

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

October
2016



傳統產業科技化 SUCOOT 施工技術效率化
Superior Company Of Taiwan
產品通過 歐盟EN12810-1標準認證 安全、實用、堅固的第一選擇



圓盤系統®支撐架 圓盤系統®施工架 系統模板



實固股份有限公司
407-64 臺中市西屯區台灣大道四段1836號
Tel: +886-4-2359 8338 e-mail: info@sucoot.com
Fax: +886-4-2359 8480 http://www.sucoot.com.tw

ISSN 0253-3804



NT\$300



9 770253 438006 1



Volume 43, No. 5

社團法人
中國土木水利工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

專輯

生態工程

土木工程與
馬雅古文明的
生與死
木鐸集

向政府建言

推動防災產業
振興土木
刺激經濟



105 年年會暨 2016 土水國際論壇

日期：105 年 11 月 18 日 (五) 工程參訪 及 2016 國際論壇
105 年 11 月 19 日 (六) 105 年年會 及 論壇

地點：台中林酒店 The Lin Hotel Taichung
台中市西屯區朝富路 99 號 (台灣大道路口)

主辦單位：麗明營造股份有限公司
社團法人中國土木工程學會



105 年年會網頁



歡迎網路報名



第一天：105 年 11 月 18 日 (星期五)

時間	活動名稱	主辦單位
9:00-9:15	報到集合【台中市西屯區 台灣大道及文心路交叉口 中捷聯合開發基地】	
9:15-10:15	工程參訪 (一) 台中捷運工程參訪	泛亞工程、土水學會
10:15-10:30	交通時間	
10:30-12:00	工程參訪 (二) 台中國家歌劇院參訪	麗明營造、土水學會
12:00-13:00	午 餐	
13:00-13:30	Registration	
13:30-17:00	2016 International Forum 【7F 台灣廳】 Expanding the Engineering Horizon	
	13:30-13:40	Opening Remarks
	13:40-15:10	Session 1 --- CICHE, KSCE (韓), MACE (蒙古)
	15:10-15:30	Coffee Break
	15:30-17:00	Session 2 --- JSCE (日), Arup Group, CICHE

第二天：105 年 11 月 19 日 (星期六)

時間	活動名稱				
9:00-9:30	相見歡【註冊、報到與領取資料】				
9:30-12:20	105 年年會大會 【3F 全球廳】				
	開幕式				
	專題演講：吳宏謀主任委員 公共工程委員會				
	工程獎章頒發與得獎人致詞、程禹傑出工程師獎頒獎與得獎人致詞、會士證書頒發				
	「台灣北部水力發電」微電影首映				
頒發論文獎、頒發獎學金、學生工程創意競賽頒獎					
年會籌備報告、會務報告					
唱大禹歌、禮成					
12:20-13:30	午 餐【3F 全球廳】				
12:20-13:30	會員代表大會【7F 香港廳】				
13:30-15:10 (100 min)	永續水利事業論壇 【7F 柏林廳】	工程教育論壇 (一) 土木工程學生設計能力和國際移動力	免開挖 (No-Dig) 技術論壇	土木 創新 應用 展 【7F】	
		【7F 香港廳】	【7F 上海廳】		
15:10-15:40	Coffee Time				
15:40-17:20 (100 min)	採購法論壇 政府採購法新趨勢與展望 (15:40-17:40) 【7F 柏林廳】	工程教育論壇 (二) 學生工程創意競賽成果發表	營造安全衛生論壇		
		【7F 香港廳】	【7F 上海廳】		
18:00-20:30	晚宴 K 歌大賽 【6F 仙侶廳】				



實固股份有限公司

地址：臺中市西屯區台灣大道四段1836號
Tel: (04) 2359-8338 email: info@sucoot.com
Fax: (04) 2359-8480 http://www.sucoot.com.tw

土木水利半月集

先進工程

- 混凝土工程
- 運輸工程
- 資訊工程
- 非破壞檢測
- 鋼結構
- 鋪面工程
- 工程管理
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 水資源工程
- 海洋工程
- 景觀工程
- 能源工程
- 工程美化
- 國土發展
- 大地工程
- 環境工程
- 綠營建工程
- 天然災害防治工程
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 土木史
- 大學教育
- 學生活動
- 終身學習
- 工程教育認證
- 技專院校

學會活動

- 學會選舉
- 土水法規
- 專業服務
- 學會財務
- 會務發展
- 公共關係 [工程倫理]
- 學術活動
- 介紹新會員
- 學會評獎
- 年會籌備
- 會士審查

出版活動

- 中國土木水利工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

土木水利

社團法人中國土木工程學會會刊



發行人：呂良正

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：宋裕祺 (國立台北科技大學土木工程系教授、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

副主任委員：王華弘 (明新科技大學土木工程與環境資源管理系副教授)

委員：王昭烈、何泰源、李順敏、李維森、林鎮洋、徐景文、曾昭衡

曾惠斌、黃尹男、廖肇昌、劉格非、鄭家齊、謝尚賢

(依姓氏筆劃排序)

定價：每本新台幣300元、每年六期共新台幣1800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055 台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：http://www.ciche.org.tw

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161 新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十二屆理監事

理事長：呂良正

常務理事：曹壽民 張荻薇 楊偉甫 歐善惠

理事：王昭烈 朱旭 李元唐 宋裕祺 沈景鵬 林其璋 吳瑞賢

胡宣德 高宗正 莫若楫 許泰文 陳仲賢 陳彥伯 陳國慶

廖學瑞 歐來成 劉恒昌 謝啟蕙

常務監事：周南山

監事：李建中 李順敏 林志棟 張培義 楊永斌 壽克堅

秘書長：倪惠妹

中國土木工程學會任務

1. 研究土木水利工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

生態工程專輯 (客座主編：林鎮洋特聘教授)

4

- 📖 專輯序言：低衝擊開發 林鎮洋 4
- 📖 集水區生態治理新思維 周伯愷／謝政道 5
- 📖 以植生滯留槽控制農業非點源污染 何嘉浚／張峰毓 12
- 📖 運用低衝擊開發於都市治水策略之探討 游景雲／邱昱嘉／陳葦庭／徐佳鴻／王順加 19
- 📖 道路工程與綠色建設 陳起鳳 32
- 📖 永續臺北 海綿城市 彭振聲／林士斌／余世凱 38
- 📖 大樹舊鐵橋人工濕地水質淨化與生態效益探討 涂耀琹／林維鴻／蔡建緯／謝佳翰／高志明 55
- 📖 低衝擊開發規劃與評估 林鎮洋／廖信凱 59

木鐸集：土木與文明

- 📖 土木工程與古文明生死關鍵的個案分析
三、土木工程與馬雅古文明的生與死 洪如江 69



墨西哥中部高原 Aztec 帝國古文化位於今墨西哥城中心之簡圖 (洪如江攝於墨西哥人類學博物館)

工程技術及發展

- 📖 電滲法運用於地下鑽掘包泥問題之可行性探討 陸嘉／簡紹琦／歐章煜／王傳宗／陳立憲 77
- 📖 自然光照系統應用於地下空間之節能照明初探 蘇威奇／黃忠偉／曾國雄 83

學會資訊看板

📖 向政府建言 — 推動防災產業 振興土木 刺激經濟 105年度全體會士會議紀錄 89



📖 學會國際活動報告 94

Sep. 7-9, 2016 參加日本 JSCE 2016 年會 94

Sep. 29- Oct. 1, 2016 參加美國 ASCE 2016 年會 94

October 19-21, 2016 參加韓國 KSCE 2016 年會 94

📖 環境景觀暨工程美化委員會成立「工程景觀」臉書 94

105年年會 土木創新應用展

105年11月19日(六)
12:00-17:30 @ 台中林酒店【7F】

參展廠商：

- ① 盟鑫工業
- ② 良澤塑膠／雨水積磚
- ③ 上益營造／繞縣市集水管（不鏽鋼）
- ④ 麗明營造
- ⑤ 暉恩（百密得）／石材緊固系統
- ⑥ 連積企業／地下雨水塑膠回收材



平面圖

廣告特搜

實固股份有限公司 — 傳統產業科技化 施工技術效率化	封面
麗明營造股份有限公司 — 22年不變的信念 堅持給您最好的	封底
台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 卓越源自於超越	封底裡
105年年會暨2016日土水國際論壇 — 跨界、跨域、跨世代 邁向大未來	封面裡



低衝擊開發

專輯序言

專輯客座主編 林鎮洋／國立臺北科技大學土木工程特聘教授

九二一大地震後（1999年），國內工程界開始注入生態工法的元素，16年後我們慶幸看見許多實體工程已有形無形融入「綠色內涵」，這樣的轉折與美國土木工程協會（ASCE）所強調的土木工程師應轉型為「永續發展工程師」的論述正好不謀而合。

國際間對於「生態、環保」之觀念已蔚為潮流，並從口號轉化為行動，尤其集水區保育、土木建築及環境保護工程等皆期望將安全、生態、永續的概念付諸實行！在人為開發密度高的地區，淹水消息時常可見，原因除了不斷破紀錄的降雨外，事實上高度開發地區的水文狀態也隨之改變，地表逕流隨不透水面積增加而升高，地表逕流所產生之初期沖刷（first flush）也間接使得河川水質惡化，傳統的暴雨治理措施逐漸不敷使用。美國在1999年提出的低衝擊開發（Low Impact Development, LID），認為都市暴雨管理需加強源頭管理方式，例如增加水的入滲、分散水的流動等，搭配既有的排水、防洪系統，才能因應未來不確定的降雨狀況。中國則在2013年由國家領導人定調「在提升城市排水系統時要優先考慮把有限的雨水留下來，優先考慮更多利用自然力量排水，建設自然積存、自然滲透、自然淨化的「海綿城市」（spongy city）」，從此LID在國際的能見度大幅提高。

緣此，本期土木水利雙月刊，特邀請臺北翡翠水庫管理局謝政道局長從上游的「集水區生態治理新思維」談起，臺北科大土木工程系何嘉浚教授「以植生滯留槽控制農業非點源污染」進行源頭管理，到了城市則有臺大土木工程系游景雲教授的「運用低衝擊開發於都市治水策略之探討」及文化大學土地資源系陳起鳳教授的「道路工程與綠色建設」，然後由臺北市工務局彭振聲局長來落實「永續臺北 海綿城市」。到了河川的下游則由中山大學環工系高志明教授撰述「大樹舊鐵橋人工濕地水質淨化與生態效益探討」，最後由本人以「低衝擊開發規劃與評估」進行案例分析。

前內政部部长李鴻源教授在「如何讓政府變聰明」一書中特別推崇低衝擊開發，我們認同設置LID設施確能有效抑制地表逕流、降低洪峰流量，舒緩熱島效應及減少非點源污染，但絕不是廣設LID就能解決都市洪患問題，而是應結合既有都市排水系統，發揮「一加一大於二」的效果，同時未來更應積極安裝流量計、溫度計、入滲儀等自動監測系統，藉由這些感測器形成物連網，打下智慧城市（smart city）的基礎，也讓綠色建設（green infrastructure）與灰色建設（grey infrastructure）結合成真正的永續工程（sustainable engineering）。



集水區生態治理新思維

周伯愷／臺北翡翠水庫管理局簡任技正、國立臺北科技大學土木工程系土木與防災博士班

謝政道／臺北翡翠水庫管理局局長

近年來氣候異常極端降雨日益嚴重，水土災害成因日趨複雜，集水區治理之必要性及迫切性與日俱增。為避免集水區之水質、水量、生態因自然及人為破壞而日趨惡劣，必須綜合考量集水區整體特性及採取事先預防之理念，集水區治理方能收得成效。本文介紹二種有關集水區生態治理之新思維，一為集水區土砂保育健康診斷模式及健康指標建立，二為導入「健康流域管理」精神，結合「健康水源」做法，針對「健康水庫」五大評量指標，特別介紹水庫生態指標，並以翡翠水庫集水區為例進行個案探討，將集水區生態治理新思維提供國內其他水庫集水區應用參考。

前言

臺灣位處歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交界處，同時位於環太平洋地震帶，長期受造山運動影響，地形及地質環境條件不佳而益顯脆弱。加以位處西太平洋颱風路徑上，每年固定約有3至4個颱風侵襲臺灣。有鑒於氣候異常極端降雨日益嚴重，水土災害成因日趨複雜，集水區遇暴雨時易沖刷表土泥砂及造成崩塌進入河川水體，為避免集水區之水質、水量因自然及人為破壞而日趨惡劣，必須對集水區土砂保育各相關問題進行全面性調查，並綜合考量集水區整體特性及採取事先預防之理念，建立集水區土砂保育健康診斷模式及其健康指標，藉以作為集水區治理之參考。

日愈劇烈的氣候變遷與水資源不均的問題，促使人們開始反璞歸真思考根本性的問題。美國環保署根據 Clean Water Act 建立「健康流域倡議 (Healthy Watersheds Initiative, HWI)」計畫，並提出「健康流域」之概念，並於2009年提出「Reservoir Fisheries Habitat Partnership」報告，建議策略性原則以保護水生棲地，並期能落實健康水庫系統 (Healthy Reservoir Systems)。根據美國環保署對於「健康流域」定義，並結合其對水源保護 (Healthy Source Watershed) 建議，可將其應用於定義「健康水庫」：可維持自然動態變化之水文和地表活動的天然地理

狀況；可維持原生水中與河岸生物，且有足夠大小與關連性的棲息地。換言之，「健康水庫」不僅指能提供穩定水質水量的水庫，更需顧及整體流域的生態系統，且能適度承受或調適天然災害或人為損害所造成的變異性。因此，有必要導入「健康流域管理」精神，結合「健康水源」做法，建立「健康水庫」之評量指標。「健康水庫」考量多面向的整合型指標，訂有水庫安全指標、水庫生態指標、水庫影響指標、水庫績效指標與水庫管理指標。其中，水庫生態指標係以用來評估氣候變遷對水環境生態造成之衝擊影響，且惟有以生態環境為首要考慮，維護健康的水環境，遭逢天然災變時，水環境才有調適氣候變遷的涵容能力與恢復力；也惟有擁有水環境生態的健康水庫，才能提供民眾用水安全，進而達到永續的終極目標。

土砂保育健康診斷模式建立

本文以監測 (monitoring)、診斷 (diagnosis)、處理 (treatment) 及追蹤 (tracing) 等四大步驟來建立土砂保育健康診斷模式。監測之第一步為進行集水區特性、河溪特性、災害歷史等分析，以瞭解集水區整體特性並作為健康診斷指標訂定之參考，第二步為由集水區地面水文資料觀測、坡面土砂資料監測及空中航照衛星影像以獲得集水區之相關資料，從而建立逕流率、崩蝕率、綠覆率、懸浮固

體濃度、含砂濃度等健康診斷指標。診斷是指利用健康診斷指標來分析集水區之土壤泥砂流失問題、水文流量問題及水質污染問題，並瞭解其主要原因為何，亦即區分為三種驅力，即地文等內在條件、降雨等外在環境及人為開發等後天影響。處理則是針對不同驅力所造成集水區問題之對應策略，第一步為選定集水區管理目標，包含：確保合適之可用水數量、降低洪水量和洪水危害、降低崩塌之發生率、降低下游之泥砂遞移、確保維持或提高土地生產力、合適之水質等；第二步為以子集水區為單元進行降低洪峰、減少泥砂、水土林資源保育等策略規劃及方案擬定；第三步為經由土砂整治率、綠覆率改善比、水質改善比等效益分析選定適合之策略方案。追蹤是指方案完成後之維護管理情形，利用整治成效追蹤指標來進行定期及不定期追蹤考核，並建立預警制度以監測集水區之健康狀況，模式之架構如圖 1 所示。

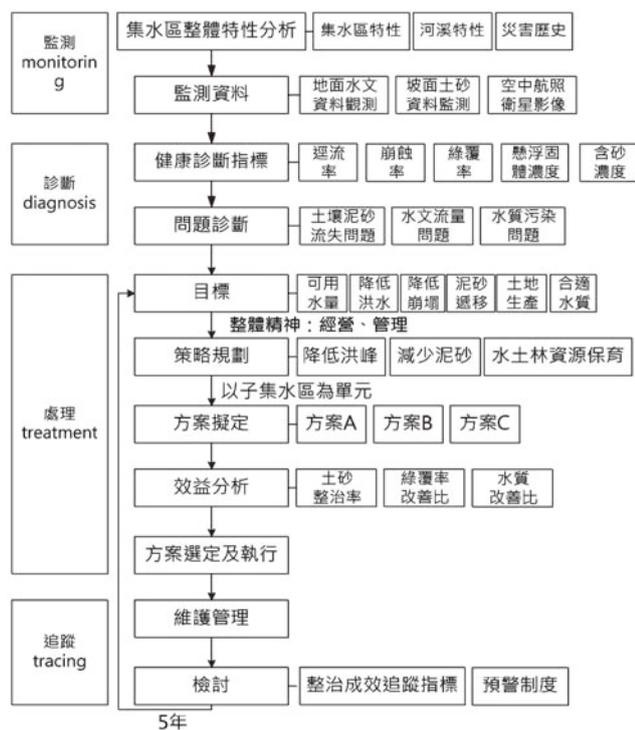


圖 1 土砂保育健康診斷模式

集水區健康指標之選定

在 1970 年代以前，集水區的治理多針對個別局部的問題來擬訂實施治理措施，而未考慮這些措施對整個集水區生態、經濟與社會可能形成之衝擊。1980 年代以後，整體性的集水區治理觀念開始受到重視 (Schramm, 1980)。人們逐漸瞭解集水區內的人為活動或自然事件不僅對局部地區發生衝擊，而且可能擴及集水區內的上游與下游地區。基

此認知，集水區在整治架構上被認為是一個最適當的空間單位。在此架構上，集水區水文、地形、地質、土壤、植被等任一個因素之改變均可能影響其他因素，而對生態環境形成衝擊，因此，在整治上應一併同時考慮。另一方面，整治策略之範疇應由生態環境層面擴至社會與經濟層面，以兼顧人類對集水區資源利用與集水區生態功能完整性之可持續平衡發展 (Heathcote, 2009; Jones et al., 2002)。

水庫集水區在水量、水質及產砂方面的狀況，可利用一組適當的健康指標來診斷。診斷結果可用來擬訂或改進治理計畫。茲將健康指標的選定及診斷方法敘述如下：

健康指標的選定

集水區健康指標 (health indicators) 為一組易於直接量測而且可用來反映集水區健康狀況之集水區特性。進行集水區治理規劃時，這些指標可用來協助擬訂適當的治理措施 (如圖 2)。集水區治理計畫通常包含一組治理目的 (goals)，每一治理目的又包含一個或多個可量測的具體治理目標 (objectives)，而每一個治理目標則可用一組健康指標及他們的目標值 (target values) 來表示。隨著集水區治理之進行，這些指標的量測值可用來與其目標值相比較，以診斷集水區健康狀況之改善結果，並據以調整治理方向。治理的進展情形可用各指標所預定的階段性里程碑 (benchmark) 來反映。優良的健康指標應具備下列特點：

- 指標與治理目的及治理目標之間應具有密切關聯性。
- 指標應易於量測，而且能夠精準的予以量化。
- 指標需能準確反映集水區的健康狀況。
- 指標需能顯示外在因素 (stressor) 與集水區反應的因果關係。
- 指標對外在因素的變化應具有敏感性與高度的信噪比 (signal-to-noise ratio)。

參考值的設定

利用指標來診斷集水區的健康狀況時，必須先設定各指標的參考值，以與指標之實測值相評比，來判斷集水區的健康狀況之改善程度。參考值需考慮集水區之自然因素與健康現況來設定。

目標值的設定

指標之目標值可依診斷的目的來設定，如診斷的目的在於將集水區復育至未受人為活動所干擾之狀況，目標值可取為參考值來進行診斷。如診斷的目的在於將集水區復育至某一理想狀況時，目標值可取為對應於該理想狀況之指標值來進行診斷。

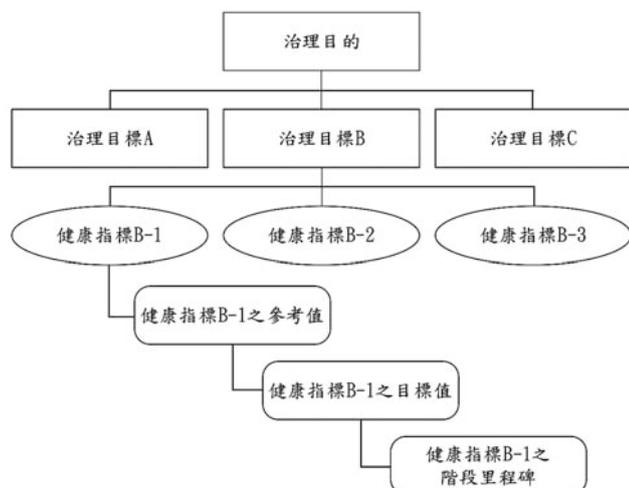


圖 2 訂定健康診斷指標示意圖

階段里程碑的設定

階段里程碑即階段性之目標值，可依預期之治理進展情形來設定。

對比值的設定

當診斷的目的在評估集水區狀況是否趨於改善或惡化時，可將指標過去之實測值設為對比值以供診斷之用。

土砂保育健康診斷指標之建立

集水區治理一般常被關注之問題包含土砂、水量及水質等，造成集水區問題之原因可概分為地文狀況等內在條件、降雨和地震等外在環境、人為開發和維護狀況等後天影響。並藉由不同問題的現象或徵兆來評估集水區是否有相對應之問題。如可由集水區之土壤沖蝕量、崩塌量、崩蝕率、含砂濃度等現象來評估是否有土壤泥砂流失問題；

由集水區之比流量、降雨量、逕流率等現象來評估是否有水文流量問題；由集水區之水質指標、綠覆率來評估是否有水質污染問題。

集水區之治理目的為水資源之永續利用，其中一個治理目標為集水區之土砂保育，而逕流率、崩蝕率、綠覆率、懸浮固體濃度及含砂濃度則是一組健康診斷指標，用來評估整體集水區面臨之土砂問題，由各指標值來評量集水區應著重的問題點，各指標之計算方法如表 1 所示。

「健康水庫」生態評估指標之建立

美國環保署根據 Clean Water Act 建立「健康流域倡議 (Healthy Watersheds Initiative, HWI)」計畫，並提出「健康流域」之概念，並於 2009 年提出「Reservoir Fisheries Habitat Partnership」報告，建議策略性原則以保護水生棲地，並期能落實健康水庫系統 (Healthy Reservoir Systems)。根據美國環保署對於「健康流域」定義，並結合其對水源保護 (Healthy Source Watershed) 建議，可將其應用於定義「健康水庫」：可維持自然動態變化之水文和地表活動的天然地理狀況；可維持原生水中與河岸生物，且有足夠大小與關連性的棲息地。以下導入「健康流域管理」精神，並結合「健康水源」做法，提出「健康水庫」生態評估指標建立步驟：

候選指標

在充分收集國內外相關研究資料的基礎上，結合翡翠水庫的實際情況，建立了「水庫生態」一級評量指標，並綜合考慮了 (1) 生態環境保護投入率、(2) 生態系統完整性評價、(3) 生物多樣性評價、(4) 生態系統健康指數下設二級指標以及三級指標，以備後續篩選使用。

表 1 土砂保育健康診斷指標

指標	逕流率	崩蝕率	綠覆率	水質指標	含砂濃度
目的	評估集水區水源涵養情形	評估集水區年土砂流失情形	評估集水區植生所佔之比例	評估集水區水質之良窳	評估集水區表土流失情形
計算方法	比流量 (mm/日) = 河川流量 / 集水區面積 逕流率 = 比流量 / 降雨量	崩蝕率 (cm) = 年總土砂產量 / 集水區面積	綠覆率 (%) = 集水區植生面積 / 集水區面積	利用水中的透明度 (SD)、葉綠素 a (Chl-a) 及總磷 (TP) 等三項水質參數之濃度值計算卡爾森指數 (CTSI)，以評估水庫水體之水質 利用懸浮固體之濃度或濁度來評估河川水體之水質	利用河川之含砂濃度來評估集水區之表土流失
資料來源	流量監測資料、降雨監測資料	崩塌量估算、土壤沖蝕量估算	衛星影像、土地利用圖	水質監測資料	含砂濃度監測資料
可能問題	水源涵養量減少 坡地逕流量增加 洪峰增加 豐枯流量差異增大	集水區土地退化 土砂災害增多 水庫淤積	植生減少 生態物種減少 環境退化 地表裸露增多	水質渾濁度增高 下游水庫優氧化	集水區表土退化 下游水庫泥砂淤積

德爾菲專家意見

德爾菲法是一種主觀、定性的方法，並且是集合專家意見的集體決策技術。採用不具名發表意見的方式，即專家之間不得互相討論，不發生橫向聯繫，只能與調查人員聯繫，通過調查專家對問卷所勾選的看法，彙總成專家基本一致的看法，作為預測的結果。這種方法具有廣泛的代表性，較為可靠，而且可以廣泛應用於各種評價指標體系的建立和具體指標的確定過程（林佩瑩、廖學誠，2008；郭彥連、李洋寧，2014）。透過「德爾菲法」(Delphi method) 建構「健康水庫生態評估指標」，一級指標下設三個二級指標，二級指標下再細分二個三級指標，透過發送問卷至專家請協助填妥問卷後，回收彙整專家意見。以專家勾選極同意 (N1)、同意 (N2)、勉強同意 (N3)、不同意 (N4) 及極不同意 (N5) 的方式，由各指標總積分及百分比統計方法來呈現專家們的共識（郭彥連、李洋寧，2014；林佩瑩、廖學誠，2008）。

總積分統計方法為：極同意 5 分、同意 4 分、免強同意 3 分、不同意 2 分及極不同意 1 分，彙整統計每個三級指標總積分，公式如下：

$$\text{總積分} = N1 \times 5 + N2 \times 4 + N3 \times 3 + N4 \times 2 + N5 \times 1$$

百分比統計方法為：五個勾選欄位除以總問卷數來表示。公式如下（郭彥連、李洋寧，2014；林佩瑩、廖學誠，2008）：

$$\text{百分比} (\%) = (N) / \text{總積分} \times 100$$

一級指標與二級指標其極同意及同意佔百分比為 75% ~ 87.5%，三級指標其極同意及同意佔百分比為 87.5%~100%，表示專家均認同本文所擬定的一、二、三級指標作為評估指標。德爾菲法專家意見調查問卷回收份數共 8 份，彙整如表 2 所示。

「健康水庫」之生態評估指標根據七項篩選原則：(1) 是否符合國際發展趨勢、(2) 符合 Sustainable Development Goal (SDG) 章程、(3) 容易量測及量化、(4) 符合目標管理具體關聯性、(5) 指標定義明確、(6) 具科學性易於預測、(7) 國內資料容易取得及應用。並以上述專家德爾菲問卷調查法 (Delphi)，邀請產、官、學、研等專家進行問卷調查，評定生態指標的重要性。最後，在專家諮詢會議上與產官學研各界代表討論，以確認健康水庫於生態面向的評核基準與評量指標。指標建立的過程如圖 3 所示。

翡翠水庫生態指標試算

本文以翡翠水庫提供的生態指標資料作指標的計算，計算過程如以下各項指標分項。

集水區陸域生境品質

水庫集水區內不同自然類型（草地、森林和濕地）面積 % 與其平均生境品質的乘積之和與期望生境品質總值之比例（總自然類型面積 % 與區內最大生境品質值乘積）。將翡翠水庫的資料：草地面積 (%) = 0.95%、森林面積 (%) = 89.48%、水庫面積 (%) = 3.89 % 與生境品質分，草地 0.72、森林 0.93、水庫 0.33 代入公式得到生境品質分，其公式：【((草地面積 (%) * 0.72 + 森林面積 (%) * 0.93 + 水庫面積 (%) * 0.33) ÷ ((草地面積 (%) + 森林面積 (%) + 水庫面積 (%)) * 0.93) * 100 = 97。總體得分為 97 分，此項評分可以發現翡翠水庫因為森林的覆蓋面積比例高，所以此項生態指標的重點為上游集水區的植被狀況。本項指標在水庫生態指標中，占了很重要的評估地位，因為集水區的土壤如果流失嚴重，相對的水庫的庫容將受到影響。

集水區土壤侵蝕狀況

運用崩塌統計與 SEIM 模式對集水區土壤流失量進行核算，將流失量除以集水區面積得平均流失量並對應分級取值。翡翠水庫資料中，將流失量除以集水區面積得平均流失量可以得到集水區土壤侵蝕狀況。資料中 2002 年土壤侵蝕狀況為 34.3 公噸 / 公頃 - 年，對照侵蝕標準表格可以得到此項得分為 67 分（表 3）。此項得分表是翡翠水庫的土壤侵蝕狀況在中等的等級。

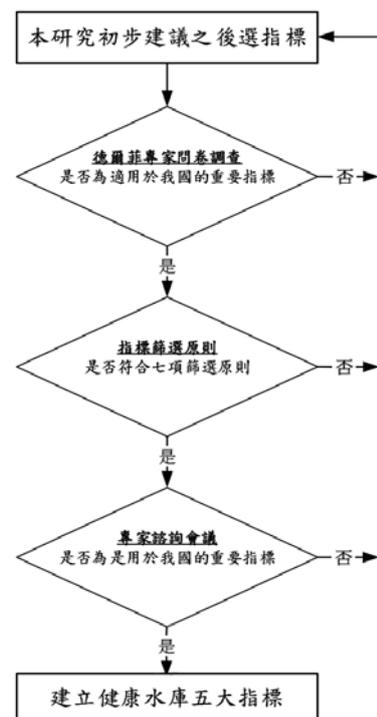


圖 3 健康水庫生態評估指標建立流程

表 2 健康水庫生態評估指標 (Ecology Part)

一級指標分類	編號	二級指標項目	極同意	同意	勉強同意	不同意	極不同意	說明
水庫生態 E (Ecology)	E1	集水區陸域生態	3	3	2	-	-	份數
			15	12	6	-	-	積分
			37.5	37.5	25	-	-	百分比 (%)
	E2	集水區生物系統	4	2	2	-	-	份數
			20	8	6	-	-	積分
			50	25	25	-	-	百分比 (%)
	E3	水庫生物系統	5	2	1	-	-	份數
			25	8	3	-	-	積分
			62.5	25	12.5	-	-	百分比 (%)

一級指標分類	編號	二級指標項目	三級指標細目	三級指標計算方法或公式	極同意	同意	勉強同意	不同意	極不同意	說明
水庫生態 E (Ecology)	E1	集水區陸域生態	集水區陸域生境品質	水庫集水區內不同自然類型(草地、森林和濕地)面積%與其平均生境品質的乘積之和與期望生境品質總值之比例(總自然類型面積%與區內最大生境品質乘積)。	4	4	-	-	-	份數
					20	16	-	-	-	積分
					50	50	-	-	-	百分比 (%)
			集水區土壤侵蝕狀況	運用崩塌統計與 SEIM 模式對集水區土壤流失量進行核算,將流失量除以集水區面積得平均流失量並對應分級取值。	4	3	1	-	-	份數
					20	12	3	-	-	積分
					50	37.5	12.5	-	-	百分比 (%)
	E2	集水區生物系統	水生動物多樣性和完整性(含豐多度、瀕危或珍稀物種指數、河川魚類 IBI 指標、河川 RBPIII 指標)	水生動物豐多度計算 (RHEEP)	5	2	1	-	-	份數
					25	8	3	-	-	積分
					62.5	25	12.5	-	-	百分比 (%)
				瀕危或珍稀物種指數 (EPA)	5	2	1	-	-	份數
					25	8	3	-	-	積分
					62.5	25	12.5	-	-	百分比 (%)
			河川魚類 IBI 指標或者 SERAS 指標 (水利署 2008,2011)	5	3	-	-	-	份數	
				25	12	-	-	-	積分	
				62.5	37.5	-	-	-	百分比 (%)	
			河川 RBPIII 指標 (水利署 2008, 2011)	5	3	-	-	-	份數	
				25	12	-	-	-	積分	
				62.5	37.5	-	-	-	百分比 (%)	
	河溪棲地評估指標	河溪棲地評估指標	5	3	-	-	-	份數		
			25	12	-	-	-	積分		
			62.5	37.5	-	-	-	百分比 (%)		
	E3	水庫生物系統	水庫浮游植物	藻類營養指標 (ATSI): 以水庫中出現之貧養、中養、優養指標藻種的比率為指標 ATSI = (Foligo + Fmeso) / (Feu + Fmeso) ATSI > 1.25 貧養; 1.25 > ATSI > 0.5 輕微優養; ATSI < 0.5 優養	4	4	-	-	-	份數
					20	16	-	-	-	積分
					50	50	-	-	-	百分比 (%)
水庫生態系統健康指數			選取浮游植物生物量 (BA) 作為基準指標, 浮游動物生物量 (BZ)、浮游動物生物量 (BZ) 與浮游植物生物量 (BA) 的比值 (BZ/BA)、能質 (Ex) 和結構能質 (Exst) 作為擴展指標; 再計算 5 個指標的生態系統健康分指數 (EHIi) 及各指標的權重值得到 EHI。 $EHI = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot EHI_i$	3	5	-	-	-	份數	
				15	20	-	-	-	積分	
				37.5	62.5	-	-	-	百分比 (%)	

表 3 土壤侵蝕量與得分對照表

得分	土壤侵蝕量 (公噸/平方公里·年)
100 分	< 1000
80-100 分	1000-2500
60-80 分	2500-5000
40-60 分	5000-8000
20-40 分	8000-15000
0-20 分	> 15000

資料來源: 中華人民共和國水利部批准《土壤侵蝕分類分級標準》(SL190—2007)

水生動物多樣性和完整性

本指標利用幾項國內、外快速的評估原則來建立指標的計算。其中, RHEEP 棲地品質評分: 快速棲地生態評估法中有十個評估項目, 而其分系統參考美國環境保護署之快速生物評估方法 (RBP) 而來, 將各項目的狀況由好到差分為四個等級, 且各等級有清楚量化的評分依據。另外, 並考量一般對分數系統都以 100 分作為滿分為直覺, 因此, 針對目標河段的現況, 各項評估因子之分數為 1 到 10 分, 而十項評估因子分數的總和, 即為該河段棲地生態系統的整體狀況評估分數, 其滿分為 100 分。

河川 RBPIII 指標 (0-6 分)，翡翠水庫本項得分為 4 分 (Slightly impaired)；水生動物豐多度計算 (RHEEP) (0-10)，翡翠水庫本項得分為 10 分；河川魚類 SERAS 指標 (0-4) 直接等級，經過 2006-2008 年水庫內魚類統計發現翡翠水庫的魚種分布共有 26 種，其中鑑定出 8 種外來種 $8/26 = 0.31$ ，帶入 SERAS 魚類數量組成評估準則中的特徵分 0.31 (表 4)，可以得到等級為 1，得分 1 分。考慮以上三小項的整體得分為 58 分。

表 4 SERAS 魚類數量組成評估準則

分級	特徵	等級
原生種 (含特有種比例)	FGr = 1	4
	$1 > FGr \geq 0.75$	3
	$0.75 > FGr \geq 0.5$	2
	$0.5 > FGr \geq 0.25$	1
	$FGr < 0.25$	0

資料來源：巨廷公司 (2005)

水庫浮游植物

以藻類優養指標 (ATSI) 來評斷水庫的浮游植物，以水庫中出現之貧養 Foligo、中養 Fmeso、優養 Feu 指標藻種的比率為指標，指標公式如下 (吳俊宗，2012)：

$$ATSI = (Foligo + Fmeso) / (Feu + Fmeso)$$

其中，ATSI > 1.25 貧養； $1.25 > ATSI > 0.5$ 輕微優養；ATSI < 0.5 優養，在翡翠水庫的 ATSI 大概是 0.8 (圖 4)，將指標最高值 1.25 來做為基準，得到分數為 $0.8/1.25 * 100 = 64$ 分。

水庫生態系統健康指數

選取浮游植物生物量 (BA) 作為基準指標，浮游動物生物量 (BZ)、浮游動物生物量 (BZ) 與浮游植物生物量 (BA) 的比值 (BZ/BA)、能質 (Ex) 和結構能質 (Exst) 作為擴展指標；再計算 5 個指標的生態系統健康分指數 (EHI_i) 及各指標的權重值得到 EHI。分值在 0-100 之間，指標公式如下 (張紅葉，2012)：

$$EHI = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot EHI_i$$

0 ~ 100 的生態系統健康指數作為定量尺度，然後通過評價指標選擇、各指標生態系統健康分指數計算、各指標權重計算、生態系統健康綜合指數計算，選取浮游植物生物量 (BA) 基準指標，本次翡翠水庫提供的資料顯示 individual 的數量無法推估 BZ，其葉綠素 a 的量乘上 405 可以推估 BA 值，但由於 BZ 的值無法計算，本項結果無法算分。

翡翠水庫指標計算與結果如表 5 所示。

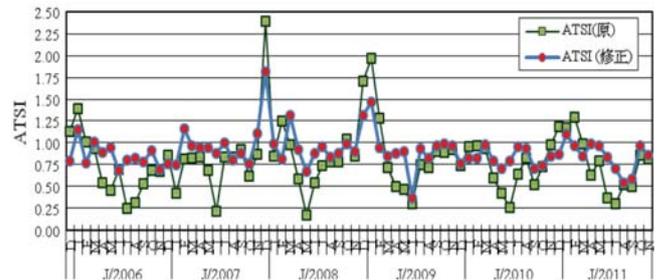


圖 4 翡翠水庫 2006 至 2011 年 ATSI 指標值

表 5 翡翠水庫生態指標試算與說明

一級指標	編號	二級指標	三級指標細目	資料年份	試算結果	備註說明	資料來源 (水庫管理局，網站或文獻)		
							管理局提供	Website	文獻
水庫生態 E (Ecology)	E1	集水區陸域生態	集水區陸域生境品質	2004	97	GIS			翡翠水庫集水區水文分析
			集水區土壤侵蝕狀況	2002	67				水庫集水區土壤沖蝕之研究—以石門、翡翠水庫為例
	E2	集水區生物系統	水生動物多樣性和完整性 (含豐富度、瀕危或珍稀物種指數、河川魚類 IBI 指標、河川 RBPIII 指標)	2006 至 2008	59		√		翡翠水庫水生動物與水質關係監測成果報告書 (2014)
			河溪棲地整體狀況 (RHEEP)	2006 至 2008	100	棲地多樣性高、未受人為干擾	√		
	E3	水庫生物系統	水庫浮游植物	2006 至 2011	64	ATSI (Algal Trophic State Index)	√	中研院 吳俊宗	翡翠水庫藻類與水質關係監測
			水庫生態系統健康指數 (EHI)		na	建議水庫以後增加浮游動物 (plankton) 生物量計算			

結論

氣候異常極端降雨日益嚴重，水土災害成因日趨複雜，集水區治理必須對土砂保育各相關問題進行全面性調查，並綜合考量集水區整體特性及採取事先預防之理念，藉由集水區土砂保育健康診斷模式建立及透過監測資料建立逕流率、崩蝕率、綠覆率、水質指標、泥砂濃度等健康診斷指標，以評估氣候變遷對水量及水質造成之衝擊影響。

「健康水庫」不僅指能提供穩定水質水量的水庫，更需顧及整體流域的生態系統，且能適度承受或調適天然災害或人為損害所造成的變異性。因此，必須導入「健康流域管理」精神，並結合「健康水源」做法，建立「健康水庫」之生態指標，提供做為評估氣候變遷對水環境生態造成之衝擊影響。惟有以生態環境為首要考慮，擁有一水環境生態的健康水庫，才能提供民眾用水安全，進而達到永續的終極目標。

參考文獻

- 台北水源特定區管理委員會 (1994)，「台北水源特定區集水區治理規劃總報告」。
- 行政院農業委員會水土保持局 (2006)，「集水區整體治理調查規劃參考手冊」。
- 汪靜明 (2006)，「集水區水土生態保育的新思維」，水土保持思維與展望研討會論文集，pp. 59-70。
- 郭振泰、陳樹群、黃志彰、謝永能、楊宗翰、葉齡云、仇士愷、林信宏、王士豪、吳岳霖 (2007)，「石門水庫集水區泥砂抑制最佳管理措施規劃」，行政院農業委員會水土保持局。
- 余文利 (2005)，「翡翠水庫集水區水文分析」，碩士論文，國立中央大學水文所。
- 吳俊宗 (2012)，「翡翠水庫藻類與水質關係之監測」，翡翠水庫 25 周年回顧與水資源永續利用學術研討會論文集，臺北翡翠水庫管理局。
- 經濟部水利署臺北水源特定區管理局 (2010)，「台北水源特定區土砂保育健康診斷模式建立及策略分析 (2/2)」，財團法人資源及環境保護服務基金會
- 經濟部水利署臺北水源特定區管理局 (2012)，「台北水源特定區水質預警機制建立之研究」，國立臺北科技大學水環境研究中心。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2015)，「建構『健康水庫』與因應水環境變遷研究計畫」，國立台灣大學慶齡工業發展基金會合設工業研究中心
- 中華人民共和國水利部批准《土壤侵蝕分類分級標準》(SL190—2007)。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2013)，「氣候變遷對翡翠水庫衝擊與調適方案之研究」研究報告，財團法人成大研究發展基金會。
- 巨廷公司 (2005)，「河溪生態工法參考手冊」，行政院公共工程委員會。
- 汪靜明 (2010)，「石門水庫上游集水區保育治理之生態保育措施評估」，行政院農委會水保局。
- 國家發展委員會 (2014)，「國家氣候變遷調適行動計畫 (102-106) 年」。
- 經濟部水利署 (2008)，「水庫集水區環境棲地管理與治理保育對策之研究 (1/2)」，國立中興大學。
- 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2008)，「水資源最佳化管理於河川生態復育之研究 (3/3)」，國立台灣大學水工試驗所。
- 經濟部水利署北區水資源局 (2009)，「集水區河溪環境保育評估指標」。
- 張紅葉 (2012)，「丹江口水庫生態系統健康綜合評價」。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2001)，「日本因應氣候變遷之水庫管理策略」。
- 臺北翡翠水庫管理局 (2012)，「翡翠水庫永續水環境：綠色水庫行動計畫」。
- 蔣本基 (2012)，「建置水庫水質監測、評估、與管理體系」，翡翠水庫 25 周年回顧與水資源永續利用學術研討會論文集，臺北翡翠水庫管理局。
- Center for Watershed Protection (2002), Watershed Vulnerability analysis, Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD.
- Chesapeake Bay Program (2007), "Potential Environmental Indicators for Assessing the Health of the Chesapeake Bay Watershed."
- Gippel, C. J., and Stewardson M. J. (1998), "Use of Wetted Perimeter in Defining Minimum Environmental Flows," Regul. Rivers: Res. Mgmt., 14: 53-67.
- Jones, C., et al. (2002), "Watershed Health Monitoring," Lewis Publishers.
- Portland (2005), "2005 Portland Watershed Management Plan – The Framework for Integrated Management of Watershed Health," Environmental Services, City of Portland, Oregon.
- Schramm, G. (1980), "Integrated Rier Basin Planning in a Holistic Universe," Natural Resources Journal, 20: 787-805.
- Shulits, S. (1941), "Rational Equation for River-Bed Profile," Am.Geophys. Union Trans., 22: 630.
- Strahler, A. X. (1957), "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology," Amer. Geomintute Union Trans., 88: 913-920.
- U.S. Environmental Protection Agency (2008), Principles of Watershed Management, Watershed Academy Web, <http://www.epa.gov/watertrain>.
- U.S. EPA (2002), "Index of Watershed Indicators: An Overview," Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds.
- US Army Corps of Engineers (2000), HEC-GeoHMS user's manual.
- USEPA (1993), Urban Runoff Pollution Prevention and Control Planning, Handbook, Washington DC, EPA625-R-93-004.
- USEPA (1999), Preliminary Data Summary of Urban Strom Water Best Management Practices, Washington DC, EPA-821-R-99-012.
- Partners of the Reservoir Fisheries Habitat Partnership (RFHP)(2009), "A Framework for Strategic Conservation of Fish Habitat in the Reservoir Systems of the United States".
- Minnesota Department of Natural Resources (2010), "Healthy Watersheds throughout Minnesota".
- US EPA (2013), "A Quick Guide to Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters", EPA 841-R-13-003.
- US EPA (2008), "Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our Waters", EPA 841-B-08-002.
- US EPA (2012), "Identifying and Protecting Healthy Watersheds", EPA 841-B-11-00.
- US EPA (2012), "National Water Program 2012 Strategy: Response to Climate Change", EPA 850-K-12-004.
- US EPA (2011), Healthy Watersheds Initiative, National Framework and Action plan-2011, EPA 841-R-11-005, USPEA office of water.
- US EPA, National Water Program Research Strategy, <http://www2.epa.gov/water-research/national-water-program-research-strategy>.



以植生滯留槽控制農業非點源污染

何嘉浚／國立臺北科技大學土木工程系副教授

張峰毓／國立臺北科技大學土木工程系碩士

植生滯留槽屬於分散型LID/BMPs處理設施，其具有設置簡易、維護方便及造價低等優點，且對於營養鹽的削減有相當的功效，本文以茶園非點源污染為削減對象，於翡翠水庫集水區設置二處植生滯留槽進行現地實驗，試驗結果顯示植生滯留槽於設置約一至二個月待內部系統穩定後，便開始對施肥所產生的營養鹽有穩定的削減效果，經過一系列的雨天現地採樣，並檢測水質後得知，二處植生滯留槽出流水的懸浮固體（SS）濃度可以分別控制在 2.4 ± 1.2 mg/L及 4.3 ± 2.2 mg/L，平均削減率約為69.8%及75.6%；氨氮（ $\text{NH}_3\text{-N}$ ）濃度可以控制在 0.41 ± 0.33 mg/L及 0.36 ± 0.27 mg/L，平均削減率約為68.9%及49.8%；總磷（TP）濃度可以控制在 0.041 ± 0.025 mg/L及 0.017 ± 0.003 mg/L，平均削減率約為62.7%及58.6%。

Bioretention is one of the distributed LID/BMPs facility not only have the advantages of sample establish, easy operation and maintenance, and low cost but also have the good performance in non-point source pollution removal. Two bioretention cells, A and B, were established in Feitsui reservoir watershed in order to understand the removal ability of tea garden non-point sources pollution in this study. After the installation of those two bioretention cells for 1 to 2 months, the performance of nutrients removed were obvious. For the results of storm water sampling and testing, the outflow concentration of suspended solid (SS) is 2.4 ± 1.2 mg/L and 4.3 ± 2.2 mg/L for bioretention A and B respectively as well as their average remove rate is 69.8% and 75.6%. The outflow concentration and average remove rate of ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) for bioretention A is 0.41 ± 0.33 mg/L and 68.9% respectively; for bioretention B is 0.36 ± 0.27 mg/L and 49.8% respectively. In addition, the total phosphorous (TP) concentration of outflow is 0.041 ± 0.025 mg/L with 62.7% of the average pollution removal for bioretention A and 0.017 ± 0.003 mg/L with 58.6% for bioretention B.

前言

生態工程於國內發展迄今已有十餘年歷史，初階段大都應用於河川及山坡地治理，並以防災與永續經營為主要目標，現階段則因技術的日臻成熟，再加上近年來受全球氣候變遷而日益嚴峻的水資源缺乏問題，因此生態工法技術已逐漸擴展至水質污染的削減與控制，藉此達到水資源的保育與永續利用。再者，目前國內對於暴雨逕流管理的觀念已日趨重視，如何結合防災與永續利用更是未來的新趨勢，而低衝擊開發（low impact development, LID）便是一種以生態系統為基礎，從逕流源頭開始的暴雨管理方法，利用現地的設施，增加暴雨逕流的入滲量，一方面可降低並延緩排水系統之洪峰流量，減輕排水系統的負荷避

免洪患的發生，達到安全的需求，另一方面亦可以補注地下水資源，若可以結合最佳化管理措施（best management practices, BMPs），藉由設施之土壤及植物等自然淨化系統來削減水污染，將可達到保水、水資源再利用及環境復育的生態永續目標，故此類設施一般通稱為LID/BMPs。

台灣地區現今由水利署公告之水庫計有96座，水庫集水區為重要之水源涵養及水土保持地區，96處蓄水設施之集水區涵蓋面積遼闊，廣達13,073平方公里，約佔台灣地區總面積之36%。再者，由於現行法規並未嚴格限制水庫集水區的農業行為，因此台灣幾乎所有的水庫集水區內均可見規模不等的農作，並可能伴隨產生水土保持及農業非點源污染等問題，嚴重影響水庫之壽命及水資源的永續利用。目前國內較常使用人工濕地或礫間接觸氧化

處理等集中型設施來處理農業非點源污染，然而此等傳統 BMPs 設施需較大的用地及較繁雜的操作與維護管理，因此於規劃設計時經常面臨用地取得不易等問題，致使無法有效全面落實非點源污染的管制，因此近年來水庫管理單位已逐漸朝向於使用設施佔地小且操作維護簡便之分散型 LID/BMPs 來取代，其中植生滯留槽 (bioretention) 因具有彈性設計且結合景觀營造的特點，再加上對於提高逕流入滲及水質過濾淨化亦具有一定之功效，因此在國外已被普遍使用，植生滯留槽大都採小面積、小區塊但不只一處的分散形式設計，並且可配合整體造景的需求，設計成景觀花園，故又可以稱之為雨花園 (rain garden)。植生滯留槽主要為引導地表逕流雨水並入滲至槽體設施內部，藉此達到降低暴雨逕流及減緩洪峰到達時間，並且藉由槽體內部人工鋪設之天然材料，將暴雨逕流雨水過濾淨化，可去除之污染源如重金屬、磷、總凱氏氮、氨氮和硝酸鹽等，故植生滯留槽屬於入滲型 LID/BMPs 的其中一項設施。於國外已有部份成功的案例將植生滯留槽使用於削減農業非點源污染，然農業非點源污染的削減與其農作物生長特性、施肥方式與種類、地形與地質及降雨型態有關聯，為了解植生滯留槽應用於國內水庫集水區農業非點源污染的削減成效與限制，因此本文進行一系列的現地實驗，以做為爾後相關單位全面推廣時之參考依據。

植生滯留槽的污染去除性能

植生滯留槽是一種結合物理性、化學性與生物性過濾的暴雨逕流收集與污染削減之 LID/BMPs 設施，屬於小面積、小區塊形式設計之小型貯留入滲設施，常見於停車場、道路分隔島等都市非點源污染及農業非點源污染的削減，主要功效為衰減或處理暴雨逕流量，兼具美化環境之功效。植生滯留槽設施的基本組成包括植物、土壤介質層、礫石過濾層及出流暗管 (詳圖 1)。土壤介質層可以保水及保肥使植栽生長健康，介質層與礫石層亦有淨水功效，植生滯留槽設置之機動性極高，其因地制宜性佳可依照集水區面積大小或污染濃度進行設計設施的大小，設施內部材料均為天然材料，且設施不需要頻繁或昂貴的維護，因此國外已被普遍使用於暴雨逕流非點源污染的削減。

Geronimo *et al.*^[1] 利用植生滯留槽降低都市的非點源污染及洪峰流量，系統內部結構最上層鋪上木片屑、中層為砂石，其次再鋪上一層木片屑，最下層則為礫石。結果顯示該植生滯留槽可減少總懸浮污染物 (TSS) 90%、水溶性重金屬 (Zn、Cu) 70%、有機物 (organics) 與營

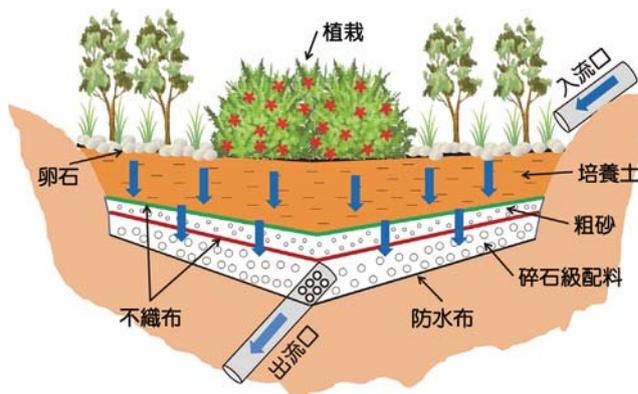


圖 1 植生滯留槽內部配置示意圖

養物 (nutrients) 則降低 35% ~ 60%，並發現當逕流量減少 20%，則 TSS 最少可減少 80%；而當降雨深度小於 5 mm，可有效降低流量 73%；降雨深度 5 mm ~ 10 mm 之間，可有效降低流量 52%；降雨深度大於 10 mm，可有效降低流量 22%。Lucas *et al.*^[2] 於 Wachusett 水庫集水區進行雨水管理計畫研究，於試驗場中設置 150 m² 之植生滯留槽，並分析對於水質改善之效能，其結果顯示能降低總懸浮污染物 (TSS) 526.2 kg/yr、總磷 (TP) 1.95 kg/yr、總氮 (TN) 9.7 kg/yr、糞生大腸桿菌群 (Fecal Coliform) 4.3 Billion colonies/yr，占子流域污染物之削減率各別為 1.07%、1.01%、1.07%、0.89%。Lucke *et al.*^[3] 對道路旁之植生滯留槽進行研究 (詳圖 2)，該植生滯留槽主要負責處理約 0.6 公頃之道路雨水逕流，設施底層用防水布阻隔地下水，內部材料由下而上依序為 20 cm 的碎石層、10 cm 的砂濾層、90 cm 的土壤介質層，並以無污染、原道路污水、雙倍道路污水、五倍道路污水，四種不同濃度進行實驗，分析設施對水質之效能，其結果顯示植生滯留槽過於設施對於原污水 TSS 能削減 66.7%、TP 能削減 96.6%，而 TN 削減率為 65.4%。Yang *et al.*^[4] 將傳統雨花園改良成複合式雨花園 (圖 3)，傳統雨花園追求快速排水，導致淨化效果不佳，而複合式雨花園分為內飽和層與外非飽和層，能有效減少洪峰值 (84 ~ 88%) 及流量 (54 ~ 59%)，且將水滯留於飽和層中的時間拉長能有效提高氮的去除率，磷酸鹽在都市模擬逕流中，能達到 95% 的削減率，而氮、磷在都市與農業模擬逕流中，分別可達到 92%、99% 的削減率，複合式雨花園對農藥的削減也相當良好。

實驗場址說明

翡翠水庫內水量水質一直是備受關注的議題，根據研究指出^[5-8]，翡翠水庫集水區內之污染貢獻可分為點源污



圖 2 實驗場址示意圖^[3]



圖 3 複合式雨花園示意圖^[4]

染與非點源污染，點源污染主要來自生活污水及遊憩污水，而非點源污染若扣除森林背景污染，其最主要來自於農業行為，雖然翡翠水庫水質近年來均維持普養至貧養狀態，然而對於三條主要入庫溪流（北勢溪、金瓜寮溪及鱸魚堀溪），在總磷項目中仍未完全符合甲類水體標準，顯示其水質仍有改善空間，而經調查發現，入庫溪流之磷主要來源為農業施肥，而大部分農業行為又以茶園為最大宗，茶園施肥因茶農而有所異，施肥量往往超出茶樹所需，未被茶樹吸收之氮、磷等營養鹽將儲存於土壤中，常在暴雨過後對於集水區產生非點源污染，並造成入庫溪流之負荷，進而影響翡翠水庫水質。駱尚廉等人^[5]於翡翠水庫集水區不同作物，進行暴雨採樣，相較於其他作物，茶園 TP 貢獻量最多，其 TP 濃度為 1.90 mg/L、TN 濃度為 2.85 mg/L、SS 濃度為 116.2 mg/L。陳彥甫^[6]於翡翠水庫集水區之不同土地利用進行暴雨採樣，其中茶園 SS 濃度為 27.8 mg/L、TP 濃度為 0.26 mg/L、NH₃-N 濃度為 0.19 mg/L，濃度相較於其他採樣點高出許多，由此可知，茶園施肥為造成入庫溪流總磷濃度偏高的主要之一，實有必要進行非點源污染的削減，以確保翡翠水庫的水質。

本研究利用航照圖資料，圈選出靠近鱸魚堀溪與北勢河流域之茶園，取得數值高程模型，分析茶園地形特徵，包含坡度、坡向及地表逕流等，於地形等高線圖上繪製逕流向及坡降，爾後配合現勘來選擇合適之研究場址，最終選出二處合宜場址做為本文之研究示範場址。鱸魚堀溪流流域的研究場址（場址 A）為集水區面積達 0.78 公頃的茶園（詳圖 4），平均坡度為 11.9%，該茶園經現勘後，得知茶園內逕流水均匯流於茶園間的排水溝渠最終匯流至下游匯流點並直接流入鱸魚堀溪內；北勢河流域的研究場址（場址 B）之茶園面積為 1.06 公頃，平均坡度為 19.6%，茶園經現勘後，得知茶園間亦有天然溝渠，收集茶園內之逕流水，匯流至茶園下方之排水溝渠（詳圖 5）並直接排入北勢溪支流中。

俟選定研究場址並獲地主簽署合作同意書之後，便依下列步驟設置植生滯留槽：(1) 基地位置之土方挖除（1 m × 1 m × 1 m）、(2) 清除土方中大型石塊、(3) 將基地底部壓實、(4) 置入塑膠槽體（1 m × 1 m × 1 m）、(5) 設置出流管及溢流管、(6) 鋪設 15 cm 厚之碎石層、(7) 鋪設紗網防止粗砂掉落至碎石層而阻塞、(8) 鋪設 10 cm 厚的粗砂層、(9) 鋪設不織布提供微生物生長及隔絕土壤介質層掉落至粗砂層而阻塞、(10) 鋪設 60 ~ 70 cm 厚之土壤介質層提供植栽與微生物生長養分、(11) 種植植栽、(12) 鋪設卵礫石防止土壤介質層遭受沖蝕、(13) 架設入流管，設置情形如圖 6。



圖 4 鱸魚堀溪流流域的研究場址（場址 A）



圖 5 北勢河流域的研究場址（場址 B）



圖 6 植生滯留槽施工步驟

水質採樣檢測結果

為了解茶園非點源污染實際之污染貢獻，以及植生滯留槽處理前後之水質變化狀況，因此本研究進行一系列之暴雨採樣，主要採集地表逕流水進入植生滯留槽前之水樣（以下簡稱入流水）與植生滯留槽過濾後之水樣（以下簡稱出流水），並依據行政院環境保護署環境檢驗所公告之水質檢測方法^[10-12]檢測水質濃度，以分析植生滯留槽污染削減效益。

二處研究場址完工之後，隨即開始進行暴雨逕流採樣，由於污染物濃度會隨著降雨強度及延時的不同而有所差異，基本上以採得暴雨初期沖刷時之水樣為有效水樣，然暴雨初期沖刷的「初期」於許多文獻中並未明確定義其時間，根據 Geiger^[13]及 Kim *et al.*^[14]的研究提出，常見的說法為暴雨前半吋（13 mm）的累積逕流量，或一場降雨的前 15 至 30 分鐘的降雨，可以描述為暴雨初期沖刷挾帶的污染量於初期沖刷之尖峰濃度，因此本研究之採樣以累積降雨量達 15 ± 5 mm，且降雨前 72 小時內降雨量不得超過 3 mm，降雨延時需大於集流時間，並考量降雨強度及降雨延時，以判別該場降雨是否具代表性；再者，所採集之水樣以事件平均濃度法（event mean concentration, EMC）來定義該採樣事件之污染濃度，其計算如式 (1) 所示，為總入流污染量除以逕流量，得到單場降雨之非點源污染濃度。

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i C_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (1)$$

其中， Q_i = 採樣時之逕流量

C_i = 污染濃度

由於二處場址的完工時間不同，故採樣進行之時機與場次亦不盡相同，場址 A 較早完工，因此共採集 12 場有效降雨，而場址 B 則為 9 場，採樣所得之水樣分別於實驗室進行 SS、NH₃-N 及 TP 等水質項目的檢測，檢測結果與討論說明如下：

懸浮固體 (SS) 檢測結果

表 1 為二處場址之水中懸浮固體檢測結果，由數據可以得知二處場址於第一場次採樣時之出流水濃度都偏高，其原因在於植生滯留槽設置完成初期，系統內有部份不穩定的細顆粒及出流管中有殘留土被帶出所致，待系統操作一段時間之後，便開始發揮對於 SS 的去除功效。檢測數據顯示二處場址之污染削減率分佈較為零散，扣除第一場次不穩定的採樣數據之後，場址 A 的污染削減率為 40.9% ~ 90.0% 而場址 B 則為 51.5% ~ 93.3%，但若以出流水濃度而言，其檢測數據則較為穩定，圖 7 為場址 A 的 SS 濃度盒鬚圖，由圖中可知入流水的濃度盒鬚圖較出流水為長，顯示入流水濃度差異性大，但出流水濃度則差異不大，今若以削減率來判斷其污染去除效能，一旦入流水濃度高則污染削減率高，當入流水濃度低，則計算所得之污染削減率便會偏低，進而誤判設施之去除成效不彰，因此採用出流水濃度值來衡量植生滯留槽之污染削減效率應較採用削減率合理。

表 1 二處植生滯留槽場址之 SS 檢測結果

採樣場次	場址 A				場址 B			
	採樣時降雨量 (mm)	入流水濃度 (mg/L)	出流水濃度 (mg/L)	污染削減率 (%)	採樣時降雨量 (mm)	入流水濃度 (mg/L)	出流水濃度 (mg/L)	污染削減率 (%)
1	16	28.7	13.6	52.6	20	23.7	17.6	25.7
2	21	6.2	2.0	67.7	16	6.9	3.1	55.1
3	19	4.7	1.1	76.6	12	10.8	4.2	61.1
4	15	11.0	2.8	74.6	20	17.8	2.4	86.5
5	20	4.4	2.4	45.5	22	6.6	3.2	51.5
6	23	33.3	3.6	89.2	19	6.4	2.1	67.2
7	26	4.2	1.3	69.1	22	97.2	6.5	93.3
8	25	2.2	1.3	40.9	24	224.5	6.2	97.2
9	24	2.5	1.4	44.0	18	30.2	2.1	93.1
10	16	13.5	2.6	80.7				
11	20	12.0	1.2	90.0				
12	22	21.0	2.3	89.1				

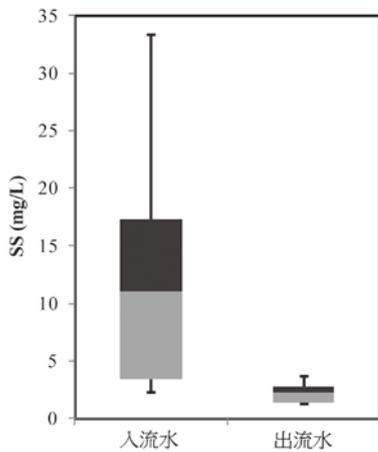


圖 7 入流水與出流水之 SS 濃度盒鬚圖 (場址 A)

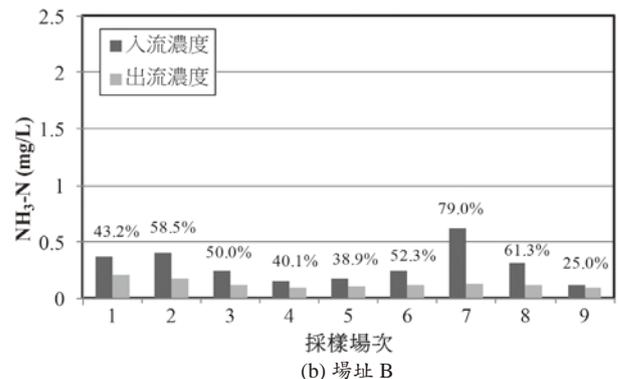
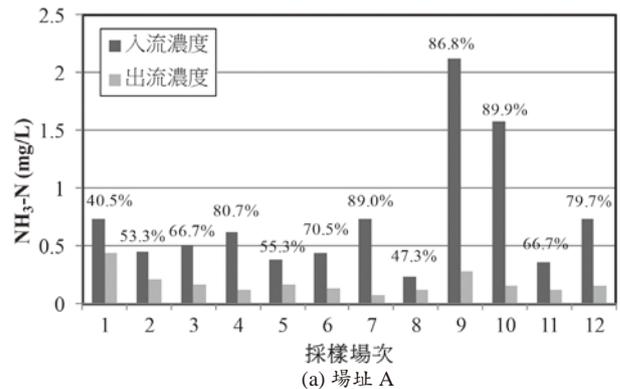
再者，不論入流或出流水濃度，場址 A 均普遍低於場址 B，其原因在於一來場址 B 的坡度較陡，因此水流流速較快，二來該場址種植的茶樹較為年輕（種植尚未滿一年），對於表層土壤的保護能力較差，因此降雨時將產生較明顯的表土沖蝕；另外，雖然採樣時之降雨量差異不大，但部份場次之出流水 SS 濃度卻有飆高的現象，例如 B 場址的第 7 場次與第 8 場次，其降雨型態係屬於午後雷陣雨，自開始降雨至符合採樣條件僅約 1 小時，而其它場次則均需數小時降雨方達到採樣標準，由此可知降雨強度亦是影響 SS 濃度的關鍵因子之一。

氨氮 (NH₃-N) 檢測結果

由水質檢測結果可以得知，場址 A 之入流水 NH₃-N 濃度介於 0.23 ~ 2.12 mg/L，平均濃度為 0.74 mg/L；出流水濃度介於 0.08 ~ 0.44 mg/L，平均濃度為 0.18 mg/L，其污染削減率介於 40.5 ~ 89.9%，平均值為 68.9%，每一場次之入、出流濃度及削減率詳圖 8(a)。場址 B 之入流

水 NH₃-N 濃度介於 0.12 ~ 0.62 mg/L，平均濃度為 0.29 mg/L；出流水濃度介於 0.09 ~ 0.21 mg/L，平均濃度為 0.13 mg/L，其污染削減率介於 25.0 ~ 79.0%，平均值為 49.8%，每一場次之入、出流濃度及削減率詳圖 8(b)。

由圖中數據可以得知二處場址對於 NH₃-N 之出流濃度控制頗佳，顯示植生滯留槽對於 NH₃-N 的削減有其穩定的成效。圖 8(a) 顯示場址 A 於第 9 場次及第 10 場次的水樣中，NH₃-N 濃度有明顯攀升的現象，經現地勘查並詢問地主後得知於該二場次降雨期間，適逢場址 A 之茶樹施肥期，施灑的肥料尚未被茶樹吸收，便隨著暴雨逕流而流至本設施，因此所採集之水樣中含有較高量的 NH₃-N。再者，場址 B 之入流水 NH₃-N 濃度較場址 A 低甚多，其原因在於二處場址之施肥量及施肥方式不同之故，場址 A 之茶樹樹齡因正值盛產採收期需較大量的葉肥，為有效提高產量，故農民以撒施的方式施加大量之高氮量肥料，而場址 B 則大都屬於剛栽植之低齡茶樹，為使茶樹可以穩定成長，因此施加的肥料屬於營養成份較平均之成長肥，並為使茶樹可以較快速有效吸收，因此茶農採用部份以固態肥灑施，部份以液肥噴施的方式施肥。二處場址所使用之肥料成分詳表 2，由表中可以得知場址 A 所使用的肥料成



註：柱狀圖上方數字表示污染削減率

圖 8 二處場址之 NH₃-N 入、出流濃度及污染削減率關係圖

份中含較高量的氮肥，並且採用固態肥直接灑施在土壤表面，因此一遇到降雨時，肥料便容易遭逕流雨水冲刷而溶於水中，致使採樣水體中之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 高出甚多，且入流濃度高者，其污染削減率亦愈高，但污染削減率愈高並不同於出流濃度控制愈佳，以場址 A 為例，第 8 場次的污染削減率 (47.3%) 表現較第 9 場次 (86.8%) 差，但第 8 場次的出流濃度 (0.12 mg/L) 卻較第 9 場次 (0.28 mg/L) 低甚多，顯示其出流水對環境的影響較低。

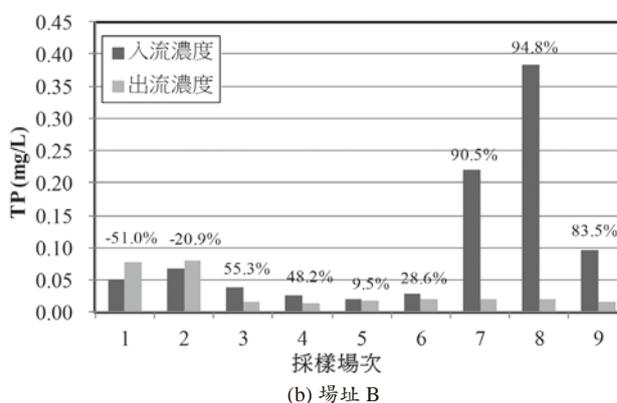
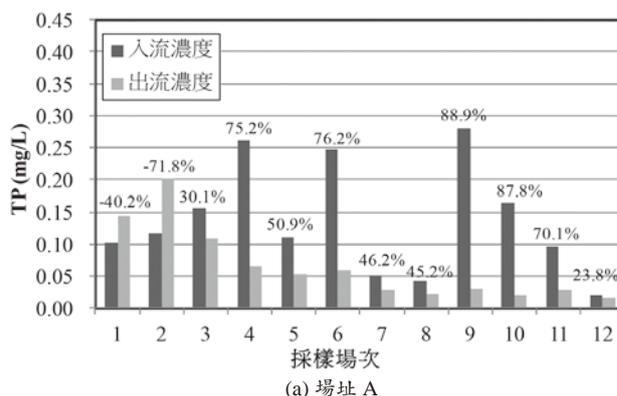
表 2 二處場址所施加肥料的成份表

場址	肥料成份
A	全氮 16%、全氧化鉀 1%、有機質 80%、其它 3%
B	全氮 5.0%、全氧化鉀 2.5%、全磷酐 2.5%、有機質 88%、其它 2%

總磷 (TP) 檢測結果

圖 9 為二處場址之 TP 入、出流濃度及污染削減率關係圖，由圖中可以得知在植生滯留槽設置完成初期所採得之水樣，其出流水 TP 濃度均高於入流水，因此污染削減率呈現負值，其原因為系統內部土壤介質層的貢獻，呂書豪 [15] 指出，植生滯留槽內部因鋪設土壤介質層，於實驗初期介質層中的泥炭土可能溶出磷酸鹽 (PO_4^{3-})，致使出流水之污染濃度高於入流水，然經過一段時間入流水的淋洗之後，土壤介質層便不再有 PO_4^{3-} 的溶出，因此系統污染削減率便可以呈現正值。經水質檢測結果得知，TP 的污染削減率由負值轉換成正值所需的時間與當地的降雨條件有關，比較二場址於設置完成之後所遭遇的降雨條件，場址 B 於設置完成後一個月內接連遭遇二次颱風並受降雨的大量淋洗，因此一個月後便已開始發揮正值的 TP 污染削減，反觀場址 A 於設置完成後的降雨情形較少，因此等待約二個月後，系統の出流水濃度才開始低於入流水。

若扣除場址 A 前三場 TP 削減成效較不穩定的採樣數據，可以得知其入流水 TP 濃度介於 0.021 ~ 0.280 mg/L，平均濃度為 0.142 mg/L；出流水濃度介於 0.016 ~ 0.065 mg/L，平均濃度為 0.036 mg/L，其污染削減率介於 23.8 ~ 88.9%，平均值為 62.7%；場址 B 扣除前二場次數數據之後，其入流水濃度介於 0.021 ~ 0.383 mg/L，平均濃度為 0.116 mg/L；出流水濃度介於 0.014 ~ 0.021 mg/L，平均濃度為 0.018 mg/L，其污染削減率介於 9.5 ~ 94.8%，平均值為 58.6%。另由圖 9(b) 之結果可以發現，採樣場次 7 與 8 的入流水濃度明顯較其它場次高，其原因除了可能受施肥影響之外，最主要原因為該二場次降雨強度大，茶園表土



註：柱狀圖上方數字表示污染削減率

圖 9 二處場址之 TP 入、出流濃度及污染削減率關係圖

如前所述遭沖蝕造成 SS 濃度偏高，而土壤顆粒表面之吸附磷亦同時被帶出，致使 TP 濃度上升，因此農業暴雨逕流水中之 TP 濃度與 SS 有其關聯性。

結論與建議

1. 植生滯留槽對於農業非點源污染的削減具有一定的功效，然於設施設置完成後，須待一段時間俟系統內部穩定之後，方可發揮其功效，至於等待時間的長短端視現地之降雨條件，本研究之場址 A 約需 2 個月，而場址 B 則約需 1 個月。
2. 農業非點源污染中之 SS 貢獻量與集水區之坡度、水土保持條件及降雨型態有明顯的影響，愈陡削的農地，若裸露地面積愈多，一旦遇到強降雨時，便可能有較高的 SS 貢獻，且較高的 SS 亦可能伴隨產生較高的 TP 貢獻量。
3. $\text{NH}_3\text{-N}$ 的貢獻量與施肥種類、時機、施肥量及施肥方式有關，對於諸如茶樹等以葉片為主要收成的農作物，農民往往使用高含氮量的肥料，若於施肥期間遇到降雨，便可能產生較高 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度的逕流雨水。再者，採用固態肥灑施的方式較液肥噴施的方式可能產生較多的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 貢獻。

- 植生滯留槽於設置完成後的初期，由於土壤介質層之泥炭土所含的 PO_4^{3-} 會被入流水淋洗而溶出，致使出流水的 TP 濃度高於入流水，俟一段時間的淋洗，泥炭土不再有 PO_4^{3-} 的溶出之後，TP 的污染削減率始呈現正值，系統便可以發揮穩定的污染削減。
- 由於非點源污染所產生的污染物濃度變化大，若採用污染削減率來做為 LID/BMP 設施削減效能評估的唯一指標，恐有誤判之虞，故建議應以出流水的濃度做為設施的表現良窳判別及管制條件。
- 植生滯留槽可以有效並穩定的去除因施肥而產生的營養鹽，且具有佔地小及維護容易等優點，同時可以配合現地環境進行植栽美化，因此普遍為農民所接受，若可以全面推廣於水庫集水區之農地，將有利於減少農業非點源污染對水庫及河川水質的威脅。

誌謝

本研究承蒙台北水源特定區管理局提供計畫經費，以及場址 A 之地主鄭先生與場址 B 之地主張先生無償提供本文研究場地進行實驗，並且於實驗進行期間提供之一切協助，方便本研究得以順利完成，在此一併致上謝忱。

符號說明

EMC：事件平均濃度

Q_i ：採樣時之逕流量

C_i ：污染濃度

參考文獻

- Geronimo, F.K.F., Maniquiz-Redillas, M.C. and Kim, L.H., "Treatment of parking lot runoff by a tree box filter," *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, No. 19-21, pp. 4044-4049 (2013).
- Lucas, S.H., Chris, S. and David, W., "Stormwater management plan

for the West Boylston Brook subbasin," WPI Report, MA., U.S.A., pp. 1-184 (2011).

- Lucke, T. and Nichols, P.W.B., "The pollution removal and stormwater reduction performance of street-side bioretention basins after ten years in operation," *Science of the Total Environment*, Vol. 536, pp. 784-792 (2015).
- Yang, H., Dick, W.A., McCoy, E.L., Phelan, P.L. and Grewal, P.S., "Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal," *Ecological Engineering*, Vol. 54, pp. 22-31 (2013).
- 駱尚廉、余嘯雷，「環境敏感地帶調查－水源水質保護區不同土地使用型態對水體水質之影響」，行政院環境保護署委託，國立臺灣大學環工所研究報告，臺北（1994）。
- 林鎮洋，「翡翠水庫集水區非點源污染削減措施整體規劃之研究」，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託，國立臺北科技大學水環境研究中心研究報告，臺北（2005）。
- 何嘉浚、林鎮洋，「魚堀溪茶園非點源污染削減現地處理調查規劃」，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託，國立臺北科技大學水環境研究中心研究報告，臺北（2014）。
- 何嘉浚、林鎮洋，「北勢溪茶園非點源污染削減（LID）現地處理調查規劃」，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託，國立臺北科技大學水環境研究中心研究報告，臺北（2015）。
- 陳彥甫，「茶園及林地非點源單位污染負荷之研究」，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文，臺北（2003）。
- 環保署環境檢驗所，「水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法－103°C ~ 105°C 乾燥」，(102) 環署檢字第 1020004998 號公告，NIEA W210.56A (2013)。
- 環保署環境檢驗所，「水中磷檢測方法－分光光度計／維生素丙法」，(99) 環署檢字第 0990084224 號公告，NIEA W427.52B (2010)。
- 環保署環境檢驗所，「水中氨氮檢測方法－靛酚比色法」，(94) 環署檢字第 0940035925A 號公告，NIEA W448.51B (2005)。
- Geiger, W.F., "Flushing effects in combined sewer systems," *Proceedings of the 4th International Conference Urban Drainage*, Lausanne, Switzerland. pp. 40-46 (1987).
- Kim, L.H., Ko, S.O., Jeong, S. and Yoon, J., "Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm," *Science of the Total Environment*, Vol. 376, No. 1-3, pp. 178-184 (2007).
- 呂書豪，「提升樹箱過濾設施水質淨化效能之研究」，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文，臺北（2015）。



中國土木水利工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260

e-mail: service@ciche.org.tw

一個凝聚產官學土木專業知識的團體
一個土木人務必加入的專業學術團體
一個國際土木組織最認同的代表團體
一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體



歡迎加入學會

<http://www.ciche.org.tw>
請上網下載入會申請表



運用低衝擊開發於都市治水策略之探討

游景雲／國立臺灣大學土木工程學系副教授

邱昱嘉／國立臺灣大學水工試驗所助理研究員

陳葦庭／以樂工程顧問執行長

徐佳鴻／貳本規劃設計顧問公司主持人

王順加／以樂工程顧問總經理

前言

台灣過去於防洪策略上，多以水道治理模式進行治理。近十餘年已逐漸以綜合治水策略進行水患治理。綜合治水乃是以流域為單元，運用各種工程與非工程手段，採取流量分攤與淹水風險管理方式，進行內水排除、外水治理及暴潮防禦工作，同時配合土地利用的規劃與管理，達到降低區域淹水風險的全方位治水方式，綜合治水其概念為以流域為單元，完成整體治理規劃。在此一概念下，河川、區域排水、都市排水、農田排水、山坡排水均為同一系統內之子系統。現有之排洪設施，因各地之洪水防護標準可能不一，早年辦理之河川治理計畫與區域排水治理，大多沿襲傳統高水治理之觀念，河川治理以劃定河川治理計畫線、訂定計畫水位為重點，以作為堤防區位與高度之參考依據，對於逕流量之管制較少著墨，故進行內水排水規劃時，應與河川治理相協調，避免內水排水能力增加後，造成河川排洪之負擔。

目前政府之綜合治水重要策略規劃以「逕流分擔、出流管制」作為政策推動之方向。逕流分擔主要目的為避免現況之土地利用型態超過現有水利設施之負荷。河川排水管理單位應依據防洪設施設計基準提供河川排水一定通洪量（計畫流量），各目的事業主管機關應檢視該權責區域內之水道系統匯入之尖峰流量是否超過計畫流量。若有超過情形，應由各目的事業主管機關自行採取滯蓄洪等手段，以達到匯入河川排水之尖峰流量不超過計畫流量之目標。出流管制主要目的為避免未來之土地開發行為增加現有水利設施之負荷。由於土地開發常導致水道逕流增加，超過水道設計基準，導致整體防洪能力下降，增加淹水風險。因此，必須透過土地開發出流管制措施有效管理土地

開發所增加的逕流量，以維持水道設施的有效性。開發行為透過出流管制措施，以達成開發後尖峰出流量不大於開發前尖峰出流量或不得超過下游水道之通水能力為原則。

然而在已經開發之區域，隨著經濟成長人口集中，都市化現象日益顯著，都市區域不透水面積比例大幅上升，在相同雨量時，直接逕流量體積的增加，再加上不透水鋪面造成的水力效率提升，更多的雨水流入排水系統，導致洪峰集中，集流時間縮短，因此強度超出原雨水下水道系統之設計容量，造成市區產生了區域排水不良（內水）之淹水型態外，更大、更集中的排洪量，也可能致使下游的主要都市面臨更大的排洪量，而超出設計容量所造成之河川洪水，如何兼顧開發與降低對於下游之洪水量體，近年來被廣泛討論。

近年來海綿城市一詞常被提出，相關單位將其當作為因應氣候變遷衝擊的重要對策。然此一名詞實際緣起於澳洲都市人口相關研究（Salt, 2003、Budge, 2005、Argent et al., 2006），原意為乃指城市像海綿般將郊區人口集中吸附，而至偏遠鄉村人口持續減少，同時城市面積不斷擴大，海綿城市一詞原隱含著城市擴大下各種條件惡化的問題。近年來望文生義，主要由中國政府提出做為政策目標，衍生其疑為城市像海綿一樣，適應環境的變化和自然災害的反應等。我國行政院定義「海綿城市」是利用都市中分散而可運用之土地與建物空間，以入滲、滯蓄雨水等方式，如同海綿般吸存水分，達成城市的保水工作，觀念類似國際間各城市推動的「低衝擊開發」（Low Impact Development、LID），意即降低土地開發對環境的影響，提供防洪抗旱等設施，降低災損風險。海綿城市一詞略有鄧書燕說之意。

低衝擊開發 (Prince George's County, 1999) 為加拿大和美國常使用之名詞，歐洲國家稱之為永續都市排水系統 (Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS; Martin et al., 2000; Woods-Ballard et al., 2007)、澳洲稱為水資源敏感的都市設計 (Water Sensitive Urban Design, WSUD; Mouritz, 1996, Whelans et al, 1994)，基本上雖然名詞不同，內涵差異不大。在這些名稱之前，BMP (Best management practices、最佳管理措施) 為早於 1972 年餘美國清水法案 (Clean Water Act 1972) 條文中出現，然卻缺乏明確定義。Ice (2004) 指出 BMP 一詞其實源於 1949 於農地管理中，意旨恢復適當的植被與土壤條件以維持水土條件提供現在與未來可用的水源。然於 1990 年美國的環保法規中 (Pollution Prevention Act、1990) 將其較狹義的限縮在水質層面、包括非結構性和結構性措施、如操作執行面減少使用化肥農藥、管制程序、維護需求、及基礎設施建構設計如小型設施、排水改善等均屬之 (USEPA, 2011)，除水質層面外，BMP 也有控制逕流之概念，因此也部分延伸至雨洪管理面向。

現今台灣所稱之低衝擊開發，其主要的概念是在都市化的土地利用開發過程中，希望維持或回復基地開發前的水文狀況，描述利用土地規劃和工程設計的方法來控制雨水逕流。透過源頭的管理，分散式的設施，透過源頭分散的透水及保水，以增加入滲潛勢及延長集流時間，利用滲透、過濾、貯存、蒸發及延遲逕流等工程設計並結合都市土地規劃、景觀等面向，以達成改善水質、減少暴雨逕流量之目標，此策略創造能減少環境衝擊的水文地貌，亦能減輕雨水下水道的排洪壓力，以降低淹水事件發生的可能，也具有水質改善、環境綠化、降低都市熱島效應、增加生物棲地、調節微氣候及提升都市景觀美質等

低衝擊開發之功能定位

LID 低衝擊開發其中之一項政策目的，為降低開發後對於水環境之衝擊，以期恢復未開發前之逕流狀態，本文著重於水量上之探討。在概念上，過去之開發行為所採用的設計與工法，均會造成不透水鋪面的大量使用，而使水文條件改變，流域內入滲量及降雨損失比例大幅降低，造成逕流量增加，也使得水力效率提高，地表逕流迅速集中，造成都市洪水的威脅。美國環保署 (US EPA) 的定義為，在土地開發或整建時，盡可能利用與自然構造相似的設計設施，透過滲透、貯留及蒸發等功用，減少暴雨逕流量，減輕雨水下水道排水負荷，進行雨水管理，有效解決都市排水問題。而在台灣對於 LID 的定義由營建署

公布，概念是以分散式、小規模的在源處理設計，透過滲透、過濾、貯存、蒸發及延遲逕流等工程設計並結合都市土地規劃、景觀等面向，以達到改善水質、減少暴雨逕流量之目標。LID 與傳統工法的比較如圖 1 所示。而設置低衝擊開發設施的功用期望降低洪峰量、減少總地表逕流量以及延後洪峰時間，而洪水來臨時流量歷線的變化，取決於土地利用方式之地文條件的影響，在整體流域上，希望可以以分散式的方式達到流域減洪之目的，概念如圖 2 所示，而集水區之逕流改善希望如圖 3 所示，歷線 1 為開發前出流流量歷線，歷線 2 為開發後出流流量歷線，歷線 3 為採取暴雨管理措施後，開發後之出流歷線。

低衝擊開發措施於暴雨管理角色定位為源頭管理 (Source Control) 之設施，以單一開發基地而言，其目標將藉由基地之相關 LID 設施，期望能使其水文條件恢復至一定之條件。依照美國 LID 手冊所提及之方法，常見的低衝擊開發措施包括有生態滯留單元 (Bioretention Cell)、雨水花園 (Rain Garden)、樹箱過濾設施 (Tree

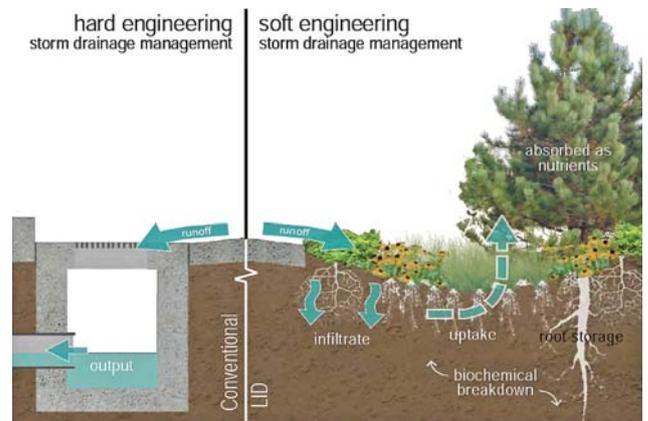


圖 1 LID 設施細部功能示意圖
資料來源：LID Guidance Manual (2013)

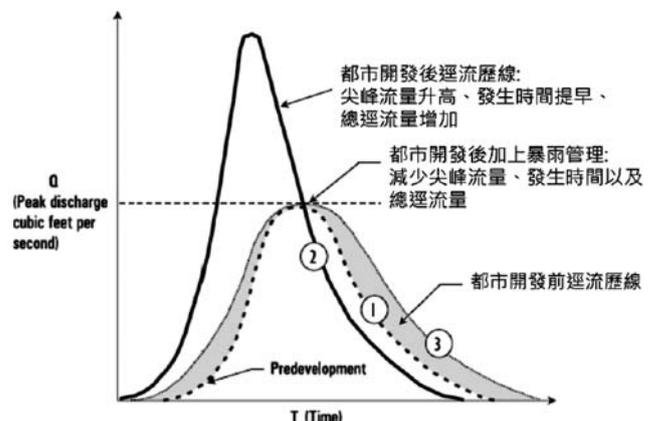
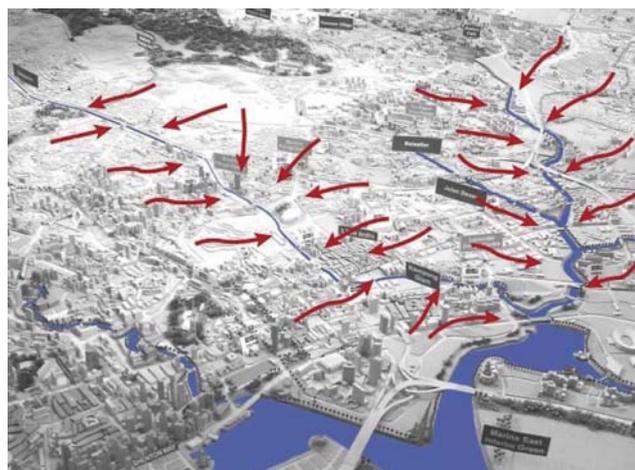
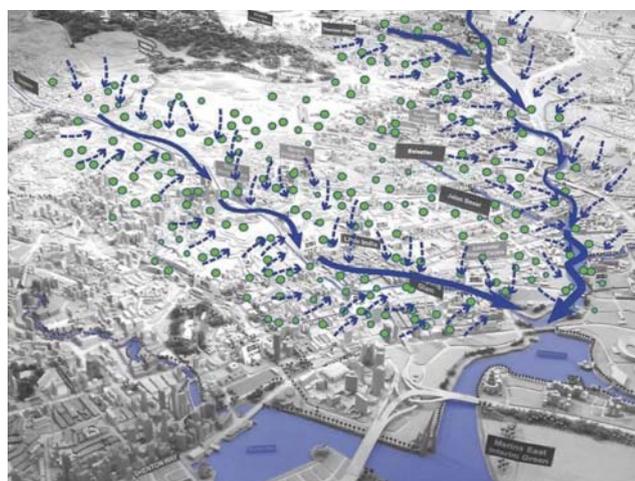


圖 2 都市開發前後與加上暴雨管理的水文歷線圖
資料來源：Prince George's County, 1999



(a) LID 設置前



(b) LID 設置後

圖 3 LID 分散式保水於大尺度觀察之示意圖
資料來源:德國戴水道景觀設計公司 (Atelier Dreiseitl)

Box Filters)、植生濾槽 (Biofilter)、植生溝 (Grass Swales)、綠屋頂 (Green Roof)、透水鋪面 (Permeable Pavements)、雨水桶 (Rain Barrels) 或蓄水池等。探究其於水文歷程中主要之功能,大致以入滲、蓄流、及降低水力效率為主,蓄流又分為遲滯性的滯洪 (detention) 及較長時間的滯留 (retention) 為主要機制。

入滲於水文上之定義為指水分經由土壤表面進入地面下的過程、影響的因素包括土壤性質如孔隙率、顆粒大小、分佈、及土壤含水量等。入滲入滲率隨著降雨延時及土壤含水量而變,最終平衡入滲率大約會等於土壤本身的飽和水力傳導係數,一般而言砂土水力傳導係數約為 10^{-2} cm/s 以上、細砂土到壤土約為 $10^{-2} \sim 10^{-6}$ cm/s、黏土則低於 10^{-6} cm/s。如果以一般值 10^{-4} cm/s 換算成雨量常用單位則約為 0.36 cm/hr。台灣地區最大時雨量動輒 50 mm/hr 以上,以 2015 年 614 降雨事件來說,大安區公館測站,3 小時累計雨量達 190.5 mm,時雨量 131.5 mm,均遠超

過一般土壤入滲潛能。以現有都市條件表面屬於高透水性的砂質壤土區域並不多,因此如表面未做適當的處理跟土壤至至換或改良,想要藉由入滲來完全解決洪水的風險,有一定的限制存在。此外,當降雨入滲到地下,則轉換為土壤水分,假設入滲量為 50 mm,如果孔隙達 25%,則飽和土層厚度會達到 200 mm。但由於 LID 面積有限,不可能整個基地都作為 LID 設施所用,若基地有 20% 之區域作為 LID 設施使用,則處理之水量會是單位面積水量之五倍,飽和土層之深度則需到達 1 m 深以上。以現在都市建築施工而言,多以筏基作為基礎,開挖部分即使回填土壤,也缺乏與下層土地之連結,因此低衝擊開發透過入滲涵養地下水源之效果仍有待商榷。

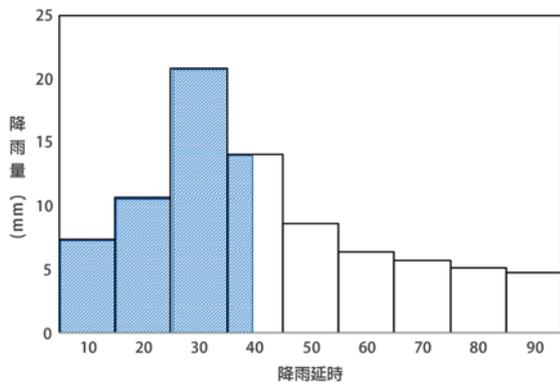
地表逕流之特性反映於集流時間,集流時間之定義為水流由集水區內水力學上之最遠點,流至集水區出口所需時間。定義中所言之水力學上的最遠點,係因為考慮逕流過程之坡度與糙度等水力因子所造成之影響;在開發行為上,集流時間與滯、蓄洪量均會較開發前降低,透過低衝擊開發之設計,透過加長漫地流之流徑,增加表面自然覆蓋,降低逕流流速,以減少洪峰量,便透過提供保留及滯蓄洪之體積,控制排水流量,以達到開發前後水文條件的適當維持,減少對於排水系統之衝擊。在降低水力效率增加集流時間部分,由於 LID 屬於源頭管理,多位於基地內進行水量之控制,因此雨洪的集流路線多不過數十公尺,假設原流速為 1 m/s,原有集流時間也僅約末 1 ~ 2 分鐘、假使流速可以降低二分之一、集流時間也減少約不到一分鐘,由於是源頭管理之系統,因此各系統對於集流時間之減少沒有加成效果,因此透過 LID 改善水力效率對於洪峰削減之效果也非常有限。

目前不同 LID 設施於水文特性的改變條件如表 1 所示,LID 在於設計施作上,還是主要是藉由駐留保水,貯留之概念類似滯蓄積水、滯洪池,即是以空間將入滲或未入滲水量水體儲流蓄滯留,增加貯留的空間可增加雨水之入滲量,亦可增加水停留在地表的時間,對降低流量有一定的功效,於地表下之貯留體積估算需考慮介質材料與孔隙率,孔隙率之推估可由試驗或經驗公式推估之,透過駐留對於單元及集水區所造成之水文變化如圖 4 所示。然在此概念下,當 LID 空間體積已經蓄滿水量時,其滯洪功能就會受到影響,如果在最大尖峰雨量到達前已無多餘其蓄容空間儲水,該設施則就會沒有洪峰削減之功能,因此 LID 在尺寸設計的選擇上、以及對應事件的設定,都是影響是否能達到其功能重要因素。

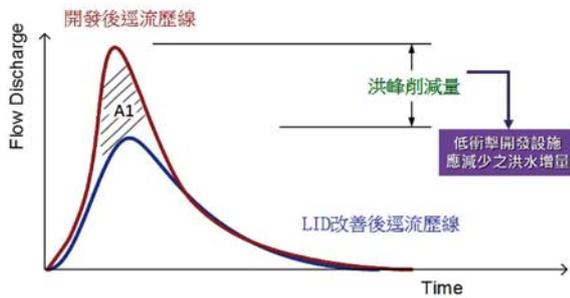
表 1 LID 設施改變水文特性對照表

項次	設施單元	入滲	貯留	地表逕流
1	雨水花園 / 生態滯留單元	○	●	●
2	樹箱過濾設施	○	○	-
3	雨水桶 / 蓄水池	-	●	-
4	綠屋頂	-	●	-
5	植生溝	○	-	●
6	透水鋪面	○	-	-
7	滲透陰井	●	○	●
8	滲透側溝	●	-	●

●：需考慮此項水文現象 ○：視不同設計考慮此項水文現象



(a) 單一設施保水效果示意



(b) 流域 LID 保水效果

圖 4 LID 藉保水對於水文系統產生之效果

臺灣之降雨型態與尺度均與國外差異極大，加上氣候變遷使降雨強度及頻率增加，因此在高度開發之區域，受限於現實之可行性，恢復原有原有水文狀態在管制與達成上均有其困難性，且於都市防洪中，LID 設施係屬都市暴雨管理中之微處理設施，屬源頭控制之小尺度暴雨管理，故無法僅由 LID 設施負擔目標迴歸年降雨條件下削減暴雨逕流之責任，或取代原有排洪系統之功能，以圖 5 為例，LID 並無法太多潛能足以負擔高迴歸年之淹水事件。其定位應該在較低迴歸年如 5 ~ 25 年的降雨事件減洪功能。仍應以配合原有排水系統等結構性設施，相互整合，方為較佳之都市暴雨管理模式。在上述前提下，於都市地區而言，LID 設施之定位應可以某特定目標年下之部分或全部負擔量作為其目標。

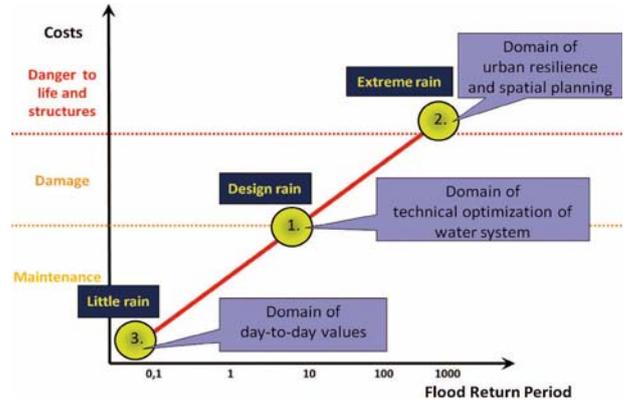


圖 5 運用 Three Point Approach (3PA) 檢視都市防洪之策略定位 (資料來源：Fratini et al., 2012)

基於此一概念，LID 之責任為利用多元手法、整合規劃、以保水方式部分負擔現有基礎設施之容量，於較短延時降雨量提供減洪之功能性，以增加水文條件改變下之承受力。由於不同業務目的主管單位間對於保水的認知有所差異、基本上本文將保水定位為任何可以將水量蓄流於基地內之措施，參照保水設計技術規範內對該目的之說明：為改善土壤生態環境、調節環境氣候、降低區域洪峰、減少洪水發生率，提供建築基地涵養雨水及貯留滲透雨水的設計標準。前列目的係透過分別透過土壤入滲、地表蒸發散、雨水滯留貯集等手段達成。故凡將雨水以不特定方法暫流於建築基地內者，皆屬保水相關，也為 LID 之主要功能任務。

LID 設施以保水為手段、並非以減洪為單一目標，多針對低迴歸週期、短延時暴雨事件來設計。因此，若欲全面推動 LID，應先對其功能與目標有明確之定義，尤其臺灣所面臨的是不同的降雨尺度，此課題也更顯重要。LID 推動功能與目標應就以下幾個面向進行探討：

環境保護：由於 LID 設施是以分散式、小規模的就源處理設計，通過滲透、過濾、貯存、蒸發及延遲逕流之工程設計，達成改善水質、減少暴雨逕流量之目標，故以此點來看，環境保護可視為 LID 設施之基本功能。

法定貯留量

現行建築技術規則之法定貯留量為基地面積乘以 45 mm，故目前基地開發均需滿足此要求，前階段計畫亦曾就 LID 設施之保水總量進行確認，在評估基地保水容受度之可行性後，希冀長期目標可將現有建築技術規則之法定貯留量由基地面積乘以 45 mm 調整至基地面積乘以 105 mm。

雨水利用

現行建築技術規則建築設計施工編第 316 條要求雨水貯留設施之利用率應大於 4%，雖利用率偏低，但仍屬實質規定。而由前階段計畫的執行經驗瞭解，長期而言，LID 設施應同時考量雨水利用之功能有其必要性。

流出抑制

建築技術規則或地方自治條例雖就雨水貯留設施訂定量體要求，但僅臺北市及新北市針對雨水貯留設施訂有流出抑制規定，惟現況之流出抑制規定並未考量下游承受水體之允許排放量，故較屬減輕下游水道排洪負擔之概念。

出流管制與逕流分擔

出流管制與逕流分擔係屬行政院現行推動之重要政策，而出流管制與流出抑制之差異在於出流管制之允許排放量需以下游承受水道為依據，而流出抑制則沒有此概念。然出流管制之對象較屬大面積開發，且以洪峰削減為目標，除貯洪量體需求大以外，一般多採離槽設施較具減洪效益，由於臺灣降雨尺度大，非大型建築基地尺度之 LID 設施不必然須與出流管制劃上等號，然 LID 設施對於都市暴雨逕流減緩具有一定程度之貢獻。

低衝擊開發設施規劃概念

目前 LID 設施類型大致確定，如透水鋪面、生態蓄流池、植生草溝、雨水貯留桶、綠屋頂及雨水花園等，其餘建築基地中設置之位置如圖 6 所示。在單一設施的設計規範上，除參考國外相關 LID 技術手冊外，目前國內較為相關之技術手冊則包括環保署「降雨逕流非點源污染最佳管理技術（BMPs）手冊」、建築研究所之「屋頂綠化手冊」及營建署之「透水性鋪面養護工法參考手冊」等。

105 年度由台灣大學水工試驗所承接營建署「水環境低衝擊開發設施操作手冊編製與案例評估計畫」、參考上述各手冊內容，更詳盡制定之低衝擊開發設施設計內容包含各 LID 設施標準結構、材料、注意事項及維護管理等。惟設計者除參考本手冊外，亦可依據現地狀況及自身需求參考其他技術手冊。項低衝擊開發措施之概略原則如表 2 所示。相關內容協助開發者進行評估與設計者進行設計，也讓設施使用者了解維護管理的程序及重點，然設計者應

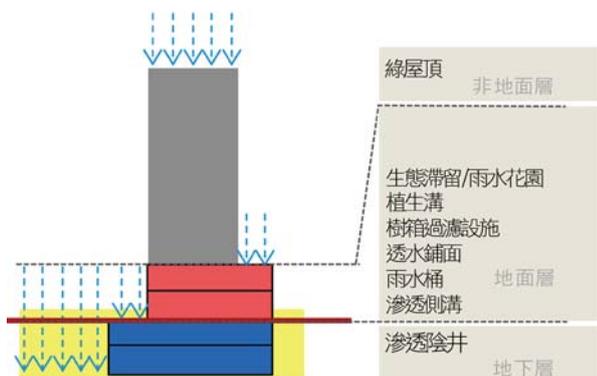


圖 6 不同 LID 於建築基地中之設置位置示意

依據現場條件依當地水文、地形等特性，因地制宜並充分發揮設施功能，創造極大化的多元附加效益。

LID 設施最大適用範疇雖為單一基地開發，但研究發現，若於土地使用規劃及細部計畫擬定階段即可導入，整體效益將更為顯著，如以整個開發區進行低衝擊開發設施設計時，應先瞭解開發區或基地之現況條件，並應有詳盡的場址分析，其所設計之低衝擊開發設施方能達到目標設定需求，基此，初擬低衝擊開發設計流程，如圖 7 所示。步驟包括：(1) 確定實施範圍；(2) 基本資料蒐集與場址分析；(3) 決定設計目標；(4) 低衝擊開發設施適用性評估與選擇；(5) 低衝擊開發設施佈置規劃；(6) 是否滿足設計目標之效能評估；(7) 低衝擊開發設施設計及 (8) 監測與維護管理規劃。本流程可因應不同區域的差異特性做調整與改變，提出不同的設計與配套措施。

前述規劃流程屬於整體開發部分，然對於單一基地如何導入，提供誘因，需透過法規等手段予以誘導，對小型開發行為之建築基地而言，若操作方式過於複雜，可操作性也相對降低，基於可行性之思考，水理等計算上不應過於複雜，規定應簡化並以原則為主，並應保留設計彈性，始能在設計上採用多元設計手法，達到友善環境目的。

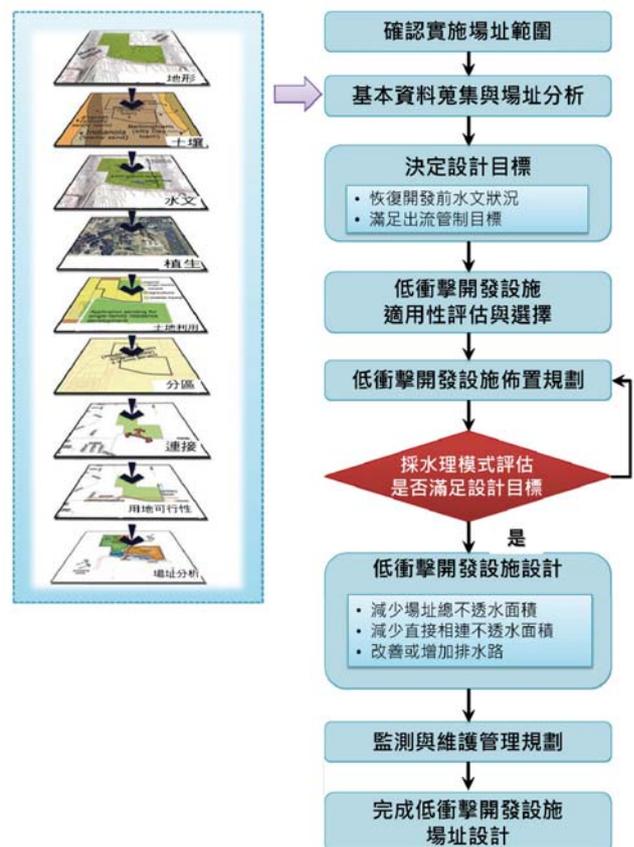


圖 7 低衝擊開發設施設計流程圖

表 2 低衝擊開發設施單元設計原則總表

設施名稱	照片	設施說明	適用地點	類型	基本結構	基本維護方式	生命週期概估
透水鋪面		將透水性良好、級配應配用之材料鋪入基層，讓水能滲透入地下。鋪面應具有良好之透水性，讓水能滲透入地下。	行人步道、自行車道、廣場、開放空間、停車場等，或低交通量的道路。	(1) 透水混凝土鋪面 (2) 透水混凝土鋪面 (3) 多孔瀝青鋪面 (4) 非連續拼接空鋪面	(1) 鋪面層 (2) 襯墊層 (3) 級配基層 (4) 級配底層 / 過濾層 (5) 土工織布 (6) 排水管	利用真空吸塵器或高壓水沖洗，若損壞則進行翻修。	15~20年
綠屋頂		安裝於屋頂，以改善土壤淨化作用及貯存雨水。	可於平屋頂或於40度以下之屋頂上建造，適用於新建或改建。	(1) 精養型 (2) 粗放型 (3) 半精養型	(1) 植栽層 (2) 生長介質層 (3) 土工織布層 (4) 排水層 (5) 攔根層 (6) 防水層 (7) 支撐結構	灌溉、修剪及清除雜草，是滴灌系統。	30~50年
生態滯留單元 / 雨水花園		具美化景觀功能，能處理雨水，使雨水滲透入地下，減少地表逕流。	公共道路、停車場、私人庭院、公共開放空間（如公園或廣場）及中央分隔島。	(1) 景觀安全島 (2) 建物景觀設施 (3) 加長型樹坑 (4) 路緣擴展設施	(1) 入流設施 (2) 前處理設施 (3) 地表貯水區 (4) 溢流設施 (5) 生長介質層 (6) 過濾貯水層 (7) 排水層 (8) 覆蓋層 (9) 植栽	移除沉積物、灌木地被修剪及清除雜草。	25年
雨水桶		小型雨水收集系統，主要用於收集屋頂之雨水，以減少地表逕流。	高度都市化、住宅區、商業區、或工業區。	(無)	(1) 落水管 (2) 分流設施 (3) 溢流設施 (4) 水箱	清除淤積物及清洗。	20年
樹箱過濾設施		箱型生態滯留單元，設置於人行道或路邊，利用樹箱過濾雨水，再滲透入地下。	公共設施、停車場及入口、停車場等區域。	(無)	(1) 入流設施 (2) 前處理設施 (3) 表層貯水區 (4) 溢流設施 (5) 生長介質層 (6) 過濾貯水層 (7) 排水層 (8) 覆蓋層 (9) 植栽 (10) 柵欄護蓋 (11) 混凝土箱	喬木修剪及沉積物清理。	25年
植生溝		寬淺且有植被之溝渠，可減少地表逕流，並改善水質。	停車場、庭院、公園、街道及公共空間。	(1) 乾式溝渠 (2) 草溝渠	(1) 植生溝槽體 (2) 前處理設施 (3) 生長介質層 (4) 過濾貯水層 (5) 土工織布 (6) 排水層 (7) 植栽 (8) 覆蓋層	移除沉積物、修剪及清除雜草。	25年
滲透側溝 / 滲透陰井		採碎石材料製成，並填充透水性材料，使雨水能滲透入地下。	道路、社區、開放空間、圍欄、停車場、街道、行道、庭院。	(無)	(1) 側溝 / 陰井結構體 (2) 過濾貯水層 (3) 過濾砂層 (4) 土工織布	清淤及沖洗。	10~15年

建築技術規則第 4 條之 3 對基地內要求設雨水貯集滯洪設施，促使各地方政府因應地方降雨特性及安全保護考量，調整單一基地雨水貯留量體之要求，國內都市化程度較高之直轄市政府多已訂定高於中央法規之標準，如：臺北市規定貯集量為基地面積乘以 0.078 (m^3/m^2)、新北市為建築基地面積乘以 0.05 (m^3/m^2)、高雄市採建築物開挖面積乘以 0.132 (m^3/m^2)，而臺南市要求建築基地除須滿足建築技術規則第 4 條之 3 規定外 ($0.045 \text{ m}^3/\text{m}^2$)，另須依據基地面積規模大小額外負擔基地面積乘以 0.01 ~ 0.045 (m^3/m^2) 不等之雨水貯集設計容量，相較其他地方政府，具有依據基地大小負擔不同程度滯洪功能之想法，相關規定比較彙整於圖 8。

國內目前建築基地之雨水貯集滯洪設施，多以設置於筏式基礎坑或箱涵空間為主，雖能降低公共排水溝負擔，達到逕流分擔及延遲滯洪效果，然而在林口特定區經驗中，卻遭遇維護管理失當導致機械故障，使其功能大幅折減。此外，雨水貯集設施之後續維護管理需一定經費，使得開發商與住戶在考量淹水風險、不利風水等原因下，多半在取得使照後即關閉閘門，使得雨水無法進入筏式基礎坑內，喪失貯流功能。因此，如何引導民間開發者設置雨水貯集設施且確保能有效運作，不致喪失功能，為設施推動過程需進一步討論的項目之一。

低衝擊開發推動牽涉之法令相關規定

國內現有土地開發有關保水或貯留滯洪之相關法規主要係以「環境保護」與「私人協作減洪」兩大目標脈絡發展，此部分應可成為 LID 導入之相關法源基礎。民國 88 年實施綠建築標章制度，其中有關基地保水指標，是政府首先將基地保水性能導入建築基地開發案的討論與實際推動；主要係以「環境保護」思維，藉由「基地透水設計」加上「貯留滲透水池」等 2 類保水設計，增加基地涵養雨水及循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和都市氣候高溫化現象，以環境保護觀念為主。

為推廣宣傳綠建築政策，綠建築標章取得未強制民間執行，採配合容積獎勵等方式推動，且內政部於民國 94 年 1 月實施建築技術規則綠建築專章第 298 條與第 305 條，該法初期僅針對學校、16 層樓以上高層建物、實施都市計畫地區建築綜合設計之新建物規劃設計者，要求設置具涵養或貯留滲透雨水功能之基地保水設計，並須符合建築基地保水設計技術規範（以下簡稱「保水規範」）內有關保水指標值計算，後續始有擴大設施適用範圍與提高

指標標準值；其中，臺北市於民國 95 年率先將保水設計規範要求擴大至全市公共設施用地。

內政部於民國 100 年發布修正「都市計畫定期通盤檢討實施辦法」，針對辦理都計通檢時，增訂規劃單位需規劃及檢討設置流域型蓄洪及滯洪設施，影響地方政府擬定開發基地需設置雨水貯留等保水設施，以及對於大型開發基地與公共設施之適用範疇的討論。

國內首開由地方政府引領「私人協作減洪」（意即建築開發須分擔減洪功能責任）為民國 94 年 5 月新北市政府發布實施之「變更林口特定區計畫」《土地使用分區管制要點》，要求林口地區開發需設置雨水貯留滯洪及涵養水分再利用設施。因雨水貯留對於減少洪患頗有成效，新北市政府再於民國 100 年頒布「新北市都市計畫規定設置雨水貯留及涵養水分再利用相關設施申請作業規範」，擴展至其他 20 個都市計畫區，要求建築基地面積 $\geq 1,500$ 平方公尺，且建物面積 ≥ 150 平方公尺之開發案須設置雨水貯留設施，並有流出抑制要求，進而影響內政部於民國 101 年修正「都市計畫法臺灣省施行細則」，增列單一開發基地「排水逕流平衡」管制規定；民國 102 年 1 月 1 日內政部修正建築技術規則第 4 條之 3，要求都市計畫區內新增改建之建物，須設置具備雨水貯集滯洪設施之水池或儲水槽。

各地方政府如臺北市、新北市、臺南市、高雄市等，續以地方自治條例，訂定雨水貯集與利用之相關規定，並提升至逕流分擔層面進行討論，要求私人開發基地須併同開發行為分擔治水權責，在後續設施維護管理方面也逐漸著墨並重視。整體而言，國內現行都市計畫及建築管理法系有關環境保護與私人協作減洪相關規定（雨水貯留或滯洪設施），在尺度上有中央法規關照全國、地方自治法規照顧全市、細部計畫土地使用分區管制要點側重因地制宜等不同層級，各層級有關雨水貯留與入滲設施相關法規詳表 3 所示。

LID 設施導入開發基地，為目前主要之可行方針，以使建築基地設計上能儘量採行低衝擊開發設計，以發揮環境保護、貯留減洪、雨水再利用、流出抑制等功能，並納入全國適用管理，以建築技術規則相關規定為設施導入之主軸範疇，涉及需調整研議討論之法令，包含建築技術規則第 4 條之 3、第 298 條、第 305 條與第 316 條等，相關規定如表 4 所示，而其中現形建築基地保水設計技術規範保水指標之計算如表 5 所示。

表 3 各層級有關雨水貯留與入滲設施相關法規彙整表

類別	層級	法規	條號	條文內容	設施特性
都市計畫 規劃擬定 階段	中央	排水管理辦法 (105.4.12)	12	於區域排水集水區域內辦理土地開發利用或變更使用計畫(以下簡稱土地利用計畫)之面積達2公頃以上,致增加其集水區域內之逕流量者,該土地利用計畫之開發人、經營人、使用人或土地所有權人(以下簡稱義務人)應依本辦法擬具排水規劃書及排水計畫書送目的事業主管機關轉該區域排水之管理機關審查核定後始得辦理。 前項土地利用計畫跨越二以上區域排水之集水區域者,由其所占面積較大之區域排水管理機關會同其他區域排水管理機關審查核定;但涉及中央管區域排水集水區域者,由水利署會同其他管理機關審查核定。	入滲 / 貯集 / 出流管制
			13	前條土地利用計畫,應以滯洪、蓄洪、雨水貯留、增加入滲或其他減洪設施等削減其排水出口洪峰流量,使不得超出開發前10年重現期距洪峰流量,且不得大於其排水出口下游排水系統現況通洪能力。 土地利用計畫變更原有集、排水路致減損周邊範圍之原有集排水功能者,應於排水規劃書及排水計畫書一併提出解決方式。 土地利用計畫同時位於水土保持計畫適用範圍者,第1項減洪設施空間量體,應以水土保持計畫與排水規劃書及排水計畫書所計算之量體較大者設置。	入滲 / 貯集 / 出流管制
		中央管區域排水 排水計畫書 審查作業要點 (103.8.28)	2	辦理土地開發利用或變更使用計畫(以下簡稱開發案),致增加中央管區域排水(以下簡稱排水)之逕流量且面積達2公頃以上者,該土地之開發人、經營人、使用人或所有人(以下簡稱義務人)應檢具排水計畫書送請本署審查。	貯集 / 出流管制
			附件一	5、增加逕流量之因應對策 減洪設施設置原則應考量開發基地立地條件、排水區位與土地利用情形等條件,吸納因土地開發造成的洪峰增量。 (1)為吸納因土地開發造成的洪峰增量,應採延遲排洪與逕流抑制等方式設置減洪設施,例如滯蓄洪池、雨水貯留、增加地表入滲等。 (2)開發基地如位於排水規劃報告中所規劃之低地易積淹水地區,開發基地內或鄰近地區應預留足夠滯蓄洪空間以補償因開發或填土行為所減少之天然滯蓄洪量,或可採高腳屋式建築等保留天然滯蓄洪空間,或採其他補償措施補償所減少之滯蓄洪量。	
		都市計畫定期通盤檢討實施辦法 (100.1.6)	6	都市計畫通盤檢討時,應依據都市災害發生歷史、特性及災害潛勢情形,就都市防災避難場所及設施、流域型蓄洪及滯洪設施、救災路線、火災延燒防止地帶等事項進行規劃及檢討,並調整土地使用分區或使用管制。	下滲 / 貯集
都市計畫 規劃擬定 階段	中央	都市計畫 定期通盤檢討 實施辦法(100.1.6)	8	辦理細部計畫通盤檢討時,應視實際需要擬定下列各款生態都市規劃原則: 一、水與綠網絡系統串聯規劃設計原則。 二、雨水下滲、貯留之規劃設計原則。 三、計畫區內既有重要水資源及綠色資源管理維護原則。 四、地區風貌發展及管制原則。 五、地區人行步道及自行車道之建置原則。	下滲 / 貯集
			9	都市設計之內容視實際需要,表明下列事項: 一、公共開放空間系統配置及其綠化、保水事項。 二、人行空間、步道或自行車道系統動線配置事項。 三、交通運輸系統、汽車、機車與自行車之停車空間及出入動線配置事項。 四、建築基地細分規模及地下室開挖之限制事項。 五、建築量體配置、高度、造型、色彩、風格、綠建材及水資源回收再利用之事項。 六、環境保護設施及資源再利用設施配置事項。 七、景觀計畫。 八、防災、救災空間及設施配置事項。 九、管理維護計畫。	
		都市計畫法 臺灣省施行細則 (101.11.12)	35	擬定細部計畫時,應於都市計畫書中訂定土地使用分區管制要點;並得就該地區環境之需要,訂定都市設計有關事項。 各縣(市)政府為審核前項相關規定,得邀請專家學者採合議方式協助審查。 第1項土地使用分區管制要點,應規定區內土地及建築物之使用、最小建築基地面積、基地內應保持空地之比率、容積率、綠覆率、透水率、排水逕流平衡、基地內前後側院深度及寬度、建築物附設停車空間、建築物高度與有關交通、景觀、防災及其他管制事項。	下滲 / 貯集
都市計畫 實質開發 階段		建築技術規則 建築設計施工編 4-3(102.1.17)	4-3	都市計畫地區新建、增建或改建之建築物,除本編第13章山坡地建築已依水土保持技術規範規劃設置滯洪設施、個別興建農舍、建築基地面積300平方公尺以下及未增加建築面積之增建或改建部分者外,應依下列規定,設置雨水貯集滯洪設施: 一、於法定空地、建築物地面層、地下層或筏基內設置水池或儲水槽,以管線或溝渠收集屋頂、外牆面或法定空地之雨水,並連接至建築基地外雨水下水道系統。 二、採用密閉式水池或儲水槽時,應具備泥砂清除設施。 三、雨水貯集滯洪設施無法以重力式排放雨水者,應具備抽水泵浦排放,並應於地面層以上及流入水池或儲水槽前之管線或溝渠設置溢流設施。	貯集

類別	層級	法規	條號	條文內容	設施特性
都市計畫 實質開發 階段	中央	建築技術規則 建築設計施工編 4-3 (102.1.17) 298 (101.5.11) 305 (98.5.8) 316 (97.7.15)	4-3	四、雨水貯集滯洪設施得於四周或底部設計具有滲透雨水之功能，並得依本編第17章有關建築基地保水或建築物雨水貯留利用系統之規定，合併設計。 前項設置雨水貯集滯洪設施規定，於都市計畫法令、都市計畫書或直轄市、縣(市)政府另有規定者，從其規定。第1項設置之雨水貯集滯洪設施，其雨水貯集設計容量不得低於下列規定： (一) 新建建築物且建築基地內無其他合法建築物者，以申請建築基地面積乘以0.045(立方公尺/平方公尺)。 (二) 建築基地內已有合法建築物者，以新建、增建或改建部分之建築面積除以法定建蔽率後，再乘以0.045(立方公尺/平方公尺)。	貯集
			298	一、建築基地綠化：指促進植栽綠化品質之設計，其適用範圍為新建建築物。但個別興建農舍及基地面積300平方公尺以下者，不在此限。 二、建築基地保水：指促進建築基地涵養、貯留、滲透雨水功能之設計，其適用範圍為新建建築物。但本編第13章山坡地建築、地下水位小於1公尺之建築基地、個別興建農舍及基地面積300平方公尺以下者，不在此限。 四、建築物雨水或生活雜排水回收再利用：指將雨水或生活雜排水貯集、過濾、再利用之設計，其適用範圍為總樓地板面積達10,000平方公尺以上之新建建築物。但衛生醫療類(F-1組)或經中央主管建築機關認可之建築物，不在此限。	下滲 / 貯集
			305	建築基地應具備原裸露基地涵養或貯留滲透雨水之能力，其建築基地保水指標應大於0.5與基地內應保留法定空地比率之乘積。	下滲 / 貯集
			316	建築物應就設置雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統，擇一設置。設置雨水貯留利用系統者，其雨水貯留利用率應大於4%；設置生活雜排水回收利用系統者，其生活雜排水回收再利用率應大於30%。	
都市計畫 實質開發 階段	地方	臺北市綠建築自治條例(103.11.10)	3	新建建築物應符合下列綠建築基準： 一、適用建築技術規則建築基地保水規定者，其建築基地保水設計指標應大於0.55與基地內應保留法定空地比率之乘積。 二、總樓地板面積達5,000平方公尺以上者，應設置雨水貯留利用系統或生活雜排水。	下滲 / 貯集
			4	本市公共設施用地如屬下列情形之一者，應依本市公共設施用地開發保水設計技術規範(如附件)辦理： (一) 基地面積及新建(或改建)之建築面積在800平方公尺以上並符合下列條件者： 1. 本府所屬各機關學校新建或改建，須依規定申請建造執照或雜項執照者。	下滲 / 貯集
都市計畫 實質開發 階段	地方	臺北市公共設施用地 開發保水作業要點 (95.7.21)	4	2. 本府所屬各機關學校辦理新建、改建公園、平面停車場或廣場。 (二) 本府所屬各機關辦理市地重劃或區段徵收開發區域，開發面積在800平方公尺以上者。 (三) 水利處簽奉市長核定之開發案件。	下滲 / 貯集
			2	$\lambda = \frac{\text{開發後用地保水量 } Q}{\text{原用地保水量 } Q_0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{A_0 \cdot k \cdot t} \geq \lambda_c = 1.0 \times (1-r)$	
			9	基地開發時，基地使用人應依排入雨水下水道逕流量標準，排放雨水逕流。 前項標準由市政府定之。 基地使用人對依第一項規定而設置之相關流出抑制設施應負維護責任。	貯集 / 出流管制
			4	基地開發有下列各款情形之一者，其基地使用人應依本自治條例第九條規定設置雨水流出抑制設施： 一、建築物新建行為。 二、建築物改建行為。 三、增加建築物第一層樓地板面積行為。 四、其他經水利處認定之開發行為。 前項基地開發之面積計算基準如下： 一、建築物新建行為：依目的事業主管機關核准開發或利用之基地面積計算。 二、建築物改建行為：以實際改建建築面積除以建蔽率計算。 三、增加建築物第一層樓地板面積行為：以實際增建建築面積除以建蔽率計算。	貯集 / 出流管制
			6	基地開發增加之雨水逕流量，透過雨水流出抑制設施，應符合最小保水量及最大排放量。 前項所指最小保水量以基地面積每平方公尺應貯留0.078立方公尺之雨水體積為計算基準；最大排放量以基地面積每平方公尺每秒鐘允許排放0.0000173立方公尺之雨水體積為計算基準。	
				變更林口特定區計畫(94.5.20)	增訂雨水貯留滯洪及涵養水分相關設施規定
	臺北市北投區奇岩 新社區細部計畫 (98.6.19)	開發基地法定空地不透水層面積與地下開挖率規定 (基地法定空地內之不透水硬鋪面比 ≤ (1-建蔽率) × 10%)	下滲 / 貯集		

類別	層級	法規	條號	條文內容	設施特性
都市計畫 實質開發 階段	地方	變更板橋(浮洲地區)(配合榮民公司及其周邊地區興建合宜住宅)細部計畫(100.8.25)		規定開發基地設置生態滯洪池、雨水滯留設施與地下開挖範圍。	下滲/ 貯集
		新北市都市計畫規定設置雨水貯留及涵養水分再利用相關設施申請作業規範(101.3.16)	4	雨水貯留及涵養水分再利用相關設施之設置標準依下列各款規定辦理： (一) 最小貯留量以建築申請基地面積乘以係數 0.05 計算貯留體積。 (二) 允許放流量以建築申請基地面積乘以係數 0.000019 計算之。設計放流量範圍應介於 0.85 倍允許放流量及允許放流量之間。	下滲/ 貯集/ 出流管制
		新北市政府 辦理公共設施用地開發透水保水實施要點(103.10.24)	3	本要點所稱透水保水，指涵養雨水及貯留滲透雨水之能力；所稱開發透水保水，指促進建築行為或土木工程所實施之透水保水設計。	下滲/ 貯集
			4	本府所屬各機關學校及本市烏來區公所開發本市公共設施用地、辦理市地重劃或區段徵收開發區域，以及其他經本府核定之開發案件，除分隔島寬度小於 1.2 公尺者、山坡地開發、申請平地雜項執照無涉及整體土地開發利用者及車行道路外，應依新北市公共設施用地開發透水保水設計評估基準如附件辦理。既有公共設施進行透水保水改善時，應依本要點規定辦理。	
			8	依本要點設置之透水保水設施，由使用機關負責維護管理。	
		新北市政府 辦理建築基地保水指標執行要點(102.12.30)	5	依建築法規定應申請建造執照案件，其開發保水事項之審查，依下列規定辦理： (一) 涉及都市設計審議或建造執照預審之案件，基地保水應併入審查。 (二) 建造執照列入綠建築簽證案件審核抽查。 前項保水事項，應依建築基地保水設計技術規範檢討辦理，其保水指標基準值 λ_c 應以下列公式計算。現行 $\lambda_c = 0.5 \times (1-r)$ ，分階段逐步調升： (一) 公告實施後至 102 年底調整基地保水指標基準值 $\lambda_c = 0.6 \times (1-r)$ 。 (二) 103 年度適用基地保水指標基準值 $\lambda_c = 0.7 \times (1-r)$ 。 (三) 如新北市都市計畫法施行細則發布實施調降開挖率達 10% 以上，調整基地保水指標基準值 $\lambda_c = 0.8 \times (1-r)$ 。	貯集
都市計畫法 新北市施行細則(103.4.29)	13	各土地使用分區之法定開挖率不得超過建蔽率加基地面積 10%。但建築基地面積在 500 平方公尺以下者，不得超過建蔽率加基地面積 20%。前項各土地使用分區之法定開挖率，其都市計畫書有較嚴格之規定者，從其規定。	下滲/ 貯集		
都市計畫 實質開發 階段	地方	都市計畫法 新北市施行細則(103.4.29)	40	擬定細部計畫時，應於都市計畫書中訂定土地使用分區管制要點，應對於捷運車站、鐵路車站、重要景觀等附近地區及其他地區訂定都市設計有關規定事項。本府為審核前項相關規定，得邀請專家學者採合議制方式協助審查。 第 1 項土地使用分區管制要點，應規定區內土地及建築物之使用、最小建築基地面積、基地內應保持空地之比率、容積率、綠覆率、透水率、排水逕流平衡、基地內前後側院深度及寬度、建築物附設停車空間、建築物高度及有關交通、景觀、防災其他管制事項。 前項土地使用分區管制要點規定之土地及建築物使用，得視各都市計畫區實際發展需要，訂定較本細則更嚴格之規定。	下滲/ 貯集
			56	考量都市永續發展，建築開發行為應保留法定空地 80% 透水面積，並應設置充足之雨水貯留滯洪及涵養水分再利用相關設施；其實施範圍、送審書件及設置基準，於都市計畫書訂之，且其設置貯留體積不得低於 100 年以上暴雨頻率之防洪規劃設計標準。 前項設施所需樓地板面積，得不計入容積。	下滲/ 貯集/ 出流管制
		新北市 都市設計審議原則(104.9.8)	6-2	一、基地透水面積應大於法定空地 80% 檢討，地下室開挖範圍之覆土深度應達 60 公分以上。 二、建築基地地面排水設施請沿地界線屋基設置並儘量將地面水匯集入筏基中，過多之逕流始可排入外部公共排水溝，並請儘量設滲透井或其他保水設計，以減少公共排水溝負擔，並請明標示排水方向及保水設施位置及剖面。 三、基地排水設施以排入樹穴、草溝或降低高度等逕流地表雨水逕流之方式，以避免降水直接排入地區公共排水溝；另請於基地周邊境界線旁側加設草溝或粗礫石之滲透側溝，以利減緩都市洪峰、增加基地之保水能力。	下滲/ 貯集
			6-3	屋頂綠化：屋頂或露台之平台應以綠屋頂(薄層綠化)設計或設置綠能設施，以有效達到該平台隔熱降溫之目的，並可截留雨水減緩雨水逕流量。新建建物之屋頂、露台綠化其可綠化面積應分別達其面積之二分之一以上並建議將可食地景納入屋頂綠化規劃。	
		桃園縣建築管理 自治條例(101.5.16)	17	本府得指定地區或一定規模以上之建築應設置水資源回收系統、滯洪池及雨水貯留，其設置標準由本府另定之。但都市計畫說明書另有規定者從其規定。	貯集/ 回收利用
		都市計畫法 臺中市施行自治條例(103.2.6)	49	擬定細部計畫時，應於都市計畫書中訂定使用分區管制事項；並得就該地區環境之需要訂定都市設計相關事項。前項使用分區管制事項，應包括區內土地及建築物之使用、最小建築基地面積、基地內應保持空地之比率、容積率、綠覆率、透水率、排水逕流平衡、基地內前後側院深度及寬度、建築物附設停車空間、建築物高度與有關交通、景觀、防災及其他管制事項，並依本法第 23 條規定之程序報經核定施行。	下滲/ 貯集

類別	層級	法規	條號	條文內容	設施特性
都市計畫實質開發階段	地方	臺南市基地透水率都市設計審議原則 (94.6.29)	1	各類使用分區及公共設施用地基地透水鋪面面積不得小於法定空地面積扣除基地面積 10% 後之面積，計算式如下：基地透水鋪面面積 \geq 法定空地面積 - (基地面積 \times 10%)	下滲
		臺南市設置雨水回收系統之最小雨水貯留量評估標準 (102.2.20)		1. 最小雨水貯留量 (m^3) = 基地面積 (m^2) \times 0.119 (m)，其他法令另有規定者從其規定。 2. 檢核數值：雨水回收儲水槽容量 $>$ 最小雨水貯留量。 3. 須提出雨水回收之再利用計畫。 4. 雨水回收儲水槽平時須為空槽，不得以自來水滿補注，以備隨時儲存暴雨。	貯集／回收利用
		臺南市 低碳城市自治條例 (102.6.24)	18	經本府公告指定一定規模之土地開發或建築行為，應設置防洪或雨水貯留設施。	貯集
			19	本市以區段徵收、市地重劃、農村社區土地重劃基礎建設之整體開發地區，其公共設施之基礎建設內容，應符合下列規定： 一、於規劃或開發許可階段，導入生態社區評估系統之概念，以達到低碳、生態及永續經營之目的。 二、基地環境開發須確保全區保水性能，以達水資源循環。 三、公共設施之建設納入雨水貯留、太陽能或綠能發電之概念，並優先購置節能標章之產品。	下滲
		高雄市 建築管理自治條例 (103.9.1)	72-2	都市計畫地區新建或增建之公有建築物，應設置雨水貯集滯洪設施，其設置規定如下： 一、應於建築物地下筏式基礎坑或擇基地適當位置設置。 二、貯集容積應達建築物開挖面積乘以 0.132 立方公尺／平方公尺	貯集
高雄市 綠建築自治條例 (102.1.7 修正)	4	第一類建築物之綠建築設計，應符合下列規定： 一、建築物屋頂應設置隔熱層及太陽光電發電設施或屋頂綠化設施。 二、建築物應設置垃圾處理設施及垃圾存放空間。 三、建築物應全面採用省水便器。 四、總樓地板面積 10,000 平方公尺以上者，應設置雨水貯集設施。 五、總樓地板面積 10,000 平方公尺以上者，應設置雨水或生活雜排水回收再利用設施。 六、公有學校設置圍牆者，應採親和性圍籬之設計。 七、建築物之室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積 45% 以上。但窗未使用綠建材者，得不計入總面積檢討。 八、應設置具管理功能之自行車停車空間，並應設置乾濕分離之淋浴設施。 九、依建築技術規則規定應設置昇降機者，每幢建築物應設置可同時搭載人員及自行車之昇降機一部。但自行車停車空間設置於地面層者，其昇降機可不具搭載自行車之功能。 十、應於建築基地內預為留設電動汽(機)車電力線路及動線。	貯集／回收利用		
都市計畫實質開發階段	地方	高雄市 綠建築自治條例 (102.1.7 修正)	5	第二類建築物之綠建築設計，應依下列規定為之： 一、建築物屋頂應設置隔熱層及太陽光電發電設施或屋頂綠化設施。 二、16 層以上之建築物應設置垃圾處理設施及垃圾存放空間。 三、建築物之室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積 45% 以上。但窗未使用綠建材者，得不計入總面積檢討。 四、應設置具管理功能之自行車停車空間，並應設置乾濕分離之淋浴設施。但供集合住宅使用者得免設置淋浴設施。 五、建築物應全面採用省水便器。 六、總樓地板面積 10,000 平方公尺以上者，應設置雨水貯集設施。 七、總樓地板面積 10,000 平方公尺以上之建築物，應設置雨水或生活雜排水回收再利用設施。 八、依建築技術規則規定應設置昇降機者，每幢建築物應設置可同時搭載人員及自行車之昇降機一部。但自行車停車空間設置於地面層者，其昇降機可不具搭載自行車之功能。	貯集／回收利用
			14	雨水貯集設施之設置規定如下： 一、應於建築物地下筏式基礎坑或擇基地適當位置設置。 二、貯集容積應達建築物開挖面積 20 年重現期 4 小時短延時之降雨量。 三、降雨度之擇定應依基地所在位置擇定合適數值。 四、設計應經專業技師簽證。	

LID 設施考量「減洪能力」與「降低開發衝擊」，併同強調貯集量與水文歷程（入滲、過濾），而「建築基地保水設計技術規範」係以環境保護思維發展至入滲為其最重視之設計機制，故僅有入滲功能之設施亦得納入保水設計手法，內政部建築研究所之「社區及建築基地減洪防洪規劃手冊」內減洪技術型式重視貯集能力，單有入滲機能相關設計手法，而無納入減洪技術設施。然上述無論是設

計手法或技術形式，其實在建築管理及水利專業者專業考量下，或存有極大差異，相關法令、技術規則應有清楚之操作目標及相因應之設計手法可供執行參酌。

此外目前保水量與雨水貯集量之計算公式，主要係依目標論述而有「入滲量」與「雨水貯集體積」等兩部分之計算，保水技術規範量體計算包含入滲量與貯集量，建築技術規則第 4 條之 3 與 102 年度營建署「水環境低衝擊開

表 4 LID 相關法規規範

建築技術規則建築設計施工編	
4-3	<p>都市計畫地區新建、增建或改建之建築物，除本編第 13 章山坡地建築已依水土保持技術規範規劃設置滯洪設施、個別興建農舍、建築基地面積 300 平方公尺以下及未增加建築面積之增建或改建部分者外，應依下列規定，設置雨水貯集滯洪設施：</p> <p>一、於法定空地、建築物地面層、地下層或筏基內設置水池或儲水槽，以管線或溝渠收集屋頂、外牆面或法定空地之雨水，並連接至建築基地外雨水下水道系統。</p> <p>二、採用密閉式水池或儲水槽時，應具備泥砂清除設施。</p> <p>三、雨水貯集滯洪設施無法以重力式排放雨水者，應具備抽水泵浦排放，並應於地面層以上及流入水池或儲水槽前之管線或溝渠設置溢流設施。</p> <p>四、雨水貯集滯洪設施得於四周或底部設計具有滲透雨水之功能，並得依本編第 17 章有關建築基地保水或建築物雨水貯留利用系統之規定，合併設計。</p> <p>前項設置雨水貯集滯洪設施規定，於都市計畫法令、都市計畫書或直轄市、縣（市）政府另有規定者，從其規定。</p> <p>第一項設置之雨水貯集滯洪設施，其雨水貯集設計容量不得低於下列規定：</p> <p>一、新建建築物且建築基地內無其他合法建築物者，以申請建築基地面積 $\times 0.045$ (m^3/m^2)。</p> <p>二、建築基地內已有合法建築物者，以新建、增建或改建部分之建築面積除以法定建蔽率後，再乘以 0.045 (m^3/m^2)。</p>
298	<p>本章規定之適用範圍如下：</p> <p>二、建築基地保水：指促進建築基地涵養、貯留、滲透雨水功能之設計，其適用範圍為新建建築物。但本編第 13 章山坡地建築、地下水水位小於 1 公尺之建築基地、個別興建農舍及基地面積 300 平方公尺以下者，不在此限。</p> <p>四、建築物雨水或生活雜排水回收再利用：指將雨水或生活雜排水貯集、過濾、再利用之設計，其適用範圍為總樓地板面積達 10,000 平方公尺以上之新建建築物。但衛生醫療類（F-1 組）或經中央主管建築機關認可之建築物，不在此限。</p>
305	<p>建築基地應具備原裸露基地涵養或貯留滲透雨水之能力，其建築基地保水指標應大於 0.5 與基地內應保留法定空地比率之乘積。</p>
316	<p>建築物應就設置雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統，擇一設置。設置雨水貯留利用系統者，其雨水貯留利用率應大於 4%；設置生活雜排水回收再利用系統者，其生活雜排水回收再利用率應大於 30%。</p>

表 5 各類保水設計之保水量計算表及變數說明

項目	各類保水設計保水量 $Q_i(m^3)$	保水量 Q_i 式	變數說明
常用保水設計	Q_1 綠地、被覆地、草溝保水量	$Q_1=A_1 * f * t$	A_1 : 綠地、被覆地、草溝面積(m^2)，草溝面積可算入草溝立溝周邊面積
	Q_2 透水鋪面計保水量	$Q_2=0.5 * A_2 * f * t + 0.05 h * A_2$ (連鎖磚型) $Q_2=0.5 * A_2 * f * t + 0.3 h * A_2$ (通氣管結構型)	A_2 : 透水鋪面面積(m^2) h : 透水鋪面基層厚度(m) ≤ 0.25 (若基層為混凝土等不透水鋪面，則 $f=0$)
	Q_3 花園土壤雨水截留設計保水量	$Q_3=MIN(A_3 * f * t, 0.42 * V_3)$ MIN: 括弧內取小值	A_3 : 人工地盤花園土壤面積(m^2) V_3 : 花園土壤體積(m^3)，最多計入深度 1m 以內土壤
特殊保水設計	Q_4 貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池設計保水量	$Q_4=A_4 * f * t + V_4$	A_4 : 貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池可透水面積(m^2) V_4 : 貯集滲透空可貯集體積或景觀貯集滲透水池高低水位間之體積(m^3)
	Q_5 地下貯集滲透保水量	$Q_5=(A_5 * f * t) + r_i * V_5$	A_5 : 貯集設施地表面積(m^2) V_5 : 蓄水貯集空間體積(m^3) r_i : 礫石貯集設施為 0.2，專用蓄水貯集框架為 0.8，但礫石貯集深度 $\leq 1m$
	Q_6 滲透排水管設計保水量	$Q_6=(8 * X^{0.2} * k * L * t) + (0.1 * L)$	L : 滲透排水管總長度(m) x : 開孔率，為滲透排水管之開孔面積與其表面積之比 k : 基地土壤滲透係數(m/s)
	Q_7 滲透陰井設計保水量	$Q_7=(3.0 * f * n * t) + (0.015 * n)$	n : 滲透陰井個數
	Q_8 滲透側溝保水量	$Q_8=(a * k * L * t) + (0.1 * L)$	L : 滲透側溝總長度(m) a : 側溝材質為透水磚或透水混凝土為 18.0，紅磚為 15.0

資料來源:建築基地保水設計技術規範，內政部營建署，民國 101 年。

發設施操作手冊編製與案例評估計畫」則主要均以雨水貯集體積進行計算，後者更忽略率基地入滲量之計算。目前法規主要係規範保透水量，另民國 101 年度「建築基地保水設計技術規範」之目的，除針對土壤生態環境與調節環境氣候外，另加入降低區域洪峰、減少洪水發生頻率等目標。關於保水量的計算，於近年亦有諸多討論，尤其是關於最大降雨延時基準值的討論。現今之保水量之計算公式，以建築技術規則第 305 條而言，在計算基地保水量時，其入滲時間之降雨延時以 24 小時計算，惟在常時氣候下，因一般基地土壤透水性不佳，以 6 小時作為降雨延時已屬大值，但仍遠大於雨水下水道常採用的 60 分鐘或 90 分鐘降雨延時，故若直接引用綠建築基地保水設計值

計算雨水貯集滯洪量，將可能高估基地的滯蓄能力。

第 1 版 93 年保水規範所採計的入滲時間 (t) 為 44 小時，係為統計臺北市在民國 74 ~ 83 年間的逐時降雨資料後，發現記錄中最長降雨延時為 44 小時。惟 97 年「綠建築基地保水指標中滲透及時間因子影響探討」認為設計降雨延時採用 44 小時，有過大之可能，故建議以目前颱風降雨之設計降雨延時 24 小時為計算依據；然而在民國 103 年 12 月「建築基地保水指標檢討及透水鋪面現況評估與規劃設計」則提及降雨事件定義通常為 6 小時，以都市防洪考量的降雨延時設定多為 2 小時，與現有計算方法比較，降雨延時較小，亦即保水量計算不宜採與河川排水系統之長延時設計降雨相同，似應回歸較常發生之事件始顯其意義。

對於雨水貯集操作方式應引導選擇對環境保護設計手法之要求，目前具有共識。然而如何操作或如何兼顧不同使用分區與基地規模尺度帶來之限制？均是後續相關法令修改必須思考之方向。若建築技術規則第 4 條之 3 開放多元設施操作雨水貯集滯洪量，原保水設計手法之定義或許稍顯不足，此時或應納入諸如屋頂雨水貯集、結構式雨水貯集、高程差等設計方式。如何在不同使用分區土地上，規範具環境保護設計手法之比例，除就開發基地整體流出觀點予以規範外，其應同時顧及生態環境，故其中除保水指標外，尚需包含永續環境指標，避免開發商僅採用保水效益高，但永續環境效益低之設施，如雨水桶或利用建築物筏基儲水，減少地面或屋頂具生態效益低衝擊開發設施之施作面積。而在達到保水指標及永續環境指標之前提下，開發基地內之設施可依開發商使用需求或設計理念自由搭配。

此外、目前中央與地方政府目前多著重於單一開發基地設置雨水貯集、保水指標規範，對於執行效能較高且容易之公共設施空間或新市區土地開發案部分，著墨甚少。公園、學校、道路、廣場等公共設施面積佔都市土地面積比例超過 30%，且比一般建築基地更擁有更多餘裕空間進行雨水貯集設施規劃，若可導入相關措施將有機會發揮更大的貯集效果，且施作於公共工程亦有帶領示範操作的效果，故推動公共設施開發興關優先導入 LID 設施尤顯重要。然目前僅臺北市對於 800 平方公尺以上之公園、平面停車場、廣場或市地重劃、區徵開發地區，規定須符合該市自訂相關保水設計規定，然其法規內容細緻度尚不及中央法規所訂之保水規範，仍有調整空間。以政府推動 LID 設施概念之示範性地位，應主動積極以公共設施為執行對象，並且應儘快於新市區開發建設初期，即介入進行規劃設計操作。

結語

海綿城市的概念這幾年來廣為大眾所提及，然而背後的意涵卻較少深入探討，多數人直接將其與綠化、綠地及都市防洪等概念作為連結，然單純的綠化是否能提供適當的防洪效果有待商榷。適當考慮設施的入滲能力、保水效果方能對於低衝擊開發設施的定位適當釐清，並合理規劃其用途。在高回歸期的降雨下，LID 只能發揮部分功能，而非是所有問題的解決方案。都市化效果雖然造成洪澇加劇，然在過去未開發之條件下，也並非完全沒有淹水風險，在何種條件下提供何種保護，實為政府與民眾都需面對思考之問題。

目前單一 LID 設施設計手法概念大致已有共識、並有規範手冊可以遵循，然由於其相對於原有設施有經濟效益上之考量，因此如何透過法規修訂，納入技術規範相關規定，使各方有所遵循，以作為相關建築從業人員參考，導入實務上設計所用，仍須進一步探討釐清探討。此外在於高度開發的地區，如何以都市規劃的角度思考 LID 之定位，跳脫原有概念而以面的觀點思考，也是未來需要努力的方向，然都市轉變需要長期的投入，建置落實相關概念於國內都市計畫規劃與都市設計，仍為持續努力的目標。

參考文獻

- Argent, N., Rolley, F., & Walmsley, J. (2008). The Sponge City Hypothesis: does it hold water?. *Australian Geographer*, 39(2), 109-130.
- Budge, T. (2005). Sponge cities and small towns: a new economic partnership.order, 11, 12-13.
- County, P. G. S. (1999). Low-impact development design strategies: An integrated design approach. Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.
- Environmental Protection Agency, (2011). National pollutant discharge elimination system (NPDES) definitions, 40 C.F.R. 122.2 (2011a). Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Fratini, C. F., Geldof, G. D., Kluck, J., & Mikkelsen, P. S. (2012). Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water Journal*, 9(5), 317-331.
- Ice, G. (2004). History of innovative best management practice development and its role in addressing water quality limited waterbodies. *Journal of Environmental Engineering*, 130(6), 684-689.
- Martin, P., Turner, B., Waddington, K., Pratt, C., Campbell, N., Payne, J., & Reed, B. (2000). Sustainable urban drainage systems: design manual for Scotland and Northern Ireland. C521. CIRIA, London, UK.
- Mouritz, M. (1996). Sustainable urban water systems: policy and professional praxis (Doctoral dissertation, Murdoch University).
- Salt, B. (2003). The big shift: welcome to the third Australian culture: the Bernard Salt report. Hardie Grant Books.
- United States of America (1972). Clean Water Act of 1972. Public Law,
- United States of America (2011). Clean Water Act of 2011. Public Law,
- United States of America. (1990). Pollution Prevention Act of 1990. Public Law, (101-508), 13101-13109.
- Whelans, C., Maunsell, H. G., & Thompson, P. (1994). Planning and management guidelines for water sensitive urban (residential) design. Department of Planning and Urban Development of Western Australia, Perth, Australia.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). The SUDS manual (Vol. 697). London: Ciria.
- 內政部建築研究所 2012「氣候變遷下都市地區滯洪空間之規劃」。
- 內政部建築研究所 2012「社區及建築基地減洪防澇規劃手冊」。
- 內政部建築研究所委託研究報告 2012「社區及建築基地減洪防澇規劃手冊研擬」國立台灣海洋大學編撰。
- 內政部營建署委託研究報告 2015「水環境低衝擊開發設施操作手冊編製與案例評估計畫」國立台灣大學編撰。
- 內政部營建署委託研究報告 2016「水環境低衝擊開發示範與推動計畫」國立台灣大學編撰。



道路工程與綠色建設

陳起鳳／中國文化大學土地資源系副教授

都市化發展以及氣候變遷的雙重壓力下，人類居住的都市環境品質需要有不不斷因應的調適作法，才能維持良好的居住品質，以及減少居住環境災害的發生風險。綠色建設，或稱為綠色基礎建設（Green Infrastructure）即在這種氛圍之下發展出來，其概念廣為世界各國接受。維持人類社會生活與經濟發展的建設，通稱為基礎建設（Infrastructure）。這些建設的設計與建造，不能一成不變，必須因應變遷的社會需求，以及變遷的自然環境條件，才能提供並維持其應有的服務功能，使社會運作順利。基礎建設改變外，整個城市的規劃與未來發展，更需有整體性的方向。一個活絡的城市是有機體，會隨城市內的經濟發展以及外在自然條件，隨之改變調整，如此才能創造韌性，並朝向永續發展的最終目標。

本文以水的挑戰為主題，在都市化下，城市不斷發展與建設，土地表面型態呈現動態變化，且不透水面積比例隨著發展不斷擴大，這導致城市內的水文循環改變，水的治理工法與基礎建設也必須調整。本文所討論的綠色建設，指與都市雨水管理有關的基礎建設。這些都市雨水的基礎建設主要管理對象為地表上的水（地表逕流），受到都市化的影響，地表逕流水質與水量的反應，與非都市化地區不同。其中，道路地表逕流是貢獻都市逕流的最大來源。因此本文探討道路工程除了提供其交通服務外，如何改造成為都市雨水管理的一種綠色建設。

綠色建設與海綿城市定義

綠色建設的定義各異。美國景觀設計師協會（ASLA）將自然是為基礎建設的一種（Nature is infrastructure）。因為大自然具有緩衝洪水、減少極端熱浪、改善空氣與水質等作用，這些提供的生態服務，即保護人類與地球環境健康的重要功能。若人類可以適當的運用大自然，將大自然當作人類社會的基礎建設系統，也就是綠色建設了。所以 ASLA 定義的綠色建設強調運用大自然的能力，在都市中創建自然系統。美國環保署（USEPA）對綠色建設的定義，則是認為是一種濕天氣，包含下雪與下雨的管理方法。以更成本有效並具有韌性的方法，來管理濕天氣的衝擊影響，並同時提供其他地方性的效益。因此，USEPA 對於綠色建設的定義，是在源頭處減少並處理雨水，且在處理的同時能帶來其他環境、社會、經濟上的效益。歐盟（EU）對於綠色建設又是另一種解釋。EU 認為，廣泛來說，綠色建設是一種策略性的計劃網絡，將高品質的自然環境與半自然環境整合一起，經過整體性的設計規劃，可以提供更多的生態系統服務，以及保護生物多樣性。所以 EU 的綠色建設是具

有空間規劃，連結都市與周圍非都市環境，將自然效益帶到人類社會，強化自然資源與服務功能。

ALSA 因為是景觀設計師協會，所以認為綠色建設是在都市區中創建自然，EU 則連結都市與郊區環境，企圖打造和諧，分不清都市與非都市的人類社會。USEPA 的定義則相對具焦，僅針對都市雨水（與下雪）問題，採用源頭管理、多重效益的方式來改變雨水基礎建設。本文僅討論都市雨水議題，因此所採用的綠色建設定義，比較類似 USEPA 的定義，以雨水處理為主要目標，暫不討論創造生態與維護生物多樣性的綠色建設。

討論雨水的綠色建設，不得不提海綿城市。兩者可區分為綠色建設指的是單一基礎建設，而海綿城市是整個城市的規劃，兩者共通點都是都市雨水管理，但兩者的規劃尺度不同。

「海綿城市」一詞首次正式並有完整說明者，為 2012 年 5 月 14 日「低碳生活部落格」文章（柳中明等人^[1]）。柳中明等人^[1]提出一個大膽而創新的構想，認為應改變城市為超級大海綿，成為實體的「海綿城市」。要創造海綿

城市，城市內的所有人工鋪面，需改變成七個必要條件如下：(1) 高承載：鋪面的抗壓強度必須達到高運量的道路標準。(2) 高透水：雨水直接穿透路面。(3) 高儲水：鋪面之下設置相當厚度的碎石層以儲存雨水，即是具備海綿功能。(4) 高透氣：讓生命存活於鋪面之下，同時允許地下水蒸發而出，達到降溫效果。(5) 增加生態面積：除了綠地生態面積外，還要增加鋪面下的地底生態面積。(6) 平價：無論是造價與長期維護，都必須是平價。(7) 永續：鋪面的各種特性必須每年檢驗確認不變。

根據上述柳中明等人^[1]對於海綿城市的構想，主要著重在於都市內人工鋪面的改變，也是道路工程要轉變為綠色建設的參考條件。一旦人工鋪面依照該海綿城市條件改變後，除了水的問題解決外，額外還能創造其他效益。如 Liu *et al.*^[2]的實驗發現，汽車排放的廢熱與空氣污染物質，至少會有 50% 進入到透水鋪面之下。同時，因為高承載高透水性鋪面下的形成地下濕地，也具有碳捕捉的功能。此多重效益且具成本有效性的想法，與 USEPA 的綠色建設定義相當相似。

都市雨水特性

都市地表逕流有幾個特性需被重新認識，才能達到有效管理。以下三個都市雨水的特性容易被忽略，而都市雨水管理是否有效，端看此三個特性有無確實被了解並被考量納入規劃。

都市雨水也是可用的水資源

下在都市區的雨水，一般對待方式就是快速排除，避免淹水。然而，這些雨水也是水資源，應友善利用。尤其氣候變遷下，極端事件發生頻率高，可用的水資源只會越來越拮据，不能僅靠水庫蓄水。應將都市區視為同水庫集水區般，落在都市區內的雨水也要做水質水量的保護，而不是只有排水一種選擇。此觀念若先改變，則在都市內的雨水基礎設施將會有不同的設計與規劃。也是目前全世界都市雨水管理新思維的共同理念：在源頭管理雨水，加強雨水入滲與儲存，模仿天然水文狀態，將雨水流在當地，不僅為人類所用，同時也創建生態系統。

都市水文循環隨都市化發展持續改變中

都市化發展在都市外觀上最明顯的變化就是綠色植物減少，建築物增多，馬路擴建。所以土地表面的不透水面積隨都市化發展不斷增加。因此，在都市內的水文循環隨著地表特性不同，減少入滲量、增加逕流量、流速增強、集

流時間縮短。而且這些水文特性不斷變動中。下圖 1 是典型的開發前後逕流流量變化。對整個水環境而言，都市化造成地下水補注減少，因此基流流量下降，這對整體環境與自然生態有負面衝擊。而地表上的逕流流速增快，也會造成尖峰發生時間提早，若強降雨發生就會有排水不及情況。特別強調在不同尺度的集水區下游處，會因為集水區上游的開發，不透水面積增加，則此動態變化持續存在，過去所建設的排水設施容量恐怕不足，所以造成下游影響（downstream effects），產生局部低漥地區淹水頻率增加。若要管理都市雨水，則須掌握此動態的逕流歷線變化。

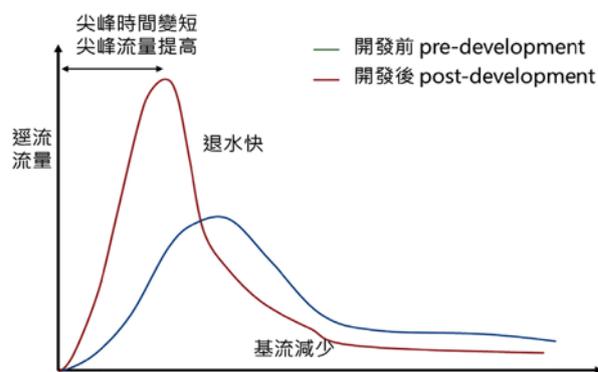


圖 1 開發前後逕流流量變化。特別強調在不同尺度的集水區下游處，會因為集水區內不透水面積增加，造成所謂下游影響（downstream effects），產生局部低漥地區的排水不及，淹水頻率增加。

都市地表逕流水質差，屬於非點源污染

都市地表逕流水質挾帶地面污染物質，屬於非點源污染，若不妥善處理則影響下游承受水體。一般都市逕流（urban runoff）的污染物包括沉積物、油脂、有毒化學物質、致病菌、農藥、營養鹽、重金屬等。常見的水污染項目幾乎都有。而這些污染物最主要來自道路逕流。根據 Wang *et al.*^[3] 實際採樣台北市與新北市道路逕流的結果，如表 1。懸浮固體物、氮磷營養鹽、有機物、油脂、重金屬，全部都存在道路逕流中，且濃度相當高。換句話說，這些道路逕流若不先行處理，直接排入淡水河，恐有污染水質之虞。

綠色道路

根據上述三個都市雨水特性，可知現在對待都市雨水的態度不能一味把它排出，若要因應自然變遷，應將都市雨水做妥善利用，與水共存，並將逕流水質處理列入考量。道路逕流除了將之排入排水溝進入雨水下水道系統外，應考量都市雨水特性而有所改良。因此很多國外道

表 1 臺北市道路逕流採樣濃度 (mg/L, ppm)

採樣道路代號	D		E	F	平均
	2012/04/05	2012/08/17	2012/12/18	2013/02/27	
SS	73.5	801.2	148.4	416.9	360
NH3-N	1.8	1.0	3.24	1.06	1.77
TP	0.15	0.26	0.65	0.35	0.35
COD	160	200	104	192	164
Oil and Grease	-	10.8	2.5	1.8	5.03
Cu	0.009	0.009	0.009	0.05	0.02
Zn	0.46	0.21	0.22	0.72	0.40
Pb	0.07	< 0.05	0.14	< 0.05	0.08
Cr	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
Hg	< 0.0005	0.0007	< 0.0005	0.0007	0.001
As	0.0036	0.0006	< 0.0005	0.0005	0.001
Cd	< 0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.002	0.002
Ni	< 0.02	< 0.02	< 0.02	0.05	0.028

資料來源：Wang et al.,^[3]

路，將道路工程納入雨水處理功能，改良成為新的綠色基礎建設，稱為綠色道路。

道路交通計畫在很多綠色建設政策中扮演重要角色。將植物、透水材料設計進公路、街道、小巷、停車場等，是源頭處理都市雨水的重要做法，也可以幫助提高住家附近雨水容受能力，減少下游影響 (downstream effects) 程度。綠色道路的改造工作，可以在定期的鋪面重新鋪設工作中加入，不須重新找地再做，提升其工程接受度。由於道路工程最主要功能在於運輸與安全，綠色道路的設計也必須在此前提下進行整合，朝向多目標多效益進行設計。甚至採用再生材料、創建新生態廊道、減少熱島效應、協助節能減碳等，都可以放入綠色道路元素。典型的綠色道路示意圖如圖 2。

綠色道路案例

以下介紹幾個綠色道路案例：

美國波特蘭 Green Street Policy

美國波特蘭市在 2007 年為了將綠色道路推廣到公私部門，開啟綠街道政策 (Green Street Policy)。而這個大規模的政策，事實上是先來自一個 2003 年的小型計畫，也可稱為此綠街道政策的第一個計畫，為 Northeast Siskiyou Green Street Project。該計畫主要特色為將本土植物花園建造在道路兩側。這種作法後來也被視為示範計畫並推廣到全美國。此計畫使用了 590 平方英尺的街道鋪面，將道路邊緣石往道路方向延伸，擴大綠地空間。這種向道路內凹的延伸植栽方式，被暱稱為口袋草溝 (pocket swales)。這個系統收集了道路兩旁住家面積，總共有 9300 平方英尺的集水區面積，地表逕流會排入此系統。他們採用四種當地的植物在攔截道路逕流。實驗結果發現尖峰流量顯著降低，可有效防止淹水。且在 25 年一次的暴雨情境，有 85% 逕流體積受到控制。這個計畫是既有道路改造計畫，大約花了兩萬美金。該計畫示意圖與成果如圖 3。

美國明尼蘇達雙子城

在美國明尼蘇達的雙子城區域 (Twin Cities region)，在 2002 年共 17 個鄉鎮的大眾運輸系統共同簽署技術規範，要將綠色措施應用於大眾運輸系統中。而很多的計畫元素，就是要讓一般民眾、社區能感覺更有活力、同時也有更好的水資源管理方式。在這些區域內，至少下雨事件的前 0.5 英寸，被要求要在現地入滲，不能排出。有些則提高要求至 1 英寸。這些計畫的經費來源由民眾與政府共

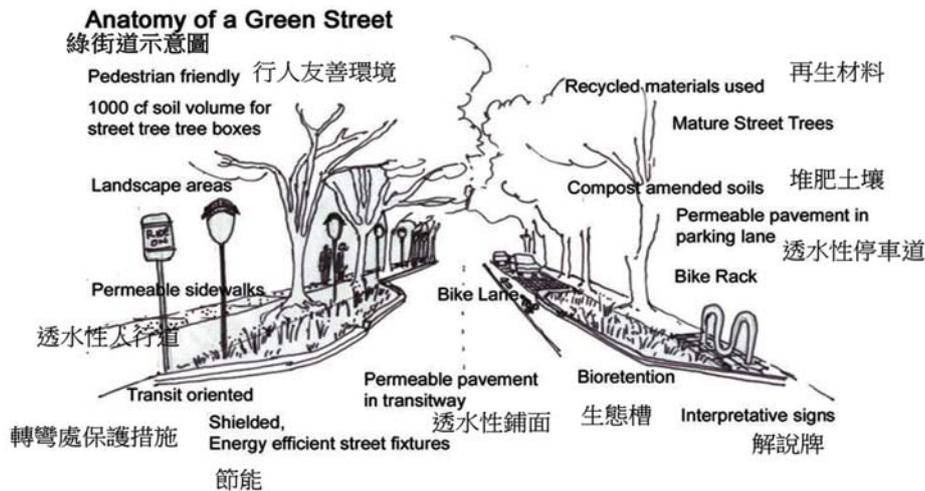


圖 2 典型綠色道路示意圖

資料來源：<http://www.lowimpactdevelopment.org/greenstreets/practices.htm>

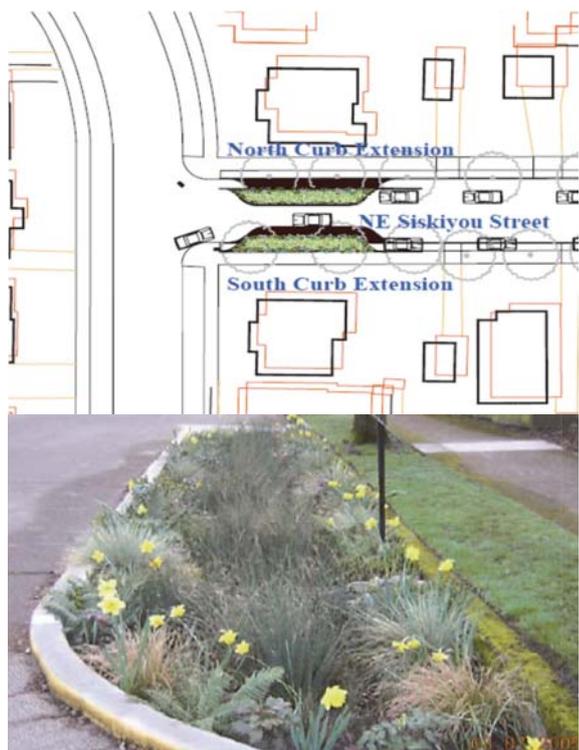


圖 3 美國波特蘭 Northeast Siskiyou 道路之綠街道計畫
圖片來源：美國波特蘭市政府 <https://www.portlandoregon.gov/bes/45386>

同負擔。例如其中 Maplewood 區，在 1996 年至 2004 年間在六條街道的重建中，建設了 350 個的雨水花園 (rain gardens)。這些經驗導致未來所有的街道重建計畫，都要把雨水花園納入街道中。而這些雨水花園的維護與建造則交給距離最近的住家來管，政府提供整地、改良的土壤、植物以及技術支援。民眾可以自己選擇他想管的那個雨水花園類型，不過必須從政府提供的 10 個標準雨水花園設計模型中選取，以保證這些雨水花園的功能性。

下圖 4 照片顯示其中一個計畫成果，該計畫在雙子城輕軌捷運系統之綠線 (green line) 沿線建設雨水處理設施，有照片顯示在輕軌旁的植生帶。另外也有旁邊人行道與車道道的其他設施，將該輕軌線打造成名符其實的綠線。下圖 5 則是雙子城之一的聖保羅市之活道路計畫 (St. Paul Living Streets Project)。命名為“活道路”(Living Streets) 主要是要用來形容一種新的道路類型，它比較窄、比較少鋪面。將原來既有的道路寬度減少，可以減少建設成本，也可以讓出更多的空間來種樹與設置雨水花園處理雨水。如果需要的話，也可以把自行車道與人行道加進去，以維護行人與騎腳踏車的安全。這跟原有道路指示設計給車用的理念不同，活道路是要設計給車、人與環境使用的。雨水花園與行道樹可以減少逕流中汙染物，較窄的街道面積以及行道樹的用意，在於減慢車行速度，創造更安全的交通環境。這計畫除了原先的雨水處理目的外，



圖 4 美國明尼蘇達雙子城將雨水處理設施與大眾運輸計畫結合設計。此為其中輕軌綠色支線 (green line) 的植生滯留槽設施照片，成為名副其實的綠線 (green line)。



圖 5 聖保羅市之活道路計畫 (St. Paul Living Streets Project) 示意圖

(http://www.rwmwd.org/index.asp?SEC=FD1328AC-CEEF-455E-A806-BCEF42A2A1B6&Type=B_BASIC)

也會平衡所有人使用道路的安全性與便利性。因此計畫的必要元素包含：至少一邊的人行道、腳踏車道、清楚的標示、舒服與方便的休息點、雨水花園、樹木、植物。

中國深圳市光明新區

深圳市在 2004 年在中國率先引入低衝擊開發 (LID) 理念，企圖在城市發展轉型和南方獨特氣候條件下的創造城市規劃建設新模式。深圳市自 2004 年引入低衝擊開發理念，2007 ~ 2008 年編制《深圳市光明新區雨洪利用詳細規劃》，首次在城市區域開發中引入低衝擊開發理念，提出雨水綜合利用設施的規劃、設計、審查納入建設專案管理體系。2010 年深圳市政府批准《深圳市光明新區低衝擊開發雨水綜合利用示範區整體工作方案》，示範區創建工作正式啟動。



圖 6 深圳市光明新區低影響開發市政道路
(圖片來源: 深圳市城市規劃設計研究院)

深圳市光明新區在門戶區南片區 1.8 平方公里，為了將該片區打造成低衝擊開發設計示範區，所有 23 條市政道路均採用低衝擊開發技術進行設計。光明新區門戶區是光明新區近期重點開發的片區，廣深港客運專線光明火車站即位於該片區，該專線將於 2010 年底建成通車。光明新區目前已建成的示範專案主要有兩條市政道路、牛山科技公園等。部分專案已在建或已完成施工圖設計。

在《深圳市光明新區雨洪利用規劃指引》中對市政道路雨洪利用提出市政道路目標，開發建設後的綜合徑流係數 0.6。同時要求人行道應採用透水鋪裝地面。一般採用透水磚，草格等。路面雨水應引入兩邊綠地或隔離帶綠地入滲，道路兩邊綠地和隔離帶綠地宜低於路面 100 釐米，並合理設計路牙建適當的引水設施以便雨水能自流入綠地入滲。已完成的三十六號路與三十八號路，路面均採用透水瀝青，厚 12 公分，下面依次為礫石層與路基；綠化帶採用下凹式植生滯留槽，雨水口設於綠化帶內，雨水口高程高於綠地約 10 公分；路牙採用孔口道牙，下雨時，路面雨水經透水瀝青入滲，經下層礫石層儲存、彙集至道路一側的邊溝，再流入下凹式植生滯留槽入滲，超滲雨水經雨水口流至市政雨水管道。路面雨水流入下凹式植生滯留槽後，首先進入一沉砂池，雨水徑流中較大的顆粒物可沉澱去除，然後漫流至兩側的植生滯留槽入滲。

台灣台中道路

臺中生活圈二號線高架橋道路工程，是國內少數採用 LID 設施，減少道路開發逕流量的實際案例。臺中生活圈二號線環中路高架橋工程屬臺中生活圈道路之一環，橫跨臺中市及臺中縣潭子鄉。工程西起中清路東側，即自中彰快速公路（中清路地下道）終點起東沿臺中市八十米外環道，至臺中縣潭子鄉台 3 省道止。本道路原為寬 80 公尺、兩側各有人行道寬 4 公尺、車道寬 21 公尺、中央綠

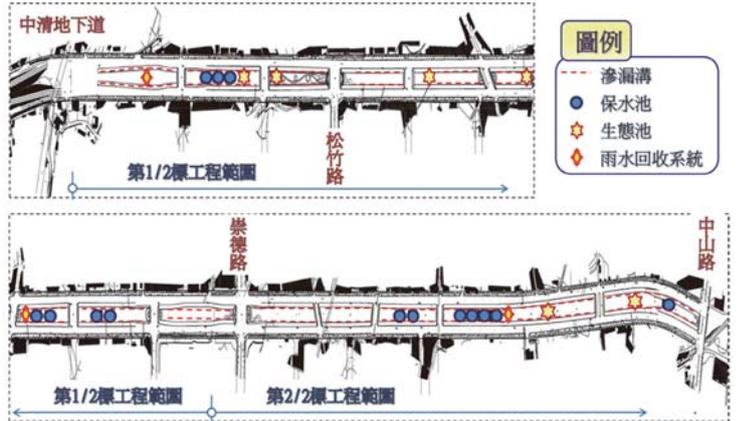


圖 7 臺中生活圈 2 號線環中路高架橋工程之 LID 設施位置圖
(資料來源: 林鎮洋等人^[4])

地 30 公尺之道路，為因應未來交通量需求，整建為兩側人行道（含綠帶）寬 8 公尺、側車道寬 15.2 公尺、中間高架段寬 33.6 公尺，橋下並設雙向平面道路。

臺中環中路高架橋全長共 4.7 公里，LID 設施計有入滲池 16 處、入滲溝 6170 公尺、雨水貯集系統 3 處及生態池 7 處，其相關設置位置如圖 7，相關設施尺寸如表 2。並將收集的雨水，經過濾後再利用於中央分隔島植栽噴灑用水。臺中環中路高架橋總工程經費約 60 億元，其中約 5,000 萬元經費用於施作 LID 設施。林鎮洋等人^[4]利用模式工具（Storm Water Management Model, SWMM）以及環保署公告的保水量計算公式，評估此綠色公路逕流削減效益。顯示設置 LID 設施後，年逕流削減可達 43.5 ~ 54.5%。全部 LID 設施可提供 5,365 立方公尺的保水體積，為環保署規定基準保水量（2,850 立方公尺）的 1.9 倍。

綠色建設與既有建設（灰色建設）之分工合作關係

傳統道路工程改良成綠色道路，成為綠色建設之一，分攤雨水管理的部分責任，並不代表既有的雨水排水基礎設施，或稱為既有的灰色建設，就被取代不再使用。在整個城市還無法完全像海綿一樣吸收雨水，降雨時還是須仰賴基礎建設。綠色建設的主要作用在於調適都市化過程時變動的逕流影響，處理那些變動狀態下的多餘逕流量，分攤灰色建設的排水能力。

下圖 9(A) 為降雨後產生的地表逕流歷線圖，傳統既有的排水系統，為排除逕流下半段的逕流量，處理大部分的逕流量。因為地表變動造成的尖峰流量變化，則可由綠色建設在源頭處理之，如圖 9(B)。兩者分工合作，分攤比例隨著都市化發展逐漸調整。若全部逕流仍仰賴排水系統，

表 2 臺中生活圈 2 號線環中路高架橋工程 LID 設施尺寸表

設施名稱	每單元	長 (公尺)	寬 (公尺)	深 (公尺)	直徑 (公尺)	面積 (公頃)	說明
入滲型設施	入滲池	35	18	0.35	-	0.063	16 處
	入滲溝	1	1	0.6	-	依現場 長度換算	6,170 公尺， 每間隔 5 公尺 1 處可 入滲
貯留型設施	生態池	40	24	0.35	-	0.096	7 處
	雨水貯集系統	8	-	-	1.1	0.002	1 處 24 座 提供 192 立方公尺 容量本工 程共 3 處

(資料來源:林鎮洋等人^[4])



圖 8 臺中生活圈 2 號線環中路 LID 設施完工後照片

這些硬體設施沒有彈性調整空間，若要在變動的都市化過程中保持最大排水能力，而以最大尖峰流量作為設計值，則如圖 9(C) 所示，在逕流體積上將有浪費（如圖 (C)）斜線面積，不符合成本效益。所以綠色建設搭配灰色建設，可減少既有排水系統負擔，同時減少工程成本。

結論

綠色道路保持原有道路交通功能，但創造更多其他的環境效益。綠色道路的施作建議結合既有道路重新鋪面的維護時機，在那時候改良設計，加入植物與排水等元素。或者在道路重新設計時，如臺北市建構自行車道，並擴大人行空間，在這些既有規劃的計畫中，可加入綠色道路元素，提高其排水能力與雨水容受能力。都市內道路若改為綠色道路，由於廣泛應用植物與透水材料，同時可達到減緩熱島效應的效果，創造更舒適的生活品質，構成宜居都市基本條件，甚至提高因應氣候變遷的調適能力，這些都是綠色道路直接或間接帶來的效益結果。

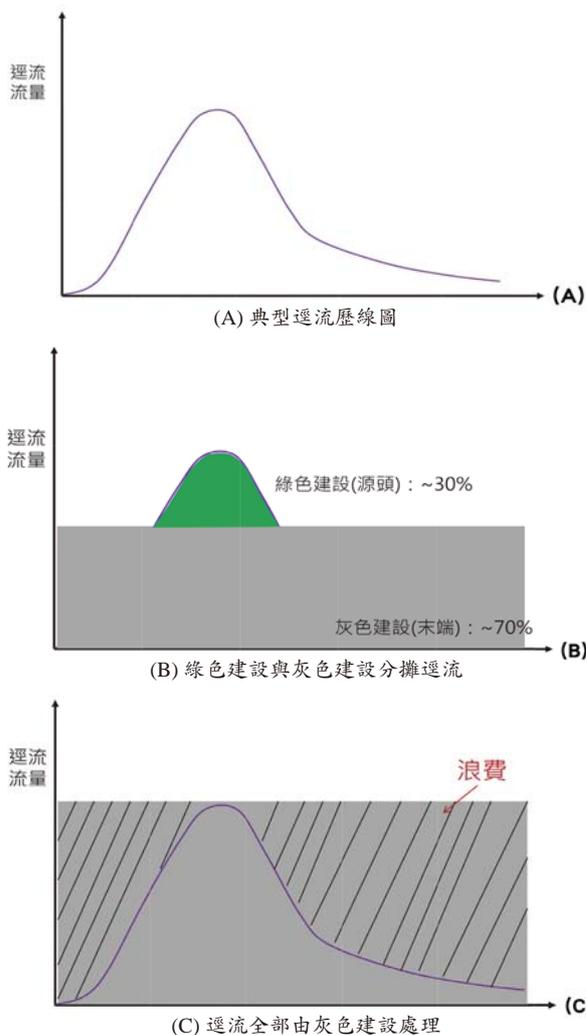


圖 9 綠色建設與灰色建設的分工合作關係

參考文獻

- 柳中明、陳瑞文、陳起鳳、劉銘龍、陳明烈、陳瑞成、蕭香娟、陳世勳、陳庭豪，「因應氣候變遷，創造海綿城市—由建設海綿社區、海綿工業區著手」，2012 年 5 月 14 日發表於「低碳生活部落格」，http://lowestc.blogspot.tw/2012/05/blog-post_8603.html (2012)。
- Liu, C. M., J.-W. Chen, J.-H. Tsai, W.-S. Lin, M.-T. Yen and T.-H. Chen, "Experimental studies of the dilution of vehicle exhaust pollutants by environment-protecting pervious pavement," Journal of the Air & Waste Management Association, 62(1), 92-102 (2012).
- Wang, Y. J., Chen, C. F., Lin, J. Y. "The Measurement of Dry Deposition and Surface Runoff to Quantify Urban Road Pollution in Taipei, Taiwan," Int. J. Environ. Res. Public Health, 10, PP. 5130-5145 (2013).
- 林鎮洋、王佳偉、陳羿秋、陳正惠、陳起鳳「綠色公路逕流抑制設施功能評估」中國土木水利工程學刊，第 27 卷，第 2 期，第 105-111 頁 (2015)。
- 丁年、胡愛兵、任心欣，「深圳市低衝擊開發模式應用現狀及展望」，給水排水，第 38 卷，第 11 期 (2012)。
- 唐紹傑、翟豔雲、容義平，「深圳市光明新區門戶區—市政道路低衝擊開發設計實踐」，建設科技，第 13 期，第 47-56 頁 (2010)。



永續臺北 海綿城市

彭振聲／臺北市政府工務局局長

林士斌／臺北市政府工務局科長

余世凱／臺北市政府工務局技士

為邁向永續臺北打造海綿城市，臺北市推動海綿城市政策，將都會區水環境帶入另一個嶄新的階段。臺北海綿宜居城市政策係以「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」勾勒出臺北市未來願景藍圖，並以「健全都市水循環」、「提升防洪容受度」、「多元活絡水利用」、「穩定供水有效用水」、「生態多樣水棲地」、「豐富魅力水遊憩」六大推動目標為努力方針，透過工程及管理相關策略，其重點工作包括人行環境改善計畫、透水鋪面監測模擬、推動建築綠屋頂、落實開發基地保水法規、公私協力共同分擔暴雨逕流、都市流域整體規劃、雨水抽水站自動化、公私協力智慧防災、推動雨水中水多元利用、再生水技術與應用、翡翠專管計畫、推廣節流及管網防漏計畫、都會區濕地保育及環教推廣、野溪生態教室、防洪工程轉化為親水生態園區、浪漫賞螢結合溪溝復育、活絡河岸水域親水活動等，並以公私協力、開放政府及全民參與原則，落實海綿永續城市理念。

關鍵詞：海綿城市、韌性城市、綠色公共工程、再生水、低衝擊開發

前言

臺北市人口密度於國際各大都會區名列前茅^[1]，城市擴張高度都市化下，市區建築林立、不透水的道路廣場鋪面隨處可見，都市透水保水能力不足熱島效應顯著，面對近期氣候變遷極端降雨挑戰，市區積淹水風險亦隨之增加；由於降雨分布不均、都市水資源涵養不足，因而衍生長期水資源穩定使用風險；另於生態及永續發展國際趨勢下，營造民眾多元親水空間以及復育水環境生態棲地，成為臺北市水環境發展之重要課題。

臺北市致力於防洪排水及河川整治工作，歷年來已投注相當人力物力資源，現階段更以海綿城市理念做為臺北市水環境政策的核心，為推動海綿永續城市政策，臺北市以「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」等三大願景，勾勒出安全、永續、生態的臺北市水環境藍圖（圖1），並以「健全都市水循環」、「提升防洪容受度」、「多元活絡水利用」、「穩定供水有效用水」、「生態多樣水棲地」、「豐富魅力水遊憩」為六大推動目標，透過各種工程及管理手段，秉持開放政府、全民參與以及公私協力的原則，進一步落實道路廣場鋪面透水化、提高城市綠覆率、

推廣建築綠屋頂、增加都市貯留滯洪能力、推動污水處理再升級、再生水多元利用、復育保護水環境棲地、營造親水遊憩環境等，使臺北市具備能入滲保水、蒸散調節都市微氣候，面對極端降雨具備足夠災害容受力與回復力，於水資源能永續提供穩定多元之水源，建立成一個民眾可親水且具有豐富多樣水環境生態之永續城市。

國際趨勢

在都市持續擴張及全球氣候變遷挑戰下，世界各國都面臨著不同的水環境風險與挑戰，於近年來亦紛紛提出對應的調適措施及永續發展政策。在健全都市水循環及提升防洪容受度方面，美國於2001年開始提倡「低衝擊開發」（Low Impact Development, LID）的概念，以雨水入滲、貯留、植物淨化的理念，達到提升都市水涵養、減緩地表逕流、同時淨化水質的目的^[2]；德國於1997年於漢堡市之HafenCity推動適應性水岸開發計畫，針對約有2,000位居民及9,000位上班族通勤的舊港區及工業區進行大型的都市更新，打造高於平均海平面7.5公尺之適應性水岸港區^[3]，重新定義公共設施與水的關係，打造耐洪兼具民眾



圖 1 臺北海綿城市政策 3 大願景

親水休憩的水岸城市；日本於 1977 年針對高度都市化流域提出「總合治水對策」，於治理河川及興修下水道外，並運用流域上游保水、中游滯洪及下游雨水貯留策略降低市區淹水風險，並於 1987 年提出「高規格堤防」對策，就河川沿岸高度都市化地區併同都市土地利用整體規劃興建緩坡式堤防，提升防洪安全同時更新河岸旁老舊社區，後於 2000 年更提出「流域性洪水有效管理對策」，將流域劃分為森林覆蓋地區、農業區、洪水平原及都市化地區等 4 個部分，運用開口堤、副堤等防洪設施，允許洪水漫淹村落，不再堅持傳統不淹水政策^[4]。此外，國際間還有如紐西蘭推動的低衝擊都市設計與發展（Low Impact Urban Design and Development）、澳洲推動的水敏感都市設計（Water Sensitive Urban Design）、加拿大推動的暴雨源頭控制設計（Stormwater Source Control Design）、英國推動的可持續性排水系統（Sustainable Urban Drainage System）等^[5]。

根據世界經濟論壇（World Economic Forum, WEF）發布之「2016 年全球風險報告」（The Global Risks Report 2016），水資源危機已連續 5 年名列全球前五大威脅，且於氣候變遷趨勢下，恐將成為未來 10 年之首要威脅^[6]。國際間於多元活絡水利用及穩定供水有效用水之推動方面，以色列因位處沙漠降雨量少且不均，屬極端缺水國家，積極開發海水淡化及民生污水再生以補充民生用水及農業灌溉用水，並開發「滴灌法」節水技術以增加灌溉效率與面積^[7]；日本將大型污水處理廠放流水作為環境保育及親水用水，用以補注河川基流及生態復育，另推動建築或社區「封閉型水循環系統」（closed reuse system），利用中水道處理設施進行自用型之水回收做為沖廁用水^[8]；新加坡推動水資源供應多元化及節約用水政策，由該國成立公共設施局統籌整體水資源開

發策略及水資源需求管理，其首座「NEWater」廠於 2000 年完工運轉，再生水以高級工業用水為主，及回送水庫之非直接飲用（Indirect Potable Use）為輔^[9]。

在生態多樣水棲地、豐富魅力水遊憩方面，聯合國於 2005 至 2014 年間推動「生命湖泊」（Living Lakes）10 年計畫，透過保護生物多樣性、淡水資源、湖泊濕地生態系統，以提高湖泊濕地周邊社區的生活質量，深化社區對保護湖泊、濕地和淡水資源生物多樣性的環境意識^[10]；中國在 2009 年於武漢舉辦的第 13 屆世界湖泊大會中，提出「武漢宣言」湖泊流域綜合治理計畫，以湖泊休養戰略為核心理念，由政府機關、民間團體與企業等水資源使用者共同推動，並以發展綠色經濟產業為目標^[10]。2010 年在日本名古屋舉辦的第 10 屆聯合國生物多樣性公約締約國大會中（Convention on Biological Diversity），聯合國大學與日本政府宣布推動「里山倡議國際伙伴關係網絡」，未來將更為重視農業生物多樣性保育、傳統知識保存、農村生計與耕地活化等議題^[10]。此外，國際間亦有英國推動的湖泊復育主題計畫（Lake restoration theme plan）、德國推動的生物多樣性國家戰略（National Strategy on Biological Diversity）等^[10]。

臺北海綿城市 三大願景 六大目標

臺北都會區地狹人稠寸土寸金，根據臺北市主計處 2016 年 5 月統計資料顯示，臺北市人口密度已達每平方公里 9,940 人，與國際各主要都會區人口密度相較名列前茅^[1]，若扣除境內約占 55% 的山坡地範圍，則於臺北市平地都會區之人口密度將高達近每平方公里 2 萬人（圖 2）。於此高度開發人口稠密寸土寸金的都會區，臺北市水環境之發展與治理工作實極具挑戰；另由於都市擴張不透水鋪

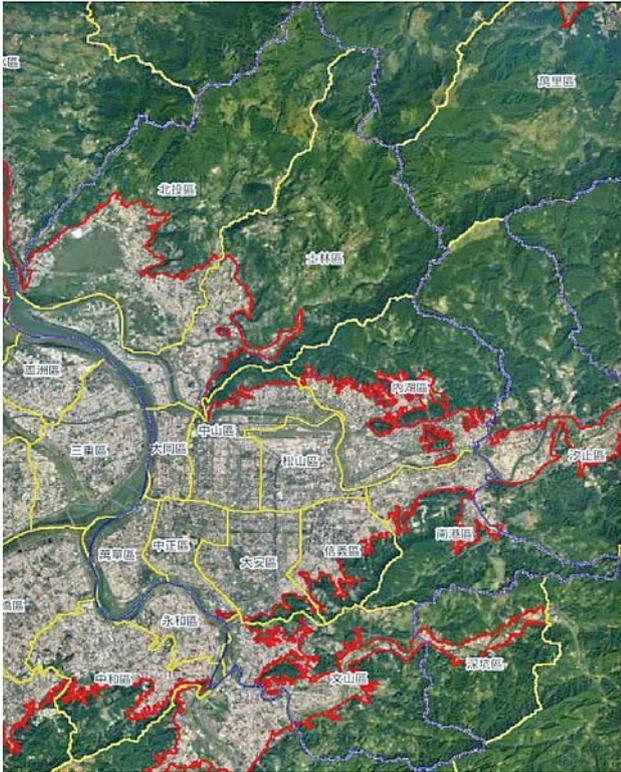


圖 2 臺北市山坡地衛星航照圖^[11]

面增加，不僅都市涵養水源能力降低，更可能因此使地表逕流增加達 35%（圖 3）；研究顯示，在荷蘭的蘭斯台德（Randstad）區域單純因都會區人口集中所導致的土地使用改變，即造成該區域過去 50 年來的洪氾風險因此增加了 7 倍^[3]。此外，加諸氣候變遷極端事件的影響，於生態永續、防洪安全及都市發展各個層面整體考量下，更使臺北市水環境政策推動日趨艱鉅。

臺北市自 1962 年提出「台北市下水道系統規劃報告」^[13]、1966 年「淡水河防洪治本計畫修訂方案」經行政院核定^[14]、1972 年規劃「臺北區衛生下水道綱要計畫」、1975 年「臺北區衛生下水道初期實施方案及財務計畫修正案」經行政院核定^[15]、1982 年「臺北地區防洪計畫」實施^[14]、1986 年實施「台北市污水下水道系統計畫」^[15]等，近半世紀以來已投注相當人力物力資源，建置完成堤防長度逾 109 公里、雨水下水道系統長度逾 522 公里且保護標準達 78.8 公厘／小時、86 座雨水抽水站總抽水量達 2,160 立方公尺每秒，以及污水下水道主幹管長度逾 47 公里、次幹管長度逾 77 公里、分管網長度逾 810 公里、臺北市轄境內迪化及內湖 2 座污水處理廠、污水下水道用戶門牌戶數接管普及率已達約 75%。隨著國際間環境永續與生態保護趨勢，臺北市水環境政策於過去 10 年亦隨之調整腳步，於市區治水工作以上游保水、中游減洪與下游防洪的總合治水理念採系統性規劃推動，於河川整治工作則以河川溪溝水質改

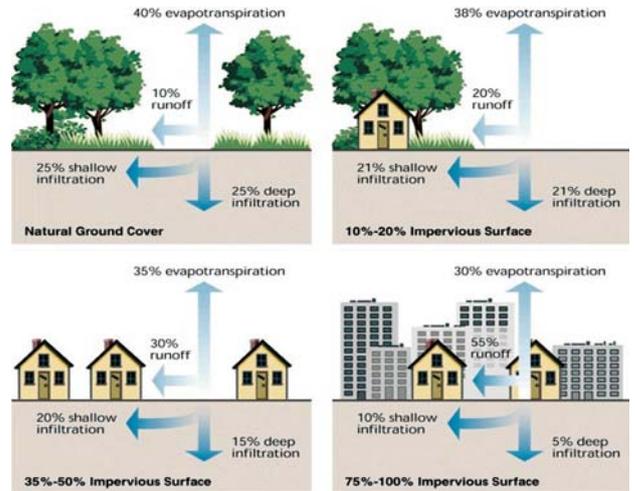


圖 3 都市水循環動態變化^[12]

善、河濱環境營造及服務品質提升、活絡民眾河濱親水及生態環境教育等策略，逐步重建民眾日常生活與河川之連結依存、並復育河川生態重現早期水岸城市之歷史紋理。

近年來全球各大都會區飽受氣候變遷極端氣候威脅挑戰，臺北市高度開發人口密集，在氣候變遷旱澇等極端事件挑戰下亦無法倖免，為解決都市保水透水不足熱島效應問題日趨嚴重、洪氾風險增加、長期水資源供給日趨緊張、並提供民眾多元親水空間及復育都會區水環境生態棲地，臺北市刻正積極推動海綿城市政策，以「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」勾勒出臺北市水環境的三大願景、並以「健全都市水循環」、「提升防洪容受度」、「多元活絡水利用」、「穩定供水有效用水」、「生態多樣水棲地」、「豐富魅力水遊憩」為六大推動目標（圖 4），透過工程面、管理面、法制面相關措施，並納入開放政府、民眾參與及公私協力等理念，研訂相關推動策略及執行計畫，由市政府各權責機關落實推動：

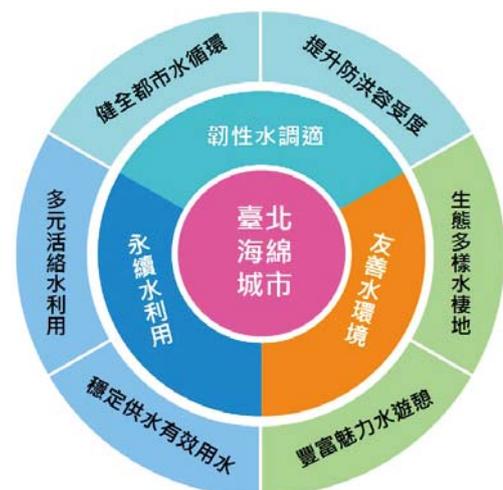


圖 4 臺北市海綿城市政策架構

願景一「韌性水調適」

氣候變遷所引致的極端氣候事件於世界各地持續地增加，聯合國與世界銀行的研究報告警告，就算世界各國皆落實履行並達成歷次聯合國氣候變遷會議所簽訂之協議，在 2100 之前全球平均氣溫仍有 20% 的機會較工業革命前增加至少 4°C 以上，未來極端氣候的挑戰不僅難以減緩並將更為嚴峻^[3,16,17]。面對國際間溫室氣體減量控制的「減緩」(mitigation) 措施似乎緩不濟急，相關「調適」(adaptation) 作為更突顯出其重要性。臺北市打造海綿城市以「韌性水調適」為首要願景，並以「健全都市水循環」及「提升防洪容受度」為二大推動目標，其較過去以工程治理手段為主的水環境政策，更強調如何於都會區與水共存，以預防性的 (anticipatory) 調適策略，強化都市面對極端氣候的韌性 (resilience)，在提升都市面對旱澇災害的容受度與回復力的同時，並能更進一步創造長期都市發展與生態環境共存的雙贏價值^[3]。其中恢復市區雨水入滲土地並蒸散於大氣的自然水循環，不僅可改善都市微氣候降低熱島效應影響，減緩夏季空調排熱所造成之負面循環，並可提供額外降低降雨地表逕流、減少都市能源需求、以及恢復環境生態的附加效益；另調整公共建設施政理念，採都市流域 (Urban Watershed) 規劃理念，於一定程度上採取工程手段持續提升防洪排水保護標準之外，並落實災害風險管理，以開放政府理念公布災害潛勢資訊，建立民眾知災避災離災觀念，更進一步透過立法等措施促進公私協力防災，將災害可能造成的損害降至最低，打造 1 個具韌性、水冷散熱並可因應未來挑戰不斷調適的海綿永續臺北市。

願景二「永續水利用」

我國雖年平均降雨量達約 2,500 釐米為全球平均的 3 倍，然而因地形陡峭、河短流急，加上降雨時空分布不均及氣候變遷，實際可用水量僅約為年降雨量之 1/4，每人每年平均可獲得的水量僅為全球平均的 1/6，屬世界第 18 位的缺水地區^[19]。而在國際上城市永續經營趨勢下，世界城市數據委員會 (World Council on City Data, WCCD) 已建立一套完整的國際標準統計指標體系，並已將穩定供水及廢污水處理等多項水資源永續利用工作納入相關重要指標^[20]。臺北市推動海綿城市，以「永續水利用」為第 2 項推動願景，透過「多元活絡水利用」及「穩定供水有效用水」二大推動目標，以因應未來長期水資源需求壓力與日俱增的挑戰，透過各種公共設施或私有建築之雨水貯留設施回收利用，以及污水處理在質與量的提升進而於再生水 (reclaimed water) 技術面及利用面的推廣，以達到多

元水資源供給及活絡其再利用面向的目的，期望在臺北市的每 1 滴水，可以循環再次使用至少 2 次以上 (use each drop of water more than once)；此外，並持續推動節約用水技術及宣導、訂定合理化水價政策，輔以自來水管網更新降低漏水率，加強自來水水源調度能力，以及旱季或颱風期間穩定供水之工程及管理措施，以營造 1 個不僅能涵養水源安全耐災的都市，更能永續利用水資源且供給無虞的海綿臺北。

願景三「友善水環境」

由於都市持續擴張加上氣候變遷影響，都市及其周邊水棲地環境遭受污染破壞日益嚴重，不僅使民眾親近河川水域休閒遊憩場域減少，更造成了嚴重的生態多樣性問題及濕地水棲地環境急遽消失。聯合國首部處理環境議題的「拉姆薩公約」(Ramsar Convention) 於 1975 年 12 月 21 日正式生效，計有 159 個締約國，歸屬於聯合國教科文組織 (UNESCO) 託管，其透過保護濕地及其周邊的動植物生態系統，並明智利用濕地資源，以促進生態的永續發展^[21]。臺北海綿永續城市以打造「友善水環境」為第 3 項推動願景，並以「生態多樣水棲地」及「豐富魅力水遊憩」為其二大推動目標，配合我國濕地保育法施行，研訂臺北市濕地系統整體保育策略綱領，以強化都市水環境保護及水棲地復育，落實濕地功能分區及明智利用精神，持續推動河川水質監測與水污染違規污染稽察取締，期能恢復臺北市水環境棲地之生態多樣性；另持續推動河川溪溝親水環境營造及服務品質提升工作，並評估提升臺北市水環境教育中心能量，進一步透過河岸水域親水活動、水環境教育宣導及在地志工培力推廣，活絡民眾親水遊憩及愛川觀念，縫合臺北市河川水域與市區間之文化歷史紋理，以營造對民眾及生物皆親水生態的友善海綿城市。

推動重點工作與執行成果

韌性水調適

健全都市水循環

人行環境改善計畫

透過道路及廣場等人行空間環境改善，以透水高壓磚、多孔隙瀝青混凝土及帶狀植栽槽等綠色公共工程 (Green Infrastructure)^[5]，取代既有都市高度開發所產生之不透水鋪面等灰色公共工程 (Gray Infrastructure)，透水鋪面於降雨時雨水可入滲土壤，減少地表逕流及路面積水，提升用路安全，另於夏季晴天時，涵養於土壤或植栽之水份可蒸散於大氣，調節都市環境微氣候。臺北市透

過「人行環境改善計畫」(圖 5、6) 於新生南路 3 段、羅斯福路 5、6 段、松江路及復興南北路等設置透水鋪面、貯留入滲設施及帶狀植栽槽，自 2015 年至 2016 年 8 月間，臺北市透水鋪面共新增 4 萬 3,647 平方公尺。於人行環境改善同時，並以人本精神整理人行道上變電箱、路燈燈桿等造成行路障礙之設施，重新定義道路空間行人、自行車以及機動車輛間之路權範圍，從綠色公共工程出發以至於市區自行車道綠色運輸路網及無障礙人行環境 (from Green Infrastructure to Green Transportation)，相關政策理念及推動成果並由國際媒體爭相報導^[22]。(圖 7、8)

透水鋪面監測與模擬

臺北市亦針對透水性混凝土磚的滲透效果、降低都市熱島效應程度、透水性鋪面設計和維護方式等，進行為期 3 年的透水性鋪面監測計畫，並於南港經貿園區北側、環東大道下方的港後公園旁人行道設置長 5 公尺寬 2 公尺的透水性鋪面監測區域，設置透水性混凝土鋪面區及一般

高壓磚鋪面區做為試驗組及對照組，同時埋設溫溼度計、集水管等設備於鋪面的底層及面層，蒐集雨水入滲狀況之數據資訊 (圖 9)。根據監測數據資料顯示，透水性鋪面表面溫度尖峰值出現時間較高壓磚表面溫度遞延約 0.5 至 1 小時，且透水磚與高壓磚表面每日溫度尖峰值最大溫差可達 2.05 至 3.53°C；另於地表逕流量部份，高壓磚對照組之逕流量皆大於透水磚實驗組之逕流量，依降雨強度不同，透水磚逕流量較高壓磚可減少自 7.3% 至 17.85% 不等。除實際監測外，臺北市亦以復興南路大安高工校門口前逾 1,700 平方公尺之自行車道、人行道進行監測規劃及 SWMM 水理模式模擬，針對多孔隙瀝青混凝土透水鋪面、植生滯留槽、透水高壓混凝土磚 (含地下雨水貯留系統) 等設施 (圖 10)，模擬評估其地表逕流消削減效益 (圖 11、12)；透過數場實際降雨資料之模擬結果，初步分析於大安高工校門前所設置之相關透水性設施，將短延時及長延時降雨條件下，將可分別削減地表逕流量達約 18.18% 至 37.57%



圖 5 復興南路大安高工前人行道高壓透水磚



圖 6 復興南路自行車道多孔隙混凝土



圖 7 英國衛報報導自行車道改變臺北^[22]

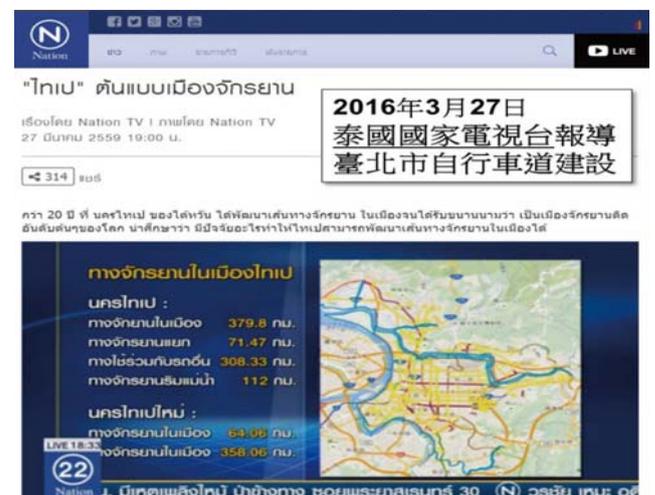


圖 8 泰國國家電視台報導臺北市自行車道建設^[22]

監測場址配置圖

- ◆ 降雨入滲分析：降雨量、入滲量、逕流量等。
- ◆ 溫度效益分析：不同土層溫度。
- ◆ 環境因素：風速、風向、濕度、溫度等環境因素。

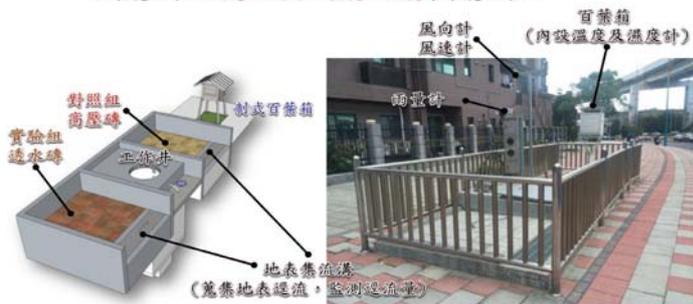


圖 9 透水鋪面衰減效益監測場址 (南港經貿園區港後公園旁)

不等 (表 1)。綜合以上實際監測數據及數值模擬分析結果，可歸納於都市建置透水性鋪面設施，無論對於降低地表逕流減緩雨水下水道系統負荷，或是調整微氣候降低都市熱島效應，皆可提供相當程度之效益。

推動建築綠屋頂

利用都市建築物屋頂空間營造具植栽綠意空間，不僅可增加都市水涵養、促進蒸散調節微氣候以減緩都市熱島效應，並可改善都會區生態景觀及提供一定程度雨

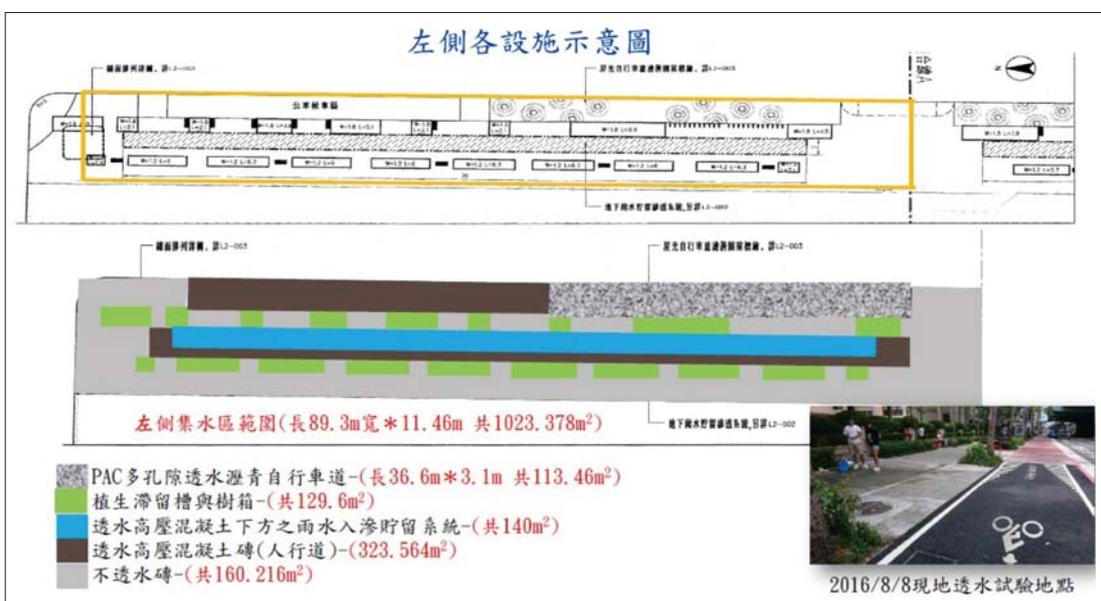


圖 10 大安高工前平面示意圖

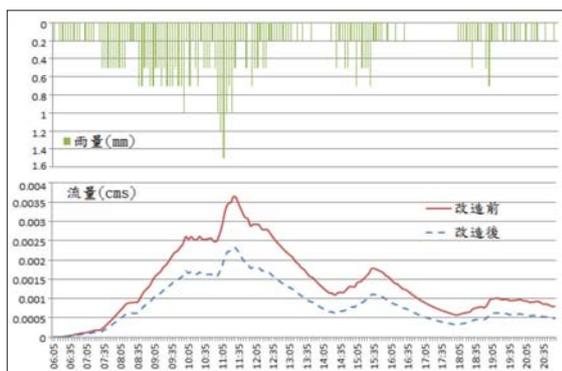


圖 11 SWMM 水理模式地表逕流削減效益評估 (長延時降雨)

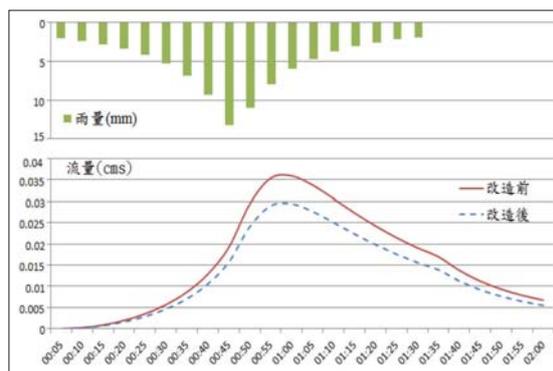


圖 12 SWMM 水理模式地表逕流削減效益評估 (五年重現期降雨事件)

表 1 SWMM 水理模式進行透水貯留設施之地表逕流削減效益模擬評估

透水貯留設施	長延時降雨逕流削減效益 (%)	短延時暴雨逕流削減效益 (%)
多孔滲透瀝青混凝土透水鋪面 (294.5m ²)	15.03	9.82
高壓透水磚+地下雨水貯留系統 (709.3m ²)	15.78	6.36
植生滯留槽 (230.2m ²)	6.011	1.82
總逕流削減量 (%)	37.57	18.18

水滯留功效。國外研究顯示，綠屋頂平均可涵養 10 至 20 公厘之降雨量，以荷蘭鹿特丹為例，相當於每個綠屋頂平均貯留 100 至 200 立方公尺的水量^[23]；另根據國內學者研究，假設臺北市有 70% 的建物屋頂設置 10 公分、0.3 孔隙率的薄層綠屋頂，則全臺北市全年總逕流量平均將可消減達 20% 以上^[23]。為推動臺北市建築物設置綠屋頂，臺北市政府前於 2014 年 11 月 10 日制定發布「臺北市綠建築自治條例」，並於 2016 年 6 月 2 日發布施行「臺北市新建建築物綠化實施規則」，新建建築物屋頂平臺應實施綠化，除都市計畫或其他法令另有規定致無法綠化者外，新建建築物屋頂平臺綠化面積應達該屋頂平臺面積之百分之五十，綠化面積以實際被覆面積計算。除新建建築物外，臺北市亦推動「綠屋頂及綠能示範社區工程補助申請」，以鼓勵並補助社區既有建築物參與綠建築改善，且針對屋頂新增綠化面積大者將優先補助^[24]。臺北市積極推動綠屋頂政策，透過立法強制及獎勵補助方式，由公私部門協力逐步建置，期待達到增加都市水涵養改善都市微氣候、隔熱降溫降低都市能源需求、貯留雨水減緩都市暴雨地表逕流等目的，並進一步達到提供提升都市景觀淨化空氣、提供生物跳島、穩定二氧化碳等附加效益，共同營造海綿臺北市（圖 13、14）。



圖 13 中山區崇實區民活動中心綠屋頂^[25]



圖 14 信義區公所綠屋頂^[25]

落實開發基地保水法規

增加都會區開發基地的保水能力，為提升都市涵養水源能力打造海綿城市相當重要的工作之一，臺北市同樣以公私協力立法推動的理念推動落實。於公共建設部分，臺北市持續推動公園綠地、停車場、體育場館、校園等之透水鋪面設置，依據「臺北市公共設施用地開發保水作業要點」規定，於符合一定條件其開發面積達 800 平方公尺以上者，應依照臺北市公共設施用地開發保水設計技術規範進行促進水涵養、貯留、滲透雨水功能之設計，並由相關主管機關辦理審查、案件列管及抽查工作，經統計至 2016 年 8 月底止，臺北市公共設施用地開發保水案件送審列管已達百件之譜。另於公私有新建建築物部分，為進一步落實建築基地保水設計，於「臺北市綠建築自治條例」已明訂較建築技術規則更加嚴格的規定，相關建築基地之保水設計指標，應大於 0.55 與基地內應保留法定空地比率之乘積；此外，於臺北市都市設計及土地使用開發許可審議委員會審議參考範例中，並已納入增加基地保水相關技術性要求。冀透過公私協力、法令強制要求雙管齊下推動，落實臺北市開發基地促進水涵養、保水貯留及滲透能力，以增加土地雨水涵養，晴天蒸發降溫，健全都市水循環及緩解熱島效應。

提升防洪容受度

公私協力共同分擔暴雨逕流

臺北市高度都市化地狹人稠，雖雨水下水道系統保護標準已達每小時 78.8 公厘，但近年來面對氣候變遷，於有限預算下之工程建設及其保護標準，趕不上屢破紀錄之極端降雨，僅靠政府以工程措施投入大量經費興築排水防洪設施，仍然無法完全免除市區積淹水風險；面對未來氣候變遷極端降雨挑戰，除了靠政府推動防洪排水建設落實維護管理外，更須整合民間力量，透過公私協力共同努力。依據「臺北市下水道管理自治條例」第 9 條規定，基地開發時應依據所排入之雨水下水道逕流量標準，排放雨水逕流，並對所設置之相關流出抑制設施負維護責任；另依據「臺北市基地開發排入雨水下水道逕流量標準」規定，建築物於新建或改建等行為時，應設置「雨水流出抑制設施」（圖 15、16），其單位開發面積最小保水量須達每平方公尺貯留 0.078 立方公尺的雨量、最大排放量不得超過每平方公尺每秒鐘 0.0000173 立方公尺之雨水體積，截至 2016 年 8 月底止，臺北市已有 255 件開發建案件通過審查，以目前平均開發面積約 1,300 平方公尺估算，以上 255 件開發案總計已分擔超過 2 萬 5,000 立方公尺之雨水貯留及調節空間，可說是臺北市防洪排水系統最堅強的盟友及後盾，

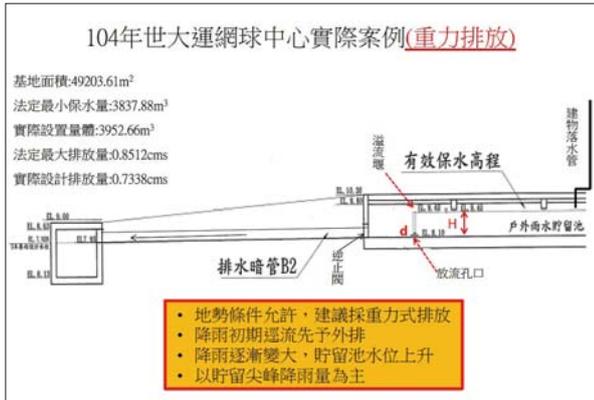


圖 15 世大運網球中心雨水流出抑制設施

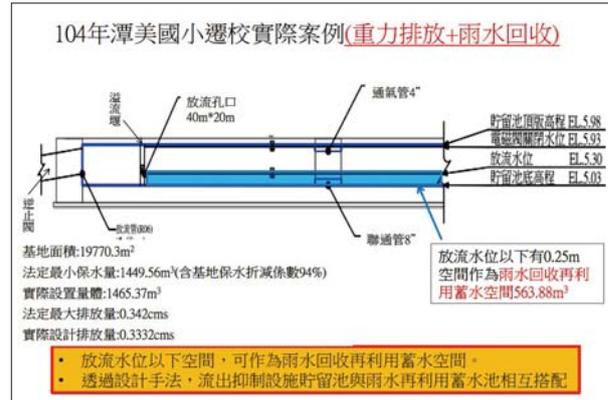


圖 16 潭美國小遷校雨水流出抑制設施

透過公私部門通力合作，以積少成多聚沙成塔的精神，逐步提升本市防洪容受度，未來配合臺北市老舊社區都市更新，更能進一步提升臺北市整體防洪排水能力。

都市流域整體規劃

為解決都市高度開發下防洪排水問題，臺北市以總合治水理念持續推動都市流域整體規劃，透過上游保水（水土保持）、中游減洪（分洪、滯洪、調洪）、下游防洪（堤防、抽水站）策略，進一步提升臺北市防洪能力。臺北市目前正積極推動之「文山區整體排水改善計畫」（圖 17），即是透過都市流域整體規劃，於辛亥路 4 段興隆幹線雨水下水道中段游段辦理「文山區辛亥路憲兵營區停車場滯洪池新建工程」，其設計滯洪量約為 46,000 立方公尺，配合「文

山運動中心北側用地滯洪池新建工程」設計滯洪量約 6,000 立方公尺，其總設計滯洪量可達約 52,000 立方公尺；另辦理「福興路排水分流新建工程」，以潛盾工法設置直徑 2.8 公尺、長度 631 公尺之分洪渠道，搭配「興隆路 3 段 304 巷排水分流及側溝擴建工程」，以分擔減輕雨水下水道系統瓶頸段之負擔；最後於雨水下水道下游辦理「景美抽水站機組增建工程」，於該抽水站增設 9 台抽水機組提升至共 13 台抽水機組，抽水容量自每秒 64 立方公尺提升至每秒 84 立方公尺，相當於每 23 秒就可以抽光 1 個標準游泳池的水量。「文山區整體排水改善計畫」整合滯洪、分洪以及排洪策略，以都市流域整體規劃，有效提升區域整體防洪效能，而計畫中 2 座滯洪池同時也是臺北市首例都會型地



圖 17 文山區整體排水改善計畫

下滯洪池，除極具指標性外，相關工程完工後並可大幅提升文山區雨水下水道系統排水保護標準及防洪容受度。

推動雨水抽水站自動化

臺北市 86 座抽水站共 413 台抽水機組，其總抽水量達每秒 2,160 立方公尺，意即 86 個抽水站同時運作時，約 1 秒鐘就可抽光 1 個標準游泳池的水量。為妥善操作管理如此複雜龐大的防洪最後一道防線，臺北市率全國之先首創「抽水站自動化監控系統」(圖 18)，將抽水站操作管理自動化、電腦化，提升抽水機組操作之精準度；系統自動偵測及回饋機組運轉狀態，可提前進行預防性維護，降低機組臨時故障機率；另由管理中心可透過網路操控所轄數個抽水站的機組設備，藉由系統集中即時監控，於緊急事件可於第一時間指揮調度、應變處理。透過「抽水站—分區管理中心—總管理中心」3 階層的組織架構(圖 19)，各抽水站即時將機組設備之實際運轉資訊及影像，傳回分區管理中心緊急應變處理；總管理中心則協助分區管理中心，監視全市抽水站運轉狀況，並適時發揮指揮調度及機組運轉管理效能；目前第一、第二分區管理中心已建置並發揮防汛功效，第三分區管理中心預計於 2016 年完工啟動，發揮自動運轉、遠端控制、遠端監視、保全防盜、消防告警、即時視訊等 6 大功能，隨著雨水抽水站自動化的建置，將進一步提升臺北市抗災及耐災能力。

公私協力智慧防災

臺北市於 2015 年 7 月訂定「強降雨防減災工作方案」，透過推動「防減災工作方案內容」、「公布淹水模擬地圖」(圖 20)、「公布防水閘門(板)補助試辦計畫」等措施，以

政府與民眾共同防災理念，將重點工作區分為政府防範淹水措施及民眾協同防災措施二大部分，並依災前整備、災中應變及災後復原 3 階段進行。臺北市政府除依既定短中長期防



圖 18 抽水站自動化



圖 19 「抽水站—分區管理中心—總管理中心」3 階層的組織架構

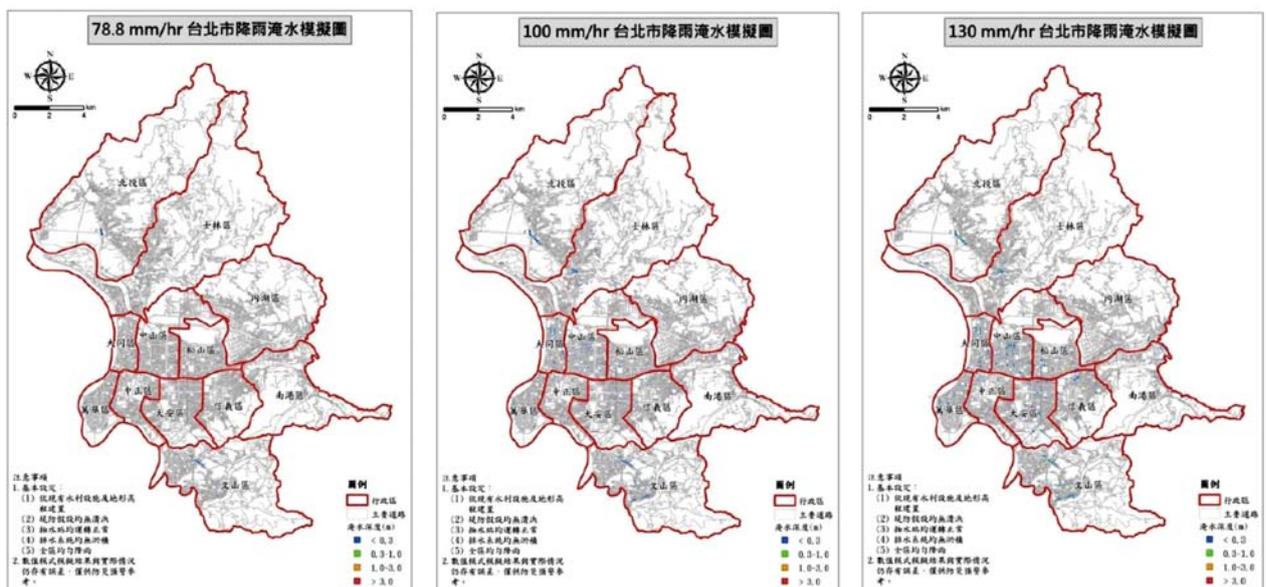


圖 20 臺北市降雨淹水模擬圖

洪工程計畫逐步提升防洪排水能力外，亦秉持開放政府精神公布淹水模擬地圖，透過區公所及里長使仍有積水風險地區的民眾瞭解自家環境風險，提早做好防災準備。另外臺北市亦推動水災受災戶鼓勵設置防水閘門（板）補助試辦計畫，以鼓勵民眾於建築物或車道出入口設置防洪閘板等設施。此外，臺北市並由過去「被動式的接受民眾詢問」轉變為「主動式告知災害預警訊息」服務，於「臺北市防災資訊網」建置「民眾接收水情訊息服務平台」，民眾可透過網站登錄，即可接收相關雨量觀測警戒值簡訊，使民眾更能及早採取防災措施，以達到避災的效果。臺北市以公私協力智慧防災理念，持續強化防汛緊急應變系統，由家戶自主防災設施推廣補助、災害風險圖資公告、以至於警戒資訊簡訊預告、災中搶救團隊及災後復原團隊，使民眾能夠知災、避災、離災，將災害可能帶來的損失降至最低。

永續水利用

多元活絡水利用

我國年平均降雨量約 900 億噸，受降雨時空分布與天然地形特性影響，致可用之水資源僅 180 億噸，2015 年上半年我國面臨 60 幾年以來最嚴重之供水短缺^[18]，傳統水資源供應穩定度備受挑戰，另於改善供水穩定問題，擴大水資源利用來源，除雨水貯留利用外，生活污水再生利用亦為未來發展趨勢^[19]。臺北市得天獨厚有翡翠水庫供給水質優良之用水，短期雖較無因旱缺水風險，然仍有因颱風水源濁度超標所導致的供水問題，居安思危，水資源之多元開發及有效利用，實為水資源政策長期前瞻的方向。

推動雨水中水多元利用

臺北市積極推動公園綠地、停車場、體育場館、校園等公共設施場域設置雨水貯集槽或雨撲滿，於降雨時貯留

雨水，用以供應景觀造景用水、植栽澆灌或道路沖洗之用，以活絡並永續使用水資源。臺北市新生公園於 99 年完成設置可儲存約 250 立方公尺之雨撲滿，使用成效良好，今 2016 年度更進一步推動於中強公園增設 247 立方公尺儲水量之雨撲滿，工程結合排水花渠更新，整體儲水量可達約 380 立方公尺，預計 2017 年 2 月完工（圖 21），完工後將結合基地保水與生態教育示範，滿足民眾遊憩活動之需求，於基地內雨水逕流較大區域並避開樹根密集區設置雨撲滿，並在不影響現有西側雨水排水箱涵排水效率下，將排水箱涵更新為具滲透功能之排水花渠—綠色排水帶，特別是於工程施作前，先於雨撲滿設置區先進行鬆土之土壤改良措施，期以完工後增加整體綠覆率、雨水儲存量及入滲量，延長雨水停留時間，減緩表土沖刷及熱島效應，促進基地水循環，創造都市微氣候，營造友善生態環境。此外，雨水及中水回收再利用亦為綠建築之重要指標之一，並已推動多年，依據「臺北市綠建築自治條例」規定，新建建築物總樓地板面積達 5,000 平方公尺以上者，應設置雨水貯留利用系統或生活雜排水回收再利用系統，透過建築之雨水及中水回收再利用系統，可供應景觀、澆灌或沖洗等次級用水之需求，由公私部門共同提升臺北市水資源多元利用成效。

推廣再生水技術與應用

依據 2015 年 12 月 30 日公布施行的「再生水資源發展條例」，於水源供應短缺之虞地區，其用水單位須強制使用一定比例再生水。臺北市雖非屬水源供應短缺之虞地區，然污水下水道接管率為全國第一，且轄內之迪化及內湖屬二級處理之污水處理廠，其設計污水處理量分別為每日 50 萬立方公尺及每日 15 萬立方公尺，污水處理廠操作水質穩定，並設有三級處理水回收再利用設備，於「供水端」非常適合



圖 21 臺北市中強公園雨水再利用示意圖

推動再生水利用。目前臺北市再生水利用係以都市次級用水及環境雜用水 2 大類為主，其再生水量於迪化及內湖污水處理廠分別為每日 1 萬立方公尺及每日 2 萬立方公尺，經處理後提供廠區沖洗、植栽用水，以及提供道路灑水降溫、抑制揚塵、植栽綠地澆灌等，並持續鼓勵提供民眾取用；另為提升臺北市污水處理之質與量，內湖污水處理廠並於今 2016 年完成處理量提升至每日 24 萬立方公尺。另為進一步推廣再生水利用永續臺北市水資源，目前並研擬評估於市區適當地點增設如 MBR (Membrane Bioreactor) 系統等之小型污水再生設施，以提供更多元的再生水取水點以活絡其利用，並同時分散且降低大臺北污水下水道系統處理負荷，以達到水資源再生及生態補注復育之整體複合效益。

穩定供水有效用水

翡翠專管計畫

受氣候變遷極端氣候影響，臺北市遭受颱風侵襲的頻率於各年度雖或有交替，但其強度皆有增強趨勢，以去年 (2015 年) 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風帶來短延時之強降雨為例，即造成南勢溪流域多處崩塌，原水濁度提高，超過淨水廠之處理能力。穩定供應水源為民生之基本需求，大臺北地區 97.5% 水源來自於新店溪，其中 75% 來自於上游南勢溪，故南勢溪原水濁度過高時，將影響供水。因應新店溪上游南勢溪之原水濁度問題日益嚴重，爰推動實施翡翠專管計畫 (直潭二原延伸段工程)，於南勢溪高濁度時，透過專用管路直接取用較乾淨之水源；初步規劃於翡翠水庫下游北勢溪上增設取水口，設置專管銜接至粗坑堰下游，共用臺灣電力公司粗坑電廠頭水路，銜接至二原輸水幹管，長度約為 2.5

公里，初估經費約 20 億元，總計畫期程 7 年，計畫完成後，可確保大臺北地區供水穩定及 600 萬人用水安全 (圖 22)。

推廣節流及管網防漏計畫

有鑒於水資源於我國之珍貴性，除推動水資源彈性調度穩定供給外，節約用水也是永續水資源利用不可或缺的重要措施。臺北供水區的家庭用戶占整體用水量的 7 成，故臺北市由「家庭」、「學校」、「社區」以至於「社會」等 4 個管道，循序漸進推動節水計畫及節水宣導，以降低用水量。目前每人每日生活用水量由 2007 年的 352 公升，已降低至 2015 年的 330 公升，節約用水量達每人每日 22 公升。另考量家庭節水推動已到階段瓶頸，並進一步配合水價調整，擴大差別費率實施，目標以使自來水大用戶能自主推動節水措施，尤其是月用量 1,000 度以上之用戶，將配套實施大用戶節水輔導；另亦推動管制臺北市政府所屬機關學校用水每年節水 2%。多年努力下臺北市自來水事業處轄區每日配水量從 2006 年 231 萬噸下降至 2015 年 186 萬噸，每日節省配水量達 45 萬噸。另臺北市並規劃 20 年「供水管網改善及管理計畫」長程策略方針，目前以管線汰換、水壓管理、主動檢測漏水及修漏速率品質等作為 4 大主軸方向，多管齊下改善供水管網系統，並推動小區計量工法管控漏水，以達推廣節流及管網防漏之全面改善成效。

友善水環境

生態多樣水棲地

臺北市雖為高度都市化的城市，但仍有數個珍貴的生態濕地，不僅保有了臺北市生物的多樣性，亦達到淨化水質與滯洪蓄洪的功能，如關渡自然公園、華江雁鴨自然公



圖 22 翡翠專管工程位置示意圖

園與南港 202 兵工廠周邊濕地等，此外，臺北市並推動金瑞治水園區等親水生態園區，結合生態保育、環境教育與休閒遊憩的功能，也為民眾體驗自然的熱門去處。加上臺北市長期推動污水用戶接管工作，以及 4 座碟間接觸曝氣氧化設施與 12 座污水截流站等貢獻，有效減少都市污水對河川的污染，確保水環境棲地生態不會遭受額外的污染破壞。自濕地保育法公布施行後，臺北市已著手研擬本市地方級重要濕地「南港 202 兵工廠及周邊濕地」之保育利用計畫，將結合地方智慧及公民參與理念，舉辦工作坊及專家學者座談會，並研訂屬於臺北市的濕地保育綱領，由下而上復育臺北市珍貴的濕地資源與多樣生態。

202 兵工廠濕地保育

「南港 202 兵工廠及周邊濕地」屬內政部公告之暫定地方級重要濕地，面積約 2.5 公頃，位於臺北盆地東緣，介於基隆河南岸南港山系之北側，由新庄仔埤與三重埔埤所組成，因兩埤塘位於國防部軍備局生產製造中心第 202 廠廠區內及周邊區域而得名，歷史久遠，昔日與後山埤合稱為「南港三埤」，因周邊圍繞南港山丘陵遂於低窪處積水形成埤塘，經先民整治圍塘供當地農田灌溉及調節水位之用，又因位處軍事用地，長期保有良好的生物多樣性，埤塘中原生淡水魚與貝類形成之共生生態系，為臺北市少有現存的天然埤塘。

「南港 202 兵工廠及周邊濕地」之水域與鄰近淺山森林連結，形成良好天然生態廊道與都市綠地，除提供生物棲息、涵水、滯洪等功能外，更具有調節微氣候，為都會區營造舒適的居住環境，以及保存歷史文化之價值。目前廠區東側興建中的「國家生技研究園區」，將參考過去古三重埔埤位置與生態進行濕地復育，未來與兵工廠內三重埔埤水系互相連結，將可恢復其埤塘原有的生態功能，以利濕地生物多樣性之發展^[26]。為瞭解濕地之環境與生態狀況，以保育瀕絕生物，臺北市陸續進行濕地之水文、地文之調查、資料蒐集及與陸域、水域之生態調查分析，初步發現濕地棲地有面天樹蛙、台北樹蛙、五色鳥、臺灣藍鵲與小彎嘴等臺灣特有種（圖 23 至 26），以及鳳頭蒼鷹、黑鳶、東方鳳鷹、大冠鷲、領角鴉與黃嘴角鴉等瀕臨絕種或珍貴稀有保育類野生動物，後續將依生態資源調查結果，參考該地區從來之使用行為，透過將水資源系統、生態系統等資料與都市計畫套疊分析，據以劃設保育利用計畫範圍與濕地系統功能分區，並兼顧生態保育與濕地滯洪功能，明智且永續的利用濕地資源。



圖 23 新庄仔埤



圖 24 三重埔埤



圖 25 面天樹蛙



圖 26 臺灣藍鵲

社子島濕地保育環教推廣

社子島位於淡水河與基隆河匯流處，為淡鹹水交會處，界於不同生態系統之間，為相當重要的生態位置，該區域計有社六濕地、島頭濕地及社子島濕地等 3 個濕地系統，各具特色，適合各年齡層的民眾前來賞景與休憩。為提供民眾更多親近社子島的管道，臺北市特別於社子大橋附近設置「社子島濕地解說小築」(圖 27)，規劃有室內展示區和戶外景觀平臺，培訓在地河濱生態志工，逐步引入生態導覽及教育課程，並透過社區工作坊進行環境教育，分別設計針對志工、學生、及大眾的環境教育方案，並培訓在地為主的志工團隊，配合對應的教具，推動生態保育知識的宣導與工作。另外，臺北市也與當地里長招募志工收集創作素材，並與藝術家合作發想可食地景，凝聚地方在地意識(圖 28、29)；為讓以灘地為主要棲息場所的小型甲殼類及魚類等生物進駐，增加濕地的生物多樣性，並舉辦濕地工作假期(圖 30)，結合社區民眾共同整理濕地的棲地環境，移除漫生的蘆葦，使灘地面積增加，擴大及浚深濕地水域，並補植多種陸生及水生植物，營造友善的濕地棲地環境。



圖 27 社子島濕地解說小築

豐富魅力水遊憩

近幾年來全球環境意識抬頭，維護自然生態環境已成為主流趨勢，過去所謂的河川溪溝整治工法，其觀念已逐漸轉變成為於尊重大自然法則下，儘量避免對環境造成不必要的工程擾動，以減量、生態、綠色工程(Green Infrastructure)為原則，並營造能兼顧民眾親水休憩，傳達環境教育理念，與在地生態共存共榮。

推動野溪生態教室

內溝溪為基隆河的重要支流，過去河道曾經淤積，每遇豪雨或颱風氾濫成災，臺北市為兼顧防災與生態保育，整治理念採因地制宜、就地取材，考量不同的環境變化、地理、生態等條件，增加生物棲息空間，並將不透水混凝土的使用減至最低。於民眾親水區域，利用原形塊石材料，疊構親水河谷、小水道、親水步道、護岸、親水平台、魚梯等設施，石塊間保有透水的縫隙，為溪流環境營造生機棲息空間，並利用河床設置魚礁，有利恢復魚類生態繁殖(圖 31 至 34)。整治多年後的內溝溪，復育成效良好，目前已成為臺北市近



圖 28 河濱濕地志工隊



圖 29 可食地景創作



圖 30 社六濕地工作假期

郊的山林水鄉蘊育許多珍貴的生態寶藏，堪稱水生昆蟲的樂園；民眾可以發現，都會中的鳥類，其實不是只有麻雀與鴿子，內溝溪被山谷和流環繞，有豐富多樣的鳥類，截至 2015 年共記錄到 80 種；民眾只要來到內溝溪稍作停留，就可以聽見、看見這些飛羽朋友，配合在不同季節辦理相關環境教育主題活動，更期待讓民眾更加親水愛水認識水。

防洪工程轉化為親水生態園區

位於內湖的「金瑞治水園區」占地面積 1.83 公頃，於 2015 年 7 月啟用，其真實身分為集水面積達 231 公頃的調節池，上游屬行政院農業委員會公告的土石流潛勢溪流，而下游內湖路、金龍路等地區，曾於納莉風災時發生積水達 110 公分的災情，該調節池蓄水量達 27,000 立方公尺，位於山坡地與平地交界處，不但可以舒緩上游沖刷而來的土石流，也可調節暴雨帶來的洪水，保護下游內湖路一帶的居民遠離洪水及土石流災害。臺北市從調節池的規劃到施工，為求減少對當地生態的衝擊，並融入自然環境，以工區內挖掘出的土石方就近利用，調節池底保留原本的地質滲透涵養水源，池內並堆置石塊營造多孔隙的水中環境，提供生物棲息繁衍，相關用新使得周遭生態環境不因防洪工程而破壞，反而於池邊常見紅蜻蜓、蝴蝶和青蛙現身，「金瑞治水園區」除設計榮獲「2016 國家卓越建設獎」「最佳規劃設計類—特別獎」外，並成為民眾休閒遊憩的著名去處景點（圖 35）。

浪漫賞螢結合溪溝復育

指南溪周圍群山環繞，在地人稱「草湳地區」，常年無風多霧的氣候型態，保有類似森林環境，經過多年採用以生態理念規劃，孕育出可觀的螢火蟲，近年來已成為文山區的賞螢景點，每逢 4 月至 5 月，便看見黃綠螢成群飛舞。指南溪生態豐富多樣，附近有猴山岳、二格山等多條親山步道，兼具生態保育、教學、休憩等多重功能，適合做為生態教育學習場所。每年 4 月中旬至 5 月中旬正值賞螢高峰期，臺北市亦會推出溪溝賞螢生態導覽服務，與民眾一同欣賞浪漫螢光，體驗夜間溪溝生態環境（圖 36、37）。

活絡河岸水域親水活動

臺北市河川溪溝景色優美，歷經多年努力水質及周遭環境亦獲得相當改善，為更進一步活絡河岸水域活動，使親水成為民眾日常生活中的一環，臺北市依不同的季節，推出各類適合各種族群的系列活動，如「台北河岸音樂季」於每年 7、8 月間民眾皆可到河濱公園邊聽音樂、逛市集（圖 38）；「大稻埕情人日」也成為每年最受民眾期待



圖 31 尋找水上樂園裡的在地居民



圖 32 覓食中的小白鷺



圖 33 賞鳥觀察紀錄



圖 34 溪流探索體驗



圖 35 金瑞治水園區防洪調節池



圖 36 指南溪沿岸環境天然，適合螢火蟲生長



圖 37 螢火蟲翩然起舞

的活動之一，由國內外知名歌手熱情開唱，搭配當日晚間精彩的煙火秀及多元混音的創新配樂，期待讓每位參加者耳目一新；台北河岸音樂季系列活動於 2016 年推出「台北 5 夠水」，免費提供民眾包含輕艇、獨木舟、立式划

槳、舢舨、滑水等 5 大最夯的河道探險體驗，藉由親水活動，使民眾更瞭解臺北市水域遊憩與文化（圖 38、40）；「2016 台灣盃國際滑水賽」透過比賽引導民眾從水域運動中享受與大自然親密接觸的樂趣；舉辦第 3 屆的「大佳



圖 38 河岸音樂季（大佳河濱公園）



圖 39 輕艇教學體驗



圖 40 舢舨文化之旅

童樂會」，於大佳河濱公園希望噴泉周邊安排「手搖船」、「水上腳踏車」、「四人座腳踏船」、「手划船」、「恐龍大戰金剛水滑梯」等水上活動，並引入「巨書說故事」、「momo 台哥哥姊姊帶動跳」等河岸活動以及在國外風行多年的水上鋼鐵人，希望讓小朋友的歡樂暑假能在親水遊憩中留下最美好回憶。此外，包括「TLC 台北

野餐日」、「水岸臺北端午嘉年華」、「臺北馬拉松」、「大稻埕古蹟微旅行」等，皆是民眾耳熟能詳的河岸水域活動，經初步統計，臺北市 2016 年下半年至 2017 年底預計將辦理 106 場次河岸水域活動，並將吸引超過 40 萬人次參與（圖 41 至圖 43）。

未來展望

臺北市為打造舒適、安全、永續、親水、生態的海綿城市，在過去多年努力的基礎上，臺北市的水環境正朝嶄新的階段邁進中，未來將在「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」三大願景藍圖下，以「健全都市水循環」、「提升防洪容受度」、「多元活絡水利用」、「穩定供水有效用



圖 41 大稻埕煙火情人日



圖 42 臺北河岸童樂會小朋友現場手搖船



圖 43 「水上鋼鐵人」表演

水」、「生態多樣水棲地」、「豐富魅力水遊憩」六大推動目標為努力方向，透過公私部門協力合作、開放政府全民參與、由上而下地方智慧，呼應國際趨勢及中央政策，逐步落實海綿永續城市理念，打造 1 個水太多時能吸納涵養水源、水太少時能多元永續供給水源、且能讓生物宜居民眾親水的優質海綿臺北城（圖 44）。

誌謝

本文承蒙臺北科技大學土木工程學系林鎮洋教授及其團隊，協助提供相關透水鋪面水理模式分析模擬，以及臺北自來水事業處協助穩定供水有效用水章節資料彙整，特此感謝。



圖 44 臺北海綿城市

參考文獻

1. 臺北市政府主計處，國際都市統計指標，2016年7月19日。
<http://dbas.gov.taipei/ct.asp?xItem=61707&ctNode=24975&mp=120001>
2. 臺北市政府工務局，「打造海綿宜居城市專題講座」，林鎮洋『從美國 ASCE/LID Conference 談起』，2016年8月17日。
3. 林士斌，「荷蘭阿姆斯特丹自由大學環境資源管理研究所進修報告」，臺北市政府公務出國報告，2013。
http://www.openreport.taipei.gov.tw/OpenFront/report/report_detail.jsp?sysId=C101AW491
4. 忌部正博，「第31屆中日工程技術研討會」，2015年12月。
5. 陳起鳳，「灰色與綠色建設的完美結合 Gray to Green (G2G)」，打造海綿宜居城市專題講座，臺北市政府工務局，2016年8月17日。
6. 世界經濟論壇，全球風險報告，2016年1月14日。
<https://cn.weforum.org/reports/global-risks-2016>。
7. 科技部駐印度代表處科技組，以色列水資源管理簡介-如何開源節流，2015年5月7日。
<http://dryfarm.aerc.org.tw/drymis/Docs/990407-Israel.pdf>
8. Sone K., "Wastewater reuse in Tokyo, Japan", IWA Special Group on Water Reuse Newsletter, 2004, pp2-5.
9. Law, I. B., "Advanced Reuse- from Windhoek to Singapore and beyond", Water Vol. 30(5), 2003, pp31-36.
<https://www.pub.gov.sg/>
10. 臺北市政府工務局，「臺北市濕地保育策略綱領規劃與保育利用計畫擬定」報告書，2015年2月。
11. 安全臺灣平台，圖資倉儲山坡地範圍圖。
<http://www.safetaiwan.tw/web2/main.php>
12. OpenStax CNX
<https://cnx.org/resources/2c4f4bf49a014682014d1f18743d89aacc2fcc9/graphics1.jpg>
13. 歐陽嶠暉等，台灣下水道發展紀實，中興工程科技發展基金會，2003年12月。
14. 顏清連，淡水河評論5，居安思危強化防護台北地區防洪與河川治理，河川清流研討會（上冊），時報文化出版企業有限公司，2000年9月1日。
http://www.yucc.org.tw/publications/books/water/AA0270/aa0270110.pdf/at_download/file
15. 臺北市政府工務局衛生下水道工程處，污水下水道建設發展沿革，2011年8月15日。
<http://www.sso.gov.taipei/lp.asp?ctNode=44995&CtUnit=24740&BaseDSD=7&mp=106041>
16. IPCC, "Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation", A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp, 2012
17. World Bank, "Turn Down the heat: Why a 4 degree centigrade warmer world must be avoided", A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. World Bank, Washington, DC, 84 pp., 2012.
18. 行政院國家災害防救科技中心災害防救電子報 第124期「2014-2015年乾旱事件概述」，2015年11月。
19. 經濟部水利署北區水資源局，台灣的【水資源】嚴重不足，2008年11月18日。
<http://www.wranb.gov.tw/ct.asp?xItem=1955&ctNode=577&mp=2>
20. WCCD, Data Portal, Taipei. <http://open.dataforcities.org/>
21. 內政部營建署，國家重要濕地保育計畫，國際拉姆薩濕地地圖。
http://wetland-tw.tcd.gov.tw/WetLandWeb/web-kid/trainingd_info.php?id=918
22. 彭振聲、林士斌，「臺北市應邀訪問泰國曼谷分享自行車道政策與推動經驗」，臺北市政府公務出國報告，2016。
http://www.openreport.taipei.gov.tw/OpenFront/report/report_detail.jsp?sysId=C105AW147
23. 蕭論勳、廖信凱、陳起鳳，「海峽兩岸沿海區資源、環境與永續發展學術研討會—薄層綠頂設置對台北市暴雨逕流響分析」，2012。
24. 臺北市政府，綠屋頂及綠能示範社區工程補助申請公告，2016年7月18日。
<http://www.gov.taipei/ct.asp?xItem=202265740&ctNode=5156&mp=100001>
25. 台北市錫瑠環境綠化基金，臺北市屋頂綠化成果介紹，2008年2月26日。
<http://scholar.fju.edu.tw/%E8%AA%B2%E7%A8%8B%E5%A4%A7%E7%B6%B1/upload/061946/handout/982/G-8261-17970-.pdf>
26. 中央研究院，「國家生技研究園區開發計畫」環境影響說明書，2011。



大樹舊鐵橋人工濕地水質淨化與生態效益探討

涂耀琨、林維鴻、蔡建緯、謝佳翰／國立中山大學環境工程研究所研究生
高志明／國立中山大學環境工程研究所西灣講座教授

引言

我國下水道工程興建，至 2016 年 7 月底全國污水處理率雖然達 52.47%，其中全國平均之公共污水下水道普及率僅有 29.33%，尚有許多污水並未納入下水道系統（營建署，2016），亦有許多生活污水未經適當處理即排放至鄰近排水渠道或溪流。臺灣大多數河川受限於南北狹長之地型，使得河道較短且流速較急，未能提供河川自我淨化、吸收與轉化污染物之足夠時間而逕流入海。根據行政院環境保護署（TEPA）調查結果顯示，其中有超過 20% 的主要河川受到生活、工業和農業廢水排放造成之污染。雖然公共下水道污水收集系統的普及率持續增加，但許多地區因人口數量較少或是偏遠地區之因素，尚未規劃興建下水道系統，導致污水直接排放至河川，導致河川污染負荷增加。而近年來因全球氣候變遷，極端氣候出現，世界各地天災頻傳，使生態系統中之生態物種逐漸減少趨勢。因此人類開始重視環境議題，綠生活的概念也因應而生，綠生活是指在人們生活中的每一個事物均考慮與要求，需設計達到減少能源、資源消耗、提高環境友善度以及降低生態衝擊等環保訴求（陳文輝，2008）。過去污水處理，主要以大興土木所建置之污水處理廠為主，此工法雖然能有效處理大量污水，但不能達到環境之永續發展。自然淨化工法對水質淨化是一個天然、有效、低度管理與低成本之工法，一般可分為植生處理法、土壤處理法及接觸氧化法，自然淨化是將生態工法技術應用於水或廢水處理及管理上的一種自然淨化程序，利用大自然中既有的污染涵容與淨化能力，將受污染的水或廢水導入其中處理（環保署，2006）。人工濕地（constructed wetland）系統與傳統之廢水處理廠相較下，人工濕地系統不需添加任何化學藥劑、減少能源利用、降低碳排放、操作起來也較為容易及無二次污染等優點，是一種有助於環境生態永續發展的自然淨化

工法（Knowles *et al.*, 2011; Vymazal and Kropfelova, 2008）。臺灣地區自 2000 年以來，在臺灣使用人工濕地淨化受污染河川的案例漸漸增加。至 2016 年依據內政部營建署國家重要濕地保育計畫公告重要濕地全台共有 92 處，數量非常多，顯示濕地在台灣之重要性。因此更需要瞭解濕地效益。目前多數研究所探討與評估之濕地功能包含了防洪、地下水補注、氣候調適、水質淨化、生態物種多樣性效益以及提倡環境教育效益。其中濕地水質淨化過程中，影響水質變化因素包含了水文、氣候、水中的生化作用等，當水體水質改善，伴隨著環境中生態物種相對豐富度增加。本篇文章以高雄之大樹舊鐵橋人工濕地系統做為案例探討人工濕地水質淨化及生態效益。

大樹舊鐵橋人工濕地

大樹舊鐵橋人工濕地位於高雄大樹區台 29 縣道旁，過去高屏溪上游有許多農耕及畜牧，由於不易管理，河川水體污染、垃圾堆積、違建景觀惡化及違規使用等事件發生，造成河川污染負荷增加。同時位於高雄大樹區竹寮社區排入竹寮溪溝之生活污水與永豐餘久堂廠之二級放流水亦長期排入高屏溪，增加河川之污染負荷，進而影響河川生態與水質，使民眾親水環境受到危害。大樹舊鐵橋人工濕地於 2001 年由第七河川局辦理高屏溪右岸高屏大橋至舊鐵路橋高灘地設置人工濕地，並於 2005 年完成啟用，藉由河岸生態復育，重新塑造自然生態環境，以回復高屏溪潔淨之原貌。高屏溪右岸規劃 120 公頃的河川高灘地中建置具備水質淨化、生物多樣性及遊憩等多目標之人工濕地。然而大樹舊鐵橋人工濕地在 2009 年遭受到莫拉克風災嚴重之破壞（圖 1），導致生態、淨水及景觀功能完全喪失，經由政府及當地志工共同努力下恢復原本之淨水、景觀及生態之功能（圖 2）。舊鐵橋人工濕地主要為



圖 1 莫拉克風災受創大樹舊鐵橋濕地



圖 2 現今大樹舊鐵橋濕地

表面流人工濕地，為自由表面流系統 (free water surface system, FWS)，共分為 A、B 二個主要的系統。A 系統濕地水源主要以永豐餘紙業久堂廠之放流水及九曲堂都市計畫區 (九曲路以北城隍路以東部分及部分竹寮村) 之排水。竹寮溪溝為 B 系統濕地系統主要引水。竹寮溪溝源自小坪頂，集水範圍涵蓋竹寮村之大部分山坡地，其組成除雨水外，尚有竹寮村之農牧廢水、生活污水及零星工業

廢水等。竹寮溪溝之水體污染較嚴重、流量小，永豐餘排水污染較輕，流量約為竹寮溪溝排水 10 倍。因此，利用永豐餘排水稀釋竹寮溪溝污水，經匯流後分別流入 A、B 二濕地系統。如圖 3 中所示，A 系統水池單元設置 A1 至 A6 共計 6 池，B 系統設置 B1 至 B4 共計 4 池。整體人工濕地以複合功能設計，A1 及 B1 池為沉澱池，A2-A5 及 B2-B3 池設計以淨化為主生態為輔的水池，A6 及 B4 為生態復育功能為主。

水質淨化效益評估

本團隊透過濕地水質、水文監測及資料收集，瞭解本濕地對於水質淨化之功能與成效。本研究水質調查採樣地點為 A 與 B 兩系統之進出流，於 A 系統之 A1 池進流及 A6 池出流；B 系統之 B1 池進流及 B2 池出流規劃為水質監測與水流量測之調查。每季進行一次，每年共四次，本團隊由 2012 年開始調查至 2015 年。透過各水質監測，瞭解濕地水質淨化情形，同時亦進行生物物種之調查，瞭解生物豐富度之變化。

水流量測結果

本團隊彙整 2012 年至 2015 年水流量測結果如表 1 所示。根據量測結果計算濕地各項水文操作參數，濕地平均進流流量 (Qin) A 系統為 9,009 m³/day，B 系統為 3,561 m³/day。A 系統水力負荷 (HLR) 範圍為 0.045 ~ 0.077 m/day、B 系統為 0.237 ~ 1.034 m/day；A 系統水力停留時間 (HRT) 範圍為 5.97 ~ 10.7 day，B 系統為 0.59 ~ 1.04 day。結果顯示，濕地 A 系統 HLR 略大於 (U. S. EPA, 2005) 建議值 0.015 ~ 0.050 m/day；B 系統除 2014 年外其餘之 HLR 量測結果皆大於建議值。A 系統 HRT 較長主要係由於 A 系統水域面積較大池子較多。

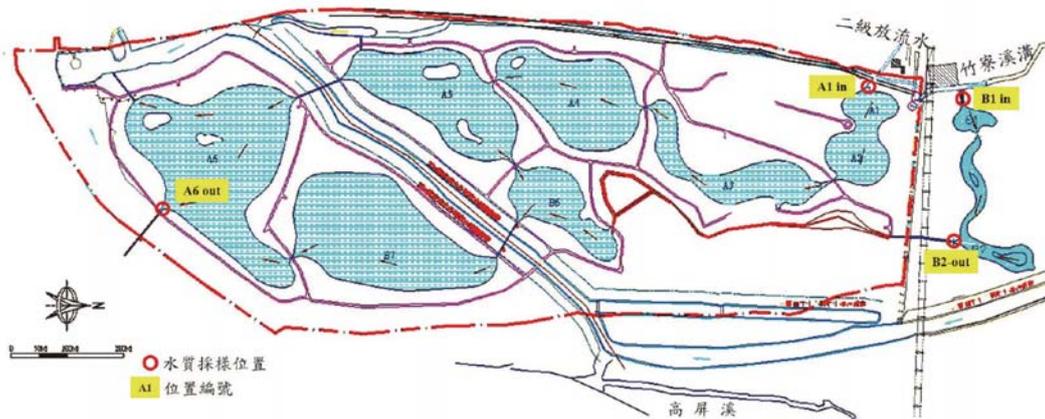


圖 3 大樹舊鐵橋濕地配置示意圖

表 1 2012~2015 年舊鐵橋人工濕地水量測結果

項目	A 系統			B 系統		
	Q	HRT	HLR	Q	HRT	HLR
	(CMD)	(day)	(m/day)	(CMD)	(day)	(m/day)
2012	12,532	5.97	0.077	5,310	0.59	1.034
2013	8,851	7.63	0.057	2,946	1.04	0.517
2014	6,977	10.70	0.045	1,561	0.70	0.237
2015	7,677	6.00	0.050	4,428	0.87	0.673

Q：流量、HRT：水力停留時間、HLR：水力負荷

水質效益評估

懸浮固體物 (SS)

濕地水質淨化效益經由水體採樣分析進行評估，本團隊長期水質採樣分析（2012~2015 年）結果如表 2 所示，舊鐵橋人工濕地對於 SS 去除效率，由 A 系統各年平均去除效率來看，介於 17.22~82.96% 之間；B 系統為 1.08~65.96% 之間，經由 A 系統進出流濃度與流量計算，A 系統每日 SS 移除量 (Removal Efficiency Mass, REM) 介於 0~320 kg/day，B 系統 REM 介於 0~56.5 kg/day，表面流人工濕地 SS 會受到植體掉落及藻類生長之影響導致 SS 去除效果下降，根據 Lin 等人研究報告顯示水中藻類增加相對可能提高水中 SS 含量 (Lin *et al.*, 2015)。

生化需氧量 (BOD)、化學需氧量 (COD)

BOD 去除多由水體之微生物進行生物降解反應，同時水體溶氧與有機物總類均可影響濕地對於有機物的分解效率，部分粒徑較大之有機物會連同 SS 藉由重力沉降於底部。BOD 於濕地水質淨化之結果顯示，A 系統年平均之去除效率介於 14.04~76.65% 之間；B 系統去除率為 27.36~36.63%，A 與 B 系統 BOD 每日最大 REM 分別為 304 及 44.9 kg/day。在 COD 於濕地水質淨化之結果顯示，A 系統年平均之去除效率介於 16.23~60.30% 之間；B 系統去除率為 14.47~54.92% 之間。

氨氮 (NH₃-N)、總氮 (TN)

經由氧化狀態下將氨氮氧化成硝酸鹽。硝化及脫硝作用能有效率地對氮進行去除，水中氨氮由硝化菌氧化成硝酸鹽，硝酸鹽隨後在厭氧狀態下被脫硝菌還原成自由態氮。舊鐵橋人工濕地系統經由 4 年採樣分析各年平均結果顯示 A 系統氨氮處理效率 26.59~46.83%；B 系統為 10.0~31.39%。總氮部分 A 系統總氮處理效率介於 36.43~65.71% 之間；B 系統為 4.55~54.33% 之間。舊鐵橋濕地 A 系統總氮每日最大處理量為 66.9 kg/day；B 系統為 19.9 kg/day。A 系統水域面積較大 HRT 時間較長，相對處理效率會比 B 系統較好。

總磷 (TP)

廢水中之磷會經由物理沉澱、吸附及植物吸收降解，磷濃度增加能促進對氮的去除。舊鐵橋人工濕地對於總磷之去除率顯示 A 系統年平均介於 29.79~95.63% 之間；B 系統為 29.84~70.01%。由此顯示舊鐵橋人工濕地系統對磷能有效之去除。以每日最大移除量計算，A 系統總磷每日 66.6 kg/day；B 系統為 7.1 kg/day。

葉綠素 a (Chl-a)、大腸桿菌 (TC)

舊鐵橋在 2012~2015 年分析結果顯示，濕地系統對於水體中 Chl-a 無良好之去除效率，由於 FWS 人工濕地為開放性水域，當豐富之光合作用及營養鹽的環境下藻類將大量繁殖，致使 Chl-a 提高。反之 FWS 系統對於 TC 去除率效果顯著，A 系統處理效率介於 59.26~91.96% 之間；B 系統為 77.18~89.36% 之間，主要是南部地區日照充足，在日照充足下能抑制水體中大腸桿菌生長 (Lai, 2016)。

表 2 2012~2015 年舊鐵橋人工濕地水質分析結果

項目/年度	A 系統			
	2012	2013	2014	2015
SS	33.79	17.22	82.96	75.48
BOD	60.55	14.04	76.65	14.58
COD	50.00	16.23	60.30	48.46
NH ₃ -N	33.72	36.11	46.83	26.59
TN	62.50	65.71	36.43	41.37
TP	95.63	29.79	33.19	41.08
Chl-a	60.28	23.35	64.87	-
TC	77.63	59.26	91.96	60.08
項目/年度	B 系統			
	2012	2013	2014	2015
SS	32.17	56.34	1.08	65.96
BOD	31.43	30.71	36.63	27.36
COD	54.92	49.62	14.47	27.99
NH ₃ -N	17.07	22.61	10.00	31.39
TN	33.67	32.28	4.55	54.33
TP	70.01	53.38	29.84	31.05
Chl-a	-	12.08	12.00	23.94
TC	89.36	77.18	85.22	71.65

去除率單位：%

濕地生態效益評估

- 鳥類：共記錄到 31 科 67 種鳥類，主要記錄鳥類種類大多為平地常見之種類，其中有記錄到鳳頭蒼鷹、水雉及紅尾伯勞保育類鳥類，顯示舊鐵橋人工濕地復育相當良好。鳥類記錄中又以舊鐵橋南側記錄之鳥類種數量較多，因舊鐵橋南側 A6 池與 B7 池為生態復育功能為主，因此相對物種豐富度較多。
- 陸生爬蟲類與兩棲類：陸生爬蟲類共記錄到 4 科 5 種包含斯文豪氏攀蜥、無疣蝟虎、疣尾蝟虎、多線

南蜥及臭青公。兩棲類共記錄到 4 科 6 種包含赤蛙科的虎皮蛙、澤蛙、貢德氏赤蛙、小雨蛙、花狹口蛙及蟾蜍科的黑眶蟾蜍。

- 3. 蜻蛉及蝶類：蜻蛉類共記錄到 3 科 19 種。蝶類共記錄到 5 科 48 種，其中包含：灰蝶科 12 種，弄蝶科 6 種，蛺蝶科 18 種，鳳蝶科 5 種及粉蝶科 7 種。
- 4. 植物：共記錄 92 科 335 種植物種類，其中包含蕨類植物、雙子葉植物、單子葉植物。
- 5. 魚類：共記錄 11 科 16 種魚類，其中又花鱸魚科食蚊魚、慈鯛科吳郭魚及棘甲鯰科琵琶鼠數量佔大多數。

結論

經由 2012 ~ 2015 年之間水質採樣分析評估結果，大樹舊鐵橋人工濕地具有良好水質淨化、生態復育及休閒教育之功能，水質淨化部分，大樹舊鐵橋人工濕地除對 SS 及 Chl-a 去除率略差，其餘大部分的污染物質具有不錯的去除效率。SS 有時去除的效果偏低，主要的原因與濕地種植水生植物的種類較多、植株較密，導致水中的植物碎屑較多，增加懸浮固體濃度。A 與 B 兩系統 BOD 每日最大移除率共達 348.9 kg/day，總氮每日最大處理量為 86.8 kg/day，總磷每日最大處理量為 73.3 kg/day。經由舊鐵橋人工濕地淨化後之水體進入高屏溪，如此一來能減少河川污染負荷量，同時對於舊鐵橋人工濕地帶來豐富生物物種。過去 2009 年莫拉克風災使

得舊鐵橋人工濕地嚴重受損，原有之生態物種也隨之消失，經由 4 年時間生態重新演替，在 2015 年所調查之生態物種多樣性，已經回復到原有之物種，且吸引了多種保育鳥類來棲息。人工濕地除淨化水質之外也能增加生態物種多樣性，同時提供地下水補注、防洪及氣候調節 … 等功能。近年來環境教育法通過，也能透過濕地演替及功能讓民眾實地接觸瞭解濕地重要性及環境保護之觀念。

參考文獻

1. Knowles, P., Dotro, G., Nivala, J. and Clogging, J.G., In subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors Ecological Engineering, Vol. 37, pp. 99-112 (2011).
2. Lin, J.L., Tu, Y.T., Chiang, P.C., Chen, S.H. and Kao, C.M., Using aerated gravel- packed contact bed and constructed wetland system for polluted river water purification; A case study in Taiwan. Journal of Hydrology, Vol. 525, pp. 400-408 (2015).
3. U.S. EPA, (2005). Constructed Wetlands Handbooks.
4. Vymazal, J. and Kröpfelová, L. (2008) Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow Springer.
5. Wu, S., Carvalho, P.N., Muller, J.A., Manoj, V.R. and Dong, R., Sanitation in constructed wetlands; A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. Science of the Total Environment, Vol. 541, pp. 8-22 (2016).
6. 內政部營建署，(2016)，「全國污水下水道用戶接管普及率及整體污水處理率統計表」。
7. 行政院環保署，(2006)，「水質自然淨化工法操作維護彙編」。
8. 陳文輝，(2008)，「全球化綠色環保規範發展近況與因應措施」，經濟部工業局，永續產業發展雙月刊，國際環保指令與綠色供應鏈專輯，第 42 期，第 3-19 頁。



土木水利 雙月刊

向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木水利工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。



低衝擊開發 規劃與評估

林鎮洋／國立臺北科技大學土木系特聘教授

廖信凱／國立臺北科技大學土木系碩士

高強度的土地利用幾乎是近代世界文明的特徵，都市的擴張改變了土地原有的生態及水環境，入滲、截流與地下水補注等水文循環功能喪失，連帶使都市內水道失去天然河川自淨的功能，都市洪水及水污染問題，成為許多都會區揮之不去的夢魘，為了有效解決都市水患問題與環境永續共生，低衝擊開發技術是現代國家必須要走的一條路。

在臺灣大規模的新市鎮開發如火如荼的展開，其中桃園航空城將成為未來幾年最大的開發案，為避免重蹈覆轍，本文嘗試將分散型低衝擊開發設施導入航空城開發中，藉此彌補開發行為對環境造成之衝擊，同時應用SWMM模式探討基地開發前後地表逕流變化情形。

本文於開發後的基地內規劃雨花園、草溝、透水鋪面以及乾式滯洪池四項LID設施，利用SWMM模擬結果發現，在枯水年與豐水年的情況下，設置LID設施能降低27.4%與20%因開發產生的年總逕流量，而在2016/01/29之平日降雨與2016/06/02之極端降雨下，則能削減29.3%以及11.2%，同時關鍵的洪峰流量也有下降的趨勢，綜合上述模擬結果可確定LID設施能有效控制研究區域內的地表逕流，進而實現都市永續發展的目標。

前言

綜觀全球已開發國家，均有嚴重的都市化現象發生，而擁有八百萬人口的大臺北都會區也是典型案例。在都市蓬勃發展的背後，大規模的建物及道路不斷興建與鋪設，不透水面積逐年增加，使得原本像海綿一樣的大地瞬間變成水泥叢林（concrete jungle）不再透水，原有的水文狀態改變（Burian & Pomeroy^[1]），加上氣候變遷的影響，降雨型態日益極端（Pachauri^[2]；汪中和^[3]；柳中明^[4]），每逢豪大雨發生時，洪峰流量變大，集流時間縮短，既有的排水系統與設計標準已不堪負荷面臨相當嚴峻的考驗，逕流無從宣洩進而衍伸出都市淹水（Urban flood）問題（Chadwick *et al.*,^[5]；Misra,^[6]；Nagy *et al.*,^[7]）。另一方面，此種排水方式將使大量的污染物隨著逕流冲刷至下游承受水體，造成水體中的污染物濃度急劇上升，即為非點源污染（Nonpoint Source Pollution, NPS）（Lee & Bang^[8]；林鎮洋^[9]）。此外，建築物與不透水鋪面大量吸收熱量，再加上入滲與蒸發散減少的情況下，使都市熱島效應（Urban Heat Island）加劇（劉紹臣等人^[10]）。前述提及之

事件皆為人類開發過程中伴隨而來的環境衝擊，因此，需要更多減緩（mitigation）或調適（adaptation）的行動來因應，學習如何與環境共存共榮，建構一個以安全為基礎、生態為導向、永續為目標的城市是未來發展的方向與趨勢，因而，孕育出「低衝擊開發」的新思維。

低衝擊開發（Low Impact Development, LID）是一種以生態系統為基礎的都市暴雨逕流源頭管理技術，最早由美國馬里蘭州喬治王子縣的環境資源局與美國環境保護署於1990年所提出（U.S.EPA,^[11]），同時結合都市計畫、交通建設與建築管理等都市基礎建設，在有限的空間下以傳統水利工程為基礎搭配分散型現地削減設施，透過入滲、停留、蒸發、補注以及過濾等方法，減緩開發行為對都市水環境造成之衝擊（圖1）。常見的LID設施，如植生滯留槽（Bioretention cells）、草溝（Swales）、綠屋頂（Green roof）、草帶（Grass strip）、透水鋪面（Permeable pavements）、樹箱過濾器（Tree box filters）、雨撲滿（Rain barrel）、滲透溝（Infiltration trenches）等（徐年盛^[12]；內政部營建署^[13]）。

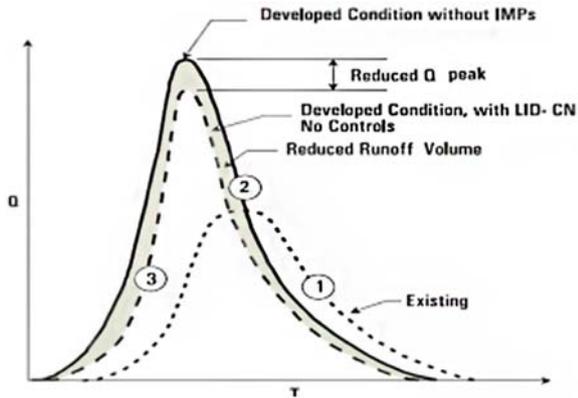


圖 1 LID 削減因開發行為所產生之逕流
資料來源：Prince George's County^[14]

由於 LID 具有環境教育、淨化水質、隔熱降溫、調節氣候以及景觀生態等功能（余嘯雷^[15]），對環境帶來諸多成效已經被廣泛應用在美國、加拿大、英國、瑞典、澳洲、日本、新加坡等國家（表 1）。而國內各單位借鏡國外經驗陸續提出相關因應措施與調適策略，如行政院環保署於 102 年編訂「降雨逕流非點源污染管理（BMPs）技術指引與技術手冊」，內政部建築研究所於 102 年完成「社區及建築基地減洪防洪規劃手冊」，此外，內政部營建署也於 104 年完成「水環境低衝擊開發設施操作手冊編製與案例評估研究計畫」；而在法規面向的部分，中央及地方政府均有適用之規範，例如《建築技術規則》、《建築基地保水設計技術規範》、《建築物雨水貯留利用設計技術規範》、《臺北市市有新建建築物設置雨水回收再利用實施要點》、《臺北市公共設施用地開發保水作業要點》、《新市公共透水保水規範》、《新北市都市計畫規定設置雨水貯留及涵養水分再利用相關設施申請作業規範》以及《高雄市綠建築自治條例》等，透過相關法規的訂定來提升我國都市地區之防洪管理效能與調適能力，進而達成韌性城市與永續發展的目標。

表 1 各國暴雨管理名稱

國家	中文名稱	英文名稱
臺灣	低衝擊開發	Low Impact Development
中國	海綿城市	Sponge City
美國	低衝擊開發	Low Impact Development
紐西蘭	低影響城市設計與發展	Low Impact Urban Design and Development
加拿大	暴雨源頭控制設計	Storm water Source Control Design
澳洲	水敏感城市設計	Water Sensitive Urban Design
英國	可持續性排水系統	Sustainable Urban Drainage System
新加坡	活躍，美麗，乾淨的水源	Active Beautiful Clean Waters

本文擬將低衝擊開發技術導入桃園航空城開發案中，並以 SWMM 模式作為分析工具，協助設計者預測區域內的水質水量情況，並評估 LID 設施對於暴雨逕流削減之成效，主要目的如下：

1. 於桃園航空城開發案中導入點、線、面三種型態之 LID 設施，並提出一套適用於基地之具體 LID 配置，以期降低因開發所產生之逕流問題。
2. 應用 SWMM 模式進行情境分析，評估不同降雨事件下，基地開發前後與設置 LID 設施，對於地表逕流量之削減成效，並探討個別設施的削減成效。
3. 應用 SWMM 模式分析基地逕流歷線與洪峰流量之變化情形。

研究方法與研究區域概述

研究區域

以桃園市蘆竹區南崁溪與坑子溪匯流處作為模擬之區域，其位於桃園航空城計畫區域範圍內，經現地勘察後依河系、地形等狀況選擇由長興路三段、南山路三段、油管路二段以及南崁溪與坑子溪所劃分出來的 85.67 公頃範圍作為本研究的對象（圖 2）。

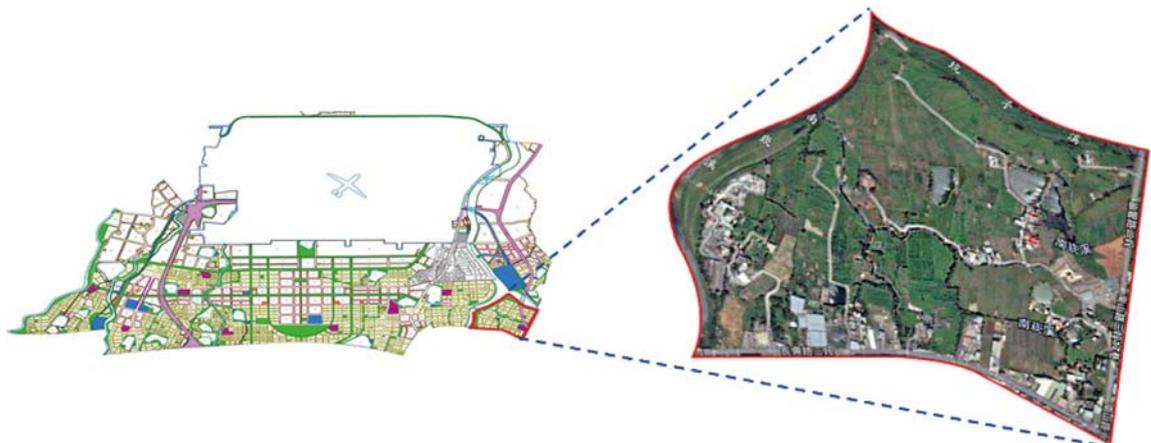


圖 2 研究區域地利位置 資料來源：Google 衛星影像

氣象水文

採用中央氣象局蘆竹測站作為代表，蘆竹地區年平均溫度為 22.6°C；六至九月溫度最高平均在 28.1°C；最低溫度為一月平均 15.6°C，在降雨量方面，年平均降雨量為 1,790 毫米，降雨最多集中在五月至九月，主要受梅雨鋒面、午後對流及颱風所帶來的雨量，而雨量最少的月份在十二月及一月。

水文資料，乃逕流相關研究最為重要之資訊，基地位於南崁溪與坑子溪匯流處，區域內有南崁溪支流以及農田水利排水系統。南崁溪位於桃園市境內，發源於坪頂台地的牛角坡，主流長度 30.73 公里，流域面積約為 214.67 平方公里，涵蓋龜山都市計畫區、桃園市都市計畫區、南崁都市計畫區以及航空城計畫區，常流量不大，根據水利署南崁溪橋流量測站，歷年平均日流量為 6.2 cms，最大流量則為 2001 年納莉颱風時的 614 cms，堤防保護標準係採用 50 年頻率洪水，其支流包括坑子溪、大坑溪、茄苳溪、東門溪、營盤溪、楓樹坑溪（圖 3）。

地理環境

研究基地所在位置地勢平緩，高度介於海拔 14 至 42 公尺之間，坡向由東南走向西北（圖 4）。其地層以現代沖積層及部分的桃園層為主，其下為大南灣層，土壤組成紅土、礫石、粉砂及頁岩等（圖 5）。地下水位約在地表下 2.5 ~ 4 公尺。而基地的排水速率及保水能力與地質土壤型態有關，根據行政院環境保護署設置於蘆竹區編號 H00003 監測井的監測資料得知研究區域內土壤飽和水力傳導係數（hydraulic conductivity）為每秒 4.82×10^{-4} 公尺。

土地利用

(1) 現況

根據內政部國土測繪中心 2013 最新土地使用調查成果，該區域之各土地利用整理於表 2，基地屬於尚未開發之區域，目前以農地佔地最大，面積約 54.24 公頃，佔總面積之 63.3%；其次為其他使用土地，面積為 11.28 公頃，佔全區面積 13.2%，包含未使用土地和草地；建築使用土地面積為 8.56 公頃，佔總面積之 10%（圖 6）。

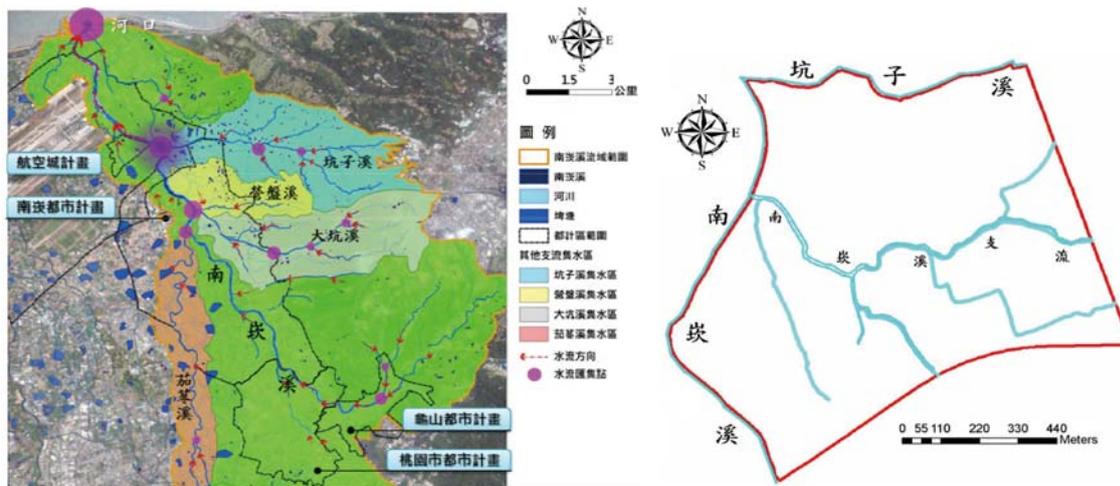


圖 3 研究區域與南崁溪流域圖

資料來源：陳婕雯等人^[16]

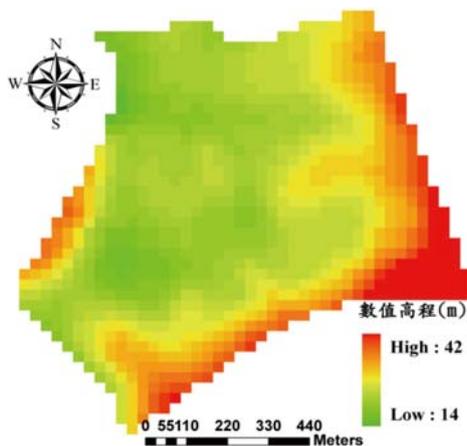


圖 4 研究區域數值高程



圖 5 研究區域岩心影像圖

資料來源：中央地質調查所（2006）

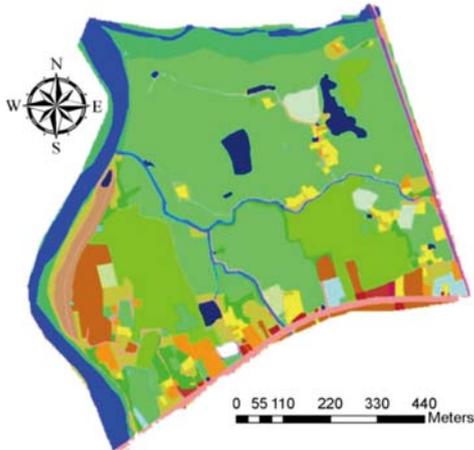


圖 6 研究區域土地利用圖

(2) 未來

根據內政部都委會審議通過之桃園航空城特定區計畫圖顯示，研究區域未來土地利用規劃情形以住宅用地為主，還包括學校、道路以及公園綠地等（圖 7）。根據表 2 統計，建築用地佔地最大，面積約 30.76 公頃，佔總面積的 35.91%，以第三種與第二種住宅區為主；交通用地則為 24.8 公頃，佔基地總面積的 28.97%，包括一般道路與高速公路，相較於開發前 8.55 公頃的建築用地與 4.1 公頃的交通用地，未來在航空城計畫的推動之下，本區將會大面積的開發並促使大量人口移入，將增加超過 3.8 倍的不透水面積，

排水系統與歷史災害

研究區域目前以農地為主屬於未建成區，因此，並未

設置雨水下水道系統，其排水主要仰賴農田水利系統與既有的水利設施，但隨著桃園的迅速發展，早期設置之農田灌排渠道的灌排功能不足以因應豪雨，因此，本文將參考營建署雨水下水道設計指南，以及桃園市現行雨水下水道系統五年重現期 71.7 mm/hr 設計標準進行規劃，並依照道路系統及地形走勢，自行劃定雨水下水道系統（圖 8），以利後續 SWMM 模式之模擬。另外，基地位於南崁溪與坑子溪匯流口，地勢低窪且區域排水不良，每逢豪雨，將面臨內水（internal water）無法外排以及河川外水（external water）入侵之窘境，而在未來大規模開發下，將規劃為住宅區，若未妥善處理，水患問題將一直存在，恐釀成更嚴重的淹水災情，故本文整理研究區域週遭近年來淹水事件於表 3，透過淹水事件回顧分析，瞭解易淹水之地區與待補強之處，作為未來開發時之參考依據。

表 2 研究區域開發前後土地利用分類整理表

代碼	開發前（現況）		開發後（未來）		類別
	面積（公頃）	面積百分比	面積（公頃）	面積百分比	
01	54.242	63.31%	-	-	農業
02	2.808	3.28%	-	-	森林
03	4.102	4.79%	24.82	28.97%	交通
04	3.489	4.07%	-	-	水利
05	8.557	9.98%	30.76	35.91%	建築
06	1.194	1.4%	2.88	3.36%	公共
07	-	-	27.21	31.76%	遊憩
09	11.278	13.17%	-	-	其他
總計	85.67	100%	85.67	100%	-



圖 7 未來土地利用規劃情形

資料來源：內政部營建署城鄉發展分署^[17]



圖 8 研究區域未來排水系統圖

表 3 研究區域周圍歷史淹水災害彙整表

時間	事件	淹水地區	災情描述
2001 年 9 月 17 日	納莉颱風	大園蘆竹、厚生社區	南崁溪水位暴漲，北堤潰堤，淹水及腰，橋樑損毀。
2012 年 6 月 11 日	611 水災	南崁、蘆竹、大園等地，多達百處淹水	西南氣流帶來豪雨，南崁溪水暴漲，多處淹水高過 60 公分，蘆竹南工路工廠與厚生社區 400 多戶民宅，遭受淹水之苦。
2013 年 8 月 28 日	康芮颱風	蘆竹區厚生路	康芮颱風降下豪大雨，造成許多地區淹水，蘆竹區厚生路積水超過 40 公分，現場一片汪洋。
2014 年 5 月 15 日	豪雨	桃園機場二航廈，蘆竹南崁地區	南崁溪水暴漲，蘆竹區台 4 線、機場二航廈積水約十公分。

研究方法

本文主要探討土地不當開發造成地表逕流增加之嚴重性，並以歐美先進國家推廣多年的低衝擊開發 (LID) 技術結合傳統的治水的觀念，透過綠色基礎設施 (green infrastructure) 規劃來降低都市發展及氣候變遷 (climate change) 下造成之環境破壞與衝擊。首先，利用 Arc GIS 處理相關圖層資料，然後再透過 BASINS 系統將圖層整合與子集水區之切割，最後匯入於 SWMM 模式，並輸入參數與氣象資料後，以便於 SWMM 模式中進行地表逕流模擬。為確認模擬數據之可靠性，本文將模擬值與實際觀測流量進行參數率定 (calibration) 與驗證 (verification)；接著在已劃定土地使用分區之基地中加入四項 LID 設施，再以 SWMM 模式進行情境分析 (scenario)，以瞭解不同土地利用與降雨事件下基地內地表逕流的變化情形，以及 LID 設施之設置是否有抑制地表逕流之功效？瞭解逕流歷線與洪峰流量之變化情況，同時分別探討各項設施的削減成效。

1. BASINS 模式之前置作業

BASINS 如同平臺般可將諸多資料進行整合，因此將先前於 ArcGIS 中處理完成之研究區域 2013 年土地利用圖、數值高程地形圖、河系圖及集水區邊界圖放入 BASINS 模式中 (表 4)，模式會依據河系與高程等資訊，計算出高程、坡度、透水與不透水比例等資訊，並利用集水區切割工具 (Watershed Delineation Tool) 進行子集水區劃分，其劃分塊數與精細程度可由使用者自行設定 (圖 9)。本文將基地切割為 11 個子集水區，最後透過 BASINS 輔助建置工具，將處理完成之圖層資料轉匯入 SWMM 模式，以進行 SWMM 模式之運行。

2. SWMM 模式建置

本文主要探討都市地表逕流的變化情況，需要適用於都市地區且具有下水道模擬功能之模式，另外 LID 為本文

表 4 模式輸入資料格式

格式	所需資料	限制格式	現有資料格式	資料來源		
GIS 圖層資料	河系圖	線圖層	Shp 檔	經濟部水利署		
	邊界圖	面圖層	Shp 檔		國土測繪中心 (2013)	
	土地利用		Shp 檔			
	數值高程圖		Raster 檔	中央研究院		
氣象資料	降雨量	日	日	2000 年至 2015 年		
	露點溫度				中央氣象局 (蘆竹站)	
	輻射					
	溫度					
風速	蒸發散潛勢	水文資料	-	日	2000 年至 2001 年	經濟部水利署
流量						

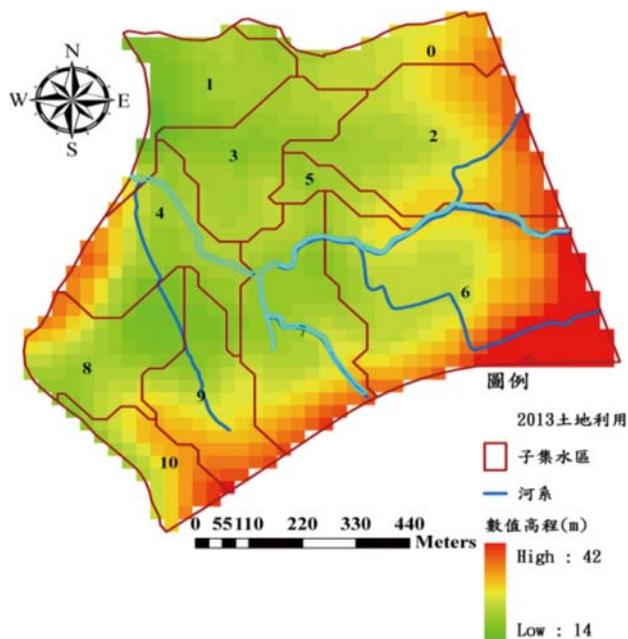


圖 9 研究區域子集水區切割成果

之核心，所以具有 LID 設施模擬功能之模式為優先考量，經功能分析及考量研究之需求，故選用 SWMM 模式作為模擬工具。

暴雨逕流管理模式 (Storm Water Management Model, SWMM) 為美國環保署所開發的一套動態降雨逕流模擬模式，可進行水文、水理和水質模擬，使用者可依單一或連續水文事件來模擬集水區內的逕流傳輸現象，模擬過程中考量降雨、地面水蒸發、自窪地蓄水之降雨截流、未飽和土壤層的降雨入滲、入滲水滲透至地下水層、地下水與排水系統間的中間流、地表漫流之非線性演算以及低衝擊開發措施於降雨逕流之攔阻與貯留等產生逕流的各種水文因素。模式概念分為五大區塊，分別為集水區區塊、氣候區塊、土地利用區塊、地下水區塊以及管線傳輸區塊，為了推廣與落實低衝擊開發之理念，美國環保署於 2010 年 7 月 30 日所推出的 SWMM 5.0.019 版本中加入植生滯留槽 (bioretention cell)、入滲溝 (infiltration trench)、多孔隙鋪面 (porous pavement)、雨撲滿 (rain barrel) 和草溝 (vegetative swale) 五項 LID 設施，更在 2015 年 8 月 5 日所推出的 SWMM 5.1.010 版再加入雨花園 (rain garden)、綠屋頂 (green roof) 及屋簷集水槽 (rooftop disconnection) 三項 LID 設施。另外，模式操作前必須清楚瞭解模式背後的理論基礎。

1. 地表逕流

$$Q = W \frac{1.49}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (1)$$

式中， Q ：流量 (m³/s)

W ：逕流寬度 (m)

n ：曼寧粗糙係數

d ：窪蓄水深 (m)

d_p ：最大窪蓄水深 (m)

S ：坡度

2. Horton's equation

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (2)$$

其中， f_t ：時間 t 內之平均入滲率

f_c ：平衡入滲率

f_0 ：初始入滲率

k ：入滲常數

3. Green-Ampt method

$$f_p = K_s + \frac{K_s M S_{av}}{F_p} \quad (3)$$

式中， f_p ：入滲率 (in./hr)

K_s ：飽和垂直水力傳導係數 (in./hr)

M ： $\theta_s - \theta_i$ 為飽和含水量和初始含水量之差值

S_{av} ：平均濕鋒張力水頭

F_p ：累積入滲量 (in.)

4. SCS Curve Number method

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (4)$$

式中， F ：入滲總量

S ：集水區最大蓄水量

P_e ：有效降雨量

I_a ：初期降雨損失量

5. Two-zone Groundwater model

$$Q_{gw} = A_1(H_{gw} - 1)^{B_1} - A_2(H_{gw} - 1)^{B_2} + A_3H_{gw}H_{sw} \quad (5)$$

式中， Q_{gw} 為地下水流量 (cfs)

H_{gw} 為地下水層高程 (ft)

H_{sw} 為地表水高程 (ft)

A_1 為地下水流動係數

B_1 為地下水流動指數

A_2 為地表水流動係數

B_2 為地表水流動係數指數

A_3 為地表水與地下水作用係數

6. Saint Venant equation

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial X} + \frac{\partial Y}{\partial X} = S_0 - S_f \quad (7)$$

其中， Q ：流量

V ：斷面之平均流速

T ：時間座標

X ：沿流動方向之空間座標

Y ：水深

G ：重力加速度

S_0 ：渠底之縱向坡度

S_f ：能量坡度線

3. LID 設施配置

由於區域內入滲能力佳，故選用入滲型的 LID 設施。本文嘗試將雨花園、草溝、多孔隙透水瀝青混凝土鋪面以及乾式滯洪池四種 LID 設施，應用於已劃定土地使用分區的研究區域內，並將設施相互串聯 (圖 10)。雨花園部分：將區域內各塊建築基地中法定空地的 20% 透水面積作為雨花園，槽體總深度為 85 公分；為有效串聯點型與

面型之 LID 設施，另選擇線型的草溝作為聯接，於研究區域內路寬 15 公尺以下之道路單側設置草溝，設計深度為 30 公分，總施作長度達 6,031 公尺；為減少道路地表逕流之問題以及考量道路載重之因素，將區域內 24.8 公頃的交通道路用地由不透水的柏油路改為面層厚度 15 公分的多孔隙透水瀝青混凝土鋪面；除了設置分散型單元式的設施外，還將區域內所有公園綠地（不包括河濱綠地），作為大型的乾式滯洪池，面積共 7.76 公頃，深度為 1 公尺，乾式滯洪池係利用地表凹地或向下挖掘之土製結構，平時一樣為民眾使用的公園綠地，而當下雨時則可作為暫時蓄水之設施，可提供雨天暫時儲蓄水，以上 LID 設施之配置均參考水環境低衝擊開發設施操作手冊以及降雨逕流非點源污染最佳管理技術（BMPs）手冊。

4. 開發前後之比較

本文主要探討基地土地利用的改變，在不同降雨事件下地表逕流的變化情況，故本文利用模式 SWMM 模式針對研究區域進行開發前、開發後以及設置 LID 設施三種情境之模擬。情境一是利用研究區域現況僅有 16% 的不透水面積作為開發前的情境；情境二假設基地依照內政部都市計畫委員會公佈之都市計畫圖進行開發，且尚未加入 LID 設施，不透水面積高達 60% 之情況作為開發後之情境；情境三為基地開發後加入雨花園、草溝、多孔隙瀝青混凝土鋪面以及乾式滯洪池四種 LID 設施之狀態，並以四種截然不同的降雨事件作為模式輸入的資料，進而運用模式推估基地內地表逕流的變化情形。

為瞭解每一場降雨產生之地表逕流的實際變化情形，本文採用過去實測的降雨事件作為模式氣象資料的輸入。根據中央氣象局蘆竹測站近十年氣候統計資料發現桃園地區的枯水年與豐水年分別為 2009 年與 2012 年，故採用蘆竹測站 2009 年與 2012 年的氣象資料作為模式長時間連續模擬之用。此外，為進一步瞭解洪峰變化情況，另選擇兩場降雨作為單一事件之模擬（分別為 2016 年 1 月 29 日以及 2016 年 6 月 2 日的降雨事件），前者屬於中央氣象局定義之「中雨」，降雨從 1 月 29 日 5 時 50 分至 20 時 40 分，總雨量 26.5 毫米；後者即桃園機場淹水事件，降雨從 2016 年 6 月 2 日 9 時 10 分至 14 時 30 分，總雨量高達 167.5 毫米。

結果與討論

參數率定與驗證結果

由於研究區域內並無相關的流量監測資料能作為模式率定與驗證使用，因此，採用水利署於研究區域兩公里處的南崁溪橋流量測站所測得之流量作為觀測值，以該測站為基準往上游推算集水區範圍進行模擬，此作法參考（Chen^[18]），但該測站於 2002 年被撤除，故使用 2000 年與 2001 年之日流量資料作為率定（2000）與驗證（2001）使用，而率定與驗證則同時採用統計學中的決定係數（ R^2 ）以及平均絕對誤差百分比（MAPE）作為判定指標，詳細判定標準如表 5 所示。

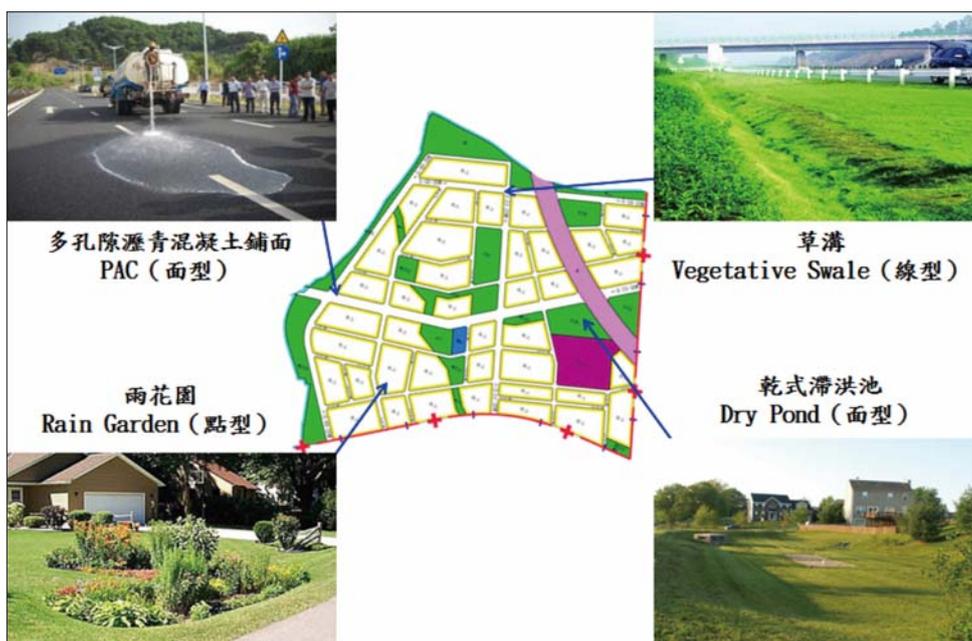


圖 10 研究區域 LID 設施配置圖

SWMM 模式水文參數率定時間為 2000 年，驗證時間為 2001 年，率定與驗證結果其中決定係數 R^2 分別為 0.73 與 0.84，兩者都在可接受值範圍內，而平均絕對誤差百分比 MAPE 分別為 39.9% 與 37.1%，亦在合理範圍內（圖 11 及圖 12）。

表 5 參數率定與驗證判定指標

參數	模式判定指標	範圍值	接受值	文獻
水文參數	決定係數 (R^2)	0 ~ 1	> 0.5	Wahyu ^[19]
水質參數	平均百分比 (MAPE)	-1 ~ 1	< 15% 高準確預測 10% ~ 20% 優良預測 20% ~ 50% 合理預測 > 50% 不準確預測	Lewis ^[20]

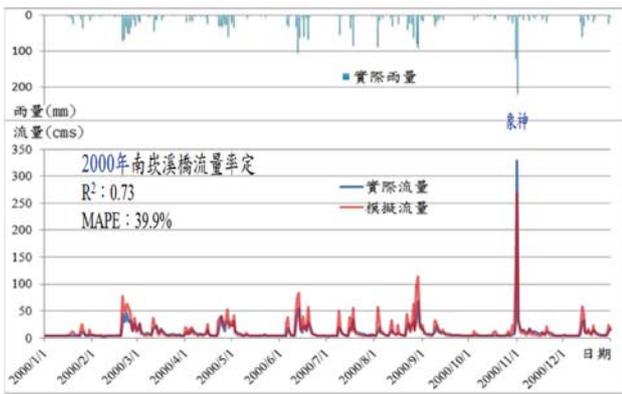


圖 11 2000 年流量率定圖

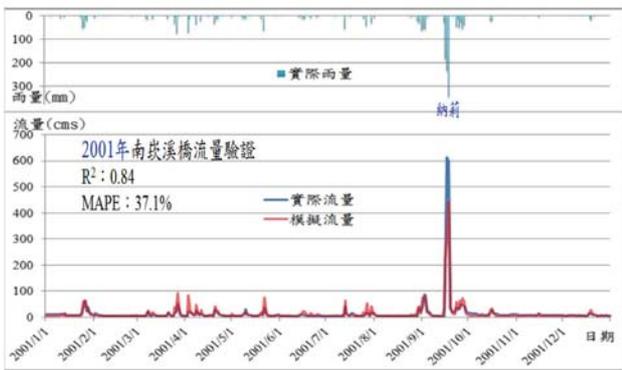


圖 12 2001 年流量驗證圖

總逕流量評估：長時間連續模擬

2009 枯水年模擬結果

根據 2009 枯水年雨量 1,068 毫米進行一年連續模擬，發現開發前基地內高達 63% 的農地入滲能力較佳，其年總逕流量為 457,275 立方公尺，開發後增加超過 3.8 倍的不透水面積，入滲能力變差，逕流量增加 45% (663,048 立方公尺)，但在加入 LID 設施後總逕流量相較於開發後減少 27.4% (481,373 立方公尺) (圖 13)。

2012 豐水年模擬結果

2012 豐水年雨量為 2009 年枯水年的 2.5 倍達 2,724 毫米，開發前年總逕流量為 1,166,832 立方公尺，開發後逕流量大幅增加 51% (1,761,916 立方公尺)，在加入 LID 設施後總逕流量相較於開發後減少 20% (1,409,533 立方公尺) (圖 14)。

由豐枯水年長時間連續模擬結果發現，LID 設施在 2009 枯水年時逕流削減率達 27.4% 較 2012 豐水年的 20% 為佳。為瞭解單場降雨的逕流歷線以及洪峰流量變化情形，另選擇兩場降雨事件進模擬，分別為 2016 年 1 月 29 日的平時降雨以及 2016 年 6 月 2 日的極端豪雨。

總逕流量評估：單一事件模擬

2016/01/29 降雨模擬結果

2016/01/29 降雨事件逕流模擬結果 (圖 15)，該場降雨總延時為 14 小時 50 分，累積雨量 26.5 毫米，屬於氣象局定義之中雨 (< 50 毫米 / 24 小時)，開發前總逕流量為 12,261 立方公尺，開發後逕流量增加 50.2% (18,404 立方公尺)，在加入 LID 設施後總逕流量相較於開發後減少 29.3% (13,011 立方公尺)，而開發前與未來開發加入 LID 設施後相比總逕流量增加 750 立方公尺。而洪峰流量的部分，加入 LID 設施後洪峰流量由開發後的 1.65 cms 降至 1.38 cms。

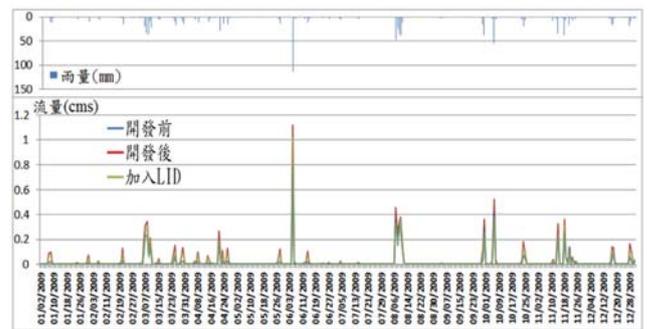


圖 13 2009 年枯水年地表逕流模擬結果

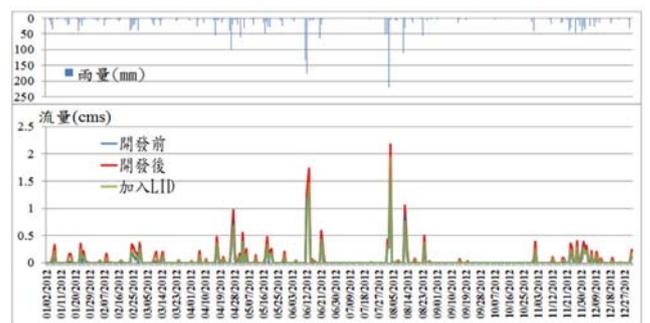


圖 14 2012 年豐水年地表逕流模擬結果

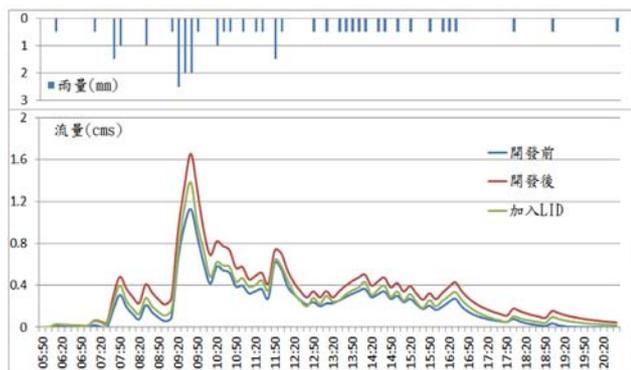


圖 15 2016/01/29 降雨事件地表逕流變化情況

2016/06/02 豪雨模擬結果

2016年6月2日降雨事件逕流模擬結果(圖16),該場降雨總延時為5小時20分,累積雨量167.5毫米,屬於中央氣象局定義之豪雨(>100毫米/3小時),經過模擬發現,開發前總逕流量為73,194立方公尺,開發後逕流量增加至111,036立方公尺,在加入LID設施後總逕流量相較於開發後減少11.2%(98,545立方公尺),而開發前與未來開發加入LID設施後相比總逕流量增加25,351立方公尺。而洪峰流量的部分,在第一個洪峰時,加入LID設施後洪峰流量由開發後的12.9 cms降至9.4 cms,有明顯的降幅,不過只持續約40分鐘,之後一直至本場降雨結束兩者間的流量差距並不大,甚至有重疊的現象,雖有效降低洪峰但保水成效有限。

LID 設施個別削減成效評估

接著針對2016/01/29以及2016/06/02兩場單一降雨事件進一步探討LID設施的個別成效。在2016/01/29降雨事件下,基地內設置LID設施能減少5,393立方公尺因開發產生的總逕流量,其中多孔隙透水瀝青混凝土鋪面削減3,268立方公尺為最多,佔總削減量的60.6%;其次為乾式滯洪池削減1,035立方公尺,佔總削減量的19.2%;再

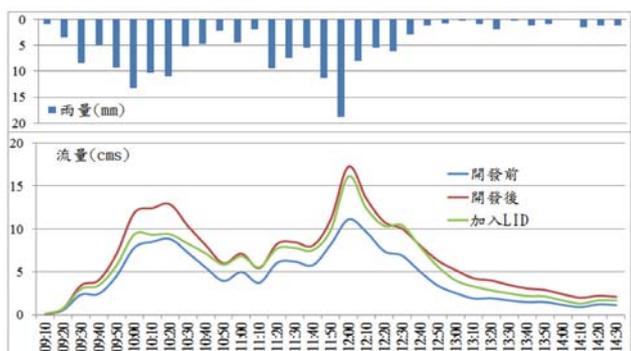


圖 16 2016/06/02 降雨事件地表逕流變化情況

者為雨花園削減884立方公尺,佔總削減量的16.4%;最後是草溝削減151立方公尺,佔總削減量的2.8%。

在2016/06/02降雨事件下,基地內設置LID設施能減少12,491立方公尺因開發產生的總逕流量,其中多孔隙透水瀝青混凝土鋪面削減6,246立方公尺為最多,佔總削減量的50%;其次為乾式滯洪池削減3,223立方公尺,佔總削減量的25.8%;再者為雨花園削減2,523立方公尺,佔總削減量的20.2%;最後是草溝削減475立方公尺,佔總削減量的3.8%,詳整理於表6。

表 6 個設施逕流削減百分比

	2016/01/29		2016/06/02	
	削減總量	削減率	削減總量	削減率
多孔隙透水瀝青	3,268 m ³	60.6%	6,246 m ³	50.0%
乾式滯洪池	1,035 m ³	19.2%	3,223 m ³	25.8%
雨花園	884 m ³	16.4%	2,523 m ³	20.2%
草溝	151 m ³	2.8%	475 m ³	3.8%

透過個別設施削減成效分析發現,LID設施設置面積與削減成效呈正向關係,當設施設置面積越大其削減成效也越大。設施削減成效與降雨強度也有密切關係,多孔隙透水瀝青鋪面在平均降雨強度1.7 mm/hr的2016/01/29降雨事件下,削減成效達60.6%,而在平均降雨強度31.6 mm/hr的2016/06/02降雨事件下,削減成效則降為50%;乾式滯洪池在2016/01/29的降雨事件下,削減成效為19.2%,而在2016/06/02降雨事件下削減成效則提高至25.8%,另外,雨花園與草溝兩項設施在兩場降雨下的削減成效變化不大,總而言之,在面對強降雨時多孔隙透水瀝青削減成效較差,而乾式滯洪池則較佳。

結論與建議

本文透過文獻分析與研究區域模擬,獲致以下結論:

1. 經由率定與驗證確定模式參數的合理性,能於未來桃園航空城開發之用,作為預測及應用LID之設計依據。
2. 在2009年枯水年的情況下,所配置之LID設施相較於開發後能削減27.4%的年總逕流量;而在2012年豐水年時,僅能削減20%的年總逕流量。
3. 在2016/01/29平常小雨的雨型下,所配置之LID設施相較於開發後能削減29.3%的地表逕流;而在2016/06/02極端豪雨的雨型下,僅能削減11.2%的地表逕流。
4. LID設施針對洪峰削減的部分,在2016/01/29的雨型

下，洪峰流量由開發後的 1.6 cms 降至 1.3 cms；而在 2016/06/02 的雨型下，第一個洪峰流量由 12.9 cms 大幅降至 9.4 cms。

5. 透過個別設施逕流削減率分析發現，在 2016/01/29 降雨事件下，四項 LID 設施共削減 5,393 立方公尺因開發產生的地表逕流，其中多孔隙透水瀝青削減量佔 60.6%、其次為乾式滯洪池的 19.2%、再者為雨花園的 16.4%，最後是草溝的 2.8%。另外，在 2016/06/02 降雨事件下，四項 LID 設施共削減 12,491 立方公尺因開發產生的地表逕流，其中多孔隙透水瀝青削減量佔 50%、其次為乾式滯洪池的 25.8%、再者為雨花園的 20.2%，最後是草溝的 3.8%。
6. 綜合上述之模擬結果，相較於開發後，有設置 LID 設施確實能有效抑制地表逕流，以及降低洪峰流量，但絕不是廣設 LID 就能解決都市洪患問題，由模擬結果可看出 LID 有一定成效，但應結合既有都市排水系統，發揮「一加一大於二」的功效。
7. 目前本文僅利用 SWMM 模式進行逕流推估，是否能完全反應實際狀況，希冀未來能安裝流量計、溫度計、入滲儀等自動監測系統，藉由這些感測器形成物連網，打下智慧城市 (smart city) 的基礎。
8. 研究結果初步證實開發後產生的地表逕流，可因 LID 設施獲得部分控制，未來若能針對 LID 設施進行最佳化配置 (optimization)，則對都市熱島效應、水污染以及綠美化等課題亦能有所裨益。

誌謝

本文的完成要感謝台灣世曦工程顧問公司提供「以近自然工法建置低衝擊開發社區之本土化設計參數及水環境效益評估技術」(計畫編號：03930)及「以低衝擊開發技術建構海綿城市之研究」(計畫編號：04928)研發經費，特此申謝。

參考文獻

1. Burian, S.J., and Pomeroy, C.A. (2010), "Urban Impacts on the Water Cycle and Potential Green Infrastructure Implications", *Urban Ecosystem Ecology*, 55, pp. 277-296.
2. Pachauri, R.(2007), "Climate Change 2007: Synthesis Report, IPCC Secretariat, 7 bis Avenue de la Paix C. P. 2300 Geneva 2 CH- 1211 Switzerland".
3. 汪中和 (2007),「氣候變化對台灣地下水環境的衝擊：回顧與

前瞻」, 經濟部中央地質調查所特刊, 第十八期, 第 243-259 頁。

4. 柳中明等 (2009),「臺灣氣候變遷趨勢、衝擊、脆弱度評估與調適措施之現況認知報告」, 國立臺灣大學全球變遷研究中心。
5. Chadwick, M.A., Thiele, J.E., Huryn, A.D., Benke, A.C. (2012), "Effects of urbanization on macroinvertebrates in tributaries of the St. Johns River, Florida, USA", *Urban Ecosystems*, 15 (2), pp. 347-365.
6. Misra, A.K. (2011), "Impact of urbanization on the hydrology of Ganga Basin (India)", *Water Resources Management*, 25 (2), pp. 705-719.
7. Nagy, R.C., Lockaby, B.G., Kalin, L., & Anderson, C. (2012), "Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the Florida Gulf Coast", *Hydrological Processes*, 26 (13), pp. 2019-2030.
8. Lee, J.H., and Bang, K.W. (2000), "Characterization of urban storm water runoff", *Water Research*, 34(6), pp. 1773-1780.
9. 林鎮洋 (2007),「以出流機率法評估濕式滯留池除污效率」, 中華水土保持學報, 第三十八卷, 第三期, 第 205-215 頁。
10. 劉紹臣、劉振榮、林傳堯、林文澤 (2003),「台灣西部平原熱島效應」, 看守台灣期刊, 第五卷, 第四期, 第 14-21 頁。
11. U.S.EPA. (2000) "Low Impact Development (LID) – A literature review", Office of Water, Washington, DC.
12. 徐年盛 (2014),「低衝擊開發綠色減洪新技術」, 營建資訊期刊, 第三百七十三期, 第 33-45 頁。
13. 內政部營建署 (2015), 水環境低衝擊開發設施操作手冊編製與案例評估計畫, 內政部營建署委託, 國立臺灣大學執行。
14. Prince George's County (1999), "Low-impact development design strategies: An integrated design approach", Department of Environmental Resources, Programs and Planning Division, Prince George's County, Maryland.
15. 余嘯雷 (2013),「低衝擊開發技術：來由與內涵」, 城市低衝擊開發防洪論壇講義資料, 國立台北科技大學水環境研究中心主辦。
16. 陳婕雯、柯佩吟、劉品賢、陳淑儀、鄧伊菱等 (2015),「氣候變遷下南崁溪下游強降雨調適以坑子口周邊地區為例」, 銘傳大學都市規劃與防災學系地區發展與規劃管理實務畢業專題發表。
17. 內政部營建署城鄉發展分署 (2014), 擬定桃園國際機場園區及附近地區特定區計畫書, 內政部擬定, 內政部營建署城鄉發展分署規劃。
18. Chen, C.F., Sheng, M.Y., Chang, C.L., Kang, S.F., & Lin, J.Y. (2014), "Application of the SUSTAIN Model to a Watershed-Scale Case for Water Quality Management", *Water*, 6 (12), pp. 3575-3589.
19. Wahyu, A., Kuntoro, A.A., and Takao Yamashita. (2010), "Annual and Seasonal Discharge Responses to Forest/Land Cover Changes and Climate Variations in Kapuas River Basin, Indonesia", *Journal of international development and cooperation*, 16(2), pp. 81-100.
20. Lewis, E.B. (1982), "Control of Body Segment differentiation in Drosophila by the Bithorax Gene Complex, Embryonic Development", pp. 269-288.
21. 台灣世曦 (2014), 以近自然工法建置低衝擊開發社區之本土化設計參數及水環境效益評估技術, 台灣世曦工程顧問股份有限公司委託, 國立臺北科技大學水環境研究中心執行。
22. 台灣世曦 (2015), 以低衝擊開發技術建構海綿城市之研究, 台灣世曦工程顧問股份有限公司委託, 國立臺北科技大學水環境研究中心執行。





土木工程與古文明生死關鍵的個案分析

三、土木工程與馬雅古文明的生與死

洪如江／國立臺灣大學土木工程學系名譽教授，中國土木水利工程學會會士

引言

馬雅 (Maya) 族群定居之地

美洲的印地安人 (Indians)，最可能在 4 萬年前至 2.5 萬年前，由蒙古 (或華北) 一帶，經過現在稱為白令海峽 (當時尚為冰帽所覆蓋) 而到達美洲。1 萬 2 千年前，第三次冰期結束，白令海峽打開，海水阻隔，到達美洲被稱為印地安人的，無法回到亞洲。定居在北美洲的印地安人，由於地大物博，在歐洲人到達 (西曆 1521 年以後) 之前，沒有生存與生活壓力，求變的動機不大。

約 10,000BC 到達「中部美洲」(Mesoamerica) 的印地安人，分別定居於「墨西哥中部高原」(Central Plateau)、「墨西哥灣區」(Gulf Coast)、「墨西哥西岸濱臨太平洋地區」(West)、「墨西哥南部 Oaxaca 地區」，「馬雅地區」(Maya)。參考圖 1。

馬雅人定居之地，包括今墨西哥尤加登 (Yucatan) 半島，「中美洲」(Central America) 的瓜地馬拉 (Guatemala) 全部、貝里斯 (Belize) 全部、宏都拉斯 (Honduras) 西部、與薩爾瓦多 (El Salvador) 西部，面積達 40 萬平方公里之廣，參考圖 2。尤加登半島北部，屬石灰岩地盤，缺少地表河川，地下多溶蝕洞穴；瓜地馬拉與宏都拉斯地區，覆蓋在雨林之內，潮濕、多蚊蟲與瘧疾。



圖 1 哥倫布發現新大陸之前的「中部美洲文化區」範圍圖 (洪如江繪圖)

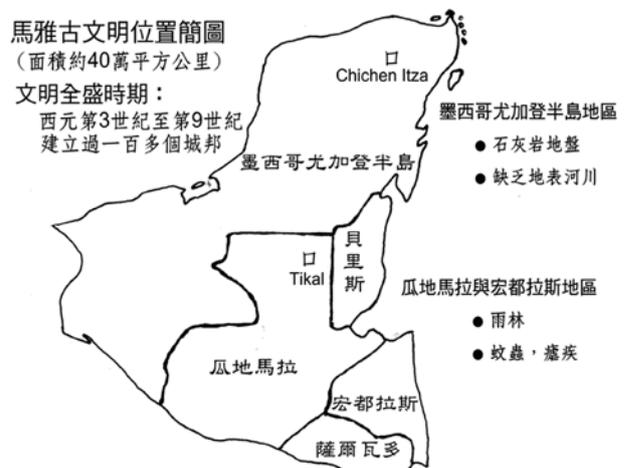


圖 2 馬雅古文明位置簡圖 (洪如江繪圖)

中部美洲古文化的共同點

- 迷信大自然與猛獸為神：建廟（金字塔）或製作神像，祈求保佑或求雨。普遍迷信對象為雨蛇神（圖 3 和圖 4），部分城邦迷信太陽神、月神、美洲豹神（圖 5）。



圖 3 墨西哥中部高原古 Aztec 帝國以寶石鑲嵌的雙頭雨蛇神像（李富仁先生攝於大英博物館）↑



圖 4 馬雅古文明崇拜雨蛇神的石像，強調頭部（洪如江攝於墨西哥人類學博物館）→



圖 5 美洲豹（馬雅人迷信中的神明之一）石像（洪如江攝於墨西哥人類學博物館）←

- 褒揚烈士：建戰士殿（金字塔），相當於我國的忠烈祠。
- 精美的藝術：包括石雕、繪畫、服飾、建築等等。
- 廣建雄偉的土木工程：普遍建：金字塔型神廟、祭壇、球場、火葬場等等。
部分城邦建：天文台、戰士殿、祭司宮等等。

馬雅古文明的特點（其他中部美洲城邦所缺乏）

- 象形文字：歐洲到達之前，美洲唯一成熟的文、書系統。
- 數學：零(0)的觀念，20 進位的數字。
- 天文學：馬雅天文觀測與研究，由祭司擔任，從事災難、戰爭勝敗的研判，類似中國殷商時代的占卜。
- 曆法：馬雅曆，其精確度不輸目前我們通用的太陽曆，是祭祀的主要根據。

墨西哥中部高原的土木工程

墨西哥中部高原許多城邦與帝國的文化，對馬雅的影響很大。本文僅選擇 Teotihuacan 城邦與 Aztec 帝國為例加以說明。

Teotihuacan 城邦

Teotihuacan 城邦（圖 6，距離今墨西哥國首都墨西哥市東北 48 公里）的規模，遠大於馬雅的任何城邦；其雨蛇神廟（金字塔）（圖 7，圖 8）的規模也遠比馬雅的大，雕刻在雨蛇神廟的雨蛇神頭像（圖 9，圖 10）



圖 6 墨西哥中部高原 Teotihuacan 古城邦工程分布圖（洪如江攝自墨西哥人類學博物館掛圖並加註）



圖 7 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦的雨蛇神廟遠景 (洪如江攝) ←



圖 8 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦的雨蛇神廟近景 (洪如江攝) ↑



圖 9 雕刻在墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦雨蛇神廟 (金字塔) 的許多雨蛇神頭部石雕 (洪如江攝) ←



圖 10 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦雨蛇神廟的雨蛇神頭部石雕近景 (洪如江攝)

之多，在馬雅也不多見。何況，其龐大的太陽神廟金字塔 (圖 11)、月神廟金字塔 (圖 12)、祭司駐所 (蝴蝶宮，圖 13)、寬而長的死亡大道 (圖 14)，也是馬雅所沒有或不如者。其人口在顛峰時期 (約 450AD) 約達 25 萬人。535AD 至 536AD，旱災嚴重，國力日衰，在第 7 世紀或第 8 世紀滅亡。一說為外敵入侵；一說為窮人造反，因為只有精英階級的宅第被燬，各神廟 (金字塔) 及基礎結構大致保持原狀到現在。

Teotihuacan 曾經於 400AD 征服馬雅的 Tikal，並統治 Tikal 至約 900AD。



圖 11 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦月神廟金字塔正面 (洪如江攝)



圖 12 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦太陽神廟金字塔正面 (洪如江攝)



圖 13 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦死亡大道中段 (洪如江攝)



圖 14 墨西哥中部高原 Teotihuacan 城邦祭司駐所（蝴蝶宮）大門（洪如江攝）

Aztec 帝國

印地安人中的 Mexica 族人，於 1299 年，移居 Texcoco 湖（今墨西哥國首都墨西哥市所在）中的一個沼澤小島，於 1325 年建 Tenochtitlan 城（圖 15，圖 16），並填湖使該城成長，建橋及渠道連接湖中島與湖岸。1376 年，由族中精英選出祭司王（Huey Tlatoani）擔任政府首長與軍頭。經過約 50 年的勵精圖治，建立 Aztec 帝國。1440 年，強人 Tlacaehlel 推動文化大革命，抹消一切歷史記錄，創立活人犧牲祭祀的恐怖統治，並

將領域擴張至中部美洲的大部分地區。1486 至 1502 為阿茲特克帝國最強盛的時期，人口近 2,000 萬人。

1519，西班牙人從墨西哥灣登陸進入 Tenochtitlan 城，受到其國王的熱烈歡迎與接待；西班牙人引入當地人毫無抵抗力的天花、傷寒、梅毒、等等傳染病，致使當地人死亡近半。1521 年 8 月 13 日，西班牙人聯合反阿茲特克帝國的其他印地安人攻陷 Tenochtitlan，殺其國王，毀滅其城市，在其大神廟（Templo Mayor）廢墟之上建造西班牙式新城以消除 Aztec 人的「空間記憶」及「歷史記憶」。

1978 年，因為在墨西哥城市（人口 3,200 萬人）中心地下鑽孔擬埋水管，受阻於巨大石塊，挖出一座重達八噸的石雕（經研判為古 Aztec 帝國的月神雕像），經眾多考古學家進一步開挖研究，證實該地區為古 Aztec 帝國的大神廟所在。墨西哥總統下令拆除地面上的西班牙式建築；被西班牙人蓄意破壞並掩蓋的 Aztec 帝國 Tenochtitlan 城的大神廟（Templo Mayor）廢墟（圖 17），終於重見天日。開挖工作於 1987 年完成，大神廟博物館於同年開放參觀。



圖 15 墨西哥中部高原 Aztec 帝國古文化位於今墨西哥城中心之簡圖（洪如江攝於墨西哥人類學博物館）

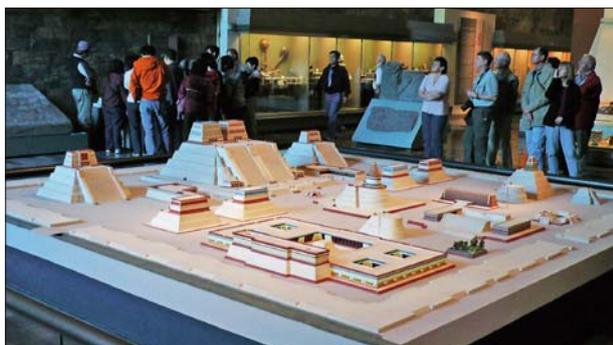


圖 16 古 Aztec 帝國首都大神廟（Templo Mayor）模型（洪如江攝於墨西哥人類學博物館）



圖 17 1987 挖出的古 Aztec 帝國大神廟（Templo Mayor）廢墟，位於今墨西哥市中心（洪如江攝）

尤加登半島石灰岩地區土木工程建設的代表城邦：Chichen Itza

在所有墨西哥 Yucatan 半島的馬雅古文明城市中，Chichen Itza (600AD ~ 1000AD? 或 1221AD ?) 的土木工程種類組合最為完備，包括：

- 「天文台神殿」(El Caracol Observatory Temple) (圖 18, 圖 19)。
- 「雨蛇神金字塔」(Temple of Kukulcan, 或 Feathered Serpent), 俗稱「城堡金字塔」(El Castillo): 高 30 公尺 (金字塔高 24 公尺, 塔頂高 6 公尺), 底寬 55.3 公尺 (圖 20)。
- 「戰士神殿」(Temple of the Warriors, 相當於我國的忠烈祠) (圖 21 和圖 22)。
- 「大球場」(The Great Ball Court) (圖 23)。
- 「美洲豹神廟」(Temple of the Jaguar) (圖 24)。
- 「聖泉井」(Cenote Sagrado, 或 Sacred Cenote, 圖 25): 一個石灰岩溶蝕水井, 迷信為雨神住所, 將犧牲品 (寶石等) 與犧牲者 (少女, 兒童) 投入求雨。
- 首級 (砍自犧牲者、戰俘) 示眾台 (圖 26)。
- 石雕長壁 (圖 27): 貼有許多片小石板, 雕刻犧牲者首級骷髏 (圖 28)、老鷹食用犧牲者心臟 (圖 29)、等等浮雕。



圖 18 Chichen Itza 城邦天文台全景 (洪如江攝)



圖 19 Chichen Itza 城邦天文台主体近照 (洪如江攝)



圖 21 Chichen Itza 的戰士殿 (忠烈祠), 頂端為祭壇 (洪如江攝)



圖 20 Chichen Itza 的雨蛇神廟 (金字塔) (洪如江攝)



圖 22 半臥戰士 (Chac Mool), 手捧圓盤, 供放置犧牲者心臟之用 (洪如江攝)



圖 23 Chichen Itza 城邦的賽球場 (洪如江攝)



圖 24 Chichen Itza 城邦美洲豹神廟 (洪如江攝)



圖 25 Chichen Itza 的聖泉井 (石灰岩溶蝕洞)，投入犧牲者向雨蛇神求雨 (洪如江攝)



圖 26 Chichen Itza 城邦的犧牲者首級示眾台 (洪如江攝)



圖 27 Chichen Itza 城邦犧牲者首級骷髏石雕長壁 (洪如江攝)



圖 28 Chichen Itza 城邦犧牲者首級骷髏石雕近照 (洪如江攝)



圖 29 Chichen Itza 城邦石雕放大照片，顯示老鷹正要食用犧牲者心臟 (洪如江攝)

Chichen Itza 之滅亡時間，約在 1185 ~ 1204AD。內亂、被其他城邦征服，都有可能。西班牙遠征軍於 1546AD 征服尤加登半島大部分地區。

雨林地區土木工程建設代表城邦： 瓜地馬拉的 Tikal

在所有馬雅城邦之中，Tikal (250BC ~ 900AD) 金字塔神廟種類與數量都最多 (圖 30)；高度多超過周圍雨林樹木，以便更接近天神 (圖 31)。圖 32 為其主要工程模型。圖 33 為其主要金字塔群分布模型。圖 34 為其一號金字塔的雄姿。圖 30 至圖 34 照片，皆為李維森博士所拍攝。

Tikal 的文化與北部地區者 (例如 Chichen Itza) 相近，但無 Chichen Itza 所有的大天文台。

西曆第 4 世紀，被墨西哥中部高原區的 Teotihuacan 城邦所征服，並被其統治到 889AD，始被其他城邦聯軍所滅；在第 10 世紀末完全被放棄而成為廢墟。

Tikal 城邦衰落的主要原因，可能是天然環境不佳 (雨林中的蚊蟲及起所引發的瘧疾)、過度開發 (尤其是建造太多的龐大金字塔)、缺乏國防工程、乾旱導致農民造反。



圖 30 Tikal 城邦主要工程分布掛圖 (李維森攝)



圖 31 Tikal 城邦在雨林中開發而成 (李維森攝)



圖 32 Tikal 城邦主要工程分布模型 (李維森攝)



圖 33 Tikal 城邦主要金字塔群分布模型 (李維森攝)



圖 34 Tikal 城邦一號金字塔 (Temple I, 47m 高), 高度超過雨林 (李維森攝)

馬雅古文明興盛的原因

天然環境不佳，但在生存壓力之下，奮發圖強，建立世界上少見的馬雅式城邦文明。

發明出有系統的「文字」及書寫歷史；研發「數學」；建立「天文台」，「觀察天象」，發明「曆法」；建構「嚴密社會階級與制度」；建設數量龐大、種類繁多及品質精密的土木工程，例如「神廟（主要為馬雅式金字塔）」、「祭壇」、「戰士殿」（類似忠烈祠）、「賽球場」、等等。是所有古印地安人文化之中，唯一能夠滿足一個文明誕生的「必須條件」與「充分條件」者。

相對於此，北美洲（尤其指今之美國、加拿大）氣候宜人、地大物博，該地的印地安人毫無生活壓力；雖然曾經製作出文化程度（尤其指美學品質）很高的工藝品，但是沒有發明文字，沒有書寫歷史，也沒有建立城邦。

馬雅古文明衰亡的內部因素

尼加拉瓜與宏都拉斯的雨林內的各城邦，缺乏陽光及通風的環境，容易生病；大量蚊蟲所引起的瘧疾，可能使其衰落在先，再因內亂或外患而滅亡。

墨西哥 Yucatan 半島石灰岩地盤，多地下坑洞及地下水，但少地表水域。不建有系統的灌溉網絡。乾旱來臨之時，聽從祭司的胡言亂語，行活人血祭，違反人性，再加恐怖統治，引起反感。

墨西哥高原地區的 Teotihuacan 城邦，以及馬雅地區的 Tikal 城邦，都發現精英階級的豪宅完全被燬的明確證據；極可能因乾旱、饑荒，引發農民造反。

耗費過多的資源建立太多的金字塔式祭壇與神殿，卻不建防衛工程（例如歐洲許多國家的城堡、中國的萬里長城）為亡國的另一主要因素。



圖 35 馬雅古文明的象形文字因為雕刻在石材工程上而得以逃過西班牙征服者的毒手（洪如江攝）

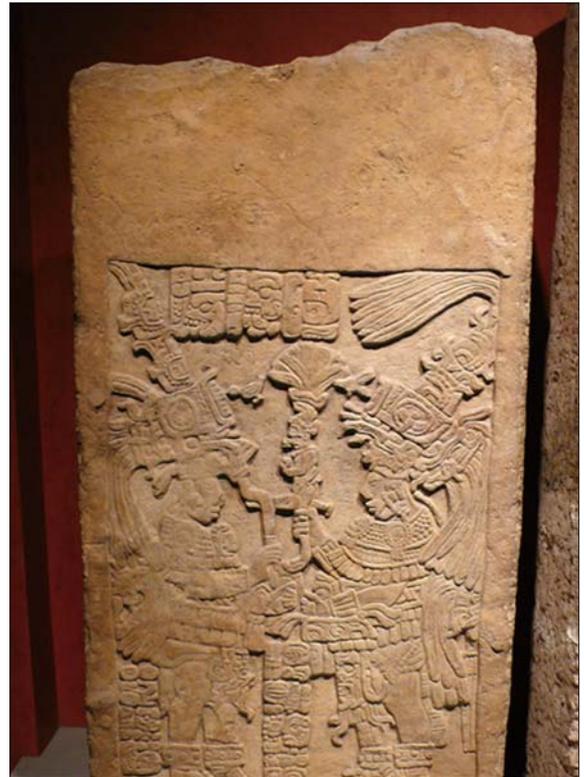


圖 36 馬雅古文明的許多石材工程的雕刻圖案多包括其象形文字的註解（洪如江攝）

氣候變遷（近來流行的解讀），影響糧食生產；城邦之間為了爭奪糧食，互相殘殺。

馬雅古文明滅亡的外部因素及主要城邦滅亡時間

馬雅古文明的消失當然是：西班牙的侵略。先引進傳染病（流行性感官，梅毒，天花）導致大量死亡，繼以優勢兵器征服之。

1520AD 年代：西班牙遠征軍征服「中部美洲」各國，但在馬雅地區受到頑強抵抗。

1546AD：西班牙遠征軍才控制 Yucatan 半島的大部分。

1697 年：消滅據守 Lake Peten Itza 的馬雅殘部 Tayasal。

西班牙人征服馬雅，對其歷史與文化的摧殘，無所不用其極：屠殺知識份子，逼壯丁為奴，燒毀一切馬雅文書籍，盡力破壞與歷史記憶相關銘文。

馬雅古文明重見天日

馬雅文（包括數字符號）及其歷史，幸好有數量

龐大的巨石工程，非野蠻的西班牙遠征軍所能完全摧毀。雕刻在其上的銘文與圖像（圖 35 和圖 36），大多可以辨認；經過學者（主要是美國耶魯大學的俄裔教授）的解讀，馬雅人的歷史，大多已經真相大白。

Chichen Itza 與 Tikal，被聯合國教科文組織（UNESCO）認定為文化遺產。

誌謝

墨西哥古文明（包括墨西哥境內馬雅古文明）工程的考察，係由台大學術發展基金會與台大土木工程文教基金會共同贊助。李維森博士所拍攝的 Tikal 城邦遺址照片及討論，獲益良多。一併在此誌謝。

參考文獻

1. McIntosh, Jane ; Twist, Clint (2001). Civilizations: The Ten Thousand Years of Ancient History. BBC Worldwide. 其漢文本由余幼珊、郭乃嘉、朱孟勳譯（2003），時報文化，台北市。
2. Mercedes de la Garza（未見出版年代），The Mayas, 3000 Years of Civilization, Bonechi, Firenze.
3. 國家地理雜誌中文版，2007 年 8 月，馬雅之謎，National Geographic.
4. Wikipedia, the free encyclopedia. 



電滲法運用於 地下鑽掘包泥問題之可行性探討

陸嘉／臺北市消防局整備應變科技士
簡紹琦／玄奘大學資訊管理學系教授
歐章煜／國立臺灣科技大學營建工程系教授
王傳宗／加興營造工程股份有限公司總經理
陳立憲／國立臺北科技大學土木系副教授

本研究乃以電滲法於國內首次嘗試解決地下鑽刀包泥問題，先由地下施工與包泥造成之工程影響作外業調查；再依多用於地盤改良之電滲工法之理論、機制，運用於地下機械鑽掘包泥解決方案之可行性探討。再行設計室內砂箱試驗，並簡化模擬地下鑽掘機包泥條件，由量測負極附近之含水量變化以評估包泥改善效果，並以抗剪扭力之阻抗大小作為檢核其增潤效應之指標，藉由不同電壓、電極棒材質、電滲時間、壓密壓力等變數，進行一系列試驗改良成效之探討。結果顯示，增潤改良效果在無壓密壓力狀況之電滲試驗下，以抗剪扭力 T 作為直接證據為檢視刀頭包泥之不排水剪力阻抗，試驗 T 值於5分鐘即有顯著反應，（抗剪扭力已降低26.4%）；而於最終60分鐘之電滲過程，抗剪扭力大幅降低 T_0 之56.8%；另外間接證據則計測刀頭包泥附近含水量，在電滲20分鐘即顯著增加約三成五（即含水量由40%增至54.13%）；且於最終60分鐘後，含水量增加約五成（由40%變為59.75%）。綜析由剪力阻抗大幅降低、含水量顯著增加之增潤效應可應用於機刀包泥之解決方案。最終本文並作外業調查，實地瞭解地下鑽掘機具之構造與其相關電機設備，初步提出結合電滲之設計構想與可行性芻議，俾供未來實際應用之佐參。

引言

綜觀地下鑽掘工程，在台灣地形特徵與複雜多變的地質狀況下施工，或多或少均遭遇到諸多掘削不力之工程困境，例如地層中卵礫石層夾埋黏土造成前方機頭包泥，導致進度落後、機頭摩耗增加以及其他工程災害，以管推工法的口徑較小，相對於大口徑的潛盾工法與TBM，排除困境的難度相對較高（人員難以進入機械中排除障礙），因此若能將機頭包泥之異況解決，使效能提高、減少工程災害，達到縮短工期、節省成本等等。

目前現地包泥障礙排除多為從外部加水稀釋黏土，改變作泥材比例、送排泥管互換等等，但是成效有限，仍然相當耗時，故本研究由前人的研究，電力滲透（以下簡稱電滲）於地盤改良，運用電滲之特性，將電滲應用於地下鑽掘機來解決包泥之異況。

文獻回顧

而本研究乃將地下鑽掘工程，與電滲加以結合，藉由電滲之原理，解決地下鑽掘機頭包泥異況，以提升地下鑽掘工程之效率與減少工地災害。本章以地下鑽掘工程之施工障礙、工地調查；與電滲理論、電滲應用，回顧之文獻依序說明如下。

地下鑽掘工程之施工異況

多變地質之施工環境下，卵礫石層異於一般沖積岩層與土層，其工程行為與特性較不易被施工者所瞭解，且機頭磨損較為嚴重，降低施工之效率；而夾埋黏土則容易造成包泥之異況，如圖1，因施工上所使用之鑽掘機頭大多為應付單一地質材料。有許多堅硬岩盤或是礫石層，其中含有剪裂破碎帶或是複合之地層，造成掘進困難，如廖銘洋^[4]，對於潛盾機於剪裂破碎帶掘進困難之原因分析。

地質改變

於岩盤區段，剪裂破碎帶屬於相對軟弱之區域，造成滾輪式切刃（Disk cutter）無法達到貫入破碎岩盤之作用，使得切刃轉盤扭矩負荷增加。

面盤取土孔遭黏土包覆

切刃面盤遭剪裂泥包覆，堵塞面板上之取土孔，造成開挖面之土碴無法進入土艙內，進而造成掘進速度減緩，切刃轉盤扭矩過高。

掘進速度緩慢、滾輪無法滾動造成重複磨耗

因掘進速度緩慢，形成切刃面盤與開挖面間重複研磨致耗時甚久，造成開挖面岩盤土質黏性化，使得切刃面盤超黏土包覆之情形更加嚴重，如圖 1。



圖 1 切刃面盤遭黏土包覆之情形與包泥造成切刃磨損 (廖銘洋^[4])

泥水濃度過高

剪裂泥溶解於泥水中，使得泥水輸送系統之泥水濃度及比重過高，二次泥水處理設備負荷量增加，並造成泥水處理耗時費工時，影響下一輪進之掘進時程。

電滲工法

電力滲透工法（Electro-Osmotic Treatment）最先運用於土木工程是應用在地盤改良上，所謂電滲地盤改良工法，是提高土壤之剪力強度來改良地盤性質。本研究利用電滲水分移至負極端之特性，與推進機作結合，如圖 2，來解決推進機包泥之問題。

電滲現象

由於黏土顆粒表面帶負電荷，黏土顆粒表面與孔隙溶液接觸時，負電荷會吸引溶液中之陽離子與極性分子，而形成電雙層並且於黏土表面與液體間產生電位差。正常情況下，黏土土壤電雙層之吸附水，難以用一般方法移除，但是藉由通電施加電位差能將電雙層吸附水中之擴散層加以移除，如圖 3，至於緊密層由於吸力非常大，則無法移除。當施加外電場於土層中，電雙層之陽離子受陰極吸引而帶著水化分子往陰極移動，此土壤中水分因電壓差而往負極端移動之行為，就稱之為電滲現象。

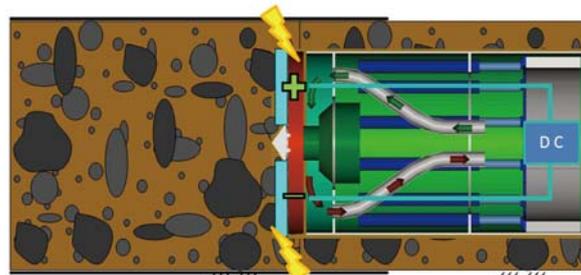


圖 2 電滲與推進機結合

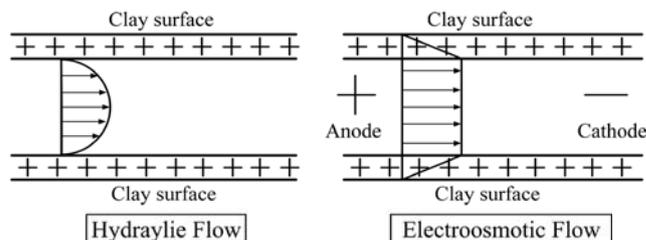


圖 3 施加電位差將電雙層吸附水中之擴散層加以移除 (改繪自簡紹琦, 2010)

電滲流量理論

假設土壤之孔隙半徑較電雙層之水層厚度大，而且帶正電之可移動離子集中於孔隙壁周圍，且將黏土孔隙視為一毛細管（capillary），在毛細管兩端施加一電場，而受到電場影響電雙層之陽離子受到負極端吸引而帶著水化分子往負極端移動，如圖 4 所示。

由於土壤間之孔隙半徑較大，如要驅動土壤上之電雙層水層，必需克服雙重水層與土壤顆粒間之摩擦力，才能造成水分移動，可得式 (1)：

$$\eta \frac{v}{b} = \sigma \frac{\Delta E}{\Delta L} \quad (1)$$

介面電位如式 (2)：

$$\zeta = \frac{\sigma \delta}{D} \quad (2)$$

藉由綜合上述兩式，可推得電滲水分移動之流速，如式 (3)：

$$v = \left[\frac{\zeta D}{\eta} \right] \frac{\Delta E}{\Delta L} \quad (3)$$

流經單一毛細管截面積為 a 時之流量，如式 (4)：

$$q_a = va = \left[\frac{\zeta D}{\eta} \right] \frac{\Delta E}{\Delta L} a \quad (4)$$

流經孔隙材料，孔隙率為 n ，截面積為 A 時之流量，如式 (5)：

$$q_A = \left[\frac{\zeta D}{\eta} \right] n \frac{\Delta E}{\Delta L} A \quad (5)$$

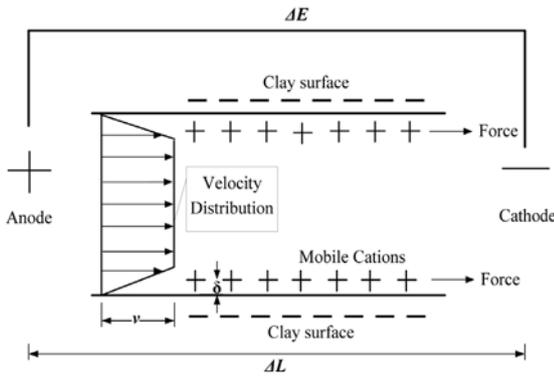


圖 4 電滲流量理論示意圖 (改繪自簡紹琦^[5])

其中, η : 流體之黏滯係數

v : 電滲流速

δ : 電雙層厚度

σ : 單位面積電荷

ΔE : 施加電位差

ΔL : 電極間距離

ζ : 界面電位

D : 相對介電常數

n : 孔隙率

q_a : 截面積為 a 之電滲流量

q_A : 截面積為 A 之電滲流量

A : 流路之截面積

而將上述式 (2.7) 以達西定律 (Dracy's law) 形式來表示為式 (6):

$$q_A = k_e i_e A \quad (6)$$

則電滲係數, 如式 (7):

$$k_e = \frac{\zeta D}{\eta} n \quad (7)$$

與水力滲透係數之關係, 如式 (8):

$$i_h = \frac{k_e}{k_h} i_e \quad (8)$$

其中, k_e : 電滲係數

i_e : 電力坡降

k_h : 水力滲透係數

i_h : 水力坡降

根據不同土壤種類進行一系列之電滲係數試驗, 由 Mitchell 將前人試驗成果整理成表, 得知的 k_h 隨著不同土壤種類而有顯著變化, 但是 k_e 並不會因為土壤種類改變而有太大差異, 其電滲係數 (k_e) 之範圍約為 1×10^{-5} 至 1×10^{-4} ($\text{cm}^2/(\text{sec}\cdot\text{V})$)。

電滲法改良工法適用之土壤種類

由上述得知電滲係數 k_e 與土壤種類、粒徑無相關, 大小約在 1×10^{-5} 至 1×10^{-4} ($\text{cm}^2/(\text{sec}\cdot\text{V})$) 之間, 變化範圍小。反觀水力滲透係數 k_h 隨著不同種類之土壤, 粒徑越小 k_h 越小, 而電滲時間較長時, 負孔隙水壓 $u = (k_e/k_h)\gamma_w \cdot V$, 因此顆粒越小之土壤 k_e/k_h 比值越大, 所產生之負孔隙水壓也越大, 故水力滲透係數 k_h 較小是有利電滲之排水, 如圖 5。

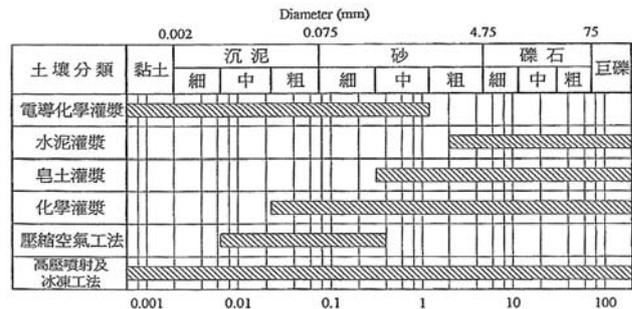


圖 5 各種地盤改良方式適用之土壤種類與粒徑範圍 (簡紹琦^[5])

包泥現地調查與室內砂箱試驗

進一步進行電滲改良地下鑽掘機機頭包泥異況為跨領域之結合, 計畫將電滲之電極端設置在鑽掘機之面盤刀頭上, 後方連接電源設備, 在發生包泥徵兆時, 於面盤施加電場, 使水分集中於刀頭上, 解決黏土包覆刀頭、面盤之問題, 電滲結合鑽掘機之構想概念圖, 如圖 6。且電滲行為機制較為複雜, 與解決地下鑽掘機包泥之潤滑行為不同, 差異比較如表 1 所示。因此, 為了釐清電滲對地下鑽掘機遇黏土包泥之潤滑的效果與其他影響因子, 判斷其可行性, 進行一系列試驗來探討。室內試驗設計是以現地地下鑽掘機應用結合為設計基礎, 相關儀器設備將模擬現地機械之材質及與機械結合作為考量, 相關考量如表 2。

表 1 電滲室內試驗差異之比較表

試驗比較	電滲應用地下鑽掘改良之室內試驗	電滲應用地盤改良之室內試驗
目的	解決地下鑽掘機械包泥	地盤改良
材料	土壤	高嶺土—模擬現地覆土壓力
方法	方法	於地下鑽掘機面盤刀頭設置負極端, 使水分集中於刀頭潤滑, 脫離黏土包覆。
	方法	利用電滲對土壤施加電場, 並且注入化學藥劑, 改良土壤強度。
量測	負極刀頭與土壤介面 (min)	兩電極端之間距 (max)
	排水路徑改良範圍	排水路徑
量測	直接抗剪扭力試驗	室內圓錐貫入試驗、含水量
監測	連續含水量追蹤	電流計、電壓計、水壓計

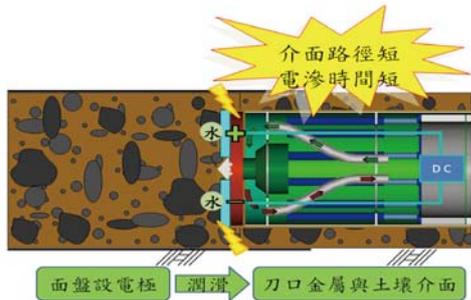


圖 6 電滲結合鑽掘機之構想概念圖

表 2 室內試驗設計考量

項目	試驗參數與資料	考量原因	
M1	土壤種類	高嶺土	夾理黏土是造成包泥之原因。且高嶺土電滲效果最為顯著，作為室內電滲行為分析。
	土壤壓力	0、1.1、2.2 kg/cm ²	模擬現地壓力，模擬覆土深度 0 公尺、5 公尺與 10 公尺。
	土壤含水量	40 %	由於推進時，大多工法會有泥漿、作泥材於推進面盤，故選擇較高之含水量。
M2	電源形式	直流電	較為穩定之電流，以及正負極端可以分別接面盤不同部位。
	電壓	30 V	試驗距離與推進機電極端設置距離約略相同，無電壓隨距離增大而增加負荷問題，故可用較高之電壓。
	電極棒材質	負極棒 — 鋼棒 正極棒 — 白金鈦棒	正極端為焊接在機頭面盤外圍，採用較耐腐蝕之白金鈦；負極端設置在刀頭上，刀頭材質多為鋼、鎢鋼，以及比較不同電極棒材質之差異。
	電極端距離	正極端與負極端間距 20 公分	約略為刀頭中心到周圍設置正極端之距離。
	電極棒尺寸	長 30 公分，直徑 1 公分，前端呈圓錐狀	圓錐狀電極棒為簡化模擬鑽掘機刀頭。
M3	潤滑試驗	扭力起子	直接證據，用來觀察電極棒脫離黏土，不排水扭力阻抗。
	監測	含水量	間接證據，監測電滲過程中電極棒周圍之水分變化。

試驗設備

本研究根據前人文獻與工地調查研究結果，發展電滲潤滑室內試驗，其考慮因素如下：(1) 以鋼棒作為負極棒，符合推進機刀頭材質，正極端則採用白金鈦棒與鋼棒比較耐腐蝕性與含水量之差異。(2) 運用直流電，維持負極端潤滑；正極端耐腐蝕。(3) 模擬現地應力狀態。(4) 實驗過程監測電極棒與土壤介面含水量變化。本試驗之儀器主要組成設備，配置如圖 7 所示。

在電滲試驗時，以間接法與直接法兩個部份判斷試驗結果，間接法是以土壤含水量作為水分變化之追蹤，直接法則是以抗剪扭力試驗作為試驗潤滑效果判定。土壤含水量之監測，隨著電滲時間增加，監測負極棒、正極棒周圍含水量之歷時紀錄，藉此來了解電滲行為之機制，找出水分變化曲線；抗剪扭力試驗則是以扭力變化反應改良後之差異，模擬鑽掘機刀頭扭轉情形。量測設備之介紹如下：

土壤含水量取樣

試驗中以監測土壤含水量來追蹤水分之改變，含水量之測量方法以劈管取樣，劈管尺寸為直徑 3.6 公分，高度為 7 公分，劈管取樣之土壤尺寸約為直徑 3.6 公分，厚度為 1 公分。

抗剪扭力試驗

試驗最後之效果評估以抗剪扭力試驗為評估方法，所使用之儀器為電子式扭力起子，型號為 DID 400，量測扭力範圍為 0.5 ~ 40.8 kg · cm，分辨率為 0.01 kg · cm，可選擇最大峰值與追蹤模式作為量測，精度為 ± 2.5%。

室內砂箱試驗結果與分析

本章將對電滲試驗中之含水量變化先作討論，以了解電滲之行為機制，再來對負極棒之抗剪扭力試驗結果作分析與討論，以了解負極棒界面潤滑之改良效果。

本研究試驗共施作 3 組電滲試驗，3 組試驗是為了探討電滲試驗之影響因子 — 壓密壓力與電壓，模擬不同覆土壓力與施加不同電壓，而每組當中不同記錄時間與不同取樣地點，是對於時間與距離兩個影響因子探討，以下將分別對這 3 組試驗結果作詳細說明與討論。試驗代號與取樣位置如圖 8、9 所示。

電滲試驗之含水量監測

首先在施加 30 V 電壓下，試驗中之第 1 組至第 3 組壓力為變數，目的是為了解壓密壓力大小對於電滲中水分移動之影響。且本研究之試驗負極棒為不排水，以潤滑為目標，故藉由此次試驗了解壓力對短時間之電滲影響。

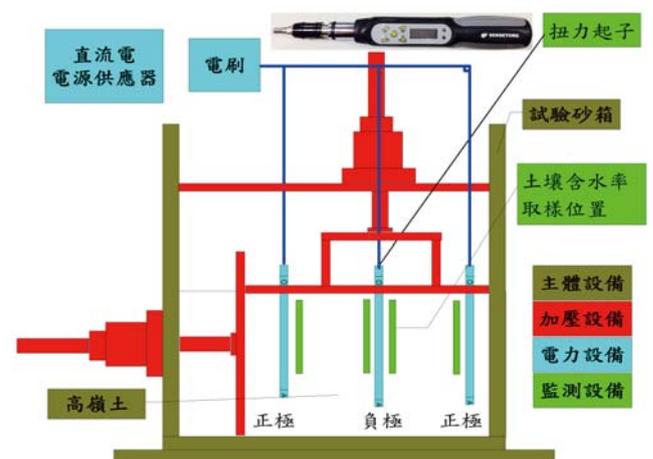


圖 7 電滲潤滑系統之整體配置圖

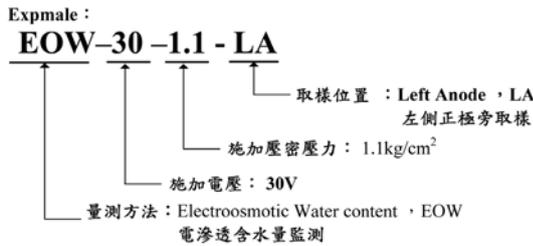


圖 8 本研究試驗代號

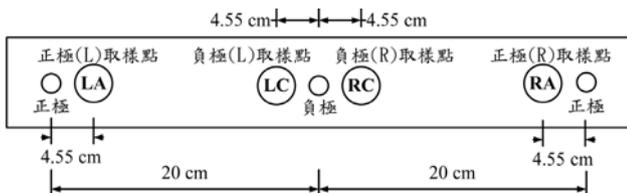


圖 9 室內砂箱試驗含水量取樣代號與相關位置

三組試驗所施加之壓力分別為 0 kg/cm^2 、 1.1 kg/cm^2 與 2.2 kg/cm^2 ，試驗總時間均為 60 分鐘，期間同時取樣土壤施作含水量試驗。

壓密壓力與電極材料對含水量變化之影響

了解不同壓力與不同電極材料對電滲水分移動之影響，在電壓 30 V 下施加之壓力分別為 0 kg/cm^2 、 1.1 kg/cm^2 與 2.2 kg/cm^2 ，且試驗中左側以鋼棒作為正極；右側以白金鈦棒作為正極，以下就針對不同壓密壓力與不同電極材料之試驗數據作探討，由圖 10 和圖 11，比較不同壓力與電極材料下之含水量差異。

由試驗可驗證施加越大之壓密壓力下，會使土壤之水力滲透係數 (k_h) 越低，負孔隙水壓 $u = (k_e/k_h) gw \cdot V$ ，因此土壤 (k_h) 越低而電滲透係數 k_e 接近為定值，使得 k_e/k_h 比值越大，所產生之負孔隙水壓也越大，造成含水量增加趨勢較為顯著。在電滲 20 分鐘即顯著增加約三成五（即含水量由 40% 增至 54.13%）；且於最終 60 分鐘後，含水量增加約五成（由 40% 變為 59.75%）。

由試驗可觀察整體含水量變化，負極棒左側之含水量高於負極棒右側，在室內試驗結果分析上，鋼棒之電滲效率較優於白金鈦棒，但在耐腐蝕特性上則是白金鈦優於鋼棒。

抗剪扭力試驗之效果評估

以施加不同壓密壓力作為試驗變數，目的是了解壓密壓力對於水分在負極棒介面集中潤滑之影響，潤滑之效果評斷是以抗剪扭力試驗作為量測，由試驗中之扭力變化，來探討試驗效果。

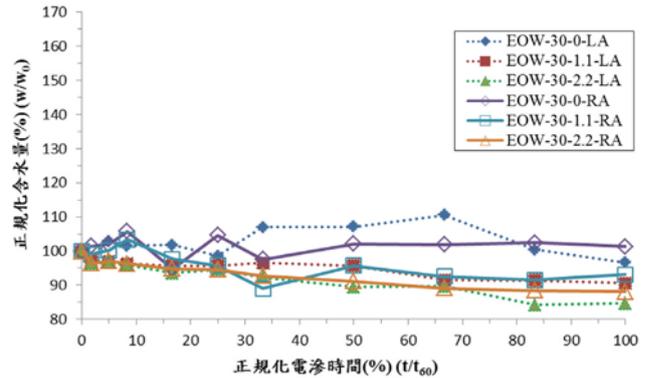


圖 10 兩側正極鋼棒周圍正規化之含水量與時間關係圖

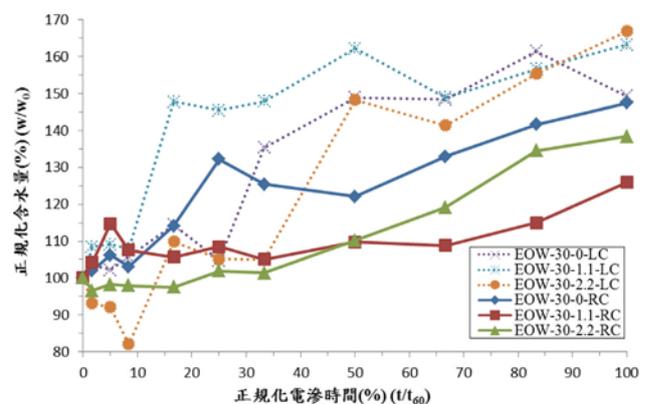


圖 11 負極棒兩側正規化之含水量與時間關係圖

由試驗結果比較，施加 30 V 電場，電滲時間 10 分鐘之後，3 組試驗之扭力值均趨於平緩。由試驗結果可知，施加之應力對短時間之扭力有較大影響，而電滲時間過了 10 ~ 15 分鐘扭力變化趨近平緩，因初期變化較大，故取前 20 分鐘之數據作為解析，如圖 12。

另將抗剪扭力與時間關係作正規化，可更容易觀察出抗剪扭力下降之趨勢，由圖 13 顯示，在電滲時間百分比 10 % 之前，抗剪扭力已大幅度降低了，後續其變化則較平緩。

結論

壓密壓力之影響

正極棒周圍之含水量並沒有因壓密壓力大小而有顯著變化；在負極棒周圍，有施加壓力之兩組試驗，含水量在電滲 10 分鐘時有顯著上升之趨勢，EOW-1.1-LC 上升原含水量 47.8%，EOW-2.2-LC 上升前次含水量 27.8%，無加壓試驗則是電滲約 20 分鐘時才有較顯著之上升，EOW-0-LC 上升原含水量 35.3%，由此可知，在適當之壓力下可加速水分之移動。

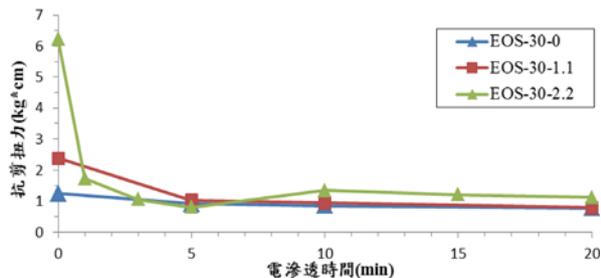


圖 12 不同壓密壓力之抗剪扭力與電滲時間關係 (20 分鐘內)

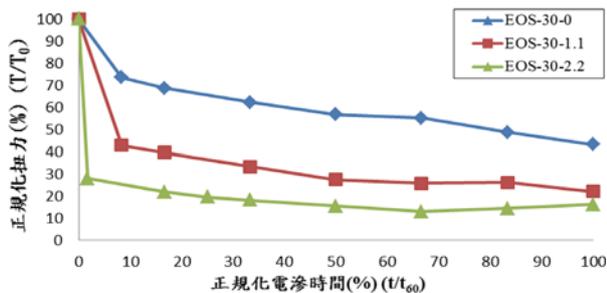


圖 13 正規化之抗剪扭力與電滲時間關係圖

電滲時間之影響

由試驗結果得知，負極棒左側之含水量在時間較短時，即有顯著上升之趨勢，EOW-0-LA 在 20 分鐘時含水量已從 40.7% 上升至 54.1%，EOW-1.1-LA 在 10 分鐘時含水量已從 41.4% 上升至 61.2%，EOW-2.2-LA 在 10 分鐘時含水量已從 30.3% 上升至 40.6%，在實際應用上，可在時間作縮減，達到最佳之時間—含水量效益。

剪力試驗之初始扭力因不同壓密壓力而不同，開始試驗後在電滲時間初期，扭力值已大幅度下降，在 20 分鐘後 3 組試驗之扭力值大小與變化，差異逐漸縮小，在試驗時間到達 60 分鐘時，3 組試驗之扭力值皆接近儀器最小讀數 0.5 kg·cm，潤滑效果在試驗最後呈現之結果，改良效果顯著，且所需時間短即有大幅度之改良效果。

建議

電滲時間

電滲時間，因應現場施工需求，需有效且短時間內排除障礙，可依照現場需求增大電壓，藉此縮短電滲時間，來達到相同之效果，但需考量現地供電設備與電壓造成機具之影響。

電極棒材質

因電滲機制，在正極棒部份會發生腐蝕，經由試驗測試鋼棒之腐蝕程度在電滲 60 分鐘後腐蝕重量百分比在 0.04 ~ 0.08%，腐蝕狀況並不嚴重，但考量實際應用

時，使用電滲排除包泥障礙總時數，可能較長，因從發進井至到達井期間，可能遭遇多次包泥，以及施工中無法輕易更換刀頭、維修面盤，可使用較耐腐蝕活性小之金屬焊接在面盤上，當作正極端，避免刀頭腐蝕。

電壓大小

雖然於室內砂箱試驗時，由抗剪扭力變化得知在較低電壓下仍有增潤效應，但是考量現地地質多變以及較多不確定性，可以適當增加電壓來達到所需之增潤效果。

鑽掘機應用

- 目前隧道施工中因地質調查範圍有限，隧道開挖為水平開挖，但是地質調查為垂直取樣，再加上台灣地質複雜多變，造成在選用機械設備上與隧道開挖之困難，在未來可由開挖時之推進力、扭矩及掘削速率之異變，來提早發現異況以及預先作對應與處理。
- 因包泥之狀況不只發生在面盤與刀頭，也會發生在二次破碎區與送排泥管口，如在往後施工中二次破碎區與送排泥管口之包泥狀況也嚴重影響工程，亦可將電滲法應用在其區域，來解決土壤黏附與堵塞之問題。
- 在鑽掘機結合上，因鑽掘機構造複雜，且因開挖行為而使機頭旋轉，造成電滲設備之電源連接刀頭電極棒上之電線無法直接連接，可在面盤與推機機身之介面，加入電刷之結構，以解決電線經過旋轉面之問題。
- 在解決正極端腐蝕方面，可將正極設置在鑽掘機後方，因沒有與土壤接觸，在沒有介質下，可減少腐蝕發生，在了解鑽掘機構造下，進行設計電極端。

參考文獻

1. 尤士明，電滲化學改良應用於砂質土壤之研究，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程系，台北，2009。
2. 田福助、吳溪煌，電化學—理論與應用，高立出版集團，2011。
3. 陳立憲，「台灣下水道推進工程及卵礫石層施工探討」，地下管線免開挖施工技術研討會，台中，2010。
4. 廖銘洋，「海下複層潛盾隧道之施工風險」，海峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會，第八屆，2009，第 C11-1 ~ C11-12 頁。
5. 簡紹琦，電滲化學灌漿地盤改良之研究，博士論文，國立台灣科技大學營建工程系，台北，2003。
6. Mitchell, J. K., *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley & Sons Inc., New York. 3rd ed., 2005, pp. 291-305.
7. Hollmann, F. S. and Thewes, M., "Assessment Method for Clay Clogging and Disintegration of Fines in Mechanised Tunnelling," *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 37, 2013, pp. 96-106.
8. Heuser, M. and Spagnoli, G., "Electro-osmotic Flow In Clays and Its Potential for Reducing Clogging In Mechanical Tunnel Driving," *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, Vol. 71, 2012, pp. 721-733.



自然光照系統應用於 地下空間之節能照明初探

蘇威奇／核能研究所物理組助理研發師

黃忠偉／台灣科技大學色彩與照明科技研究所教授

曾國雄／台北科技大學電子系教授

針對「線型」地下空間如隧道工程之自然光照系統 (NLIS) 之應用為主軸，本文除節能照明外；另可考慮綠色生態及環境永續之概念，進行自然日照之「集、導、放」光系統之整合；並對應用於地下空間之多功能增值利用作可行性初探。

研究主以公路隧道照明為整合應用之藍本，短期目標以「可導引自然光替代人工光源之自然光照系統」於改善傳統公路隧道高耗能、耗電之探討，研究依 CIE (1990、2004)、CNS 與日本道路公團隧道照明規範，並以北宜高速公路雪山隧道為分析案例，對不同區段之輝度進行試算；並與集光磚、導光與放光之光纖元件設計結果配搭並且量化比對，最後建置模型以驗證節能型自然光照系統於公路隧道應用之可行性。

成果驗證則以輝度計對隧道模型實測。依線性光照原理，模型經驗證適確符合；則應可依實際隧道照明規範之建議，建置實際隧道場域之系統輔佐，尤其於隧道出入口之應用除符合規範要求外；更符合規範所不及之人因工程（橘色科技概念）要求以達低耗節能之效果。

緒論

研究動機

邇來因地球暖化與能源匱乏，全球提倡節能減碳，對於土木營造，地表建築密度逐漸提升之餘；地下空間之開發亦相對大量增加。然而，地下空間數量遞增，內部照明耗能勢必是一重要考量因素，根據研究調查指出，地上建物之照明設備佔相當之用電比例 (30%)，相較地下空間如要有相同功能之增值則勢必高於此值。本研究則針對如何降低照明之耗能進行初探，以線型地下空間如隧道為例，再進一步將其擴展至其餘「面型」之地下空間（如地下水力發電隧道）。燈光照明對於地下空間是個相對重要之物理設備，然而這些燈具之應用上會另一成本額度，此外，燈光所造成的熱能相當高，未來節能減碳在土木工程更應佔相當重要的一環，為使民眾居住的環境更美好，土木工程不僅與建物建造有關

聯而已，對於生態環境也須加以考量，而太陽光為地球上取之不盡，用之不竭的能源，本計劃乃利用此點，將光電系統結合土木工程，以自然光照系統將太陽光能直接引進地下空間，使用「光」引「光」的技術取代產生如一般太陽能利用光—電轉效率不高與熱能損耗的一般人工照明設備，以集光、導光、放光三分項元件之研發，可直接利用太陽光照，且用分光技術又可兼顧人與環境（如植物）之健康生態與其他文創利用。地下空間利用將具極大開發潛力，應可將「綠能環保」與「健康照明」兩大生活趨勢推廣普及。

研究目的與描述

就鐵路隧道而言，國內無論是營造或營建階段（生命週期）；新建或既有建隧道工程，內部照明依舊是使用傳統高壓鈉燈以及日光燈供給，隧道因考慮到黑洞既白洞效應，因此可分為不同光照階段使駕駛者適

應，而其照明是依照單一人工光源經照明計算有系統的配置於隧道內部，而佈置區以出入口及內部照明為主要三大部份，針對未來隧道將逐漸加長的趨勢[一公里以上]視之，以經濟成本考量各項照明所需費用，現階段傳統照明方式之工料成本高、耗電量大、施工階段與運行維護費用相對隨之增加。

國內外已有許多直接引導自然光進入室內之相關研究(黃忠偉, 2009、Rosemann, 2004),(許德清, 1994)提及在相同的隧道長度、安全規定與使用輝度條件下,導光管設備費用約高於傳統燈管 2.7 倍,安裝費用較傳統燈管約節省 66%,維護費用約節省 76%,電費較傳統燈管約節省 13%,經以上種種跡象顯示,在未來經濟考量上,傳統燈管似乎可用較新科技如導光管所替代。

本研究以綠色節能觀念以及橘色科技當作發展基礎,隧道工程之新觀念乃以節能效益極大化;及環境衝擊最低化(LID, Low Impact Development)為根基。並漸漸塑造為一生態式公路隧道作為未來發展目標,目前隧道之照明多半使用高壓鈉燈搭配日光燈為照明,而生態式公路隧道之前景為使用「自然光照明系統 NLIS」取代現在傳統照明方式,改善傳統高耗能缺點及發展綠植生態隧道。「自然光照明系統」(黃忠偉, 2009)主要將自然光透過集光、導光、放光三子系統,將陽光以反射與折射之方式直接引入室內作照明使用。

- 經上述之說明,整體規劃可分下列主要項目
- 自然光照明系統(NLIS)文獻回顧與持續更新
- 情境軟體模擬(數值化)
- 縮尺建置(模型化)
- 規範比對
- 現場實作
- 檢討回饋
- 加值應用(綠色、橘色科技)

本研究針對第一、三、四項製作一模擬生態式公路隧道模型,將自然光照明系統應用於此,進行檢測各區段之輝度是否符合隧道照明標準,未來並持續完成其於項目,透過此模型製作,本研究之執行效益為盼能改良傳統照明所造成高耗能之缺點,後續也可為隧道工程週遭環境行植物綠化進而降低空汙與熱溫;及將自然光照明系統應用於出入口端利用自然光之特性

自動調整光強使其更人性化,將橘色科技之概念納入規劃設計。

研究範圍與方法

主要之研究方法為實作一節能光導生態公路隧道,將自然光照明系統應用於此並進行各區段之輝度(照)度檢測。主要可分為隧道內部照明設計需求之研調;以及自然光照明系統應用之兩大整合。其詳細內容可分為照明燈源設計與模擬、集光元件演算與設計、輸光通路設計三大課題。檢測方法採用光學儀器輝(照)度計與檢測,測試自然光照明系統是否可以有效應用於公路隧道,更以台科大國際大樓(1B)地下停車場與北科大土木系館地下室之規劃設計為實際案例作一規劃與應用,本研究之長期目標期盼將現有隧道植生綠化為願景。

公路隧道模型與自然光照明系統之應用

繼上述章節對系統各元件之探討,後續將對此系統之應用以模型建置與實體規劃作一呈現,搭配儀器量測與軟體分析檢測該照(輝)度是否符合設計值,並與規範作比對,其研究流程如圖 1 所示。

研究流程

本研究模型隧道內部各區段輝度設計值為參考北宜高速公路雪山照明,並依照規範避免其危險間距與閃爍效應,再依平均係數法計算出燈具間距與集光磚所需數量,計算過程如表 1。

除對公路隧道(線型)建立模型之餘,對於地下空間(面型)也完成規劃設計。

設計與試驗之結果討論

本實驗延續 97 年學生李文富之研究,繼續著手未完成之部分,目前已將自然光照明系統安裝於公路隧道模型內(前一章節);本章節會對隧道內部輝度之量測結果作整合,將量測數據與規範做比對,再搭配軟體進行情境模擬,此外,本團隊也嘗試以一實際隧道(雪隧)進行自然光照明系統配置之計算。

量測儀器除了照度計之外,須配合遙控車,將輝度計與遙控車放入隧道中,以繩子控制,可量測模型隧道各區段輝度與設計值是否相符,以及符不符合規範標準,圖 5 為量測示意圖。

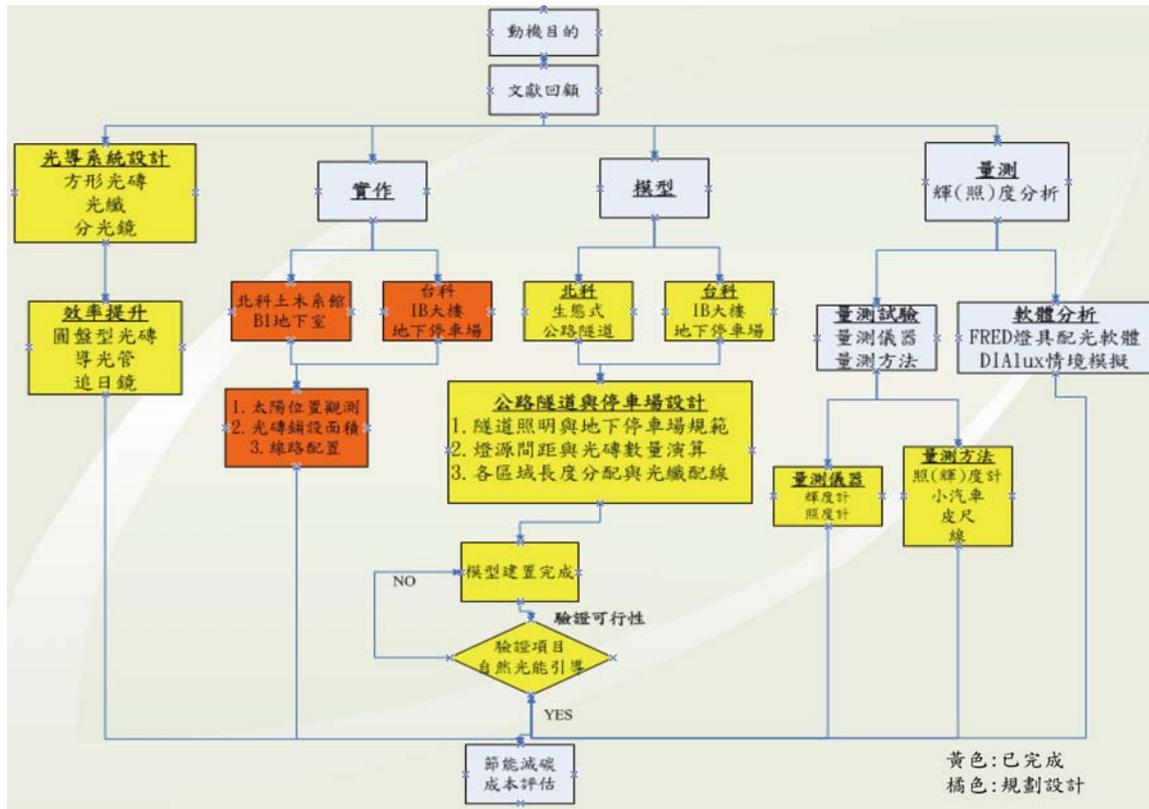


圖 1 研究流程圖

表 1 進口段燈源間距設計

採用之光源	太陽光 (無雲晴空) $F = 1 \times 10^4 \text{ (lux)} \times 1.4 \times 10^{-3} \text{ (m}^2) = 14 \text{ (lm)}$					
燈源配置	採中間佈燈配置					
平均係數法公式	$S_1 = \frac{F_1 U M N}{K L_1 W}$					
公式參數	平均照度換算係數 (K)	車道寬度 (W)	維護係數 (M)	照明率 (U)	配置係數 (N)	設計輝度 (L_1)
數值	13 lx/cd/m ²	0.13 m	0.6	0.4	1	90 cd/m ²
燈距間距設計	$S_1 = \frac{(14 \text{ lm}) \times 0.4 \times 0.6 \times 1}{13 \text{ lx/cd/m}^2 \times 90 \text{ cd/m}^2 \times 0.13 \text{ m}}$ 得 $S_1 = 2.2 \text{ cm}$ S_1 取整數設計, 得 $S_1 = 2 \text{ cm}$					
檢核	1. 光量是否足夠? 以所設計之燈源間距證明 $F_1^* = \frac{S_1 \times K \times L_1 \times W}{U \times M \times N} = \frac{0.02 \text{ m} \times 13 \text{ lx/cd/m}^2 \times 90 \text{ cd/m}^2 \times 0.13 \text{ m}}{0.4 \times 0.6 \times 1} = 12.675 \text{ lm}$ \therefore 光量供給 $F_1 >$ 光量需求 F_1^* \therefore 光量是足夠的 2. 本區間的輝度需求是否滿足? 以所設計之燈源間距及採用之燈源光量證明 $L_1' = \frac{F_1 \times U \times M \times N}{S_1 \times K \times W} = \frac{(14 \text{ lm}) \times 0.4 \times 0.6 \times 1}{0.02 \text{ m} \times 13 \text{ lx/cd/m}^2 \times 0.13 \text{ m}} = 99 \text{ cd/m}^2$ \therefore 輝度供 $L_1' >$ 輝度需求 L_1 \therefore 輝度需求滿足					
光磚數量計算	此區段長度為 15 cm, 燈具間距由上得之為 2 cm $\text{光磚數量} = \frac{L}{S_1} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ 個}$					

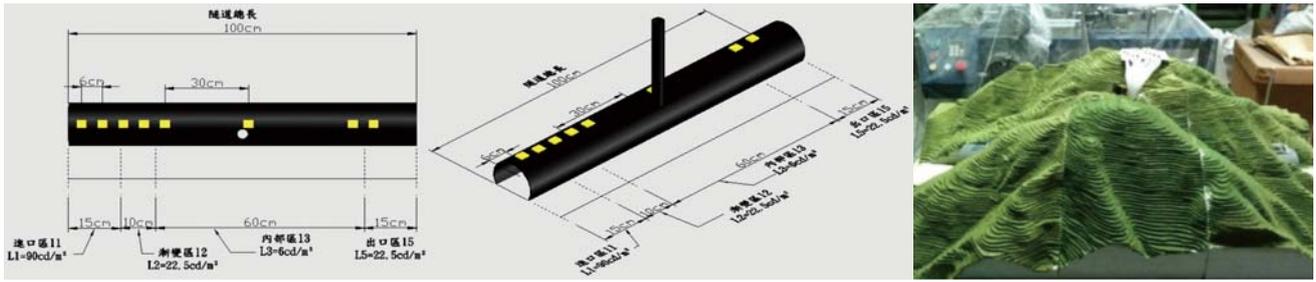


圖 2 生態式隧道模型光磚配置圖

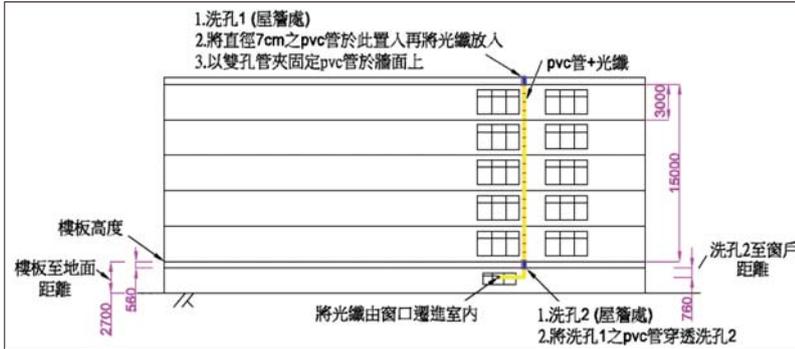


圖 3 土木系館立面圖南側 (NLIS 佈設圖)

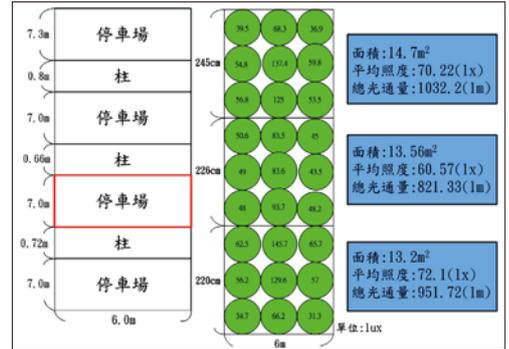


圖 4 停車場設計規劃範圍 (PSSDL, 2012)

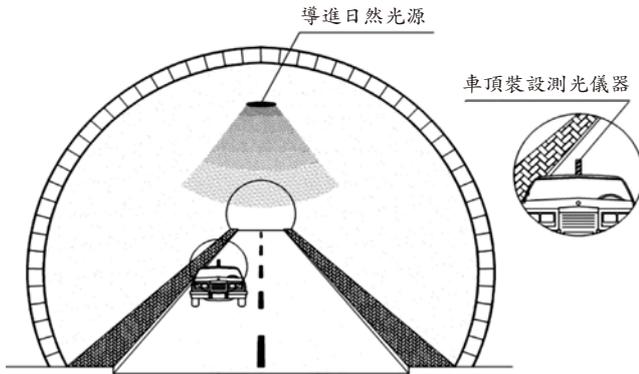


圖 5 照度量測示意圖

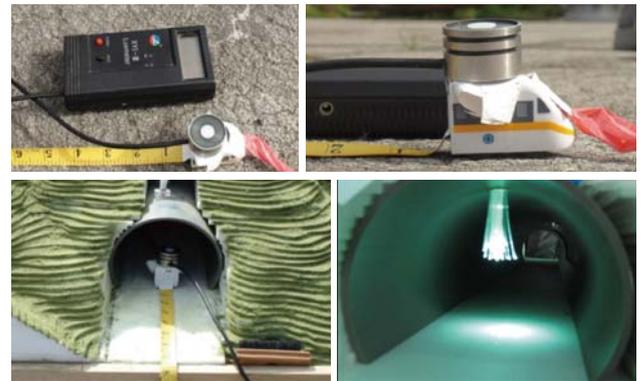


圖 6 量測方式

隧道模型內部輝度量測

經第二章模型建置完畢後，為印證其內部亮度是否符合規範，本章節試以較簡便之輝度計先進行各階段輝度之量測，本研究模型照比例尺 1:10 縮放，因考量自然光照系統安裝操作便利性，先針對不同區域作簡單的配置，再將量得知數據以 excel 作一趨勢圖與規範比對 (圖 8)。

量測儀器以一照 (輝) 度計搭配皮尺與尼龍線，再搭配紙盒或模型車如圖 6、7 所示，其量測方式步驟為 (1) 將模型車連接照度計置入隧道內 (2) 於隧道出口側以尼龍線帶動模型車，而由隧道入口側可觀測皮尺讀數，以對應各區段長度 (3) 記錄各區段輝度數據。

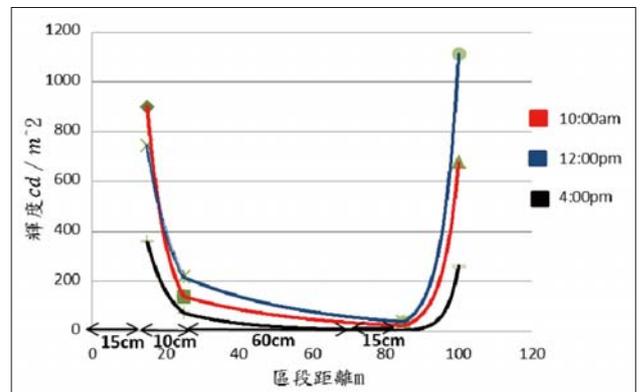


圖 7 距離輝度關係圖

因應本系統須藉由太陽作為主要光源，以北科土木館頂樓作為量測地點，預測值與實際量測數據如表 2 所示。

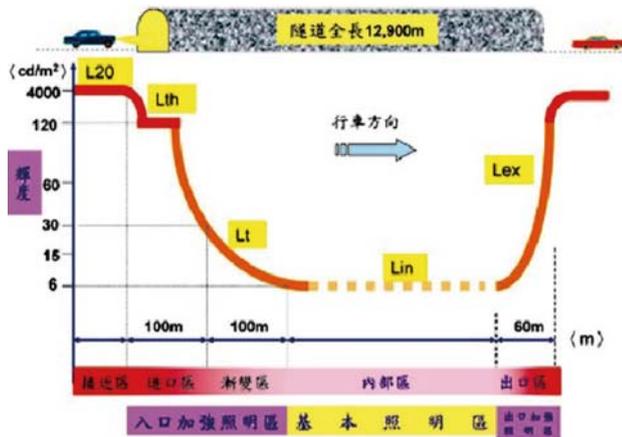


圖 8 模型量測結果趨勢圖比對

因於模型內使用完整輝度量測方式不易（考慮儀器高、燈具等等因素），研究中先以照度為量測基準，再以照度輝度轉換公式（式 1）轉換與預測值比對。

$$L = E/C \quad (1)$$

L：輝度

E：照度

C：轉換系數：9~11 水泥、13~16 柏油。

本研究除以綠色科技為主要研究方向之餘，更融入橘色科技，創造另一顏色之科技，關心環保與能源課題，強調人本與人道關懷，更以發展健康、幸福、人文關懷鄉關的科技與系統產業為訴求。

相對於綠色科技以綠色象徵環境議題，橘色科技以橘色象徵人本議題，而橘色科技之源起，可回顧兩百年來科技的進步與發展，確實帶來經濟發展，但也造成物質化的結果，以及貧富懸殊、地球暖化等問題。因此有許多有識之士高呼人文精神的提升，以平衡科技與人文的發展，並期許科技能帶給人類幸福、世界和平、安居樂業（王駿發，2011）

本計畫將日光整合系統（SIS）應用於公路隧道，利用集、導、放三元件將自然光直接引入隧道作為光照使用，以綠色科技之角度，節省電能之耗損，並搭配節能照明作為夜間補償，既有之隧道照明輝度值為一固定數據，無法因應洞外太陽光隨即作改變，人眼對隧道照明最敏感之區域為接近區至境界區（暗適應）與出口區至洞外（明適應）（交通部運輸研究所，1994），未來可將該系統裝置於此交界區，善用太陽光之特性進行自動調光，皆須搭配人工照明作為補償。

結論與建議

結論

本研究主以公路隧道照明為整合應用之藍本，短期目標以「可導引自然光替代人工光源之自然光照系統」於改善傳統公路隧道高耗能、耗電之探討，研究依 CIE（1990、2004）、CNS 與日本道路公團隧道照明規範，並以北宜高速公路雪山隧道為分析案例，對不同區段之輝度進行試算；並與集光磚、導光與放光之光纖元件設計結果配搭並且量化比對，最後建置模型以驗證節能型自然光照系統於公路隧道應用之可行性。

規範層面

1. 日本道路公團準則鮮少人使用，現行隧道照明以 CIE 為設計準則。
2. 研究中模型內輝度試算值已可符合規範標準趨勢。
3. 除計算數據之餘，需考量燈具配光曲線、安裝位置與路面材質等影響因子，可提高其準確度。

模型層面

1. 完整輝度量測方式不易於模型進行，先以照度量測再作轉換，本研究經照輝度之轉換，已可符合預估輝度值（表 2）。
2. 模型中之輝度分佈趨勢可符合隧道照明標準（圖 8）。

表 2 各區段照輝度量測與設計比較

尺寸	高 (燈具至地面) m	寬 (m)	長 (m)	
實際隧道 (Ex: 雪隧)	4.6	7.6	12900	
模型	0.085	0.1	1	
倍數	54	76	12900	
雪山隧道				
區域	境界區	漸變區	內部區	出口區
長度 (m)	100	100	12640	60
平均值	輝度 (cd/m ²)			
	90	22.5	6	22.5
隧道模型實際量測				
區域	境界區	漸變區	內部區	出口區
長度 (m)	0.15	0.1	0.6	0.15
預測值	輝度 (cd/m ²)			
	1.6	0.41	0.11	0.41
量測照度 (lux)	24	19	20	19
照度轉輝度	1.5	1.2	1.25	1.2
輝度量測 (cd/m ²)				
10:00am	899	139.425	21.57	676
12:00pm	743	217	37.105	1111
2:00pm	359.5	72.8	2.48	262



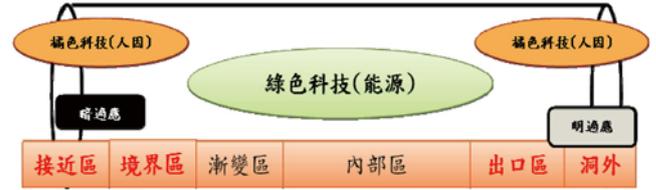
橘色科技產業 (王駿發, 2011)

實測層面

1. 可利用軟體 (Europic) 評估隧道洞口輝度，再至實際場域作比對。
2. 照明方式依燈具外型可分逆照、對稱與非對稱三類型，而光纖放光之方式屬非對稱之照明方式，可供後續設計參考。
3. 本研究對面型空間 (地下室、停車場) 已完成部分前置規劃設計。

參考文獻

1. 中華民國國家標準，隧道照明標準，2005
2. 王駿發，橘色科技的源起與發展，科學發展，466 期，2011
3. 中華民國建築學會「建築學報」第 64 期，103~118 頁，2008 年 6 月
4. 交通部運輸研究所，人因工程與隧道照明之應用，1994
5. 李文富，光電工程於生態式隧道之應用及其綠營建指標效益評估，學士專題，台北科技大學土木工程系，台北，2007
6. 李宏徹、宋治青、楊啟榮、陳可賀，雪山隧道機電工程，土木水利，第三十三卷，第三期，2006，p6-p17
7. 李宏徹，長公路隧道安全管理策略，2007
8. 李碩重，照明設計學，全華科技圖書股份有限公司，台北，1995
9. 李昱麒，應用於自然導光之分光鏡，碩士論文，國立台灣科技大學電子工程系，台北，2010
10. 林傳本，屋外照明設計與維護，台北，1997
11. 林維屏，LED 光源新式應用之研究，碩士論文，國立中央大學光電科學研究所，桃園，2005
12. 胡德欽，隧道工程，台灣科技圖書，台北，2004
13. 陳淑瑜，談優質光環境，照明基礎講座，2013
14. 陳偉安，具光學結構設計之高效率傳光管，碩士論文，國立台灣科技大學電子工程系，台北，2012
15. 陳隆建，淺談 LED 生態照明原理與技術，國立台北科技大學光電工程系，2012



綠色科技結合橘色科技

16. 張謙允、黎倩如、鄭哲璋，太陽集光器結合人工光源之室內照明應用，設計學報，第 16 卷，第 2 期，2011 年 6 月
17. 張吉佐，劉弘翔，山岳隧道工程設計與實例手冊，科技圖書股份有限公司，台北，1999
18. 許丕廉，隧道照明設計研究與性能評估探討，碩士論文，台灣科技大學電機工程系，台北，2007
19. 許德清，導光管照明燈具用於隧道內之可行性評估，工程技術，第八十四期，1994
20. 莊雅竹，垂直導光通風管於室內導光性能之研究，碩士論文，台北科技大學建築與都市設計研究所，台北，2008
21. 徐智屏，室內聚光行太陽能發電系統設計與實作，碩士論文，雲林科技大學光電工程研究所，雲林，2011
22. 劉瑞麟，追日聚光式太陽能光纖照明系統之研製，碩士論文，台北科技大學能源與冷凍空調工程研究所，2011
23. 彭彥凱，不同型式光纖與集光器搭配之效率測試，碩士論文，國立中央大學能源工程研究所，2006
24. 國際照明委員會 (CIE) 88，2004
25. 國際照明委員會 (CIE) 88，1990
26. 劉火炎，隧道照明設計及輝度計算，中興工程，1993
27. 劉書勝，照明設計，徐氏文教，台北，1980
28. 蕭傑仁，應用於室內照明之高輸出靜態式圓盤堆疊結構集光器，碩士論文，國立台灣科技大學電子工程系，台北，2012
29. 謝璋哲，非聚焦式自由取面透鏡於圓盤集光器設計，碩士論文，國立台灣科技大學電子工程系，台北，2011
30. Chen, C.H., Chen, Y.Y., Whang, J.W., "Using the Natural Light Guiding System to apply in Ecological Illumination of Traffic Tunnel," National Taiwan University of Science and Technology, 2009.
31. Chen, Y.Y., Liu, C.Y., Whang, J.W., "Static Refractive Concentrator Design for Light Collimation," Proc. SPIE, Santiago, USA, pp. 7059, 70590Q, 2008.
32. Rosemann A., Kaase H., "Lightpipe applications for daylighting systems," Solar Energy, 2004.
33. Whang, J.W., Chen, Y.Y., Cheng, C.N., Chen, L.H., "Design and Evaluation of Natural Light Guiding System in Ecological Illumination of Traffic Tunnel," 2009.
34. Whang, J.W., Yu, C.M., Chen, Y.Y., "Light Collection System Unit Design via Mathematical Modeling," Proc. SPIE, Santiago, USA, pp. 6896, 68961B, 2008.
35. Yang, S.H., Chen, Y. Y. Whang, J.W., "Using prismatic structure and brightness enhancement film to design cascaded unit of static solar concentrator in natural light guiding system," Proc. SPIE, Santiago, USA, pp. 7423, 74230J, 2009.
36. Sunportal, <http://www.thesunportal.com/>
37. Monodraught-Natural Daylight, <http://www.monodraught.com/products/>
38. Heliobus, www.heliobus.com 



向政府建言 —

推動防災產業 振興土木 刺激經濟

105 年度全體會士會議紀錄

105 年 10 月 21 日下午 6 時 30 分至 8 時 30 分 國立臺灣大學【土木系館二樓 203 會議室】

召集人呂良正理事長致詞：

今天由本學會召開這個會議，我們希望向政府建言如何來推動防災產業、振興土木、更刺激經濟。非常感謝政府部會貴賓蒞臨，包括行政院張景森政務委員、經濟部楊偉甫常務次長、國家發展委員會產業發展處詹方冠處長、水利署綜合企劃組張廣智組長、以及農委會水土保持局土石流防災中心尹孝元主任。今天會議有三大主軸：(1) 綜觀我國土木產業與經濟現況、(2) 建議推動防災產業化，以振興土木及刺激國內經濟、以及 (3) 推動防災科技輸出，創造海外市場。



首先請四位簡報人提出專題報告，接著請會士發言，再由政府部門回應。

專題報告：

發展防災產業 救生命、救地球、也救經濟



周南山常務監事 / 中國土木水利工程學會

- 梅姬颱風在燕巢泥岩地區發生土石流，造成三人死亡。這是一個警訊：氣候變遷帶給台灣的土石流災害未來只會更為嚴重。
- 南部連月大淹水，突顯了傳統河川排水的缺失。單靠疏導(排水)有其限制，還必需搭配圍圈(滯洪池)才能相輔相成。
- 防災產業包括：防災型都更、耐震、土壤液化、土石流、落石、滑坡、防洪、防火、水庫淤泥處理等產業，是必要的內需產業。

向政府建言

- 全面盤查各種災害之嚴重程度、防災之需求與經費，並盤點防災之產業鏈與人才庫。
- 編列足額預算，將防災列入國家重要發展經濟之主軸，是極低風險的投資。
- 將成熟的防災技術行銷東南亞各國。
- 最近台經院景氣預測中心主任孫明德即表示，為刺激經濟，基礎建設才應是這二三年的主旋律。
- 我們建議：政府在亞洲矽谷、生技醫藥、智慧機械、國防產業、綠能科技之外，將具有節能減碳功能的防災產業列入發展經濟的主軸，有一石三鳥之功效：救民眾生命、救地球暖化、更救國內經濟！

雲端防災監測預警技術研發

張國鎮主任 / 國家地震工程研究中心



前言



- 近10年來天然災害造成1百多萬人死亡、2.5兆美元直接損失，暴露多重災害中的面積與人口，**台灣排名世界第一**。(資料來源：聯合國)
- **投資1元的防災可減少4-7元的損失**，全球防災產業存在**200億美元/年**的潛在商機。

以台灣完整防救災研究成果，加上優勢的ICT產業，提供全方位防災解決方案，創造台灣防災新產業，進一步爭取國際龐大商機。

計畫構想

整合產學研能量，發展**耐久耐候感測元件及監測技術**，建構即時防災安全預警系統，縮短產學落差，創造**防災服務新產業**。



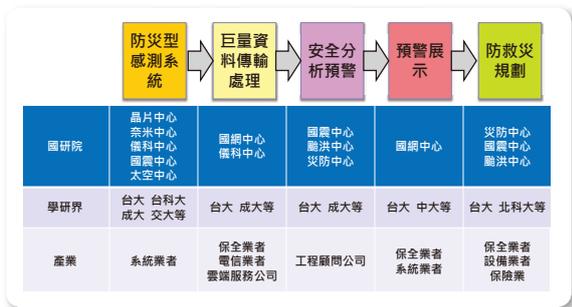
利基

- 學研機構防災研發成果豐碩，所發展之離型系統已可提供防救災初步對策，但落實應用尚待加強。
- 國研院**防災研究機構完整**，再加上晶片、奈米、儀科國網等**ICT相關研究單位**，可形成良好之整合平台。
- 台灣**ICT產業**居世界領先群，工程顧問公司亦具備國際競爭力，利於發展防災產業。
- 台灣為**天然災害實驗場**，所研發之軟體元件或模組透過現地驗證，可望使防災科技產業立足台灣、邁向全球。

建構新興防災產業 - 以橋梁安全為例



關鍵技術研發參與單位

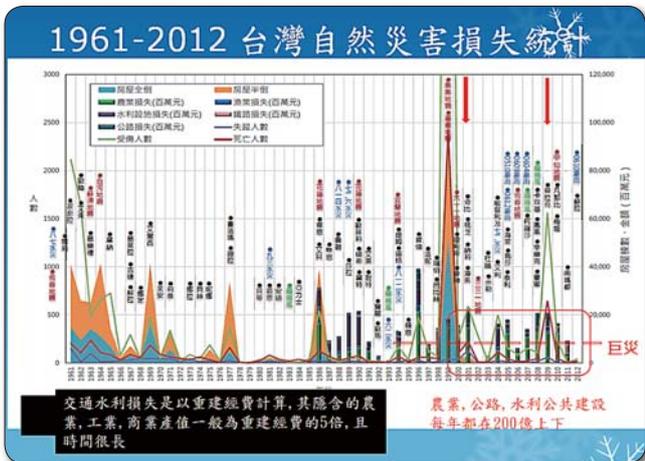


創造產業價值

- **保全公司**：可結合防災預警訊息提供**自動化服務**，並可結合分布各地之大量保全**人力資源**，提供防災主管機關就近之**應變服務**。
- **設備業者**：可具備生產防災系統設備相關**元件**之能力。
- **資通訊公司**：可提供大量防災監測資料儲存及**雲端服務**。
- **工程顧問公司**：可提供防災主管機關代為管理橋梁等重要設施之服務，負責處理監測資料，提出**預警及改進措施**。
- **保險業**：可提供各項資產之**災害保險/再保服務**。
- **未來**，國研院可協助上述產界結合，形成可提供完整防災服務之公司，並外銷世界。

風雨災害的防治與產業

劉格非教授 / 台大土木系、
土水學會防災委員會主委



災害防治觀念一

- 災害損失是長期的（至少必須考慮兩年），只計算政府部門修復支出，是超低估災害損失。
- 連續災害或巨災會嚴重影響全面經濟。

災害防治觀念二

- 極端氣候下風雨災害頻率增加，會壞的會壞的更快、更頻繁。
- 必須加強災害潛勢區域概念，考慮避開、加強維護、或改變設計。
- 尊重大自然。
- 加強循環性資源利用，可以有短期性避減災措施，不該有長期性改變或悖逆大自然作為。

災害防治觀念三

- 防災應該是全民運動，僅靠中央絕無法達成。
- 我國目前已經完成強而有力的中央與資訊系統，是時候把全民防災觀念推廣，以建立更安全的國家、與更蓬勃的防災產業。

未來災害防治方向

- 極端或跨行政區域事件才由中央處理。
- 資訊公開，教導民眾利用。
- 一般性災害或小面積事件 → 地方自行處理（協力機構，開口廠商）。
- 地方亦可自行結盟處理特殊災難。
- 居民可以自行應對 → 潛勢區域公告後的安全處理區。
- 以民眾盡力降低自身環境的災損為目標。

防災產業預備工作

- 經濟部資訊開放小組 → 加速 big data 之建立與開放。
- 防災產業輔導與監督小組（學 → 產，產（學））
→ 建立產學界互相協助機制。
→ 建立產學界協助民眾機制。
- 鼓勵民間參與條例。
- 鼓勵人民自救方法研究。
- 建立 ISO 檢校單位（保障品質與出口）。

防災產業全面推動

- 目前以專家為發展防災唯一對象，政府為防災研發成果施用主要對象。會讓民眾誤以為，防災是政府的責任，民眾只要等待被救，地方政府只要申請救災與補助。
- 全民發展防災產業，必須有鼓勵措施。
例如經濟部給予中小企業（或產學）發展防災產品，必須評估緊急時或災後，能有多少防災救災效益，然後給予最佳產品或公家通路等獎勵。

我國產業轉型之未來展望 - 推動創新產業發展策略

詹方冠處長 / 國家發展委員會產業發展處



當前課題

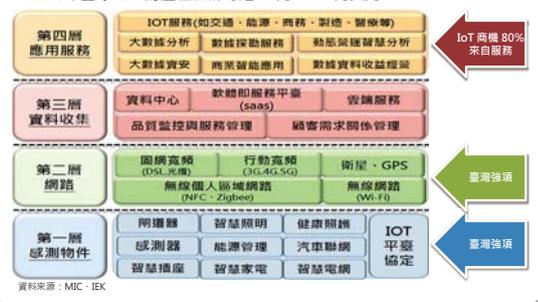


策略思維



創新產業政策 以亞洲・矽谷為例

- 鏈結亞洲，連結矽谷，創新台灣，從IT到IoT的全面轉型升級發展計畫
- 2025年全球IoT總產值估計可達3.9兆~11.1兆美元



會士發言：

洪如江 / 國立臺灣大學土木工程系名譽教授

- 重大災害在歷史上，多次因重大災害導致改朝換代。
- 莫拉克颱風豪雨災難之初，災區的災情不明，影響救助時機。本人多次建議可在衛星上裝設雷達，使之在夜間或豪雨之時，災區狀況也能夠一目了然。
- 台灣地震測報系統世界第一，921地震後102秒就發佈地震的震央、規模、震度分佈等資料；美國主管機關在眾院聽證會中自嘆不如，承認需要3個小時。
- 根據美國幾百年的實地調查研究，在山區砍伐森林所引起的坍方（數量及體積）約為自然坍方的10倍，開路



上山所引起的坍方為自然坍方的100倍。台灣山地坍方（數量及體積）極為嚴重，原因開闢太多山路，方便濫墾、濫伐、濫建。

- 每次颱風豪雨，東部公路往往因坍方而中斷；反觀鐵路則相對安全，係因鐵路用地遠較公路者狹小。增加鐵路運能，才是解決東部交通問題的正途。
- 921地震，凡倒塌並導致人命傷亡的高樓，其高度多在49.5公尺左右；原因就是：逃避超高樓結構外審。凡超過50公尺的高樓（必須通過超高樓結構外審），沒有倒塌者。
- 最低標決標，常導致履約爭議，拖延工期，更埋下工程結構物災損的禍根。
- 世界經濟論壇（World Economic Forum）對全球142個國家在2016-2017年的競爭力研究報告（Global Competitiveness Report）中，台灣排名第14。基礎建設（Infrastructure）土木工程類之中，台灣道路品質排名第8，鐵路基礎建設品質排名第10，空運基礎建設品質排名第33，供電品質排名第35。空運基礎建設品質及供電品質不夠理想，影響國際貿易（包括觀光事業）與工商發展。
- 賣掉成熟且賺錢的產業，將所得資金投入更有利基的創新產業。
- 2008北京奧運，近在咫尺，十多件曠世巨大的土木工程，台灣竟無一個建築師事務所拿到設計案，也沒有一個工程顧問公司拿到結構分析案。台灣有一流的建築師與土木工程師。但建築與土木壁壘分明，在專業上無法互補互利，難以在國際服務業中揚眉吐氣。
- 台灣服務業之中的土木工程行業（工程顧問公司，營造廠），數量太多，規模太小，缺乏國際競爭力。建議將幾家國營工程顧問公司合併，以增進在國際土建市場中的競爭力。

張培義會士 / 臺北市政府工務局局長退休

- 防災在台灣非常重要，防災需要落實應用。
- 過去政府各部門在防災這個區塊確已付出很大心力，也具相當成效。未來應加強落實，必可減少人員傷亡，保障生命財產安全。



廖慶隆會士 / 中華顧問工程司董事長退休

- 贊成洪如江教授的發言。
- 應加強數位式防災監測，如大規模土石流的災情控制。
- 防救災應在第一時間內解除孤島效應，以減少人員財產之損失。
- 高齡化專業人才如何成為助力，期待經驗傳承後進，以使其能繼續貢獻專業。



陳振川會士 / 國立臺灣大學土木系特聘教授

- 和人口老化嚴重一樣，公共設施的高齡化問題非常嚴重，如圓山橋已經使用 40 年，北部地區賴以為生的翡翠水庫也已經運轉 30 年，當災損或老舊後，現均沒有可替代的方案，針對全國關鍵老舊公共設施之維安應變是政府當務之急。
- 政府需要投資基礎建設，依據過去莫拉克風災復建經驗，當時諸多考慮防災救災因素及相關之配套措施，於後續的災害中證實是經得起考驗的。但應該對全國基礎建設進行防災提升，預防重於善後。
- 防災重建政府必須和民間整合，落實善用資源，這些資源能力平時就要加以整備，包括如何整合這些力量，多利用 NGO 單位之垂直水平整合分工可提高效率。
- 綠能推動，因受陽光風力及土地限制，目前設置地點多集中在中南部，能源如何北送是個問題。此外，台灣颱風地震多，海域地質水土資料缺，相關設計規範亦不健全，匆促大量推動應慎重為之，設施本身必須考慮防災及抗災因素。



周南山會士 / 國立臺灣大學土木研究所兼任教授

- 剛聽國發會產業發展處詹處長的簡報，我們推動的創新產業，包括生技 … 等均屬於高風險產業。反觀防災是低風險產業。萬一產業推動不成功，我們仍保障了人民生命財產安全，應該要在五加二之外再增加一個防災產業。

陳清泉會士 / 國立臺灣大學土木系名譽教授

- 建請政府針對都市更新、老屋健檢的技術與法令，應予以積極推動法令更新與修訂及工程技術之創新改進。以縮短都市更新程序，加速都市經濟繁榮及美化。
- 建請政府應設法增加公共工程之投資建設，以促進全國經濟繁榮。應著重公共工程建設之計畫執行效力，減少法律糾紛。
- 建請政府仍應繼續重視材料科技及土木工程相關科技，如應用於：防災、耐震、新材料及新工法以及耐久性等，應繼續加強推廣及研究發展。
- 建請政府應體恤退休年長者的生活品質及尊嚴，應善用他們尚存之智慧及能力，令其有機會於餘年對社會仍有所貢獻，請勿僅作減少其輔助打算。



政府部門代表發言：

張景森政務委員 / 行政院

- 我最近才了解到，很多土木人才外移，國內需要振興土木，刺激經濟，傳統基礎行業沒落。
- 防災的議題非常重要，行政院會對防災政策的系統與規劃深入了解，檢討、擬定，並將召集相關部會進一步追蹤討論。
- 政府也將發動新一波的基礎建設投資，並將防災納入。
- 預報技術的提升也是重要的議題。如放錯颱風假，一天損失有經濟學家說是 4、5 百億，或許估算有些太保守，經過評估 200 億的損失應屬合理。
- 剛才劉格非教授所言災害的損失平均是 200 億，我們也統計過是如此。災害最容易發生的地區都是偏鄉山地。我們曾請國發會統計，山地鄉全部的年產值大約是 80 億，也就是說，這 200 億發給山地鄉的居民，或許他們可以都不需要工作。因此新政府也將推動國土復育條例，減少國土之過度開發。
- 土木人才的流失，以及合併相關國營公司或顧問公司，以提高及擴大競爭規模。會請負責此部份的吳政務委員再做研議。
- 最後也要報告，政府組織改造，未來將成立建設部，將幾個部門整合，如水利署，營建署，工程會，水保局等交通部之外的相關單位整合。



許俊逸會士 / 行政院公共工程委員會主任委員退休

- 政府施政是一棒接一棒，希望新政府的施政要有延續性。
- 關於採購法必須澄清，採購法是一個工具法，其中有規定各種招標方式，法本身沒有問題，要探討的是為什麼大家都選擇用最低標的方式。主辦單位如何引用相關條例，需謹慎為之。
- 防災一定要做，但是我們要防的災害是指，災害損失？災害規模？還是災害發生？以高速公路為例，它必須達到全天候的公路機制要求，在湖口遇到地質條件不適合開發，恐造成邊坡滑動，最後是以退後 40 公尺造路的方式興建，我們應該以順應自然的方式做安全適度的開發。
- 法令盡量不要太多，法令最大的限制其實是對公務員。建議非針對工程計畫本身法令，應盡量鬆綁。
- 產業必須開放，才会有進一步發展。



楊偉甫會士 / 經濟部常務次長

- 簡報中提到的智慧防災、智慧城市等，政府都有積極持續進行，只是還沒有辦法很快看到成果。未來累積一定成果後如擬推動技術輸出，建議參考目前最有成效的 ETC，亦即從設計開始，到後面的設備及廠商等都可以向國際輸出。經濟部現階段努力的方向，是要把部內各單位的防災業務整合起來，為未來輸出提早做準備。
- 民間推動水利產業的業務由經濟部督導，據悉台灣水利產業發展促進協會將進一步協助政府整合各相關水利防災產業，以提高整體防災成效。
- 政府採購法非惡法，惟有些不合時宜的規定，會限縮營造廠及顧問公司的發展。
- 今天諸多議題中，最重要的應是公共設施高齡化，如各個水庫的運轉延壽等，都將是急迫且重大的議題。
- 防災產業配合政府新南向政策輸出的部分，目前較缺乏的是整合，政府將會邀集相關業者進一步加強合作。
- 有關 PM2.5 的問題，經過調查目前由境外移入的污染可能高達五成，解決方案也需要更多元的思考，政府持續努力中。

**詹方冠處長 / 國家發展委員會產業發展處**

- 剛才簡報中所提新創產業，非指政府目前只推動這些產業，例如長照法案與推動長照服務業有關，雖不在五加二中，但確是政府的重要政策。
- 有關風險性高低與推動新興產業，其實並無絕對關係。有些產業風險高，但如是趨勢，政府應提供配套措施加以協助。
- 未來產業要推向國際發展或購併等，常需要引入資金，如簡報中所示，政府在這方面將提供金融協助。

張廣智組長 / 水利署綜合企劃組

- 剛才幾位老師的簡報所提內容，在水利署最近向科技部申請中的「創新產業旗艦計畫」中已有涵蓋，尤其是透過 IoT 對防災科技的應用，我們希望藉由此計畫的爭取，能夠更進一步加強及深化防災科技。
- 防災技術中關於水利設施的設計、施工及營運管理，不只在東南亞，甚至美國都想向我們取經，今年美國工兵署就來台觀摩我們水庫的防淤排砂技術，我們的技術已領先美國。
- 推動水利產業，目前的重點在上下游間的聯結。透過科技部的計畫，將在智慧防汛網、區域動態地下水營運管理、水庫智慧營運操作及精進農業灌溉等四個主軸計



畫，希望能將有關水利方面的治水、蓄水功能更加落實。

尹孝元主任 / 農委會水土保持局土石流防災中心

- 在此向各位報告水保局近年在防災技術、國際交流業務的進展。台灣土石流最嚴重的地區屬南投縣神木村，該區已廢校廢村，水保局未來將與台灣大學及南投縣政府合作，打造此區為國際級的土石流觀測站，這是天然的災害實驗場，觀測站成立後將提供開放式的平台，同時歡迎各產官學界引進新興觀測技術及設備，在此進行現場試驗，同時將觀測所得的寶貴資料開放給各界進行相關研究。
- 農委會與各國長期都在推動農業合作，過去國際間的農業合作協定主要以產業及生物科技方面為主，近年來由於氣候變遷造成災害增加，因此已有改變。如 2011 年水保局開始協助泰國及越南推動山崩、沖蝕與土石流防治等防災工作。另外要提的是，我們發現這些國家需要的技術不是最新的，而是台灣二十年前的傳統農地水土保持技術，因此我們今年也與屏科大簽訂 MOU，建立國際水土保持示範場域的計畫。同時今年我們也已開始帶領國內學術研究單位將台灣的無人飛機與土石流觀測技術輸出至越南等國家。
- 台日兩國在水土保持方面已交流多年，並於 2010 年簽訂土砂災害合作協議，其在今年有突破性的成果，台日雙方同意將兩國在砂防技術交流的成果共同推展至東南亞國家，符合目前我國政府推動之新南向政策。
- 為加強我國於友邦之投資活動，政府於民國 84 年投資成立海外工程公司，未來可考慮結合目前我國大型工程顧問公司共同參與國際上大型土木工程相關計畫。

**主席總結：**

今天非常謝謝大家的踴躍發言，討論十分熱絡。很難得有這個機會與政府對談，而且獲得共識，防災相關議題是國家的根本，非常重要，刻不容緩。政府以及產學各界，在現有的基礎上要一起努力，一起來推動防災。未來應如何推動，土水學會很願意成為一個平台，做進一步的討論、諮詢，並向政府建言。學會將結合更多力量，為土木產業做一些事情，希望大家繼續支持學會。再次感謝各位今晚蒞臨指教，謝謝大家！



會議簡報歡迎上學會網站下載



Sep. 7-9, 2016 參加日本 JSCE 2016 年會



學會代表：資訊委員會主任委員 康仕仲教授

2016 年 JSCE 國際論壇主題：“Expectations for CIM (BIM for Infrastructure) in Innovation of Construction Production Systems”

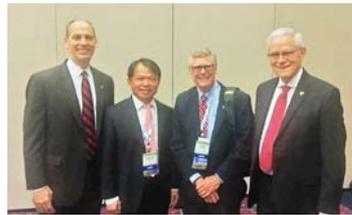
October 19-21 2016 參加韓國 KSCE 年會

2016 KSCE 年會國際論壇主題：New and Renewable Energy for Sustainable Society



學會由張陸滿教授及台大土木系詹滢潔教授代表並分別發表演說

Sep. 29-Oct. 1 2016 參加美國 ASCE 年會



與 2016 ASCE President Mark Woodson 合影

與 ASCE Executive Director, Thomas W. Smith III, 2014 President, Randall S. Over 及 2015 President, Robert D. Stevens 合影 (自左至右)



與 2017 ASCE President Norma Jean Mattei 合影

2017 ASCE President Norma Jean Mattei 開幕致詞



“Diversity Drives Innovation” 作者 Frans Johansson 開幕專題演講



與 2017 ASCE President Norma Jean Mattei 及 Executive Director Thomas W. Smith III 簽 AOC (Agreement of Cooperation)



波特蘭便捷的輕軌



歡迎晚宴與西點軍校學生合影

環境景觀暨工程美化委員會成立「工程景觀」臉書

為鼓勵土木工程界重視工程美化及工程與環境景觀結合，特開設「工程景觀」臉書社群，以推動：

- 分享工程專業
- 增加優良工程能見度
- 提升土木工程水準



工程景觀粉絲專頁

邀請各單位，提供工程照片、網頁連結之網址以及簡短介紹。其他相關工程主題內容，活動報導等，也非常歡迎共同發表。





茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木水利工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登地位	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3期9折， 4期以上8.5折	

刊登月份：

43.6 44.1 44.2 44.3 44.4 44.5 共 次
(12月) (2月) (4月) (6月) (8月) (10月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱： (請蓋公司印)
商號

負責人：

地址：

廣告聯絡人：

電話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木水利工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: mandy@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金額 新台幣 (小寫)	仟	佰	拾	萬	萬	仟	佰	拾	元
------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)		收款戶名 社團法人中國土木水利工程學會	
報名費 <input type="checkbox"/> 繳納 _____ 研討會 報名費 _____ 元	寄款人		主管：
繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本) <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版) 請留 email: _____ <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元	姓名	經辦局收款戳	
訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 新台幣 1,800元 自第 _____ 卷第 _____ 期起，_____ 年期雙月刊 _____ 份	地址 □□□□—□□		
訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第 _____ 卷第 _____ 期起 _____ 年期學刊 _____ 份	電話		

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款別 注：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	報名費 <input type="checkbox"/> 繳納_____研討會 報名費_____元
會員證號碼			繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,500元 (土木水利紙本) <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200元 (土木水利電子版) 請留 email: _____
身分證號碼			<input type="checkbox"/> 初級會員年費 300元
卡別 <input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 新台幣 1,800元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
信用卡卡號			訂閱中國土木水利工程學刊，一年四期 <input type="checkbox"/> 國內·會員 新台幣 800元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 40元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 100元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
信用卡簽名欄最後三碼			白天聯絡電話
信用卡有效期限 (月/年)			通信地址
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據

注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)

卓越源自於超越

台灣世曦始終相信並堅持

唯有不斷超越自我，才有機會成就不凡

在服務業主的每一當下

積極尋求創新與精進

用專業贏得客戶的信賴

用關懷永續生生不息的大地

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel:(02) 8797-3567 Fax:(02) 8797-3568

<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

22年不變的信念
堅持給您最好的

BEST GIVING

麗明營造



04-22559888

