

# 生態工程滲透陰井容量設計之 保水滲透性能影響分析

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 95 年 12 月

# 生態工程滲透陰井容量設計之 保水滲透性能影響分析

研究人員：徐虎嘯 副研究員  
高嘉隆 副研究員

內政部建築研究所自行研究報告  
中華民國 95 年 12 月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF THE INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

# The Experimental Analysis of Infiltration Well Using Ecological Engineering Design

BY

HSU HU HSIAO

KAO CHIA LOONG

December 30, 2006



生態工程滲透陰井容量設計之保水性能影響分析

內政部建築研究所自行研究報告

95 年度

## 目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與目的.....	1
第二節 研究方法.....	8
第二章 臺灣城鄉發展對水環境之影響.....	9
第一節 都市水文化之發展.....	9
第二節 臺灣水資源之窘境.....	11
第三節 養殖漁塭超抽地下水的危害.....	17
第四節 黑珍珠傳奇的代價.....	20
第五節 人定勝天的公共工程.....	22
第六節 地層下陷的省思.....	24
第七節 城鄉發展後之地表逕流處理方式.....	26
第三章 滲透設施之型式與特性.....	33
第一節 滲透設施之構造與用途.....	35
第二節 影響滲透設施之因素.....	47
第三節 滲透設施設置位置之探討.....	52
第四章 滲透陰井之設計理論探討及試驗規劃.....	55
第一節 三維穩定流入滲理論模式.....	56
第二節 滲透陰井入滲量近似方程式之推估.....	59
第三節 滲透陰井入滲容量設計公式.....	62
第五章 滲透陰井保水性能現地試驗結果分析.....	65

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

第一節	現地土壤滲透試驗流程建立.....	65
第二節	試驗現地土壤之飽和滲透係數.....	69
第三節	滲透陰井現地施工規劃.....	80
第四節	滲透陰井容量設計與性能分析.....	88
第六章	結論與建議.....	101
第一節	結論.....	101
第二節	建議.....	104
附錄	.....	105
參考書目	.....	109

## 表次

表 3-1 各種滲透設施特性評估比較表 .....	37
表 3-2 各種滲透設施污染物去除率比較表 .....	38
表 3-3 土壤種類與入滲率及最大設計深度之關係表.....	49
表 3-4 滲透設施設置前之建議初步調查項目與評估 原則.....	53
表 5-1 定水頭試驗方法解說表 .....	65
表 5-2 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 1) .....	76
表 5-3 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 2) .....	77
表 5-4 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 3) .....	78
表 5-5 滲透陰井(直徑 30cm、開孔率 0.892%)滲透 試驗結果 .....	88
表 5-6 滲透陰井(直徑 40cm、開孔率 0.783%)滲透 試驗結果 .....	89
表 5-7 滲透陰井(直徑 40cm、開孔率 0.3915%)滲透 試驗結果 .....	89
表 5-7 滲透陰井(直徑 40cm、開孔率 0.3915%)滲透 試驗結果 (續) .....	90
表 5-8 滲透陰井(直徑 50cm、開孔率 0.708%)滲透 試驗結果.....	90
表 5-9 滲透陰井(直徑 50cm、開孔率 0.354%)滲透 試驗結果.....	91

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

## 圖次

圖 1-1 都市化造成水環境之影響 .....	2
圖 2-1 台灣地區地層下陷分佈圖 .....	14
圖 2-2 海水入侵示意圖 .....	15
圖 2-3 屏東平原地層海水入侵示意圖 .....	17
圖 2-4 都市發展對水環境影響示意圖 .....	25
圖 2-5a 日本都市開發前之水環境影響示意圖 .....	28
圖 2-5b 日本都市開發中之水環境影響示意圖 .....	29
圖 2-5c 日本都市開發後之水環境影響示意圖 .....	30
圖 2-6 保水貯留滲透設施對都市之水環境影響示意圖 ..	31
圖 3-1 基地保水滲透設施整體規劃配置示意圖 .....	35
圖 3-2 擴水型滲透設施之構造型式與用途 .....	36
圖 3-3 貯留型滲透設施之構造型式與用途 .....	37
圖 3-4 草溝構造示意圖 .....	39
圖 3-5 豐富生態且具示範性質的滲透草溝 .....	40
圖 3-6 草帶構造示意圖 .....	41
圖 3-7 滲透排水管示意圖 .....	42
圖 3-8 滲透陰井示意圖 .....	42
圖 3-9 滲透測溝示意圖 .....	43
圖 3-10 具實驗與示範性質的滲透側溝 .....	44
圖 3-11 滲透渠示意圖 .....	45
圖 3-12 滲透乾井示意圖 .....	46
圖 3-13 三角座標土壤分類 .....	48
圖 4-1 滲透井示意圖 .....	56

圖 4-2 滲透陰井入滲示意圖 .....	59
圖 4-3 滲透陰井貯蓄狀況示意圖 .....	62
圖 5-1 綜合型手持採土器 .....	66
圖 5-2 試驗孔填充方式示意圖 .....	67
圖 5-3 葛洛夫滲透儀之基本構造 .....	69
圖 5-4 土壤飽和滲透係數試驗概況 (1) .....	71
圖 5-5 土壤飽和滲透係數試驗概況 (2) .....	71
圖 5-6 土壤飽和滲透係數試驗概況 (3) .....	72
圖 5-7 土壤飽和滲透係數試驗概況 (4) .....	72
圖 5-8 土壤飽和滲透係數試驗概況 (5) .....	73
圖 5-9 土壤飽和滲透係數試驗概況 (6) .....	73
圖 5-10 土壤飽和滲透係數試驗概況 (7) .....	74
圖 5-11 土壤飽和滲透係數試驗概況 (8) .....	75
圖 5-12 試驗孔葛洛夫滲透儀觀測入滲曲線 .....	79
圖 5-13 試驗滲透陰井 (1) .....	80
圖 5-14 試驗滲透陰井 (2) .....	81
圖 5-15 試驗滲透陰井鋪設概況 (1) .....	82
圖 5-16 試驗滲透陰井鋪設概況 (2) .....	82
圖 5-17 試驗滲透陰井鋪設概況 (3) .....	83
圖 5-18 試驗滲透陰井鋪設概況 (4) .....	83
圖 5-19 試驗滲透陰井鋪設完成圖 .....	84
圖 5-20 試驗滲透陰井加水示意圖 .....	85
圖 5-21 試驗滲透陰井水位量測圖 (1) .....	86
圖 5-22 試驗滲透陰井水位量測圖 (2) .....	86

圖 5-23 試驗滲透陰井人工加水示意圖 (1) .....	87
圖 5-24 試驗滲透陰井人工加水示意圖 (2) .....	87
圖 5-25 滲透陰井 (直徑 30 cm、開孔率 0.892%) $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	92
圖 5-26 滲透陰井 (直徑 40 cm、開孔率 0.783%) $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	92
圖 5-27 滲透陰井 (直徑 40 cm、開孔率 0.3915%) $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	93
圖 5-28 滲透陰井 (直徑 50 cm、開孔率 0.708%) $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	93
圖 5-29 滲透陰井 (直徑 50 cm、開孔率 0.354%) $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	94
圖 5-30 滲透陰井觀測值與理論值 $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	95
圖 5-31 滲透陰井觀測值與理論值 $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	96
圖 5-32 滲透陰井觀測值與理論值 $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖 .....	96
圖 5-33 滲透陰井 $A_{us}$ 、 $H$ 與 $r$ 設計曲線 .....	98
圖 5-34 滲透陰井 $F_{ALL}$ 、 $H$ 與 $r$ 設計曲線 ( $t=60$ min) .....	98

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

## 摘要

關鍵詞：綠建築、基地保水、滲透陰井、比滲透面積、開孔率

### 一、研究緣起

由於都市生活機能完善，成為人口匯聚之地，人口集中於都市導致都市居住用地需求急遽增加，舊都市土地一旦不敷所需，都市居民勢必向都市周圍發展，造成都市區域擴展，當擴展至郊外時，原有的溼地、水田、森林、綠地等區域也因而開始產生都市化之現象，如此將使得這些土地原有之逕流機制發生改變，進而造成城鄉水環境之丕變。近年來台灣地區都市化的程度及範圍加大且加深，進而影響了原本平衡的水文機制，同時也使得現有都市區域缺乏保水、滲透及蒸發機能，造成流域整體的水土保持機能降低，也因都市發展範圍擴大，造成許多非點源污染物質隨著逕流直接排入下游，產生許多都市水環境之不利影響。

水資源就像能源一樣，是城市和所有人類集居地所不可或缺的，但是它的價值卻像能源一樣被徹頭徹尾的低估了。人類棲息地的未來，需倚靠政府保衛這些重要財產的意願，然而處在這快速成長的城市中，政府在土地使用管理上就須採取更多更適當的控制，且其挑戰也會越高，因此對這些雨水；與其想藉由更高的堤防，或是更多的抽水機來避免洪水的侵擾，到不如認真地去思考如何導引這些原為人類生命支援的雨水流往他原本該去的方向。

台灣因都會區綠地不足與社區過度不透水化，土地喪失水之涵養力亦使得地表逕流量暴增造成水災頻傳。然而這些災難並非不可避免，山坡地社區也並非完全不可開發，因此只要加強建築基地保水及透水設計就可減緩其弊害。然而現階段我國綠建築政策對於滲透設施相關設計技術，尚處於理論假設之計算層次，據此本所於 92

年起，分4年辦理「滲透管溝」、「透水鋪面」、「生態水池」、「人工濕地」及「雨水貯留」等設計規劃委託研究計畫，並已於本（95）年度完成相關設計規範，但對於適用於都會區建築設計的「滲透陰井」容量設計規範，並未納入計畫中，而本研究將可彌補上述研究的不足，同時相關研究成果將可有效提供設計使用者，作為未來綠建築基地保水設計之需要。

## 二、研究方法及過程

依據上述研究目的，本研究的研究方法及過程概述如下：

### （一）滲透陰井容量設計分析

滲透陰井為具有「多功能」及「多樣化」的逕流處理設施，在歐美等國早已被廣泛採用，一般應用上均以土壤飽和狀態下之最終入滲量作為保守之設計基準，而最終入滲量與水深、陰井幾何形狀、土壤特性等均有密切關係。國內目前對於此技術尚處於理論假設計算層次，既無試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，因此本研究將藉由不同水深穩定狀態下之最終入滲量量測，並利用迴歸分析的方式，建立最終入滲量與水深的迴歸方程式，並據以進行滲透陰井容量設計理論驗證分析與探討。

### （二）滲透陰井試驗規劃

為探討滲透陰井之入滲性能，建立本土化設計參數，本研究在選定試驗場址及陰井形式後，隨即開始入滲率現場試驗及土壤種類判定等試驗，同時進行相關測試與修正，據以建立標準試驗程序。

### （三）開孔率變化對滲透陰井的影響

依據研究結果發現，不論管徑大小為何，基本上其所呈現的入滲機制均相同，但滲透陰井的形狀及開孔率等，似乎也是影響陰井

滲透性能之重要因子。為進一步釐清開孔率對陰井滲透性能之影響，本研究增加兩組不同開孔率陰井滲透試驗，進一步分析瞭解開孔率變化對滲透性能之影響，以發展適宜本土滲透陰井容量計算及規劃方法。

### 三、重要發現

利用達西定律推導，本研究之滲透陰井入滲性能可透過「比滲透面積 $A_{us}$ 」參數予以表示，並由穩定流滲透設施入滲理論得到證實；同時以此為基礎可進一步建立保水量（ $F_{ALL}$ ）設計公式，並經試驗數據率定參數後，建立設計保水量、設計入滲率及管徑尺寸等設計參數之數學關係，並用於估算滲透陰井之設計保水量。此外，為考量試驗方式的一致性，本研究在建立相關試驗方法與步驟時，便參考本所「滲透管溝容量設計與試驗研究」委託研究計畫所建立之管溝流程予以修正建立，同時針對 30 cm、40 cm及 50 cm三種不同管徑，以及 0.892%、0.783%、0.708%、0.3915%與 0.354%五種不同開孔率之滲透陰井，進行滲透性能測試，除驗證擬定之試驗方法與步驟可適用於現地進行試驗觀測外，並依試驗結果分析顯示，不論管徑大小及開孔率為何，基本上比滲透面積（ $A_{us}$ ）與水深（ $H$ ）為一線性關係，且開孔率的變化對陰井滲透性能的影響並不顯著。研究中並進一步依所獲得之試驗數據，進行參數率定，並透過建立之設計保水量、設計入滲率及管徑尺寸等設計參數數學關係，推估滲透陰井之設計保水量，並將成果繪製成圖表以供未來規劃設計之參考。

### 四、主要建議事項

依據上述研究成果，本研究提出具體建議如下：

### 立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣雨水利用協會、內政部營建署

現階段我國綠建築政策對於滲透設施相關設計技術，尚處於理論假設之計算層次，據此本所於 92 年起，分 4 年辦理「滲透管溝」、「透水鋪面」、「生態水池」、「人工濕地」及「雨水貯留」等設計規劃委託研究計畫，並已於本（95）年度完成相關設計規範，但對於適用於都會區建築設計的「滲透陰井」容量設計規範，並未納入計畫中，而本研究將可彌補上述研究的不足，但相關研究成果必須進一步針對規劃流程、試驗方法及設計降雨延時等定義加以整合，方能有效提供設計使用者，作為未來綠建築基地保水設計之參考。

### 長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣雨水利用協會、內政部營建署

本研究已依據年度實際工作成果，完成國內滲透陰井容量設計之保水性能推估。研究過程中已針對滲透陰井的形狀及開孔率，完成相關試驗分析，並獲致初步成果。但影響陰井滲透性能之因子眾多，如兩陰井間的設計距離、雨型的分佈、設計延時大小、最佳開孔率及開孔大小等，則有待於後續年度進行相關研究，予以釐清。

## ABSTRACT

Keywords: Green Building, Soil Water Content, Infiltration Wells, Specific Infiltration Area, Opening Ratio of the Infiltration Well

Urbanization reduces the opportunity of stormwater infiltration that lessens groundwater recharge and increases pollutant loads to streams. Reduction of Infiltration from impervious areas in the urban environment is one of the key issues in urban flooding; therefore, increasing the infiltration opportunity and capacity in the urban environment can be a good option to tackle this problem.

This study assessed the performance and developed a simple approach for estimating infiltration capacity of infiltration wells by employing on-site tests. Water infiltrated from the surfaces of three diameters (30cm, 40cm and 50cm) and five opening ratios (0.892%, 0.783%, 0.708%, 0.3915% and 0.354%) of infiltration wells were measured under non-flowing and steady state conditions.

The results from infiltration wells test indicate that the correlations between Specific Infiltration Area ( $A_{us}$ ), which is defined as the final infiltration rate divided by saturated hydraulic conductivity of the soil ( $K_{sat}$ ) and the depth of water ( $H$ ) is linearly dependent on each other for three diameters and five opening ratios of infiltration wells. Experimental results also indicate that when the decrease in opening ratio of the infiltration well is 50%, the infiltration wells still retain about 90% for infiltration capacity. Based on these results, the  $A_{us}$  for different  $H$  and radiuses ( $r$ ) can be obtained assuming their hydraulic conditions are similar.

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

Those design curves developed by the study provide as the practical tools for designing infiltration wells.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與目的

#### 一、研究緣起

台灣地區大量都市化的結果，導致嚴重的熱島效應，進而影響了原本平衡的水文機制，而都市化後可能面臨之水資源問題可簡單表示為如圖 1-1 所示。造成此一變化的主因即如前所述，大量地表不透水區域之增加與工程排水系統之興建，不但減少地下水補注，同時亦增加地表逕流量。目前大多數都市逕流管理的對策均以加大排水系統輔以集中末端處理之觀念，使逕流加速排放至下游或鄰近地區。但集中末端處理雖可減少逕流停留時間但其體積並未相對減少，反而使得下游排水系統處於高流量狀態，結果即使是小頻率之降雨亦會造成下游地區之水患。同時也因這種集中末端處理、加速排放逕流的排水概念，使得現有都市區域缺乏保水、滲透及蒸發機能，造成流域整體的水土保持機能降低，也因都市發展範圍一再的擴大，造成許多非點源污染物質隨著逕流直接排入下游，產生許多都市水環境之不利影響，在現行集中末端處理的排水概念下，將所收集的都市地區地表逕流直接且迅速地排放至河川或流域下游地區，因而造成下游地區的洪澇問題。

由於都市生活機能完善，成為人口匯聚之地，人口集中於都市導致都市居住用地需求急遽增加，舊都市土地一旦不敷所需，都市居民勢必向都市周圍發展，造成都市區域擴展，當擴展至郊外時，原有的溼地、水田、森林、綠地等區域也因而開始產生都市化之現象，如此將使得這些土地原有之逕流機制發生改變，進而造成城鄉水環境之丕變。近年來，為了容納大量的移入人口與快速經濟發展之需求，都市街道擴寬或新闢、建物密度增加且樓層增高，停車場與大型賣場等公共設施不斷增建，造成地表不透水區域增加，導致

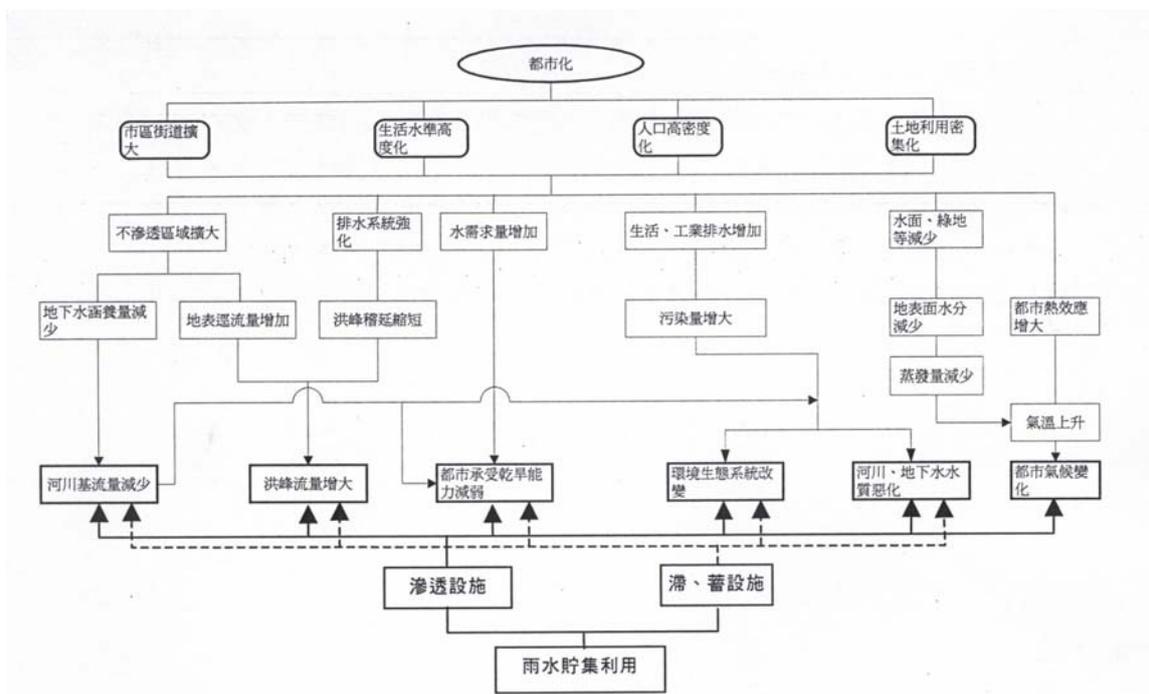


圖 1-1 都市化造成水環境之影響

資料來源：廖朝軒教授，2003。

雨水入滲至地表下之機會減少，進而影響地下水補注量，造成洪峰流量及逕流體積增加、集流時間縮短，致使都市洪水災害時有所聞，嚴重威脅居民之生命與財產安全。海棠、泰利颱風所帶來的豪雨與洪災，橫掃經濟繁榮的北台灣，導致處處淹水，並使捷運、鐵路及航空癱瘓，甚至有數條交通要道成為漫漫長河，帶來難以估計的損失。921 地震後，由於地形與地質狀況的劇烈改變，台灣颱風所帶來的災害已不再侷限於河川沿岸低窪地區，而是從森林到排水系統健全的都市都可能發生嚴重的災害。近年來，台灣地區的都市化除了加重水患造成的問題外，全球暖化所導致的氣候異常，也加重了旱災發生的機率，台灣地區乾旱發生之頻率亦有日漸增加之趨勢。根據中央氣象局近年來的資料顯示，台灣地區降雨的日數有逐漸減少的趨勢，而降雨延時與降雨強度則有增加之趨勢，而且，由於台灣地形險峻，河川坡度大，河水在河流中的速度甚大，不但造

成嚴重的沖刷，導致土石流的發生，更重要的是不利於水資源之利用與調節。

都市環境是經過專家詳細的調查與規劃後，依序逐步開發與改造自然環境所創造出來的高度人工化生存空間，但由於人口不斷大量的湧入，原有的都市計畫無法容納大量增加的人口，以致於現有之綠地、農地、窪地以及都市外圍之山坡地，被大量開發甚至過度利用，為了不降低都市的生活品質，大量的人工排水系統取代原本之自然涵養滯蓄功能，一旦暴雨帶來的逕流超過排水系統的宣洩容量，便會產生嚴重之都市水患，同時過多的地表逕流所挾帶之污染物質將使水質惡化進而破壞環境。早期的河川圳渠是以石塊或泥土開挖整修而來，提供農村的各種用水，最後又排到圳道去，人們沿圳道挑水、洗衣及刷洗，人與人之間沒有隔閡，這正是水文化之根源。但自從自來水開始普及以來，人們只知道消費用水，但卻不知水從何而來，甚至以每人每日用水量之多寡，作為生活水準高低之指標，人們卻以為只要繳交自來水費，便可肆無忌憚之用水，而政府則拼命之開發自來水源以滿足需求，市民只要打開水龍頭，水就自來。水從何處來，往何處去，似與個人無關。近年都市由於人口密集，車輛多交通繁雜，原來河川文化時期流下之圳路，除被捨棄作為排除污水外，進而嫌棄其存在而漸被加蓋成為道路、商店街、停車場，對於道路下排水溝的污水則眼不見為淨，使得都市市民與水絕了緣。許多工程的開發興建，在「人定勝天」的思維下常缺乏生態考量，也致使許多數千萬年的水脈、天然埤塘及湖泊因此而消失。而人類這樣蠻幹情況，恐將遭受大地討債、反撲。

## 二、研究目的

由於都市生活機能遠較其他地區便利，因此本世紀初即有 13% 的世界人口居住在都市地區，依據聯合國推測，到 2010 年將有 51% 以上的人口居住在都市地區；而台灣的都市面積僅占總土地面積的 12.4%，人口卻佔台灣地區總人口之 77.9%。隨著人口湧入都市地區，原有都市計畫內之綠地、農地、池塘及都市外圍之山坡地，被大量過度開發，造成具保水功能土地的減少，人工排水系統被廣為設置以取代土地原有之自然涵養蓄滯功能。這樣地改變使得原本的人文與水文環境將因大量人口湧入，而產生巨大改變，此外，由於都市用水需求量與能源消耗量，隨著經濟成長與生活水準提升而逐步增加，這也意味著在廢氣與廢水排放量部分亦將同步攀升。在廢水的排放過程中，排水管大量收集地表逕流與污染物，最後排放進入河川，嚴重影響河川與地下水水質，更直接衝擊河川流域的生態環境；而大量的廢氣排放則是改變了都市的氣候環境，同時加劇都市的熱島效應。

因此在這都市土地使用強度幾乎達到飽和的情況下，為了滿足都市地區大量人口與頻繁經濟活動所需的生活空間，於是土地開發利用的範圍逐漸向郊區蔓延，並逐漸蠶食原有的透水地面，衍生地表面逕流加速集中、洪峰流量增加、非點源污染擴散、地表蒸發散量減少、熱島效應加劇等種種問題，不但惡化都市的水文環境，亦增加了災害發生的潛勢。

同時受到氣候變化的影響，水資源不只是量少，且無論在時間或空間上，都呈現不均勻的分佈狀況。從時間上來看，北半球的降雨主要是集中在每年的 3 月至 10 月，且絕大部分的地區又都集中在 6 月至 9 月。雨季降水通常佔全年降水總量的 70~80%，河流水資源高度集中於夏季，且多屬難以控制利用的洪水。

台灣位處北半球，年平均雨量約為 2,500 公厘，是全球年平均降雨的 2.7 倍，應屬水資源不虞匱乏的國家，但由於台灣地狹人稠，地形陡峭，河流短促，大部分降雨的水分都迅速奔流入海，且降雨大都集中於颱風季節，分布極不平均，往往一個颱風即可帶來數百或近千公厘的降雨，居民不但未蒙其利，卻先受其害。且水庫容量有限，因此逕流量被攔貯利用者約僅佔年逕流量的百分之十八。所以，台灣每人每年平均可以分配到的雨量只有全世界平均雨量的六分之一；因此，台灣實質上是一個水資源匱乏的國家，且名列聯合國第十六位的缺水國。

依據中央研究院研究顯示，過去 100 年，台灣因受到空氣污染及熱島效應影響，降雨機率減低，降雨強度卻增加兩成，降雨區也發生改變，使台灣非旱即澇。而造成熱島效應的原因在於過去台灣大量興建不會散熱及透水的鋼筋混凝土建築與不透水鋪面，使降雨都直接流到下水道，而無法入滲於地下，連帶也無法發揮調節氣溫的功能。

在城鄉發展過程中，為了追求經濟成長，對於自然資源不斷開發，如森林砍伐、土地過度開發、地下水超抽等等，當開發程度不超過水環境承载力時，自然環境具有自淨回復的能力；當開發程度超過水環境承载力時，原來單純的水文循環機制將會增加了不少複雜的變數因子，其結果將會造成水環境的負面的影響；因此，維持水文循環正常進行以達到永續城鄉水環境為一積極重要的課題。

過去我們的大地環境可說是充滿了無數的坑洞間隙，並具有貯集大量水分的功能，例如疏鬆的土壤孔隙以涵養雨水，天然埤塘窪地以匯集逕流水，甚至有許多的地下溪谷以容納伏流、湧泉。現代的城鄉環境不但使地面大量不透水化，也使地面喪失許多積水的溼地埤塘，甚至連地面下的土壤也因地下室興建以及土壤改造而漸漸形成「無孔隙化」，除造成土壤涵養水分的能力減弱，對生態也有莫

大的傷害。

目前水資源的經營方式傾向於集中、大型及單目標利用；大型的水資源系統雖可降低營運與保養的人力與經費；如一旦失控，將發生無水可用的窘境。且大型的水資源工程對環境生態的衝擊亦大，災害發生時亦較嚴重，而且集中末端處理洪澇的方式亦無法完全去除洪澇之災害。而小型的水資源工程不僅對生態環境衝擊較小，同時亦可藉由聯合的操作，可避免因大型水資源系統的損壞而造成的重大損失。因此兩種水資源系統的搭配使用，才是符合經濟效益與分散風險的最佳做法。而雨水的貯集、滲透利用即為小型水資源系統的應用典範。

由於台灣工業化程度日趨加深加廣，工業區不斷的開發設置，但卻經常面臨水資源短缺的情形，因此加強雨水資源的利用，以提供各項製程中之替代用水及雜用水，可作為解決水資源不足的替代方案。而透過適當的雨水資源管理，可降低暴雨帶來的都市型水患、加強環境綠化及增加地下水補注等，亦可提供親水遊憩場所等附加功能。

在現今歐美最新的生態防洪對策中，均規定建築及社區基地必須保有貯留雨水的能力，以吸收部份洪水量，而達到軟性防洪的目的。為了配合永續發展政策，緩和都市水環境的惡化，本所綠建築政策中之「基地保水指標」為推動生態環保所不可或缺的。國內政府相關單位也已體認都市化問題的嚴重性，已透過修法的方式，在「建築技術規則」中訂定「綠建築專章」法令與相關設計技術規範，加強推廣雨水貯留與基地保水滲透設施之設置，以改善都市的水文循環系統，並抒解水患的威脅，打造保水與耐水的都市環境。

基地保水主要是以「滲透雨水」來提升基地內之保水能力，所謂基地的「保水性能」就是建築基地涵養水分及貯留滲透雨水的能

力，基地保水指標乃是一「生態水循環的都市防洪政策」；基地保水指標是計算社區在開發後，區域內的降水經過滲透、吸收及截流作用之後的總排水量，以進一步評估社區在開發後的保水能力，減少社區開發對環境的衝擊。基地保水指標的原理及內容，乃係藉由貯留及滲透設施來增加基地之保水能力，若將基地保水貯留及滲透設施與自然界對比，由水文循環就能顯現出保水貯留及滲透設施所具的雨水保持機能。而基地保水貯留及滲透設施可減輕區域排水負荷並促進區域水文循環，對於都市化之效應也有減輕的功效；此種保水方式可提高雨水於社會（生活）、經濟（生產）乃至於環境（生態），即「三生」的利用效率，避免因都市開發而損壞現在及未來水文循環及生態系統完整性，達到永續城鄉水環境之目標；此種提高雨水利用的方式符合聯合國世界環境與發展委員會之永續發展定義—「滿足當代需要，同時不損及未來世代需要與且滿足其發展」。因此基地保水指標的推廣與利用對於整個國家水資源利用，以及環保、節能的工作都有正面的貢獻與意義。

## 第二節 研究方法

完整的水環境系統，應將雨水的「貯留」及「滲透」兩種功能包含在內，始可充分達到水資源永續的目的。由於早期台灣的都市發展未作完整妥善的規劃，在進入工業化社會後，快速的經濟發展和大量的房地產投機炒作，使得都市的發展雜亂無章，高樓大廈任意聳立，就業人口大量湧入。因此，在原本有限的土地資源上，如何充分高度有效運用，且不損及水環境系統的循環與利用則益形重要。

滲透陰井為具有「多功能」及「多樣化」的逕流處理設施，在歐美等國亦被廣泛採用，而在應用上一般均以土壤飽和狀態下之最終入滲量作為保守之設計基準，而最終入滲量與水深、陰井幾何形狀、土壤特性等均有密切關係。國內目前對於此技術尚處於理論假設計算層次，既無試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，因此為建立滲透陰井本土化之設計參數及容量設計，去（94）年度已透過相關理論及配合現地試驗方式，藉由不同水深穩定狀態下之最終入滲量量測，並利用迴歸分析的方式，建立最終入滲量與水深的迴歸方程式，並據以作為初步容量設計理論驗證分析與探討。

依據去（94）年度初步研究結果發現，不論管徑大小為何，基本上其所呈現的入滲機制均相同，即比滲透面積（ $A_{us}$ ）與水深（ $H$ ）係呈一線性關係，但滲透陰井的形狀及開孔率等，似乎也是影響陰井滲透性能之重要因子。為進一步釐清開孔率對陰井滲透性能之影響，並發展本土滲透陰井容量計算及規劃方法，本（95）年度將加入此一影響因子，並透過相關文獻收集、設計參數及工法歸納與實驗研究，完成滲透陰井滲透能力分析之探討，建立相關影響因素及實驗流程，以建立適於台灣之滲透陰井設計技術規範，供日後各公、私相關部門推廣用之依據，確實達到永續水資源之保育及利用目的。

## 第二章 臺灣城鄉發展對水環境之影響

### 第一節 都市水文化之發展

「水環境」的存在與展開是人類生態、生命存在上所必要的，也是社會文化產生的途徑，從都市公園之景觀噴水池、庭園中的荷池流水，到都市環境中水的各種利用可說是千變萬化，隨風土環境中水源之不同，各有其獨特之利用方式。

但當人口越來越多，並漸漸開始向陸地開發，都市也漸漸形成，但人類卻距水漸行漸遠，也因此開始轉為治水與利水並進，在築堰築堤之同時設置水閘門兩水渠從河川引水，以水閘門控制水量，以水渠引水至目的地，圳渠所引之水不止是供灌溉之用，同時也供應村落之生活用水、生產及消防用水，甚至較大圳渠兼供舟運交通之用。當陸上之交通發達後，河川的機能漸單純化，人類不再經常去疏浚河床以宣洩水流，而是改以加高堤防之方式來防範水災，也因為河堤所分隔出之河內河外，水變得不再是那麼容易親近。市鎮愈大，生命財產保護之要求也愈高，而都市侵佔河川的範圍也隨之增大。人類文明及技術之進步，水岸堤防愈築愈高，都市人口距水雖近在咫尺，但實際上是愈離愈遠，人與河川關係逐漸變淡，水源也漸漸消失。

早期的河川圳渠是以石塊或泥土開挖整修而來，提供農村的各種用水，最後又排到圳道去，人們沿圳道挑水、洗衣及刷洗，人與人之間沒有隔閡，這正是水文化之根源。但自從自來水開始普及以來，人們只知道消費用水，但卻不知水從何而來，甚至以每人每日用水量之多寡，作為生活水準高低之指標，人們卻以為只要繳交自來水費，便可肆無忌憚之用水，而政府則拼命之開發自來水源以滿足需求，市民只要打開水龍頭，水就自來。水從何處來，往何處去，似與個人無關。近年都市由於人口密集，車輛多交通繁雜，原來

河川文化時期流下之圳路，除被捨棄作為排除污水外，進而嫌棄其存在而漸被加蓋成為道路、商店街、停車場，對於道路下排水溝的污水則眼不見為淨，使得都市居民與水絕了緣。但隨著國民生活水準之提升，除了物質需求外，更重要的在追求舒適生活環境時，許多之水岸景觀及親水環境之創造，已再度受到人們重視而復活，因此未來的水環境創造需與都市相融合，以創立新的水文化。

## 第二節 臺灣水資源之窘境

台灣是個標準的海島地形，有豐沛的雨量，更有數十座世界級的多目標水庫，年平均雨量約 2500 公厘，雖然降雨量為全球年平均降雨之 2.7 倍，但因水文的不確定性及特殊的地理條件等自然環境限制，其中約有 78% 的降雨集中於每年 5 月至 10 月間之豐水期，形成豐枯水期水源差異懸殊，再加上國內大甲溪、淡水河及濁水溪等三大河，其河源標高均高於 3400 公尺，流徑小於 200 公里，這與其他國家如：科羅拉多河、萊茵河及湄公河等相比，其坡度均大過其 2~7 倍。如此源短流急且因降雨時空不均、豐枯懸殊，真正可使用到的雨量卻不到四分之一，每人年平均分配的雨量，僅為世界平均值的六分之一，是聯合國組織列名的缺水國之一，因此缺水及洪澇現象時有所聞。

台灣地區年降雨總量約為 900 億噸，其中無法利用的蒸發散量約佔 24%；其餘的 71% 及 5% 則分別為河道逕流量及地下水入滲量，理論上這兩部分可以利用，但因台灣地區河川坡陡流湍，無法有效調蓄利用，故約僅有 20% 的河川水可有效利用，其餘 80% 的河川水大多逕流入海，嚴重影響水源供水能力。

傳統水資源調配係以川流水、水庫水及地下水等三種天然水資源為主，近年來因國民生活水準的提高，都市用水量大增，為滿足這樣地需求，新水源的開發勢在必行，但這樣地開發案因受限於天然條件、成本及生態環境衝擊等影響，因此一直未能有效解決，加上近年連續的氣候異常致使雨量供需失調，使得國內缺水問題更形嚴重。為能充分及有效供水，同時在經濟成本因素考量下，抽取地下水為現階段解決供水壓力的優先作法，甚至在 91 年全台大旱時，經濟部更提出「地下水緊急救旱方案」，該方案包括：

一、依災情狀況分三階段「擴大引用地下水」。

二、修改「地下水管制辦法」，允許水源不足時可鑿井籌取地下水。

三、解除台北盆地抽取地下水的「禁令」。

依據方案內容，其考量之重心似乎只偏於「緊急救旱」的思維，但對於此方案的可執行機率及可能產生的風險卻未加以說明或評析，且開放地下水抽用的安全出水量為多少？如何分配抽用量？以及解禁後的台北盆地地層是否會因恢復抽水而再次下陷？都值得思考。

長久以來令國人感到疑惑的是，台灣地區的地下水蘊涵現況究竟如何？每年藉雨水補助地下水的水量 40 億噸是如何計算出來的？現階段相關主管機關始終未能有信實可靠的科學數據或調查統計資料供其參考，而這個補注量自民國 65 年一直沿用至今，甚至在民國 70 年前，地下水抽取量大致以不超過這個補注量為限。因此在下述疑點未加以釐清前就貿然開放地下水的抽取，這樣不但可能斷喪了寶貴的地下水資源外，還可能造成往後無法彌補的環境污染地下化問題，甚至造成國人健康上的傷害。

一、台灣地區的地下水「蘊藏量」究竟有多少？「安全出水量」應如何訂定？根據官方所提供的數據和統計資料顯示，台灣地區的主要地下含水層分布在「未膠結而鬆散的沖積層」中，其面積約為 10330 平方公里（約佔全台灣面積的 29%），地下水位是在地表下 50 公尺至 130 公尺之間，每年的地下水補注量約為 40 億立方公尺，而這些數據自民國 58 年水資會公佈沿用迄今，已近 40 年都未曾更新過。因此這些未膠結而鬆散的沖積層到底蘊藏了多少地下水？是否還經得起這樣再三再四的抽空而不會沉陷嗎？從前管制抽用地下水的疑慮都不再存在或不再需要顧慮了嗎？

二、每年 40 億立方公尺的補注量是如何計算出來的？如果是台

灣地下水主要分布面積的降雨入滲量估計，那麼大約是 388 公釐（約為年平均降雨量的 15.3%）；但如果是以全台面積做為入滲面積來估算，其量則為 111 公釐。可是這近 40 年來台灣地區的地形地貌改變了多少？土地利用情況的變化有多大？不透水面積增加了多少？有任何可資佐證的調查或觀測數據嗎？還是純屬臆測？相對於近來每年 71 億立方公尺的抽用量，持續超抽的情況下，對地下水資源的影響為何？而這樣每年約 31 億立方公尺的地下水虧損量對地層構造會產生怎樣的影響？當然，這 71 億立方公尺的抽用量是如何估算的？其量是否會因未計入自行抽用量而被低估了？

- 三、目前台灣地區各式污染場址普遍存在各地，譬如一些不明的廢棄物偷倒亂埋、油槽油管滲漏事件時有發生，井水中出現油氣或浮油的情況也時有所聞，更不必說有工廠惡意的灌注廢有機溶劑或未經妥善處理的廢污水於地層中。如果這些外在情況還未獲得改善前，便開放大量抽取地下水，這樣是否會造成更多的健康危害與污染擴散的問題？均值得進一步審慎考量。依據行政院環保署網站公佈 1991~2000 年的地下水監測統計結果可以明顯看出，在過去十年這樣所謂的常態抽取地下水的情況，地下水水質就已經亮起了紅燈，如：砷 19.4%~28.3%（2000 年 47.9%）、鐵 25.8%~43.1%（2000 年 73.4%）、錳 35.5%~48.0%（2000 年 82.3%）及 pH 值 4.2%~12.8%（2000 年 5.9%），均無法符合「飲用水水質標準」，如果監測的項目涵蓋有機化學污染物，其結果可能更令人憂心。因此如果再持續的抽用下去，甚至抽用的量更大的情況下，水質惡化的情形會不會更形嚴重？污染物質的擴散會不會更蔓延？

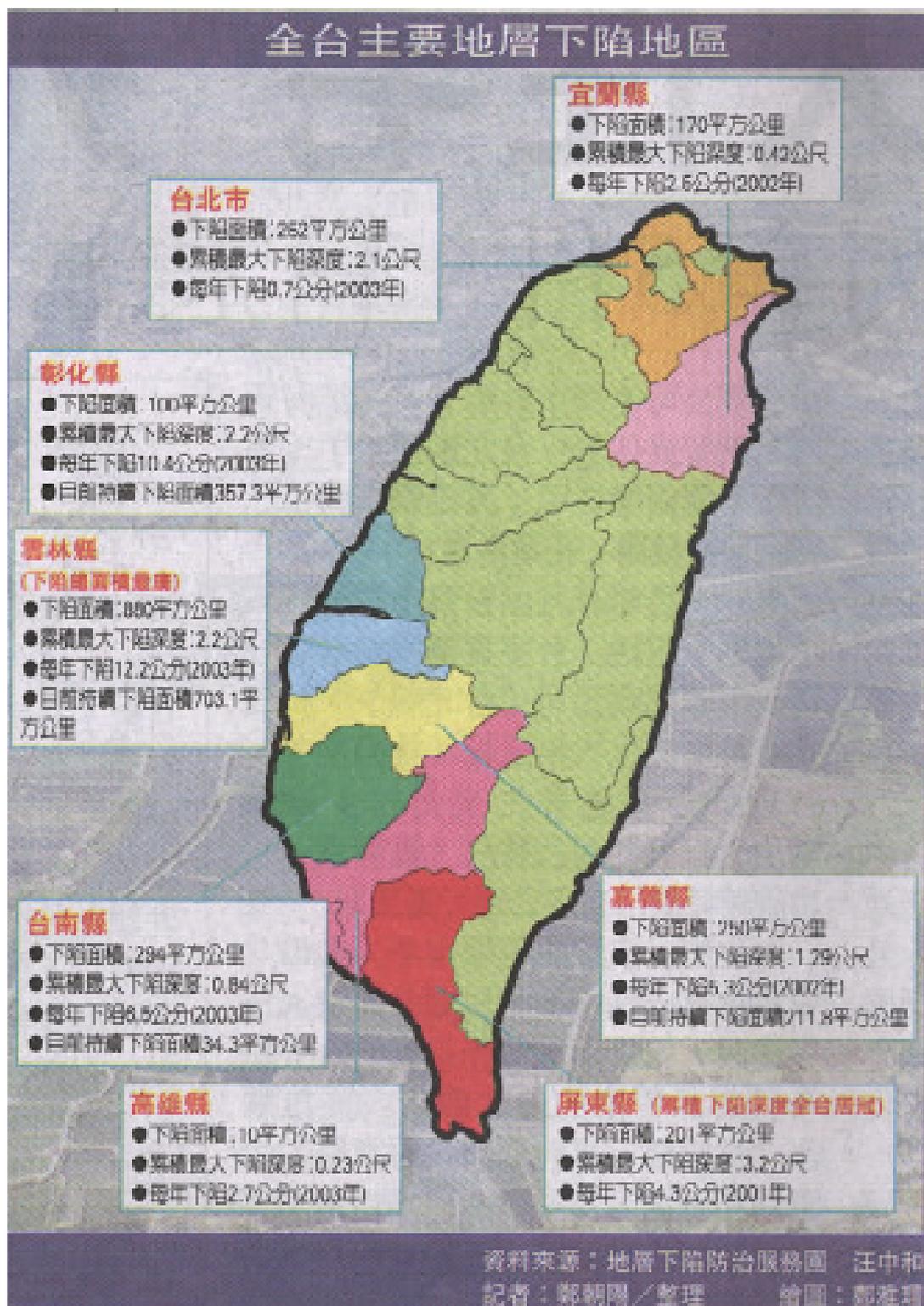


圖 2-1 台灣地區地層下陷分佈圖

資料來源：民生報，2004。



圖 2-2 海水入侵示意圖

資料來源：民生報，2004。

「有借有還，再借不難」，人際間金錢往來、借貸所憑恃的，便是這套信用和做人的義理，但人們對地下水的取用，卻絲毫沒有這樣地義理和信用考量。隨著沿海養殖漁業的發展，工業區大量的開發，養殖和工業用水也急劇跳升，地下水也因此造成大失血。民國 82 年一度還創下地下水被抽掉 71 億噸的歷史天量，這相當於 12 座滿水位的翡翠水庫容量。而過去十年來，政府雖嚴格管制超抽地下水，但迄今每年地下水抽取量仍達 57 億噸，這遠遠超過現階段每年 40 億噸補注的估算量，而這 17 億噸水的差額，約為 3 座滿水位的翡翠水庫容量。二、三十年來，台灣的地下水在這樣地經年累月超抽情況下，已使我們透支約 300 億噸以上，現在即便把全國的地下水井全部封掉，一滴水也不抽，也要等將近八年的自然補注時間才能補得回來，而這還不把氣候變遷異常所造成的乾旱變數計入。而這樣地過度地下水脈流失，使得海水入侵的現象長期伏隱於地下，而所造成的嚴重環境危機亦未被重視，如果不能阻止這樣的地下水超抽，並適當補注已下陷乾渴的含水層，這樣地嚴重透支地下

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

水，除造成地層下陷外（如圖 2-1 所示），也使得平時虎視眈眈的海水乘虛而入，台灣的地表下正進行著一場海水與淡水的激烈肉搏戰（如圖 2-2 所示）。

### 第三節 養殖漁塭超抽地下水的危害

如果您經常往來穿梭於南台灣，在屏東的佳冬與林邊一帶，在地平線已經消失泰半的地層下陷區，放眼望去儘是方塊水田拼連而成的漁塭；其中並佈滿了大大小小的抽水馬達，這些在南台灣最普遍的「魚田」，雖造就了台灣漁業奇蹟，充分提供了當地人民的生活經濟所需，但為提高漁塭池水的溶氧量及達到保溫效果，在水車不斷翻轉，以及農民夜以繼日抽取地下水的情況下，把原本深藏不露的地下水，從水井內強拉到這些棋盤式的漁塭內大肆奔流，同時家家戶戶的水龍頭也都流著來自深層的地下水，如此不但讓地層下陷，也造成海水入侵內陸長達 9 公里以上，並且每年還以 300 公尺~1 公里的速率，持續向內陸推進（如圖 2-3 所示），似乎正訴說著大地的無奈、反撲，並意圖報復人類這樣肆無忌憚超抽地下水的破

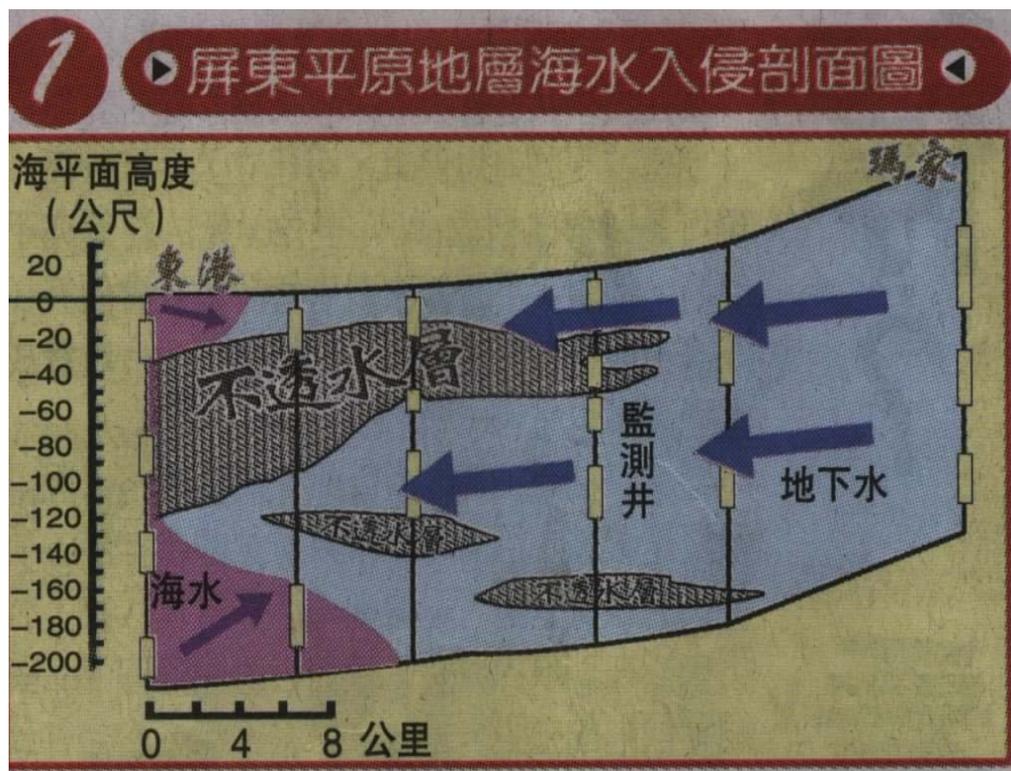


圖 2-3 屏東平原地層海水入侵示意圖

資料來源：民生報，2004。

壞行動。

一般認為，水產養殖業超抽地下水，是造成台灣西南平原地層下陷的主因。的確在民國 60 年代，政府在西南沿海大力推廣養殖漁業，樹立「養殖王國」的標竿，甚至還開發海埔新生地給漁民養殖蝦、鰻及文蛤等，致使漁塭面積迅速擴張、一日千里，業者紛紛抽取地下水養殖撈金。不過好景不常，沿海養殖水產在國際對手的激烈競爭下，外銷阻力漸大，價格崩跌，現在僅能讓漁塭不荒廢勉強度日而已。沒想到養殖業的好光景沒幾年，現在卻落得房子下陷，每逢大潮、下雨就淹水的窘境。

政府為了進一步將台灣優質農產品推向國際舞台，93 年農委會還特別選定蝴蝶蘭、烏龍茶、台灣鯛（吳郭魚）和芒果等四大旗艦產品，作為因應台灣加入世界貿易組織後的外銷主力，堪稱為台灣外銷農產品的「F4」。而在這四大旗艦產品中，有兩樣是當前台灣環境所面臨的兩大燙手難題，一個是須開墾山坡地的烏龍茶，另一個是須大量抽用地下水的台灣鯛。

台灣鯛品質名列世界前茅，肉質鮮美好吃可做成生魚片及魚排佳餚，完全沒有傳統吳郭魚的土腥味，深受國內外消費者喜愛，年外銷量約 5 萬噸，為國家賺取大量外匯，也因此造就了商機，養活了許多漁民。也正因為如此，台灣西南沿海養殖漁塭又開始大量養殖台灣鯛，同時多半的漁民仍習慣抽取地下水來養殖，原因是台灣鯛在淡水裡長的快，收成時間短，但實際上如果是用海水養殖，其肉質會更鮮美，但由於成長速度較為緩慢，為求速成，鮮少有人用海水養殖。依據農委會漁業署的說明，當初選擇提倡台灣鯛養殖，一方面是因養殖產業的大環境不好，為了顧及漁民的生計，在各種水產品中，吳郭魚的投資成本相對較低，其次因吳郭魚不怕髒、抗病力強，且屬雜食性魚種，水中的有機物多反而有利於成長，因此漁塭的水幾乎不需更換，只要適量補充、換氣即可。當初立意良好

的產業政策，希望養殖業能往海發展，但是誰也沒有想到，卻因這樣的政策失調，反而造就了許多吸水恐龍，加上政府未能適時介入輔導，因此，台灣西南部平原向下沉淪，可以說是政府與民眾聯手種下的惡果。

依據中央研究院地球科學研究所汪中和研究員，與經濟部中央地質調查所在彰化沿海烏溪一帶，針對水利署 200~300 公尺深層觀測水井所作的「地下水同位素定年分析」研究調查顯示，當地現階段所抽出的地下水竟是五萬年前所留下的老水，而在其他下陷地區所作的研究也証實，這些深層水井所抽出的地下水，其年紀沒有五萬年也有三萬年，顯示新的地下水根本來不及補注，「我們是在吃老本！」。

#### 第四節 黑珍珠傳奇的代價

在被稱為「黑珍珠蓮霧之鄉」的林邊、佳冬，蓮霧是這裡「一鄉一特產」的招牌水果，在海岸線和中央山脈之間，這裡的公路每隔二、三百公尺，就可隨處看到販售「黑珍珠蓮霧」的指引路牌和攤位，一畦接一畦的綠色蓮霧田，呈現南台灣另一番景緻。而這一顆顆大小如拳頭的水果，平均一顆身價在 400~500 元，比自日本進口的富士大蘋果還貴上一倍，甚至還曾創下每公斤高達 1600 元的天價。也因此，原本剛採收完的蓮霧樹，應該享有一段「假期」來休養生息，以待來年；但此刻卻見辛勤的農民已忙著開始修枝、施肥，積極準備迎接下一個產季。

「黑珍珠」能創造如此非凡身價，當地農民口耳相傳蓮霧特別好吃的秘方，就是土地鹽化後，這種「有點鹹又不會太鹹」的土質，最適合來栽種蓮霧，同時種出來的蓮霧又大又甜，也因為銷售價格誘人，不少農民便紛紛棄養其他作物，專心經營蓮霧田。許多靠內陸的農民甚至自行研發配方，從海邊運來海水灌溉，這股蓮霧田加鹹水灌溉的風潮便流傳至今。不過，這樣具有多汁、甜脆滋味的黑珍珠，是用土地鹽化所換得的，而當地的農民每年的心情是隨著爬升的蓮霧價格騰雲駕霧，但也因日甚一日的土地鹽化問題而墜落谷底。

依據台灣大學園藝系鄭正勇教授的研究發現，這種引海水灌溉蓮霧田的作法並不正確，農民用含鹽的海水來澆灌，其實是在毒害蓮霧樹的細根和粗根，短暫的幾年內或許會有意外的收穫，但這種短線操作、完全無視於大自然規律的作法，果樹只有死得更快，慘的是原本應該永續經營的土地也一起陪葬了。其實原本種植方式使得蓮霧的甜度差的原因，是在於農民的種植習慣，農民長此以往以種菜的方式來種植蓮霧，不斷餵養果樹吃氮肥，如此果實的甜度當然差，因此只要減少氮肥的供給，並在果實成長的某階段設法阻絕

細根的吸收作用、減少氮肥的攝取，同時保住粗根的功能，這樣就能恣意地控制果實的甜度。

從屏東的黑珍珠蓮霧，乃至於全台沿海防風林一一撤守的戰況看來，如果不阻止地下水超抽，並適當補注已下陷乾渴的含水層，致使地下水脈流失，以及海水入侵的現象長期伏隱地下，如此造成的嚴重環境危機未被重視，以致淡水不斷吃敗仗，居住其上的人們岌岌可危。超抽地下水固然是海水入侵造成鹽化的主因，但近年來，養殖漁民為了不超抽地下水，將部份漁塭改引海水養殖海水魚以及經營海釣場的方式，造成鹹水垂直入滲地下，這樣「內外夾攻」的方式才是使土地鹽化問題更加嚴重的因素。

身處在這些地層下陷發展區的人們抽取地下水，無非是想創造財富，但地下水是全民共有的公共財產，也卻因少數人為賺取私人利益的超限利用，造成無從估計的經濟損失和社會成本，這些耗損、虧空的帳，現在卻要由全民來「埋單」，如此不尊重自然的作法，不僅發展不成，造成地層下陷的後果，最後也賠上了自己的房產、財富，甚至連國家都被迫出面一起償付這些沉重的代價，真是「人算不如天算」！

## 第五節 人定勝天的公共工程

93年9月16日在工程團隊克服千辛萬苦的情況下，北宜高速公路花了13年2個月終於貫通，全長31公里，沿線的雪山隧道就長達12.94公里，這除了將台北與宜蘭間的車程距離縮短到一個小時以內外，工程的困難度首屈一指也同時被列入大英百科全書中。而就在慶賀「人定勝天」的工程成就同時，隱藏於風光貫通典禮的背後，卻是無數工程人員在暗無天日的地下流血流汗地付出與犧牲，以及萬年水脈被截斷，大量地下水平白流失所換來的成果。

北宜高速公路的雪山隧道再度為台灣工程界寫下世界紀錄，甚至有部分工程師為了參與這項工程，寧願捨棄建設公司的高薪，而選擇待在這滿是粉塵、噪音、湧水和隨時有生命危險的隧道裡，因為這樣地機會，一輩子可能只有一次，對工程師而言是一項難能可貴的經驗。不過也有許多工程師是愈做愈怕，看到隧道內大量湧出的地下水和乾旱一年比一年嚴重，深怕自己就是斬斷水脈的劊子手。雖然工程一定會傷害環境，但建設的目的無非是要造福人類，北宜高速公路在當初規劃時，就已經知道沿線有許多不好惹的斷層和地質，只不過不知道竟會如此的艱鉅，這是地質工程的科技盲點。

這樣地盲點使得工程施工中，隧道內的36處湧水點，將國內外組成的「六國聯軍」工程團隊搞得人仰馬翻，也因此犧牲了11條寶貴性命，甚至有專家批評這是北宜高事前的環境影響評估做得不夠確實所造成的，以至於工程進度如此坎坷。

有許多的工程在興建時，忽略了週遭的生態環境，即使像山區產業道路這麼小規模的工程，也常砍斷珍藏數萬年的水脈，致使一段時間後，附建的許多天然埤塘、湖泊因此而消失。當初規劃在民國87年通車的北宜高速公路，被雪山隧道工程延宕了7年，直至今(95)年6月16日才兌現通車支票。在地質工程界的眼裡，何

時通車早已不重要了，重要的是施工過程中與完工後會產生哪些意想不到的工程環保代價，使我們和後代子孫承受不起。這些就是工程法規不管，環評制度也看不見的盲點。而這樣地盲點就在通車不過幾個月就付出了代價，從9月份開始，坑道內陸續發生滲水現象，且情況日趨嚴重，工程單位現已成立專家鑑定團進行總體檢，是否需進一步封道搶修則尚無定論，但可以預見的是，即便這次真如國工局所說並未影響結構安全，但未來如何？一切還是未定數。

由這樣看來，北宜高速公路並不是政府的政績，而是政府和全民的慘痛教訓，如果我們把這犧牲 11 條人命、切斷千萬年雪山水脈，以及明知步步皆風險卻執意蠻幹的北宜高雪山隧道工程，當成一項了不起的政績，這正是工程界篤信「人定勝天」的最佳諷刺。因此北宜高速公路通車，未來究竟會為宜蘭帶來繁榮？還是會成為宜蘭這片綠色淨土的夢靨？大台北地區是否真會出現水源短缺危機？時間會給答案。

## 第六節 地層下陷的省思

過度抽用地下水是造成地層下陷、萬劫難復的禍首，地層下陷並非僅是單獨看到的房屋等建築結構物沉陷危機，還有其他許多意想不到的「副作用」；由於地面已低於海平面，每遇颱風豪雨來襲，便立刻引發海水倒灌、淹水，造成民眾嚴重的生命、財產損失，尤其是住在低窪地區的人們，從此過著朝不保夕的生活，見雨即愁，日子怎麼過？同時地下水位降低後，海水有了入侵機會，土壤因此鹽化，最後土地也失去了經濟價值。依據水利署截至 2001 年的統計資料顯示，台灣的地層下陷面積已高達 2667 平方公里，約佔台灣平原面積的四分之一，這相當於 10 個台北市那麼大，其中以雲林地區下陷的面積最廣，而累積下陷深度最大的則是屏東縣的佳冬鄉，已下陷深度超過 3 公尺，此外台南地區則是下陷面積增加最快的區域。由於土地下陷為一不可逆之變化，即便停止超抽地下水，讓水位漸趨於緩和穩定，地層沉陷也不會立即中止，約需經 30~40 年的「殘餘沉陷」才會停止，亦即沉陷仍會持續發生，以台北盆地為例，雖已自民國 63 年嚴格限制抽用地下水，至今已 30 年，但現在盆地仍每年以 0.7 公分的速度下陷，而這樣地沉陷情況是否可以緩和縮短？其答案是可以的，只有在有充足且長期的地下水補注情況下才有可能發生，否則土地只有持續的向下沉淪，逐漸消失於地平線。

在城鄉發展過程中，為了追求經濟成長，對於自然資源不斷開發，如森林砍伐、土地過度開發、地下水超抽等等，當開發程度不超過水環境承载力時，自然環境具有自淨回復的能力；當開發程度超過水環境承载力時，原來單純的水文循環機制將會增加了不少複雜的變數因子(如圖 2-4 所示)，其結果將會造成水環境的負面影響；因此，維持水文循環正常進行以達到永續城鄉水環境為一積極重要的課題。

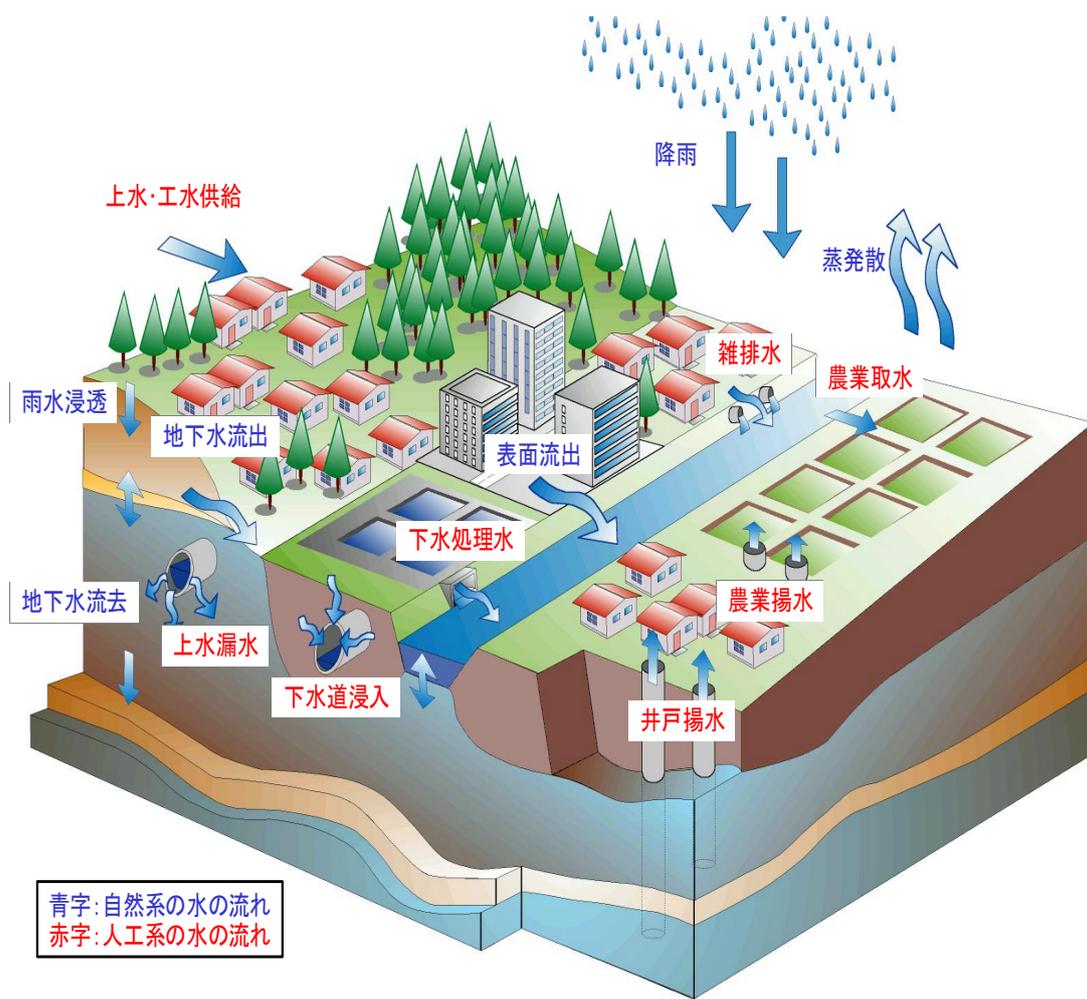


圖 2-4 都市發展對水環境影響示意圖

資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協會。

## 第七節 城鄉發展後之地表逕流處理方式

對於一規劃區域之土地使用，依不同之開發程度與規模，將會有不同之開發地區與自然地區之配置型式，而開發區裏又可依不同之土地使用類別與強度有著不同百分比之透水區域與不透水區域的比例關係，各種不同土地使用方式所產生逕流量的多寡，將受其土地使用類別與強度的影響，而逕流量之多寡亦受地表入滲能力影響。

為探討土地使用方式與產生之地表逕流間關係，一般多引用「自然排水」的概念，即利用土地資源之承載力，以土壤對水分之入滲能力與地形差異來貯存地表逕流，並藉以排除產生於地表之逕流。通常基地開發可分為自然地區與開發地區兩部份：

- (1) 自然地區：係指在土地開發行為時，地表未經變動而保留為原先之自然狀態者，此種保留的自然地區，可做為都市計畫區域內遊憩使用之開放空間。
- (2) 開發地區：此區域又可分為不透水區域，如：建築基地、水泥地、道路等，與透水區域，如：草地等。

不透水區域、透水區域內的自然地區對地表水文各有不同之效應，自然地區雨水入滲至土壤之量最大，其次為透水區域，最小者為不透水區域，所以若於土地開發規劃作業時即配合土地資源之特性規劃基地保水計畫，使多餘的地表逕流能藉由自然或人工的方式入滲到地下或滯留延遲其排放出基地之時間；如此不但保持水環境之平衡，更使土地使用對於水環境之衝擊減至最低。

土地利用方式對水環境有著強烈的牽引作用，人為開發強度越高往往也招致越強大的反噬力量。由於不同的土地使用對逕流量及組成具有多重影響，因此地表水的命運與流域的土地開發方式息息相關。都市是一個高度開發的人為環境，近年來的都市規劃雖也考

量到開放空間的需要，也因此喪失了許多自然防護的能力，例如大安森林公園、中正紀念堂以至於散佈各社區的鄰里公園雖逐漸增加，但真正作為「生態空間」（或保育空間）則仍無明顯進步。

目前土地使用規劃，以及大部分的開放空間或是地面上鋪設硬鋪面，或是地下室開挖作為停車場，多著重於社會與經濟層面之考慮，而忽略了地區環境特性，特別是人為建設對城鄉水環境之影響，如水土保育機能、調節都市氣候等；在這種使用方式之下，使得公園綠地作為都市生態保留地或者緩衝帶的功能大幅度萎縮，在雨水不能直接下滲到地底的情況下，原有的補注地下水，減少地面逕流，以及淨化水質（地下水水質及減少雜流到下水道塞住下水道）三個功能蕩然無存，也導致都市體質更為脆弱。納莉颱風造成台灣尤其是大台北地區遭受前所未有的災情，洪水無情肆虐整個台北盆地，儘管此次雨量之大為數十年僅見，甚至遠超過各主要河流之防洪標準，但這個理由並不足以面對狂風豪雨的無情，更不足以撫平居民所承受的生命財產損失與威脅。

而地區之排水計畫多為土地使用計畫之事後配合措施，解決之道往往以集中末端（End of Pipe）排水方式來排除基地之地表逕流，即採取於區域排水出口設置一滯洪設施以減少尖峰流量。此一集中末端排水方式所產生的結果是排水系統愈建愈大，下游排水負荷也會愈來愈大，忽略了潛在災害。這種將土地使用計畫與排水計畫分開設計之土地規劃程序，不但破壞地區原有之水環境體系，且基地逕流大量且迅速地排放至下游鄰近地區，除減少雨水入滲機會外，同時會增加下游河川之流量，引起河川下游地區之洪澇災害。

依據日本社團法人雨水貯留浸透技術協會之資料顯示，日本在昭和廿年（西元 1945 年）代，由於都市地區之人為開發有限，人造結構物之規模及數量不多，因此對於地表雨水之處理仍主要以自然滲透及地表逕流方式處理，加上家庭生活雜排水之排放量及污水

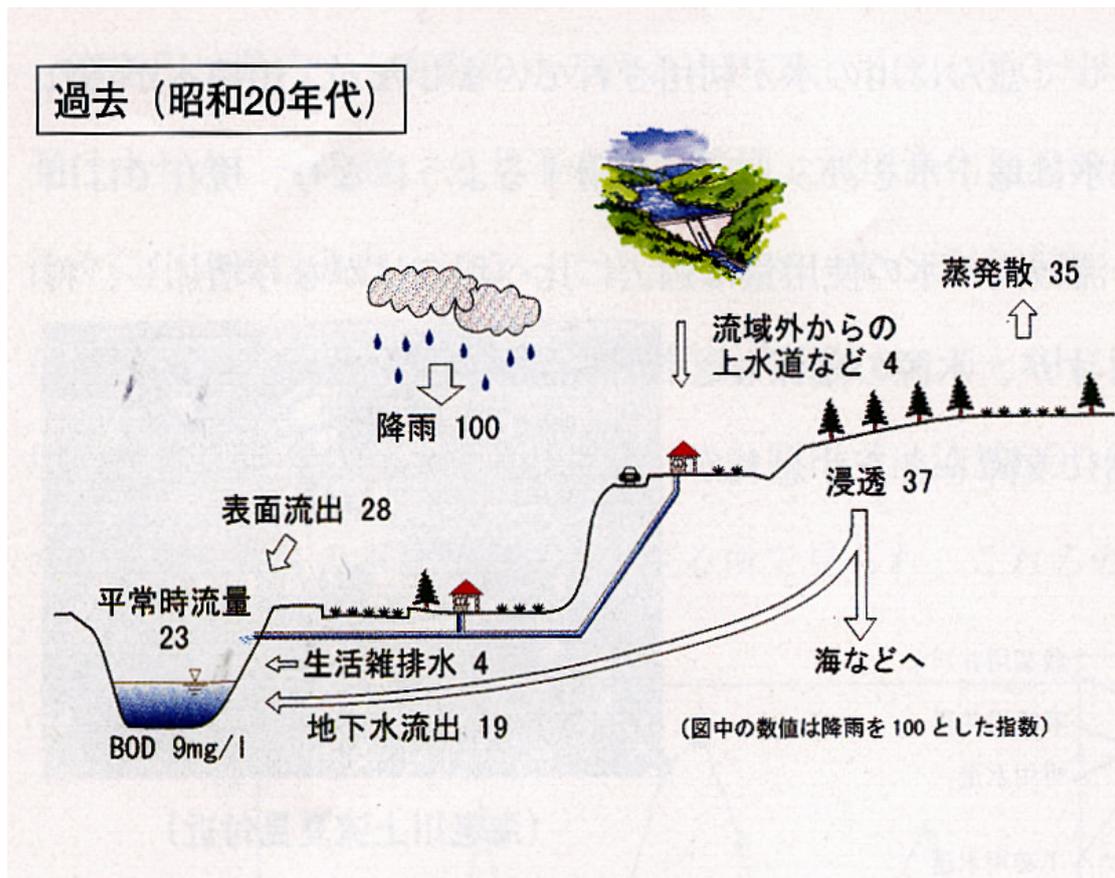


圖 2-5a 日本都市開發前之水環境影響示意圖

資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協會。

下水道接管率低，大部分之雨水均可滲透至地下形成地下水資源貯存，同時因河川之基流量豐沛，河川之污染程度並不算太高（如圖 2-5a 所示）。但隨著人口不斷湧入都市地區，使得都市人口與經濟快速發展，為了滿足人類居住之生活空間，提升生活水準，不僅用水量大幅增加外，同時為容納日益擴大之需求，都市街道、建物密度以及停車場等公共設施不斷增建，造成地表不透水區域擴大，人工排水系統取代了土壤原本涵養滯蓄之功能，加上生活雜排水之排放量增加，污水下水道尚未全面普及，使得地下水補注量及河川基流量減少，造成河川嚴重污染（如圖 2-5b 所示）。依據這樣地都市發展模式，預估至廿一世紀中，當大部分建築之污水下水道系統建

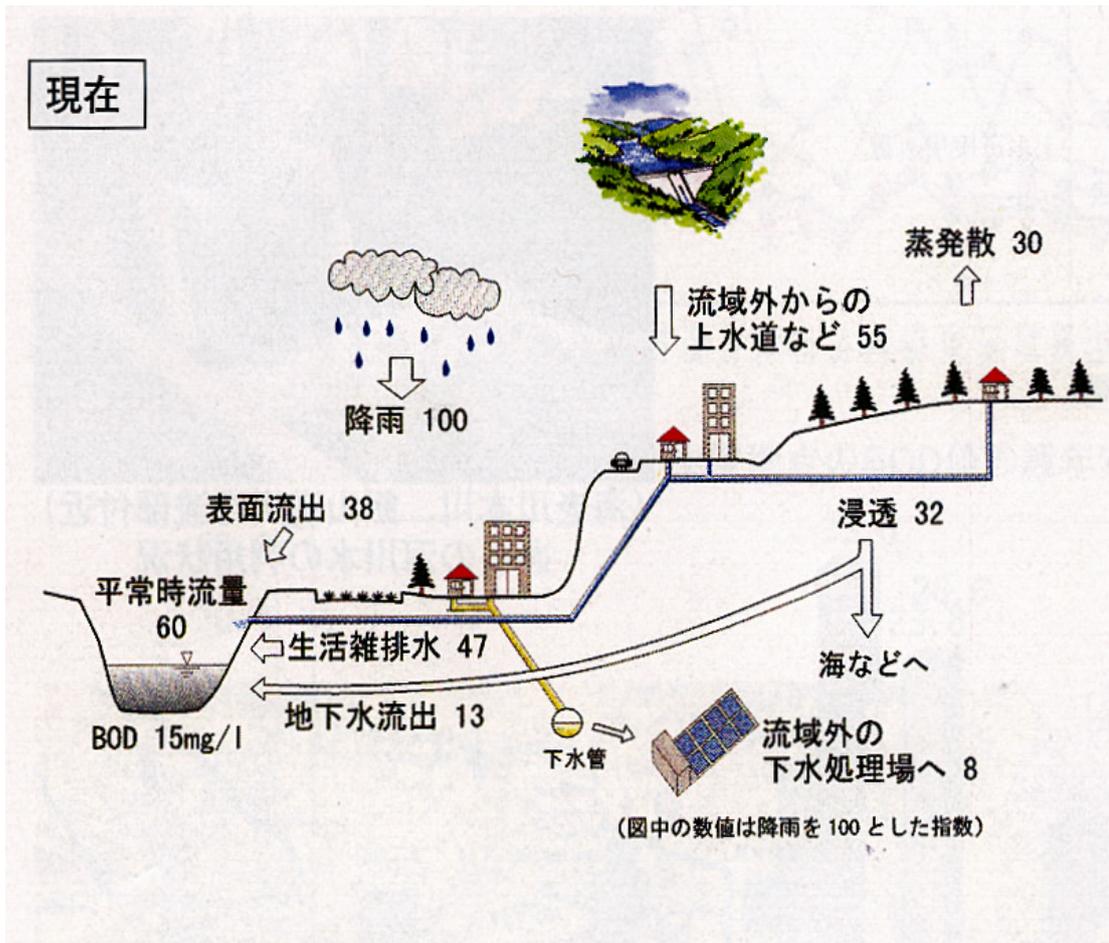


圖 2-5b 日本都市開發中之水環境影響示意圖

資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協會。

置完成後，雖可有效減少排放至河川之生活雜排水排放量，減低河川污染量，但也因更多人工設施之興建與不透水鋪面之鋪設，使得地表逕流量增大，人工排水系統無法負荷宣洩而造成淹水，同時更因地下水補注量之減少，致使河川基流量嚴重減少不足，河川多呈現乾涸現象，嚴重造成都市水文環境之丕變，造成都市水患問題不斷，嚴重影響居民之生命財產安全（如圖 2-5c 所示）。

在人類的開發行為中，城鄉建設是造成大地保水能力下降之主因，依據日本在多摩市鎮開發中所做的實驗指出，在充滿建築物、道路、停車場等設施的都市化區域若遭逢下雨，其地表逕流量約為

另一自然林地區域的 5.2 倍，這說明了市街開發確實會對洪峰的發生量有所影響。就都市防災的範疇而言，有許多措施是可透過都市

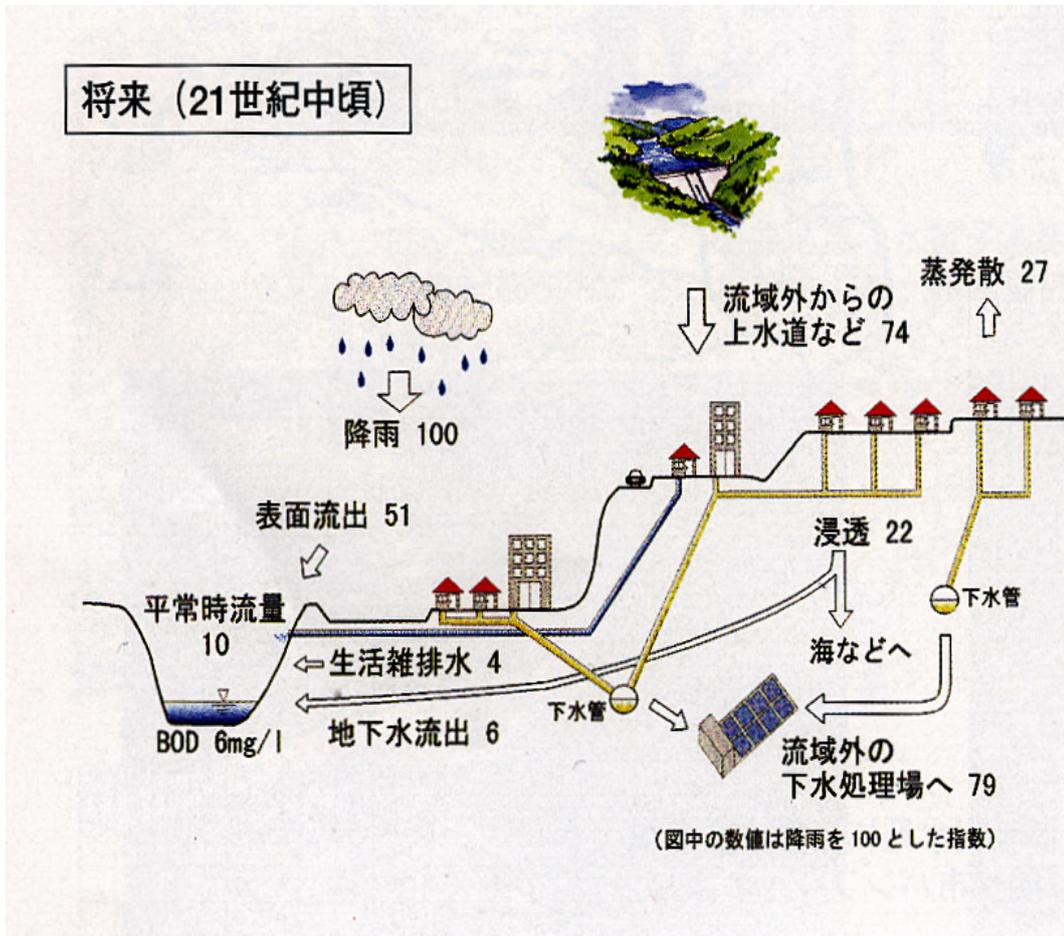


圖 2-5c 日本都市開發後之水環境影響示意圖

資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協會。

計畫手段達成的，例如要維護公園綠地作為都市生態保留地或者緩衝帶的功能，應禁止在這些地方設置地下停車場或開發其他地下用途，同時應使用滲水性能良好的植被披覆，至於停車場需求問題除應以大眾運輸積極取代之外，也應儘量利用既成建築物用地作為興設地下停車場的選擇，以降低大量開發對水環境的破壞。

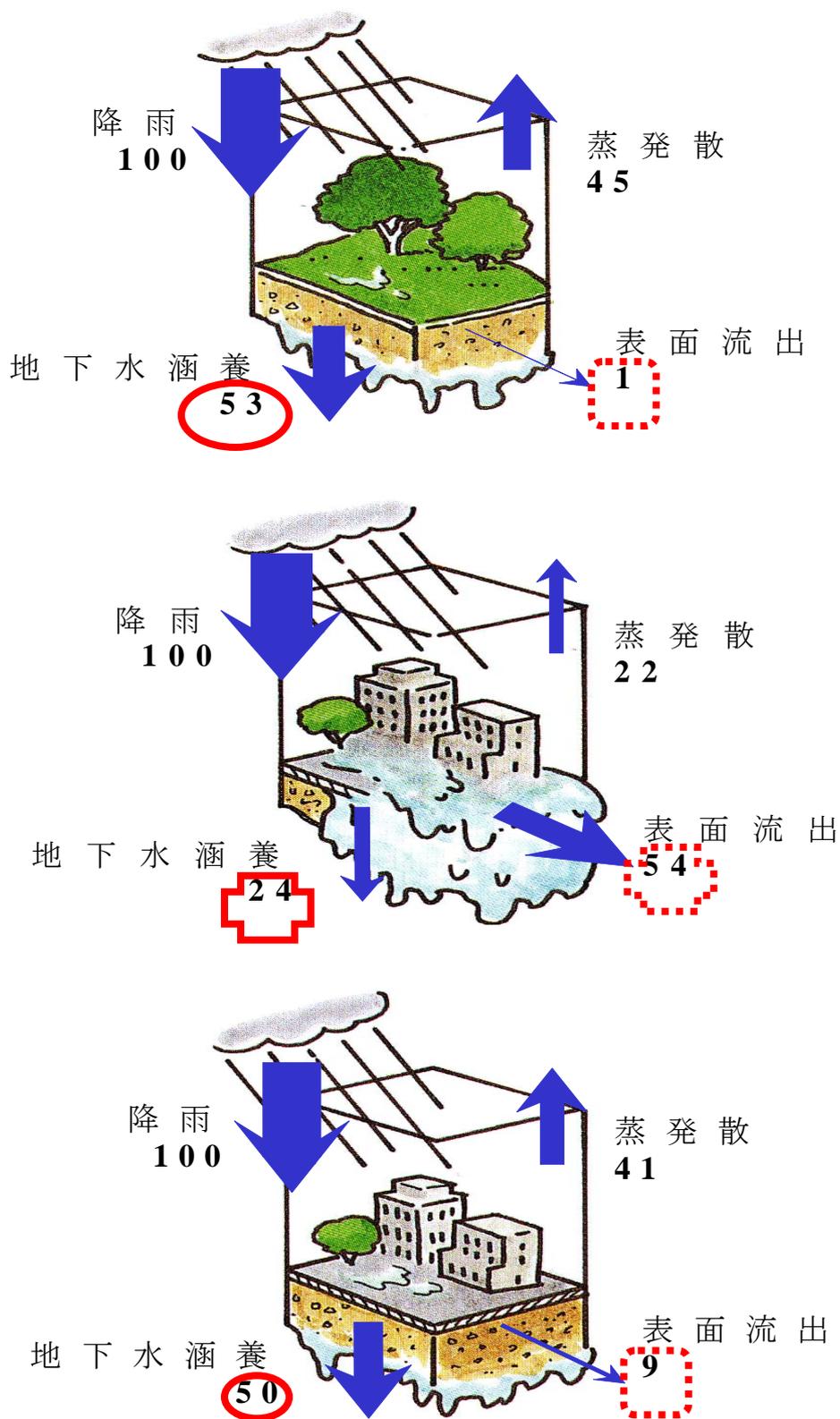


圖 2-6 保水貯留滲透設施對都市之水環境影響示意圖

資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協。

過去我們的大地環境可說是充滿了無數的坑洞間隙，並具有貯集大量水分的功能，例如疏鬆的土壤孔隙以涵養雨水，天然埤塘窪地以匯集逕流水，甚至有許多的地下溪谷以容納伏流、湧泉。現代的城鄉環境不但使地面大量不透水化，也使地面喪失許多積水的溼地埤塘，甚至連地面下的土壤也因地下室興建以及土壤改造而漸漸形成「無孔隙化」，除造成土壤涵養水分的能力減弱，對生態也有莫大的傷害。

歐美日等國家為降低因基地開發增加之尖峰流量與逕流體積，並增加基地之保水能力，逐漸採用微管理（Micro-Management）及源頭控制（Source Control）的概念（Takeuchi, 2000; Seiji, 2000 and Liaw, et al., 2000）來處理都市逕流的問題，即在研擬土地利用計畫時同時考慮排水計畫，將小型滯留及入滲設施因地制宜地分散設置於都市排水區中各基地，將基地開發增加之逕流於區內消滅，減輕下游的排洪負擔，同時具有增加基地保水量的功能，對於區域水環境具有正面的助益，乃是一種現地減退（On-Site Abatement）的都市生態逕流管理方式。日本社團法人雨水貯留浸透技術協會為了減緩日本部分都市開發地區之都市熱島效應，達到水資源永續的目的，歷經近廿年的經驗發現，因都市開發所造成之都市水文改變，尤其是地表逕流之暴增與地下水涵養量減少之問題，一般只需配合適當之保水貯留滲透設施之興建，基本上均可使其恢復至原土地應有之水文狀況（如圖 2-6 所示）。



### 第三章 滲透設施之型式與特性

當雨水落於基地形成逕流，在逕流到達排水區（Drainage Area）出口之間，可提供作為雨水貯留及滲透的地點很多，而於逕流的流路（Flow Path）上設置基地保水貯留及滲透設施，可充分發揮逕流滯蓄的效果，且其工法因使用及設置方式而有多樣的種類。美國環境保護署（U.S. Environmental Protection Agency）、美國聯邦公路管理局（Federal Highway Administration）及美國地質調查局（U.S. Geological Survey）共同合作，藉由收集道路暴雨逕流以作為研究路面逕流污染物對於環境所造成之影響，結果顯示其對於地下水的污染甚大；因此美國環境保護署立法規定對於某些特定工業區和公路之地表逕流，必須先經由貯留及滲透設施之收集，並藉由適當處理後才可予以排放，同時也可配合中水道系統回收再利用，以免造成其他乾淨水源之污染，這類對於解決雨水造成地表逕流的污染技術，一般通稱為「土地處理（Land Treatment）」。

另外德國柏林則在市區中，配合雨水排水道系統來廣泛設置如入滲調節池（Infiltration Basin）及滲透渠（Infiltration Trench）等滲透設施，其結果除具體降低了暴雨之逕流體積及洪峰流量外，也因而減輕了地表逕流的污染程度，使得排水系統與水處理系統負荷大為減輕。而在鄰國日本，為解決日益降低的地下水位、水資源缺乏、逕流污染及洪澇問題，除於法令規範設置防災調節池外，更於 1993 年的環境基本法（The Basic Environmental Law）及 1994 年的國家基本環境計畫（The National Basic Environmental Plan）中，規定貯留及滲透設施之利用技術必須對於水文循環有所助益，同時必須與環境、生態保育等環保與親水機能相結合。

由於滲透設施具有同時控制暴雨逕流的四項因子：體積、流量、時間及污染物的功能及優點，因此具有舒緩都市化效應所造成種種

問題的功効，同時滲透設施的設置可貯留滲透之雨水，使已開發土地盡量回復到開發前自然地貌覆蓋狀態下的水文情況。以下將先針對滲透設施之構造型式與用途進行介紹，然後進一步探討其影響因素，最後並提出初步選址原則。

### 第一節 滲透設施之構造與用途

為減少逕流及都市化效應，一般可於道路等公共空間，或利用自然地形廣設保水滲透設施，各設施分別有其特殊功能及適用範圍，設計方法也各有不同，但保水的概念卻是一致的，所以在建築基地規劃時就必須依現場狀況進行整體規劃，才可使保水滲透設施發揮最大的功效（如圖 3-1 所示）。

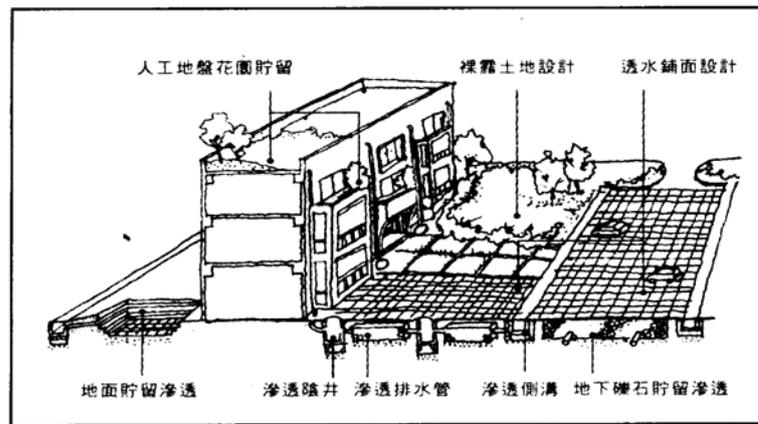


圖 3-1 基地保水滲透設施整體規劃配置示意圖

資料來源：林憲德教授，2003。

設透設施具有削減降雨逕流、涵養地下水、過濾污染物、淨化水質、改善熱循環系統等功能，一般又可區分為擴水型滲透設施與貯留型滲透設施兩類。擴水型滲透設施係以高透水性滲透設施為介質，將雨水入滲至底部土壤，其型式包括有滲透陰井、滲透管渠、溝渠或壕溝、滲透測溝及透水鋪面等；貯留型滲透設施係利用設施容積或碎石間孔隙來貯留雨水，在經由底面、側面入滲至滲透設施底部土壤。各種滲透設施之構造型式與用途說明如圖 3-2、3-3 所示，各種滲透設施特性評估比較如表 3-1，各種滲透設施污染物去除效率比較如表 3-2。

依據圖 3-1 可知，各設施可依建築基地之現場狀況單獨設置或數種型式互相搭配使用；一般常用的滲透設施型式有：綠地、被覆

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

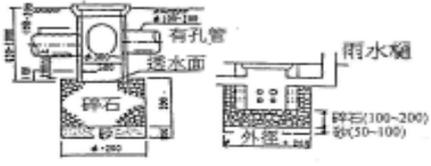
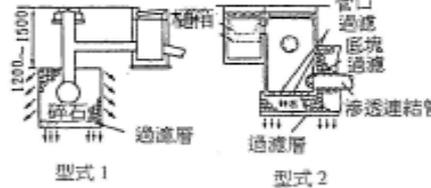
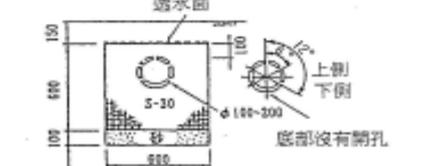
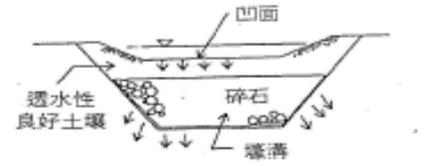
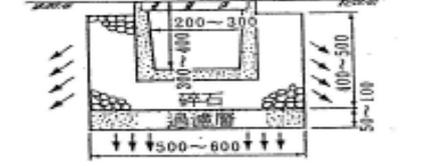
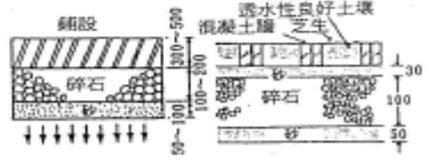
類別	構造型式 (單位: mm)	用途說明
擴水型滲透設施		滲透設施中最具代表性的構造型式，一般設置於住宅或建築物的周邊。在陰井的周圍填充碎石，雨水自底部與側面滲透。可以單獨設置，通常與滲透側溝併用。
		以收集道路排水為主的滲透陰井，應設置防止降雨初期污染物流入的前處理措施。型式 1 於雨水下水道連接管較高處接入，以免降雨初期雨水流入滲透設施；型式 2 則附設有去除垃圾的過濾裝置，防止阻塞物流入滲透設施。
		在開挖的壕溝內填充碎石並設置透水管，滲透壕溝兼具排水的功能，必須考慮透水管徑與坡度，以免影響其功能。與滲透陰井併用時，由於滲透陰井具有預先過濾雜物的功能，故原則上不必經常清理。
		在開挖凹面的低窪壕溝進行滲透，壕溝上方回填透水性良好的土壤，經土壤過濾的水再流入壕溝。回填土可植栽使其成園，維持自然過濾功能，可以不必維護。
		利用透水性混凝土材砌造，在底部及側面填充碎石，收集的雨水由底部及側面滲透。一般設置於建築物周圍、公園、廣場或道路兩側，通常與滲透陰井併用，應有適當維護清理的措施。
		雨水經由透水性鋪面及混凝土平板的孔隙滲透，由於容易阻塞，降低透水性，必須設有適當維護清理的措施。混凝土塊的鋪設，應填充透水性良好的土壤，並加以植生。

圖 3-2 擴水型滲透設施之構造型式與用途

資料來源：經濟部水資源局，2000。

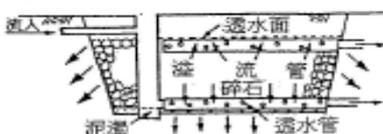
貯留型滲透設施	滲透池		貯留雨水自滲透池底部滲透，兼具洪水調節與抑制流出的功能，必須設有適當維護管理措施，以防阻塞。
	碎石孔隙貯留		地下土壤置換碎石，導水貯留於碎石間孔隙，並由碎石的底部與側面滲透。 碎石內貯留槽貯留的雨水，可加以利用。

圖 3-3 貯留型滲透設施之構造型式與用途

資料來源：經濟部水資源局，2000。

表 3-1 各種滲透設施特性評估比較表

評估因子 工法	水質改善	逕流控制	熱島化效應改善	地下水潛在污染可能性	操作與維護需求	公共安全需求	設計技術困難度	適用場所			失敗機率
								低至中密度住宅區	高密度住宅區	中密度商業區 工業區	
草帶	◎	○	○	○	○	○	○	●	◎	○	○
草溝	○	○	○	○	○	◎	●	●	○	○	○
滲透側溝	◎	◎	●	●	◎	○	◎	●	◎	◎	◎
滲透陰井	◎	○	◎	●	◎	○	○	●	●	●	●
滲透排水管	◎	◎	○	●	◎	○	◎	●	◎	◎	◎
地面貯留設計	●	●	●	◎	●	●	●	●	○	○	●
滲透渠	●	◎	●	◎	◎	○	●	●	◎	◎	◎
滲透乾井	◎	○	◎	●	◎	○	○	●	●	●	●
透水鋪面	●	○	●	◎	●	○	○	●	●	●	◎

說明：  
 相關性 ●：高  
 ◎：中  
 ○：低

資料來源：廖朝軒教授，2003。

表 3-2 各種滲透設施污染物去除率比較表

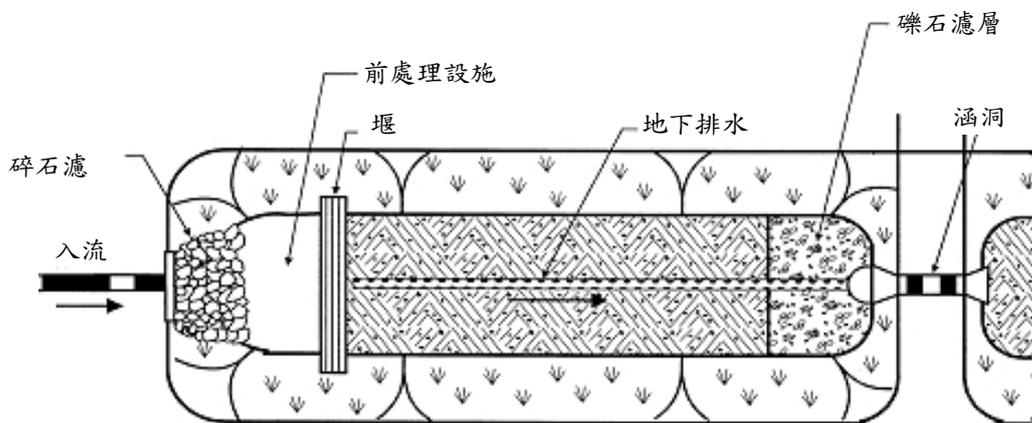
評估項目 工法	懸浮固體 Suspended soils	磷 Phosphorus	氮 Nitrogen	需氧量 Oxygen demand	金屬 Metals	細菌 Bacteria
地面貯留滲透						
Design 1						
Design 2						
Design 3						
草溝						
Design 4						
Design 5						
草帶						
Design 6						
Design 7						
滲透陰井						
滲透側溝						
滲透渠						
Design 1						
Design 2						
Design 3						
滲透乾井						
透水性鋪面						
說明：						
Design 1：處理水量為基地降雨初期 0.5 inch 的逕流深度(First flush)。						
Design 2：處理水量為基地降雨初期 1 inch 的逕流深度 (First flush)。						
Design 3：處理水量為 24 小時降雨延時 3 inch 的逕流深度。						
Design 4：坡度較陡，設施下游未設攔水堰 (Check dam)。						
Design 5：坡度較緩，設施下游設攔水堰 (Check dam)。						
Design 6：6 m 寬的長方形草皮。						
Design 7：30 m 寬覆蓋樹木的區域，且設置水平溢流堰。						
：污染去除率 0% ~20%。						
：污染去除率 20% ~40%。						
：污染去除率 40% ~60%。						
：污染去除率 60% ~80%。						
：污染去除率 80% ~100%。						
：無數據。						

資料來源：黃俊仁，2004。

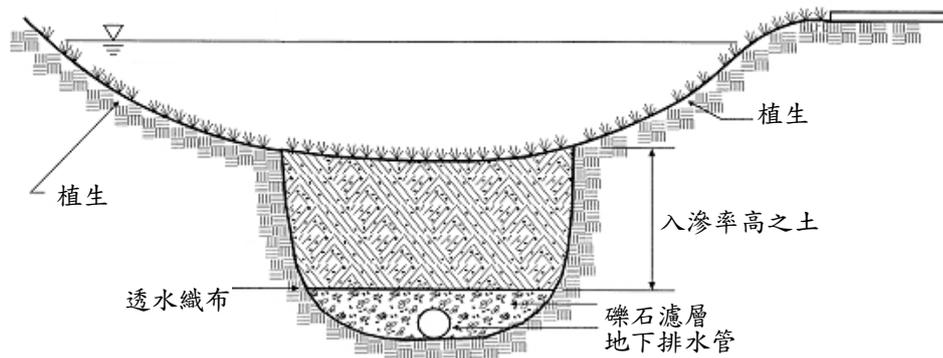
地或草溝，滲透排水管、滲透陰井及滲透側溝等，本研究將以滲透陰井工法為對象。

一、綠地、被覆地或草溝

利用植物，如樹木或草地等來控制雨水逕流是一種自然而經濟之自然方法；植物性之控制方法，一般包括綠地、被覆地或草溝，可將各種控制設施之規劃融合於建築基地規劃之中，以增進景觀方面之價值。



(a) 俯視圖



(b) 剖面圖

圖 3-4 草溝構造示意圖

資料來源：廖朝軒教授，2003。

草溝 (Grassed Swales) 是一種寬而淺且內部植草的排水道；草溝的設置若能配合基地開發的型式與自然低窪的地形，可直接將各基地之窪地相連，使其兼具排水道的功能；草溝也可在都市開發地區的透水層部分，以整地方式設置，以儲存地表逕流並排放至下水道，則亦兼有滯留池的功能。草溝入口應設置前處理設施，先將較大顆粒或雜物濾除以減少滲透面阻塞之可能；草溝之構造概如圖 3-4 所示。

92 年綠廳舍暨學校改善計畫在集集特有生物研究保育中心生態園區內設置一段滲透草溝，不但使生態更加豐富，亦可成為入滲設施的代表性示範案例。滲透草溝的長度為 90m，溝間植草，邊坡處於安息角範圍內，且兼具透水功能，如圖 3-5。



圖 3-5 豐富生態且具示範性質的滲透草溝

資料來源：林憲德教授，2003。

綠地、被覆地或稱為草帶 (Grass Strip)，是一種與不透水表面相鄰的草地，將不透水表面的逕流導入，可在草地上形成薄層水流，同時藉由植被之過濾與吸附，去除粒狀污染物，可達到保水的效果，適用於小區域或不透水區域周圍。

草帶斷面應寬且平整，使逕流形成薄層水流（Sheet Flow）均勻分佈於表面以增加滲透面積，故必要時應在逕流入口設置水平溢流堰（Level Spreader）阻擋逕流，使逕流均勻由堰頂端溢流，並分布於整個草溝寬度，且流速不可過快，縱向坡度應在 5% 以下；通常草帶容易有逕流集中情形，故草帶長度應小於 10m；草帶之構造概如圖 3-6。

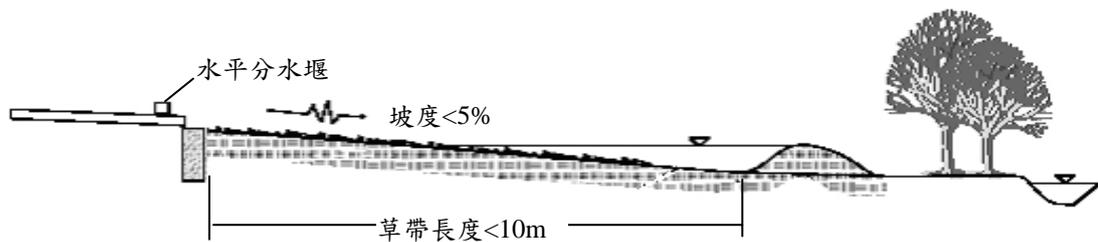


圖 3-6 草帶構造示意圖

資料來源：廖朝軒教授，2003。

## 二、滲透排水管

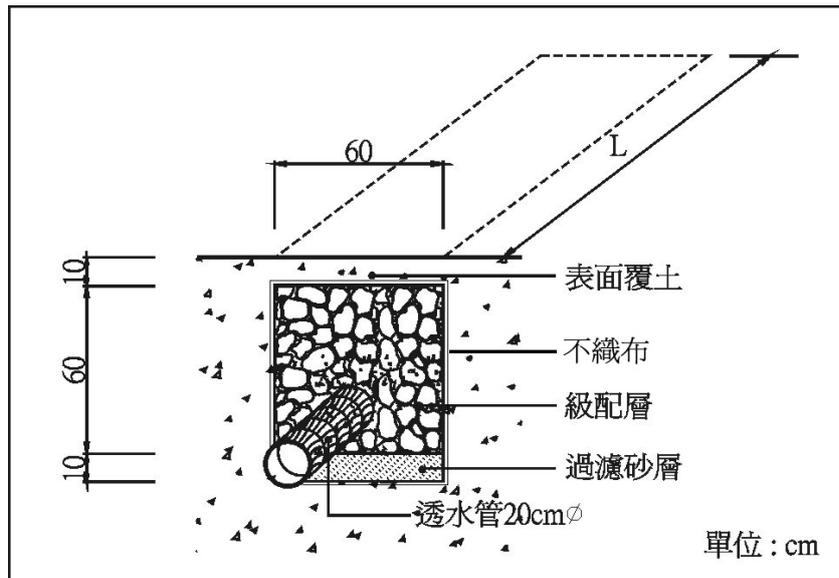
在都市高密度開發地區，往往無法提供足夠的裸露地及透水鋪面來供雨水入滲，此時，便需要人工設施來使雨水儘可能入滲至地表下，目前較常用的設施可分為水平式的「滲透排水管」、垂直式「滲透陰井」，及屬於大範圍收集功能的「滲透側溝」。

「滲透排水管」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，達到其輔助入滲的效果（如圖 3-7）。透水管的材料早期是採用陶管、瓦管、多孔混凝土管及有孔塑膠管，目前則為蜂巢管、網式滲透管、尼龍紗管和不織布透水管等，它們都是利用毛細現象將土壤中的水引導入管內，再緩緩排除，外層的材料除須具抗壓強度外，也應避免泥砂滲入造成淤積。

## 三、滲透陰井

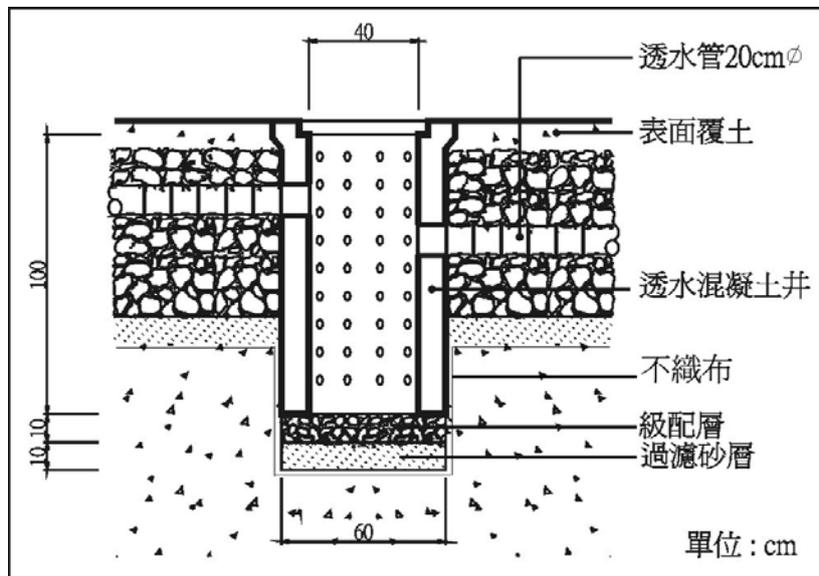
「滲透陰井」和「滲透排水管」的原理類似，均利用內部的透水涵

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析



資料來源：林憲德教授，2003。

管來暫時收納土壤中的飽和水量，待土壤含水量降低時，再緩緩排出，入滲於地表。「滲透陰井」屬於垂直式的輔助入滲設施，不僅可以有較佳的貯集滲透效果，同時亦可做為「滲透排水管」間聯接



資料來源：林憲德教授，2003。

的節點，並可收集排水過程中產生的污泥雜物，方便定期清除以保持排水的通暢，「滲透陰井」之構造如圖 3-8 所示。通常「滲透陰井」與「滲透排水管」配合使用，常設於各類運動場、公園綠地以及土壤透水性較差的建築基地中。因為「滲透陰井」的滲透孔隙易遭垃圾、泥沙、青苔的阻塞而失去功能，設計時應在底部或連接管部設置可拆裝網罩，以利清理並維持滲透之功能。

#### 四、滲透側溝

「滲透側溝」收集經由「滲透排水管」和「滲透陰井」所排出的雨水，來組成整個滲透排水系統；「滲透側溝」利用透水性混凝土材，於側溝底部及側面填充碎石，收集之雨水由底部及側面滲透，構造如圖 3-9。

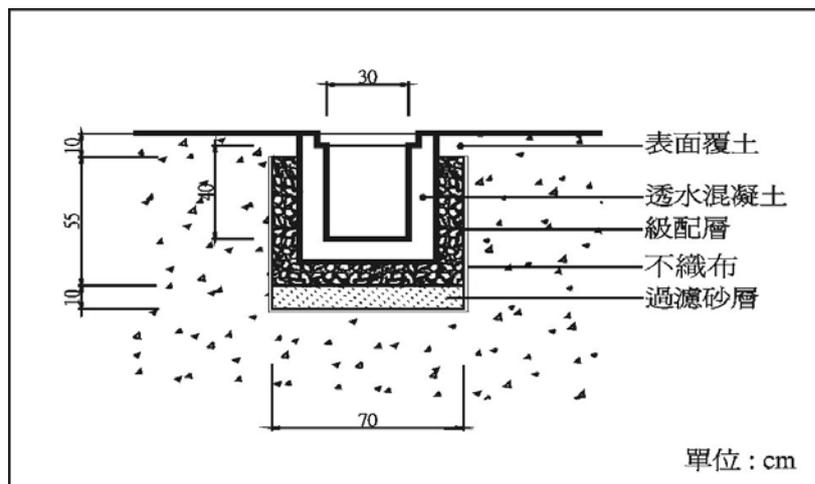


圖 3-9 滲透側溝示意圖

資料來源：林憲德教授，2003。

「滲透側溝」也可以單獨使用於較大面積的排水區域邊緣，來容納較大之水量，因此，「滲透側溝」的管涵斷面積也較前述兩者為大，在管涵材料的選擇上，必須以多孔隙透水混凝土為材料，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。

92 年綠廳舍暨學校改善計畫在經濟部水利署台北辦公區新店辦公室建置兼具實驗與示範性質的滲透測溝，以供透水鋪面觀測試驗及雨水貯留設備觀測試驗之用，如圖 3-10 所示。



圖 3-10 具實驗與示範性質的滲透側溝

資料來源：廖朝軒教授，2003。

## 五、滲透渠

與上述「滲透側溝」相比，「滲透渠」是比「滲透側溝」更為大型的入滲設施，其構造如圖 3-11 所示。「滲透渠」是一種地面上的溝渠，利用開挖凹面之低窪壕溝進行雨水入滲，壕溝上常回填透水性良好之土壤，經過濾的水再流入壕溝，回填土則可植生使其土壤聚集，維持自然過濾；故與草溝相比，草溝是偏向「自然」的排水方式，而「滲透渠」則屬於「工程性」的排水方式，且「滲透渠」的表面可較為平坦。

水流是以漫地流的型式經由植生帶流入設施中，滲透渠內部以卵石填充，底部鋪設 15cm 砂濾層，在砂石與土壤間常置有透水織布，作為減少地下水之污染及土壤細顆粒進入砂石間空隙減少貯水量。

「滲透渠」除了減少地表逕流的功能外，亦有去除逕流污染物的效用；當污染物進入滲透渠中，可因沈澱、植物根部吸附及轉換等作用而被去除。根據國外的使用經驗與評估，「滲透渠」如設計及維護良好，可去除 100% 的懸浮固體，30 至 70% 之營養鹽，15 至 80% 之重金屬及細菌。「滲透渠」底部及側邊皆可入滲，因此即使「滲透渠」底面阻塞，「滲透渠」側邊仍可維持 1/4 的入滲能力。

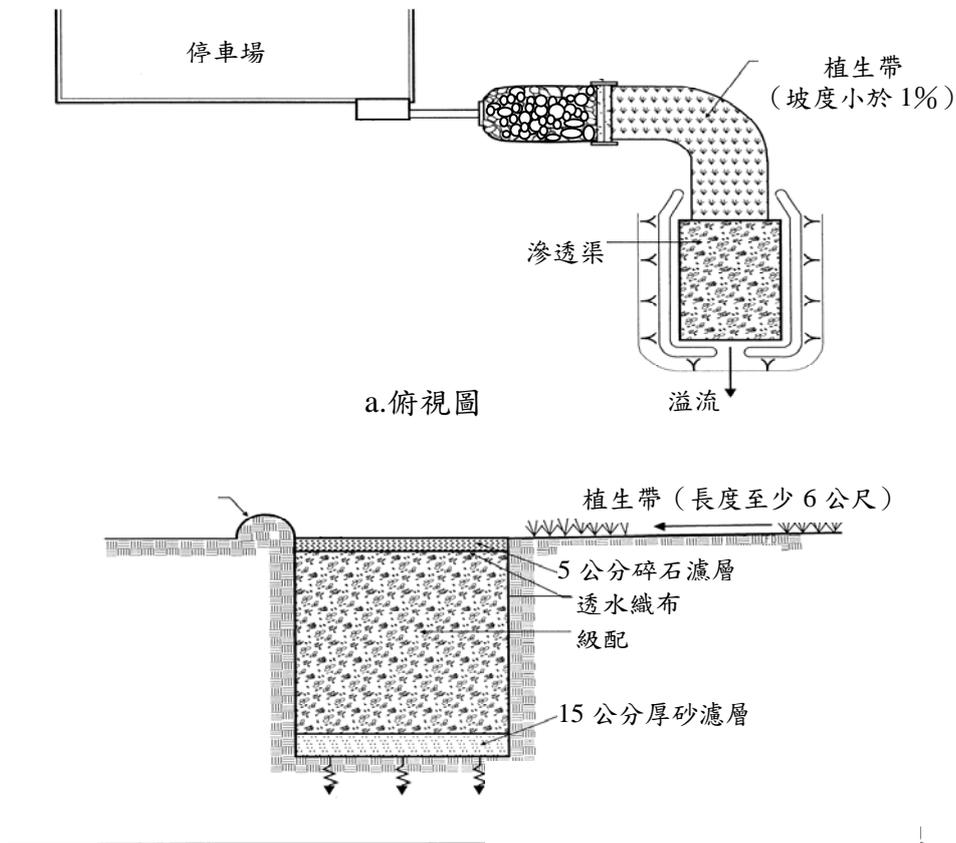


圖 3-11 滲透渠示意圖

資料來源：廖朝軒教授，2003。

## 六、滲透乾井

「滲透乾井」經常用於貯存建築物屋頂所收集之雨水，其構造

如圖 3-12。

根據國外使用經驗，「滲透乾井」之集水面積通常不大於  $4,000\text{m}^2$ ；因為「滲透乾井」較不佔用空間，可配合建築物適當的規劃設置，故被廣泛使用於收集住宅區、商業區及工業區等建築物屋頂之雨水；一般「滲透乾井」上方為覆土，僅留一入流口供逕流流入用，若地區暴雨量較大，可將「滲透乾井」上方覆土除去改為網狀入流口，如此可增加入流效率；而在設置「滲透乾井」時至少需離建築物地基 3m，以免影響建築物結構穩定。

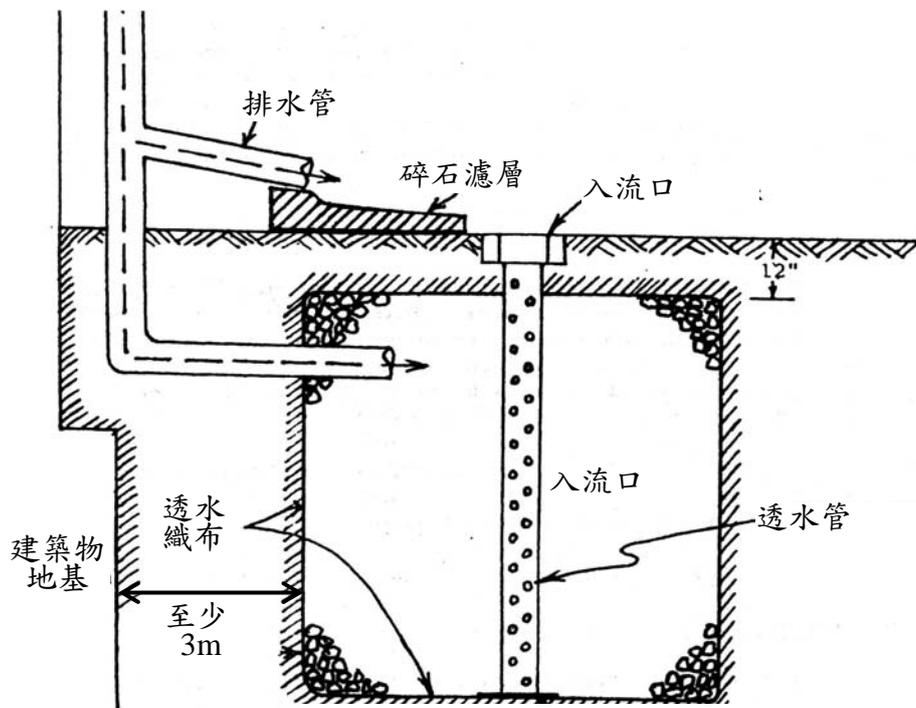


圖 3-12 滲透乾井示意圖

資料來源：廖朝軒教授，2003。

## 第二節 影響滲透設施之因素

由於滲透設施可將逕流蓄存以提供入滲至地下或蒸發至大氣，並常配合植生使用，同時為了達到增加蓄存逕流的目標，滲透設施常以各種不同型式搭配使用來達到最大蓄存容量，而影響滲透設施的因子頗多，包括：降雨條件、土壤種類、池蓄時間、地形與地質、地下水位、植生緩衝帶、土地使用計畫與限制及污染控制等，以下將針對這些影響因素分別敘明。

### 一、降雨條件

降雨量的多寡及強度、降雨延時、降雨事件間的間距、日照強度與蒸發量等因素均會對地表水文產生影響，因此也會影響滲透設施之入滲性能。一般而言，在規劃滲透設施時是假設降雨後產生之逕流立即流入滲透設施，且同時發生入滲現象，而入滲現象將會持續到降雨事件結束之後，即假設降雨臨前條件為飽和；故由設計的觀點來看，設計降雨延時的決定不僅影響規劃之滲透設施規模，也影響滲透設施的使用性能，因此若於規劃初期謹慎選擇設計降雨延時，將有助於滲透設施之性能提升與使用效率。

### 二、土壤種類

滲透設施所具的逕流調節效能與土壤種類有很大的關係，高滲透性的土壤可在短時間內讓滯留之雨水快速的入滲至土壤中，以增加滲透設施滯蓄空間之使用效能，故土壤的滲透能量影響設施性能甚鉅。因此為獲得正確的土壤入滲率應以現場試驗為主，現場試驗如無法進行則應以試驗室試驗替代。

地表土壤顆粒較大則入滲率較佳，通常滲透設施設置位置的選擇，往往都會考慮土壤的排水速率，因此在滲透設施的選址上，土壤性質是一項重要的因素，一般建議水文土壤分類為 A 或 B 者；若以三角座標土壤分類，則以黏土比例小於 30% 且沈泥比例小於

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

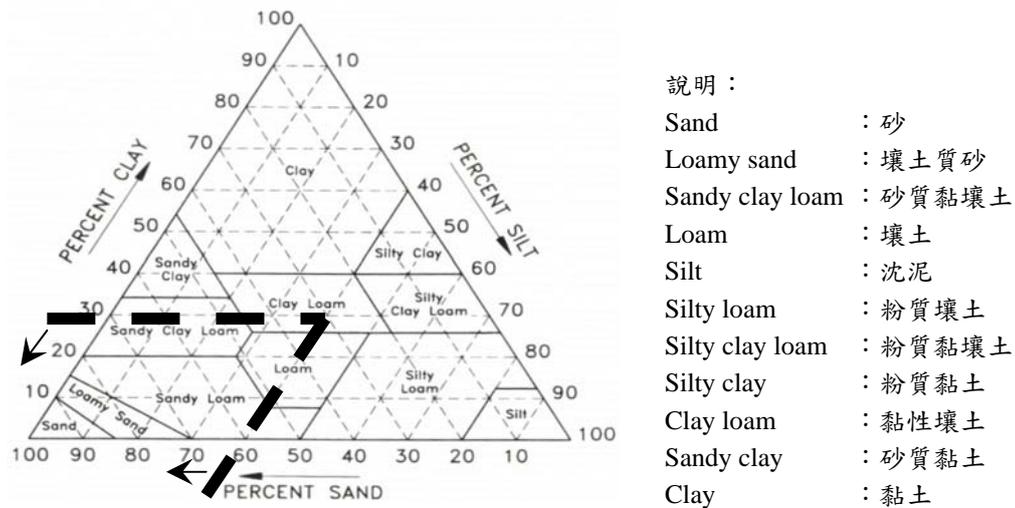


圖 3-13 三角座標土壤分類

資料來源：廖朝軒教授，2003。

40%之土壤較佳，三角座標土壤分類及建議之土壤如圖 3-13 所示。

### 三、池蓄時間

影響滲透設施性能的另一要素是其所能容許的最大池蓄時間 (Ponding Time)，所謂的池蓄時間即是將暴雨時儲存於設施上之逕流完全入滲至地下所需的時間，池蓄時間是滲透設施設置上的一個重要參數，與滲透設施之設計深度具有密切的關係。

由於土壤是由岩石風化作用而成，其物理特性諸如質地、表土深度、剖面結構、有機物含量等，均會影響土壤的入滲能力；各種土壤之入滲率及其水文土壤分類 (H.S.G) 可參考表 3-3。

表 3-3 亦為土壤種類與入滲率及最大設計深度的關係表。由表中可知屬於 H.S.G 中之 D 類的土壤入滲率較小，設計深度亦較小；在設計上為考慮雨水滯留對於環境的影響，通常以 24 至 72 小時為宜；入滲率之大小常常受到水深的影響，較高的設施深度水頭可提供較大水壓以增加雨水的入滲速度，且底部阻塞時邊壁仍可持續提供入滲機會，故在設計實務上宜考慮現場狀況採用最大之設計深度。

表 3-3 土壤種類與入滲率及最大設計深度之關係表

土壤種類	H.S.G	最小入滲率 (mm/hr)	T <sub>p</sub> (hr)					
			24	48	72	24	48	72
			d <sub>max</sub> (m) = f T <sub>p</sub>			d <sub>max</sub> (m) = f T <sub>p</sub> /V <sub>r</sub> , V <sub>r</sub> = 0.4		
Sand	A	210.06	5.04	10.08	15.12	12.60	25.21	37.81
Loamy sand	A	61.21	1.47	2.94	4.41	3.67	7.35	11.02
Sandy loam	B	25.91	0.62	1.24	1.87	1.55	3.11	4.66
Loam	B	13.21	0.32	0.63	0.95	0.79	1.58	2.38
Silt loam	C	6.86	0.16	0.33	0.49	0.41	0.82	1.23
Sandy clay loam	C	4.32	0.10	0.21	0.31	0.26	0.52	0.78
Clay loam	D	2.29	0.05	0.11	0.16	0.14	0.27	0.41
Silty clay loam	D	1.52	0.04	0.07	0.11	0.09	0.18	0.27
Sandy clay	D	1.27	0.03	0.06	0.09	0.08	0.15	0.23
Silty clay	D	1.02	0.02	0.05	0.07	0.06	0.12	0.18
Clay	D	0.51	0.01	0.02	0.04	0.03	0.06	0.09

資料來源：廖朝軒教授，2003。

#### 四、地形與地質

基地的地形會影響水的流動，坡度愈大，水的流動速度愈快，水的排出也愈快，滲透至土壤的水量也愈少，故為使滲透設施有較佳的入滲效率，適宜的地形是一個重要的評估指標；一般而言，透水性鋪面或植生帶之設置坡度不可以大於 5%，其他種類的滲透設施則不可超過 20%。在地質方面，設置前應進行如地質鑽孔等之詳細的地質調查，為獲得較佳的入滲效率，滲透設施底部至少應距離岩盤 1m 以上。

#### 五、地下水位

地下水位的高低將會影響滲透設施的入滲效率，較高的地下水位不利雨水入滲，而低窪地區易因雨積水而造成地下水位上升減少入滲量，故在規劃時需對滲透設施設置地區之地下水位進行現場調查，一般建議滲透設施底部距季節性地下水位至少距離 1m 以上；而若無地區之地下水位資料，建議滲透設施底部至少距離地下水位 1.5m；而根據國外設置經驗，設置滲透設施之區域可能會成地下水

位上升的現象，因此設置滲透設施時，應先對地下水的分佈狀態與特性進行調查。

#### 六、植生緩衝帶

一般在規劃滲透設施時應在其周圍設置植生緩衝帶 (Vegetative Buffer) 以防止逕流中落葉或雜物阻塞設施降低其入滲效能，且植生緩衝帶也具有降低流速、增加集流時間與入滲的功能。滲透設施可能會將地面水污染經由入滲進入地下水層造成地下水污染，此現象亦可藉由植生緩衝帶等前處理設施減低其風險；而植生植物的選擇以較具耐水性及較能吸附溶解性污染物者為佳，且植物具有季節性其吸附污染物的能力會隨時間而逐漸降低，故植物應按季節及其吸附能力定期更換。

#### 七、土地使用計畫與限制

基地滲透設施之設置地點常與都市、社區緊密結合，故土地的分類使用將會影響到滲透設施所截蓄之水量及水質，故對於都市計畫之土地利用也應加以深入了解，如工廠舊址、掩埋場等；因如土壤已遭污染，設置滲透設施將會擴散污染源造成地下水污染，因此不宜設置；如附近有抽水井則至少需距 30m 以上方可設置滲透設施。

對於坡度大、有崩陷危險的地區更應詳加調查，嚴禁在此地區設置滲透設施，另對於土地依法禁止開發或不擬開發之地區，則應予排除，不列入選址之考量；而滲透設施設置位置的選擇亦可能影響到設施之使用標的，故應依滲透設施之使用目的，訂定不同的管理辦法，以避免發生危險。

#### 八、污染控制

地表逕流所含之污染物質會造成滲透設施的阻塞，且可能污染地下水質，故必須對水質及土壤進行調查，以明瞭是否已遭污染，

尤其滲透設施係以整體規劃分散配置的方式遍佈於集水區中，若有單一設施遭受污染可能遍及整個集水區，故應於規劃前進行充分調查，俾廣泛收集設計資料。

### 第三節 滲透設施設置位置之探討

滲透設施因具備入滲可減少地表逕流的功能，故與一般以防洪為主的滯留設施不同，在施作基地規劃選擇滲透設施設置地點時，應對下列項目進行調查，以作為初步評估之依據：

- 1.設置區域內滲透區與非滲透區之比例
- 2.地表土壤組成概況
- 3.地表下土壤組成概況
- 4.地表坡度
- 5.地表覆蓋及植生狀況
- 6.土地使用概況

根據上述評估調查項目，本研究初步擬定滲透設施設置前之初步調查項目與評估原則，如表 3-4 所示；為若滲透設施預定地之總分高於 30 分，代表此位置適合設置滲透設施；總分介於 20 至 30 分之間表有條件設置滲透設施；總分小於 20 分則不適合設置滲透設施。

表 3-4 滲透設施設置前之建議初步調查項目與評估原則

評 估 項 目	評 分
1. 滲透設施控制區域 (含滲透設施區域) 不滲透區域 ( $A_{IMP}$ ) 與可入滲區域 ( $A_{INF}$ ) 之比例：	
■ $A_{INF} > 2A_{IMP}$	15
■ $A_{IMP} \leq A_{INF} \leq 2A_{IMP}$	10
■ $0.5A_{IMP} \leq A_{INF} < A_{IMP}$	5
■ $A_{INF} \leq 0.5A_{IMP}$	0
2. 滲透設施預定地地表土壤組成概況：	
■ 含有少許有機物粗粒土壤	7
■ 自然腐質土壤 (Humus Soil)	5
■ 含有大量有機物之細粒土壤	0
3. 滲透設施預定地地表下土壤組成概況：	
■ 若地表下土壤顆粒較地表土壤粗，則按照項目 2. 評分	
■ 若地表下土壤顆粒較地表土壤細，則依下列三點評分：	
• 礫石、砂或含礫石、砂之冰河沈積土 (Glacial till)	7
• 泥質砂 (Silty sand) 或壤土	5
• 細砂泥 (Fine silt) 或黏土	0
4. 地表坡度 (S)：	
■ $S < 7\%$	5
■ $7\% \leq S \leq 20\%$	3
■ $S > 20\%$	0
5. 滲透設施預定地地表覆蓋及植生狀況：	
■ 覆蓋良好之表面	7
■ 覆蓋良好之草地	5
■ 新植生之草地	3
■ 無植生—裸露之地表	0
6. 滲透設施設置位置土地使用概況：	
■ 使用頻率較低之區域	10
■ 常使用之徒步區域	7
■ 使用頻繁之徒步區域	5
■ 使用頻率較低之車輛行駛區域	3
■ 使用頻繁之車輛行駛區域	0
總 分	說 明
> 30	最佳的設置位置，滲透設施可發揮極佳的效能。
30	良好的設置位置，建議設置前處理措施以防止滲透設施阻塞而失去效能。
	中等的設置位置，必須設置前處理措施以防止滲透設施阻塞而失去效能。
20	較差的設置位置，需審慎估算池蓄時間且必須設置前處理設施。
< 20	不適合設置滲透設施。

資料來源：內政部建築研究所，2003。

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

## 第四章 滲透陰井之設計理論探討及試驗規劃

滲透陰井係屬「多功能」及「多樣化」的逕流處理設施，在歐美等國早已被廣泛採用；然國內目前對於此技術尚處於理論假設計算層次，既無試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，因此為建立滲透陰井本土化之設計參數及容量設計，同時瞭解孔隙變化對其滲透性能之影響，本年度計畫即依相關理論並配合現地試驗，進行容量設計理論驗證分析與探討。

首先將介紹三維穩定流入滲理論模式並探討其特性，然後據以建立滲透陰井穩定入滲量推估近似方程式（Simplified Equation）及入滲容量設計公式，以作為後續研究之依據。

### 第一節 三維穩定流入滲理論模式

土壤傳輸水份的能力以飽和水力傳導度 ( $K_{sat}$ ) 為最具代表性的參數，以圓柱形滲透井為例，圓柱形滲透井 (如圖 4-1 所示) 之滲透方式分為徑向壓力通量  $\bar{v}_{rp}$ 、垂直壓力通量  $\bar{v}_{zp}$  與垂直重力通量  $v_g$ ，由 Darcy-Buckingham 公式表示如下：

$$\bar{v}_{rp} = -K(h) \frac{\partial h}{\partial r} \Big|_{r=a} \bar{r} \quad (4-1)$$

$$\bar{v}_{zp} = -K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \Big|_{z=0} \bar{k} \quad (4-2)$$

$$\bar{v}_g = -K(h) \frac{\partial h_z}{\partial z} \Big|_{z=0} \bar{k} = -K_{sat} \bar{k} \quad (4-3)$$

上式中， $h$  為任一方向之水深變量； $K$  為滲透係數。

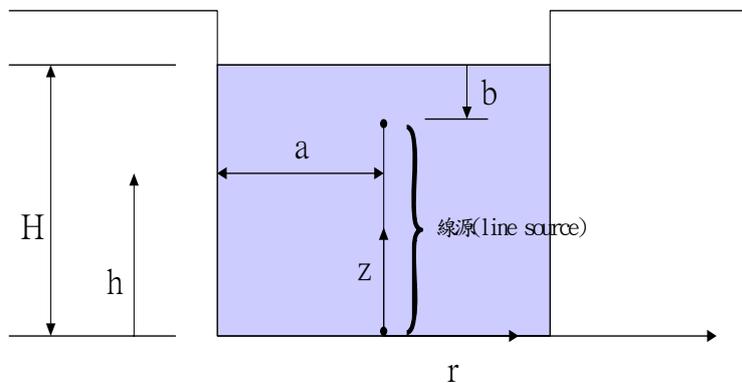


圖 4-1 滲透井示意圖

入滲流量 ( $Q_t$ ) 可以表示為：

$$Q_t = \int_{A_w} \bar{v}_{rp} \cdot d\bar{A}_w + \int_{A_b} \bar{v}_{zp} \cdot d\bar{A}_b + \int_{A_b} \bar{v}_g \cdot d\bar{A}_b \quad (4-4)$$

$$d\bar{A}_w = 2\pi a \cdot dz(\bar{r}) \quad (4-5)$$

$$d\bar{A}_b = 2\pi r \cdot dr(-\vec{k}) \quad (4-6)$$

其中， $d\bar{A}_w$  為井的側向面積； $d\bar{A}_b$  為井的底面面積； $a$  為井之半徑。

將式(4-1)、(4-2)、(4-3)代入式(4-4)，可整理得：

$$Q_t = 2\pi H^2 \left[ \frac{1}{C^*} + \frac{K_{sat}}{2} \left( \frac{a}{H} \right)^2 \right] \quad (4-7)$$

其中： $H$  為井之水深； $C^*$  為一形狀係數。

在均質、等向的多孔未飽和土壤介質中之地下水流質量守恆 (Conservation of Mass) 方程式，可利用理查方程式來表示：

$$\nabla \cdot [K(h)\nabla h] = 0 \quad (4-8)$$

將上式以圓柱座標表示，同時假設滲透井為線型水源 (Line Source)，並與式(4-7)解聯立方程式，可得：

$$K_{sat} = \frac{C^* Q_t - 2\pi H \phi_m}{2\pi H^2 \left[ 1 + \frac{C^*}{2} \left( \frac{a}{H} \right)^2 \right]} \quad (4-9)$$

$$C^* = \frac{H^2 \left\{ \frac{(H-b)}{H} \sinh^{-1} \left[ \frac{(H-b)}{a} \right] - \sqrt{\left( \frac{a}{H} \right)^2 + \left[ \frac{(H-b)}{H} \right]^2} + \frac{a}{H} \right\}}{(H-b)^2} \quad (4-10)$$

式中： $\phi_m$  為土壤未飽和區的勢能 (Potential)； $b$  為線型水源高度至水面之距離。

假設線型水源高度延伸至水面 (即  $b=0$ )，並忽略重力項與土壤未飽和區潛勢通量 ( $\phi_m$ ) 可得 Glover Solution，即

$$K_{sat} = \frac{Q_t \left\{ \sinh^{-1} \left( \frac{H}{a} \right) - \left[ \left( \frac{a}{H} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{a}{H} \right\}}{2\pi H^2} \quad (4-11)$$

式中： $K_{sat}$  為土壤之飽和滲透係數，單位為[L/T]； $Q_t$  為最終入滲率，其單位為[L<sup>3</sup>/T]； $a$  為試驗孔半徑，單位為[L]； $H$  為試驗孔之水頭高，其單位為[L]。而式(4-11)可進一步表示為：

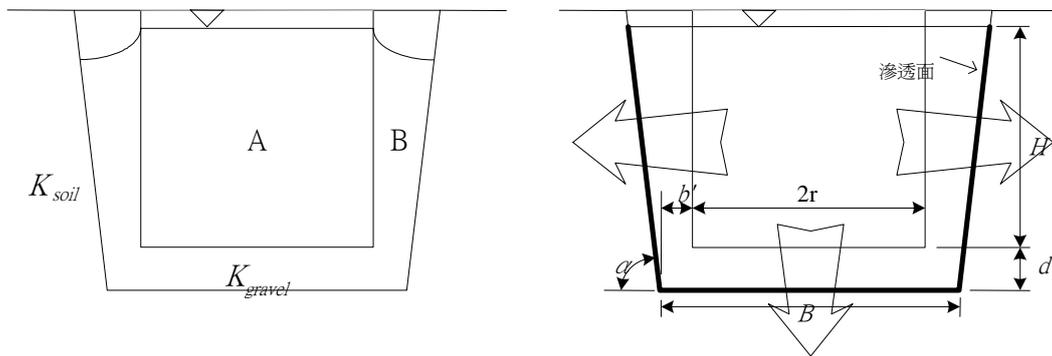
$$A_s = \frac{2\pi H^2}{\sinh^{-1} \left( \frac{H}{a} \right) - \left[ \left( \frac{a}{H} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{a}{H}} \quad (4-12)$$

$A_s$  定義為比滲透面積，為最終入滲流量  $Q_t$  與土壤飽和滲透係數  $K_{sat}$  之比值，單位為[L<sup>2</sup>]。

由圓柱形試驗井滲透能力之分析過程中得知，比滲透面積僅與滲透設施之幾何形狀（水深  $H$  與底面半徑  $a$ ）有關，與土壤特性並無直接關係。以下本研究即利用此一概念進行滲透陰井入滲量設計公式之探討。

## 第二節 滲透陰井入滲量近似方程式之推估

滲透陰井一般係藉由兩部分來貯水，即由高滲透性材料做成之陰井(如圖 4-2(a)之A部分)及由級配組成之地下貯水槽(如圖 4-2(a)之B部分)兩部分；通常級配之飽和滲透係數 ( $K_{gravel}$ ) 遠大於土壤之飽和滲透係數 ( $K_{soil}$ )，故滲透陰井在入滲穩定時之水位可表示如圖 4-2(a)所示，其在地下貯水槽之水位會呈現衰減的現象。



(a) 滲透陰井入滲水流示意圖 (b) 滲透陰井入滲水流近似示意圖

圖 4-2 滲透陰井入滲示意圖

若忽略此衰減現象，滲透陰井之入滲機制可以如圖 4-2(b)的方式近似。由於一般  $K_{gravel} \gg K_{soil}$ ，故滲透陰井之穩定入滲能力可假設只取決於其滲透面之面積、斷面水位深度 ( $H+d$ ) 及  $K_{soil}$ ，故滲透陰井之穩定入滲率 ( $Q_{All}$ ) 可表示為：

$$Q_{All} = Q_{Bottom} + Q_{Side} \quad (4-13)$$

其中， $Q_{Bottom}$  為底面穩定入滲率； $Q_{Side}$  為側面穩定入滲率，其分別以 Darcy's Law 可表示為：

$$Q_{Bottom} = K_{Soil} \times A_{Bottom} \quad (4-14)$$

$$Q_{Side} = 0.5 \times K_{Soil} \times A_{Side} \quad (4-15)$$

式中， $A_{Bottom}$  為底面入滲面積； $A_{Side}$  為側面入滲面積，各面入滲面積可分別表示為：

$$A_{Bottom} = \pi \times (r + b')^2 \quad (4-16)$$

$$A_{Side} = (H + d) \times \csc \alpha \times 2\pi \times (r + b') \quad (4-17)$$

將 (4-16) 及 (4-17) 分別代入 (4-14) 及 (4-15) 中，整理可得

$$Q_{Bottom} = K_{Soil} \times \pi \times (r + b')^2 \quad (4-18)$$

$$Q_{Side} = K_{Soil} \times \pi \times \csc \alpha \times (H + d) \times (r + b') \quad (4-19)$$

再將 (4-18) 及 (4-19) 代入 (4-13) 中，可得

$$\begin{aligned} Q_{All} &= Q_{Bottom} + Q_{Side} \\ &= K_{Soil} \times \pi \times (r + b') \times [(r + b') + (H + d) \times \csc \alpha] \end{aligned} \quad (4-20)$$

並令

$$A_{us}^{SE} = \frac{Q_{All}}{K_{Soil}} = \pi \times (r + b') \times [(r + b') + (H + d) \times \csc \alpha] \quad (4-21)$$

上式  $A_{us}^{SE}$  為理論近似之比滲透面積，亦即為滲透陰井入滲量推估近似方程式，其與式(4-12)相同僅與滲透陰井設施之幾何形狀有關，與土壤特性並無直接關聯。由於本計畫建立之滲透陰井入滲量推估方程式，其為一近似方程式，故在推估實際比滲透面積 ( $A_{us}$ ) 時應乘以一修正參數  $\hat{C}(H, n)$ ，故可表示為：

$$A_{us} = [\hat{C}(H, n)]^\beta \times [A_{us}^{SE}]^\gamma \quad (4-22)$$

其中  $n$  為滲透陰井表面開孔率。 $\beta$ 、 $\gamma$  為待定常數，其與修正參數  $\hat{C}(H, n)$  之函數型式均需透過試驗數據率定方可求出。而透過這樣

地方式便可進一步應用建立不同水深、半徑之比滲透面積關係，同時藉由現地定水頭試驗求得土壤之飽和滲透係數 ( $K_{soil}$ ) 後，即可得到滲透陰井之穩定入滲率。

### 第三節 滲透陰井入滲容量設計公式

為便於推導滲透陰井之入滲容量設計公式，在此以降雨事件為例，將滲透陰井之入滲狀況分為兩階段，如圖 4-3 所示，各階段說明如下：

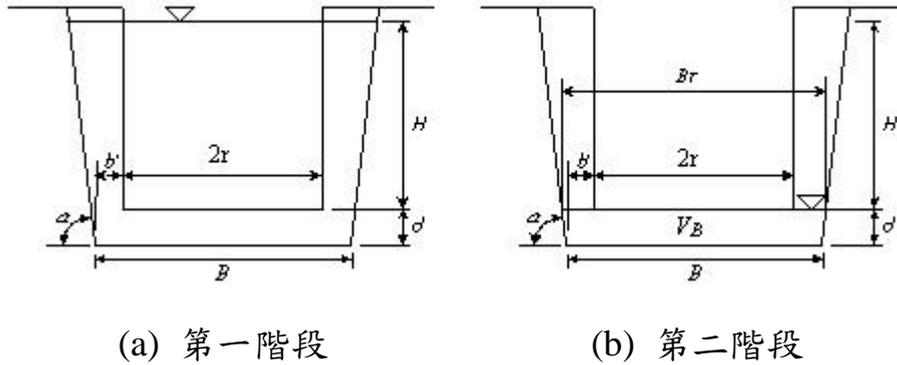


圖 4-3 滲透陰井貯蓄狀況示意圖

(a) 第一階段：

當滲透陰井達到穩定入滲時，其入滲情況如圖 4-3(a)所示，此時之入滲容量 ( $F_1$ ) 可由式(4-22)求得，即：

$$F_1 = A_{us} \times K_{soil} \times t \quad (4-23)$$

其中  $t$  為降雨延時。

(b) 第二階段：

因為陰井之地下貯水槽通常為較大孔隙率及高滲透係數之級配所構成，故雨停後陰井之入流量驟減，則在陰井底面以上之水會迅速經由陰井排出，則其貯水狀況變為圖 4-3(b)之情況；此時其貯蓄量 ( $V_B$ ) 即為其入滲容量 ( $F_2$ )，可表示為：

$$F_2 = V_B = \pi \times \left( r + b' + \frac{d}{2} \cot \alpha \right)^2 \times d \quad (4-24)$$

而滲透陰井之入滲容量 ( $F_{ALL}$ ) 則可由上兩階段之入滲容量求得，即：

$$F_{ALL} = F_1 + F_2 = A_{us} \times K_{soil} \times t + \pi \times \left( r + b' + \frac{d}{2} \cot \alpha \right)^2 \times d \quad (4-25)$$

式中  $d$  為滲透陰井之池蓄深度。

因此由式(4-22)及式(4-25)，若已知滲透陰井之入滲性能及相關形狀設計參數，即可得滲透陰井之入滲容量，即保水量；反之，若基地之目標保水量或逕流減少量已知，則可得到相關形狀設計參數；故本計畫後續擬以上面推導之相關理論為基礎，配合試驗率定參數及驗證，建立滲透陰井之性能及容量設計曲線。

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

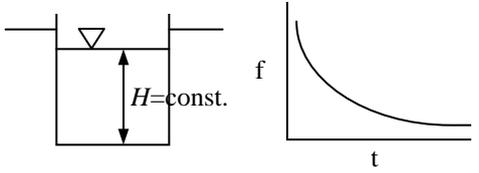
## 第五章 滲透陰井保水性能現地試驗結果分析

### 第一節 現地土壤滲透試驗流程建立

依據 94 年度研究發現，土壤之透水性為決定滲透設施滲透效率之重要參考依據，因此本（95）年度在進行滲透設施陰井之規劃與設計之前，仍應先對設置地點土壤之入滲性能進行滲透參數檢測。這部分通常可用代表土壤入滲能力之參數即最終入滲率（ $f_c$ ）與飽和水力傳導係數（Hydraulic Conductivity,  $K_{sat}$ ），或稱為滲透係數(Coefficient of Permeability)來表示。所謂最終入滲率，為水在未飽和土壤中（表層土壤飽和，但深層土壤未飽和）之流動能力；而滲透係數為水在完全飽和土壤中（如地下含水層）之流動能力；最終入滲率與滲透係數，二者之值及力學機制皆不同，但皆可用來表示土壤之入滲能力。

而一般建築基地之滲透能力可藉由定水頭試驗，以判定其最終滲透量及飽和透水係數；滲透試驗設施原則上以設置容易且可節省用水者，而採用之定水頭試驗方法，其原則上如表 5-1 所示。

表 5-1 定水頭試驗方法解說表

實驗說明	實驗原理示意圖
注水入圓筒至鎖定之水位，並保持水位不變，然後記錄經過時間之注水量，至注入量不變。右圖中 $H$ 為固定水位； $f$ 為入滲率； $t$ 為經過時間。	

為使未來相關滲透設施在設計使用時具有一致性，本研究後續相關的設計規範及試驗流程，將依據本所委託研究「滲透管溝工法性能實驗解析」所建議的方式，並依設施特性進行測試及修訂，以

減少未來在推行時的阻力及不便。

依據 94 年度現地試驗實際操作經驗，本（95）年度現地土壤滲透試驗流程建議如下：

### 步驟 1. 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估計，由於土壤各層之透水性可能存在相當差異，因此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。

滲透試驗鑽孔開挖時，一般開挖一垂直圓孔，本計畫使用之鑽孔工具為綜合型手持採土器（Hand Auger，如圖 5-1 所示）。



圖 5-1 綜合型手持採土器

資料來源：廖朝軒，2003。

### 步驟 2. 確認土壤

開挖時除判斷土壤外，必要時需採取代表性土壤進行試驗室分析。

### 步驟 3. 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，故必須觀察孔內的狀態，必要時需將以刷子輕刷孔壁且掘屑除去，以免影響滲透面之滲透能力。

#### 步驟 4. 置入填充材

鑽孔後，為防止注入水時對滲透面造成沖刷或攪動泥土，可於孔底填入一些砂礫及碎石，也可以不織布代替，填充方式如圖 5-2 所示。

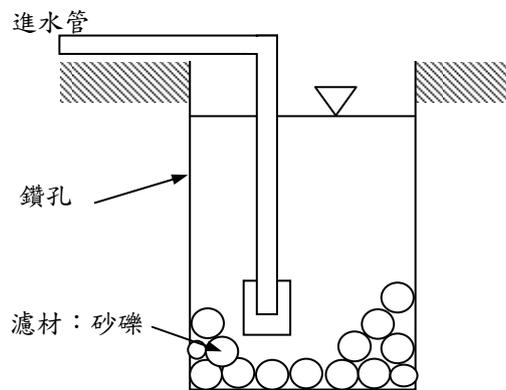


圖 5-2 試驗孔填充方式示意圖

資料來源：廖朝軒，2003。

#### 步驟 5. 定水頭試驗

其試驗步驟概述如下：

- (1) 訂定試驗孔浸水深度作為初始深度。
- (2) 依實際情況訂定記錄時間間距，量測注入量。
- (3) 持續記錄注入量，以確定達到穩定入滲率。
- (4) 試驗完成後，宜以不同浸水深度依上述步驟重複多次試驗。

#### 步驟 6. 記錄

將製作圖表（記錄表）以記錄、整理並保存之。記錄表除應記錄設施之形狀入滲量外，對於位置及設定浸水深度等皆應記錄。

步驟 7. 回填

試驗完成後，需將開挖之土壤予以回填並夯實。

## 第二節 試驗現地土壤之飽和滲透係數

由於本（95）年度滲透試驗，距離去（94）年度試驗已將近 1 年，為求慎重起見，本年度進行滲透陰井滲透性能試驗前，仍先針對現地土壤，進行滲透性能試驗，以瞭解土壤飽和滲透係數之改變。一般在進行土壤滲透性能的量測時，所使用的方式可概分為試驗室法及現地量測法，而試驗室法在量測時需於現地採取土樣後，再移至試驗室以儀器進行量測，因此所量測的滲透性能一般僅能代表局部「點」的結果，且又因在土樣採取過程中，會產生土壤解壓效應，故其量測結果在實際應用時，大多需進一步予以檢定。但因



圖 5-3 葛洛夫滲透儀之基本構造

量測方式簡便，故仍為大多數人所採用。而現地量測法雖其操作方式較為繁複，但基本上因可避免上述試驗室法的量測缺點。一般較常用的有單筒滲漏計及葛洛夫滲透儀。為使研究具有一致性，並避免觀測誤差，本（95）年度仍採用葛洛夫滲透儀之現地量測法進行現地土壤飽和滲透性能的量測。

葛洛夫滲透儀之構造如圖 5-3 所示，主要部分包括：貯水管；貯水閥；水位定位氣泡管；三腳架及注水管。而土壤飽和滲透係數可由儀器量得之土壤最終入滲率，再經由經驗公式或理論公式計算求得。而飽和滲透係數推估的準確性因受試驗時達到最終（穩定）入滲率程度、分析理論及現地限制之影響；故不同的滲透係數計算公式有其適用性，考慮的因子需包括土壤條件及儀器本身的限制。

在進行本（95）年度葛洛夫滲透儀試驗之前，需先於去（94）年度試驗場址，重新進行試驗孔之開挖及整理。同時為降低量測誤差，本研究採每 10sec 觀測一次，且多次量測取平均值的方式，來決定土壤飽和滲透係數。為易於決定試驗孔形狀係數，試驗水頭不宜太高，初步採用 15cm，試驗孔深度為 30cm，半徑為 4cm。另外，由於葛洛夫滲透儀各部分係採組裝式設計，故組裝時需注意儀器之氣密性，試驗概況如圖 5-4~5-11 所示，觀測數據及入滲曲線如表 5-2~5-5 及圖 5-12 所示。



圖 5-4 土壤飽和滲透係數試驗概況 (1)



圖 5-5 土壤飽和滲透係數試驗概況 (2)



圖 5-6 土壤飽和滲透係數試驗概況 (3)



圖 5-7 土壤飽和滲透係數試驗概況 (4)



圖 5-8 土壤飽和滲透係數試驗概況 (5)



圖 5-9 土壤飽和滲透係數試驗概況 (6)

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析



圖 5-10 土壤飽和滲透係數試驗概況 (7)



圖 5-11 土壤飽和滲透係數試驗概況 (8)

表 5-2 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 1)

試驗水頭 H= 15 公分(cm)									
No.	T (sec)	T <sub>d</sub> (cm)	△t <sub>d</sub> (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T <sub>d</sub> (cm)	△t <sub>d</sub> (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		21	200	7.00	0.20	0.04
2	10	1.90	1.90	0.38	22	210	7.30	0.30	0.06
3	20	2.00	0.10	0.02	23	220	7.50	0.20	0.04
4	30	2.10	0.10	0.02	24	230	7.80	0.30	0.06
5	40	2.30	0.20	0.04	25	240	8.10	0.30	0.06
6	50	2.80	0.50	0.10	26	250	8.30	0.20	0.04
7	60	3.10	0.30	0.06	27	260	8.50	0.20	0.04
8	70	3.30	0.20	0.04	28	270	8.80	0.30	0.06
9	80	3.50	0.20	0.04	29	280	9.10	0.30	0.06
10	90	3.80	0.30	0.06	30	290	9.40	0.30	0.06
11	100	4.20	0.40	0.08	31	300	9.70	0.30	0.06
12	110	4.50	0.30	0.06					
13	120	4.80	0.30	0.06					
14	130	5.10	0.30	0.06					
15	140	5.30	0.20	0.04					
16	150	5.60	0.30	0.06					
17	160	6.00	0.40	0.08					
18	170	6.10	0.10	0.02					
19	180	6.50	0.40	0.08					
20	190	6.80	0.30	0.06					

表 5-3 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 2)

試驗水頭 H= 15 公分(cm)									
No.	T (sec)	T <sub>d</sub> (cm)	△t <sub>d</sub> (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T <sub>d</sub> (cm)	△t <sub>d</sub> (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		21	200	11.80	0.80	0.16
2	10	3.00	3.00	0.60	22	210	12.40	0.60	0.12
3	20	3.40	0.40	0.08	23	220	12.80	0.40	0.08
4	30	4.00	0.60	0.12	24	230	13.20	0.40	0.08
5	40	4.30	0.30	0.06	25	240	13.60	0.40	0.08
6	50	4.90	0.60	0.12	26	250	14.10	0.50	0.10
7	60	5.40	0.50	0.10	27	260	14.60	0.50	0.10
8	70	5.90	0.50	0.10	28	270	15.10	0.50	0.10
9	80	6.30	0.40	0.08	29	280	15.50	0.40	0.08
10	90	6.80	0.50	0.10	30	290	16.00	0.50	0.10
11	100	7.20	0.40	0.08	31	300	16.50	0.50	0.10
12	110	7.70	0.50	0.10					
13	120	8.10	0.40	0.08					
14	130	8.50	0.40	0.08					
15	140	9.00	0.50	0.10					
16	150	9.40	0.40	0.08					
17	160	10.00	0.60	0.12					
18	170	10.40	0.40	0.08					
19	180	10.60	0.20	0.04					
20	190	11.00	0.40	0.08					

表 5-4 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 3)

試驗水頭 H= 15 公分(cm)									
No.	T (sec)	T <sub>d</sub> (cm)	△t <sub>d</sub> (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T <sub>d</sub> (cm)	△t <sub>d</sub> (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		21	200	8.50	0.20	0.04
2	10	2.50	2.50	0.50	22	210	8.70	0.20	0.04
3	20	2.70	0.20	0.04	23	220	9.10	0.40	0.08
4	30	3.10	0.40	0.08	24	230	9.60	0.50	0.10
5	40	3.50	0.40	0.08	25	240	9.70	0.10	0.02
6	50	3.60	0.10	0.02	26	250	10.10	0.40	0.08
7	60	4.00	0.40	0.08	27	260	10.30	0.20	0.04
8	70	4.40	0.40	0.08	28	270	10.80	0.50	0.10
9	80	4.70	0.30	0.06	29	280	11.10	0.30	0.06
10	90	5.20	0.50	0.10	30	290	11.40	0.30	0.06
11	100	5.40	0.20	0.04	31	300	11.70	0.30	0.06
12	110	5.70	0.30	0.06					
13	120	6.00	0.30	0.06					
14	130	6.20	0.20	0.04					
15	140	6.70	0.50	0.10					
16	150	7.00	0.30	0.06					
17	160	7.30	0.30	0.06					
18	170	7.70	0.40	0.08					
19	180	8.10	0.40	0.08					
20	190	8.30	0.20	0.04					

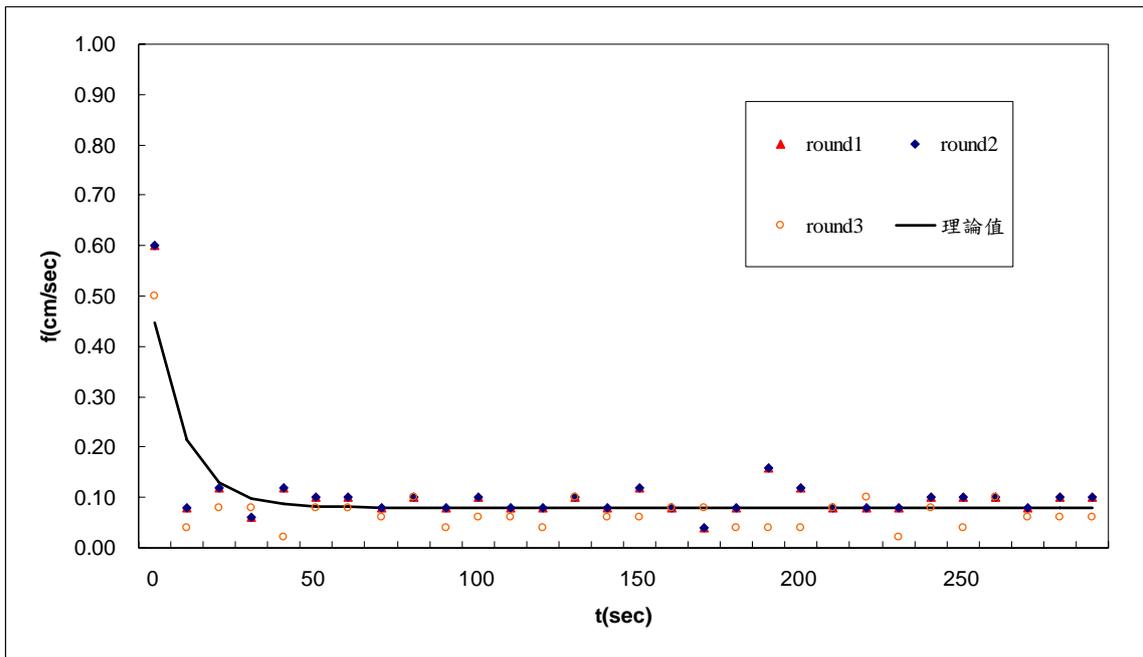


圖 5-12 試驗孔葛洛夫滲透儀觀測入滲曲線

依據圖 5-12 之觀測資料計算，得試驗區土壤飽和滲透係數 $K_{sat}$ 值為

$$K_{sat} = \frac{0.08 \times 35.22}{1125} = 2.505 \times 10^{-3} \text{ cm/sec} \quad (5-1)$$

其中， $35.22 \text{ cm}^2$ 為葛洛夫滲透儀注水管斷面積，1125 為查表修正係數。同樣依據統一土壤分類與滲透係數對照表對照其土壤種類，該土壤仍可能屬於不良級配砂或良級配砂。但由本（95）年度測得的土壤飽和滲透係數與去（94）年度數值  $4.7 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$  相比，其值大約降低了 50%，顯示試驗區土壤經過將近 1 年時間，滲透性能已明顯有所變化。

### 第三節 滲透陰井現地施工規劃

在去(94)年度研究規劃初期，為考量滲透陰井後續之推廣及實用性，並參酌國內相關專家學者之意見，認為滲透陰井在材料的選擇上，必需為國內易於取得之材料，但在蒐集國內外相關文獻，及尋訪國內相關陰井製造商發現，國內現階段並無此類相關應用產品生產。但在其他設計部分，如：捷運施工工地排水、高爾夫球場排水及棒球場排水等，已有利用滲透排水管或打孔 PE 管的類似設計產品被廣泛使用，這類產品基本上其設計原理與本研究的滲透陰井概念相似，在國內除有相當多的設計運用案例外，最重要的是國內廠商本身已能自行生產。因此在考量後續研究實際需要，並經聯絡部分廠商意願，最後是選用彰化縣大鋒塑膠股份有限公司所生產的打孔 PE 管來取代(如圖 5-13~5-14)。



圖 5-13 試驗滲透陰井 (1)



圖 5-14 試驗滲透陰井 (2)

同時為瞭解管徑大小對滲透效能的影響，去(94)年度研究中已商請大鋒塑膠公司提供孔徑 5 mm；間距 5 cm；直徑 30 cm、40 cm 及 50 cm 三種大小不同的 PE 管，其打孔百分比約分別為 0.892%、0.783% 及 0.708%，並依據本所編著的「綠建築解說與評估手冊 2005 年更新版」規定，陰井深度至少需為 60 cm，同時為達到良好的滲透效果，滲透陰井四周需鋪設 20~30 mm 的礫石級配，並為避免細粒料造成孔徑阻塞，陰井四周需鋪設不織布等需求進行滲透試驗布設。試驗鋪設情形如圖 5-15~5-19。

本研究係以雙環入滲計的作用原理進行滲透試驗，依據雙環入滲計的作用原理，在進行滲透陰井試驗時為確保土壤含水量達到飽合，因此試驗前需先於設施周邊土壤進行灌水，整個灌注過程約為 30 分鐘。



圖 5-15 試驗滲透陰井鋪設概況 (1)



圖 5-16 試驗滲透陰井鋪設概況 (2)



圖 5-17 試驗滲透陰井鋪設概況 (3)



圖 5-18 試驗滲透陰井鋪設概況 (4)



圖 5-19 試驗滲透陰井鋪設完成圖

經上述灌注土壤並達飽和後，即可著手進行相關滲透試驗。本（95）年度試驗仍依循去（94）年度試驗步驟進行，其步驟分述如下：

步驟 1: 裝置滲透試驗裝置（如圖 5-15~5-19）

試驗孔挖掘完畢並經整面後，將滲透陰井、級配置入，且於底部及陰井四周鋪設不織布後，進行回填。

步驟 2: 試驗區注水（如圖 5-20）

由於研究試驗經費有限，無法製作自動加水系統，加上現地並無適當水源可以供給，因此本研究係於鄰近的海洋大學工學館，以水管接水的人工加水方式進行試驗。當試驗陰井水位達預定水位並穩定時，即停止加水。



圖 5-20 試驗滲透陰井加水示意圖

步驟 3: 量測水位 (如圖 5-21~5-22)

利用捲尺量測水面與底面高程，水面高程與底部高程的差值即為水位。

步驟 4: 量測穩定水位 (如圖 5-23~5-24)

隨者時間增加，井內水位會緩慢下降，此時便以人工加水的方式進行補充，當井內水位不再變動時，此時之水位即為穩定水位。

步驟 5: 量測穩定入滲率

當井內水位達到穩定時，此時之入滲率即為穩定入滲率；穩定入滲率之量測係利用馬錶計時方式，計算水錶 300 秒的平均流量 (cms)。

步驟 6: 計算比滲透面積

依據式(4-22)計算即可求得比滲透面積。



圖 5-21 試驗滲透陰井水位量測圖 (1)



圖 5-22 試驗滲透陰井水位量測圖 (2)



圖 5-23 試驗滲透陰井人工加水示意圖 (1)



圖 5-24 試驗滲透陰井人工加水示意圖 (2)

#### 第四節 滲透陰井容量設計與性能分析

依據前面擬定的試驗方法與步驟，去（94）年度已針對上面選定的三種不同管徑及開孔率之滲透陰井，進行相關滲透性能試驗分析，並初步依其分析結果提出滲透陰井之設計規劃建議。為能有效提供設計者規劃設計之參考，並作為技術規範研擬之參據，本（95）年度再增加管徑 40cm、開孔率 0.3915% 及管徑 50cm、開孔率 0.354%，兩組不同陰井滲透試驗，進一步分析瞭解孔隙率變化對滲透性能之影響，以研提適於國內滲透陰井容量設計規劃之建議。

本（95）年度滲透試驗仍係依雙環入滲計的方式進行，同時採用人工加水的方式進行水量補充，試驗時仍應盡可能以不同水位進行試驗，如此方能充分瞭解滲透陰井的入滲狀況與性能，試驗數據依據不同管徑及開孔率分別整理如表 5-5~5-9 所示。其中試驗標有「\*」註記，為試驗值有誤，在分析時需予以剔除。

試驗結果顯示，不論何種大小管徑及開孔率的滲透陰井，其穩定入滲率係均隨著穩定水位增高而增加，同時依據各試驗結果可進一步利用土壤之飽和滲透係數求得不同管徑的比滲透面積（ $A_{us}$ ）。

表 5-5 滲透陰井(直徑 30cm、開孔率 0.892%)滲透試驗結果

試驗名稱	滲透陰井穩態滲透試驗								
試驗人員	高嘉隆、徐虎嘯、蔡耀隆								
陰井形式	直徑 30cm (開孔率 0.892%)								
試驗組別	試驗 1	試驗 2	試驗 3	試驗 4	試驗 5	試驗 6	試驗 7	試驗 8	試驗 9
穩定水深(cm)	5	10	15	20	21	23	25	27	29
注水量(l)	2200	4100	6200	8100	8900	9600	12700	13100	13800
平均注水量( $10^{-3}$ , cms)	3.67	6.83	10.3	13.5	14.8	16.0	21.2	21.8	23.0
土壤飽和滲透係數 ( $K_{soil}$ , m/s)	$4.7 \times 10^{-5}$								
比滲透面積( $A_{us}$ , $m^2$ )	78.01	145.39	219.86	287.23	315.60	340.43	450.36	464.54	489.36

表 5-6 滲透陰井(直徑 40cm、開孔率 0.783%)滲透試驗結果

試驗名稱	滲透陰井穩態滲透試驗										
試驗人員	高嘉隆、徐虎嘯、蔡耀隆										
陰井形式	直徑 40cm (開孔率 0.783%)										
試驗組別	試驗 1	試驗 2	試驗 3	試驗 4	試驗 5	試驗 6	試驗 7*	試驗 8	試驗 9	試驗 10	試驗 11*
穩定水深(cm)	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
注水量(l)	1800	2100	2900	3000	3800	4100	3600	4880	5300	5400	116800
平均注水量 ( $10^{-3}$ , cms)	3.00	3.50	4.83	5.00	6.33	6.83	6.00	8.13	8.83	9.00	19.3
土壤飽和滲透 係數( $K_{soil}$ , m/s)	$4.7 \times 10^{-5}$										
比滲透面積 ( $A_{ms}$ , $m^2$ )	63.83	74.47	102.84	106.38	134.75	145.39	127.66	173.05	187.94	191.49	411.35

表 5-7 滲透陰井(直徑 40cm、開孔率 0.3915%)滲透試驗結果

試驗名稱	滲透陰井穩態滲透試驗							
試驗人員	高嘉隆、徐虎嘯、卓禹見							
陰井形式	直徑 40cm (開孔率 0.3915%)							
試驗組別	試驗 1	試驗 2	試驗 3	試驗 4	試驗 5	試驗 6	試驗 7*	試驗 8
穩定水深(cm)	11	12	13	14	15	16	17	18
注水量(l)	850	1400	1600	1600	2100	2350	2500	3300
平均注水量 ( $10^{-3}$ , cms)	1.42	2.33	2.67	2.67	3.50	3.92	4.17	5.50
土壤飽和滲透 係數( $K_{soil}$ , m/s)	$2.505 \times 10^{-5}$							
比滲透面積 ( $A_{ms}$ , $m^2$ )	56.55	93.15	106.45	106.45	139.72	156.35	166.33	219.56

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

表 5-7 滲透陰井(直徑 40cm、開孔率 0.3915%)滲透試驗結果 (續)

試驗名稱	滲透陰井穩態滲透試驗							
試驗人員	高嘉隆、徐虎嘯、卓禹見							
陰井形式	直徑 40cm (開孔率 0.3915%)							
試驗組別	試驗 9	試驗 10	試驗 11	試驗 12	試驗 13			
穩定水深(cm)	19	20	21	22	23			
注水量(l)	2350	2900	2900	3200	1850			
平均注水量 ( $10^{-3}$ , cms)	3.92	4.83	4.83	5.33	3.08			
土壤飽和滲透 係數( $K_{soil}$ , m/s)	$2.505 \times 10^{-5}$							
比滲透面積 ( $A_{ms}$ , $m^2$ )	156.35	192.95	192.95	212.91	123.09			

表 5-8 滲透陰井(直徑 50cm、開孔率 0.708%)滲透試驗結果

試驗名稱	滲透陰井穩態滲透試驗									
試驗人員	高嘉隆、徐虎嘯、蔡耀隆									
陰井形式	直徑 50cm (開孔率 0.708%)									
試驗組別	試驗 1	試驗 2	試驗 3	試驗 4	試驗 5	試驗 6	試驗 7	試驗 8	試驗 9	試驗 10
穩定水深(cm)	5	7	9	11	13	15	17	21	23	25
注水量(l)	3000	4000	4775	5500	6500	6800	7400	9200	9300	9750
平均注水量 ( $10^{-3}$ , cms)	5.00	6.67	7.96	9.17	10.80	11.30	12.30	15.30	15.50	16.30
土壤飽和滲透 係數( $K_{soil}$ , m/s)	$4.7 \times 10^{-5}$									
比滲透面積 ( $A_{ms}$ , $m^2$ )	106.38	141.84	169.33	195.04	230.50	241.14	262.41	326.24	329.79	345.75

表 5-9 滲透陰井(直徑 50cm、開孔率 0.354%)滲透試驗結果

試驗名稱	滲透陰井穩態滲透試驗									
試驗人員	高嘉隆、徐虎嘯、卓禹見									
陰井形式	直徑 50cm (開孔率 0.354%)									
試驗組別	試驗 1	試驗 2	試驗 3	試驗 4	試驗 5	試驗 6	試驗 7	試驗 8	試驗 9	試驗 10
穩定水深(cm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
注水量(l)	1000	1600	3200	3150	3200	5300	5700	5500	5300	9030
平均注水量 ( $10^{-3}$ , cms)	1.67	2.67	5.33	5.25	5.33	8.83	9.50	9.17	8.83	15.10
土壤飽和滲透 係數( $K_{soil}$ , m/s)	$2.505 \times 10^{-5}$									
比滲透面積 ( $A_{us}$ , $m^2$ )	66.53	106.45	212.91	209.58	212.91	352.63	379.24	365.94	352.63	600.80

此外為瞭解比滲透面積 ( $A_{us}$ ) 與水位 ( $H$ ) 之變化關係，本研究亦將各別試驗數據進行迴歸分析，其結果分別如圖 5-25~5-29 所示。由分析結果顯示，不論管徑大小及開孔率如何，其比滲透面積與水位均分別可以一線性方程式表示為

$$A_{us}^{30}(n = 0.892\%) = 1617.8H, R^2 = 0.9724 \quad (5-2)$$

$$A_{us}^{40}(n = 0.783\%) = 806.01H, R^2 = 0.9614 \quad (5-3)$$

$$A_{us}^{40}(n = 0.3915\%) = 873.01H, R^2 = 0.7271 \quad (5-4)$$

$$A_{us}^{50}(n = 0.708\%) = 1540.7H, R^2 = 0.9392 \quad (5-5)$$

$$A_{us}^{50}(n = 0.354\%) = 1756.5H, R^2 = 0.8496 \quad (5-6)$$

式中： $A_{us}^{30}(n = 0.892\%)$ 、 $A_{us}^{40}(n = 0.783\%)$ 、 $A_{us}^{40}(n = 0.3915\%)$ 、 $A_{us}^{50}(n = 0.708\%)$ 及 $A_{us}^{50}(n = 0.354\%)$ 分別代表直徑為 30 cm、40 cm

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

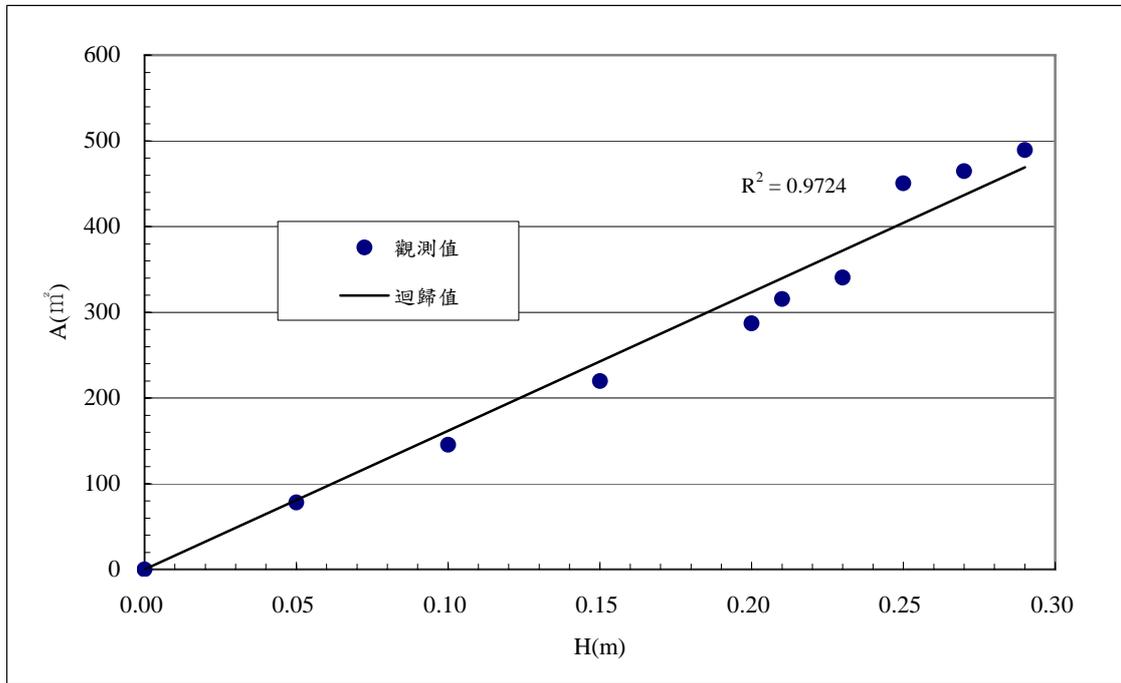


圖 5-25 滲透陰井（直徑 30 cm、開孔率 0.892%） $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖

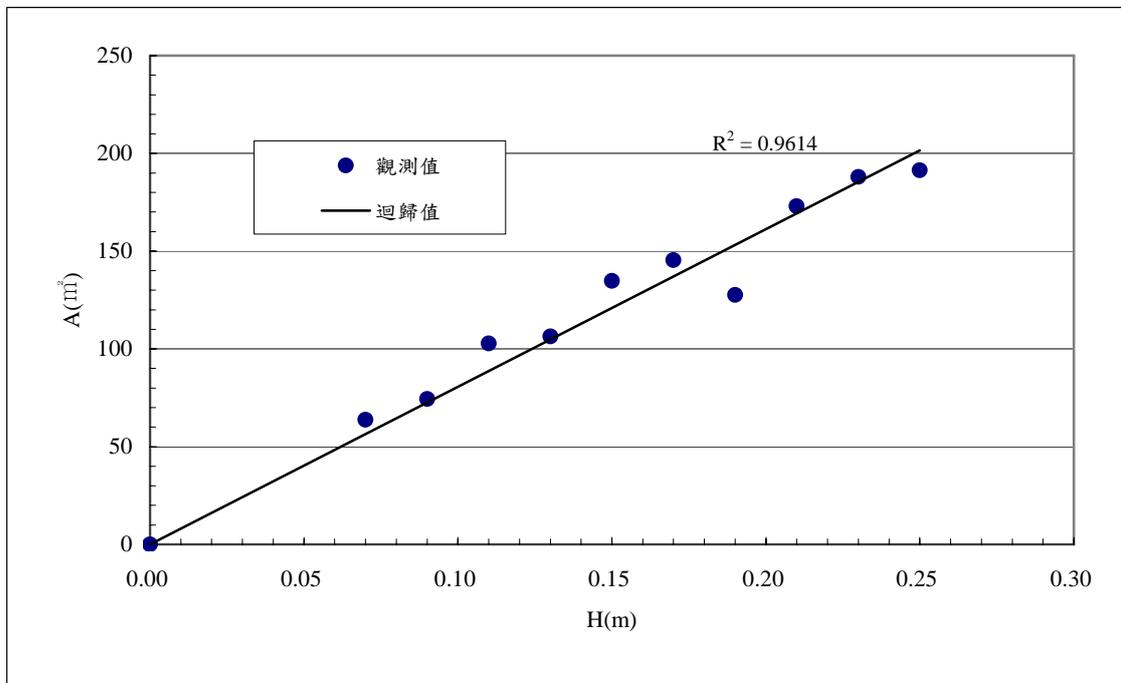


圖 5-26 滲透陰井（直徑 40 cm、開孔率 0.783%） $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖

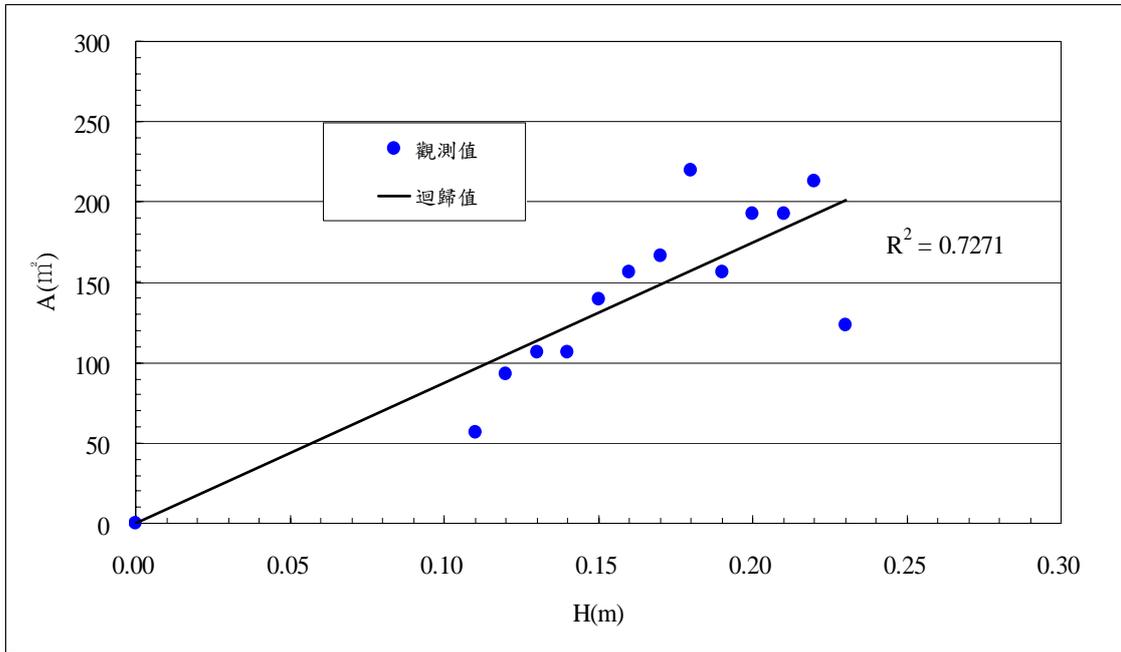


圖 5-27 滲透陰井（直徑 40 cm、開孔率 0.3915%） $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖

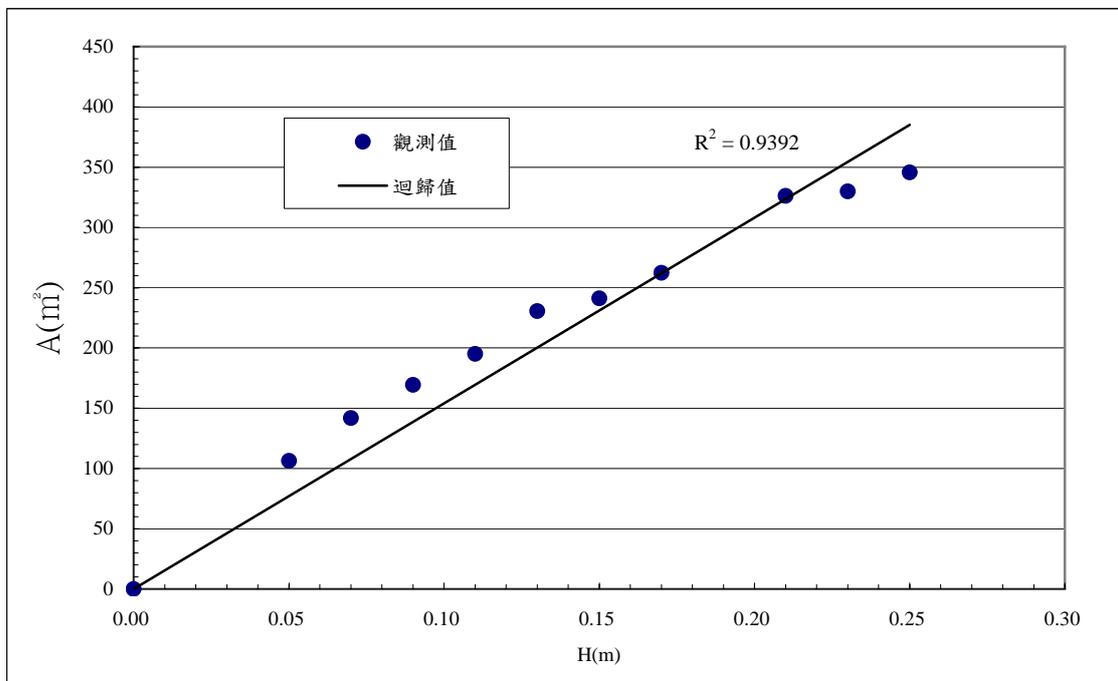


圖 5-28 滲透陰井（直徑 50 cm、開孔率 0.708%） $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖

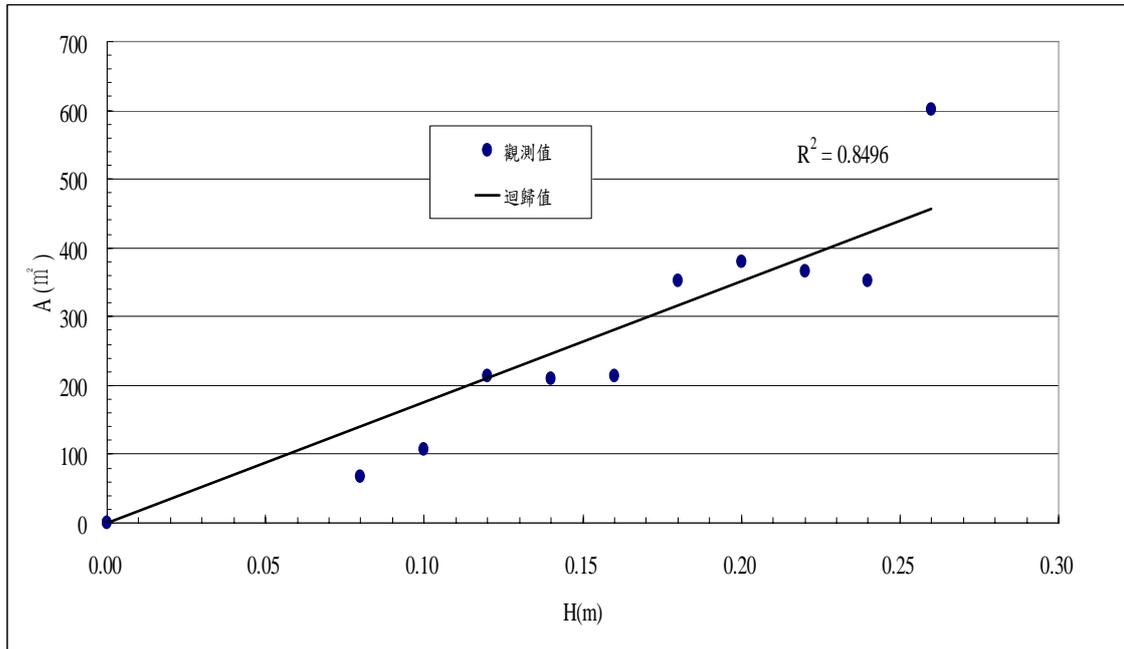


圖 5-29 滲透陰井（直徑 50 cm、開孔率 0.354%） $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖  
及 50 cm 陰井及不同開孔率之比滲透面積（ $m^2$ ）； $H$ 為滲透陰井之設計  
水位（m）； $R^2$ 為決定係數（Coefficient of Determination）； $n$ 為陰  
井表面開孔率（%）。

依據式 (5-2) ~ (5-6)，只要滲透陰井之設計水位決定，即可求得相對應之比滲透面積，若再乘以土壤之飽和滲透係數即可得到滲透陰井的穩定入滲率，故可藉由此關係式，作為推估不同設計水位滲透陰井入滲性能之依據。由上述式 (5-2) ~ (5-6) 的推求過程中可以發現，每一條方程式各有其適用設計管徑及開孔率之條件限制；且由前述推導中可以發現，滲透陰井之入滲性能除設計水位外，其管徑大小及開孔率等均為一影響因素，故本研究利用式 (4-22)，並分別將式 (5-2) ~ (5-6) 代入式 (4-22)，並利用上述試驗數據分別進行式 (4-22) 修正係數  $\hat{C}(H, n)$  之率定，則不同管徑及開孔率滲透陰井之比滲透面積可進一步表示為：

$$A_{us} = [\hat{C}(H, n)]^\beta \times \{\pi \times (r + 0.2) \times [(r + 0.2) + 0.2 + H]\}^\gamma \quad (5-7)$$

其中陰井與水平面之夾角  $\alpha = 90^\circ$ ， $r$  為陰井之管半徑 (m)； $\hat{C}(H, n)$  為修正係數，若令  $\beta = \gamma = 1$ ，則由不同管徑及開孔率的試驗數據率定出之  $\hat{C}(H)^{30}$ 、 $\hat{C}(H)^{40}$  及  $\hat{C}(H)^{50}$  可分別表示為：

$$\hat{C}(H, n = 0.892\%)^{30} = 1926.8019 - 1954.3479 \times e^{-H} \quad (5-8)$$

$$\hat{C}(H, n = 0.783\%)^{40} = 554.84415 - 554.25462 \times e^{\frac{-H}{0.58741916}} \quad (5-9)$$

$$\hat{C}(H, n = 0.3915\%)^{40} = 710.11181 - 721.18024 \times e^{\frac{-H}{0.67438538}} \quad (5-10)$$

$$\hat{C}(H, n = 0.708\%)^{50} = 539.43897 - 536.38359 \times e^{\frac{-H}{0.24344329}} \quad (5-11)$$

$$\hat{C}(H, n = 0.354\%)^{50} = 317762510 - 317762570 \times e^{\frac{-H}{152324.42}} \quad (5-12)$$

將式 (5-8) ~ (5-12) 分別代入式 (5-7) 中，即可作為不同設計水位、開孔率及管徑下，滲透陰井之入滲性能曲線，並將其與原各別管徑之觀測結果進行分析比較，其分別如圖 5-30~5-32 所示。

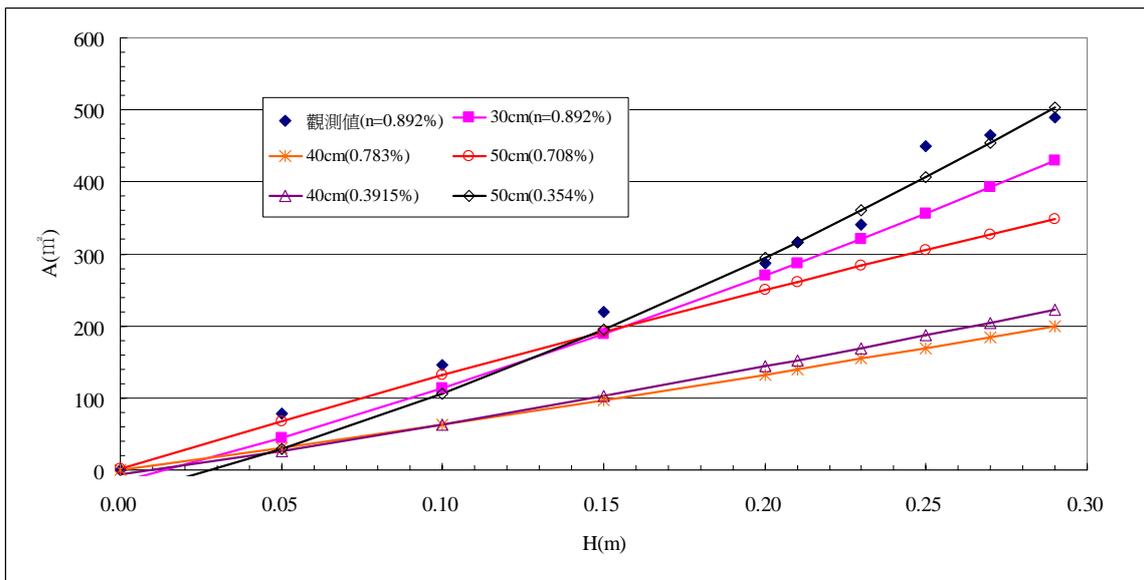


圖 5-30 滲透陰井觀測值與理論值  $A_{us}$  與  $H$  關係圖

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

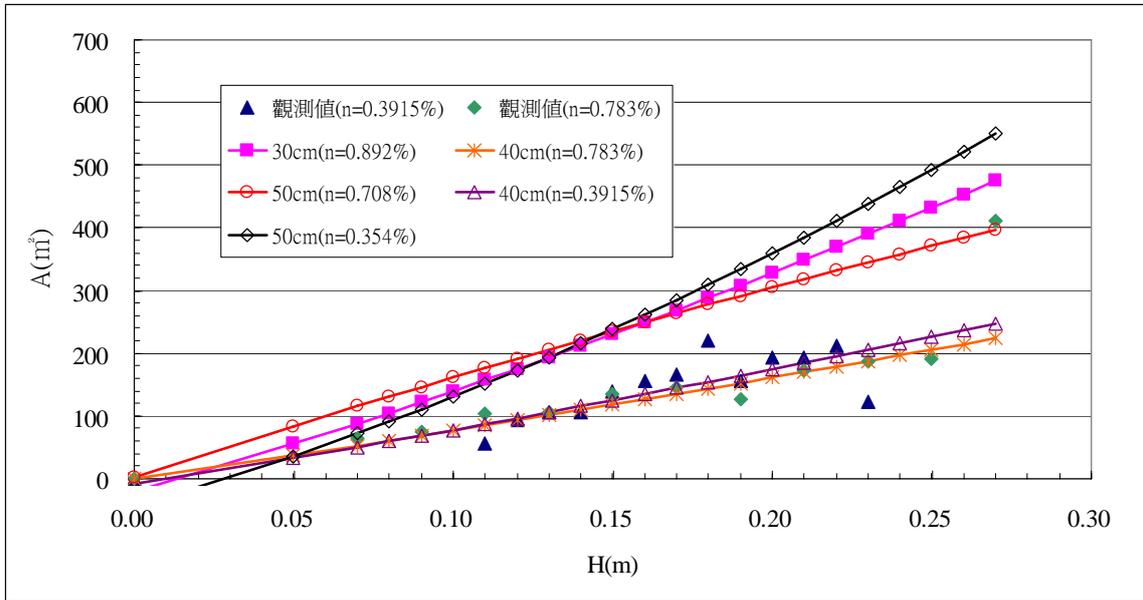


圖 5-31 滲透陰井觀測值與理論值 $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖

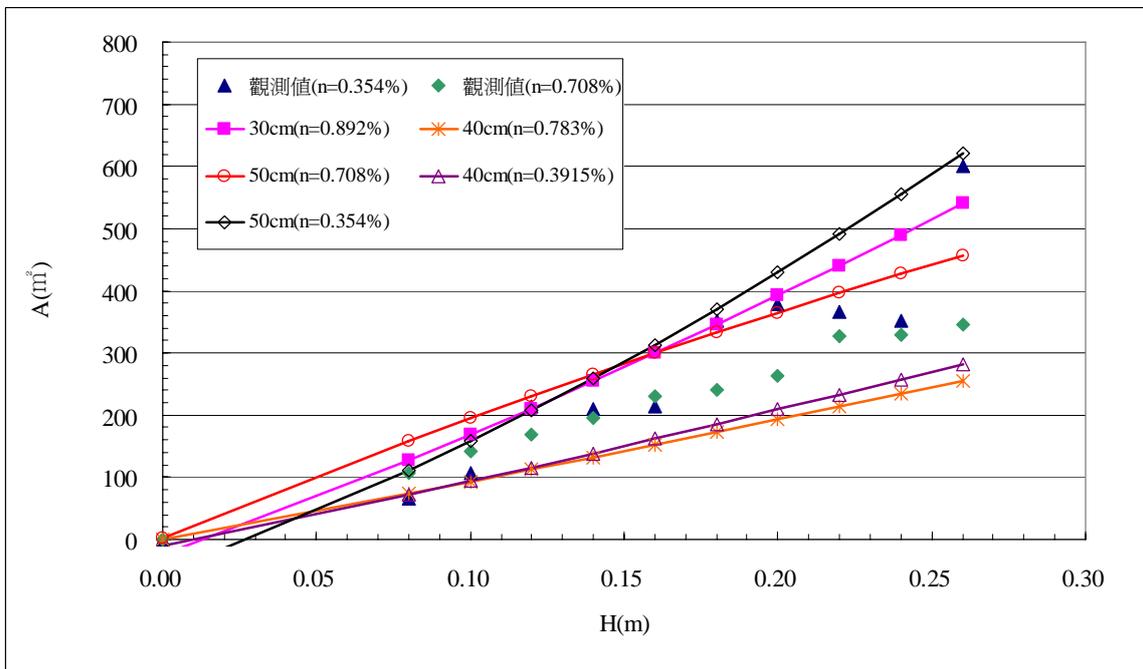


圖 5-32 滲透陰井觀測值與理論值 $A_{us}$ 與 $H$ 關係圖

由圖 5-30~5-32 的比較分析結果中可以發現，利用不同管徑尺寸及開孔率大小，迴歸所得的入滲性能預測模式，基本上在針對本身管徑及開孔率的觀測數據資料預測上，具有一定的精確度，顯見模式在預估滲透性能時，具有相當程度的能力。但以規劃設計而言，首先需依管徑尺寸及開孔率大小進行入滲性能曲線的挑選，而這部分，必需藉由建立完備的入滲性能曲線資料庫，以提供相關規劃設計者審慎適當挑選正確的性能曲線，如此方可發揮正確有效的設計效能，但也相對的造成設計規劃者的不便及困擾。因此，在考量初期推廣的需要，簡便易用的設計規劃性能曲線，應為初期推廣成功的重點，故本研究依此需要，利用上述 30 cm（開孔率 0.892%）、40 cm（開孔率 0.783%及 0.3915%）與 50cm（開孔率 0.708%及 0.354%）五組不同滲透陰井資料，分別與利用  $\hat{C}(H, n = 0.892\%)^{30}$ 、 $\hat{C}(H, n = 0.783\%)^{40}$ 、 $\hat{C}(H, n = 0.3915\%)^{40}$ 、 $\hat{C}(H, n = 0.354\%)^{50}$  及  $\hat{C}(H, n = 0.708\%)^{50}$  所建立的入滲性能預測模式進行比對分析，挑選整體預測效能最佳的模式，作為初期提供設計規劃的基準。

基於上述的考量，本研究在經整體評估後，最後挑選出由  $\hat{C}(H, n = 0.3915\%)^{40}$  所建立的入滲性能曲線，作為後續不同管徑尺寸及設計水深滲透陰井規劃設計的參考，即

$$A_{us} = \hat{C}(H, n = 0.3915\%)^{40} \times \{\pi \times (r + 0.2) \times [(r + 0.2) + 0.2 + H]\} \quad (5-13)$$

依式 (5-13)，即可求得不同管徑尺寸 ( $r$ ) 及設計水深 ( $H$ ) 之比滲透面積 ( $A_{us}$ )，其結果如圖 5-33 所示。

規劃設計者可依其實際設計需要，由圖 5-33 得到所需設計深度及管徑尺寸下的比滲透面積，再由設置地區的土壤飽和滲透係數，即可得到滲透陰井的設計入滲率，但這並無法提供設計者，作為綠建築基地保水設計之參考。為能有效提供設計者滲透陰井設計保水

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

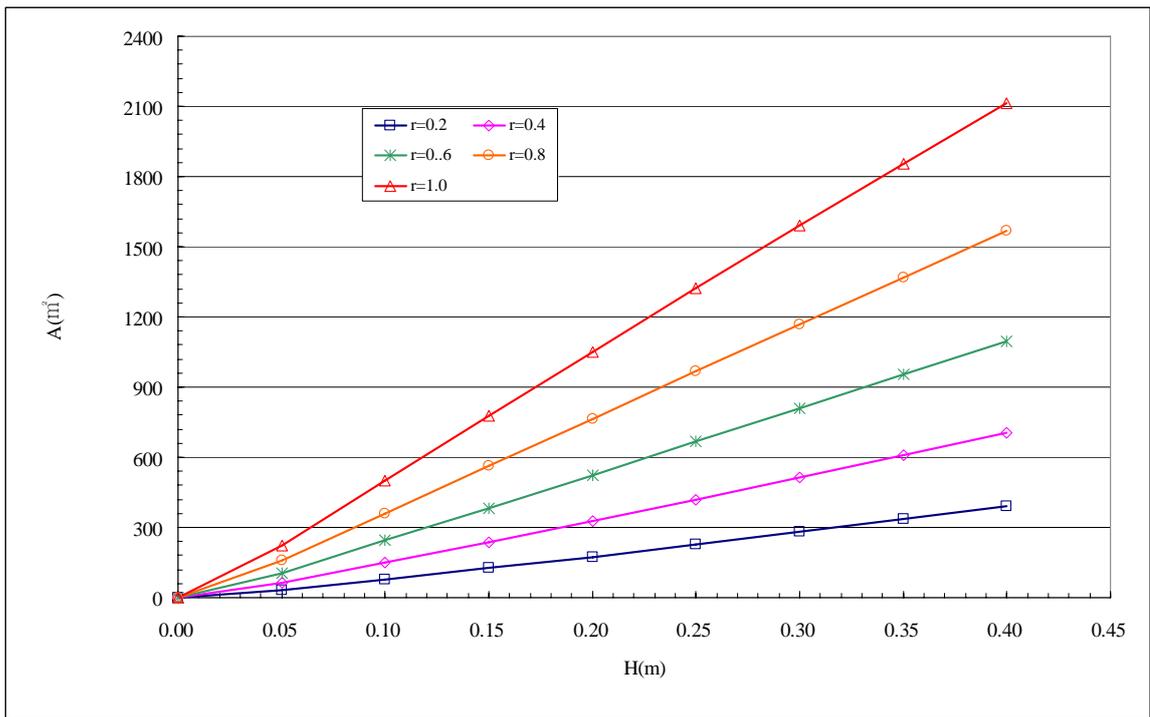


圖 5-33 滲透陰井 $A_{us}$ 、 $H$ 與 $r$ 設計曲線

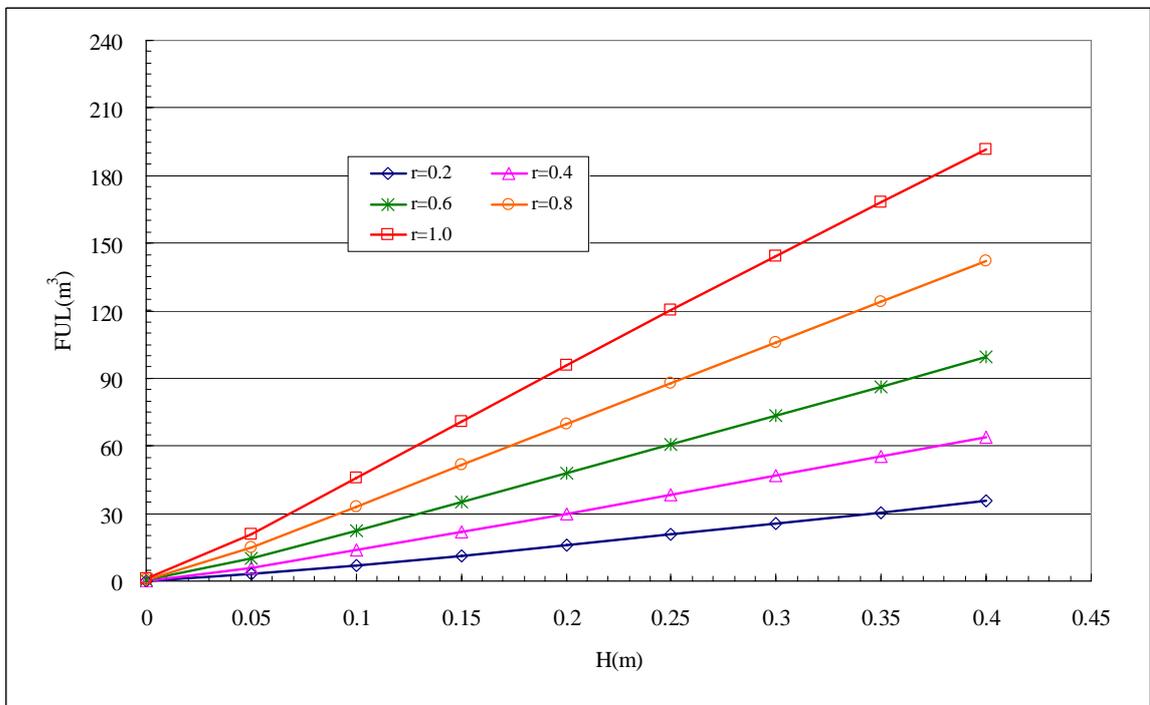


圖 5-34 滲透陰井 $F_{ALL}$ 、 $H$ 與 $r$ 設計曲線 ( $t=60$  min)

量的需求，本研究將式 (5-13) 代入式 (4-25) 所建立的入滲容量  $F_{ALL}$  公式中，並考量現階段都市排水大多採用 60~90 min 降雨延時設計標準，則可進一步求得不同管徑尺寸 ( $r$ ) 及設計水深 ( $H$ ) 之保水設計量 ( $F_{ALL}$ )，其結果如圖 5-34 所示。圖 5-34 為降雨延時  $t=60$  min，土壤滲透係數  $K_{soil} = 2.505 \times 10^{-5} m/s$  的結果。

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

現代的城鄉環境大部分由水泥、瀝青、地磚及金屬等不透水材質所組成，這也使得地表上的車道、步道、停車場及廣場等，甚至地底下的地下室均變成不透水的硬質地面，嚴重阻絕了雨水滲透及貯存的機會，加上密閉不透水的公共雨排水設計，使得雨水直衝入海，無法循環回大地來滋潤土地。

水資源就像能源一樣，是城市和所有人類集居地所不可或缺的，但是它的價值卻像能源一樣被徹頭徹尾的低估了。人類棲息地的未來，需倚靠政府保衛這些重要財產的意願，然而處在這快速成長的城市中，政府在土地使用管理上就須採取更多更適當的控制，且其挑戰也會越高，因此對這些雨水；與其想藉由更高的堤防，或是更多的抽水機來避免洪水的侵擾，到不如認真地去思考如何導引這些原為人類生命支援的雨水流往他原本該去的方向。

台灣因地形險峻，河川坡度大，水流在河流中的流速甚大，並不有利於水資源之利用與調節，根據研究，在相同乾旱頻率週期下，缺乏雨量日數有增加之趨勢。臺灣地區各都市持續開發土地，以追求創造高經濟成長，為減緩因人為過度開發、都市區內基盤建設之不透水化與工程排水系統之大量興建，使得現有建築物缺少雨水貯留、滲透、保水和蒸發機能降低，造成地貌、水文及氣候等自然環境之改變，導致原本平衡的水文機制發生改變，進而衍生都市熱島效應、水患、水污染及水資源等問題。

以汐止市為例，至 2000 年 9 月底，累計建築物數量為 92,862 棟，近三年，則是以每年 15,000 至 25,000 棟的數字成長，其總量為 15 年前的 6 倍。當夾帶了大量水汽的中度颱風象神過境帶來的

豪雨、洪水氾濫成災及土石流為患，更造成多少人員傷亡、與家園損毀。可見都市的過度開發，對於雨水逕流量的影響有多麼密切。

傳統上所採行的大型、集中末端之排水處理模式，仍使都市洪澇及乾旱問題於近年不斷重複上演，這也突顯此類工程設計並無法有效解決都市現有的水資源問題，而小型分散的雨水貯集系統之保水設計，方為解決未來都市水資源問題的一項利器。

為協助政府落實相關「保水」政策，降低政府施行「保水」政策之困難及阻力，本所於 92 年起，分 4 年辦理「滲透管溝」、「透水鋪面」、「生態水池」、「人工濕地」及「雨水貯留」等設計規劃委託研究計畫，並已於今（95）年完成相關設計規範，但對於適用於都會區建築設計的「滲透陰井」容量設計規範，並未納入計畫中。故本研究的「滲透陰井」容量設計規劃結果，將可有效提供設計使用者，作為綠建築基地保水設計之需要。

本研究成果及結論分述如下：

#### 一、滲透陰井滲透性能之探討

依據達西定律推導可知，滲透陰井之入滲性能可透過「比滲透面積 $A_{us}$ 」此一參數來表示，並已由穩定流滲透設施入滲理論得到證實；同時以此為基礎進一步建立保水量（ $F_{ALL}$ ）設計公式，並經試驗數據率定相關參數後，建立設計保水量、設計入滲率及管徑尺寸等設計參數之數學關係，並據以作為估算滲透陰井之設計保水量，相關成果可做為未來規劃設計之依據。

#### 二、滲透陰井試驗規劃、方法與步驟之建立

為考量試驗的一致性，本研究在建立相關試驗方法與步驟時，係參考本所「滲透管溝容量設計與試驗研究」委託研究計畫所建立之管溝流程予以修正建立，並作為後續容量設計理論發展之依據。

### 三、試驗結果分析與探討

依據去（94）年度初步針對 30 cm（開孔率 0.892%）、40 cm（開孔率 0.783%）及 50 cm（開孔率 0.708%）三種不同管徑滲透陰井所做滲透性能測試研究，除驗證擬定之試驗方法與步驟可適用於現地進行試驗觀測，同時依據試驗結果分析顯示，不論管徑大小為何，基本上其所呈現的入滲機制均相同，即比滲透面積（ $A_{us}$ ）與水深（ $H$ ）係呈一線性關係。

為進一步釐清開孔率對陰井滲透性能之影響，本（95）年度又增加管徑 40cm（開孔率 0.3915%）及管徑 50cm（開孔率 0.354%），兩組不同陰井滲透試驗，進一步分析瞭解孔隙率變化對滲透性能之影響，並發展適宜本土滲透陰井容量計算及規劃方法。依據試驗結果分析發現，開孔率的大小對滲透性能的影響似乎並不顯著，由去年度試驗結果與本年度增列兩組開孔率減半的試驗結果比對發現，雖開孔率減少 50%但其滲透性能大約只減少 10%。此外，研究亦進一步依兩年度所獲得之試驗數據，重新進行參數率定，並透過建立之設計保水量、設計入滲率及管徑尺寸等設計參數數學關係，重新推估滲透陰井之設計保水量，並將成果繪製成圖表以供未來規劃設計之參考。

## 第二節 建議

### 建議一

配合納入滲透設施設計規範中：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣雨水利用協會、內政部營建署

現階段我國綠建築政策對於滲透設施相關設計技術，尚處於理論假設之計算層次，據此本所於 92 年起，分 4 年辦理「滲透管溝」、「透水鋪面」、「生態水池」、「人工濕地」及「雨水貯留」等設計規劃委託研究計畫，並已於本（95）年度完成相關設計規範，但對於適用於都會區建築設計的「滲透陰井」容量設計規範，並未納入計畫中，而本研究將可彌補上述研究的不足，但相關研究成果必須進一步針對規劃流程、試驗方法及設計降雨延時等定義加以整合，方能有效提供設計使用者，作為未來綠建築基地保水設計之參考。

### 建議二

最佳化模式建立：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣雨水利用協會、內政部營建署

本研究已依據年度實際工作成果，完成國內滲透陰井容量設計之保水性能推估。研究過程中已針對滲透陰井的形狀及開孔率，完成相關試驗分析，並獲致初步成果。但影響陰井滲透性能之因子眾多，如兩陰井間的設計距離、雨型的分佈、設計延時大小、最佳開孔率及開孔大小等，則有待於後續年度進行相關研究，予以釐清。

## 附錄

### 一、期中審查會議紀錄及處理情形

時間：95年7月31日（星期一）上午9時30分

地點：內政部建築研究所簡報室

主持人：葉副所長世文

出席人員：略

<p>蕭教授江碧：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由於滲透陰井具有保水及減輕都市洪水的功效，加上所需面積較小，因此對基地的衝擊影響不大，故建議本案研究成熟後，除應納入建築技術規則，針對新建建築進行管制外，甚至可要求既有建築強制設置，以擴大功效。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導。本案研究成果將配合納入建築技術規則中辦理。</li> </ol>
<p>林簡任技正之瑛：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建築基地滲透陰井之設置，有利於都市防洪、補助地下水，減緩熱島效應，並作為未來「建築技術規則」綠建築專章項下「基地保水」指標是否增列「滲透陰井」之基礎研究，構想及架構方向正確，原則支持。</li> <li>2. 鑑於滲透陰井之設計，與基地規模、鑽探土層土壤狀況等，關係密切。建請補充不同土質所對應之滲透陰井設計，針對陰井之孔徑、孔數與陰井之間距等，提出建議，並分析陰井容量與保水性能之關聯。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導。</li> <li>2. 本計畫礙於研究期程、經費及人力限制，本年度研究重點，將針對現階段國內欠缺的滲透陰井設計容量性能，進行研究探討，至於陰井的孔徑、孔數與兩井間之距離，擬納入後續相關研究中辦理。</li> </ol>
<p>廖教授朝軒：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 滲透陰井的開孔率大小除與滲透性能有關外，亦會影響陰井的承載強度，因此如何找出最佳經濟的開孔率，同時兼顧滲透性能及強度設計，應為本案後續研究考量的重點。</li> <li>2. 在陰井設計應用部分，建議可參考國外經驗，將陰井與雨水貯集或滲透測溝等設施搭配使用，以提高應用成效。</li> </ol> <p>滲透陰井目前在國內尚無相關產品，因此建議可透過與國內廠商合作方式，進行產品試驗開發，以提升研究實用價值。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員指導。本計畫本年度重點在滲透陰井設計容量性能研究，至於最佳開孔率部分，擬納入後續相關研究中辦理。</li> <li>2. 陰井與相關滲透設施的搭配使用效應與設計規範，以及產品研發，本所已納入明（96）年度研究計畫辦理。</li> </ol>

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

<p>林教授憲德：</p> <p>1. 未來若將本案成果納入建築技術規則應用時，建議應要求所有建築物的排水，均需先排放至陰井後方可排出，如此將可有效降低都市洪峰，充分達到基地保水之都市減洪目的。</p>	<p>1. 謝謝委員指導。將配合委員建議進行規範修訂。</p>
<p>行政院公共工程委員會：(書面意見)</p> <p>1. 「生態工法」已正式正名為「生態工程」，建請本研究案配合辦理。</p>	<p>1. 已配合修訂。</p>
<p>陳組長瑞鈴：</p> <p>1. 本案依據現階段時程安排，進度稍嫌落後，請加速辦理並依規定時程完成計畫。另針對報告文字錯誤部分，請一併於期末報告中修正。</p>	<p>1. 將儘速修正研究進度，並校對文字內容。</p>

## 二、期末審查會議紀錄及處理情形

時間：95 年 12 月 20 日（星期三）上午 9 時 30 分

地點：內政部建築研究所簡報室

主持人：陳組長瑞鈴

出席人員：略

<p>內政部營建署（陳技士威成）：</p> <p>1. 本案成果未來應以圖表方式呈現，並加入土壤滲透性能與最佳管徑及開孔率等建議，以提供設計者做為基地保水設計參考。</p>	<p>1. 謝謝指導。本案研究成果已轉換成圖表，將可有效提供設計者應用之參考。</p> <p>2. 本計畫礙於研究期程、經費及人力限制，本年度研究重點，將針對現階段國內欠缺的滲透陰井設計容量性能，進行研究探討，至於陰井的最佳管徑及開孔率等，擬納入後續相關研究中辦理。</p>
<p>台灣區建材商業同業公會（王總幹事榮吉）：</p> <p>1. 本案以試驗方式完成國內滲透陰井性能分析，其研究成果值得肯定。相關試驗流程及數據等資料應納入報告中提供參考，並儘量將相關成果以圖表之量化方式呈現，以利使用者參考。</p>	<p>1. 謝謝委員指導。相關試驗流程及數據資料已納入報告，研究成果也採用圖表方式於報告中呈現。</p>
<p>陳組長瑞鈴：</p> <p>1. 本案所採用的滲透陰井尺寸及開孔率，是否為坊間常用的尺寸？為何研究報告最後建議採用管徑 40cm、開孔率為 0.3915%，其原因為何？是否恰當。</p> <p>2. 當陰井的管徑及開孔率均加大時，其滲透性能是否會隨其增大？阻塞情況是否也會隨之增加？此時陰井本身的強度及耐久性的變化又是如何？</p>	<p>1. 謝謝委員指導。由於國內現階段尚無滲透陰井相關規範，因此並無相關尺寸及開孔率的規定，本計畫試驗所採用的管徑尺寸，為一般坊間用於排水設計的滲透管大小。至於報告中最後建議的管徑及開孔率，是依據研究試驗結果取的一個最適設計，依限階段試驗分析尚屬合適。</p> <p>2. 陰井管徑及開孔率加大時，其滲透性能均會增加，至於阻塞</p>

生態工程滲透陰井容量設計  
之保水滲透性能影響分析

	<p>情況及警本身的強度與耐久性分析部分，因本研究並無相關數據可資分析檢討，建議可納入未來相關研究中探討。</p>
--	---

## 參考書目

1. 王如意、易任，應用水文學（上、下冊），國立編譯館，民國80年。
2. 王文中，統計學與EXCEL資料分析之實習應用，博碩文化股份有限公司，民國89年。
3. 歐陽嶠輝，都市環境學，詹氏書局，民國90年8月。
4. 日本社團法人雨水貯留浸透技術協會，流域貯留浸透設施介紹，民國91年10月。
5. 廖朝軒、蔡耀隆，「從健全都市水環境談雨水滯蓄措施之應用，」水資源管理季刊，第四卷，第二期，民國91年6月。
6. 經濟部水利署，雨水利用手冊，民國92年12月。
7. 廖朝軒，建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究—「滲透管溝」工法性能試驗解析，內政部建築研究所委託研究報告，民國92年12月。
8. 徐虎嘯，綠建築基地保水指標法制化之研究，內政部建築研究所研究自行研究報告，民國91年12月。
9. 廖朝軒，建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究—「滲透管溝容量設計與試驗研究」，內政部建築研究所委託研究報

告，民國 93 年 12 月。

10.徐虎嘯、高嘉隆，地下室開挖對建築基地保水性能影響之研究，

內政部建築研究所研究自行研究報告，民國 93 年 12 月。

11.高嘉隆、徐虎嘯，性能實驗群保水實驗設施規劃之研究，內政部

建築研究所研究自行研究報告，民國 93 年 12 月。

12.內政部建築研究所，綠建築解說與評估手冊—2005 年更新版，

民國 94 年 7 月。

13.徐虎嘯、高嘉隆，滲透陰井容量設計與試驗研究，內政部建築研

究所研究自行研究報告，民國 94 年 12 月。

14.廖朝軒，建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究--「滲

透管溝」容量設計與試驗研究，內政部建築研究所委託研究報

告，民國 94 年 12 月。

15.陳賜賢、李方中，雨水截留系統設置對汐止水患降低之評估。

16.大豐塑膠股份有限公司，大豐H.D.PE積層浪管型錄。