

## 目次

表次	III
圖次	V
摘要	IX
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
第二章 文獻回顧	5
第一節 排水性鋪面與透水鋪面	5
第二節 國內外使用情形	17
第三節 排水性及透水性鋪面之問題	30
第四節 透水鋪面對都市熱島之效益	31
第三章 新店實驗區透水鋪面之保水及滲透性之探討	43
第一節 透水鋪面實驗區介紹	43
第二節 實驗區透水鋪面規劃設計	44
第三節 新店實驗區鋪面材料與施工規範	48
第四節 透水鋪面基本性質實驗結果分析(含基底層)	59
第五節 透水鋪面效益	77
第四章 透水性鋪面之選址	85
第一節 透水鋪面選址之目的	85
第二節 透水鋪面工址調查	85
第三節 設計雨型之觀念	94
第四節 透水鋪面之選址要點	97
第五章 透水鋪面之設計及維護方法	101
第一節 透水性鋪面設計	101
第二節 台灣透水性鋪面設計	104
第三節 透水性鋪面維護方式	112
第四節 透水鋪面施工規範之推行	120
第六章 結論與建議	121
第一節 結論	121
第二節 建議	122

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」理論模擬現地實鋪成效研究

附錄一	透水鋪面技術規範編（草案）.....	123
附錄二	降雨強度公式.....	139
附錄三	透水鋪面單價分析.....	149
附錄四	透水鋪面選址評量表.....	167
附錄五	統一土壤分類法.....	169
附錄六	審查會議紀錄及處理情形.....	171
參考書目	.....	175

## 表次

表 2-1	透水瀝青混凝土粒料級配建議規定.....	9
表 2-2	篩孔尺寸與過篩質量累計百分率之關係.....	10
表 2-3	透水性混合物之目標值.....	12
表 2-4	AASHTO 建議柔性路面未處理基底層排水系數 ...	16
表 2-5	九十三年透水性鋪面工作之示範案例明細表....	29
表 2-6	日本各大都市之年平均氣溫與相對溼度的變化..	38
表 2-7	各種鋪面對生態系統服務的損耗程度比較表....	40
表 3-1	CNS 14184 聚合物改質柏油分類 .....	54
表 3-2	日本多孔隙瀝青混凝土鋪裝綱要改質瀝青之規範	54
表 3-3	粗粒料建議檢驗規範.....	55
表 3-4	細粒料建議檢驗規範.....	56
表 3-5	礦物填充料建議檢驗規範.....	56
表 3-6	纖維基本性質建議檢驗規範.....	57
表 3-7	透水級配(設計級配).....	59
表 3-8	垂流試驗結果 .....	60
表 3-9	飛散損失率試驗.....	61
表 3-10	穩定值試驗 .....	62
表 3-11	連續空隙率試驗.....	63
表 3-12	瀝青混凝土透水係數試驗.....	63
表 3-13	飛散損失率試驗.....	64
表 3-14	原土摻配 50%砂之粒徑分佈 .....	66
表 3-15	四斷面各層水力傳導係數 (CM/SEC) .....	68
表 3-16	四斷面之等效水力傳導係數.....	68
表 3-17	級配層、原土層 (實驗室相關資料) .....	69
表 3-18	工地密度 (KG/CM <sup>2</sup> ) .....	69
表 3-19	現地各層施工時含水量(%).....	69
表 3-20	孔隙比(E).....	70
表 3-21	孔隙率(N%).....	70
表 3-22	飽和度(S%) .....	71
表 3-23	四斷面各層分別保水量.....	71
表 3-24	保水量(全保水 CM) .....	71

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」理論模擬現地實鋪成效研究

表 3-25	交通部中央氣象局新修訂之「大雨」及「豪雨」定義.	76
表 4-1	最大粒徑取樣重量比較表.....	89
表 4-2	暴雨強度公式表.....	95
表 4-3	降雨強度公式(中央氣象局)表.....	96
表 4-4	暴雨強度公式及降雨強度公式比較表.....	97
表 5-1	日本常用之透水性鋪面形式.....	103
表 5-2	基層厚度修正因子表.....	109
表 5-3	不同設計厚度之保水量.....	110

## 圖次

圖 1-1	研究架構 .....	4
圖 2-1	排水性鋪面排水路徑.....	5
圖 2-2	透水性鋪面水分滲透路徑.....	6
圖 2-3	一般鋪面、排水性、透水性鋪面之比較.....	7
圖 2-4	一般保水性鋪面示意圖.....	8
圖 2-5	8號篩(2.36MM)通過質量百分率—孔隙率曲線...	10
圖 2-6	最適瀝青量之決定方法之概念圖.....	11
圖 2-7	多孔隙瀝青混凝土建議配合設計法流程.....	14
圖 2-8	美國各地延時一小時降雨強度.....	16
圖 2-9	美國多孔隙瀝青混凝土應用於停車場鋪面.....	18
圖 2-10	人造窯燒花崗石鋪磚.....	22
圖 2-11	連鎖磚 .....	23
圖 2-12	花崗石鋪磚 .....	23
圖 2-13	窯燒紅磚 .....	24
圖 2-14	純混凝土鋪面 .....	24
圖 2-15	預鑄混凝土塊磚.....	25
圖 2-16	台南市中華西路.....	25
圖 2-17	高雄大學「竹鋪面」.....	26
圖 2-18	環保透水混凝土鋪面.....	27
圖 2-19	新店實驗區環保混凝土鋪面.....	27
圖 2-20	台灣透水鋪面案例分布.....	28
圖 2-21	連續孔隙率示意圖.....	30
圖 2-22	都市及郊區熱平衡.....	32
圖 2-23	環境條件及人體側條件及溫冷感關係.....	35
圖 3-1	基地現況配置與本工程施做範圍.....	43
圖 3-2	基地現況照片 .....	44
圖 3-3	新店實驗區規劃鋪面面層示意圖.....	45
圖 3-4	不同透水鋪面路面圖及空間桁架 3D 模擬.....	46
圖 3-5	鋪面下之土壤用混凝土隔開.....	46
圖 3-6	不同鋪面下土壤滲水情況設計參考示意圖.....	47
圖 3-7	現地試驗區模雨器.....	47
圖 3-8	卵礫石級配基底層.....	47

圖 3-9	不織布	47
圖 3-10	原土摻配夯實	48
圖 3-11	碎石級配	48
圖 3-12	面層施工	48
圖 3-13	透水磚路面施工斷面圖	50
圖 3-14	環保透水混凝土施工斷面圖	51
圖 3-15	植草磚施工斷面圖	52
圖 3-16	透水瀝青施工斷面圖	53
圖 3-17	瀝青混和料垂流試驗圖	60
圖 3-18	瀝青混和料飛散試驗圖	61
圖 3-19	試驗流程	65
圖 3-20	原土摻配 50%砂	66
圖 3-21	原土與原土摻配後之比較圖	67
圖 3-22	實驗區現地透水試驗規劃流程圖	73
圖 3-23	$\Phi$ 指數示意圖	74
圖 3-24	現地入滲試驗步驟	75
圖 3-25	模擬降雨示意圖	76
圖 3-26	強雨強度及逕流關係圖	77
圖 3-27	透水鋪面及不透水鋪面濕度比較圖	80
圖 3-28	新店透水鋪面與不透水鋪面溫度	81
圖 3-29	新店試驗區透水瀝青混凝土沉陷量示意圖	82
圖 3-30	新店試驗區透水植草磚沉陷量示意圖	82
圖 3-31	新店試驗區透水透水磚沉陷量示意圖	83
圖 3-32	新店試驗區透水環保混凝土(JW 工法)沉陷量示意圖	83
圖 3-33	透水性鋪面土壤溫度監測變化圖	84
圖 3-34	透水性鋪面表面、土壤及不透水鋪面溫度監測變化圖	84
圖 4-1	透水鋪面工址調查流程圖	86
圖 4-2	塑性圖	93
圖 4-3	納莉颱風雨排列法設計兩型比較圖	95
圖 4-4	選址流程圖	99
圖 5-1	透水鋪面基本結構剖面圖	102
圖 5-2	連鎖磚／透水磚鋪面斷面圖	105
圖 5-3	連鎖磚／透水磚鋪面磚塊排列方式示意圖	105

圖 5-4	連鎖磚／透水磚受力後向外推擠示意圖.....	105
圖 5-5	不同磚形狀、排列方法所產生之推擠效應圖...	106
圖 5-6	磚鋪面受到荷重後其接縫產生之效應.....	106
圖 5-7	台灣透水鋪面設計流程圖.....	108
圖 5-8	底層採用粒料時之設計圖.....	109
圖 5-9	不同斷面設計圖.....	110
圖 5-10	5 年設計雨型圖.....	111
圖 5-11	多孔隙瀝青混凝土灰塵阻塞.....	113
圖 5-12	標定欲維修之範圍.....	114
圖 5-13	接縫砂之清除.....	115
圖 5-14	首塊透水磚之移除方法.....	115
圖 5-15	透水磚移除工具.....	116
圖 5-16	大範圍之透水磚、連鎖磚鋪面移除.....	116
圖 5-17	T-型斷面示意圖.....	117
圖 5-18	墊層砂回填砂鏟平方法示意圖.....	118
圖 5-19	透水磚鋪面接縫調整與確定.....	119
圖 5-20	透水磚鋪面面層夯實.....	119

## 摘要

關鍵詞：透水鋪面、熱島效應、土壤滲透能力、基地保水、法制化

### 一、研究緣起

由於都市人口因經濟發展而愈來愈稠密，對於防洪治水從以前的將雨水儘速排除的觀念，逐漸加以修正為與水親善及避洪之理念。而隨著都市化程度日益趨高，其氣候將轉變為都市氣候，即為氣候都市化，隨著人口的集中地表的人工化，使得都市不透水面積大為增加，相對地減少了自然植生的被覆面，使得雨水滲入地面的機會大減，其代謝熱與能源消費增加，改變了都市的熱平衡，因此產生了熱島效應。

如果再不考慮基地保水、滲透、滯留之排水觀念，即不是一種維護生態的都市防洪計畫，因此為改善大地的滲透能力，增加其保水功效，就必須對我們日常賴以生活之人造環境在不影響其生活機能之條件下，進行全方位之透水化設計，其中較為簡易且具體之方式即為「透水鋪面」之鋪設法。「透水鋪面」工法在歐美日等國已行之有年，而台灣目前仍為研究階段，也有許多成功試鋪路段之經驗，成效斐然，證明台灣亦適合鋪築透水鋪面，應致力實行，將透水鋪面法制化。

### 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；進而套用本研究設計之選址方法，來選定該現地是否適合鋪築透水鋪面透，再依其地理特性選定鋪築透水鋪面之種類；再針對透水鋪面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，最後再為透水性鋪面之維護及修繕方式做一介紹。本研究中由中央氣象局提供之各地降雨量計算出該地區之降雨強度及延時，再計算出該地區之設計雨型及強度，才能發揮透水鋪面之性用，各針對各項參數實做現地透水鋪面結構設計及試鋪工程。

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



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」理論模擬現地實鋪成效研究

究成果，進行法制初擬，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. 路基土壤滲透能力將會影響透水鋪面的透水性質，因它為決定雨水滲透至面層、底層之後是否能入滲至地下水層之最重要環節，而且路基土壤的滲透係數並不能藉由人為因素去調整，因此如何選擇適當路基土壤層配合透水面層、基底層是需要特別注意。
2. 車道使用透水性鋪面，可能會有路基因浸透水而造成侵蝕退化的問題，所以對於路基的強度與滲透能力的關係應多加以考慮。
3. 透水性鋪面對強度的要求並不如一般路面高，所以往往為了提高更佳的耐久性必須選擇對材料有要特別求的材料，因此在單價方面往往會較一般路面高，如何選擇適宜的材料及設計參數是很重要的。
4. 有關透水鋪面施工規範國內還尚無完整的規範標準，惟公共工程委員會近日施工綱要規範提出有關透水鋪面的規範，但整體規範內容還需再更進一步調整，在此次研究中著手進行建築技術規則保水滲透技術透水鋪面篇草案初擬，並且同時參考國內外已有規範，並配合實驗室成效分析及室外實驗區研究，制訂出適合台灣本土的透水路面規範，以期早日能提供規範給設計及施工單位參考。

### 四、主要建議事項

1. 在未來將進行十項的之透水鋪面施作，是否能將其選址原則和透水鋪面設計運用其上，以探討缺失並修正。
2. 透水鋪面之維護管理，在成本及生態的二因素相互牽制下，取的一個合適當地的維護方案是未來必須探討。
3. 未來在選址上，可加入空照圖也就是建築基地之航照圖，由從微觀裡的透水性率及土壤保水量，宏觀上更可以預估區域逕流量。
4. 對於熱島效應之成效改善情況，也是未來可以進行量化之評估。
5. 未來可計算都市水災中採用不透水鋪面及透水鋪面之差異。並由類神經網路，暴雨對都市造成逕流程度。
6. 未來可以利用GIS方法，計算都市中透水面及不透水面之分布。建立預測多大

## 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。本計畫在九十一年度已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、透水鋪面第一階段法制化研究、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。

本計劃主要重點由台灣所有地區之地質資料，加上實驗室資料針對透水鋪面之選址工作定出一個方針。並配合相關研究成果進行初擬之條文邀請相關專家審核與建議，以讓透水鋪面相關法令條文更加完整。

### 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。本計畫於將進行初擬之條文邀請相關專家審核與建議，以讓透水鋪面相關法令條文更加完整。

本研究內容主題如下：

1. 建立透水鋪面基本設計參數
2. 試鋪實驗區各項成效整理、研究
3. 透水鋪面基本設計流程建立
4. 透水鋪面選址方法建立、設置影響因素探討
5. 研擬透水鋪面維護方法
6. 透水鋪面第二階段法制化、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. 透水鋪面之選址工作之探討

地質調查之目的，是在取得建築物基礎設計、施工及使用期間相關資料，並能從事設計或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. 透水鋪面之設計方法

將比較國內外之透水實案例之設計方法，加上當地之人文資料、水文資料、及地質資料確定選址問題。再由材料之基本物理力學試驗為基礎進而建立初步實驗室內之設計方法及流程，未來再進行現地模擬降雨之驗證。取最適之設計方法。

### 4. 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。

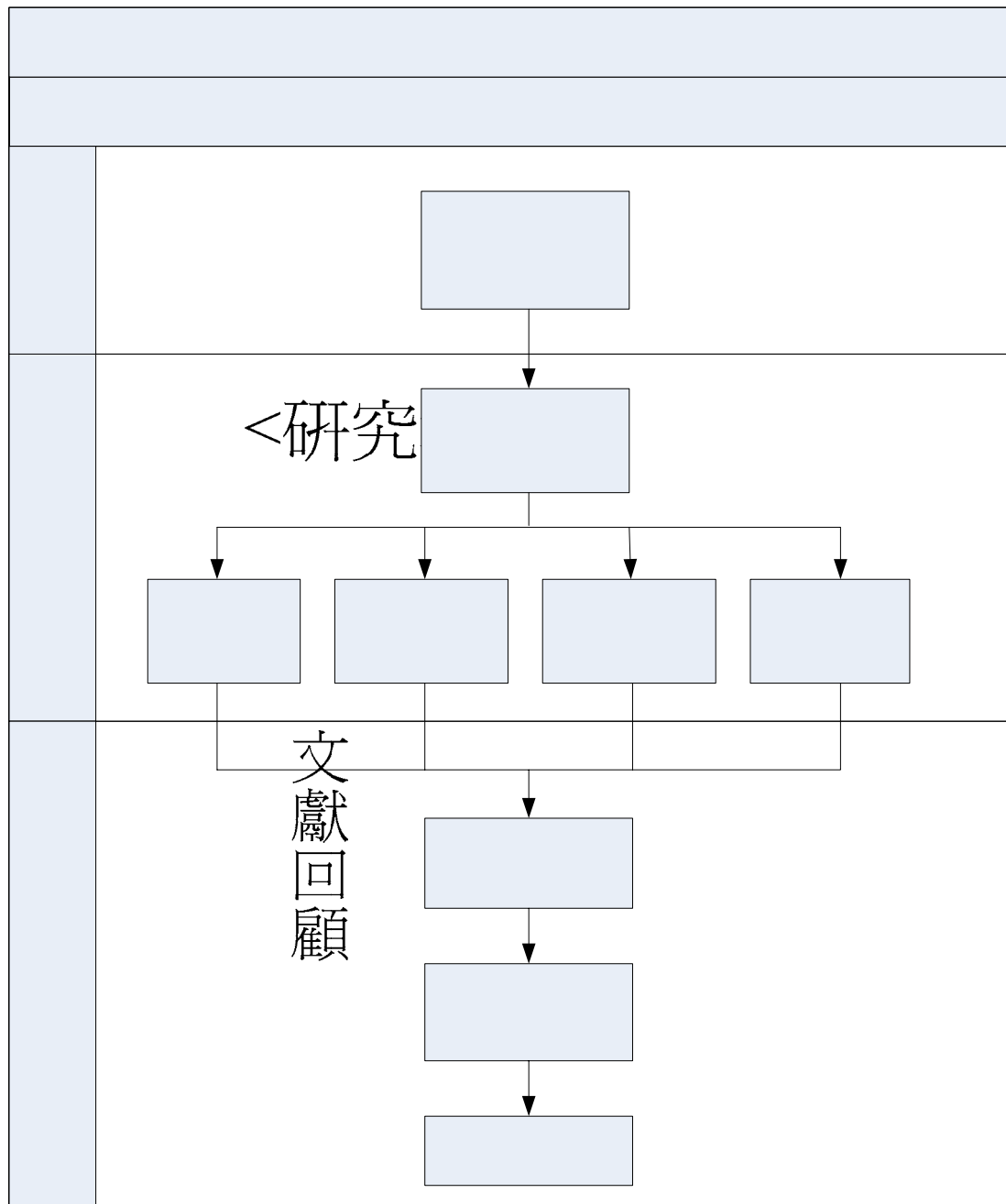
### 5. 透水鋪面維護管理之建立

對於透水鋪面之維護管理，主要針對不同面層之維護方式。對於國內外的養護方式選取其優劣，研究出具經濟又適合台灣環境。而基底層維護方式仍挖除重鋪為主。

### 6. 第二階段法制化之探討

技術面之落實得先有法制化作業層面之實現，本計畫第一年度已擬定透水鋪面技術範編(草案)，未來將邀請政府單位，及專家學者審核及建議，檢討其是否有衝突點，提出初步的因應與修正，以能在有推行之可行性，以推動國內透水性鋪面之發展。

圖1-1 研究架構



國內外

透水鋪  
 撥

選址方針

實際透水  
 鋪面案例  
 評估

水文因素

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 排水性鋪面與透水鋪面

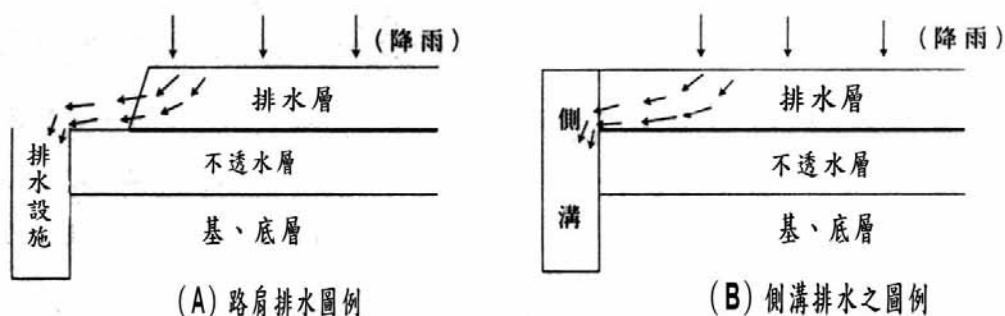
對於透水鋪面與排水鋪面往往會混淆了許多人，認為此兩種鋪面是屬於同一種鋪面，然而此兩種鋪面因為結構的不同，所以會造成水在鋪面下流動的效果造成很大的差異，以下將對此兩種鋪面結構利用圖文的方式做說明。

#### 一、排水性鋪面

傳統的瀝青混凝土面層，不論採用密級配或粗級配，原則上是不允許水份滲透的；惟於1987年時，日本為改進賽車競技場鋪面天雨濕滑之缺失、增加安全性等緣由，乃於「東京都」率先使用所謂的「多孔隙瀝青混凝土鋪面」，由於功效卓著、至1999年12月止，全國已累積了1000萬平方公尺以上的施工實績，且日本道路學會自1992年起，積極收集資料、召開審查、編定等會議，已於1996年11月制訂完成「排水性鋪裝技術指針(案)」乙書，作為此類工程頗具權威之指導準則。

排水性鋪面為發揮良好之排水功能，且雨水不致滲透而軟弱路基，排水層下應有一不透水層（一般採用密級配瀝青混合料），並應有良好坡度及平整度以利迅速排水，圖2-1 為排水性鋪面排水路徑設計例，惟空隙率及排水能力會隨時間因車輛碾壓及灰塵或石屑堵塞而降低，若黏層設計及施工不當，也可能造成排水層與不透水層之結合面剝脫及鬆散。

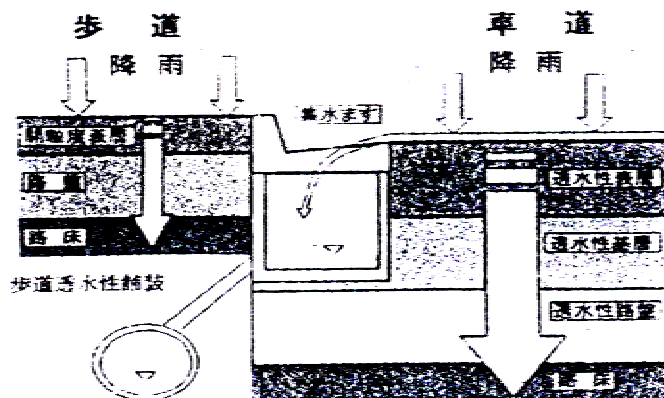
圖2-1 排水性鋪面排水路徑



## 二、透水性鋪面

透水性鋪面其在透水級配層上鋪設多孔隙瀝青混凝土，使落在鋪面上之雨水能完全滲入土壤，所以在多孔隙瀝青混凝土下設置透水層，避免採用不透水的黏層。因雨水通過路面直接滲入路基，會使路基土含水量增大而變軟。但據日本東京市建設局追蹤調查發現，路基土壤並沒有因為其含水量增高而有變軟的傾向，主要係此種路面均鋪築於人行道停車場及交通較少之車道，因此目前透水性路面適用對象為人行道停車場及輕交通量車道，相當於國內五、六級路之縣鄉專用道路及社區道路，集水區內之道路一般車流量不高，故採用透水性鋪面，應可承受交通荷重。而透水性鋪面，一來可以保水，以利涵養水份，再來因為增加其土壤的保水面積，對於台灣的熱島效應可以降低其影響程度。

圖2-2 透水性鋪面水分滲透路徑



## 三、排水性路面與透水性路面比較

排水性鋪面與透水性鋪面均有各自適用的特性其共同的特點如下：

1. 排水性鋪面與透水性鋪面其面層均使用有較大的孔隙率的多孔隙瀝青混凝土，所以具有良好的滲透性能。
2. 使落在鋪面上之雨水能迅速排除，可防止車輛雨中打滑，並降低水珠飛濺及起霧現象。
3. 降低熱島效應，減少能源消耗
4. 減輕排水設施負擔，進而減少排水設施建造費用。

相異點：

1. 排水性鋪面面層之下使用透層或黏層形成一不透水層，避免水份滲入路基土

壤中，透過路面坡度將雨水排至排水溝，因此可使路基維持一定的強度，此路面才可適用於交通量較多的道路上。

2. 透水性鋪面不使用透層或黏層，使雨水能滲入路基土壤中，因此達到涵養水源的目的，但由於雨水儲存於土壤中，其強度將不較一般道路或排水性路面高，故此路面大部分適用於低交通量路面、人行道、停車場等。
3. 在功用上，排水性瀝青混凝土鋪面可以用於高交通量之路面上，降雨時減少水霧現象增加行車安全，還可減少噪音。在透水性鋪面雖目前還沒運用在重交通上，但對於環境之保水減少熱島效應，是目前現今最重要的方向。
4. 多孔隙瀝青混凝土鋪面將使用黏性較強的瀝青材料，透水性則不一定需使用。
5. 透水性鋪面對滲透性能特別講求，因此基底層、路基需特別考慮此條件。下圖2-3為一般鋪面、排水性、透水性鋪面之比較圖。
6. 透水性鋪面之保水程度可以區分為排水、半保水、全保水。依不同地區之地質，而有不同之設計方式。

圖2-3 一般鋪面、排水性、透水性鋪面之比較

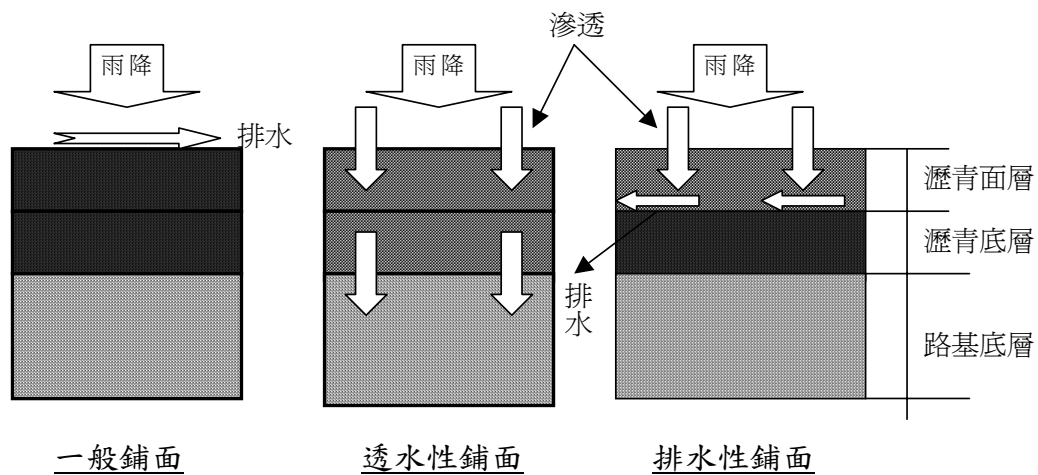
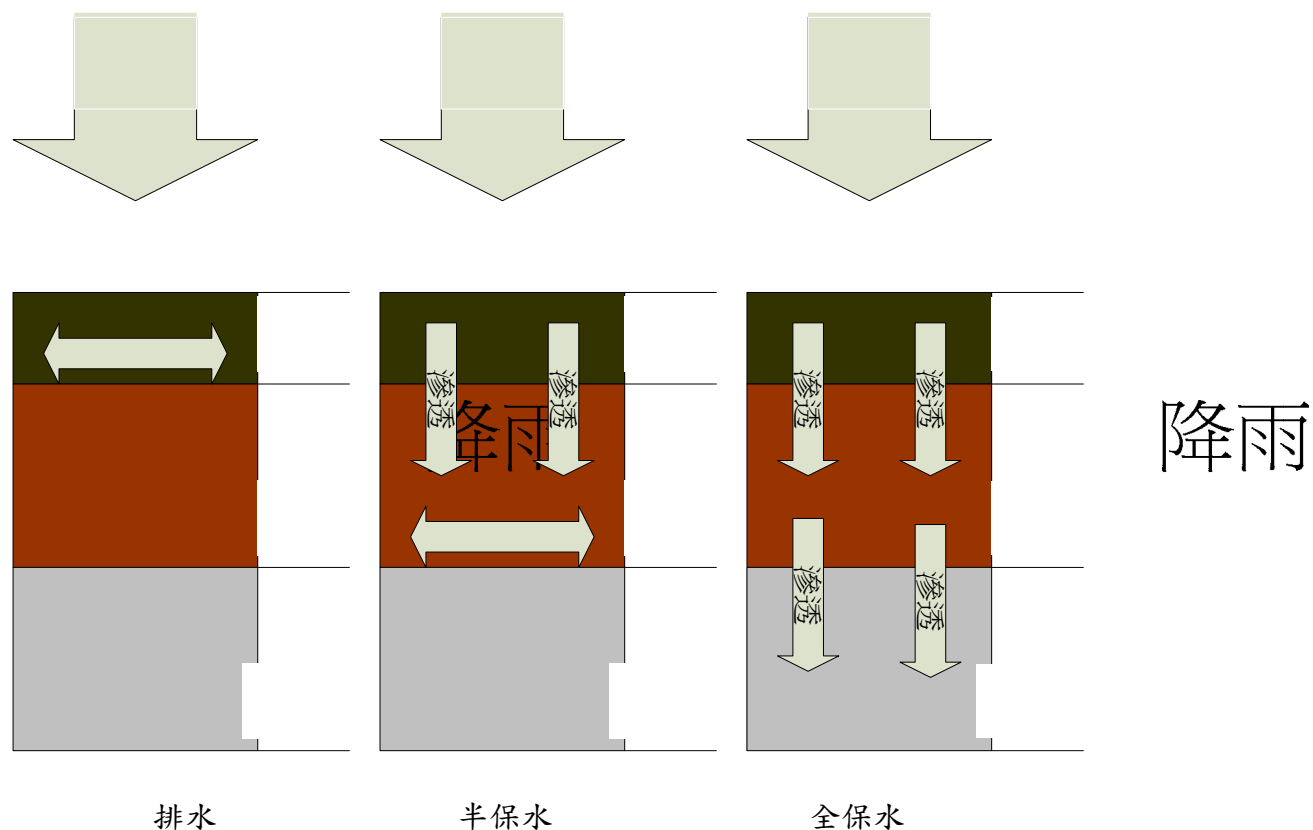




圖2-4 一般保水性鋪面示意圖



#### 四、排水性路面之設計原則

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。

##### 1. 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2-1。

透水性

逕流

不透水  
基底層

逕流

不透水  
路基土壤

表2-1 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	

## 2. 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2-2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14 $\mu$ m，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。

$$\text{暫定瀝青量(對應於粒料)} = \text{假設膜厚}(14\mu\text{m}) \times \text{粒料表面積} \quad (2.1)$$

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

表2-2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。

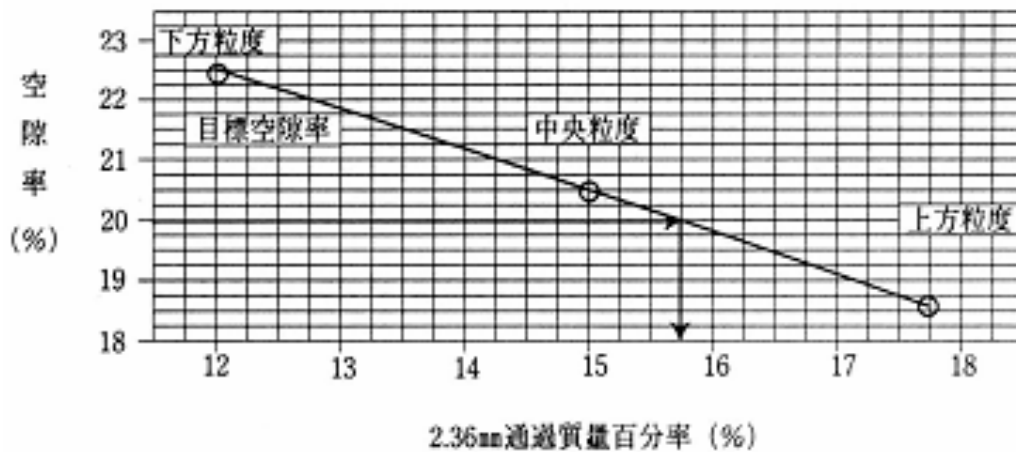
表2-2 篩孔尺寸與過篩質量累計百分率之關係

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

註：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。

- (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2-5所示為暫定三個級配的孔隙率與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。

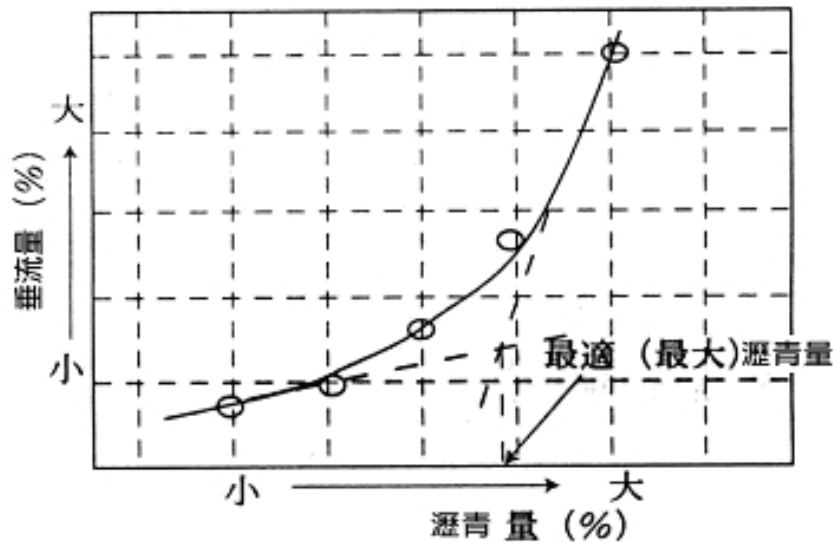
圖2-5 8號篩(2.36mm)通過質量百分率—孔隙率曲線



- (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。
- (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。
- (9) 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2-6所示為決定最佳瀝青量的方法。

圖2-6 最適瀝青量之決定方法之概念圖



- (10) 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。
- (11) 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。

### 3. 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2-3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 $\pm 1\%$ 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2-3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

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」理論模擬現地實鋪成效研究

定在20%以上的例子。

- (4) 除了孔隙率要求在20%，還有連續孔隙率以日本鋪裝建議要求15%~20%，以能確保能有足夠之有效孔隙之排水能力。

表2-3 透水性混合物之目標值

項目	目標值
孔隙率 (%)	20程度
連續孔隙率 (%)	15~20
透水係數(cm/sec)	10 <sup>-2</sup> 以上

註：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。

4. 配比設計中使用的計算

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。

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

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

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)

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：

將已乾燥的試體秤重至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。

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

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：

V<sub>v</sub>：試體的孔隙率(%)

D<sub>m</sub>：試體的密度(g/cm<sup>3</sup>)

D<sub>t</sub>：理論的最大密度(g/cm<sup>3</sup>)

試體的連續孔隙率以(2.7)計算

$$\text{連續孔隙率(\%)} = (V - B) / V \times 100\% \quad (2.7)$$

式中：

V=試體視體積

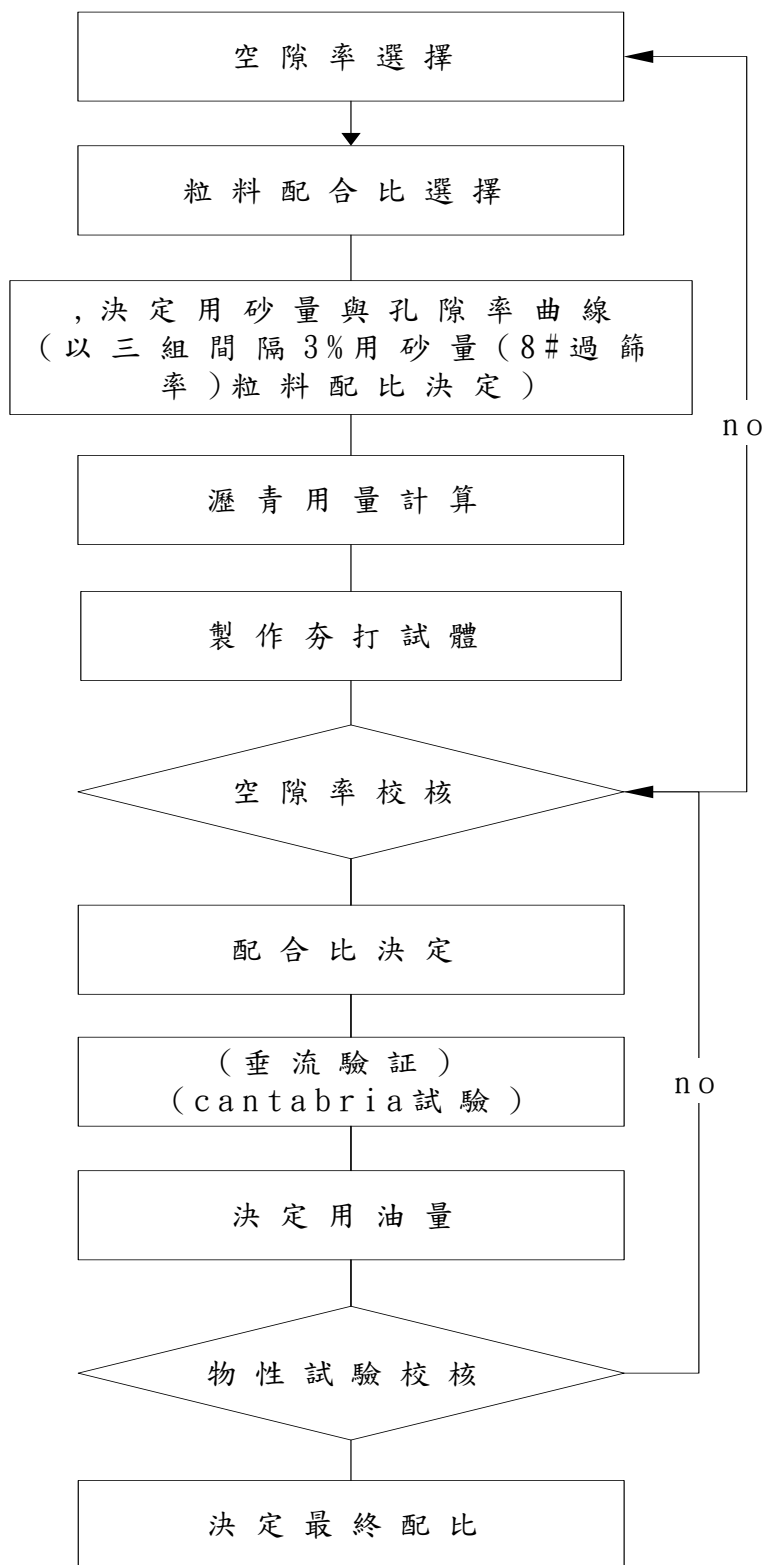
B=骨材+獨立孔隙體積=(A-C)/γ<sub>w</sub>

A=試體質量

C=試體水重

γ<sub>w</sub>=常溫水的密度≐1.0g/cm<sup>3</sup>

圖2-7 多孔隙瀝青混凝土建議配合設計法流程



## 五、透水性鋪面之設計原理

透水性鋪面依其用途可以區分為人行道、自行車道、停車場、廣場、及車道。而車道又因交通量而有社區道路和一般道路。以鋪面厚度設計而言，其承載設計的因子主要為交通量，因而對於鋪面之材料對於交通量而決定鋪面之厚度。但以透水鋪面之設計來說，目前國內外並無統一之設計方法。但主要設計原理，在於有足夠孔隙率及透水率，以蓄存入所設計雨型之降雨強度。降雨強度愈大，鋪面厚度將而提高，增加保水量。而設計雨型觀念在第四章之透水鋪面選址中說明。

透水鋪面之基本構造由上而下依序為面層、底層、過濾層、基層構成。面層以透水性材料為主，而現今環保性面層材料也在現在大力推行。而底層除了要受面層之承載壓力，並要有雨水之儲存功能，而過濾層主要在降雨時，防止路基土壤侵入底層。

一般透水鋪面之設計因子，主要路基土壤之設計CBR值、R值、Mr等。交通量、透水速度、降雨強度。

### 1. 路基土壤設計

主要為求路基土壤之承載能力，透過力學原理依設計交通量計算，決定鋪面之厚度。

### 2. 交通量

因現今透水性鋪面主要應用於低交通量之環境。因此設計年限採和一般縣道之簡易式之鋪面結構進行交通量分析，依日本道路建設協會(1979)建議將5年後大型車每日單向交通量劃分為二類，第一類大型車每日10標準軸重18-kip以下，第二類為每日10-55標準軸重18-kip。而美國瀝青協會AI將不同交通量等級分等級。

### 3. 透水速度

對透水性鋪面之排水量及保水量，是以水自面層到基底層所排出之時間的長短來度量，路面結構的含水量接近飽合狀態的時間百分數，取決於年均降水量和主體結構層的排水率。表2-4美國AASHTO(1986)所建議基底層之排水系數。對未來設計鋪面來決定厚度之最大保水量。



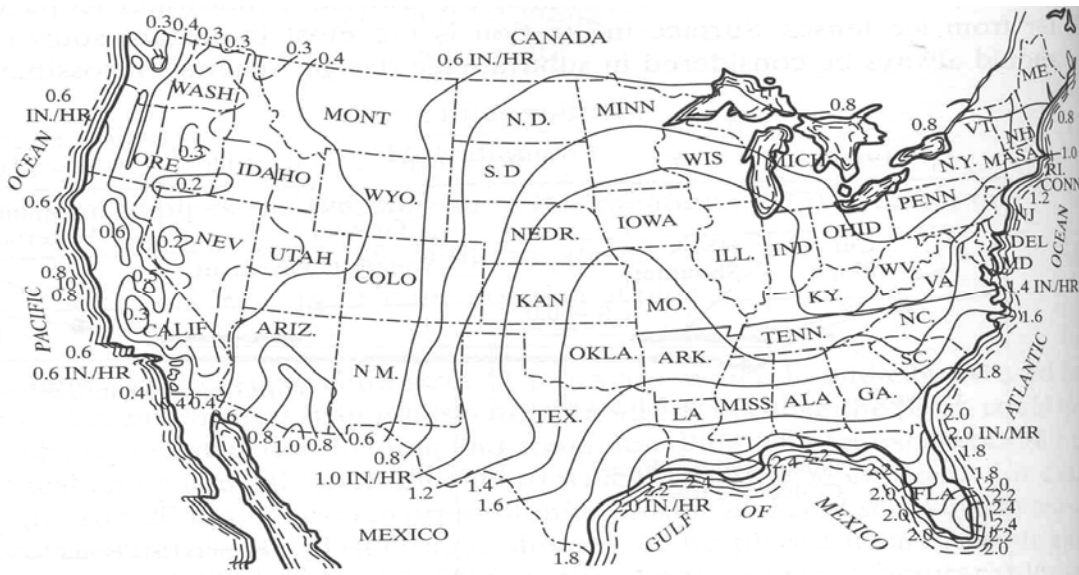
表2-4 AASHTO建議柔性路面未處理基底層排水系數

排水量		路面結構含水量接近飽合狀態的時間百分比			
等級	排水時間	小於1%	1~5%	5~25%	大於25%
Excellent	2小時	1.40~1.35	1.35~1.30	1.30~1.20	1.20
Good	1天	1.35~1.25	1.25~1.15	1.15~1.00	1.00
Fair	1周	1.25~1.15	1.15~1.05	1.00~0.80	0.80
Poor	1月	1.15~1.05	1.05~0.80	0.80~0.60	0.60
Very poor	永不排水	1.05~0.95	0.95~0.75	0.75~0.40	0.40

4. 降雨強度

表面滲透水是透水鋪面最直接的設計因子，而也是除了地下水逕流外影響鋪面之保水量。台灣地處亞熱帶，年均雨量達2500mm。Cedergren(1973)建議設計滲透率可用重現期1年，歷時1小時的降雨強度乘一係數，該係數為瀝青路面為0.33至0.5；對混凝土路面約為0.5至0.67。如圖2-8為美國重現期一年延時一小時之降雨強度各地。

圖2-8 美國各地延時一小時降雨強度



## 第二節 國內外使用情形

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 $\mu$ 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2-9 美國多孔隙瀝青混凝土應用於停車場鋪面



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 Larminde 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。

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蹟。

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。

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

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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國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2-10 人造窯燒花崗石鋪磚



圖2-11 連鎖磚



圖2-12 花崗石鋪磚





圖2-13 窯燒紅磚



圖2-14 純混凝土鋪面



圖2-15 預鑄混凝土塊磚



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2-16 台南市中華西路



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 $3.1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 。

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

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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2-17所示。

圖2-17 高雄大學「竹鋪面」



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2-18 環保透水混凝土鋪面



圖2-19 新店實驗區環保混凝土鋪面



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2-20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。

圖2-20 台灣透水鋪面案例分布

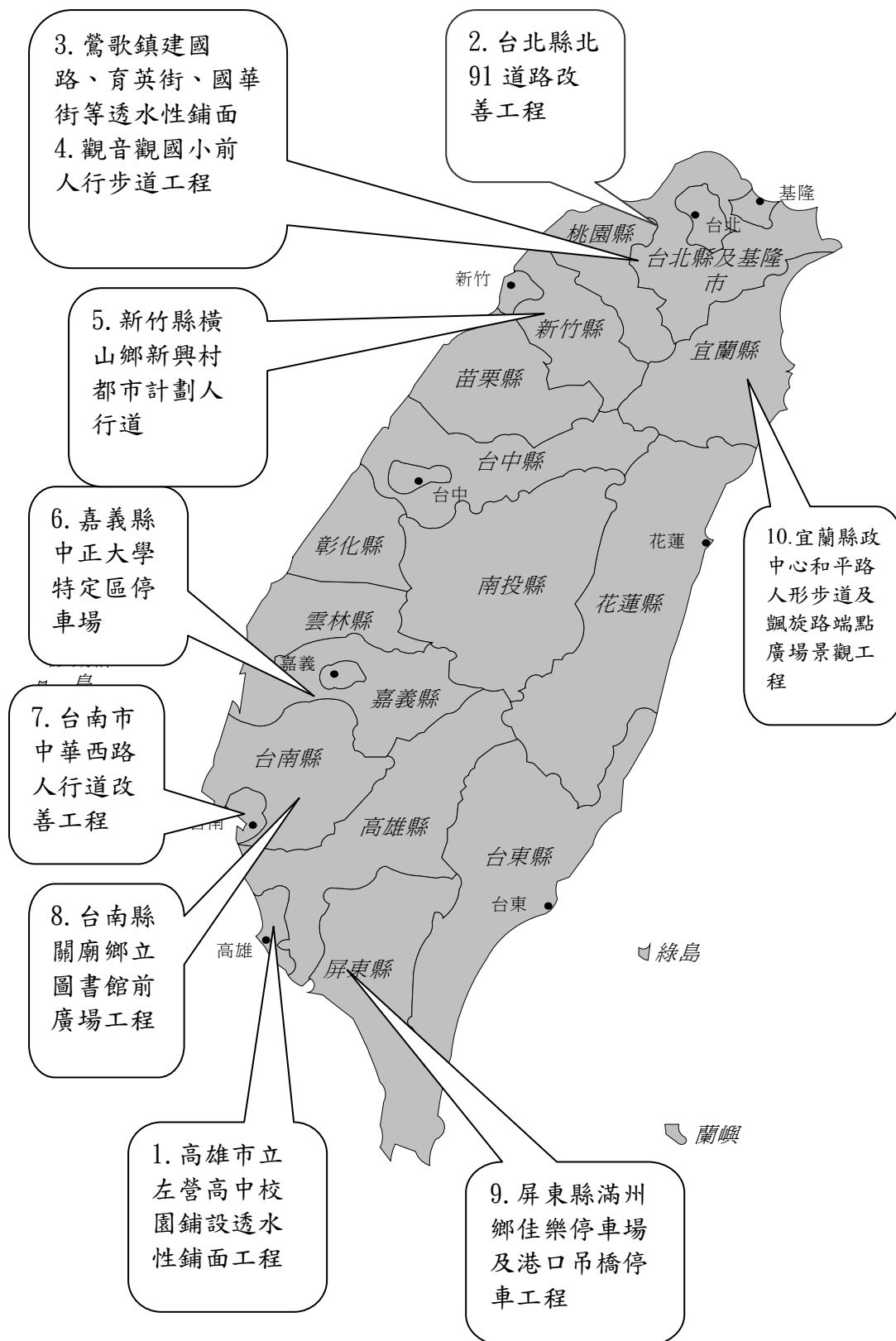


表2-5 九十三年透水性鋪面工作之示範案例明細表

編號	縣市政府	工程名稱	工程地點	工程內容	提報經費需求
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	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	桃園縣	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)方式施作透水人行步道鋪面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

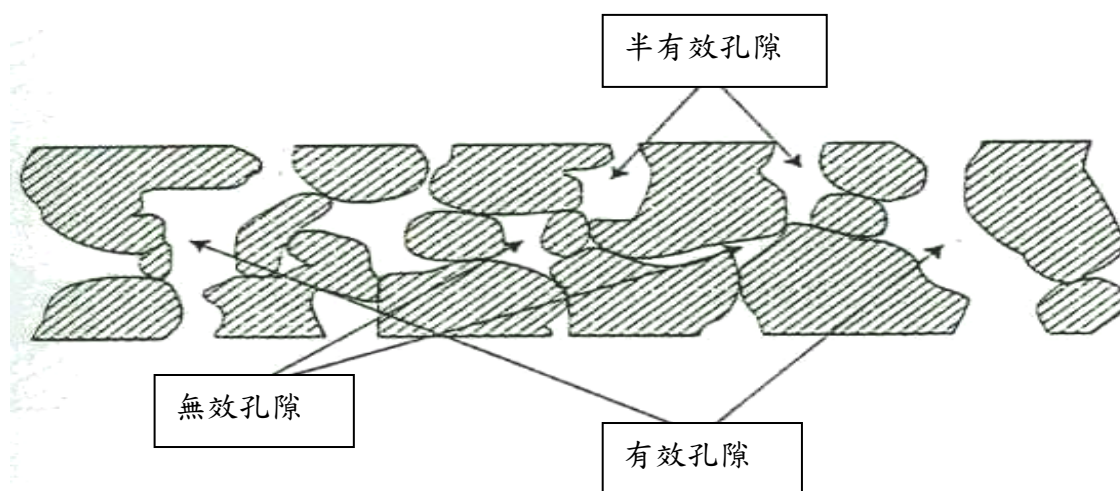
### 第三節 排水性及透水性鋪面之問題

台灣位於亞熱帶，梅雨季長、颱風多，常有暴雨或大量的降雨，一般設計方法均由國外設計方法，並沒有為一台灣降雨型設計排水或透水性路面方法。

#### 一、排水性路面之問題

排水性路面對於材料的要求很高，目前台灣的砂石短缺，也不容易找到好的材料，要求良好的粒型和磨損率，。目前對於排水性鋪面大多只對孔隙率去設計和探討，大多對於連續孔隙率而沒加以考慮。如多孔隙瀝青混凝土在設計孔隙率為20%，而孔隙裡有有效孔隙、半有效孔隙、無效孔隙。能夠保水和透水主要是依半有效孔隙和有效孔隙。而連續孔隙率便是這二種的總合。

圖2-21 連續孔隙率示意圖



目前如何維護透水性路面是未來的研究主題，其目前最主要維護方法將在第五章說明。

#### 二、透水性路面之問題

透水性路面主要目前沒有一個選址的方案提定和研究降雨強度對於透水性鋪面之成效，本研究將對於透水性鋪面的選址工作及對新店實驗區透水性鋪面的保水能力。

## 第四節 透水鋪面對都市熱島之效益

### 一、都市氣候的成因

都市氣候乃因都市的存在，而形成與周邊不同的氣候特性。一個地區都市化後，該地區之氣候將轉變為都市氣候，也即氣候都市化。

隨著都市化程度日益趨高，都市化之結果，人口集中、地表面人工化，且生活空間為之擴大，使得都市不透水面積大為增加，相對地減少了自然植生的被覆面，使得雨水滲入地面的機會大減，其代謝熱與能源消費增加，改變了都市的熱平衡。

地表面的人工化導致幾何形狀及物理特性的改變，前者為表面粗度改變，致放射收支及顯熱之變化，後者則為熱傳導率、透水性的變化，放射收支及潛熱、地中熱交換量發生改變。生活空間的擴大包括都市水平的擴大及地上、地下方向的垂直擴大，其結果是能源消費增加，地表面形態及性質發生變化，熱及煙霧的排放、粗度的物理特性之變化，導致都市的放射收支與熱收支改變，由於以上複合作用的結果，而形成都市氣候。

### 二、都市地區之熱平衡

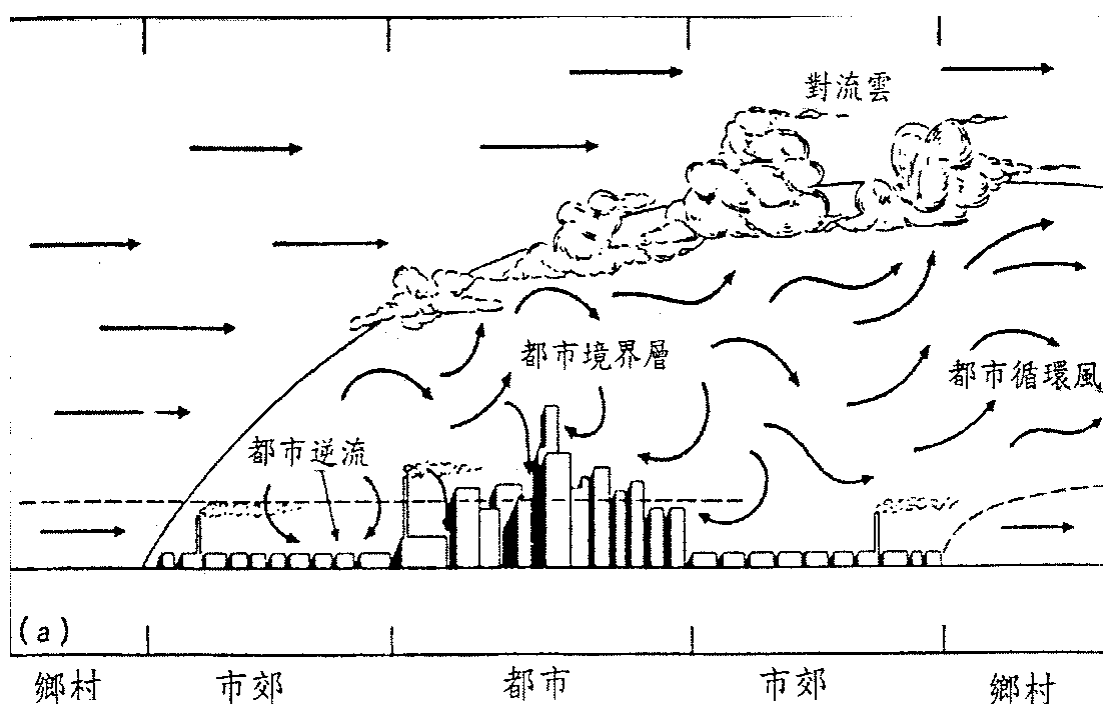
都市環境中倘若人工發熱量太高(例如：冷暖氣機、車輛、現代化電器等均為人工發熱設備)，將破壞都市環境中的熱平衡，造成能量的累積，形成都市溫暖化。

都市發展後人口數增加、人口集中、建築物增加、不透水面積率增加、林地消失、民生電氣化、能源使用量增加及交通工具增加等因素均造成了都市環境中人工發熱量的增加，而都市中能量累積的結果影響都市環境的氣候，造成都市溫暖化的現象。此能量在都市中惡性循環的結果，造成許多都市中的環境問題，例如：污染不易擴散、空氣品質惡化、夏天悶熱、影響市民心理平衡等等。

由於都市生活環境的惡化，人們於是藉助更多的冷氣空調設備來提升室內的舒適性，如此只有更消耗能源，製造更多的人工熱能，使得都市溫暖化問題更加嚴重。下圖2-22為都市及郊外熱平衡。



圖2-22 都市及郊區熱平衡



地表面之熱平衡之方程式，依能源保存之原則可導出下式：

$$R=P+L E +A \quad (2.8)$$

式中

R：純放射通量

A：地面(建築物)的熱傳導

P：亂流熱通量

LE：蒸發、凝結的熱平衡(L：蒸發潛能，E：蒸發水量)

其次地球及大氣間之熱平衡模式，若考慮大氣本身的熱平衡，可列如下式：

$$RS=FS+L(E-r)+BS \quad (2.9)$$

$$FS=Fa+F。 \quad (2.10)$$

式中

RS：高度為h的垂直柱與宇宙之間的熱交換

Fa：大氣中的水平熱移動

Fo：水、地圈內的水平熱輸送

Lr：蒸發熱潛能×總降雨量

BS：在一定時間內某垂直柱內之前熱量變化值 而在(7-1)式中未包括者尚有：

1. 人類的消耗能源(=F C)。
2. 光合成至能量的燃燒及生物的氧化所產生的熱能。
3. 主空氣流、風浪、潮汐的摩擦至能源的逸散。
4. 地熱、山林火災、火山爆炸等。

大都市則以(1)項較大，故可改寫

$$R=P+LE+A+FC \quad (2.11)$$

在忽視地面的凹凸下，水平、均質之任何表面的熱平衡一般可以下式表之：

$$Q=QH+QE+Q_G \quad (2.12)$$

式中：

Q：正放射量

QH：顯熱

QE：潛熱

QG：地中熱交換量

都市地區熱平衡的觀測，在都市地表面上非常複雜、困難，尤其高樓林立的市中心區熱平衡的觀測，幾乎無法施測。但根據在較規則的市郊及鄉村所作的結果，並以鄉村為控制點，則其熱平衡如下式：

$$Q=QH+QE+\Delta QS+\Delta QA \quad (2.13)$$

式中：

Q：正放射量

QH及QE：亂流交換之顯熱及潛熱

$\Delta QS$ ：土壤中之財流量變化及光合反應所使用的熱

$\Delta QA$ ：移動的熱

另市郊則以下式表之：

$$Q+QF=QH+QE+\Delta QS+\Delta QA \quad (2.14)$$

式中：

QF：燃燒之人工熱

其他與式(1-6)相同

一般在水平方向上非常均勻，而自屋頂向下以一定高度，其熱平衡的各項面積，可以平均的土地利用單位為代表，在選擇此一位置時，可排除局部的移流。市郊表面日間所吸收的太陽熱能，於傍晚至深夜之間放出的現象。蒸發散熱所使用的熱也為顯熱值，但夜間顯熱很小，也不發生凝結。因之放熱能量幾乎為財留

項。但在市郊其潛熱項相當大，且市區之表面水幾乎不存在可加以忽視。鄉村一般水分較大，其潛熱量較大，合計約為顯熱的2倍。反之前留頂有關的熱幾乎為零。白天雖有正值，且夜間雖亦有一點，但因放射能量而呈熱散出。

### 三、都市熱島化的影響

所謂的「熱島效應」，指的是原有土地從原本的森林或稻田開發成城市後，因為缺少植物利用本身儲存的水分來調節空氣，使得整座充滿高密度人口與鋼筋水泥的城市，總是像座熱島似的熱烘烘。熱島效應使得相對溼度變低，減少空氣中的水分，將可能造成生態的不良影響，因為有些植物都是靠霧氣來攝取水分，未來會有某些動植物因而面臨生存危機。

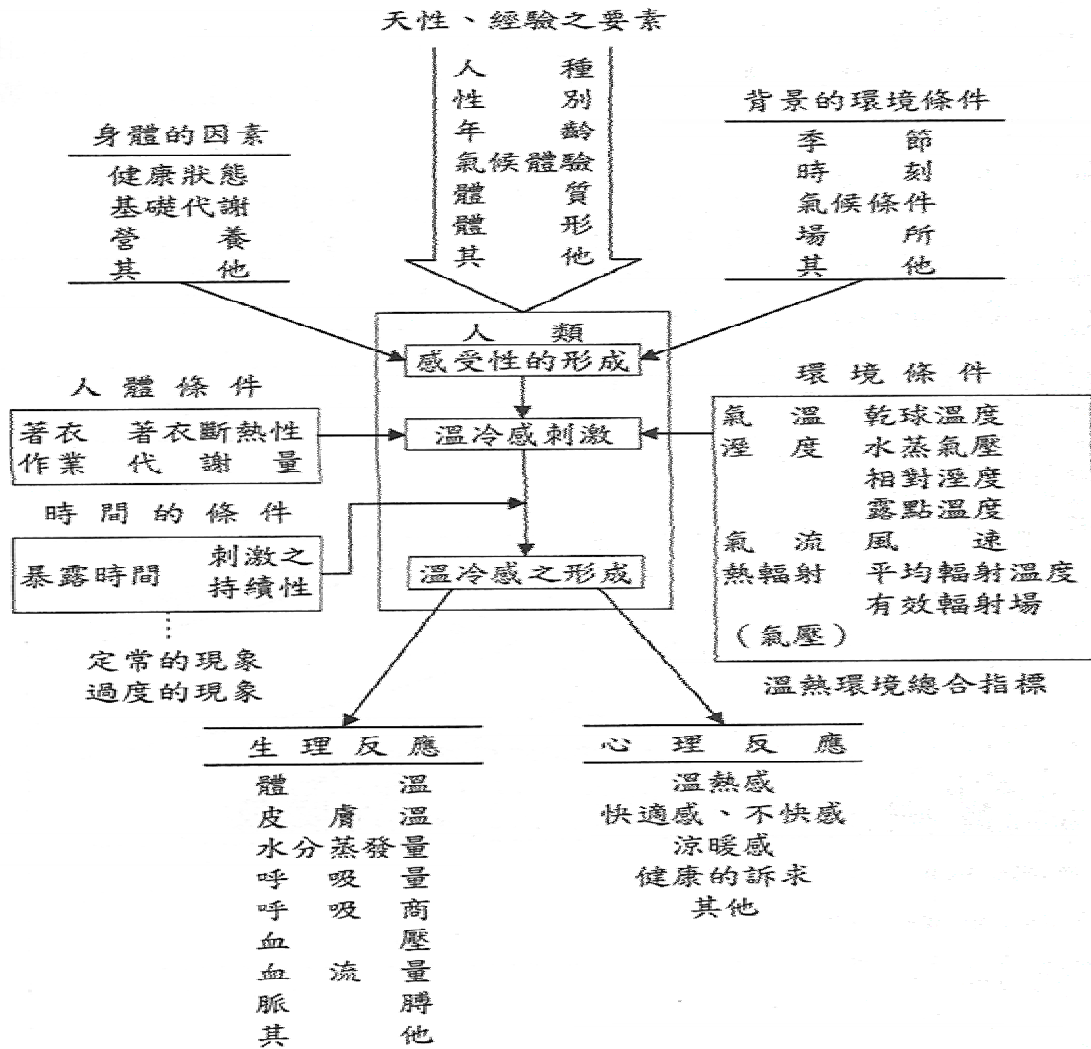
根據中研院追蹤分析台灣過去40年的氣候資料，發現台灣受到「熱島效應」影響，晚上的平均溫度比過去都高，相對溼度也因而降低，在40年前，台灣每年相對溼度達90%的夜晚共有500小時，民國93年只剩下200多個小時，整整減少1倍，空氣裡的水分變少的結果就是霧變少了。40年前，日月潭每年約有200天以上是有霧的，但如今卻只剩下100天左右。

除了風景區，城市裡霧氣變少的情況更多，最近10年來，台北與台中的城市地區幾乎很少見到有大霧的情況，而毛毛雨的頻率也在降低，近幾年來台灣城市的降雨，幾乎都是大雨式的，毛毛細雨已經較為少見。

醫學研究表明，環境溫度與人體的生理活動密切相關。環境溫度高於28度時，人們就會有不舒適感；溫度再高就易導致煩躁、中暑、精神紊亂；氣溫高於34度，並伴有頻繁的熱浪沖擊，還可引發一系列疾病，特別是使心臟、腦血管和呼吸系統疾病的發病率上升，死亡率明顯增加。此外，高溫還可加快光化學反應速率，從而提高大氣中有害氣體的濃度，進一步傷害人體健康。

人類因天性與經驗之不同，其對溫、冷之感受亦不同，尤其因受外在身體因素、背景條件、人體、時間及環境條件之不同所影響，以致生理反應及心理反應亦異，都市市民則因而有極大的心理、生理變化，如圖2-23環境條件及人體側條件及溫冷感關係圖。

圖2-23 環境條件及人體側條件及溫冷感關係



都市溫暖化現象造成許多都市中的環境問題，影響多數居民的生活，現以下列幾點來探討：

1. 清染物擴散困難，造成空氣品質惡化

都市溫暖化的結果造成市中心比郊區的溫度高，白天地面溫度高，污染物隨熱氣流往上擴散，到了晚上都市外圍郊區地面溫度冷卻較快，市中心區的溫度仍無法降低，因此白天隨熱氣流上升的污染物，將再隨氣流而下降，造成都市空氣品質劣化的現象，能見度降低，此即所謂的熱島效應。此現象尤其是在水平方向的風速很低、及都市上空出現逆溫層的情況，最易發生。

2. 市中心溫度升高，夏季戶外酷熱難耐

近年來台灣各主要都市夏季的最高溫，屢屢創新高點，原因主要是都市溫暖

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」理論模擬現地實鋪成效研究

化所造成的結果。都市人口越來越多，越來越集中，能源的使用越來越浪費，汽機車的數量也越來越多，造成都市溫暖化的問題也越來越嚴重，都市的生活環境因此惡化。尤其是在夏季，都市中的溫度往往比鄉村地區高上4~5°C，而且有越來越高的現象。

溫度的上升與相對溼度的降低會導致感覺不適，依Olgay提出之生物氣候圖如圖7.13，顯示讓人感覺舒適條件之氣候特性，圈中灰色區即為Olgay所提出的舒適範圍。

另依不舒適指數(DI)也與溫度、溼度具密切關係，可依下式計算之：

$$DI = (32 + 1.8T) - 0.55(1 - r)(1.8T - 26) \quad (2.15)$$

若 T：氣溫(攝氏)

r：相對溼度

T=25 °C    r =90%    DI=76

T=32 °C    r =20%    DI=76

DI 70以下    沒有人感覺不舒服

70~75    少數人感覺不舒服

80以上    大多數感覺不舒服

85    有人感覺不舒服

一般舒適範圍約溫度21~27°C及相對溼度在20~70%之間。

### 3. 生活環境品質下降，增加心理壓力負擔

雖沒有直接的證據顯示都市溫暖化會造成人體的生理傷害，但是生活在環境品質不佳的都市中，情緒的影響、心理的壓力不易獲得疏解，人的思想行為與行為控制力較弱，嚴重影響人的正常活動。

### 4. 能源的使用浪費，造成與量的惡性循環

都市溫暖化造成都市溫度升高，台灣地處亞熱帶，夏季炎熱，加上都市溫暖化的結果，家家戶戶為求室內的溫度舒適，多使用冷氣以降低室內溫度，而冷氣機為一高耗能源的設備，能源的使用最後以廢熱及二氧化碳的形式排出戶外，造成都市中熱能量的更增加，溫暖化現象更加嚴重，也影響冷氣機的運轉效率，浪費能源。

## 四、先進國家之都市熱島化現況

綠地是城市中最主要的自然因素，城市綠化覆蓋率與熱島強度成反比，綠化

覆蓋率越高，熱島強度越低，因此建立規模化的集中綠地是最能直接削弱城市熱島效應的做法。綠地能吸收太陽輻射，而所吸收的輻射能量又有大部分用於植物蒸騰耗熱或在光合作用中轉化為化學能，這樣就使可用於增加環境溫度的熱量大大轉移掉。據科學統計，每公頃綠地平均每天可從周圍環境中吸收81.8兆焦耳的熱量，相當於189台空調的制冷作用；平均每天吸收1.8噸的二氧化碳，顯著削弱了溫室效應的產生。此外，每公頃綠地可以年滯留粉塵2.2噸，將環境中的大氣含塵量降低50%左右，有效抑制了大氣升溫。

根據日本環境廳的調查其民生能源的使用情況，以公元1990年 10,320Mcal/人\*年的家庭用能源熱消費量為基點，推估公元2000年家庭用熱消費量為12,916Mcal/人\*年，公元2010年將為的，353Mcal/人\*年的熱消費量；即在1990年每消費一單位的能源，到2000年將是消費125單位，2010年將消費1.49單位的能源。

顯示日本未來家庭用的能源需求量越來越多，而且以電力及 LPG(液化石油氣)的需求量較多；電力部份2000年及2010年的需求量成長約分別為1990年的1.54及1.78倍，其中單項以冷氣機及照明使用的成長量最多；LPG部份2000年及2010年的需求量成長分別約為1990年的1.14及1.25倍。

都市中能源的使用量對於造成都市溫暖化的現象，具有絕對性的貢獻量，因此如無法在居民的使用行為上削減能源的使用，則在電器、汽機車引擎及機械運轉等必須要朝省能源、技術的開發方面著手，此亦是目前世界各先進國家努力的方向之一。

表2-6為日本各主要大都市平均氣溫與年平均溼度的變化率，表 7.2為世界各國主要都市的人口數與公園面積之比較；其中以東京市的都市溫暖化速率每100年約升高6.9°C為最高，表中並顯示都市中的相對溼度百分比亦隨都市溫暖化現象的發生而降低。

歐美國家與台灣不同人口規模大都市之市內、外氣溫差，顯示由於不同的人口規模造成都市內、外呈現不同的氣溫差，而且此氣溫差與人口數對數呈正比例關係。

表2-6 日本各大都市之年平均氣溫與相對溼度的變化

地名	氣溫變化(°C/年)	溼度變化(%/年)
東京	0.069	-0.39
大阪	0.053	-0.24
仙台	0.044	-0.2
京都	0.040	-0.18
名古屋	0.040	-0.32

### 五、都市熱島化減輕對策

綠地是城市中最主要的自然因素，城市綠化覆蓋率與熱島強度成反比，綠化覆蓋率越高，熱島強度越低，因此建立規模化的集中綠地是最能直接削弱城市熱島效應的做法。綠地能吸收太陽輻射，而所吸收的輻射能量又有大部分用於植物蒸騰耗熱或在光合作用中轉化為化學能，這樣就使可用於增加環境溫度的熱量大大轉移掉。據科學統計，每公頃綠地平均每天可從周圍環境中吸收81.8兆焦耳的熱量，相當於189台空調的制冷作用；平均每天吸收1.8噸的二氧化碳，顯著削弱了溫室效應的產生。此外，每公頃綠地可以年滯留粉塵2.2噸，將環境中的大氣含塵量降低50%左右，有效抑制了大氣升溫。

都市裡每一棵樹木所保存的碳量，約為森林中樹木的九倍，土壤的蒸發與植物的蒸騰，可以有效的降低熱島效應，並可清淨空氣，美國洛杉磯利用植物遮陰、鋪面改善等措施，使得都市溫度降低了3.3°C，耗電量減少20%，每年節省5億多美元。

風、水面等自然因素也可有效緩解城市的熱島效應。風是熱島效應的“天敵”，通過大氣環流，熱島與周圍地區的空氣進行交換，以此降低自身的溫度。水面不僅構成了城市美麗的景觀，當溫度升高時，它的蒸發作用能冷卻空氣，使環境溫度降低。因此，使建築低層化和合理分散化、市內道路寬敞，從而暢通城市的「通風道」，並盡可能擴大城市水面，也是改善熱島效應的有效途徑。城市熱島效應的成因是多方面的，所以緩解熱島效應是一項長期的、綜合性的系統工程，需要各方面的努力和配合。目前，國內、外都非常重視城市環境質量的提高，正在開展城市綠化、河湖淨化、空氣質量監測等生態建設活動，而於道路工程中則可多使用透水鋪面。

## 六、透水鋪面對都市熱島之效益

透水性鋪面從1970年代起即在歐、美、日等多國大量使用，然而台灣的使用卻是最近幾年的事，雖然內政部建築研究所積極推動的綠建築中明文設定基地保水及水資源指標，行政院公共工程委員會也在生態工法的推動中屢次鼓勵使用透水性鋪面，然而在對於透水性鋪面的價值認知不足，使用經驗不多、價格普遍偏高，所以少有人使用透水鋪面而常採用傳統鋪面設計，造成大地喪失良好的吸水、滲透、保水能力，減弱滋養植物及蒸發水分潛熱的能力，無法發揮大地自然調節氣候的功能。

人類一直把自然資源當成上天無償提供的禮物，未曾珍惜或以經濟的角度衡量過，根據《自然的服務》及《世界生態系統服務和自然資本的價值》中指出，每年來自生態系統服務：大氣調節價值約1.3兆美元、廢棄物吸收及處置約2.3兆美元、營養流約17兆美元、而來自水儲存及淨化約2.8兆美元，而這些生態服務都與土壤有關，而且只要破壞了，以上的損耗是需要年復一年的支出的，永遠無法復原。

實際上把自然生態服務貼上價格標籤並不適當，但至少可以讓我們用較為熟悉的價值觀來衡量生態系統，而在生態破壞已無法忽視的今天，生態系統服務成為國際流通的交易商品亦非不可能。1997年京都議定書即規定「任何重要的溫室氣體，可於公司間、國家間進行排放權交易。」排放量超過限額的國家，可以市場價格向排放量少的國家購買排放許可。



表2-7 各種鋪面對生態系統服務的損耗程度比較表

自然資源	生態系統服務	各種鋪面對生態系統服務的損耗程度		
		不透水鋪面	排水鋪面	透水鋪面
土壤	分解垃圾、移動雜物	大	大	次
	轉化養份與成長介質	大	大	小
	潔淨、過濾功能	大	大	小
	涵養雨水、滋養動植物	大	大	小
	氮、碳、硫循環功能	大	大	次
綠地	氣候調節	大	大	小
	清淨空氣	大	大	小
	固定二氧化碳	大	大	次
	地下水回補	大	大	小
	吸收逕流、分洪防災	大	大	小

【註】以上鋪面的定義：

不透水鋪面：所有道路面層不透水的鋪面，如：一般瀝青鋪面、鋼筋混凝土鋪面、基底層鋪設不透水混凝土的人行道鋪面等。

排水鋪面：面層透水基底層不透水的鋪面，如排水性瀝青混凝土鋪面。

透水鋪面：面層及基底層全部透水、雨水可由直接滲透至土壤層的鋪面，包含所有的材料性透水鋪面，如：透水瀝青、多孔隙混凝土等，以及拼接性透水鋪面，如：連鎖磚。

、透水磚、植草磚…等。

一般所熟知之「鋪面」，大略可依其功能分為上下兩部份，上為面層，下為基底層。面層通常為「耐磨材」，其功用在於增加與車輪間之摩擦力，避免打滑並提供行人車輛舒適平整表面；而基底層又稱「承載層」，是由砂石、級配、混凝土等所構成，使上部承載荷重能均勻傳遞至路基土壤，而所謂的「透水性鋪面」係將透水性良好、級配孔隙率高之材料應用於面層與基底層，使雨水通過人工鋪築之多孔性鋪面，直接滲入路基土壤，而具有讓水還原於地下之性能。目前透水鋪面面層主要包括以下三種：1. 多孔隙瀝青混凝土鋪面，2. 無細骨材混凝土鋪面

材料，3. 非連續拼接或鏤空鋪面等三種；而基底層則多採用具砂土高滲透性的土質。

### 七、透水鋪面之優點

現代的城鄉環境大部份的車道、步道、停車場、遊戲場、廣場常使用不透水的混凝土硬質地面，阻絕了雨水滲透入土壤的機會。尤其現代城鄉環境的公共雨水排水設施均為密閉不透水的設計，使得雨水直衝河川，無法循環回大地來滋潤土地。為了改善大地的滲透功能，乃必要進行的透水化設計，其具體的方法大體為(1)透水鋪面設計以及(2)人工入滲設計兩種。透水鋪面設計就是以多孔質的連鎖磚、植草磚、透水瀝青、水泥板塊、砌石來鋪設地而的作法。人工入滲設計法則是利用多孔隙的滲透井、滲透管構來結合排水設施，是在排水路上促進雨水滲透的作法。

這種滲透水循環設計法最典型的實例，就是東京昭島市杜鵑丘社區的整體滲透計畫，完工於1981年的杜鵑丘社區總面積27.8公頃，其中特別選用1.3公頃區域全面進行滲透管溝、滲透井、透水鋪面設計的示範，為了明示其滲透效果，還同時進行本社區與相鄰未實施滲透設計區域的雨水逕流量實驗比較。根據大雨後的逕流實驗指出，一般社區的逕流量為0.6，而本透水化設計的區域只有0.1。其逕流量僅為一般社區的15至20%，相當於自然綠地的雨水流出性能。可見只要實施透水設計，也可將人造環境作成如同自然綠地的保水能力水準，因而可把人類開發行為對地球環境的衝擊降至最低。

透水性路面可將雨水滲透至地下，鋪面下之土壤可保水，涵養空氣，使得植物、微生物有良好的發展環境。再者，台灣工業發達，工業地區用水量巨，常抽取使用地下水降低自來水成本，但是過度地利用地下水不但會引起地面下沉，還會招致城市、河流、湖泊的枯竭，進而導致海水入侵，而若使用鋪築透水性鋪面，可利用其保水功能之優點，形成之「地下水庫」提供必要之水資源調度。

都市化造成的工業、家庭污水量遽增，不但增加下水道等排水設施的負擔，特別像台灣這樣的城市，是採用合流制下水道的城市，雨水管與污水管使用同一條管道，致使下雨天之汙水量為晴天之兩倍，造成污水量過多超出本來設計的污水處理能力，而使得污水排放至公共領域，造成河流、近海的污染，且透水性鋪面之級配層具有過濾水質及水中污染物之能力，因此可減緩污水處理系統之負擔，減少污染物污染水質之影響。依據瑞典研究機構量測，透水性瀝青對行車產生之噪音可降低4至5分貝。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

綜合上述透水性路面效益如下列各點：

1. 增加透水、減緩地表逕流，降低都市河川洪患
2. 利用參配原理，改善基底層透水係數，使廢棄土減量
3. 改善地下植物、生物等之生態環境，使生態維持發展
4. 保水、節水、儲水備用、廢水回收循環再利用。
5. 地下水之涵養，有助於水資源永續經營
6. 減輕因日光漫反射造成之目眩
7. 減少河流、近海之水污染
8. 減緩污排水系統之負擔及減少路面排水設施
9. 降低熱島效應，減少能源損耗
10. 減少積水，增加下雨之行車安全及降低車行噪音
11. 增大路面抗滑性能、改善步行條件

### 第三章 新店實驗區透水鋪面之保水及滲透性之探討

#### 第一節 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

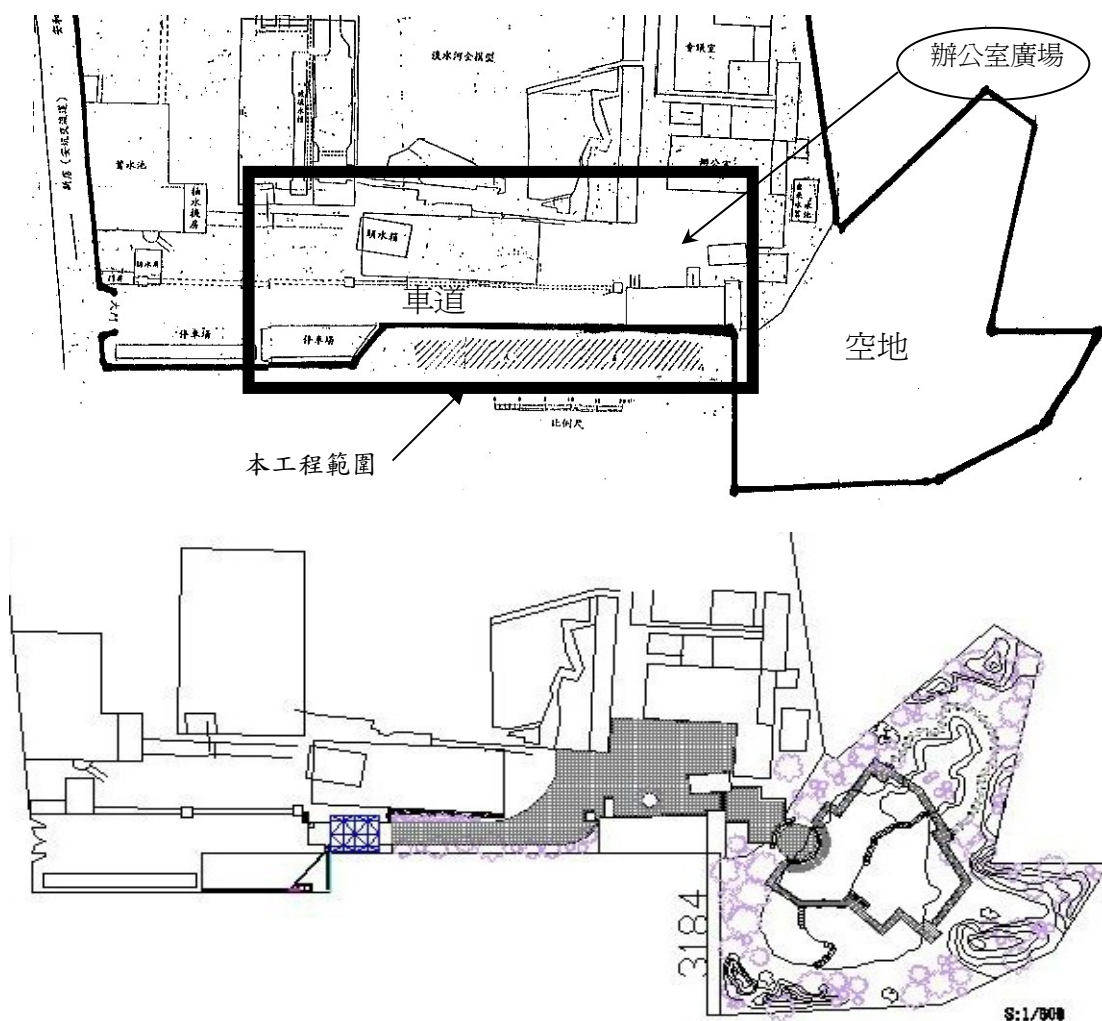


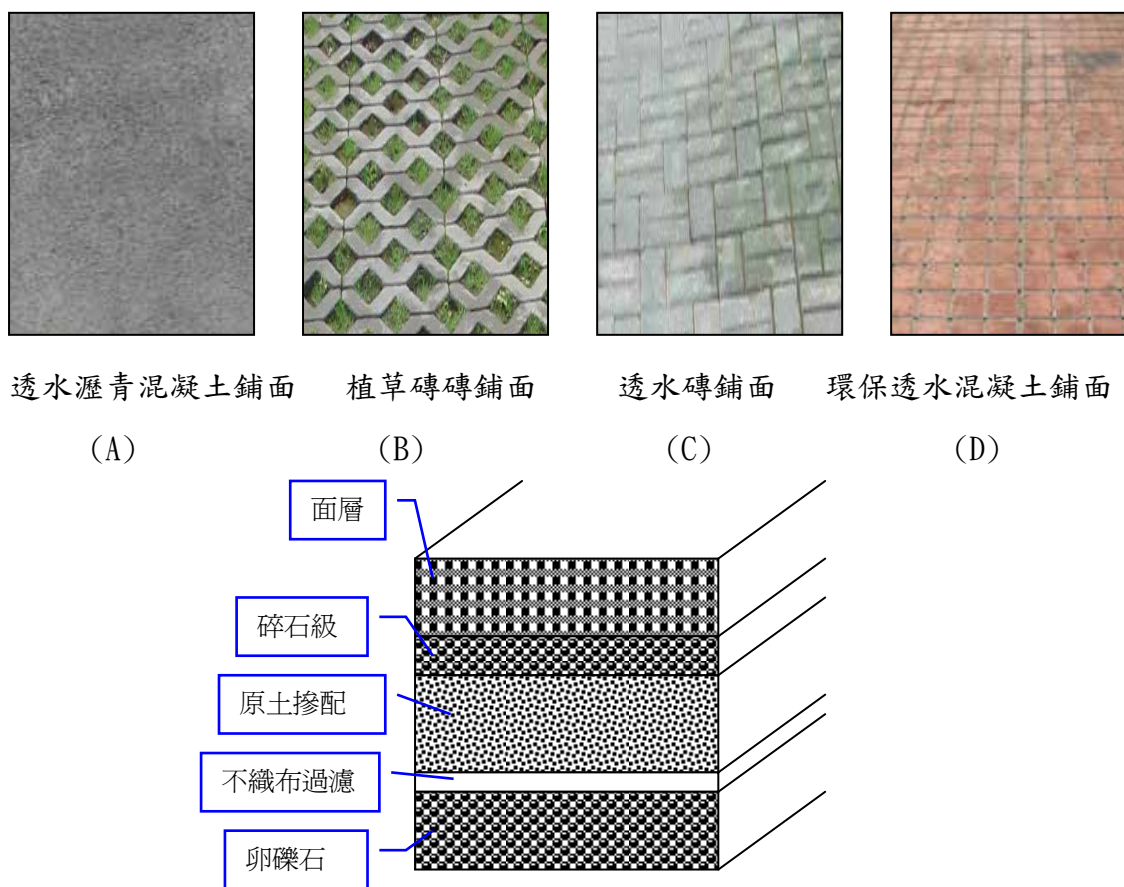
圖3-2 基地現況照片



## 第二節 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x4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3-3所示。

圖3-3 新店實驗區規劃鋪面面層示意圖



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3-4 不同透水鋪面路面圖及空間桁架3D模擬

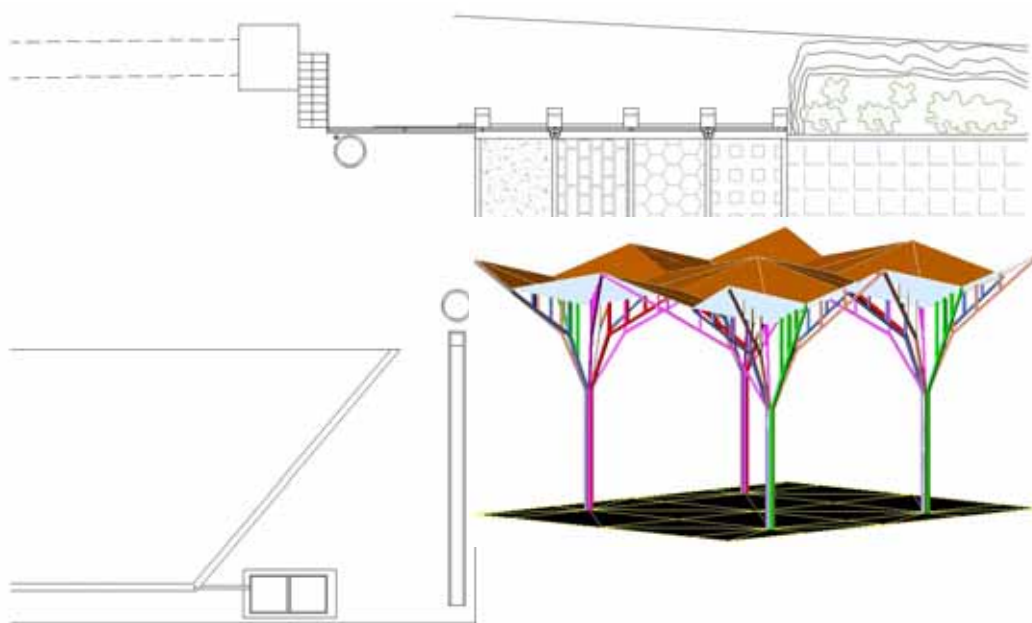


圖3-5 鋪面下之土壤用混凝土隔離

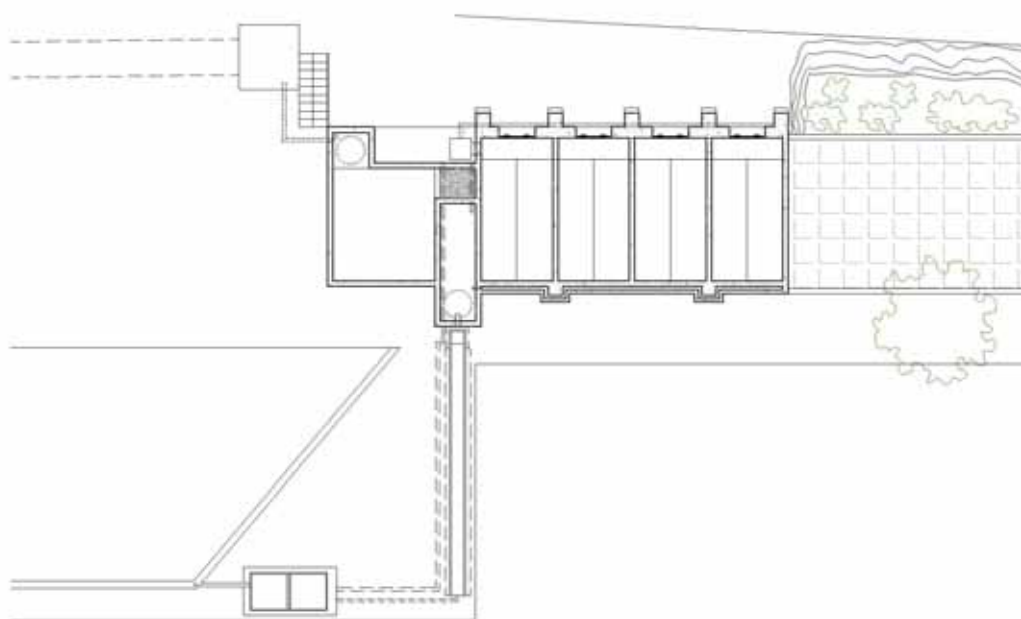


圖3-6 不同鋪面下土壤滲水情況設計參考示意圖

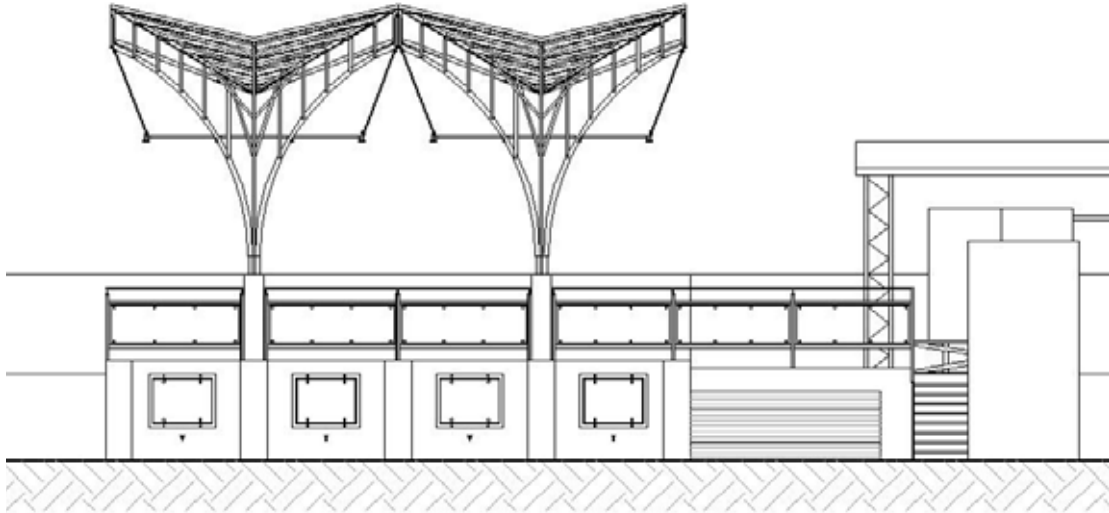


圖3-7 現地試驗區模雨器



圖3-8 卵礫石級配基底層



圖3-9 不織布





圖3-10 原土摻配夯實



圖3-11 碎石級配



圖3-12 面層施工



### 第三節 新店實驗區鋪面材料與施工規範

#### 一、透水磚鋪面[圖3-3(C)]

材料規範：

##### 1. 製造材料：

- a. 透水磚之底層組合材料為水泥，碎石所組成。
- b. 透水磚之面層組合為水泥、粗砂砂，色料所組成
- c. 色料：採用無機性氧化鐵顏料

##### 2. 製造方法：

由電腦設計配比，自動控制給料，經高壓強力震動，使面層與底層緊密結合，一體成型。

3. 品質要求：

- a. 抗壓強度應符合170kgf/cm<sup>2</sup>以上。
- b. 透水系數在1×10<sup>-2</sup>cm/sec以上。
- c. 鋪面收邊使用高壓混凝土界石或緣石，其製造材料與方法與連鎖磚相同，面層材料厚度在6mm以上並經噴砂處理，使石材裸露（如斬石效果），其抗壓強度在3000psi以上，不得以人工搗灌或現場澆灌。

4. 檢驗方法：

- a. 透水系數：使用定水位型透水試驗器檢驗。
- b. 抗壓強度：依據CNS13295高壓混凝土地磚之規定測試
- c. 界石或緣石之抗壓強度檢驗：將界石切割為80×80×80mm之正方立方試體並作上下石膏蓋平後檢驗之

5. 抽樣

3000m<sup>3</sup>以下抽驗3個，每增加3000m<sup>3</sup>增加1個，不足3000m<sup>3</sup>以3000m<sup>3</sup>計。

6. 其他規定：

- a. 透水磚生產廠商須為台灣區水泥製品工業同業工會會員，並須領有經濟部標準檢驗局登錄認可之ISO9002證書及高壓混凝土地磚正字標記證書。
- b. 為維護業主權益及維持設計師之原設計理念，並確保高壓混凝土透水磚之品質，製造材料與色澤之一致性，高壓混凝土透水磚及高壓界石等相關水泥製品必須為同一生產廠商所生產之產品。
- c. 承包商於材料生產前應會同有關單位赴生產工廠所生產之產品。
- d. 承包商應於材料進場前將高壓混凝土地磚之公會會員證書、工廠登記證、商檢局登錄認可之ISO9002證書、高壓混凝土地磚正字標記登記書、鋪面圖、樣磚，型錄及檢驗報告送請監造單位審核通過方可材料進場施工。
- e. 驗收須附依規範及圖說要求之檢驗報告正本，及內含規格、數量、顏色之生產暨出貨證明書正本。

施工規範：

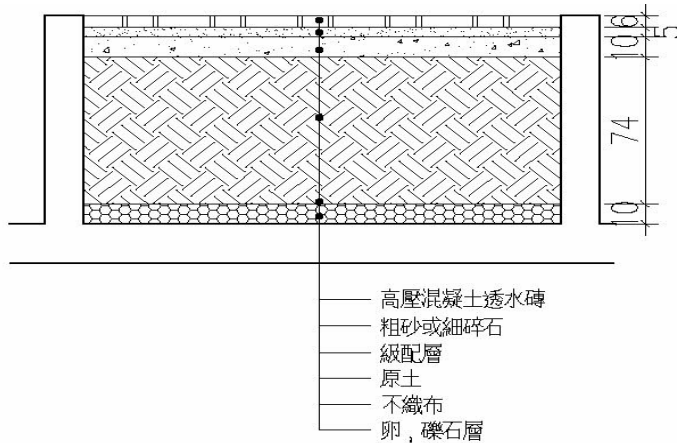
1. 基地依設計圖說，經放樣、整平、填級配料、滾壓、訂基線等施工程序，級配壓實密度需達95%以上，方得鋪設透水磚。
2. 鋪設不織布
3. 鋪設襯墊砂
  - a. 檢視路面是否滾壓平坦，不得有凹凸不平之現象。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

- b. 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。
- c. 襯墊砂層為3~5cm。
- d. 設置水平基準線後整平夯實，整平後不得踐踏。

施工斷面圖：如圖3-13

圖3-13 透水磚路面施工斷面圖



## 二、環保透水混凝土[圖3-3(D)]

材料規範：

1. 波特蘭水泥混凝土：須為3000psi以上，骨材最大粒徑10mm以下。
2. 硬化無機彩色料：色母採德國拜耳或同級品。硬化原料抗壓強度需達450kg/m<sup>2</sup>。
3. 養護劑：0.2kg/m<sup>2</sup>。
4. 導水管構架：PP回收料。
5. 地磚原料抗壓強度需達450kg/m<sup>2</sup>以上。
6. 防裂纖維絲。
  - a. 加纖維絲每m<sup>3</sup>混凝土1公斤。

施工規範：

1. 整平地面，並預計完成路面之高度。
2. 鋪上「級配層」15公分並整平夯實。
3. 在「級配層」上鋪上15公分卵石或粗砂層，並用滾輪壓平。
4. 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。
5. 注入每m<sup>3</sup>有加1kg防裂纖維絲的細料3000psi以上的混凝土。

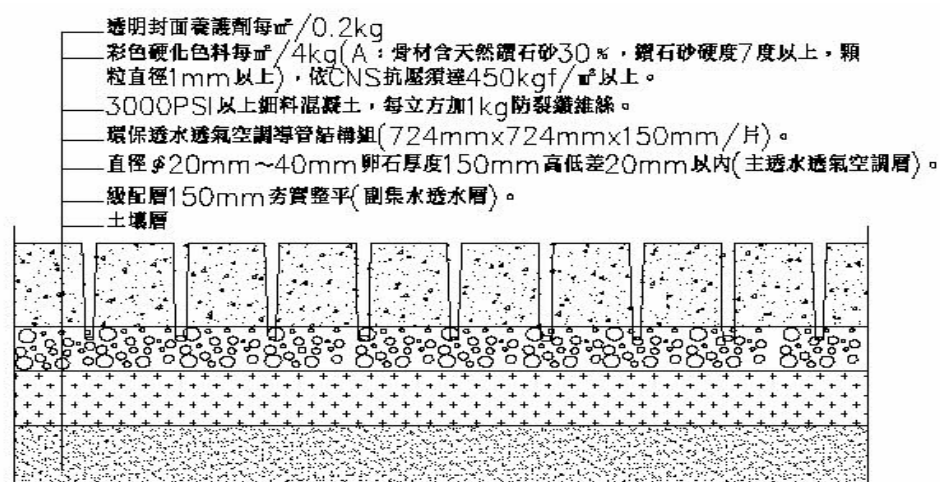
6. 在混凝土未完全乾固前施灑硬化料並輕輕的拍壓或用鏟刀抹過則可與混凝土完全結合成一體。
7. 3~6小時後待硬化料乾固開始拆除「導水管」系統之上蓋或紙模板。
8. 使用吸塵器清除碎屑殘渣。
9. 於表面清潔完成後噴灑養護劑即完成。
10. 在施工完成後應於施工地坪以3~6公尺距離切一道伸縮縫以防止熱脹冷縮。

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3-14

圖3-14 環保透水混凝土施工斷面圖



### 三、植草磚鋪面[圖3-3(B)]

材料規範：

1. 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。
2. 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。
3. 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

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」理論模擬現地實鋪成效研究

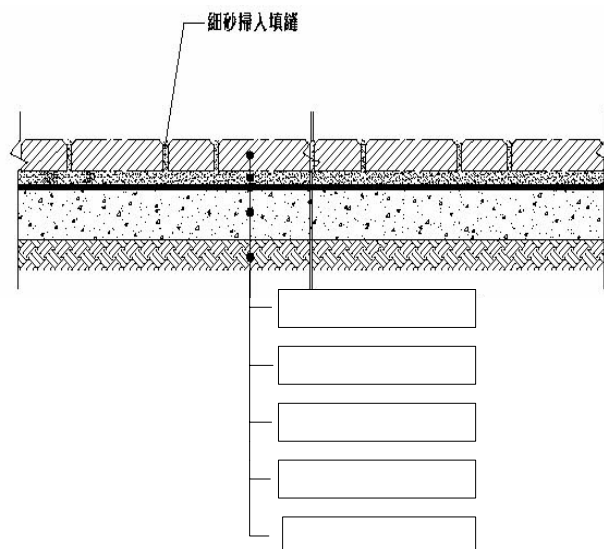
水力經過最少3年的測試，圖3-15為植草磚施工斷面圖。

施工規範：

1. 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. 級配層整平後於其上加鋪地工用不織布，接縫處搭接寬度應符合規定。
3. 襯墊粗砂之厚度依設計圖說之說明施作，應採用乾淨、堅硬、乾燥之粗砂，不得含有其他土壤、雜物或雜質，在襯墊粗砂整平後，人員嚴禁於其上走動。
4. 設立標尺或標線，將每塊面磚位置預先定妥，由一端開始鋪設磚縫不得大於3mm，施工時並同時考量完成後洩水坡度。
5. 鋪透水磚或植草磚時需先以木槌或橡皮榔頭輕擊透水磚的表面，使其緊密接觸，同時調整高度。
6. 鋪設完成後，在完成面上鋪設夾板，並在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，使鋪面緊密結實，再將細砂掃入磚縫空即完成。

施工斷面圖：如圖3-15

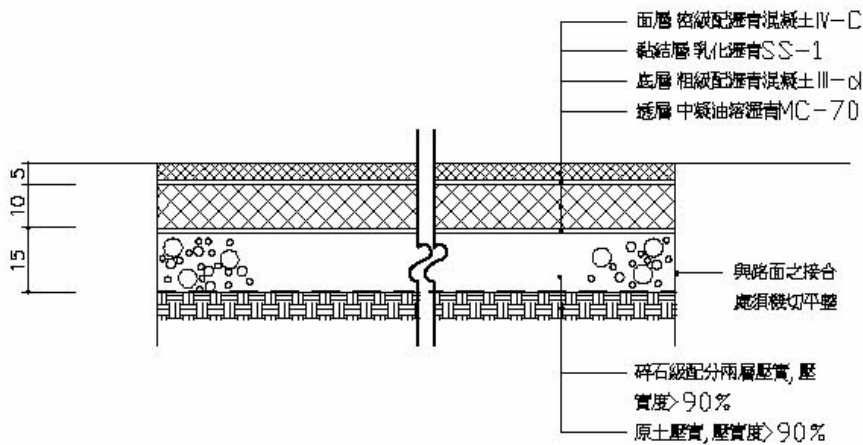
圖3-15 植草磚施工斷面圖



#### 四、透水瀝青混凝土鋪面[圖3-3(A)]

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。多孔瀝青混凝土為一高性能且高單價之鋪面，另外對於材料的要求也需特別注重。施工斷面圖如圖3-16所示：

圖3-16 透水瀝青施工斷面圖



材料規範：

##### 1. 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改質瀝青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CNS 14184聚合物改質柏油或日本排水性鋪面鋪裝綱要之相關規定，建議規範如表3-1及表3-2所示：

表3-1 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℃，100g，5sec，0.1mm (Min)	35
黏度，60℃，1s-1Pas. s (Poise) (Min)	800(8000)
黏度，135℃，mm <sup>2</sup> (cSt)(Max)	3000
閃火點COC，℃(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，℃	試驗記錄
滾動薄膜烘箱試驗(RTFOT)後，彈性回復率，25℃，10cm伸長，%(Min)	70
滾動薄膜烘箱試驗(RTFOT)後，針入度，4℃，200g，60sec(Min)	10

表3-2 日本多孔隙瀝青混凝土鋪裝綱要改質瀝青之規範

試驗項目	規範值
針入度，25℃，100g，5sec，0.1mm	40 以上
軟化點，℃	80.0 以上
延展性，15℃ (cm)	50 以上
閃火點COC，℃	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℃)，N×m(kgf×cm)	15(150) 以上
黏滯度，60℃，1s-1Pas. s (Poise)	20,000(200,000)以上

2. 粒料：

a. 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3-3為粗粒料的建議檢驗規範。

表3-3 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

b. 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3-4為細粒料建議檢驗規範。



表3-4 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

c. 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3-5為礦物填充料的建議檢驗規範。

表3-5 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

d. 纖維材料：

歐美地區的石膠泥瀝青混凝土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3-6為纖維基本性質建議檢驗規範。

表3-6 纖維基本性質建議檢驗規範

木 纖	Alpine篩分析法		網篩分析法	
	纖維長度	<6mm	纖維長度	<6mm
			通過 NO. 20(0. 85mm)	85±10%
	通過 NO. 100(0. 15mm)	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%		

施工規範：

1. 路基整修：

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. 過濾層：

鋪築過濾層破壞路基，且厚度要均勻。人工攤鋪，用小型壓路機、夯土机等碾壓。

3. 路盤：

用原狀碎做路盤材料，要充分注意不出現離析。按規定的厚度，以人工攤鋪均勻，並用小型壓路机碾壓。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

4. 面層：

- a. 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。
- b. 由於不灑透層瀝青，所以在面層鋪築前的清掃工作，需要謹慎從事，以免把路盤表面的顆粒材料掃鬆。
- c. 人工攤鋪混合料時，注意勿使材料的粗、細顆粒分離。
- d. 第一次碾壓使用小型壓路機或平板振動夯。攤鋪後立即碾壓，並注意對整個鋪築面盡早進行碾壓。
- e. 成活的碾壓用振動碾，盡可能地拉長距離連續碾壓，以確保路面的平整度。
- f. 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。

#### 第四節 透水鋪面基本性質實驗結果分析(含基底層)

##### 一、多孔隙瀝青混凝土面層實驗結果成效分析

##### 1. 設計級配

本次實驗採用與美國PA相似的級配規範，所建議的用量如表3-7所示。

表3-7 透水級配(設計級配)

	冷斗料 一	冷斗料 二	冷斗料 三	冷斗料 四	合成級配		
用量%	50% (1cm)	47% (0.5cm)	0% (砂)	3% (石粉)	100%	規範	
篩號	過篩%	過篩%	過篩%	過篩%	過篩%	下限	上限
3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
1/2"	70.7	100.0	100.0	100.0	85.4	85	100
3/8"	28.6	98.9	100.0	100.0	63.8	55	75
NO. 4	0.0	46.4	96.6	100.0	24.8	15	25
NO. 8	0.0	8.1	82.5	100.0	6.8	5	15
NO. 16	0.0	0.9	71.3	100.0	3.4	--	--
NO. 30	0.0	0.0	58.2	100.0	3.0	--	--
NO. 50	0.0	0.0	36.6	100.0	3.0	--	--
NO. 100	0.0	0.0	13.7	99.9	3.0	--	--
NO. 200	0.0	0.0	3.1	88.4	2.7	2	4

##### a. 垂流試驗(決定含油量上限)

垂流試驗是用於多孔性瀝青混凝土在高溫狀態下保持靜態的最大瀝青量，以瀝青膠泥的垂流量與瀝青含量間關係曲線圖中之反曲點為最適瀝青量之上限。係

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」理論模擬現地實鋪成效研究

採用美國AASHTO T305-97的網籠法進行垂流試驗。網籠的篩孔尺寸為6.3mm，在施工溫度或更高的問度條件下，取1.2kg的混合料均勻放入網籠中，置於170±10℃烘箱中，保持1小時，量平網籠上黏附的瀝青量，即為瀝青垂流部分。

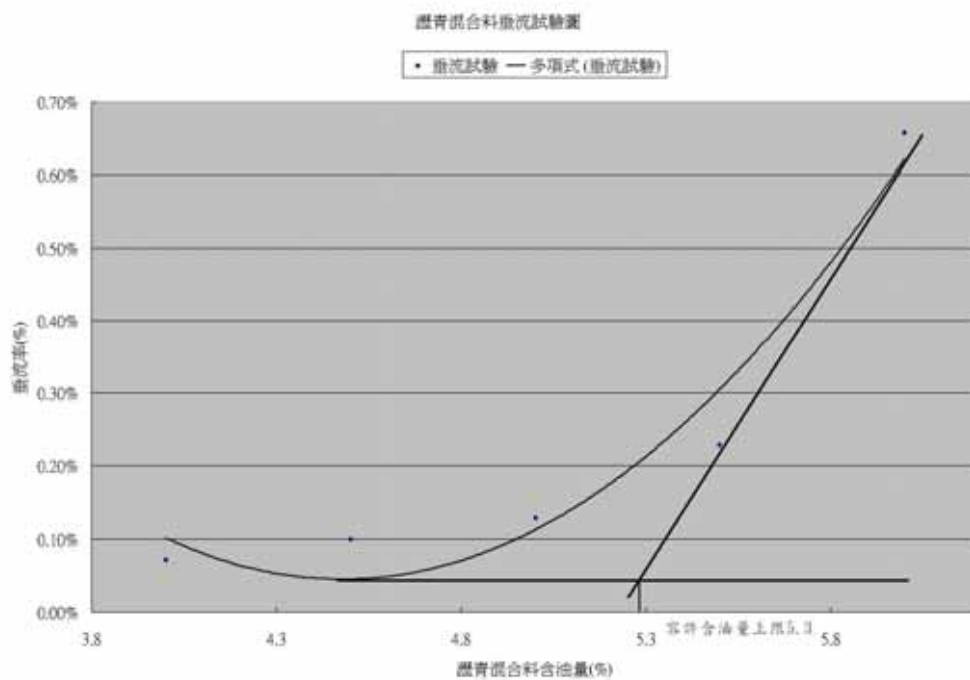
本試驗以4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%五個含油量進行垂流試驗，分別量測出瀝青膠泥各含油量之垂流量，並繪製瀝青含油量與垂流量關係曲線圖，由圖3-17中反曲點之切線交點，決定出本試驗之瀝青最適含油量上限為5.3%。

表3-8 垂流試驗結果

試驗溫度：170℃

含油量%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
烤盤重(g)... A	333.8	333.3	334.8	334.6	346.5
烤盤+拌和料重(g)... B	1311.7	1332.1	1344.9	1342.2	1349.4
烤盤上瀝青垂流重量(g)... C	0.7	1.0	1.3	2.3	6.6
垂流率(%) $X=C/(B-A)$	0.07	0.10	0.13	0.23	0.66

圖3-17 瀝青混和料垂流試驗圖



b. 飛散損失率試驗(決定含油量下限)

飛散損失率試驗 (Cantabria磨耗試驗) 以磨耗及衝擊試驗下評估混合料飛散的潛能, 由瀝青膠泥的飛散損失率與瀝青含量間關係曲線圖中之反曲點為最適瀝青量之下限。係將用馬歇爾夯壓機每面各夯打50下之試體 (重量為A), 放入20°C的恆溫水槽中養治20小時, 從水槽中取出試體快速放入洛杉磯試驗機滾筒內, 筒內部不放入鋼球, 以每分鐘30~33的轉速迴轉300次, 轉畢後, 取出筒內之最大塊試體 (重量為B), 並計算其損失率。

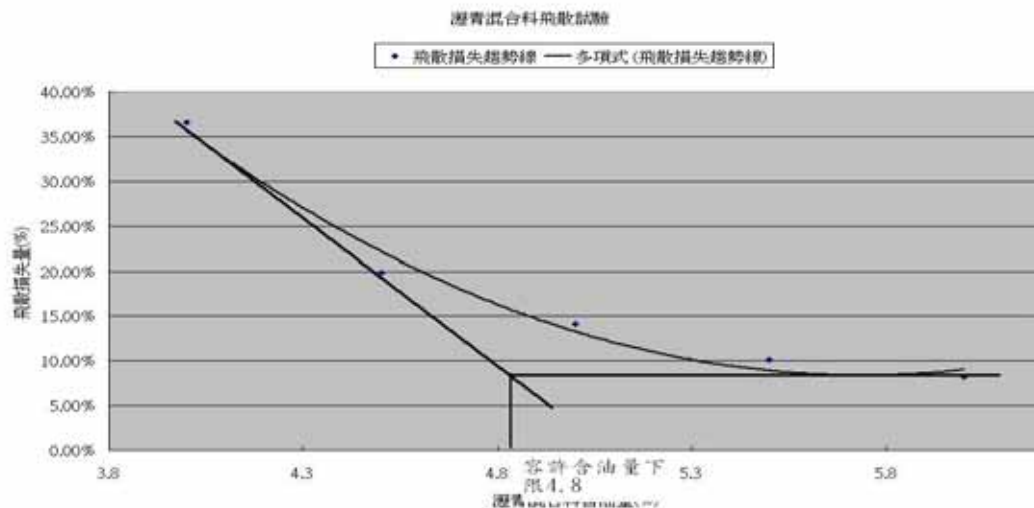
本試驗以4.0%、4.5%、5.0%、5.5%、6.0%五個含油量進行飛散損失率試驗, 分別量測出瀝青膠泥各含油量之飛散損失率, 並繪製瀝青含油量與飛散損失率關係曲線圖, 由圖3-18中反曲點之切線交點, 決定出本試驗之瀝青最適含油量下限為4.8%。

表3-9 飛散損失率試驗

試驗溫度: 22°C

含油量	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
試樣重(g).. A	984.5	982.9	1016.8	1029.2	1017.3
飛散後試樣重(g).... B	623.9	787.7	873.2	924.7	933.2
飛散損失率(%)					
$X=(A-B)/A$	36.4	19.9	14.1	10.2	8.3

圖3-18 瀝青混和料飛散試驗圖



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」理論模擬現地實鋪成效研究

c. 決定含油量

本試驗由垂流試驗之最適含油量上限為5.3%與飛散損失率試驗之最適含油量下限為4.8%，所得之最適含油量帶為4.8%~5.3%，以5.3%瀝青含油量為本多孔性瀝青混凝土之配合設計瀝青含量。

2. 成效試驗

本試驗以5.3%瀝青含油量為配合設計瀝青含量，並進行各成效試驗，包含馬歇爾穩定值、連續孔隙率、透水係數、飛散損失率試驗等。

a. 馬歇爾穩定值試驗

製作馬歇爾試體含油量為5.3%，進行穩定值試驗，其平均值481.4 Kgf 符合規範要求350 Kgf以上。

表3-10 穩定值試驗

含油量(%)	試體編號	穩定值(kgf)	穩定值 平均值(kgf)
5.3	1	505.7	481.4
	2	465.2	
	3	473.2	

以連續孔隙率試驗來檢驗孔隙率之成效要求，由結果得知其連率孔隙率為18.3%，符合規範要求15%~20%。

表3-11 連續空隙率試驗

	試體編號		
	1	2	3
試體高度(cm)-----A	6.66	6.78	6.80
試體圓面積(cm <sup>2</sup> )-----B	81.23	80.44	81.23
試體空氣中重(g)-----C	1009.7	1003.8	1023.0
試體水中重(g)-----D	567.6	563.7	570.0
25°C水密度(g/cm <sup>3</sup> )-----E	0.997	0.997	0.997
骨材+獨立孔隙體積(cm <sup>3</sup> )---F=(C-D)/E	443.43	441.42	454.36
連續孔隙率(%)=100×[(A×B)-F]/(A×B)	18.0	19.1	17.7
平均連續孔隙率(%)	18.3		

多孔性瀝青混凝土，主要在於透水係數之成效要求，由試驗結果得知其透水係數平均值為0.21 cm/sec，符合規範要求0.1 cm/sec以上。

表3-12 瀝青混凝土透水係數試驗

試體編號	1	2	3
試體厚度(cm)-----L	6.66	6.78	6.80
試體斷面積(cm <sup>2</sup> )--A	81.23	80.44	81.23
水頭(cm)-----h	11.87	12.32	11.97
測定時間(s)-----t	15	15	15
溢流量(cm <sup>3</sup> )----Q	380	455	375
透水係數 (cm/sec) K=(L/h) ×[Q/(At)]	0.17	0.21	0.17
水溫(°C)	20	20	20
校正係數	1.127	1.127	1.127
校正後透水係數(cm/sec)	0.20	0.23	0.20
透水係數平均值(cm/sec)	0.21		



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」理論模擬現地實鋪成效研究

以飛散損失率試驗來檢驗剝脫分離之潛能，由結果得知含油量5.3%之混合料其飛散損失率為12.6%，符合規範要求25%以下。

表3-13 飛散損失率試驗

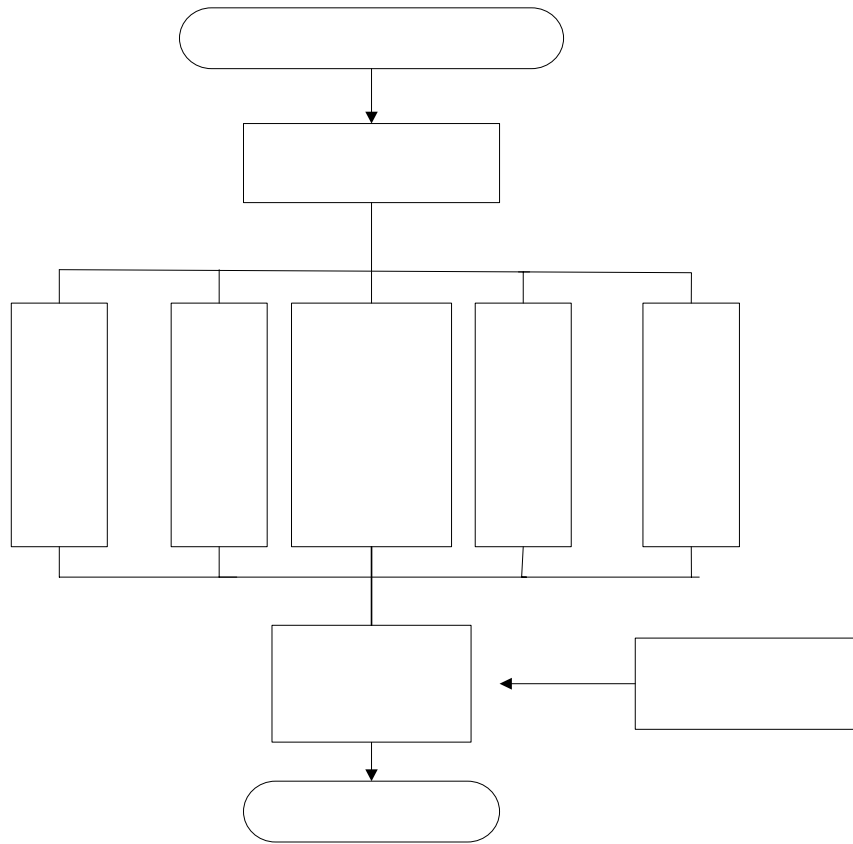
試驗溫度：22°C

含油量	5.3		
試體編號	1016.2	1012.2	1017.3
試樣重(g).. A	910.3	876.1	875.5
飛散損失後試樣重(g).... B	105.9	136.1	141.8
飛散損失率(%) $X=(A-B)/A$	10.4	13.5	14.0
飛散損失率平均值(%)	12.6		

## 二、透水鋪面基底層材料試驗結果分析

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3-19所示：

圖3-19 試驗流程



現地土

原土  
統一土

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，原土摻配比例分佈如表3-14。

臺灣各地區降雨強度擬定

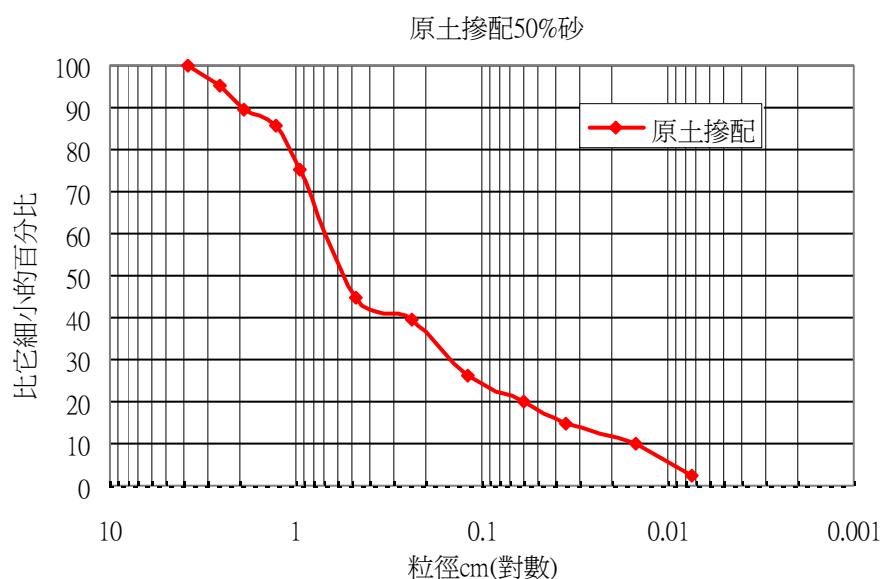
飽和度計算

土壤含水量  
孔隙率與保水量

表3-14 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3-20 原土摻配50%砂



由粒徑分佈圖可得到下列參數：

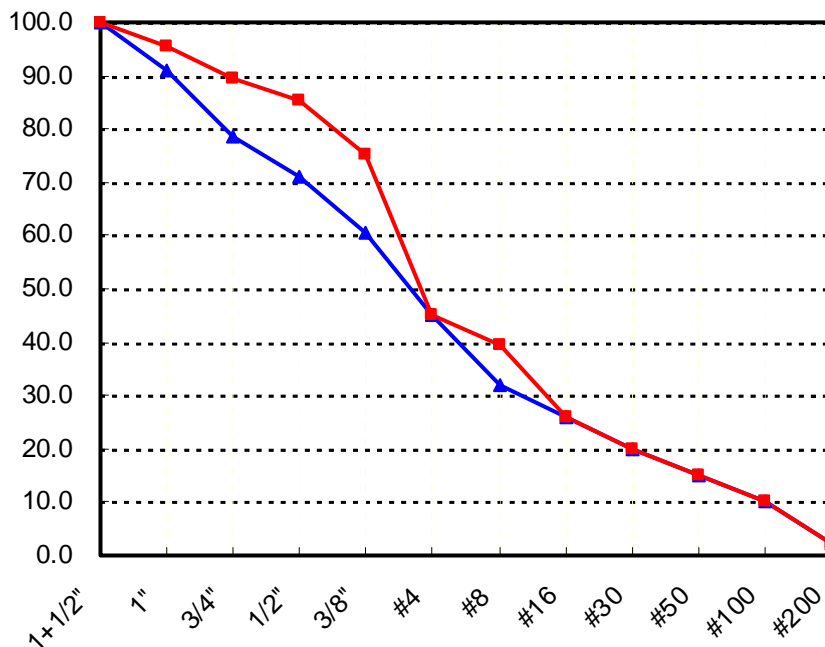
D10=0.15mm D30=1.53mm D60=7mm

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3-21為原土與原土摻配後之比較圖。

圖3-21 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。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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3-15為各層之透水係數：

$$Kv_{(eq)} = \frac{h}{\left(\frac{h_1}{Kv_1}\right) + \left(\frac{h_2}{Kv_2}\right) + \left(\frac{h_3}{Kv_3}\right) + \dots + \left(\frac{h_n}{Kv_n}\right)} \quad (3.1)$$

式中：

h：總厚度

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

$Kv (eq)$ ：等效滲透係數

表3-15 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	0.221	-	0.0137	-
級配層	0.049	0.049	0.049	0.049
原土層	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032
過濾層	0.31(不織布)			

表3-16 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3-17為相關之試驗結果：

表3-17 級配層、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3-18所示：

表3-18 工地密度 (kg/cm<sup>2</sup>)

	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3-19 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)

孔隙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：

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (3.2)$$

式中：

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

表3-20 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3-21孔隙率基本定義可推得空隙體積。

表3-21 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： $S = \frac{\omega G_s}{e} \quad (3.3)$

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3-22所示：

表3-22 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 $n\%$ ×各層厚度×各層 $S\%$ ×0.01即為各層保水量，各斷面分層之保水量如表3-23，全斷面之總保水量為表3-24所示：

表3-23 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3-24 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



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」理論模擬現地實鋪成效研究

在表3-23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)會延緩逕流發生時間。由表3-24全厚度保水量可得知全保水量約在19cm，是理想化之狀態，應再考慮其他影響因子如蒸發等，使得現地保水量變小，因此需乘上一折減因子，使得估算保水量較為客觀。

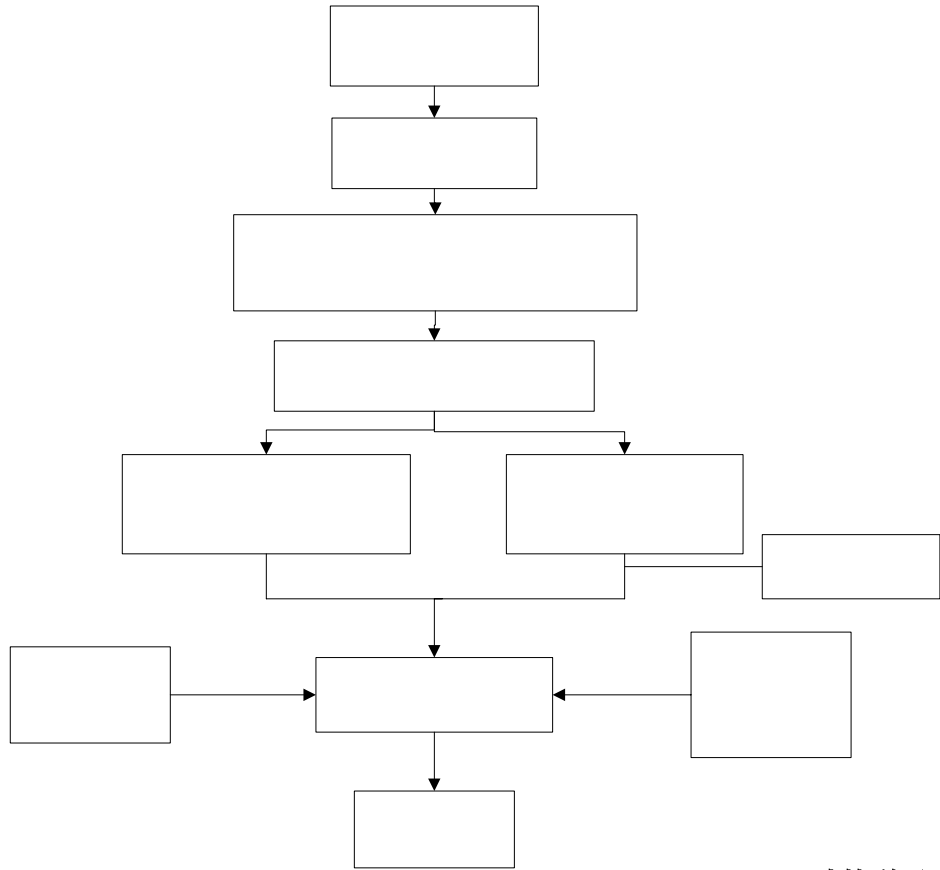
### 三、新店實驗區現地透水試驗流程

#### 1. 試驗流程介紹

新店實驗區於上一年度製作了四種形式的透水鋪面，因其擁有大型模雨計設備、以及整套的透水鋪面觀測設備，因此本年度預定藉此實驗區研究降雨與透水性能之間的關係，考慮在設計雨型之最大降雨強度(自變數)與不同降雨延時(自變數)下，四種不同透水鋪面其透水性之能力，並觀測在歷經多久時間降雨之後將達飽和狀態，也藉此實驗區瞭解不同鋪面在降雨過後其保水的性能(應變數)與時間變化情形。

此外，本現地試驗之保水量將與實驗室土壤三相圖基本觀念由孔隙率與飽和度推估保水量及實際測得之逕流量推得之 $\Phi$ 入滲指數與入滲容量之觀念進而求得之保水量做一比對進行結果分析討論。此實驗區亦可長期觀測透水鋪面隨時間其透水性及保水性能變化的情形，可對透水鋪面其使用的服務年限作一探討。本實驗區現地透水試驗規劃流程圖如下：

圖3-22 實驗區現地透水試驗規劃流程圖



新店實驗區  
透水試驗

人工模雨計

模擬設計雨型之代  
(自變數)

2.  $\Phi$ 入滲指數介紹

本現地透水實驗比對部分之 $\Phi$ 入滲指數(Infiltration indices)為某降雨時所求得之平均入滲率(水力傳導係數)，即在雨量強度-時間的曲線上，繪一條水平線，使該線以上的超滲雨量體積恰好等於地表逕流的體積。因四種鋪面面積為一定值，故只要繪一條水平線，使該線以上的超滲雨量的水深恰好等於地表逕流的水深，即可求得 $\Phi$ 指數。而 $\Phi$ 指數水平線以下的雨量皆會滲透指基底層，只有水平線以上的雨量才會在地表面上流動，這一段時間稱為有效降雨延時。因此本實驗可以以此水文指數作為新店實驗區現地透水試驗之比對。圖所示：

不同降雨延時  
(自變數)

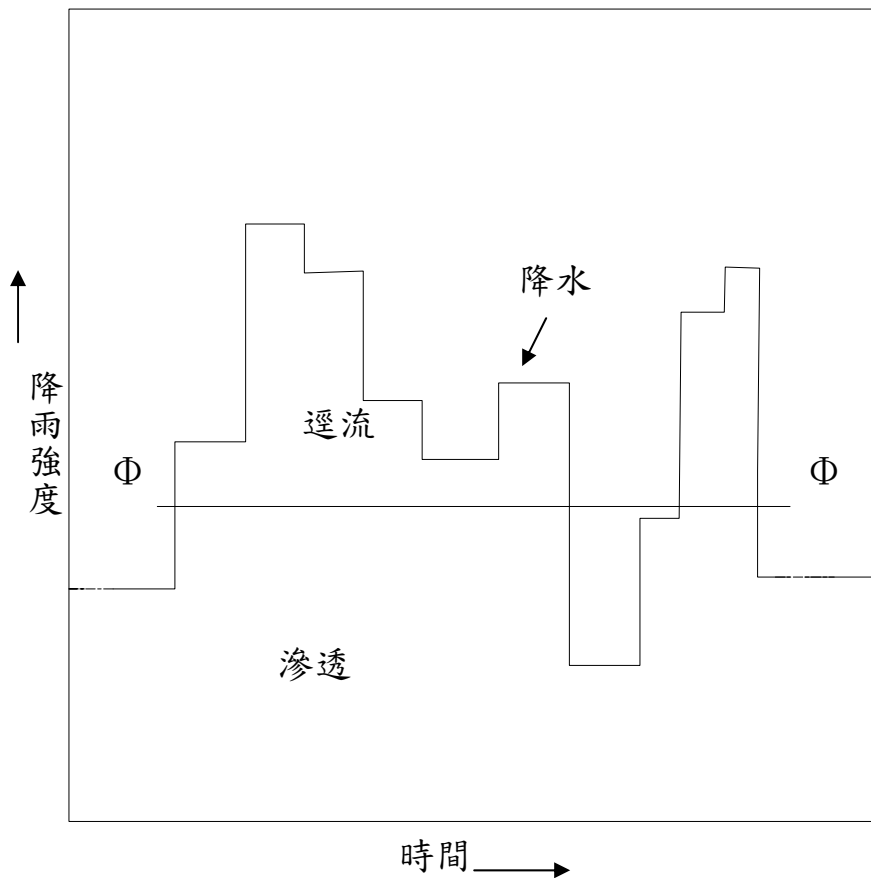
各斷面側溝逕流量測  
(應變數)

土壤三相圖  
推估理想保  
水率

比對

結果分析

圖3-23  $\Phi$ 指數示意圖



### 3. 現地入滲觀測

入滲為一重要之水文現象，可利用實測估算某地區地表及土壤特性，為防洪、給水之規劃設計者所必須，因此入滲量之觀測為水利工程不可或缺之重要數值。本實驗區採以人工模雨計法觀測入滲，茲敘述如下：

模雨計法(Rainfall simulator)：

模雨計為利用人造之噴水裝置，使其類似降雨，並能改變其降雨強度之大小，打擊透水鋪面，所求得之入滲率更可合乎實際情形。模雨計使用於地面較廣，由一至數平方公尺。其施測地點，應選擇代表全地區降雨代表性之雨量與延時。模雨計有F及FA型兩種，本實驗區採F型。F型觀測面積為(2×4)平方公尺，可模擬45、90、135公厘降雨強度之降雨，其噴水管分兩排安裝於長邊，噴水高度約為2公尺。FA型模雨計之觀測面積較小，僅(30×75)平方公分，其噴水管安裝位置如F型，但採用低水壓式，其降雨強度為每小時38公厘或其倍數。

觀測前，於選妥之地面四周築低堰，然後固定噴水頭，由供水處給已知水量，

由噴水頭管均勻噴出，所噴出之降雨強度大小與實際雨相似。

此外，於實驗區地點各鋪面較低一側修挖槽溝，以截取未能入滲之逕流，並於槽溝出口處設堰口量測水量。則供應水量減去逕流量即得入滲量。現地入滲試驗步驟如圖3-24所示：

入滲率 $f(t)$ 為：

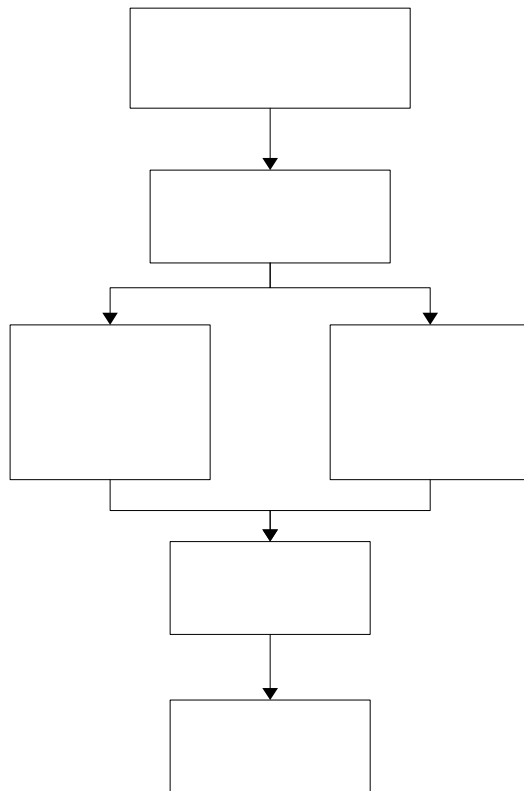
$$f(t)=i-q(t) \quad (3.4)$$

式中

$i$ 為人工模擬降雨強度

$q(t)$ 為單位面積地表逕流量

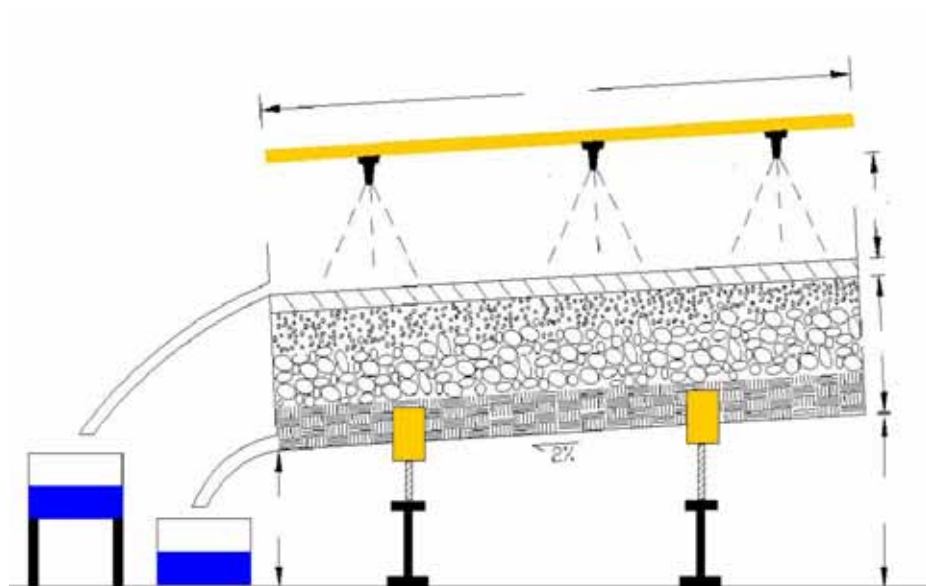
圖3-24 現地入滲試驗步驟



調整模雨  
設計雨型  
度

以不同降  
時分型

圖3-25 模擬降雨示意圖

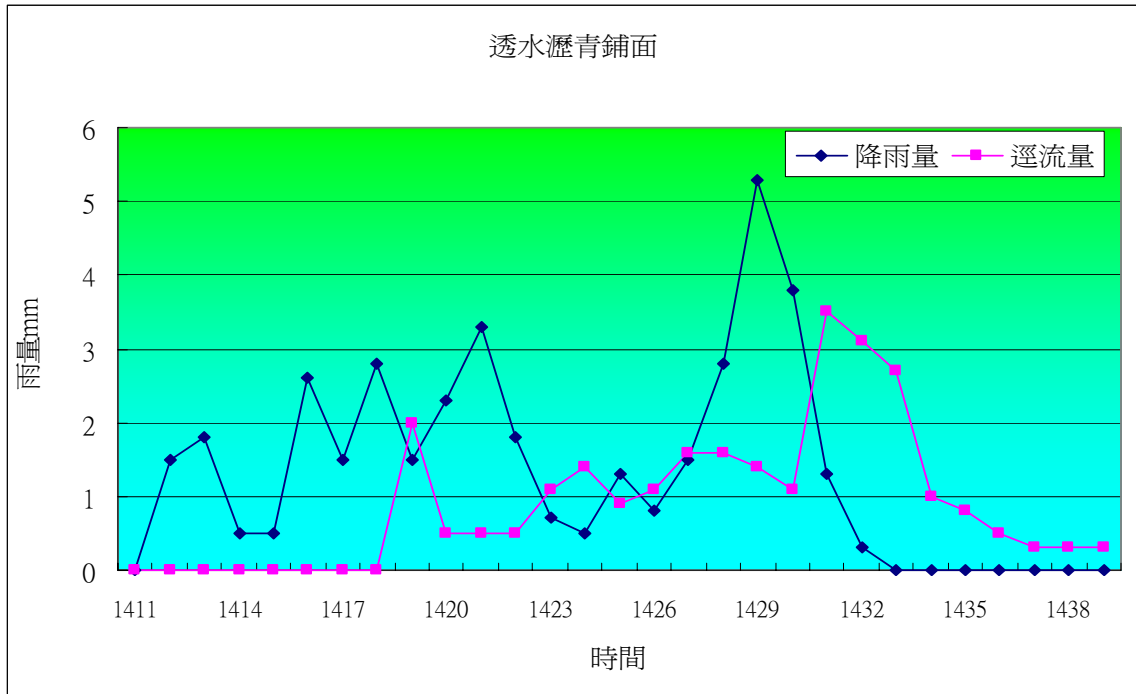


由中央氣象局所公布最新降雨強度之分類如表。將進行這四種不同之降雨等級進行試驗，比較其逕流和保水特性，圖3-26為新店試驗區模擬降雨強度與逕流關係圖。

表3-25 交通部中央氣象局新修訂之「大雨」及「豪雨」定義

大雨	指二十四小時累積雨量達五十毫米以上，且其中至少有一小時雨量達十五毫米以上之降雨現象。
豪雨	指二十四小時累積雨量達一三〇毫米以上之降雨現象。
大豪雨	若二十四小時累積雨量達二〇〇毫米以上稱之為特大
超大豪雨	二十四小時累積雨量達三五〇毫米以上稱之為超大豪雨。

圖3-26 強雨強度及逕流關係圖



### 第五節 透水鋪面效益

目前針對透水鋪面之預期效益，有保水性和減少熱島效應。針對這二點進行探討。

#### 一、透水鋪面之保水及滲透

透水性鋪面因具有將雨水滲透至地下之功能，因而不會導致土壤中缺氧等現象，使植物之地下生長狀態良好。通常工業發達區域工業用水一部份由地下水供給，過度地利用地下水不但會引起地面下沉，還會招致城市、河流、湖泊枯竭，進而導致海水入侵，若鋪築透水性鋪面，將可利用其保水功能，形成一「地下水庫」提供必要之水資源調度。隨著都市化產生之污水流出量大增，不但增加下水道等排水設施之負擔，特別是採用合流制下水道之城市，於雨天時污水流量比晴天時單位時間最大污水量更大，致使超過了污水處理能力，而直接流放至公共水域，造成水質之污染，透水性鋪面之級配層具有過濾污染物之基本能力，因此可

## 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」理論模擬現地實鋪成效研究

減輕污水處理系統之負擔，避免污染物之擴大。依據瑞典研究機構量測，透水性瀝青鋪面對行車產生之噪音可降低4~5db。

以往都市規劃對於鋪面雨水之處理，皆以盡量排除之洩水之觀念設計，並由於都市居民對於鋪面平整度與強度之要求，近來對於鋪面(如人行道鋪面)皆以不透水化之水泥混凝土面層處理，以致原有水文系統機制改變，如近年來台北市大部分的人行道構建及近二十年來大量開發之汐止等，均衍生都市熱島效應及水資源問題。為能改善上述問題，近年來相關學者提倡「透水」及「保水」之鋪面機制，使雨水能達到「滲透」及「儲存」之目的，並提升都市之保水效果，以健全都市之水環境系統，平衡都市溫濕度氣候與達成水資源之續之目的。

一般鋪面可依承載重的大小而分為低承載之人行道(步道)及自行車道、中承載及高承載之車行道等。鋪面組成為面層、底層、基層及路基等各層。鋪面之設計係將其所承受之載重經由相當厚度之面層、底層、基層逐漸擴大分佈面積至路基，以使其單位垂直壓力減少至路基土壤所能安全負荷。各層厚度愈增加，載重傳遞之所承受單位強度愈小。因此，鋪面組合厚度應包括面層、底層及基層之全部厚度在內，並視其結構組成之各層次所用材料以及路基土壤之性質與強度而異。結構組成之各層，必須具有足夠之厚度，不致因受載重後發生任何變形而影響鋪面之平整性。此也造成以往有些人行道因設計錯誤，以致產生鋪面凹陷、冒泥、冒水等問題。影響鋪面厚度之因素甚多，如路基土壤的種類與性質、預估承載重、土壤受反覆載重的變化、車輛(若有車輛進入)輪重、輪胎壓力及車輛衝擊力、氣候降雨量、土壤含水量與強度變化、路面排水及地下水位等，因此，關係極為複雜，一般鋪面設計多就「交通之質與量」、「土壤強度」兩項，以力學理論及經驗公式建立不同鋪面厚度設計圖樣。相關資料鋪面厚度設計可參考美國公路官員協會(AASHTO)最新路面設計版本。因此各層之厚度之大小可視鋪面結構物功能需求而定。

考量透水性之功能需求，僅針對各層透水性能作一分析，一般透水鋪面組合上，增加可透水的「過濾層」以保護路基，各層厚度與鋪面功能需求有關。

### 二、影響滲透及保水之因子

影響滲透及保水量之因子繁多，且彼此互為因果關係，茲列述如下：

1. 降水特徵：當雨量強度低於入滲率時，所有降水全部入滲，地面將無逕流，該時之降雨強度即為入滲率。當雨量超過滲透率時，地表有逕流，惟此時雨

量強度與入滲率之關係不十分顯著。雨量強度甚大時，降雨驟急，打擊表土，所攜能量常將地表細粒土壤或植物種子播送空中，隨之再落下流入土壤孔隙中，充塞其間，減低滲透率。

2. 土壤種類：土壤種類不同，其顆粒大小自不相同，其間孔隙亦隨之而異。土粒大者，空隙率反而較小，但孔隙大者，其滲透量自然較快，反之則否。
3. 土壤含水量：土壤含水量隨土壤種類不同而異，同一土壤因時間不同其含水量亦異。一般言之，含水量與入滲量互為消長，尤以降雨初期時為然。土壤含水量影響滲透量依下三方式：(1)當降雨開始時，如臨前土壤條件(Antecedent soil condition)為乾燥時，由於向下毛細管力與地心吸力影響會發生甚大之滲透量。(2)土壤含水量增加時，土壤孔隙水分增加，減低滲透量。土壤水分增加時，另土壤原有之膠體膨脹，間接減少滲透量。
4. 土壤化學作用：土壤中如含有大量溶解度高之物質會形成孔隙，增加滲透。然有時某類土壤經長期雨水侵蝕，使原有粒狀碎成粉末，阻碍孔隙，減少滲透。
5. 土壤內膠質物：土壤多少含有極細顆粒之膠質物，水浸入膠質物中，發生體積膨脹作用，所有孔隙將會被填滿，水分子不易流動，滲透量即減少。
6. 生物作用：此作用所引起滲透量之變化，乃微生物於潮濕之環境下滋生為主，此類微生物可能將土壤孔隙阻塞減少滲透。植物繁生之處，生成代謝，土壤中孔隙密集，滲透率極為強大。
7. 土形：凡增加逕流之因子皆可減少入滲量。依據水力學原理，地形坡度大者，必然使逕流加速，亦即減少滲透之機會。反之，平坦之地面，滲透量必較大矣。
8. 土地利用：人類對土地利用常可改變土壤結構。新耕之土壤，由於孔隙率增加，可含蓄大量水分，即可增加滲透量。
9. 土壤空氣含量：土壤中孔隙在空氣層中常含有部份空氣，減少入滲通路，故滲透率因土壤空氣含量增多而減少。
10. 水質：入滲水如攜帶細土或污泥會阻塞滲透路，減少滲透量。滲透水如被鹽類污染亦會影響滲透。
11. 溫度：溫度影響粘滯性(Viscosity)，故亦影響水之滲透率。



### 三、透水鋪面對熱島效應

都市氣候中最顯著之一為熱島現象，熱島為表示都市高溫現象的用語，為類似等於海上之浮島之等溫線圍之稱，亦即熱的島。不僅是都市特有氣候之都市表面層的現象，而都市上空的大氣如同毛堅所覆蓋的狀態無法簡單的消滅之，這種整體覆蓋於都市的大氣稱為都市大氣。

目前所推動之透水性之鋪面，針對熱島效應而去探討其成效。初步成效為有相當的效益。由於透水鋪面可俱有保水功能，因此和不透水鋪面之溼度有明顯差異(如圖3-27)。可降低鋪面溫度可使都市溫度梯度變小。根據圖3-28所示在相同的時間下，針對透水及一般混凝土路面進行其溫度及溼度量測，可發現透水鋪面之溫度明顯低於一般混凝土路面1~2 °C，並且愈接近正午時分其溫度差異性愈大。

圖3-27 透水鋪面及不透水鋪面濕度比較圖

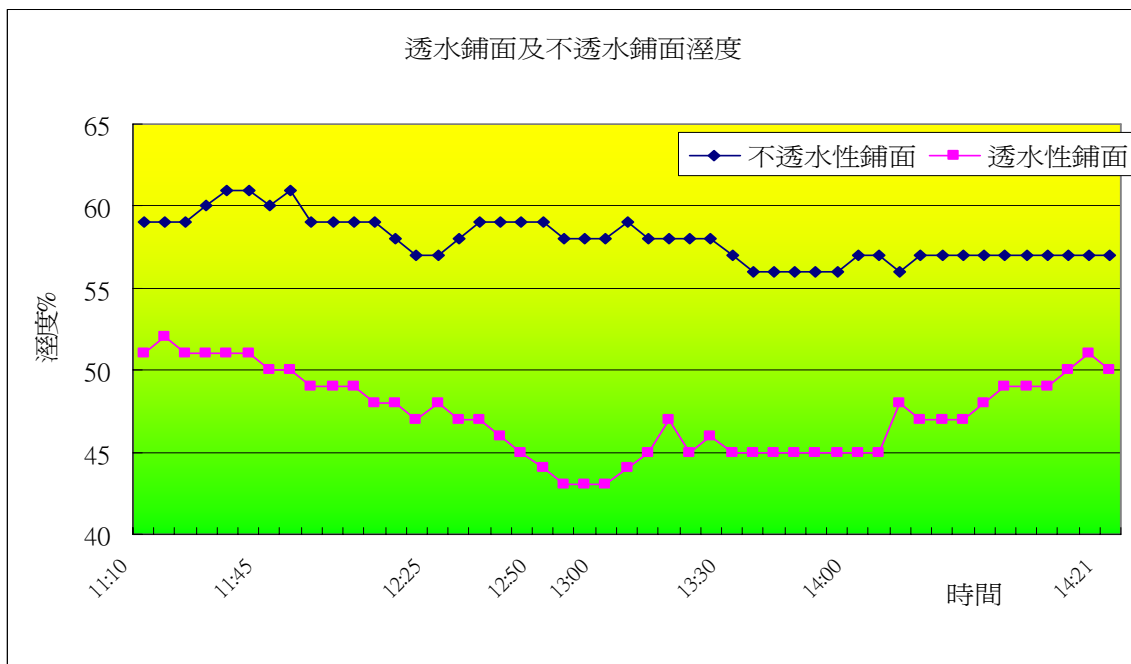
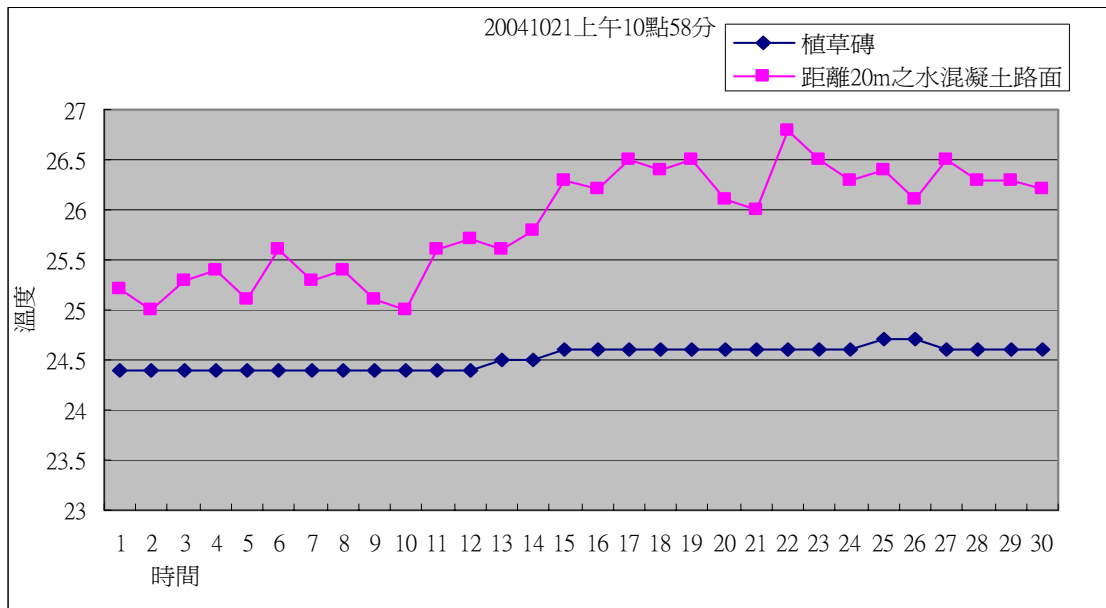


圖3-28 新店透水鋪面與不透水鋪面溫度



#### 四、透水性鋪面試驗區成效評估

於新店試驗區中進行地溫、土壤濕度、滲透量、滲透量及沉陷量等監測及試驗，來評估透水性鋪面之相關成效。

透水性鋪面之透水性土壤容易因壓力產生壓密，造成車輛行經透水鋪面時，長久會造成車轍及沈陷量。以新店透水鋪面，到至今已完工約一年。本研究團進行四塊透水鋪面之車轍及沈陷量之試驗。透水瀝青最大沈陷量為11.9mm、植草磚為10.7mm、透水磚為14.7mm、JW工法為6.5mm。(如圖3-29-圖3-32)。

圖3-29 新店試驗區透水瀝青混凝土沉陷量示意圖

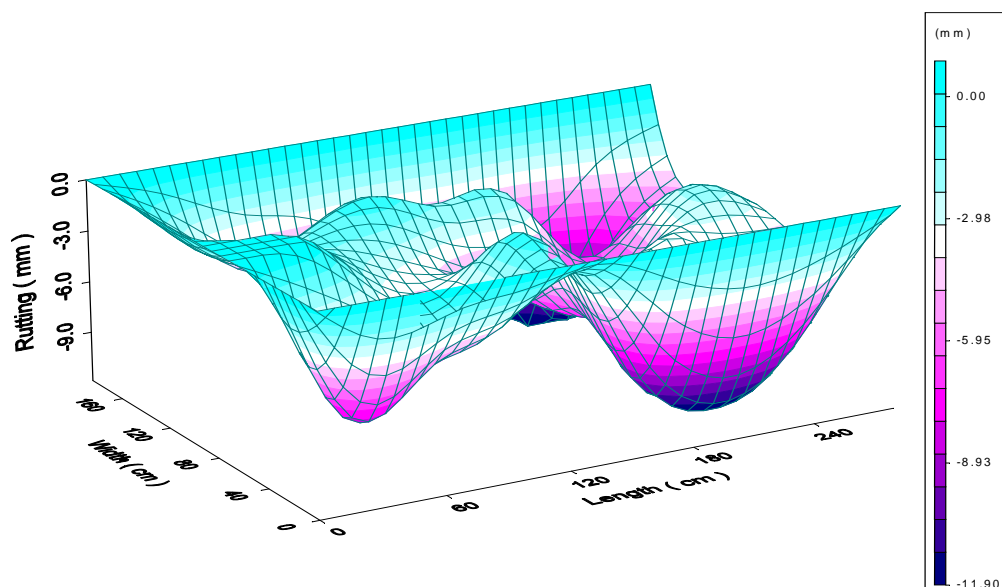


圖3-30 新店試驗區透水植草磚沉陷量示意圖

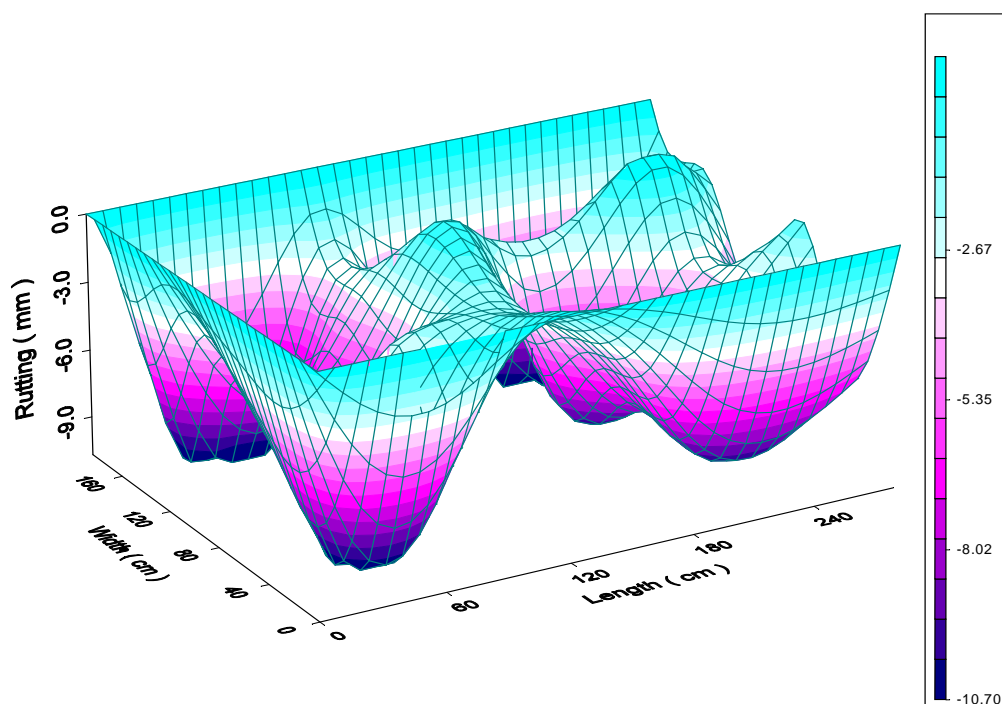


圖3-31 新店試驗區透水透水磚沉陷量示意圖

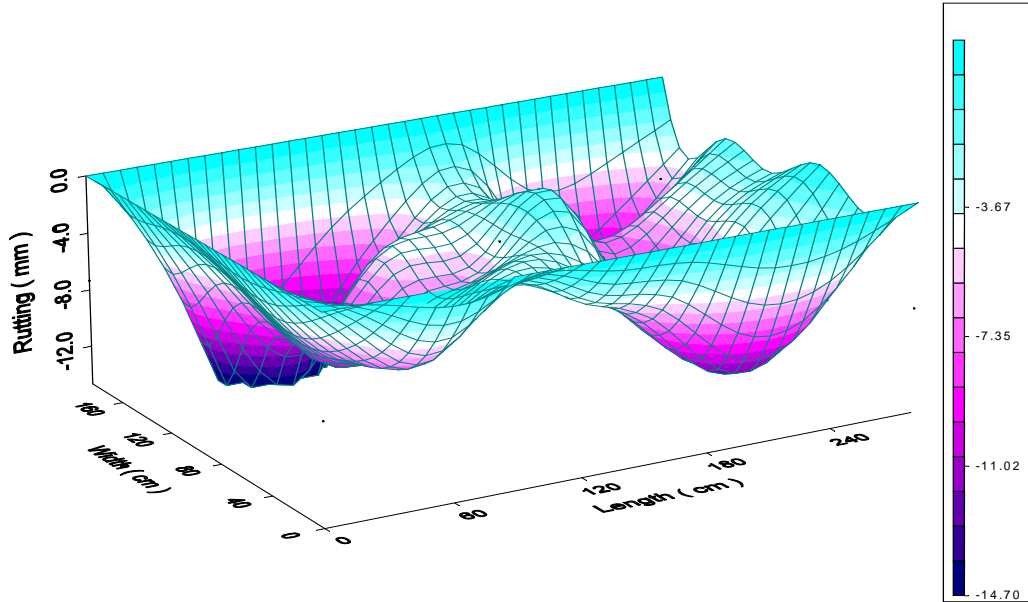
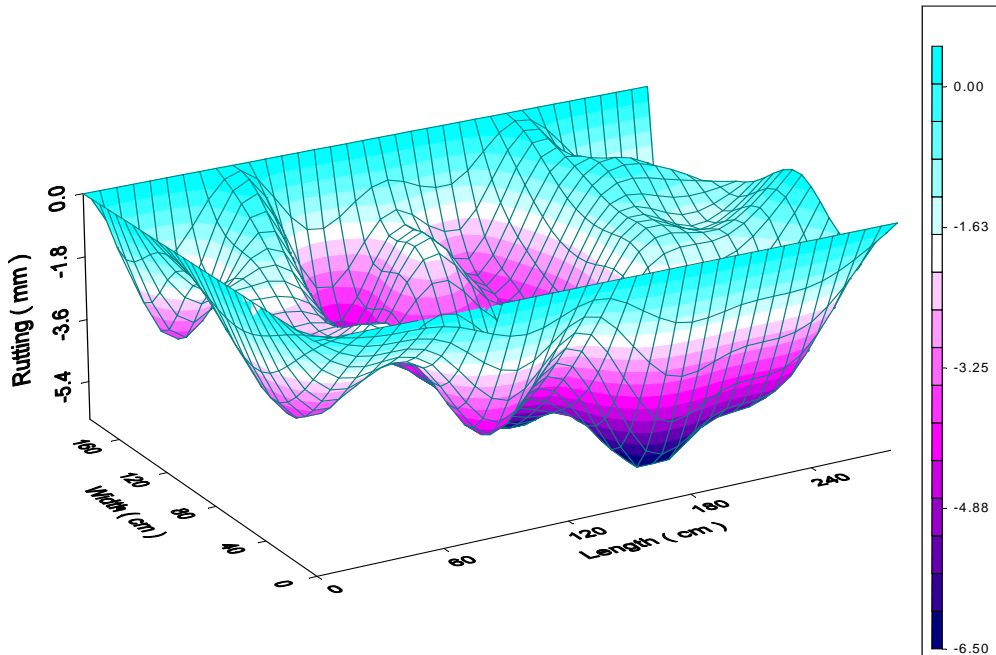


圖3-32 新店試驗區透水環保混凝土(JW工法)沉陷量示意圖



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」理論模擬現地實鋪成效研究

利用地溫計(TDR)進行現地24小時土壤溫度監測，並實行現地降雨模擬觀察試驗區土壤地溫之變化情形，並進行模擬降雨探討降雨對於透水鋪面之地下土壤相對關係，由下圖3-33可知土壤深度及其溫度關係，以地下20cm之溫度變化最為顯著，而地下35cm、40cm及65cm之地溫變化量相當接近，因此建議日後進行量測時可取一點進行監測即可。進而與透水性鋪面表面及不透水鋪面進行比較。(如圖3-34)。

圖3-33 透水性鋪面土壤溫度監測變化圖

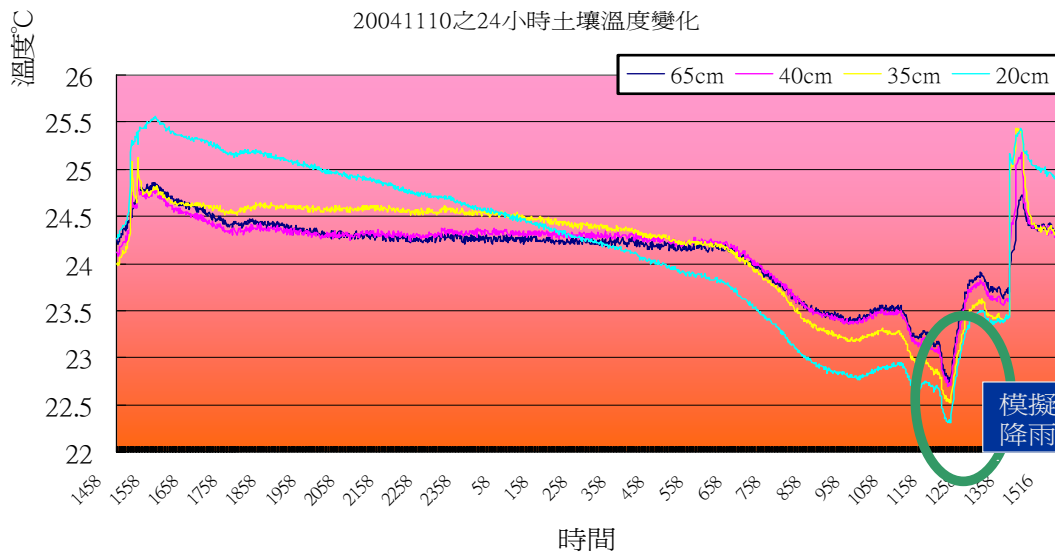
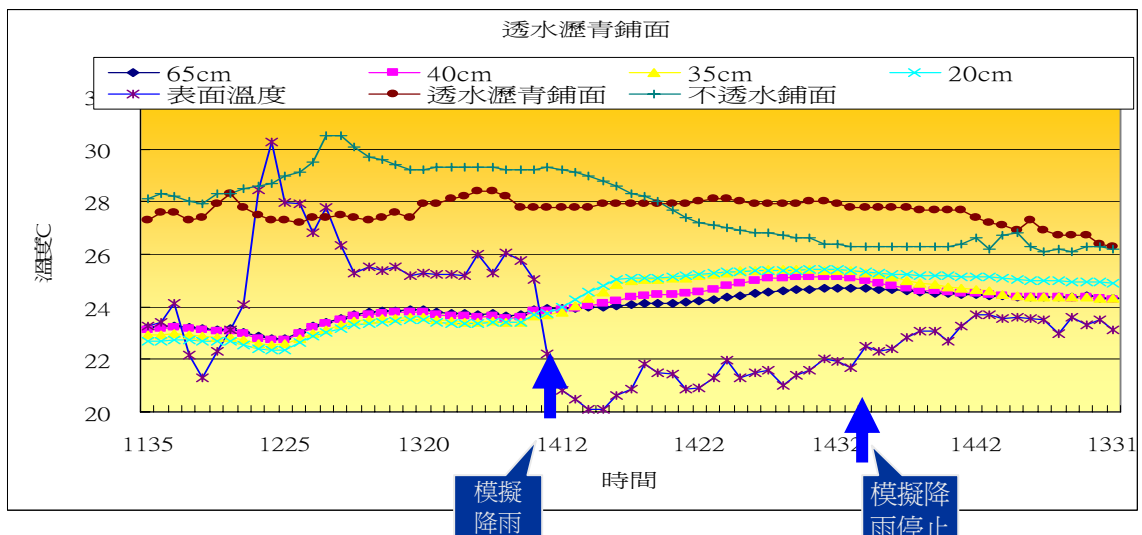


圖3-34 透水性鋪面表面、土壤及不透水鋪面溫度監測變化圖



## 第四章 透水性鋪面之選址

### 第一節 透水鋪面選址之目的

一般的工程皆建於地上或地下，地盤與結構物成為一體，兩者間具有極密切之關係。因此，工址之地形、土壤強度、壓縮性、水力學特性乃至施工特性等皆須調查清楚，能進行設計與施工。最近，工程材料及基礎施工法進步良多，再加上環境保護與災害防治問題漸為民眾關心，各種問題之相關性變得十分複雜，因此選址的工作愈形重要。

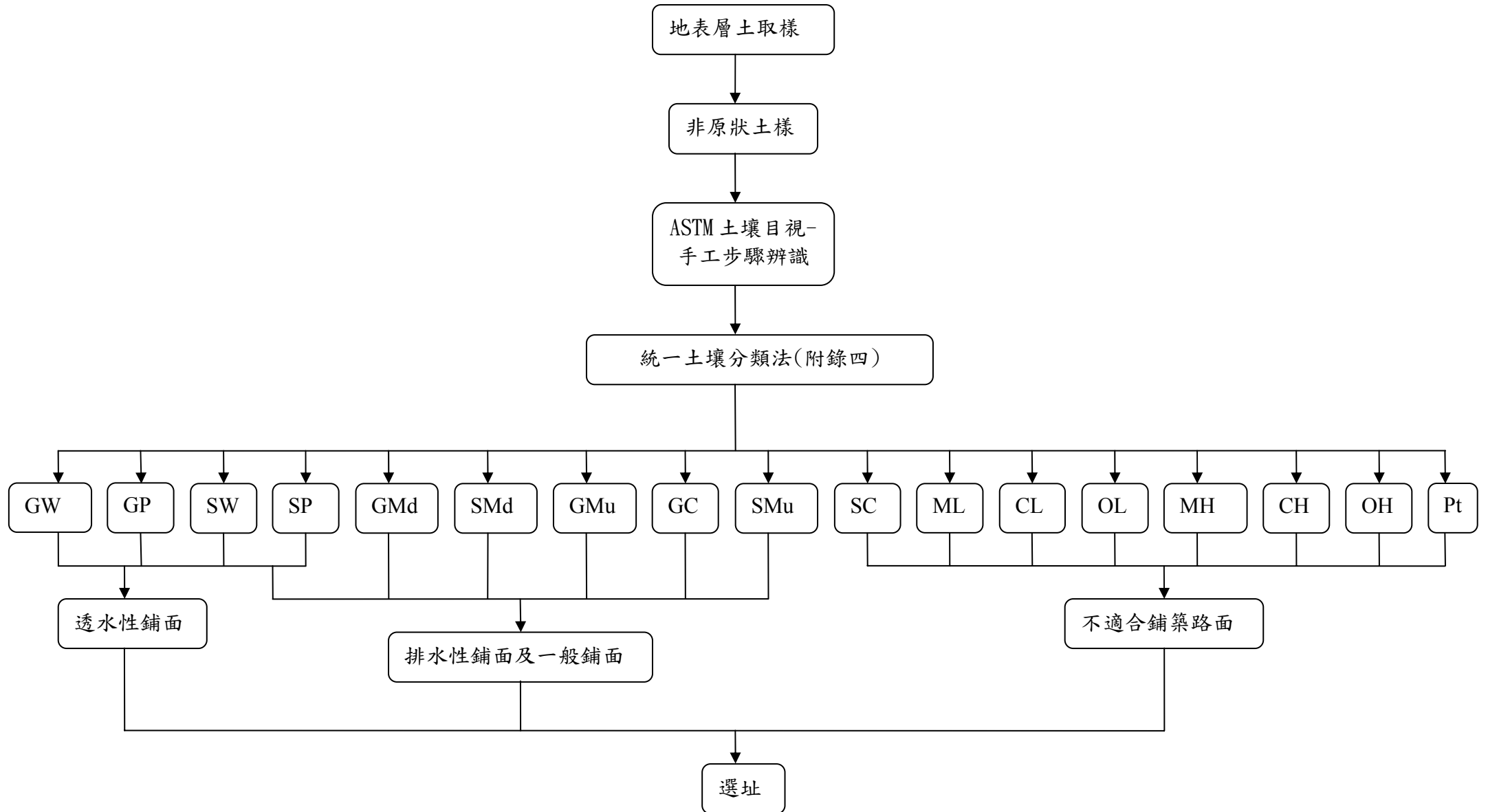
工址調查之目的在於查出或預估施工中乃至施工後地盤與結構物間之相互行為，並決定從事設計或分析時所需之地層結構、狀況及各土層之土壤參數等資料。並設計一專家系統之評量表(參照附錄)，對於未來評估透水性鋪面之設計有一個準則。

因此建立一個對當地之天文、地文、人文之有效的評估準則，能夠鋪築透水鋪面之前，先行了解透水鋪面對現地之可行性如何，才能夠大大的提升透水性鋪面之適用性、實用性及經濟性。

### 第二節 透水鋪面工址調查

在工程實務上，土壤參數與純土壤力學的情況並不相同，須加以理想化，以利於實際之設計與分析。因此工址調查的最終工作目標是對地盤或土層作明確的區分，並求出代表各土層之土壤參數。而透水鋪面之工址調查首先必須採用表層土壤取樣法來取得試樣，其中選取土樣分為原狀土樣、非原狀土樣及路基土壤R值取樣三類，不同之取樣方式可實行不同之試驗，以求的土壤參數，而方便將現地土壤依統一土壤分類法進行分類，能夠有效的利用現地土壤，來進行透水鋪面之選址工作，選址流程如下圖4-1。

圖4-1 透水鋪面工址調查流程圖



## 一、現地取樣

### 非原狀土樣

用人工取樣，使用工具為十鎬，洋鎬，或取土鑽，取樣深度約為 1.5 公尺，此種土樣適用於求顆粒分析試驗，塑性限度試驗，液性限度試驗、比重試驗，最佳含水量試驗，CBR 試驗，自然含水量試驗（樣品應接入密封罐內）等等。土樣取出後應用紙條註明取樣地點及日期。

1. 用十字鎬挖取土樣：此法最為簡單僅需在指定地點，清除表層不需要的土壤而挖取指定深度之土樣用布袋盛裝，土樣如需球自然含水量則應將土樣裝入密封罐內，以免水份蒸發，此種取樣適用取大量土樣用作C. B. R及土壤夯壓試驗。
2. 取土鑽取樣：取樣方便，由於取樣器長僅30公分每次取樣很少，如需要大量土樣的試驗如C. B. R及土壤夯壓試驗等，則此種取樣不十分合宜，取樣方法是用人力將取樣器丁字連桿（全長約1.25公尺）加力並接轉，使其進入土中每鑽入土中約30公分（此時取樣器中已裝滿土樣）即取出取樣器，將土樣裝入袋中或瓶內，到需要數量即捆紮妥當，送試驗室試驗。

## 二、取樣土壤目視方法

### 1. 範圍

- a. 本試驗法說明將礦物及礦物組織土壤分類之體系，該分類係根據試驗室決定之粒徑特性、液性限度及塑性指數，當需要作精密分類時，應加以採用。使用此標準將得到單一分類群號及群名，但當土壤含有5%至12%細料或在繪液性限度及塑性指數值之塑性圖落入調自線陰影部份時，使用雙重符號，例如GP-GM、CL-ML。當試驗結果指出土壤是接近於另一個土壤分類群時，可用兩個符號並列，並以斜線分離，第一個符號代表依本標準之分類結果，例如CL/CH、GM/SM、SC/CL。當粘住土壤的液性限度值趨近50，界限符號特別有用，這些土壤可能具有膨脹特性，使用界限符號(CL/CH、CH/CL)將警告使用者，指所分類的土壤有潛在的膨脹力。
- b. 群號係依接通過3in(75mm)篩以下部份土樣的試驗結果。
- c. 分類體系之試驗法僅適用於自然形成之土壤。
- d. 本試驗法僅通於做定性之應用。而若詳細設計重要結構需要定量資料時，本試驗法尚須佐以室內試驗或其它定量數據，以測定在預期工地條件之行



為特性。

- e. 係依循廣被認可之統一土壤分類法(Unified Soil Classification System)，該法由幾個美國政府機構在1952年加予接受，係由 A. Casagrande 發展的機場分類法(Airfield Classification System)加以修改而成。

## 2. 方法摘要

- a. 分類法分為三個主要的土壤類別：粗顆粒土壤，細顆粒土壤及高有機質土壤，此三個類別再細分為全部15 個基本土壤群。
- b. 根據目視觀查及規定之試驗室試驗結果，土壤依基本土壤群做分類，分別賦予群號(S)及名稱。

## 3. 意義及使用

- a. 本試驗法可對任何地理位置之土壤作分類，該分類代表試驗室測定粒徑特性。異姓限度及塑性指數試驗所顯示結果。
- b. 群號及群名與 ASTM D2488 所述資料。可描述土壤以幫助工程應用重要性質詢評估。
- c. 本分類系統的各群已經以一種普通方式加以區分，使土壤的工程行為與之祖竄。本試驗法提供，無論在任何工地或試驗室對地質工程目的調查有用的第一個步驟。
- d. 本試驗法對幫助訓練人員使用ASTM D2488可能也有用。

## 4. 術語

定義除下表外，全部依攘ASTM D653的定義。對停留在75mm(3in)篩之顆粒，建議定義如下：卵石(Cobbles)-岩石顆粒通過300mm(12in)方孔篩而停留在75mm(3in)篩。巨石(Boulders)-岩石顆粒停留於300 mm(12in)方孔篩。

- a. 礫石(Gravel)岩石顆粒通過75mm(3in)篩並停留在4.75mm(N0.4)篩，分為：  
粗(Coarse)-通過75mm(3in)篩並停留於19mm(3/4in)篩。細 (Fine)-通過的75mm(3/4in)篩並停留於4.75mm(N0.4)篩。
- b. 砂(Sand)-岩石顆粒將通過4.75mm(N04)篩並停留於75  $\mu$  m(N0.200)篩，使用下述分組：
- 粗(Coarse)-通過4.75mm(N0.4)篩並停留於2.00mm(N0.10)篩。
  - 中(Medium)-通過2.00mm(N0.10)篩並停留於425  $\mu$  m(N0.40)篩。
  - 細(Fine)-通過425  $\mu$  m(N0.40)篩並停留於75  $\mu$  m(N0.200)篩。
- c. 黏土-土壤通過75  $\mu$  m(N0.200)篩，潮濕時具有塑性，氣乾時可能有強度，

在分類時，黏土屬細顆粒土壤，或土壤之細顆粒部分，塑性指數等於或大於4於塑性指數對一性限度圖落在”A”現或以上部份。

- d. 粉土(Silt)-土壤通過75  $\mu$ m(N0.200)篩，無塑性或微具塑性，當氣乾時強度甚小或無，在分類時，粉土屬細顆粒土壤或土壤之細顆粒部份，塑性指數小於4，如繪塑性指數對液性限度圖，則落於”A”線以下。
  - e. 有機質粘土(Organic Clay)-具有足夠影響土壤性質之有機質含量的粘土，在分類時有機質粘土會被分類於粘土土壤，除非烘乾後之液性限度值比未烘乾前少75%。
  - f. 有機質粉土(Organic Silt)-含足夠影響土壤性質之有機質含量的粉土，在分類時，有機質粉土歸類為粉土，除非烘乾後之液性限度值比未烘乾前少75%。
  - g. 沈炭土(Peat)-含有在不同階段腐爛之植物的土壤，具有有機質臭味，顏色為暗棕色至黑色，具海棉狀之稠度，紋理變化由纖維至非晶體。
5. 取樣
- a. 根據非原狀土取樣步驟以獲得並確認之樣品。
  - b. 為了準確的分類，本試驗法試樣所需最小量，係依所需試驗項目而定。若樣品僅需做粒徑分析，至少需要下述試樣重量。

表4-1 最大粒徑取樣重量比較表

最大粒徑 (方孔篩)	最小試樣量 (乾重)
4.75mm(N0.4)	100g(0.25lb)
9.5mm(3/8in)	200g(0.5lb)
19.0mm(3/4in)	1.0Kg(2.2lb)
38.1mm(1 1/2in)	8.0kg(18lb)
75.0mm(3in)	60.0kg(132lb)

註：工地樣品，應儘可能大於上述2至4倍重。

- c. 若也需做液性限度及塑性限度時，須發加試樣量以提供小於425  $\mu$ m(N0.40)館土壤150g至200g。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

- d. 假如工地樣品或試驗試樣少於最小堆存量在報告上應加適當的註記。
6. 分類準備
  - a. 土壤在依據本試驗法分類前，通常必須決定小於75mm(3in)材料之粒徑分佈及塑性特性。
  - b. 用於粒徑分佈及液性限度與塑性指數的土壤試樣(S)之準備及試驗應根據被認可的標準步驟。
  - c. 當使用本試驗法所決定之土壤分類，於提出報告時，應列出準備及試驗之步驟。
  - d. 雖然要求粒徑分佈或其它目的時，可能需要做材料的比重計分析，但土壤分類並不必須做比重計分析。
  - e. 須計算大於75mm(3in)篩材料之百分率，做為報告的補助資料。
  - f. 記錄最大粒徑(量測或估計)，並做為報告的補助資料。
  - g. 當需要累積粒徑分佈，應使用包括下列尺寸的一套篩子(最大尺寸與最大粒徑同)與其它必需的篩。
  - h. 為了準備分類需要完成的試驗如下：
    - 土壤估計細料含量少於5%，則需繪大於75  $\mu$ m(N0. 200)篩材料之累積粒徑分佈曲線。
    - 土壤估計細料含量為5%至15%，需要如1所述之累積粒徑分佈曲線，及液性限度與塑性指數。
    - 若無足夠材料可用於決定液性限度及塑性指數時，細料應使用 ASTM D2488 所述步驟估計為沉泥或粘土。
    - 土壤估計含有15%或更多的細料，則需要決定細料、砂及礫石的百分率，液性限度與塑性指數，土壤含有90%或更多的細料時，細料、砂及礫石之百分率可使用ASTM D2488 所述步驟加以估計。
7. 基本分類步驟
  - a. 假如試樣通過75  $\mu$ m(N0. 200)篩部份50%或更多(乾重)，定義為細顆粒土壤(fine-grained)。
  - b. 若試樣停留於75  $\mu$ m(N0. 200)篩部份超過50%當(乾重)，定義為粗顆粒土壤(coarse-grained)。
8. 細顆粒土壤的分類步驟(通過75  $\mu$ m(N0. 200) 篩部份等於或大於50%)。
  - a. 若在塑性指數對液性限度圖(圖4-2)，落於 'A' 線上或高於 'A' 線，而塑性

- 指數大於4，且有機物質不影響，則土壤屬無機質粘土(inorganic clay)。
- 若液性限度低於50，見圖4-2之CH區，土壤分類為低塑性粘土(lean clay)，CL。
  - 若液性限度等於或大於50，見圖4-2之CH區，土壤分類為高塑性粘土(fat clay)CH。若液性限度大於110或塑性指數大於60，塑性圖可按原比例延伸A線按原斜率伸長。
  - 若於塑性指數對液性限度圖的位置落於”A”線上或高於”A”線，且塑性指數範圍為4至7，見圖4-2之CL-ML區，則土壤分類為粉土質粘土(silty clay)，CL-ML。
- b. 若位於圖4-2之塑性指數對液性限度圖的”A”線以下，或塑性指數低於4，且有機物質不影響所決定之液性限度，則土壤為無機質粉土(inorganic silt)。
- 若液性限度低於50，見圖4-2為ML區，土壤分類為粉土(silt)，ML。
  - 若液性限度等於或大於50，見圖4-2為MH區，土壤分類為彈性粉土(elastic silt)，MH。
- c. 若具有足夠量的有機物質以影響，所決定之液性限度，則土壤為有機質粉土(organic silt)或粘土(clay)。
- 若土壤顏色為深色，且在溫濕下含有機質臭味，應將試樣於110 °C下烘乾至常重，並做第二次之液性限度試驗，一般烘乾時間超過一個晚上。
  - 若烘乾後之液性限度低於原樣品，烘乾前所決定液性限度(見 ASTM D2217 步驟B)75%，則土壤為有機質粉土(organic silt)或有機質粘土(organic clay)。
  - 若液性限度(未烘乾)低於50%，土壤分類為有機質粉土或有機質粘土，OL，若塑性指數低於4，或位於塑性指數對液性限度圖之”A”線以下，土壤分類為有機質粉土，OL，若塑性指數等於或大於4，且在塑性指數對液性限度圖之位置落在或高於”A”線，土壤分類為有機質粘土，OL見圖4-2之OL(或CL-ML)區。
  - 若液性限度(未烘乾)等於或大於50，土壤分類為有機質粘土或有機質粉土，OE。若在塑性指數對液性限度圖之位置落於”A”線下，土壤分類為有機質粉土，OH，若在塑性指數對液性限度圖之位置落在或高於”A”線，土壤分類為有機質粘土，OH，見圖4.2之OH區。

- d. 若試驗樣品停留於 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩佔30%或15%及以上”含有砂及礫石”之字應加入群名，例如含砂低塑性粘土CL，含砂及礫石粉土，ML。
- e. 若試驗樣品停留於 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩等於或大於30%，砂質，(smdy)或”礫石質”(gravelly)字應加入群名，若試驗樣品停留於 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩等於或大於30%，且粗顆拉部份主要為砂，則加”砂質”字眼，若試驗樣品停留於 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩等於或大於30%，且粗顆粒部份主要為礫石，則加礫石質字眼，例如砂質低塑性粘土CL；礫石質高塑性結黏土CH；砂質粉土，ML。
9. 粗顆拉土壤分類步驟〔停留在 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩，超過50%〕。
- a. 若停留在 $4.75\text{mm}$ (NO. 4)篩的粗料〔大於 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩〕，大於50%，則土壤分類為礫石(gravel)。
- b. 若通過 $4.75\text{mm}$ (NO. 4)篩的粗料大於 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩，等於或大於50%，則土壤定義為砂(sand)。
- c. 若試驗樣品通過 $75\mu\text{m}$ (NO. 208)篩等於或少於12%，繪製；如圖4之累積拉徑分佈圖，並以方程計算均勻係數 $C_u$ 及曲率係數 $C_c$ 。

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad (4.1)$$

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \quad (4.2)$$

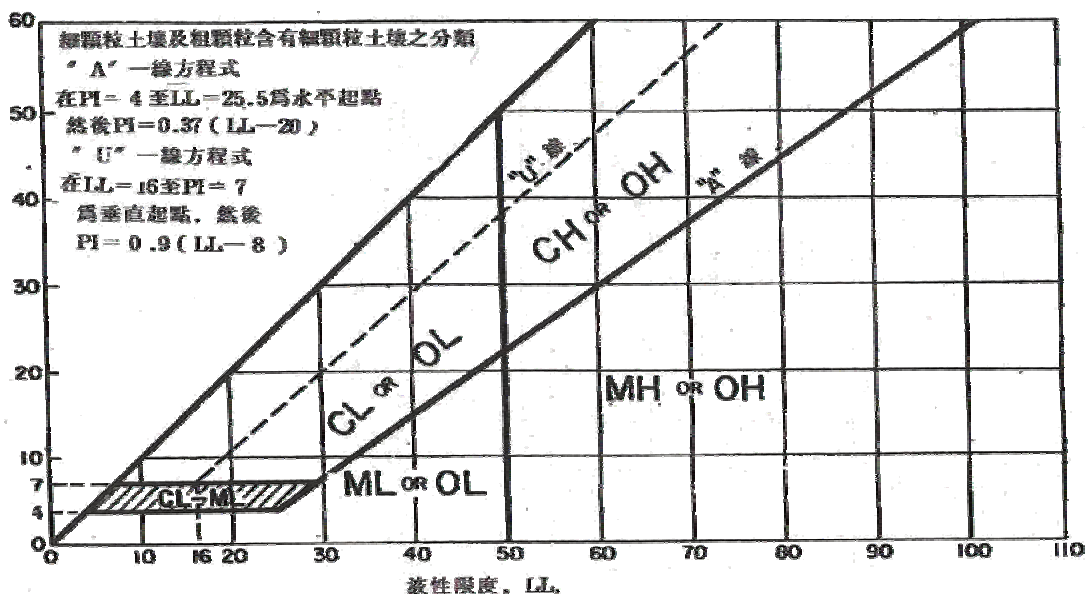
式中

$D_{10}$ ， $D_{30}$ 及 $D_{60}$ 為累積粒徑分佈曲線通過百分率為10、30、60%所對之粒徑。

- 若試樣通過 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩少於5%，土壤分類為良好級配礫石(well-graded gravel)GW，或良好級配砂(well-graded sand)SW，若 $C_u$ 大於是1.0則為礫石， $C_u$ 大於6.0則為砂，而 $C_c$ 在1.0至3.0之間。
- 若試樣通過 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩少於5%，而 $C_u$ 或 $C_c$ 之一不通於級配良好土壤，則土壤分類為貧級配礫石(poorly graded gravel)GP，或貧級配砂(poorly graded sand)SP。
- d. 若試樣通過 $75\mu\text{m}$ (NO. 200)篩大於12%，土壤應被考慮為含細料之粗顆粒土壤，細料依據圖4-2之塑性指數對液性限度圖決定為粘土質或粉土質。
- 若細料為粘土質，而圖4-2之塑性指數對液性限度圖之位置落在或高於”A”線，且塑性指數大於7，則土壤分類為黏土質礫石(Clayey gravel)GC，或粘土質砂(clayey sand)Sc。

- 若細料為粉土質，而圖4-2之塑性指數對被性限度圍之位置低於“A”線，或塑性指數低於4.0，土壤分類為粉土質礫石(silty gravel)GM，或粉土質砂(silty sand)SM。
- 若細料為粉土質粘土(silty clay )CL-ML，粗料為礫石，土壤分類為粉土質粘土質礫石(silty clayey gravel )GC-GM，若粗料為砂，土壤分類為粉土質粘土質砂 (silty clayey sand )SC-SM。
- e. 若試樣通過 $75\mu\text{m}$ (N0.200)篩5%至12%，土壤則使用兩個群號做雙重分類。
- 第一個群號對應的是具有少於5%細料的礫石或砂 (GW、GP、SW、SP)，而第二個群號對應具有超過12%細料之礫石或砂 (GC、GM、SC、SM)。
- 群名對應於第一個群號加“含粘土”(with clay)或、含粉土，(with silt)，以指出細料之塑性特性，例如，含粘土級配良好礫石，GW-GC；含粉土級配不良砂，SP-SM，若細料為粉土質粘土，CL-ML第二個群號應為GC或SC之一，例如，不良級配砂，含10%細料，液性限度為20，且塑性指數為6，則可能分類為含粉土質粘土級配不良砂，SP-Sc。
- 若樣品主要是砂或礫石，含有15%或更多的其它顆粒組織，群名應加上、含礫石，或“含砂” 例如，含砂貧級配礫石，含礫石，粉質砂，
- 若工地樣品含有任何卵石或巨石或兩者皆有，群名應加上、含卵石，或含巨石，石粉土質礫石，GM。

圖4-2 塑性圖



### 第三節 設計兩型之觀念

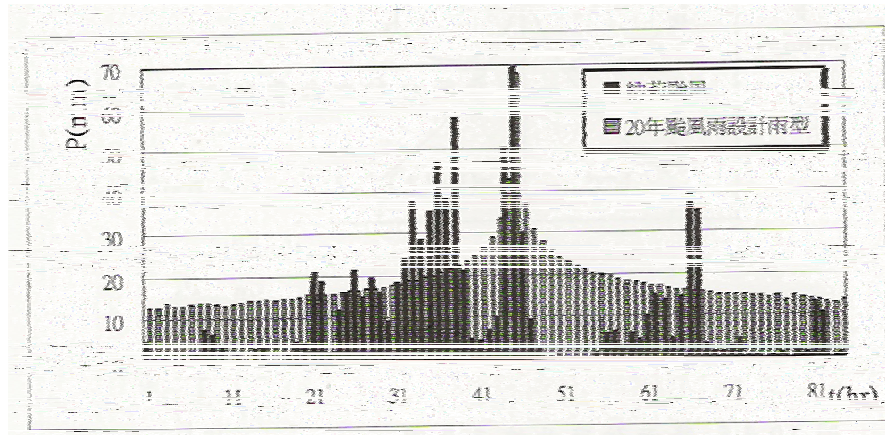
現地雨量對於透水鋪面影響相當大，必須有效的設計出當地之雨型，方能決定透水鋪面之透水效果，而能夠將透水鋪面之成效發揮之，並且作為透水鋪面鋪築與否之依據；而就設計雨型而言，可分為排列法及積分法兩類，而最後進行比較。

#### 一、排列法

不同場次之降雨由於總降雨時間、總降雨量與雨量分布之不同，幾乎沒有兩場降雨是相同的，而排水或防洪工程之規劃設計，常需有一場代表性之降雨，俾以推估流量歷線，這場代表性之降雨，即為設計兩型。因此設計兩型必需考慮的因素有頻率年(如10年一次頻率，25年一次頻率)、總降雨時間(如1小時降雨，1日降雨)以及最大雨量發生時間(如20分鐘，50分鐘)。排列法設計兩型其理論依據甚為簡單，即將不同延時 $\Delta T$ ， $2\Delta T$ ， $3\Delta T$ ... $m\Delta T$ ， $n\Delta T$ (降雨延時為 $\Delta T$ ，而各點位之不同則以1、2、3... $m$ 、 $n$ )之降雨強度轉換為累積降雨量，以 $m\Delta T$ ，減去 $(m-1)ATRF$ 為各時距之降雨量，最後再依最大雨量發生時間，把最大降雨量置於該特距，次大雨量置於其前一時距(左側)，第三大雨量置於其後一時距(右側)，依此方式逐項左右兩側排列，如此則完成設計兩型，或亦可將次大雨量置於其後一時距(右側)，第三大雨量置於其前一時距(左側)，依此方式逐項右左兩側排列之。當最大雨量發生在降雨開始之時距，此種設計兩型稱為前峰式設計兩型，最大雨量若發生在降雨結束之時距，稱為後峰式設計兩型，而當最大雨量發生在降雨過程中間之任一時距，則稱為中峰式設計兩型。

經與民國90年9月納莉颱風降雨組體圖比較如圖4-4所示，可看出納莉颱風之強度超過20年一次頻率颱風雨強度。

圖4-3 納莉颱風雨排列法設計雨型比較圖



## 1. 暴雨強度公式

暴雨強度公式係、短延時(一小時)之降雨強度公式、通常應用在雨水下水道工程規劃或設計之用、台灣省住宅及都市發展局所分析之暴雨強度公式如下表

表4-2 暴雨強度公式表

地區	重現期距		
	2年	3年	5年
隆基	256.0/t0.3582	292.9/t0.3885	326.3/t0.3934
台北	623.7/t+38.96	745.3/t+44.76	860.6/t+49.14
桃園	628.5/t+43.90	713.3/t+46.14	774.8/t+46.22
新竹	220.0/t0.313	247.9/t0.321	285.9/t0.341
台中	671.3/f+46.48	720.8/t+47.44	783.1/t+47.23
彰化	671.3/f+46.48	720.8/f+47.44	783.1/t+47.23
雲林	838.3/t+36.45	-----	1141/t+46.81
台南	457/(t+5)0.433	458/(t+5)0.415	500/(t+5)0.413
高雄	634.7/t+45.84	737.9/t+52.49	805.9/t+52.76
屏東	331.28/t0.3993	327.75/t0.3730	420.54/t0.4141
宜蘭	280.0/t0.3858	311.7/t0.3952	325.8/t0.3753
花蓮	279.6/t0.407	292.9/t0.380	306.8/t0.379
澎湖	251.7/t0.3762	258.2/t0.3465	284.2/t0.3515

資料來源：台灣省住宅及都市發展局。



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」理論模擬現地實鋪成效研究

2. 降雨強度公式(中央氣象局)

中央氣象局所完成之降雨強度公式，其形式上為Horner式。

表4-3 降雨強度公式(中央氣象局)表

地區	重現期距								
	2年	3年	5年	10年	20年	25年	50年	100年	
基隆	A	731.8	870.9	1054.3	1304.7	1653.8	1776.0	2229.3	2931.7
	B	13	15	18	22	28	30	37	47
	C	0.61892	0.62562	0.63521	0.6459	0.66329	0.66854	0.68663	0.71249
台中	A	10633	1110.1	1165.1	1226.3	1291.1	1298.3	1422.4	1627.7
	B	17	18	20	23	27	28	35	46
	C	0.67429	0.65243	0.63096	0.6059	0.58511	0.57733	0.56563	0.56169
台南	A	874.0	996.8	1199.7	17203	2566.2	2969.4	4688.2	7873.2
	B	12	14	17	25	35	39	52	68
	C	0.62696	0.61976	0.62310	0.6523	0.69246	0.70857	0.76040	0.82268
台東	A	494.6	534.3	603.7	673.8	742.1	773.8	842.0	907.2
	B	6	5	5	4	3	3	2	
	C	0.54716	0.53867	0.53884	0.5363	0.53571	0.53781	0.53836	0.53880
高雄	A	586.2	729.1	992.1	1985.0	6453.2	11236.1	163227.0	2579820
	B	8	13	22	50	113	147	333	540
	C	0.57160	0.57376	0.58917	0.6569	0.79529	0.86342	1.19602	1.52818
台北	A	1450.9	16643	1891.3	2067.3	2116.7	2104.1	2043.3	2013.0
	B	22	23	25	27	28	28	28	29
	C	0.74296	0.73844	0.73365	0.7211	0.70325	0.69609	0.67373	0.65525
新竹	A	1015.5	1175.8	14315	1806.7	2293.8	2529.1	3156.7	3993.9
	B	26	28	32	37	43	46	52	59
	C	0.66493	0.66077	0.66672	0.6779	0.69514	0.70444	0.72303	0.74548
恆春	A	716.1	875.0	1065.5	1376.8	1746.2	1883.5	2404.7	2977.3
	B	12	16	20	26	32	34	41	47
	C	0.58853	0.59419	0.60212	0.6192	0.63850	0.64529	0.66921	0.69038
宜蘭	A	652.4	736.2	815.8	954.5	1077.2	1121.6	12725	1455.9
	B	14	16	18	23	28	30	37	46
	C	0.58062	0.57206	0.56006	0.5521	0.54251	0.54014	0.53406	0.53051
花蓮	A	655.1	743.4	839.1	926.5	1012.1	1031.5	1089.0	1172.1
	B	16	18	20	21	22	22	22	23
	C	0.57714	0.57321	0.57040	0.5638	0.56012	0.55820	0.55288	0.55226

(資料來源:台灣省水利局(1988))

## 3. 暴雨強度公式及降雨強度公式(中央氣象局)比較

此二種計算式比較，降雨強度公式較暴雨強度為新，降雨強度公式為中央氣象局依Horner公式形式完成。

表4-4 暴雨強度公式及降雨強度公式比較表

	暴雨強度公式	降雨強度公式(中央氣象局)
發展時間	較舊	較新
重現期距	最高達5年	可依其所需做選擇
降雨延時	固定1小時	可依其所需做選擇
計算結果	降雨強度較小	降雨強度較大

## 第四節 透水鋪面之選址要點

為使透水性鋪面能夠有效的適合現地各種情況，因此鋪築前之選址十分重要，因此綜合各項現地地層表土層分析、人文因素及氣候因素等等，考慮現地土層之工程性質及透水效果，並結合建物週邊狀況而考慮透水鋪面之選定及計算降雨強度配合設計透水鋪面之透水效果，並制定一套選址流程及評量準則，供現地選址評選事項，方便作業選定鋪築透水性鋪面之決定。

本評量表主要分為五部份：第一部份為限制條件、第二部份表層土壤及第三部份工程性質，此三部份是參考ASTM D2488及統一土壤分類法做為標準製成。第四部份為人文條件，此部份是根據目前國內外透水性鋪面鋪築地點統計及作者觀點完成。第五部份為天文條件，此部份為採用余濬博士之”降雨強度之推算”一書及作者所計算之透水鋪面保水量計算而成。

## 1. 地表土層分析

- a. 礫石—岩石顆粒通過3號篩並停留於4號篩大於50%者，工程性質良好透水性亦佳。
- b. 砂土—岩石顆粒通過4號篩大於或等於50%者，土粒形狀成圓狀或發形狀，可用肉眼看見其顆粒，乾燥時可以自由流動，工程性質良好透水性亦佳。
- c. 砂質壤土—主要成分為砂土，含有少量的粘土或沉泥(紛土)，有少許凝聚

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」理論模擬現地實鋪成效研究

力，仍有砂之特性，工程性質普通好透水性亦普通。

- d. 壤土—由砂土、粘土及沉泥所組成，粒徑均勻分佈，具有砂性、柔性及部份塑性，工程性質不好透水性亦不佳。
- e. 沉泥質壤土—大部份是沉泥，有小量的砂土和粘土，乾燥時會結成土塊，易於打碎成粉狀，工程性質不好幾乎沒有透水性亦。
- f. 沉泥(粉土)—有80%以上之沉泥，和少量的粘土及砂土，乾燥時結成土塊，但易於揉成粉狀，有麵粉之感覺，不適用工程沒有透水性。

## 2. 人文條件分析

在人文方面，目前就各類都市計畫而言可區分為工業區、文教區、住宅區、商業區、觀光區等等，而各區域之機能型態皆不相同，比較如下：

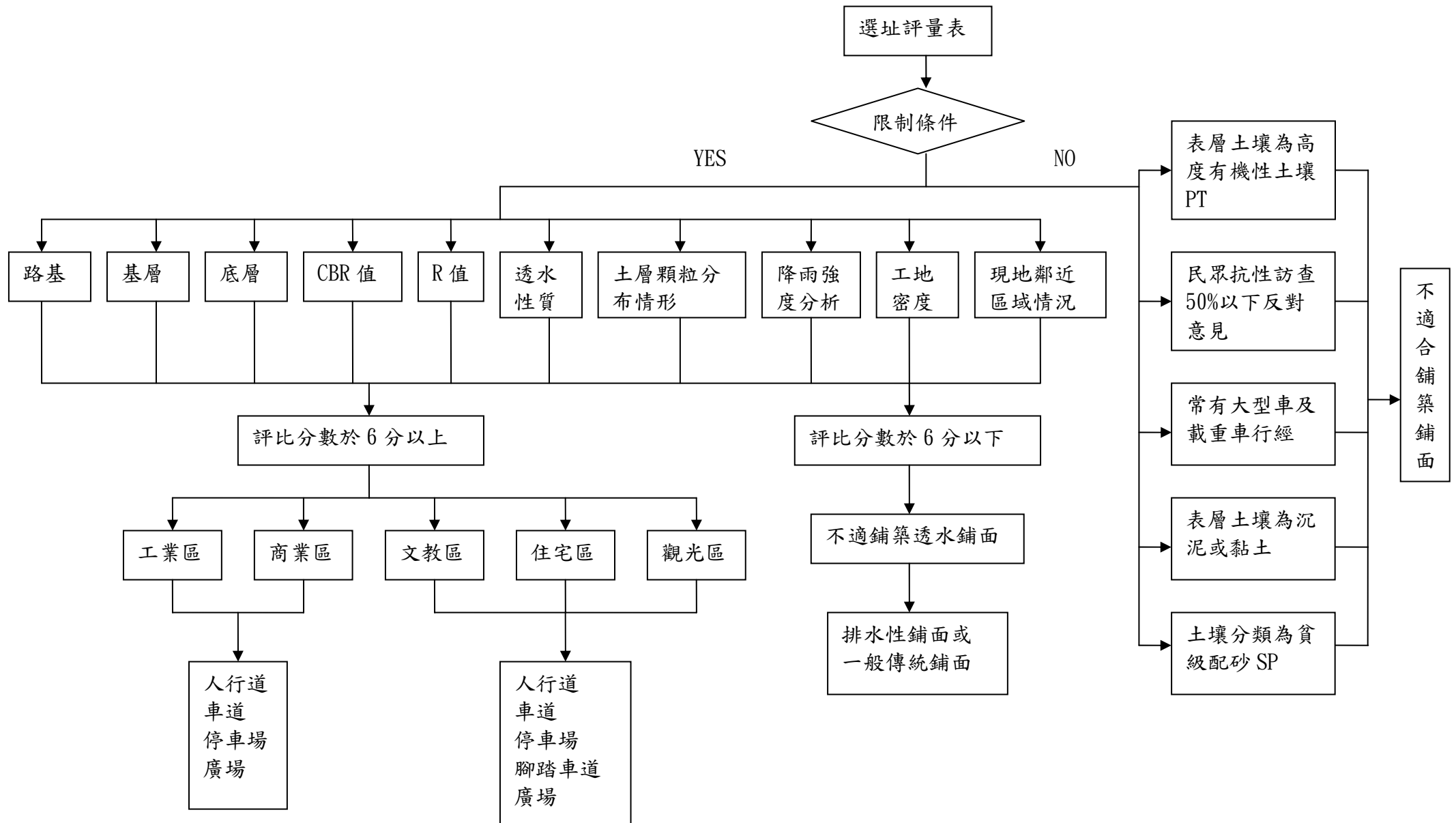
- a. 工業區及商業區：可分為重工業區、輕工業區及科學園區三類，而其機能與交通狀況亦有所差異，重工業區之空氣中懸浮物質多，因此容易阻塞透水性鋪面之有效孔隙率，而交通上車輛載重較大，因此不適用排水性鋪面；輕工業區及科學園區由於發展趨向精緻工業，而空氣及交通量必不會如重工業區一般，因此可適用透水性鋪面；商業區在交通方面重型車輛較少，而行人使用步道頻繁，適用範圍有車道、停車、人行道、場廣等等。
- b. 文教區、住宅區及觀光區：此三種類型之區域行人用路廣泛，交通之流量不高，而廣場及停車場需求量相當高，因此適用範圍有人行道、車道、停車、場廣等等。

因此在鋪築透水性鋪面前對於各種型態之分區是一考慮之方向，而現地居名之民意訪查對於工程施工來說一是相當重要的一環。

## 3. 氣候因素

現地氣候因素對於透水性鋪面影響相當多計算現地之降雨強度及採用設計雨型之來設計透水鋪面透水效果，有效防止暴雨發生時透水性鋪面是否能及時將路面之雨水透入地下或排出路面，降低或減輕積水及淹水之發生率。

圖4-4 選址流程圖



## 第五章 透水鋪面之設計及維護方法

### 第一節 透水性鋪面設計

#### 一、鋪面結構

透水性鋪面之鋪設過程包括結構設計、材料選用、施工及後續維護等階段，透水性鋪面依其用途，及為達到鋪面所需之承載強度及透水性，鋪面鋪設之需求如以下各節所述。

透水性鋪面設計流程依其用途區分為①車行道鋪面及②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屬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。

#### 二、透水鋪面結構

透水性鋪面之基本構造由上而下依序為面層、底層、過濾層及基層構成，如圖所示。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。

鋪面橫斷面坡度之決定應考慮(1)鋪面厚度不足應付所推估雨量時，藉助該坡度排除鋪面的水(2)方便與其他鋪面銜接(3)人行道則考慮用路行人之舒適性，因此人行道之橫斷坡度以1~3%，車行道之橫斷坡度為2~3%。

圖5-1 透水鋪面基本結構剖面圖

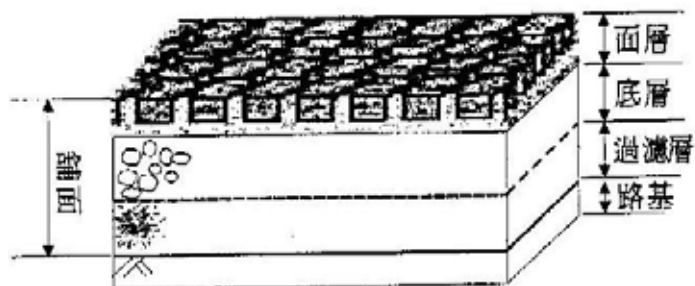
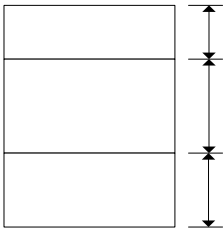
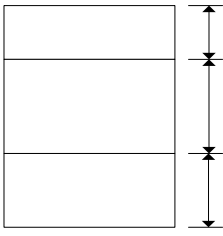
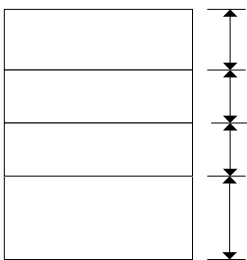
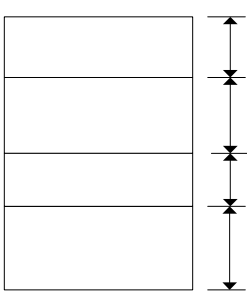
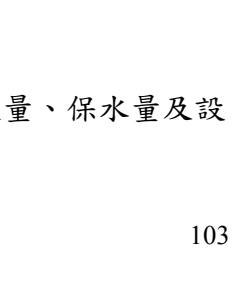


表5-1 日本常用之透水性鋪面形式

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	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	停車場 商店街 廣場	大型車輛通行量小於10~55輛		
	車道III	徒步區	重交通程度		

### 三、設計因子

透水性鋪面之結構設計因子包含路基土壤之設計CBR、交通量、保水量及設計雨型。

## 第二節 台灣透水性鋪面設計

近年來，連鎖磚與透水磚鋪面廣為採用，其主要用途在於人行道、街道以及停車場等等範圍。本研究將針對人文、地文與水文之觀點出發，配合鋪面力學之觀念進行一系列之力學分析與探討，爾後根據所得之結果，建立一設計法以供國內連鎖磚與透水磚鋪面應用。連鎖磚與透水磚鋪面應用已行之有年，其主要設計斷面型式以及主要力學機制如同圖5-2所示。圖5-2為連鎖磚／透水磚鋪面斷面圖，在以往研究中，不論連鎖磚或是透水磚鋪面，其最大水平拉應變以及最大鉛直應變產生之處與柔性鋪面相同，因此在進行連鎖磚／透水磚鋪面之分析以及設計時，大多參考以往柔性鋪面之分析與設計方法。

一般而言，連鎖磚／透水磚鋪面排列方式與其型狀多不相同，而最常見的型狀多為長方型，其最常被使用之排列方式如圖5-3所示。當其鋪面受到荷重作用而產生推擠之作用，如圖5-4中，當B磚受到荷重而產生位移後，即會對兩旁之A、C兩磚產生推擠之行為，並且產生向上翹起之現象，在經過交通荷重後則容易造成透水磚或是連鎖磚斷裂之現象。並且當透水磚與連鎖磚之排列方式、以及形狀之不同，亦會對其鋪面產生不同之推擠效應，其如同圖5-6之示意圖所示。亦當其磚受到荷重作用時，由於其所產生之位移以及旋轉之現象，即會對其磚間之接縫（joint：其接縫中以砂做為填補材料）產生不同之影響（圖5-6），因此磚與磚間之應力傳遞、位移與變形之效應將為研究中力學分析所討論之重點。

國外許多專家學者已利用有限元素法，針對透水磚與連鎖磚鋪面之力學行為進行分析與比較。Nejad研究中指出，當利用有限元素法進行分析時，若採用三維有限元素法並且將其材料設定為非線性材料，其結果與真實最相近。然而其研究中主要亦還是針對個案進行探討，諸如接縫之模擬、墊層砂(bedding sand)之模擬、基層與底層之模擬等等，其適用性皆尚有發展之空間。因此未來在力學分析之方向將朝向透水磚以及連鎖磚鋪面之特性分析方面，以期找出真正能代表此一鋪面型式之參數，以利未來進行分析以及設計。



圖5-2 連鎖磚／透水磚鋪面斷面圖

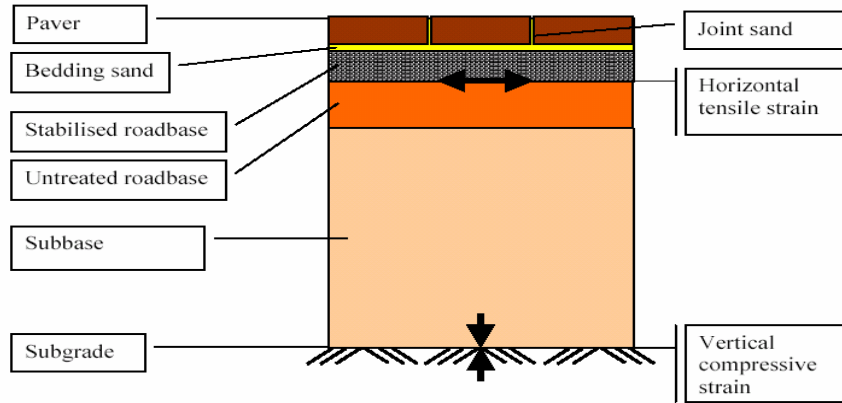


圖5-3 連鎖磚／透水磚鋪面磚塊排列方式示意圖

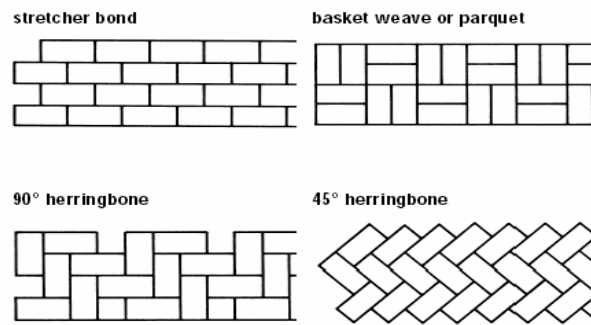


圖5-4 連鎖磚／透水磚受力後向外推擠示意圖

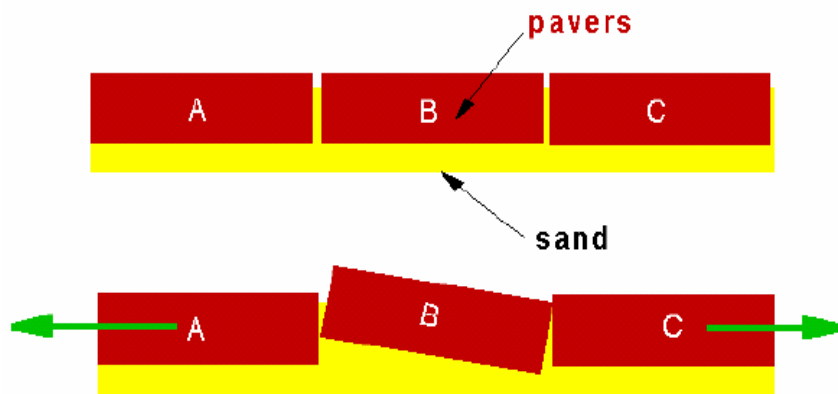


圖5-5 不同磚形狀、排列方法所產生之推擠效應圖

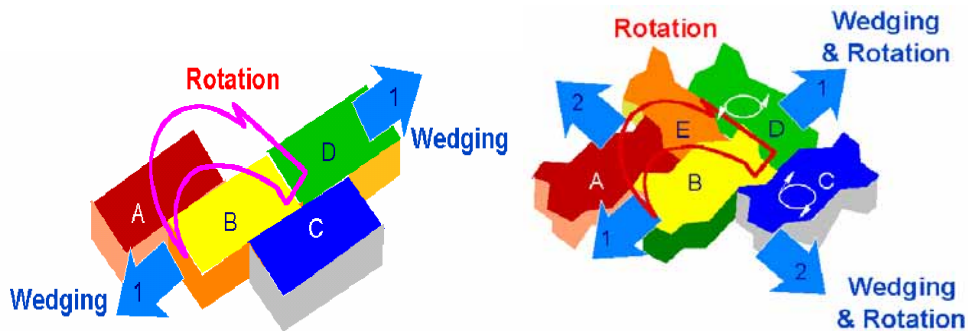
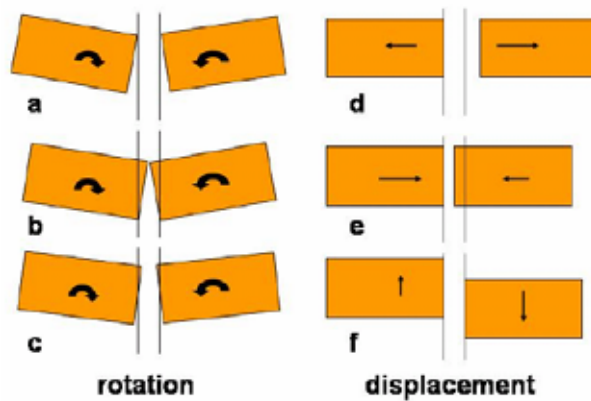


圖5-6 磚鋪面受到荷重後其接縫產生之效應



### 一、連鎖磚與透水磚鋪面基底層厚度設計法

連鎖磚與透水磚鋪面之基底層厚度設計方法已有諸多學者提出，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做為設計法之主要考量依據，以下將就連鎖磚以及透水磚鋪面主要設計法進行介紹：

連鎖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、連鎖磚與墊層砂(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。

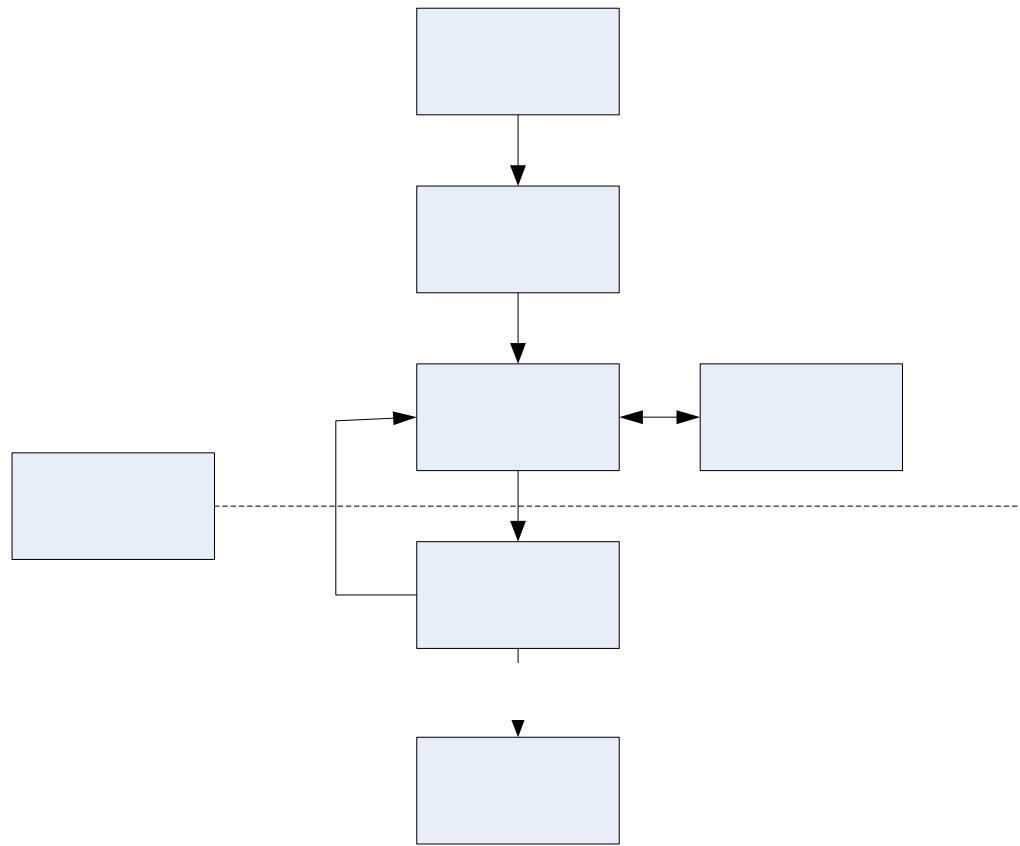
在英國預鑄混凝土協會（British Precast Concrete Federation，BPCF）所推廣的InterPave在其設計手冊中，亦提供了一系列的透水磚鋪面的設計法，其主要將設計方法分為水文設計因子以及荷重因子，其將降雨量之觀念導入，其先行利用全英國各城市不同r因子（60分鐘之降雨深度比上兩天最大之降雨深度之比值）之方法，配合交通荷重以及現地試驗，即可進行鋪面厚度之設計，其設計流程如同圖5-7所示。

雖然英國預鑄混凝土協會所建議之設計法已將降雨量此一因子納入鋪面設計法之考量，然而其交通荷重與一般國內之交通荷重參考方式並不相同，在國內交通荷重之方式考量方式為ESAL，而在此一設計法中以幾種不同車款之總重之方式進行考量，如此較無法完整的代表交通荷重，並且其r因子僅針對英國各城市之狀況進行分析，而台灣之氣候環境與英國亦大不相同，因此未來在設計法之考量上將先以美國連鎖磚鋪面協會所建議之設計流程做為參考依據，爾後再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。

### 二、台灣透水鋪面設計方法

利用國外之柔性鋪面設計方法，用來評估設計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5-7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量。

圖5-7 台灣透水鋪面設計流程圖



選址完成  
 決定全透  
 或排水鋪

交通量分

設計方實例

假設將進行半保水性鋪面設計，即為需要一透水性面層、透層、及透水性級配層。假設值：

設計區域：商業區、住宅區道路

設計交通荷重：8.4×10<sup>5</sup> ESALs (20年)

現地試驗CBR、Mr值：Mr值=4500 psi

由條件中已知其設計交通荷重，並且已得知Mr值為4500 psi，因此可直接利用下圖5-8，求得當底層材料為粒料級配時，其厚度為13 英吋約35公分厚，如圖5-9(a)中所示。

若欲再增加其底層之保水量，可再增加一層基層。其底層採用級配，若欲再增加一基層，需先行求得僅採用底層時之厚度，如同上述底層為粒料時，其厚度為13英吋。其底層可採用最小之設計厚度4 英吋或是4英吋以上之厚度，此時基

利用CBR  
 Mr求出設  
 厚度

NO 設計雨型  
 許最大保  
 量之厚度

YES

層則為原來13英吋減去所欲採用之底層厚度，亦即13英吋減去4英吋，再將剩下的厚度乘以其基層修正因子（如表1所示），以粒料底層為例，需將剩下之9英吋乘上1.75倍，因此可得到基層厚度為15.75 英吋約45公分厚，其設計斷面示意圖如同圖5-9 (c)所示。在完成所有不同斷面狀況之厚度設計後，可根據不同地區特性所需要之功能性以及工程經濟性等方面進行設計斷面之選擇。

表5-2 基層厚度修正因子表

底層種類	基層厚度修正因子
粒料	1.75
瀝青處理底層	3.4
混凝土處理底層	2.5

圖5-8 底層採用粒料時之設計圖

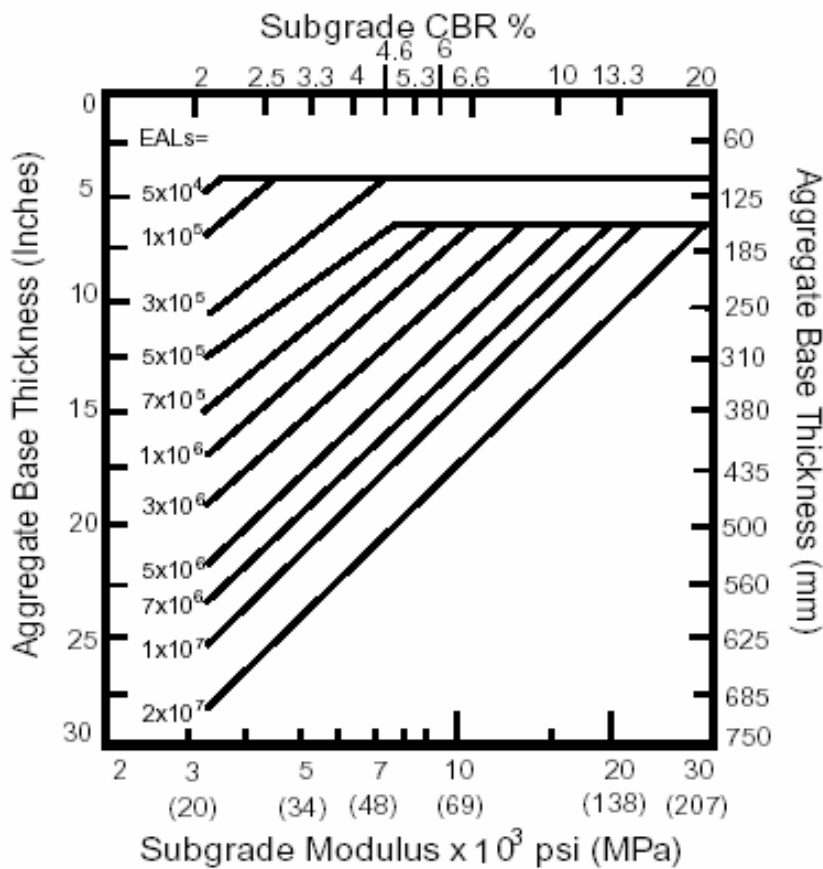
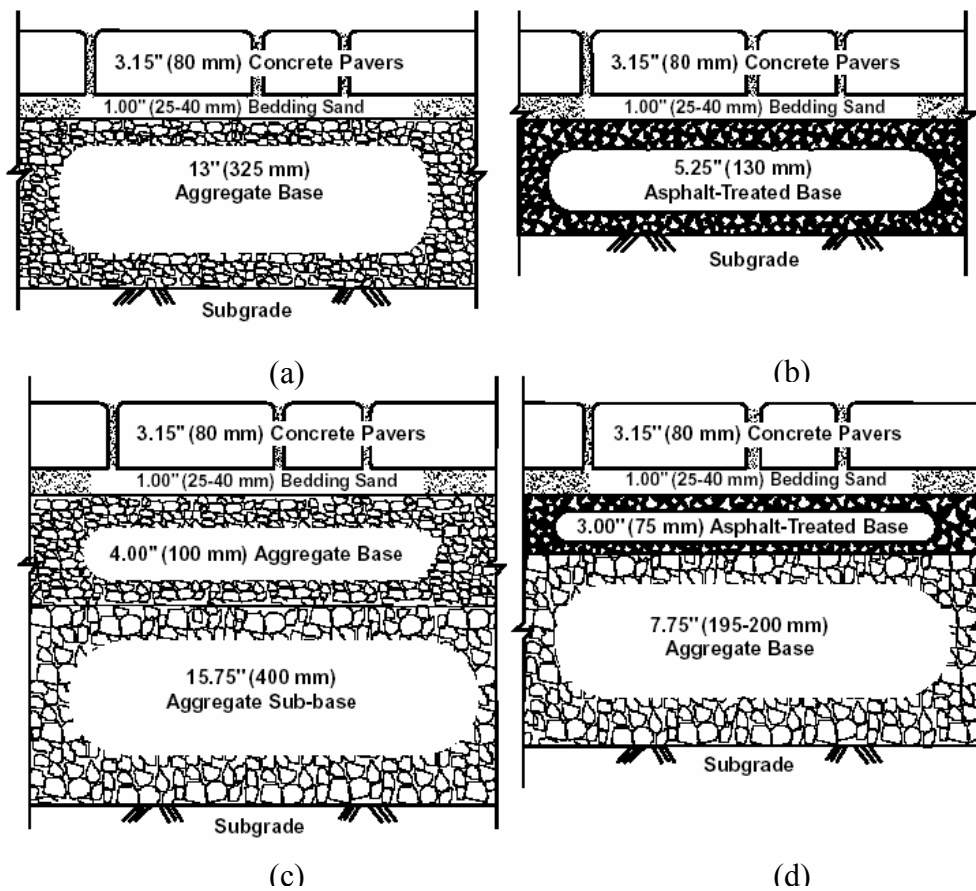


圖5-9 不同斷面設計圖



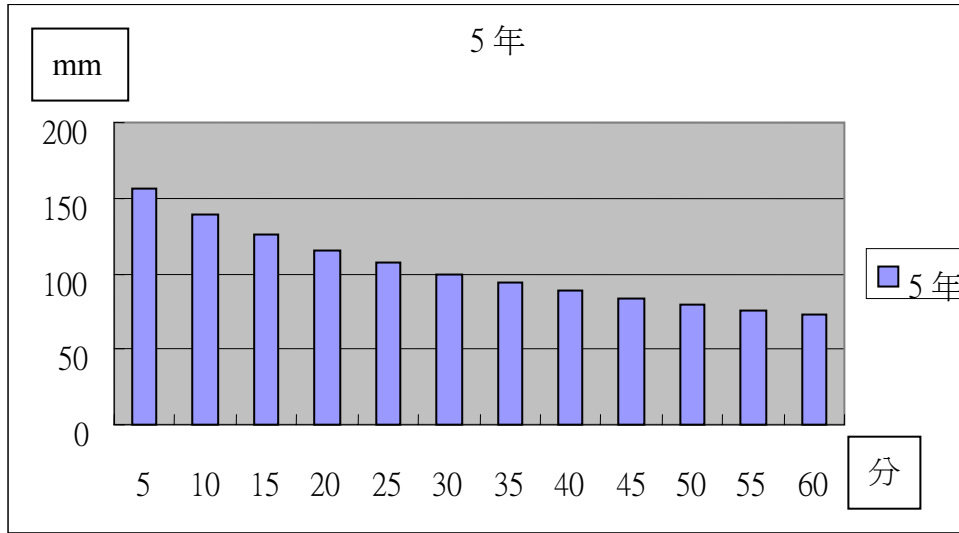
假設基底層之等效水力傳導係數為 $1 \times 10^{-3}$  cm/sec、現地乾密度 $1850 \text{ kg/cm}^3$ 、含水量9.5%可計算可以得到下表

表5-3 不同設計厚度之保水量

	各層等效水力傳導係數	各層保水量
透水性基底層35公分厚	$1 \times 10^{-3}$ cm/sec	6.2cm
透水性基底層45公分厚	$1 \times 10^{-3}$ cm/sec	8.0cm

下圖5-10為當地之5年設計雨型，其累積雨量為1238.9mm，以入滲指數40%。

圖5-10 5年設計雨型圖



在排水系統的水平滲流之水力傳導係數為 $K_x=1 \times 10^{-3}$  cm/sec，排水孔大小(A)為 $10 \times 10$  cm<sup>2</sup>離路面35cm(i)，所以排水量 $q=K_x i A=0.35$  cm<sup>3</sup>/sec。假設鋪面面積大小為 $(200 \times 400)$  cm<sup>2</sup>，取厚度為45cm斷面為一個排水孔。

在以入滲量一半時，預估前5分鐘時降15cm的雨量有一半滲入於透水鋪面中，相當於6cm保水量。對於設計值8cm保水量還能承受此設計雨型，且在鋪面設計時還有多一個排水孔考慮進去。所以在設計上應可以接受

由於降雨強度和滲入量之關係尚未建立，預估於結案報告時完成實驗和分析，對於設計方法將更完整。未來將進行各種鋪面材料之力學分析，讓此設計方法更於完善。

### 第三節 透水性鋪面維護方式

透水性鋪面的保水量為鋪設厚度與飽合度相乘的量，但隨著時間的經過，孔隙阻塞的結果，滲透能力會逐漸降低，為了要確保所須的滲透能力，鋪面的維護與清潔是相當重要的。由於道路上的垃圾或周邊的砂土或落葉等，都會阻塞孔隙，常會造成透水性鋪面的透水機能降低，通常都只是附著於路面，因此只要將路面加以洗淨，即可恢復原來的機能，但有時砂土還是會流入鋪面內部，造成孔隙阻塞的狀況，此時必須進行部分鋪面更換等的修補作業，此外由於鋪面破損或開挖等情況，也必須進行相關的鋪面維護與修補。

而針對不同的透水性鋪面材料，維護上方法不盡相同，以下將對國內外常用的維護方法列出，依不同結構層來論述。

#### 一、透水性面層

透水性面層之維護，最常見是多孔隙瀝青混凝土之維護方法。以多孔隙瀝青混凝土為例，日本道路協會建議方法有利用高壓水柱沖洗洗淨、壓縮空氣清除、真空壓力吸除灰塵、高壓水及壓縮空氣同時清除灰塵。但目前研究將使用自然力去清除孔隙，因不同環境有不同的維護影響因子，在台灣由於水資源珍貴，用強力水柱沖洗是不適合應用於台灣，目前最可行方法是車子高速通過鋪面把灰塵吸出，或是大自然降雨使其自然清潔。

在人行道上進行透水性鋪面施工時，透水性鋪面的透水機能會逐年減弱，這些幾乎部是因為孔隙阻塞，形成透水機能降低的原因。施工後的透水性鋪面的透水係數約為 $1 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ ，但也會因使用場所而異。在日本東京有樂町現地試驗的結果，因孔隙阻塞導致約1~3年透水係數降為 $2 \sim 3 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，且相較於新工時的透水率，約降低60%，隙阻塞物幾乎部是0.6mm以下的砂質黏土，且阻塞範圍為距表面數公釐，雖然鋪面仍保有中度的透水能力，但經過一段時間後可能出現表面流出或積水的狀況如圖5-11，因此，孔隙阻塞是透水鋪設的一大問題。要去除鋪設表面的空隙阻塞物，以及恢復透水機能，以高壓水柱噴射為一有效方法，目前國內尚無此種設備，但在日本以東京都為中心，已利用高壓水噴射來去除砂土等阻塞物，且已研發出步道用恢復機能的機械。在經過8年歲月的步道上，利用高壓洗淨機，水壓為 $30 \sim 40 \text{kg/cm}^2$ 的範圍，進行透水機能恢復。



圖5-11 多孔滲瀝青混凝土灰塵阻塞



磚石塊人行道用特製磚版塊、石版塊、水泥板塊或陶磁版塊等鋪設於加墊水泥混凝土之底層上，工作繁複，造價昂貴，又易鬆動及破損，唯其整齊美觀又適合行人步行，市區內仍多採用。其維護方法可依路面養護之有關規定並參照下列各點辦理：

發生局部不平、下陷、缺角及裂縫等情形時，應將版塊去除換新，版塊抽換程序如下：

## 二、透水性基底層及路基土壤

目前對於透水性基底層土壤維護上，過去案例並不多。不過在設計時後於面層、基底層、路基土壤，等各層如能設計都有過濾層在每層之間，可以防止原土層的黏土或灰塵進入面層或透水性基底層，以防止土壤孔隙被塞滿而使透水率降低。而如發生透水性基底層孔隙被填塞，應將進行全面挖除翻新，重新設計斷面，以繼續透水性鋪面生命。但成本上會花費相當大，如何能在環境、經濟上取得平衡，是未來必需研究發展。

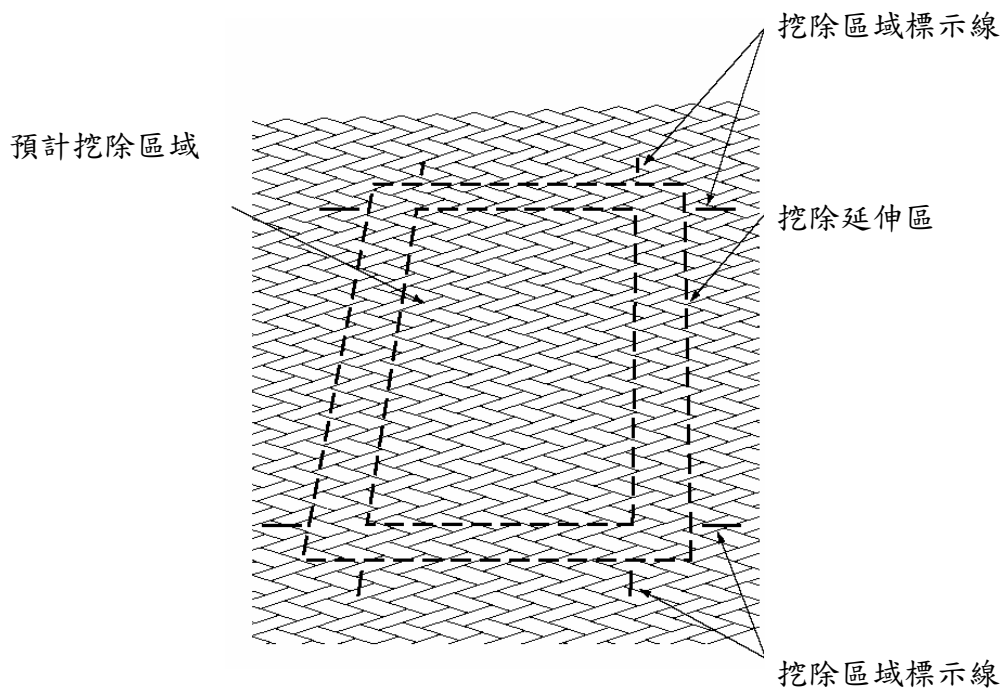
### 5.2.3 透水磚之維修方法

一般而言，透水磚鋪面在經由鋪設完畢開放交通後，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。台灣於透水磚鋪面之維修尚無一可供參考之施工程序，本研究於此參考美國連鎖磚鋪面協會以及InterPave設計手冊中之維修方法提出建議，其建議之維修方法程序如下：

#### 1. 維修區域之標計

在進行透水磚鋪面維修之前，需先行針對其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。由於在進行挖除時，恐影響其餘支撐良好之透水磚區域，因此在進行挖除時，需向外延伸2個磚塊長度之區域，如此可保護其餘區域之墊層砂 (bedding sand) 以及基底層。其示意圖如圖5-12所示。

圖5-12 標定欲維修之範圍



#### 2. 首塊透水磚移除

在進行標計確定欲維修之區域後，即可進行首塊透水磚之移除。其移除方法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 (joint sand)，如同圖2。接縫砂清除完畢後，即可利用大螺絲起子進行首塊透水磚之移除，其移除方法示意圖如同圖3所示。其亦有專用之移除工具 (圖5-13)，可更快速的

對其透水磚進行移除。

圖5-13 接縫砂之清除

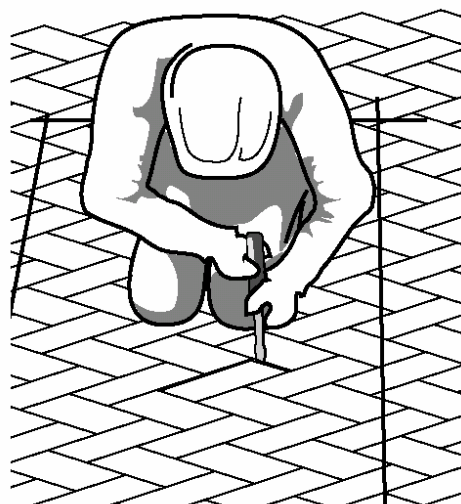


圖5-14 首塊透水磚之移除方法

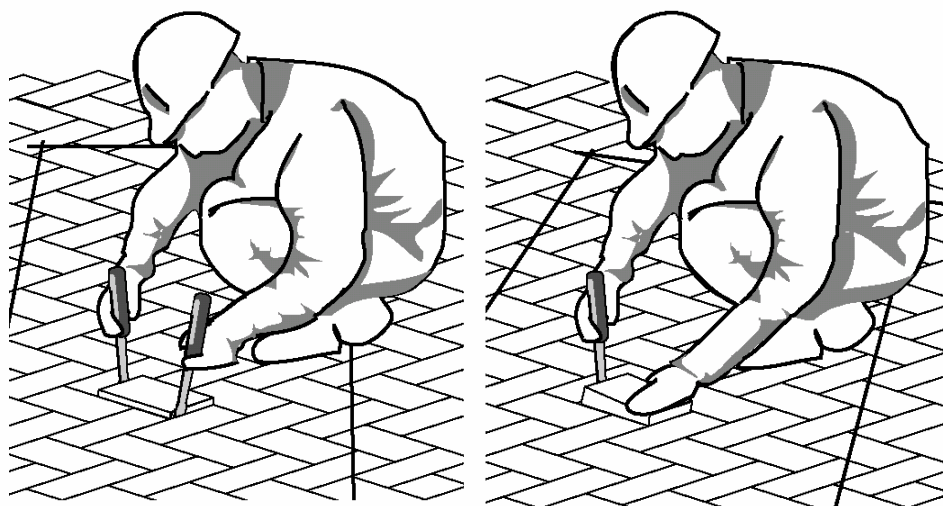


圖5-15 透水磚移除工具



### 3. 其餘透水磚移除

當第一塊透水磚移除後，其餘透水磚由於喪失旁邊之支撐能力，因此可非常容易對其進行移除。為使可快速的移除透水磚，可利用振動之方式使其旁邊之透水磚之互鎖（interlock）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（圖5-16）可供使用，其可一次移除1平方公尺的面積，如此可更加快速的移除其餘欲維修之透水磚。

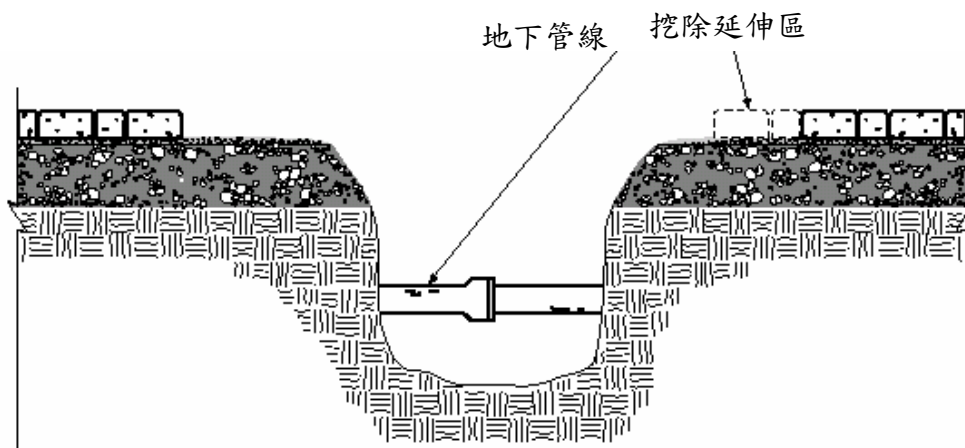
圖5-16 大範圍之透水磚、連鎖磚鋪面移除



#### 4. 墊層砂 (bedding sand)、基底層材料之移除

當透水磚移除完畢後，其下一層即為墊層砂。在移除前需先將其墊層砂的砂耙鬆，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。而若欲將移除的砂再使用需先將其完全耙鬆才可再使用。需特別注意在進行挖除墊層砂的砂時，其挖除範圍需距離良好的透水磚鋪面最少15~30公分，以確保其餘透水鋪面之墊層砂保持不被擾動且穩定之狀態。若底層之材料亦需要進行移除，可利用挖土機或是人工方式進行挖除，其挖除範圍亦如同墊層砂之範圍，最少需距良好透水磚鋪面最少15~30公分。當墊層砂與底層完全移除後，會型成一T型斷面，其示意圖如圖5-17所示。

圖5-17 T-型斷面示意圖



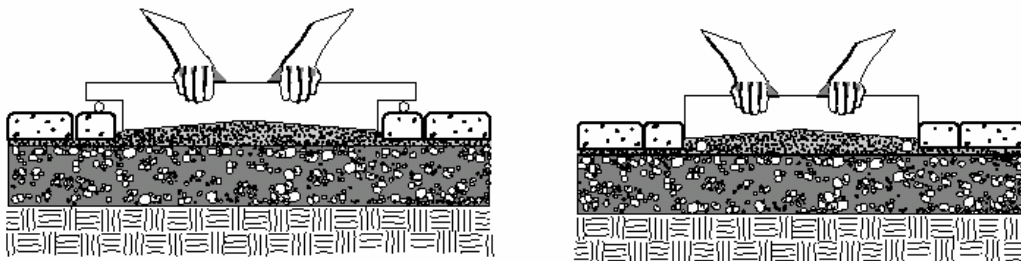
#### 5. 基底層材料回填

在其基底層材料回填方面，在美國連鎖磚鋪面協會以及InterPave設計手冊中，建議亦可利用低強度高控制性材料 (Controlled Low-Strength Materials, CLSM) 進行填補，然而其本身並不透水，因此本研究於此並不建議採用其材料做為透水鋪面修補之用。本研究建議應該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5~10公分回填並逐層夯實，應達到95%之壓實度。在基底層夯實完成過後，利用工地密度儀配合TDR檢驗其含水量並求得其壓實度，如此才可確保未來基底層之結構強度。且利用葛洛夫滲透儀 (Guelph permeameter) 求得其基底層之水力傳導係數，以確保其基底層材料之滲透功能與原設計相同。

## 6. 墊層砂 (bedding sand) 回填

墊層砂回填時其材料，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澱的砂進行鏟平 (圖5-18)，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。鏟平過後即可對路床進行夯實，在夯實過後填補處邊緣最底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。如此可確保透水磚填補後不至因為墊層砂厚度不足而產生磚塊翹起、鬆動之情形，而導致再次破壞之情況發生。

圖5-18 墊層砂回填砂鏟平方法示意圖



## 7. 透水磚填補與接縫砂回填

墊層砂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。填補完成後在其接縫處回填接縫砂 (joint sand)，確定其接縫亦保持原始設計間距相同 (圖5-19)，並且利用夯實機以最小5000 lbf (22 KN) 之力量進行震動夯實，(圖5-20)，以確保透水磚以及接縫砂可牢固的固定於墊層砂之上，與相接之透水磚產生互鎖效應。並且在透水磚鋪設完成後，以三米直規量測其與原始透水磚鋪面之高低差，以確保其平整度。如此即可完成透水磚鋪面維修。

圖5-19 透水磚鋪面接縫調整與確定



圖5-20 透水磚鋪面面層夯實



#### 第四節 透水鋪面施工規範之推行

由於之前已訂定透水鋪面施工規範草案，但整體的規範內容還需再更一步之調整，未來將邀請政府單位，及專家學者審核及建議，檢討其是否有衝突點，提出初步的因應與修正，並舉辦研會請廠商，公家單位，學者座談，以能在有推行之可行性，推動國內透水性鋪面之發展。



## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

1. 國外的透水性鋪面設計方法，已有相當不少的案例。目前台灣將在各不同地區進行生態工法透水性鋪面建構，可讓透水鋪面設計觀念建立起來。
2. 在對於路基土壤之保水能力，在新店實驗區的四種全保水斷面，平均能保水19公分，並驗證俱，已有相當的涵養、保水之效能。未來可以作為指標性設計。
3. 透水性鋪面之效益有：減少路面積水，增加行車安全；雨水滲透至地下，因而不會導致土壤中缺氧等現象，使植物之地下生長狀態良好；儲存水份，補充地下水；如鋪設透水性路面，土壤保水量多，而將減少都會區熱島效應。目前新店透水性鋪面初步對熱島效應有良好的效果。
4. 透水性鋪面選址原則，除了一般工址調查工作，還有人文、水文、地文。
  - 人文-人文環境、交通量等
  - 水文-該地之降雨量、降雨強度等
  - 地文-地質資料等
5. 透水鋪面設計方法，由AASHTO 93 Design Guide，並考慮降雨量及保水量進行設計並修改成適合台灣環境。
6. 透水性鋪面維護管理，對於面層維護除了一般高壓水沖洗，還是必須運用自然力而自清如降雨，才不至浪費水資源。而透水性基底層目前最好維護方法就是設計時多一層過濾層。

## 第二節 建議

1. 在未來將進行十項的之透水鋪面施作，是否能將其選址原則和透水鋪面設計運用其上，以探討缺失並修正。
2. 透水鋪面之維護管理，在成本及生態的二因素相互牽制下，取的一個合適當地的維護方案是未來必須探討。
3. 未來在選址上，可加入空照圖也就是建築基地之航照圖，由從微觀裡的的透水率及土壤保水量，宏觀上更可以預估區域逕流量。
4. 對於熱島效應之成效改善情況，也是未來可以進行量化之評估。
5. 未來可計算都市水災中採用不透水鋪面及透水鋪面之差異。並由類神經網路，暴雨對都市造成逕流程度。
6. 未來可以利用GIS方法，計算都市中透水面及不透水面之分布。建立預測多大降雨強度下洪水最可能發生之地點。

## 參考書目

中文部分

內政部建築研究所，透水鋪面工法性試驗解析。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4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。

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。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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。

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.

I. 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, “Guidelines 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

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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

## 參考書目

中文部分

內政部建築研究所，透水鋪面工法性試驗解析。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4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。

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。

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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。

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.

I. 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, “Guidelines 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

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」理論模擬現地實鋪成效研究

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

## 附錄二 降雨強度公式

### 第一章 降雨強度公式

降雨強度公式之型式主要分為二參數及三參數兩種：

二參數型式有：

1. Talbot公式  $I = A / (t + B)$ ，
2. Sherman公式  $I = A / t^n$ 〔歐陽嶠暉，1983；林秋裕，1984〕
3. 石黑公式  $I = A / (t^{0.5} + B)$ 〔張玉田，1974；索明，1977〕國內常用者為Talbot公式及Sherman公式。

三參數型式有：

1. Horner公式： $I = A / (t + B)^n$
2. Clerland式  $I = A / (t^n + B)$ 〔余濬，1983a；1983b〕，國內常用者為Horner公式，Horner公式其精度較二參數之Talbot公式及Sherman公式為佳。

雨強度公式 $I$ 之單位，公制為厘米/小時（mm/hr），英制為英吋/小時（inch/hr），但公式中之 $t$ ，由於降雨強度公式推導時係以分鐘作為單位，因此 $t$ 需以分鐘為單位代入即可，而無需另外換算為小時（hr）。

### 第二章 降雨強度公式適用之範圍

以省住都局之降雨強度公式為例〔台灣省公共工程局，1969〕，其降雨資料係選用2小時（短延時）以內之暴雨（Storm），降雨延時分別採用5、10、15、20、30、40、60、80、100、120分鐘予以分析而得，其適用對象為都市雨水下水道；若以中央氣象局〔台灣省水利局，1988〕之降雨強度公式為例，其降雨資料係選用24小時（長延時）以內之降雨，降雨延時分別採用5、10、20、30、40、60、80、90、100分鐘及2、3、4、6、12、18、24小時予以分析而得，其適用對象為一般性之氣象、排水、防洪；再以省水利局之降雨強度公式為例〔台灣省水利局，1988〕，其降雨資料係選用24小時（長延時）以內之降雨，降雨延時分別採用10、20、30、40、60、90分鐘及2、3、4、6、12、18、24小時予以分析而得，其適用對象為河川之排水及防洪；至於，特別針對山坡地為適用對象之降雨強度公式，

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」理論模擬現地實鋪成效研究

則有行政院農委會「水土保持技術規範」〔行政院農委會，1996〕內之公式；另外，亦有以颱風雨(長延時)為降雨資料予以分析者，如台北市政府〔台北市政府，1990〕，其適用對象為抽水站排水之用。

附表2-1 降雨分類及延時範圍

降雨分類	降雨延時範圍	提供公式之機關
短延時降雨	5分~2時	省住都局、台北市政府
長延時降雨	5分~24時	中央氣象局 農委會(水土保持規範)
	10分~24時	省水利處
颱風雨	1時~48時	省住都局、台北市政府

### 第三章 降雨強度公式之應用

#### 第一節 應用於合理化公式

降雨強度公式應用於合理化公式以推估小流域集水區之洪峰流量，此乃為水利工程師所最常用者，典型的例子為：已知某地區(以台北地區為例)其集水區面積為2.0公頃，逕流係數為0.8，集流時間為5分鐘，其五年一次頻率暴雨之洪峰流量可利用合理化公式估算如下。

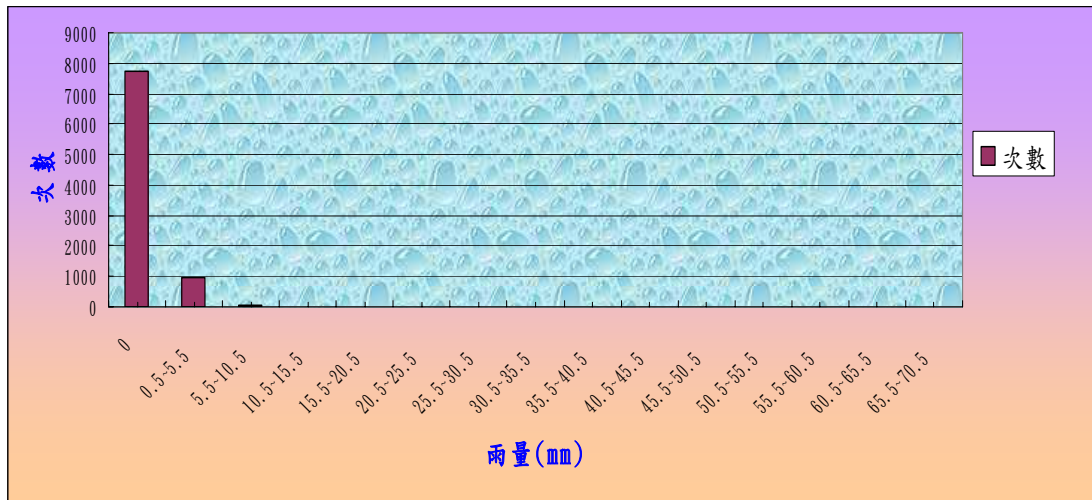
因暴雨屬短延時之降雨，查得五年一次頻率之 $I = 8606 / (t + 49.14)$ ，則降雨強度為， $I = 8606 / (5 + 49.14) = 158.96 \text{ mm/hr}$

利用合理化公式 $Q = CIA / 360 = 0.8 \times 158.96 \times 2.0 / 360 = 0.706 \text{ cms}$

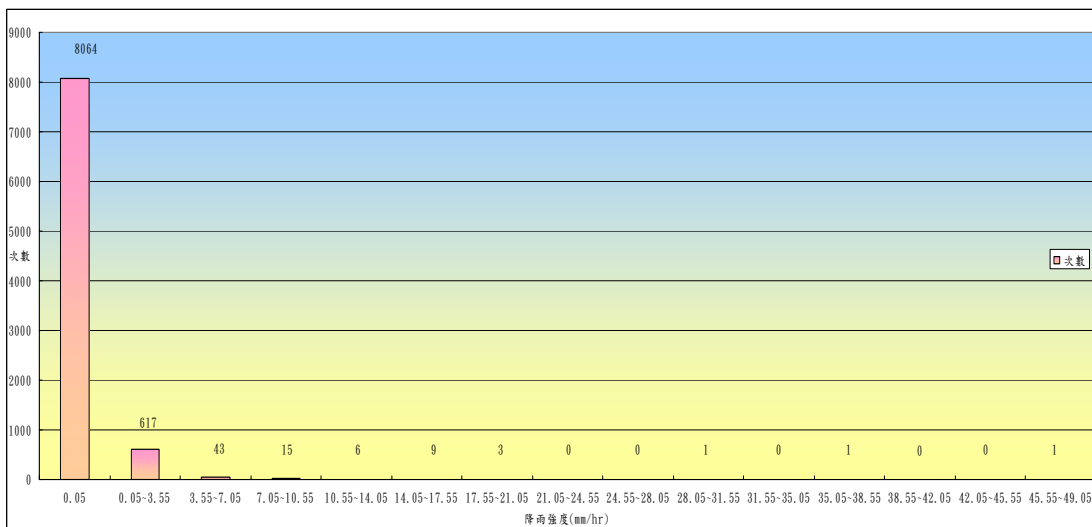
#### 第二節 降雨強度累積次數表

本研究團隊將各縣市與量測站所收集之資料，加以統計製成累積次數圖，以下為全台10大都市與新店的降雨強度的累積次數圖。

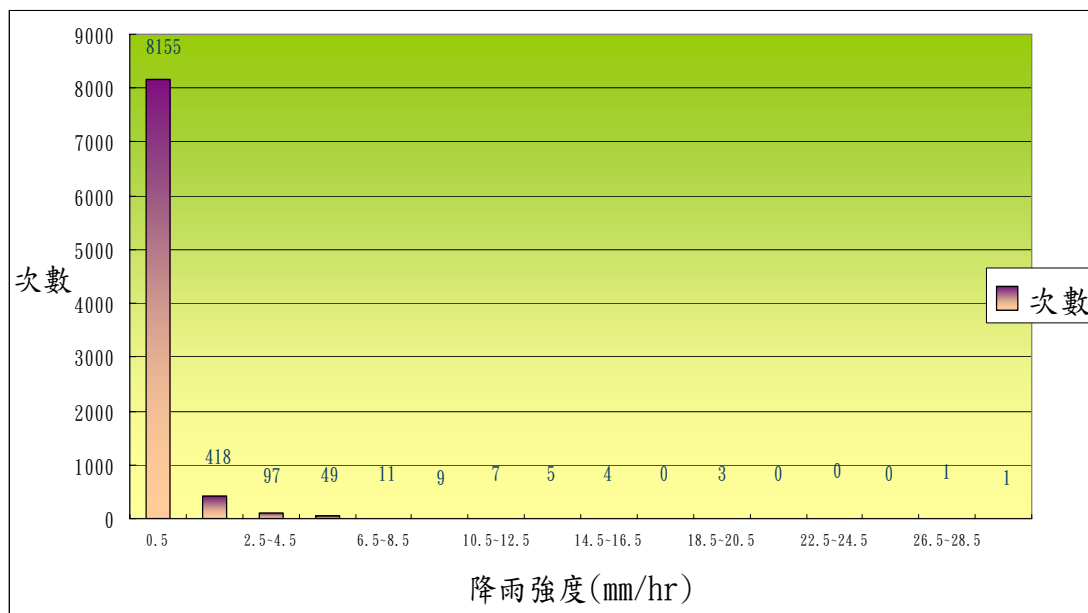
附圖3-1 新店降雨強度的累積次數圖



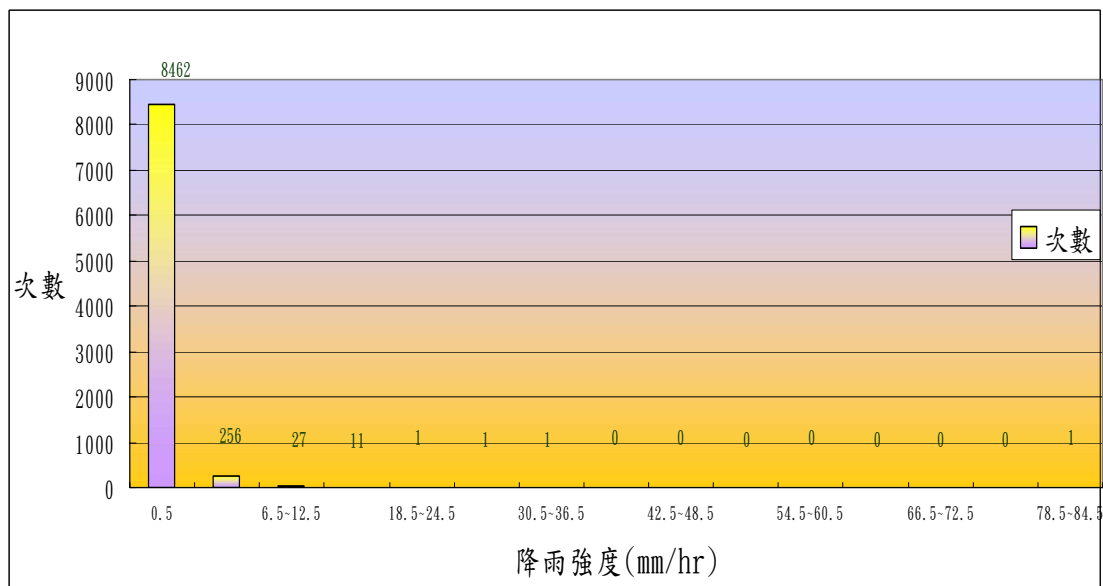
附圖3-2 台北降雨強度的累積次數圖



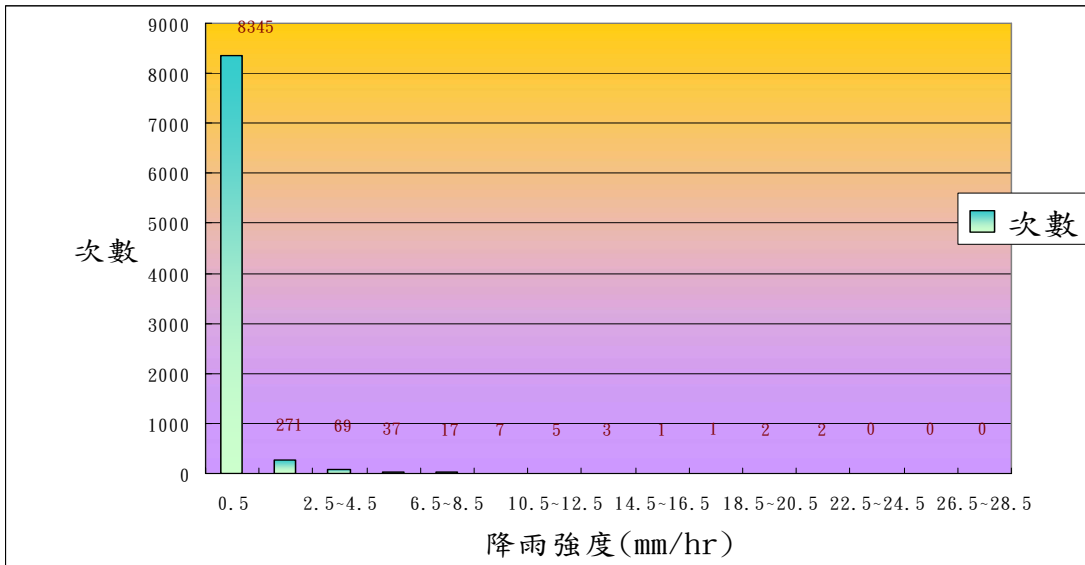
附圖3-3 基隆降雨強度的累積次數圖



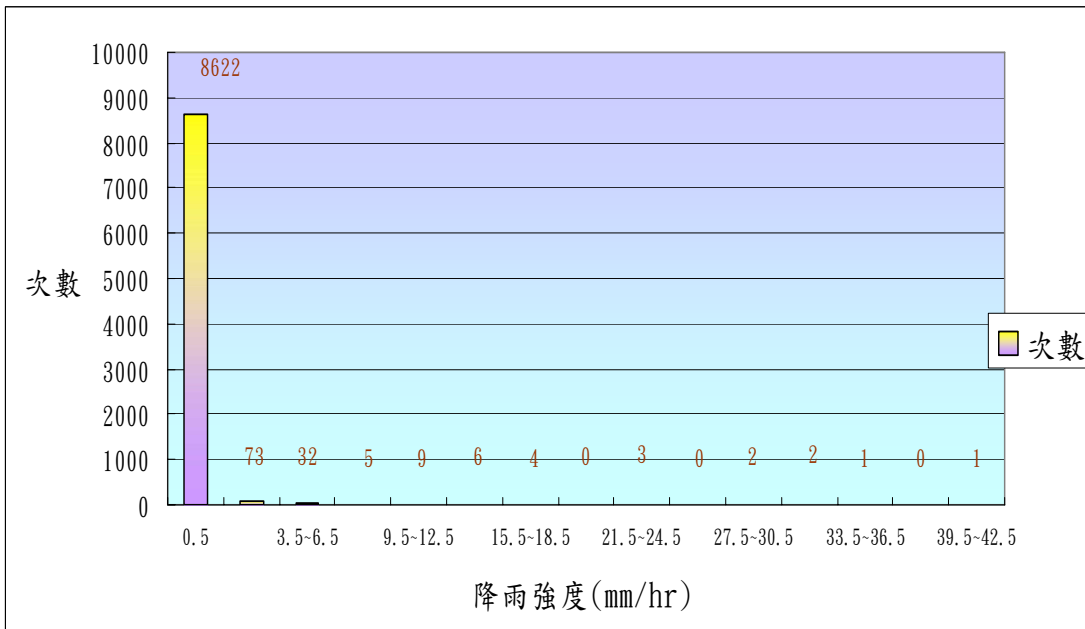
附圖3-4 花蓮降雨強度的累積次數圖



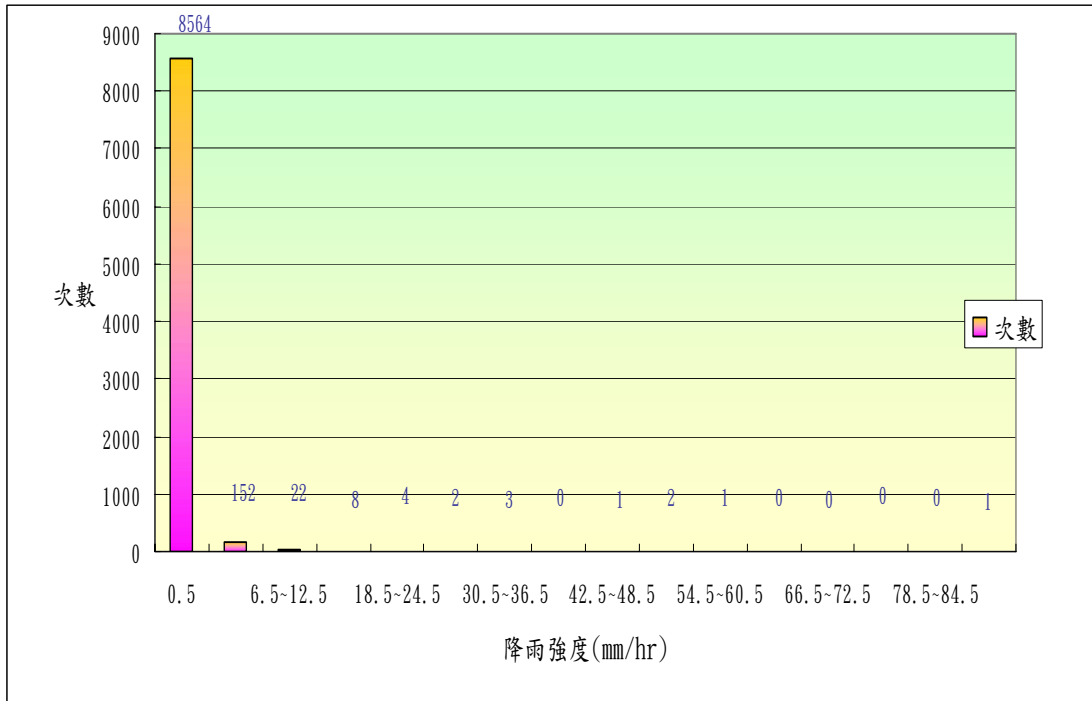
附圖3-5 宜蘭降雨強度的累積次數圖



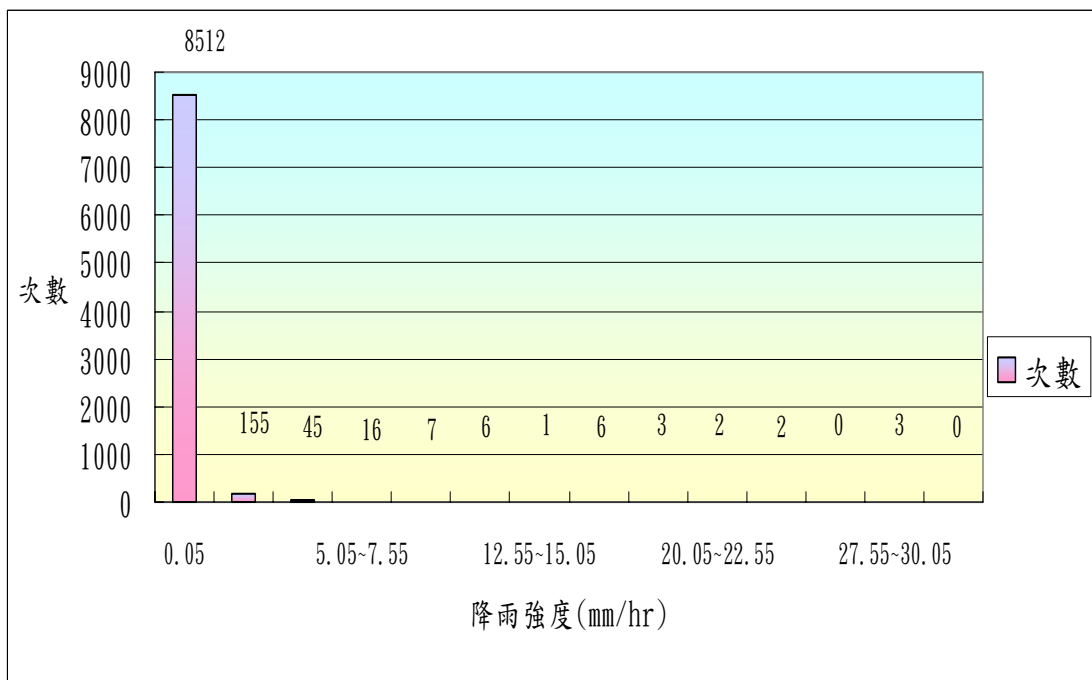
附圖3-5 台南降雨強度的累積次數圖



附圖3-6 高雄降雨強度的累積次數圖

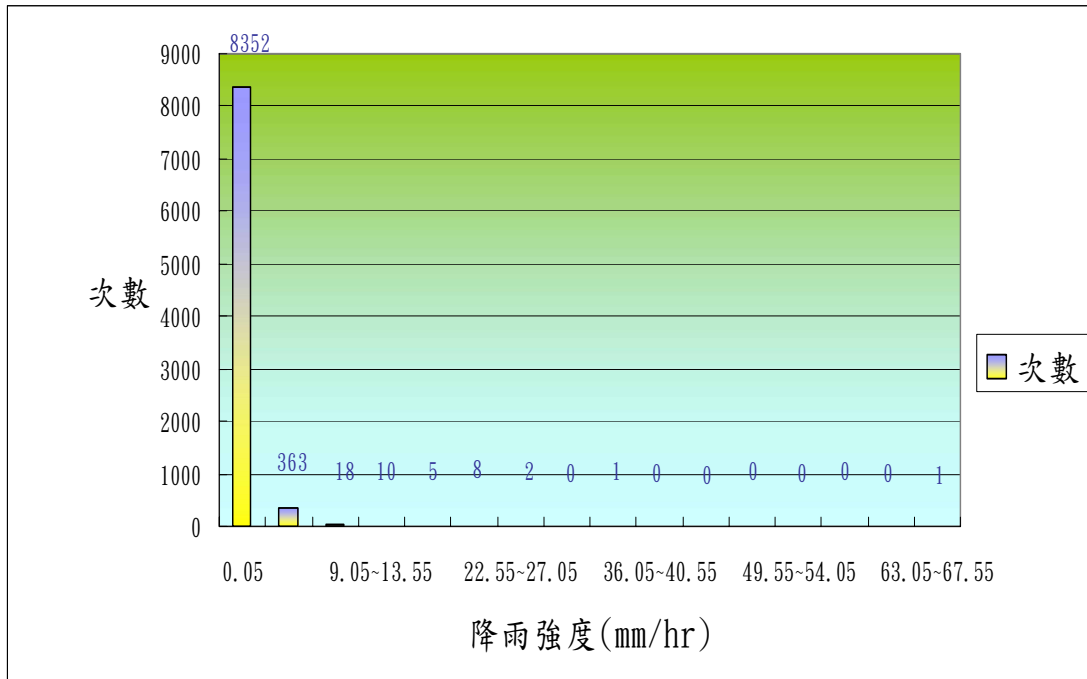


附圖3-7 嘉義降雨強度的累積次數圖

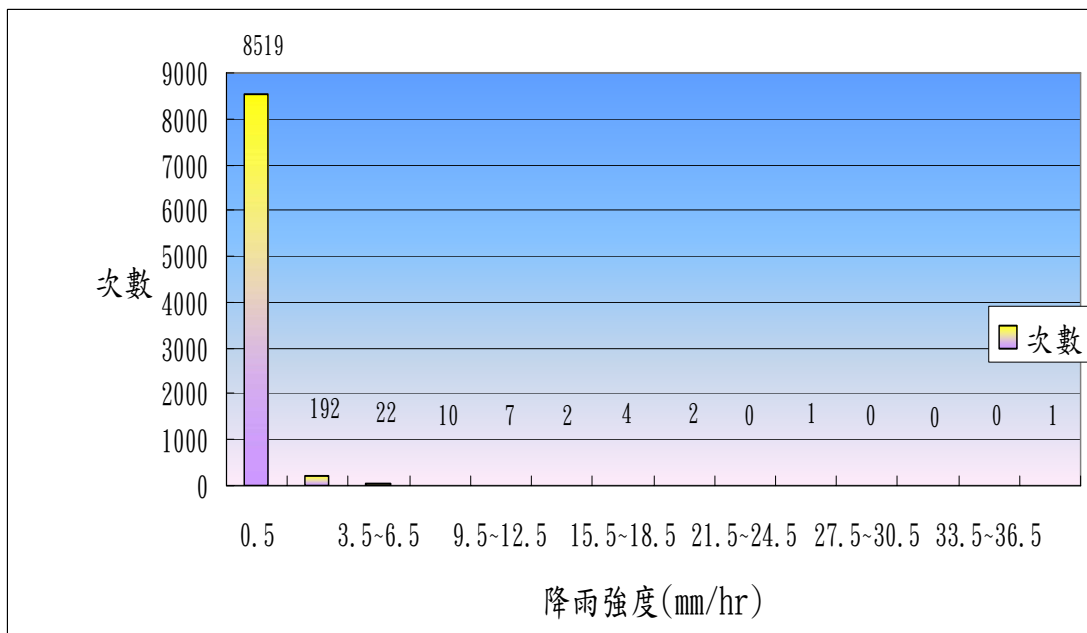




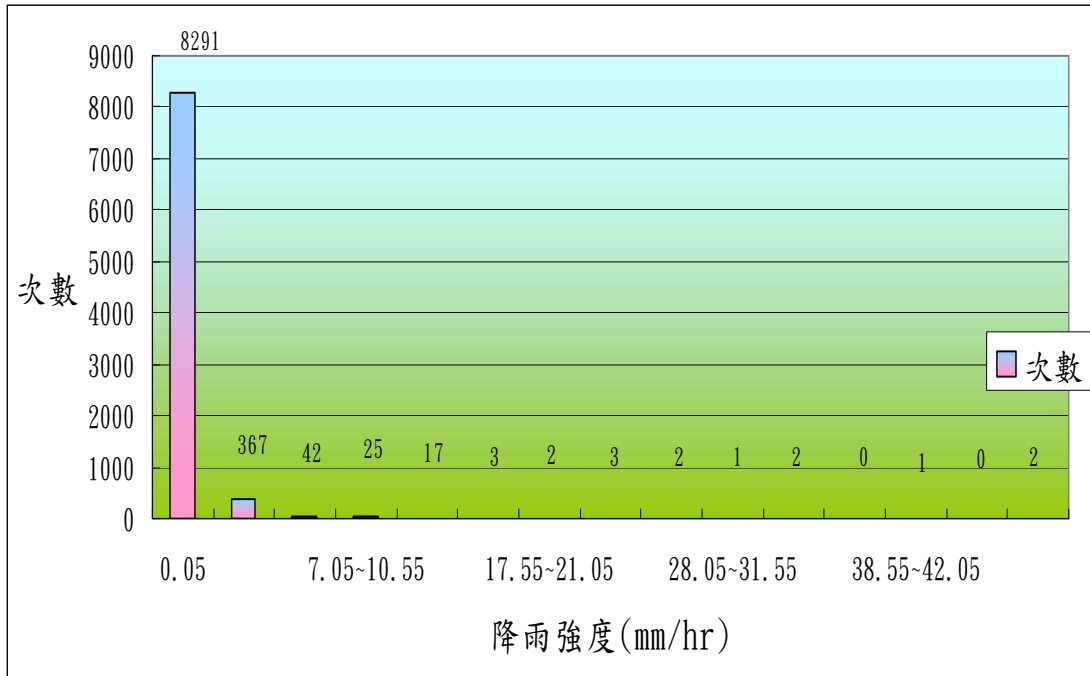
附圖3-8 台中降雨強度的累積次數圖



附圖3-9 新竹降雨強度的累積次數圖



附圖3-10 台東降雨強度的累積次數圖

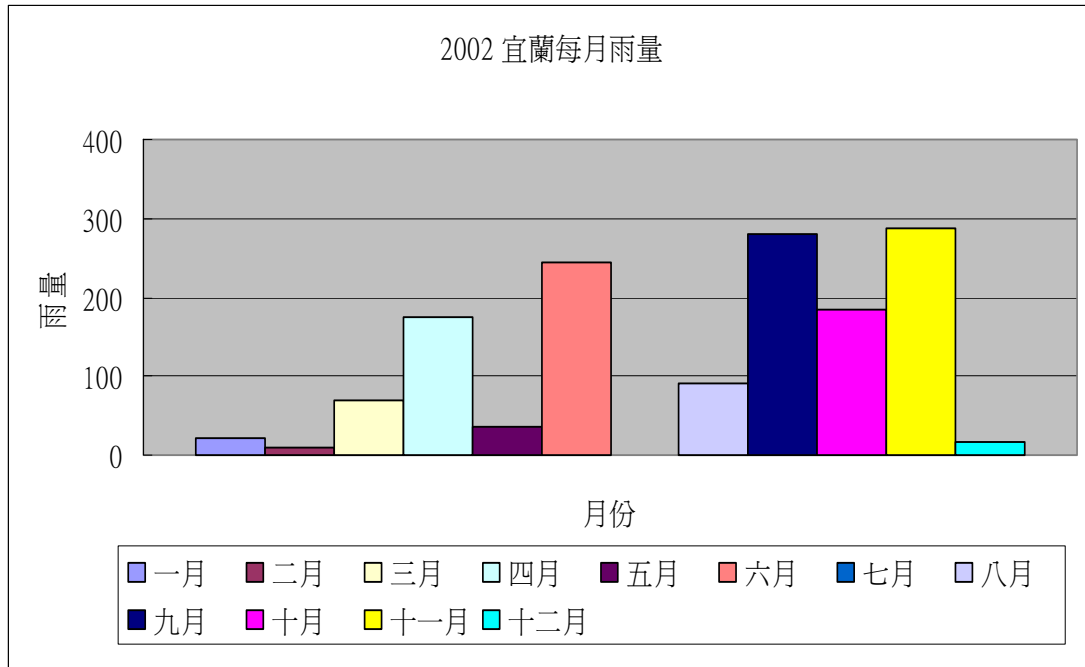


由圖可以看出大部分降雨強度皆是在0.1mm~3.5mm的範圍，尤以0.5mm以下佔了很大的部分，這些零星降雨的部分，十分容易就被地表吸收，而不產生地表逕流，且去年降雨量少，甚至有水庫告急，也可從雨量圖看出，如下圖3-1宜蘭民國92年的每月降雨量圖及表3-1宜蘭民國92年的每月降雨量表

附表3-1 宜蘭民國92年的每月降雨量表

一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
21.5	9.2	69.7	175.5	34.9	244.8	T	89.9	279.5	183.3	287	17.5

附圖 3-11 宜蘭民國 92 年的每月降雨量圖



## 附錄三 透水鋪面單價分析

### 第一節 各區段透水性鋪面與新店試驗區之比較分析

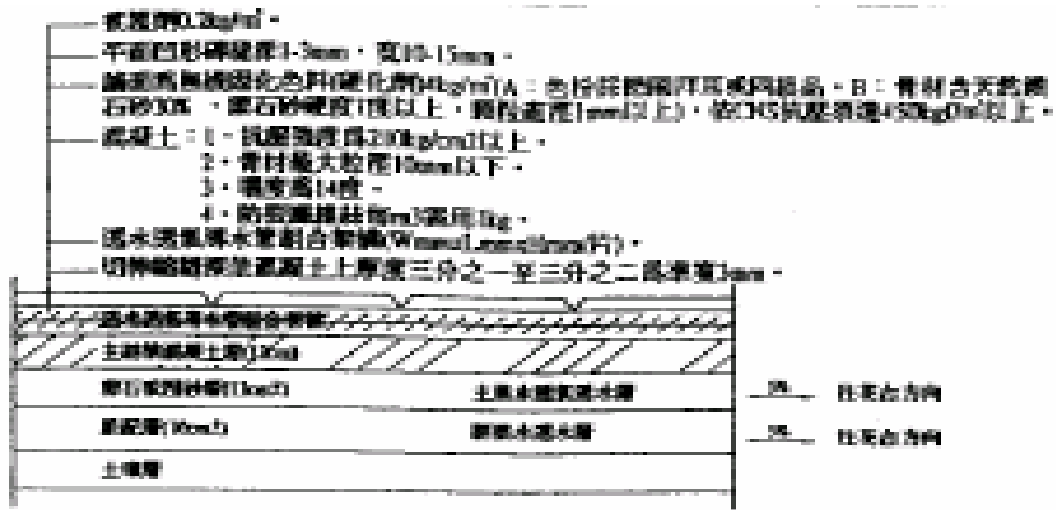
本校目前對於台北縣北 91 線人行道、觀音鄉觀音國小前人行道、新竹橫山鄉內灣停車場車道及中正大學停車場四個區段之透水性鋪面進行監測，四個工區目前正在施工中，對於透水性鋪面從施工前之評估、施工中的試驗到施工後的監測，全方位的進行，將本次計劃之研究方法透徹之實行於現地鋪面，施行實際之現地成效評估，希望能將透水性鋪面推廣並發展之。

#### 工區介紹比較及成本分析

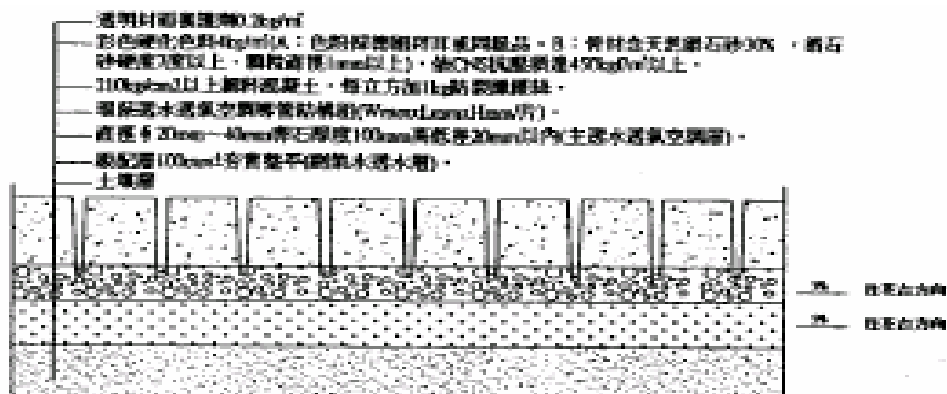
##### 一、 台北縣北 91 線人行道

本工程總長度約為 164.5m，人行道採用透水性鋪面 JW 工法。JW 工法為利用透水透氣導管外面包覆混凝土，表面再以磁磚美化完成，主要係以透水透氣導管將表面水排出(斷面圖如圖 1-1)。將其與新店試驗區及人行道設計手冊進行比較(如表 1-1)，單價分析如表 1-3。

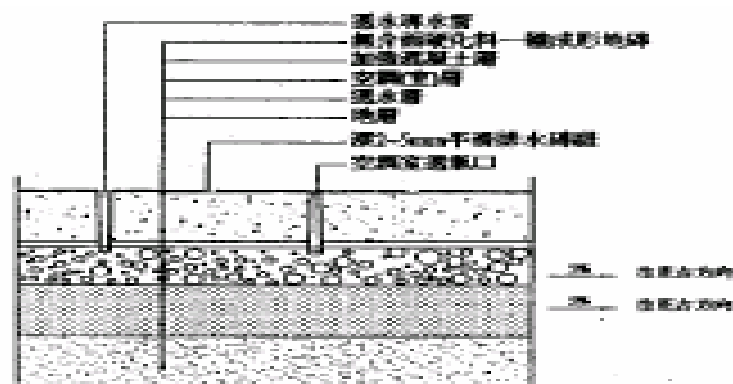
附圖 1-1 北 91 線透水鋪面 JW 工法斷面示意圖



環保透水混凝土鋪面造型地磚



施工剖面示意圖(四)



功能剖面圖

附表 1-1 北 91 線施工規範比較表

	北 91 線(JW 工法)	營建署人行道設計手冊	中央大學研究成果
面層	環保透水混凝土鋪面造型地磚 抗壓強度 > 450 kgf/cm <sup>2</sup> (不透水)	透水磚 抗壓 > 140 kgf/cm <sup>2</sup>	透水磚 抗壓強度 > 170 kgf/cm <sup>2</sup>
混凝土	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>
底層	95%壓實度 (不得小於 AASHTO T180 最大乾 密度之 95%) 透水係數(未註明)	90%壓實度	1. 95%壓實度 2. 夯壓試驗 AASHTO T180 3. 現地透水試驗
基層	95%壓實度	85%壓實度	滲透係數最少 10 <sup>-3</sup>
試驗	1. 現地試驗 工地密度 葛洛夫儀—透水係數 2. 試驗室試驗 含水量試驗 定水頭試驗 實驗室夯實試驗(CBR) 篩分析 洛杉磯磨損試驗<50% 土壤塑性限度及塑性指數 3. 試驗標準 依 AASHTO 規範標準		4. CBR AASHTO T193 基層>20% 底層>60% 5. 調整土壤夯實密度方法 AASHTO T224 土壤液性限度試驗法 AASHTO T89 通過 0.425mm 液性限度 < 25 通過 0.425mm 塑性限度 < 6 6. 土壤塑性限度及塑性指數 AASHTO T90 通過 0.425mm 基層 < 6, 底層 < 4 7. 定水頭試驗 AASHTO T215

附表 1-2 北 91 線回填透水材料級配要求

篩號	類型 1	類型 2	類型 3
2" (50.8mm)	100	-	-
1 1/2" (38.1mm)	95-100	100	-
3/4" (19.1mm)	50-100	90-100	100
1/2" (12.7mm)	-	40-100	95-100
3/8" (9.5mm)	15-55	25-40	70-100
#4(4.76mm)	0-25	18-33	0-55
#8(2.38mm)	0-5	5-15	0-10
#200(0.074mm)	0-3	0-3	0-3

附表 1-3 北 91 線單價分析

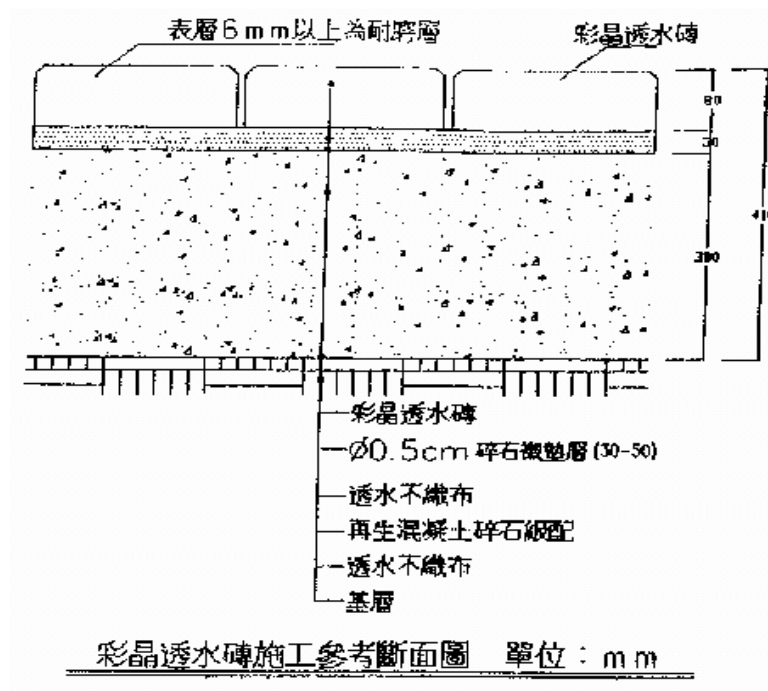
層面	透水透氣鋪面		單位：m <sup>2</sup>		
	工料名稱	單位	數量	單價	複價
透水透氣鋪面	210 kg/cm <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	0.12	2000.00	240.00
	防裂纖維絲	KG	0.12	250.00	30.00
	鋪設碎石級配路基	M <sup>3</sup>	0.10	645.00	64.50
	卵石層或碎石層或粗砂層	M <sup>3</sup>	0.13	1500.00	195
	面灑色料固化劑和天然礦砂	KG	4.00	40.00	160.00
	面層防護劑	KG	0.20	280.00	56.00
	透水透氣導水管組合	片	1.90	830.00	1577.00
	拆模及整飾	M <sup>2</sup>	1.00	40.00	40.00
	安裝費	式	1.00	100.00	100.00
	工具損耗	式	1.00	12.5	12.5
	<b>小計</b>	<b>M<sup>2</sup></b>	<b>1.00</b>		<b>2475.00</b>
層面	透水透氣鋪面		單位：m <sup>3</sup>		
	工料名稱	單位	數量	單價	複價
碎石級配路基	碎石級配料	M <sup>3</sup>	1.20	457.00	12.50
	小工	工	0.01	520.00	5.20
	平路機	時	0.02	1500.00	548.40
	灑水車	時	0.03	650.00	30.00
	壓路機	時	0.03	19.4	19.50
	工具損耗	式	1.00	19.4	19.4
	<b>小計</b>	<b>M<sup>3</sup></b>	<b>1.00</b>		<b>645.00</b>
<b>總計</b>	<b>M<sup>2</sup></b>	<b>1.00</b>		<b>3125.00</b>	

二、 觀音鄉觀音國小前人行道

本工程之人行道路寬為 3-2.5m，全長約 252m，各段人行道寬到詳見下圖 2-2；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；人行道下層之縱向排水坡度為 1%(斷面圖如圖 1-2)。將其與新店試驗區及人行道設計手冊進行比較(如表 1-4)，單價分析如表 1-6。

本工程採用高壓彩晶透水磚，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 230 kgf/cm<sup>2</sup>。

附圖 1-2 觀音國小透水鋪面斷面圖





附表 1-4 觀音國小人行道施工規範比較表

	觀音國小	營建署人行道設計手冊	本校
面層	透水磚 抗壓 230 kgf/cm <sup>2</sup> 透水係數 10 <sup>-2</sup> cm/sec	透水磚 抗壓>140 kgf/cm <sup>2</sup> 透水係數 10 <sup>-2</sup> cm/sec 以上	透水磚 抗壓強度>170 kgf/cm <sup>2</sup> 透水係數 10 <sup>-2</sup> cm/sec 以上
接縫砂	震動機來回夯實 2 次 0.3 mm~2.5mm 之潔淨河砂	僅說明要夯實	僅說明要夯實 縫隙 0.3cm 0.3 mm~1.2mm
墊砂層	厚度 2-3 公分 至少為 0.5cm 以下之碎石	5 公分	壓實後 3-5 公分 0.3 mm~1.2mm
底層	<p>4. 現地試驗 工地密度 葛洛夫儀—透水係數</p> <p>5. 試驗室試驗 定水頭試驗 篩分析 洛杉磯磨損試驗&lt;50% 土壤塑性限度及塑性指數 AASHTO T90 通過 0.425mm 液性限度&lt;25 通過 0.425mm 塑性限度&lt;6</p>	90%壓實度	<p>8. 95%壓實度</p> <p>9. 夯壓試驗 AASHTO T180</p> <p>10. 現地透水試驗 滲透係數最少 10<sup>-3</sup></p> <p>11. CBR AASHTO T193 基層&gt;20% 底層&gt;60%</p> <p>12. 調整土壤夯實密度方法 AASHTO T224</p> <p>13. 土壤液性限度試驗法 AASHTO T89</p> <p>14. 土壤塑性限度及塑性指數 AASHTO T90 <u>塑性限度</u> 基層&lt;6，底層&lt;4 通過 0.425mm 液性限度&lt;25 通過 0.425mm 塑性限度&lt;6</p> <p>15. 定水頭試驗 AASHTO T215</p>
基層	95%壓實度	85%壓實度	

附表 1-5 觀音國小人行道回填透水材料級配要求

篩號	觀音國小案
2"	100
1"	--
3/8" (0.075mm)	30-65
#4(4.75mm)	25-55
#10(2.0mm)	15-40
#40(0.425mm)	8-20
#200(0.075mm)	2-8

附表 1-6 觀音國小人行道單價分析

項目	工料名稱	單位	單價	數量	總價
面層	高壓彩晶透水磚	M <sup>2</sup>	362.87	1	362.87
	工資	式	145.15	1	145.15
	震動機及油料	式	4.03	1	4.03
	震動夯實	M <sup>2</sup>	8.06	1	8.06
	填縫砂	式	12.10	1	12.10
	運費	式	76.61	1	76.61
	其它耗損	式	4.03	1	4.03
	小計				
透水不織布鋪設	透水不織布 (CNS I 型)	M <sup>2</sup>	20.16	1	20.16
	小工	工	12.90	1	12.90
	零星工料	式	2.23	1	2.23
	小計				
底層	再生混凝土碎石級配料 (含運費)	M <sup>3</sup>	370.94	0.3	111.28
	小工	工	645.11	0.185	119.35
	工具損耗	式	1.61	1	1.61
	小計				
面層+透水不織布層+底層 =				總計	<b>881.38 元</b>

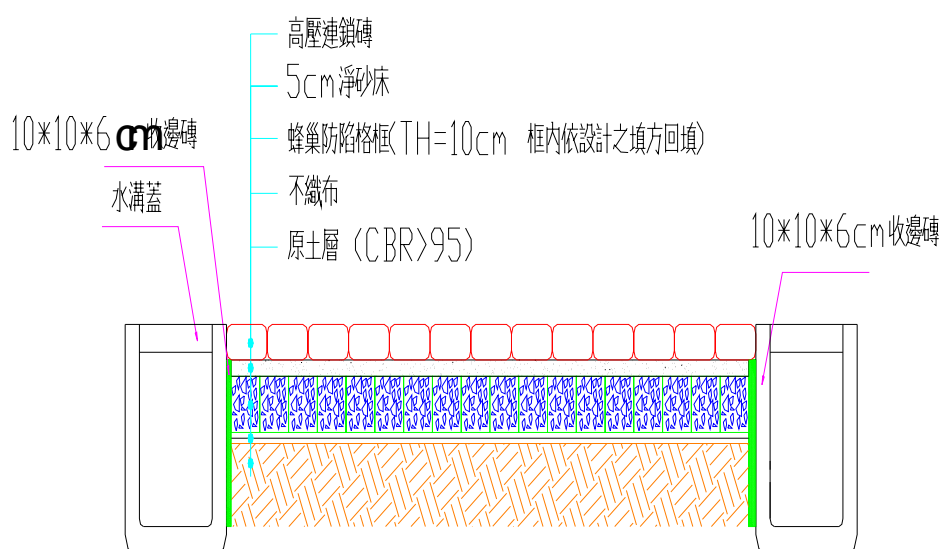
建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究  
子計畫二：「透水鋪面」理論模擬現地實鋪成效研究

三、 新竹橫山鄉內灣停車場車道

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(斷面圖如圖 1-3)。將其與新店試驗區及人行道設計手冊進行比較(如表 1-7)，單價分析如表 1-9。

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，使民間工程與人民更接近。

附圖 1-3 內灣停車場車道斷面圖



附表 1-7 新竹縣橫山鄉施工規範比較表

	新竹縣橫山鄉(沉陷格網工法)	營建署人行道設計手冊	中央大學研究成果
面層	<b>高壓透水磚鋪面</b> 抗壓強度 (未註明)	<b>透水磚</b> 抗壓 > 140 kgf/cm <sup>2</sup>	<b>透水磚</b> 抗壓強度 > 170 kgf/cm <sup>2</sup>
混凝土	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>
底層	<b>95%壓實度</b> (不得小於 AASHTO T180 最大乾密度之 95%) 透水係數(未註明) C. B. R 值 (最小) 100 R 值 液性限度 (最大) 80 塑性限度 25~0 含砂當量 (最小) 50	<b>90%壓實度</b>	16. 95%壓實度 17. 夯壓試驗 AASHTO T180 18. 現地透水試驗 滲透係數最少 10 <sup>-3</sup> 19. CBR AASHTO T193 基層>20% 底層>60%
基層	<b>95%壓實度</b>	<b>85%壓實度</b>	20. 調整土壤夯實密度方法 AASHTO T224 土壤液性限度試驗法 AASHTO T89 通過 0.425mm 液性限度 < 25 通過 0.425mm 塑性限度 < 6
試驗	6. 現地試驗 工地密度 葛洛夫儀—透水係數 7. 試驗室試驗 高壓專透水係數 含水量試驗 定水頭試驗 實驗室夯實試驗(CBR) 篩分析 洛杉磯磨損試驗<50% 土壤塑性限度及塑性指數 8. 試驗標準 依 AASHTO 規範標準		21. 土壤塑性限度及塑性指數 AASHTO T90 通過 0.425mm 基層 < 6, 底層 < 4 22. 定水頭試驗 AASHTO T215

附表 1.8 新竹縣橫山鄉內灣村回填透水材料級配要求

篩號	A	B	C
2" (50.8mm)	100	100	-
1" (25.4mm)	-	75-95	100
3/8" 9.51mm)	30-65	40-75	50-8.5
4" (4.76mm)	25-55	30-60	35-65
#10(2.00mm)	15-40	20-45	25-50
#40(0.420mm)	8-20	15-30	15-30
#200(0.074mm)	2-8	5-15	5-15

附表 1-9 新竹縣橫山鄉內灣村路面工程單價分析

鋪面	高壓透水磚鋪面		單位：m <sup>2</sup>		
	工料名稱	單位	數量	單價	複價
	挖方	M <sup>3</sup>	210.00	55.00	11550.00
	回填方	M <sup>3</sup>	145.00	41.00	5945.00
壓 透 水 磚 鋪 面	210 kg/cm <sup>2</sup> 預拌混凝土	M <sup>3</sup>	46.00	1832.00	84272.00
	驅體模板製作	M <sup>3</sup>	262.00	321.00	84102.00
	鋼筋加工及組立	噸	2.67	21306.00	56887.02
	鍍鋅格柵版安裝	KG	122.00	46.00	5612.00
	排水管理設	10M	1.00	2810.00	2810.00
	刨除 AC 路面	M <sup>2</sup>	960.00	16.00	15360.00
	路床整理夯實	M <sup>2</sup>	960.00	70.00	67200.00
	不織布	M <sup>2</sup>	1008.00	39.00	39312.00
	10cm 厚碎石級配底層鋪設	100 M <sup>2</sup>	9.60	7420.00	71232.00
	蜂巢防陷格網	M <sup>3</sup>	960.00	691.00	663360.00
	滾壓	M <sup>3</sup>	9.60	760.00	7296.00
	臨時施工標示牌	面	1.00	2107.00	2107.00
	鋪高壓連鎖水泥磚	M <sup>3</sup>	960.00	770.00	739200.00
	1:3 水泥砂漿	M <sup>3</sup>	1.35	3224.00	4352.40
	收邊磚(10*10*6cm)	M	270.00	116.00	31320.00
	板車費(施工機具搬運)	式	1.00	-	14656.00
	施工安全設施費	式	1.00	-	8378.58
	舊有混凝土打除	式	1.00	-	18320.00
	環境維護費	式	1.00	-	18320.00
	零星工程	式	1.00	-	18320.00
<b>總計</b>	<b>M<sup>2</sup></b>	<b>1.00</b>			<b>1986400.00</b>
面	透水透氣鋪面		單位：m <sup>3</sup>		

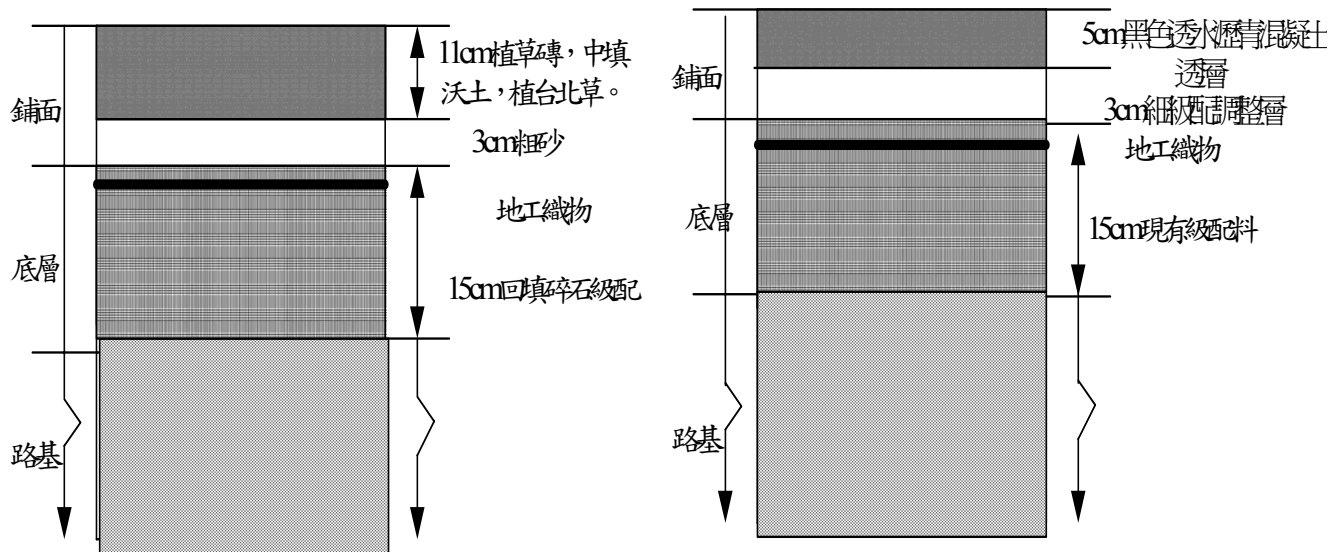
附錄三透水鋪面單價分析

層	工料名稱	單位	數量	單價	複價
床 整 理 夯 實	碎石級配料	M <sup>3</sup>	0.100	550.00	55.00
	路面整瓶及滾壓	M <sup>3</sup>	1.000	9.00	9.00
	小工	工	0.010	531.00	5.31
	工具搬運及損耗	式	1.000	-	0.69
	小計	M <sup>3</sup>	1.00		70.00
10 cm 後 碎 石 級 配 底 層 鋪 設	碎石級配料	M <sup>3</sup>	12.500	550.00	6875.00
	普通工	工	0.100	531.00	53.10
	平路機	時	0.250	733.00	183.25
	灑水車	時	0.200	458.00	91.60
	10~15T 壓路機	時	0.380	550.00	209.00
	工具搬運及損耗	式	1.000	-	8.05
	小計	100 <sub>1</sub>			7420.00
巢 防 陷 格 網	蜂巢防陷格網	M <sup>2</sup>	1.000	564.00	564.00
	10CM 碎石級配	M <sup>2</sup>	1.000	74.20	74.20
	普通工	工	0.080	531.00	42.48
	按裝鐵件	Kg	1.000	10.00	10.00
	工具搬運損耗	式	1.000	-	0.32
	小計	M <sup>2</sup>	1.00		691.00
不 織 布	不織布	M <sup>2</sup>	1.000	12.00	12.00
	普通工	工	0.050	531.00	26.55
	工具搬運及損耗	式	1.000	-	0.45
	小計	M <sup>2</sup>			39.00
高 壓 連 鎖 水 泥 磚	高壓水泥連鎖水泥磚	M <sup>3</sup>	1.000	458.00	458.00
	襯底細砂	M <sup>3</sup>	0.050	824.00	41.20
	一般技工	工	0.120	660.00	79.20
	普通工	工	0.140	531.00	74.34
	振動機夯實	式	1.000	-	110.00
	工具搬運及損耗	式	1.000	-	7.26
	小計	M <sup>3</sup>			770.00

#### 四、 中正大學停車場

本工區為一停車場設計，設計之透水鋪面分為兩種，車道部分為透水性瀝青混凝土，停車格採用植草磚。將其與新店試驗區及人行道設計手冊進行比較(如表 1-10)，單價分析如表 1-12。

附圖 1-4 中正大學停車場透水鋪面斷面示意圖



附表 1-10 中正大學施工規範比較表

	中正大學	營建署人行道設計手冊	中央大學研究成果
面層	<b>植草磚</b> 抗壓強度 (未規定)	透水磚 抗壓 > 140 kgf/cm <sup>2</sup>	透水磚 抗壓強度 > 170 kgf/cm <sup>2</sup>
透水瀝青混凝土	抗壓強度 > 350 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>	抗壓強度 > 210 kgf/cm <sup>2</sup>
底層	<b>壓實度</b> (不得小於 AASHTO T180D 最大乾密度之 98%) 透水係數(未註明)	<b>90%壓實度</b>	23. 95%壓實度 24. 夯壓試驗 AASHTO T180 25. 現地透水試驗 滲透係數最少 10 <sup>-3</sup> 26. CBR AASHTO T193 基層>20% 底層>60%
試驗	<b>9. 現地試驗</b> 工地密度 葛洛夫儀—透水係數 <b>10. 試驗室試驗</b> 含水量試驗 定水頭試驗 實驗室夯實試驗 (CBR) 篩分析 洛杉磯磨損試驗 <50% 土壤塑性限度及塑性指數 (依中 AASHTO 標準)		27. 調整土壤夯實密度方法 AASHTO T224 28. 土壤液性限度試驗法 AASHTO T89 29. 土壤塑性限度及塑性指數 AASHTO T90 <u>塑性限度</u> 基層<6, 底層<4 通過 0.425mm 液性限度<25 通過 0.425mm 塑性限度<6 30. 定水頭試驗 AASHTO T215
基層	<b>壓實度</b> (不得小於 AASHTO T180D 最大乾密度之 95%)	85%壓實度	



附表 1-11 中正大學材料級配要求

篩號	甲式
2" (50.8mm)	100
1" (25.0mm)	-
3/8" (9.5mm)	30-65
#4" (4.76mm)	25-55
#10" (2.00mm)	15-40
#40" (0.425mm)	8-20
#200(0.075mm)	2-8

附表 1-12 中正大學單價分析

工程項目	單位	數量	單價	總價
碎石級配級購運	M3	1.00	355.73	355.73
技工	工	0.04	646.75	25.87
小工	工	0.02	467.00	9.34
鋪裝費	M3	1.00	52.10	52.1
工具耗損	式	1.00	1.96	1.96
計				445.00
每 M <sup>3</sup> 單價計			445	
工程項目	單位	數量	單價	總價
瀝青 ACI-20(含運費)	Kg	5.500	7.37	40.51
加勁礦纖	Kg	0.400	322.40	129.36
粗粒料	M <sup>3</sup>	0.050	672.80	32.69
細粒料	M <sup>3</sup>	0.010	852.00	8.53
石粉	kg	2.000	2.60	10.78
瀝青混凝土合成費	T	0.100	314.40	31.44
瀝青混凝土面層鋪築 及壓實費	M <sup>2</sup>	1.000	17.97	17.97
瀝青混凝土合材運費	T	0.100	224.60	22.46
零星工料	式	1.000	1.00	1.26
計				296.00
每 M <sup>3</sup> 單價計			296	

附錄三透水鋪面單價分析

工程項目	單位	數量	單價	總價
乳化瀝青	Kg	0.800	5.39	4.31
技工	工	0.001	650.00	0.65
小工	工	0.004	467.50	1.87
工具耗損	式	1.000	0.12	0.12
零星工料	式	1.000	0.05	0.05
計				7.00
每 M <sup>2</sup> 單價計			7.00	
工程項目	單位	數量	單價	總價
鋪磚工資	式	1.00	70.07	70.07
粗砂	M <sup>3</sup>	0.03	404.03	12.13
植草磚	M <sup>2</sup>	0.89	359.33	319.80
車道磚	M <sup>2</sup>	0.11	359.36	39.53
小搬運	式	1.00	8.98	8.98
填沃土	M <sup>3</sup>	0.04	134.75	5.39
植台北草籽	M <sup>2</sup>	0.50	89.84	44.92
工具耗損	式	1.00	2.18	2.18
計				503.00
每 M <sup>2</sup> 單價計			503	
工程項目 (含基底層的材料及施工)			單位	總計
透水瀝青混凝土			M <sup>2</sup>	922
植草磚			M <sup>2</sup>	1122

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」理論模擬現地實鋪成效研究

五、 四區工法比較

	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
單價比較 (m <sup>2</sup> )	881.38	835.20	3125.00	922.00(AC) 1122.00(植草 磚)

第二節 工法比較

施工方式	材料要求	施工建議	適用環境條件
單元磚塊鋪置 (軟底施工)	透水係數須達 $1 \times 10^{-2}$ cm/sec 抗壓強度應達 2000psi(140 kgf/cm <sup>2</sup> )	以軟底施工施作法，基層土需夯實，若有砂層深度不夠或砂層流失，將造成塌陷	管線埋設深度需足夠 土質透水率高之環境 抗壓強度要求較低之環境 管線維修頻繁之地區
現場整體澆置 (硬底施工)	以細骨材混凝土為主要材料 骨材粒徑為 13mm 通過率 94-100%，5mm 通過 0-6%	以纖維瀝青或水泥作為黏結材料	寬度過窄之人行道路，機具無法施工，須以人工方式鋪設。 摩擦係數較大一般用於自行車道 抗壓強度要求較高之環境
單元塊磚表層+砂層+透水基層 (硬底軟面)	單元快才量要求同 A 透水基層材料要求同	兼具 A 及 B 的特性 具底層透水且表面易於更換之優點	管線維修頻繁地區 管線埋設深度不足亦可施工 抗壓強度要求較高之環境 夯實度不易控制之環境

附錄四 透水鋪面選址評量表

評估項目		評估條件分析	評比(勾是，則該地不適鋪築)		
			是	不是	未知
限制條件	1 地質條件	1. 表層土壤是否為沉泥或黏土(通過 200 號篩大於 12%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2. 現地土壤分類為貧級配砂 SP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3. 土壤分類為高度有機性土壤 PT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	交通狀況	是否常有大卡車及重車行經	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	其他	基地週邊可能影響範圍之民眾抗性訪查 50%以下反對意見	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
評估項目		評估條件分析	評比(適合 1 分、不適合 0 分)		
			適合	不適合	
表土層	1	土層顆粒分布情形	試樣通過 200 號篩少於 6%(適合)、高於 6%(不適合)		
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
工程性質	2	路基	統一土壤分類法 GW-SMu(適合)、SC-Pt(不適合)		
	3	基層	統一土壤分類法 GW-SMd(適合)、SMu-Pt(不適合)		
	4	底層	統一土壤分類法 GW-GMd(適合)、GMd-Pt(不適合)		
	5	R 值	統一土壤分類法 GW-SMd(適合)、SMu-Pt(不適合)		
	6	透水性質	土體水力傳導係數 $1 \times 10^{-2}$ 以上(適合)、水力傳導係數 $1 \times 10^{-2}$ 以下(不適合)		
	7	CBR 值	土體承載之成效(統一土壤分類法評比 30-60 適合、5-30 不適合)		
	8	工地密度	工地密度達 85%-95%以上(適合)		
人文環境條件	9	工業區	位於科技園區(適合)、位於重工業區(不適合)		
		商業區	位於商業區(適合)		
		文教區	位於文教區(適合)		
		住宅區	位於住宅區(適合)		
		觀光區	位於觀光區(適合)		
天文條件	10	降雨強度	當地之降雨強度達 20~100mm/hr(適合)、20mm/hr 以下及 100mm/hr 以上(不適合)		
<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		

透水性鋪面評分成效表

評比分數	8~10	6~8	4~6	2~4	0~2
等級	優	良	普通	劣	不適合

註：透水性鋪面評分合格之最低等級為 6~8 等級良

附錄五 統一土壤分類法

主要分類		表示	名稱	用作路基之價值	用作基層之價值	用作底層之價值	壓縮及膨脹	排水性質	改良式乾密度(磅/呎 <sup>3</sup> )	CBR 值	
於 NO. 200 篩) 粗粒土壤 (全部材料有一半大於 NO. 4 篩)	部分土壤 (粗粒石質礫石及礫石質)	GW	級配良好之礫石及礫石與砂混合物，含有一點或無細料	最佳	最佳	佳	差不多無	最佳	125-140	40-50	
		GP	級配不良之礫石及礫石與砂混合物，含有一點或無細料	佳到最佳	佳	尚佳到佳	差不多無	最佳	110-140	30-60	
		G M	d u	沉泥質礫石或砂及沉泥之混合物	佳到最佳	佳	佳到尚佳	極微	尚佳到劣	125-145	40-60
					佳	尚佳	劣到不適合	微	劣到不透水	115-135	20-30
	GC	黏土質礫石或礫石，砂及黏土之混合物	佳	尚佳	劣到不適合	微	劣到不透水	130-140	20-40		
	有 (粗粒砂及砂質土壤) 一半小於 NO. 4 篩)	SW	級配良好之砂或礫石質砂含有一點或無細料	佳	尚佳到佳	劣	差不多無	最佳	110-130	20-40	
		SP	及配不良之砂或礫石質砂含有一點或無細料	尚佳到佳	尚佳	劣到不適合	差不多無	最佳	105-135	10-40	
		S M	d u	沉泥質砂或砂與沉泥之混合物	尚佳到佳	尚佳到佳	劣	極微	尚佳到劣	120-135	15-40
					尚佳	劣到尚佳	不適合	微到中等	劣到不透水	100-130	10-20
		SC	黏土質砂或砂與黏土之混合物	劣到尚佳	劣	不適合	微到中等	劣到不透水	100-135	5-20	
NO. 200 篩) 細粒土壤 (全部材料有一半小於 NO. 4 篩)		沉泥及黏土 L.L. <50	ML	無機沉泥及很細之沙，石粉，沉泥質或黏土質細砂或具低塑性之黏土質沉泥	劣到尚佳	不適合	不適合	微到中等	尚佳到劣	90-130	15 以下
	CL		具低至中塑性隻無機性黏土，礫石質黏土，砂質黏土，沉泥質黏土泥質黏土	劣到尚佳	不適合	不適合	中等	不透水	90-130	15 以下	
	OL		具低塑性之有機性沉泥及有機性沉泥質黏土	劣	不適合	不適合	中到高	劣	90-106	5 以下	
	沉泥及黏土 L.L. >50	MH	無機性沉泥，雲母質或矽藻質細砂或沉泥質土壤，彈性沉泥	劣	不適合	不適合	高	尚佳到劣	80-105	10 下	
		CH	高塑性之無機性黏土，肥黏土	劣到尚佳	不適合	不適合	高	不透水	90-115	15 以下	
		OH	具中至高塑性之有機性黏土，有機性沉泥	劣到極劣	不適合	不適合	高	不透水	80-110	5 以下	
高度有機性土壤	Pt	泥炭及其他高度有機性土壤	不適合	不適合	不適合	極高	尚佳到劣				

## 附錄六 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：九十三年二月三日（星期二）上午九時三十分

地點：內政部建研所會議室

主持人：何副所長明錦

出席人員：陳瑞鈴組長、陳建忠組長、陳弘由副總工程司、邱昌平顧問、周鼎金教授、游保杉教授、張荻薇副總經理、廖文水副總經理、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、歐文生先生、李孟杰先生、雷揚中先生、沈明德先生、廖明誠先生、吳政松先生、邱瓊玉小姐、黃偉民先生、蔡耀隆先生。

評審意見	處理情形
<p>邱顧問昌平</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.在建立法制化時·應朝建研所之功能設計法去做，找出最佳設計。</li> <li>2.要做透水之目標之最高程度最佳化設計。</li> <li>3.維護管理上，做網狀攔截網。</li> <li>4.透水鋪面不只水力坡度，還要外來水、坡度，設計上不應只一種設計要不同設計去配合不同環境去著手。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> <li>2. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> <li>3. 功能性使用維護管理參辦。</li> <li>4. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> </ol>
<p>陳副總工程司弘由</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.不同降雨延時會對鋪面有影響，但不同的雨形之影響因素也很大，不同降雨形態在台灣可能推出不同結果。</li> <li>2.現在只做人為之透水設計，但地下土壤之滲透性也要提出。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> <li>2. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> </ol>
<p>周教授鼎金</p> <p>要有全程之計劃去了解透水鋪面之影響因</p>	<p>謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</p>

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」理論模擬現地實鋪成效研究

素。	
<p>張副總經理荻薇</p> <p>1.是否可再說明離清全透水和半透水，還有排水孔隙阻塞要如何清潔。</p> <p>2.能說明透水鋪面的強度要如何維持。</p> <p>3.在建立法制化前，必須要有教育訓練。</p>	<p>1. 定量及阻塞耐久性等問題也參照。</p> <p>2. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</p>
<p>廖副總經理文水</p> <p>1.未來施工維護是否納入規範裡。</p> <p>2.國內排水鋪面之材料工法已相當成熟之階段。</p>	<p>1.未來性整合也會在第四年提出。</p> <p>2.謝謝委員指導，委員之意見亦是本計畫之方向與目的。</p>
<p>陳組長瑞鈴</p> <p>1.在國入推動生態工法時，都沒有實驗室之資料佐證，所以連續年度計劃為主要目的。</p> <p>2.對於預期結</p> <p>a. 四種透水鋪面之設計，是否那種成效較良好，下次博覽會再展示出來。</p> <p>b. 透水鋪面之維護管理適用何種。</p> <p>c. 初步軟體之加強部份，觀測之降雨量或再進一步做降雨量分析。</p> <p>d. 水質的部份要做基準之擬定，只要把資料收集就好。</p> <p>e. 1/31~2/15 為北區博覽會，請現地透水成果做份海報，能在博覽會貼出。</p>	<p>謝謝委員指導，委員之意見亦是本計畫之方向與目的。</p>
<p>何副所長明錦</p> <p>在實測上，要考量其效果能耐久。</p>	<p>對透水鋪面的負面因素也會提出來。</p>



二、期中審查會議紀錄及處理情形

時間：九十三年七月二十日（星期二）上午九時三十分

地點：內政部建研所會議室

主持人：蕭所長江碧

出席人員：何明錦副所長、陳瑞鈴組長、陳建忠組長、歐陽嶠暉教授、周鼎金教授、經建會林之瑛組長、盛筱蓉組長、黃茂松幫工程師、王世昌建築師、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、歐文生先生、李孟杰先生、廖明誠先生、吳政松先生、邱瓊玉小姐、黃偉民先生、蔡耀隆先生、涂允捷先生。

評審意見	處理情形
<p>歐陽教授嶠暉 基地滲透設計在應用上包括特定土壤性質下之透水鋪面、透水管、透水渠及透水陰井等，應考量藉由工程上之配置，推導出單位面積、單位長度、單位時間之可滲透深度（mm），如此才能符合工程使用之需。</p>	<p>在未來將會針對現地試驗及監測，進行透水鋪面成效評估。</p>
<p>周教授鼎金 試驗內容詳盡並獲得寶貴之研究成果，期望後續研究能完成實用且完整的技術規範，同時各種設施之實際成效，建議應整理成一簡表，以供相關設計人員參考。</p>	<p>謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理 P. 76</p>
<p>經建會林組長之瑛 鑑於「建築技術規則」綠建築專章有關基地保水部份，自 94 年 1 月 1 日起將依相關技術規範實施辦理，因此本案研究內容與技術規則第 305~307 條發布內容之關聯性為何，應請補充說明。</p>	<p>謝謝委員指導，將於下次報告中提出補充。</p>
<p>中華民國建築師全聯會王建築師世昌 計畫中可否針對現行法規要求空地面積 50% 之綠化規定，改以用滲透材料取代之方式進行研議，以擴大使用成效。同時後續計劃之法制化工作，可否邀請建築師及其他相關公會參與，以充分瞭解實際設計人員之需求。</p>	<p>謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理</p>
<p>何副所長明錦 相關滲透設施未來之維護管理，應納入後續研究之重點，以供相關設計使用單位參考。</p>	<p>謝謝委員指導，將於下次報告中提出補充。P. 112</p>

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」理論模擬現地實鋪成效研究  
 三、期末審查會議紀錄及處理情形

時間：九十三年十一月十二日（星期五）下午二時整

地點：台北科技大學設計館八樓會議廳

主持人：陳組長瑞鈴

出席人員：張荻薇副總經理、許組長、陳經理、林志棟教授、吳政松先生、王信越先生、陳建達先生。

評審意見	處理情形
<p>中華顧問張副理</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建立保水量及透水鋪面之相關參數與工程金費之關係，(放入 12/25 期末報告中)</li> <li>2. 鋪面維護中，小雨時將鋪面上之雜物沖入排水溝中累積，會造成日後排水溝堵塞，大雨時造成淹水。</li> <li>3. 專家問卷施行成果如何。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> <li>2. 謝謝委員指導，本研究採用大雨時自然清理方式，或是於大雨時進行鋪面清理維護。P.112</li> <li>3. 選址評量表已做過修正。P.171</li> </ol>
<p>許組長</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 透水鋪面可使土壤之生態平衡，促成生物多樣性；亦可預防洪水及缺水造成。</li> <li>2. 透水鋪面能節約能量、降低熱島效應。</li> <li>3. 施工單位需要多教育，需辦教育訓練。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員指導與鼓勵。</li> <li>2. 感謝委員指導與鼓勵。</li> <li>3. 相關教育訓練已在規劃當中。</li> </ol>
<p>陳經理</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 北 91 線之工法金費是否是算錯，太高了。</li> <li>2. 理論及實際保水量之關係。</li> <li>3. 透水鋪面之沉陷造成相當嚴重。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計劃已經過詢價，並經過單價分析確認無誤。P.156</li> <li>2. 理論與實際保水量誤差 20%，此誤差尚在合理範圍內。</li> <li>3. 本研究提及維修方法，藉以改善此問題。P.112</li> </ol>
<p>陳組長</p> <p>上次東西，放上簡報。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導，本計畫當遵照辦理。</li> </ol>