



影像檢測及分析應用於 國道鋪面養護之探討

陳順興／交通部臺灣區國道高速公路局工務組工程科科长

宋柏勛／國立中央大學土木工程研究所博士

在社會發展及經濟起飛的帶動下，臺灣地區公路系統，包括國道高速公路、省道、縣道、鄉道、市區道路等，呈現出層級清楚、功能完備的路網系統，在路網日趨完備之下，公路工程由新建工程轉往以維護管理為主的層面，在政府機關方面，亦由新工驗收變成道路的狀況調查，以及時控管道路的各類破壞及狀況，讓道路恢復至良好的服務水準，提供高品質的服務水準來服務大眾。

先進國家之鋪面維護管理系統（Pavement Management System, PMS）中，主要以益本比（Benefit/cost, B/C）的觀念來使經費分配能充分運用^[1,2]，對於路面的服務狀況則以乘坐汽車時的舒適感為基準來評斷路面狀況的優或劣^[3]，在路面狀況調查方面，國道高速公路局最早的鋪面調查狀況是由高速公路局養護工務段以人工乘車採目視巡查及國道公路警察局警員機動巡查再加上用路人的通報後來派員查修，尤其國道道路養護重點在於用路人行車安全性，故在高公局之「高速公路養護手冊」^[4]中明訂對於道路之巡查種類及頻率，但由於其路網頗大且養護人力之不足，其巡查後獲得資料之整理工作亦相當繁雜，故如何提昇路面狀況調查之技術，簡化整理記錄的工作以妥善保存並有效管理這些寶貴的資料，使其有效地應用於高速公路養護上實為一重要課題，但因缺乏道路實況之視覺影像資料，若不實地踏勘該路段將無法全盤瞭解該路段之路面現地狀況、各項路面破壞大小之相關位置等情形，致使無法查核該路段狀況資料之正確性。

現今電子科技產品進步快速，若能將道路鋪面狀況配合視覺影像技術建置基本資料整合儲存於電腦中，將有利於各項資料之查詢及修改作業，提昇對路面狀況的了解，清楚轄區內道路的鋪面狀況，且利用在電腦中可看到道路現況影像，將可實際應用於發包養護及路面損壞狀況的了解，減少實地踏勘之次數及時間；因此，如何整合現有科技，組裝構建路面檢測設備，用以作為建立一包含文字、圖檔及連續影像等之路面狀況調查系統，期以有效減少人力、時間，並提供正確的路面狀況，提高使用管理效率實為一大課題。

常見路面狀況指標

鋪面狀況指標 (Pavement Condition Index, PCI)

鋪面表面破壞是由一群破壞形式共同決定，最早包含車轍、龜裂、修補面積，後來又將橫向、縱向、塊狀裂縫，剝脫…等種種破壞形式包含入表面破壞中。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 年來的發展，已列入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 適用於路面及停車場^[5]。

依據規範內容，PCI 為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 不能量測結構損壞能力（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、養護程序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 的評級區間可如表 1 所示。

依據規範 ASTM D 6433 所定義之破壞項目共有 19 項，包括了鱷魚狀裂縫、冒油、塊狀裂縫、凸起／凹陷、折皺／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、風化／剝脫等，為了分類方便，於表 2 中將之分成四大類來方便記憶，其中裂縫類中鱷魚狀裂縫、塊狀裂縫、滑動裂縫等三項所量測方式為面積，邊緣裂縫、反射裂縫、縱橫向裂縫等三項所量測方式為長度，於是以其量測方式的不同再細分為兩類。

鋪面狀況評級 (Pavement Condition Rating, PCR)

這是一種類似 PCI 的路面狀況評級的指標，是由美國俄亥俄州交通運輸廳 (Ohio Department of Transportation, ODOT) 所發展之路面狀況評級

(Pavement Condition Rating, PCR) [6]。PCR 的計算公式可參考公式 1，評分尺度可參考表 3，於柔性瀝青鋪面的檢測表可見表 4。

$$PCR = 100 - \sum_{i=1}^n Deduct_i \quad (1)$$

其中 n 為存在的破損數，

Deduct_i 為第 i 項破損項目權重，嚴重度，與範圍的乘積值。

其他相關鋪面狀況指標

美國西北鋪面管理系統 (Northwest Pavement Management Systems) 及美國華盛頓運輸交通廳 (Washington State Department of Transportation) 也發展路面表面狀況評級 (Pavement Surface Condition Rating, PSCR)。PSCR 考慮 12 項破損指標，分別為車轍及磨損、鱷魚狀裂縫、縱向裂縫、橫向裂縫、推擠、冒油、補錠、波浪型路面、凸起和凹陷、塊狀破壞、鋪面邊緣狀況、及破壞修補狀況 [7]。此外，中國大陸發展之路面狀況指標 [8] 也與 PSR 及 PSCR 相似，於柔性鋪面採用 12 項破損，但扣減表又與 PSR 及 PSCR 不同。

表 1 PCI 評級區間

PCI 值	圖示 (Chart)	等級 (Rating)
85 ~ 100		最佳 (Excellent)
70 ~ 85		很好 (Very good)
55 ~ 70		好 (Good)
40 ~ 55		尚可 (Fair)
25 ~ 40		差 (Poor)
10 ~ 25		很差 (Very poor)
0 ~ 10		失敗 (Failed)

表 3 PCR 評級區間

PCR 值	圖示 (Chart)	狀況 (Condition)
90~100		很好 (Very good)
75~90		好 (Good)
65~75		尚可 (Fair)
55~65		普通 (Fair to Poor)
40~55		差 (Poor)
0~40		很差 (Very poor)

表 2 PCI 定義之 19 項破壞名稱

種類	編號	破壞名稱	種類	編號	破壞名稱
裂縫 (面積)	01	鱷魚狀裂縫	表面變形	04	凸、凹陷
	03	塊狀裂縫		05	波浪型路面
	17	滑動裂縫		06	凹陷
裂縫 (長度)	07	邊緣裂縫		15	車轍
	08	反射裂縫		16	推擠
	10	縱、橫向裂縫		18	隆起
表面破壞	11	補錠	其他	02	冒油
	13	坑洞		09	路肩高差
	19	風化、剝脫		12	粒料光滑
				14	跨越鐵道

表 4 PCR 評級表

Section: _____ Date: _____
 Log mile: _____ to _____ RATED BY: _____
 Sta: _____ to _____

FLEXIBLE PAVEMENT CONDITION RATING FORM

DISTRESS	DISTRESS WEIGHT	SEVERITY WT.*			EXTENT WT.**			DEDUCT POINTS***
		L	M	H	O	F	E	
RAVELING	10	0.3	0.6	1	0.5	0.8	1	
BLEEDING	5	0.8	0.8	1	0.6	0.9	1	
PATCHING	5	0.3	0.6	1	0.6	0.8	1	
POTHOLES/DEBONDING	10	0.4	0.7	1	0.5	0.8	1	✓
CRACK SEALING DEFICIENCY	5	1	1	1	0.5	0.8	1	
RUTTING	10	0.3	0.7	1	0.6	0.8	1	✓
SETTLEMENT	10	0.5	0.7	1	0.5	0.8	1	
CORRUGATIONS	5	0.4	0.8	1	0.5	0.8	1	
WHEEL TRACK CRACKING	15	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	✓
BLOCK AND TRANSVERSE CRACKING	10	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	✓
LONGITUDINAL JOINT CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	
EDGE CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	
RANDOM CRACKING	5	0.4	0.7	1	0.5	0.7	1	✓

*L = LOW **O = OCCASIONAL TOTAL DEDUCT = _____
 M = MEDIUM F = FREQUENT SUM OF STRUCTURAL DEDUCT (✓) = _____
 H = HIGH E = EXTENSIVE 100 - TOTAL DEDUCT = PCR = _____
 *** DEDUCT POINTS = DISTRESS WEIGHT X SEVERITY WT. X EXTENT WT.
 REMARKS: _____

綜合 PCI、PCR、PSCR 及路面狀況指數之發展可知，對於表面破壞的績效，各地區對於涵蓋的破損項目及扣分表均受當地鋪面專家之認定所影響。除了以單一指標考量鋪面表面破壞的方法外，美國戰略公路研究計劃 (Stratagem Highway Researching Plan, SHRP) 則認為長期鋪面績效計畫 (Long-Term Pavement Performance, LTPP) 中的破損項目應單獨紀錄。

依據 2014 年 6 月出版的 LTPP 破壞定義手冊 (Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance)，將柔性瀝青鋪面破損定義為五大類共 15 種指標，分類可參考表 5^[9]。

表 5 LTPP 柔性瀝青鋪面破壞定義

損壞類別	破損細項
裂縫 Cracking	1. Fatigue Cracking
	2. Block Cracking
	3. Edge Cracking
	4. Longitudinal Cracking
	5. Reflection Cracking at Joints
	6. Transverse Cracking
補錠及坑洞 Patching and Potholes	7. Patch Deterioration
	8. Potholes
表面變形 Surface Deformation	9. Rutting
	10. Shoving
表面缺陷 Surface Defects	11. Bleeding
	12. Polished Aggregate
	13. Raveling
其他 Miscellaneous Distresses	14. Lane-to-Shoulder Drop-off
	15. Water Bleeding and Pumping

Juang 與 Amirkhanian 利用模糊集合理論發展統一鋪面破損指標 (United Pavement Distress Index, UPDI)，利用模糊集合理論之歸屬度函數將七種破壞種類 (鱷魚狀裂縫、車轍、坑洞、補錠、塊狀裂縫、縱向裂縫及其他) 加以整合^[10]。UPDI 借用模糊數學模式消除鋪面績效各項因素間模糊或相互運算時不易確定的問題，就數學理論而言，此種方法有效的避免於線性方程式中各變數獨立的要求，特別適合於鋪面系統中破損種類間彼此成因重疊，不易將變數區隔之狀態。此外，UPDI 也提供了針對表面破壞指標中，除了 PCI 及 PCR 的扣分方法外的另一種選擇。

臺灣國道鋪面巡檢方式

目前於國道高速公路局之巡查頻率及方式明訂於「高速公路養護手冊」^[4]第二章巡查制度中，依巡查方式分為經常巡查、定期巡查及特別巡查等三種，其中

經常巡查又分為日間經常巡查 (每日一次) 及夜間巡查 (每月至少一次)，是由養護單位指派工程司或經訓練之人員執行，其方式是從車上採以目力檢視，鋪面、橋面、伸縮縫等可憑車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷。現行國道巡查制度已導入以 3C 之 4G 行動電話手機加平板電腦來取代紙本記載，以減少目視錯判及減輕內業之文書作業負擔，同時讓施工人員及業務主管立即接收鋪面缺失之訊息，提供養護效率。

以現行國道經常巡查制度方式可快速將坑洞、明顯裂縫等快速紀錄後以 4G Wi-Fi 來通報以進行後續養護缺失改善作業，但以評估整體道路服務水準來進行分析時，尚缺乏具體鋪面缺失的量化資料 (如 PCI)，在此方面可嘗試採用國外發展已臻成熟之影像自動辨視技術來達成，配合定期巡查之執行來對道路進行整體性評估。

國道鋪面巡查項目

對現地通車路段進行鋪面資料之檢測調查等，主要為建立鋪面狀況指標 (Pavement Condition Index, PCI) 之資料，依 ASTM D6433 而言，柔性鋪面及剛性鋪面都分為 19 項破壞，依高速公路養護手冊之巡查項目而言，柔性鋪面為路面破裂、坑洞、跳動狀況、路面鬆裂、皺褶、冒油、沉陷、剝脫、隆起、扭曲、鋪面車轍、油滴浸蝕等，剛性鋪面為路面破裂、坑洞、唧水現象、跳動狀況、路面破碎、沉陷、版塊翹曲、施工縫、收縮縫填料封劑之損壞等。

現地資料檢測之方式分為兩個部分，在外業調查時採用自動化紀錄現地狀況，在外業調查結束後以半自動化處理之方式於內業進行處理，其半自動之方式為採用影像辨視為主，人工判讀為輔以提高正確性，期將所有資料擷取並紀錄下來。

鋪面影像檢測車

美國德州 VCrack 交通運輸廳部門 (TxDOT) 在過去幾年的研究計畫中完成及實現鋪面影像檢測車之開發，目前現行有九部在實際操作使用中，其研究報告中成功研發可 100% 影像掃描鋪面破壞狀況，並且可在 5-70 mile/hr (8 ~ 112 km/hr) 速度下進行檢視，並可做即時影像處理進行破壞項目及等級判定，目前國內亦有多部設備以其為原型進行開發，以提高對鋪面狀況檢測之效率。

以自動化檢測之方式主要可快速蒐集外業資料，檢測資料結合 GPS 座標以輔助提升內業資料建檔之效



圖 1 國道經常巡查系統介面示意圖^[11]

率，在系統主要功能部分分為外業作業與內業作業兩部分，外業部分之功能為前視影像 CCD 及鋪面影像蒐集設備 LineScan，內業功能為鋪面影像辨視及鋪面現況指標計算，並將所有鋪面破壞狀況紀錄於資料庫中，以提供工程師診斷路面狀況之輔助。

鋪面影像自動辨視鋪面破壞技術

由於實際檢測時所需考量之因素眾多（如穿過車輛、樹木、電纜線...等），且都會影響到後續自動辨視的結果，故以適合之設備取得良好之影像為此技術之關鍵，在取得良好影像後，需要對影像進行前處理，包括影像裁切（長度裁切、有效範圍裁切等）、光源校正（運用自然光源或天然光源，均需要進行光源校正）後，再針對處理後之影像進行自動辨視。

影像自動辨視的第一步驟為判斷影像是否存在破壞，可利用本文採用資料探勘（Data Mining）為對於大量的資料進行處理，加以發掘、萃取而得到存在於資料中有意義之資訊，利用資料探勘之技術可以快速且精確的將路面缺陷影像取得缺陷資訊以做為後續支援決策使用。並且藉由各種不同的演算法進行缺陷資訊的取得和預測。

另一種鋪面破壞自動辨視之方式是採用自動化指標（United Condition Index, UCI）進行，該方法是將影像利用網格處理技術進行處理，進行影像分割、二值化、灰階值計算、指標換算等方式，再利用二值化灰階值垂直與縱向變化率計算之。

裂縫量測與影像品質規範

一般鋪面狀況指標與統一裂縫指標調查項目整理如表 7 所示。國內常用 PCI 中之 14 項破壞調查項目，透過複雜之計算轉換扣減分方式得到指標值，擁有較完整之扣減分計算系統。UCI 為經由美國 FHWA 認可之裂縫分析指標，僅調查 7 個項目，以各項裂縫為主，計算方式為道路面積扣除破壞面積後之百分比，顯示兩者於計算基礎有所不同。詳細比較發現，PCI 對於高程變化之破壞項目需以肉眼進行估計（高速公路養護手冊中以車輛駕駛時之操作性、衝擊響聲及震動等判斷），或另加裝垂直測距儀，如雷射或超音波等方式計算；而 UCI 為鋪面破壞影像系統使用之指標，僅能判斷較常出現及非高程屬性之破壞。

表 6 高速公路養護手冊鋪面巡查項目及注意事項

巡查方式 巡查項目	日間經常巡查注意事項	定期巡查注意事項	特別巡查注意事項
柔性鋪面	路面破裂、坑洞、跳動狀況	路面鬆裂、皺褶、冒油、沉陷、剝脫、隆起、扭曲、車轍、油滴浸蝕	
剛性鋪面	路面破裂、坑洞、唧水現象、跳動狀況	路面破碎、沉陷、版塊翹曲。 施工縫、收縮縫填料封劑之損壞	



圖 2 鋪面影像檢測車示意圖 (以中央大學土木工程系開發為例)

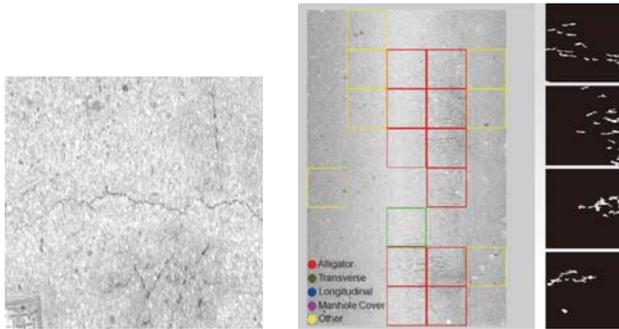


圖 3 鋪面 Scan 後原始影像 圖 5 鋪面影像偵測破壞畫面示意圖

表 7 鋪面狀況指標與統一裂縫指標破壞調查項目表

破壞調查項目	指標	鋪面狀況指標 PCI	統一裂縫指標 UCI
1. 龜裂		●	●
2. 縱向裂縫		●	●
3. 橫向裂縫		●	●
4. 塊狀裂縫		●	●
5. 坑洞及人孔高差 與薄層剝離		●	▲ (不含人孔高差)
6. 車轍		●	○
7. 補綻與管線回填		●	●
8. 推擠		●	○
9. 隆起與凹陷		●	○
10. 冒油		●	●
11. 波浪狀鋪面		●	○
12. 車道與路肩分離		●	○
13. 滑溜裂縫		●	○
14. 骨材剝落		●	○

註：●代表列入調查項目 ○代表無列入調查項目 ▲代表部份列入調查項目

表 8 人工調查與自動化鋪面破壞調查操作特性表

操作特性	調查方式	
	人工調查	自動化鋪面破壞調查
操作性	複雜	簡易
調查速度	慢	快
安全性	低	高
資料應用性	低	高



圖 6 道路影像資訊記錄系統示意畫面

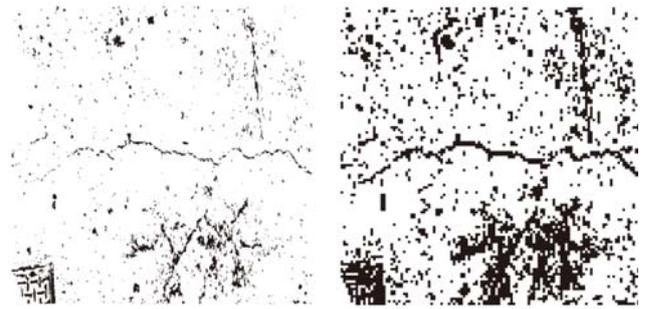


圖 4 鋪面 Scan 後經過處理後之破壞影像

結論

國道現行之路面調查工作分為每年定期使用抗滑、平坦及撓度儀器進行定期檢測一次及半年採人工方式現地調查二種方式為主，在日間經常巡查上導入 3C 行動電話加上平板電腦以減輕養護巡查文書負擔並紀錄道路缺失，但乘坐公務車巡查時，有時無法詳細發現路面之狀態而有遺漏之現象。為提高道路管理效率及鋪面巡查正確性與公信度，可利用定期之路面影像資料進行完整路面缺失檢測及路面成效評估。目前國內開發之道路影像資訊記錄系統經驗證，其檢測作業時間約為傳統路面破壞調查的三分之一，亦已針對國道全線之外車道進行檢測，提供訂定國道鋪面全生命周期維護管理策略時之參考。

參考文獻

- 林沂賢, HDM-4 於台灣地區柔性路面養護工程應用之研究, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 2002 年。
- 陳永林, HDM-4 運用於國內高速公路養護管理之研究, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文, 2003 年。
- 姚志廷, 鋪面養護決策支援分析模式之研究, 國立中央大學土木工程研究所博士論文, 2005 年。
- 交通部臺灣區國道高速公路局「高速公路養護手冊」, 2011 年 2 月修訂版。
- ASTM, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. ASTM D6433-11, 2011.
- Saraf, C.L., Pavement Condition Rating System: Review of PCR Methodology. 1998.
- Kay, R.K. and A. O'Brien, Pavement Surface Condition Rating Manual. 1992: State Transportation Center, University of Washington.
- Chiang, Z., et al. Weights Comparison of Pavement Surface Distress Indexes in China and the US. in Performance Modeling and Evaluation of Pavement Systems and Materials@ sSelected Papers from the 2009 GeoHunan International Conference. 2009. ASCE.
- Miller, J.S. and W.Y. Bellinger, Distress identification manual for the long-term pavement performance program. 2014.
- Juang, C. and S. Amirkhanian, Unified pavement distress index for managing flexible pavements. Journal of transportation engineering, 1992. 118(5): pp. 686-699.
- 交通部臺灣區國道高速公路局「國道經常巡查系統」, 高公局委託大同大學辦理技術服務, 2015~2016。