

內政部建築研究所



研究計畫成果報告

可滲透式人行舖面材料（無細骨材混凝土）
及施工方法研究

計畫主持人：潘昌林

共同主持人：丘惠生

研究單位：財團法人台灣營建研究院

委託單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS 891005

執行期程：八十八年十月至八十九年十月

中華民國八十九年十月二十三日

內政部建築研究所研究計畫成果報告

可滲透式人行舖面材料（無細骨材混凝土） 及施工方法研究

計畫主持人：潘昌林

共同主持人：丘惠生

研究助理：鄭瑞濱、吳若崙、傅正堯、連秋雲

研究單位：財團法人台灣營建研究院

委託單位：內政部建築研究所

計畫編號：MOIS 891005

執行期程：八十八年十月至八十九年十月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH

INSTITUTE

MINISTRY OF INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

**Evaluation of Using No-Fines Concrete
and Permeable Walkway Construction
Techniques**

BY

CHANG-LIN PAN

HUI SHENG CHIU

October 23, 2000

摘 要

關鍵詞：透水鋪面、人行道、無細骨材混凝土

大都會地區廣大的道路及人行道鋪面目前均不能透水，不僅暴雨時，增加地表逕流，易使低窪地區泛濫成災，更不利地下水之涵養，雨水地下滲透能補助地下水，以免地盤下陷並減輕排水系統之負荷，減少雨水之尖峰逕流量，改善市區排水情形，增加地下水蓄含量，可確保河川之平常水位，美化自然景觀，綠化市區，即環境生態保育方面亦有莫大功能。因此，極需引進可滲透式之人行鋪面施工法，普遍應用於都市建設中，以保護都市地下水資源。一般之人行道為了承載機車等輕型交通工具，通常地磚底層均鋪一層無筋混凝土，整體人行道鋪面設計就承載力為考量點而言似已足夠，但以功能性而言，應考慮透水性材料之使用（如可滲透式混凝土），因而使雨水滲入地下，以利雨水進入底層土壤，增加水分涵養之功能。如此不僅可提供行道樹生長所需之水分，也能有效減輕降雨時下水道排水之負荷。

台灣地區地狹人稠，廢棄物處置本已困難，九二一大地震導致中部地區大量公共建設與建築物遭到嚴重破壞，依據環保署中部辦公室預估營建廢棄物總量將達三千萬公噸，各廢棄物將堆置於環保署所安排近百處之臨時堆置場，此等廢棄物若不妥善處理將導致二次污染，且會影響河川排洪之功能，將耗費政府更多之經費於整治河川與清理廢棄物。且若未能及時加以分類處置，亦會影響其再生利用之價值。為此透過再生利用達到妥善處理廢棄物，節約資源與永續發展之目標

本研究之目的即為發揮上述功能，對透水性鋪面作一完整性之研究。從文獻回顧瞭解世界各國使用透水性鋪面之現況，現行透水鋪面

之相關規範外，並研究 No-fines concrete（無細骨材混凝土）使用於透水性鋪面之可行性與相關配比技術之研發，並嘗試使用再生骨材，達到資源再利用之目的。另外針對各種不同型態之透水性鋪面之適用性及相關施工方法提出建議，使得未來之人行道鋪面均能有滲透與保水能力，真正減少人類開發對環境之衝擊。

依據上述計畫工作的探討，本研究獲致主要結論如下：

為使可滲透式人行道施工法易於控制品質並能承受行人以外之額外載重，本研究提出使用無細骨材混凝土材料取代原有基層級配料之施工方法，以解決級配透水性及夯實不良所產生之軟底鋪築，強度較弱之問題。

排水末端的排水設施有限制時或同時進行排水設施的設計時，應檢討透水性鋪面的斷面厚度或進行滲透溝或滲透井等設施的整合檢討。

1. 鋪設面的橫斷洩水坡度標準為 1.5%-2.0%，這是因為考量降雨量超出透水性鋪面的保水滲透能力，以及長時間變化產生孔隙阻塞而設計。
2. 透水性鋪面由於砂土極容易造成孔隙阻塞，因此必須注意防止砂土流入。以高壓水柱噴射去除鋪設表面的空隙阻塞物，以及恢復透水機能為一有效方法。
3. 人行道透水性鋪面的結構設計之適用對象可依據設計適用區分

(步道 I , 步道 II) 來決定行人步道透水性鋪設內容。步道 I(4 6cm 透水磚 + 10 20cm 無細骨材混凝土)提供行人或腳踏車通行的步道，腳踏車專用道。以 4 至 6 公分之透水磚搭配 10 至 20 公分之無細骨材混凝土基層來施工。 . 步道 II(6 8cm 透水磚 + 20cm 無細骨材混凝土)供行人及腳踏車以外，最大載重量 4t 以下的車輛或一般指定車輛的通行道路，以及輕型車輛的停車場等。以 6 至 8 公分之透水磚搭配 20 公分之無細骨材混凝土基層來施工。

ABSTRACT

Keywords: Permeable Pavements, Walkway, No-Fines Concrete,

A new permeable pavement allows storm water to seep through so that, instead of running off into storm drains, it is filtered by the soil and regenerated into the water table. Traditional walkway pavers are impermeable so that storm water must flow into drains, where it becomes a source of water pollution as it is discharged into local waterways. Permeable pavement could enhance local water quality and, at the same time, reduce costs associated with the use of engineered storm drains.

Permeable pavement includes the porous pavement layer which allows the water to infiltrate into the underlying structure of the installation, and the underlying structure or storage reservoir itself, which incorporates the base course, subgrade, and the filter membrane. Several different types of porous pavement exist, each having unique characteristics.

No-fines concrete is a concrete containing little or no fine aggregate. Concrete without fines in the mix- has large pours through which water can percolate. Bases must be specially designed to hold and distribute water. The design of permeable walkway can mitigate the heat island effect in densely populated urban areas by maintaining the ambient temperature at a comparatively low level.

目 錄

摘 要	1
第一章 緒論	1
1-1 研究背景	1
1-2 研究目的	1
1-3 研究內容	2
1-4 研究方法與進行步驟	3
第二章 文獻回顧	6
2-1 透水鋪面之型式	6
2-2 透水性鋪面之一般要求	11
2-2-1 多孔隙鋪面材料	11
2-2-2 非連續拼接或鏤空的鋪面	13
2-3 資源回收再利用於透水性鋪面	17
2-3-1 前言	17
2-3-2 資源回收應用於一般混凝土	18
2-3-3 資源回收應用於道路基底層	23
2-4 現行人行道施工方式與規範探討	24
第三章 再生骨材之處理方式與基本性質	33
3-1 再生骨材之處理方式	33
3-2 再生骨材之基本性質	35
3-2-1 試驗步驟	36
3-2-2 試驗結果與分析	36
第四章 無細骨材混凝土配比設計及力學性質	44
4-1 試驗計畫	44
4-1-1 試體準備與製作	44

4-1-2 試驗內容.....	46
4-2 使用一般骨材 (3/4"骨材) 之試驗結果.....	49
4-2-1 抗壓試驗.....	49
4-2-2 抗彎、劈裂試驗	51
4-2-3 透水試驗.....	54
4-3 使用再生骨材之試驗結果.....	55
4-3-1 抗壓試驗.....	55
4-3-2 抗彎、劈裂試驗	57
4-3-3 透水試驗.....	59
4-4 結論	60
第五章 可滲透式人行鋪面現場施工之效益評估	64
5-1 可滲透式人行鋪面材料之組合.....	64
5-2 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合斷面施工.....	65
5-3 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合效益評估.....	68
5-4 現地可滲透式人行道之透水試驗方法.....	69
5-5 可滲透式人行道之載重能力評估	71
第六章 可滲透式人行鋪面之設計與施工	75
6-1 設計考量	75
6-1-1 適用場所.....	75
6-1-2 透水性鋪設種類	76
6-1-3 鋪設材料的選用	77
6-2 設計方法	81
6-2-1 透水性鋪面設計概述.....	81
6-2-2 多孔性透水鋪面的設計	86
6-2-3 非連續拼接鋪面	91
6-3 透水性鋪面的滲透能力.....	94
6-4 維護與修補.....	97

6.4.1 人行道基本養護原則	99
6.4.2 水泥混凝土人行道養護	100
6.4.3 磚石塊人行道養護	100
第七章 可滲透式人行鋪面規範之修正建議	102
7-1 現行規範概述	102
7.1.1 磚石塊人行道	103
7.1.2 透水磚或植草磚人行道	103
7.1.3 壓實度規定	104
7-2 修正建議	104
7-3 施工綱要規範修正	107
第八章 結論與建議	109
8-1 結論	109
8-2 建議	112
參 考 文 獻	114
附 件	116

圖 目 錄

圖 1-1	研究步驟	5
圖 2-1	人行鋪面典型剖面圖〔2〕	7
圖 2-2	排水性瀝青混凝土	8
圖 2-3	多孔隙排水鋪面構造圖〔3〕	8
圖 2-4	非連續拼接鋪面設計〔2〕	9
圖 2-5	非連續拼接鋪面 (永久性間隔物)	10
圖 2-6	植草磚	10
圖 3-1	破碎機	34
圖 3-2	再生粗、細骨材	35
圖 3-3	篩分機	35
圖 3-4	再生骨材之粒徑分佈圖	39
圖 3-5	含水量曲線	41
圖 4-1	抗壓試驗用試體	45

圖 4-2	抗壓試驗用試體	45
圖 4-3	抗彎試驗 (MOR) 用試體	46
圖 4-4	抗壓試驗機及抗壓試驗試體	47
圖 4-5	抗壓試驗機及抗彎試驗試體	48
圖 4-6	透水試驗試驗架設示意圖	48
圖 4-7	透水試驗儀器架設	49
圖 4-8	各配比之抗壓試驗結果	51
圖 4-9	抗彎強度與劈裂強度關係圖	53
圖 4-10	各配比之抗彎及劈裂強度比較圖	53
圖 4-11	各配比間之透水係數比較	55
圖 4-12	各配比不同齡期之抗壓強度比較圖	57
圖 4-13	不同配比之抗彎及劈裂強度比較	57
圖 4-14	不同配比間之透水係數比較	59
圖 4-15	水灰比與抗壓強度之關係圖	62
圖 4-16	抗壓、抗彎強度關係圖	63

圖 5-1	模擬現場施工之試驗容器斷面圖	65
圖 5-2	組合全尺寸試驗斷面製作示意圖	66
圖 5-3	無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合全尺寸試驗斷面	67
圖 5-4	無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合全尺寸試驗斷面	67
圖 5-5	無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合試體	68
圖 5-6	現場透水試驗儀	70
圖 5-7	人行道載重能力分析斷面圖	72
圖 5-8	基層厚度與所受張應力之關係	72
圖 5-9	基層厚度與所受正向壓力之關係	73
圖 6-1	鋪設材的選用流程圖	78
圖 6-2	設計流程	83
圖 6-3	步道I 斷面結構 (行人步道 , 腳踏車道)	88
圖 6-4	透水性瀝青混合物人行道	88
圖 6-5	步道 II 的斷面結構 (行人步道 , 輕型車輛停車場等)	89
圖 6-6	停車場 (輕型車輛停車場等)	89

圖 6-7	透水性連鎖磚鋪設斷面圖.....	92
圖 6-8	透水性連鎖磚鋪面.....	92
圖 6-9	透水性混凝土平板鋪設斷面圖(濕式).....	93
圖 6-10	透水性混凝土平板鋪設斷面圖(乾式).....	93
圖 6-11	透水性混凝土平板.....	94
圖 6-12	路面的滲透速度與鋪設厚度及孔隙率的關係.....	96
圖 6-13	透水性的回復原理.....	98
圖 6-14	步道用機能回復機.....	99
圖 7-1	透水磚鬆散壩料施工方法 (人行步道、停車場等).....	106
圖 7-2	透水磚改良乾式施工方法 (人行步道、停車場等).....	107

表 目 錄

表 2-1	各國多孔隙瀝青混凝土級配建議〔3〕	12
表 2-2	德國排水性瀝青混凝土級配建議〔3〕	12
表 2-3	無細骨材混凝土之設計參考〔6〕	13
表 2-4	CNS 13295 之內容	14
表 2-5	DIN18501 之內容	15
表 2-6	物理性需求	16
表 2-7	磨耗需求	16
表 2-8	ASTM C936 之內容	17
表 2-9	可當成混凝土骨材之固體廢棄物 ^[15]	19
表 2-10	典型再生骨材之物理性質	20
表 2-11	典型再生骨材之力學性質	21
表 2-12	可被接受之底層與基層的材料特性	24
表 2-13	可被接受的粒徑範圍 (以1.5" 為最大粒徑)	24

表 3-1	再生粗骨材篩分析結果	37
表 3-2	細骨材之篩分析狀況	38
表 3-3	再生骨材之整體粒徑分佈	38
表 3-4	再生骨材之基本性質	42
表 4-1	一般骨材抗壓試驗結果	50
表 4-2	抗彎、劈裂試驗結果	52
表 4-3	透水試驗結果	54
表 4-4	抗壓試驗結果	56
表 4-5	抗彎及劈裂試驗結果	58
表 4-6	透水試驗結果	60
表 4-7	一般骨材與再生骨材之試驗結果比較	61
表 5-1	細骨材混凝土與面層預鑄磚之透水性能試驗	69
表 5-2	細骨材混凝土厚度與需求抗彎強度關係	71
表 5-3	各人行道工法之成本分析	74
表 6-1	具有透水機能的表層材料	76

表 6-2	透水性鋪設之區分 *	82
表 6-3	設計 CBR 的計算係數	85
表 8-1	無細骨材混凝土之設計參考	111

第一章 緒論

1-1 研究背景

大都會地區廣大的道路及人行道鋪面目前均不能透水，不僅暴雨時，增加地表逕流，易使低窪地區泛濫成災，更不利地下水之涵養。因此，極需引進可滲透式之人行鋪面施工法，普遍應用於都市建設中，以保護都市地下水資源。

透水式人行道，除了採用國內已生產之透水磚外，其底層必須引進透水性良好之無細骨材混凝土（No-fines Concrete）。此外，台灣地區地狹人稠，廢棄物處置本已困難，九二一大地震導致中部地區大量公共建設與建築物遭到嚴重破壞，依據環保署中部辦公室預估營建廢棄物總量將達三千萬公噸，各項拆除作業將配合政府重建計畫快速展開。各廢棄物將堆置於環保署所安排近百處之臨時堆置場，此等廢棄物若不妥善處理將導致二次污染，且會影響河川排洪之功能，將耗費政府更多之經費於整治河川與清理廢棄物。且若未能及時加以分類處置，亦會影響其再生利用之價值。為此透過再生利用達到妥善處理廢棄物，節約資源與永續發展之目標。

1-2 研究目的

雨水地下滲透能補助地下水，減少因地下水位下降造成地盤下陷並減輕排水系統之負荷，減少雨水之尖峰逕流量，改善市區排水情形，增加地下水蓄含量，可確保河川之平常水位，美化自然景觀，綠化市區，即環境生態保育方面亦有莫大功能。

臺北市紅磚人行道破舊，損壞嚴重，造成行人通行不便，臺北市已自八十五年度起以美觀、安全、無障礙之原則辦理規劃設計，並逐年編列預算辦理人行道更新工程，目前使用材質為厚實之混凝土塊磚，一般之人行道為了承載機車等輕型交通工具，通常地磚底層均鋪一層無筋混凝土，整體人行道鋪面設計就承載力為考量點而言似已足夠，但以功能性而言，應考慮透水性材料之使用（如透水混凝土），因而使雨水可滲入地下，以利雨水進入底層土壤，增加水分涵養之功能。如此不僅可提供行道樹生長所需之水分，也能有效減輕降雨時下水道排水之負荷。

本研究之目的即為發揮上述功能，對透水性鋪面作一完整性之研究。從文獻回顧瞭解世界各國使用透水性鋪面之現況，現行透水鋪面之相關規範外，並研究無細骨材混凝土使用於透水性鋪面之可行性與相關配比技術之研發，另外針對各種不同型態之透水性鋪面之適用性及相關施工方法提出建議，使得未來之人行道鋪面均能有滲透與保水能力，真正減少人類開發對環境之衝擊。

1-3 研究內容

無細骨材混凝土一般被定義為一種含有均勻級配之粗骨材、微量或無細骨材、且無足量之水泥漿材料，無法完全充滿粗骨材空隙之混凝土。以配比設計與製程控制其特性以達合適強度、高透水性、無析離等工程需求，主要作為無需壓密之回填材料或水工結構物，抗壓強度約在 200psi (1.5Mpa) 至 2000psi (14MPa) 之間。目前在美國、加拿大和歐洲已廣泛應用無細骨材混凝土於擋土牆之回填料和道路之透水層等工程上。

廢棄建材經再生處理後，就國家整體利益考量，在不影響工程品質原則下，研發適用於無細骨材混凝土之級配要求及配比設計，而能達到資源節約，廢棄物再利用，避免造成二次污染。

本研究之主要研究內容如下：

- 1.再生技術與再利用探討。
- 2.無細骨材混凝土配比試拌。
- 3.強度及滲透性之測定。
- 4.配比最佳化。
- 5.透水式人行道鋪面工地最佳之施工程序。
- 6.混凝土回收再利用（人行道鋪面）之品質基準。

1-4 研究方法與進行步驟

為落實評估可滲透式人行道施工法研究之工作，本研究之方法歸納分述如下：

1.文獻回顧

蒐集資料包括無細骨材混凝土標準相關資料（中國國家標準 CNS，日本 JIS，德國 DIN，英國 BS，美國 ASTM 等），以確定適合國內需求之無細骨材材料規格需求。以及蒐集國內外可滲透式人行道相關研究資料，以作為本計劃開發本土化之無細骨材混凝土與可滲透式人行道工地施工程序之參考。

2.本土化無細骨材混凝土配比試拌

從各項混合材料的基本性質試驗開始，包括骨材、水泥及減水緩

凝劑的物理與化學試驗，進而完成各種混凝土條件的配合設計，決定所需的配合比例，最後據以製作試體，測析其物理及力學性質。開發本土化之無細骨材混凝土配比、產製、設計與施工之技術。

3.工程材料的力學及工程性質試驗

內容主要為以大地工程之觀點探討此種材料之配比設計及其在人行道鋪面工程應用上之可行性。試驗項目包括流動性、密度、強度、變形量及滲透性。利用抗壓、抗劈裂、抗彎及破壞韌性等力學試驗，探討無細骨材混凝土之力學性質及破壞行為，試驗之主要目的為調配出一滲透性材料且在其凝固之後具有與堅硬級配料類似之理想工程性質。且本研究中，無細骨材混凝土與底層、夯實部分材料間的透水情形亦將進行試驗研究，使用定水頭的透水試驗法，尋求三者間在工程要求力學條件下的最佳透水效益組合。

4.配比最佳化

擬先根據國內外以往已建立之數種不同抗壓強度之無細骨材混凝土配比資料，在試驗室中先行試拌改進各項性能，以期達到合理之經濟性及良好之滲透性為研製之目標，並在試驗室內從事與混凝土材料有關之品質管制試驗。

5.透水式人行道鋪面工地之施工方法研究

由研究人員彙整分析相關資料，配合對應之現有規範，草擬一套契合我國國情與施工環境之滲透式人行道鋪面材料特性施工與檢驗規範。

6.人行道工地實際施作以及效益評估

此部分內容將透過相關營建廠商支援進行實際工程的試作，以進

行施工便利性評估、耐用性能評估以及相關維修問題探討、經濟性評估等。問題的發現、探討與解決將建立為此新材料工法的考量程序，以落實運用與推廣。

本計畫之研究步驟請見圖 1-1。

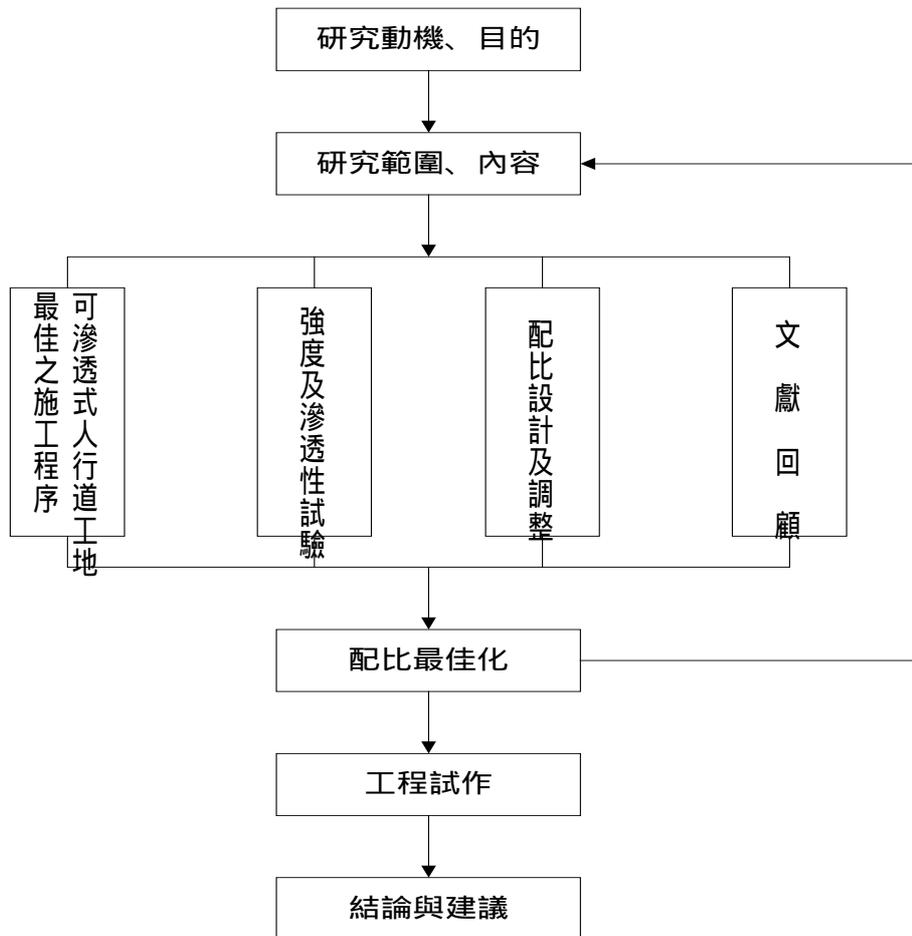


圖 1-1 研究步驟

第二章 文獻回顧

為了減緩都市氣候高溫化、乾燥化的效應，減少都市洪水發生率，改善都市生態環境，大都會地區廣大地表有必要以可滲透式鋪面來做為人行道、步道及廣場等之鋪面材料。根據林憲德等〔1〕之研究結果顯示，可滲透式鋪面材料對於減少雨水逕流量，降低公共排水設施容量，減緩都市洪水發生之概率，還能增加土壤的濕潤，增加生物、微生物的生活空間，提昇都市的生態環境品質，對我國在促進都市永續發展的目標上，有相當大的影響。

2-1 透水鋪面之型式

透水鋪面 (Permeable Pavment) 在目前已經受到越來越多的重視，在環保意識高漲的今天，世界各國無不朝向綠色建築的目標努力，而其中保水性更是一項重要的指標。透水性鋪面能使降雨由地表吸收，減少排水系統的負荷，並補充地下水，對減低因人類開發而造成水土的破壞，有很大的幫助〔2〕。

鋪面的設計是影響地表滲透量最重要的因子，假使一個基地之中使用了大量的不透水鋪面，容易使降落的雨水形成逕流而排出基地之外，導致基地的保水性差。然而，鋪面的設計也是控制基地保水性的最佳方式，要提高基地的保水性應從兩方面著手，一是增加地表水分滲透量；二為增加綠地面積。關於前者之實現可採用多孔性透水鋪面（如 No-fines concrete）；後者則使用塊體或鏤空的鋪面以非連續拼接的方式安置，讓地表土有和空氣、陽光接觸的機會，以利植被生長，增加土壤的含水量。以下分別簡介之：

多孔性透水鋪面

多孔性透水鋪面除了水資源可完全滲至地表，具水土保持功能外，天雨時地面不積水，不至於對行人造成潮濕不便，同時地表水分有助於都市氣候之調節。圖 2-1 為典型之路面剖面圖，其中耐磨層、墊層、路基層及副基層都必須有縫隙或多孔的特點，目前較常使用的此種鋪面材料有多孔隙瀝青混凝土 (porous asphalt) 及無細骨材混凝土等。

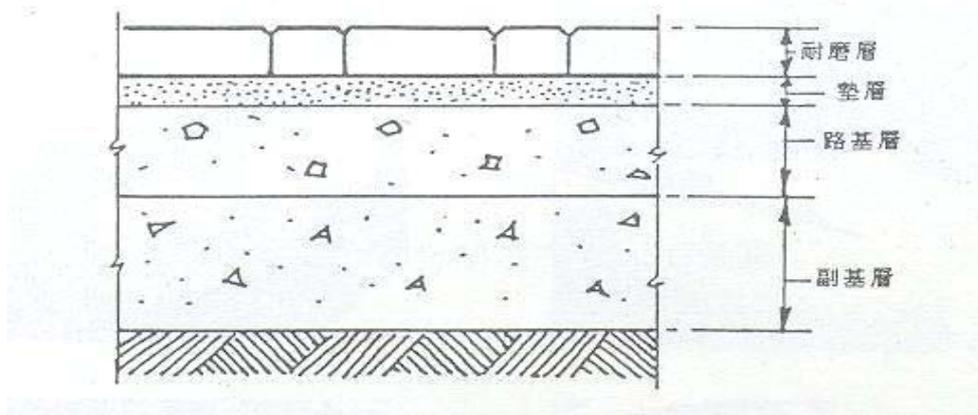


圖 2-1 人行鋪面典型剖面圖 (2)

- 多孔隙瀝青混凝土鋪面

多孔隙瀝青混凝土係具有高孔隙率之排水性材料，其發展最早開始於歐洲，1970 年代中期在歐洲地區大量使用，日本則是於 1980 年代開始發展〔3〕。多孔隙瀝青混凝土主要的原理乃利用級配調整使粗細骨材間的孔隙率提高至 20% 左右，以使降於鋪面上的水可由大量的孔隙迅速排除，避免在鋪面上形成水膜，因而減少行車打滑與水沫飛濺的現象 (圖 2-2)。多孔隙瀝青混凝土之瀝青膠泥 (黏結材) 常以添加改質劑、纖維或石灰，以提高瀝青韌性與強度，增加瀝青薄膜的厚度，以確保瀝青混凝土的耐久性、防止剝脫及老化。多孔隙排水性鋪面常使用於路面容易積水之區域，如路面超高變化處、路面寬廣之機場跑

道、高速公路等，其優點有：雨天可確保路面的抗滑能力、降低水珠的飛濺起霧現象、減少雨夜車燈光線的反射、確保行車的安全、亦可有效減低行車所造成的噪音。其鋪面構造見圖 2-3。



圖 2-2 排水性瀝青混凝土

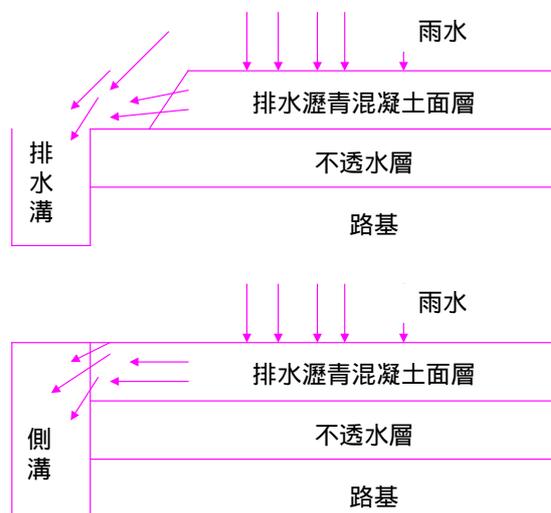


圖 2-3 多孔隙排水鋪面構造圖〔3〕

- 無細骨材混凝土鋪面

無細骨材混凝土是由水泥、粗骨材和水拌合而成，有時也會加入

少量的砂，粗骨材可以是碎石、卵石，也可以是人工輕骨材或再生骨材。其膠結過程是藉著粗骨材表面的水泥漿體，由於骨材的接觸而互相凝結形成多孔隙的結構體，因此作為鋪面材料其透水性相當好。

無細骨材混凝土鋪面一般而言載重能力會受到限制，因增加透水性就會犧牲抗壓強度，因此並不能承受太大的載重，一般都使用於載重較小的區域，如人行道或行人廣場等，但國外文獻中也曾有過利用無細骨材混凝土做為停車場鋪面的例子〔4〕。

- 非連續拼接或鏤空的鋪面

非連續拼接鋪面設計，在鋪面與鋪面間有很大的間隙可填入砂土，儘管路基可能打入不透水之混凝土層，但仍然提供了一些植被生長的機會，其施工法如圖 2-4。而鏤空的路面，如植草磚，則直接提供植被生長的環境，使得人車行走於上面，而不至於造成植被壞死。

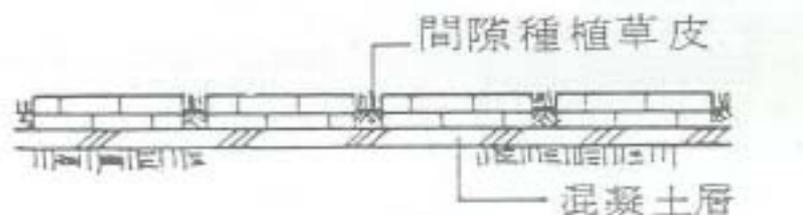


圖 2-4 非連續拼接鋪面設計〔2〕

非連續拼接的鋪面其接縫寬度之範圍約在 20 至 35mm，接縫之建造方式可以人工排列或是以永久性之間隔物(spacer)來控制(圖 2-5)，此種型式的鋪面可以承受較大的載重，因此可用於中度載重量的停車區域。鏤空的鋪面一般以植草磚較為人所知(圖 2-6)，但若要求較高的透水性時便不應植草，此種鋪面可承受較多孔鋪面與非連續拼接鋪

面為大的載重量〔5〕。



圖 2-5 非連續拼接鋪面（永久性間隔物）



圖 2-6 植草磚

2-2 透水性鋪面之一般要求

2-2-1 多孔隙鋪面材料

- 多孔隙瀝青混凝土

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

骨材之級配影響排水性鋪面之滲透係數及排水能力甚劇，為了達到預期之孔隙率（一般約 20%），級配使用大量的粗骨材，細骨材量必須少（約 10%），以避免阻塞孔隙。一定量的填充料則為必須（約 5%），以提高多孔隙瀝青混凝土牆度、提高瀝青黏滯性、增加瀝青膜厚度。表 2-1 為各國多孔隙瀝青混凝土之級配建議，表 2-2 則為德國排水性瀝青混凝土骨材級配之建議。

表 2-1 各國多孔隙瀝青混凝土級配建議〔3〕

粒徑範圍/通過百分比		日本排水性鋪裝技術指針		日本瀝青鋪裝要綱	西班牙 P 級配	西班牙 PA 級配	瑞典 DRAI NOR12	瑞典 DRAI NOR16
篩號	(mm)							
1"	25.0	100						
3/4"	19.0	95-100	100	100	100	100	100	100
1/2"	12.5	64-84	90-100	90-100	75-100	70-100	88-100	53-67
3/8"	9.5				60-90	55-80	53-67	26-40
#4	4.75	10-31	11-35	11-35	32-50	15-30	20-30	17-27
#8	2.36	10-20	10-20	8-25	10-18	10-22	8-15	8-15
#16	1.18						7-14	7-14
#30	0.60			5-17	6-12	6-13	6-12	6-12
#50	0.30			4-14			5-10	5-10
#100	0.15			3-10			4-8	4-8
#200	0.075	3-7	3-7	2-7	3-6	3-6	3-6	3-6

表 2-2 德國排水性瀝青混凝土級配建議〔3〕

粒徑範圍/ 通過百分比 (%)	0/11	0/8	0/5
11.2 mm	90-100	100	100
8 mm	25-50	90-100	100
5 mm	15-30	25-50	90-100
2 mm	10-20	10-20	15-35
0.09 mm	4-6	4-6	6-12

無細骨材混凝土

無細骨材混凝土是採用卵石或碎石、水泥和水製成的一種多孔性混凝土，有時也摻入少量的細砂作為改善水泥漿的輔助材料而並非用以填充石子的空隙。其粗骨材之選擇以卵石最好，碎石次之，理想的骨材是顆粒間接觸點盡可能多，接觸點的面積盡可能大，而顆粒的總面積不應過份增大。粒徑 1 3cm 或 1 4cm 的天然顆粒級配較適宜，並應符合 ASTM C33 (CNS1240〔混凝土用粒料〕) 之有關規定。

無細骨材混凝土的水灰比可變範圍較小，超過一定區間，就會形

成水泥漿流失和不能成型。比較理想的範圍是 0.45 ~ 0.6 之間，較低者可選用 0.35，表 2-3 為數個設計參考資料〔6-7〕。

表 2-3 無細骨材混凝土之設計參考〔6〕

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

2-2-2 非連續拼接或鏤空的鋪面

非連續拼接的鋪面其面層的鋪設目前最常見的為混凝土鋪面磚，無論是在人行道、公園廣場或某些停車場內均可見到此種鋪面的蹤影。由於此種鋪面可依據不同的排列方式變化出種種不同的圖案，因此在使用上有越來越多的趨勢。在鋪面磚相關規範方面，我國國家標準也有相關的規定，CNS 13295 (高壓混凝土連鎖地磚)〔8〕中就規定了高壓混凝土連鎖磚的外觀、尺寸、檢驗方式及基本之力學性質，其主要內容請見表 2-4。

表 2-4 CNS 13295 之內容

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

在國外規範部分，德國 DIN 對鋪面也有相關的規定，如 DIN 485 (Precast concrete paving flats) 即是預鑄混凝土鋪面的規範；DIN18318 (Road construction : Sett and slab pavements , and surrounds) [9] 則對於鋪面做較廣泛的說明與規定，基本上為各鋪面相關規範的索引，其中對基層級配有相關的規定。DIN18501 (concrete pavement setts) [10] 將 concrete pavement setts 定義為預先製作好，適用於道路、步道與廣場的鋪面材料，其檢驗項目有外觀尺寸、抗壓強度與對霜及除冰鹽的抵抗性 (通常假設抵抗性良好)，相對於 CNS13295-高壓混凝土連鎖地磚而言少了吸水性與耐磨性檢驗 (DIN18501 之耐磨性已被刪除)，其內容見表 2-5。

表 2-5 DIN18501 之內容

檢驗項目	內 容
外觀、尺寸	<ul style="list-style-type: none"> ● 慣用厚度為 60、80、100、120 及 140mm，最大長度為 280mm。 ● 尺度許可差：長寬為±3mm，厚度為±5mm。厚度在 80mm 以下，不得有超過 2mm 之瑕疵突出物，在 80mm 以上，不得有超過 3mm 之瑕疵突出物。
抗壓強度	5 個平均值 60MPa 以上，個別 50MPa 以上。加壓速率 0.5 MPa/sec
耐磨性	已刪除

美國 ASTM 對鋪面磚之規定如下：ASTM C67(standard test methods for sampling and testing brick and structural clay tile) [11] 主要規範 Brick 的檢驗項目（非所有項目均需測量）及內容，檢驗項目包括：抽樣、抗彎強度（MOR）、抗壓強度、吸水率（分為浸冷水試驗及浸沸水試驗）、凍融試驗、初始吸水率（實驗室、現場）、efflorescence、單位重、尺寸量測、彎曲度（warpage）、長度變化、孔隙面積（void area）等。ASTM C902（standard specification for pedestrian and light traffic paving brick.）[12] 規範了適合步道及交通量較少的鋪面磚，其分類依據氣候（三級）與交通量（三級）來分，分類如下：

氣候

Class SX：當水分飽和時鋪面磚會有冰凍的情況。

Class MX：外部使用，不須考慮冰凍因素。

Class NX：內部使用且受保護不被冰凍。

此種鋪面磚的物理性需求見表 2-6。

表 2-6 物理性需求

類別	抗壓強度 (Psi) min.		冷水吸水率 % max.		飽和係數 max.	
	5 個 平均值	單一值	5 個 平均值	單一值	5 個 平均值	單一值
Class SX	8000 (55.2)	7000 (48.3)	8	11	0.78	0.80
*Class SX	4000 (27.6)	3500 (24.1)	16	18	0.78	0.80
Class MX	3000 (20.7)	2500 (17.2)	14	17	無限制	無限制
Class NX	3000 (20.7)	2500 (17.2)	無限制	無限制	無限制	無限制

*適用鑄造磚 (molded brick)

交通

Type : 暴露於大範圍的磨耗，如車道及公共、商業建築之入口。

Type : 暴露於中度交通量，如餐廳地板、商店及戶外之人行道。

Type : 暴露於低的交通量，如單一家庭之地板或內院 (patios)。

其磨耗需求見表 2-7。

表 2-7 磨耗需求

	*磨耗指標 max	**磨耗體積損失 max cm ³ /cm ²
Type	0.11	1.7
Type	0.25	2.7
Type	0.50	4.0

*磨耗指標 = 100x冷水吸水率 (%) / 抗壓強度 (psi)，抗壓強度試體大小為 98x98x57mm 或保證結果相同之其它尺寸試體。

**參照 ASTM C 902-00 Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick 之說明。

ASTM C936 (Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units) [13] 是針對混凝土高壓連鎖磚所定的規範，其內容與 CNS 13295

相似，包括外觀、尺寸、抗壓強度、吸水率及耐磨性等，都有相關的規定（表 2-8）。

表 2-8 ASTM C936 之內容

檢驗項目	內 容
外觀、尺寸	<ul style="list-style-type: none"> ● 每塊磚均能夠以單手舉起和放下，暴露面之面積須小於或等於 0.065m²，細長比（長/厚） 4，最小厚度為 60mm。 ● 尺度許可差：長寬不大於±1.6mm，厚度不大於±3.2mm。
抗壓強度	平均值 55MPa 以上，個別 50MPa 以上。
吸水率	平均值不得大於 5%，個別不得大於 7%。
耐磨性	依 ASTM C418，體積損失不得超過 15cm ³ /50cm ² ，厚度磨耗平均值需小於 3mm。

目前國內對於透水性鋪面之規範尚缺，國外也不多見。基本上透水性鋪面之規範依然沿用一般道路之設計規範，但除了承載能力必須符合要求外，在各層的透水能力上也必須考量。依文獻 5 所建議，面層之透水係數應大於 10⁻⁴ m/s，基層級配料應大於 2*10⁻⁵ m/s，而底層土壤則應大於 5*10⁻⁶ m/s，級配層厚度尚須依照設計降雨量來作考量，以發揮其保水性，減低排水系統之負荷。

2-3 資源回收再利用於透水性鋪面

2-3-1 前言

台灣地區地狹人稠，廢棄物處置本已困難，921 集集地震造成中部地區上萬幢房屋毀損傾倒，根據環保署粗略之推估，地震災後災區的清除重建將產生 3,000 萬公噸的建築廢棄物！！目前在國軍之協助下已拆除超過 2 萬 6 千多幢四層樓以下受損或傾倒之房屋，並將拆除之建築廢棄物暫時堆置於 93 處臨時堆置場。這些廢棄物除了數量龐大之外，組成的成份亦頗為複雜，除了大部分是磚塊、土石、混凝土之

外，還摻雜了裝潢木料、塑膠、玻璃、紡織品、紙等一般垃圾，如果以傳統的掩埋方法加以處理，雖可在短時間內很快消化掉如此龐大數量的廢棄物，但卻可能造成環境污染、危害及生態破壞等種種問題，因此，唯有透過再生利用，以達到妥善處理廢棄物，節約資源與永續發展之目標〔14〕。

廢棄物回收利用後所製成之再生骨材可使用於無細骨材混凝土，瀝青混凝土或透水性鋪面之基、底層，目前許多國家已有良好的使用成效，我國在這方面起步才剛開始，必須加緊努力才能趕上先進國家的腳步。

2-3-2 資源回收應用於一般混凝土

利用各種固體廢棄物用做混凝土骨材之再生利用觀念行之已久，在諸多文獻中曾被提及或使用過之固體廢棄物如表 2-9 所示。這些廢棄物都是一般人類產業活動中所產生，在棄之可惜並兼及環保意識下，人們開始進行研究如何予以再生利用。其中固化是最簡單亦方便之一種方法，尤其是當做混凝土骨材用，一方面可消化固體廢棄物，另一方面又可生產成經濟材料以供使用；但所需面臨的問題，是經濟性上的考量；再者就材料相合性問題而言，如含玻璃等之廢棄物一般碎化後易造成扁平細長顆粒且表面平滑，混凝土材料握裹性變差，就需增加拌合之水泥含量；最後則需考慮製成之混凝土性質，如橡膠、塑膠等廢棄料，由於其低強度、低彈性模數等特性，使拌製所得之硬固混凝土強度及彈性模數值偏低而不符工程上之應用。

表 2-9 可當成混凝土骨材之固體廢棄物^[15]

Material	Composition	Industry	Annual amount (10 ⁶ ton)
Mineral wastes	Natural rocks	Mining and mineral processings	2000
Blast-furnace slags	Silicates or aluminosilicates of calcium and magnesium Silicate glasses	Iron and steel	30
Metallurgical slags	Silicates , aluminosilicates , and glasses	Metal reinforcing	30
Fly ash	Silica glasses	Electric power	50
Municipal wastes	Paper , glass , plastics , metals	Commercial and household wastes	200
Rubber	Synthetic rubbers	Scrapped tires	5
Incinerator residues	Container glass and metals and silica glasses	Municipal and industrial	5
Building rubble	Brick , concrete , reinforcing steel	Demolition	25

國外對再生混凝土的研究，事實上從 1970 年代就已開始，利用混凝土廢料於再生混凝土上需要注意者，主要為沾附在骨材上水泥漿所造成骨材性質之變異性，對使用於混凝土製造過程及性質方面的影響；其他如骨材級配、碎化過程及雜質去除等，需另購設備處理，也是其不利點。但在考慮廢棄物處理費用及環保待價時，以廢棄混凝土碎化後充當混凝土骨材是具有其經濟性的。

將廢棄骨料處理成再生骨材後，需針對其基本性質加以瞭解，就

文獻中〔16-17〕可整理出再生骨材之基本性質如下：

1.骨材之物理性質

再生骨材由混凝土碎化而得，其外觀略為扁平且多稜角，由於表面附著之水泥砂漿，將使得拌製而成之混凝土，相較於添加天然骨材之混凝土而言，會有表面較粗糙、低比重、高吸水率等之影響，尤其碎化之粒徑愈小，比重愈低、吸水率愈高，其典型的物理性質列於表 2-10。

表 2-10 典型再生骨材之物理性質

性 質	範 圍
比 重	
—粗骨材	2.2—2.5
—細骨材	2.0—2.3
吸 水 率，%	
—粗骨材	2—6
—細骨材	4—8

2.骨材之化學性質

骨材表面附著之水泥砂漿將會影響再生混凝土之鹼性。由於水泥漿包含鈣、鋁、矽酸鹽等高度鹼性之化合物，將使得再生混凝土之 pH 值大於 11，若使用反應性骨料時，需注意鹼骨材反應所造成混凝土之膨脹開裂。

3.骨材之力學性質

再生粗骨材之力學性質與天然骨材相仿，作為回填級配料時，均擁有良好之耐磨性、相近之健性損耗率及 CBR 值。雖然洛杉磯磨損試驗之損耗值會稍高於天然骨材，但一般會落於規範值內，典型的骨材力學性質列於表 2-11。

表 2-11 典型再生骨材之力學性質

性 質	範 圍
洛杉磯磨損試驗 (ASTM C131) , % —粗骨材	20—45
硫酸鎂健性損耗率 (ASTM C88) , % —粗骨材 —細骨材	4 9
California Bearing Ratio (CBR) %	94—148

日本從多種不同強度，以不同方式碎化得到的再生骨材，進行洛杉磯磨損試驗，磨損率在 25.1~35.1%之間。ASTM C131-96 Standard Test for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.規定骨材磨損率不得超出 50%，因此除回收使用品質較差之混凝土外，一般再生骨材均能符合規範要求。

若欲做為混凝土之填充料時，需注意再生骨材之級配、外形、比重、吸水率及含水量等。拌製而得之再生混凝土其性質會有所不同，分述如下：

1.工作性

在骨材面乾內飽和情況下，再生混凝土的稠度和普通混凝土相當接近，因此使用再生骨材在工作性方面並無多大問題，但有結果顯示其工作度損失較大。Mukai[18]指出，若欲製造與普通混凝土相同坍度的再生混凝土（再生粗骨材+天然砂），則拌合用水量需比同配比之普通混凝土增加 10 kg/m³ 或 5%。若同時使用再生粗骨材和再生細骨材，則用水量需增加 25 kg/m³ 或 15%。但同時使用再生粗骨材和再生細骨材製造的再生混凝土會顯得較粗糙，表面不易修飾。因此一般文獻皆建議以天然砂代替再生細骨材，藉由添加 25%以上的天然砂將可改善其各項性質，因此部分學者建議完全使用天然砂，將提昇再生混凝土品質，工作性也較佳。

2.水灰比及水泥用量

從許多有關混凝土研究中已大致上確定，混凝土抗壓強度與水灰比有相當線性的關係，包括再生混凝土在內也有此種趨勢。但普遍存在著再生混凝土強度不如普通混凝土的情形。在相同水灰比下，為了使再生混凝土（再生粗骨材+天然砂）與普通混凝土有相同工作度而增加 5%用水量，基於由水灰比控制抗壓強度的理由，為使水灰比保持一定，水泥用量也需相對提高 5%或者更多。

3.再生混凝土之力學性質

相較於普通混凝土而言，再生混凝土其抗壓強度約會折減 25%，彈性模數約會折減 40%，且會有較高之乾縮及潛變。在相同之水灰比及坍度下，再生混凝土之抗彎強度約略折減 10%。而再生混凝土之優點則為有較高之阻尼係數（高約 30%）及較好之抗凍融性〔17〕。

就以上性質綜合可知，再生混凝土之配合設計考量大致與普通混凝土相同，但實際使用上需注意以下幾點：

- 1.設計目標強度時，若碎化之舊混凝土品質不均勻，則須考慮較大的標準偏差。
- 2.若要沿用一般普通混凝土，以水灰比決定拌製所得之混凝土強度，則須經過試拌，若所得之強度低於需求強度，則須調整水灰比。
- 3.要達到與普通混凝土相同的坍度，拌製再生混凝土時須增加約 10 kg/m³ 的用水量。
- 4.配合設計要以實測混凝土單位重作配比控制。
- 5.再生骨材之級配要求與天然骨材相同，且拌合前最好能先預濕。
- 6.若考慮骨材之鹼-矽反應時，可使用低鹼之 Ⅱ 型水泥。

2-3-3 資源回收應用於道路基底層

目前國內尚未明確規定建築廢棄物中的水泥混凝土、紅磚、磁磚、屋瓦等材料的再利用，因此在使用上的法源與法規皆有所困難。然而就使用的技術規定上，則已有相關的條文可參考。例如國工局在其施工規範中第 003 章土方工程中第 00301.2 條已規定：「所謂不適用材料，不包括自然含水量過多經乾燥後仍可適用之土壤；惟依 ASTM D2487 試驗結果屬於 PT、OH 及 OL 材料者，皆為不適用之材料」。另外在 00303 節的路堤填築中第 00303.2 條規定：「路堤填築及回填之材料，應為經工程司認可之適當材料並不得含有淤泥、樹根、草皮、其他有害物質及不適用材料」。

根據國內外各規範中有關道路底層與基層的相關規定，並採取高標準來篩選之後，歸納出可被規範所接受之底層與基層的材料特性，其內容如表 2-12 所示。

表 2-12 可被接受之底層與基層的材料特性

項次	試驗項目	底層級配料	基層級配料	備註
1	阿太堡試驗: 液性限度 (LL)	小於 25	小於 25	
2	阿太堡試驗: 塑性指標 (PI)	小於 4	小於 6	
3	含砂當量	大於 40	大於 30	
4	洛杉磯磨損試驗: 磨損率 (500 轉)	小於 50	未規定	
5	加州承載比試驗: CBR 值	大於 85	大於 35	亦可以 MR 值試驗及 R 值試驗替代之

表 2-11 的材料特性主要是與材料的力學特性有關，至於材料的耐久性，例如健度試驗，則並未加以考慮。除了材料的力學特性之外，尚須考慮級配料的顆粒分佈狀況，根據台灣區國道新建工程局與高速公路局的規定[19]，以 1.5" (= 37.5 mm) 為最大粒徑的情況下，可被規範接受粒徑之通過百分比，如表 2-13 所示。

表 2-13 可被接受的粒徑範圍 (以 1.5" 為最大粒徑)

級配規格 (粒徑)	通過 百分比 (%)	
	底層級配料	基層級配料
大於 1.5" (= 37.5 mm)	100	100
1.5" (= 37.5 mm)	90~100	87~100
1" (= 25.0 mm)	---	---
3/4" (19.0 mm)	50~85	45~90
3/8" (9.5 mm)	---	---
No. 4 (4.75 mm)	30~45	20~50
No. 30 (0.6 mm)	10~25	6~29
No. 200 (0.075 mm)	2~9	0~12

註:符號"---"表示"未規定"。

2-4 現行人行道施工方式與規範探討

以台北市現行人行道之施工方式為例，其施工規範(88 年 5 月 26 日)如下:

壹、鋪面材料規定：

混凝土鋪面：混凝土人行道鋪面為求活潑或與當地景觀配合，可採條紋切割、混合圖案拼貼或於其表層添加無機色料方式處理

預鑄高壓混凝土塊磚：面磚顏色應符合地區說明會選定顏色，並於工程發包後由設計單位審核認可始可製造生產。

透水磚：透水磚之混凝土抗壓強度與透水係數應符合圖說規定，天然石面層採用大理石、蛇紋石、紅化石、寒水石等堅硬耐久之天然石，厚度應在 8mm 以上，其磚體不得產生裂紋而影響強度及其特性。透水磚之長度及寬度之尺度許可差應為標示尺度 $\pm 2\text{mm}$ ，厚度許可差為標示厚度之 $\pm 3\text{mm}$ ，厚度在 80mm 以下者，不得有高度超過 2mm 之瑕疵突出物；厚度超過 80mm 者，不得有高度超過 3mm 之瑕疵突出物

貳、施工順序及標準：

一、混凝土鋪面、高壓混凝土塊磚及窯燒花崗磚：

- 1.路床整理：人形道路基壓實前，應先將路床範圍內之樹木、雜草、樹根、混凝土塊、土石及其他一切障礙物，除公共設施另有規定者外，全部予以清除，並將原有地面整修平順，然後予以壓實，經乙方品管工程師認可，並報甲方工地工程司勘驗簽認後方可進行混凝土澆築工作。
- 2.基底混凝土：施工前，承包商應先測量放樣，在基礎面標示出各部分高程及範圍，經乙方品管工程師認可，並報甲方工地工程司勘驗後再行施作，並於路基之上鋪築五公分厚基底混凝土。
- 3.點鍍鋼絲網：鋪在基底混凝土之點鍍鋼絲網需以混凝土墊塊確實

墊高五公分以為保護層，混凝土墊塊間之距離需少於六十公分，鋼絲網因接續而需重疊部分至少需達二十公分以上。

4. 混凝土基層：

(1) 測量高程及定水線：混凝土於澆築之前需先測量高程並訂出縱橫水線，以確保混凝土鋪面之平整度及橫向洩水坡度。

(2) 混凝土之澆築：需依伸縮縫之區隔隔塊依序澆築，且預拌混凝土自出車至使用時間超過一小時以上不得使用，已初凝或需加水再拌合之混凝土不得使用。

(3) 混凝土之養護：已澆置之混凝土需保持濕潤，原則上於澆置後應嚴防混凝土內部水分蒸發，並保持表面濕潤。新澆置之混凝土不得受衝擊震動，並不得於其上放置物料。如因工地情況需要，得使用工程司核准之液膜保養劑。

5. 澆灌混凝土時，乙方品管工程人員必需依規定現場取樣施作混凝土坍度，合於規定後方可打設。

6. 鋪面表面處理：

(1) 混凝土鋪面部分：

() 人行道場鑄混凝土鋪面需一次澆鑄完成，並於初凝前以粉光機進行整體粉光，不得於表層再進行砂漿粉刷之二次施工。

() 切割線施工前需先以墨線放樣整齊後始得進行切割，切割線需保持筆直不得歪斜。且切割線之深度需介於 0.3 至 0.5 公分之間。

() 人行道需確實做好橫向洩水，且橫向坡度最大不得超過

百分之四(特殊狀況除外),若遇花台、座椅、樹穴緣石或其他街道家俱及障礙物阻礙排水時,亦需做好縱向洩水,使其完成面不得有積水現象。

- () 鄰接混凝土舖面與緣石頂之高程必須吻合一致,不得高出或低於緣石頂。
- () 與鄰近銜接處,應做好收頭工作,且應平順自然或弧線滑順。
- () 銜接騎樓之任何排水管均應引導,必要時埋管導出,不得於人行道漫流。
- () 完工後之人行道舖面應維持平整,不得有高低不平之現象,其平整度需以 1.8 公尺長直尺從(或沿)基準線任何方向度量時,任何一點之高低差均不得超過 0.3 公分。

(2) 預鑄高壓混凝土面磚舖面及窯燒花崗磚舖面部分：

- () 面磚與混凝土底層間之水泥砂漿應按設計圖說之規定配合比及厚度採機器拌合方式施工,完工後面磚不得有鬆脫之情形發生。
- () 面磚之舖築需以緣石邊線為基準線,面磚之接合除人行道成圓弧形外,其縱橫方向均應筆直整齊,且需維持表面平整,其平整度需以 1.8 公尺長直尺從(或沿)基準線任何方向度量時,任何一點之高低差均不得超過 0.3 公分;如遇坡度變化應予以接順。
- () 面磚無法以整塊舖築時,應以機器切割將面磚平整鋸切使用,不得以鐵鎚或其他工具敲除,使磚面破損或面磚

邊緣之圓弧無法平順。

- () 鄰接緣石之磚面與緣石頂之高程必須吻合一致，不得高出或低於緣石頂。
- () 面磚鋪面亦需確實做好橫向洩水，若遇花台、座椅、樹穴緣石或其他街道傢俱及障礙物阻礙排水時，均應予以引導排放，使其完成面不得有積水現象。
- () 鋪築時須使用完整之面磚，不得採用已碎裂或有裂縫之面磚，且鋪設時應以震動板置於面磚上加以震動之。
- () 面磚鋪設時，除應注意其平整度外，尤以磚縫務必成一直線。如磚縫過大，則必須切磚嵌補。
- () 與鄰近銜接處，應做好收頭工作，且應平順自然或弧線滑順。
- () 銜接騎樓之任何排水管均應引導，必要時埋管導出，不得於人行道漫流。
- () 面磚施做前，應先標示出主要分割線，並依監造單位之指示，在工地擇一施工面，試鋪至少 100 平方公尺大小之實樣，經監造單位認可後方可全面施作。

二、透水磚鋪面部分：

1. 人形道路基壓實前，應先將路床範圍內之樹木、雜草、樹根、混凝土塊、土石及其他一切障礙物，除公共設施另有規定者外，全部予以清除，並將原有地面整修平順，然後予以壓實，並俟壓實試驗通過及經乙方品管工程師認可，並報甲方工地工程司勘驗後方可施作。

- 2.人行道路基，不論在挖方或填方施工，均應達到設計圖上所示或工程單位所指示之高程、坡度，並應予以壓實，其壓實密度應達到改良式夯壓試驗下所得最大乾密度之百分之九十以上。
- 3.施工前，承包商應先測量放樣，並標示出各部分高程及範圍，經監造單位認可後再行施作。
- 4.底層壓實密度檢驗合格後即可於其上鋪設碎石級配料，如遇雨天而表面有積水情形時，應設法排除，在任何情形下，不得於積水地區表面上鋪置級配料。
- 5.碎石級配骨材底層經滾壓完成後表面平整度與厚度規定如下：
 - (1) 已完成骨材底層表面，以 1.8 公尺長直尺從（或沿）基準線任何一點之高低差不得超過 1.5 公分。
 - (2) 已完成骨材之底層厚度，在任何點均不得少於設計厚度 1.0 公分以上，骨材底層完成後由乙方品管工程師查驗厚度，其所查驗諸厚度平均值不得小於設計厚度。不能符合上述規定底層應重新翻鬆，再予修整、加水並壓實至符合合約規範並檢驗合格為止。
- 6.透水磚之鋪設採用乾式施工法，其程序如下：
 - (1) 檢查及配底層是否滾壓平整，不得有雜物或凹凸不平之現象。
 - (2) 級配層整平後於其上加鋪土工用不織布，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。

(6) 鋪設完成之地面，需加設圍籬以防止不當人車進入，維持鋪設完成面之平整。

7. 透水磚接縫必須平直，面磚與面磚不可有高低不平現象，其平整度需以 1.8 公尺長直尺從（或沿）基準線任何方向度量時，任何一點之高低差均不得超過 0.3 公分。

8. 透水磚之接縫，除人行道圓弧部分，一般縱橫方向應整齊，如遇坡度變化應予以銜接平順。

9. 透水磚鋪面橫斷面坡度，應保持橫向排水坡度。

10. 臨接緣石磚面與緣石頂高程必須吻合一致，不得高出或低於緣石頂。

11. 透水磚若因位於曲線部分或人行道邊端無法以整塊鋪築時，應以機具將水泥磚平整鋸割使用，不得以鐵鎚或其他工具敲割，以免磚面破損或邊緣圓弧無法保持平順。

12. 透水磚鋪設完成後，磚面上雜物、碎屑等應予移除乾淨，如有殘留水泥砂漿視同污染，必須更新。

13. 透水磚施作前，應先標示出主要分割線，並依監造單位之指

示，在工地擇一施工面，鋪貼至少 30 平方公尺大小之實樣，經監造單位認可後方可全面施作。

參、設計圖說需列注意事項：

1. 施工時原則以日間施工（上午六時至下午六時）為原則，如需夜間趕工，最長延至晚上十時止。如為維持交通必須夜間施工，則不應有易生噪音之機械，原則以鋪貼等低噪音之施工項目為宜。
2. 警示燈必須照設計數量放亮，並以接台電電源為主，盡量不使用電池。
3. 工區範圍內或邊緣之停車格，應於施工前塗銷，且完工後應立即恢復。
4. 施工機械不得停放於路邊，如不得已必須停放，則必須於機械前方設置交通錐圍設，且夜間必須有警示燈。
5. 工地廢料或暫不使用之器材，必須當天清除或處理完妥，不可放置至翌日。
6. 原路面挖除至計畫深度後，必須加以滾壓整飭，經工地工程司認可後方可打設 PC。
7. 由原路面開挖後，滾壓整飭平整至打設 PC 之時間不可逾越兩天，以免造成用路者之不便，但如遇管線障礙等非乙方因素時不在此限。
8. 施工路段原則以單邊施工，且施工長度不超過兩個街廓，至少須打完混凝土無安全顧慮，而可供行人通行後，方可向前推進，即使考量工期因素時亦需配合規定。
9. 任何施工地段均需以型鋼護欄圍設，並需放置警示燈，直至溝蓋

放置完成後，無安全顧慮後方可移除。

10.施作人行道面層前應先檢視側溝蓋之完整性、溝蓋邊緣線條平直後，方可施築面層。

11.工地應保持工區潔淨，否則依工地安全衛生、公共安全及合約相關規定論處。

由以上規範可知:國內目前人行道之施工方式有乾式與濕式兩種。乾式施工法之施工方式為先將基底土壤夯實後，於其上鋪設碎石級配層，級配層夯實後再於其上鋪設地工用不織布，將不織布固定後鋪設襯墊砂，而後將混凝土鋪面磚置於襯墊砂上，以振動夯實機來回夯實，最後將剩餘細砂掃回縫隙中便完成了，因施工中並未使用水泥等膠結料，所以稱為乾式施工法。而濕式施工法先以 $140\text{kg}/\text{cm}^2$ 混凝土取代碎石級配層，再以 1.5 至 2 公分之水泥砂漿平鋪其上供黏貼高壓混凝土磚或其他非連續性拼接鋪面磚。目前台北市已自八十五年度起以美觀、安全、無障礙之原則辦理規劃設計，並逐年編列預算辦理人行道更新工程，目前使用材質為厚實之混凝土塊磚採用濕式施工法，提供行人通行之便利，並降低因底層碎石級配及襯墊砂流失所造成之損壞。至於一般零星損壞，目前採用 $210\text{kg}/\text{cm}^2$ 凝混凝土為面層材料辦理修復工作。不論是以混凝土塊磚或是凝混凝土為面層材料，均是採取濕式施工法，屬於不透水鋪面之做法。都市內由人工不透水鋪面增多，綠地減少及人工排水系統等因素均不利地下水之涵養，造成都市有如一發熱島嶼般產生上昇熱流，上昇氣流再由四周郊區流入的冷流補充形成左右對稱氣流循環之熱島現象 (heat island effect)，不利都市氣候調節及破壞都市生態機能。

第三章 再生骨材之處理方式與基本性質

3-1 再生骨材之處理方式

營建廢棄物必須經過處理後才能轉變為可利用的再生骨材,以 921 所產生的建築廢棄物為例,在現場拆除下所餘留之廢棄物,若極大部分都為可直接供作建設性材料,如混凝土、磚塊和鋼筋,這樣的廢棄物在經過破碎機(見圖 3-1)之處理後,所得致之分類,依據現場的觀察,利用破碎機的排出口徑之大小調配(設定為 4 公分)可很清楚地將廢棄物分類成三堆,分別為 4 公分以上、4 公分以下的再生粗、細粒骨材(見圖 3-2)以及磁選後之鋼筋(或鐵絲)等三類,其中有機廢棄物必須從結構體中早期移除,使現場處理後之有機含量非常低微,如此使用此再生粗、細粒骨材在填方或混凝土上,對品質的影響可減低許多,換言之,若無適當的分類處理,將會大幅限制此類廢棄物在工程上可應用之範圍。

從參與環保署「九二一震災建築廢棄物再生利用推動計畫」的經驗中顯示,為能更有效處理大量的廢棄物,台灣營建研究院之研究團隊所得到的結論如下〔14〕:

- (1) 為提高再生骨材之品質與生產效率,在破碎機處理前應加入機械式的篩分機(圖 3-3)或人工篩選,如此將可大幅提高前處理之效率,以達到初級分類處理之目的,且在篩分機和破碎機之互相配合運作模式下,可大量生產再生骨材,其有機含量和回收困難之廢料在前處理過程中,預期可被有效地移除。
- (2) 藉由實地試驗結果,反映出初級分類在回收建築廢棄物之過程中的重要性,今後若能在建物之拆除過程中,將初級分類之程

序導入拆除之程序，將可大幅提高廢棄物之回收利用價值。

(3) 現場生產時，需有噴霧或噴水設備以減少灰塵污染。



圖 3-1 破碎機



圖 3-2 再生粗、細骨材



圖 3-3 篩分機

3-2 再生骨材之基本性質

為瞭解再生骨材之基本性質，本研究以碎石機所處理之拆除營建廢棄物所得之再生材料加以試驗，試驗步驟如下：

- (一) 進行再生骨材之各項物理試驗篩分析、比重、單位重、吸水率、磨耗試驗。
- (二) 進行土壤夯實試驗，以決定再生骨材之工地夯實最佳含水量與最大乾密度，為配合不同施工單位要求，可分成標準夯實試驗 (AASHTO T 99) 及改良夯實試驗 (AASHTO T 180)。

3-2-1 試驗步驟

各項試驗之步驟及所依據之規範概述如下：

(一) 篩分析試驗

此試驗方法依據 CNS486 之規範規定進行，以決定土壤之粒徑大於 0.074mm 之各種粒徑重量及重量通過百分比。

(二) 比重、吸水率試驗

此試驗方法是依據 CNS486、487 之規範規定進行，以決定土壤顆粒比重。

(三) 磨耗試驗

此試驗方法依據 CNS490 之規範規定進行，以決定粒徑大於 #4 粗骨材之磨損率。

(四) 土壤夯實試驗

依據 AASHTO T-99 (標準) 及 AASHTO T-180 (改良) 之規範規定進行，以決定土壤最大乾密度(γ_{max})及最佳含水量(omc)。

3-2-2 試驗結果與分析

(一) 再生骨材之各項基本性質

1. 粗細骨材所佔之比例

試樣總重 60kg，大於#4 篩之粗骨材重 35.14kg，故粗細骨材所佔之比例約為：58.6%與 41.4%，即粗骨材：細骨材 = 3：2。

2. 再生骨材物理性質 - 粗骨材部份

面乾內飽和下虛比重 = 2.32

視比重 = 2.61

面乾內飽和下含水率 = 8.36 %

3.粗骨材篩分析

粗骨材之篩分析結果見表 3-1。

表 3-1 再生粗骨材篩分析結果

篩號	停留重量 (g)	停留百分比 %	累積停留百分 比%
3/2"	0	0	0
1"	202	1.37	1.37
3/4"	418	2.84	4.21
1/2"	6475	44.00	48.21
3/8"	3476	23.62	71.83
1/4"	3026	20.57	92.40
#4	1049	7.13	99.53
底盤	69	0.47	100.00
Total	14715	100.00	

4.粗骨材磨損試驗法 (洛杉磯磨損試驗)

此粗骨材之洛杉磯磨損試驗結果顯示約為 30% 左右，試驗狀況如下表所列：

級配種類	粒徑分佈	停留百分比%	磨損率%
B	3/4"~3/8"	67.62	28.34
C	3/8"~#4	27.70	28.62

5.和一般使用之粗骨材比較

再生粗骨材與一般使用的粗骨材之比較如下表所列：

比較項目	比重	SSD 含水 率%	細度 模數	磨損試驗 TYPE B		磨損試驗 TYPE C	
				停留率%	磨損率%	停留率%	磨損率%
原先使用之一 般粗骨材	2.64	0.91	6.74	73.86	21.74	25.93	23.52
再生粗骨材	2.61	8.36	6.76	67.62	28.34	27.70	28.62

二者之間的差異，在物理性質方面與一般粗骨材差異較大者為含水率；而洛杉磯磨損試驗方面，再生粗骨材之磨損率較一般粗骨材大，唯差異有限，且在允許之範圍（<50%）。

6.再生骨材物理性質 - 細骨材部份

再生細骨材物理性質之篩分析狀況如表 3-2 所示，其比重 2.5 與面乾內飽和含水量為 11.04%，較一般常用砂的 2.54% 高出甚多。

表 3-2 細骨材之篩分析狀況

篩號	留篩量 (g)	累計留篩重 (g)	累計流篩率 (%)	過篩率 (%)
#4	23.1	23.1	2.30	97.70
#8	228	251.1	24.97	75.03
#16	221.5	472.6	46.99	53.01
#30	204.6	677.2	67.33	32.67
#50	130.2	807.4	80.27	19.73
#100	91.3	898.7	89.35	10.65
#200	56.6	955.3	94.98	5.02
Bottom	50.5	1005.8	100.00	0.00
合計	1005.8	1005.8		

7.再生骨材整體粒徑分佈

再生骨材之整體粒徑分佈狀況如表 3-3 與圖 3-4 所示。

表 3-3 再生骨材之整體粒徑分佈

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)	0.0	100	0.0
1" (25.0mm)	0.8	99.2	0.8
3/4" (19.0mm)	1.7	97.5	2.5
1/2" (12.5mm)	25.6	72.0	28.0
3/8" (9.5mm)	13.7	58.2	41.8
#4 (4.75mm)	5.1	41.1	58.9
#8 (2.36mm)	9.5	31.6	68.4
#16 (1.18mm)	9.3	22.3	77.7
#30 (0.6mm)	8.6	13.8	86.2

#50 (0.3mm)	5.5	8.3	91.7
#100 (0.15mm)	3.8	4.5	95.5
#200 (0.075mm)	2.4	2.1	97.9
Bottom	2.1	0.0	100.0

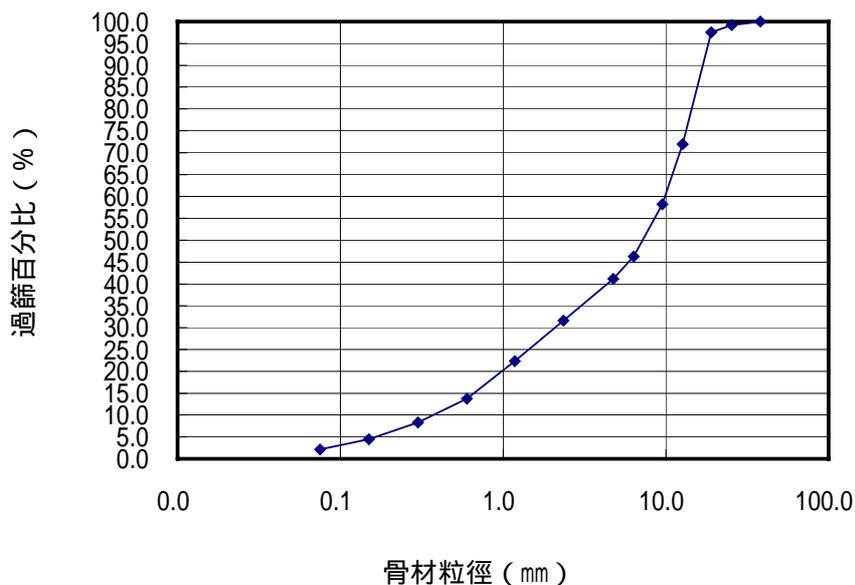


圖 3-4 再生骨材之粒徑分佈圖

由整體粒徑分佈圖可得到下列參數:

$$D_{10} = 0.9 \qquad D_{30} = 4.5 \qquad D_{60} = 13.0$$

$$\text{曲率係數} \quad C_c = (D_{30})^2 / D_{60}D_{10} = 1.73 \qquad 1 < C_c < 3$$

$$\text{均勻係數} \quad C_u = D_{60} / D_{10} = 14.4 \qquad C_u > 4$$

依美國統一土壤分類標準 (ASTM D-2487) 可知再生骨材屬於級配優良之砂質礫石 (GW)。另外依美國 AASHTO 土壤分類標準可知再生骨材屬於 A-1-a (GI = 0) 為級配優良之砂質礫石，為優良之路基材料。

(二) 再生骨材之夯實試驗

1. 改良式夯實試驗

本試驗使用 AASHTO T-180 規範之 4.54kgw 夯實錘。於高度 45 公分自由落下夯打，每份土樣分 5 層夯實、每層夯打 25 次。求出不同含水量下之單位重並繪圖求出最大乾密度 (γ_{max}) 及最佳含水量 (OMC) 曲線，其試驗結果如下表所示。

	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4	sample 5
濕土重 (g)	1893	1947	1995	2065	2128
體積 (cm ³)	1001.5	984.6	940.8	971.4	1031.2
濕土密度 (g/cm ³)	1.890	1.977	2.121	2.126	2.064
乾土重 (g)	1780	1814	1817	1819.5	1824
乾土密度 (g/cm ³)	1.777	1.842	1.931	1.873	1.769
含水量 (%)	6.0	6.8	8.9	11.9	14.3

2.標準式夯實試驗

本試驗使用 AASHTO T-99 規範之 2.5kgw 夯實錘。於高度 30 公分自由落下夯打，每份土樣分 3 層夯實、每層夯打 25 次。求出不同含水量下之單位重並繪圖求出最大乾密度 (γ_{max}) 及最佳含水量 (OMC) 曲線，其試驗結果如下表所示。

	sample 1	sample 2	sample 3	sample 4	sample 5
濕土重 (g)	1598	1712	1805	1912	1948
體積 (cm ³)	918.9	909.8	892.5	943.8	934
濕土密度 (g/cm ³)	1.739	1.882	2.022	2.026	2.086
乾土重	1516	1606	1624	1674	1629

(g)					
乾土密度 (g/cm ³)	1.650	1.765	1.820	1.774	1.744
含水量 (%)	5.1	6.2	10.0	12.4	16.4

此再生骨材之改良式夯壓試驗之最大夯壓試驗乾密度為 1.93g/cm³，含水量為 8.92%，標準夯壓試驗乾密度為 1.82 g/cm³，含水量為 10.03%。二者繪製之 OMC 曲線如圖 3-5 所示。

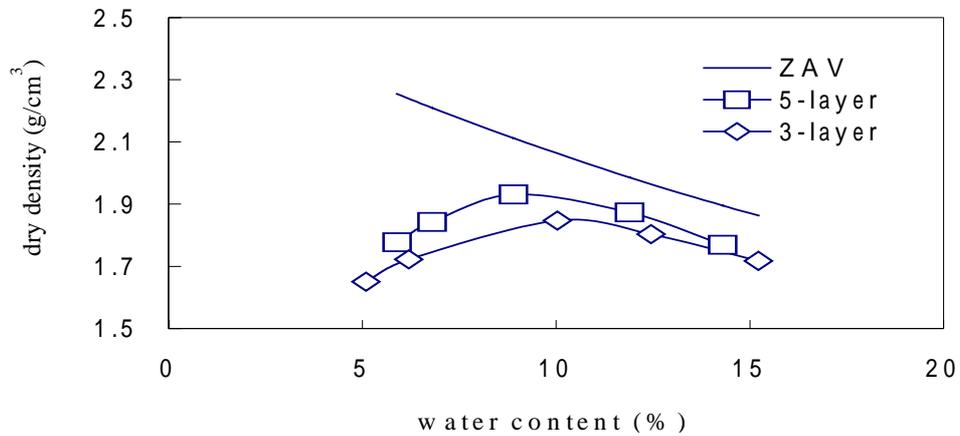


圖 3-5 含水量曲線

依據上述試驗結果，再生骨材之基本性質整理如表 3-4 所列。

表 3-4 再生骨材之基本性質

	篩號	累計留篩百分比 (%)	規範	備註
級配通過百分率	3/2 "	100.0		
	1 " (25.0mm)	99.2	100	
	3/4 " (19.0mm)	97.5		
	1/2 " (12.5mm)	72.0		
	3/8 " (9.5mm)	58.2	50-85	
	#4 (4.75mm)	41.1	35-65	
	#8 (2.36mm)	31.6		
	#16 (1.18mm)	22.3		
	#30 (0.6mm)	13.8		
	#50 (0.3mm)	8.3		
	#100 (0.15mm)	4.5		
	#200 (0.075mm)	2.1	2-15	
	L.L%	NP		
	P.I%	NP		
	磨損試驗%	28.48	50	洛杉磯500轉
	統一土壤分類	GW		
改良式夯壓試驗	最大乾密度 (g/cm ³)	1.93		AASHTO T-180
	OMC (%)	8.92		AASHTO T-180
標準夯壓試驗	最大乾密度 (g/cm ³)	1.82		AASHTO T-99
	OMC (%)	10.03		AASHTO T-99

根據以上試驗結果與分析可得下列初步結論：

- (一) 拆除廢棄物經適當分類後，採用碎石機破碎所得之再生骨材基本性質可滿足道路填方及結構物回填要求。而其粒徑分佈在適當控制下，更可滿足一般道路基層（Subbase）或底層（Base）之級配要求。
- (二) 再生骨材與一般級配料相比，物理性質中差異較大著為含水率（約 10%），其它如比重、磨損率與一般級配料並無顯著之差異。
- (三) 由拆除營建廢棄物回收產生之再生骨材，其品質會因來源，處理過程之不同而有所差異。大規模使用時，應增加抽樣試驗頻率，以對再生材料之工程性質能確實掌握。

第四章 無細骨材混凝土配比設計及力學性質

4-1 試驗計畫

本研究依據計畫要求，並參考國內外相關研究資料及報告，擬定出開發無細骨材混凝土本土化配比之試驗計畫。其中除採用北部地區常用之骨材及砂石原料，並針對九二一震後建築廢棄物利用需求，嘗試應用拆除廢棄物做為混凝土骨材來源，其再生粗骨材來自於原竹山鎮大禮路 300 號，屋齡約 25 年因地震損害之 RC 加強磚造三層樓房：取樣後委由楠棧實業有限公司進行機械處理，並經破裂成粒徑通過 3/4" 篩號之骨材，使成可資利用之再生粗骨材。

4-1-1 試體準備與製作

本試驗使用 3/4" 一般骨材、3/4" 再生骨材以及水泥等為無細骨材混凝土之基本材料，透過不同重量骨材、砂與水泥的比例並調整拌合用水，直至骨材完全為漿體包覆後，始完成拌和程序。而後製作 $\phi = 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 之圓柱抗壓試體 $\phi = 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 圓柱劈裂試驗試體 $\phi = 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 圓柱透水試驗用試體以及 $7.5\text{ cm} \times 7.5\text{ cm} \times 28\text{ cm}$ 之中點抗彎試驗用試體，試驗試體如圖 4-1 4-3 所示。



圖 4-1 抗壓試驗用試體



圖 4-2 抗壓試驗用試體



圖 4-3 抗彎試驗 (MOR) 用試體

4-1-2 試驗內容

● 試驗參數

各試體養生至固定齡期後，依據標準方法，進行相應的力學試驗。

各試驗變數說明如下：

- (一) 骨材種類：一般 3/4"骨材、3/4"再生骨材等。
- (二) 骨材/水泥之重量比為 15、10、6 等三種。
- (三) 砂/水泥之重量比為 0、1、1.25、1.5 等三種。
- (四) 各配比試驗進行之項目：
 1. 七天、二十八天齡期之抗壓試驗。

- 2.二十八天齡期之抗彎試驗。
- 3.二十八天齡期之劈裂試驗。
- 4.二十八天齡期之透水試驗。

● 試驗方法

試驗進行之方法以規範規定為主，說明如下：

- (一) 抗壓試驗：依據 CNS 1232 抗壓試驗法規範進行試驗。試驗架設如圖 4-4 所示。



圖 4-4 抗壓試驗機及抗壓試驗試體

- (二) 抗彎試驗：依據 CNS1234 中心點載重法規範進行試驗，試體與試驗儀器見圖 4-5。



圖 4-5 抗壓試驗機及抗彎試驗試體

- (三) 劈裂試驗：依據 CNS 3801 劈裂抗張強度試驗法進行試驗。
- (四) 透水試驗：依據 Darcy 公式，使用圖 4-6 之簡易試驗架設。量測試體長度 L 、截面積 A 並量取單位時間內之流量 Q 後，則可計算透水係數 $K = \frac{\rho \times L \times Q}{A \times H}$ ，式中 ρ 為水的密度，試驗儀器如圖 4-7。

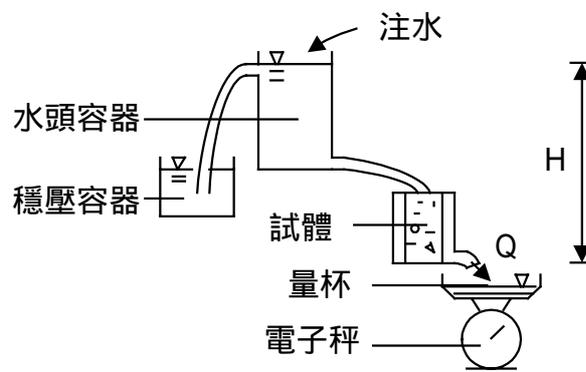


圖 4-6 透水試驗試驗架設示意圖



圖 4-7 透水試驗儀器架設

4-2 使用一般骨材 (3/4"骨材) 之試驗結果

4-2-1 抗壓試驗

表 4-1 為使用一般骨材之抗壓試驗結果，其七天齡期之抗壓試驗強度分別由 1.2 MPa 到 10.6 Mpa 不等，二十八天齡期之抗壓試驗強度分別由 1.3 MPa 到 11.8 Mpa，各相同砂/水泥重量比例的配比間 (除了砂/水泥重量比例為 0 的配比外) 皆呈現骨材/水泥比例越大則強度下降的趨勢。就固定骨材、水泥重量比 (15/1、10/1 以及 6/1 等)，變化砂含量的狀況而言，除完全無砂的強度稍高外，其餘砂重量比 1、1.25、1.5 三者間，其強度的差異分別為 35%、7.5%、7.1%，顯示砂量增高強度變化趨緩。

表 4-1 一般骨材抗壓試驗結果

骨材：砂： 水泥 之重量比	水灰比 (W/C)	七天齡期抗壓試驗				二十八天齡期抗壓試驗			
		試體1 (KN)	試體2 (KN)	試體3 (KN)	抗壓強度 (MPa)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	試體3 (KN)	抗壓強度 (MPa)
15:0:1	0.972	34.8	28.9	34.1	4.2	35.2	38.1	41.5	4.9
10:0:1	0.708	21.3	20.5	24.6	2.8	25.2	26.4	28.6	3.4
6:0:1	0.514	85.1	86.6	78.2	10.6	87.9	86.6	103.5	11.8
15:1:1	0.577	12.1	10.3	12.9	1.5	14.4	16.6	15.7	2.0
10:1:1	0.438	21.4	22.1	21.5	2.8	30.7	31.1	25.9	3.7
6:1:1	0.358	39.2	36.1	37.6	4.8	54.6	43.2	56.1	6.5
15 :1.25:1	0.681	8.7	9.7	10.1	1.2	9.8	9.3	11.3	1.3
10 :1.25:1	0.426	19.8	18.2	20.4	2.5	30.6	31.3	31.8	4.0
6:1.25:1	0.351	41.1	49.7	41.6	5.6	52.3	56.8	55.2	7.0
15:1.5:1	1.006	11.2	11.8	16.3	1.7	14.6	15.4	13.9	1.9
10:1.5:1	0.73	27.4	26.2	25.1	3.3	24.8	30.4	32.5	3.7
6:1.5:1	0.6	46.6	50.3	25.2	5.2	50.2	53.4	51.8	6.6

註：試體尺寸 = 10cm x20cm

圖 4-8 為抗壓試驗七天、二十八天齡期之試驗結果柱狀圖，可明顯看出各配比間的差異。水泥/骨材之比例越大時，不論 7 天或 28 天之抗壓強度均有增加的趨勢，且摻入砂的效果並不顯著。

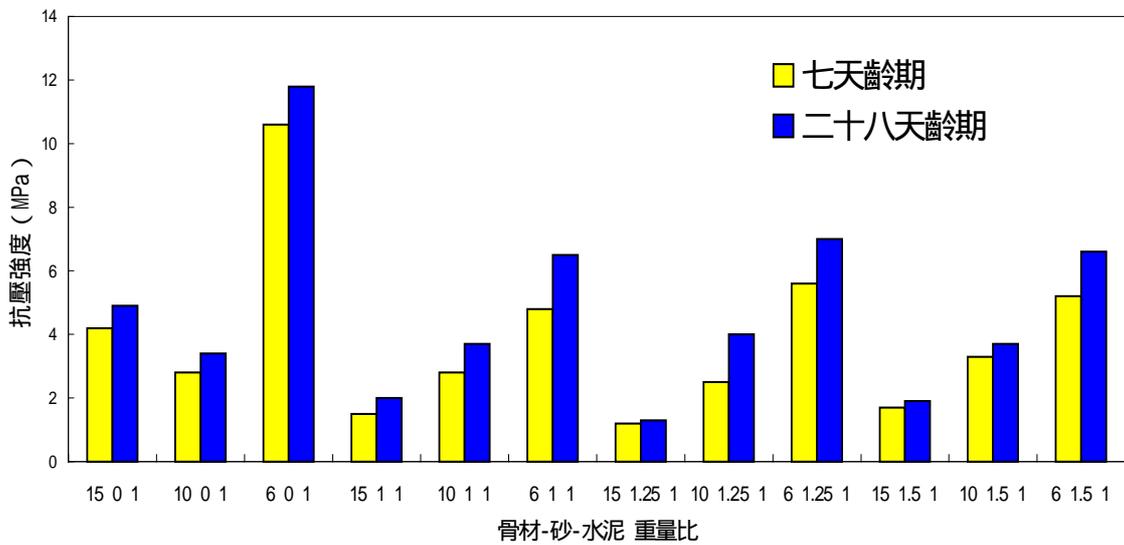


圖 4-8 各配比之抗壓試驗結果

4-2-2 抗彎、劈裂試驗

無細骨材混凝土之拉應力以抗彎及劈裂試驗加以評估，而抗彎試驗則以梁形式進行試驗，於試體中點施加荷載，透過彎矩求算初始開裂的彎曲強度 (MOR)，此試驗結果亦可為評估鋪面混凝土的重要指標之一，劈裂試驗為使用標準圓柱試體於其側邊加上徑向壓力，以評估鋪面材料的指標。雖是如此，一般來說此二者間具有相當密切的關係，且抗彎強度 (MOR) 的值會較劈裂強度的值大上許多。

而根據此試驗中的試驗結果 (表 4-2) 顯示，彎曲強度與劈裂強度的關係如圖 4-9 所示，二者間幾乎成線性關係，此重要的結果，可謂爾後鋪面設計的依據。

表 4-2 抗彎、劈裂試驗結果

骨材：砂：水 泥 之重量比	水灰比 (W/C)	二十八天齡期抗彎試驗 (註)			二十八天齡期劈裂試驗		
		試體1 (KN)	試體2 (KN)	平均抗彎 強度 (MPa)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	平均劈裂 強度 (MPa)
15:0:1	0.972	1.39	1.39	1.2	28	25.3	0.85
10:0:1	0.708	1.71	1.62	1.5	26.2	27.3	0.85
6:0:1	0.514	3.29	2.81	2.7	58	55.6	1.81
15:1:1	0.577	0.91	0.71	0.7	14.2	18.6	0.52
10:1:1	0.438	1.56	1.45	1.3	29.5	33.7	1.01
6:1:1	0.358	1.97	1.98	1.8	34.8	33.5	1.09
15 :1.25:1	0.681	0.86	0.59	0.6	12.5	14.9	0.44
10 :1.25:1	0.426	1.51	1.58	1.4	30.1	30.5	0.96
6:1.25:1	0.351	2.41	2.39	2.1	44.2	48.1	1.47
15:1.5:1	1.006	0.74	0.94	0.7	13	15.4	0.45
10:1.5:1	0.73	1.51	1.72	1.4	34.8	30.1	1.03
6:1.5:1	0.6	2.45	2.07	2.0	51.2	50	1.61

註：試體尺寸 = 7.5cm x7.5cm x30cm 中央點抗彎試驗

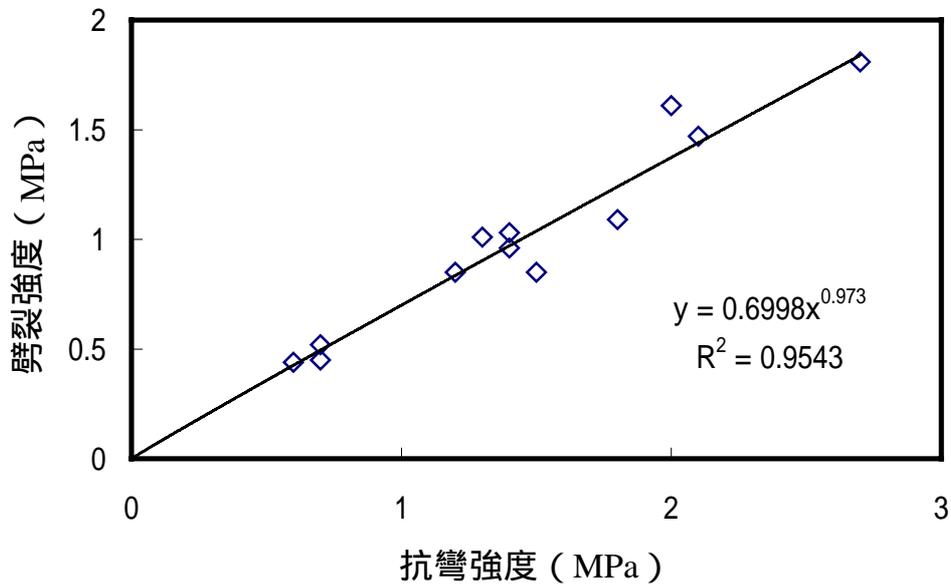


圖 4-9 抗彎強度與劈裂強度關係圖

圖 4-10 為粗骨材/細骨材/水泥等不同重量比例之配比試驗結果，根據試驗之狀況顯示其與骨材/水泥的比例越高，其抗彎與劈裂強度呈現遞減的趨勢，且摻入砂的效果並不顯著。

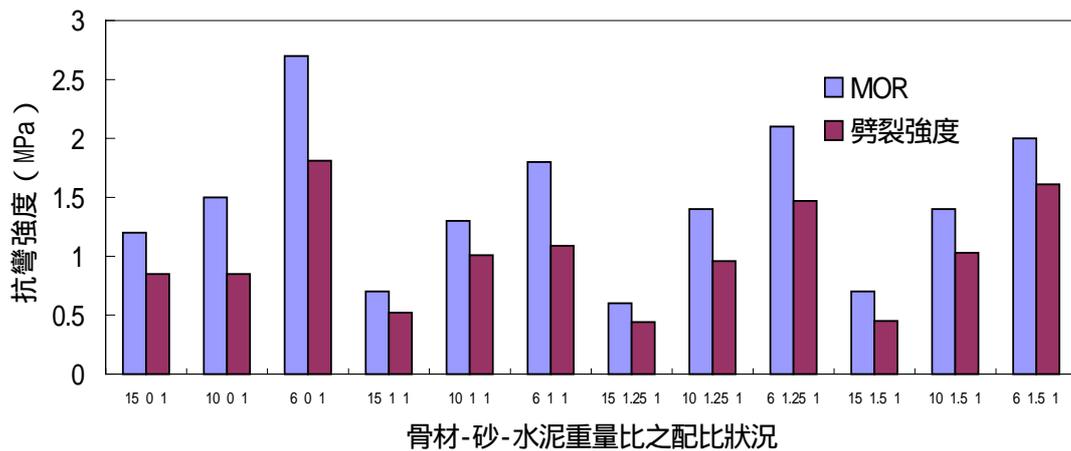


圖 4-10 各配比之抗彎及劈裂強度比較圖

4-2-3 透水試驗

鋪面材料之另一重要指標則為透水係數的高低，透水係數高，則地表逕流可通過此鋪面材料滲入地下水中，有助於水資源的涵養，故此試驗以透水試驗為評估指標，依據 Darcy 公式，使用 4-1-2 節所規劃之簡易試驗架設。計算透水係數 K。

試驗的結果於表 4-3 中顯示，其大抵隨粗骨材/水泥的比例越高而遞減。就相同之粗骨材/水泥的比例而言，其亦隨砂量的增加而減少。其量值約在 0.054 cm / sec 至 0.039 cm / sec 不等，皆屬良好之透水材料。各配比之透水係數整理如表 4-3 所列。各配比之比較亦繪製於圖 4-11 中。

表 4-3 透水試驗結果

骨材：砂：水泥	試體1 (cm ³)	試體2 (cm ³)	試體3 (cm ³)	K (10 ⁻² cm / sec)
15:0:1	344	341	368	5.14
10:0:1	326	322	324	4.74
6:0:1	307	305.5	313	4.52
15:1:1	365	369	372	5.40
10:1:1	303	307	317	4.52
6:1:1	279	283	287	4.14
15 :1.25:1	309.5	303	317	4.54
10 :1.25:1	301.5	298.5	297	4.38
6:1.25:1	299	295	301.5	4.37
15:1.5:1	290	298.5	294	4.31
10:1.5:1	285	294	294	4.26
6:1.5:1	271	268	257	3.89

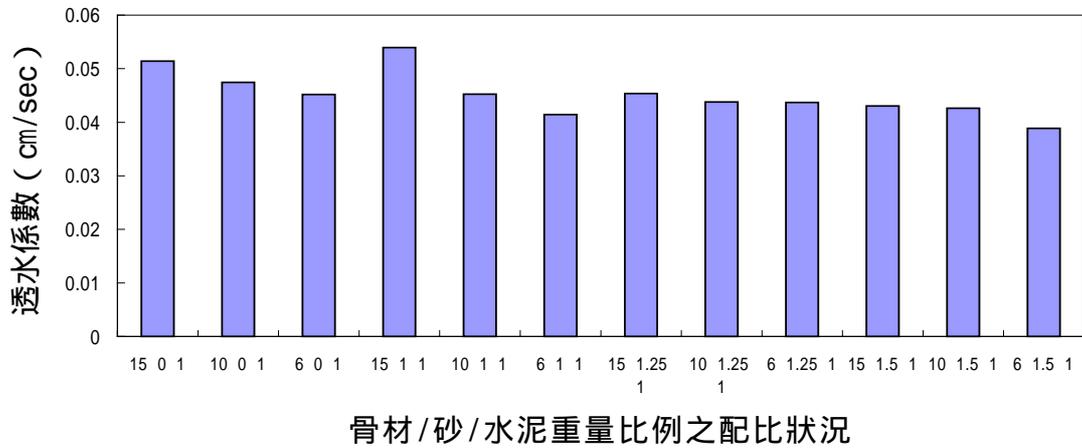


圖 4-11 各配比間之透水係數比較

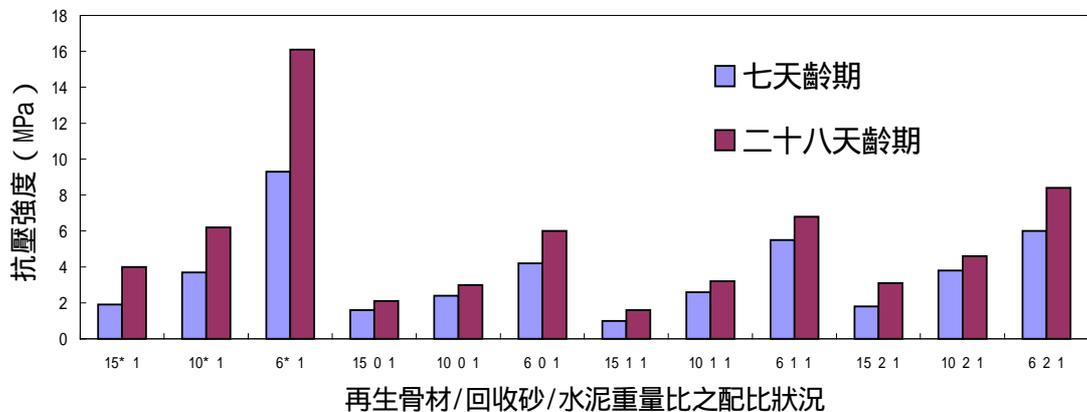
4-3 使用再生骨材之試驗結果

4-3-1 抗壓試驗

表 4-4 為使用再生骨材拌和條件與七天、二十八天齡期抗壓試驗結果。其結果顯示使用全級配之再生骨材，其抗壓強度有較高的強度表現，其主要因素當是由於全級配再生骨材的堆積較為密實所致。其較之一般骨材之試驗結果其約為相同配比使用一般骨材的 0.42 倍~1.04 倍，圖 4-12 為各配比間之比較結果。

表 4-4 抗壓試驗結果

再生之全級配骨材：水泥重量比	水灰比 (W/C)	七天齡期抗壓試驗				二十八天齡期抗壓試驗			
		試體1 (KN)	試體2 (KN)	試體3 (KN)	抗壓強度 (MPa)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	試體3 (KN)	抗壓強度 (MPa)
15 : 1	0.97	14.6	15.7	14.6	1.9	26.8	35.4	32.9	4.0
10 : 1	0.71	25.7	28.7	32.8	3.7	43.8	65.7	35.5	6.2
6 : 1	0.51	65.7	85.4	68.8	9.3	96.9	148.3	134.9	16.1
再生骨材:(回收砂:水泥)	水灰比 (W/C)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	試體3 (KN)	抗壓強度 (MPa)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	試體3 (KN)	抗壓強度 (MPa)
15:0:1	0.59	14.1	14.8	7.9	1.6	21.1	13.7	15.2	2.1
10:0:1	0.44	15.6	27.3	13.8	2.4	27.3	22.9	19.8	3.0
6:0:1	0.36	40.2	29.2	28.5	4.2	39.1	40.9	62.4	6.0
15 :1:1	0.68	7.7	7.1	9.4	1.0	11.5	11.4	15.5	1.6
10 :1:1	0.43	20.4	21.7	18.5	2.6	27.1	25.4	22.8	3.2
6:1:1	0.35	47.6	39.5	41.5	5.5	52.1	54.9	52.9	6.8
15:2:1	1.01	12.8	13.6	15.7	1.8	30.2	19.7	23.3	3.1
10:2:1	0.73	31.5	32.6	25.1	3.8	34.7	37.1	37.6	4.6
6:2:1	0.6	42.7	50.5	49.1	6.0	59.6	74.7	63.2	8.4



*

為使用全級配再生骨材之試體

圖 4-12 各配比不同齡期之抗壓強度比較圖

4-3-2 抗彎、劈裂試驗

此試驗中的試驗結果(見表 4-5)顯示,彎曲強度與劈裂強度間具有相當密切的相關性。其比較使用一般骨材之相同配比而言,抗彎強度上約為一般骨材配比的 0.42 倍至 1 倍不等,而劈裂強度上則為一般骨材配比的 0.55 倍至 1.05 倍左右,普遍有較弱的狀況。再生骨材用於鋪面上, MOR、劈裂強度的控制應為相當重要的控制因素,其各配比間抗彎與劈裂強度之比較見圖 4-13。

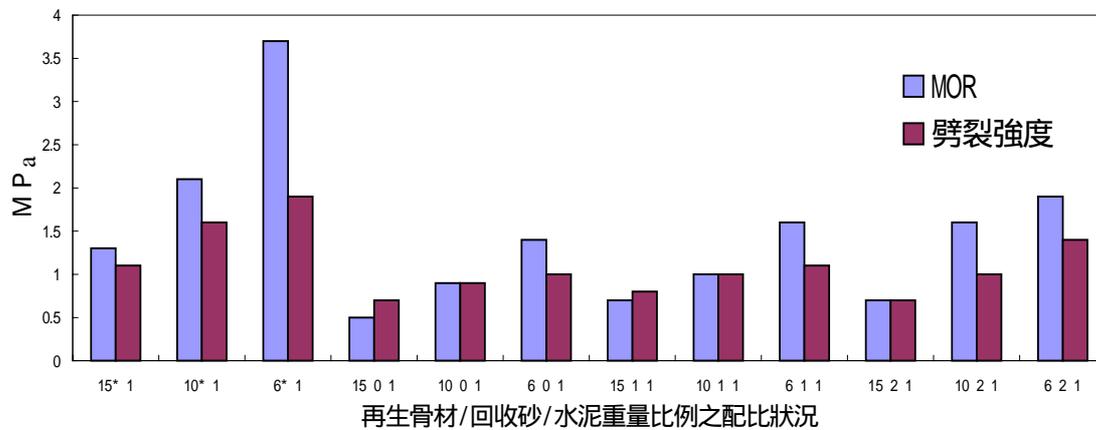


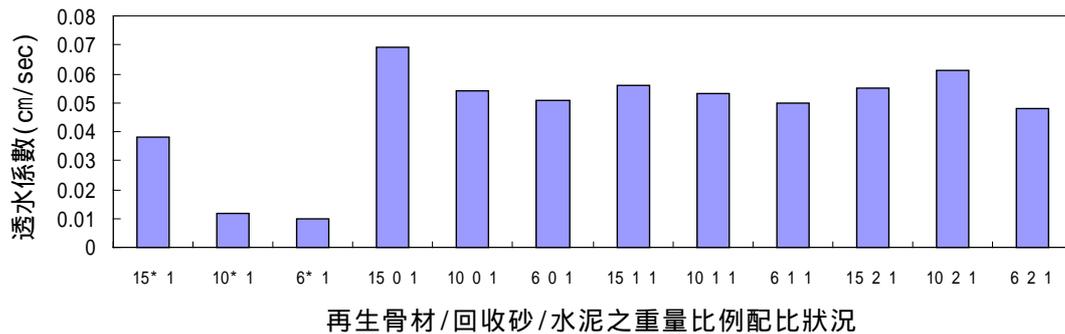
圖 4-13 不同配比之抗彎及劈裂強度比較

表 4-5 抗彎及劈裂試驗結果

再生之全級配骨 材：水泥重量比	二十八天齡期抗彎試驗			二十八天齡期劈裂試驗			#4篩以下含量 佔總骨材百分 比
	試體1 (KN)	試體2 (KN)	平均抗彎強 度 (MPa)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	平均劈 裂強度 (MPa)	
15 : 1	1.49	1.4	1.3	34.4	37.5	1.1	23.81
10 : 1	2.18	2.49	2.1	54.1	47.8	1.6	23.81
6 : 1	4.14	4.25	3.7	62.3	59.6	1.9	23.81
再生骨材：回收 砂：水泥之重量 比	試體1 (KN)	試體2 (KN)	抗彎強度 (MPa)	試體1 (KN)	試體2 (KN)	劈裂強 度(MPa)	#4篩以下含量 佔總骨材百分 比
15:0:1	0.43	0.63	0.5	22.3	24.5	0.7	0
10:0:1	1.02	0.91	0.9	28.5	27	0.9	0
6:0:1	1.72	1.54	1.4	30.8	33.5	1.0	0
15 : 1:1	0.77	0.9	0.7	27.6	25.4	0.8	6.25
10 : 1:1	1.21	1.14	1.0	30.2	30.5	1.0	9.09
6:1:1	1.78	1.74	1.6	35	31.1	1.1	14.29
15:2:1	0.76	0.91	0.7	20.2	23.4	0.7	11.76
10:2:1	1.97	1.64	1.6	34.8	30.1	1.0	16.67
6:2:1	2.42	1.93	1.9	47.5	41.7	1.4	25

4-3-3 透水試驗

無細骨材混凝土使用再生骨材之透水試驗的結果於表 4-6 中顯示，其大抵隨粗骨材/水泥的比例越高而遞減。就相同之粗骨材/水泥的比例而言，其亦隨砂量的增加而減少。其量值約在 0.01 cm / sec 至 0.069 cm / sec 間，皆屬良好之透水材料。各配比之透水係數整理如表 4-6 所列。各配比之比較亦繪製於圖 4-14 中。其較使用一般骨材者的相同配比而言，其有 1.03 倍~1.34 倍的增加幅度。



*

為使用全級配再生骨材之試體

圖 4-14 不同配比間之透水係數比較

表 4-6 透水試驗結果

再生之全級配 骨材：水泥重 量比	試體1 (cm ³)	試體2 (cm ³)	試體3 (cm ³)	K (cm / sec)
15 : 1	524	521.5	519.5	0.038
10 : 1	162	170	172.5	0.012
6 : 1	132	133.5	134.5	0.01
再生骨材：回收 砂：水泥之重量 比	試體1 (cm ³)	試體2 (cm ³)	試體3 (cm ³)	K (cm / sec)
15:0:1	468	468.5	471.5	0.069
10:0:1	370.5	371	369.5	0.054
6:0:1	343.5	347	353	0.051
15 : 1:1	380.5	385.5	382	0.056
10 : 1:1	364	364.5	357	0.053
6:1:1	332.5	339	353	0.05
15:2:1	370	377	374	0.055
10:2:1	408	417	419	0.061
6:2:1	328	330	332	0.048

4-4 結論

- (1) 相同配比但使用一般骨材與再生骨材的試驗結果顯示整理如表 4-7 所示，此可為再生骨材的使用於此材料的配比上提供參考。

表 4-7 一般骨材與再生骨材之試驗結果比較

配比	G-fc'	R-fc'	相對百分比%	G-MOR	R-MOR	相對百分比%	G-split	R-split	相對百分比%	G-K	R-K	相對百分比%
15 0 1	4.9	2.1	42.9 %	1.2	0.5	41.7 %	0.85	0.7	82.4 %	0.051	0.069	134.3 %
10 0 1	3.4	3	88.2 %	1.5	0.9	60.0 %	0.85	0.9	105.9 %	0.047	0.054	113.8 %
6 0 1	11.8	6	50.8 %	2.7	1.4	51.9 %	1.81	1	55.2 %	0.045	0.051	112.9 %
15 1 1	2	1.6	80.0 %	0.7	0.7	100.0 %	0.52	0.8	153.8 %	0.054	0.056	103.7 %
10 1 1	3.7	3.2	86.5 %	1.3	1	76.9 %	1.01	1	99.0 %	0.045	0.053	117.1 %
6 1 1	6.5	6.8	104.6 %	1.8	1.6	88.9 %	1.09	1.1	100.9 %	0.041	0.05	120.7 %

註：G：一般骨材

R：再生骨材

fc'：二十八天齡期抗壓強度 (MPa)

MOR：二十八天齡期抗彎強度 (MPa)

split：二十八天齡期劈裂強度 (MPa)

K：二十八天齡期透水係數 (cm/sec)

相對百分比：再生骨材配比/一般骨材配比

(2) 根據水灰比定律回歸的曲線 (如下圖) 顯示其相關係數低, 水灰比定律不適用於描述此混凝土的強度發展狀況, 在拌合時以骨材能為漿體所完全包裹為原則。決定無細骨材混凝土之強度因素在於其粗骨材/水泥比例, 比例為 6:1 時抗彎強度約為 2.5 Mpa (25 kg/cm²), 約相當於抗壓強度 21 Mpa (210 kg/cm²) 之一般混凝土, 可符合目前混凝土人行鋪面之強度要求。

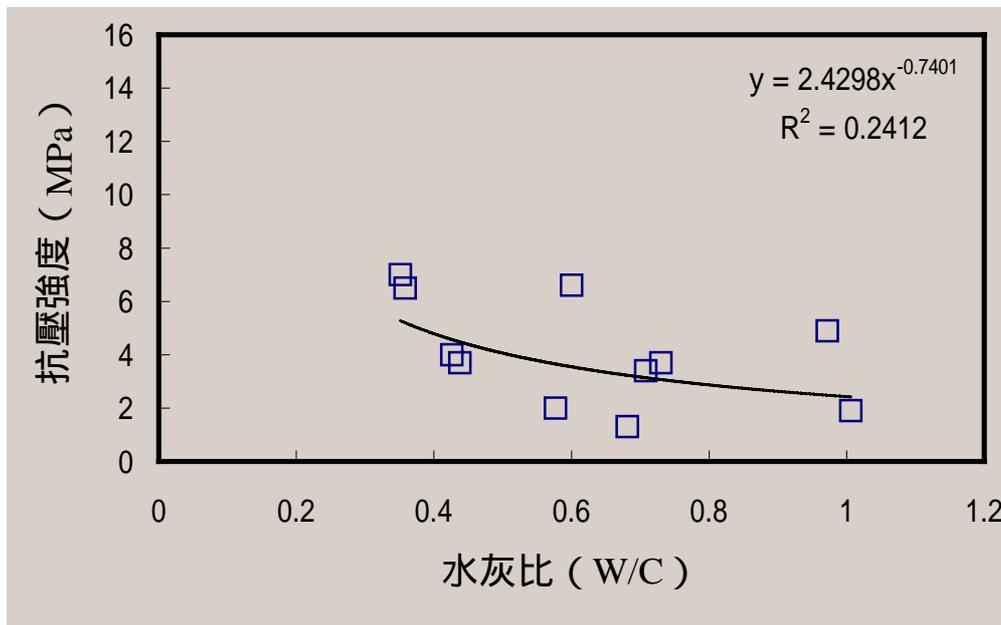


圖 4-15 水灰比與抗壓強度之關係

- (3) 摻加細骨材後，其強度會有下降趨勢：粗骨材/水泥比例為 15、6 的試驗組，其強度下降量約 60%，但粗骨材/水泥比例為 10 的試驗組其強度並無甚大變化。
- (4) 摻加細骨材後，粗骨材/水泥比例為 15、10、6 的試驗組，其透水係數均呈下降趨勢，下降量分別為 16%、10%以及 14%，摻加細骨材對於透水係數的影響為負面效應。
- (5) 根據試驗中，抗彎強度與抗壓強度的回歸結果（如圖 4-15 所示）可知，抗彎強度與抗壓強度二者間具有相當的線性關係，抗彎強度約為抗壓強度的四分之一左右，此可供為爾後鋪面設計中估計使用。
- (6) 在此試驗中，劈裂強度與抗彎強度具有相當的線性關係，劈裂強度約為抗彎強度的三分之二左右。

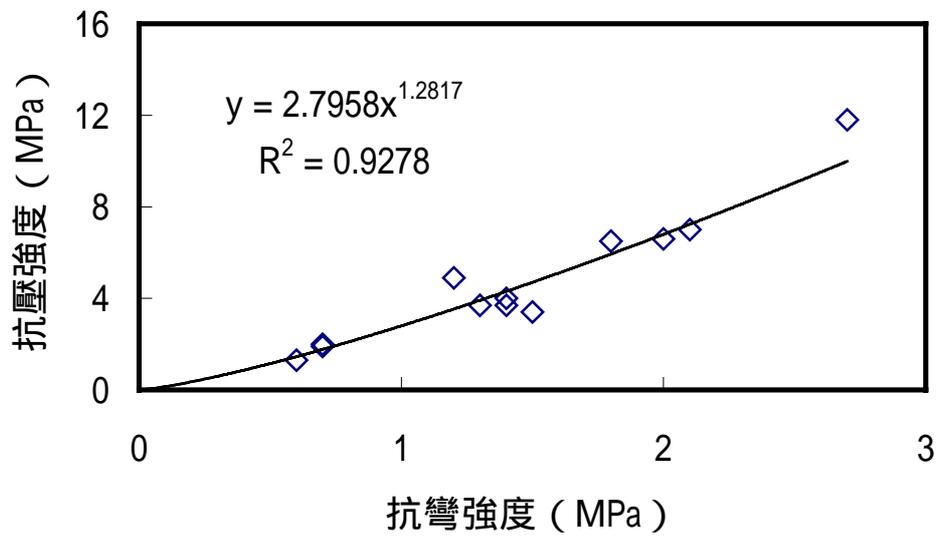


圖 4-16 抗壓、抗彎強度關係圖

第五章 可滲透式人行鋪面現場施工之效益評估

5-1 可滲透式人行鋪面材料之組合

使用無細骨材混凝土於具可滲透式人行道鋪面底層，以利降水的入滲與涵養，可有效減少環境的衝擊等。但其與諸如兼具美化效果鋪面磚面層的結合方式，得詳加考慮及施工及耐久性之問題。

一般鋪面磚之原始材料由水泥、砂、碎石等所組成，其亦為水泥質材料之一種，抗壓強度在 6500psi 以上，吸水率在 5% 以下，表層使用特殊無機色料，使之兼具美觀與實用，為環境美化造景的絕佳素材。一般施工方式由底層級配的鋪設、夯壓至 90% 以上並整平後，使用鬆散的砂漿，黏裹鋪放於基地上。而後，進行勾縫、填充間隙，完成鋪築。由上述之施工方法，可以看出，其鋪築過程中底層夯壓情形好壞將影響鋪設結果甚具，無細骨材混凝土的水泥質材料的可澆結特性恰彌補了夯實問題將產生的影響，應屬理想之底層材料。

本單元以第四章所研究試驗之骨材/砂/水泥比為 15/0/1 的配比，於拌合後，填充於長、寬、高分別為 75cm x75cm x100cm 的容器（試驗容器見下圖），以模擬現場施工之無細骨材混凝土材料的使用狀況。灌注完成之試體，夯實完畢後，先行觀察其表面平整度狀況，並由透水磚製造廠商提供材料及指導施工方法，使用傳統預鑄混凝土鋪面磚之濕式施工方式，以砂漿將鋪面磚與無細骨材混凝土二者進行組合，評估其結合效果。而後，進行透水試驗量測其透水係數，並評估其透水效益，並配合有限元素分析來評估鋪面磚與無細骨材混凝土鋪面之載重能力。

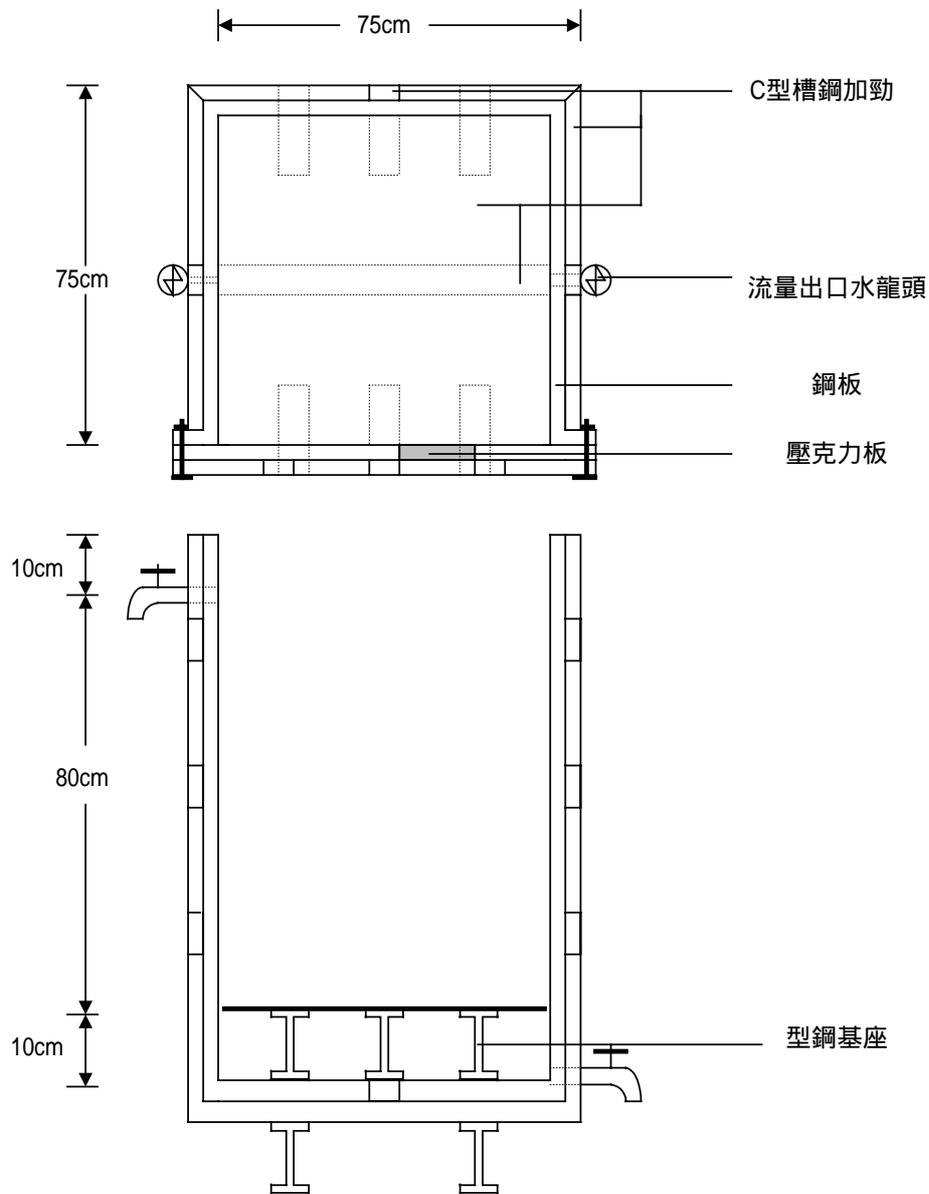


圖 5-1 模擬現場施工之試驗容器斷面圖

5-2 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合斷面施工

使用骨材/砂/水泥比為 15/0/1 的配比，於拌合後，填充於長、寬、高分別為 75cm x75cm x100cm 的鋼模容器製作如下圖 5-2 所示之全尺寸試驗斷面。該全尺寸試驗斷面於灌製時，以人工搗實方法，先行將

無細骨材混凝土，進行壓實工作，並稍加進行混凝土表面的整平修飾。而後鋪上一條與面磚鋪設方向垂直之 5 公分寬、1 公分厚的 1：4 水泥砂漿，進行鋪面磚的黏裹（圖 5-3、5-4 所示）。施工完成，待二十八天齡期後，進行透水試驗。

由本次之現地模擬施作結果發現，其與一般施工方法無太大差異。對於日後現場大規模施作應屬無太大問題。

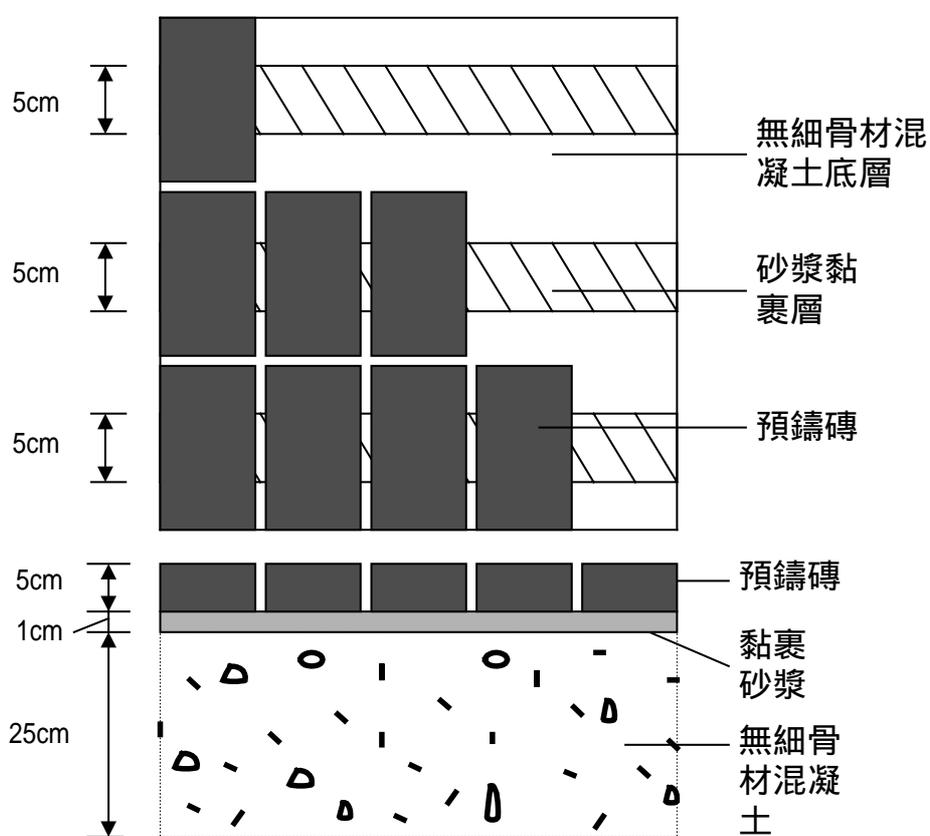


圖 5-2 組合全尺寸試驗斷面製作示意圖



圖 5-3 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合全尺寸試驗斷面

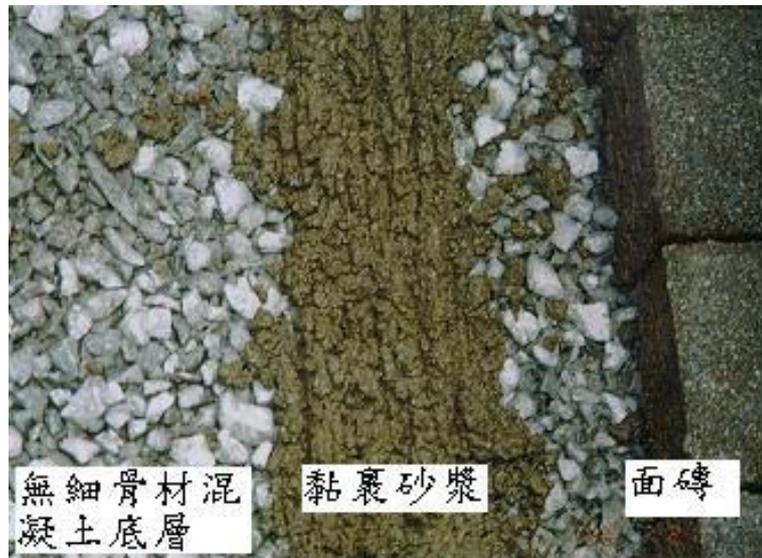


圖 5-4 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合全尺寸試驗斷面



圖 5-5 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合試體

5-3 無細骨材混凝土與面層鋪面磚之組合效益評估

使用上述圖 5-2 之全尺寸試驗斷面與圖 5-1 之試驗裝置，於養生足夠齡期後，開始進行透水試驗。試驗時，先由全尺寸試驗斷面頂端注入水量至水量由容器上端出口水龍頭流出時止。而後開啟試體下端之取水龍頭，並調整入水量，使之試體上端之液面呈現穩定狀況時，開始量測單位時間的出水量，計算滲透率。

試驗結果顯示於表 5-1，由表中可以發現，無細骨材混凝土底層具有相當理想的透水性能其透水係數在 0.02 cm/sec 左右，此較前章試驗結果之 0.038 至 0.069 的試驗值顯然較低，此應是由於大量使用時，使用無細骨材混凝土自重產生的壓密效益，降低了透水的性能。大量使用無細骨材混凝土於底層施作時，透水性能應由小試體試驗值進行約 1/3~1/4 的向下調整，以獲致較佳的排水能力估計。即便如此，此底層透水能力，仍較一般粉土層或黏土層之滲透係數 10^{-4} ~ 10^{-6} cm/sec 的狀況高出許多。在評估基地保水力指標時，無細骨材混凝土底材與混凝土

預鑄鋪面磚的組合鋪面可視為裸露土壤來計算。

表 5-1 細骨材混凝土與面層預鑄磚之透水性能試驗

	水頭高度 (cm)	試體厚度 (cm)	試體面積 (cm ²)	量取時間 (sec)	量取重量 (g)	K值 (cm/sec)	平均值 (cm/sec)
無細骨 材混凝 土底層	51	25	5625	60	15382	0.022	0.021
	51	25	5625	60	14028	0.020	
	51	25	5625	60	14697	0.021	
透水磚 面層鋪 設後	51	30	5625	60	10214	0.018	0.019
	51	30	5625	60	12080	0.021	
	51	30	5625	60	11147	0.019	

且表中更顯示出無細骨材混凝土底材與混凝土鋪面磚的組合，其全尺寸試驗斷面透水試驗的滲透係數約在 0.018 cm/sec~0.021 cm/sec 之間，其滲透係數與無細骨材混凝土底層的透水試驗差異在 10% 之內，並不至對透水性能產生重大折減。此滲透的速度，對於落水的排除有甚大的幫助，將可有效減少市區人行道鋪面為人詬病的積水問題並減少雨水逕流量，降低公共排水設施容量，減緩都市洪水發生之概率，還能增加土壤的濕潤，增加生物、微生物的生活空間，提昇都市的生態環境品質。

5-4 現地可滲透式人行道之透水試驗方法

本單元以現場試驗方式評估可滲透式人行道鋪面之透水情形，以為爾後使用透水磚及無細骨材混凝土於可滲透式鋪面的評估方法，便於設計單位檢查、驗收之用。

本試驗方式室參考日本道路協會「排水性鋪裝技術指針(案)」中現場透水量試驗方法來進行，該試驗器具，如圖 5-6 所示。試驗所需之器具，計有黏土、碼錶、等量測工具。試驗時，先行去除掉鋪裝路

面的雜物，稍加整平後，將現場透水試驗器底板外週的底面附著上長約 50 公分左右、直徑約 1 公分的油性黏土，然後，將試驗儀器壓著於路面上，在檢視確認無漏水現象後，開始進行試驗。

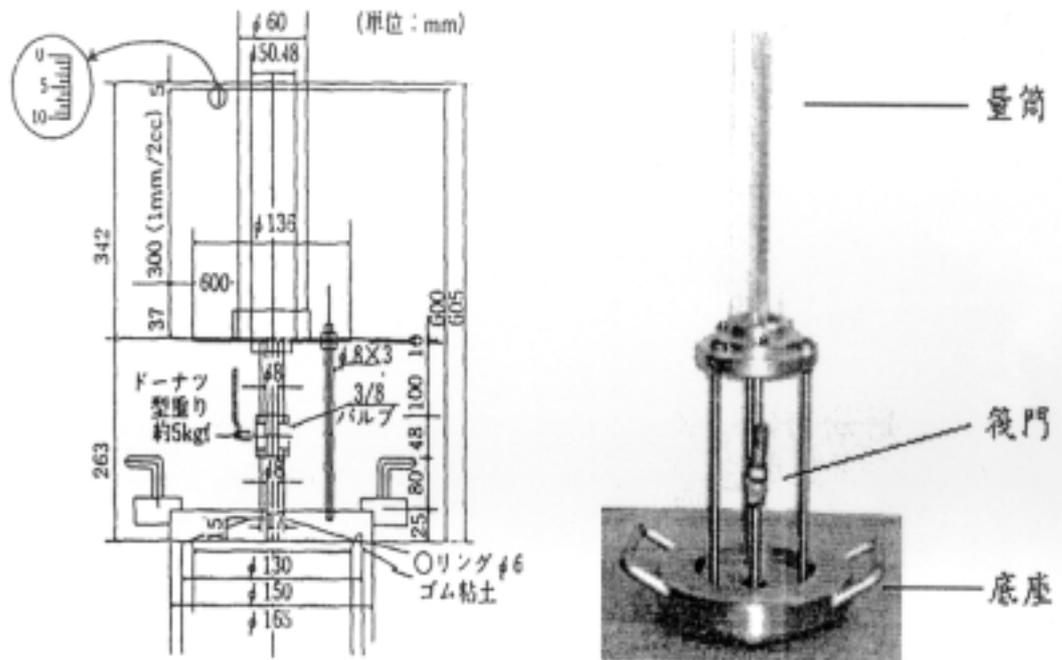


圖 5-6 現場透水試驗儀

試驗時，先行於試驗儀器圓桶上方固定相距 300mm 的位置做下記號，而後關閉圓桶底端閥門，並填充淨水於試驗儀器圓桶中，直至圓桶滿水後止。試驗開始開啟閥門後，待水流至兩記號之上方記號時，開始計時，直至水下降至下方記號時為試驗終了並紀錄時間。該時間與流下之 300cc 水量，計算出每 15 秒鐘的流下水量，稱為透水量 (ml/15sec)，即可估計為該現場之透水係數。現場之透水試驗與試驗室方法之不同在於其滲透是無方向性的，所以在無堵塞之情況下會比試驗室之透水係數要高。

使用上述之試驗儀器，預鑄磚面層鋪設後之透水能力約在

3165cc/15sec ~ 2910cc/15sec 之間，換算成收集之水體積，則約在 12.66 kgw/min ~11.64 kgw/min 左右，與定水頭試驗所得之 12.08 kgw/min ~10.21 kgw/min 量測結果，取得相當的一致。該儀器使用於現場鋪面，將可確切檢驗出鋪面的透水能力。

5-5 可滲透式人行道之載重能力評估

有限元素分析採用 Wi.llam-Wrank 五參數法則之材料組成律，應力分析時簡化為平面應變模式。基本參數給定如下，E_{面層}：5000000 psi，包生比(Poisn Ratio)：0.15；E_{無細骨材混凝土}：3000000 psi，包生比：0.15；E_{底層}：10000 psi 包生比：0.35。分析之幾何形狀如下所示。建構無細骨材混凝土層厚度與需求抗彎強度關係。

表 5-2 細骨材混凝土厚度與需求抗彎強度關係

無細骨材 混凝土厚 度 (in)	載重 種類	A		B		C		D	
		xx	zz	xx	zz	xx	zz	xx	zz
4	卡車	-367.8	-84.1	-34.9	-73.6	108.9	-41.4	1.3	-25.3
	小汽車	-185.9	-42.4	-17.5	-36.8	54.4	-20.7	0.65	-13.3
	機車	-81.7	-18.8	-7.8	-16.4	24.2	-9.2	0.3	-5.9
6	卡車	-315.7	-86.7	-64.9	-76.1	92	-33.4	0.89	-22.6
	小汽車	157.9	-43.4	-32.5	-38.1	45.2	-16.7	0.45	-11.3
	機車	-70.1	-19.3	-14.4	-16.9	20.1	-7.4	0.2	-5.03
8	卡車	-281.3	-88.1	-75.5	-79	76.9	-28.1	0.62	-19.9
	小汽車	-140.6	-44.1	-37.7	-39.5	38.5	-14.1	0.3	-9.96
	機車	-62.5	-19.6	-16.8	-17.6	17.1	-6.3	0.14	-4.4

使用單位：psi；+：張力；-：壓力

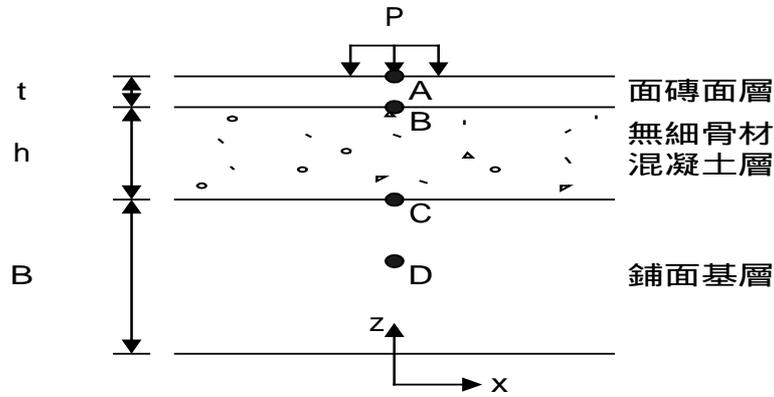


圖 5-7 人行道載重能力分析斷面圖

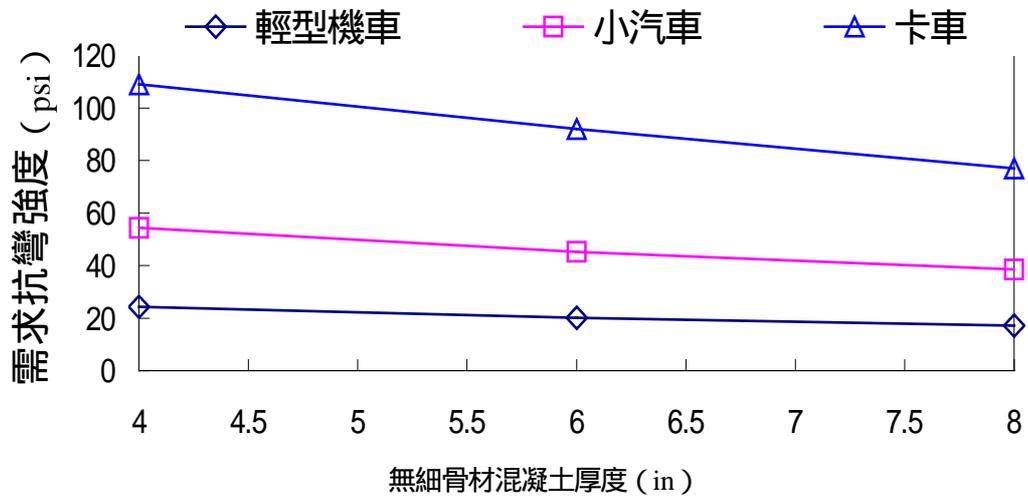


圖 5-8 基層厚度與所受張應力之關係

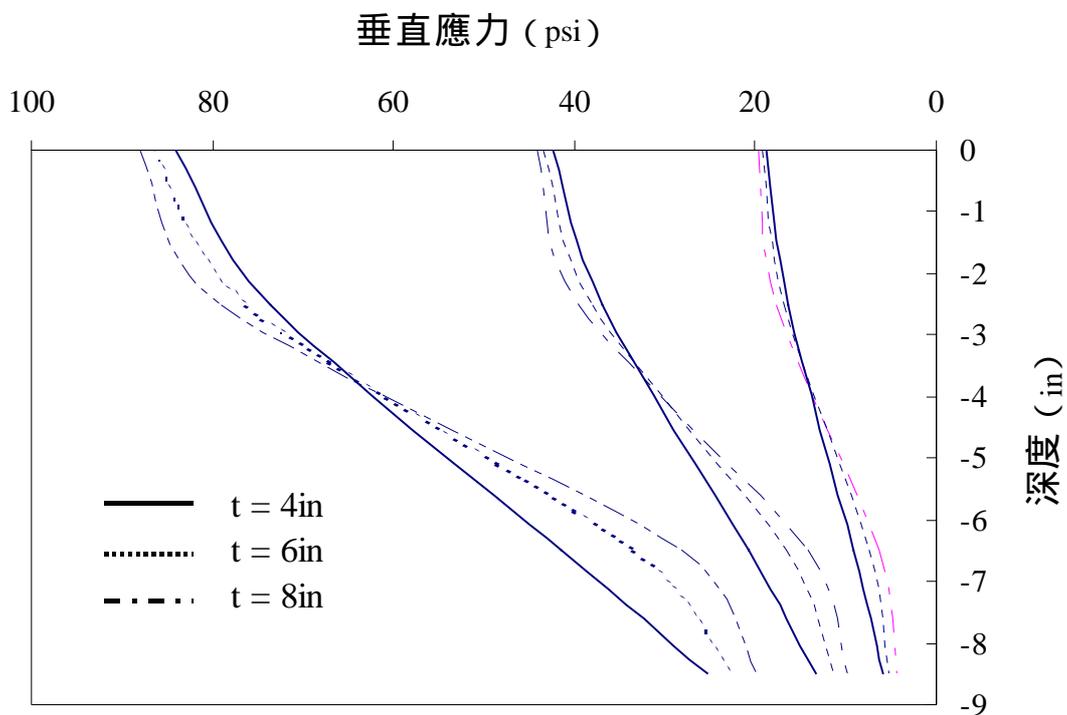


圖 5-9 基層厚度與所受正向壓力之關係

由以上分析可知，決定斷面厚度時主要以混凝土之抗彎強度所控制，以 15/0/1 的配比之無細骨材混凝土為例，其抗彎強度約為 1 Mpa (145 psi)，以 60%強度作為容許應力約在 0.6 Mpa (87 psi)，使用 20 公分之無細骨材混凝土基層來施工將可滿足一般卡車停放其上，僅考慮小汽車及機車時則使用 10 公分之無細骨材混凝土基層來施工。

可滲透式人行道鋪面施工成本與一般高壓混凝土磚人行道鋪面施工成本並無太大差異，其成本主要考量在於面層透水磚之單價將因材質之不同而有所差異。一般而言，高壓混凝土材質之透水磚其人行道施工單價約 1600 元 / m^2 ，而窯燒透水磚面層之人行道鋪面連工帶料單價約為 4500 元 / m^2 。下表為各種型式人行道施工法之單價分析。

表 5-3 各人行道工法之成本分析

PC鋪面人行道		高壓混凝土磚 人行鋪面		濕式透水鋪面		乾式透水鋪面	
挖方	90.18	挖方	122.01	挖方	122.01	挖方	122.01
廢方 處理	1141.09	廢方 處理	1575.8	廢方 處理	1575.8	廢方 處理	1575.8
土壤夯實 費	500	土壤夯實費	500	土壤夯實費	500	土壤夯實費	500
混凝土澆 注	3332.0	混凝土澆注	2905.6	無細骨材混 凝土澆注	3094.1	無細骨材混 凝土澆注	3094.12
鋼絲網	500	1 : 3砂漿	537.66	1 : 3砂漿	573.66	粗砂	300
表面條紋 切割處理	3000	鋼絲網	500	透水磚	7650	透水磚	7650
伸縮縫	200	混凝土磚	10920	伸縮縫	200	伸縮縫	200
工資	115	伸縮縫	200	工資	565	工資	565
其他	976.58	工資	565	其他	1782	其他	1743
		其他	1960.8				
9854.9 元/10m ²		17826.1 元/10m ²		16062.59 元/10m ²		15749.93 元/10m ²	

第六章 可滲透式人行鋪面之設計與施工

6-1 設計考量

為了減緩都市氣候高溫化、乾燥化的熱島現象效應，增加雨水的截流與地下水之涵養、減少都市洪水發生率，改善都市生態環境，本研究同時提出常用透水鋪面的標準施工圖，以增強建築及都市設計者基地保養水設計方面的能力。依照本研究的成果，不但能減少雨水逕流量，降低公共排水設施容量，減緩都市洪水發生之概率，還能增加土壤的濕潤，增加生物、微生物的生活空間，提昇都市的生態環境品質。這在促進都市生態綠化和永續發展的目標上，是一項十分重要的突破。

6-1-1 適用場所

由於考量耐久性的問題，透水性鋪設大多適用於荷重條件較溫和的行人步道，例如：街道、徒步區、車站前的廣場或公園廣場等的開放空間，至於車道的透水性鋪設，主要適用於輕量交通道路，例如：停車場，商店街或住宅地等行人與車輛共同通行道路等。

以運動設施來看，具有透水機能的鋪設，降雨後的排水較佳，可以立即使用，且由於水處理等的維護作業減少，大多適用於運動設施的施工上，例如：田徑賽場的跑道、棒球場等球場及學校操場等。

另一方面，民間私有地也可適用透水性鋪設，例如：建地寬廣的工場內部道路或停車場，住宅地內外的停車場等。

6-1-2 透水性鋪設種類

透水性鋪設的種類目前在國外已研發出瀝青混合物以外的材料來表現各種景觀，混合物的種類有顏料添加物、彩色骨材、陶瓷骨材、天然砂礫，以及具有彈性的橡皮或木材等，工廠製造的水泥製品，有以混凝土為主要原料的幾何形狀的連鎖磚或混凝土平板，以及橡皮或陶瓷等塊狀加工物，除此之外，還有片狀的人工草皮。

表 6-1 為各不同表層分類的透水性材料，透水性瀝青混合物以外也有各種的表層材料。

表 6-1 具有透水機能的表層材料

區分	表層分類		主要的使用材料
混合物系	加熱混合物系	瀝青系	透水性瀝青混合物 改質透水性瀝青混合物 著色透水性瀝青混合物 彩色骨材混合物 彈性瀝青混合物
		樹脂系	熱可塑性樹脂混合物
	常溫混合物系	樹脂系	樹脂灰漿 天然小砂礫 陶瓷骨材 橡膠屑 木屑，木質纖維
		瀝青乳劑系	常溫瀝青混合物
混凝土系			光面混凝土
塗膜系	常溫塗膜系	溶劑系	壓克力樹脂等
水泥製品系	砌塊系		連鎖磚 混凝土平板 陶瓷塊 橡膠塊
	人工草皮系		人工草皮 混砂人工草皮
粘土系	單一土		粗製木材粘土，砂質黏土
	混合土		爐渣
	人工土		綠色篩屑

	草皮	野草，韓國草，西洋草
其他	自然石	天然小砂礫

6-1-3 鋪設材料的選用

鋪設材料一般首先想到的便是瀝青或混凝土等材質，但是在人性化的鋪設上，不應只著重於鋪設的機能面，也應考量周邊環境或鋪設景觀以及街道等條件來選擇適當的鋪設材料。鋪設材都具有支撐荷重且將此荷重傳達至下層的強度，同時也具有止滑與抵抗磨損等的耐久性，因此鋪設的設計基本與一般的道路鋪設有所不同。

在強調人性化的鋪設方面，交通量與道路機能等就非人行道鋪設的選用基準，反而周邊環境或建物的調和，結構物的配置或空間的利用等才是鋪設材選用的主要條件。選定的鋪設材必須檢討其耐久性，經濟性，施工性等，合格後，才決定採用此鋪設材的斷面構造。

一般鋪設材料的選用流程如下：

1. 進行鋪設設計時，了解鋪設面或鋪設空間的真正目的是最重要的一環，依據流量，使用型態的推測，使用者的選擇，周邊環境等，進行鋪設空間的定位。
2. 使用鋪設路面時，對於是否供行人或停車用，貨物搬運等輕型車輛的通過，或植栽等維修車輛是否強行進入等使用鋪設路面的交通種類，應於事前制定相關計畫之後，決定設計荷重，以及鋪設材的必要厚度等。
3. 進行鋪設地點的地形，地質，地下水位等的詳細調查與實驗，並且正確掌握氣象件，自然環境等的地域特徵。
4. 雖是依據鋪設面的設計條件選擇鋪設的表面材料，但仍必須詳細了

解材料的材質、形狀、色彩及施工法的特徵後，再進行選用。

5. 對於選用的鋪設材料，必須檢討其耐久性、耐候性、通行性、施工性及經濟性等。
6. 決定符合鋪設材或交通機能的鋪設斷面構造。

圖 6-1 為決定鋪設材料的考慮流程。

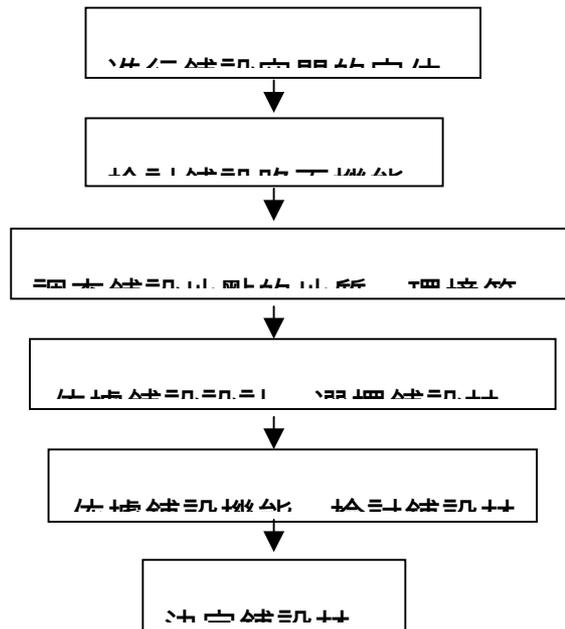


圖 6-1 鋪設材的選用流程圖

依據此流程來選擇鋪設材料，但行人步道所使用的鋪設材，與車道使用的鋪設材不同，必須檢討其差異性，並應符合如下條件：

1. 耐久性：考量鋪設用途、面積、環境及設計等之後，選擇鋪設材，但對於有荷重的鋪設路面，必須具有耐荷重的材質與構造。
2. 耐候性：利用符合鋪設地點地質或氣象條件等的材質，維持施工初期的色彩與光澤，且避免紫外線照射使色彩產生變化，以及材

質惡化的現象。

- 3.通行性：由於是人性化的鋪設，因此具有彈性，通行性佳，且不易附著灰塵，行人不會產生不舒適感。
- 4.安全性：利用止滑材質，儘可能屬於少凹凸的安全材質。
- 5.施工性：施工容易且經濟的材質，最好也是容易修補的材質。

在鋪設材的耐久性表現方面，通常進行各材料的抗壓強度實驗以及抗彎強度實驗，以符合各材料的適當數據，判斷其耐久性。混凝土平板的耐久性，依 CNS 13295[高壓混凝土連鎖地磚]規定的強度實驗方法進行判斷，但目前尚無統一的基準值。不過實際上，單以鋪設材的強度，無法判斷耐久性，鋪設內容或基層厚度、路面強度等各因素均會影響耐久性的判斷，因此，應在一定條件下，進行實驗，判斷耐久性。

在考量鋪設材的耐久性後，相反地，應調查鋪設材的破壞狀況，並且根據調查結果，檢討鋪設材的耐久性。

根據以往的經驗顯示，一般鋪面的破壞原因可整理歸納如下：

1. 材料本身有問題。
2. 路基、路面的施工本身有問題。
3. 鋪面的使用狀況不當。

通常發生第 1 項的情況是：於工廠加工的水泥製品與現場施工的材料，其破壞原因不同。水泥製品大多會出現因材料或其材質不佳，

製品厚度或寬度的尺寸差異過大等的瑕疵品破損的情況，且鋪設材料有多層構造，在其製造過程中可能會出現一些問題。其次，在現場施工的鋪設材方面，混合時的溫度不足或比例不符合規定，或施工時的降雨影響材料，或在接著材料時，常會在這些不當使用方法的情況下，出現損傷的狀況。

第 2 項的情況通常是由於基底層的夯壓不足，造成填土部出現不均勻下陷，且因這些原因造成破損時或基層軟弱時，會出現無法充分壓實，且在鋪表面發生許多細縫的狀況。而且，也會出現鋪設材下方襯墊砂的厚度不適當，鋪設面凹凸的情況，由於這些原因造成鋪設材的角度缺損，破裂等狀況，以致於擴大破損的範圍。其次，鋪設處有許多工作縫，但如果接縫的間隔不足，或接縫範圍與接著材料的材質不適當時，整個鋪設面會出現膨脹或收縮，而且鋪設整體膨脹時，工作縫以外的地方也會出現龜裂現象。

第 3 項的情況是因不明車輛侵入，造成破損，或放置長凳或重物，局部地方產生集中荷重作用的情況，或是搬運中貨物突然掉落，衝擊表面，造成破損的情況。而且，也會出現種植在鋪面內部的植物成長後，地下莖伸展至鋪設面下方，表層鋪設材料往上脫落、龜裂的現象。

由以上破壞狀況所歸納出之結果，得知單以材料的強度實驗結果，無法判斷鋪面的耐久性，必須整合性地檢討鋪設地點的環境以及使用狀況等條件後，選擇適當的鋪面材料。

6-2 設計方法

6-2-1 透水性鋪面設計概述

在透水性鋪面的構造設計中，各層所使用的材料必須全部具有透水性之機能，由於人行道之荷載較小，進行設計時，如果直接採用一般道路的鋪設基準時，會形成結構過大的設計。

表 6-2 為依據不同的設計要求與斷面結構差異的透水性鋪面分類表，其中行人步道與車道的鋪設斷面是依據路面的 CBR 值或交通量及施工性來區分，即使表層使用之材料不同（如瀝青混凝土或拼接連鎖磚），其在路面以下之構造為完全相同的。

圖 6-2 為透水性鋪面的設計流程圖，在決定鋪設構造之前，應進行表面溢流量的計算，透水性鋪設的目的不只是能承載交通荷重，其更有儲存滲透雨水的功能。因此在設計時應依據某降雨強度，求出鋪設表面的溢流量，進行排水設施的設計，此時若鋪設表面為不溢流的斷面時，通常較為不經濟，因此，應變更鋪設厚度或是進行排水設施設置等，比較其經濟性之後再進行判斷較為適當。

表 6-2 透水性鋪設之區分*

設計區分		使用場所	設計條件	不同設計區分的鋪設斷面	
				表層使用材料	標準斷面
行人 步道	步道	步道、廣場、徒步區、慢跑步道等	提供行人或腳踏車通行的步道，腳踏車專用道	透水性瀝青 混凝土	<p>表層(透水性) 3-4cm 透水性路基 10cm (過濾層) (5-10cm)</p> <p>路床</p> <p>(註)過濾層也可用不織布代替</p>
	步道	步道入口廣場、徒步區、停車場等	指定車輛的通行步道	拼接式鋪面 天然小砂礫 橡膠屑等	<p>表層(透水性) 4-5cm 透水性路基 15cm (過濾層) (5-15cm)</p> <p>路床</p> <p>(註)過濾層也可用不織布代替</p>
車道	車道	車道、人車共用道路、停車場、商店街、廣場徒步區	大型車通行量 10 輛以下	透水性瀝青 混凝土	<p>表層(透水性) 4-5cm 透水性上層路基 7-12cm 透水性下層路基 7cm (過濾層) (10-15cm)</p> <p>路床</p> <p>(註1)過濾層也可用不織布代替 (註2)上層路基採用透水性安定處理路基時之標準厚度為 5-6cm</p>
	車道		大型車通行量 10-55 輛		

* 日本道路協會'瀝青鋪設要領'；透水性鋪設手冊；景觀鋪設手冊

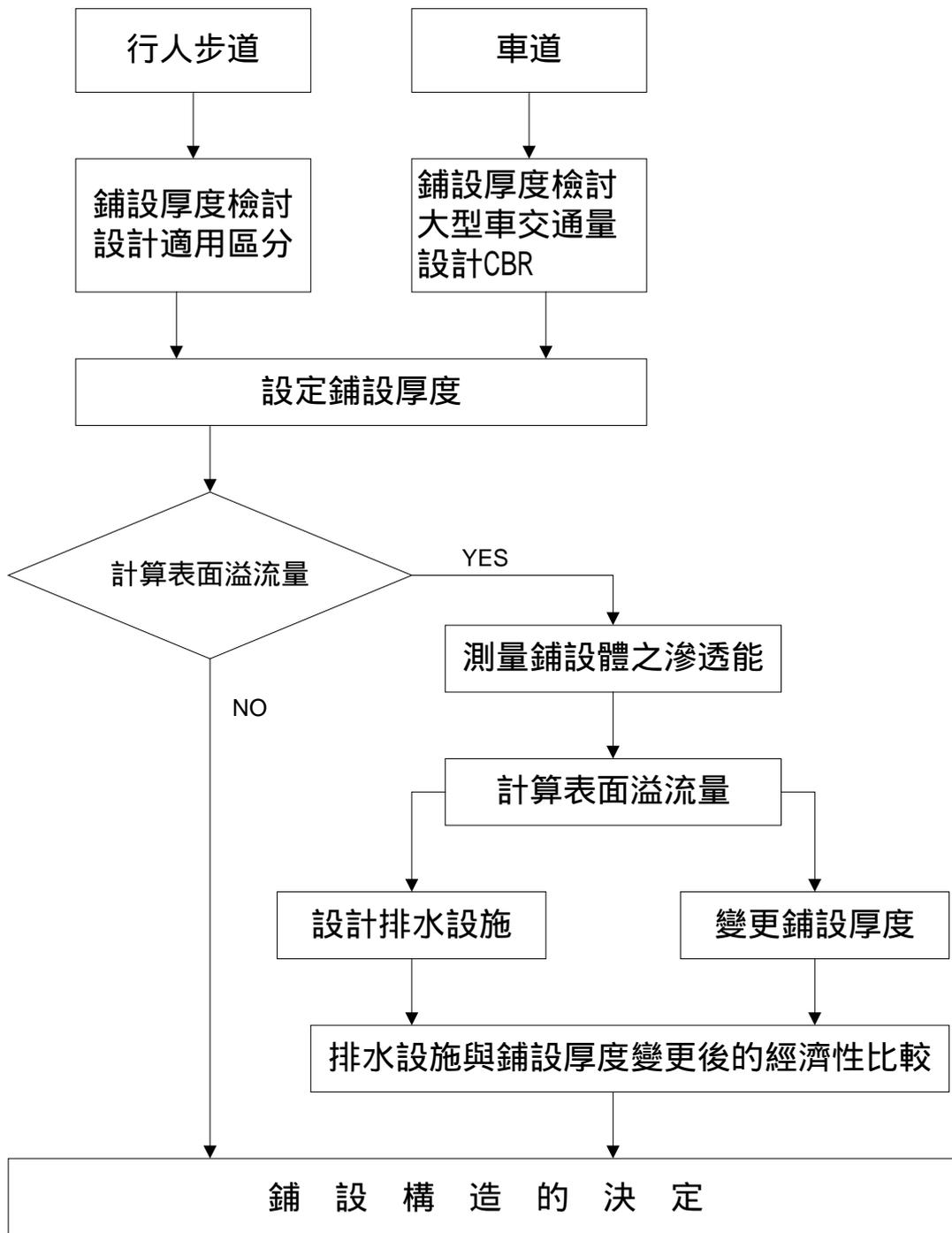


圖 6-2 設計流程

目前的人行道，不只是提供行人通行，也須考量車輛進入的情

況，因此必須不同於只提供步行的鋪設基準來進行設計。行人通行步道的鋪設，雖然表層荷重小，但由於使用各種鋪設材料，因此必須設計適用此材料的鋪設內容。標準的鋪設斷面如一般的道路鋪設，由表層、基層及路基等構成，整體鋪設則是由路基支撐，與一般道路相同，路床土會影響鋪設內容，路床是在鋪設面下方，厚度約 1m 左右，但由於路床土的性質影響鋪設構造，因此，必須於事前進行土質調查或土質實驗。路床可直接利用當地土質，但若設計 CBR 在 2 以下的軟弱地盤，也有替換良質材料（替換工法），或添加水泥或石灰來改良地盤（安定處理工法），來重新製造路床的情況。而且，為了防止路床土因地下水位上昇而進入路基內，以及防止路基軟化，也有在路基下設計 15-30cm 阻斷層（砂層）的狀況。

路基有分散上面荷重且傳至路床的功用，但若路基無充分的支撐力時，會出現鋪設面下陷，表層無法充分碾壓等各種問題，因此，通常利用具有耐久性的碎石，進行壓實路基。

基層（緩衝層）處於表層與路基之間，雖是具有撓性的鋪面設計，但行人步道由於載重小，因此可以不必特別設計基層，使用連鎖磚或混凝土塊磚等水泥製品的鋪設材料時，要維持表層的平坦性，應在表層下方設置緩衝層，緩衝層可採用襯墊砂或鬆散砂漿。

一般鋪面在設計時須考慮的因素有路基及路床的承載能力、鋪面荷重及排水等，以下簡要說明：

（1）CBR 試驗

在鋪面設計上，路床土的性質相當重要，判斷方法之一是採用 CBR（加州承載比）實驗，不只路床，路基也可進行相同實驗來判斷路基的承載力。路床的 CBR 稱為設計 CBR，如下式求出設計 CBR：

設計 CBR = 各地點的 CBR 平均值 - (CBR 最大值 - CBR 最小值) / d₂

其中 d₂ 為計算係數 (如表 6-3 所示) , 設計 CBR 在 2 以下時 , 屬於軟弱路床 , 設計 CBR 在 2.5 以下時 , 則必須在路床之上設置阻斷層。

路基通常利用礦渣、級配碎石或砂粒等來架構 , 但仍進行相同的 CBR 實驗以判斷這些材料的強度 , 此實驗結果為修正 CBR。

表 6-3 設計 CBR 的計算係數

個數 (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10 以上
d ₂	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

(2) 荷重

人行道鋪面的荷載有鞋跟荷重 , 腳踏車荷重 , 長凳等的荷重及車輛荷重等 , 此外 , 由於材料本身的水分或溫度變化而發生的水平方向的壓縮力、張力或鋪設表面與裏面的溫度差 , 或路基容積變化所產生的應力等 , 造成各種應力作用。必須計算這些應力後 , 決定鋪設的載荷重 , 考量各種交通狀況後 , 設計載荷重。不過 , 以過去的實施案例或破損狀況來決定鋪設的厚度 , 更能符合實際狀況。

(3) 排水

行人步道的鋪設 , 提供降雨時行人得以舒適地通行 , 因此採用將雨水滲透至鋪面下方或是表面排出等各種方法 , 可滲透式人行鋪面由

於有地下水的維護管理與樹木的給水等目的，為透水性鋪設，將流至地面的雨水滲透至地下。

一般影響鋪設的水包括 1.流至鋪設表面或由鄰接地流入的水，2.由地下水通過土間隙流出的管路水，或由於鋪設工作縫龜裂，流入路基內造成的積水，3.鋪設下方的流動水等。這些水分会影響鋪設結構，尤其是瀝青鋪設時，水分極容易造成材料分離，而且，路基內的積水無法排出，會降低路基的支撐力，因此在進行鋪面設計時，注意水的處理而進行的設計，是維持鋪面長時間使用的最重要因素。

1.表面排水：流至鋪設面的水，會沿著路面坡度流至側溝或暗渠排出，在人行道的鋪設上，大約只有 1.5-2.5%的坡度進行排水，在水泥製品的鋪面上，則不重視排水方向或坡度，是以人的活動方向或鋪設設計，來決定排水方向。

2.路基排水：在透水性鋪面的鋪設上，滲透至表層的水會通過襯墊砂或鬆散砂漿而滲透至路基，但由於透過路床滲透至地下的水量有限，以路基的孔隙率與表層的保水能力來決定其機能，在設計上，必須儘早排出路基內的積水，因鋪設末端大多利用緣石或側溝等阻塞路基內的積水，由於路基內的水無法迅速排出，常會發生影響鋪設的情況，因此如何妥善規劃以避免此一情況為透水性鋪面設計上必須考慮之問題。

6-2-2 多孔性透水鋪面的設計

多孔性透水鋪面一般多使用瀝青混合物透水性鋪面，在國內透水性瀝青混凝土大多用於道路路面，而在國外，以日本為例，人行道使用瀝青混合物作為鋪面材料已是相當普遍的情況，且已發展出相當多種的瀝青混合物，在色彩與景觀上均有相當豐富的變化，此種透水性

鋪面已具有標準的鋪設斷面。

以下就各種設計區分所考慮的設計案例：

(1) 透水性鋪面的設計

i) 排水處理

排水末端的排水設施有限制時或同時進行排水設施的設計時，應檢討透水性鋪面的斷面厚度或進行滲透溝或滲透井等設施的整合檢討。

ii) 縱橫斷洩水坡度

鋪設面的橫斷洩水坡度標準為 1.5%-2.0%，這是因為考量降雨量超出透水性鋪面的保水滲透能力，以及長時間變化產生孔隙阻塞而設計。

iii) 其他

透水性鋪面由於砂土極容易造成孔隙阻塞，因此必須注意防止砂土流入。

(2) 人行道透水性鋪面的結構設計

i) 適用對象

依據設計適用區分（步道 I，步道 II）來決定行人步道透水性鋪設內容。

a) 步道 I

提供行人或腳踏車通行的步道，腳踏車專用道。

b) 步道 II

行人及腳踏車以外，最大載重量 4t 以下的車輛或一般指定車輛的

通行道路，以及輕型車輛的停車場等。

ii) 斷面

步道 之斷面結構及外觀見圖 6-3 ，圖 6-4 ；步道 之斷面結構及外觀見圖 6-5 ，圖 6-6。

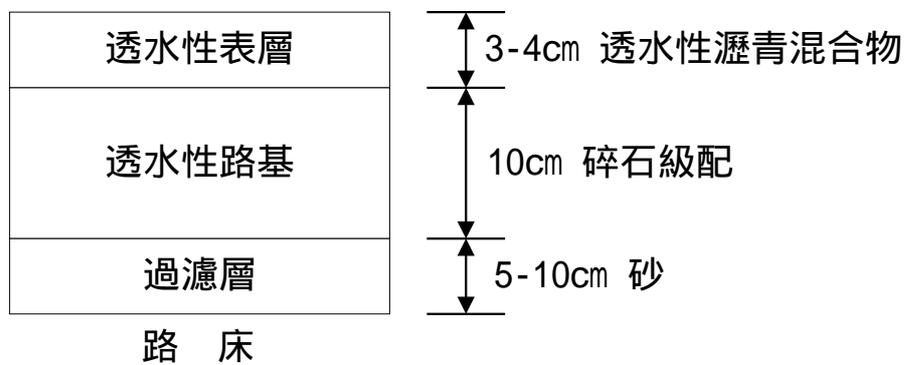


圖 6-3 步道I 斷面結構 (行人步道 ， 腳踏車道)



圖 6-4 透水性瀝青混合物人行道

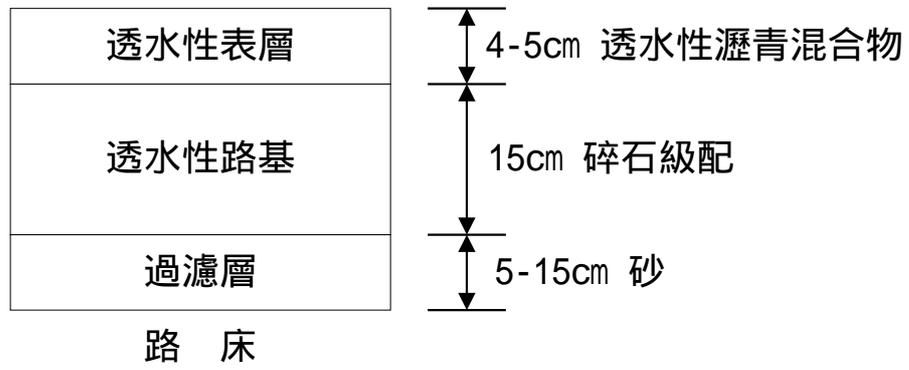


圖 6-5 步道 II 的斷面結構 (行人步道 , 輕型車輛停車場等)



圖 6-6 停車場 (輕型車輛停車場等)

(3) 施工

i) 路床

路床表面不得破壞規定的形狀，且必須為平坦的表面。

ii) 過濾層

過濾層厚度應平均，以小型推土機等整平或碾壓，避免過濾層厚度不均或路床土混入。

iii) 路基

以人力、小型推土機或平路機，依指定的形狀整平路面，避免產生材料分離的情形，而後利用小型壓路機、填土機、串聯式壓路機或碎石壓路機以及輪胎壓路機等，壓實路基，保持適當密度與透水機能，壓實密度應符合相關規定。

iv) 表層

a) 拌合及運送

1. 要特別注意乾燥造成的骨材過熱以及拌合溫度。
2. 冬季施工或長距離運送時，必須特別注意溫度的保持。

b) 鋪平

1. 進行人工鋪設時，在混合物溫度未降低前，必須迅速進行鋪設，而且必須注意材料有產生無析離的現象。
2. 進行機械鋪設時，必須注意以人工修正的話，會產生表面性質的改變以及無法均勻地修飾。
3. 透水性瀝青混合物由於會快速地降溫，因此必須特別注意溫度的管理。

c) 壓實

相較於其他的瀝青混合物，由於溫度迅速下降，因此必須充

分進行溫度管理，以及儘速進行碾壓，壓實時利用小型振動壓路機，並且於鋪設完畢後立即進行第一次碾壓，二次碾壓則是利用振動夯壓，儘可能持續長區間地碾壓，以確保平坦性。

d) 縫

1. 透水性鋪設時，由於橫縫、縱縫及構造物之間的續接部份特別容易成為鋪設弱點，因此，必須充分進行壓實及接著作業。
2. 工作縫是利用鋪設型板，以垂直方式避免重疊。

6-2-3 非連續拼接鋪面

鋪面若只是單純地提供行人或車輛通行的話，利用成本不高的瀝青鋪設即可，但隨著周邊環境的調和，地域性的表現，親和力，舒適性等的訴求，除了以黑色瀝青或白色混凝土鋪設以外，在世界各地都是進行著考量色彩、質感及設計等的景觀性表現的各種鋪面型式。類似這樣的鋪設方式，表層材料具有透水機能，加上表現其景觀性，以及不易積水，可保持通行的舒適感。

(1) 透水性連鎖磚鋪面

連鎖磚具有各種顏色與形狀，以利用各不同種類的連鎖磚，在鋪設面上進行修飾，可調和周邊環境。人行道的鋪設斷面，通常在10cm厚的路基上鋪設3cm厚的襯墊砂，且在其上鋪設連鎖磚，磚本身若具透水性，其透水係數一般要求為 $1 \times 10^{-2} \text{cm/sec.}$ ，此種鋪面之斷面構造見圖6-7，施工例見圖6-8。

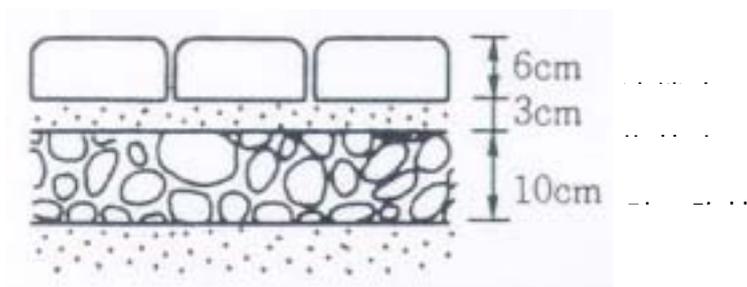


圖 6-7 透水性連鎖磚鋪設斷面圖



圖 6-8 透水性連鎖磚鋪面

(2) 透水性混凝土磚或平板鋪面

混凝土磚或平板的種類有：混凝土的普通平板，表面著色的彩色磚或平板，小砂粒、碎石及大理石等的骨材露出表面的磚或平板，以及利用碎石等表面加工的泥擬石平板等四種，若具有透水機能的話，便成為透水磚或平板。混凝土磚或平板一般厚度為 4 至 6cm，可利用不同顏色的平板組合成為多變的鋪面型態。圖 6-9 為濕式施

工法透水性混凝土平板鋪設斷面圖，圖 6-10 為乾式施工法透水性混凝土平板鋪設斷面圖，施工例見圖 6-11。

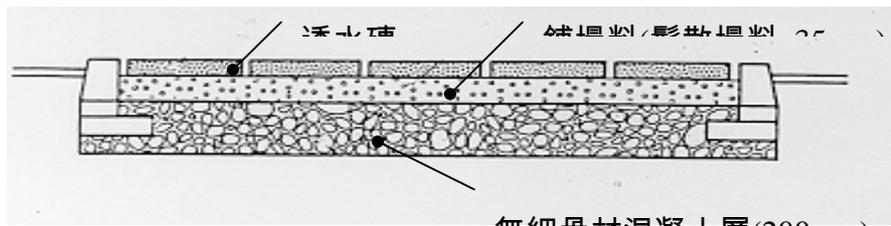


圖 6-9 透水性混凝土平板鋪設斷面圖(濕式)

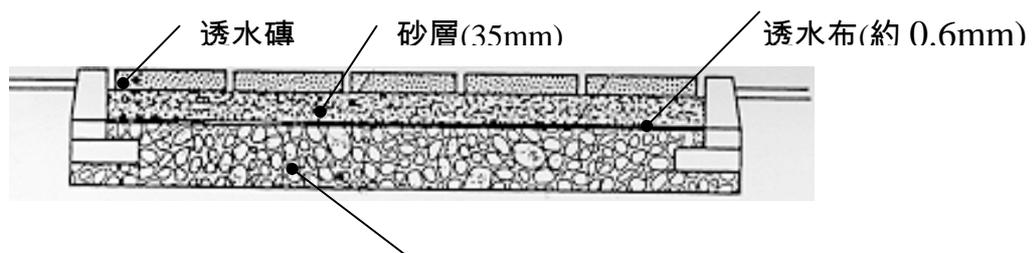


圖 6-10 透水性混凝土平板鋪設斷面圖(乾式)



圖 6-11 透水性混凝土平板

6-3 透水性鋪面的滲透能力

進行透水性鋪面設計時，除交通量及設計 CBR 等設計條件外，也應考量降雨量及路床土壤的滲透能力等，最理想的設計為滲透至路床的鋪設斷面，避免雨水自鋪設表面溢出，但是這類斷面相當不具經濟效益，因此，配合排水設施的設計，同時進行防制溢流的鋪設厚度設計時，必須比較是否加厚鋪設厚度，以及是否設置排水設施等的經濟效益後，再來決定鋪設斷面。

以下說明鋪設斷面所須的滲透能力與防制溢流的鋪設厚度的計算方法。

(1) 鋪面整體所須的透水能力

由降雨量與鋪設體的透水係數，決定透水鋪設所須的滲透能力，假設重力作用影響滲透，且適用達西定律時，則滲透速度為

$$v = kl$$

其中

v：雨水的滲流速度 (cm/sec)

k：透水係數

l：水力坡降

在此，水力坡降 $l = H/L = 1$ ，因此滲流速度 v 相當於透水係數 k，降雨強度 R (mm/h) 的雨量完全滲透時， $v = k = (R/10) /3600 = 0.028R \times 10^{-3}$ (cm/sec)，此時若降雨強度為 50mm/h 時，鋪面整體應為透水係數 $k = 1.4 \times 10^{-3}$ (cm/sec) 的混合物。

(2) 防制溢流的鋪設厚度計算方法

要計算雨水不會自鋪設表面流出的鋪設厚度時，鋪面整體應保持具有雨水滲透與保水的空隙，且必須是符合路面滲透能力的厚度才行，也就是由降雨量與路面的滲透速度之間的差，以下列計算式求出具有儲存與滲透雨水的空隙的鋪設厚度：

$$H = (0.1i - 3600q) 100t / 60V \quad (1)$$

V (%)：平均孔隙率

q (cm/sec)：路面的平均滲流速度

i (mm/h)：降雨強度

t (min)：降雨延時

參考東京都下水道設計時所用的降雨量算式 $i = 5000 / (t + 40)$ 與計算式 (1), 可得圖 6-12。

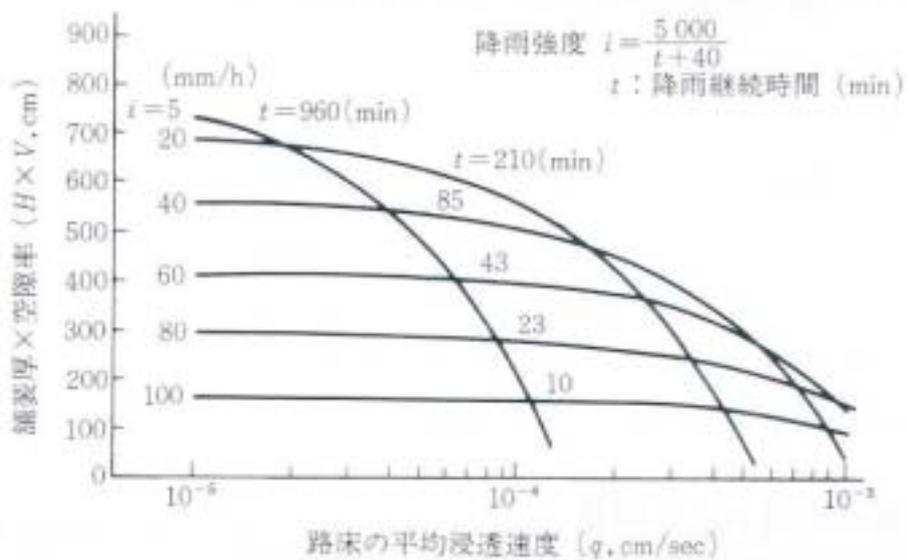


圖 6-12 路面的滲透速度與鋪設厚度及孔隙率的關係

(3) 防制溢流的鋪設厚度計算例

在此我們以日本東京方面的透水性鋪設標準規範為例：都會區內河川及地下水等的設計上所使用的降雨強度 40-50mm/h 的雨水，必須全部滲透，設計時採用的降雨強度為 50mm/h。假設無細骨材混凝土層的平均孔隙率為 15%，路面的平均滲透速度為 5×10^{-4} cm/sec 時，且降雨延時為 60min，降雨強度為 50mm/h 的話，由計算式 (1) 可求出：

$$H = (0.1i - 3600q) 100t / 60V \quad 22\text{cm}$$

因此無細骨材混凝土層鋪設厚度取整數約為 20cm.

6-4 維護與修補

透水性鋪面的保水力為鋪設厚度與孔隙率相乘的量，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會阻塞孔隙，常會造成透水性鋪面的透水機能降低，這類砂土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。

(1) 清洗路面，恢復機能

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，這些幾乎都是因為孔隙阻塞，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 1.0×10^{-2} cm/sec.，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 $2-3 \times 10^{-3}$ cm/sec，且相較於建設當時的透水率，約降低 60%，此孔隙阻塞物幾乎都是 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，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（圖 6-13），且已研發出步道用恢復機能的機械（圖 6-14）。在經過 8 年歲月的步道上，利用高壓洗淨機，水壓為 30-40kg/cm² 的範圍，進行透水機能恢復實驗，試驗結果顯示洗淨前的現場透水能力為 12-65cc/15sec.，洗淨後的透水能力變為 370-580cc/15sec.，利用這類機械，可以將透水性回復至與鋪設完工後的透水能力（428-820cc/15sec）達相同程度。



圖 6-13 透水性的回復原理



圖 6-14 步道用機能回復機

(2) 鋪面的修補

人行道依其面層之材料分類計有：瀝青人行道、混凝土人行道及磚石塊人行道等，另為增加美觀，尚有彩色處理人行道。一般人行通除供人通行外，方可作為道路標誌、照明設備、行道樹等道路附屬物之設置場所，又電話、電力、瓦斯、自來水及下水道等管線，亦須盡量利用人行道埋設。人行道所受荷重較輕微而挖填情形較多，一般皆用較簡易之路面建造而成。人行道路面遭汽車侵入或受地下埋設物之施工不良影響，所受損壞者為多。破損之種類大致分為：坑洞、不平、下陷及龜裂等。

6.4.1 人行道基本養護原則

1. 人行道容易發生不平現象，雨後積水，除滲入底層損及面層外，對行人有所不便，須於雨後巡視檢查，如發現積水處，應即設法處理。
2. 被緣石及護欄等分開之人行道，應注意護欄及緣石開口部分或排水孔等處之土砂及垃圾清理。
3. 與車道劃分所設之護欄，如因車輛事故而受損時，將影響行人安全，須巡迴檢查，盡早修復。
4. 緣石受車輛之碰觸而發生脫離或破損者，宜盡早修復。
5. 以緣石及護欄等分開之平臺式人行道，多以邊溝加蓋做為人行道之一部分，若邊溝蓋安放不穩定時，宜以水泥砂漿墊置以保安定。
6. 汽車及腳踏車出入處之斜坡應維持與車道接合平順，以維交通安全。
7. 人行道之地下管線人孔及水溝蓋損壞時，應隨時豎立警告標誌，並

通知有關單位立即修復。

6.4.2 水泥混凝土人行道養護

水泥混凝土人行道不論何種原因所發生之不平情形，可以水泥混凝土或瀝青混合料補平，緊急者可以瀝青冷拌料處理，非緊急者用水泥混凝土或瀝青熱拌料處理為宜，其施工方法可依路面之有關規定並參照下列各點辦理〔20〕：

1. 如小部分需翻修時，可以混凝土切割機將該部分混凝土版切除。
2. 混凝土版破損嚴重及部分受反覆挖填致路面平坦度欠佳者應予全面翻修。
3. 路面版之打除，可用破碎機、小型挖掘機，在不影響緣石、人孔等構造物之原則下小心施工，所打除之路面版可用小型挖掘機裝車，唯須注意不可隨意使用重機械或大貨車駛上人行道。
4. 施工中須注意不可妨礙行人及住家之出入，並避免將機械或施工材料堆置在路上。
5. 換鋪之底層材料可以小型震動搗固機及夯錘或小型壓路機壓實。
6. 混凝土之施鋪，視實地情形可以小型機械或人工辦理。
7. 養治中之混凝土，為免妨礙行人及住家出入，須鋪以木板或鐵板保護之。

6.4.3 磚石塊人行道養護

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。其養護方法可依路面養護之有關規定並參照下列各點辦理：

1. 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：
 - (1)未發生局部不平或下陷之情形者，須將塊縫及墊底之舊水泥砂漿小心去除，將該處之基礎清掃乾淨，並予灑水務使新鋪之水泥砂漿與原基礎混凝土之結合良好。
 - (2)如發生局部不平或下陷情形，須將破損之基礎混凝土翻修後再鋪版塊，若不平或下陷係由於地下埋設物損壞引起者，須將該埋設物修妥後再付修理人行道。
2. 若全面發生不平或碎裂時，應全面鏟除重鋪。

第七章 可滲透式人行鋪面規範之修正建議

7-1 現行規範概述

目前國內市區人行道鋪面種類一般來說有下列六種(台北市政府養工處)：

- 一、預鑄高壓混凝土塊磚鋪面：品質易控制、顏色多樣、維護容易，適用於較寬及較具特色道路、廣場、徒步區、或學校、公園週邊之人行道。
- 二、預拌混凝土鋪面：施工迅速、成本較低、堅固耐用、維護容易，平整度較高，適用於一般寬度較窄之人行道。
- 三、預拌混凝土鋪面+預鑄高壓混凝土塊磚收邊：編排多樣化、無預拌混凝土鋪面之單調感，適用於一般及較具特色道路。
- 四、超早強混凝土基層+彩色樹脂砂漿面層：開挖深度小、施工時程短，適用舊有紅磚人行道緊急翻新。
- 五、窯燒花崗磚：品質易控制、顏色組合多，適用於一般較寬之人行道，大面積之公園、機關、廣場。
- 六、透水磚：滲透性強排水快，增加都市水分涵養面積、顏色組合多，適用於人行步道、公園、廣場。惟其為軟底鋪築，強度較弱。

現行台北市政府磚石塊人行道、透水磚或植草磚之工程規範請參閱第二章，與可滲透式人行道相關者如下節所述：

7.1.1 磚石塊人行道

- (1) 先進行底層混凝土之鋪設工作完成，至少三日才可鋪貼地磚。
- (2) 將底層上之雜質、碎屑、突出物等清除乾淨，再以 1：3 水泥砂漿均勻澆置於基礎混凝土上。
- (3) 磚石塊均依照設計圖說上平面配置圖鋪設，鋪貼時需使磚石塊和水泥砂漿緊密接合。
- (4) 在施工勾縫處需平順並緊密地填充粗砂，勾縫填充工作需在鋪貼完成至少 72 小時以後才可進行。
- (5) 鋪貼完成後之面磚表面應立即清潔。

7.1.2 透水磚或植草磚人行道

- (1). 檢查及配底層是否滾壓平整，不得有雜物或凹凸不平之現象。
- (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。

7.1.3 壓實度規定

- (一)人行道路床不論在挖方或填方上，均應達到工程圖所示或工程司所指定高度坡度，予以壓實，其壓實度應達到改良式夯實試驗下所得最大乾密度之 90%以上；惟寬度 3m 以下(含)紅磚人行道，其壓實度應達到改良式夯壓試驗所得最大乾密度之 85%以上。
- (二)按工程圖規定鋪設基層時，其基層料之壓實度應依下列方式辦理：
- 1.人行道寬度在 1.5m 以下(含)，其基層料之壓實度應達到改良式夯壓試驗下所得最大乾密度 85%以上。
 - 2.人行道寬度在 1.5m 以上;3m 以下(含)，其基層料之壓實度應達到改良式夯壓試驗下所得最大乾密度 90%以上。
 - 3.人行道寬度達 3m 以上，其基層料之壓實度應達到改良式夯壓試驗下所得最大乾密度 95%以上。
 4. 試驗頻率:每 300m² 試驗一點(不足 300m² 以一點計算)，但道路兩旁均設計有人行道者，每邊至少均應試驗一點。
- (三)每層鋪築滾壓後，須俟試驗合格後方可鋪築次層。

7-2 修正建議

人行道鋪面大致可分為預拌混凝土鋪面及高壓混凝土塊磚鋪面兩種，預拌混凝土鋪面有易維護、不易碎裂及平整度較高等優點，高壓混凝土塊磚則有圖案及花樣變化較多，但較不平整等特性。

目前國內透水性鋪面或可滲透式人行道無法大量推廣之原因，在

於傳統施工法品質不易達到要求造成鋪面過早下陷損壞。另因停車空間缺乏致使汽機車佔據人行道及騎樓走道，尤其攤販的擺設或店家與廣告物也使人行道鋪面承受了過多之額外載重，加上施工方法不良暨管理維護不當(最主要為機車停放腳架之輾壓)等因素，在歷經多年使用後產生破損，大大降低了人行道之服務水準及品質，為使可滲透式人行道施工法易於控制品質並能承受行人以外之額外載重，本研究提出使用無細骨材混凝土材料取代原有基層級配料之施工方法，以解決級配透水性及夯實不良所產生之軟底鋪築，強度較弱之問題。

一．鬆散壩料施工方法

1. 施工後為避免路床及無細骨材混凝土層的下陷及雨水不會自鋪設表面流出，需要使其保持適當厚度，建議無細骨材混凝土層的厚度鋪約 200mm 為佳。
2. 鬆散壩料以混練機充分混練之，鋪上一條與面磚鋪設方向垂直之 5 公分寬的鬆散壩料，將其鋪上 35mm 厚度後，再於其表面以磨刀壓平並同時調整水平。
3. 鋪透水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。
4. 磚石塊均依照設計圖說上平面配置圖鋪設，鋪貼時需使磚石塊和水泥砂漿緊密接合。

* 鬆散壩料係以水泥 1 對砂 4 的比例混合 *

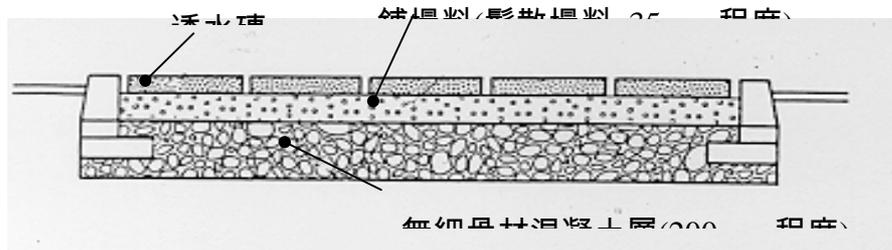


圖 7-1 透水磚鬆散壩料施工方法 (人行步道、停車場等)

二. 改良乾式施工方法 (透水不織布 + 砂)

1. 施工後為避免路床及無細骨材混凝土層的下陷及雨水不會自鋪設表面流出，需要使其保持適當厚度，建議無細骨材混凝土層的厚度鋪約 200mm 為佳。
2. 於無細骨材混凝土層鋪上透水不織布後，再於其上鋪約 35mm 厚度的砂，並以滾筒充分壓實，以防止透水磚的下陷，透水不織布之邊緣應互相重疊至少 30 公分以上。
3. 在人行道邊緣之透水不織布應向上摺，起使其能覆蓋住透水磚之側邊，以防止襯墊砂之流失。
4. 鋪透水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。
5. 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，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。

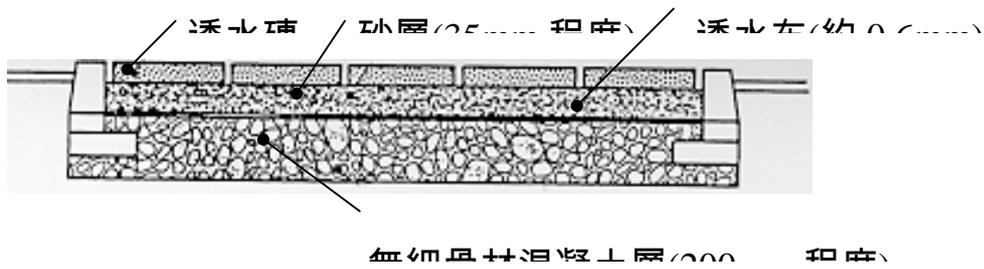


圖 7-2 透水磚改良乾式施工方法 (人行步道、停車場等)

7-3 施工綱要規範修正

根據公共工程施工綱要規範〔20〕內容第 02778 章「人行道面層」及 02779 章「人行道底層」之規定加以修正，以配合可滲透式人行道施工，內容如下

1 材料

- 1.1 卜特蘭水泥混凝土：須符合第 03010 章之規定。
- 1.2 透水面磚：應具有透水性且磚形整齊、邊角平直者、透水係數應大於 10^{-2} cm/sec。鋪設於加墊透水水泥混凝土之底層上。
- 1.3 無細料混凝土應符合第 03050 章「混凝土基本」及 03053 章「水泥混凝土之一般要求」之規定。
- 1.4 路基整理應符合第 02336 章「路基整理」之規定。

2 人行道面層施工要求

- 2.1 人行道路基之高程與坡度應依契約圖說所示或工程司之指示。路基整理應壓實至依第 02336 章「路基整理」[AASHTO T180]測定之最大乾密度之 90%。
- 2.2 級配骨材基層依第 02722「級配骨材基層」、底層依第 02726 章「級

配骨材底層」之規定鋪設，並壓實至依[AASHTO T180]及[AASHTO T224]試驗法測定之最大乾密度之 90%。

2.3 無細料混凝土底層依第 03053 章「水泥混凝土之一般要求」之規定。

2.4 界石應依設計圖說所示尺度施工。

2.5 磚石塊人行道

1. 先進行底層混凝土之鋪設工作完成，至少三日才可鋪貼地磚。
2. 將底層上之雜質、碎屑、突出物等清除乾淨，水泥 1 對砂 4 的比例混合之鬆散墁料以混練機充分混練之，鋪上一條與面磚鋪設方向垂直之 5 公分寬的鬆散墁料，將其鋪上 35mm 厚度後，再於其表面以磨刀壓平並同時調整水平。
3. 磚石塊均依照設計圖說上平面配置圖鋪設，鋪貼時需使磚石塊和鬆散墁料緊密接合。
4. 在施工勾縫處需平順並緊密地填充粗砂，勾縫填充工作需在鋪貼完成至少 72 小時以後才可進行。
5. 鋪貼完成後之面磚表面應立即清潔。

第八章 結論與建議

8-1 結論

人行步道的設立，為現代都市發展不可缺少的重要一環，完善的人行系統規劃不但能滿足市民行的需求、保障市民行的安全，對於都市空間系統的建立、都市景觀的塑造及公共空間品質的確立，有著極為重要的貢獻及特性。

可滲透式人行道鋪面施工法，應普遍應用於都市建設中，以保護都市地下水資源。可滲透式人行道鋪面的設計應針對下列重點加以考量。

1.排水處理

排水末端的排水設施有限制時或同時進行排水設施的設計時，應檢討透水性鋪面的斷面厚度或進行滲透溝或滲透井等設施的整合檢討。

2.縱橫斷洩水坡度

鋪設面的橫斷洩水坡度標準為 1.5%-2.0%，這是因為考量降雨量超出透水性鋪面的保水滲透能力，以及長時間變化產生孔隙阻塞而設計。

3.其他

透水性鋪面由於砂土極容易造成孔隙阻塞，因此必須注意防止砂土流入。以高壓水柱噴射去除鋪設表面的空隙阻塞物，以及恢復透水機能為一有效方法。

人行道透水性鋪面的結構設計之適用對象可依據設計適用區分（步道 I，步道 II）來決定行人步道透水性鋪設內容。

1. 步道 I

提供行人或腳踏車通行的步道，腳踏車專用道。以 4 至 6 公分之透水磚搭配 10 至 20 公分之無細骨材混凝土基層來施工。

2. 步道 II

行人及腳踏車以外，最大載重量 4t 以下的車輛或一般指定車輛的通行道路，以及輕型車輛的停車場等。以 6 至 8 公分之透水磚搭配 20 公分之無細骨材混凝土基層來施工。

無細骨材混凝土是採用卵石或碎石、水泥和水製成的一種多孔性混凝土，有時也摻入少量的細砂作為改善水泥漿的輔助材料而並非用以填充石子的空隙。其粗骨材之選擇以卵石最好，碎石次之，理想的骨材是顆粒間接觸點盡可能多，接觸點的面積盡可能大，而顆粒的總面積不應過份增大。1 3cm 或 1 4cm 的天然顆粒級配較適宜，並應符合 ASTM C33 (CNS1240) 之有關規定。

無細骨材混凝土的水灰比可變範圍較小，水灰比超過一定範圍，就會形成水泥漿流失和不能成型。比較理想的範圍是 0.45 0.6 之間，較低者可選用 0.35，水泥：骨材之比例約為 1：8 至 1：15，可依照強度需求及透水能力來作選擇。

表 8-1 無細骨材混凝土之設計參考

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

目前國內對於透水性鋪面之規範尚缺，國外也不多見。基本上透水性鋪面之規範依然沿用一般道路之設計規範，但除了承載能力必須符合要求外，在各層的透水能力上也必須考量。依文獻資料所建議，面層之透水係數應大於 10^{-4} m/s，基層級配料應大於 2×10^{-5} m/s，而底層土壤則應大於 5×10^{-6} m/s，級配層厚度尚須依照設計降雨量來作考量，以發揮其保水性，減低排水系統之負荷，以台北地區而言 20 公分厚之無細骨材混凝土基層將可足夠容納雨水以便有充裕時間滲流入地下。

無細骨材混凝土底材與混凝土預鑄面磚的組合，其全尺寸試驗斷面透水試驗的滲透係數約在 0.018cm/sec~0.021cm/sec 之間，其量直與無細骨材混凝土底材的透水試驗差異在 10% 之內，並不至對透水性能產生重大折減。此滲透的速度，對於積水的排除有甚大的幫助。無細骨材混凝土的水泥質材料的可膠結特性恰彌補了夯實問題將產生的影響，應屬理想之底層材料。本研究所提出之透水磚鬆散壩料施工方法易於控制品質，並能承受行人以外之額外載重，將可解決目前國內透水磚人行道鋪面級配透水性及夯實不良所產生之軟底鋪築，強度較弱之問題。

根據本研究以營建廢棄混凝土再生作為骨材之試驗結果與分析可得下列初步結論：

1. 拆除廢棄物經適當分類後，採用碎石機破碎所得之再生骨材基本性質可滿足道路填方及結構物回填要求。而其粒徑分佈在適當控制下，更可滿足一般道路基層 (Subbase) 或底層 (Base) 之級配要求。
2. 再生骨材與一般級配料相比，物理性質中差異較大著為含水率 (約 10%)，其它如比重、磨損率與一般級配料並無顯著之差異。
3. 由拆除營建廢棄物回收產生之再生骨材，其品質會因來源，處理過程之不同而有所差異。大規模使用時，應增加抽樣試驗頻率，以對再生材料之工程性質能確實掌握。

8-2 建議

對未來都市地區人行步道及廣場鋪面之建構有下列建議

1. 自然化之考慮：如行道樹及綠化範圍，透水性之考慮。增進淨化空氣、水回流及景觀之品質。可防止水泥、柏油等造成之都市土地沙漠化，有效促進土壤活化、保護大地動物、植物之生態和生長，避免地層下陷。透水鋪面可調節降雨的排水量，具防洪功能。可有效散溢大地的輻射熱，降地空氣中高溫熱浪的侵襲。可幫助都市行道樹及安全島花木之生長，對空氣污染、熱能輻射可有效抑制。
2. 系統化之建立：設備、設施帶之位置；共同管溝與人孔、鋪面之關係；路口類型之建立。所有排水都用排水管或排水溝很快的排出；若從生態的觀點來看，雨水落在一個不滲水的路面上，水很快的集中在溝中，也很快的排出去，這將造成一些問題：逕流的高峰點不斷增加，導致每逢暴雨、颱風就淹水。因為不斷的開發，使得地面滲透率降低，尖峰排水量增加；所以，

台灣河川的水量在枯水期低到魚類無法生存的地步。較理想的作法應該是所有的東西盡量在當地處理，盡量分散而非集中，在本地滲入比排出好；

3. 鋪面材料：鋪面材質的選擇應考慮經濟性、永久性、維修方便度、汰換可替代性、施工品質易控制等。人行道鋪面材質之選用標準原則為需符合經濟、堅固、美觀、耐用及易維護等特性。透水鋪面材質表面不積水、止滑、耐磨性佳，將可保障行路人之安全。

參 考 文 獻

中文部分

- 1.林憲德、李德河，「基地保水性能之研究」，內政部建築研究所，June 1998。
- 2.林憲德，「綠建築社區的評估體系與指標之研究 - 『生態社區』的評估指標系統」，內政部建築研究所，May 1997。
- 3.祝錫智等，「高速公路多孔隙排水面層試鋪及績效評估研究」，交通部台灣區國道高速公路局，Oct. 1999。
- 4.楊伯科主編，「混凝土實用新技術手冊」，吉林科學技術出版社，第 550-556 頁，1998。
- 5.丘惠生 陳振川 許鎧麟，「無細骨材混凝土之破壞行為」，第一屆結構工程研討會論文集 (II)，南投溪頭，第 57-60 頁，1996。
- 6.「九二一震災建築廢棄物再生利用推動計畫」期末報告，財團法人台灣營建研究院，Dec. 1999。
- 7.吳學禮，「鋪面、材料工程實務」，詹氏書局，1995。
- 8.行政院公共工程委員會「公共工程施工綱要規範 (完整版)」，技術叢書 017，Mar, 2000
- 9.CNS 13295，「高壓混凝土連鎖地磚」，經濟部中央標準局，1994。

外文部分

1. Nader Ghafoori , Shivaji Dutta” Pavement Thickness Design for No-Fines Concrete Parking Lots. ” Jouranl of Transportation Engineering , Vol. 121 , No. 6 , Nov. /Dec. 1995 , pp. 476-484
2. Borgwardt S. , ” Suitable Beddings for Paving Blocks Permeable to Water. ”

Revised Version , May 1995 , Hannover.

3. DIN 18318 , " Road construction:Sett and slab pavements ,and surrounds " DIN Deutsches Institut fur Normung e. V , Berlin. , June. 1996.
4. DIN 18501 , "Concrete pavement setts"DIN Deutsches Institut fur Normung e. V , Berlin , Nov. 1982.
5. ASTM C67 , "Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile" The American Society for Testing and Materials , 1998.
6. ASTM C902 , "Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick" The American Society for Testing and Materials , 1998.
7. ASTM C936 , "Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units" The American Society for Testing and Materials , 1996.
8. S. Mindess and J. F. Yang , "Concrete" , Prentice-Hall , Inc. , N. J. , 1981 , pp. 154-156.
9. ACPA (1993) , Concrete Paving Technology , Recycling Concrete Pavement , American Concrete Pavement Association , Skokie , Illinois
10. "User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction" , Turner-Fairband Highway Research Center Federal Highway Administration , pp. 14-1 14-13.
11. MUKAI. T , KIKUCHI. M , KOIZUMI. H ,(1978) "Fundamental Study on Bond Properties Between Recycled Aggregate Concrete and Steel Bar" , Cement Association of Japan , 32nd review.

附件

各次審查會議之回應表

期初審查會評審意見執行情形

	評審意見	執行情形
章教授裕民	有關無細料混凝土之透水性及其應用，已有實例證明其可行性。建議本研究案應加強於施工上如何達到美化、施工便利性、耐用性及將來維修等課題之探討。	遵照辦理。
鄭教授政利	<ol style="list-style-type: none"> 1.研究計畫名稱建議增列無細料混凝土之研究範圍。 2.建議將可滲透式鋪面材料之孔隙阻塞問題及其耐久性能等，一併納入研究。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.已增列。 2.遵照辦理。
彭科長保華	<ol style="list-style-type: none"> 1.有關可滲透式材料之研究，除了表層鋪面材料外，建議納入底層碎石級配或夯實部分之滲透性能研究，以達更佳之強度及滲透性能。 2.研究成果建議以標準圖例形式呈現，以落實應用推廣。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.將納入研究範圍。 2.遵照辦理。

黃副處長慶隆	建議本案增加國外相關技術文獻資料之收集彙整，並探討技術開發是否涉及國際專利權問題。有關國外技術如何引入或轉移，或發展適合本地性需求之施工技術開發研究，應以未來如何落實應用為重點。	國外相關文獻仍持續收集中。另本案所涉及之材料與施工法屬於一般性，應無涉及專利權之問題。本土化之施工方式及技術，與如何落實應用為本案之重點，將持續研究。
劉技正政良	<ol style="list-style-type: none"> 1.預期成果之施工規範，請依工程會推動之「施工規範資訊整合中心」所定格式編撰。 2.建議將可滲透式施工後孔隙堵塞滲透性能影響之探討。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.遵照辦理。 2.遵照辦理。

陳執行秘書仁仲	<p>1.可滲透式人行磚之使用，對都市地下水補助有很好的功效，此研究值得肯定。</p> <p>2.依一般經驗，目前市售透水性鋪材較一般鋪材成本高約四至五成，特殊的施工法成本亦一定較高，建議本研究增加經濟分析部分，以提高研究成果未來應用之價值。</p> <p>3.無細料混凝土在微量或無細骨材或足量的水泥砂漿下，粗骨材之種類、形狀、抗壓強度，可能成為完工後沉陷多寡的重要因素。因此，不同粗骨材或粗細骨材之配比，除了依國外經驗實驗外，建議納入國內既有相關實驗資料之比較。</p>	<p>經濟分析部分將納入未來研究課題。另本案除參考國外相關配比資料外，也積極建立本土化之配比及相關實驗結果之資料庫，目前已有初步之成果。。</p>
蔡教授添壁	<p>本案研究課題建議修正為「可滲透式鋪面材料與施工方法之研究」。</p>	<p>已遵照辦理。</p>
丁副所長育群	<p>技術開發可能涉及專利權問題，請研究單位審慎考量。</p>	<p>本案所研究之材料與施工法屬於一般性，應無涉及專利權之問題。</p>

期中審查會評審意見執行情形

	評審意見	執行情形
蕭所長江碧	針對台北市人行道鋪面，在機車與汽車可以上去之情形下，探討研訂如何設置可滲透人行道之施工規範。	研訂中
陳組長瑞鈴	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前台北市約有 250 公頃之人行道，全面不透水會造成下水道過重之排水負荷及都市熱島效應。故人行道之透水性相當重要，請研究單位先瞭解養工處在人行道施工、強度與品質之要求為何？以進一步探討透水性鋪面是否可達到其要求。 2. 建議恰請養工處提供人行道鋪設之試驗路段，由研究單位施作鋪設工程，其結果可作為研訂施工規範（方法及技術）之參據。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理 2. 接洽中
歐陽教授嶠暉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人行道之透水性除了鋪面材料之外，受土壤影響頗大，因此，透水性材料之基礎鋪裝及土壤之透水系數宜一併考量。 2. 透水性鋪面容易受地面雜物阻塞，其對透水性之影響宜加考量。 3. 應針對國內已生產及鋪設之透水材料及其施工方法加以調查，以作為改進提昇之參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 遵照辦理 2. 遵照辦理 3. 遵照辦理

於教授幼華	1. 在文獻回顧中，惜對台灣本地之施工現狀與法規等有關人形舖面材料、甚至混凝土回收現況等皆未觸及，如此較難令報告讀者感覺到此課題研究之迫切性，建議於期末報告中補全。	遵照辦理
章教授裕民	1. 建議文獻回顧宜加強國外已有的相關研究文獻（尤其對無細骨材、再生骨材等相關抗壓、抗彎等性質）。 2. 人行道施工規範應是都市計畫中較為重要的重點，故宜以有限時間及人力將國內既有的成果應用在施工法或規範之研訂工作。	1. 遵照辦理 2. 規劃整理中
王教授文安	1. 建議以抗壓、抗彎、劈裂、透水實驗建立綜合評估指標，分別依可應用場所，找出最適合實驗組合的回收骨材配比關係。 2. 部分實驗組合之抗壓能力，雖不符合應用於人行道之需求，但應可考慮建議應用於公園、建築基地等透水面積。	1. 遵照辦理 2. 遵照辦理
陳執行秘書仁仲	1. 第五十五頁之水灰比圖中， $R_2 = 0.1958$ 似乎太低，雖然不代表「關係不好」，但統計上可以再修正，例如去除離群值的作法應值得考慮。 2. 對整體透水性而言，基礎夯實與透水舖面間宜一併協調與考量。	1. 已修正 2. 已納入研究中考慮
黃教授榮堯	1. 加強實驗配比結果與國外相關資料比較，以驗證其正當性。 2. 探討孔隙阻塞問題，並比較不同舖面應用方式之效益。	1. 遵照辦理 2. 已納入研究中考慮

鄭教授政利	<p>1. 從建築觀點而言，本研究對於「基地保水」及「廢棄物減量」都有正面之貢獻，能否加入綠建築指標之評估檢討，以及如何納入指標的計算，期待有明確的結果。</p> <p>2. 利用與既有現行材料及工法的比較，能否加入生命週期、耐久性等之明確評估。</p>	<p>1. 已納入研究中考慮</p> <p>2. 已納入研究中考慮</p>
陳組長文卿	<p>1. 第二十八頁中研究所取用之試樣 60 kg 係混凝土塊或含有若干磚塊？其性質差異甚大，請補充說明。</p> <p>2. 再生粗骨材與一般原材料之粗骨材其含水率差異極為懸殊（8.3% VS 0.91%），請說明原因。</p> <p>3. 再生骨材之抗壓強度試驗可瞭解水泥量愈高強度愈大，但以在利用之觀點而言，希望再生材料中水泥之比例愈低愈好（節省成本），故建議先訂在生產品的性質標準，在依強度與成本求最經濟的配比。</p>	<p>1. 試樣主要為混凝土塊</p> <p>2. 再生骨材由混凝土碎化而得，其外觀略為扁平且多稜角，由於表面附著之水泥砂漿，相較於天然骨材而言，會有表面較粗糙、低比重、高吸水率等之影響，尤其碎化之粒徑愈小，比重愈低、吸水率愈高</p> <p>3. 已納入研究中考慮</p>
丁副所長育群	<p>人行道之透水性質不能只談級配與材料，其規範訂定上需考量相關之配套措施方為可行。</p>	<p>遵照辦理</p>
何主任秘書明錦	<p>建議先到養工處瞭解需求，若不能在材料上克服，規範是否可在技術與施工上予以克服。</p>	<p>遵照辦理</p>

林博士後研究員碧亮	<p>人行道為達到透水性能之要求，除在材料與施工方法上考量外，可否考慮部分鋪設之可行性，建議於規範中納入考量。</p>	<p>已納入研究中考慮</p>
-----------	---	-----------------

期末審查會評審意見執行情形

評審意見	執行情形
<p>1 本計畫案僅參考台北市人行道施工方式，惟以台北市為盆地地形、地下水位高，降雨量及驟雨量大，落塵量大等不利因素，是否適宜以可滲透性人行道方式施作，請加以評估。</p> <p>2 請補充說明使用於本計畫試驗再生骨材之來源。</p> <p>3 第五章「可滲透式人行道鋪面現場施工效益評估」，建議增列模擬現場施工之試驗成效與施工程序之評估內容。另 P66 斷面粘裹砂漿為 1cm，與說明「第三行」3cm 不符，請予說明。</p> <p>4 本計畫旨在落實綠建築基地保水，惟政府自管制地下水後，地下水位回升，已明顯收到具體效果，但另需考量大地工程與基礎設計課題；故研究內容「混凝土回收再利用人行鋪面」之品質標準，應進一步釐清。</p> <p>5 本案研究成果建議研提適當規範參考，俾利後續推廣應用。</p> <p>6 台北市目前就都市防災觀點，刻正評估公園綠地下建置雨水貯水池、槽的可行性。</p>	<p>1. 已增列</p> <p>2. 已增列</p> <p>3. 已改正</p> <p>4. 遵照辦理</p> <p>5. 遵照辦理</p>

李局長鴻基

章教授裕民	<p>1 本計畫執行結果已符合原規劃之預期成效。</p> <p>2 利用拆除之廢棄混凝土作為透水鋪面之材料，由於變數過多，故本研究結果宜將其條件述明清楚，尤其建議的方案更應註明可能的變因。</p> <p>3 表 4-6 等之測試結果多為單一樣品測試結果，其再現性是否足以證明本研究的推論，請再詳予說明。</p> <p>4 應先針對廢棄混凝土骨材特性明確訂定，以鼓勵使用並可昭公信。</p>	<p>1. 感謝委員肯定</p> <p>2. 遵照辦理</p> <p>3. 試驗結果均為三個一組平均所得，並已考慮試驗之誤差。</p> <p>4. 遵照辦理</p>
陳所長式毅	<p>1 本研究內容相當實用可行，值得進一步探討驗證實體工程之成效。</p> <p>2 相關實驗或試驗標準之引用，建議仍以 CNS 國家標準為優先。</p> <p>3 透水磚之強度較低，可考慮加大尺寸，以增加承載力。</p> <p>4 採用透水鋪面將使水分往下透入路基，會降低路基承載力，此項因素宜列入設計條件之比較分析。</p> <p>5 無細骨材混凝土之粒料級配等特性要求，應補列適當之評估條件。</p> <p>6 透水與排水定義不同，本案引用日本鋪面排水設計，資料似有不同，應予區隔。</p> <p>7 建議以實際人行路段的設計施工實驗檢討，以符合現況。</p>	<p>1. 感謝委員肯定</p> <p>2. 已改正</p> <p>3. 遵照辦理</p> <p>4. 遵照辦理</p> <p>5. 已改正</p> <p>6. 已改正</p> <p>7. 遵照辦理</p>

GPN : 002244890694

ISBN :

可滲透式人行舖面材料（無細骨材混凝土）及施工方法研究

內政部建築研究所

（八十九年度）

可滲透式人行舖面材料(無細骨材混凝土)及施工方法研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

出版年月：八十九年十月

版(刷)次：1

工本費：

GPN：002244890694

ISBN：