

建築基地保水貯集技術設計規範與
法制化之研究
子計畫一
「生態池」工法性能實驗解析

內政部建築研究所研究委託研究報告

092-301070000G1-008

建築基地保水貯集技術設計規範與
法制化之研究
子計畫一
「生態池」工法性能實驗解析

受委託者：台灣雨水利用協會

研究主持人：林教授憲德

協同主持人：林教授志棟

協同主持人：林助理教授子平

研究員：吳麗真

研究助理：謝佳融、何晨瑛

內政部建築研究所研究委託研究報告
中華民國九十二年十二月

ARCHITECTURE & BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Sub-project I: The Performance and
Experimental Analysis of Infiltration Pond

BY

Hsien-Te Lin

Jyh-Dong Lin

Tzu-Ping Lin

December 30, 2003

摘 要

關鍵詞：綠建築、基地保水指標、貯集滲透

一、研究緣起

每逢颱風季節，則提心吊膽於土石流災難與都市淹水。過去對於都市防洪的觀念，希望把自家的雨水盡速往鄰地排出，盡速將都市雨水排至河川大海。然而這種不考慮土地保水、滲透、貯集的治水對策，是很不生態的防洪方式。現今歐美最新的生態防洪對策，均規定建築及社區基地必須保有貯集雨水的功能，以更經濟、更生態的小型分散系統進行源頭分洪管制，達到軟性防洪的目的。

本子計畫之目的在於研擬「生態入滲池」之設計技術，此課題為綠建築「基地保水指標」中「雨水貯集利用」及「生態入滲池」等兩項有關「貯集滲透設計」技術。第一年度針對國外生態入滲池設計現況調查分析，本研究群過去在「都市生態貯留水循環技術之研究」中，已曾有廣範初步調查，今年將赴國外考察。另外本年度配合行政院水與綠建設，內政部建研所所執行之「綠色廳舍改善計畫」內建造一示範「生態入滲池」，作為本研究之實驗對象。

*國立成功大學建築系教授 **國立中央大學土木工程學系教授

二、研究方法及過程

「生態入滲池」的設計方法有許多不同方法，如路邊安全島綠地或住宅景觀入滲水池、大型建築物的景觀貯留入滲水池與校園暫時貯留滲操場。本年度之研究內容如下：

(一) 生態入滲池調查實驗研究

建立本土性氣候與地質條件之生態滲透池貯集滲透性能之研究，探討影響入滲之各種變因。

(二) 生態入滲池設置條件評估

分析台灣降雨資料模擬實際降雨情形，探討生態入滲池性能及生態入滲池之地質影響因素及選址原則，發展適於台灣之生態入滲池。

(三) 景觀化生態入滲池之研究

探討景觀結合生態入滲池設計手法，結合遊憩、景觀、生態保水等多重機能，增加土地使用的效益。

(四) 生態入滲池之軟性防洪對策研究

本計畫欲建立生態入滲池保水性能之本土化數據與設計技術準則，其保水設計手法，可美化環境，又能達到都市生態防洪的目的。

三、重要發現

(一) 生態入滲池手法形式彙整分析

彙整國內外各種形式手法的生態入滲池，作為未來設計案例參考。

(二) 建立本土基礎資料

以南部地區地質沙土為研究對象，本試驗場時測土壤飽和滲透係數 K 值為 $5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、降雨強度設定在 100 到 20mm/hr 之間模擬入滲試驗。

(三) 建立生態入滲池暨人工雨場模擬試驗場

建立降雨入滲模擬模型，短時間內收集各種降雨強度之實驗結果。本生態入滲池之貯留體積為 17.05m^3 ，實測之入滲速率為 $2.5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ ，當積水深度為 60 公分約在 8 小時 19 分鐘可以入滲完畢。

(四) 建立台灣本土性景觀生態入滲池設計準則

本研究計畫興建之生態入滲池設計結合景觀與廣場使用，可提供未來生態入滲池設計之參考範例。

四、主要建議事項

本研究以台南地質狀況和降雨特性作為試驗模擬的假設，未來應改變各種控制變因〈不同地質狀況、不同雨形設計...等〉進行模擬試驗研究，建立完整豐富本土生態入滲池設置參考依據與設計準則。

目 錄

第一章 緒論

第一節 研究計畫背景與目的.....	01
第二節 研究計畫內容.....	04
第三節 研究方法及進行步驟.....	07
第四節 研究架構.....	12

第二章 研究理論與方法建立

第一節 生態池手法形式.....	13
第二節 國外生態入滲池設計現況調查分析.....	31
第三節 生態池工法性能基礎理論.....	45
2-3.1 生態滲透池設址考量.....	45
2-3.2 生態入滲池滲透量設計推估.....	42

第三章 生態入滲池工法性能試驗解析

第一節 基礎調查.....	55
3-1.1 地質狀況.....	55
3-1.2 降雨強度推估.....	59
第二節 實驗設計.....	61
3-2.1 試驗場設計.....	61
3-2.2 生態入滲池興建說明.....	64
3-2.3 試驗設備.....	66
3-2.4 生態入滲池性能模擬解析.....	69
3-3.5 實驗步驟.....	74
3-3.6 生態入滲池性能數據解析.....	78

第四章 結論與建議

.....	83
-------	----

參考文獻.....	87
-----------	----

附錄.....	88
---------	----

圖目錄

圖 1-1 巨型化、集中化的防洪設施.....	02
圖 1-2 分散化的雨水貯集滲透池.....	02
圖 1-3 生態滲透水池示意圖.....	03
圖 1-4 路邊安全島綠地之生態入滲池.....	04
圖 1-5 住宅旁景觀入滲水池.....	05
圖 1-6 辦公建築景觀生態水池.....	05
圖 1-7 相當於生態滲透池的校園貯留滲透.....	05
圖 1-8 成功大學建築系人工溼地暨 雨水中水入滲實驗場地配置.....	07
圖 1-9 人工雨場設置圖.....	08
圖 1-10 人工雨場配.....	08
圖 1-11 雨量計.....	08
圖 1-12 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場.....	09
圖 1-13 成功大學建築系生態入滲池現況.....	11
圖 1-14 人工溼地景觀水池.....	11
圖 1-15 研究計畫內容架構圖.....	12
圖 2-1 滲透設施分類.....	13
圖 2-2 生態入滲池分類.....	14
圖 2-3 社區公園、學校建築裡的兒童遊戲場.....	16
圖 2-4 兒童遊戲場.....	16
圖 2-5 校園滲透設計.....	17
圖 2-6 操場溢流說明圖.....	17
圖 2-7 一般公園、商業建築下凹廣場.....	18
圖 2-8 台北某公園之水池廣場.....	18
圖 2-9 Skyline 廣場，Denver, ColorBdo ,US.....	19
圖 2-10 商業建築物廣場.....	20
圖 2-11 下凹式廣場.....	20

圖 2-12 廣場地面貯留滲透	20
圖 2-13 地下礫石貯留滲透	21
圖 2-14 公園花圃底下之地下滲透池	22
圖 2-15 地下滲透池溢流說明圖	22
圖 2-16 台北中山二號公園透水設計	23
圖 2-17 停車場貯留滲透	23
圖 2-18 停車場之貯留滲透設計	24
圖 2-19 利用透水面來自自然滲透	24
圖 2-20 停車場鋪面滲透設計	24
圖 2-21 生態滲透水池原理示意圖	24
圖 2-22 水池、庭院之貯留滲透設計	25
圖 2-23 人工地盤花園貯留	26
圖 2-24 人工地盤花園截留設計	27
圖 2-25 京濱遊水地管理中心屋頂花園	27
圖 2-26 停車場分隔島小型貯留滲透	28
圖 2-27 道路分隔島滲透示意圖	29
圖 2-28 道路分隔島	29
圖 2-29 人行道路、分隔島基底之短暫貯留滲透	29
圖 2-30 藥園台高校平面圖	32
圖 2-31 雨水排水系統示意圖	33
圖 2-32 運動場滲透設施	33
圖 2-33 運動場滲透設施剖面	33
圖 2-34 雨水滲透設施的效果	34
圖 2-35 滲透管溝	34
圖 2-36 運動場周圍水泥矮牆	34
圖 2-37 運動場周圍水泥矮牆	34
圖 2-38 雨水貯留設施的效果	35
圖 2-39 貯留水深的變化	35
圖 2-40 農場管理實習室	35

圖 2-41 運動場全貌.....	36
圖 2-42 滲透運動場.....	37
圖 2-43 換土，增加土壤滲透能力.....	37
圖 2-44 地下貯水槽孔.....	37
圖 2-45 水位觀測孔.....	37
圖 2-46 屋頂綠化.....	38
圖 2-47 屋頂綠化之效果.....	38
圖 2-48 停車場地下調整池.....	39
圖 2-49 透水鋪面停車場.....	39
圖 2-50 特殊透水與保水性能瀝青鋪面.....	40
圖 2-51 橫濱國際總合競技場.....	40
圖 2-52 鶴見川多目的遊水地洪水調節說明圖.....	41
圖 2-53 綠化廣場與風車.....	42
圖 2-54 透水鋪面試驗場.....	42
圖 2-55 生物多樣性試驗場.....	43
圖 2-56 居住環境館外觀.....	43
圖 2-57 屋頂綠化小生物棲地.....	43
圖 2-58 屋頂綠化試驗場.....	43
圖 2-59 水循環體驗模型全貌.....	44
圖 2-60 水循環體驗模型.....	44
圖 2-61 小規模地區之滲透設施調查與計畫流程.....	47
圖 2-62 現場調查流程.....	48
圖 2-63 垂直孔法.....	48
圖 2-64 雙統式入滲計法.....	49
圖 2-65 人工雨場設置圖 University of Western Sydney Nepea.....	50
圖 2-66 台灣年等降雨線圖.....	51
圖 3-1 土壤鑽探試驗報告表.....	55
圖 3-2 綜合型手持採樣土器(Hand auger).....	56
圖 3-3 組裝完成圖.....	56

圖 3-4 葛洛夫滲透儀	57
圖 3-5 讀取刻度、紀錄	58
圖 3-6 架設儀器於試驗現場	58
圖 3-7 調整水頭高度	58
圖 3-8 台南各月平均雨量	60
圖 3-9 組合式隔水板	61
圖 3-10 生態入滲池剖面圖	61
圖 3-11 人工雨場噴嘴配置說明	62
圖 3-12 人工降雨器支架平面圖	62
圖 3-13 試驗場平面配置圖	63
圖 3-14 成大建築系角落閒置空間	64
圖 3-15 〈左〉改造後圍牆內外可以共享水池景觀	64
圖 3-16 〈右〉改造後的人工溼地景觀水池	64
圖 3-17 成功大學建築系景觀化人工濕地處理校園污水與生態入滲池施作 情況.....	65
圖 3-18 〈左〉改造後景觀水池	65
圖 2-19 〈右〉改造前情況	65
圖 3-20 改造前建築系下凹廣場，平日作上課活動用。	65
圖 3-21 改造後廣場景況.....	65
圖 3-22 生態入滲池.....	65
圖 3-23 多功能生態入滲池	65
圖 3-24 未飽和土壤水分計探測桿埋入套管	66
圖 3-25 讀取土壤含水量主機	66
圖 3-26 探測土壤水分剖面	66
圖 3-27 資料傳輸系統圖	67
圖 3-28 綜合型手持採土器.....	67
圖 3-29 葛洛夫滲透儀.....	67
圖 3-30 人工降雨器配置	68
圖 3-31 生態入滲池平面、尺寸	69

圖 3-32 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場平面配置.....	70
圖 3-33 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場	70
圖 3-34 不同土地使用對入滲例的影響.....	72
圖 3-35 土壤剖面水分分布圖.....	73
圖 3-36 實驗流程	74
圖 3-37 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場平面配置.....	75
圖 3-38 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場	75
圖 3-39 人工降雨器	76
圖 3-40 雨量筒	76
圖 3-41 量測土壤水分	76
圖 3-42 未飽和土壤水分計主機、測桿	76
圖 3-43 水位計量測池底水位變化	76
圖 3-44 流量計量測溢流之水量	76
圖 3-45 水位逐時紀錄圖.....	79
圖 3-46 累積雨量-水位關係圖.....	79
圖 3-47 入滲速率變化圖.....	80
圖 3-48 停止進水後 水位—入滲速率逐實變化圖	80
圖 3-49 水位逐時變化圖.....	81
圖 3-50 水位—入滲速率變化圖	81
圖 3-51 停止進水後，入滲速率變化圖	82
圖 4-1 生態入滲池建議設計深 H 度與土壤滲透係數 k 對應圖	85

表目錄

表 2-1 土壤滲透係數 k 值	21
表 2-2 統一土壤分類與土壤滲透係數 k 值對照表.....	45
表 2-3 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和 年平均雨量表.....	53
表 3-1 鑽探地質資料	55
表 3-2 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H 係數和 年平均雨量表.....	60
表 3-3 生態入滲池試驗影響因子.....	69
表 3-4 台灣地區蒸發量統計	70
表 4-1 不同土質之生態滲透池建議設計形式	85
表 4-2 不同方式測的之土壤滲透係數 K 與積水時間之關係	86
表 4-3 以地質鑽探資料簡易推算土壤入滲係數 k 值	86

第一章 緒論

第一節 研究計畫背景與目的

最近台灣社會每逢颱風季節，即提心吊膽於土石流災難與都市淹水。1998 年以來賀伯、瑞伯、納莉颱風所引起的都市大淹水，無不令人怵目驚心。過去我們對於都市防洪的觀念，都希望把自家的雨水盡速往鄰地排出，並且認為政府必須設置足夠的公共排水設施，盡速把都市雨水排至河川大海。因此所有住家大樓都希望把自家基地墊高，或者設置緊急馬達以排除積水。這種「以鄰為豁」的想法，造成了都市公共排水設施莫大的負擔，每到大雨，永遠有低窪住家匯集眾人之雨水而淹水。

事實上這種不考慮土地保水、滲透、貯集的治水對策，是一種很不生態的防洪方式。我們常把水池埤塘填塞，把地面包覆不透水的水泥瀝青，讓大地透水與分洪的功能喪失，再耗費鉅資建設大型公共排水與抽水站來解決洪水之末端處理。這種巨型化、集中化的防洪設施常常伴隨很大的社會風險，例如 2001 年納莉颱風時台北市因抽水站失靈而慘遭大淹水，使地下鐵因淹水而停擺數個月。現在歐美最新的生態防洪對策，均規定建築及社區基地必須保有貯集雨水的功能，以更經濟、更生態的小型分散系統進行源頭分洪管制，而達到軟性防洪的目的（如圖 1-1~1-2）。其具體方法是在基地內廣設雨水貯集水

池，有些甚至作成兼顧美學的景觀花園水池，以便在大雨時貯集洪峰水量，而減少都市洪水發生。有些美國都市甚至規定公共建築物之屋頂、車庫屋頂、都市廣場必須設置雨水貯集池，在大雨時緊急貯存雨水，待雨後再慢慢釋出雨水。這種配合景觀、都市、建築基地的保水設計水法，就是以分散化、小型化、生態化來替代過去集中化、巨型化、水泥化的治水方式，不但能美化環境，又能達到都市生態防洪的目的。

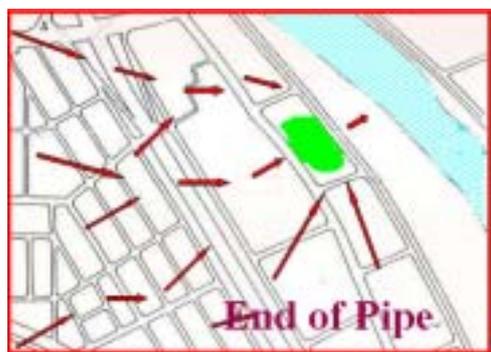


圖 1-1. 巨型化、集中化的防洪設施常伴隨極大的危險性



圖 1-2 分散化的雨水貯集滲透池是生態防洪的智慧

為了改善上述都市生態防洪的功能，本子計畫之目的乃在於研擬「生態入滲池」之設計技術與法制化課題，此課題為綠建築「基地保水指標」中「雨水貯集利用」及「生態入滲池」等兩項有關「貯集滲透設計」技術之一。所謂「生態滲透水池」是兼具庭園景觀與貯集滲透之雙重功能，其作法通常將水池設計成高低水位兩部分，低水位部分底層以不透水層為之，高水位部分四周則以自然滲透土壤設計做成，下大雨時可暫時貯存高低水位間的

雨水，然後讓之慢慢滲透回土壤，水岸四周通常種滿水生植物作為景觀庭園之一部份(圖 1-3)。生態滲透水池常可作為兩棲類、魚類等生物之棲地，也是綠建築「生物多樣性指標」中評價甚高的項目。此技術在過去雖然在既有「綠建築評估」中已有設計說明，但是尚處於理論假設計算層次，既無實驗根據亦無設計標準，尤其尚無適於台灣水地文條件之標準，且都市計畫及建築等專家亦無法源賦予規劃設置之義務，因而影響了發展速度和工程質量。

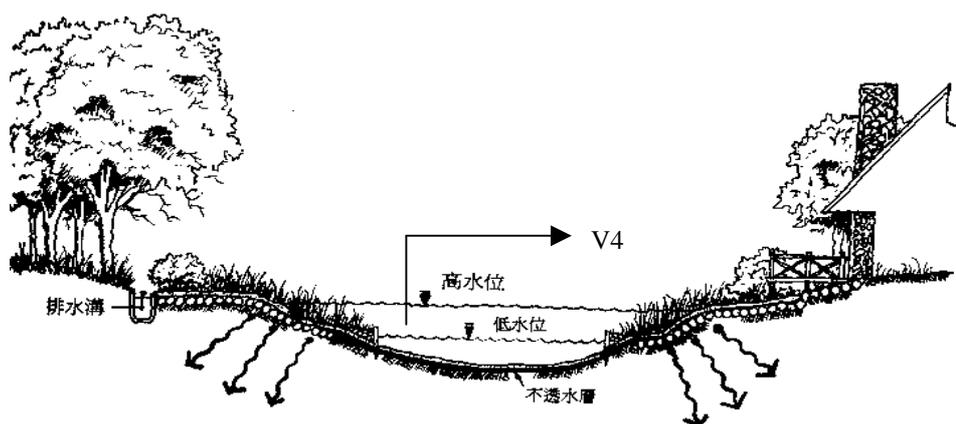


圖 1-3 生態滲透水池示意圖

第二節 研究計畫內容

九大指標中「基地保水」指標，希望藉由大地的生態水循環設計手法，並考量台灣地狹人稠之環境限制，以小型生態入滲池之保水性能實驗研究，希望能將其引入一般社區、住家、學校、公園等用地，增加大地涵養水分的能力，降低逕流量延緩洪峰時間，減緩人為開發對都市下水道排水系統、大地入滲機能的破壞。本子計畫之目的乃在於研擬「生態入滲池」之設計技術與法制化課題，本研究具體之計畫內容，「生態入滲池」的設計方法有許多不同方法，小至如圖 1-4、1-5 的路邊安全島綠地或住宅景觀入滲水池，大至如圖 1-6 的大型建築物的景觀貯集入滲水池，甚至如圖 1-7 的校園暫時貯集滲操場，均是本研究「生態入滲池」之範圍。本研究之生態入滲池工法性能試驗四年研究計畫內容如下：



圖 1-4 路邊安全島綠地之生態入滲池



圖 1-5 住宅旁景觀入滲水池



圖 1-6 辦公建築景觀生態水池



圖 1-7 相當於生態滲透池的校園貯集滲透

一、生態入滲池調查實驗研究

建立本土性氣候與地質條件之生態入滲池貯集滲透性能之研究，探討影響入滲之各種變因，如：降雨強度，降雨延時、土壤滲透係數、地下水位…等變因。

二、生態入滲池設置條件評估

以台灣各地降雨資料進行生態入滲池性能分析，並設有人工降雨器，模擬實際降雨情形；探討生態入滲池之地質影響因素及選址

原則，如地下水位、土壤種類等因素，發展適於台灣之生態入滲池設置容量計算方法。

三、景觀化生態入滲池之研究

探討景觀結合生態入滲池設計手法，結合遊憩、景觀、生態保水等多重機能，增加土地使用的效益。例如平時生態入滲池可作為停車場、遊戲場、公園、學校操場之活動用途，大雨時可作為雨水貯集入滲池，增加基地的水分涵養量。

四、生態入滲池之軟性防洪對策研究

過去以巨型化、集中化的防洪設施常常伴隨很大的社會風險，本計畫欲建立生態入滲池保水性能等本土化數據，與設計技術準則，生態入滲池配合景觀、都市、建築基地的保水設計水法，就是以分散化、小型化、生態化來替代過去集中化、巨型化、水泥化的治水方式，不但能美化環境，又能達到都市生態防洪的目的。

五、研擬「生態入滲池」之設計技術與推動法制化之助益

藉由「生態入滲池」實驗和人工降雨器設備，進行水循環模擬解析，由此解析將可分析、歸納出生態入滲池相關性能變數，可作為未來「生態入滲池」設計規範之本土化資料基礎，進一步研擬生態入滲池技術設計技術、施工與維護管理規範，此研究可以對於將來法制化推動有實質的助益。

第三節 研究方法及進行步驟

一、生態入滲池暨人工雨場試驗場：

為了進行「生態入滲池」之實測分析，配合行政院水與綠建設中，在 92 年「綠色廳舍改善計畫」內，本研究室協助內政部建研所所建造的示範「生態入滲池」如圖 1-8 所示。本生態入滲池由人工溼地〈三級處理水〉供應水源，下層舖以不透水布，旁邊設有雨水貯集利用之地下水槽及水塔作為實驗用水源，同時旁邊將設置強力噴水器作為人工雨場之實驗。

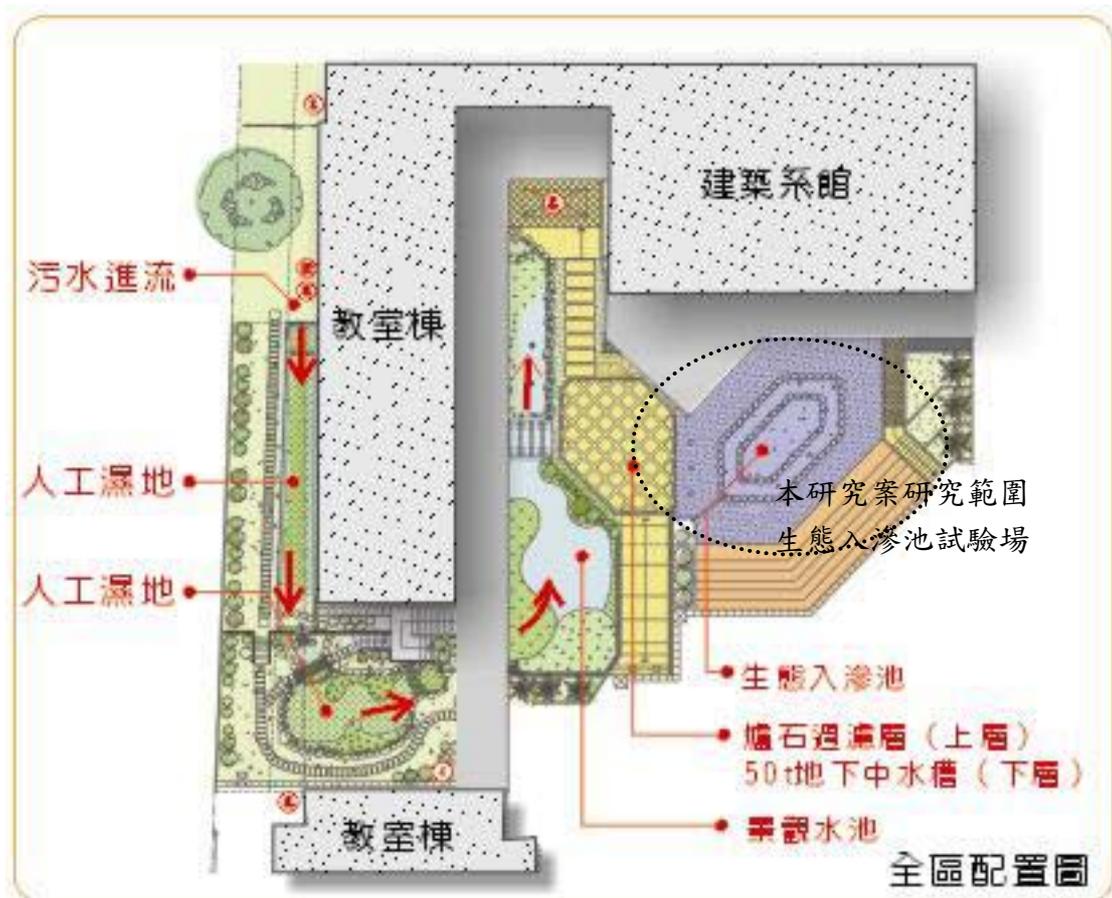


圖 1-8 成功大學建築系人工溼地暨雨水中水入滲實驗場地配置

本實驗場建立「人造雨場設備」，以模擬實際降雨情形，並模擬解析雨水入滲速率。本研究將在本年度自行設計建造人造雨場試驗場，採買量測儀器，並建立實驗流程，進行初步入滲模擬解析。由此解析將可分析、歸納雨場強度與雨水入滲數率和逕流係數的簡單預測模型，此預測模型可檢討雨水貯集和滲透設施之相關規定，作為未來相關保水政策擬訂之依據。

圖1-9中的人工雨場是設置在澳洲藍山的兩處—Medlow Bath 和 Springwood，研究道路鋪面對於沉積物與金屬入滲土壤的影響，利用人工降雨器研究藍山郡地區的道路是否有鋪設柏油，探討侵蝕與水文之關係。隸屬藍山都市逕流管制計畫的一部份（URCP），是澳洲南威爾士當地政府改善都市環境排水品質的起步。



圖 1-9 人工雨場設置圖

University of Western Sydney Nepea

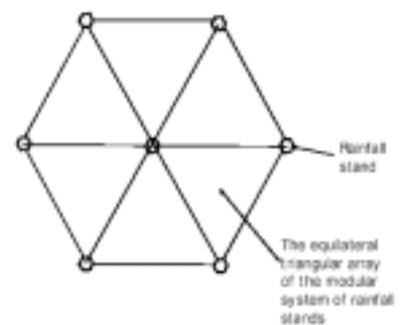


圖 1-10 人工雨場配



圖 1-11 雨量計

受限於台南降雨日數稀少，實驗進行不易，傳統決定暴雨入滲和短暫貯集蓄水的環境影響評估往往需要長期的監控。監控時間需樣長達數年才足以建立各種雨場強度的資料庫，此種方式取決於自然天候的變化耗時費力，更耗費鉅額金費造成嚴重的財務負擔。為了克服這些問題，提出人工雨場試驗的計畫，圖 1-12 為成功大學生態入滲池暨人工雨場試驗配置示意圖。

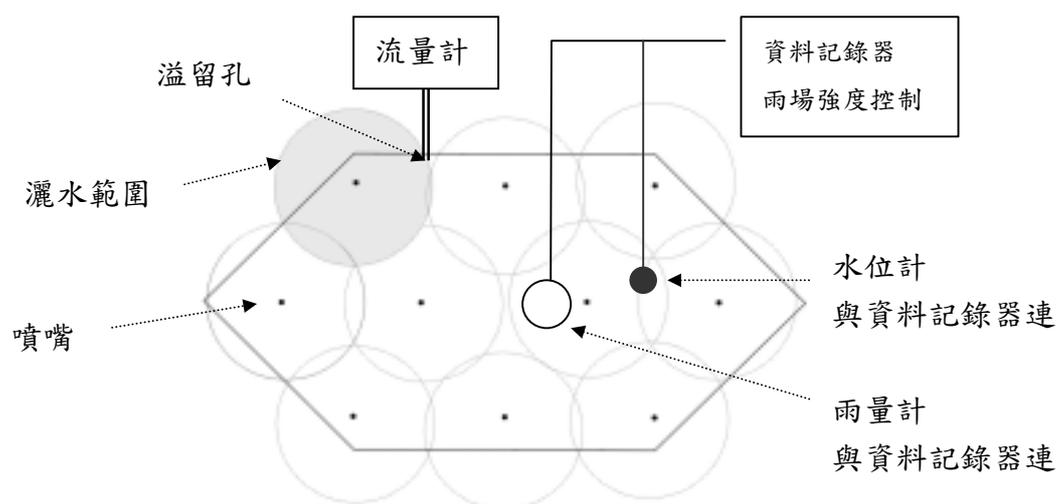


圖 1-12 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場

二、本年度完成之工作項目

(一)工作項目

(1) 文獻收集

收集國內外生態入滲池系統技術，分析整理 生態入滲池之種類、手法，設計本土化之 生態入滲池形式，進行基礎資料之調查，台灣本土氣象、地質狀況和地下水位等資料收集，建立本土化資料庫，作為生態池設計、選址之參考依據。

(2) 建構生態入滲池實驗場，收集數據

內政部建築研究所推動水與綠建設計畫，九十二年度在國立成功大學建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場，本研究藉由此案例研究，探討 生態入滲池結合建築景觀化、人工雨場、水循環、土壤入滲機制、基地保水性能等多功能需求議題，進行「生態入滲池」人造雨場實驗解析，分析歸納 生態入滲池相關設計工法及參數。

(3) 探討本土性環境條件之設計參數

台灣地處濕熱多雨地帶，人造化地表環境充斥，每每午後雷陣雨造成各地積水，下水道不堪負荷，設置適合台灣之氣候條件及土地使用限制之生態入滲池，理論上遠較其餘先進國家互迫切（日本昭島市社區雨水滲透設施案例），然而相關研究處於萌芽階段，以生態水循環設計手法，不僅可改善都市居住環境品質，更可以調節豪雨後都市

地表的逕流量。過去對於都市不透水化的管制不甚重視，以致造成水災肆虐，本研究期能利用此一生態、又具景觀遊憩功能的生態入滲池，改善都市水環境循環功能。



圖 1-13 成功大學建築系生態入滲池現況



圖 1-14 人工溼地景觀水池

第四節 研究架構

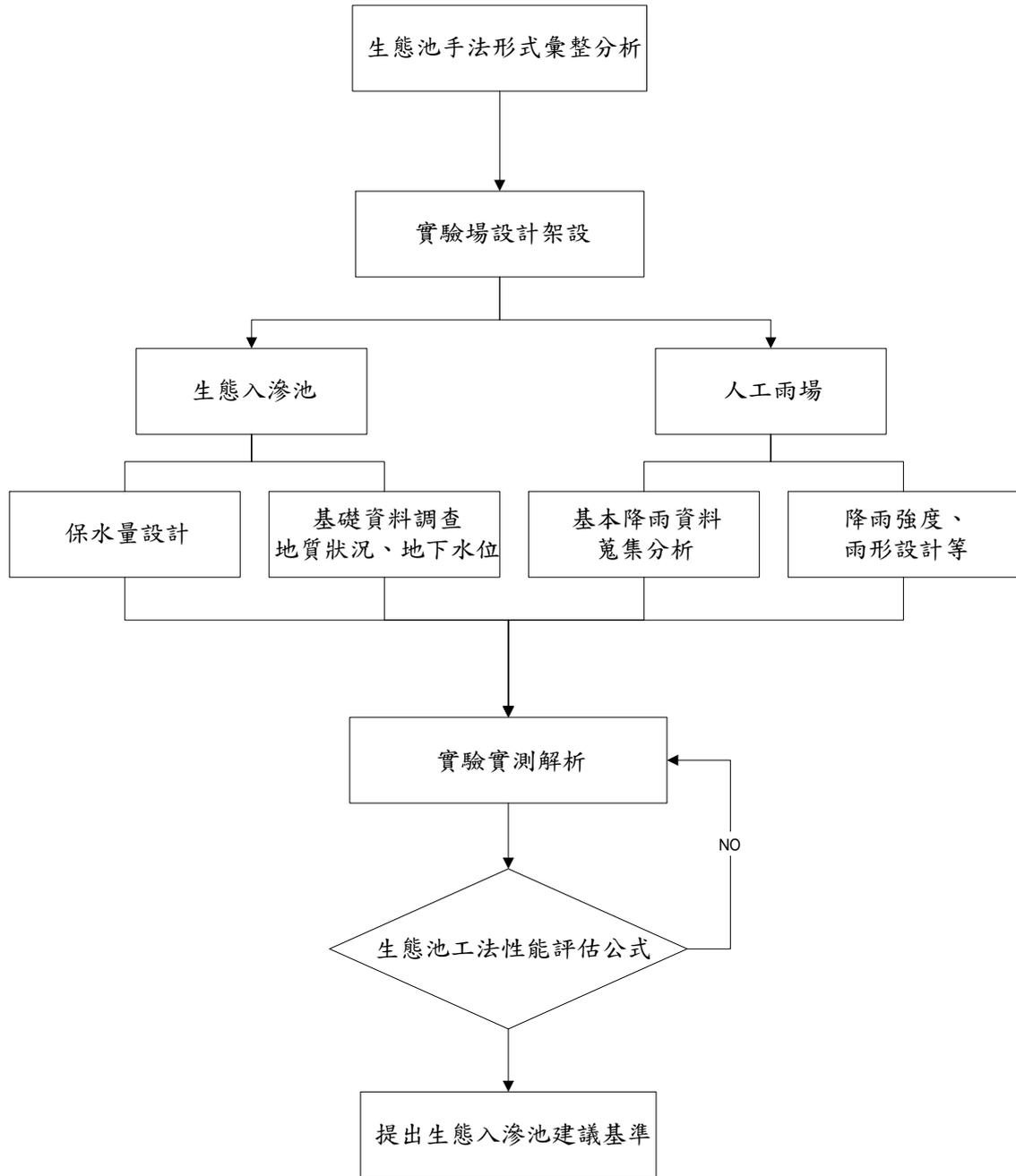


圖 1-15 研究計畫內容架構圖

第二章 研究理論與方法建立

第一節 生態池手法形式

「地表和皮膚一樣，不能呼吸，就沒有生機！」學者對都市環境品質惡化提出警告，目前台灣地區大量不透水鋪面設計，增加地表逕流量，超出排水系統設計容量，造成淹水，政府與民間建設部門不能坐視不管；如果建設是必要的，具體的都市生態貯集水循環規劃設計手法，便成了當務之急，且應予以推廣的。

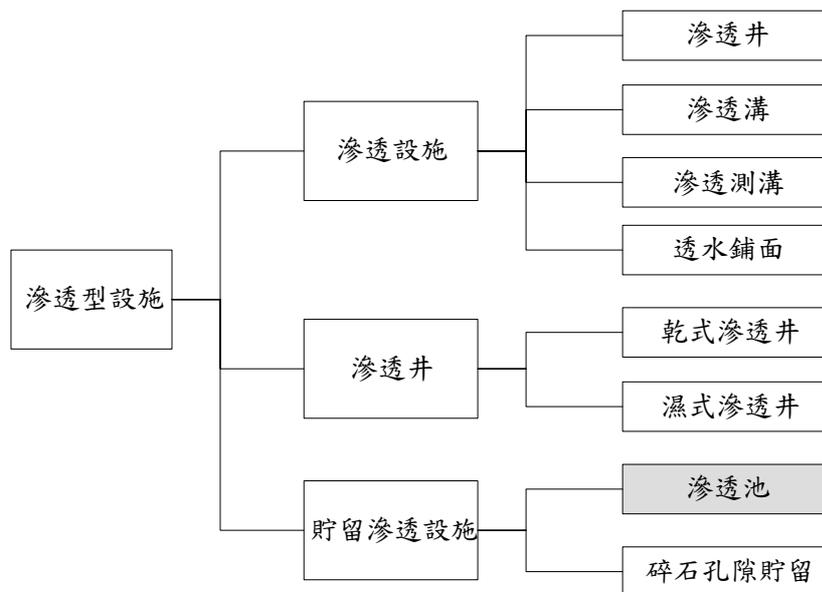


圖 2-1 滲透設施分類

取自都市環境學，第 288

貯集滲透技術可以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫化現象，並進而降低公共排水設施、減少都市洪水發生率。且雨水滲入綠地土壤可直接供給植物成長，對土壤的微生物活動及綠化光合作用有最大的助益。植物的根部活動又可活化

土壤、增加土壤孔隙率，對涵養生物環境有所貢獻。為了改善都市生態防洪的功能，透過生態滲透技術，可改善基地涵養雨水的能力，利用自然滲透、孔隙貯集的方式，將雨水短暫蓄留於自然土層中，達到軟性防洪的效果。

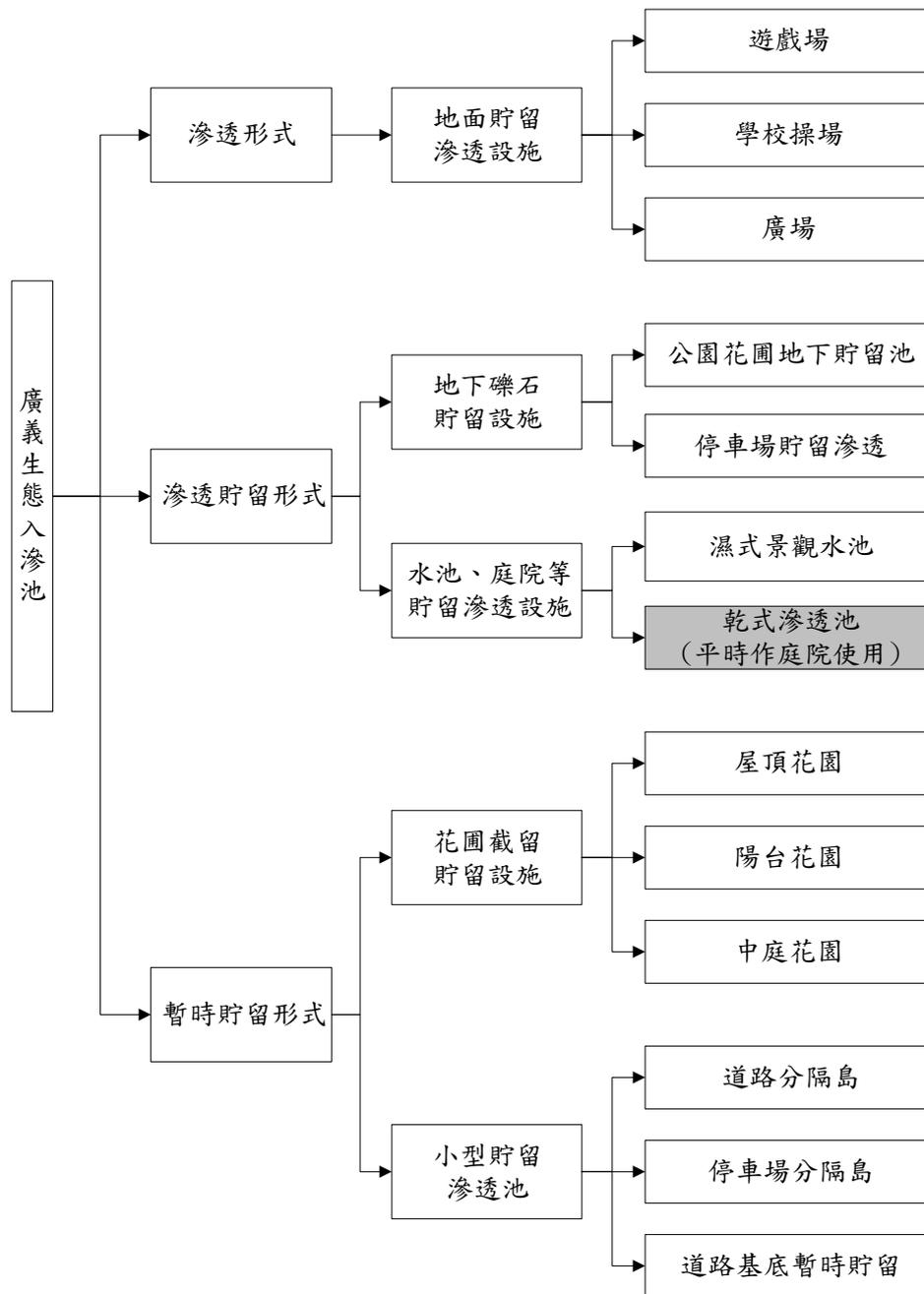


圖 2-2 生態入滲池分類
整理自《都市生態貯留水循環技術之研究》

本子計畫之目的乃在於研擬「生態入滲池」之設計技術與法制化課題，此課題為綠建築「基地保水指標」中「雨水貯集利用」及「生態入滲池」等兩項有關「貯集滲透設計」技術之一。

此技術在過去雖然在既有「綠建築評估」中已有設計說明，但是尚處於理論假設計算層次，既無實驗根據亦無設計標準，尤其尚無適於台灣水地文條件之標準，且都市計畫及建築等專家亦無法源賦予規劃設置之義務，因而影響了發展速度和工程質量。以下針對各種形式的生態入滲池作介紹：

一、 滲透形式

設施形式：地面貯集滲透設施

貯集滲透空地通常利用校園內之停車場、廣場、運動場、操場等設施用地，將之做為一較低窪的高透水性地面，平時可供作一般的校園活動使用，在大雨時則可暫時儲存雨水並利用自然滲透的原理，讓雨水滲入地下達到生態且兼具防洪的透水設計。

此貯集設計必須用於透水性良好之土質如粉土、砂土才具有透水之功效。若用於不透水之黏土地質則失去其實質意義。

設計手法：

〈1〉 遊戲場

在一般遊戲場的安全措施部分，常使用安全塑膠墊，避免兒童於

遊戲時受傷害，而塑膠墊本身，有一缺點—不透水性。

建議使用透水性較佳的安全橡膠墊，替代傳統不透水性之橡膠墊。



圖 2-3 社區公園、學校建築裡的兒童遊戲場，可以利用其下凹的部分，進行部分雨水貯集滲透，減低都市下水道的負荷。或是在其基底設置貯集滲透池。



圖 2-4 兒童遊戲場，可以利用其下凹的部分，進行礫石雨水貯集滲透，或是在其基底設置貯集滲透池。

〈2〉學校

在校園裡，操場應避免施做 PU 不透水跑道。將四周水路的雨水排入操場空地，可以減緩排水設施的負擔，降低短時間洪水發生尖峰量。

a. 學校公共設施用地提供小型雨水貯集池(操場用地)

b. 球場雨水貯集

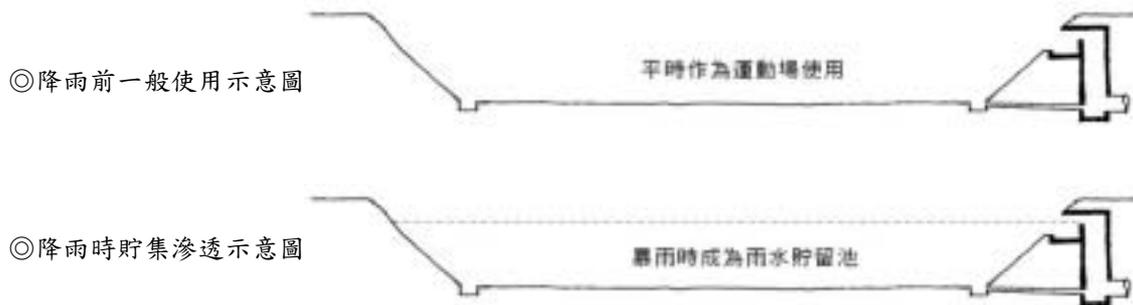


圖 2-5 校園滲透設計

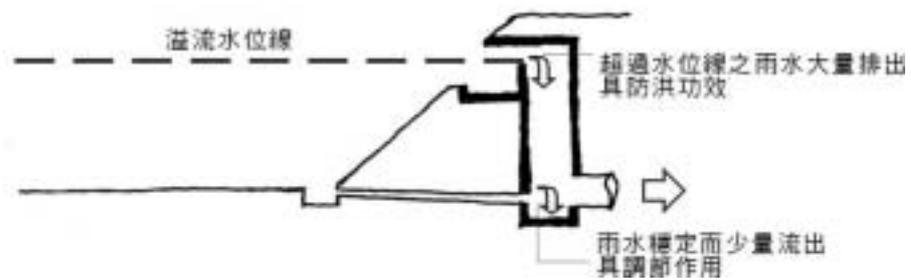


圖 2-6 操場溢流說明圖

〈3〉 廣場

「貯集滲透空地」可將一般開放空間廣場利用自然滲透的手法，設計成廣場地面貯集滲透，使瞬間降雨之雨量貯集於廣場空地中，在慢慢滲入土壤中，或排入公共下水道，降低其負擔。

貯集式的水循環設計，就如同在城鄉環境中創造無數個小水庫、小水池、小濕地一樣，採用延遲流出的方式，以抑制洪峰並增加大地之保水能力。廣場雨水滯留池可在降雨時暫時貯集雨水，並可將儲水慢慢排放到都市雨水道系統，貯存部分降水，在尖峰降雨時間過後，再將貯集雨水釋放完畢，以降低都市洪峰。可以降低都市下水道的負荷，並改善都市內短暫降雨造成的淹水。



圖 2-7 一般公園、商業建築下凹廣場，可以透過滲透手法，將下凹的廣場，當做降雨時小型的貯集滲透池，在慢慢將雨水滲透至地表下，或是當作回收再利用用於庭園植栽的澆灌，或是環境清潔之用水。



圖 2-8 台北某公園之水池廣場，可以透過滲透手法，將瞬間降雨貯集於水池廣場中，當降雨過後，在慢慢滲透至地表下，或是當作景觀用水。

即使在沒有植生的廣場、空地，如商業區面前廣場。一樣可以設計成防洪功能的雨水調節池。歐美國家如美國 ColorBdo 州的 Denver 市 Skyline 廣場平面就設計比路面還低，以便容納十年一次的大雨，在大雨實可儲存數英尺高的積水，並以每小時下降 2.5 公分緩慢的速度排至下水道中，廣場高處設有通行步道，以便廣



圖 2-9 Skyline 廣場，Denver, ColorBdo ,US

場低處淹水時行人自由來去。(見圖 2-9 所示)並在高處設置溢流口，可以溢流多餘的雨水。

在廣場地面部分，為怕清理不方便，而鋪設混凝土，導致地面不透水性。應改用透水鋪面設計。並將四周水路的雨水排入廣場空地，可以減緩排水設施的負擔，降低短時間洪水發生尖峰量。歐美最新的生態防洪對策均規定建築及社區基地必須保有滯留雨水的能力，以吸收部分洪水量，而達到軟性防洪的目的。例如在基地內廣設雨水貯集水池或兼顧美學的景觀水池，以便在大雨時滯留洪峰水量，而減少都市洪水發生。



圖 2-10 商業建築物廣場

在商業建築基地寸土寸金的商業利機之下，可以利用商業建築物的廣場，佔地面積廣大，可以利用其地下基底部分，進行雨水貯集滲透，減低都市下水道的負荷。



圖 2-11 下凹式廣場

公共建築物的建設，對於貯集滲透設施的推行具有示範性作用。

二、滲透貯集形式： 設施形式：

1. 地下礫石貯集滲透設施

所謂「地下礫石貯集滲透」，便是在裸露土地的下方填入礫石材料，讓雨水暫時貯集於礫石間的孔隙之中，然後再以自然滲透方式入滲至土壤的方法。由於礫石的孔隙率較一般的砂土、粉土大，因

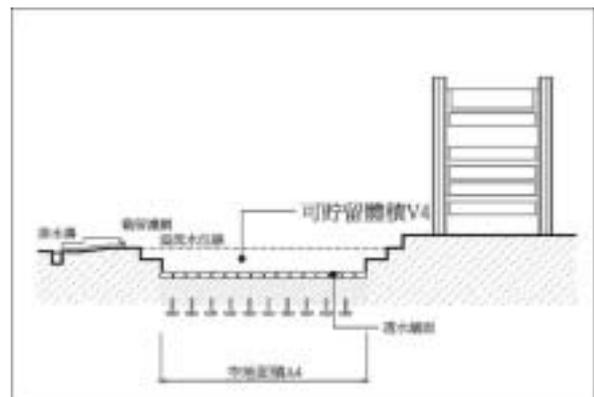


圖 2-12 廣場地面貯集滲透

此，下大雨時礫石的間隙便貯集較大的水量，然後讓之慢慢滲透回土

壤之中，以同時達到貯集及滲透的保水功效。

土壤的滲透能力與土壤的滲透係數 k 值有密切關係，此 k 值乃指地表 2m 以內的滲透係數，其數據可由上表讀取之。土壤滲透能力以礫石最好，其次是砂土。而礫石擁有的孔隙面積亦較大，可以貯集的雨水也越多。

表 2-1 土壤滲透係數 k 值

土 質	礫石	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
土壤滲透係數 K (m/s)	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}

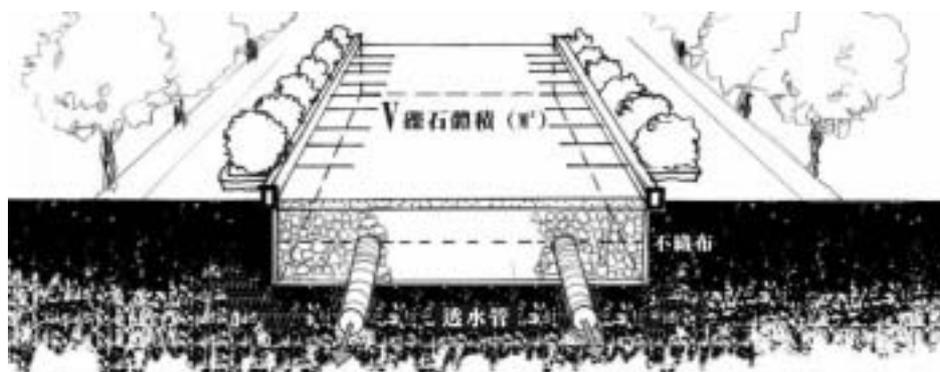


圖 2-13 地下礫石貯集滲透

〈1〉公園花圃地下貯集池

過去我們認為公園綠地為都市之肺，是充滿綠化與透水的自然寶地。但是，依據台南市都市環境透水性能實測解析（2000 年），在台南市公園綠地 16 個調查樣本數中，由其地表使用狀態來看，經計算後得到公園綠地平均不透水表面率為 34.7%。

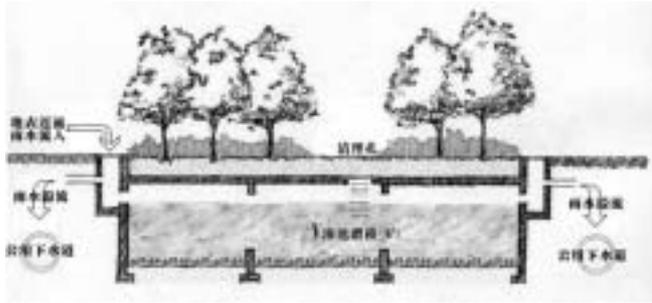


圖 2-14 公園花園底下之地下滲透池

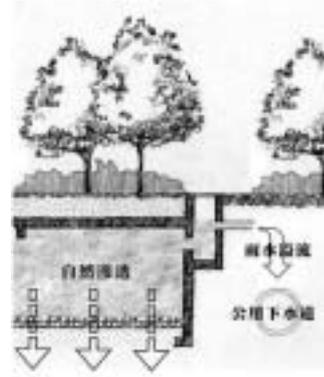


圖 2-15 地下滲透池溢流說明圖

〈2〉花園地下滲透池：

利用花園區域底部設置滲透設施，可以延遲暴雨時所造成的尖峰逕流，降低都市排水設施之負荷，適度的達到軟性防洪的目的。

滲透池邊緣於適當高度預留溢流口，使雨水累積到一定高度時，能夠溢流到都市排水設施中。

在公園，我們可以善用其基底部位，設置小型貯集滲透設施，對於公園綠地中，大量增加其保水的能力，並在瞬時之間，儲存或是滯留雨水，可以運用於公園綠地植栽之澆灌，可以達到軟性防洪之功效，亦可以節省水資源。(案例介紹：台北中山二號公園透水設計)



圖 2-16 台北中山二號公園透水設計

〈3〉停車場 貯集滲透

選定基地內較低窪的地區做為停車空間的使用，以期能讓雨水自然的流入停車場內貯集，一部份的雨水利用透水停車面來自然滲透，以期達到自然生態的水循環；但是遇到暴雨的時候，仍然會有自然滲透無法迅速滲透的問題考量，這時候必須於貯水高度（約車門下緣高度左右）、地面滲透速度設置雨水的溢流設施，以確保停車場車輛的安全；或是在暴雨或颱風特報發佈時，提前告知，將車輛提前開離現場。讓停車場當作臨時的生態入滲池，達到利用都市公共空間軟性防洪的目的。



圖 2-17 停車場貯集滲透

在停車場空間，可以利用其下凹的部分，進行部分雨水貯集滲透，或是在其基底設置貯集滲透池。但須考量降雨時之車輛疏散、與滲透速度以及貯水深度，不可以超過車門，造成水淹車的問題。

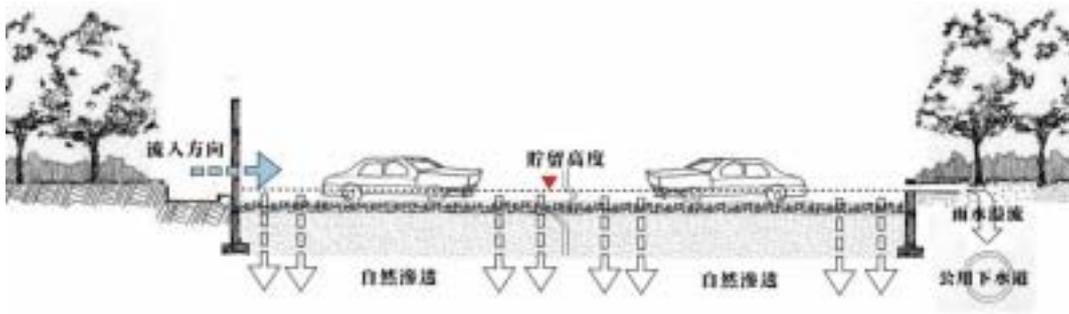


圖 2-18 停車場之貯集滲透設計



圖 2-19 利用透水面來自然滲透，自然滲透無法迅速滲透時於貯集（約車門下緣高度左右）、且設置雨水的溢流設施，以確保停車場車輛的安全。



圖 2-20 停車場鋪面滲透設計，京濱遊水管理中心，東京

2. 水池、庭院等 貯集滲透設施

〈1〉濕式景觀水池、社區生態水池

所謂「生態滲透水池」是兼具庭園景觀與貯集滲透之雙重功能，其作法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

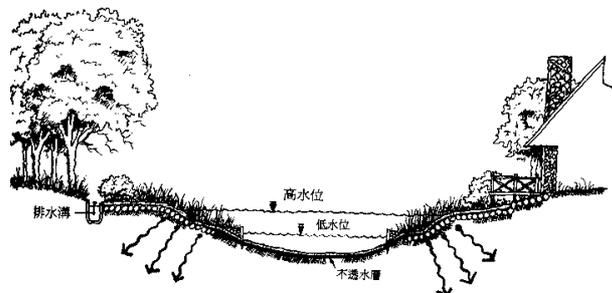


圖 2-21 生態滲透水池原理示意圖

之，高水位部分四周則以自然滲透土壤設計做成，下大雨時可暫時儲存高低水位間的雨水，然後讓之慢慢滲透回土壤，水岸四周通常種滿水生植物作為景觀庭園之一部份。

「景觀貯集滲透水池」通常將水池設計成高低水位兩部分，低水位部分底層以不透水層為之，高水位部分四周則以自然滲透土壤設計做成，下大雨時可暫時儲存高低水位。

〈2〉乾式滲透池〈平時作庭院使用〉、庭院貯集滲透手法運用



圖 2-22 水池、庭院之貯集滲透設計

生態水池規劃設計基本原則

(一)水深：水深應以安全考量為主，大部分水深以不超過60cm為原則，且應具有變化，在10cm~60cm間配置不同之比例。

(二)形狀：應求彎曲、多變化，避免平直、整齊之形狀。

(三)池底：以粘土成分占40%以上之粘土60~80cm壓實即可防

漏，不可使用水泥或磁磚等，並於池底挖溝、堆石、堆木塊、放置多孔隙材料等做成深淺不一，具有變化之地形。池邊1~2m斜坡預留為推移帶及透水區。

(四)植栽：依不同水深，栽植原生之濕生、挺水、沈水及浮葉等植物，周邊栽種親水之原生地被、灌木及喬木，並應使植物、枯枝落葉和水體有最多的接觸面。

(五)池岸：水岸之邊坡應平緩，並以自然之土壤、木材或天然石塊砌成，營造動物喜歡之緩和邊緣，切勿設置成垂直堤岸或使用水泥、磁磚，尤應注意邊坡要維持多孔隙性及多變化性，以利動物之活動及棲息隱蔽。

三、暫時貯集形式

設施形式：

1. 花園截留貯集設施

在建築開發密度極大的情況下，原本留有的空地就不大，再加上空地下方往往開發為停車場使用，使得自然的裸露面相當缺乏，造成

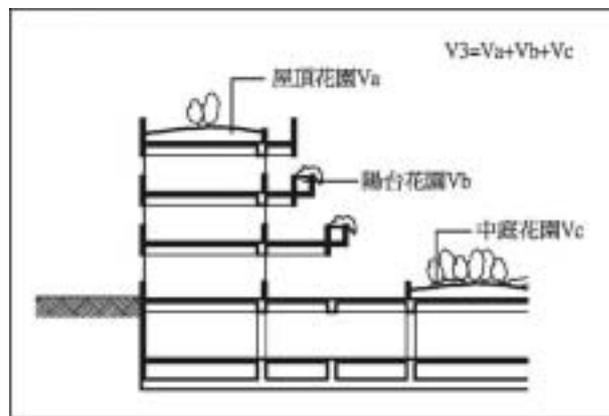


圖 2-23 人工地盤花園貯集

保水能力低落。然而，我們仍然可以利用屋頂、陽台及或地下室的中庭上方，進行人工地盤上的花園設計，以做為截留雨水的設施。

屋頂、陽台、中庭花園：

這裡所謂的花園並非指自然裸露土層上的花園，而是指屋頂、陽台及有地下室的地面等人工地盤上的花園。而所謂



圖 2-24 人工地盤花園截留設計

地下室開挖因配合擋土設施，需使用人工地盤。適當的花園設計可提升基地保水之能力。

「花園雨水截留設計」是在人工地盤上設計花園以截留雨水的設計(圖 2-23)。這些人工地盤花園的截留保水效果雖不如自然綠地，但在降雨時可利用土壤間隙暫時貯存雨量，可延遲暴雨時



圖 2-25 京濱遊水地管理中心屋頂花園，東京

雨水逕流，減緩都市洪峰現象，以達到部分保水的功能。在土壤

透水能力不佳或人工地盤過多的基地中，對於提升基地保水力極有所助益。

2. 小型生態入滲池

小型的人工栽植花圃，可以利用本身自然滲透的優勢，將花台築高約 10~15 公分，可以利用這小型的窪蓄空間，貯集小部分雨水。利用為數不少的小型設施，積少成多亦可以達到軟性防洪的功能，可有小兵立大功之效。

設計手法：

〈1〉停車場分隔島

綠色植栽以能吸附部分廢棄物、高耐水性植物為優。需注意泥沙淤積情況，進行定期清除淤泥，以達到較佳的使用情況。並需注意溢流口之清潔，需注意其管理維護避免阻塞。



圖 2-26 停車場分隔島小型貯集滲透，可以短暫蓄留雨水

〈2〉道路分隔島

一般道路分隔島，目前只做為一般道路分隔之用，若能將其地面抬高部分，種植可以吸附部分廢棄物、高耐水性植物，並充分利用其

空間，設計成小型的滲透池，將降雨時，道路的積水往分隔島排入，可以降低大雨時瞬間的下水道負荷量。唯使用時必須注意泥沙淤積情況，進行定期清除淤泥，以達到較佳的使用情況。

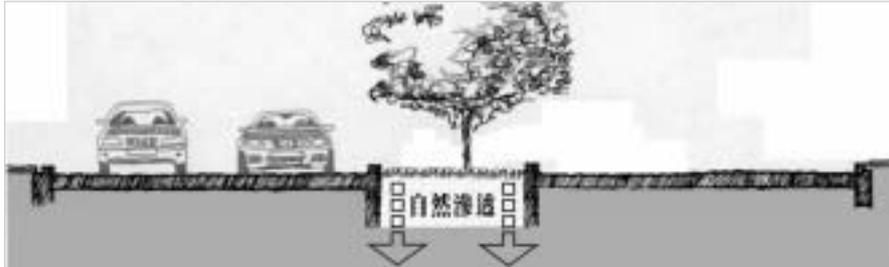


圖 2-27 道路分隔島滲透示意圖



圖 2-28 道路分隔島

〈2〉道路基底暫時貯集

道路面積在都市中佔到 20% 左右的比例，傳統上完全採用不透水的瀝青、混凝土與石材。生態性道路工程應儘量採用可透水材質，例如日本都市逐漸在維修路面時將原有瀝青改鋪為透水瀝青。地面停車場已常見採用植草磚、透水磚等。人行道鋪面在一定條件下（地下管

線深度夠，土壤滲水性高) 也應採砂底上鋪透水磚。雖然這種軟底施工法經過一段時間可能有不均衡沈陷現象，所需的維護人力與經費是值得的，因為地下水的涵養是需要多方面，長年累月來經營的。

都市中，道路交通系統占非常大的比率，道路系統基底部分，可考慮結合阻留滲透之功能，適度將瞬間降雨排至地下透水涵管內，一段時間之後，在使其自然滲透至地底。

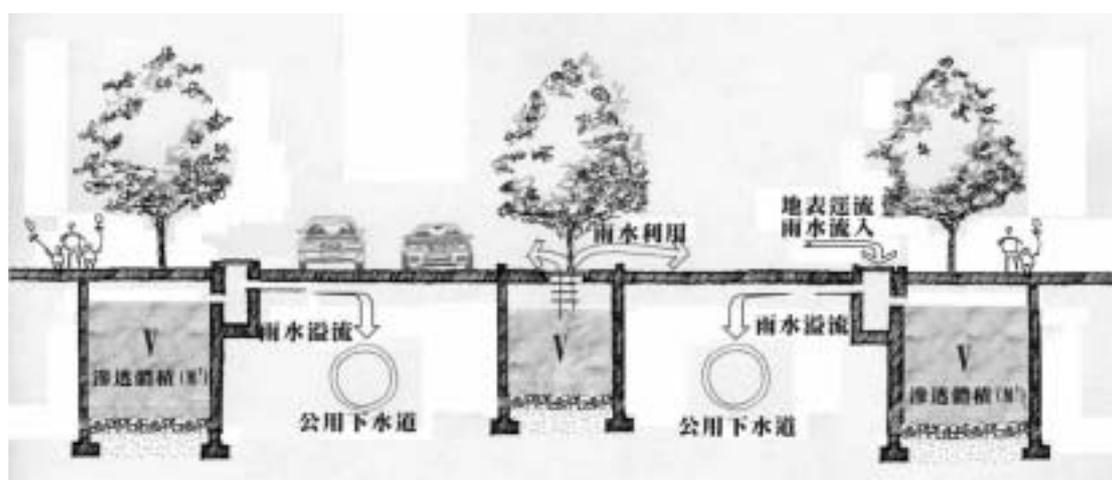


圖 2-29 人行道路、分隔島基底之短暫貯集滲透

第二節 國外 生態入滲池設計現況調查分析

日本實地考察案例介紹：

現在歐美最新的生態防洪對策，是在基地內廣設雨水貯集水池，有些甚至作成兼顧美學的景觀花園水池，以便在大雨時貯集洪峰水量，而減少都市洪水發生，其目的在於將雨水暫時貯集在基地內，再慢慢釋出，可改善都市洪水的發生，台灣每到颱風季節民眾便憂心水災發生，然而國內入滲設施發展尚未成熟，本研究團隊於今年度赴日本實地考，期望能對國內生態入滲池發展有所改善，以下是實地考察案例介紹：

一、校園保水案例

1. 千葉縣立藥園台高等學校〈資料來源：雨水貯集浸透技術協會

雨水貯集滲透設施計畫

〈1〉計畫概要

海老川流域，洪水防範不易，地下水的補注，平時可供河川流量調節，以健全大地水循環的功能，此一「海老川水循環再生構想」的進行，除了政府的推動外，還需要企業與民眾的參與與支持才可以持續進行。

藥園台高校是「海老川水循環再生構想」計畫的一環，在校園設置雨水貯集設施和雨水利用設施。

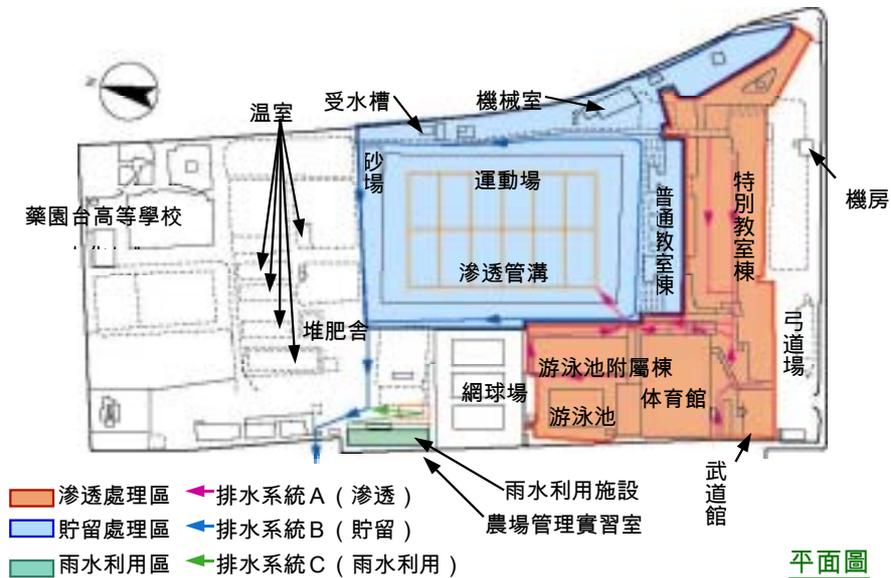


圖 2-30 藥園台高校平面圖

〈2〉設施概要

主要以下列三方面，雨水貯集、滲透，雨水利用，作為雨水排水系統設計的考量。

A. 滲透處理區

將教室區的收集的雨水排入運動場，藉由裸露地與滲透管溝滲透到地下可以補注地下水位並可調節河川流量。

B. 貯集處理區

滲透處理區內滲透後乾淨的雨水和運動場周圍收集的雨水貯集在運動場中可增加基地保水量，可供制洪作用。

C. 雨水利用區

收集農場管理實習室屋頂雨水，作為旁邊網球場灑水整理之用。

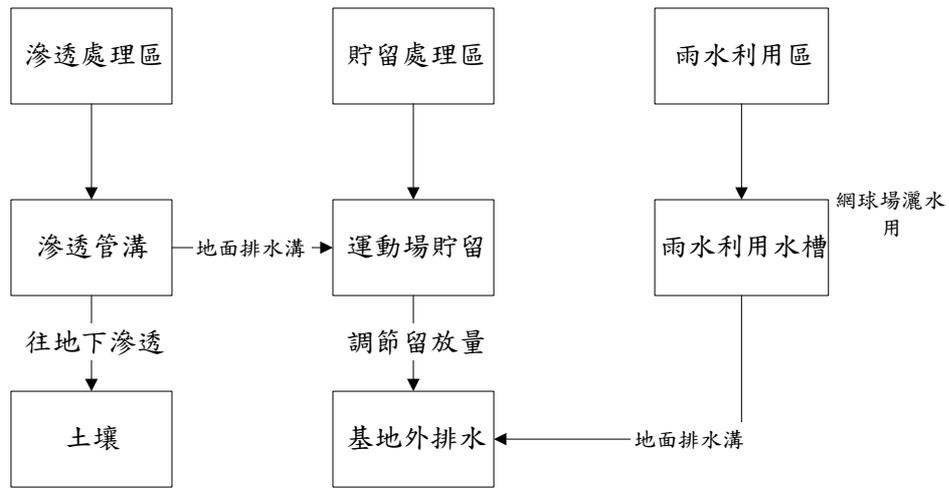


圖 2-31 雨水排水系統示意圖

〈3〉 雨水滲透設施



圖 2-32 運動場滲透設施



圖 2-33 運動場滲透設施剖面

滲透管溝埋設在運動場下面，設置後在平均降雨強度 50 公釐/小時的情況下，總逕流量的 83%可滲透到地下。

圖 2-34 雨水滲透設施的效果

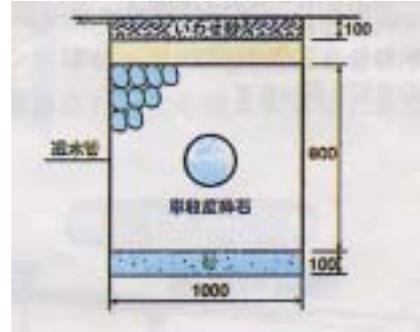
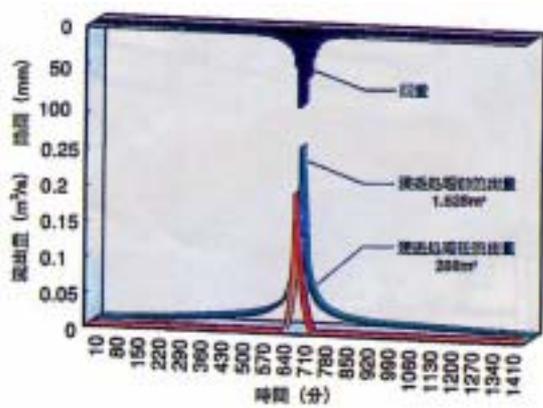


圖 2-35 滲透管溝

〈4〉 雨水 貯集設施



圖 2-36 運動場周圍水泥矮牆

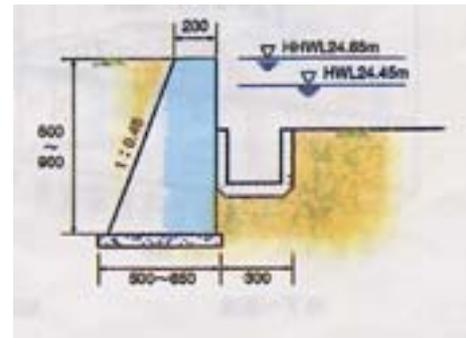


圖 2-37 運動場周圍水泥矮牆

運動場周圍設置水泥擋水矮牆，運動場上部可作為雨水貯集池。設置此設施後平均降雨強度 50 公釐/小時的情況下，尖峰逕留量減少約 89%。實際上積水的時間約只有八到九個小時，雨停的時候，運動場所貯集的水全部排出，並不會影響到上課。

圖 2-38 雨水貯集設施的效果

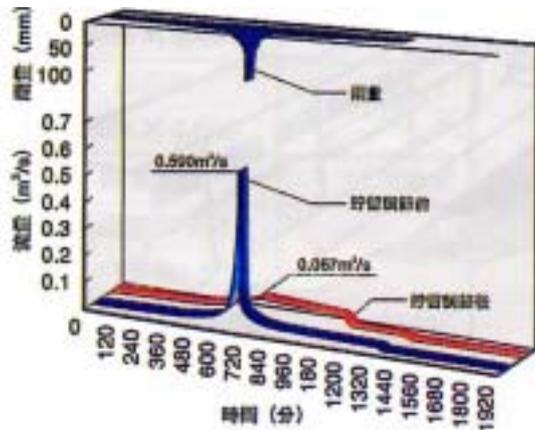
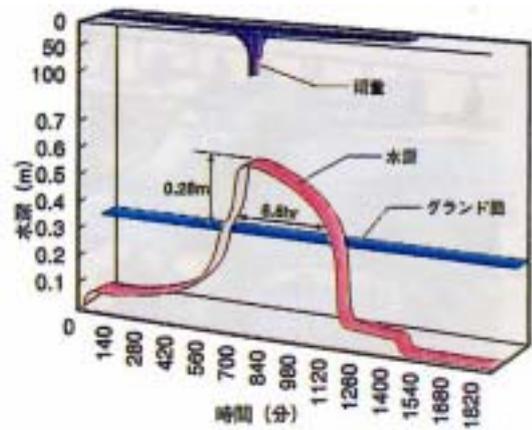


圖 2-39 貯集水深的變化



〈5〉 雨水利用設施

農場管理實習室屋頂雨水收集水槽，提供網球場〈紅土球場〉灑水整理用。灑水每年平均用量約需 $219\text{m}^3/\text{year}$ ，平均每年雨水利用量為 $211\text{m}^3/\text{year}$ ，總計每年約 96% 的用量可用雨水替代。



圖 2-40 農場管理實習室

〈6〉設施說明

項目		規模
集水面積	滲透處理區	10,400m ²
	貯集處理區	16,200 m ²
	雨水利用區	270 m ²
設計降雨強度		50mm/hr
滲透設施	滲透管溝(1.0m×1.0m)	690m
	滲透井(0.45m×0.45m)	4 個
	滲透井(0.6m×0.6m)	1 個
貯集設施	貯集面積	10,500m ²
	設計貯集水深(平均)	0.09 m ²
	設計貯集量	914 m ³
雨水利用設施	形狀	L:8.7m × W:3.4m × H:2.4m
	灑水槽貯水量	30 m ³
	沉澱槽貯水量	8.4 m ³

2. 千葉縣芝山高校

由於千葉縣芝山高校附近地處低窪地區，水患頻傳，為解決此一問題將千葉縣芝山高校劃入「海老川水循環再生構想」計畫的一環，在校園設置雨水貯集設施和雨水利用設施。

由於尚在施工中，芝山高校設計手法與千葉縣立藥園台高等學校相似，主要分為兩部分，滲透運動場，與地下貯集槽，運動場四周設置 80 公分的矮丘可以作為生態入滲池，地下水槽約可貯集 750 噸的水。芝山高校位在山坡上，



圖 2-41 運動場全貌

校舍區位在地勢較高處，雨水由排水管收集到地勢較低的滲透運動場區滲透貯集，當超出設計滲透貯流量時，便由地下水槽調節儲存，如此便可以暫時將雨水貯集在基地內，減少逕流量，減緩都市水災。



圖 2-42 滲透運動場



圖 2-43 換土，增加土壤滲透能力



圖 2-44 地下貯水槽孔



圖 2-45 水位觀測孔

二、鶴見川多目的遊水地

希望能朝向健全水循環施作工法發展，計畫設施包含雨水貯集設施、滲透設施、水分蒸散等完整、健全的水循環。

1. 減緩都市熱島現象

實際案例：屋頂綠化〈水分蒸散〉

在 RC 構造建築物的屋頂設置綠化花園，透過植物的水汽蒸散，可吸收空氣熱量，可以降低屋頂溫度。

下圖是在京都實測之一案例，有實施屋頂綠化，與未做屋頂綠化之 RC 建築物屋頂，中午溫度相差最大，約達攝氏 20 度之多，由此可見屋頂綠化對降低屋頂溫度之功效顯著。



圖 2-46 屋頂綠化
鶴見川多目的遊水地



圖 2-47 屋頂綠化之效果
資料來源：關東地方整備局
京濱河川事務課

2. 雨水貯集設施〈減緩洪害〉

實際案例：透水鋪面停車場〈貯集、滲透設施〉

停車場下方設置地下式雨水貯集設施，即調節池之功用，當暴雨發生時，可以將雨水暫時先貯集在調節池內，再持續緩慢的釋出流入河川。

停車場雨水 貯集設施概要	
貯水量	772.3m ³
水深	1m
池底面積	929.0m ²

圖 2-48 停車場地下調整池

- 〈上〉平時降雨時，緩慢的流入河川
- 〈下〉暴雨時可以暫時貯集雨水，再緩慢的釋出，流入河川



資料來源：關東地方整備局京濱河川事務課

3. 透水與保水性能之鋪面〈健全自然水循環〉

鶴見川多目的遊水地示範停車場所使用的特殊鋪面，有滲透與保水等雙重性能，其功效如下：

1. 減緩洪水的危險
2. 抑制都市熱島效應
3. 涵養地下水
4. 過濾雨水

經由鋪面過濾清澈的雨水，入滲至土壤，



圖 2-49 透水鋪面停車場

最後流入河川。

下圖中右邊為普通不透水瀝青鋪面，當降雨時，雨水不能滲透至土壤中。左邊為透水瀝青鋪面，當降雨時，雨水可以滲透至土壤中，流入河川；而當晴天時，鋪面中儲存的水分受到日照蒸散，此舉可以吸收熱量，降低溫度。



圖 2-50 特殊透水與保水性能瀝青鋪面
資料來源：關東地方整備局京濱河川事務課

4. 橫濱國際總合競技場

鶴見川多目的遊水地是橫濱市長期推動的建設計畫，都市發展集約需要有效使用土地，多目的由水地有效整合多項設施於一地，包含防洪設施、公園綠地、運動設施等。



圖 2-51 橫濱國際總合競技場
左高架橋為新橫濱原石川線

1. 當洪水來臨時，河水越堤流向地勢較低的遊水地，最多可以貯集三十九億公升的水量。

2. 當洪水漸漸消退，堤防分為兩段高度，兩者相差三公尺，遊水地仍可貯集部分水量，是為防止下游氾濫的緩衝設計。

3. 當洪水消退後，遊水地所貯集的水，遊排水閘門釋出，排入鶴見川中。



圖 2-52 鶴見川多目的遊水地洪水調節說明圖

資料來源：國土交通省關東地方整備局京濱河川事務課

三、都市地盤公團技術中心

(Urban Development Cooperation Technology Center)

都市地盤公團技術中心已經在進行研究都市與住宅發展之科技，此團隊的研究成果與實驗設施是對外開放展示的，希望藉此能提升日本都市與住宅的品質。由於研究範圍廣泛，在此僅介紹與本研究案相關之案例。

1. 環境共生試驗場

自然環境隨著都市發展，產生很多變化，產生諸多問題：溫室效應、酸雨、都市熱島現象與廢棄物的增加。為了創造更生態的居住環境，UDC已對下列各項技術進行研究：

雨水滲透與貯集系統、綠化、回收再利用等，試驗場之基本資料如下：試驗場總面積為3000m²，主要實驗設施包括生物多樣性試驗場、鋪面試驗場、水循環試驗場與綠化廣場。



圖 2-53 綠化廣場與風車



圖 2-54 透水鋪面試驗場



圖 2-55 生物多樣性試驗場
景觀水池設計，創造都市住宅環境中小生物棲息地

2. 居住環境館

此試驗館之研究整合住宅之更新與環境共生等研究議題，包含住宅改建、整修、節能、與資源回收再利用等方向。

〈1〉屋頂綠化與生物棲地試作

以薄土覆蓋屋頂種植植物，印證屋頂綠化對隔熱的效果，創造小生物棲地，進行生物多樣性之觀察。



圖 2-56 居住環境館外觀



圖 2-57 屋頂綠化小生物棲地



圖 2-58 屋頂綠化試驗場

〈2〉水與綠與土的共生

總合水循環系統降雨體驗之模型展示，內容包含透水鋪面、滲透陰井等裝置，透過實際的降雨模型體驗，可使參觀者更了解入滲設施之功效。



圖 2-59 水循環體驗模型全貌



圖 2-60 水循環體驗模型

第三節 生態池工法性能基礎理論

2-3.1 生態入滲池設址考量

地質狀況、地下水位..等對於滲透設施之滲透效能有相當大的影響的，故在設置滲透設施前，地質之調查計畫，是不可省略的步驟。

一、 調查計畫

1. 地質判斷

(1) 土壤滲透係數 k

透水係數小於 10^{-5} cm/s 不宜設置，一般土壤滲透係數小於 10^{-5} cm/s 接近黏土土質，滲透能力不佳，設置滲透設施效益有限。

(2) 孔隙率

孔細率在 10% 以下，土壤呈緊壓密狀態，滲透能力不佳，不儀設置滲透設施。

(3) 土壤組成

粒度分布黏土所佔比率大者，黏土透水性差，阻隔水分滲透，不適合設置滲透設施。

表 2-2 統一土壤分類與土壤滲透係數 k 值對照表

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

2. 地下水水位之判斷

地下水位高的地區，其滲透量較小，尤其是低窪地區水位會因下雨而上升，將會影響其滲透能力。地下水位與滲透設施底部距離小於 0.5 公尺者影響其滲透能力，始檢討是否設置滲透設施。

3. 周邊環境

土地使用狀況、是否會有非點源污染的情形發生〈週遭若有舊工廠廠址、掩埋場等，設置滲透設施將造成污染擴散，反而污染地下水可能地區，不宜設置〉、兒童安全問題。

4. 本土氣候條件設置考量

(1) 亞熱帶溼熱氣候區

台灣地處亞熱帶溼熱氣候區，夏日積水易滋生病媒蚊，貯集滲透

設施設計容量，應考慮積水時間，避免滋生瘧蚊，影響環境衛生。

(2) 降雨型態

一般淹水多在颱風過後或夏天午後暴雨之時，但都市急劇的發展，原本下水道設計排水容量已無法宣洩原設計頻率之逕流量，若結合貯集與滲透兩種措施，以抑制雨水逕流的排水，達到都市保水之功能。在降雨地點和河川之間，於水流留下的途徑設置貯集或滲透設施，可充分發揮抑制逕流的效果。

5. 景觀化生態入滲池設計

探討景觀結合生態入滲池設計手法，結合遊憩、景觀、生態保水等多重機能，增加土地使用的效益。例如平時生態入滲池可作為停車場、遊戲場、公園、學校操場之活動用途，大雨時可作為雨水貯集入滲池，增加基地的水分涵養量。

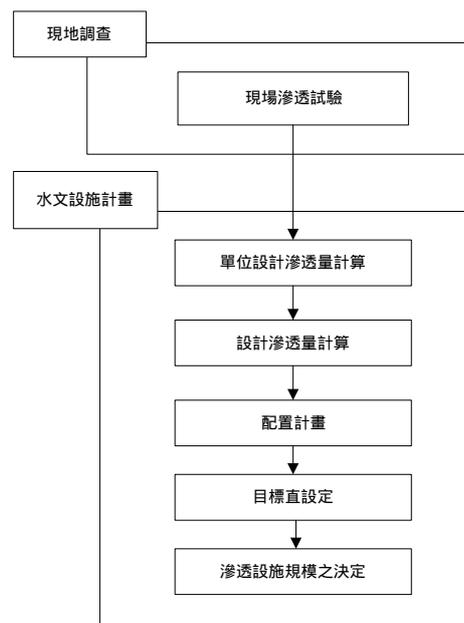


圖 2-61 小規模地區之滲透設施調查與計畫流程

資料來源：都市環境學，236 頁

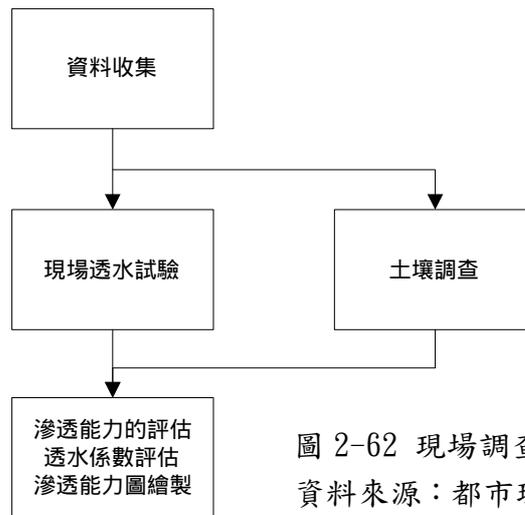


圖 2-62 現場調查流程
資料來源：都市環境學，236

二、 現場滲透試驗

〈一〉 試驗設施

試驗設施以設置容易且可以節省用水者，試驗結果可作為推估滲透能力且精度可靠性高者為理想。

1. 垂直孔法

注水入圓筒內之所定水位，維持水位不變，並紀錄經過時間之注入水量，直到單位時間注入量穩定為止，本試驗約需 2~4 小時。

2. 入滲計法

入滲計法有兩類，一為單筒式，

一為雙筒式，其形式如圖 2-45 所示。(1)單筒式入滲計為一金屬圓筒，直徑約 20 公分至 1 公尺，其長度視擬測取土壤深度而定，

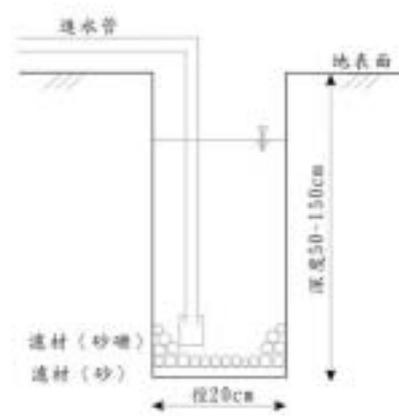


圖 2-63 垂直孔法

但至少需超過 1 公尺。將已知注入水量除以讓該入滲記錄時間，即為讓該土壤之入滲率。其構造較為簡單，但因水滲入地下若超過筒長深度時即向外滲流，不受筒之約束，因之入滲斷面加大，所求入滲率即生誤差。

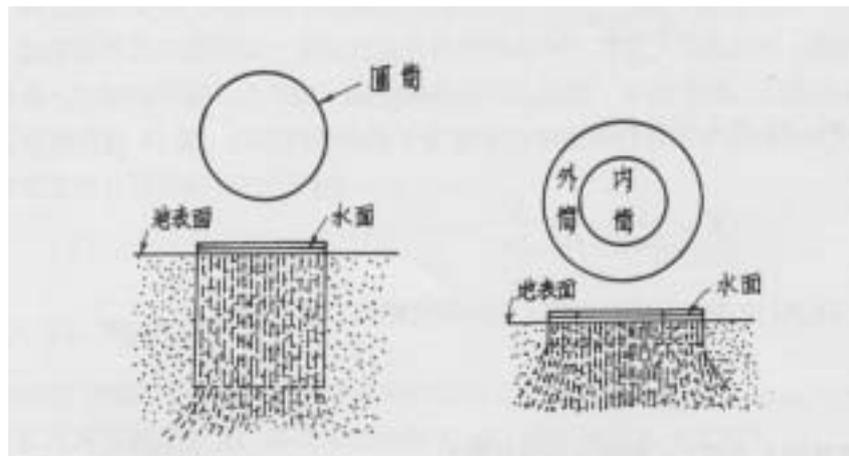


圖 2-64 雙統式入滲計法
取自基地保水性能之研究，1998，38 頁

(2)雙筒式入滲計，分為內外兩筒，且其中心點要一致。實驗時須兩筒同時注水，其深度保持 1 公分。因外筒較易入滲，故須隨時注意內外筒水面齊平。內筒所注入之水量，以觀測時間除之，即得入滲率。雙筒式可免除單筒式之缺點，其準確度較高，惟安裝手續較繁雜。

3. 儀器觀測法

原理同定水頭試驗，可直接推算最終入滲量，利用葛洛夫滲透儀量測所需的時間較短且用水量較少，較適合利用於偏遠且水源缺乏的地區，唯儀器成本高。

4. 人工降雨器〈rainfall simulator〉

模雨計為利用人造之噴水裝置使其類似降雨，打擊土面，所求得之入滲率可更合乎實際情形。本研究案期建立人工降雨場來模擬實際降雨情形，以求更貼近實際降雨入滲機制。



圖 2-65 人工雨場設置圖 University of Western Sydney Nepea
取自 Report on Rainfall Simulation Trails—Blue Mountains. 1999

〈二〉試驗結果紀錄整理

現場滲透試驗之測量值，應加以紀錄、整理並保存之。紀錄表除了紀錄設施形狀、設定水深度及注水深度之單位時間水量、總滲水量之外，對於阻塞和滲透能力之關係、注入水水質及水量皆應紀錄之。

〈三〉地質鑽探報告

於現地進行滲透試驗，為了解土質及地下水位，應進行鑽探，其鑽探深度應達滲透對象層下的不透水層，以及可達確認地下水位深度之處，地下水位之測定，應於滲透試驗前、試驗中及試驗後

測定，深度以 3~10 公尺為範圍。鑽探地點經收集整理後，繪製成表層地盤平面圖及斷面圖，並就現地滲透試驗結果及地下水位分布解析之。

2-3.2 生態入滲池滲透量設計推估

一、滲透能力評估

依據現場試驗結果，按地形別判斷

適合地形：

1. 台地
2. 扇狀地
3. 自然堤防
4. 山麓堆積地
5. 丘陵地
6. 濱堤、沙丘地

不適合地形：

1. 沖積低地〈三角洲地帶〉
2. 回填土地
3. 舊河道、舊湖沼

二、生態入滲池保水量之設計計算

1. 降雨強度 I :

依據水土保持技術規範第二十三條：

降雨強度之推估值，不得小於下列無因次降雨強度公式之推估值：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + H \log T) \frac{A}{(t + B)^c} \quad \text{----- (1)}$$

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2 \quad \text{----- (2)}$$

$$A = \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2 \quad \text{----- (3)}$$

$$B = 55 \quad \text{----- (4)}$$

$$C = \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2 \quad \text{----- (5)}$$

$$G = \left(\frac{P}{4289 + 1.33P} \right)^2 \quad \text{----- (6)}$$

$$H = \left(\frac{P}{-6533 + 1.836P} \right)^2 \quad \text{----- (7)}$$

式中，T：重現期距(年)。

t：降雨延時或集流時間(分)。

I_t^T ：重現期距 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度(公釐/小時)。

I_{60}^{25} ：重現期距 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度(公釐/小時)。

P：年平均降雨量(公釐)。

A、B、C、G、H：係數。

當計畫區位於表列氣象站附近時，前項之年平均降雨量與 A、

B、C、G、H 等係數，可參考下表。

2. 滲透池集水面積 A 、貯集體積 V

圖 2-66 台灣年等降雨線圖

依據基地大小、使用活動行為與基地內滲透貯集設施之保水量為依據，決定其面積大小與貯集體積 V 。

3. 最終滲透量 Q

依據土壤滲透係數 k 值，與降雨延時 t 來推算最終滲透量。

4. 積水時間 t_w

依據空間多目的使用與衛生考量〈避免滋生病媒蚊〉，積水時間以一天為原則。

積水時間 $t_w = \text{積水深度 } h / \text{入滲速率 } f$

第三章 生態入滲池工法性能試驗解析

第一節 基礎調查

3-1.1 地質狀況(土壤滲透係數、地下水位)

地質狀況、地下水位. . 等對於滲透設施之滲透效能有相當大的影響的，故在設置滲透設施前，地質之調查計畫，是不可省略的步驟。本試驗場之土質為沙土，為滲透性能良好之地質，地下水位也符合設置標準，是適合設置 生態入滲池之位址。

一、地質鑽探報告

地下水位：2.49 公尺
表 3-1 鑽探地質資料

鑽探日期：2003/8/2

土壤說明	密度 γ_t (t/m^3)	含水量 Wn(%)	孔隙比 e	顆粒分析(%)			
				礫石	砂	沉泥	黏土
棕灰色沉 泥質細沙	1.92	26.8	0.76	0	81	17	2



圖 3-1 土壤鑽探試驗報告表

二、土壤滲透係數實測

試驗日期：民國九十二年八月二十七日

地點：台南成功大學建築系館

使用儀器：葛洛夫入滲儀

實驗步驟

步驟一：開挖試驗孔

土壤之透水性可以使用土質分析結果或現場滲透試驗來推估，由於各層土壤組成差異，因此透水性也不盡相同，故土質分析土樣之採取或現場滲透試驗，都應在滲透設施底部之預定深度進行。

滲透實驗鑽孔開挖時，一般開挖一垂直圓孔，本計畫中入滲池深度 0.5 公尺，預定開挖約 50 公分深的試驗孔來量測入滲參數，使用之鑽孔工具為綜合型手持採樣土器(Hand auger)。



圖 3-2 綜合型手持採樣土器(Hand auger)。



圖 3-3 組裝完成圖

試驗孔：深度 55 公分，直徑：8 公分

步驟二：開挖時除確認土壤外，必要時需採取代表性土壤進行實驗室分析。

步驟三：整理滲透面

鑽孔時，由於土屑之附著與掉落，可能於孔底殘留堆積土屑，而孔壁滲透面也可能因鑽孔而壓縮，顧必須觀察孔內的狀態，必要時需用刷子輕刷孔壁除去土屑，以免影響滲透面之滲透能力。

步驟四：定水頭實驗

使用儀器：葛洛夫滲透儀(Guelph permeameter)

現地測量土壤飽和滲透係數的方法很多，常用的有單筒滲漏計法及葛洛夫滲透儀等。通常土壤飽和滲透係數乃由實驗數據再經一維或三維穩定狀態滲透公式計算之，飽和滲透係數推估的準確性乃受實驗時達到穩定流程度的影響。



圖 3-4 葛洛夫滲透儀
(Guelph permeameter)

初擬以葛洛夫滲透儀量測土壤飽和滲透係數，作為生態入滲池設計的參考，葛洛夫滲透儀包括兩同心管，內管為空氣注入管，提供空氣，外管貯存測量時所需的水量。外管底部裝置一漏斗式〈Funnel-shaped〉之開關，量測時把內管向上移動，移動的距離決定水頭的高度，貯水用的外管大小

則隨實際的情形而定。



圖 3-5 讀取刻度、紀錄



圖 3-6 架設儀器於試驗現

葛洛夫滲透儀乃假設不飽和土壤管中〈試驗孔〉為三維穩定狀態滲透流，量測時利用內管與外管的壓力差來調節水頭，使試驗井內保持一定水頭，並紀錄單位時間內管柱上流量刻度的變化，直到單位時間流量變化相同，並計算注入總水量，然後以三維穩定狀態滲透公式之解必須由數值法獲得，故通常是以簡化公式計算飽和滲透係數，公式如下：

$$K = \frac{CQ_t}{2\pi H^2 \left[1 + \frac{C}{2} \left(\frac{a}{H} \right) \right]} \quad \langle \text{式 3.1} \rangle$$

式中 K 為土壤之飽和滲透係數；

Q_t 為到穩定狀態流量 $\langle \text{cm}^3/\text{min} \rangle$ 的深度；a 為試驗井半徑 $\langle \text{cm} \rangle$ ；

H 為試驗井之水頭高度 $\langle \text{cm} \rangle$ ；



圖 3-7 調整水頭高度

C 為一試驗井形狀參數，與土壤種類及 H/a 有關，可經由查表得到。

利用葛洛夫滲透儀量測所需的時間較短且用水量較少，較適合利用於偏遠且水源缺乏的地區，唯儀器成本高。本次試驗測得土壤飽和滲透係數 K 值為 $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 。

3-1.2 降雨強度推估

一、中央氣象局降雨定義

降雨強度(Rain intensity)是指單位時間內降雨量的多寡。

(1)在氣象觀測實務中，任何時間與地點的降雨強度可分為：

(a)「微雨」，無論降雨時間長短，其稀疏之雨滴不足以使暴露之地面濡濕。

(b)「小雨」，降雨之速率變化自雨跡(Trace)至每小時 2.5 公厘(0.10 吋)之間，且最大降雨率在六分鐘之內不超過 0.3 公厘(0.10 吋)者。

(c)「中雨」，每小時 2.6 公厘至 8 公厘(0.11 至 0.30 吋)，且最大降雨率在六分鐘之內不超過 0.8 公厘(0.30 吋)者。(d)「大雨」，每小時超過 8 公厘(0.30 吋)，或每六分鐘超過 0.8 公厘(0.03 吋)者。

(2)中央氣象局大雨及豪雨定義：

(a.)大雨：時雨量大於等於 15mm，日雨量 50~129mm。

(b.)豪雨：時雨量大於等於 15mm，日雨量大於等於 130mm。

二、台南降雨資料

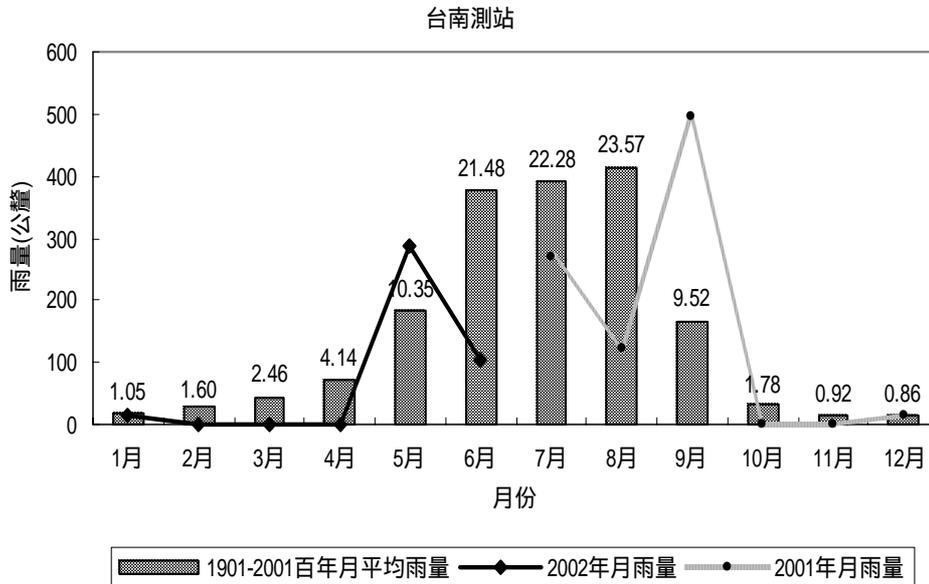


圖 3-8 台南各月平均雨量

(資料來源：2002 年台灣乾旱之省思柳中明¹ 許晃雄¹ 童慶斌²、陳明業²)

1 台灣大學大氣科學系

2 台灣大學生物環境系統工程學系

表 3-2 南部地區各雨量站無因次降雨強度公式 A、B、C、G、H

係數和年平均雨量表

測站	站號	A	B	C	G	H	年平均雨量(mm)
台南	430022	19.71402	55	0.63609	0.53450	0.32352	1750.9

依據上表計算得到台南地區重現期距 25 年，降雨延時六十分

鐘的降雨強度為 85 公厘/小時，又重現期距 100 年，降雨延時 1440

分鐘〈一天〉的降雨強度為 18.94 公厘/小時。

第二節 實驗設計

3-2.1 試驗場設計

1. 隔水板設計

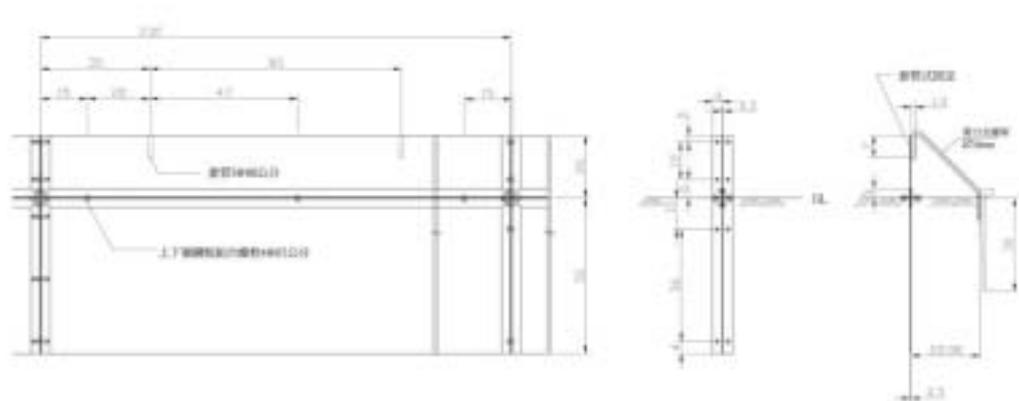


圖 3-9 組合式隔水板

為確保集水面積範圍，與排除非人工降雨計製造的水分流入生態入滲池，在四周設計組合式隔水板，埋入地下深度 50 公分，與生態入滲池底深度相同，突出地面 30 公分高，溢流孔位置，高出地平面 10 公分，故池底至溢流面的深度為 60 公分。

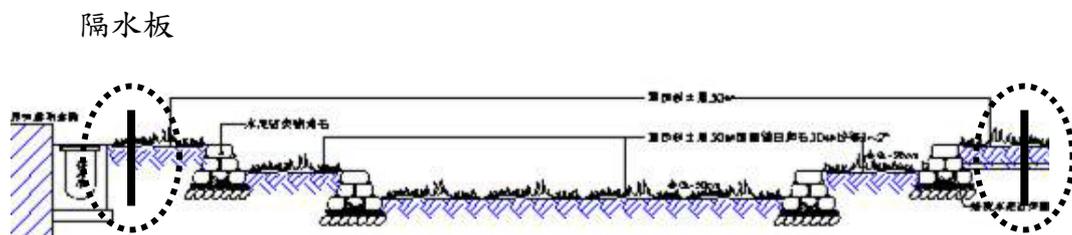


圖 3-10 生態入滲池剖面圖

2. 人工降雨器噴嘴、支架配置說明

本降雨器最大降雨強度 I 可達 100 公釐/小時，控制閥調整噴嘴壓力，
改變降雨強度。

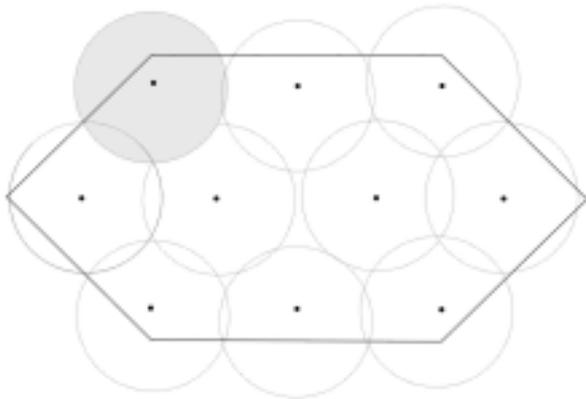


圖 3-11 人工雨場噴嘴配置說明

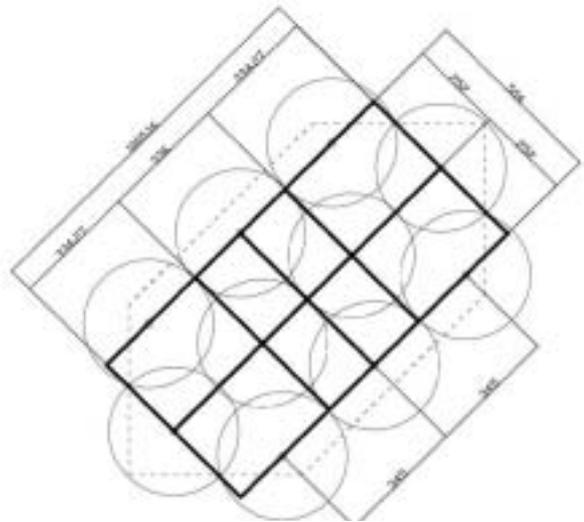


圖 3-12 人工降雨器支架平面圖

支架需具輕量化、抗風化、以拆裝極易搬運之特性，方便使用者組裝
拆卸與維修等需求。

3. 試驗場配置說明

滲透池四周以隔水版圍起，溢流孔連接流量計紀錄流出量，池底放置雨量計監測流入水量，水位計量測水位變化推算初始入滲數率，並埋入套管監測土壤水分含量。

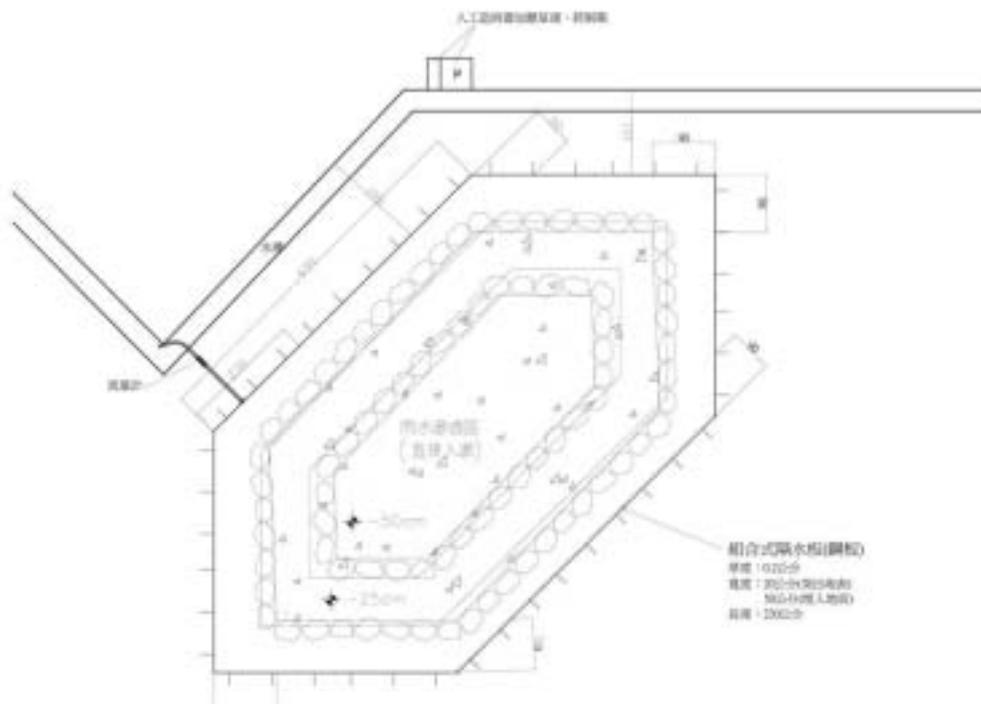


圖 3-13 試驗場平面配置圖

3-2.2 生態入滲池興建說明

為了進行「景觀化人工濕地處理校園污水之研究」及「生態入滲池」二項主要研究議題之實測解析，配合行政院「水與綠建設計畫」之子計畫「綠色廳舍改善計畫」之經費，由內政部建築研究所委託國立成功大學建築系執行，在成功大學光復校區建築系建置上述議題之實驗設施。

生態入滲池的設計，本研究群過去在「都市生態貯集水循環技術之研究」中，曾有廣範初步調查，為了進行「生態入滲池」之實驗必須設置儲水槽與動力馬達，藉助人造雨場設備，以模擬實際降雨情形，及模擬解析雨水入滲速率，測試地表逕流與入滲參數，作為後續治水、防洪及水資源再利用之基礎研究。

圖 3-14 成大建築系角落閒置空間



圖 3-15〈左〉
改造後圍牆內外可以共享水池景觀
圖 3-16〈右〉
改造後的人工溼地
景觀水池



圖 3-17 成功大學建築系景觀化人工濕地處理校園污水與生態入滲池施作情況，施工歷時四個月，民國九十二年七月到十月底完工。



圖 3-18〈左〉改造後景觀水池
圖 2-19〈右〉改造前情況



圖 3-20 改造前建築系下凹廣場，平日作上課活動用。



圖 3-21 改造後廣場景況



圖 3-22 生態入滲池，結合景觀生態防洪與學生活動之多功能廣場。



圖 3-23 多功能生態入滲池
平日可供學生上課活動之用途，當暴雨時可供雨水暫時貯集之生態滲透池之用途。

3-2.3 試驗設備

1. 未飽和土壤水分計 Sentek, DIVINER2000 (含四支預埋管)



圖 3-24 未飽和土壤水分計探測桿(上)
埋入套管 (下)



圖 3-25 讀取土壤含水量主機

數字值讀式土壤水分計，此主機可搭配測桿，直接讀取土壤含水量，可以及時了解不同深度之土壤水分含量，並能判讀不同水在土壤中之流動概況及分佈；其感測原理為高頻電容式〈High Frequency

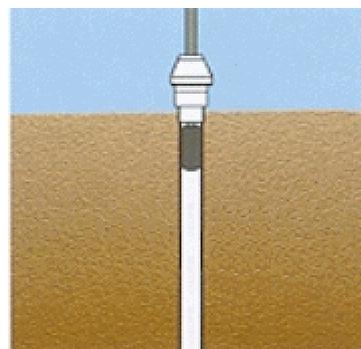


圖 3-26 探測土壤水分剖面

Capacitance) 其反應速率快、精確度高。本研究案用來監控及時水分入滲速率，以繪製土壤水分含量與時間的關係圖。

2. 水位計(keller, pr-36w)

水壓式水位計乃利用壓力式感應器；感應水壓並換算成需要的水位高程值，置於生態入滲池的底部，用來量測及時水位變化。

3. 流量計(BR40-P1-PS-2)

本實驗流量範圍在 $1.32\sim 6.6\text{M}^3/\text{HR}$ ，當水量溢流，可監測流出量 Q 。

4. 資料記錄器

現有紀錄計更新擴充頻道及軟體(8 通道類比輸入，1 通道脈衝輸入)

入)。用以下載水位計、流量計、雨量計即時紀錄資料，再傳輸至電

腦解析數據。

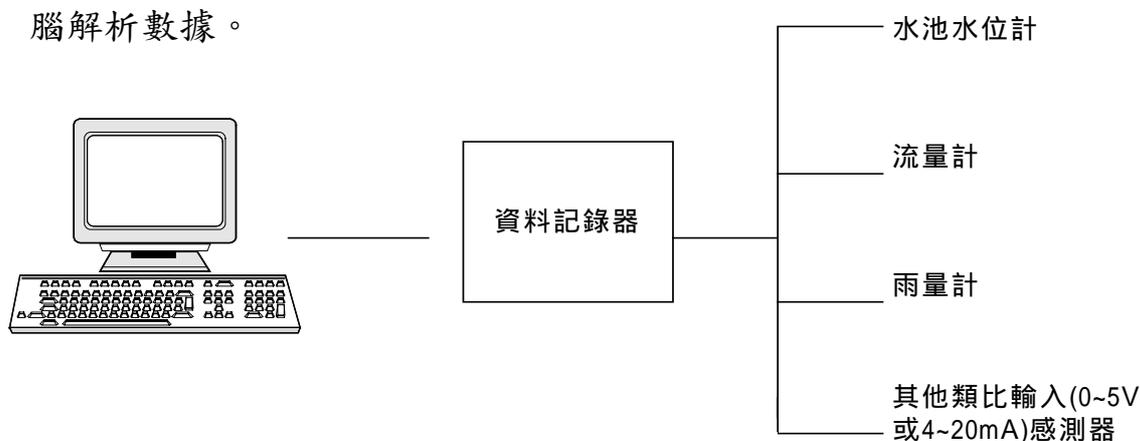


圖 3-27 資料傳輸系統圖

5. 綜合型手持採土器〈hand auger〉

測量土壤滲透係數 k 值試驗實，採土樣、鑽孔的用具。



圖 3-28 綜合型手持採土器

6. 葛洛夫滲透儀

以定水頭原理測量土壤滲透係數，在實驗之前，建立滲透設施底面滲透係數的基礎資料，作為設計保水量與實驗設計之參考依據。



圖 3-29 葛洛夫滲透儀

7. 雨量計

量測範圍：0~100mm/H

測定人工降雨器的降雨強度 I 值，降雨強度 $\langle I \rangle \times$ 集水面積 \langle 生態入滲池的面積 $A \rangle$ 可得到總流入的水量。

8. 人工降雨計 \langle 包含噴嘴、抽水機、控制閥、固定座、配管 \rangle

本實驗最大設計降雨強度可達 100mm/hr、噴嘴壓力 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 、噴角 60 度、雨滴落高為三公尺。

設備空間：馬達 $60 \times 60 \times 60\text{CM}^3$ 使用沉水式，置於地下水槽內。

所需電壓 220v

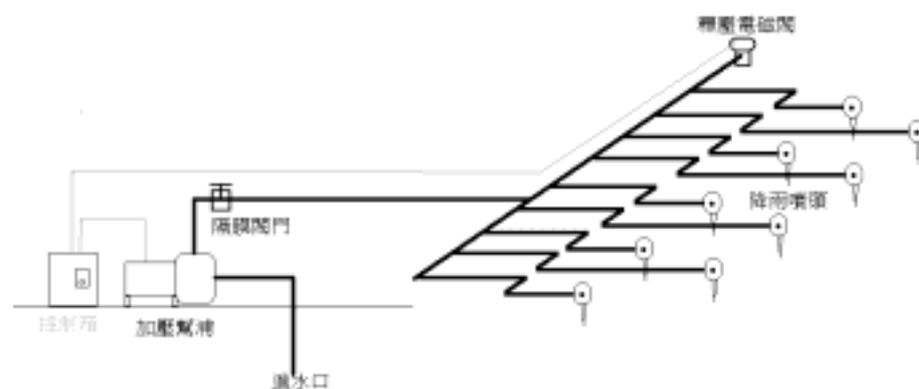


圖 3-30 人工降雨器配置

3-3.4 生態入滲池性能模擬解析

影響實驗的變因如表 3-3 所示，根據 2-3.2 小節生態入滲池滲透量設計推估原則，得出下列生態入滲池與人工雨場之基本設計量。

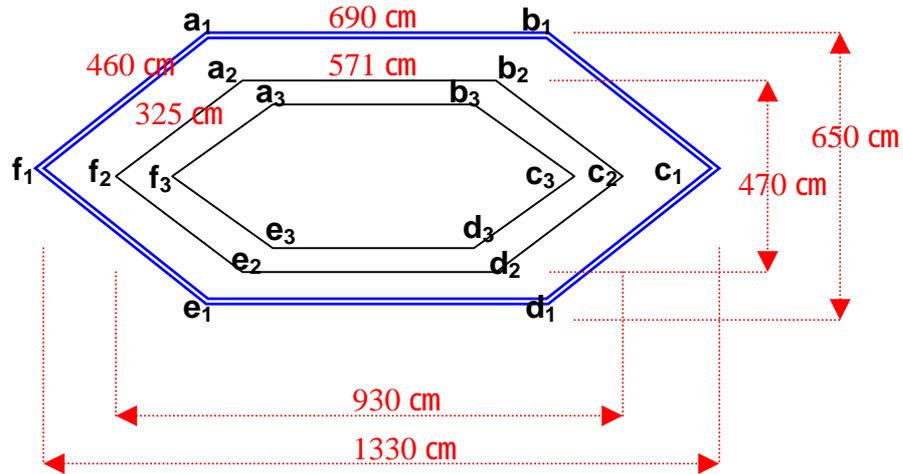


圖 3-31 生態滲透池平面、尺寸

表 3-3 生態入滲池試驗影響因子

人工降雨器影響因子	降雨強度 I(mm/hr)	20~100
	降雨延時 t(hr)	3~15(注滿水池)
生態入滲池影響因子	集水面積 $A_1(m^2)$	66
	滲透池體積 $V(m^3)$	17.05
	積水深度 H (cm)	60
	積水時間 $t_w(\text{min})$	約 16 小時 40 分
土壤影響因子	入滲係數 K(m/s)	沙土 10^{-5}
	入滲速率 f(m/s)	單位時間水分在土壤中移動的距離
	流量 (m^3/min)	0.02~0.1
其他氣候因子	蒸發量* (mm)	一天約 4.27mm(共 $0.28m^3$)

A_1 為六角形 $a_1b_1c_1d_1e_1f_1$ 為成之面積， $A_1=66.015 m^2$

A_2 為六角形 $a_2b_2c_2d_2e_2f_2$ 為成之面積， $A_2=32.672 m^2$

A_3 為六角形 $a_3b_3c_3d_3e_3f_3$ 為成之面積， $A_3=10.938 m^2$

*蒸發量參考表 3-4 台灣地區蒸發量統計

表 3-4 台灣地區蒸發量統計

地點	測站標高 (m)	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	六 月	七 月	八 月	九 月	十 月	十一 月	十二 月	觀測年數
台北	8	62.1	61.1	81.4	100.7	126.9	139.7	173.5	173.3	146.8	114.7	84.1	64.8	1897~1970
新竹	82.8	73.9	67.1	83.7	104.1	139.4	151.0	193.6	180.5	155.6	147.2	108.7	85.3	1938~1970
宜蘭	7.4	55.7	56.8	75.8	91.0	108.6	123.3	171.1	161.1	127.2	83.5	58.1	50.6	1937~1970
台中	83.8	95.2	91.6	110.7	125.6	152.5	150.6	175.7	163.2	155.4	154.3	117.1	98.0	1900~1970
花蓮	17.6	79.8	76.1	94.3	108.7	130.1	142.1	189.1	175.4	149.8	128.4	98.0	86.7	1922~1970
台南	12.7	94.8	98.7	130.9	149.3	166.0	143.8	152.8	142.3	143.9	138.7	107.4	91.4	1900~1970
台東	8.9	114.1	110.2	128.1	139.4	156.6	165.3	187.5	173.8	155.9	152.3	131.1	116.8	1901~1970
高雄	29.1	137.9	139.8	171.0	186.1	210.1	173.7	185.0	171.8	170.3	169.5	143.6	132.1	1932~1970

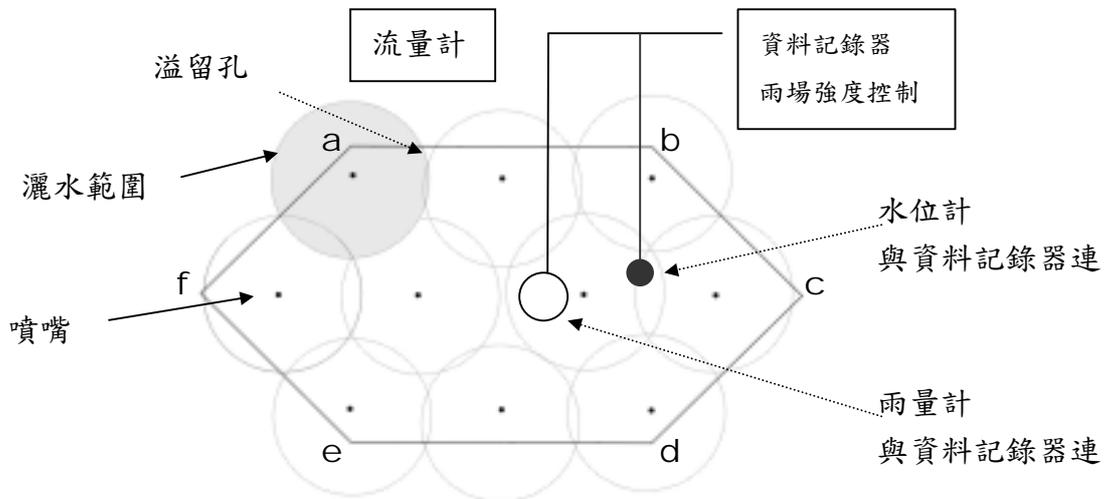


圖 3-32 成大建築系生態滲透池暨人工雨場試驗場平面配置

資料來：源應用水文學 3-127 頁

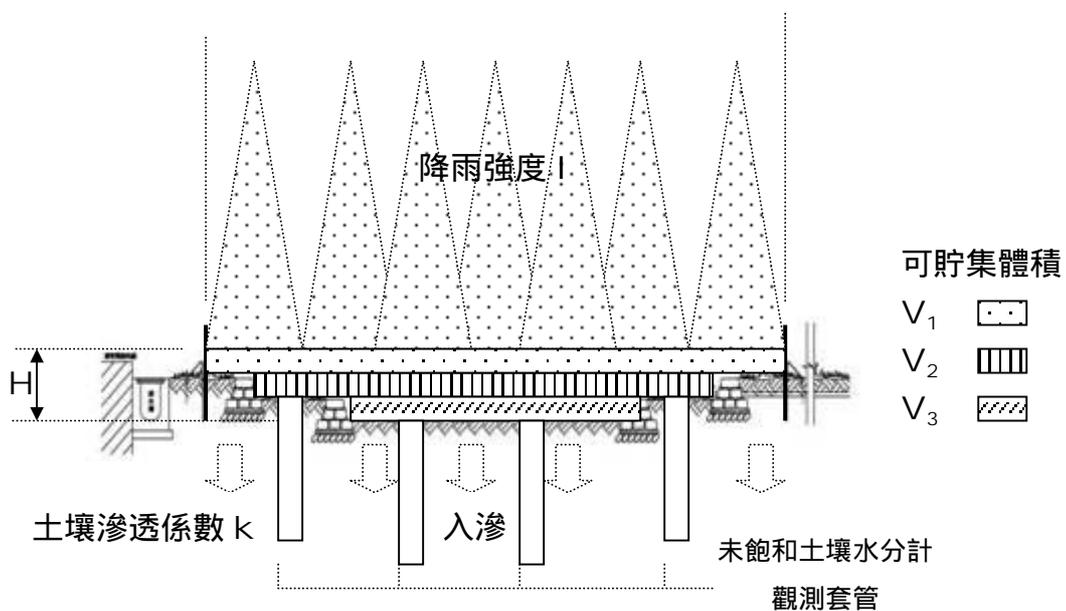


圖 3-33 成大建築系生態滲透池暨人工雨場試驗場

說明：

1. 人工降雨器影響因子

〈1〉降雨強度 I

本試驗場的人工降雨計，最大降雨強度為 100mm/hr，透過控制閥改變給水量，可以設定不同的降雨強度。

〈2〉降雨延時

降雨持續的時間，與降雨強度成反比，相同的重現期距，降雨延時越小，降雨強度越大。

本試驗場當降雨強度 I 為 100mm/hr，水池約在三個小時可以注滿。

2. 生態入滲池影響因子

〈1〉集水面積 A：

由隔水板圍成的六邊形 abcdef 的面積 A，如圖 3-33 所示，為了確保周圍的水分不會影響生態入滲池實驗，以深度與生態入滲池底相同的隔水板隔離，減低外界因素的干擾。

〈2〉貯集體積 V：

貯集池有三階台度，總貯集體積如圖 3-34 所示，分為 V_1 、 V_2 、 V_3 三部分， $V=V_1+V_2+V_3$ 〈式 3.2〉， $V=h_1A_1+h_2A_2+H_3A_3=17.05(\text{m}^3)$

〈3〉積水深度 H：

池底到溢流孔的高度為積水深度； $H=h_1+h_2+h_3=10+25+25=60(\text{cm})$ ，本

試驗場的設計深度為 60 公分。

〈4〉積水時間 t_w ：

考量安全衛生與使用問題，設計積水時間小於一天。

積水深度 H ÷ 入滲率 〈當入滲實驗將水位保持在極小的高度，所求得的入滲率幾乎與飽和土壤入滲係數 K 相同〉

$$= 0.6\text{m} \div 10^{-6} \text{ m/s} = 60000 \text{ 秒(約 16 小時 40 分)} \quad \langle \text{式 3.3} \rangle$$

3. 土壤影響因子

〈1〉滲透率 f 〈m/s〉：單位時間內

水分在土壤中入滲的距離，滲透率

會隨著降雨時間持續而遞減，最後

趨於定值 f_c ， f_c 為入滲進行長時間後

最穩定或最小之入滲率。入滲率之

數值可由現場入滲實驗可測得初始入滲率 f_0 。未飽和土壤水分含量即

時監測，透過下列公式可推得入滲率的變化。菲利浦氏公式

$$\langle \text{Philip, 1954} \rangle f = \frac{dF}{dt} = \frac{k}{\mu} \left[1 + \frac{(m - m_0)(P + H)}{F} \right] \quad \langle \text{式 3.4} \rangle$$

式中， μ 為流體之黏性； k 為飽和滲透率 〈saturated permeability〉；

F 為總入滲體積；

H 為土壤表面之水深；

P 為凋萎邊緣 〈wilting front〉之毛管勢能 〈capillary potential〉；

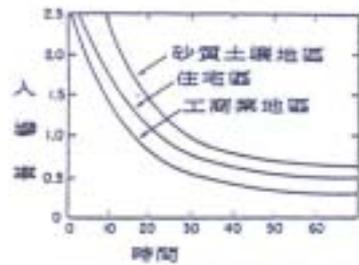


圖 3-34 不同土地使用對入滲例的影響

m_0 為土壤初期水分含量；

m 為在時間 t 土壤剖面內，平均含水量。

下圖為入滲過程土壤剖面內之水分分布情形，由下圖知土壤水分經入滲後，期含量隨深度增加而遞減，經飽和轉移〈transmission〉，濕潤而至乾燥。

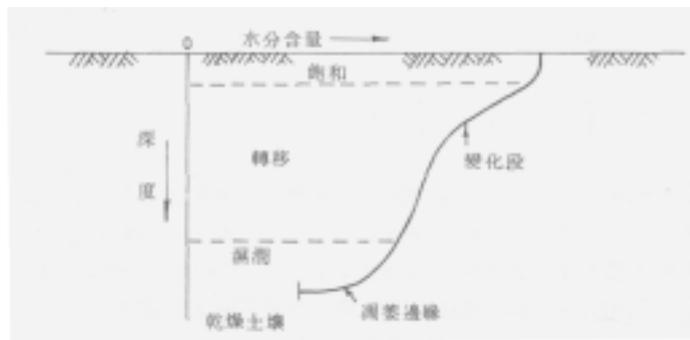


圖 3-35 土壤剖面水分分布圖
取自應用水文學，P. 3-118

〈2〉滲透係數 k ：為飽和滲透率，可由現場入滲實驗〈本研究案使用葛洛夫入滲儀儀器法〉，以三維穩定狀態滲透公式之解必須由數值法獲得，故通常是以簡化公式〈式 3.1〉計算飽和滲透係數，為一定值。

4. 其他氣候因子

蒸發量由表可推得台南地區一天的蒸發量

全年總蒸發量 1560 公厘/365 天=4.27 公厘/天〈式 3.5〉

每日蒸發量×集水面積=0.28m³〈式 3.6〉

每日蒸發體積量/雨水貯集體積=0.015=1.5%〈式 3.7〉

由〈式 3.7〉可知蒸發量佔極小比例，故在本研究中忽略不計。

3-3.4 實驗步驟

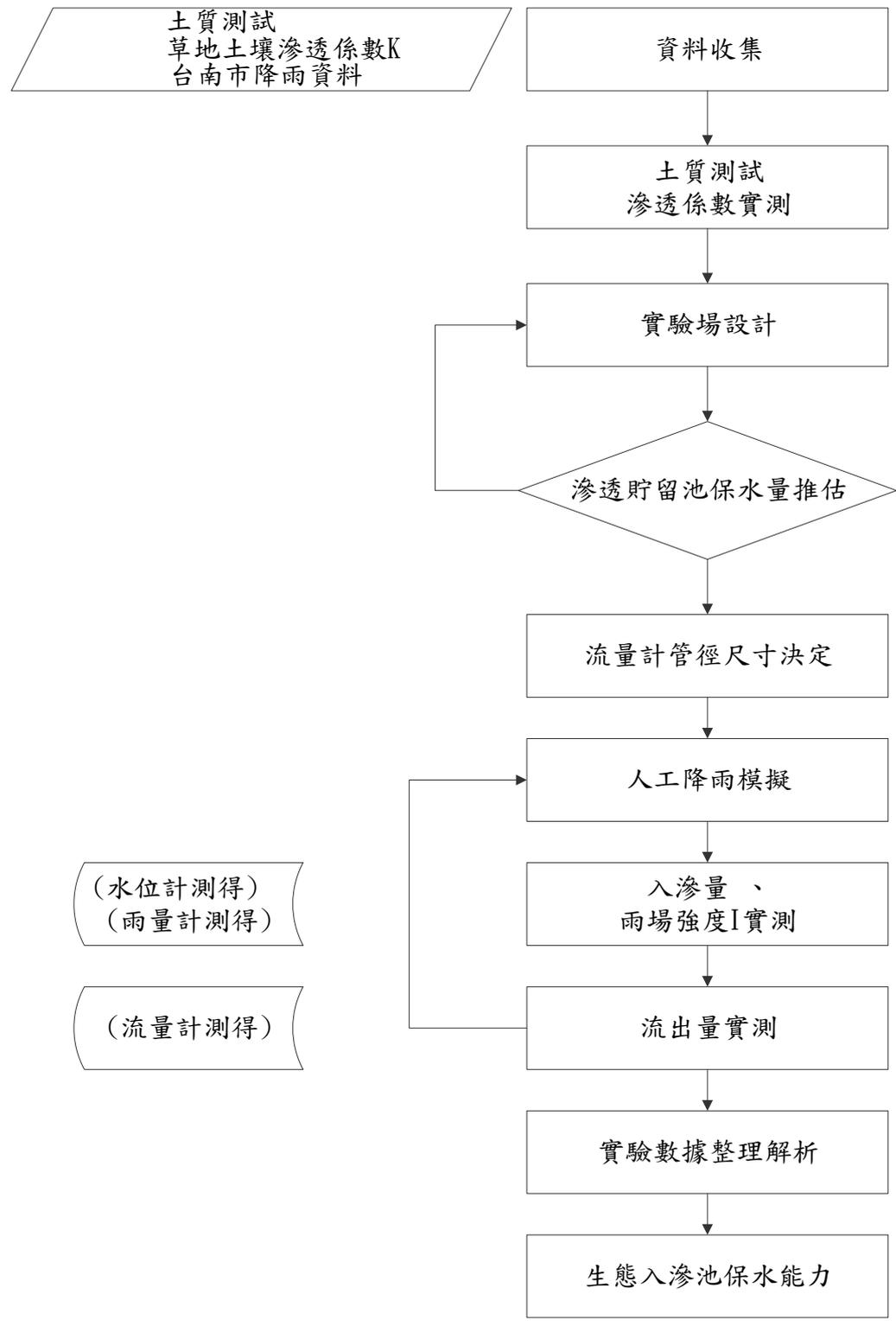


圖 3-36 實驗流程

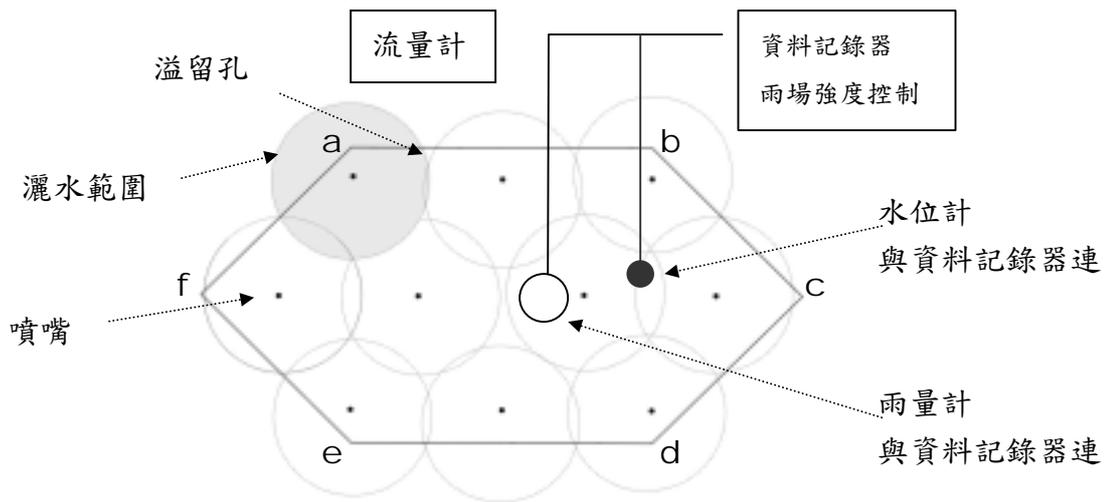


圖 3-37 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場平面配置

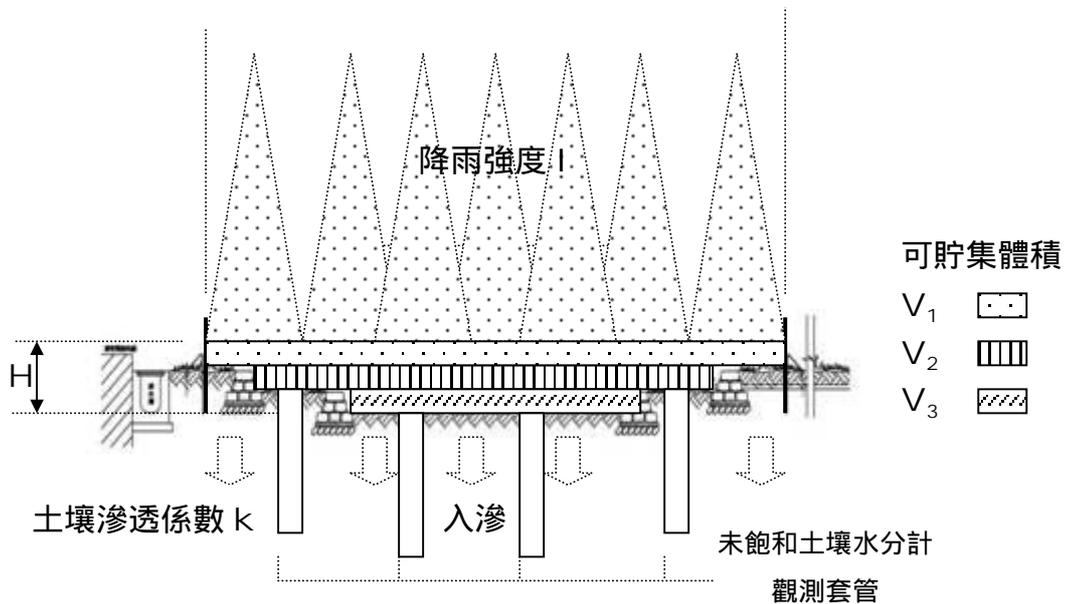


圖 3-38 成大建築系生態入滲池暨人工雨場試驗場

實驗依據下列 1 到 5 個步驟逐一進行，其步驟說明如下：

1. 首先依據水土保持法第 23 條，率定人工降雨器強度 I。
2. 啟動人工降雨器後，由雨量計測得降雨強度 I。



圖 3-39 人工降雨器



圖 3-40 雨量筒



圖 3-41 量測土壤水分



圖 3-42 未飽和土壤水分計主機、測桿

3. 當雨水開始入滲土壤後，埋設在土壤裡的觀測套管，插入未飽和土壤水分計探測桿，監測分層土壤水分含量，推算得到出始入滲速率 f 。

4. 假設入滲率隨降雨持續時間而遞減，當土壤水分飽和，池底水位開始上升，由池底放置水位計測得水位變化，



推算最終入滲速率 $\langle k \rangle$ 。

圖 3-43 水位計量測池底水位變化

5. 當水位高出溢留孔，由溢留孔流出，流經流量計，由流量計測得流量 $\langle Q \rangle$ 。



6. 由上述步驟可得實測之保水量，得到生態入滲池保水能力。

圖 3-44 流量計量測溢流之水量

生態入滲池實測保水量=IAt-Q〈式 3.8〉 ；

保水指標中，特殊保水設計的地面貯集滲透設施設計保水量 Q_4 ，

$$Q_4=V+kAt \text{ 〈式 3.9〉}$$

V：貯集體積 (m^3)

k：滲透係數 (或入滲率) (m/s)

A：集水面積 (m^2)

t：降雨時間 (t)

I：降雨強度 (m/s) -----量測值，由雨量計測得

Q：測得之流量 (m^3) -----量測值由流量計測得，水位計可測及

時水位，可換算成貯集量

3-3.6 生態入滲池性能數據解析

綜合上述方式模擬與時測結果，整理如下表：

影響因子	變數	推估	11/18 實測	11/26 實測
人工降雨器 影響因子	降雨強度 I(mm/hr)	20~100	173.5〈需修正〉 灌水： 0.34m ³ /min	灌水： 0.34m ³ /min
	降雨延時 t(hr)	3~15(注滿水池)	4 小時+灌水 33 分鐘	1 小時 47 分鐘
貯集滲透 池影響因子	集水面積 A ₁ (m ²)	66	66	66
	滲透池體積 V(m ³)	17.05	17.05	17.05
	積水深度 H(cm)	60	48.47	60
	積水時間 t _w (min)	約 16 小時 40 分	5 小時 22 分	8 小時 19 分
土壤影響因子	入滲係數 K(m/s)	沙土 10 ⁻⁵	5*10 ⁻⁵	5*10 ⁻⁵
	入滲速率 f(m/s)	單位時間水分 在土壤中移動 的距離	2.5*10 ⁻⁵	2*10 ⁻⁵
溢流	流量(m ³ /min)	0.02~0.1	無溢流	0.05~0.116 共溢流 4.026m ³
其他氣候因子	蒸發量* (mm)	一天約 4.27mm(共 0.28m ³)	量小忽略	量小忽略

實驗數據圖表整理

一、十一月十八日實驗結果

1. 水位逐時紀錄圖，水位計置於池底，故水位 0 公分是在池底開始向上計算。

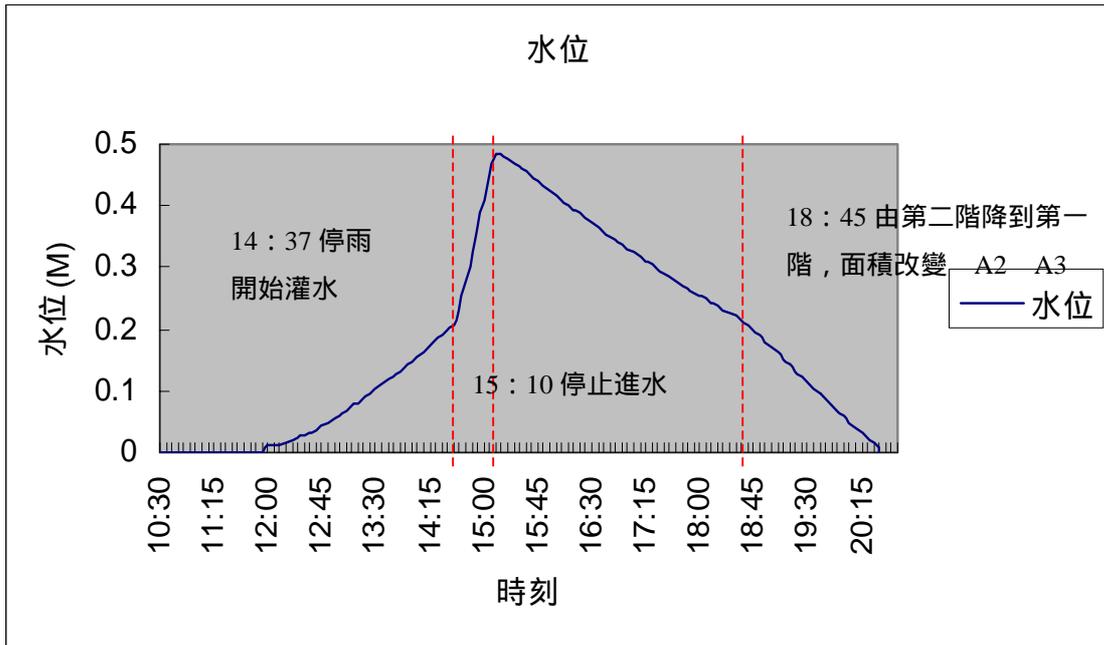


圖 3-45 水位逐時紀錄圖

2. 累積雨量-水位關係圖

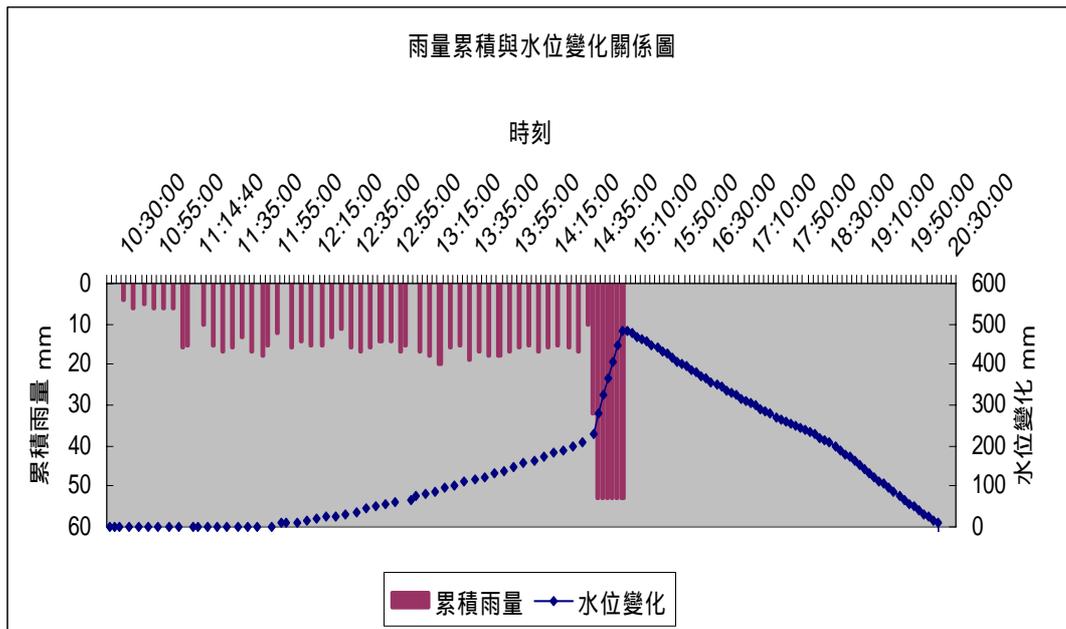


圖 3-46 累積雨量-水位關係圖

3. 入滲速率變化圖

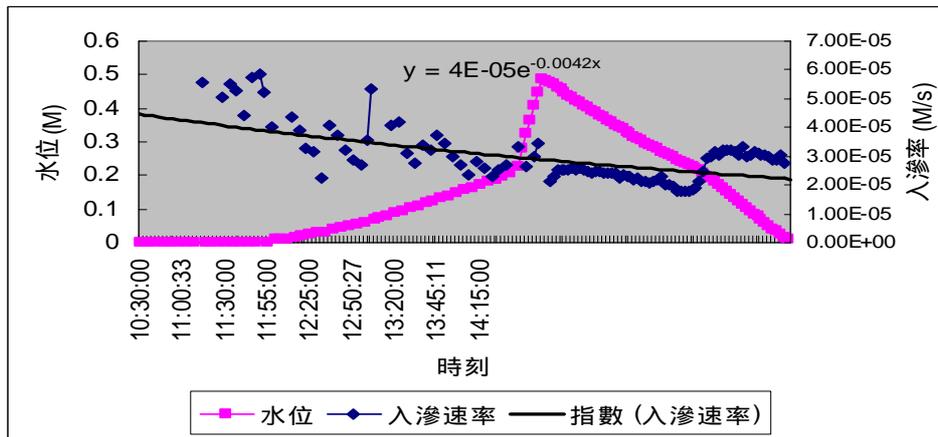


圖 3-47 入滲速率變化圖

18:45 由第二階降到第一階，面積改變 A2 A3

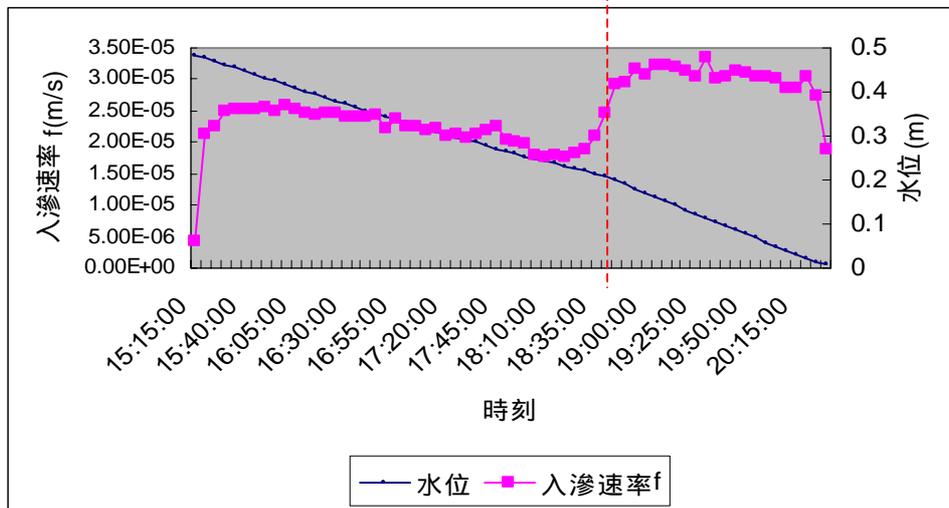


圖 3-48 停止進水後 水位—入滲速率逐實變化圖

二、十一月二十六日實驗結果分析

1. 水位逐時紀錄圖，水位計置於池底，故水位 0 公分是在池底開始向上計算。

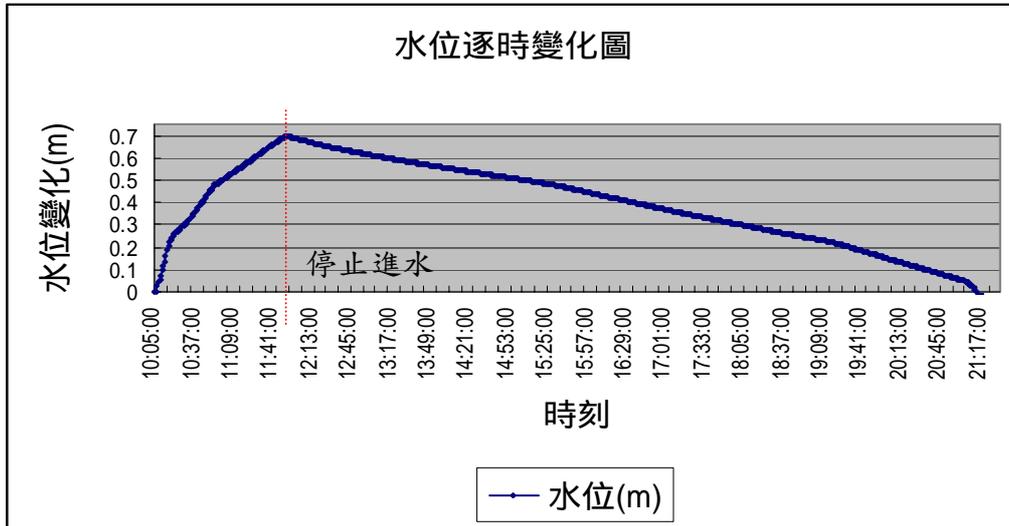


圖 3-49 水位逐時變化圖

2. 入滲速率變化圖

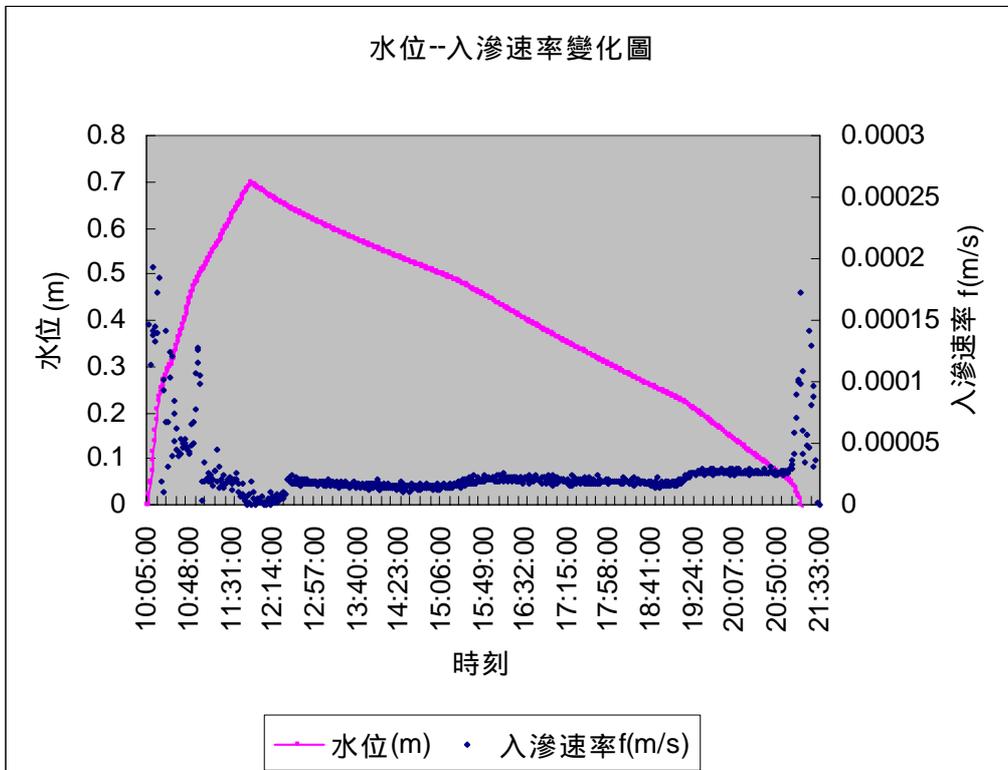


圖 3-50 水位—入滲速率變化圖

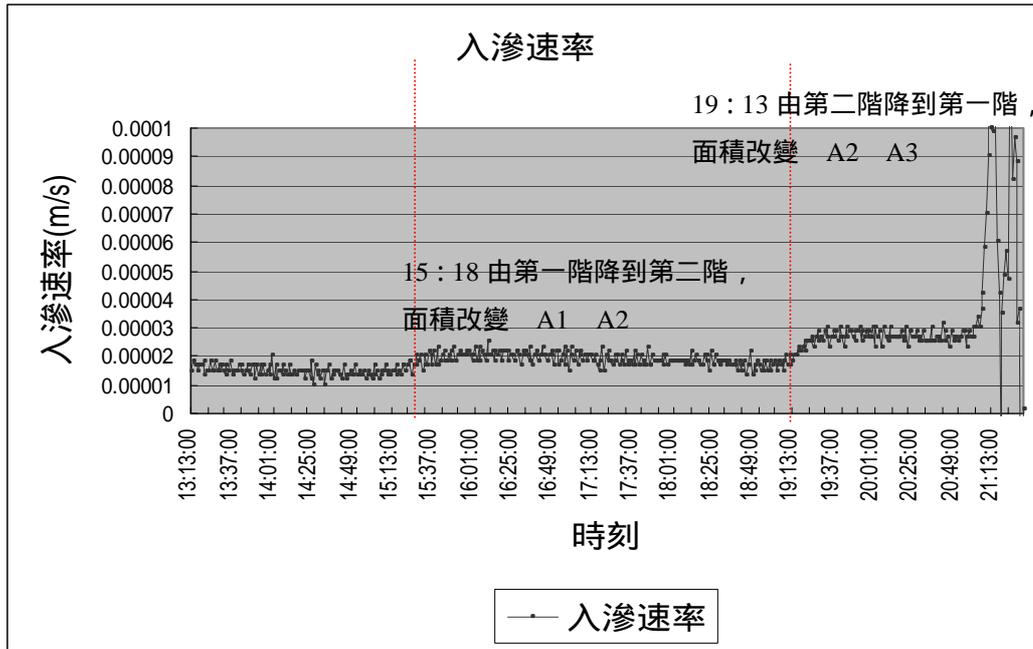


圖 3-51 停止進水後，入滲速率變化圖

第四章結論與建議

本研究探討生態入滲池保水性能研究，期望能以建築的觀點出發，探討降雨時在小型建築基地內以「入滲池」的手法增加土地保水能力，並計算貯集滲透雨水量多寡，以期將雨水短暫貯集於基地內，減輕公共排水設施的負擔。

目前台灣過多不透水設計，使大地喪失良好吸水、滲透、保水的能力，在土地使用集約的台灣，適合發展多目的使用的生態入滲池，平時可做廣場、停車場、公園...等用途使用，又可提供暴雨貯集滲透之用途。本研究所得之成果結論如下：

1. 生態入滲池手法形式彙整分析

彙整國內外案例，分析整理各種形式手法之生態入滲池，作為未來設計案例參考。

2. 建立本土基礎資料

以南部地區地質沙土為研究對象，本試驗場實測之飽和滲透係數 K 值為 $5 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、降雨強度設定在 100 到 20mm/hr 之間模擬入滲試驗。

3. 建立生態入滲池暨人工雨場模擬試驗場

建立降雨入滲模擬模型，短時間內收集各種降雨強度之實驗結果。本生態入滲池之貯集體積為 17.05m^3 ，當積水深度為 60 公分約

在 8 小時 19 分鐘可以入滲完畢。

4. 建立台灣本土性景觀生態入滲池設計準則

本研究計畫之生態入滲池設計結合景觀與廣場使用，可提供未來生態入滲池設計之參考範例。

建議

1. 生態入滲池設計建議

土壤滲透係數與現場實測相差倍數往往是以 10^X 為單位，故結果差距甚大，故要求準確之評估，有執行上的困難，僅能以建議值評估。

表 4-1 不同土質之生態滲透池建議設計形式

土 質	礫石	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
土壤滲透係數 K(cm/s)	10^{-1}	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}
積水深度(cm)	86400~864	864~8.64	8.64~0.0864	0.0864~0.000864	0.000864~0.00000864
積水時間(s)	86400(一天)	86400(一天)	86400(一天)	86400(一天)	86400(一天)
建議設置深度 (cm)	小於 60	60~10	0~10	不適合設置	不適合設置
建議設計形式	主要以滲透形式為主：地面貯集滲透設施如學校操場、遊戲場、廣場等、乾式景觀水池	主要以滲透形式為主：地面貯集滲透設施如學校操場、遊戲場、廣場等、乾式景觀水池	滲透形式輔以貯集形式：地下礫石貯集設施、地面貯集滲透設施如學校操場、遊戲場、廣場等、濕式景觀水池	暫時貯集形式：如：花圃、屋頂花園、分隔島、道路基底暫時貯集	暫時貯集形式：如：花圃、屋頂花園、分隔島、道路基底暫時集留
建議形式考量	深度以安全、衛生作為考量。學校內的設施，請設計者以國小、中學、大專院校等差異予以調整考量。	深度以安全、衛生作為考量。學校內的設施，請設計者以國小、中學、大專院校等差異予以調整考量。	此一土質滲透性能較差，輔以貯集形式，增加滲透設施之入滲量。	滲透性能差，以暫時貯集設施為主要設計考量。	滲透性能差，以暫時貯集設施為主要設計考量。

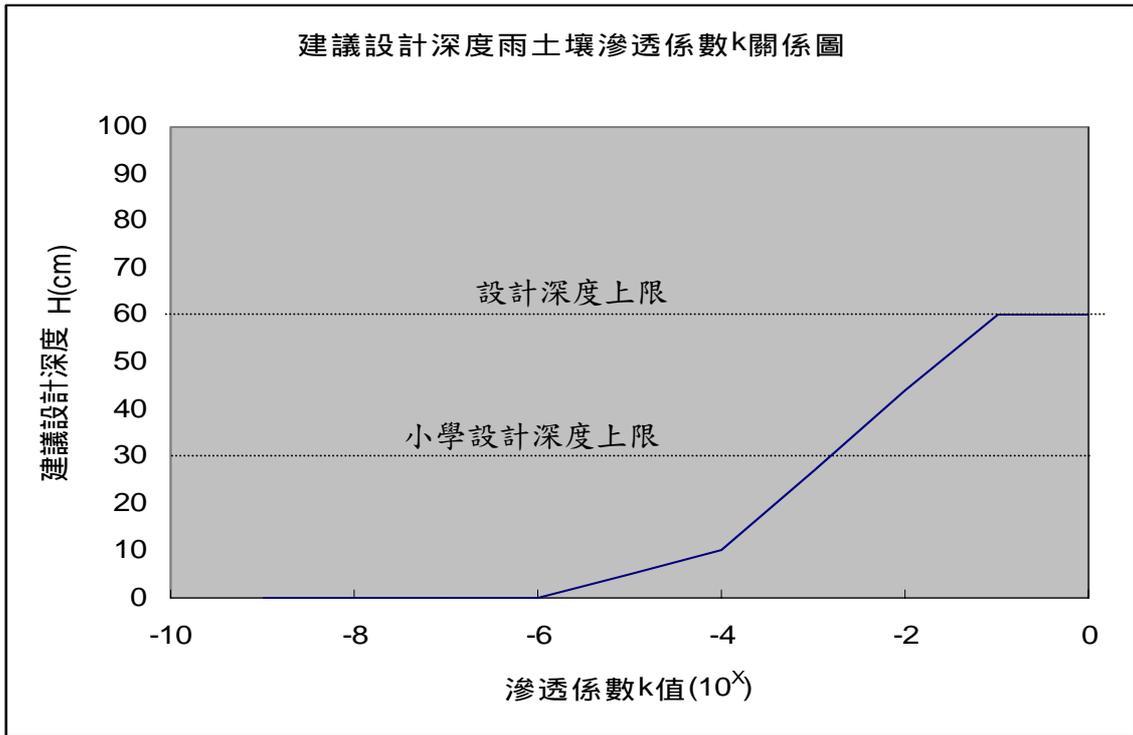


圖 4-1 生態入滲池建議設計深 H 度與土壤滲透係數 k 對應圖

本試驗場之土壤滲透係數 k 值，略為偏大，推測其可能原因為進行葛洛夫入滲儀實測 k 值時，是以裸露土壤為試體，且試驗場尚處於施工階段；而進行生態入滲池性能試驗試驗時，試驗場已完工，施工過程中將土壤壓密，且生態入滲池底種植草皮，此舉將會降低土壤滲透係數 k 值，故以葛洛夫入滲儀實測之 k 值會較生態入滲池性能試驗時測的高，但若得到之土壤滲透係數 k 值相差在 10 倍之內，仍屬容許誤差範圍之內。

由表 4-2 可以看出土壤滲透 k 對於積水時間有很大的差異，最正確的積水時間是以現地實測結果為準，但是執行不易，故亦可以現場實測之土壤入滲係數 k 值作為參考值，結果也可貼近實際實驗結

果，如果無法進行現場滲透實驗，可參考地質鑽探資料之滲透係數 k 值，誤差請設計者酌以列入設計考量。

表 4-2 不同方式測的之土壤滲透係數 K 與積水時間之關係

設計深度 H 為六十公分	積水時間
實驗實測結果	8 小時 19 分
以葛洛夫入滲儀實測之 k 值(5×10^{-3} cm/s)	3 小時 20 分
綠建築解說與評估手冊砂土之滲透係數 K(10^{-3} cm/s)	16 小時 20 分
地質鑽探資料之滲透係數 k 值(8.11702×10^{-4} cm/s)*	20 小時 32 分

*地質鑽探資料之滲透係數 k 值之估算方法，請參照表 4-3。

表 4-3 以地質鑽探資料簡易估算土壤滲透係數 k 值：

土壤種類	顆粒分析(%)			
	礫石	砂	沉泥	黏土
組成比例	0	81	17	2
土壤滲透係數 K 值	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}
平均 K 值**	$81\% \times 10^{-5} + 17\% \times 10^{-7} + 2\% \times 10^{-9} = 8.11702 \times 10^{-6}$			

**此一估算法為一簡易估算 k 值之方法，雖無物理上學理之根據，但仍可估算出大約之 k 值。

2. 後續研究建議

本研究以台南地質狀況和降雨特性作為試驗模擬的假設，未來應進一步改變各種控制變因，例如：地質狀況的模擬〈不同鋪面、不同土質、不同滲透係數...等〉、不同雨形設計...等，進行模擬試驗研究，建立更完整、豐富的本土生態入滲池設置參考依據與設計準則。

參考文獻

1. 吳明峰，1993 年六月，台灣地區紋溝間土壤沖蝕及其降雨強度之關係-量測分析，台大農工所碩士論文
2. 林憲德、廖朝軒，2002 年 12 月，都市生態 貯集水循環技術之研究，內政部建研所
3. 林子平，1998 年 6 月，基地保水性能實驗解析，成大建研所碩士論文
4. 王如意、易任，1996 年 7 月，應用水文學，國立編譯館
5. 歐陽嶠暉，2002 年，都市環境學，詹氏書局
6. 虫明功臣、石崎勝義等，1989 年 4 月，水環境的保全與再生，山海堂
7. 國松孝男、菅原正孝，1988 年 2 月，都市水環境的創造，技報堂
8. 林子平，2001 年 6 月，都市水循環之研究-地表不透水率之調查及逕流量實測解析，成大建研所博士論文

附錄

一、葛洛夫入滲儀操作流程

二、儀器規格

三、生態入滲池設計圖說

A. 成功大學建築系人工溼地暨雨水中水入滲實驗場地設計圖說

A-1 建築系人工溼地、雨中水暨再利用設施平面配置圖

B. 試驗場設計圖說

B-1 試驗場配置

B-2 雨水滲透區剖面圖

B-3 組合式隔水板設計圖

B-4 人工降雨器噴頭配置圖

四、期初、期中、期末會議審查回覆

一、葛洛夫夫入滲儀操作流程

<p>組裝葛洛夫夫滲透儀</p> 	<p>組裝完成</p> 	<p>開挖試驗孔</p> 
<p>清理土鏟</p> 	<p>清理滲透面</p> 	
<p>試驗井開挖完成</p> 	<p>架設葛洛夫夫滲透儀</p> 	<p>現地架設完成</p> 
<p>外管注入水</p> 	<p>抽除館內氣泡</p> 	

調整內管定水頭高度	內管柱刻度	讀取並紀錄刻度
		
試驗井內水頭高度(五公分)		
		

二、儀器規格

1.未飽和水分計

Sentek,DIVINER2000

含四支預埋管

規格：

1. 液晶直讀顯示
2. 測定原理：16Bit 高頻電容式，隔離式測量方式
3. 測定範圍：0~飽和體積土壤水分
4. 主機可儲存 99 筆量測值
5. 水分感測探感有 100M×4 支
6. 感測頭可依所需深度任意調整及測量
7. 測量速度反應快精確度高，可達±0.9%
8. 解析度可達 0.0001m³/m³
9. 土壤水分量測不受土壤 PH 及鹽分等因素干擾
10. 量測區域可達館外 10CM 邊幅

廠商：Sentek Pty Ltd.

2.水位計

型號：PR-36W

量測範圍：0-1M

量測精度：0.1%FS

Cable：10M

3.流量計

型號：BR40-P1-PS-2

顯示：6 位數 LCD，內含鋰電池，可用五年

功能：瞬間流量指示(單位：L/MIN 或 M²/HR)

口徑：40mm

材質：外殼銅合金，內部：ABS RESIN，葉輪：PVDF

接續方式：牙口

發信單位：1L

溫度：室溫(50°C以下)

4.資料記錄器

現有紀錄計更新擴充頻道及軟體(8 通道類比輸入，1 通道脈衝輸入)

記錄器型號：WS12-0801

類比輸入：8 通道

脈衝輸入：1 通道

記錄容量：

A. 類比：11500 筆資料每通道，可循環記錄

B. 脈衝：8100 筆資料，可循環記錄

類比輸入訊號：0~5VDC 或 4~20mA

精確度：12bit

記錄間隔：1～60分鐘、2、3、4小時或整時觀測。

資料通信格式：9600, N, 8, 1。

附 LCD 顯示，可顯示時間、電池電壓、各通道數值。

電源：6.5～15VDC。

可擴接有線式與無線式數據機或網路設備。

For Windows 98 / XP/2000 環境。

全中文化操作介面。

使用環境：溫度 -15～55°C以內

濕度 95%RH 以內

5.定水頭儀(給水槽、自計流量計、注水管、空氣抽除器、水位定位氣泡管)

6.綜合型手持採土器

7.葛洛夫滲透儀

8.雨量計

型號：TR-011

檢測方式到轉方式

量測範圍：0~100mm/H

9.人工造雨計

噴嘴、抽水機、控制閥、固定座、配管

設備空間：馬達 60*60*60CM³

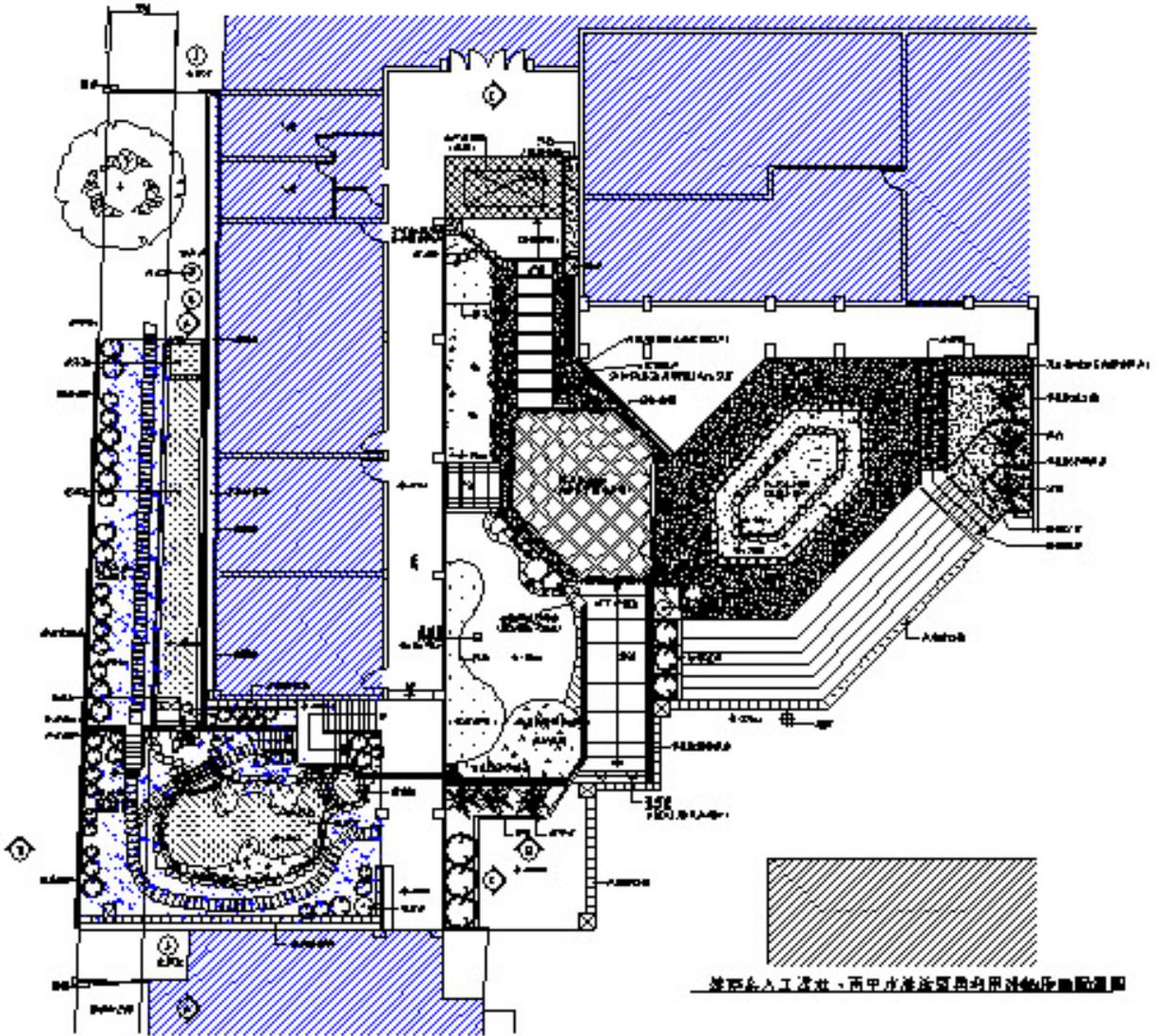
電壓 220

三、 生態入滲池設計圖說

築基地保水貯集技術設計規範與法制化之
研究--子計畫一生態池工法性能實驗解析

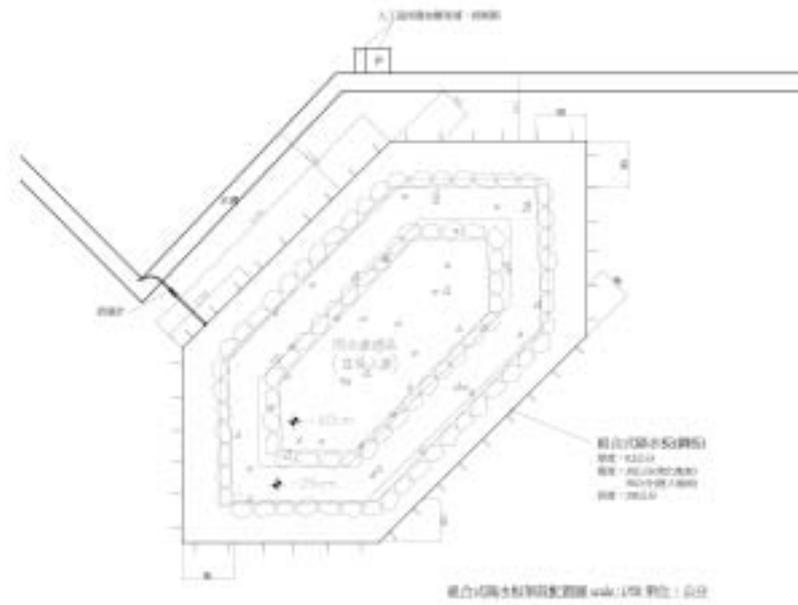
A. 成功大學建築系人工溼地暨雨水中水入滲實驗場地設計圖說

A-1 建築系人工溼地、雨中水暨再利用設施平面配置圖

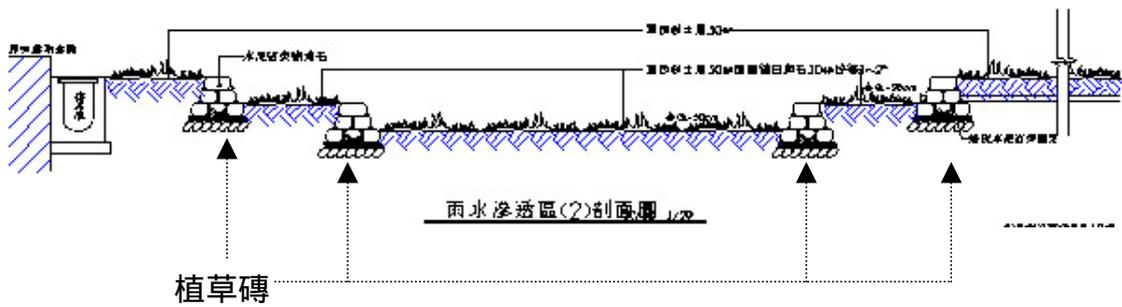


B. 試驗場設計圖說

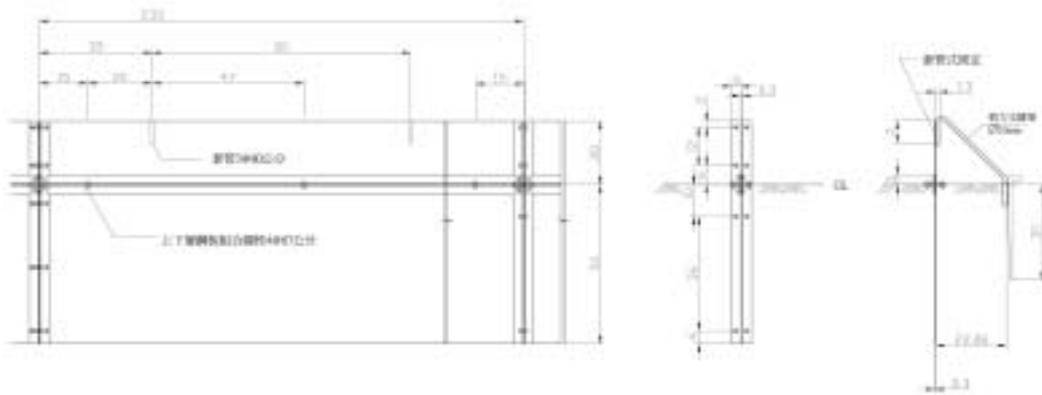
B-1 試驗場配置



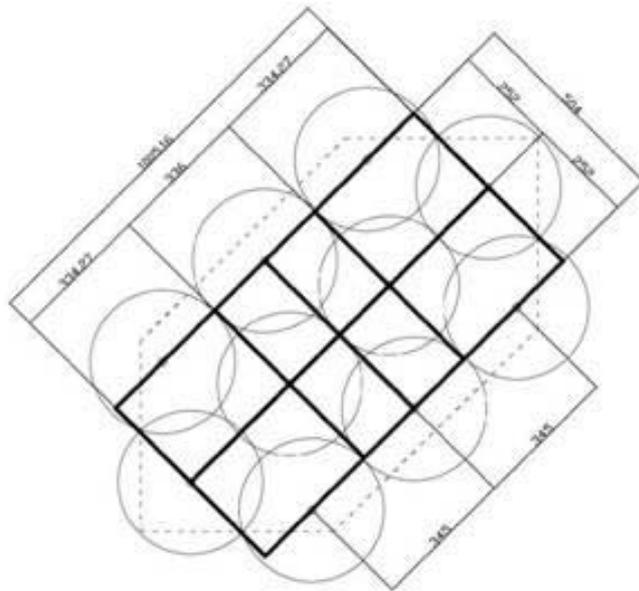
B-2 雨水滲透區剖面圖



B-3 組合式隔水板設計圖



B-4 人工降雨器噴頭配置圖



四、期初與期中會議審查意見答覆

內政部建築研究所「建築基地保水貯集技術」設計規範與法治化之研究

子計畫一「生態池」工法性能實驗解析

期初報告審查意見答覆

壹、陳組長瑞鈴	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 本案各年度研究成果完成時，建議增加於國際相關研討會或期刊報告發表之機會，以增進交流及品質。發表時請務必註明係由本所策劃委辦。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。
2. 請執行單位協助於本所率建築網站下建置專屬網頁，將本案相關之研究成果公佈，以供各界參考。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。
3. 本計畫為四年之連續計畫，相關實驗應長期追蹤監測，並進行分析評估及回饋檢討修正，以利擬定施行方式或政策之參考。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。
貳、王教授文安	
審察意見內容	審查意見答覆
本案服務建議書針對相關試驗及工法技術內容介紹不足，請予以補充。	感謝委員指正，將補充相關資料。
參、何副所長明錦	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 本研究計畫於本年度之預期成果應以具體且顯著之方式呈現。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。
2. 針對台灣降水時空分佈不均的特性，生態貯集池之水量及水質應如何維護？請執行單位內入計畫中一併考量處理	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。

期中報告審查意見答覆

壹、沈教授得縣	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 本研究從設計規範與法制化著手進行建築基地保水貯集滲透研究立論良好值得肯定，但如何落實執行為本研究之主要課題。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。
2. 在本研究中有「生態池」、「生態入滲池」、「生態滲透水池」等名詞不一致的形況，請分別與以分類敘明。	感謝委員指正，業已修正釐清。
3. 生態池及人造雨試驗場應配合其他用途作多功能規劃考量，期試驗變數期試驗方法，請於未來報告中詳細說明。	感謝委員指正，將補充相關資料。
貳、邱教授垂德	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 本建築基地保水貯及技術之第一期報告中，在國內外「生態池」工法現況調查相當完整，對於整體研究之規劃亦很周全，相信在研究團隊的努力下，必可圓滿達成原先規劃的目標。	感謝委員鼓勵，本研究團隊將會繼續努力。
2. 未來實際案例觀測方面配合「綠色廳舍改造計畫」，由公共工程率先示範，方向相當正確，但為能使設計規範與法制化順利應再增加示範案例。同時建議規劃在交通建設領域中應用，例如機場、港埠基地、公路〈橋樑、道面〉周邊綠帶安全島設計「生態入滲池」系統，並考慮未來在一般住家建築基地規劃「生態入滲池」之觀察，以擴大執行成效。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量。
參、歐陽教授嶠暉	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 生態池的目的是以滯洪為目的或以增加入滲為目的，其設計考量完全不同，請與以釐清說明。	感謝委員建議指教，本研究以入滲為目的，將補充相關說明於後續報告中。
2. 生態池若以入滲為目的，於與土壤性質、地下水蒸發及人工改良土壤等影響很大，請研究單位參考。	感謝委員指導，本實驗場已進行地質鑽探，寶貴意見已列入考量。

3. 入滲池的收集與非點源有密切的關係，同時水質衍生之問題、安全問題皆應納入考量。	感謝委員建議指教，寶貴意見將列入設計考量。
肆、陳組長建忠	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 入滲量應考量溫濕度、風向、風量等影響蒸發因素，建議納入建立實驗場生態池時考量。	由於台南地區蒸發量佔生態入滲池總貯留量的極小部分，本研究將此因素忽略不計。

期末報告審查意見答覆

壹、王簡任技正榮進	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 本研究收集相當多的案例，未來應可提供業界參考，另外對於貯集滲透工法之案例可考量進一步建立各詳細的設計與施工參考手冊。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量，未來有機會可繼續進行詳細之研究。
2. 對於實驗部份透過本研究有關之實驗將有助於本土性基礎資料的建立，尤其是各種不同土壤性質的滲透狀況或相關之檢討設計資料，建議可逐步擴大建立。	感謝委員指導，寶貴意見將列入考量，未來有機會可繼續進行詳細之研究。
貳、陳副總工程司弘由	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 除降雨強度外，雨型亦影響入滲率，模擬保水能力試驗是否須考量此因素請斟酌。	感謝委員建議指教，寶貴意見將列入實驗設計考量。
2. p18 第五行廣場雨水滯留池設計貯水量，可儲存…，等敘述不完全正確，須有控制設施或機制才有可能消滅洪峰流量。	感謝委員指正，業已修正釐清。
3. 生態水池兼顧景觀與生態，較難施設，須有深入研究。	感謝委員建議指教，寶貴意見將列入實驗設計考量。
貳、歐陽教授嶠暉	
審察意見內容	審查意見答覆
1. 本計畫針對貯集入滲法之案例，已有完善觀念之介紹，可供後續研究之參考。	感謝委員鼓勵，本研究團隊將會繼續努力。
2. 本實驗用化糞池流出水作為水源，其水質在衛生上，及水中所含固體物，與雨水水質不同，可能影響長期監測之結果。	感謝委員指正，給水管路離分離，此一疑慮業已修正釐清。
3. 本計畫原規劃用人工降雨方式進行噴灑，但若長期實驗可考慮用壓力等噴水方式替代。	感謝委員建議指教，寶貴意見將列入實驗設計考量。
4. 長期使用人工溼地出流水，其消毒方法應加注意。	感謝委員指正，給水管路離分離，此一疑慮業已修正釐清。
5. 未來之應用標準，可朝向訂出不同地	感謝委員建議指教，寶貴意見將列入生

質、不通蒸發量下之單位面積滲入量著手。	態入滲池保水評估建議中。
---------------------	--------------

GPN : 1009204568
ISBN : 957-01-5951-0

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化之研究
子計畫一：「生態池」工法性能實驗解析

內政部建築研究所

九十二年度

建築基地保水貯集技術設計規範與法制化之研究子計畫一
「生態池」工法性能實驗解析

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 27362389

地址：台北市敦化南路二段 333 號 13 樓

網址：<http://abri.gov.tw>

出版年月：九十二年十二月

版（刷）次：

工本費：

GPN：1009204568

ISBN：957-01-5951-0(平裝)