

3. 剛性路面之使用績效

無論剛性或柔性路面，其功能主要為提供一平坦、舒適及安全之行車路面，目前對於路面使用績效觀念之考慮，包括了結構績效、功能(或服務)績效以及安全性。

3.1 路面結構績效

路面結構績效與路面本身狀況有關，例如裂縫之發生、斷裂(Faulting)、鬆散(Raveling)及其他狀況，均會對路面結構之承受荷重能力有不利影響，而必須加以維修。

3.2 路面功能績效

路面功能績效係指路面對使用者所能提供之服務狀況。行駛之舒適程度或行駛品質為其主要特性。為求能將行駛之舒適程度量化，乃依據美國州際公路及運輸官員協會之道路試驗(AASHO Road Test)，發展出“服務性—績效”(Serviceability-Performance)之觀念。此觀念主要基於下列之基本假設：

- (1)公路係為求運輸大眾(使用者)之舒適及便利而設；
- (2)舒適及行駛品質為使用者之主要反應或觀念；
- (3)服務能力可以公路使用者所給予之評估表示，而稱之為服務能力評估；
- (4)路面之物理特性可由客觀量度並可與一主觀之評估有關，此過程所產生之結果為一客觀服務能力指數(Serviceability Index)；
- (5)路面使用績效可以一路面之服務歷史作為代表。

路面服務能力可由現有服務能力指數(Present Serviceability Index, PSI)表示，PSI值範圍由0至5，其中5表示最高服務能力指數。PSI係由路面服務期間內某一特定時間所量測得之路面粗糙度及路表面之破壞(例如破裂及修補等)。粗糙度為估計PSI值之主要因素，因此可靠之測量粗糙度方法，對監測路面使用績效非常重要。

以下為依據AASHO道路試驗並針對剛性路面所發展出之公式：

$$PSI = 5.41 - 1.78 \log(1 + sv) - 0.09 \sqrt{c + p}$$

sv：用以總結統計由縱向剖面儀(Profilometer)所量測之輪跡粗糙度。

c：每1000平方呎路面表面積中縱向、橫向及不規則方向之裂縫長度[呎]。

p：每1000平方呎路面面積中碎裂及需修補之面積[呎]。

上式中，粗糙度為影響PSI值之最重要因素，亦為路面設計之重要考慮因素。由於粗糙度之變化控制路面之使用年限週期，因此施工品質將影響設計路面之使用績效及使用年限週期。路面之初始平坦度為規劃、設計、施工時之重要考慮因素。舉例而言，一個平坦或原始PSI值為4.5之路面，較一原始PSI值為4.0之路面明顯地具有較長之使用年限週期，因此，路面施工之

品質控制將對路面使用年限週期及其績效有莫大之關係。

自從 AASHO 道路試驗計畫採用績效觀念及 PSI 方程式之後，服務能力觀念及路面使用績效之評估已幾乎為歐美大多數公路管理單位所引用，並納入路面設計之中。至目前為止，下列各因素大致被公認為對剛性路面使用績效有所影響：

- 粗糙度
- 防滑阻力
- 修補
- 剝落(縱向接縫、橫向接縫、角隅)
- 裂縫(縱向、橫向、對角)
- 唧水現象
- 斷裂(縱向接縫、橫向接縫)
- 剝落、龜裂及裂隙
- 車道／路肩接縫分離
- 車道／路肩上下錯動
- 接縫填充物破壞

上述各種破壞，大多肇因於路面結構設計不足、施工品質不良、荷重過度及維護不當等因素。

4. 剛性路面之破壞型態及其原因

本節將就接縫式混凝土路面 (JCP) 各種破壞型態及其原因分別加以說明如下：

4.1 裂縫 (Cracking)

裂縫之型態，可為混凝土版裂開連續或不連續裂縫，亦可為拘束於一有限面積內之不規則裂縫、或為一呈均勻分佈之型態。裂縫之型式及位置可作為探討破壞原因時極為有用之指標。

圖 4.1a 表示混凝土版中三處發生典型橫向裂縫之位置。發生於版中央之橫向裂縫，一般歸因於由溫度與水份之改變加上荷重之作用而產生之版塊移動。寬度為 3.6 公尺之路面版，在沒有做橫接縫時，約每隔 6 至 7 公尺即可能發生一橫向裂縫，因此如接縫間距大於 6 至 7 公尺時，將發生不止一處之橫向裂縫。

不連續之角隅裂縫(圖 4.1b)及橫向裂縫若發生於距接縫 2 至 3 公尺以內之位置時，經常為由於接縫處之路基支承力不足所致。另一方面，橫向裂縫若發生於距接縫 0.3 公尺以內者(如圖 4.1a 右側)，則可能因為鋸縫時機太晚或縫槽深度不足所致。發生於混凝土版角隅之網狀束縛裂縫 (Restraint Cracking) (如圖 4.1c 左側)，則表示在接縫處有頗大之壓力存在。此種束縛裂縫為主要接縫破壞型式之一種，如其發展至深層，則可使受影響面積之混凝土破裂瓦解。束縛裂縫亦有以單一裂縫出現於輪跡中(如圖 4.1c 右側)，此種裂縫將延伸至路面版之邊緣，出現如不連續角隅裂縫之破壞型態(如圖 4.1b)。

圖 4.1d 表示一種稱為 D - 裂縫之破壞型態，此種破壞型式主要因為某一類粒料在潮濕之情

況下與水泥內之鹼性成份產生物理變化所導致，此種粒料與水泥內鹼性成份之物理及化學作用稱為鹼粒料作用 (Aggregate-alkali Reaction)。此種破壞之徵兆為主要裂縫或鄰近接縫之混凝土路面褪色，其褪色之原因為石灰 $[Ca(OH)_2]$ 自微細裂縫中滲出，石灰與空氣接觸而碳化，在交通量低之路面仍為一灰色之沉積；惟於交通量高之路面則擴散至路面表面而形成一光滑之薄膜。此種裂縫之發展，起初為一些細密間距且相互平行之裂縫沿橫向接縫產生，而後至角隅附近並沿縱向接縫及路肩邊緣發展。此種裂縫最後可能由邊緣向內擴展而使全部路面版均受影響。在“D”裂縫嚴重之階段，不僅接縫附近之混凝土因車輛之作用而粉碎或移除，嚴重時，縱縫筋亦將自損壞之混凝土中鬆脫，而使混凝土面版斷裂。

縱向裂縫(如圖 4.1e)一般平行於路面中心線。常見之發生原因為縱向接縫之施工不當、以及由於重車輪壓之重複作用、基礎支承力喪失，或溫度和水份變化等因素相互影響所產生之應力所致。

4.2 剝落 (Spalling)

剝落為由鄰近接縫邊緣之部份路面混凝土之分離所造成(如圖 4.2 所示)。剝落之厚度在接縫邊緣一般為 25 公分至 50 公分，並向接縫兩側逐漸變薄。剝落經常由以接縫為起訖點之裂縫首先顯示出。

4.3 路面移動 (Pavement Movement)

路面版產生沿縱向移動之趨勢，係表示有一縱向之高壓力存在於接縫式路面中。在溫度和含水量達高點時，路面版達到其最大長度，此時所產生之壓力亦最大，此壓力將迫使混凝土版塊產生互相擠壓，如縮縫間隙無法吸收此擠壓時，版塊間之接觸面間將產生極大之壓力。

在距自由端超過 200 公尺之路面中，此極大之混凝土版塊接觸面間之壓力，經常以混凝土版破裂隆起(如圖 4.3)或壓力破壞(如圖 4.4)達到壓力釋放之目的。當隆起發生於接縫或橫向裂縫附近時，路面將其下之路基擠壓升起，而形成與柱在受壓下產生屈曲 (Buckles) 類似之現象。此屈曲作用將使混凝土版，在距隆起中心兩側數呎處，產生撓曲破壞 (Fail in Flexure)，其原因可能由於路面橫向裂縫之發生或由於接縫之鉸接作用。隆起之發生可能慢至 1 至 2 小時，亦可能伴隨一爆炸力而突然發生。壓力破壞之形成，為混凝土版塊間之極大壓力，在不產生屈曲之情況下，經由混凝土之碎裂而達成壓力之消散，此種壓力破壞將導致接縫或裂縫處之嚴重損壞。一般而言，壓力釋放多為隆起及壓力破壞之混合，而隆起及壓力破壞之早期均可能發生剝落及縱向裂縫。

在與橋樑相接之路段，除非以伸縫釋放壓力或以錨定加以防止，否則橋台路面版之縱向移動將造成對橋台之壓力。若這些設施失去功效，則路面版將封閉伸縫對橋台所提供之伸張空間，使橋台之頂端發生剪斷破壞而使整座橋台傾倒。

4.4 斷裂 (Faulting)

斷裂為一種由輪壓所產生之接縫破壞。當接縫兩側路面版之高程不一，如圖 4.5 所示，較低

一端之路面版經常為車輛經過接縫後所接觸之一側。由於唧水現象會使細料堆積於接縫附近之表面，因此除非斷裂伴隨唧水現象發生，否則斷裂發生初期並不易察覺。此係由於唧水現象會使細料堆積於接縫附近之表面。縱然如此，斷裂高程差大於 1 至 2 公釐時，因車胎衝擊所產生之噪音已可被察覺；如高程大於 3 公釐時，就行駛品質而言，已足以產生使乘車者無法接受之振動。

斷裂經常因路肩下方之路基材料被侵蝕，而於縱向車道與路肩之間發生(如圖 4.6)。此種破壞有時係因路肩下方之高含水量路基材料，在冰凍作用下導致路肩隆起，而使路肩高程高於車道。

除非產生斷裂之原因得以改善，否則兩相鄰版間之高程差通常將逐漸增大，使接縫中之填縫料因接縫面垂直移動而產生剪力破壞，並使水份及其他固體材料進入接縫中，導致破壞加劇。過度之斷裂，最後將導致路面版之橫向或角隅破裂。

4.5 車道—路肩分離(Lane-shoulder Separation)

如圖 4.7，當鄰近之路肩填土由於壓實不良、土壤中含水量過高、排水不良或其他因素，而導致不穩定時，路肩將自車道往外移動，此種情況如不立刻加以改正，表面水份將由分離處進入路基而加速路基之侵蝕。

4.6 路表面缺陷(Surface Defects)

路表面缺陷，往往導致粗糙之行駛路面及防滑阻力之降低，並造成安全之危害及使用者成本之增加。正確地修復這些缺陷極為重要，以維持所需之服務能力及減緩路面之進一步破壞。

(1) 磨光(Polishing)：

路表面粗粒料偶而會形成一光滑面，此係由於粗粒料之磨耗阻力大於水泥砂漿，粗粒料暴露在車輪之磨光作用下，使抗滑阻力降低。

(2) 粗粒料之移失(Loss of Coarse Aggregates)：

粗粒料顆粒有時會自路面移失，其可能發生之原因為：

- a. 由於裹覆不足，粒料與水泥砂漿之間缺乏黏結力；
- b. 施工設計或程序不良使粒料過多或配比不當；
- c. 顆粒本身因荷重或自然因素碎裂，使得鬆動之碎片為車輛所帶離；
- d. 具高吸收率、易破裂及分離之顆粒，如火山岩和頁岩，於重復之冰凍及融解作用下使顆粒分解；

中度粗粒料移失(外貌可見缺口斑點及其間有明顯空隙出現)，經常重覆發生在固定間距之位置。

(3) 坑洞(Pot Holes)：

常見於裂縫及鬆散之後期，材料移失之深度較深，但侷限於某一路段中，其可能發生之原因為：

- a. 車輛作用配合環境因素、不當之配合設計及配比而導致分離瓦解；
- b. 鬆軟骨材、黏土或其他外來鬆軟材料之粒徑過大；

c. 鋼筋過於接近表面；

(4) 表面剝落(Scaling)：

混凝土路面之剝除脫落稱為表面剝落，路面表面任何位置都可能發生，導致表面剝落之原因可能為：

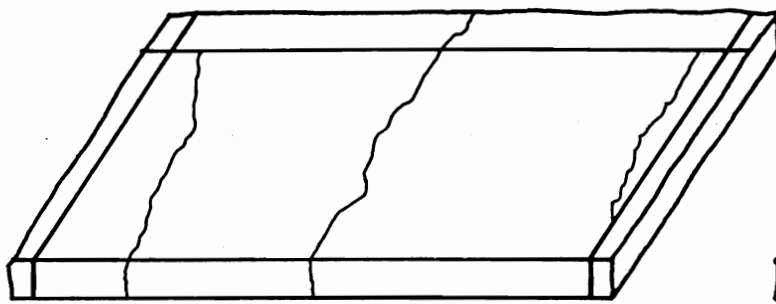
- a. 凍融及防結冰化學物質對於非輸氣混凝土之效應；
- b. 過濕之配比而於表面形成乳沫；
- c. 在未養治完全表面所發生之冰凍作用；
- d. 過度終飾所形成之弱面；

(5) 鬆散(Raveling)：

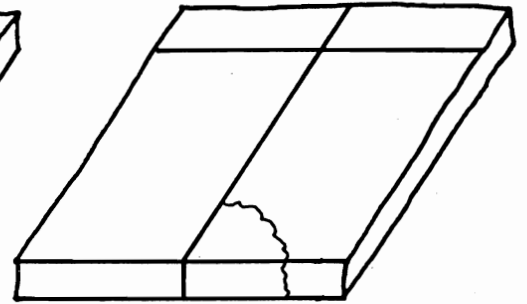
鬆散為細粒料自組織中移失，與表面剝落為不同之型式，可由視覺上分辨其差異。表面剝落為點狀，鬆散則經常連續發生於受影響之路面上。外型上，混凝土路面之鬆散猶如瀝青路面表面之鬆散現象，於輪跡之位置最為嚴重，鬆散之可能發生原因為：

- a. 細粒料品質不良
- b. 粗粒料與水泥砂漿間鍵結不良
- c. 凍融及防結冰化學物質對於輸氣混凝土之效應
- d. 在未養治完全表面所發生之冰凍作用
- e. 車輪所造成，如釘輪(Studded Tires)。

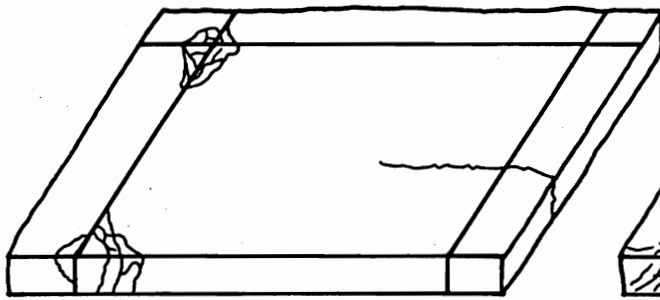
在許多舊混凝土路面中，在車輪痕跡中常可發現每間隔一定距離即出現之嚴重鬆散現象。



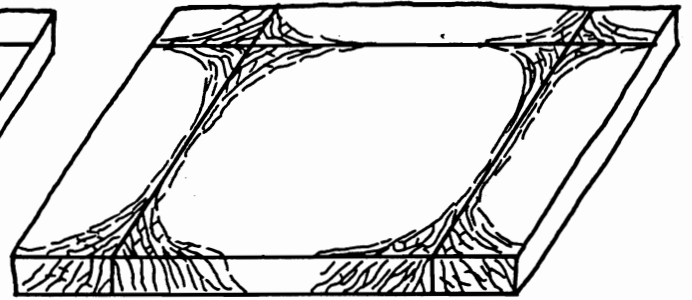
(a) 橫 向



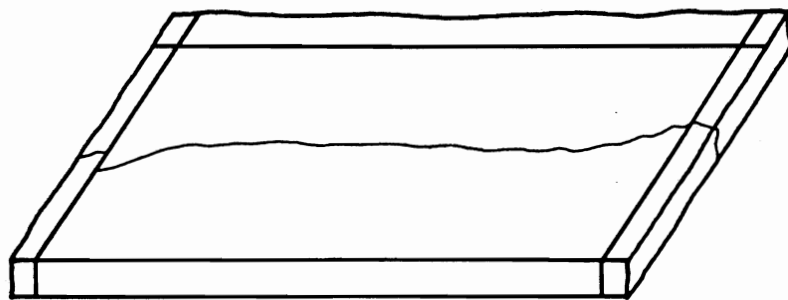
(b) 角 隅



(c) 邊 緣



(d) D-裂 縫



(e) 縱 向

圖 4.1 剛性路面各種裂縫型態

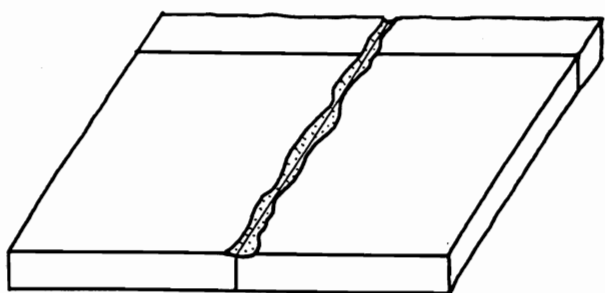


圖 4.2 剝落 (Spalling)

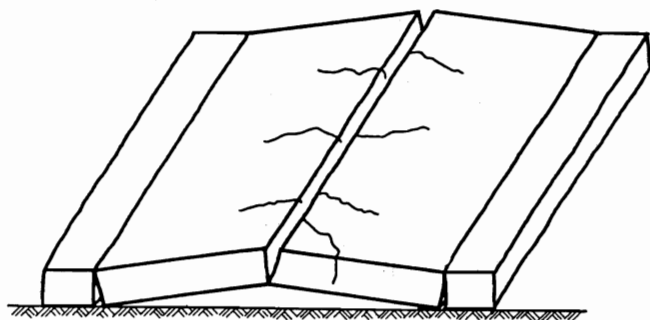


圖 4.3 隆起 (Blow - up)

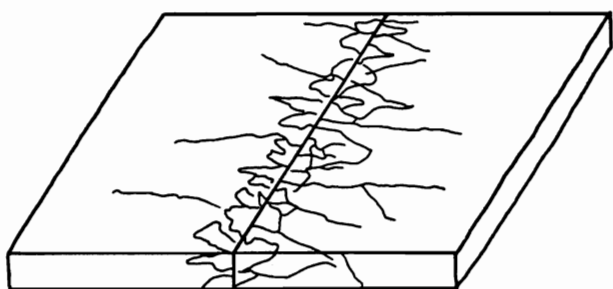


圖 4.4 壓力破壞 (Compression Failure)

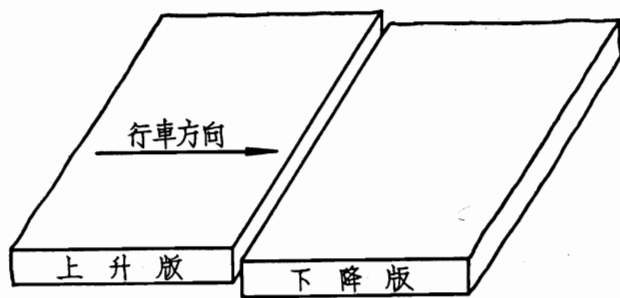


圖 4.5 橫向斷裂 (Faulting)

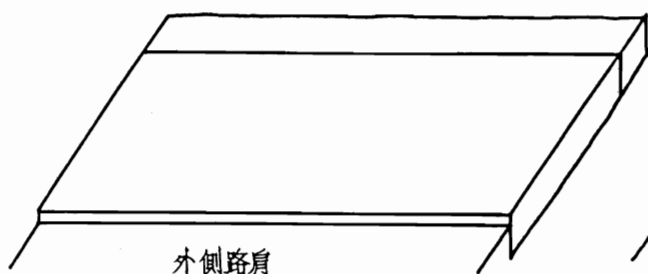


圖 4.6 縱向斷裂 (Faulting)

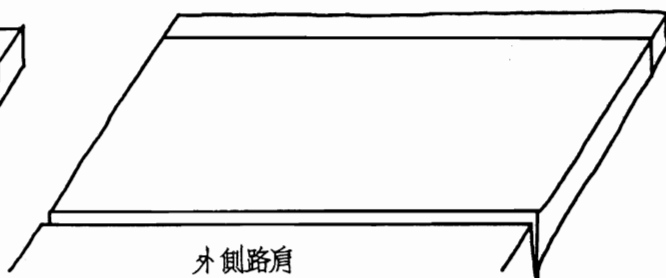


圖 4.7 車道-路肩分離

5. 影響接縫式混凝土路面使用績效之因素

美國伊利諾大學最近在美國公路合作研究計劃 (National Cooperative Highway Research Program) 下，進行一項名為「全國波特蘭水泥混凝土路面評估系統之發展」(Development of a System for National Evaluation of Portland Cement Concrete Pavement) 的研究，確認許多影響接縫式混凝土路面破壞及使用績效之因素，其中較為明顯者包括：

- 交通狀況
- 波特蘭水泥混凝土路面厚度
- 波特蘭水泥混凝土強度
- 基層之型式及性質
- 綴縫筋之使用及其大小尺寸
- 路基土壤之型式及性質
- 冰凍作用
- 降雨量

上述因素對混凝土路面所造成之主要損害，說明如下：

5.1 唧水現象 (Pumping)

唧水現象對混凝土路面之破壞速率有嚴重影響，路面版或基層下之細料被唧水現象帶出路面後，將使路面版產生裂縫或斷裂。圖 5.1 顯示各種不同因素對唧水現象之影響。

混凝土路面版厚度與唧水現象有明顯之關係，此可能是由於版厚度與路面撓度 (Deflection) 之密切關係，而路面撓度正為唧水現象構造作用之一部份。路基之粗顆粒土壤可減少唧水現象，反映了粗顆粒基礎自路面結構排除自由水份之功能。一般地下排水目的亦在於減少唧水現象。一般而言，降雨量增加，唧水現象也隨之增加。

5.2 接縫斷裂 (Joint Faulting)

圖 5.2 為接縫斷裂與單軸荷重當量 (EASL) 之關係圖表，顯示不同變數對斷裂之影響，由圖中可得知一些重要之設計因素。綴縫筋直徑為斷裂之主要影響因素，此係由於混凝土和綴縫筋間之承載應力隨綴縫筋直徑之減小而迅速增加，導致包圍於綴桿四周之混凝土磨損並產生鬆脫。圖 5.2 顯示不同之粒料或穩固處理基層及使用綴縫筋與否之組合對斷裂的影響。

較厚之路面版較少發生接縫斷裂，可能因為較厚之路面版產生較少之彎曲或撓度，因而減少發生唧水現象之潛在可能。

另一值得提出說明之現象是：使用繫接波特蘭水泥混凝土路肩之路面，其斷裂發生之情形減少一半 (惟僅依據有限資料)。此係由於繫接混凝土路肩可減少角隅之撓度，因此可減少唧水現象之發生。同時也因為繫接混凝土路肩可維持較佳之接縫水密性，亦可減少水份滲入路面結構內之機會。

5.3 接縫破壞(Joint Deterioration)

各種設計上及氣候上之變化因素對接縫破壞之影響如圖 5.3 所示，其中對接縫破壞最甚者，莫過於“D”裂縫或活性粒料(Reactive Aggregates)。

當類似 D 裂縫之破壞未發生於混凝土路面中時，間距較短之接縫式混凝土路面通常不致產生太大之破壞，然而，使用腐蝕性填縫材料會產生嚴重之後果。

在接縫式鋼筋混凝土路面(JRCP)中，接縫間距對每哩產生接縫破壞之數目有極大之影響。一般公路單位所建議採用之 40 呎間距，其每哩所產生之嚴重接縫破壞較採用其他間距者為多。由資料顯示，採用 27 呎之接縫間距將可得到最佳之長期使用績效，此項發現尚須更多數據以確定之。填縫材料之選用及維護不當對接縫破壞之影響亦頗為明顯。

5.4 路面版破裂(Slab Cracking)

影響路面版破裂之各種因素之敏感程度如圖 5.4 所示。厚度為影響路面版破裂之主要設計參數，此乃因版厚對應力有明顯之影響，此應力可以 Westergaard 之邊緣應力加以模擬。就接縫式混凝土路面而言，一典型之 8 吋厚路面於五百萬次單軸荷重當量(ESAL)作用後，路面版將迅速損壞；但 11 吋厚之路面版在相同之 ESAL 作用下，則無明顯之裂縫產生，直到超過兩千萬次之 ESAL 作用後為止(兩千萬次 ESAL 屬極大之交通量)。縱縫筋之腐蝕將導致接縫之鎖定而產生新的裂縫，加上高交通量之破壞，將使鋼筋破裂而成一工作裂縫(Working Crack)。波特蘭水泥混凝土之破裂模數(Modulus of Rupture)之減低對路面版之影響極為嚴重，尤其在應力與破裂模數之比值接近某一臨界水平時。對許多混凝土路面而言，破裂發生於破裂模數降至 6000psi 以下時，此反映出一旦應力與破裂模數比值接近某一臨界值時，混凝土將發生疲勞(Fatigue)破壞。

由於粗顆粒路基土壤排水性較細顆粒土壤為佳，因此可減少唧水現象及支承力損失，因而減少破裂。

5.5 現有服務能力評估(Present Serviceability Rating, PSR)

PSR 實際上係量度各種不同破壞型態及路面粗糙度相關因素之混合影響。

其部份結果如下：

- (1) 路面版厚度對評審路面服務能力之降低情形有明顯之影響；
- (2) “D” 裂縫使路面服務能力嚴重且快速降低；
- (3) 唧水現象使路面服務能力明顯降低；

圖 5.5 為各種不同接縫式混凝土路面設計之 PSR 預測曲線；包括分別位於美國四個州之四種相同的路面設計(如相同之路面版厚、接縫、底層及混凝土強度)。

圖 5.5 顯示位於加州之接縫混凝土路面，較位於伊利諾州之同型路面使用時間為長，此種使用績效之差異主要為溫度及水份狀況之不同。同樣地，位於喬治亞州之路面，其使用時間較位於加州者為短，或許因為喬治亞州具有較高水份。