

內政部建築研究所
永續綠建築與節能減碳科技中程個案計畫
(三)第3案「建築基地保水指標檢討及透
水鋪面現況評估與規劃設計」
資料蒐集分析報告

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

內政部建築研究所
永續綠建築與節能減碳科技中程個案計畫
(三)第3案「建築基地保水指標檢討及透
水鋪面現況評估與規劃設計」

資料蒐集分析報告

計畫主持人：廖慧燕
協同主持人：廖朝軒
研究員：黃恩浩
研究助理：江育銓、謝宗翰

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 103 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次.....	III
圖次.....	VII
摘要.....	XIII
ABSTRACT.....	XVII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法與步驟	3
第二章 基地保水及透水鋪面文獻回顧	9
第一節 基地保水介紹.....	9
第二節 透水鋪面介紹.....	22
第三節 國內外基地保水設計方法	29
第三章 基地保水案例收集與分析	37
第一節 基地保水計算方法	37
第二節 基地保水案例計算	42
第三節 基地保水夯實度及入滲速率	50
第四節 基地保水指標 λ 值修訂建議	61
第五節 特殊保水設置檢討	73
第六節 小結.....	82
第四章 透水鋪面案例之現地滲透性能試驗	87

第一節 現地調查實施計畫	87
第二節 現況調查評估分析	94
第三節 現況評估分析.....	111
第五章 透水鋪面設計規劃	115
第一節 現行規劃及施工方式	115
第二節 透水鋪面設計規劃	122
第三節 路基層土壤透水施工改良檢討	133
第四節 施工檢測方式檢討	135
第六章 結論與建議	139
第一節 結論.....	139
第二節 建議.....	141
附錄一 審查會議紀錄處理情形	143
附錄二 專家學者座談會會議紀錄	151
參考書目	155

表次

表 1-1 各類保水設計之保水量計算及變數說明	6
表 2-1 基地保水相關設計手法	10
表 2-2 AASHTO 建議柔性鋪面未處理基底層排水系數(1986)	24
表 2-3 透水鋪面型式分類	28
表 2-4 設計案例之不透水率	30
表 2-5 原有基地之不透水率	30
表 2-6 計算鋪面在不同交通量之承載厚度表	32
表 3-1 統一土壤分類與土壤最終入滲率 f 及滲透係數 k 值對照表 ...	39
表 3-2 土壤最終入滲率 f 及滲透係數 k 值簡易對照表	39
表 3-3 各類保水設計之保水量計算及變數說明	42
表 3-4 101-103 年北北基公有建築基地保水有效標章之案例(31 件).	43
表 3-5 102 年北北基公有建築基地保水有效標章之案例(8 件)	46
表 3-6 砂質粘土於夯實試驗乾溼密度	52
表 3-7 砂質粘土於夯實試驗含水比	52
表 3-8 粘土於夯實試驗乾溼密度	53
表 3-9 粘土於夯實試驗含水比	53
表 3-10 標準砂(未敲擊)滲透試驗	55
表 3-11 標準砂(敲擊 50 下)滲透試驗	56

表 3-12 標準砂(敲擊 100 下)滲透試驗	56
表 3-13 試驗數據與解析解之計算結果比較.....	57
表 3-14 夯實度與透水係數之關係表	60
表 3-15 夯實度與透水係數整理表	61
表 3-16 土壤夯實折減關係整理表	61
表 3-17 歷年綠建築評估手冊基地保水指標計算方法整理.....	62
表 3-18 基地保水指標修正方案整理表	67
表 3-19 蘭雅公園附建地下停車場新建工程基地保水指標計算.....	68
表 3-20 士林 21 號公園附建地下停車場新建工程基地保水指標計算	68
表 3-21 國立台灣大學教學大樓新建工程基地保水指標計算.....	69
表 3-22 台灣北中南東降雨深度與超越機率關係圖	73
表 3-23 滲透管設置尺寸建議表	75
表 3-24 滲透陰井設置尺寸建議表	77
表 3-25 依不同土質考慮滲透深度與間距關係表	81
表 3-26 基地保水指標修正方案比較表	82
表 3-27 基地保水指標 λ 之修改方式.....	83
表 3-28 開發前土壤分類與基地保水設計建議.....	83
表 3-29 各類保水設計之保水量計算修正初步建議.....	84
表 4-1 施作透水鋪面廳舍機構.....	87

表 4-2 透水鋪面試驗調查表	89
表 4-3 透水鋪面試驗記錄表	90
表 4-4 水力傳導度終端值整理	111
表 5-1 連鎖磚品質要求	116
表 5-2 植草磚品質要求	116
表 5-3 透水磚品質要求	116
表 5-4 透水瀝青品質要求	117
表 5-5 JW 工法品質要求	117
表 5-6 透水性鋪面檢測表	122
表 5-7 依設計當量軸次決定瀝青混凝土最少厚度使用	126
表 5-8 AASHTO 可靠度水準(RL；%)建議值	126
表 5-9 AASHTO 可靠度水準(RL；%)建議值	126
表 5-10 透水鋪面路基改良孔洞各數整理表	134
表 5-10 透水鋪面現場檢測方法比較	137

圖次

圖 1-1 透水鋪面設計規劃流程圖	8
圖 2-1 透水鋪面	11
圖 2-2 高承載力的通氣管結構型透水鋪面	12
圖 2-3 新型 T 型紋路滲透排水管	13
圖 2-4 滲透排水管與滲透陰井	14
圖 2-5 滲透網管做成的排水系統	15
圖 2-6 滲透側溝（滲透）陰井組合配置構造示意圖	16
圖 2-7 花園土壤雨水截留	17
圖 2-8 景觀貯留滲透水池	18
圖 2-9 地下礫石層與組合式蓄水框架的地下貯留滲透工法	19
圖 2-10 透水鋪面簡易剖面圖	23
圖 2-11 透水性鋪面計算示意圖	31
圖 2-12 日本常用透水鋪面設計法運算流程與人行道路鋪面剖面圖	33
圖 3-1 砂質粘土乾溼密度及含水比之關係曲線圖	52
圖 3-2 粘土乾溼密度及含水比之關係曲線圖	53
圖 3-3 砂質土壤滲透試驗(一)	54
圖 3-4 砂質土壤滲透試驗(二)	54
圖 3-5 孔隙比與滲透係數之關係圖(標準砂)	56

圖 3-6 砂質土壤滲透試驗儀器	58
圖 3-7 夯實度與透水係數之關係圖	60
圖 3-8 台北雨量站 2013 年降雨事件之降雨深度頻率分析	66
圖 3-9 北區 31 案例基地保水量超越機率分佈圖	70
圖 3-10 台北雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析	71
圖 3-11 台中雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析	71
圖 3-12 高雄雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析	72
圖 3-13 花蓮雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析	72
圖 3-14 滲透管設置之剖面圖	74
圖 3-15 滲透管型式-蜂巢管	75
圖 3-16 滲透管型式-網式滲透管	75
圖 3-17 滲透陰井獨立設置之剖面圖	76
圖 3-18 滲透陰井結合管溝設置之剖面圖	76
圖 3-19 滲透側溝設置之剖面圖	77
圖 3-20 滲透側溝紅磚材質	78
圖 3-21 滲透側溝透水磚磚材質	78
圖 3-22 滲透管控制範圍示意圖	79
圖 3-23 滲透陰井控制範圍示意圖	79
圖 3-24 滲透側溝控制範圍示意圖	79

圖 4-1 油性黏土固定透水試驗儀	92
圖 4-2 重壓防止滲水	92
圖 4-3 透水儀水閘門控制	93
圖 4-4 國立臺北科技大學透水鋪面試驗施做地點	94
圖 4-5 國立臺北科技大學土木館正門人行道透水磚	95
圖 4-6 透水磚剖面圖	96
圖 4-7 國立臺北科技大學土木館正門人行道之透水磚之水力傳導度	96
圖 4-8 國立臺北科技大學土木館側門車道之透水磚之水力傳導度..	98
圖 4-9 國立臺北科技大學新生側門孔洞邊透水磚	99
圖 4-10 國立臺北科技大學新生側門孔洞邊透水磚之水力傳導度..	100
圖 4-11 國立臺北科技大學設計館前回收材透水磚	101
圖 4-12 回收材透水磚剖面圖	102
圖 4-13 國立臺北科技大學設計館前回收材透水磚之水力傳導度..	102
圖 4-14 國立臺北科技大學正門停車場植草磚	103
圖 4-15 植草磚剖面圖	104
圖 4-16 國立臺北科技大學正門停車場植草磚之水力傳導度	105
圖 4-17 國立臺北科技大學土木館後停車場植草磚	106
圖 4-18 國立臺北科技大學土木館後停車場透水瀝青	107
圖 4-19 透水瀝青剖面圖	108

圖 4-20 國立臺北科技大學材資館旁人行道 JW 工法.....	109
圖 4-21 JW 工法剖面圖	110
圖 4-22 國立臺北科技大學材資館旁人行道 JW 工法之水力傳導度	110
圖 4-23 各透水鋪面與完工標準概略值比較.....	112
圖 4-24 JW 工法孔洞堵塞無法透水.....	114
圖 5-1 連鎖磚施工斷面圖	118
圖 5-2 植草磚施工斷面圖	119
圖 5-3 透水磚施工斷面圖	119
圖 5-4 透水瀝青施工斷面圖	120
圖 5-5 JW 工法施工斷面圖	121
圖 5-6 透水鋪面設計規劃流程圖	123
圖 5-7 結構分析示意圖	124
圖 5-8 AASHTO 方法設計步驟流程圖	128
圖 5-9 水文分析示意圖	129
圖 5-10 鋪面孔隙透水圖	130
圖 5-11 透水鋪面路基改良	133
圖 5-12 透水鋪面路基改良孔洞各數.....	134
圖 5-13 鑽孔礫石填充工法.....	135
圖 5-13 透水試驗儀.....	136

圖 5-14 雙環透水儀.....136

圖 5-15 施工檢測方式改良.....137

摘要

關鍵詞：基地保水、透水鋪面、基地保水指標、透水試驗、透水鋪面設計規劃

一、緣起與目的

都市土地開發利用會伴隨不透水面積的大量增加，促使都市水文循環遭到破壞，不僅蒸發散量減少引發都市熱島效應，並造成地表入滲量減少，都市雨洪及地下水環境生態嚴重破壞。

「建築基地保水設計技術規範」以建築基地涵養水分與貯留滲透雨水能力為考量對象，並設定基地保水指標 λ 為評估指標以利評價恢復水文循環之成效。然而，在既有的基地保水計算案例中發現 λ 值有大於1的不合理情況；透水鋪面工法是各種基地保水設計中最常使用的工法之一，但在近年完成的案例中也有不乏失敗的例子，為落實未來透水鋪面設計能確保其具安全及保水能力，需對透水鋪面相關設計及施工規定等進行資料蒐集與成效評估。

本計畫的主要工作為透過對過去建研所已補助完成的廳舍改建計畫或其它可獲取之基地保水評估及透水鋪面增建或改建計畫的案例，以及國內、外已發展之透水鋪面工法等進行基本資料蒐集、調查及分析比較，如有需要可到國內現場實地進行查核追蹤；藉以提出對透水鋪面的設計內容研擬較為完整的設計程序（包括結構性及水文性的考量），並初步提出對現行基地保水指標 λ 之建議修訂方向。

二、研究發現

本研究蒐集調查過去建研所已補助完成的廳舍改建計畫及國內透水鋪面案例之現地滲透性能，探討既有的透水鋪面進行調查，其透水鋪面形式包含：透水磚、孔洞邊透水磚、回收材透水磚、植草磚、透水瀝青及 JW 工法。經透水鋪

面現場勘查與進行透水試驗後，將現有透水鋪面之問題歸納為三大方面：一、透水鋪面項目原透水能力；二、施工方式與品質；三、使用型態與維護保養

本研究分析基地保水指標 λ 不合理的原因及提出修正方式，依據 101-103 年北北基公有綠建築基地保水有效標章之案例進行收集與分析，共選擇 31 件案例，比照工程評定書計算基地保水量，討論基地保水指標 λ 值。經檢討發現，基地保水指標 λ 值現有之問題為：一、入滲率經夯實作業後降低；二、基地保水延時應視鋪面形式而定；三、透水管溝浮濫設計。本研究提出初步可行之修正方式為：一、依夯實度修正入滲率；二、依照機率分布訂定保水最低要求；三、訂定透水管溝控制面積。

本研究分析透水鋪面現有問題及提出透水鋪面設計規劃方法。經現場檢測發現，透水鋪面於實務上出現許多需檢討之問題，可歸納為三項：一、透水鋪面設計規劃方法未針對使用鋪面需求及當地降雨情況進行設計；二、規範中規定之路基層夯實度，大幅降低路基層入滲率；三、現場透水性能檢測。本研究提出初步可行之修正方式為：一、建立同時考量鋪面結構能力及鋪面透水能力之透水鋪面設計方法；二、設置補償措施，提高路基層透水率；三、設計適合現場透水性能檢測之儀器。

三、建議事項

建議一

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

立即可行之建議：

(一) 針對目前基地保水指標 λ 值較嚴重之投機問題進行修正，如：滲透管溝設置。可有效降低投機行為，提升保水指標之可靠性。

(二) 針對目前基地保水中透水鋪面檢測方式，制訂一專業及便利之檢測方式，除可於施工完成時確認透水鋪面性能外，亦可方便追蹤日後透水性能變化及維

護管理之頻率。

(三) 修正基地保水指標 λ 值，訂定保水最低要求。

建議二

主辦機關：各縣市政府都發局

協辦機關：內政部營建署

中長期可行之建議：

(一) 重新檢討透水鋪面設計規劃方法，針對使用鋪面需求及當地降雨情況進行設計，以增加透水鋪面之可靠度。

(二) 增加各型式透水鋪面試驗點，俾利量化透水鋪面效益。

ABSTRACT

Keywords : Soil Water Content, Permeable Pavement, RSoil Water Content Index, Permeable Experiment, Permeable Pavement Designing and Planning

1. Purpose of the research

With the development of urbanization, natural environment was destructed, and the risks of flood are increase attributed to the lack of soil water content. Therefore, to solve problems of urbanization has become an important issue in cities of Taiwan.

"Design and Technique Specifications for Soil Water Content" consider the rainwater retention and soil water content, and set the λ index for evaluation criteria. However, in the existing case studies, there is some λ index more than 1 that is not reasonable. Permeable pavement construction method is a variety of soil water content, but in recent years, there are examples of failure.

2. Research methodologies and procedures

To implement the safety and soil water content of permeable pavement design, in this study, we collect and analyze literatures for designing methods and construction regulations of permeable pavement.

The main work of this project is: Site investigations of permeable pavements; Propose designing methods for permeable pavements; Propose revised direction for soil water content λ index. The research methodologies are as following:

- (1) Survey and investigate the permeable performance of existing permeable pavement cases by ABRI grants.

- (2) Collection and analysis the permeable pavement methods, and compare the advantages.
- (3) Analysis the unreasonable reasons of soil water content λ index.

3. Major findings

- (1) Survey and investigate the permeable performance of existing permeable pavement cases by ABRI grants. The major findings are as following:
 - A. Permeable performance of permeable pavement;
 - B. Construction methods and quality;
 - C. Type of use and maintenance.
- (2) Analysis the unreasonable reasons of soil water content λ index. The major findings are as following:
 - A. Infiltration rate decreased after compaction;
 - B. Soil water content duration depending on the pavement type;
 - C. Permeable pipe were over designing.
- (3) Revised direction for soil water content λ index. The major findings are as following:
 - A. Depending on the compaction revised the infiltration rate;
 - B. Depending on the probability distribution set the minimum requirements for soil water content;
 - C. Set permeable pipe control area.
- (4) Designing methods for permeable pavements. The major findings are as following:
 - A. Establishing a method for pavement design the consider permeable pavement structural capacity and soil water content;
 - B. Set compensation facility to improve the infiltration rate of roadbed;
 - C. Designed the testing equipment for on-site permeable performance.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

都市土地開發利用會伴隨不透水面積的大量增加，促使都市水文循環遭到破壞，不僅蒸發散量減少引發都市熱島效應，並造成地表入滲量減少，都市雨洪及地下水環境生態嚴重破壞；故如何減少不透水面積造成的負面影響進而恢復正常的水文循環生態，是近年各國積極努力的目標。

「建築基地保水設計技術規範」即是以此為目的所訂定的，本規範即是以建築基地涵養水分與貯留滲透雨水能力為考量對象，並設定基地保水指標 λ 為評估指標以利評價恢復水文循環之成效。然而雖然基地保水指標的計算方式已行之多年且已為建築師所接受，然在既有的基地保水計算案例中發現 λ 值有大於 1 的不合理情況，這也代表基地改建後其保水量大於開發前的不合理現象，而這種情形隨著土壤入滲率的降低更形明顯；而透水鋪面工法是各種基地保水設計中最常使用的工法之一，但在近年完成的案例中也有不乏失敗的例子，為落實未來透水鋪面設計能確保其具安全及保水能力，實需對現有的透水鋪面相關設計及施工規定等進行資料蒐集與成效評估，並分析比較不同工法之優缺點。

本計畫的主要工作為透過對過去建研所已補助完成的廳舍改建計畫或其它可獲取之基地保水評估及透水鋪面增建或改建計畫的案例，以及國內、外已發展之透水鋪面工法等進行基本資料蒐集、調查及分析比較，如有需要可到國內現場實地進行查核追蹤；藉以提出對透水鋪面的設計內容研擬較為完整的設計程序（包括結構性及水文性的考量），並初步提出對現行基地保水指標 λ 之建議修訂方向。

貳、研究背景

目前國內許多主要城市都市化程度顯著，使得原有的自然綠地急速開發且擴張形成龐大之都會區，都市地區不僅缺乏林木覆蓋及地面的截流，再因人工構造物及地表不透水層的增加，導致都市保水能力降低、氣溫上升、乾燥化與地下水位下降。另外，都市地區人類對水文圈的衝擊，包括改變河道、建造水庫、灌溉、工商住宅用水、砍伐森林、山坡地濫作及水污染等均影響水文體系、干擾水平衡，遇大雨時常產生洪澇並造成人民財產損失。然而，國內目前大多數都市計畫對雨水的處理觀念，皆以不透

水面匯流再利用排水系統快速將雨水排出，即所謂的集中「末端處理」(end-of-pipe)的排水觀念，此種處理逕流的觀念使得都市鋪面缺乏保水機能，且易增加排水系統負擔，並缺乏考慮基地保水、滲透、滯留之排水觀念，亦不是一種維護生態的都市防洪計畫。

為改善都市化問題及增加都市水循環，在內政部建築研究所於綠建築的評估體系中推動基地保水，以「基地保水指標」來定量化評估基地中雨水涵養的能力，以有效改善日漸惡化的都市水循環問題。「基地保水指標」為建築基地涵養水分及貯留滲透雨水的功能。基地的保水性能愈佳時，基地涵養雨水的功能愈好，有益於土壤內微生物的活動，進而改善土壤之有機品質並滋養植物，對生態環境有莫大助益，這是人類居住環境中不可或缺的生態指標。

基地開發後土地保水能力回到未開發前。基地保水之規劃，必先瞭解當地土壤滲透情形，才能進行有效的保水設計。當基地位於地下水位小於 1m 之低濕地時，保水功能較不顯著，因此可免除本指標之評估。而在基地保水設計中主要分為兩大部分，一是「直接滲透設計」，二是「貯留滲透設計」。前者利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能，而後者為設法讓雨水暫時留置於基地上，然後再以一定流速讓水滲透循環於大地的方法。「基地保水設計」即為基地保水指標計算與評估依據，基地保水指標設計值，其指標設計值 λ 計算方式為開發後各項保水設施於單位時間內之保水量與開發前基地保水量的比值，因此其值愈高愈好，若大於 1 則表示其開發後之基地保水量高於原有基地之保水量，反之若小於 1 則表示開發後之基地保水量小於原有基地之保水量。當為 1 時則代表土地開發行為完全無損於原來自來裸露土地的保水功能。

內政部建築研究所於民國 91 年起補助廳舍改建計畫，到民國 100 年為止總共補助了 179 件廳舍改建案例，在這其中有 66 件案例進行基地保水施作，施作案例的內容，大多為停車場與人行道鋪面的改善，由透水磚取代原有不透水的瀝青及水泥鋪面，並且規劃種植各式植物，不僅能美化環境，更可以提升基地保水性能以及減緩都市熱島效應。其餘案例例如人工湖以及生態池的改善，可以達到具有雨水貯留、延遲暴雨及雨水逕流、創造多樣性生物環境等功能。這 66 件案例中，北部及中部尤其占了大多數，分別為 26 件及 29 件，南部則占了 11 件。

在「建築基地保水設計技術規範」中以建築基地涵養水分與貯留滲透雨水能力為考量對象，並設定基地保水指標 λ 為評估指標以利評價恢復水文循環之成效。其中

基地保水指標 λ 值之計算方式已行之多年並且普遍為大眾接受。而 λ 值越大，代表保水性能越佳，反之則越差。其值為 1.0 時，代表土地開發行為完全無損於原來自然裸露土地的保水功能。但在既有的基地保水指標的計算案例中發現 λ 值有大於 1 的不合理情況，這也代表基地改建後期保水量大於開發前的不合理現象，而這種情形隨著土壤入滲率的降低更形明顯，反映建築基地保水設計問題。因此需對 λ 值計算方式做檢討與修正，從理論和現有實際案例中討論目前 λ 值計算方式之適用性，以及可能修改之方向。

在許多基地保水方法中，以透水鋪面於國內最普遍使用。目前國內施作透水鋪面時，主要依據我國行政院公共工程委員會提出之設計標準圖進行施工，常用之設計標準圖有：人行道透水鋪面、車行道透水鋪面、連續帶狀綠帶透水鋪面及透水磚等，設計標準圖內提供施工示意圖、設施功能、生態功能、適用範圍、設計原則及注意事項等。然而，依照設計標準圖施工後，國內部分透水鋪面案例未達到預期之成果；因此，檢討我國透水鋪面設計標準圖並採取現地透水試驗檢測透水性能，在發展透水鋪面工法實為重要。

除檢討我國透水鋪面設計標準圖外，應積極蒐集國外透水鋪面新工法，探討是否適合我國施作，並且適當的引進國內進行推廣。國外近年來發展透水鋪面相關工法，如「多孔性瀝青混凝土鋪面」和「無細粒料混凝土」，前者藉由調整級配提高粗粒料間的空隙率，以使降於鋪面上的水可迅速滲透至路基，後者亦稱為透水混凝土鋪面，由均勻級配之粗骨材、微量或無細骨材且少量水泥漿之混凝土材料，以配比設計與製程控制其特性以達到適當強度與透水性能。

本計畫的主要工作為透過對過去建研所已補助完成的廳舍改建計畫或其它可獲取之基地保水評估及透水鋪面增建或改建計畫的案例進行評估，以及國內、外已發展之透水鋪面工法等進行基本資料蒐集、調查及優缺點之分析比較，並對現有之基地保水指標 λ 進行討論，分析基地保水指標 λ 之主要問題以及不合理的原因。

第二節 研究方法與步驟

依據研究工作項目，本計劃研究方法與步驟簡述如后：

壹、蒐集調查過去建研所已補助完成的廳舍改建計畫及國內透水鋪面案例之現地滲透性能

1. 蒐集基地保水相關資料：藉由相關報告、期刊、網站、內政部建築研究所、財團法人台灣建築研究中心、台灣綠建築協會或成功大學建築系林憲德教授，調查過去內政部建築研究所已補助完成的廳舍改建計畫之國內基地保水案例。
2. 蒐集透水鋪面相關資料：藉由相關報告、期刊、網站、內政部建築研究所、中央政府或地方政府相關單位，調查過去已補助完成之國內透水鋪面改建案例。
3. 針對蒐集之案例進行整理分析、整理及探討，挑選國內合適案例進行現地訪查工作，藉由現地透水性試驗，探討現地情況及相關影響因素。必要時以書面、電話、通信的方式進行資料補充。
4. 為提升調查效率及降低人為錯誤，本計畫訂標準作業流程、試驗流程及統一現地調查表格式，以利現地調查透水性試驗作業。程序包含：
 - A. 調查前置作業：
 - 蒐集資料及設備整理
 - 行前規劃與人員編組
 - 規劃行程與路徑
 - 確認行前資料與設備
 - 確認透水性試驗流程
 - B. 調查流程：
 - 調查範圍擬定
 - 執行調查表格所需
 - 確認調查作業完整性
 - C. 透水試驗
 - 選擇平坦合適試驗鋪面
 - 依需求進行設置透水試驗器材
 - 現場量測水面高度及透水時間
 - D. 現地調查資料及透水性試驗結果整理
 - 計算透水鋪面水力傳導度
 - 計算透水鋪面基地保水指標 λ

貳、蒐集彙整目前國內、外已發展之透水鋪面工法，並比較不同工法之優缺點及設計方式

本計畫蒐集國內外與透水鋪面工法有關之相關文獻、研究報告、案例、規範及計算模式等，並探討不同工法之設計方式以及優缺點，其研究方法可進一步分述如下：

1. 國內外透水鋪面相關文獻回顧

資料蒐集：針對國內外透水鋪面之研究報告、技術手冊、網站、期刊、規範及圖說等進行資料蒐集。

特性探討：針對蒐集之資料，調查國內外使用之相關技術與措施進行探討。

2. 國內外透水鋪面工法案例蒐集

資料蒐集：針對國內外透水鋪面之設計手冊、導引、網站、規範、圖說及案例等進行資料蒐集。

特性探討：針對蒐集之資料，調查國內外有關於透水鋪面之案例進行探討。

3. 國內外透水鋪面工法設計方式蒐集

資料蒐集：針對國內外透水鋪面工法之設計手冊、導引、網站、規範、圖說等進行資料蒐集。

特性探討：針對蒐集之資料，調查國內外有關於透水鋪面工法之設計方式進行探討。

參、分析基地保水指標 λ 不合理的原因

本計畫依上敘之資料蒐集成果，進一步探討保水設計因不同類型及施作方式，設計保水量而有所不同，因此本計畫針對不同類型保水設計，探討現有基地保水指標 λ 值、基地保水指標 λ 值問題、 λ 值設計方法、透水鋪面設計規劃等關鍵議題。主要工作方式如下：

現有基地保水指標 λ 值

依據內政部建築研究所 2012 年版之綠建築評估手冊提供現有各類保水設計之保水量計算及變數說明如下表：

表 1-1 各類保水設計之保水量計算及變數說明

項目	各類保水設計之保水量(m ³)	保水量計算公式	變數說明
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量 Q ₁	$Q_1=A_1 \cdot f \cdot t$	A ₁ ：綠地、被覆地、草溝面積 (m ²)，草溝面積可算入草溝立體周邊面積。
	透水鋪面設計保水量 Q ₂	$Q_2=0.5 \times A_2 \cdot f \cdot t + 0.05 \cdot h \cdot A_2$ (連鎖磚型) $Q_2=0.5 \times A_2 \cdot f \cdot t + 0.3 \cdot h \cdot A_2$ (通氣管結構型)	A ₂ ：透水鋪面面積 (m ²) h：透水鋪面基層厚度 (m) ≤0.25 (若基層為混凝土等不透水鋪面，則 f=0)
	花園土壤與水截留設計保水量 Q ₃	$Q_3=\text{MIN}(A_3 \cdot f \cdot t, 0.42 \cdot V_3)$ MIN：弧內取小值	A ₃ ：人工花盤土壤面積 (m ²) V ₃ ：花園土壤體積 (m ³)，最多計入深度 1m 以內土壤
特殊保水設計	貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池設計保水量 Q ₄	$Q_4= A_4 \cdot f \cdot t + V_4$	A ₄ ：貯留滲透空地面積或景觀貯留滲水池可透水面積 (m ²) V ₄ ：貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積 (m ³)
	地下貯留滲透保水量 Q ₅	$Q_5=(A_5 \cdot f \cdot t) + r_i \cdot V_5$	A ₅ ：貯留設施地表面積 (m ²) V ₅ ：蓄水貯留空間體積 (m ³) r _i ：礫石貯留設施為 0.2，專用蓄水貯留框架為 0.8，但礫石貯留最大只能計入地表深度 1m 以內之體積
	滲透排水管設計保水量 Q ₆	$Q_6=(8 \cdot x^{0.2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	L：滲透排水管總長度 (m) x：為開孔率 (%) k：基地土壤滲透係數 (m/s)
	滲透陰井設計保水量 Q ₇	$Q_7=(3.0 \cdot f_n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	n：滲透陰井個數
	滲透側溝保水量 Q ₈	$Q_8(a \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	L：滲透側溝總長度[m] a：側溝材質為透水磚或透水混凝土為 18.0，紅磚為 15.0，若為滲透係數為 kg (m/s) 之新滲透材質時，a=40·kg ^{0.1}
其他	由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之		

(資料來源：2012 年版之綠建築評估手冊-基本型)

1. 基地保水指標 λ 值問題

在既有的基地保水指標的計算案例中發現 λ 值有大於 1 的不合理情況，這也代表基地改建後期保水量大於開發前的不合理現象，而這種情形隨著土壤入滲率的降低更形明顯，可能原因是由於目前施工規定要求，在進行基地開挖後需整平夯實路基土壤層，而後進行各類設施鋪設。在夯實過的土壤層其入滲率將比未夯實前降低許多，當路基土壤層的最終入滲率越高時，其間隙貯留保水量相對於原始路基土壤的影響較小，而當最終入滲率低時，由於本身滲透性差因此可保之水量較小，間隙貯留設計的影響將遠高於路基土壤之影響。但目前計算基地保水設計保水量未將此變因放入考慮。本計畫依上敘資料蒐集成果，進一步探討基地保水設計之土壤入滲率變化對設計保水

量的影響。

2. 基地保水指標 λ 的修訂建議

基地保水指標設計值，亦即其指標設計值 λ 為開發前自然土地之保水量 Q 與開發後之土地保水量 Q' 之相對比值，分子為各項保水設計之保水量之總和 Q_i ，分母為開發前自然土地之保水量 Q_0 。公式如下：

$$\text{指標設計值} = \frac{\text{開發後基地保水量 } Q'}{\text{原土地保水量 } Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \cdot f \cdot t}$$

式中 f ：基地最終入滲率(m/s)； t ：降雨延時(s)。取 86400s(24hr)

計算結果 λ 值越大，代表保水性能越佳，反之則越差。由於公式假設開發前後基地最終入滲率一致，以及 t 僅考慮降雨延時，與實際情形有落差。因此初步提出對現行基地保水指標 λ 之建議修正入滲率 f 與時間 t 。

3. 透水鋪面設計規劃

透水鋪面是指由面層至基層均有良好的透水性，因此面層採用孔隙率高且抗壓強度足夠之材料，並以透水性良好的骨材粒料為基層，則降雨可由面層入滲至地表下，而形成良好之透水性能。透水鋪面設計規劃流程如下圖 1。

透水鋪面多設置於，人行道、停車場、低交通量車道等。根據不同使用方式、鋪面類型，基於安全要求，透水性鋪面結構強度，必須確保行人行走或車輛駕駛之安全。

透水鋪面保水量設計關鍵在於設計降雨強度、路基土壤層滲透性、面層及基層之孔隙率和厚度，根據基地保水指標中透水鋪面設計，透水鋪面的保水量可分為直接滲透保水量與間隙貯留保水量，其中直接滲透保水量部分，根據相關研究及實驗發現，只要選擇透水效果較原路基土壤透水效果佳的鋪面時，就可得到和裸露土壤相同的入滲效果。間隙貯留保水量乃是利用土壤間隙來涵養雨水，如人工地盤花園的土壤、地下礫石貯留的礫石、透水鋪面的回填級配基層等。由於土壤間的孔隙具有涵養雨水的功能，而組成土壤之顆粒大小範圍相當廣泛，因此其孔隙大小也各有差異。土壤內孔隙與土壤體積的比值為孔隙率，孔隙率愈大，單位體積內所能涵養的水分也愈多。

本計畫探討透水鋪面因不同類型、級配基層厚度及施工方式，設計保水量而有所不同，因此本計畫針對不同類型透水鋪面，探討設計保水量計算等。

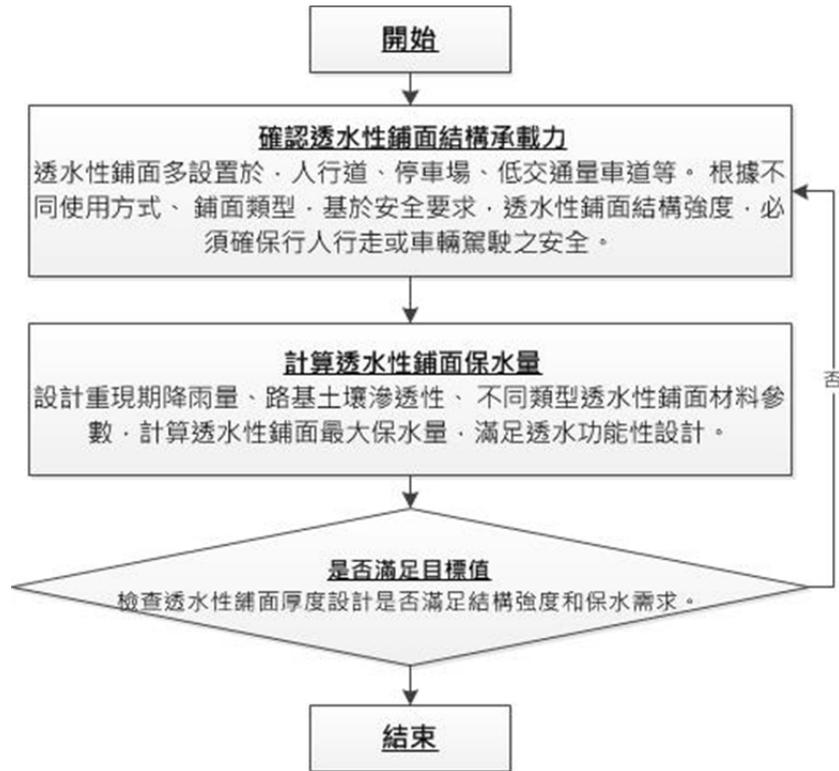


圖 1-1 透水鋪面設計規劃流程圖

(資料來源:本研究整理)

第二章 基地保水及透水鋪面文獻回顧

本章針對國內外基地保水相關文獻進行蒐集及回顧，包含：基地保水國內外相關文獻回顧、基地保水設計方法及國內外案例收集、以及基地保水國內外相關規章收集。

第一節 基地保水介紹

基地保水指標主要是針對基地中土壤和自然草地的保水性能加以探討，也就是基地涵養水分和貯留、滲透雨水的功能。當基地本身的保水性能愈好時，代表涵養雨水的功能高，進而對周邊生態環境有所助益。

基地保水指標的設計方法分為兩大類，一是「直接滲透設計」，二是「貯留滲透設計」。前者是直接利用土壤滲透將雨水涵養在大地之中，後者是先將雨水暫時貯留在基地設施物上，然後再漸漸地滲透或流入大地之中。

壹、基地保水項目

「基地保水設計」主要分為，「直接滲透設計」與「貯留滲透設計」兩大部分。前者是利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能，而後者為設法讓雨水暫時留置於基地上，然後再以一定流速讓水滲透循環於大地的方法。基地保水之規劃，必先瞭解當地水文地質情形。當該地位於地下水位小於 1m 之低濕基地時，保水功能已無意義，因此可免除本指標之評估（多孔地質鑽探資料中有一孔地下水位小於 1m 時即可免評估）。

保水設計技術之中，除了綠地與透水鋪面可被普遍採用之外，為了考量地盤土質之安定，對於擋土牆、重要構造物及道路周圍有地盤流失之虞處，必須保持安全距離（通常為距離其高差兩倍以外）才能進行滲透管溝或滲透水池之設計，尤其在山坡地及地盤滑動危機之區域，也應嚴禁用滲透管溝或滲透水池之設計。基本上，基地位於透水良好之粉土或砂質土層時，以「直接滲透設計」為主；基

地位於透水不良之黏土層時，則以「貯留滲透設計」為主。「直接滲透設計」與「貯留滲透設計」兩大部分的設計手法，可分述如表 2-1，並分項介紹。

表 2-1 基地保水相關設計手法

直接滲透設計	綠地、被覆地或草溝設計
	透水鋪面設計
	貯留滲透空地
	滲透排水管設計
	滲透陰井設計
	滲透側溝設計
貯留滲透設計	花園土壤雨水截留設計
	景觀貯留滲透水池設計
	地下貯留滲透設計

(資料來源:本研究整理及 2012 年綠建築評估手冊)

一、直接滲透設計

當基地位於透水良好之粉土或砂質土層（通常土壤滲透係數 k 在 10^{-7} m/s 以上）時，適合採用以下的「直接滲透設計」：

1. 綠地、被覆地或草溝設計

雨水滲透設計最直接的方法就是保留大自然之土壤地面，亦即留設「綠地」、「被覆地」、「草溝」以為雨水直接入滲之面積。雨水滲入綠地土壤可直接供給植物成長的水分，對土壤的微生物活動及綠化光合作用有很大助益。植物的根部活動又可活化土壤、增加土壤孔隙率，對涵養雨水之能力有所貢獻，因此綠地是屬於最為自然、最環保的保水設計。所謂「被覆地」就是在裸露土地上全面以地披、樹皮、木屑、礫石覆蓋之地面。「被覆地」上之各種有機或無機覆蓋物均有多孔隙之特性，具備孔隙保水之功能，並可防止灰塵與蒸發。所謂「草溝」就是巧妙

利用洩水地形來設計開放式自然雨水排水路，是最佳的生態排水工法。為了避免雜排水污染，它通常用於無污染疑慮之庭園或廣場之排水設計。

本手冊並不鼓勵直接裸露之地面，因為它容易塵土飛揚、土壤流失，或被長期重壓而堅固如不透水混凝土面。本手冊對於堅硬的直接裸露地面，視同不透地面來評估。設計者最好對於裸露地面、裸露土道路有良好的披覆設計，如鋪設碎石、踏腳石、枕木等，才能長久保持大地的水循環功能。

2. 透水鋪面設計：

車道、步道、廣場等人類活動的地面構造，通常由地面表層及基層所構成。所謂「透水鋪面」，就是表層及基層均具有良好透水性能的鋪面（圖 2-1）。

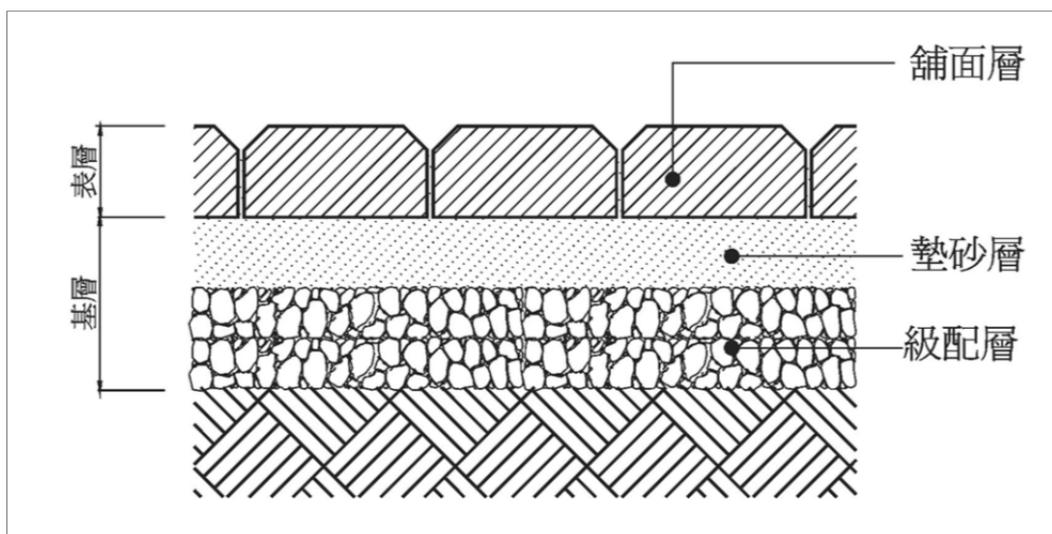


圖 2-1 透水鋪面

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

表層通常由連鎖磚、石塊、水泥塊、磁磚塊、木塊、HDPE 格框(High Density Polyethylene, 高密度聚乙烯)等硬質材料以乾砌方式拼成，其透水性能主要由表面材的乾砌間隙來達成。表層下的基層則由透水性十分良好的砂石級配構成。基層本身可依孔隙率 0.05 與體積計算其保水量，但基層厚度以 25cm 為上限。依地面的承載力要求，其表層材料及基層砂石級配的耐壓強度有所不同，但是絕不

能以不透水的混凝土作為基層結構以阻礙雨水之滲透。一般良好透水鋪面的透水性能可視同裸露土地，因此增加透水鋪面，相當於增加裸露土地一樣，對基地保水有好的貢獻。另外有一種在通氣導管塑膠框架上打上混凝土的高承載結構型透水鋪面(圖 2-2)，其表層綿密的通氣管連通充滿粗骨材的基層空隙空間，具有絕佳的透氣、透水、保水與蓄洪功能。此種透水工法依其承載需要可調整其通氣管與混凝土之厚度與強度，適用於高交通量與高承載量之鋪面，但必須依照其特殊規範施工，確保其保水品質後，其基層體積可以 0.3 之孔隙率來計算其保水量。

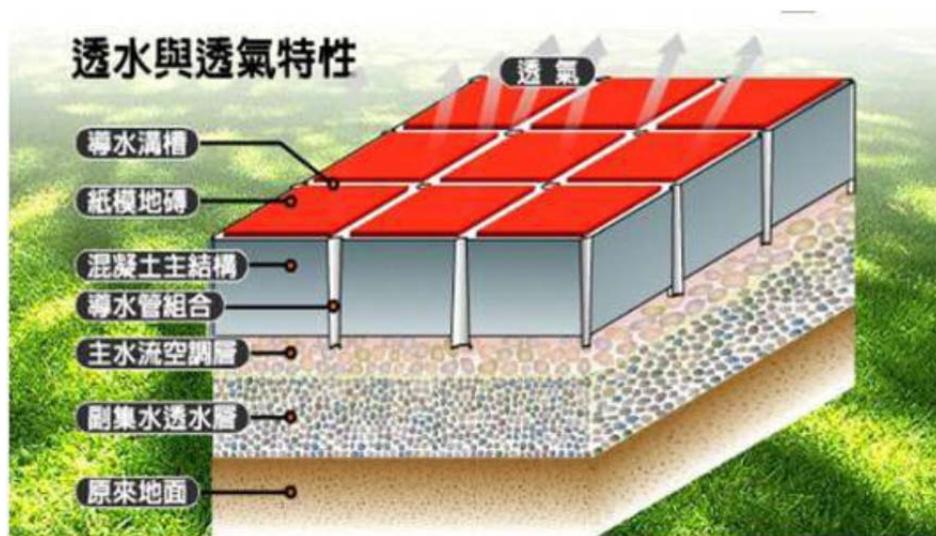


圖 2-2 高承載力的通氣管結構型透水鋪面

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

3. 貯留滲透設計

「貯留滲透空地」通常利用停車場、廣場、球場、遊戲場、庭園廣場空間，將之做成能匯集周邊雨水之透水型窪地，平時作為一般的活動空間，在下暴雨時則可暫時蓄洪，讓雨水以自然滲透方式滲入地下後便恢復原有空間機能，是一種兼具公共活動機能與防洪功能的生態空間設計。此窪地依其功能可做成草地、礫石地，也可做成滲透型鋪面廣場。此貯留滲透設計的保水功能，除了下雨期間土壤的正常滲透水量之外，還包含其窪地的蓄洪量。當然為了公共安全，這些「貯留滲透設計」的蓄水量必須在 24 小時內消退完畢，因此在土壤滲透係數 k 在

10-7m/s 以上時，其蓄水深度在小學校必須在 20cm 以內，在中學校必須在 30cm 以內，在一般情形則在 50cm 以內，但其邊緣高差應分段漸變以策安全。

4. 滲透排水管設計：

在都市高密度開發地區，往往無法提供足夠的裸露地及透水鋪面來供雨水入滲，此時，便需要人工設施來幫助降水使其儘可能入滲至地表下，目前較常用的設施可分為水平式的「滲透排水管」、垂直式「滲透陰井」，及屬於大範圍收集功能的「滲透側溝」。所謂「滲透排水管」，便是將土壤內飽和而無法宣洩之水先匯集於排水管內後，然後慢慢往土壤內入滲至地表中，達到輔助土壤入滲的效果。透水管的材料從早期的陶、瓦管、多孔混凝土管、有孔塑膠管進化為蜂巢管、網式滲透管、尼龍紗管而至最近之高密度聚乙烯透水管等，它可以利用毛細現象將土壤中的水引導入管內，再緩緩排除(圖 2-3)。新型滲透網管不僅有足夠的抗壓強度，有各種樣式斷面與連通接頭，不必使用碎石級配與不織布即可避免泥砂滲入造成淤積。



圖 2-3 新型 T 型紋路滲透排水管

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

5. 滲透陰井設計：

「滲透陰井」與「滲透排水管」的原理是類似的，都是利用內部的透水涵管來容納土壤中飽和的雨水，待土壤中含水量降低時，再緩緩排除。「滲透陰井」是屬於垂直式的輔助入滲設施，不僅可以有較佳的貯留滲透的效果，同時，亦可做為「滲透排水管」之間聯接的節點，可容納排水過程中產生的污泥雜物，以方便定期清除來保持排水的通暢(圖 2-4)。過去的「滲透陰井」與「滲透排水管」常有阻塞現象，最新則兩者皆使用高密度聚乙烯透水網管，因為使用毛吸透水原理，不必使用碎石或不織布也不會造成阻塞(圖 2-5)。

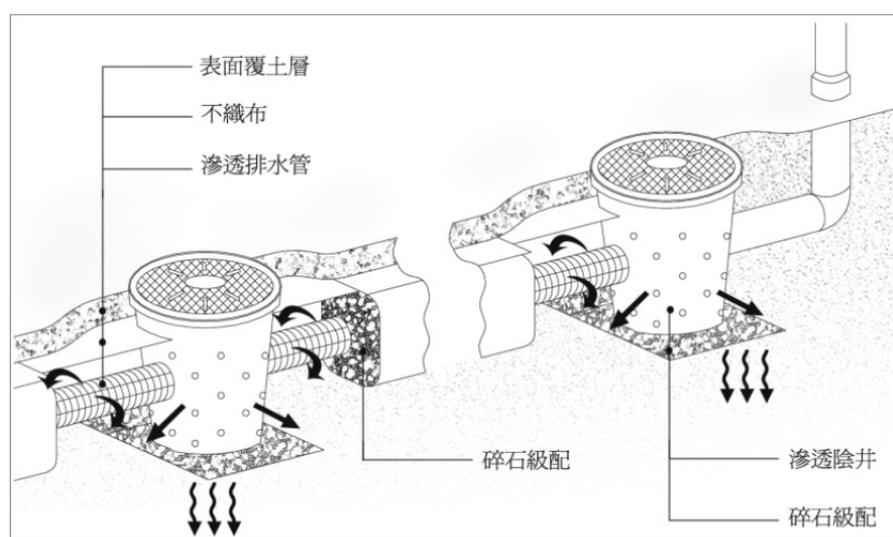


圖 2-4 滲透排水管與滲透陰井

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

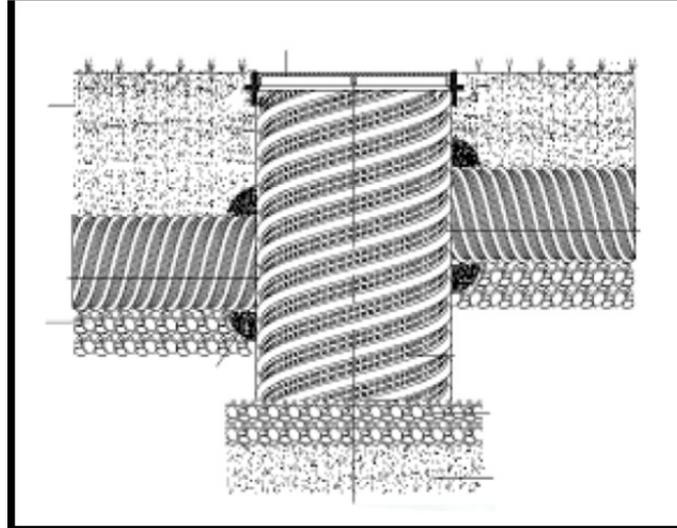


圖 2-5 滲透網管做成的排水系統

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

6. 滲透側溝設計：

上述「滲透排水管」及「滲透陰井」通常設置於操場、庭院、坡坎、擋土牆來收集土壤內積水，是地面下的排水系統。「滲透側溝」則是收集屋頂排水或表面逕流水的地表排水系統，其管涵斷面積也較滲透排水管為大(圖 2-6)。在管涵材料的選擇上，必須以多孔隙的透水混凝土(即無細骨材混凝土)、紅磚、水泥磚為材料，或是以多孔型的預鑄管涵為設計，管涵四周包圍以礫石、不織布，以利雨水入滲，同時也必須定期清洗以防青苔、泥沙阻塞孔隙而失去功能。「滲透側溝」最好不要鄰接建築牆面、擋土牆、圍牆而設，以免失去滲透之功效。滲透側溝收集基地之雨水後，經由重力流情況排水，可能常有砂土、垃圾等流入而使功能降低，故於側溝入流處應設置陰井，進行初步之穩流與沈砂。滲透側溝受基地之坡度或地勢變化關係，滲透側溝佈置常需伴有(滲透)陰井等附屬設施，以維持其結構穩定；且滲透側溝於彎折、寬度變化點亦應設置(滲透)陰井。滲透側溝與(滲透)陰井組合配置構造如 2-6 所示。不過，滲透側溝系統還是很容易被阻塞，最近較好的設計還是以滲透網管把水溝暗管化，以上述地下型滲透排水系統來設計，既可免除阻塞，有可防止積水而產生蚊蟲污染之困擾。

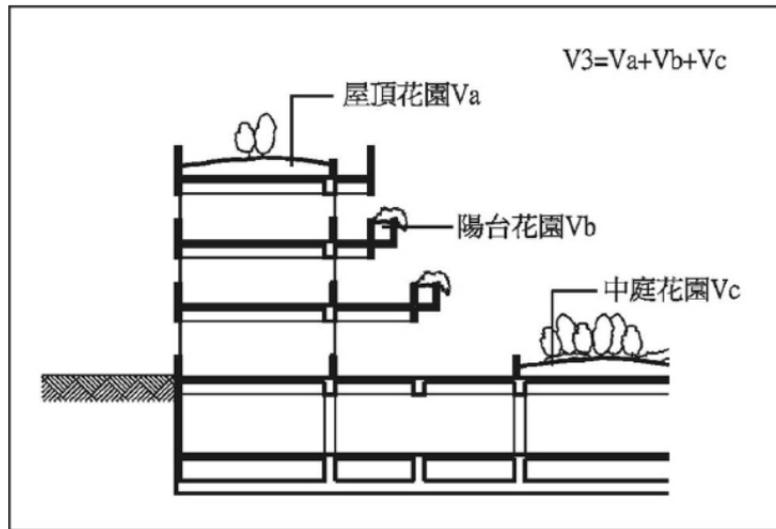


圖 2-7 花園土壤雨水截留

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

2. 景觀貯留滲透水池設計

所謂雨水的「景觀貯留滲透水池」，就是一種具備滲透型功能的滯洪池，讓雨水暫時貯存於水池，然後再慢慢以自然滲透方式滲入大地土壤的設計。其意義與上述「貯留滲透設計」相似，但「貯留滲透設計」只適用於滲透性良好的土壤，而「景觀貯留滲透水池」也可適用於滲透不良的土壤。「景觀貯留滲透水池」通常將水池設計成高低水位兩部分，低水位部分底層以不透水層為之，高水位部分四周則以自然緩坡土壤設計做成，其水面在下雨後會擴大，以暫時貯存高低水位間的雨水，然後讓之慢慢滲透回土壤；在平時則縮小至一定範圍，維持常態之景觀水池，水岸四周通常種滿水生植物作為景觀庭園之一部份(圖 2-8)。

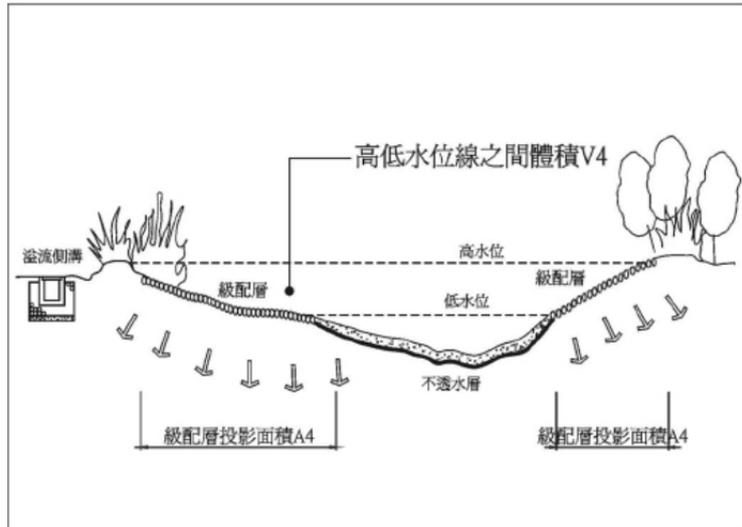


圖 2-8 景觀貯留滲透水池

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

3. 地下貯留滲透設計

所謂「地下貯留滲透」，基本上是一種藉由創造地下儲水空間來保水的方法，亦即在空地地下挖掘蓄水空間，填入礫石、廢棄混凝土骨料或組合式蓄水框架，外包不織布，讓雨水暫時貯留於此地下孔隙間，然後再以自然滲透方式入滲至土壤的方法。此地下空間埋設的礫石越大，其蓄水孔隙率越大，尤其是蓄洪專用的組合式蓄水框架的蓄水空間比更高達 80% 以上，因此下大雨時，此地下空間便能貯留較大的水量，然後讓之慢慢滲透回土壤之中，以同時達到貯留及滲透的保水功效。圖 2-9 為礫石與組合式蓄水框架的地下貯留滲透工法示意圖，兩種工法均需考慮其路面承載性能，並且需覆蓋不織布以防止孔隙受到泥土阻塞喪失蓄水功能。「地下貯留滲透」在透水性能不佳的地質上相當有效，幾乎成為地下儲水窖的功能，可在廣場、空地、停車場、學校操場、庭院等開闊區域廣為設置。有時透過一些配管抽水手法，更可將貯留的雨水做為洗車、澆花等雜用水的利用。

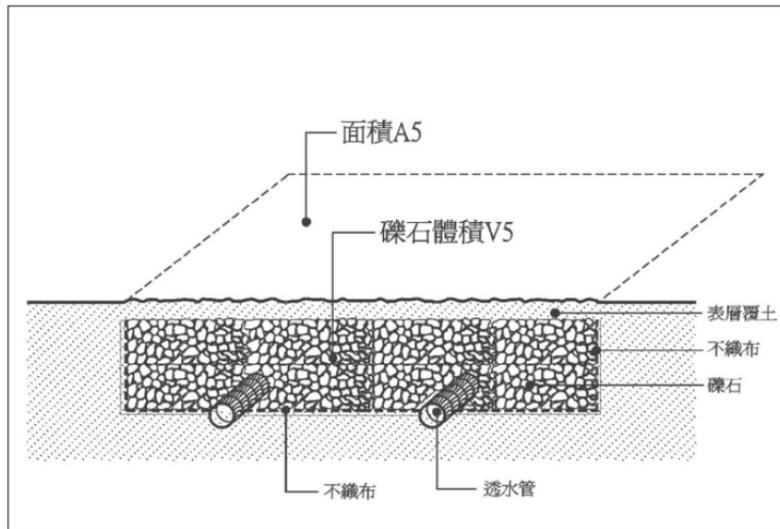


圖 2-9 地下礫石層與組合式蓄水框架的地下貯留滲透工法

(資料來源:2012 年綠建築評估手冊)

貳、基地保水指標λ值

常用保水設計包括綠地、被覆地、草溝，透水鋪面，以及花園土壤雨水截留等；而特殊保水設計包括貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池，地下貯留滲透，滲透排水管，滲透陰井，及滲透側溝；其他保水設計則需由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之。各類保水設計具有不同保水量之計算方式：

依據內政部建築研究所 2012 年版之綠建築評估手冊提供現有各類保水設計之保水量計算及變數說明如表 1-1，以下分項說明：

一、綠地、被覆地、草溝保水量 Q_1 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$$

式中 A_1 為綠地、被覆地、草溝面積 (m^2)，草溝面積可算入草溝立體周邊面積。依據綠地覆蓋面積、綠地滲透率及滲透時間之乘積，計算保水設計之保水量。

二、透水鋪面保水量 Q_2 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.05 \cdot h \cdot A_2 \text{ (連鎖磚型)}$$

$$Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.3 \cdot h \cdot A_2 \text{ (通氣管結構型)}$$

式中 A_2 為透水鋪面面積 (m^2); h 為透水鋪面基層厚度 (m), 依規定不可大於 0.25 m 。依據透水鋪面面積、滲透率(若基層為混凝土等不透水鋪面, 則滲透率等於 0)、滲透時間及參數, 再加上透水鋪面面積、基層厚度及參數之乘積, 計算保水設計之保水量。

三、花園土壤與水截留保水量 Q_3 之保水設計之保水量(m^3), 其公式

$$Q_3 = \text{Min} (A_3 \cdot f \cdot t, 0.42 \cdot V_3)$$

式中 A_3 為人工花盤土壤面積 (m^2); V_3 為花園土壤體積 (m^3), 最多計入深度 1 m 以內土壤。在花園土壤與水截留設計之面積、滲透率及滲透時間之乘積與參數及花園土壤體積之乘積, 兩者當中取小值, 做為保水設計之保水量。

四、貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池設計保水量 Q_4 之保水設計之保水量(m^3), 其公式

$$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$$

式中 A_4 為貯留滲透空地面積或景觀貯留滲水池可透水之面積 (m^2); V_4 為貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積 (m^3)。依據面積、滲透率及滲透時間之乘積, 加上貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積, 計算保水設計之保水量。

五、地下貯留滲透保水量 Q_5 之保水設計之保水量(m^3), 其公式

$$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + r_i \cdot V_5$$

式中 A_5 為貯留設施地表面積 (m^2); V_5 為蓄水貯留空間體積 (m^3); 在礫石貯留設施 r_i 值為 0.2, 專用蓄水貯留框架 r_i 值為 0.8。依據貯留設施地表面積、滲透率及滲透時間之乘積, 再加上參數及蓄水貯留空間體積之乘積, 計算保水設計之保水量, 但礫石貯留最大只能計入地表深度 1 m 以內之體積

六、滲透排水管設計保水量 Q_6 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_6 = (8 \cdot x^{0.2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$$

式中 L 為滲透排水管總長度(m); x 為開孔率(%); k 為基地土壤滲透係數(m/s)。依據幕次計算之開孔率、基地土壤滲透係數、滲透排水管總長度及參數之乘積，再加上參數及滲透排水管總長度之乘積，計算保水設計之保水量。

七、滲透陰井設計保水量 Q_7 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$$

式中 n 為滲透陰井個數。依據滲透率、滲透陰井個數、滲透時間及參數之乘積，再加上參數及滲透陰井個數之乘積，計算保水設計之保水量。

八、滲透側溝保水量 Q_8 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_8 = (a \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$$

式中 L 為滲透側溝總長度(m)；若側溝材質為透水磚或透水混凝土 $a = 18.0$ ，若側溝材質為紅磚 $a = 15.0$ ，若為滲透係數為 $kg (m/s)$ 之新滲透材質時，則 $a = 40 \cdot kg^{0.1}$ 。依據基地土壤滲透係數、滲透側溝總長度、滲透時間及參數之乘積，再加上參數及滲透側溝總長度之乘積，計算保水設計之保水量。

第二節 透水鋪面介紹

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，以利涵養水分，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。

壹、透水鋪面之設計原理

透水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，以蓄存入所設計兩型之降雨強度。降雨強度愈大，鋪面厚度將而提高，增加保水量。

透水鋪面之基本構造由上而下依序為面層、底層、基層構成，如圖 2-10 所示。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。一般透水鋪面之設計因子，主要路基土壤之設計值、交通量、透水速度與降雨強度。

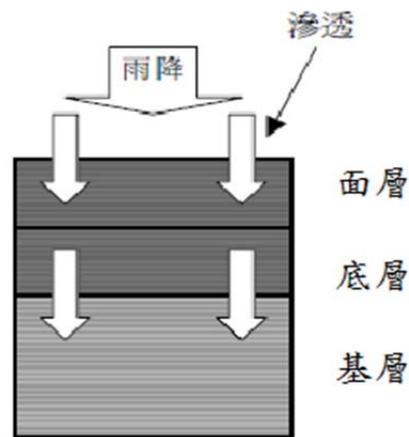


圖 2-10 透水鋪面簡易剖面圖

(資料來源:本研究整理)

一、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。

二、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。

三、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，鋪面結構的含水量接近飽和狀態的時間百分數，取決於年均降水量和主體結構層的排水率。表 2-2 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 2-2 AASHTO 建議柔性鋪面未處理基底層排水系數(1986)

排水量		鋪面結構含水量接近飽和狀態的時間百分比			
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

四、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，該係數為瀝青鋪面為 0.33 至 0.5；對混凝土鋪面約為 0.5 至 0.67。

貳、透水鋪面之效益

一、透水鋪面之保水及滲透

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。

透水性鋪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沈，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。

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，因此可減輕污水處理系統之負擔，避免污染物之擴大。

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。

二、透水鋪面對熱島效應

目前都市化發展快速，造成目前所謂之「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。

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。

三、透水鋪面對汙染物

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。此外，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，也能有效降低噪音污染。

參、透水鋪面型式

依據 2011 年綠建材評估手冊，透水鋪面型式區分為五大類，以下先針對各大類簡單說明，並將此五大類歸類範圍統整如表 2-3 所示。

一、單元透水磚透水鋪面

由塊狀材料所構成，磚本身具透水孔隙，以非連續拼接之方式鋪設，能有效維持滲透性至土壤層。如透水磚、單元性透水混凝土等。

二、單元高壓磚透水鋪面

由塊狀材料所構成，磚本身無透水孔隙，主要以各單元磚間之孔隙透水，以非連續拼接之方式鋪設，能有效維持滲透至土壤層。如連鎖磚、植草磚等。

三、現場整體澆置之柔性透水鋪面

鋪面具有彈性者，其透水性能主要由鋪面材料配比組成之孔隙來達成。如透水性瀝青等。

四、現場整體澆置之剛性透水鋪面

鋪面不具有彈性者，其透水性能主要由鋪面材料配比組成之孔隙來達成。如透水性混凝土、多孔性混凝土之預鑄構造、透水性樹脂混合骨材之構造等。

五、其他型透水鋪面

其他由構造設計之多孔性透水鋪面，可達良好透水性要求。如具透水管之鋪

面、草皮、人工草皮、具透水性之步道、竹鋪面等。

表 2-3 透水鋪面型式分類

型式	說明	材料來源	例子
單元透水磚透水鋪面	塊狀材料所構成，磚本身具透水孔隙，以非連續拼接之方式鋪設，能有效維持滲透性至土壤層	天然粒料 回收再生粒料	透水磚、單元性透水混凝土等
單元高壓磚透水鋪面	塊狀材料所構成，磚本身無透水孔隙，主要以各單元磚間之孔隙透水，以非連續拼接之方式鋪設，能有效維持滲透至土壤層	天然粒料 回收再生粒料	連鎖磚、植草磚等
現場整體澆置之柔性透水鋪面	鋪面具有彈性者，其透水性能主要由鋪面材料配比組成之孔隙來達成	天然粒料 回收再生粒料	透水性瀝青等
現場整體澆置之剛性透水鋪面	鋪面不具有彈性者，其透水性能主要由鋪面材料配比組成之孔隙來達成	天然骨材 回收再生粒料	透水性混凝土、多孔性混凝土之預鑄構造、透水性樹脂混合骨材之構造等
其他型透水鋪面	其他由構造設計之多孔性透水鋪面，可達良好透水性要求	天然粒料 回收再生粒料 人工材料	具透水管之鋪面、草皮、人工草皮、具透水性之步道、竹鋪面等

(資料來源:2011年綠建材評估手冊)

第三節 國內外基地保水設計方法

雖然透水鋪面只是基地保水眾多設計方法的其中之一，但目前國內外基地保水相關案例皆以透水鋪面設計為主。本節介紹國外基地保水設計方法，包括美國 LEED 綠建築分級評估系統保水量計算方式以及美國和日本的透水鋪面設計方法，再介紹國內基地保水設計工法，包括入滲型及貯留型之設計規劃，配置地點選取。

壹、國外基地保水設計方法

一、美國

1. 美國 LEED 基地保水計算方式

美國綠建築評估系統 LEED(Leadership in Energy & Environmental Design)使用中：洪水管理(Credit 6 Stormwater Management)計算，為了確保基地在開發後，不會因此增加過多的都市逕流量，增加都市治洪的負擔，導致都市洪水的問題，因此指標規定，如果基地開發前本身不透水率低於 50%，則開發後基地對於處理洪水的處理能力，不得低於開發前處理洪水的處理能力；如果基地本身不透水率大於 50%，則開發後基地的不透水率，必須較原先再小 25%。

在實際計算上，因為計算洪水概率過於複雜，為了簡化計算過程，LEED 使用了合理化公式($Q=CIA$)，計算基地上各種表面的材質，查表得知各材質的逕流係數，累加後得知基地整個的不透水率，再和開發前進行比較。表 2-4 及表 2-5 分別為開發前及開發後的案例比較說明。依照案例，開發後地表的不透水率較開發前降低 40%，可獲得指標 6 分數。

表 2-4 設計案例之不透水率

Surface Type	Runoff Coefficient	Area [SF]	Impervious Area [SF]
Pavement, Asphalt	0.95	5,075	4,821
Pavement, Pervious	0.60	1,345	807
Roof, Garden Roof (4 - 8 in)	0.30	8,240	2,472
Vegetation, Average (1 -3% slope)	0.20	4,506	901
TOTAL AREA		14,660	
TOTAL IMPERVIOUS AREA			8,100
IMPERVIOUSNESS			55%

(資料來源：Reference Guide, For New Construction & Major Renovations, Version 2.1)

表 2-5 原有基地之不透水率

Surface Type	Runoff Coefficient	Area [SF]	Impervious Area [SF]
Pavement, Concrete	0.95	19,166	18,208
TOTAL AREA		19,166	
TOTAL IMPERVIOUS AREA			18,208
IMPERVIOUSNESS			95%

(資料來源：Reference Guide, For New Construction & Major Renovations, Version 2.1)

2.美國透水鋪面設計方法

鋪面設計方法係以柔性鋪面設計方法做為其基礎設計參考之依據，其主要考量設計因子為 CBR(California Bearing Ratio) 與 ESALs(Equivalent Single Axle Loads)。再配合水文性能條件計算其蓄水層保水厚度，考量因子包含降雨量 P、有效降雨 Q、路基土壤入滲率 f 值、底層孔隙率 nb 值、底層最大可容許儲水時間 Ts 值、T 為蓄水層填滿時間、不透水面積比例 Rn 值等，如圖 2-11 所示。

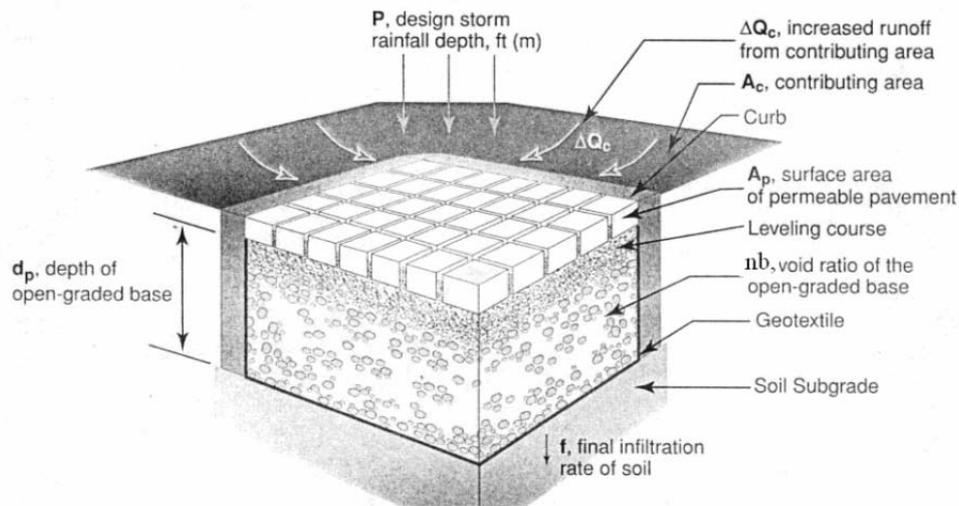


圖 2-11 透水性鋪面計算示意圖

資料來源：(Smith, 2000)

鋪面之結構設計因子包含路基土壤之設計 CBR 滲透係數、交通量及降雨量，分別說明如下：

(1) 加州承載比 CBR 試驗

路面厚度設計之目的係為能提供一經濟且有效的材料組合，使路面在既定環境下能承受交通荷重而在一定期限內不致破壞，而路基土壤之力學性質為影響路面結構設計之主要因素。CBR 試驗是為模擬粗粒石料之頂壓作用，評價其強度而設計的。CBR 值為路基土壤或鋪面粒料之承載力與標準優良級配碎石承載力之百分比，其計算方式如下：

$$\text{CBR} = \frac{\text{現地土壤承載力}}{\text{標準碎石之承載力}} \times 100\%$$

為求得路基之設計 CBR 值必需要從路基採得土樣，並進行 CBR 試驗，而採樣方法及 CBR 試驗，可參考沈茂松(1988)等所著之相關工程試驗方法，在此僅介紹其設計方式。

(2) 交通量分析

在設計鋪面時定義以 18kips 單軸軸動當量(ESALs)作為其設計標準值。做交

通量分析計算時，透水性鋪面厚度設計上則使用 20 年交通當量(DTN)作為計算；其承載厚度 dS，可由下表 2-6 中查詢其相對應值。

表 2-6 計算鋪面在不同交通量之承載厚度表

ESALs* over 20 yrs.	Soaked CBR of Subgrade Soil			Frost Conditions			
	>15	10 to 14	5 to 9	Gravelly Soils	Clayey Gravels, Plastic Sandy Clays	Silty Gravel, Sand, Sandy Clays	Silts, Silty Gravel, Sand, Silty Clays
50,000	6 (125)	8 (175)	10 (225)	9(175)	10 (250)	12 (300)	**
150,000	8 (150)	10 (200)	12 (275)	10 (250)	12(300)	14 (350)	**
600,000	10 (175)	12 (225)	14 (350)	12 (300)	18 (450)	22 (550)	**

*ESALs = 18 kip equivalent single axle loads
 **Strengthen subgrade with crushed-stone aggregate sub-base to full frost depth.

資料來源：(Smith, 2000)

(3) 超滲降雨

美國水土保持局(Soil Conservation Service, 簡稱 SCS)方法可用於計算超滲降雨。利用 SCS 方法可求得曲線值，再經由查閱圖表推求超滲降雨，其中 CN 值會隨土壤類別、土地利用狀況、耕作方式、水文臨前狀況而不同。

二、日本

日本透水性鋪面自 1973 年發展至今，依其用途可區分為三類：

1. 人行道路鋪面
2. 車行道路鋪面
3. 戶外體育、景觀設施鋪面

以人行道路鋪面為研究對象。日本常用透水鋪面設計法於使用上簡易方便，因本研究之範圍為人行道路鋪面，故在此針對此設計法於人行道路鋪面進行說明，其設計法計算流程與人行道路鋪面剖面圖如圖 2-12 所示。

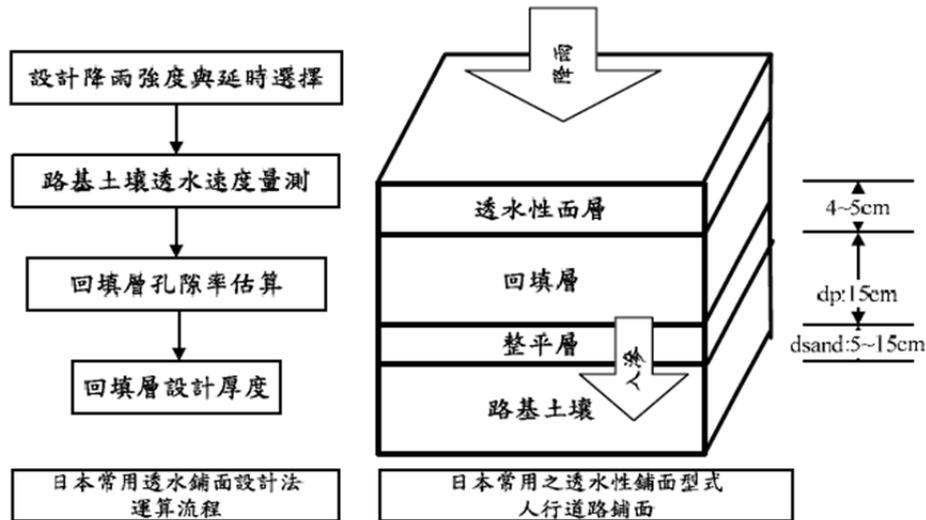


圖 2-12 日本常用透水鋪面設計法運算流程與人行道路鋪面剖面圖

(資料來源：林志棟等，2004)

此設計法考量之水文因子包含降雨強度、降雨延時、路基土壤透水速度及回填層孔隙率，使用者利用上述條件即可求得回填層設計厚度，如以下式：

$$dp = (0.1I - 3600f) \times \frac{T_d}{n}$$

式中， dp 為回填層厚度(cm)； I 為設計降雨強度(mm/hr)； f 為路基土壤透水速度(cm/sec)； T_d 為降雨延時(hr)； n 為回填層孔隙率。

貳、國內基地保水設計方法

一、入滲型設施設計規劃

入滲型設施設計有賴於是否能充分讓進入到基地面積內的雨水入滲到地下，然而因為入滲過程卻是最容易受限於環境的因素，因此在設計規劃時，必須考慮並確定基地內可置放入滲的空間及範圍等。因此規劃時須注意事項包括：

1. 鄰近飲用水井與化糞池：入滲設施應與飲用水井、化糞池分開一段距離，或儘量避免在附近建構，以防止地表水進入及地下水污染；至於分開的距離標準，可依土壤的條件、水井的操作有所不同，然至少須與水井、化糞池距離 15m 以上。

2.高污染區域：高污染區域要注意防止滲透設施造成地下水污染，如汽車維修場、垃圾場、存放化學物料或廢物置放場等，應避免施作。

3.已污染的土壤：建築基地內土壤已經被污染的地區，這類的地點應儘量避免施作相關入滲設施。

4.地下水位：入滲設施的底部應該高於高地下水位以上至少 1 m 以上。

5.山坡地：建築技術規則第十三章所規範之山坡地建築，避免施作入滲設施。

6.地盤穩定性：擋土牆、重要構造物及道路周邊有地盤流失之虞處，必須保持安全距離，距離為高差之兩倍外方可施作入滲設施。

7.土壤條件不良：入滲設施可能會造成原本不穩定的土壤更惡化，如泥碳土或含有肥料之土壤等，應儘量避免。

由於上述的一些限制條件，入滲設施設置前之調查為必須的，包括設置區域滲透區域與不滲透區域比例、地表土壤組成概況、地表下土壤組成概況、地表坡度、地表覆蓋及植生狀況及土地使用概況等；最後才將設施設計於排水區逕流流經處或匯集處，以達最佳保水效果。

二、貯留型設施設計規劃

貯留型設施設計在規劃時首要考慮的是如何在社區或建築基地內找出可容納雨水貯集的體積空間，以滿足削減洪水逕流量及洪峰量。在郊區的土地取得相對較容易，且可能落在規劃區域外，如對於已開發之都市計畫區域，土地取得相當有限，可供規劃設置地點如公園綠地、學校操場、停車場及建築物地下空間等。

整體而言，不論是郊區或是都市區域內，貯留型設施規劃配置要點包括：

1.雨水匯流處：依據當地之地形、地質條件及土地利用情形等，一般設置於開發區排水路之下游較低處，以便於雨水自然匯入。

2.建築物地下空間設置：對於高度已開發之地區，由於土地資源有限，可考量在地下空間(如建物筏式基礎、地下貯集型蓄水設備等)作為保水設施配置處。

3.具滲透性：如設施設計為貯留並可入滲型式，為增加其入滲量，池底可不加襯底，必要時，亦可設置增加池底入滲之設施（需滿足前述入滲設施規劃要點）。

4.地下水位較低處：如設施設計為貯集並可入滲型式，地下水位較高處其設施水位將與地下水位等同，則會減少了保水效果，故建議選擇地下水位較低處，使保水設施能保有較大的蓄水功能外，方能達到貯集入滲之功效。

三、配置地點

社區或建築基地保水設施配置地點主要可包括社區內之街道、車道、人行道、停車場，或建築基地內之屋頂、停車位、庭院、露天場所、建物筏式基礎及其它開放空間等，在規劃配置時根據規劃區域內的地面物配置特性、地點，可選擇採用單一保水設施設計或者合併多項設施，亦或者利用不同的設施組合方式，達到逕流削減之目標。以下針對保水設施主要之配置地點，提供組合搭配包括：

1. 街道、車道及人行道

街道、車道或人行道往往是對暴雨逕流產生最具衝擊影響之區域，而且街道及人行道等這類地面上的空間使用，一般佔不透水區域的絕大部分，而且不像建物屋頂雨水匯集過程緩慢，其暴雨逕流產生後通常是直接匯流聚集到雨水下水道系統。

為了不使這些大量的降雨逕流直接造成雨水下水道系統的負荷，可以利用道路邊緣或者如天溝設計一樣，將雨水導入池塘、滯（蓄）洪設施，亦或者導入如草溝、草帶、雨花園或透水性的景觀設計等這類保水設施，以減少直接進入雨水下水道系統之逕流量，再者亦可透過道路路面改成可滲透型式（如透水性鋪面），減少暴雨逕流的產生。當然在規劃時必須要考慮到車輛的行駛安全性、車輛的速度限制以及路面使用的頻率等。

2. 停車場或停車位

在多數的社區空間或者住家的前庭後院，往往會設立停車場或停車位以提供

汽車及機車停放。以獨立戶建物為例，停車位一般設立在自家的基地內或是街道旁，而在比較密集的都市裡，則會設置大型停車場，以提供車輛停放。同樣的這些使用空間亦佔了基地內不透水區域的大部分，並且緊鄰著建築物，對此為了削減暴雨逕流的產生，必須在逕流匯集至雨水下水道系統前，利用保水設施減少逕流量以減少雨水下水道系統之負荷。

這些大型開放空間常用之保水設施通常以表面規劃成可入滲雨水為主要方式；此類供入滲之停車位、停車場的規劃，在國內目前主要設計可包括有連鎖磚停車場（Hybrid Parking Lot）、草帶式的停車場（Parking Grove），以及多孔性材質鋪面停車場（Porous Pavement Parking Lot）等三類。

3. 屋頂、庭院、露天場所、筏式基礎及開放空間

健全的建築基地開發過程，是希望盡可能的維護、保留，或恢復當地土壤結構特性；然而一旦已經開發擾動後的土壤，則應使用各種的維護技術，改進建築基地之入滲、貯留能力，促使慢慢的排放暴雨至雨水下水道系統。

庭院、露天場所及開放空間等，常用的維護方式如儘量減少原有土壤的壓實，或者保存原有的土壤表層，或在建築基地完成後重新置放鋪設，亦或者保留當地植被，以及包括土壤的植物；不透水的屋頂區域可利用屋頂綠化、屋頂雨水貯集等方式改善，不透水的停車位、通道則可規劃成透水性鋪面，亦或者在建築基地周邊配置滲透側溝、管、陰井等，增加基地開發後的滲透面積。

建築物筏式基礎空間或以開挖地下貯集蓄水設備等，可作為洪水來臨時之滯蓄洪設計，主要提供保水方法大致可分為儲洪供利用設計，以及滯洪設計，而兩者的區別在於儲洪利用是將雨水留置於設施內並不排出；滯洪設計則將部分或全部的水留置設施中經過些許時間後加以排放，另總降雨量大於設計儲蓄容量時，則需以分流機制及抽水機制將雨量導出。

另外，微妙的利用坡度變化，亦能有效的增進入滲情況；通常空曠地表面均有輕微的中央凸出並向四周傾斜，這種情況加速暴雨往四周的雨水下水道系統匯集排放，如果能改變傾斜方式變成中央微凹陷，則能保有更多水量。

第三章 基地保水案例收集與分析

基地的保水性能係指建築基地內自然土層及人工土層涵養水分及貯留雨水的功能。基地的保水性能愈佳，基地涵養雨水的能力愈好，有益於土壤內微生物的活動，進而改善土壤之活性，維護建築基地內之自然生態環境平衡。

以往建築基地環境開發常採用不透水鋪面設計，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，甚至引發居住環境日漸高溫化的「都市熱島效應」。此外，過去的都市防洪觀念，都希望把建築基地內的雨水盡速往鄰地排出或引流至都市公共下水道系統，造成都市公共排水設施極大的負擔，形成低窪地區每到大雨即淹水的窘境。

加強基地保水性能的手法，大致可分為四大類：

- 增加土壤地面—可增加雨水的直接入滲效果，通常土壤地面用來作為種植植栽的綠地，屬於最自然、最環保的保水設計。
- 增加透水鋪面—一般良好透水鋪面的透水性能相當於裸露土地，可以增加透水鋪面積。
- 貯留滲透設計—就是讓雨水暫時貯存於水池、低地，再慢慢以自然滲透方式滲入大地土壤之內的方法，是一種兼具防洪功能的生態透水設計。
- 花園雨水截留設計—指設置於建築物屋頂、陽台及有地下室地面等人工地盤上的花園植栽槽，採用截留雨水的設計，以達到部分保水的功能。

綠建築之「基地保水指標」即是藉由促進基地的透水設計並廣設貯留滲透水池的手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和都市氣候高溫化現象。

第一節 基地保水計算方法

本節介紹基地保水指標 λ 值之計算，以及各種不同保水設計之保水量 Q 值計算方法，得知土地基地保水的能力。

壹、基地保水指標 λ 值

由前述相關資料可之目前收集之資料數量有限，在考慮本計畫工作項目要求選取的案例，與工作人員分配，故訂下列篩選因子，做為選定調查之依據。

建築基地之基地保水指標計算值應依下式計算，其計算值 λ 應大於基地保水基準值 λ_c ：

$$\lambda = \frac{\text{開發後基地保水量 } Q'}{\text{原土地保水量 } Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \times f \times t} \geq \lambda_c = 0.5 \times (1 - r)$$

λ ：基地保水指標，無單位。

λ_c ：基地保水指標基準。

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

Q_i ：各類保水設計之保水量（ m^3 ），如表 3.1-3。

Q_0 ：原土地保水量（ m^3 ）， $Q_0 = A_0 \times f \times t$ 。

A_0 ：基地總面積（ m^2 ）。以申請建照基地一宗土地範圍為準。若為單一宗基地內之局部新建執照，可以整宗基地綜合檢討或依基地內合理分割範圍單獨檢討。所謂合理分割，即以建築物周圍道路、設施之邊界或與他棟建築物之中線區分為準。

r ：基地法定建蔽率。但申請案為分期分區之局部基地分割評估時， r 為實際建蔽率且不得高於法定建蔽率，無單位，且當 $r > 0.85$ 時，令 $r = 0.85$ 。

f ：基地最終入滲率（ m/s ）；最終入滲率係指降雨時，雨水被土壤吸收之速度達穩定時之值，應在現地進行入滲試驗求之，或以表層 2 m 以內土壤認定之。應先依建築技術規則建築構造篇第六十四條的規定做鑽探調查，將鑽探結果中表層 2 m 以內土壤之「統一土壤分類」代入表 3.1-1 以取得 f 值， f 值介於 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 。有多孔鑽探資料不一致時，由技師或建築師之經驗依資料分佈取其代表值。未符合規定條件而無需做鑽探調查者，可由鄰地鑽探資料判斷，或以其表土狀況依建築師經驗判斷之，並代入表 3-1、3-2 以取得 f 值。

t : 最大降雨延時基準值(s), 標準值為 86400 sec。

表 3-1 統一土壤分類與土壤最終入滲率 f 及滲透係數 k 值對照表

土壤分類描述	粒徑 D_{10} (mm)	統一土壤分類	最終入滲率 f (m/s)	土壤滲透係數 k (m/s)
不良級配礫石	0.4	GP	10^{-5}	10^{-3}
良級配礫石		GW	10^{-5}	10^{-4}
沉泥質礫石		GM		
黏土質礫石		GC		
不良級配砂		SP	10^{-5}	10^{-5}
良級配砂	0.1	SW		
沉泥質砂	0.01	SM	10^{-6}	10^{-7}
黏土質砂		SC		
泥質黏土	0.005	ML	10^{-7}	10^{-8}
黏土	0.001	CL		10^{-9}
高塑性黏土	0.00001	CH		10^{-11}

註： 1. 若基地表層土為回填土時，其最終入滲率統一取 10^{-5} m/s。
2. 屬於相同土壤統一分類的不同土質，會因為緊密程度以及組成的不同，其滲透係數的值會有所差異，最大會有 $\pm 10^1$ 的誤差。本表為求評估上之客觀，乃是取其最小值，可使評估結果較為保守可信。

(資料來源：綠建築評估手冊，2012)

表 3-2 土壤最終入滲率 f 及滲透係數 k 值簡易對照表

土質	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
最終入滲率 f (m/s)	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}
土壤滲透係數 k (m/s)	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}

(資料來源：綠建築評估手冊，2012)

貳 各類保水設計之保水量計算

常用保水設計包括綠地、被覆地、草溝，透水鋪面，以及花園土壤與水截留等；而特殊保水設計包括貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池，地下貯留滲透，滲透排水管，滲透陰井，及滲透側溝；其他保水設計則需由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之。各類保水設計具有不同保水量之計算方式，整理如表 3-3。

綠地、被覆地、草溝保水量 Q_1 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$$

式中 A_1 為綠地、被覆地、草溝面積 (m^2)，草溝面積可算入草溝立體周邊面積。依據綠地覆蓋面積、綠地滲透率及滲透時間之乘積，計算保水設計之保水量。

透水鋪面保水量 Q_2 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.05 \cdot h \cdot A_2 \text{ (連鎖磚型)}$$

$$Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.3 \cdot h \cdot A_2 \text{ (通氣管結構型)}$$

式中 A_2 為透水鋪面面積 (m^2)； h 為透水鋪面基層厚度 (m)，依規定不可大於 0.25 m 。依據透水鋪面面積、滲透率(若基層為混凝土等不透水鋪面，則滲透率等於 0)、滲透時間及參數，再加上透水鋪面面積、基層厚度及參數之乘積，計算保水設計之保水量。

花園土壤與水截留保水量 Q_3 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_3 = \text{Min} (A_3 \cdot f \cdot t, 0.42 \cdot V_3)$$

式中 A_3 為人工花盤土壤面積 (m^2)； V_3 為花園土壤體積 (m^3)，最多計入深度 1 m 以內土壤。在花園土壤與水截留設計之面積、滲透率及滲透時間之乘積與參數及花園土壤體積之乘積，兩者當中取小值，做為保水設計之保水量。

貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池設計保水量 Q_4 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$$

式中 A_4 為貯留滲透空地面積或景觀貯留滲水池可透水之面積 (m^2)； V_4 為貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積 (m^3)。依據面積、滲透率及滲透時間之乘積，加上貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積，計算保水設計之保水量。

地下貯留滲透保水量 Q_5 之保水設計之保水量(m^3)，其公式

$$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + r_i \cdot V_5$$

式中 A_5 為貯留設施地表面積 (m^2) ; V_5 為蓄水貯留空間體積 (m^3) ; 在礫石貯留設施 r_i 值為 0.2 , 專用蓄水貯留框架 r_i 值為 0.8 。依據貯留設施地表面積、滲透率及滲透時間之乘積, 再加上參數及蓄水貯留空間體積之乘積, 計算保水設計之保水量, 但礫石貯留最大只能計入地表深度 1 m 以內之體積。

滲透排水管設計保水量 Q_6 之保水設計之保水量(m^3), 其公式

$$Q_6 = (8 \cdot x^{0.2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$$

其中 L 為滲透排水管總長度 (m) ; x 為開孔率 (%) ; k 為基地土壤滲透係數 (m/s) 。依據幕次計算之開孔率、基地土壤滲透係數、滲透排水管總長度及參數之乘積, 再加上參數及滲透排水管總長度之乘積, 計算保水設計之保水量。

滲透陰井設計保水量 Q_7 之保水設計之保水量(m^3), 其公式

$$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$$

其中 n 為滲透陰井個數。依據滲透率、滲透陰井個數、滲透時間及參數之乘積, 再加上參數及滲透陰井個數之乘積, 計算保水設計之保水量。

滲透側溝保水量 Q_8 之保水設計之保水量(m^3), 其公式

$$Q_8 = (a \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$$

其中 L 為滲透側溝總長度(m) ; 若側溝材質為透水磚或透水混凝土 $a = 18.0$, 若側溝材質為紅磚 $a = 15.0$, 若為滲透係數為 kg (m/s) 之新滲透材質時, 則 $a = 40 \cdot kg^{0.1}$ 。依據基地土壤滲透係數、滲透側溝總長度、滲透時間及參數之乘積, 再加上參數及滲透側溝總長度之乘積, 計算保水設計之保水量。

表 3-3 各類保水設計之保水量計算及變數說明

項目	各類保水設計之保水量(m ³)	保水量計算公式	變數說明
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量 Q ₁	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$	A ₁ ：綠地、被覆地、草溝面積 (m ²)，草溝面積可算入草溝立體周邊面積。
	透水鋪面設計保水量 Q ₂	$Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.05 \cdot h \cdot A_2$ (連鎖磚型) $Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.3 \cdot h \cdot A_2$ (通氣管結構型)	A ₂ ：透水鋪面面積 (m ²) h：透水鋪面基層厚度 (m) ≤ 0.25 (若基層為混凝土等不透水鋪面，則 f=0)
	花園土壤與水截留設計保水量 Q ₃	$Q_3 = \text{MIN}(A_3 \cdot f \cdot t, 0.42 \cdot V_3)$ MIN：弧內取小值	A ₃ ：人工花盤土壤面積 (m ²) V ₃ ：花園土壤體積 (m ³)，最多計入深度 1m 以內土壤
特殊保水設計	貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池設計保水量 Q ₄	$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$	A ₄ ：貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池可透水面積 (m ²) V ₄ ：貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積 (m ³)
	地下貯留滲透保水量 Q ₅	$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + r_i \cdot V_5$	A ₅ ：貯留設施地表面積 (m ²) V ₅ ：蓄水貯留空間體積 (m ³) r _i ：礫石貯留設施為 0.2，專用蓄水貯留框架為 0.8，但礫石貯留最大只能計入地表深度 1m 以內之體積
	滲透排水管設計保水量 Q ₆	$Q_6 = (8 \cdot x^{0.2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	L：滲透排水管總長度 (m) x：為開孔率 (%) k：基地土壤滲透係數 (m/s)
	滲透陰井設計保水量 Q ₇	$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	n：滲透陰井個數
	滲透側溝保水量 Q ₈	$Q_8 = (a \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	L：滲透側溝總長度[m] a：側溝材質為透水磚或透水混凝土為 18.0，紅磚為 15.0，若為滲透係數為 kg (m/s) 之新滲透材質時，a = 40 · kg ^{0.1}
其他	由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之		

(資料來源：綠建築評估手冊，2012)

第二節 基地保水案例計算

本計畫原先參考建研所綠廳舍補助改造計畫之案例，但由於此計畫資料中並沒有計算基地保水指標λ值，故改參考近年之綠建築有效標章之案例。以下針對 101-103 年北北基公有綠建築基地保水有效標章之案例進行收集與分析。目前共選擇 31 件案例，如表所示，比照工程評定書計算基地保水量，討論基地保水指標λ值。

表 3-4 101-103 年北北基公有建築基地保水有效標章之案例(31 件)

102 年、北北基、公有建築、基地保水、標章有效。共 31 件。					
案例名稱	基地保水項目	透水鋪面 種類	λ 值	是否合格 ($\lambda > \lambda_c$)	
1 台北市大龍綜合福利服務中心新建工程	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚	0.97	是	
2 天文數學館新建工程	綠地、透水鋪面、雨水花園、 滲透排水管、滲透陰井	透水磚	0.53	是	
3 國立台灣師範大學雲和街 1 號大樓新建工程	綠地、雨水花園、 滲透排水管、滲透陰井	無	0.53	是	
4 臺北花卉批發市場新建工程暨臺灣國際花卉貿易中心(小基地)	綠地、透水鋪面	透水磚、植 草磚	0.32	是	
5 台北市立中山女子高級中學綜合教學大樓新建工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.62	是	
6 新北市萬里區公所評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚、連 鎖磚	0.48 43	是	
7 中和地政事務所與稅捐稽徵處中和分處聯合辦公大樓暨地下公 共停車場評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.86	是	
8 國立政治大學第二國際學生宿舍新建統包工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.69	是	
9 臺北市信義區信義國民小學校舍增建暨附建地下公共停車場工 程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.74	是	

表 3-4 102 年北北基公有建築基地保水有效標章之案例(31 件)(續)

10	蘭雅公園附建地下停車場新建工程評定書	雨水花園	無	1.59	是
11	新莊區思賢立體停車場興建工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.2	是
12	基隆市成功國民中學老舊校舍整建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚、植 草磚	0.61	是
13	臺北市立永春高級中學第一教學綜合大樓新建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚	0.49 6	是
14	國立台灣大學教學大樓一期新建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園、 滲透排水管、滲透陰井	透水磚	1.99	是
15	新北市政府警察局三重分局三重派出所暨交通分隊辦公廳舍新 建工程評定書	綠地、雨水花園	無	0.18	是
16	國立台北教育大學綜合教學大樓及游泳池新建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚、植 草磚	0.84	是
17	新北市林口區頭湖國民小學校舍新建建築工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.91	是
18	新莊國民運動中心評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	連鎖磚	0.6	是
19	士林 21 號公園附建地下停車場新建工程評定書	綠地、雨水花園	無	1.3	是
20	新北市新莊區勞工中心新建工程評定書	綠地、雨水花園	無	0.63	是
21	內湖 317k01 停車塔新建工程評定書	雨水花園	無	0.41	是
22	國立臺灣大學及中央研究院杭州南路學人住宅評定書	綠地、雨水花園	無	0.5	是
23	國立臺灣藝術大學「影音藝術大樓新建工程」評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	連鎖磚、植 草磚	0.68	是

表 3-4 102 年北北基公有建築基地保水有效標章之案例(31 件)(續)

24	國立臺灣師範大學林口校區資訊與教學大樓新建工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.56	是
25	臺北市內湖區大湖國民小學活動中心暨溫水游泳池新建工程評定書	綠地、透水鋪面、 景觀貯集、地下貯集	透水磚	0.5	是
26	財政部北區國稅局板橋分局辦公廳舍新建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚	0.83	是
27	基隆市華興國民小學老舊校舍整建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	連鎖磚	0.53	是
28	新北市政府警察局瑞芳分局、民政局瑞芳戶政事務所暨消防局瑞芳分隊廳舍共構改建工程評定書	綠地、透水鋪面、雨水花園	透水磚、植 草磚	0.52	是
39	基隆市立中正國民中學老舊校舍第二期整建工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚、植 草磚	0.5	是
30	基隆市立正濱國民中學老舊校舍整建工程評定書	綠地、透水鋪面	透水磚	0.52	是
31	臺北市地政及災害應變中心聯合辦公大樓統包工程評定書	雨水花園	無	0.96	是

(資料來源：綠建築評定書及本研究整理)

壹、基地保水案例

在此將 31 件基地保水的案例分成 8 類呈現，分別各列舉一個案例，選取的 8 個案例整理如下表。

表 3-5 102 年北北基公有建築基地保水有效標章之案例(8 件)

案例名稱	綠地	雨水花園	透水鋪面	滲透排水管	滲透陰井	景觀貯留	地下貯留
一. 國立台灣師範大學雲和街 1 號大樓新建工程	✓	✓		✓	✓		
二. 台北市立中山女子高級中學綜合教學大樓新建工程評定書	✓		✓				
三. 蘭雅公園附建地下停車場新建工程評定書		✓					
四. 基隆市成功國民中學老舊校舍整建工程評定書	✓	✓	✓				
五. 國立台灣大學教學大樓一期新建工程評定書	✓	✓	✓	✓	✓		
六. 士林 21 號公園附建地下停車場新建工程評定書	✓	✓					
七. 臺北市內湖區大湖國民小學活動中心暨溫水游泳池新建工程評定書	✓		✓			✓	✓
八. 財政部北區國稅局板橋分局辦公廳舍新建工程評定書	✓	✓	✓				

(資料來源：本研究整理)

貳、案例資料與基地保水計算

依照工程評定書，介紹上述選擇之 8 個基地保水案例資料及進行基地保水計算，整理計算結果呈現。

一、國立台灣師範大學雲和街 1 號大樓新建工程

國立台灣師範大學雲和街 1 號大樓新建工程基地位於大安區龍泉段三小段 483-0 地號，屬第三種住宅區；使用執照基地面積 871.00 m²，建築面積 389.36 m²，法定建蔽率 45.00%，實際建蔽率 44.70%，法定容積率 225.00%，實際容積率 206.49%，總樓地板面積 2695.06 m²；為地下 1 層，地上 6 層鋼混凝土構造學校類建築。

書面評定：土壤鑽探報告書由吳宗忠技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為

黏土 CL，土壤滲透係數 $k = 10^{-9}$ m/s，基地最終入滲透率 $f = 10^{-7}$ m/s；本案採用 Q_1 綠地保水量 0.97 m^3 ； Q_3 花園土壤體積保水量 0.12 m^3 ； Q_6 滲透排水管保水量 2.52 m^3 ； Q_7 滲透陰井保水量 0.41 m^3 ； Q' 開發後基地保水量 4.02 m^3 ； Q_0 原土地保水量 7.53 m^3 ；基地保水設計值 $\lambda = 0.53 >$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.50$ 。

現場查核：現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結：本指標合格。

二、台北市立中山女子高級中學綜合教學大樓新建工程評定書

台北市立中山女子高級中學綜合教學大樓新建工程基地位於中山區長安段一小段 773-0 地號等 2 筆，屬高中用地、道路用地；執照基地面積 34279.00 m^2 ，建築面積 3590.46 m^2 ，法定建蔽率 35.00%，實際建蔽率 30.90%，法定容積率 240%，實際容積率 109.89%，總樓地板面積 23697.51 m^2 ；為地下 2 層，地上 7 層鋼筋混凝土構造學校類建築。

書面評定：土壤鑽探報告書由賴世屏技師簽諾確認，表層 2.0 m 內土壤分類為粉土，土壤滲透係數 $k = 10^{-7}$ m/s，土壤滲透係數基準值 $k = 10^{-7}$ m/s；本案採用 Q_1 綠地保水量 172.27 m^3 ； Q_2 透水鋪面保水量 167.06 m^3 ； Q' 開發後基地保水量 339.33 m^3 ； Q_0 原土地保水量 542.98 m^3 ；基地保水設計值 $\lambda = 0.62 >$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.5$ 。

現場查核：現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結：本指標合格。

三、蘭雅公園附建地下停車場新建工程評定書

蘭雅公園附建地下停車場新建工程基地位於士林區三五段四小段 152-0 地號等 7 筆，屬公共設施用地、公園用地；執照基地面積 5894.00 m^2 ，建築面積 97.91 m^2 ，法定建蔽率 15.00%，實際建蔽率 1.66%，法定容積率 60.00%，實際容積率 0.87%，總樓地板面積 6679.05 m^2 ；為地下 2 層，地上 1 層鋼筋混凝土構造其它類建築。

書面評定：土壤鑽探報告書由羅弘樹技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為泥質黏土 ML，土壤滲透係數 $k = 10^{-8}$ m/s，土壤滲透係數基準值 $k = 10^{-7}$ m/s；本案採用 Q_3 花園土壤體積保水量 148.58 m^3 ； Q' 開發後基地保水量 148.58 m^3 ； Q_0 原土地保水量 93.36 m^3 ；基地保水設計值 $\lambda = 1.59 \geq$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.68$ 。

現場查核:現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結:本指標合格。

四、基隆市成功國民中學老舊校舍整建工程評定書

基隆市成功國民中學老舊校舍整建工程基地位於信義區中正段 2 小段 21-40 地號等 4 筆，屬學校用地；執照基地面積 15449 m²，其中 1723.3 m² 因坡度大於 55 %，故本次實際使用基地面積為 13725.70 m²，建築面積 904.76 m²，法定建蔽率 50.00 %，實際建蔽率 34.30 %，法定容積率 150.00 %，實際容積率 101.13 %，總樓地板面積 3319.43 m²；為地上 4 層鋼筋混凝土構造學校類建築。

書面評定：土壤鑽探報告書由周揚國技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為泥質黏土 ML，土壤滲透係數 $k = 10^{-8}$ m/s，基地最終入滲透率 $f = 10^{-7}$ m/s；本案採用 Q_1 綠地保水量 34.18 m³； Q_2 透水鋪面保水量 28.11 m³； Q_3 花園土壤體積保水量 9.5 m³； Q' 開發後基地保水量 71.79 m³； Q_0 原土地保水量 118.59 m³；基地保水設計值 $\lambda = 0.61 \geq$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.50$ 。

現場查核:現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結:本指標合格。

五、國立台灣大學教學大樓一期新建工程評定書

國立台灣大學教學大樓一期新建工程基地位於大安區學府段四小段 216-0 地號等 25 筆，屬台灣大學用地(公共設施用地)；執照基地面積 869491.00 m²，分割基地面積 8943.80 m²，建築面積 2653.50 m²，法定建蔽率 40.00 %，實際建蔽率 25.82 %，法定容積率 240.00 %，實際容積率 81.00 %，總樓地板面積 10743.12 m²；為地下 1 層，地上 5 層鋼筋混凝土構造、鋼骨構造學校類建築。

書面評定:土壤鑽探報告書由董憲宗技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為黏土 CI，土壤滲透係數 $k = 10^{-9}$ m/s，基地最終入滲透率 $f = 10^{-7}$ m/s；本案採用 Q_1 綠地保水量 17.69 m³； Q_2 透水鋪面保水量 72.5 m³； Q_3 花園土壤體積保水量 18.48 m³； Q_6 滲透排水管保水量 44.35 m³； Q_7 滲透陰井保水量 0.61 m³； Q' 開發後基地保水量 153.63 m³； Q_0 原土地保水量 77.27 m³；基地保水設計值 $\lambda = 1.99 \geq$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.56$ 。

現場查核:現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結:本指標合格。

六、士林 21 號公園附建地下停車場新建工程評定書

士林 21 號公園附建地下停車場新建工程基地位於士林區福林段三小段 769-0 地號等 2 筆，屬公園用地，執照基地面積 26374.00 m²，分割基地面積 14256.54 m²，新建建築面積 510.91 m²，法定建蔽率 15.00 %，實際建蔽率 1.94 %，分割基地建蔽率 3.58 %，法定容積率 60.00 %，實際容積率 2.20 %，新建總樓地板面積 9226.42 m²；為地下 2 層，地上 1 層鋼筋混凝土構造其他類建築。

書面評定:土壤鑽探報告書由羅弘樹技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為黏土 CL，土壤滲透係數 $k = 10^{-9}$ m/s，土壤滲透係數基準值 $k' = 10^{-7}$ m/s；本案採用 Q_1 綠地保水量 0.68 m³； Q_3 花園土壤體積保水量 292.74 m³； Q' 開發後基地保水量 293.42 m³； Q_0 原土地保水量 225.82 m³；基地保水設計值 $\lambda = 1.3 \geq$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.77$ 。

現場查核:現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結:本指標合格。

七、臺北市內湖區大湖國民小學活動中心暨溫水游泳池新建工程評定書

臺北市內湖區大湖國民小學活動中心暨溫水游泳池新建工程基地位於內湖區大湖段二小段 10-0 地號，屬國小用地(公共設施用地)；執照基地面積 27153.00 m²，新建建築面積 1740.81 m²，法定建蔽率 40.00 %，實際建蔽率 29.59 %，分割基地建蔽率 40.00 %，法定容積率 225.00 %，實際容積率 99.33 %，新建總樓地板面積 5879.69 m²；為地上 5 層鋼筋混凝土構造、鋼骨鋼筋混凝土構造、鋼骨構造大型空間類建築。

書面評定:土壤鑽探報告書由楊維和技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為沈泥質砂 SM，土壤滲透係數 $k = 10^{-7}$ m/s，基地最終入滲透率 $f = 10^{-6}$ m/s； Q_1 綠地保水量 250.62 m³； Q_2 透水鋪面保水量 150.43 m³； Q_4 貯留滲透水池保水量 523.43 m³； Q_5 地下礫石滲透貯留保水量 249.98 m³； Q' 開發後基地保水量 1174.46 m³； Q_0 原土地保水量 2346.02 m³；基地保水設計值 $\lambda = 0.50 \geq$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.50$ 。

現場查核:現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結:本指標合格。

八、財政部北區國稅局板橋分局辦公廳舍新建工程評定書

財政部北區國稅局板橋分局辦公廳舍新建工程基地位於新北市板橋區府中段 750-1 地號等 8 筆，屬住宅區；執照基地面積 3467.00 m²，新建建築面積 1354.13 m²，法定建蔽率 60.00%，實際建蔽率 39.06%，法定容積率 300.00%，實際容積率 285.23%，新建總樓地板面積 6803.20 m²；為地下 3 層，地上 10 層鋼筋混凝土構造辦公廳類建築。

書面評定：土壤鑽探報告書由魏智明技師簽證確認，表層 2.0 m 內土壤分類為黏土 CL，土壤滲透係數 $k = 10^{-9}$ m/s，基地最終入滲透率 $f = 10^{-7}$ m/s； Q_1 綠地保水量 5.73 m³； Q_2 透水鋪面保水量 10.94 m³； Q_3 花園土壤體積保水量 8.13 m³； Q' 開發後基地保水量 24.8 m³； Q_0 原土地保水量 29.95 m³；基地保水設計值 $\lambda = 0.83 \geq$ 基地保水基準值 $\lambda_c = 0.32$ 。

現場查核：現場保水施作項目及面積與書面資料相符。

小結：本指標合格。

參、討論

在選擇的 8 個案例中，發現有案例雖符合基地保水基準值，但呈現 λ 值 > 1 的錯誤情形，分別是蘭雅公園附建地下停車場新建工程、國立台灣大學教學大樓一期新建工程、以及士林 21 號公園附建地下停車場新建工程，以下將對此種狀況進行分析與修正。

第三節 基地保水夯實度及入滲速率

依建築基地保水設計規範夯實度 90%、公共工程施工綱要規範夯實度 93%、透水鋪面標準設計圖夯實度 95%，抑或下方為人工地盤，夯實度增加將降低入滲速率。

本研究為探討國內土壤夯實度及入滲率之關係，分析砂土、砂質黏土及黏土三種土壤，利用室內透水試驗 (ASTM D2434-68, ASTM D5084-00)，分析各夯實度 30%、50%、70%、90% 入滲率之關係。

實驗利用滲透實驗，瞭解土壤內之液體流動性與排水性，並求取重模土壤之滲透性係數與孔隙比關係，進而求得現場土壤的滲透性係數。

壹、夯實試驗

本研究利用夯實試驗(試驗規範：ASTM D698-91A)，求得土壤在某一特定的夯實能量下的最大乾土單位重 γ_{dmax} 及最佳含水量 W_{OMC} 作為現地夯實的施工依據。

一、試驗儀器

1. 金屬夯錘，直徑 5.1 cm (2 in)，質量 2.5 kg (5.5 lb)。錘附外套管以控制 30.5 cm (12 in)的落距。
2. 金屬模，內徑 10.2 cm (4 in)，高 11.6 cm (4.58 in)，體積 45 cm³ (1/30 ft³)。附底板與高約 5 cm (2 in)的延伸環。
3. 天秤，刻度至 1 cm，容量約 10 kg。
4. 藥刀。
5. 直尺(長約 30 cm，寬約 4 cm，厚約 0.25 cm)。
6. 10 號篩。
7. 金屬盤(直徑約 30 cm，深約 3 cm)。
8. 含水比試驗儀器。
9. 頂土器。
10. 調土工具：橡皮錘、塑膠布、抹刀、大盤與量筒。

二、試驗步驟

1. 各份土樣加不同量的水調拌均勻。加水的量以能包含最佳含水比為準。
2. 稱模連底鈹重，置於堅硬的地板上並加上延伸環。
3. 將拌勻的濕土分三層裝入模內，每層以錘夯二十五次後，用藥刀尖端刮劃表面使其粗糙不平，第三層略伸出模頂約 5 mm。
4. 小心除去延伸環，以直尺刮平土面，清除附於模外或底鈹的土並稱其合重，即(濕土+模+底鈹)的質量和。
5. 將模從底鈹分開，送頂土器頂出模中的土。若使用分裂式的模則可免用頂土器。取適量的土求其含水比

三、試驗結果

1. 砂質粘土試驗結果

砂質粘土於夯實試驗共做五組試體，下表為砂質粘土於夯實試驗中，乾溼密度及含水比之關係。並依表中數據繪制乾溼密度及含水比之關係曲線圖，並求得回歸方程

式。將此結果應用於透水試驗。

表 3-6 砂質粘土於夯實試驗乾溼密度

試驗次數	1	2	3	4	5
(模+濕土)重 g	5750	5798	5877	5839	3755
模重 g	3880	3880	3873	3873	1792
濕土重 g	1870	1918	2004	1966	1963
濕密度 g/cm ³	2.04	2.09	2.14	2.10	2.09
乾密度 g/cm ³	1.82	1.84	1.84	1.79	1.74

(資料來源：本研究整理)

表 3-7 砂質粘土於夯實試驗含水比

試驗次數	1	2	3	4	5
(濕土+皿)重 g	27.47	40.02	37.79	59.46	25.87
(乾土+皿)重 g	25.87	36.74	33.88	52.43	23.68
皿重 g	12.82	12.99	10.14	12.53	12.75
乾土重 g	13.05	23.75	23.74	39.90	10.93
水重 g	1.60	3.28	3.91	7.03	2.19
含水比 %	12.26%	13.81%	16.47%	17.62%	20.04%

(資料來源：本研究整理)

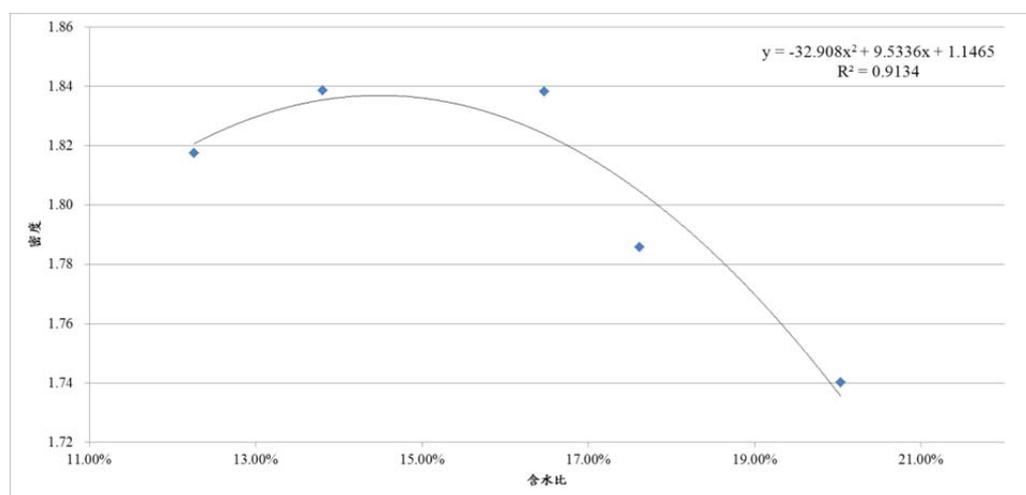


圖 3-1 砂質粘土乾溼密度及含水比之關係曲線圖

(資料來源：本研究整理)

2. 黏土試驗結果

粘土於夯實試驗共做五組試體，下表為粘土於夯實試驗中，乾溼密度及含水比之關係。並依表中數據繪制乾溼密度及含水比之關係曲線圖，並求得回歸方程式。將此

結果應用於透水試驗。

表 3-8 粘土於夯實試驗乾溼密度

試驗次數	1	2	3	4	5
(模+濕土)重 g	3555	3623	3701	3690	3680
模重 g	1764	1764	1764	1764	1792
濕土重 g	1791	1859	1937	1926	1888
濕密度 g/cm ³	1.90	1.97	2.05	2.04	2.01
乾密度 g/cm ³	1.67	1.71	1.75	1.69	1.65

(資料來源：本研究整理)

表 3-9 粘土於夯實試驗含水比

試驗次數	1	2	3	4	5
(濕土+皿)重 g	49.21	55.44	45.09	51.36	25.87
(乾土+皿)重 g	44.63	49.54	39.87	44.36	23.53
皿重 g	10.56	10.14	10.15	10.5	12.76
乾土重 g	34.07	39.40	29.72	33.86	10.77
水重 g	4.58	5.90	5.22	7.00	2.34
含水比 %	13.44%	14.97%	17.56%	20.67%	21.73%

(資料來源：本研究整理)

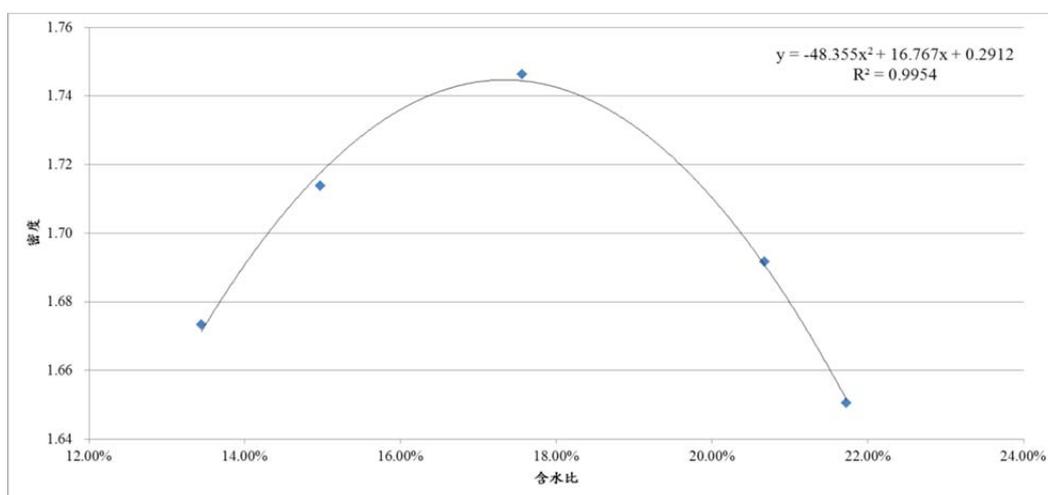


圖 3-2 粘土乾溼密度及含水比之關係曲線圖

(資料來源：本研究整理)

貳、砂質土壤滲透試驗

本研究針對夯實度及入滲率進行滲透試驗，分別針對砂質土、砂質粘土及黏土三項種土壤進行試驗。其中砂質土利用 ASTM D2434-68，ASTM D5084-00 標準進行試驗。

利用滲透實驗，瞭解土壤內之液體流動性與排水性，並求取重模土壤之滲透性係數與孔隙比關係，進而求得現場土壤的滲透性係數。

一、試驗儀器

1. 夯模。
2. 電子秤。
3. 透水試驗室。
4. 金屬夯錘。
5. 藥刀。
6. 刮刀。
7. 游標尺。
8. 馬錶。
9. 大容器、小容器。
10. 烘箱。
11. 單聯式定變水頭透水試驗儀。
12. 皮捲尺。
13. 凡士林油。
14. 管線。
15. 溫度計。
16. 其他：毛刷、漏斗等。



圖 3-3 砂質土壤滲透試驗(一)

(資料來源：本研究整理)



圖 3-4 砂質土壤滲透試驗(二)

(資料來源：本研究整理)

二、試驗步驟

定水頭透水試驗

1. 前置工作

於實驗前一天，將部分飽和土壤及粗粒土壤(通過 200 號篩的土重小於總土重的百分之十)放置烘箱烘乾。

2. 試體製作

- (1)量測透水試驗室總重量、長度及內徑。
- (2)將土壤材料倒入漏斗，並垂直倒入夯實模組內。
- (3)將夯模內之土樣刮平，並秤其總重量，進而求得試體之乾土重量並得知試體孔隙比。
- (4)將試體放入透水試驗室，並連接管線。

3. 試體飽和

試體架設完畢後，將水引入，排出孔隙以達飽和。

4. 試體透水

- (1)以溫度計量測水溫。
- (2)持續補注水流量以維持穩定水頭高度。
- (3)待土壤之滲流穩定時，以容器承接土壤之滲流水，量測水頭差。
- (4)紀錄某段時段內之水重量。
- (5)量測 3 次以上，求其平均滲流量。
- (6)代入公式，求得透水係數值。

三、試驗成果

本研究依照標準砂未敲擊、敲擊 50 下及 100 下，每敲擊試驗各施作五組土樣，分別探究其入滲速率，如下表所示。並繪製砂質土壤孔隙比及入滲速率之關係圖。

表 3-10 標準砂(未敲擊)滲透試驗

試體編號	1	2	3	4	5
滲透係數 $k_T = \frac{QL}{hAt}$ (cm/sec)	1.04×10^{-2}	1.01×10^{-2}	1.03×10^{-2}	1.03×10^{-2}	1.01×10^{-2}
平均滲透係數 k_T (cm/sec)	1.02×10^{-2}				

(資料來源：本研究整理)

表 3-11 標準砂(敲擊 50 下)滲透試驗

試體編號	1	2	3	4	5
滲透係數 $k_T = \frac{QL}{hAt}$ (cm/sec)	9.90×10^{-3}	9.90×10^{-3}	9.91×10^{-3}	9.80×10^{-3}	9.79×10^{-3}
平均滲透係數 k_T (cm/sec)	9.86×10^{-3}				

(資料來源：本研究整理)

表 3-12 標準砂(敲擊 100 下)滲透試驗

試體編號	1	2	3	4	5
滲透係數 $k_T = \frac{QL}{hAt}$ (cm/sec)	9.75×10^{-3}	9.74×10^{-3}	9.74×10^{-3}	9.72×10^{-3}	9.75×10^{-3}
平均滲透係數 k_T (cm/sec)	9.74×10^{-3}				

(資料來源：本研究整理)

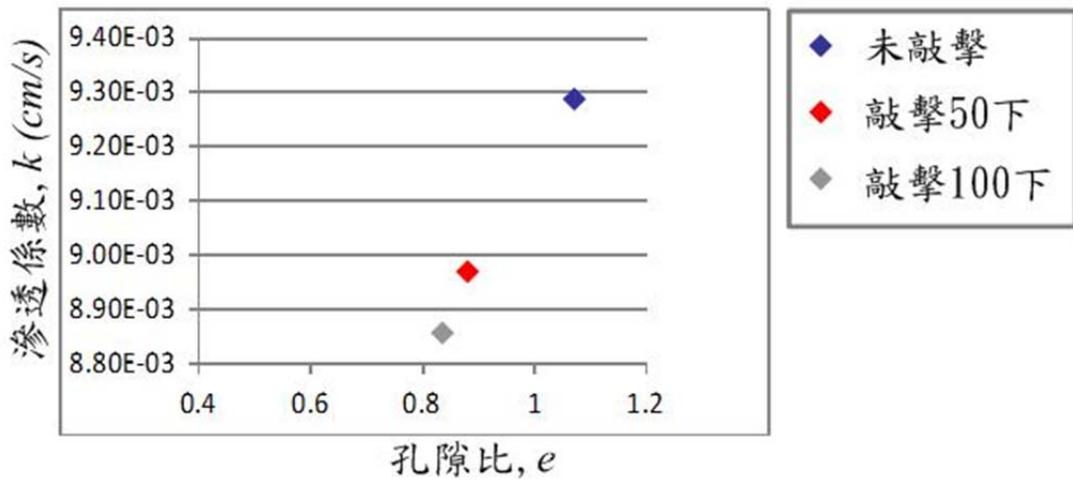


圖 3-5 孔隙比與滲透係數之關係圖(標準砂)

(資料來源：本研究整理)

與經驗公式比較，Hazen 於 1930 年提出計算均勻砂土滲透性係數之經驗公式，試驗公式如下所示

$$k = cD_{10}^2$$

式中， c 為常數， D_{10} 為有效粒徑，值為 0.48mm。

表 3-13 試驗數據與解析解之計算結果比較

試體土樣	標準砂 (未敲擊)	標準砂 (敲擊 50 下)	標準砂 (敲擊 100 下)
修正後滲透係數, k_{20} (cm/s)	9.29×10^{-3}	8.97×10^{-3}	8.86×10^{-3}
Hazen(1930), k 滲透係數(cm/s)	2.30×10^{-3} 至 3.46×10^{-3}		

(資料來源：本研究整理)

參、砂質粘土及黏土滲透試驗

本研究針對夯實度及入滲率進行滲透試驗，分別針對砂質土、砂質粘土及黏土三項種土壤進行試驗。其中砂質粘土及黏土利用 ASTM D5084-90 標準進行試驗。利用三軸試驗設備探討土壤於承受不同圍壓作用時之壓密及透水狀況，並藉以求得土壤於側向力作用下之透水係數以及兩者間之對應關係。

一、試驗儀器

1. 裁土器材

- (1) 頂土機一部。
- (2) 裁土薄管：一端鋒利者，內徑與試體直徑相同，長度等於試體高度。
- (3) 修土薄刀或長藥刀：至少一刃筆直者。
- (4) 鋼絲鋸。 (5) 度器。 (6) 衡器：刻度至 0.1gm。 (7) 潤滑油。
- (8) 圓柱一個不銹者，直徑略小於裁土管內徑，長度與裁土管長度相同。

2. 一般器材

- (1) 橡皮膜。 (2) 橡皮圈。 (3) 橡皮膜吸氣管：內徑略大於試體直徑，其長約與試體直徑相同。 (4) 含水比試驗儀器。 (5) 抽氣機。

3. 三軸試驗儀器

- (1) 三軸室能承受 12kg/cm² 的圍壓(confining pressure)者。
- (2) 定壓設備能保持三軸室內圍壓不變者，需採用 Bishop 式自平水銀定壓系統，或挪威地術研究所(NGI)的油壓式定壓系統。
- (3) 量管。



圖 3-6 砂質土壤滲透試驗儀器

(資料來源：本研究整理)

二、試驗步驟

準備工作

1. 打開取樣薄管兩端密封蓋與石蠟，將該管裝於頂土機中，開動頂土機將土頂出取樣薄管同時頂入裁土管(內塗潤滑油)中，伸出裁土管兩端的土以鋼絲鋸去除之。同時或先後準備此種數個體。兩端加蓋存濕櫃中。頂土之時注視頂土機壓力表，若壓力超過 100PSI 則需鋸短取樣管，以免土樣受過分擾動。
2. 將控制板上水庫的水經量管導至三軸室閥，水溢流至三軸室底盤之後關閉 C 閥。
3. 將水庫的水經控制板另一通道，導至三軸室 B1 閥，使水從底座的上溢流至 B2 閥，關閉 B2 閥再關 B1 閥。
4. 將煮沸飽和的透水石滑入三軸室底座上，並加飽和濾紙。
5. 自濕櫃中取出試體一管去蓋，拭淨裁土管外面，秤其(管+濕土)質量。
6. 以圓柱將試體頂出，將試體移至三軸室底座上。
7. 將橡皮膜放入吸氣管中抽氣，使橡皮膜張開套於試體外。
8. 在試體上端先加飽和濾紙，在加煮沸過的透水石，然後加上有排水管的頂板。

將橡皮膜包住底板與頂板，並以橡皮圈將橡皮膜圈緊於底板與頂板。以手指略施壓力於頂板，使試體上端殘留空氣與水，經頂板排水管排出。將排水管接牢在三軸室底盤上。

9. 裝上三軸室透明外罩並固定之，加壓棒須保持與頂板分離。
10. 使水庫清水經 A 閥進入三軸室，待三軸室充滿清水後，由加油孔 注入機油在加壓棒周圍(三軸室內上端)。

飽和試驗

1. 將水庫水壓(極小視作零)導入三軸室 A 閥、C 閥與 B1 閥，紀錄量管讀數。
2. 調室壓線 0.05kg/cm^2 ，而反水壓線為 0kg/cm^2 。
3. 關閉水庫導室壓經 A 閥入三軸室。導一反水壓經 C 閥至試體之頂；導另一反水壓經 B1 閥至試體之底。
4. 將反水壓緩慢上升，則室壓與反水壓同步上升，其差保持 0.05 kg/cm^2 ，至反水壓為 3.95kg/cm^2 時，室壓必為 4.0 kg/cm^2 。量管讀數的變動表示反水壓正在溶解土中的氣泡，而不表示排水。試體受 0.05kg/cm^2 的淨圍壓為接觸壓力視作零。
5. 至少 24 小時之後，檢查試體是否飽和。連續紀錄量管讀數，若久無變化則表示土已飽和。

三軸壓密試驗

1. 關閉排水閥 C 與 B1 閥，將室壓提高 P_3 。
2. 打開排水閥(C 閥)，同時發動停錶進行第一段壓密試驗。在 0、0.25、0.5、1、2.25、4、6.25，……分鐘之時記錄孔水壓與量管讀數至體積儀讀數不變為止。繪 $\Delta V - (t)^{\frac{1}{2}}$ 曲線(Bishop&Henkel, 1962)，求 C_v 。
3. 計算土的 C_v 值，根據 Bishop&Henkel(1962)： $C_v = \frac{\pi h^2}{t_{100}}$ (試體高為 2h)。
4. 壓密試驗前後的試體尺寸計算法如下：

$$\frac{D_0}{D_1} = \frac{L_0}{L_1}$$

$$\frac{\pi}{4}(D_0)^2 L_0 - \Delta V = \frac{\pi}{4}(D_1)^2 L_1$$

式中 D_0 =試體在壓密試驗前直徑 cm， L_0 =試體在壓密試驗前高度 cm，

D_1 =試體在壓密試驗後直徑 cm， L_1 =試體在壓密試驗後高度 cm，

ΔV =試體因壓密作用而發生的體積變化， cm^3

定水頭透水試驗

1. 將通至試體底部的反水壓提高 $\frac{1}{2} \Delta P_3$ ，打開 B1 閥並發動停錶。此時試體底部受較高反水壓，頂部受較低反水壓。於是清水自試體底部流至頂部，再經量管流至較低反水壓線。
2. 定時計錄量管讀數，可得水流體積 $Q(\text{cm}^3)$ ，繪製 $Q-t$ 曲線再第四象限。若試驗無大誤差，則 $Q-t$ 曲線必為良好的直線，其斜率為流量 $\frac{Q}{t}$ 。
3. 透水係數 k 的計算如下：

$$k = \frac{QL}{thA}$$

式中 Q =水流體積 cm^3 ， t =時間 sec， L =試體長度 cm， A =試體斷面積 cm^2
 h =水頭損失 cm(試體兩端壓力差(gm/cm^2)與水單位重(gm/cm^3)之商)

三、試驗結果

表 3-14 夯實度與透水係數之關係表

夯實度	砂質黏土	黏土
50	1.82×10^{-7}	1.54×10^{-7}
70	1.53×10^{-7}	9.96×10^{-8}
90	6.23×10^{-8}	1.83×10^{-8}

(資料來源：本研究整理)

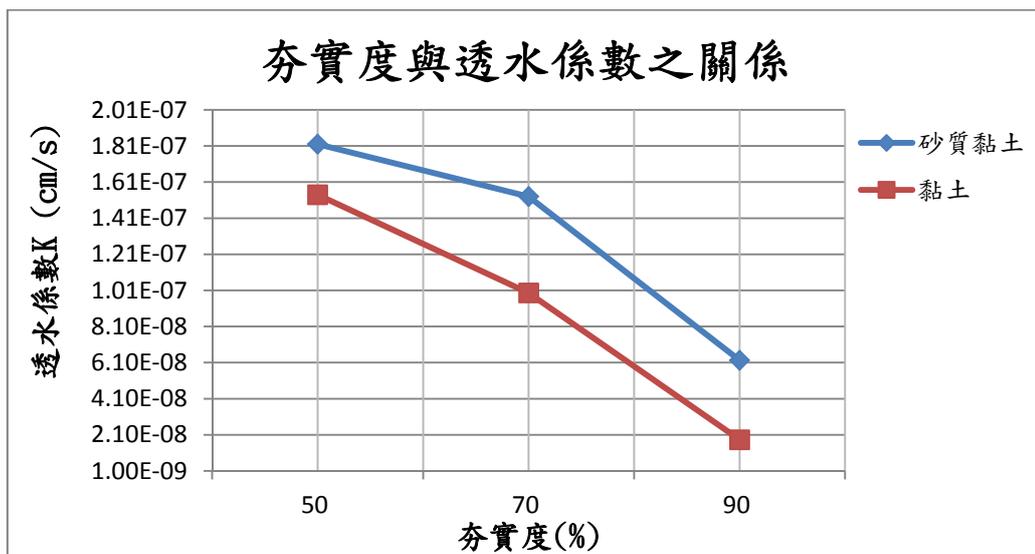


圖 3-7 夯實度與透水係數之關係圖

(資料來源：本研究整理)

經由試驗結果以不同的夯實度比較砂質黏土與黏土之透水能力的差異，將上圖結果整理如下表：

表 3-15 夯實度與透水係數整理表

夯實度	砂質黏土	黏土
50 %	1.82×10^{-7}	1.54×10^{-7}
70 %	1.53×10^{-7}	9.96×10^{-8}
90 %	6.23×10^{-9}	1.83×10^{-8}

(資料來源：本研究整理)

砂質黏土由夯實度 70% 夯實至 90% 時，入滲率折減約 59%，而由 50% 夯實至 90% 時，入滲率折減約 66%；黏土由夯實度 70% 夯實至 90% 時，入滲率折減約 82%，而由 50% 夯實至 90% 時，入滲率折減約 88%。考慮土地開發前比較開發後，因公共工程規範開發須經過土壤夯實，開發後夯實度會比開發前高，相對會降低土壤入滲率。

在此定義折減係數 $\emptyset = \frac{\text{夯實後入滲率}}{\text{夯實前入滲率}}$ ，夯實後折減率 = $1 - \emptyset$ ，計算整理如下表：

表 3-16 土壤夯實折減關係整理表

	夯實度	折減係數 \emptyset	折減率 $1 - \emptyset$
砂質黏土	50% → 90%	0.34	66%
	70% → 90%	0.41	59%
黏土	50% → 90%	0.12	88%
	70% → 90%	0.18	82%

(資料來源：本研究整理)

故本研究為確保開發後入滲率之合理性與更趨於實際情況，建議修訂開發後土壤入滲率：

$$f^* = \emptyset \times f$$

其中 f^* 為開發後入滲率， \emptyset 為折減係數， f 為開發前土壤入滲率。

第四節 基地保水指標 λ 值修訂建議

由於在計算基地保水指標 λ 值出現錯誤及不符合實際的狀況，在此將探討基地保水指標 λ 值公式及現場施工情形，首先分析歷年綠建築基地保水指標 λ 值計算方法，探討過去 λ 值修正方向及計算方式，如下表 3-15 所示，可知在降雨延時定義及直接

入滲與貯留入滲之經驗參數有所不同。

表 3-17 歷年綠建築評估手冊基地保水指標計算方法整理

	2005 年	2007 年	2009 年	2012 年
λ_c	$\lambda_c = \underline{0.8} \times (1 - r)$	$\lambda_c = \underline{0.8} \times (1 - r)$	$\lambda_c = \underline{0.8} \times (1 - r)$	$\lambda_c = \underline{0.5} \times (1 - r)$
t	158400s (44hrs)	158400 s (44hrs)	86400 s (24hrs)	86400 s (24hrs)
Q_1	$Q_1 = A_1 \cdot k \cdot t$	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$
Q_2	$Q_2 = \underline{1} \times A_2 \cdot k \cdot t + \underline{0.1} \cdot h \cdot A_2$	$Q_2 = \underline{1} \times A_2 \cdot f \cdot t + \underline{0.1} \cdot h \cdot A_2$	$Q_2 = \underline{1} \times A_2 \cdot f \cdot t + \underline{0.1} \cdot h \cdot A_2$	$Q_2 = \underline{0.5} \times A_2 \cdot f \cdot t + \underline{0.05} \cdot h \cdot A_2$ (連鎖磚型) $Q_2 = \underline{0.5} \times A_2 \cdot f \cdot t + \underline{0.3} \cdot h \cdot A_2$ (通氣管結構型)
Q_3	$Q_3 = \underline{0.05} \cdot V_3$	$Q_3 = \underline{0.05} \cdot V_3$	$Q_3 = \underline{0.05} \cdot V_3$	$Q_3 = \underline{\text{MIN}(A_3 \cdot f \cdot t, 0.42 \cdot V_3)}$ MIN：弧內取小值
Q_4	$Q_4 = A_4 \cdot k \cdot t + V_4$	$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$	$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$	$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$
Q_5	$Q_5 = (A_5 \cdot k \cdot t) + \underline{0.2} \cdot V_5$	$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + \underline{0.2} \cdot V_5$	$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + \underline{0.2} \cdot V_5$	$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + \underline{r_1} \cdot V_5$
Q_6	$Q_6 = (\underline{2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.069} \cdot L)$	$Q_6 = (\underline{8 \cdot x^{0.2}} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.1} \cdot L)$	$Q_6 = (\underline{8 \cdot x^{0.2}} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.1} \cdot L)$	$Q_6 = (\underline{8 \cdot x^{0.2}} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.1} \cdot L)$
Q_7	$Q_7 = (3.0 \cdot k \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$
Q_8	$Q_8 = (\underline{2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.057} \cdot L)$	$Q_8 = (\underline{a} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.1} \cdot L)$	$Q_8 = (\underline{a} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.1} \cdot L)$	$Q_8 = (\underline{a} \cdot k \cdot L \cdot t) + (\underline{0.1} \cdot L)$

(資料來源：2005 年綠建築評估手冊、2007 年綠建築評估手冊、2009 年綠建築評估手冊、2012 年綠建築評估手冊)

本節根據前列之基地保水指標 λ 值計算方法之問題進行修訂建議。主要建議修訂項目如下：

- 基地保水入滲率修訂
- 基地保水降雨延時修訂
- 基地保水指標 λ 值計算方式
- 計算案例
- 特殊保水設置檢討

壹、基地保水入滲率修訂

基地保水入滲率修訂目的為：確保開發後入滲率之合理性，使計算結果更趨近實際情況。

現有基地保水入滲率：開發前後均同。以現地進行入滲試驗求之，或以表層 2m 以內土壤認定之。通常介於 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ 。有多孔鑽探資料不一致時，由技師或建築師之經驗依資料分佈取其代表值。未符合規定條件而無需做鑽探調查者，可由鄰地鑽探資料判斷，或以其表土狀況依建築師經驗判斷之，並代入統一土壤分類與土壤最終入滲

率對照表以取得 f 值。

依本研究前節之基地保水夯實度及入滲速率試驗，以黏土為例，由結果發現，開發後入滲率會小於開發前入滲率，開發後約為開發前的 0.2 倍以上。因此，若基地保水指標計算時，送件者設定開發前入滲率為 f，則開發後入滲率 $f^* \leq 0.2 \times f$ 。

貳、基地保水降雨延時修訂

基地保水降雨延時修訂目的為：確保降雨延時依各保水設施分別計算，使計算結果更趨近實際情況。

依據綠建築評估手冊基地保水指標 λ 值歷年修訂發現，2005 年及 2007 年之降雨延時皆定為 44 小時(158400 秒)，於 2009 年起修改為 24 小時(86400 秒)，基地保水降雨延時之設定，對基地保水指標 λ 值影響甚大。

現有綠建築評估手冊基地保水指標 λ 值計算方法，開發前降雨延時(分母)與開發後降雨延時(分子)皆相同，為 24 小時(86400 秒)。然而降雨延時需依各保水設施分別計算：

- 直接入滲設施：降雨事件定義通常為 6 小時，以都市防洪考量的降雨延時設定多為 2 小時。與現有計算方法比較，降雨延時較小。
- 貯集入滲設施：入滲時間較長，保水設施項目之降雨延時需考量保水設施開發後入滲率 f，進行降雨延時計算。

建議修訂基地保水入滲率：降雨延時 $t_i = \text{保水量貯留量} / \text{開發後入滲率}$

$$\lambda = \frac{Q_1}{A_0 \times f_0 \times t_1} + \frac{Q_2}{A_0 \times f_0 \times t_2} + \dots$$

在基地保水指標公式修訂的部分，各保水項目分別與原土地保水量進行計算，依各項保水項目之降雨延時調整分母降雨延時，以修正降雨延時錯誤的問題，詳細的修訂內容如下一小節當中之分項計算中說明。

參、基地保水指標 λ 值計算方式

綠建築基地保水指標 λ 值計算方法有許多定義不明及需要修正的地方，在 31 件北部地區案例當中，呈現計算出的基地保水指標 λ 值與基地保水指標基準值 λ_c 存在不合理的差異，故本計畫欲合理修正基地保水指標 λ 值計算方式，並考量利用降雨深度超越機率來換算基地保水量的保水最低值，再進行基地保水指標 λ 值計算公式的規範與修正。案例利用綠建築基地保水指標計算出的基地保水量，此保水量即為該基地

可處理降雨的最大深度。

針對基地保水指標 λ 值計算之修正方式分為分項計算、僅考慮入滲、及超越機率三種方案來考量，以下將詳細說明各方案內容並討論選擇較好的方案。

一、分項計算

各保水項目分別與原土地保水量進行計算，依各項保水項目之降雨延時調整分母降雨延時。

$$\lambda = \frac{Q_1}{A_0 \times f_0 \times t_1} + \frac{Q_2}{A_0 \times f_0 \times t_2} + \dots$$

1. Q_1 (綠地、被覆地、草溝保水量)

$$Q_1 = A_1 \times f_0 \times t_1$$

$$t_1 = t_0$$

2. Q_2 (透水鋪面設計保水量)

連鎖磚型

$$Q_2 = 0.5 \times A_2 \times f' \times t_2 + 0.05 \times h \times A_2$$

$$t_2 = \frac{0.05 \times h}{f'}$$

通氣管結構型

$$Q_2 = 0.5 \times A_2 \times f' \times t_2 + 0.3 \times h \times A_2$$

$$t_2 = \frac{0.3 \times h}{f'}$$

3. Q_3 (花園土壤雨水截留設計保水量)

$$Q_3 = \text{MIN}(A_3 \times f' \times t_3, 0.42 \times V_3)$$

$$t_3 = \frac{0.42 \times V_3 / A_3}{f'}$$

4. Q_4 (貯集)

$$Q_4 = A_4 \times f \times t_4 + V_4$$

$$t_4 = \frac{V_5 / A_4}{f}$$

5. Q_5 (地下貯集)

$$Q_5 = A_5 \times f \times t_5 + r_i V_5$$

$$t_5 = \frac{r_i V_5 / A_5}{f}$$

6. Q_6 (滲透排水管)

$$Q_6 = 8 \times x^{0.2} \times k \times L \times t_6 + 0.1 \times L$$

$$t_6 = \frac{0.1 \times L / (\phi \times L)}{k}$$

7. Q_7 (滲透陰井)

$$Q_7 = 3.0 \times f \times n \times t_7 + 0.015 \times n$$

$$t_7 = \frac{0.015 \times n}{f}$$

8. Q_8 (滲透側溝)

$$Q_8 = a \times k \times L \times t_8 + 0.1 \times L$$

$$t_8 = \frac{0.1 \times L}{k}$$

二、僅考慮入滲

刪除原基地保水計算式中貯流部分，僅留入滲部份當作保水量。

1. Q_1 (綠地、被覆地、草溝保水量)

$$Q_1 = A_1 \times f_0 \times t_1$$

2. Q_2 (透水鋪面設計保水量)

連鎖磚型

$$Q_2 = 0.5 \times A_2 \times f' \times t_2$$

通氣管結構型

$$Q_2 = 0.5 \times A_2 \times f' \times t_2$$

3. Q_3 (花園土壤雨水截留設計保水量)

$$Q_3 = A_3 \times f' \times t_3$$

4. Q_4 (貯集)

$$Q_4 = A_4 \times f \times t_4$$

5. Q_5 (地下貯集)

$$Q_5 = A_5 \times f \times t_5$$

6. Q_6 (滲透排水管)

$$Q_6 = 8 \times x^{0.2} \times k \times L \times t_6$$

7. Q_7 (滲透陰井)

$$Q_7 = 3.0 \times f \times n \times t_7$$

8. Q_8 (滲透側溝)

$$Q_8 = a \times k \times L \times t_8$$

三、機率分布

利用降雨深度超越機率分佈概念，訂定某降雨深度之超越機率作為保水最低值。

$$Q(P > n\%) < \sum Q_i < Q_0$$

基地保水最低值的設定因地制宜，需依不同地區之降雨特性，選擇適當的降雨深度最小值；利用降雨深度超越機率分佈的概念，訂定某降雨深度之超越機率作為保水最低值。以北部為例，選擇北部 2013 年雨量資料進行各降雨事件之降雨深度超越機率分析，結果如下圖 3-9 所示。

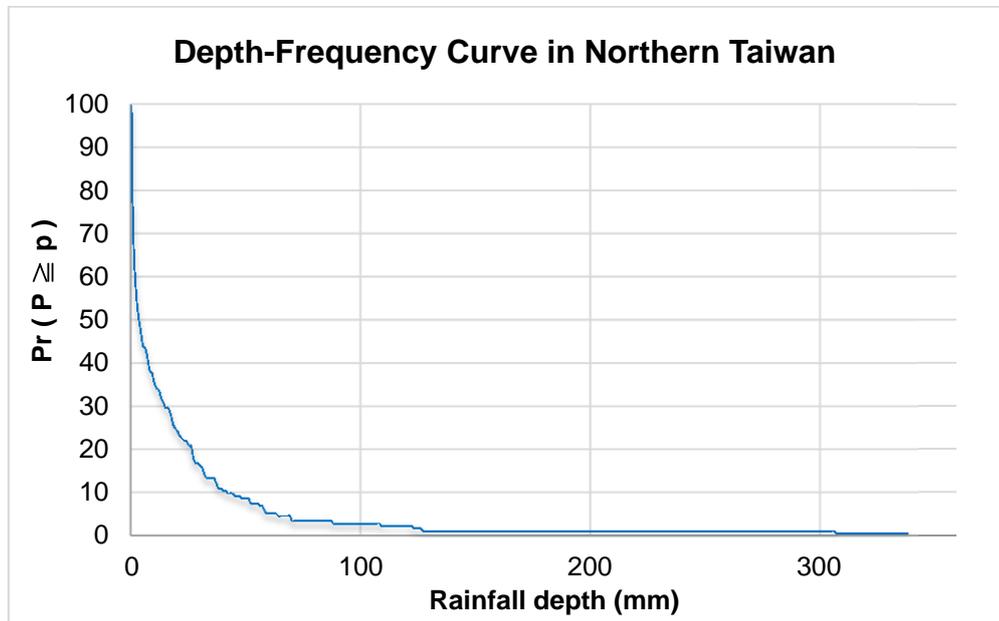


圖 3-8 台北雨量站 2013 年降雨事件之降雨深度頻率分析
(資料來源：本研究整理)

假定將北部的保水最低值訂定規範為超越機率 10%，對照上圖之降雨深度約為 43 mm，即僅 10%的降雨事件深度會大於規範深度 43 mm，故以此深度作保水設計已足夠處理 90%的降雨事件，此修訂方法為較新的思考方式，尚需大量的資料建構與可行性的考量分析。

肆、計算案例

本計畫針對基地保水公式修正提出三種方案，利用基地保水修正方案，分別對 101-103 年北北基公有建築基地保水有效標章之 31 件案例作計算，然而對於三件 λ 值

大於 1 之案例，將由以下的表 3-16、表 3-17、表 3-18 作詳細的討論。

表 3-18 基地保水指標修正方案整理表

	內容
方案一： 分項計算	分項計算：各保水項目分別與原基地保水量進行計算，依各項保水項目之降雨延時調整分母降雨延時。 $\lambda = \frac{\text{直接入滲保水量}}{\text{原基地保水量 } Q_0} + \frac{\text{貯留入滲保水量}}{\text{原基地保水量 } Q_0}$
方案二： 僅考慮入滲	刪除保水項目計算式中貯留部分，僅留入滲部份。如： $Q_n = \text{直接入滲保水量} + \text{貯留入滲保水量}$
方案三： 機率分布	以機率分布概念，訂定最低流量。 $Q(P > n\%) < \sum Q_i < Q_0$

(資料來源：本研究整理)

1. 蘭雅公園附建地下停車場新建工程

如下表 3-17 所示，基地保水指標在 2005 年、2007 年、2009 年的版本計算之下，基地保水指標 λ 值為合格且出現 λ 值 >1 的情況，而在最新版本 2012 年的計算下基地保水指標 λ 值則會呈現不通過且 λ 值 <1 ，原因為降雨延時定義與新版設計公式不同所造成。利用本計劃方案一與方案二的計算之下，結果如 2012 年基地保水指標計算方式相同，呈現不通過且 λ 值 <1 。在先前版本 λ 值會 >1 主要是公式中貯留入滲保水量的部分提高 λ 值，因而使評定容易通過基地保水指標基準值，故在 2012 版本、方案一、方案二的計算結果較符合評定的標準且結果會較具合理性。

表 3-19 蘭雅公園附建地下停車場新建工程基地保水指標計算

		2005 年	2007 年	2009 年	2012 年	方案一	方案二
降雨延時 t(s)		158400	158400	86400	86400	86400	86400
保水設計手法	Q1 綠地、被覆地、草溝保水量	0	0	0	0	0	0
	Q2 透水鋪面設計保水量	0	0	0	0	0	0
	Q3 花園土壤雨水截留設計保水量	148.58	148.58	148.58	12.83	$\lambda_3=0.20$	10.26
	Q4 貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池設計	0	0	0	0	0	0
	Q5 地下礫石滲透貯集	0	0	0	0	0	0
	Q6 滲透排水管設計	0	0	0	0	0	0
	Q7 滲透陰井設計	0	0	0	0	0	0
	Q8 滲透側溝	0	0	0	0	0	0
ΣQ_i		148.50	148.50	148.50	12.83		10.26
λ		1.59	1.59	2.92	0.25	0.02	0.02
λ_c		0.68	0.68	0.68	0.43	0.43	0.43
是否合格($\lambda > \lambda_c$)		通過	通過	通過	不通過	不通過	不通過
λ 是否大於 1		$\lambda > 1$	$\lambda > 1$	$\lambda > 1$	$\lambda < 1$	$\lambda < 1$	$\lambda < 1$

(資料來源：本研究整理)

2. 士林 21 號公園附建地下停車場新建工程

如下表 3-18 所示，基地保水指標在所有版本及兩種修正方案計算之下，基地保水指標皆呈現通過，但在 2005 年、2007 年、2009 年的版本呈現 λ 值 > 1 的情況，原因與上述相同，是公式中貯留入滲保水量的部分提高 λ 值所造成，在 2012 年版本 Q₃ 的部分可解決此問題，方案一與方案二也可合理的計算出 λ 值 < 1 ，符合定義。

表 3-20 士林 21 號公園附建地下停車場新建工程基地保水指標計算

		2005 年	2007 年	2009 年	2012 年	方案一	方案二
降雨延時 t(s)		158400	158400	86400	86400	86400	86400
保水設計手法	Q1 綠地、被覆地、草溝保水量	67.79	67.79	36.98	36.98	$\lambda_1=0.30$	0
	Q2 透水鋪面設計保水量	0	0	0	0	0	0
	Q3 花園土壤雨水截留設計保水量	292.74	292.74	292.74	25.29	$\lambda_3=0.16$	10.26
	Q4 貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池設計	0	0	0	0	0	0
	Q5 地下礫石滲透貯集	0	0	0	0	0	0
	Q6 滲透排水管設計	0	0	0	0	0	0
	Q7 滲透陰井設計	0	0	0	0	0	0
	Q8 滲透側溝	0	0	0	0	0	0
ΣQ_i		360.54	360.54	329.72	62.27		10.26
λ		1.60	1.60	2.68	0.51	0.46	0.46
λ_c		0.68	0.68	0.68	0.43	0.43	0.43
是否合格($\lambda > \lambda_c$)		通過	通過	通過	通過	通過	通過
λ 是否大於 1		$\lambda > 1$	$\lambda > 1$	$\lambda > 1$	$\lambda < 1$	$\lambda < 1$	$\lambda < 1$

(資料來源：本研究整理)

3. 國立台灣大學教學大樓新建工程

如下表 3-19 所示，基地保水指標在所有版本及兩種修正方案計算之下，基地保水指標皆呈現通過，但在 2005 年、2007 年、2009 年、以及 2012 年的版本皆呈現 λ 值 >1 的情況，發現除了上述貯留入滲保水量提高 λ 值的原因外，設計項目 Q_6 中，滲透排水管也存在定義不明的問題，此問題將在下一小節中討論。

表 3-21 國立台灣大學教學大樓新建工程基地保水指標計算

		2005 年	2007 年	2009 年	2012 年	方案一	方案二
	降雨延時 t(s)		86400	86400	86400	86400	86400
保水設計手法	Q1 綠地、被覆地、草溝保水量		17.69	17.69	17.69	$\lambda_1=0.23$	17.69
	Q2 透水鋪面設計保水量		72.50	72.50	36.25	$\lambda_2=0.04$	7.45
	Q3 花園土壤雨水截留設計保水量		18.48	18.48	3.19	$\lambda_3=0.00$	2.55
	Q4 貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池設計		0	0	0	0	0
	Q5 地下礫石滲透貯集		0	0	0	0	0
	Q6 滲透排水管設計		44.35	44.35	44.35	$\lambda_6=0.01$	0.35
	Q7 滲透陰井設計		0.61	0.61	0.61	$\lambda_7=0.00$	0.31
	Q8 滲透側溝		0	0	0	0	0
ΣQ_i			153.63	153.63	102.09		28.35
λ			1.99	1.99	1.32	0.56	0.37
λ_c			0.48	0.48	0.30	0.30	0.30
是否合格($\lambda > \lambda_c$)			通過	通過	通過	通過	通過
λ 是否大於 1			$\lambda > 1$	$\lambda > 1$	$\lambda > 1$	$\lambda < 1$	$\lambda < 1$

(資料來源：本研究整理)

利用方案一及方案二基地保水指標 λ 值計算方法，在北區 31 案例中得到之基地保水 λ 值，換算為該基地可保水的深度，即基地保水量。利用圖 3-8 得到的北部(台北) 1 年各降雨事件之降雨深度超越機率圖將保水量換算為超越機率，經資料彙整後得到北區 31 案例基地保水量超越機率分佈圖，如圖 3-9 所示。

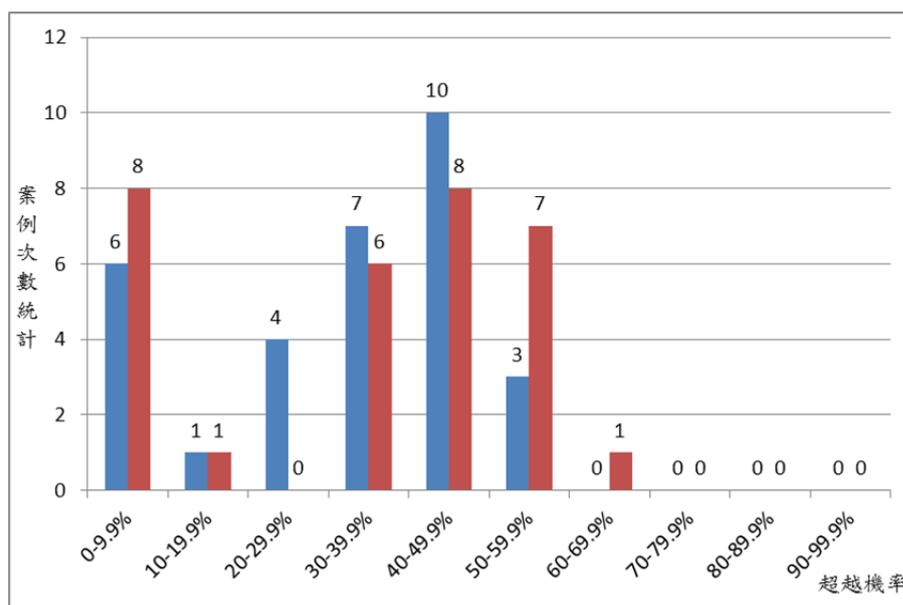


圖 3-9 北區 31 案例基地保水量超越機率分佈圖

(資料來源：本研究整理)

由上圖 3-9 可知，大部分的保水值是落在超越機率 30%~50% 的位置，即可適當處理 50%~70% 的降雨事件。而有 6 個案例超越機率落在 0%~9.9% 的位置，即處理 1 年當中 90.1%~100% 的降雨事件，明顯是保水量設定過高的錯誤設計，故在基地保水公式修正過後，未來必需訂定基地保水的最低值加以規範，選擇較合適的保水設計值，達到基地保水與防洪功能的平衡。

本研究將針對台灣北部、中部、南部、東部，進行單一測站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析，整理結果如下圖所示：

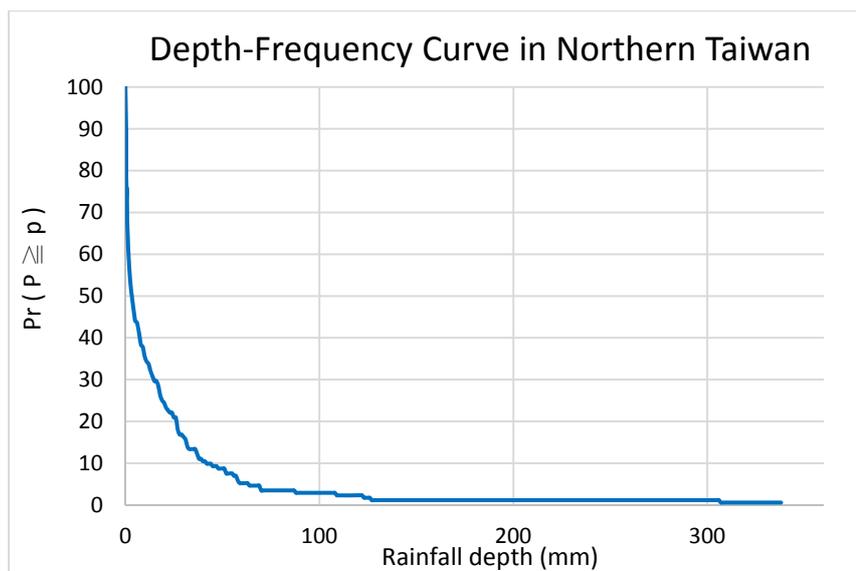


圖 3-10 台北雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析
(資料來源：本研究整理)

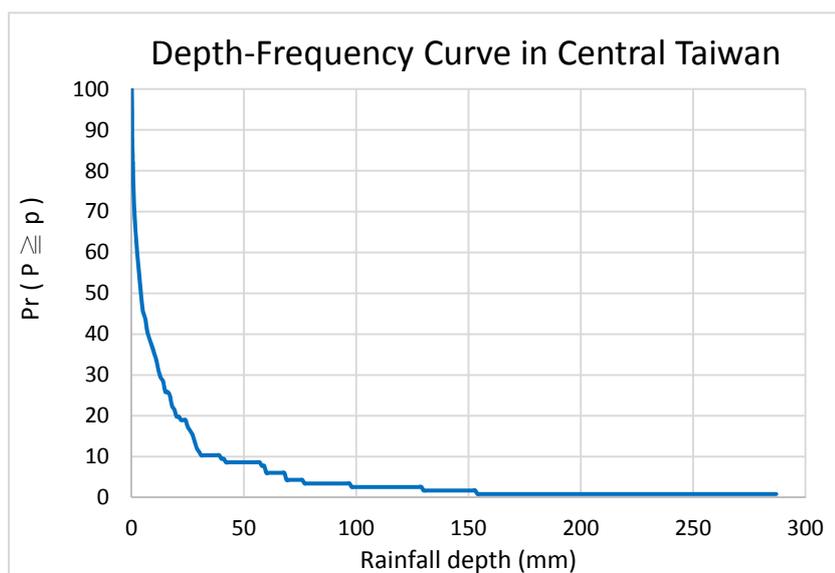


圖 3-11 台中雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析
(資料來源：本研究整理)

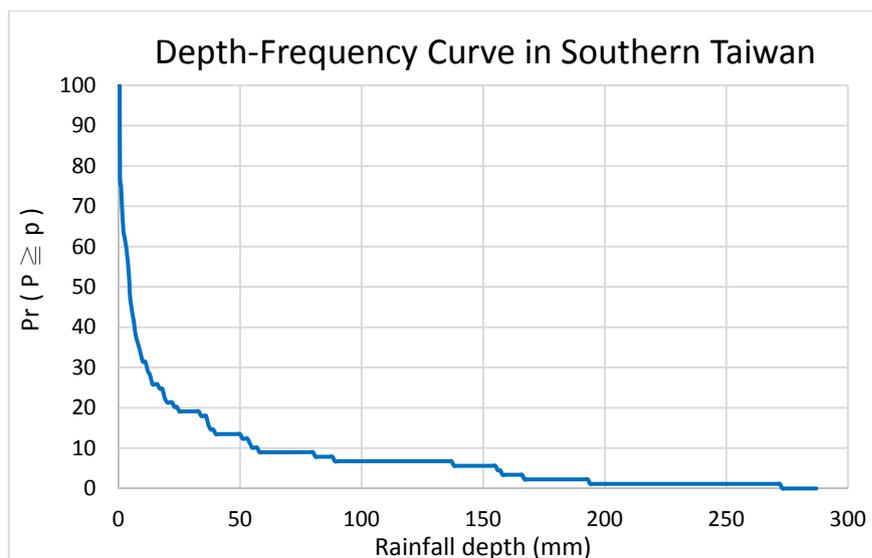


圖 3-12 高雄雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析
(資料來源：本研究整理)

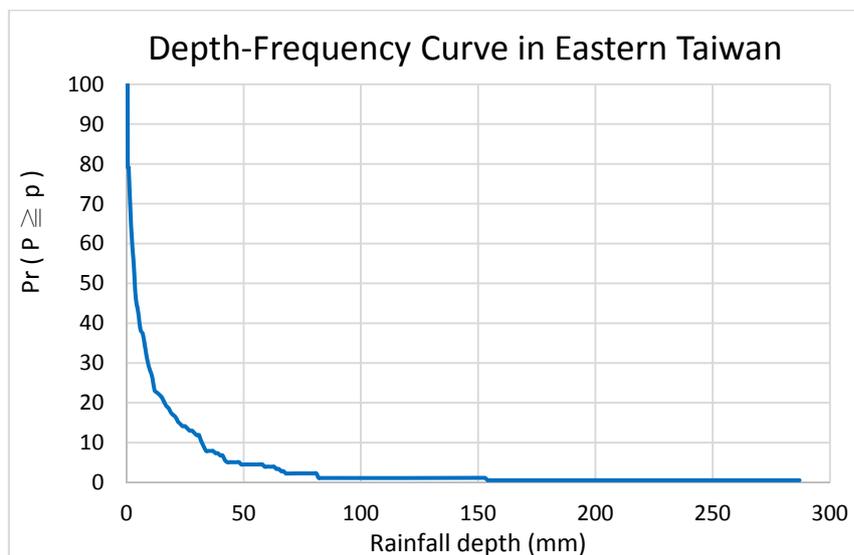


圖 3-13 花蓮雨量站兩年(2012-2013)降雨事件之降雨深度頻率分析
(資料來源：本研究整理)

上圖顯示台灣北部、中部、南部、東部兩年(2012-2013)單一測站之頻率分析結果，將降雨深度與超越機率數據整理如下表：

表 3-22 台灣北中南東降雨深度與超越機率關係圖

		降雨深度 (mm)			
		北部	中部	南部	東部
超越 機率 (%)	5%	63.2	68.6	155.6	48.1
	10%	41.3	39.3	57.1	32.2
	20%	26.5	19.9	24.2	16.2
	30%	14.6	12.6	11.6	9.4
	40%	7.4	7.2	6.5	5.5
	50%	3.2	4.1	4.5	3.6
	60%	1.6	2.4	3.1	2.4
	70%	0.9	1.2	1.4	1.7
	80%	0.5	0.6	0.6	0.5
	90%	0.4	0.3	0.2	0.1
	95%	0.2	0.1	0.1	0.1

(資料來源：本研究整理)

由於基地保水在最初的目的是在於土地之涵養水份與排水，以及附加防洪的功用。目前對於都市防洪的部分已經另外有法規加以規範，故在基地保水指標防洪的部份，可縮減其需求，回歸基地保水的初衷，故應重新訂定基地保水量之下限，使規範指標達到保水最低值即可。目前都市防洪法規訂定建築物最低貯留量為 $0.045 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ，對照上表約落在超越機率 5-10% 的位置，可處理大多數的降雨事件；故本研究基於回歸基地保水最終目的，建議將規範訂定在超越機率 40%，及北部 7.4mm、中部 7.2mm、6.5mm、5.5mm。

第五節 特殊保水設置檢討

在特殊保水設計中，建築基地常見的搭配設計中有水平式的「滲透管」、垂直式「滲透陰井」，及屬於大範圍收集功能的「滲透側溝」。然而，在目前的設計規範中沒有定義滲透管及滲透側溝之設置間距及控制面積(限制長度)，任由施工單位隨意鋪設。甚至有不肖廠商為了達到基地保水標準，增加滲透管的長度並密集鋪設，以增加計算出的基地保水量，但實際上並不會真正達到應有保水量，故本研究將對此三項基地保水設計進行定義及規範的補充。

壹、滲透管

滲透管即是將基地內無法由自然入滲排除之降水設法集中於管內後，然後慢慢入滲至地表下，達到其輔助入滲的效果，參考下圖 3-。管渠於彎折、會合點、寬度變化點，或坡度或地勢變化處，應設置（滲透）陰井，以維持其結構穩定。故滲透管設置必須搭配(滲透)陰井，不但具穩流、穩定結構與沉砂作用，且避免管內淤積。

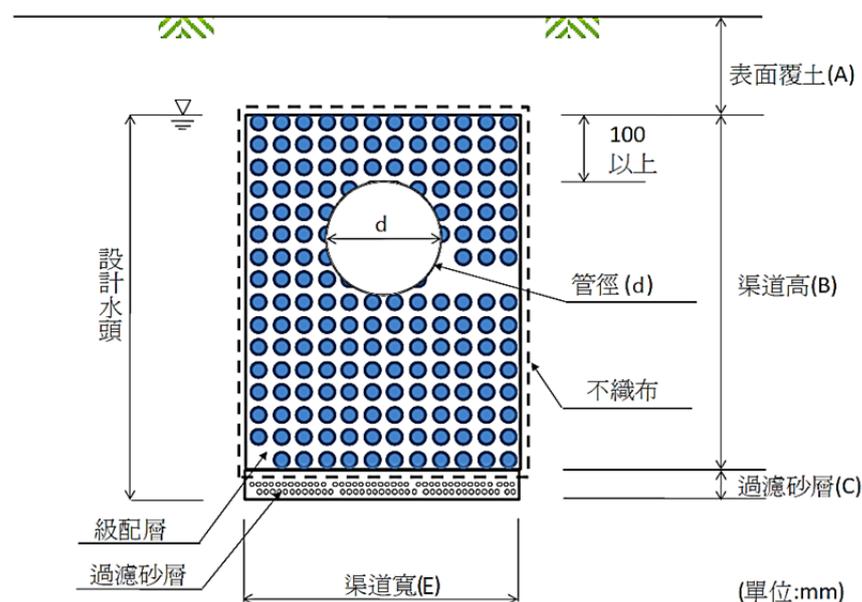


圖 3-14 滲透管設置之剖面圖

(資料來源：本研究整理)

材質種類有陶、瓦管、多孔混凝土管、有孔塑膠管進化為蜂巢管、網式滲透管、尼龍紗管至最近之不織布透水管等；材質種類的選定應視現場狀況、施工性、經濟性、清掃及維護管理等作決定。參考下圖。



圖 3-15 滲透管型式-蜂巢管

(資料來源：本研究整理)



圖 3-16 滲透管型式-網式滲透管

(資料來源：本研究整理)

管直徑在一般住家建築基地內等空間較窄的地方約 $\phi 10\sim\phi 15\text{ cm}$ ，較大型的建築基地或社區整體規劃等可採用直徑 $\phi 20\text{ cm}$ 作為標準，參考下表。

表 3-23 滲透管設置尺寸建議表

渠道寬(E)	渠道高(B)	過濾砂層高(C)	表面覆土(A)	管徑(d)
250	280	20	150	75
300	325	25	150	100
350	375	25	150	125
400	420	30	150	150
550	560	40	200	200
750	700	50	200	200

(單位 mm)

(資料來源：本研究整理)

貳、滲透陰井

滲透陰井是屬於垂直式的輔助入滲設施，利用內部的透水涵管來容納土壤中飽和的雨水，待土壤中含水量降低時，再緩緩排除，屬於垂直式的輔助入滲設施，可以有較佳的滲透的效果。滲透陰井可獨立設置滲透箱涵，較常見的則是結合管溝的設置，如下圖所示。

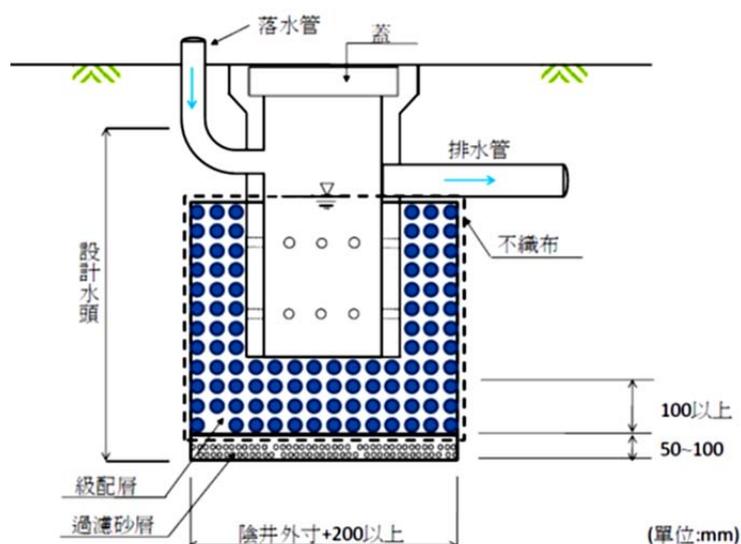


圖 3-17 滲透陰井獨立設置之剖面圖

(資料來源：本研究整理)

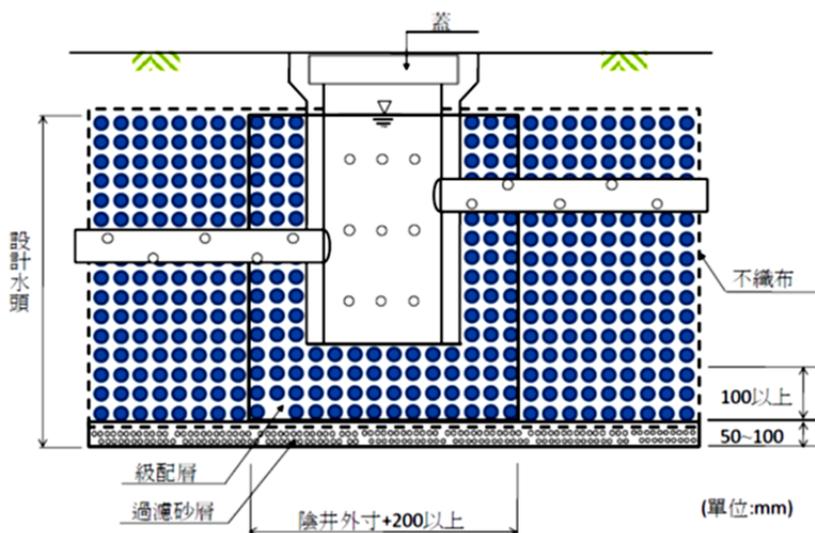


圖 3-18 滲透陰井結合管溝設置之剖面圖

(資料來源：本研究整理)

滲透陰井建議的設置尺寸，內徑寬度約 $\phi 15\sim 50$ cm，深度約 40~80 cm，其他相關的建議直整理如下表。

表 3-24 滲透陰井設置尺寸建議表

陰井內徑 (Ei)	陰井高 (b)	過濾砂層高 (C)	陰井外徑寬 (Eo)	陰井外徑高 (B)	表面覆土 (A)
150	400	10	300	390	100
200	400	10	400	390	100
250	500	30	500	510	100
300	500	30	600	510	100
350	600	35	700	630	100
400	600	35	800	630	100
500	800	50	1000	880	100

(單位 mm)

(資料來源：本研究整理)

貳、滲透側溝

滲透側溝為一透水材料構造，以碎石填充周邊之排水溝，使其除具排水功能外並能使雨水從側面及底部滲入土壤之入滲設施，參考下圖。

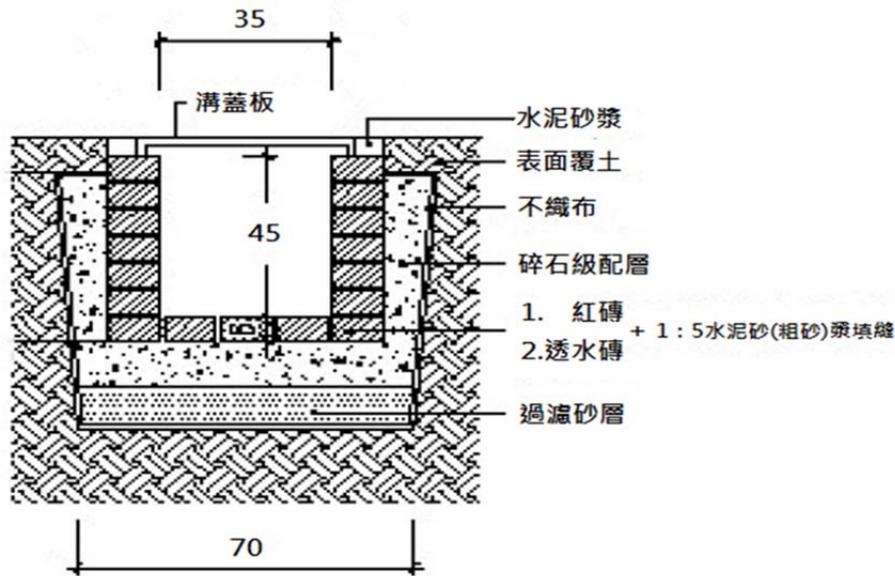


圖 3-19 滲透側溝設置之剖面圖

(資料來源：本研究整理)

一般在滲透側溝的設計尺寸建議：內徑寬 ≥ 35 cm，外徑寬 ≥ 70 cm，內徑深度 ≥ 45 cm。滲透側溝內層材料可分為紅磚及透水磚。紅磚材料主要由紅磚間粗砂填縫滲透，透水磚則為本身可滲透及粗砂填縫滲透，參考下圖所示，且內面積設置須符合原則：

$$\text{粗砂填縫面積} / \text{總側溝內面積} \geq 20\%$$

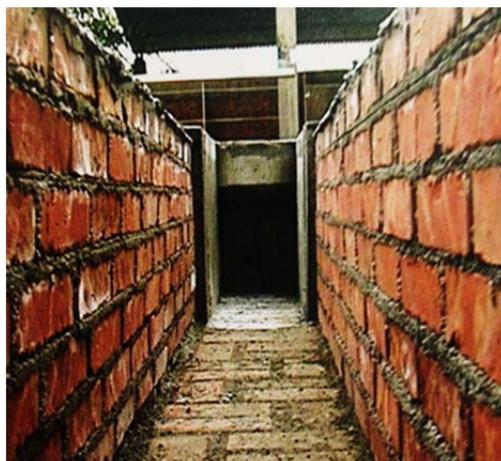


圖 3-20 滲透側溝紅磚材質

(資料來源：本研究整理)

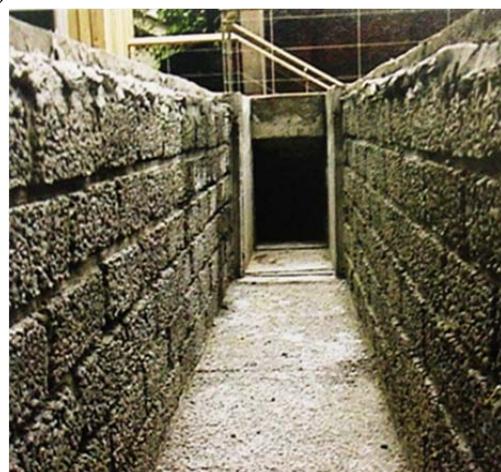


圖 3-21 滲透側溝透水磚材質

(資料來源：本研究整理)

肆、建議修定項目

滲透管必須訂定兩管間之設置間距及控制面積，才不會發生滲透管過長或兩管間距不夠，造成土壤無法有效的保水，但在計算上卻呈現高出實際土壤保水能力的情形。滲透管的鋪設間距 W 須考慮基地土壤特性與滲透深度 H ，計算出滲透管在土壤內的滲透範圍，兩管間盡量互不干擾，才得以達到最佳保水效果。滲透管、滲透陰井、滲透側溝三者皆受設施底部土壤入滲而影響控制範圍，其是意圖分別如下所示：

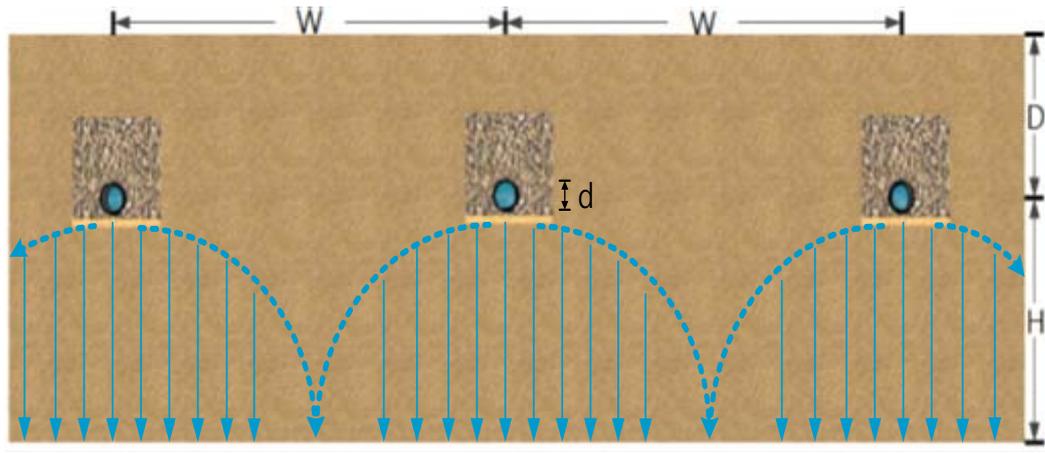


圖 3-22 滲透管控制範圍示意圖

(資料來源：本研究整理)

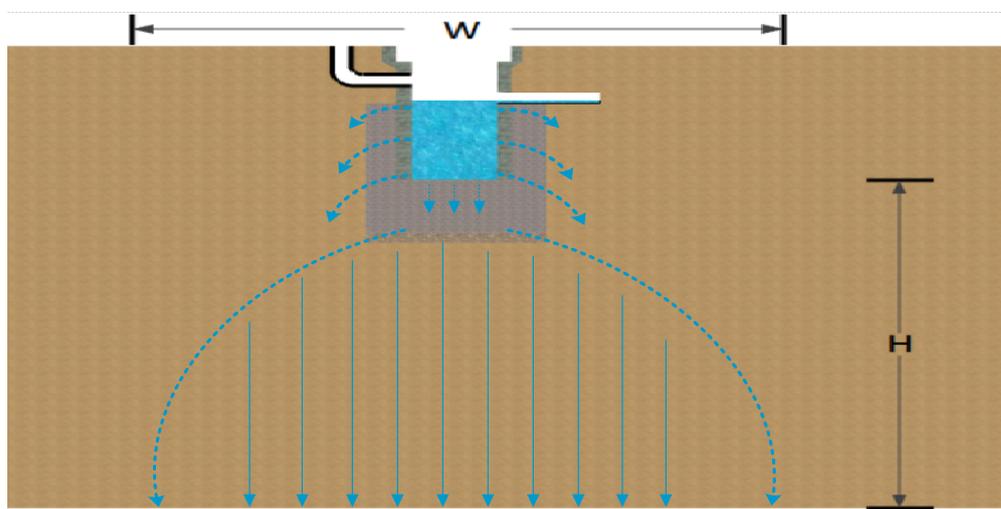


圖 3-23 滲透陰井控制範圍示意圖

(資料來源：本研究整理)

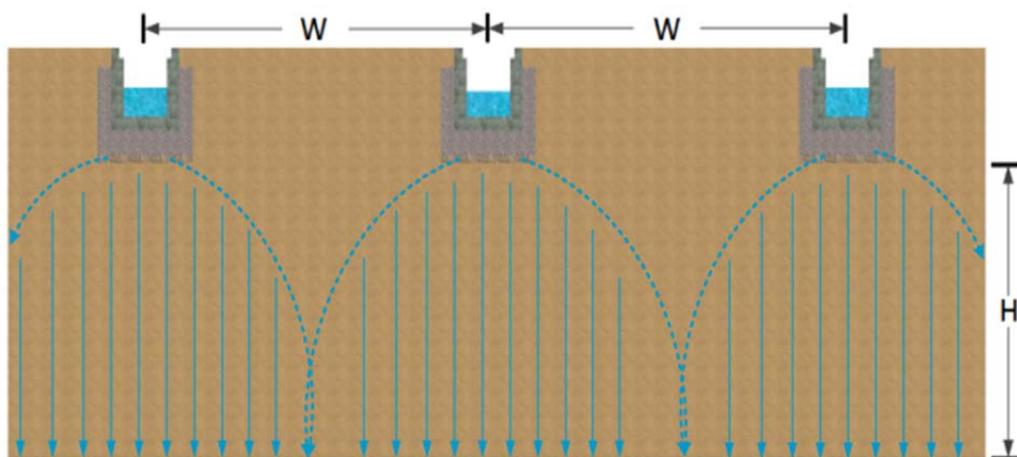


圖 3-24 滲透側溝控制範圍示意圖

(資料來源：本研究整理)

本計畫將利用底部土壤來設定兩滲透設施之間距，參考綠建材標章中生態滲透網管對不同土壤及鋪設間距的建議及農田排水計算方法，整理如下表 3-20 所示。

表 3-25 依不同土質考慮滲透深度與間距關係表

土質	粒徑 0.02mm 以下重量 比%	考慮滲透深度 H 及滲透排水管建議間隔 W (m)			
		0.8	1.0	1.2	1.4
黏土	100~60	6.0~9.0	6.5~10.0	7.0~11.0	7.5~11.5
砂質黏土	60~40	9.0~12.5	10.0~13.0	11.0~14.5	11.5~16.0
砂質土壤	40~25	11.5~14.5	13.0~17.0	14.5~19.5	16.0~22.0
砂土	<10	>18.0	>22.0	>26.0	>30.0

(資料來源：本研究整理)

因開發後土壤入滲率較低，故將開發後土壤視為黏土，若考慮最低滲透深度 H 在 0.8 m，則建議特殊保水設施鋪設間距至少為 6.0 m 才會達到比較理想的保水效果，故建議統一特殊保水設施，如：滲透管、滲透陰井、滲透側溝，規範設置間距 $W \geq 6$ m。而滲透管與滲透側溝控制面積： $A = 6 \times L$ ，滲透陰井(獨立設置)控制面積： $A = n \times (6^2 \pi / 4)$ ，其中 L 為設置總長度，W 為建議設置間距，在實務計算上則可反推出限制設置長度，以滲透管為例：

假設此基地總面積為 1000 m^2 ，則應當限制整體滲透管埋設的總長度 L 應不可超過 $\frac{A_0}{W} = \frac{1000 \text{ m}^2}{6.0 \text{ m}} = 166.67 \text{ m}$ 。

在控制範圍內不應多設置其他滲透設施(管溝銜接陰井除外)，且此三滲透設施總控制面積不得大於總基地面積(A_0)：

當滲透陰井獨立設計時： $A_6 + A_7 + A_8 \leq A_0$ ；

當滲透陰井有連接滲透管或滲透側溝時： $A_6 + A_8 \leq A_0$ (不計滲透陰井控制面積)。

基地保水在上述三者中，滲透管相對之下價格較低、施工簡便、計算出的保水量高，故許多施工單位會利用此設計方法任意鋪設，達到保水量計算值高，但卻不實際的情況。故在此特列滲透管之建議設置原則如下：

1. 需明確說明控制面積場域(非滲透面積)
2. 兩管間不可小於建議間距

3. 總長度不可大於建議長度
4. 滲透管需搭配(滲透)陰井

第六節 小結

本計畫提出基地保水指標的修正方案分別各有優缺點，整理如下表。

表 3-26 基地保水指標修正方案比較表

	優點	缺點
方案一： 分項計算	針對各項目分項計算，更貼近實際狀況。	計算較為繁雜與耗時
方案二： 僅考慮入滲	計算容易簡便。	完全忽略貯留部分，與實際狀況不符；計算值偏小。
方案三： 機率分布	計算容易簡便；可依地區降雨特性改變標準。	事前計算及定訂合理標準需深入討論。

(資料來源：本研究整理)

本計畫對於基地保水指標修訂主要目的為修正公式中基地保水入滲率及降雨延時的問題，使基地保水指標 λ 值更加合理化。方案一分項計算因其計算較為繁雜，易造成實務上的困難。方案二刪除基地保水貯留的項目，造成計算出的 λ 值偏小，準確性恐會對外界造成質疑。經過專家學者座談會及報告，討論結果認為方案三修訂方法是為較新的思考方式且頗具說服力，可將繁複的基地保水指標計算，改變為訂定保水量下限，使基地保水指標更為簡便及清楚。

經本節研究及檢討，依照基地保水指標 λ 值現有之問題，提出可行之修正方式整理如下：

- 一、依照機率分布訂定保水最低要求，修改基地保水指標，如表 3-
- 二、依夯實度修正開發後入滲率及土壤分級建議，如表 3-
- 三、公式的修改及訂定特殊保水設施管溝之設計原則與規範，如表 3-

本研究建議修改方式為：將原有保水指標 λ 值去除，純粹以開發後基地保水量需大於超越機率 $n\%$ ，且小於開發前之保水量。

表 3-27 基地保水指標 λ 之修改方式

	原保水量計算公式 (綠建築評估手冊, 2012)	本研究建議修改	修改說明
保水標準	$\lambda = \frac{\text{開發後基地保水量 } Q'}{\text{原土地保水量 } Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \times f \times t} \geq \lambda_c$	$Q(P > n\%) < \sum_{i=1}^n Q_i < Q_0$	原有保水指標 λ 值去除。總基地保水量需大於超越機率 $n\%$ ，小於開發前之保水量。

(資料來源：本研究整理)

在進行基地保水設計前必須經過土壤鑽探分析開發前的土壤入滲率，然而開發後土壤因夯實而造成入滲率必然的降低，造成某些基地保水設施建設完效果不彰。故本研究建議將開發前土壤分成三類，先行決定基地保水設計的方針：入滲率高者，建議設置入滲設施為主；入滲率低者，建議以貯留設施為主。詳細的土壤分類與建議如下表所示：

表 3-28 開發前土壤分類與基地保水設計建議

分級	原土壤入滲率 f	建議
優	$\geq 10^{-5}$	設置 <u>入滲設施</u> 為主。
良	$\geq 10^{-6}$	可搭配 <u>入滲設施</u> 及 <u>貯留設施</u> 。
劣	$\leq 10^{-7}$	建議只作 <u>貯留設施</u> 。

(資料來源：本研究整理)

對於各類保水設計之保水量計算修正建議，初步立即可行之建議羅列如下：

表 3-29 各類保水設計之保水量計算修正初步建議

項目	各類保水設計之保水量(m ³)	原保水量計算公式 (綠建築評估手冊, 2012)	本研究建議修改	變數說明
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量 Q ₁	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$	$Q_1 = A_1 \cdot f^* \cdot t$	A ₁ : 綠地、被覆地、草溝面積 (m ²), 草溝面積可算入草溝立體周邊面積。 f*: 夯實後基地土壤滲透係數 $f^* = \square \cdot f$ (m/s)。 1. 黏土: 夯實度 50%→90%, $\square = 0.12$; 夯實度 70%→90%, $\square = 0.18$ 砂質黏土: 夯實度 50%→90%, $\square = 0.34$; 夯實度 70%→90%, $\square = 0.41$ 2. 若基層為混凝土等不透水鋪面, 則 $f^* = 0$
	透水鋪面設計保水量 Q ₂	$Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.05 \cdot h \cdot A_2$ (連鎖磚型) $Q_2 = 0.5 \cdot A_2 \cdot f \cdot t + 0.3 \cdot h \cdot A_2$ (通氣管結構型)	$Q_2 = A_2 \cdot f^* \cdot t + 0.2 \cdot h \cdot A_2$	A ₂ : 透水鋪面面積 (m ²) h: 透水鋪面級配層厚度 (m) (透水磚或高壓磚型 $h \geq 0.25$, 通氣管結構型 h 一般為 0.07~1)
	花園土壤與水截留設計保水量 Q ₃	$Q_3 = \text{MIN}(A_3 \cdot f \cdot t, 0.42 \cdot V_3)$ MIN: 弧內取小值	$Q_3 = \text{MIN}(A_3 \cdot f^* \cdot t, 0.2 \cdot A_3 \cdot h)$ MIN: 弧內取小值	A ₃ : 人工花園土壤面積 (m ²) h: 花園土壤深度 (m), 最多計入深度 1m 以內土壤
特殊保水設計	貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池設計保水量 Q ₄	$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$	$Q_4 = A_4 \cdot f^* \cdot t + V_4$	A ₄ : 貯留滲透空地面積或景觀貯留滲水池可透水面積 (m ²) V ₄ : 貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積 (m ³)
	地下貯留滲透保水量 Q ₅	$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + r_i \cdot V_5$	$Q_5 = 0.36 \cdot (A_{5g} + A_{5s}) \cdot f^* \cdot t + r_i \cdot V_5$	A _{5g} : 貯留設施地表面積 (m ²) A _{5s} : 貯留設施側表面積 (m ²) V ₅ : 蓄水貯留空間體積 (m ³) r _i : 礫石貯留設施為 0.2, 專用蓄水貯留框架為 0.9, 但礫石貯留最大只能計入地表深度 1m 以內之體積 修正係數說明: 水位影響係數 0.5 × 阻塞影響係數 0.8 × 地下水影像係數 0.9 = 0.36
	滲透管設計保水量 Q ₆	$Q_6 = (8 \cdot x^{0.2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L_6)$	$Q_6 = 0.36 \cdot [(8 \cdot x^{0.2} \cdot f^* \cdot L_6 \cdot t) + (0.1 \cdot L_6)]$ A ₆ ≥ L ₆ · W ₆	x: 為開孔率 $x \geq 1$ (%)。 L ₆ : 滲透管總長度 (m) A ₆ : 控制面積。(僅針對不透水面積) W ₆ : 滲透管設置間距 $W_6 \geq 6$ (m)。 1. 滲透管徑 $d \geq 7.5$ (cm)。 2. 滲透管必須搭配陰井或滲透陰井。
	滲透陰井設計保水量 Q ₇	$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	$Q_7 = 0.36 \cdot n \cdot (3.0 \cdot f^* \cdot t + 0.015)$ (獨立設計) $Q_7 = 0.18 \cdot n \cdot (3.0 \cdot f^* \cdot t + 0.015)$ (搭配滲透管或滲透側溝) A ₇ ≥ n · W ₇ ² · π / 4	x: 為開孔率 $x \geq 1$ (%)。 n: 滲透陰井個數 W ₇ : 滲透陰井設置間距(直徑) $W_7 \geq 6$ (m) 內徑寬度約 φ15~50 cm, 深度約 40~80 cm。
	滲透側溝保水量 Q ₈	$Q_8 = (a \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	$Q_8 = 0.36 \cdot [(a \cdot f^* \cdot L_8 \cdot t) + (0.1 \cdot L_8)]$	a: 側溝材質為透水磚或透水混凝土為 18.0, 紅磚為 15.0, 若為滲透係數為 kg (m/s) 之新滲透材質時, $a = 40 \cdot k_g^{0.1}$

			$A_g \geq L_g \cdot W_g$	L_g ：滲透側溝總長度 (m) W_g ：滲透排水管控制範圍 $W_g \geq 6$ (m) 1. 內徑寬 $E_i \geq 35$ cm，外徑寬 $E_o \geq 70$ cm，深度 $b \geq 45$ cm。 2. 粗砂填縫面積/總側溝內面積 $\geq 20\%$
新增	礫石填充滲透孔保水量 Q_9		$Q_9 = 0.36 \cdot n \cdot [(d^2 \cdot \pi / 4) \cdot (h+1) \cdot f \cdot t + 0.2 \cdot d^2 \cdot \pi / 4]$	n ：礫石填充滲透孔個數。 d ：滲透孔直徑 $d \geq 0.05$ (m)。 h ：滲透孔深度 $h \geq 0.4$ (m)。
其他	由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之			

(資料來源：本研究整理、綠建築評估手冊，2012)

第四章 透水鋪面案例之現地滲透性能試驗

內政部建築研究所於民國 91 年起補助廳舍改建計畫，到民國 100 年為止總共補助了 179 件廳舍改建案例，在這其中有 66 件案例進行基地保水施作，施作案例的內容，大多為停車場與人行道鋪面的改善，由透水磚取代原有不透水的瀝青及水泥鋪面，並且規劃種植各式植物，不僅能美化環境，更可以提升基地保水性能以及減緩都市熱島效應。其餘案例例如人工湖以及生態池的改善，可以達到具有雨水貯留、延遲暴雨及雨水逕流、創造多樣性生物環境等功能。本計畫的主要工作為透過對過去建研所已補助完成的廳舍改建計畫或其它可獲取之基地保水評估及透水鋪面增建或改建計畫的案例進行評估。

第一節 現地調查實施計畫

我國近年來已有許多透水鋪面相關工程進行，故本計畫收集現存廳舍改建計畫中透水鋪面的資料，如表 3-1 所示，並進行現地透水試驗，以為後續興建參考資料。透水鋪面設施調查評估相關內容如下。

表 4-1 施作透水鋪面廳舍機構

	100 年	99 年	98 年	97 年前
北部		法務部政風人員訓練中心	行政院衛生署竹東醫院	中央聯合辦公大樓南棟
		行政院海岸巡防署海岸巡防總局		國立台北科技大學
中部	行政院衛生署南投醫院	內政部雲林教養院	國立彰化師範大學	
		勤益科技大學	行政院人事行政局地方行政研習中心	
		國立自然科學博物館九二一地震教育園區		
		台中教育大學		
		行政院文化建設委員會文化資產總管理籌備處		
		海岸巡防署海岸巡防總局中部地區巡防局		
南部		國立屏東教育大學	國軍左營總醫院	
			國立嘉義大學	

(資料來源：本研究整理)

壹、現場調查地點之選取

由前述相關資料可之目前收集之資料數量有限，在考慮本計畫工作項目要求選取的案例，與工作人員分配，故訂下列篩選因子，做為選定調查之依據。

- 一、透水鋪面中較具代表性者。
- 二、詳細資料可獲得較高性者。
- 三、設置地點於地域平均且交通方便可到達者。
- 四、專家學者之建議

依據上列篩選因子，對前述收集既有透水鋪面資料篩選出既有的透水鋪面進行調查，主要分基本資料、各項調查確認及使用情況，將所收集資料進行調查分析所存在的問題。

貳、現地調查表格設計

對既有透水鋪面設施之進行評估調查，本計畫除收集彙整相關書面資料外，並進行現地透水試驗，經研究人員現地勘查及試驗，以瞭解透水鋪面各種狀況之實際情形，並對調查內容設計調查表格，主要分「透水鋪面調查表」及「透水鋪面現地試驗記錄表」。

一、透水鋪面問卷調查表

本「透水鋪面調查表」主要以計畫人員口頭詢問方式勾選，以利瞭解個案及後續建立透水鋪面圖說工作之進行。如下表所示。

- (一)機關基本資料：透水鋪面系統之機關名稱與機關基本資料。
- (二)鋪面內容：鋪面型態、使用情況、鋪面材質及其他。

表 4-2 透水鋪面試驗調查表

機關基本資料			
機關名稱	<input type="checkbox"/> 公家機關(或公共區域) <input type="checkbox"/> 公私立學校 <input type="checkbox"/> 私人機構 <input type="checkbox"/> 其他：		負責人
TEL：		FAX：	
E-mail：			
<input type="checkbox"/> 北 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 南 地址： GPS 定位點：121°32' 08"， 25°01' 06"			
透水鋪面內容			
鋪面設施用途			
透水鋪面類型	<input type="checkbox"/> 透水混凝土 <input type="checkbox"/> 透水瀝青 <input type="checkbox"/> 植草磚 <input type="checkbox"/> JW 工法 <input type="checkbox"/> 其他		
設施面積	m ²		
透水鋪面面積	m ²	透水鋪面百分比例	%
工法或使用材料敘述			
透水鋪面工程			
工程價格	總工程費： 萬元 維護管理費用： 元/年；硬體： 元/年		
承包業者	<input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有()		
使用期間	年 月~	工程期間	年 月~ 年 月

(資料來源:本研究整理)

二、透水鋪面現地試驗記錄表

透水鋪面現地試驗記錄表記錄了包含：試驗點及試驗編號、試體面積、水頭差、流量體積、滲透秒數、滲透速率及平均滲透速率。如下表所示。

表 4-3 透水鋪面試驗記錄表

試驗點 及試驗 編號	試體 面積 (cm ²)	水頭高 H1 (cm)	水頭 H2 (cm)	水頭差 (H1-H2) (cm)	流量體積 (管徑面 積×水頭 差) (cm ³)	滲透秒 數 (s)	滲透 速率 (cm/s)	各點平 均 滲透速 率 (cm/s)
點 1	1-1							
	1-2							
	1-3							
點 2	2-1							
	2-2							
	2-3							
點 3	3-1							
	3-2							
	3-3							
點 4	4-1							
	4-2							
	4-3							
點 5	5-1							
	5-2							
	5-3							
平均滲透速率(cm/s)								cm/s
備註及各點位置簡圖								

(資料來源:本研究整理)

參、現地調查作業及透水試驗流程

為提升調查效率及減少因為人為疏失所造成的錯誤，特擬定現場標準作業調查作業之流程，說明如下。

(一)目的：依據準則以「服務建議書」為準，為提升調查效率及減低錯誤，本計畫擬定標準作業流程，且於現勘時，各員組將會勘現場並詢問相關人員已於完畢後討論檢討，統一現場調查之作業程序。

(二)調查前製作業：資料收集及設備整備、人員編組與行前訓練、行程路徑規畫、行前資料與設備確認。

(三)調查作業：調查範圍、調查方式、現場調查記錄。

(四)調查後資料之整理：調查資料正確性與調查資料之彙整。

(五)現場調查之行程安排：本工作團隊依照台灣地區之地理區域及工作團隊之人力，安排現場調查之行程，於四月~八月進行現勘。

本計劃所使用之透水試驗儀器及透水試驗步驟，說明如下。

一、透水試驗器材

(一)透水試驗儀

如圖 4-1 所示透水試驗儀為內徑約 5cm，高約 34cm，可承接 400ml 以上水量之壓克力製透明量筒、5kg 重環狀加重塊、內徑 0.8cm 之導水銅管，6in. ϕ 止水套環。

(二)油性黏土

透水試驗儀側邊封邊使用油性黏土，每次試驗約需使用三包，若油性黏土失去黏性或沾黏土石砂礫則需更換。

(三)量筒

透水試驗中需不斷補水，使用 400ml 量筒。

二、透水試驗流程

步驟一：清理鋪面

選取一平整透水鋪面，並清除清除其表面雜物。

步驟二：固定透水試驗儀

利用直徑約 1 公分之環狀油性黏土固定透水試驗儀下，將透水試驗儀壓至於試驗位置，並於透水試驗儀周邊固定油性黏土完全密封，確保試驗時不會滲水。最後安置加重塊或由人力施壓。如圖 4-1 及 4-2 所示。



圖 4-1 油性黏土固定透水試驗儀
(資料來源：本研究整理)



圖 4-2 重壓防止滲水
(資料來源：本研究整理)

步驟三：關閉開關並加水

將試驗移閥門關閉，並於圓筒內加水至 400 毫升水位記號。準備碼表、補水水桶及試驗紀錄本。如圖 4-3 所示。



圖 4-3 透水儀水閘門控制

(資料來源：本研究整理)

步驟四：試驗開始

打開水閘門，使用碼表紀錄水位 h_1 至水位 h_2 之時間，藉此紀錄該水位差之水量及滲透時間，進而計算其水力傳導度。水位低於 h_2 時則補水至 h_1 ，重複量測至滲透時間趨於穩定時，即終端水力傳導度時，終止試驗。

步驟五：計算水力傳導度

利用儀器，建議在有較低之 K 值、或能有較佳之邊際阻隔其水平入滲現象。利用以下公式：

$$K = a \times (h_1 / h_2) / AT$$

式中 a ：內管截面積； L ：面層厚度； A ：透水傳導面積； T ：時間； h_1 ：開始計算時間水面高度； h_2 ：結束計算時間水面高度。利用該公式計算透水鋪面水力傳導度。

第二節 現況調查評估分析

本節整理根據前節之現地調查方法，對透水鋪面進行現地調查及現地透水試驗。，並與行政院公共工程委員會《公共工程施工綱要規範》第 02794 章透水鋪面完工檢測項目滲透性：400 ml/15 s，水力傳導度 k 約為 1.84×10^{-5} (m/s) 進行比較。

本計畫至民國一〇三年十月，針對透水鋪面透水磚進行現地試驗，已試驗地點為國立臺北科技大學，目前已進行調查之透水鋪面形式有：透水磚、孔洞邊透水磚、回收材透水磚、植草磚、透水瀝青及 JW 工法，下圖為透水試驗施做地點。

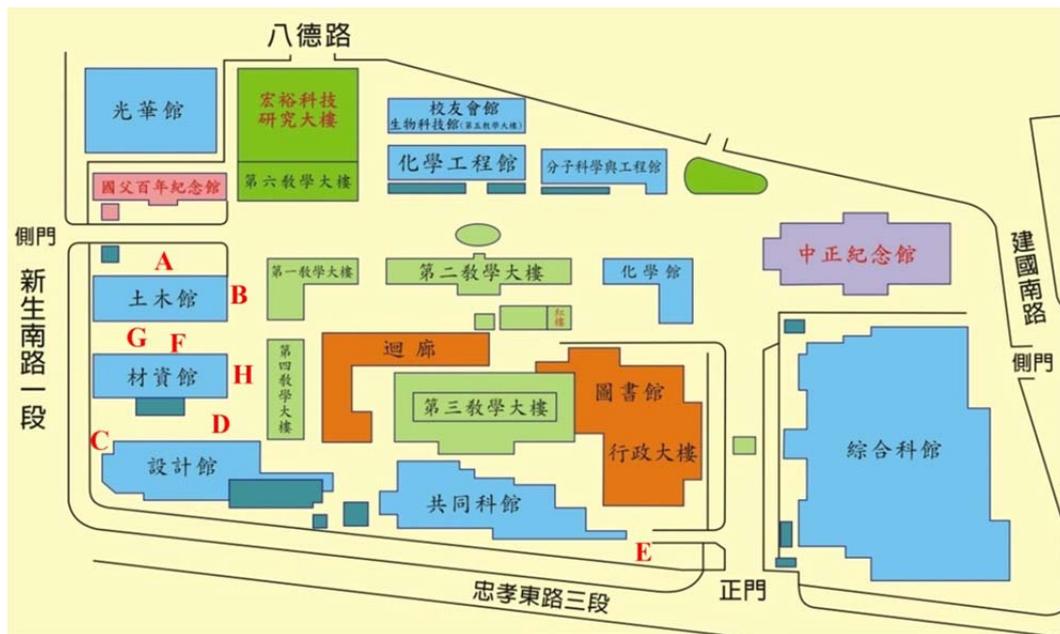


圖 4-4 國立臺北科技大學透水鋪面試驗施做地點

(資料來源：國立臺北科技大學校園導覽網頁、本研究整理)

圖 4-4 中編號分別代表：

- A：北科大土木館正門人行道透水磚；
- B：北科大土木館側門車道之透水磚；
- C：北科大新生側門孔洞邊透水磚；
- D：北科大設計館前回收材透水磚；
- E：北科大正門停車場植草磚；
- F：北科大土木館後停車場植草磚；
- G：北科大土木館後停車場透水瀝青；
- H：北科大材資館旁人行道 JW 工法。

壹、透水磚

本計畫至民國一〇三年六月，針對透水鋪面透水磚進行現地試驗，已試驗地點為國立臺北科技大學土木館正門人行道、國立臺北科技大學土木館側門車道。

一、國立臺北科技大學土木館正門人行道

1.地點

國立臺北科技大學土木館位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路一段側門。土木館正門人行道一般為行人走動，少有行車。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。



圖 4-5 國立臺北科技大學土木館正門人行道透水磚
(資料來源：本研究整理)

2.施作年份

國立臺北科技大學土木館正門人行道之透水磚為民國九十二年受內政部建築研究所補助之綠廳舍改建計畫設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3.鋪面介紹

本區透水磚使用水泥、粒料及其他添加劑為原料，依照適當配比與水，拌和均勻，以模壓 (mold press) 或鑄模 (mold casting) 方法成形後，經適當之養護而成。通常透水能力高

於 1×10^{-2} 以上。本透水磚透水鋪面施工剖面圖如圖 4-1 所示，鋪面層約 6 公分，墊沙層約 4 公分，級配層約 10~15 公分。

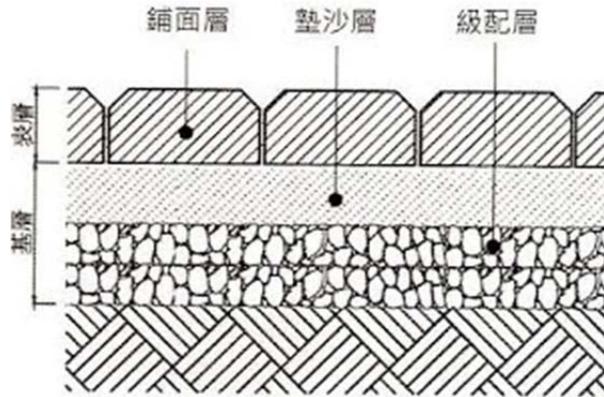


圖 4-6 透水磚剖面圖

(資料來源：內政部建築研究所與本研究整理)

4. 透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年四月二十八日星期一

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：50 小時前

本試驗量測透水鋪面及回填層之水力傳導度 k，以下為國立臺北科技大學土木館正門人行道之透水磚之水力傳導度試驗數據圖表。

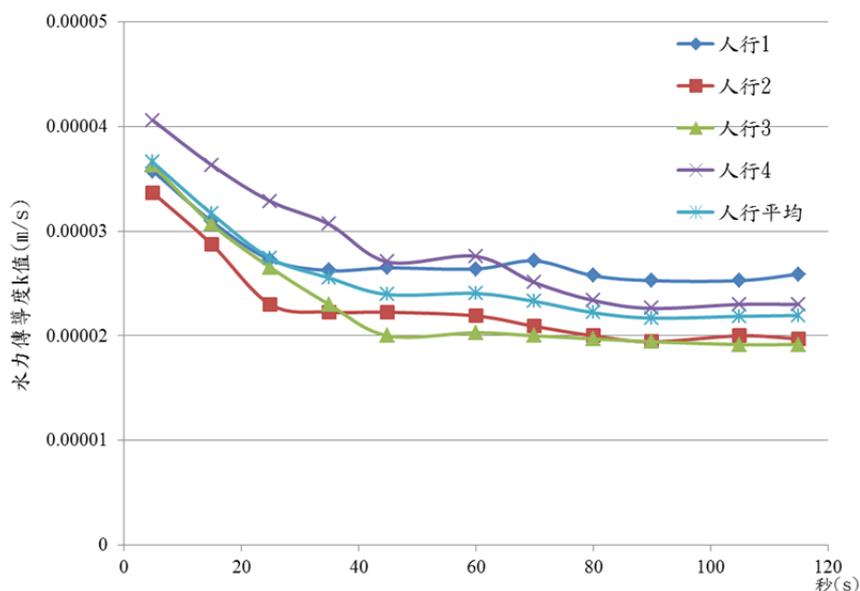


圖 4-7 國立臺北科技大學土木館正門人行道之透水磚之水力傳導度

(資料來源：本研究整理)

經量測及計算後，可知該透水磚之終端水力傳導 k 值接近 $2.19 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ ，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 $1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 比較，雖已過十一年之久，透水表現仍表現優於標準。

二、國立臺北科技大學土木館側門車道

1.地點

國立臺北科技大學土木館位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路一段側門。土木館側門車道一般為行人走動與校內車道，常有轎車、貨車及垃圾車等重型車輛行駛。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。

2.施作年份

國立臺北科技大學土木館側門車道之透水磚為民國九十二年受內政部建築研究所補助之綠廳舍改建計畫設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3.鋪面介紹

本區透水磚與前項相同。

4.透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年四月二十八日星期一

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：50 小時前

本試驗量測透水鋪面及回填層之水力傳導度 k ，以下為國立臺北科技大學土木館側門車道之透水磚之水力傳導度試驗數據圖表。

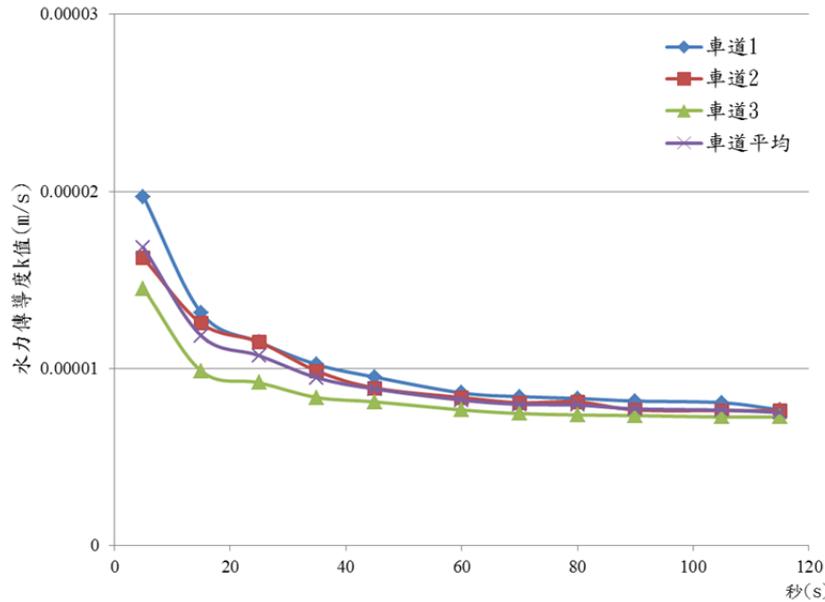


圖 4-8 國立臺北科技大學土木館側門車道之透水磚之水力傳導度

(資料來源：本研究整理)

經量測及計算後，可知該透水磚之終端水力傳導 k 值接近 $7.52 \times 10^{-6}(\text{m/s})$ ，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 $1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 比較，透水表現低於完工標準概略值，其原因應為長期受重型車輛行駛，造成下方土壤及回填層之壓密，降低水力傳導能力。

貳、孔洞邊透水磚

本計畫至民國一〇三年六月，針對透水鋪面透水磚進行現地試驗，已試驗地點為國立臺北科技大學新生側門(設計系旁)。

一、國立臺北科技大學新生側門(設計系旁)

1.地點

國立臺北科技大學新生側門，位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路一段側門。新生側門車道一般為行人走動，少有行車。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。



圖 4-9 國立臺北科技大學新生側門孔洞邊透水磚

(資料來源：本研究整理)

2. 施作年份

國立臺北科技大學新生側門孔洞邊透水磚為民國一百零二年十二月設置之透水鋪面。設置完成至今約半年。

3. 鋪面介紹

本區透水磚使用水泥、粒料及其他添加劑為原料，依照適當配比與水，拌和均勻，以模壓（mold press）或鑄模（mold casting）方法成形後，經適當之養護而成。本孔洞邊透水磚於面層的旁設置孔洞，並連接導水管直接將水導入透水層，使水可透過透水磚入滲及孔洞的快速排水，增進水份的吸收能力。鋪面層約 6 公分，墊沙層約 4 公分，級配層約 10~15 公分。

4. 透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年四月二十八日星期一

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：50 小時前

本試驗量測透水鋪面及回填層之水力傳導度 k ，以下為國立臺北科技大學新生側門孔洞

邊透水磚之水力傳導度試驗數據圖表。

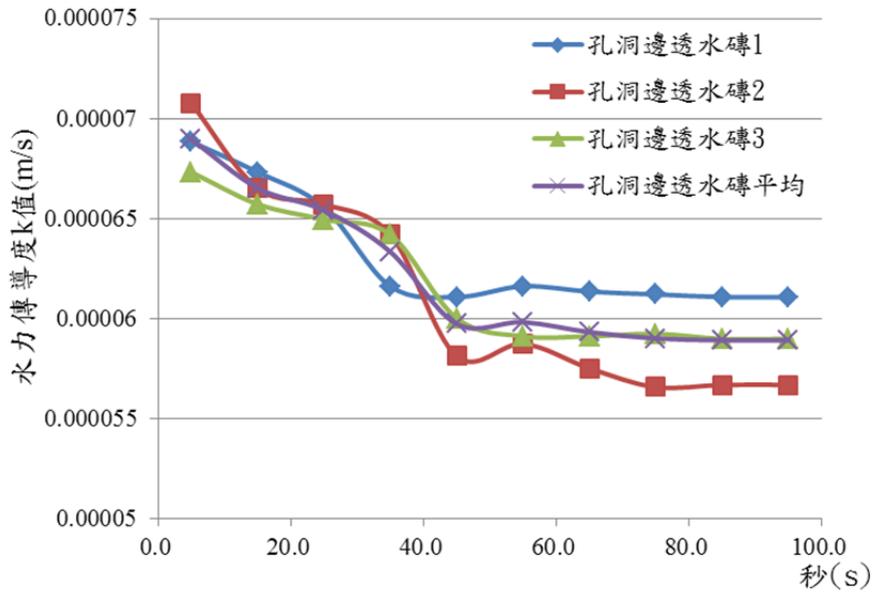


圖 4-10 國立臺北科技大學新生側門孔洞邊透水磚之水力傳導度
(資料來源：本研究整理)

經量測及計算後，可知該孔洞邊透水磚之終端水力傳導 k 值接近 $5.90 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ ，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 $1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 比較，透水表現非常傑出，其原因應為除透水磚本身能透水外，孔洞邊亦提供相當程度的透水量。

參、回收材透水磚

本計畫至民國一〇三年六月，針對回收材透水磚進行現地試驗，已試驗地點為國立臺北科技大學設計館前。

一、國立臺北科技大學設計館前

1.地點

國立臺北科技大學設計館位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路一段側門。設計館前回收材透水磚一般為行人走動，少有行車。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。



圖 4-11 國立臺北科技大學設計館前回收材透水磚
(資料來源：本研究整理)

2. 施作年份

國立臺北科技大學設計館前回收材透水磚為民國九十二年設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3. 鋪面介紹

本區回收材透水磚使用廢棄玻璃與水泥、粒料及其他添加劑為原料，依照適當配比與水，拌和均勻，以模壓 (mold press) 或鑄模 (mold casting) 方法成形後，經適當之養護而成。本回收材透水磚透水鋪面施工剖面圖如圖 4-2 所示，鋪面層約 6 公分，墊沙層約 4 公分，級配層約 10~15 公分。

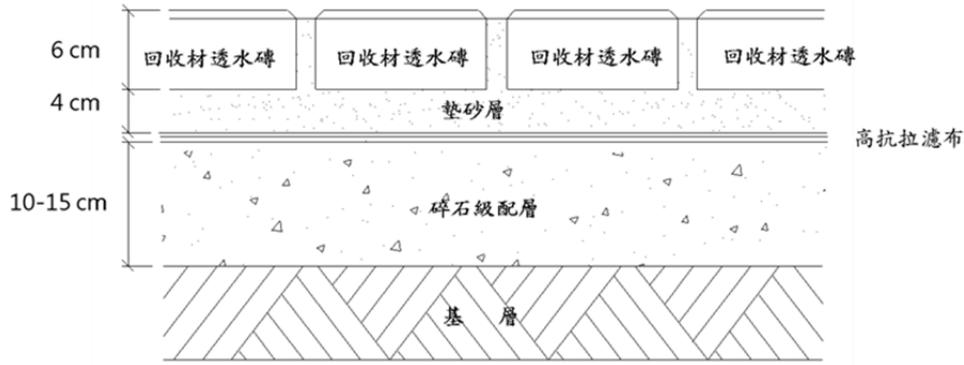


圖 4-12 回收材透水磚剖面圖

(資料來源：內政部建築研究所與本研究整理)

4. 透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年四月二十九日星期二

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：70 小時前

本試驗量測透水鋪面及回填層之水力傳導度 k，以下為國立臺北科技大學設計館前回收材透水磚之水力傳導度試驗數據圖表。

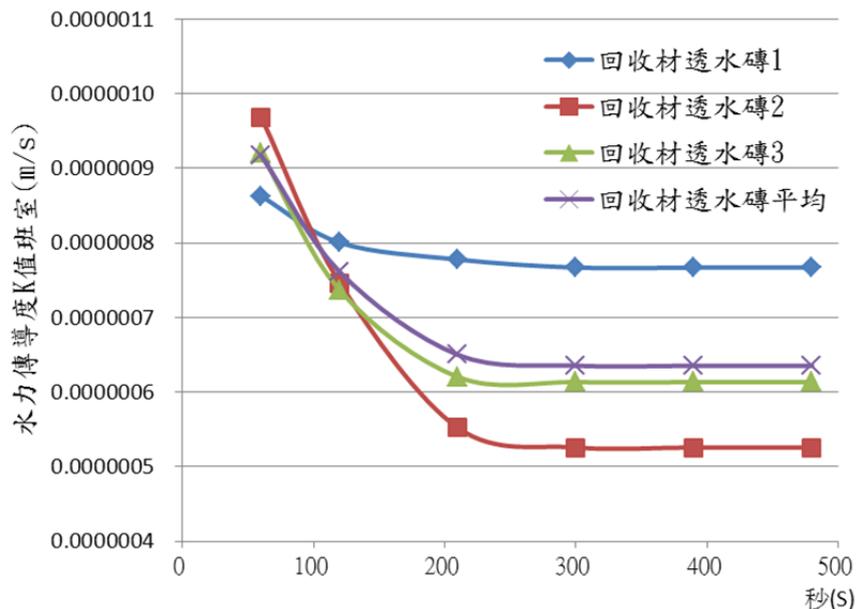


圖 4-13 國立臺北科技大學設計館前回收材透水磚之水力傳導度

(資料來源：本研究整理)

經量測及計算後，可知該回收材透水磚之終端水力傳導 k 值接近 $6.35 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ ，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 $1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 比較，遠低於規範標準，其原因應為該透水磚強調材料回收再利用為主要功能，而透水性為其次要功能。

肆、植草磚

本計畫至民國一〇三年六月，針對回收材透水磚進行現地試驗，已試驗地點為國立臺北科技大學正門、土木館後停車場。

一、國立臺北科技大學正門停車場

1.地點

國立臺北科技大學正門停車場位於國立臺北科技大學校本部，鄰近忠孝東路。正門停車場植草磚為教職員停車專用。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。

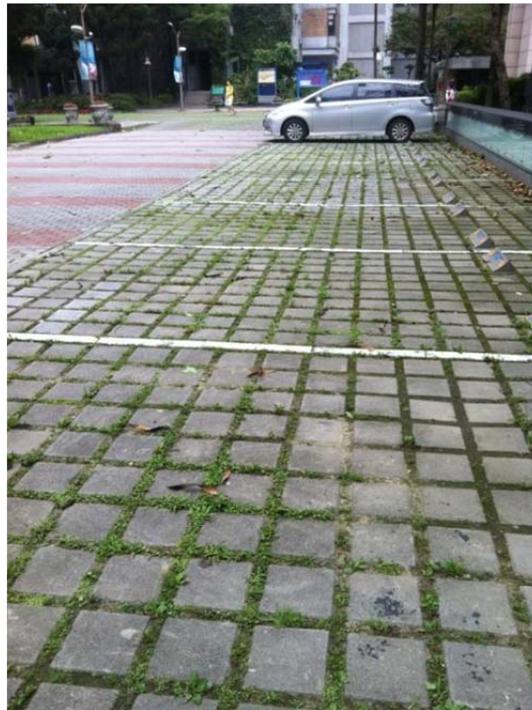


圖 4-14 國立臺北科技大學正門停車場植草磚

(資料來源：本研究整理)

2.施作年份

國立臺北科技大學正門停車場植草磚為民國九十二年設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3.鋪面介紹

本區植草磚以非連續性拼接塊狀鋪面，磚面本身無透水性，其鋪面透水能力來自於磚面所預鑄的孔隙，孔隙中可填入透水性良好的砂土，並直接提供植被生長的环境，使人車行走上面不至於因輾壓而破壞。鋪面下方則以透水性良好的整平砂層與級配礫石層為主。本植草磚透水鋪面施工剖面圖如圖 4-3 所示，鋪面層約 8 公分，墊沙層 4 公分，級配層約 20 公分。

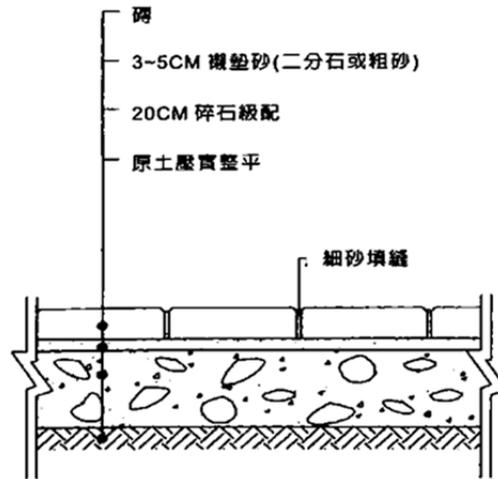


圖 4-15 植草磚剖面圖

(資料來源：內政部建築研究所與本研究整理)

4.透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年四月二十九日星期二

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：70 小時前

本試驗量測透水鋪面及回填層之水力傳導度 k ，以下為國立臺北科技大學正門停車場植草磚之水力傳導度試驗數據圖表。

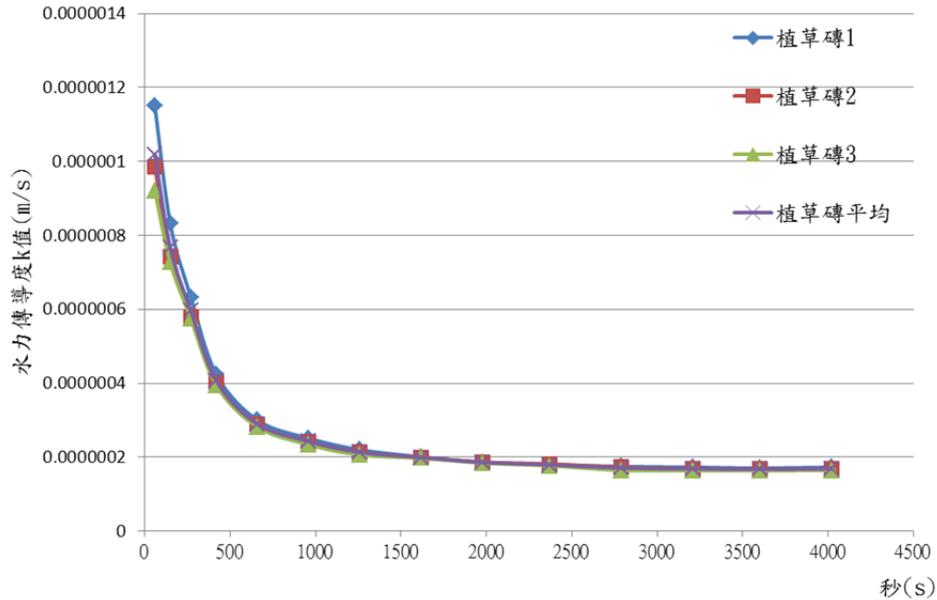


圖 4-16 國立臺北科技大學正門停車場植草磚之水力傳導度

(資料來源：本研究整理)

經量測及計算後，可知該植草磚之終端水力傳導 k 值接近 $1.68 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ ，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 $1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 比較，遠低於規範標準，其原因應為：

1. 施工完成時，回填土壤選擇錯誤，應選擇粒徑較大之資材，而非黏土等粒徑較小資材。
2. 長期受重型車輛行駛，造成下方土壤及回填層之壓密，降低水力傳導能力。

二、土木館後停車場

1. 地點

國立臺北科技大學土木館後停車場位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路一段側門。土木館後停車場植草磚為教職員停車專用。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。



圖 4-17 國立臺北科技大學土木館後停車場植草磚

(資料來源：本研究整理)

2. 施作年份

國立臺北科技大學正門停車場植草磚為民國九十二年設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3. 鋪面介紹

本區植草磚與前項相同。

4. 透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年五月十四日星期三

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：45 小時前

經量測及計算後，發現該植草磚已完全不具透水功能，終端水力傳導 k 值接近 0 (m/s)，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 1.84×10^{-5} (m/s) 比較，遠低於規範標準，其原因應為：

1. 施工完成時，回填土壤選擇錯誤，應選擇粒徑較大之資材，而非黏土等粒徑較小資材。
2. 長期受重型車輛行駛，造成下方土壤及回填層之壓密，降低水力傳導能力。

伍、透水瀝青

本計畫至民國一〇三年六月，針對透水瀝青進行現地試驗，已試驗地點為土木館後停車場。

一、土木館後停車場

1.地點

國立臺北科技大學土木館後停車場位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路一段側門。土木館後停車場透水瀝青為教職員停車專用。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。



圖 4-18 國立臺北科技大學土木館後停車場透水瀝青
(資料來源：本研究整理)

2.施作年份

國立臺北科技大學土木館後停車場透水瀝青為民國九十二年設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3.鋪面介紹

本區透水瀝青相較於傳統性瀝青具有高孔隙之排水材料，藉由調整級配使粗粒料使其空隙率提高至 20%左右，以使降於鋪面上的水可迅速向下滲透至碎石層儲水，並且提供雨水持

續入滲至路基土壤。本透水瀝青透水鋪面施工剖面圖如圖 4-4 所示，鋪面層約 10 公分，級配層約 25 公分。

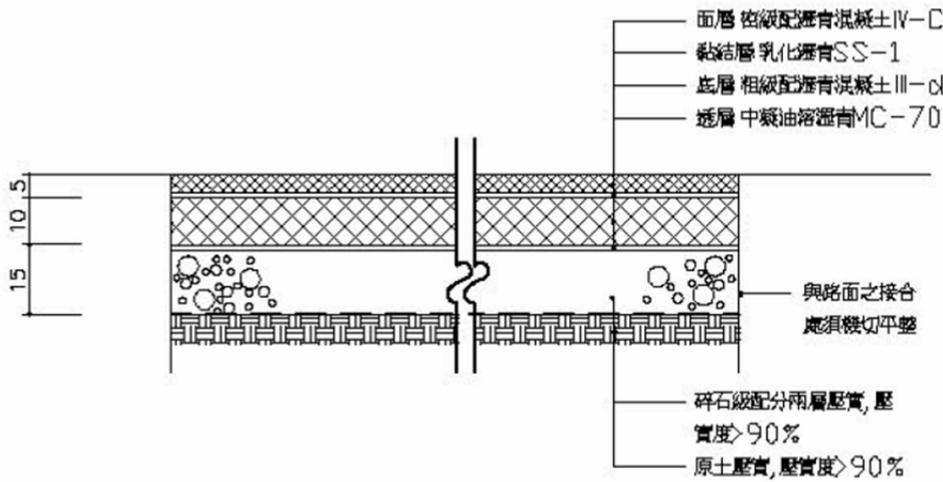


圖 4-19 透水瀝青剖面圖

(資料來源：內政部建築研究所與本研究整理)

4. 透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年五月十四日星期三

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：45 小時前

經量測及計算後，發現該透水瀝青已完全不具透水功能，終端水力傳導 k 值接近 0 (m/s)，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 1.84×10^{-5} (m/s) 比較，遠低於規範標準，其原因應為長期受塵埃堵塞及重型車輛行駛，造成孔洞填滿無法透水及下方土壤及回填層之壓密，降低水力傳導能力。

陸、JW 工法

本計畫至民國一〇三年六月，針對回收材透水磚進行現地試驗，已試驗地點為材資館旁人行道。

一、材資館旁人行道

1. 地點

國立臺北科技大學材資館旁人行道位於國立臺北科技大學校本部，鄰近臺北市新生南路

一段側門。材資館旁人行道透水瀝青為教職員停車專用。透水試驗施做地點如圖 4-4 所示。

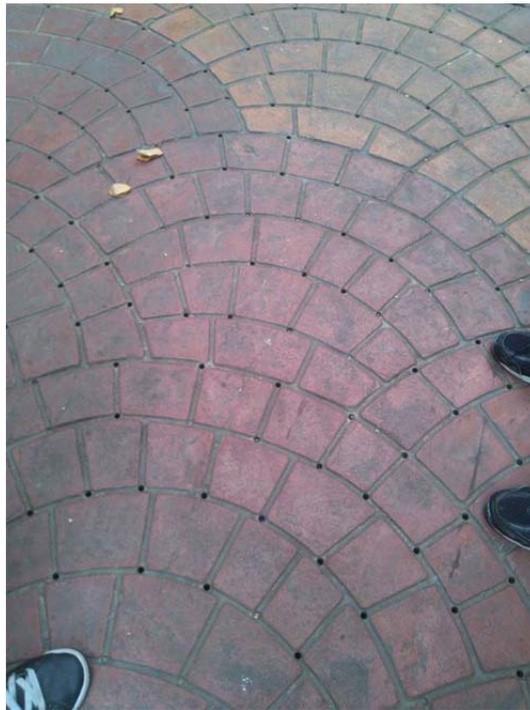


圖 4-20 國立臺北科技大學材資館旁人行道 JW 工法

(資料來源：本研究整理)

2. 施作年份

國立臺北科技大學材資館旁人行道 JW 工法為民國九十二年設置之透水鋪面。設置完成至今約十一年。

3. 鋪面介紹

本區 JW 工法於鋪設時使用級配層先鋪設一層「副集水透水層」，再於上方使用較大之卵石或粗砂層鋪設「主水流空調層」，並埋設單元架構的「導水管組合」，隨即灌注細料混凝土，並在水泥未凝結前利用硬化色料塗灑於混凝土上，使其色彩豐富。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；因此雨水可經由導水溝進入其貯蓄層入滲至土壤中達到其透水成效。本 JW 工法透水鋪面施工剖面圖如圖 4-5 所示，鋪面層約 10 公分，礫石層約 12 公分。

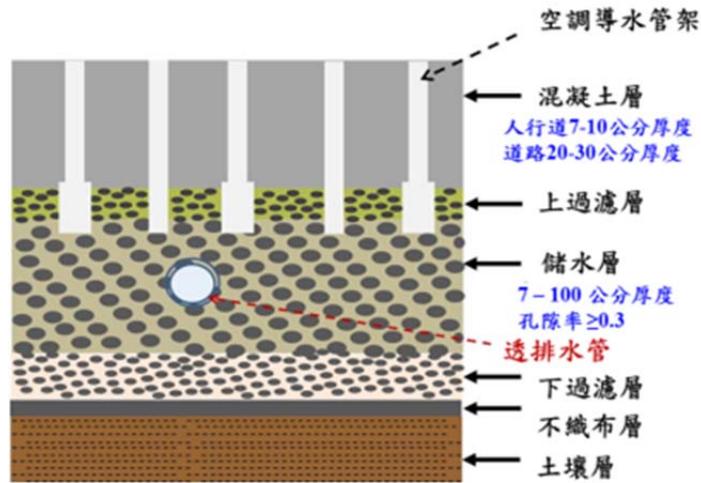


圖 4-21 JW 工法剖面圖

(資料來源：內政部建築研究所與本研究整理)

4. 透水試驗

以下分別依據試驗之日期、天氣、透水試驗數據圖表及終端水力傳導 k 值進行介紹。

試驗日期：民國一〇三年五月一日星期四

試驗天氣：晴時多雲

臨前降雨：45 小時前

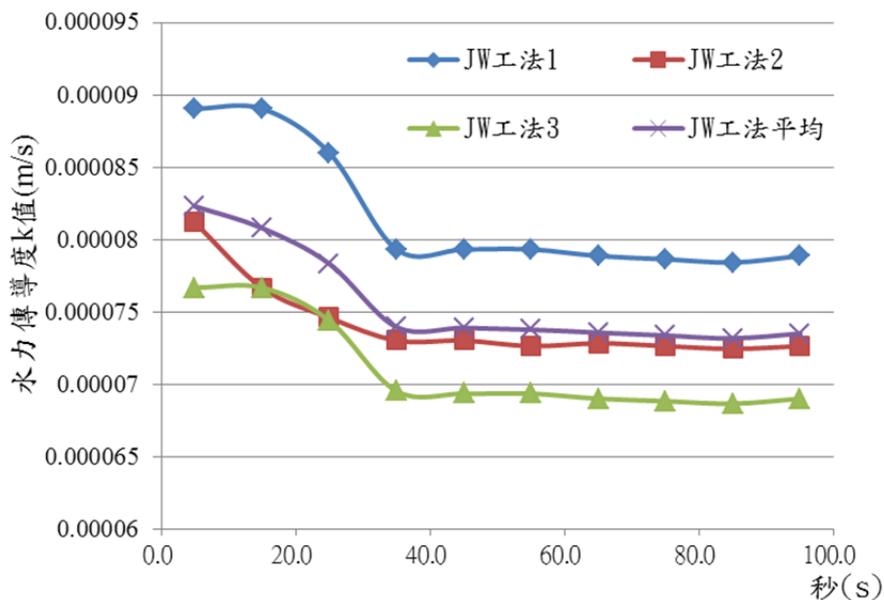


圖 4-22 國立臺北科技大學材資館旁人行道 JW 工法之水力傳導度

(資料來源：本研究整理)

經量測及計算後，發現該 JW 工法之水力傳導與其維護保養有密切關係。若 JW 透水透氣管遭堵塞，則完全不具透水功能。該施作地點之 JW 工法鋪面，定期派人清理透水透氣孔

洞，因此仍有未受堵塞之透水透氣孔洞，有良好的透水功能，其終端水力傳導 k 值接近 7.35×10^{-5} (m/s)，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 約為 1.84×10^{-5} (m/s) 比較，遠高於規範標準。

第三節 現況評估分析

本節整理現況調查結過，分類與統計各現堪調查表表資料，提出現有透水鋪面現地透水評估。

壹、透水鋪面水力傳導 K 值

本計劃目前調查之透水鋪面水力傳導 K 值與其滲透時間之變化，於本章第二節詳細分項說明。各透水鋪面水力傳導 K 值之終端值如下表所示。

表 4-4 水力傳導度終端值整理

透水鋪面項目	施作年份 (民國)	水力傳導 K 值之終端值 (m/s)
北科大土木館正門人行道透水磚	92	2.19×10^{-5}
北科大土木館側門車道之透水磚	92	7.52×10^{-6}
北科大新生側門孔洞邊透水磚	102	5.90×10^{-5}
北科大設計館前回收材透水磚	92	6.35×10^{-7}
北科大正門停車場植草磚	92	1.68×10^{-7}
北科大土木館後停車場植草磚	92	0
北科大土木館後停車場透水瀝青	92	0
北科大材資館旁人行道 JW 工法	92	7.35×10^{-5}

(資料來源：本研究整理)

各透水鋪面水力傳導 K 值之終端值，北科大設計館前回收材透水磚、北科大正門停車場植草磚透水率過低，及北科大土木館後停車場植草磚、北科大土木館後停車場透水瀝青已無透水能力。其餘：北科大土木館正門人行道透水磚、北科大土木館側門車道之透水磚、北科大新生側門孔洞邊透水磚及北科大材資館旁人行道 JW 工法，與《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 k 值 1.84×10^{-5} (m/s) 比較如下圖。

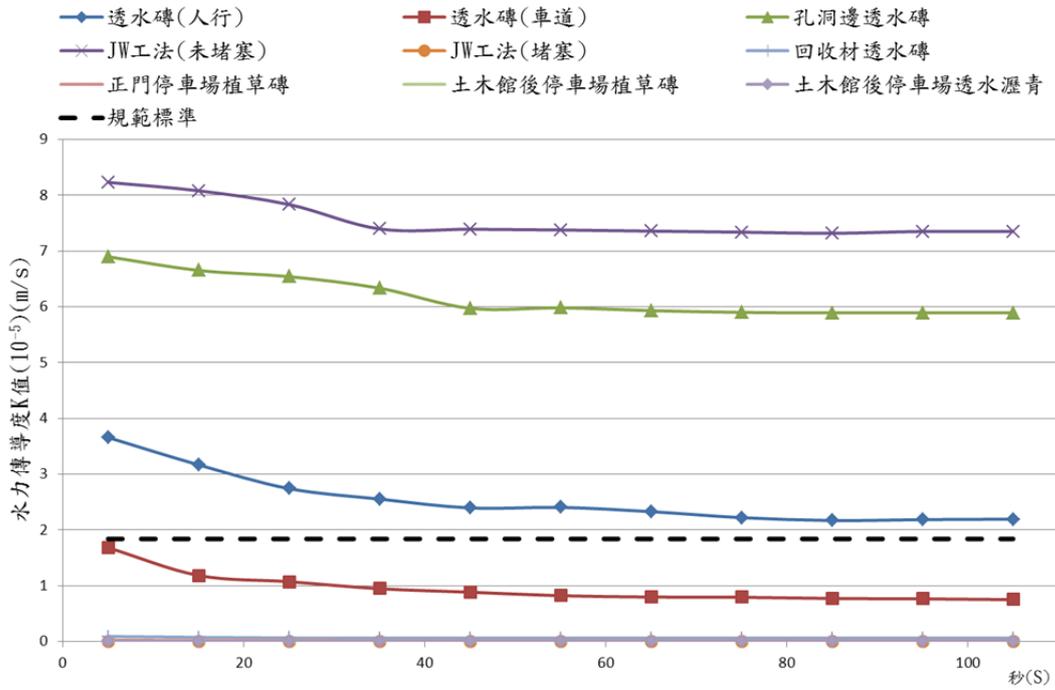


圖 4-23 各透水鋪面與完工標準概略值比較

(資料來源：本研究整理)

由上圖可清楚的看見，北科大土木館正門人行道透水磚、北科大新生側門孔洞邊透水磚及北科大材資館旁人行道 JW 工法，均高於完工標準概略值 $1.84 \times 10^{-5} (m/s)$ ，甚至孔洞邊透水磚及 JW 工法高出許多。而大土木館側門車道之透水磚因車行壓密，其水力傳導低於完工標準概略值。

貳、問題討論與評估

本計畫經透水鋪面現場勘查與進行透水試驗後，將現有透水鋪面之問題歸納為三大方面：

- 一、透水鋪面項目原透水能力
- 二、施工方式與品質
- 三、使用型態與維護保養

一、透水鋪面項目原透水能力

透水鋪面項目利用其材料配比設計，使人造地面構造達成一定程度之透水能力。若為塊狀透水鋪面，如：如連鎖磚、石塊、水泥塊、磁磚塊、木塊、高密度聚乙烯格框等硬質材料以乾砌方式拼成。其透水性能主要由表面材的乾砌間隙達成。若為整體型透水鋪面，如透水

性瀝青、透水性混凝土、多孔性混凝土版構造或透水性樹脂混合天然石砂粒等。其透水性能主要由表層材料本身孔隙來達成。而 JW 工法則是利用通氣導管塑膠框架上打上混凝土的高承載結構型透水鋪面，其表層綿密的通氣管連通充滿粗骨材的基層空隙空間，具有絕佳的透氣、透水、保水與蓄洪功能。

因此，透水鋪面項目原透水能力實為重要，若透水能力未達標準，則該項目不宜稱為透水鋪面。本計畫於現堪透水試驗中，北科大設計館前回收材透水磚之終端水力傳導 k 值接近 $6.35 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ ，遠低於規範標準《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 $k=1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ 。其原因應為該透水磚強調材料回收再利用為主要功能，而透水性為其次要功能。則該鋪面不宜稱為透水鋪面。

二、施工方式與品質

除透水鋪面本身透水能力之外，施工期間之施工方式與品質為日後透水能力之關鍵。其施工方式與品質之重要關鍵項目則依不同項目，塊狀透水鋪面：斷面高程、鋪設級配、鋪設襯墊砂、鋪設塊狀透水鋪面及填充填縫砂；整體型透水鋪面：路基層、過濾層、基層及面層。

塊狀透水鋪面斷面高層需注意橫坡度應介於百分之一點五至百分之二，縱坡度應小於百分之八。鋪設級配依技術規範需注意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，而此項規範對透水能力有極大影響，需重新討論技術規範該項目之合適性，本計畫於第三章及第五章討論。鋪設襯墊砂需注意壓實前厚度約為五公分，震動壓密後約為三公分。鋪設塊狀透水鋪面層需注意磚縫約為三毫米，鋪設完成之地磚，應由側面敲實，唯不得移動襯墊砂。

整體型透水鋪面路基層需注意表面依規定之縱、橫斷面形狀，以人工或小型推土機整，對於不易滲透的路基可用垂直排水孔，內填砂以助滲透或以地下排水管收集水或溢滿滲透水並導至排水系統、滯洪池或過濾池。過濾層需注意不可混入路基土，與路基之間可以土工織物間隔，並且滾壓時應注意避免破壞路基土壤。基層需注意每層攤鋪厚度不得超過二十公分，超過二十公分時需分層攤鋪，每層攤鋪之後應即進行滾壓，俟滾壓確實之後再進行下一層攤鋪及滾壓，而此項規範對透水能力有極大影響，需重新討論技術規範該項目之合適性，本計畫於第三章及第五章討論。面層基本上與一般瀝青及混凝土鋪面施工方式相同。

本計畫於現堪透水試驗中發現，北科大正門停車場植草磚及北科大土木館後停車場植草磚之之透水性不佳，北科大正門停車場植草磚終端水力傳導 k 值接近 $1.68 \times 10^{-7}(\text{m/s})$ ，遠低於規範標準《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 $k=1.84 \times 10^{-5}(\text{m/s})$ ，北科

大土木館後停車場植草磚則已完全無法透水，其原因應為施工時，回填土壤選擇錯誤，應選擇粒徑較大之資材，而非黏土等粒徑較小資材。

三、使用型態與維護保養

除透水鋪面本身透水能力良好及施工方式及品質正確外，透水鋪面之使用型態與維護保養亦為其透水能力之關鍵。

本計畫於現堪透水試驗中發現，北科大土木館側門車道之透水磚端水力傳導 k 值接近 7.52×10^{-6} (m/s)，略低於規範標準《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 $k=1.84 \times 10^{-5}$ (m/s)；北科大正門停車場植草磚終端水力傳導 k 值接近 1.68×10^{-7} (m/s)，遠低於規範標準《公共工程施工綱要規範》完工檢測項目滲透性水力傳導度 $k=1.84 \times 10^{-5}$ (m/s)，北科大土木館後停車場植草磚則已完全無法透水。其皆有可能因長期受重型車輛行駛，造成下方土壤及回填層之壓密，降低水力傳導能力。

另外，發現該 JW 工法之水力傳導與其維護保養有密切關係。若 JW 透水透氣管遭堵塞，則完全不具透水功能，如下圖所示。若未受堵塞，則有良好的透水功能。

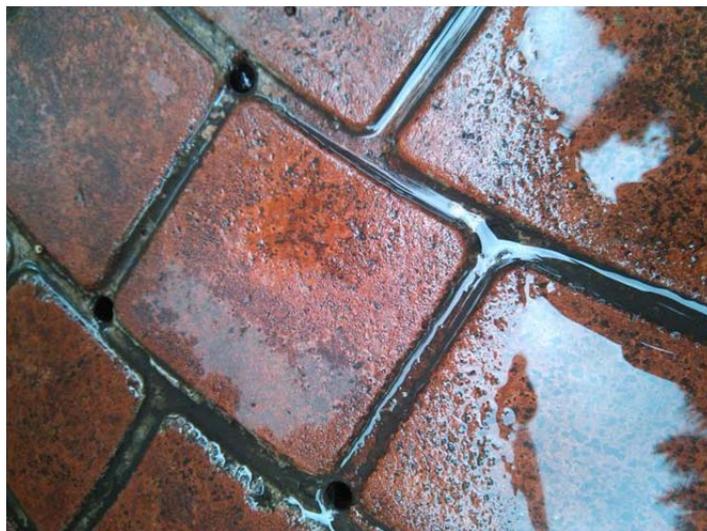


圖 4-24 JW 工法孔洞堵塞無法透水

(資料來源：本研究整理)

第五章 透水鋪面設計規劃

所謂「透水性鋪面」即指自鋪面面層至底層皆具有良好之透水性；當降雨發生時，可使雨水迅速入滲至下方底層蓄積且以自然方式入滲基層土壤；其面層採用孔隙率高且抗壓強度足夠之材料，底層則以高透水性之級配骨材為主。

本章分別針對現行規劃及施工方式進行探討，並提出：

- 透水鋪面設計規劃
- 路基層土壤透水施工改良檢討
- 施工檢測方式檢討

以下分節說明。

第一節 現行規劃及施工方式

本節參考《建築基地保水設計技術規範》第六項-透水鋪面相關規定及《公共工程施工綱要規範》(2013)第 02794 章，敘述其法規內容並加以統整，分為規劃施工方法以及檢測方法兩大項目。

壹、規劃施工方法

本研究整合各種鋪面型式，簡單以圖表表示，如需詳細規範、品質要求及施工方式，可參考《建築基地保水設計技術規範》第六項-透水鋪面相關規定及《公共工程施工綱要規範》(2013)第 02794 章。

一、鋪面表層材料規定

1. 塊狀或鏤空鋪面

為塊狀硬質材料所構成，如連鎖磚、石塊、水泥塊、磁磚塊、木塊、高密度聚乙烯格框等硬質材料以乾砌方式拼成。其透水性能主要由表面材的乾砌間隙達成。每一塊實體塊材表層鋪面面積必須在零點二五平方公尺以下(有孔洞的植草磚不在此限)，基層本身可依孔隙率零點零五與體積計算其保水量，但基層厚度以二十五公分為上限。若為高壓混凝土連鎖磚，則品質要求需符合 CNS13295(A2255)之規定，未定材料由中央度量衡主管機關定其標準，以確保其抗壓強度及吸水率符合規定。

本研究整理各種塊狀或鏤空鋪面表層品質要求如下表。

表 5-1 連鎖磚品質要求

項目	規範值	試驗方法
外觀、尺度、許可差	外觀不得有影響強度及特性之裂紋。尺度依契約圖說規定辦理。長度及寬度許可差應為標示尺度之±2mm，厚度許可差應為標示厚度之±3mm。	CNS 13295 A2255
抗壓強度 (kgf/cm ²)	平均值應在 450 以上，且不得有任一試樣測試值低於 400 者。	
抗壓強度吸水率	平均值應在 7.0%以下，且不得有任一試樣測定值超過 9.0%者。	
耐磨性	每 50cm ² 不得超過 15cm ³ ，且厚度磨耗平均值不超過 3mm。	
襯墊砂層：須為質地堅硬、潔淨、乾燥之砂，粒徑 2-3 mm。 單元高壓磚厚度需大於 6cm。		

(資料來源：建築基地保水設計技術規範及本研究整理)

表 5-2 植草磚品質要求

項目	規範值	試驗方法
尺度	最大尺寸 610mm 長，600mm 寬，最少 80mm 厚，格子洞的間距最少 25mm。	ASTM C 1319-95
抗壓強度 (kgf/cm ²)	外型為中空狀之植草磚平均值 210 以上。外型無中空狀之植草磚平均值 350 以上。停車場周邊為高壓界石平均值 350 以上。	CNS 13295
最大吸水力不能超過 160kg/m ³ ，植草磚的耐用度要依照植草磚的厚度和吸水力經過最少 3 年的測試。 襯墊砂層：須為質地堅硬、潔淨、乾燥之砂，粒徑 2-3 mm。		

(資料來源：建築基地保水設計技術規範及本研究整理)

表 5-3 透水磚品質要求

項目	規範值	試驗方法
透水係數 (cm/sec)	1×10 ⁻² 以上	CNS 14995
抗壓強度 (kgf/cm ²)	280 以上	CNS 13295
抗彎強度 (kgf)	1200 以上	CNS 13295
鋪面孔隙率 (%)	15 以上	CNS 382
襯墊砂層：須為質地堅硬、潔淨、乾燥之砂，粒徑 2-3 mm。 單元透水磚厚度需大於 6cm。		

(資料來源：建築基地保水設計技術規範及本研究整理)

2. 整體型透水鋪面

為整體成型之透水面狀材料所構成，如透水性瀝青、透水性混凝土、多孔性混凝土版構造或透水性樹脂混合天然石砂粒等。其透水性能主要由表層材料本身孔隙來達成。整體鋪面之滲透係數(K)需大於 10-5m/s，申請文件須檢附材料之試驗結果，或依地工織物正向透水率

試驗 CNS13298(A3337)內之定水頭試驗量測以證明。

本研究整理各種整體型透水鋪面表層品質要求如下表。

表 5-4 透水瀝青品質要求

項目	規範值
試體上下端個夯打次數	50
穩定值 (kgf)	350
流度值 (0.1mm)	20~40
孔隙率 (%)	15~25
動態穩定值 (次/mm)	1500 以上
滯留強度指數 (TSR) (%)	80(75)以上
肯塔堡 (cantabria) 飛散試驗 (%)	20 以下
垂流試驗 (%) (AASHTO T305)	0.3 以下
滲透係數 (cm/sec)	0.01 以上

(資料來源：建築基地保水設計技術規範及本研究整理)

表 5-5 JW 工法品質要求

項目	規範值
波特蘭水泥混凝土	3000psi 以上，骨材最大粒徑 10mm 以下。
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 450kg/m ² 。
養護劑	0.2kg/m ²
導水管架構	PP 回收材
地磚原料抗壓強度	450kg/m ² 以上。
防裂纖維絲	加纖維絲每 m ³ 混凝土 1 公斤。

(資料來源：建築基地保水設計技術規範及本研究整理)

二、鋪面級配層材料規定

級配層材料規定和厚度與鋪面設置地點有極大的關連。供步行、自行車之鋪面，其級配層厚度應為十公分以上，若供輕型車輛行駛及停放之鋪面，其級配層厚度應為十五公分以上，若有較大載重之路面，需另外提出解決透水鋪面承載之方案。

墊砂層應為堅硬、潔淨、乾燥之細砂，且不含黏土、植物、石子或其它雜質。規格應為零點三毫米至一點二毫米，厚度約為三至六公分。填縫砂之規格亦同。

三、施工方法

1. 塊狀或鏤空鋪面

必須為乾砌施工做成，並依下施工規範進行：

(1) 依鋪面使用類型規劃設計斷面高程

透水性塊狀鋪面應用於中、低承載量路面，其中碎石層因使用需求不同而應有不同之斷

面高程，以提供足夠之承载力。為使鋪面可具有一定之保水滲透能力，橫坡度應介於百分之一點五至百分之二，縱坡度應小於百分之八。

(2)放樣、整平、鋪設級配

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。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)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。
- b. 設置水平基準線後整平夯實，整平後不得踐踏。
- c. 襯墊砂層壓實前厚度約為五公分，震動壓密後約為三公分。

(4)鋪設塊狀透水鋪面

- a. 定基準線，緣石與基準線間之縫以砂漿填實。
- b. 按設計圖說依次由緣石邊線鋪設，磚縫約為三毫米，並應同時考量完成後之表面洩水坡度及排水系統。
- c. 鋪設完成之地磚，應由側面敲實，唯不得移動襯墊砂。
- d. 鋪設完成後以震動機壓實完成之鋪面，震動機之震壓方向應一致，施震面不得傾斜，並應重複施作。

(5)填充填縫砂

將填縫砂鋪撒於鋪面並掃入磚縫中，直至鋪面磚砌合穩固。

本研究整理各種塊狀或鏤空鋪面施工斷面圖如下圖。

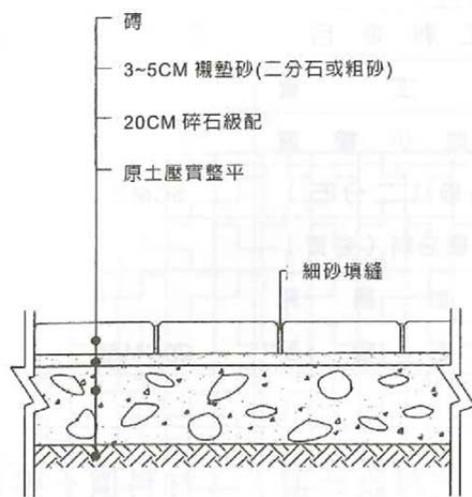


圖 5-1 連鎖磚施工斷面圖

(資料來源：周祖珍，2013)

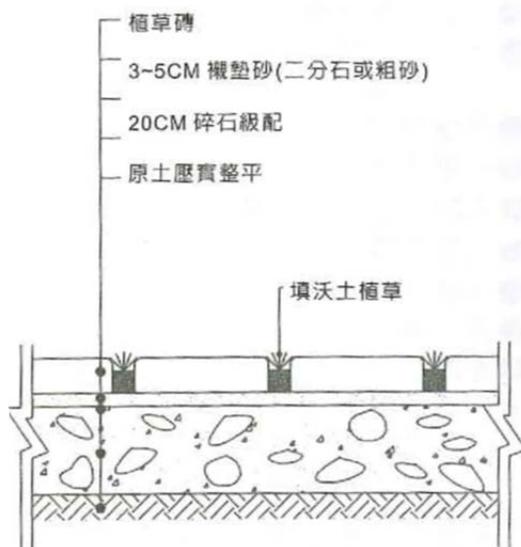


圖 5-2 植草磚施工斷面圖

(資料來源：周祖珍，2013)



圖 5-3 透水磚施工斷面圖

(資料來源：周祖珍，2013)

2. 整體型透水鋪面

依下施工規範進行：

(1) 路基層：

- a. 表面依規定之縱、橫斷面形狀，以人工或小型推土機整平。
- b. 降雨時應覆蓋掩覆雨遮以避免雨水破壞路基層。
- c. 對於不易滲透的路基可用垂直排水孔，內填砂以助滲透或以地下排水管收集水或溢滿滲透水並導至排水系統、滯洪池或過濾池。

(2) 過濾層：

- a. 攤鋪厚度要求均勻。

- b.不可混入路基土，與路基之間可以土工織物間隔，並應攤鋪平坦或以推土機滾壓攤平。
- c.滾壓時應注意避免破壞路基土壤。

(3)基層：為儲水層，施工注意如下：

- a.每層攤鋪厚度不得超過二十公分，超過二十公分時需分層攤鋪。
- b.每層攤鋪之後應即進行滾壓，俟滾壓確實之後再進行下一層攤鋪及滾壓。
- c.基、底層材料如採用碎石級配者則與塊狀鋪面之基、底層要求相同；如採用透水性瀝青處理過的混合料時，則需依面層之施工方式要求。

(4)面層：

- a.透水性瀝青：與一般熱拌性瀝青混合料之施工方式相同。
- b.多孔性混凝土：與一般 PC 鋪設之施工方式相同，抗壓強度依使用性質要求而有不同，但至少應大於 200psi。
- c.其餘面層材料之施工方式另需檢附相關施工流程及圖說。
- d.採用整體型透水鋪面施工者，應證明其滲透係數(K)需大於 10-5m/s。

本研究整理各種整體型透水鋪面施工斷面圖如下圖。

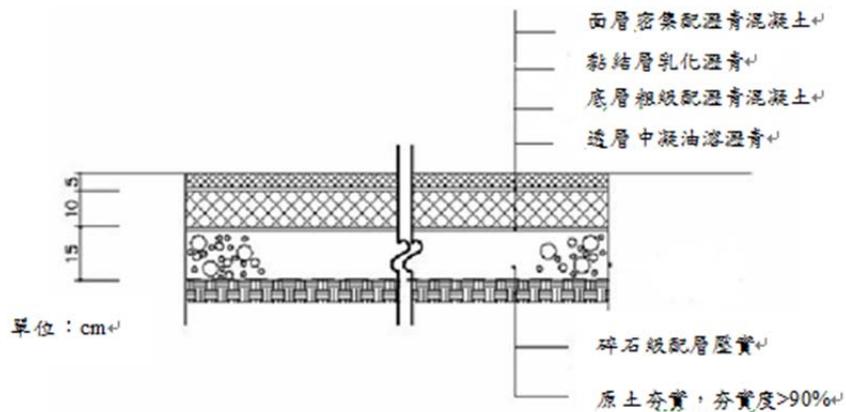


圖 5-4 透水瀝青施工斷面圖

(資料來源：內政部建築研究所，2004)

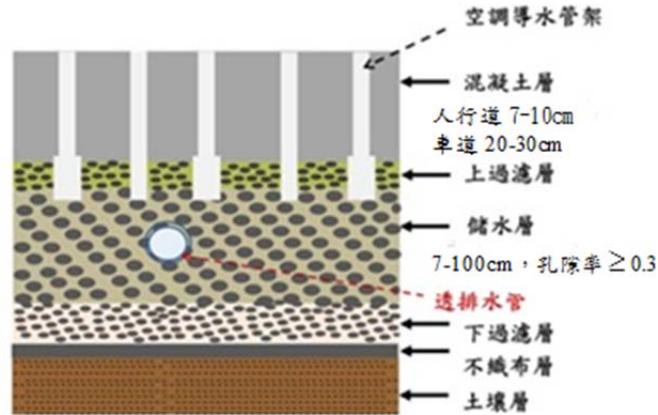


圖 5-5 JW 工法施工斷面圖

(資料來源：周祖珍，2013)

貳、檢測方法

檢測方法根據《公共工程施工綱要規範》(2013)第 02794 章 3-2 節。

透水性鋪面施工前、中、後針對各層材料品質、鋪設厚度及透水性等均須加以檢測，以求符合規定。

一、施工前對所用材料須就級配、強度及滲透係數等加以檢測是否符合材料規定。

二、施工中及完工後須進行厚度、級配、壓實度、溫度及滲透係數等項目進行檢測，有關其頻率及標準之要求範圍參考表 5.6。

三、管式透水鋪面之檢測方式，依第 03050 章「混凝土基本材料及施工一般要求」及第 03360 章「混凝土表面處理」等相關規定辦理。

表 5-6 透水性鋪面檢測表

工 種	項 目	次 數	標準要求範圍	
人行道 瀝青含量	路基	-	-	
	過濾層	厚度	隨時	
		級配(0.075mm 通過量)	隨時	6%以下
	底層	高程	每隔 20m 一處	±5mm
		厚度	每隔 20m 一處	-4.5mm
	面層	厚度	每隔 20m 一處	-0.9mm
		溫度	隨時	±12%
級配(2.5mm 通過量)		1~2 次/日	±5%	
級配(0.075mm 通過量)		1~2 次/日	±5%	
瀝青含量		1~2 次/日	±9%	
壓實度		每隔 1000m ² 1~2 次	90%以上	
外觀	隨時			
滲透性(工地滲透試驗)	每隔 1000m ² 1~2 次	400ml/15sec 以上		
停車場、廣場及其他鋪面	路基	符合標準的滾壓	隨時	
	過濾層	厚度	隨時	
		級配(0.075mm 通過量)	隨時	6%以下
	基層	高程	每隔 20m 一處	±5mm
		厚度	每隔 20m 一處	-4.5mm
		壓實度	隨時	93%以上
	底層	厚度	每隔 20m 一處	-3mm
		含水量	隨時	
		壓實度	每隔 1000m ² 1~2 次	93%以上
	層	透水性瀝青混合料	厚度	每隔 20m 一處
溫度			隨時	
級配(2.5mm 通過量)			每隔 1000m ² 1~2 次	±15%
級配(0.075mm 通過量)			每隔 1000m ² 1~2 次	±6%
瀝青含量			每隔 1000m ² 1~2 次	±1.2%
壓實度	每隔 1000m ² 1~2 次	93%以上		
面層	厚度	每隔 20, 一處	-0.9mm	
	溫度	隨時		
	級配(2.5mm 通過量)	1~2 日/次	±12%	
	級配(0.075mm 通過量)	1~2 日/次	±5%	
	瀝青含量	1~2 日/次	±9%	
	壓實度	每隔 1000m ² 1~2 次	94%以上	
外觀	隨時			
滲透性(工地透水試驗)	每隔 1000m ² 1~2 次	400ml/15sec 以上		

(資料來源：公共工程施工綱要規範，2013)

第二節 透水鋪面設計規劃

透水性鋪面強度低於傳統瀝青或水泥鋪面，因此適用於輕交通量及低承載之路面，如人行道、停車場、廣場等，除此之外，為考量透水成效，避免孔隙阻塞，鋪面應避免設於滲透係數低之土層(如黏土層)及裸露地有大量鬆散砂土等地區，如需設於上述地區，建議留設相關排水設施。透水鋪面設計規劃流程如下圖。

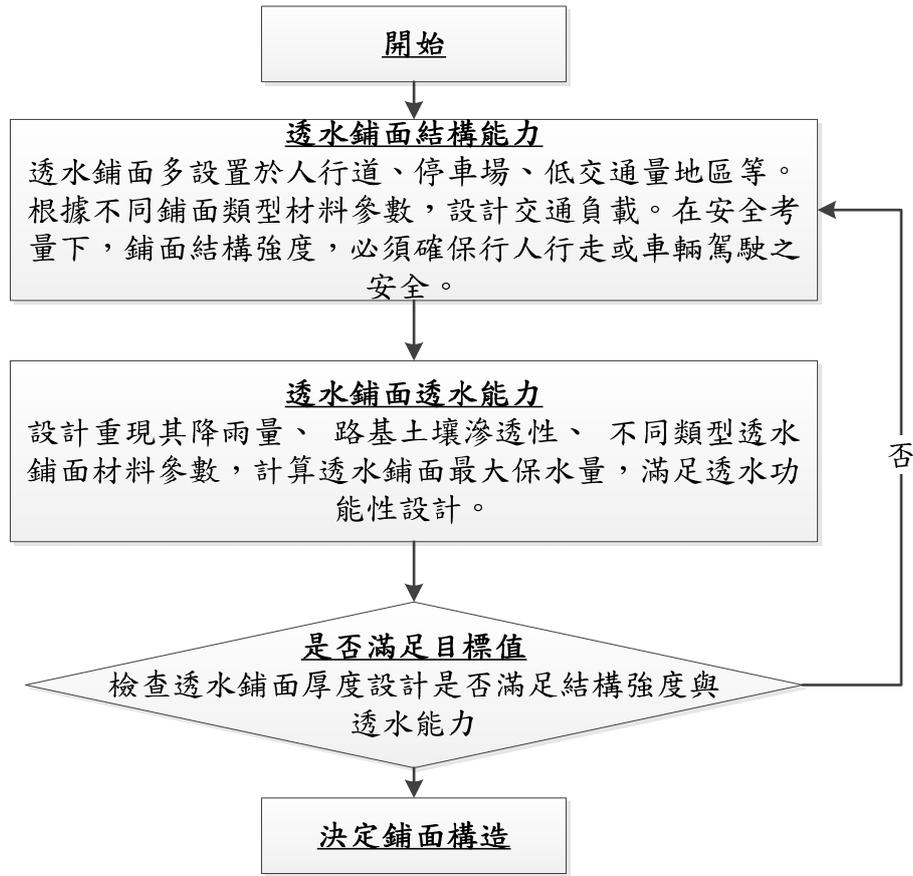


圖 5-6 透水鋪面設計規劃流程圖

(資料來源：本研究整理)

本研究根據透水鋪面使用情形探討交通負載設計；並根據透水鋪面能力，探討透水鋪面保水能力。使透水鋪面既能提供穩定安全的結構，亦能達成生態保水之機能。

壹、結構設計

透水鋪面多設置於，人行道、停車場低交通量車道等。根據不同使用方式、鋪面類型，基於安全要求，透水鋪面結構強度，必須確保行人行走或車輛駕駛之安全。

透水鋪面依其用途區分為車行道鋪面及人行道鋪面，車行道鋪面主要設計目標為車輛，考量車輛行駛於中低乘載之道路、停車場等，需考慮交通量及CBR值等條件，並以此計算承受交通荷重應有之鋪面厚度。人行道鋪面主要設計目標為行人，如步道、自行車道等，以鋪面面層不積水為主，提供行人行走安全之透水鋪面。

結構分析係以AASHTO鋪面設計法考量交通量之結構性設計厚度。其分析方法如下圖所示。