



第二十卷第二期 2018.12

ISSN 1606-2604

行政院新聞局局版

北市誌第 2415 號

發 行 人：楊偉甫

發 行 所：中華水資源管理學會

總 編 輯：張敬昌

副總編輯：虞國興

出版委員會委員：毛振泰 王藝峰
 李振誥 林國華
 林鎮洋 張良正
 張尊國 陳清田
 陳榮福 葉陳萼
 虞國興 鄭友誠
 簡昭群 蘇明道
 (按姓氏筆劃排列)

本期企劃：虞國興

執行編輯：陳英仁

會 址：10055 台北市中正區
仁愛路二段一號四樓

電 話：(02) 2392-6349

電話傳真：(02) 2396-4260

電子信箱：
water23926349@gmail.com呈 印 者：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) 2322-1930

目 錄

特別企劃

孕水

林鎮洋 02

專 論

前瞻水庫集水區保育

王藝峰 04

推動具優養化潛勢水庫集水區總磷總量削減管制策略

葉俊宏、魏文宜、張根穆、陳薏涵、林鎮洋、李祖川 14

環境信託是否可作為我國的水源保育策略之一？

陳起鳳、王國樸、郭玲惠、康世芳 25

台灣都市河川的前瞻想像

廖桂賢 40

台灣海綿城市的推動與展望

陳伸賢 50

學會動態

會務報導

秘書處 64

會員資料填表

秘書處 66

入會繳費方式

秘書處 68

台灣都市河川的前瞻想像

廖桂賢

國立臺北大學都市計劃研究所 副教授、台灣河溪網召集人

近來，台灣最受到矚目的兩條都市河川應該就是台中的柳川及綠川了。台中市政府將北起台灣大道、南到民權路之間，長約三百公尺的柳川河段改造為「柳川水岸步道」，於 2016 年十二月正式對民眾開放。繼柳川之後，位於台中火車站附近，北起雙十路、南到民權路之間，長約六百一十公尺的綠川河段改造為「新盛綠川水岸廊道」，於 2018 年二月揭幕，其中並將東協廣場前方被加蓋的河段「開蓋」。

柳川與綠川的改造都引起大量的關注，除了吸引不少民眾造訪，拍照打卡，政界也多是溢美之詞。在柳川的啟用典禮上，水利署長賴建信稱讚其「媲美韓國的清溪川」，並稱柳川因為透過「生態工法的整治」是「生態保育的模範」。行政院長賴清德在綠川的啟用典禮上，則稱讚綠川是「全台灣最具典範的河川改造工程，值得其他縣市學習與效法」。柳川與綠川的改造還吸引其他地方首長前往參訪。新竹縣長邱鏡淳、台北市長柯文哲先後於三月前去，柯文哲並誇讚綠川「整治得比韓國的清溪川還好！」。四月中，基隆市長

林右昌也前往參觀，也稱讚綠川「絲毫不遜於韓國清溪川，兩者相比有過之而無不及」。

然而，柳川與綠川的改造在環境與生態界卻沒有得到太多的讚許。尤其是柳川剛啟用時，在公部門的宣傳上與「生態」一詞連在一起，讓許多人十分不以為然。

為什麼柳綠川的評價兩極？

純粹就「都市開放空間」的面向而言，柳川水岸步道與新盛綠川水岸廊道是值得肯定的，因為這兩個空間是台灣都市中極為少見的開放空間型態。其實台灣並不乏濱水空間，許多中大型河川旁都有河濱公園；但是，大部分都市內部的小型河川往往惡臭，讓人避之唯恐；就算不那麼臭的也因為溝渠化或三面光而欠缺美感、欠缺駐足空間，沒有親近的理由。正因為在台灣，這樣的都市開放空間實屬難得，因此改造後的柳川與綠川能夠成功吸引許多民眾到訪。台中市政府在擁擠的都市中，為市民創造舒適的親水開放空間，用心值得肯定。

然而，從「生態」的角度而言，柳川與綠川改造後卻仍欠缺「河川生命力」。當然，作為都市河川的柳川與綠川，在生態的提升上的確面臨了諸多的限制（後文會詳細討論），且台灣在都市河川的改造經驗也相對不足，因此無法要求做到盡善盡美。持平而論，長期被當作純粹的排洪排污渠道已久、醜陋又悲情的柳川與綠川，改造後的確變乾淨漂亮了，也成功帶入人潮。然而，即便如此，仍然必須指出：這並非河川本身的「生命力」。正因為柳川與綠川極為受到民眾與政治人物的讚賞，因此讓人十分擔心，其仍然過於水泥化的改造模式，會被大量複製到台灣其他的河川。

「全國水環境改善計畫」會是改善還是破壞？

如果同樣的模式只是複製到其他三面光的河川，問題也不算太大；最讓人擔心的，是地方政治人物因為想要創造類似的打卡熱點，因而將原本不是三面光、生態還不錯的鄉野溪流給水泥化。這樣一來，就不是水環境「改善」，反而是水環境「破壞」了。

這樣的憂心不是沒有道理，畢竟過去，每當中央政府投注大量經費在河川整治時，往往是生態破壞遠遠大於環境改善。目前，中央政府正在執行「前瞻基礎

建設計畫」，其中水環境建設中的「全國水環境改善計畫」，期程從民國 106 年到 113 年之間共八年，總計將挹注兩百八十億的特別預算來補助地方政府改造全國各地的河川溪流；而各地方政府都已經陸續提出許多計畫，許多工程也早已開始。

台中市以外的地方首長相繼來考察綠川與柳川，正印證了環境與生態界對綠川與柳川被大量複製的擔憂。例如，新竹縣已爭取到前瞻計畫的經費，將進行「竹北六張犁東興圳整體景觀再造計畫」、「竹東之心中興河道水岸生活空間再造工程計畫」；新竹縣長邱鏡淳表示「要借重（柳川與綠川）許多經驗的傳承，將以最新的工法與觀點，落實完成」。此外，基隆市也爭取到經費，將要改善南榮河、旭川河、田寮河、西定河等四條河川，明年就要動工；基隆市長林右昌表示「將汲取台中市經驗，讓基隆市的河川變得和台中市一樣美麗」。

柳川與綠川當然有值得汲取與傳承的經驗（後文將會討論），但其他地方的水環境改善計畫絕不該直接複製柳川與綠川表面的親水形式，而應深入了解該兩案在基地條件的各種複雜性與限制下，設計方案背後的考量、掙扎、與取捨，這是柳川與綠川可以提供的寶貴經驗。然而，讓人擔心的是，有選票考量的地方首長，想要複製的很有可能只是柳川與綠川的表象。畢竟，在「全國水環境改善計畫」

中的「績效指標」，竟然只有「亮點數」以及「親水空間面積」兩項！而且，所謂「亮點」到底是什麼，並未有任何定義，卻在計畫書中明顯與「吸引觀光人潮」有關；而所謂「親水空間」又如何定義，計畫書中也沒有說清楚。

都市河川應當做「河川生態系統」來經營

政府投注經費來改善全國各地的水環境，是好事一件，但是，向後代子孫借貸的錢，應該要能夠真正達到「改善」、讓環境更永續，才對得起後代子孫。如果我們真正以比較前瞻的思維來改善都市河川（這篇文章所指的都市河川，不論是否自然或人工，也包括那些名為「大排」的水路），其改造就不應該只強化親水的功能，不能只求打造「水景」，而應該視其為生命系統，將其當成「河川生態系統」來經營，讓其恢復「河川生命力」，才是真正的水環境改善。

許多人可能覺得，都市那些人為開鑿的水路，本來就不是自然的，將其視為生態系統來經營，陳義過高。但是，我們如何看待都市水路，反映著社會的價值觀。將人工水路當成生態系統來對待，是尊重生命的態度。日本三島市對待源兵衛川的態度，提供了一個很好的示範：源兵衛川當初是為了灌溉而人工開鑿出來的，但是

在地公民並未因為它是人為的，而僅將其當作排水溝看待，不但認真清理維護，排除水污染源，更營造適合魚蝦螺貝及螢火蟲的棲息環境，甚至在源兵衛川內復育需要非常乾淨水質的梅花藻。種種努力讓三島市民得到了超高品质的親水環境，提高都市生活品質，且讓源兵衛川這個案例揚名世界，成為三島人的驕傲。將人工水路視為「生態系統」，其實就是都市生活品質加分，也是有利於社會的。

生態並非唱高調，但什麼是生態？

其實，主張都市河川應恢復「生命力」、強化其「生態」，絕非唱高調。在「全國水環境改善計畫」的計畫書中（106年七月核定本），可以看到不少相關文字。例如，計畫書第壹章第一頁就提到「本計畫……積極推動結合生態保育、水質改善及周邊地景之水環境改善……期能恢復河川生命力」；又例如，在計畫緣起的章節中，提到「河川生物多樣性日趨受到重視……治水工作應結合水質改善、河川棲地維護、環境保育、人文風貌及自然地景整體營造規劃，提升水域自然生命力，營造生態永續環境」；又例如在第貳章所提及的三個計畫目標的其中之一，是「改善水質污染、營造生物多樣性棲地，發展永續生態環境」；再例如，地方政府提案的評核重點，包括「具生態復育及生

態棲息地營造功能者」。

這表示，理論上在「全國水環境改善計畫」中「生態」是不能缺席的。然而，就都市河川的改造而言，「生態」作為一個形容詞，到底是什麼意思？是比三面光好就算生態？是有做綠化、保留老樹就算？是有做生態工法？有淨化水質？還是更嚴格一點，應該要重建生物棲息地、達到生物多樣性，才能算生態？

柳川及綠川的改造之所以在工程界/政界以及環境生態界有截然不同的評價，很大的程度是因為對「生態」的詮釋非常不同：前者定義太過寬鬆，而後者嚴格。舉例來說，水利署長認為是「生態保育的模範」的柳川，雖然是不錯的都市開放空間，但以嚴格的生態定義而言，絕不能算是模範，離健康河川的樣貌還有很大的距離。改造後的柳川絕對比原來的三面光河道好，護岸也從不透水的水泥牆變成有植栽可透水的綠色緩坡，因而台中市政府稱其為「會呼吸的河川」。但比起能夠「自在呼吸」的自然河川，柳川的河床本身仍不透水、沒有水路交接的濕潤濱水帶、也沒有能夠週期性氾濫補注地下水的洪泛平原，因此改造後的柳川比起三面光雖然終於有了呼吸，但仍算是「呼吸困難」。對生態的不同詮釋，除了柳川的案例，近來許多以所謂「生態工法」的野溪整治中都有類似問題，往往造成工程界與環境生態界的衝突。

台灣需要進行都市河川生態復育

我認為，台灣若要進行真正前瞻的都市河川水環境改善，就不應持續採取生態的低標準，而應盡量往高標準努力。那麼，所謂高標準的生態是什麼？我個人認為，要能夠恢復河川生命力，才算是生態。採取高標準的都市河川水環境改善，不能只重視水質淨化、以及親水空間和水景的塑造，在台灣都市河川的生態條件普遍惡劣的現況下，必須以「生態復育」的大原則來進行水環境改善。

我所謂「生態復育」，並非狹隘地指復育某種魚類或水生植物，也並非指恢復到過去某個人類干擾前的時點的河川狀態（那是在學界已經被揚棄的生態復育概念），而是指提升河川的生態功能與生態多樣性，使河川能夠提供多樣的「生態系統服務」(ecosystem services)。所謂生態系統服務，是指自然生態系統所能提供給人類，支持其存活、發展的各種服務。當然，自然並非為人而存在，因此生態系統服務可說是一個非常人類自我中心的概念；但是，這個概念背後傳遞的訊息是：如果沒有自然，人類就無法存活；人類需要存活發展，就得好好照顧自然，維護生態系統的健康。

河川提供的生態系統服務

那麼，河川可以提供給人類什麼樣的服務呢？只要想想，若把一條河川填掉會

喪失什麼，就可以理解了。河川的生態系統服務可以從四個不同的服務類型來談。首先，在「供給服務」(provisioning services)上，河川除了提供重要的淡水資源（地表水與伏流水），還提供魚蝦貝類等水產、以及其他水生或濱水的食物來源。此外，有些河川還有航運之利。

在「調節服務」(regulating services)上，河川幫我們涵養水資源；再者，其透過洪泛平原進行洪水自我調節，可以減少下游水患；河川也會透過侵蝕堆積，調控土砂的機制；此外，河岸上的濕地、濱水帶、水生動植物所進行的物理與化學作用，有淨化水質的作用，也就是人們熟知的「河川自淨功能」；再來，河川廊道是城市中重要風廊，幫城市調節氣溫，河邊也感覺比較涼快。

在社會文化服務 (socio-cultural services) 上，河川可以是休閒娛樂與環境教育的場域，是讓人心曠神怡、解憂舒壓的水景，同時也可能會刺激個人創作靈感；此外，社區中若有一條河流（例如之前所提到的源兵衛川），也能夠強化地方感、促進社會交流。

然而，以上這些服務若沒有第四種服務類型，也就是「支持服務」(supporting services)，就無法存在。這些基礎的支持服務包括提供多樣的生物棲息地，以養育能夠進行各種生態功能、提供上述三類服務的生物；此外，河川的水循環 (water

cycling) 以及營養循環 (nutrient cycling) 都是支持調節服務的重要機制。

生態系統服務這個概念讓我們發現，原來自然河川為人類提供了如此多的免費午餐！但可惜的是，都市僅僅為了「防洪」這個單一目的，就把河川生態給毀了；再加上各種污水的排入，於是，河川幾乎喪失了所有的生態系統服務。但生態系統服務是有可能救回來的！只要我們願意以「生態復育」的方式來進行全國水環境改善計畫，那麼不管是自然或是人工的都市河川，都有恢復成健康的可能性，為都市人提供除了親水與水景之外更多樣的服務。我們越是友善對待河川，我們從河川那裡得到的好處也越多！

台灣都市河川治理的目標，早期強調「排洪」，當所有河川都成為水泥化的排水溝後，於是開始著重水質改善。在前瞻基礎建設計畫水環境建設中的「全國水環境改善計畫」，除了強調水質改善，也進一步要求親水以及環境美化（一般將後者以「景觀」稱之，但「景觀」(landscape) 作為一門專業，其內涵遠遠大於環境美化，因此本文選擇不以「景觀」一詞來表達環境美化之意）。

許多人往往以為防災、親水、環境美化的功能都是與生態相斥的，因此，常常可以聽到「都市河川本來就無法兼顧生態」這樣的說法。但其實，只要認識了生態系統服務的概念，就可以理解：防災、

親水、環境美化、與生態是可以共存的目標。換句話說，一條很生態的健康河川也可以有親水功能，同時也可以是賞心悅目的美麗河川，也仍然可以滯納洪水來防災。但是，絕對不能因為要親水或是打造某種樣貌的水景，就破壞原有的生態，或是忽略河川應有的生態功能。如何多種功能兼具，端看設計者的功力了。

都市河川不見得要硬邦邦

許多人不但對都市河川可以具備的功能有誤解，也對都市河川有型式上的刻板印象，認為都市河川就應該是硬化的，比較符合「都市」的意象。韓國首爾清溪川上游的設計，就是這樣概念下的典型產品。清溪川全長約 13.7 公里，越上游越是繁忙的市區，其上游河段的設計因為要回應都市的脈絡與意象，因此設計成現在大家常常在照片上看到的「硬河道」樣貌，也是被稱為「台版清溪川」的柳川所打造出的類似樣貌。但其實，清溪川越往下游就越綠、越「軟」，硬鋪面越少，可惜的是，自然的清溪川河段卻被不在台灣政客的關愛眼神中。

位於都市內部的河川，不見得非得硬化不可，也不見得要有硬鋪面才能夠親水。位於新加坡碧山 — 宏茂橋公園 (Bishan-Ang Mo Kio Park) 內的加冷河 (Kallang River) 的復育，就是一個極好

的例子。公園內的這段加冷河本來是一條不折不扣的都市河川，但其復育工程將其「自然化」，把本來的三面光水泥全部打掉，整條河道不留一點水泥護岸，綠意盎然；且還地於河，不但美化了環境，防災功能也提升，成為極受市民歡迎的親水空間。

河川生命力的要件

那麼，生態被嚴重破壞的都市河川該如何進行生態復育、使其提供多樣的生態系統服務呢？這就要先了解河川生命力所需的要件。首先當然是要有良好的水質。再者，要有多樣的生物棲息地，才能夠孕育多樣的物種。台灣的自然河川有深潭、淺瀨等不同河道形態，有溶氧量高的礫石層讓魚類可以覓食、躲藏、甚至孵育下一代，其水路交接的河岸有濱水帶，可以為水中生物遮蔭，且從植物上落下的昆蟲和有機質，是許多水中生物仰賴的食物來源。反觀，被水泥化整治後的河川，失去濱水帶且河道平整，棲地相當單一，食物來源不足，難以孕育多樣物種。

但乾淨的水和棲息地的本身還不足以維持河川生命力，河川還需要維持一定程度的「自然流態」(natural flow regime)。所謂自然流態，就是河川在沒有人為干擾下的自然水文動態，包括河川流量與流速、何時豐水枯水、何時會

發生大型氾濫、何時極度乾旱、氾濫與乾旱規模又多大等等水文動態。此外，除了水的動態本身，水對砂石的搬運、侵蝕、堆積等動態，對河川的物理環境以及生物群貌也有決定性的影響。水與砂的自然作用力，或者日文所總稱的「營力」，是維持棲地多樣性、維持河川生命力的重要機制，一旦營力改變了，適應力較差的物種就難以存活。

但營力對河川生態的重要性，相對晚近才被了解。早期西方國家進行河川生態復育時，僅重視水質和棲地重建，忽略營力的恢復；當維持棲地多樣性的機制不在，就必須借重人為管理；欠缺營力的河川生態復育，若沒有長期的人為介入，難以永續。

都市河川面臨的多重限制

總而言之，河川要有生命力，乾淨水質、棲地多樣性、營力三樣缺一不可。但不可否認的，不只是在台灣，任何地方的都市河川都面臨重重限制，以至於往往無法進行理想的河川生態復育。

台灣的都市河川面臨多重限制，第一重限制就是水質不佳：除了污水下水道接管普及率比較高的台北市（77.47%）河川污染情況相對較輕，其他縣市的都市河川都面臨嚴重水污染，除了有家庭、工業等污水排放，還要加上雨水逕流的非點源污

染。

第二重是空間上的限制：所謂河川生態系統，並非僅指河道本身，還包括河岸的濱水帶與洪泛平原。河道、濱水帶、與洪泛平原三個空間之間有密切的生物、水文、土砂的交互作用，在生態的重要性上不可分割，統稱為「河川廊道」。河川生命力的維護需要完整的空間，但是，在都市河道兩岸都早已填滿建築物或闢為道路的情況下，要還地於河有相當的困難性。

第三重則是民眾觀念上的限制：今天，即便許多人已經無法接受三面光的河道，仍有人會認為整理得「整整齊齊、乾乾淨淨」的河道，才是河川該有的樣子，才是政府有做事的表現。就算是不認同河川全面水泥化的民眾，也不見得能夠接受自然演替後較「野性」的河川樣貌，會認為濱水帶那樣的植物群落是「雜草叢生」，有礙觀瞻且藏污納垢，因此往往會要求政府進行「維護」，也就是剷除。此外，許多民眾也無法接受「河川本來就是會/該變動」的事實，因此無法接受河濱公園會淹水，殊不知河濱公園位於堤外行水區，本來就是行水的地方。總而言之，民眾對都市河川的認知與要求，往往會限制了河川生態復育的可能性。

最後一重限制，則是對於快速排洪的要求：河川氾濫是自然現象，只要都市內有河川就不可能免除淹水的可能。但即便

如此，民眾仍然要求政府應保證不淹水，且完全無法接受都市中有任何淹水情事（請注意，「淹水」不代表「水災」）。因為本來是洪泛平原的都市土地現在完成不承納洪水，河道就得承擔所有排洪的責任，不但得快速排洪且得確保河道穩定。河川不能氾濫且河道不能侵蝕堆積，等於是完全排除了生態系統所需的自然營力，排除了維持河川生命力的重要機制。

設法突破限制，才是前瞻！

即便都市河川在生態復育上面臨重重限制，「全國水環境改善計畫」必須要試圖挑戰並突破這些限制，才是前瞻。但是，不可否認，對於河道快速排洪的要求，在台灣根深蒂固，甚至寫在法裡面，因此暫時很難突破。只能期許未來的台灣能夠真正擁抱「韌性城市」的概念，將都市建成環境改造成可以承納洪水的環境，從「不讓水淹」走向「不怕水淹」。此外，也唯有承認河川本身就是變動的系統，水位與河相都會不斷改變，我們才能允許氾濫、侵蝕、堆積等營力的恢復。在自然營力短期內無法恢復之前，我們就先針對前三項限制來突破。

在水質限制的突破上，柳川和綠川的改造，都在暫時無法提高污水接管率的狀況下針對水質下功夫，設法截流污水，再將處理過後的水放流回河道。綠川 8.5 億

總經費的七成（5.9 億）都是用在污水處理上。柳川則還運用了 LID (Low-Impact Development 低衝擊開發，也就是海綿城市的概念) 設施，包括植生溝與雨水花園，來就地淨化雨水逕流。除了以污水截流的方式來解決水質問題，我認為，未來應進行跨部門整合，將海綿城市的各項設施大量施作到整個流域，以更進一步控制雨水逕流的非點源污染。此外，都市河川若在重重限制下無法朝向更嚴格的生態標準來改造時，相關單位應避免以「生態」來宣傳改造成果，除了避免因為認知不同而造成不必要的衝突，也避免誤導民眾。要強化宣傳的，應該是在突破水質限制上的努力。

在空間限制的突破上，如果河岸緊鄰的是車道而非建築物，就盡可能還地於河。這一點，柳川做了很棒的示範。該案將車道縮減，讓兩岸護岸各外移八公尺，等於是還給河川十六公尺的空間；在仍然以車為主的城市中縮減車道，可說不容易，因此這是相當值得其它水環境改善計畫學習的面相。雖然現在柳川的河道太過水泥化，但把空間先爭回來了，未來若朝向生態復育的方向再改造時，就有很大的可能性。因此，柳川的改造，與其強調其成果多「生態」，應該強化其在「還地於河」的成就。

至於民眾觀念，當然也有改變的可能。例如，前文所提到的新加坡加冷河的

復育，將原本筆直的三面光河道重新蜿蜒並自然化，一開始民眾聽到這樣的設計構想有非常多的疑慮：怕淹水更嚴重，還怕會帶來更多蚊子；然而，加冷河改造後居民所擔憂的事情並沒有發生，反而還真心愛上了這樣的河川，慶幸「新加坡終於有一條自然的河川了！」而其他地方的民眾看到這麼棒的自然親水空間，就不斷要求政府也改造他們鄰里的河道。新加坡的案例，顯示民眾對於河川自然樣貌的排斥多是因為欠缺對河川的其他可能性的想像；在這樣的情況下，溝通與進行河川生態教育，就是非常重要的工作。

水環境改善所需要的「基礎建設」： 河川生態教育與研究、公民參與、 資訊公開

以上的討論顯示，要突破都市河川所面臨的種種限制，其實需要的不是硬體，更重要的要有軟體為基礎。也就是說，國家在基礎建設的投資上，絕對不能只將資源都挹注在硬體建設上，真正「基礎」的「建設」是非硬體的。全國水環境改善要成功，要能夠真正恢復河川生命力，台灣還需要三樣「基礎建設」：河川生態教育與研究、公民參與、與資訊公開。

台灣水環境要朝向更生態的方向改善，就不能沒有河川生態教育與相關研究。我所謂的河川生態教育，不只學習河

川中有那些動植物以及名稱，而是著重了解人與河川的關係，例如，理解河川的生態系統服務、理解維持河川生命力的要件、理解生態復育的意涵等等，以更廣泛、宏觀的生態角度來學習河川生態。這樣的河川生態教育不只是針對民眾，所有參與水環境改善計畫的相關人員，更是需要，才能夠確保河川改造的方向符合生態原則。然而，要能夠進行這樣的河川生態教育，背後不能沒有相關研究的支持。

另外一個必須的「基礎建設」是公民參與。各地正如火如荼進行的水環境改善計畫必須積極納入公民參與，而公民參與絕對不等同於開說明會，因為「說明」只是單向的告知，並不是雙向的溝通、理解、尋求共識。計畫必須納入「參與式設計規劃」的機制，讓有利害相關的民眾、在地草根組織、以及相關專業的公民團體在水環境改善計畫的規劃設計階段就參與其中，與公部門和設計單位協力一起做規劃設計。對於習慣關起門來作業、要求效率的公部門以及專業者，公民參與是平添麻煩；的確，進行公民參與的確需要花更長的時間，但是，充分討論溝通是民主國家的精神，未經充分討論溝通就推動的案子，往往遭遇反彈，即便強力執行後也會引起極大爭議，後患無窮，只是把麻煩往後延。唯有進行真正的公民參與，各方相互學習、相互理解，充分溝通，計畫才能夠獲得充分支持。

第三個必須的「基礎建設」是資訊公開，作為公民參與的基礎。目前，全國各地的地方政府已經陸續提出、並向中央爭取到「全國水環境改善計畫」的經費，許多計畫甚至已經開工或即將要開工。然而，各項計畫內容連環境相關的公民團體都無法一窺全貌，何況是一般民眾？到底自家附近的河川是否有相關計畫進行？何時進行？計畫內容為何？幾乎無從得知。若民眾與公民團體無法輕易得知水環境改善計畫的相關資訊，就無從了解、無從參與。因此，執「全國行水環境改善計畫」的水利署、以及爭取到計畫的地方政府，應該要主動公開相關資訊，並且確保資訊顯示在容易找到的地方。

台灣不需要「台版清溪川」！

台灣人與惡臭、骯髒、醜陋的都市河川共處太久，渴望改變。柳川與綠川的改造，讓台灣民眾耳目一新，看到了都市河川的不同可能性。然而，台灣都市河川的水環境改善，不該只停留在親水，我們可以更有野心、更前瞻！

要前瞻，我們就必須要拋棄所謂「台版清溪川」的刻板想像。韓國首爾的清溪川是 2005 年就完成的河川工程，若今天我們一味複製十多年前別的國家在不同的社會與環境脈絡下的河川樣貌，何前瞻之有？台灣真的不需要、也不該有「台版

清溪川」！

這篇文章以柳川與綠川起頭，並對其設計多有討論，目的絕不在於批判，而希望藉由兩川改造的案例的討論，讓台灣的都市河川更好。衷心希望柳川與綠川帶來的是更多的可能性，讓接下來其它的水環境改善計畫，站在柳川與綠川的寶貴經驗上，朝向更生態的方向邁進，真正恢復河川生命力。恢復河川生命力這件事絕對不簡單，困難重重，但只要政府不心急，給每一個水環境改造案多一點時間，並耐心進行河川生態教育與研究、公民參與、資訊公開，我相信，我們可以創造出真正生態永續的全國水環境。

備註：本文原分上下兩篇刊登於鳴人堂

台灣海綿城市的推動與展望

陳伸賢

財團法人中興工程顧問社 執行長

摘要

受氣候變遷之影響，近年來全球各地之旱澇現象日漸加劇，特別是極端降雨事件已從十幾年一遇逐漸轉為常態，復因高度都市化產生之熱島效應引起降雨型態改變，造成都會區之降雨量迥異於以往；另方面，伴隨都市開發而來之高度水泥化改變了地表逕流型態，破壞了原來的天然水文循環，導致既有排水設施無法負荷。上述現象俱都造成都會區內水量大增，原來不會淹水的地方開始淹水，而會淹水的地方更加嚴重，淹水問題已成為都市發展的夢魘。

近年來台灣方面編列龐大的治水預算，透過流域綜合治水方式，從上游的治山防洪、中下游河道疏濬、興建滯洪設施、加高堤防及興建抽水站等，有效改善了河川等外水所帶來的威脅，但對於已建成的都市及既有設施，由於人口稠密以及土地取得不易，改善工作之推動實屬困難。如何透過兼顧基地雨水貯留、滲透雨水、涵養地下水之海綿城市概念，從源頭降低逕流量，提升防洪效能，降低排水系

統負擔，恢復都市水文循環，提升城市的韌性，已成為近年來民眾及政府最關切的問題。

鑑於淹水已成為快速發展都市的共同問題，而都市淹水與土地使用又有絕對的關係，如能透過土地使用的管制、建築執照的審批、基地所有人對於透水保水相關設施應具之維護管理責任及罰則之訂定等方式，由上而下有系統地實施，應可有效推動海綿城市的建設。本文即以台灣最大直轄市新北市為例，說明如何透過立法且並推動有效之工法，多管齊下展現成功的例子，並提出對未來發展之願景。

一、前言

城市發展與國家經濟成長有著相當密切的連動性，隨著城市人口結構、經濟發展、產業型態的調整及生活水平的提高，城市的規劃建設也隨之產生變化。對於世界上許多開發中國家而言，城市發展的推動往往被視為提升國家競爭力最重要的手段，也影響執政者對於國家資源分配的決策，以及人民居住遷徙的意向。根

據聯合國 2014 年的統計，目前全世界約有 35 億人居住在都會區，其中 5%居住在人口數超過 1,000 萬的「巨型城市」（Megacities）中；預測到了 2030 年，全球將有六成的人口居住在城市地區，巨型城市所吸納的人口數量比例也將提升到 8%。聯合國永續發展指標（United Nations Sustainable Development Goals, SDGs）指出，未來城市的發展應兼顧包容性、安全性、可調適性及永續性，顯示在土地使用密集化的過程中，我們必須思考如何在建設及生態環境的永續間取得平衡。當然城市發展過程難免帶來許多不可預測的挑戰，例如交通的問題、人口遷移、二氧化碳排放、能源損耗的增加、生物多樣性的

減少、可用水資源的競爭，以及都市洪澇的發生，而這些問題都與氣候變遷有密切關係。

氣候變遷是 21 世紀最具挑戰性的全球性問題，受氣候變遷之影響，近年來全球各地之旱澇現象日漸加劇，特別是極端降雨事件已從十幾年一遇逐漸轉為常態，高度都市化產生之熱島效應也引起區域降雨型態的改變，導致都會區之降雨量迥異於以往，以台灣地區為例，根據台北雨量站的觀測紀錄（如圖 1），現今年降雨總量與 60 年前相較增加約 360 毫米，然而每年降雨日數卻減少了 30 天左右，說明更多的降雨量將在更短的時間內發生，且淹水、缺水發生機率也大幅提升。

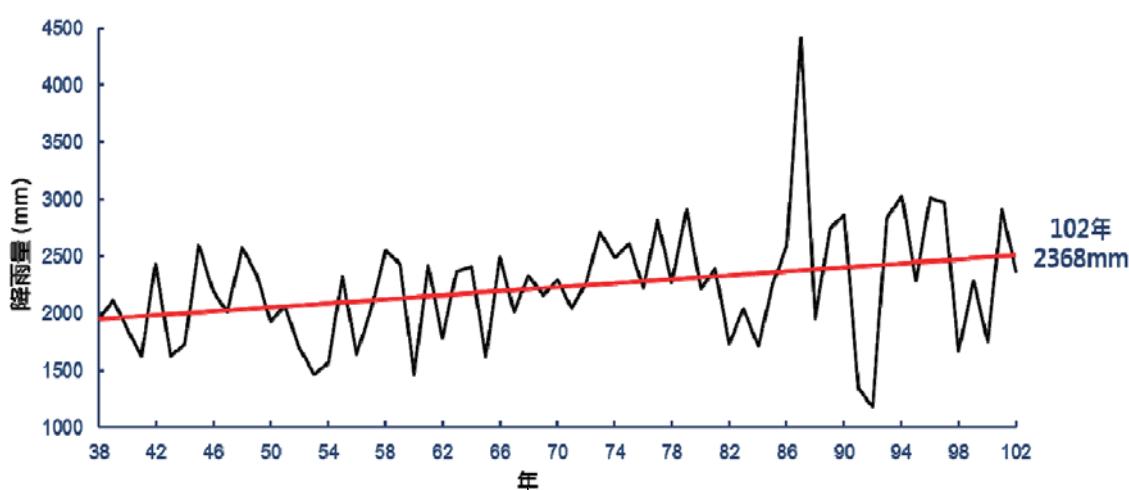


圖 1 台北雨量站年降雨觀測紀錄

另一方面，伴隨都市開發而來之高度水泥化導致綠地的縮小和不透水覆蓋面積的擴張，阻止了雨水滲入土壤和含水層，破壞了原來的天然水文循環（如圖2），同時也改變了都會區之地表逕流型態，使得峰值流量迅速增加，在既有排水設施無法負荷下，造成城市洪水發生率顯著增加，原來不會淹水的地方開始淹水，而會淹水的地方更加嚴重。淹水問題已成為都市發展的夢魘，因此若沒有相應的水環境與都市發展政策因應，洪災所帶來的影響將更加嚴重。

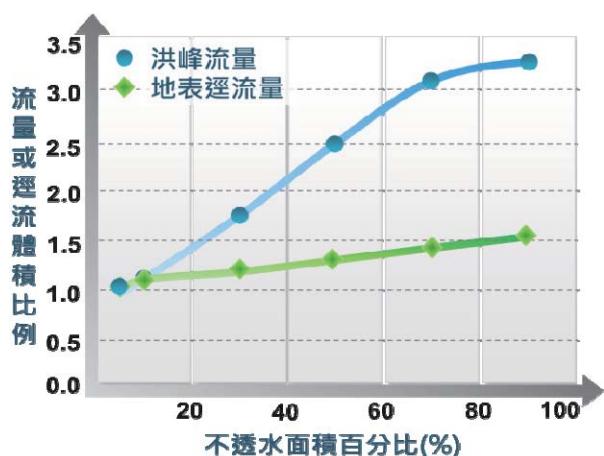


圖 2 不透水覆蓋面積變化對於洪峰流量和地表徑流的影響

緩解 (Mitigation) 和調適 (Adaptation) 是全球因應氣候變遷所採取之兩個關鍵策略，前者以減緩溫室氣體淨排放量或增加其儲存量為目標，而調適則是尋求降低氣候變遷的衝擊為目標，研擬出能夠有效

減少受到氣候變遷危害影響的策略。為了將減緩和調適的概念納入氣候變化風險管理，台灣在 2012 年通過了氣候變遷調適政策綱領 (Adaptation Strategy to Climate Change in Taiwan)，為因應氣候變遷奠定了行動的法源基礎，並制定了逕流分擔出流管制行動計畫，除了傳統的防洪工程手段之外，突破性策略是將城市的滲透狀態恢復到原始狀態，使多餘的水更容易滲透到地下，並可加以收集應用，此即推動海綿城市的基本理念。

二、海綿城市概念

在人口統計研究中，所謂的「海綿城市效應」係代表一種遷移模式的過程，來自偏鄉地區的人口常因都市發展而被鄰近城市吸納，正如 Stimson (2011) 所定義的海綿城市效應代表勞動人口快速移居大都會區，造成小城鎮發展遭受人口停滯或衰退。再者，城市的發展會導致建築密集、道路疊架、車輛集中、污染累積，以及電力、油料、食物、水、廢棄物、廢水等各類物質匯集消耗或被創造。因此，海綿城市一詞也有學者意指「城市問題的惡化趨勢」。然而，其與本文所探討的海綿城市概念並不相同。

本文所談論的海綿城市意指著一個都市發展的嶄新契機，期望城市能展現一如海綿般的結構韌性，除可吸收多餘且可能造成災害之降雨地表逕流，並將之儲存

於地表下，不至造成淹水災害外，所吸收之雨水亦可提供作為水資源使用。故海綿城市也可視為一種城市雨水與洪水智慧型管理的概念，如圖 3 所示，海綿城市的規劃除著眼於如何增加區域性保水能力外，也思考如何將分散的集水單元有效串連，這包括擴大城市綠園道做為開放式雨水收集系統，安裝可吸納雨水的綠色屋頂，保持道路系統之間的橫向水力連通性，確保每一滴雨水都可被充分利用。更進一步來看，透過適當施工技術的引進，海綿狀的城市應該是可透氣的狀態，以允許水分和空氣循環，進而改善空氣質量，減少碳排放（甚至可吸收二氧化碳及其他廢氣），節省更多能源和減輕城市熱島效應。

在減緩與調適氣候變遷的思維模式下，海綿城市概念的提出其實並不是一項創新發明，長期以來在許多文獻記錄中也都有雨水貯留與再利用的概念，且在許多

不同的國家進行推廣，包括美國、英國、加拿大、澳大利亞和中國，然而將海綿城市理念內化到都市發展中仍然是一個充滿挑戰性的任務，也是城市轉型相當關鍵的歷程，必須兼顧包括技術、法律、財務、制度、社會和經濟方面的限制與挑戰，透過系統性思考與整合，進而權衡衝突獲得最佳妥協方案，相關問題包括：

1. 如何在城市化進程中適當規範與土地利用控制相關的建築綠化覆蓋率？
2. 直接入滲的機制為何？如何將入滲的元素融入都市更新？
3. 如何透過設計解決方案來提高地表入滲率？
4. 如何設計海綿城市的防洪標準？
5. 如何增加居民參與建設海綿城市建設的意願？
6. 如何評估建設海綿城市的長遠效益與提升公眾意識覺醒？

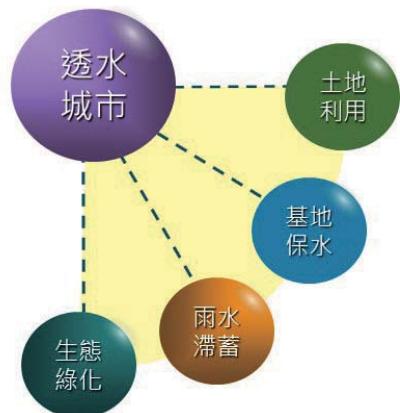
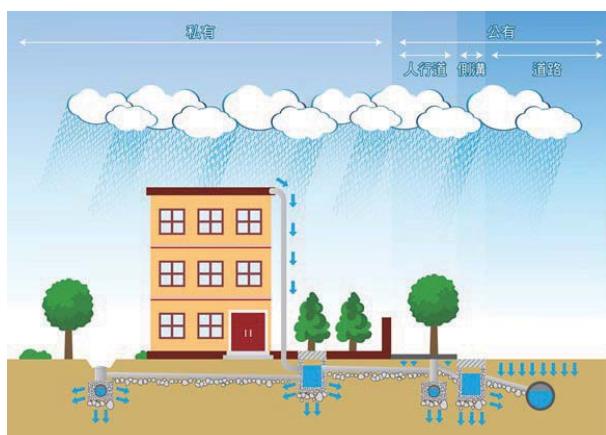


圖 3 海綿城市相關策略性設計範例

三、台灣海綿城市的推動歷程

誠如前述，台灣正處於受極端氣候事件日益頻繁的影響，研究統計指出超過 95% 的人口面臨與極端天氣事件相關的危險，包括地震、山崩、土石流、洪水、海嘯、地層下陷等，在 2012 年通過的氣候變遷調適政策綱領中，針對都市防洪管理效率的能力建置提出了若干規劃，所需的做法包括：

1. 結合環境容受力，調整都市發展型態，各項開發行為宜充分評估與降低其環境影響，包括減少逕流量、增加透水率、建構都市藍綠帶、滯洪與提高透水面積等功能。
2. 逕流總量管理制度應納入都市及區域計畫審議，並於都市及區域計畫通盤檢討落實推動，由開發單位自行吸收因開發增加之逕流量。
3. 通盤檢討都市及區域計畫，積極落實利用公園、學校、復耕可能性低之農地、公有土地等，設置滯洪及設施與空間妥善利用之原則再利用設施，並納入基地開發時土地使用之規範。
4. 檢討公共設施相關法規，強化公共設施之基地截水、保水措施；修訂增加道路與建築及設施之雨水貯留、透水面積及使用透水材質之規範，強化區域保水。
5. 整合都市與周邊地區之防洪設計值，確保都市與其外圍交界處之保護量得以銜接。

台灣地區海綿城市概念的推廣行動幾乎在年度降雨量達到歷史最高水平的同一時刻開始，其中又以新北市是第一個開始實施海綿城市概念的都會區，且早在十多年前已展開氣候變遷的調適準備工作。新北市位於台灣北部，面積幅員相當廣闊，境內包括山脈、丘陵、台地，海岸線長達 120 公里。在 80 年代，其人口增長超過廿萬，而在 20 年後人口增長翻倍。新北市於 2010 年升格直轄市後，已成為台灣人口最多的城市，人口總數達到約 396 萬人，面積超過 2,000 平方公里，而其中都會區土地面積約 1,160 平方公里，有超過九成的新北居民生活在都會區。由於偏鄉人口向城市的快速遷移，新北市顯然已面臨人口爆炸；從歷史的角度來看，新北市或許不是一個最年輕的城市，但絕對是台灣快速發展的經濟中心。

新北市年平均降雨量約 2,200 毫米，通常集中在每年 5 月至 10 月，約占年降雨量的 62%。根據中央氣象局的統計，月平均降雨量約為 180 毫米（淡水站），夏季約為 200 至 350 毫米，冬季則為 70 至 100 毫米，平均每月有 13 天的降雨日數。而與台灣地區其他城市類似，新北市在夏季颱風期暴雨後也極易受到洪水的影響，有許多高度開發地區都位於洪氾地區，包括板橋、中和、新莊、三重與新店等區，因此新北市顯然是台灣面臨氣候變

遷進行城市轉型的最佳範例。為了打造具有韌性的透水城市，新北市政府擬定了透過示範區的設置配合相關法令修訂的推行策略，依序由示範區的推動、公共設施用地開發、建築基地開發逐步推行，最終期望能推廣至全市之所有土地開發。

依據上述策略，新北市打造海綿城市之發展歷程如圖 4 所示，首先於 2005 年配合林口特定區計畫之開發，修訂「變更林口特定區計畫」土地使用管制要點，增訂雨水貯留、滯洪及涵養水分相關設施條文，於林口區試辦設置滯洪貯留設施，並於 2009 年擴展至 20 個都市計畫區；緊接著於 2011 年發布「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」，要求轄內開發案應依基地內之特性設置雨水貯留設施。2013 年再

發布實施「新北市政府辦理公共設施用地開發透水保水實施要點」及「新北市政府辦理建築基地保水指標執行要點」，規範公共設施用地及建築基地開發時設置透水保水設施需符合之標準，全面推廣建築基地保水任務。2014 年 5 月發布實施「都市計畫法新北市施行細則」，建蔽率全面降低 10%，要讓空地透水率達 80% 以上。2016 年 12 月 28 日，則發佈「新北市透水保水自治條例」，規定新北市轄內所有開發基地皆應設置透水保水相關設施，並將基地之最小透水保水量提升至申請基地面積乘以 0.08（立方公尺/平方公尺）計算，同時規範基地之經營人、使用人、依法成立之公寓大廈管理委員會或所有人對於透水保水相關設施應具之維護管理責任，並明訂違反者之罰則。

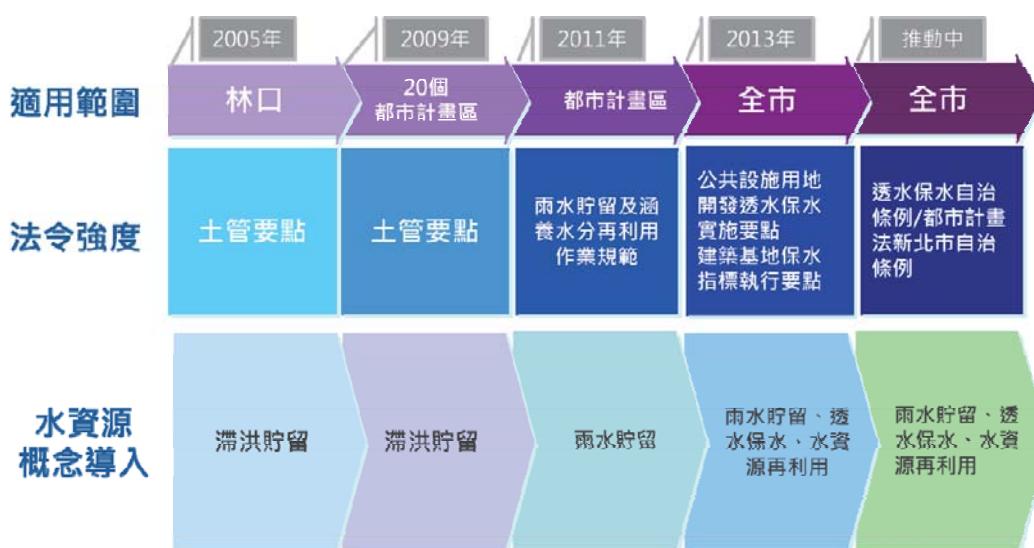


圖 4 新北市推動海綿城市的歷程

事實上，內政部營建署制定之「建築技術規則」中，對於海綿城市或透水保水設計已有基本規定，要求所有建築基地應吸收 45 mm/hr 的水量，但新北市「建築基地保水指標執行要點」將要求提升至 80 mm/hr，如圖 5 所示。現今六都對於建築開發的雨水貯留量標準，除了新北市已訂定 80 mm/hr，台北市為 78 mm/hr 外，其他 5 都尚在推動研議中，如圖 6。對於都市內新的建築開發案，新北市政府透過各種海綿城市透水規範及自治條例，要求開發者從建照申請、設計施工到完工請領使

用執照，都必須符合透水海綿規定，透過這樣的規定，希望都市基地在開發時，即採取各種技術，達到海綿/透水的效果，降低洪水的發生。尤其新北市政府訂定自治條例，此為全國第一次由地方政府制定相關自治條例，更進一步規範管理者（使用者）必須善盡維護責任，亦即開發者依透水/保水規定，請領建造及使用執照之後，完工後能善盡管理者（使用者）維護管理的責任，並規定政府可進行監督與相關檢查作業，針對違反者科以罰則，以落實當初設計理念，並確保執行效果。

■內政部規範之標準

- 「建築技術規則第4-3條」
雨水貯留量體 = 基地面積 × 0.045
- 「建築技術規則第305條」
基地保水指標基準值 λ_c = 開發後透水保水量 / 原用地透水保水量 = $0.5 \times (1 - \text{建蔽率}r)$

■新北市現行之標準

- 「建築基地雨水貯留作業規範」
雨水貯留量體 = 基地面積 × 0.05
- 「建築基地保水指標執行要點」
基地保水指標基準值 $\lambda_c = 0.8 \times (1 - r)$

➤ 「公共設施用地」開發透水保水實施要點」	
基地保水指標基準值 λ_c	
人行道、分隔島等	0.4
平面停車場	0.4
建築物	$0.8 \times (1 - r)$
公園、綠地	0.9
其他	$0.5 \times (1 - r)$

■新北市今年之標準

- 每宗開發基地滿足 **80mm/hr**，一小時零出流
雨水貯留及透水保水量體 = 基地面積 × 0.08

圖 5 建築基地透水保水設計評估基準

新北市 設施標準全國最高 (全面：含都市、非都)

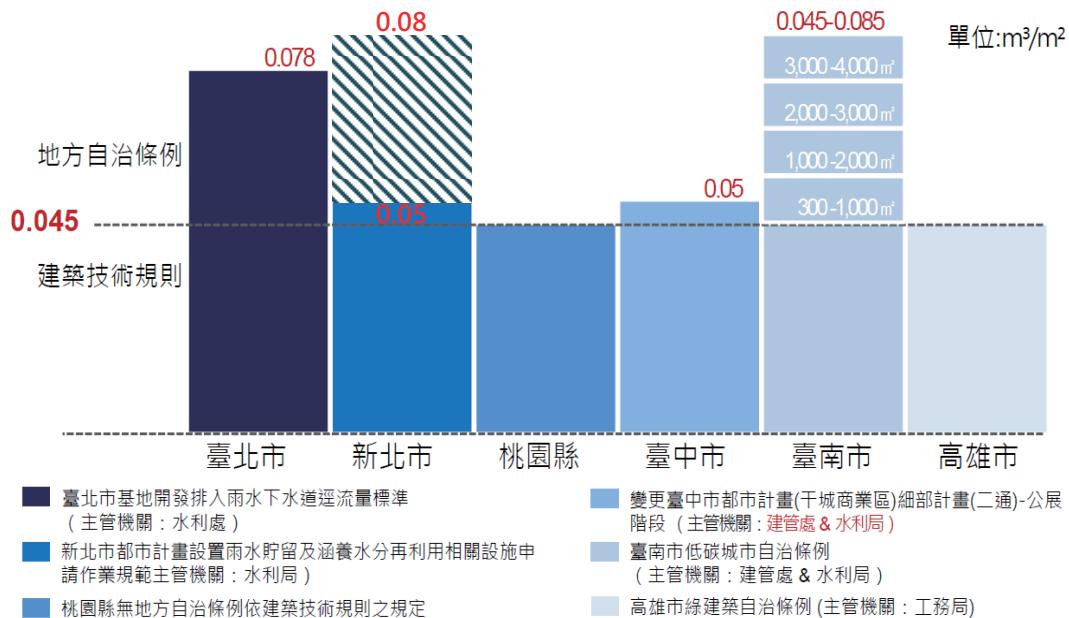


圖 6 六都現行建築開發雨水貯留量標準

對於既有的都市地區，由於發展迅速，人口建物密集，傳統防洪方法，如雨水下水道系統、抽水站已不敷滿足需求（兩側房屋林立，下水道不易擴大、擴深；且可配置抽水站地點亦已飽和，如新北市中和、永和地區，又一旦抽水站運轉失誤，則市區將成為大水盆），此類舊市區亦可用透水海綿工法，減輕淹水發生頻率與規模，搭配提高保護標準，此部分許多地方政府亦已擇優在適當地點（如學校、公園、市場等公共設施使用地）開始施做，其成效良好，且所蓄之水可當做水資源使用，亦可當做為環境教育之場所（如在學校施作海綿工法）。

四、海綿城市透水保水工法簡介

除了前述法源基礎的建立外，在執行面如何實現海綿城市的理念也相當重要，運用低衝擊開發（Low Impact Development, LID）的理念，經由各種土地之適當規劃，搭配設計過之措施與技術，使洪峰逕流在源頭即進行有效控制，並與公共排水系統連結，將城市地表逕流量減到最低，同時將雨水貯留和廢水再利用的概念根植於區域總體改造計畫，使城市更具韌性和包容性（如圖 7 所示）。



圖 7 透水保水設施示意圖

透水鋪面的技術突破也是海綿城市計畫成功的關鍵，其概念旨在讓雨水通過各種路面層迅速滲透到下面的土壤中，同時不會增加地表面積，因此可以減少地表逕流量。此系統通常由可滲透的表層為頂，並覆蓋一層聚合層，以促進雨水滲透，部分土壤水可藉由蒸發再回到大氣中。表面層的常用材料包括可滲透的連鎖磚、混凝土和塑料格柵、多孔瀝青、多孔混凝土、地工複合材料等（如圖 8），目前已廣泛使用於停車場、一般性道路、人行道等，其優點包括：減少雨水逕流從而減少洪水的風險、滲透的水可以保留供以後再利用、含水層補給、減少城市熱島效應以及減少土壤侵蝕等。

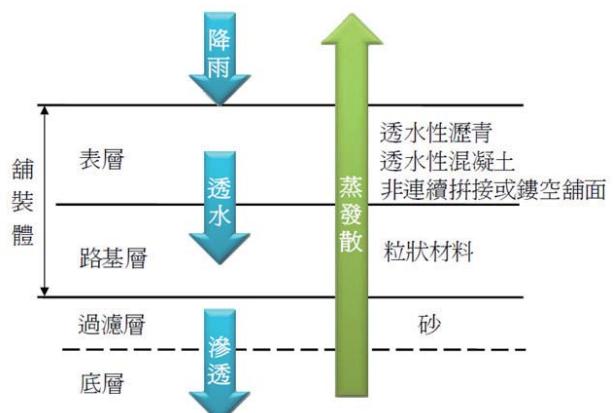


圖 8 透水鋪面示意圖

雖然目前全球已經有許多城市已將透水鋪面設計納入城市規劃中，惟合格的鋪面技術不僅應考慮承重能力、滲透能力、蓄水能力、通風能力，還應考慮地下生態系統健康，可承受性和可持續性。雖

國內外許多文獻已針對透水鋪面結構強度、抗壓強度、彎曲強度、滲透性、密度、孔隙率、抗凍性、抗酸性和耐磨性等進行比較，然而在使用上對於透水鋪面的抗剪切和變形能力以及耐久性仍然存有不少疑慮。

在新北市，一種獲得專利的 J.W.生態工法獲得廣泛的運用，其為陳瑞文先生 (Jui-Wen Chen) 自主開發的新技術，是一種現場整體澆置之剛性透水鋪面，藉由塑膠導管將地表雨水導入硬鋪面下的透水層並儲存其中，使水資源能夠完全的回收（如圖 9 所示）。另外，由於其具備滲水和蒸發功能，可散熱降低溫室效應，使人工鋪面增加了自然性能，也由於採用混凝土澆置，其耐久性佳，使用年限可達 30 年以上。另根據研究，使用 J.W. 生態工法可有效吸附常見的車輛排放氣體，包括一氧化碳 (CO)、二氧化碳 (CO₂)、二氧化硫 (SO₂)、一氧化氮 (NO)、二氧化氮 (NO₂) 和其他氮氧化物 (NO_x) 等。由於水和空氣能夠在整個土壤中移動，因此產生了有利的微生物棲息地。整體而言，其具備了安全、永續、生態、環保等功能。

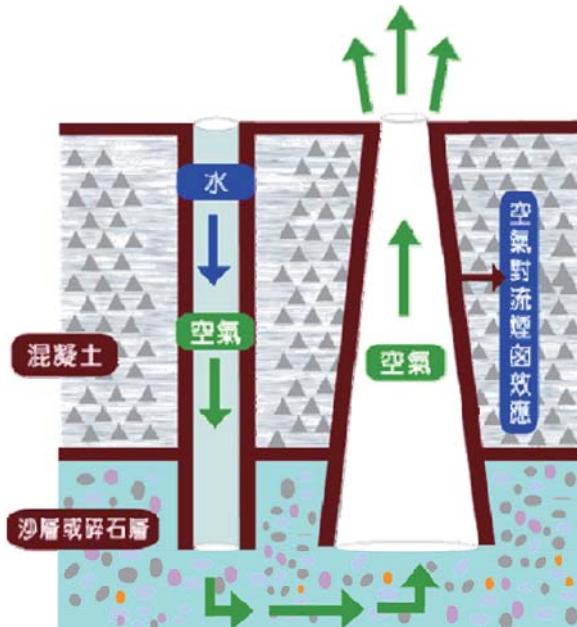


圖 9 J.W.生態工法概念圖

目前 J.W. 生態工法已應用於新北市許多地點，包括中和區自強國小、自強國中、福祥市場及永和區污水營運管理中心、塭仔圳市地重劃、海山高中、遠東電信園區、汐止區禮門透水鋪面示範區等。為解決中和環球百貨水患，以在中和區自強國小、國中所採用的海綿工法為例說明，自強國小校區內以每小時 80 mm 的降雨強度規劃設置透水保設施貯留量體（總貯留容量約 1,900 噸），在校區中庭設置有雨水花園、操場周圍地下則有雨水貯集池，以及在學生行走步道上採 J.W. 工法設置透水鋪面等透水保水設施，前兩項設施可收集屋頂及 1 樓周遭雨水排水系統的雨水，並利用中水回收系統取代自來水澆灌及沖廁的用途，中庭雨水花園及 J.W. 工法

係兼具貯留及生態環境的設施，具美觀及防洪的功能，校內設置的地下雨水貯集池量體達 720 公噸，以校內師生每人每日標準沖廁用水估算，約可提供 22 日的沖廁水量，減少自來水用量約 53%，滿足水資源再利用之目標，其工程設計概要及其成效如圖 10。搭配自強國中的海綿工法，如圖 11 所示，透過設置雨水花園、地下雨水貯留槽、透水鋪面、中水回收系統等，透水保設施貯留量體總設置容量約 2,300 噸，可取代約 53% 的學校日常用水。整體而言，自強國小與自強國中設置透水示範

區後，可觀察到鄰近地區的總逕流體積削減約 85%，洪峰流量可削減 75%，如圖 12。汐止區禮門里應用 J.W. 工法，所作之人行道路透水鋪面，更是海內外造訪之重點，除雨水可透過的表層入滲回收，提升土壤含水率降低表面溫度，地下箱涵可貯留近 60 噸的雨水，供水回收再利用。此外，對於正在施行市地重劃且經常淹水為患的塭仔圳重劃區（占地約 467.5 公頃），也將採用海綿透水規劃及工法，除了讓市區更新活化外，亦可有效解決淹水問題（圖 13）。

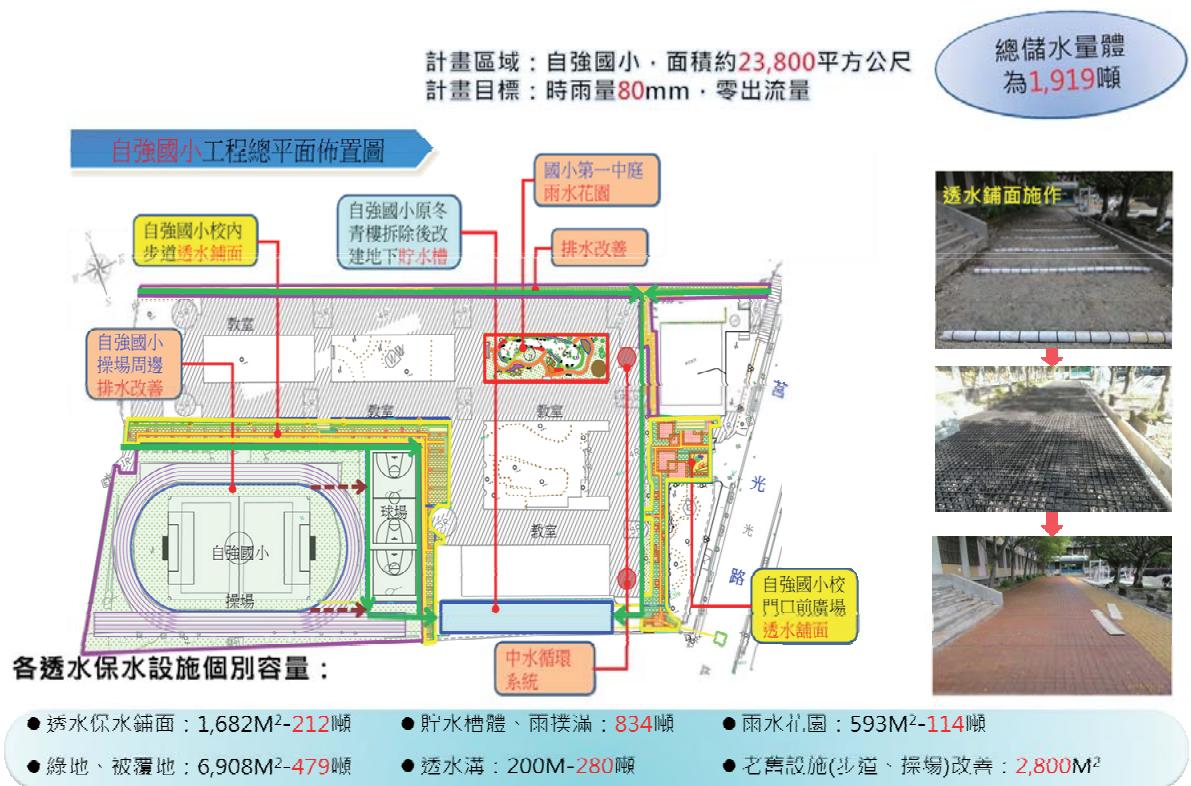


圖 10 新北市中和區自強國小示範區工程設計概要

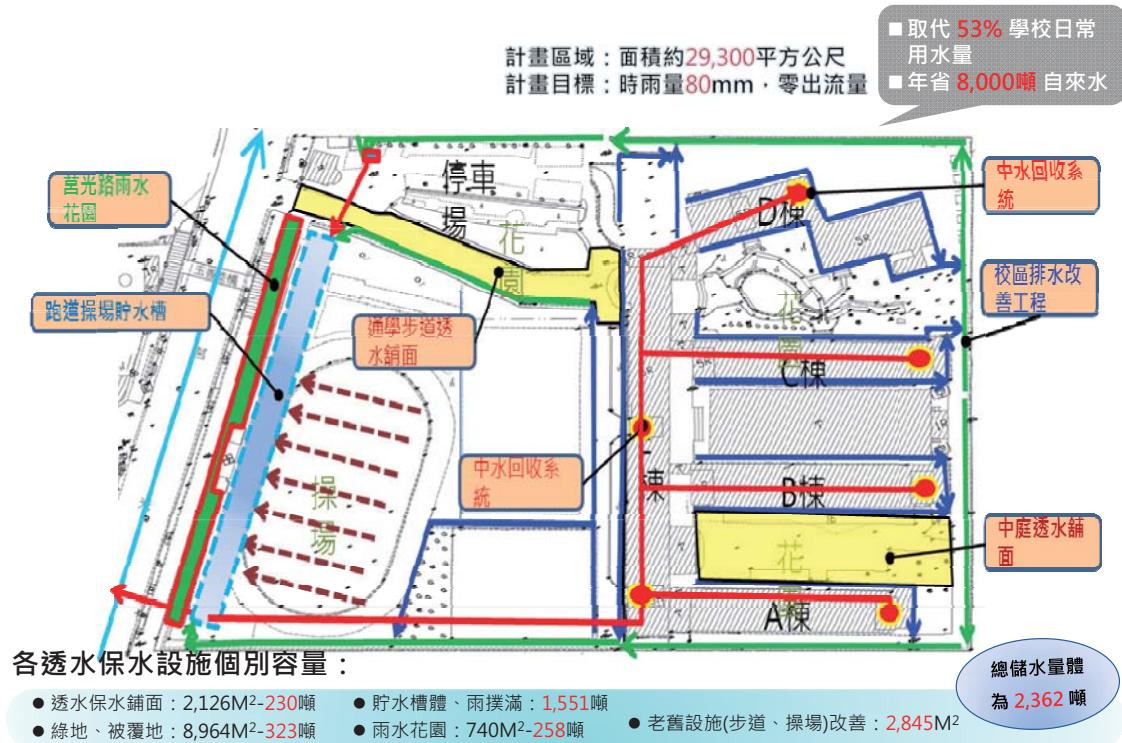


圖 11 新北市中和區自強國中示範區工程設計概要

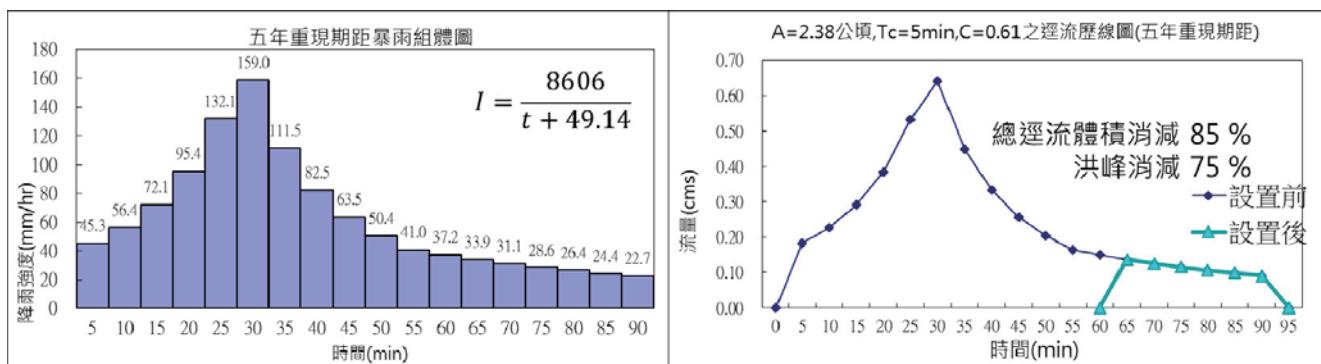


圖 12 新北市中和區自強國小及自強國中示範區改善成效

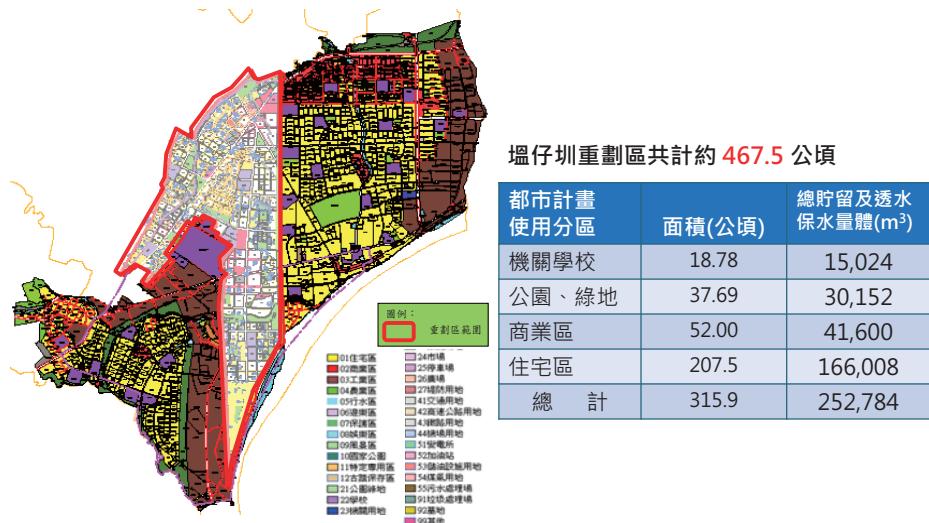


圖 13 塭仔圳重劃區透水示範區分區設計規劃

五、結論

氣候變遷並不是一個預測未來的假設模型，而是目前已發生中的現在進行式，其不但改變了人類生存環境，也對於人類文明發展有著關鍵性的影響。面對氣候變遷的挑戰，提出緩解（Mitigation）和調適（Adaptation）的行動策略將是我們所有人的責任。

現代城市必須對極端環境變化和自然災害表現出極大的適應能力，海綿城市的提出是相當有遠見的解決之道。以新北市為例，公部門長期致力於推動低碳政策與改造韌性城市的行動計畫，近年來已逐步實現環境質量、經濟健康和社會公平共存的願景，並為下一代打造出更好的生活環境。海綿城市的實現需仰賴技術、法律、金融、社會制度、土地使用管制與經

濟層面的整合性思維，也需居民的共同協力參與。同時，透水入滲或貯留水量相關規範，也可以隨著時間逐步提高標準，加嚴相關規範如要求建築基地應吸收 100 mm/hr 等，但也要配合當地的發展與調適，適度提高規範標準。在國內許多城市發展的案例中，新北市的成功經驗除了讓海綿城市的概念在台灣帶來革命性的變革，也將是近代土木工程的典範轉移。

參考文獻

- [1] American Anthropological Association: *Changing the Atmosphere. Anthropology and Climate Change*, final report of the AAA Global Climate Change Task Force, 137 pp. Fiske, S.J., Crate, S.A., Crumley, C.L., Galvin, K., Lazarus, H., Lucero, L.J., Oliver-Smith, A., Orlove, B., Strauss, S. and Wilk, R., December (2014).

- [2] Abustan, I., Hamzah, M. O. and Rashid, M. A. (2012). Review of permeable pavement systems in Malaysia conditions. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 4(02), 27-36.
- [3] Council for Economic Planning and Development. (2012). *Adaptation Strategy to Climate Change in Taiwan*.
- [4] Chen, J. W. (2004). Maintenance and improvement in the ecological environment of the island: the design and application in high bearing structure pervious pavement. In *The international conference on the Islands of the World*, Vol. 8, pp. 1-7.
- [5] Drake, J. A., Bradford, A. and Marsalek, J. (2013). Review of environmental performance of permeable pavement systems: state of the knowledge. *Water Quality Research Journal*, Vol. 48(3), 203-222.
- [6] Fan, L. F., Wang, S. F., Chen, C. P., Hsieh, H. L., Chen, J. W., Chen, T. H. and Chao, W. L. (2013). Microbial community structure and activity under various pervious pavements. *Journal of Environmental Engineering*, 140(3), 04013012.
- [7] Fu, J. C., Jang, J. H., Huang, C. M., Lin, W. Y. and Yeh, C. C. (2018). Cross-Analysis of Land and Runoff Variations in Response to Urbanization on Basin, Watershed, and City Scales with/without Green Infrastructures. *Water*, 10(2), 106.
- [8] Imran, H. M., Akib, S. and Karim, M. R. (2013). Permeable pavement and stormwater management systems: a review. *Environmental technology*, 34(18), 2649-2656.
- [9] Li, Z., Dong, M., Wong, T., Wang, J., Kumar, A. J. and Singh, R. P. (2018). Objectives and Indexes for Implementation of Sponge Cities — A Case Study of Changzhou City, China. *Water*, 10(5), 623.
- [10] Liu, C. M., Chen, J. W., Hsieh, Y. S., Liou, M. L. and Chen, T. H. (2015). Build sponge eco-cities to adapt hydroclimatic hazards. *Handbook of climate change adaptation*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1997-2009.
- [11] Mullaney, J. and Lucke, T. (2014). Practical review of pervious pavement designs. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 42(2), pp. 111-124.
- [12] Nunns, P. and Denne, T. (2016). The costs and benefits of urban development: A theoretical and empirical synthesis. In *New Zealand Association of Economists Conference*.
- [13] O'Young M., JW Eco-Technology's Innovative Load-Bearing Permeable Pavement. Available on July 13 2018: <http://www.gabreport.com/jw-eco-technology-innovative-load-bearing-permeable-pavement>.
- [14] Stimson, R. J. (2011). Australia's changing economic geography revisited. *Australasian Journal of Regional Studies*, Vol. 17(1), 22.
- [15] Su, Y. S. (2015). *Urban Resilience to Flooding in Asia's Vulnerable Cities: Shanghai, Dhaka, Tokyo, and Taipei*.
- [16] United Nations, (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision-Highlights*.
- [17] Viradiya, P. (2014). Challenges posed by rapid urbanization and scarce resources. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 71, 19.
- [18] Zhang, J. (2017). *Assessing the Application of Sponge City to Downtown Guelph* (Doctoral dissertation).
- [19] 新北水漾, <https://water.ntpc.gov.tw/News/Detail/1300.htm>