

建立具生態系統考量之都市排水設計規範初步探討

— 以西雅圖市路側排水方案為例

劉運澤⁽¹⁾ 謝平城⁽²⁾

摘 要

在具生態考量的都市排水工程設計方面，至今尚未出現被廣泛接受且足以評估都市排水工程設計優劣的標準規範，而設計準則的統一應用是未來發展標準規範重要的第一步。設計準則在多種不同的功能考量與工法設計上皆提供了清楚的目標，亦使設計者更能夠定義工法設計項目的風險。本文以西雅圖市區街道路側的排水工程為例，其排水設計準則應包括：排洪目標、行人暨緊急之車輛安全與動線準則、植生考量、設施維護、以及經濟考量等。然而，並非每一項路側排水工法都能夠達到上述所有的效益，因此設計者應就現地狀況與需求來選擇適合的工法，以達到最大的工程效益。

（**關鍵詞**：生態系統、都市排水、設計準則）

Preliminary Investigation of Ecosystem-based Design Criteria for Urban Drainage — Case Study of Seattle Drainage Options for Street Right of Ways

Yun-Tse Liu

Graduate student, Department of Soil and Water Conservation
National Chung Hsing University, Taichung, 402 Taiwan, R.O.C

Ping-Cheng Hsieh

Associate Professor, Department of Soil and Water Conservation
National Chung Hsing University, Taichung, 402 Taiwan, R.O.C

ABSTRACT

To date, widely accepted standards of practice have not emerged for conducting and evaluating ecosystem-based urban drainage design projects. Nevertheless, consistent application of design

(1) 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

(2) 國立中興大學水土保持學系副教授 *通訊作者

criteria is an important first step toward the development of standards of practice. Well-defined multi-purposed design criteria are to provide the clarity of design goals and to allow the design team to define the risks associated with design options. For example, multiple-purposed urban drainage design criteria of the options considered for the street right-of-way area should include key considerations such as drainage goals, pedestrian and emergency vehicle safety and access, bio-logical goals, maintenance goals, and financial goal. The paper is a case study of examining the drainage design criteria of the street right-of-way areas of the City of Seattle and their actual implementations. The City of Seattle has ended up implementing several design options to best meet the criteria set forth. The case study has clearly illustrated that well-defined drainage design criteria are crucial to their actual and successful implementations. However, not all design criteria can be satisfied by a single option or design considering the unique circumstances of each area. Hence, it is up to the design team to adapt each design option to the local circumstances.

(**Keywords** : ecosystem, urban drainage, design criteria)

一、前言

經過五千多年的文明歷史之後，人類已經學會以建造壩體、灌溉排水等水利工程技術來運用水資源，以塑造出更適合自身的社會環境(蕭政宗，2004)，但Diamond(1992)指出失敗的水資源工程卻可能使社會文明衰敗，甚至滅亡。從十六世紀工業革命至今，人類在各個科技產業領域皆發展出許多的標準規範來作為工程設計的參考、施工的準則以及技術交流的平台(Miller & Skidmore, 2003)；但直到十九世紀人類發現水中細菌及其與人類的關係之後，英國才率先建立了世界上第一個具公共衛生考量的現代化下水道，都市排水工程與世界各國的相關排水設計標準規範也才隨之逐漸更新。近年來，都市排水除了工法技術上的進步之外，在準則規範上也有所進展，如Krebs & Larsen(1997)便提出以定義系統常數、資源利用的有效性以及自由度作為永續的都市排水準則。

二、設計規範在工程上的角色

設計規範對於工程而言，至少具有以下

三個重要的功能：

1. 在不同的工程案例之間，設計規範幫助我們對於工程的成效評估能夠具有一致性的結論。
2. 設計規範提供了一條將學術研究成果傳達到實際應用領域的知識技術交流媒介。
3. 設計規範的發展能夠整體性地提升社會成員的公共安全(Gross, 1991)。

Gross(1991)指出，愈是由各種不同而相關的政府、學術或私人商業組織達成共識所產生的設計規範，愈是能夠具備多樣化的觀點，且容易獲得高度的認可、接受與使用。Kunich(1995)認為：若是沒有標準規範的話，不僅工程的成效將缺少精確的評估依據，不同領域的專家之間亦將缺少不同觀點的整合溝通平台，容易導致討論上的莫衷一是、各說各話。同時，工程師與科學家之間也將缺少一種重要的溝通語言，對社會整體的發展將沒有顯著的正面幫助。

三、台灣的都市排水設計標準規範與現況

筆者認為，在台灣推動生態考量的多功能都市排水設計規範有以下幾點問題仍待克

服：

1. 生物生態、土木水利、環境資源、營建景觀都市等不同觀點在此方面的共識整合尚未完成。
2. 長期不受重視，以致相關法律與工程施行的進展十分緩慢。
3. 可供參考的生態工法技術與理論仍在持續發展階段。

以排水工程來說，台灣早年的排水是因應農田水利的發展需要所產生的學門，而對於都市區域暴雨洪峰流量的排水問題則未多做考量(農委會，1995；施嘉昌等，1984)；然而在現代都市安全規劃與生態等多重考量之下，過去針對農地與坡地排水系統的相關經驗與技術工法漸漸不敷使用。雖然近年來生態工法在台灣備受重視，但是有關於都市排水的相關工法卻尚未出現較完備之整體多功能目標的設計考量標準規範。筆者認為主要的原因在於：各個不同的排水工程設計單元缺少了一致性的、多目標功能的定性與定量判斷標準，行政院公共工程委員會所制定的草溝工法內容便是相當具代表性的一個例子。在該工法內容中，僅以發芽率與覆蓋率多寡來定義何謂合格的草溝工法，但對於草溝應當具有的多目標功能只有提到"防止土壤沖蝕、宣洩逕流及截排分流"，卻沒有對該工法應具有的其他功能目標諸如排洪目標重現期距的定量，公共安全等其他災害預防功能、植生功能的限制與目標、排水設施的維護與居民的參與計畫…等做更進一步的說明。

蕭政宗(2004)指出，由內政部營建署的資料統計可知，至2003年六月底止，台灣的公共污水下水道普及率僅達10.7%。其中，以台北市的63.7%最高，高雄市27.8%第二，其他各縣市平均僅有1.5%，甚至許多縣市的公共污水下水道接管率仍為零。Novotny等(1989)指出，一個功能完整的都市排水處理

系統是解決污水與都市洪峰逕流問題最好的方法。台灣污水下水道的進展如此，可知排水工程在國內的進展速度之緩慢與不被重視的程度。在法令規章方面，內政部營建署所頒布的建築技術規則、臺北市下水道工程設施標準、臺北市山坡地開發建築基地規劃設計技術規範、公路排水設計規範…等，皆缺少上述的排水多目標功能考量。安全防災、經濟與政策考量、特定水資源工程的目標考量、區域水資源規劃、水資源的量與質、社會成員的參與接受度等皆為現代都市區域排水工程所不可或缺的考量要點，這也更突顯出多目標排水工程的推廣在台灣之迫切程度。

四、設計準則在都市排水工程設計上的角色

雖然我們瞭解多目標功能排水工程的重要性，但在各方面共識與標準不盡相同的情況之下，直接推行制定設計標準規範是不太可能的。為了確保工程設計具備客觀的全方位考量，筆者建議先制定出一套針對排水的設計準則。Miller & Skidmore(2003)指出，所謂的設計準則，是指用來達成工程目標的、可定性或定量量測的工程物件屬性。設計準則可以僅是有關物件組成應存在與否的規定(例如：應否栽種本土樹種)，抑或是為了目標功能而提出的定量要求(例如：要能夠承受重現期距為25年的洪水量)。只要能夠確定工程應達到那些目標與具備哪些工程條件，設計者就能夠找出相對應最適合的工法設計準則項目來幫助設計，亦有利於在工程完畢後檢核是否達成預期的工程目標。

五、西雅圖市路側排水的設計準則

上述的設計準則可以依其主要的不同功能作更進一步的分類，而各國政府、學術界以及私人機構所認定的都市排水工程準則亦

不盡相同。因此，本文以西雅圖市區的路側排水工程設計案例作一個設計準則的介紹。下列為西雅圖市現行的多種可供選擇的路側排水工法設計項目：

1. 保留原木
2. 加強性樹坑
3. 滲透性輸水溝渠
4. 線性生技貯留排水系統
5. 埋地線性生技貯留排水系統
6. 多孔隙透水性鋪面
7. 連結式生物截流池
8. 岩石植生系統

許多不同的都市排水工法多半具備以下準則的其中一、兩項功能而已，但多目標功能排水工程必須依照當地的人為構造、社會成員參與情況以及安全經濟來做整體考量，才能全方位達到多項設計準則的功能目標。以下是西雅圖市區排水工程設計準則項目及其多功能目標內容：

1. 排洪目標設計準則：

- (1) 考慮 25 年重現期距，24 小時的排洪量設計。
- (2) 以滯洪設施減低洪峰流量。
 - [1] 小溪：以重現期距為一年的洪水量(或重現期距為二年洪水量之半)作為已發展的限制條件。
 - [2] 西雅圖市滯洪：以重現期距為二年、二十五年或一百年的洪水量作為預定的排洪量(但部分的多重控制步驟之排水系統在部分的設計中可能無法達到此目標)。
- (3) 水質目標：考量重現期距為六個月的洪水量，或 90% 的年平均逕流量。

2. 行人暨緊急之車輛安全與動線設計準則：

- (1) 若現地條件許可，路側人行道得採

多孔隙的水泥磚作為透水性鋪面。

- (2) 必須讓行人在車道與行人專用道之間安全通過無虞。
- (3) 能讓消防車與救護車在街道之間穿梭無礙。

3. 植生考量設計準則：

- (1) 充分利用空間以栽植樹木。
- (2) 促進植生的健康生長與根系發展。
- (3) 減少根系與埋地管線之間的空間競爭。
- (4) 善用路側區域作為和諧舒適的公共開放空間。

4. 設施維護設計準則：

- (1) 鼓勵鄰近居民的參與。
- (2) 提供使人容易接受硬體的對策。

5. 經濟考量設計準則：

考慮比傳統管線系統花費成本更少的排水設計。

六、西雅圖市之可選擇性多功能排水工法及其具備之標的

依上述之西雅圖市多功能目標考量都市排水設計準則，將其各項路側排水工法分述如下：

1. 保留原木

若有樹木存在於設計區域及其周邊，則建議保留而不加以砍伐。保留原木不僅能加強市區的綠美化，更能維持該區域水分的截留與蒸發散能力。

2. 加強性樹坑

在積水的人行道上可考慮設計寬闊的樹坑(如圖 1)；較大的樹坑裸露面能提供較多的面積以供水份入滲，不僅能有效減少積水的問題，亦能提供植物補充的水份。

功能目標：(1) 減少人行道上的積水

(2) 提供植株更多的水份

排水區域：鄰近的人行道

適用範圍：有積水問題的人行道區域

3. 滲透性輸水溝渠

此乃將傳統式的滲透性溝渠設置於長條植生帶的非傳統工法(如圖 2)。將碎石散佈在曲折而兩旁有植生的細長帶狀可滲透溝渠中，是一種能提供更多植生空間以及無遮蔽



圖 1. Rainier 街路側區域上的加強性樹坑
Figure 1. Tree pit enhancement of Rainier Ave.

式的景觀美化設計，而系統亦能經由設計來加強或減低其水份的入滲量。

功能目標：提供遲滯水份與/或部份的水質處理功能。

尺度大小：碎石粒徑與尺寸大小的選取可以依照不同的目標而有所變化，碎石溝的斷面寬度與深度設計可由 0.6 公尺至 0.9 公尺。

排水區域：鄰近路側地區或路側及其路面排水。

適用範圍：寬 2.4 公尺的長條植生帶狀區域，線性坡降為 1%到 6%之間。

4. 線性生技貯留排水系統 (Linear Bio-retention System, LBS)

這是一種能夠促進植生健康與地表逕流入滲的複合式植生溝渠設計(見圖 3)。逕流水在經過生物技術改良土壤的過濾之後，將隨著坡降沿溝渠方向流經出口管線而形成一



圖 2. 西北第 30 街的滲透性輸水溝渠
Figure 2. Permeable conveyance trench in 30th Ave., N.E.

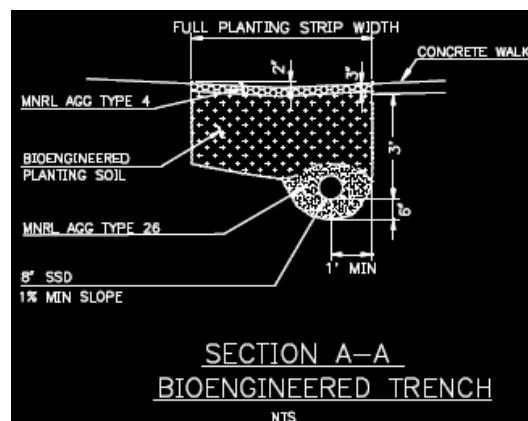


圖 3. 線性生物貯留排水系統之斷面示意圖
Figure 3. Section of linear bio-retention system.

個排洪系統。這種生技的改良式複合土壤仍在實驗的階段，它是一種在幫助支持植物生長上具有優越表現的複合沙土。在碎石上的水流分散區域，必須被包含於不透水層的長度內。此系統能經由設計來加強或降低其入滲強度。

功能目標：提供遲滯水份與部分的水質處理功能。設計尺度大小可根據目標而定。雖然混合土壤的尺度大小提供的主要功能是遲滯水份，但亦有部分的水質處理附加價值。

尺度大小：約 1.22~1.52 公尺寬，0.61~0.91 公尺深的土壤以及 2.5~15.2 公分的蓄水深度。

排水區域：鄰近人行道及其與車道的排水區。

適用範圍：寬度約 1.2 公尺的長條帶狀植生區，線性坡降 1%到 6%之間。若現地的坡降超過 4%，則必須設置小型多階跌水工。若為更大面積或更陡的排水區域，則必須有更多的地表處理措施，例如以碎石取代其他地表植生覆蓋設計。



圖 4. Blakeley 有側緣溝蓋的線性生物貯留排水系統

Figure 4. LBS with curb and gutter in Blakeley, N.E.

(1)無側緣石溝蓋的線性生物貯留排水系統

以西雅圖市西北區 87 街為例，由人行道與車道兩側而來的水流能以薄層流的方式進入本系統，而地表下水流則藉由連結水溝和涵洞並刻有溝槽的管線排出。

(2)有側緣石溝蓋的線性生物貯留排水系統

以西雅圖市東北區 Blakeley 為例，這種先驅的工程（見圖 4）具有將鄰近人行道的水分貯留與傳輸的功能。若將鄰近車道路面的水流也納入考量，在此系統中可考慮以開放式的路側緣石設計。

5. 地下線性生物貯留排水系統(S-LBS)

這種內含生物技術改良的複合土壤之設計（見圖 5，目前西雅圖尚無先驅的工程案例）亦可使用於都會區的人行道之下。由互相連結或獨立而內含植生技術改良複合土的混凝土樹盒連續沿著頂部架構軌合排列而成。逕流流經開放式側邊溝入口即可進入此排水系統。

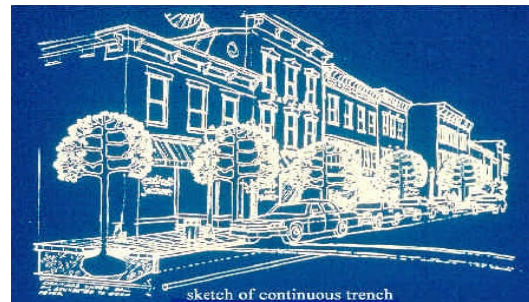


圖 5. 地下線性生技貯留排水系統示意圖

Figure 5. Sketch of S-LBS.

6. 多孔隙透水性鋪面

在我國「綠建築解說與評估手冊」(2005)當中指出，所謂的「透水鋪面」即是只表面及基層均具有良好透水性能的鋪面。加強地表入滲是一種減少地表逕流的方法(見圖 6，應用於西北區 145 街，自 Dayton 大道北方至 Linda 大道北方)，而多孔隙的透水性鋪面能

讓水份通過人行道進入其地表之下，以提供遲滯現地洪峰流量的功能，而水份亦能經由排水管線排出。

功能目標：提供地表下的洪峰滯留量與部分水質處理的功能。

尺度大小：包括全部的鋪面區域。

排水區域：鄰近的街道、人行道與屋頂區域。

適用範圍：線性坡降介於 0~5%之間。



圖 6. 多孔隙鋪面之透水性

Figure 6. Infiltration of porous pavement.

7. 連結式生物截流池

連結式生物截流池是一種改良式的、緩坡降的新式標準生態池(見圖 7，應用於 SEA 街、西北區第二街，自西北區 117 街至 120 街)。此系統不僅可連結車道下方的涵管，具有改善部份水質的功能，更能夠滯留大量由屋頂與鄰近街道所排入的水份。此系統能夠排除鄰近區域及其以外所分布的水份，但一般的標準街道排水系統並沒有該街以外水份的滯洪功能。此種生物截流池能以多種方式建構，茲分述如下：

- (1) 以較小的暗渠連接本系統池，將使較大洪峰來臨時的水量強迫回流至池中。若街道改善工程中伴隨著大範圍分佈的排水區域，可考慮此項能滯留 25 年重現期距洪峰流量之系統作為設計的工法選擇

項目之一。

- (2) 以水流控制結構迫使水量回流滯洪池中，SEA 街所用的先驅示範工程即為此系統的案例。

功能目標：提供滯留洪峰流量與部份水質處理的功能。

尺度大小：可根據現地大小、工程目標與現地坡度而定。為了安全上的考量，池頂寬至少 2.74 公尺，長度至少 61 公尺，最大的積水深度為 0.3 公尺，斜邊比為 3H:1V。

排水區域：滯洪面積約可達 8000 平方公尺。

適用範圍：約 3.35 公尺寬的可透水街道，線性坡降約為 2%~6%。若現地坡降超過 4%，則必須設置多階跌水的小型節制壩體，或搭配碎石地表處理以取代地表植生覆蓋的設計。

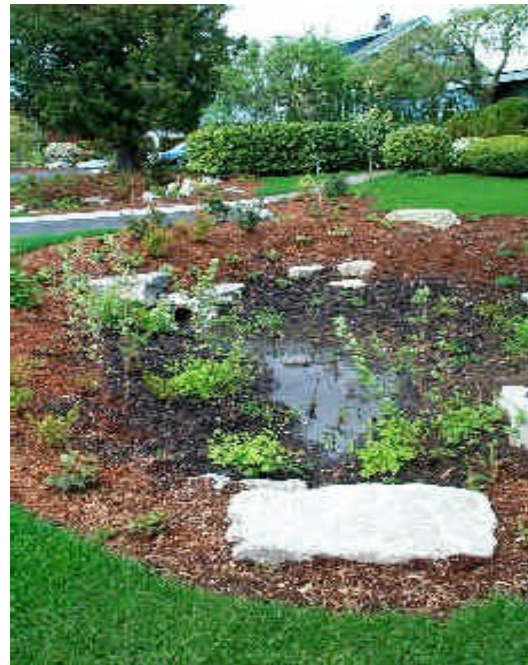


圖 7. SEA 街的連結式生物截流池

Figure 7. Interconnected vegetated swales of SEA street.

8. 岩石植生系統

大面積的排水被束縮至一個斷面相當小的渠道時，大洪峰流量所產生的流速可能使一般的植生工程無法負荷。爲了在排除此種洪峰流量時仍能維持植生的表面排水系統，此系統渠道具有岩石或地工織物結構之配置，並在沿水流方向設置多階跌水工小型壩體（以 Viewlands 瀑布爲例，見圖 8）。

功能目標：提供滯留洪峰與部分的水質處理功能。此系統需要有較大程度的排水量，要達到完全的洪峰滯留與水質處理功能就必須要有地下排水管線的配合。

尺度大小：頂寬至少 3 公尺，長度至少 61 公尺，最大表面積水深度爲 0.3 公尺。

排水區域：大約爲 4~14 萬平方公尺。

適用範圍：可滲透性街道寬約 4.5 公尺，線性坡降 2~10%之處。

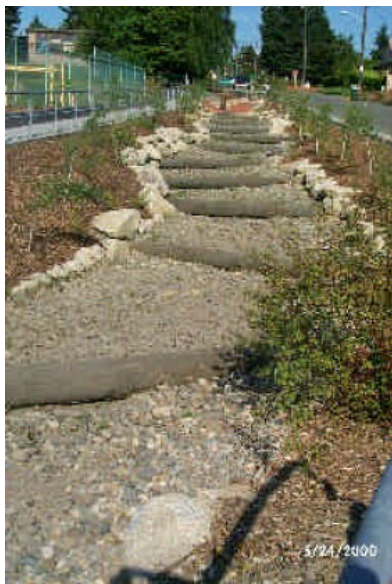


圖 8. Viewlands 瀑布的岩石植生系統
Figure 8. Rock and Vegetation System of Viewlands Cascade.

七、結論

雖然台灣本島都市排水統一之設計標準規範尚未制定，但可整合國內外土木水利、都市景觀建築設計、環境工程與生物科技等各領域基於生態考量上所發展的都市排水設計準則，俾以作爲未來多功能目標都市排水設計標準規範的參考。

綜觀上述工法可知，在人口較不稠密且市區街道寬度較不狹窄的路側可以考慮保留原木以及配合設計加強性樹坑來達到排洪、安全與植生準則的多目標功能。在市郊與聯外道路的較寬路側，可考慮滲透性輸水溝渠、線性生技貯留排水系統與岩石植生系統以達到更多功能目標的排水設計。雖然上述各項都市路側排水工法多半具有多項功能目標的優點，但是台灣地小人稠，如何因應本地條件加以調整、改良創新各項工法設計以符合都市景觀設計、兼具生態與安全以及經濟考量，仍有賴各方面專家的持續努力。

八、參考文獻

1. 內政部建築研究所 (2005)，「綠建築解說與評估手冊」，內政部建築研究所。
2. 施嘉昌，徐玉標，曹以松，甘俊二 (1984)，「灌溉排水原理」，中央圖書出版社。
3. 農委會 (1995)，「灌溉節水技術手冊」，行政院農委會出版。
4. 蕭政宗 (2004)，「水資源的歷史、戰爭與未來」，商周出版。
5. Diamond, J. (1992), *The Third Chimpanzee: The evolution and future of the human animal*, Harper Perennial.
6. Gross, J.G. (1991), "Codes, standards, and institutions—pressures for change," *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Vol.117, No.2, pp.75-87.

7. Krebs, P. and T. A. Larsen (1997), "Guiding the development of urban drainage systems by sustainability criteria," *Water Science Technology*, Vol.35, No.9, pp.89-98.
 8. Kunich, M.P. (1995), "Technical Standards Management Spotlight." *The Standards Forum*, U.S. Department of Energy, Vol.3, No.3.
 9. Miller, D.E. and P.B. Skidmore (2003), "Establishing a standard of practice for natural channel design using design criteria," *Restoration of Puget Sound Rivers*. Center for Water and Watershed Studies, University of Washington.
 10. Novotny, V., K.R. Imhoff, M. Olthof, and P. A. Krenkel (1989), "Karl Imhoff's Handbook of Urban Drainage and Wastewater Disposal," Wiley.
-

93 年 07 月 12 日 收稿

93 年 08 月 10 日 修改

93 年 08 月 18 日 接受

水土保持學報 37(3) : 263-272 (2005)
Journal of Soil and Water Conservation, 37(3) : 263-272 (2005)