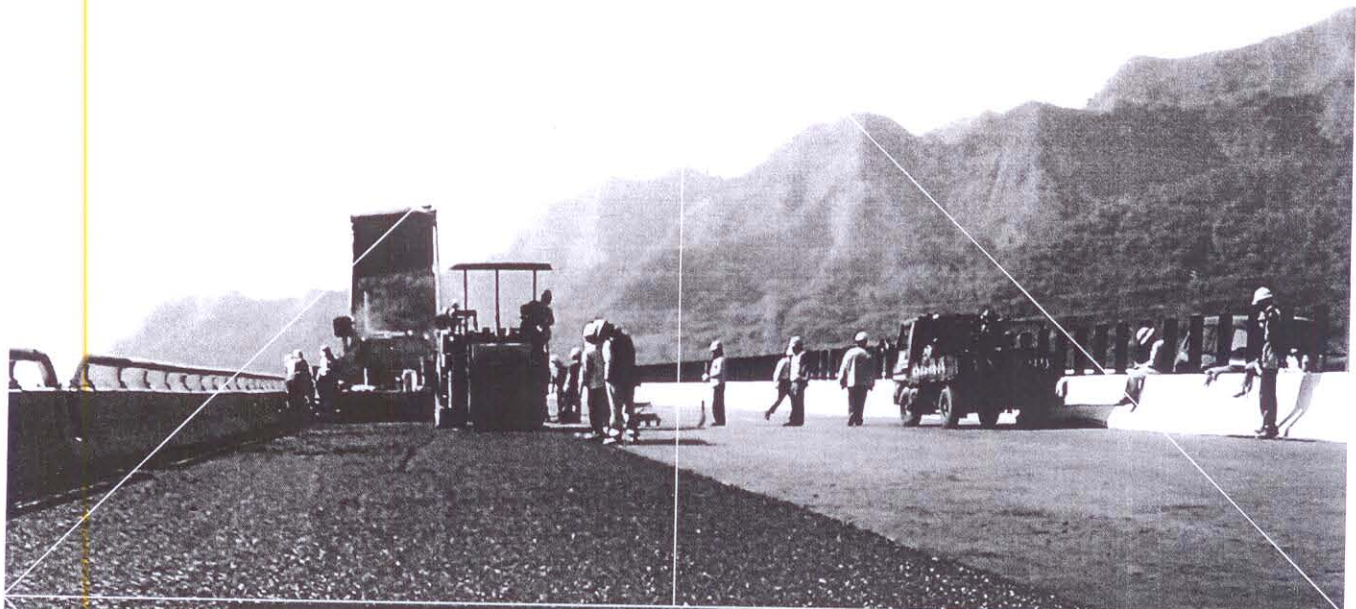


土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

August
2010



ISSN 0253- 3804



NT\$200



Volume 37, No. 4

中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

鋪面工程專輯

CECAR 5 雙首獎

獎落台灣：陳振川獲
「土木工程成就」首獎
高鐵工程得傑出
土木工程師計畫首獎

土木水利

雙月刊 第三十七卷 第四期

目錄

CECAR 5 特別報導

- ☐ 雙首獎獎落台灣 —
陳振川獲土木工程成就首獎
高鐵路得傑出土木工程計畫首獎
- ☐ CECAR 5 於澳洲 • 廖慶隆理事長率42人團參加

何金駒 1
4



建築意象

- ☐ 「逐、建築」
誰讓建築舞動起來?
淺談法蘭克·蓋瑞 (Frank Owen Gehry) 的解構性建築 (下)

黃淑珠 5

鋪面工程專輯 (國立成功大學土木工程系策劃)

專輯序言 近代鋪面工程技術

陳建旭 8

鋪面規劃

- ☐ 導入成效式契約以提昇鋪面養護效率
- ☐ 剛性機場道面整建芻議
- ☐ 鋪面調查及整建策略評估 — 以馬公機場為例

邱垂德 / 楊智誠 / 王明德 / 徐景文 10
李英豪 / 周家蓓 / 陳建旭 18
宋克勤 / 賴仲柏 / 楊介碩 / 梁 能 26

剛性機場道面整建芻議

李英豪／淡江大學土木系教授、中華鋪面工程學會工程技術委員會委員

周家蓓／國立臺灣大學土木工程學系教授

陳建旭／國立成功大學土木工程學系教授

鋪面依其面層構造不同主要可分為柔性鋪面與剛性鋪面兩大類。柔性鋪面主要由瀝青混凝土面層、底層、基層、與路基土壤所組成。剛性鋪面則是由波特蘭水泥混凝土面版、基層、與路基土壤所組成。剛性鋪面較柔性鋪面具有較高之彈性模數與較強之承載能力、與高服務績效等優點，可將面版上方傳下的壓力分佈至較大範圍之路基土壤上，其結構能力受路基強度之影響亦較小。一般而言，剛性鋪面勁度強、耐久性佳、但施工期較長、維修較困難，而柔性鋪面則是施工期短、維修較容易、但勁度較弱、耐久性較差。剛性鋪面加建基層主要目的在提供較佳之工作面並防止唧水作用，並非完全為了增加鋪面之結構能力。因此，我國機場鋪面之原始型式大多採用剛性鋪面；為承受日益增加之交通量與高荷重，近年來在公路上亦逐漸增加剛性鋪面路段。

剛性鋪面因受到各種交通荷重、材料、天候與環境等內外因素之影響，會在鋪設完成後隨時間增加而逐漸產生各種不同之損壞。而設計不當、不良材料或施工技術不良、排水不良、粒料性質、及粒料間的連鎖作用，亦會使鋪面損壞增加或惡化。剛性鋪面主要損壞型態包括裂縫、接縫損壞、表面損壞、及其他等類型。國內較常見之剛性鋪面損壞型式包括：角隅斷裂、縱向裂縫、橫向裂縫、接縫填縫料破壞、接縫碎裂、高差、修補／修補損壞、與唧水現象等。剛性鋪面各種損壞型態與成因各異，可適用之維修與補強工法亦不盡相同。

因此，交通科技顧問室近年曾委託中華鋪面工程學會完成「剛性鋪面維護及補強技術之研究」[1]，並研擬出填縫、減壓接縫、部份厚度修補、全厚度修補、

版塊穩定和版塊頂起、表面刨磨及刮槽、荷重傳遞修復、增設邊緣排水系統、快速剛性鋪面鋪築技術、再生混凝土鋪面、水泥混凝土加鋪鋪面、與瀝青混凝土加鋪鋪面等 12 項維修工法。鑒於我國機場鋪面已近使用年限，近期亦曾積極研擬機場整建計畫 [2~5]，本文除擬簡述各種工法之適用情形，並擬針對大型整建方式包括國內未來極有可能採用之瀝青混凝土加鋪鋪面、與水泥混凝土加鋪鋪面等維修工法，討論其所必須特別注意之要點。最後，再以一個假想的剛性機場道面整建案例，深入探討各項可能的整建議題，以供國內相關單位參考。

剛性鋪面維修工法簡介

在「剛性鋪面維護及補強技術之研究」中 [1]，曾對各種工法之定義、目的及適用情形、使用限制及績效、設計因素、施工程序、與使用機具設備等詳加說明。本文在此僅將各維修工法之目的或適用條件簡述如下：

1. 填縫工法：剛性鋪面因既有接縫填縫料損壞或產生裂縫時，常以填縫或再填縫的方式來防止水與不可壓縮物進入鋪面，避免鋪面產生進一步的損壞。
2. 減壓接縫工法：剛性鋪面因橫向接縫累積不可壓縮物時，可在現有鋪面上裝設減壓接縫，以降低鋪面內部可能持續增加的膨脹性壓力，並減少產生其他鋪面損壞。
3. 部分厚度修補工法：當鋪面版上半部發生接縫碎裂、坑洞、剝落等損壞，而深度未達版厚三分之一且仍具荷重傳遞之功能時，可採用部分厚度修補工

法，若運用得當時則可能較全厚度修補工法更具成本效益。

4. 全厚度修補工法：當既有剛性鋪面出現橫向裂縫、縱向裂縫、角隅斷裂、擠破、接縫碎裂、或某些與接縫相關的損壞時，可使用全厚度修補來有效地修復鋪面。
5. 版塊穩定和版塊頂起工法：版塊穩定一般亦稱為壓力灌漿、底層灌注、或版底灌注，此工法是用壓力將材料灌入版底或穩定基層，以填補版底的空隙並提供一薄層以改善鋪面喪失支承之問題。版塊頂起工法可應用在鋪面產生版塊沉陷或支承不良的區域上，使其回到原始高程，改善沉陷造成行車不舒適之問題，亦可避免因版塊產生過量應力而導致破裂。
6. 表面刨磨及刮槽工法：表面刨磨主要目的在減少高差，來改善鋪面的行車品質及面層抗滑。刮槽工法可用來降低剛性鋪面潛在潮濕天氣水滑之交通意外。
7. 荷重傳遞修復工法：當荷重傳遞效率降低或失效時，或是在未設置荷重傳遞設施的接縫處，可以加設荷重傳遞設施來修復接縫及裂縫的荷重傳遞能力。
8. 增設邊緣排水系統：水是鋪面產生損壞之主要起因之一，當舊有鋪面缺少有效排水設施時，可以增設邊緣排水系統的方式，來增進其整體排水情況。
9. 快速剛性鋪面鋪築技術：快速剛性鋪面鋪築技術係由適當的配合設計及鋪築技術所組成，以降低水泥混凝土澆注及鋪面開放使用的時間，通常可由 5 ~ 14 天縮短為 24 小時或更短。此技術可成功地應用在部分厚度修補、全厚度修補、重建、及加鋪鋪面等水泥混凝土維修工法上。
10. 再生混凝土鋪面：當既有剛性鋪面在接近設計年限時，大多數已有相當程度的損壞，此時重建比加鋪或修復鋪面具有成本效益。再生混凝土鋪面是將既有的舊鋪面打碎後裝運至碎石場，經加工處理後生產符合規定尺寸的再生粒料，可替代鋪面結構所使用之新粒料。
11. 水泥混凝土加鋪鋪面：混凝土鋪面的使用年限長且維護需求低，近期因高早強水泥混凝土材料之改進、以及剛性鋪面快速鋪築技術的進步，因此亦可以水泥混凝土加鋪於既有鋪面上，以修復已劣化的鋪面。
12. 瀝青混凝土加鋪鋪面：熱拌瀝青混凝土加鋪能改善既有剛性鋪面的功能性不足或結構性不足。

瀝青混凝土加鋪鋪面

加鋪鋪面可以用來改善既有鋪面之缺失並增加鋪面之結構能力，也是一種符合成本效益的維護補強工法。熱拌瀝青混凝土加鋪能提升鋪面功能性和結構性的績效。適當維修方案的選擇通常須區分其為結構性加鋪或非結構性加鋪。一般可用非結構性加鋪（如薄層加鋪）來部份或完全改善許多功能性不足的問題。若鋪面是因結構損壞或非破壞檢測指出結構性不足之問題時，則需考慮結構性加鋪。當預測未來交通荷重超過設計標準、或結構產生明顯的損壞時，表示鋪面已達到或超過結構能力。結構性加鋪須能解決鋪面結構劣化的問題，並能提供足夠的強度，以抵抗未來交通和環境荷重所產生更嚴重的劣化。當產生大規模損壞時，就應該進行鋪面結構評估來決定結構性不足的範圍。

加鋪前的處理和修補

在既有剛性鋪面修補損壞與劣化區，必須要有適當的加鋪前處理和修補，否則將成為加鋪提早失敗的起因。加鋪前的處理和所需的加鋪厚度有關，加鋪厚度可因增加修補量而減少，然而當此修補量增加到某一限度時，所需加鋪厚度將不再減少。全厚度修補、版塊穩定、荷重傳遞修復、及增設邊緣排水系統等工法，均可做為加鋪前的處理和修補的工法，茲簡述如下：

1. 鋪面版底部支承的修復：當剛性鋪面版的角隅或接縫下層有喪失支承問題時，角隅撓度將比正常情況較高，並使瀝青混凝土加鋪鋪面快速產生反射裂縫。喪失支承主要與過多水量及侵蝕問題相關，當鋪面出現此問題時，應該考慮透過版塊穩定工法來修復支承，並改善鋪面排水。鋪面喪失支承的問題通常無法僅以加鋪的方式來改善。
2. 接縫或裂縫的荷重傳遞修復：當許多橫向接縫或裂縫間失去傳遞荷重的能力，導致接縫或裂縫處產生極大的撓度差異時，可以全厚度修補工法或荷重傳遞修復工法來解決此問題，以恢復鋪面結構能力。
3. 排水設施的改善：當既有鋪面因排水不良而產生劣化時，將無法僅以加鋪的方式來有效改善此問題。因此，建議在加鋪設計前應進行排水設施的調查，以分辨與排水問題相關的損壞，及提出有效的解決方案。有效的排除鋪面內多餘水份將能減緩路基和

底層的侵蝕，增加強度與降低撓度的效果，並能提高對加鋪鋪面的績效。

降低反射裂縫嚴重程度的方法

反射裂縫一般係發生在加鋪層與既有鋪面接縫處或裂縫處上方。幾乎所有的加鋪類型都會產生反射裂縫，但最常發生在瀝青混凝土加鋪於剛性鋪面上、和加鋪於已有溫度裂縫的柔性鋪面上。由於下層鋪面的接縫或裂縫產生水平和垂直位移，以致應力集中於加鋪層並引發反射裂縫。茲將可降低反射裂縫產生或嚴重程度的方法簡述如下：

1. 土工織物：在既有鋪面上先噴灑黏層，再將聚丙烯、聚酯、玻璃纖維、尼龍等材料製成的織物直接鋪築於其上，經滾壓拉平後，再將加鋪鋪面鋪築於織物上，以增強瀝青混凝土加鋪層，並抵抗加鋪層下的裂縫及接縫的集中應力，延緩反射裂縫之發生，如圖 1 所示。
2. 應力釋放層：在既有接縫和裂縫噴灑橡膠瀝青或鋪設特殊的應力吸收膜層 (SAMI)，以釋放其應力，如圖 2 所示。通常應力吸收膜層僅用於修補處理之接縫或裂縫上，而非應用於整個鋪面，且未被廣泛用於預防反射裂縫上，可能因其成本高且成效仍待研究。
3. 裂縫阻止層：裂縫阻止層由細粒料含量較少的較大粒料所組成，可提供緩衝空間有效制止反射裂縫之擴展，如圖 3 所示。
4. 版塊穩定與版塊破裂技術：加鋪前的處理與修補作業、或降低有效版塊尺寸皆可阻止接縫和裂縫位移，並改善反射裂縫。版塊穩定 (Slab Stabilization) 可用於填補版塊角隅下方空隙，降低接縫及裂縫處的撓度，並可減少反射裂縫的持續劣化。版塊

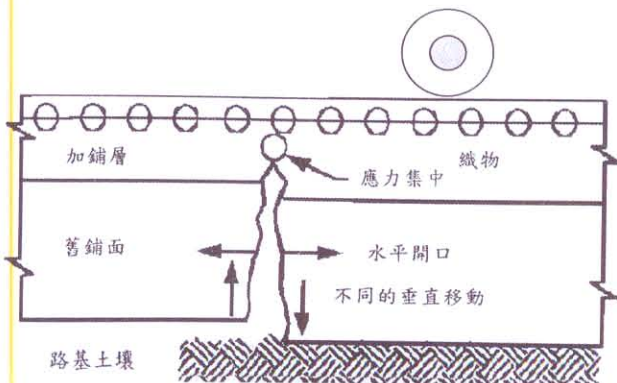


圖 1 土工織物的設置

破裂技術包括碎裂穩定 (Cracking and Seating)、破碎穩定 (Breaking and Seating)、及碎化 (Rubblization) 等三種特殊方式。碎裂穩定能有效降低版長及版塊移動，用於接縫式無筋混凝土鋪面，如圖 4 所示。破碎穩定需要更大衝擊力以破壞版塊內鋼筋，並縮短版塊長度及減少版塊位移，用於接縫式鋼筋混凝土鋪面。碎化則是將版塊斷裂成極小碎塊，用於嚴重損壞或結構年限極短的剛性鋪面。

5. 版塊修補與置換：在劣化的橫向接縫與裂縫處，可能因不同的垂直位移引起反射裂縫並持續劣化，因此建議須以全厚度修補來改善現有鋪面。如此將可重新修補嚴重裂縫之區域，並同時增設縱筋筋以改善荷重傳遞。此外，亦可採用荷重傳遞修復工法，以恢復接縫和活動裂縫的荷重傳遞。

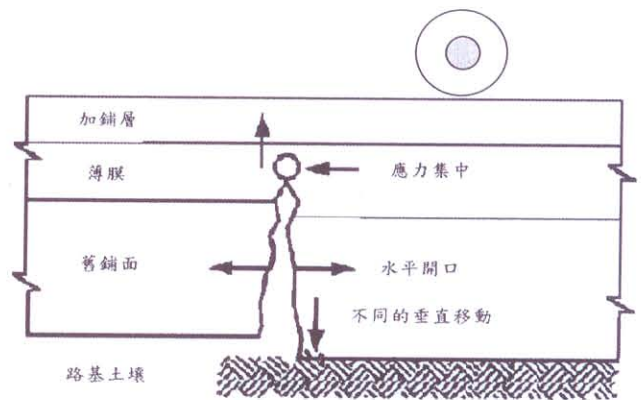


圖 2 應力吸收膜層的設置

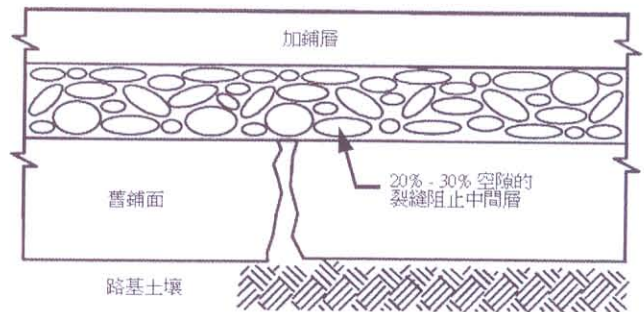


圖 3 裂縫阻止層的設置

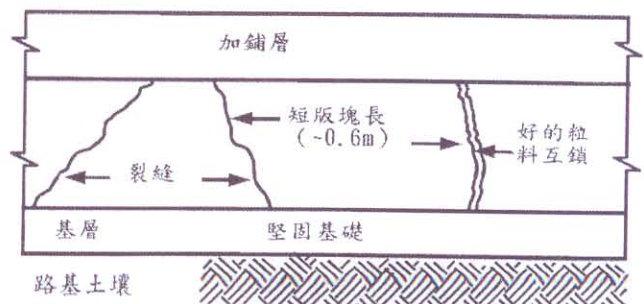


圖 4 鋪面的碎裂穩定

6. 鋸切和填縫：在剛性鋪面上加鋪熱拌瀝青混凝土鋪面時，亦可在加鋪鋪面上進行鋸切和填縫作業，以控制反射裂縫的嚴重度及損壞速率，如圖 5 所示。
7. 增加加鋪厚度：增加加鋪的厚度亦可用來減緩反射裂縫產生速率及嚴重程度。然而，鋪築較厚的瀝青混凝土加鋪層仍可能會因疲勞裂縫、老化、車轍、及鬆散等因素而失敗，使鋪面績效無法明顯改善，並應與其他替代方案之進行成本效益分析比較。

版塊破裂作業應考慮事項

使用碎裂穩定、破碎穩定、碎化工法皆會使剛性鋪面產生大量裂縫，且會將水排至下層鋪面。因此，執行版塊破裂作業時，亦應考慮邊緣排水之必要性。但應於版塊碎裂後，方可設置邊緣排水，以防止淤塞。當邊緣排水設置完畢並開始運作後，則不適合採用版塊破裂技術。

1. 碎裂穩定：碎裂穩定透過在加鋪前將鋪面版斷裂成小碎塊，以減少有效版長、並在基層及版塊間重建穩固支承以穩定碎裂混凝土塊，做為加鋪鋪面之底層，進而減少因交通荷重所產生的垂直位移。路基材料品質為碎裂穩定作業重要因素之一。若不確定鋪面下層的支承力或支承力不佳時，應判斷破裂後版塊是否有足夠支承力，或碎塊是否僅浮於軟弱路基上，若未妥善處理將導致其成效不良。使用碎裂穩定作業會降低混凝土鋪面的結構性，導致加鋪厚度需增加並提高成本、且會限制未來的維修選項。
2. 破裂穩定：破裂穩定必須破壞鋼筋或使混凝土與鋼筋分離，以減少水平位移。由於既有的水泥混凝土斷裂成更小碎塊，故破裂穩定作業將大幅降低鋪面的結構能力。當破裂穩定作業尚未完全破壞鋼筋時，將無法讓版塊均勻破裂且鋼筋仍與破裂碎片相連，使版塊繼續像一個單元運作。當接縫的水平位

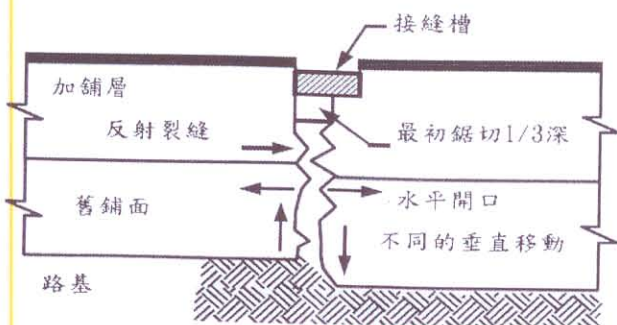


圖 5 瀝青混凝土加鋪之鋸切和填縫

移持續大量產生時，若破裂穩定施作不佳，將會導致鋪面產生反射裂縫，使其成效不彰。

3. 碎化：碎化工法採用鋪面破碎機將既有版塊破碎成更小碎塊，版塊經過碎化後，須以振動滾壓機壓實 2 次以上，才可進行後續加鋪作業。由於碎化過程中已將混凝土與鋼筋完全分離，因此只須於加鋪前移除曝露於表面的鋼筋，不必另外破壞鋼筋。碎化工法衝擊荷重的作用相對較小，因此對支承材料、地下排水結構及公用管線的影響較小。一般進行碎化的作業期間，可以噴水來抑制粉塵。當既有鋪面的劣化數量龐大，以致於正常的碎裂穩定或破裂穩定工法無法發揮成效時，則可考慮採用此碎化作業。由於碎化會使鋪面的結構能力明顯降低，因此需要使用較厚的加鋪厚度。碎化工法會降低工作效率及提高加鋪成本，因此只有當無法找到其他符合成本效益之替代方案時，才會考慮採用碎化工法。

水泥混凝土加鋪鋪面

加鋪鋪面是最廣為採用的修復劣化鋪面的維修工法之一。除了過去最常使用熱拌瀝青混凝土加鋪於既有鋪面上外，近年來亦有使用水泥混凝土加鋪於既有鋪面上（或混凝土加鋪鋪面），以改善既有剛性鋪面的結構能力。混凝土加鋪鋪面類型主要依既有鋪面的類型、和既有鋪面與混凝土加鋪鋪面間的黏結狀態等因素而定，茲簡述如下：

1. 黏結性加鋪鋪面：當鋪面狀況良好時，可利用黏結性加鋪來增加鋪面的結構能力，或改善鋪面的整體行車品質。黏結性加鋪必須特別注意如何確保其「黏結」，以提高加鋪面和現有版塊之間的黏結力。這通常包括既有剛性鋪面大面積的表面準備（如噴砂處理），且在鋪築前先在既有鋪面上澆置水泥漿，以增強其黏結力，獲得較佳的整體鋪面系統表現，如圖 6 所示。若是在加鋪前沒有確實將鋪面損壞損壞處修補好，則可能因新舊兩層間的黏結，導致在新加鋪的面層上產生反射裂縫。黏結性加鋪是否需要使用黏著劑，可能因鋪面情況不同而異。
2. 部份黏結性加鋪鋪面：部分黏結是指並不會刻意地採取任何措施以提高或防止在混凝土加鋪鋪面和既

有剛性版塊間之黏結，此種加鋪方式雖有被使用在機場鋪面，但在公路領域使用並不廣泛。

3. 非黏結性加鋪鋪面：當既有鋪面損壞程度在加鋪鋪面前未能有效改善時，則使用非黏結性加鋪。非黏結是指混凝土加鋪鋪面和既有剛性鋪面間採取防止黏結的特別處理方式，以有效地分開新舊鋪面、使其能相互獨立移動，如圖 7 所示。一般最常在加鋪前在既有鋪面上加鋪一層薄的熱拌瀝青混凝土中間層，以做為隔離材料，防止反射裂縫產生。非黏結性加鋪前仍須做少量的修補作業，一般建議可以將加鋪鋪面之接縫和既有剛性鋪面之接縫錯開。有時在非黏結性加鋪澆置前完成前，亦會將已嚴重裂化之既有鋪面施加碎裂穩定或破裂穩定作業。

混凝土加鋪鋪面之設計考量

如何選定合適的混凝土加鋪鋪面類型，通常係由既有鋪面的類型和狀態來決定。一般而言，黏結性混凝土加鋪鋪面最適合用於狀況良好的既有剛性鋪面。當既有剛性鋪面因目前或預計的交通荷重需要改善結構時，則加鋪鋪面是相當合適的。非黏結性混凝土加鋪鋪面最適合於嚴重劣化情況的既有剛性鋪面。既有鋪面和加鋪鋪面分開，使兩塊版塊能獨自活動，且混凝土加鋪鋪面不會影響下層鋪面的作用及活動。

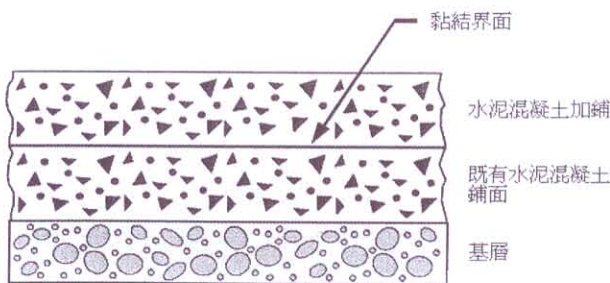


圖 6 黏結性混凝土加鋪鋪面

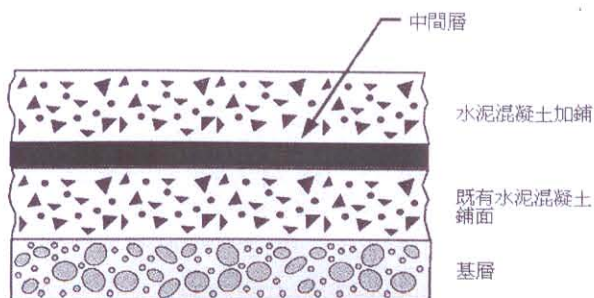


圖 7 非黏結性混凝土加鋪鋪面

在加鋪設計程序中，需特別考慮設計因素包括加鋪前的處理、反射裂縫的控制、與允許不同程度的修補。若未妥加考量，可能使加鋪鋪面提早失敗、無法提供所需之服務績效。此外，混凝土加鋪設計亦須考慮包括黏結狀態、排水設施、接縫設計、與建造等因素，茲簡述如下：

1. 黏結狀態之考量：在混凝土加鋪鋪面和下層鋪面間的黏結狀態對績效影響極大。黏結性加鋪係依據兩層間有很強的黏結而表現出的整體行為之假設來設計，如果無法達成這樣的黏結時將使鋪面產生裂縫。噴砂作業 (Sandblasting) 可以為黏結性混凝土加鋪鋪面，提供相當有效的表面紋理。在非黏結性混凝土加鋪鋪面時，為了防止產生反射裂縫，需在兩層之間鋪上一隔離層，以確保兩塊版塊能獨自活動。非黏結性加鋪鋪面的績效受下層鋪面影響較小，但所需加鋪之厚度較厚。
2. 排水設施的改善：當既有鋪面因排水不良而產生劣化時，將無法僅以加鋪的方式來有效改善此問題。因此，建議在評估鋪面過程中必須適時進行排水設施的調查，以分辨與排水問題相關的損壞，並提出有效的解決方案。必要時，可考慮在鋪面上增設邊緣排水系統，並建立適當的排水溝渠，有時亦可在非黏結性混凝土加鋪鋪面之中間層鋪設開放級配，以增加排水效果。
3. 黏結性加鋪的接縫設計：黏結性混凝土加鋪鋪面的接縫必須與下層剛性鋪面對應，建議鋸切深度需穿過黏結性加鋪鋪面的整個厚度，以防止產生反射裂縫。在黏結性加鋪設計時，因所需的版塊厚度可能較薄，且不適合設置縱縫筋。若認為荷重傳遞相當重要時，建議可在既有剛性鋪面的裂縫和接縫增設補強的荷重傳遞設施。
4. 非黏結性加鋪的接縫設計：對於非黏結性混凝土加鋪鋪面的接縫，通常可以採用與既有接縫錯接的方式為之。但是一般仍建議非黏結性加鋪鋪面上的接縫位置宜靠近既有鋪面的接縫，避免產生唧水現象。一般建議非黏結性加鋪鋪面應加設荷重傳遞設施或縱縫筋。
5. 建造：混凝土加鋪鋪面施工時，可如同新剛性鋪面施工一樣，使用傳統鋪築設備和材料，必要時亦可考慮採用快速剛性鋪面鋪築技術與材料。

加鋪前的處理和修補

在加鋪混凝土鋪面前，鋪面修補和處理數量可能為影響加鋪鋪面未來績效的主要因素，特別是對於黏結性混凝土加鋪鋪面尤其重要。在既有鋪面需謹慎決定需要加鋪前修復的數量和類型，主要須考量的因素包括：加鋪的類型、適合既有鋪面的結構、既有鋪面出現的損壞類型、未來的交通荷重、交通管制、加鋪前修補和加鋪鋪面之整體成本等。根據混凝土加鋪類型，加鋪前處理和修補的數量也需一併列入設計考量中。例如，在考慮黏結性混凝土加鋪時，若加鋪前需要修補的數量超過可接受程度時，則可能改採非黏結性混凝土加鋪較為適合。

當既有鋪面產生有嚴重劣化的橫向活動裂縫、接縫碎裂、接縫高差、或縱向裂縫等損壞時，黏結性混凝土加鋪前之處理類型包括：全厚度修補、荷重傳遞修復、刨磨接縫高差、或版塊穩定等方式。非黏結性混凝土加鋪前之處理類型則包括：全厚度修補修補劣化嚴重的接縫和裂縫、刨磨接縫高差、將既有鋪面版塊以碎裂穩定或破碎穩定方式處理，以提供較佳之均勻支撐，降低可能產生反射裂縫之問題。有關反射裂縫的控制方面，亦請參閱第 20、21 頁的內容說明。

剛性機場道面整建案例探討

假設位於熱帶與亞熱帶附近、氣候多雨且潮溼之亞洲某國，其所有機場之原始鋪面型態均為剛性鋪面。而目前該國之國際機場，因已開放交通數 10 年，剛性鋪面版塊持續劣化，並產生局部橫向裂縫、高差、接縫碎裂、角隅斷裂、與唧水現象等損壞。然因該國際機場係為該國最重要之門戶，每年仍持續編列維修經費並以置換個別混凝土版塊的方式來維持機場道面之服務效能。鑒於該機場已使用超過其原 20 年之設計年限，目前機場主管單位乃有大型機場道面整建之議。

假設在機場道面整建計畫中擬將滑行道之剛性鋪面完全打除重建為柔性鋪面、並計畫將跑道之剛性鋪面儘可能採用碎化工法 (Rubblization) 再加鋪柔性鋪面以避免未來產生反射裂縫、並同時增設排水設施，以改善現有鋪面服務績效。茲以此假想的機場道面整建案例，來探討各項可能的相關重要議題：

道面整建類型之選擇

剛性鋪面有勁度強、耐久性佳、但施工期較長、維修較困難，而柔性鋪面則有施工期短、維修較容易、但勁度較弱、耐久性較差等之特性，因此我國機場原始鋪面型式絕大部分為剛性鋪面，美國與世界各國主要國際機場之原始鋪面型式亦為剛性鋪面。亞洲國家有部份機場如香港赤臘角機場、日本關西機場、曼谷蘇汪納蓬國際機場，為因應機場有路基持續沉陷問題，而將其原始鋪面型態選為柔性鋪面，以便於未來持續加鋪作業。為盡量減少道面維修可能對營運中機場之影響，因柔性鋪面有容易施工與維修之優點、與施工時程之時效考量，國際間亦有採用瀝青混凝土加鋪於現有剛性機場鋪面為主要之維修方式。

此外，另以美國伊利諾州之州際公路為例，因該公路建設於 1960 ~ 1970 年代間，為了服務重載交通及考慮國防之需求，其中有超過 9 成以上之原始鋪面型態均為剛性鋪面，目前雖已遠超過其原 20 年之設計使用年限，在其過去之整建計畫中仍以重建為剛性鋪面或採用瀝青混凝土加鋪於已劣化的剛性鋪面為絕大多數。其中，以 1993 年版以後之美國州際公路暨運輸官員協會 (AASHTO) 所提供鋪面加鋪厚度設計法之設計理念而言 [6]，在現有剛性鋪面上加鋪瀝青混凝土鋪面，仍將其視為剛性鋪面，並據以計算其結構能力與所需加鋪之厚度。

道面整建類型之選擇，應依工程與環境特性不同而異。鑒於該國目前所有機場之原始鋪面型態均為剛性鋪面，並已有使用數 10 年成功之服務績效，在該國並無明確的柔性機場道面服務績效與維修經驗條件下，並不適合逕行全面改變現有機場道面類型。在機場鋪面厚度設計法中之臨界區域，係指因航機在起飛時會以最大起飛全重 (MTOW) 低速通過之停機坪、滑行道、與跑道兩端等處，所需結構強度與厚度最大 [7]。因此，建議在機場道面整建計畫中，若確有必要將滑行道之剛性鋪面完全打除重建時，仍應將其重建為剛性鋪面。對於原有跑道之剛性鋪面，應儘可能先回復已劣化鋪面之原有結構能力，如全厚度修補、與版塊置換等工作，必要時再輔以結構性之瀝青混凝土加鋪。

維修範圍之考量

再者，根據實務經驗，仍在營運中之國際機場，每年均有編列預算持續維修，整體鋪面狀況不可能太

差，一般而言其大部分之鋪面現況指標（PCI）仍高於 70。況且航機在機場行進之路線較為規律，機場中仍有相當大比例之跑道與滑行道道面未曾受到航機重複重載交通之影響，因此該處之鋪面現況仍舊相當良好。為使有限的機場整建經費做最有效之應用，整建計畫亦須確實考量維修範圍與所佔比率。若為貪圖一時之便，將大部分狀況仍舊良好的道面一併打除，不僅沒有必要且會增加維修工期、並有可能造成嚴重的浪費。計畫增設排水設施、更換燈光系統、與改善助導航系統所需影響之道面版塊數量有限，因此並無法做為必須將現有鋪面完全打除之依據或論證其正當性。

服務績效與成本之考量

雖然柔性鋪面有容易施工與維修之優點，但其耐用性與績效期間較剛性鋪面為短。以國道高速公路之柔性鋪面為例，約須每 5 年刨除加鋪 1 次；我國機場剛性鋪面之服務績效良好，績效期間亦明顯較柔性鋪面長。該國目前所有機場之原始鋪面型態均為剛性鋪面，並已有使用數 10 年成功之服務績效。鑒於在該國並無明確的柔性機場道面服務績效與維修經驗條件下，並不適合逕行將現有機場道面改為柔性鋪面。再者，未來航機之載重更大，柔性鋪面之長期服務績效是否能符合需求，其對於機場未來營運之是否會產生不利的影響，則不無可議之處。

柔性機場鋪面常見的損壞型態包括車轍、疲勞裂縫、剝脫、異物損壞等，需要再加鋪之維修頻率亦較高。整建計畫內容除應考量施工技術純熟度外，亦應將整體分析期間需重大維修、再加鋪之頻率、各項維修經費、與使用者成本，納入生命週期成本分析中一併考慮。一般而言，剛性機場道面之生命週期成本通常會低於柔性機場道面。因此，建議應盡量利用現有剛性鋪面之結構能力、或做必要之局部補強，保留現有剛性鋪面可提供之結構能力可能比新建水泥處理底層更有效益。必要時，再考慮是否需增加結構性之柔性加鋪鋪面或剛性加鋪鋪面。

碎化技術與反射裂縫之控制

在 2006 年美國運輸研究通告中 [8]，指出過去 7 年間美國機場剛性鋪面採用碎化技術來維修者僅有約超過 50 萬平方公尺，且大多在老舊且已劣化之小型機場。因此，碎化技術在機場剛性鋪面之應用並不

純熟，且其未來服務績效尚未可知。然而，在本假想個案中，仍在營運中之國際機場整體鋪面狀況尚稱良好，擬將跑道之剛性鋪面儘可能採用碎化技術將其全數打除，再加鋪柔性鋪面，以避免未來產生反射裂縫之處理方式，似嫌過於草率，其必要性與適用性不明。

蓋因該國際機場係為該國最重要之門戶，是否有必要冒險來嘗試此新技術？況且反射裂縫僅是柔性加鋪鋪面的一種損壞，正如同任何鋪面在分析期間內一定會發生之任何一種損壞型態一樣，是鋪面績效的一部分，無法避免。為了避免未來產生反射裂縫，而將剛性機場鋪面改為柔性機場鋪面，並無法將其未來可能產生如車轍、疲勞裂縫、剝脫、異物損壞等損壞型態一併消除，其利弊得失應不言可喻。然而，如前文所述，瀝青混凝土加鋪鋪面之反射裂縫可以受到適當之控制，並非一定要採用碎化技術，使用鋸切和填縫亦可控制反射裂縫之擴展。

節能減碳與夜間識別

為解決都市熱島效應，2009 年 7 月 4 日由台北市政府所舉辦的一場「2009 都市熱島退燒國際研討會」中，來自「勞倫斯柏克萊國家實驗室」的 Akbari 教授提出一個簡單的策略，認為若把屋頂漆成具反光的白色，減少建築物的蓄熱程度，估計每年每平方公尺可減排 100 公斤的二氧化碳。美國現任能源部長朱赫文不僅大力推崇，亦說服了加州州政府，成為當地法規。加州當地法律規定，自 2006 年以後蓋的平頂屋頂都必須是白色或高反射的屋頂。

剛性鋪面因採用水泥混凝土做為其面層材料，因此被視為與白色相近，而柔性鋪面則被視為是黑色。有一種在損壞的柔性鋪面上使用混凝土加鋪鋪面之維修工法，其英文即稱為 Whitetopping，更能貼切地描述兩種鋪面型態與顏色之差異。

若擬將剛性鋪面改為柔性鋪面，假設滑行道與跑道之整建面積共計約為 100 萬平方公尺，初步估算每年可能增加排放超過 10 萬公噸的二氧化碳。因此，並不建議做如此重大之改變。再者，剛性鋪面在夜間之識別度通常亦較柔性鋪面為佳。

建議其他可行替代方案

在此假想之機場道面整建計畫中，建議其他可行之替代方案如下：

1. 因剛性鋪面有較佳之服務績效與較低之生命週期成本，若確有必要將既有之剛性鋪面完全打除重建時，仍應將其重建為剛性鋪面。再者，剛性鋪面在節能減碳與夜間識別度方面之考量亦較佳。
2. 對於原有跑道之剛性鋪面，應儘可能先回復已劣化鋪面之原有結構能力，如全厚度修補、與版塊置換等工作，必要時再輔以結構性之瀝青混凝土加鋪。
3. 整建計畫亦須確實考量維修範圍與所佔比率，不應將大部分狀況仍舊良好的道面一併打除，亦可避免不必要的浪費與增加維修工期。建議應先瞭解各版塊之年期、狀況、與比率，再考慮較大面積版塊全厚度修補。
4. 建議應盡量利用現有剛性鋪面之結構能力、或做必要之局部補強，保留現有剛性鋪面可提供之結構能力可能比新建水泥處理底層更有效益。必要時，再考慮是否需增加結構性之柔性加鋪鋪面或剛性加鋪鋪面。
5. 碎化技術在機場剛性鋪面之應用並不純熟，在國際上採用碎化工法之機場實例與經驗仍舊相當缺乏，且其未來服務績效尚未可知。瀝青混凝土加鋪鋪面之反射裂縫可以受到適當之控制，並非一定要採用碎化技術，使用版塊修補和置換、鋸切和填縫、或增加加鋪厚度均可有效地控制反射裂縫之擴展。
6. 可考慮採用荷重傳遞修復工法與增設邊緣排水系統方式，來改善現有鋪面服務績效，或做為未來加鋪前之準備工作之一部份。
7. 此外，亦應考慮使用快速剛性鋪面鋪築技術、粘結式或非粘結式混凝土加鋪鋪面、瀝青混凝土加鋪鋪面（除碎化技術外）等工法之成本效益分析。

要有永續發展的專業思考

鑒於我國機場鋪面已近使用年限，近期亦曾積極研擬機場整建計畫，本文除簡述「剛性鋪面維護及補強技術之研究」中各種工法之適用情形外，並針對大型整建方式包括國內未來極有可能採用之瀝青混凝土加鋪鋪面、與水泥混凝土加鋪鋪面等維修工法，討論其所必須特別注意之要點。最後，再以一個假想的剛性機場道面整建案例，深入探討包括：道面整建類型之選擇、維修範圍之考量、服務績效與成本之考量、碎化技術與反射裂縫之控制、節能減碳與夜間識別等

各項可能的整建議題，再建議其他可行替代方案，以供國內相關單位參考。

國際間對於瀝青混凝土與水泥混凝土等二大公會之良性競爭，持續研發出各種新的鋪面維修技術與工法，實無可厚非。一般而言，剛性鋪面勁度強、耐久性佳、但施工期較長、維修較困難，而柔性鋪面則是施工期短、維修較容易、但勁度較弱、耐久性較差。當然採用不同的面層材料各有其優缺點，而其適用性亦不盡相同。建議鋪面同業人員未來若有機會參與政府訂定公共工程計畫時，應本於專業良知、拋棄本位主義，積極主動提供對國家社會永續發展有益之專業意見。

參考文獻

1. 李英豪、李釗、陳世晃、林世泰、劉耀斌（2009）。「剛性鋪面維護及補強技術之研究（2/2）」（Study of Maintenance and Repairs Technology for Rigid Pavement, Phase II），期末報告，社團法人中華鋪面工程學會執行，交通部科技顧問室委託，契約編號MOTC-STAO-98-01，執行期限98/01/01～98/12/31。
2. 中華民國交通部民航局（2005），中正國際機場道面整建策略及評估計畫—工程計畫書，中華民國九十四年三月。
3. 中華民國交通部民航局（2006），中正國際機場道面整建工程計畫書，中華民國九十五年三月。
4. 中華民國交通部民航局（2009），台灣桃園國際機場道面整建及助導航設施提升工程計畫—工程規劃總報告書，中華民國九十八年十二月。
5. 中華民國交通部民航局（2009），台灣桃園國際機場道面整建及助導航設施提升工程計畫—建設計畫書，中華民國九十八年十二月。
6. AASHTO (1993), AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
7. 周義華，運輸工程，華泰文化，民國九十六年八月（六版）。
8. Buncher, M., and W. W. Jones (2006), "State-of-the-Practice: Rubblization of Airfield Pavements," Transportation Research Circular E-C087, January 2006.