

新北市政府 112 年度自行研究報告

以簡化作業程序分析區域環境對
e - G N S S 定位之影響

研究機關：新北市新店地政事務所

研究人員：蘇俊豪

研究期程：自 112 年 1 月 1 日至 112 年 10 月 31 日

新北市政府 112 年度自行研究成果摘要表

計 畫 名 稱	以簡化作業程序分析區域環境對 e-GNSS 定位之影響
期 程	自 112 年 1 月 1 日至 112 年 10 月 31 日
經 費	無
緣 起 與 目 的	<p>隨著衛星定位技術的發展，除了使用靜態測量來獲得點位坐標資訊外，動態測量 VBS-RTK 技術亦成為時下趨勢，並隨之帶來即時性與便利性等優點。</p> <p>然而，因為我國地理位置和環境影響緣故，導致衛星定位測量容易受限於環境限制而操作不易遭人詬病，進而影響成果精度的計算。故本研究欲針對環境因子影響本系統之使用進行探測及分析，了解系統於不同環境相互作用下仍得否維持其穩定性與可靠性，藉此研究達成以下目的：</p> <p>(一)簡化即時動態測量繁瑣的作業程序，提升觀測之效率</p> <p>(二)分析系統受區域電離層及對流層之影響程度，分析其穩定性</p>

<p>方 法 與 過 程</p>	<p>(一)選定適當之地點架設儀器：避免因人工擺放不穩固而產生人為誤差，避免到較多的遮蔽影響，導致解算成果不佳。</p> <p>(二)測定環境影響：探討 VBS-RTK 技術因環境影響所反映的誤差程度，並聚焦於電離層及對流層之延遲誤差之上。</p> <p>(三)測定作業流程：為有效簡化測量時間與流程，並將測量成果真實反映出來，使其研究結論更能貼近現行土地測量需求，符合地政單位外業進行之需要。</p> <p>(四)結果分析比對：分析同一時段不同天氣所帶給同一點位之誤差影響，用以分析電離層誤差以及對流層誤差是否造成影響。</p>
<p>研 究 發 現 及 建 議</p>	<p>本研究為分析系統受區域電離層及對流層之影響程度，並以簡化 e-GNSS 系統之作業程序測試，以提升觀測效率，並分析其穩定性，據此得出以下兩層面之結論：在環境測試方面，區域電離層及地面相對濕度對於系統並無顯著影響，惟須留意為確保測量成果品質穩定，仍建議儘量避開中午時段進行施測。除此，在間隔測試方面，根據本研究所得之共計三十六次觀測(每次一小時且每五分鐘接收一筆數據)，共約莫 400 筆資料顯示，平面精度誤差落在 2.4 公分至 2.2 公分的範圍內，高程精度則為 2.5 公分至 1.9 公分，另外為達本研究之宗旨，追</p>

	<p>求高效率的作業流程，在以上結果皆符合現行法規規範圖根點之最大誤差為 6 公分內，將以其最短間隔時間(2 分鐘)作為本研究之建議間隔時間。</p>
備註	無

摘要

現行臺灣積極推動的 e-GNSS 即時動態定位系統具有部分缺失尚待改善，例如：相關作業手冊規定外業觀測每測回間隔需達 1 小時以上，降低部分施測人員的使用意願。又考量臺灣所在地理位置及氣候條件，因此本研究將研究對象聚焦於：區域電離層及對流層誤差兩大層面，探討以上兩者對於本系統之定位精度影響。

本研究設計將就電子游離程度不一之特性，選定不同時段進行施測，分別為早上 8:00 - 9:00、中午 12:00 - 13:00、晚上 17:00 - 18:00，紀錄測量當時的天氣資訊，作為後續電離層、對流層造成之延遲分析。另外，在簡化流程部分，以接收三分鐘，並間隔兩分鐘的模式不斷重複，直至第一筆資料與最末筆間隔達到 60 分鐘為止，期間共可獲得 13 筆數據資料，並藉由大量測試(反覆進行 30 次以上)，盼能有效簡化測量時間與流程，並探討何種組合之間隔時間為最佳作業流程。據此得出以下兩層面之結論：在環境測試方面，區域電離層及地面相對濕度對於系統並無顯著影響，惟須留意為確保測量成果品質穩定，仍建議儘量避開中午時段進行施測。除此，在間隔測試方面，根據本研究所得之共計三十六次觀測(每次一小時且每五分鐘接收一筆數據)，共約莫 400 筆資料顯示，平面精度誤差落在 2.4 公分至 2.2 公分的範圍內，高程精度則為 2.5 公分至 1.9 公分，另外為達本研究之宗旨，追求高效率的作業流程，在以上結果皆符合現行法規規範圖根點之最大誤差為 6 公分內，將以其最短間隔時間(2 分鐘)作為本研究之建議間隔時間。

目錄

圖目錄	6
表目錄	7
第壹章 前言	8
一、研究動機	8
二、研究目的	9
第貳章 文獻回顧	10
一、e-GNSS 系統介紹	10
二、e-GNSS 系統緣由	10
三、衛星信號傳送過程中之誤差	11
四、誤差來源之分析	12
五、成果精度分析之方法	13
第參章 研究方法與流程	16
一、研究流程圖	16
二、研究方法	17
第肆章 測量成果之分析	21
一、測定環境影響因素分析	21
二、間隔流程分析	25
第伍章 結論與建議	30
一、研究結論	30
二、後續建議	31
參考文獻	32

圖目錄

圖 1 系統結合之技術	10
圖 2 定位系統建置年表	11
圖 3 研究流程圖	16
圖 4 TOPCON GRS-1 衛星接收儀、TOPCON PG-A1 天線盤	17
圖 5 用於架設衛星儀器之固定樁	17
圖 6 外業測量流程示意圖	19
圖 7 取頭尾兩筆資料之平均方法	20
圖 8 取全部資料之平均方法	20
圖 9 各時段之平面與高程精度	23
圖 10 對流層平均誤差之平面精度分析	24
圖 11 對流層平均誤差之高程精度分析	25
圖 12 頭尾兩筆取平均之研究方法	26
圖 13 全部相加取平均之研究方法	27
圖 14 方法一、二平面精度比較圖	28
圖 15 方法一、二高程精度比較圖	29

表目錄

表 1 電離層平均誤差之精度分析	21
表 2 電離層於各時段平面與高程精度平均	22
表 3 剔除 2023 年 4 月 30 日資料之平均誤差分析	22
表 4 對流層之平均誤差精度分析	24

第壹章 前言

一、研究動機

台灣早期的測量工作項目多以傳統導線測量的方式進行，利用全測站經緯儀觀測各點位之間的角度與距離，以求取座標值，然而其成果的好壞容易受到導線網形狀所影響，逐級的平差模式運算，也容易造成測量精度隨著基線距離的增加而下降(尹鍾奇，1994)。因此為改善諸多不便的缺點，現階段多透過全球衛星定位系統(Global Positioning System，以下簡稱 GPS)所發射的訊號進行定位，其精度較高又不受限於日夜、氣候與測站間通視等的限制，不僅具有全天性、全球性與提供精密的三維坐標功能，更能達快速而且節省人力經費等優勢，被視為極具發展潛能的工具之一(內政部國土測繪中心，2014)。

目前隨著全球衛星定位系統的蓬勃發展，整合多衛星系統之定位方式也逐漸受到大眾的關注(蕭世民等人，2015；內政部國土測繪中心，2013)，我國也陸續投入相關研究，從最早的靜態測量技術發展到目前被廣泛應用的即時動態測量(Real-Time Kinematic，RTK)，除此之外國土測繪中心更積極推動將原有的 e-GPS 定位系統升級現代化為 e-GNSS，將台灣本島 66 個衛星基準站提升為雙星系統服務，研究成果不容忽視。我國當前所採用的 GNSS 雙系統定位是為整合美國的 GPS 與俄國的 GLONASS 兩大系統，除能提高接收衛星數以提升精度外，亦能增加各項測繪工作之產出及效率，達到節省作業成本之訴求。

然而，e-GNSS 即時動態定位系統於作業上仍有部分技術性問題待於解決，例如：衛星訊號遮蔽、大氣層誤差、軌道幾何誤差與衛星基準站變位等，除此之外，其作業手冊規定外業觀測每次須接收固定解至少 180 筆以上，且不同時段觀測間隔亦需為 1 小時以上，作為精度檢核之依據。雖然已較以往模式提升不少效率，但是如此繁瑣的程序

規範，仍降低部分施測人員的使用意願。又我國位置處中低緯度地區，陽光直射地表，單位面積所能接受的太陽輻射量也相對較大，其中太陽輻射的強弱是影響電離層游離的重要因素，加上海島型氣候緣故，受到水氣干擾的頻率也將大幅增加，影響觀測精度結果。因此，本研究順應我國環境所需，將研究對象聚焦於：區域電離層及對流層誤差兩大層面，探討以上兩者對於現代化 e-GNSS 即時動態定位系統之定位精度影響，並針對其制度面缺失提供改善進行模擬，確保提供測量成果品質的同時，亦可以增加該系統的使用性，達到雙贏的局面。

二、研究目的

本研究預計調整觀測作業為：在每次觀測接收固定解仍維持 180 筆(每秒 1 筆)的情況下，修正每測回間隔時間為 2、7、12 分鐘不等方式(逐次增加 5 分鐘為依據)，並得持續進行 1 小時，希望藉此尋求能夠提升作業效率之流程，以增進待測區善用 e-GNSS 系統的便利性，是為本研究之宗旨。

另外，因為我國地理位置和環境影響緣故，導致衛星定位測量容易受限於環境限制而操作不易遭人詬病，進而影響成果精度的計算，使大多數觀測者會回歸使用傳統測量進行外業。故本研究欲針對環境因子中的紫外線強度及相對溼度影響本系統之使用進行探測及分析，了解系統於不同環境相互作用下仍得否維持其穩定性與可靠性，以利增加使用者選擇使用 e-GNSS 即時動態定位系統之可能性。綜整本研究目的如下：

- (一)簡化即時動態測量繁瑣的作業程序，提升觀測之效率
- (二)分析系統受區域電離層及對流層之影響程度，分析其穩定性

第貳章 文獻回顧

一、e-GNSS 系統介紹

e-GNSS 為台灣內政部國土測繪中心(2016)建構之高精度的電子化全球衛星即時動態定位系統名稱，基本定義為架構於網際網路通訊及無線數據傳輸技術之衛星即時動態定位系統，其中字母”e”具有「電子化」及「網路化」之含意，GNSS 則是代表著多星系的衛星導航定位系統(GPS+GLONASS)，即為國際上的 Network-based RTK 系統。

目前，隨著衛星定位測量技術進步及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，GNSS 即時動態定位(RTK)已成為國際測繪科技與定位技術之主流，特別是結合衛星定位、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone 行動式數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站等 5 項先進主流科技之核心定位技術(如圖 1)，使該系統整體運用與資料供應層面上，成為現今世界各先進國家積極建置營運之「即時性」、「高精度」的動態定位系統。

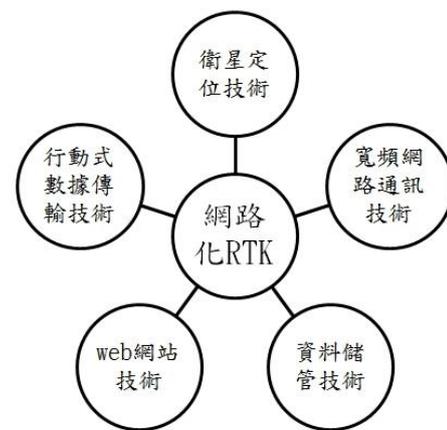


圖 1 系統結合之技術

二、e-GNSS 系統緣由

內政部國土測繪中心(2013)為維護國家測量基準、提升國內衛星定位技術，自民國 93 年起以美國全球定位系統(GPS)為主體架構，建置 e-GPS 即時動態定位系統，提供高精度定位測量相關服務。近年來，其他國家積極發展自有衛星系統，多星系全球導航衛星系統(GNSS)已

成為國際衛星定位技術主流，又為因應世界潮流及營運基本需求，自101年起積極推動將 e-GPS 升級為 e-GNSS 即時動態定位系統，針對原有系統進行更新、資源整合、營運創新以及技術升級等四大面向完成現代化升級作業。(如圖 2)



圖 2 定位系統建置年表

三、衛星信號傳送過程中之誤差

VBS-RTK 定位技術為利用衛星進行接收資料，以解算待測點位的三維坐標位置，其中所包含的誤差來源可分為以下四者，分別為衛星誤差、訊號傳播誤差、接收儀誤差及其他誤差，分述如下 (Hofmann-Wellenhof et al., 2001)：

- (一) 衛星相關誤差：星曆誤差、衛星時錶誤差、相對論效應，三者皆為系統誤差。
- (二) 訊號傳播相關誤差：電離層、對流層、多路徑效應、其他雜訊，其中只有其他雜訊的部分為偶然誤差，其餘皆為系統誤差。
- (三) 接收儀相關誤差：天線相位中心變化、接收儀時錶誤差、週波未定值、週波脫落、其他觀測誤差，其中天線相位中心變化與其他觀測誤差為偶然誤差，其餘皆為系統誤差。
- (四) 其他誤差：AS 與 SA 效應、地球潮汐，其中 AS 與 SA 效應為人為誤差。

四、誤差來源之分析

誤差來源雖然有很多種，但是本研究主要將針對電離層、對流層之延遲誤差以及多路徑效應產生之誤差進行解釋與分析，原因在於其餘環境誤差多屬人為無法控制之變因，且為符合本研究需求：先行排除環境影響本系統之因子，後分析簡化之流程，如此將有利於達成本研究目的，故在此有所聚焦以下三項：

(一) 電離層的分析：

高度位於 50 至 1000 公里的電離層中充滿了離子化的粒子與電子，且呈現不穩定的狀態，對無線電訊號會造成極大的影響，因此衛星訊號的傳播時間會形成延遲現象，若想要減緩電離層延遲誤差，可以使用差分線性組合，或是盡量於晚上進行觀測。

另外，L3 無電離層線性組合，主要是消除載波相位觀測量的電離層效應中的 $dion$ 項。其差分公式為：

$$\begin{aligned} L3 &= \lambda_1 \varphi_3 \\ &= \lambda_1 (\alpha_1 \omega_1 + \alpha_2 \omega_2) \\ &= R + c(dt - dT) + dtrop + \lambda_1 (\alpha_1 N_1 + \alpha_2 N_2) + \varepsilon L \\ &\quad \text{其中 } \alpha_1 = 2.546, \alpha_2 = -1.984 \end{aligned}$$

(二) 對流層的分析：

對流層之影響與衛星高度、測站緯度、測站高度相關，則對流層折射對於觀測量的影響分為乾分量與濕分量兩部分，乾分量主要與大氣溼度和壓力有關，而濕分量主要與傳播路徑上的大氣濕度與高度有關，其中約有 90% 的誤差量為乾分量引起的。那於本研究能夠控制的分量為相對溼度，能夠利用對流層數學模式改正，或視為特定參數於平差時一併求解，也可利用差分減弱其影響，或是採用水氣輻射儀測定

大氣之水氣含量，但是水氣輻射儀價格高且重量重，在雨天時又不能使用，故沒有太大之效益，本研究也無法取得水氣輻射儀，故此方法不作為參考依據。其中對流層數學改正模式為以下：

$N = N_d + N_w$ 其中 $N_d =$ 乾分量、 $N_w =$ 濕分量

$$N_d = 77.64 \times \frac{P}{T} \cdot N_w = 3.73 \times 10^5 \times \frac{e}{T^2}$$

其中 $P =$ 氣壓、 $T =$ 溫度、 $e =$ 水蒸氣偏壓

(三) 多路徑效應：

接收天線除了接收到衛星訊號以外，也可能同時接收到周圍的物反射的間接訊號，兩種訊號到達天線相位中心的時間不同步而疊加在一起，引起測點位置發生變化。因為直接訊號與間接訊號間存在著時間差與相位差，會導致接收儀無法分辨與量測出真正的相位值。在嚴重的多路徑效應影響下，會產生衛星訊號失鎖和週波脫落。其中減弱的方法綜整如下：

- 1、避開較強的反射面及高傳導性的物體。
- 2、選擇造型適當且屏蔽良好的天線。
- 3、增長觀測時間。
- 4、用數學模式分析，再加以改正。

五、成果精度分析之方法

本研究欲規劃早、中、晚三個時段分別進行各三次的外業測量，每次以記錄三分鐘間隔兩分鐘的作業流程用以進行資料分析，而針對上述外業測量後所獲得之數據結果，分別分析其標準誤差及平均誤差：

(一) 標準誤差

其定義為在進行測量作業時所紀錄下之坐標值與視為真值之坐標

值的接近程度，其驗證方式一般採取將已知點作為依據，逐點實施成果驗證，將認為無誤的已知點資訊當作約制條件實施平差，可以得到點位的標準誤差。而本次研究擬針對點位上之坐標，進行不同流程的測量方式，並透過標準誤差之檢驗，分析出在跳脫法令規定流程下，其所求得之坐標值與本研究測定之結果進行比較，檢驗是否依不同流程下仍然能夠將外部誤差控制於法定範圍內。公式為以下：

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_i^2)}{n-1}}$$

σ 標準誤差

V_i 誤差 = $X_i - T =$ 測定值 - 真實值

n 觀測數量

(二) 平均誤差

在平均誤差的求取部分，亦是將測量成果與真值進行比較，不過其中與標準誤差不同之處在於，平均誤差在計算過程中是將單次測量中的總數據各自做為獨立的資料並與真值比較，而非將其視為同一筆資料，意即本次作業中的最或是值與真值相比。而平均誤差的公式如下：

$$t = \pm \sum \frac{|V_i|}{n}$$

t 平均誤差

V_i 誤差 = $X_i - T =$ 測定值 - 真實值

n 觀測數量

由上述公式可得知，平均誤差的計算方式會將各筆資料之改正數作絕對值的處理，而該步驟是為了能讓各筆數據與真值間的誤差充分的被表現出來，也就代表能較為客觀的評定各筆觀測數據質量。

綜整，本研究經由上述對於二者定義的分析及評估後，在針對與真值間的精確度是否達標，擬採用「平均誤差」的概念，將每一筆數據皆當作觀測值與真值作比較，以撰寫後續分析。

第參章 研究方法與流程

一、研究流程圖

如圖 3 所示，主要分別測定環境影響程度及簡化作業流程，是為本研究進行之目的：

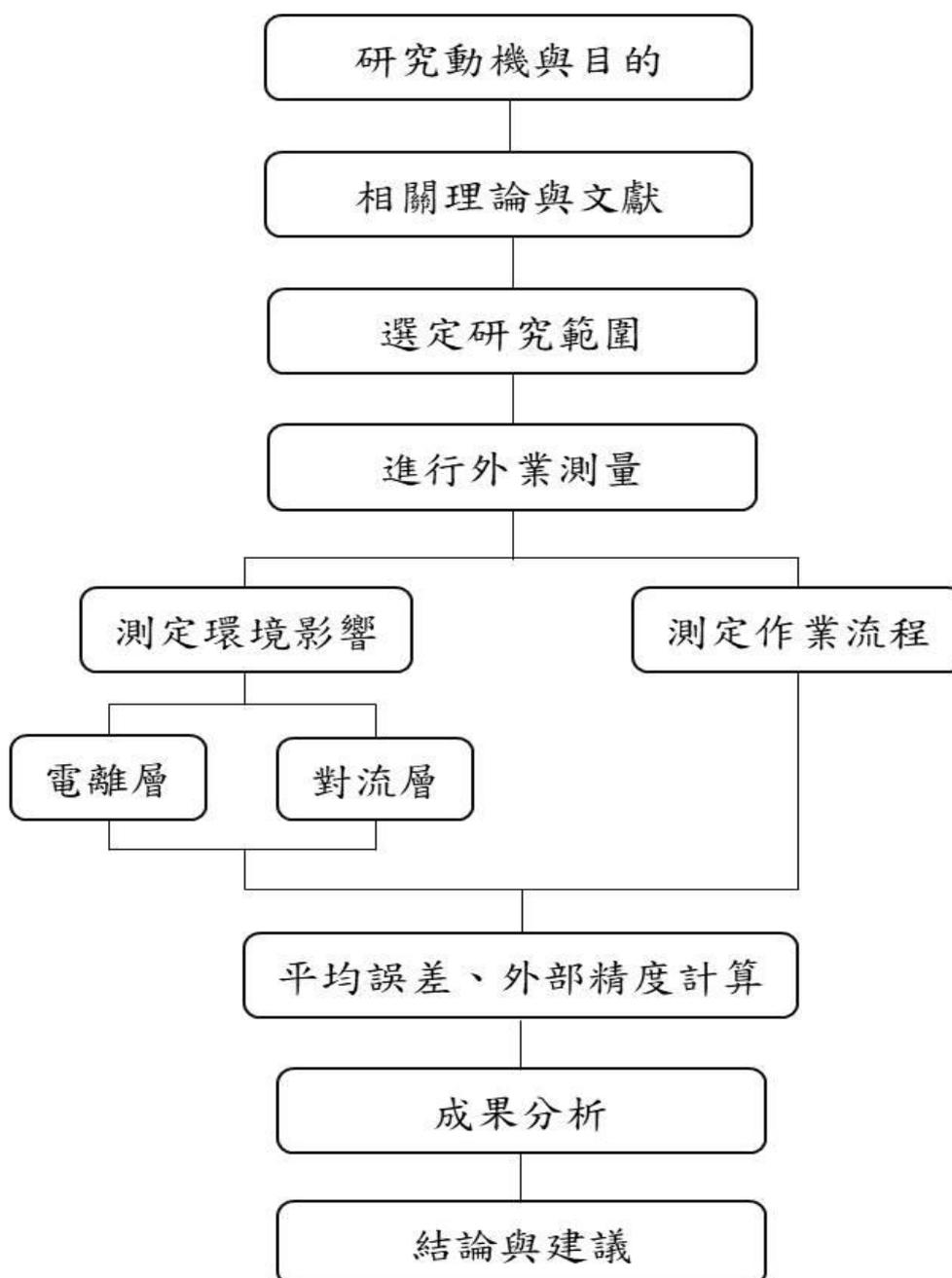


圖 3 研究流程圖

二、研究方法

(一) 選定適當之地點架設儀器

本次研究所選定地點為本棟行政大樓頂樓，將接收衛星訊號資料之主控制(Topcon GRS-1 衛星接收儀、Topcon PG-A1 天線盤)架設於一固定樁上(如圖 4、圖 5)，目的在於避免因人工擺放不穩固而產生人為誤差。另外，會選擇此的原因在於都市內充斥各式建物與高木，若將測試場定於地面上，則容易受到較多的遮蔽影響，亦即透空度不佳，形成遮蔽現象，如此可能違反接收衛星訊號之一大原則：觀測資料應包含 5 顆以上衛星資料、GDOP 值應小於 5，進而影響本研究的可信度，同時，易使得多於觀測數量下降，導致解算成果不佳的效果。



圖 4 Topcon GRS-1 衛星接收儀、圖 5 用於架設衛星儀器之固定樁
Topcon PG-A1 天線盤

(二) 測定環境影響

為確保後續測定流程作業之精度可靠性，可直接反應來自流程上的差異，而非因為環境因素所造成的解算成果出現同一系統性誤差，故

此一階段目標為探討 VBS-RTK 技術因環境影響所反映的誤差程度，並聚焦於電離層及對流層之延遲誤差之上。

做法為利用前一階段所選定之測試地點，先就電離層不同時段電子游離程度不一之特性，作為控制變因，並於每週選擇三個不同時段進行施測，分別為早上 8:00 - 9:00、中午 12:00 - 13:00、晚上 17:00 - 18:00，紀錄測量當時的天氣資訊，包含當時溫度、風力、相對濕度、當日累積雨量、即時紫外線，以及衛星接收顆數、DOP 值，作為後續電離層、對流層造成之延遲分析。

(三) 測定作業流程

依據內政部國土測繪中心訂頒「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」規範，每個測點至少重覆觀測二測回，須間隔 60 分鐘，資料記錄率為 1 Hz，連續測量至少 180 筆固定解成果，建議其資料品質平面精度小於二公分，高程精度小於五公分。

本研究考量如此繁瑣的作業程序無法有效提高系統使用度，因此將觀測時間修正為每次間隔 2 分鐘，並得連續觀測 1 小時，但仍維持至少 180 筆固定解測試(亦即連續接收 3 分鐘)，盼能有效簡化測量時間與流程，並探討何種組合之間隔時間為最佳作業流程。另外，亦須針對該點位進行成果精度較高的 GPS 靜態測量，蒐集連續 7 天之觀測資料平均求得之 TWD97 坐標作為參考真值，利於後續研究評估與驗證之用。又本研究擬採用之檢核方法實屬外部精度的計算，目的在於將測量成果真實反映出來，且與 TWD97 公告坐標作比較，使其研究結論更能貼近現行土地測量需求，符合地政單位外業進行之需要。

根據上一階段結果，以決定後續測量環境之流程測試。流程規劃以接收三分鐘，並間隔兩分鐘的模式不斷重複進行，直至第一筆資料與

最末筆之間隔達到 60 分鐘為止，共可獲得 13 筆數據資料(如圖 6)。

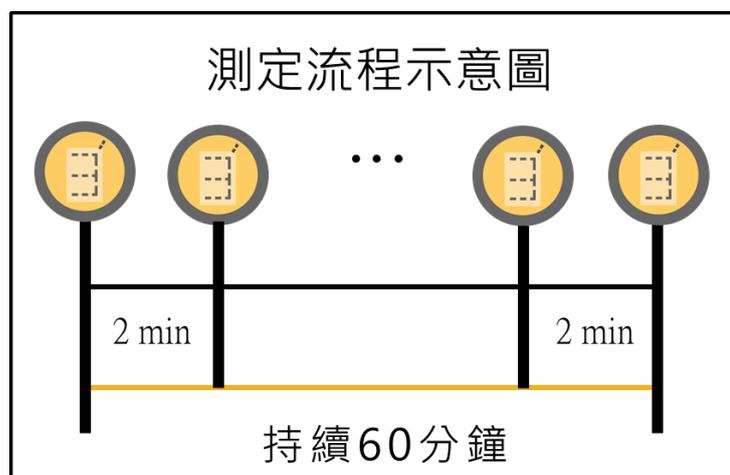


圖 6 外業測量流程示意圖

(四) 結果分析比對

本流程所花費總時間與現行法規規定相同，但相較於原先之規範內容，僅只有採納頭尾兩筆數據，並取其平均作為最終測量成果。本研究之設計流程共可獲得 13 筆數據，以增加多餘觀測次數，利於後續採組合的方式，任意選取其中數筆觀測資料，模擬不同時間間隔下的測量作業，來獲得不同測回間之間隔長短對應的精度。另外，為使其餘可能造成誤差之變數降至最低，本研究擬定進行多次以上測試，以確保此流程之可靠性。

舉以下例子進行說明，在持續接收一小時資料後可得共 13 筆數據資料，若為分析間格時間為 32 分鐘，則具有以下兩中分析方法，其一為與現行法規相同之規範，將其頭尾兩筆資料進行平均(圖 7)，呈現結果即為所求得之坐標值；再者，亦能將過程中八筆資料全部進行平均之計算(圖 8)，以達到上述增加多餘觀測的效果，後續試分析兩者所得結果之差異。



圖 7 取頭尾兩筆資料之平均方法



圖 8 取全部資料之平均方法

第肆章 測量成果之分析

一、測定環境影響因素分析

本研究針對 VBS-RTK 即時動態測量，擬出不同的假設性因子，並分析同一時段不同天氣所帶給同一點位之誤差影響，設計為採取最大差異化時段及天氣作為環境測試考量，而此次規劃時間可劃分為早上(8:00-9:00)、中午(12:00-13:00)、傍晚(17:00-18:00)作為三個不同觀測時段，並在此時間範疇內以相同儀器檢驗點位之平均誤差作討論，用以分析電離層誤差以及對流層誤差是否造成影響。

(一) 電離層誤差分析

首先根據九次觀測資料做平均誤差之分析(如表 1)，並計算平面精度及高程精度之結果，並以表 2 的方式呈現，以平面精度而言早上資料平均之平面精度為 1.6 公分，中午資料平均之平面精度為 1.7 公分，而晚上資料平均之平面精度為 2.0 公分；而在高程精度方面，早上平均之高程精度為 2.1 公分，中午資料平均之高程精度為 2.7 公分，而晚上資料平均之高程精度為 1.9 公分。

表 1 電離層平均誤差之精度分析

日期	時段	平均誤差精度分析			平面精度	高程精度
		(單位：公分)				
		N	E	h		
5月4日	早	0.5	1.3	1.7	1.4	1.7
5月11日	早	0.9	1.2	2.3	1.5	2.3
5月18日	早	0.9	1.7	2.2	1.9	2.2
5月6日	中	0.6	1.2	1.4	1.4	1.4
5月13日	中	0.9	1.4	2.2	1.7	2.2
4月30日	中	0.9	1.9	4.6	2.1	4.6
5月14日	晚	0.8	1.4	1.5	1.7	1.5
5月8日	晚	0.5	1.7	2.4	1.8	2.4
4月29日	晚	0.9	2.5	1.9	2.7	1.9

表 2 電離層於各時段平面與高程精度平均

時段	平均誤差精度分析				
	(單位：公分)			平面精度	高程精度
	N	E	h		
早	0.8	1.4	2.1	1.6	2.1
中	0.8	1.5	2.7	1.7	2.7
晚	0.7	1.9	1.9	2.0	1.9

從中可以明顯看出 2023 年 4 月 30 日該筆數據，經與真值計算後之平面精度為 2.1 公分、高程精度為 4.6 公分，均與其他觀測值有顯著的差異。又考量該次觀測數據之內部精度為 1.3 公分，可以確定該次測量之精密程度高，故得以推判在高程精度方面會與其他數值如此懸殊，可能形成之原因為觀測過程中產生系統性誤差或是偶然誤差。若將該筆數據放入後續分析將可能導致整體精度下滑，因此決定將該筆資料進行剔除，並且將剩餘觀測資料以各時段數值平均的方式做分析可得出表 3。現階段藉由九筆數據來測試區域電離層對 e-GNSS 系統影響，其中刪除部分屬中午時段，雖然所得結果多數不受限於游離電子影響，但為確保該次作業成果，作業上時間如能配合，應儘量避免在中午時候進行外業測量，以避免偶有誤差的現象發生。

表 3 剔除 2023 年 4 月 30 日資料之平均誤差分析

時段	剔除一筆資料平均誤差精度分析				
	(單位：公分)			平面精度	高程精度
	N	E	h		
早	0.8	1.4	2.1	1.6	2.1
中	0.7	1.3	1.8	1.5	1.8
晚	0.7	1.9	1.9	2.0	1.9

表 3 的結果明顯呈現在剔除 2023 年 4 月 30 日數據後，計算所得之結果採以平均誤差的角度分析，發現各時段觀測結果並無顯著差別（如圖 9），推論電離層之活動並不會造成顯著誤差，因此，推判電離層對本研究之結果並無影響。

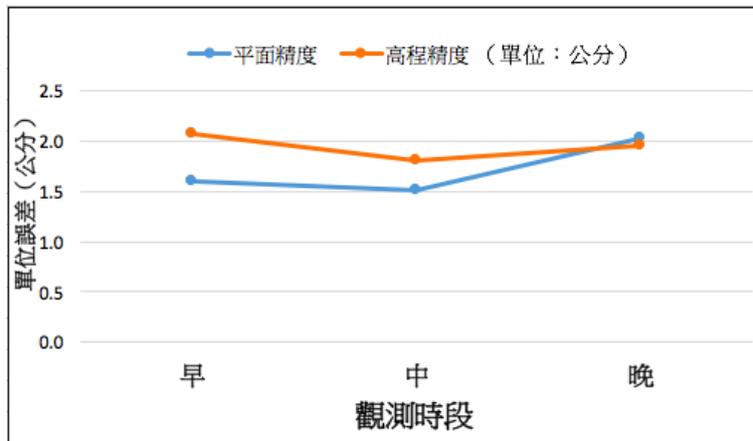


圖 9 各時段之平面與高程精度

(二) 對流層誤差分析

有鑑於在電離層分析階段，已得出任何時段觀測對於該次測量皆不會造成影響，因此在對流層誤差的分析中，將不再探討各別時段是否會形成偏差現況。此外，上階段分析中又已推論將 2023 年 4 月 30 日該筆數據予以剔除，因此在後續分析中將不再將其納入討論範圍。而針對各項影響因素，本階段研究將聚焦於各次觀測結果與相對溼度之關聯，作為分析對流層誤差之依據，依序分析其平面精度及高程精度。

表 4 為將八筆資料以平均誤差的方式計算，先行於進一步分析前將其統整，後依序將相對溼度由小至大排列，並將其平面與高程精度以折線圖方式呈現，綜整如下。

表 4 對流層之平均誤差精度分析

對流層與平均誤差之精度分析			
日期	相對溼度(%)	平面精度(cm)	高程精度(cm)
4月29日	87.0	2.7	1.9
5月4日	87.0	1.4	1.7
5月6日	81.0	1.4	1.4
5月8日	76.0	1.8	2.4
5月11日	61.0	1.5	2.3
5月13日	94.0	1.7	2.2
5月14日	84.0	1.7	1.5
5月18日	90.0	1.9	2.2

於平面部分，圖 10 可以明顯看出，從 2023 年 4 月 29 日到 2023 年 5 月 18 日，相對溼度分布於介於 61%至 94%之間，平面精度則落在 1.4 公分到 2.7 公分的範圍，平面精度方面並未產生劇烈變化；此外，2023 年 5 月 8 日相對濕度最低，而 2023 年 5 月 13 日相對濕度最大，但兩者平面精度分別為 1.8 公分及 1.7 公分，並無明顯差異，又本研
究所得之相對濕度是以地面測得為基礎進行以上推論，故現階段僅得以推判，在地面部分濕度對於系統誤差並不具有顯著影響。



圖 10 對流層平均誤差之平面精度分析

另外於高程部分，圖 11 可以明顯看出，從 2023 年 4 月 29 日到 2023

年 5 月 18 日，相對溼度分布介於 61%至 94%之間，高程精度則落在 1.4 公分到 2.4 公分的範圍，如折線圖所示，高程精度曲線趨近平緩；針對相對溼度最高及最低之數據，以高程精度來看，2023 年 5 月 13 日為 2.2 公分，2023 年 5 月 8 日為 2.4 公分，相較而言差異不大，綜合平面精度及高程精度之分析，進一步推論在地面部分濕度對於系統誤差並不具有顯著影響。

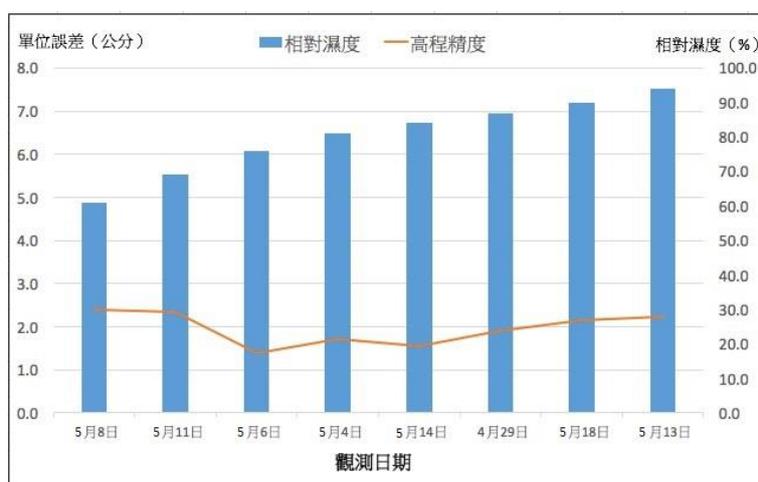


圖 11 對流層平均誤差之高程精度分析

二、間隔流程分析

VBS-RTK 即時動態測量，具有施測快速且高精度等之特點，然目前使用上卻受限於參考手冊建議，須接收資料達 3 分鐘以上，且測回間之間隔時間至少 60 分鐘，造成時間上效率不佳。另外，鑒於先前環境測定結果，確認電離層、對流層對本研究並不會造成顯著的誤差現象，因此本階段進行之流程測試，不再受限於天氣環境限制，僅聚焦於時間間隔與精度之關聯性。

本研究流程規劃以接收三分鐘，間隔兩分鐘的模式不斷重複進行，直至第一筆資料與最末筆之間隔達到 60 分鐘為止，測量期間內共可獲

得 13 筆數據，後續採組合方式選取，模擬不同時間間隔下的測量作業，此外為使其餘可能造成誤差之變數降至最低，本研究進行三十次以上測試，以確保此研究之可靠度。

(一) 頭尾兩筆取平均之研究方法

圖 12 為將本研究共計三十六次觀測，每次進行一小時，又每五分鐘作為間隔差計算之結果，以平均誤差的方式進行分析，並採取**頭尾兩筆取平均之方法**(以下簡稱**方法一**)，計算平面和高程精度結果。在平面精度方面以藍色折線呈現；高程精度則是以綠色折線呈現。

在本次研究期間，平面精度落在 2.4 公分至 2.2 公分的範圍，從折線圖中顯示並無劇烈變化，且誤差分佈隨機，平面精度結果並不隨間隔時間增加而提升；另外，高程精度落在 2.4 至 1.9 公分的範圍，其折線亦無劇烈變化，然相較於平面精度具有隨時間間隔增加而精度提升的趨勢。由此結果可歸得以下結論：間隔分析採用此的同時，平面精度的高低不因時間間隔長短影響，但高程精度仍微幅受時間間隔限制。

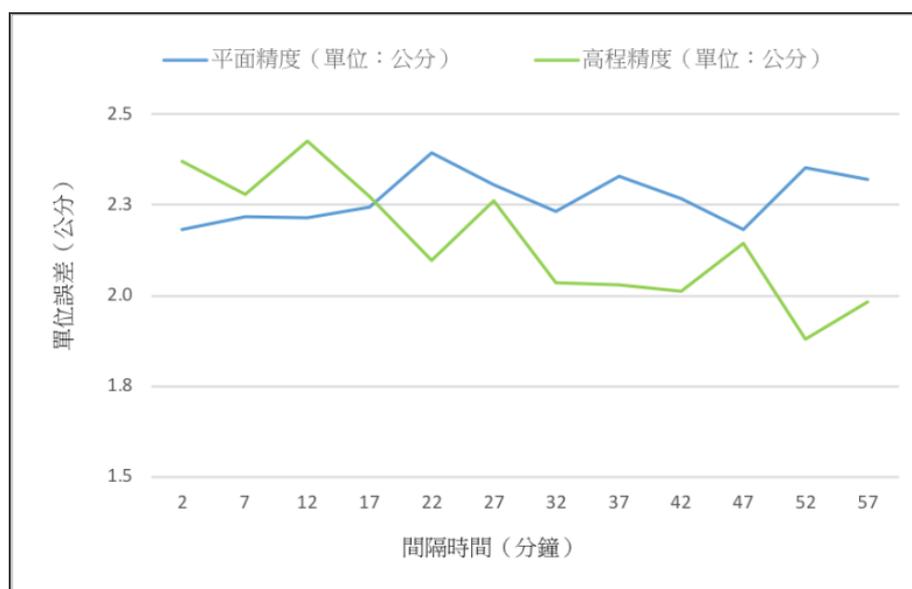


圖 12 頭尾兩筆取平均之研究方法

(二) 全部相加取平均之研究方法

圖 13 為將本研究共計三十六次觀測，每次接收 13 筆數據資料，約莫 400 筆，以平均誤差的方式進行分析，並採取全部相加取平均之方法(以下簡稱方法二)，計算平面和高程精度結果。在平面精度方面以藍色折線呈現；高程精度則是以綠色折線呈現。

結果顯示，平面精度均落在 2.3 至 2.2 公分的範圍，在折線圖中為一穩定的曲線，誤差分佈均勻，且仍不具有隨時間而提升精度的現象；高程精度方面，誤差落在 2.5 至 2.0 公分的範圍內，其折線相較於平面精度變化較為劇烈，且呈現隨時間間隔增加具有逐步提升的趨勢。由此結果可歸得以下結論：間隔分析採用此的同時，平面精度的高低仍不因時間間隔長短影響，但高程精度明顯受時間間隔限制，隨間隔時間及多餘觀測增加筆數資料逐漸提升。

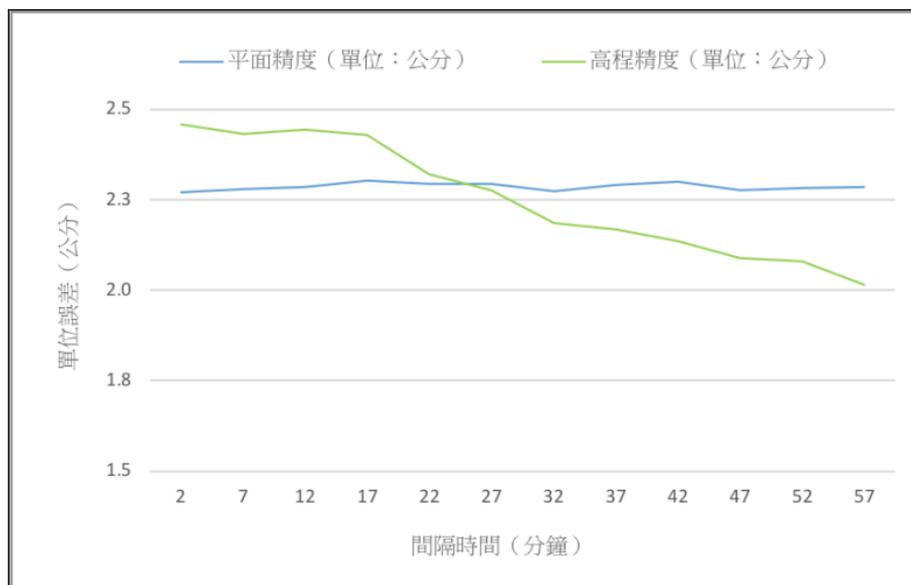


圖 13 全部相加取平均之研究方法

又圖 14 為將本階段方法一、二平面精度進行比較，頭尾兩筆取平均之方法一以藍色折線呈現；全部取平均之方法二則以綠色折線呈

現。間隔分析採用方法一之平面精度部分，變化幅度約為 10%，然相較於方法二之部分，其於平面精度變化僅有 4% 的波動現象，顯示出方法一的品質較不穩定，其結果所呈現的摺線具有明顯變動情況。

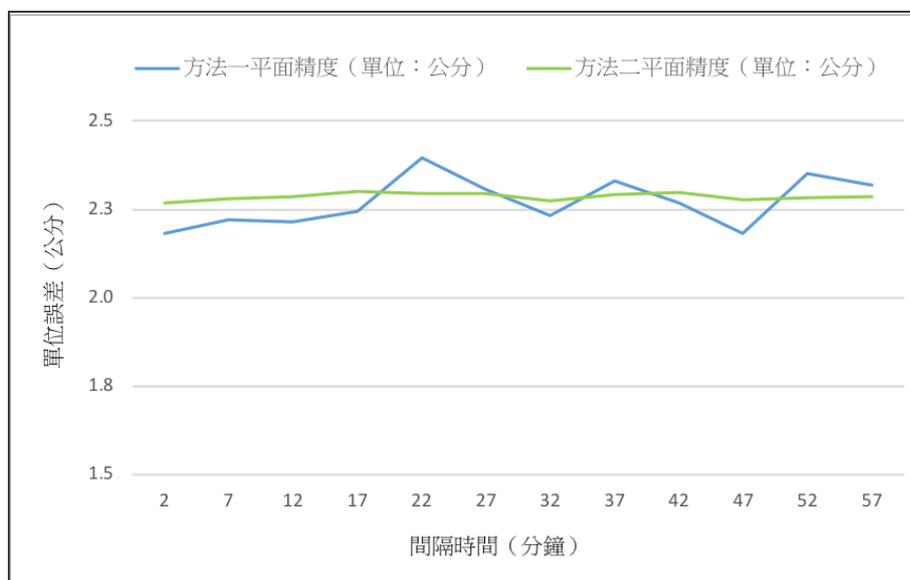


圖 14 方法一、二平面精度比較圖

圖 15 為將本階段方法一、二高程精度比較圖，頭尾兩筆取平均之方法一以藍色折線呈現；全部取平均之方法二則以綠色折線呈現。採使用方法一分析之高程精度變化幅度為 20%，相較於採使用方法二分析之高程精度變動幅度為 8%，可推得前者具有不穩定的現象，顯示折線具有上下劇烈變動情形，故採使用方法二分析之高程精度，相較於方法一精度穩定。

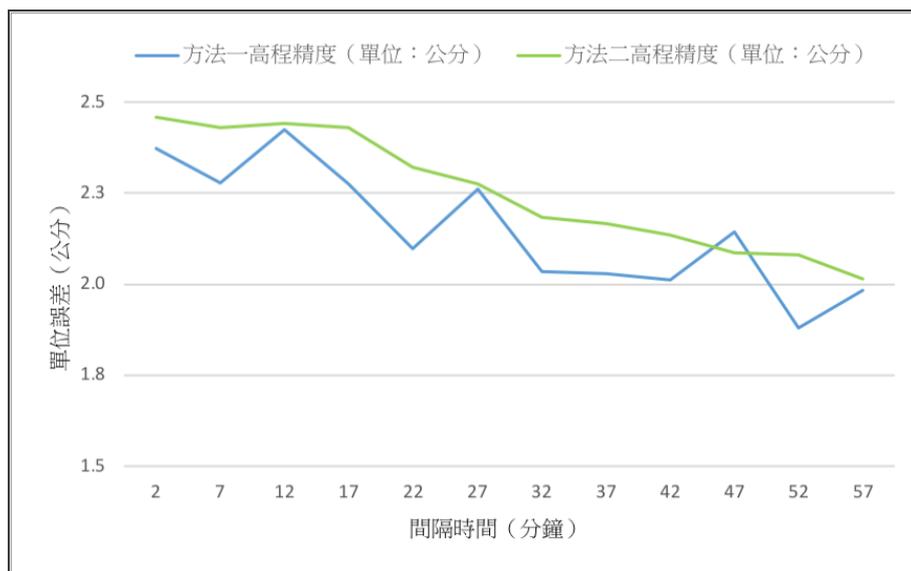


圖 15 方法一、二高程精度比較圖

依本研究所測得之約 400 筆數據資料，總歸以上得以推知：間隔採用方法一分析高程精度較不穩定，原因在於分析方式僅平均頭尾兩筆觀測資料，其精度結果顯著呈現兩筆資料的誤差，方法二增加觀測資料筆數則可平均分配誤差，將其精度結果利用增加多餘觀測數提升可靠度以及穩定度。

除此，間隔採用方法一分析之平面精度及高程精度皆較不穩定，兩者之原因亦和前段所得之結論相同，由此證實增加多餘觀測次數確實能提升 VBS-RTK 即時動態測量定位精度的可靠度及穩定度。然間隔流程測試，目的為簡化法規流程，採用方法二雖能得到最高精度結果，卻造成時間經濟不效益，且就法規對於平面及高程精度要求，本階段測試不論採用何種資料選取方式，皆符合地籍測量實施規則規範，其圖根點於市地測量時，最大標準誤差六公分內。故本研究之簡化流程，將採用最短間隔時間(間隔 2 分鐘)，採以頭及尾兩筆資料之平均作為本研究之結論。

第五章 結論與建議

一、研究結論

本研究為分析系統受區域電離層及對流層之影響程度，並以簡化 e-GNSS 系統之作業程序測試，以提升觀測效率，並分析其穩定性，得出以下兩層面之結論：

- (一) 環境測試：在環境測試方面，得以推得區域電離層對本系統誤差並無顯著影響，故為任一時段使用本系統進行外業量測，所得之結果差異並不大，惟須留意如為確保測量成果品質穩定，建議避開中午時段進行施測。又於分析對流層之部分，具有地面濕度對本系統誤差亦無顯著影響。綜上，e-GNSS 系統具有一定之穩定度表現，且不受限於氣候環境所影響。
- (二) 間隔測試：在間隔測試方面，根據本研究所得之共計三十六次觀測，每次持續進行一小時，總計 13 組數據資料，每組為接收 3 分鐘且相距間隔差為 5 分鐘為準進行。採計方法一時，平面精度誤差落在 2.4 公分至 2.2 公分的範圍內，高程精度則為 2.4 公分至 1.9 公分；如為方法二時，平面精度誤差範圍約是 2.3 公分至 2.2 公分，高程精度則是 2.5 公分至 2.0 公分，根據以上得出採用方法二時結果較為穩定，亦即變動幅度較小。除此，不論採用何種方式計算其平均誤差，於平面精度方面，其誤差波動皆不會隨時間增加而有所改變，然高程精度卻非如此，其誤差會跟隨間隔時間越長隨之下降。再者，為達本研究之宗旨，追求高效率之作業流程，在以上結果皆符合現行法規規範最大誤差 6 公分之規定內，將以其最短間隔時間(2 分鐘)作為本研究之結論。

二、後續建議

- (一) 有鑑於測定環境影響階段，測試期間天氣無季節跨距，結果可能無顯著性差異，未來預期將測定可遇見之極端天氣形態下，對精度的影響程度，選定豪雨、氣溫高於 30 度、梅雨季節相對溼度高等情况，使用相同的流程做測定，再將此結果與持續測定流程資料做比較，分析極端天氣對精度的影響性。
- (二) 在測定環境對於系統誤差影響程度之階段，於對流層分析之部分，因所得之相對濕度資料來自中央氣象局於該時段所公布之數值，是以表示地面相對濕度多寡而非訊號傳播路徑過程中之濕度，建議往後可利用探空氣球或水氣微波輻射儀所得之觀測資料，詳細推得其間的關係。
- (三) 根據本研究所測試的簡化流程結果，選擇符合現行平面精度、高程精度規範之最有效率的作業方式，是以接收 180 筆資料為固定解，並將每測回間隔由現行的 60 分鐘以上縮短至 2 分鐘。本研究設計是以系館頂樓之固定站做為測試場，建議往後可以此結果為基礎，進行實地測量作業，已提升適應不同環境之效能。
- (四) 本研究是為分析作業流程中間隔時間對精度所形成之影響，成果精度多能符合現行作業規定，足可提供予主管機關進行實施手冊之研修，又建議往後可續分析接收時間長短對本系統影響多寡，用以補足眼下不足之處，提升使用者選擇使用系統之可能。
- (五) 目前 e-GNSS 即時動態定位系統，僅加密控制測量與圖根測量作業部分提供相關手冊之規範供參照，其餘諸如重測作業之界址測量、或協助指界等大量外業測量工作，皆因缺乏即時動態定位測量之相關規定，造成使用上不易。建議針對此一部分進行研究，研訂符合相關精度及作業規範之手冊，供後續廣泛應用本系統。

參考文獻

1. Hofmann, W. B., Lichtenegger, H., and Collins, J., 2001, *Global Positioning System: Theory and Practice*, Springer-Verlag, New York.
2. 尹鍾奇，1994，實用大地測量學，國彰出版社
3. 中華空間資訊學會，2010，探討及分析現行 GPS 技術(靜態、RTK、e-GPS 等)之作業方式，中華空間資訊學會成果報告書
4. 內政部國土測繪中心，2010，地籍測量實施規則，國土測繪法令彙編，第 6 版，第 118-122 頁
5. 內政部國土測繪中心，2010，內政部國土測繪中心採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量，內政部國土測繪中心作業手冊
6. 內政部國土測繪中心，2012，辦理加密控制衛星定位測量作業手冊，內政部國土測繪中心作業手冊
7. 內政部國土測繪中心，2013，e-GPS 即時動態定位系統現代化更新升級，內政部國土測繪中心成果報告書
8. 內政部國土測繪中心，2014，三維即時坐標轉換輔助 VRS-RTK 定位技術獲得法定坐標系統測量成果之研究，內政部國土測繪中心成果報告書
9. 王文俊，2014，應用 GNSS 快速靜態與 e-GNSS 比較加密圖根控制測量之研究，國防大學理工學院環境資訊及工程學系空間科學碩士班碩士學位論文。
10. 蕭世民、陳鶴欽、梁旭文，2015，e-GNSS 即時動態定位系統現代化更新，第三十四屆測量及空間資訊研討會
11. 內政部國土測繪中心，2016，e-GNSS 即時動態定位系統，e-GNSS

入口網站。取自：<http://www.egnss.nlsc.gov.tw/HotNews.aspx>

12. 張淑娟，2017，簡化 e-GNSS 於地籍圖根測量之作業評估，國立台北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文