下之技術，亦採用差分，但是會使用電碼及相位。單參考站 RTK(Single Reference Station RTK)為傳統之 RTK 作業方式，相對應的是網形 RTK (Network RTK, NRTK)，其精度是相對較高的。Quick Static 即為快速靜態(Rapid Static)，Classic Static 為常規的靜態測量。大地基準的定義則需要「連續運行參考站」(Continuously Operating Reference Stations, CORS)，依照規格，區分為三級，這部分不屬於本文件範疇，而是由 ICSM (2014)規範。

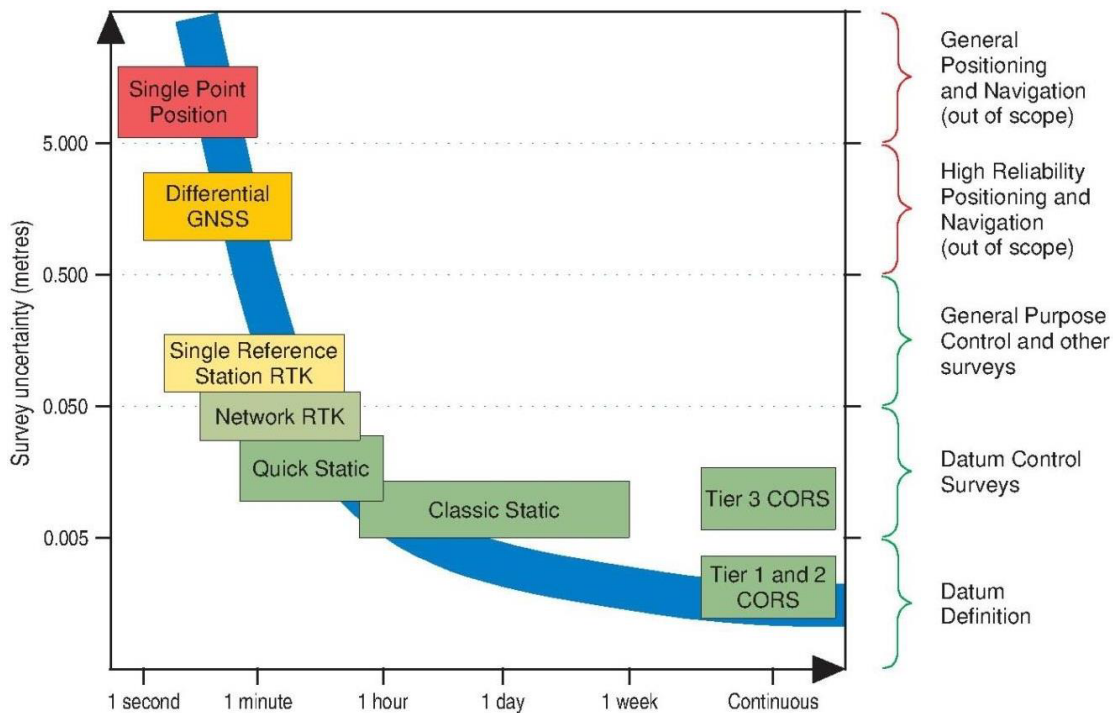


圖 4-1 GNSS 測量技術(ICSM, 2020; Figure 2)

在 ICSM (2021) 中，PPP 相關方法在前言中即已排除。其描述文字為：

「However, those additional techniques including Precise Point Positioning (PPP), code-based Differential GNSS and Single Point Positioning are not suitable for Datum Control Surveys and are beyond the scope of this Guideline. (但是，包括精密單點定位 (PPP)、電碼差分和單點定位在內的那些附加技術不適用於基準控制測量，並且超出了本指南的範圍。)」

2、規範性參考文件

ICSM (2021) 明列相關之規範，包含國際性之規範：

JCGM 100:2008, Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Joint Committee for Guides in Metrology – Bureau International des Poids et Mesures, Paris, France.

由於測量科技中不確定度是一件極為關鍵的項目，本文件為「國際度量衡局」(BIPM, Bureau international des poids et mesures) 下屬的量測科技文件委員會，針對量測值不確定度所編寫之國際規範。

以及澳洲聯邦制定之標準(Standard)：

ICSM (2020), Standard for the Australian Survey Control Network – Special Publication 1, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

其他的聯邦相關指南：

ICSM (2020), Guideline for the Adjustment and Evaluation of Survey Control, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2020), Guideline for Control Surveys by Differential Levelling, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2020), Guideline for the Installation and Documentation of Survey Control Marks, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2020), Guideline for Continuously Operating Reference Stations, Version 2.2, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

還有兩本技術手冊(Technical Manuals)：

ICSM (2020), Geocentric Datum of Australia 2020 Technical Manual, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Canberra, Australia.

ICSM (2007), Australian Tides Manual – Special Publication 9, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, Wollongong, Australia.

與三篇技術文件：

Dawson, J. and Woods, A. (2010), ITRF to GDA94 coordinate transformations, Journal of Applied Geodesy, 4:4, pp. 189–199.

Brown, N. J., Featherstone, W. E., Hu, G. and Johnston, G. (2011), AUSGeoid09: A more direct and more accurate model for converting

ellipsoidal heights to AHD heights, *Journal of Spatial Science*, 56:1, pp. 27–37.

Brown, N., J. McCubbine, W. Featherstone, N. Gowans, A. Woods, and I. Baran (2018), AUSGeoid2020 combined gravimetric–geometric model: location-specific uncertainties and baseline-length-dependent error decorrelation, *Journal of Geodesy*, 92(12), 1457-1465.

規範性文件的列舉與引用，構建一個完整體系，可以讓各個文件自身可以聚焦，而讀者亦可以擴大追查完整規範。同時，減省規範間之重複，亦便於維護、更新、管理。這是十分值得借鏡的。

3、儀器、技術、觀測時間長度、取樣頻率規定與適用之控制點等級

依據「測量不確定度」的分級，在「水平 <15 mm，幾何高 <20 mm」與「水平 <30 mm，幾何高 <50 mm」情況下，僅有傳統靜態與快速靜態為適用。在「水平 <40 mm，幾何高 <60 mm」等級，則僅提列即時觀測處理之作業方式。重點是，ICSM (2021)規範 NRTK 不適用於「水平 <15 mm，幾何高 <20 mm」與「水平 <30 mm，幾何高 <50 mm」等級之測量作業。

除上表以外，兩個等級均適用的其他事項包含下列：

- 建議採用獨立再次設站觀測(Independent occupations)，如果在三腳架上，則間隔 30 分鐘並重新整置天線。
- 衛星仰角高度遮罩角度設置為零度(Elevation mask set to record down to zero degrees elevation)。這一點與日本規範，以及內政部(1994)，是相當不同的概念。實務上，所有可以觀測到的衛星，一律觀測、紀錄。這不表示低角度的衛星訊號今天不再有高訊雜比之傾向，而是在處理技術中除錯與賦權能力的提升。這一點對應稍後介紹之即時動態定位中的規定，便有更明確之體悟。
- 天線盤對北需在誤差 5 度以內(Antenna orientated to within 5 degrees of true North)。這項考量乃為天線相位中心變化(Antenna phase center variation)所設置。這也是一項當今 GNSS 測量實務上，漸漸遭受忽略之事項。

但是，在後續的數據處理規定中，僅有「水平<15 mm，幾何高<20 mm」等級要求使用 IGS 或 NGS 的天線模型。如果是「水平<30 mm，幾何高<50 mm」等級，可以使用製造商提供之天線模型。

- 連接大地基準時，至少包含兩個控制點，該兩點為現有基準控制測量平差合格的測量控制點或規則 13 認證的 CORS (Datum connection to at least two survey control marks being either marks in the existing Datum Control Survey Adjustment or Regulation 13 Certified CORS)。

表 4-15 儀器、技術、觀測時間長度、取樣頻率規定與適用之控制點等級對照表

SU	水平<15 mm，幾何高<20 mm	水平<30 mm，幾何高<50 mm
定位技術	傳統靜態	傳統靜態 快速靜態(基線短於 10 km 時)
GNSS 接收儀	雙頻，可以觀測電碼與相位	雙頻，可以觀測電碼與相位
GNSS 天線	抑流圈天線(Choke ring antenna)、或是具有底板(Ground plane)者 以及高品質三腳架、三角基座、光學對心器	測量級天線，以及高品質三腳架、三角基座、光學對心器
觀測時間長度	6 至 24 小時，視基線長度而定	傳統靜態：1 至 6 小時，視基線長度而定，原則是至少 1 小時，每增加 1 km，增加 5 分鐘 快速靜態：依照儀器製造商提供之建議，隨可觀測衛星數、基線長度而定，以能解算周波未定值為度
最大取樣間隔	30 秒	傳統靜態：15-30 秒 快速靜態：5-15 秒

可以使用於「水平<40 mm，幾何高<60 mm」等級之 GNSS 定位技術，包含單參考站 RTK，與網形 RTK (NRTK)。這兩項技術，規範中的敘述如

下：

- 接收儀：雙頻，可以觀測電碼與相位。
- 天線：固定站與移動站均須使用測量級天線，移動站使用固定高度之測量標竿，或雙桿固定架(Bipod，兩腳架)。單參考站 RTK 之主站(固定站)需使用高品質三腳架、三角基座、光學對心器。如果是多個參考站，但不是 NRTK 時，RTK 測量的內部一致性依賴於最小化參考站之間的相對不確定度。可以使用現有基準控制測量平差成果；採用新點時，應以靜態或快速靜態 GNSS 測量、平差，並連接到基準。
- 各移動站應獨立再度測量兩次，間隔至少 30 分鐘。
- 移動站各次觀測時間長度：在移動站成功初始化後，亦即週波未定值求解後，記錄位置至少 1 分鐘，取平均。
- 參考站和移動站的觀測曆元間隔：建議記錄 1 秒原始 GNSS 數據以便以後處理方式，檢核測量成果。
- 參考站和移動站的仰角遮罩：15 度。

4.1.4 紐西蘭

紐西蘭負責大地基準與測量體系的是 LINZ (紐西蘭土地資訊局，Land Information New Zealand)，目前施行中之 GNSS 控制測量規範為：

LINZ, 2012. Guidelines for Simplified Geodetic Control Survey, V2.1, National Geodetic Office, LINZ.

同時，以政府的立場，由 NZIS (紐西蘭資訊服務處，New Zealand Information Service)發佈了一份 NRTK 的技術說明：

NZIS, 2017. NetworkRTK – New Zealand, A summary of the concepts, methods, limitations and services in New Zealand, Version 17.01, Positioning and Measurement, New Zealand Information Service.

LINZ (2012)在目錄後，先簡述名詞與定義。本文分七章，第一章為前言，除界定本文件之目的與內容外，本章中列舉與本文件相關之其他標準、指南與規則(Standard, guideline, rule)等官方文件。第二章為測量標(Survey

Mark)規定，包含樁標型制與佈設選點原則、建立紀錄之內涵、佈設密度、編碼方式等。第三章針對測量標之可信度(Reliability)有所描述，測量員需藉由距離、角度，與地籍等文件資料比對，確認成果是符合要求的，可以接受的差值，除引用規範外，原則上是小於 0.05 m。

第四章為測量方法(Survey Mark)規定，該章之首，界定「所有測量必須使用 GNSS 技術」(All survey observations must be made using GNSS (including GPS) techniques)。在作業方式中，重點包含每一點位均需有兩次獨立的觀測，每次觀測均需重新整置儀器、量天線高。每次觀測時段間之間隔時間長度至少為 20 分鐘。最顯明的是，雖然測量設備需要週期性的檢校與維護(regularly calibrating and checking field equipment)，但是嚴禁「現地校正」(A “Site Calibration” should never be done as part of a geodetic control survey)。

觀測方式在 LINZ (2012)文件中，包含靜態與 RTK，對於使用之儀器沒有規範。在靜態中，陳述以快速靜態方式為主，觀測時段敘明「應用快速靜態時，最短觀測時間為 10 分鐘」(For rapid static surveys, ten minutes is considered to be the minimum observation time required to active the accuracy standards)。RTK 的方式在文件中呈現，但是具體說明其高程不確定度高，通常僅能達到六級，而非五級。LINZ (2012)中沒有圖形強度、衛星數、等等之規定，而以「達成規範要求之精度」為要求。這是 LINZ (2012)的系統性思維，「達成規範要求之精度」是最高的測量規範，測量人員應具有專業能力與態度，不需要繁文縟節的規定。因此，LINZ (2012)在測量方法部分所陳述的是基本原則。

第五章為測量完成後所需繳交之文件(Survey deliverables)，規定有三項，控制點資料檔(Mark data file)、向量檔(Vector file)、測量報告(Survey report)。第六章為繳交文件之可選項(Optional deliverables)，包含有關辨識點位、說明周邊環境與如何到達點位之相片、簡圖，LINZ (2012)均提供明確格式。第七章為繳交文程序。

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)。亦因為如此，對於使用 GNSS 測量的考量，有著十分現代化的思維。

在回顧紐西蘭 GNSS 控制測量規範之前，謹先回溯探討當今測量實務應用「多層級控制點/網」架構之緣由。基本上，設置一等控制網，涵蓋較大範圍；繼而根據一等控制的點位所組成的區域性子集合，架構二等。依序，三等、四等，分區分級，成就一個涵蓋面大、密度高的控制網絡，應用時方便根據既有控制網中之點位，測設導線、導線網，以為地籍界址、工程建設、地形測量，等等作業，佈設控制。而需要如此進行之原因，是因為所採用的測量方法是「直接的角、邊測量」。使用經緯儀、測距儀進行之作業，需要點間通視；為了「引測」方便，既有之上級控制點分佈密度需高。

在採用「直接的角、邊測量」技術之時代，亦即「三角三邊」的作業型態時，作為零級的「基準」點數是少的。以臺灣而言，TWD67 的原點只有一個，虎子山，作為位置的定義。另有基線場、方位角等與基準相關的部分點位。紐西蘭現代化的基準，亦即零級的高精度控制網，由分布密度相當高的 CORS 組成。因為，以時變基準而言，控制點的參數，不止是三維坐標，還必須有速度、加速度，以及因地震等因素所導致之非連續性時間變化的改變的完整資訊。這一些要求，需要空間分布密度高、觀測時間頻率亦高的控制測量。此時，佈設沒有連續觀測的一級、二級、三級、四級，控制點網的價值，就很低落了。傳統的多級控制網，建置與維護均使用「運轉式」(Campaign mode)作業。亦即，在某時刻，組織測量隊執行某一時段之測量。這種作業是需要經費與人力的，由管理與投資的面向審視，方案效益如何，便是執行與否的重要因素。隨同「多層級控制點/網」架構之實施，精度亦是分級的；數據處理面向，平差亦是分區分級的，跨子網的點位引用，不確定度是高的。這些都是「多層級控制點/網」的問題。

由另個面向審視，許多的應用不需要高精度，或許，仍有需要使用經緯儀、測距儀進行之作業，會有應用傳統控制點的需求。但是，整體的效益是如何呢？又有沒有可以替代的方案呢？

LINZ 目前已停止所有一、二等控制點之測量。零級之 PositionNZ CORS 網為持續觀測、每日解算，即時獲得最新坐標。PositionNZ CORS 的運作採

用最新之科技，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 (國家大地改正，National Geodetic Adjustment)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)。

4.1.5 英國

皇家特許測量師學會(RICS, Royal Institution of Chartered Surveyors)，成立於 1868 年，是以英國為基地、規管英國在內多個國家皇家特許測量師學會會員的獨立專業團體(維基百科，2022)。本研究所蒐集獲得之 GNSS 測量指南即為 RICS 所發行(RICS, 2010)。另有 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。TSA 為「測量組織」(The Survey Association)的縮寫，此一組織為由測量公司所構成。RICS 為英國相當於臺灣之「測量技師公會」，TSA 為英國相應於臺灣之「測量商業同業公會」，兩個團體相互合作，雙邊窗口為 TSA 之測量聯絡組(Survey Liaison Group, SLG)與 RICS 的地理空間處(Geospatial department of RICS)(Murphy, Susan, 2022; 個人聯繫)。

RICS (2010)本文分為兩大部分，第一部分為指南(Guideline)，第二部分為技術細節(Technical commentary)。在本文之外，附錄中另有五個文件。

指南包含三章，GNSS 的角色(The role of GNSS in surveying)、GNSS 測量文件(GNSS survey documentation)、GNSS 測量程序(GNSS survey operation)。技術細節中之各章，依序為 GNSS 測量方法(GNSS survey methods)、作業考量(Operational considerations)、坐標參考框架(Co-ordinates reference frame)、品管事項(Quality issues)。

RICS (2010)所涵蓋之內容為以 GNSS 進行測量之許多工作，包含控制測量與細部測量。以建立之目的而言，本文件相當不同於臺灣一般對規範、標準之概念。文件開始之初，在序言(Preface)中便說明測量工作不需要依照此指南(Members are not required to follow the advice and recommendations contained in the guidance note)。而建立此文件之目的，在於提供「最佳執業」(Best practice)參考。對於執業之測量員而言，其基本責任是針對其服務對象，

如客戶，提供專業的測量工作成果。如若該測量員遭受其服務對象，提出「怠惰」(negligence)指控時，如果測量執行過程為遵照本文件，則於法庭上或可以提供該測量員一個基本的保護。

GNSS 測量是測量工作中的一項，因此相關的規範與指南尚有多件，序言中亦明列四件 RISC 所發行之各類指南。達成測量工作的「最佳執業」，並非遵照單一指南便可以達成，亦非僅僅依照指南規範，便可以免責。

在 RICS (2010)的 82 頁文件中，有著十分豐富的內涵。於測量方法面向，分為靜態(Static)、動態(Dynamic)、即時動態(Real-time dynamic)，各類別下又依據所需之精度區分為數類；在儀器方面，不排除在適當情境使用單頻接收儀。RICS (2010)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」，而如果情境並非如此理想時，加倍、三倍的延長觀測時間。

同時，針對各項作業，RICS (2010)提供了表單式的指南。以文件中表 A 為例，其表名為控制測量指南(Control survey guidelines)，包含六項，每項有指南與說明兩部分，並註明對應之文件第二部分技術細節之章節。謹就該表內涵，中英並陳，條列如下：

1. 指南：

所有測量均使用本源控制；最好使用至少 4 個控制站。

All surveys use source control; it is best practice to use at least 4 control stations.

說明：

這可能為使用連續運行的 GNSS 站(COGR)，通常由國家測繪機構或國際 GNSS 服務 (IGS) 提供。另一選項為自行建立本源控制，相對於 COGR 或其自有基站進行定位。或者，可以使用精密單點定位 (PPP) 技術。

This may be from Continually Operating GNSS stations (COGRs), typically provided by the national mapping agency or the International GNSS Service (IGS). Another option is for the surveyor to establish their own source control, positioning relative to COGRs or their own base stations.

Alternatively, the Precise Point Positioning (PPP) technique could be used.

參考： 4.2, 7.2

2. 指南：

控制由GNSS坐標系轉換到地圖投影或測量網格。

Control to transform from the GNSS coordinate system to map projection or survey grid.

說明：

GNSS測量為於GNSS坐標系中進行觀測與計算，然後轉換為當地地圖投影或網格系統之坐標系中。為此，需要知道從GNSS坐標系到地圖投影坐標系的轉換參數，或者在GNSS測量程序中包括具有已知地圖投影坐標和高度的現有測量控制站。

GNSS surveys are firstly observed and computed in the GNSS co-ordinate system and then transformed onto a local map projection or grid system. To do this we need to know the transformation parameters from GNSS co-ordinate system to map projection system, or include existing survey control stations with known map projection co-ordinates and heights in the GNSS survey programme.

參考： 6.3

3. 指南：

使用穩固的測量標。

Use stable survey markers.

說明：

GNSS測量可以在相當長的距離間實施高精度測量，因此應使用穩固的測量標。建議之控制點測量標類型在RICS文件「1:500及更大比例土地、建築物 and 公用事業服務測量」的附件A中有詳細說明，並且可以在其他規範文件中找到。

When measuring with GNSS it is possible to achieve highly accurate measurements over considerable distances, hence stable monuments should be used. The type of marker recommended for control points is detailed in

Annexe A of the RICS document Surveys of Land, Buildings and Utility Services at Scales of 1:500 and Larger, and can be found in other specification documents.

參考： 7.2.1

4. 指南：

控制站選擇設於有良好對空通視度處。

Choose control station locations where there is a good view of the sky.

說明：

測量控制點必須設在有良好對空通視度處，建議沒有高於高度角15度的障礙物。然而，在建成(built-up)區，這有時是不可能的，成果的可靠度可能會受到不利影響。由於這些控制點將決定整體作業準確性，因此應盡可能選擇最佳位置。

It is imperative that survey control points are located where there is a good view of the sky, with no obstructions above a recommended 15 degrees elevation from the horizontal. However, in built-up areas this is sometimes not possible and the reliability of results could be adversely affected. As these control points will determine the overall accuracy of the project, the best possible locations should be selected.

參考： 5.2, 5.3.4, 7.3.1

5. 指南：

使用靜態或快速靜態GNSS基線測量方法。

Use a static or rapid static GNSS baseline survey method.

說明：

控制測量應使用「靜態」或「快速靜態」方法進行(雖然網型RTK在理想條件下可能可以提供達到所需的精度)。這些作業方式可以明確地定義所需的數據量(觀察時間)，因此測量作業規劃的後勤工作相對容易。所有尺度的測量都需要控制；從定義全球參考框架的網絡，到國家系統，再到地形測量的當地控制。

The control survey should be undertaken using ‘static’ or ‘rapid static’

methods (although network RTK may give the required accuracy under ideal conditions). The amount of data required using these procedures (observing-time) can be well defined, and hence the logistics of project planning is relatively easy. Control is needed at all scales of survey; from networks defining global reference frames, through state systems to local control for a topographic survey.

參考：4.2

6. 指南：

根據需要的精度使用精密星曆或廣播星曆。

Use the precise or broadcast ephemeris according to accuracy required.

說明：

對於高精度需求之工作，建議使用精密星曆。這與一般測量處理中所使用的廣播星曆不同。精密星曆可以消除廣播星曆中的誤差，並為控制測量提供更高精度的坐標。應檢查測量數據處理程式，以確認具有導入和使用精密星曆的功能。

For high-precision projects it is recommended that the precise ephemeris is used. This differs from the broadcast ephemeris which is used in standard survey processing. Doing so will remove the errors associated with the broadcast ephemeris, and result in higher-precision co-ordinates for the control survey. Survey software should be checked to ensure it supports import and use of the precise ephemeris.

參考：4.2.1

RICS (2010)之內容包含十分多之細節，對於各型 GNSS 測量方式，諸如其觀測時段長度與基線距離長度關係等，均有指南。限於篇幅，難於一一討論。但是相當明確的，RICS (2010)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。

4.1.6 美國

美國地質調查所(U.S. Geological Survey, USGS)是美國負責地球與環境

科學研究的聯邦機構，本節探討的第一份規範文件即是由 USGS 所發佈之 ”Methods of Practice and Guidelines for Using Survey-Grade Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to Establish Vertical Datum in the United States”。

USGS 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)。由於美國目前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)，因此公分級精度的 GNSS 測量是美國建立國家高程系統以及實施控制測量的必要工具。事實上，由於 GNSS 衛星定位測量的平面精度一般優於高程精度，因此 USGS 為了確定高程測量成果的可靠度，對於測量成果的平面精度也非常重視。

本規範首先定義測量型 GNSS 的設備應滿足以下需求：

- 接收儀：至少雙頻(dual frequency)、三星系(GPS+GLONASS+Galileo)觀測量
- 天線：具有明確定義且已知的天線相位中心偏移量(Phase center offset, PCO)以及天線相位中心變化量(Phase center variation, PCV)、並具備最小化多路徑設計(Minimum multipath design)
- 腳架：固定高度的三腳架(Fixed-height tripod)

USGS 規定的測量方法分為靜態(Static)與即時(Real-time)測量。靜態測量有兩種作業方式，第一種是使用單測站(Single base)線上定位使用者服務(Online Positioning User Service, OPUS)。OPUS 是由美國國家大地測量署(National Geodetic Survey, NGS)所開發的靜態 GNSS 觀測資料線上計算服務，使用者只須將 GNSS 接收儀收集的單站靜態觀測資料上傳至 NGS 網站，即可經由電郵信箱收到計算服務的成果報告。

使用者可上傳觀測間隔為 1、2、3、5、10、15、30 秒，且觀測長度為最短 15 分鐘、最長 48 小時的靜態資料。此外使用者必須明確定義正確的天線型號及量測到 ARP (Antenna reference point)的天線高資訊。OPUS 除支援標準交換 RINEX 格式外，也支援多種接收儀的原始資料格式。

OPUS 主要分為靜態測量 OPUS-Static (OPUS-S)及快速靜態測量 OPUS-

Rapid Static (OPUS-RS)兩種。OPUS-S 對於上傳資料的需求是觀測時間長度必須在 2 小時以上，確保計算成果之品質。OPUS-S 會將上傳資料與 3 個鄰近的 CORS 連續參考站相連接，並解算此 3 條獨立基線，之後再取這 3 條基線之計算成果平均值作為最後的坐標成果。所謂的 peak-to-peak 誤差即是這 3 條基線所產生的坐標成果差值之最大值，也就是說，只有在 3 條基線成果都很接近時，peak-to-peak 誤差值才會很小。除了坐標成果及 peak-to-peak 誤差外，成果報告也會提供下列資訊：觀測量使用百分比、整數週波未定值固定百分比、坐標成果均方根(RMS)值。

OPUS-RS 則是針對上傳資料觀測時間長度在 15 分鐘與 2 小時之間所特別開發的計算軟體。OPUS-RS 要求必須至少有 3 個 CORS 站與上傳資料測站的距離在 250 公里以內、且測站不得位在由這些 CORS 站所形成多邊形的外側以及與多邊形的距離超過 50 公里。幾何條件對於坐標成果精度有很大的影響。

在一般狀況下 OPUS-S 可提供公分級定位精度成果，使用者可以依據下列標準檢視成果報告之內容決定成果品質是否符合需求：

- 基線計算坐標成果差值之最大值(peak-to-peak)誤差小於 5 cm
- 觀測量使用百分比大於 90%
- 整數週波未定值固定百分比大於 50%
- 計算成果均方根值小於 3 cm

OPUS 成果報告同時會提供測站坐標成果的坐標系統與參考時刻，這是由計算時使用的 CORS 站坐標所定義的，例如 NAD83 (2011)即代表坐標系統為 North American Datum of 1983 (北美大地基準 1983)，參考時刻為 2011.0。

進階版的 OPUS 有 OPUS-Projects, OPUS-GNSS, OPUS-Net, OPUS Leveling Online Computing Service (LOCUS)等。其中 OPUS-Projects 可以整合所有觀測資料(包含 CORS 及水準資料)進行整體平差，是很有用的計算工具且能提供最佳的精度，但建議使用者事先接受過由 NGS 提供的訓練課程。

靜態測量的第二種作業方式是傳統靜態測量與網形平差(Network Surveying and Processing)。雖然因為即時動態測量服務的出現，這種方式逐

漸失去對於使用者的吸引力，但是傳統靜態測量與網形平差依然是獲得最穩定及最高精度成果的作法。

在網形規劃方面，測區需要至少包含 3 個已知平面控制點以及 3~4 個已知高程控制點。GNSS 觀測數據處理流程如下：

- 閉合差分析(A loop closure analysis)
- 自由網基線平差(Unconstrained network adjustment of all baselines)
- 全組合基線及重複基線分析(Analysis of all baselines and repeat baselines in the unconstrained adjustment)
- 基線編修及剔錯(Correction and elimination of baselines with poor results or poor fit with other baselines)
- 約制網基線平差(Fully constrained adjustment on remaining baselines)

對於測量成果精度的要求則是如下表所示，表中的 Order 代表控制網的等級，平面精度的標準(Standard)是表示 95%的信心區間數值，亦即約為 2 倍中誤差。

表 4-16 NGS GNSS 測量精度標準

Order	Horizontal standard	Ellipsoid standard
AA	0.3 cm + 1:100,000,000	NA
A	0.5 cm + 1:10,000,000	NA
B	0.8 cm + 1:1,000,000	NA
First	1 cm + 1:100,000	NA
First Class I	NA	0.5
First Class II	NA	0.7
Second Class I	2.0 cm + 1:50,000	1
Second Class II	3.0 cm + 1:20,000	1.3
Third	5.0 cm + 1:10,000	NA
Third Class I	NA	2
Third Class II	NA	3
Fourth Class I	NA	6

USGS 規定的第二種測量方法是即時(Real-time)測量，分為單基站即時動態測量(Single-base real-time kinematic, RTK)和網路即時動態測量(Real-

time network, RTN)兩類。

單基站即時動態測量 RTK 之成功率與基站和移動站之間的距離有關，一般而言當兩者距離在 5 英里(約 8 公里)以內時，可以順利達到公分級定位精度。作業時基站可架設於已知控制點上施測未知點；或是架設在任意一個對空通視良好的點位上(稱為 Autonomous base)，再分別施測已知控制點以及未知點。

RTK 施測時仰角遮罩應設為 10~15 度，需同時觀測至少 5 顆衛星，同時 PDOP 應小於 4。在多餘觀測方面，施測時需要至少 180 曆元(Epoch)的觀測資料(也就是說，如果取樣間隔為 1 秒的話需至少施測 3 分鐘)，並且要有至少 2 測回的觀測成果(每測回必須離開點位重新擺站及初始化)，再取平均值作為最後成果，並將這種程序稱為即時粗差檢核(RT blunder check)。

網路即時動態測量 RTN (也可稱為 Network RTK, NRTK)，可有效擴大即時動態測量的作業範圍，因此在實務上已逐漸取代傳統單基站 RTK。此外，RTN 的測量成果可以直接連接和定義在國家空間參考系統(National Spatial Reference System, NSRS)。

RTN 作業時除必須執行上述 RTK 設定和即時粗差檢核程序外，也必須留意成果坐標是否符合作業所需的當地(Local)坐標系統。如果不符合，則需要執行所謂的地方化(Localization)程序，將 RTN 測量成果轉換至作業所需之地方坐標系統。在理想狀況下，應選擇 4 個均勻分布於測區內的可靠水準點(Benchmark)作為轉換到地方坐標系統的已知參考點(如圖 4-2 所示)；實務操作時如果已知水準點的數目不足 4 點，可僅選擇測區內的 2 個已知點作為參考點，亦足以提供良好的轉換成果。

本節探討的第二份規範文件是由維吉尼亞州運輸部(Virginia Department of Transportation, VDOT)於 2021 年所發布的 GNSS 控制測量規定”GNSS and Control, Survey Manual, Chapter 5”。相較於第一份由聯邦政府發布的規範文件，這份文件主要呈現美國地方政府(州政府)使用 GNSS 衛星測量的具體作法。

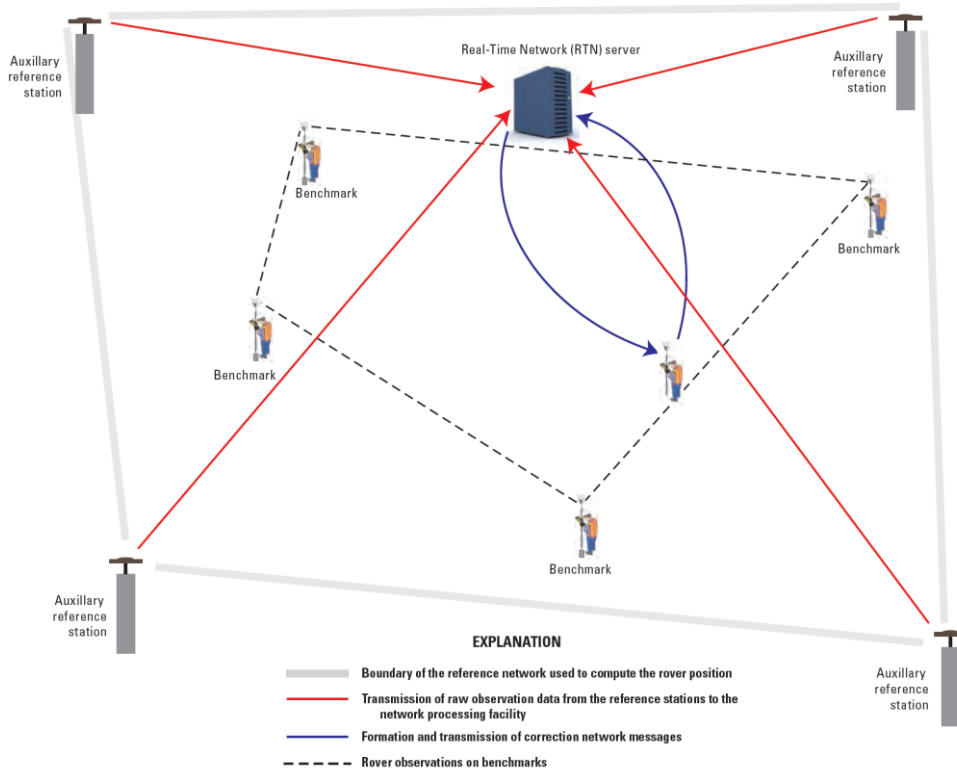


圖 4-2 使用 4 個已知水準點進行 Localization 的 RTN 測量

VDOT 規定使用的 GNSS 設備須滿足以下條件：

- 測量型接收儀(Geodetic receiver)：可接收雙頻載波相位及精密電碼 (P-code)觀測量，且可同時觀測至少 8 顆 GNSS 衛星
- 天線：具備已知的天線相位中心偏移量(PCO)以及天線相位中心變化量(PCV)
- 腳架：建議使用固定高度的三腳架以避免抄寫錯誤
- 軟體：可將觀測資料輸出至 RINEX V3 資料交換格式

VDOT 對於 GNSS 控制測量的一般性規定如下：

1. 坐標系統：所有控制測量成果必須連結至國家空間參考系統(NSRS)，例如 North American Vertical Datum of 1988 (NAVD88)高程基準與 NAD83 平面基準
2. 所有施測時段必須至少使用 3 台接收儀進行同步觀測
3. 在最初的觀測時段(Initial onservation sessions)應先針對已知控制點進行檢測
4. 水平控制網須至少連接到 2 個 NSRS(或 NGS)的一等(或更高等級)

控制點

5. 高程控制網須至少連接到 3 個三等(或更高等級)水準點，且至少 2 個水準點是位於測區邊界附近，以用來決定測區的大地起伏
6. 用 GNSS 控制測量方式測定的點對(Station pairs)應可以互相通視(Inter-visible)且相距在 600 英尺至 1450 英尺之間。每一組的點對都必須同步觀測兩次以上，且觀測時間至少相差半小時。
7. 觀測時段內的衛星數目應保持至少 5 顆，且 GDOP 值不得大於 6、PDOP 值不得大於 4
8. 快速靜態測量的資料取樣間隔為 5 秒，靜態測量的資料取樣間隔為 15 秒。快速靜態測量的衛星分佈必須至少出現在 2 個對角的象限中，靜態測量的衛星分佈則必須至少出現在 3 個象限中
9. 仰角高度低於 15 度的衛星不得使用於基線計算
10. 仰角高度大於 20 度的地表障礙物均應標註或畫出在點位透空圖中，作為規劃觀測的參考
11. 正高計算時使用的大地起伏模型應為 2012A Geoid Model 或 2012B Geoid Model
12. 橢球高計算時使用的參考橢球模型應為與 NAD83 一致的 GRS80 橢球體
13. 基線長度在 20 公里以上時應使用靜態測量方式施測。對於基線距離在 20~50 公里的點位，觀測時間的長度至少須為 2.5 hr + 1 min/km (以同時段距離最長之基線為準)；對於基線距離在 50~100 公里的點位，觀測時間的長度至少須為 3.5 hr + 1 min/km
14. 基線長度在 20 公里以下時可使用快速靜態測量方式施測，觀測時間的長度須至少為 20 min + 1 min/km (以同時段距離最長之基線為準)
15. 決定觀測時間長度的最終責任應由測量技師(Licensed Surveyor)承擔

VDOT 對於使用 RTK 即時動態測量的規定如下：

1. 在可獲得與靜態測量或快速靜態測量相似精度的情況下，可以使用

RTK 或網路 RTK 進行施測

2. 開始施測時，移動站應首先觀測一個已知控制點，作為檢測
3. 每個點位應施測至少 2 測回，且 2 測回成果之間的差距是不顯著的 (Insignificant)。
4. 測量人員應確認成果精度可滿足或超過規格要求

由於 OPUS 可提供靜態與快速靜態測量的線上計算成果並且可直接連接至 NGS 的 CORS 坐標系統，因此 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，惟應將 OPUS 的平差成果報告 (Adjustment report) 一併納入給 VDOT 的報告文件。

4.1.7 加拿大

加拿大空間資訊委員會 (CCOG, Canadian Council on Geomatics) 是一個聯邦政府與省政府共同組成的工作委員會，負責計劃和協調加拿大大地參考系統 (Geodetic Reference System) 的維護和改進，作為加拿大陸地和領海相關地理相關資料定位的標準。在此委員會的工作項目中，包含各種相關規範盤點與協調。CCOG 網站的資源頁面 (<https://cgrsc.ca/resources/>) 上，將內涵分為六類，其中一組為標準與指南 (Standards and Guidelines)，在此項下，又分為「測量規範」(Survey Standards)、「測量樁、儀器與校準指南」(Monumentation, Instrumentation and Calibration Guidelines)、「GNSS 數據與產品標準」(GNSS Data and Product Standards)、「GNSS 改正標準」(GNSS Correction Standards) 四大項。

表 4-17 為「測量規範」中現有的各項。與 GNSS 測量相關者，為以紅色標註其年代的部分。

表 4-17 加拿大現有「測量規範」

機構	文件	年代
DFO	Hydrographic Survey Management Guidelines Canadian Hydrographic Service Fisheries and Oceans Canada	2021
NRCan/CGS	Guidelines for RTK/RTN GNSS Surveying in Canada NRCan Surveyor General Branch	2015
AB	Standards, specifications & guidelines for GPS surveys of Alberta survey control	2010
BC	British Columbia Specifications and Guidelines for Control Surveys using GPS Technology.	2010
	Province of British Columbia Standards, Specifications and Guidelines for Resource Surveys Using GPS Technology	2008
	Province of British Columbia Guidelines for RTK GPS Surveys	2009
	Specifications and Guidelines for Control Surveys using Conventional Survey Technology	2009
NB	Standards Manual for New Brunswick Land Surveyors	1998
	New Brunswick Control Monument Database Information	2002
NS	Best Practices for GNSS NRTK Service Providers Operating in Nova Scotia	2016
ON	Ontario Specification for GPS Control Surveys (gov.on.ca)	2004
PEI	PEI Survey Monuments	2005

本研究選擇下列三項規範，即表 4-17 中機構文字標註為紅色者，以為討論。

(一)NRCanada, 2015. Guidelines for RTK/RTN GNSS in Canada, Version 1.2, Main Authors: Brian Donahue, Jan Wentzel and Ron Berg, Survey General Branch, Nature Resources Canada, Canada.

(二)Ontario government, 2004. Ontario Specification for GPS Control Surveys, Geomatics Office, Ministry of Transportation of Ontario, St. Catharines, and Provincial Georeferencing, Ministry of Natural Resources, Peterborough

(三)Alberta government, 2010. Standards, Specifications & Guidelines for GPS

Surveys of Alberta Survey Control, Surveys & Technical Services Branch, government of Alberta.

這三項規範，NRCanada (2015)為針對「即時動態定位」(RTK, Real Time Kinematics)以及「即時網絡」(RTN, Real Time Networks)的作業方式，納入多星系觀測，也納入 PPP 定位方式。測量時，移動站觀測條件規定包含：

- 高度角遮罩(Elevation Mask)為 10-15 度；
- 圖形幾何強度 PDOP 為 2 或 3；
- 最少觀測衛星數為 6。

Ontario government (2004)、Alberta government (2010)則以靜態與快速靜態觀測方式，使用 GPS 單星系進行控制測量為主體。這兩項規範均以網形平差方式佈設。在觀測方面，Ontario government (2004)沒有提及 DOP 值，Alberta government (2010)有提到 PDOP 值，可以用來評量觀測，但是沒有針對於 DOP 值之規範。在觀測取樣間隔規定上，Ontario government (2004)規定靜態時可以採用 30 秒，快速靜態時採用 10 秒；Alberta government (2010)則描述：「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。一般規則是基線小於 20 公里，觀測時間短於 20 分鐘；數據採樣間隔應為 5 秒。對於超過 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。值得注意的是，數據採樣頻率越高，越容易檢測到週波脫落。然而，為了充分解決衛星配置幾何變化，低記錄率就足夠了。測量員有責任確定什麼樣的數據採樣間隔會產生最好的結果」。

有關於觀測時間長度，Ontario government (2004)描述：「觀測時段的長度是所使用的 GPS 方法、觀測的衛星數量和測量的基線長度的函數。觀測時間的長度必須達成以下要求：

- 滿足接收器製造商的最低建議；
- 足以求解基線 < 30 km 的週波未定值；
- 對於 >30 公里的基線，當未實現週波未定值求解，亦即不是整數解時，足以確保高精度浮動解的獲得；
- 至少有 20 分鐘的共用時段 GPS 觀測。
- Alberta government (2010)描述：「建議的取樣頻率和時間段長度如

下：

- 將新的或現有的 Albert 省測量控制點整合到高精度網絡時(HPN, High Precision Network), 應該以小於 15 秒取樣間隔至少觀測 60 分鐘。
- 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。

4.2 研提制訂我國基本控制點衛星測量作業規範座談會會議資料

座談會議討論議題如下：1. 國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範比較說明。2. 我國測量基準及參考系統訂定之建議。3. 衛星控制點長期管理維護機制之建議。4. 現行衛星控制點測量作業規範及精度修正建議。各項議題如下說明：

4.2.1 國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範比較說明

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，詳如 4.1 節。

4.2.2 我國測量基準及參考系統訂定之建議

國際測量基準現有半動態基準(紐西蘭、日本)、動態基準(美國)及雙框架基準(澳洲)，台灣 TWD97 是採用衛星定位測量技術實現的大地基準，基本測量實施規則將之命名為一九九七坐標系統，實質上是一個坐標框架，其為靜態框架，為了因應地殼變動之影響，陸續發展出 3 種不同成果版本，分別為 TWD97(:= ITRF94)，原始的 TWD97，參考時刻訂為 1997.0、TWD97[2010] (:= ITRF94)，更新參考時刻為 2010.0、及 TWD97(2020) (:= ITRF14)，更新參考時刻為 2020.0 且變更至較新之 ITRF 框架。

由於臺灣地區地殼變動之不一致性高，測區內坐標框架的變形與地殼變動的一致性有關。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；然而大範圍測繪業務(例如 LiDAR DTM)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，

導致目前大約每 10 年即需更新 TWD97 坐標框架的參考時刻

為改善此現象，建議參考澳洲的雙框架策略，新增和國際地球參考框架 ITRF 同步的臺灣時變參考框架(Taiwan Time-dependent Reference Frame, TTRF)，並且建立 TWD97[2020]與 TTRF 之間的轉換模式，如式 1。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TWD97[2020]@T_0} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TTRF@T} - \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{\substack{\text{crustal motion} \\ \text{from } T_0 \text{ to } T \text{ (in ITRF14_}} \quad (1)$$

其中， T_0 為參考時刻， T 為觀測時刻， $TWD97[2020] := ITRF14$

在雙框架下，使用者可”彈性”運用 TWD97 與 TTRF。不會受到框架變形影響的地籍測量及工程測量業務可沿用法定 TWD97 框架；會受到影響的大範圍測繪業務和學術研究則可使用 TTRF 框架，再選擇性經由轉換模式得到 TWD97 坐標。在雙框架下，PPP 的使用者亦可將其 ITRF 坐標成果(與 TTRF 一致)，經轉換模式轉至 TWD97。

4.2.3 衛星控制點長期管理維護機制之建議

國際間，紐西蘭已經中止一、二、三等衛星控制點之重測與檢測，使用以 CORS 為基準建構之時間模式，視坐標變化需求，一或兩年檢討更新一、二、三等點之坐標。其 CORS 系統的維護是 State of art，不需要國家規範，只要自訂的 SOP。中國(官方中央)則視需求而定，約略為 8-10 年為一周期，學界於需要增點或檢測時，直接使用 CORS，如需要評量周邊相對關係，一起使用 CORS 聯測即可，故實務上沒有再規劃重測。(如果是引用一等控制點或二等控制點做加密控制點，需要在所引用之點位觀測 GNSS。現在直接將這些觀測量彙同 CORS 觀測量，一同求解，成果更好，但是完全不需要另有重測、檢測一等控制點或二等控制點這些作為。)

台灣當今連續運行參考站(Continuously Operating Reference Station, CORS)除提供良好之基準框架外，亦可以提供相對定位之控制使用之際，一、二等控制衛星控制維護作業建議可於特殊機制(如地震)時重測。

4.2.4 現行衛星控制點測量作業規範及精度修正建議

GNSS 測量與數據處理的方法，大致分為相對定位與絕對定位。其中之

絕對定位技術當下以「精密單點定位」(PPP, Precise Point Positioning)為主。在相對定位技術中，包含靜態法、快速靜態法、動態法、RTK、網路型 RTK，在 RTK 與網路型 RTK 部分涵括以後處理方式進行之作業。在「精密單點定位」中，包含靜態法、動態法、即時 PPP (RT-PPP, Real Time PPP)、即時動態 PPP (PPP-RTK)，其中靜態法、動態法均亦可以後處理方式為之。在目前的國際規範中，大多以相對定位之技術為限，RICS (2010)為例外。但是考量科技之實際發展，PPP，尤其是以後處理方式進行之靜態測量，或許可以考量納入控制點測量所允許之技術。

觀測量之多星系則納入 GPS、GLONASS、Galileo、BeiDou 以及 QZSS。「多星系多頻」是 GNSS 衛星目前發展的方向，運用價值不僅在於增加衛星的可見度，亦有提升定位精度與可靠度之效益。多星系目前結合方式多為使用「混合」(Mixed solution)的方法，亦即各星系分別求解定位後再經最佳化過程合併得到估值。原則上最理想的方式或許為「統合」(Integrated solution)方式，由各個衛星獲得之距離觀測量直接平差，這時，許多各星系間的差異必須考量，包含「系統間偏差」(ISB, Inter System Bias)，必須求定。因 ISB 值隨接收儀之電路設計而有差異，因此，如果接收儀之硬體、軟體不同，ISB 便原則上不同(Håkansson, et al., 2017; Mi, et al., 2019)。日本國土地理院之規範中包含「混合」與「統合」(國土地理院，2020、2020a)，是一項亮眼的設計，值得重視。

作業規定的項目中，可以接受之使用接收儀等級、最少觀測時段長度、使用之衛星數目，宜在規範中描述。衛星幾何圖形強度相關指標亦可一併納入。

4.3 辦理專家學者座談會

針對前項工作研提之議題，本計畫於 111 年 9 月 21 日辦理專家學者座談會，邀請 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，地點於國土測繪中心第 1 會議室。座談會會議文件如附錄九，會議記錄如附錄七。

4.4 研提基本控制點衛星定位測量作業手冊草案

本計畫透過國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集分析並據以研提並辦理專家學者座談會，參酌座談會議題撰寫基本控制點衛星定位測量作業手冊草案，草擬之「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」草案如下，修正前後版本差異參閱附錄八。

內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範(草案)

壹、前言

基本控制點為測量與各項工程建設之主要依據，其設置關係國家經濟建設之發展。基本測量實施規則第十六條暨第十八條規定，基本控制測量得以衛星定位測量、三角測量、三邊測量、精密導線測量、水準測量、重力測量或其他同等成果精度之測量方法為之；基本控制測量所設置之點位為基本控制點，採衛星定位測量方法設置者，以衛星控制點稱之。自民國八十三年訂定「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」迄今，衛星科技已產生重大變化，當時使用的 GPS 衛星定位測量技術已被 GNSS 衛星定位測量技術所取代，此外新興的精密單點定位技術也已成熟發展，足可應用於高精度測量工作。為使我國衛星定位測量作業與時俱進，茲重新訂定作業規範如下，作為本部辦理一等、二等衛星控制點測量之依據。

貳、坐標系統

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。TWD97 之內容包括：

- 一、地心坐標框架：依國際地球參考框架 (ITRF) 及國際時間局 (BIH) 所定之標準時刻方位建構而成。
- 二、參考橢球體：採用國際大地測量與地球物理聯合會 (IUGG) 所定之參考橢球體。
- 三、地圖投影方式採用橫麥卡托投影經差二度分帶：臺灣、小琉球、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之中央子午線定於東經一二一度；澎湖、金門及馬祖等地區之中央子午線

定於東經一一九度。投影坐標原點向西平移二十五萬公尺，中央子午線尺度比為〇·九九九九。

參、衛星追蹤站

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。

肆、觀測作業規劃

一、參考基準

- (一) 衛星追蹤站應以 IGS 站作為參考基準。
- (二) 一等衛星控制點應以衛星追蹤站或 IGS 站作為參考基準。
- (三) 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。

二、觀測儀器

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簽署國際實驗室認證聯盟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/>)。

三、觀測取樣間隔、衛星數目及衛星幾何圖形強度

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
取樣間隔	≤ 15 sec	≤ 15 sec
衛星數目 ^{1,2}	≥ 5	≥ 5
點位精度因子(PDOP)	≤ 6	≤ 6

註 1：衛星之高度角需在 15 度以上

註 2：使用多星系衛星進行定位時，各星系需觀測 2 顆衛星以上

四、觀測方式

一等、二等衛星控制點測量得採相對定位或精密單點定位靜態測量方式為之。

(一) 相對定位靜態測量

觀測時間長度

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
觀測時間	≥ 4 hr	≥ 2 hr
同一時段所有接收儀連續且同步觀測時間	≥ 2 hr	≥ 1 hr
同步觀測之接收儀數(不包含衛星追蹤站)	≥ 4	≥ 3

註：觀測環境不理想之點位應視情況延長觀測時間，以順利達到精度要求，避免因為成果精度不佳必須重測，導致人力與時間的浪費。

網形設計

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
須連測之上級控制點數	≥ 3	≥ 3
不同時段重複觀測站數	$\geq 40\%$	$\geq 40\%$
不同時段重複觀測基線數	$\geq 20\%$	$\geq 20\%$
須同時觀測之上級控制點之距離	$\leq 10\text{ km}$	$\leq 3\text{ km}$

(二) 精密單點定位靜態測量

觀測時間長度

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
觀測時間	$\geq 8\text{ hr}$	$\geq 4\text{ hr}$

註：採用精密單點定位靜態測量時，由於所需之收斂時間一般較相對定位長，故為獲得可靠之測量成果，暫定為使用 2 倍之觀測時間。後續經實驗數據驗證分析後，再行修正。

伍、資料處理與分析

一、 解算軟體

(一) 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) 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。

二、 精度規範

(一) 相對定位靜態測量

依據基本測量實施規則以衛星定位測量方法實施一、二等基本控制測量之精度

規範，相對定位靜態測量成果精度應滿足以下之條件：

項目		等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
		使用之星曆	精密星曆	精密星曆
圖形 閉合 差	閉合圈中之基線 源自不同觀測時 間數		≥ 3	≥ 3
	閉合圈中獨立觀 測之基線數		≥ 2	≥ 2
	各閉合圈之基線 數		≤ 6	≤ 10
	閉合圈總邊長		≤ 500 km	≤ 300 km
	可剔除之基線數 目佔總獨立基線 數比例		≤ 5 %	≤ 15 %
	各分量之平均閉 合差(ΔX, ΔY, ΔZ)		≤ 15 cm	≤ 25 cm
	各分量之閉合差 (ΔX, ΔY, ΔZ)對閉合 圈總邊長之比數		≤ 2.5 ppm	≤ 5 ppm
	全系各分量之平 均閉合差 (ΔX, ΔY, ΔZ)對閉合 圈總邊長之比數		≤ 1.8 ppm	≤ 3.5 ppm
基線 重複 性	重複觀測基線水 平分量之差值		≤ (10mm + 2 ppm)	≤ (20mm + 4 ppm)
	重複觀測基線垂 直分量之差值		≤ (25mm + 5 ppm)	≤ (50mm + 10 ppm)
成果 精度	邊長標準誤差		≤ (5 mm + 1 ppm)	≤ (10 mm + 2 ppm)
	95%信心區間		≤ (10 mm + 2 ppm)	≤ (20 mm + 4 ppm)

註：衛星定位測量所得之垂直分量為橢球高，而非正高，因此不應與水準測量所得之正高相互混用。橢球高與正高之差異稱為大地起伏，其值可由內政部公告之台灣地區大地起伏模式獲得。

(二) 精密單點定位靜態測量

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。以精密單點定位靜態測量方法實施一、二等基本控制測量之步驟如下：

1. 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。
2. 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。
3. 將上述點位之精密單點定位成果坐標利用國土測繪中心「控制測量網形平差程式」轉換為虛擬基線網。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。
4. 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。

陸、衛星控制點之勘查與埋標基準

一、衛星控制點選取基準

- (一) 點位分布均勻。
- (二) 衛星控制點之選點，以設置於未登記土地及公有土地為原則。

- (三) 對空通視良好。一等衛星控制點之點位遮蔽仰角不得大於 20 度、二等衛星控制點之點位遮蔽仰角不得大於 30 度。
- (四) 地質穩固，無局部滑動之虞。
- (五) 點位附近可長期保持現狀，不做其他用途。
- (六) 遠離廣播電台、電視轉播站、雷達站、微波站、高壓電線及其他 電磁波源，以避免無線電波干擾衛星訊號之接收。
- (七) 近距離內無電磁波反射體(例如金屬板、鐵絲網、及平面狀反射體等)，以減少多路徑效應。
- (八) 以交通便捷，易為測量、工程及其他各界應用為原則。
- (九) 徵得土地所有人或土地管理機關之同意。

二、衛星控制點勘查作業

- (一) 室內圖上作業：根據內政部出版之二萬伍仟分之一地形圖，進行圖上選點作業。
- (二) 實地勘查：由圖上選出的衛星控制點赴現地勘查，勘查衛星控制點時應繪製點位附近詳圖，描述如何到達點位及拍照存查(填寫調查表，如表 1)。
- (三) 原先規劃地點如不適當，則在其附近另覓新點替代之。

三、衛星控制點埋設

因衛星控制點係三維控制點，故須兼具傳統的三角點與水準點之功能。

圖一所示為新設衛星控制點的埋設圖，最上部的銅質活動蓋係鑄模而成，鑄有埋設機構全名。

柒、衛星控制點測量外業須知

一、外業規劃準備及注意事項

- (一) 觀測行程排定，包括每天進行觀測之測站數目及名稱、儀器種類、施測人員分組、車輛配置情形等有關事宜。
- (二) 每天觀測的時段應事先依觀測之衛星數目、點位精度因子(PDOP)、衛星出

沒圖(sky plot)審慎選擇。

- (三) 準備公文及入山許可文件，以備軍事管制區或機關及山地管制區之查驗。
- (四) 檢查接收儀，記憶體容量是否夠用，已觀測資料是否已安全取出存檔。
- (五) 檢查接收儀電池是否已充電，並攜帶備用電池。
- (六) 檢查外業所必須之裝備，包括基座、腳架、天線、天線轉接器、天線電纜、電池等等，應逐一清點，若有故障或缺少者，應事先修正或採購，並列出衛星定位測量裝備一覽表(如表 2)。
- (七) 實際將觀測儀器置於室外，模擬實際狀況，架設起來並操作一次，以確定整組裝備正常與否。
- (八) 攜帶點位間移動行程表、點位觀測時段表及三角點調查有關資料。(包括地圖、點之記等)。
- (九) 約定車輛接送時間及連絡方式。
- (十) 確定安全裝備足夠，如食物、飲水、夜間照明、夜間裝備等。
- (十一) 準備刀、鋸，以便清除衛星控制點位阻礙觀測之草木。

二、觀測程序及應注意事項

- (一) 查看測量標之點號與計劃觀測點號是否符合。
- (二) 架設天線，定心、定平並依指北針調整天線特定標記指向北方，確實接妥天線電纜，量天線高，再確實複查定心、定平。
- (三) 確實接妥天線電纜及電池電纜。(正極接正極、負極接負極)。
- (四) 施測時應按儀器正常操作程序開機，檢查是否正常接收，記憶空間是否夠，電池是否滿載，並確認點號、時段代號、取樣間隔、最低仰角並輸入天線高開始觀測。
- (五) 填寫衛星定位測量觀測記錄表(如表 3)。
- (六) 定時量測溫度，濕度及氣壓並記錄之。
- (七) 定時注意接收儀是否正常接收衛星訊號及訊號品質，若有訊號中斷應於記錄簿中加以描述，並依個人認定判斷其可能原因，提供後續參考之用。

(八) 遇有突發狀況，如地震、下雨、起霧、刮大風或儀器傾倒、斷電等因素，並在記簿中加以描述，可恢復者則恢復之並記錄其時間。

(九) 若點位附近環境已有變更，應將如何到達點位及點位附近情形，繪草圖並描述說明，最好有實測數，如里程（里程表測得）、方位。

三、觀測結束時應注意事項

(一) 通訊連絡各站關機時間並完成衛星定位測量記錄表後關機。

(二) 重量天線高，若有變動則記錄之，並注意光學基座對心是否偏移，有則估計其偏移量及方向。

(三) 收妥各項儀具及裝備。

(四) 臨走前，再查看點位附近是否有物品遺落。

四、返回計算中心時應注意事項

(一) 將使用過之電池加以充電。

(二) 將接收儀內資料取出，並安全地儲存。

(三) 清除已取出之資料檔案。

(四) 向連絡中心報告作業情況。

(五) 填寫外業日誌。

(六) 以資料初算一次，確定資料沒有問題。

(七) 假如觀測時段有連續數天時，確實作好下次觀測時段的檢查工作，包括儀器，電池，充電情形等，以便配合地圖及點之記的描述狀況，提早規劃行程安排。

(八) 若遇天候狀況不佳，或較陌生的深山地區，應事先以電話連絡當地的公路管制站或林務局當地的管制哨，以做為觀測行程的調整。

五、其他事項

由於觀測計劃端賴整體人員的配合，因此應保持各組人員的聯繫，以利工作的順利進行，通訊設備是不可或缺的重要工具。

附錄 A、內政部衛星追蹤站穩定性說明 (略)

附錄 B、附表及附圖 (略)

表 1：衛星控制點調查表

表 2：衛星定位測量裝備一覽表

表 3：衛星定位測量記錄表

圖一：衛星控制點埋設標準示意圖

圖二：衛星追蹤站測量標配置示意圖

圖三：衛星追蹤站主點天線柱施工圖

圖四：衛星追蹤站主點天線萬用接頭

第五章 結論與建議

5.1 結論

- 一、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。
- 二、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。
- 三、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；然而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，導致目前大約每 10 年即需更新 TWD97 坐標系統參考時刻。因此對於維護我國測量基準及參考系統之建議為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。
- 四、已完成「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。

5.2 建議

- 一、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。
- 二、建議進一步研究雙框架策略，新增和國際地球參考框架同步的臺灣時變參考框架(TTRF)，並建立 TWD97 與 TTRF 之間的轉換模

式。

- 三、為長期管理維護現行衛星控制點，建議藉由上述建立之 TWD97 與 TTRF 轉換模式掌握個別衛星控制點的 TWD97 坐標變位狀況，進而分析鄰近控制點之間的相對位移程度，與現行精度規範相比較，作為管理維護控制點之參考。
- 四、有關精密單點定位靜態測量精度方面，建議國土測繪中心以全台分佈較穩定之 e-GNSS 基站之觀測資料自行研究，利用精密星曆進行單點定位計算精度分析。

第六章 參考文獻

1. 內政部，1994。內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範。
2. 史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安，2022。導航衛星系統星系進展：2022，地籍測量，41(3):17-30。
3. 史天元、楊名，2022。全球導航衛星系統增強系統進展：2022，第 50 屆測繪及空間資訊發表會論文集，2022 年 10 月 14 日。
4. 史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安，2022。全球定位系統中金氏碼之應用(The Application of Gold Code in GPS)，地籍測量，41(4):1-11。
5. 史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安，2023。各國導航衛星系統測量手冊探討(On the National GNSS Surveying Guideline)，國土測繪與空間資訊期刊，已投稿。
6. 中國國家標準化管理委員會，2009。全球定位系統測量規範，GB/T 18314-2009。
7. 中國國家標準化管理委員會，2020。衛星導航定位基準站網絡實時動態測量(RTK)規範，GB/T 39616-2020。
8. 國土地理院，2020。マルチ GNSS 測量マニュアル 測量マニュアル 測量マニュアル (案) 一近代化 一近代化 GPS、Galileo 等の活用一，國土交通省。
9. 國土地理院，2020a。マルチ GNSS 測量マニュアル 測量マニュアル 測量マニュアル (案) 一近代化 一近代化 GPS、Galileo 等の活用一，解說，國土交通省。
10. 維基百科，2022。皇家特許測量師學會，<https://zh.wikipedia.org/wiki/皇家特許測量師學會>，前次查訪：2022/06/07。
11. 陳君豪，2008。台灣地區 GPS 誤差監視系統之效能評估，國立成功大學民航研究所碩士論文。
12. Ashour, Islam, Mohamed El Tokhey, Yasser Mogahed, Ahmed Ragheb, 2021. Performance of global navigation satellite systems (GNSS) in absence

- of GPS observations, *Ain Shams Engineering Journal*, 13 (2022) 101589.
13. Cabinet office, 2018. Quasi-Zenith Satellite System Performance Standard (PS-QZSS 001), <https://qzss.go.jp/en/technical/download/pdf/ps-is-qzss/ps-qzss-001.pdf>, Japan government, last accessed on 2022/05/12.
 14. Choi, Byung-Kyu, Kyoung-Min Roh, Haibo Ge, Maorong Ge, Jung-Min Joo, and Moon B. Heo. 2020. Performance Analysis of the Korean Positioning System Using Observation Simulation, *Remote Sensing* 12(20): 3365. <https://doi.org/10.3390/rs12203365>.
 15. Chu, Feng-Yu and Ming Yang. 2014. GPS/Galileo long baseline computation: method and performance analyses, *GPS Solutions*, 18(2): 263-272. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10291-013-0327-7>.
 16. Chiang, Kai-Wei, Hsiu-Wen Chang, Yu-Hua Li, Guang-Je Tsai, Chung-Lin Tseng, Yu-Chi Tien, Pei-Ching Hsu, 2020. Assessment for INS/GNSS/Odometer/Barometer Integration in Loosely-Coupled and Tightly-Coupled Scheme in a GNSS-Degraded Environment, *IEEE Sensors Journal*, 20(6):3057-3069.
 17. Chiang, Kai-Wei, Guang-Je Tsai, Yu-Hua Li, You Li, and Naser El-Sheimy, 2020a. Navigation Engine Design for Automated Driving Using INS/GNSS/3D LiDAR-SLAM and Integrity Assessment, *Remote Sensing*, 12(10):1564.
 18. ESA, 2011. Binary Offset Carrier (BOC), [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Binary_Offset_Carrier_\(BOC\)](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Binary_Offset_Carrier_(BOC)), last accessed on 2022/04/27.
 19. ESA, 2014. GNSS signal, https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GNSS_signal, last accessed on 2022/04/28.
 20. ESA, 2019. GLONASS signal plan, https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GLONASS_Signal_Plan#GLONASS_L3_Band, last accessed on 2022/04/28.

21. ESA, 2020. BeiDou signal plan,
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/BeiDou_Signal_Plan, last accessed on 2022/04/25.
22. ESA, 2021. QZSS, <https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/QZSS>, last accessed on 2022/05/11.
23. ESA, 2021a. GPS signal plan,
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Signal_Plan, last accessed on 2022/04/27.
24. ESA, 2021b. IRNSS Signal Plan,
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/IRNSS_Signal_Plan, last accessed on 2022/04/28.
25. ESA, 2021c. QZSS signal plan,
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/QZSS_Signal_Plan, last accessed on 2022/04/28.
26. ESA, 2022. Galileo signal plan,
https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_Signal_Plan, last accessed on 2022/04/28.
27. EUSPA, 2020. GNSS User Technology Report 2020, European GNSS Agency, European Union Agency for Space Program,
https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/uploads/technology_report_2020.pdf, last accessed on 2022/04/29.
28. Everything RF. 2017. QZSS frequency bands,
<https://www.everythingrf.com/community/qzss-frequency-bands>, last accessed on 2022/04/28.
29. Everything RF. 2021. GPS frequency bands,
<https://www.everythingrf.com/community/gps-frequency-bands>, last accessed on 2022/04/28.
30. Fujiwara, Satoshi, 2011. QZSS and MSAS,
<https://www.unoosa.org/pdf/icg/2011/icg-6/1-1.pdf>, last accessed on

2022/04/30.

31. Ha °kansson, Martin, Anna B. O. Jensen, Milan Horemuz, Gunnar Hedling, 2017. Review of code and phase biases in multi-GNSS positioning, *GPS Solutions*, 21:849-860, <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>.
32. Hirokawa, Rui, Fernández-Hernández, Ignacio, 2020. Open Format Specifications for PPP/PPP-RTK Services: Overview and Interoperability Assessment, *Proceedings of the 33rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)*, pp. 1268-1290. <https://doi.org/10.33012/2020.17620>.
33. Lekkerkerk, Huibert-Jan, 2022. Examining Developments in Constellations, Augmentation and Receivers, *Incremental Improvements in GNSS, Hydro International*, https://www.hydro-international.com/content/article/examining-developments-in-constellations-augmentation-and-receivers?sid=14746&utm_campaign=Newsletter%20%7C%20Hydro%20%7C%2003%20Mei%202022%20&utm_medium=email&utm_source=newsletter?output=pdf, last accessed on 2022/05/04.
34. Liu, Yan, Cheng Yang, Mengni Zhang. 2022. Comprehensive Analyses of PPP-B2b Performance in China and Surrounding Areas, *Remote Sensing*, 14(3): 643. <https://doi.org/10.3390/rs14030643>.
35. ICSM, 2014. *Guideline for Continuously Operating Reference Stations, Special Publication 1, Version 2.1*, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).
36. ICSM, 2020. *Guideline for Control Surveys by GNSS, Special Publication 1, Version 2.2*, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).
37. International Loran Association, 2007. *Enhanced Loran (eLoran) Definition Document*, <https://rntfnd.org/wp-content/uploads/eLoran-Definition-Document-0-1-Released.pdf>, last accessed on 2022/05/11.

38. Kidder, Stanley Q., Thomas H. Vonder Haar, 1990. On the use of satellites in Molniya orbit for meteorological observation of middle and high latitudes, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, American Meteorological Society, 7:517-522. <http://cat.cira.colostate.edu/kidder/Molniya.pdf>, last accessed on 2022/05/12.
39. KKVA, 2010. Einsatz von GNSS bei der Bestimmung von Detailpunkten in der amtlichen Vermessung, Konferenz der Kantonalen Vermessungsämter. (應用GNSS於地籍測量，Use of GNSS to determine detail points in cadastral surveying)
40. Kogure, Satoshi, 2020. QZSS update, <https://www.gps.gov/cgsic/meetings/2020/kogure.pdf>, last accessed on 2022/04/25.
41. Leick, A.; Rapoport, L.; Tatarnikov, D., 2015. *GPS Satellite Surveying*, 4th ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA.
42. LINZ, 2012. *Guidelines for Simplified Geodetic Control Survey, V2.1*, National Geodetic Office, LINZ, New Zealand Government.
43. Marshall, Christopher, Lachlan Ng, Eldar Rubinov, 2019. SBAS Test-bed demonstration project technical report, FrontierSI, <https://frontiersi.com.au/wp-content/uploads/2018/08/SBAS-Test-bed-Technical-Report.pdf>, last accessed on 2022/04/30.
44. Ma, X., C. Tang, X. Wang, 2019. The evaluation of IRNSS/NavIC system's performance in its primary and secondary service areas - data quality, usability and single point positioning. *Acta Geodaetica et Geophysica*. <https://doi:10.1007/s40328-019-00246-8>.
45. Montenbruck, O; Steigenberger, P and Hauschild, A, 2018. Multi-GNSS signal-in-space range error assessment - Methodology and results, *Advances in Space Research*, 61(12):3020-3028. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.03.041>.

46. Montenbruck, O., Steigenberger, P., & Hauschild, A., 2020. Comparing the ‘Big 4’ -A user’s view on GNSS performance, 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), pp. 407 – 418. IEEE. <https://doi.org/10.1109/PLANS46316.2020.9110208>.
47. Morán, Guillermo Martínez, 2014. Future GNSS: Improved Signals and Constellations, tc2014 - 34. European Telemetry and Test Conference, <https://www.ama-science.org/proceedings/details/1836>,
48. Mi, Xiaolong, Baocheng Zhang, Yunbin Yuan, 2019. Multi-GNSS inter-system biases: estimability analysis and impact on RTK positioning, GPS Solutions, 23:81. <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0873-8>.
49. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017. Cadastral Survey Regulations by GNSS, Enforcement 2017. 7. 1., Ministry of Land, Infrastructure and Transport Regulations No. 183, 2017. 6. 23., partially amended, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Spatial Information System Division), Korea, 044-201-3485.
50. NZIS, 2017. NetworkRTK – New Zealand, A summary of the concepts, methods, limitations and services in New Zealand, Version 17.01, Positioning and Measurement, New Zealand Information Service.
51. Reddy, Akhileshwar, 2022. NavIC System and Applications – Status & Update, https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2022/Tokyo2022/NavIC_GNSS_Training2022.pdf, last accessed on 2022/05/13.
52. Ontario government, 2004. Ontario Specification for GPS Control Surveys, Geomatics Office, Ministry of Transportation of Ontario, St. Catharines, and Provincial Georeferencing, Ministry of Natural Resources, Peterborough
53. Queensland government, 2021. Guideline, GNSS Control Surveys, Department of Transportation and Main Roads.

54. RICS, 2010. Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping, 2nd edition (GN 13/2010), the Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS). <https://www.rics.org/uk/upholding-professional-standards/sector-standards/land/guidelines-for-the-use-of-gnss-in-land-surveying-and-mapping/>.
55. Seeber, Guenter, 2003. Satellite geodesy, 2nd edition, Walter de Gruyter GmbH & Co. Berlin New York.
56. Spirent, 2011. What is Binary Offset Carrier Modulation? https://www.spirent.com/blogs/2011-05-31_what_is_boc_modulation, last accessed on 2022/04/27.
57. Teunissen, Peter J.G., Oliver Montenbruck, 2017. Handbook of GNSS, Springer International Publishing, <https://DOI:10.1007/978-3-319-42928-1>.
58. Trimble, 2018. Data sheet, Alloy GNSS reference receiver, https://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-992352/022506-243F_Alloy_GNSS_Ref_Receiver_A4_DS_1021_LR%20-%20sec.pdf, last accessed on 2022/05/15.
59. TSA, 2008.. An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain, by Stuart Edwards, Peter Clarke, Sibylle Goebell, Nigel Penna, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC, and TSA. https://gnss.itacyl.es/documents/1088492/0/An_examination_of_commercial_network_RTK_GPS_services_in_Great_Britain_.pdf/959bfa2d-88cb-8c5a-cdc0-3461cda538b0?t=1596707078919.
60. TSA, 2012. Further testing of commercial Network RTK GNSS services in Great Britain (NetRTK -2), by Nigel Penna, Peter Clarke, Stuart Edwards, Matt King, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Issue 1 April 2012 ©TSA, Collaboration between Ordnance

- Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC.
https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.
61. TSA, 2015. Guidance notes for GNSS Network RTK Surveying in Great Britain, Issue 4 May 2015 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC.
https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.
 62. Upadhyay, Dhaval, Vijay Singh Bhadouria, 2021. Overview of New NavIC L1 SPS Signal Structure & SBOC Modulation and Modified-CEMIC Multiplexing Scheme,
https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2022/Tokyo2022/NavIC_GNSS_Training2022.pdf, last accessed on 2022/05/13.
 63. USGS, 2012. Methods of Practice and Guidelines for Using Survey-Grade Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to Establish Vertical Datum in the United States Geological Survey, Chapter 1 of Section D, Field Survey Methods, Book 11, Collection and Delineation of Spatial Data, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
 64. VDOT, 2021. GNSS and Control, Survey Manual, Chapter 5, Location and Design Division, Virginia Department of Transportation
 65. Wikipedia, 2022. Radio navigation,
https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_navigation, last accessed on 2022/05/10.
 66. Wikipedia, 2022a. Global Positioning System,
https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System, last accessed on 2022/04/25.
 67. Wikipedia, 2022b. GLONASS, <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>, last accessed on 2022/04/25.

68. Wikipedia, 2022c. Galileo (satellite navigation), [https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(satellite_navigation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_(satellite_navigation)), last accessed on 2022/04/25.
69. Wikipedia, 2022d. Indian Regional Navigation Satellite System, https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System, last accessed on 2022/04/25.
70. Wikipedia, 2022e. GPS signals, https://en.wikipedia.org/wiki/GPS_signals#I5_and_Q5_codes, last accessed on 2022/04/27.
71. Wikipedia, 2022f. British space program, https://en.wikipedia.org/wiki/British_space_programme, last accessed on 2022/5/12.
72. Wikipedia, 2022g. OneWeb satellite constellation, https://en.wikipedia.org/wiki/OneWeb_satellite_constellation, last accessed on 2022/5/12.
73. Yang, Yuanxi, Qun Ding, Weiguang Gao, Jinlong Li, Yangyin Xu and Bijiao Sun, 2022. Principle and performance of BDSBAS and PPP-B2b of BDS-3, *Satellite Navigation* (2022) 3:5, <https://doi.org/10.1186/s43020-022-00066-2>.
74. ICSM, 2014. *Guideline for Continuously Operating Reference Stations, Special Publication 1, Version 2.1*, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).
75. ICSM, 2020. *Guideline for Control Surveys by GNSS, Special Publication 1, Version 2.2*, Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping (ICSM), Geodesy Working Group (GWG).
76. KKVA, 2010. *Einsatz von GNSS bei der Bestimmung von Detailpunkten in der amtlichen Vermessung, Konferenz der Kantonalen Vermessungsämter. (應用GNSS於地籍測量，Use of GNSS to determine detail points in cadastral surveying)*

77. LINZ, 2012. Guidelines for Simplified Geodetic Control Survey, V2.1, National Geodetic Office, LINZ, New Zealand Government.
78. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017. Cadastral Survey Regulations by GNSS, Enforcement 2017. 7. 1., Ministry of Land, Infrastructure and Transport Regulations No. 183, 2017. 6. 23., partially amended, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Spatial Information System Division), Korea, 044-201-3485.
79. NZIS, 2017. NetworkRTK – New Zealand, A summary of the concepts, methods, limitations and services in New Zealand, Version 17.01, Positioning and Measurement, New Zealand Information Service.
80. Ontario government, 2004. Ontario Specification for GPS Control Surveys, Geomatics Office, Ministry of Transportation of Ontario, St. Catharines, and Provincial Georeferencing, Ministry of Natural Resources, Peterborough
81. Queensland government, 2021. Guideline, GNSS Control Surveys, Department of Transportation and Main Roads.
82. RICS, 2010. Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping, 2nd edition (GN 13/2010), the Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS). <https://www.rics.org/uk/upholding-professional-standards/sector-standards/land/guidelines-for-the-use-of-gnss-in-land-surveying-and-mapping/>.
83. TSA, 2008.. An examination of commercial network RTK GPS services in Great Britain, by Stuart Edwards, Peter Clarke, Sibylle Goebell, Nigel Penna, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC, and TSA. https://gnss.itacyl.es/documents/1088492/0/An_examination_of_commercial_network_RTK_GPS_services_in_Great_Britain_.pdf/959bfa2d-88cb-

[8c5a-cdc0-3461cda538b0?t=1596707078919](https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf).

84. TSA, 2012. Further testing of commercial Network RTK GNSS services in Great Britain (NetRTK -2), by Nigel Penna, Peter Clarke, Stuart Edwards, Matt King, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, Issue 1 April 2012 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC.
https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.
85. TSA, 2015. Guidance notes for GNSS Network RTK Surveying in Great Britain, Issue 4 May 2015 ©TSA, Collaboration between Ordnance Survey, Leica, Topcon, Trimble, RISC.
https://www.smartnetna.com/documents/TSA_GuidanceNote_NetworkRTK_BestPractices.pdf.
86. USGS, 2012. Methods of Practice and Guidelines for Using Survey-Grade Global Navigation Satellite Systems (GNSS) to Establish Vertical Datum in the United States Geological Survey, Chapter 1 of Section D, Field Survey Methods, Book 11, Collection and Delineation of Spatial Data, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
87. VDOT, 2021. GNSS and Control, Survey Manual, Chapter 5, Location and Design Division, Virginia Department of Transportation.

附錄一、報告審查意見及回覆

期末報告審查意見及回覆

審查意見	意見回覆
高委員書屏	
1. 本案研究成果符合本案需求，可供實際作業參考及應用。	1. 感謝委員肯定。
2. 日本 GSI 採用之多星系觀測量是否有納入北斗星系之觀測量?其他國家是否有納入亦請說明。	2. 日本 GSI 並未將北斗星系觀測量納入，其餘國家目前亦沒有。
3. 建議依照合約規範將本案各項作業項目列出，並據以分項說明成果，進而綜合整理研究成果據以撰寫結論及建議。	3. 加入表 1-2 說明工作項目完成內容及期程(P5)。結論與建議將依據各項成果撰寫。
4. 參考基準提及衛星追蹤站應以 IGS 站做為參考基準(本項新增)，一等衛星點應以衛星追蹤站為參考基準。	4. 由於目前衛星追蹤站數據分析係以 IGS 站作為參考基準，故新增本項。將與國土測繪中心商討如何調整條文。
洪委員本善	
1. 研究項目內容皆已達標，其中有關比較各國作業手冊應用於相關實務作業之優劣勢分析，似乎不夠明確，請加強呈現。	1. 謝謝建議。早期版本曾試圖建立表單，但是由於情境甚多，無法整理出易讀且符合 A4 規格之版本。本文已加入一個表單於附錄三，陳述簡化版的最少觀測時段、據取樣間隔、觀測衛星數目、幾何圖形強度 (DOP) 要求等。確

	實有助於讀者理解，十分感謝委員建議。
2. P84，1、表內網形設計上二等衛星測量需同時觀測之上級控制點之距離 ≤ 3 km，2、在精度規範上，二等衛星控制點之閉合圈總邊長應 ≤ 300 km。通常在閉合圈檢核時，大都採用3-5個邊組合一閉合圈，以二等衛星控制點間距離，300 km似乎太寬鬆，建議賦予適當值。	2. 感謝委員提供建議。由於本表所述之閉合圈總邊長係依照「基本測量實施規則」所規定之數值，將與國土測繪中心商討如何調整條文，以切合實務狀況。
3.有關精密單點定位靜態測量精度方面，建議國土測繪中心以全台分佈較穩定之e-GNSS基站之觀測資料自行研究，利用精密星曆進行單點定位計算精度分析。	3.謝謝建議，將納入建議中(P99)。
李委員振燾	
1. 第 71 頁：所謂的 peak-to-peak 誤差，建議增列適當中文名詞。	1. 感謝委員，已依建議增列中文名詞(P76)。
2.第 84 頁：(二) 精密單點定位靜態測量觀測時間長度一等衛星控制點 ≥ 8 hr、二等衛星控制點 ≥ 4 hr，請說明本項之參考來源，並建議經實驗數據	2. 感謝委員，已依建議修改條文附註(P90)，並說明後續經實驗數據驗證分析後將再行修正。

分析訂定。	
3.第 86 頁：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，建議說明是何種軟體。	3. 本條文是指使用應相同軟體處理一、二等衛星控制點以及衛星追蹤站之相同時段、相同星系觀測資料，以獲得各點位(控制點及追蹤站)之精密單點定位坐標成果。軟體僅需是可處理衛星追蹤站資料之軟體即可，並不限何種軟體。
4.第 86 頁：將上述點位之精密單點定位成果坐標轉換為虛擬基線網。建議納入第 55 頁利用國土測繪中心「控制測量網形平差程式」轉換為虛擬基線網。	4. 謝謝委員，已依建議修改(P93)。
陳委員國華	
1.本案各項成果符合契約規定，研究成果豐富，予以肯定。	1. 感謝委員肯定。
2.第 84~85 頁，對照於附錄七，針對我國辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範，建議可於下階段探討分析下列事項： (1)精密單點定位作業規範，目前僅就觀測時間予以規範，是否可再思考增列若干規範項目？ (2)在相對定位的檢核規範，基	2. 感謝委員，所提建議將納入下階段探討分析事項(P98)。

<p>線分量(ΔX、ΔY、ΔZ)建議可思考亦採水平、垂直分量表示。</p> <p>(3)在垂直分量規範中，建議可與高程現代化之議題結合。</p>	
<p>3. 第 86 頁提及精密單點定位的 IGS 星曆使用，建議可進一步探討快速星曆的應用與可達精度，以能提供外業(例如災後資訊)之即時應用。</p>	<p>3. 由於基本測量實施規則之一、二等控制點測量精度規範規定必須使用精密星曆，因此本計畫所提草案暫不考慮使用快速星曆，但將列入下階段探討分析事項。</p>
<p>4. 第 87 頁：提及若干外業工作時應注意事項，建議於規範修訂時，一併考量予以文字調整或增刪。</p>	<p>4. 感謝委員建議，將與國土測繪中心商討如何進行文字調整。</p>
<p>吳委員俊毅</p>	
<p>1.有關多星系求解，目前是建議使用「混合」還是「統合」呢？</p>	<p>1.目前可用於計算「統合」之軟體僅有日本學術軟體 RTK-LIB，並無其他商用軟體可使用，目前使用「統合」方式求解。</p>
<p>2.本專案已完成基本控制點衛星定位測量作業規範(草案)，其和國土測繪中心 110 年度「採用電子化全球衛星即時動態定位系統辦理控制測量作業手冊」之差異為何？兩者是否可</p>	<p>2. 本計畫所提草案係針對一、二等衛星控制點靜態定位測量之作業規範，與國土測繪中心 110 年度「採用電子化全球衛星即時動態定位系統辦理控制測量作業手冊」之主旨及適用對象皆不同，因此兩者並無互相衝突之處。</p>

<p>以同時兼容，且是否有互相衝突之處。</p>	
<p>3.本專案研擬之作業規範納入多星系及精密單點定位靜態測量方法，期待後續實際驗證其精度能夠符合相關規範，有助於後續一、二等衛星控制點施測工作。</p>	<p>3.謝謝指導，後續實際驗證已納入後續建議(P98)。</p>
<p>4.有關作業規範所列解算軟體，因專家學者會議建議不宜列出相關軟體名稱，但為了後續應用，建議由國土測繪中心正面表列符合之解算軟體，有助於後續解算成果之品質保證。</p>	<p>4. 感謝委員建議，將與國土測繪中心商討如何進行後續調整。</p>
<p>5.請團隊於結論補充有關衛星控制點長期管理維護機制之建議，提供給國土測繪中心作為後續維護之參考依據。</p>	<p>5. 遵照辦理，已新增建議事項於 5.2 節 (P99)。</p>
<p>陳委員鶴欽</p>	
<p>1.日本 GSI「混合」和「統合」所應用之解算軟體為何?市面上商業軟體是否有此功能。</p>	<p>1. 目前可用於計算「統合」之軟體僅有日本學術軟體 RTK-LIB，並無其他商用軟體可使用</p>
<p>2. 第 81 頁的作業規範，因尚未核定公告，所以請加上”（草案）” 2 個字。</p>	<p>2.遵照辦理(P88)。</p>

3. 有關附錄所附的發表文章資料請更新。	3.遵照辦理(附錄九)。
4. 建議將簡報時提及後續研究方向納入研究報告建議事項，如增加時變基準研究、建立 TWD97 與國際框架轉換……等等項目。	4. 感謝委員建議，已將針對雙框架策略之後續研究，以及建立 TWD97 與臺灣時變參考框架(TTRF)之轉換模式列為建議事項，請參照 5.2 節(P99)。
國土測繪中心業務單位	
1.報告中蒐集了多國多地區的 GNSS 衛星測量作業手冊或規範，有些專有名詞可能某種新的技術國內尚未使用、或與國內相關作業所使用的名詞不同，為增加報告的普遍性、可看性，建議在附錄中增加相關名詞的解釋（以較淺顯易懂的說法），例如統合、混合、準天頂衛星、……。	1. 感謝建議。已增加附錄二，說明「統合」、「混合」與「準天頂衛星」。
2. 感謝計畫主持人及團隊，在執行本委託研究案期間於國內外研討會或期刊發表多篇論文，建議在附錄中載明論文的相關資訊，並將論文內容收錄在成果光碟中。	2.遵照辦理。
3. 國內 GNSS 衛星測量基線計	3. 遵照辦理，已新增關於精密單點定位

算一般採用相對定位方式辦理，其相關原理已為大眾熟知。報告中研擬的作業規範有建議可採精密單點定位方式辦理，為一新增作業方式，建議在報告中簡略敘明這種方式的定位原理及其相關改正項目。

原理及改正項目之敘述於 2.2 節(P13)。

期中報告審查意見及回覆

審查意見	意見回覆
高委員書屏	
1.針對比較國外六個國家手冊或規範差異及實務作業優劣採列表方式顯示，並就臺灣現行作業規範條文逐條對應討論，擇適合者對應之。	感謝委員建議。國外規範因各國國情不同，規範之制訂原則及出發點差異較大，較難以列表方式評斷優劣。已針對台灣現行作業規範條文逐條對應討論，請參照附錄七。
2.討論議題建議就上述欲修訂或增列之條文討論為主，原規範未訂或參酌其他國家值得採用之理論為輔。	已依照建議辦理。
洪委員本善	
1.P2-18 最後一行 GPS 採用的是 CDMA，是否還有哪些星系也是，若是，則請一併寫入較為完整。	已修訂。
2.多顆衛星的訊息皆採用同一頻率之 CDMA 多工方式，是否再加強內容說明。Gold Code 技術如何以 pseudo-noise 技術來辨識導航訊息是屬於那些衛星的？	已依照審查意見辦理，全球定位系統中金氏碼之應用參見附錄八。
3.就實務來說，認同兩階式控制測量作業規範的建議(基準、應用兩階式)。	感謝委員肯定。

陳委員國華	
1.本案期中報告成果豐富，文獻回顧詳實，予以肯定。	感謝委員肯定。
2.就科學分析的角度，可就控制點的分級、測量方法(靜、動態、基線相對定位、單點定位)、計算方式、儀器規範及基準維護等議題進行探討，是否可探討地籍測量的使用規範?亦或檢定場之使用規範。	本研究修訂之規範為「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」，尚未涉及地籍測量。
3.就公部門行政的角度，建議探討與已公告的法規，例如國土測繪法、地籍測量實施規則的執行面與修正建議。	已針對現行作業規範條文逐條對應討論，請參照附錄七。
4.就應用面而言，建議就主要的用途，例如監測、導航、地籍、製圖……等，提出應對的作業規範，以提供實務應用之參考。	本研究修訂之規範為「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」，尚未涉及導航、製圖等應用。
5.本案探討現今各星系的現況及其統合的作業方式與規範，然就實務面而言，實有不同型式之儀器，而僅可獲得其能接收之星系資料，建議可探討不同星系的表現，而有對應的作業	已針對儀器型式及內業計算軟體提出規範建議，請參照附錄七。

<p>規範建議。同理，在內業計算軟體的使用方式與模式（修正），期望可提供對應的處理及模式引用之建議。</p>	
<p>陳委員鶴欽</p>	
<p>1.日本的手冊中有關一級儀器已更新至 225 種，建議期末報告之參考文獻可加註查閱日期，並加以補充一級及二級儀器的差異處？</p>	<p>感謝委員建議。日本國土地理院之測量儀器分級，於「測量機器性能基準」文件中規範 (https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/seino/seinokijun.pdf)。 GNSS 接收儀一級儀器受信帶為雙頻(含)以上，二級儀器受信帶為單頻。 令和 4 年(2022 年)11 月 10 日更新為 226 項。已於文件中更新、加註。</p>
<p>2.實務作業上，對於不同等級控制點之觀測時間差異是一個重要考量因素，建議期末報告可加以補充說明或提列參考文獻資料。</p>	<p>依照審查意見辦理，請參照附錄七內之附註說明。</p>
<p>3.基本測量實施規則中有規定儀器裝備必須定期校正，在內政部舊版規範並無此規定，建議未來擬定作業規範時一併將此納入。</p>	<p>已依照審查意見辦理。</p>
<p>國土測繪中心業務單位</p>	

<p>1.本計畫所收集之各國規範或手冊，建議將其納入期末繳交之成果光碟。</p>	<p>依照建議辦理。</p>
--	----------------

附錄二、名詞解釋

1. 統合處理：本名詞為沿用日本手冊之漢字名稱，意指將各衛星觀測訊號觀測量，無分星系，直接整體平差。由於不同星系之觀測量間具有相對之系統性偏差(Inter System Bias, ISB)，所以此一處理方式須能有效納入衛星接收儀之 ISB 校正。
2. 混合處理：本名詞為沿用日本手冊之漢字名稱，意指將各衛星觀測訊號觀測量依星系區分，分別平差定位，再將各星系成果加權平均。由於區分星系求解，無須 ISB 校正。但是各星系觀測之衛星數與幾何條件，均需各自達到解算要求。
3. 準天頂衛星系統(QZSS, Quasi-Zenith Satellite System)：日本所發展之星基增強系統，相關細節請參考本文 2-4，由第 31 頁起。

附錄三、國外基本控制點衛星測量作業手冊或規
範部分指標型數值整理

測量作業標準目的在於確認測量成果，為簡化執行的程序，傳統衛星定位測量規範中，常見規範一些指標型的數字。例如：最少觀測時段、最短數據取樣間隔、最少觀測衛星數目、最大幾何圖形強度(DOP)、等，關於觀測數據面向的指標，以及成果檢驗的精度指標要求(相對精度、角度較差)。謹就上述指標，整理列如表。由於當代規範，如國土地理院(2020)，考量之情境多元，這些指標是不適合列入單一個表單比較的，要了解各國規範，詳讀文件是必要的。故而本表僅就限定的情況列舉，不適合作為統整比較。表裡國土地理院(2020)的數值情境為：靜態測量，觀測距離在 10 公里或以上的觀測，使用一級 GNSS 測量機採用 2 個頻率或 3 個頻率進行觀測。測量標的為一級至二級參考點測量。中國國家標準化管理委員會(2009) 的數值情境為：靜態測量，測量標的為 B 級控制點測量，使用雙頻接收儀。由於整體的作業為以網形為考量，詳細的情境需要參照原文件。中國國家標準化管理委員會(2020)為針對 NRTK 規範，情境為：測量標的為一級平面控制點測量，使用雙頻接收儀。LINZ(2012) 情境為：測量標的為五級控制點測量，對於本表所列觀測指標均無規範，要求為達成控制點所需精度。RICS (2010) 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。表中情境為高精度(5-10mm)靜態測量。

關於測量定位方式，在表中所列手冊裡，除 RICS (2010)外，均排除 PPP 作業方法。在加拿大 NRCanada (2015)之即時動態及網形即時動態(RTK, RTN)手冊中則有描述，針對 CSRS-PPP 服務討論。

部分觀測指標整理表

文件	最少觀測時段	最長數據取樣 間隔(秒)	最少觀測 衛星數目	最大幾何圖 形強度
國土地理 院(2020)	120(分鐘)	30	5	無規範
中國國家 標準化管 理委員會 (2009)	23(小時)	30	4	無規範
中國國家 標準化管 理委員會 (2020)	無規範	無規範	同一系統 衛星個數 >4	PDOP<6
ICSM (2020)	6-24(小時)視基線 長度選擇	30	無規範	無規範
LINZ(2012)	無規範	無規範	無規範	無規範
RICS (2010)	30 公里>2(小時) 50 公里>4(小時) 100 公里>6(小時)	15 或 30	>6	GDOP<3

附錄四、日本多 GNSS 測量手冊及手冊解說

國土地理院技術資料 G1-No.18

多全球導航衛星系統測量手冊（草案）-使用現代化 GPS，伽利略等。

令和 2 年 6 月

國土交通省國土地理院

目次。

【序】概說	-----	附 1-1
1. 開始	-----	附 1-2
2. 使用手冊	-----	附 1-2
3. 執行工作的程序	-----	附 1-2
第一章 總則	-----	附 1-3
第二章 多 GNSS 測量	-----	附 1-3
第一節 要旨	-----	附 1-3
第二節 觀測	-----	附 1-3
第三節 計算	-----	附 1-8

【序】概說

1. 開始

近年來，不僅美國的 GPS，還有日本的準天頂衛星系統、俄羅斯的 GLONASS、歐盟伽利略衛星定位系統，將可用於多種類型的定位衛星正在準備可以使用新頻段訊號的"多 GNSS"環境。

同樣在測量領域，通過利用這種多 GNSS 訊號，即使在由於天空視野等限制而難以單獨使用 GPS 進行測量的地區，也有望擴大可測量的地點和時間。建築物和山區等地區。除了過去使用的頻帶（L1 和 L2）之外，通過使用 L5 執行 3 頻率定位，還可以在更短的觀察時間內實現與以前相同的精度。

為了滿足這樣的期望，本手冊以國家土地研究所進行的技術開發和示範實驗為基礎，並假設未來使用的 GNSS 和目前正在部署的 L5、GPS、準天頂衛星系統的進展情況。本手冊展示了通過單獨或組合使用 GLONASS 和 Galileo 等多個 GNSS 訊號進行測量（以下稱為“多 GNSS 測量”）做為確定新參考點位置的工作方法。

作業規程準則(平成 20 年國土交通省告示第 413 號。以下稱為「準則」。)第 2 項第 2 款第 2 項規定的 GNSS 衛星組合，是本手冊規定的 GNSS 衛星組合的一部分，本手冊擴展了該規則的規定。

2. 使用手冊

2.1 手冊的目的和適用範圍

本手冊在《條例》第十七條（設備等和工作方法的特殊規定）第三款中規定，定義了多 GNSS 測量的標準工作方法，統一了標準，並提供了所需的精度。目的是確保所需的精度。在本手冊中，除了使用 L5 和 Galileo 之外，假設在觀測條件惡劣的地方使用不同衛星定位系統之間的相位差分析，例如在天空能見度有限的建築物街道（以下簡稱“統合處理”）也有規定。

本手冊適用範圍為 1 級至 4 級參考點測量。

2.2 配置手冊

本手冊的配置如下。

【前言】引言

第一章 總則

第二章 多 GNSS 測量

3. 執行工作的程序

國家、都道府縣、市町村等測繪規劃機構（以下簡稱“規劃機構”）進行多 GNSS 測量時，應根據測量法（昭和 24 年法律第 188 號）第 36 條的規定，必須向國土地理院提交公共調查實施計畫，以獲得技術諮詢。在這種情況下，應當明示《條例》第十七條第三款的規定。

第一章 總則

(用途及適用範圍)

第 1 條

本手冊的目的是建立多 GNSS 測量的標準工作方法，統一標準，保證所需的精度。

第二章 多 GNSS 測量

第一節 要旨

(準則的適用)

第二條

除本手冊中另有規定外，這些規則比照適用。

(要旨)

第三條

本章規定了多導航衛星系統測量的工作方法。

2

“GNSS”是來自人造衛星的訊號確定位置的衛星定位系統的總稱，有 GPS、準天頂衛星系統、GLONASS、伽利略等衛星定位系統。本手冊中的多 GNSS 測量應用 GPS、準天頂衛星系統、GLONASS 和 Galileo。準天頂衛星可以被視為等同於 GPS 衛星的衛星，這些衛星被稱為 GPS/準天頂衛星。

第二節 觀測

(要旨)

第四條

“觀測”是指使用基於平均圖(網形分布圖)等的 GNSS 測量儀器接收來自 GNSS 衛星的無線電波並記錄相位數據等的工作。

(設備)

第五條

用於觀察的標準設備是下表所列設備或同等或更好的設備。

觀測 L5 時，除了具有一流的 GNSS 測量儀器性能外，還要使用具有 L5 接收功能的儀器。

設備	性能（接收頻段數）	摘要
第一級 GNSS 測量機	根據規則附表 1	當觀測距離小於 10 公里時，可使用。
第二級 GNSS 測量機		

(設備的檢查和調整)

第六條

觀測開始前和觀測期間，對觀測所用設備進行適當檢查，必要時對設備進行調整。

2.

在基線分析中進行綜合處理時，除非用於觀測的 GNSS 測量儀(接收體)型號相同，否則共兩次，在觀測開始前和所有觀測完成後，GNSS 測量儀(接收機構)，應估計 ISB (Inter System Bias, 系統間偏差) 並檢查 ISB 的差異。GNSS 測量儀(receiver, 接收機本體) 型號相同時，表示型號名稱、內板型號、韌體版本相同。

3.

下表是 ISB 差異允許範圍的標準，超過允許範圍的 GNSS 測量儀器(接收器本體)之間的基線分析不進行統合處理。

項目	公差
ISB 差	10mm

(觀測之實施)

第七條

觀測圖(觀測量設計圖)應當根據規劃機構批准的平均圖(網形分布圖)編制。

2

以平均圖等為基礎，根據以下項目進行觀測。

- 一、對於觀測距離在 10 公里或以上的觀測，使用一級 GNSS 測量機採用 2 個頻率或 3 個頻率進行觀測。但是，當使用二級 GNSS 測量機時，可以提供節點，使觀測距離小於 10 公里。
- 二、使用性能為二級或更高的 GNSS 測量儀器以一個頻率進行觀測距離小於 10 公里的觀測。但是，對於一級的 GNSS 測量儀器，可以在 2 個或 3 個頻率下執行。
- 三、下表是三種觀察方法的標準。

觀測方法	觀測時間	資料獲取間隔	摘要
靜態方法 (Static method)	120 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(2 個頻率, 超過 10 公里)
	90 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(3 個頻率 ※1、10km 以上)

	60 分鐘以上	少於 30 秒	一級至二級參考點測量(少於 10 公里) 第 3 級至第 4 級參考點測量
短時靜態方法 (Short static method)	20 分鐘以上	15 秒或更少	3~4 級參考點測量
動態方法 (Kinematic method)	10 秒以上※2	5 秒以下	3~4 級參考點測量
RTK 法※4	10 秒以上※3	1 秒	3~4 級參考點測量
網路類型 RTK 方法※4	10 秒以上※3	1 秒	3~4 級參考點測量
備考	※1 在 3 個頻率的情況下,使用發射 3 個頻率的衛星確保第 4 項中規定的使用衛星數量。 ※2 可以獲取 10 個 epoch 或更多 epoch 資料的時間。 ※3 設置時間可以獲取 10 個 epoch 或更多的數據,以便獲得整數解(Fix)。 ※4 應包括以後處理方式進行分析的情況。		

四、GNSS 衛星組合使用的標準衛星數量如表 A 所示,但如果很難做到,可以使用表 B。

A 在基線分析中不執行統合處理時

測量方法 GNSS 衛星組合	靜態方法	靜態方式 (10km 以上) 縮短靜態方法 運動學方法 RTK 方法 網路類型 RTK 方法
GPS-準天頂衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星和 GLONASS 衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星和伽利 略衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星 和伽利略衛星	6 個或更多衛星	7 個或更多衛星
GLONASS 衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
摘要	使用多個衛星定位系統的衛星進行觀測時、 每個系統使用 2 個以上衛星。	

B 在基線分析中在 GPS-準天頂衛星和伽利略衛星之間進行統合處理時

觀察方法 GNSS 衛星組合	靜態方法	靜態方式 (10km 以上) 縮短靜態方法 運動學方法 RTK 方法
GPS-準天頂衛星和伽利 略衛星	4 個或更多衛星	5 個或更多衛星
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星和伽利 略衛星	5 個或更多衛星	6 個或更多衛星
摘要	使用 GLONASS 衛星進行觀測時，請使用兩顆或更 多顆 GLONASS 衛星。	

五、下表是 GNSS 衛星組合可使用的頻段標準。

用於觀察的頻率 GNSS 衛星組合	1 頻率	2 頻率	3 頻率
GPS-準天頂衛星	L1	L1+L2 或 L1+L5	L1+L2+L5
GPS-準天頂衛星 和 GLONASS 衛 星			
GPS-準天頂和伽 利略衛星			
GPS-準天頂衛星， GLONASS 衛星 和伽利略衛星			
GLONASS 衛星		L1+L2	-----

六、天線高應測量到毫米。

七、高程觀測中兩站距離為 500 米或以下時，橢球高高度差可以作為兩站間高程差。

八、考慮到全球導航衛星系統衛星的運行狀態、飛行資訊等，應避免使用偏心觀測的安排。

九、GNSS 衛星的最低高度角以 15 度作為標準。

十、靜態法和短時靜態法按如下方式執行。

- A. 靜態法是將 GNSS 測量儀器放置在多個觀測點，同時接收來自 GNSS 衛星的訊號，根據訊號進行基線分析，得到觀測點之間的基線向量的一種觀測方法。
- B. 在短時靜態法中，將 GNSS 測量儀器放置在多個觀測點，同時接收來自 GNSS 衛星的訊號，並且為了縮短觀測時間，在基線分析中創建了大量的衛星組合。是一種獲取觀測點間基線向量的觀測方法。
- C. 製作觀測圖(觀測量設計圖)時，應輸入同時使用多個 GNSS 測量儀器進行的觀測(以下簡稱“時段”，Session)計劃。
- D. 僅電子基準點為已知點的情況以外的觀測，應使連接已知點和新點的折線成為閉合多邊形，並通過以下任一方式進行觀測。
 - (1) 通過組合不同的觀測時段並進行觀察，形成一個多邊形進行檢查。
 - (2) 為不同觀測時段的檢查執行一側或多側的重疊觀測。
- E. 只有電子參考點為已知點時的觀測，應通過在所有使用的電子參考點處與一個或多個其他電子參考點形成一條線來進行。未包含在電子基準點之間連接的檢查路徑中的觀測時段應符合 D 中的 (1) 或 (2)。
- F. 靜態法和短時靜態法中的天線高應測量到 GNSS 天線的底部。標準天線高是垂直測量標誌上表面到 GNSS 天線下表面的距離。

十一、動態法在放置參考 GNSS 測量儀的觀測點（以下簡稱“固定站”）和移動觀測點（以下簡稱“移動站”）同時接收來自 GNSS 衛星的訊號。然後，進行初始化所需的觀察（確定整數值偏差）。之後，移動站依次移動到多個觀測點進行觀測，並據此得到固定站與移動站之間的基線向量。觀察完成後將進行初始化和基線分析。

十二、在 RTK 方法中，固定站和移動站同時接收來自 GNSS 衛星的訊號，將固定站獲取的訊號通過無線設備等傳輸到移動站，並立即在移動站上進行基線分析這樣就得到了固定站和移動站之間的基線向量。之後，移動站依次移動到多個觀測點，立即得到固定站與移動站之間的基線向量。獲得基線向量的方法是直接觀察法或間接觀察法。

- A. 直接觀測法是固定站和移動站同時接收來自 GNSS 衛星的訊號，通過基線分析得到固定站和移動站之間的基線向量的觀測方法。直接觀察法的標準觀測距離在 500 米以內。
- B. 在間接觀測法中，一個固定站和兩個或多個移動站同時接收來自 GNSS 衛星的訊號，利用基線分析得到的兩個基線向量的差值，得到移動站之間的基線向量。間接觀測法固定站與移動站的標準距離在 10 公里以內，間接獲得的移動站距離在 500 米以內。

十三、網型 RTK 方法是基於位置的服務提供者（從日本國土地理院的電子參考點網絡接收觀測數據分發的人，或基於三個或更多電子參考點可用於測量的格式的數據參考點，發布數據的人。下同。）移動站通過行動電話等通信線路接收計算的校正數據或面狀校正參數，同時，移動站接收到來自 GNSS 衛星的訊號，移動站接收到數據後，立即進行分析處理，確定位置。之後是一種依次移動到多個觀測點並立即獲得移動站位置的觀測方法。通過在觀測完成後從位置資訊服務提供商處獲取校正數據等或面狀校正參數，可以通過後處理進行分析處理。獲得基線向量的方法是直接觀察法或間接觀察法。

- A. 直接觀測法是使用由位置資訊服務提供者計算的移動站附近的任意點的校正數據等和移動站的觀測數據，通過基線分析獲得基線向量的觀測方法。
- B. 間接觀測法是通過以下方法獲得基線向量的觀測方法。
 - (1) 在使用兩台接收儀同時觀測法的間接觀測法中，在兩個移動站進行同時觀測，移動站之間的基線向量由得到的三維卡氏直角坐標之間的差值獲得。
 - (2) 使用一台接收儀的準同時觀測法的間接觀測法中，移動站得到三維卡氏直角坐標，然後移動站快速移動到另一個觀測點進行觀測，得到的每一個站三維坐標，通過坐標差得到移動站之間的基線向量。除了及時觀察外，還要確保進行往返觀測（也可以在同一方向上重複觀測），並檢查因重複導致的基線向量。

第三節 計算

(要旨)

第八條 “計算”是指計算相關元素以獲得新點的水平位置和高度。

(計算方法等。)

第九條 計算時可採用本規則附錄 6 中的公式，或能確認其準確度與此相同或更高的，可採用該計算式。

2. 計算結果的顯示單位如下表所示。

項目 展覽及展覽	直角坐標 *	經緯度	高度	大地水準 面高度	角	邊長
單位	m	秒	m	m	秒	m
解析度	0.001	0.0001	0.001	0.001	1	0.001
備考	*根據平面直角坐標系中指定的世界大地坐標系的卡氏直角坐標					

3. GNSS 觀測中的基線分析應以以下項目為標準。

一 計算結果的顯示單位如下表所示。

項目 展示	基線向量分量
單位	m
解析度	0.001

二、GNSS 衛星的軌道資訊以廣播日曆為標準。

三、在靜態法和短時靜態法的基線分析中，除非 GNSS 天線型號相同，否則原則上應進行 PCV 校正。在 L5 PCV 校正數據發布之前，可以使用 L2 PCV 校正數據。

四、氣象因素的修正應以基線分析軟件中使用的標準大氣為基礎。

五、在進行統合處理的基線分析中，除非 GNSS 測量儀器（接收器主體）的型號相同，否則應進行 ISB 校正。GNSS 測量儀（接收機本體）型號相同時，型號內部板的名稱、型號和韌體版本相同。

六、如果基線長度為 10 公里或更長，則應以 2 或 3 個頻率進行基線分析。但是，如果基線長度小於 10 公里，則可以 1 個頻率、2 個頻率或 3 個頻率進行。

七、基線分析的固定點的經緯度為成果表中的值（以下簡稱“曆元坐標”）或使用本單位(國土地理院)提供的地殼運動修正參數進行半動態修正得到的值（以下簡稱“主坐標”）。稱為“當期坐標”。用於半動態校正的地殼運動校正參數應與測量實施時間相對應。在後續的基線分析中，依次輸入使用定點的經緯度得到的經緯度。

八、基線分析的固定點的橢球高應為從成果表的高程和大地水準面高度得到的值，應為曆元坐標或當期坐標。但是，如果固定點是電子參考點，它將是成果表的橢球高。在後續的基線分析中，依次輸入使用固定點的橢球高以得到橢球高。

九、用於基線分析的 GNSS 測量儀器的高度角應為觀測時設定的接收高度角。

附則

本手冊是從平成 27 年 5 月 29 日施行。

附則

本手冊自平成 27 年 7 月 22 日起施行。

附則

本手冊將從令和的 2 年 6 個月 4 天開始施行。

附錄五、中國大陸全球定位系統測量規範摘錄

中華人民共和國國家標準 GB/T 18314-2009

一、本規範規定了利用全球定位系統(GPS)靜態測量技術，建立 GPS 控制網的布設原則、測量方法、精度指標和技術要求。

本規範適用於國家和局部 GPS 控制網的設計、布設和數據處理。

二、規範性引用文件

(略)

三、術語和定義

(略)

四、基本規定

4.1 GPS 測量採用 2000 國家大地坐標系 (China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)，其定義和橢球參數見附錄 A。GPS 測量採用 GPS 時間系統。手簿記錄宜採用世界協調時(UTC)。

4.2 用於各級 GPS 網測量的儀器應經法定計量檢定合格，並在檢定有效期內使用。

4.3 各級 GPS 網測量採用中誤差作為精度的技術指標，以 2 倍中誤差作為極限誤差。

4.4 當需要 1980 西安坐標系、1954 北京坐標系或其他坐標系成果時，應按坐標轉換方式求得。1980 西安坐標系及 1954 北京坐標系的參考橢球基本參數見附錄 A。

五、級別劃分和測量精度

5.1 級別劃分

GPS 測量精度和用途分為 A、B、C、D、E 級。

5.2 測量精度

5.2.1 A 級 GPS 網由衛星定位連續運行基準站(CORS)構成，其精度應不低於表 1 的要求。

表 1

級別	坐標年變化率中誤差		相對精度	地心坐標各分量年平均中誤差(mm)
	水平分量 (mm/a)	垂直分量 (mm/a)		
A	2	3	1×10^{-8}	0.5

5.2.2 B、C、D、E 級的精度應不低於表 2 的要求。

表 2

級別	相鄰基線分量中誤差		相鄰點間平均距離(km)
	水平分量(mm)	垂直分量(mm)	
B	5	10	50
C	10	20	20
D	20	40	5
E	20	40	3

5.2.3 用於建立國家二等大地控制網和三、四等大地控制網的 GPS 測量，在滿足 5.2.2 規定的 B、C、D 級精度要求基礎上，其相對精度應分別不低於 1×10^{-7} 、 1×10^{-6} 、 1×10^{-5} 。

5.2.4 各級 GPS 網點相鄰點的 GPS 測量大地高差的精度，應不低於表 2 規定的各級相鄰點基線垂直分量的要求。

5.3 用途

5.3.1 用於建立國家一等大地控制網，進行全球性的地球動力學研究、地殼形變測量和 GPS 定軌等的 GPS 測量，應滿足 A 級 GPS 測量精度要求。

5.3.2 用於建立國家二等大地控制網，建立地方或城市坐標基準框架，區域性的地球動力學研究、地殼形變測量、局部形變監測和各種精密工程測量等的 GPS 測量，應滿足 B 級 GPS 測量精度要求。

5.3.3 用於建立三等大地控制網，以及建立區域、城市及工程測量的基本控制網的 GPS 測量，應滿足 C 級 GPS 測量精度要求。

5.3.4 用於建立四等大地控制網的 GPS 測量應滿足 D 級 GPS 測量精度要求。

5.3.5 用於中小城市、城鎮以及測圖、地籍、土地資訊、房產、物探、探勘、建築施工等的控制測量的 GPS 測量，應滿足 D、E 級 GPS 測量的精度要求。

六、布設的原則

6.1 基本原則

6.1.1 各級 GPS 網一般逐級布設，在保證精度、密度等技術要求時可跨級布設。

6.1.2 各級 GPS 網的布設應根據布設目的、精度要求、衛星狀況、接收機類型和數量、測區已有的資料、測區地形和交通狀況以及作業效率等因素綜合考慮，按照優化設計原則進行。

6.1.3 各級 GPS 網最簡非同步觀測環線閉合圈或附合路線的邊數應不大於表 3 的規定

表 3

級別	B	C	D	E
閉合圈或附合路線的邊數/條	6	6	8	10

6.1.4 各級 GPS 網點位應均勻分布，相鄰點間距離最大不宜超過該網平均點間距的 2 倍。

6.1.5 新布設的 GPS 網應與附近已有的國家高等級 GPS 點進行聯測，聯測點數不應少於 3 點。

6.1.6 為求定 GPS 點在某一參考坐標系中坐標，應與該參考坐標系中的原有控制點聯測，聯測的總點數不應少於 3 點。在須用常規測量方法加密控制網的地區，D、E 級網點應有 1~2 方向通視。

6.1.7 A、B 級網應逐點聯測高程，C 級網應根據區域似大地水準面精化要求聯測高程，D、E 級網可依具體情況聯測高程。

6.1.8 A、B 級網點的高程聯測精度應不低於二等水準測量精度，C 級網點的高程聯測精度應不低於三等水準測量精度，D、E 級網點按四等水準測量或與其精度相當的

方法進行高程聯測。

6.1.9 B、C、D、E 網布設時，測區內高於施測級別的 GPS 網點均應作為本級別 GPS 網的控制點(或框架點)，並在觀測時納入相應級別的 GPS 網中一併施測。

6.1.10 在局部補充、加密低等級的 GPS 網點時，採用的高等級 GPS 網點數應不少於 4 個。

6.1.11 (略)

6.1.12 (略)

6.2 GPS 點命名 (略)

6.3 技術設計 (略)

七、選點

(略)

八、埋石

(略)

九、儀器

9.1 接收機選用

A 級網測量採用的接收機按 CH/T 2008 的規定執行(註：接收機應具備之主要功能為雙頻載波、雙頻電碼、同時觀測至少 24 顆衛星、採樣數據能力至少 1Hz、天線相位中心穩定性優於 3 mm 等)；B、C、D、E 級按表 4 規定執行。

表 4

級別	B	C	D、E
單頻/雙頻	雙頻/全波長	雙頻/全波長	雙頻或單頻
觀測量至少有	L1、L2 載波相位	L1、L2 載波相位	L1 載波相位
同步觀測接收機數	≥4	≥3	≥2

9.2 儀器檢驗

9.2.1 接收機檢驗

9.2.1.1 新購置的 GPS 接收機，以及當接收機天線受到強烈撞擊，或更新接收機部件後，或更新天線與接收機的匹配關係後的接收機，應按規定進行全面檢驗後使用。

9.2.1.2 GPS 接收機檢驗的內容、方法和技術要求，按 CH/T 8016 規定執行

9.2.1.3 不同類型的接收機參加共同作業時，應在已知基線上進行比對測試，超過相應等級限差時不得使用。

9.2.1.4 天線或基座的圓盒水準器、光學定心器、天線高量尺，在作業期間至少 1 個月檢校 1 次。

9.2.2 輔助設備檢驗 (略)

9.3 儀器維護 (略)

十、觀測

10.1 基本技術規定

10.1.1 A 級 GPS 網觀測的基本技術要求按 CH/T 2008 的有關規定執行

10.1.2 B、C、D、E 級 GPS 網觀測的基本技術規定應符合表 5 的要求

表 5

項目	級別			
	B	C	D	E
衛星截止高度角(°)	10	15	15	15
同時觀測有效衛星數	≥4	≥4	≥4	≥4
有效觀測衛星總數	≥20	≥6	≥4	≥4
觀測時段數	≥3	≥2	≥1.6	≥1.6
時段長度	≥23 h	≥4 h	≥60 min	≥40 min
採樣間隔(s)	30	10~30	5~15	5~15
註 1：計算有效觀測衛星總數時，應將各時段的有效觀測衛星數扣除其間的重覆衛星數。 註 2：觀測時段長度，應為開始記錄數據到結束記錄的時間段。 註 3：觀測時段數 ≥1.6，指採用網觀測模式時，每站至少觀測一時段，其中二次測站點數應不少於 GPS 網總點數的 60%。 註 4：採用基於衛星定位連續運行基準站點觀測模式時，可連續觀測，但觀測時間應不低於表中規定的各時段觀測時間的和。				

10.1.3 (略)

10.1.4 (略)

10.1.5 (略)

10.2 觀測區的劃分

10.2.1 B、C、D、E 級 GPS 網的布設視測區範圍的大小，可實行分區觀測，當實行分區觀測時，相鄰分區間至少應有 4 個共同點。

10.2.2 任一個同部觀測子區或觀測單元子區參加觀測的接收機台數應符合表 4 的規定。

10.3 觀測計畫 (略)

10.4 觀測前的準備 (略)

10.5 觀測作業的要求 (略)

十一、外業成果記錄

(略)

十二、數據處理

12.1 基本要求

12.1.1 A、B 級 GPS 網基線數據處理應採用高精度數據處理專用的軟體，C、D、E 級 GPS 網基線解算可採用隨接收機配備的商用軟體

12.1.2 數據處理軟體應經有關部門的試驗鑑定並經業務部門批准方能使用

12.1.3 A 級 GPS 網應以適當數量和分布均勻的 IGS 站的坐標和原始觀測數據為起算數據；B 級 GPS 網應以適當數量和分布均勻的 A 級 GPS 網點或 IGS 站的坐標和

原始觀測數據為起算數據；C、D、E 級 GPS 網應以適當數量和分布均勻的 A、B 級 GPS 網點的坐標和原始觀測數據為起算數據。

12.1.4 各種起算數據應進行數據完整性、正確性和可靠性檢核。

12.2 外業數據質量檢核

12.2.1 同一時段觀測值的數據剔除率不宜大於 10%。

12.2.2 (略)

12.2.3 A 級 GPS 網觀測數據的檢核按 CH/T 2008 的有關規定執行

12.2.4 B 級 GPS 網基線外業預處理和 C、D、E 級 GPS 網基線處理，重複基線的長度較差 d_s 應滿足公式(1)的規定：

$$d_s \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (1)$$

式中，

σ 為基線測量中誤差，單位為毫米 mm，其計算按 12.2.5 規定執行。

12.2.5 B、C、D、E 級 GPS 網基線測量中誤差 σ 採用外業測量時使用的 GPS 接收機的標稱精度。計算時邊長按實際平均邊長計算。

12.2.6 B、C、D、E 級 GPS 網同步環線閉合差，不宜超過附錄 F 的規定。

12.2.7 B、C、D、E 級 GPS 網外業基線處理結果，其獨立閉合環線或附合路線坐標閉合差 W_s 和各坐標分量閉合差 (W_x 、 W_y 、 W_z) 應滿足公式(2)的規定：

$$\begin{aligned} W_x &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_y &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_z &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_s &\leq 3\sqrt{3n}\sigma \end{aligned} \quad (2)$$

式中，

n 為閉合圈邊數

σ 為基線測量中誤差，單位為毫米 mm，其計算按 12.2.5 規定執行

$$W_s = \sqrt{w_x^2 + w_y^2 + w_z^2}$$

12.3 基線向量解算

12.3.1 準備工作 (略)

12.3.2 解算方案 (略)

12.3.3 基線向量解算

基線向量解算基本要求如下：

- (a) A、B 級 GPS 網基線處理應採用精密星曆。C 級及以下各級網基線處理時，可採用廣播星曆。
- (b) B、C、D、E 級 GPS 觀測值均應加入對流層延遲修正，對流層延遲修正模型中的氣象元素可採用標準氣象元素。
- (c) 基線解算，按同步觀測時段為單位進行，按多基線解時，每個時段須提供一組獨立基線向量及其完全的方差-協方差矩陣；按單基線解時，須提供每條基線分量及其方差-協方差矩陣。

(d) B、C 級 GPS 網，基線解算可採用雙差解、單差解。D、E 級 GPS 網根據基線長度允許採用不同的數據處理模型。但是長度小於 15 km 的基線，應採用雙差固定解。長度大於 15 km 的基線可在雙差固定解和雙差浮點解中選擇最優結果。

12.4 A、B 級 GPS 網基線處理結果質量檢核

12.4.1 A、B 級 GPS 網基線處理後應計算基線的分量 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 及邊長的重複性，還應對各基線邊長、南北分量、東西分量和垂直分量的重複性進行固定誤差與比例誤差的直線擬合，作為衡量基線精度的參考指標。重複性定義見公式(3):

$$R = \left[\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - C_m)^2}{\sigma_{C_i}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{C_i}^2}} \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中，

n 為同一基線的總觀測時段數，

C_i 為一個時段的基線某一分量或邊長，

$\sigma_{C_i}^2$ 為該時段 i 相應於 C_i 分量的方差，

C_m 為各時段的加權平均值。

12.4.2 B 級 GPS 網同一基線和其各分量不同時段的較差(d_S 、 $d_{\Delta X}$ 、 $d_{\Delta Y}$ 、 $d_{\Delta Z}$)，應滿足公式(4)的規定，式中同一基線和其各分量 R 值(R_S 、 $R_{\Delta X}$ 、 $R_{\Delta Y}$ 、 $R_{\Delta Z}$)按公式(3)計算。

$$\begin{aligned} d_{\Delta X} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta X} \\ d_{\Delta Y} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta Y} \\ d_{\Delta Z} &\leq 3\sqrt{2}R_{\Delta Z} \\ d_S &\leq 3\sqrt{2}R_S \end{aligned} \quad (4)$$

12.4.3 B 級 GPS 網基線處理後，獨立閉合環線或附合路線坐標分量閉合差(W_X 、 W_Y 、 W_Z)應滿足公式(5):

$$\begin{aligned} W_X &\leq 2\sigma_{W_X} \\ W_Y &\leq 2\sigma_{W_Y} \\ W_Z &\leq 2\sigma_{W_Z} \end{aligned} \quad (5)$$

其中，

$$\begin{aligned} \sigma_{W_X}^2 &\leq \sum_{i=1}^r \sigma_{\Delta X(i)}^2 \\ \sigma_{W_Y}^2 &\leq \sum_{i=1}^r \sigma_{\Delta Y(i)}^2 \\ \sigma_{W_Z}^2 &\leq \sum_{i=1}^r \sigma_{\Delta Z(i)}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

公式(6)中 r 為環線中的基線數， $\sigma_{C(i)}^2$ ($C=\Delta X$ 、 ΔY 、 ΔZ)為環線中第 i 條基線 C 分

量的方差。環線全長閉合差應滿足公式(7)、公式(8)、公式(9)、公式(10):

$$W \leq 3\sigma_W \quad (7)$$

$$\sigma_W^2 = \sum_{i=1}^r W D_{bi} W^T \quad (8)$$

$$W = \begin{bmatrix} \frac{\omega_{\Delta X}}{\omega} & \frac{\omega_{\Delta Y}}{\omega} & \frac{\omega_{\Delta Z}}{\omega} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_{\Delta X}^2 + \omega_{\Delta Y}^2 + \omega_{\Delta Z}^2} \quad (10)$$

式中，

D_{bi} 為環線中第 i 條基線的方差-協方差矩陣。

12.5 重測與補測 (略)

12.6 GPS 網平差

12.6.1 A、B 級 GPS 網無約束平差

12.6.1.1 無約束平差時，根據外業作業期的分期及作業技術要求的不同，可以分成若干子區，分別進行無約束平差。若進行相鄰子區間聯合無約束平差時，可引入若干系統誤差參數(尺度、定向等)，並對每一系統誤差參數進行顯著性測試。

12.6.1.2 無約束平差應進行方差分量因子估值 σ^2 檢驗和每個改正數粗差的檢驗。

12.6.1.3 無約束平差應輸出 2000 國家大地坐標系中各點的地心坐標和大地坐標、各基線的改正數和基線向量平差值、各基線的地心坐標分量、大地坐標分量及其精度等。

12.6.2 A、B 級 GPS 網整體平差

12.6.2.1 整體平差應在 2000 國家大地坐標系或國際地球參考框架(ITRF)中進行。各子網曆元不同時，應利用板塊運動模型和速度場進行統一歸算。

12.6.2.2 整體平差中，應引入起算點的全方差-協方差矩陣，並乘以適當的鬆弛因子定權。

12.6.2.3 整體平差應進行後驗單位權方差因子 σ^2 的檢驗和轉換參數的顯著性檢驗。檢驗後，應消除不顯著的轉換參數，並重新平差。

12.6.2.4 整體平差後，應輸出 2000 國家大地坐標系中各點的地心坐標和大地坐標、各基線的地心坐標分量和大地坐標分量、各基線改正數、平差值及其精度等。

12.6.2.5 A、B 級 GPS 網平差後，其精度應分別符合表 1 和表 2 的規定，國家二等大地控制網還應符合 5.2.3 的規定。

12.6.3 C、D、E 級 GPS 網無約束平差

12.6.3.1 在基線向量檢核符合要求後，以三維基線向量及其相應方差-協方差矩陣作為觀測信息，以一個點在 2000 國家大地坐標系中的三維坐標作為起算依據，進行無約束平差。無約束平差應輸出 2000 國家大地坐標系中各點的二維坐標、各基線向量及其改正數和精度。

12.6.3.2 無約束平差中，基線分量的改正數絕對值($V_{\Delta X}$ 、 $V_{\Delta Y}$ 、 $V_{\Delta Z}$)應滿足公式(11)的要求。

$$V_{\Delta X} \leq 3\sigma$$

$$\begin{aligned} V_{\Delta Y} &\leq 3\sigma \\ V_{\Delta Z} &\leq 3\sigma \end{aligned} \quad (11)$$

式中，

σ 為基線測量中誤差，單位為毫米 mm，其計算按 12.2.5 規定執行。

12.6.4 C、D、E 級 GPS 網約束平差

12.6.4.1 利用無約束平差的觀測量，應選擇在 2000 國家大地坐標系或地方獨立坐標系中進行三維約束平差或二維約束平差。平差中，對已知點坐標、已知距離和已知方位，可以強制約束，也可加權約束。

12.6.4.2 平差結果應包括相應坐標系中的三維或二維坐標、基線向量改正數、基線邊長、方位、轉換參數及其相應的精度。

12.6.4.3 約束平差中，基線分量改正數與經過 12.6.3.2 規定的粗差別除後的無約束平差結果的同一基線，相應改正數較差的絕對值($dV_{\Delta X}$ 、 $dV_{\Delta Y}$ 、 $dV_{\Delta Z}$)應滿足公式(12)的要求。

$$\begin{aligned} dV_{\Delta X} &\leq 2\sigma \\ dV_{\Delta Y} &\leq 2\sigma \\ dV_{\Delta Z} &\leq 2\sigma \end{aligned} \quad (12)$$

式中，

σ 為基線測量中誤差，單位為毫米 mm，其計算按 12.2.5 規定執行。

12.6.5 C、D、E 級 GPS 網平差後，其精度應符合表 2 的規定，國家三、四等大地控制網還應符合 5.2.3 的規定。

12.7 數據成果整理和技術總結編寫 (略)

十三、成果驗收與上交資料

(略)

附錄

(略)

附錄六、中國大陸衛星導航定位基準站網絡實時動態測量規範摘錄

中華人民共和國國家標準 GB/T 39616-2020

一、範圍

本規範規定了衛星導航定位基準站網絡實時動態測量(RTK)技術實施控制測量、地形測量的參考基準、基本要求，以及外業觀測、數據處理和檢測的技術要求與方法。

本規範適用於相應等級的衛星導航定位基準站網絡實時動態測量。利用單一基準站、多基準站進行實時動態測量可參照本標準執行。

二、規範性引用文件

(略)

三、術語和定義

(略)

四、縮略語

(略)

五、參考基準

5.1 坐標系統

2000 國家大地坐標系 (China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000)

5.2 高程基準

1985 國家高程基準

5.3 時間系統

宜採用協調世界時(UTC)。當採用北京標準時間(BST)時，應考慮時區差與 UTC 進行換算。最終成果時間應採用北京標準時間，公元紀年。

六、基本要求

6.1 網絡實時動態測量(Network RTK, 以下簡稱 NRTK)平面測量按精度等級劃分為: 一級、二級、三級及圖根、碎部，NRTK 高程測量按精度等級分為等外及碎部。

6.2~6.6 (略)

6.7 NRTK 移動站(或流動站)的基本技術應符合下列要求:

- (a) 在有效服務區域內進行。
- (b) 獲取系統服務的授權。
- (c) 設置工作所需的時間系統、坐標系統、投影方式、坐標轉換關係等。
- (d) 觀測開始前應對儀器進行初始化，並得到固定解(Fixed solution)，當長時間不能得到固定解時，宜重新獲取服務，再次進行初始化操作。
- (e) 每測回觀測之間應重新初始化。
- (f) 作業過程中，如出現固定解丟失，應重新初始化。
- (g) 天線高度設置與天線高的量取方式應保持一致。
- (h) 不宜在隱蔽地帶、成片水域和強電磁波干擾源附近觀測。

6.8 NRTK 測量時，GNSS 衛星的狀態應符合表 1 之要求。

表 1 GNSS 衛星狀態的基本要求

觀測窗口狀態	截止高度角 15° 以上的同一系統衛星個數	PDOP 值
良好	≥ 6	< 4
可用	5	≥ 4 且 < 6
不可用	< 5	≥ 6

6.9 經緯度紀錄至 0.0001"，平面坐標、高程、天線高至 0.001m。

6.10 NRTK 高程測量中正常高的獲取，可採用似大地水準面模型內插或高程異常控制點擬合等方法。

6.11 (略)

七、控制測量

7.1 平面控制測量

7.1.1 NRTK 平面控制點的點位選擇、點之記繪製應按照 GB/T 18314 (全球定位系統測量規範) 要求執行。

7.1.2 NRTK 平面控制點測量技術應符合表 2 要求。

表 2 NRTK 平面測量技術要求

等級	相鄰點間距離(m)	點位中誤差(cm)	邊長相對中誤差	測回數
一級	≥ 500	5	$\leq 1/20,000$	≥ 4
二級	≥ 300	5	$\leq 1/10,000$	≥ 3
三級	≥ 200	5	$\leq 1/6,000$	≥ 2

注：困難地區相鄰點間距離可縮短至表中數值的 2/3。

7.1.3 NRTK 控制點平面測量時，移動站(Rover)收集衛星觀測數據，並通過數據鏈接收差分改正數據，可依實際需求，通過坐標轉換方法將觀測得到之 CGCS2000 坐標轉換為指定坐標系中的平面坐標。

7.1.4 坐標系統轉換關係的獲取應符合以下要求:

- (a) 已有坐標轉換關係時，可以直接利用已知的參數。
- (b) 沒有已知轉換關係時，參數求解應滿足以下要求:
 - 1) CGCS2000 與地方坐標系轉換關係的求解，應採用不少於 3 個高等級控制點作為參考控制點，所選控制點應分布均勻，且能控制整個區域，坐標轉換精度應不大於 2 cm。
 - 2) 轉換時應根據測區範圍及具體情況，對參考控制點進行可靠度檢驗，採用合理的數學模型，進行多種點組合方式分別計算與優選。
 - 3) 轉換關係的求解，不應採用現場點校正的方法進行。

7.1.5 NRTK 控制點平面測量移動站的技術應符合下列要求:

- (a) 每次作業開始前，應進行至少一個同等級或高等級已知點的檢核，平面點位較差應不大於 7 cm。

- (b) NRTK 平面坐標轉換殘差應不大於 2 cm。
- (c) NRTK 觀測前設置的平面收斂門檻值不大於 2 cm。
- (d) NRTK 觀測時應採用三角架定心、定平，每測回觀測曆元(Epoch)數應不少於 20 個，採樣間隔不少於 2 s，各測回的平面坐標較差應不大於 4 cm。
- (e) 應取各測回的平面坐標平均值作為最終結果。

7.2 高程控制測量

7.2.1 NRTK 高程測量獲得大地高技術要求應符合表 3。

表 3 NRTK 高程測量技術要求

中誤差(cm)	測回數
3	≥3

7.2.2 NRTK 高程控制點測量移動站的技術應符合下列要求:

- (a) NRTK 觀測前設置的高程收斂門檻值應不大於 3 cm。
- (b) NRTK 高程控制點測量移動站觀測時應採用三角架定心、定平，宜進行已知點大地高之檢核，大地高較差不應大於 5 cm，每測回觀測曆元數應不少於 20 個，採樣間隔不少於 2 s，各測回的大地高較差應不大於 4 cm。
- (c) 應取各測回的大地高平均值作為最終結果。

7.3 成果數據處理與檢查

7.3.1 NRTK 外業收集的數據應及時進行備份和內外業檢查。

7.3.2~7.3.3 (略)

7.3.4 用 NRTK 技術施測的控制點成果應進行 100%的內業檢查和不少於總點數 10%的外業檢測。檢測點應均勻分布於測區，總點數少於 30 點時，檢測點應不少於 3 點。

7.3.5 外業檢測可採用 NRTK 檢測法測量已知控制點或採用同等級精度重測法進行比較檢核。平面控制點外業檢核可採用相應等級的衛星定位靜態測量技術測定坐標、全站儀測量邊長和角度等方法；高程控制點外業檢核可採用相應等級的幾何水準測量、三角高程測量等方法。相應技術指標應符合表 4 和表 5 的要求。

表 4 NRTK 平面控制點檢測技術要求

等級	邊長校核		角度校核		坐標校核
	測距中誤差 (mm)	邊長較差的 相對誤差	測角中誤差 (")	角度較差限差 (")	坐標中誤差 (cm)
一級	15	≤1/14,000	5	≤14	5
二級	15	≤1/7,000	8	≤20	5
三級	15	≤1/5,000	12	≤30	5

表 5 NRTK 高程測量檢測技術要求

檢測方法	高程較差(mm)
水準測量	$\leq 40\sqrt{L}$
三角高程測量	$\leq 40\sqrt{S}$

注 1：L 為水準檢測路線長度，以公里(km)為單位，小於 0.5km 的按 0.5km 計。
 注 1：S 為三角高程測距邊長，以公里(km)為單位，小於 0.5km 的按 0.5km 計。

八、地形測量

8.1 一般規定

NRTK 地形測量內容分為圖根點測量及碎部點測量，主要技術應符合表 6 要求。

表 6 RTK 地形測量的主要技術指標

等級	圖點位中誤差(mm)	高程中誤差	相鄰點間距(m)	測回數
圖根點	0.1	1/10 基本等高距	≥ 100	≥ 2
碎部點	0.5	符合相應比例尺 成圖要求	--	≥ 1

注：困難地區相鄰點間距離可縮短至表中數值的 2/3。

8.2 圖根點測量

8.2.1 (略)

8.2.2 NRTK 圖根點測量時，CGCS2000 與地方坐標系的轉換關係獲取方法按照 7.1.4 執行。

8.2.3 NRTK 圖根點測量作業方法依照 7.1、7.2 相關要求執行。

8.2.4 NRTK 圖根點測量移動站觀測時應採用三角架定心、定平，每測回觀測曆元數應大於 20 個，採樣間隔應不少於 2 s。

8.2.5 NRTK 圖根點測量平面坐標轉換殘差應不大於圖上 0.07 mm，NRTK 圖根點測量高程擬合殘差應不大於 1/12 基本等高距。

8.2.6 NRTK 圖根點測量平面測量各測回測量點位較差應不大於圖上 0.1 mm，高程測量各測回測量高程較差不大於 1/10 基本等高距。各次結果取平均值作為最後成果。

8.3 碎部點測量

8.3.1 NRTK 碎部點測量時，CGCS2000 與地方坐標系的轉換關係獲取方法按照 7.1.4 執行，亦可在測區現場通過點校正的方法獲取。

8.3.2 NRTK 碎部點測量平面坐標轉換殘差應不大於圖上 0.1 mm，NRTK 碎部點測量高程擬合殘差應不大於 1/10 基本等高距。

8.3.3 NRTK 碎部點測量觀測曆元數應大於 5 個。

8.3.4 連續測量一組地形碎部點數據超過 50 點，應重新初始化，並檢測一個重合點，檢測點坐標較差不大於圖上 0.7 mm。

8.3.5 當 NRTK 用於連續測量(如水下地形測量)時，初始化 1 次，觀測曆元數 1 個，不進行檢測。

8.4 成果數據處理與檢查

8.4.1~8.4.2 (略)

8.4.3 用 NRTK 方法施測的圖根點平面成果應進行 100% 的內業檢查和不少於總點數 10% 的外業檢測，檢測點應均勻分布於測區。總點數少於 30 點時，檢測點應不少於 3 點。外業檢測採用 NRTK 圖根點測量或相應等級的全站儀測量點位坐標、邊長和角度等方法進行，檢測結果應符合表 7 的要求。

表 7 圖根點平面成果檢測要求

等級	邊長校核		角度校核		點位校核
	測距中誤差 (mm)	邊長較差的 相對誤差	測角中誤差 (")	角度校差限 差(")	圖上平面點 位較差(mm)
圖根	20	$\leq 1/3,000$	20	≤ 60	≤ 0.15

8.4.4 用 NRTK 技術施測的圖根點高程成果應進行 100% 的內業檢查和不少於總點數 10% 的外業檢測，檢測點應均勻分布於測區。總點數少於 30 點時，檢測點不少於 3 點。外業檢測採用 NRTK 圖根點測量或相應等級的三角高程、幾何水準測量等方法進行，檢測結果應符合表 8 的要求。

表 8 圖根點高程成果檢測要求

等級	高程較差
圖根	$\leq 1/7$ 基本等高距

九、儀器設備要求

9.1 接收設備要求

NRTK 測量的接收設備應符合以下要求：

- 宜選用優於表 9 技術指標的雙頻或多頻接收機。
- 接收設備包括接收機、天線和天線電纜、數據鏈設備、數據採集器等。
- 移動站接收設備應具有通訊模組，並支持相關數據通訊協議。
- 移動站接收設備應具備接收和處理標準差分數據功能。
- 移動站宜支持 BDS 數據接收和處理功能。
- 接收設備應操作方便、性能穩定、故障率低、可靠度高。

表 9 接收機的技術指標要求

類型	平面標稱精度(mm)	高程標稱精度(mm)
技術指標	$10 + 2 \times 10^{-6} \times d$	$20 + 2 \times 10^{-6} \times d$
注：d 為基線長度，單位為毫米(mm)。		

9.2 接收設備的檢驗 (略)

十、成果檢驗和資料提交

(略)

附錄七、專家學者座談會會議紀錄

「111年度基本控制點衛星定位測量作業規範委託研究採購案」

專家學者座談會會議紀錄

一、時間：111年9月21日（星期三）下午2時00分

二、地點：內政部國土測繪中心第一會議室

二、主席：史天元 教授（視訊） 內政部國土測繪中心簡任技正 梁旭文(代)

三、出席及列席人員：詳如簽到簿

四、主席致詞：（略）

五、座談會議題簡報：國立陽明交通大學（略）

六、與會人員發言摘要

(一) 中興大學蔡榮得教授

1. 針對動態框架的應用，簡報第27頁之轉換公式為一個三維坐標轉換之坐標系統原點平移，其以地表控制點之位移來進行修正，此一模式具

有區域性，即 $\begin{vmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{vmatrix}_{crusted\ motion}$ 如何定義?以簡報最後一頁之最後一點

新增條文，”使用測區至少三個均勻分布之上級控制點，自行求解轉換參數”，可以說明前述轉換公式具有地域性，每一組參數不適用於全域之ITRF框架。任一組轉換參數均為時間、空間相一之函數。

(二) 健行科技大學李振燾教授

1. 議題二之建議：（1）法定TWD97框架維持定期更新(如每5-10年)；

(2) 新增的TTRF框架適用範圍宜予以定義，以利參考應用。

2. 針對議題三建議：(1) 目前國土測繪中心營運e-GNSS系統之連續運行參考站(CORS)，維護作業可採定期及特殊機制(如地震)；(2) 如維護作業採用前述方式，則既有一、二等衛星控制點可降低維護頻率。
3. 針對議題四建議：增列(1) 肆、施測成果精度，衛星控制點測量得採相對定位及精密單點定位測量方法，衛星控制點施測精度應滿足以下條件。(2) 伍、觀測作業規劃一、參考基準；二、觀測儀器；三、相對定位測量；四、精密單點定位測量。(3) 陸、資料處理與分析(一)相對定位測量(二)精密單點定位測量。

(三) 臺灣大學韓仁毓教授

1. 新訂規範考量完整，說明清楚且有依據，值得肯定。
2. 新的規範如取消對遮蔽仰角及衛星網型強度之規定，其是否會影響到實際作業效益，建議可補充說明。(第捌條有規定(三)對空通視良好)。
3. 設備應由”國際實驗室認證聯盟”之實驗室，建議進一步對此有清楚定義。
4. 解算部分建議說明為”靜態基線”測量方式。
5. 衛星控制點是否應與水準網進行連結，建議思考之。

6. 控制點檢核或更新的條件或機制?
7. 贊成使用TTRF框架，TWD依現有方式維護（目前無問題），TTRF依SINEX格式公告。

(四) 成功大學郭重言教授

1. 坐標年變化率標準誤差 ≤ 2 mm/year， ≤ 3 mm/year，其設定目的為何?是否為半動態框架?
2. (二)增加IGS站，其與一等衛星控制點坐標框架不同，如何採用。
3. 解算軟體列入GISPY，但該軟體應僅能計算PPP。
4. 增加PPP解算方式，應納入其資料處理、取樣間隔、觀測時間...等問題，其轉換後之精度要求
5. 同意以雙框架方式進行，地籍測量以TWD97，而大範圍測量或科學研究則採用TTRF。

(五) 中山大學薛憲文教授

1. 二等衛星控制點測量作業規範係以臺灣本島的動態框架，離島是否也要考慮動態框架。

(六) 逢甲大學洪本善副教授

1. 訂定一、二等衛星控制點測量作業規定，後續的執行單位通常是國土測繪中心或是測繪中心委外承包商執行，建議此案以草案定稿，不要急於一時公布實施。日後再以先前的數據或以委外研究案獲得數

據，進行驗證，以避免訂定後相關規範要求不如預期而一改再改，俟成熟後再行公告實施。

(七) 中正大學鄭凱謙副教授

1. 這是臺灣測量規格劃時代的修正，初次引入隨時間改變的坐標框架，是很重要的改變，也更適合臺灣地殼變形的特性。
2. 在連續站處理軟體上，如果只限制Bernese、GAMIT、GISPY，會不會導致目前運作中的e-GNSS系統不合規範？建議考慮內政部目前運作中的系統放寬限制。
3. 建議進行前期研究，探討TTRF與TWD97靜態框架之間的差異，決定TWD97靜態框架的更新時間，同時避免二者差異過大。

(八) 國防大學李宜珊副教授

1. 日本GSI對於多星系觀測量包含混和與統合等兩種處理方式，我國是否需要考量這兩種不同的處理方式？
2. 修正版本中有關衛星追蹤站之成果精度條件，目前係參考中國大陸規範標準數據。是否需要依我國地形或其他特性後續自訂？
3. 贊同臺灣時變參考框架的建議。
4. 建議日後考量提供國家級的線上定位服務。

(九) 內政部唐家宏技正

1. 建議綜整各國規範及手冊時，以表格呈現，表列主要項目與各國規範

內容差異。

2. 投影片提及韓國2017年更新，但研究成果並未納入，可否補充說明原因?未來是否納入?
3. 關於衛星控制點長期管理維護機制，建議搜尋日本是否有相關規範。

七、散會：下午 4 時 10 分

附錄八、基本控制點衛星定位測量作業手冊草案
版本差異比較

內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範(草案)

壹、前言

原始版：

基本控制點為測量與各項工程建設之主要依據其設置關係國家經濟建設之發展，內政部曾於民國六十九年完成基本控制點檢測工作，共完成一、二、三等三角點二、六六二點。惟近年來，經濟繁榮進步，各項工程施工使用頻繁，致基本控制點遺失，毀損情形嚴重，為建立完整統一，高精度之基本控制點系統。內政部乃擬定「應用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫」，經奉行政院八十二年一月十一日台八十一內字第〇一六〇六號函核定，自八十二年度起至八十六年度止分五年採用 GPS 衛星定位測量科技辦理完成，計畫設立衛星追蹤站八站，並施測一等衛星控制點約計 100 點及二等衛星控制點約計 600 點，為使衛星定位測量作業順利執行並確保其成果品質，茲訂定作業規範如下，以為遵循。

修正版：

基本控制點為測量與各項工程建設之主要依據，其設置關係國家經濟建設之發展。基本測量實施規則第十六條暨第十八條規定，基本控制測量得以衛星定位測量、三角測量、三邊測量、精密導線測量、水準測量、重力測量或其他同等成果精度之測量方法為之；基本控制測量所設置之點位為基本控制點，採衛星定位測量方法設置者，以衛星控制點稱之。自民國八十三年訂定「內政部辦理一等、二等衛星控制點測量作業規範」迄今，衛星科技已產生重大變化，當時使用的 GPS 衛星定位測量技術已被 GNSS 衛星定位測量技術所取代，此外新興的精密單點定位技術也已成熟發展，足可應用於高精度測量工作。為使我國衛星定位測量作業與時俱進，茲重新訂定作業規範如下，作為本部辦理一等、二等衛星控制點測量之依據。

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。

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。TWD97 之內容包括：

- 一、地心坐標框架：依國際地球參考框架 (ITRF) 及國際時間局 (BIH) 所定之標準時刻方位建構而成。
- 二、參考橢球體：採用國際大地測量與地球物理聯合會 (IUGG) 所定之參考橢球體。
- 三、地圖投影方式採用橫麥卡托投影經差二度分帶：臺灣、小琉球、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之中央子午線定於東經一二一度；澎湖、金門及馬祖等地區之中央子午線定於東經一一九度。投影坐標原點向西平移二十五萬公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。

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。

肆、施測成果精度

原始版：

等級 項目	一等衛星控制點	二等衛星控制點
基線長標準誤差	5 mm +1.0 ppm	10 mm + 2.0 ppm
95 %信心區間	10 mm+ 2.0 ppm	20 mm + 4.0 ppm

修正版：

(註：刪除本條，將其內容移至第陸條：資料處理與分析)

伍、觀測作業規劃

原始版：

一、 參考基準

- (一) 一等衛星控制點應以衛星追蹤站為參考基準。
- (二) 二等衛星控制點則以衛星追蹤站及一等衛星控制點為參考基準。

二、 觀測儀器

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。

三、觀測時間長短

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
觀測時間(小時)	≥ 4	≥ 2
同一時段所有接收儀連續且同步觀測時間(小時)	≥ 2	≥ 1
同步觀測之接收儀數(不包含衛星追蹤站)	≥ 4	≥ 3

艱困之點位須觀測較長的時間，為確保測量精度，避免資料不佳必須重測時，再花費許多人力與時間。

四、觀測取樣間隔

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
取樣間隔(秒)	15	15

五、點位遮蔽仰角

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
---------	---------	---------

項目		
點位遮蔽仰角(度)	≤ 20	≤ 30

但點位遮蔽仰角最大值超過上開規定，則必須延長觀測時間，以確保測量品質。

六、衛星分布情形

項目	等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
衛星分布象限		≥ 3	≥ 3
點位精度因子(PDOP)		≤ 10	≤ 10

七、網形設計

項目	等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
須連測之上級控制點數		≥ 3	≥ 3
重複觀測站數		$\geq 100\%$	$\geq 40\%$
不同時段重複觀測銜接邊數		$\geq 20\%$	$\geq 10\%$
必須同時觀測之上級控制點之距離(公里)		≤ 10	≤ 3

修正版：

一、 參考基準

- (一) 衛星追蹤站應以 IGS 站作為參考基準。(註：本項新增)
- (二) 一等衛星控制點應以衛星追蹤站或 IGS 站作為參考基準。(註：增加 IGS 站)
- (三) 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。

二、 觀測儀器

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簽署國際實驗室認證聯盟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/>）。(註：本項新增)

三、 觀測取樣間隔、衛星數目及衛星幾何圖形強度

項目	等級	
	一等衛星控制點	二等衛星控制點
取樣間隔	≤ 15 sec	≤ 15 sec
衛星數目 ^{1,2}	≥ 5	≥ 5
點位精度因子(PDOP)	≤ 6	≤ 6

註 1：衛星之高度角需在 15 度以上

註 2：使用多星系衛星進行定位時，各星系需觀測 2 顆衛星以上

(註：依測繪中心之要求，取樣間隔不大於 15 秒即可，不須明定，並取消觀測時對於點位環境遮蔽仰角之規定。對於點位遮蔽仰角之規定則移至第柒條：衛星控制點之勘查與埋標基準，以強化選點時對空通視之要求)

四、 觀測方式

一等、二等衛星控制點測量得採相對定位或精密單點定位靜態測量方式為

之。

(一) 相對定位靜態測量

觀測時間長度

項目	等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
	觀測時間		≥ 4 hr
同一時段所有接收儀連續且同步觀測時間		≥ 2 hr	≥ 1 hr
同步觀測之接收儀數(不包含衛星追蹤站)		≥ 4	≥ 3

註：觀測環境不理想之點位應視情況延長觀測時間，以順利達到精度要求，避免因為成果精度不佳必須重測，導致人力與時間的浪費。

網形設計

項目	等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
	須連測之上級控制點數		≥ 3
不同時段重複觀測站數		$\geq 40\%$	$\geq 40\%$
不同時段重複觀測基線數		$\geq 20\%$	$\geq 20\%$
須同時觀測之上級控制點之距離		≤ 10 km	≤ 3 km

(註：依照測繪中心目前實際作業狀況，將一等點不同時段重複觀測站數調整為 40%，並將二等點不同時段重複觀測基線數調整為 20%)

(二) 精密單點定位靜態測量 (註：本項新增)

觀測時間長度

項目 \ 等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
觀測時間	≥ 8 hr	≥ 4 hr

註：採用精密單點定位靜態測量時，由於所需之收斂時間一般較相對定位長，故為獲得可靠之測量成果，暫定為使用 2 倍之觀測時間。後續經實驗數據驗證分析後，再行修正。

陸、資料處理與分析

原始版：

項目		等級	
		一等衛星控制點	二等衛星控制點
星曆	使用之星曆	精密星曆	精密星曆或廣播星曆
閉合 差分 析	閉合圈中之基線 源自不同觀測時 段數	≥ 2	≥ 2
	各閉合圈之基線 數	≤ 6	≤ 10
	閉合圈總邊長(公 里)	≤ 500	≤ 300
	可剔除之基線數 目佔總獨立基線 數比例(在剔除 後，仍需滿足伍 七之規定)	$\leq 5\%$	$\leq 15\%$
	各分量之閉合差 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)(公分)	≤ 15	≤ 25
	各分量之閉合差 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)對閉合 圈總邊長之比數 (ppm)	≤ 2.5	≤ 5
	全系各分量之閉 合差($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)平 均值(ppm)	≤ 1.8	≤ 3.5
基線 重複 性	重複觀測基線水 平分量	$\leq 10\text{mm} + 2\text{ppm}$	$\leq 20\text{mm} + 4\text{ppm}$
	重複觀測基線垂 直分量	$\leq 25\text{mm} + 5\text{ppm}$	$\leq 50\text{mm} + 10\text{ppm}$

修正版：

一、 解算軟體 (註：本項新增)

(一) 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) 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。

二、 精度規範

(一) 相對定位靜態測量

依據基本測量實施規則以衛星定位測量方法實施一、二等基本控制測量之精度規範，相對定位靜態測量成果精度應滿足以下之條件：

項目		等級	一等衛星控制點	二等衛星控制點
		使用之星曆	精密星曆	精密星曆
圖形閉合差	閉合圈中之基線源自不同觀測時間數		≥ 3	≥ 3
	閉合圈中獨立觀測之基線數		≥ 2	≥ 2
	各閉合圈之基線數		≤ 6	≤ 10
	閉合圈總邊長		≤ 500 km	≤ 300 km
	可剔除之基線數目佔總獨立基線數比例		≤ 5 %	≤ 15 %
	各分量之平均閉合差(ΔX, ΔY, ΔZ)		≤ 15 cm	≤ 25 cm
	各分量之閉合差(ΔX, ΔY, ΔZ)對閉合圈總邊長之比數		≤ 2.5 ppm	≤ 5 ppm
	全系各分量之平		≤ 1.8 ppm	≤ 3.5 ppm

	均閉合差 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)對閉合 圈總邊長之比數		
基線 重複 性	重複觀測基線水 平分量之差值	$\leq (10\text{mm} + 2 \text{ ppm})$	$\leq (20\text{mm} + 4 \text{ ppm})$
	重複觀測基線垂 直分量之差值	$\leq (25\text{mm} + 5 \text{ ppm})$	$\leq (50\text{mm} + 10 \text{ ppm})$
成果 精度	邊長標準誤差	$\leq (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$	$\leq (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$
	95%信心區間	$\leq (10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$	$\leq (20 \text{ mm} + 4 \text{ ppm})$

註：衛星定位測量所得之垂直分量為橢球高，而非正高，因此不應與水準測量所得之正高相互混用。橢球高與正高之差異稱為大地起伏，其值可由內政部公告之台灣地區大地起伏模式獲得。

(二) 精密單點定位靜態測量 (註：本項新增)

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。以精密單點定位靜態測量方法實施一、二等基本控制測量之步驟如下：

1. 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。
2. 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。
3. 將上述點位之精密單點定位成果坐標利用國土測繪中心「控制測量網形平差程式」轉換為虛擬基線網。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。

4. 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。

柒、衛星控制點之勘查與埋標基準

一、衛星控制點選取基準

- (一) 點位分布均勻。
- (二) 衛星控制點之選點，以設置於未登記土地及公有土地為原則。
- (三) 對空通視良好。一等衛星控制點之點位遮蔽仰角不得大於 20 度、二等衛星控制點之點位遮蔽仰角不得大於 30 度。(註：新增對於點位環境遮蔽仰角之要求)
- (四) 地質穩固，無局部滑動之虞。
- (五) 點位附近可長期保持現狀，不做其他用途。
- (六) 遠離廣播電台、電視轉播站、雷達站、微波站、高壓電線及其他 電磁波源，以避免無線電波干擾衛星訊號之接收。
- (七) 近距離內無電磁波反射體(例如金屬板、鐵絲網、及平面狀反射體等)，以減少多路徑效應。
- (八) 以交通便捷，易為測量、工程及其他各界應用為原則。
- (九) 徵得土地所有人或土地管理機關之同意。

二、衛星控制點勘查作業

- (一) 室內圖上作業：根據內政部出版之「台灣地區三角點成果表」及二萬伍仟分之一地形圖，進行圖上選點作業。
- (二) 實地勘查：由圖上選出的衛星控制點赴現地勘查，勘查衛星控制點時應繪製點位附近詳圖，描述如何到達點位及拍照存查(填寫調查表，如表 1)
- (三) 原先規劃地點如不適當，則在其附近另覓新點替代之。

三、衛星控制點埋設

因衛星控制點係三維控制點，故須兼具傳統的三角點與水準點之功能。圖一所示為新設衛星控制點的埋設圖，最上部的銅質活動蓋係鑄模而成，鑄有埋設機構全名。

捌、GPS 衛星控制點測量外業須知

一、外業規劃準備及注意事項

- (一) 觀測行程排定，包括每天進行觀測之測站數目及名稱、儀器種類、施測人員分組、車輛配置情形等有關事宜。
- (二) 每天觀測的時段應事先依觀測之衛星數目、點位精度因子(PDOP)、衛星出沒圖(sky plot)審慎選擇。
- (三) 準備公文及入山許可文件，以備軍事管制區或機關及山地管制區之查驗。
- (四) 檢查接收儀，記憶體容量是否夠用，已觀測資料是否已安全取出存檔。
- (五) 檢查接收儀電池是否已充電，並攜帶備用電池。
- (六) 檢查外業所必須之裝備，包括基座、腳架、天線、天線轉接器、天線電纜、電池等等，應逐一清點，若有故障或缺少者，應事先修正或採購，並列出衛星定位測量裝備一覽表(如表 2)。
- (七) 實際將觀測儀器置於室外，模擬實際狀況，架設起來並操作一次，以確定整組裝備正常與否。
- (八) 攜帶點位間移動行程表、點位觀測時段表及三角點調查有關資料。(包括地圖、點之記等)。
- (九) 約定車輛接送時間及連絡方式。
- (十) 確定安全裝備足夠，如食物、飲水、夜間照明、夜間裝備等。
- (十一) 準備刀、鋸，以便清除衛星控制點位阻礙觀測之草木。

二、觀測程序及應注意事項

- (十) 查看測量標之點號與計劃觀測點號是否符合。
- (十一) 架設天線，定心、定平並依指北針調整天線特定標記指向北方，確實接妥天線電纜，量天線高，再確實複查定心、定平。
- (十二) 確實接妥天線電纜及電池電纜。(正極接正極、負極接負極)。
- (十三) 施測時應按儀器正常操作程序開機，檢查是否正常接收，記憶體空間是否足夠，電池是否滿載，並確認點號、時段代號、取樣間隔、最低仰角並輸入

天線高開始觀測。

(十四) 填寫衛星定位測量觀測記錄表（如表 3）。

(十五) 定時量測溫度，濕度及氣壓並記錄之。

(十六) 定時注意接收儀是否正常接收衛星訊號及訊號品質，若有訊號中斷應於
記簿中加以描述，並依個人認定判斷其可能原因，提供後續參考之用。

(十七) 遇有突發狀況，如地震、下雨、起霧、刮大風或儀器傾倒、斷電等因
素，並在記簿中加以描述，可恢復者則恢復之並記錄其時間。

(十八) 若點位附近環境已有變更，應將如何到達點位及點位附近情形，繪草圖
並描述說明，最好有實測數，如里程（里程表測得）、方位。

三、觀測結束時應注意事項

(一) 通訊連絡各站關機時間並完成衛星定位測量記錄表後關機。

(二) 重量天線高，若有變動則記錄之，並注意光學基座對心是否偏移，有則估
計其偏移量及方向。

(三) 收妥各項儀具及裝備。

(四) 臨走前，再查看點位附近是否有物品遺落。

四、返回計算中心時應注意事項

(一) 將使用過之電池加以充電。

(二) 將接收儀內資料取出，並安全地儲存於磁片。

(三) 清除已取出之資料檔案。

(四) 向連絡中心報告作業情況。

(五) 填寫外業日誌。

(六) 以磁片中儲存之資料初算一次，確定磁片資料沒有問題。

(七) 假如觀測時段有連續數天時，確實作好下次觀測時段的檢查工作，包括儀
器，電池，充電情形等，以便配合地圖及點之記的描述狀況，提早規劃行
程安排。

(八) 若遇天候狀況不佳，或較陌生的深山地區，應事先以電話連絡當地的公路

管制站或林務局當地的管制哨，以做為觀測行程的調整。

五、其他事項

由於 GPS 觀測計畫一端賴整體人員的配合，因此應保持各組人員的聯繫，以利工作的順利進行，因此通訊設備是不可或缺的重要工具。

附錄 A、內政部衛星追蹤站穩定性說明 (略)

附錄 B、附表及附圖 (略)

表 1：三角衛星控制點調查表

表 2：衛星定位測量裝備一覽表

表 3：衛星定位測量記錄表

圖一：衛星控制點埋設標準示意圖

圖二：衛星追蹤站測量標配置示意圖

圖三：衛星追蹤站主點天線柱施工圖

圖四：衛星追蹤站主點 GPS 天線萬用接頭

附錄九、歷次會議簡報及已發表之論文

一、 歷次會議

本研究於 7 月 28 日及 12 月 7 日辦理期中及期末報告簡報會議，9 月 21 日辦理專家學者座談會，相關會議文件電子檔置於書後光碟。

二、 已發表論文

本研究已投稿並發表三篇論文，其中二篇發表於地籍測量，一篇發表於第 50 屆測繪及空間資訊發表會論文輯。另有一篇投稿至國土測繪與空間資訊期刊。已發表之論文電子檔置於書後光碟，四篇論文篇名如下：

1. 史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安，2022。導航衛星系統星系進展：2022，地籍測量，41(3):17-30。
2. 史天元、楊名，2022。全球導航衛星系統增強系統進展：2022，第 50 屆測繪及空間資訊發表會論文輯，2022 年 10 月 14 日。
3. 史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安，2022。全球定位系統中金氏碼之應用(The Application of Gold Code in GPS)，地籍測量，41(4):1-11。
4. 史天元、楊名、王慧蓉、陳鶴欽、楊枝安，2023。各國導航衛星系統測量手冊探討(On the National GNSS Surveying Guideline)，國土測繪與空間資訊期刊，已投稿。

附錄十、工作會議記錄

「111 年度基本控制點衛星定位測量作業規範委託研究採購案」

5 月份工作會議紀錄

- 一、 時間：111 年 5 月 25 日（星期三）下午 2 時 30 分
- 二、 開會方式：遠距視訊會議
- 三、 主持人：陳科長鶴欽
- 四、 出席及列席人員：詳如簽到簿
- 五、 主席致詞：(略)
- 六、 簡報事項：國立陽明交通大學執行進度報告（略）
- 七、 會議結論：
 - （一） 本案 111 年 5 月份預定進度為 30%，實際進度為 30%，符合契約規定。
 - （二） 本案契約規定，應至少蒐集 5 個國家基本控制點衛星測量作業相關手冊或規範，國立陽明交通大學（以下簡稱陽明交大）目前已蒐集日本、中國大陸、澳洲、紐西蘭、英國、加拿大、美國、韓國及瑞士等 9 個國家之相關手冊或規範，正進行分析作業中，符合契約規定。
 - （三） 本案契約規定期中報告書應於 111 年 6 月 30 日前繳交，成果應包括本案委託辦理工作項目第一項：辦理國外基本控制點衛星測量作業手冊或規範相關資料蒐集，請陽明交大妥為準備，如期繳交。
- 八、 散會：下午 2 時 45 分