

分析鋪面坑洞產生原因與建議維護方法

陳建旭^{*}、劉韋廷^{*}、廖敏志^{***}、王慶雄^{****}、蔡益智^{*****}、林和志^{*****}

一、緒論

大部分公路鋪面是以傳統的密級配瀝青混凝土 (dense-graded asphalt concrete, DGAC) 為主，DGAC 的孔隙率大多介於 4%~7%之間，可視為緊密不透水面層，雨季來臨時，雨水主要是沿著鋪面面層向兩旁排水；使用一段時間後鋪面可能存有疲勞裂縫，當車輛行駛所產生的壓力，作用於瀝青混凝土鋪面的水膜上，滲入裂縫之水可能會造成瀝青與粒料之間產生剝脫現象。當雨量大，下雨天數綿長，再加上車輛影響下，裂縫處的粒料可能會離析，路面隨之產生坑洞，影響路人的安全。

鋪面受到內部材料和結構，以及外部交通和環境等因素影響，鋪面績效會隨著服務年限增長而下降。然而，國內對於坑洞產生機制無完整資料，因此無法量化坑洞產生的原因；同時，緊急修補坑洞後，往往數天即可能再次發生坑洞，修補的效果也有限。不論是 DGAC 的本身內部或外在環境因素都是可能是坑洞產生的原因，因此進一步評估 DGAC 坑洞產生的因素有其必要性，透過完整的分析才可作為決定鋪面維修時機與鋪面維修方式的依據。

鋪面維修方式對目前分為緊急養護、一般養護和大型養護；緊急養護則是在雨天時使用冷料填補為主；一般養護則視氣候狀況允許時再使用熱料以補錠的方式處理；大型養護則是管理機關評估鋪面的損壞程度後，進行大範圍的刨除加鋪。雨天使用冷料填補過後，若持續降雨以及車輛通過，孔隙內的水壓力受到車輛行駛時會導致孔隙水壓力上升，進而擠壓粒料導致黏結失效，在短時間內又會再次形成坑洞，成效有限，因此需要探討鋪面坑洞產生的原因與現有維修方法的評估，以作為後續現地鋪面坑洞維修的參考。

從實務和基礎理論的角度而言，鋪面坑洞可分下列三部分探討：(1)鋪面坑洞產生原因評估，(2)鋪面坑洞維修方法建立和(3)鋪面坑洞防制機制分析，期盼落實改善建議，減少鋪面坑洞

* 國立成功大學土木工程學系 教授

** 國立成功大學土木工程學系 研究助理

*** 國立成功大學土木工程學系 博士後研究員

**** 國立成功大學土木工程學系 博士生

***** 國立成功大學土木工程學系 碩士生

產生頻率和嚴重性，提升路面服務品質。

二、事前調查及試驗路段

2.1 坑洞產生前之現地鋪面狀況

鋪面服務一段時間後，難免會產生如圖 2.1.1 至 2.1.4 等損害狀況，圖中可以發現不論車道是南下或北上，鋪面破壞的位置大多出現在第 3 車道，也就是最外車道，第 3 車道也是重載車輛行駛的車道，破壞狀況以疲勞龜裂、車轍和粒料鬆脫為大宗，上述路面破壞情形都可能讓鋪面產生弱面，下雨時經車輛荷重後，較容易產生坑洞。



圖 2.1.1 鋪面車轍



圖 2.1.2 粒料鬆脫



圖 2.1.3 疲勞龜裂



圖 2.1.4 第 3 車道坑洞修補

2.2 坑洞與修補

如圖 2.2.1 至 2.2.2 為鋪面坑洞破壞和補修情形，坑洞以單一或連續方式產生，施工人員往往只能短暫封閉車道，使用常溫瀝青混凝土，進行緊急補修，由於緊臨交通，行車速度快且車流量高，維修工作存有潛在危險；為減少維修次數與提升材料耐久性，可從工法調整和選擇更好冷拌材料方向思考，將於坑洞防治一節探討。



圖 2.2.1 連續坑洞



圖 2.2.2 單一坑洞

2.3 試驗路段

本研究試驗點位之選定是經由多次事前現場探勘後，經由現場工程司依據各路段不同狀況，選定試驗點位，選定點位之鋪面皆存在龜裂或車轍等破壞現象。圖 2.3.1 至 2.3.8 為 99 年 10 月 14 日本研究團隊至 8 處試驗路段，進行現地鋪面績效評估時之情況，前四張為試驗路段 A，後四張為試驗路段 B 之鋪面破壞照片。可以看出選定之試驗路段 A 的鋪面破壞行為是車轍與側擠，如圖 2.3.2 側擠最為明顯；試驗路段 B 主要以車轍與疲勞裂縫為主，如圖 2.3.7 與 2.3.8，因為重載交通荷重造成鋪面產生嚴重疲勞裂縫。



圖 2.3.1 鋪面產生車轍



圖 2.3.2 鋪面產生車轍



圖 2.3.3 疲勞龜裂



圖 2.3.4 車轍與坑洞



圖 2.3.5 鋪面產生車轍



圖 2.3.6 鋪面產生車轍



圖 2.3.7 疲勞龜裂



圖 2.3.8 疲勞龜裂

三、研究方法

3.1 背景說明

鋪面結構包含 20 cm 瀝青處理底層(bituminous treated base, BTB)，並於其上方鋪築 15 cm 密級配瀝青混凝土(DGAC)，最後再加鋪一層約 2 公分的開放級配摩擦層(OGFC)或稱為開放級配瀝青層(OGAC)，以增加摩擦力與排水之功效，研究範圍接鄰中油、中鋼、中船及港口等重工業區，重車車輛多且荷重高於一般客車，加上重車大多都行駛於外車道，第 3 車道鋪面承受較高的應力。

3.2 試驗路段

本次研究之試驗路段可分 A、B 兩段，為使後續研究在符號表示上簡單明瞭，本研究將 8 處試驗點位由南至北與車道位置的關係，訂定符號如表 3.2.1 所示。

表 3.2.1 現地評估點位說明

段別	車行方向	車道位置	代表符號
試驗路段 A	北上	第 2 車道	A1-N-2
	南下	第 3 車道	A2-S-3
	北上	第 2 車道	A3-N-2
	北上	第 3 車道	A4-N-3
試驗路段 B	北上	第 3 車道	B5-N-3
	南下	第 3 車道	B6-S-3
	南下	第 3 車道	B7-S-3
	北上	第 4 車道	B8-N-4

3.3 現地鋪面績效評估

圖 3.3.1 為本研究團隊於現地進行評估的分工狀況，各試驗項目說明如下：

3.3.1 現地評估方法

1. 現地透水量試驗：現地透水量試驗係依據日本道路協會「排水性鋪裝技術指針」的方法，評估開放摩擦層鋪面之排水能力，如圖 3.3.2 所示。
2. 車輾量試驗：車輾量即鋪面承受重複交通載重後之垂直變形量，可作為評估不同鋪



圖 3.3.1 本研究團隊於現地評估之分工狀況

面抵抗車輛荷重之能力，本研究利用 1.8 公尺直規作為車轍量的檢測工具，如圖 3.3.3 所示。

3. 縱、橫向坡度：坡度即表示路面的排水方向，探討坡度與排水之間的關聯性，本研究利用電子式坡度計量測鋪面縱、橫向坡度，試驗方法是在試驗點位取鄰近三個點，將 3.6 M 直規依序放置於左、右輪跡處與車道中央，再將電子式坡度量測計放在直規中央處，分別量測三次取平均，代表該試驗點位整體之縱、橫向坡度值，如圖 3.3.4 所示。
4. Clegg Hammer 衝擊試驗：Baden Clegg 博士最早於 1960 年代提出 Clegg 衝擊試驗的概念，Clegg 衝擊試驗機也稱為 Clegg 重錘試驗，重錘 20kg 適用瀝青混凝土鋪面，係由兩個基本元件設備所構成：一個平底圓柱體和一個導管，圖 3.3.5 為 Clegg 衝擊試驗儀之構造圖。當落錘從預定高度自由落下撞擊試驗體表面時，安裝在落錘上的加速度計輸出到控制單元設備，提供數位數據供讀取。試驗過程依照 ASTM D5874 來進行，將導管中落錘提升至規範規定高度後落下四次後，顯示器讀到的最大加速度為 Clegg 衝擊值(Clegg Impact Value, CIV)，1 個 CIV 單位為 10g 重力加速度值，如圖 3.3.6 所示。Clegg 衝擊試驗機量測的衝擊加速度最大值即可評估瀝青混凝土鋪面的強度性質，一般而言，CIV 值愈高代表鋪面結構強度愈佳。
5. 現地鑽心：本研究於試驗點位輪跡處與車道中心分別鑽心取樣，進行後續實驗室分析，如圖 3.3.7 所示。



圖 3.3.2 現地透水量試驗(99/10/14)

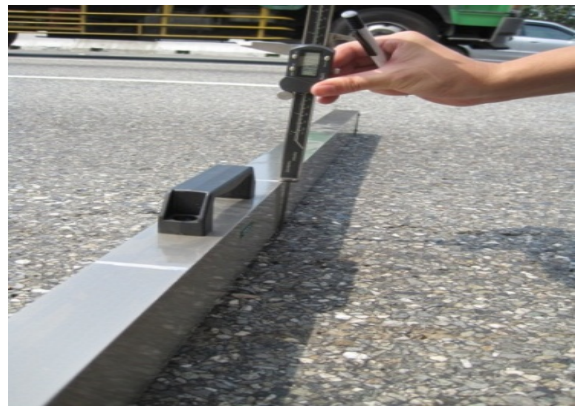


圖 3.3.3 現地車轍量試驗(99/10/14)



圖 3.3.4 縱、橫向坡度量測試驗(99/10/14)

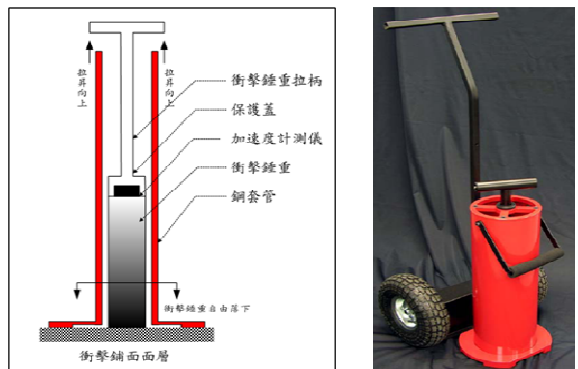


圖 3.3.5 Clegg 衝擊試驗設備



圖 3.3.6 Clegg 衝擊試驗(99/10/14)



圖 3.3.7 現地鑽心取樣(99/10/14)

3.3.2 實驗室評估

現地鋪面鑽心取樣用以瞭解鋪面材料受到重覆交通荷重以及環境溫度變化影響，評估方法如下：

1. 瀝青含量試驗：依據 ASTM D542 方法進行試驗，瀝青含量的高低會影響瀝青包裹粒料的情形，藉此可知道粒料與粒料之間的黏結情況，如圖 3.3.8 所示。
2. 瀝青黏度試驗：根據 ASTM D2170、D2171 方法進行試驗，黏度高低可判斷瀝青的老化程度與勁度高低，用來評估瀝青材料開放通車後其特性的變異，如圖 3.3.9 所示。
3. 篩分析試驗：根據 ASTM C136 方法進行試驗，瞭解級配的變化情形，分析粒料承受交通荷重下的情況，如圖 3.3.10 所示。
4. 間接張力試驗：依據 ASTM D4123 方法進行試驗，評估瀝青混合料承受不同環境條件作用下，材料結構黏結狀況或張力強度之變化情形，如圖 3.3.11 所示。
5. 滯留強度試驗：依據 AASHTO T283 方法進行試驗，以滯留強度指數(TSR)評估浸水前後，瀝青混凝土之間接張力的比值，用以了解瀝青混合料遭受水侵害後，抵抗剝脫的能力，如圖 3.3.12 所示。滯留強度指數(TSR)為浸水後之間接張力強度除上浸水前之值，一般 TSR 值需在 75% 以上，方具有抗水侵害的能力，TSR 值之計算式如下：

$$\text{TSR} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \times 100\%$$

其中 σ_1 = 浸水後間接張力強度、 σ_2 = 浸水前間接張力強度

6. 回彈模數試驗：依據 ASTM D4123 方法，評估瀝青混合料之彈塑性行為的差異，可分析不同材料相對的性質差異，以供路面厚度設計評估與分析之參考，如圖 3.3.13 所示。



圖 3.3.8 瀝青含量試驗



圖 3.3.9 瀝青黏度試驗



圖 3.3.10 篩分析試驗



圖 3.3.11 間接張力試驗



圖 3.3.12 滯留強度試驗



圖 3.3.13 回彈模數試驗

3.3.3 坑洞尺寸決定

本研究根據路面坑洞資料進行分析，坑洞尺寸定量方式為利用照片中路面標線或寫字白板之尺寸與坑洞大小之相對應關係，如圖 3.3.14 所示，關係式如下：

$$\frac{\text{圖上標線尺寸}}{\text{實際標線尺寸}} = \frac{\text{圖上坑洞尺寸}}{\text{實際坑洞尺寸}}$$

在圖上量得路面標線尺寸為 2 公分，坑洞直徑及深度分別為 1.6 公分與 0.4 公分，而路面標線現地實際尺寸為 15 公分，所以坑洞實際直徑 = $15 \times 1.6 \text{ (cm} \times \text{cm)} / 2 \text{ (cm)} = 12 \text{ cm}$ ，坑洞實際深度為 $15 \times 0.4 \text{ (cm} \times \text{cm)} / 2 \text{ (cm)} = 3 \text{ cm}$ 。由於坑洞形狀不一，但其面積都可以求得，假設坑洞的面積為 A ，則可依坑洞面積 A 等於圓形面積 ($\frac{1}{4} \times \pi D^2$) 之觀念，即可求出「等值直徑」(D) 之值， D 值計算式如下：

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

其中 D = 坑洞直徑， A = 坑洞面積

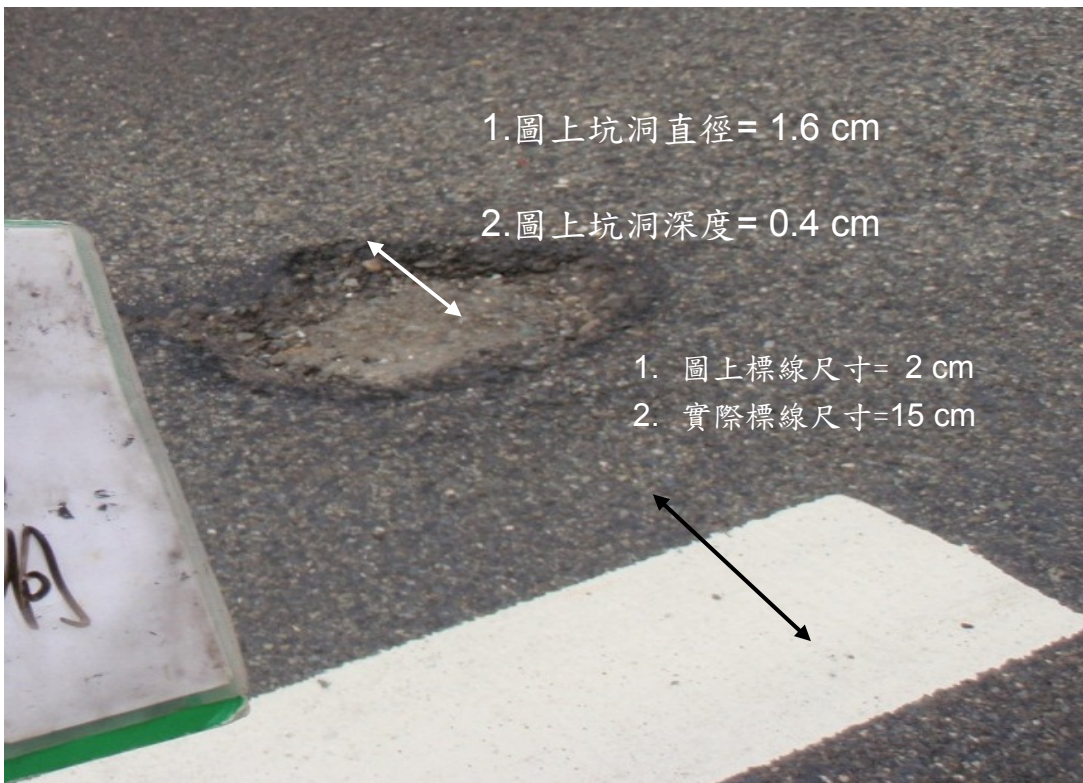


圖 3.3.14 坑洞與標線相對關係照片

3.3.4 坑洞嚴重程度分級

根據 ASTM D6433-03 之坑洞嚴重程度分級方法，利用坑洞直徑尺寸與深度之間的關係，可將坑洞分為輕度（L）、中度（M）及重度（H），以作為後續坑洞形成原因與防制方法之探討，如表 3.3.1 所示。但由於坑洞多數屬不規則形狀，故須先計算出坑洞之面積，再套入圓形面積公式（ $\pi D^2/4$ 、D 代表圓之直徑），以當量觀念換算成「等值直徑」，再進行對照分級作業，圖 3.3.15 至 3.3.17 分別為坑洞輕度、中度及重度之情況。

表 3.3.1 ASTM D6433-03 坑洞嚴重程度分級表

坑洞直徑 坑洞深度	100~200mm	200~450mm	450mm 以上
13~25mm	L	L	M
25~50mm	L	M	H
50mm 以上	M	M	H



圖 3.3.15 由左至右分別是輕度坑洞、中度坑洞、重度坑洞

四、坑洞調查與分析

根據試驗路段 A 與 B 降雨後之坑洞資料進行分析，收集期間為 99 年 4 月至 99 年 9 月正好為國內梅雨及颱風季節，亦是道路坑洞產生較為頻繁時期，從試驗路段 A 與試驗路段 B 取得之坑洞照片，可以推估坑洞長度、寬度及深度；並記錄里程及車道位置，可分別計算坑洞面積及體積大小。就平面空間而言，因坑洞發生形狀為不規則，為能符合 ASTM D6433 規範坑洞分類表，本研究將量測之坑洞面積，以當量觀念換算為「等值直徑」，此觀念僅將坑洞長寬以等值直徑替代，破損嚴重度分輕度、中度、重度三級。

4.1 坑洞與車道位置之關係

為瞭解車道位置發生坑洞情形，首先將坑洞發生位置以車道位置歸納統計分析，分為內車道是第 1 車道，依序為第 2、3 及 4 車道，將試驗路段 A 與 B 車道之坑洞位置分別以圖 4.1.1 及圖 4.1.2 統計分類表示，試驗路段 A 和試驗路段 B 於 99 年間坑洞發生次數分別為 85 和 356 次。由圖 4.1.1 和 4.1.2 得知坑洞發生次數以第 2 車道及第 3 車道為最多，尤其第 3 車道發生次數更遠高於第 2 車道，主因為第 3 車道為重車行駛車道，交通荷重對路面造成極大負擔，交通流量與荷重對坑洞之影響將於後續分析說明。

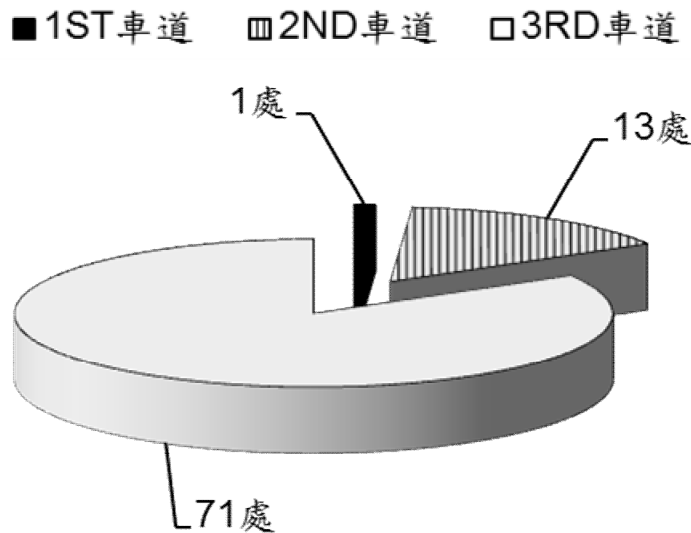


圖 4.1.1 試驗路段 A 各車道坑洞數量位置統計圖

■ 1ST車道 ▨ 2ND車道 □ 3RD車道 ▩ 4TH車道

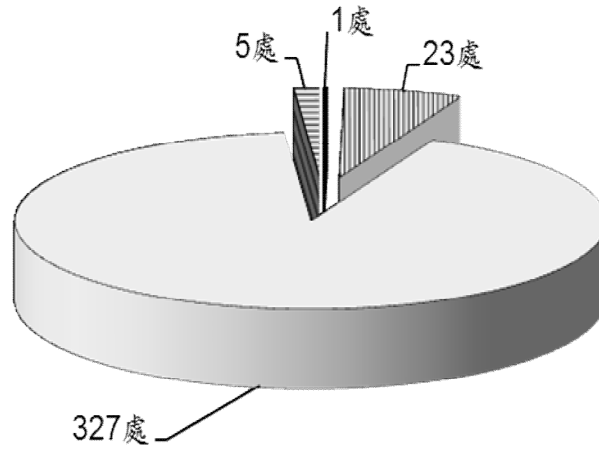


圖 4.1.2 試驗路段 B 各車道坑洞數量位置統計圖

4.1.2 分析坑洞嚴重程度—試驗路段 A

試驗路段 A 發生坑洞嚴重程度以 ASTM D6433 規範分類歸納，如圖 4.1.3 所示，重度坑洞占全整體結果高達 56%，接續為中度情形 37%及輕度情形 7%。另外，比對圖 4.1.4 發生次數統計圖，發現重度情形以北上車道約為南下車道之 4 倍，類似試驗路段 B 統計結果，試驗路段 A 發生坑洞，北上車道多屬較為重度情形。

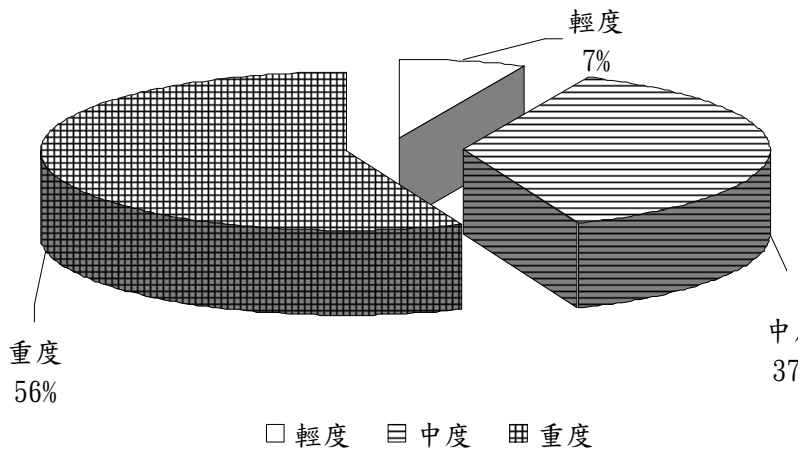


圖 4.1.3 試驗路段 A 坑洞嚴重程度分級百分比圖

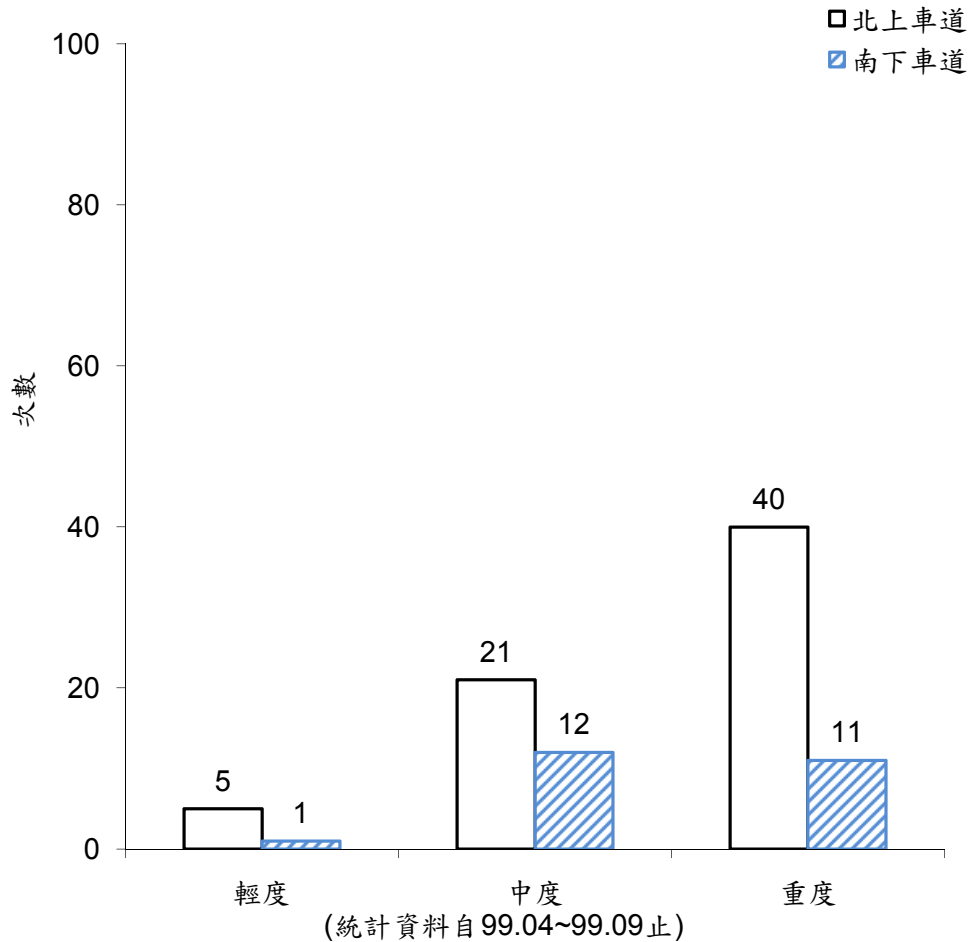


圖 4.1.4 試驗路段 A 坑洞嚴重程度次數統計圖

試驗路段 B 坑洞發生統計結果由 ASTM D6433 規範分類歸納，將坑洞分為輕度、中度及重度等三類破壞程度，圖 4.1.5 說明坑洞屬於中度情形為多，所占比例高達全部的 53%，此類坑洞深度介於 2.5~5 cm，坑洞直徑介於 20~45 cm；需注意的是，重度坑洞占全部數目的 1/3，此時坑洞深度大於 5 cm，直徑也大於 45 cm。再者，比對圖 4.1.6 坑洞發生次數統計圖，可得知就坑洞發生次數之輕度、中度等級，南下北上坑洞發生結果略接近；然而，重度坑洞發生於北上車道之情況明顯高於南下車道。試驗路段 B 南北向之雨量條件相同，南北向車道嚴重坑洞數目卻存有差異，可以說明在相同雨量條件下，造成試驗路段 B 北上車道坑洞情形嚴重，可能是北上車道鋪面之重車較重且多，因此較容易產生有局部裂縫，雨水滲入而有所影響，致使坑洞發生，綜合而言，路段 B 之坑洞嚴重度和次數皆較路段 A 為高。

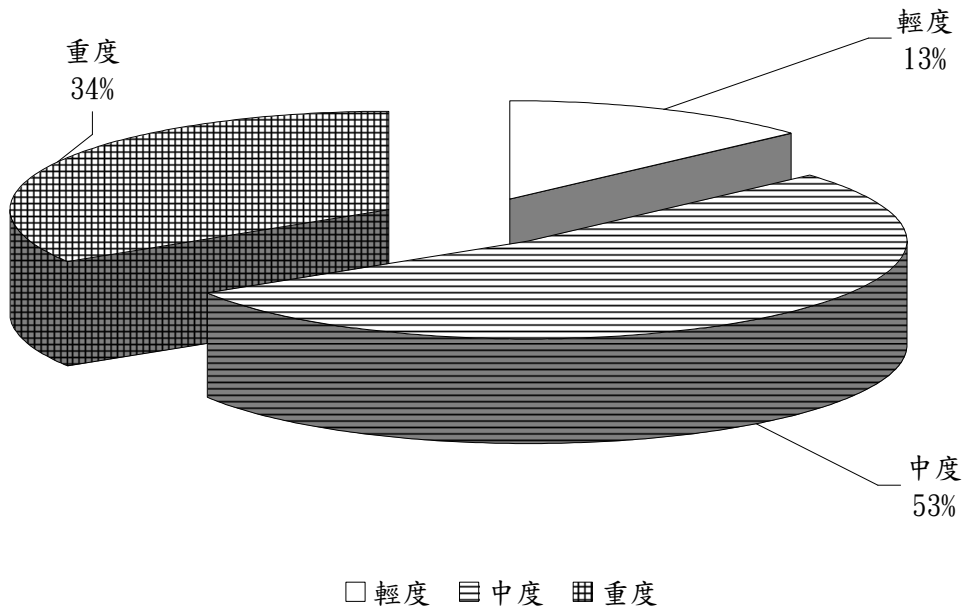


圖 4.1.5 試驗路段 B 坑洞嚴重程度分級百分比圖

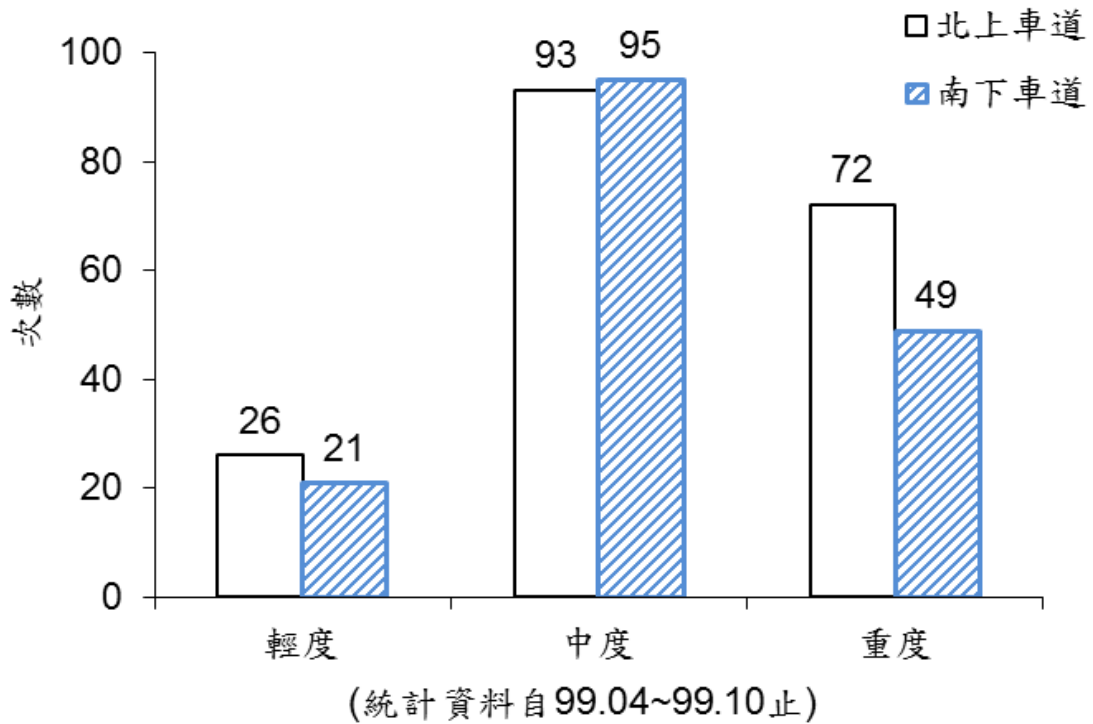


圖 4.1.6 試驗路段 B 坑洞嚴重程度次數統計圖

4.2 現地試驗

本研究於試驗路段 A 與 B 各取 4 處進行現地試驗及後續的實驗室實驗。現地試驗包括：透水量量測、車轍深度量測、縱橫坡度量測與 Clegg Hammer 衝擊試驗。試驗點位進行鑽心取樣，將鑽心試體於實驗室進行瀝青含量與黏度之量測與篩分析，將現地和實驗室結果分析如下。

4.2.1 現地透水量試驗

現地透水試驗係用以評估開放級配摩擦層(OGFC)之透水能力，OGFC 在剛鋪築完成時約有 10%的孔隙率，但隨著時間的增加及重複的交通載重產生再壓密的現象，使 OGFC 的孔隙逐漸降低，排水效果消失。由圖 4.2.1 顯示輪跡處的透水量通常都比車道中心低，表示輪跡處長期受到車輪載重的影響，導致 OGFC 層的孔隙被壓實，透水能力下降。

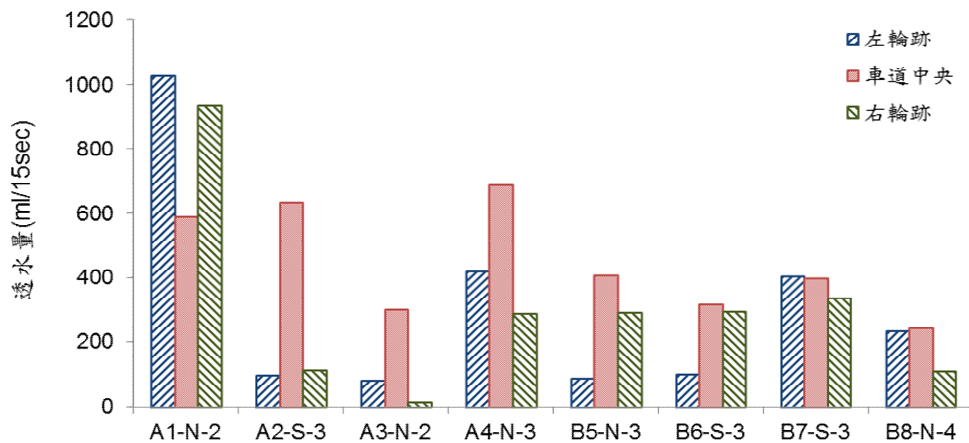


圖 4.2.1 試驗路段 A 與試驗路段 B 現地透水量

表 4.2.1 縱、橫向坡度量測結果

試驗點位	橫向坡度(%)	縱向坡度(%)
A1-N-2	0.8	0.033
A2-S-3	1.9	0.3
A3-N-2	-0.167	0.53
A4-N-3	0.7	0
B5-N-3	0.87	0.53
B6-S-3	2.03	0.2
B7-S-3	1.1	-0.4
B8-N-4	1.3	0.033

- 註：1. 橫向坡度正值表示向外側排水、負值表示向中央排水
2. 縱向坡度正值表示南邊較高、負值表示北邊較高

圖 4.2.1 中可以看出，平均而言，試驗路段 A 車道中央的透水量高於試驗路段 B，可能原因是鋪面使用年限不同，或是兩路段重車數數量不同。OGFC 受到壓密情形影響，排水效果較低的路段，雨天水分較容易積留路面，造成水侵害的機率也較高。為減少水侵害，除可用多孔隙瀝青混凝土提升排水效果外，也可於瀝青混合料中添加 2~3% 的水泥取代石粉，或是使用改質瀝青，以減少粒料剝脫的現象。

4.2.2 車轍量測

利用 1.8M 米直規進行車道輪跡處與中央的車轍深度量測，試驗結果如圖 4.2.2 所示。

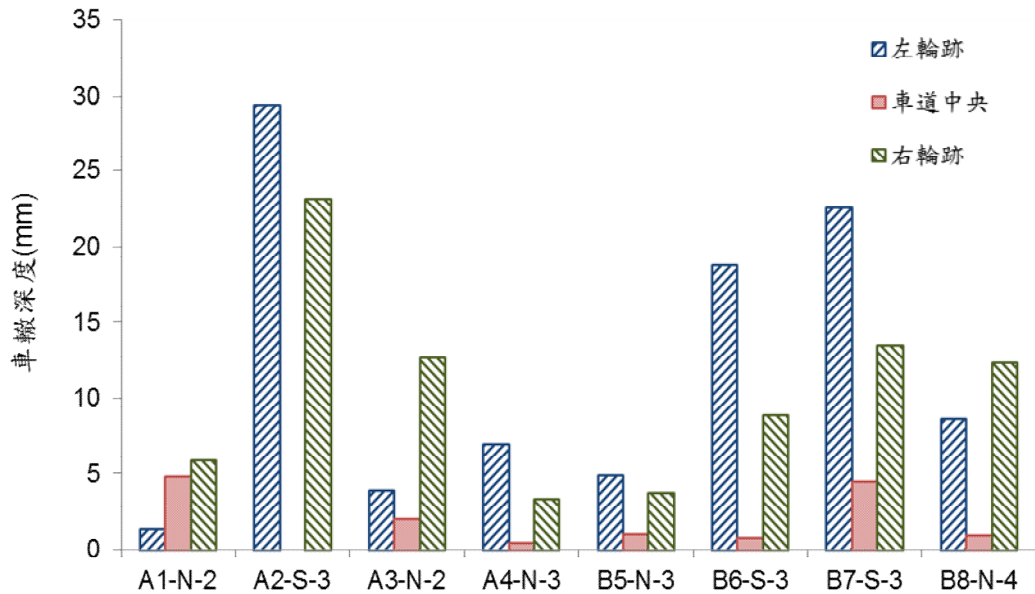


圖 4.2.2 試驗點位車轍深度

圖中可以看出車道輪跡處的車轍深度都比車道中央的高，表示鋪面長時間承受重複交通荷重的情況下，產生永久變形，除試驗路段 A2-S-3 處變形過大，一般而言，試驗路段 B 之車轍較明顯，四個試驗點位的輪跡處都已經產生明顯的車轍現象。試驗路段 B 之車轍與地理條件有關，試驗路段 B 由北至南分別有科學園區、鋼鐵廠、中鋼、中油、中船和港口等重工業，重車由港口將貨物運送至附近的工廠或園區內，交通量將於 4.4 節詳細說明。

圖 4.2.2 中試驗路段 A2-S-3 處的車轍點為明顯偏高，是因為該試驗點位的鋪面受到嚴重局部側擠(shoving)，擠向車道中央處，因此車道中央處的高程明顯高過輪跡處，假如以車道中心處的車轍深度視為零，輪跡處的車轍深度高達 30mm；側擠是局部位置受到重車荷重後，垂直方向變位扭曲後的情形，為了增加瀝青混合料的抗變形能力，使用黏度較高的黏結料或鋪築石膠泥瀝青混凝土(SMA)，將可降低車轍的嚴重性。

4.2.3 縱、橫向坡度量測

利用電子式坡度量測計，量測試驗點位之縱、橫向坡度實際情況，試驗結果如表 4.2.1 所示。

一般而言，高速公路橫坡設計為 2%，縱坡至少 1%以利排水；鋪築後，歷經夏季炎熱和車輛反覆推擠，縱橫坡度在通車一段時間後，可能產生變化。控制適當的縱橫坡度可以提升排水效果，減少坑洞產生的機率；所以於一般和大型養護時，鋪築之鋪面應控制坡度的一致性，新舊鋪面交接處不應存有段差。

同時，鋪築後應有足夠時間養治，應等到路面溫度降至 50°C 以下，此時瀝青混合料才有足夠強度抵抗車輛荷重，不僅可以減少孔隙壓密，降低車轍發生機會，原先鋪築的縱向與橫向坡度方可維持，提升鋪面耐久性。

4.2.4 Clegg 衝擊試驗

本研究利用 Clegg 試驗，於試驗點位進行衝擊試驗，鋪面經衝擊後可測得一個尖峰 CIV 值，這個 CIV 值以 10 個加速度值為一單位，CIV 值與路面整體強度有直接關係，可用來判斷鋪面結構的強弱，CIV 值愈高，代表鋪面結構強度愈好，愈可承受交通荷重。本研究將分為南下及北上車道進行分析探討，鋪面結構皆為路堤段，由圖 4.2.3 顯示各輪跡處之 CIV 平均值，其中 I 字型為量測值之一個標準差範圍。

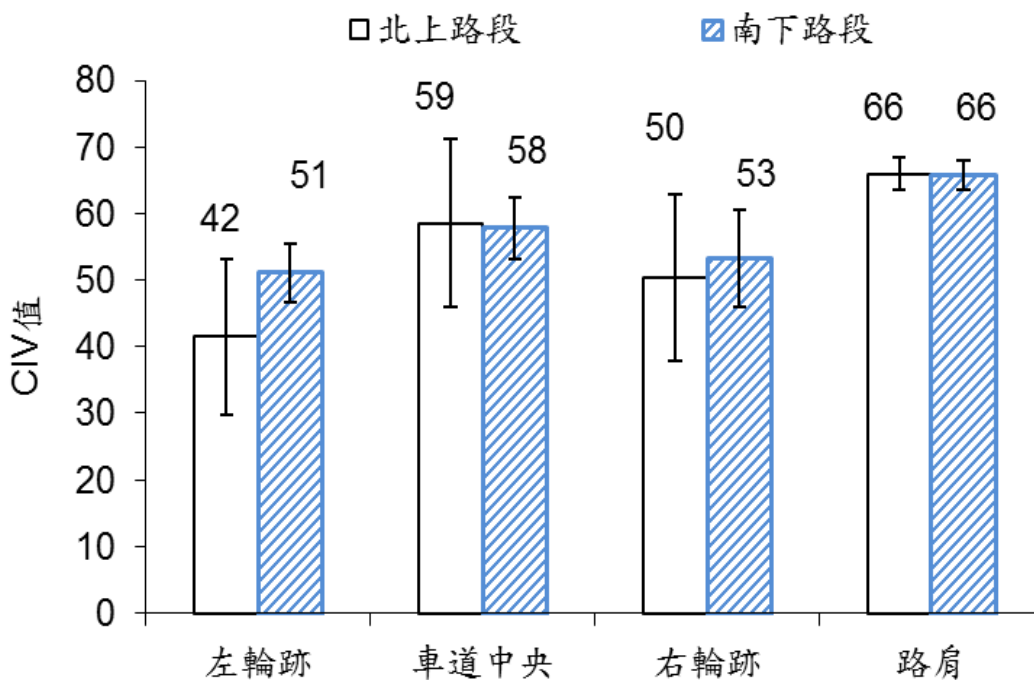


圖 4.2.3 路堤段南北外車道之 CIV 值比較

由圖 4.2.3 顯示，不論南下或北上車道左、右輪跡處 CIV 值皆低於中間車道和路肩，與現地調查發現每逢大雨過後，該試驗路段外車道於車行輪跡處容易產生坑洞有相關聯，當下雨和交通荷重合併交互作用時，受交通車輛反覆荷重後鋪面發生龜裂，雨水從裂縫處滲入，浸泡基底層和路基，於是 CIV 值降低，坑洞較容易形成。路肩和中車道 CIV 值較高的另一意義是如果沒有車輛行駛的位置，鋪面結構可以較容易保存；反過來說，左右輪跡處 CIV 值較低，說明重載交通對鋪面影響是明顯的。

試驗路段之路面結構仍需要時間方可達到穩定效果。為確保鋪面結構強度，可進行之方法包含 (1) 消除可能造成軟弱面的裂縫，和 (2) 使用黏度較高的黏結料，增加黏結效果。換句話說，於刨除舊有路面時，可事先鑽心，了解裂縫深度，再決定刨除厚度，如果裂縫穿透深度超過 8 公分，刨除厚度就選定 10 公分；回鋪時，可以使用改質瀝青，改善路面強度。

4.3 鋪面材料-實驗室試驗

4.3.1 篩分析試驗

圖 4.3.1 和 4.3.2 顯示級配曲線經過通車一段時間後已有變化，受到交通荷重和流量所影響，有些粒料破碎或跳格，有些級配則偏粗，停留#4 篩比例偏高，因此級配曲線些許偏上或偏下。為控制級配曲線不致於變化太大，於鋪築時，建議派人駐廠，確實執行上、下午各一次的熱料篩分析，決定各熱料斗之用量，符合規範值上下限，降低變異性。

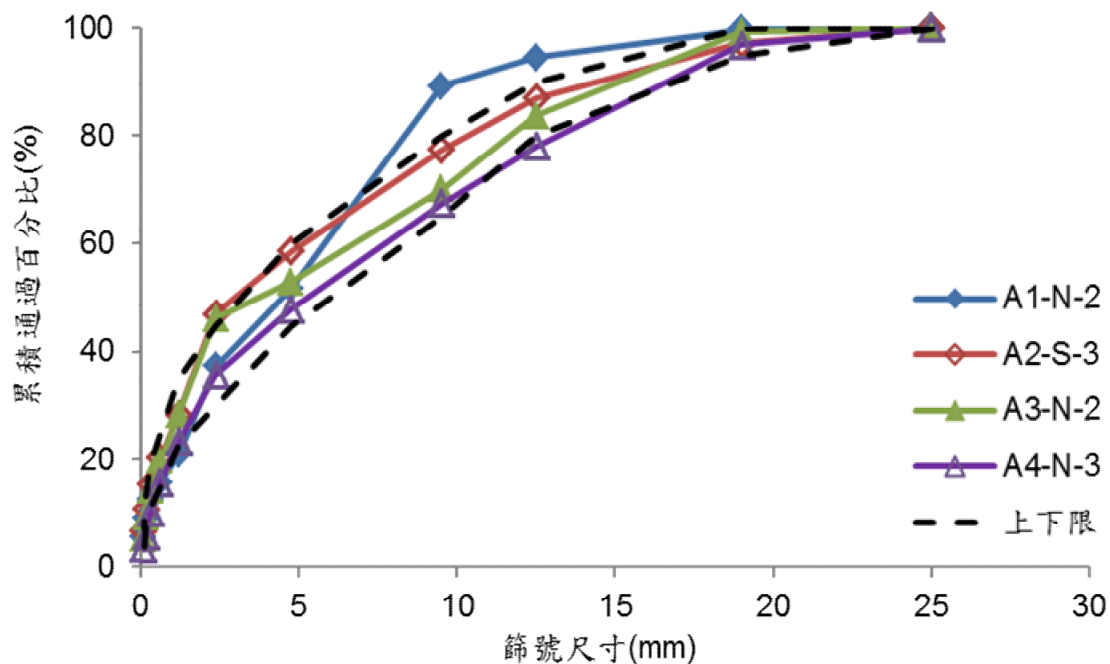


圖 4.3.1 試驗路段 A 鑽心試體篩分析曲線

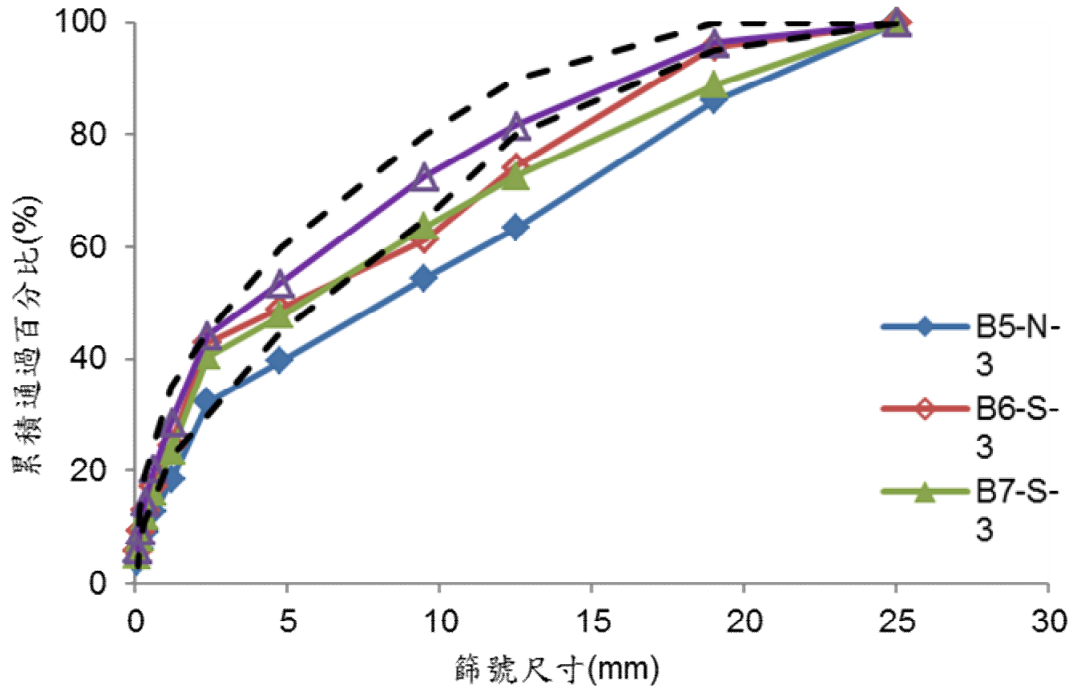


圖 4.3.2 試驗路段 B 鑽心試體篩分析曲線

4.3.2 瀝青含量

每個試驗點位於現場取三個直徑為 15 cm，深度約 10 cm 之鑽心試體，在實驗室於 80°C 加熱 1 小時使試體軟化，將鑽心試體上層之開放級配層去除、側面切割面與試體下層皆不進行取樣，僅取試體中間未受到鑽心影響之混合料進行試驗，利用蕭氏萃取法進行瀝青含量試驗，試驗結果平均值和標準差如表 4.3.1 所示。

表 4.3.1 試驗點位之瀝青含量

試驗點位	瀝青含量(%)
A1-N-2	6.4±0.18
A2-S-3	6.1±0.30
A3-N-2	6.4±0.41
A4-N-3	5.9±0.72
B5-N-3	5.8±0.52
B6-S-3	6.1±0.42
B7-S-3	5.7±0.68
B8-N-4	6.4±0.46

數據顯示由鑽心試體獲得的瀝青含量皆超過 5.5%，各試驗路段配合設計拌和公式的瀝青含量介於 4.4~5.5%，瀝青含量稍微偏高。由篩分析曲線可看出有些級配略偏細，細粒料的比表面積也高於粗粒料，獲得的瀝青含量也因此偏高。本試驗路段選定地點之路面皆有破壞現象的產生，瀝青含量偏高時，可能引起車轍或側擠等現象。

4.3.3 黏度

將鑽心試體所含之瀝青進行黏度試驗，可直接求得瀝青於 60°C 時的黏度，試驗平均值與標準差結果如表 4.3.2 所示

表 4.3.2 鑽心試體黏度

試驗點位	60°C 黏度(poise)
A1-N-2	14,600±1249
A2-S-3	13,667±321
A3-N-2	5,923±902
A4-N-3	12,367±306
B5-N-3	5,553±746
B6-S-3	16,733±1021
B7-S-3	42,933±1419
B8-N-4	23,233±2323

由試驗結果可看出黏度愈大的點位表示瀝青老化程度越高，新鮮瀝青 AC-20 之黏度介於 2000±400poise，隨著通車時間的增加，氣候炎熱的影響，可能造成黏度上升的原因。另外，有些路段可能使用改質瀝青鋪築，因此黏度較高，由於無原始施工數據，無法進一步分析其原因。

瀝青在老化的情況下，容易造成粒料與粒料間的黏著力下降，瀝青混凝土面層產生剝脫的現象，鋪面開始產生破壞的情況。大體而言，試驗路段 B 的黏度高於試驗路段 A，表示試驗路段 B 的鋪面的瀝青老化程度較高，是因為試驗路段 B 的重車流量高於試驗路段 A，路面較容易龜裂，裸露受氧化的機會較高，瀝青比較容易老化，因此黏度較高。另外，為減少拌和過程的過度老化，或添加過量回收料，派人駐廠可以控制瀝青混合料產製過程；同時，如使用新鮮料，切斷輸送回收料之馬達電源，降低不必要的變因產生。

4.3.3 回彈模數(MR 值)

回彈模數之目的為模擬瀝青混凝土受到瞬間荷重所引起的彈性變形，可以評估材料之間的相對品質，理論上回彈模數越高者對抵抗車轍有助益；但過高的回彈模數對於疲勞龜裂較敏感，進而發展成坑洞。各試驗點位於 25°C 下，回彈模數值如表 4.3.3。

表 4.3.3 鑽心試體回彈模數值

試驗點位	回彈模數 MR 值(25°C、MPa)
A1-N-2	5077±3233
A2-S-3	5952±2980
A3-N-2	7187±3672
A4-N-3	5204±2701
B5-N-3	4373±2821
B6-S-3	6914±5610
B7-S-3	5450±1967
B8-N-4	4268±1624

在實驗室以 AC-20 作為黏結料，級配選用密級配夯打馬歇爾試體，隨之進行回彈模數試驗，得到 25°C 的回彈模數值大約為 2000 MPa，表 4.3.3 之數據有偏高的趨勢，顯示現地鑽心試體瀝青受到老化影響。鑽心試體的位置皆於鋪面產生龜裂或車轍處的周圍，表 4.3.3 的結果與表 4.3.2 有相對應的效應，表示瀝青黏度的增加，鑽心試體的 MR 值也較高。對應於現地鑽心位置的鋪面狀況，此時瀝青材料受到老化較易變為脆硬性，受到車輪重複載重以及溫度的變化，也容易產生裂縫。下雨時，水會沿著裂縫滲入瀝青混凝土當中，受到車輪的瞬時載重，孔隙內的水產生超額孔隙水壓，進而影響瀝青混凝土結構的穩定性，當結構產生不穩定時，瀝青混凝土可能產生剝脫的現象。一旦發生剝脫現象，即可能擴大而形成坑洞，因此瀝青材料的老化也是坑洞產生的原因之一。

4.3.4 間接張力

間接張力強度乃是間接量測瀝青混凝土試體之張力強度，主要用來判斷瀝青混凝土受壓時產

生張力的抵抗能力，一般瀝青混凝土面層受輪荷重作用時，面層底部將產生張應力，瀝青混凝土應有足夠之張力強度來抵抗所產生之張應力，若間接張力強度愈大則瀝青混凝土抵抗劈張破壞的能力也愈大，圖 4.3.3 為現地鑽心試體進行間接張力的結果。

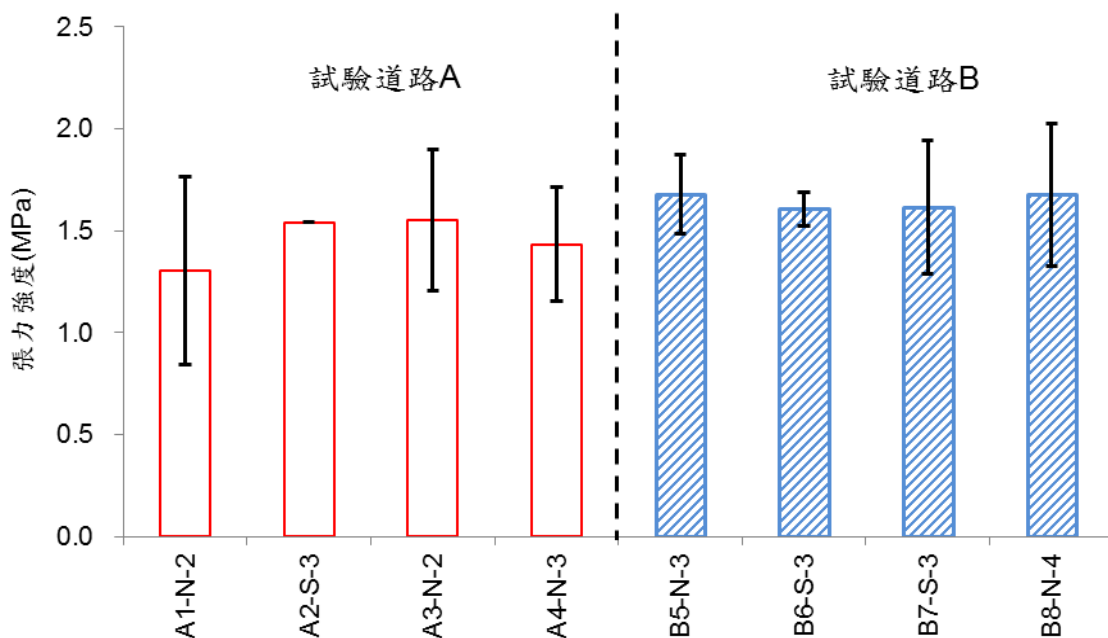


圖 4.3.3 間接張力試驗結果

由圖 4.3.3 可看出現的鑽心試體的間接張力值在考慮標準差的變化程度下，試驗路段 A 和試驗路段 B 各路段之間接張力強度並無明顯差異。新鮮瀝青混凝土之間接張力強度約為 1.2MPa，鋪面開放通車一段時間後，受到材料老化等影響，理論上，間接張力強度應該增加，但本研究鑽心取樣的位置都選定鋪面已經產生破壞處，因此瀝青混凝土已受到外在環境的影響，故間接張力值的變化屬於合理的範圍。

4.3.5 滯留強度指數(TSR)

滯留強度指數試驗的目的在於了解現地鋪面受到雨量的影響後，浸水前後鋪面間接張力的變化。試體需要先在 60°C 的恆溫水槽浸泡 24 小時以上，模擬雨水滲透至路面下，在瀝青混凝土內產生孔隙水壓因而產生粒料剝脫的行為。瀝青黏結料的內聚力(Cohesion)及瀝青與粒料之間的黏結力(Adhesion)會受到外在環境的影響，比如雨水、氣溫與交通等因素，導致瀝青混凝土的強度下降，耐久性也降低。圖 4.3.4 為鑽心試體滯留強度指數結果，TSR 值為 50%代表試體浸水後之間接張力強度為乾燥狀態之 50%，鋪面 TSR 值愈低，愈容易受到水侵害影響；TSR 值愈高，代表試體浸水後，有較佳抵抗水侵害的能力。

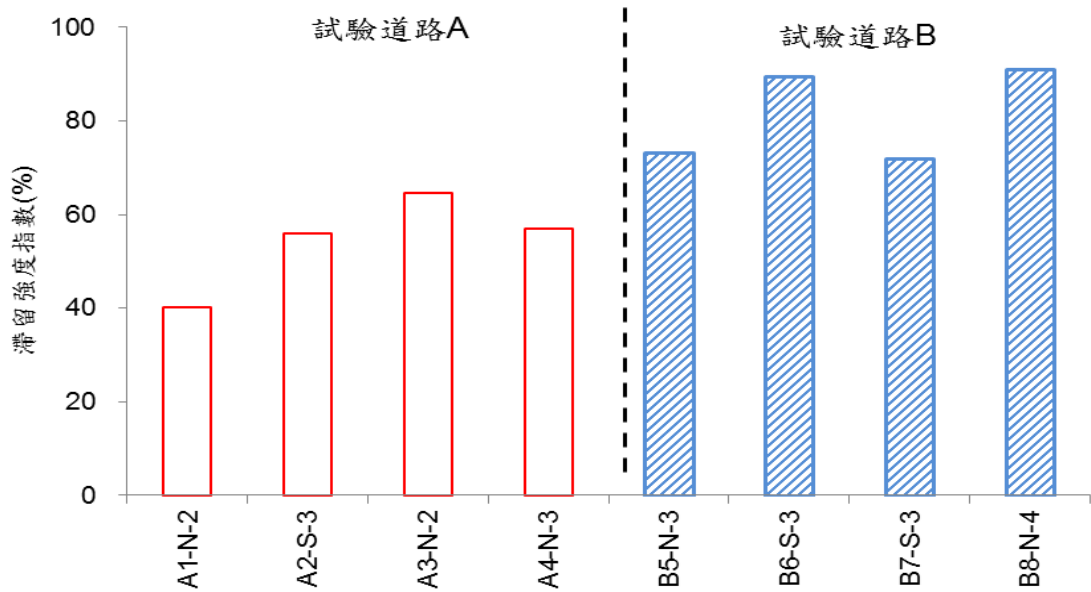


圖 4.3.4 滯留強度指數結果

圖 4.3.4 可看出試驗路段 A 的 TSR 值低於試驗路段 B 的低，這是因為試驗路段 B 要求瀝青混合料添加 2% 之水泥，水泥具有良好的抗水侵害能力。A1-N-2 之 TSR 值最低，僅有 40%，表示下雨天時，容易受到水侵害的影響，瀝青混凝土抵抗張力裂縫的能力下降，受到交通車輛與荷重的影響，鋪面較容易產生開裂，當一個小裂縫存在時，車輛的重複滾壓就會將裂縫附近的粒料帶離，持續降雨的情況下，再加上超額孔隙水壓力的影響，就會形成坑洞。一般規定滯留強度指數之規範要求需大於 75%，試驗結果顯示現地鋪面服務多年後，受到雨量與交通量影響，TSR 值已經下降。需注意的是取樣位置皆有裂縫存在的現象，TSR 值的降低是不可避免的，TSR 值顯示水分是造成坑洞的重要因素。為減緩 TSR 值的降低速率，添加水泥等抗剝脫劑有助於減少水侵害現象的發生。

五、雨量分析

5.1 坑洞嚴重程度分析—試驗路段 A

根據 99 年期間收集的資料，試驗路段 A 坑洞總面積為 41.82m²及坑洞總體積為 2.07m³，雨量數據則來自中央氣象局。由圖 5.1.1 雨量與坑洞面積關係發現試驗路段 A 北上路段坑洞面積與雨量間趨勢線斜率明顯高於南下路段，北上路段受重車影響較大，且由迴歸線得知南北向之判定係數 R² 分別為 0.72 及 0.66，說明降雨量與坑洞面積發生的相關性非常高。事實上，鋪面縱然存在疲勞裂縫，假若沒有雨水侵入惡化剝脫狀況，鋪面仍可維持行車功能，不至於產生坑洞；再將試驗路段 A 發生坑洞之體積與雨量關係繪製成圖 5.1.2，其結果與圖 5.1.1 有相同趨勢，判定係數 R² 也接近。

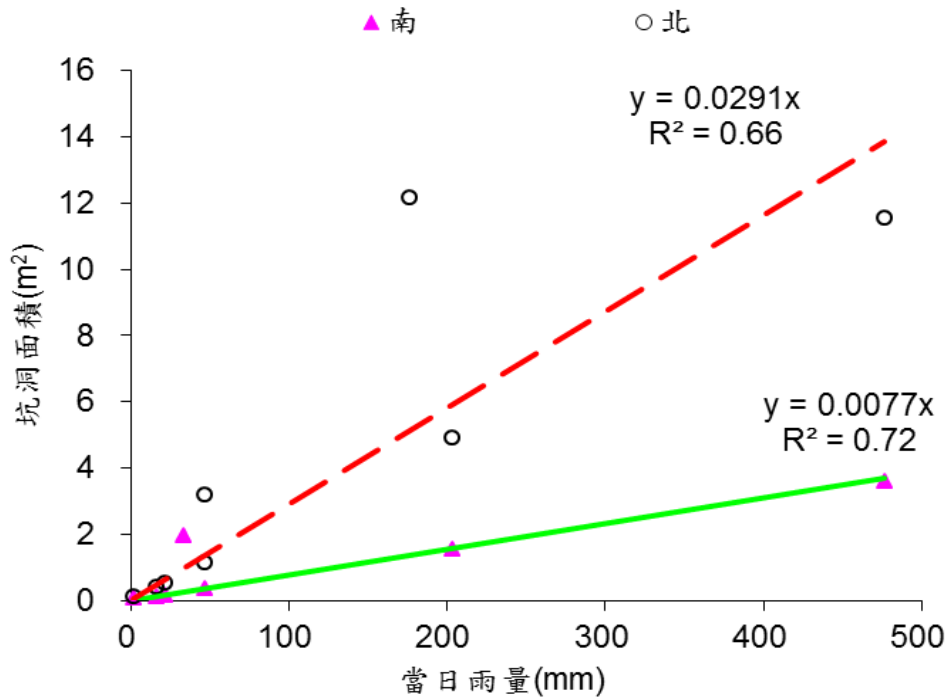


圖 5.1.1 試驗路段 A 雨量與坑洞面積關係圖

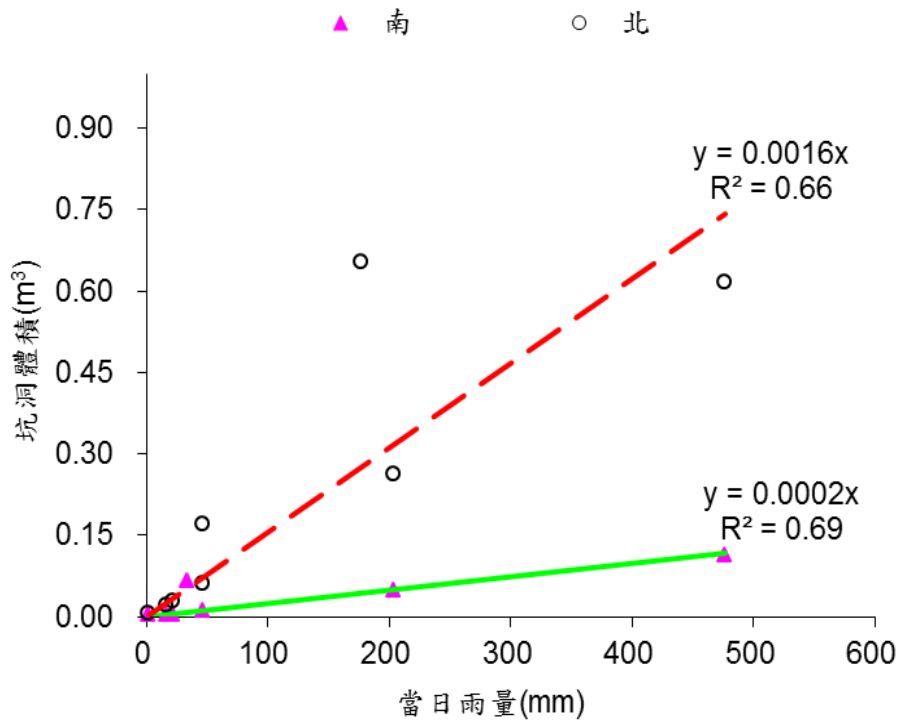


圖 5.1.2 試驗路段 A 雨量與坑洞體積關係圖

5.2 坑洞嚴重程度分析—試驗路段 B

以 99 年資料分析雨量與坑洞關係，結果如圖 5.2.1 所示，經由線性迴歸可得北向之判定係數 R^2 分別為 0.61，也就是坑洞面積產生的原因有 61% 可以用雨量大小來解釋，另外 39% 可歸咎於其他因素，如交通量、材料老化或鋪面結構。顯示天候降雨量與坑洞面積發生有密切的相關性，從迴歸式之斜率來看，雨量發生每增加 100mm 時，試驗路段 B 北上車道將有面積 5.2m^2 之坑洞面積產生。圖 5.2.2 顯示坑洞體積與雨量大小之正關係性，呈現雨量愈高，產生坑洞的體積也愈大。

另外，觀測到北上路段趨勢線斜率略高於南下路段，分別 0.052 和 0.039，是就統計觀念表示試驗路段 B 北上車道較南下車道更容易受天候雨量影響，在相同雨量情形下，北上車道產生坑洞面積高於南下車道；與圖 5.2.2 次數統計圖相符合，表示一旦發生坑洞時，北上車道嚴重程度將高於南下車道，推測可能交通重車影響作用所致。從試驗路段 B 和試驗路段 A 坑洞和雨量的關係圖，清楚說明雨量是造成坑洞的主要原因，交通量和荷重則是加速坑洞嚴重性之另一主因。

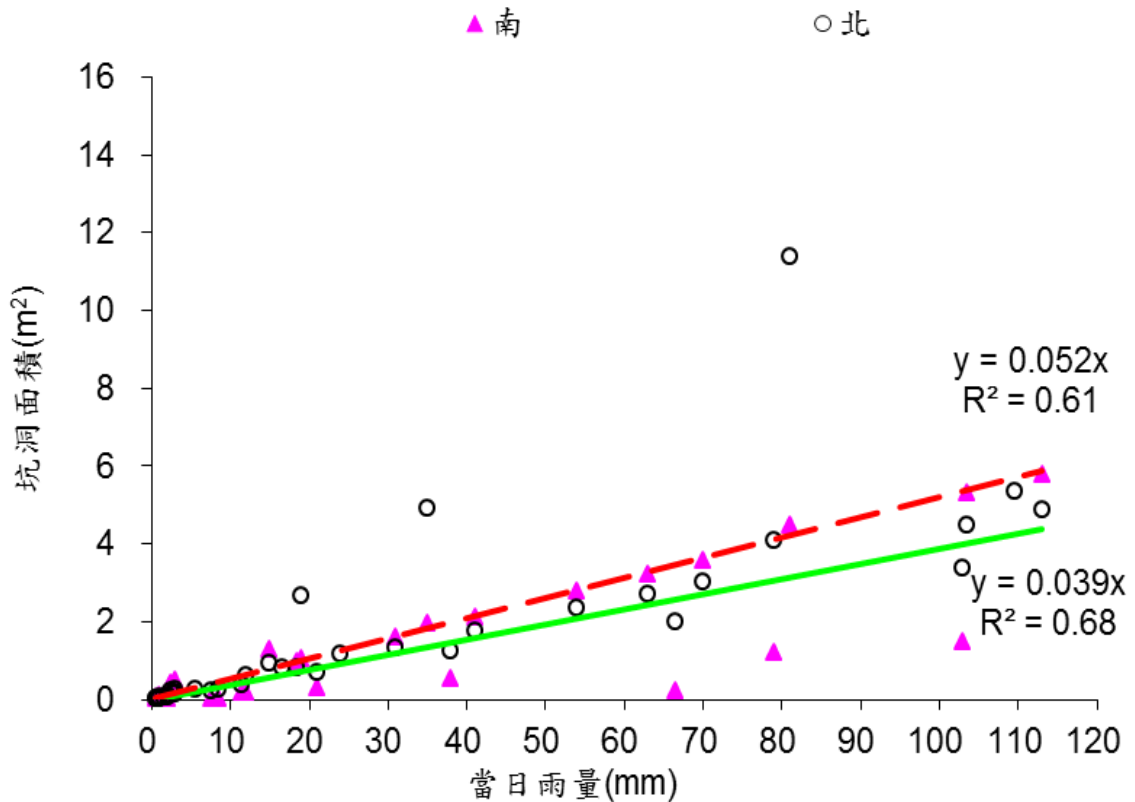


圖 5.2.1 試驗路段 B 雨量與坑洞面積關係圖

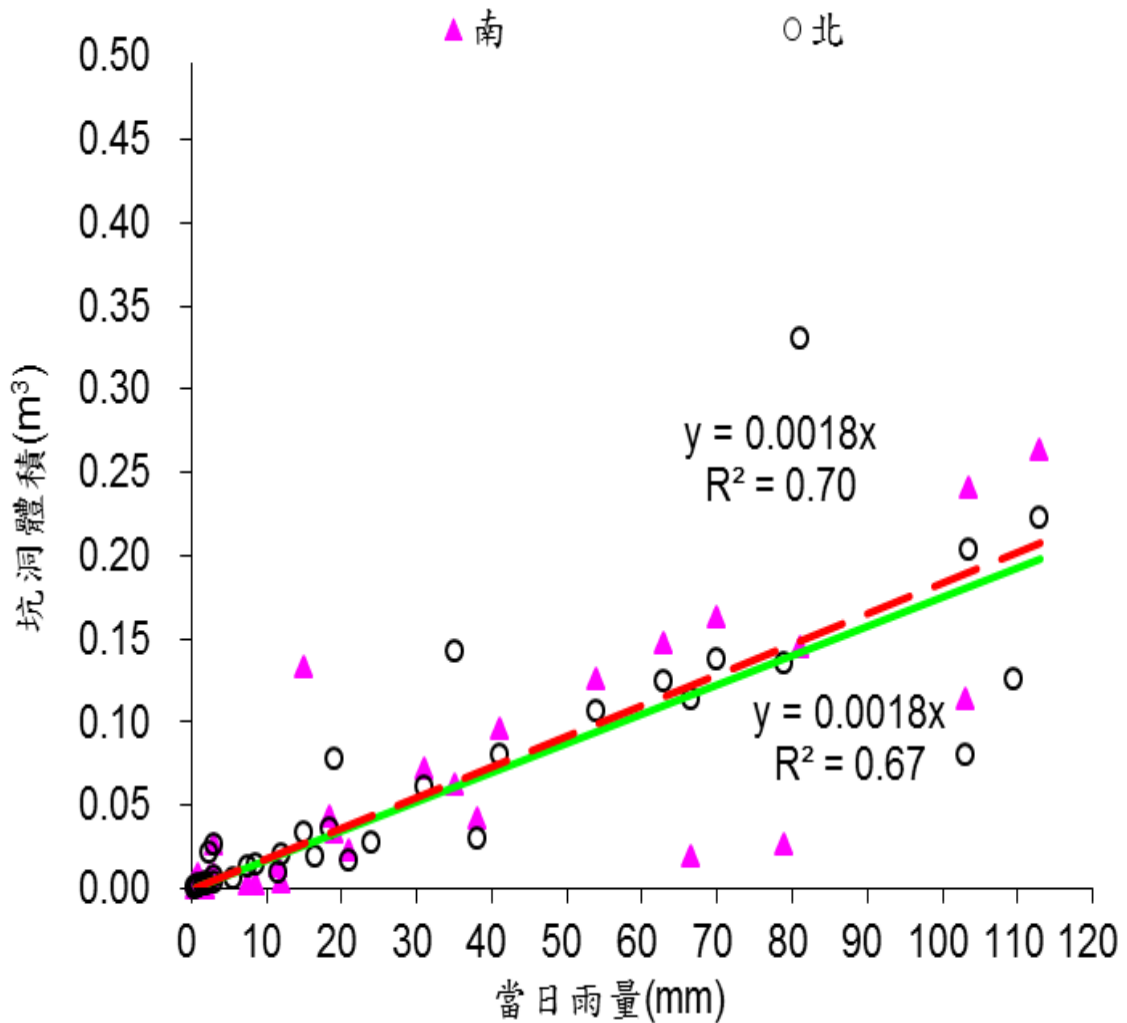


圖 5.2.2 試驗路段 B 雨量與坑洞體積關係圖

5.3 坑洞綜合比較

為進一步瞭解雨量影響坑洞發生次數和嚴重程度之關係，因此，將試驗路段 A 及 B 之坑洞與雨量資料綜合分析，探討其關係性，分別以圖 5.3.1 及圖 5.3.2 表示。由圖 5.3.1 雨量及坑洞面積關係圖線性趨勢線之判定係數 R^2 ，分別為 0.61 及 0.42，由於試驗路段 B 與試驗路段 A 之交通量和荷重不一樣，故 R^2 值會有所變化，大致而言，坑洞面積產生的大小變化，至少 40%以上可以由當日雨量多寡來解釋，故雨量可視為坑洞產生的重要因素之一。再由圖 5.3.1 亦可得知，試驗路段 B 線性迴歸斜率值大於試驗路段 A，代表在相同當日雨量下，試驗路段 B 發生坑洞面積較大於試驗路段 A，因此，推測 B 路段受到外在環境條件影響程度高於試驗路段 A；另外，圖 5.3.2 坑洞體積與雨量關係亦呈現相同結果趨勢。

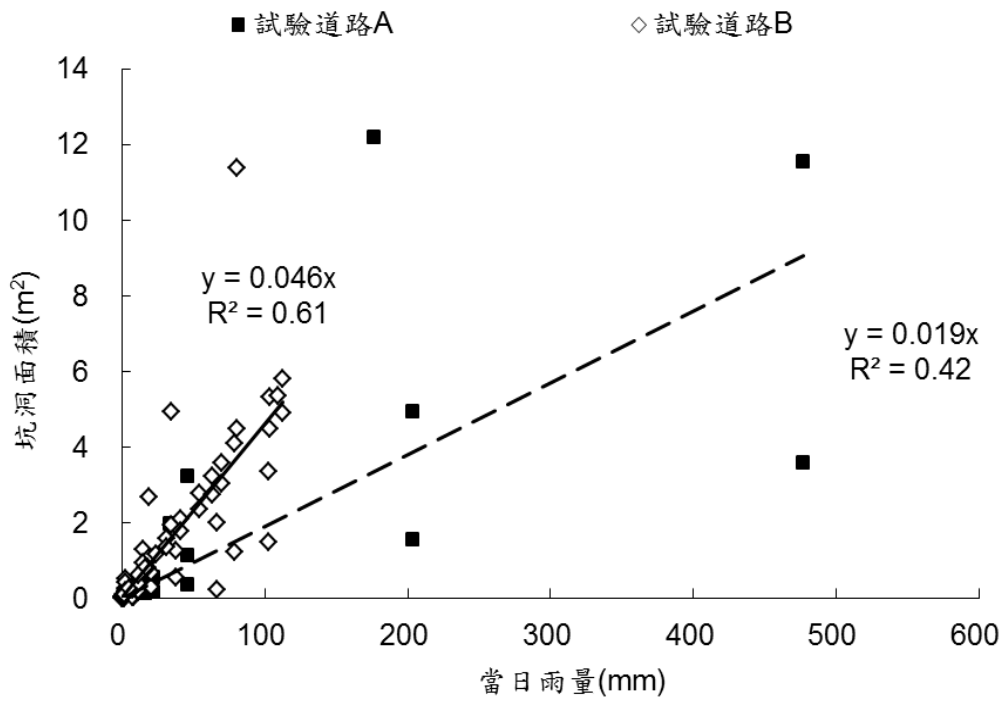


圖 5.3.1 試驗路段 A 及試驗路段 B 雨量與坑洞面積關係

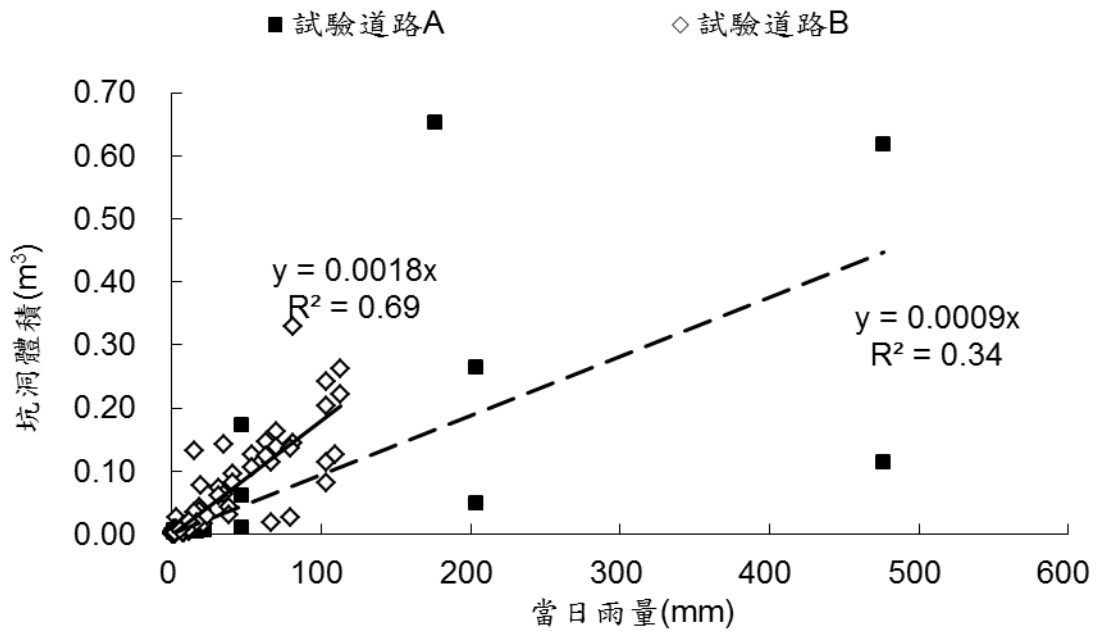


圖 5.3.2 試驗路段 A 及試驗路段 B 雨量與坑洞體積關係

圖 5.3.3 顯示坑洞發生情形不管重度、中度及輕度情況下，試驗路段 B 坑洞次數高於試驗路段 A；數據收集時間為相同時間域，因此可知另有其他因素導致此現象發生，經比對車流狀況，亦顯示試驗路段 B 重車交通數量高於試驗路段 A，需可進一步分析重車或交通車量對坑洞產生之影響。

另外，統計試驗路段 B 及試驗路段 A 坑洞發生面積及體積比較，如圖 5.3.4 及 5.3.5 所示，結果與圖 5.3.3 情形有類似結果，而圖 5.3.4 及 5.3.5 主要目的在於瞭解坑洞大小，作為日後養護材料備料和緊急需求參考依據。經由雨量分析結果，雨量確實是造成試驗路段 A 與 B 鋪面產生坑洞主要因子，總結其發生機制因台灣地處亞熱帶，夏季氣溫高，梅雨季節長，路面長期在多雨潮濕的環境下，水份經由瀝青混凝土孔隙或其他類型之路面損壞裂縫滲入瀝青混凝土內部，而使瀝青混凝土產生剝脫，進而造成坑洞現象；所謂剝脫，係指由於水分侵入瀝青混凝土鋪面之粒料與瀝青界面中，使瀝青膜與粒料喪失粘結作用而發生分離的現象，因此降低了路面之承載力與耐久性。前面已將材料特性做深入研究，因此為求完整性，本研究進一步探討交通流量對坑洞發生之影響性。

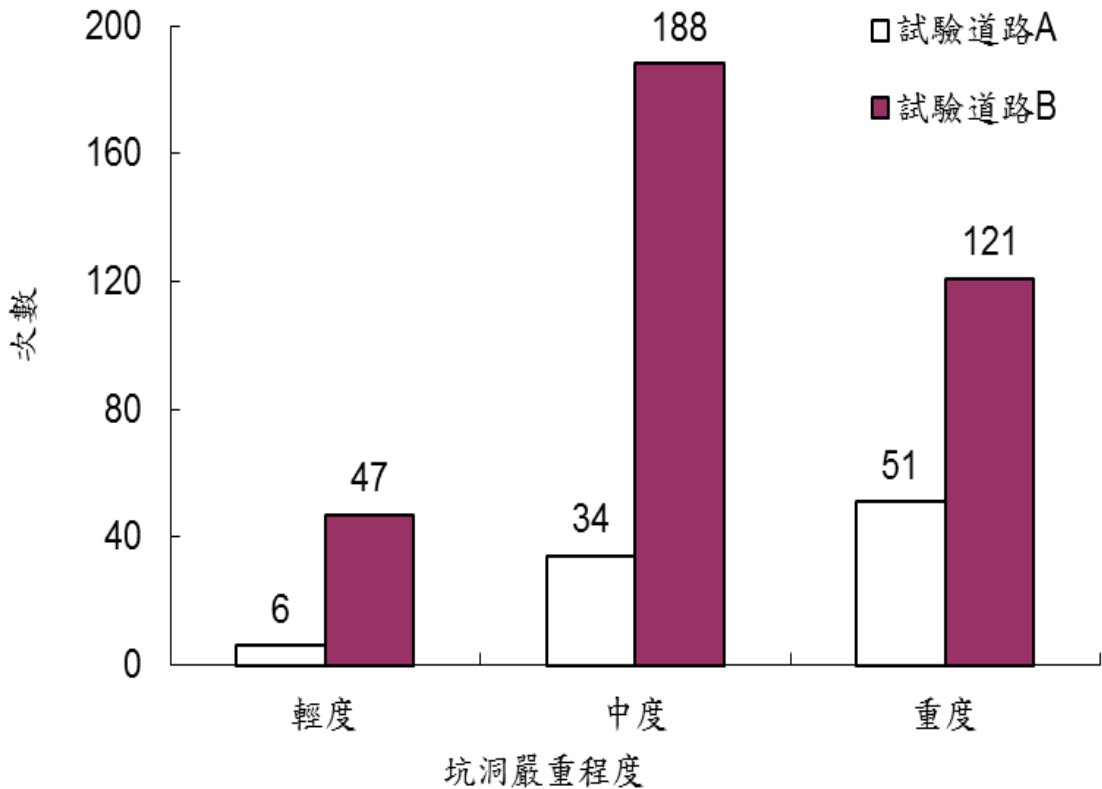


圖 5.3.3 試驗路段 A 與試驗路段 B 坑洞次數比較

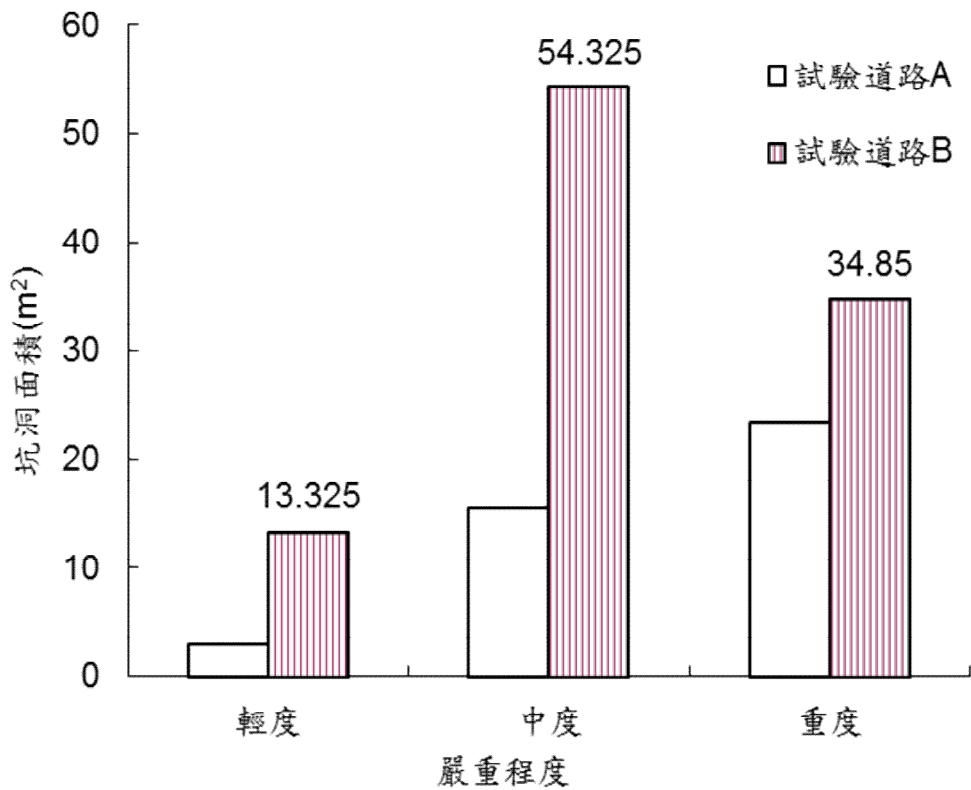


圖 5.3.4 試驗路段 A 與試驗路段 B 坑洞面積比較

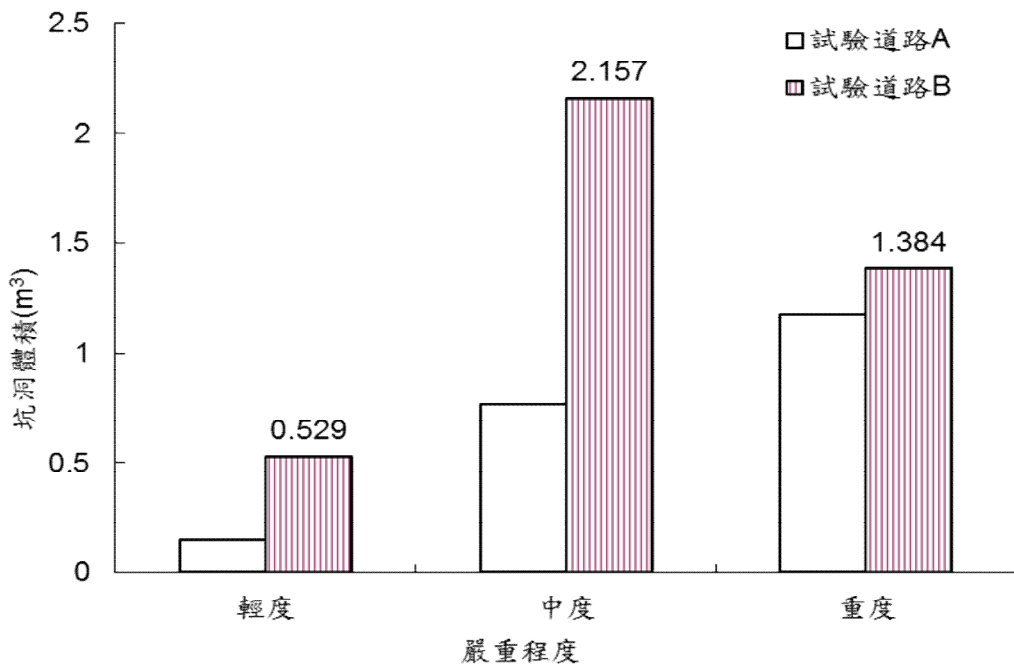


圖 5.3.5 試驗路段 A 與試驗路段 B 坑洞體積比較

六、交通量和荷重分析

6.1 基本資料

比較各收費站 99 年過站車次，收費站 2 之總過站車次明顯較其他收費站多；但是收費站 1 至 5 區間多以小型車、客貨車為主，載運重型物品如砂石、鋼筋、鋼胚等使用之聯結車佔過站總車次比例均約少於 10%，試驗路段內之收費站分別命名為 A 與 B，由表 6.1.1 可看出，試驗路段聯結車過站總車次都高於 10%。

AASHTO 試驗路段資料顯示，聯結車行走一次所造成的路面破壞是小型車走 5000 次，客貨車則為 31 次。超載重車對路面的破壞更是嚴重，呈現 4 次級數的增加，換句話說，規定總重 35 噸的卡重，若重車超載至 40 噸，對路面的損壞將會增加 $(40/35)^4=1.7$ 倍，因此 40 噸重車走一次對路面的破壞，小型車大約要走 10,000 次才会有相同的路面破壞。而且，重車大部分行走於第 3 車道，因此第 3 車道受到重車嚴厲的考驗。由上述之小客破壞次數為計算基準，可得圖 6.1.1 以小客車破壞當量次數之比較圖，圖 6.1.1 得知試驗路段 A 和試驗路段 B 路面受到重車影響相當大。

表 6.1.1 99 年各收費站車流量

項目	99 年平均過站車流量				
	小型車	客貨車	聯結車	過站總車次	聯結車比例(%)
1	12,337,389	1,225,029	1,059,217	14,621,635	7.24
2	76,210,112	5,924,899	2,221,084	84,356,095	2.63
3	35,051,410	4,647,684	2,501,659	42,200,753	5.93
4	23,363,272	4,368,690	1,633,742	29,365,704	5.56
5	24,618,999	4,330,084	1,623,993	30,573,076	5.31
6	23,619,623	4,359,747	3,428,846	31,408,216	10.92
7	16,427,939	3,577,029	3,613,091	23,618,059	15.30
A	17,537,901	3,269,277	3,501,272	24,308,449	14.40
B	28,824,393	2,820,127	4,589,110	36,233,630	12.67

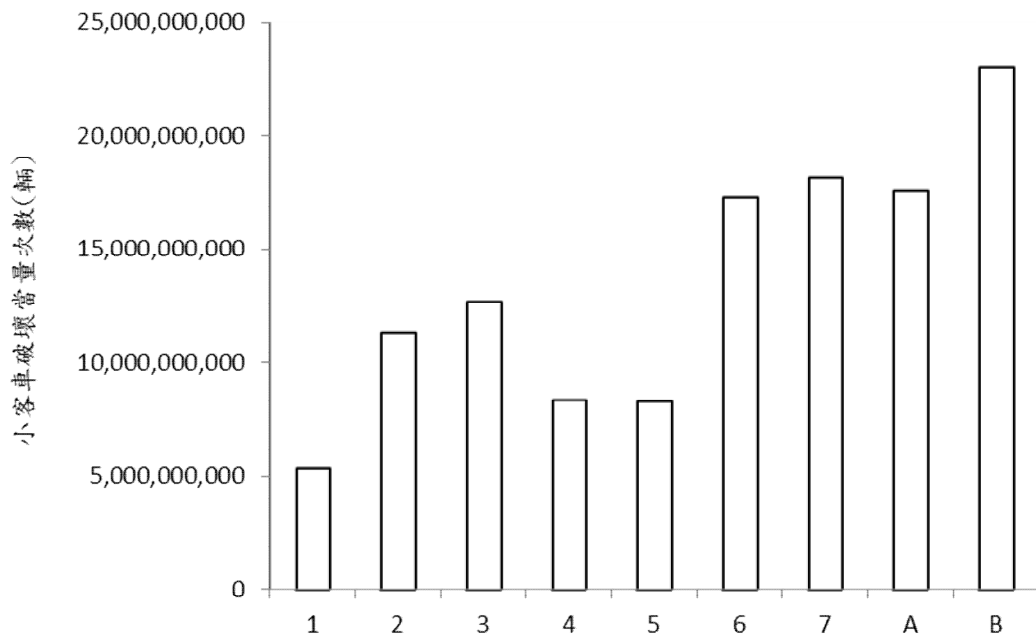


圖 6.1.1 99 年全年各收費站之小客車破壞當量次數

圖 6.1.2 至 6.1.3 分別為收費站 A 和 B 99 年各月份南下與北上聯結車車次數量，可以發現南下的重車數大部分都比北上來的多，尤其以收費站 B 最為明顯，因此推測重車在北上時可能由交流道離開，行駛聯外道路銜接附近地區，由一般道路繼續北上；重車駛離主要幹道，不僅可以順利沿途卸、載貨，亦可減少收費站之收費，逃避磅站檢測。

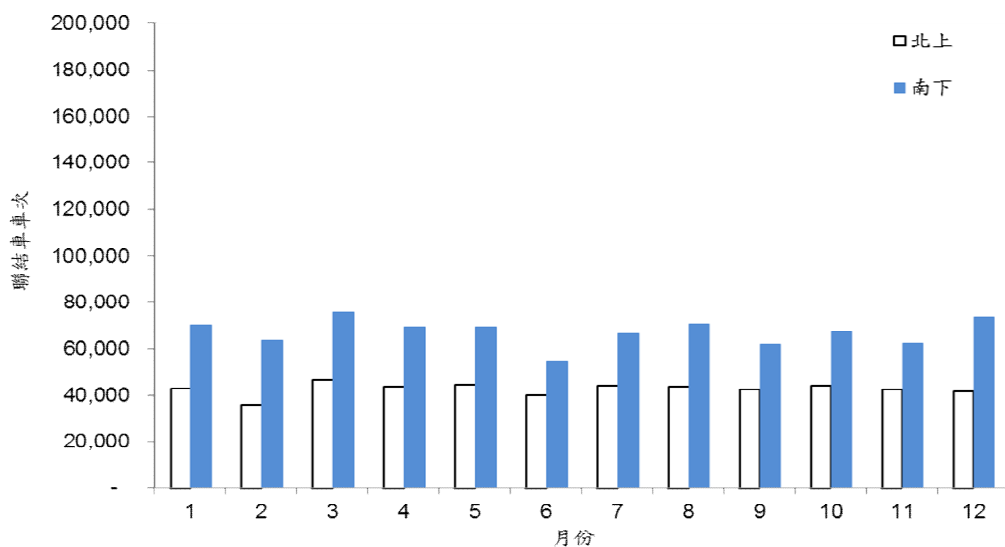


圖 6.1.2 收費站 A 各月份聯結車車次(99 年度)

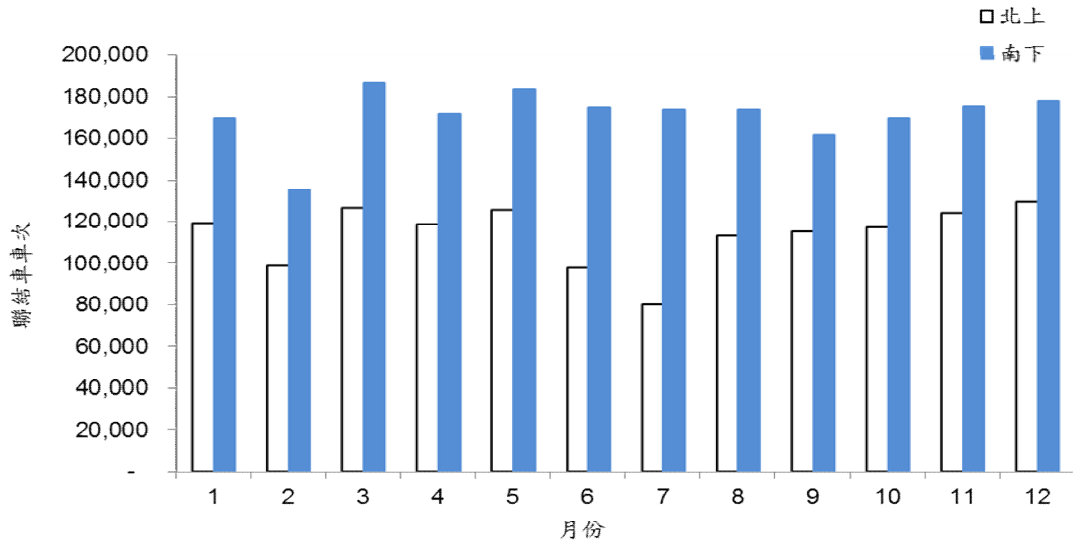


圖 6.1.3 收費站 B 各月份聯結車車次(99 年度)

6.2 試驗路段區間車輛分佈情形

就本研究交通量調查資料，依據線圈資料估算各區間南、北向車流量如圖 6.2.1 可明顯觀察到研究試驗路段 B 之每日車流量高於試驗路段 A，相對地，由前章節現地調查坑洞發生次數數據，試驗路段 B 高於試驗路段 A，可說明相同雨量條件下，交通車流量亦為影響坑洞發生主要因素之一。為進一步探討試驗路段區間南、北向車輛分佈情形，試驗路段 A 和試驗路段 B 每天單向平均交通量大約 35,000 和 55,000 輛左右。

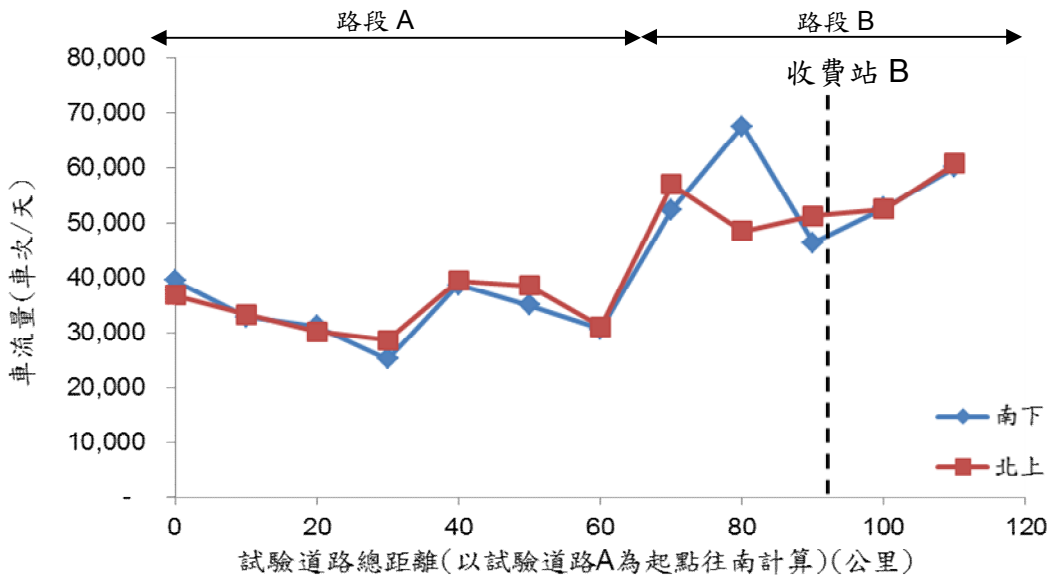


圖 6.2.1 試驗路段 A 與 B 各區間單向車流量平均值 (98/10~99/10)

6.3 車輛載重分佈情形

試驗路段區間內，均配置地磅 A 與 B，依據相關規定，載重貨車行經地磅除有標示停磅外均應進磅秤重，本研究依據提供 98 年 10 月起至 99 年 10 月止前開磅站過磅資料分析進磅重車總重分佈情形如圖 6.3.1 至 6.3.2 所示。

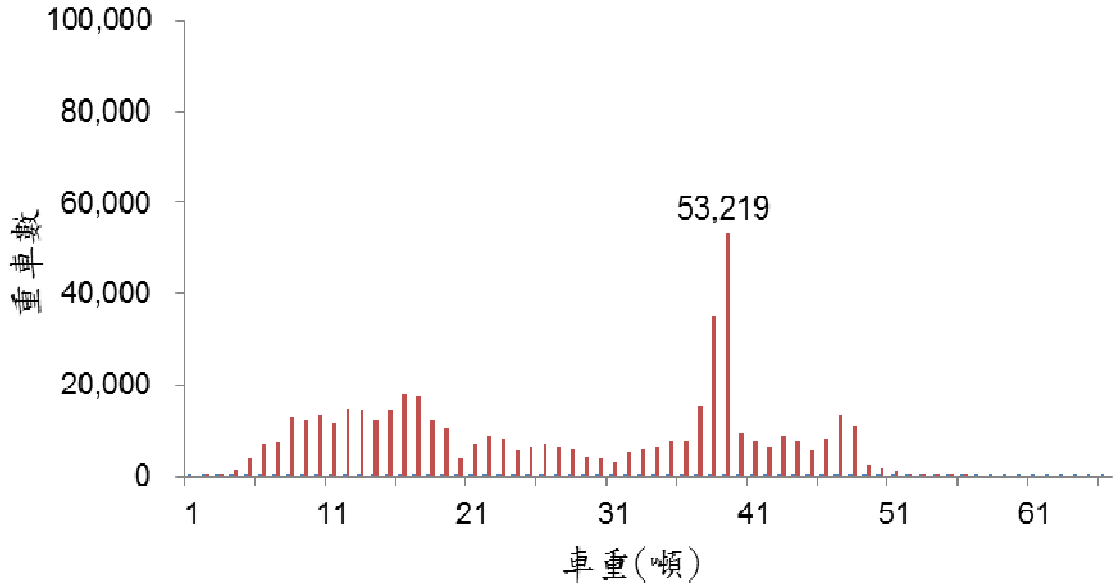


圖 6.3.1 地磅 A 北磅過磅重車總重分佈圖(98/10~99/10)

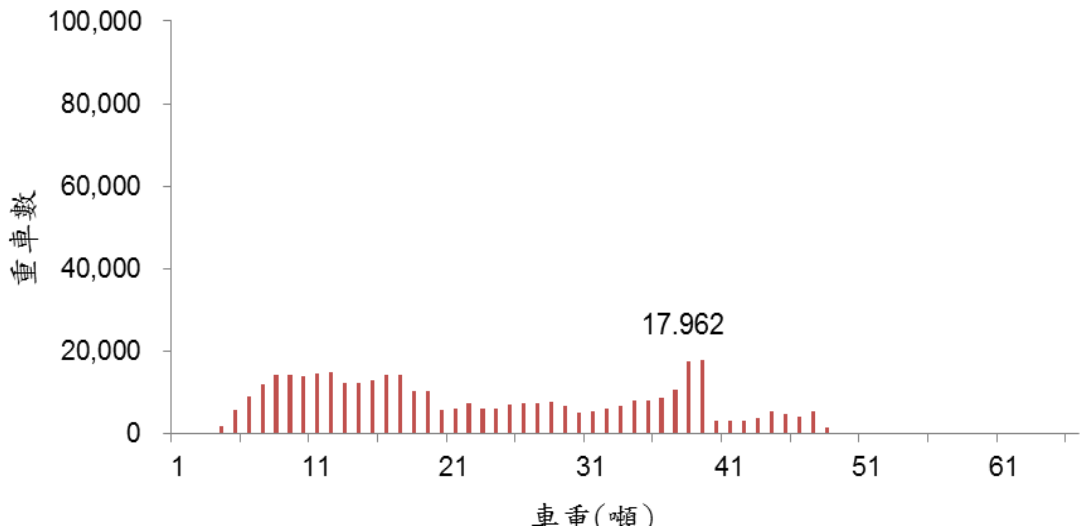


圖 6.3.2 地磅 A 南磅過磅重車總重分佈圖(98/10~99/10)

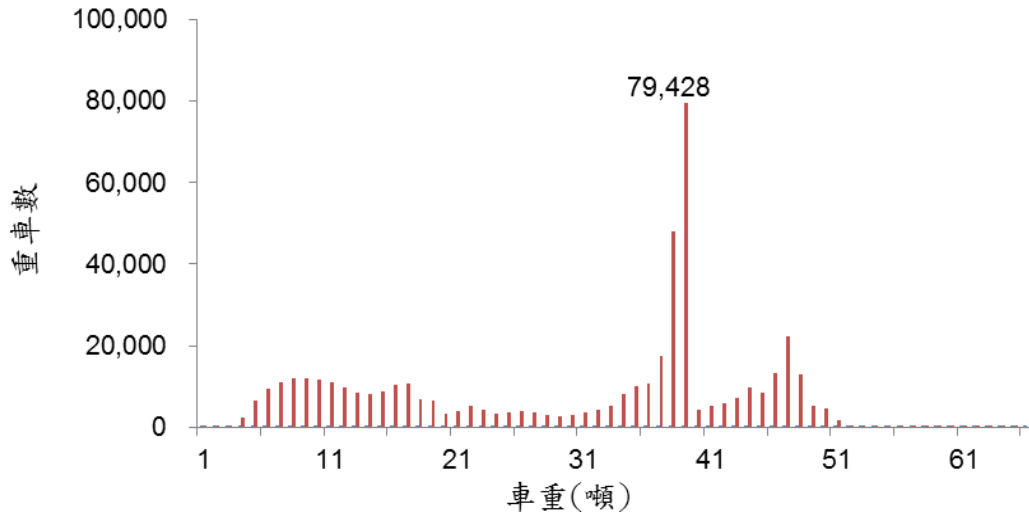


圖 6.3.3 地磅 B 北磅過磅重車總重分佈圖(98/10~99/10)

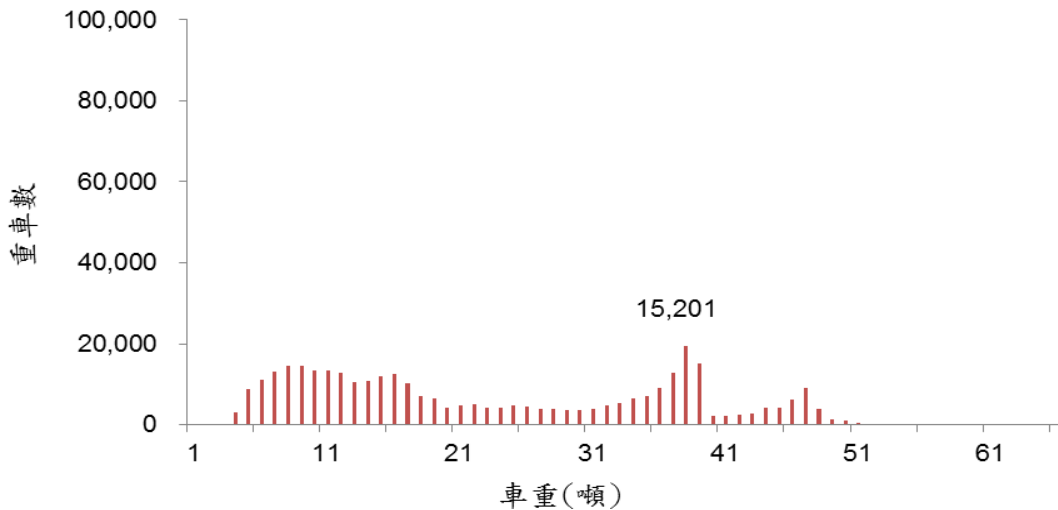


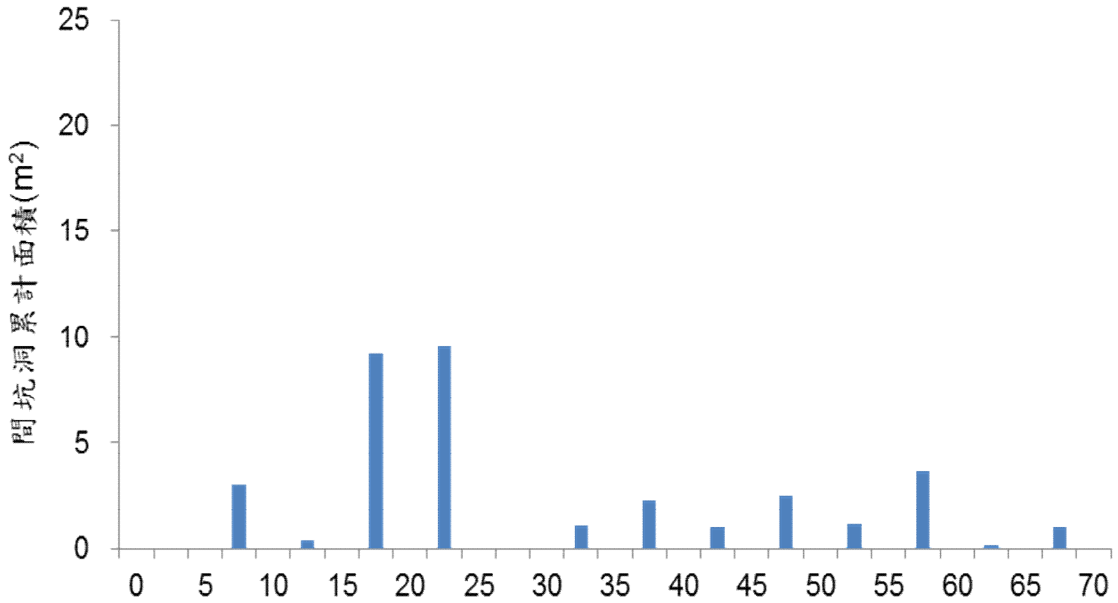
圖 6.3.4 地磅 B 南磅過磅重車總重分佈圖(98/10~99/10)

由圖 6.3.1 至 6.3.4 過磅車總重分佈圖，得知地磅 A 得知過磅 35 噸重車所佔比例約為 12%，而地磅 B 過磅重車北上約 17%，顯示地磅 B 重車量高於地磅 A，雨量是形成坑洞之主因，交通荷重則是造成重度坑洞之要素，一般而言，考量量測誤差，地磅站量測之值在高於 40 噸以上才會開罰，這也就是尖峰值大多接近 39 噸之主要原因。

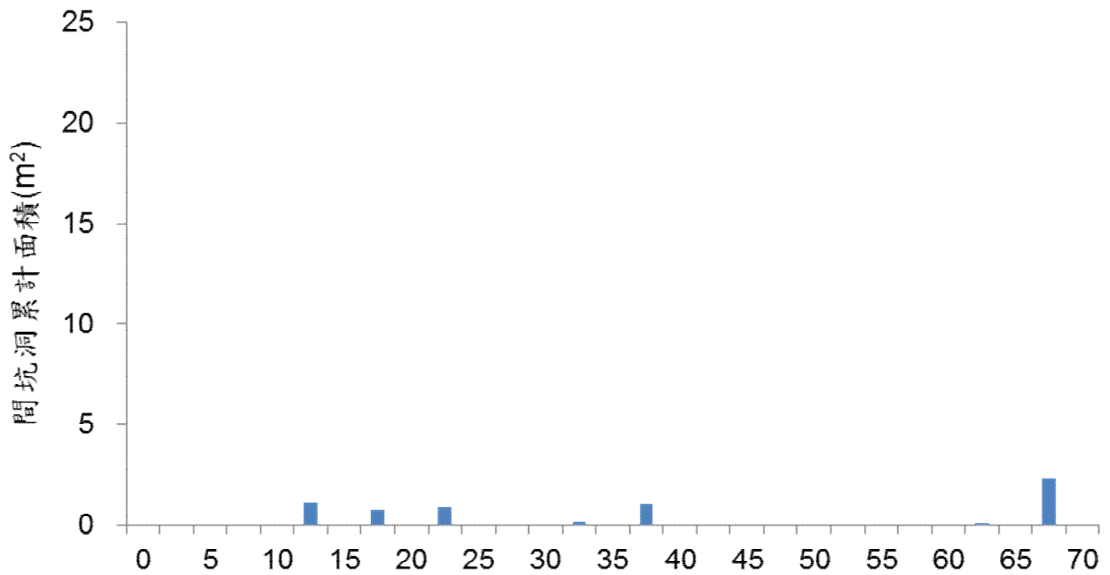
分析地磅 B 資料，如圖 6.3.3 和 6.3.4 顯示，南下重車總重小於北上重車總重，此因南下車輛大都為空車，尤其是重車重大於 35 噸以上的重車，北上地磅所量得的值遠高於南下地磅；以 39 噸重車而言，北上有 79,428 輛，南下僅有 15,201 輛，重車來源可能是港口、中鋼、中油、中船等重工業區用品，空車載滿物品後再行北上。南下重車較輕，當載滿貨物後，北上重車即有可能從交流道下高速公路，避開地磅，可避免超載受罰之情況。

6.4 坑洞分佈情形

本研究依據 99 年 4 月起至 99 年 10 月止於坑洞資料，彙整分析各路段坑段面積分佈情形如圖 6.4.1 至 6.4.2 所示。



試驗道路A北向車道(以試驗道路A為起點往南計算、公里)
圖 6.4.1 試驗路段 A 北向車道坑洞面積分佈圖(99/4~99/10)



試驗道路A南向車道(以試驗道路A為起點往南計算、公里)

圖 6.4.2 試驗路段 A 南向車道坑洞面積分佈圖(99/4~99/10)

圖 6.4.1 及圖 6.4.2 顯示試驗路段 A 區間坑洞發生分佈，由圖示發現北向車道發生坑洞面積分佈遠多於南下車道，原因北上重車數高於南下車道，如圖 6.2.1 所示，造成坑洞面積不同。

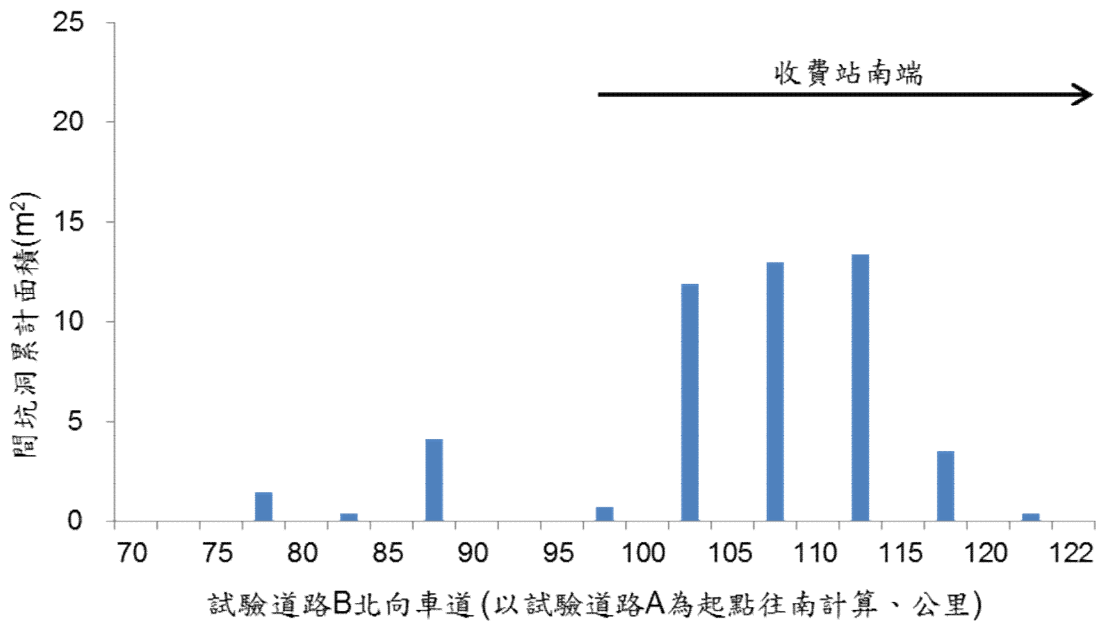


圖 6.4.3 試驗路段 B 北向車道坑洞面積分佈圖(99/4~99/10)

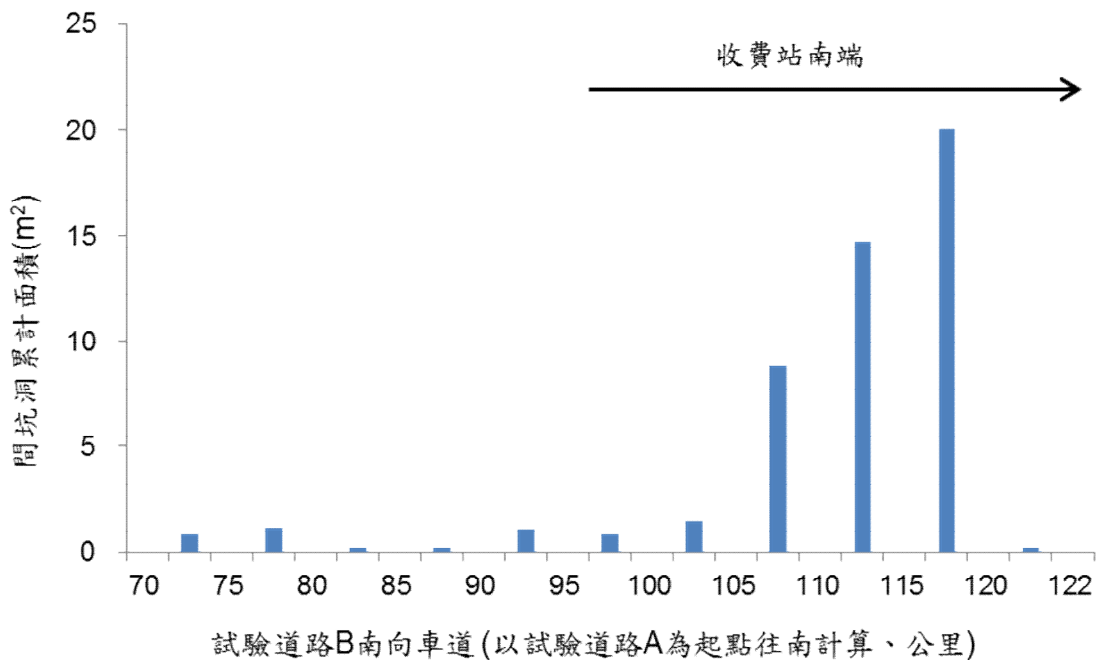


圖 6.4.4 試驗路段 B 南向車道坑洞面積分佈圖(99/4~99/10)

圖 6.4.3 及圖 6.4.4 試驗路段 B 南向和北向車道坑洞分佈圖，說明坑洞面積在收費站前後有明顯變化，由圖 6.2.1 顯示在收費站前後北向車輛明顯下降，圖 6.3.3 與圖 6.3.4 可以看出地磅 B 北磅的重車數目與重量都高於地磅 B 南磅，推測部份北向聯結車先由交流道駛離，避開收費站收費與過磅的檢查，因此試驗路段 B 北向在收費站南端產生坑洞面積之差異是因交通量所致。

6.5 小結

綜合上述現場評估、實驗室試驗和相關資料整理分析，試驗路段 A 和 B 之鋪面產生坑洞主要原因為雨量和交通荷重所引起，使用一段時間後難免產生鋪面裂縫或其他類型之破壞，雨水藉由路面破壞處，滲入瀝青混凝土內部，使瀝青混凝土產生剝脫現象，混合料離析，降低路面承載力和耐久性。接著，受到交通量的反覆載重，將分離之混合料帶走，形成坑洞，當車輛車次和荷重愈大時，坑洞形成的速率愈快，坑洞的嚴重性也愈明顯。

內部因素如材料和鋪面結構也與坑洞產生有相關性，現地檢測路段資料顯示，瀝青混合料呈現老化情況，篩分析曲線已有變化，縱向和橫向的排水坡度不一致，以及 CIV 值的下降，材料和鋪面結構可視為坑洞產生原因之次要因素。

外部因素如雨量和交通量為無法控制之變數，內部因素之變化，如材料老化和鋪面結構承載力不足卻是可以加以改善。為了降低坑洞次數和嚴重性，本研究將建議坑洞維修和防制方法，期盼從鋪面體質的改善，增加路面使用年限。

七、坑洞維修

坑洞維修方法可從三個方向來進行：(1)緊急養護、(2)一般養護、和(3)大型養護。緊急養護係在例行檢查或通報後，考慮鋪面坑洞損壞狀況將影響用路人使用安全，迅速進行搶修；一般養護為評估鋪面坑洞損壞狀況並不嚴重，或影響範圍不大，可採單項或局部範圍養護時施行之，如補紮作業；大型養護為改善鋪面整體狀況之養護作業，適用於路段中有多項損壞類型或損壞影響範圍龐大時，經審慎評估其損壞狀況、養護效益與經濟效益可行性後，採用大型養護方法改善鋪面損壞。

7.1 緊急養護

國內鋪面因高溫多雨且重車繁多，易於雨後造成混合料剝脫，受到車輛輾壓將粒料帶離，形成坑洞，養護單位在收到坑洞通報後於最短時間內進行處理，修補處最好能維持一個月之良好成效。進行養護時，注重工作區之安全性、服務性、維修速度及養護後之耐久性。適用範圍包括坑洞及裂縫等，這些鋪面破壞將會影響用路人行車安全之鋪面破壞，故當鋪面發生危及交通安全之坑洞時必須施做立即性修補，以避免造成交通意外。修補作業應於最短時間內進行，但因天候、交通等其他因素，無法立即施作部分修復、裂縫填縫等工法，遂採用緊急養護工法進行修補，應於修補作業完成後，另外安排鋪面養護計劃

7.1.1 施工方法

1.冷拌(常溫)混合料填補法

若連續下雨數日，導致鋪面出現大坑洞，在坑洞潮濕情況下，可採用常溫混合料填補法做為緊急填補措施，惟其穩定性較不確定。材料性質如下：

- (1)常溫瀝青混凝土：應符合表 7.1.3 及表 7.1.4 之規定。
- (2)瀝青黏層：應符合公共工程委員會施工綱要規範第 02747 章之規定。

施工方法如下：

- (1)清除坑洞內雜物、積水及碎料。
- (2)塗佈黏層於坑洞內部四周。
- (3)倒入冷拌混合料，敲擊鬆散，並使其高出鋪面約 2~3 公厘
- (4)用夯實機夯實，清除路面雜物後即可開放通車。

表 7.1.3 常溫瀝青混凝土篩分析表(林志棟等，2010)

篩號	通過百分率(%)
3/4	100
3/8"	90-100
#4	44-74
#8	23-52
#50	5-19
#200	2-10

表 7.1.4 常溫瀝青混凝土規格表(林志棟等，2010)

流 度	8-20 (0.25 公厘)
穩 定 值	≥ 350 (Kgf)
含 油 量	5-7%
空 隙 率	3-5%

2. 熱拌混合料填補法

使用材料如下說明：

- (1)熱拌瀝青混凝土：應符合行政院公共工程委員會施工綱要規範第 02742 章之規定，以最大粒徑 13 公厘以下之熱拌密級配瀝青混凝土為宜。
- (2)瀝青黏層：應符合公共工程委員會施工綱要規範第 02747 章之規定。

施工方法如下說明：

- (1)將損壞部分及其周圍之不良部分，用混凝土切割機切割成形狀為方形或長方形後挖除，挖除面應垂直。
- (2)將坑洞內部或周圍鬆散粒料及雜物清除。
- (3)底部及周圍均勻塗抹一層黏層。
- (4)應使用保溫設施，確保混合料溫度在 120°C 以上，再將熱拌混合料倒入並耙平，填補高度約為坑洞深度之 1.2 倍。
- (5)以壓路機或搗固機壓實。
- (6)清除路面雜物，即可開放通車。

7.1.2 注意事項

1. 施工單位收到坑洞通報後，需於 24 小時內以冷拌(常溫)瀝青混凝土填補完成；後續熱拌混合料修補，在天候許可施工條件下及早完成。
2. 坑洞內若有鬆散粒料或異物時，需先行清理並加塗黏層以確保修補材料與原有鋪面之黏結。
3. 若坑洞周邊鋪面存在高差，需先修正其高差之後再行修補。
4. 若養護時間、經費與環境條件許可，對於坑洞與沉陷可進行效果較佳之永久性修補。坑洞損壞之養護，需先將洞口四周與基底層表面裸露材料清除後，再依上述熱拌混合料填補法進行養護；對於沉陷之養護，則需先以刨除方式修正路段高差，再依上述熱拌混合料填補法進行養護。

7.2 一般養護

一般養護係應用於群體坑洞或其他單項損壞、路段中損壞類型單純或損壞範圍較小時，於晴天施作之永久性修補

7.2.1 施工方法

柔性鋪面坑洞一般養護之主要方法為部分厚度修補或全厚度修補，其施工方法是將將鋪面層、底層或基層等損壞部分挖除，重新鋪設與原鋪面相同材料之養護方法，於刨除損壞鋪面之前應就損壞型態，損壞原因等作深入調查、研判後再決定刨除深度，刨除前，應於裂縫嚴重處鑽心，了解裂縫穿透深度，施工方法如下：

- (1) 確認刨除位置與區域大小，並描繪於鋪面上。
- (2) 以鋪面切割機切割鋪面，其切割面應垂直於鋪面。
- (3) 以削岩機或刨路機移除修補範圍內之既有材料，用刨路機刨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) 清除刨除區域，並儘量保持清除面平整。
- (6) 底面以噴灑機噴灑黏層，切割斷面亦應塗布黏層，黏層材料可採用乳化瀝青。
- (7) 以膠輪壓路機、鐵輪壓路機或手推式震動夯實機(Compactor)壓實。
- (8) 待溫度降低後開放通車。

7.2.2 注意事項

1. 先以切割機挖除損壞部分，而修補範圍應伸展至損壞範圍外 30 公分，四邊應用切割機呈垂直乾淨之鋸口，縱向邊應與路中心線平行。
2. 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。
3. 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，或於其上加鋪開放級配層，以保持適當之鋪面平整度與路拱。
4. 面積小者應特別注意與原鋪面接縫處之黏結良好，黏層塗布與滾壓應確實，以防止開放通車後修補材料之鬆脫。
5. 熱料修補應避免交通尖峰時間施作，如遇嚴重車流回堵情形，配合公警隊指揮適時開放通車，紓解車流。施工標誌確實依規定擺設，確保施工人員及用路人之安全。

7.3 大型養護

當路段坑洞損壞類型較為複雜、損壞範圍較大時，考量養護作業之施工效果、經濟效益與對用路人之衝擊，經審慎評估後可採行大型養護方法，於單次養護作業中修復多數損壞。大型養護方法係計畫性養護工作，即基於前述鋪面調查作業後，依據鋪面養護需求，排定一至二年期程之修護工作。因其涉及範圍較大且施工時間較長，當決定採行大型養護時，應針對該路段再行鑽心確認鋪面裂縫深度，依據評估結果研擬應採行之方法，並針對未來鋪面結構需求進行設計，養護流程如圖 5.3.1 所示。

7.3.1 施工方法

基於鋪面高程受限，未克繼續加鋪或作表面處理等修復時，必須先行刨除到需要之深度再回鋪者稱為刨除回鋪，其內容說明如下。

- (1) 刨除後回鋪厚度少於 2.5 公分者，依照表面處理或封層處理。
- (2) 刨除後回鋪厚度超過 2.5 公分者，依照加鋪方法處理。

7.3.2 注意事項

其施工時應注意事項如下：

1. 慎選施工時機：於嚴寒時期，新舊兩層之粒料黏結性較差，於炎熱時期，鋪設後鋪面較易產生車轍。
2. 瀝青混凝土運搬時應注意保溫並防止粒料析離。
3. 黏層材料之選用應就施工時期之各種可能情況深入考慮後選定。
4. 施工接縫為鋪面之弱點，基於長期耐久性之考慮應注意施工流程之安排，亦即出料與鋪設應配合，以降低接縫數。
5. 鋪設薄層前，原有鋪面應視情況做適當處理，如鋪設工程不織布、填封或刨除回鋪等處理並清潔乾淨。其施工注意事項及步驟與新路鋪設鋪面相同。

八、坑洞防制對策

道路鋪面一旦發生坑洞現象，對用路人影響甚大；首要觀念在於「預防勝於治療」思維建立，在瞭解坑洞發生原因後，才能提出評估與改善結果，施予適當改善對策；據此，本文提出（1）材料提升、（2）施工品管及（3）維護管理等 3 項防制對策，期盼能有效的預防坑洞的發生。

8.1 材料提升

8.1.1 改質瀝青取代傳統瀝青

現場調查結果顯示坑洞產生前，鋪面的破壞情形以龜裂、車轍和粒料鬆脫為大宗。目前高速公路使用針入度 60/70 之瀝青為主，黏度大約在 2,000 poise 左右，較難抵抗重車所造成上述鋪面破壞狀況。改質瀝青於國際和國內鋪面使用上都有顯著的效果，可以降低車轍、減少龜裂和防止粒料鬆散，CNS14184 提供改質 III 型之規範，如表 8.1.1 所示，黏度在 8,000 poise 以上，為傳統瀝青黏度之 4 倍以上，較可以抵抗重車荷載，延長鋪面績效，減少坑洞產生機會。

8.1.2 水泥取代石粉

瀝青混凝土一般含有約 5%之填充料(通過 200 號篩之礦物細粉)，由於粗粒料和細粒料也都有少量的細粉，因此實務上，大都添加 2~3%之石粉做為填充料。本研究成果顯示水侵害造成鋪面產生坑洞的主因，水泥是良好的抗剝脫劑，添加 2~3%之水泥於瀝青混凝土中取代石粉，可提升抗水侵害，對於降低粒料分離有實質上的幫助，減少坑洞發生頻率。唯添加 3%以上水泥時，需注意滾壓溫度和時間之掌控，盡早完成終壓的動作，確保壓實度。

表 8.1.1 CNS14184 改質瀝青試驗規範

試驗項目	I	II	III
25°C 針入度，0.1mm，min	65	50	35
60°C 黏度，Poise，min	2500	4500	8000
135°C 黏度，cSt，max	3,000	3,000	3,000
閃火點，°C，min	232	232	232
三氯乙烯溶解度，%，min	99	99	99
離析試驗	試驗紀錄	試驗紀錄	試驗紀錄
滾動薄膜烘箱(RTFOT)後			
25°C 彈性回復率，%，min	60	60	70
4°C 針入度，min	15	10	10

8.1.3 高性能常溫瀝青混凝土應用

坑洞於緊急修補後，在雨天綿延和車輛荷載後，修補材料可能剝離，再次形成坑洞。為減少坑洞再次發生，應確實清除坑洞內水分和雜物，塗佈黏層；如坑洞超過 7 公分時，應分層確實滾壓。目前，交通部「柔性鋪面維護及補強技術之研究」建議使用高性能常溫瀝青混凝土，如表 8.2.1 所示，提供比一般常溫瀝青混凝土更好的黏結效果。

表 8.1.2 高強度常溫瀝青混凝土規格表(林志棟等，2010)

項目	規格	依據
流度值	8-16(0.25 公厘)	CNS 12395
穩定值	≥ 1088(Kgf)	CNS 12395
滯留強度指數	≥ 75%穩定值	ASTM D1075 或 AASHTO T283
瀝青含量 (對總料)	4~7(%)	AASHTO 164-01

8.2 施工品管

8.2.1 落實駐廠機制

瀝青混凝土拌和廠完成驗廠程序及相關設備調整後，為控管瀝青混凝土混合料品質，應落實駐廠機制，駐廠人員應注意下列事項：

1. 拌和前溫度計及磅秤之校正檢查；並隨時注意誤差量是否合乎配合設計要求或規範規定值。
2. 駐廠人員到廠應先查看瀝青儲存桶溫度，應保持在 145~150°C 為宜，不得太高，以免瀝青提早老化。
3. 查看冷料堆存量、來源、級配及粒形是否有異常，若有應及時作適當處置。
4. 工程禁止使用回收料時，應查看輸送回收料之馬達是否切除供電或鍊條，斷絕回收料進入拌和鼓之可能性。
5. 生產混合料前，先排放 2~3 盤乾料，因為前端級配偏粗且粒料溫度不穩，可利用這些材料來熱機。
6. 上、下午需各作一次熱料篩分析，至少運轉 20 分鐘後才取熱斗篩分析，此時第一道集塵才會到達砂倉，取樣器應含蓋開口，注意避免三明治現象，取樣應具代表性。
7. 篩分析完成，視需要調整配合比，調整時應參考前日空隙率、穩定值、流度及工地修面等特性，且須了解控制室出料狀況，整體評估後冷熱斗一併考量調整。
8. 當料濕或濕度偏低需降產能時，應了解熱斗篩分析狀況，一般級配會變粗，嚴重時，應適度調整熱斗比例。
9. 乾拌時間需大於 15 秒，濕拌時間介於 30~50 秒之間。
10. 查驗空車殘料之清除，是否有柴油等不當溶劑殘留，如有應確實清除後方能再接料。
11. 核對空車重、計量重與地磅重誤差值是否在 2% 以內、拌和料溫度是否符合規定及有無白料等情形。
12. 全車覆蓋帆布，紗網式帆布不可使用，簽單後檢查無誤再放行。

8.2.2 縱坡和橫坡高程控制

傳統等厚度維修觀點，僅注重修復厚度是否與設計相符，而忽略路面不平現象係屬不均勻分佈。縱使加鋪後，路面仍然可能不平整，進而遇雨天時，可能造成積水現象，再加上重車反覆作用下，形成弱點產生坑洞。利用直接水準測量，選擇最適縱-橫坡度設計高程，將原路面與設計面高程差，藉刨除及封層動作調整平順，控制高程，使雨水得以順利迅速排除，不至積水於鋪面上造成可能發生坑洞之誘發因子。

8.3 維護管理

8.3.1 維修時機決定—刨鋪前裂縫深度確認

從現地觀察得知，疲勞龜裂處往往是日後產生坑洞的位置，當裂縫變成嚴重狀況前，即應進行一般養護或大型養護。刨鋪前應鑽心確認鋪面裂縫深度，刨除厚度至少需大於裂縫深度，才能有效消弭危害因子存在，降低原有裂縫再次發生的機率，減少坑洞數目。鑽心位置建議位於整體裂縫前端、中心和後端，前後之鑽心可以了解裂縫成長方向，中心處鑽心可以判斷裂縫深度。

8.3.2 定期檢查及不定期檢查

由各轄區工務段針對路面坑洞、破裂、跳動、伸縮縫損壞及其他缺失等項目，統計填報路面巡查成果，期望藉由調查資料以加強坑洞修復時效及控管鋪面巡查資料。養護人員應考量以下原則辦理養護工作：

1. 鋪面養護管理作業應事前規劃，依程序進行巡查、檢查、調查與維修
2. 鋪面調查與分析資料應妥善建檔管理，須詳細檢討並探討鋪面損壞的潛在原因。
3. 鋪面養護應針對損壞型態、原因、程度與變化趨勢，由各項檢測資料作綜合研判後，選擇最適當的養護工法，排定一般養護與大型養護最佳地點與時間。
4. 鋪面在發生輕微的局部損壞時，為避免損壞快速擴大，應儘可能立即辦理修補工作。

九、結論與建議

根據現場評估、實驗室試驗和資料整理的結果，綜合分析後得到以下結論，並建議坑洞維修和防制方法如下：

1. 鋪面績效受到內部因素及外在條件影響，於使用一段時間後，無法避免地會產生車轍、龜裂或坑洞等破壞現象。
2. 坑洞面積之產生，至少 40%以上可用當日雨量大小來解釋，當日降雨量大小是坑洞產生之重要因素。
3. 重車荷重對鋪面坑洞產生有直接影響，而且重車車流量愈大，坑洞形成速度越快，坑洞嚴重性也愈明顯。
4. 道路坑洞產生的主要原因為雨量和交通量荷重，4 月份開始的梅雨季以及 7 月份的颱風季產生的雨量，容易使瀝青混凝土產生粒料剝脫現象，再加上往返都會區重工業之重載交通，將分離之混合料帶走，因此形成坑洞；當車輛車次和荷重愈大時，坑洞形成的速率愈快，坑洞的嚴重性也愈明顯。
5. 材料老化和鋪面結構為坑洞產生原因之次要因素，瀝青混凝土經由長時間使用，黏結料呈現老化脆裂情況，級配曲線受荷重後也產生變化；縱坡和橫坡的排水坡度不均或不足皆會影響排水效果，導致水滯留於鋪面上；CIV 值的下降可視為鋪面結構強度降低，意味著承載力下降，再加上外在因素的影響，容易產生坑洞。
6. 坑洞的修補可分為緊急養護、一般養護與大型養護，施工單位可依照現場的狀況進行判斷使用何種養護方式，緊急養護需注意在施工過程中是否確實清除坑洞內積水與雜物以及確實夯

- 壓，建議使用高性能常溫瀝青混凝土取代傳統常溫瀝青混凝土，減少坑洞再次發生的機率。
7. 大型養護前建議先鑽心了解裂縫深度後，再決定刨除深度，刨除深度應大於裂縫深度，防止舊裂縫再次反射於路面。
 8. 本研究建議使用改質瀝青取代傳統瀝青，提升瀝青黏度，增加鋪面承載力，減少坑洞產生機率。
 9. 使用水泥取代石粉作防剝劑，建議用量為 2~3%，水泥用量超過 3%時，可供滾壓時間縮短，需要注意施工性。
 10. 建議落實駐廠機制，開工前檢核熱料篩網是否破裂、切除運送回收料馬達之電源、磅秤與溫度計進行校正；開工時，拌合溫度、乾拌時間和濕拌時間需確實，增加瀝青包裹效果。施工時需注意滾壓溫度與時間，同時避免新舊斷面出現段差等不連續面，縱、橫向坡度需一致，避免水滯留於鋪面上。

參考文獻

1. 交通部 (2002)，柔性鋪面設計規範，幼獅文化，台北
2. 交通部 (2003)，公路工程施工規範，幼獅文化，台北
3. 交通部 (2003)，公路養護手冊，幼獅文化，台北
4. 林志棟、王劍能、張家瑞、洪境聰 (2010)，柔性鋪面養護及補強技術之研究，交通部科技顧問室，台北
5. 社團法人日本道路協會 (1973)，簡易鋪裝綱要，東京
6. 蔡攀鰲 (2003)，公路工程學，台南
7. 蔡攀鰲 (1985)，瀝青混凝土，三民書局，台北
8. American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO) (1994), AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, Washington,D.C.
9. Asphalt Institute. (1997). Asphalt Cold Mix Manual. Manual Series MS-14, Lexington, Kentucky.
10. Chávez-Valencia, L.E., Alonso, E., Manzano, A., Pérez, J., Contreras, M.E., and Signoret, C. (2007). “Improving the Compressive Strengths of Cold-Mix Asphalt Using Asphalt Emulsion Modified by Polyvinyl Acetate,” Construction and Building Materials, Vol 21, pp. 583-589.
11. Eaton, R.A., Joubert, R.H. and Wright, E.A., (1981). Pothole Primer, US Army Corps of Engineers.
12. Federal Highway Administration (FHWA) (1997). Materials and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt-Surfaced Pavements
13. Federal Highway Administration (FHWA) (1999). Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-Surfaced Pavements

14. Inamoto, H., Nakatsuka, M., Jomoto, M. and Kuno, A. (2010). High-strength Cold Laid Asphalt Mixture Applicable for Heavy Traffic Roads and Roads in Snowy and Cold Regions. The 11th International Conference on Asphalt Pavements. ISAP, Nagoya. (on CD-ROM)
15. Minegishi, J., Takeda, T., Tatsushita, M., Ohki, H. and Wataya, S. (2010). A Study on Cold Mixtures for Pothole Repair in Tokyo. The 11th International Conference on Asphalt Pavements. ISAP, Nagoya. (on CD-ROM)
16. Munyagi, A.A., (2006). "Evaluation of Cold Asphalt Patching Mixes," Masters In Engineering, University of Stellenbosch, South Africa.
17. Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., and Kennedy, T.W. (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, 2nd Edition, NAPA Education Foundation, pp.547~549.
18. Strategic Highway Research Program (1993), Innovative Materials Development and Testing – Pothole Repair, Washington, D.C.
19. Strategic Highway Research Program (1993). Distress Identification Manual for Long-Term Pavement Performance Project, SHRP-P-338, Washington, D.C.
20. Thanaya, I. N. A., Zoorob, S. E. and Forth, J. P. (2009). "A Laboratory Study on Cold-Mix, Cold-Lay Emulsion Mixtures." Institution of Civil Engineers, Transport 162, Issue TR1. pp.47–55.
21. Wilson, T. P., and Romine, A.R., (1999). "Materials and Procedures for Repair of Potholes in Asphalt-Surfaced Pavements - Manual of Practice," Federal Highway Administration, FHWA–RD–99-168, Washington D.