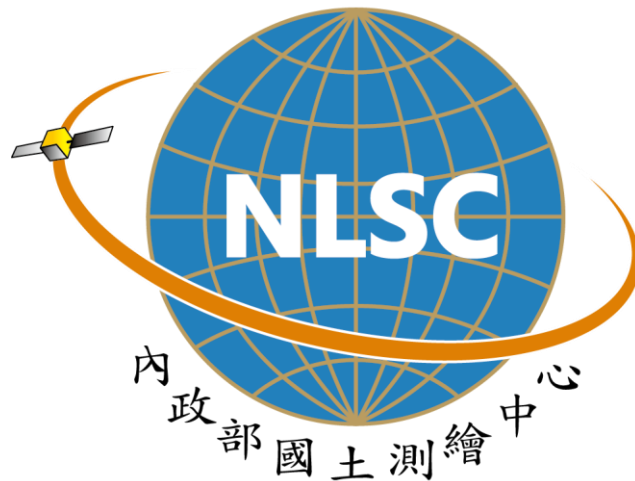


VBS-RTK 定位技術在公共管線測量 實務應用與精度控制之研究



內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 103 年 9 月

103-301000100G-0003

VBS-RTK 定位技術在公共管線測量 實務應用與精度控制之研究

研究人員：

技士	吳峻宇
技正	王敏雄
課長	梁旭文
副主任	鄭彩堂

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 103 年 9 月

103-301000100G-0003

Ministry of the Interior
Research Project Report

A Study of the Practical Application of
Public Utility Measurement and Precision
Control by VBS-RTK

By

Wu, Chun Yu

Wang, Min Hsiung

Liang, Hsu Wen

Cheng, Tsai Tang

September 2014

目次

目次	I
圖次	IV
表次	VII
摘要	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起	1
1-1-1 研究緣起.....	1
1-1-2 e-GPS 及 e-GNSS 即時動態系統簡介及背景概述.....	3
1-1-3 營建署現行管線測量規範.....	5
第二節 研究動機與目的	7
第二章 研究方法與流程.....	9
第一節 研究方法	9
第二節 研究流程	11
第三節 預期成果	12
第三章 VBS-RTK 孔蓋管線測量規劃與外業作業	13
第一節 外業規劃概述	13
第二節 施測模式研擬	14
第三節 臺中港港區	15
3-3-1 施測區分析	15
3-3-2 台灣中油公司管線測量作業.....	17

3-3-3 作業概況	19
3-3-4 結果分析	22
3-3-5 臺中港作業小結	30
第四節 雲林縣虎尾鎮市區	32
3-4-1 施測區分析	32
3-4-2 台灣自來水公司管線作業.....	34
3-4-3 作業概況	35
3-4-4 結果分析	37
3-4-5 雲林虎尾市區作業小結	45
第五節 雲林縣虎尾鎮郊區	46
3-5-1 施測區分析	46
3-5-2 作業概況	47
3-5-3 結果分析	49
3-5-4 雲林虎尾郊區作業小結	55
第六節 新北市汐止區	56
3-6-1 施測區分析	56
3-6-2 台灣電力公司及汐止區公所管線測量作業.....	58
3-6-3 作業概況	58
3-6-4 結果分析	60
3-6-5 新北市汐止區作業小結	68
第七節 綜合分析	69
第八節 透空環境欠佳之孔蓋管線點位及其建議施測方式.....	71
第四章 VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範 ..	75
第五章 結論及建議.....	79

第一節 結論	79
第二節 建議	82
參 考 文 獻.....	83
附 錄.....	84

圖 次

圖 1-1 e-GNSS 基本架構示意圖.....	3
圖 1-2 e-GNSS 衛星定位基準網全國分布圖.....	4
圖 1-3 各縣市公共設施管線資料庫建置統計.....	7
圖 1-4 公用管線孔蓋之人孔蓋（左）及制水閥（右）.....	8
圖 1-5 公用管線孔蓋之消防栓（左）及排泥閥（右）.....	8
圖 2-1 各施測區外業情況.....	9
圖 2-2 研究流程圖.....	11
圖 3-1 各廠牌衛星接收儀.....	13
圖 3-2 臺中港管線孔蓋測量點位分布圖.....	15
圖 3-3 臺中港 e-GNSS 管線孔蓋測量情況.....	16
圖 3-4 臺中港各點位觀測時間統計圖.....	16
圖 3-5 單主站 RTK 作業示意圖.....	17
圖 3-6 台灣中油 RTK 主站 CK01 相對位置.....	18
圖 3-7 TRIMBLE 5700 及 5800 衛星接收儀.....	18
圖 3-8 臺中港測量作業人員.....	19
圖 3-9 臺中港位於行道樹旁透空稍差之點位.....	20
圖 3-10 臺中港位於道路旁透空良好之點位.....	20
圖 3-11 臺中港位於貨櫃車中對點不易之點位.....	21
圖 3-12 臺中港遭貨櫃阻擋無法觀測之點位.....	21
圖 3-13 臺中港遭貨櫃遮蔽無法觀測之點位.....	22
圖 3-14 臺中港位於行道樹下透空不佳之點位.....	23
圖 3-15 臺中港台灣中油 RTK 主站點位 CK01.....	26
圖 3-16 臺中港 LEICA 與 CPC 坐標 N、E、h 差值.....	28
圖 3-17 臺中港 LEICA 與 CPC 坐標平面、三維差值.....	28
圖 3-18 臺中港 TOPCON 與 CPC 坐標 N、E、h 差值.....	29

圖 3-19 臺中港 TOPCON 與 CPC 坐標平面、三維差值.....	29
圖 3-20 中油主站點 CK01 觀測情形.....	30
圖 3-21 虎尾鎮市區管線測量點位分布圖.....	32
圖 3-22 虎尾市區交通流量及房舍遮蔽情形.....	33
圖 3-23 雲林虎尾市區 e-GNSS 管線孔蓋測量情況.....	33
圖 3-24 虎尾市區各點位觀測時間統計圖.....	34
圖 3-25 TRIMBLE 5600IR 全測站儀及控制面板.....	35
圖 3-26 虎尾鎮市區外業情形.....	35
圖 3-27 虎尾鎮市區位於行道樹及建物旁之點位.....	36
圖 3-28 虎尾鎮市區鄰近電桿及公車等候亭下之點位.....	36
圖 3-29 虎尾市區點位遮蔽情形.....	37
圖 3-30 虎尾市區作業區所使用轉換控制點位置圖.....	41
圖 3-31 虎尾市區 LEICA 與 TWC 坐標差值.....	43
圖 3-32 虎尾市區 LEICA 與 TWC 坐標差值.....	43
圖 3-33 虎尾市區 TOPCON 與 TWC 坐標差值.....	44
圖 3-34 虎尾市區 TOPCON 與 TWC 坐標差值.....	44
圖 3-35 虎尾郊區透空良好與稍差之情形.....	46
圖 3-36 虎尾郊區管線測量點位分布圖.....	46
圖 3-37 虎尾郊區各點位觀測時間統計圖.....	47
圖 3-38 虎尾郊區單人測站進行測量作業.....	48
圖 3-39 虎尾郊區農田旁透空良好.....	48
圖 3-40 虎尾郊區鄰近房舍及電桿之點位.....	49
圖 3-41 虎尾郊區 LEICA 10_1 與 TWC 坐標差值.....	52
圖 3-42 虎尾郊區 LEICA 10_1 與 TWC 坐標差值.....	53
圖 3-43 虎尾郊區 LEICA 10_2 與 TWC 坐標差值.....	53
圖 3-44 虎尾郊區 LEICA 10_2 與 TWC 坐標差值.....	54
圖 3-45 台電人手孔及區公所雨水人手孔.....	57

圖 3-46 新北市汐止區施測孔蓋點位.....	57
圖 3-47 Trimble R6 GNSS System 及其外業情形.....	59
圖 3-48 汐止區孔蓋點位位於透空環境不佳之區域.....	59
圖 3-49 7 參數轉換加座標網格殘差修正法示意圖.....	60
圖 3-50 新北市汐止區所使用轉換控制點位置圖.....	63
圖 3-51 汐止區網格殘差修正法與 NTCG 坐標差值.....	66
圖 3-52 汐止區網格殘差修正法與 NTCG 坐標差值.....	66
圖 3-53 汐止區最小二乘配置法與 NTCG 坐標差值.....	67
圖 3-54 汐止區網格殘差修正法與 NTCG 坐標差值.....	67
圖 4-1 光線法示意圖	72
圖 4-2 附合導線法示意圖.....	73
圖 4-3 閉合導線法示意圖.....	74

表 次

表 3-1 臺中港往、返測有效資料表.....	22
表 3-2 臺中港不同接收筆數內部精度及極值表.....	24
表 3-3 臺中港相異平均筆數比較表.....	25
表 3-4 臺中港 2 種廠牌測量成果比較表	25
表 3-5 臺中港 e-GNSS 管線測量成果與 CPC 成果比較	26
表 3-6 臺中港 e-GNSS 管線測量與 CPC 平面差值比例	27
表 3-7 臺中港 e-GNSS 管線測量與 CPC 高程差值比例	27
表 3-8 中油主站點 CK01 坐標比較表.....	30
表 3-9 虎尾市區各測回有效資料.....	36
表 3-10 虎尾市區不同接收筆數內部精度及極值	38
表 3-11 虎尾市區相異平均筆數比較表	38
表 3-12 虎尾市區 2 種廠牌測量成果比較	39
表 3-13 虎尾市區作業區所使用轉換控制點列表.....	41
表 3-14 虎尾市區 e-GNSS 測量與台灣自來水公司比較	42
表 3-15 虎尾市區 e-GNSS 測量參考範例比較（平面）	42
表 3-16 虎尾市區 e-GNSS 測量參考範例比較（高程）	42
表 3-17 虎尾郊區往、返測有效資料	48
表 3-18 虎尾郊區各測回內部精度及極值.....	50
表 3-19 虎尾郊區往返測回差值比較	50
表 3-20 虎尾郊區 e-GNSS 測量與台灣自來水公司比較	51
表 3-21 虎尾郊區 e-GNSS 測量平面差值比例	51
表 3-22 虎尾郊區 e-GNSS 測量高程差值比例	51
表 3-23 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法精度評估表.....	62
表 3-24 新北市汐止區作業區所使用轉換控制點列表.....	64
表 3-25 汐止區 e-GNSS 測量與新北市政府比較	64

表 3-26 汐止區 e-GNSS 測量平面差值比例.....	65
表 3-27 汐止區 e-GNSS 測量高程差值比例.....	65
表 3-28 施測區綜合比較表.....	70
表 5-1 各施測區成果與對照坐標比較表.....	80

摘要

關鍵詞：公共管線、e-GPS、e-GNSS、VBS-RTK、即時動態定位

一、研究緣起

內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）自93年度起建置全國性e-GPS即時動態定位系統（以下簡稱e-GPS系統），e-GPS系統在臺、澎、金、馬任何地點皆可在極短之時間內獲得公分級精度之即時動態定位服務。近年來由於多星系GNSS衛星定位接收儀之使用者大幅增加，為因應各界對於結合多衛星定位系統，來輔助解決衛星訊號遮蔽嚴重之觀測環境，有效提升VBS-RTK定位精度與解算的成功率，本中心以現有e-GPS系統，全面升級為GNSS多星系統並搭配Trimble PIVOT GNSS定位核心軟體，並於本（103）年9月1日正式上線，正式更名為e-GNSS即時動態定位系統（以下簡稱e-GNSS系統）。

e-GNSS系統服務開辦以來，已獲得眾多系統使用者之肯定，經本中心多方推廣，使用者對於本系統之應用方式也漸趨多元，由傳統上佈設加密控制點、圖根點等地形及地籍測量方面之應用，拓展到工程測量等方面，其中用於施測管線定位作業尤其活躍。現行公共管線之中央主管機關為內政部營建署（以下簡稱營建署），依營建署所訂定之「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」有關孔蓋點位之測量規範包含以全測站法（Total Station）及全球衛星定位測量法等技術施測，惟以虛擬基準站法即時動態定位技術（Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK）尚無相關著墨，為使外業使用者獲得快速、可靠之定位成果及相對應之作業規範作為依據，本研究案以 e-GNSS 系統為例，探討該定位技術應用於公共管線孔蓋之可行性與精度評估，並依此擬定作業參考規範供外業使用者作為施測時之準則。

二、研究方法與過程

(一) 參考作業規範擬定

為推廣 VBS-RTK 定位技術於管線孔蓋測量之應用，本研究參考營建署現有管線相關規範及外業經驗，並依據測試區實測成果，研擬「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」作為管線孔蓋測量作業模式供各界參考，期提升作業效率與精度。內容包含資料記錄、設定、偵錯、檢核及坐標轉換等項目。

(二) 外業實測資料蒐集

外業實測以 e-GNSS 系統進行管線孔蓋測量，規劃於各種透空環境以 VBS-RTK 定位技術進行測量作業，其中包含透空良好(全區無遮蔽)、不佳(全區遮蔽嚴重)及尚可(部分區域遮蔽)等區域。經洽各管線經管機關(構)取得已知管線孔蓋坐標作為 e-GNSS 系統實測坐標之對照值作為最或是值比較，提供機關(構)包含台灣中油股份有限公司、台灣自來水公司及新北市政府工務局等。資料內容包含輸油管孔蓋、輸水管孔蓋、電力及雨水人手孔等三維坐標資料；施測區域分別為臺中市臺中港區、雲林縣虎尾鎮及新北市汐止區。

(三) 實測資料內業處理

內業處理針對不同初始化筆數取平均進行比較，分別將點位坐標以前 60 筆、前 30 筆及前 10 筆取平均作為成果並比較其差異性。另外業實測坐標需與對照坐標同坐標系統方可進行比較，故需進行坐標轉換與套合。轉換方式包含傳統上常用之 6 參數轉換加最小二乘配置法(以下簡稱最小二乘配置法)及 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法(以下簡稱坐標網格殘差修正法)等方式。

(四) 成果分析及驗證

成果分析針對實測坐標之內部精度及外部差值（與對照坐標各分量差值）進行分析。內部精度分析包含不同初始化筆數（60 筆、30 筆及 10 筆）取平均之坐標差異比較、點位坐標各分量之標準偏差及不同儀器廠牌間之坐標差異等分析；外部差值則比較對照坐標與本研究實測坐標各分量之差值，據以作為 VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量之作業參考。

三、重要發現

(一) 點位坐標之 60 筆、30 筆及 10 筆平均差異在 1 至 2 毫米間

外業實測以 e-GNSS 系統進行管線孔蓋測量，記錄並取點位前 60 筆、前 30 筆及前 10 筆之初始化坐標平均，其坐標成果整體平均各分量差異約在 1 至 2 毫米間。顯示以 e-GNSS 系統施測不同初始化筆數之坐標成果差異不顯著。即初始化解之情形下，取 10 筆坐標成果之平均即可獲得符合管線測量之精度及可靠度。

(二) 不同廠牌儀器之施測成果差異約在 1 至 2 公分間

施測區分別以 LEICA 及 TOPCON 等 2 款不同廠牌儀器於相同點位進行重複觀測，成果顯示不同廠牌儀器之 VBS-RTK 坐標成果，整體平均各分量差值約為 1 至 2 公分間，以本研究 VBS-RTK 定位技術進行管線孔蓋測量所需精度評估（平面 20 公分、高程 20 公分），其差異可視為不顯著。

(三) 依本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」進行作業，成果符合管線測量所需精度

管線測量方式依本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」進行作業，以 VBS-RTK 定位技術接收 10 筆初始化坐標成果，並分別與對照坐標比較，點位平面及高程較差全數皆在 20 公分規範範圍內，符合公共管線孔蓋測量所需精度，顯示本參考作業規範於管線測量的適用性。

(四) 透空良好地區點位初始化時間平均約為 60 秒；透空不佳地區為 100 秒

點位施測所需時間分別為臺中港 60 秒、雲林虎尾市區 100 秒及雲林虎尾郊區 60 秒等，以上時間包含移動路程及施測 10 筆初始化坐標。顯示即使於透空環境不良區域（雲林虎尾市區），點位施測時間平均仍可於 100 秒內完成，相較傳統管線孔蓋以全測站儀（Total Station）地面測量方式作業可節省相當之人力、時間成本，增進作業效益。

(五) 新北市汐止區以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法轉換略優於 6 參數轉換加最小二乘配置法

新北市汐止區施測成果分別以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法及 6 參數轉換加最小二乘配置法等方式將坐標成果轉至同坐標系統，對照組坐標系統為平面 TWD97；高程 TWVD2001 坐標系統。轉換後各分量差值以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法所得成果略優。

(六) 點位之初始化成功率與透空環境呈高度相關

施測區之初始化（Fixed）成功率、施測時間與該施測區之透空環境情形呈高度相關，亦即透空環境良好與否為本次施測成果影響最鉅之變因，然而於透空不佳區域所得之初始化成果，不論是在內部精度或外部差異上，皆與透空良好區之之成果無顯著差異。顯示依本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」進行作業，不論透空環境良好與否，成果皆能適用於管線測量。

(七) 透空不佳區域所得之初始化坐標亦可採用

點位透空環境不佳地區，經採用雙星系統（GPS 及 GLONASS 星系）施測，雖其 VBS-RTK 之解算成功率相對偏低，所需施測時間亦較長。惟經解算成功之點位，仍能符合需求精度，使用者亦可使用該坐標成果。

(八) 本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」依
測試成果，符合現有規範之需求精度

「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」之適用性，依本次施測區實測成果顯示，不論在作業精度、坐標轉換與套合、成果檢核及繳交項目皆可符合內政部營建署「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」規定。

四、主要建議事項

依本中心擬定之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」（以下簡稱參考作業規範）進行外業施測及成果分析，可歸納得以下作業建議：

(一) 施測 10 筆初始化解 (Fixed)

經外業實測資料分別取 60 筆、30 筆及 10 筆初始化坐標計算，不同筆數間之各分量不論內部精度與外部差值之差異甚小，皆為 1 公分以下。依管線測量機動性與作業成本之需求，建議以 10 筆初始化坐標取平均為施測基準即可。

(二) 使用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法可於鄰近已知控制點先行檢核轉換較差

實測成果以 6 參數轉換加最小二乘配置法及 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法進行坐標轉換與套合，所得成果皆符合管線需求精度。另新北市汐止區採 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法之成果，其外部差值略優於 6 參數轉換加最小二乘配置法之成果。建議使用者於該區域可使用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法方式轉換，並可於施測前於測區鄰近之已知控制點先行檢核轉換較差，以確認轉換法於該區域之適用性。

(三) 初始化時間超過 3 分鐘即放棄該點位

據本次實測經驗，在透空環境不佳情況下，如觀測時間超過 3 至 5 分鐘未能初始化 (Fixed) 時，建議放棄該點位，或先行自其他點位施測，視衛星分布情況再行施測，避免作業時間損耗。

(四) 安全情況下可允許單人單機作業

本中心 e-GNSS 即時動態定位系統作業原則上可單人施測，相較於傳統地面測量作業模式 (控制測量及孔蓋測量約需 3 至 4 人) 可節省大幅人力成本，且操作簡易，亦可免除不必要之人為失誤。除施測區交通較混亂之情況下，使用者需 2 至 3 人作業以確保安全外，可允許單人單機作業。

(五) 可依循「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」進行管線測量作業

本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」經施測區測試後，各項結果皆符合規定項目，使用者以 VBS-RTK 定位技術進行管線孔蓋測量時，可依循本參考作業規範，俾節省人力、時間及經費等作業成本，並確保成果之精度及可靠度。

ABSTRACT

Keyword : Public Utility, e-GPS, e-GNSS, VBS-RTK , Real-Time Dynamic Positioning System

The National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) has developed the important project of “National Basically Surveying Development” and “Building the National Land Surveying Information Integration and Circulation System” since 2004. In 2008, NLSC totally had built 78 satellite base stations and completed the development of e-GPS real-time dynamic positioning system by the technologies of Virtual Base Station Real-Time Kinematic (VBS-RTK) and Network DGPS. Users can get centimeter class of high-precision positioning results within short period of time in Taiwan, Penghu, Kinmen and Matsu Island.

Traditionally, surveyors primarily use the Total Station to survey the pipeline, manhole covers of public utilities. Only few of points were measured by using GPS. In order to enhance the efficiency of the survey work and promote the e-GPS real-time dynamic positioning system, NLSC in this study primarily used VBS-RTK technology to survey the hand-hole and manhole covers of public utilities, and made assessments and analyses of the positioning accuracy. The study model and test results of operations can be a reference for users.

The existing survey of public facilities, pipeline and manhole covers is based on “Public Facilities, Pipeline and Manhole covers Survey Positioning Operation Directions” set by Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior (CPAMI). However, the Operation Directions do not have any relevant provisions of using VBS-RTK technology. Because of this, this study also develops the directions on surveying public facilities, pipeline and manhole covers by VBS-RTK technology. It is worth of being a reference for amending CPAMI’s “Public Facilities, Pipeline and Manhole covers Survey Positioning Operation Directions.”

第一章 緒 論

第一節 研究緣起

1-1-1 研究緣起

國內道路挖補現象不斷，除了縮短道路使用壽命，浪費資源，影響交通，妨礙市容觀瞻，早為社會大眾所詬病，其主要原因為埋設道路下各種管線之主管機關眾多，協調不易、管線埋設、遷移時程無法配合、地下管線資料欠缺、管線單位未能及時配合編列預算及缺乏統一管理單位，以致工程建設經常有拖延、停工之情事。其對安全維護管理問題之解決方案，除應由既有管線管理之改進著手，加強道路挖掘之協調、管制、監測及執行外，應建立完整公共設施管線資訊系統，故行政院於民國 81 年核定之「國土資訊系統實施方案」業將公共設施管線資料庫列為 9 大資料庫之一，並由內政部營建署負責召集。由近期管線公安意外頻傳，如高雄市丙稀氣爆及新北市瓦斯氣爆等事件可知管線資料庫之重要性，建置完善的管線資料庫在事故發生前，可經由完善且制度化的管理方式避免災害發生，倘事故不幸發生後，亦可即時提供民眾及救難人員相關之資訊，俾救災及避難。而管線孔蓋數值坐標之正確與否，則為管線資料庫中相當重要之環節，唯有高精度、高可靠性之數值坐標資料才可使管線資料庫發揮預期之效益，因此如何高效率、高精度的獲得所需管線孔蓋坐標，實為重要的探討方向。

內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）自93年度起配合內政部執行國家基本測量發展計畫及國土測繪整合流通系統建置計畫等2項重要的中長程施政計畫，採用虛擬基準站法即時動態定位技術（Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK）及網路化DGPS即時動態定位技術（Network DGPS），截至97年共設置78處衛星基準站，完成e-GPS即時動態定位系統（以下簡稱e-GPS系統）之建置與測試分析作業，並依使用者需求，可在臺、澎、金、馬等地區於極短時間內獲得公分級之高精度定位成果。近年來由於多星系GNSS衛星定位接

收儀之使用者大幅增加，為因應各界對於結合多衛星定位系統，來輔助解決衛星訊號遮蔽嚴重之觀測環境，有效提升VBS-RTK定位精度與解算的成功率，本中心以現有e-GPS系統，全面更新為GNSS多星系統並搭配Trimble PIVOT GNSS定位核心軟體，於本（103）年9月1日正式上線，並正式更名為e-GNSS即時動態定位系統（以下簡稱e-GNSS系統）。

隨著e-GNSS系統之推廣，外業測量對於即時動態定位之需求及應用也更加多元。傳統上，公共設施管線孔蓋及設施物測量以全測站儀（Total Station）進行地面測量方法為主，部分點位以GPS衛星定位測量進行靜態觀測求解，為提昇測量外業效率及推廣即時動態定位系統，本項研究案以虛擬基準站法即時動態定位技術（VBS-RTK）為主，測試該測量定位技術應用於公共設施管線孔蓋及設施物測量作業，並對定位精度進行評估與分析，提供完整作業參考規範與測試成果供使用者參考。

現行公共設施管線孔蓋及設施物測量以主管機關內政部營建署所訂定之「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」為依據，惟其作業對於虛擬基準站法即時動態定位技術（VBS-RTK）進行之測量作業並無相關規定。為完善公共管線孔蓋測量作業之規範，本案研究除提供公共管線各項測量測試及評估外，另以施測區測試成果為依據，研擬「VBS-RTK定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」，期能提昇公共管線測量作業之精度及產能。

本研究主要就本中心建置之全國性即時動態定位系統（e-GNSS）應用於公共管線孔蓋測量作業進行可行性與精度評估之研究，並透過實地測量數據之分析結果，提出「VBS-RTK定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」，提供現行公共管線法規中針對VBS-RTK定位技術之增修建議，期完善公共管線測量之作業規範，俾測量人員作為施測之準則。

1-1-2 e-GPS 及 e-GNSS 即時動態系統簡介及背景概述

e-GPS 為本中心建構之高精度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 GPS 即時動態定位系統，其中字母「e」係具有「電子化」及「網路化」之含意。

將建置於全國各地之衛星定位基準站每天 24 小時每 1 秒接收之連續性衛星觀測資料透過即時傳輸方式傳至控制中心，經由控制及計算中心對於各基準站衛星觀測資料之整合計算處理後，目前只要在臺灣本島（含綠島、蘭嶼）及澎湖、金門、馬祖地區可以同時記錄 5 顆 GPS 衛星訊號的地方，都可以利用 GPRS 等無線上網的方式，在極短的時間內，獲得高精度之定位坐標成果。

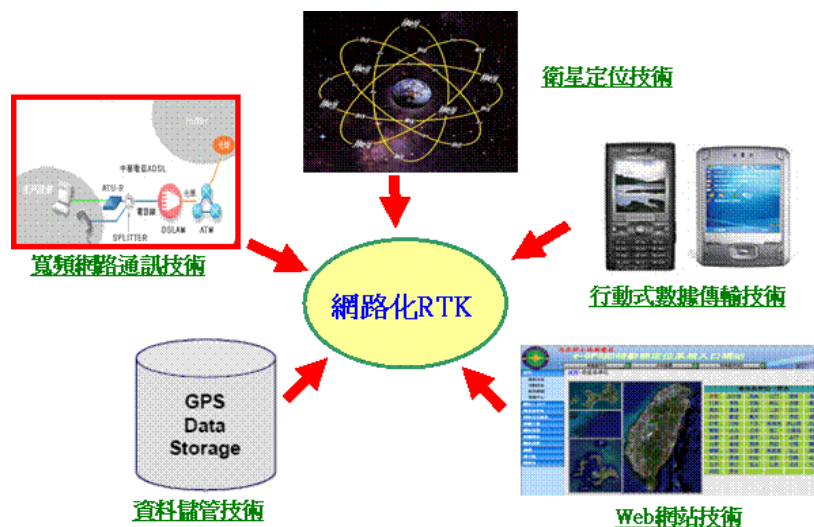


圖 1-1 e-GNSS 基本架構示意圖

本中心自 93 年度起配合內政部執行國家基本測量發展計畫及國土測繪整合流通系統建置計畫等 2 項重要的中長程施政計畫，採用虛擬基準站法即時動態定位技術（VBS-RTK）及網路化 DGPS 即時動態定位技術（Network DGPS），於 97 年度共設置 78 處衛星基準站，完成 e-GPS 即時動態定位系統（以下簡稱 e-GPS 系統）之建置與測試分析作業，並自 98 年 1 月 1 日起，開放提供國內與測繪業務相關公私立機關（構）及學術單位付費使用。

近年來由於多星系 GNSS 衛星定位接收儀之使用者大幅增加，為因應各界對於結合多衛星定位系統，來輔助解決衛星訊號遮蔽嚴重之觀測環境，有效提升 VBS-RTK 定位精度與解算的成功率。本中心 101 年度上半年辦理 e-GPS 系統服務品質滿意度調查，亦有多數受訪會員建議 e-GPS 系統應加速升級至具備 GNSS 多星系資料處理計算功能，並能導入建立創新且多元化的通報機制，讓使用者可以立即獲得系統運作的相關資訊。基此，本中心 e-GPS 系統逐步換裝雙星系接收儀及天線盤，現臺灣本島共 66 站基準站已全面更新，並於 103 年 9 月 1 日起正式營運，升級為 e-GNSS 動態定位系統（以下簡稱 e-GNSS 系統），除提供靜態資料申請、後處理及即時動態定位服務外，另建置 7 參數轉換加坐標網格殘差修正模型（後續章節詳述），提供使用者更多元的坐標成果選擇，俾期將即時衛星定位技術及服務品質提升到國際級水準。

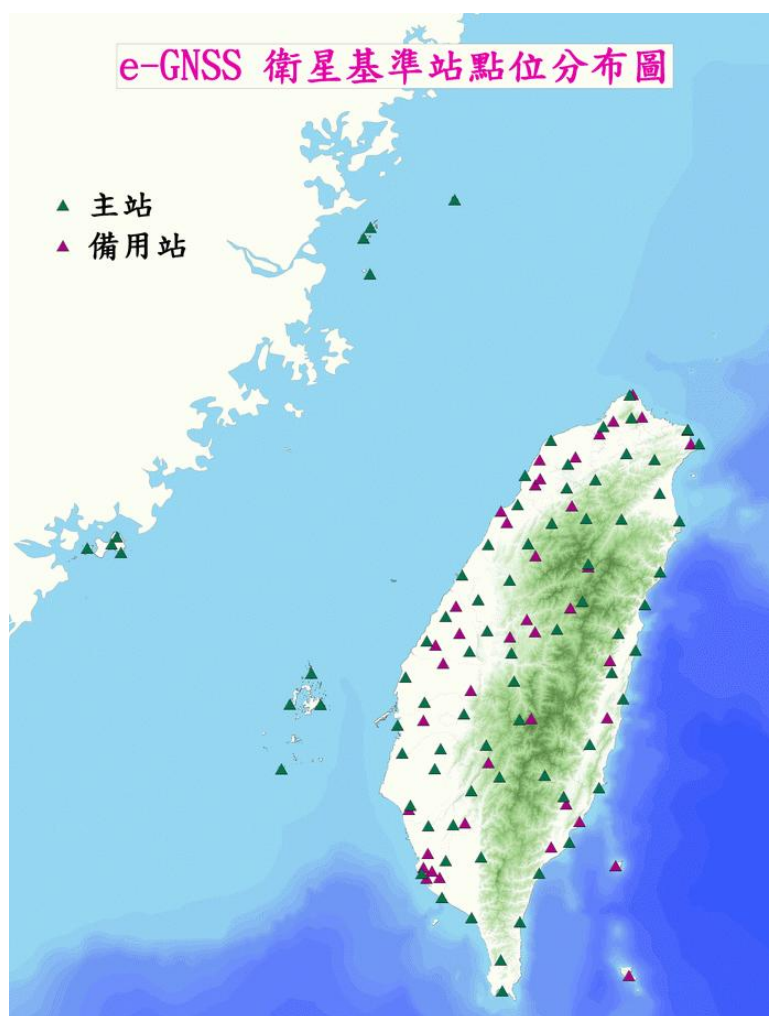


圖 1-2 e-GNSS 衛星定位基準網全國分布圖

1-1-3 營建署現行管線測量規範

內政部營建署「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」相關規定，說明如下：

辦理公共設施管線及固定設施物調查，受委託單位可採用全測站（Total Station）法，或實施 GPS 全球衛星定位測量。在測量定位精度部分，訂定孔蓋之精度要求為 20 公分，高程屬間接高程精度要求為 20 公分。

一、全測站（Total Station）法

1. 利用全測站法將各類孔蓋位置資料（包括位置坐標及孔蓋種類代碼等資料）直接記錄於記錄器內，並以公告之控制點做為量測引用之依據，如有採用導線測量進行補點時，必須將位置明確標示出（包括轉點計算所有之方位角及距離資料），並製作點之記。
2. 坐標系統應採用 TWD97 二度分帶坐標系統。
3. 全測站法之導線測量每測站正倒鏡 2 測回以上，觀測值之誤差不得超過 10 秒。
4. 全測站法之導線測量部份整體水平角閉合差不得大於 $20''\sqrt{N}$ （N 為導線總點數），位置閉合差須小於 1 萬分之 1 方可使用。
5. 孔蓋中心坐標測量，其施測成果之坐標誤差應小於正負 20 公分。固定設施物坐標測量，其施測成果之坐標誤差應小於正負 30 公分。
6. 孔蓋蓋頂高程測量，其高程為間接高程，其施測成果之誤差應小於正負 20 公分。
7. 測量及普查孔蓋設施項目包含坐標、間接高程、類別、所屬單位等。
8. 遭柏油路面封層無法目視或遭巨大物體遮掩無法移動及已經完成施測後新設立之固定物等，除另訂協議外，不計入驗收範圍內。

二、全球衛星定位測量法

當測量受邊長、氣候及通視問題之限制，需採用 GPS 全球衛星定位測量時，其實施之相關規定如下：

1. 採 GPS 全球衛星定位測量法作業者，應按照「基本測量實施規則」等規定進行施測。
2. 孔蓋中心坐標測量，其施測成果之坐標誤差應小於正負 20 公分。固定設施物坐標測量，其施測成果之坐標誤差應小於正負 30 公分。
3. 孔蓋蓋頂高程測量，其高程為間接高程，其施測成果之誤差應小於正負 20 公分。
4. 遭柏油路面封層無法目視或遭巨大物體遮掩無法移動及已經完成施測後新設立之固定物等，除另訂協議外，不計入驗收範圍內。

第二節 研究動機與目的

臺灣地區地底下之公共管線眾多，其管線施工、協調、管理不易，常造成道路重複挖掘、影響交通、妨礙市容及增加管線挖掘破裂所導致之公共危險等風險。為改善前述問題及統一管線管理單位，行政院於民國 81 年核定之「國土資訊系統實施方案」業將公共設施管線資料庫列為九大資料庫之一，並由內政部營建署（以下簡稱營建署）負責召集除成立公共設施管線資料庫分組委員會研商規劃及發展方向外，並於民國 81 年起進行各項先期規劃及研究，對於未來發展方向奠定作業基礎，其業務推動可分為以下幾項：

1. 辦理公共設施管線資料庫標準制度之說明、訓練及推廣
2. 協助各地方政府建置公共設施管線資料庫基礎模組
3. 協助各管線單位辦理管線資料庫數化建檔作業
4. 推廣公共設施管線資料庫基礎模組建置之研究成果

內政部於民國 87 年起執行國土資訊系統基礎環境建置計畫作業，並納入臺中市、新竹市及嘉義市辦理公共管線資料庫建置作業，作為其他各縣市政府推動管線資料庫建置之參考。於民國 99 年起持續推動「國土資訊系統 — 公共設施管線資料庫管理供應系統」計畫，至 102 年度止，已有臺北市、基隆市、新竹市、嘉義市、澎湖縣、金門縣及連江縣等 7 個機關之管線資料庫建置完成。



圖 1-3 各縣市公共設施管線資料庫建置統計

由近期管線公安意外頻傳，如高雄市丙稀氣爆及新北市瓦斯氣爆等事件可知管線資料庫之重要性，建置完善的管線資料庫在事故發生前，可經由完善且制度化的管理方式避免災害發生，倘事故不幸發生後，亦可即時提供民眾及救難人員相關之資訊，俾救災及避難。而管線孔蓋數值坐標之正確與否，則為管線資料庫中相當重要之環節，唯有高精度、高可靠性之數值坐標資料才可使管線資料庫發揮預期之效益，因此如何高效率、高精度的獲得所需管線孔蓋坐標，實為重要的探討方向。

管線之建置當以地面實地施測人、手孔蓋等及調查管線各項相關屬性資料，予以連貫並逐一建檔，概以全測站經緯儀施測或 GPS 衛星測量技術為之。現行公共設施管線孔蓋及設施物建置作業主管機關為營建署，依其所訂定之「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」有關孔蓋點位之測量規範包含以全測站法(Total Station)及全球衛星定位測量法等技術施測，惟尚無針對以虛擬基準站法即時動態定位技術(Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK)應用於管線孔蓋之測量作業予以規範。為配合推廣本中心 e-GNSS 系統及提供管線孔蓋外業測量人員另一測量技術之選擇，特針對 VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量進行一系列之實測及精度分析，並研擬參考作業規範，除現行內政部營建署於公共管線規範中有關測量方法外，另增列 VBS-RTK 定位技術方法，以提供使用者更多選擇參考。



圖 1-4 公用管線孔蓋之人孔蓋（左）及制水閥（右）



圖 1-5 公用管線孔蓋之消防栓（左）及排泥閥（右）

第二章 研究方法與流程

第一節 研究方法

一、外業實測資料蒐集

選定以 e-GNSS 系統進行管線孔蓋實測之施測區，規劃以臺灣北、中、南選定施測。經洽各管線經管機關取得已知管線孔蓋坐標作為本次實測之對照值，取得之資料包含台灣中油股份有限公司提供之輸油管孔蓋、台灣自來水公司提供之輸水管孔蓋、新北市政府工務局提供之電力人手孔及雨水人手孔等，區域分別為臺中市臺中港區、雲林縣虎尾鎮及新北市汐止區，如圖 2-1。本中心則以前述地區之管線孔蓋進行 VBS-RTK 定位測量，獲取該孔蓋之初始化解(Fixed)成果，俾作為後續研究分析。



圖 2-1 臺中港（左）、雲林縣虎尾鎮（中）及新北市汐止區（右）外業情況

二、實測資料內業處理

外業實測之坐標需與對照坐標為同坐標系統方可進行分析比較，故需進行坐標轉換與套合，方法包含最小二乘配置法 6 參數轉換及 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法等方式（後續章節詳述）。另有關點位施測之初始化筆數，本研究也針對不同初始化筆數取其平均進行比較，分別將外業坐標以 60 筆、30 筆及 10 筆之初始化坐標（取平均）成果分析其差異。

三、成果分析及驗證

成果分析針對外業實測坐標之內部精度及外部差值進行分析，其中內部精度包含取前 60 筆、前 30 筆及前 10 筆等，不同初始化筆數平均坐標之差異、點位坐標各分量之標準偏差及不同廠牌儀器之坐標差異等；外部差值則比較各管線經管機關所提供之對照孔蓋坐標與本研究實測成果相比較（轉換至同坐標系統），據以作為 VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量之作業參考。

四、參考作業規範研擬

本研究除提供 VBS-RTK 定位技術應用於管線測量之實測成果外，另參考營建署所訂定之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」及施測區實測成果，研擬「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」，期作為管線測量人員作業之依據，提昇作業效率。

五、撰寫研究報告

依據內政部自行研究報告書製作標準格式，辦理「VBS-RTK 定位技術在公共管線測量實務應用與精度控制之研究」研究報告書撰寫製作。

第二節 研究流程

本研究流程主要分為 6 部分（如圖 2-2），分別為研究計畫擬定、參考作業規範擬定、外業實測資料蒐集、實測資料內業處理、成果分析及驗證及撰寫研究報告等。

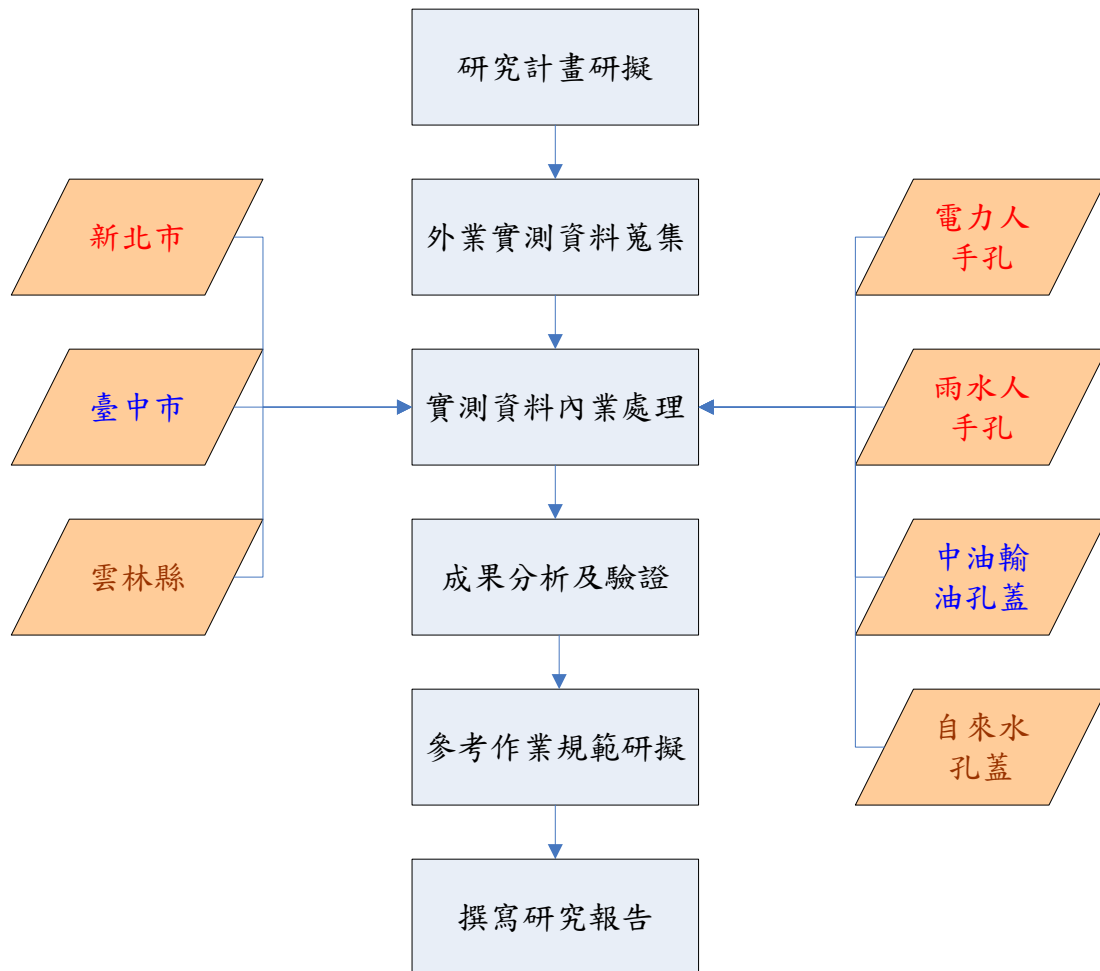


圖 2-2 研究流程圖

第三節 預期成果

本研究案預期成果如下：

- 一、獲得 VBS-RTK 定位技術應用於各種透空環境之公共管線孔蓋測量精度，能符合營建署「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」之要求，作為推廣本中心 e-GNSS 系統及使用者施測之依據。
- 二、依內政部營建署現行「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」規範下研擬「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」，期增列 VBS-RTK 定位技術於管線孔蓋測量之應用。

第三章 VBS-RTK 孔蓋管線測量規劃與外業作業

第一節 外業規劃概述

本研究為測試及驗證 VBS-RTK 定位技術（以 e-GNSS 系統為例）於管線孔蓋測量之精度與相關數據，並以管線孔蓋點位已知坐標成果作為對照基準，資料來源為台灣中油股份有限公司、台灣自來水公司及新北市政府工務局，其中新北市政府係屬內政部營建署辦理「推動公共設施管線資料庫系統建置計畫規劃案」之補助直轄市。

為達研究測試之完整性與代表性，本次選定 4 個區域作為測試區，分別為臺中市臺中港區、雲林縣虎尾鎮市區、雲林縣虎尾鎮郊區及新北市汐止區等地，並測試單星（僅接收 GPS 訊號）及雙星系統（接收 GPS 及 GLONASS 訊號）於不同透空環境之區域求得初始化解（Fixed）之成功率及精度影響，理論上雙星系統對於接收衛星顆數、定位成功率及 DOP 值皆有正面效果。

施測時共使用 3 款不同廠牌儀器且兼具接收 GPS 及 GLONASS 衛星訊號儀器（LEICA 1230、TOPCON GR-3 及 Trimble R6）進行施測（如圖 3-1）。其目的為將儀器廠牌、施測區透空環境、單星及雙星系統等因素進行差異分析。其次，對於各點位觀測記錄不同施測筆數進行測試，分析其對於內部精度及外部差值之影響，所得成果能提供使用者作為外業測量時之參考。



圖 3-1 LEICA 1230（左）、TOPCON GR-3（中）及 Trimble R6（右）衛星接收儀

本次實測以 e-GNSS 系統管線孔蓋測量選定 4 區域作為施測區，依其透空環境可分為透空良好空曠區（全區透空良好）、透空不良市區（全區遮蔽嚴重）及透空尚可郊區（部分地區遮蔽）等 3 類，此 3 類環境能涵蓋大多數實際測量外業所遇到之現場狀況。經洽各管線經管單位及研究考量後選定臺中市臺中港區、雲林縣虎尾鎮市區、雲林縣虎尾鎮郊區及新北市汐止區等 4 處作為施測區域，並獲得台灣中油股份有限公司、台灣自來水公司及新北市政府工務局之協助及提供已知管線孔蓋之坐標資料進行對照分析，地點詳述如後續各施測區章節。

第二節 施測模式研擬

本次施測區作業模式擬定係以內政部營建署所訂之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」為依據，依公共管線測量需求精度平面 20 公分、高程 20 公分為基準，並參考「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作業手冊」、「內政部國土測繪中心辦理加密控制衛星定位測量作業手冊」及外業實務經驗所擬定，基本作業原則如下：

1. 以施測 60 秒（筆）初始化坐標取平均為基準，並測試 30 筆、10 筆坐標平均之差異。
2. 測量模式設定為連續地形模式，即以 1Hz 之頻率逐筆紀錄點位坐標。
3. 儀器參數設定如：PDOP 值、有效高度角、坐標成果品質控制（QC）值等，則參考本中心衛星定位測量相關作業手冊之設定。
4. 坐標轉換與套合以 6 參數轉換加最小二乘配置法方式為基準，另測試 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法（後續章節詳述）等方式。
5. 點位分別施測 2 測回，各測回間相距至少 2 小時，作為重複觀測及成果檢核。
6. 點位以不同廠牌、型號之儀器進行施測，比較其差異。

第三節 臺中港港區

3-3-1 施測區分析

施測日期為民國 102 年 3 月 13、14 日，天氣晴，地點位於臺中市梧棲區臨海路與自立四街一帶（臺中港），臨海路上交通流量大，施測點位沿臨海路及自立四街道路旁，共計 102 點，點位編號為 F001、F002···至 F102，如圖 3-2。

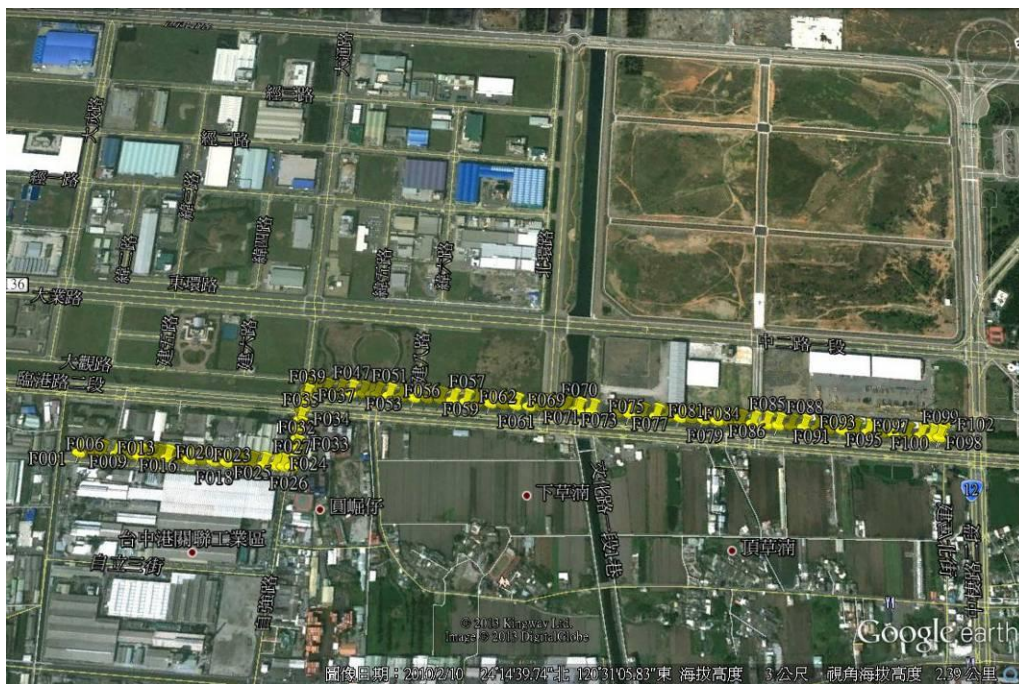


圖 3-2 臺中港管線孔蓋測量點位分布圖 (F001 至 F102)

臺中港透空環境良好，建物遮蔽少（如圖 3-3），以單星系統（僅接收 GPS 訊號）進行 VBS-RTK 測量之衛星觀測及記錄情況良好，平均測量點位初始化時間（Time to Fix）約為 40 秒，不包含移動路程。



圖 3-3 臺中港進行管線孔蓋測量情況（透空良好）

施測點位計 102 點，各點位相距約 25 公尺，觀測時間統計，如圖 3-4。各點位觀測所需時間差異不大，整體時間相近，約 1 分鐘可完成觀測，包含移動路程。

依圖 3-4 中 F002、F025、F040 及 F088 等點位施測時間相較平均值為高，施測時間 100 秒以上。其中 F002、F025 及 F040 等 3 點位於行道樹下，環境透空度較差，等待初始化解所需時間較長，另 F088 則因路程移動花費較多時間導致施測時間增長。

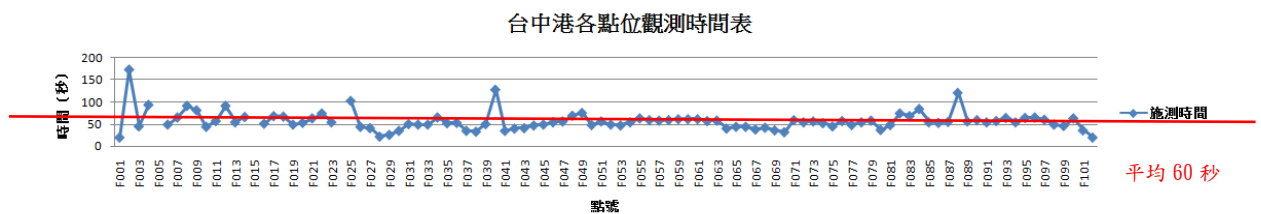


圖 3-4 臺中港各點位觀測時間統計圖（包含移動路程）

3-3-2 台灣中油公司管線測量作業

台灣中油公司（以下簡稱 CPC）於臺中港進行管線孔蓋測量係採用單主站 RTK 方式進行，其原理為利用高精度載波相位觀測量，透過通訊設備，將主站（Base Station）觀測資料及主站坐標及時性傳送給移動站（Rover），並採用差分方式減少移動站與主站間之共同性誤差（如圖 3-5）。

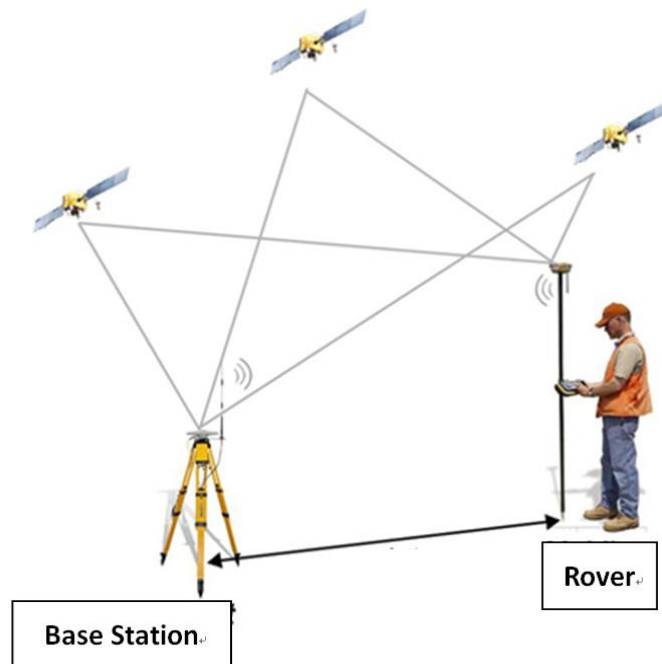


圖 3-5 單主站 RTK 作業示意圖

CPC 於主站點位使用之設備為 TRIMBLE 5700 衛星接收儀，並配合本中心 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 測量求得該主站點位（CK01）坐標（如圖 3-6）。其施測記錄初始化解之筆數為 180 筆以上並平均求得該主站坐標。管線待測管線點位則以單主站 RTK 方式施測，移動站則使用 TRIMBLE 5800 衛星接收儀並配合其支撐架進行施測（如圖 3-7）。



圖 3-6 台灣中油 RTK 主站 (CK01) 相對位置 (三角綠框處)



圖 3-7 TRIMBLE 5700 (左) 及 5800 (右) 衛星接收儀

CPC 提供之管線孔蓋資料包含點位之點號及 N、E、h 坐標，為 e-GNSS 坐標系統，本次實測成果以此作為對照坐標之比較基準。

3-3-3 作業概況

施測使用儀器為 LEICA 1230(以下簡稱 LEICA)及 TOPCON GR-3(以下簡稱 TOPCON)，搭配相對應之標竿及其支撐架，外業人員為 3 位，儀器操作、標竿對點定平、交通安管指揮等，如圖 3-8。



圖 3-8 臺中港儀器操作、標竿對心定平及交通安管指揮等人員

外業施測時，往測部分以 LEICA、返測以 TOPCON 進行施測，共計 1 測回，往測與返測。各點位記錄 60 筆 (1Hz) 初始化解資料，並選定本中心系統之苗中投服務區 (Middle/RTK) 作為修正基準。

臺中港透空度佳，平均定位初始化時間約在 1 分鐘內，除少數點位於行道樹下初始化不易外，大致觀測情形良好。

其中圖 3-9 遮蔽點位約距離行道樹 1 至 2 公尺，位於柏油路上，其環境透空因枝葉而遮蔽。施測接收衛星訊號時，共同衛星數及訊號強度減少 (視遮蔽情形而定)，直接影響初始化時間及成功率。



圖 3-9 臺中港位於行道樹旁透空稍差之點位

圖 3-10 位於道路上且透空良好之點位，其初始化時間及成功率皆較高，惟道路上交通繁忙車流量高，對於安全之維護需特別注意。



圖 3-10 臺中港位於道路旁透空良好之點位

貨櫃車車架影響施測點位，造成施測架站時之對點困難，臺中港貨櫃車多，點位遭車架阻擋無法架站（如圖 3-11）。



圖 3-11 臺中港對點不易之點位



圖 3-12 臺中港遭貨櫃阻擋無法觀測之點位

總施測點數為 102 點，由於臺中港貨櫃及車輛多，外業時部分點位位於障礙物下無法架站觀測（如圖 3-12、3-13）。

經統計，往、返測實際施測之有效資料數量，如表 3-1。由於往測（LEICA）與返測（TOPCON）實地貨櫃與車輛阻擋點位情形有別，因此不同時間施測其無法架站之點位也不同，表 3-1 僅表示往測與返測點位可架站施測之數量，與儀器廠牌型號或環境透空無關。



圖 3-13 臺中港遭貨櫃遮蔽無法觀測之點位

表 3-1 臺中港往、返測有效資料表

使用儀器	全部點數	無法施測點數	有效點數
LEICA 1230	102	1	101
TOPCON GR-3	102	8	94

註：無法施測均為貨櫃阻擋點位無法架站觀測

內業計算部分，點位分別以 60 筆、30 筆及 10 筆 VBS-RTK 初始化定位坐標取其平均，探討施測接收筆數、儀器廠牌對精度成果之影響（內部精度分析），並與台灣中油公司（CPC）提供之點位孔蓋資料進行分析比較（外部差值分析）。

3-3-4 結果分析

外業實測資料經內業處理得 LEICA 之 60 筆、30 筆及 10 筆平均坐標（以下簡稱 LEICA 60、LEICA 30 及 LEICA 10），以及 TOPCON 之 60 筆、30 筆及 10 筆平均坐標（以下簡稱 TOPCON 60、TOPCON 30 及 TOPCON 10），共 6 組點位坐標資料。

◆ 內部精度分析

內部精度分析以標準差（Standard Deviation）作為資料精度比較之依據，公式如下：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}$$

σ 為標準差（樣本標準差，此處作為坐標之標準偏差）

N 為資料數（坐標筆數）

X 為坐標資料

μ 為平均數

經分析（如表 3-2），LEICA 60、LEICA 30 及 LEICA 10，平均各點位之三維標準偏差，精度為 8 毫米，平面及高程標準偏差為 4 毫米及 7 毫米。3 者資料之內部精度差異不顯著，差異為 1 毫米。而個別點位標準偏差最高為 F010 及 F034，平面為 18 毫米、高程為 20 毫米，此 2 點皆位於枝葉茂密行道樹下方，透空度較差，判斷此為造成內部精度較差原因（如圖 3-14）。



圖 3-14 臺中港位於行道樹下透空不佳之點位

TOPCON 60、TOPOCN 30 及 TOPCON 10 平均各點位之三維標準偏差維持在 10 毫米，平面及高程標準偏差也在 8 毫米及 7 毫米，三者資料之內部精度差異不顯著，差異為 2 毫米。本組數據相對 LEICA 標準偏差稍高，初步判斷應為 TOPCON 施測時間多於中午及下午時段，該時間段電離層較活躍（中緯度地區影響劇烈）及衛星幾何分布（DOP 值）強度較差所造成。

整體而言，LEICA 及 TOPCON 觀測資料不論是在 60 筆、30 筆及 10 筆平均成果，其內部精度都有相當之一致性（如表 3-2）。

表 3-2 臺中港不同接收筆數內部精度及極值表 單位：公尺

施測資料	三維 平均值	平面 平均值	高程 平均值	三維 最大值	平面 最大值	高程 最大值
LEICA 60	0.008	0.004	0.007	0.02 (F034)	0.018 (F010)	0.02 (F034)
LEICA 30	0.007	0.004	0.006	0.02 (F015)	0.018 (F010)	0.02 (F015)
LEICA 10	0.007	0.004	0.006	0.029 (F015)	0.019 (F010)	0.027 (F015)
TOPCON 60	0.010	0.006	0.007	0.025 (F002)	0.023 (F002)	0.016 (F099)
TOPCON 30	0.010	0.006	0.007	0.034 (F002)	0.033 (F002)	0.018 (F099)
TOPCON 10	0.010	0.008	0.005	0.053 (F002)	0.052 (F002)	0.018 (F030)

註：三維最大值為各測回中三維標準偏差最大值，括弧“() ”內編號為最大值之點號，平面最大值及高程最大值亦同。

另使用儀器施測取其點位之 60 筆、30 筆及 10 筆平均，LEICA 與 TOPCON 不同筆數之坐標取平均其差值皆在 2 至 3 毫米，差異甚小（如表 3-3）。

表 3-3 臺中港相異平均筆數比較表 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA 60 - 30	0.001	0.001	0.002	0.005	0.004	0.015
LEICA 60 - 10	0.002	0.001	0.004	0.008	0.005	0.024
LEICA 30 - 10	0.001	0.001	0.002	0.008	0.005	0.017
TOPCON 60 - 30	0.001	0.001	0.002	0.011	0.011	0.012
TOPCON 60 - 10	0.003	0.003	0.004	0.016	0.016	0.022
TOPCON 30 - 10	0.002	0.002	0.003	0.012	0.013	0.016

註：LEICA 60 - 30 為 LEICA 60 與 LEICA 30 之差值，以此類推。

其次為不同廠牌儀器施測之比較，LEICA 60、30 及 10 與 TOPCON 60、30 及 10 分別以 N、E 及 h 方向相減，得其差值 ΔN 、 ΔE 及 Δh 。N、E 方向差值約在 14 毫米，h 方向為 19 毫米。顯示不同廠牌儀器，其在進行 VBS-RTK 管線孔蓋測量之數據維持著一致性，坐標成果相近（如表 3-4）。

表 3-4 臺中港 2 種廠牌測量成果比較表 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA60 - TOPCON60	0.014	0.010	0.019	0.039	0.038	0.084
LEICA30 - TOPCON30	0.014	0.014	0.019	0.038	0.038	0.087
LEICA10 - TOPCON10	0.014	0.014	0.014	0.038	0.038	0.088

臺中港施測成果顯示，內部精度部分，不論取前 60 筆、前 30 筆及前 10 筆平均，不同筆數對坐標成果影響小，因此推論在空曠且透空良好之環境中，點位觀測 10 筆取其平均即可達到相當之內部精度。

◆ 外部差值分析

經台灣中油股份有限公司（以下稱 CPC）提供之管線孔蓋坐標進行外部差值評估，CPC 管線坐標資料為使用 e-GNSS 系統施測主站點位坐標（CK01 如圖 3-15），並以此主站為固定站進行單主站 RTK 測量，F001 至 F102，共 102 點位。其坐標系統為 e-GNSS 坐標系統，故無須進行坐標轉換與套合即可與本次外業施測管線孔蓋成果進行比較，均為 e-GNSS 坐標系統。



圖 3-15 臺中港台灣中油 RTK 主站（左）點位 CK01 及其周邊環境（右）

為呈現 e-GNSS 系統於管線測量外業之效率與簡便性，以及經過前述分析，遂使用 10 筆初始化解（Fixed）之平均成果來進行比較。表 3-5 所示，LEICA 及 TOPCON 觀測成果與 CPC 提供之成果相比，在 N、E 方向平均差值皆在 5 至 6 公分，h 方向則約 12 公分。

表 3-5 臺中港 e-GNSS 管線測量成果與 CPC 成果比較表 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA 10 - CPC	0.056	0.051	0.114	0.144	0.137	0.187
TOPCON 10 - CPC	0.053	0.055	0.128	0.134	0.141	0.213

註：LEICA 10 - CPC 為 LEICA 10 與台灣中油公司成果之差值，TOPCON 10 - CPC 亦同。

管線測量作業以內政部營建署現行公共管線規範建議之精度平面 20 公分、高程 20 公分評估，僅有 3 個點位高程部分超出規範，分別為 F001、F010 及 F013，佔整體 3%，經確認為點位位置於行道樹正下方，且其初始化時間

大於 3 分鐘以上，依外業經驗該點位應視為無法初始化點位而不納入於平均計算（強行初始化之點位其成果恐有疑慮），而平面部分則全數符合。

表 3-6 臺中港 e-GNSS 管線測量與 CPC 平面差值比例

施測資料	平面大於 10 (公分)	平面大於 12	平面大於 15	平面大於 20
LEICA 10 - CPC	29.60% (29)	16.30% (16)	1.02% (1)	0.00% (0)
TOPCON 10 - CPC	28.50% (26)	13.18% (12)	1.10% (1)	0.00% (0)

註 1：括弧“() ”內數字為超出個數

註 2：LEICA 10 - CPC 為 LEICA 10 與台灣中油坐標成果之差值，以此類推。

表 3-7 臺中港 e-GNSS 管線測量與 CPC 高程差值比例

施測資料	高程大於 10 (公分)	高程大於 12	高程大於 15	高程大於 20
LEICA 10 - CPC	78.57% (77)	33.67% (33)	4.08% (4)	0.00% (0)
TOPCON 10 - CPC	89.80% (88)	63.26% (62)	11.22% (11)	3.20% (3)

註 1：括弧“() ”內數字為筆數

註 2：LEICA 10 - CPC 為 LEICA 10 與台灣中油坐標資料之差值，以此類推。

臺中港 e-GNSS 系統進行管線測量 LEICA 成果與 CPC 坐標差值分布，如圖 3-16。LEICA 觀測部分，N 分量差值集中在 2 至 9 公分，計 69 點，佔 71%；E 分量差值集中在 3 至 9 公分間，計 82 點，佔 85%；高程則在 10 至 15 公分間，計 88 點，佔 91%。顯示出該區域差值分布集中，e-GNSS 系統外業實測各分量與 CPC 成果之差值一致性高。

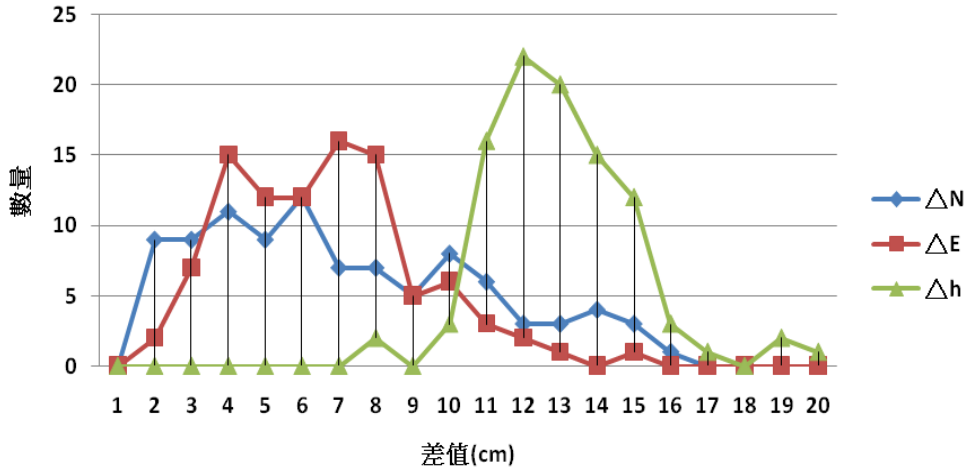


圖 3-16 臺中港 LEICA 與 CPC 坐標 N、E、h 差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中在 5 至 15 公分間，計 91 點，佔 91%；三維差值則在 12 至 20 公分間，計 90 點，佔 90%，如圖 3-17。

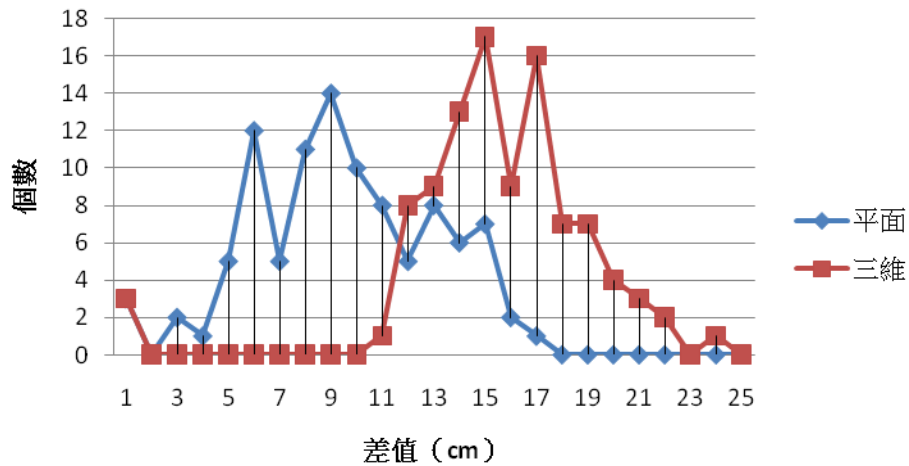


圖 3-17 臺中港 LEICA 與 CPC 坐標平面、三維差值分布折線圖

臺中港 e-GNSS 系統進行管線測量 TOPCON 成果與 CPC 坐標差值分布，如圖 3-18。TOPCON 觀測成果，各分量差值分布略高於 LEICA，N 分量差值集中在 2 至 12 公分間，計 89 點，佔 98%；E 分量差值集中在 4 至 10 公分間，計 77 點，佔 85%；高程則在 12 至 16 公分間，計 76 點，佔 84%。

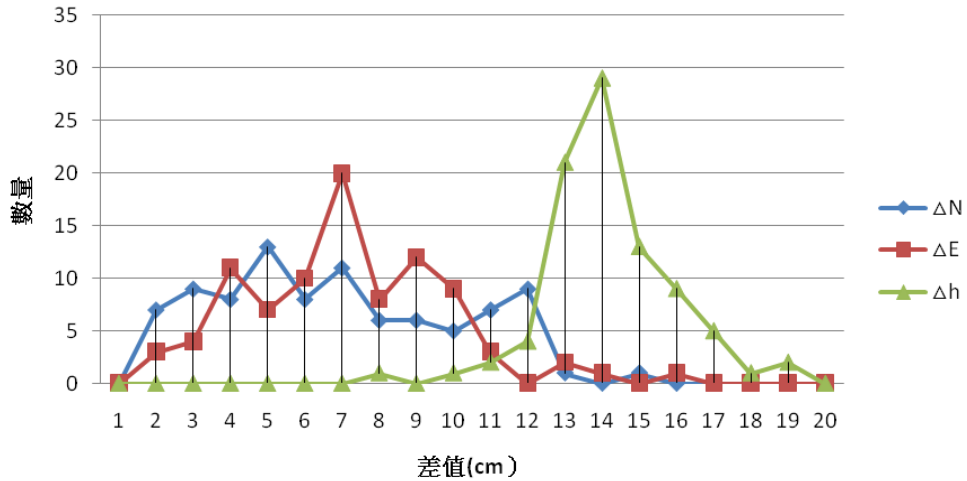


圖 3-18 臺中港 TOPCON 與 CPC 坐標 N、E、h 差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中在 5 至 15 公分間，計 85 點，佔 94%；三維差值則在 12 至 20 公分間，計 86 點，佔 96%，如圖 3-19。

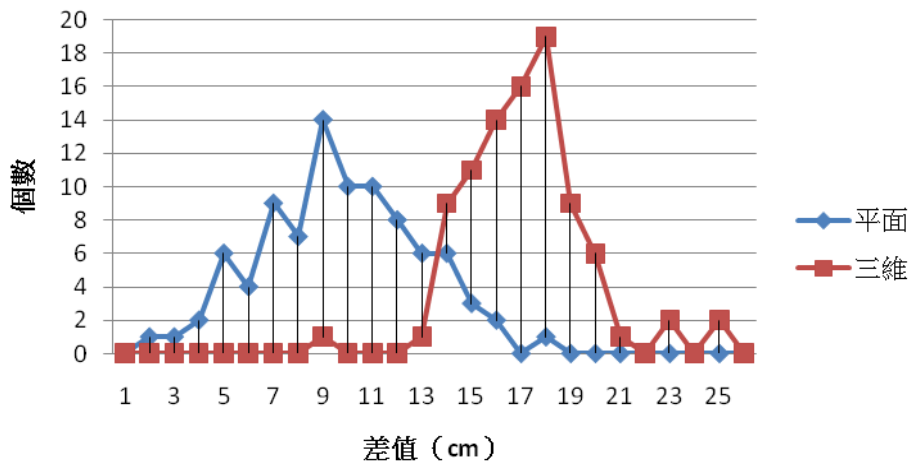


圖 3-19 臺中港 TOPCON 與 CPC 坐標平面、三維差值分布折線圖

前述 CPC 作業所使用之主站點為 CK01，本次施測同樣以 e-GNSS 系統依本中心「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作業手冊」進行外業觀測，點位記錄 180 筆初始化坐標取其平均，並以三腳架設立以求得穩固坐標（如圖 3-20）。計算所得坐標與 CPC 主站點（CK01）坐標比較結果，如表 3-8：

表 3-8 中油主站點 CK01 坐標比較表 單位：公尺

	ΔN	ΔE	Δh
主站差值	0.026	-0.009	-0.079



圖 3-20 中油主站點 CK01 觀測情形

由表 3-8 所示，主站間之差值平面約 3 公分，高程約 8 公分，此差值尚符合本中心「e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告」所得結論。CPC 外業以 CK01 主站坐標為基準，並以單主站 RTK 施測管線與本中心外業成果差異，點位精度平面約 6 公分，高程約 12 公分（整體平均），成果符合內政部營建署現行公共管線精度規範（平面 20 公分、高程 20 公分）。

3-3-5 臺中港作業小結

- 一、施測點位 102 點，經採用前 60 筆、前 30 筆及前 10 筆 e-GNSS 系統之 VBS-RTK 定位成果取其平均進行成果分析，3 者所得各分量坐標差異並不顯著。顯示依本中心設計之作業模式，進行 e-GNSS 系統管線孔蓋定位測量，其內部精度與成果品質相當一致，可推論在空曠且透空良好之環境中，觀測僅需記錄 10 筆初始化定位坐標成果，即可滿足預期精度。
- 二、外業實測採用 LEICA 1230 及 TOPCON GR-3 等 2 款衛星接收儀，此 2 款儀器所得初始化解坐標，點位之內部精度及外部差值無明顯差異。顯示以 e-GNSS 系統進行管線測量外業時，不同廠牌、型號之儀器，其坐標成果仍然有一致性。

三、實測成果與台灣中油股份有限公司坐標作為外部差值之對照基準，其中整體平均平面差值為 6 公分、高程為 12 公分。

四、外業施測僅接收 GPS 衛星訊號，成果與對照坐標比較，於透空環境良好區域，以點位觀測初始化筆數以 10 筆平均為基準，僅有少數點位（總點位 102 點，3 點超出規範，約佔 3%）之高程超出內政部營建署現行公共管線精度規範之精度要求（平面 20 公分、高程 20 公分），平面部分皆符合精度要求。另有關超出精度要求之點位（共 3 點），判斷為強行獲取初始化解之成果（初始化時間大於 3 分鐘以上），建議使用者初始化時間大於 3 分鐘以上即可放棄施測該點位，或視衛星分布情形先行於其他點位作業，再行施測。

第四節 雲林縣虎尾鎮市區

3-4-1 施測區分析

施測於 102 年 4 月 17、18 日至雲林縣虎尾鎮市區進行第 2 次 VBS-RTK 管線孔蓋測量作業。地點位於虎尾鎮公所及光復路一帶，天氣陰，光復路上交通流量大且障礙物多，外業施測阻礙嚴重，施測點位位於道路及人行道旁，共計 80 點，編號為 P01、P02 至 P80，如圖 3-21。



圖 3-21 虎尾市區管線孔蓋測量點位分布圖

研究區預期環境中遮蔽物多而導致接收之衛星訊號品質差及可用衛星數少，遂影響 e-GPS 系統於點位初始化之成功率。考量施測環境情況，本次施測使用 e-GNSS 系統，接收 GPS 及 GLONASS 系統訊號，以提升 VBS-RTK 之初始化成功率及速度。

傳統上，GPS 系統運作之衛星數為 31 顆（數量增加中），在地表無遮蔽地區觀測可接收 5 至 12 顆衛星，視時間與經緯度而定，在市區中則因高樓及建物遮蔽等因素，可接收衛星數少，影響定位解算。有鑑於此，GNSS

使用 GPS 及 GLONASS 等衛星系統，加入 GLONASS 之 24 顆衛星（數量增加中）以提昇可用衛星數。如此對於市區透空遮蔽較嚴重之區域，便能以較多之衛星數（相較僅有 GPS 系統）來提升定位之速度與成功率。而本中心即時動態定位系統加入雙星系服務後則稱為 e-GNSS 即時動態定位系統（以下簡稱 e-GNSS 系統）。

虎尾鎮市區透空環境不良(如圖 3-22)，建物及電桿遮蔽多(如圖 3-23)，以 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 管線測量時，衛星接收及記錄情況差，約有 2 成點位無法獲得初始化解，另可初始化之點位，其獲得初始化解之時間約需 60 秒，不包含路程，接收 10 筆初始化解。



圖 3-22 虎尾市區交通流量及房舍遮蔽情形



圖 3-23 雲林虎尾市區 e-GNSS 系統進行管線孔蓋測量情況

施測點位計 80 點，各點位相距約 40 公尺，施測點位時間約需 100 秒，包含移動路程。其施測時間與臺中港作業相比較，該區域透空不佳，等待衛星訊號及初始化時間需較長。另依本次外業經驗，觀測逾 3 分鐘仍未成功獲得初始化解之點位，為避免降低外業效率與耗損時間，可視為無法初始化。

依圖 3-24 所示，整體點位施測所需時間差距大，由於虎尾市區透空度差且影響外業之變因多，包含交通狀況、點位位置等，許多點位無法進行施測或無法達到初始化狀態，共 16 點，佔 20%。而初始化時間超過 100 秒者有 8 個，相較於臺中港數量為多，且即使在能成功達到初始化之點位上，其所需時間仍多於透空良好區域。因此可知於透空不佳之區域進行 VBS-RTK 定位測量，點位之初始化時間及成功率皆大幅受影響。

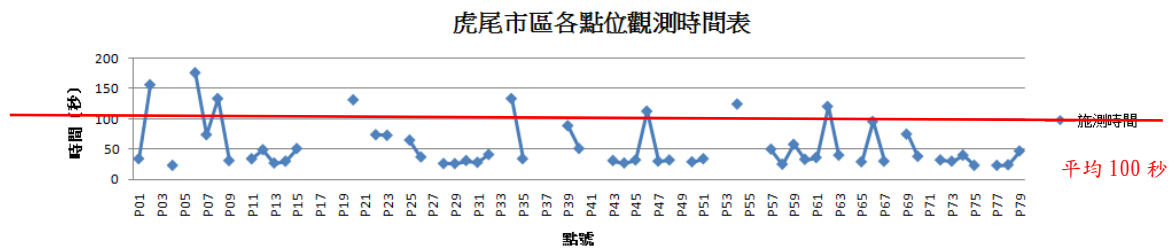


圖 3-24 虎尾市區各點位觀測時間統計圖（包含移動路程）

3-4-2 台灣自來水公司管線作業

台灣自來水公司（以下稱 TWC）於雲林縣虎尾鎮市區進行管線孔蓋測量係使用全測站儀（Total Station）並由鄰近已知控制點（TWD97 坐標系統）經單導線施測求得各待測管線孔蓋點位之坐標。

其使用儀器為 TRIMBLE 5600IR 全測站儀及其配合之稜鏡標竿及腳架（如圖 3-25），並以單導線方式計算出待測管線點位坐標。由於單導線引測之控制點為 TWD97 坐標系統，故所得管線孔蓋點位坐標為 TWD97 坐標系統。其坐標與本中心 e-GNSS 系統實測之成果需進行坐標轉換方可分析比較，e-GNSS 坐標系統經 6 參數最小二乘配置法轉換至 TWD97 坐標系統與之比較。



圖 3-25 TRIMBLE 5600IR 全測站儀（左）及控制面板（右）

TWC 提供之資料包含孔蓋點位之點號及其 N、E、h 坐標（TWD97 坐標系統），本中心以此作為管線孔蓋實測坐標之對照基準。

3-4-3 作業概況

外業實測使用儀器為 LEICA 1230(以下簡稱 LEICA)及 TOPCON GR-3(以下簡稱 TOPCON)，搭配相對應標竿及其支撐架，並以 2 組人力（每組 2 人）共 4 人進行外業觀測（如圖 3-26）。



圖 3-26 虎尾鎮市區外業情形（共 4 人）

外業分別以 LEICA 及 TOPCON 各施測 1 測回（往測與返測），共計 2 測回。經前章節臺中港測試結果所示，施測 10 筆坐標取其平均即可達到預期精度。故本次作業考量到作業效率與環境透空因素，各點位分別施測 30 筆及 10 筆之初始化解坐標，並採雙星系系統進行觀測。

虎尾市區透空不佳，點位鄰近行道樹及建物（如圖 3-27），電線桿與公車候車亭等設施也影響施測作業（如圖 3-28）。道路上車多，許多點位位於車流量大之位置，外業動線安排及安全維護需多加留意。



圖 3-27 虎尾鎮市區位於行道樹（左）及建物旁（右）之點位



圖 3-28 虎尾鎮市區鄰近電桿（左）及公車等候亭（右）

總施測點數為 80 點，由於虎尾市區遮蔽多，透空環境不良，部分點位無法獲得初始化解。

經統計各測回有效資料，如表 3-9。無法施測點數約佔整體之 2 成，多為環境透空因素而無法獲得初始化解，少部分為點位遭障礙物阻擋無法擺站施測，約 2 點。

表 3-9 虎尾市區各測回有效資料 單位：個

施測資料	全部點數	無法施測點數	有效點數
LEICA 1230 往測	80	15	65
LEICA 1230 返測	80	16	64
TOPCON GR-3 往測	80	12	68
TOPCON GR-3 返測	80	12	68

註 1：往測為觀測 30 筆、返測為 10 筆

註 2：無法施測點位大多為無法初始化

內業計算部分，點位分別以 30 筆及 10 筆初始化定位坐標取其平均，探討接收筆數、儀器廠牌對精度成果之影響（內部精度分析），並與台灣自

來水公司 (TWC) 所提供點位孔蓋坐標資料分析對照 (外部差值分析)。

3-4-4 結果分析

外業實測資料經處理得 LEICA 1230 之 30 筆、10 筆平均坐標 (以下簡稱 LEICA 30 及 LEICA 10)，以及 TOPCON GR-3 之 30 筆及 10 筆平均坐標 (以下簡稱 TOPCON 30 及 TOPCON 10)，共 4 組點位坐標資料。

◆ 內部精度分析

內部精度分析係以標準差 (Standard Deviation) 作為資料精度比較之依據，詳細公式請參閱前述臺中港章節。

經分析 (如表 10)，LEICA 30 及 LEICA 10，平均各點位之三維標準偏差精度為 10 毫米，平面及高程標準偏差為 4 毫米及 7 毫米，2 者資料之內部精度差異不顯著，差異為 2 毫米。而個別點位標準偏差最高者為 P42，平面為 25 毫米、高程為 51 毫米，扣除約 2 成無法獲得初始化解之點位，其餘點位中尚有內部精度略低之成果，主要因素為透空度不佳，其點位貼近房舍、牆壁及行道樹等，障礙物遮蔽衛星訊號 (如圖 3-29)。



圖 3-29 虎尾市區點位位於行道樹 (左)、建物 (中)、交通路口 (右) 遮蔽情形

TOPOCN 30 及 TOPCON 10 平均三維標準偏差為 10 毫米，平面及高程標準偏差為 5 毫米及 8 毫米，2 者資料之內部精度差異不顯著，差異為 2 毫米，整體點位除部份歧異度較大，其餘內部精度良好 (如表 3-10)。

表 3-10 虎尾市區不同接收筆數內部精度及極值 單位：公尺

施測資料	三維 平均值	平面 平均值	高程 平均值	三維 最大值	平面 最大值	高程 最大值
LEICA 30	0.011	0.006	0.010	0.057 (P42)	0.025 (P42)	0.051 (P42)
LEICA 10	0.009	0.004	0.007	0.025 (P44)	0.008 (P44)	0.024 (P44)
TOPCON 30	0.009	0.005	0.008	0.057 (P07)	0.057 (P07)	0.025 (P72)
TOPCON 10	0.007	0.004	0.005	0.057 (P42)	0.056 (P42)	0.014 (P54)

註：三維最大值為各測回中三維標準偏差最大值，括弧“() ”內編號為最大值點號，平面最大值及高程最大值亦同。

點位初始化解之 30 筆、10 筆平均，LEICA 及 TOPCON 不同施測筆數之坐標，其平面及高程差值約在 1 公分及 3 公分間（如表 3-11）。顯示在透空環境較差之區域，接收筆數對於坐標會有一定影響，約 1 至 3 公分間，而此影響對於成果是否有增加觀測筆數之必要則取決於作業所需精度。以本次 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 管線測量為例，依內政部營建署現行公共管線規範中建議平面 20 公分、高程 20 公分之精度考量，權衡外業效率與需求精度，於透空較差之環境下仍以施測 10 筆初始化解坐標為較佳之選擇。

表 3-11 虎尾市區相異平均筆數比較表 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA 30 - 10	0.012	0.013	0.035	0.065	0.090	0.220
TOPCON 30 - 10	0.011	0.013	0.037	0.054	0.127	0.272

註：LEICA 30 - 10 為 LEICA 30 與 LEICA 10 之差值，以此類推

其次為不同廠牌儀器施測之比較，LEICA 30 及 10 平均與 TOPCON 30 及 10 平均分別以 N、E 及 h 分量相減，得其差值 ΔN 、 ΔE 及 Δh 。N、E 分量差值約在 1 公分，而 h 分量則在 3 公分，與臺中港差值相比，高程分量（臺中港為 2 公分）稍大，且高程差值最大值將近 20 公分，估計為透空環境對於高程分量精度影響較為顯著，所呈現出之差值相對於平面要來的高出許多（如表 3-12）。

表 3-12 虎尾市區 2 種廠牌測量成果比較 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA30 - TOPCON30	0.012	0.012	0.031	0.052	0.069	0.191
LEICA10 - TOPCON10	0.012	0.010	0.019	0.076	0.043	0.082

雲林虎尾市區施測成果顯示，內部精度不論30筆及10筆平均，其坐標影響皆在3公分內，即在透空不良環境以管線孔蓋測量所需精度，權衡作業效率與精度，觀測10筆取平均仍是較佳之選擇。

◆ 坐標轉換與套合-6 參數最小二乘配置法

一、6 參數最小二乘配置法簡介

6 參數轉換又稱為仿射轉換 (Affine Transformation)，為傳統上常使用之平面轉換，其轉換參數包含旋轉、平移、坐標軸非正交及坐標軸比例等共 6 參數因子，詳細如下：

1. 旋轉因子：坐標軸旋轉量控制參數，共 1 參數。
2. 平移因子：坐標原點平移量控制參數，X、Y 坐標各 1 參數，共 2 參數。
3. 坐標軸非正交因子：X、Y 雙軸間非正交控制參數，共 1 參數。
4. 坐標軸比例因子：坐標軸比例控制參數，X、Y 軸 1 參數，共 2 參數。

由以上知，需 3 個以上之控制點（每個控制點可提供 2 參數求解方程）方可求解參數，其方程式如下：

$$X = a_1x + b_1y + c_1$$

$$Y = a_2x + b_2y + c_2$$

最小二乘配置法 (Least-Squares Collocation) 為結合最小二乘法、內插及濾波之平差方法，最小二乘配置法可處理還有系統性誤差之觀測值，並能藉由已知觀測量及平差計算獲得無觀測資料區域之估計值，且可濾除掉估計傳播之觀測量雜訊 (noise，亦可稱粗差)，其方程式為：

$$l = Ax + s + n$$

x 為未知參數

s 為系統性誤差向量

n 為粗差向量

A 為設計矩陣

l 為觀測量

二、雲林虎尾市區坐標轉換方法

台灣自來水公司（以下簡稱 TWC）為使用全測站儀進行地面測量方式施測，此方式無需考慮透空環境，但需考量點位間通視，其使用 TWD97 坐標系統，欲與本次施測區成果相比較，需進行坐標轉換，e-GNSS 坐標系統轉至 TWD97 坐標系統至相同坐標系統。故此次作業本中心於測試區外圍以 e-GNSS 系統施測轉換控制點（如圖 3-30），所施測之轉換控制點皆有 TWD97 坐標成果，如表 3-13。各控制點位以 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 施測 180 筆取其坐標平均，採用 6 參數轉換配合最小二乘配置方法進行坐標轉換管線點位坐標轉至 TWD97 系統。轉換後之坐標成果依中心「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」進行檢核，應符合：

1. 轉換後共同點坐標分量殘差（改正數）應 $\leq\pm 5$ 公分。
2. 轉換後共同點間與原坐標反算方向角之較差應 $\leq\pm 20''$ 。
3. 轉換後共同點間與原坐標反算水平距離之較差應 $\leq\pm 10$ 公分。

本施測區轉換控制點經 6 參數最小二乘配置法轉換後，共同點檢核如下：

1. 坐標分量殘差平均 N 為 2.8 公分；E 為 -2.3 公分。
2. 原坐標反算方向角之較差平均為 12''。
3. 反算水平距離之較差平均為 3.7 公分。

各共同點檢核皆符合前述規範。本研究以此轉換後成果與 TWC

提供之管線孔蓋坐標（同 TWD97 坐標系統）相比較，作為外部差值評估之基準。

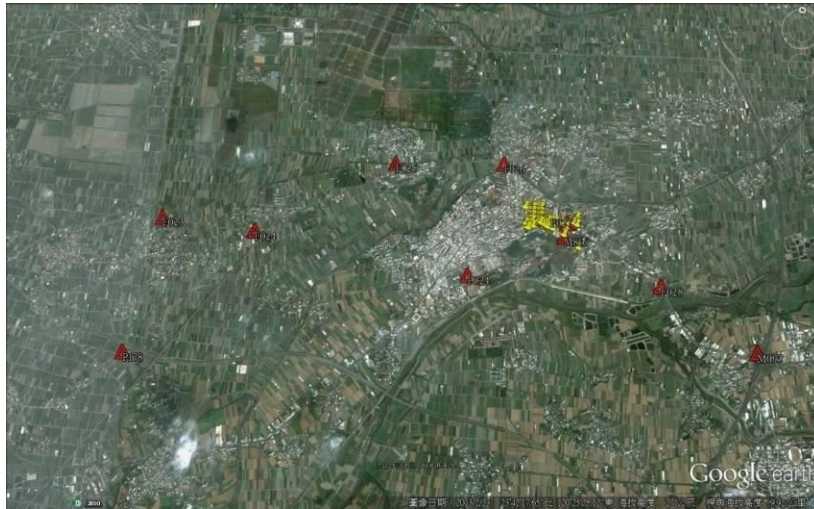


圖 3-30 虎尾市區作業區所使用轉換控制點位置圖
（黃色為管線點位、紅色為轉換控制點）

3-13 虎尾市區作業區所使用轉換控制點列表

點號	點名	等級
F023	北溪厝	一等水準點
F024	舊部	一等水準點
F025	廉使國小	一等水準點
F026	尾寮橋	一等水準點
F027	大成商工	一等水準點
F028	平和厝	一等水準點
M093	斗南交流道	一等衛星控制點
M816	虎尾地政事務所	二等衛星控制點
P178	石廟子	三等控制點
PC24	A24	三等控制點

◆ 外部差值分析

為呈現 e-GNSS 系統於管線測量作業之效率與簡便性，以及前述章節分析，遂使用 10 筆平均，即點位記錄 10 筆坐標取其平均作為比較。表 14 所示，LEICA 及 TOPCON 觀測資料與 TWC 提供之成果相比，N、E 方向平均差值皆在 6 至 7 公分，而 h 方向則約 12 公分。

表 3-14 虎尾市區 e-GNSS 管線測量與台灣自來水公司比較 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA 10 - TWC	0.067	0.035	0.117	0.196	0.137	0.184
TOPCON 10 - TWC	0.066	0.042	0.123	0.194	0.123	0.186

註：LEICA 10 - TWC 為 LEICA 10 與台灣自來水公司資料之差值，TOPCON 10 - TWC 亦同

外業測量以內政部營建署現行公共管線規範建議之精度，平面 20 公分、高程 20 公分評估，全數測試點位皆符合管線孔蓋要求精度(如表 3-15、3-16)。

表 3-15 虎尾市區 e-GNSS 管線測量平面差值比例

施測資料	平面大於 10(公分)	平面大於 12	平面大於 15	平面大於 20
LEICA 10 - TWC	27.66% (13)	17.02% (12)	8.51% (4)	0.00% (0)
TOPCON 10 - TWC	25.00% (13)	13.46% (7)	5.77% (3)	0.00% (0)

註 1：括弧“() ”內數字為超出個數

註 2：LEICA 10 - TWC 為 LEICA 10 與台灣自來水公司資料之差值，TOPCON 10 - TWC 亦同。

表 3-16 虎尾市區 e-GNSS 管線測量高程差值比例

施測資料	高程大於 10(公分)	高程大於 12	高程大於 15	高程大於 20
LEICA 10 - TWC	72.34% (34)	53.19% (19)	21.28% (10)	0.00% (0)
TOPCON 10 - TWC	69.23% (36)	42.31% (22)	19.23% (22)	0.00% (0)

註 1：括弧“() ”內數字為超出個數

註 2：LEICA 10 - TWC 為 LEICA 10 與台灣自來水公司資料之差值，TOPCON 10 - TWC 亦同。

雲林縣虎尾鎮市區 e-GNSS 系統管線孔蓋測量與 TWC 坐標差值分布，如圖 3-31。LEICA 觀測部分，N 分量差值集中在 2 至 10 公分間，計 30 點，佔 64%，E 分量為差值集中在 1 至 8 公分間，計 44 點，佔 94%；高程則在 12 至 17 公分間，計 29 點，佔 62%。其差值分布範圍相較臺中港地區來的大，顯示透空不佳之區域，其成果與 TWC 坐標一致性較低。

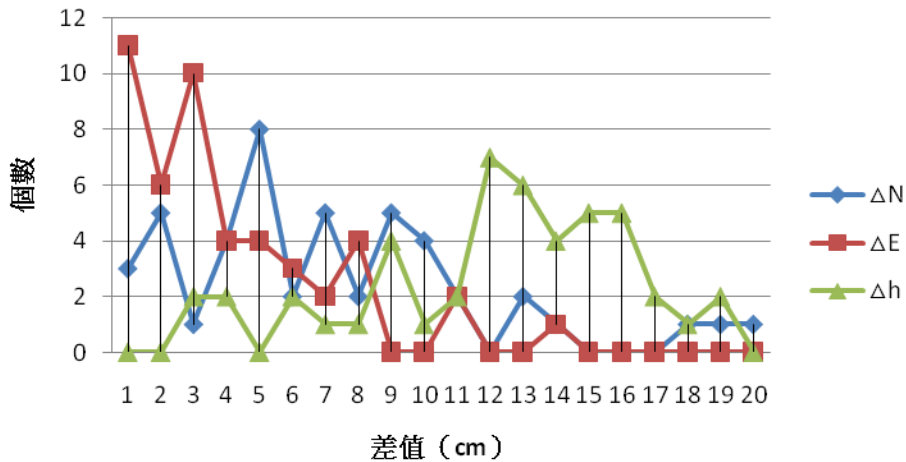


圖 3-31 虎尾市區 LEICA 1230 與 TWC N、E、h 坐標差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中在 5 至 13 公分間，計 36 點，佔 77%；三維差值則在 13 至 21 公分間，計 37 點，佔 79%，如圖 3-32。

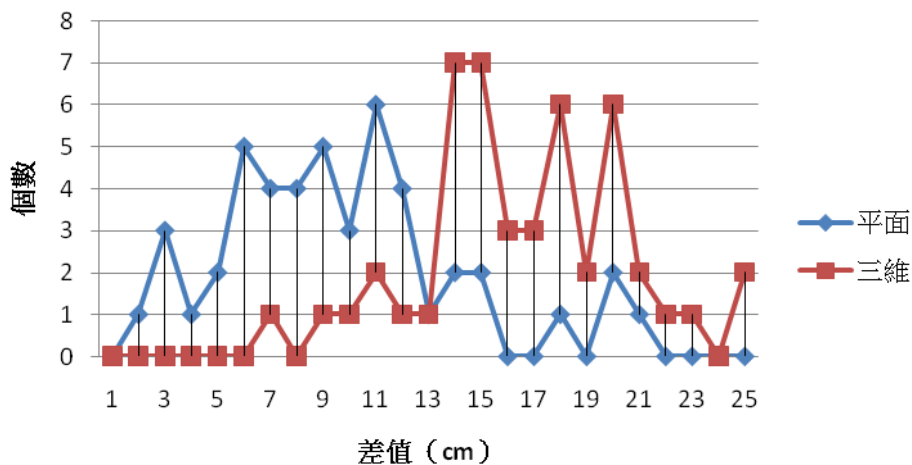


圖 3-32 虎尾市區 LEICA 與 TWC 平面及三維坐標差值分布折線圖

虎尾市區 e-GNSS 管線孔蓋測量 TOPCON 成果與 TWC 坐標差值分布，如圖 3-33。TOPOCN 觀測成果與 LEICA 成果一致性高，N 分量差值集中在 3 至 8 公分間，計 39 點，佔 75%；E 分量差值集中在 1 至 10 公分間，計 51 點，佔 98%；高程則在 11 至 17 公分間，計 35 點，佔 67%。

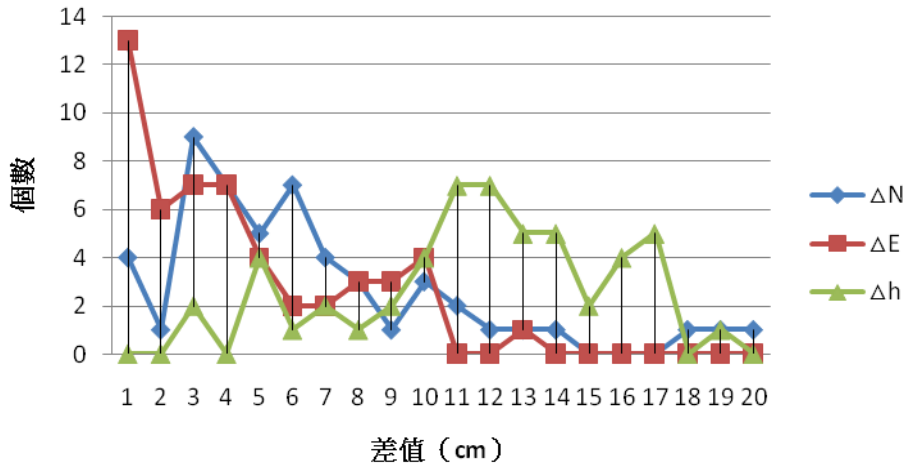


圖 3-33 虎尾市區 TOPCON 與 TWC 坐標 N、E、h 差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中於 3 至 13 公分間，計 43 點，佔 83%；三維差值則在 4 至 16 公分間，計 42 點，佔 81%，如圖 3-34。

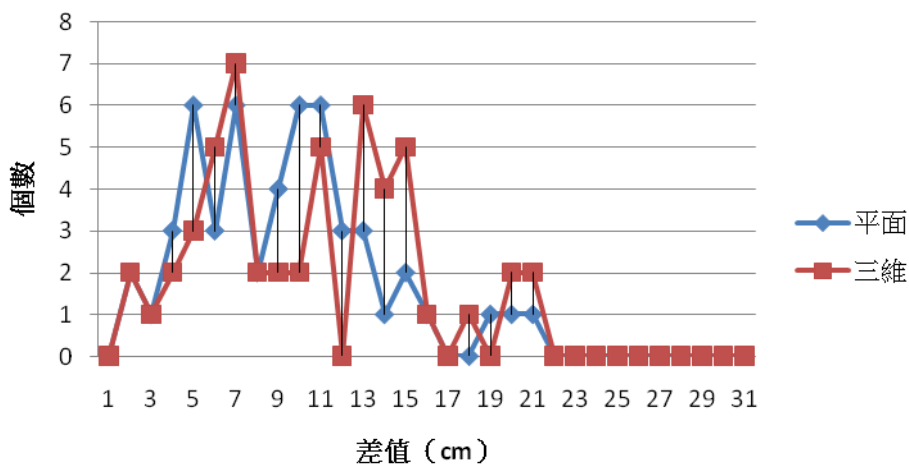


圖 3-34 虎尾市區 TOPCON 與 TWC 平面及三維坐標差值分布折線圖

虎尾市區施測由於透空度差，外部環境不利於衛星定位測量，以 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 初始化成功率約為 8 成，其成功獲得初始化解之坐標點位與 TWC 坐標之差值，施測 10 筆取平均，整體平均平面約在 7 公分，高程約 12 公分，且全數點位平面、高程與對照坐標之差值皆優於 20 公分，本次施測成果符合內政部營建署現行公共管線精度規範（平面 20 公分、高程 20 公分）。

3-4-5 雲林虎尾市區作業小結

- 一、由於雲林縣虎尾鎮市區環境不利於衛星測量，為增加初始化成功率與速度遂使用雙星系 e-GNSS 系統（接收 GPS 及 GLONASS 衛星訊號）進行作業。管線點位初始化時間相較透空良好區域稍慢，總體點位初始化成功率也降低，惟成功獲得初始化解（Fixed）之點位成果其精度仍可達到管線孔蓋測量需求（平面 20 公分、高程 20 公分）。
- 二、共施測 80 個點位，經採用前 30 筆及前 10 筆 e-GNSS 系統之 VBS-RTK 定位資料，取其平均進行成果分析。2 者所得坐標差異（N、E、h 坐標值及其標準偏差）相較於管線定位需求精度可視為不顯著（差異為平面約 2 公分，高程約 3.5 公分）。顯示在透空環境較差之區域，施測筆數所帶來之影響大於在透空良好地區（如臺中港），惟是否因此提高單點位施測筆數則取決於作業所需精度，以本研究精度所需，施測 10 筆取其平均仍為建議作業方式。
- 三、外業採用 LEICA 1230 及 TOPCON GR-3 等 2 款衛星接收儀。測試成果此 2 款所得坐標，內部精度及外部差值無顯著差異。顯示以 e-GNSS 系統進行管線測量外業時，不同廠牌、型號儀器之成果仍然有著高度一致性（與臺中港結論同）。
- 四、施測坐標與台灣自來水公司坐標作為外部差值之比較基準，其中整體平均平面差值為 7 公分、高程為 12 公分。
- 五、施測成果與台灣自來水公司之坐標比較，於透空環境為不佳之區域，以初始化筆數以 10 筆平均為基準。依內政部營建署現行公共管線精度規範

要求（平面 20 公分、高程 20 公分），全數點位符合精度規範。

第五節 雲林縣虎尾鎮郊區

3-5-1 施測區分析

經 102 年 4 月 17、18 日至雲林縣虎尾鎮市區（透空不佳）進行 e-GNSS 系統管線孔蓋測量，為完備測試區情況，此次於 102 年 5 月 1 日同樣於雲林縣虎尾鎮進行第 3 次施測，惟地點選擇虎尾鎮郊區建物遮蔽較少之區域，其外部環境透空相較市區佳（如圖 3-35）。其位置坐落於雲林縣虎尾鎮光復路與光復路 30 巷範圍裡，天氣晴，範圍裡多為農田低矮房舍，施測點位位於道路與農田旁，共計 81 點，編號為 P01、P02 至 P81，如圖 3-36。



圖 3-35 虎尾郊區透空良好（左）與稍差（右）之情形

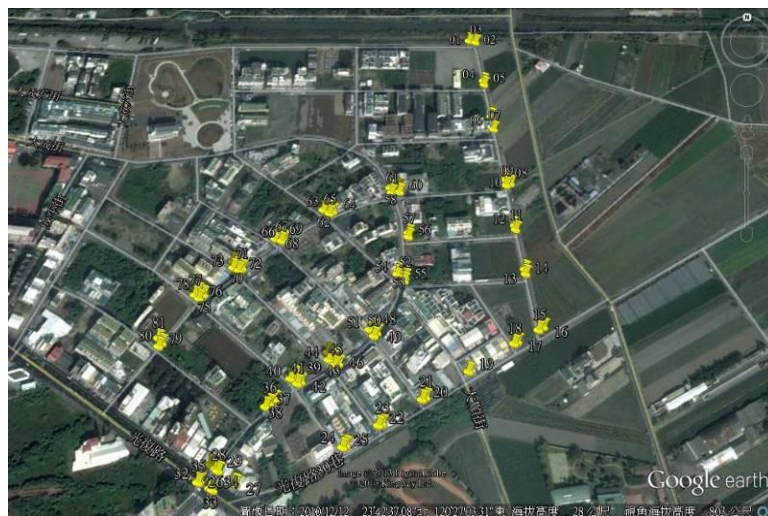


圖 3-36 虎尾郊區管線孔蓋測量點位分布圖

雲林縣虎尾鎮郊區透空環境與台中港區相似，大致透空良好，周圍多為農田及低矮房舍，部分點位透空遮蔽，以 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 管線測量衛星情況尚佳，僅有少數點位無法獲得初始化解，其餘點位平均初始化時間約為 40 秒，加上移動路程時間，以步行速度 4 公里/時，施測單點位需 1 分鐘時間，包含移動路程。其施測所需時間與臺中港相同，因此在良好透空環境下，2 者定位初始化時間一致。

依圖 3-37 所示，虎尾郊區各點位觀測時間與市區相比，透空環境較佳、障礙物少，點位初始化比例（97.53%）及初始化時間（約 60 秒）皆優於雲林虎尾市區，本區內部精度及外部差異亦為 4 測試區中成果最佳，詳如後續分析。

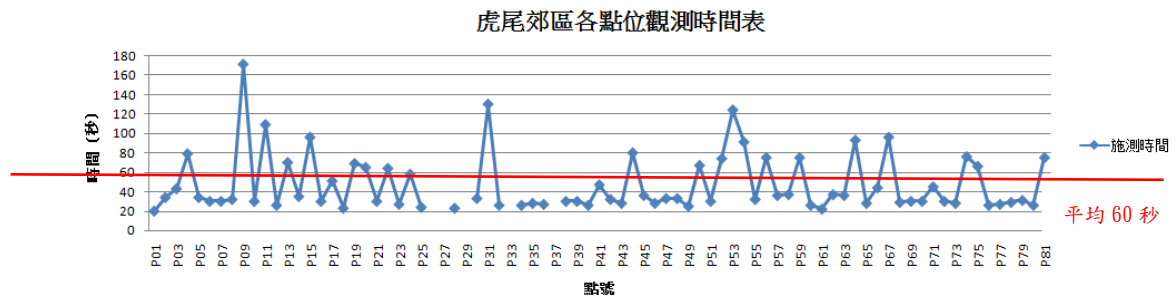


圖 3-37 虎尾郊區各點位觀測時間統計圖（包含移動路程）

3-5-2 作業概況

外業實測地點為雲林縣虎尾鎮郊區，其觀測環境透空良好，障礙物及建物距離施測點位遠，適合進行 VBS-RTK 定位測量。衛星接收星系與虎尾鎮市區相同，使用 e-GNSS 系統進行管線孔蓋測量作業，可預期此區域初始化成功率與精度會優於市區測量。

使用儀器為 LEICA 1230（以下簡稱 LEICA），搭配相對應之標竿及其支撐架。此次外業人力為 1 人（如圖 3-38），亦即採用單人測站模式，不僅可大幅簡化作業流程，並可節省外業所需人力成本，在確保交通及環境安全之前提下，採用單人測站系統為一簡便、高效率之作業方式，並以 LEICA 觀測 1 測回，分別為 LEICA 10_1（往測）及 LEICA 10_2（返測），各點位記錄 10 筆初始化坐標。



圖 3-38 虎尾郊區單人測站進行測量作業

虎尾郊區房舍低遮蔽少，e-GNSS 系統定位時間短、成功率高，平均每點位定位時間為 1 分 40 秒，包含移動路程，超過 90% 以上點位皆可接受至初始化解，觀測情形良好，如圖 3-39。

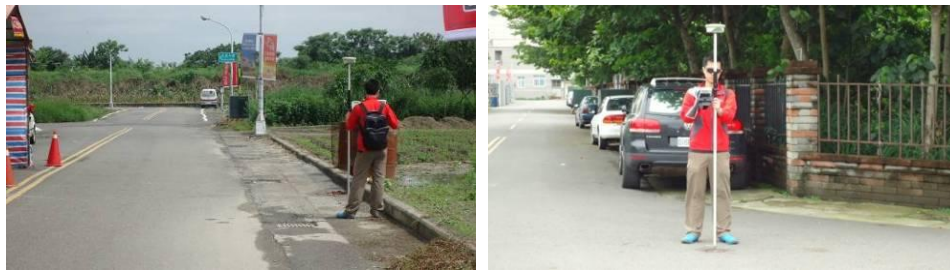


圖 3-39 虎尾郊區農田旁透空良好

總施測點數為 81 點，由於此區環境有利於衛星觀測，加上使用 e-GNSS 系統提昇可接收衛星數，因此無法初始化之點位數量少，多為房舍遮蔽，初始化成功率高達 97.53%（如表 3-17）。

表 3-17 虎尾郊區往、返測有效資料 單位：個

施測資料	全部點數	無法施測點數	有效點數
LEICA 10_1	81	2	79
LEICA 10_2	81	7	74

註：無法施測之點位全數皆為無法初始化

內業部分以各點位之 10 筆 VBS-RTK 定位資料取其平均，並與台灣自來水公司（TWC）提供之對照點位坐標比較分析。本區虎尾郊區房舍遮蔽少，外業施測定位初始化成功率高、初始化時間短，整體外業效率較虎尾市區高。

3-5-3 結果分析

外業實測資料經內業處理得 LEICA 之 10 筆平均坐標，往返共 1 測回，分別以 LEICA 10_1（往測）、LEICA 10_2（返測）來代表 2 組坐標資料。

◆ 內部精度分析

內部精度分析係以標準差（Standard Deviation）作為資料精度比較之依據，詳細公式請參閱前述臺中港章節。

經分析，LEICA 10_1 及 LEICA 10_2（如表 3-18），點位之三維標準偏差精度為 11 毫米，平面及高程標準偏差為 8 毫米及 8 毫米，2 者資料之內部精度差異不顯著，差異為 2 毫米，表現出之觀測品質良好。而個別點位標準偏差最高為 P52，平面為 18 毫米、高程為 64 毫米，該點（P52）位置較貼近房舍（如圖 3-40），其透空較差所致，多數點位透空及觀測情況良好。



圖 3-40 虎尾郊區鄰近房舍及電桿之點位

表 3-18 虎尾郊區各測回內部精度及極值 單位：公尺

施測資料	三維 平均值	平面 平均值	高程 平均值	三維 最大值	平面 最大值	高程 最大值
LEICA 10_1	0.096	0.007	0.006	0.056 (F034)	0.018 (P30)	0.049 (P30)
LEICA 10_2	0.011	0.008	0.008	0.070 (F015)	0.018 (P52)	0.064 (P52)

註：三維最大值為各測回中三維標準偏差最大值，括弧“() ”內編號為最大值點號，平面最大值及高程最大值亦同。

往測與返測資料比較，其差值 N、E 方向為 1 公分，h 方向約 3 公分，2 者數據相近（如表 3-19）。此區環境透空良好，並以 e-GNSS 系統進行外業，可接收衛星數多，因此往、返測皆可維持在相當之精度。

表 3-19 虎尾郊區往返測回差值比較 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA 10_1 - LEICA 10_2	0.013	0.015	0.028	0.045	0.065	0.189

虎尾郊區管線測量內部精度良好，並以單人測站方式進行作業，e-GNSS 系統獲得初始化解之時間與作業中移動路程皆順暢，並以 10 筆觀測記錄之平均來做為測試，兼顧外業精度與速度。

◆ 外部差值分析

外部差值分析同樣以台灣自來水公司（以下簡稱 TWC）提供之管線坐標作為比較參考，TWC 詳細作業方式可參考前章段落。

由表 3-20 所示，LEICA 10_1 及 LEICA 10_2 之觀測成果與 TWC 公司相比，N、E 方向平均差值在 2 至 4 公分，而 h 方向則約 6 公分。

表 3- 20 虎尾郊區 e-GPS 管線測量與台灣自來水公司比較 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	Δh 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	Δh 最大值
LEICA 10_1 - TWC	0.035	0.025	0.059	0.096	0.115	0.121
LEICA 10_2 - TWC	0.036	0.024	0.063	0.080	0.082	0.161

管線測量以內政部營建署現行公共管線精度規範，平面 20 公分、高程 20 公分評估，LEICA 10 往測及返測皆無超出規範之點位，全數測試點位皆符合管線要求精度，如表 3-21、3-22。

表 3- 21 虎尾郊區 e-GNSS 管線測量平面差值比例

施測資料	平面大於 10 (公分)	平面大於 12	平面大於 15	平面大於 20
LEICA 10_1 - TWC	1.27% (1)	1.27% (1)	0.00% (0)	0.00% (0)
LEICA 10_2 - TWC	0.00% (0)	0.00% (0)	0.00% (0)	0.00% (0)

註：括弧“() ”內數字為筆數

表 3-22 虎尾郊區 e-GNSS 管線測量高程差值比例

施測資料	高程大於 10 (公分)	高程大於 12	高程大於 15	高程大於 20
LEICA 10_1 - TWC	1.27% (1)	1.27% (1)	0.00% (0)	0.00% (0)
LEICA 10_2 - TWC	8.86% (7)	6.33% (5)	1.35% (1)	0.00% (0)

註：括弧“() ”內數字為筆數

虎尾鎮郊區e-GNSS管線孔蓋測量LEICA 10_1與TWC坐標差值分布，如圖3-41。LEICA 10_1觀測部分，N分量差值集中在1至8公分間，計73點，佔99%，E分量差值在1至7公分，計71點，佔96%，高程則在4至9公分間，計51點，佔69%。顯示出該區域差值分布集中，外業實測成果各分量與CPC對照成果差值之分布集中，與臺中港施測成果相似（同為透空良好區域），惟本區係採用GPS+GLONASS組合之雙星系統，顯示於透空良好之區域採用雙星系統施測，其初始化成功率、時間無大幅度提昇（相較單星系統，臺中港區成果）。

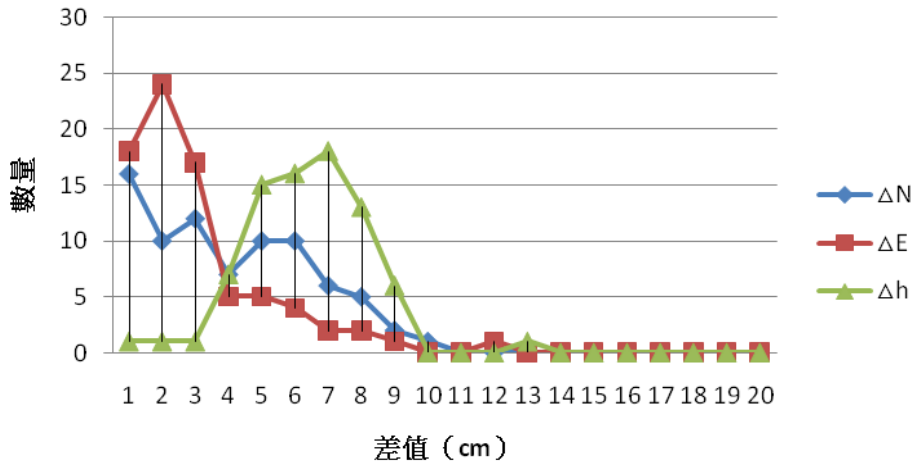


圖 3-41 虎尾郊區 LEICA 10_1 與 TWC N、E、h 坐標差值分布折線圖

平面（N、E）差值主要集中在3至10公分間，計75點，佔95%；三維差值則在6至13公分間，計76點，佔96%；如圖3-42。

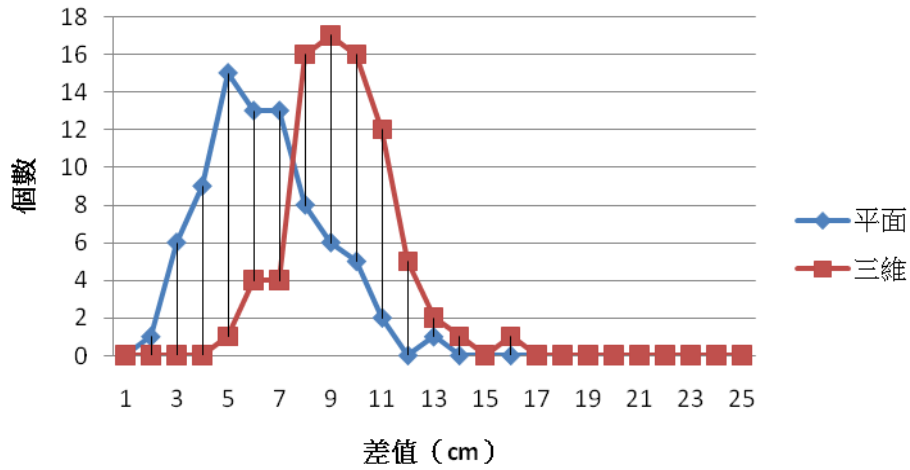


圖 3-42 虎尾郊區 LEICA 10_1 與 TWC 平面及三維坐標差值分布折線圖

虎尾鎮郊區 e-GPS 管線測量 LEICA 10_2 與 TWC 坐標差值分布，如圖 3-43。N 分量差值集中在 1 至 8 公分間，計 73 點，佔 99%；E 分量差值在 1 至 8 公分，計 73 點，佔 99%；高程則在 3 至 10 公分間，計 62 點，佔 84%。

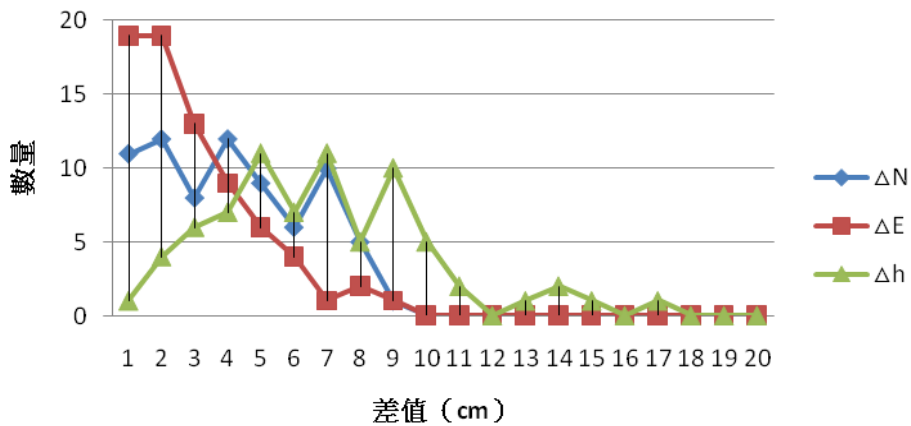


圖 3-43 虎尾郊區 LEICA 10_2 與 TWC N、E、h 坐標差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中在3至10公分間，計75點佔95%；三維差值則在6至14公分間，計77點，佔97%，如圖3-44。

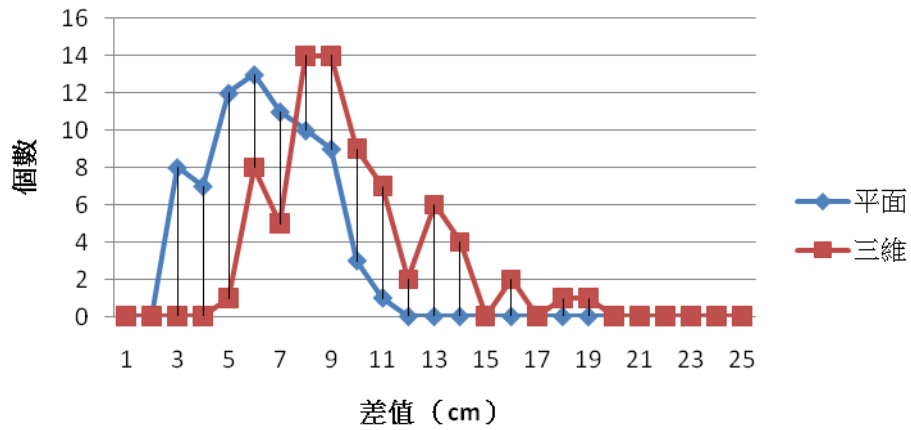


圖 3-44 虎尾郊區 LEICA 10_2 與 TWC 平面及三維坐標差值分布折線圖

由於雲林虎為郊區透空環境佳且觀測時使用 GNSS 系統，往、返測所得之成果一致，差值分布範圍相同。其差值分布情形與臺中港測量成果相似，分布集中。成功初始化之坐標其單點位與 TWC 坐標之差值，整體平均平面約在 4 公分，高程約 6 公分，成果符合內政部營建署現行公共管線精度規範（平面 20 公分、高程 20 公分）。

3-5-4 雲林虎尾郊區作業小結

- 一、施測點位共計 81 點，經採用雙星系之 e-GNSS 系統，並以施測 10 筆初始化坐標取平均進行成果分析。往、返測所得成果，其 N、E、h 坐標值及其標準偏差皆無顯著差異（約在 1 至 3 公分間）。顯示於以 e-GNSS 系統進行管線施測可獲得穩定可靠之作業成果。
- 二、外業實測與虎尾市區皆使用雙星系 e-GNSS 系統（接收 GPS 及 GLONASS 衛星訊號）進行 VBS-RTK 定位測量，與虎尾市區相異之處為此區域透空環境良好，衛星訊號遮蔽少，使用 e-GNSS 系統能更加提昇原有之獲得初始化解之速度與成功率。因此本次施測在初始化成功率、初始化速度及外部差值分析皆為最佳。
- 三、施測成果與台灣自來水公司坐標進行外部差值之比較，其中整體平均平面差值為 4 公分、高程為 6 公分。
- 四、由外部差值數據，顯示以點位施測初始化筆數 10 筆平均為基準，全數點位符合內政部營建署現行公共管線精度規範（平面 20 公分、高程 20 公分）。

第六節 新北市汐止區

3-6-1 施測區分析

本次施測區係與內政部營建署於 97 年度辦理「推動公共設施管線資料庫系統建置計畫規劃案」之補助單位新北市政府進行合作，藉由符合該管線建置計畫之作業規範進行 VBS-RTK 測量作業實地測試及擬定以 VBS-RTK 定位技術為主軸之參考作業規範。管線孔蓋對照坐標資料係由新北市政府工務局提供，其資料內容包含汐止區之台灣電力公司之電力人手孔及汐止區公所之雨水人手孔等孔蓋資料（圖 51）。

經由前述臺中港區、雲林虎尾市區及雲林虎尾郊區等測試顯示，以 VBS-RTK 技術測設點位 10 筆（以 1Hz 為原則）初始化解（Fixed）之平均坐標即可符合平面 20 公分、高程 20 公分之孔蓋精度要求，遂本測試區以 10 筆平均之「測量點模式」進行施測，即直接於測設同時獲得 10 筆初始化解之平均坐標，並以坐標成果品質控制（QC）值平面 5 公分、高程 10 公分等設定進行坐標精度控管，此作業方式可於外業同時獲得孔蓋初始化解之平均坐標以及節省部分內業處理。前 3 個施測區使用儀器廠牌包含 LEICA、TOPCON 等，本次施測為採用 Trimble 廠牌之儀器，測試第 3 種廠牌之儀器比較。

另經前述測試區可知透空不良之區域需以雙星系統以增加可觀測衛星數，本次測試同樣以 e-GNSS 系統（PIVOT 核心軟體）進行作業，並以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法（以下簡稱網格殘差修正法）進行實測，網格殘差修正法可於測設當下透過 7 參數轉換及網格殘差修正量將原觀測坐標值（e-GNSS 坐標系統）轉換至 TWD97 坐標系統（或 TWD97[2010]）及 TWVD2001 正高高程系統，即可於施測當下立即獲得 TWD97 坐標系統之平面坐標及正高系統之高程值（後續章節詳述）。此功能可大幅節省外業施測已知控制點成本。本測試區除以網格殘差修正法轉換獲得之坐標分析外，另以 6 參數轉換所得坐標併同分析。

施測日期於民國 103 年 4 月 29、30 日，天氣陰，地點位於新北市汐止區，包含長興街二段、工建路及汐止區公所一帶，施測點位沿線交通流量大，多位於

建物密集與透空不良之區域，孔蓋點位分為電力人手孔（台灣電力公司，圖 3-45[左]）及雨水人手孔（汐止區公所，圖 3-45[右]）等 2 類，分別施測 82 點及 29 點（同區域內之雨水人手孔分布密度較低），共計 111 點，點位編號為 X001、X002 . . . 至 X111，如圖 3-46。



圖 3-45 台電人手孔（左）及區公所雨水人手孔（右）

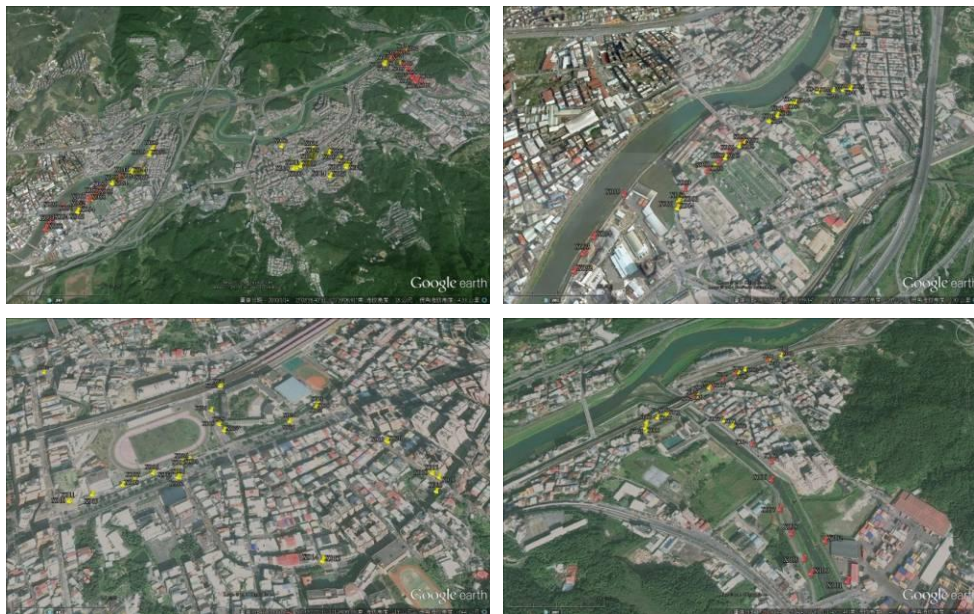


圖 3-46 新北市汐止區施測孔蓋點位（黃色標記為台電人手孔、紅色標記為區公所雨水人手孔）

外業實測地點為新北市汐止區，包含長興街二段、工建路及汐止區公所一帶，為透空不佳之觀測環境，點位沿線多建物及障礙物，並以雙星系 e-GNSS 系統進行管線孔蓋測量。考量現地交通車流量大，本次作業人員為 2 人，1 人觀測，另 1 人交通指揮；施測模式以單點位觀測 10 筆（1Hz）初始化坐標取平均記錄之（以測量點模式）。另本測試為比較網格殘差修正法與傳統 6 參數坐標轉換成果之坐標差異，選用 e-GNSS 系統之 TTG 服務網（支援網格殘差修正法轉換，e-GNSS 坐標系統轉換至 TWD97 坐標系統）施測，並保留 e-GNSS 坐標系統之成果，以最小二乘配置法 6 參數進行轉換，以比較兩者成果差異。

3-6-2 台灣電力公司及汐止區公所管線測量作業

新北市政府工務局所提供之對照成果係由台灣電力公司及汐止區公所於汐止區之作業成果。作業方式係使用全測站儀（Total Station）並由鄰近已知控制點（TWD97 坐標系統）及水準點（正高系統）經單導線施測求得各待測管線點位之 TWD97 平面坐標及正高高程。

由於單導線引測之已知控制點為 TWD97 坐標系統，故所得管線點位坐標同為 TWD97 坐標系統下之成果；而高程部分則由鄰近水準點引測而得正高系統高程。

新北市政府工務局提供之成果包含管線孔蓋點位之點名及其 N、E 平面坐標（TWD97 坐標系統）與正高高程（H）。本中心以此坐標成果作為 e-GNSS 系統管線實測坐標之對照基準。

3-6-3 作業概況

外業實測使用之儀器為 Trimble R6 GNSS System，移動站型接收儀，如圖 3-47，搭配相對應之標竿。



圖 3-47 Trimble R6 GNSS System 及其外業情形

汐止區建物遮蔽多，孔蓋點位多位於狹窄道路其透空環境不佳（如圖 3-48），總施測點數為 111 點，包含電力人手孔及雨水人手孔，另有部分點為因透空因素無法獲得初始化解，共 18 點，無法初始化點位約佔整體之 16%，亦即初始化成功率約達 84%，共 93 點。



圖 3-48 汐止區孔蓋點位位於透空環境不佳之區域

內業計算部分則以 10 筆（1Hz）初始化觀測資料之平均坐標，分別經 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法及 6 參數轉換加最小二乘配置法與新北市政府工務局提供之管線孔蓋坐標，平面為 TWD97 坐標系統、高程為正高系統進行分析比較。

3-6-4 結果分析

◆ 坐標轉換 - 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法

一. 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法

使用者施測 VBS-RTK 定位同時透過國際通用之 RTCM3.1 資料格式，即時傳送坐標轉換訊息，輔助移動站在野外現場即可獲得三維坐標轉換定位成果（圖 3-49）。其 RTCM3.1 訊息操作包括 2 步驟，Type1021 及 Type1023），如下：

1. 由 Type1021 傳送 7 個轉換參數訊息。
2. 由 Type1023 由 Type 1023 傳送轉換後之坐標殘差網格修正訊息。

經由此 2 步驟，可將 e-GNSS 坐標系統之成果轉換至法定公告成果（本中心目前提供 TWD97、TWD97@2010 等轉換）TWVD2001 正高系統高程（H）。

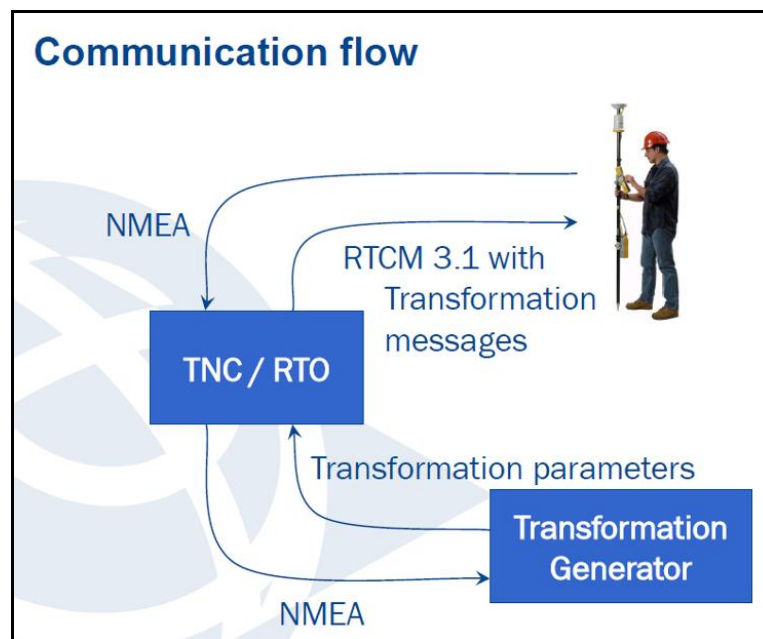


圖 3-49 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法示意圖

採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法包含 7 參數轉換及坐標網格殘差模型，其中 7 參數轉換係採嚴格公式之標準 7 參數坐標轉換 (Standard Seven Parameters, Strict Formula)，包括 3 個坐標軸旋轉參數、3 個坐標原點平移參數及 1 個網形尺度比參數，在此以臺灣本島全區實施坐標轉換，方程式如下：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + S \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 為平移參數

S 為尺度參數

ε_X 、 ε_Y 、 ε_Z 為旋轉參數

另坐標網格殘差模型係採用「可調張力連續曲面網格演算法」(Adjustable Tension Continuous Curvature Surface Gridding Algorithm) 調製 30" x30" 網格修正模型，並以「雙線性內插法」(bi-linear)，內插計算點位三維坐標殘差值，混和「2013 年臺灣地區混合法 (Hybrid) 大地起伏修正模型」及「橢球高程殘差」等模式，其建置模型之控制點本中心以各點間距離在 20 公里以內基線之距離相對精度(距離較差/距離長度)優於 1/20,000 之點位方納入建置 (以本中心 102 年度檢測之 1,452 點成果為建置基礎)。

而 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法經本中心檢測評估，其中 e-GNSS[2013]轉 TWD97 內部精度為 N:1.5、E:1.3、H:2.7 公分；e-GNSS[2013]轉 TWD97[2010]為 N:0.6、E:0.1、H:2.0 公分。另外部精度 e-GNSS[2013]轉 TWD97 為 N:2.6、E:3.3、H:9.4 公分；e-GNSS[2013]轉 TWD97[2010]為 N:1.9、E:3.0、H:5.0 公分，如表。依本次 VBS-RTK 定位技術於管線測量之需求精度 (平面 20 公分、高程 20 公分) 評估，精度已足敷使用。

表 3-23 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法精度評估表 單位：公分

	N 標準偏差	E 標準偏差	H 標準偏差
e-GNSS[2013]轉 TWD97 內部精度	1.5	1.3	2.7
e-GNSS[2013]轉 TWD97[2010] 內部精度	0.6	0.1	2.0
e-GNSS[2013]轉 TWD97 外部精度	2.6	3.3	9.4
e-GNSS[2013]轉 TWD97[2010] 外部精度	1.9	3.0	5.0

二. 新北市汐止區坐標轉換方法

外業資料於施測時經 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法得平面 TWD97 坐標值及正高值，以及最小二乘配置法 6 參數轉換原始觀測坐標（e-GNSS 坐標系統）得平面 TWD97 坐標值，分別為網格殘差修正法及 最小二乘配置法，共 2 組點位坐標。

台灣電力公司及汐止區公所係採全測站儀地面測量方式施測，此方式無需考量透空環境（需考量點位間通視）其使用之坐標參考系統平面為 TWD97、高程為正高系統，欲與本中心 e-GNSS 系統之成果作比較，需進行坐標轉換與套合至相同坐標系統。本次施測資料以下列 2 方法進行轉換：

1. 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法：該功能係由 e-GNSS

系統所提供，使用者僅需以 TTG 服務網（可轉換至 TWD97 或 TWD97[2010]坐標系統）登入進行施測，所得坐標（包含平面

及高程) 成果會經由線上即時之區域與網格修正量轉換為 TWD97 或 TWD97[2010]等法定坐標系統，而高程則轉換以正高系統為基準之正高值。

2. 最小二乘配置法 6 參數轉換：本次作業於施測區外圍以 e-GNSS 系統施測轉換控制點（如圖 3-50），所施測之轉換控制點皆有 TWD97 坐標成果，如表 3-23。各控制點位以 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 施測 180 筆（e-GNSS 坐標系統）取其坐標平均，採用 6 參數轉換配合最小二乘配置方法進行坐標轉換（管線孔蓋點位轉至 TWD97 及正高系統）。另坐標轉換後之共同點成果檢核可參閱前述雲林虎尾市區章節。

本施測區轉換控制點經 6 參數最小二乘配置法轉換後，共同點檢核如下：

1. 坐標分量殘差平均 N 為 1.8 公分；E 為-2.6 公分。
2. 原坐標反算方向角之較差平均為 9”。
3. 反算水平距離之較差平均為 3.2 公分。

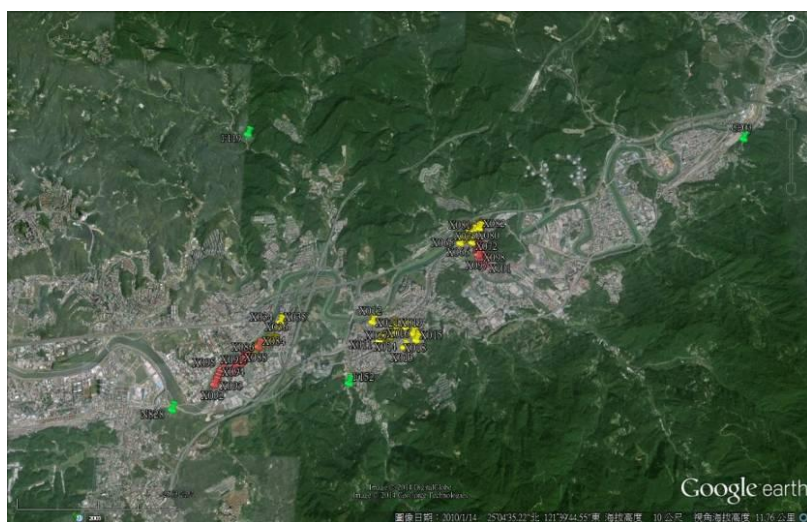


圖 3-50 新北市汐止區所使用轉換控制點位置圖
(黃色及紅色為管線孔蓋點位、綠色為轉換控制點)

表 3-24 新北市汐止區作業區所使用轉換控制點列表

點號	點名	等級
F119	廖厝村	內政部三等
F152	科學園區	內政部三等
N828	小南港山	內政部二等
CP03	法嚴寺	內政部三等

◆ 外部差值分析

施測資料遂使用 10 筆平均，即點位記錄 10 筆坐標取其平均，並與新北市政府工務局（以下簡稱 NCTG）提供之管線孔蓋坐標作為對照比較。經前述坐標轉換處理過後，可得 2 組坐標數據，分別為以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法得之網格殘差修正法（N、E、H）以及經 6 參數轉換加最小二乘配置法得之最小二乘配置法（N、E）等。

表 3-24 所示，為網格殘差修正法及最小二乘配置法資料與 NTCG 之成果相比。其中網格殘差修正法與 NTCG 之平均差值 N、E、H 分別為 6.1 公分、4.1 公分、4.6 公分；而最小二乘配置法與 NTCG 之平均差值 N、E 分別為 6.6 公分、5.6 公分。依結果顯示，在 N、E 方向之差值網格殘差修正法皆略優於最小二乘配置法。

表 3-25 汐止區 e-GNSS 管線孔蓋測量與新北市政府比較 單位：公尺

施測資料	ΔN 平均值	ΔE 平均值	ΔH 平均值	ΔN 最大值	ΔE 最大值	ΔH 最大值
網格殘差修正法 - NTCG	0.061	0.041	0.046	0.192 (X090)	0.129 (X047)	0.144 (X018)
最小二乘配置法 - NTCG	0.066	0.056		0.179 (X090)	0.153 (X047)	

註 1：網格殘差修正法 - NTCG 為網格殘差修正法與新北市政府資料之差值，

最小二乘配置法 - NTCG 亦同。

註 2：因最小二乘配置法無法獲得正高值，故高程無進行比較。

本次作業以內政部營建署現行公共管線精度規範中建議之精度，平面 20 公分、高程 20 公分評估，全數測試點位皆符合精度規範（如表 3-25、3-26）。

表 3-26 汐止區 e-GNSS 管線孔蓋測量平面差值比例

施測資料	平面大於 10 (公分)	平面大於 12	平面大於 15	平面大於 20
網格殘差修正法 - NTCG	34.23% (38)	27.03% (30)	15.32% (17)	0.00% (0)
最小二乘配置法 - NTCG	43.24% (48)	36.04% (40)	18.92% (21)	0.00% (0)

註 1：括弧” () ”內數字為超出之測點個數

註 2：網格殘差修正法 - NTCG 為網格殘差修正法與新北市政府資料之差值，最小二乘配置法 - NTCG 亦同。

表 3-27 汐止區 e-GNSS 管線孔蓋測量高程差值比例

施測資料	高程大於 10(公分)	高程大於 12	高程大於 15	高程大於 20
網格殘差修正法 - NTCG	11.71% (13)	5.41% (12)	2.70% (3)	0.00% (0)

註 1：括弧” () ”內數字為超出個數

註 2：網格殘差修正法 - NTCG 為網格殘差修正法與新北市政府資料之差值。

汐止區 e-GNSS 系統管線孔蓋測量網格殘差修正法與 NTCG 坐標差值分布，如圖 3-51。網格殘差修正法觀測部分，N 分量差值集中在 1 至 8 公分間，計 78 點，佔 70%；E 分量差值在 1 至 5 公分，計 75 點，佔 68%；高程則在 1 至 8 公分間，計 95 點，佔 86%。由圖 3-50 顯示多數點位各分量坐標差值皆優於 10 公分，此差值分布與前述虎尾鎮郊區章節相似，可以推論汐止區透空環境相較虎尾鎮郊區略差，但由於該坐標成果經 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法使得其 TWD97 坐標及正高轉換後之精度較一致，故其與 NTCG 之差值較集中。

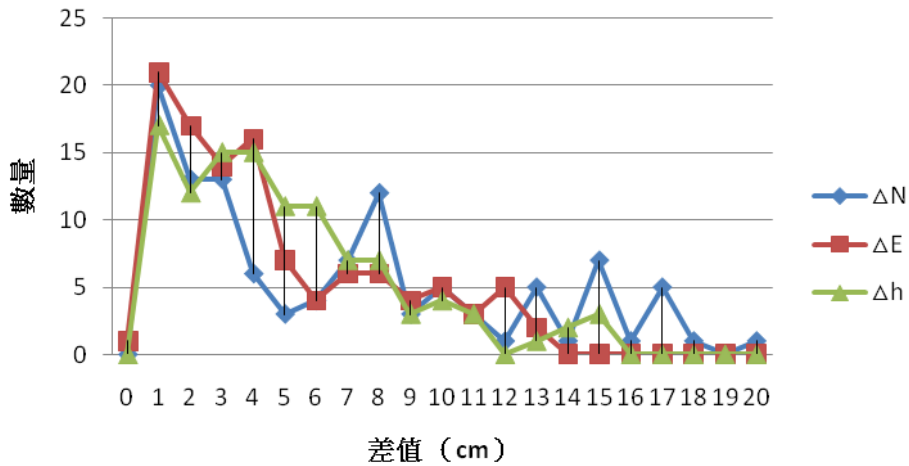


圖 3-51 汐止區網格殘差修正法與 NTCG N、E、h 坐標差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中在1至9公分間，計65點，佔59%；三維差值則在4至19公分間，計98點，佔88%，如圖3-52。

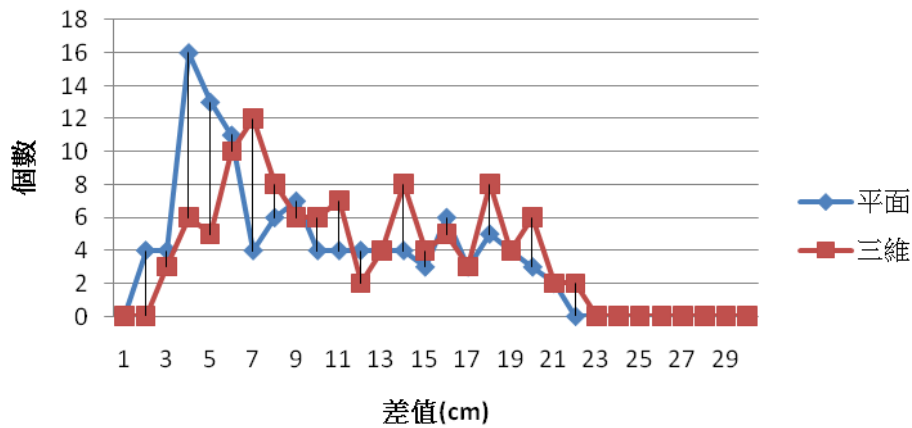


圖 3-52 汐止區網格殘差修正法與 NTCG 平面及三維坐標差值分布折線圖

汐止區e-GNSS系統管線孔蓋測量最小二乘配置法與NTCG坐標差值分布，如圖3-53，最小二乘配置法觀測部分，N分量差值集中在1至7公分間，計67點，佔60%；E分量差值在1至7公分，計71點，佔64%。由圖3-52顯示最小二乘配置法之各分量差值分布高於10公分者略多於網格殘差修正法。

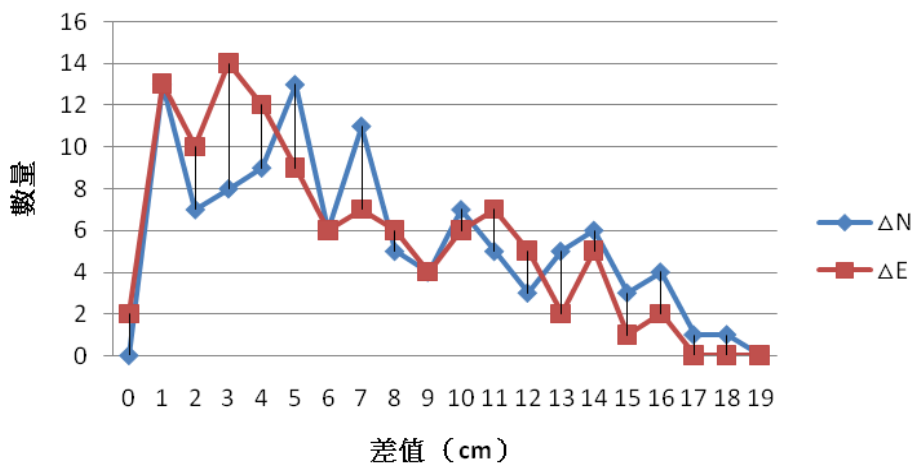


圖 3-53 汐止區最小二乘配置法與 NTCG N、E 坐標差值分布折線圖

平面 (N、E) 差值主要集中在4至6公分間，計32點，佔29%，如圖 3-54。

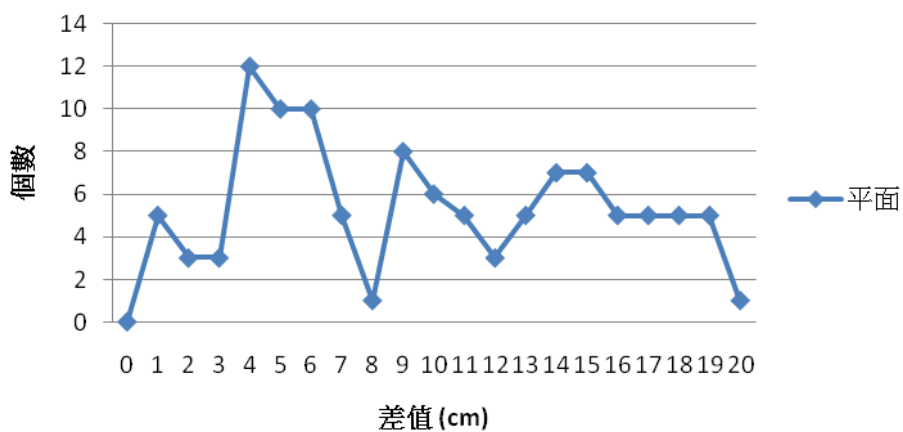


圖 3-54 汐止區網格殘差修正法與 NTCG 平面坐標差值分布折線圖

3-6-5 新北市汐止區作業小結

- 一、施測共計 111 點，經採用 10 筆平均之 e-GNSS 系統初始化坐標，分別經 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法與 6 參數轉換加最小二乘配置法等方式獲得 2 組成果（網格殘差修正法、最小二乘配置法）進行比較。其中網格殘差修正法各分量之差值平均皆略優於最小二乘配置法，顯示該區域以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法所得轉換成果較佳。
- 二、外業實測所得 2 組成果網格殘差修正法、最小二乘配置法與新北市政府工務局所提供之管線孔蓋做對照比較，其 N、E、H（正高）整體平均差值分別為 6.1 公分、4.1 公分、4.6 公分；N、E 差值 6.6 公分、5.6 公分。
- 三、施測成果與新北市政府工務局提供之管線坐標相比，點位施測初始化筆數以 10 筆取平均為基準。依內政部營建署現行公共管線精度規範（平面 20 公分、高程 20 公分），全數點位皆符合規範。
- 四、施測區對照坐標係內政部營建署於 97 年度辦理「推動公共設施管線資料庫系統建置計畫規劃案」之補助單位新北市政府工務局所提供。顯示依本中心研擬之測量作業模式，可符合內政部營建署現行管線資料庫需求精度。

第七節 綜合分析

由本次臺中港區、雲林虎尾市區、雲林虎尾郊區及新北市汐止區等 4 個區域實測點位成果，顯示依本中心研擬之測量作業模式進行管線測量，其成果符合內政部營建署所訂定之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」需求精度（平面 20 公分、高程 20 公分），詳細如表 3-28。依施測區作業成果及相關數據，可歸納如下：

- 一、點位平均施測時間（包含路程）以台中港區、雲林虎尾郊區最優，皆為 60 秒；雲林虎尾市區則需 100 秒，與透空度情形呈高度相關。另新北汐止區因交通較混亂，不記入路程時間，點位初始化時間約需 50 秒。顯示於透空不佳之區域，仍可於 100 秒完成點位施測，相較傳統地面測量方式，節省大量時間成本。
- 二、解算成功率以台中港區最高（99.02%）；雲林虎尾郊區次高（80.00%）；新北汐止區次之（97.53%）；雲林虎尾市區則最低（93.78%），與透空度情形呈高度相關。另無法成功初始化之點位以 VBS-RTK 定位技術輔助地面測量作業（詳如第四章），即可補足孔蓋坐標。
- 三、內部精度以臺中港區、雲林虎尾郊區最優；雲林虎尾市區略低，惟平面、高程差異僅為 2 至 3 毫米，且對於外部差異無顯著影響。另新北汐止區選擇以坐標品質控制（QC）設定控制之（為本參考作業規範建議設定）。外部差異則以雲林虎尾郊區最優（平面 4.3 公分、高程 5.9 公分），因為該區域透空情形良好且使用雙星系統觀測。另新北汐止區以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法略優於 6 參數轉換加最小二乘配置法之成果，各區差異不顯著，皆為公分以下差異。

表 3-28 施測區綜合比較表

	台中港區		雲林虎尾市區		雲林虎尾郊區		新北汐止區		
透空環境	全區無遮蔽		全區遮蔽		全區無遮蔽		部分區域遮蔽		
施測點數 單位：個	102		80		81		111		
點位平均 施測時間 單位：秒	60 (含路程)		100 (含路程)		60 (含路程)		50 (不含路程)		
解算 成功率	99.02%		80.00%		97.53%		83.78%		
內部精度 平均 (公尺)	平面	0.004	平面	0.004	平面	0.007	坐標成果品質控制 (QC)值以平面 5 公分、 高程 10 公分管精度。 (依參考作業規範設定)		
	高程	0.006	高程	0.007	高程	0.006			
對照組 坐標提供 單位	台灣中油股份有限 公司		台灣自來水 公司		台灣自來水 公司		新北市政府 工務局		
外部差異 平均 (公尺)	平面	0.076	平面	0.076	平面	0.043	平面	網格殘 差修正	最小二 乘配置
	高程 (橢球高)	0.114	高程 (橢球高)	0.117	高程 (橢球高)	0.059		高程 (正高)	0.073
								0.046	

註 1：內部精度與外部差異皆以 Leica 施測之 10 秒 VBS-RTK 定位成果為代表。

註 2：新北市汐止區因交通狀況較混亂，施測點位分布離散，表中數據僅統計不包含移動路程之施測時間。

註 3：新北市汐止區測量模式以 10 筆取平均之測量點模式作業，該模式於施測當下即可獲得平均坐標，使用者無需內業處理取平均，亦為本參考作業規範建議之施測方式。配合坐標成果品質控制(QC)值管精度，以平面 5 公分、高程 10 公分設定之。

註 4：網格殘差修正係指坐標轉換模式採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法；最小二乘配置係指坐標轉換模式採用 6 參數轉換加最小二乘配置法。

第八節 透空環境欠佳之孔蓋管線點位及其建議施測方式

本研究案以 e-GNSS 系統進行 VBS-RTK 測量管線孔蓋作業，其中雲林縣虎尾鎮及新北市汐止區各有約 1 成至 2 成施測點位無法達到初始化解，其原因主要為施測環境透空不佳，如：點位鄰近建物或雜物、行道樹遮蔽訊號等因素。故無法獲得初始化解之孔蓋點位則須改以全測站儀來進行地面輔助測量，將設置之臨時控制點位先行利用衛星定位測量觀測，依「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作業手冊」辦理，再藉由地面輔助測量來施測待測管線點位，詳細步驟如下：

步驟一、採 VBS-RTK 方式進行圖根點等級測量設置臨時控制點位

1. 規劃採用之 VBS-RTK 臨時控制點位，應與待測管線孔蓋點位通視，並選擇透空良好之地點進行施測。
2. 臨時控制點位測設時，採圖根點等級之測設規範，應符合下表建議規範值：

計算方法	即時定位或後處理定位
資料記錄速率	1Hz，每秒連續記錄坐標成果
DOP 值	< 5
資料記錄筆數	施測 2 測回，每測回初始化筆數 > 180 筆
品質控制參數設定	平面分量 < 2 公分、高程 < 5 公分
點位觀測重複率	100%，相異測回間隔 60 分鐘以上
粗差偵錯	依常態分布 99% 信心區間進行粗差偵錯，將大於 3 倍標準偏差之坐標剔除，並計算其標準偏差。
觀測筆數限制	單一測回剔除之坐標 < 50%
坐標標準偏差規範	平面分量 < 2 公分、高程 < 5 公分
2 測回坐標成果較差	平面分量 < 3 公分、高程 < 5 公分
坐標套合	平面座標轉換 + 最小二乘配置

成果檢核	1. 轉換成果精度：各點間水平距相對較差比值 $< 1/5000$ 。 2. 地測檢核比較：地測距離（改正後）與相對應 2 點坐標反算之邊長相較，水平距相對較差比值應 $< 1/3000$ （或 2 公分）。
------	---

3. 其餘未敘明事項，可參照「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作業手冊」。

步驟二、地面輔助測量施測待測管線點位

地面輔助測量觀測，採用 1 秒精度之全測站經緯儀，架站擺設於各臨時控制點，並對同組其餘之臨時控制點及待測管線點位實施水平角、邊長及仰角測量。主要分為下列 3 種方式施測：

1. 光線法（輻射法）：此種方式施測時，將全測站經緯儀擺設至臨時控制點 A，並施測另一已知臨時控制點 B 與待測點位之角度 θ （水平角、垂直角），並施測臨時點 A 與待測點間之邊長 S，計算得知待測點之相對坐標及高程，如圖 3-55。

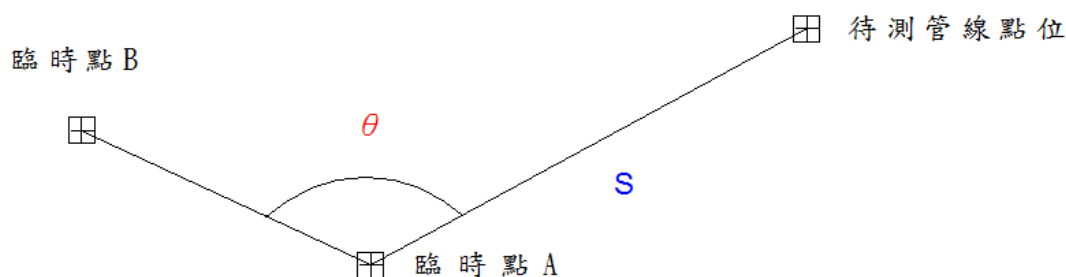


圖 3-55 光線法示意圖

採 VBS-RTK 施測之臨時控制點精度平面約為 2 公分、高程 5 公分。經誤差傳播推導，光線法（輻射法）其理論精度約為平面 3 公分、高程 6 公分（假定觀測角度為 60 度、距離為 300 公尺以內計算）。

2. 附和導線法：將全測站經緯儀以附和導線方式進行施測，由臨時控制點 A、B 出發，分別施測角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、... θ_i 及邊長 S_1 、 S_2 、 S_3 、... S_i 後，最後附和至臨時控制點 C、D，如圖 3-56。

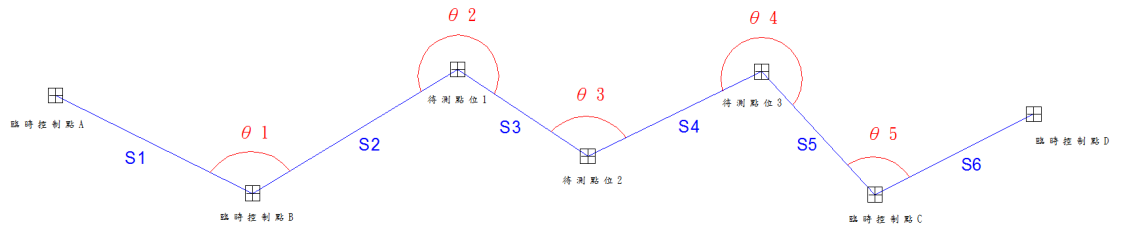


圖 3-56 附和導線法示意圖

採 VBS-RTK 施測之臨時控制點精度平面約為 2 公分、高程 5 公分。經誤差傳播推導，附和導線法其理論精度約為平面 $3 + (N-1) \times 0.4$ 公分、高程 $6 + (N-1) \times 0.4$ 公分(假定觀測角度為 60 度、距離為 300 公尺以內計算)，其中 N 為管線待測點位個數，理論精度依待測管線點數量而有不同。

3. 閉合導線法：將全測站經緯儀以閉合導線方式進行施測，由臨時控制點 A、B 出發，分別施測角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、... θ_i 及邊長 S_1 、 S_2 、 S_3 、... S_i 後，最後閉合至臨時控制點 A、B，如圖 3-57。

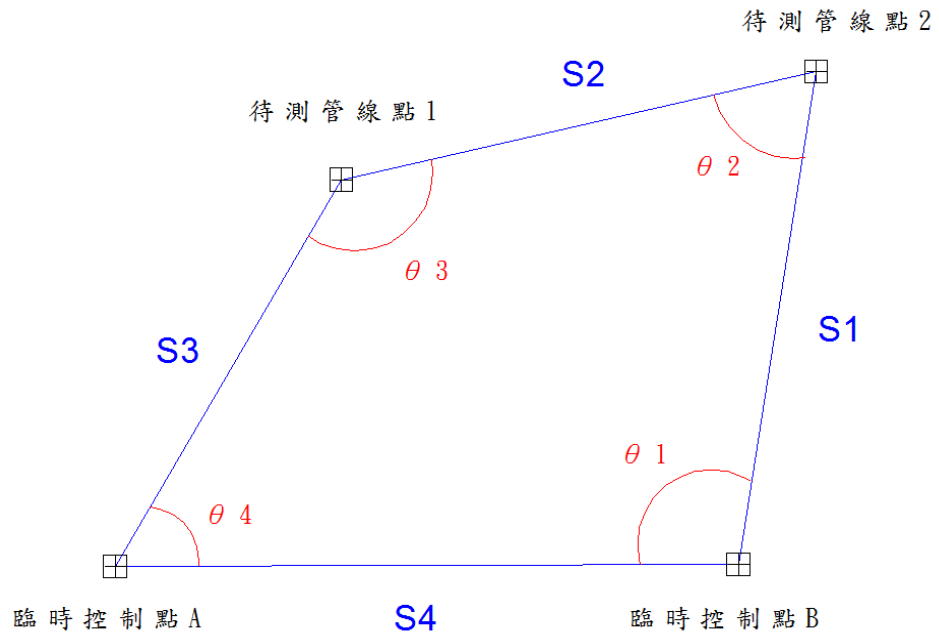


圖 3-57 閉合導線法示意圖

採 VBS-RTK 施測之臨時控制點精度平面約為 2 公分、高程 5 公分。經誤差傳播推導，附和導線法其理論精度約為平面 $3 + (N-1) \times 0.4$ 公分、高程 $6 + (N-1) \times 0.4$ 公分（假定觀測角度為 60 度、距離為 300 公尺以內計算），其中 N 為管線待測點位個數，理論精度依待測管線點數量而有不同。

第四章 VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量

參考作業規範

為推廣 VBS-RTK 定位技術於管線孔蓋測量作業應用，本中心參考營建署現有管線相關規範及外業經驗，並依據測試區實測成果，研擬「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」，作為管線孔蓋測量之另一種可行作業方式供各界參考，俾提升管線測量作業之效率與精度。本參考作業規範係參考「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作業手冊」及本中心 e-GNSS 系統實際外業測試之結果分析據以研擬，內容包含資料記錄、設定、偵錯、檢核及坐標轉換等共 9 項，參考作業規範內容，詳如下表：

項目	參考作業規範內容	參考依據及擬定原則
1 精度需求與控制	在管線孔蓋測量上的定位精度需求為在 95% 的信心區間條件下，其平面精度 20 公分（非坐標分量精度），幾何高程精度為 20 公分。	依內政部營建署「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」規定，在測量定位精度部分，訂定孔蓋之平面精度要求為 20 公分，高程屬間接高程精度要求為 20 公分。
2 施測模式及記錄筆數	得採用即時定位或後處理定位辦理，每 1 測點觀測之初始化解（Fixed）應大於或等於 10 筆。	本研究經各測試區管線孔蓋實測，以觀測 10 筆初始化解（Fixed）取平均即可獲得管線測量所需精度（平面 20 公分、高程 20 公分），詳如後續章節分析。
3 資料紀錄頻率	採 1Hz 為原則。	參考本中心「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作業手冊」規定，採 VBS-RTK 技術辦理測量定位作業其資料紀錄頻率以 1Hz 為原則。
4 PDOP 值	小於或等於 5。	參照以往靜態定位測量經驗，接收 PDOP < 5 之觀測值，以確保衛星幾何分布及強度，維持觀測品質。
5 有效高度角 (Cutoff Angle)	取 10 度-20 度之間。	參照以往靜態定位測量經驗，衛星資料接收仰角設定以 15 度為原則，另考量現地情形及作業需求訂

		以 10 度-20 度間皆為合理設定值。
<p>6 坐標成果品質控制 (QC) 值設定</p>	<p>採即時定位者：平面分量優於 5 公分，高程分量優於 10 公分，採後處理定位者；Ratio 值>2.5，解算至初始化 (Fixed) 解。</p>	<p>平面及高程分量依內政部營建署「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」規定，分別以 5 公分、10 公分為品質設定；Ratio 則參考本中心「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作業手冊」) 規定，VBS-RTK 以 2.5 為設定值並解算至初始化解。</p>
<p>7 坐標轉換與套合</p>	<p>一、採用 6 參數轉換加最小二乘配置法進行坐標轉換與套合，作業步驟如下： (一) 施測區周圍選定至少 3 個具有公告坐標之已知控制點，且已知控制點連線範圍需包圍施測點位。 (二) 參照「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作業手冊」規定，以 VBS-RTK 定位技術進行圖根點等級測量，獲得 VBS-RTK 坐標成果。 (三) 由本中心 6 參數轉換加最小二乘配置法程式進行坐標轉換與套合獲得轉換後坐標，並產製成果報表。 (四) 轉換前後之共同點坐標成果檢核應符合： 1. 轉換後共同點坐標分量殘差 (改正數) 應優於 5 公分。 2. 轉換後共同點間與原坐標反算方向角之較差應優於 20"。 3. 轉換後共同點間與原坐標反算水平距離之較差應優於 20 公分。 (五) 若成果檢核未符合 (四) 之檢核項目，則另尋已知控制點重複 (一) 至 (三) 步驟直至符合檢核標準。 二、採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法，其轉換參數及網格殘差修正量係由轉換模型提供，作業步驟如下： (一) 施測區周圍選定至少 2 個具有</p>	<p>(一) 參考「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作業手冊」規定，採 6 參數轉換加最小二乘配置法其成果需符合左列規範。為維持轉換成果之精度，在轉換共同點進行 VBS-RTK 測定坐標時，需採用較高的測設標準 (至少符合圖根點測設標準) 施測。 (二) 採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法，其轉換精度於殘差網格模型建立時即確立，理論上無需另行檢核作業，惟為確保成果品質，使用者可於施測區周圍選定至少 2 個已知點進行施測並比較已知坐標，以確認其差值是否符合作業精度。</p>

	<p>公告坐標之已知控制點。</p> <p>(二) 參照「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作業手冊」規定，以 VBS-RTK 定位技術配合本中心 e-GNSS 系統之 7 參數轉換加坐標網格殘差修正功能進行圖根點等級測量，獲得轉換後之實測坐標。</p> <p>(三) 若已知控制點之公告坐標與實測坐標 2 者較差在平面 10 公分、高程 10 公分內，則直接以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法施測點位之成果為準。</p> <p>(四) 若已知控制點之公告坐標與實測坐標 2 者較差超過平面 10 公分、高程 10 公分，則選取另 1 已知控制點檢測，倘檢測結果較差在平面 10 公分、高程 10 公分內，則直接以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法施測點位之成果為準。倘檢測結果較差仍超過平面 10 公分、高程 10 公分，則改用 6 參數轉換加最小二乘配置法進行坐標轉換與套合獲得轉換後坐標。</p> <p>註：採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法即時進行坐標轉換至公告坐標系統時，儀器傳輸格式需支援 RTCM 3.1 以上版本。若儀器傳輸格式未支援 RTCM 3.1 以上版本，可於本中心網頁採線上後處理方式獲得轉換坐標。</p>	
<p>8 成果檢核</p>	<p>採用 VBS-RTK 定位技術辦理點位重覆性檢核者，其檢核用之 VBS-RTK 平面坐標經坐標轉換與套合後所得之坐標 (NC, EC)，與原測設點位 VBS-RTK 平面坐標經坐標轉換與套合後所得之坐標 (NO, EO)，其坐標分量較差之平方和開根號應優於 20 公分，即</p>	<p>成果檢核方式以檢核點位坐標分量等重覆性方法為之，其規範參考值之認定即為第一項所述之基本假設，取在 95%信心區間條件下，平面精度≤ 20公分，幾何高程精度≤ 20公分。</p>

	<p>$\sqrt{【(NC-N0)^2 + (EC-E0)^2】} \leq 20$ 公分；</p> <p>另檢核用 VBS-RTK 高程坐標 (hC) 與原測設點位 VBS-RTK 高程坐標 (hC)，應符合 (hC-h0) 優於 20 公分。</p>	
<p>9 成果繳交</p>	<p>經依前述第二至八項辦理管線孔蓋測量作業後，觀測點位 VBS-RTK 定位成果應繳交項目，依坐標轉換與套合方法，分述如下：</p> <p>一、採用 VBS-RTK 定位技術且經 6 參數轉換加最小二乘配置法進行坐標轉換與套合者需繳交項目為：</p> <p>(一) VBS-RTK 平均坐標成果檔 (未經坐標轉換)，應包含點號、坐標 (N、E、h)、計算筆數等項目。</p> <p>(二) VBS-RTK 坐標轉換與套合後平均坐標成果檔，應包含點號、坐標 (N、E、h) 等項目。</p> <p>(三) 6 參數轉換加最小二乘配置法計算成果報表 (應包含第 7 點第 1 款檢核項目)。</p> <p>二、採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法進行坐標轉換與套合者需繳交項目為：</p> <p>(一) 施測區周圍 2 個以上之已知公告坐標控制點檢測成果，需包含已知控制點點號、坐標系統及坐標分量 (ΔN、ΔE、Δh) 差值。</p> <p>(二) VBS-RTK 坐標轉換與套合後平均坐標成果檔，應包含點號、坐標 (N、E、h) 等項目。</p>	<p>為確保定位成果品質及資料完整性，依前述項目完成測量作業後，應繳交左列項目成果檔以供查對及日後資料檢核。</p>

第五章 結論及建議

第一節 結論

- 一、本研究於臺中港施測區以 e-GNSS 系統單星系（僅接收 GPS 衛星訊號）進行管線孔蓋測量，點位觀測記錄前 60 筆、前 30 筆及前 10 筆之初始化解（Fixed）坐標，不同筆數之坐標成果無顯著差異，各分量差值平均約為 2 至 3 毫米；另雲林縣虎尾鎮市區以 e-GNSS 系統雙星系（接收 GPS 及 GLONASS 衛星訊號）施測，點位觀測記錄前 30 筆、前 10 筆之初始化解坐標同樣無顯著差異，各分量差值平均約為 2 至 3 毫米。
- 二、臺中港施測區及雲林縣虎尾鎮市區分別以 LEICA 1230 及 TOPCON GR-3 等儀器於相同點位重複觀測，成果顯示不同儀器之 VBS-RTK 施測坐標，各分量差值平均約為 1 至 2 公分間，以管線孔蓋測量需求精度評估，可視為無顯著差異。
- 三、各施測區成果與對照坐標相比較，以接收 10 筆初始化成果為例，台中港區 LEICA 1230 施測之 N、E、h 平均差值為 5.6 公分、5.1 公分、11.4 公分，TOPCON GR-3 施測之 N、E、h 平均差值為 5.3 公分、5.5 公分、12.8 公分；雲林縣虎尾市區 LEICA 1230 施測之 N、E、h 平均差值為 6.7 公分、3.5 公分、11.7 公分，TOPCON GR-3 施測之 N、E、H 平均差值為 6.6 公分、4.2 公分、12.3 公分；雲林縣虎尾郊區 LEICA 1230 施測之 N、E、h 平均差值為 3.5 公分、2.5 公分、5.9 公分；新北市汐止區施測之坐標網格殘差修正法 N、E、H 平均差值為 6.1 公分、4.1 公分、4.6 公分，如表 5-1。以「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」之要求精度評估，全數管線點位符合精度需求。

表 5-1 各施測區成果與對照坐標比較表

單位：公分	N 平均差值	E 平均差值	h (H) 平均差值
台中港區 (LEICA)	5.6	5.1	11.4
台中港區 (TOPCON)	5.3	5.5	12.8
雲林虎尾市區 (LEICA)	6.7	3.5	11.7
雲林虎尾市區 (TOPCON)	6.6	4.2	12.3
雲林虎尾郊區 (LEICA)	3.5	2.5	5.9
新北市汐止區 (網格殘差修正法)	6.1	4.1	4.6

- 四、各施測區點位平均施測所需時間為：臺中港區約為 60 秒/點位；雲林縣虎尾鎮市區約為 100 秒/點位；雲林縣虎尾鎮郊區約為 60 秒/點位，以上皆包含移動路程及接收 10 筆初始化坐標之時間。相較傳統管線孔蓋以地面測量方式作業可節省相當之人力、時間成本，提昇管線測量作業效益。
- 五、新北市汐止區施測成果分別以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法及最小二乘配置法 6 參數轉換等方式，將坐標成果轉至與新北市政府提供之坐標成果同坐標系統。轉換後之坐標成果與對照坐標之差值分別為：網格殘差修正法之 N、E、H 平均差值為 6.1 公分、4.1 公分、4.6 公分；最小二乘配置法之 N、E 平均差值為 6.6 公分、E 為 5.6 公分。
- 六、在點位透空環境不佳地區，經採用雙星系統 (GPS 及 GLONASS 星系) 施測，雖其 VBS-RTK 之解算成功率相對偏低，所需施測時間亦較長。惟經解算成功之點位，仍能符合需求精度，使用者亦可使用該坐標成果。
- 七、各施測區依本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」進行作業，以 VBS-RTK 定位技術接收 10 筆初始化坐標成果，並分別與對照坐標比較，點位平面及高程較差全數皆在 20 公分規範範圍內，符合公共管線孔蓋測量所需精度，顯示本參考作業規範適用於管線測量。

八、「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」之適用性，依本次施測區實測成果顯示，不論在作業精度、坐標轉換與套合、成果檢核及繳交項目皆可符合內政部營建署「公共設施管線資料庫系統建置案共通規格」之「公共設施管線孔蓋及設施物位置測量定位作業」規定。

第二節 建議

- 一、經施測區分別取 60 筆、30 筆及 10 筆初始化坐標計算，不同筆數間之各分量不論內部精度與外部差值之差異甚小，皆為 1 公分以下。依管線測量機動性與作業成本之需求，建議以 10 筆初始化坐標取平均為施測基準即可。
- 二、以不同廠牌儀器（本研究使用 LEICA 1230、TOPCON GR-3 及 Trimble R6 等）進行 VBS-RTK 施測，其坐標間差值以管線孔蓋需求精度評估可視為無顯著差異，亦即依本研究測試之廠牌，此作業方式無需考量不同儀器廠牌間之問題。
- 三、據本次測試經驗，在透空環境不佳情況下，如觀測時間超過 3 至 5 分鐘未能初始化（Fixed）時，建議放棄該點位，或先行自其他點位施測，視衛星分布情況再行施測，避免作業時間損耗。
- 四、施測區成果以 6 參數轉換加最小二乘配置法及 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法進行坐標轉換與套合，所得成果皆符合管線需求精度。另新北市汐止區採 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法之成果，其外部差值略優於 6 參數轉換加最小二乘配置法之成果。建議使用者於其他區域使用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法方式轉換，可於施測前於測區鄰近之已知控制點先行檢核轉換較差，以確認轉換法於該區域之適用性。
- 五、本中心 e-GNSS 即時動態定位系統作業原則上可單人施測，相較於傳統地面測量作業模式（約需 3 至 4 人）可節省大幅人力成本，且操作簡易，亦可免除不必要之人為失誤。除施測區交通較混亂之情況下，使用者需 2 至 3 人作業以確保安全外，可允許單人單機作業。
- 六、本中心研擬之「VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量參考作業規範」經施測區測試後，各項結果皆符合規定精度，使用者可依循本參考作業規範，以 VBS-RTK 定位技術進行作業，不僅提供地面測量之外的另一種選擇且可節省人力、時間及經費等作業成本，並確保成果之精度及可靠度。

參考文獻

1. 內政部土地測量局，2004，臺灣 e-GPS 電子基準站規劃設計及測試分析，委託研究案報告（執行單位：財團法人成大研究發展基金會）。
2. 內政部國土測繪中心，2005，e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告。
3. 內政部國土測繪中心，2006，e-GPS 測試成果分析報告（中文版）。
4. 內政部國土測繪中心，2012，e-GPS 動態定位系統基準站坐標系統轉換最佳化之研究。
5. 內政部國土測繪中心，2012，e-GPS 即時動態定位系統坐標轉換最佳化之研究。
6. 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。
7. 內政部營建署，1999，國土資訊系統公共設施管線資料庫標準制度。
8. 內政部營建署，2000，公共設施管線資料庫整體規劃之 GIS 建置與應用。

附錄

VBS-RTK 定位技術應用於管線孔蓋測量 參考作業規範

一、精度需求與控制：

在管線孔蓋測量上的定位精度需求為在 95% 的信心區間條件下，其平面精度 20 公分（非坐標分量精度），幾何高程精度為 20 公分。

二、施測模式及記錄筆數：

得採用即時定位或後處理定位辦理，每 1 測點觀測之初始化解（Fixed）應大於或等於 10 筆。

三、資料紀錄頻率：採 1Hz 為原則。

四、PDOP 值：小於或等於 5。

五、有效高度角（Cutoff Angle）：取 10 度-20 度之間。

六、坐標成果品質控制（QC）值設定：

採即時定位者：平面分量優於 5 公分，高程分量優於 10 公分
採後處理定位者：Ratio 值 > 2.5，解算至初始化（Fixed）解。

七、坐標轉換與套合：

（一）採用 6 參數轉換加最小二乘配置法進行坐標轉換與套合，作業步驟如下：

1. 施測區周圍選定至少 3 個具有公告坐標之已知控制點，且已知控制點連線範圍需包圍施測點位。
2. 參照「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作業手冊」規定，以

VBS-RTK 定位技術進行圖根點等級測量，獲得 VBS-RTK 坐標成果。

3. 由本中心 6 參數轉換加最小二乘配置法程式進行坐標轉換與套合獲得轉換後坐標，並產製成果報表。
 4. 轉換前後之共同點坐標成果檢核應符合：
 - A. 轉換後共同點坐標分量殘差(改正數)應優於 5 公分。
 - B. 轉換後共同點間與原坐標反算方向角之較差應優於 20"。
 - C. 轉換後共同點間與原坐標反算水平距離之較差應優於 20 公分。
 5. 若成果檢核未符合(四)之檢核項目，則另尋已知控制點重複(一)至(三)步驟直至符合檢核標準。
- (二) 採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法，其轉換參數及網格殘差修正量係由轉換模型提供，作業步驟如下：
1. 施測區周圍選定至少 2 個具有公告坐標之已知控制點。
 2. 參照「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作業手冊」規定，以 VBS-RTK 定位技術配合本中心 e-GNSS 系統之 7 參數轉換加坐標網格殘差修正功能進行圖根點等級測量，獲得轉換後之實測坐標。
 3. 若已知控制點之公告坐標與實測坐標 2 者較差在平面 10 公分、高程 10 公分內，則直接以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法施測點位之成果為準。
 4. 若已知控制點之公告坐標與實測坐標 2 者較差超過平面 10 公分、高程 10 公分，則選取另 1 已知控制點檢測，倘檢測結果較差在平面 10 公分、高程 10 公分內，則直接以 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法施測點位之成果為準。倘檢測結果較差仍超過平面 10 公分、高程 10 公分，則改

用 6 參數轉換加最小二乘配置法進行坐標轉換與套合獲得轉換後坐標。

註：採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法即時進行坐標轉換至公告坐標系統時，儀器傳輸格式需支援 RTCM 3.1 以上版本。若儀器傳輸格式未支援 RTCM 3.1 以上版本，可於本中心網頁採線上後處理方式獲得轉換坐標。

八、成果檢核：

採用 VBS-RTK 定位技術辦理點位重覆性檢核者，其檢核用之 VBS-RTK 平面坐標經坐標轉換與套合後所得之坐標（ N_c ， E_c ），與原測設點位 VBS-RTK 平面坐標經坐標轉換與套合後所得之坐標（ N_0 ， E_0 ），其坐標分量較差之平方和開根號應優於 20 公分，即 $\sqrt{[(N_c - N_0)^2 + (E_c - E_0)^2]} \leq 20$ 公分；另檢核用 VBS-RTK 高程坐標（ h_c ）與原測設點位 VBS-RTK 高程坐標（ h_0 ），應符合（ $h_c - h_0$ ）優於 20 公分。

九、成果繳交：

經依前述第二至八項辦理管線孔蓋測量作業後，觀測點位 VBS-RTK 定位成果應繳交項目，依坐標轉換與套合方法，分述如下：

（一）採用 VBS-RTK 定位技術且經最小二乘配置法 6 參數方法進行坐標轉換與套合者需繳交項目為：

1. VBS-RTK 未經坐標轉換之平均坐標成果檔，應包含點號、坐標（ N 、 E 、 h ）、計算筆數等項目。
2. VBS-RTK 坐標轉換與套合後之平均坐標成果檔，應包含點號、坐標（ N 、 E 、 h ）等項目。
3. 最小二乘配置法 6 參數轉換計算成果報表（應包含第 7 點第 1 款檢核項目）。

（二）採用 7 參數轉換加坐標網格殘差修正法進行坐標轉換與套合者需繳交項目為：

1. 施測區周圍 2 個以上之已知公告坐標控制點檢測成果，需包含已知控制點點號、坐標系統及坐標分量 (ΔN 、 ΔE 、 Δh) 差值。
2. VBS-RTK 坐標轉換與套合後之平均坐標成果檔，應包含點號、坐標 (N、E、h) 等項目。