

滲透陰井容量設計與試驗研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 94 年 12 月

屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究（一）

094301070000G2022

滲透陰井容量設計與試驗研究

研究人員：徐虎嘯

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 94 年 12 月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VIII
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 都市發展之城鄉水環境	9
第一節 都市水文化之發展	9
第二節 都市發展對城鄉水環境之影響	11
第三節 都市發展後之地表逕流處理方式	13
第四節 永續水環境之綠建築與特性	21
第五節 基地保水貯留及滲透設施之種類	24
第三章 滲透管溝之型式與特性	37
第一節 滲透管溝之型式	38
第二節 滲透管溝之影響因素	47
第三節 滲透管溝設置位置之探討	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 滲透陰井入滲量現地試驗結果分析	65
第一節 現地土壤滲透試驗流程建立	65
第二節 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	79
第四節 滲透陰井現地試驗性能分析	87
第六章 結論與建議	95
第一節 結論	95
第二節 建議	98
附錄	99
參考書目	101

表次

表 2-1 保水貯留滲透設施之型式與功能一覽表	25
表 2-2 入滲設施工法概要	29
表 2-3 貯留設施工法概要	30
表 2-4 昭島市浸透設施設置數量	35
表 2-5 昭島市浸透工法與傳統工法之逕流比較表	36
表 3-1 土壤種類與入滲率及最大設計深度之關係表	49
表 3-2 滲透管溝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)	74
表 5-3 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 2)	75
表 5-4 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 3)	76
表 5-5 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 4)	77
表 5-6 滲透陰井(直徑 30cm)滲透試驗結果	87
表 5-7 滲透陰井(直徑 40cm)滲透試驗結果	88
表 5-8 滲透陰井(直徑 50cm)滲透試驗結果	88

滲透陰井容量設計與試驗研究

圖次

圖 1-1	都市開發所造成環境改變之影響	1
圖 1-2	都市化造成之水環境影響	6
圖 2-1	都市化對水環境影響之示意圖	12
圖 2-2	都市化對洪峰流量及頻率之影響示意圖	14
圖 2-3	都市發展對水環境影響示意圖	15
圖 2-4a	日本都市開發前之水環境影響示意圖	17
圖 2-4b	日本都市開發中之水環境影響示意圖	18
圖 2-4c	日本都市開發後之水環境影響示意圖	19
圖 2-5	保水貯留滲透設施對都市之水環境影響示意圖	21
圖 2-6	基地保水貯留及滲透設施分類示意圖	28
圖 2-7	美國設置透水鋪面-配合生態入滲調節池之實例	32
圖 2-8	日本滲透側溝設置實例圖	32
圖 2-9	日本地下貯留池設置實例	33
圖 2-10	日本滲透設施分佈概況	33
圖 2-11	昭島市浸透工法與傳統工法之逕流比較圖	35
圖 3-1	基地保水滲透設施整體規劃配置示意圖	38
圖 3-2	草溝構造示意圖	39
圖 3-3	豐富生態且具示範性質的滲透草溝地	40
圖 3-4	草帶構造示意圖	40
圖 3-5	滲透排水管示意圖	41
圖 3-6	滲透陰井示意圖	42
圖 3-7	滲透側溝示意圖	43
圖 3-8	具實驗與示範性質的滲透測溝	43

圖 3-9	滲透渠示意圖	45
圖 3-10	滲透乾井示意圖	46
圖 3-11	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	滲透側溝貯蓄狀況示意圖	60
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	試驗孔葛洛夫滲透儀觀測入滲曲線	78
圖 5-11	試驗滲透陰井 (1)	79
圖 5-12	試驗滲透陰井 (2)	80
圖 5-13	試驗滲透陰井鋪設概況 (1)	81
圖 5-14	試驗滲透陰井鋪設概況 (2)	81
圖 5-15	試驗滲透陰井鋪設概況 (3)	82
圖 5-16	試驗滲透陰井鋪設概況 (4)	82
圖 5-17	試驗滲透陰井鋪設完成圖	83
圖 5-18	試驗滲透陰井加水示意圖	84

圖 5-19	試驗滲透陰井水位量測圖 (1)	85
圖 5-20	試驗滲透陰井水位量測圖 (2)	85
圖 5-21	試驗滲透陰井人工加水示意圖 (1)	86
圖 5-22	試驗滲透陰井人工加水示意圖 (2)	86
圖 5-23	滲透陰井 (直徑 30 cm) A_{us} 與 H 關係圖	89
圖 5-24	滲透陰井 (直徑 40 cm) A_{us} 與 H 關係圖	89
圖 5-25	滲透陰井 (直徑 50 cm) A_{us} 與 H 關係圖	90
圖 5-26	利用 $\hat{C}(H)^{30}$ 所得滲透陰井 A_{us} 與 H 關係圖	91
圖 5-27	利用 $\hat{C}(H)^{40}$ 所得滲透陰井 A_{us} 與 H 關係圖	91
圖 5-28	利用 $\hat{C}(H)^{50}$ 所得滲透陰井 A_{us} 與 H 關係圖	92
圖 5-29	滲透陰井 A_{us} 、 H 與 r 設計曲線	94
圖 5-30	滲透陰井 F_{ALL} 、 H 與 r 設計曲線 ($t=60$ min)	94

摘 要

關鍵詞：綠建築、基地保水、滲透陰井、比滲透面積、土壤飽和滲透係數

一、研究緣起

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。

在都市化及土地使用密集化期間，大多數的都市規劃或建築專家對雨水之處理，皆以儘早排除的觀念設計建築物及以不透水化處理都市區內基盤建設，使得現有建築物缺少雨水貯留、滲透、保水和蒸發機能降低，因而發生都市溫暖化、都市型水患、都市生態系統丕變等問題。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。

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此部分技術，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，並已逐步完成相關設計規範，

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) 滲透陰井設計現況調查分析

滲透設計相關工法於歐美等國已行之有年，台灣尚處於起步階段，故本研究擬針對國外滲透設施工法相關文獻、案例、使用概況及遭遇困難等資料進行蒐集，並予以彙整歸納。

(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) 建立適於台灣本土之滲透陰井容量計算方法

本研究依據上述標準試驗程序的建立，進行滲透陰井容量設計，並依相關入滲容量設計理論，分析歸納陰井的設計參數，據以作為適於台灣本土的滲透陰井入滲容量設計方法及規範。

三、重要發現

本研究利用達西定律推導滲透陰井入滲性能公式，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，初步建立設計保水

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，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，同時針對 30 cm、40 cm 及 50 cm 三種不同管徑滲透陰井所做滲透性能測試，初步驗證擬定之試驗方法與步驟可適用於現地進行試驗觀測，並依試驗結果分析顯示，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。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，並已逐步完成相關設計規範，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。

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

本研究除依據本年度實際工作成果提出上述具體結論外，另外在研究過程中也發現，滲透陰井的形狀、開孔率及兩井間的距離等，均可能為陰井滲透性能之影響因子，這一部份則有待於後續年度進行相關研究，並予以釐清。

ABSTRACT

Keywords: Green Building, Soil Water Content, Infiltration Wells, Specific Infiltration Area, Saturated Hydraulic Conductivity, Conductivity of the Soil

The urban area accounts for 12.4% of the total area in Taiwan, while the population in this area makes up 77.9% of the total. The development of cities and cultivation of land cause the changes in utilization of land. Along with the aggravation of the global warming, water resource environment is undergoing severer impact, which, in turn, brings into light the problem of water resources caused by urbanization. The problem is a long-range change.

In the past, water impermeable pavement was often used for construction development projects, which reduced water absorption, and permeation capability. Every household hoped to discharge rainwater to neighborhood. So they continually increased the base height of house, or set up pumps to discharge accumulated water which caused floods in lower places. This high percentage of impervious area not only causes the phenomenon of urban runoff, but also brings about high temperature in urban and destroys the urban ecology. The land will lose its climate-adjusting capacity resulting in “urban hot island effect” in the living environment. However, the problem can be largely solved through the infiltration and storage of the rain storage measures, which can delay the surface runoff, decrease the amount of the peak flow, improve ecological environment and climate, alleviate flood and increase recharge. The indicator of soil water content at construction site is to

maintain the hydrologic conditions between pre- and after-development at the construction site. Various techniques to retain and infiltrate water are recommended in the evaluation manual. Among them, infiltration wells are most popular used.

The purpose of the study is to analyze the characteristics and develop the design guideline for infiltration wells by on-site tests. Three dimensions of wells are 30 cm, 40 cm and 50 cm. Infiltration capacities are conducted under the condition of non-flowing and steady state. 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 dimensions of wells. Based on these results, the A_{us} for different H and radiuses (r) can be obtained assuming their hydraulic conditions are similar. Those design curves developed by the study provide as the practical tools for designing infiltration wells.

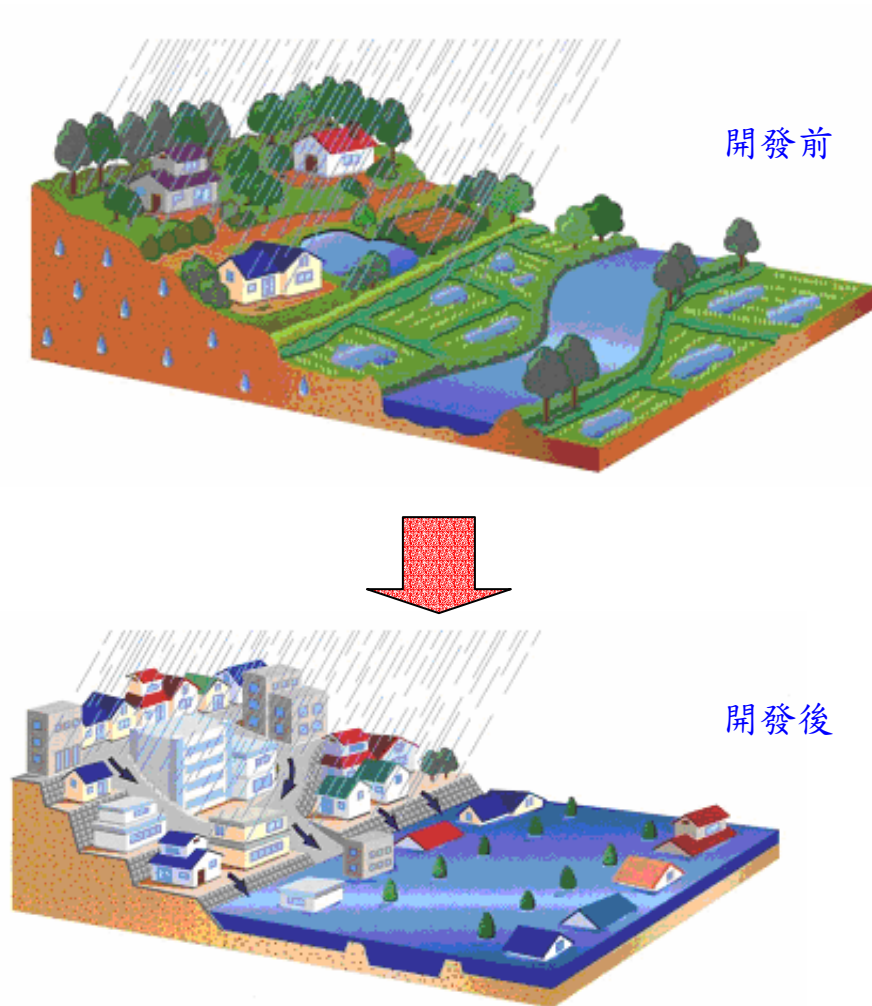
第一章 緒論

第一節 研究緣起與目的

一、研究緣起

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%。近年來，為了容納大

圖 1-1 都市開發所造成環境改變之影響



資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協會

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，如圖 1-1 所示。在都市開發的同時，也改變了自然環境的性質和狀況，如地貌、水文、氣候等，而這種變化的影響是長遠的。受到都市化及土地使用密集化的影響，

大多數的都市規劃或建築專家對雨水之處理，皆以儘早排除的觀念設計建築物及以不透水化處理都市區內基盤建設，使得現有建築物缺少雨水貯留、滲透、保水機能和蒸發量增加，因而發生都市溫暖化、都市型水患、都市生態系統丕變等問題。

傳統上大型集中之水利工程常為解決都市水患與調節供水的處理手段，但由於洪澇及乾旱問題不斷重複發生，突顯出大型的水利工程已無法有效解決都市的水資源問題，因此小型分散的雨水貯集及滲透系統已逐漸引起各界的注意，並認為是解決未來都市水資源利用的優質替代方案。

二、研究目的

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。但一旦逕流量超過排水系統之宣洩容量，水患因之產生，同時過多地表逕流所挾帶的污染物質，將使水質惡化進而破壞環境。

雖然地球大部分的面積為水所覆蓋，但海水即約佔百分之九十七點五，淡水只佔其中的百分之二點五，而淡水又有一大部分是集中於南北極的冰山，因此全球實際供給人們使用的淡水資源不到總量的百分之一，且由於人口不斷的增加，與工業化造成的水污染，使每人實際可用的水源相形更少。

而且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，應屬水資源不於匱乏的國家，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

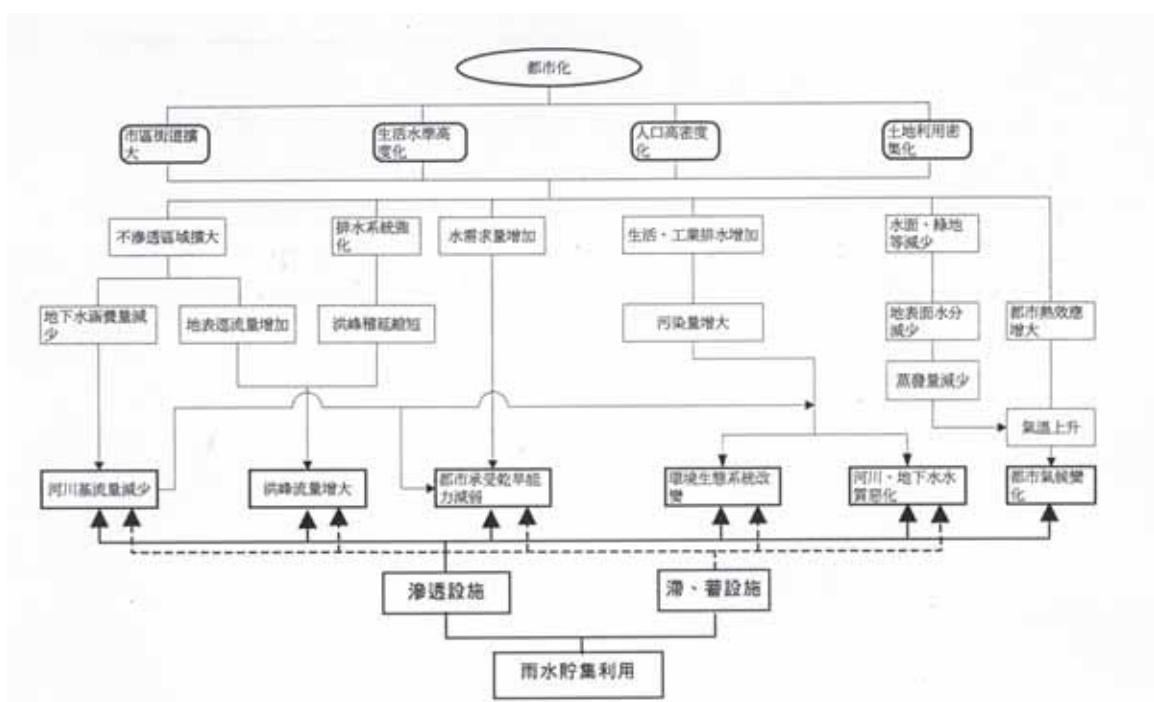
及熱島效應影響，降雨機率減低，降雨強度卻增加兩成，降雨區也發生改變，使台灣非旱即澇。而造成熱島效應的原因在於過去台灣大量興建不會散熱及透水的鋼筋混凝土建築與不透水鋪面，使降雨都直接流到下水道，而無法入滲於地下，連帶也無法發揮調節氣溫的功能。

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 1-2 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。

國際上雨水除了應用於生活用水外，在農業、水土保持等方面也非常普遍；在阿富汗、伊朗、巴勒斯坦和中國的新疆，2000 多年前就建造了「坎兒井」提供灌溉用水，以色列在二十世紀中期制定了「沙漠花園」計畫，建造多種形式的雨水貯集工程，在沙漠中發展農業，創造巨大的經濟利益。斯里蘭卡著名的南瓜形狀儲水槽藉由雨水的收集解決了當地居民的用水問題；為解決巴西東北部地區之供水問題，一個該國非政府組織結合了政府的力量，提出在五年

內以預鑄混凝土和金屬網水泥製造百萬個雨水儲水槽，以加惠當地的居民；在日本則以統合治水的觀念來充分利用雨水，並減低降雨帶來的災害。總體來說，雨水貯集系統的設置及利用必須對於水文循環有所助益，更重要的是必須結合生態保育與親水機能；而在我國經濟部水利署亦針對國內水源不足地區鼓勵裝設雨水貯集系統及水質處理設備，並訂出具體獎勵優惠辦法，以雨水貯集供水系統作為補助性水源，以減輕主要供水水源的壓力。

圖 1-2 都市化造成之水環境影響



資料來源：廖朝軒教授，2003。

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，將發生如今年夏天桃園、中壢地區一再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。所謂「基地保水性能」指的就是「基地涵養雨水並減少地表雨水逕流量之能力」。亦即當一個基地保水性能愈佳時，基地涵養雨水的能力就愈好，在降雨時所造成的地表逕流量也會愈少，相對地保水力愈大。由於建築基地涉及人工開發，故其降水過程與一般集水區略有不同，因此其地下水涵養機制（保水手法）也略有差異。藉由提高基地保水性能，一般可達到下列之優點：

- 1.增加水土保持，促進生物有機存活空間。
- 2.調節地區微氣候，緩和都市氣候溫暖化。
- 3.降低公共下水道負擔，減緩都市洪水發生之機率。
- 4.維持地下水位，防止地層下陷。

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。

為能將現今歐美最新的生態防洪觀念落實於國內，使得建築及社區基地均保有貯留、滲透雨水的能力，以吸收部份洪水量，本所近年來積極推動之「建築基地保水滲透技術」，即藉由「基地保水性能」來達到降低地表逕流之軟性防洪目的。

本研究透過相關文獻收集、設計參數及工法歸納與實驗研究，建立相關影響因素及實驗流程；並發展本土滲透陰井容量計算及規劃方法，作為建立適於台灣應用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，以確實達到永續水資源之保育及利用目的。

第二章 都市發展之城鄉水環境

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。

人是群居的動物，當人口逐漸增加，為了生存便開始向內陸發展，都市也漸漸形成，也因此與水漸行漸遠。但為了飲水與灌溉，除了原有的治水之外，也開始思考如何與水共存，互蒙其利；在築堰築堤之時會加設水閘從河川引水，以控制水量達到引水之目的。圳渠所引之水不只是供灌溉之用，同時也供應村落之生活用水、生產及消防用水，甚至較大圳渠可兼供舟運交通之用。隨著陸上交通之改善與發展，航運交通的功能慢慢被陸上運輸所取代，人類不再經常疏浚河床以確保水流通暢，而是改以加高堤防來防範水災，也因為河堤所分隔出之河內河外，使水變得不再是那麼容易親近。市鎮愈大，生命財產保護的要求也愈高，而都市侵佔河川的範圍也隨之增大。人類愈文明技術愈進步，水岸堤防也愈築愈高，都市人口與水雖近在咫尺，但實際上卻是愈離愈遠，人與河川的關係也逐漸變淡，水源也隨之慢慢的消失。

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，最後才又排到圳道。人們都在圳邊挑水、洗衣及梳洗，使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，毫無節制，而政府為滿足不斷增加的用水需求，拼命的開發自來水源，使人民誤以為只要打開龍

頭，水就自來。而水從何處來，往何處去，似與個人無關。

近年都市由於人口密集，車輛增加交通繁忙，使原來河川文化時期留下之圳路，除被捨棄作為排除污水之用外，更進而逐漸被加蓋成為道路、商店街、停車場，而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。但隨著國民生活水準之提升，除了物質需求外，也追求舒適的生活環境，許多水岸景觀及親水環境創造，顯示水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 都市發展對城鄉水環境之影響

所謂的「水環境」係指雨水降落至地表後之行為及其與周圍環境交互作用所產生之現象。由於都市的快速發展，造成自然及人文環境的快速變遷，導致水環境的劇烈變化，對水患的發生有著直接或間接關係，而城鄉水環境之改變往往因土地之利用方式而有顯著的差異，因此如何客觀地探討都市化對城鄉水環境之影響，並據以規劃、建設與管理城鄉土地之發展與利用，以達到「生態永續」與「經濟發展」為目的之「永續城鄉發展」，將是未來研究探討之重要方向。

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，其主要因素可歸納如下：

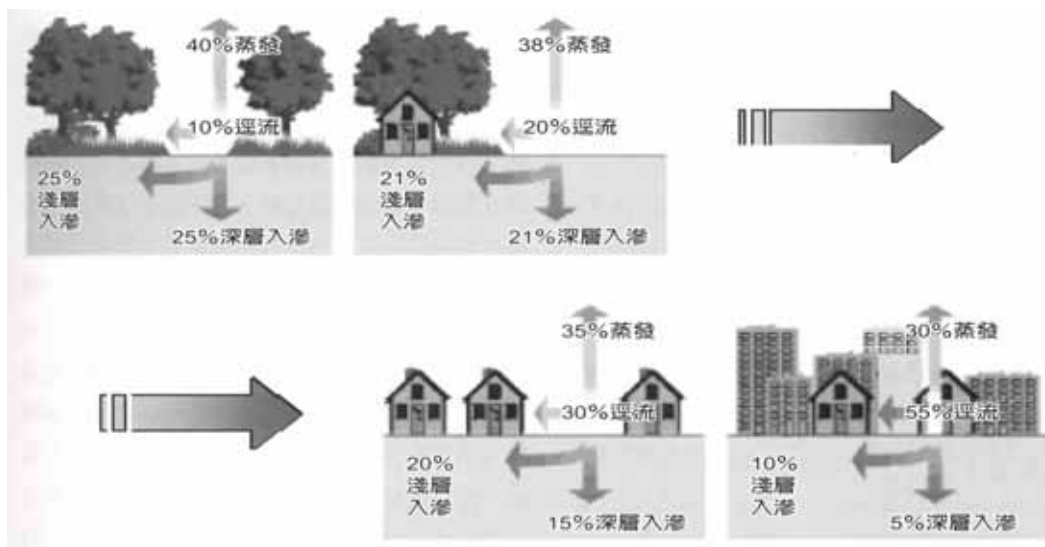
（一）市區街道擴大化

地表不透水區域包括屋頂、街道、人行道及停車場等，在高度開發或都市化地區，地表逕流之增加量與不透水鋪面之多寡存在著比例的關係，不透水區域之增加將會減少雨水入滲至土壤之機會，結果不但減少地下水補注，同時造成洪峰流量、逕流體積之增加，河川基流量也會因此減少。

都市地區涵養及滯蓄雨量之功能因不透水區域之增加而衰退，並因大量人口之增加導致用水量及排水量的增加，以及各種都市建設進行中所帶來之負面衝擊等，都會對都市地區之水文環境產生不利之影響。圖 2-1 為美國費城都市化對水環境影響之觀測結果，由圖中結果可明顯看出，原始的自然地表覆蓋率改變成 75% ~100% 的

不滲透表面時，隨著不滲透區域面積的擴大，原有的自然地表逕流機制也隨之產生重大之變化，原本只佔總降雨量 10% 的逕流量因都市化之結果暴增至總降雨量的 55%，而入滲比率則由原先總降雨量的 50% 減為只有 15%，並使蒸發量也隨之降低。由此一地區都市化之變化結果，我們可以很清楚的看到，因都市化所造成的地表逕流、蒸發與入滲三者間之水文循環變化關係所造成的城鄉水環境變化。

圖 2-1 都市化對水環境影響之示意圖



資料來源：廖朝軒教授，2002

(二) 土地利用型態及地形、地物之改變

大量人口湧入都市地區後，使得原有的綠地、農地、窪地及都市外圍之山坡地等，被大量甚至過度開發利用。都市擴張提高了土地之使用面積，同時因建築物、水泥地及柏油路面等不透水鋪面不斷增加，使得可透水面積相對減少，降雨滲透量也隨之降低，而伴隨著地表逕流量的提高，與該地區原有涵養及滯蓄雨水之功能減退，一但豪雨發生自然增加了水患發生的機率。

此種土地利用密集化，不僅造成原有之水面及綠地減少，同時

也導致都市區域之土壤含水量降低，此外因生活水準的提升及人口密度過高，造成都市民眾普遍使用空調設備、交通運輸設施及相關電器用品，致使人造熱源大量產生，及都市熱源的累積，使得都市區域之氣溫往往較鄰近城鄉區域來得高，都市氣候也會隨之改變。

（三）生活水準及人口密度之高度化

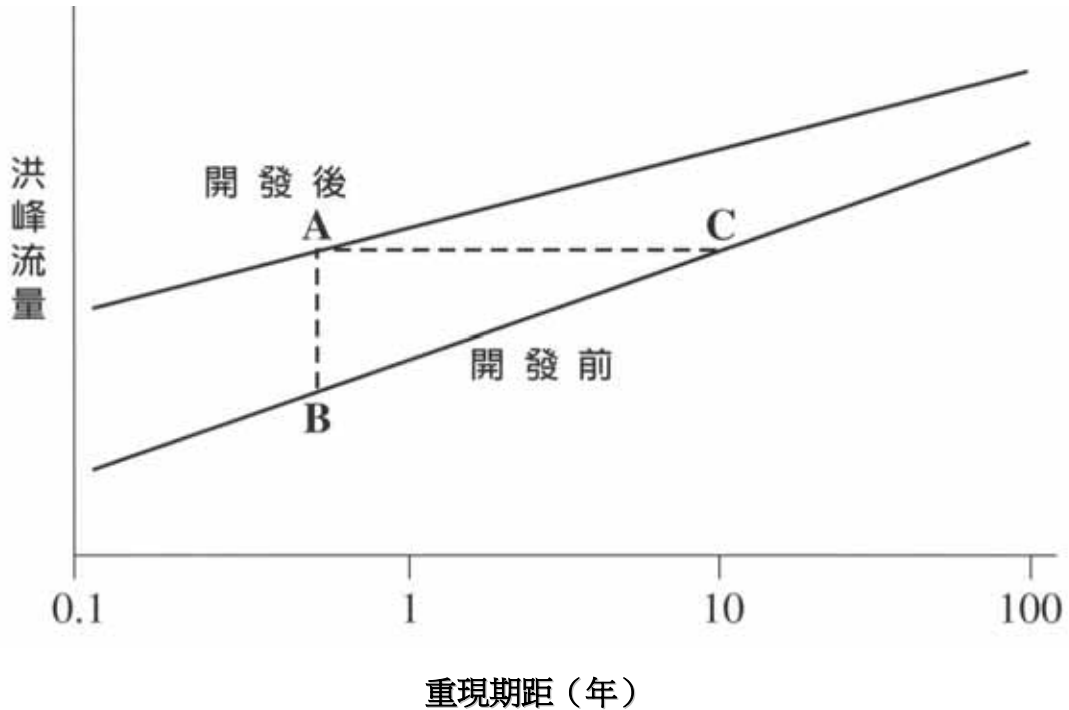
生活水準的提升及人口密度之提高造成經濟活動的頻繁，也引致生活必需品需求量的提升，伴隨造成生活雜排水與工業廢水的增加、用水需求量的增加、及地下水涵養量之減少，使得都市承受乾旱的能力減弱，且欲排除經濟活動產生之生活及工業廢水，往往需興建都市排水與污水系統，而在現行集中末端處理之概念下，排水管道會收集大量之都市地區地表逕流，使逕流直接且迅速地排放至河川或集水區下游地區，縮短了洪峰稽延時間，但卻促進都市污染物之匯集與運送，造成河川、地下水的水質惡化，環境生態系統也會因此而改變。圖 2-2 係為都市開發前後其對洪峰流量及頻率之影響。由圖中可明顯看出，因都市化的結果，使得原本開發前之異常水文現象（如 C 點），卻變成都市開發後之正常現象（如 A 點），同時發生的頻率也明顯的增加，也因此造成鄰近河川或排水路周邊都市地區之洪澇問題。

（四）排水系統不均勻的下陷

由於都市開發之各項工程缺乏完善的協調與管理，在都市中的雨水下水道系統常被其他的管線如：瓦斯、電信等管線橫越，再加上因交通或施工不良所導致地層下陷，往往使得都市雨水下水道系統的高度及坡度發生改變，致使通水能力大為減低。

綜上所述，由於市區街道擴大化、生活水準及人口密度之高度化及土地利用型態及地形、地物之改變等各因素相互影響的結果，造成都市區域整體的水土保持機能降低，地區排水管網的設置加速

圖 2-2 都市化對洪峰流量及頻率之影響示意圖



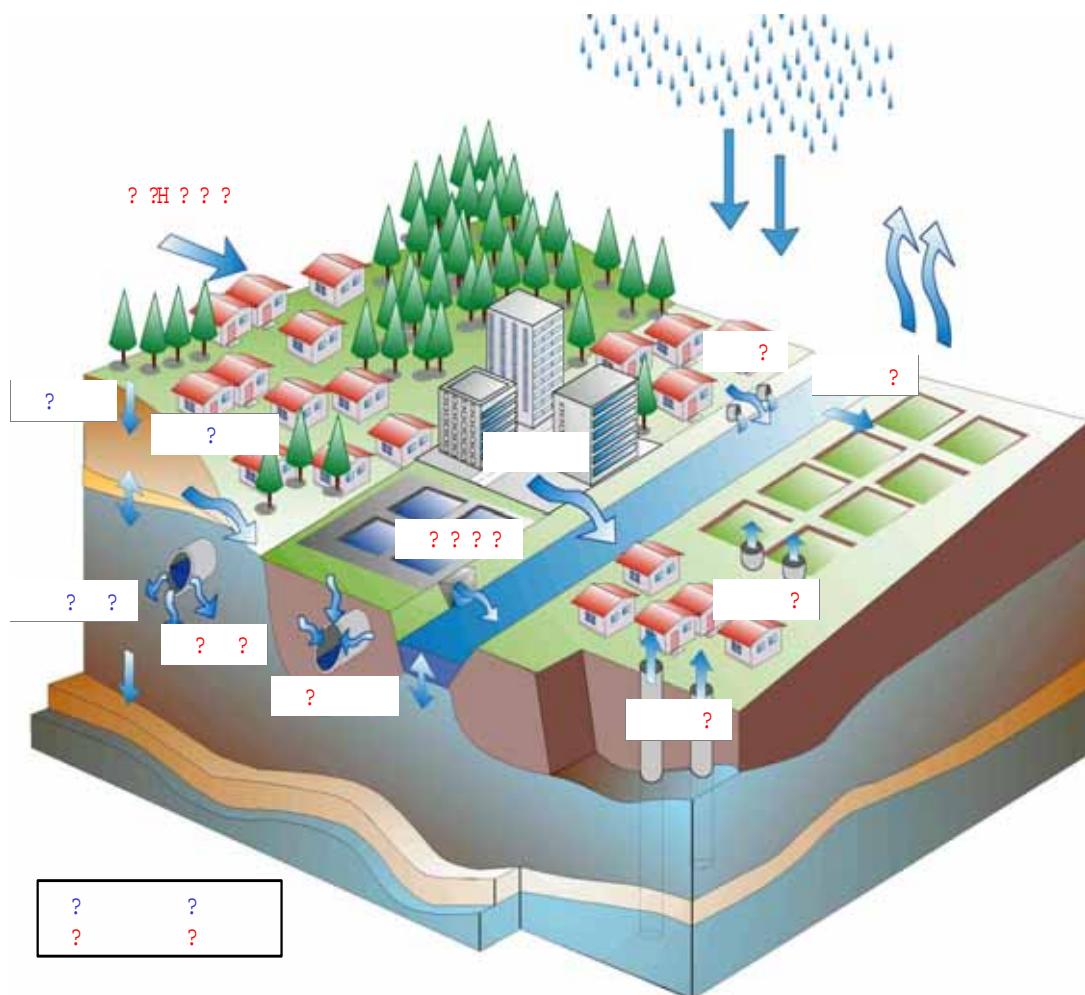
資料來源：廖朝軒教授，2002

了地表逕流的集中，導致集流時間的減少及流速增加，除了導致區域性淹水災害發生的頻率增加外，亦減少了地下含水層的補注及使下游河道沖刷加劇，而污染物也隨著逕流直接排入下游，對於城鄉水環境危害甚鉅。短期而言，都會區每遇暴雨其洪峰流量將增大；長期而言，都會區之河川基流量將會逐漸減少，承受乾旱能力也會減弱，環境生態系統改變，河川、地下水水質惡化及都市微氣候改變；上述之城鄉水環境變化，皆肇因於都會區逕流與入滲等降雨損失之比例改變所致。

第三節 都市發展後之地表逕流處理方式

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載能力時，自然環境具有自淨回復的功能；當開發程度超過水環境承載能力時，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 2-3 所示），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 2-3 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

對於都市計畫區域內的土地使用，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，在此引用「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。

目前土地使用規劃，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，如水土保持機能、調節都市氣候等；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。

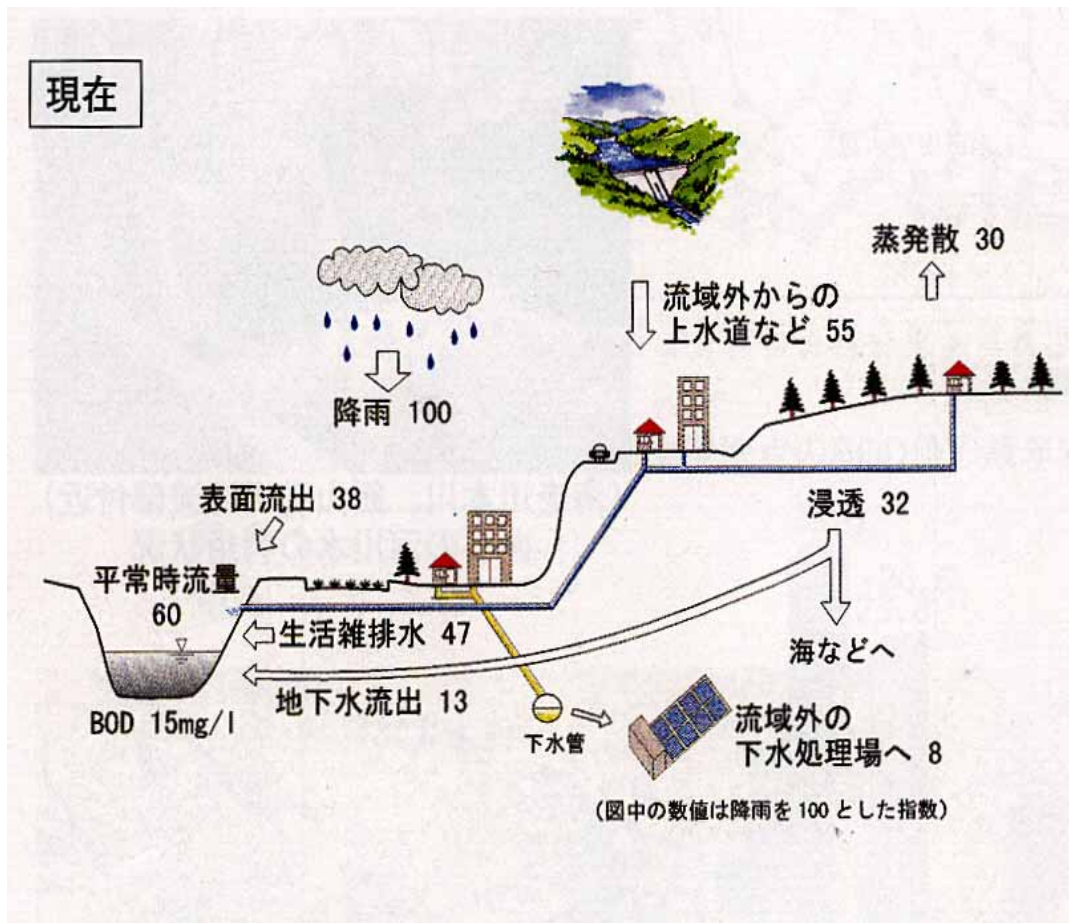
依據日本社團法人雨水貯留浸透技術協會之資料顯示，日本在昭和廿年（西元 1945 年）代，由於都市地區之人為開發有限，人造結構物之規模及數量不多，因此對於地表雨水之處理仍主要以自然滲透及地表逕流方式處理，加上家庭生活雜排水之排放量及污水下水道接管率低，大部分之雨水均可滲透至地下形成地下水資源貯存

圖 2-4a 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

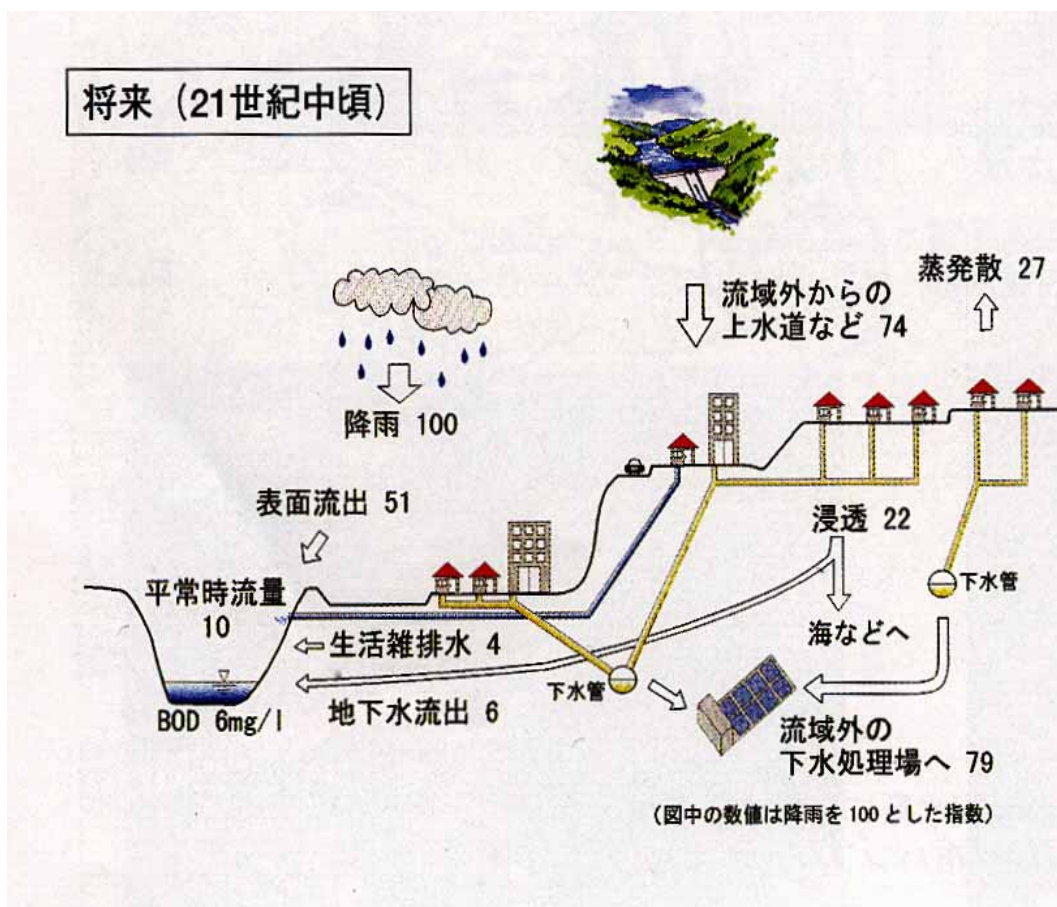
圖 2-4b 日本都市開發中之水環境影響示意圖



資料來源：日本社團法人雨水貯留浸透技術協

，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 2-4a 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 2-4b 所示)。依據這樣地都市發展模式，預估至 21 世紀中，當大部分建築之污水下水道系統建置完成後，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

圖 2-4c 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

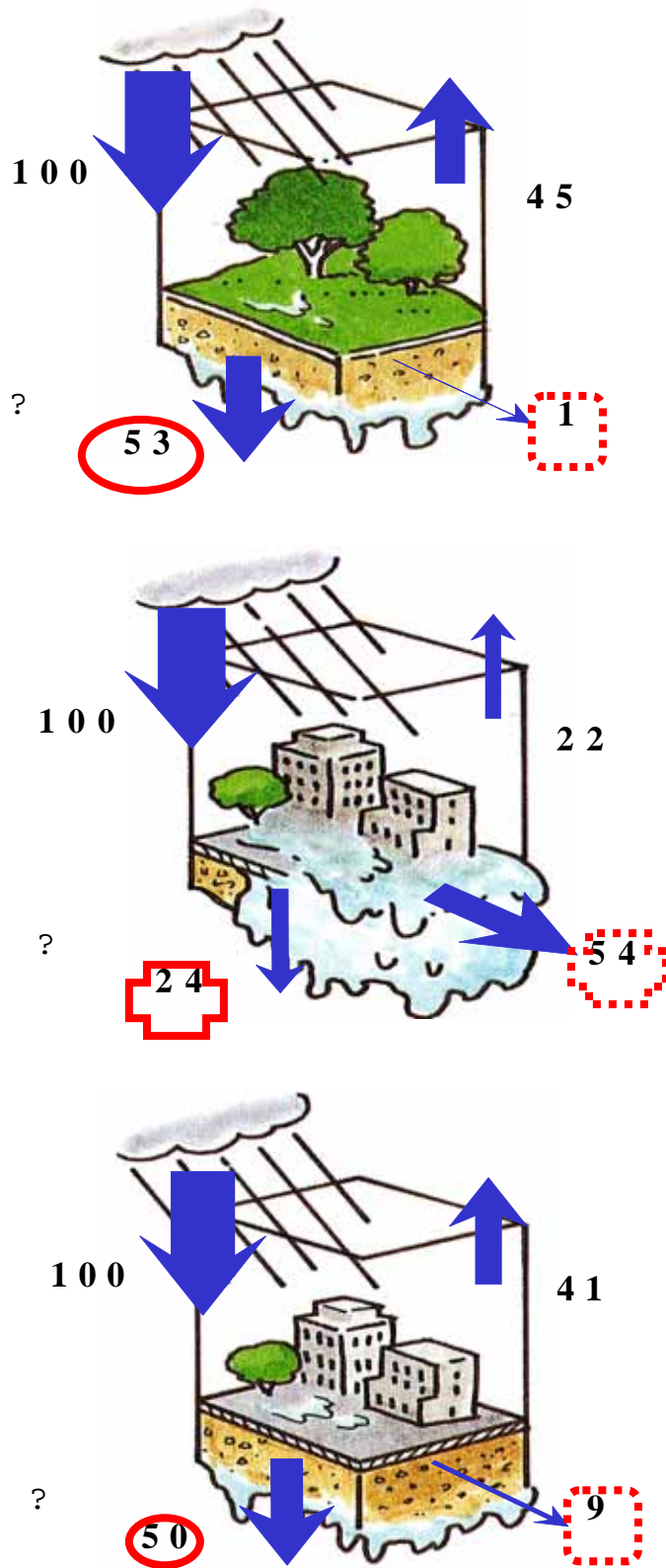
染量，但也因更多人工設施之興建與不透水鋪面之鋪設，使得地表逕流量增大，人工排水系統無法負荷宣洩而造成淹水，同時更因地下水補注量之減少，致使河川基流量嚴重減少不足，河川多呈現乾涸現象，嚴重造成都市水文環境之丕變，造成都市水患問題不斷，嚴重影響居民之生命財產安全（如圖 2-4c 所示）。

依據 90 年的研究發現，由於世界各國對於所謂保水的需求不同，因此對於建築基地內有關保水的限制也不盡相同，甚至有些國家如：美國已將相關之保水內容融入生活習慣中，由於其土地資源充裕，再加上人民教育及生活習慣良好，其防洪對策是採用導引、洪氾的處理方式，意即將洪水導引至人煙稀少的荒地，使其自然入

滲，以達成防洪及貯留水資源之目的，因此並未針對此一內容特別立法予以要求。這對於土地資源有限以及水資源嚴重不足的我國，在實施上的確有其困難，再加上我人民的教育訓練及生活習慣之不同，即便有這樣地土地資源空間及需求，實施上也勢必會造成相當大之反彈，斷不可貿然行事。

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 2-5 所示）。

圖 2-5 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

第四節 永續水環境之綠建築

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。

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。基地保水指標主要是以「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。

在經過大規模下雨後，降於大地的雨水，除了蒸發外，一部份

為草木的葉或根所保蓄，一部份則貯留於地表低窪處，滲透到土中的雨水成為地下水，少許的逕流進入河川，大地可說是自然的保水滲透設施。基地保水貯留及滲透設施，其實是開發前所有土地與樹林的保水及貯水機能以人工予以替代，然而從永續城鄉水環境的觀點上，除非所貯留的水還原到大地，否則只能算是將開發地區的尖峰逕流量降低而已，而因開發而破壞的土地與樹林的保水及貯水機能亦無回復的功效。

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。

第五節 基地保水貯留及滲透設施之種類

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。

基於以上之探討，因開發而造成的城鄉水環境問題，大部分皆肇因於基地保水能力的改變，此一現象可藉由在基地中以微管理及源流控制的概念設置基地保水貯留及滲透設施，以減少都市化之衝

擊，達到永續城鄉水環境的目的。其工法依選用設施與設置方式而有不同的種類，以下為基地保水貯留及滲透設施分類方式之簡介。

一、以逕流調節機制區分

依據保水貯留滲透設施之逕流調節機制，歐、美等國通常把保水貯留滲透設施概分為滯洪（Detention）、貯留（Retention）與滲透（Infiltration）設施三種型式；保水貯留滲透設施之型式與功能概如表 2-1 所示。

滯洪設施其調節逕流機能係限定在一定期限內的調節，以其設施容量暫時儲存上游來水，並以滯洪口控制出流量使水慢慢排去，可延遲洪水波到達下游時間並削減洪峰流量；一般而言，滯洪設施僅為控制出流量之水工結構物，在雨停後不久即將池中蓄水完全排除，並無減少逕流體積的功能。

表 2-1 保水貯留滲透設施之型式與功能一覽表

型式 \ 功能	減少尖峰流量	減少逕流體積	入滲	維持河川基流量	改善水質	縮短高流量延時
入滲型設施	●	●	●	●	●	●
滯留型設施	●	●			●	●
滯洪型設施	●				◐	

資料來源：廖朝軒教授，2003

滯留設施主要是結合現有或人工的池塘、窪地予以儲存部分之洪水體積，具有減少逕流體積、尖峰流量及延遲洪水波之功效；一般而言，滯留池之蓄水並不排放至下游，除減洪功能外尚可維持水生生態系統的穩定性。

入滲設施同時具有入滲、滯留的能力，同時具有減少逕流體積、降低尖峰流量、水質淨化與地下水涵養的優點，且其大多為小型設施，可充分配合現場之環境予以規劃設置，即使在高密度的都市

區域仍可充分利用。

滯留及入滲型設施可同時減少逕流體積與尖峰流量，在水質改善上也頗具功效，因此在進行區域逕流管理規劃時，首先考慮設置此二型式之設施，但在減少尖峰流量上相對於滯洪設施則需較大之設置容量 (Ferguson, 1995)，因此若前述兩種型式之配套設置若仍無法將洪峰流量減低到預定目標，則需規劃以滯洪為主之滯洪設施，因此藉由不同型式設施之搭配應用，可同時減少逕流體積與尖峰流量 (Liaw, et al., 2000)，而削減了此二因素的影響，流量延時也可得到適當的控制，而由各設施的特性使得其具有自然生態環境資源改善等附加效益。

二、以滲透及貯留方式區分

日本則將保水貯留滲透設施概分為滲透、貯留及具有滲透及貯留的貯留滲透三種型式，並進一步依據其滲透及雨水貯留的方式分為擴水法、井戶法及原址貯留 (On site) 及離址貯留 (Off site) 四種類型。

滲透設施之滲透方式，可概分為使雨水分散入滲的擴水法，即以「線」及「面」的方式入滲；與直接使用垂直式的輔助滲透設施，使雨水入滲地表的井戶法，即以「點」的方式入滲 (如滲透井)；通常一滲透排水系統常以「點」、「線」及「面」的搭配組合方式以促進設施之滲透效率，如以滲透陰井作為各滲透設施間連接的節點，可容納排水過程中之污泥雜物以方便維護及保持通暢。

若以貯留方式區分，可概分為原址貯留及離址貯留；原址貯留與離址貯留，二者係相對、比較性的分類法。所謂離址貯留是指若降雨落於地面後，以自然或人工方式先予以收集，然後再輸送至一適當地點貯存，故其逕流貢獻區域 (Contribution area) 可能並非貯存地點所在集水區，而為其鄰近區域；而在降雨區域對該區之雨水

收集並貯存是為原址貯留，原址貯留係將雨水的移動減至到最小並貯留於降雨區域（現場），即在土地利用計畫中於綠地或各設施中加上貯留現場雨水的機能，故通常其控制之集水區較小，常位於流域之中、上游。

綜合前面的探討，本計畫將基地保水貯留及滲透設施之型式、種類及工法歸納如圖 2-6 所示，而各工法之概要則歸納如表 2-2 及表 2-3 所示；上述之分類僅為一且在概括、相對上之原則，因為有些貯留滲透設施並不能很明確的分類，且在實務上保水貯留滲透設施並非拘泥於某種單一型式，可依現場狀況適當配置以達設計之目的，若地質狀況許可，貯留設施也可設計成具有入滲之功能。

圖 2-6 基地保水貯留及滲透設施分類示意圖

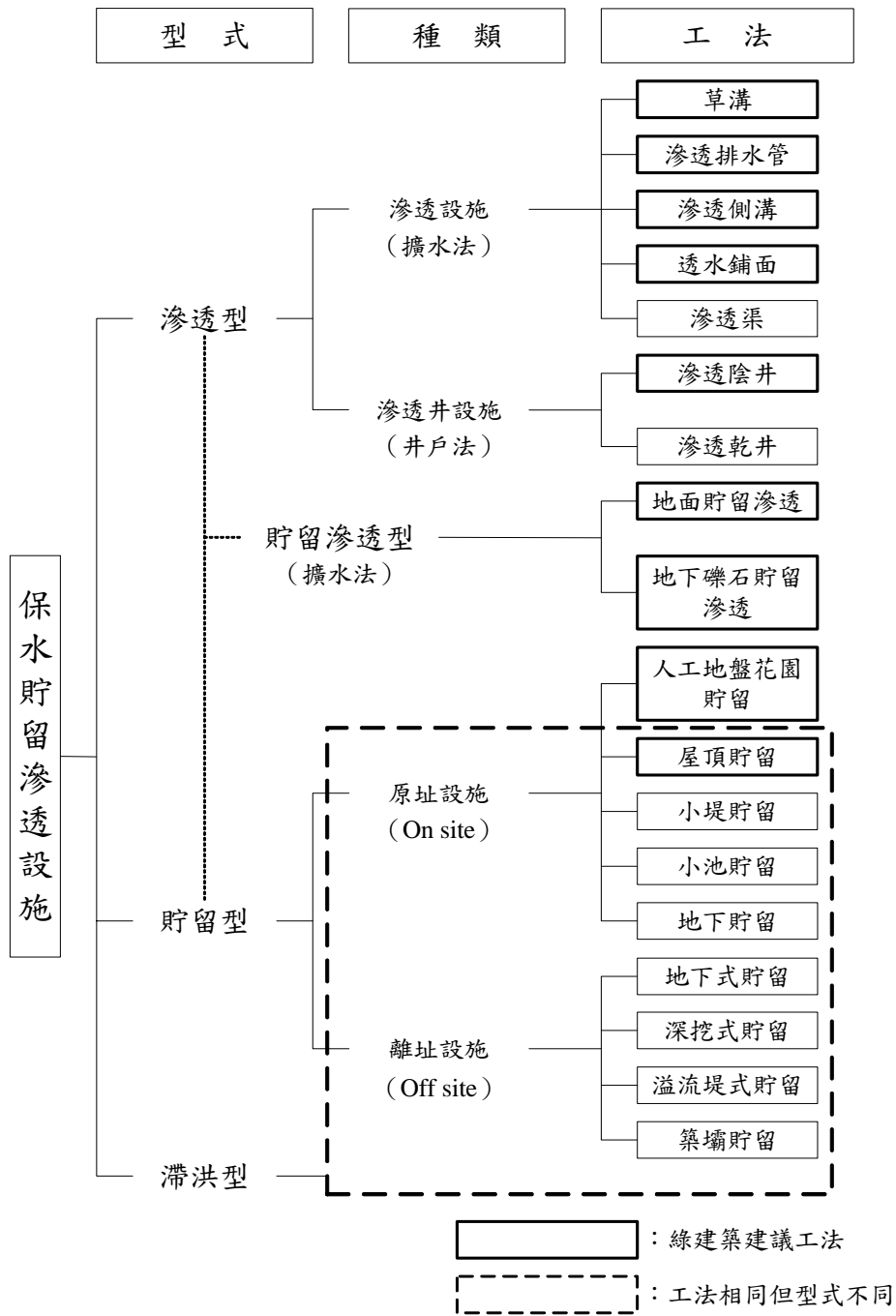
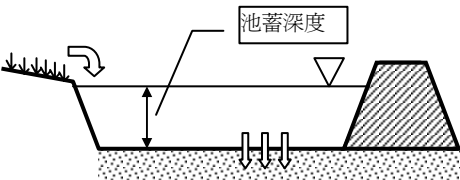
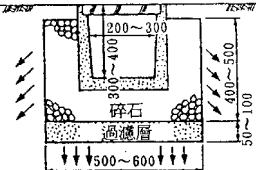
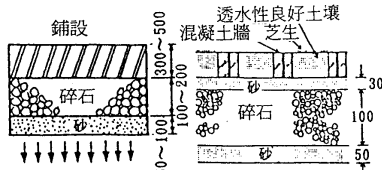
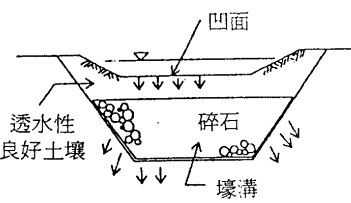
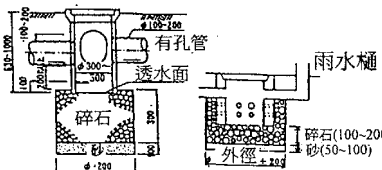
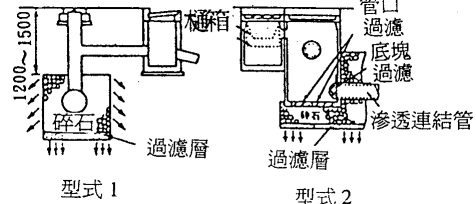
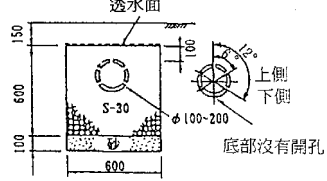
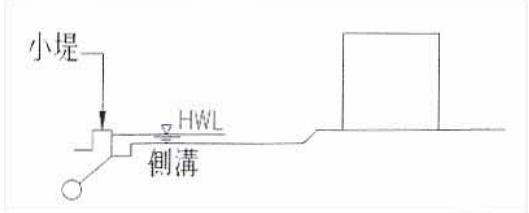
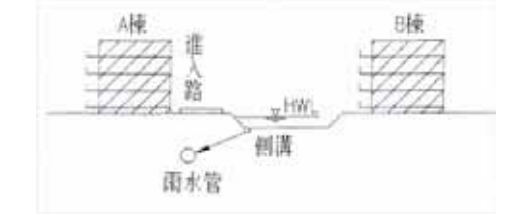
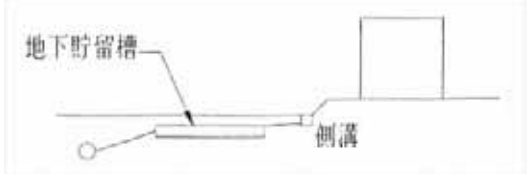
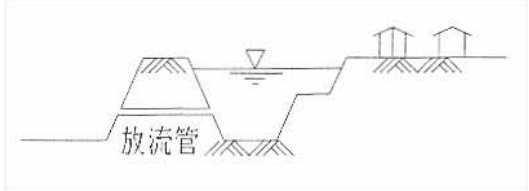
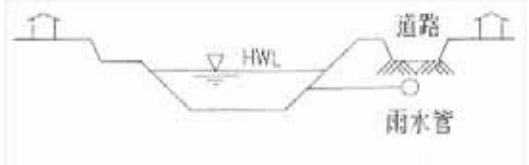
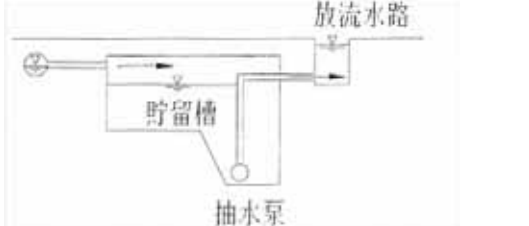
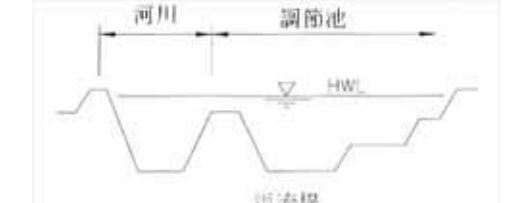


表 2-2 入滲設施工法概要

	構造示意圖 (單位: mm)	入滲措施概要
地面貯留滲透		<p>貯留之水自入滲調節池底部滲漏，為兼逕流削減的入滲措施，阻塞後入滲效能會降低，應有適當的維護管理。</p>
滲透側溝		<p>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入滲透之設施，設置於公園、廣場時，為避免砂土、垃圾的流入影響功能，應有適當維護清理之措施。</p>
透水鋪面		<p>雨水透過透水性鋪面及透水性瀝青、混凝土孔隙入滲之設施，由於容易阻塞降低透水功能，必須經常做適當的維護管理；又瀝青、混凝土鋪設時，下層應填充透水性良好的土壤，以維持透水機能。</p>
低窪地或滲透渠		<p>在開挖凹面之低窪壕溝進行入滲，壕溝上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成團，維持自然過濾，可達免維護之功能。</p>
滲透乾井		<p>一般設置於住宅及建築物之周邊。於乾井之周圍填充碎石，雨水則自其底部及側面滲透，乾井可單獨設立，但仍以滲透管一同設置為宜。</p>
滲透陰井		<p>為道路排水為主之入滲陰井，惟道路入滲陰井中常有砂土、落葉、垃圾等流入，為防止阻塞，應有防止降雨初期污染物流入之措施；圖中型式 1 與雨水下水道連接管為高處接入，以免降雨初期雨水流入；型式 2 則附設有去除垃圾之水桶、框架及過濾等設備，以防阻塞物流入滲流設施。</p>
滲透排水管		<p>於開挖的壕溝填充碎石並設滲透管，透水管內流入水均勻入滲之設施；與入滲陰井併用時，由於入滲陰井具有預先處理之功能，故入滲管渠原則上可不常清理。</p>

資料來源：廖朝軒教授，2003

表 2-3 貯留設施工法概要

	型式	構造概念	備註
原址貯留	小堤貯留		公園、學校、集合住宅各棟間等，築造小堤貯留雨水。
	小池貯留		公園、學校、集合住宅等各棟間小開挖面貯留雨水。
	地下貯留		自宅地內及建築物屋頂之降雨，以地下貯留槽貯留。
離址貯留	築壩式 (堤高 15m 以下)		主要為丘陵地之低窪部設置堤壩以貯留雨水。
	深挖式		主要為於平坦地開挖，貯留雨水，HWL 與地面高度相近。
	地下式		公共設施用地內地下貯留雨水下水道管渠集水。
	溢流堤式		河川水路之洪水溢流堤貯留，減輕下游洪水負荷。

資料來源：廖朝軒教授，2003

美國環境保護署與美國聯邦公路管理局（Federal Highway Administration）及美國地質調查局（The U.S. Geological Survey）收集道路暴雨逕流以研究路面逕流污染物對於環境造成的影響，結果顯示其對於地下水的污染甚大；所以美國環境保護署（The U.S. Environmental Protection Agency）立法規定對於某些特定工業區和公路之地表逕流必須先利用貯留及滲透設施予以收集，經過處理後才可排放以免污染乾淨水體或配合中水道系統回收再利用，對於解決這類雨水造成地表逕流的污染技術通稱為「土地處理（Land Treatment）」。

德國的柏林則在市區中配合雨水排水道系統廣泛設置滲透設施，如入滲調節池（Infiltration Basin）及滲透渠（Infiltration Trench）等，具體降低了暴雨之逕流體積及洪峰流量，也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。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）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且必須結合環境、生態保育等環保與親水機能。

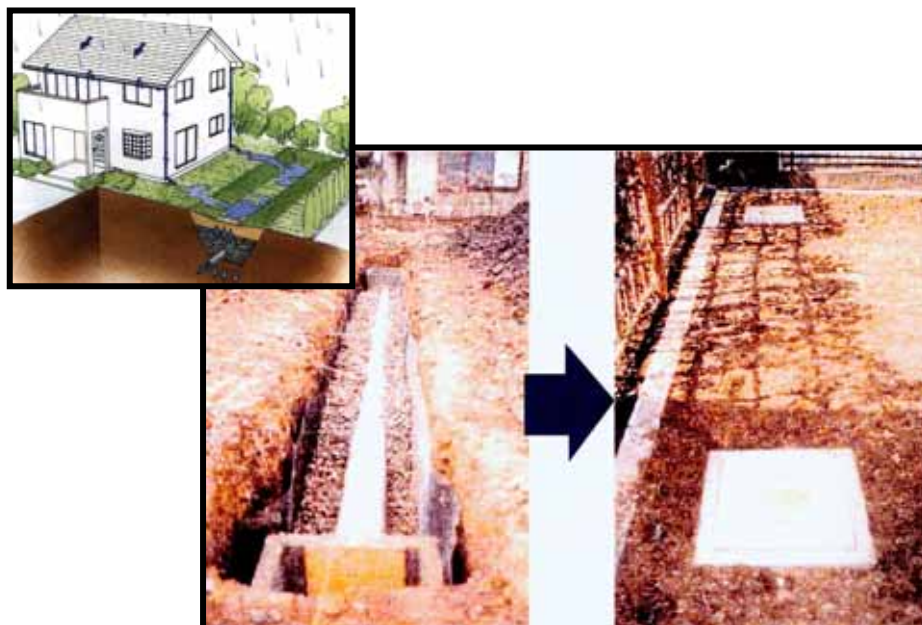
經由上述分析，可得知在都市化程度愈高的地區此技術愈被廣泛的應用；美國亦常於人行道設置透水鋪面，配合生態入滲調節池以減少都市地表逕流（如圖 2-7 所示）；圖 2-8 及圖 2-9 為日本設置滲透側溝及地下貯留池之實例；在日本入滲措施是被廣泛設置於都市地區，圖 2-10 為日本設置滲透設施之分佈，其中東京地區設置數目即佔全日本之 77.5%。

圖 2-7 美國設置透水鋪面-配合生態入滲調節池之實例



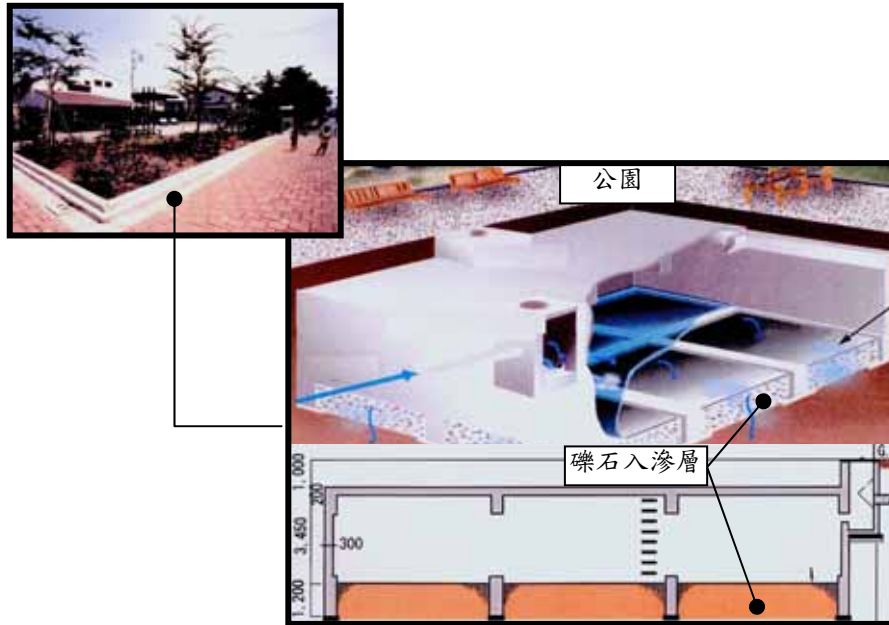
資料來源：廖朝軒教授，2003

圖 2-8 日本滲透側溝設置實例



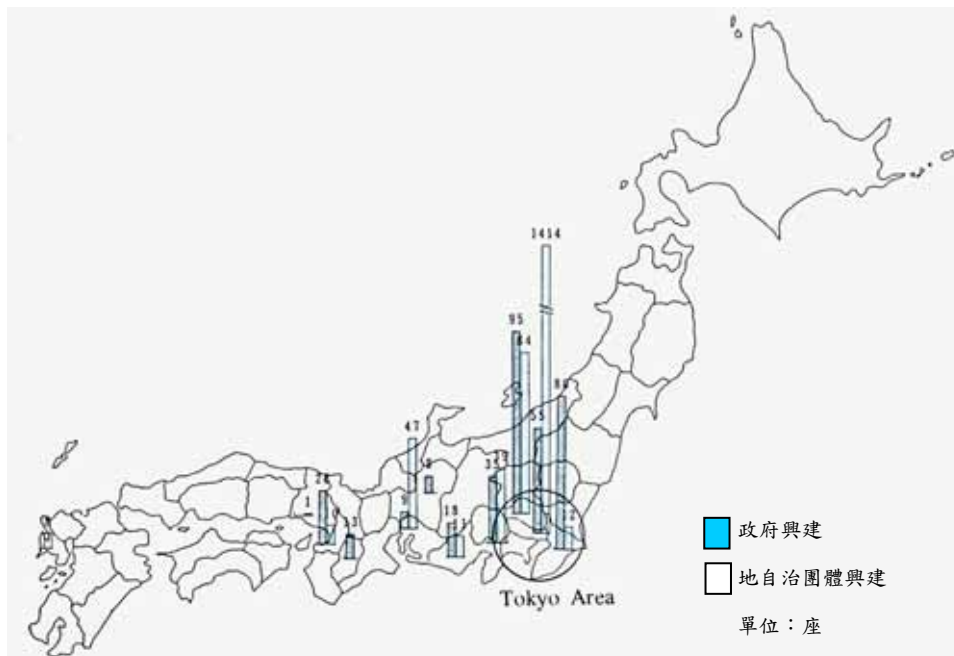
資料來源：廖朝軒教授，2003

圖 2-9 日本地下貯留池設置實例



資料來源：廖朝軒教授，2003

圖 2-10 日本滲透設施分佈概況



資料來源：廖朝軒教授，2003

根據歐美等國家的使用經驗，貯留滲透設施除能減少地表逕流量外，同時對於污染去除也有功效，因此對於河川及其他水體之生態具有一定之效益。以保水（減洪）為目標之貯留滲透設施的操作條件，與以水質控制為目標的貯留滲透設施有相當大的差異。以保水（減洪）為目標之貯留滲透設施，其主要目標在削減逕流體積及洪峰，而以水質控制為目標的貯留滲透設施則在截留降雨初期的逕流（First flush），且為使雨水有足夠的時間沈澱淨化，通常需要較長之池蓄時間（Ponding time）。而一般保水貯留滲透設施對於水環境，通常具有下列幾項效益（林鎮洋等，2001）：

1. 減少水質優氧化之營養鹽量與泥砂淤積量。
2. 增加河川廊道與週邊生態系統之連結性。
3. 促進物種多樣化。

因此若於集水區中設置貯留滲透設施，除對於改善集水區之非點源污染有所助益外，同時對於都會區之水質及熱島效應也有減輕的功效。

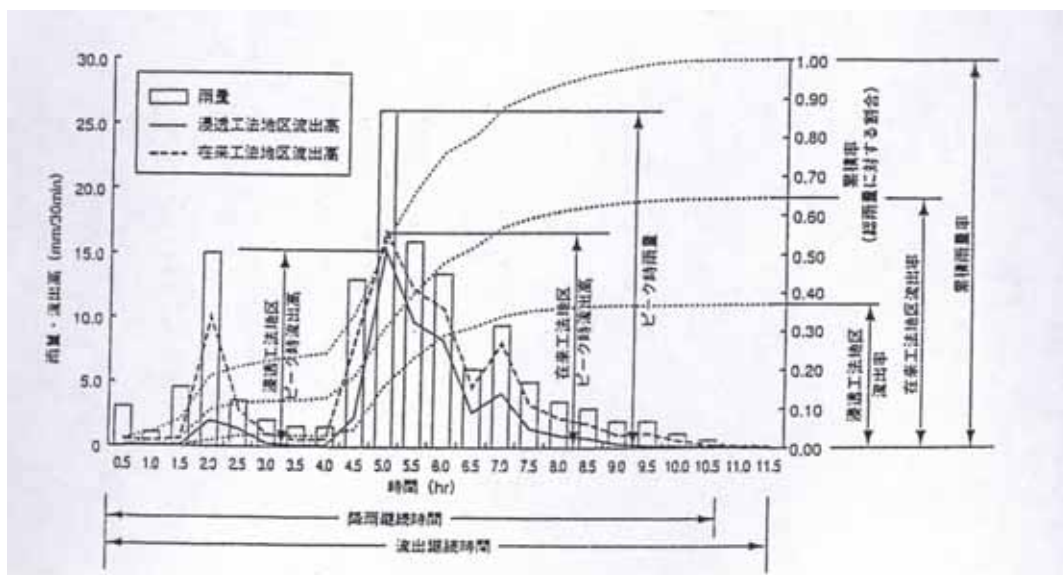
依據日本社團法人雨水貯留浸透技術協會歷經近廿年，在近3000個社區改造的眾多案例分析經驗中可以明顯看出，因都市開發設計將雨水貯留、滲透的理念納入之成效。以昭島市為例，雨水貯留浸透技術協會於該市同時進行浸透設施與傳統鋪裝之逕流測試試驗，浸透設施設置數量如表 2-4 所示，其鋪設貯留或滲透設施的密度約為 $11.27\text{m}^2/\text{m}$ ，依據日本雨水貯留浸透技術協會於 2000 年實際量測的結果中可以看到，該市於 1981 年開始鋪設浸透設施後，能有效消減降雨之尖峰逕流量（如表 2-5 及圖 2-11 所示）至少三分之一以上，而該協會在所有鋪設區域的實際量測結果則顯示，其浸透設施鋪設後平均減洪效率可達五分之一，亦即平均可減少降雨時的尖峰逕流量為未鋪設時之五分之一，其減洪效果相當顯著。

表 2-4 昭島市浸透設施設置數量

	滲透井	滲透 排水管	滲透側溝	透水性 鋪面	游泳池	合計
設置數量	49	494	143	2,404	80	—
單位	個	m	m	m ²	m ³	—
單位滲透量	1.0 /min	1.0 /min	1.0 /min	7.0 /hr	—	—
合計滲透量 (m ³ /hr)	2.94	29.64	8.58	16.83	—	58.00
單位貯留量 ()	202.86	138.02	144.13	33.01	—	—
合計貯留量 (m ³)	9.94	68.18	20.61	79.33	80.00	258.12

資料來源：廖朝軒教授，2003

圖2-11 昭島市浸透工法與傳統工法之逕流比較圖



資料來源：廖朝軒教授，2003

表 2-5 昭島市浸透工法與傳統工法之逕流比較表

期	降雨 No.	雨量 (mm)	ピーク時雨量 (mm/30min)	流出率	
				浸透工法地区	在来工法地区
I	8	89.5	10.0	0.25	0.60
	9	76.5	12.0	0.17	0.56
	13	101.5	19.0	0.28	0.68
II	15	143.5	13.0	0.14	0.58
	16	103.5	19.5	0.15	0.58
	29	154.5	13.5	0.30	0.71
III	38	49.5	34.0	0.30	0.66
	44	88.5	14.5	0.18	0.77
	49	58.5	44.0	0.15	0.80
	51	170.5	26.5	0.21	0.67
IV	81	35.0	33.5	0.51	0.86
	86	75.0	16.5	0.26	0.68
	98	50.0	7.3	0.09	0.51
	102	50.0	17.0	0.07	0.45
	109	126.0	11.0	0.32	0.74

資料來源：Masahiro IMBE，2002。

若以汐止市為例，根據汐止市現有之土地利用型態，全面評估利用現有的都市建築物及綠地，設置屋頂雨水貯集系統、地下貯留池、街道滲透鋪面之可行性，經初步估算約可截留儲存 2,015,000m³ 的逕流體積，可使汐止市約 200ha 的都市區域降低約 1m 深的淹水深度（陳賜賢等），應可減輕都市區域之排水負荷，強化都市土地之保水及防洪減澇能力，設施貯蓄之雨水亦可作為自來水之補充水源，並可降低都市熱島效應及促進都市區域之水循環平衡。

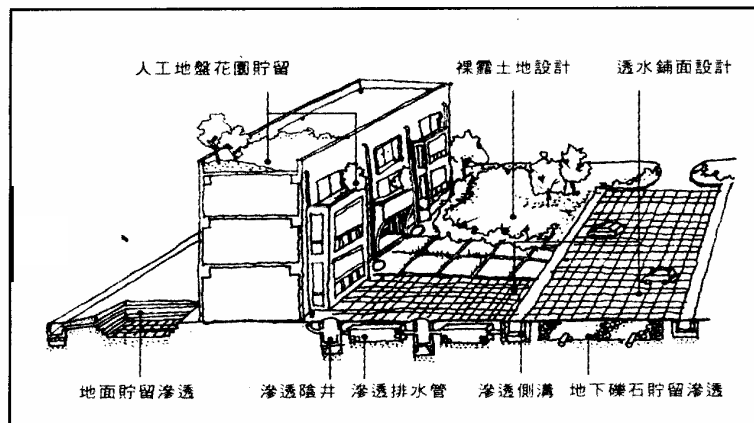
第三章 滲透管溝之型式與特性

滲透設施設置的優點是它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，因此具有舒緩都市化效應所造成種種問題的功效，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。基地保水滲透設施基本上可概分為「建築基地保水滲透技術」與「建築基地保水貯集技術」，本章首先將介紹建築基地保水滲透技術中滲透管溝的各種型式，然後再進一步探討其影響因素，最後並提出選址的基本原則。

第一節 滲透管溝之型式

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：內政部建築研究所，2002

由上圖可知，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；滲透管溝的主要的型式有：綠地、被覆地或草溝，滲透排水管滲透陰井及滲透側溝等，本研究初步以滲透陰井工法為對象。

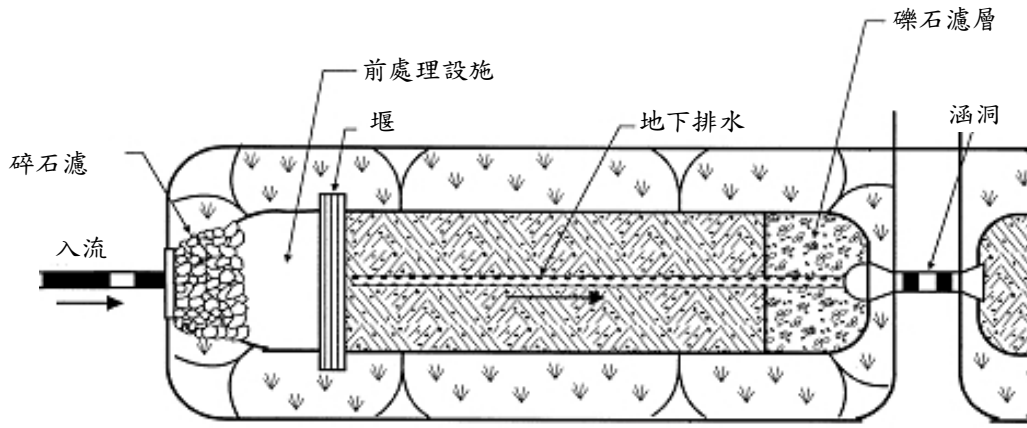
一、綠地、被覆地或草溝

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。

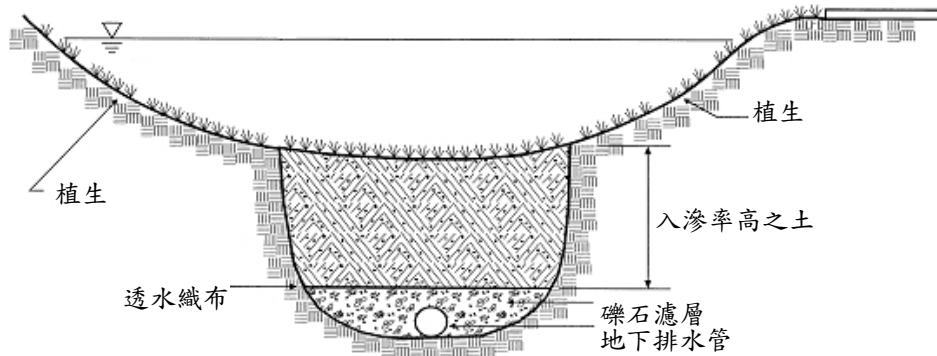
草溝（Grassed swales）是一種寬而淺且內部植草的排水道；草

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

圖 3-2 草溝構造示意圖



(a) 俯視圖



(b) 剖面圖

資料來源：廖朝軒教授，2003

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 3-2 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 3-3。

圖 3-3 豐富生態且具示範性質的滲透草溝

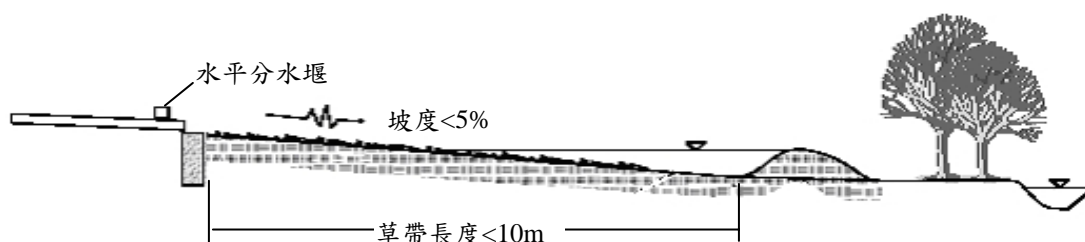


資料來源：林憲德教授，2003

綠地、被覆地或稱為草帶，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。

草帶斷面應平整，使逕流形成薄層水流均勻分佈於表面以增加滲透面積，且流速不可過快，因此縱向坡度應在 5% 以下；通常草帶易有逕流集中情形，故長度應小於 10m；草帶的構造如圖 3-4。

圖 3-4 草帶構造示意圖

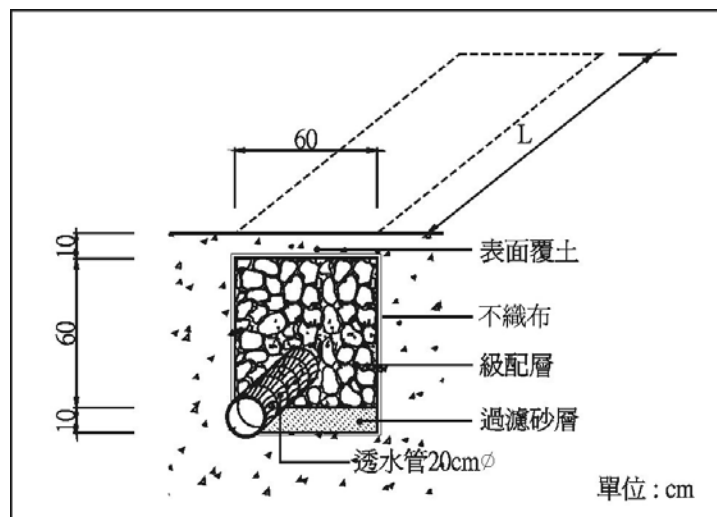


資料來源：廖朝軒教授，2003

二、滲透排水管：

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 3-5）。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。

圖 3-5 滲透排水管示意圖



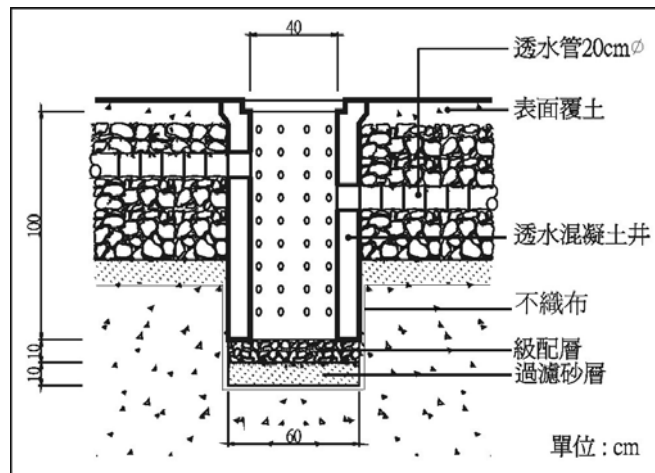
資料來源：廖朝軒教授，2003

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 3-6 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。

圖 3-6 滲透陰井示意圖



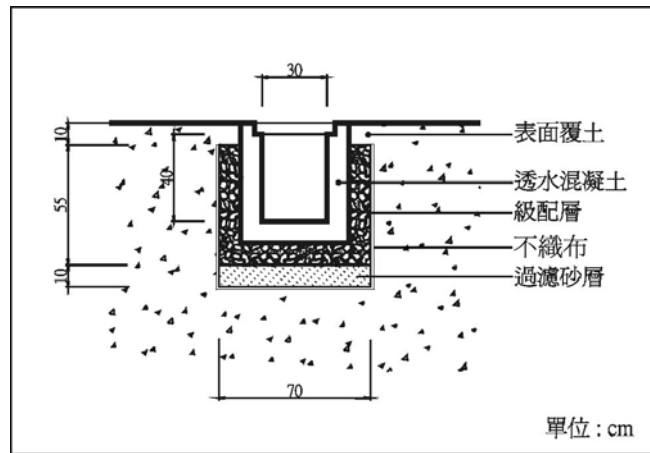
資料來源：廖朝軒教授，2003

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 3-7。

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，必須以多孔滲透性混凝土為材料，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。

圖 3-7 滲透側溝示意圖



資料來源：廖朝軒教授，2003

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 3-8 所示。

圖 3-8 具實驗與示範性質的滲透測溝



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 3-9 所示。

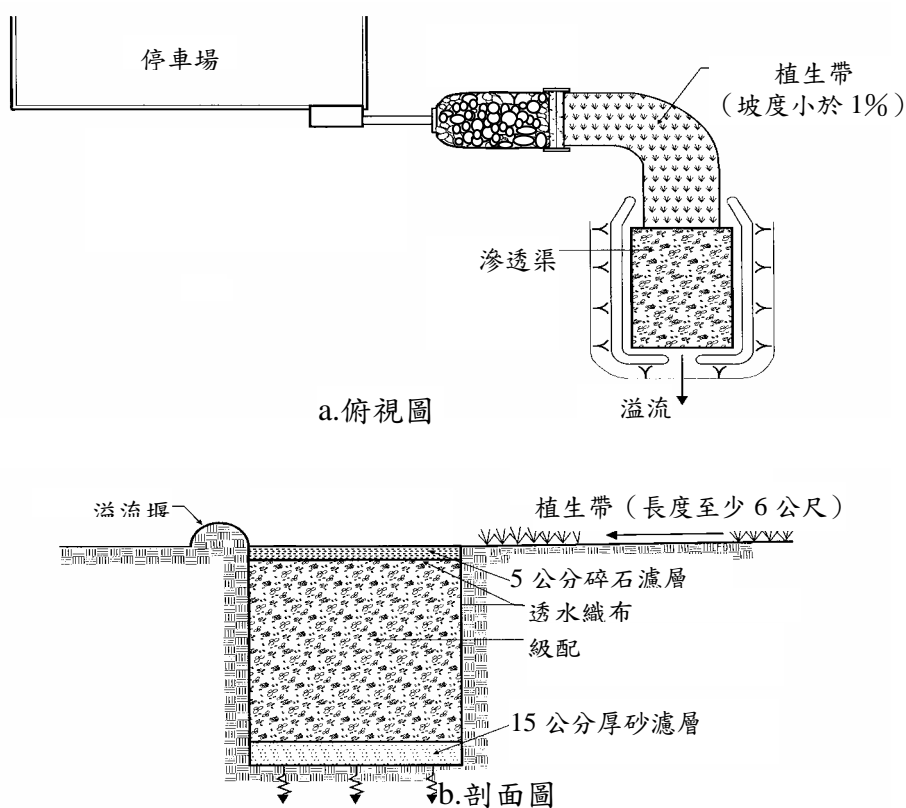
滲透渠是一種地面上的溝渠，利用開挖凹面之低窪壕溝進行雨

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 3-9 滲透渠示意圖



資料來源：廖朝軒教授，2003

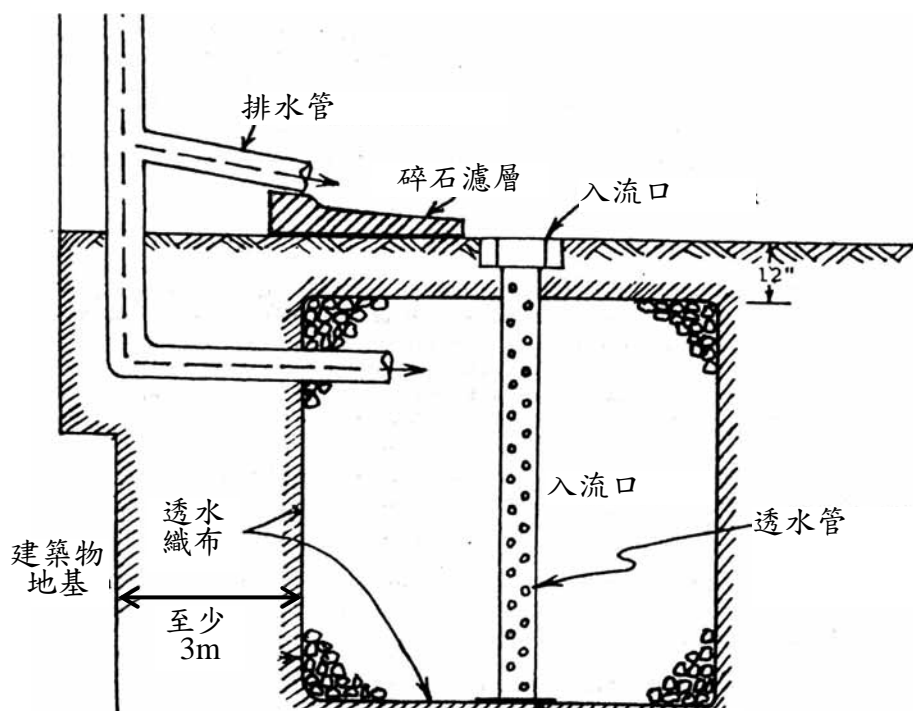
六、滲透乾井

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 3-10。

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 3-10 滲透乾井示意圖



資料來源：廖朝軒教授，2003

第二節 滲透管溝之影響因素

本節將根據前面滲透管溝之型式、特性及性能等介紹，綜合探討設置滲透管溝之影響因素。滲透管溝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，有時為了達到增加蓄存逕流的目標，滲透管溝常以各種不同型式搭配使用來達到最大蓄存容量，故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。

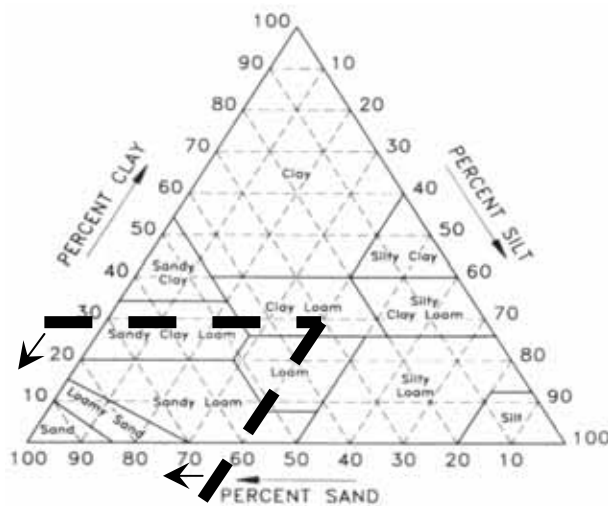
二、土壤種類

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 40% 之土壤較佳，三角座標土壤分類及建議之土壤如圖 3-11 所示。

圖 3-11 三角座標土壤分類



說明：

- Sand : 砂
- Loamy sand : 壤土質砂
- Sandy clay loam : 砂質黏壤土
- Loam : 壤土
- Silt : 沈泥
- Silty loam : 粉質壤土
- Silty clay loam : 粉質黏壤土
- Silty clay : 粉質黏土
- Clay loam : 黏性壤土
- Sandy clay : 砂質黏土
- Clay : 黏土

資料來源：廖朝軒教授，2003

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 3-1。

表 3-1 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 3-1 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 _p (hr)					
			24	48	72	24	48	72
			d _{max} (m) = f T _p			d _{max} (m) = f T _p / V _r , V _r = 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 滲透管溝設置位置之探討

滲透設施因具備入滲以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，在作基地規劃選擇滲透管溝設置地點時，應對下列項目進行調查，以作為初步評估之依據：

設置區域內滲透區與非滲透區之比例

- 1.地表土壤組成概況
- 2.地表下土壤組成概況
- 3.地表坡度
- 4.地表覆蓋及植生狀況
- 5.土地使用概況

根據上述調查項目，初步擬定滲透管溝設置前之初步調查項目與評估原則，如表 3-2 所示；為若滲透設施預定地之總分高於 30 分，表此位置適合設置入滲措施；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 分則不適合設置入滲措施。

表 3-2 滲透管溝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 20	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。
	不適合設置滲透設施。

資料來源：內政部建築研究所，2003

第四章 滲透陰井之設計理論探討及試驗規劃

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；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，本計畫即依相關理論並配合現地試驗進行驗證與探討，相關容量設計理論及試驗規劃說明如后。

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：

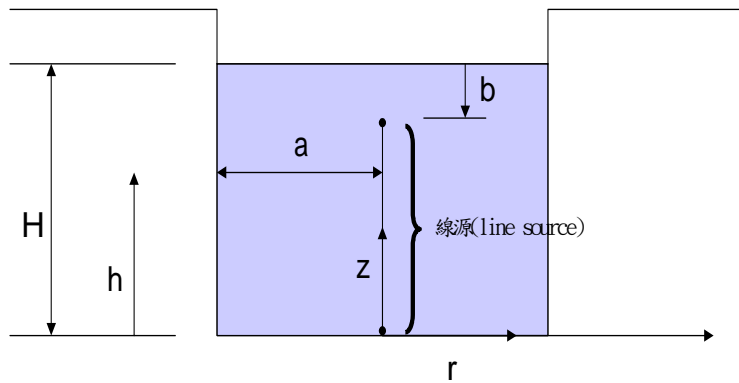
$$\bar{v}_{rp} = -K(h) \frac{\partial h}{\partial r} \Big|_{r=a} \vec{r} \quad (4-1)$$

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

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

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：

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

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

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

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)，並整理得：

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

式中： 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：

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

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

式中： ϕ_m 為土壤未飽和區的勢能 (Potential)； C 為形狀參數； b 為線源高度至水面之距離。

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

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

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[L³/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：

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

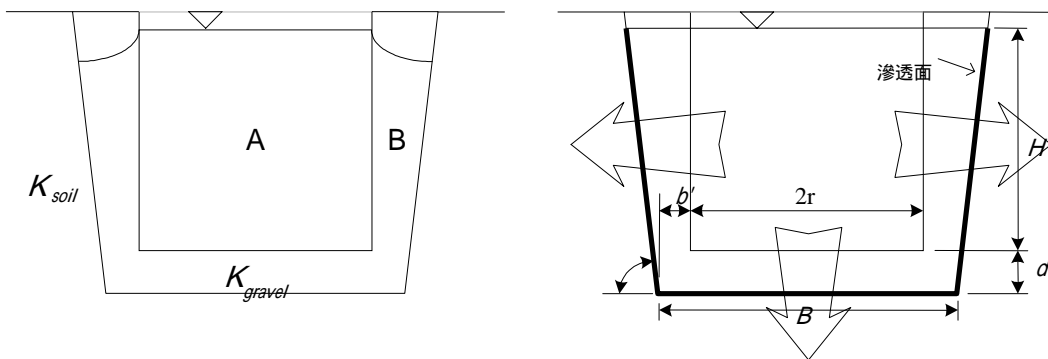
A_s 定義為比滲透面積，為最終入滲流量 Q_t 與土壤飽和滲透係數 K_{sat} 之比值，單位為[L²]。

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。

第二節 滲透陰井入滲量近似方程式之推估

滲透陰井一般可由兩部分來貯水，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。

圖 4-2 滲透陰井入滲示意圖



(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

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（ $H+d$ ）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

積可分別表式為：

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

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

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。本計畫建立之滲透陰井入滲量推估近似方程式，其呈現之物理關係與式(4-12)相同，惟其為一近似方程式，故在推估實際比滲透面積 (A_{us}) 上應乘以一修正參數 $\hat{C}(H)$ ，可表示為：

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

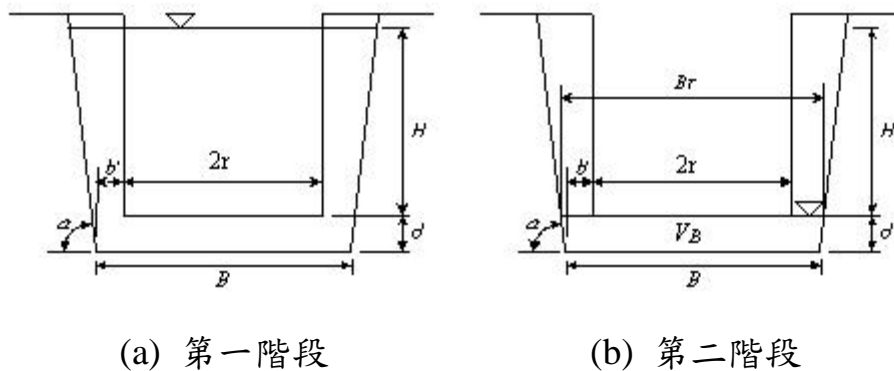
式中 β 、 γ 為待定常數，其與修正參數 $\hat{C}(H)$ 之函數型式均需經由試驗數據率定出，如此方可建立不同水深、半徑之比滲透面積關係，再藉由現地定水頭試驗求得土壤之飽和滲透係數 (K_{soil})，即可得到

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

為便於推導滲透側溝之入滲容量設計公式，在此以降雨事件為例，將滲透側溝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 滲透側溝貯蓄狀況示意圖



(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 (n) 及高滲透係數之級配所構成，故雨停後陰井之入流量驟減，則陰井在排水溝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 為滲透側溝之池蓄深度。

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，即可得滲透側溝之入滲容量，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。

第五章 滲透陰井入滲量現地試驗結果分析

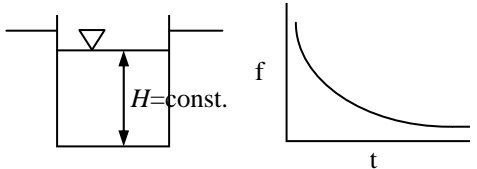
第一節 現地土壤滲透試驗流程建立

本章將依據前面擬定的試驗方法與步驟，並依據所建立的容量設計性能設計公式，針對不同管徑及開孔率的滲透陰井進行一系列入滲性能及保水量研究探討，以建立相關設計規範，做為未來相關設計之參考。

由於土壤之透水性為決定滲透設施滲透效率之重要參考依據，因此在進行滲透設施規劃與設計之前，必須先取得設置地點土壤之入滲參數。通常用來代表土壤入滲能力之參數為最終入滲率 (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)；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。

依據該研究建議及本研究實際操作經驗，其現地土壤滲透試驗流程分述如下：

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。

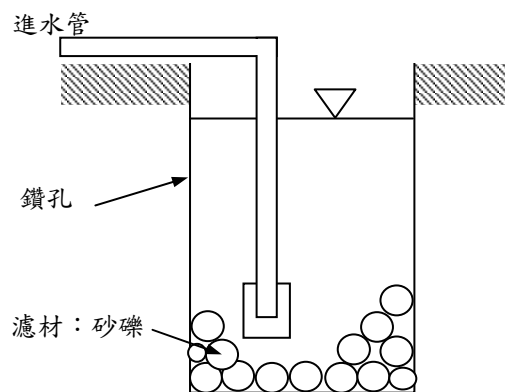
步驟 3. 整理滲透面

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）以紀錄、整理並保存之。記錄表除應紀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 現地土壤之飽和滲透係數

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，故本研究仍將採用本法，進行現地土壤飽和滲透性能的量測。

圖 5-3 葛洛夫滲透儀之基本構造



由於現地量測土壤飽和滲透係數的儀器很多，一般較常用的有單筒滲漏計及葛洛夫滲透儀；而本研究則採用葛洛夫滲透儀來進行量測。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。

量測方式及儀器選定後，緊接著將依據上述試驗步驟開始進行現地土壤滲透性能測試。本研究試驗場址位於國立海洋大學工學院院區，該區為一海埔地，經現地探勘及初步檢視開挖土壤，土中含有大量礫石及營建廢棄物，故常以手持採土器開挖至中途即鑽到卵礫石或營建廢棄物，無法開挖至預定深度，增加開挖之困難度；經於該區不斷反覆開挖測試，約費時 90 分鐘始挖至預定深度。

本研究使用葛洛夫滲透儀進行試驗，每 5sec 觀測一次，同時為降低量測誤差，本研究係採多次量測，再取平均值的方式，以決定土壤飽和滲透係數。試驗孔深度為 30cm，半徑為 4cm，為易於決定試驗孔形狀係數，試驗水頭不宜太高，故初步採用 15cm。另外，由於葛洛夫滲透儀各部分係採可組裝式設計，故組裝時需注意儀器之氣密性，試驗概況如圖 5-4~5-9 所示，觀測數據及入滲曲線如表 5-2~5-5 及圖 5-10 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)



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 _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		33	160	29.20	0.90	0.18
2	5	1.00	1.00	0.20	34	165	29.80	0.60	0.12
3	10	6.00	5.00	1.00	35	170	30.80	1.00	0.20
4	15	7.50	1.50	0.30	36	175	31.50	0.70	0.14
5	20	8.30	0.80	0.16	37	180	32.40	0.90	0.18
6	25	9.00	0.70	0.14	38	185	33.30	0.90	0.18
7	30	9.50	0.50	0.10	39	190	34.00	0.70	0.14
8	35	10.20	0.70	0.14	40	195	35.00	1.00	0.20
9	40	10.70	0.50	0.10	41	200	35.80	0.80	0.16
10	45	11.50	0.80	0.16	42	205	36.50	0.70	0.14
11	50	12.20	0.70	0.14	43	210	37.30	0.80	0.16
12	55	13.00	0.80	0.16	44	215	38.40	1.10	0.22
13	60	13.50	0.50	0.10	45	220	39.20	0.80	0.16
14	65	14.50	1.00	0.20	46	225	39.70	0.50	0.10
15	70	15.10	0.60	0.12	47	230	40.80	1.10	0.22
16	75	15.90	0.80	0.16	48	235	41.50	0.70	0.14
17	80	16.80	0.90	0.18	49	240	42.30	0.80	0.16
18	85	17.50	0.70	0.14	50	245	43.10	0.80	0.16
19	90	18.20	0.70	0.14	51	250	44.00	0.90	0.18
20	95	18.80	0.60	0.12	52	255	44.80	0.80	0.16
21	100	19.50	0.70	0.14	53	260	45.80	1.00	0.20
22	105	20.50	1.00	0.20	54	265	46.40	0.60	0.12
23	110	21.10	0.60	0.12	55	270	47.40	1.00	0.20
24	115	22.00	0.90	0.18	56	275	48.00	0.60	0.12
25	120	22.80	0.80	0.16	57	280	48.80	0.80	0.16
26	125	23.50	0.70	0.14	58	285	49.80	1.00	0.20
27	130	24.30	0.80	0.16	59	290	50.50	0.70	0.14
28	135	25.00	0.70	0.14	60	295	51.40	0.90	0.18
29	140	25.80	0.80	0.16	61	300	52.30	0.90	0.18
30	145	27.00	1.20	0.24	62	305	53.10	0.80	0.16
31	150	27.50	0.50	0.10	63	310	53.80	0.70	0.14
32	155	28.30	0.80	0.16	64	315	54.80	1.00	0.20

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 _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		33	160	42.00	0.90	0.18
2	5	2.00	2.00	0.40	34	165	43.00	1.00	0.20
3	10	9.00	7.00	1.40	35	170	43.80	0.80	0.16
4	15	12.90	3.90	0.78	36	175	44.90	1.10	0.22
5	20	15.40	2.50	0.50	37	180	45.80	0.90	0.18
6	25	16.40	1.00	0.20	38				
7	30	17.50	1.10	0.22	39				
8	35	18.60	1.10	0.22	40				
9	40	19.80	1.20	0.24	41				
10	45	20.90	1.10	0.22	42				
11	50	21.70	0.80	0.16	43				
12	55	22.70	1.00	0.20	44				
13	60	23.60	0.90	0.18	45				
14	65	24.50	0.90	0.18	46				
15	70	25.40	0.90	0.18	47				
16	75	26.30	0.90	0.18	48				
17	80	27.30	1.00	0.20	49				
18	85	28.20	0.90	0.18	50				
19	90	29.20	1.00	0.20	51				
20	95	30.10	0.90	0.18	52				
21	100	31.00	0.90	0.18	53				
22	105	31.80	0.80	0.16	54				
23	110	32.80	1.00	0.20	55				
24	115	33.90	1.10	0.22	56				
25	120	34.90	1.00	0.20	57				
26	125	35.50	0.60	0.12	58				
27	130	36.50	1.00	0.20	59				
28	135	37.60	1.10	0.22	60				
29	140	38.30	0.70	0.14	61				
30	145	39.30	1.00	0.20	62				
31	150	40.60	1.30	0.26	63				
32	155	41.10	0.50	0.10	64				

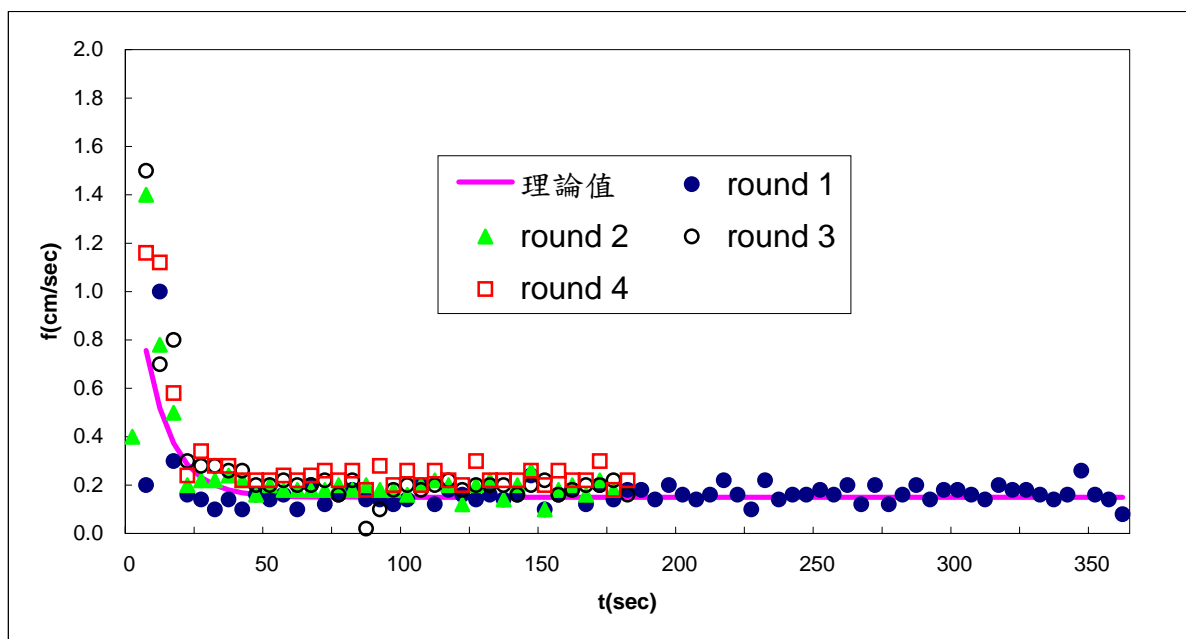
表 5-4 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 3)

試驗水頭 H= 15 公分(cm)									
No.	T (sec)	T _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		33	160	44.00	0.90	0.18
2	5	7.50	7.50	1.50	34	165	45.00	1.00	0.20
3	10	11.00	3.50	0.70	35	170	46.00	1.00	0.20
4	15	15.00	4.00	0.80	36	175	47.10	1.10	0.22
5	20	16.50	1.50	0.30	37	180	47.90	0.80	0.16
6	25	17.90	1.40	0.28	38				
7	30	19.30	1.40	0.28	39				
8	35	20.60	1.30	0.26	40				
9	40	21.90	1.30	0.26	41				
10	45	22.90	1.00	0.20	42				
11	50	23.90	1.00	0.20	43				
12	55	25.00	1.10	0.22	44				
13	60	26.00	1.00	0.20	45				
14	65	27.00	1.00	0.20	46				
15	70	28.10	1.10	0.22	47				
16	75	28.90	0.80	0.16	48				
17	80	30.00	1.10	0.22	49				
18	85	30.10	0.10	0.02	50				
19	90	30.60	0.50	0.10	51				
20	95	31.50	0.90	0.18	52				
21	100	32.50	1.00	0.20	53				
22	105	33.40	0.90	0.18	54				
23	110	34.40	1.00	0.20	55				
24	115	35.50	1.10	0.22	56				
25	120	36.40	0.90	0.18	57				
26	125	37.40	1.00	0.20	58				
27	130	38.40	1.00	0.20	59				
28	135	39.40	1.00	0.20	60				
29	140	40.20	0.80	0.16	61				
30	145	41.20	1.00	0.20	62				
31	150	42.30	1.10	0.22	63				
32	155	43.10	0.80	0.16	64				

表 5-5 葛洛夫滲透儀觀測數據 (Round 4)

試驗水頭 H= 15 公分(cm)									
No.	T (sec)	T _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)	No.	T (sec)	T _d (cm)	t _d (cm)	f (cm/sec)
1	0	0.00	0.00		33	160	49.00	1.10	0.22
2	5	5.80	5.80	1.16	34	165	50.10	1.10	0.22
3	10	11.40	5.60	1.12	35	170	51.60	1.50	0.30
4	15	14.30	2.90	0.58	36	175	52.50	0.90	0.18
5	20	15.50	1.20	0.24	37	180	53.60	1.10	0.22
6	25	17.20	1.70	0.34	38				
7	30	18.60	1.40	0.28	39				
8	35	20.00	1.40	0.28	40				
9	40	21.10	1.10	0.22	41				
10	45	22.20	1.10	0.22	42				
11	50	23.30	1.10	0.22	43				
12	55	24.50	1.20	0.24	44				
13	60	25.60	1.10	0.22	45				
14	65	26.80	1.20	0.24	46				
15	70	28.10	1.30	0.26	47				
16	75	29.20	1.10	0.22	48				
17	80	30.50	1.30	0.26	49				
18	85	31.40	0.90	0.18	50				
19	90	32.80	1.40	0.28	51				
20	95	33.80	1.00	0.20	52				
21	100	35.10	1.30	0.26	53				
22	105	36.10	1.00	0.20	54				
23	110	37.40	1.30	0.26	55				
24	115	38.50	1.10	0.22	56				
25	120	39.50	1.00	0.20	57				
26	125	41.00	1.50	0.30	58				
27	130	42.10	1.10	0.22	59				
28	135	43.20	1.10	0.22	60				
29	140	44.30	1.10	0.22	61				
30	145	45.60	1.30	0.26	62				
31	150	46.60	1.00	0.20	63				
32	155	47.90	1.30	0.26	64				

圖 5-10 試驗孔葛洛夫滲透儀觀測入滲曲線



依據圖 5-10 之觀測資料計算，得試驗區土壤飽和滲透係數 K_{sat} 值為

$$K_{sat} = \frac{0.15 \times 35.22}{1125} = 4.7 \times 10^{-3} \text{ cm/sec} \quad (5-1)$$

其中， 35.22 cm^2 為葛洛夫滲透儀注水管斷面積，1125 為查表修正係數。根據統一土壤分類與滲透係數對照表對照其土壤種類，該土壤可能屬於不良級配砂或良級配砂。

第三節 滲透陰井現地施工規劃

本研究在規劃初期，考量後續滲透陰井之推廣及實用性，認為滲透陰井之材料選擇需為國內易於取得之材料，但在蒐集相關國內外文獻，及尋訪國內相關陰井製造商發現，國內現階段尚無此類相關應用產品。但在其他設計部分，如：捷運施工工地排水、高爾夫球廠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。因此在考量本研究實際需要，並經聯絡部分廠商意願，最後選用由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 5-11~5-12）。

圖 5-11 試驗滲透陰井（1）



圖 5-12 試驗滲透陰井 (2)



同時為瞭解管徑大小對滲透效能的影響，本研究並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%。依據本所編著的「綠建築解說與評估手冊 2003 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。試驗鋪設情形如圖 5-13~5-17。

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 5-13 試驗滲透陰井鋪設概況 (1)



圖 5-14 試驗滲透陰井鋪設概況 (2)



5-15 試驗滲透陰井鋪設概況 (3)



圖 5-16 試驗滲透陰井鋪設概況 (4)



圖 5-17 試驗滲透陰井鋪設完成圖



經上述灌注土壤達飽和後，即可著手進行相關滲透試驗。試驗步驟分述如下：

步驟 1: 裝置滲透試驗裝置（如圖 5-13~5-17）

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 5-18）

由於本研究試驗經費有限，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。當試驗區水位達預定水位並穩定時，即停止加水。

圖 5-18 試驗滲透陰井加水示意圖



步驟 3: 量測水位 (如圖 5-19~5-20)

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 5-21~5-22)

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

步驟 5: 量測穩定入滲率

當達到穩定水位時，此時之入滲率即為穩定入滲率；穩定入滲率之量測可利用馬錶計時，計算水錶 600 秒的平均流量(cms)。

步驟 6: 計算單位長度比滲透面積

依據式(4-22)計算即可得比滲透面積。

圖 5-19 試驗滲透陰井水位量測圖 (1)



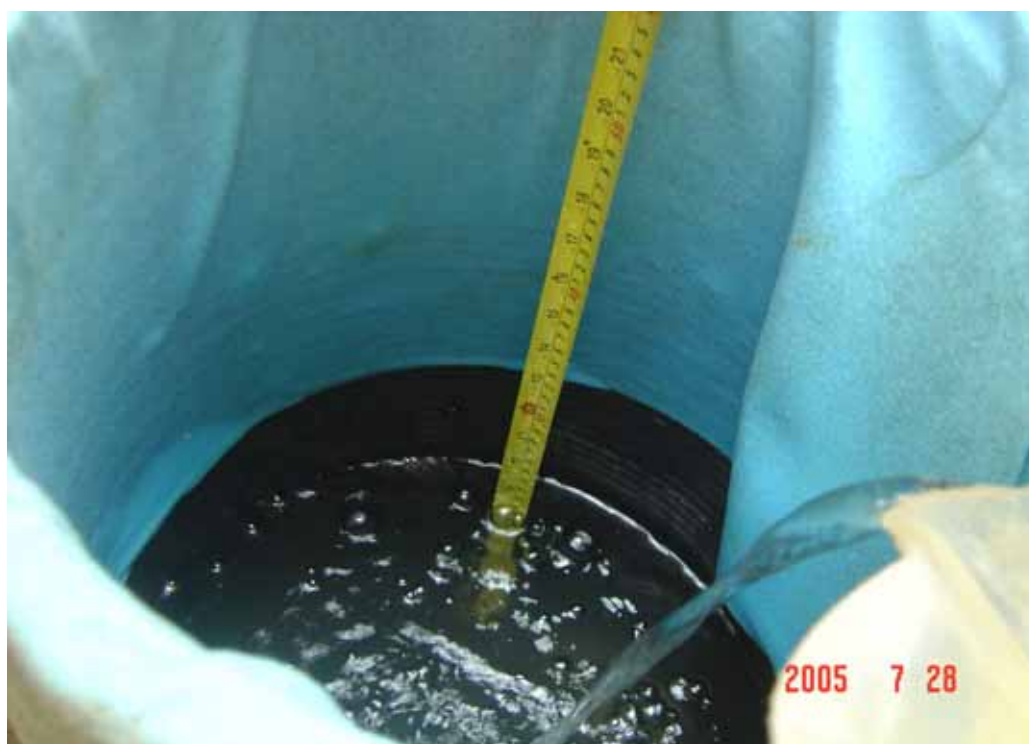
圖 5-20 試驗滲透陰井水位量測圖 (2)



圖 5-21 試驗滲透陰井人工加水示意圖 (1)



圖 5-22 試驗滲透陰井人工加水示意圖 (2)



第四節 滲透陰井現地試驗性能分析

緊接著本節將依據前面擬定的試驗方法與步驟，針對上面選定的三種不同管徑滲透陰井，進行滲透性能試驗分析，並依其分析結果作為技術規範之研擬及後續設計之參據。

本研究滲透試驗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分別整理如表 5-6~5-8 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})。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 5-23~5-25 所示。由分析結果顯示，不論管徑大小如何，其比滲透面積與水位均分別可以一線性方程式表示為

表 5-6 滲透陰井(直徑 30cm)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)	4.7×10^{-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 5-7 滲透陰井(直徑 40cm)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)	4.7×10^{-5}										
比滲透面積 (A_{us} , 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 5-8 滲透陰井(直徑 50cm)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)	4.7×10^{-5}									
比滲透面積 (A_{us} , m^2)	106.38	141.84	169.33	195.04	230.50	241.14	262.41	326.24	329.79	345.75

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

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

$$A_{us}^{50} = 1540.7H, R^2 = 0.9392 \quad (5-4)$$

圖 5-23 滲透陰井 (直徑 30 cm) A_{us} 與 H 關係圖

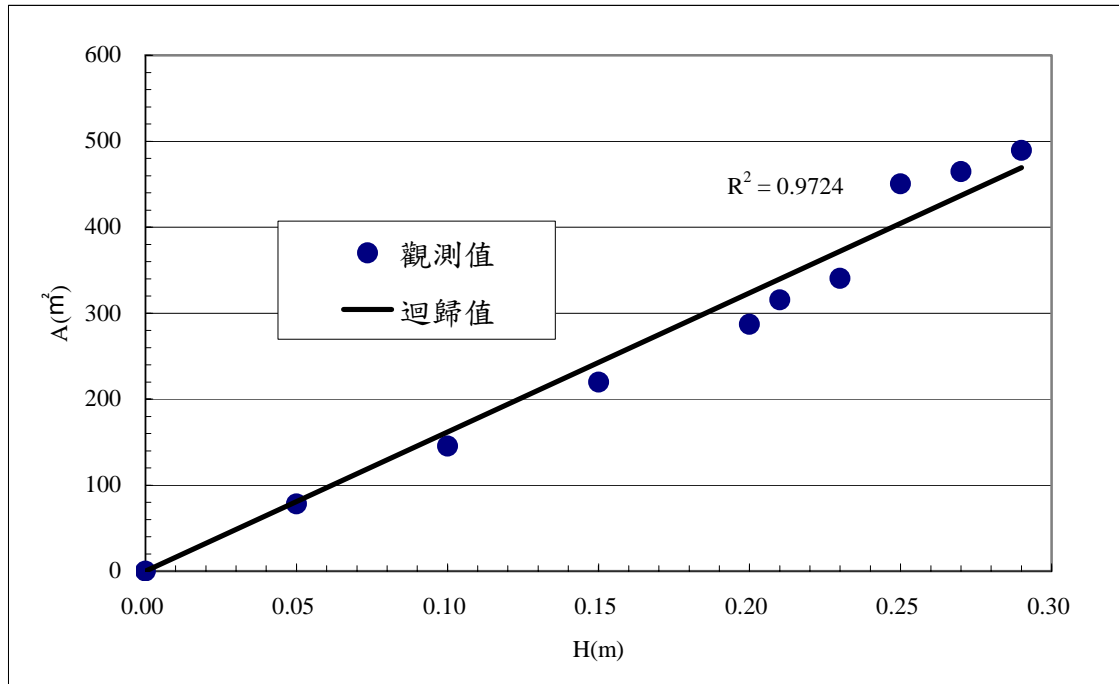


圖 5-24 滲透陰井 (直徑 40 cm) A_{us} 與 H 關係圖

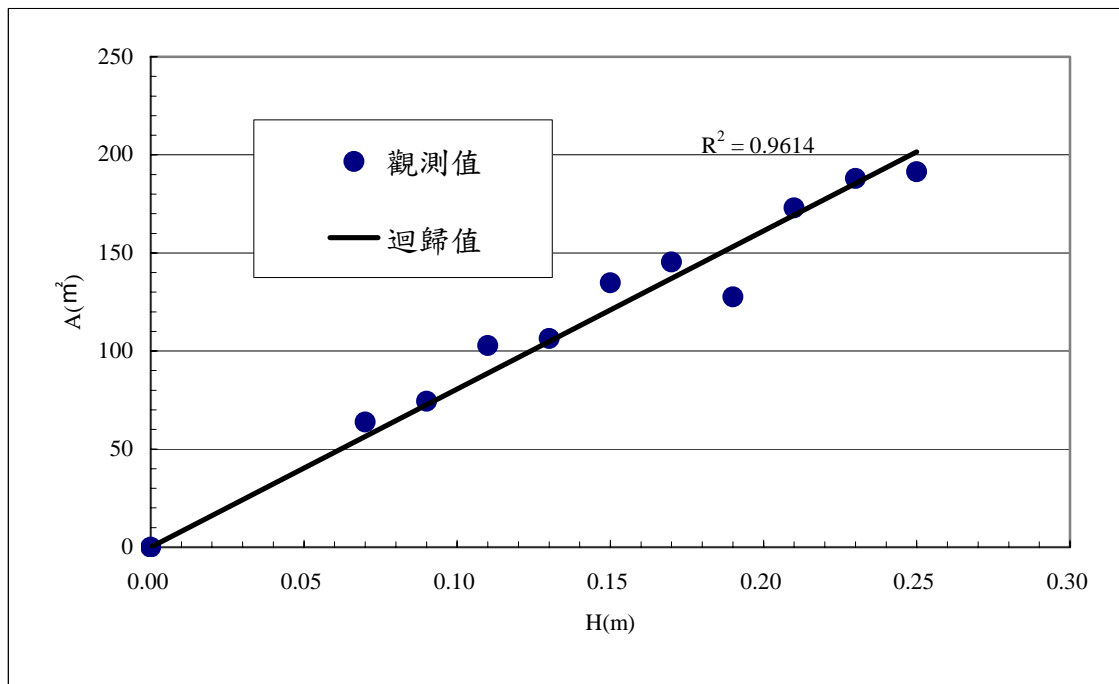
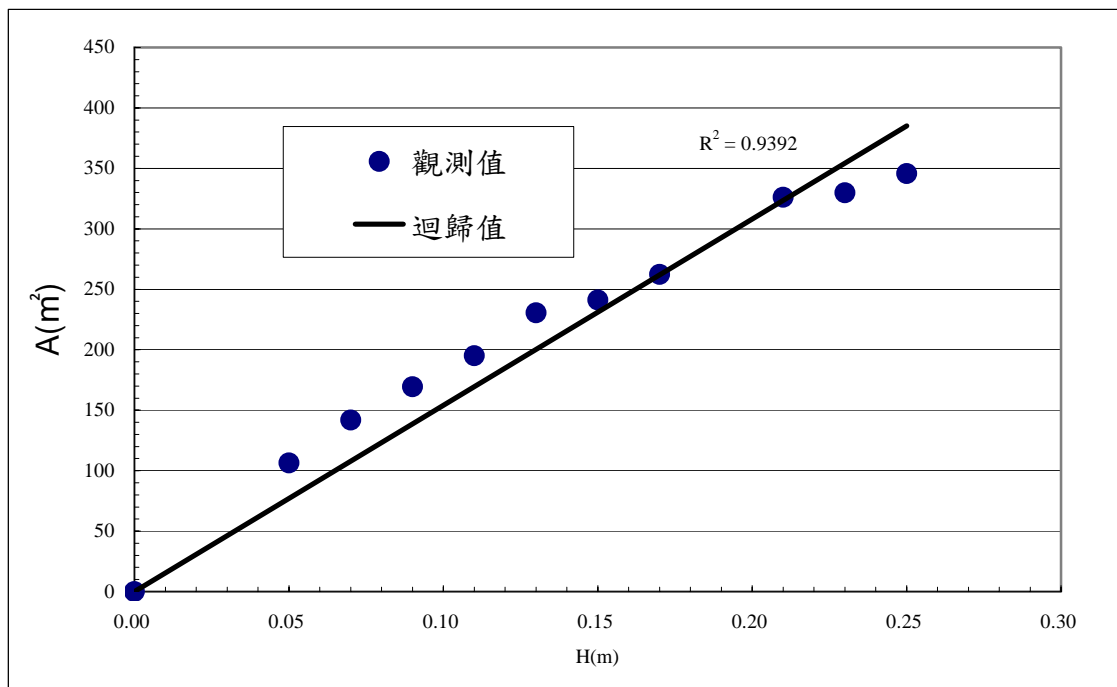


圖 5-25 滲透陰井（直徑 50 cm） A_{us} 與 H 關係圖



式中： A_{us}^{30} 、 A_{us}^{40} 及 A_{us}^{50} 分別代表直徑為 30 cm、40 cm 及 50 cm 陰井之比滲透面積（ m^2 ）； H 為滲透陰井之設計水位（m）； R^2 為決定係數（Coefficient of determination）。

由式（5-2）~（5-4）顯示，只要決定滲透陰井之設計水位，即可得到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，故此關係式可用來作為推估不同設計水位下，滲透陰井之入滲性能。由上述式（5-2）~（5-4）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之條件限制；但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，設計管徑亦為一影響因素，故本研究利用式（4-22），並分別將式（5-2）~（5-4）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 $\hat{C}(H)$ 之率定，則不同管徑滲透陰井之比滲透面積可進一步表示為：

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

其中陰井與水平面之夾角 $\alpha = 90^\circ$ ， r 為陰井之管半徑 (m)； $\hat{C}(H)$ 為修正係數，若令 $\beta = \gamma = 1$ ，則由不同管徑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：

$$\hat{C}(H)^{30} = 1926.8019 - 1954.3479 \times e^{-H} \quad (5-6)$$

$$\hat{C}(H)^{40} = 554.84415 - 554.25462 \times e^{\frac{-H}{0.58741916}} \quad (5-7)$$

$$\hat{C}(H)^{50} = 539.43897 - 536.38359 \times e^{\frac{-H}{0.24344329}} \quad (5-8)$$

將式 (5-6) ~ (5-8) 分別代入式 (5-5) 中，即可作為不同設計水位及管徑下，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 5-26~5-28 所示。

圖 5-26 利用 $\hat{C}(H)^{30}$ 所得滲透陰井 A_{us} 與 H 關係圖

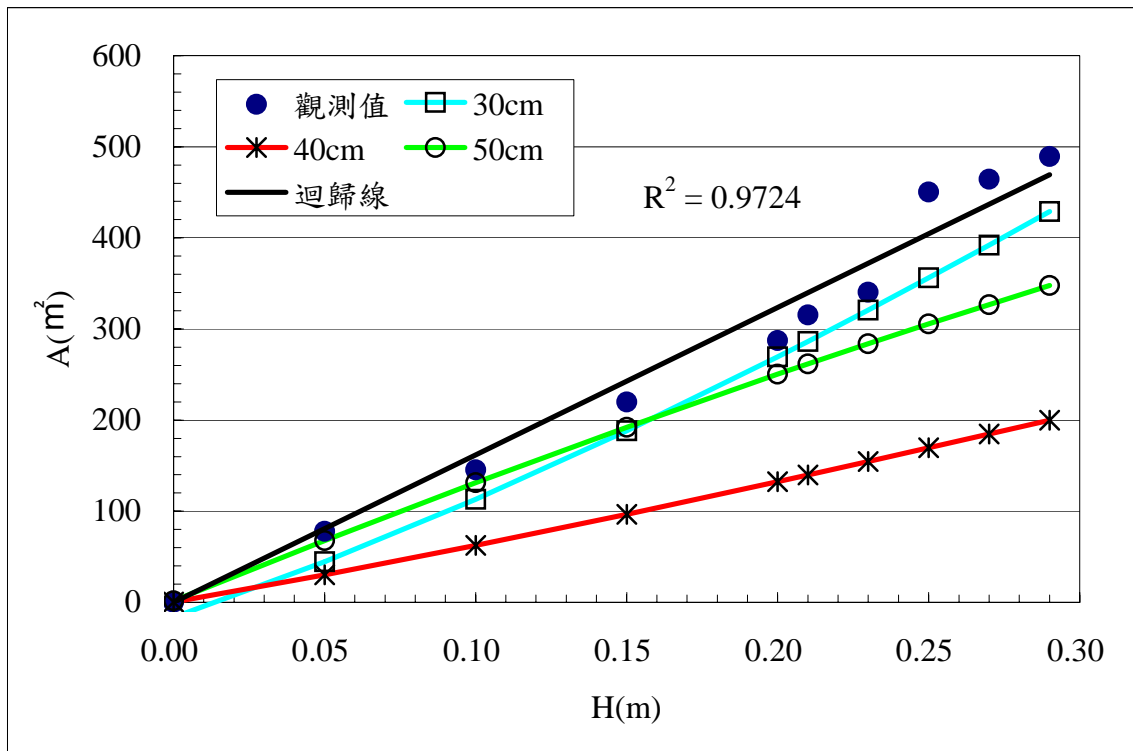


圖 5-27 利用 $\hat{C}(H)^{40}$ 所得滲透陰井 A_{us} 與 H 關係圖

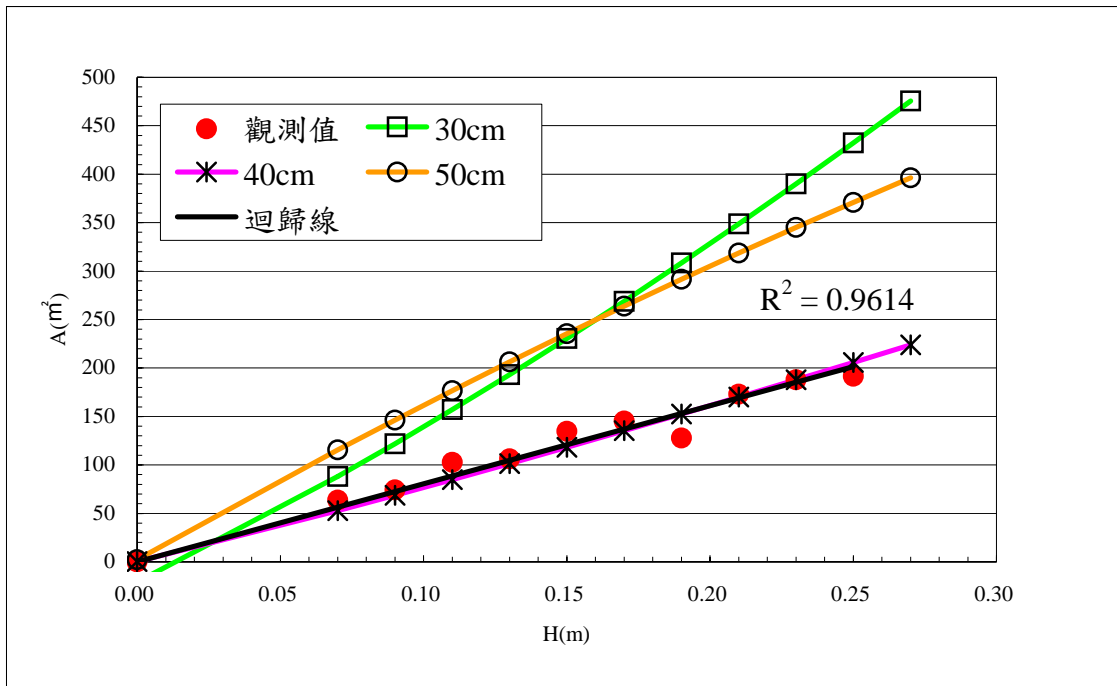
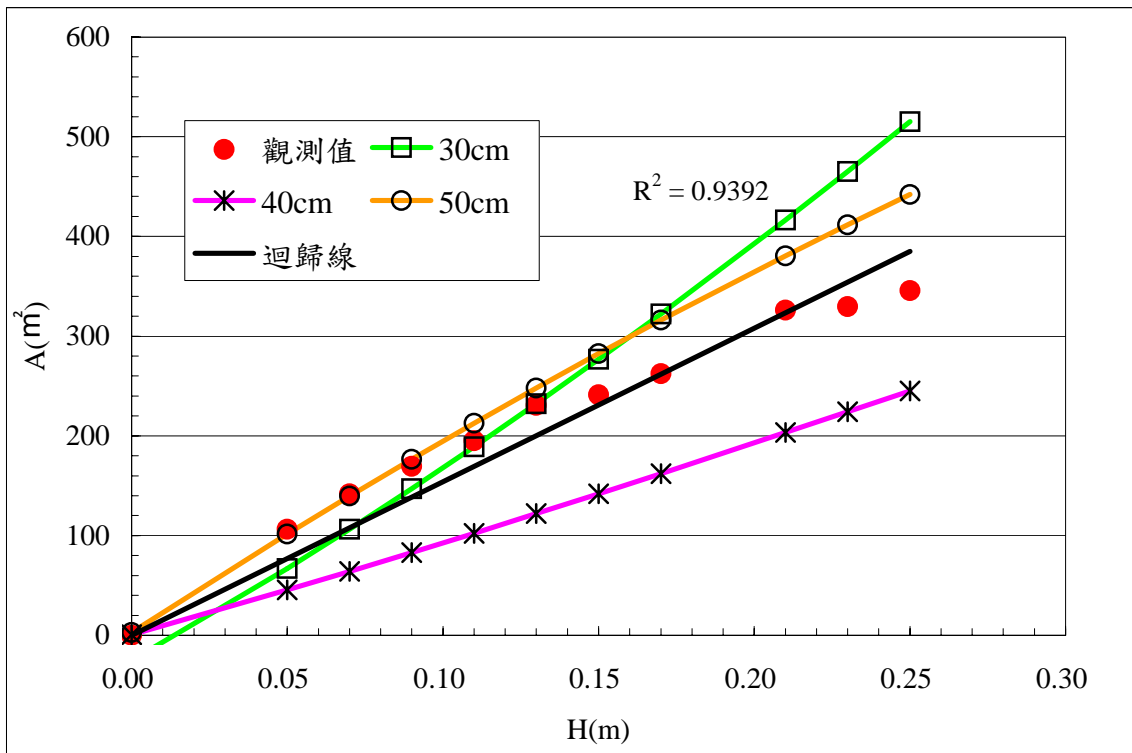


圖 5-28 利用 $\hat{C}(H)^{50}$ 所得滲透陰井 A_{us} 與 H 關係圖



由圖 5-26~5-28 的比較分析結果中可以發現，利用不同管徑尺寸迴歸所得的入滲性能預測模式，基本上在針對本身管徑的觀測數據資料預測上，具有一定的精確度，但在規劃設計時，若需依管徑尺寸挑選入滲性能曲線，除需建立完備的入滲性能曲線外，此外相關規劃設計者必須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。因此，在考量未來初期推廣的需要，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、40 cm 及 50 cm 三種不同管徑滲透陰井資料，分別與利用 $\hat{C}(H)^{30}$ 、 $\hat{C}(H)^{40}$ 及 $\hat{C}(H)^{50}$ 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 $\hat{C}(H)^{50}$ 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

$$A_{us} = \hat{C}(H)^{50} \times \{ \pi \times (r + 0.2) \times [(r + 0.2) + 0.2 + H] \} \quad (5-9)$$

依式 (5-9)，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 5-29 所示。

規劃設計者可依其實際設計需要，由圖 5-29 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量的需求，本研究將式 (5-9) 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 5-30 所示。圖 5-30 為降雨延時 $t=60$ min，土壤滲透係數 $K_{soil} = 4.7 \times 10^{-5} m/s$ 的結果。

圖 5-29 滲透陰井 A_{us} 、 H 與 r 設計曲線

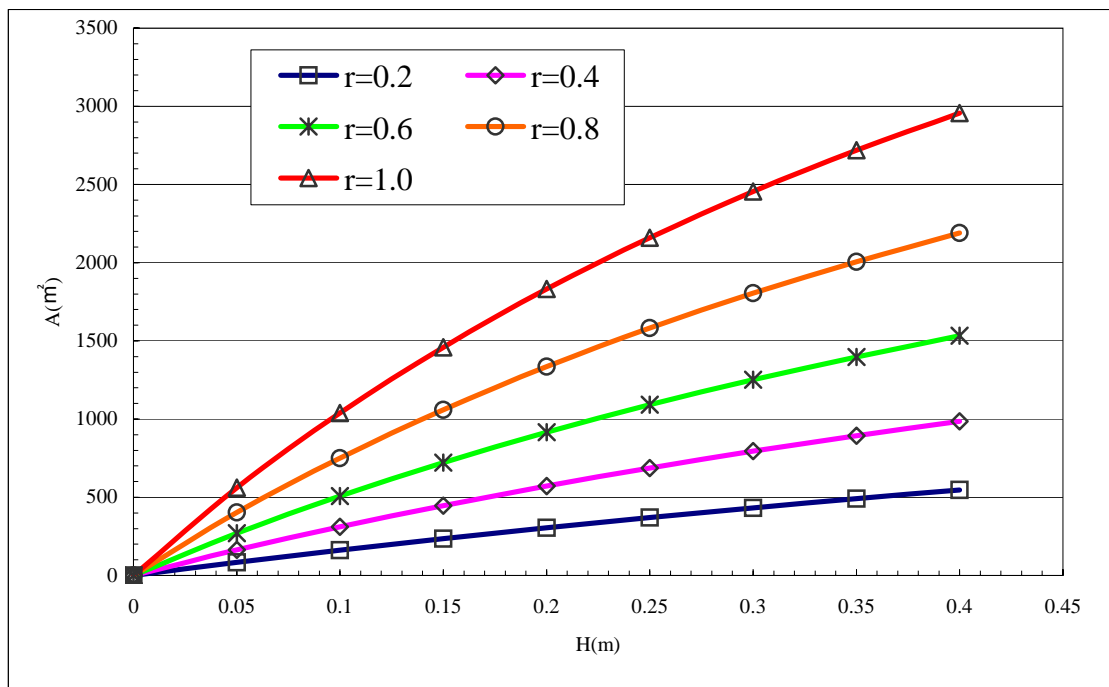
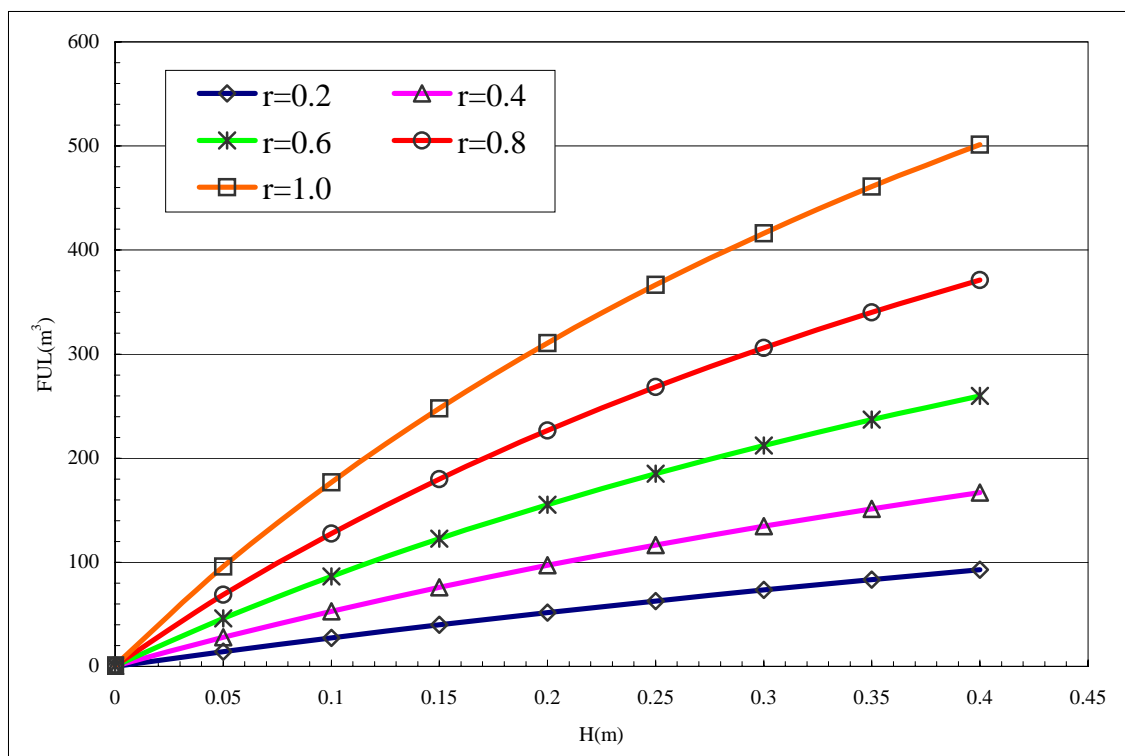


圖 5-30 滲透陰井 F_{ALL} 、 H 與 r 設計曲線 ($t=60$ min)



第六章 結論與建議

第一節 結論

台灣地區各都市持續開發土地，以追求創造高經濟成長，隨著都市發展，大量的人工構造物導致都市環境大部分是不透水表面，而也因都市化不透水面積增加，導致改變原本平衡的水文機制，衍生都市熱島效應、水患、水污染及水資源等問題。近年來，台灣地區都市化除了有加重水患的問題外，也加重了旱災，台灣地區乾旱發生之頻率有日漸增加趨勢。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，台灣因地形險峻，河川坡度大，水流在河流中的流速甚大，並不利於水資源之利用與調節。

水資源就像能源一樣，是城市 and 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。

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。

為減緩台灣本島因人為過度開發、都市區內基盤建設之不透水性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，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，並已逐步完成相關設計規範，配合本研究的「滲透陰井」容量設計規劃結果，未來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。

依據本研究結果顯示，初步成果及結論分述如下：

一、滲透側溝性能及容量設計理論之探討滲透

本研究以達西定律推導滲透陰井入滲性能公式，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，並經試驗數據率定參數後，初步建立設計保水量、設計入滲率及管徑尺寸等設計參數之數學關係，且用於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、陰井試驗規劃及試驗方法與步驟建立

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，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、探討與落實

依據本研究針對 30 cm、40 cm 及 50 cm 三種不同管徑滲透陰井所做滲透性能測試，初步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。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。

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，並已逐步完成相關設計規範，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。

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

本研究除依據本年度實際工作成果提出上述具體結論外，另外在研究過程中也發現，滲透陰井的形狀、開孔率及兩井間的距離等，均可能為陰井滲透性能之影響因子，這一部份則有待於後續年度進行相關研究，並予以釐清。

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，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成果報告，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，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成果報告，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

建築研究所研究成果報告，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.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，民國 94 年

12 月。

14.陳賜賢、李方中，雨水截留系統設置對汐止水患降低之評估。

15.大豐塑膠股份有限公司，大豐 H.D.PE 積層浪管型錄。