

柔性路面損壞與維修：

柔性路面損壞型態、原因與損壞維修

1、摘要

瀝青混凝土鋪面又稱之柔性鋪面，為台灣地區大多數公路現行採用之鋪面形式，相較於剛性鋪面而言，柔性鋪面有成本低、易施工、易養護及行車較舒適等特點，但是對於抵抗交通之反覆荷重能力較弱，易受環境溫度影響，故使用一定年限後，路面會產生冒油、車轍或龜裂等破損現象，嚴重威脅到行車品質與安全，因此本報告就柔性鋪面損壞型態、原因及損壞維修等方面加以討論。

本報告內容則是取材自國內外相關資料彙編而成，主要架構是依據美國正在進行的長期鋪面績效研究(SHRP/LTPP)「鋪面調查手冊」，輔以美國聯邦公路總署(FHWA)「鋪面維修技術」訓練教材與國內交通技術標準規範之「公路養護手冊」。

2、柔性鋪面損壞型態

柔性鋪面因常受交通載重因素、材料性質及氣候或環境特性等影響，而降低其服務性，若不及時養護則逐漸擴大損壞面積及程度，嚴重影響交通安全以，以下所討論之破壞形式涵蓋所有柔性鋪面，包括柔性鋪面及剛性鋪面上之瀝青混凝土加封層可能產生之破壞：

a.裂縫：包含疲勞裂縫、塊狀裂縫、邊緣裂縫、縱向裂縫、

反射裂縫、橫向裂縫。

b.修補及坑洞。

c.路面變形：包含車轍、側擠。

d.路面粗糙：包含冒油、磨損、鬆散。

e.其他：包含車道與路肩之高差、唧水或噴泥現象。

以下即針對柔性損壞型態與原因分別加以介紹。

2.1 疲勞裂縫(Fatigue Cracking)

疲勞裂縫主要是由於柔性鋪面承受反覆交通荷重所引起的疲勞性破壞，即是交通反覆荷重造成基層或底層於荷重下的最大張應力及應變，故發生損壞區域常在輪跡處，疲勞裂縫於發展初期只是一些不規則狀的小裂縫，隨著反覆荷重時間的延長，裂縫逐漸相互連結形成如同六邊型鐵絲網狀(chicken wire)或鱷魚皮狀(alligator pattern)之裂縫。

疲勞裂縫的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1.輕度：破壞區域僅有些許輕微的裂縫，並無碎裂或唧水現象。
- 2.中度：破壞區域之裂縫開始相互連結成較為複雜之輕微碎裂狀，此時唧水現象亦未發生。
- 3.重度：破壞區域之裂縫以相互連接成複雜之碎裂狀，其碎塊可能因交通狀況而移動，同時亦產生唧水現象。

其量測方式以 m^2 (或 ft^2)記錄各程度之損壞面積，若損壞區域同時包含有各種程度之裂縫時，則以重度破壞所佔百分比作為評估依據。(如圖一)

2.2 塊狀裂縫(Block Cracking)

塊狀裂縫是路面面層之裂縫互相連結成近似矩形其大小範圍則介於 0.1m^2 至 10m^2 (或 1ft^2 至 100ft^2)，其主要成因是由於熱拌瀝青材料的收縮，及日夜反覆溫差之作用，所引發之反覆的應力、應變造成的，與荷重較無關係，荷重只會增加其破壞程度。

塊狀裂縫的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1.輕度：裂縫平均寬度小於 6 mm，或裂縫填充情況良好亦屬此項。
- 2.中度：裂縫平均寬度小於 19 mm，大於 6mm，或是裂縫平均寬度小於 19 mm，且附近有些許輕度的不規則裂縫者亦屬此項。
- 3.重度：裂縫平均寬度大於 19 mm，或是裂縫平均寬度小於 19 mm，且附近有些許中度至重度的不規則裂縫者亦屬此項。

其量測方式以 m^2 (或 ft^2)記錄其各程度之損壞面積。(如圖二)

2.3 邊緣裂縫(Edge Cracking)

邊緣裂縫只發生於未設有路肩之鋪面，以新月形裂縫或連續之裂縫橫斷鋪面邊緣（從鋪面邊緣往車道中央方向 6ft 之區域），成因常是因為未設路肩導致部份基礎土壤沖蝕，加上交通荷重引起。

邊緣裂縫的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：裂縫未造成鋪面崩壞或材料流失。
- 2、中度：裂縫已造成鋪面些許崩壞及鋪面受影響長度範圍內 10 % 以下之材料流失。
- 3、重度：裂縫已對鋪面造成嚴重崩壞及鋪面受影響長度範圍內 10 % 以上之材料流失。

其量測方式以 m(或 ft)記錄每一程度之破壞長度，但其記錄之總長度不能超過受測區域之總長。(如圖三)

2.4 輪跡處及非輪跡處之縱向裂縫(Wheel/Non-Wheel Path Longitudinal Cracking)

橫向裂縫主要成因是溫差造成瀝青材料表面的收縮、或是瀝青材料的硬化、或是由混凝土版的非接縫處之裂縫反應於柔性鋪面上，此外，縱向裂縫亦可能發生原因為，下面原有路面是一個破損的鋪面結構，然而，此類縱向裂縫並不牽涉荷重因素。縱向裂縫其形式主要是平行於鋪面中心線之裂縫可區分為輪跡處及非輪跡處。

輪跡處及非輪跡處之縱向裂縫的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：裂縫平均寬度小於等於 6 公釐，或是填縫材料行為良好及其寬度無法確定者。
- 2、中度：裂縫平均寬度大於 6 公釐、小於等於 19 公釐，或是裂縫平均寬度小於等於 19 公釐且附近有些許輕度之不規則裂縫者。
- 3、重度：裂縫平均寬度大於 19 公釐，或是裂縫平均寬度小於等於 19 公釐且附近有些許中度到重度之不規則裂縫者。

其量測以 m(或 ft)記錄各程度之裂縫長度，不論是輪跡處或非輪跡處。(如圖四)

2.5 接縫處之反射裂縫(Reflection Cracking at Joints)

接縫處之反射裂縫主要成因是混凝土版因溫差及濕度的改變所造成的移動，而反應於柔性鋪面上，瞭解混凝土版的尺寸則有助於反射裂縫的量測。

接縫處之反射裂縫的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：裂縫平均寬度小於等於 6 公釐，或是填縫材料行為良好及其寬度無法確定者。
- 2、中度：裂縫平均寬度大於 6 公釐、小於等於 19 公釐，或是裂縫平均寬度小於等於 19 公釐且附近有些許輕度之不規則裂縫者。
- 3、重度：裂縫平均寬度大於 19 公釐，或是裂縫平均寬度小於等於 19 公釐且附近有些許中度到重度之不規則裂縫者。

其量測方式為以 m(或 ft)記錄每一程度之橫向裂縫數目及長度，並評估重度裂縫佔總裂縫長度之百分比，且另外記錄填縫情況良好之裂縫長度，其總長度不得超過受測長度之 90 %；而縱向裂縫則是以 m(或 ft)記錄每一程度之縱向裂縫

長度，及記錄填縫情況良好之裂縫長度。(如圖五)

2.6 橫向裂縫(Transverse Cracking)

橫向裂縫主要成因是溫差造成瀝青材料表面的收縮，或是瀝青材料的硬化，或是由混凝土版的非接縫處之裂縫反應於柔性鋪面上。橫向裂縫其形式主要是近似垂直於鋪面中心線之裂縫，但不包括原有混凝土版之接縫處造成之橫向裂縫。

橫向裂縫的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：裂縫平均寬度小於等於 6 公釐，或是填縫材料行為良好及其寬度無法確定者。
- 2、中度：裂縫平均寬度大於 6 公釐、小於等於 19 公釐，或是裂縫平均寬度小於等於 19 公釐且附近有些許輕度之不規則裂縫者。
- 3、重度：裂縫平均寬度大於 19 公釐，或是裂縫平均寬度小

於等於 19 公釐且附近有些許中度到重度之不規則裂縫者。

其量測方式為以 m(或 ft)記錄各程度之數量及長度,以評估整體鋪面重度破壞佔所有記錄之百分比,但不得超過 10%,另外記錄填縫情況良好之裂縫長度,其總長度不得超過受測長度之 90%。(如圖六)

2.7 修補及修補損壞(Patch/Patch Deterioration)(俗稱:補丁)

修補及修補損壞,修補是部份大於 0.1m^2 因特殊理由或破損被移除後,再重鋪或是添加材料於原來鋪面結構之上,而修補損壞則是指前述修補之範圍的破損。主要原因是交通荷重、材料性質或是位於較差結構處。

修補及修補損壞的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級:

- 1、輕度:於任何種類之修補只有輕微的破損。
- 2、中度:於任何種類之修補只有些許的破損。
- 3、重度:於任何種類之修補有嚴重的破損。

其量測方式為以 m^2 (或 ft^2)記錄各程度之數量及面積於受

影響區域。(如圖七)

2.8 坑洞(Pothole)

坑洞主要形成之原因為鱷魚皮裂縫、擴大崩解或凍融循環作用，使鋪面造成破裂形成直徑至少 15 公分之圓形坑洞。

坑洞的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：坑洞深度小於 25 公釐者。
- 2、中度：深度介於 25 公釐至 50 公釐者。
- 3、重度：深度大於 50 公釐者。

其量測方式為以 m^2 (或 ft^2)記錄每一程度之坑洞數量及面積於受影響區域，而深度則是記錄該區之最深深度。(如圖八)

2.9 車轍(Rutting)

車轍其主要之成因為瀝青混凝土在過熱的氣候下成為可塑性、或是結構經過不適當的壓實。其破壞形式為輪跡處之縱向下陷，通常連帶著橫向下陷。其判定方法並沒有合適的界定範圍，原因是以程度界定之方法並無法精確地描述其破壞狀況，倒不如直接由量測數據加以判定其嚴重程度。其量測方式為：以剖面儀沿車行方向，每隔 15m 記錄橫斷面狀況單位為 mm。(如圖九)

2.10 側擠(Shoving)

側擠是鋪面之局部區域所產生的縱向變形，常由於突然的車輛加速或是剎車，導致面層材料與底層材料間受剪力而形成，常發生於上下坡、彎道或十字路口處，此類破壞亦連帶垂直變形。其破壞程度並沒有明顯之界線，評估其程度完全由行車品質好壞加以判定。其量測方式為記錄其出現之數量及以 m^2 (或 ft^2)記錄其破壞面積於受影響之區域。(如圖十)

2.11 冒油(Bleeding)

冒油是由於柔性鋪面中瀝青材料過多、孔隙太少，而在鋪面表層形成一光滑薄膜，且此情形是非可逆性，於較冷的季節裡，只會越積越厚降低鋪面之抗滑能力。其現象是鋪面有光澤，摸起來有黏滯的感覺，此現象常發生於輪跡處。

冒油的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：鋪面之表層部份區域，因過多瀝青材料的剩餘而使該區鋪面顏色與其他區域不同。
- 2、中度：鋪面因過多的瀝青材料而喪失了表面紋理。
- 3、重度：鋪面表層因過多的瀝青材料變得有光澤，且粒料變得模糊，於較溫暖的天氣時輪胎痕跡會變得很

明顯。

其量測方式為：以 m^2 (或 ft^2)記錄記錄各程度之面積。

2.12 粒料磨損(Polished Aggregate)

粒料磨損其主要成因是不斷地承受交通之反覆荷重而使黏結材損耗，迫使面層骨材明顯突出，增加鋪面之粗糙程度，尤以輪跡處更為明顯。其破壞程度並無明顯之界定，完全由鋪面面層之摩擦力大小加以評定。其量測方式為：以 m^2 (或 ft^2)記錄其面積大小於受影響區域。

2.13 鬆散(Raveling)

鬆散其主要成因是因為瀝青材料與骨材分子間之剝脫、或流失、或瀝青材料之硬化加上受交通荷重影響而使鋪面表層磨損，骨材粒料移動。

鬆散的破壞程度可區分為輕度、中度、重度三級：

- 1、輕度：骨材及黏結材開始受磨損，但並無重大進展，此時有些許細粒料流失。
- 2、中度：骨材及黏結材開始受磨損，鋪面之表面紋理變得粗糙具些許凹動痕跡，通常骨材分子間會開始鬆動，此時細粒料與些許較粗骨材開始流失。
- 3、重度：骨材及黏結材受磨損，而使鋪面之表面紋理變得非常粗糙且具凹洞痕跡，此時較粗之骨材流失。

其量測方式為：以 m^2 (或 ft^2)記錄各程度之面積於受影響之區域。

2.14 車道與路肩之高差(Lane-to-Shoulder Dropoff)

車道與路肩之落差其主要成因為路肩因過度壓實、下陷或因唧水現象，使得底層粒料流失，造成車道與路肩的落差。其破壞程度並無明顯之界定，原因是以程度界定之方法並無法精確地描述其破壞狀況，倒不如直接由量測數據加以判定其嚴重程度。其量測方式為：每隔 15m 記錄車道與路肩之高差，若車道高程低於路肩高程則記為(-)，反之則為(+)，單位為 mm。(如圖十一)

2.15 唧水及噴泥現象(Water Bleeding and Pumping)

噴泥及唧水現象主要成因是水經由裂縫滲入至底層，加上不斷的交通荷重之碾壓，造成支撐材料中的細粒料的擾動，當水分足夠又遭受重壓時細粒料即隨著水噴出，而造成細粒料之流失。其破壞程度並沒有明顯界定，原因是噴泥及唧水現象之嚴重程度常隨濕度之改變而變化。其量測方式是記錄其發生數量，並以 m(或 ft)記錄受影響之鋪面長度。

除了上述幾種常見之柔性鋪面破壞形式外，另有：路面

焦化(Char)、隆起(Upheaval)、波浪形路面(Corrugation)、溜滑裂縫(Slippage Cracks)、凹陷(Depressions)及風化(Weathering)等破壞形式存在。

3、柔性鋪面損壞維修

凡柔性路面發現有坑洞、裂縫及鬆散等各類破壞時，應及時加以修補，其維修方式一般以下列基本步驟決定修補方式：

- A、損壞狀況之調查。
- B、推斷引起破壞之原因。
- C、判斷是否維修若需要則需訂定維修時間。
- D、維修方式及施工規範的訂定與交通管制措施的擬定。
- E、實施維修。
- F、維修效果評估與追蹤調查。

維修方式可分為預防性及矯治破壞式之維修方式，在進行鋪面維修的工作時，有許多方式供工程師選擇，其選擇依據端看破壞形式、維修經費等相關因素加以決定，一般而言，柔性鋪面於台灣地區常用之維修方式有下列幾種：

- A、填封(Seal)
- B、修補(Patching)
- C、加鋪(Overlay)
- D、重建(Reconstruction)

對於維修方式若能善加選擇，不僅可達到維修效果，更能節

省龐大的工程經費，以下就上述常用之維修方法作一介紹：

3.1 填封(Seal)

柔性路面之裂縫填封步驟與剛性鋪面類似，但是設備及填封料均不同，一般而言，填封此類修補方式常用於縱向裂縫、橫向裂縫、不規則狀裂縫及因接縫引起之反射裂縫的修補，而較輕微之疲勞裂縫、塊狀裂縫有時亦採此方法修補，然而，中度破壞以上之疲勞裂縫、塊狀裂縫則不考慮此種方法。

一般填封程序可依下列步驟實施：

- 1.將舊有之填封料移除。
- 2.裂縫的修護：當裂縫寬度大於 3/4 英吋或裂縫中夾有碎裂之材料時，於填封之前需先行修護以免裂縫繼續惡化。
- 3.以高壓空氣清除裂縫中之塵埃、污物及裂縫碎裂物，以增加填封料與裂縫之黏結性。
- 4.使用瀝青材料或高分子聚合物等材料加以填封，並於填封完後，將乾砂撒洒於填封料之表面，以免車輛經過將填封料帶走。

3.2 修補(Patching)

一般而言，修補常使用於坑洞修補或較嚴重之疲勞裂縫、塊狀裂縫及鋪面邊緣破損之維修，可分為部分深度及全深度修補兩種。

一般的修補維修程序可依下列步驟實施：

- 1.確認修補範圍。

- 2.挖除破壞部份：將破壞部份垂直下挖成為矩形，切割線應較破裂線大 10 至 15 公分。
- 3.清除洞內鬆散之材料，以增加修補材料與原有材料之結合程度。
- 4.沿著垂直面、底面塗佈一層透層，以增加修補材料與原有材料之黏結力。
- 5.將填補材料填滿於洞內，使之略高於周圍原始路面。
- 6.使用壓路機來回滾壓至與原路面等高。
- 7.人工修飾，將散落之填補粒料清除以維持施工現場乾淨。

3.3 加鋪(Overlay)

於原有之路面上重新鋪築一新的鋪面，以增加鋪面結構抵抗交通之反覆荷重能力，提供用路人一安全、舒適之服務，加鋪常使用於修補嚴重的疲勞裂縫、塊狀裂縫、車轍及鬆散等破壞，其加鋪方法可參考 AASHTO 加鋪設計法、AI 加鋪設計方法或 PCA 加鋪設計法，在此就不多作討論。

3.重建(Reconstruction)

重建常用於路面損壞之面積大，而無法使用其他方式加以修補者。於重建前須先研究其原因，若是由於基礎不良者，則須重新設計基礎厚度，將底層材料挖至設計深度，再分層鋪設適宜材料，每層厚度應不超過 10 公分，並控制適當水分，以重型壓路機予以滾壓至所需密度。

若是屬於排水不良者，則須先解決排水問題，通常使用暗管、暗溝等，以降低地下水，使路面保持乾燥，面層之修

補須設法將破裂部份全部挖除，挖除時可使用平路機、人工或使用烤面器，將路面烘烤使其軟化再行挖除，挖除部份須先塗以結合料以增加新料與舊料的黏結，再使用與原路面相同材料，配合適當的施工機械修築之。

除了上述方法是較為常用之外，亦有其他維修方式修補柔性路面之破損，如：解決冒油情形，則可以在柔性鋪面上，灑上適量的砂及骨材，再使用壓路機進行滾壓、瀝青再生(Recycle)，於台灣地區有其發展潛力，但現行仍屬評估階段、.....等等不同方式。

4、結論

由上述所知柔性鋪面之破壞形式及原因不外乎下列材料因素加上交通特質及外在環境改變所造成：

- A. 龜裂及裂縫：由於瀝青混凝土之勁度(Stiffness)、柔性(Flexibility)及耐久性之不足，主要是因為瀝青混凝土在拌合及滾壓時稠度太大；柔性路面溫度偏高或過低；瀝青材料含量不足；以及粒料之表面積及密度不合。
- B. 變形：由於柔性路面穩定性不夠，路面厚度不足，及路面面版作用之強度不夠所引起。
- C. 分離：由於瀝青混凝土中瀝青含油量不足，或是瀝青材料變質脆化；其他尚有粒料間孔隙不足及親水性較強所引起。

然而，在台灣地區之柔性鋪面的破壞主因，通常是交通

量已經超過負荷，加上氣候屬於溫暖多雨，而使柔性鋪面的使用年限大幅縮短。因此，維修及養護也就相形重要，鋪面的維修與養護對於工程師而言是一門「藝術」，不單單只是維修而已，這其中還要同時考慮破壞原因、維修方式、維修經費，並使所有考慮因素相互配合以求得一個最佳組合，使鋪面之服務年限提高，維修經費使用最少，故這一切端看工程師之經驗與素養加以判斷。

5、參考資料

- 1、 SHRP, "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project" SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1993
- 2、 ASTM, "1993 Annual Book of ASTM Standards" Volume 04.03: "Road and Paving Material; Pavement Management Technologies" ,1993
- 3、 Darter, M. I., and S. H. Carpenter, "Techniques for Pavement Rehabilitation" Participant's Notebook, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, National Highway Institute, Third Revision, October, 1987
- 4、 Huang, Y. H., "Pavement Analysis and Design" Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993
- 5、 M. Y. Shahin, "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots" Chapman & Hall, 1994

- 6、交通部，“交通技術標準規範公路類公路工程—公路養護手冊” 幼獅出版社，民國七十八年六月。
- 7、蔡攀鰲，“公路工程學” 國立成功大學土木工程學系，民國八十一年八月。
- 8、侯威銘，“土木工程材料學精要” 文笙書局，民國八十四年。