

臺中市政府102年度 市政建設研究獎助計畫 「規劃研究設計報告」

研究e-GPS即時動態定位系統與數位攝影系統
用於道路平整性調查

學 校：朝陽科技大學

系 別：營建工程系

指導老師：黃 怡 碩 博士

學 生：卓 芄 陞 同學

學生學號：9811029

完成日期：中華民國101年10月1日



研究摘要

近三年的道路國賠案多達二百餘件，占國賠案總案件數三成八，政府支出的賠償總金額達六千四百餘萬元。本研究主要目的在調查台中市道路狀況(含道路平坦性與道路破壞情形)，並排定道路維修順序，作為相關單位維修時之參考。本研究藉由 e-GPS 量測地面高程，作為評估道路平坦度的依據；並採用 Full HD 數位攝影機拍攝道路狀況，再計算影像中道路破壞個數與範圍。

關鍵字：

e-GPS 即時動態定位系統、數位攝影系統、平坦度、鋪面狀況指標

研究目錄

一、計畫緣起與依據.....	1
二、規劃理念及目標.....	3
三、文獻回顧.....	4
3.1 影像調查系統.....	4
3.2 台灣道路平坦度調查現況.....	6
3.3 鋪面檢測系統.....	19
四、研究設計.....	28
4.1 道路平坦度調查.....	28
4.2 道路鋪面影像調查與分析.....	35
4.3 道路鋪面破壞時因應對策之探討.....	38
五、規劃工作程序、方法與說明.....	48
5.1 工作程序圖(如圖 5.1 所示).....	48
5.2 第一組，e-GPS 量測道路縱斷面平坦度及攝影道路破壞情形.....	49
5.3 第二組，全測站與水準儀測量道路測縱斷面平坦度.....	51
六、現況分析.....	53
6.1 道路平坦度調查.....	53
6.2 道路鋪面影像調查與分析.....	54
6.3 道路檢測成果.....	58
七、可行性分析.....	59
八、結論及建議.....	61
8.1 結論.....	61
8.2 建議.....	62
九、參考文獻.....	64

一、計畫緣起與依據

台中市為中部區域第一都會城市，亦是兩岸開放直營後重要的門戶，其重要性不言可知。但近年來，常出現因道路整修修補後，路面鋪築不確實，所引起的車禍。根據中國時報在 2008 年 2 月 15 日的報導，「根據行政院工程會調查，八成七道路管溝工程施工草率，以致完工後出現路面不平問題；另從近三年的國賠發生狀況也發現，道路國賠案多達二百餘件，占總案件數三成八，共造成十六人死亡，一百二十五人受傷，政府支出的賠償總金額達六千四百餘萬元。為避免再有民眾因道路不平受傷，甚至送命，工程會決定祭出鐵腕政策，要求各機關依契約處以罰款、追究責任外，且對違法部分移送檢調單位調查。過去自來水、汙水下水道、電力、電信及寬頻管道等管溝工程開挖，常出現未依規定施工，造成路面不平坑洞、凹陷，致使用路人意外傷亡，引發民怨連連。根據工程會最新一項「全國各縣市管溝工程抽驗調查」結果發現，抽驗案件的不合格率偏高，有些個案甚至同時出現材料使用不合格，回填夯實不足等問題。調查發現，抽驗案件中，路面平整度不合格者占總案件八七%，瀝青路面厚度不及格者約占七%，壓實度不合格占二一%，回填材料及夯實不合格者占二五%，路面開挖切割不平整者則占四八%。此外，統計九十四年至九十六年全國國賠發現，道路國賠計有二百十一件，占總國賠案三八%，共造成十六人死亡，一百二十五人受傷，賠償六千四百餘萬元。其中，最大一筆賠償案件，是

高雄縣一位林姓路人因道路有坑洞摔傷，政府為此於九十四年四月間撥款八百九十萬元予以賠償。此研究主要目的為避免類似不幸事件一再發生，但鑒於各地方政府機關維修道路的經費有限，所以本研究主要是研究出如何快速的評估道路的破壞程度與平坦度，使各地方政府機關可以在維修道路前先調查出道路維修的優先順序，讓道路維修的經費得以有分配的標準，使維修道路的經費分配得宜並發揮最大的成效。

二、 規劃理念及目標

本研究主要目的在研究出如何快速的評估道路的破壞程度與平坦度，並排定道路維修優先順序，藉以作為相關單位進行後續道路維修之參考。

本研究採用 Full HD 數位攝影機，提供 1920x1080 像素的高畫質紀錄，拍攝合約範圍內的道路，利用約每 6 秒擷取一張影像，計算影像中道路破壞的個數與道路修補範圍，作為評估道路狀況的依據；藉由 eGPS 量測地面高程，再將 eGPS 所量得的高程資料與地面高程控制點進行高程轉換，使得轉換後的高程數值與地面更貼近，作為評估道路平坦度的依據。除此之外，亦隨機抽樣的方式，選擇調查道路的 10%，以精密水準或精密三角高程測量，驗證 eGPS 轉換後高程的正確性。最後，依據道路破壞狀況與平坦度作為建議相關單位道路維修優先順序之參考。

三、 文獻回顧

本研究主要針對調查方法與現有針對路面平坦度的相關規定，進行探討與比較。一般進行道路影像調查，依所使用的錄像設備不同，可區分為「影像實錄」與「錄影實錄」兩大類，本研究針對現有影像調查，做有系統地介紹。此外，進行道路平坦度調查多依賴三公尺尺規與高低平坦儀，進行道路平坦度的檢測。近年來，隨著科技的發展，全球衛星定位系統(GPS)、鋪面破壞影像辨識系統與雷射測距系統，紛紛被引入，使得道路平坦度調查進入新的紀元，本研究針對這些發展，作一有系統地介紹。此外，對各國平坦度的相關規定，作一比較。本章先就國內外進行道路平坦度調查作一介紹與比較，在針對國內與國外對平坦度的規定做一介紹。

3.1 影像調查系統

影像調查提供如臨現場的視覺檢測，由於其具有方便與簡單操作的特性，常被用於資料蒐集或保存。一般進行道路影像調查，依所使用的錄像設備不同，可區分為「影像實錄」與「錄影實錄」兩大類。最早進行影像調查是美國奧勒崗州運輸部門（Oregon Department of Transportation, Oregon DOT）在 1965 年開始，美國奧勒崗州政府運用影像實錄技術於道路視覺資訊的建立，除可有效減少實地踏勘的次數，亦可應用在後續公路交通設施的管理與維護、道路鋪面的管理與維護等方面，對於實務應用提供相當便利的幫助【1】。北美所使用的影像調查系統，經整理，如表 3.1-1 所示。

3.1-1 北美使用的影像調查系統【1】

系 統 使 用 區 域	系 統 功 能
康乃迪克州 VSIS (Videodisc-based Sign Inventory System)	1.利用影像實錄技術記錄全州 3,900 哩的高速公路影像。 2.擷取出影像間距為 0.01 哩之單張影像，並將擷取後之影像儲存於影音光碟中 (Videodisc)。 3.使用 FoxPro 資料庫進行資料維護管理。 4.該系統上線後可節省 60,000 哩的實際調查、40,000 工作人時及 \$800,000 費用的支出。
內華達州道路影像實錄系統	1.拍攝的影像每哩為 100 張照片，且每張照片都有其對應之 GPS 座標。 2.系統具備 20 項道路特徵記錄按鈕，可自訂特徵記錄內容。 3.提供 Web 與 GIS 查詢介面。
美國新澤西州 (New Jersey DOT)	1.在調查車輛中搭配 GPS 定位裝置，利用數位攝影機以在高速行駛中精確的捕捉影像，並可計算影像所在之位置。 2.外業調查時使用筆記型電腦，利用 Geolink 軟體協助州高速公路和上下坡的道路特徵資料。 3.所收集來的影像，再利用其所發展的影像處理軟體，計算道路特徵物外觀及其所在位置。目前可收集 18 項道路特徵，包括指示牌、柵欄、人孔、涵洞等。 4.具備 Web-based GIS 顯示功能。 5.調查後之資料，可提供做為後續維護計畫時程規劃及經費概算之參考基準。
加拿大 Roadware 公司 ARAN (Automatic Road Analyzer)	1.利用大量攝影實錄的方式，將現場狀況攝錄儲存。 2.再利用分析軟體以獲取所需之資料。 3.所提供之影像包括高解析度 (1,300×1,030 像素) 及標準解析度 (640×480 像素) 兩種，最多可同時使用。 4.部不同施測功能的攝影機，可擷到的完整影像資料包括交通標誌、陸橋、平交道與鋪面標線等。
美國南達科塔洲	1.所建置的鋪面及道路影像錄影系統，將拍攝所得之影像經即時壓縮後儲存於電腦硬碟中。 2.影像包含了前面 120 度視角之道路影像，及由垂直路面攝影機所拍攝之裂縫影像，所擷取之道路影像均會與其他感測器所收集之資料同步。 3.在完成道路資料收集後，透過網路上傳至伺服器中，其他人即可透過網路瀏覽影像

從表 3.1-1 發現，北美影像調查系統，多將道路鋪面與相關道路號誌等做為紀錄的對象，可藉由檢視錄像的成果，作為初步道路鋪面的勘驗，減

少人力與物力的支出。國內道路影像系統亦由交通部運研所於民國 89 年起開始建置，初期以數位相機收集道路相關資訊，隨著科技的發展，現以數位攝影機作為影像蒐集主要來源。其蒐集影像的間距約為 10m。至於，高速公路局亦委託中央大學進行的國道影像拍攝工作，採用的技術與設備與運輸研究所所使用的相同，但提供給高速公路局的影像間距為 5 公尺。由於，高速公路路面服務品質高且行車車速快，故交通號誌的辨識性，遂成為其記錄的主要任務。此外，中國生產力使用數位攝影機進行道路影像拍攝，並利用 GPS 進行定位及行走軌跡記錄，結合地理資訊系統進行道路路面情形紀錄。

3.2 台灣道路平坦度調查現況

依據 Haas 等人所著的鋪面管理系統教科書【2】之分類方式，量測路面平坦(糙)度的儀器，可分為路面輪廓儀、路面輪廓描繪儀 (Profilograph)、及感應式儀器(Response Type)三類，為其代表性的儀器；國道工程局的研究在執行實際路面平坦度檢測時【3】，採用的儀器計有三公尺直規、附記錄器的三公尺高低平坦儀、加州路面輪廓描繪儀、Rainhart 路面輪廓描繪儀、慢走式路面輪廓儀(ARRB Walking Profiler)、及慣性路面輪廓儀(ARRB Multiple Laser Profiler)等六種；三公尺直規、高低平坦儀、加州路面輪廓描繪儀與 Rainhart 路面輪廓描繪儀，都屬於路面輪廓描繪儀類，而慢走式路面輪廓儀和慣性路面輪廓儀，則是屬於路面輪廓儀類，此六種常用平坦儀

間的比較，詳見表 3.2-1。

表 3.2-1 六種平坦度檢測儀器之比較【4】

項目	3m 直規	附紀錄器之3m 高低平坦儀	加州輪廓 描繪儀	Rainhart輪廓描 繪儀	慢走式路面輪 廓儀	慣性路面 輪廓儀
儀器英文名	Straightedge	Rolling Straightedge (High-Low Detector)	California Profilograph	Rainhart Profilograph	ARRB Walking Profiler	ARRB Multiple Laser Profiler
檢測原理	直規原理	直規原理	輪廓描繪	輪廓描繪	連續傾斜桿	雷射測高 差配合加 速度規補償
檢測參數	高低差標準差	高低差標準差	輪廓指數	輪廓指數	國際糙度 指數(IRI)	國際糙度 指數(IRI)
體積大小	3m、輕	3m、稍重	7m、較笨重	7m、最笨重	輕巧	搭載在專 用箱型車上
移動性	高	尚可	尚可	低	高	相當高
操作方便性	體力消耗大	方便	尚可、需較大迴轉空間	尚可、需較大迴轉空間	方便	方便
數據整理方式	人工判讀、計算	人工計算	人工判讀、計算、較煩	人工判讀、計算、較煩	電腦自動 記錄及計 算	電腦自動 記錄及計 算
檢測精度	尚可	尚可	較低	較低	最高	次高
儀器價格	最低	低	普通	普通	稍高	最高
適用範圍	施工中檢測，	施工中及驗 收檢測	驗收檢測	驗收檢測	施工中及 驗收檢測	大量路面 檢測

糙度（roughness）或稱為平坦度，是道路表面輪跡縱向剖面脫離平坦面之偏差量，糙度與鋪面行駛品質為甚密切關係。在所列舉的量測方式中

多以所量測高低差的標準偏差或以量測坡度變化的國際糙度指標 (International Roughness Index, IRI) 作為量測平坦度之依據。美國官方州際公路協會 (American Association of State Highway Officials, AASHO) 道路試驗研究顯示，鋪面之糙度為影響鋪面現況服務能力指標 (Present Serviceability Index 簡稱 PSI) 之主要因素，許多公路主管單位在發展其 PSI 模式時，甚至僅考慮糙度為唯一因子，可見鋪面糙度之重要性。近年來高速公路交通量大增，在鋪面行駛品質評估方面亦日趨重要，因此，以自動化儀器進行高速公路路面平坦度檢測及糙度指標量測，為鋪面管理系統重點之一。

近年國內路面工程界來進步快速，各種新式鋪面材料的發展，鋪面管理相關的研究也已加速進行中；用路人對路面的品質要求亦隨著提高，路面工程師也已深刻體認到(1)路面的平坦度是用路人，對路面服務成效最直接的感覺，(2)新鋪路面平坦度可以代表整體道路施工的品質，(3)一開始就鋪得較平坦的路面，將有較長的服務年限。目前我國道路新築工程對於平坦程度之要求，係採用三公尺直規檢測方式辦理。評估路面的平坦度，除了要能量測得路面的輪廓外，數據的處理是一項與量測數據同樣重要的工作，以人工讀數三公尺直規實際執行上相當耗費人力，負責檢測的人員在檢測的過程中，每 1.5 公尺需蹲下來讀取高低差；因主觀判斷而容易出錯；附記錄器之三公尺高低平坦儀，可取代人工讀數三公尺直規，其量測速度較快，不需耗費過多人力的好處，如圖 3.2-1 所示。在處理數據的方式上，

目前由日本引進的高低差標準差值中，由於少數的異常數據對標準差值的影響不大，應加列單點高低差異常值的限制；此外，七公尺輪廓描繪儀因為體積較龐大，機具運送不容易，執行路面平坦度檢測時，需要較大的迴轉空間，較難在工地現場計算，判讀誤差也較大，如圖 3.2-2 所示；慢走式輪廓儀相當輕巧，以附掛筆記型電腦即時處理 測得的高程差數據，唯一的缺點是量測的速度稍慢，較難進行大量的檢測工作，如圖 3.2-3 所示；慣性輪廓儀是屬於重型的儀器，必需搭載在專用的廂型車上，優點是可以正常的行車速度檢測路面平坦度，很適於大量的路面平坦度檢測工作。

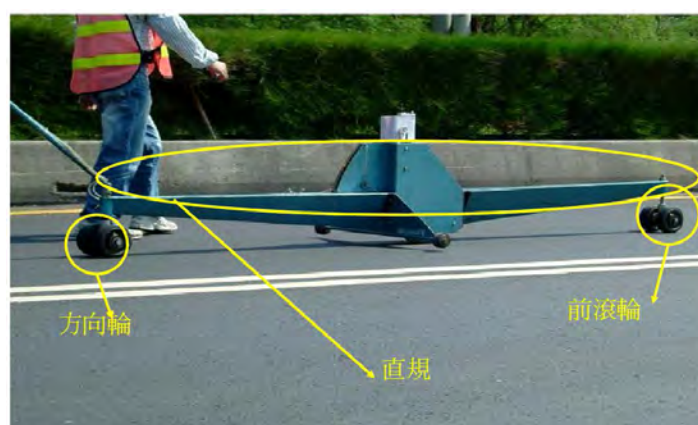


圖 3.2-1 高低平坦儀【4】



圖 3.2-2 七公尺輪廓描繪儀【14】

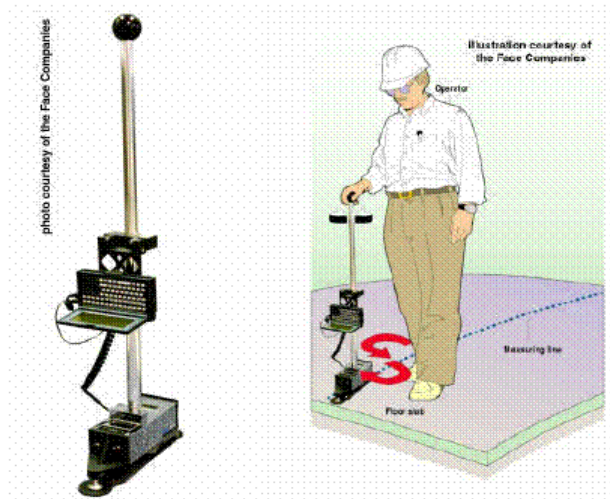


圖 3.2-3 慢走式輪廓儀【14】

執行平坦度作業前應考量之項目，包括檢測儀器、評估指標、檢測程序及平坦度驗收標準，就檢測儀器來說目前有三米直規、慣性式平坦度儀 (Inertia Profilometer)、剖面平坦度檢測儀(Profilograph)、反應式平坦度檢測系統(Response-Type Road Roughness Measuring System，簡稱RTRRMS)等。就所需費用而言，三米直規最便宜；但以方便及快速性來說，慣性式平坦度儀是最好的選擇。

目前國內新鋪築完成之道路平坦度規範，主要有交通部頒布的「公路工程施工規範」、交通部台灣區國道新建工程局與國道高速公路局之「施工技術規範」、公路總局之「公路工程施工說明書」及公共工程會所提「公共工程施工綱要規範」等四種規範。依據交通部頒布的「公路路面施工規範」第三章第六節：熱拌瀝青混凝土路面—『完成後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。以三公尺直規沿平行於或垂直於路中心線之方向檢測，

其任一點高低差，底層或結合層不得超過 ± 0.6 公分，一般公路之面層不得超過 ± 0.3 公分。

「公路路面施工規範」第三章第七節熱灌瀝青碎石面層—『完成 後之路面應具平順、緊密及均勻之表面。以三公尺長之直規沿平行 於，或垂直於路中心線之方向檢測時，其任何一點高低差，底層不得超過 ± 0.6 公分，面層不得超過 ± 0.5 公分。如超過上述規定時，應立即即將其翻鬆修正並重新滾壓，直至堅實平整符合規定時為止。』【6】

此外，依照交通部國道新建工程局技術規範第 01002.4(3)節—『密級配或開放級配之路面經最後滾壓後，需用三公尺長直規，平行放於路面中心線以及與中心線成直角之方向檢驗之。在三公尺直規之下路面凹凸超過 3 公厘者，應立即予以整修，且必要時，其整個周圍路面應重加滾壓，其整修不可以加熱刮除方式處理，處理方式需經工程師認可後才可為之，經壓實後之路面應平整，且路拱及坡度正確。多孔隙或蜂巢樣地點應於整修。在最後滾壓完成後所遺留下之凹陷及其他有缺點地區應依工程師指示予以修整，或拆除並重鋪新料滾壓，費用由承包商負擔。』【7】

公共工程會所提「公共工程施工綱要規範」對於瀝青混凝土鋪面有關平坦度之相關規定，本規範要求完成後之路面應以 3 米直規沿平行於或垂直於路中心線之方向檢測時，一般公路之面層任何一點高低差，不得超過 ± 6 公釐，平坦度標準差不得大於 2.6 公釐。相關平坦度規定彙整如表 3.2-2。

表 3.2-2 我國現行新築道路平坦度檢驗規範彙整 【12】

規範頒訂單位	檢驗儀器	計算參數		分批方式	門檻值
公共工程會	三米直規	一般公路	單點高低差	無	$< 6 \text{ mm}$
			平坦度標準差	無	$S < 2.6 \text{ mm}$
		高速公路	單點高低差	無	$< 3 \text{ mm}$
			平坦度標準差	無	$S < 2.4 \text{ mm}$
公路總局	三米直規	平坦度標準差		200m	$S < 4 \text{ mm}$
高公局	三米直規	單點高低差		無	$< 3 \text{ mm}$
交通部	三米直規	單點高低差		無	$< 3 \text{ mm}$
營建署	三米直規	平坦度標準差		100m	$S < 2.6 \text{ mm}$

3.2-1 柔性路面檢測

鋪面狀況指標(Pavement Condition Index, PCI)Darter 及 Shahin 等人於 1970 年代末期至 80 年代初期所發展之鋪面狀況指標 (Pavement Condition Index, PCI)，經過 20 年的發展，已於美國材料試驗學會標準測試(American Society for Testing and Materials, ASTM)制訂規範 ASTM D 6433-99 適用於路面及停車場，ASTM D 5340-98 適用於機場鋪面。【9】

據規範內容，PCI 可依據鋪面現況量測及觀察鋪面破壞之結果評估鋪面整體狀況的數值指標，主要調查路段的鋪面結構完整性及面層行車狀況。PCI 不能量測結構能力(Structural Capacity)，亦不能直接提供鋪面抗滑或平坦度資料，僅提供客觀及合理的基礎，用以作為鋪面養護需求及優先順序之決策依據。持續監測 PCI 可建立鋪面整體之劣化模式，可依據現時的鋪面設計、養護程式驗證及改善鋪面服務績效，由養護回饋資料作為鋪面主要整修需求之判斷依據。PCI 將柔性鋪面整體績效以分別為鱷魚狀裂縫、冒油、塊狀裂縫、凸凹陷、波浪型路面、凹陷、邊緣裂縫、反射裂縫、

車道路肩高差、縱向/橫向裂縫、補錠、粒料光滑、坑洞、跨越鐵道、車轍、推擠、滑動裂縫、膨脹、及剝脫等 19 項破損項目衡量【9】。鋪面表面破壞調查內容有 1.基本資料調查：一些檢測時之基本資料，包括車道寬、氣候、氣溫、速限、調查人員姓名、檢測日期、檢測車道、道路簡圖等。2.破壞調查：檢測柔性路面破壞項目，為簡化檢測的項目，將項目分為嚴重程度輕、中、重三級，破壞範圍若干等級來進行檢測。

3.2-2 美國平坦度驗收規範【10、11】

美國規範內容共計有十八州，包括：緬因州、華盛頓州、佛蒙特州、維吉尼亞州、蒙大拿州、懷俄明州、賓西法尼亞州、加州、印地安那州、密西根州、俄亥俄州、北達克塔州、堪薩斯州、伊利諾州、德州、明尼蘇達州、密西西比州、奧勒岡州等（參見表 3.2-3 與表 3.2-4）。由蒐集之資料得知，美國目前公路均已逐漸引入具有完整機制之新工完成道路平坦度驗收規範，其中採用國際糙度指標（IRI）為平坦度指標的共七州，而採用縱剖面指標（PI）為平坦度指標的總共十一州。整體而言大部分仍以縱剖面指標為主，其次為國際糙度指標。但根據美國地區道路主管單位表示，未來各州之平坦度檢測指標將逐步朝向以國際糙度指標為主。

表 3.2-3 美國各州使用 IRI 為平坦度指標表【12】

地區	平坦儀種類	平坦度指標與量測標準	附註
緬因州	等級一或二之平坦儀	國際糙度指標，每 200 公尺 計算一次 IRI 值，每 1000 公尺為一區段	無
華盛頓州	採用 WSDOT 測量作業車執行量測	國際糙度指標，IRI	不需量測 IRI 者，以三米直規進行檢測
佛蒙特州	剖面式平坦儀	國際糙度指標，IRI	無
維吉尼亞州	南達科塔型剖面平坦儀與 10-英尺直規	國際糙度指標，IRI，每 200 公尺 或 1000 公尺 計算一 IRI 值，每 160 公尺為一檢測區段	剖面式平坦儀不適用之區段以 兩公尺 直規進行檢測
蒙大拿州	Class I Laser Road Profiler	國際糙度指標，IRI，以寬 3.66 公尺、長 320 公尺為一檢測區段	無
懷俄明州	慣性式平坦儀	國際糙度指標，IRI，檢測區段的寬度視情況而定	無
賓西法尼亞州	輕量型平坦儀	國際糙度指標，IRI，每一車道之兩輪軌跡線均需進行量測	無

表 3.2-4 美國各州使用 PI 為平坦度指標表【12】

地區	平坦儀	速度與動力	平坦度指標與量測標準	中央覆蓋帶
加州	加州平坦儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標（PI）每 100 公尺 為一區段上凸 / 下凹	5mm
印地安那州	剖面式平坦儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標（PI）每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹（公釐）	5mm
密西根州	剖面式平坦儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標（PI）每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹	5mm
俄亥俄州	加州平坦儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標（PI）每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹（英吋）	5mm
北達克塔州	Cox CS820 剖面式平坦儀	無詳述	縱剖面指標（PI）每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹（英吋）	0mm
堪薩斯州	加州平坦儀 異常凹凸點：三米直規	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標（PI）每 100 公尺 為一區段上凸 / 下凹	5mm

伊 利 諾 州	5 公 尺 直 規、加州平坦 儀	量測速度要 $\leq$ 70 公尺 / 小時	縱剖面指標 (PI) 每 160 公尺 為一區段	5mm
德州	10 英 尺 直 規、剖面式平坦 儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標 (PI) 每 160 公尺 為一區段	5mm
明 尼 蘇 達州	加州平坦儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標 (PI) 每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹	5mm
密 西 西 比州	剖面式平坦 儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標 (PI) 每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹	5mm
奧 勒 岡 州	加州平坦儀	速度：不超過步行速度 動力：手動或汽油引擎	縱剖面指標 (PI) 每 160 公尺 為一區段上凸 / 下凹	5mm

3.2-3 加拿大平坦度驗收規範【11、12】

加拿大規範，有英屬哥倫比亞省、亞伯達省與薩克斯其萬省、曼尼托巴省、紐芬蘭省、新斯科細亞省、愛德華王子島、安大略省、魁北克省與新伯朗斯威克省共十個地區，分析比較該等地區所使用之量測儀器、平坦度指標、檢測區段長度、與適用範圍（詳見表 3.2-5）。

表 3.2-5 加拿大各省之平坦度指標表【12】

地區	平坦儀		平坦度指標	中央覆蓋帶
英屬哥倫比亞、亞伯達省、薩克斯其萬省	剖面式平坦儀		縱剖面指標 (PI) 檢測區段長： 100 公尺上凸 / 下凹	5 mm
曼尼托巴省	柔性路面	高低平坦儀	縱剖面指標 (PI) 檢測區段長： 100 公尺 TCR 指標值 上凸 / 下凹(公釐)	5 mm
	剛性路面	3 米直規		
安大略省	加州平坦儀		縱剖面指標 (PI) 檢測區段長： 100 公尺 上凸 / 下凹	0 mm
魁北克省	柔 性	慣性平坦儀	國際糙度指標 (IRI) 檢測區段長： 100 公尺	無

	路面			
	剛性路面	加州平坦儀	縱剖面指標 (PI) 檢測區段長： 100 公尺	5 mm
新伯朗斯威克、新斯科細亞省、愛德華王子島、紐芬蘭省		加州平坦儀	縱剖面指標 (PI) 檢測區段長： 100 公尺 上凸 / 下凹	5 mm

3.2-4 中國大陸平坦度驗收規範【11、12】

於中國大陸方面，目前對於路面工程之驗收檢驗項目標準值係區分為高速公路與其他公路二個等級，分設其驗收通過之門檻值，並依據鋪面型式區分為水泥混凝土、瀝青混凝土、瀝青貫入式、瀝青表面處理等多種不同型式之面層，另亦依據面層特性差異訂定不同檢驗項目與驗收標準，最後依各型式路面之特點予以不同配分（詳見表 3.2-6）。

規範內容中所規定之抽樣頻率，係以雙車道為準，若實際車道數多於雙車道，則依據車道數之比值增加抽樣頻率。表 3.2-6 詳細列出中國大陸地區平坦度相關驗收檢驗標準。舉例來說：若鋪面面層為瀝青混凝土面層，其驗收項目包括壓實度、平整度（平坦度）、彎沈度（撓度）、抗滑、厚度、中線平面偏差、縱斷高程、寬度、橫坡九項。各檢驗項目之配分以厚度、壓實度、平坦度、撓度四項為主，各佔 20%；另外還包括寬度、坡度等項目，總計分數為 100 分。根據加總結果評定完工路面之品質狀況，若總計得分不小於 85 分者評定為「優良」；小於 85 分但不小於 70 分者為「合格」；

小於 70 分者為「不合格」，若經改善後可重新辦理驗收，但所得評分等級僅可列為「合格」。

大陸地區瀝青混凝土面層路面之平整度驗收，就其驗收之平坦度儀器可採用自動或半自動平整度儀，量測時沿全線每車道連續進行，以每 100 公尺為一檢測區段，計算數據之合格率。若以三米直規測定平整度時，則以表 5 各種面層型式平坦度的相關規定中之單點高低差作為指標，超過者為不合格；反之合格。按每公尺結果計算合格率，合格率达 95% 以上者，可得該項配分之滿分；合格率小於 70%，則得 0 分；若介於 70%~95% 之間，則以內插方式進行給分。

表 3.2-6 中國大陸路面平坦度驗收檢驗標準【11】

面層型式	檢查項目	規定值或允許偏差		檢查方法和頻率	配分 (%)
		高速公路或 一級公路	其他		
水泥混凝土	標準偏差 (mm)	1.5	2.5	平整度值 :全線每車道連續 量測，每 100m 計算 IRI 和 標準偏差值	15
	IRI(cm/km)	250	45		
	單點高低 (mm)		5	三米直規 :每 200m 挑選兩 處	
瀝青混凝土 或瀝青碎石	標準偏差 (mm)	1.2	2.5	平整度值 :全線每車道連續 量測，每 100m 計算 IRI 和 偏差值	高速公路和 一級公路:15 其他:20
	IRI(cm/km)	200	420		
	單點高低 (mm)		5	三米直規 :每 200m 挑選兩 處	
瀝青貫入式	偏差 (mm)	3.5		平整度值 :全線每車道連續 量測，每 100m 計算 IRI 和 偏差值	20
	IRI(cm/km)	580			
	單點高低 (mm)	8		三米 直規 :每 200m 挑選 兩處	

瀝青表面處理	偏差 (mm)	4.5	平整度值 :全線每車道連續量測，每 100m 計算 IRI 和偏差值	20
	IRI(cm/km)	780		
	單點高低 (mm)	10	三米 直規 :每 200m 挑選兩處	

3.2-5 日本平坦度驗收規範【12、13】

日本現行規範係採用三米直規作為道路平坦度驗收標準儀器，但有鑑於國際上採用自動化儀器之趨勢，目前日本道路公團亦積極研究採行國際糙度指標（IRI）為驗收標準，唯目前尚未完成相關研究，亦未將其列為正式規範，故於此仍以三米直規驗收之相關規定為主要探討內容。日本路面平坦度驗收規範主要依循日本道路協會瀝青鋪面綱要，採用 三米 直規量測所得之標準差為驗收標準，沿車道線以內 80~100 公分左右與車道平行線為測線，沿著車道平行線前進，每進行 1.5 公尺 取一點高低差，紀錄至 1 公釐。於收集調查路段之高程差後，每 6~10 點為一組，並計算各組全距（R）。當各組全距求得後，接著計算全部各組之平均全距（ $\bar{R}$ ），再以平均全距除以統計係數 d_2 ，即可求出平坦度標準差（ $S = \bar{R}/d_2$ ）。其中統計係數 d_2 之大小與每組的點數有關，其值如表 3.2-7 所示。

表 3.2-7 日本道路協會平坦度標準差之統計係數 (d_2) 表

每組之點數	d_2 係數值
6	2.53
7	2.70
8	2.85
9	2.97
10	3.08

3.3 鋪面檢測系統

隨著科技發展，新的道路檢測系統也被發展出來。傳統的三公尺高低平坦儀、加州路面輪廓描繪儀、Rainhart 路面輪廓描繪儀、慢走式路面輪廓儀、及慣性路面輪廓儀等，雖然仍被應用在真實世界上；但由於自動化的影響，鋪面檢測系統的發展趨勢，偏向整合全球衛星定位系統(GPS)、鋪面破壞影像辨識系統、雷射測距系統、透地雷達系統與地理資訊系統，本節針對美國、日本、大陸與台灣現況做一整理介紹。

3.3-1 美國鋪面維護管理現況與檢測系統【13、14、15、16、17】

美國德州交通運輸部門(Texas Department of Transportation, TxDOT)在過去幾年的研究計畫中引進鋪面狀況檢測車，如圖 3.3-1 所示。目前現行有九部在實際操作使用中，在 7-4975 研究報告中成功研發可 100%掃描鋪面破壞並且可在 5-70 mile/h(8-112 km/h)下進行檢測，並可做即時處理進行破壞項目及等級判定。系統在自然光源狀況下進行檢測雖可得到鋪面影像，但影像之品質受到照明限制(多雲或晴朗)，第二個需進行開發外在人工光源

的原因在於同一個裂縫在不同照明條件下識別度並不一致，而與原本開發系統之目標有所背離；再者外部物體的陰影(穿過車輛、樹木、電纜線等)皆會照成影像分析中造成問題，而人工光源為解決這些問題的最後辦法。而德州在這項研究進行中最大的成果與目標在於開發低功率之照明設備。由於使用之擷取設備為線掃描式電子照相機，所以光源聚光後之光源寬度應為 0.25 英吋至 1 英吋之間(0.635 公分-2.54 公分)，光度應該給予夜間檢測足夠之照明能量，而滿足低能量之要求不須指定額外之電源，並且光源應符合小型、適合長期使用等要求。

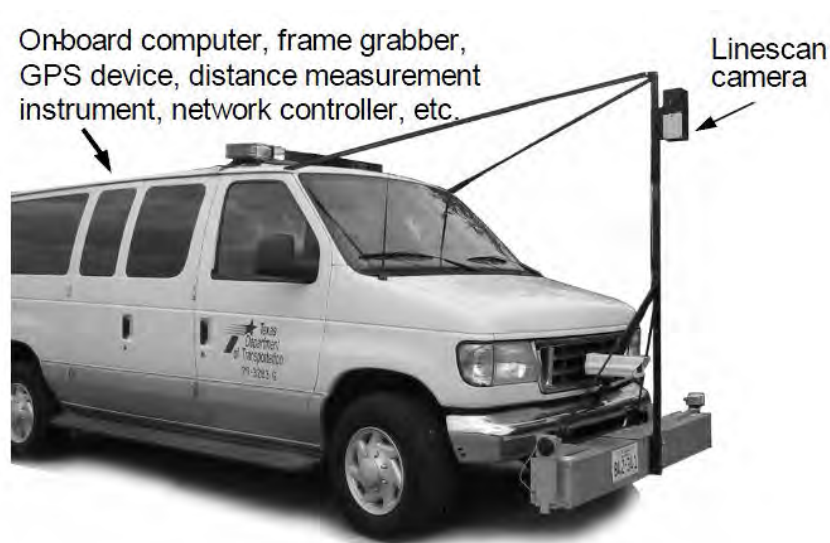


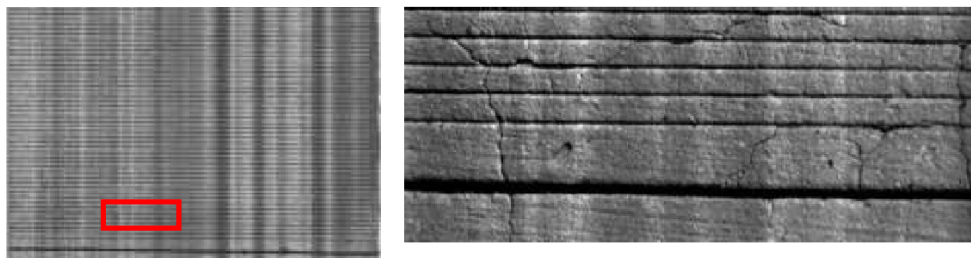
圖 3.3-1 美國德州交通運輸部門鋪面狀況檢測車

此外，90 年代由阿肯色大學研究人員開始開發，數位高速公路資料調查車(Digital Highway Data Vehicle, DHDV)，其原始設計觀念是整合 GPS 定位系統、鋪面影像檢測系統及平坦度紀錄系統，如圖 3.3-2 所示。目前，系統是由多個檢測模組組合而成，期硬體設備包含 GPS、DMI、電源供應器、

陀螺儀、工業電腦與多功資訊傳輸設備在檢測時可進行計算及數據庫產生，可進行量測鋪面之平坦度、表面紋理、車轍、可擷取 13 英尺寬之鋪面影像，目前已發展至第三代檢測車，可檢測 $>1\text{ mm}$ 橡塑之縱橫向裂縫而檢測時速最快可達 100 km/h (60 mile/h)，其照明方式利用雷射照明，可針對夜間及日間不同天候進行檢測(除雨天)。在第一代檢測車使用為 AreaScan(區域掃描式)照相機，而第二代使用為線掃描照相機，前兩代使用之光源皆為可見光系統，第三代使用雷射道路成像系統(LRIS)即線掃描配合雷射照明，可提供更好之圖像品質。在 LRIS 中影像擷取品質可達到 4096 pixels/line 至 $28000\text{ lines/second}$ (如圖 3.3-3)，解析度可達 1 mm 而擷取速度最快可達 100 km/h (60 mile/h)，第三代系統使用兩臺高解析度及高速擷取之線掃描照相機同時擷取，並在同一平面上對稱取樣，雷射之波長在 $800\text{ nm}\sim 580\text{ nm}$ 之間。LRIS 與其他影像擷取技術比較下，在結構重量較輕上僅 20 公斤，耗能約 250W，能消除陰影太陽光不同角度的影響。



圖 3.3-2 數位高速公路資料調查車，DHDV



(a)掃描鋪面影像資料

(b)深色區域放大後之結果

圖 3.3-3 DHDV 路面掃描系統的掃描結果

自動道路分析車(Automatic Road Analyzer, ARAN) 由 Roadware 研發並發展一套路面裂縫自動評價方式，而它的效率與實用性也得要驗證，目前 WiseCrax 以在全球 15 個國家使用 並通過英國 TRL 驗證，每年使用此套軟體進行檢測之路面圖像已超過 16 萬公里，最新的 ARAN9000 如圖 3.3-4 所示。這套系統包含三模組，(a)路面影像擷取(b)快速裂縫分析(c)品質控制程式三者。當 ARAN 以高速行駛時，系統將擷取目前影像適當部分並將重疊之影像刪除，而此系統採用高強度之閃光燈以克服太陽光之陰影，並選擇適當照射角度以凸顯路面裂縫。Roadware 工程部應用最先進技術改善影像之品質，使用類比到數位之電子照相機，也由面掃描改良至線掃描並持續開發更新之成像系統。在成像系統中使用一套 MTF (Modulation Transfer Function)，保證最佳的圖像品質。在這套驗證模式中能夠精確的評價照相鏡頭之解析度、失真度與運動模糊度都能以定量方式量測。在選擇鏡頭時並須根據鏡頭之靈敏度與品質參數進行初步評估，之後再進行定量之測試，以不同之照相機與鏡頭進行組合，分別測試其感光度與道路表面解析度，並從中選取最佳組合。為取得最小之幾何失真，Roadware 設計一套特殊之測試圖案進行測試。



圖 3.3-4 自動道路分析車，ARAN

3.3-2 日本鋪面檢測系統【15、18】

三菱重工發展的移動式製圖系統(Mobile Mapping System, MMS)，整合影像系統、雷射測距系統與差分全球衛星定位系統的整合。其功能與特色在小巧且機動性高量測車轍深度、縱向剖面、裂縫和拍攝前方影像的儀器，都裝載在這輛檢測車上；工作上省時又省力 因為量測儀器是連接在測距儀和拍攝前方影像的儀器上，所得到的大量數據可由一臺專用電腦分析及輸出；安全的改善，由這套檢測系統所完成的道路量測工作，不僅改善了安全，也減少了交通阻塞。三菱重工發展的移動式製圖系統，如圖 3.3-5 所示。



圖 3.3-5 三菱重工發展的移動式製圖系統，MMS

此外，R-TEC 路面檢測顧問公司所發展的鋪面狀況調查車，在同一時間調查鋪面的三破壞要素（裂縫、車 轍、平坦度），進行高速且高準確度的自動量測，以及提供長期路面管理系統計劃。R-TEC 檢測車設備如圖 3.3-6 所示。

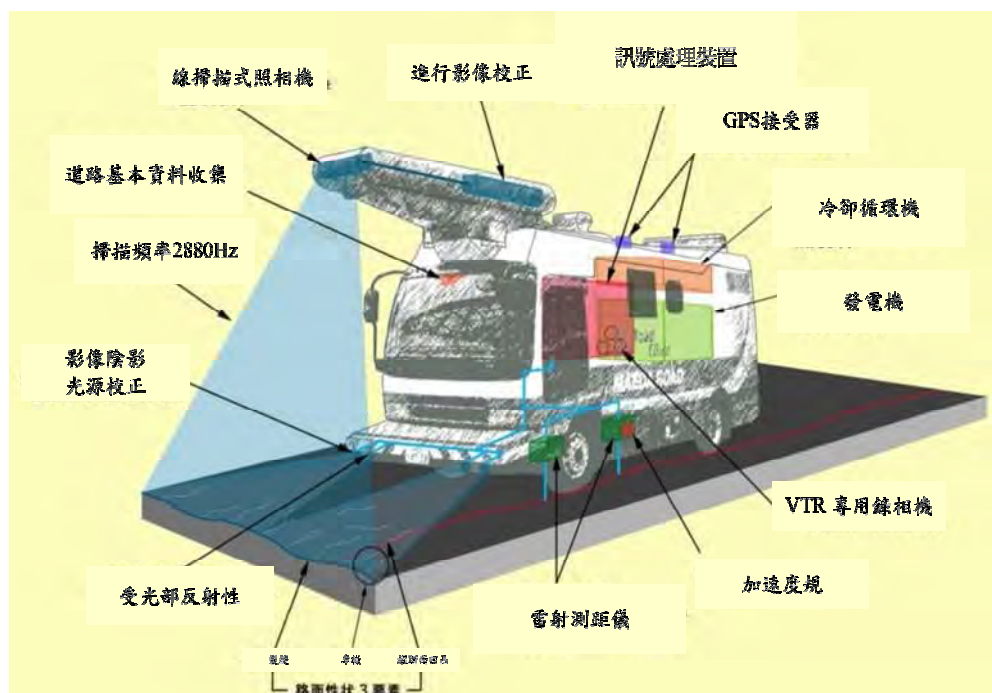


圖 3.3-6 R-TEC 檢測車設備

3.3-3 中國大陸鋪面檢測系統【15、18】

從 2003 年開始，大陸交通部公路科學研究院公路養護管理研究中心將創新的理念融入西部科技專案開發行動中，根據科技資源富集及功能定位，立足西部，著眼全國，旨在提高行業服務能力，把加強自主創新作為經濟社會全面、協調和可持續發展的首要推動力量，激發創新活力，為路面養護技術的全面發展帶來不竭動力。“瀝青路面快速檢測與養護技術的研究”是 2003 至 2006 年度西部交通建設科技專案，養護管理中心的科技人員在深入分析公路養護管理現狀、快速增長的養護需求和未來管理發展趨勢的基礎上，依靠嚴謹的理論分析和大量的實驗驗證，研發了中國大陸第一臺具有完全自主智慧財產權和國際最先進技術水準的“路況快速檢測系統（CICS）”裝備及配套“路面損壞識別系統（CIAS）”自動識別軟體技術。專案研究成果共申請了 5 項國家專利，已經取得了兩項專利權證書和 3 項軟體著作權證書。此項成果的推廣應用，將顯著提高路況快速檢測的裝備水準和公路管理的技術含量，推進公路養護管理的現代化、規範化和科學化建設“CICS 路況快速檢測系統”。

路況快速檢測技術及裝備：路況快速檢測系統包括集成指標（路面損壞、道路平整度、路面車轍、紋理深度、前方圖像）的快速（0~100km/h）檢測裝備和配套的高科技路面損壞自動識別（CIAS）軟體。路況快速檢測系統（CICS）與早期開發的路面自動撓度儀（ABB）和路面抗滑性能檢測

車 (RICS)，共同組成了一個完整的路面快速檢測裝備體系，成為公路養護快速檢測的三大主力裝備。CICS 檢測系統如圖 3.3-7。



圖 3.3-7 CICS 路況快速檢測系統車

3.3-4 國內鋪面檢測系統【16】

中央大學參考了 ARAN 的方式設計整套鋪面狀況指標檢測系統並予以改良，以數位攝影機來進行整體路段之路面影像收集，並以數位影像取代了 ARAN 以錄影帶儲存影像；另採用數位化音頻調變資料儲存系統來讓影像與 GPS 達到完全同步，並以 GPS 來提供位置座標，如此可直接套入 GIS 系統，而不是採用 ARAN 所使用的 DMI 紀錄方式。該系統以按鍵方式來提供現場評級並於內業自動抓取路面破壞影像、計算 PCI 值，由於提供 GPS 座標，可讓調查人員於外業調查時一同進行路面破壞影像的收集並評級之，減輕調查人員於內業作業時的負擔，亦可讓調查人員於內業作

業時對路面狀況來加以評級，減輕調查人員於外業作業時的負擔，且於影像資料中直接與 GPS 同步並套入 GIS 系統，讓使用者可更加了解路面於何處破壞。在角架方面考量了各型檢測車的不同，採用了吸盤加上雲臺來架設數位攝影機，如此在架設攝影機時不僅可適用於各車型，更可調整攝影機角度來搜集不同的目標物。中央大學研發鋪面檢測系統如圖 3.3-8 所示。



圖 3.3-8 中央大學研發鋪面檢測系統【16】

四、 研究設計

本研究擬採用文獻中所提自動鋪面狀況檢測車的概念，引進 e-GPS 即時動態定位系統與數位攝影系統，進行快速的道路鋪面狀況檢測。本研究將 e-GPS 即時動態定位系統引進，配合道路高程控制點的佈設，將 e-GPS 的量測成果轉換成地面高程，進行道路平坦的分析調查。除此之外，道路破壞的種類眾多，本研究先將其歸類，再利用數位攝影系統進行道路鋪面狀況調查。道路平坦與道路鋪面狀況調查的分析調查，分別敘述如下。最後，探討道路鋪面破壞時如何因應之對策。

4.1 道路平坦度調查

市區道路平整與否和社會大眾之日常生活有密切關係；用路人在旅程中時常需要使用到市區道路，達成其旅次目的。因此，用路人期待所行經之各等級道路皆能提供安全、舒適且便捷之行車環境。以台中市現有市區道路而言，由於管線挖掘後回鋪不確實，或是人（手）孔周圍與相鄰路面高差過大、道路重鋪後之平坦度不理想，使得道路鋪面服務水準不佳。一般實完工後之平坦度檢測，多使用慢速、抽樣且資料處理程序繁雜之儀器，其檢測效率不佳，導致完工路面平坦度檢測未能有效執行。

國內道路整建後平坦度驗收規範多採三米直規進行檢測，採直規計算高程偏差值與標準差，檢測速度緩慢且計算指標時間較長，應用於大規模檢測使用有一定之困難度。目前國內所使用三米直規的檢驗規範，乃是針

對新鋪路面的規定；依公共工程會規定，一般道路平坦度的檢定，採三米直規進行檢測，且其單點高低差須小於 6mm 且道路標準差(S)須小於 2.6mm。至於，現有鋪面並無相關規定，若以新鋪路面的標準運用於現有鋪面，恐造成現有台中市道路鋪面無一滿足公共工程會的規範要求。

此外，國際糙度指標 (IRI) 具有隨著時間穩定、可客觀顯示鋪面狀況，不受人為因素干擾等優點，是第一個廣泛使用於不同形式平坦儀的平坦度指標。國內利用 IRI 進行道路平坦指標的規定以營建署「市區道路平坦度驗收規範草案」[20]規定最為完整：「若為新建路段或原始平坦度 IRI 值不大於 650cm/km 之刨除回鋪工程，則依表 4.1-1 之標準進行評估並辦理檢驗；刨除回鋪工程之各檢驗區段於施工前所測得之原始平坦度 IRI 值若大於 650cm/km，則依表 4.1-2 標準進行評估。」

表 4.1-1 市區道路新建或原始平坦度 IRI 值不大於 650cm/km 時之檢驗評估標準[20]

道路等級 \ 評估結果	原始平坦度值	合格區	改正區	重做區
快速道路	$IRI \leq 650$	$IRI \leq 320$	$320 < IRI \leq 350$	$IRI > 350$
主、次要道路 道路寬度 > 20 公尺	$IRI \leq 650$	$IRI \leq 350$	$350 < IRI \leq 380$	$IRI > 380$
一般次要道路 11 公尺 < 道路寬度 $\leq$ 20 公尺	$IRI \leq 650$	$IRI \leq 350$	$350 < IRI \leq 380$	$IRI > 380$
巷道 8 公尺 < 巷道寬度 $\leq$ 11 公尺	$IRI \leq 650$	$IRI \leq 400$	$400 < IRI \leq 430$	$IRI > 430$

表 4.1-2 市區道路原始平坦度 IRI 值大於 650cm/km 時之檢驗評估標準[20]

道路等級 \ 評估結果	原始平坦度值	合格區	改正區	重做區
快速道路	IRI > 750	IRI ≤ 450	450 < IRI ≤ 500	IRI > 500
	650 < IRI ≤ 750	IRI ≤ 400	400 < IRI ≤ 450	IRI > 450
主、次要道路 道路寬度 > 20 公尺	IRI > 750	IRI ≤ 500	500 < IRI ≤ 550	IRI > 550
	650 < IRI ≤ 750	IRI ≤ 450	450 < IRI ≤ 500	IRI > 500
一般次要道路 11 公尺 < 道路寬度 ≤ 20 公尺	IRI > 750	IRI ≤ 500	500 < IRI ≤ 550	IRI > 550
	650 < IRI ≤ 750	IRI ≤ 450	450 < IRI ≤ 500	IRI > 500
巷道 8 公尺 < 巷道寬度 ≤ 11 公尺	IRI > 750	IRI ≤ 550	550 < IRI ≤ 600	IRI > 600

儘管道路標準差(S，參考 3.2-5 日本平坦度驗收標準)與 IRI 均廣泛地被各國採用於對新建道路平坦度驗收之標準，但當運用此二種指標於現有道路的評估時，均發現在運用時仍有其困難。道路標準差在規範中規定，每 200m 取兩處，以三米直規進行量測單點高低差，再進行整組道路標準差的計算；由於，在量測過程中，以既定直線進行量測，其量測結果往往產生局部符合規範要求，但整體道路的平坦性，不符合用路人的要求。IRI 數學模型模擬 1/4 標準車輛(Quarter Car)，以定速 80km/hr 行駛於欲檢測的道路上，分析行駛距離內，動態反應懸吊系統的累積垂直地面向位移，累計位移結果以 m/Km 表示。IRI 主要為計算單位距離內，高程差的標準偏差，亦即計算坡度的標準偏差。IRI 模擬的是車輛對道路平坦的感覺，而非用路人對所使用道路的感覺；因此，合適的道路平坦指標必需考量用路人對道路使用的感覺，而非考慮模擬的車輛感覺。

本研究擬採用道路縱斷面高程資訊，考量用路人對道路使用的感覺，發展針對現有道路平坦指標，作為道路路面維修鋪築的依據。令道路縱斷面為一方程式 f ，其具有凸面與凹面(Convex and Concave)的性質，即此一方程具有區域極大(Local Maximum)與極小值(Local Minimum)，其函數圖形如圖 4.1-1 所示。藉計算單位長度極大值與極小值的個數，其數學表示式如下

$$\text{道路平坦指數} = \frac{\text{檢測道路區域極值的總個數}}{\text{量測道路總距離}(m)} \% \quad (4.1-1)$$

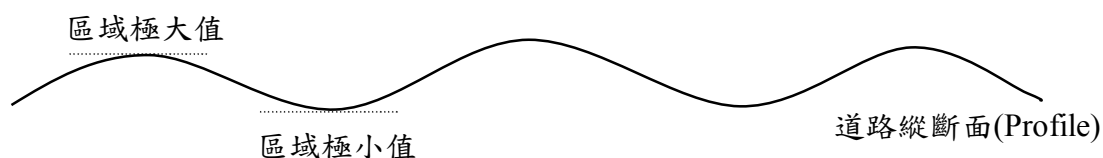


圖 4.1-1 道路縱斷面區域極大值與極小值

在具有凸面與凹面的曲線方程式，就二次函數而言，其極值發生在函數一階微分為 0 處。由於，一階微分代表單位長度高程的變化量(亦即，坡度)。不同的檢測設備，其量測的高低差(或稱為高程差)儘管不同，但其所反映的坡度變化情形仍是一致地；道路越是平坦，坡度的變化差異越小，反之，道路越不平坦，其坡度變化差異越大。目前，在分析所獲得的數據(單點高低差或單點高程)，均以直線連接不同位置的兩點，高程與坡度關係如圖 4.1-2 所示。

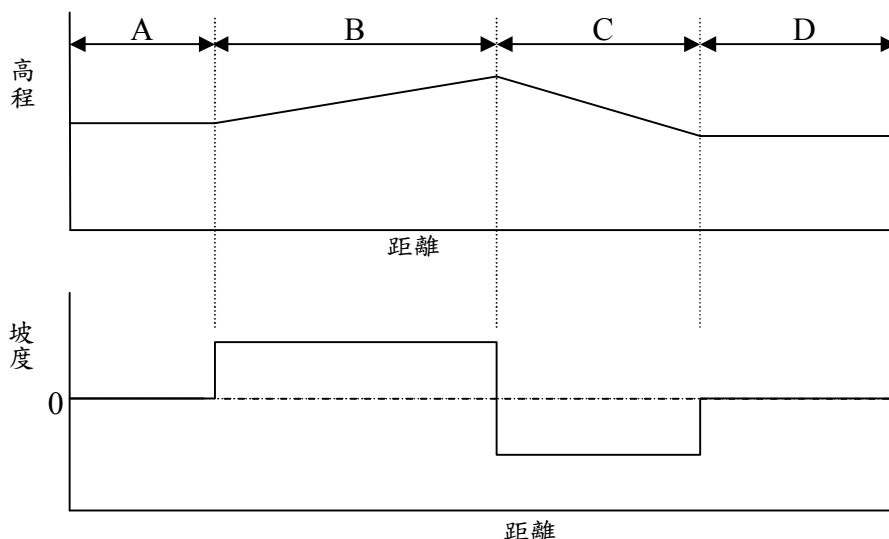


圖 4.1-2 量測高程與坡度間之關係

圖 4.1-2 中，道路縱剖面高程變化可分成 A、B、C 與 D 等 4 段。A 段為道路路面平坦，因此其坡度無變化，故其坡度接近 0；B 段為道路為上坡路段，若此路段均維持固定坡度，則其坡度變化亦為 0；C 段為道路為下坡路段，若此路段均維持固定坡度，則其坡度變化亦為 0；最後，D 為平坦路段。因此，圖 4.1-2 所示的坡度與距離間的關係，可以如圖 4.1-3 所示。因此，藉由判斷圖 4.1-3 中所顯示道路坡度變化的多寡；變化的個數多，意謂道路平坦性差，易造成用路人對使用道路的平坦性的抱怨，反之，道路平坦性差。藉由，式 4.1-1 所定義的道路平坦指數作為評定道路的平坦性。

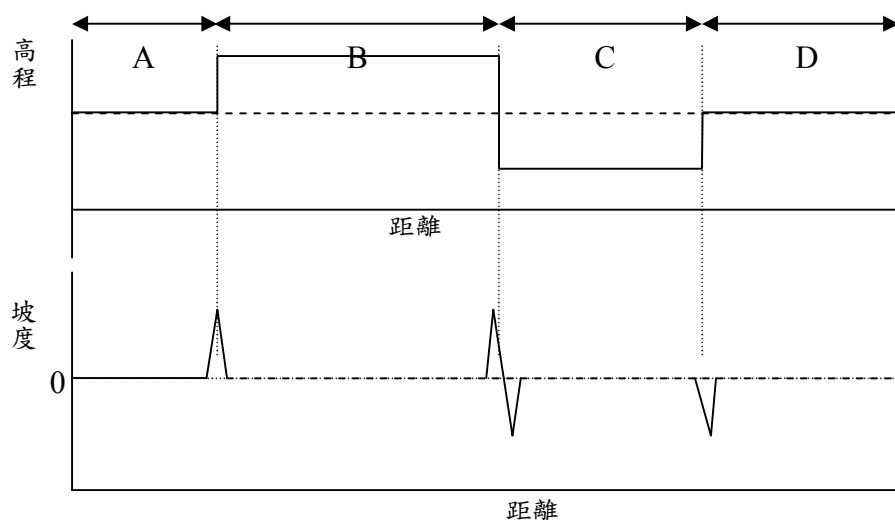


圖 4.1-3 坡度間之關係

本研究採用 e-GPS 即時動態定位系統測量道路之縱斷面平坦，其能快速且大量地在短時間內，針對台中市現有道路調查並排序出維修順序，藉著利用平均全距值估算標準差之方法進行平坦度分析，模擬三米尺規的數據，做為輔助道路平坦指數的參考。由於，人（手）孔蓋與道路修補是影響道路平坦度重要因素之一；在台中市仍有為數眾多之人（手）孔蓋與道路挖填修補存在，且多位於於道路外車道或機車道上，嚴重影響用路人之安全，故此次調查以道路外側車道或機車道為主要調查對象。

e-GPS 為內政部國土測繪中心建構之高精度之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。透過即時傳輸建置於全國各地之衛星定位基準站每天 24 小時每 1 秒之連續性衛星觀測資料，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，目前除在臺灣本島（含綠島、蘭嶼）及澎湖、金門、

馬祖地區，只要在可以同時接收 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。實施 VBS-RTK 或網路 DPGS 測量（或放樣）並紀錄定位坐標成果。此步驟之操作要項著重於紀錄 VBS-RTK 或網路 DPGS 測量成果種類、等級、筆數及其定位精度品質控制指標；一般而言，實施公分等級精度之 VBS-RTK 測量時，建議平面定位成果精度品質控制指標應小於 2 公分，「高程定位成果精度品質控制指標應小於 5 公分，且至少紀錄 30 筆以上，再其取算術平均數做為該點位之最終定位坐標成果。

為了在有限時間內，完成大量的道路高程資料蒐集，以作為後續道路平坦度分析，特別將 e-GPS 衛星接收儀架設在改裝過後的小摺腳踏車上，使用動態記錄點位方式，每 30 公分自動記錄一個點位的空間坐標，如圖 4.1-4 所示。實際施測情形，如圖 4.1-5 所示。



圖 4.1-4 衛星接收儀架設方式



圖 4.1-5 實際施測情形

4.2 道路鋪面影像調查與分析

影像調查提供如臨現場的視覺檢測，由於其具有方便與簡單操作的特性，常被用於資料蒐集或保存。一般進行道路影像調查，依所使用的錄像設備不同，可區分為「影像實錄」與「錄影實錄」兩大類。本研究的影像調查係使用三角架將攝影機架設在車內副駕駛座進行錄像，如圖 4.2-1 所示。錄像結果如圖 4.2-2 所示。採用錄影實錄的方式進行，以平均車速 30Km/hr 進行高畫質(1920x1080 像素) 錄影實錄，並以每隔 6 秒(約為兩張影像銜接的間隔)，取影像一張，進行人工判讀。在判讀過程中，利用鋪面狀況指標中的破壞情形，作為判讀之依據。

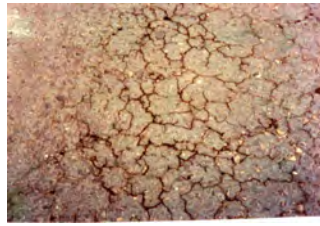


圖 4.2-1 攝影機架設



圖 4.2-2 攝影機拍攝畫面

鋪面狀況指標 (Pavement Condition Index, PCI)，經過 20 年的發展，已被廣泛地被運用於路面狀況之描述。PCI 將柔性鋪面整體績效以分別為鱷魚狀裂縫、冒油、塊狀裂縫、凸凹陷、波浪型路面、凹陷、邊緣裂縫、反射裂縫、車道路肩高差、縱向/橫向裂縫、補錠、粒料光滑、坑洞、跨越鐵道、車轍、推擠、滑動裂縫、膨脹、及剝脫等 19 項破損項目衡量。本研究將此 19 項破損項目簡化四種類型：A 類為龜裂、縱向裂縫、橫向裂縫與塊狀裂縫；B 類為坑洞、推擠與隆起與凹陷；C 類為人孔高低差。至於，道路鋪面重鋪，則列入 D 類。A、B 與 C 類的圖形如圖 4.2-3 所示。為簡化檢測的項目，將項目分為嚴重程度輕、中、重三級；為了給予量化的評估，輕級設為 0、中級設為 0.5 及重級設為 1.0。統計每條道路破壞的個數並量化其破壞程度。



龜裂(鱷魚紋)



縱向裂縫



橫向裂縫



塊狀裂縫

A 類



坑洞



推擠

B 類



隆起與凹陷



人孔高低差

C 類

圖 4.2-3 道路破壞分類

本研究參考 ASTM D 6433-11 對於 PCI 的規定，以統計模式簡化調查結果。道路破壞情形，考量破壞的嚴重程度與量測之距離，定義道路破壞指數為單位長度的破壞狀況，其數學表示式為

$$\text{道路破壞指數} = \frac{n_1 \rho_{\text{輕}} + n_2 \rho_{\text{中}} + n_3 \rho_{\text{重}}}{L} \quad (4.2-1)$$

其中， L 為路段量測距離(單位:公里)， n_1 、 n_2 與 n_3 分別針對嚴重程度 $\rho_{\text{輕}}$ 、 $\rho_{\text{中}}$ 與 $\rho_{\text{重}}$ 出現的個數。以檢測道路建成路為例，量測距離總長 4,300 公尺，調查結果如表 4.2-1 所示，則

表 4.2-1 建成路道路調查結果

破壞類別	數量	破壞程度	數量
A	1	輕	4
B	4	中	49
C	48	重	4
D	4		

建成路道路破壞指數 = $\frac{4 \times 0 + 49 \times 0.5 + 4 \times 1}{4.3} = 6.63$ ，建成路道路的破壞特徵以 C 類為主(84.2%)，即人孔高低差為建成路道路破壞之特徵。

4.3 道路鋪面破壞時因應對策之探討

本研究針對道路破壞情形，分成A、B、C與D等四種破壞情形(如圖 4.2-3)。根據每一條道路A、B、C與D等四種破壞情形出現的多寡，決定道路主要的破壞情形，並根據主要的破壞情形，探討其發生原因與因應修補之對策。

4.3-1 A 類(裂縫，Cracking)發生原因及應對策

根據美國瀝青學會(Asphalt Institute)1983 年所發行的瀝青鋪面維修手冊「公路之瀝青函鋪和街道修補(MS-16)」中，對於裂縫概略分成鱷魚狀裂

縫(Alligator Cracking)、邊緣裂縫(Edge Cracking)、邊緣接縫裂縫(Edge Joint Cracking)、反射裂縫(Reflection Cracking)與乾縮裂縫(Shrinkage Cracking)等。

將破壞情形、發生原因與修補方式彙整成表 4.3-1。

4.3-1 A 類(裂縫，Cracking)發生原因及應對策[23]

裂縫種類	發生原因	修補方式
鱷魚狀裂縫	1.大部分是因路面的承載力不足。 2.大部分是因為水所造成的基底層破壞而導致，大部分的受損區域不為很大，但是會覆蓋整個鋪面。	長效型修補 A.移除一定深度的面層及基底層，從破壞區域的中心到未破壞的鋪面至少延伸 1 英尺，並將範圍內破壞鋪面切割，將切除的部分切成方型，且其中一對邊要垂直於車流方向，預做出整齊且快速的切割面。 B.切割區域內必預先烘乾清潔內部。 C.噴灑黏層。 D.填滿修補材料，並小心粒料分離。 E.如果坑洞深超過 150 公厘，必預使用夯實機夯實。 F.夯實度必預和周邊鋪面夯實度一樣。 G.檢查行車品質及修補區域有無打整。
		小於 3 公厘的細長型裂縫 A.清理裂縫，可以用掃把或空氣噴槍。 B.噴灑適量的瀝青黏層於裂縫區域，噴灑量約 0.7~1.1 公升/呎方公尺。 C.再噴灑瀝青黏層後，快速填入修補材料。 D.用機具滾壓修補區域。(可使用車輛輪胎碾壓替代) E.開放通車前需做養護。
邊緣裂縫	邊緣裂縫的發生是因為缺乏側向力，也可能跟材料下的處理、變形有關或附近區域排水函能不好，嚴寒、乾縮等的結果。	若是暫時性的修補將裂縫填滿即可。若是永久性的修補，則用瀝青砂漿填入。若邊緣破壞已經處理完畢，可使用熱拌瀝青作為修補材料。 A.移除道路邊緣之樹木或是其他植物。 B.函強排水系統，如果需要可做地下排水的設施。 C.清理裂縫，可以用掃把或空氣噴槍。 D.填補裂縫，使用瀝青砂漿。

		E.噴灑黏層。 F.檢查邊緣是否打直整齊再將修補材料填入，並使用夯實機夯實。
反射裂縫	因鋪面下方水汙和垂直的坑洞受交通荷重及隨溫度濕度的變化膨脹收縮。	A.小於3公厘寬的裂縫因為太小很難去填補，帶裂縫變大時，再一起維修。 B.中等裂縫(3公厘~19公厘)使用密封膠修補以防止開放通車後，修補粒料被帶走。 C.大型裂縫(大於19公厘)如果先用瀝青層處理過，再使用乳化瀝青填滿，如果有一些中等至嚴重的裂縫剝落，則需再使用部分厚度維修工法修補。
邊緣接縫裂縫	可能是由於路肩高於路面所導致的排水不良，或路面邊緣有坑洞積水。	水是主要的原因，則函強排水後進行修補，施工流程參考「反射裂縫」。
乾縮裂縫	基底層或是基底層與面層的體積變化造成。	A.可用空氣噴槍和掃把移除鬆脫的部分。 B.路面和縫隙用水浸濕。 C.濕潤後，再噴灑乳化瀝青做黏層。 D.準備瀝青混合料。 E.噴灑瀝青混合料到裂縫內並使用使之打整。 F.經充分養護後，再開放交通。

4.3-2 B 類(坑洞、推擠隆起與凹陷)發生原因及應對策

坑洞、推擠隆起與凹陷發生的原因不同。坑洞，因為局部的鬆脫崩落所形成的碗形坑洞。坑洞發生多因鋪面面層中小部份的面層鬆脫與崩落，包含部分粒料物件的移除。推擠隆起與凹陷發生的原因，大多為鋪面基底層的脆弱，由於基底層的土壤受到不當的夯壓，也有可能伴隨著裂縫的發生。現按瀝青鋪面維修手冊「公路之瀝青函鋪和街道修補(MS-16)」中對坑洞、推擠隆起與凹陷的討論，加以整理。

坑洞常因瀝青面層過薄或是路面排水不良所造成。由於，坑洞明顯且

常易造成交通事故，故須緊急處理。暫時性的修補包括清理坑洞與坑洞填補。其處理方式條列如下：

- (1)清理表層鬆脫的材料。
- (2)用乳化瀝青填補坑洞鋪築釘整。
- (3)用震動夯實機夯實。

至於，永久性的修補，則需要先切割坑洞，並置換新的基底層與瀝青面層。推擠隆起與凹陷可能可因為在興建的過程中，道路路基面層夯實量不足所致。其處理方式，條列如下：

- (1)先使用熱拌瀝青混凝土填補並夯壓與附近路面齊平。
- (2)畫出一個方型區域，邊線要與路面的邊界平行。
- (3)使用切割機切割方形區域，其切割面需垂直於路面。
- (4)清理整個切割區域。
- (5)使用 0.25~0.7 公升/立方公尺的乳化瀝青摻配等量的水來當做黏層，
噴灑於切割區域。
- (6)養護黏層。
- (7)填入足夠的熱拌瀝青混合料。
- (8)使用震動夯壓機夯壓，其壓實度應與原來路面夯實度一樣。
- (9)放一些細砂於鋪面表面，瀝青混合料的瀝青含量不宜過高。

由於，坑洞、推擠隆起與凹陷發生現象明顯，大多緊急處理，故在調查期

間較少發現。

4.3-3 C 類(人、手孔不與地面一致)發生原因及應對策

隨著國內各大小都市發展，路面上的人、手孔也增函越來越多，經過統計，台北市道路既有的人、手孔數量約達 29 萬多個，平均每公里長就有 6 個人、手孔，不僅影響路面的平整，也嚴重危害用路人的安全[25]。人手孔造成路面最大的問題有二：一、人、手孔蓋週邊材料損壞下陷；二、人、手孔與周邊材料未與路面齊平。人、手孔齊平，由於人、手孔本體之結構、周圍之材料與原有鋪面不盡相同。因此，在人、手孔埋設完工開放交通後，容易因人、手孔材料與周圍材料強度與原有鋪面不一而造成凹陷、隆起甚至出現坑洞。可依工程需求，於人、手孔周圍出現破壞或不符規範要求時，進行人人、手孔降埋或人、手孔齊平的主要目的在使人、手孔與原有鋪面之高程一致。因此，就人、手孔齊平的討論分成施工材料與施工方法兩大類。就施工材料而言，其規定如下[25]：

A.樹脂水泥混凝土主要包含樹脂水泥、硬化劑及碎石級配等，以下就樹脂水泥、硬化劑及碎石級配做說明。

脂水泥、硬化劑及碎石級配做說明。

a.樹脂水泥係一速凝熱固性合成樹脂材料，預配合硬化劑使用。

b.硬化劑為一特殊配比之硬化劑，其與水泥混凝土混合後使具高強度、高韌性及快速硬化等特性。

c.碎石級配為經水洗之潔淨、堅硬碎石，並符合 CNS 6298 之規範。

B.樹脂瀝青混凝土主要含碎石粒料、特殊合成樹脂、瀝青乳劑等，成份具可析離、垂流及結塊等現象，必須具備黏結性及工作性。

C.早強水泥混凝土為一速凝之水泥混凝土材料，與粒料混合後函清水即可施工，每立方公尺混凝土重量配比，由承商於訂約或製造前提出配比及誦驗報告，經同意後方可採用。

D.熱拌瀝青混凝土所使用之種類及其規格，應符合工程圖說、特訂條款、公共工程委員會第 02742 章再生瀝青混凝土鋪面、交通部公路工程施工規範第 3.6 節熱拌瀝青混凝土路面之規定。

E.再生瀝青混凝土所使用之種類及其規格，應符合工程圖說、特訂條款、公共工程委員會第 02966 章再生瀝青混凝土鋪面、交通部公路工程施工規範第 3.6 節熱拌瀝青混凝土路面之規定。

就施工方法而言，包含人、手孔調降與人、手孔與路面齊平，其規定如下
[25]：

A. 人、手孔調降

a.施工前，將施工區域之表面雜物清掃乾淨。

b. 人、手孔週邊之切割與打除

(a) 人、手孔週邊緣石應方正切齊，其孔蓋邊緣切割寬度及深度應符合施工設計圖說所示。

(b)切割完成後應以機具將孔蓋週邊緣石予以打除，打除時應注

意不可損及切割面及鋪面週邊，打除碎料不得掉入人、手孔內，如掉入人、手孔內應立即予以清除。

(c)打除碎料應運離現場。

(d)上列各項工作完成後，應以竹帚將表面浮鬆塵土及其他雜物清掃潔淨，清掃寬度至少應較切割寬度每邊各多 30 公分，掃除碎料不得掉入人、手孔內。

c. 人、手孔底座切割與打除

(a)底座切割前應先以機具吊離人、手孔孔蓋及蓋座。

(b)底座切割線應以尺規量測切割深度，並以粉筆等標示切割線，深度應符合設計圖說所示。

B. 人、手孔齊平

a.以路面切割機切除路面，並用路面破碎機打除路面，廢土石方運離現場。

b.切割及打除完成後將人、手孔蓋及蓋座吊離，並清除人、手孔體表面及蓋座四周表面黏土、灰塵…等雜物。

c.孔蓋及蓋座吊離後架設模版於人、手孔與孔蓋座間，以防止樹脂水泥混凝土於澆置時流入人、手孔內；組設完成後於人、手孔四邊量測其與路面之平整度，並利用螺栓微調孔蓋之。

4.3-4 D 類(路面重鋪)發生原因及應對策

國內各管線單位為民生需求、積極擴展業務或配合各種建設、實施管線地下化等目的，經常向道路主管單位申請挖掘道路埋設管路，致使道路挖掘情形頻繁，造成道路交通的干擾及降低道路服務年限。由於，假修復品質不佳導致路面滿目瘡痍，影響政府威信。道路一經開挖即形成弱面，雖予補築路面，但因交通特性尚未完全壓實、養護即需開放通車，易導致不均勻應變，對路面之傷害程度相當大。尤其，在下雨過後，管溝部份經常下陷、佈滿坑洞，交通事故頻頻發生，且道路挖掘位置遍及各處，管制人力又不足，使得道路品質難以維護。一般在挖掘道路回填作業中，對新舊瀝青混凝土之施工作業，只能稱為暫時性修補，其所在之裂縫往往成為雨水入侵之捷徑，使路面結構強度下降，致使用壽命減短。根據美國布靈頓市 (City of Burlington, Vermont)，採用美國陸軍工程評量之路況指標 PCI (Pavement Condition Index) 之測定研究指出未經開挖之街道的服務年限約為 18.5 年，而經開挖回填後，其壽命僅為 10.9 年[25]。路面重鋪(開挖回填修補)，施作程序如公路施工規範所規定，須注意[25]：

(1)別除面形狀原則上以一邊平行於中心線的直角四邊形為佳，其大小應

考慮適於施工機械作業之幅度。

(2)若以氣動錘(Jack Hammer)等工具打除損壞部分時，應先以鋪面切割機

將四周鋸割。

- (3)損壞部分應完全清除乾淨，惟鋪面未損壞之底層或基層應儘可能避免擾動，清除面應務求平整。
- (4)相鄰兩修補面積相距僅數公尺或間隔不遠時，得將修補區相連以利施工，或於其上函鋪開放級配層，以保持適當之鋪面平整度與路拱。
- (5)面積小者應特別注意與原鋪面接縫處之黏結良好，黏層圖布與滾壓應確實，以防止開放通車後修補材料之鬆脫。
- (6)於澆鋪黏層材料之前，附近構造物，諸如橋梁、涵洞、緣石、欄杆及護欄等，以及樹木均應預予適當之遮蓋，以防被黏層材料濺污。
- (7)如以手壓灑佈器澆鋪時，應先檢查氣泵是否靈活及油箱是否不滿等。連繫灑佈器及噴桿所用之橡皮管必須為耐高壓及高熱者，整條橡皮管應以布料及草繩包紮緊密，以防傳熱及管破傷人。澆鋪瀝青材料之作業手，應由具有豐富經驗者擔任之。
- (8)黏層之施工時間必預恰當不宜過早，以免於鋪設瀝青混凝土面層時，黏層已被塵土所掩蓋而失其黏性。瀝青混凝土面層應於黏層材料還原後鋪設，若超過 24 小時無法函鋪面層，則需重新施噴黏層。

施工順序規定如下：

- (1)確認剔除位置與區域大小，並使用粉筆描繪於鋪面上，標記範圍應大於損壞區域至少 15~30 公分。
- (2)以鋪面切割機切割鋪面，其切割面應垂直於鋪面。

- (3)以挖土機或別路機移除修補範圍內之既有材料，用別路機別除時可毋需先行切割。
- (4)路基或基層需改良者，應以適當機械確實壓實，並儘可能維持相同之結構層次。
- (5)清除別除區域，並儘量保持清除面平整。
- (6)底面以噴灑機噴灑黏層，切割斷面亦應圖布黏層，黏層材料可採用乳化瀝青。
- (7)回填瀝青修補材料，並夯實修補厚度至少應有 5 公分。
- (8)以膠輪壓路機、鐵輪壓路機或手推式震動夯實機(Compactor)進行夯實。
- (9)待鋪面面層溫度降低至攝氏 60 度後或經現場工程司認可後開放通車。

五、 規劃工作程序、方法與說明

本研究主要依工作性質及所需人力分為兩組，第一組的工作為騎腳踏車使用e-GPS量測道路縱斷面平坦度及拿攝影機拍攝道路破壞情形，第二組為實施全測站與水準儀縱斷面平坦度量測。此章節首先介紹本工作程序圖，如圖5.1所示，再詳細介紹第一組與第二組的工作流程與說明，如表5.1與表5.2所示。

5.1 工作程序圖(如圖5.1所示)

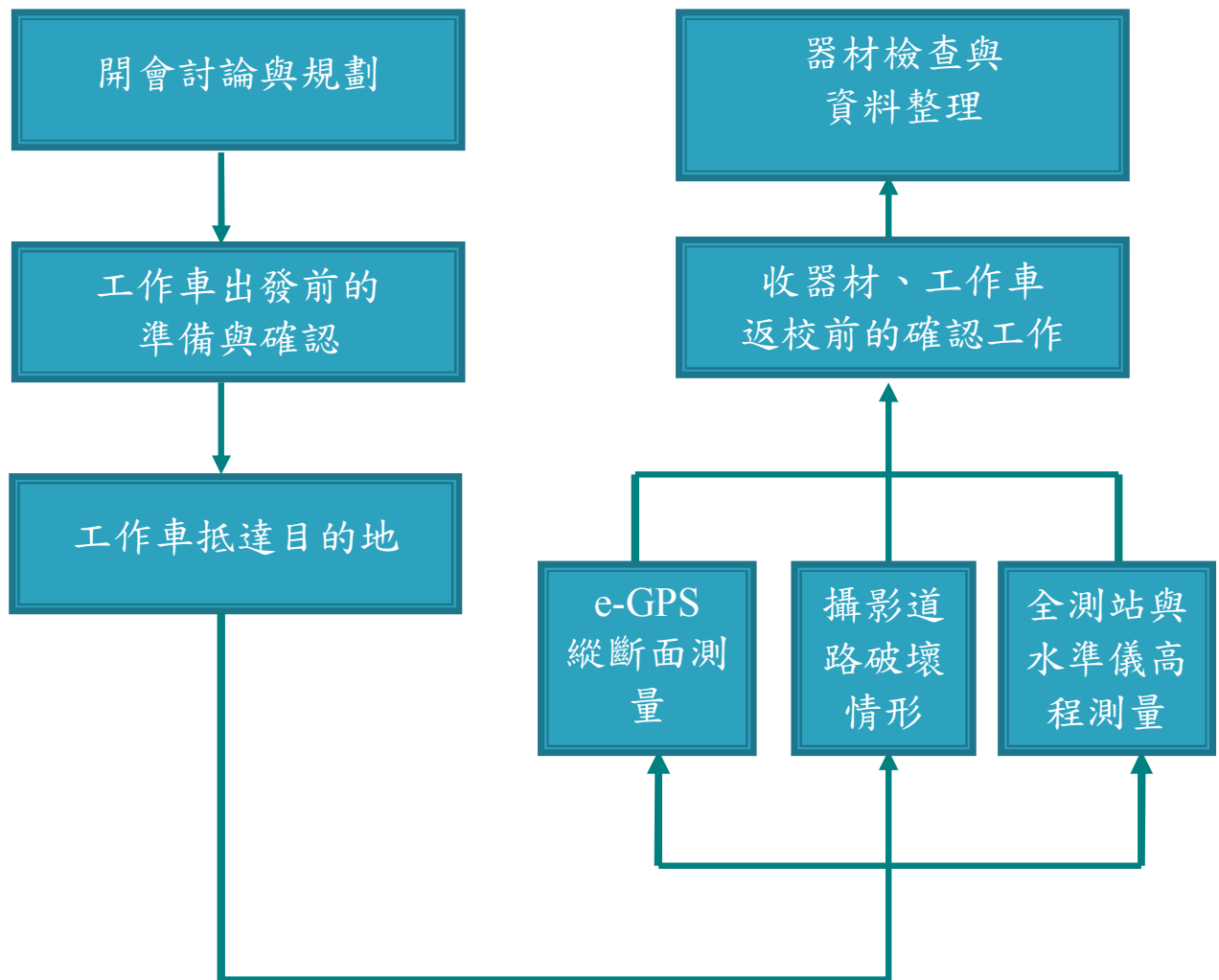


圖 5.1 研究流程圖

5.2 第一組，e-GPS 量測道路縱斷面平坦度及攝影道路破壞情形

表5.1 e-GPS 量測道路縱斷面平坦度及攝影道路破壞情形

工作步驟	工作方法	備註
1、開會討論與規劃	1-1 每星期五開會討論該星期的成果，並規劃下週哪天要調查哪些道路，哪天安排誰做什麼，並先用 Google 地圖的街景圖了解路況。 1-2 開車的人應做好路線規劃，並選擇最佳路徑。 1-3 出發前一天應至測繪中心網站查詢當天測量時，主機是否會維修。並查詢當天氣象。	1、早上 7 點測量室集合，7 點半準時出發。 2、原則上星期一~三實施攝影道路破壞情形和 e-GPS 縱斷面測量；星期四~日做全測站與水準儀高程測量。
2、工作車出發前的準備與確認	2-1 確認天氣是否許可做外業。 2-2 清點工作人員是否到齊。 2-3 清點所有器材是否帶齊。 2-4 出發前將後車廂的所有器材拍一張照(回程時也要)。 2-5 設定衛星導航至檢測道路起點。	
3、工作車抵達目的地(道路攝影、eGPS 縱斷面測量)	3-1 將工作車停在路邊，打雙方向燈。 3-2 工作人員穿著反光背心、戴上安全帽。 3-3 在工作車上佈置警示板、黃色警示燈。 3-4 選擇攝影的車道(原則上，一次最多攝影三個車道)。 3-5 組裝腳踏車，並裝上 eGPS。	1、工作人員在穿著上反光背心、戴上安全帽正式工作後，切記勿拖下，以免遭舉發。 2、佈置在工作車上的施工標誌，務必要再三檢查，避免工作車行進中掉落。 3、eGPS 人騎腳踏車做縱斷面測量前，應先了解道路終點在哪個路口。
4、道路平整性調查(道路攝影)	4-1 工作車打雙方向燈，並放慢速度(30km/hr)，將車開至剛剛選擇要攝影的車道行駛。 4-2 車上副駕駛(攝影人)使用高畫素攝影機拍攝前方道路(雙向車道皆要攝影)。 4-3 錄影一開始，請攝影人先念道路名稱、起點、終點，工作車才移動，請後座的人注意車子里程數，每增加 0.1km，念誦 2 次。(里程數記得歸零)	1、若雙向皆為單一車道，單向攝影即可。 2、eGPS 人騎腳踏車做測量時，若與工作車距離超過 20m 時，工作車要用無線電通知 eGPS 人，放慢速度等待工作車。

5、道路平整性調查(eGPS 縱斷面測量)	5-1 腳踏車選擇要測量的車道時，每條道路應以機車道或路邊的車道為優先，但須注意車道上方是否會有遮蔽物影響 eGPS 收訊。如果腳踏車必須騎到較危險的車道時，工作車在做攝影測量的同時就需在腳踏車後面保護 eGPS 人。 5-2 <u>eGPS 人</u>騎腳踏車從選擇的車道起點開始做道路縱斷面測量(雙向車道皆要測量)。切記，換對向車道測量時，要更換記錄點位的檔案。 5-3 <u>eGPS 人</u>騎腳踏車時，切記不要突然緊急煞車，否則很容易遭到追撞，如要停下，應慢慢的往路邊停靠。	1、eGPS 點位記錄方式如下 (1)新建檔案(例如：0820-1) ①「0820」是當天的日期。 ②「1」是在分辨道路起訖點。記錄「1」時，起訖點與道路資料是一樣的。記錄「2」時，則是相反的。 (2)設定點位記錄起點(例如：1.1.1)。 ①「第一個1」是道路的項次編號。 ②「第二個1」是車道的編號，內車道為「1」，以此排序往外車道類推，機車道為「0」。 ③「第三個1」是起點之點位的意思。
6、收器材、工作車返校前的確認工作	6-1 做完測量的人就先回到起點集合，並使用無線電互相通知。 6-2 工作車停路邊，拆卸工作車上的施工布置。 6-3 工作人員卸下反光背心及安全帽。 6-4 清點所有人員及器材是否到齊。 6-5 返校前將後車廂的所有器材拍一張照。	
7、器材檢查與資料整理(道路攝影、eGPS 縱斷面測量)	7-1 eGPS、PDA、相機、對講機的電池要充電。 7-2 先將 eGPS 和攝影機資料，儲存至隨身硬碟備份原檔，再請攝影人與 <u>eGPS 人</u>用自己的隨身碟複製資料回去做整理。 7-3 攝影人使用「附件三表格」整理當天攝影的資料，自動截取影片中的圖片。 7-4 <u>eGPS 人</u>使用「附件四表格」整理當天的縱斷面測量資料。整理原則為每 200M 整理成一份資料。	

5.3 第二組，全測站與水準儀測量道路測縱斷面平坦度

表5.2 全測站與水準儀測量道路測縱斷面平坦度

工作 步驟	工作方法	備註
1、開會討論與規劃	1-1 每星期五開會討論該星期的成果，並規劃下週哪天要調查哪些道路，哪天安排誰做什麼，並先用 Google 地圖的街景圖了解路況。 1-2 開車的人應做好路線規劃，並選擇最佳路徑。 1-3 出發前一天應至測繪中心網站查詢當天測量時，主機是否會維修。並查詢當天氣象。	1、早上 8 點測量室集合，8 點半準時出發。 2、原則上星期一~三實施攝影測量和 e-GPS 縱斷面測量；星期四~日做全測站座標測量。
2、工作車出發前的準備與確認	2-1 確認天氣是否許可做外業。 2-2 清點工作人員是否到齊。 2-3 清點所有器材是否帶齊。 2-4 出發前將後車廂的所有器材拍一張照(回程時也要)。 2-5 設定衛星導航至檢測道路起點。	
3、工作車抵達目的地(全測站縱橫斷面測量、水準儀高程測量)	3-1 將工作車停在路邊，打雙方向燈。 3-2 工作人員穿著反光背心、戴上安全帽。 3-3 在工作車上佈置警示板、黃色警示燈。 3-4 開車至挑選的連續長度 10%之路段，水準儀高程測量的路段要使用三角錐將道路圍起來，全測站則配一個人指揮交通保護。	1、工作人員在穿著上反光背心、戴上安全帽正式工作後，切記勿拖下，以免遭舉發。 2、佈置在工作車上的施工標誌，務必要再三檢查，避免工作車行進中掉落。 3、若挑選的連續長度 10%路段的路邊不好施做時，視情況改路段。
4、找尋航測圖上的已知點位	4-1 出發前需觀看之前錄好的道路影片資料和整理道路航測資料，依路段長度及當地環境狀況，在路邊選擇兩個已知點。 4-2 利用航測資料所得到的控制點點位，當作全測站測量的已知點，並將這些已知點記錄在「附件一」表格。 4-3 至已知點的地方用粉筆標示出點位、編號，並在白板寫道路名稱、距離起點大略位置、起點、終點，再一起拍	1、全測站經緯儀的最佳測量範圍，以設站點為中心左右各 50 公尺、各 60 度夾角為基準來選擇設站點。 2、全測站若設多個設站點時，各設站點應盡量通視，因為設站點也可當後視點使用。 3、拍照記錄時，2 張拍點位的資料，再拍兩張設站點周遭的地標。

	照記錄。	
5、道路平整性調查(全測站縱橫斷面測量、水準儀高程測量)	5-1 全測站實施縱橫斷面測量時，一人使用儀器，另一人拿指揮棒在旁警示用路人。 5-2 全測站使用座標測量，依航測資料的控制點點位輸入全測站當已知值，即開始實施縱橫斷面測量。	
6、收器材、工作車返校前的確認工作	6-1 工作車停路邊，拆卸工作車上的施工布置。 6-2 工作人員卸下反光背心及安全帽。 6-3 清點所有人員及器材是否到齊。 6-4 返校前將後車廂的所有器材拍一張照。	1、大約中午 11 點至 11 點半時，收器材吃午餐，並先將全測站數據存到小筆電，快速檢查數據是否有任何問題，如有問題的話，要重測。
7、器材檢查與資料整理(全測站縱橫斷面測量、水準儀高程測量)	7-1 全測站、eGPS、PDA、相機、對講機的電池要充電。 7-2 使用「附件二表格」，將全測站的數據與水準儀高程數據做整理。	

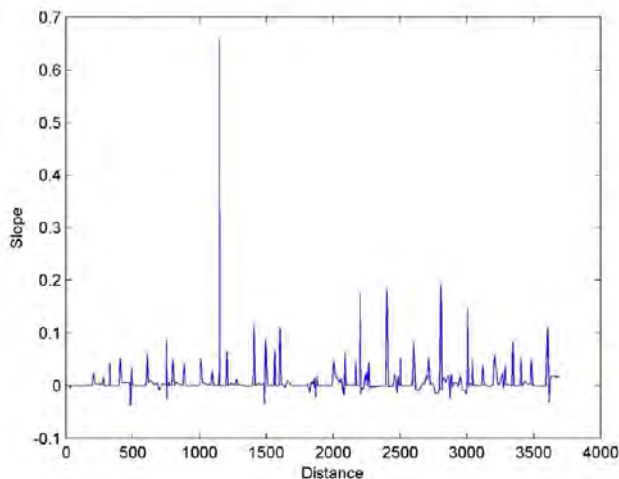
六、 現況分析

此章節，現況分析，以建成路為範例(起點為五權南路，終點為自由路三段)，解說本研究在實施完道路檢測後的數據分析結果，詳細的分析方式與引用的公式請參照 4.1 與 4.2 章節。

道路檢測主要分為兩大部分，首先介紹藉由 e-GPS 量測的道路平坦度情形分析，其次介紹採用 Full HD 數位攝影機所拍攝的道路鋪面影像調查與分析。

6.1 道路平坦度調查

「道路平整性調查」-eGPS道路縱斷面平坦度紀錄表		
檢測道路：3.1建成路	檢測日期：101.8.29	
道路起點：五權南路	紀錄人：卓堯陞	
道路終點：自由路三段	道路長度：4070m	道路寬度：30m



點位	N	E	Z
1	2669050.1753	216484.4788	76.7744
2	2669051.4798	216486.6540	76.8340
3	2669052.5259	216489.6448	76.8580
4	2669052.8686	216493.1684	76.8914
5	2669052.9530	216497.6630	76.8410
6	2669053.2293	216501.8122	76.8221
7	2669053.4453	216507.0880	76.9467
8	2669053.9731	216512.0123	76.9415
9	2669055.9421	216517.2741	76.5617
10	2669056.9460	216523.4023	76.3592
11	2669057.2800	216529.5111	76.4130
12	2669056.7097	216535.3357	76.4840
13	2669056.9586	216541.6146	76.2695
14	2669057.4623	216547.2401	76.0171
15	2669057.6693	216553.2190	75.8386
16	2669057.1418	216560.9692	76.4509
17	2669056.6904	216568.4541	77.4195
18	2669056.4252	216575.2527	78.1650

圖 6.1 道路平坦度調查

6.2 道路鋪面影像調查與分析

道路破壞區域紀錄表 3建成路(0829) P1

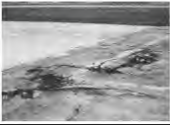
「道路平整性調查」-附件一~道路破壞區域紀錄表				
檢測道路：3.1建成路		路長：4070m	路寬：30m	
道路起點：五權南路	道路終點：自由路三段	紀錄人：施怡如	檢測日期：101.08.29	
道路鋪面破壞種類				
 1	 1	 0.5	 0.5	
(A)龜裂				
 1	 1	 0.5	 0.5	
(B)隆起與凹陷		(C)人孔高低差		
注意：若有小區域的路面有重鋪過柏油路，記錄編號為(D)。				
※ 記錄以上這些破壞種類原則為，若與路面的高低差超過1公分就須記錄。				
※ 圖片右下角數字為破壞等級				
序號	破壞種類	照片編號	破壞等級(1、0.5、0)	備註(例：道路施工或道路縮減等)
1	C	3.0.6	0.5	
2	C	3.0.9	0.5	
3	C	3.0.10	0.5	
4	C	3.0.12	0.5	
5	C	3.0.13	0.5	
6	C	3.0.14	0.5	
7	C	3.0.15	0.5	
8	C	3.0.16	0.5	
9	C	3.0.17	0.5	
10	C	3.0.18	0.5	
11	D	3.0.23	0.5	
12	C	3.0.25	0.5	
13	C	3.0.26	0.5	
14	C	3.0.27	0.5	
15	D	3.0.41	0.5	
16	C	3.0.42	0.5	
17	C	3.0.43	0.5	
18	C	3.0.44	0.5	
19	C	3.0.45	0.5	
20	B	3.0.46	1	
21	C	3.0.47	0.5	
22	C	3.0.49	0.5	
23	C	3.0.50	0.5	
24	C	3.0.53	0.5	

圖 6.2-1 道路鋪面影像調查與分析(第 1 頁)

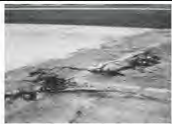
「道路平整性調查」-附件一~道路破壞區域紀錄表				
檢測道路：3.1建成路		路長：4070m		路寬：30m
道路起點：五權南路	道路終點：自由路三段	紀錄人：施怡如	檢測日期：101.08.29	
道路鋪面破壞種類				
 1	 1	 0.5	 0.5	(A)龜裂
 1	 1	 0.5	 0.5	(B)隆起與凹陷 (C)人孔高低差
注意：若有小區域的路面有重鋪過柏油路，記錄編號為(D)。				
※ 記錄以上這些破壞種類原則為，若與路面的高低差超過1公分就須記錄。				
※ 圖片右下角數字為破壞等級				
序號	破壞種類	照片編號	破壞等級(1、0.5、0)	備註(例：道路施工或道路縮減等)
25	C	3.0.60	0.5	
26	C	3.0.61	0.5	
27	C	3.0.62	0.5	
28	C	3.0.63	0.5	
29	C	3.0.64	0.5	
30	C	3.0.65	0.5	
31	C	3.0.66	0.5	
32	C	3.0.67	0.5	
33	D	3.0.69	0.5	
34	C	3.0.80	0.5	
35	C	3.0.81	0.5	
36	C	3.0.82	0.5	
37	C	3.0.85	0.5	
38	C	3.0.88	0.5	
39	C	3.0.96	0.5	
40	C	3.0.97	0.5	
41	C	3.0.100	0.5	
42	C	3.0.106	0.5	
43	C	3.0.107	0.5	
44	C	3.0.116	0.5	
45	C	3.0.117	0.5	
46	C	3.0.118	0.5	
47	C	3.0.119	0.5	
48	C	3.0.120	0.5	

圖 6.2-2 道路鋪面影像調查與分析(第 2 頁)

「道路平整性調查」-附件一~道路破壞區域紀錄表				
檢測道路：3.1建成路		路長：4070m	路寬：30m	
道路起點：五權南路	道路終點：自由路三段	紀錄人：施怡如	檢測日期：101.08.29	
道路鋪面破壞種類				
 1	 1	 0.5	 0.5	
(A)龜裂				
 1	 1	 0.5	 0.5	
(B)隆起與凹陷			(C)人孔高低差	
注意：若有小區域的路面有重鋪過柏油路，記錄編號為(D)。				
※ 記錄以上這些破壞種類原則為，若與路面的高低差超過1公分就須記錄。				
※ 圖片右下角數字為破壞等級				
序號	破壞種類	照片編號	破壞等級(1、0.5、0)	備註(例：道路施工或道路縮減等)
49	C	3.0.121	0.5	
50	C	3.0.136	0.5	
51	C	3.0.137	0.5	
52	C	3.0.138	0.5	
53	B	3.0.141	1	
54	A	3.0.156	0.5	
55	B	3.0.157	1	
56	B	3.0.158	1	
57	D	3.0.160	0.5	

圖 6.2-3 道路鋪面影像調查與分析(第 3 頁)

道路鋪面破壞種類			
	1		1
	0.5		0.5
(A)龜裂			
	1		1
	0.5		0.5
(B)隆起與凹陷		(C)人孔高低差	
注意：若有小區域的路面有重鋪過柏油路，記錄編號為(D)。			

※ 記錄以上這些破壞種類原則為，若與路面的高低差超過1公分就須記錄。

※ 圖片右下角數字為破壞等級

道路破壞區域統計表			
檢測道路：3.1建成路		路長：4070m	路寬：30m
道路起點：五權南路		道路終點：自由路三段	紀錄人：施怡如
檢測日期：101.08.29			
破壞種類	數量	備註	
(A)龜裂	1		
(B)隆起與凹陷	4		
(C)人孔高低差	48		
(D)小區域路面重鋪	4		
破壞種類加總		57	
道路破壞等級統計表			
檢測道路：3.1建成路		路長：4070m	路寬：30m
道路起點：五權南路		道路終點：自由路三段	紀錄人：施怡如
檢測日期：101.08.29			
破壞種類	數量	備註	評分
破壞等級：1	4		1
破壞等級：0.5	53		0.5
破壞等級：0	105		0
道路破壞指數		7.49	

有破壞照片	57
照片總張數	162

6.3 道路檢測成果

本研究最後依據道路平坦度指標與道路破壞指數作為排定道路維修優先順序之參考。

表6.3-1 道路平坦度調查之成果

照片 編碼	路名	路段	起點 路名	終點 路名	長度(M)	寬度(M)	區域	平坦度 指標	施做日期
3	建成路		五權南路	自由路三段	4070	30	南區	2.36	101.08.29

表6.3-2 道路鋪面影像調查與分析之成果

照片 編碼	路名	路段	起點 路名	終點 路名	長度(M)	寬度(M)	區域	道路破壞 指數		道路破壞 指數	拍照日期
3	建成路		五權南路	自由路三段	4070	30	南區	7.49	5.53	7.49	101.08.29

七、 可行性分析

儘管不同的儀器被用於量測道路平坦度，精密水準高程測量是一項穩定且可靠的量測方法。精密水準高程測可以精確地測得單點高低差，但操作時需要有訓練純熟的技術人員且其施測所需時間長，遂不被鋪面工程界所採用[22]。近年來全功能測站(結合電子經緯儀與電子測距儀)已被廣泛地被用於提供高精度的地表起伏，利用其便利性，可以迅速地在固定點上獲得鄰近的道路鋪面高程資料。全功能測站具有免持菱鏡的量距功能，以雷射進行測距，提高其使用的方便性。由於，量測道路鋪面的平坦度相當於量測一定範圍內量測點彼此間的差異程度；因此，以儀器架設點為任意高程，以此任意高程為基準，量測道路鋪面縱段面，評估道路鋪面的平坦度。全功能測站量測道路鋪面的平坦度的原理如圖 7.1 所示。利用全功能測站，獲得鋪面單點高程可以下式表示：

$$H_B = H_A + Hi - VD \quad (7.1)$$

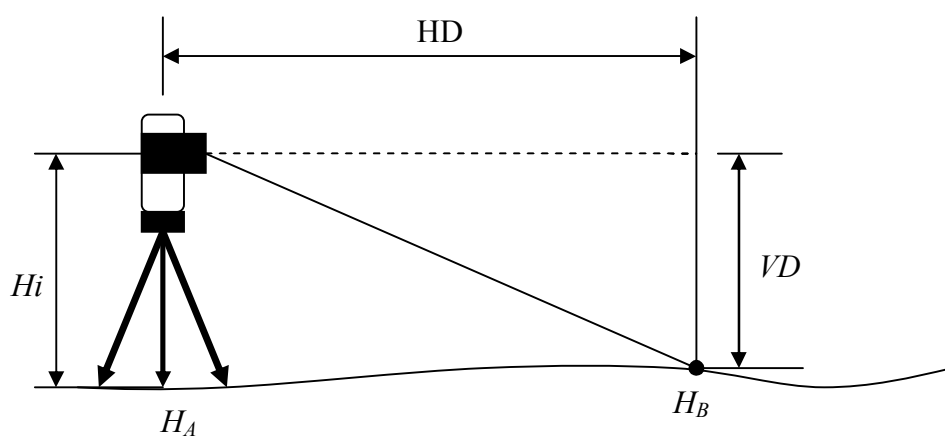


圖 7.1 全功能測站量測道路鋪面的平坦度的原理

為了驗證利用 e-GPS 所獲得的空間資訊，可被運用於道路鋪面平坦度的分析，特別於實際道路，利用交通離峰時間，以精密水準測量，每隔 1.5m 量測一點高程，作為對照組；再以 e-GPS 進行量測，利用最小自乘平差法，將 e-GPS 所獲得之高程數據轉換為現地高程數據，進行比較，其結果如圖 7.2 所示。從結果發現，e-GPS 原始的量測高程資料與精密水準測量的高程資料，高程變化趨勢相符；如能再加上適當的高程控制點，進行小自乘平差改正，平差後所獲得的結果與精密水準測量的高程資料極為接近。利用統計中的標準偏差，如式 7.2 所示，比較其標準偏差的差異為 4mm。從結果發現，e-GPS 平差後所獲得結果，確實能真實反映道路高低起伏的變化。

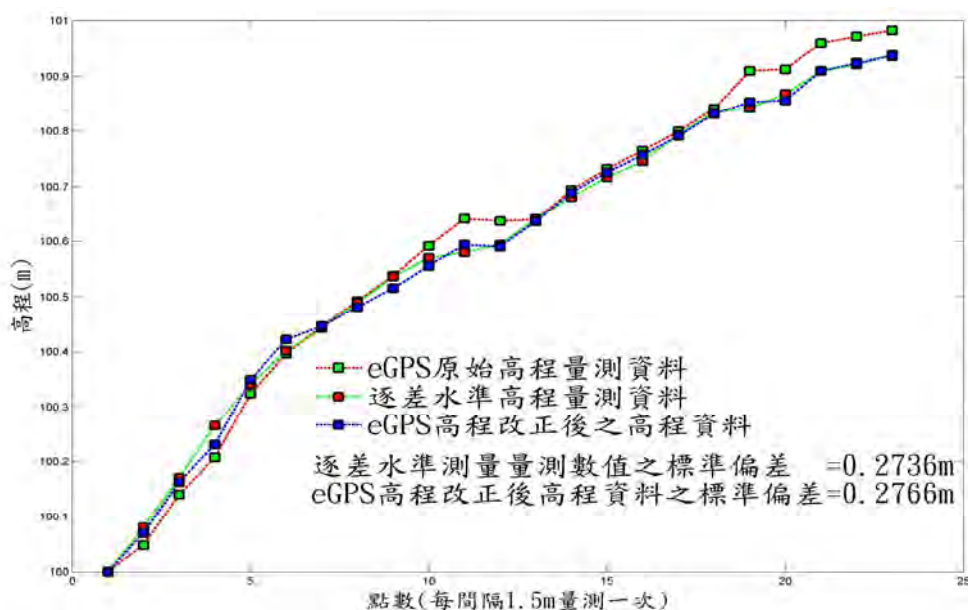


圖 7.2 逐差水準測量與 e-GPS 量測成果之比較

$$\text{標準偏差} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7.2)$$

其中， n 為觀測個數、 x_i 為觀測數值且 $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ 。

八、結論及建議

本研究主要目的在研究出快速的評估道路平坦度與破壞程度的方法，以作為台中市政府相關單位進行後續道路維修之參考。此研究的方法所獲得的成過經過驗證後，的確可以快速完成道路平整性調查。

8.1 結論

- 一、e-GPS 所測的道路縱斷面平坦度數據，藉由現地高程控制點，並配合全測站和水準儀測得的現地高程差，利用最小自乘平差法，將 e-GPS 所獲得之高程數據轉換為現地高程之數據。此改正過後的數據再與全測站和水準儀的高程數據做驗證，可以發現 e-GPS 經過改正後的數據是可以使用的。
- 二、研究 e-GPS 時，曾經試著將檢測範圍外的控制點(5 個以上)輸入至 e-GPS 儀器內做為已知控制點來當作校正值，但經過測試後，發現測得的高程仍然與控制點有很大的偏差。由於此研究僅需相對高程，所以不一定得要求到絕對高程，所以最後未採用納入控制點改正。
- 三、根據前言所提，目前國內對道路平整性不滿意的使用者大多為機車騎士，所以此次道路縱斷面平坦度量測，所選擇的測量行駛路線，才以機車道為主。
- 四、建立道路平坦指數，作為分析道路平整的依據。依據呂佳玲針對台北、台中與高雄三大都會區，以國際糙度指標(IRI)調查道路平坦度；利用

台中市內近 300 公里的部分路段與省道，調查結果發現其平均 IRI 為 3.62m/Km[26]。表 4.2-1 與表 4.2-2，本研究所定義的道路平坦指數採用與 IRI 相近的單位距離坡度變化個數作定義，其數值從 0.7-7.6 之間，應屬合理。

8.2 建議

- 一、e-GPS 縱斷面平坦度測量的方式，經過多次的試驗後，最後根據自動道路鋪面狀況檢測車的概念，研究出方便攜帶、檢測快速、精度足夠的改裝過後的小摺腳踏鋪面狀況檢測車。
- 二、道路會產生破壞情形，除了因車輛的加載所造成外，瀝青在施工時，也有可能就會讓瀝青產生瑕疵，瀝青在完工後，正確來說應該是要自然降溫，但現在大部分的施工都會灑水降溫，造成瀝青膠結程度不足。建議相關單位能夠修定，有關灑水讓瀝青降溫的相關規範。
- 三、實施道路檢測時，發現會造成路面滿目瘡痍的原因，乃是因為挖掘路面後，重鋪瀝青的過程出了問題，瀝青重鋪前為考慮洩水坡度、瀝青夯實不佳等問題，都會造成路面容易積水、凹陷。建議相關單位能夠修訂法規，積極施工完後的驗收標準。
- 四、使用全測站和水準儀進行高程測量時，建議若是道路平坦的地方，點位的間距可抓大一點(最多 3 公尺)；道路不平坦時，間距抓小一點，有高低起伏的轉折點就測一個點位。

五、本研究調查道路平坦度所使用的 e-GPS 即時動態定位系統，經過實驗後發現，若是要求更高精度的平坦度成果，必須要引進高精度的雷射測距儀。若是能夠將 e-GPS 與高精度的雷射測距儀做結合，那將會使測量獲得的平坦度成果更加精準，但相對測量所花費的測量時間也將越多。

九、參考文獻

- ASTM D6433-99, “Standard Practice of Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, 1999.
- B. Xu and Y. Huang, Develop an automatic pavement surface distress inspection system, CTR Research Report 7-4975-1, 2003.
- C.P Wang, Networked Sensor System for Automated Data Collection and Analysis, Final Report for Project, MBTC 2077, 2008.
- M.I. Darter and M. Y. Shahin, “Pavement Rehabilitation: Identifying the Need”, Transportation Engineering Journal, Vol. 106, No.1, pp.1-10, 1980
- Ralph Haas, W. Ronald Hudson, John Zaniewski, “Modern Pavement Management,” Krieger Publishing Company, Malabar, Florida 1994, Chapter 8.
- 中國生產力中心，國立臺灣大學、嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心，「市區道路管理維護與技術規範手冊研究－鋪面平坦度檢測與調查（第二期）」，內政部營建署委託研究計畫，民國 92 年 3 月。
- 中國生產力中心，國立臺灣大學、嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心，“道路平坦度驗收規範之研擬期末報告”，內政部營建署委託研究計畫，民國 93 年 5 月。
- 交通部台灣區國道新建工程局，「路面平坦度驗收規範之檢討研究」招標文件，中華民國八十八年十月。
- 交通部，「公路工程施工規範」，中華民國七十八年。
- 交通部國道新建工程局，「施工技術規範」，中華民國八十年。
- 溫建龍，維生管線孔蓋對道路平坦度影響之研究，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，民國 94 年。
- 周家蓓與李怡萱，鋪面平坦度檢測標準之探討，中華技術季刊，第 65

期，1 月，2005.

- 張孟孔，鋪面平坦度檢測實務，民國 98 年。
- 張家瑞，「建立臺灣瀝青路面網級養護管理系統—以公路局中壢工務段為例」，博士論文，中央大學土木工程研究所，2001。
- 楊江虹，「瀝青路面快速檢測與養護技術的研究」，大陸交通部西部交通建設科技專案管理中心，2007。
- 曾志煌、陳茂南、胡智超、蕭良豪、林志棟、董基良、黃維信、許峻嘉、陳建達、林志勇、李明德，鋪面養護資料檢測與管理標準化之研究，交通部運輸研究所，MOTC-IOT-97-EDB016，ISBN：978-986-02-1021-7，民國 98 年 12 月。
- 臺灣地區路面管理系統暨智慧型道路檢測系統-影像與電源整合之研究，臺灣世曦股份有限公司，2007。
- 佚名，「修不平的路！以台北市路平專案 1998~2009 為例」，
homepage.ntu.edu.tw/~b95302158/TaipeiRoad.ppt，Accessed Date: 2012.02.29。
- http://training.ce.washington.edu/wsdot/Modules/09_pavement_evaluation/09-2_body.htm (Accessed Date: 2012.02.14).
- <http://www.egps.nlsc.gov.tw/avbs-3.htm> (儀器操作步驟及參數設定要項)
(Accessed Date: 2012.8.1)