

## 目次

表次.....	III
圖次.....	VII
摘要.....	XI
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究目的 .....	1
第二節 研究方法及過程.....	1
第三節 研究內容 .....	2
第四節 研究步驟.....	2
第五節 研究架構.....	4
第二章 文獻回顧 .....	5
第一節 透水性鋪面國內外現況.....	5
第二節 透水性鋪面材料特性.....	20
第三節 建築技術規則基地保水指標探討.....	33
第四節 本章小結 .....	38
第三章 透水性鋪面成效分析(以新店實驗區為例) .....	41
第一節 新店透水鋪面實驗區介紹 .....	41
第二節 降雨分析 .....	46
第三節 熱島效應成效分析 .....	52
第四節 透水性鋪面指標擬定.....	66
第四章 現地透水性鋪面之成效分析及指標驗證 .....	85
第一節 觀音國小人行步道.....	85
第二節 橫山鄉內灣村大同街路面改善工程.....	91
第三節 中正大學特定停車場.....	95
第四節 監測儀器介紹.....	98
第五節 本章小結 .....	102
第五章 透水鋪面設計方法之探討 .....	103
第一節 國內外透水性鋪面設計方法之探討.....	103
第二節 透水性鋪面結構能力之探討.....	106
第三節 透水鋪面個案分析與探討.....	107
第四節 本章小結 .....	122

第六章	透水鋪面施工及養護規範草案之研擬 .....	123
第一節	目前國內透水鋪面現有規範之探討 .....	123
第二節	基地保水指標之探討 .....	130
第三節	施工及養護施工規範之草擬 .....	132
第四節	本章小結 .....	162
第七章	結論與建議 .....	163
第一節	結論 .....	163
第二節	建議 .....	164
附錄一	透水性材料資料庫查詢系統(PMDSS) .....	165
附錄二	審查會議紀錄及處理情形 .....	175
參考書目	.....	181

## 表次

表 2-1	九十三年透水性鋪面工作之示範案例明細表.....	19
表 2-2	CNS 14184 聚合物改質柏油分類.....	20
表 2-3	日本多孔隙瀝青混凝土鋪裝綱要中高黏度改質瀝青之規範	21
表 2-4	粗粒料建議檢驗規範.....	22
表 2-5	細粒料建議檢驗規範.....	22
表 2-6	礦物填充料建議檢驗規範.....	23
表 2-7	纖維基本性質建議檢驗規範.....	23
表 2-8	透水瀝青混凝土粒料級配建議規定.....	24
表 2-9	篩孔尺寸與過篩質量累計百分率之關係 <sup>1</sup> .....	25
表 2-10	透水性混合物目標值 <sup>2</sup> .....	27
表 2-11	CNS 13295 之內容.....	31
表 2-12	都市各種使用分區不透水率比較表.....	33
表 3-1	都市化之逕流係數(f).....	47
表 3-2	透水瀝青模擬降雨數據.....	48
表 3-3	透水瀝青自然降雨數據.....	50
表 3-4	透水瀝青鋪面量測氣象相關係數.....	56
表 3-5	植草磚鋪面量測氣象相關係數.....	57
表 3-6	透水磚鋪面量測氣象相關係數.....	58
表 3-7	環保透水混凝土鋪面量測氣象相關係數.....	59
表 3-8	透水瀝青溫度之變異數分析.....	61
表 3-9	植草磚溫度之變異數分析.....	62
表 3-10	透水磚溫度之變異數分析.....	63
表 3-11	環保透水混凝土溫度之變異數分析.....	64
表 3-12	透水及非透水性鋪面境溫度長期監測單因子變異數分析..	65
表 3-13	原土摻配 50%砂之粒徑分佈.....	67
表 3-14	四斷面各層水力傳導係數 (cm/sec).....	69
表 3-15	四斷面之等效水力傳導係數.....	70
表 3-16	級配層及原土層 (實驗室相關資料).....	70
表 3-17	工地密度 (kg/cm <sup>2</sup> ).....	70
表 3-18	現地各層施工時含水量(%).....	71

表 3-19	孔隙比(e).....	71
表 3-20	孔隙率(n%) .....	71
表 3-21	飽和度(S%) .....	72
表 3-22	四斷面各層分別保水量 .....	72
表 3-23	保水量(全保水 cm) .....	73
表 3-24	估計面層水力傳導係數.....	74
表 3-25	完工初期及一年半後透水係數之比較.....	75
表 3-26	CI 指數分類表.....	76
表 3-27	Heat Index 分類表 .....	77
表 3-28	不同時間透水鋪面 CI 值 .....	78
表 3-29	不同時間透水鋪面 HI 值 .....	78
表 3-30	透水瀝青透水瀝青舒適度(HI).....	79
表 3-31	透水瀝青舒適度(HI)變異數分析.....	79
表 3-32	植草磚舒適度(HI).....	80
表 3-33	植草磚舒適度(HI)變異數分析.....	80
表 3-34	透水磚舒適度(HI).....	81
表 3-35	植草磚舒適度(HI)變異數分析.....	81
表 3-36	環保透水混凝土舒適度(HI).....	82
表 3-37	環保透水混凝土舒適度(HI)變異數分析 .....	82
表 3-38	酷熱指數長期監測單因子變異數分析.....	84
表 4-1	土壤水分監測儀器滿水位土壤濕度.....	88
表 4-2	葛洛夫現地透水率試驗數值.....	88
表 4-3	葛洛夫現地透水率試驗數值.....	93
表 4-4	土壤水分監測儀器滿水位土壤濕度.....	97
表 4-5	中正大學透水性鋪面滲透係數結果表.....	97
表 5-1	日本常用之透水性鋪面形式.....	105
表 5-2	透水性鋪面工法比較表 .....	107
表 5-3	中正大學特定停車場分析結果.....	111
表 5-4	置換 8 公分透水瀝青面層力學分析結果表.....	113
表 5-5	破壞分析結果表 .....	114
表 5-6	CBR 值強度轉換結果表.....	116

表 5-7	ILLI-SLAB 分析結果.....	117
表 5-8	版理論應力、撓度計算結果表.....	118
表 5-9	有限元素法與理論解應力、撓度比較表.....	118
表 5-10	連鎖磚分析結果表.....	120
表 6-1	透水鋪面種類.....	123
表 6-2	各國多孔隙瀝青混凝土級配設計.....	124
表 6-3	透水磚之規範要求.....	125
表 6-4	本研究建議透水磚之強度規範.....	126
表 6-5	透水混凝土規範要求.....	128
表 6-6	無細骨材混凝土水泥之配比設計參考.....	129
表 6-7	透水鋪面抗壓、抗彎強度比較.....	130
表 6-8	各類保水設計之保水量及變數說明.....	131
表 6-9	各類保水設計之保水量計算及變數說明.....	136
表 6-10	統一土壤分類與土壤滲透係數 $k$ 值對照表.....	137
表 6-11	土壤滲透係數 $k$ 值簡易對照表.....	137
表 6-12	透水性瀝青處理底層的混合料的標準級配範圍表.....	138
表 6-13	透水性瀝青處理底層混合料之品質規定.....	138
表 6-14	透水性瀝青混合料級配範圍表.....	139
表 6-15	透水性瀝青混合料的配合要求及滲透係數表.....	139

建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究  
子計畫二：透水鋪面技術規範與法制化之研擬

## 圖次

圖 1-1	研究架構 .....	4
圖 2-1	美國多孔隙瀝青混凝土應用於停車場鋪面 .....	6
圖 2-2	面層保水鋪面鑽心試體圖 .....	10
圖 2-3	面層保水鋪面氣溫改善示意圖 .....	10
圖 2-4	面層保水鋪面與排水鋪面氣溫比較圖 .....	11
圖 2-5	人造窯燒花崗石鋪磚 .....	12
圖 2-6	連鎖磚 .....	12
圖 2-7	花崗石鋪磚 .....	13
圖 2-8	窯燒紅磚 .....	13
圖 2-9	純混凝土鋪面 .....	14
圖 2-10	預鑄混凝土塊磚 .....	14
圖 2-11	台南市中華西路 .....	15
圖 2-12	高雄大學「竹鋪面」 .....	16
圖 2-13	環保透水混凝土鋪面 .....	16
圖 2-14	新店實驗區環保混凝土鋪面 .....	17
圖 2-15	台灣透水鋪面案例分布 .....	18
圖 2-16	8 號篩(2.36mm)通過質量百分率—孔隙率曲線 .....	25
圖 2-17	最適瀝青量之決定方法之概念圖 .....	26
圖 2-18	多孔隙瀝青混凝土建議配合設計法流程 .....	29
圖 2-19	透水性混凝土圖 .....	30
圖 2-20	樹脂砂漿 .....	32
圖 2-21	固化劑砂漿 .....	32
圖 2-22	基地保水手說明圖 .....	35
圖 2-23	透水鋪面 .....	36
圖 2-24	儲留滲透空地 .....	37
圖 2-25	地下礫石儲留滲透 .....	38
圖 3-1	基地現況配置與本工程施做範圍 .....	42
圖 3-2	新店實驗區規劃鋪面面層示意圖 .....	43
圖 3-3	新店透水鋪面架構鋪設說明 .....	44
圖 3-4	不同透水鋪面鋪面圖及空間桁架 3D 模擬 .....	45

圖 3-5	鋪面下之土壤用混凝土隔離.....	45
圖 3-6	不同鋪面下土壤滲水情況設計參考示意圖.....	46
圖 3-7	透水瀝青鋪面模擬降雨.....	48
圖 3-8	透水瀝青洪峰時間.....	49
圖 3-9	透水瀝青鋪面土層含水量.....	49
圖 3-10	透水瀝青鋪面自然降雨.....	51
圖 3-11	透水瀝青洪峰時間.....	51
圖 3-12	自然降雨透水瀝青鋪面土層含水量.....	52
圖 3-13	5月18日不同鋪面之表面溫度差異.....	54
圖 3-14	5月17日不同鋪面之表面溫度差異.....	54
圖 3-15	6月1日不同鋪面之表面溫度差異.....	55
圖 3-16	透水瀝青鋪面量測氣象矩陣圖.....	56
圖 3-17	植草磚鋪面量測氣象矩陣圖.....	57
圖 3-18	透水磚鋪面量測氣象矩陣圖.....	58
圖 3-19	環保透水混凝土磚鋪面量測氣象矩陣圖.....	59
圖 3-20	透水瀝青與不透水鋪面環境溫度.....	61
圖 3-21	植草磚與不透水鋪面環境溫度.....	62
圖 3-22	透水磚與不透水鋪面環境溫度.....	63
圖 3-23	環保透水混凝土與不透水鋪面環境溫度.....	64
圖 3-24	透水及非透水性鋪面環境溫度長期監測分析圖.....	65
圖 3-25	試驗流程.....	66
圖 3-26	原土摻配50%砂.....	68
圖 3-27	原土與原土摻配後之比較圖.....	68
圖 3-28	較高處透水磚(良好).....	74
圖 3-29	較低處透水磚(阻塞).....	74
圖 3-30	模擬降雨後表面積水.....	75
圖 3-31	日照量與HI指數相關圖.....	83
圖 3-32	COOL PAVEMENTN鋪設.....	83
圖 3-33	透水及非透水性鋪面酷熱指標(HI)長期監測圖.....	84
圖 4-1	觀音國小前人行道透水鋪面設計圖.....	85
圖 4-2	觀測井位置圖.....	86

圖 4-3	觀音國小前人行道透水鋪面斷面圖 .....	86
圖 4-4	透水性鋪面監測儀器配置圖 .....	87
圖 4-5	一般鋪面與透水性鋪面之環境溫度比較圖 .....	89
圖 4-6	一般鋪面與透水性鋪面之舒適度比較圖 .....	90
圖 4-7	一般鋪面與透水性鋪面之酷熱指數比較圖 .....	91
圖 4-8	橫山鄉內灣村透水鋪面斷面圖 .....	91
圖 4-9	透水性鋪面監測儀器配置圖 .....	92
圖 4-10	觀測井之配置圖 .....	92
圖 4-11	一般鋪面與透水性鋪面之環境溫度比較圖 .....	94
圖 4-12	一般鋪面與透水性鋪面之舒適度比較圖 .....	94
圖 4-13	中正大學特定停車場規劃設計圖 .....	95
圖 4-14	中正大學特定停車場斷面設計圖 .....	96
圖 4-15	中正大學特定停車場監測儀器架設示意圖 .....	96
圖 4-16	日照強度計 .....	99
圖 4-17	溫度濕度計 .....	100
圖 4-18	地溫計與土壤含水量量測儀 .....	100
圖 4-19	雨量計 .....	101
圖 4-20	三角堰斷面圖 .....	102
圖 5-1	中正大學停車場透水瀝青斷面示意圖 .....	109
圖 5-2	透水瀝青鋪面分析示意圖 .....	109
圖 5-3	路基土壤強度轉換圖 .....	109
圖 5-4	底層強度轉換圖 .....	110
圖 5-5	基層強度轉換圖 .....	110
圖 5-6	土壤飽和無法滲入-1 .....	111
圖 5-7	土壤飽和無法滲入-2 .....	111
圖 5-8	重車輾壓沉陷 .....	113
圖 5-9	路面推擠 .....	113
圖 5-10	環保透水混凝土鋪面 .....	116
圖 5-11	剛性鋪面荷重區域示意圖 .....	116
圖 5-12	複合土壤反力模數 K 轉換圖 .....	117
圖 5-13	連鎖磚鋪面分析示意圖 .....	120

圖 5-14	台灣透水鋪面設計流程圖 .....	121
圖 6-1	透水磚透水形式 .....	125
圖 6-2	透水磚鋪設後之現況 .....	126
圖 6-3	透水磚鋪面斷面圖 .....	127
圖 6-4	空調導水管 .....	129
圖 6-5	高壓水柱沖洗堵塞物 .....	130
圖 6-6	透水瀝青施工斷面圖 .....	141
圖 6-7	透水磚路面施工斷面圖 .....	149
圖 6-8	標定欲維修之範圍 .....	151
圖 6-9	接縫砂之清除 .....	151
圖 6-10	首塊透水磚之移除方法 .....	152
圖 6-11	植草磚施工斷面圖 .....	156
圖 6-12	JW 生態工法施工斷面圖 .....	161

## 摘要

關鍵詞：透水鋪面、熱島效應、降雨延時、基地保水、施工規範、法制化

### 一、研究緣起

台灣地處於亞熱帶地區高溫多雨，洪水及都市熱島效應亦趨明顯，因此降雨及氣溫造成之災害是一項嚴重的課題。由於台灣都市化程度日漸加劇，而都市化的過度開發所造成之熱島效應必須正視及解決，而採用透水鋪面工法，利用基地保水、滲透、滯留之排水觀念，不但能有效提高降雨延時，延長洪峰時間，而且能降低環境溫度，減輕熱島效應之強度。

透水性鋪面之施工關係其日後成效，因此對於透水性鋪面之施工(新工及修繕)、維護及管理，必須有一套完善之施工規範來約束，最後達到法治化來有效推廣實施。

### 二、研究方法及過程

在研究方法上，首先蒐集國外有關透水鋪面工法文獻、案例、使用情形、遭遇問題等資料，進行彙整歸納，以提供最適合台灣本土環境設計應用參考。接下來針以新店透水鋪面試驗區來模擬現地四種鋪面，求得四種鋪面之滲透係數、保水量、地表及空氣溫度之差異；進而建立保水指標、舒適度指及酷熱指數指標等透水性鋪面之三大指標來驗證其成效，供日後其推廣法制化之基本成效依據；再以觀音、橫山及中正大學等現地採用透水性鋪面工法施作，並進行現地監測，再利用現地資料驗證於試驗區所建立之三大指標，求其適用性。最後依其成效及各項試驗建立一套完善之透水性鋪面施工及養護規範，進而推廣至法制化。

本計畫最後一個研究重點乃為進行「透水鋪面」法制化探討，並配合相關研究成果，進行法制擬訂，編撰各項透水鋪面規劃設計、施工及維護管理綱要規範。

### 三、重要發現

經過文獻蒐集、實驗研究及實驗區現地試鋪等研究工作之後有以下幾點結論：

1. 於基地保水部分，綠建築之基地保水指標與現地量測之儲存方式有所差異，因此較難以比較驗證基地保水量。
2. 透水性鋪面之熱導效應長效監測，本研究利用單因子變異性分析方式，進行其透水性鋪面與非透水性鋪面差異性之探討，經檢定後發現不論是酷熱指數或是氣溫皆有顯著差異，並且根據其長期監測成效可發現，透水性鋪面於日落後其涼化程度確實高於一般性鋪面，證實其透水性鋪面改善熱島效應之成效。
3. 目前透水性鋪面與一般鋪面於氣溫上成效差異顯著，且有明顯改善之現象，值得繼續推廣研究。
4. 本研究針對國內三試鋪案例針對其透水鋪面成效進行長期監測，利用已收集到之現地資料針對此三案例之成效進行評估，在舒適性指標以及酷熱指數之評估上，確實優於一般性鋪面。
5. 國內透水性鋪面的各項規範大多參考國外，許多規範與計算公式尚未本土化，由於國內與國外之材料性質、施工品質、環境因素都不相同，本研究草擬施工規範仍需國內相關研究及工程不斷修正補強，才能逐漸發展成一套完整之施工規範。

#### 四、主要建議事項

##### 立即可行之意見

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、縣市政府

1. 可考量多增加所需之監測儀器，以更全面性的對其透水鋪面成效進行分析與驗證。
2. 本研究建議將透水鋪面從功能性上去探討，將常用保水設計之內容修改草地、為半保水鋪面、全保水鋪面，並配合其他保水設計相互配合。

##### 長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會、內政部營建署、縣市政府

1. 可針對不同雨型之設計雨型，評估透水鋪面都市之洪水設計之成效。

2. 透水性鋪面於台灣地區應用尚未普級，並且由於其本身沉陷之問題，因此亦有許多特殊工法為產生，如新竹縣橫山內灣停車場車道為抵抗透水性鋪面沉陷之問題，採用連鎖磚鋪面配合蜂巢式加勁格網以及環保透水混凝土鋪面，此二工法於國內外並無一完整之力學分析與評估報告。未來可利用有限元素法更進一步針對其力學特性做探討。以確實了解其於車道、停車場之適用性。
3. 本研究針對中正大學特定停車場進行其鋪面破壞模式分析，由於國內對透水鋪面之壽年預估以及其破壞模式之建立皆無相關之預測模式，未來可利用「力學-經驗法則」進行其相關模式之建立。

建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究  
子計畫二：透水鋪面技術規範與法制化之研擬

## Abstract

Key words: permeable pavement , simulate rainfall , water-holding capacity of building , heat island effect , comfortability , noise

The flourishing economy has brought populos. People stare to change the rainwater to the idea of preventing the flood and controlling the flood as quickly as possible in the past, Revise for the goodwill with water and avoid the flood gradually.As the urbanization has raised bringing population concentration and artificial land, let impermeability area has been increased. Which decrease natural plant blanket , and reduce rainfall to infiltrate under ground.Urbanization increased the heat source producing and energy consuming.It changed the thermal balance, forming heat island effect. The simple and concrete way to improve city of climate use the 'permeable pavement 'The method of the permeable administer a lot of years in America ,Europe and Japan .Taiwan is still under study. Public Construction Sommission Executive Yuan promote permeable pavement was completed.It will be measured continuously in the future.

At sindian city, we make four type of permeable pavement experiment zone.At laboratory, the coefficient of permeability was all above  $10^{-3}$ cm/sec, and the average of water-holding is 18 cm.We had gathered the data for last one and half years, find that permeable concrete perform the best e for water-holding capacity.The second one is permeable asphalt. We find out that brick and permeable brick, show no difference. The permeable brick couldn't work might be that the permeable brick blocked seriously.From the data of heat island effect, we find out the main relation between sunshine and environmental temperature. The relation between ground temperature and sunshine is negative coefficient (R=-0.7).The relation between water content and environmental temperature is negative coefficient (R=-0.7).The reduce environmental temperature for Permeable pavement. The comparison with concrete pavement, permeable asphalt can lower 2-3 , brick can lower 4-5 , permeable brick can lower 3-4 ,permeable concrete can lower 3-4 . By GPR map we determinedthat, it was agitated obviously between surface and subbase. The result

建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究

子計畫二：透水鋪面技術規範與法制化之研擬

show that the permeable pavement couldn't reduce comfortability rapidly, but could be improved. Based on the research findings listed above, permeable pavement perform well, we can analyses the cost in the future. To judge the difference between permeable pavement and traditional one.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究目的

過去的建築開發常採用不透水鋪面設計，使得大地喪失良好滲透吸水、涵養保水之能力，因此剝奪了土壤內微生物之生存條件，降低了大地滋養植物的能力。同時因不保水，而使土地失去了蒸發水分、釋放潛熱，進而調節氣候之功能，甚至引發居住環境日漸高溫化之「都市熱島效應」。此外，過去都市防洪的觀念，是希望將雨水盡速排除，正因如此，造成都市公共排水設施莫大的負擔，每逢颱風、豪雨，都市近郊低窪地區必定因匯集各地雨水一時無法完全排出而造成淹水現象發生，北縣汐止便是如此。事實上這種不考慮土地保水、滲透、滯流之排水觀念，而為了改善大地滲透能力，增加其保水功效，就必須進行人造環境之全面透水化設計。目前完成國外透水鋪面設計現況調查分析及實驗研究、分析、歸納透水鋪面相關設計工法及參數、透水鋪面實驗區建構完成。

### 第二節 研究方法及過程

在研究方法上，首先蒐集國外有關透水鋪面工法文獻、案例、使用情形、遭遇問題等資料，進行彙整歸納，以提供最適合台灣本土環境設計應用參考。接下來針對降雨強度和透水鋪面之保水量與滲透性對整體結構的材料做一探討，藉以找出相關設計參數，其中在此部分進行相關材料試驗，以驗證各參數其適用性。對各項參數實做現地透水鋪面結構設計及試鋪工程，以便進行後續成效研究及降雨與容量方面之研究。利用簡易氣象量測，評估透水鋪面對人體之舒適性，以及環境噪音之益處。

### 第三節 研究內容

以台灣各地降雨資料進行透水鋪面性能分析。透水鋪面之性能除受入滲率影響外，降雨之特性亦為主要影響因素，故針對區域降雨特性對於透水鋪面之性能進行探討，以作為將來實際設置之依據。探討透水鋪面之設置影響因素及選址原則。透水鋪面是否適用必須考量當地土壤性質及其他現地條件，因此本計畫擬針對各項影響因素，審慎擬定透水鋪面選址原則，以利透水鋪面配合現地狀況完全發揮其功能。發展適於台灣之透水鋪面設置容量計算方法本計畫擬初步整理歸納相關透水鋪面之容量設計方法，並考慮透水鋪面之特性，參考入滲、容量設計等相關理論，發展適於台灣之透水鋪面容量計算方法。本研究內容主題如下：

- 1.研究透水鋪面技術設計手冊與規範
- 2.透水性材料資料庫之構建
- 3.透水鋪面施工與維護管理
- 4.研擬透水鋪面績效成果
- 5.透水鋪面第三階段法制化、專家審核

### 第四節 研究步驟

為了解透水鋪面之設計與選址之研究工作，本研究步驟如下：

#### 1. 文獻回顧

透水鋪面是未來的趨勢，將對於國內外之透水性鋪面設計、工法、材料之資料收集相關文獻、案例、使用情形、遭遇之問題等資料，進行彙整歸納。

#### 2. 新店透水鋪面之建構

新店透水鋪面之基礎設計、施工及使用期間相關資料，分析所需之地層結構、土壤之參數等資料。加上降雨資料進而決定適不適合透水性鋪面之建構。

#### 3. 降雨強度對新店實驗區透水鋪面之成效與之保水及滲透研究

對於完工後之新店實驗區，將由現地四種斷面之材料性質不同，對其滲透性及保水進行評估。並設計模擬現地降雨強度之試驗，進行各斷面之實際保水及滲透性之驗證。

#### 4. 探討透水鋪面之成效

利用新店透水鋪面鋪設結果結合其他案例，探討透水鋪面對都市社會之益處。由噪音及 heat index、人體舒適指數了解透水鋪面之效益。歸納所有分析項目，評估透水鋪面成效分析。

#### 5. 透水鋪面結構分析之探討

利用軟體分析透水鋪面之結構設計，探討透水鋪面對於輕、中、重之交通量受荷載能力及破壞程度、狀況。

#### 6. 建立材料之基本資料庫

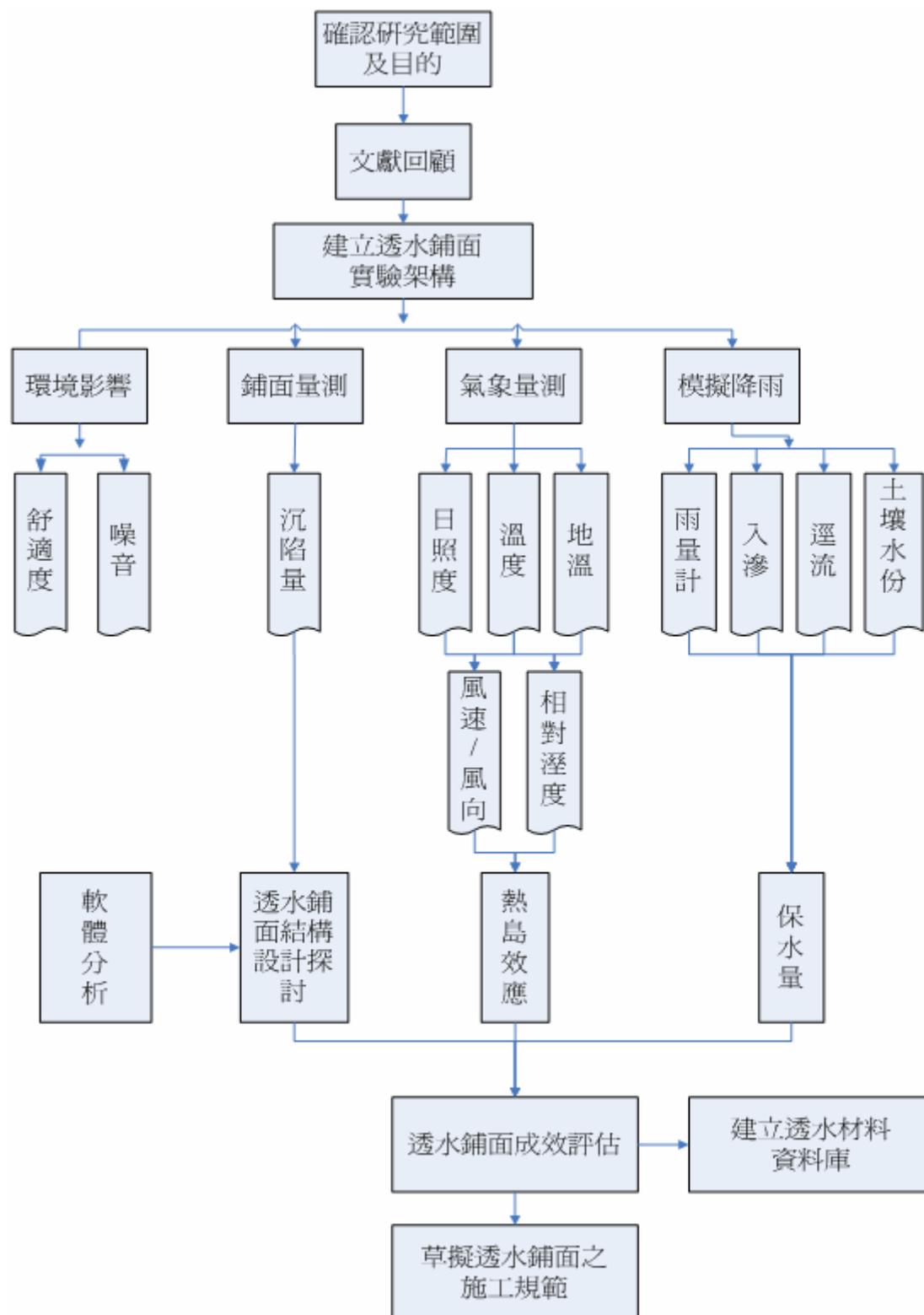
利用 Windows XP IIS 5.0 建立資料庫伺服器及 SQL Server 2000 資料庫應用程式，架構透水性材料之規格、單價、規範值，並對系統之編輯查詢系統做介紹。

#### 7. 草擬透水鋪面之施工規範

收集國內外之施工規範做一整合，並研擬透水鋪面施工與維護管理規範，將透水鋪面之設計、施工及維護管理程序予以標準化。

## 第五節 研究架構

圖 1-1 研究架構



## 第二章 文獻回顧

### 第一節 透水性鋪面國內外現況

透水性鋪面有許多種，有各種塊磚整合而成之，亦有使用透水磚、多孔隙瀝青混凝土及透水性水泥混凝土，連鎖磚常使用於人行步道和公園，植草磚則常用在停車場，多孔隙瀝青混凝土在國內使用情形尚為少數，國外是使用在輕交通量車道、停車場等區。本章將彙整台灣透水性鋪面之發展現況與美國、歐洲及日本推動透水性鋪面之案例分析。

#### 一、國外使用情形

##### ● 美國

1970年代早期於美國開始發展，為的是要改善鋪面面層的透水性、降低噪音和增加雨天時的抗滑，而當時早就有許多歐洲國家採用，現今至少也有7個國家採用，他們都有所共識，鋪設厚度應為45~50mm、孔隙率在17~20%左右，粒料標稱直徑為11mm或16mm，較大或較小的篩號則不常使用，瀝青膜厚度約在20~40 $\mu\text{m}$ 。

一般而言，多孔隙瀝青混凝土可以看作與歐洲之OGAFC（open-graded asphalt friction courses）相當或者是在美國使用的OFC（open friction courses）。二者預期提供一個雨水能迅速從行人穿越道表面排水。OGAFC 的原始美國設計方法在Smith et al.(1974) 中有討論並可作比較。

由於透水性混合料之瀝青含量一般稍高於密級配混合料，且粒料的比表面積相對較低，為使在生產、運送及鋪築期間不會產生瀝青垂流現象，並能具有足夠的瀝青油膜厚度以增加耐久性，除使用改質瀝青外，亦可添加纖維加以改善，或兩者並用，一般常用的纖維分為礦物纖維及有機纖維，用量約在0.3% ~0.4% 間，經過調查發現，大部份使用纖維的州因為擔心使用纖維素可能會吸水而導致混合料受水害的問題，而使用礦物纖維，唯近來歐洲及美國都有研究顯示，使用纖維素的鋪面成效與使用礦纖者相同。

美國聯邦公路總署在1974年曾發展一套OGFC配合設計法供各州公路局使用，但因沒有規定最小孔隙率及瀝青最大垂流量，因此成效並不佳，致有些州停止使用，1990年時美國聯邦公路總署建議孔隙率為15%，但其建議之垂流試驗並非用於決定最佳瀝青含量，而是校正OGFC拌合溫度用。

圖 2-1 美國多孔隙瀝青混凝土應用於停車場鋪面



資料來源：Huang Yang H，2004

在1970年代中期，很多州立的公路行政機構就已經開始採用多孔隙瀝青混凝土路面，目前美國已有15州廣泛地使用，且還有數個州也正在考慮跟進。在美國，多孔隙瀝青混凝土是從廠拌封層試驗中發展出來的，封層處理是先鋪上一層瀝青，隨後再撒佈蓋面粒料，並將粒料夯實置進瀝青膠泥中，如此可增強摩擦層，但相對地在高速及高承載的情形下會減低壽命。

為了維持摩擦層的功能及減少粒料的流失，美國公路局在1970年代開始研究在熱拌廠拌合時，於瀝青膠泥中拌入大量的碎石粒料，其直徑為9.5~12mm，並使用傳統鋪築機鋪設19mm厚，這種鋪面的優點是表面有孔隙及增加摩擦力，但因為鋪設的厚度較薄，孔隙較少，所以透水及降低輪胎噪音的效果較小。

有關於多孔隙瀝青混凝土的較常見問題不外乎，粒料過早剝落、黏結劑的流失及下層的瀝青混凝土惡化等問題。大部份公路單位所使用之標稱最大粒徑為9.5mm。此級配最大不同點在於通過2.36mm和200篩的百分率，當其它地方著重在孔隙率以改善內部排水問題時，有一些州確較偏愛使用細粒料以增加混合料的穩定性。然而，在美國所規範的孔隙率和歐州大部份的國家不同。

亞利桑那州和佛羅里達州成功廣泛地在州際公路路面層鋪設多孔隙瀝青混凝土，在佛羅里達州的多孔隙瀝青混凝土面層其鋪設厚度只有16mm，這兩州都報導使用添加劑可提升鋪面的成效。喬治亞州在1970年代曾採用多孔隙瀝青混凝土，但到了1982年即停止使用，因為濕氣會導致底層的瀝青混凝土剝落，後來使用石灰當防剝劑並量測底層所減少的滲水量，發現此法可降低剝落的問題，因此喬治亞州現在要求所有的州際公路都要採用多孔隙瀝青混凝土。

奧立岡州所使用多孔隙瀝青混凝土在某些方面如同歐州大部份的國家所採用，現在，奧立岡州的多孔隙瀝青混凝土鋪設厚度為38~50mm。其標稱最大粒徑為25mm，然而，混合料的孔隙率約為10%，此值遠低於歐州偏愛的孔隙率，在此州多孔隙瀝青混凝土設計在第一次夯實後的孔隙率應在7~11%之間。

美國的透水性鋪面較常發生因黏結力不夠而剝落的問題，因其封層厚度太薄，無法於其底層間形成有效地黏結。若使用與歐洲相同之黏結劑，則將使其厚度增加16~19mm，黏結劑最後甚至會移到表面，可能會嚴重危及防滑性及穩定性。

相較於歐洲的瀝青含量，美國在多孔隙瀝青混凝土上偏好使用粒徑較大的粒料，所以瀝青膜厚可能較薄，厚度約為8~11 $\mu$ m，這樣瀝青膜厚可能無法補足因粒料黏結力不夠而降低之混合料強度，也無法防止混合料因大量空隙而加速風化的情形，若使用改質瀝青及較厚之黏層可減少粒料剝落。

多孔隙瀝青混凝土混合的主要特性是他們的高孔隙含量，於20% 或者更多的範圍，它提供對於排水和降低噪音是必要的。這孔隙含量由使用縫隙等級(gap-graded) 的粒料或者減少在總粒料中的細粒料和填充料對重量的比例小於20% 而獲得這些孔隙含量值；不論哪一種情況，都會使用到占總混合物重5% 範圍的瀝青。

改質瀝青專門用於多孔隙瀝青混凝土混合中。黏合劑大多使用纖維素和礦物的纖維及聚合物來修正，多孔隙瀝青混凝土的修正是要防止它在混合生產和運輸期間的排水，但是，也打算這個修正能增加當它就暴露在空氣和水中時混合的耐久性。

## ● 歐洲

### (1) 瑞典

瑞典國家公路管理局SNRA (Swedish National Road Administration)表明多孔隙瀝青混凝土的耐久性不比一般密級配瀝青混凝土來的好。的確，在許多情況中多孔隙瀝青混凝土對大頭釘胎環的損害比對一般密級配瀝青的更具有較低的抵抗力，因此多孔隙瀝青混凝土的使用多半是基於對噪音的減少和水的排除。多孔隙瀝青混凝土混合了5.0% 的瀝青，並用0.8%的礦物纖維，用來增加連結劑的耐久性及風化強度)。施工期之瀝青混凝土之孔隙率大於15% 。

哥德堡(Goteborg) 和 赫爾辛堡(Helsingborg) 之間之 E-6 高速公路上幾個多孔隙瀝青混凝土的表面也被調查過。城市道路當局選擇新的多孔隙瀝青混

凝土表面道路主要用於減少交通噪音；在城市，排水是次要重要的。在中等的降雨量以後，可見到只有較少的水留在多孔隙瀝青混凝土表面上。

1980's 早期，在哥德堡(Goteborg) 測量到多孔隙瀝青混凝土的噪音量在 2 年之中由初始的 4.8 分貝增加到6.0分貝，其原因為道路的排水容量在 3 年之內減少了50%這些減少的空間主要源自於道路上灰塵的堆積和大頭釘胎環(studded tire) 的損害。但哥德堡(Goteborg) 道路當局還是認為這些現象足以證明多孔隙瀝青混凝土的使用是正確的。

## (2) 德國

在德國多孔隙瀝青混凝土（德國術語為 Larmmindemde 瀝青）還沒有標準的規格，由於民眾的壓力漸增為的是使用它來減少交通的噪音。如同在瑞典，多孔隙瀝青混凝土是用來減少交通噪音和排水。多孔隙瀝青混凝土設計有 8 和 11 mm 兩種名義粒料尺寸。有 15 到 25 % 的孔隙率含量，大約 5 % 混合物重的瀝青含量。

應用 40 mm 厚的多孔隙瀝青混凝土面層，使用最大尺寸為 11mm 的粗粒料，85% 的粗粒料保留在 2mm 篩子上，含有 0.5 %（混合物的重量）的纖維素纖維 (cellulose fibers)。

德國多孔隙瀝青混凝土的鋪面層費用比傳統路面多大約100%。這個費用，主要是用來減少因高速行駛在住宅地區附近或者通常在其中的公路上時所產生的噪音。

## (3) 法國

法國使用多孔隙瀝青混凝土是以不影響建築物結構的保養技術來分類，主要係在恢復人行道鋪面及公路路面，以降低噪音和增加滲漏，並減少路面逕流。

粒料最大尺寸 10mm 或 14mm 的粒料皆可使用，其中粗粒料(2mm以上) 佔總粒料的 85% ，空氣孔隙含量設計約為 22%。黏合劑組成範圍很廣，包括瀝青、改質瀝青、橡膠瀝青和添加纖維的瀝青。法國認為多孔隙瀝青混凝土光使用瀝青無法抵抗重交通所需的凝聚力及柔性，所以自1982年開始採用橡膠瀝青。

透水性底部基礎，使用未被修質過的 60/70 滲透等級瀝青，粒料最大尺寸有 14 mm 和粘結劑如瀝青。跳躍 (gap-graded) 級配的粒料，大多在 10 到 14 mm，但是只有很少的礦物填充，一年後，這個高交通流量的城市道路面外表上還是沒有顯示出任何的損壞。

#### (4) 比利時

比利時在1970年代開始使用，其填充料小於0.08mm，黏結劑採改質瀝青和橡膠瀝青，90±5% 通過No.60篩，70±10% 通過No.200篩，孔隙率為19%~25%，有建議不適合用多孔隙瀝青混凝土路面之處：

1. 落塵量大的道路，因粒料間之空隙很快被堵塞。
2. 低交通量或慢速車道，因為車速不夠快被堵塞。
3. 承受高剪力荷重路面(彎道，上、下坡道)，因目前尚不明瞭多孔隙瀝青混凝土混合料對此種荷重能否有足夠抵抗能力。

#### (5) 日本

自1973年，日本採用之多孔隙瀝青混凝土鋪面至今已近三十年。當時東京都建設局為改善行道樹之生長環境，進行人行道透水性鋪面規劃、設計、施工及後續追蹤調查之研究，於1973至1995年共築220萬平方公尺，並以政策性及階段性的推行，於1986~1995年以10~20萬平方公尺/年速度成長，東京都透水性鋪面之推動成果，在日本具有指標性意義，促使日本全國進行透水性鋪面之鋪設，至1999年，全國已累積了1000萬平方公尺以上的施工實績。

其壓碎石灰岩所得之石粉，其含水量在10% 以下，且為了抵抗粒料飛散性、耐候性、耐水性、耐流動性等功能，但實際上則是為了考慮耐久性、排水機能之持續性，則多採用高黏度改質瀝青。其混合料的配比設計中，在由試誤法決定粒料配比的混合料垂流試驗中取得最佳瀝青含量，接著由密度試驗、馬歇爾穩定值試驗、透水試驗及Cantabro磨耗試驗決定設計瀝青量，製作馬歇爾試體的夯壓次數為每面各50下。

日本在多孔隙瀝青混凝土之材料發展、規範研擬、配比設計、現場施工、績效評估方面，累積多年實務經驗，台灣與日本地理位置接近，工程技術交流頻繁且施工機具類似，日本推行經驗頗值台灣借鏡。以下為日本透水性鋪面之發展歷程：

- 1973年東京建設局建立三個人行道透水鋪面試驗區
- 1975年日本道路建設協會成立「透水性路面研究委員會」
- 1978年將透水性路面列入「瀝青路面綱要」
- 1982年技術成熟，應用於全國人行道
- 1983年在「都市防洪政策」中納入雨水儲留、滲透設施設置，其中透水性道路鋪面逐步被採用
- 1999年全國已累積了1000萬平方公尺以上的施工實績。

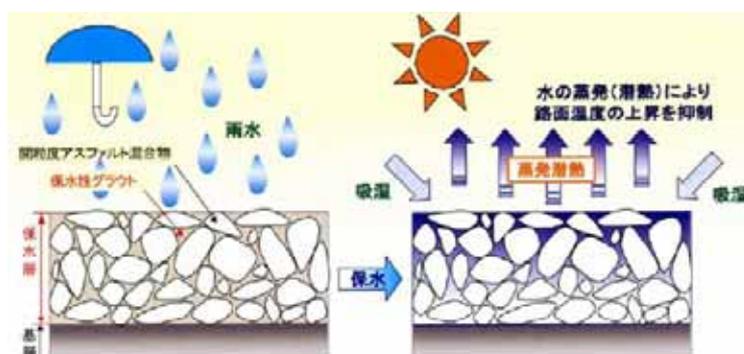
- 2004年透水性鋪面技術研發於面層孔隙填入保水材，達到面層保水技術。相關研究如下圖2-2、2-3、2-4。

圖 2-2 面層保水鋪面鑽心試體圖



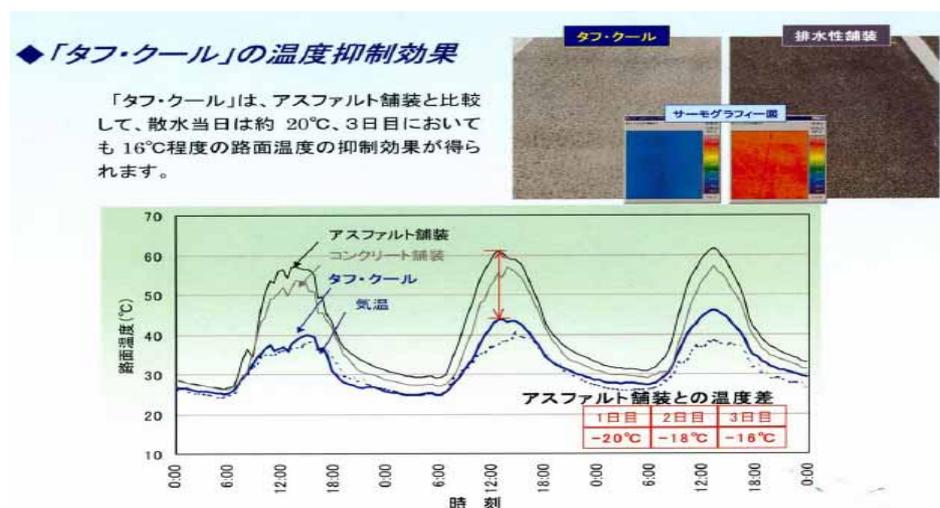
資料來源：日本大有建設中央研究所，2005

圖 2-3 面層保水鋪面氣溫改善示意圖



資料來源：日本大有建設中央研究所，2005

圖 2-4 面層保水鋪面與排水鋪面氣溫比較圖



資料來源：日本大有建設中央研究所，2005

日本在發展透水性試驗路面時，特別重視下列課題：

1. 瀝青混合料最大粒徑之研究
2. 路盤級配(碎石或礫石)及其厚度之研究
3. 試驗路面所處地點的土質、地勢等環境條件
4. 用消石灰加入瀝青混合料所產生之效果

日本透水性鋪面發展至今，依其用途可區分為三類：

1. 步行道路鋪面
2. 車行道路鋪面
3. 戶外體育、景觀設施鋪面

推廣過程是以步行道路鋪面、車行道路鋪面及其他(如體育、景觀)之應用次序發展，從其發展歷程知，透水性鋪面並無一蹴可幾，而是由試驗區開始，獲得成功之案例，再自局部地區推動至全國。

## 二、國內使用情形

國內透水性鋪面之發展尚處於研究發展階段，尤其近年因台灣都會區水災頻傳，都市化結果不透水面積逐年增加，不透水鋪面直接衝擊地表之保水效能。

校園環境調查報告顯示三十五所中小學校園環境現況，地面覆蓋的平均不透水面積，國中校園高達69%，國小達68%，環境保水現況十分不良，此一驅勢已令相關管理單位正視鋪面透水議題。

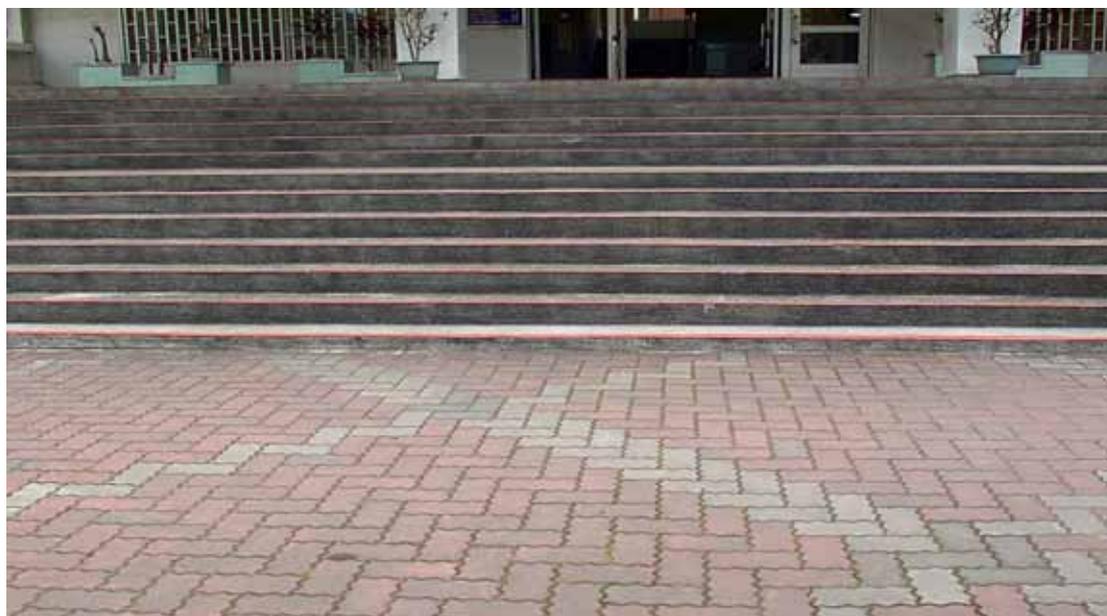
台灣目前停車場、廣場、人行道、道路等鋪面，尤其後二者均以不透水鋪面為主，耐用、美觀及保護地下工程設施為考量因素。常見的人行道鋪面如下：

**圖 2-5 人造窯燒花崗石鋪磚**



資料來源：林志棟，2004

**圖 2-6 連鎖磚**



資料來源：林志棟，2004

圖 2-7 花崗石鋪磚



資料來源：林志棟，2004

圖 2-8 窯燒紅磚



資料來源：林志棟，2004

**圖 2-9 純混凝土鋪面**



資料來源：林志棟，2004

**圖 2-10 預鑄混凝土塊磚**



資料來源：林志棟，2004

而在車行道瀝青路面，台南市中華路有試鋪與透水性鋪面面層相同之排水性瀝青路面，其添加木質纖維材料，使其有較高黏度，強化路面結構強度，屬於中低承載之路面。

圖 2-11 台南市中華西路



資料來源：林志棟，2001

而彰濱試車場，位於彰濱工業區鹿港區，總面積達一百廿九公頃的彰濱試車場暨實驗室，主要設施包括了高速周回路、綜合性能測試道、煞車性能測試道、噪音測試道、綜合耐久測試道、標準不良路、斜坡測試道、滑行暨振動噪音測試道、實驗室等。建中工程公司為發展多孔隙瀝青混凝土，在該廠鋪設多孔隙瀝青混凝土鋪面，並測試各項功能。設計之孔隙率目標值為20%，經測試透水效能達100ml/sec，透水係數 $3.1 \times 10^{-1}$ cm/sec。

另外在中二高後龍段去年12月鋪設一段長400 m的排水性瀝青鋪面試驗路面，參照歐洲地區鋪築厚度採用5cm，而排水性能施工後量測之15秒鐘排水量為1143.56 ml/15sec，開放通車三個月後量測為1063.42 ml/15sec，由此可看出隨著時間的增加，空隙會逐漸被細小粉塵所堵塞，因此施工後定期之維護管理相當重要。而今年93年六月北二高關西段鋪設將近7公里排水性鋪面，鋪設鋪設厚度2.5cm、3cm、4cm，九種排水性瀝青混凝土配合設計，九種不同材料之成效進行評估。

其他比較特殊的透水鋪面如高雄大學為推展綠色校園所設置的「竹鋪面」，竹鋪面能增加雨水的滲流時間以及機會，使土地有機會能夠涵養更多的水分，設置於該校大學南路停車場段與親水空間段，目前已完成設置，如下圖2-12所示。

圖 2-12 高雄大學「竹鋪面」



資料來源：林志棟，2004

另外台灣最近年也有材料廠商自行研發相關的透水性混凝土路面，其效果似乎還不錯，如環保透水混凝土鋪面等。

環保透水混凝土鋪面乃由國人自行所研發，並且獲得多國專利，此種鋪面是在地面鋪設時使用級配層先鋪設一層「副集水透水層」在於上方使用較大之卵石或粗砂層鋪設「主水流空調層」再加上埋設單元架構的「導水管組合」及灌注細料的混凝土主體架構，並可在水泥未凝結前，利用硬化色料塗灑於混凝土上，並經「導水管組合」單元之上單元或利用各式形狀或材質事先欲埋設於未凝結之混凝土上薄片掀起，使其製成地磚效果，並藉由掀起時的磚縫凹槽成為導水溝，使混凝土灌注後變成一體成型地磚；因此雨水可由導水溝經「導水管」進入「主水流空調層」的緩衝區再滲入「副集水透水層」最後由土壤吸收，因而達到具有透水透氣之環保作用。目前在新店透水性鋪面實驗區裡鋪設一段環保透水混凝土，是否成效能達當初設計要求將對環保透水混凝土鋪面進行評估。

圖 2-13 環保透水混凝土鋪面



資料來源：林志棟，2004

圖 2-14 新店實驗區環保混凝土鋪面



資料來源：林志棟，2004

透水鋪面因使路基或基層土壤長期處於超飽和之狀態，將使路基土壤之剪力強度降低，且多孔隙瀝青（水泥）混凝土之粒料堆積狀態造成鋪面結構抗剪及抗變形之能力不足，且此技術問題目前尚無令人滿意之解決方案，因此目前國內外之透水鋪面大多未使用於重交通之道路。圖2-15為目前台灣公共工程推動生態工法，進行透水性鋪面之分布圖。



表2-1 九十三年透水性鋪面工作之示範案例明細表

編號	縣市政府	工程名稱	工程地點	工程內容	經費
1	高雄市	高雄市立左營高中校園鋪設透水性鋪面工程	高雄市左營高中	敲除既有瀝青混凝土不透水鋪面約2400M <sup>2</sup> ，改採高壓連鎖磚、植草磚及木棧板等設施取代	337萬
2		台北縣北91道路改善工程	板橋市萬板橋下至縣民大道	兩側人行道改為環保透水性混凝土鋪面施作600M <sup>2</sup>	200萬
3	台北縣	鶯歌鎮建國路、育英街、國華街等透水性鋪面	鶯歌鎮	配合鶯歌陶瓷博物館觀光發展，進行周遭整體透水性規劃作業	90萬
4	桃園縣	觀音觀國小前人行步道工程	觀音國小前人行步道	敲除既有不透水破損磚人行步道鋪面約600M <sup>2</sup> ，改採環保透水性鋪面施作	200萬
5	新竹縣	橫山鄉新興村都市計劃人行道	橫山鄉新興村	規劃採用複式強網+陶磚(8cm)方式施作透水人行道鋪面600M <sup>2</sup>	217萬
6	嘉義縣	中正大學特定區停車場	民雄中正大學特定區	施作停車場透水性植草磚鋪面工程3000M <sup>2</sup> ，縣府配合編列預算辦理景觀綠美化	200萬
7	台南市	中華西路人行道改善工程	中華西路(安平路臨安橋至和緯路)	30公尺寬路兩側人行步道翻新施作透水性鋪面工程4400M <sup>2</sup>	460萬
8	台南縣	關廟鄉立圖書館前廣場工程	關廟鄉立圖書館前	再生高壓地磚綠建材及植草透水性鋪面工程600M <sup>2</sup>	80萬
9	屏東縣	滿州鄉佳樂停車場及港口吊橋停車場工程	佳樂水及港口吊橋風景區	施作透水性鋪面停車場4000M <sup>2</sup> 及景觀綠美化	200萬
10	宜蘭縣	宜蘭縣政中心和平路人行形步道及飄旋路端點廣場景觀工程	宜蘭縣政中心	園路及廣場分別採三合土鋪面、北宜景石鋪面、填料卵石鋪面及鋪預鑄版鋪面等方式施作約2900M <sup>2</sup> 透水性鋪面	300萬
合計					2284萬

資料來源：林志棟，2004

## 第二節 透水性鋪面材料特性

### 一、多孔隙瀝青混凝土材料

由國外經驗可以發現，歐美地區在透水瀝青混凝土（或開放級配）中大都採用等級較高的瀝青或改質瀝青配合纖維進行施作，而在日本方面則採用高黏滯度改質瀝青或改質瀝青配合木質纖維來進行施作。在台灣由於多孔隙瀝青混凝土並不適合在一般重交通量的道路，所以暫時以低交通量為主，另外對於材料的要求也特別注重。

#### ● 瀝青膠泥

本研究擬探討適合台灣地區的瀝青使用等級，一般台灣常使用的AC-20及AC-10的瀝青，根據經驗無法滿足台灣地區之氣候及交通量之需求，應採用較高等級之直餾瀝青或是改質瀝青等才能達到較佳的包裹能力，若選用其他瀝青應符合相關規定，如採用改質瀝青則須符合CNS14184改質瀝青及日本排水性鋪面鋪裝綱要的相關規定其建議規範如表2-2及表2-3所示：

表 2-2 CNS 14184 聚合物改質柏油分類

試驗項目	一般鋪面(改質瀝青種類)
	III 型
針入度，25°C，100g，5sec，0.1mm (Min)	35
黏度，60°C，1s <sup>-1</sup> Pas.s (Poise) (Min)	800(8000)
黏度，135°C，mm <sup>2</sup> (cSt)(Max)	3000
閃火點 COC，°C(Min)	232
三氯乙烯中溶解度，%(Min)	99
離析試驗頂段與底段軟化點差值，°C	試驗記錄
滾動薄膜烘箱試驗(RTFOT)後，彈性回復率，25°C，10cm伸長，%(Min)	70
滾動薄膜烘箱試驗(RTFOT)後，針入度，4°C，200g，60sec(Min)	10

資料來源：公共工程委員會，2003

表 2-3 日本多孔隙瀝青混凝土鋪裝綱要中高黏度改質瀝青之規範

試驗項目	規範值
針入度，25°C，100g，5sec，0.1mm	40 以上
軟化點，°C	80.0 以上
延展性，15°C (cm)	50 以上
閃火點 COC，°C	260 以上
薄膜加熱質量變化率，%	0.6 以下
薄膜加熱針入度殘留率，%	65 以上
韌性 (Toughness)，N×m(kgf×cm)	20(200) 以上
黏結力 (25°C)，N×m(kgf×cm)	15(150) 以上
黏滯度，60°C，1s <sup>-1</sup> Pas.s (Poise)	20,000(200,000)以上

資料來源：公共工程委員會，2003

## ● 粒料

### 1. 粗粒料

在多孔隙瀝青混凝土混合料中之粗粒料，其形狀必須為立方體而無扁平或細長狀等別類型之粒料在內，則其成效較好。國外研究指出，稜角率高之粒料，粒料之間互鎖之能力較好，較能發揮抗變形之能力。同時粒料表面組織必須粗糙，以保證在承受交通荷重下仍保有良好的內在接合力，並符合相關規範之規定。表 2-4 為粗粒料的建議檢驗規範。

**表 2-4 粗粒料建議檢驗規範**

試驗方式	單位	規範	規範值
洛杉磯磨損率	%	AASHTO T96	<30
扁長狀顆粒含量	1:3	ASTM D 4791	<20
	1:5		<5
吸水率	%	AASHTO T85	<2
健性	硫酸鈉	AASHTO T104	<15
	硫酸鎂		<20
粗粒料稜角率	一個破碎面	ASTM D5821	>100
	兩個破碎面		>90

資料來源：公共工程委員會，2003

## 2. 細粒料

細粒料則可用天然砂取代部分的細粒料，但天然砂必須堅硬，有稜角且表面粗糙，並符合相關規範規定。最好使用堅硬的機製砂，機製砂是利用堅硬的石料反覆破碎而製成的，它具有一定的粗細級配，不同於從石屑中篩分出來的細顆粒碎屑。含石粉數量應予限制。〔通過4.75mm(4號)篩者〕包括石屑、天然砂、機製砂或天然砂及機製砂之混合物，須潔淨、質地堅硬、緻密、顆粒富有稜角、表面粗糙及不含有機土、粘土及其他有害物質，且導入拌合機時不得有結塊情形。表2-5為細粒料建議檢驗規範。

**表 2-5 細粒料建議檢驗規範**

試驗方式	單位	規範	規範值
健性	硫酸鈉	CNS 1167	<15
	硫酸鎂		<20
稜角率	%	AASHTO TP 33	>45
液限	%	CNS 5057	<25
塑性指數	%	CNS 5088	無塑性

資料來源：公共工程委員會，2003

- 礦物填充料

礦物填充料可用完全乾燥之石灰、石粉末、粉煤灰，或其他經工程司認可之塑性指數小於4之無機物粉末，不得用回收粉塵。使用石灰是被容許的，但用量不宜超過2-3%，並符合相關規範規定。表2-6為礦物填充料的建議檢驗規範。

表 2-6 礦物填充料建議檢驗規範

● 試驗篩 (mm)	● 通篩重量百分率 (%)
● 0.60(No.30)	● 100
● 0.30(No.50)	● 90~100
● 0.075(No.200)	● 75~100

資料來源：公共工程委員會，2003

- 纖維材料

歐美地區的SMA及多孔性瀝青混凝土中纖維被使用地相當普遍，目的在使瀝青混合物中的瀝青膠泥穩定及固化，纖維材料分為礦物纖維及纖維素纖維兩種，但其使用量及纖維的檢驗方式必須符合相關規範規定。表2-7為纖維基本性質建議檢驗規範。

表 2-7 纖維基本性質建議檢驗規範

		Alpine 篩分析法		網篩分析法	
木 纖	纖維長度	<6mm	纖維長度	<6mm	
	通過 NO.100(0.15mm)		通過 NO.20(0.85mm)	85±10%	
		70±10%	通過 NO.40(0.425mm)	65±10%	
			通過 NO.140(0.106mm)	30±10%	
	殘餘量 (%)	18±5.0 (無揮發性)			
酸鹼度 (PH)	7.5±1.0				
含油量 (%)	5.0±1.0				
含水量 (%)	<5%				
礦 纖	篩分析				
	纖維長度	<6mm(0.25") 最大平均值			
	纖維直徑	<5 μm(0.0002") 最大平均值			
	非纖維材料				
	通過 NO.60(0.25mm)	90±5%			
通過 NO.230(0.063mm)	70±10%				

資料來源：公共工程委員會，2003

● 配合設計

當材料決定之後，粒料級配便是配合設計的核心，本研究擬提出決定粒料級配的相關試驗及檢驗步驟，如下表2-8。

表 2-8 透水瀝青混凝土粒料級配建議規定

孔徑 (mm)	最大粒徑 3/4"		最大粒徑 1/2"	
	規範上限	規範下限	規範上限	規範下限
25.0	100	100	100	100
19.0	100	90	100	100
12.5	74	50	100	90
9.5	60	25	78	26
4.75	25	20	28	20
2.36	24	16	24	16
1.18	21	13	21	13
0.60	18	12	18	12
0.30	15	12	15	12
0.075	10	8	10	8
瀝青含量範圍	4.0-6.0		4.0-6.0	

資料來源：公共工程委員會，2003

● 最佳瀝青量的設定

- 1.先選擇所要設計的目標孔隙率，暫定中央級配的設定，是參考表2.9之中央級配附近或過去的施工例子。
- 2.試驗用的粒料配比，是將填充料的配比固定(約5%)，然後變化粗粒料和細粒料的配比，接著決定8號篩(2.36mm)過篩量在中央級配附近約±3%的三個級配值為目標。
- 3.試驗用排水性混合物的暫定瀝青量，經驗上，在20%孔隙率的瀝青油膜厚大約為14μm，而將暫定三個級配值分別由下式求得瀝青量，並用以製作馬歇爾試體。  
暫定瀝青量(對應於粒料) = 假設膜厚(14 μm) 粒料表面積 (2.1)

$$\text{粒料表面積} = (2+0.02a+0.04b+0.08c+0.14d+0.3e+0.6f+1.6g)/48.74 \quad (2.2)$$

表2-9 所示為公式(2.2)中所使用的篩孔尺寸與過篩質量累計百分率的關係。

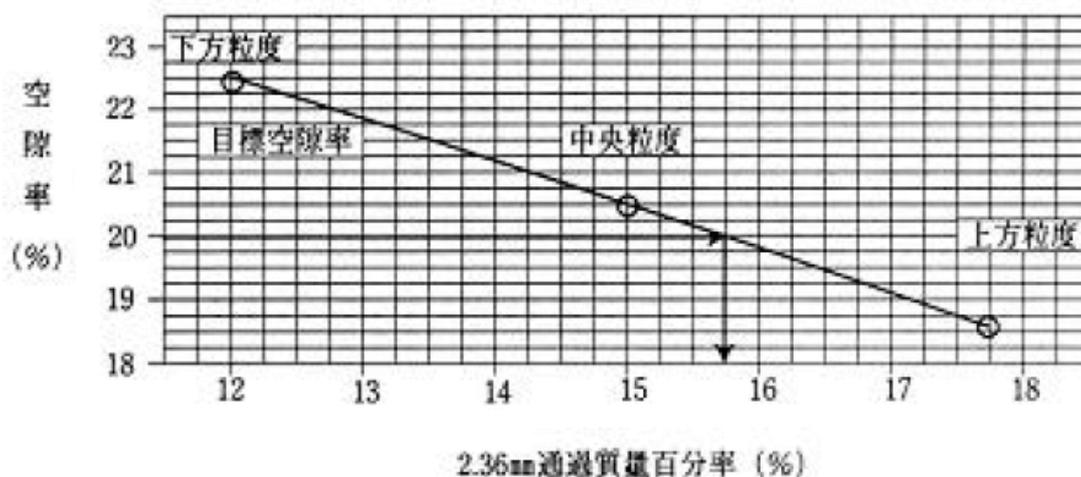
**表 2-9 篩孔尺寸與過篩質量累計百分率之關係<sup>1</sup>**

篩孔尺寸 (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
過篩質量累計百分率 (%)	a	b	c	d	e	f	g
係數	0.02	0.04	0.08	0.14	0.3	0.6	1.6

資料來源：公共工程委員會，2003

4. 製作馬歇爾(Marshall)試體的搗實次數為兩面各50次。
5. 製作馬歇爾(Marshall)試體的孔隙率，是以多孔隙瀝青混凝土混合物密度試驗法來求得。
6. 圖2-16 所示為暫定三個級配的空隙率與8號篩(2.36mm)過篩質量百分率的關係圖，可求得對應於孔隙率目標值的8號篩(2.36mm)過篩質量百分率，並決定粒料配比。

**圖 2-16 8 號篩(2.36mm)通過質量百分率—孔隙率曲線**



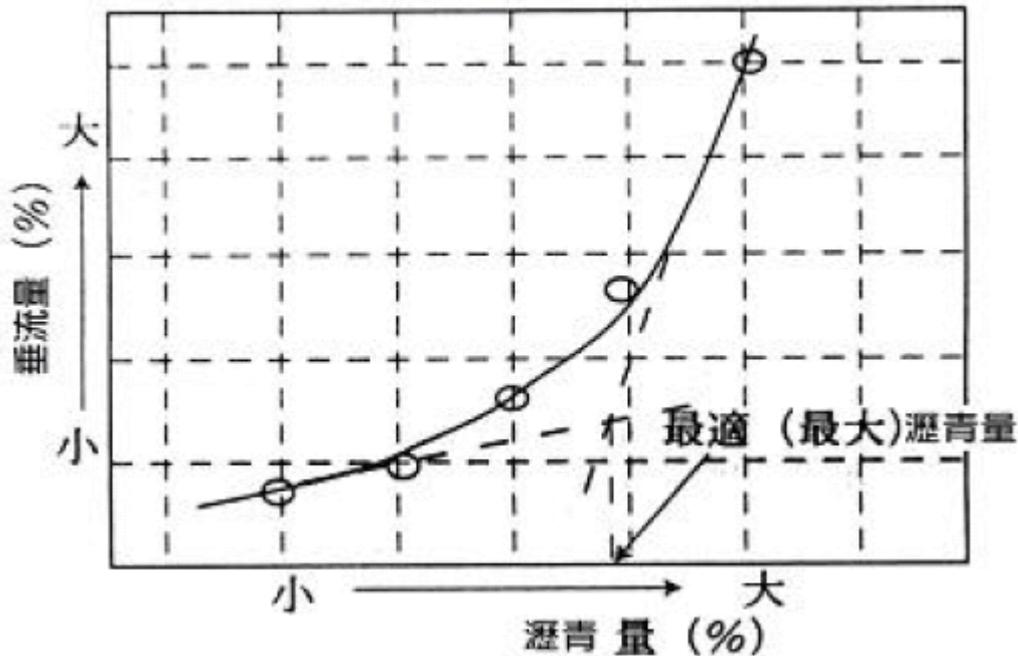
資料來源：公共工程委員會，2003

7. 若無法找出孔隙率目標值，則必須改變8號篩(2.36mm)的過篩率，並改進粗粒料等材料的選定。

1. 若無16號(1.18mm)篩，則可由級配曲線讀取16號篩的過篩質量累計百分率。

8.在已決定的粒料配比方面，可實施排水性混合物的垂流試驗。垂流試驗一般在瀝青量4.0%~6.0%的範圍內以0.5%為刻度，針對五組排水性混合物求得其個別的瀝青漿垂流量。在4.0%~6.0%的範圍內無明確的反曲點時，可針對4%以下或6%以上的瀝青量以0.5%為刻度追加試驗至得到明確反曲點為止。垂流試驗用於針對排水性混合物在高溫下保持靜態的最大瀝青量，以瀝青漿的垂流與瀝青量的關係曲線中的反曲點來求得。所得到的最大瀝青量可設定為最佳瀝青量。此外，圖2-17 所示為決定最佳瀝青量的方法。

圖 2-17 最適瀝青量之決定方法之概念圖



資料來源：公共工程委員會，2003

- 9.若由步驟8 中，可得良好的瀝青量(可確保瀝青膜厚的均勻混合物)，則可定為最佳瀝青量。
- 10.最佳瀝青量，原則上採用垂流試驗所得的最大瀝青量，但若以此瀝青量製作的試體上可觀察出有瀝青滲出，則可在垂流試驗所得的最大瀝青量與Cantabro試驗所得的最小瀝青量之間作設定。此時的Cantabro試驗，是在瀝青量4.0%~6.0%的範圍內以0.5%為刻度，針對五組排水性混合物製作馬歇爾試驗用試體。在4.0%~6.0%的範圍內無明確的反曲點時，可針對4%以下或6%以上的瀝青量以0.5%為刻度追加試驗至得到明確反曲點為止。

● 設計瀝青量的決定

1. 透水性混合物的物性試驗，可針對設定的最佳瀝青量作密度試驗、馬歇爾穩定值試驗，透水試驗或輪跡試驗。確認是否滿足表2-10 所列針對各試驗的目標值，然後定為設計瀝青量。孔隙率則以孔隙率目標值的±1%為準。
2. 透水試驗以日本「鋪裝試驗法便覽」之透水試驗法進行。
3. 表2-10 中孔隙率目標值的20%左右，是指一般地區中施工實績最多的孔隙率。在積雪寒冷地區及陡坡位置，可設定透水性混合物的孔隙率目標值在20%以下。同時，在以排水效果為重點的試驗施工中，也有將孔隙率目標值定在20%以上的例子。

表 2-10 透水性混合物目標值<sup>2</sup>

項目	目標值
孔隙率 (%)	20 程度
透水係數(cm/sec)	10 <sup>-2</sup> 以上

資料來源：公共工程委員會，2003

● 配比設計中使用的計算

1. 在排水性混合物的理論最大密度計算中使用的粒料比重，採用以式(2.3)得到的視比重(apparent density)。然而，吸水率超過1.5%的粗粒料則是將視比重與由式(2.4)所得的面乾比重求平均值。

$$\text{視比重} = \frac{W_a}{W_b} \quad (2.3)$$

$$\text{面乾比重} = \frac{W_b - W_c}{W_b} \quad (2.4)$$

式中：

Wa：粒料的烘乾質量(g)

Wb：粒料在面乾狀態下的質量(g)

Wc：24 小時浸水後粒料在水中的質量(g)

2. (1)在最佳瀝青量下的馬歇爾穩定值，希望能定在3.5kN(350kg)以上。  
 (2)在大型車流量大的道路上的動態穩定值目標值，可考慮交通條件、氣象條件及經濟性而設定為15000 cycle/mm。  
 (3)實施Cantabro 試驗的目的，在評估於設計瀝青量下粒料的飛散性。此試驗是為了明瞭在透水性鋪裝的適用性與設計瀝青量之下與Cantabro 損失率的關係，因而作資料的收集與累積。因此現階段並無目標值。

2.馬歇爾穩定值試驗用試體的密度測定依排水性瀝青混合物之密度試驗方法，並以下述方法求得：

將已乾燥的試體稱重至0.1g之準確度。接著，用游標尺量測試體直徑至0.1mm之準確度。測定直徑的位置為二處，測量厚度則是取互為直角的四個位置，此測定值的平均值用於式(2.5)的密度計算中。

$$\text{試體的密度} = \frac{W_s}{A \times L} (\text{g/cm}^3) \quad (2.5)$$

式中：

Ws：試體質量(g)

A：試體斷面積(cm<sup>2</sup>)

L：試體的平均厚度(cm)

試體的孔隙率以式 (2.6) 計算：

$$V_v = \left(1 - \frac{D_m}{D_t}\right) \times 100\% \quad (2.6)$$

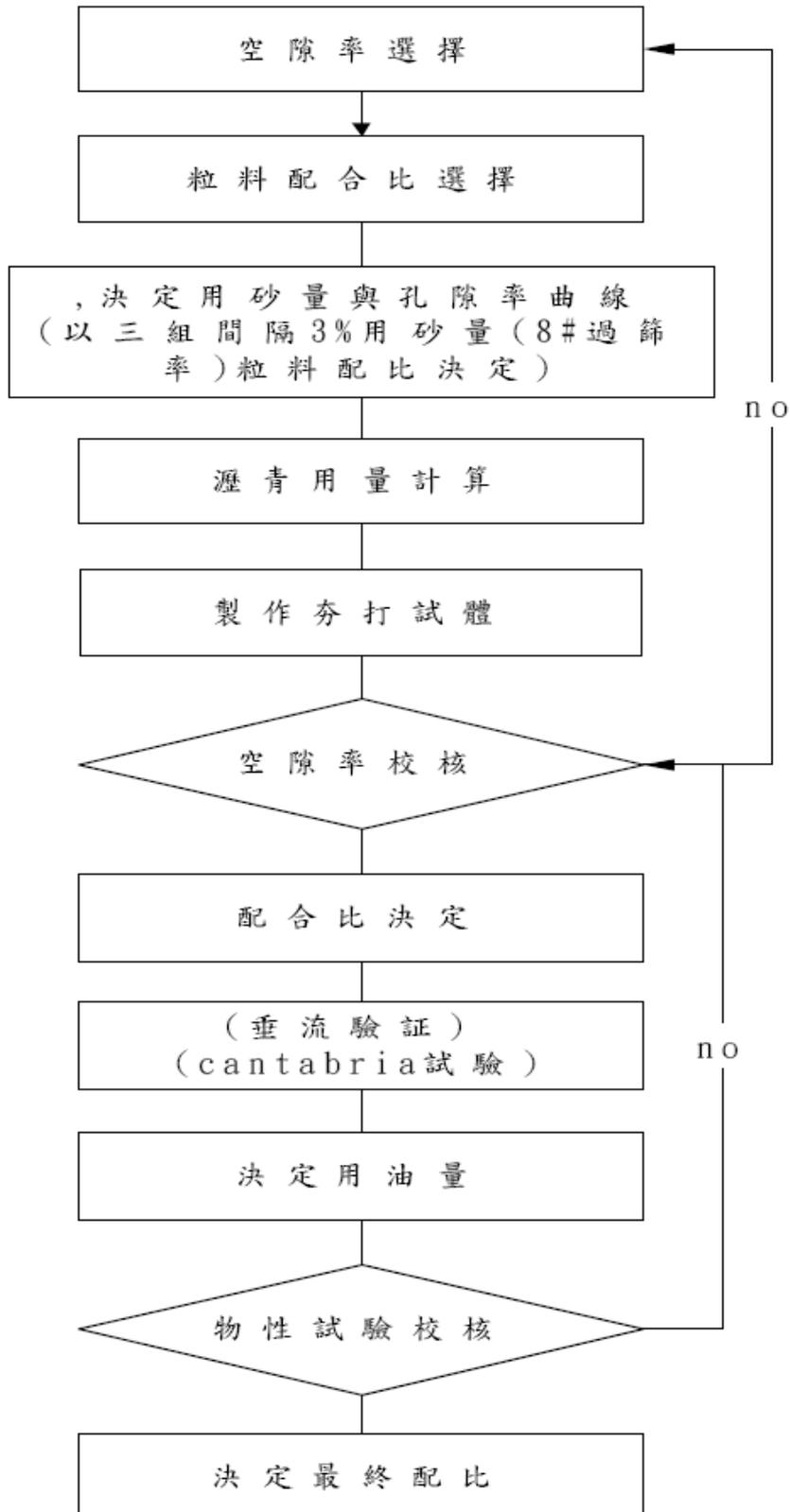
式中：

Vv：試體的孔隙率(%)

Dm：試體的密度(g/cm<sup>3</sup>)

Dt：理論的最大密度(g/cm<sup>3</sup>)

圖 2-18 多孔隙瀝青混凝土建議配合設計法流程



資料來源：公共工程委員會，2003

## 二、透水混凝土材料

透水混凝土使用的材料是由一般的水泥、粗骨材和水拌合而成，有時也會加入少量的砂。粗骨材可以是碎石、卵石，也可以是人工輕骨材或再生骨材、工業的爐渣廢料以及其它強度較高的建築廢棄物等。其強度的發揮性，藉著粗骨材表面的一般水泥漿體，使之骨材表面接觸互相固結，形成多孔隙的結構體，因此具有相當大的透水性。

### 1. 粒料

粗骨材之選擇以卵石最好、碎石次之，而顆粒的總面積不應過份增大。粒徑1~3cm或1~4cm的天然顆粒級配較適宜，並應符合CNS1240[混凝土用料]之有關規定。

### 2. 水泥

水泥使用卜特蘭第I型水泥，需符合CNS61[卜特蘭水泥]之有關規定。

### 3. 水灰比

無細骨材混凝土的水灰比可變範圍較小，超過一定區間，就會形成水泥漿流失和不能成型。比較理想範圍是0.45~0.6之間，較低者可選用0.35。

### 4. 配合設計

傳統ACI配合設計法應用於透水混凝土配合設計無法使用，所以設計時最好先用類似ACI配合設計法中體積法先估計粗骨材體積，然後換算重量，再把握要使每一骨材都有足夠的水泥漿包裹的原則進行試辦調整水泥與骨材之間最佳重量比，水泥漿不可過多以避免滲流至底層影響透水性能。如圖2-19

圖 2-19 透水性混凝土圖



資料來源：林志棟，2005

### 三、非連續拼接或鏤空鋪面材料

在鋪面磚的相關規範中我國國家標準也有相關規定，CNS 13295[高壓混凝土連鎖地磚]中就規定了高壓混凝土連鎖磚的外觀、尺寸、檢驗方式及基本之力學性質，其主要內容如下表2-11。

表 2-11 CNS 13295 之內容

檢驗項目	內容摘要
外觀、尺寸	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 尺寸不予以硬性規定，但長寬比不得超過 280mm，慣用厚度為 60、80、100、120 及 140mm。</li> <li>* 表面若敷面層，其厚度至少 6mm 以上</li> <li>* 尺寸許可差：長寬為±2mm，厚度為±3mm。厚度在 80mm 以下，不得有超過 2mm 之瑕疵突出物，在 80mm 以上，不得有超過 3 mm 之瑕疵突出物</li> </ul>
抗壓強度	A 級平均值 55Mpa 以上，個別 50Mpa 以上；B 級平均值 40Mpa 以上，個別 36Mpa 以上；C 級平均值 35Mpa 以上，個別 31Mpa 以上。加壓速率 0.5Mpa/sec
吸水率	A 級平均值 5%以下，個別 7%以下；B 級平均值 6%以下，個別 8%以下；C 級平均值 7%以下，個別 9%以下，
耐磨性	依噴砂法，體積損失不得超過 15cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> ，厚度磨耗平均值需小於 3mm

資料來源：公共工程委員會，2003

植草磚要依照規範ASTM C 1319-95、格子地磚特殊規格。最大尺寸610mm長600mm寬最少80mm厚，格子洞的間距最少25mm。現品和樣品不能相差3.2mm以上，植草磚的抗壓性平均要有5000psi、單磚不能少於4500psi，最大的吸水力不能超過160kg/m<sup>3</sup>，植草磚的耐用度要依照植草磚的厚度和吸水力經過最少3年的測試。

### 四、透水性黏結料

為配合何台北市人行道規範，必須採用硬底之材料，因此為將透水混凝土及透水磚黏結，而透水性黏結料因運而生，其中包含樹脂砂漿及固化劑砂漿。

- (1) 樹脂砂漿：利用樹脂及粗砂拌合，由於該砂漿皆為粗砂構成，經由高黏性樹脂拌合而成，具有強度高黏性及透水性。如下圖2-20。

**圖 2-20 樹脂砂漿**



資料來源：林志棟，2005

- (2) 固化劑砂漿：利用固化劑、水泥及細砂拌合而成，固化劑可將細砂膠結成粗粒沙石，再經由水泥拌合產生膠結之黏性，具有強度、黏性及透水性。如下圖2-21。

**圖 2-21 固化劑砂漿**



資料來源：林志棟，2005

### 第三節 建築技術規則基地保水指標探討

#### 一、都市高密度開發導致洪水問題

建築開發對於淹水現象會產生如此大的影響，其主因就是地表不透水面的增加，一般較常使用都市「不透水表面率」(percentage of impervious area，簡稱IMP)來評估都市中不透水面積占都市全部面積的比例，其數值愈高，也代表開發的密度愈大。成功大學建築研究所曾針對台北市及台南市的都市透水性進行實地的調查。根據其使用分區，抽樣出台北市335 個案例及台南市181 個案例，以田野調查的方式來解析這兩個都市各類分區的透水性能。結果發現各個不透水率的值均比過去預估值偏高，顯見過去文獻之推估過於樂觀。同時，也證明了隨著時間的增加，都市開發密度也相對提高，故都市的不透水表面率也日趨提升。而也由於這種都市透水環境的惡化，造成了都市洪水發生的頻率上升。(如表2-12)

表 2-12 都市各種使用分區不透水率比較表

土地使用分區	平均不透水表面率(%) (年)		
	台北 1 (2001)	台南 1 (2000)	台南 2 (1980)
住宅區	88	88	70
商業區	100	100	100
工業區	85	92	70
公園綠地	25	36	15
學校	60	68	35
政府機關	77	91	35
公共設施	85	81	---

資料來源：林憲德，2005

#### 二、以基地保水指標改善都市水循環能力

由於都市過度不透水化，使得大地喪失了水之涵養力，使得地表逕流量暴增而造成水災頻傳。有鑑於此，在內政部建築研究所的推動之下，在綠建築的評估體系中，以「基地保水指標」來定量化評估基地中雨水涵養的能力，以有效改善

日漸惡化的都市水循環問題。所謂基地的「保水性能」，就是建築基地涵養水分及貯留雨水的能力。「基地保水設計」主要分為兩大部分，一是「直接滲透設計」，二是「貯留滲透設計」。所謂「直接滲透設計」就是完全利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能。所謂「貯留滲透設計」就是設法讓雨水暫時留置於基地上，然後再以一定流速讓水滲透循環於大地的方法。基地的保水性能愈佳時，基地涵養雨水的能力愈好，有益於土壤內微生物的活動，進而改善土壤之有機品質並滋養植物，對生態環境有莫大助益，這是在綠建築中推動生態環保不可或缺的指標。過去的建築環境開發常採用不透水鋪面設計，使得大地喪失良好的吸水、滲透、保水能力，剝奪了土壤內微生物的活動空間，減弱了大地滋養植物的能力。同時因為土地失去了蒸發水分潛熱的能力，而喪失調節氣候的功能，甚至引發居住環境日漸高溫化的「都市熱島效應」。保水指標公式如下

$$\lambda = \frac{Q'}{Q_0} \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A \times k \times t} \geq \lambda_c \quad (2.7)$$

式中：

$\lambda$ : 基地保指標

$\lambda_c$ : 基地保指標標準。學校0.5、建築基地0.8×最小空地比

$Q'$ : 保水量總和

$Q_0$ : 原地保水量

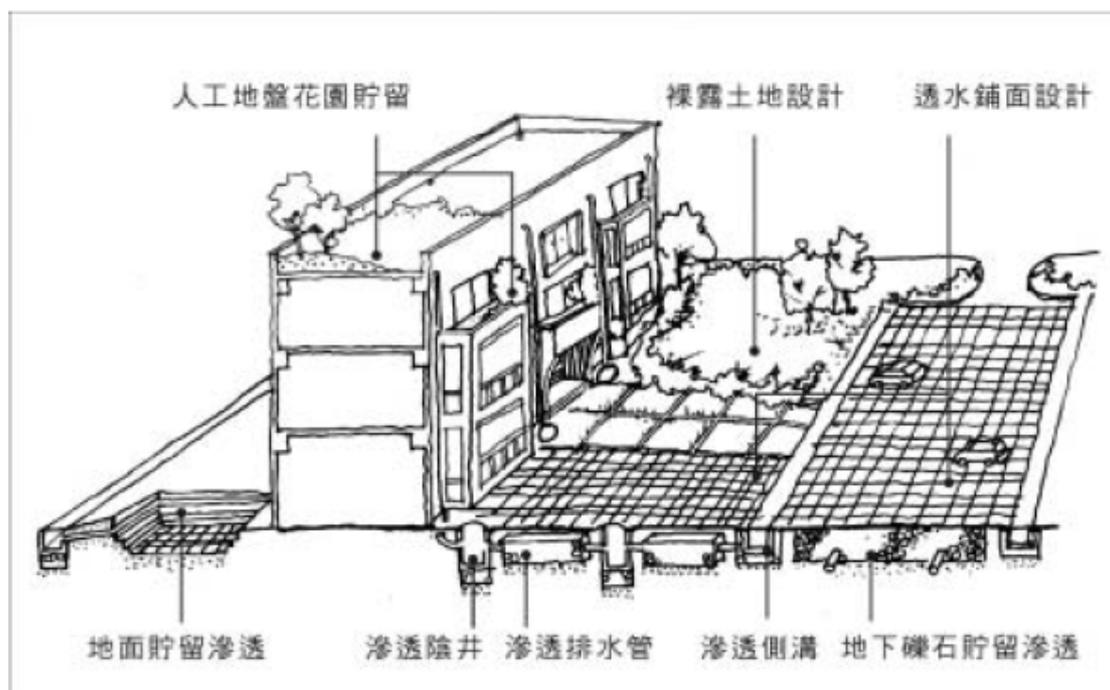
$Q_i$ : 各類保水量

$A$ : 透水鋪面面積(m<sup>2</sup>)

$K$ : 土壤滲透係數(m/s)

$t$ : 最大降雨延時(s)

圖 2-22 基地保水手說明圖



資料來源：林憲德，2005

### 三、透水鋪面設計：

車道、步道、廣場等人類活動的地面構造，通常由地面表層及基層所構成。所謂「透水鋪面」，就是表層及基層均具有良好透水性能的鋪面（圖2-23）。表層通常由連鎖磚、石塊、水泥塊、磁磚塊、木塊、HDPE 格框(High Density Polyethylene，高密度聚乙烯)等硬質材料以乾砌方式拼成，其透水性能主要由表面材的乾砌間隙來達成。表層下的基層則由透水性十分良好的砂石級配構成。依地面的承載力要求，其表層材料及基層砂石級配的耐壓強度有所不同，但是絕不能以不透水的混凝土作為基層結構以阻礙雨水之滲透。一般良好透水鋪面的透水性能均如同裸露土地，因此增加透水鋪面，相當於增加裸露土地一樣，對基地保水有良好的貢獻。其保水量公式如下

$$Q = A \times k \times t + 0.15 \times h \times A \quad (2.8)$$

式中

Q:保水量(m<sup>3</sup>)

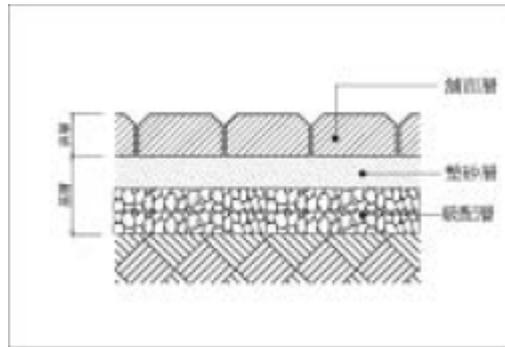
A:透水鋪面面積(m<sup>2</sup>)

K:土壤滲透係數(m/s)

h:透水鋪面基層厚度(m)

t:最大降雨延時(s)

圖 2-23 透水鋪面



資料來源：林憲德，2005

#### 四、地面貯留滲透設計

所謂雨水的「貯留滲透」，就是讓雨水暫時貯存於水池、低地，然後再慢慢以自然滲透方式滲入大地土壤之內的方法。具體的貯留滲透設計有「景觀貯留滲透水池」與「貯留滲透空地」兩種作法。「景觀貯留滲透水池」通常將水池設計成高低水位兩部分，低水位部分底層以不透水層為之，高水位部分四周則以自然滲透土壤設計做成，下大雨時可暫時貯存高低水位間的雨水，然後讓之慢慢滲透回土壤，水岸四周通常種滿水生植物作為景觀庭園之一部份。「貯留滲透空地」通常利用停車場、廣場、草地之空間，將之做成較低窪的高透水性地面，平時為一般的活動空間，在下大雨時則可暫時貯存雨水，待雨水以自然滲透方式滲入地下後便恢復原有空間機能，是一種兼具防洪功能的生態透水設計(圖2-24)。此貯留滲透設計當然必須做在透水良好的粉土上才有滲透保水的功能，假如做在不透水的黏土地形上就毫無意義了。其保水量公式如下：

$$Q = A \times k \times t + V \quad (2.9)$$

式中：

Q:保水量(m<sup>3</sup>)

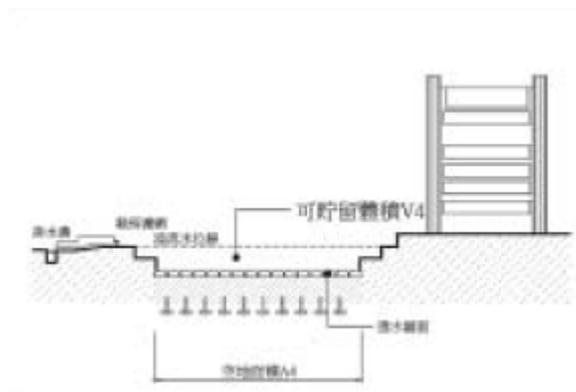
A:儲存空地面積(m<sup>2</sup>)

K:土壤滲透係數(m/s)

V:儲存空地之可存體積(m<sup>3</sup>)

t:最大降雨延時(s)

圖 2-24 儲留滲透空地



資料來源：林憲德，2005

### 五、地下礫石貯留滲透設計

「地下礫石貯留滲透」，便是在裸露土地的下方填入礫石材料，讓雨水暫時貯留於礫石間的孔隙之中，然後再以自然滲透方式入滲至土壤的方法。由於礫石的孔隙率較一般的砂土、粉土大，因此，下大雨時礫石的間隙便能貯留較大的水量，然後讓之慢慢滲透回土壤之中，以同時達到貯留及滲透的保水功效。圖2-25為其斷面示意圖，礫石部分堆砌後需進行夯實以確保路面承載性能，並且需覆蓋不織布以防止因表層土壤受到沖蝕而於礫石層中淤積。「礫石貯留滲透設施」的使用範圍相當地廣泛，於廣場、空地、停車場、學校操場等開闊區域設置，均具有相當良好的保水功效。同時，透過一些手法更可將貯留的雨水做為洗車、澆花等雜用水的利用。其保水量公式如下：

$$Q = A \times k \times t + 0.2 \times V \quad (2.10)$$

式中：

Q:保水量( $m^3$ )

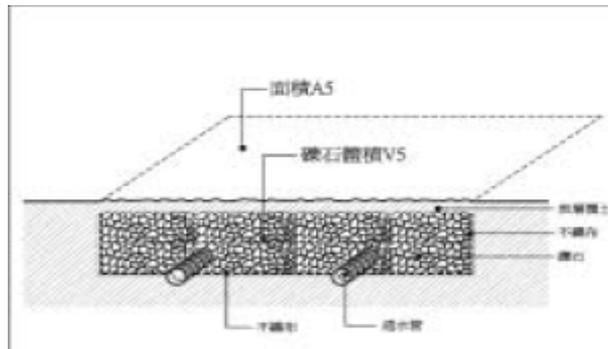
A:礫石儲存設施面積( $m^2$ )

K:土壤滲透係數(m/s)

V:礫石儲存設施之可存體積( $m^3$ )

t:最大降雨延時(s)

圖 2-25 地下礫石儲留滲透



資料來源：林憲德，2005

過去的建築環境開發常採用不透水鋪面設計，使得大地喪失良好的吸水、滲透、保水能力，剝奪了土壤內微生物的活動空間，減弱了大地滋養植物的能力。同時因為土地失去了蒸發水分潛熱的能力，而喪失調節氣候的功能，甚至引發居住環境日漸高溫化的「都市熱島效應」。根據成大建研究所針對台灣四大都會區之熱島氣溫分佈之實測解析，發現在台灣大都會區大約每提昇10%的綠覆率，對周圍平均氣溫有降低0.13~0.28°C的效果，同時每提高10%的建蔽率，都市氣溫約上昇0.14~0.46°C。本文所提出之基地保水手法，不僅可以有效降低地表逕流量，對於都市高溫化的緩和具有顯著的影響。政府除應具體實施綠建築方案中的保水指標，並應訂定公共空間應有之貯留量基準，並於公共空間進行示範性案例設計才能有效抑制都市洪水，調節都市溫度，平衡土壤生態。

#### 第四節 本章小結

內政部建築研究所為鼓勵興建省能源、省資源、低污染之綠建築建立舒適、健康、環保之居住環境，發展以「舒適性」、「自然調和健康」、「環保」等三大設計理念，特委請財團法人中華建築中心於八十八年九月一日正式公告受理「綠建築標章」申請，標章之核給須進行綠建築七大指標評估系統之評估，其中包括基地綠化指標；基地保水指標；水資源指標；日常節能指標；二氧化碳減量指標；廢棄物減量指標；污水垃圾改善指標；經綠建築標章審查委員會審查通過始可發給標章，評定為綠建築。然而，隨著「綠建築解說與評估手冊」(2003)

的檢討更新，決定於七大指標系統外，加入生物多樣性指標與室內環境指標，成為九大指標。藉此將使綠建築由過去「消耗最少地球資源，製造最少廢棄物的建築物」的消極定義，擴大為「生態、節能、減廢、健康的建築物」的積極定義。本研究於此主要是針對透水性鋪面之規範以及法規進行探討與研擬，而透水性鋪面於綠建築九大指標中，主要評估指標為基地保水指標中之透水性鋪面評估，而由於透水性鋪面之鋪設在國內仍屬試驗性階段，不僅在新工、養護以及維修皆無一標準，並且國內皆多參考國外之規範進行其鋪面之設計，而無一本土化之依據可供參考。根據綠建築九大指標中其基地保水指標評估中之透水鋪面設計保水量計算，其是否真正適用於實際保水量之評估？以及其透水性鋪面於現地鋪築之成效如何？皆無一驗證流程證明其可行性，本研究有鑑於此，針對透水性鋪面於台灣之應用效果配合現地監測以及力學效應分析等方進行其成效之驗證，並且探討其透水性鋪面保水指標之適用性，最後籍以研擬透水性鋪面新工、養護之規範。

建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究  
子計畫二：透水鋪面技術規範與法制化之研擬

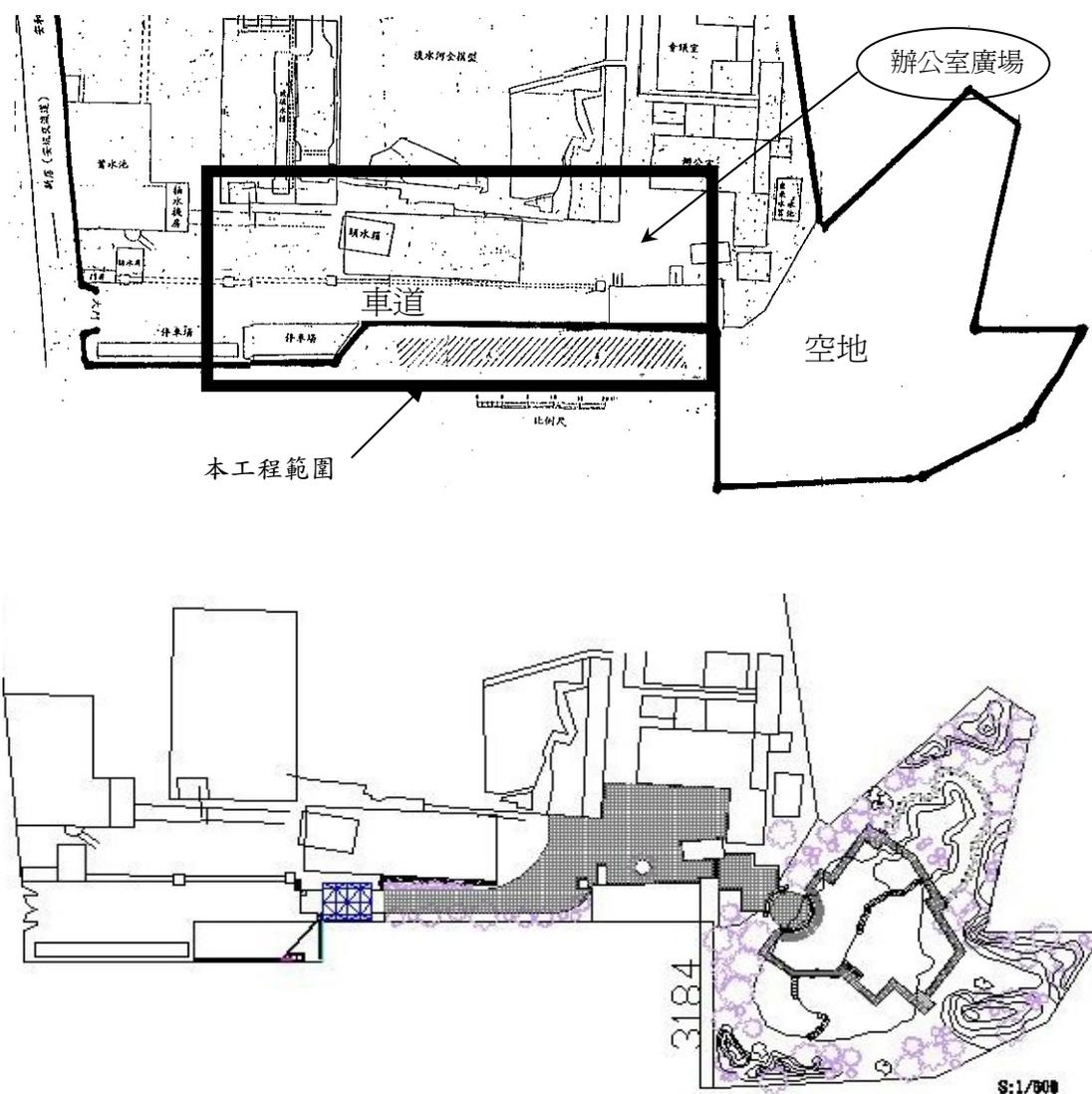
### 第三章 透水性鋪面成效分析(以新店實驗區為例)

過去的鋪面通常採不透水鋪面進行設計，然而隨時代的演變，漸漸開始推行綠建築以減少結構物對環境的影響。本研究以建築基地保水化為目的，於新店試驗區由四種不同的透水鋪面(其中包括透水瀝青混凝土鋪面、植草磚鋪面、透水磚鋪面及環保透水混凝土鋪面)為例進行基地保水、熱島效應成效、鋪面結構及舒適度評估。

#### 第一節 新店透水鋪面實驗區介紹

為使用所設計規劃的透水鋪面能實際的於現地驗收各項設計成效，因此於經濟部水利署台北辦公區新店辦公室，本工程設計之目的將不同的透水鋪面施設於基地上，運用截留雨水進行人造雨場的施作進行透水觀察與比較，並與辦公廳舍結為一體，將基地透水鋪面經由設計手法予以呈現，透過設計將辦公廳舍與基地保水與水資源再利用做有效的結合，以達示範的目的。

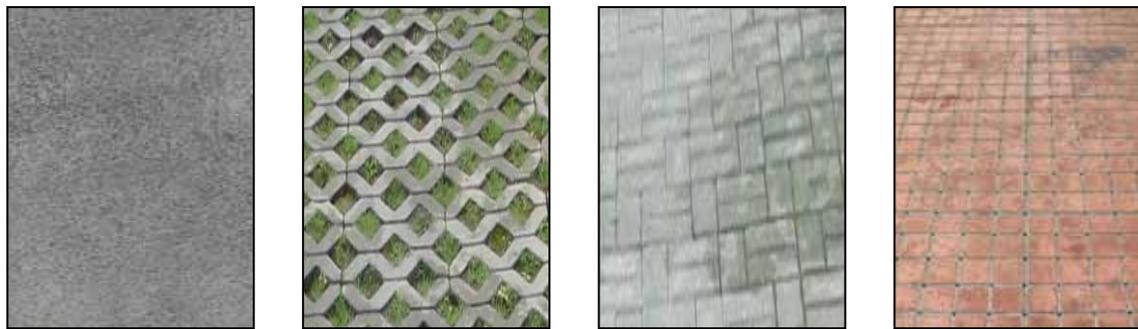
圖 3-1 基地現況配置與本工程施做範圍



### 實驗區透水鋪面規劃設計

本設計將四種不同之透水鋪面分別以 2 公尺×4 公尺設置於出入動線道路上，利用現地之高差，作為觀察透水鋪面滲水之情況，並於其上設置模擬雨場之空間桁架，利用立體幾何之概念以最少的柱列支撐，以減少建材的使用達到減廢的目的。預計施做四種不同鋪面面層如圖 3-2 所示。圖 3-3 為其橫斷面圖。

圖 3-2 新店實驗區規劃鋪面面層示意圖



透水瀝青混凝土鋪面

(A)

植草磚鋪面

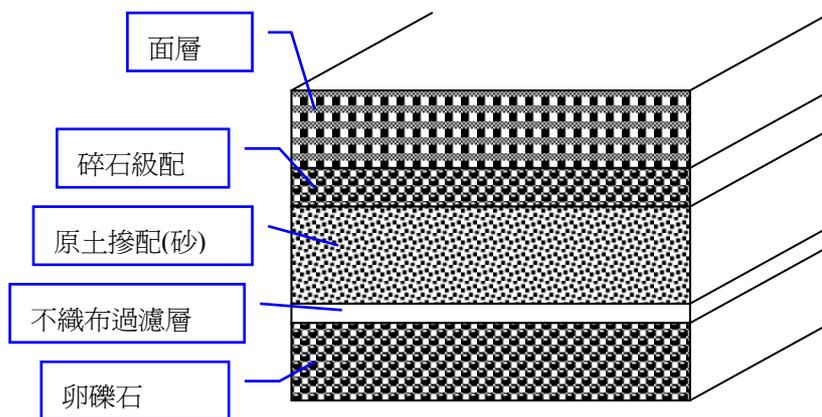
(B)

透水磚鋪面

(C)

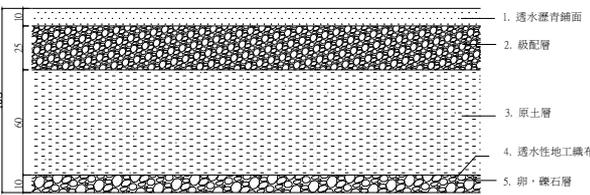
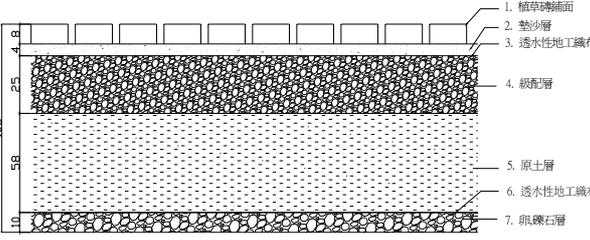
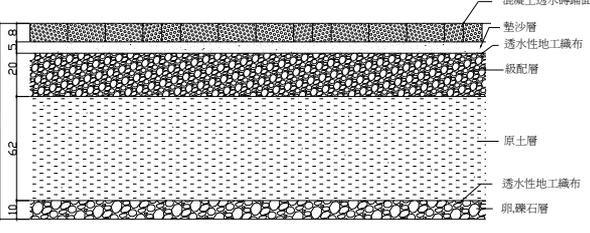
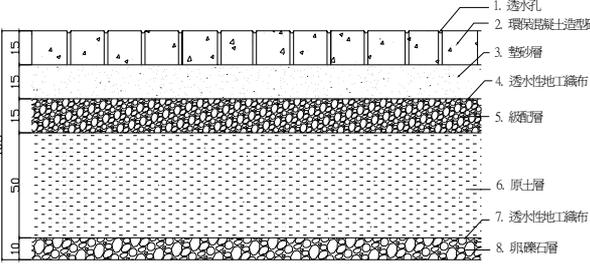
環保透水混凝土鋪面

(D)



在每種鋪面下方土壤之最底層設置一多孔性管材收集滲透水，並各裝置一出水龍頭，以觀察比較放水後經過不同透水鋪面滲透過土壤的水量，作為評估比較之依據。模雨計為利用人造之噴水裝置，使其類似降雨，打擊透水鋪面，所求得之滲透率可更合乎實際情形。

圖 3-3 新店透水鋪面架構鋪設說明

<p style="text-align: center;"><b>鋪面一</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鋪裝透水性瀝青材料。</li> <li>2. 使用碎石、礫石(粒徑 3-7cm)級配料回填。</li> <li>3. 鋪裝 50%原土+50%粗砂(粒徑 0.8mm)。</li> <li>4. 防止上層土壤流失造成坍塌。</li> <li>5. 鋪設粒徑 5~10cm 的卵礫石。</li> </ol>	 <p style="text-align: right;">單位：cm</p>
<p style="text-align: center;"><b>鋪面二</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鋪裝植草磚。</li> <li>2. 鋪設 3-5cm 厚的粗砂(粒徑 0.8mm)。</li> <li>3. 防止上層沙粒流失造成阻塞。</li> <li>4. 碎石、礫石(粒徑 3-7cm)級配料回填。</li> <li>5. 50%原土+50%粗砂(粒徑 0.8mm)。</li> <li>6. 防止上層土壤流失造成坍塌。</li> <li>7. 粒徑 5~10cm 的卵礫石。</li> </ol>	 <p style="text-align: right;">單位：cm</p>
<p style="text-align: center;"><b>鋪面三</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 鋪裝高壓混凝土透水磚。</li> <li>2. 鋪設 3-5cm 厚的粗砂(粒徑 0.8mm)。</li> <li>3. 防止上層沙粒流失造成阻塞。</li> <li>4. 碎石、礫石(粒徑 3-7cm)級配料回填。</li> <li>5. 50%原土+50%粗砂(粒徑 0.8mm)。</li> <li>6. 防止上層土壤流失造成坍塌。</li> <li>7. 粒徑 5~10cm 的卵礫石。</li> </ol>	 <p style="text-align: right;">單位：cm</p>
<p style="text-align: center;"><b>鋪面四</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 雨水進入孔。</li> <li>2. 鋪裝環保透水混凝土彩色磚。</li> <li>3. 卵石、粗砂(粒徑 0.8mm)；主集水透水層。</li> <li>4. 防止上層沙粒流失造成阻塞。</li> <li>5. 副集水透水層，粒徑(3-7cm)之級配料回填。</li> <li>6. 50%原土+50%粗砂(粒徑 0.8mm)。</li> <li>7. 防止上層土壤流失造成坍塌。</li> <li>8. 粒徑 5~10cm 的卵礫石。</li> </ol>	 <p style="text-align: right;">單位：cm</p>

資料來源：黃建達，2004

圖 3-4 不同透水鋪面鋪面圖及空間桁架 3D 模擬

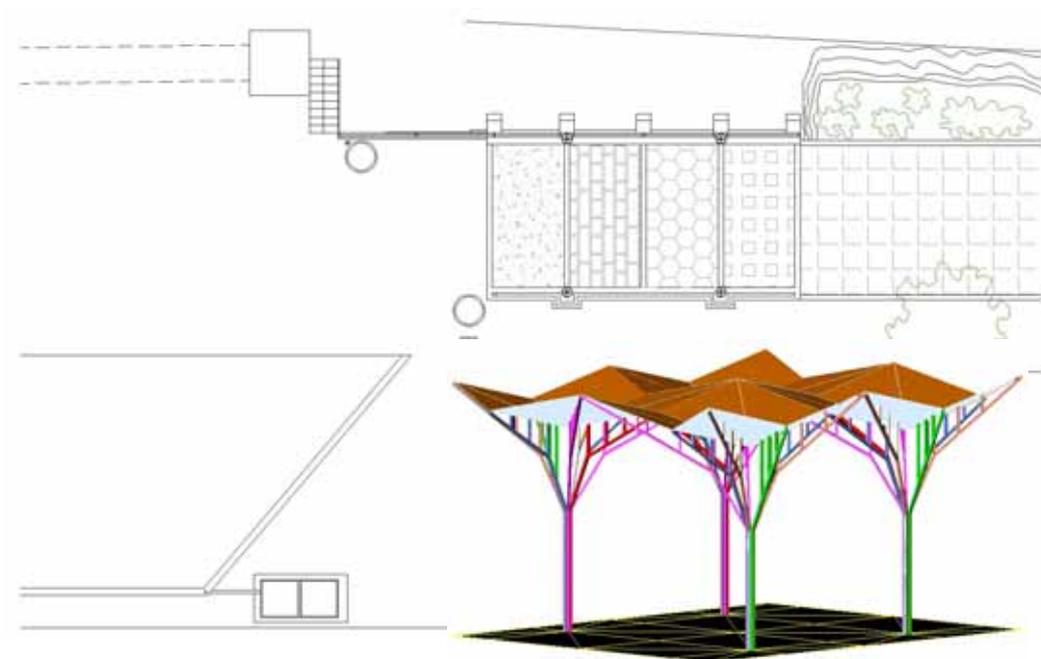


圖 3-5 鋪面下之土壤用混凝土隔離

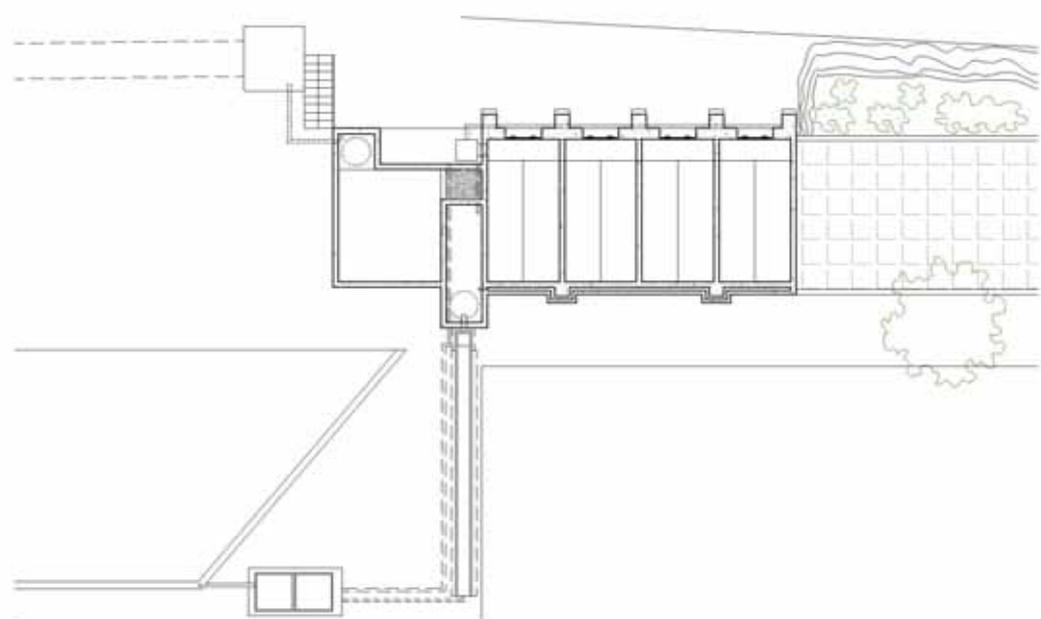
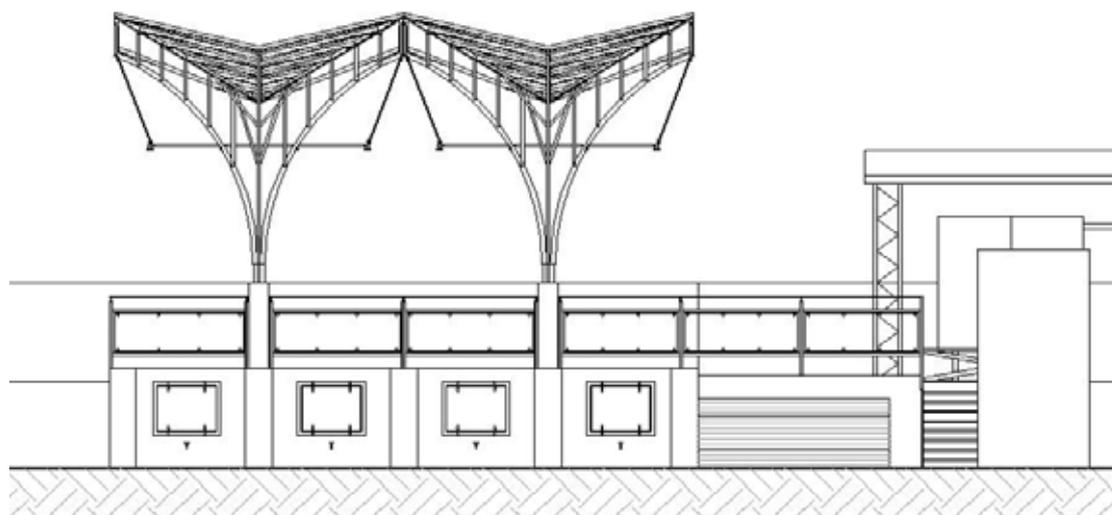


圖 3-6 不同鋪面下土壤滲水情況設計參考示意圖



## 第二節 降雨分析

降雨分析將由人工模雨計(Rainfall simulator)，及 5~6 月之梅雨期自然降雨，進行降雨強度-入滲-逕流分析。固定利用降雨相當之降雨量，評估不同鋪面材料之保水特性及逕流係數，及減少洪峰時間。

在合理化公式中，將洪峰流量  $Q_p$  以降雨強度  $r$ ，及流域面積  $A$  之關係可表示如下

$$Q_p = f \cdot r \cdot A \quad (3.1)$$

式中  $f$ :逕流係數，隨各場降雨變化之流出率，逕流係數在自然地域為 0.6~0.7，都市為 0.8~0.9，表 5.1 為參考例。隨都市化進行， $f$  值會發生變化，以日本東京都神田串與善福奇川流域報告為例，都市化開始不久後之 1958 年，不透水性面積為 36.5%，下水道普及率為 0%， $f=0.27$ ，但 1969 年，此都市化不透水面積 38.8%，下水道普及率為 6.8%， $f=0.77$ ，至 1976 年為不透面積 49.8%，下水道率 90.8%， $f=0.85$ ，隨著都市化  $f$  值增大，洪水歷線上昇時間也由都市化之影響而短縮，如在相同降雨強度 10mm/hr，1958 年、1969 年洪峰時間各為 140 分，在 1976 年為 110 分。以目前台灣之都市發展，也會有相同的情況，往往常在台灣各地都市造成洪水，目前量測透水鋪面之不同逕流係數，能拉長洪峰發生時間量。

表 3-1 都市化之逕流係數(f)

地域之總和值		由地表物質所定之值	
市郊個人住宅地	0.30~0.50	一般瀝青、混凝土*	0.70~0.95
市郊集合住宅地	0.40~0.75	一般磚瓦*	0.70~0.85
工場地帶	0.25~0.40	屋頂	0.75~0.95
公園、墓地	0.1~0.25	砂質草地	0.05~0.20
運動場	0.26~0.35	黏土之草地	0.13~0.35
綠地	0.10~0.30		

其檢測結果以透水瀝青為例，做模擬降雨與自然降雨結果之分析：

#### 一、模擬降雨

此次降雨實驗數據如表，降雨延時為 1 小時。透水瀝青面實驗室理論保水量為 19.2 公分相當於 1.26 立方之水。此次為模擬雨造成 120.5mm 雨量，相當於 0.7913 立方水量。入滲總量為 0.4665 立方，逕流總量為 0.1413 立方。入滲前後量測土壤多出 0.2139 立方水量。保水程度約為 54%。由此可以知道雖然完工一年半，透水瀝青還有不錯之保水能力。在圖 5.1 可以知道降雨強度 124mm/hr 時，約在 20 分後產生逕流。圖 5.2 在透水鋪面因保水，洪峰量代表整個降雨時下於鋪面上之總量，逕流體積與入滲體積可以說明整個鋪面之保水程度，可以拉長約 30 分鐘洪峰發生之稽延時間(lag time)。我們可以觀查透水瀝青之逕流係數，在降雨中產生逕流時之 f 值可以在 0.1~0.4 之間。

表 3-2 透水瀝青模擬降雨數據

時間	入滲(1) (單位:L)	逕流(2) (單位:L)	降雨量(3) (單位:mm)	降雨強度(4)=(3)*6 (單位:mm/hr)	洪峰量(5)=(3)*A (單位:L)	入滲+逕流 (單位:L)	逕流係數 (2)/(5)
1430	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1440	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1450	0	0.15	12.7	76.2	83.41	0.15	0.00
1500	0.69	1.23	20.7	124.2	135.95	1.92	0.01
1510	17.34	4.90	20.1	120.6	132.01	22.24	0.04
1520	33.23	18.48	20.3	121.8	133.32	51.71	0.14
1530	46.94	45.75	20.1	120.6	132.01	92.69	0.35
1540	49.88	20.30	19.2	115.2	126.10	70.18	0.16
1550	52.41	23.25	7.4	44.4	48.60	75.66	0.48
1600	53.34	18.52	0.0	0.0	0.00	71.86	-
1610	50.1	8.72	0.0	0.0	0.00	58.82	-
1620	48.4	0	0.0	0.0	0.00	48.40	-
1630	43.2	0	0.0	0.0	0.00	43.20	-
1640	41.3	0	0.0	0.0	0.00	41.30	-
1650	29.7	0	0.0	0.0	0.00	29.70	-
1700	0	0	0.0	0.0	0.00	0.00	-

註:A 為鋪面面積 3.55M\*1.85M

圖 3-7 透水瀝青鋪面模擬降雨

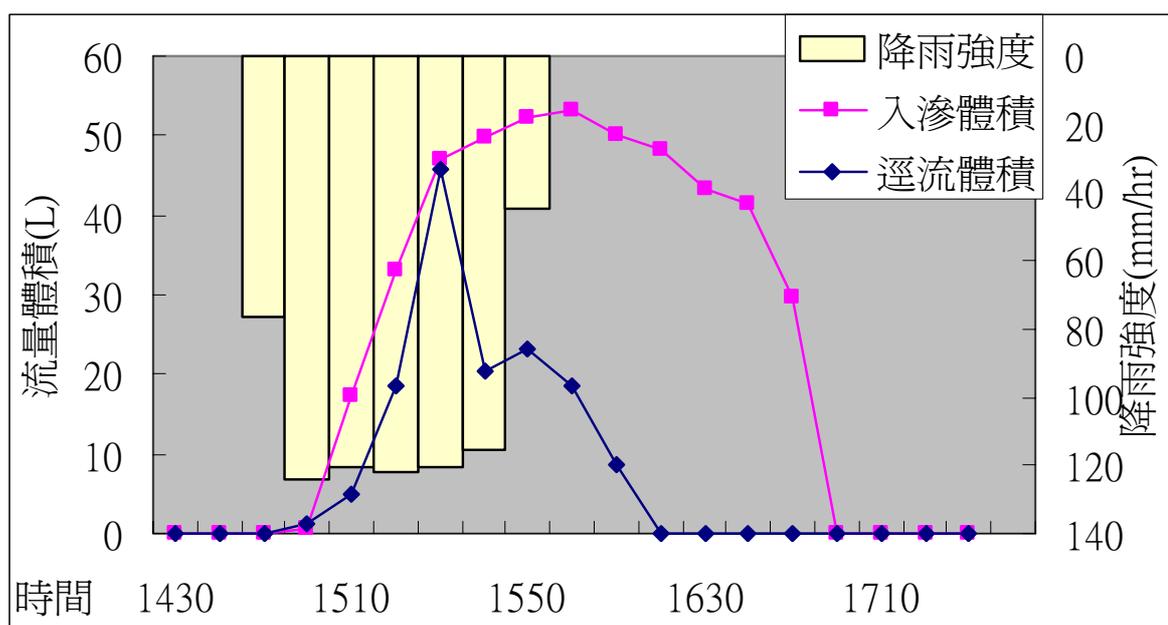


圖 3-8 透水瀝青洪峰時間

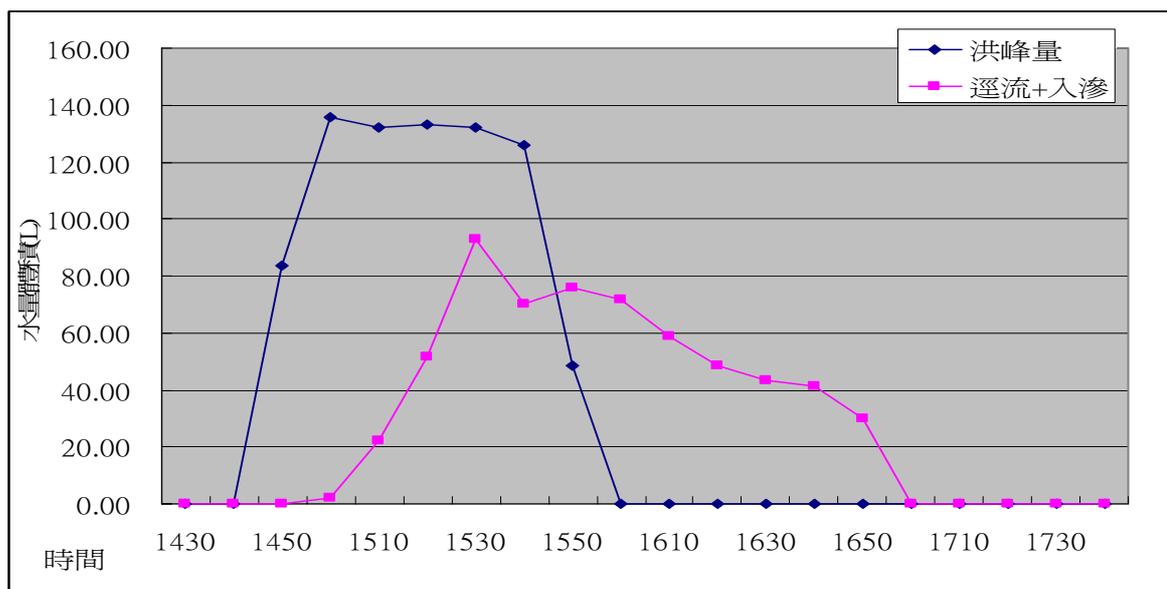
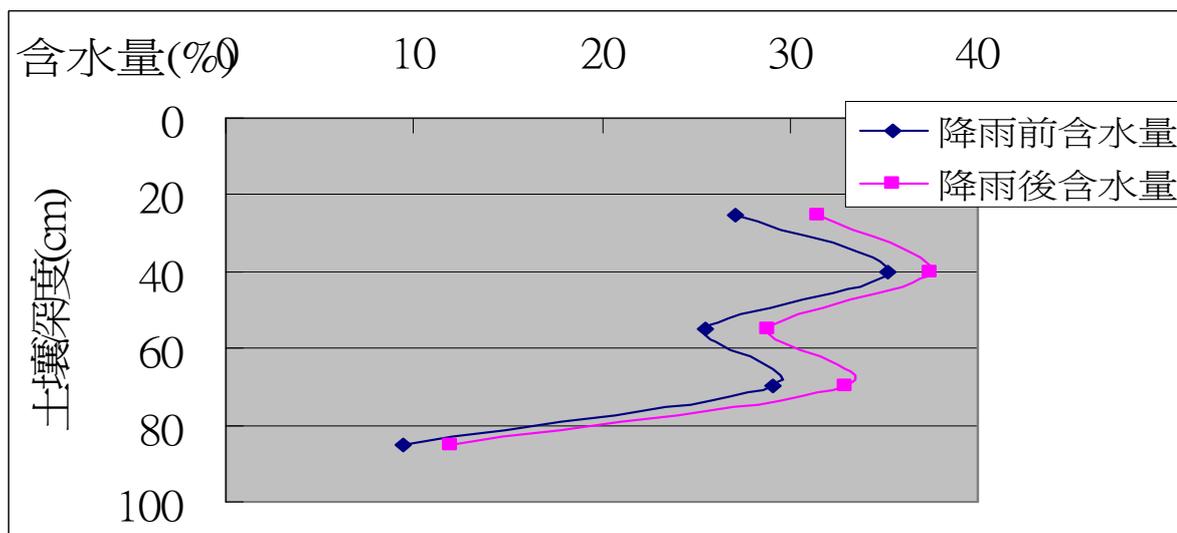


圖 3-9 透水瀝青鋪面土層含水量



二、自然降雨

透水瀝青面實驗室理論保水量為 19.2 公分相當於 1.26 立方之水。此場雨造成 10.1mm 雨量，相當於 0.0663 立方水量。入滲總量為 0 立方，逕流總量為 0.003 立方。入滲前後量測土壤多出 0.1002 立方水量。此場雨為民國 94 年 5 月 24 日新店水利署。尤於雨量較小所以所入滲下去的雨水均吸附於基底層。而逕流係數也是 0.1 左右。

表 3-3 透水瀝青自然降雨數據

時間	入滲(1) (單位:L)	逕流(2) (單位:L)	降雨量(3) (單位:mm)	降雨強度(4)=(3)*6 (單位:mm/hr)	洪峰量(5)=(3)*A (單位:L)	入滲+逕流 (單位:L)	逕流係數 (2)/(5)
1130	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1140	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	0
1150	0	0	0.2	1.2	1.31	0.00	0
1200	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	0
1210	0	0	0	0	0.00	0.00	0
1220	0	0	0.2	1.2	1.31	0.00	0
1230	0	0	0.2	1.2	1.31	0.00	0
1240	0	0	0.3	1.8	1.97	0.00	0
1250	0	0	0	0	0.00	0.00	0
1300	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1310	0	0	0.2	1.2	1.31	0.00	-
1320	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1330	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1340	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1350	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1400	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1410	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1420	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1430	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1440	0	0	0.2	1.2	1.31	0.00	-
1450	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1500	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1510	0	0	0.9	5.4	5.91	0.00	-
1520	0	2.15	3	18	19.70	2.15	0.11
1530	0	0.51	1.9	11.4	12.48	0.51	0.04
1540	0	0	1.2	7.2	7.88	0.00	-
1550	0	0	0.6	3.6	3.94	0.00	-
1600	0	0	0.2	1.2	1.31	0.00	-
1610	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1620	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1630	0	0	0	0	0.00	0.00	-
1640	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-
1650	0	0	0.1	0.6	0.66	0.00	-

圖 3-10 透水瀝青鋪面自然降雨

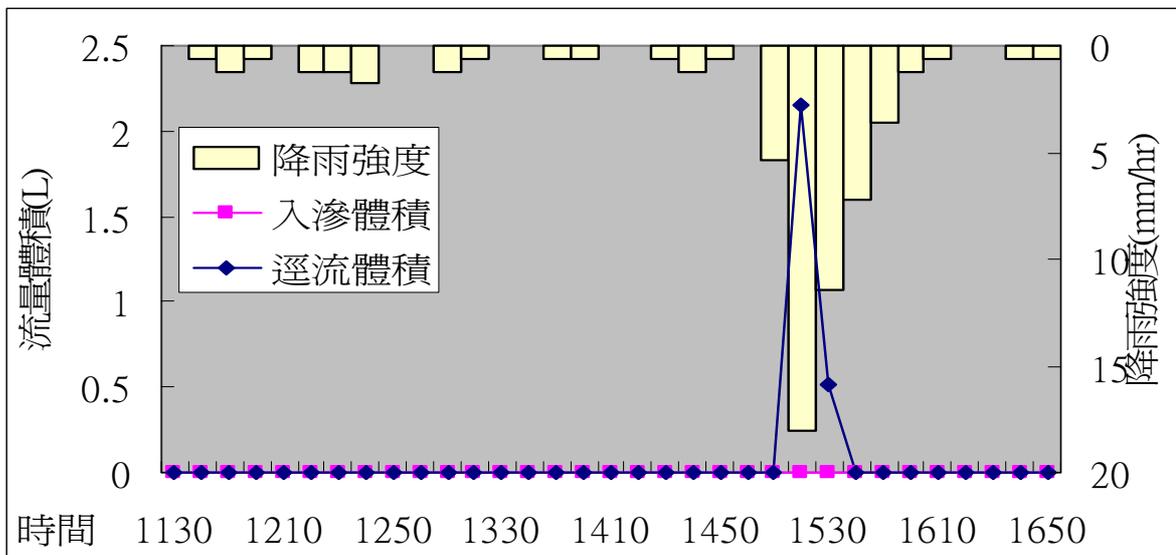


圖 3-11 透水瀝青洪峰時間

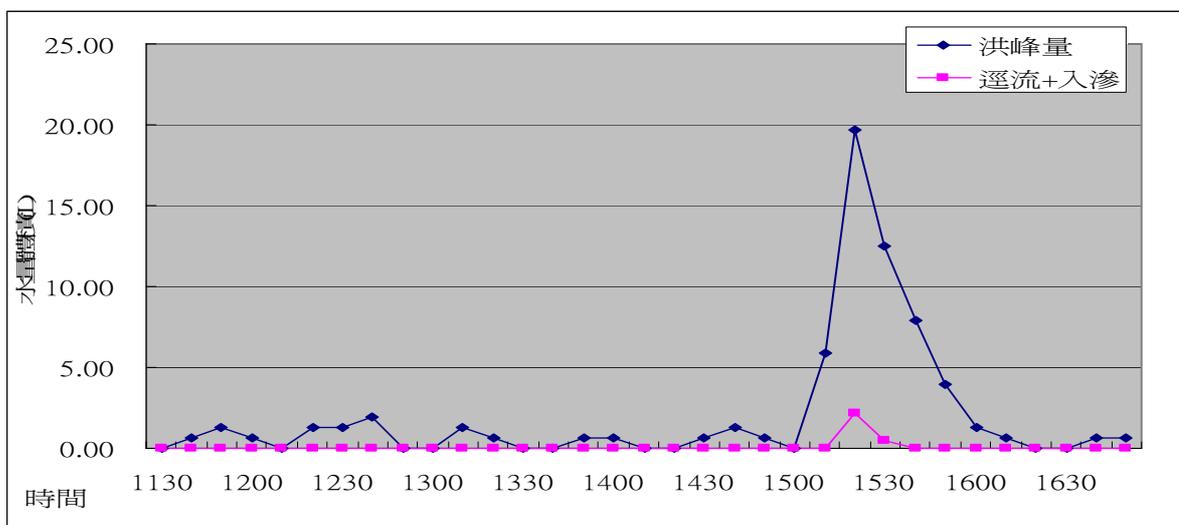
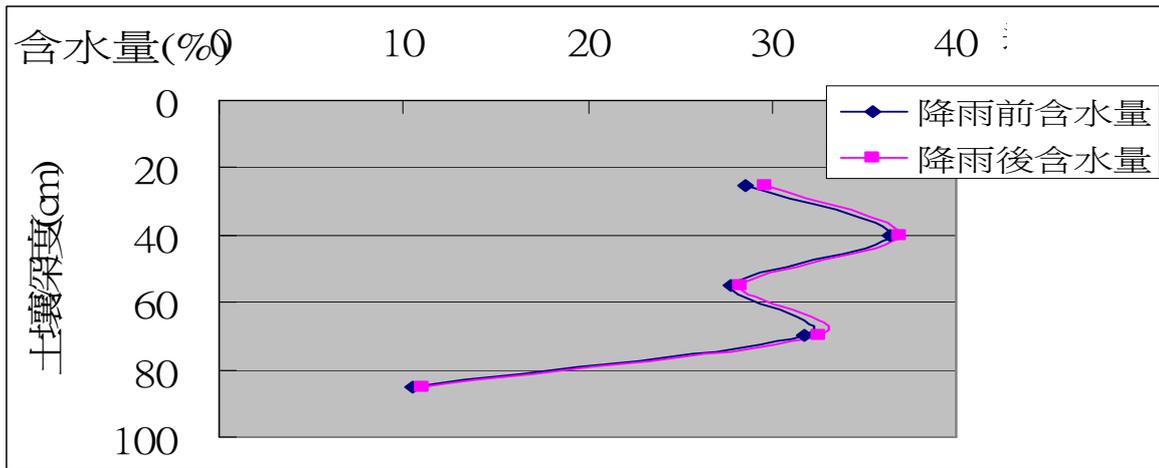


圖 3-12 自然降雨透水瀝青鋪面土層含水量



### 第三節 熱島效應成效分析

在不同材料鋪面有透水瀝青、植草磚、透水磚、環保透水混凝土，找出並分析影響鋪面環境溫度之各種因素，造成溫度降低主要之成因。先由利用矩陣圖看出出何種影響因子為主要影響鋪面氣溫之因子。並由相關係數了解不同透水鋪面與不透水鋪面之溫度是否有顯著差異。其因子為雨量(rain)，風速(wind)、表面溫度(surface.temp)、地溫 25 公分(ground.tmeq)、含水量 25 公分深(water .1)、日照(sun)，探討透水鋪面溫度(temp.out)與其因子之相關係數。

熱島強度為都市環境溫度與都市邊緣郊區環境溫度差異，世界上熱島最強的是中高緯度的大中城市，如加拿大的溫哥華 11°C(1972 年 7 月 4 日)，德國柏林 13.3°C。位於北極圈附近的美國阿拉斯加首府費爾班克斯市曾達 14°C。城市中人為熱源的比例，據對美國一些大城市的調查估計，來自工廠、家庭爐灶、冷氣、采暖等固定熱源約占 3/4，而汽車、摩托、電車等移動熱源約占 1/4。人體和家畜等新陳代謝熱量一般還不到 1%。城鄉溫差一般是隨緯度的升高而增大的。因為人為熱量和太陽輻射熱餘量(太陽短波熱量入射減去地面長波輻射支出熱量)的比值，是從赤道向高緯度迅速增加的。例如，赤道和熱帶的新加坡和香港僅為 3%—4%，而北極圈附近的費爾班克斯高達 105%，也就是人為熱量已比太陽熱量熱餘量還多。在一年四季之中，太陽輻射熱量熱餘量以冬季最小，加上冬季中高緯度還有取暖熱量，因此熱島效應以冬季最強。同樣道理，一天之中熱島以夜間比白天為強，尤其是日落後 3-5 小時內為最強。因為這時都市降溫速度比農村慢得多。但是，在中高緯度城市的冬季情況有所不同，因為城市還有早晚兩個

取暖時段的大量人為熱量。例如，加拿大卡爾加里市冬季在早 08 時和晚 20 時附近有兩個煤氣消耗高峰(取暖和做飯)，從而城市熱島強度在 09 時和 21 時也各出現一個高峰。此外，城鄉溫差還有周變化，這是因為有不少國家統一規定星期日是休息日，絕大多數工廠停工，街上機動車流量也比平時少得多。例如，美國康乃狄格州紐黑文市 1939-1943 年 5 年平均，周一至周六城鄉溫差高達  $1.2^{\circ}\text{C}$ ，而星期日只有  $0.6^{\circ}\text{C}$ 。後來美國把星期六也定為休息日後，馬里蘭州巴爾的摩市觀測到冬季中星期一至五城鄉溫差平均  $0.82^{\circ}\text{C}$ ，而星期六、星期日兩天平均溫差僅為  $0.30^{\circ}\text{C}$ 。但是，人為熱量還不是城市熱島的唯一熱源，因為城鄉地表吸收和儲存太陽熱量性能有不小差異。例如，都市表面對陽光熱量的反射率比鄉村小(一般小  $10\%\sim 30\%$ )，而且都市中表面的瀝青、混凝土、磚瓦、石料及鋼材的熱容量大，導熱率也高，大量儲存了白天大量的太陽熱量。另外，都市建築物密集，導致熱流無法有效流動，地面長波輻射熱量在牆壁地面間多次反射，從而使得地面向天空散失的熱量大大減少。這兩種原因都造成日落降溫緩慢，使城區夏季中傍晚和上半夜顯得特別炎熱。城鄉溫差除了年變化、周變化、日變化等周期性變化外，還有非周期性變化。這主要是由風速和雨量變化引起的。風速大小對熱島強度極為重要。因為大風不僅造成上下對流，把城市中熱空氣吹到城外，而且直接把郊區冷涼新鮮空氣迅速源源輸進城區。有文章研究了韓國四個不同規模城市的城鄉溫差和風速的關係，得出了風速能明顯減小城鄉溫差的結果。由於實驗限制，本研究將觀查不同透水瀝青、植草磚、透水磚、環保透水混凝土與不透水鋪面之中午到下午黃昏前溫度變化，評估其熱島強度與不同材料之差異。

在都市與鄉下環境差異不同，都市和鄉下最明顯為建築物和街道為主，其材料大多為瀝青或混凝土，而鄉村地區較少的建築物且透水表面比較多，由於不同材料之熱傳導係數不同，表示都市在受熱後的生溫情形有差異。因混凝土之熱傳導係數為土壤之 3~4 倍，造成都市之熱容量不同，以至於都市內的混凝土之建築物所儲的熱能會比鄉村之土壤物質多。我們由不同種類之地面溫度探討之差異。如下圖。

圖 3-13 5 月 18 日不同鋪面之表面溫度差異

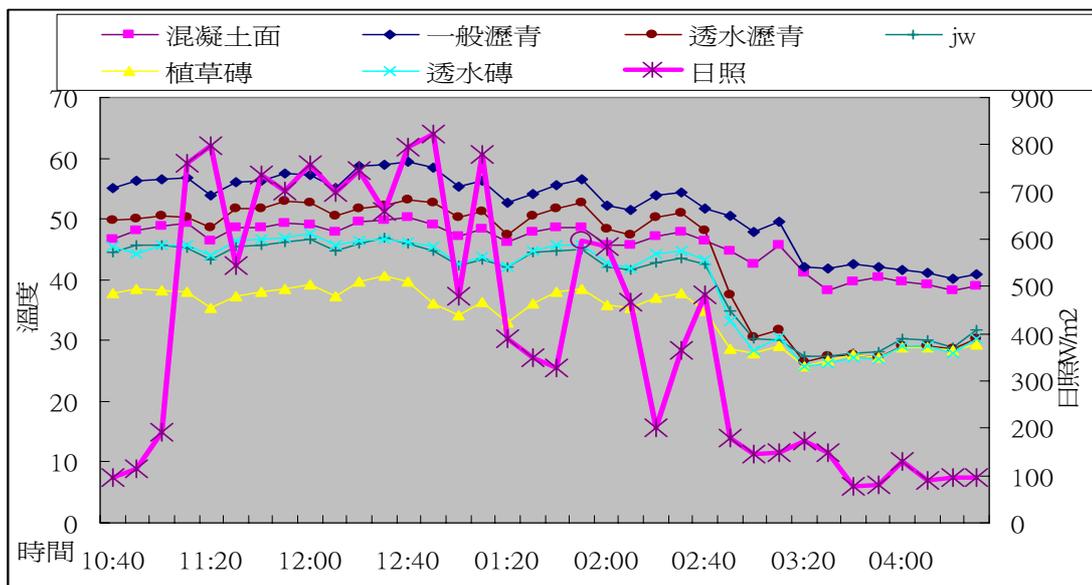


圖 3-14 5 月 17 日不同鋪面之表面溫度差異

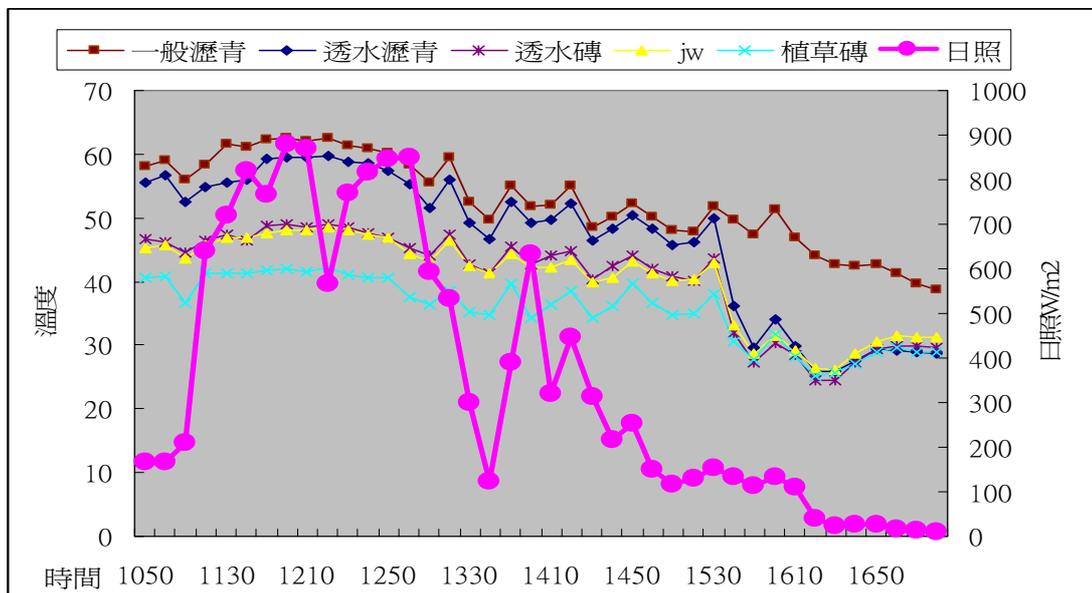
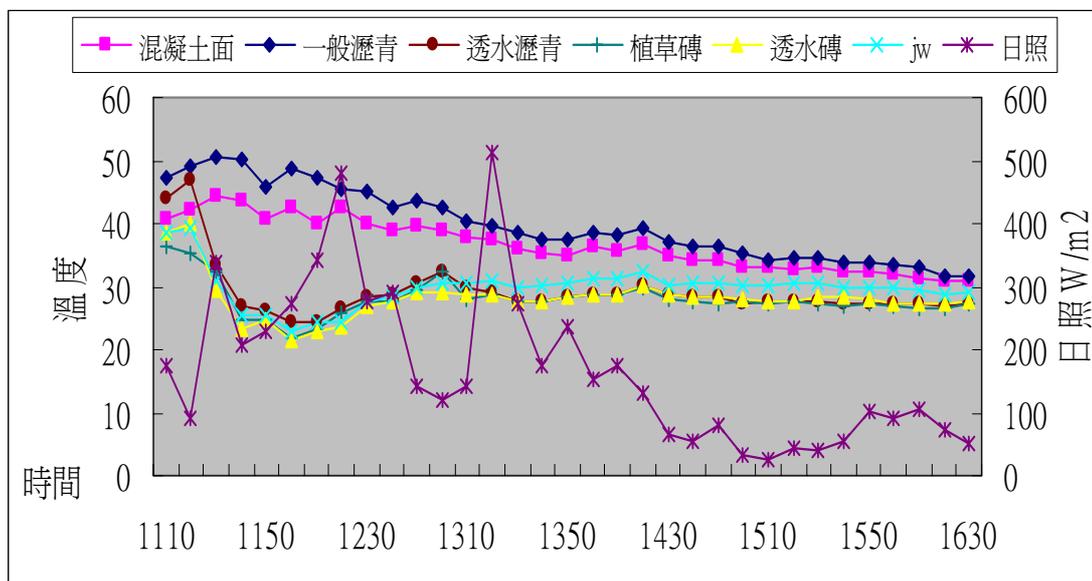


圖 3-15 6月1日不同鋪面之表面溫度差異



如上圖不同材料之間溫度變化，以不透水之瀝青混凝土與水泥混凝土鋪面為有較高之表面溫度，在日照強度  $800\text{W/m}^2$  下可能一般瀝青達  $60^\circ\text{C}$  以上，混凝土也有  $55^\circ\text{C}$  以上，這也說明不透水鋪面也會造成熱島的原因，透水率太少，以致於保水吸熱效果不良。在一般中午時間，一般混凝土路面或瀝青路面與透水磚或植草磚差異在  $15\sim 20^\circ\text{C}$  的表面溫度。又如透水瀝青與一般瀝青比較，二種不同孔隙率之瀝青鋪面，溫度差異可以有  $5^\circ\text{C}$  左右。透水鋪面之表面溫度變化較不透水鋪面小，為路基土壤保水效果，利用多孔隙特性增加氣流傳遞，加上透水鋪面採用較淺色之鋪面材料，較可以直接反射長波，減少熱量存於鋪面中而造成大累積熱。

一、不同鋪面影響環境溫度因子之分析

● 透水瀝青鋪面

圖 3-16 透水瀝青鋪面量測氣象矩陣圖

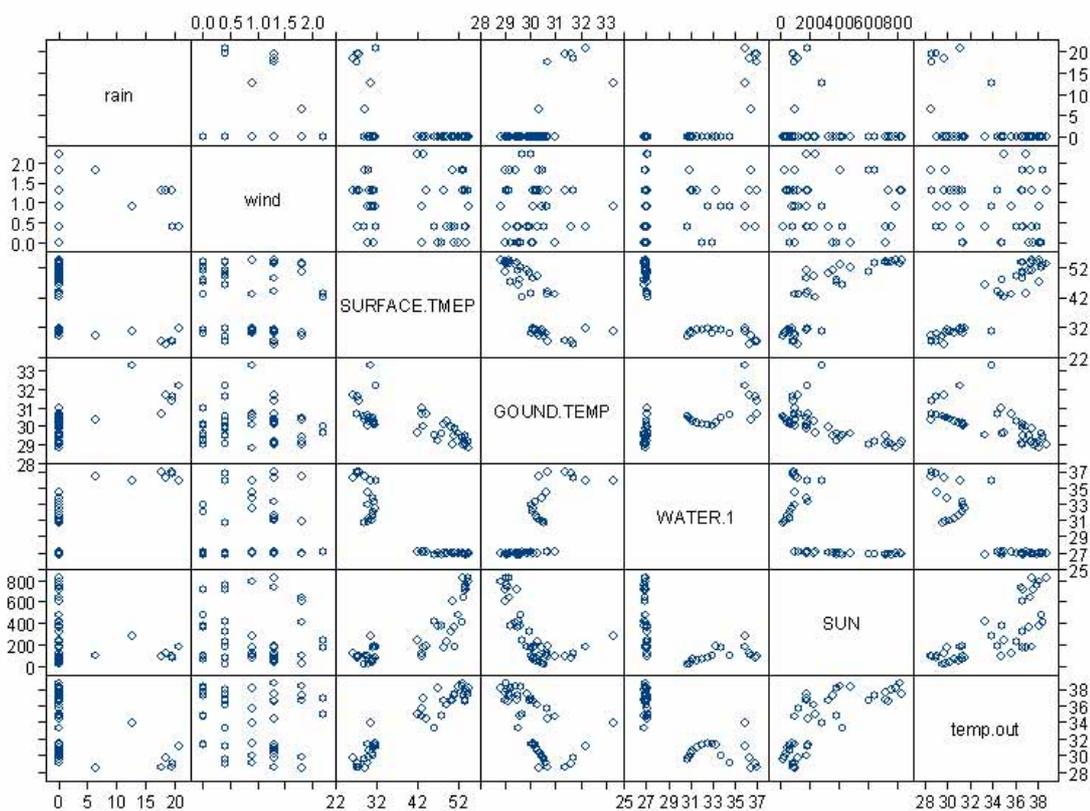


表 3-4 透水瀝青鋪面量測氣象相關係數

	rain	wind	SURFACE.TMEP	GOUND.TEMP	WATER.1	SUN	temp.out
rain	1	0.0412	-0.5228	0.7072	0.7500	-0.2814	-0.5031
wind	0.0412	1	-0.1269	-0.0103	0.0962	-0.0487	-0.1185
SURFACE.TMEP	-0.5228	-0.1269	1	-0.7284	-0.8969	0.8177	0.9516
GOUND.TEMP	0.7072	-0.0103	-0.7284	1	0.7409	-0.6602	-0.6295
WATER.1	0.7500	0.0962	-0.8965	0.7409	1	-0.5909	-0.8706
SUN	-0.2814	-0.0487	0.8177	-0.6602	-0.5909	1	0.7510
temp.out	-0.5031	-0.1185	0.9516	-0.6295	-0.8706	0.7510	1

● 植草磚

圖 3-17 植草磚鋪面量測氣象矩陣圖

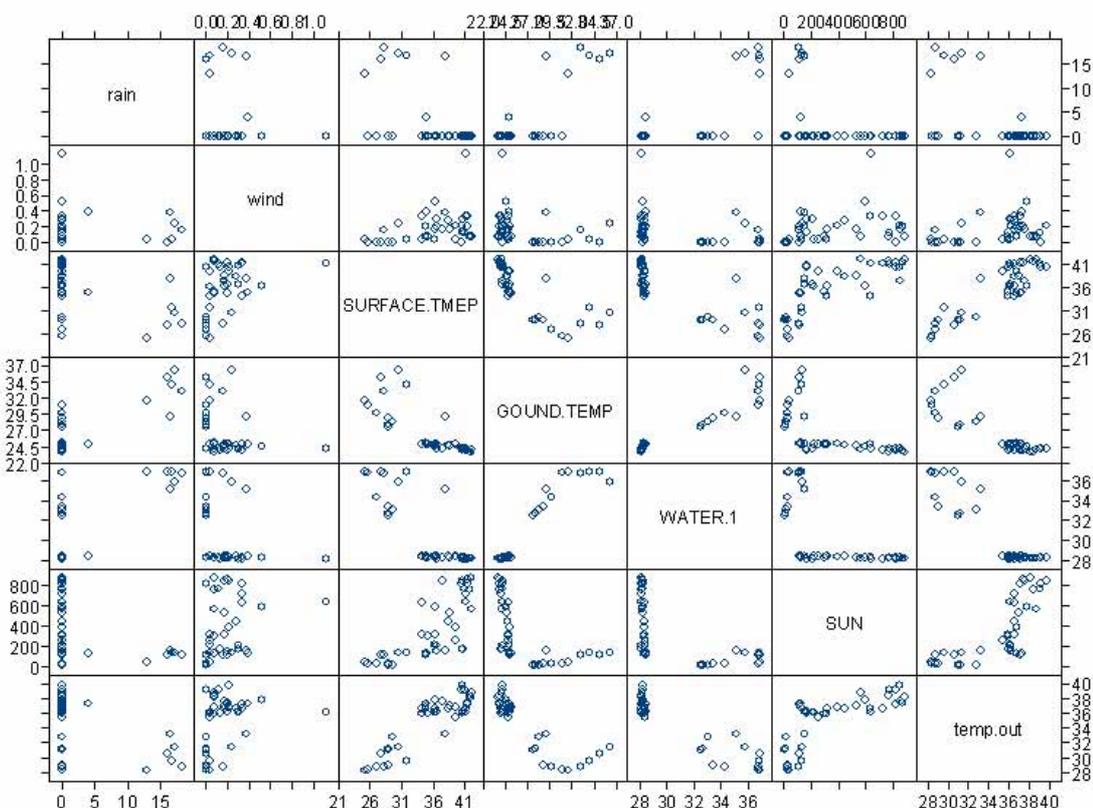


表 3-5 植草磚鋪面量測氣象相關係數

	rain	wind	SURFACE.TMEP	GOUND.TEMP	WATER.1	SUN	temp.out
rain	1	-0.0397	-0.4347	0.8286	0.7652	-0.3531	-0.5660
wind	-0.0397	1	0.3954	-0.2753	-0.3094	0.3060	0.3128
SURFACE.TMEP	-0.4347	0.3954	1	-0.7835	-0.8158	0.7531	0.8844
GOUND.TEMP	0.8286	-0.2756	-0.7835	1	0.9529	-0.5906	-0.8562
WATER.1	0.7652	-0.3094	-0.8158	0.9529	1	-0.6056	-0.9207
SUN	-0.3531	0.30601	0.7531	-0.5906	-0.6056	1	0.7380
temp.out	-0.5660	0.31284	0.8844	-0.8562	-0.9207	0.7380	1

● 透水磚

圖 3-18 透水磚鋪面量測氣象矩陣圖

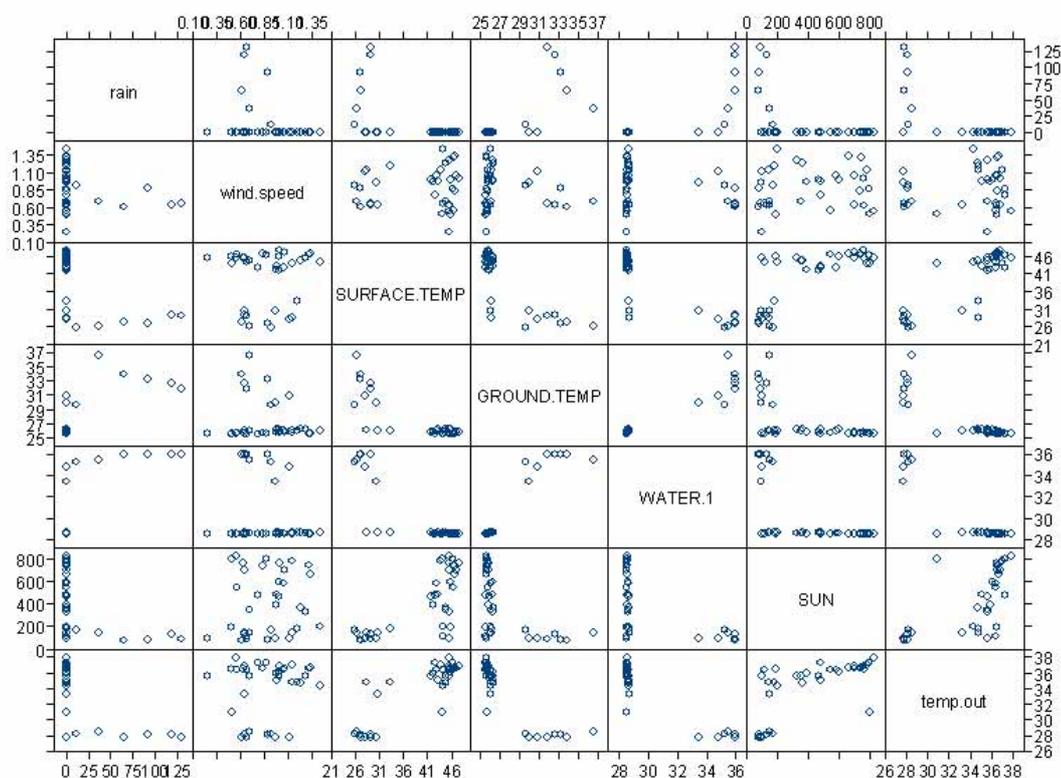


表 3-6 透水磚鋪面量測氣象相關係數

	rain	wind.speed	SURFACE.TEMP	GROUND.TEMP	WATER.1	SUN	temp.out
rain	1	-0.2464	-0.5864	0.7484	0.7797	-0.4359	-0.6657
wind.speed	-0.2464	1	0.0647	-0.1596	-0.1548	0.1092	0.1311
SURFACE.TEMP	-0.5864	0.0647	1	-0.8118	-0.8443	0.7300	0.8678
GROUND.TEMP	0.7484	-0.1596	-0.8118	1	0.9518	-0.5773	-0.8780
WATER.1	0.7797	-0.1548	-0.8443	0.9518	1	-0.5981	-0.9284
SUN	-0.4359	0.1092	0.7300	-0.5773	-0.5981	1	0.6568
temp.out	-0.6657	0.1311	0.8678	-0.8780	-0.9284	0.9284	1

● 環境透水混凝土

圖 3-19 環保透水混凝土磚鋪面量測氣象矩陣圖

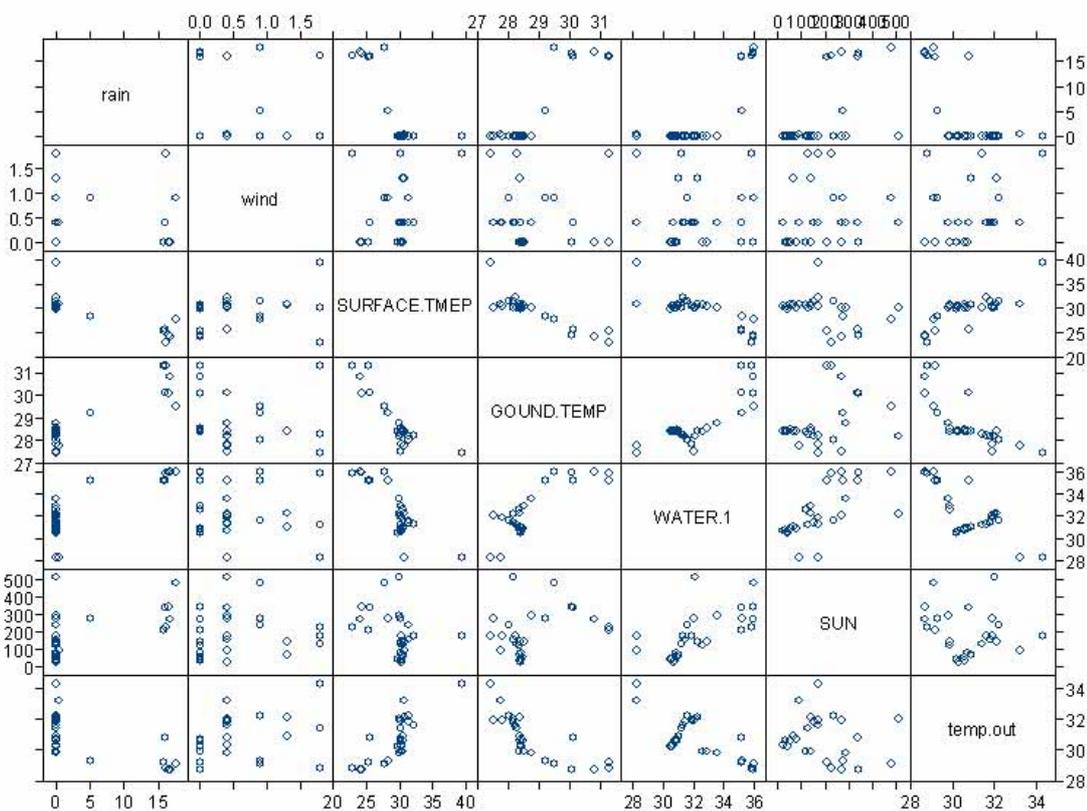


表 3-7 環保透水混凝土鋪面量測氣象相關係數

	rain	wind	SURFACE.TMEP	GOUND.TEMP	WATER.1	SUN	temp.out
rain	1	0.0061	-0.7905	0.8999	0.8349	0.5468	-0.6215
wind	0.0061	1	0.2169	-0.0531	-0.0552	0.1160	0.3275
SURFACE.TMEP	-0.7905	0.2169	1	-0.8638	-0.8276	-0.3559	0.7910
GOUND.TEMP	0.8999	-0.0531	-0.8638	1	0.8355	0.3417	-0.7640
WATER.1	0.8349	-0.0552	-0.8276	0.8355	1	0.6415	-0.7743
SUN	0.5468	0.1160	-0.3559	0.3417	0.6415	1	-0.1703
temp.out	-0.6215	0.3275	0.7910	-0.7640	-0.7743	-0.1703	1

## 二、相關係數分析結果

從四種透水鋪面矩陣圖可以看出，雖然風速(wind)會使氣流流通使人舒適。但在相關係數裡與環境溫度(temp.out)沒有明顯相關( $R=0.33$ )，判斷原因可能風速較不強，且無法造成氣流流通，且實驗區域面積較小且有建築物。使的在計算相關係數無法有明顯相關。日照量(SUN)會和環境溫度(temp.out)有明顯正相關( $R=0.7\sim 0.9$ )，在這小地區裡，主要還是受日照量，不同材料吸受熱量而造成溫度之差異，環保透水混凝土中的溫度、表面溫度與日照會不相關主要是那時一開始進行模擬降雨，使的溫度馬上下降，而其他鋪面為在下午三點開始模擬降雨。但我們可以看出透水瀝青、透水磚、植草磚鋪面之表面溫度與環境溫度有正相關( $R=0.8\sim 0.9$ )。

我們也可以從相關係數看出鋪面底下含水量(WATER.1)與環境溫度(temp.out)有負相關係( $R=-0.7\sim -0.9$ )，可說明土壤含水量愈多使的環境溫度降低。而地溫(ground.temp)與環境溫度(temp.out)有負相關( $R=-0.7\sim -0.8$ )可以說明路基土壤之熱容量(heat capacity)，隨著因土壤含水量蒸發，放出熱量而使地溫降低。含水量、地溫之間也可以一些因果關係，發現土壤含水量(water.1)與地溫(ground.temp)有正相關( $R=0.7\sim 0.8$ )，可以說明影響鋪面之熱流傳導因子與環境溫度，和路基土壤含水量與表面材料本身傳導有關係。因此我們對於降低市環境溫度，增其都市不透水率為其主要手段。

## 三、透水鋪面之熱島強度

四塊鋪面與不透水鋪面，評估四種材料對溫度之涼化效果分析，配合日照量。

● 透水瀝青

圖 3-20 透水瀝青與不透水鋪面環境溫度

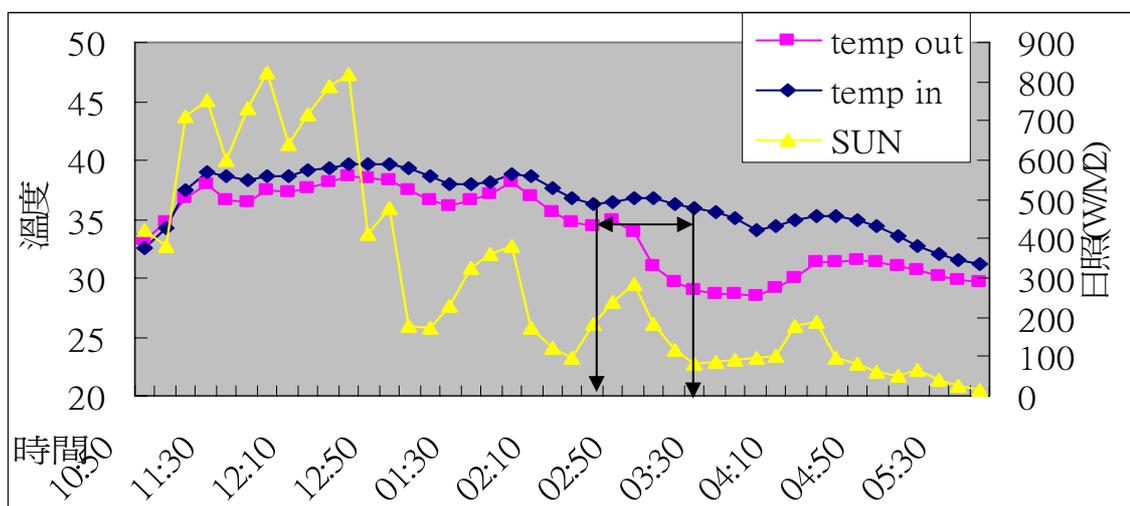


表 3-8 透水瀝青溫度之變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
temp out	42	1423.4	33.9381	12.14339
temp in	42	1532.5	36.4881	3.873757

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	136.5525	1	136.5525	13.15806	0.000201	3.957388
組內	738.7031	82	9.008574			
總和	873.2556	83				

在圖 3-20 箭頭相間隔是進行模擬降雨時，在未降雨時二種鋪面可以相差 2~3°C，也就是說能降低熱島強度約 2-3°C。整體而言因 P 值小於 0.05 故在二種鋪面來說是有明顯之不同。而日照量還是影響著鋪面溫度的主因，因不透水鋪面未淋到雨，其圖形之趨勢為相同。

● 植草磚

圖 3-21 植草磚與不透水鋪面環境溫度

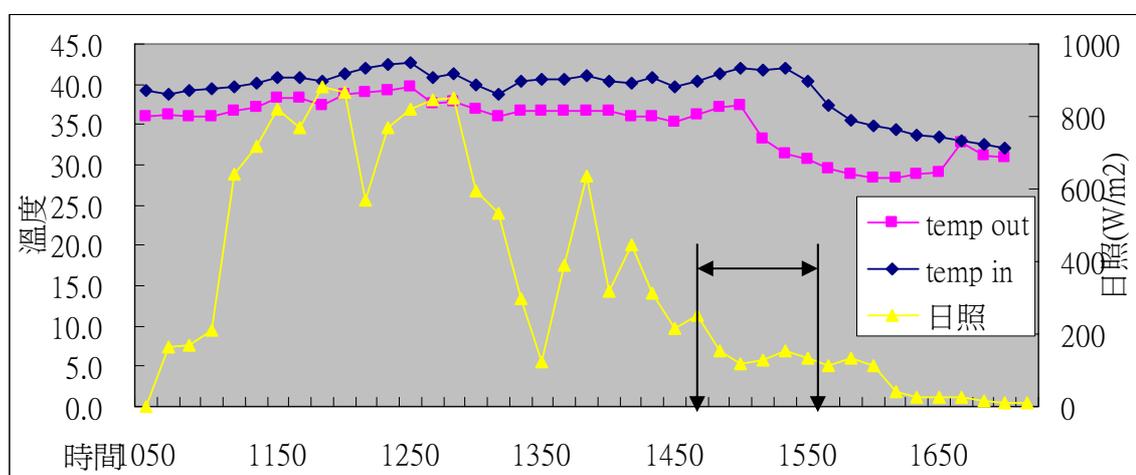


表 3-9 植草磚溫度之變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
temp out	40.00	1401.80	33.05	11.76
temp in	40.00	1566.10	39.15	9.01

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	337.43	1.00	337.43	32.49	2.04305E-07	3.96
組內	810.10	78.00	10.39			
總和	1147.53	79.00				

在圖 3-21 箭頭相間隔是進行模擬降雨時，在未降雨時二種鋪面可以相差 4~5 度，也就是說能降低熱島強度約 4-5°C。整體而言因 P 值小於 0.05 故在二種鋪面來說是有明顯之不同。主要是植草磚之帶有植被，因較植物吸收熱源，而進行光合作用使得在植草磚之熱氣體較少。

● 透水磚

圖 3-22 透水磚與不透水鋪面環境溫度

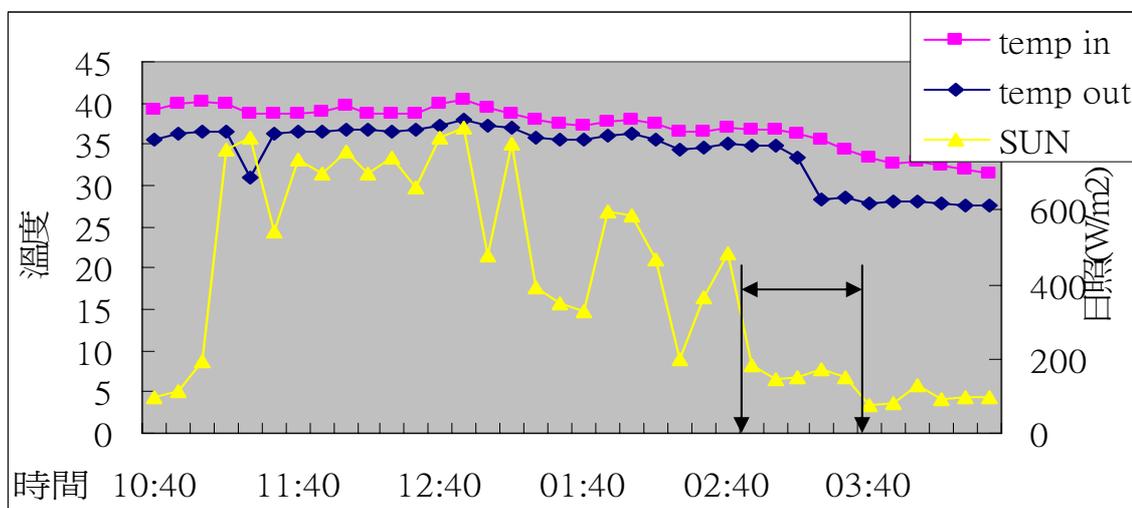


表 3-10 透水磚溫度之變異數分析

組	個數	總和	平均	變異數
temp in	36	1339.3	37.20278	6.494563
temp out	36	1228	34.11111	12.56502

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	172.05	1	172.05	18.054	6.5E-05	3.97
組內	667.08	70	9.52			
總和	839.13	71				

在圖 3-22 箭頭相間隔是進行模擬降雨時，在未降雨時二種鋪面可以相差 3~4 度，也就是說能降低熱島強度約 3-4°C。整體而言因 P 值小於 0.05 故在二種鋪面來說是有明顯之不同。但因透水磚孔隙較易被阻塞，水較不易入滲，故目前量測到數據其降雨後涼化時較短。

● 環保透水混凝土

圖 3-23 環保透水混凝土與不透水鋪面環境溫度

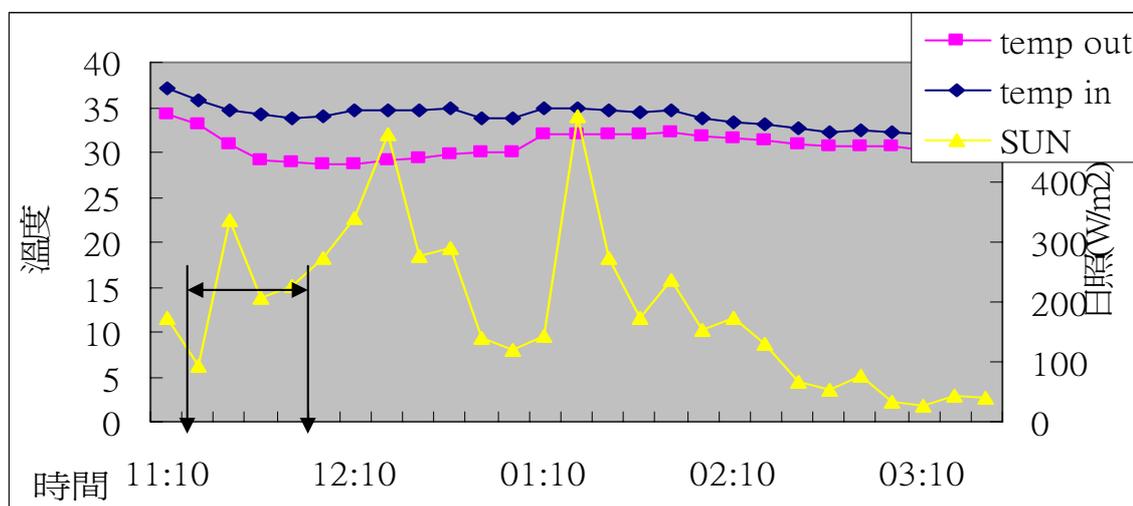


表 3-11 環保透水混凝土溫度之變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
temp out	27.00	830.10	30.74	1.99
temp in	27.00	916.00	33.93	1.49

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	136.64	1.00	136.64	78.60	3.6E-12	4.03
組內	90.40	52.00	1.74			
總和	227.04	53.00				

在圖 3-23 箭頭相間隔是進行模擬降雨時，在未降雨時二種鋪面可以相差 2~4 度，也就是說能降低熱島強度約 4-5°C。整體而言因 P 值小於 0.05 故在二種鋪面來說是有明顯之不同。但主要環保透水混凝土因孔隙大，能飽含大部份水量，故在涼化作用時間會比其他透水鋪面較好。

表 3-12 透水及非透水性鋪面環境溫度長期監測單因子變異數分析

單因子變異數分析

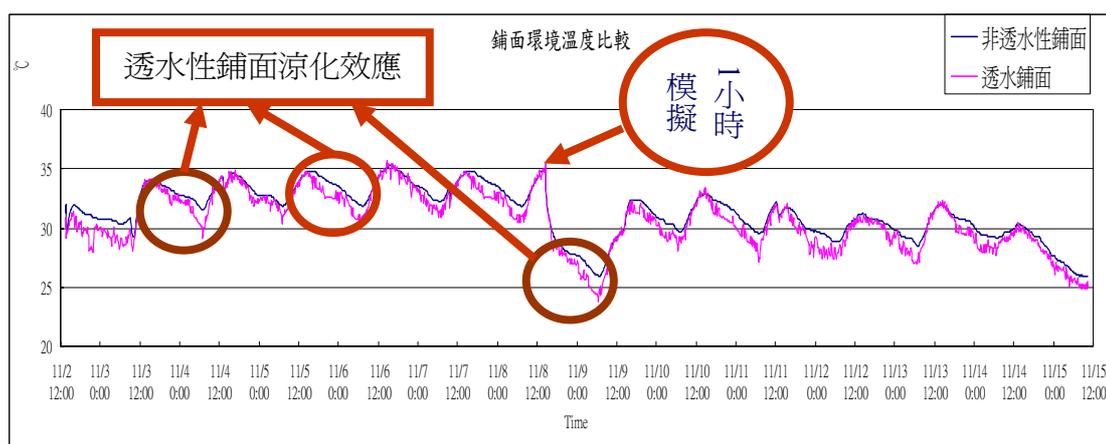
摘要

組	個數	總和	平均	變異數
非透水性鋪面	1858	58265.4	31.3592	4.700758
透水性鋪面	1858	56993.17	30.67447	5.741425

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	435.5676	1	435.5676	83.42462	1.06E-19	3.843964
組內	19391.13	3714	5.221092			
總和	19826.7	3715				

圖 3-24 透水及非透水性鋪面環境溫度長期監測分析圖



在圖 3-24 進行模擬降雨時，在未降雨時二種鋪面可以相差 2~4 度，也就是說能降低熱島強度約 4-5°C，降雨後期透面瞬間降溫。整體而言因 P 值小於 0.05 故在二種鋪面來說是有明顯之不同。但透水瀝青混凝土於午後其涼化作用會比非透水鋪面較好。

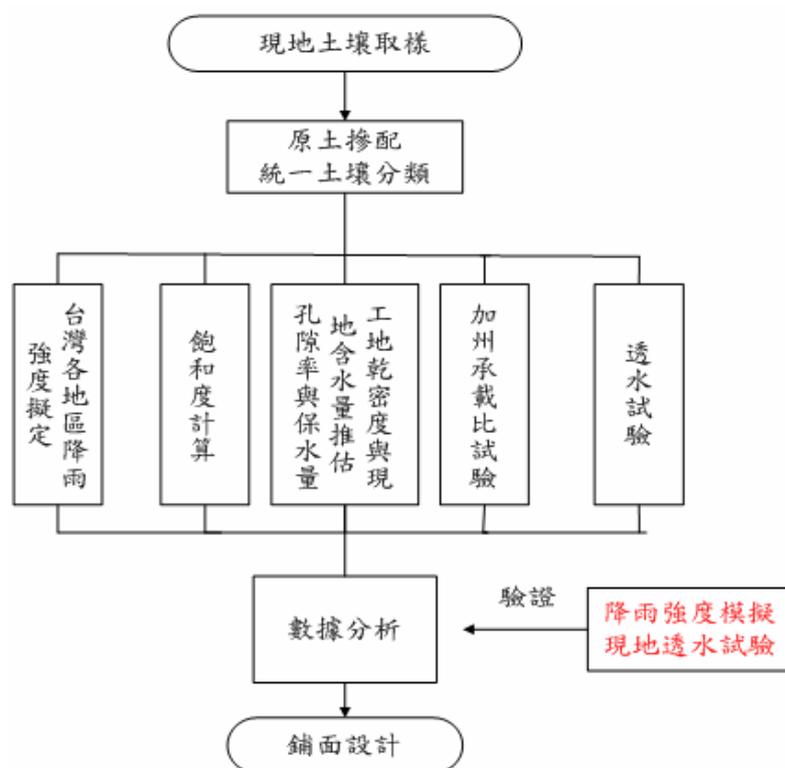
#### 第四節 透水性鋪面指標擬定

透水性鋪面之設置目的在於使雨水能通過鋪面直接滲入地基，達到基地保水之功能，並且降低熱島效應以達到溫度的舒適化，因此本小節針對新店實驗區進行透水性鋪面之基地保水及舒適度作評估分析。

##### 一、基地保水評估分析(基地保水指標)

透水鋪面之基底層重要功能為承載上部面層之載重，對於透水鋪面功能性而言在某地區之降雨強度下需達到透水、保水性能外還必須考慮使用時之承載能力，在接續子計畫一實驗室模擬現地各基底層之基本性質後，依照氣象局歷年降雨強度實際於現地觀察其透水及保水狀況，再與實驗室做一比對經數據分析進行設計鋪面之擬定。試驗之流程如圖 3-25 所示：

圖 3-25 試驗流程



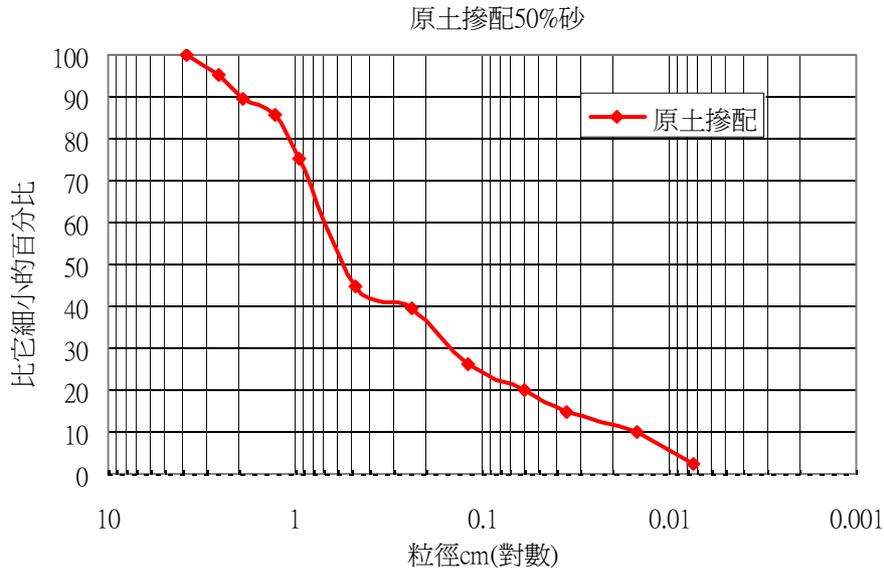
## 1.原土摻配 50%砂篩分析與土壤分類

土壤種類不同，其顆粒大小自不相同，期間孔隙亦隨之而異。土粒大者，孔隙率反而較小，但孔隙大者，其入滲量自然較快，反之則否，因此透過土壤分類可得知該土壤相關特性，本實驗區將原土摻配 50%砂作為透水底層，並依照土壤力學土壤三相圖之間關係求得各參數，原土摻配粒徑分佈如表 3-13。

表 3-13 原土摻配 50%砂之粒徑分佈

篩號	留篩百分比 (%)	累計通過百分比 (%)	累計留篩百分比 (%)
3/2"(37.5mm)	0	100	0
1"(25.0mm)	4.55	95.45	4.55
3/4"(19mm)	6.13	89.32	10.68
1/2" (12.5mm)	3.82	85.5	14.5
3/8"(12.5mm)	10.4	75.1	24.9
#4 (4.75mm)	30.1	45	55
#8 (2.36mm)	5.39	39.61	60.39
#16 (1.18mm)	13.61	26	74
#30 (0.6mm)	6	20	80
#50 (0.3mm)	5	15	85
#100 (0.15mm)	4.9	10.1	89.9
#200 (0.075mm)	7.862	2.238	97.762
Bottom	2.238	0	100

圖 3-26 原土摻配 50%砂



由粒徑分佈圖可得到下列參數：

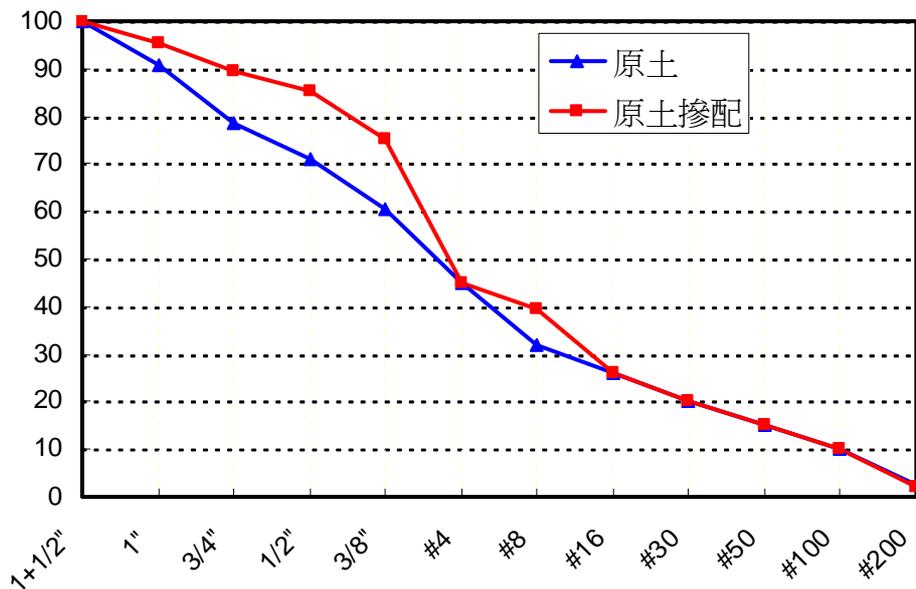
$D_{10}=0.15\text{mm}$     $D_{30}=1.53\text{mm}$     $D_{60}=7\text{mm}$

曲率係數       $C_c=D_{30}^2/(D_{60} \cdot D_{10})=2.23$        $1 < C_c < 3$

均勻係數       $C_u=D_{60}/D_{10}=46.67$        $C_u > 4$

依美國統一土壤分類標準(ASTM D-2487)可知級配為級配優良且含礫石之砂土GW，另外依美國 AASHTO 土壤分類標準可知原土為 A-1-a(GI=0)為級配優良之砂質礫石，為優良之路基材料。圖 3-27 為原土與原土摻配後之比較圖。

圖 3-27 原土與原土摻配後之比較圖



2. 透水試驗結果分析

依據透水鋪面水理分析結果，傳統透水鋪面在降雨初期，由於毛細作用和吸著力，其透水速度較快。隨著降雨時間的延長，重力及毛細管作用力，會達到一穩定之滲量。另外，滲透係數的大小，隨含水量狀態、地下水溫、地下水位等因素變動。因此於室內欲定量掌握路基土壤的滲透係數就比較困難。實際上滲水性鋪面因降雨或晴天的水分蒸發等，而乾濕交替，所以降雨初期的路基係處於不飽和狀態，雨水也能大幅度地滲透。因此，以現地測定鋪面之滲水係數較符合實際狀況，以其代表鋪面之滲水係數，鋪面之滲水係數與設計之降雨強度有關，一般設計以降雨強度為 50mm/hr，鋪面體需要  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/sec 之滲水係數。

進行此試驗之目的為評估各基底層之透水性，一般以透水係數表示，實驗區可利用層狀土壤等效滲透係數公式求出整體透水鋪面之滲透係數，如下公式，藉以評估在某降雨強度下透水鋪面整體之滲透能力，避免雨水自鋪設表面溢出造成逕流。實驗室之滲透係數未來將與實驗區實際滲透係數做一比較，表 3-14 為各層之透水係數：

$$Kv_{(eq)} = \frac{h}{\left(\frac{h_1}{Kv_1}\right) + \left(\frac{h_2}{Kv_2}\right) + \left(\frac{h_3}{Kv_3}\right) + \dots + \left(\frac{h_n}{Kv_n}\right)} \quad (3.2)$$

式中：

h：總厚度

$h=h_1+h_2+\dots+h_n$

Kv (eq)：等效滲透係數

表 3-14 四斷面各層水力傳導係數 (cm/sec)

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
面層	0.22	-	0.014	-
級配層	0.049	0.049	0.049	0.049
原土層	0.003	0.003	0.003	0.003
過濾層	0.31(不織布)			

**表 3-15 四斷面之等效水力傳導係數**

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
等效水力傳導係數	$5.13 \times 10^{-3}$	$4.76 \times 10^{-3}$	$4.33 \times 10^{-3}$	$3.19 \times 10^{-3}$

### 3.CBR、OMC、最大乾密度試驗結果

路基土壤之設計 CBR 為路基土壤或鋪面粒料之承载力與一種標準優良級配碎石承载力之百分比，可作為路基及基底層級配料等評估材料強度方法之一。因各斷面原土層及級配層所使用材料均屬於同一種材料，所以僅有各一組 OMC 及 CBR 資料。表 3-16 為相關之試驗結果：

**表 3-16 級配層及原土層（實驗室相關資料）**

級配層			原土層		
OMC	最大乾密度	CBR 值	OMC	最大乾密度	CBR 值
8.5%	2055.79	65	9.5%	2012.63	42
			9.0%	2138.95	64

### 4.工地密度試驗結果(AASHTO T191 砂錐法)

工地密度試驗主要求土壤、級配料及水泥處理土壤等材料之工地單位重為主，所得之數據將與現地含水量利用土壤力學公式求得孔係率、孔係比。工地密度如表 3-17 所示：

**表 3-17 工地密度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )**

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面	95%乾密度
級配層	1826	1945	1843	1873	1953
原土層	1881	1798	1852	1965	1912、2032

註：D 斷面 95%乾密度

### 5.現地各層施工時之含水量

土壤含水量隨土壤種類不同而異，同一土壤因時間不同期含水量亦異。一般言之，含水量與滲透量互為消長，尤以降雨初期時為然。

**表 3-18 現地各層施工時含水量(%)**

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
級配層	9.45	9.0	9.23	9.31
原土層	10.2	10.9	9.9	8.7

6.實驗室推估孔隙比(e)

孔係比為土壤三相問題中空隙體積與固體體積之比值，以土壤力學公式：

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (3.3)$$

式中：

$\gamma_d$  為工地乾密度  $\gamma_w$  為水之單位中  $G_s=2.65$

**表 3-19 孔隙比(e)**

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
級配層	0.451	0.362	0.438	0.415
原土層	0.409	0.474	0.431	0.349

7.實驗室推估孔隙率(n%)

利用土壤力學公式由孔隙比直接轉換成孔隙率： $n = \frac{e}{1+e}$ ，表為各層孔隙率，其基本定義為空隙體積與總體積之比值。利用表 3-20 孔隙率基本定義可推得空隙體積。

**表 3-20 孔隙率(n%)**

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
級配層	31.1	26.6	30.5	29.3
原土層	29.0	32.2	30.1	25.9

### 8.實驗室推估現地實驗區飽和度

飽和度為水之體積與空隙體積之比值，可由以下公式求得各層不同孔隙率下之飽和度情況：

$$S = \frac{\omega G_s}{e} \quad (3.4)$$

式中

$\omega$ ：現地含水量  $G_s$ ：2.65

此外由飽和度亦可推估保水量，當保水量超量時即需評估是否增加各層之厚度。各層之飽和度如表 3-21 所示：

**表 3-21 飽和度(S%)**

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
級配層	55.5	65.9	55.8	58.6
原土層	66.1	60.9	60.9	66.1

### 9.實驗室推估現地試驗區保水量

結合孔隙率與飽和度之基本定義可求得各斷面之保水量，由各層  $n\% \times$  各層厚度  $\times$  各層  $S\% \times 0.01$  即為各層保水量，各斷面分層之保水量如表 3-22，全斷面之總保水量為表 3-23 所示：

**表 3-22 四斷面各層分別保水量**

	A 斷面 cm		B 斷面 cm
面層 5cm	0.71	面層 8cm	1.25
碎石級配層 27cm	4.66	碎石級配層 24cm	4.21
原土層 63cm	12.08	原土層 63cm	12.35
碎石層 10cm	1.73	碎石層 10cm	1.76
	C 斷面 cm		D 斷面 cm
面層 6cm	0.77	面層 15cm	-
碎石級配層 15cm	2.55	碎石級配層 25cm	4.29
原土層 74cm	13.56	原土層 55cm	9.42
碎石層 10cm	1.70	碎石層 10cm	1.72

表 3-23 保水量(全保水 cm)

	A 斷面	B 斷面	C 斷面	D 斷面
全厚度 105cm	19.18	19.57	18.58	18.08

在表 3-22 可得四斷面之各層分別保水量，可以知摻配砂之原土層由於厚度較大為主要保水，而面層較大的水力傳導係數(如排水性瀝青混凝土)會延緩涇流發生時間。

#### 10. 現地評估透水鋪面面層透水性

由於透水鋪面之面層阻塞情況，對於整個透水鋪面之使用年限有相當大影響，但如何用一簡易評估透水鋪面之面層之透水率變化情況。而有關透水係數之計算方式，依實際進行室內透水儀試驗結果得知，採用直接以落水頭試驗 (Falling-Head Test) 公式與疊層土壤等值滲透係數 (Equivalent Hydraulic Conductivity in Stratified Soil) 公式分析比較結果相當接近，探討其原因乃在於當滲流方向與土層面垂直時，疊層土壤等值滲透係數係由滲透係數最小之透水層所控制，而落水頭公式計算整體滲透係數是利用單位時間內之水頭變化，亦由透水性最差之層面控制，故可以利用落水頭公式簡易推估透水性鋪面之整體滲透係數 K 之值為何。於工地現場評估透水性鋪面面層透水能力，從鋪面上 133cm<sup>2</sup> 左右之表面積測定鋪面體內 400ml 水流下之時間，換算成 15 秒流下的水量為透水量 (ml/15sec)。

而變水頭利用落水頭公式  $K = aL / AT \cdot \ln(h_1/h_2)$  (3.5)

求其透水係數 K

a: 內管截面積

L: 面層厚度

A: 透水儀底部與面層接觸之截面積

T: 時間

$h_1$ : 開始計算時間水面高度

$h_2$ : 結束計算時間水面高度

經現地透水儀量測值為如下表 3-24，點位測點順序參照圖 3-30。

表 3-24 估計面層水力傳導係數

	1	2	3	4
透水瀝青量測秒數(秒)	14.1	4.94	74.95	77.32
K值(cm/秒)	0.3352	0.9569	0.0631	0.0611
植草磚量測秒數(秒)	37.31	78.64	50.08	37.25
K值(cm/秒)	0.1267	0.0601	0.0944	0.1269
透水磚量測秒數(秒)	71.8	218.38	131.44	472.63
K值(cm/秒)	0.0527	0.0173	0.0288	0.008
JW工法量測秒數(秒)	5.38	5.82	4.69	4.5
K值(cm/秒)	1.3179	1.2183	1.5118	1.5757

因變水頭試驗是在一個有邊界量測試體，會有圍束能力使水只有入滲，但少考慮其邊圍條件會造成水力傳導係數有高估。量測值1、2點位在比較高之一邊，而點位3、4是在較低另一側量測。在較小孔隙如透水磚和透水瀝青鋪面，因有2%之坡降原因，在降雨時容易把粉塵留在，加上無高速車輛通行，無法產生自清功能，在完工一年半後造成阻塞影響其功用，而容易造成表面積水。

圖 3-28 較高處透水磚(良好)



圖 3-29 較低處透水磚(阻塞)



圖 3-30 模擬降雨後表面積水



比較剛施工完成之透水係數(表3-14)與現況鋪面透水係數(表3-24)可得知透水係數經一年半後之變化情形(表3-25)，鋪面K值下降;判定其鋪面孔隙有阻塞情形。

表 3-25 完工初期及一年半後透水係數之比較

	完工初期之鋪面	完工一年半後之鋪面
透水瀝青K值(cm/s)	0.22	0.0611
透水磚K值(cm/s)	0.014	0.008

## 二、舒適度分析(舒適度指標)

熱環境是由空氣溫度、空氣濕度、熱輻射和氣流速度等四個參數綜合組成，它們共同構成影響生物熱感覺的周圍環境，也是建築外殼構造產生熱作用的基本參數。目前公共建設比較少談於建築物對於人體的舒適程度，目前也沒有相關的

法規針對於舒適度去做規定。在氣象學裡有針對環境之舒適程度，由不同的溫度、風向、溼度、等，作一個評定的分數等級。目前有用到有Wind Chill Temperature Index、酷熱指數 (Heat Index)、不舒適指數(DI)、舒適度指標(CI)等。本研究利用中央氣象區所計算的舒適度指標評估透水鋪面之舒適指標及利用美國National Weather Service介定了一個酷熱指數(Heat Index)，判別不同鋪面同時間的舒適性差別。

● 舒適度指標(CI)

計算舒適度指數有各種不同的方法，中央氣象局目前所採用的計算公式，係僅用溫度和露點溫度（代表濕度）二個變數來計算舒適度值，其公式如下：

$$CI = T - 0.55 \left[ 1 - \frac{\text{Exp}\left(\frac{17.269Td}{Td + 237.30}\right)}{\text{Exp}\left(\frac{17.269T}{T + 237.30}\right)} \right] (T - 14) \quad (3.6)$$

式中

CI:舒適度；T:溫度；Td:露點溫度

中央氣象局為了讓一般大眾很快可以瞭解天氣的冷熱情形，參考了國外的經驗，利用氣溫將天氣舒適度分為六級指數，詳如下表所示。

利用氣溫將天氣分為六級，如下表：

表 3-26 CI 指數分類表

CI	10 以下	11-15	16-19	20-26	27-30	31 以上
舒適度	非常寒冷	寒冷	稍有寒意	舒適	悶熱	易中暑

資料來源：中央氣象局

註：露點溫度:保持空氣中的水氣含量不變，而使之降低溫度，當水氣因降溫而達飽和時之溫度，即為露點溫度。露點溫度也可用來表示水氣含量的多寡，露點溫度愈高，則表示空氣中水氣含量愈多。

三、酷熱指數(酷熱指標)

由於持續酷熱及潮濕會對人帶來危險,美國 National Weather Service 介定了一個酷熱指數(Heat Index)。此指數能量度在高溫及潮濕的環境下人感覺到的真正溫度。人體中有不同的機制以維持攝氏 37 度的體溫。當外界溫度上升時，人體

會改變血液循環的速率,增加汗腺分泌，甚至以喘氣的方式排出多餘的熱量。

計算公式為如下：

$$HI = -42.379 + 2.04901523T + 10.1433127R - 0.22475541TR - 6.83783 \times 10^{-3} T^2 - 3.481717 \times 10^{-2} R^2 + 1.22874 \times 10^{-3} T^2 R + 8.5282 \times 10^{-4} TR^2 - 1.99 \times 10^{-6} T^2 R^2$$

(3.7)

T:溫度 R:相對溼度

表 3-27 Heat Index 分類表

舒適度	Heat Index
極度酷熱 (Extremely hot)	舒適指數在 105 或以上。表示長時間逗留會引起輕度至嚴重中暑
不舒適熱 (Uncomfortably hot)	舒適指數在 90-104 之間。表示有可能導致抽筋、痙攣或輕度中暑
溫暖 (Warm)	舒適指數在 81-89 之間。表示室外氣溫屬於暖和
舒適 (Comfortable)	舒適指數在 61-80 之間。表示公眾一般認為舒適
清涼 (Cool)	表示溫度屬清涼，公眾出外時需略加薄外衣
不舒適涼 (Uncomfortably cold)	舒適指數在 1-30 之間。表示有可能出現結霜及凍傷
極度嚴寒 (Extremely cold)	舒適指數在 0 以下。表示天氣極度寒冷，公眾出外時需加上外衣

資料來源：美國 National Weather Service

● 量測結果

新店透水鋪面量測氣象資料，利用量測到不透水鋪面溫度及各種透水性鋪面了解其舒適指數之差異。其計算為當天白天舒適度，量測間隔為 1 分鐘。

表 3-28 不同時間透水鋪面 CI 值

	透水瀝青	植草磚 5/17	透水磚	JW 工法
11 點 CI	27.5(悶熱)	27.0(悶熱)	27.5(悶熱)	28.5(悶熱)
12 點 CI	28.5(悶熱)	28.2(悶熱)	27.6(悶熱)	26.7*(舒適)
13 點 CI	28.5(悶熱)	27.3(悶熱)	27.5(悶熱)	27.5*(悶熱)
14 點 CI	28.7(悶熱)	28.1(悶熱)	27.6(悶熱)	28.3(悶熱)
15 點 CI	26.2*(悶熱)	27.7(悶熱)	26.6(舒適)	27.7(悶熱)
16 點 CI	24.8(悶熱)	24.1(舒適)	22.9(舒適)	-

表 3-29 不同時間透水鋪面 HI 值

	透水瀝青	植草磚 5/17	透水磚	JW 工法
11 點 HI	100.2(極度酷熱)	99.3(不舒適熱)	98.2(不舒適熱)	89.7(溫暖)
12 點 HI	116.1(極度酷熱)	107.6(極度酷熱)	100.3(極度酷熱)	76.1*(舒適)
13 點 HI	116.3(極度酷熱)	111.2(極度酷熱)	106.5(極度酷熱)	77.3*(舒適)
14 點 HI	108.9(極度酷熱)	93.8(不舒適熱)	96.5(不舒適熱)	82.3(溫暖)
15 點 HI	80.1*(溫暖)	94.7(不舒適熱)	90.2(不舒適熱)	78.9(舒適)
16 點 HI	76.8*(舒適)	74.7*(舒適)	73.2*(舒適)	-

註：\* 為模擬降雨時

由 HI 指數來判別透水鋪面和不透水鋪面之舒適度之差異。每次以半小時為判別。

表 3-30 透水瀝青透水瀝青舒適度(HI)

時間	透水瀝青	不透水 混凝土鋪面	時間	透水瀝青	不透水 混凝土鋪面
02:00	108.9	98.0	02:16	97.3	94.9
02:01	106.8	97.9	02:17	97.1	94.8
02:02	106.6	97.7	02:18	97.0	93.2
02:03	106.5	97.6	02:19	96.9	93.1
02:04	106.2	97.5	02:20	93.2	93.0
02:05	106.0	97.4	02:21	96.8	92.9
02:06	104.0	97.4	02:22	93.1	92.9
02:07	102.0	97.3	02:23	93.0	92.8
02:08	101.7	93.6	02:24	94.8	92.6
02:09	99.7	93.5	02:25	94.8	92.6
02:10	99.6	93.4	02:26	94.8	91.2
02:11	99.3	93.3	02:27	94.7	91.1
02:12	99.2	93.2	02:28	94.8	91.1
02:13	97.4	93.1	02:29	94.8	91.1
02:14	97.4	93.0	02:30	94.8	91.1
02:15	97.3	94.9			

表 3-31 透水瀝青舒適度(HI)變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
98.01822	31	2931.369	94.5603	3.382391
109.2611	31	3072.616	99.11666	20.36951

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	321.7861	1	321.7861	24.99126	3.30496E-06	4.001191
組內	772.557	60	12.87595			
總和	1094.343	61				

表 3-32 植草磚舒適度(HI)

時間	植草磚	不透水混凝土鋪面	時間	植草磚	不透水混凝土鋪面
04:00	74.7	98.2	04:16	73.2	84.9
04:01	74.6	98.0	04:17	73.0	84.9
04:02	74.6	96.0	04:18	73.2	83.7
04:03	74.6	93.6	04:19	73.0	83.7
04:04	74.7	93.8	04:20	73.0	83.5
04:05	74.7	93.5	04:21	74.9	83.4
04:06	74.6	93.1	04:22	73.0	82.5
04:07	74.6	91.5	04:23	73.0	82.4
04:08	74.7	91.1	04:24	73.0	82.3
04:09	74.7	90.9	04:25	73.0	82.3
04:10	74.8	89.3	04:26	74.8	81.4
04:11	73.0	87.9	04:27	73.2	81.4
04:12	74.8	87.7	04:28	73.0	81.4
04:13	73.0	87.6	04:29	73.2	81.3
04:14	73.0	86.3	04:30	73.0	80.6
04:15	73.0	86.1			

表 3-33 植草磚舒適度(HI)變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
不透水鋪面	31	2706.298	87.29993	29.75839
植草磚	31	2321.685	74.89307	0.039345

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	2383.919	1	2383.919	160.1409	1.38E-18	4.001191
組內	893.9321	60	14.89887			
總和	3279.851	61				

表 3-34 透水磚舒適度(HI)

時間	透水磚	不透水 混凝土鋪面	時間	透水磚	不透水 混凝土鋪面
04:00	73.2	76.2	04:16	73.1	73.5
04:01	73.2	76.2	04:17	73.1	73.5
04:02	73.2	76.2	04:18	73.1	73.5
04:03	73.5	76.2	04:19	73.1	73.5
04:04	73.2	76.2	04:20	73.1	73.4
04:05	73.5	76.1	04:21	73.1	73.4
04:06	73.4	76.1	04:22	73.1	73.4
04:07	73.4	73.9	04:23	74.8	73.4
04:08	73.1	76.1	04:24	74.7	73.3
04:09	73.1	76.1	04:25	74.9	73.3
04:10	73.1	73.8	04:26	74.6	73.3
04:11	73.1	73.8	04:27	73.0	73.3
04:12	73.1	73.8	04:28	73.1	73.2
04:13	73.0	73.8	04:29	73.1	73.2
04:14	73.5	73.7	04:30	74.8	73.2
04:15	73.1	73.6			

表 3-35 植草磚舒適度(HI)變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
透水磚	31	2691.26	86.81484	0.008246
不透水鋪面	31	2856.726	92.15246	0.00471

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	441.5985	1	441.5985	68167.11	2.17E-93	4.001191
組內	0.388691	60	0.006478			
總和	441.9872	61				

表 3-36 環保透水混凝土舒適度(HI)

時間	環保透水 混凝土	不透水混凝 土鋪面	時間	環保透水 混凝土	不透水混 凝土鋪面
02:00	82.3	92.9	02:16	82.2	91.1
02:01	82.3	92.9	02:17	81.3	91.1
02:02	82.3	92.9	02:18	81.3	91.1
02:03	82.3	92.7	02:19	81.3	91.0
02:04	82.3	92.6	02:20	81.3	91.0
02:05	82.3	92.5	02:21	81.2	91.0
02:06	82.3	92.5	02:22	81.2	92.2
02:07	82.2	92.5	02:23	81.2	92.2
02:08	82.2	92.5	02:24	81.2	92.2
02:09	82.2	92.4	02:25	80.4	92.1
02:10	82.2	92.5	02:26	80.4	92.1
02:11	81.4	92.4	02:27	80.4	92.0
02:12	82.2	92.4	02:28	80.4	92.1
02:13	82.2	91.1	02:29	80.3	92.0
02:14	82.2	91.1	02:30	80.3	91.9
02:15	81.4	91.1			

表 3-37 環保透水混凝土舒適度(HI)變異數分析

摘要

組	個數	總和	平均	變異數
不透水	31	2851.825	91.99436	0.476171
JW 工法	31	2528.692	81.57072	0.551839

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	1684.109	1	1684.109	3276.442	4.58E-54	4.001191
組內	30.84033	60	0.514005			
總和	1714.949	61				

● 數據資料分析

由以上舒適度數值從檢定分析可以看出，四種透水鋪面均能有顯著改善情況 ( $\alpha=0.05$ )，雖然還不能大量降低以增其舒適度。但其中透水瀝青由 HI 指數與日照量看出，當瀝青受日照反射和混凝土鋪面二相比較，造成人體舒適度值偏高如圖。原因可能瀝青為黑色表面，吸收相當多太陽輻能與灰白色之混凝土比較而言。由 Tsuyoshi Kinouchi 指出利用較白色之鋪面較能減少都市溫熱感。故建議未來透水鋪面較適合用於車道上，人行道鋪面主用用植草磚或透水磚為主。

圖 3-31 日照量與 HI 指數相關圖

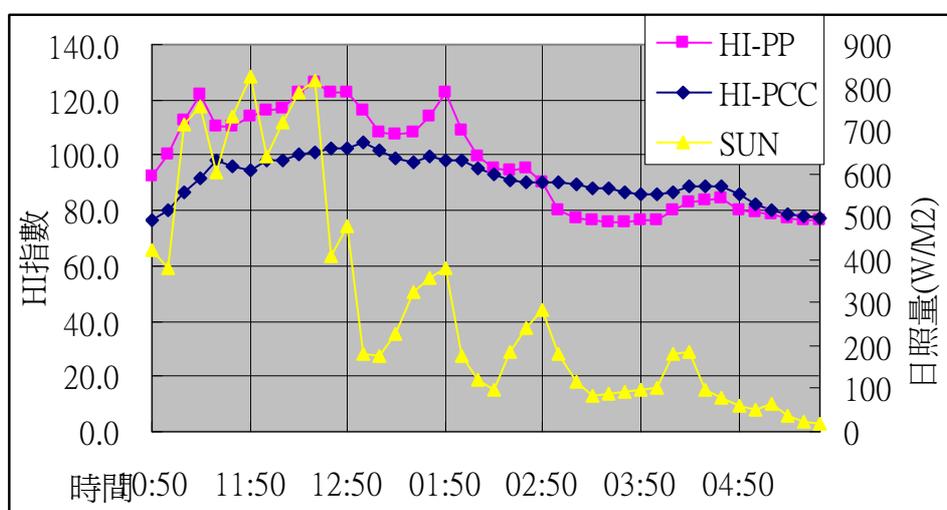
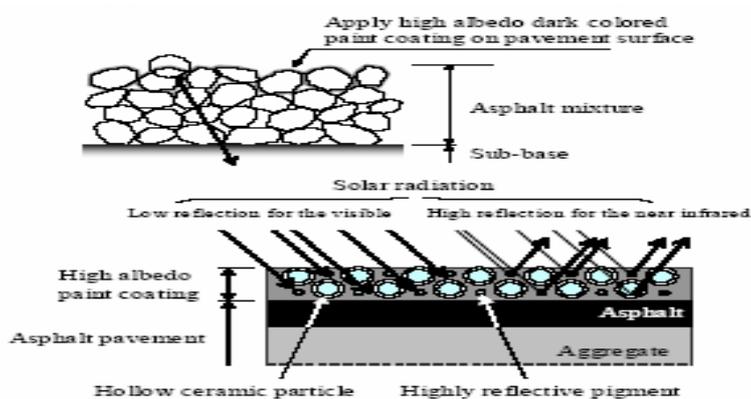


圖 3-32 COOL PAVEMENTN 鋪設



資料來源：[http://www.coolcommunities.org/cool\\_pavements.htm](http://www.coolcommunities.org/cool_pavements.htm)

本節之指標包括基地保水指標、舒適度指標及酷熱指標均為初擬，必須靠日後研究作為佐證。

表 3-38 酷熱指數長期監測單因子變異數分析

單因子變異數分析

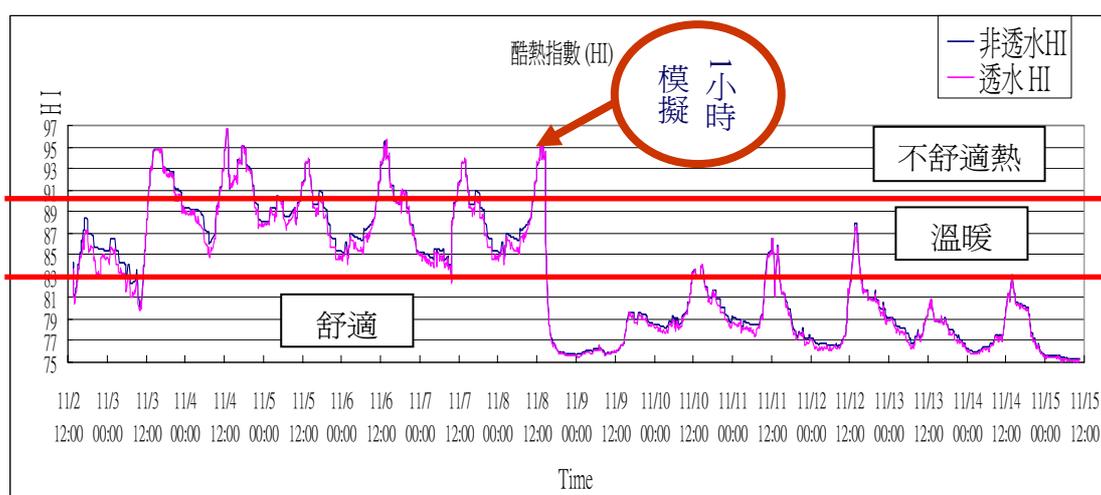
摘要

組	個數	總和	平均	變異數
非透水鋪面 HI	1858	154712	83.26801	33.50463
透水性鋪面 HI	1858	154013.5	82.89211	32.96932

ANOVA

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	131.2704	1	131.2704	3.949529	0.046958	3.843964
組內	123442.1	3714	33.23697			
總和	123573.4	3715				

圖 3-33 透水及非透水性鋪面酷熱指標(HI)長期監測圖



## 第四章 現地透水性鋪面之成效分析及指標驗證

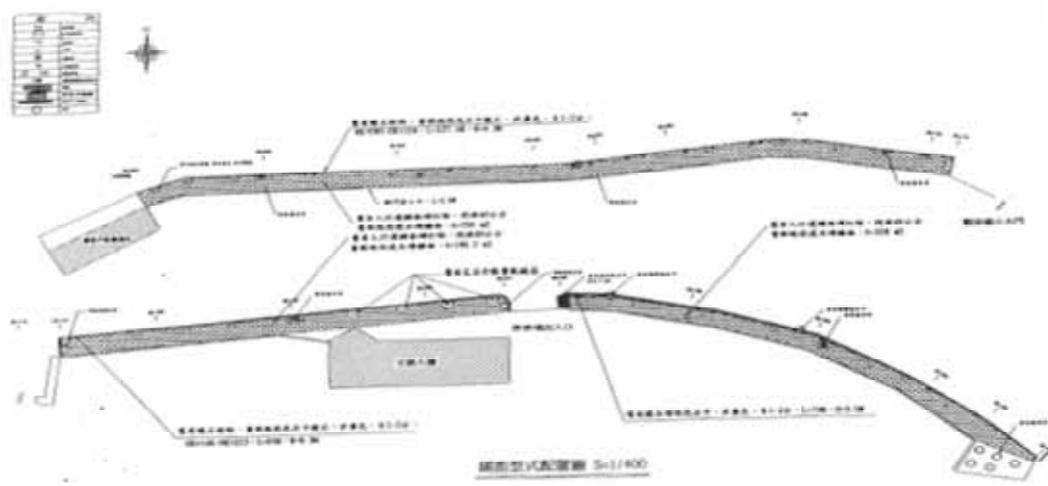
本研究為確認其透水性鋪面之保水以及服務效益，因此於民國九十三年分別於中正大學特定停車場（透水瀝青、植草磚鋪面）、觀音國小人行步道（透水磚鋪面）以及新竹縣橫山內灣停車場車道（透水磚面層）進行現地監測儀器之埋設，籍以針對三個現地之成效進行其資料收集與分析。本研究於後述章節將針對此三個案之現地配置、儀器狀況以及成效進行分析，其分析結果如下述章節所述。

### 第一節 觀音國小人行步道

#### 一、現地狀況分析

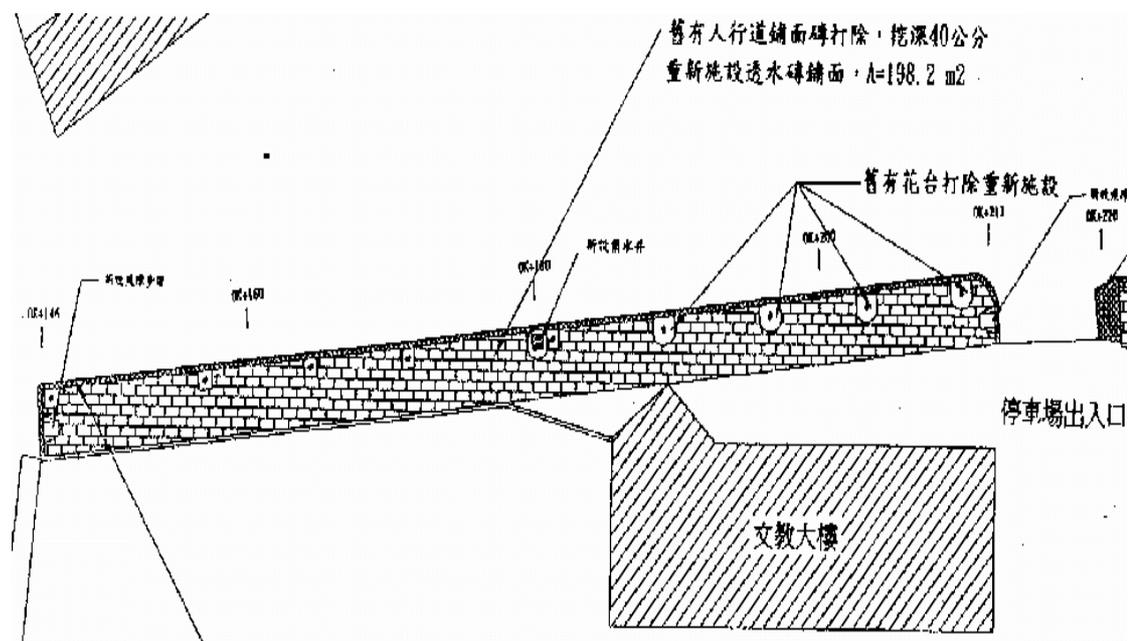
本工程之人行道路寬為 3-3.5m，全長約 252m，各段人行道寬到詳見下圖 4-1，儀器架設區位圖如下圖 4-2；為求達到環境美化及基地保水之目的，本工程特以高壓彩晶透水磚鋪設，此透水磚面層材料為水泥、透水玻璃珠粒料及色料，底層為水泥及 0.8 cm 玻璃珠粒料、碎石，經高壓強力震動結合而成，經加工後使面層粒料裸露。面層質感有明顯光線折射效果，透水係數達  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec，抗壓強度為  $230 \text{ kgf/cm}^2$ 。（斷面圖如下圖 4-3）

圖 4-1 觀音國小前人行道透水鋪面設計圖



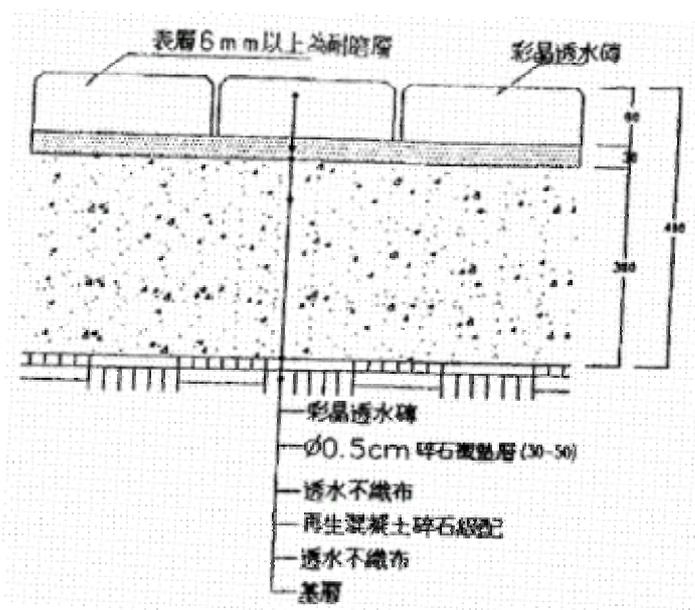
資料來源：林志棟，2005

圖 4-2 觀測井位置圖



資料來源：林志棟，2005

圖 4-3 觀音國小前人行道透水鋪面斷面圖

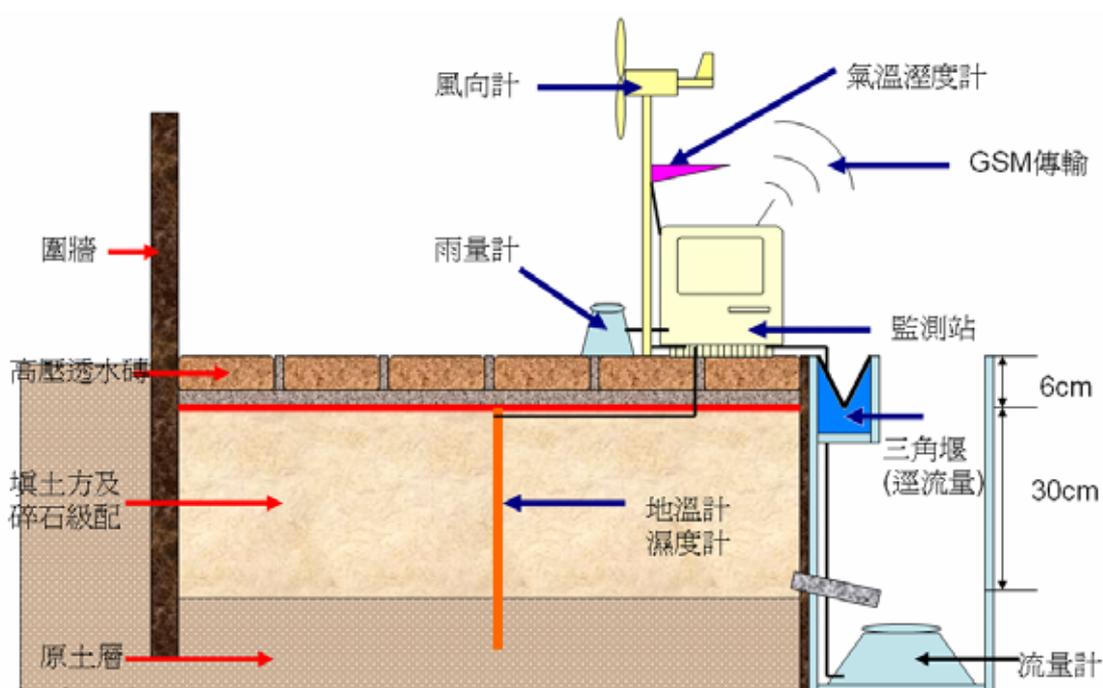


資料來源：林志棟，2005

## 二、監測儀器配置

本研究於民國九十三年針對觀音國小前人行道進行監測儀器之架設，本研究共利用 1.活動氣象站、2.地溫計、3.土壤含水量量測儀、4.雨量收集器、5.三角堰(逕流量)、6.流量計(滲流量) 等等儀器進行透水性鋪面之長期性監測，且本研究於此一路段亦採用遠端傳輸系統進行資料之收集，以減少人力擷取資料所需花費額外之人力。圖 4-4 即為其鋪面監測儀器架設示意圖。

圖 4-4 透水性鋪面監測儀器配置圖



資料來源：林志棟，2005

## 三、現地成效分析

### (1) 基地保水量

利用葛洛夫透水試驗儀進行現地透水率試驗，試驗值如下表 4-2 所示，求得透水係數  $K$  為  $1.53 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ; 利用基地保水指標計算公式求得其基地保水量為  $Q = A \times K \times t + 0.15 \times A \times h = 3.25 \times 252 \times 1.53 \times 10^{-2} \times 44 \times 3600 \times 0.01 + 0.15 \times 0.3 \times 3.25 \times 252 = 19885.48 \text{ m}^3$ 。而利用現地土壤水份計監測得知 30 公分保水級配層，保水滿水位時之保水量為  $136.09 \text{ m}^3$  (計算資料表如下表 4-1)。

表 4-1 土壤水分監測儀器滿水位土壤濕度

保水厚度 cm	土壤水份 10 cm	土壤水份 20 cm	土壤水份 30 cm	保水量 m <sup>3</sup>
30	43.17 %	60.28 %	62.71 %	136.09

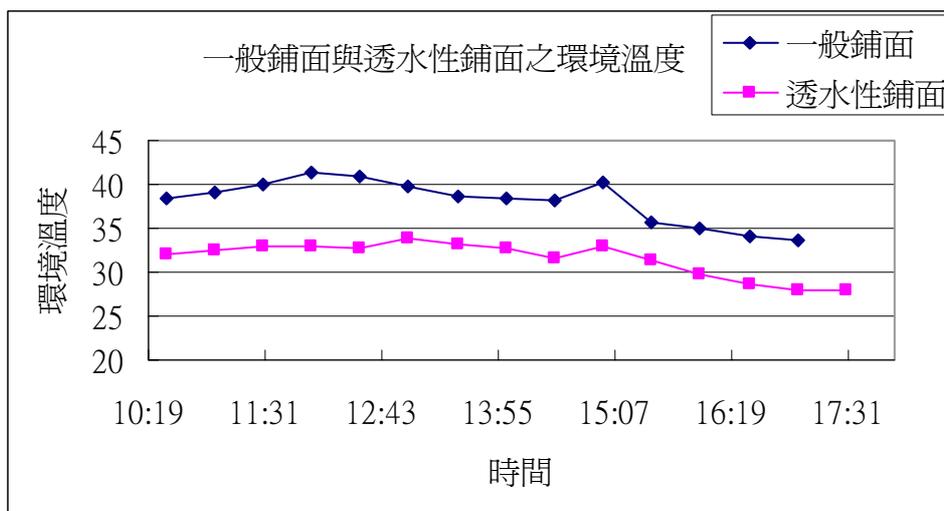
表 4-2 葛洛夫現地透水率試驗數值

水頭高	5CM			水頭高	6CM		
時間	水量	差值	流速	時間	水量	差值	流速
2	31.5			2	23.5		
4	37	5.5	2.75	4	30	6.5	3.25
6	42	5	2.5	6	36.5	6.5	3.25
8	47	5	2.5	8	43	6.5	3.25
10	52	5	2.5	10	49.5	6.5	3.25
12	56	4	2				
14	60	4	2				
16	64	4	2				
18	68	4	2				
R1	0.033						
R2	0.054						
k1	1.53*10 <sup>-2</sup>						

## (2)環境溫度分析

力用現地一般鋪面與透水性鋪面之環境溫度進行分析，可明顯發現，透水性鋪面與一般鋪面於夏季上午 10:30 至下午 5:30 量測分析如下圖 4-5，可明顯發現一般鋪面與透水性鋪面環境溫度最大可差異到 5°C，成效相當顯著。

圖 4-5 一般鋪面與透水性鋪面之環境溫度比較圖



### (3) 舒適度分析

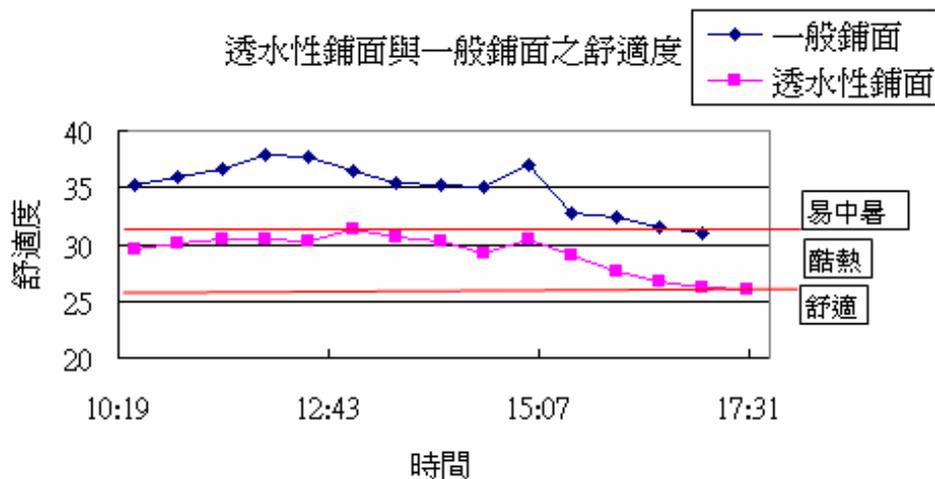
利用現地溫度與露點溫度進行舒適度分析，一般鋪面之舒適度於夏季上午 10:30 至下午 5:30 中舒適度皆高於 31，為易中暑等級；而透水性鋪面之舒適度為 26~31 間，為酷熱等級，可明顯發現透水性鋪面之成效有助於改善舒適度。比較圖如下圖 4-6。其公式如下：

$$CI = T - 0.55 \left[ 1 - \frac{\text{Exp}\left(\frac{17.269Td}{Td + 237.30}\right)}{\text{Exp}\left(\frac{17.269T}{T + 237.30}\right)} \right] (T - 14) \quad (3.6)$$

式中：

CI: 舒適度；T: 溫度；Td: 露點溫度

圖 4-6 一般鋪面與透水性鋪面之舒適度比較圖



#### (4) 酷熱指標

利用現地溫度與露點溫度進行酷熱指數分析，一般鋪面之酷熱指數於夏季上午 10:30 至下午 5:30 中酷熱指數大部份皆落於溫暖區間；而透水性鋪面之酷熱指標為 75~78 間，為舒適等級，可明顯發現透水性鋪面之成效有助於降低酷熱指數。比較圖如下圖 4-7。

計算公式為如下：

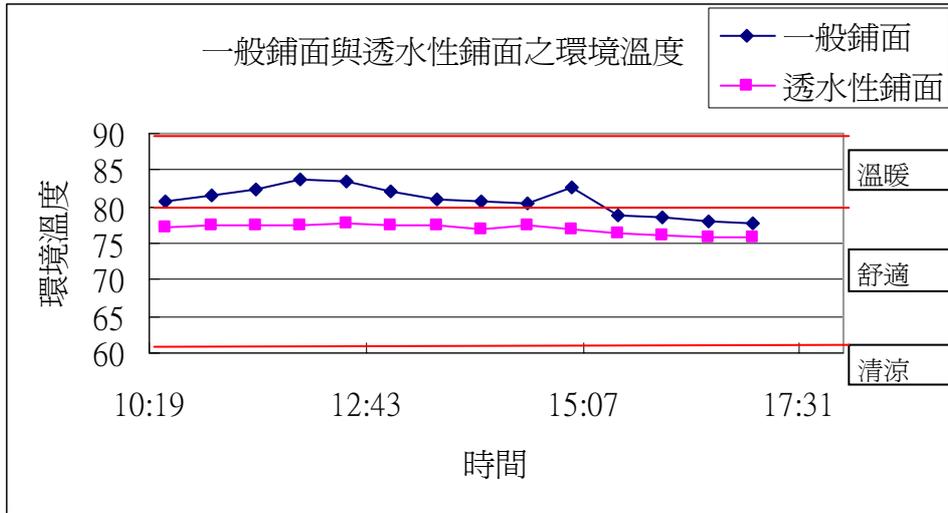
$$HI = -42.379 + 2.04901523R + 10.1433127T - 0.22475541TR - 6.83783 \times 10^{-3} R^2 - 3.481717 \times 10^{-2} T^2 + 1.22874 \times 10^{-3} R^2 T + 8.5282 \times 10^{-4} RT^2 - 1.99 \times 10^{-6} T^2 R^2$$

(3.7)

式中：

T:溫度 R:相對溼度

圖 4-7 一般鋪面與透水性鋪面之酷熱指數比較圖

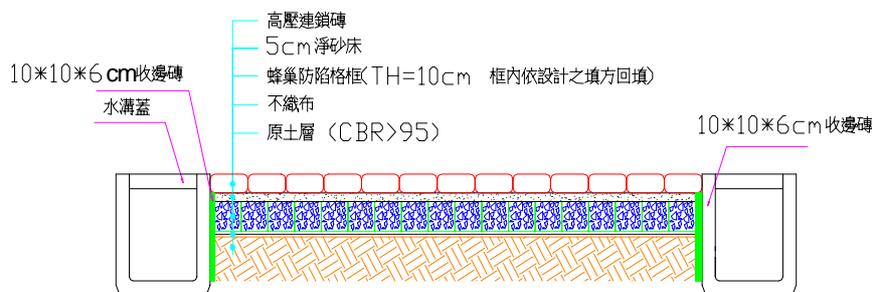


## 第二節 橫山鄉內灣村大同街路面改善工程

### 一、現地狀況分析

本工程與其他工程不同之處，表面鋪面為高壓透水磚，底層施以蜂巢防陷格網，為克服一般透水性路面容易沉陷的缺點，同時能兼顧透水性的保水、透水優點，本路段兼為人行道及車道，所以必須考量重車對路面造成之破壞，也是與一般應用於人行道、廣場之透水鋪面不同之處。此工程施做地點為內灣之觀光景點，人潮、車潮往來眾多，如工程順利推動成效卓著，勢必讓一般民眾更加容易了解透水性路面之優點，使公共工程與人民更接近，兼具休閒與教育功能。

圖 4-8 橫山鄉內灣村透水鋪面斷面圖



資料來源：林志棟，2005

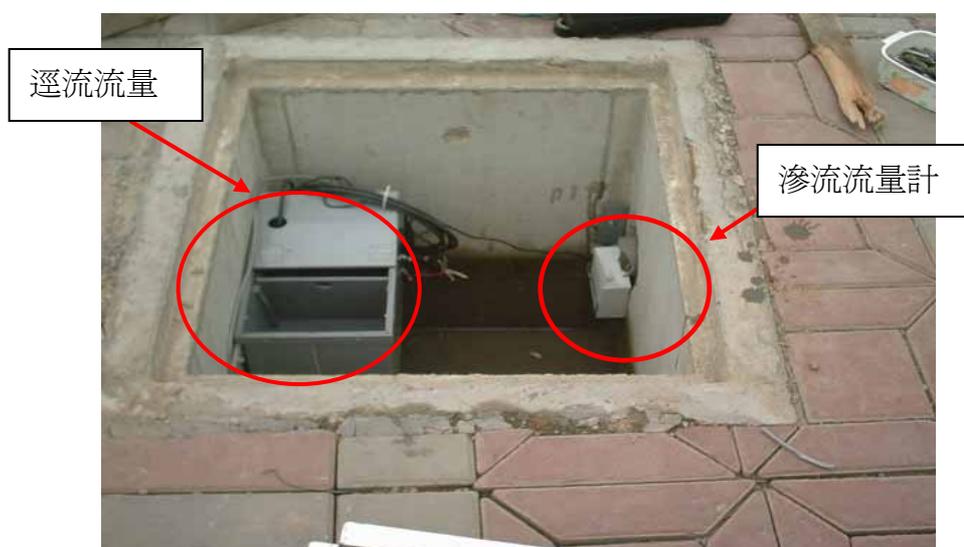
## 二、監測儀器配置

本研究於民國九十四年針對橫山鄉內灣村大同街路面改善工程進行監測儀器之架設，本研究共利用 1.活動氣象站、2.地溫計、3.土壤含水量量測儀、4.雨量收集器、5.逕流流量計(逕流量)、6.滲流流量計(滲流量) 等等儀器進行透水性鋪面之長期性監測。圖 4-9 與圖 4-10 即為其鋪面監測儀器架設示意圖。

圖 4-9 透水性鋪面監測儀器配置圖



圖 4-10 觀測井之配置圖



## 三、現地成效分析

## (1) 基地保水量

利用葛洛夫透水試驗儀進行現地透水率試驗，試驗值如下表 4-3 所示，求得透水係數  $K$  為  $2.19 \times 10^{-2}$  cm/s; 利用基地保水指標計算公式求得其基地保水量為  $Q = A \times K \times t = 960 \times 2.19 \times 10^{-2} \times 44 \times 3600 \times 0.01 = 33300 \text{m}^3$ 。而目前橫山鄉透水鋪面觀測得之滲流值幾乎為零，判斷為因該斷面為全透水鋪面，透水係數良好，故依基地保水指標計算得之保水量，應為該透水鋪面之全滲透量。

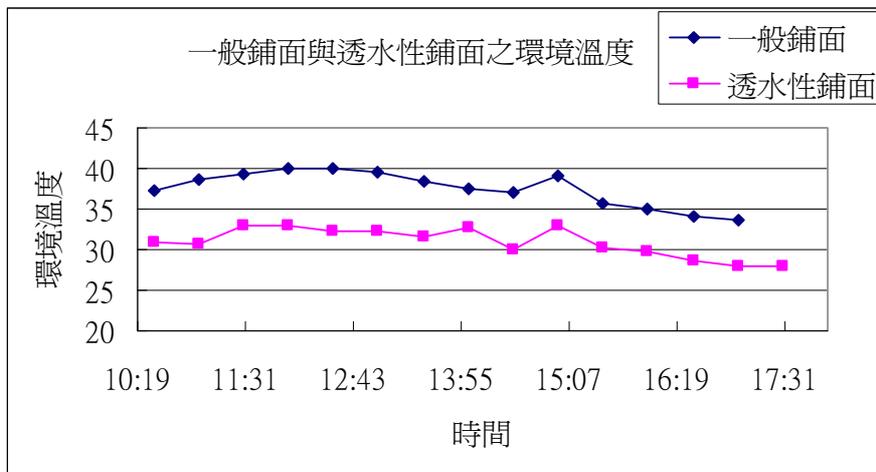
表 4-3 葛洛夫現地透水率試驗數值

水頭高	5CM			水頭高	8CM		
時間	水量	差值	流速	時間	水量	差值	流速
2	22.5			2	26.5		
4	25.5	3	1.5	4	34.5	8	4
6	28.5	3	1.5	6	42.5	8	4
8	31.6	3.1	1.55	8	50.5	8	4
10	35.5	3.9	1.95	10	58.5	8	4
12	40.2	4.7	2.35				
14	44.3	4.1	2.05				
16	49	4.7	2.35				
18	53.7	4.7	2.35				
20	58.4	4.7	2.35				
R1	0.039166667						
R2	0.066666667						
k1	2.19E-02						

## (2) 環境溫度分析

力用現地一般鋪面與透水性鋪面之環境溫度進行分析，可明顯發現，透水性鋪面與一般鋪面於夏季上午 10:30 至下午 5:30 量測分析如下圖 4-11，可明顯發現一般鋪面與透水性鋪面環境溫度最大可差異到  $7^{\circ}\text{C}$ ，成效相當顯著。

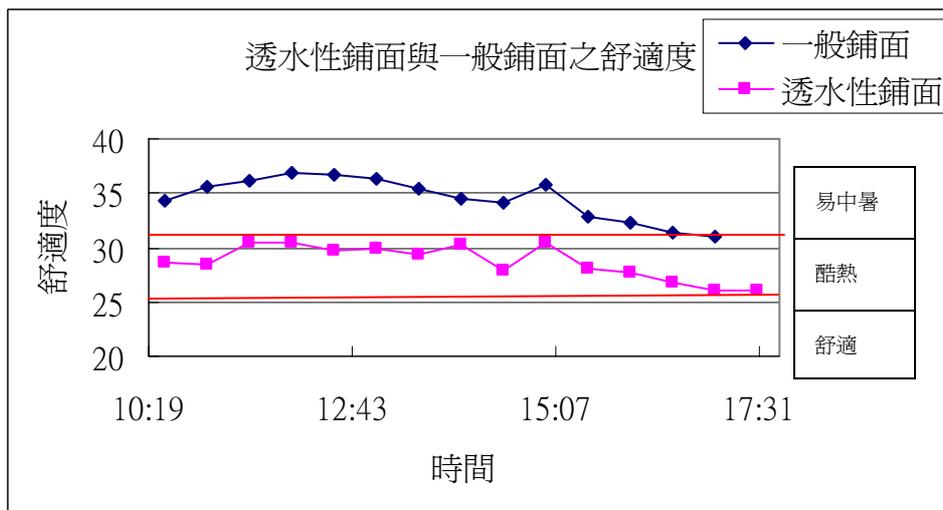
圖 4-11 一般鋪面與透水性鋪面之環境溫度比較圖



(3)舒適度分析

利用現地溫度與露點溫度進行舒適度分析，一般鋪面之舒適度於夏季上午 10:30 至下午 5:30 中舒適度皆高於 31，為易中暑等級；而透水性鋪面之舒適度為 26~31 間，為酷熱等級，可明顯發現透水性鋪面之成效有助於改善舒適度。比較圖如下圖 4-12。

圖 4-12 一般鋪面與透水性鋪面之舒適度比較圖



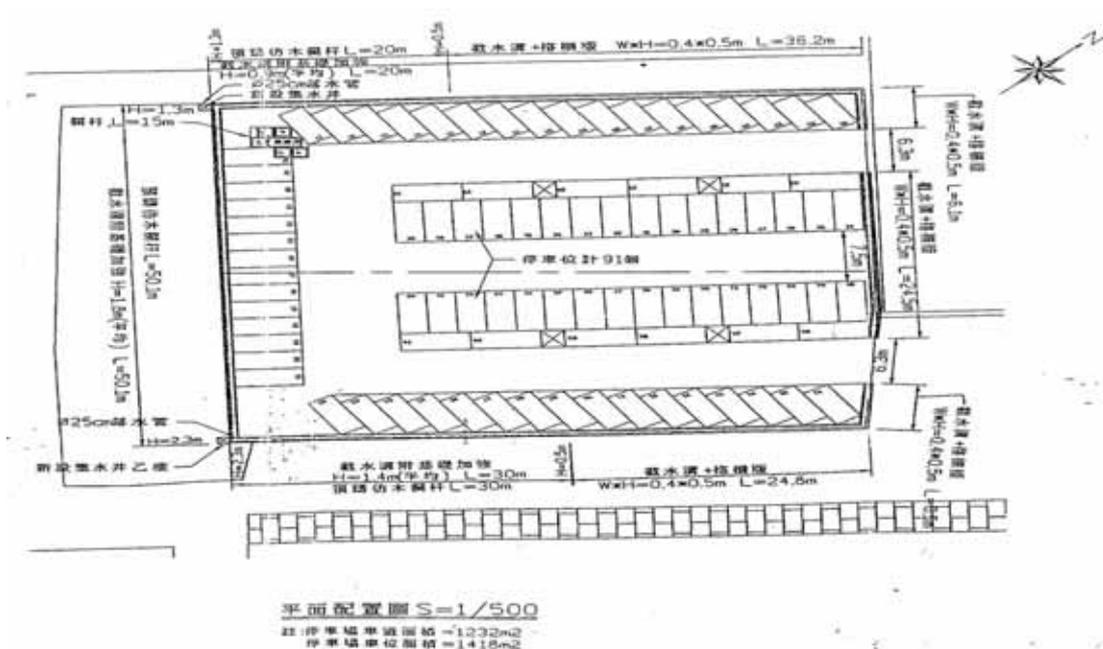
### 第三節 中正大學特定停車場

#### 一、工程概述

本監測計畫地區為中正大學特定區停車場工程，該地區鄰近中正大學、嘉義縣藝文中心等文教區，亦緊鄰一條綿延長達一公里通往中正大學的連絡道路，兩旁綠油油的檬果樹，帶給無數人的綠意與涼意，為避免人車爭道，規劃為快車道與慢車道。因此該地區對於透水性鋪面之施做，有助於現地美化及觀光休憩之功能。

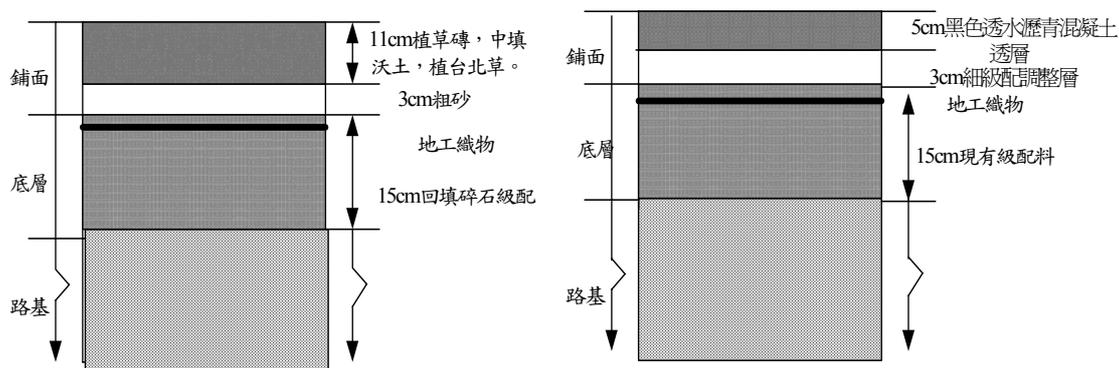
本工程分為車道及停車場兩部份，車道採用透水瀝青混凝土，路寬分別為6.3m及7.5m，車道長度分別約為50m及37m；停車場部份採用植草磚，每格停車格長度約6m，寬度約2.5m，全區有91格停車格，縱向排水坡度為4%，全區規劃詳見下圖4-13，斷面圖詳見下圖4-14；本工程之先關材料試驗接送至中央大學土木材料品保中心試驗，合格後方可使用。人行道工程之填土方及碎石級配底層均需依規定分層滾壓並達密度及透水係數合格後，始繼續施工；全區設置一觀測井進行相關數值監測。

圖 4-13 中正大學特定停車場規劃設計圖



資料來源：林志棟，2005

圖 4-14 中正大學特定停車場斷面設計圖



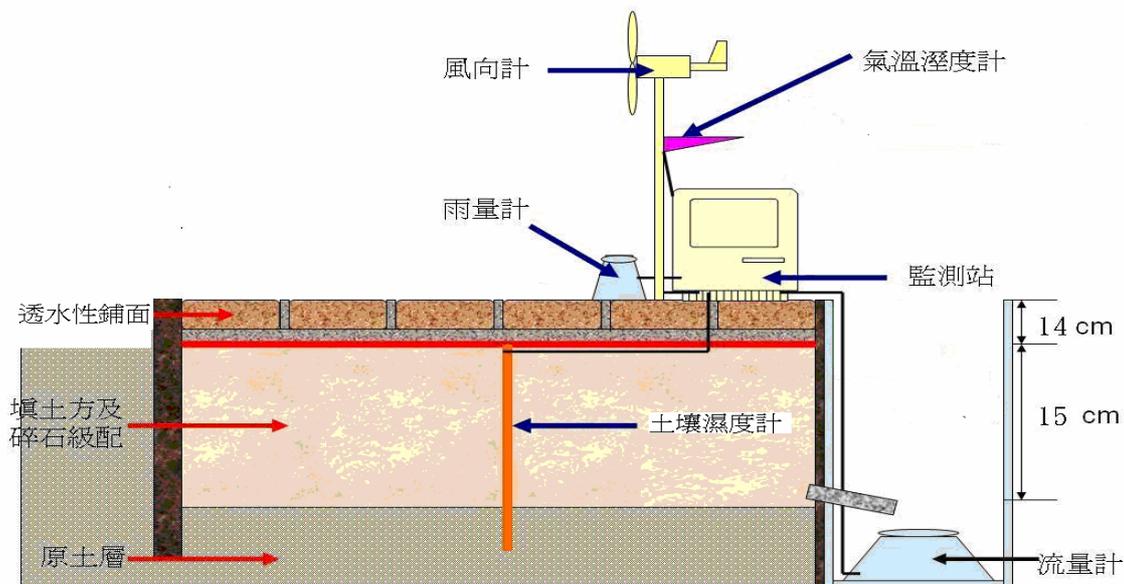
中正大學停車區透水鋪面橫斷面示意圖

資料來源：林志棟，2005

## 二、監測儀器

施工後完成觀測井之監測站，包含活動式氣象站(風速風向計、氣溫計、溼度計、氣壓計、日照強度計及雨量計)、土壤含水量量測儀及流量計(滲流量)，並建立遠端傳輸系統監測現地各項數值(如圖4-15)，且於最快時間經GSM系統傳輸至監測單位，減少人力付出；由於透水性鋪面對於載重能力相當差，因此需要利用三米直規量測其經常時間成載後的沉陷量。

圖 4-15 中正大學特定停車場監測儀器架設示意圖



資料來源：林志棟，2005

## 三、資料分析與驗證

## (1) 基地保水驗證

利用葛洛夫透水試驗儀進行現地透水性試驗，試驗值如下表 4-5 所示，求得透水係數  $K$  為  $7.28 \times 10^{-3}$  cm/s; 利用基地保水指標計算公式求得其基地保水量為  $Q = A \times K \times t + 0.15 \times A \times h = (1232 + 1418) \times 7.28 \times 10^{-3} \times 44 \times 3600 \times 0.01 + 0.15 \times (1232 + 1418) \times 0.15 = 30618.15 \text{ m}^3$ 。而利用現地土壤水份計監測得知 30 公分保水級配層，保水滿水位時之保水量為  $209.09 \text{ m}^3$  (計算資料表如下表 4-4)。

表 4-4 土壤水分監測儀器滿水位土壤濕度

保水厚度 cm	土壤水份 15 cm	保水量 $\text{m}^3$
15	52.6 %	209.09

表 4-5 中正大學透水性鋪面滲透係數結果表

中正大學透水鋪面級配層K值							
水頭高	5CM			水頭高	10CM		
時間	水量	差值	流速	時間	水量	差值	流速
2	23.9			2	38.3		
4	24.9	1	0.5	4	39.9	1.6	0.8
6	25.5	0.6	0.3	6	42.5	2.6	1.3
8	26.3	0.8	0.4	8	43.3	0.8	0.4
10	27.1	0.8	0.4	10	45.1	1.8	0.9
12	27.9	0.8	0.4	12	46.8	1.7	0.85
14		0.8	0.4	14	48.5	1.7	0.85
16		0.8	0.4	16	50.2	1.7	0.85
18		0.8	0.4	18	51.9	1.7	0.85
20		0	0				
R1	0.00666667						
R2	0.01416667						
k1	$7.82 \times 10^{-3}$						

## (2)環境舒適度分析

本工程於鋪築完畢，在大雨過後即發生破壞之形象。而本工程主要可分為車道及停車場兩部份，車道採用透水瀝青混凝土，路寬分別為 6.3m 及 7.5m，車道長度分別約為 50m 及 37m；停車場部份採用植草磚，每格停車格長度約 6m，寬度約 2.5m，全區有 91 格停車格，縱向排水坡度為 4%。且根據本研究單位之調查，其停車場亦有大型交通工具的駛入，亦是造成本工程路面損壞原因之一。依據當地店家敘述，94.04.01 左右共約有 40 輛的遊覽車駛入迴轉的情形。由本工程規劃設計與斷面圖(圖 4-13、圖 4-14)可看出原先本停車場之設計並無供大車的停放與行駛，因此於材料設計上皆以停放小客車為考量，面層底下之 3cm 調整層無法有效抵抗及傳遞大車載重。因此，大車的駛入會造成鋪面材料已超出安全範圍而產生破壞。目視調查與影像拍攝發現，現地破壞部份：透水性瀝青混凝土路面車轍為多、植草磚則有部分沉陷的跡象。因此本研究於此暫不討論其透水成效，而改於下一章節，針對其鋪面力學特性與行為進行分析，以期利用鋪面力學理論方法找出鋪面破壞之主要原因。

## 第四節 監測儀器介紹

活動式氣象站(風速風向計、氣溫計、溼度計、氣壓計、日照強度計及雨量計)、地溫計(TDR)、土壤含水量量測儀、三角堰(逕流量)及流量計(滲流量)，並建立遠端傳輸系統監測現地各項數值，且於最快時間經 GSM 系統傳輸至監測單位，減少人力付出；由於透水性鋪面對於載重能力相當差，因此需要利用三米直規量測其經常時間成載後的沉限量。

### 一、活動氣象站

#### 1. 風速風向計

一般使用魯賓遜風力計(robinson's anemometer)，由杯狀翼輪之回轉數而知風速之儀器。並配合風信器觀測風向。未來用來評估熱量損失之效益參數。

## 2. 氣壓計

一般氣壓儀器有水銀氣壓計和無液氣壓計，因利無液氣壓計攜帶方便，故採用此方式。但精度較差，需水銀氣壓計修正後才能使用。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 氣壓}(1\text{atm}) &= 760\text{mmHg} = 76 * 12.5951 * 980.65 \\ &= 1013250\text{dyne/cm}^2 = 1013\text{mb}(\text{毫巴}) \\ &[*1000\text{dyne}=1\text{mb}] \end{aligned}$$

## 3. 日照強度計

日照量是量測太陽淨輻射量，單位是 W/s，未來也是對於熱島效應之參數。如下圖 4-16。

圖 4-16 日照強度計



資料來源：林志棟，2005

## 4. 溫度濕度計

可利用百葉箱遮蔽以防日光直接照射。設置應離地面上 1.5m~2.0m。避免周圍之影響而致生誤差。利用電子式溫度計量測。利用電子式溼度計量測。如下圖 4-17。

圖 4-17 溫度濕度計



資料來源：林志棟，2005

## 二、地溫計與土壤含水量量測儀

土壤含水量量測是要未來探討透水鋪面之保水量，做未來後續研究。地溫計是為熱島效應之土壤之熱傳導，做為熱島效應之參數。如下圖 4-18。

圖 4-18 地溫計與土壤含水量量測儀



資料來源：林志棟，2005

## 三、雨量收集器

無論晴雨天，雨量計絕不能任意移動，均須照原形並常放為原處為要。如下圖 4-19。

圖 4-19 雨量計



資料來源：林志棟，2005

#### 四、三角堰(逕流量)

本方法適用於渠道流量之測定。如下圖 4.20。

公式：

$$Q = Kh^{\frac{5}{2}} \quad (4.1)$$

式中：

Q：流量(m<sup>3</sup> / min)

h：水頭(m)

K：流量係數

公式：

$$K = \frac{81.2 + \frac{0.24}{h} + (8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}})(\frac{h}{B} - 0.09)^2}{\quad} \quad (4.2)$$

式中：

B：渠道寬度(m)

D：渠道底面至堰頂之垂直距離(m)

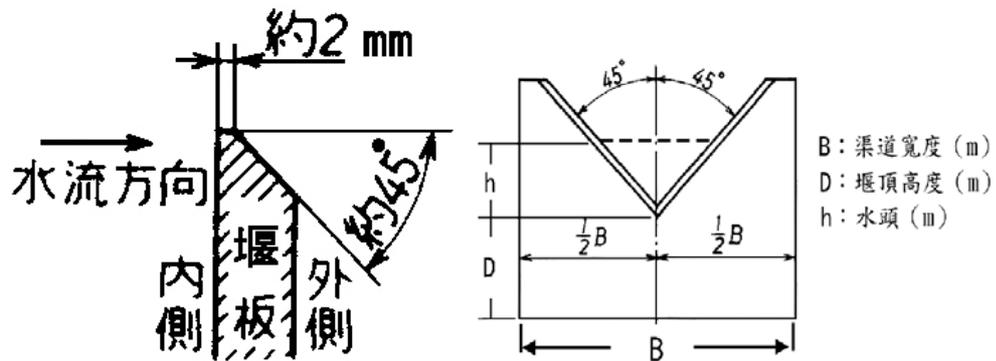
上述計算公式之適用範圍為：

$$B = 0.5 \sim 1.2 \text{ m}$$

$$D = 0.1 \sim 0.75 \text{ m}$$

$$h = 0.07 \sim 0.26 \text{ m } h=B/3 \text{ 以內}$$

圖 4-20 三角堰斷面圖



資料來源：林志棟，2005

#### 五、流量計(滲流量)

利用流量計量測滲入地下之水量，即可求得該透水面之保水量。

#### 六、車轍

利用三米直規量測該鋪面之沉陷量。

### 第五節 本章小結

本章利用第三章所建立之基地保水指標、舒適度指標、酷熱指標，利用現地透水性鋪面進行分析驗證，於基地保水部分，綠建築之基地保水指標中為假設44小時之降雨延時下經由透水性鋪面儲存至大廈儲水槽之保水量，而於現地量測之保水量為基底層所能保有之水量，兩者之儲存方式有所差異，因此較難以比較驗證，而橫山鄉內灣停車場之路基多為河川之砂石透水性佳，因此該區位為全透水之透水性鋪面，無法於基底層保水。而現透水性鋪面與一般鋪面於氣溫上成效差異顯著，且有明顯改善之現象，值得繼續推廣研究；但由於礙於研究金費有限，因此現地之架設之儀器仍有不足，因此有些地區之相關指數能無法分析得知。

## 第五章 透水鋪面設計方法之探討

1970 年於美國開始發展，主要是改善面層的透水性。透水性鋪面使用孔隙率高且透水性良好之級配材料於面層和基底層，使水可經由鋪面直接滲入路基土壤，避免採用不透水的黏層。鋪面的設計對地表滲透量的影響很重要，假使一個區域中使用大量不透水鋪面，容易使落雨形成逕流而排出區域外，則會減少地表保水性，並且達到減少熱島效應等功效。本研究於此針對國內外透水鋪面設計方法進行一探討，爾後再探討其鋪面結構之特性，最後利用鋪面力學針對三個不同透水鋪面型式進行其力學分析。

### 第一節 國內外透水性鋪面設計方法之探討

透水性鋪面設計流程依其用途區分為車行道鋪面及人行道鋪面，車行道鋪面為具有車輛行駛之中低承載道路、停車場或廣場等，鋪面承載設計對象為「車輛」，其需考慮交通量及一般試驗室易於求出之CBR(California Bearing Ratio)等設計條件，並以此設定鋪面之所需承載厚度。

人行道之設計承載對象為「人」，如步道、徒度區、腳踏車道或徒步廣場等。透水性鋪面(包含有面層、底層、過濾層與路基等層)各層之材料以具有足夠之孔隙率及透水能力，藉以蓄存及入滲所設計之降雨強度，設計之降雨強度愈大，鋪面之厚度隨之增加，因此，在經濟成本及設置鋪面附屑排水設施之間必須有最佳化之分析過程。簡言之，透水性鋪面之設計原則如下所示：

- 1.車行道鋪面：考慮交通量、CBR值、保水量及降雨強度等，以能承受交通荷重應有厚度及透水功能之鋪面。
- 2.人行道鋪面：鋪面面層不積水為主，提供行人舒適性之透水性鋪面。

本研究於此針對國內人行道設計手冊以及國外透水性鋪面之設計方法進行介紹與探討。

#### 一、國內透水性鋪面設計方法

國內透水性鋪面之設計方法，主要還是以人行道為主，其設計方法亦大多參考日本之相關設計方法，而國內之人行道設計手冊其中亦如同日本提供幾種「建議斷面」以供設計單位採用，在其設計手冊中亦建議採用之材料之透水係數，其

亦提及透水鋪面之設計除要求材料透水效能外，施工方式也是決定透水鋪面效率之關鍵因素。而在國內透水鋪面即少用於車道，其主要原因在於容易造成深陷以及管線挖掘之問題，並且國內亦鮮有研究針對透水鋪面之力學做分析與探討，以透水磚為例，其磚與磚之間之力學行為以及基底層如需考量保水與透水，其對於鋪面之影響以及未來會發生之問題亦少有探討，並且在人行道設計手冊中僅提到需考慮當地地質條件，並無確切之量化方法，因此造成其推廣不易之問題。

本研究於第二期計畫中已先行提出透水性鋪面選址要點以及其評量表，並且亦初步提出設計與維修方法，而一個好的透水性鋪面並非僅單純考量其材料之透水性質，應多方面考量，如同前述選址、荷重行為以及施工方式等等方面進行考量，而非僅就材料之特性進行探討，本研究於後續章節將以實例探討力學行為，並且建議適用於國內之透水性鋪面設計方法。

## 二、國外透水性鋪面設計方法

在國外透水性鋪面已施行有年，因此其理論背景、設計與分析之方法已有諸多學者提出，在國外使用透水性鋪面其多採用透水磚、植草磚以及透水瀝青等等鋪面形式，而透水瀝青鋪面之設計方法可參考國外 AASHTO 以及 AI 之設計方法唯需多加考量其透水之特性。而在透水磚與植草磚方面根據國外之相關研究可發現其主要之力學反應如同柔性鋪面，雖然已有許多學者針對其提出基底層厚度設計法之建議，但其大多皆以 AASHTO 93 Design Guide 做為設計法之主要發展依據，以下將就連鎖磚／透水磚鋪面主要設計法進行介紹：

透水磚鋪面之基底層厚度設計法，有美國連鎖磚鋪面協會（Interlocking Concrete Pavement Institute，ICPI）提出建議以及設計流程，其設計法之主要參考依據為 AASHTO 93 Design Guide 中之柔性鋪面設計法，而 AASHTO 設計法主要是以結構數（Structural Number，SN）之方法考量之，美國連鎖磚鋪面協會之設計法則是將透水磚、連鎖磚與墊砂層（bedding sand）視為一層，其層係數之考量與瀝青混凝土面層之層係數相同皆為 0.44。在其設計流程中，先以交通量 ESAL 做為交通荷重，再利用現地路基土壤之 CBR 值或是 Mr 值，根據其設計之參考圖表即可進行基底層厚度之設計。並且在基底層厚度設計法中不僅可以利用級配粒料層做為基底層厚度設計材料，亦可採用瀝青或是混凝土處理層之方式做為基底層。在其設計流程中即可針對地區性之不同需求進行考量與評估，以求得一最適合之連鎖磚或是透水磚鋪面基底層厚度與材料種類。

在英國預鑄混凝土協會 (British Precast Concrete Federation, BPCF) 所推廣的 InterPave 在其設計手冊中，亦提供了一系列的透水磚鋪面的設計法，其主要將設計方法分為水文設計因子以及荷重因子，其將降雨量之觀念導入，配合交通荷重以及現地試驗，即可進行鋪面厚度之設計。在日本其透水鋪面之設計方法亦建議面層不採用一般鋪面之瀝青透層及黏層，以免阻礙雨水滲透，底層具有承受面層之承載壓力，並具有儲留雨水之功能，人行道承載設計較低，底層一般設計為單一層次，車行道之承載設計較高，底層分為上層底層及下層基層，過濾層在雨水向路基滲透時，具有過濾的作用，且能防止路基土壤侵入底層。並將日本常用透水性鋪面型式列於表 5-1，以供參考。

表 5-1 日本常用之透水性鋪面形式

設計區別		適用場所	適用條件	鋪設剖面圖	
				面層材料	標準斷面
人行道 路鋪面	步道 I	步道 廣場 徒步區 慢跑步道 腳踏車道	提供行人、腳踏車通行的步道，腳踏車專用道	透水性瀝青 混凝土 連鎖磚 天然砂礫 橡膠屑	
	步道 II	步道入口處 廣場 停車場	輕型車輛、管理用車輛		
車行道 路鋪面	車道 I	車道 步車共存道 路 停車場 商店街 廣場 徒步區	大型車輛通行量小於 10 輛	透水性瀝青 混凝土 連鎖磚	
	車道 II		大型車輛通行量小於 10~55 輛		
	車道 III	重交通程度			

資料來源：山海堂，1991

## 第二節 透水性鋪面結構能力之探討

透水性鋪面在應用上，由於其本身需要保水、以及透水之功能，因此路基及基層土壤長期處於超飽和狀態，將使路基土壤之剪力強度降低，且多孔隙瀝青混凝土之粒料堆積方式則造成鋪面結構抗剪力及抗變形能力之不足，而且技術上目前尚無完善之解決方法和地區性合適之規範，因此不管國內外之透水鋪面，現今大多仍未使用於重交通荷載之道路。

目前國內透水性鋪面之發展仍處於發展研究階段，在國內高度開發，以及都市化的結果使得不透水的區域面積比例增加過高，且近幾年來台灣風災、雨災繁多不透水性鋪面直接影響到地表的保水功能。目前在使用上，透水性鋪面多用於人行專用道，而市區道路，因耐用及地下工程等設施為考量，仍以不透水性鋪面為主。多孔隙瀝青混凝土可用於多雨地區之公路以提高行車安全及舒適性，但仍有部分地區不被建議使用，如落塵量大的道路，因為粒料間孔隙將很快堵塞住、低交通量或慢速車道，因為車速不夠快，車胎無法以高速自淨吸出孔隙內塵土。

透水性鋪面需在透水級配層上鋪設多孔隙瀝青混凝土，使雨水能滲入土壤，下方應設置透水層時，須避免鋪設不透水的黏層，目前為了避免因降雨造成含水量增加而路基變軟，因此目前鋪面主要適用對象為人行道、停車場及輕交通量車道或車流量不高之道路。另外，多孔隙水泥混凝土鋪面之載重能力較受到限制，因滲透係數隨含砂量而不同，會為增加透水性而犧牲強度，多孔隙水泥混凝土因孔隙率高，因此無法承受太大的載重，一般使用於載重較小的區域，如行人廣場、輕交通量車道、及停車場。透水磚鋪面則能增加地表水分滲透量，若搭配植被設計亦可增加綠地之保水性，因無法承受較大的載重，所以只適用於人行步道、公園、及停車場等輕交通量區域。

民國 93 年行政院公共工程委員會為推廣生態工法，因此規劃十起透水性鋪面示範工程。就透水鋪面而言，其面層材料主要可分為高壓透水磚、植草磚、透水瀝青以及透水環保混凝土這些主要面層材料。本研究針對其透水性鋪面示範工程中，以中正大學特定停車場、觀音鄉觀音國小前人行道、新竹橫山內灣停車場車道及台北縣北 91 線人行道之工法進行比較，此四工區已包含常見之透水鋪面型式，其比較表如同表 5-2 所示。

表 5-2 透水性鋪面工法比較表

	觀音國小	橫山	北九一	中正大學
透水鋪面類型	透水磚	面層：透水磚 底層：加勁格網	JW 工法	透水瀝青 植草磚
鋪設位置	人行道	車道 人行道	人行道	停車場
鋪面承載能力	中	高	高	透水瀝青：高 植草磚：中
鋪面所需承載之荷重	輕	重	輕	重
保水方式	半保水	全保水	半保水	半保水
發生之問題	磚塊斷裂 沈陷 磚塊隆起、翹曲、鬆動	未有明確研究報告 本研究單位持續評估其績效中	孔洞阻塞	透水瀝青：阻塞、粒料剝脫、車轍 植草磚：斷裂、鬆動
工程類別	現有工程維護	現有工程維護	現有工程維護	現有工程維護
維修	簡單	簡單	複雜	透水瀝青：複雜 植草磚：簡單
維護方式	簡單	簡單	簡單	簡單

### 第三節 透水鋪面個案分析與探討

面層材料影響鋪面之力學行為甚巨，因此本研究於此根據不同透水性鋪面結構之力學行為特性進行探討，主要分析案例係探討透水瀝青（中正大學特定停車場）、環保透水混凝土鋪面（新店實驗區）以及透水磚鋪面（新竹縣橫山內灣停車場車道）進行其力學行為之分析。

#### 一、透水性瀝青鋪面（中正大學特定停車場）

此工程之設計理念乃為全保水透水性鋪面，因此於停車場四周的擋土牆並無預留排水孔。若遇到豪、暴雨，強大雨量造成之路表面逕流可從邊溝排除外，其餘降雨可從透水性瀝青混凝土與植草磚滲入至路基土壤，以達涵養水資與保養水分。本工程之斷面設計如圖 5-1 所示，車道與停車格之面層使用不同材料外，其

餘斷面接採用 3cm 細砂調整層、土工織物、15cm 級配層與路基之設計。而其鋪面有遊覽車等大型車輛經過，因此大型車輛之荷重對於透水鋪面之影響甚大，並且由於其為透水性鋪面之設計，其界面層為未黏結 (unbonded) 之狀況，然而一般瀝青混凝土鋪面其在施工時，皆有噴灑黏層籍以將其層與層間之界面黏結，以達到其應力傳遞與分佈之效果。本研究於將針對其界面層黏結 (bonded) 與未黏結 (unbonded) 進行分析與探討其力學行為。

根據其斷面圖可得知，其主要為 5 公分 (2 in) 之透水瀝青混凝土下方鋪設 3 公分之墊砂層，以及 15 (5.9 in) 公分之級配層。就柔性鋪面之力學行為而言，其 3 公分之墊砂層並不承受應力之行為，並且在其下方有一層土工織物，如此之設計方式，會使瀝青層與下方之基底層產生未黏結 (unbonded) 之效應，因此本研究於此利用 2 案例進行探討，一為瀝青層與下面基底層黏結 (bonded) 之狀況 (圖 5-2(a))，另一則為現地實例即為當面層與底層未黏結 (unbonded) 之狀況 (圖 5-2 (b))。在材料參數方面根據實驗數據可得知，其底層與路基之 CBR 值分別為 60、7，本研究於此利用 Van Til et al.之轉換圖，進行路基與底層之回彈模數與彈性模數之轉換，其轉換圖亦如同圖 5-3 與圖 5-4 所示。經由轉換後其底層之彈性模數為 25000psi，路基之彈性模數為 7500psi。在排水瀝青混凝土之回彈模數之決定方面，一般而言瀝青混凝土之回彈模數以及柏松比為  $4 \times 10^5$  psi 以及 0.35。由於底層為級配層因此本研究於此假設底層與路基之柏松比皆為 0.4。本研究於荷重方面根據標準軸重 18 kips 做為假設，並且假設其胎壓為 90 psi，因此其單輪之荷重半徑為 5.64 in。就柔性鋪面之力學行為而言，其最大拉應力與應變發生於面層底部，而最大之壓應力與應變則發生在路基之頂部，本研究利用 KENPAVE 程式進行在荷重中心下方 0 in (與荷重接觸面)、2.9 in (面層底部)、8 in (路基頂部) 之力學行為分析，其示意圖如圖 5-2 所示，其分析結果如表 5-3 所示。

根據其分析結果可發現，若為透水鋪面時為保障其透水之效應，因此其瀝青面層在施工時並未噴灑黏層，因此其結果與另一案例即界面層有黏結之結果差異最大到 44%，且中正大學特定停車場此一案例在其墊砂層下方亦有一土工織物更加的減少了其界面層之間之摩擦與應力傳遞之效果，因此未來在進行透水瀝青鋪面之設計時應特別注意界面黏結之問題。

圖 5-1 中正大學停車場透水瀝青斷面示意圖

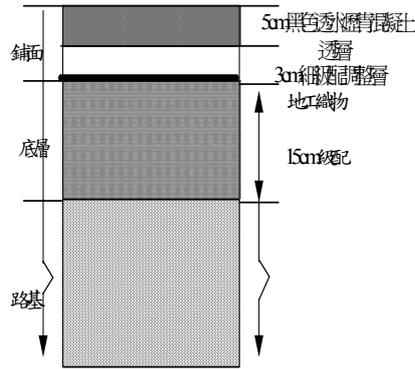
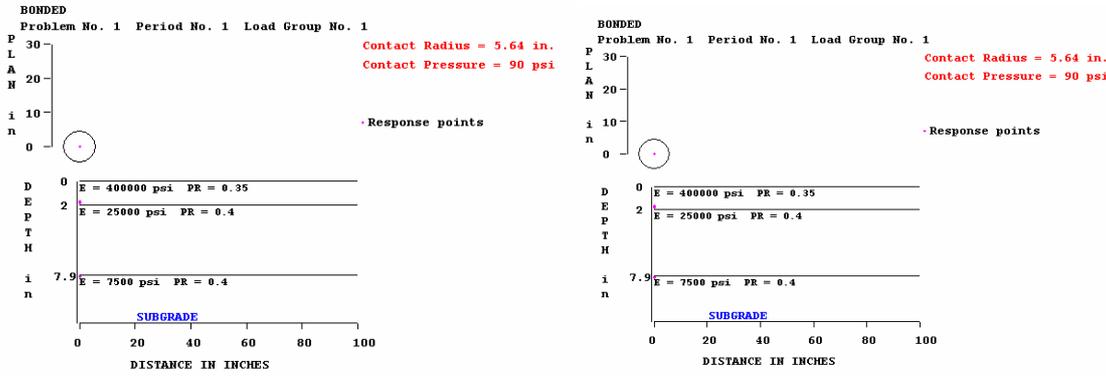


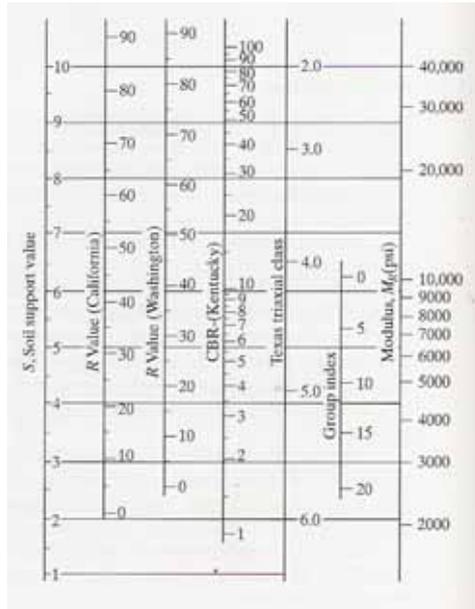
圖 5-2 透水瀝青鋪面分析示意圖



(a) 面層與底層黏結

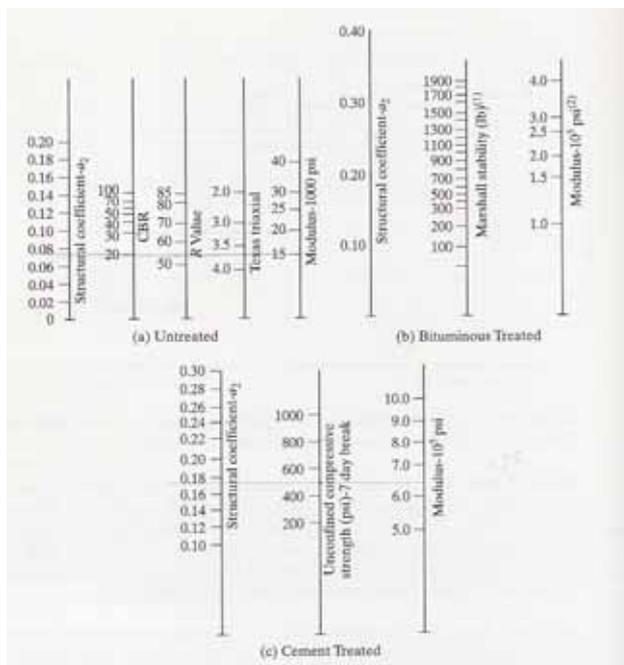
(b) 面層與底層未黏結

圖 5-3 路基土壤強度轉換圖



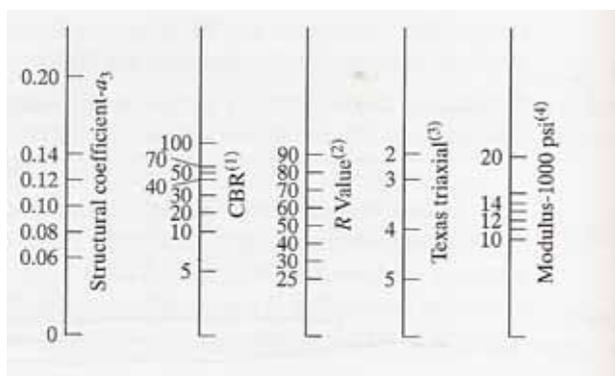
資料來源：Huang, 2004

圖 5-4 底層強度轉換圖



資料來源：Huang, 2004

圖 5-5 基層強度轉換圖



資料來源：Huang, 2004

表 5-3 中正大學特定停車場分析結果

	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPLACEMENT	VERTICAL STRESS	RADIAL STRESS
黏結	0	<b>0.05114</b>	90.000	530.030
	(STRAIN)		-6.119E-04	7.508E-04
	2	0.05062	63.249	296.455
	(STRAIN)		2.598E-03	<b>5.371E-04</b>
	8	0.04023	19.790	0.379
	(STRAIN)		<b>6.769E-04</b>	1.025E-03
未黏結	0	<b>0.06819</b>	90.000	617.192
	(STRAIN)		7.645E-04	8.925E-04
	2	0.06742	62.905	524.050
	(STRAIN)		1.074E-03	<b>9.066E-04</b>
	8	0.05810	30.190	26.393
	(STRAIN)		<b>1.210E-03</b>	5.013E-04

本工程之設計理念乃為半保水透水性鋪面，依據現地觀測井監測儀器所獲資料，94.03.25 至 94.04.01 期間累積降雨量為 218.6mm，94.04.01 土壤含水量達 31%，代表土壤含水量已達飽和。本研究團隊於 94.02.18 曾針對本工程之路基土壤層進行飽和土壤之透水性試驗。由試驗結果發現，本工程之路基土壤若達飽和時，其透水係數非常低。因此雨水過多藉由入滲保留於路基時，會造成路基土壤的鬆軟，圖 5-6、5-7 為過大降雨量，路基土壤以達飽和狀態，水分無法滲透之示意圖。

圖5-6 土壤飽和無法滲入-1



圖5-7 土壤飽和無法滲入-2



鋪面厚度設計與分析皆以水與荷重做為重要參數。水對鋪面底層及路基土壤之穩定性造成相當之影響，另外水亦會造成面層含水量太高而造成瀝青混凝土的剝脫而縮短路面壽命，國外學者 Yoder & Witzack (1975)曾提出地下水若距路面 6ft 以內對路床含水量的影響甚大，反之則影響甚小。AASHTO 設計法中則考慮各季節降雨量之不同，水分造成路基土壤 Mr 折減，因此以有效路基土壤回彈模數作為設計參數。由本工程規劃設計與斷面圖可看出原先本停車場之設計並無供大車的停放與行駛，因此於材料設計上皆以停放小客車為考量，面層底下之 3cm 調整層無法有效抵抗及傳遞大車載重，因此，大車的駛入會造成鋪面材料以超出安全範圍而產生破壞。此外，路基土壤強度衰減亦是加速鋪面破壞原因，如圖 5-8、5-9 示。

由於本工程於服務年限前已產生嚴重之破壞，因此本研究團隊針對此一工程提出改善建議，並且根據其前述之力學分析可發現，其發生破壞之主要為面層底下之 3cm 調整層無法有效抵抗及傳遞大車載重，並且亦由於其土壤含水量過高，而導致路基土壤強度大量衰減。本研究針對此點提出建議，將其 3 公分之調整層以及其不織布移除，改以將原先之透水瀝面層 5 公分變更為 8 公分，並且增加黏層，以維持其應力傳遞之效果，其分析結果如表 5-4 所示。本研究於此亦針對其改善前 (bonded、unbonded) 與改善後進行破壞以及設計年限分析，而在 KENLAYER 中其破壞分析之理論係根據 Miner's Theory (公式 5-1) 進行分析並藉以推估設計年限。一般而言柔性鋪面之損壞模式分析主要以疲勞與車轍為主。本研究於其損壞模式之預測模式採用 AI (美國瀝青協會) 所建議之預測模式進行其予許荷重次數之計算，其道路破壞之定義為當疲勞裂縫之數量為「當道路輪跡處產生 45% 之疲勞裂縫，亦即整個車道之面 20%」時即為疲勞破壞，而車轍之破壞定義為「當車轍深度為 1.3 公分 (0.5 英吋) 時，即視為道路破壞」，其疲勞與車轍之預測模式分別如公式 5-2 與公式 5-3 所示。而在其設計預期重覆荷重次數之決定，由於其為停車場，並且本研究團隊亦曾針對其進出車輛之數量進行初步之統計發現，其於星期六、日大客車每次進出量約為 40~50 輛，且國內並無大客車之軸重當量值因此本研究初步假設其每年需承受 5000 次單軸單輪標準 18000 lb 荷重之作用，其分析結果如下表 5-5 所示。

圖5-8 重車輾壓沉陷



圖5-9 路面推擠



表 5-4 置換 8 公分透水瀝青面層力學分析結果表

	VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPLACEMENT	VERTICAL STRESS	RADIAL STRESS
面層置 換 8cm 透水瀝 青 (黏結)	0	<b>0.04098</b>	90.000	419.633
	(STRAIN)		-4.187E-04	5.714E-04
	3.15	0.04051	39.668	-267.680
	(STRAIN)		5.676E-04	<b>-4.697E-04</b>
	9.05	0.03358	13.725	-19.834
	(STRAIN)		<b>1.184E-03</b>	-6.956E-04

$$D_r = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m \frac{n_{i,j}}{N_{i,j}} \quad (5.1)$$

式中：

$n_{ij}$ ：為時期 i 荷重 j 的預期重複荷重次數

$N_{ij}$ ：為根據疲勞模式所計算出允許荷重重複作用次數

$$N_f = 0.0796 \varepsilon_t^{-3.291} |E^*|^{-0.854} \quad (5.2)$$

式中

$N_f$ ：允許荷重次數

$\varepsilon_t$ ：瀝青層底部最大拉應變

$E^*$ ：瀝青層之彈性模數

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} \varepsilon_c^{-4.477} \quad (5.3)$$

式中：

$N_d$ ：允許荷重次數

$\varepsilon_c$ ：路基層頂部最大壓應變

表 5-5 破壞分析結果表

	最大 拉應變	最大 壓應變	疲勞 損壞比	車 轍 損壞比	預估壽年 (疲勞)	預估壽年 (車轍)
5 公分透水瀝 青面層 (unbonded)	-8.260E-04 瀝青底部	3.384E-03 路基頂部	2.729E-01	<b>3.186E+01</b>	3.66 年	0.03 年
5 公分透水瀝 青面層 (bonded)	-5.371E-04 瀝青底部	2.630E-03 路基頂部	6.619E-02	<b>1.030E+01</b>	15.11 年	0.1 年
8 公分透水瀝 青面層 (bonded)	-4.872E-04 瀝青底部	1.785E-03 路基頂部	4.802E-02	<b>1.816E+00</b>	20.82 年	0.44 年

根據表 5-5 可發現，當其利用 5 公分透水瀝青面層加上 3 公分調整層與不織布時，由於其界面層並未黏結 (unbonded)，且其無法有效傳遞應力，因此其在極短時間內即會造成破壞，而若將其調整層與不織布移除，改利用黏層則可有效增加其服務壽年，本研究由於其產生之嚴重破壞提出將面層改為 8 公分透水瀝青並增加黏層之方法其不僅可有效傳遞應力，並且亦大幅增加其使用年限，而由於本研究僅針對其設計荷重次數進行初步之假設，主要為探討其鋪面結構力學之行為，因此未來若欲更真切探討其預估壽年則需擁有更精確之交通量資料。

## 二、環保透水混凝土鋪面工法 (新店實驗區)

環保透水混凝土鋪面乃國人自行所研發，此種鋪面是在地面鋪設時使用級配層先鋪設一層「副集水透水層」，在於上方使用較大之卵石或粗砂層鋪設「主水流空調層」，之後再加上埋設單位架構之「導水管組合」及灌注細粒料的混凝土主體架構，而其強度需為 3000 psi 以上，雖然其為一連續澆置之混凝土鋪面 (圖 5-10)，其力學行為可視為類似於剛性鋪面，因此本研究於此利用 Westergaard

版理論配合有限元素法程式 ILLI-SLAB 進行其力學行為之分析。

在其力學參數方法，本研究於過去已針對新店透水鋪面實驗區進行基底層以及路基土壤之 CBR 值試驗，本研究於此利用 Van Til et al.之轉換圖進行其彈性模數之轉換，爾後再利用 AASHTO 93 Design Guide 剛性鋪面設計法中之路基土壤轉換圖進行 K 值之轉換，其基層之厚度為 25 公分 (10 in.)，其轉換後 K 值為 pci，其強度轉換圖如同圖 5-12 所示。表 5-6 即為其 CBR 值轉換結果表。而由於本研究將環保混凝土透水鋪面之力學行為視為剛性鋪面，而由於其為連續式鋪築，其狀況類似於「連續式混凝土鋪面」，然而其環保混凝土鋪面中並無鋼筋，因此本研究於此將其視為「無筋式混凝土鋪面」進行分析，在「無筋式混凝土鋪面」中其版長對鋪面之力學行為亦有其影響，而如同前述其為連續鋪築，因此可利用 Ioannides 之建議將其視為無限版長，亦即其版長大於 8 倍之相對勁度半徑 ( $\ell$ )，其相對勁度半徑之公式如同公式 5-4 所示。混凝土版之彈性模數採用 ACI 建議之公式將抗壓強度轉換為彈性模數  $E_c$ 。經由公式 5-5 轉換後其彈性模數  $E_c$  為  $3.1 \times 10^6$  psi，根據以上所得之複合路基反力模數 750 pci，已知新店實驗區之環保透水混凝土厚度 15 公分 (5.9 in.)，混凝土柏松比 0.15 即可求得相對勁度半徑  $\ell$  為 16.4 英吋，因此其分析之版長即為 131.2in。

本研究根據以上所得之條件使用 ILLI-SLAB 有限元素法程式進行分析，於此利用 9000 lb 之荷重，配合溫式基礎 (Winker Foundation) 進行模擬，並採用正方形版之方式根據中央荷重、邊緣荷重以及角隅荷重進行其最大撓度以及最大拉應力進行分析，其結果如表 5-7 所示。本研究亦利用 Westergaard 理論解公式對其應力行為進行驗證，其如同表 5-7 所示。其最後比較表如表 5-9 所示。根據其比較結果可發現，其與 Westergaard 理論解相差皆在誤差範圍內，並且觀察其結果可發現，其與剛性鋪面之力學反應行為相同，亦即當荷重在邊緣時其造成之應力最大，而當其荷重在角隅時其撓度最大。因此在未來若將此一透水鋪面型式應用於車道或停車場時，應特別注意其入口處以及與路肩相接處，因為根據其分析結果，邊緣之應力為最大最容易造成混凝土版塊產生裂縫，而入口處角隅因其撓度、變位最大因此容易造成其角隅斷裂以及唧水現象之產生。

圖 5-10 環保透水混凝土鋪面



圖 5-11 剛性鋪面荷重區域示意圖

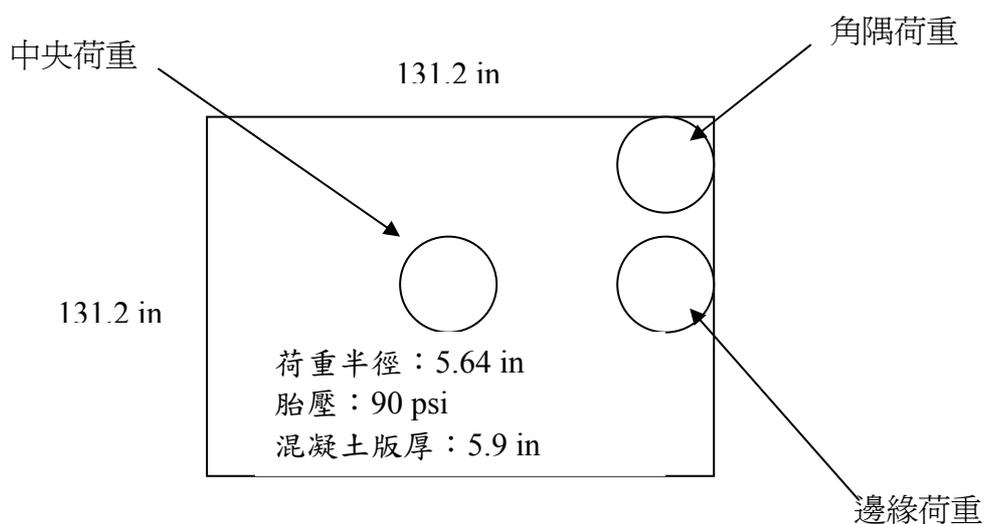


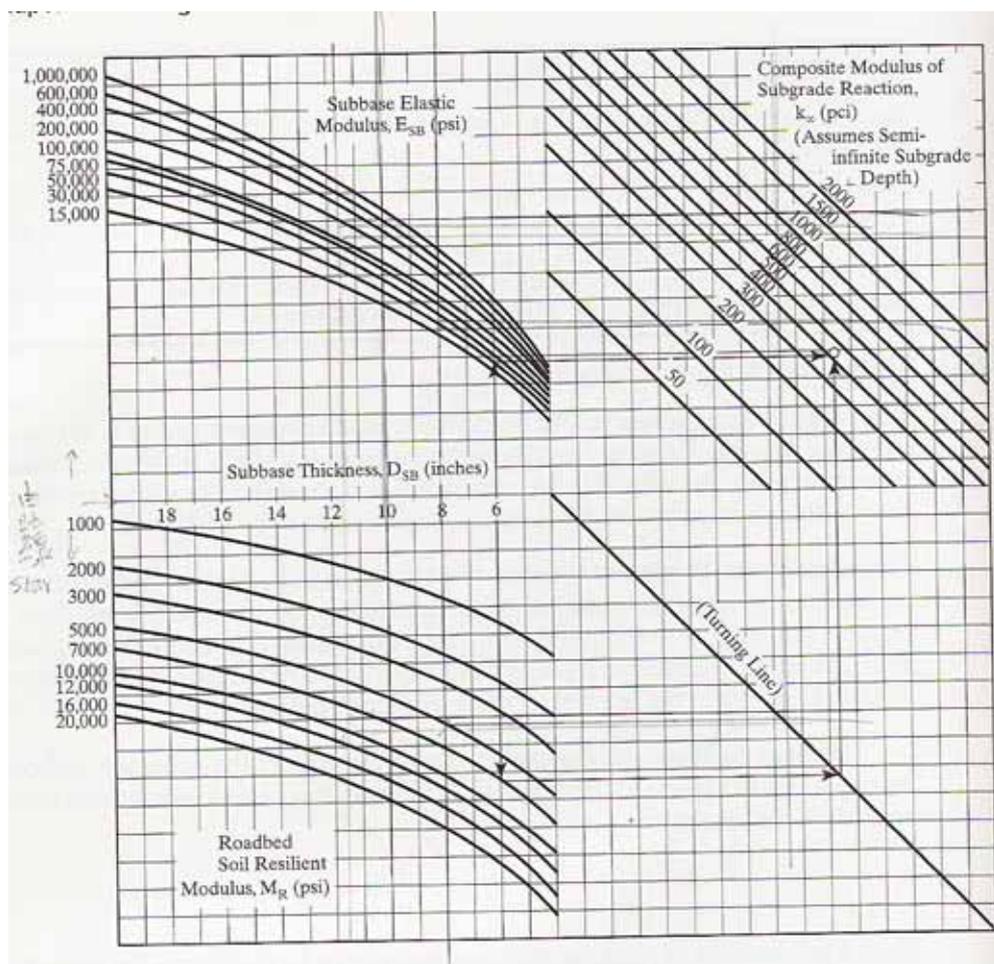
表 5-6 CBR 值強度轉換結果表

	CBR值	轉換後彈性模數/回彈模數
基底層	65	19000 psi
原土層	42	8000 psi

表 5-7 ILLI-SLAB 分析結果

荷重區域	最大撓度(in)	最大應力(psi)
中央	.005418	243.666
邊緣	.014873	442.032
角隅	.036550	233.440

圖 5-12 複合土壤反力模數 K 轉換圖



資料來源：Huang, 2004

表 5-8 版理論應力、撓度計算結果表

輸入資料		單位	應力與撓度計算		單位
單輪載重	9000	lb	Westgaard 邊緣應力公式	425.3	psi
胎壓	90	psi	Westgaard 邊緣撓度公式	0.014	in
混凝土版彈性模數	3100000	psi	Westgaard 角隅應力公式	272.3	psi
版厚	5.9	in	Westgaard 角隅撓度公式	0.030	in
路基土壤反力模數	750	pci	Ioannides 角隅應力公式	243.6	psi
$\mu$	0.15		Ioannides 角隅撓度公式(1985)	0.036	in
相對徑度半徑	<b>16.402</b>	in	Westgaard 中央應力公式	248.4	psi
A	<b>5.642</b>	in	Westgaard 中央撓度公式	0.005	in
版長 L	131.2	in			
版寬 W	131.2	in			

註：表中 Ioannides(1985)為 Ioannides 於 1985 年利用有限元素法進行 Westergaard 角隅理論解公式進行修正之修正公式。

表 5-9 有限元素法與理論解應力、撓度比較表

荷重區域		應力(psi)	相差百分比	撓度(in)	相差百分比
中央	Westergaard	248.4	--	0.005	--
	ILLI-SLAB	243.7	2	0.005	0
邊緣	Westergaard	425.3	--	0.014	--
	ILLI-SLAB	442.0	-4	0.015	-7
角隅	Westergaard	272.3	--	0.030	--
	ILLI-SLAB	233.4	14	0.037	-23
角隅	Ioannides	243.6	--	0.036	--
	ILLI-SLAB	233.4	4	0.037	-3

註：表中相差百分比為（理論解值-有限元素法值）/理論解值

$$\ell = \left[ \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)k} \right] \quad (5.4)$$

式中：

$\ell$ ：相對勁度半徑

E：混凝土彈性模數

h：混凝土厚度

$\mu$ ：混凝土柏松比

k：路基反力模數

$$E_C = 57000\sqrt{f'_c} \quad (5.5)$$

式中：

$E_c$ ：混凝土版彈性模數

$f'_c$ ：混凝土抗度強度

### 三、高壓透水磚（新竹縣橫山內灣停車場車道）

此一鋪面主要採用高壓透水磚做為其面層，但其與一般透水磚鋪面工程最大不同之處在於，其為克服透水鋪面之沉陷問題，並為能同時兼顧透水性的保水、透水之優點，因此在其基底層採用蜂巢防陷格網。此種鋪面經壓實後，透過磚縫間的接縫砂(joint sand)提供的連鎖效應，可將荷重傳遞到周圍相互接合的鋪磚，並可降低在基層和路基土壤上的壓力，鋪面設計原理與柔性鋪面類似。

連鎖磚鋪面 (Interlocking Concrete Pavements)包括有壓實的路基土壤、粒料層和底層砂。並將接縫都填滿砂。這些接縫砂能因為剪力作用造成連鎖效應及轉移荷重平均分布到周圍相互接合的磚上。在使用上，瀝青混凝土鋪面在使用幾年時間之後就需要處理它的表面使其恢復抗滑性，而與瀝青材料不同的地方是連鎖高壓磚之抗滑性在使用數月後即趨穩定不需處理。本研究於此利用多層彈性理論之方式針對新竹縣橫山內灣停車場車道之案例進行分析。

根據其施工規範以及設計圖說，可得知其設計斷面為 10 公分之高壓連鎖磚，5 公分之墊砂層，以及 10 公分之蜂巢格網做為底層，其要求之 CBR 值皆需大於 90，然而蜂巢式格網應用於底層對於鋪面力學行為之影響並無評估，因此本研究於此將其假設為 CBR 值為 95，而在路基方面其 CBR 值之規定為 90 以上，因此本研究於此假設其 CBR 值為 90，本研究亦利用 Van Til et al 之轉換圖進行其彈性模數以及路基反力模數之轉換，轉換後其底層彈性模數以及路基回彈模數分別為 45000 psi 以及 41000 psi，而由於其力學效應類似於柔性鋪面，因此本研究利用多層彈性理論進行分析之，根據國外文獻其墊砂層視為與上方連鎖磚同一層，因此其面層之厚度為 15 公分 (5.9 in)，底層厚度則為 10 公分 (4 in)，如同前述柔性鋪面之力學行為，其最大拉應力與應變發生於面層底部，而最大之壓應力與應變則發生在路基之頂部，本研究於荷重方面亦同前根據標準軸重 18 kips 做為假設，並且假設其胎壓為 90 psi，因此其單輪之荷重半徑為 5.64 in。后程式模擬方面亦採用利用 KENPAVE 程式進行在荷重中心下方 0 in (與荷重接觸面)、5.9 in (面層底部)、10 in (路基頂部) 之力學行為分析，其示意圖如圖

5-13 所示，其分析結果如表 5-10 所示。

由於本研究於此將其假設為柔性鋪面，因此利用多層彈性理論進行分析，並且由於其為透水性鋪面因此假設其界面為非黏結 (unbonded) 進行其力學行為模擬，將其分析之結果與中正大學特定停車場之透水瀝青混凝土鋪面相比較，雖然其界面未連續，但其應力、應變可發現不論是最大拉應力、最大拉應變、最大壓應力以及最大壓應變皆遠小於其結果，其主要原因為主要如下：

- 1、其分析面層厚度連鎖磚之厚度遠大於透水瀝青之面層厚度。
- 2、由於橫山鄉車道採用蜂巢格網做為其底層，由於蜂巢格網可有效增加底層之強度，因此其 CBR 值亦遠大於中正大學所採用之底層材料。然而蜂巢加勁格網之真正力學行為尚未有相關學術文獻，因此未來將朝向其力學效應以及對鋪面之影響做一探討。

圖 5-13 連鎖磚鋪面分析示意圖

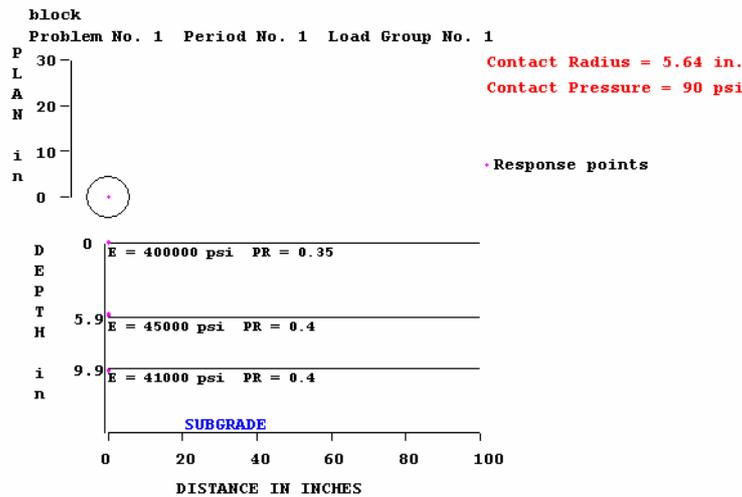


表 5-10 連鎖磚分析結果表

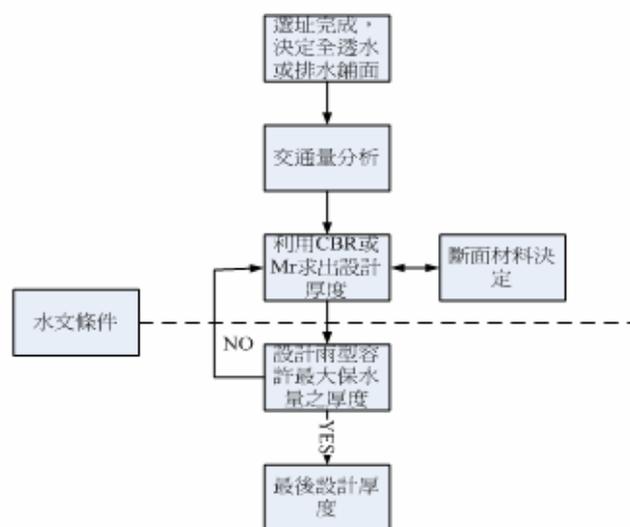
VERTICAL COORDINATE	VERTICAL DISPLACEMENT	VERTICAL STRESS	RADIAL STRESS
0	<b>0.00963</b>	90.000	190.375
(STRAIN)		-1.754E-05	1.989E-04
2	0.00874	26.917	-105.344
(STRAIN)		3.795E-04	<b>-1.947E-04</b>
8	0.00692	16.482	1.155
(STRAIN)		<b>2.516E-04</b>	-1.439E-04

#### 四、透水性鋪面設計方法之構建

透水性鋪面在應用上，由於其基底層缺少承載荷重之能力，因此多用於人行道，而本研究於前針對其承受荷重之行為進行探討，本研究於此針對其應用於車道之鋪面設計方法進行初步之建議。

本研究在設計法之考量上在透水瀝青部份其已有 AASHTO 或是 AI 設計方法可供參考，其差異在於基底層浸水之強度，以及其是否使用黏層。而本研究於此先行以透水磚鋪面為例進行建構，在其設計方法方面將先以美國連鎖磚鋪面協會與 Interpave 所建議之設計流程配合 Interpave 做為參考依據，並將降雨量以及力學分析之觀念導入研究中所建議之設計流程，其流程如同圖 5-14 所示。研究中利用 AASHTO 柔性鋪面設計方法，評估透水性鋪面和連鎖磚及透水磚設計為路基之厚度。加上利用設計雨型之觀念，判斷設計斷面之保水量是否為合乎設計要求，目前一般設計之保水量約一公尺厚度約可以保存 15 公分以上之高度水量。設計上由一小時之降雨延時所降下之雨量評估，以目前滲透指數約 3 成左右，對一小時設計降雨量之滲透量對所設計透水性鋪面厚度是否能承受，圖 5-14 為設計流程圖，未來後續研究將進行降雨強度和入滲量之關係，應用鋪面力學之概念，配合現地檢測之結果建立一力學/經驗相結合之透水鋪面設計法。在未來將更一步探討各種不同透水鋪面面層型態之力學與水力傳導行為進行分析，建構出一適合台灣地區之透水鋪面設計方法。

圖 5-14 台灣透水鋪面設計流程圖



#### 第四節 本章小結

綜觀國內與國外之透水鋪面設計方法，國內在透水性鋪面之設計上並未考量到其力學之機制，並且亦未考量其應用於車道以及停車場之狀況。而在國外有許多之學術單位已針對透水鋪面之力學效應以及保水效應進行探討，其中已考量將透水鋪面應用至廣場、停車場以及輕交通量之車道等。並且根據英國之 Interpave 設計手冊中亦可發現，其已經降雨量之觀念導入設計方法中，而在國內之人行道設計方法上僅考量到鋪面材料之滲透能力，而本研究於第二期計畫中，已針對國內之雨型進行分析，未來可針對已分析之雨型其對於鋪面之影響進行探討，並且配合鋪面力學之機制進行更進一步之探討。

中正大學特定停車場主要採用透水瀝青面層，配合全保水基底層做為其主要設計理念，因此其面層與底層之間並未黏結，而以同樣斷面同樣材料參數之柔性鋪面差異僅在界面層為黏結，當其界面為黏結時，其應變最多可減少 44%，並且在中正大學特定停車場案例方面其在墊砂層下面又多加一不織布其更減少層與層間之摩擦力以及荷重傳遞能力，因此未來在進行透水性鋪面之設計時，更應多加考量其力學行為，以防止其設計錯誤而導致鋪面提早破壞。

由於環保透水混凝土鋪面其於國內外並無一完整之力學分析與評估報告，因此本研究於此先將其視為均質之混凝土版。且由於其為連續澆置之混凝土鋪面，但其中並且鋼筋因此本研究將其視為接縫式混凝土鋪面，且由於其係屬於連續性之澆置因此將其視為無限版長，未來將針對其導水孔以及水泥砂漿填充其界面層之影響做一力學評估，以更接近現實之狀況。

新竹縣橫山內灣停車場車道為抵抗透水性鋪面沉陷之問題，採用連鎖磚鋪面配合蜂巢式加勁格網此一新工法，其對於透水性鋪面之力學效應，未來可利用有限元素法更進一步針對其力學特性做探討。

## 第六章 透水鋪面施工及養護規範草案之研擬

### 第一節 目前國內透水鋪面現有規範之探討

本章討論目前國內現有之透水鋪面設計規範並嘗試做出相關之建議，常見之透水鋪面形式有，多孔隙瀝青混凝土、非連續拼接或鏤空的鋪面、無細骨材混凝土鋪面、JW 工法等，以下將分別探討其規範。表 6-1 為參考內政部建築研究所「綠建材解說與評估手冊」目前常見之透水鋪面。

表 6-1 透水鋪面種類

類別	常見透水鋪面	說明
一	單元塊磚鋪設透水鋪面(軟底施工)常用的非連續拼接之鋪面設計：如透水磚、連鎖磚、植草磚等	塊狀材料所構成，其構工法能有效維持滲透至下層土壤之滲透性。
二	現場整體澆置之透水鋪面(硬底施工)如：透水性瀝青、透水性混凝土、多孔性凝板構造、透水性樹脂混合天然石砂粒等。	透水性能主要由表層材料本身孔隙來達成。
三	單元塊磚表層+沙層+透水基層(硬底軟面)	兼顧表層磚抗壓及透水硬底性態。
四	其他型透水鋪面 如：具透水管之鋪面	其他由構造設計之多孔性透水鋪面，可達透水要求。

資料來源：綠建材解說與評估手冊，2005

#### 一、多孔隙瀝青混凝土

孔隙瀝青混凝土需要以粗骨材間之互相接觸而獲得其強度及排水性能，對於骨材的要求比傳統密級配瀝青混凝土要嚴格。由於其骨材級配中，粗骨材佔了大部分的比例(約 85%)，因此特別需要注重粗骨材對瀝青的附著性、抗磨耗性、抗破碎及抗磨損性、抗凍融能力，以及骨材間的互鎖(interlocking)。粗骨材的扁平率若越高，其滲透係數有降低的傾向；骨材破碎則會導致骨材的脫落、鬆散，並會阻塞孔隙。而粗骨材粒徑均一化的使用，則可增加滲透係數。因此在考量經濟性、料源獲得、砂石廠設備等考量上，應儘量選擇品質較高的砂石。骨材之級配

影響排水性鋪面之滲透係數及排水能力甚劇，為了達到預期之孔隙率(一般約20%)，級配使用大量的粗骨材，細骨材量必須少(約10%)，以避免阻塞孔隙。一定量的填充料則為必須(約5%)，以提高多孔滲透瀝青混凝土牆度、提高瀝青黏滯性、增加瀝青膜厚度。表6-2為各國多孔滲透瀝青混凝土之級配建議。

表 6-2 各國多孔滲透瀝青混凝土級配設計

粒徑範圍/通過百分比		日本排水性鋪裝技術指針		日本瀝青鋪裝要綱	西班牙 P 級配	西班牙 PA 級配	瑞典 DRAINOR12	瑞典 DRAINOR16	台灣
篩號	(mm)								
1"	25.0	100							
3/4"	19.0	95-100	<b>100</b>	100	100	100	100	100	<b>100.0</b>
1/2"	12.5	64-84	<b>90-100</b>	90-100	75-100	70-100	88-100	53-67	<b>90-100</b>
3/8"	9.5				60-90	55-80	53-67	26-40	
#4	4.75	10-31	<b>11-35</b>	11-35	32-50	15-30	20-30	17-27	<b>11-35</b>
#8	2.36	10-20	<b>10-20</b>	8-25	10-18	10-22	8-15	8-15	<b>10-20</b>
#16	1.18						7-14	7-14	
#30	0.60			5-17	6-12	6-13	6-12	6-12	
#50	0.30			4-14			5-10	5-10	
#100	0.15			3-10			4-8	4-8	
#200	0.075	3-7	<b>3-7</b>	2-7	3-6	3-6	3-6	3-6	<b>3-7</b>

資料來源：可滲透式人行鋪面材料及施工方法(<http://www.fuh3.com.tw/pressed6.htm>)

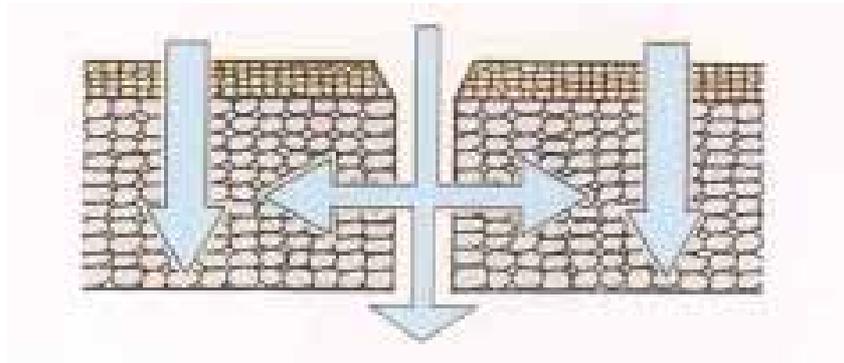
由表6-1可以看出其實國內透水瀝青混凝土鋪面之配比是參考日本鋪裝技術指針，但日本與台灣之氣候、雨量都大不相同是否真的適用於台灣的鋪面事實上還需多加驗證，故台灣目前透水瀝青混凝土之級配是還有再本土化的空間。

## 二、非連續拼接或鏤空的鋪面(透水磚、植草磚、連鎖磚)

這部份本研究主要探討的是透水磚與植草磚，這兩種鋪面在台灣應用最廣，非連續拼接鋪面設計，在鋪面與鋪面間有很大的間隙可填入砂土，儘管路基可能打入不透水之混凝土層，但仍然提供了一些植被生長的機會。而鏤空的路面，如植草磚，則直接提供植被生長的環境，使得人車行走於上面，而不至於造成植被壞死。

非連續拼接的鋪面其接縫寬度之範圍約在 20 至 35mm，接縫之建造方式可以人工排列或是以永久性之間隔物(spacer)來控制。此種型式的鋪面可以承受較大的載重，因此可用於中度載重量的停車區域。鏤空的鋪面一般以植草磚較為人所知，但若要求較高的透水率時便不應植草，此種鋪面可承受較多孔鋪面與非連續拼接鋪面為大的載重量。

圖 6-1 透水磚透水形式



表層鋪設透水磚，級配層部分已粗顆粒骨材，底層採特殊規格骨材，使強度可到達需求，合乎規範，並且讓雨水可以迅速經透水專傳至路床，目前國內透水磚品質的要求，天然石面層採用大理石、蛇紋石、紅化石、寒水石等堅硬耐久之天然石，厚度應在 8mm 以上，其磚體不得產生裂紋而影響強度及其特性。透水磚之長度及寬度之尺度許可差應為標示尺度 $\pm 2\text{mm}$ ，厚度許可差為標示厚度之 $\pm 3\text{mm}$ 啊,厚度在 80mm 以下者，不得有高度超過 2mm 之瑕疵突出物；厚度超過 80mm 者，不得有高度超過 3mm 之瑕疵突出物。其透水係數要在  $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$  以上，抗壓強度應符合  $170 \text{ kgf/cm}^2$  以上。

表 6-3 透水磚之規範要求

透水磚	材質	厚度	透水係數	抗壓強度	吸水率
規翻要求	採用大理石、蛇紋石、紅化石、寒水石等	應大於 8 mm	應大於 $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$	應大於 $170 \text{ kgf/cm}^2$	應大於 5%

本研究建議之透水磚強度之規範應依使用功能，建議之強度規範如下表表 6-4。

表 6-4 本研究建議透水磚之強度規範

使用範圍	停車場(小型客車)	(輕交通量)機車、腳踏車	人行步道
透水磚	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 170 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓 > 140 kgf/cm <sup>2</sup>

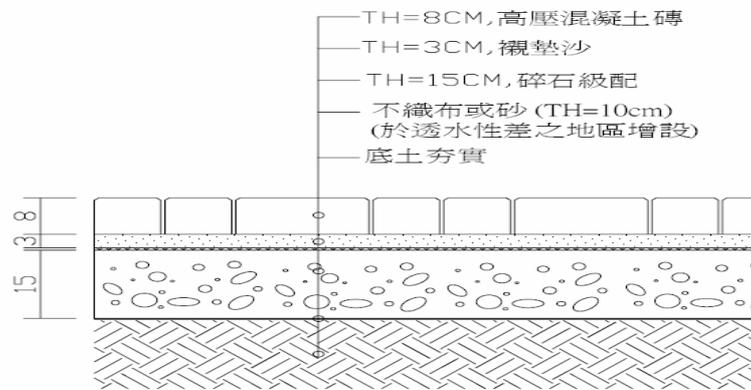
圖 6-2 透水磚鋪設後之現況



資料來源：<http://www.teamjoy.com.tw/k-2.htm>

透水磚之施工標準斷面圖如下圖圖 6-3 所示，一般透水磚鋪設常於其級配層下方鋪設不織布，國內目前人行道之施工方式有乾式與濕式兩種。乾式施工法之施工方式為先將基底土壤夯實後，於其上鋪設碎石級配層，級配層夯實後再於其上鋪設地工用不織布，將不織布固定後鋪設襯墊砂，而後將混凝土鋪面磚置於襯墊砂、上，以振動夯實機來回夯實，最後將剩餘細砂掃回縫隙中便完成了，因施工中並未使用水泥等膠結料，所以稱為乾式施工法。而濕式施工法先以 140 kg/cm<sup>2</sup> 混凝土取代碎石級配層，再以 1.5 至 2 公分之水泥砂漿平鋪其上供黏貼高壓混凝土磚或其他非連續性拼接鋪面磚。目前台北市已自八十五年度起以美觀、安全、無障礙之原則辦理規劃設計。並逐年編列預算辦理人行道更新工程，目前使用材質為厚實之混凝土塊磚採用濕式施工法，提供行人通行之便利，並降低因底層碎石級配及襯墊砂流失所造成之損壞。至於一般零星損壞，目前採用 210 kg/cm<sup>2</sup> 凝混凝土為面層材料辦理修復工作。不論是以混凝土塊磚或是凝混凝土為面層材料，均是採取濕式施工法。

圖 6-3 透水磚鋪面斷面圖



資料來源：自行車道設施設計準則彙編，2004

### 三、透水混凝土（無細骨材混凝土，No-fines concrete）

潘昌林與鄭瑞濱在透水混凝土與工程應用介紹文章中提到，透水混凝土一般被定義為一種含有狹窄級配之粗骨材、微量或無細骨材、且無足量水泥漿之混凝土材料。其以配比設計與製程控制其特性以達合適強度、高透水性、無析離等工程需求，主要作為無需壓密之回填材料或水工結構物，抗壓強度約在 200 psi（1.5 Mpa）至 2000 psi（14 Mpa）之間。其與一般混凝土（NC）相比，具有下列的特點：

1. 透水混凝土比重一般約在  $1400\text{kg/m}^3 \sim 1900\text{kg/m}^3$  間。
2. 熱傳導係數小。
3. 水的毛細現象不顯著。
4. 水泥用量少。
5. 成型時側壓力小，可使用各種輕型模版。
6. 表面存在蜂窩狀孔洞，表面抹平施工方便。

此外，透水混凝土靠自重下料即可成型，施工簡易而方便，對於工人的施工技術要求不高更是其主要特色。

#### (1) 無細骨材混凝土的使用材料與配比設計原則

透水混凝土使用的材料是由一般的水泥、粗骨材和水拌合而成，有時也會加入少量的砂。粗骨材可以是碎石、卵石，也可以是人造輕骨材或再生骨

材、工業的爐渣廢料以及其它強度較高的建築廢棄物等。其強度的發揮性，藉著粗骨材表面的一般水泥漿體，使之骨材表面接觸互相固結，形成多孔隙的結構體，因此具有相當大的透水性。使用之水泥、骨材等之要求如下表 6-5 所示。

透水混凝土之配比，除力學強度之外，一般透水係數為性能的指標。故配比設計時，先將使用骨材之乾擣單位重求出，從而求取骨材中存在的孔隙。而後，依據需要強度，填充少於總孔隙體積但不同體積含量的水泥漿體，即可完成配比的設計。一般的設計流程整理如下圖 5-14 設計流程圖。

表 6-5 透水混凝土規範要求

原料名稱	規範要求
水泥	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 滿足國家要求者</li><li>2. 使用的粒徑越小，水泥顆粒亦應相應變小。</li></ol>
骨材	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 粗骨材應為單一級配。如 10mm~20mm、10mm~30mm 等不宜小於 5mm 或大於 40mm。</li><li>2. 碎石型粗骨材之針、片狀總量最好小於 15%，骨材含泥量不宜大於 1%。</li><li>3. 亦可使用再生骨材、人造骨材等。</li></ol>

資料來源：公共工程施工綱要規範第 02794 章，2003。

上述之配比設計中，使用漿體量的多少為強度與透水性能的最大變數。漿體的水灰比，對於透水混凝土整體性能的表現，無太大的助益，其扮演骨材與骨材接觸點間的黏裹角色。一般水灰比的選取以能充分黏裹骨材、不產生流失為原則，約在 0.35~0.55 間。使用漿體充填孔隙體積的量，從總孔隙體積的 30%~70% 皆可，依據要求強度而定。當然，隨填充孔隙漿體的增加，其透水能力亦隨之遞減。

透過上述的設計方法，使用 20 mm 標稱骨材粒徑、0.35 水灰比，並填充 70% 總孔隙體積含量的水泥漿體狀況，並灌至 Ø10×20 的圓柱試體進行試驗，其約可達到抗壓強度 140kg/cm<sup>2</sup>、MOR 強度 17kg/cm<sup>2</sup> 以及透水係數 4.5 × 10<sup>-2</sup>cm/sec 等性能。

表 6-6 無細骨材混凝土水泥之配比設計參考

水泥：骨材	水灰比	水泥 kg/m <sup>3</sup>	用水量 kg/m <sup>3</sup>	碎石 kg/m <sup>3</sup>
1：10	0.364	157	57	1570
1：10	0.582	152	88	1520
1：12	0.408	133	54	1597
1：15	0.41	107	44	1598
1：8	0.35	201	70	1608
1：10	0.36	158	57.5	1580

資料來源：可滲透式人行鋪面材料及施工方法(<http://www.fuh3.com.tw/pressed6.htm>)

#### 四、JW 生態工法

JW 生態工法其實原本是應用於河川床及邊坡改良方面近幾年，將此工法應用於透水鋪面，此工法之面曾為一般之水泥混凝土，於一般不透水鋪面之差異為面曾留有孔洞，於基底層設有一空調導水管，將表面逕流導至碎石層、級配層儲水。

圖 6-4 空調導水管



資料來源：經濟部水利署水工試驗所

(<http://www.wpeiic.ncku.edu.tw/resources/resourcesindex.htm>)

目前國內透水鋪面抗壓強度比較以此工法的抗壓強度最強，因為其表面為一般水泥混凝土，其抗彎強度也較其他鋪面良好，但其工法價格昂貴，每平方公尺價格為其他鋪面之 4 至 5 倍，於國內推行不易。其維護方式是以高壓水柱沖洗表面之預留孔，清洗空調導水管之堵塞物即可，如圖 6-6 所示，若是表層之混凝土破壞，則須依切縫整塊移除修補。

表 6-7 透水鋪面抗壓、抗彎強度比較

透水鋪面種類	抗壓強度	抗彎強度
透水瀝青鋪面	350 kgf/cm <sup>2</sup>	N/A
透水混凝土	140 kgf/cm <sup>2</sup>	N/A
透水磚	170 kgf/cm <sup>2</sup>	N/A
JW 工法	210~1980 kgf/cm <sup>2</sup>	15~60 kgf/cm <sup>2</sup>

資料來源：經濟部水利署水工試驗所

(<http://www.wpeiic.ncku.edu.tw/resources/resourcesindex.htm>)

圖 6-5 高壓水柱沖洗堵塞物



資料來源：經濟部水利署水工試驗所

(<http://www.wpeiic.ncku.edu.tw/resources/resourcesindex.htm>)

## 第二節 基地保水指標之探討

目前國內煮透水指標的計算是依據 2003 年內政部建築研究所的綠建築解說與評估手冊中之基地保水性能指標與基準，目前國內要推動透水鋪面，但本研究建議將透水鋪面從功能性上去探討，將常用保水設計之內容修改草地、為半保水鋪面、全保水鋪面。以透水鋪面而言，必須還要配合其他保水設計相互配合。

表 6-8 各類保水設計之保水量及變數說明

項目	各類保水設計之保水量 $Q_i(m^3)$	保水量 $Q_i$ 計算公式	變數說明
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量	$Q_1=A_1 * k * t$	$A_1$ ：綠地、被覆地、草溝面積( $m^2$ )
	全保水透水鋪面設計保水量 $Q_1$	$Q_2=A_2 * k * t$	$A_2$ ：透水鋪面面積 ( $m^2$ )
	半保水透水鋪面設計保水量 $Q_2$	$Q_3=A_3 * k * t + 0.15h * A_3$	$A_3$ ：透水鋪面面積( $m^2$ ) $h$ ：透水鋪面基層厚度(m)
特殊保水設計	人工地盤花園儲集設計保水量 $Q_3$	$Q_4=0.05 * V_4$	$V_4$ ：人工地盤花園土壤體積( $m^3$ )
	地面貯集滲透設計保水量 $Q_4$	$Q_5= A_5 * k * t + V_5$	$A_5$ ：貯集滲透空地面積或景觀貯集滲透水池可滲透面積( $m^2$ ) $V_5$ ：貯集滲透空地可貯集體積或是景觀貯集滲透水池高低水位間之體積( $m^3$ )
	地下礫石滲透貯集保水量 $Q_5$	$Q_6= (A_6 * k * t) + 0.2 * V_6$	$A_6$ ：礫石貯集設施地表面積( $m^2$ ) $V_6$ ：礫石貯集設施體積( $m^3$ )
	滲透排水管設計保水量 $Q_6$	$Q_7= (2.0 * k * L * t) + (0.069 * L)$	$L$ ：滲透排水管總長度(m)
	滲透陰井設計保水量 $Q_7$	$Q_8= (3.0 * k * n * t) + (0.015 * n)$	$n$ ：滲透陰井個數
	滲透側溝保水量 $Q_8$	$Q_9= (2.0 * k * n * t) + (0.057 * L)$	$L$ ：滲透側溝總長度(m)
	其他保水設計 $Q_n$	由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之。	

資料來源：綠建築解說與評估手冊（2005年更新版）

### 第三節 施工及養護施工規範之草擬

#### 1. 透水瀝青混凝土鋪面

##### 第一篇 通則

1. 本規範依據「公共工程施工綱要規範」及「建築技術規則」訂定之。

##### 2. 目的

本規範訂定之目的，係為實施基地保水滲透技術設計規範與法制化，建立其規劃、設計、施工及維護技術之準則。透水瀝青混凝土鋪面強度低於傳統瀝青或水泥鋪面，因此適用於輕交通量及低承載之路面，如人行道、停車場、廣場等，除此之外，為考量透水成效，避免孔隙阻塞，鋪面應避免設於滲透係數低之土層(如黏土層)及裸露地有大量鬆散砂土等地區。

##### 3. 使用範圍

本規範之使用範圍如下：

- (1) 實施都市計畫地區
- (2) 實施區域計畫地區
- (3) 經內政部指定地區

##### 4. 相關準則

###### a. 中國國家標準(CNS) (粒料)

- |      |     |      |       |   |
|------|-----|------|-------|---|
| (1)  | CNS | 485  | A3004 | 粒料取樣法                                   |
| (2)  | CNS | 486  | A3005 | 粗細粒料篩析法                                 |
| (3)  | CNS | 487  | A3006 | 細粒料比重及吸水率試驗法                            |
| (4)  | CNS | 488  | A3007 | 粗粒料比重及吸水率試驗法                            |
| (5)  | CNS | 489  | A3008 | 細粒料表面含水率試驗法                             |
| (6)  | CNS | 490  | A3009 | 粗粒料(37.5mm 以下)磨損試驗法                     |
| (7)  | CNS | 491  | A3010 | 粒料內小於試驗篩 75 $\mu$ m CNS386 材料含量試驗法(水洗法) |
| (8)  | CNS | 1163 | A3027 | 粒料單位質量與空隙試驗法                            |
| (9)  | CNS | 1164 | A3028 | 細粒料中有機物含量檢驗法                            |
| (10) | CNS | 1167 | A3031 | 使用硫酸鈉或硫酸鎂之粒料健度試驗法                       |

- (11) CNS 1171 A3035 粒料中土塊與易碎顆粒試驗法
- (12) CNS 3408 A3059 粗粒料(粒徑 19mm 以上)磨損試驗法
- (13) CNS 5265 A3094 道路與鋪面材料用礦物填縫料篩分析法
- (14) CNS 10986 A3209 現場粒料樣品減量為試驗樣品取樣法
- (15) CNS 11298 A3225 粒料含水量乾燥測定法

b. 中國國家標準(CNS) (瀝青材料)

- (1) CNS 1304 K5016 乳化瀝青
- (2) CNS 2486 K6204 瀝青軟化點測定法(環球法)
- (3) CNS 2487 K6205 瀝青及煤渣灰分定量法
- (4) CNS 3775 K6377 克氏開口杯閃點與著火點測定法
- (5) CNS 10090 K6755 瀝青物針入度試驗法
- (6) CNS 10091 K6756 瀝青物延性試驗法
- (7) CNS 10092 K6757 瀝青物於三氯乙烯中溶解度試驗法
- (8) CNS 10093 K6758 油及瀝青化合物加熱減量試驗法
- (9) CNS 10459 K6798 瀝青物漂浮試驗法
- (10) CNS 14184 K5150 聚合物改質柏油
- (11) CNS 14186 K61050 無填充料瀝青黏度測定法(布魯克熱力黏度計法)
- (12) CNS 14248 K61054 乳化瀝青餾餘物與非牛頓流體瀝青視黏度試驗法(真空毛細管黏度計法)
- (13) CNS 14249 K61055 柏油(瀝青)動黏度試驗法
- (14) CNS 14250 K61056 柏油(瀝青)流動膜之熱及空氣效應試驗法(滾動薄膜烘箱法)

c. 中國國家標準(CNS) (瀝青混合料)

- (1) CNS 8755 A3147 瀝青鋪面混合料壓實試體之厚度或高度試驗方法

- (2) CNS 8756 A3148 密級配與開放級配壓實瀝青鋪面混合料中空隙率試驗法
- (3) CNS 8757 A3149 瀝青混合料壓實試體容積比重及密度試驗法(封腊法)
- (4) CNS 8758 A3150 瀝青鋪面混合料理論最大比重試驗法
- (5) CNS 8759 A3151 瀝青混合料壓實試體容積比重及密度試驗法(飽和面乾法)

d.交通部，交通技術標準規範公路類公路工程

- (1) 公路工程施工規範

e.美國州公路及運輸官員協會(AASHTO)

- (1) AASHTO T245 用馬歇爾儀測瀝青混合物之阻抗塑性流動試驗法
- (2) AASHTO T172-93 瀝青拌和廠檢驗
- (3) AASHTO T176 含砂當量試驗法
- (4) AASHTO T165 滯留強度指數

f.美國材料試驗協會(ASTM)

- (1) ASTM D3515 熱拌、熱鋪混凝土標準規範
- (2) ASTM D4791 粗粒料扁平率試驗法
- (3) ASTM D5821 粗粒料破裂百分率試驗法

g.美國瀝青協會

- (1) AI MS-2 熱拌瀝青混凝土配合設計

h.日本道路協會

- (1) 透水性鋪裝技術指針
- (2) 透水性瀝青路面

## 第二篇 用語定義

### 標準用語定義

本規範之用語定義如下：多孔隙瀝青混凝土、基地保水、基地保水指標、基地保水量、最大降雨延時基準值(S)、直接滲透設計、基層、面層。

- (1) 多孔隙瀝青混凝土：具有高孔隙之透水材料，乃調整級配使粗粒料間的空隙率提高至20%左右，以使降於鋪面上的水分可迅速滲透至路基。其面層使用熱拌瀝青或改質瀝青拌合其殘缺級配之骨材，摻配少量之礦物填充料、纖維料之瀝青混凝土稱之。
- (2) 基地保水：就是建築及社區基地涵養水分及貯集滲透雨水能力，以吸收部分洪水量，而達到軟性防洪的目的。藉由此手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫現象，並進而降低公共透水設施負擔、減少都市洪水發生率。
- (3) 基地保水指標：表示建築基地涵養雨水及貯集滲透雨水的性能標示。
- (4) 基地保水量：建築基地理論上可能涵養雨水及貯集滲透雨水的體積。
- (5) 最大降雨延時基準值(s)：以秒為單位計算之最大連續降雨時間標準值。
- (6) 直接滲透設計：完全利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能。
- (7) 面層：接觸於人類、車輛活動的地面構造。
- (8) 基層：承受面層傳遞來之應力，並加以分散之結構。

## 第三篇 多孔性瀝青混凝土之設計準則

### 1.適用範圍：

新建建築基地面積在1,500平方公尺以上，或新建公有建築物總樓地板面積在1,000平方公尺以上者，適用本節規定。但依據建築技術規則設計施工篇第260條規定之山坡地不在此限。

### 2.設計準則：

建築基地之基地保水指標計算值應依下式計算，其計算值 $\lambda$ 應大於基地保水基準值 $\lambda_c$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \cdot \bar{k} \cdot t} \geq \lambda_c = 0.5 \times (1-r) \quad (6.1)$$

其中：

$\lambda$ ：基地保水指標，無單位

$\lambda_c$ ：基地保水指標基準

$Q'$ ：各類保水設計之保水量總和(m<sup>3</sup>)，即  $\sum_{i=1}^8 Q_i$ 。

$Q_i$ ：各類保水設計之保水量(m<sup>3</sup>)，其計算方式詳見表 3.1

$Q_0$ ：原基地保水量(m<sup>3</sup>)， $Q_0 = A_0 \cdot \bar{k} \cdot t$

$A_0$ ：基地總面積 (m<sup>2</sup>)

$r$ ：法定建蔽率

$\bar{k}$ ：基地土壤滲透係數基準值(m/s)，以表層 2m 以內土壤認定之。應先依建築技術規則建築構造篇第六十四條的規定做鑽探調查，將鑽探結果中表層 2m 以內土壤之「統一土壤分類」(unified classification)代入附表 3.2 以取得  $k$  值為  $\bar{k}$ ；未符合上述條文規定而無需進行鑽探調查者，得援用當地或鄰近曾經實用之調查資料，並代入表 3.3 以取得  $k$  值為  $\bar{k}$ 。但  $k < 10^{-7}$ m/s 時，則令  $\bar{k} = 10^{-7}$ m/s；亦即  $\bar{k}$  基準值不得小於  $10^{-7}$ m/s。

$t$ ：最大降雨延時基準值(s)。建議值：158400 sec(44 hr)。下表 6-9 為參考建築研究所之建築基地之基地保水指標，經本研究團隊修改後之設計保水量。

表 6-9 各類保水設計之保水量計算及變數說明

項目	各類保水設計之保水量 $Q_i$ (m <sup>3</sup> )	保水量 $Q_i$ 計算公式	變數說明	備註
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量	$Q_1 = A_1 * k * t$	$A_1$ ：綠地、被覆地、草溝面積(m <sup>2</sup> )	綠地、被覆地、草溝保水量
	全保水透水鋪面設計保水量 $Q_1$	$Q_2 = A_2 * k * t$	$A_2$ ：透水鋪面面積 (m <sup>2</sup> )	全保水透水鋪面設計保水量 $Q_1$
	半保水透水鋪面設計保水量 $Q_2$	$Q_3 = A_3 * k * t + 0.15h * A_3$	$A_3$ ：透水鋪面面積(m <sup>2</sup> ) $h$ ：透水鋪面基層厚度(m)	半保水透水鋪面設計保水量 $Q_2$

表 6-10 統一土壤分類與土壤滲透係數  $k$  值對照表

土層分類描述	粒徑 $D_{10}$ (mm)	統一土壤分類	土壤滲透係數 $k$ (m/s)
不良級配礫石	0.4	GP	$10^{-3}$
良級配礫石		GW	$10^{-4}$
沈泥質礫石		GM	
黏土質礫石		GC	
不良級配砂		SP	$10^{-5}$
良級配砂	0.1	SW	
沈泥質砂	0.01	SM	$10^{-7}$
黏土質砂		SC	
泥質黏土	0.005	ML	$10^{-8}$
黏土	0.001	CL	$10^{-9}$
高塑性黏土	0.00001	CH	$10^{-11}$

註：屬於相同土壤統一分類的不同土質，會因為緊密程度以及組成的不同，有所誤差。本表為求評估上之客觀，乃是取其最小值，可使評估結果較為保守可信。

表 6-11 土壤滲透係數  $k$  值簡易對照表

土 質	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
土壤滲透係數 $K$ (m/s)	$10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-9}$	$10^{-11}$

## 3. 基、底層材料：

- (1) 供步行、自行車之鋪面，其級配層厚度應為 10cm 以上，若供輕型車輛行駛及停放之鋪面，其級配層厚度應為 15cm 以上，若有較大載重之路面，需另外提出解決透水鋪面承載之方案。
- (2) 襯墊砂層應為堅硬、潔淨、乾燥之細砂，且不含黏土、植物、石子或其它雜質。規格應為 0.3mm~1.2mm，厚度約為 3~6cm。填縫砂之規格亦同。
- (3) 人行道：人行道的底層材料，可使用未過篩的碎石或粒徑大的碎石。通過 ASTM 40 號篩(孔徑 0.425mm)的部份，塑性指數須小於。

**表 6-12 透水性瀝青處理底層的混合料的標準級配範圍表**

CNS386 試驗篩 (mm)	通過重量百分率 (%)
31.5	100
25	95~100
19	90~100
13.2	25~85
4.75	10~45
2.36	10~25
0.3	4~16
0.075	2~7
瀝青用量 (%)	2.5~4.5

資料來源：公共工程施工綱要規範第 02794 章，2003

**表 6-13 透水性瀝青處理底層混合料之品質規定**

項 目	特 性 值
穩定值[N(kgf)公斤]	250 以上
流度值 (0.1mm)	20~40
空隙率 (%)	12 以上
滲透係數 (cm/sec)	1.0~10 <sup>-2</sup> 以上

資料來源：公共工程施工綱要規範第 02794 章，2003

#### 4.面層及油膜厚度

開放級配的瀝青混凝土需參考馬歇爾試驗的特性及經過瀝青膜厚度計算及拌和試驗。適當的膜厚，一般為 8~10μ 左右。由瀝青的重量和粒料的表面積求出膜厚之經驗，公式如下：

$$\text{瀝青膜厚} = \frac{\text{瀝青重量 (占粒料的\% )}}{2 + 0.02a + 0.04b + 0.08c + 0.14d + 0.3e + 0.6f + 1.6q} \times 48.74$$

其中，a、b、c、d、e、f、q 分別為 4.75、2.36、1.18、0.6、0.3、0.15、0.075mm 篩的通過重量百分率。由此公式求得之瀝青量可作為上限值。

表 6-14 透水性瀝青混合料級配範圍表

CNS386 試驗篩 (mm)	通過重量百分率(%)
19	100
13.2	95 ~ 100
4.75	20 ~ 35
2.36	12 ~ 25
0.3	5 ~ 13
0.075	3 ~ 6
瀝青用量(%)	3.5 ~ 5.5

資料來源：公共工程施工綱要規範第 02794 章，2003

表 6-15 透水性瀝青混合料的配合要求及滲透係數表

項 目	特 性 值		備 註
	人行道	車行道	
穩定值[N(kgf)公斤]	400 以上	500 以上	夯實次數，上 下兩面各 50 次。
流度值 (0.1mm)	20~40		
空隙率 (%)	12 以上		
滲透係數 (cm/sec)	$1.0 \times 10^{-2}$ 以上		
飽和度 (%)	40~55		

資料來源：公共工程施工綱要規範第 02794 章，2003

#### 第四篇 多孔性瀝青混凝土之施工規範

##### 一、施工規範：

##### 1.路基整修(路床整理)：

- (1) 路基面要做成規定的形狀原路基土與設計的假定路基土不同或路基土的狀態分佈不勻時，應和工地技術管理人員研究處理。
- (2) 人行道路床夯實前，除依規定得予保留之公共設施外，應先將其範圍內之樹木、雜草、樹根、混凝土塊、石塊及其他一切障礙物，全部予以清除，並將原有地面整修平順，然後予以夯實。
- (3) 經乙方檢測後，並報甲方指派之工程司勘驗簽認後，鋪設符合 CNS11228 規範中第一類別之不織布透水層後，方可進行透水瀝青之

澆築工作。

- (4) 若需壓實時，以小型堆土機或壓土機壓實，尤其粘性土和含水量大的土，注意不要揉搓和過分的滾壓。
- (5) 降雨時避免雨水進入工地。
- (6) 對較不易滲透路基可用垂直透水孔，內填砂以助滲透或以地下透水管收集水或溢滿滲透水並導至滯洪池或過濾池。

## 2. 基、底層

### a. 人行道

- (1) a. 底層用小型推土機或人工攤鋪，依規定作成形狀。在最佳含水量的情況下，可用小型壓路機滾壓，須注意到適當的密度和透水能力。

### b. 停車場、廣場等其他路面

- (1) 材料的析離影響底層的透水功能很大，因此在攤鋪時必須充分注意。因此，在攤鋪過程中，要注意滾壓的厚度，一層約為 20cm，超過 20cm 時需要分兩層攤鋪，由於碎石所鋪成基、底層被視為儲水層，碎石須經清洗。
- (2) 鋪面層前，需要保持其底層表面清潔，防止被灰塵、泥土、垃圾等污染。
- (3) a. 基層：基層的材料，一般採用未過篩的碎石，其施工要點如人行道底層，滾壓時使用雙輪或三輪壓路機進行壓實。
- (4) b. 底層：底層材料在採用碎石時，可按照基層的施工方法進行，使用透水性的瀝青處理過的混合料時，須按照面層施工之方法。

## 3. 過濾層（黏結層）：

- (1) 為確保透水層與其下不透水層間增進接觸面接著力及防水滲透功效，尤指加鋪層，在兩者之間的透層或黏層均勻澆鋪乳化橡膠瀝青，其用量每平方公尺約 0.4~0.6 公升，依設計圖規定或工程司之指示辦理。
- (2) 在低溫氣候澆鋪時，為使縮短養護時間，可用路用加熱器加溫，或分二次澆鋪。
- (3) 塗抹黏層之任何構造物或既有鋪面之切割面應平順以避免妨礙透水。
- (4) 對原有加鋪面或刨除面，若發現有縫隙，龜裂等等能產生滲水現象者，

應對該等現象先予處理，以確保不透水層之不透水性。

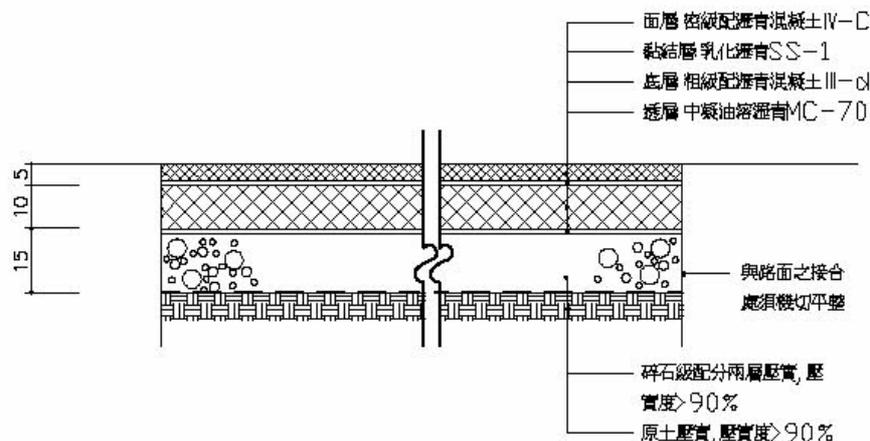
#### 4.面層：

##### 一、拌和與運輸

透水性的瀝青混合料另須注意下列事項：

- (1) 要特別注意拌和時乾燥鼓內粒料的加熱溫度及拌和溫度不可過熱，控制在  $180^{\circ}\text{C}$  以下。因透水性的瀝青混合料中，細顆粒成份較少，於鼓內易過熱，待拌和時會促使瀝青老化。
- (2) 為確保達到目標孔隙率  $20\%\pm 1\%$ ，須嚴加控制通過  $2.36\text{mm}$  篩號之粒料通過量在設計值內維持不變。
- (3) 高黏度改質瀝青混凝土較易黏著於搬運車上及施工車輛輪胎上，若使用防黏著油，其用量以不使瀝青產生分離現象為原則。
- (4) 運送、施工時不使溫度下降，透水性的瀝青混合料比一般的瀝青混凝土，較快冷卻，易形成團塊，攤鋪時造成拖痕或粘接不良的現象，導致面層粒料的剝落。
- (5) 於氣溫  $15^{\circ}\text{C}$  以上，混合料溫度介於  $110^{\circ}\text{C}\sim 127^{\circ}\text{C}$  間，用攤鋪機攤鋪之後，若須施以人工修整，常不能保持其均勻性。因此在用機械攤鋪時，要儘可能攤鋪平整，避免人工修整。
- (6) 滾壓完成，須避免車輛進入，直至鋪面足夠堅硬，一般至少須一天。

圖 6-6 透水瀝青施工斷面圖



## 二、鋪築與滾壓

### a. 人行道

- (1) 進行攤鋪工作後，應立即用振動壓路機或平板振動機夯實後，進行第一次滾壓。
- (2) 在第二次滾壓時，則可能拉長距離連續振動滾壓，以確保平整。
- (3) 若用人工攤鋪時，溫度下降很快，所以滾壓必須迅速。

### b. 停車場、廣場等其他路面

- (1) 主要使用雙輪壓路機滾壓，但也可使用三輪或輪胎壓路機。
- (2) 第一次滾壓會引起混合料變位，要在不出現細裂紋的情況下，盡可能在高溫下滾壓。
- (3) 第二次滾壓緊接著第一次滾壓進行，並注意滾壓要充分。
- (4) 最後的滾壓要消去壓路機的輪跡。
- (5) 透水性的瀝青混合料料般瀝青混合料的溫度下降快，在攤鋪及碾壓中，要充分注意溫度的控制。
- (6) 人工攤鋪混合料時，注意勿使材料的粗、細顆粒分離。

## 三、注意事項

- (1) 透水性瀝青混凝土混合料應以自動式鋪築機依設定之路線、高程及橫斷坡度鋪築於已整理之底層或原有面層上。
- (2) 接縫應平接，而不能搭接在鋪築過程中，要隨時進行工地滲透試驗，在肯定其透水狀況下連續施工。
- (3) 鋪築前，應先測訂基準線，俾鋪築機有所依據。鋪築時應自路中心開始，且平行路中心線以鋪成平整之鋪面。
- (4) 緣石、邊溝、人孔、原有面層之垂直切面及建築物表面與透水性瀝青混凝土混合料相接合處，應全部均勻塗刷速凝油溶瀝青或乳化瀝青一薄層，使有良好的結合。
- (5) 築機之速度必須妥為控制，為使鋪築機不間斷的均勻鋪築，一般以不超過每分鐘 3~4 公尺。鋪築時，混合料不得有析離現象發生，並完成後之表面均勻平整，經壓實後能符合設計圖所指示之線形，坡度及橫斷面。如有析離現象時，應立即停止鋪築工作，並查明原因予以適當

校正後始可繼續施工。

- (6) 透水性瀝青混凝土混合料倒入鋪築機進料斗鋪築時之溫度由工程司決定之，惟不得低於 170°C。
- (7) 鋪築工作應儘可能保持連續、均勻、不間斷的鋪築。在鋪築機的後面，應配有足夠之鏟子及耙子等。熟練工人，俾於鋪築中發現有任何瑕疵時，能在壓實前予以適當的修正，所使用工具均必須充分預熱。
- (8) 鋪築機不能到達而需人工鋪築之外，應先將透水性瀝青混合料堆放於鐵板上，然後由熟練工人用熱工具鏟入耙平均鋪築，使之有適當之鬆厚度，俾能於壓實後達到所規定之厚度及縱橫坡度。瀝青混合料如結成團狀，須先於搗碎後，方能使用。所用工具之加熱溫度，不得高於瀝青混合料之鋪裝溫度，僅使透水性瀝青材料不黏著即可。
- (9) 透水性改質混凝土鋪面如係分層鋪築時，應於鋪裝前兩小時內，先將一層表面清理潔淨，並依工程司之指示，均勻噴灑黏層以增強兩層間之黏結。
- (10) 透水性改質混凝土鋪面分層鋪築時，其上下各層縱橫接縫不得築在同一垂直面上，縱向接縫至少應相距 15cm，橫向接縫至少應相距 60cm。如為雙車道時，鋪面頂層之縱向接縫，宜接近鋪面之中心位置，兩車道以上時，宜接分道線。
- (11) 工作人員進入施工中之鋪面上工作時，應穿乾淨之靴鞋，以免將泥土及基地其他雜物帶入瀝青混合料中。施工中間雜人等，應嚴禁入內。

#### 第五篇 多孔隙瀝青混凝土鋪面養護及管理準則

##### 一、養護準則

養護之準則為期望透水鋪面能經由簡單之養護維持其服務力，以達透水性鋪面永續性，其主要原則如下：

- (1) 鋪面完工後，前四個月每月檢視一次，往後每年檢視四次。
- (2) 於大雨後，即刻檢視表面是否積水，若發現鋪面嚴重阻塞，需辦理翻修工作。
- (3) 透水鋪面強度較弱，應設置告示牌面，禁止重型車輛進入，避免不當使用成結構破壞。

- (4) 鋪面避免堆置砂土及其他粒料或粉狀物料和含泥砂之車輪進入，以免破壞鋪面透水性。
- (5) 鋪面周圍地面應種植草皮，避免裸露地之砂土進入。
- (6) 鋪面若接受臨近地區排水，應視需要設置前處理設施，以去除漂浮物及沉渣，延長鋪面使用壽命。
- (7) 鋪面應於每年雨季來臨前檢測透水性，透水性降低至一定程度，應即進行清洗。
- (8) 多孔性瀝青混凝土路面每年應清洗四次，使用吸塵及高壓水柱沖洗兩道。清洗後可恢復透水機能達初鋪設時之 70~85%。

## 二、鋪面之養護施工規範：

透水瀝青混凝土面層因表面老化、車轍、龜裂、鬆散、推擠、磨耗、變型無法以高壓水柱清洗恢復其服務力時，進行刨除加鋪養護，在加鋪新面層之前，進行表面刨除作業。相關作業程序請參考公共工程施工綱要規範「第 02961 章瀝青混凝土面層刨除」。

1. 本章概要，說明瀝青混凝土面層刨除施工法及其相關規定。
2. 工作範圍

瀝青混凝土面層刨除作業，係指瀝青混凝土面層因表面老化、車轍、龜裂、鬆散、推擠、磨耗、變型、改善路面淨高，在加鋪新面層之前，將原有表面刨除。

### 3. 相關規定

可參考公共工程施工綱要規範第 01330 章--資料送審、第 01450 章--品質管理、第 02742 章--瀝青混凝土鋪面、第 02747 章--瀝青黏層、第 02966 章--再生瀝青混凝土。

### 3. 施工方法

刨除作業中發現面層滑動，不正常鬆裂，應報請工程司處理，遇有混凝土結構面或其邊緣，刨路機無法施工時應改用人工清除，路面上之設施應適當保護，不得破壞。如不慎損壞，應由承商負責恢復原狀。路面刨除後如有行車安全之虞者，應設置安全措施。

### 4. 廢料處理

刨除之面層廢料如指定做為再生瀝青混凝土之用，應保持乾淨不得與垃圾土石及其他廢料混雜。刨除後路面應清潔乾淨。刨除後如含 AC 鋪築請按第 02747 章「瀝青黏層」、第 02742 章「瀝青混凝土鋪面」規定辦理。

### 5. 刨除

刨除厚度：刨除之面層厚度,每次不得超過原瀝青混凝土（含粗級配及密級配）厚度之 $[1/3]$ 。刨除之厚度以鉋刀痕跡之平均平面為準。刨除完工後其坡度及橫斷面許可差不得超過 $[0.5\text{cm}]$ ，但原面層之凹陷如已超過規定高程，不在此限。

刨除寬度：刨除分路面全寬刨除、車轍縱線刨除、指定寬度刨除、指定面積刨除及坡度修順。刨除之寬度許可差不得小於設計寬，不得大於 $[10\text{cm}]$ 。

## 2. 高壓透水磚鋪面

### 第一篇 通則

1. 本規範依據「公共工程施工綱要規範」訂定之。

#### 2. 目的

本規範訂定之目的，係為實施基地保水滲透技術設計規範與法制化，建立其規劃、設計、施工及維護技術之準則。為使雨水通過高壓透水磚鋪面，直接滲入路基，而具有使水還原於地下之性能，可減輕地下透水道負擔、延緩洪峰流量並可減緩熱島效應，進而達到生態效益。改善維護人居環境、都市生態環境，節約能源及增進建築及社區保有滲透、貯集雨水的能力技術，對於裸露土道路上有良好的被覆設計，以能長久保持大地的水循環功能，特制定本規則。為考量透水成效，避免孔隙阻塞，鋪面應避免設於滲透係數低之土層(如黏土層)及裸露地有大量鬆散砂土等地區。

### 3. 使用範圍

本規範之使用範圍如下：適用於輕交通量及低承載之路面，如：

- (1) 人行道
- (2) 停車場
- (3) 廣場

### 4. 相關準則

#### a. 中國國家標準(CNS)

- |                     |                |
|---------------------|----------------|
| (1)CNS A1026        | 道路用碎石          |
| (2)CNS 386          | 試驗篩            |
| (3)CNS 13295        | 高壓混凝土連鎖地磚      |
| (4)CNS 61 R2001     | 卜特蘭水泥          |
| (5)CNS 387 A2003    | 建築用砂           |
| (6)CNS 1010 R3032   | 水硬性水泥壘料抗壓強度檢驗法 |
| (7)CNS 1011 R3033   | 水硬性水泥壘料抗拉強度檢驗法 |
| (8)CNS 1178 A3042   | 混凝土空心磚檢驗法      |
| (9)CNS 1237 A3050   | 混凝土拌和用水試驗法     |
| (10) CNS 1240 A2029 | 混凝土粒料          |
| (11) CNS 3001 A2039 | 圬工砂漿用粒料        |
| (12) CNS 3319 R2065 | 建築用普通磚（模距配合）   |
| (13) CNS 8905 A2137 | 混凝土空心磚         |

#### b. 美國材料及試驗協會（ASTM）

- |           |     |
|-----------|-----|
| ASTM C936 | 連鎖磚 |
|-----------|-----|

#### c. 其他相關之規定 JIS、DIN、UL、BS 等

### 第二篇 用語定義

本規範之標準用語定義如下：透水性鋪磚、基地保水、基地保水指標、基地保水量、最大降雨延時基準值（S）、直接滲透設計、基層、面層。

- (1) 透水性鋪磚：為塊狀或鏤空連鎖之混凝土面磚鋪面，面磚類別有透水及高壓連鎖磚等，其係以非連續性拼接塊狀鋪面，在鋪面與鋪面間有很大的空隙可填入砂土，鋪面下採用透水性底層，如無細骨材混凝土、砂土層等。中國國家標準規範 CNS 13295 中就有高壓混凝土連鎖地磚之相關規定。
- (2) 面層：接觸於人類、車輛活動的地面構造。
- (3) 基層：承受面層傳遞來之應力，並加以分散之結構。
- (4) 基地保水：就是建築及社區基地涵養水分及貯集滲透雨水能力，以吸收部分洪水量，而達到軟性防洪的目的。藉由此手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫現象，並進而降低公共透水設施負擔、減少都市洪水發生率。
- (5) 基地保水指標：表示建築基地涵養雨水及貯集滲透雨水的性能標示。
- (6) 基地保水量：建築基地理論上可能涵養雨水及貯集滲透雨水的體積。
- (7) 最大降雨延時基準值 (s)：以秒為單位計算之最大連續降雨時間標準值。
- (8) 直接滲透設計：完全利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能。

### 第三篇 高壓透水磚鋪面之設計準則

1. 此篇相同於多孔性瀝青混凝土之設計準則，此不作贅述請參考之。
2. 透水鋪面厚度設計流程圖，請參考 5-14 台灣透水鋪面厚度設計圖。

### 第四篇 高壓透水磚鋪面之施工規範

#### 一、施工規範

##### 1. 路基整修(路床整理)：

- (1) 依鋪面使用類型規劃設計斷面高程，設計圖說經放樣、整平、填級配料、滾壓、訂基線等施工程序，級配壓實密度需達 95% 以上，方得鋪設透水磚。
- (2) 路基面要做成規定的形狀原路基土與設計的假定路基土不同或路基土的狀態分佈不勻時，應和工地技術管理人員研究處理。

- (3) 人行道路床夯實前，除依規定得予保留之公共設施外，應先將其範圍內之樹木、雜草、樹根、混凝土塊、石塊及其他一切障礙物，全部予以清除，並將原有地面整修平順，然後予以夯實。
- (4) 一般透水性塊狀鋪面應用於中、低承載量路面，如人行道或停車場，其中碎石層會因使用需求不同而有不同規定厚度，故需規劃設計斷面高程，以提供良好之承載力。為使鋪面能具有保水滲透能力，故橫坡度以 1.5% ~2.0% 為宜，縱坡度最大不可超過 8% 。
- (5) 檢查級配底層是否滾壓平整，不得有雜物或凹凸不平現象。

## 2. 級配層：

- (1) 鋪面設計需於路基上分別配置約 20~15cm 之碎石層，人行道則因承載量較低，可免配置碎石層。
- (2) 各型鋪面均需配置約 10cm 之級配層於碎石層或路基土壤上。
- (3) 碎石層及級配層，每鋪設約 10cm 厚度，需振動壓實。
- (4) 另可視鋪築當地排水狀況配置盲管輔助排水。

## 3. 過濾層（黏結層）：

目前國內之透水磚鋪設方式有兩種，以下分兩種介紹：

### a. 透水砂漿

- (1) 鋪築過濾層破壞路基，且厚度要均勻。
- (2) 人工攤鋪，用小型壓路機、夯土机等碾壓。
- (3) 將鬆散墁材（水泥 1 對砂 3 之比例混合）以混練機充分混練之，對於垂直面磚鋪設方向上已調狀方式鋪上適當寬度及厚度之黏結層以利黏結透水磚鋪面。
- (4) 於其表面以磨刀壓萍並同時調整水平。

### b. 襯墊砂

- (1) 鋪築過濾層破壞路基，且厚度要均勻。
- (2) 人工攤鋪，用小型壓路機、夯土机等碾壓。
- (3) 先鋪設不織布後再鋪設襯墊砂，檢視路面是否滾壓平坦，不得有凹凸不平之現象
- (4) 襯墊砂應為堅硬，潔淨之細砂，不含黏土、植物、石子或其他雜質。

- (5) 襯墊砂應依設計為 3~5cm，並設置水平基準線後整平夯實，整平後不得踐踏。

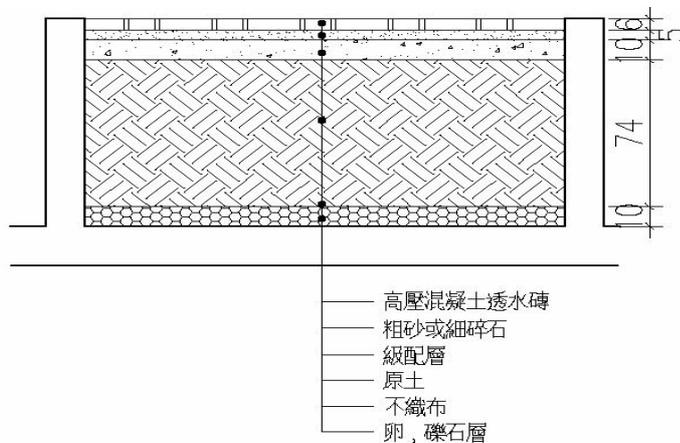
3.面層：

- (1) 鋪設透水磚時需先以木槌或橡皮榔頭輕擊透水磚表面使其緊密接觸，同時調整高度。
- (2) 磚石塊均依照設計圖說之平面配置圖鋪設，鋪貼時需使磚石塊與水泥砂漿緊密接合。
- (3) 以振動機震實鋪面振動機之震壓方向應一致，振動機施震面不得傾斜並重複施作。
- (4) 填充隙縫砂，以細砂撒佈於鋪面並掃入磚縫中，直至鋪面磚砌合穩固。

施工斷面圖：如圖 6-7

圖 6-7 透水磚路面施工斷面圖

第五篇 高壓透水磚鋪面之養護及管理準則



一、養護準則

- (1) 鋪面完工後，前四個月每月檢視一次，往後每年檢視四次。
- (2) 於大雨後，即刻檢視表面是否積水，若發現鋪面嚴重阻塞，需辦理翻修工作。
- (3) 透水鋪面強度較弱，應設置告示牌面，禁止重型車輛進入，避免不當使用成結構破壞。
- (4) 鋪面避免堆置砂土及其他粒料或粉狀物料和含泥砂之車輪進入，以免破壞鋪面透水性。

- (5) 鋪面周圍地面應種植草皮，避免裸露地之砂土進入。
- (6) 鋪面若接受臨近地區排水，應視需要設置前處理設施，以去除漂浮物及沉渣，延長鋪面使用壽命。
- (7) 鋪面應於每年雨季來臨前檢測透水性，透水性降低至一定程度，應即進行清洗。

## 二、養護施工規範

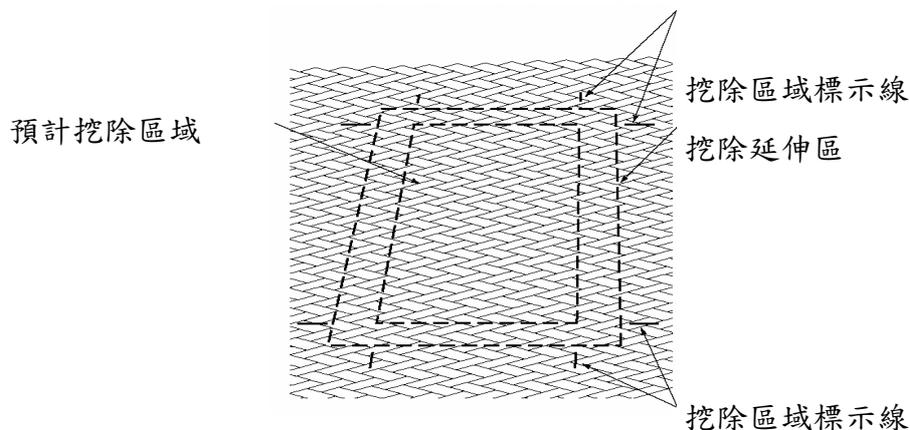
高壓透水磚鋪面開放交通後，經過長時間的交通載重後，若發生大範圍嚴重的磚塊破損、鬆動以及磚塊翹起的現象，即可利用維修方法使其回復原本之服務品質。

- (1) 維修透水磚鋪面前，需先對欲維修之區域進行標計，其標計範圍可分為預計挖除區域以及挖除延伸區。
- (2) 進行挖除時，需向外延伸 2 個磚塊長度之區域，因恐影響其餘支撐良好之透水磚區域，如此可保護其餘區域之砂床及基底層。
- (3) 標計欲維修區域後，移除首塊透水磚。首先利用小螺絲起子或是刮刀，清除第一塊移除透水磚之接縫砂。
- (4) 接縫砂清除完畢後，利用大螺絲起子或專用之移除工具進行首塊透水磚之移除。
- (5) 第一塊透水磚移除後，其餘透水磚喪失旁邊之支撐能力，可利用振動之方式使其旁邊之透水磚之互鎖效應降低。若為大範圍之透水磚鋪面之移除，亦有專用之移除機械，其可一次移除 1 平方公尺的面積。
- (6) 移除透水磚後，其下一層即為砂床。在移除砂床前，先將砂耙鬆，才可進行移除。移除的砂可再使用，需特別注意若其砂中有混合到其餘材料則不可再使用。
- (7) 需特別注意在進行挖除砂床的砂時，其挖除範圍需距離良好的透水磚鋪面最少 15~30cm，以確保其餘透水鋪面之砂床保持不被擾動且穩定之狀態。
- (8) 若要移除底層材料，可利用挖土機或是人工方式進行挖除，其挖除範圍亦如同砂床砂之範圍，最少需距良好透水磚鋪面最少 15~30cm。當砂床與底層完全移除後，會型成一 T 型斷面。
- (9) 應採用與原先基底層相同之級配進行填補，而在回填時應以每層厚度

5~10cm 回填並逐層夯實，應達到 95% 之壓實度，如此才可確保未來基底層之強度。

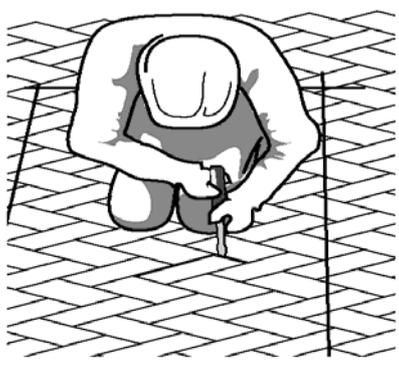
- (10) 砂床回填時其材料，應為乾淨、未混合其餘材料的砂。在回填時應先以一木版對鋪澆的砂進行鏟平，其填補處邊緣最低高度應高於原先路床最少 7mm，中央高度最少應高於原先路床 13mm。
- (11) 鏟平過後即可對路床進行夯實，在夯實過後填補處邊緣最低高度應高於原先路床最少 2mm，中央高度最少應高於原先路床 5mm。
- (12) 砂床回填後即可進行透水磚的填補，依照原來透水磚之排列方式，逐一進行填補。
- (13) 填補完成後在其接縫處回填接縫砂，確定其接縫亦保持原始設計間距，並且利用夯實機以最小 5000 lbf(22 KN) 之力量進行震動夯實，以確保透水磚以及接縫砂可牢固的固定於砂床之上，並且與相接之透水磚產生互鎖效應。

圖 6-8 標定欲維修之範圍



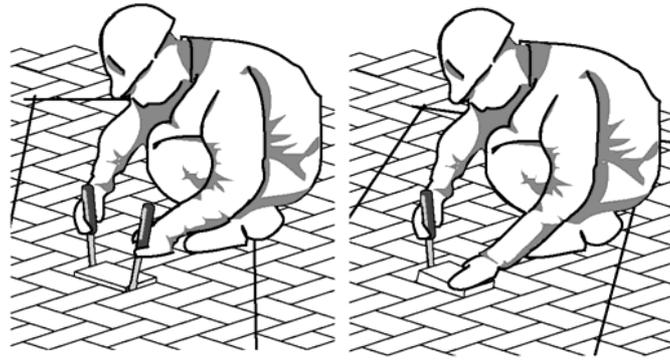
參考資料：美國連鎖磚協會(<http://www.icpi.org/>)

圖 6-9 接縫砂之清除



參考資料：美國連鎖磚協會(<http://www.icpi.org/>)

圖 6-10 首塊透水磚之移除方法



參考資料：美國連鎖磚協會(<http://www.icpi.org/>)

### 3. 植草磚鋪面

#### 第一篇 通則

1. 本規範依據「公共工程施工綱要規範」及「建築技術規則」訂定之。
2. 目的

本規範訂定之目的，係為實施基地保水滲透技術設計規範與法制化，建立其規劃、設計、施工及維護技術之準則。透水瀝青混凝土鋪面強度低於傳統瀝青或水泥鋪面，因此適用於輕交通量及低承載之路面，如人行道、停車場、廣場等，除此之外，為考量透水成效，避免孔隙阻塞，鋪面應避免設於滲透係數低之土層(如黏土層)及裸露地有大量鬆散砂土等地區。

3. 使用範圍

本規範之使用範圍如下：

- (1) 人行道
- (2) 停車場
- (3) 廣場

4. 相關準則

- a. 中國國家標準(CNS)

- |                 |           |
|-----------------|-----------|
| (1)CNS A1026    | 道路用碎石     |
| (2)CNS 386      | 試驗篩       |
| (3)CNS 13295    | 高壓混凝土連鎖地磚 |
| (4)CNS 61 R2001 | 卜特蘭水泥     |

(5)CNS 387 A2003	建築用砂
(6)CNS 1010 R3032	水硬性水泥壘料抗壓強度檢驗法
(7)CNS 1011 R3033	水硬性水泥壘料抗拉強度檢驗法
(8)CNS 1178 A3042	混凝土空心磚檢驗法
(9)CNS 1237 A3050	混凝土拌和用水試驗法
(10) CNS 1240 A2029	混凝土粒料
(11) CNS 3001 A2039	圬工砂漿用粒料
(12) CNS 3319 R2065	建築用普通磚（模距配合）
(13) CNS 8905 A2137	混凝土空心磚

b.美國材料及試驗協會（ASTM）

ASTM C936 連鎖磚

c.其他相關之規定 JIS、DIN、UL、BS 等

第二篇 用語定義

本規範之標準用語定義如下：透水性鋪磚、基地保水、基地保水指標、基地保水量、最大降雨延時基準值（S）、直接滲透設計、基層、面層。

- (1) 透水性鋪磚：為塊狀或鏤空連鎖之混凝土面磚鋪面，面磚類別有透水及高壓連鎖磚等，其係以非連續性拼接塊狀鋪面，在鋪面與鋪面間有很大的空隙可填入砂土，鋪面下採用透水性底層，如無細骨材混凝土、砂土層等。中國國家標準規範 CNS 13295 中就有高壓混凝土連鎖地磚之相關規定。
- (2) 面層：接觸於人類、車輛活動的地面構造。
- (3) 基層：承受面層傳遞來之應力，並加以分散之結構。
- (4) 基地保水：就是建築及社區基地涵養水分及貯集滲透雨水能力，以吸收部分洪水量，而達到軟性防洪的目的。藉由此手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫現象，並進而降低公共透水設施負擔、減少都市洪水發生率。
- (5) 基地保水指標：表示建築基地涵養雨水及貯集滲透雨水的性能標示。
- (6) 基地保水量：建築基地理論上可能涵養雨水及貯集滲透雨水的體積。
- (7) 最大降雨延時基準值（s）：以秒為單位計算之最大連續降雨時間標準

值。

- (8) 直接滲透設計：完全利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能。

### 第三篇 植草磚鋪面之設計準則

此篇相同於多孔性瀝青混凝土之設計準則，次不作贅述請參考之。

### 第四篇 植草磚鋪面之施工規範

#### 一、施工規範

##### 1.路基整修(路床整理)：

- (1) 依鋪面使用類型規劃設計斷面高程，設計圖說經放樣、整平、填級配料、滾壓、訂基線等施工程序，級配壓實密度需達 95% 以上，方得鋪設透水磚。
- (2) 路基面要做成規定的形狀原路基土與設計的假定路基土不同或路基土的狀態分佈不勻時，應和工地技術管理人員研究處理。
- (3) 人行道路床夯實前，除依規定得予保留之公共設施外，應先將其範圍內之樹木、雜草、樹根、混凝土塊、石塊及其他一切障礙物，全部予以清除，並將原有地面整修平順，然後予以夯實。
- (4) 一般透水性塊狀鋪面應用於中、低承載量路面，如人行道或停車場，其中碎石層會因使用需求不同而有不同規定厚度，故需規劃設計斷面高程，以提供良好之承載力。為使鋪面能具有保水滲透能力，故橫坡度以 1.5% ~2.0% 為宜，縱坡度最大不可超過 8% 。
- (5) 檢查級配底層是否滾壓平整，不得有雜物或凹凸不平現象。

##### 2.級配層：

- (1) 依鋪面使用類型規劃設計斷面高程，鋪面設計需於路基上分別配置約 20cm~15cm 之碎石層。
- (2) 人行道則因承載量較低，可免配置碎石層。
- (3) 各型鋪面均需配置約 10cm 之級配層於碎石層或路基土壤上，碎石層及級配層，每鋪設約 10cm 厚度，需振動壓實。
- (4) 另可視鋪築當地透水狀況配置盲管輔助透水。

### 3.過濾層（黏結層）：

#### a.透水砂漿

- (1) 鋪築過濾層破壞路基，且厚度要均勻。
- (2) 人工攤鋪，用小型壓路機、夯土机等碾壓。
- (3) 將鬆散墁材（水泥 1 對砂 3 之比例混合）以混練機充分混練之，對於垂直面磚鋪設方向上已調狀方式鋪上適當寬度及厚度之黏結層以利黏結透水磚鋪面。
- (4) 於其表面以磨刀壓萍並同時調整水平。

#### b.襯墊砂

- (1) 鋪築過濾層破壞路基，且厚度要均勻。
- (2) 人工攤鋪，用小型壓路機、夯土机等碾壓。
- (3) 先鋪設不織布後再鋪設襯墊砂，檢視路面是否滾壓平坦，不得有凹凸不平之現象
- (4) 襯墊砂應為堅硬，潔淨之細砂，不含黏土、植物、石子或其他雜質。
- (5) 襯墊砂應依設計為 3~5cm，並設置水平基準線後整平夯實，整平後不得踐踏。

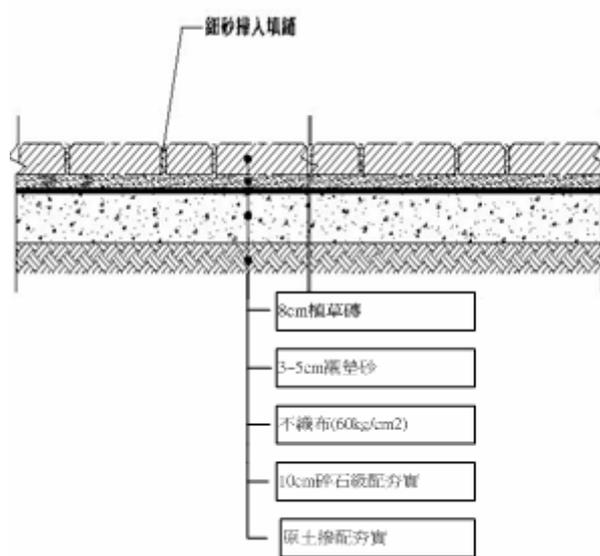
### 4.面層：

以設計圖說設置基準線，於緣石與基準線間之空係以砂漿填實，由緣石邊緣依序鋪設地磚，而地磚間之縫隙約為 0.3cm，鋪設完成之鋪面應予敲實整平。詳細步驟如下：

- (1) 鋪設透水磚時需先以木槌或橡皮榔頭輕擊透水磚表面使其緊密接觸，同時調整高度。
- (2) 磚石塊均依照設計圖說之平面配置圖鋪設，鋪貼時需使磚石塊與水泥砂漿緊密接合。
- (3) 在完成面上鋪設夾板，並在以震動機上加墊橡膠墊後，以每秒二十次之震動頻率來回震動夯實，振動機之震壓方向應一致，振動機施震面不得傾斜並重複施作。
- (4) 填充隙縫砂，以細砂撒佈於鋪面並掃入磚縫中，直至鋪面磚砌合穩固。

施工斷面圖：如圖 6-11

圖 6-11 植草磚施工斷面圖



#### 第五篇 植草磚鋪面之養護及管理準則

本篇與高壓透水磚鋪面之養護及管理準則相同，請參考之。

### 4. JW生態工法透水鋪面

#### 第一篇 通則

1. 本規範依據「公共工程施工綱要規範」及「建築技術規則」訂定之。
2. 目的

本規範訂定之目的，係為實施基地保水滲透技術設計規範與法制化，建立其規劃、設計、施工及維護技術之準則。JW工法為一種結構性透水，與一般之透水鋪面不同，其承载力與一般之剛性路面相同，可用於車道人行道、停車場及廣場等，其可避免一般透水鋪面孔隙阻塞之問題，但由於其造價過高，所以目前國內甚少使用。

3. 使用範圍

本規範之使用範圍如下：

- (1) 實施都市計畫地區
- (2) 實施區域計畫地區
- (3) 經內政部指定地區

## 4. 相關準則

## a. 中國國家標準 (CNS)

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| (1)CNS 560 A2006     | 鋼筋混凝土用鋼筋                 |
| (2)CNS 926 A2028     | 油毛紙                      |
| (3)CNS 1167 A3031    | 粒料硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗            |
| (4)CNS 1232 A3045    | 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法          |
| (5)CNS 1233 A3046    | 混凝土抗彎強度試驗法 (三分點載重法)      |
| (6)CNS 1234 A3047    | 混凝土抗彎強度試驗法 (中心點載重法)      |
| (7)CNS 1237 A3050    | 混凝土用水品質試驗法               |
| (8)CNS 1238 A3051    | 混凝土鑽心試驗及切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法   |
| (9)CNS 2111 G2013    | 金屬材料拉伸試驗法                |
| (10) CNS 2112 G2014  | 金屬材料拉伸試驗試片               |
| (11) CNS 2178 A2032  | 混凝土用液膜養護劑                |
| (12) CNS 2473 G3039  | 一般結構用軋鋼料                 |
| (13) CNS 2947 G3057  | 銲接結構用軋鋼料                 |
| (14) CNS 3090 A2042  | 預拌混凝土                    |
| (15) CNS 8188 A3138  | 混凝土養護材料保持水份能力檢驗法         |
| (16) CNS 8279 G1019  | 熱軋直棒鋼與捲狀棒鋼之形狀、尺度、重量及其許可差 |
| (17) CNS 10143 A2152 | 建築物防水用合成高分子膠布            |
| (18) CNS 12891 A1045 | 混凝土配比設計準則                |
| (19) CNS 13407 A3342 | 細粒料中水溶性離子含量試驗法           |
| (20) CNS 13465 A3343 | 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法        |

## b. 美國道路及運輸官員協會 (AASHTO)

- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| (1) AASHTO T104 | 粒料硫酸鈉或硫酸鎂健度試驗 |
|-----------------|---------------|

c.美國混凝土協會 (ACI)

- |              |              |
|--------------|--------------|
| (1) ACI 309  | 混凝土搗實之作業準則   |
| (2) ACI 318M | 建築規範之鋼筋混凝土要求 |

d.美國材料試驗協會 (ASTM)

- |                 |                              |
|-----------------|------------------------------|
| (1)ASTM A184    | 混凝土用竹節鋼筋網                    |
| (2)ASTM C70     | 混混凝土粗粒料表面水份含量                |
| (3)ASTM C171    | 混凝土養護用覆蓋材料                   |
| (4)ASTM C227    | 水泥與粒料組合之潛在鹼性試驗法 (水泥砂漿棒法)     |
| (5)ASTM C289    | 粒料潛在化學性質試驗                   |
| (6)ASTM C295    | 混凝土粒料之岩相分析指引                 |
| (7)ASTM C342    | 水泥與粒料之組合潛在體積變化標準試驗法          |
| (8)ASTM C512    | 混凝土使用水含氯規定                   |
| (9)ASTM C586    | 混凝土粒料之潛在鹼質反應性試驗法 (石柱體試體法)    |
| (10) ASTM D994  | 混凝土伸縮縫用預製填縫料 (瀝青類)           |
| (11) ASTM D1190 | 加熱灌入式填縫料                     |
| (12) ASTM D1751 | 混凝土鋪面與結構伸縮縫用預製填縫料 (非擠製彈性瀝青類) |
| (13) ASTM D1752 | 混凝土鋪面與結構伸縮縫用預製海綿橡膠與軟木填縫料     |
| (14) ASTM D1854 | 抗航空燃油用加熱灌入式橡膠填縫料             |

第二篇 用語定義

本規範之標準用語定義如下：基地保水、基地保水指標、基地保水量、最大降雨延時基準值 (S)、直接滲透設計、基層、面層。

- (1) 面層：接觸於人類、車輛活動的地面構造。
- (2) 基層：承受面層傳遞來之應力，並加以分散之結構。
- (3) 基地保水：就是建築及社區基地涵養水分及貯集滲透雨水能力，以吸收部分洪水量，而達到軟性防洪的目的。藉由此手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫現象，並進而降低公共透水設施負擔、減少都市洪水發生率。
- (4) 基地保水指標：表示建築基地涵養雨水及貯集滲透雨水的性能標示。
- (5) 基地保水量：建築基地理論上可能涵養雨水及貯集滲透雨水的體積。
- (6) 最大降雨延時基準值 (s)：以秒為單位計算之最大連續降雨時間標準值。
- (7) 直接滲透設計：完全利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能。

### 第三篇 JW 生態工法透水鋪面之設計準則

此篇相同於多孔性瀝青混凝土之設計準則，若為車道建議其面層設計厚度至少需 15cm。

### 第四篇 JW 生態工法透水鋪面之施工規範

#### 一、施工規範：

##### 1.路基整修(路床整理)：

- (1) 因使用需求不同而有不同規定厚度，故需規劃設計斷面高程，以提供良好之承载力。
- (2) 為使鋪面能具有保水滲透能力，故依設計完成路面之高度，整平地面。

##### 2.級配層：

- (1) 依鋪面使用類型規劃設計斷面高程，鋪面設計需於路基上分別配置約 15cm~20cm 之碎石層，並振動壓實。

##### 3.過濾層(黏結層)：

- (1) 在「級配層」上鋪上 15cm 卵石或粗砂層，並用滾輪壓平。

- (2) 鋪設導水管系統並將連結還扣好，導水管下方開口需插入卵石層或粗砂層

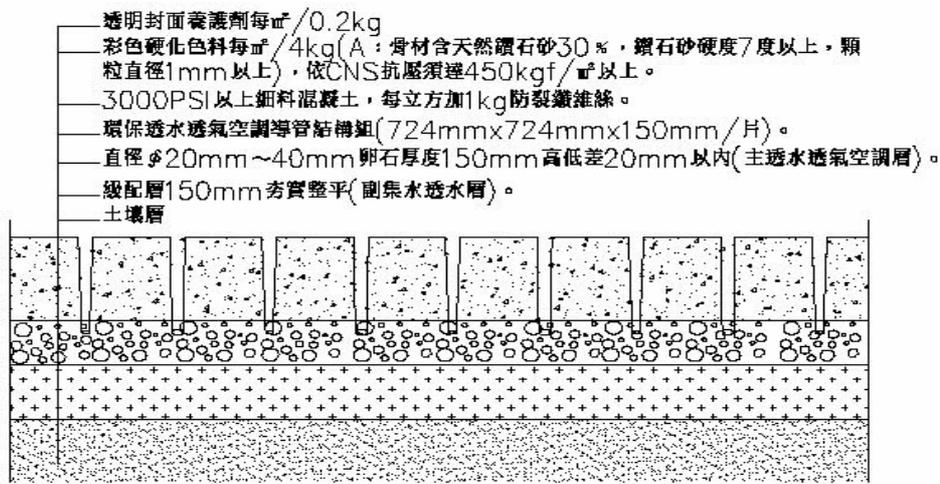
#### 4. 面層（黏結層）：

- (1) 注入每  $m^3$  有加 1kg 防裂纖維絲的細料 3000psi 以上的混凝土。
- (2) 在混凝土未完全乾固前施灑硬化料並輕輕的拍壓或用鏟刀抹過則可與混凝土完全結成一體。
- (3) 在混凝土未乾前施灑色料。
- (4) 3~6 小時後待硬化料乾固開始拆除「導水管」系統之上蓋或紙模板。
- (5) 使用吸塵器清除碎屑殘渣。
- (6) 於表面清潔完成後噴灑養護劑即完成。
- (7) 在施工完成後應於施工地坪以 3~6 公尺距離切一道伸縮縫以防止熱脹冷縮。
- (8) 伸縮縫應採用預製接縫之填縫料填充、填縫料應填滿鋪面全寬並與版邊緣相齊平，填縫料之頂面應低於完成鋪面之頂面大約[12mm]，當混凝土澆置及整平施工時，填縫料應牢固且緊密地與路基面連接。
- (9) 收縮縫，深度及寬度依設計圖說所示，鋸縫應整齊、清潔、平直，應於混凝土鋪面澆置後 8 至 24 小時內施作為確保鋸縫於前述時限內完成，必要時得允許承包商夜間施工鋸縫時損壞之養護膜應於受損 20 分鐘內，設法予以替換或更新以免鋪面邊緣及表面失去保護。應用水或空氣噴射或兩者兼用徹底清除鋸縫內之任何有害物質並乾燥之。乾燥後之鋸縫應以填縫劑依照製造廠之使用說明予以填滿。
- (10) 縱向縫可由相鄰版塊間之施工縫或鋸縫形成，惟需經工程司核准。
- (11) 表面修飾，混凝土澆置與搗實整平之後，應立即使用經核准之動力修面機械縱向刮除表面不規則之混凝土，並修平使鋪面表層產生均勻之紋理。
- (12) 完成混凝土鋪面施工後，用適當之修邊工具將伸縮縫旁之混凝土邊角修成半徑 6mm 之弧角。

二、注意事項：

1. 施工完成後 3 日內不得行駛小型車，七日內不得行駛大型拖車，預防雨天或強風等會影響施工品質之天候不得施工。
2. 承包商須為 ISO9001 國際品質認證合格廠商，並於施工前相關書面資料及樣品送請設計單位會業主審核通過方可施工。施工斷面圖：如圖 6-12

圖 6-12 JW 生態工法施工斷面圖



第五篇 環保水泥混凝土鋪面養護及管理準則

一、養護準則

JW 工法為結構性透水，其表面與一般之剛性路面無異，其透水憑藉表面之透氣透水孔，由於面層為剛性路面，所以若施工及設計得當，只需 3~5 年小型檢查或養護維修。

其抗壓性強、耐磨性高、抗滑性高，惟其缺點表面之顏色樣式容易退色，建議 2~3 年重新上色。

二、養護施工規範

1. 由於為剛性鋪面故養護之施工規範可參考公共工程施工綱要規範「第 02751 章水泥混凝土鋪面」。混凝土養護應依照第 03390 章「混凝土養護」之相關規定辦理。

2.其透水透氣孔為可清理式，每3~5年輕理一次，方法簡單，拿任一鐵棒或木棒，清理透氣孔或透水孔即可。

#### 第四節 本章小結

國內在透水鋪面的使用上是愈趨成熟，但國內透水性鋪面的各項規範大多參考國外，而以日本、美國為主，許多規範與計算公式尚未本土化，由於國內與國外之材料性質、施工品質、環境因素都不相同，故若無法訂定一套國內適用之規範，於透水鋪面之推動與發展會是一項阻力。

本研究草擬施工及養護規範，仍需國內相關研究及工程不斷修正補強，才能逐漸發展成一套完整之施工規範。而在基地保水指標建議能以功能性去探討，常用之保水設計也應從綠地、半保水、全保水作為設計保水量之考量。

## 第七章 結論與建議

### 第一節 結論

#### 一、透水性鋪面成效之探討

##### (一)熱島效應

- 1.本研究針對新店透水實驗區進行其透水鋪面成效之驗證，由模擬降雨之結果可發現，在探討熱島效應時，四種透水性鋪面均有明顯改善鋪面之溫度。
- 2.透水性鋪面之熱導效應長效監測，本研究利用單因子變異性分析方式，進行其透水性鋪面與非透水性鋪面差異性之探討，經檢定後發現不論是酷熱指數或是氣溫皆有顯著差異，並且根據其長期監測成效可發現，透水性鋪面於日落後其涼化程度確實高於一般性鋪面，證實其透水性鋪面改善熱島效應之成效。
- 3.目前透水性鋪面與一般鋪面於氣溫上成效差異顯著，且有明顯改善之現象，值得繼續推廣研究。

##### (二)透水性指標

##### 1. 基地保水評估

於基地保水部分，綠建築之基地保水指標與現地量測之儲存方式有所差異，因此較難以比較驗證基地保水量。

##### 2.舒適度與酷熱指數

本研究針對國內三試鋪案例針對其透水鋪面成效進行長期監測，利用已收集到之現地資料針對此三案例之成效進行評估，在舒適性指標以及酷熱指數之評估上，確實優於一般性鋪面。

#### 二、透水性鋪面設計方法之探討

- 1.本研究已針對國內之兩型進行分析，未來可針對已分析之兩型其對於鋪面之影響進行探討，並且配合鋪面力學之機制進行更進一步之探討。
- 2.一般而言，透水鋪面多應用於人行道、廣場以及停車場，在人行道與廣場之應用方面由於並無較大之荷重作用於鋪面之上，因此其較無結構性破壞此一問題存在。若當其應用於車道、停車場等有較大荷重之處，應特別注意其鋪面力學效應與行為，以防止其鋪面提早破壞。

#### 三、透水性鋪面法制化之目標

1. 國內透水性鋪面的各項規範大多參考國外，許多規範與計算公式尚未本土化，由於國內與國外之材料性質、施工品質、環境因素都不相同，本研究草擬施工規範仍需國內相關研究及工程不斷修正補強，才能逐漸發展成一套完整之施工規範。

2. 本研究參考國內外各種文獻、案例，針對各種透水鋪面提出設計建議及施工規範草案，往後再由多次專家座談不斷修正，完成從規劃、設計、施工、養護之規範草案。

## 第二節 建議

### 建議一

#### 立即可行之建議

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部建築研究所

協辦機關：臺灣雨水利用協會、各縣市政府

1. 未來可考量利用「道路試驗」之觀念去進行透水性鋪面之成效以及設計方法構建，並且配合可承受降雨強度進行模擬與分析。
2. 本研究只針對降雨強度 100mm/hr 左右進行驗證，未來可針對不同雨型之設計雨型，評估透水鋪面都市之洪水設計之成效。
3. 可考量多增加所需之監測儀器，以更全面性的對其透水鋪面成效進行分析與驗證。
4. 透水性鋪面於台灣地區應用尚未普級，並且由於其本身沉陷之問題，因此亦有許多特殊工法為產生，為抵抗透水性鋪面沉陷之問題，採用連鎖磚鋪面配合蜂巢式加勁格網以及環保透水混凝土鋪面，此二工法於國內外並無一完整之力學分析與評估報告。未來可利用有限元素法更進一步針對其力學特性做探討。以確實了解其於車道、停車場之適用性。

### 建議二

#### 中長期建議

主辦機關：行政院公共工程委員會、內政部建築研究所

協辦機關：臺灣雨水利用協會、各縣市政府

1. 本研究進行其鋪面破壞模式分析，由於國內對透水鋪面之壽年預估以及其破壞模式之建立皆無相關之預測模式，未來可利用「力學-經驗法則」進行其相關模式之建立。
2. 本研究建議將透水鋪面從功能性上去探討，將常用保水設計之內容修改草地、為半保水鋪面、全保水鋪面，並配合其他保水設計相互配合。

## 附錄一 透水性材料資料庫查詢系統(PMDSS)

近年來透水性鋪面工程已漸漸推廣實行於各地方，透水性鋪面成效伴隨著各種不同之工法及材料特性已有大大的提升，而透水性鋪面工程自現地自自然人文條件到設計、施工和養護等對於各種工法及材料特性參差不窮，因此須配合一套有效之資料庫查詢系統，方便設計、施工及維護單位查詢使用。

本系統以網路資料庫方式，有效掌握龐大的材料資訊，並因應各種作業之需求，按各種材料鋪面特性及相關資訊，以便利相關務實單位查詢操作。伺服器及客戶端系統環境如下表。

**表1 系統伺服器軟硬體規格**

項目	軟硬體
作業系統	Windows 2003 Server
WWW 伺服器	Internet Information Server (IIS 6.0)
SQL 軟體	SQL Server 2000
中央處理器	AMD 64 3.0GHz
記憶體	1GB DDR RAM
硬碟	120 GB
網路卡	10/100 LAN 主機板內建

**表2 客戶端測試電腦軟硬體規格**

項目	軟硬體
中央處理器	Intel Pentium III 733MHz
記憶體	256MB SD RAM
硬碟	30 GB
網路卡	D-Link DFE-530TX
瀏覽器	Internet Explorer 6.0

## 第一節 系統架構

程式開發工具：網頁程式採用 DREAMWEAVER、ASP (Active Server Pages)，其提供設計 ASP 與 HTML 之網頁編輯器與功能增強的資料庫程式工具，且程式碼內建物件及屬性的顏色改變，可大大縮短程式人員偵錯 (Debug) 的時間，是非常適合寫網頁的一套軟體。

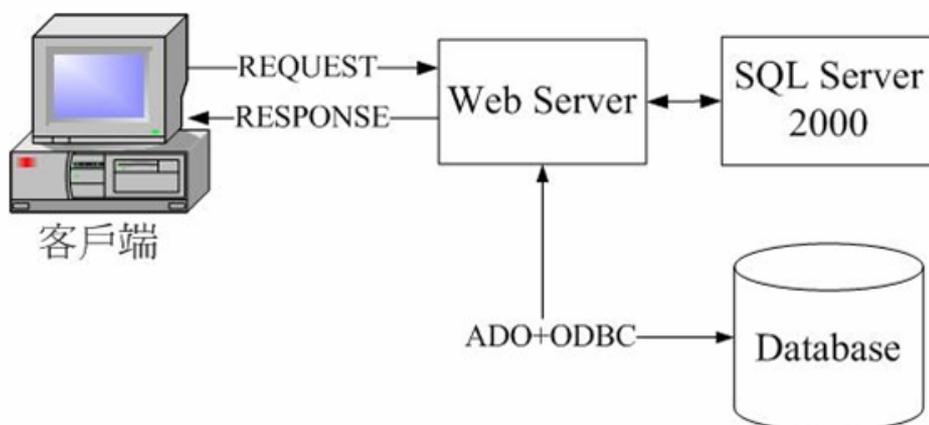
### 系統運作流程：

在整個系統運作溝通的過程中，其主要的目的乃是在於將客戶端使用者要求傳送到 Web 伺服器中，再將 Web 伺服器所得到的使用者要求，轉到 Application Server，由 Application Server 指定合適的 Spatial Server 為其服務後，再將所得到的結果回應給使用者。

整個系統運作流程依序如下，流程見圖 4-1：

1. 使用者進入系統中，以 HTML 版本的操作介面，即可直接使用；若以 ActiveX 或 Java 版本的操作介面，則須下載 plug-in 程式。本系統是採用 HTML 版本，所以可直接使用。
2. 當使用者下達查詢要求時，發出一個要求給 Web 伺服器。
3. 當 Web 伺服器收到要求後，經剖析等動作，此時 Web 伺服器經由 Connector、Application Server 再到 Spatial Server 中產生地圖；另一方面 Web 伺服器也經由 ADO 與 ODBC 物件來存取資料庫。
4. 產生的地圖和擷取出來的資料依同樣的路徑傳回給 Web 伺服器。
5. 再由 Web 伺服器統一發出回應給使用者，顯示出地圖及資料。

圖 1 系統運作流程圖



## 第二節 系統內容

本系統為網路資料庫查詢系統，提供透水性材料資料庫檢索查詢，其中有三  
大子系統，分別為網站基本系統、資料檢索系統及檔案下載系統，系統頁面如下  
圖 2。

### 一、 網站基本系統

網站基本系統為系統管理者與客戶端溝通之系統，其中包含網站架設宗旨、  
廣告刊登及 E-mail，藉此系統做以與外界交流更新資訊之用。

### 二、 資料查詢系統

資料查詢系統為本系統之主軸，其中包含關鍵資搜尋及交插比對搜尋，提供  
兩種搜尋模式，令使用者依不同需求做搜尋之動作

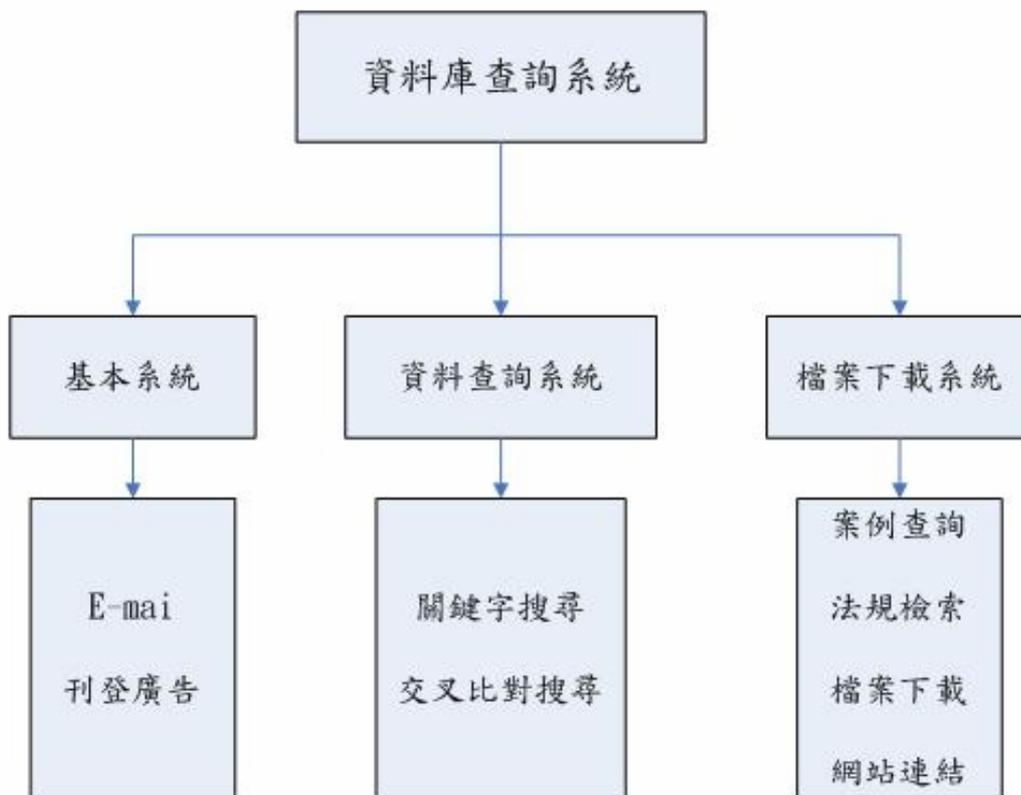
### 三、 檔案下載系統

提供站內相關資料下載，是一項附屬功能，令使用者查詢資料，亦能藉此網  
站得到其他更多之資訊，方便使用者使用。

圖 2 透水性材料資料查詢系統圖



圖 3 系統內容示意圖



### 第三節 系統操作方法

系統搜尋方式有兩種，分別為關鍵字搜尋及交叉比對搜尋；於關鍵字搜尋時，可先對標章類別及材料類別之下拉式選單先做選擇，已縮小搜尋範圍，再輸入廠商或材料名稱關鍵字，完成後若有誤可按下重設鍵，重新搜尋；若輸入無誤即可按下送出鍵，進行搜尋。(搜尋圖如下圖 4、搜尋結果如圖 5)

圖 4 關鍵字查尋



圖 5 關鍵字搜尋結果

搜尋結果

找到 2 筆資料

序號	公司名稱	產品名稱	標章類別	相關工程	型錄下載
4	全譜興資源科技股份有限公司	環境透水磚	環保標章	北市人行道	下載
5	全譜興資源科技股份有限公司	水泥透水磚	一般材料	-	下載

交叉比對查詢時，對環保標章、材料類別、抗壓強度、透水係數及單價做下拉式選單先做選擇，進行交叉比對查詢，完成後若有誤可按下重設鍵，重新搜尋；若輸入無誤即可按下送出鍵，進行搜尋。(搜尋圖如下圖 6、搜尋結果如圖 7)

圖 6 交叉比對查詢



圖 7 交叉比對查詢結果

搜尋結果

找到 18 筆資料

序號	公司名稱	產品名稱	標章類別	相關工程	型錄下載
1	富峰富業	環保透水磚	環保標章	-	下載
2	富峰富業	透水性瀝青土地磚	一般材料	-	下載
3	和成欣業股份有限公司	環保透水磚	環保標章	北市人行道	下載
4	全盛興資源科技股份有限公司	環保透水磚	環保標章	北市人行道	下載
5	全盛興資源科技股份有限公司	水泥透水磚	一般材料	-	下載
6	台富水泥製品股份有限公司	環保透水磚	環保標章	北市人行道	下載
7	艾美企業股份有限公司	洗石子透水磚	一般材料	北市人行道	下載
8	新豐混凝土事業股份有限公司	環保透水磚	環保標章	-	下載
9	天九興業股份有限公司	高壓瓷晶透水磚	環保標章	鳳會國小	下載
10	中榮水泥製品股份有限公司	高壓混凝土透水磚	環保標章	-	下載

Page 12

利用搜尋結果之資料，可進一步點選搜尋該公司進一步資料，如下圖 8，查詢結果如圖 9。點選產品名稱，可進一步蒐尋該產品規格及試驗規範等等，如下圖 10，查詢結果如圖 11。

圖 8 公司查詢

8	新豐混凝土事業股份有限公司	環保透水磚	環保標章	-	下載
9	天九興業股份有限公司	高壓彩晶透水磚	環保標章	觀看圖小	下載
10	中興水泥製品股份有限公司	高壓混凝土透水磚	環保標章	-	下載

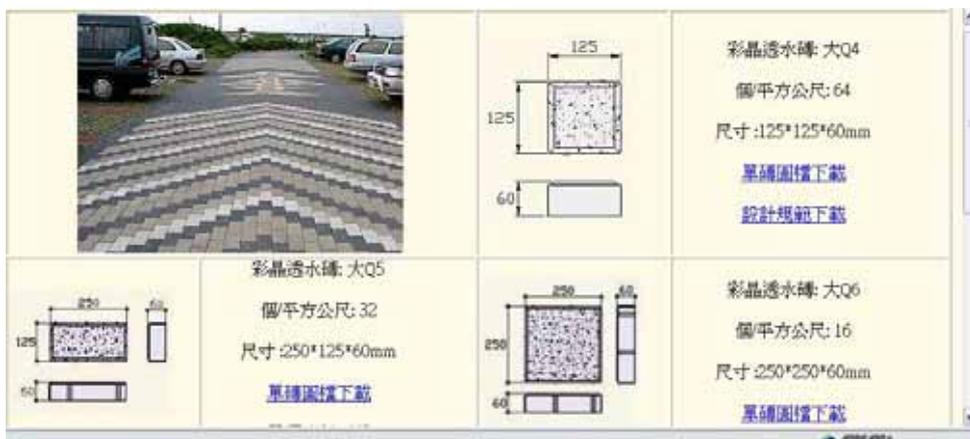
圖 9 公司查詢網頁



圖 10 產品名稱查詢

8	新豐混凝土事業股份有限公司	環保透水磚	環保標章	-	下載
9	天九興業股份有限公司	高壓彩晶透水磚	環保標章	觀看圖小	下載
10	中興水泥製品股份有限公司	高壓混凝土透水磚	環保標章	-	下載

圖 11 產品查詢結果



相關工程查詢，觀看該產品於實際使用情形，該系統提供使用照片供用戶端觀看，如下圖 12，查詢結果如圖 13。點選下載該產品型錄，查看更加詳細之項目，如下圖 14，下載結果如圖 15。

圖 12 相關工程查詢

8	新豐泥坭土事業股份有限公司	環保透水磚	環保標章	-	下載
9	天九園業股份有限公司	高壓彩晶透水磚	環保標章	觀看大小	下載
10	中美水泥製品股份有限公司	高壓泥坭土透水磚	環保標章		下載

圖 13 相關工程查詢結果



圖 14 下載型錄

8	新豐混凝土事業股份有限公司	環保透水磚	環保標章	-	下載
9	天九興業股份有限公司	高壓彩晶透水磚	環保標章	聲音圖小	下載
10	中興水泥製品股份有限公司	高壓混凝土透水磚	環保標章	-	下載

圖 15 下載型錄完成



系統最新材料廣告搜尋，僅需點選系統上方圖示，則可獲的最新材料資訊，如下圖 16，結果如圖 17。

圖 16 檢索新材料廣告



圖 17 新材料廣告



## 附錄二 審查會議紀錄及處理情形

### 一、期初審查會議紀錄及處理情形

時間：九十四年一月二十七日（星期四）上午九時三十分

地點：內政部建研所會議室

主持人：蕭所長江碧

出席人員：廖副總經理文水、經建會林組長之瑛、台北市政府何技士家偉、陳副總工程司弘由、張副總經理荻薇、台灣雨水利用協會 蔡耀隆先生、何副所長明錦、葉組長祥海、陳組長瑞鈴、歐陽教授嶠暉、林憲德教授、林志棟教授、鄭政利教授、廖朝軒副教授、徐虎嘯博士、李明賢先生、陳伯勳先生、劉耀斌先生、吳政松先生、陳建達先生。

評審意見	處理情形
<p>陳副總工程司弘由</p> <p>1.針對國內許多既有的透水鋪面，建議應將其效能一併納入評估檢討。</p> <p>2.建立透水鋪面的生命週期分析確有其必要，如此可做為後續其他工程規劃之參考，至於滲透管溝、雨水貯集等子計畫，建議應可視其需要增列本工作項目。</p>	<p>多謝委員指導，而透水鋪面生命周期之分析為長期之研究，其考量成本因素眾多，亦是本研究團隊之研究方向之一。</p>
<p>張副總經理荻薇</p> <p>1.滲水量計算中有關透水係數部份，因會隨者年限與維修等因素而衰減，且這與水頭高有關，建議應將其納入研究中考量。</p> <p>2.有關滲透管溝及透水鋪面之材料類別繁多，如何建制符合國內需求，且可量產之材料規格相當重要，請執行單位納入考量以利推廣。</p>	<p>謝謝委員指導，委員之意見亦是本計畫之方向與目的。確實有發現透水係數遞減現象，目前透水實驗區之透水鋪面堵塞情形不嚴重吸水率尚達5%可維持其滲透功能。</p> <p>透水材料類別繁多，故本研究團隊建立一套透水鋪面材料資料庫查詢系統，可供查詢使用。</p>

<p>歐陽教授嶠暉</p> <p>1.研究方向應朝向實用化方向進行，同時應參考日本的推廣方式，針對不同工法編撰相關設計指南，以利設計者參考。此外，未來還應結合國內相關產業製造商，進行模組化量產技術的研發，以擴大效益。</p> <p>2.針對國內部份地區的開發設計案，如：中部科學園區、台大雲林校區、南港世貿園區以及故宮南部分院等，均已將保水技術納入，執行單位應可收集相關資料進行分析彙整，以供後續設計規範及管理維護手冊訂定之參考。</p>	<p>多謝委員意見，透水鋪面的推廣，本研究團隊利用多次研討會向國內之道路主管單位及廠商多次推廣宣導，已有相當成效。</p> <p>因各個設計案之資料不易取得，改以目前中正大學、橫山鄉及觀音鄉之透水鋪面案例進行分析。</p>
<p>廖副總經理文水</p> <p>1.透水鋪面計畫書中有部分引用其他文獻報告，應註明文獻出處。</p>	<p>謝謝委員指導，已於報告中文獻回顧部分改正。</p>
<p>陳組長瑞鈴</p> <p>1.在透水鋪面計畫部份，除持續辦理鋪面滲透衰減能力之觀測，並提出具體明確的結果外，對於都市熱島效應的改善部分，也請於本年度計畫研究成果中提出，以供未來設計規劃參考。</p> <p>2.透水鋪面以往最為人所詬病，即為鋪設後的沉陷部份，而這也是一般評斷鋪設成敗的重要指標，因此本計劃在後續維護管理手冊訂定時，應將本項工作納為執行重點並提出確實改善方式，以利推廣。此外本案也應收集其他案例資料，並進行成本效益評估，以供未來設計手冊訂定之參考。</p>	<p>多謝委員，已於期末報告中對熱島效應做相關的闡述。透水鋪面滲透力衰減狀況有部分賭色現象，但尚不嚴重，目前持續觀測中。</p> <p>目前透水鋪面失敗原因已於其中報告提出，大部分為車轍所造成之凹陷，其改善方法可由加強並要求其基底層之CBR達95%。</p>

二、期中審查會議紀錄及處理情形

時間：九十四年七月十二日（星期二）上午九時三十分

地點：內政部建研所會議室

主持人：陳組長瑞鈴

出席人員：盧工務員昭宏、張副總經理荻薇、黃教授榮堯、歐陽教授嶠暉、林憲德教授、林志棟教授、鄭政利教授、廖朝軒副教授、徐虎嘯博士、劉耀斌先生、王信越先生、簡婉芸小姐

評審意見	處理情形
<p>營建署盧工務員昭宏</p> <p>1.國內對於建築基地保水滲透及貯集相關技術，長期以來均缺乏本土實驗數據及案例調查，以支持理論及公式推導驗證。本計畫是很好的開始與延續，更有利於研訂設計規範等法制化作業及推廣應用。</p> <p>2.設計規範之計算公式應簡化，資料庫建置應完備，施工準則建議多採圖示標明及量化敘述，俟草案研訂完成後，宜請建築師就現行建築技術規則綠建築專章基地保水條文規定，應納入實施範圍之學校、山坡地建築等各種基地及建築規模之實際案例試算，作為後續修正之依據，並編輯完成電腦計算程式推廣，俾供業界廣泛採行應用。</p>	<p>多謝委員意見，本研究團隊定遵照辦理，蒐集多各方資料進行整理分析，以工業界採用。</p>
<p>張副總經理荻薇</p> <p>1.透水性鋪面除可降低溫度，改善熱島效應外，對於保持鋪面乾爽、減少逕流量、減輕排水系統之負荷，亦有相當的功效，宜大力推廣於人行道、廣場、停車場等地。而研究中提出了四種鋪面的各項試驗比較，能否再加入國外常見的「卵石鋪面」，以增加大面積透水性鋪面之多樣化。</p> <p>3.本計畫之技術規範，可提供設計者走向較正</p>	<p>多謝委員意見，卵石鋪面確實有相當功效，但其應用多為花園或人行步道，腳踏車與機車無法通行，故其鋪設面積不大，較難與目前之實驗區比對。</p> <p>目前與法制化尚有一段距離，這也是本研究團隊努力目標之一，本團隊會持續朝這方向推動。</p>

<p>確之設計方向，並提供參考的資訊，但因仍有甚多盲點存在尚待釐清，這與法制化仍有一段距離，不宜輕易施行。</p>	
<p>黃教授榮堯</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.目前研究側重設計技術與計算方法之探討，但對於法制化之可行性、各技術工法之適用範圍、工法材質選擇及效益評估等，均較欠缺，建議應予以補充，此外各子計畫研擬之規範及法規應儘快進行整合，以供未來設計使用參考。</li> <li>2.本計畫建議後續應針對維護管理頻率及維護管理方式對滲透效益之影響，進行試驗評估，並將其成果納入維護管理手冊，以供未來設計及使用者參考。</li> <li>3.本計畫建議加入再生透水建材之滲透保水試驗，並將其與天然材質的性能進行比較，如此將可有助於再生綠建材之推廣。</li> </ol>	<p>本透水鋪面及工法適用範圍宜以使用性配合天文、地文、人文作為考量。而材料之選擇可藉由本團隊之透水鋪面材料資料庫查詢系統做使用參考，至於整體的效益評估不僅以鋪面單價考量，應參考噪音、溫度、CO<sub>2</sub>減量、舒適度等相關指標，因素眾多，目前上在研究中，望能於計畫完成時提出初步之參考值。</p>
<p>陳組長瑞玲</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.由於建築基地保水技術眾多，除相關工法、資料之收集建立外，鋪設後之維護管理，以及施工方式，將直接影響未來之效益，因此如何有效延長使用壽命，降低維護及建造成本，請研究單位在未來的設計規範及維護管理手冊中訂定，以利未來推廣應用之參考。</li> <li>2.與會專家學者及出席代表意見請研究單位參採，於期末報告回應，並如期完成研究計畫。</li> </ol>	<p>謝謝主持人意見，施工及維護之相關方法已於期末報告中第六章做相關闡述。</p>

三、期末審查會議紀錄及處理情形

時間：九十四年十一月十六日（星期三）上午九時三十分

地點：內政部建研所會議室

主持人：丁所長育群

出席人員：陳副總工程司弘由、蕭教授江碧、陳組長瑞鈴、張副總經理荻薇、陳組長建忠、林教授憲德、林教授志棟、鄭教授政利、廖副教授朝軒、徐博士虎嘯、施孟亨先生、呂文弘先生、劉耀斌先生、王信越先生、陳建達先生、簡婉芸小姐。

評審意見	處理情形
<p>張副總經理荻薇</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 透水鋪面主要是保水功效，厚度 100cm，保水 20cm，其代表與逕流量的關係？</li> <li>2. 建議人行道、廣場用以卵石用於保水鋪面。</li> <li>3. 設計規範主要於法制化，其維修部份也應考量。</li> <li>4. 建議推廣重於法制化，若推廣成功法制化自然水到渠成。</li> <li>5. 鋪面的損壞其原有土壤底層也很重要，施工過程中有無要求底層夯實及壓密度？</li> <li>6. 建議透水磚之強度規範中提到停車場之透水磚抗壓強度大於 470kgf/cm<sup>2</sup>，如何試驗？強度合理性？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與降雨延時有關，其降雨延時於簡報第 11 張有提到。</li> <li>2. 卵石本身也是不錯的透水性材料，但國內合適的卵石挑選較難，因此實行較為困難。</li> <li>3. 計畫第二期有維護工法，其增於本計畫第三期期末報告第六章第三節 P130-159。</li> <li>4. 謝謝委員建議，本計畫未來可列入實施目標。</li> <li>5. 依施工規範有施作，壓實度達 90%-95%。</li> <li>6. 因試體尺寸未經轉換，經換算後停車場之透水磚抗壓強度調整為大於 210kgf/cm<sup>2</sup>。</li> </ol>
<p>陳副總</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新店自然降雨量造成之逕流量太小，其單</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 為簡報單位錯誤，已修正於期末報告</li> </ol>

<p>位是否有問題?</p> <p>2.建議回顧降雨入滲理論，以便試驗。</p> <p>3.鋪面之設計探討應前後對應。</p> <p>4.熱島效應之影響因子甚多，其以局部數據所能夠提供透水鋪面之熱島效應的地方?</p>	<p>第三章第二節 P47-51。</p> <p>2.謝謝委員指導，因區域降雨強度之不同所造成的入滲也不同，本計劃未來將加強文獻回顧部份加以比較探討。</p> <p>3.謝謝委員指導，本研究範圍為探討透水鋪面使用性及適用範圍，配合周遭生活圈的天文、水文、地文，分析鋪面的力學行為及環境因子的影響，本計劃已於期末報告中加以詳述。</p> <p>4.影響熱島的因子眾多，本研究將其中部分因子包括風速、雨量、表面溫度等加以比較探討後，將效應放大後予以修正，並增加量測數據加以驗證。</p>
<p>蕭所長</p> <p>透水鋪面管理維護是否有配套措施(例如樹種之限制)</p>	<p>於去年第二期報告中有提到，已將此部分納入第六章第三節 P 130-159 中加以討論。</p>
<p>陳組長瑞鈴</p> <p>1.設計建議仍有部分爭議，做細部整理後建議其詳細內容、細部規定納到明年繼續完成。</p> <p>2.維護管理規範無較完整之結論，應補充之。</p>	<p>感謝委員指導，設計部分有爭議處未來將於現地做更多數據加以驗證，而其維護管理部份已於本期末報告第六章第三節提出。</p>
<p>丁所長育群</p> <p>1.基地保水之法制化可納入建築技術規則之低地規劃中做更細部之規定，其規定可由各研究案統整。</p> <p>2.建議將主要的抽出來法制化，剩餘細部為規範，則法案通過的阻力會較小。</p>	<p>謝謝主持人指教，本案將配合新店透水鋪面實驗區及透水鋪面各現地互相比較以研擬出更詳盡之規定。</p>

## 參考書目

### 中文部分

- 林志棟，透水鋪面工法性試驗解析，內政部建築研究所。民國93年1月。
- 內政部建築研究所，綠建築解說與評估手冊，民國92年3月。
- 林志棟、黃博仁，排水性瀝青混合料鋪面試驗路段之成效評估，民國90年6月。
- 國立中央大學土木所，土木材料試驗作業流程及範例，民國89年3月。
- 鄭光炎，透水性鋪面，透水鋪面研討會，民國93年4月。
- 林志棟，「透水鋪面」理論模擬分析，內政部建築研究所，民國93年12月
- 林志棟，研擬「透水鋪面」設計技術規範與法制化工作，內政部建築研究所，民國94年12月
- 林志棟，開放級配應用於高速公路路面之改善研究，交通部國道新建工程局，民國88年6月。
- 內政部建築研究所，可滲透式人行道鋪面材料（無細骨材混凝土）及施工方法，民國89年10月。
- 劉守益，「多孔隙瀝青混凝土成效之評估」國立中央大學碩士論文，民國85年6月。
- 行政院公共工程委員會「施工綱要規範」，民國92年5月。
- 團法人台灣營建研究院，多元性營建資源再利用於透水性組合設計之研究，民國92年11月。

建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究  
子計畫二：透水鋪面技術規範與法制化之研擬

余濬，降雨強度之推算，民國93年4月。

國立中央大學，路基土壤取樣及試驗，民國87年6月。

洪如江，工址調查，民國88年。

交通部國道新建工程局，台灣地區柔性路面厚度設計手冊，民國85年4月。

施國欽，大地工程學，民國85年7月。

內政部建築研究所，台灣地區北部降雨強度之評估，民國91年7月。

國立中央大學，排水性瀝青混凝土鋪面特性研討會專輯，民國91年6月。

楊大安，「營建剩餘土石方資源再利用場設置及運轉之研究」國立中央大學碩士論文，民國93年6月。

林憲德、李德河，「基地保水性能之研究」，內政部建築研究所，87年6月。

林憲德，「綠建築社區的評估體系與指標之研究—『生態社區』的評估指標系統」，內政部建築研究所，86年5月。

祝錫智等，「高速公路多孔隙排水面層試鋪及績效評估研究」，交通部台灣區國道高速公路局，88年10月。

楊伯科主編，「混凝土實用新技術手冊」，吉林科學技術出版社，第550-556頁，87。

林憲德，綠建築設計技術彙編(2005版)，內政部建築研究所，94年1月。

綠建築解說與評估手冊（2005年更新版），內政部建築研究所，94年3月。

林憲德，綠建築評估體系之雨水貯留滲透對策，93年。

林志棟，台北市透水性鋪面材料委託試驗計劃書，中央大學土木所，94年9月。

林志棟，觀音國小前人行步道委外監測計畫書，觀音鄉公所，94年3月。

林志棟，橫山鄉內灣停車場委外監測計畫書，橫山鄉公所，94年6月。

林志棟，國立中正大學停車場委外監測計畫書，穎昌營造，94年6月。

## 外文部分

Hiroji KOSEKI , Structural Design and Performance of Permeable Composite Pavement for Heavey Traffic Road

ASTM D3515-96 “Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures” ASTM annual book 2000, Vol.04.03

日本道路協會，排水性鋪裝技術指針，平成8年10月。

Rajib B.Mallick, Prithvi S.Kandhal, L.Allen Cooley, Donald E.Watson, “Design, Construction, and Performance of New-Generation Open-Graded Friction Courses” NCAT Report No.2000-01,2000.

Walter J.Tappeiner, “Open-Graded Asphalt Friction Course” NAPA IS115.

L.J.Huddleston, H.Zhou and R.G.Hicks, “Performance Evaluation of Open-Graded Asphalt Concrete Mixtures Used in Oregon” AAPT Vol.60,1991.

山海堂，透水性鋪裝，1991.1

Yang H. Huang, “Pavement Analysis and Design”2nd edit,2001.

L.Allen Cooley,Jr.,E.Ray Brown, Donald E.Watson, “Evaluation of OGFC Mixtures Containing Cellulose Fibers” NCAT Report No.2000-05,2000.

日本下水道協會，下水道水調整技術基準，昭和59年。

British Precast Concrete Federation, “Guid to the Design Construction and Maintenance of Concrete Block Permeable Pavement”, 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Huang Yang H. , “Pavement Analysis and Design second edition”, Prentice Hall, 2004

Ishai I., Livneh M. and Ruhm C., “Method and Guidelines for The Structural Design of Concrete Block Pavements in Urban Streets” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

James, W., James, W.R.C., and von Langsdorff, H., “Computer-Aided Design of Permeable Concrete Block Pavement for Reducing Stressors and Contaminants in An Urban Environment” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Nejad F.M. , “Finite Element Analysis of Concrete Block Paving” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Nishizawa, T. , “A Tool for Structural Analysis of Block Pavements Based on 3D FEM” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Pretorius F.J. and Logan R. , “Failure Analyses and Rehabilitation Design for Paving Block Pavements : A Case Study on A Container Site Area WHERE Early Failures Were Experienced ” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Shackel B. and Lim D.O.O. , “Mechanisms of Paver Interlock” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Silfwerbrand J.L., “Design of Industrial Concrete Block Pavement: Summary of An International Workshop” , 7th International Conference on Concrete Block Paving , 2003

Interlocking Concrete Pavement Institute, “ICPI Tech Spec” , [Http://www.icpi.org](http://www.icpi.org) , 2000

建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究  
子計畫二：透水鋪面技術規範與法制化之研擬

ACPA, "Concrete Paving Technology, Recycling Concrete Pavement", American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois, 1993.

Nader Ghafoori, Shivaji Dutta," Pavement Thickness Design for N

鋪面面層保水性研究報告書，日本大有建設中央研究所。