

# 「建設海綿臺灣倡議」理念說明

柳中明、謝英士

## 發起單位

中華低碳環境學會、台灣永續生態工法發展協會、  
環境品質文教基金會

## 連署單位

綠色 21 臺灣聯盟、余紀忠文教基金會、荒野保護協會、中華民國環境分析學會、  
汐止市中正區發展協會、台灣濕地學會、台達電子文教基金會、台大城鄉基金會。

(歡迎各地 NGO 連署，連署順序是按同意支持者順序排之)

## 行 動

**宣導、教育、研究、示範海綿城市概念；推動相關法條修改；訴求「一人一坪、修復環境、為子孫留下一片淨土」；選擇易淹水區域，進行示範驗證。**

## 摘 要

面對氣候變遷，破紀錄暴雨、熱浪、乾旱等極端氣象事件無預警衝擊，城鎮人口集中，也是風險集中之處。同時，城市發展，不透水面積封閉大地，更讓淹水風險提高與熱島形成。

本倡議提出建設海綿城市，進一步擴大打造「海綿臺灣」，修復 85%人口集中的台灣城鎮。倡議指出若將城市內所有不透水鋪面改變為「高承載高透水高透氣鋪面」，則鋪面之下，暴雨時形成大面積滯洪池，熱天時則水汽蒸發降低都市氣溫，顯著降低城市面對極端氣象的災難風險。如此將水泥封閉城市改變為海綿城市，鋪面之下會自然形成地下濕地生態系統，讓整個城市的生態面積大幅增加。

以台中市為例，簡單估算顯示：若將人行道、停車場、道路等全數改變，其地下所儲存的雨水量，相當於城市之下隱藏有 38 條韓國清溪川或是 35 座東京地下調節池，對於防範洪災效果卓著。此外，根據研究指出韓國清溪川附近氣溫較市中心低 3.6 度，所以我們認為台中市若轉型為海綿城市必定可以降溫至少 1.6 度以上，讓民眾夏季提高冷氣溫度至少 1 度，達到節能減碳的效益。

至於地下的儲水，可以重複抽取使用，一年累積下來，相當於 2/3 座德基水庫蓄水量，可提供乾旱早期水資源輔助。此外，因此增加的地下生態面積，約為原來公園綠地面積的八倍，使得生態面積占到都市發展區的 23.9%，人均生態面積則為 23.7m<sup>2</sup>/人。而高承載高透水高透氣道路，乃是捕碳道路，一年內至少可捕捉 70 萬噸二氧化碳，提供地下生態系統所需的無機碳。

建設海綿城市所需要的鋪面，必須具備高承載、高透水、高儲水、高透氣、增加生態面積、平價與永續等七項特性，這樣的鋪面目前僅有臺灣發明家陳瑞文先生的 JW 生態工法可達到，綠建築評估手冊以「高承載力的通氣管結構型透水鋪面」稱之。當然，任何可以達到上述七項要求的鋪面工法，都應推薦使用。

「建設海綿臺灣倡議」提出短、中、長期的推動策略，近期會將宣導、教育、研究、示範及推動相關法條修改等，作為行動重點。目標是讓民眾了解氣候變遷調適並非是遙不可及的，可以監督政府與企業，要求改變周遭的不透水世界為海綿世界，而達到永續臺灣、適應氣候變遷的目標。

「建設海綿臺灣倡議」除了將加強教育宣導等工作，也將訴求各地方首長與企業承諾「一人一坪」的建設目標。此目標雖然還達不到建設海綿臺灣的規模，但是具體可期的目標。

## 一、引言

我國年年必有雨災，頻繁出現破紀錄豪雨，政府因此推動上千億的「易淹水地區水患治理計畫」。同時，全球溫室氣體排放持續增加，氣候暖化無法停止，極端氣象事件無預警發生。因此，行政院經建會訂定「國家氣候變遷調適策略綱領」，將「災害、維生基礎設施」，納入調適領域之中。

2012年6月11日梅雨期間全台大淹水，桃園縣陽明高中學生以「對豪雨不友善的都市－桃園市淹水潛勢和災害分析」為題，參加第11屆高中地理奧林匹亞競賽，獲團體組論文一等獎。該論文指出：桃園是台地地形，不易淹水，但611豪雨卻讓桃園市釀成災情。研究團隊以地勢圖資料比對，發現縣政府和後火車站周遭，以前不會淹水，但這次卻成為災情嚴重的地區。調查後認為：都市化發展、建築用地增加、土地利用快速變遷、不透水層面積大幅增加等因素均是淹水主因。

顯然，都市化是都市淹水的主因，此道理連高中生都知道。而氣候變遷調適政策，若沒有一個創新的構想，是無法根本解決「都市化發展、建築用地增加、土地利用快速變遷、不透水層面積大幅增加」等問題。

水泥都市內，建築、道路、人行道、停車場、廣場，全都是不透水的。假設地球的土壤就是人體的皮膚，那麼水泥城市之下的土壤，已經全面壞死，因為皮膚的氣孔被全面封閉。而水泥城市得不到壞死地球的幫助，就只有靠排水溝、雨水排水道、抽水站等人為手段，企圖在暴雨時避免淹水。但是，破紀錄暴雨不斷超越排洪設計標準，防洪設施又不可能年年更新，城市因此面對著愈來愈高風險的暴雨洪災威脅。

「建設海綿臺灣倡議」就是要推廣一個打開水泥城市氣孔的創意行動，期以降低城市淹水機率，更能有效因應長期氣候變遷與極端暴雨威脅。所以，本倡議主張「一人一坪，打造海綿臺灣」，讓每人擁有至少一坪的海綿空間，補償過去環境的傷害，並且留下後代子孫一人一坪的淨土。

## 二、海綿臺灣的理念

海綿臺灣是從「海綿城市」的理念(圖1)出發，期望逐步擴大至全臺灣。「海綿城市」一詞首次出現於2012年4月23日中國北京大學在深圳召開之「2012 低碳城市與區域發展科技論壇」(Liu et al., 2012a)，完整的分析說明論文則於2012年5月14日出現在「低碳生活部落格」(柳等，2012)。

「海綿城市」的概念類似國際間各城市在推動的「低度衝擊開發」(Low Impact Development, LID)概念(Dietz, 2007; USEPA, 2000, 2006)，但是強調全面將城市內所有人工不透水鋪面，改變為透水透氣鋪面，所以是永續人類必走的道路。由於其強調百分百改變不透水鋪面，全球並無此類城市被創造出來，也無任何專家學者提出此概念，關鍵原因就是缺乏適當的建設工法。

長期以來，人口聚集的城市，建築與道路必定阻絕水與生態，成為與大自然相隔離的人工環境。就好像人體皮膚被塗上油漆，皮膚就會壞死，人類住在壞死的地球表面，災難問題當然是頻繁發生。所以，豪雨時洪水迅速累積在道路上，淹水災難無法遏止；乾旱時，則城市成為水資源最缺乏的地區；熱浪，則高溫聚集，促發老弱者熱

衰竭與耗電增長。人類要改善未來城市問題愈趨惡化的趨勢，就必須根絕城市建築在壞死皮膚上的問題。

「海綿城市」的觀點，就是讓人造城市，轉變為能夠吸存水、過濾空氣、過濾污染物質的超級大海綿，達到降溫、防洪、抗旱、捕碳等效益，根本解決人造城市阻絕水與生態的問題，邁向真正的生態與低碳城市。下圖 1 為其示意圖。

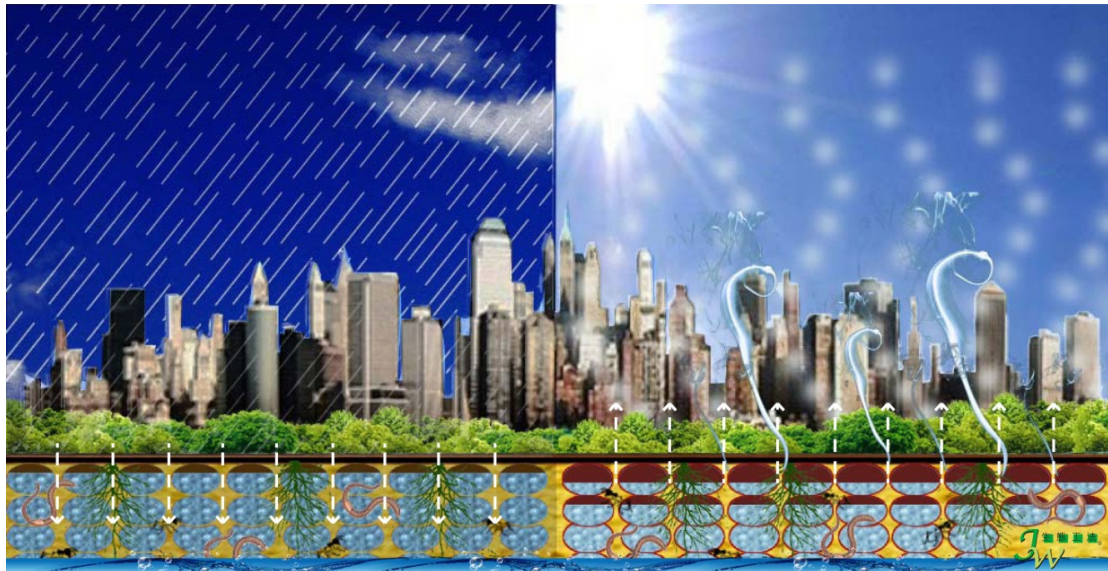


圖 1：「海綿城市」示意圖。左側代表豪雨時，雨水儲存入城市人工鋪面下方的儲水層，避免豪雨淹水災難，右側代表大熱天時儲水供應都市綠化，同時水汽蒸發，降低都市氣溫。鋪面下方土壤、水與空氣同時存在，所以地下生態濕地系統可以發展。就如同一個海綿，大雨日吸水，大熱天放水，不僅具備海綿功能，而且是富含生命的活海綿。

具備生命機制的海綿城市，是不能依賴任何耗能的機械動力裝置，而必須是取大自然的水、空氣、土壤與人類排放的污染物及二氧化碳等為營養物，自動自發地在大雨時儲水、在大旱時釋出水汽、降溫與供水，就像人人熟悉的海綿。最重要的是這個超級大海綿內存在著生態系統，能夠吸存污染物，並將之分解轉化為生態系統所需之營養物質與有機體。柳等(2012)提出要創造海綿城市，城市內的所有人工鋪面，需改變為高承載高透水高透氣鋪面，需具備必要條件如下：

- (1) **高承載**：鋪面的抗壓強度必須達到高運量的道路標準，也即能讓大卡車、重坦克等通行。
- (2) **高透水**：必須在各地強降雨出現時，表面逕流量趨近於零，也即雨水直接穿透路面。
- (3) **高儲水**：鋪面之下設置相當厚度的碎石層(Krueger and Smitha, 2012)，以儲存雨水，供平日與不時之需，也即是具備海綿功能。

- (4) **高透氣**：必須讓鋪面下樹根與生態系統能夠呼吸，讓生命存活於鋪面之下，也同時在大熱天時允許地下水蒸發而出，達到降溫效益。
- (5) **增加生態面積**：傳統都市治理希望增加綠地面積，但都市開發後，綠地非常珍貴稀少，所以除了綠地生態面積外，還要增加鋪面下的地底生態面積，其在 Liu et al. (2012b)中被稱之為地面下之微濕地(micro-wetland)，其乃當鋪面下的土壤接觸到水與空氣後，所自然發展成之生態系統(Fan et al., 2013)。所以，高承載高透水高透氣鋪面面積，就可稱之為「生態面積」。
- (6) **平價**：無論是造價與長期維護，都必須是平價，如此才可推廣到偏遠地區與開發中及未開發國家。
- (7) **永續**：鋪面的各種特性必須每年檢驗，確認不變，如平整、無裂痕、高承載、高透水、高儲水、高透氣、地下濕地等。也因為如此，長期可以節省鋪面更換或修護所會浪費的資源與經費。

行政院內政部建築研究所，於 2013 年元月一日正式生效的「2012 年版之綠建築評估手冊—基本型」一書中(林等，2012)，第 39 頁內，特別提出之「高承載力的通氣管結構型透水鋪面」，就是符合前述七個條件的高承載高透水高透氣鋪面。該手冊強調此特殊鋪面對於基地保水的效益，其鋪面之下的孔隙率為 0.3，為傳統透水鋪面的六倍。譬如鋪面之下鋪設碎石層 100 公分，就可儲水 30 公分，相當於 300 公厘的雨水。

本節以台中市為例，分析海綿城市的效益。依據台中市政府統計資料，台中市總面積共 2,214.9 平方公里，其中都市發展區面積為 297 平方公里，住宅、商業與工業用地 129 平方公里，道路面積 50.2 平方公里，公園綠地面積 7.8 平方公里(占都市發展面積的 2.6%)。假設住宅、商業與工業用地的 10%為人工鋪面如人行道、後巷、停車場、廣場、車道等，再加上道路，總共約 63.1 平方公里可以改鋪設高承載高透水性鋪面與道路。

再假設高承載高透水性鋪面之下，參考國外規定，設置儲水碎石層(Krueger and Smitha, 2012)厚度 100 公分，鋪面之下的孔隙率為 0.3(林等，2012)，則每次大雨，碎石層可儲水 30 公分(=300 公厘)，相當於累積降雨量達到 300 公厘，可被儲存在鋪面下。然後，再於碎石層內設置透排水管(圖 2)，則可達成以下效益：

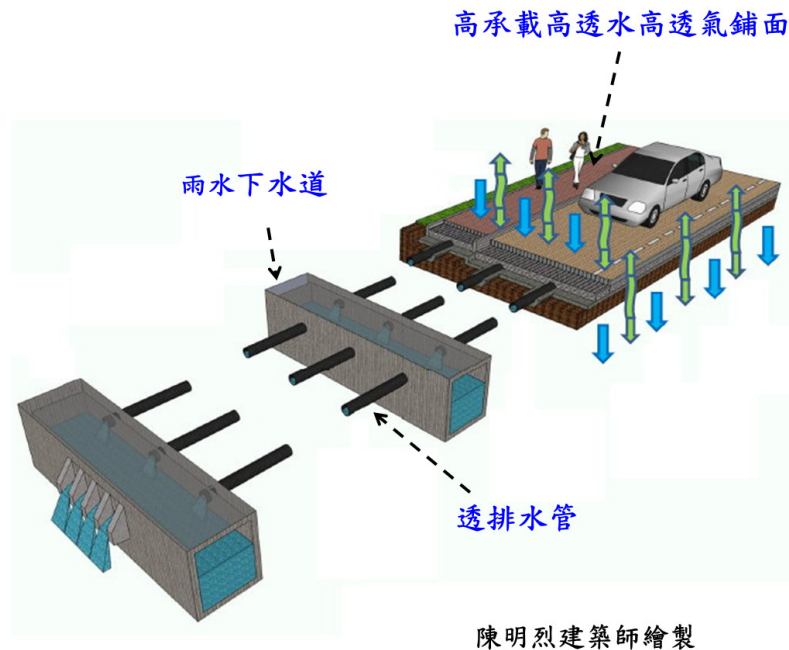


圖 2: 高承載高透水高透氣鋪面下之碎石層可儲存雨水, 同時安置透排水管, 可將多餘雨水排除到雨水下水道。

### (1) 具滯洪池效益，有效避免強降雨可能發生的淹水災難

基於前述鋪面之高透水性及高儲水性，若強降雨來襲時，高承載高透水高透氣鋪面可有效滯延與消減洪峰，達到類似滯洪池的效益。目前台中地區的排水標準為 74.3 公厘/小時，2008 年 7 月 18 日卡玫基颱風在台中降下小時雨量 149 公厘，遠遠超過當地排水標準，再加上日累積雨量超過 500 公厘，所以大台中地區淹水災情慘重，歷史記錄少見。

但若是採用高承載高透水高透氣鋪面，且如圖 2 所設計，則鋪面下方之碎石層可以儲水，多餘雨量，可經碎石層內的透排水管，快速排除。其效益為：不會發生排水溝阻塞、排水系統不通的狀況，因為所有雨水是直接穿透路面氣孔，進入碎石層，再經透排水管，進入地下雨水下水道，可有效避免強降雨可能發生的淹水災難。

### (2) 具儲水效益，相當於增加新的水庫

假設全台中市人工鋪面如人行道、後巷、停車場、廣場、車道等，再加上道路，總共約 63.1 平方公里皆改鋪設高承載高透水高透氣鋪面與道路，則一次總共可直接儲水約 1,894 萬噸。如以 1 度原水水價約 10 元計，相當於儲存一億八千九百萬元用水量，其可在平日提供大台中地區都市綠化與環境清潔之所需。

若以台中地區年雨量為 1,773 公厘估算，且假設每次雨水儲存後就被充裕使用，則約相當於累積儲存 11,172 萬噸雨水，接近 2/3 座德基水庫蓄水量。其在乾旱、熱浪期間，乃可直接供台中市區使用。

### **(3) 降低都市熱島效應，調溫節能**

夏季高溫期間，若台中市區地面下儲滿 1,894 萬噸的水(如 2012 年 6 月大雨、7 月高溫)，其部分可供都市綠化降溫，部分則可直接被蒸發，達到抑制都市熱島的功能。依據張與劉(2005)，台中熱島增溫可達 3.2°C，主要在台中市市區、台中工業區以及台中港港區。而根據能源局提供資訊，冷氣空調設定溫度每提高 1°C，就約可省電 5~6% 左右。顯然都市大量儲水，可直接促成都市降溫至少 1.6°C，達到整體用電減少，以及相對應之二氧化碳排放減少。

台北市政府估算：設若夏季空調調高 1°C，冷氣不外洩，就能省電九億八千六百餘萬度，約等於 61 萬公噸的二氧化碳，等於每年種樹 5 千萬顆。

### **(4) 創造地下濕地生態系統，增加都市生態面積**

傳統上，都市規劃設計者都強調增加綠化面積的重要性。但是，都市寸土寸金，都市面積不提供建設開發，而要轉變為公園綠地，此工作豈是容易。譬如台中市人口 268 萬，公園綠地面積總共 7.8 平方公里，其僅占都市發展面積的 2.6%，相當的少。但是，依據 Liu et al. (2012b) 與 Fan et al. (2013) 的研究，高承載高透水高透氣鋪面之下樹根蔓延，微生物物種豐盛，實乃地下濕地生態系統。其最大功能就是吸收都市污染空氣，過濾污染物質，改善都市空氣。因此，如果鋪設約 63.1 平方公里的高承載高透水鋪面與道路，則代表台中地區增加蘊含地下濕地的都市生態面積 63.1 平方公里，約占都市發展面積的 21.3%，較公園綠地面積為大幅增加八倍之多。

在此需指出：先進國要求透水鋪面之下設置多層的碎石，乃是為過濾雨水汙染，其對居住品質提昇非常重要，但我國環保署無相關規定。如此，可了解到如果都市生態面積大幅增加，雖然不是人們視野中看得到的綠地，卻一樣具備調控空氣與水污染，改善城市環境品質，增進生態循環的功能。

### **(5) 直接捕捉汽機車排放二氧化碳**

依據 Liu et al. (2012b) 的研究，汽車所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，因此台中市空氣品質將會因為移動污染源排放量減少至少 50%，而出現顯著改善。同時，因為高承載高透水性鋪面之下的濕地形成，也將可捕捉汽車排放 CO<sub>2</sub> 至少 70%。

依據交通部公路局監理資訊，台中市機動車輛為 2,684,874 輛，其中機車數為 1,744,402 輛，則汽車(此處定義為非機車)數量為 940,472 輛。若假設年平均里程是 4,500 公里，再假設每部車的平均二氧化碳排放量是 236 公克/公里(柳等, 2012)，則年總二氧化碳排放量是 99.9 萬噸，假設捕碳效率為 70%(Liu et al., 2012b)，則每年約捕捉 70 萬噸二氧化碳，其乃是直接促進地下生態系統發展所需的無機碳。[注意：此估算暫時省略機車排放部分，所以是低估的。]

### **(6) 不再需要排水溝，避免疾病與髒亂**

都市內不再需要排水溝，就不會再有臭水溝、病媒蚊孳生、老鼠與蟑螂亂竄、垃圾賭塞等問題。依圖 2 的設計，所有雨水經過道路與人行道的氣孔，就可直接進入儲水碎石層與地下雨水下水道。因此，道路兩旁的排水溝可以全部取消。假設每一平方

公尺有 100 個氣孔，則台中市 63.1 平方公里的高承載高透水性鋪面與道路，將有 63.1 億個氣孔打開，確實不用再受臭水溝所困擾。

柳等(2012)提出一個大膽而創新的構想：改變城市為超級大海綿，成為實體的「海綿城市」。當然此工作的困難度與挑戰性非常大，但必定是二十一世紀人類發展主要趨勢。其與現今國際推動的城市綠化、生態城市、低碳城市、低度衝擊開發、綠建築等，完全沒有抵觸，卻能有效提高城市綠化面積、城市生態面積、城市節能減排、降低城市開發衝擊、強化綠建築功能、降低淹水機率、因應高溫熱浪等。

建設海綿城市的概念與技術乃適用於所有城鎮，無論是偏遠鄉鎮或都會區，因為所需經費不高。其最大優點就是提升抗洪能力，譬如每單位人工鋪面之下均可儲水 300 公厘，則平日午後雷陣雨不會出現積水現象，颱風暴雨時，雨水更是在道路之下流動，不僅大面積增加滯洪池，還強化整個地區排洪疏導能力。

### 三、建設海綿台灣

前節取台中市為例說明海綿城市的概念，但若是各大都市都改變了呢？表 1 整理出效益評估的方法，以及應用在五大都市的估算結果。這些數據是給大眾一個希望，但並非代表這些城市已經改變了。顯然是不容易，需要相當的氣魄與努力，才可能將一個大城市完全轉變，終於成就海綿臺灣。但若是由一個小市區、小社區、小道路、或是一個小廣場等，開始起步改變，應該是可以的。

南韓前總統李明博在擔任首爾市長時，大魄力地推動清溪川整治工程。如今清溪川成為首爾的亮點，更大幅改善附近的空氣品質，與造成當地氣溫較市中心降低 3.6 度；更別說李明博因為其魄力贏得全民矚目，而擔任五年總統。清溪川估算儲水量約為 50 萬噸上下，每日需自漢江輸入 12 萬噸水調節，無論其後續維護所需資源如何，其環保、觀光、防洪等所創造出來的許多效益，就不容忽視。

以台中市為例，如果全面改變為海綿城市，就相當於在都市之下儲水 1,894 萬噸(可能是低估)，也就相當於在城市之下隱藏有 38 條清溪川，或是 35 座東京地下調節池(日本東京在神田川環狀七號線，費時 15 年興建地下調節池，以在暴雨時蓄水 54 萬噸)。而我們僅以降低熱島增溫量的 1/2，作為整座城市因此降溫的效應估算，明顯也是低估了。

相對於改變一條清溪川，建設海綿城市，甚至海綿臺灣，乃是更有挑戰性的工作。我們不期望出現另一位李明博來推動海綿臺灣建設。因為這是個非常困難的任務，我們需要的是許許多多的人，共同努力、關心，合作邁向海綿臺灣。

以下是我們建設海綿臺灣的策略：

- (1) 短期：提出倡議、形成共識、推動教育與研究、建設示範案例。此乃是 2013 與 2014 年的努力方向。
- (2) 中期：修改法令，要求新建築具備防洪功能，也即豪雨時蓄積雨水，而非排入雨水下水道，導致下游淹水機率升高。以及要求道路修建，必須朝向具備高承載高透水高透氣特性方面建設。更且，以綠色採購為標竿，政府更應修改採購法等，以利海綿臺灣的建設推動。
- (3) 長期：促成全民監督政府與企業，全面建設海綿臺灣。



表 1：五大都市改變為海綿城市的效益比較

		台北市	新北市	台中市	台南市	高雄市
人口(萬)		265	391	266	187	277
待改善鋪面	人工鋪面面積 <sup>1</sup> (km <sup>2</sup> )	5.2	10.5	12.9	13.0	13.6
	道路面積 <sup>2</sup> (km <sup>2</sup> )	24.0	36.0	50.2	45.3	53.3
生態效益	氣孔數 <sup>3</sup> (億)	29.2	46.5	63.1	58.3	66.9
	原公園綠地面積率 <sup>4</sup> (%)	5.0	7.7	2.6	2.4	6.8
	原人均公園綠地面積(m <sup>2</sup> /人)	2.5	1.0	3.0	3.2	7.2
	城市生態面積增加率 <sup>5</sup> (%)	22.5	19.6	21.3	23.4	22.7
	人均城市生態面積 <sup>6</sup> (m <sup>2</sup> /人)	11.0	11.9	23.7	31.1	24.1
儲水、降溫效益	滯洪池儲滿水效益 <sup>7</sup> (萬噸)	878	1,397	1,894	1,749	2,006
	儲滿水後相當於 <sup>8,9</sup> (清溪川、東京地下水庫)	18 條、 16 座	28 條、 26 座	38 條、 35 座	35 條、 32 座	40 條、 37 座
	年雨量 <sup>10</sup> (毫米)	2,155	2,405	1,773	1,698	1,884
	年蓄水量 <sup>11</sup> (萬噸)	4,577	8,747	11,172	10,714	10,044
	熱島降溫推估 <sup>12,13</sup> (至少)	2.4°C	2.4°C	1.6°C	2.2°C	1.7°C
固碳效益	汽車登記 <sup>14</sup> (萬輛)	74.4	92.5	94.1	59.4	81.5
	道路捕碳量 <sup>1</sup> (萬噸 CO <sub>2</sub> )	55.6	68.8	70.0	44.1	60.6

<sup>1</sup> 假設都市計畫區內都市發展地區之住宅、商業、工業、行政、文教等 5 類用地之 10% 為人工鋪面，如人行道、後巷、停車場、廣場、車道等。都市發展地區面積，取自內政部營建署 100 年營建統計年報。

<sup>2</sup> 道路路面面積為都市計畫區內道路面積，指依都市計畫設置之計畫道路或依法指定建築線之巷道用地。取自中華民國統計資訊網-縣市都市計畫重要統計指標，以 100 年統計資料為準。

<sup>3</sup> 氣孔數以每平方公尺 100 個透氣氣孔估算。

<sup>4</sup> 原公園綠地面積率為公園、綠地面積占都市發展地區面積的比率。公園綠地面積取自內政部營建署 100 年營建統計年報，都市計畫公共設施用地已取得面積之公園與綠地。

<sup>5</sup> 城市生態面積包括地面上公園、綠地面積，及高承載、高透水、高透氣鋪面下之地下濕地面積，此處的城市生態面積增加率，就是高承載高透水高透氣鋪面面積除以都市發展地區面積。

<sup>6</sup> 人均城市生態面積為前述增加之城市生態面積除以五大都市戶籍登記人口數。戶籍登記人口數，取自中華民國統計資訊網-縣市都市計畫重要統計指標，以 100 年統計資料為準。

<sup>7</sup> 假設高承載高透水高透氣鋪面下之碎石層厚度 100 公分、孔隙率 0.3(林等, 2012)，可儲存雨水 30 公分。

<sup>8</sup> 清溪川位於南韓首爾市，原為高架道路，復原後，估計儲水量約為 50 萬噸上下，每日需自漢江輸入 12 萬噸水調節，但附近空氣品質大幅改善，當地氣溫較市中心降低 3.6 度。

<sup>9</sup> 日本東京在神田川環狀七號線，費時 15 年興建地下調節池，以在暴雨時蓄水 54 萬噸。

<sup>10</sup> 年雨量資料取自交通部中央氣象局，1981-2010 年近 30 年平均資料。

<sup>11</sup> 年蓄水量等於年雨量乘以高承載高透水高透氣鋪面面積。

<sup>12</sup> 熱島降溫乃依過去都市熱島平均增溫的 1/2，設為最低降溫量。

<sup>13</sup> 假設熱島降溫一度，夏季空調就可調高一度。依台北市政府估算，若夏季空調調高 1°C，冷氣不外洩，就能省電九億八千六百餘萬度，約等於 61 萬公噸二氧化碳，等於每年種樹 5 千萬棵。

<sup>14</sup> 汽車登記數量為機動車輛數量減去機車數量，取自交通部-機動車輛登記數，以 101 年底統計資料為準。

<sup>15</sup> 道路捕碳量計算，乃依據各城市汽車車輛數，乘上假設的年平均車行哩程 4,500 公里，再乘上假設的每部車平均二氧化碳排放量 236 公克/公里，就可得到當地汽車年總二氧化碳排放量推估，然後再乘上假設的道路捕碳效率 70% (Liu et al., 2012b)，即可得之。此估算暫時忽略機車排放貢獻。

#### 四、JW 生態工法

海綿臺灣的建設，需要改變所有人工不透水鋪面為高承載高透水高透氣鋪面。前節列出七個條件：高承載、高透水、高儲水、高透氣、增加城市生態面積、平價與永續，並指出「高承載力的通氣管結構型透水鋪面」(林等，2012)，符合要求。這是因為截至目前為止，國際間尚無其他鋪面符合要求，但是科學研究進展快速，未來仍可能會有其他類似鋪面發展出來。

「建設海綿臺灣倡議」非常歡迎新的工法鋪面出現，但在推動初期，還是必須要提出一個符合條件的鋪面，所以下將大略介紹能夠鋪設「高承載力的通氣管結構型透水鋪面」的 JW 生態工法(圖 3)。

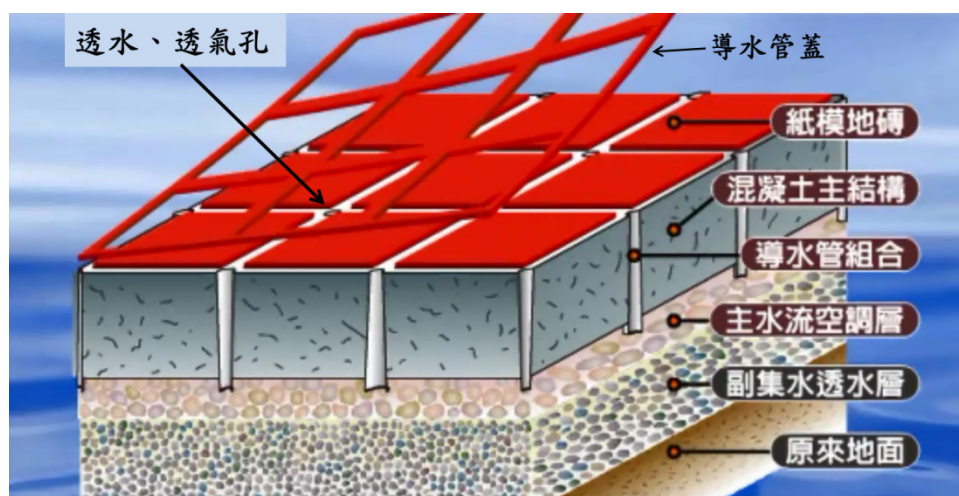


圖 3：高承載力的通氣管結構型透水鋪面示意圖。

JW是發明人陳瑞文先生英文名字的前面字母。JW生態工法乃是一種創新的工法，在原來的土壤地面之上，先放置碎石，並參考國外對於透水鋪面之下碎石層的要求，分為二層(Krueger and Smitha, 2012)，並分別定名為「主水流空調層」與「副集水透水層」。然後在碎石層之上，放置「結構性空調導水管」。該導水管可採用回收廢塑膠料製作，可在施工現場組合形成，使具備結構性。然後再倒入混凝土，使混凝土與導水管架緊密結合。

待混凝土層凝結堅實時，就可掀起最上層的導水管蓋，露出透水、透氣孔。其導水管蓋的特殊設計，使得透水、透氣孔的四周，會出現導水溝槽，引導雨水流入孔洞。同時，導水溝槽的造型，會使得表面層呈現出一片片地磚的形狀。此設計適合人行道、廣場等，希望有藝術造型之處。若是使用於道路，則可以去掉這些導水溝槽，使得表面只呈現出無數孔洞；此外，表面還可加鋪透水柏油，形成半軟半硬道路。

「結構性空調導水管」的功能是取代傳統的鋼筋，負責與混凝土緊密結合，形成結構板塊，熱漲冷縮之際，完全與混凝土同步變化，就不會在使用相當時日後出現龜裂。台北科技大學技術學院門口，就有一條完工於 2003 年的校園道路，至今都是保

持平整無裂縫。而當導水管的條蓋掀起後，雨水就直接通過導水管進入下方之「主水流空調層」與「副集水透水層」。

原則上，空氣流動需保持物質守恆、能量守恆，所以若有物質往下進入鋪面之下，則必定會引導物質經隔鄰孔洞沖出，如此自然形成雨水進入與空氣上下流通的情形。「主水流空調層」乃位於結構性混凝土板塊之下，所以負責水流與空氣流通。至於「副集水透水層」則負責集水儲水，以及引導雨水及空氣到達土壤，自然界的生態體系如微生物、蚯蚓等，就自然在土壤層與碎石層內發展。而如國立台北科技大學技術學院門口前的 JW 道路，兩旁為校園樹木，其樹根就自然於結構性混凝土板塊之下發展。由於水與空氣都在下方流通，樹根就不需向上發展，吸取空氣。許多人行道上的樹根隆起，就是因為不透水鋪面封閉空氣之故。至於市售的透水磚或其他透水鋪面，則是無法透氣，活活悶死樹根。

結構性混凝土板塊是堅硬的，且是一體成形的，重車在上面行駛，力量是均勻分散到整個板塊。同時，整個板塊置於碎石層之上，形成樓地板被下方樑柱支撐的情形，非常符合結構力學的設計，亦有相關實驗數據支持(李與鄭，2004)。如國立台北科技大學技術學院門口 JW 道路，及國立成功大學「孫運璿綠建築科技大樓」前 JW 道路，都已經重車壓輾確認，且功能長期保持不變。近日，汐止區禮門里低碳設施改造工程，更進一步地實驗在結構性空調導水管內結合鋼筋，以加強整個鋪面的承重能力。

此外，許多人擔憂孔洞會被沙塵樹葉等塞住，而至失去透水透氣功能。其乃因為不了解結構性空調導水管的特殊設計。該管的孔洞，上面暴露出來的洞，小到婦女的高跟鞋跟進不去；而同時，下方出口的孔洞，卻是遠比上方孔洞為大。形成只要能夠進入的東西，必定往下移出。同時，下方是濕地生態系統，會自然分解與吸存沙塵樹葉等。更重要的是，導水管內壁是平滑的塑膠面，根本無法封實，只要遇到大雨，就能沖刷內壁。國立台北科技大學技術學院門口 JW 道路，長期缺乏維護，現場去看，會認為許多孔洞是被封閉的，但只要用原子筆一按，就會通順，可知道孔洞本身是可以維持通順的。因此，僅要正常使用洗掃街車清潔，就可維持孔洞通順。至於其每一平方公尺有一百個孔洞，更是保證無法全部被封閉。

JW 生態工法鋪設高承載高透水高透氣鋪面，已是相當成熟且已經近十年驗證的可行技術。因為經費不高，該工法可適用於所有都會區與偏遠鄉鎮。大愛電視台曾訪問水利署，公開確認其功效(大愛，2011)，但其作實驗的鋪面是於 2003 年鋪設，當時的價格偏高。

表 2 依照「台北市政府 101 年度議會審定工程預算單價」，所估算得之 JW 透水鋪面與高壓磚的比價。二者在施工單價方面，差異不大，但 JW 透水鋪面壽命較長。JW 透水鋪面目前是保固十年，但實際上可使用 30 年以上，如此長時間下來，與傳統作法相比，約可省下 3~7 倍經費。至於一般市售透水磚的單價，還要比高壓磚貴約 30%~50%，可見現在的 JW 透水鋪面不僅平價，還可長期節省資源。其所以在價格上具備競爭優勢，關鍵就是發明人在臺灣採取免費授權，也就是經過授權，就完全不必付權利金。

表 2：JW 透水鋪面與高壓磚在鋪設人行道時之經費比較(依據「台北市政府 101 年度議會審定工程預算單價」)。

基本資訊	施工單價	維護單價	翻修需求
JW 透水鋪面	2,292 元/m <sup>2</sup>	43 元/m <sup>2</sup>	30 年免翻修
高壓磚	2,387 元/m <sup>2</sup>	937 元/m <sup>2</sup> /2 年	約 5 年需重新翻修一次

\*假設政府每年維護，且高壓磚每五年翻修一次。

累積 30 年	單位總造價	鋪設 1 萬平方米總造價
JW 透水鋪面	3,539 元/m <sup>2</sup>	3,539 萬元
高壓磚	25,566 元/m <sup>2</sup>	2 億 5,566 萬元

\*假設政府很省，完全不維護，且高壓磚每十年才翻修一次。

累積 30 年	單位總造價	鋪設 1 萬平方米總造價
JW 透水鋪面	2,292 元/m <sup>2</sup>	2,292 萬元
高壓磚	7,161 元/m <sup>2</sup>	7,161 萬元

註：(1)高壓磚每隔 5-10 年更換，代表其在更換前就會脆裂，導致人行道不平整，民眾必須忍耐等待修護或更新。(2)高壓磚是不透水、不透氣，而市售的透水磚是滲水、非透水，且不透氣，價格比高壓磚貴 30%~50%，隔一段時間後連滲水特性都會消失。

JW 生態工法在台灣已推廣十年，但並非很順利，其為納入「公共工程委員會」的公共工程施工綱要規範「第 02794 章透水性鋪面」，歷經多年爭取，最後於 2012 年初向監察院提出申訴，「公共工程委員會」乃撤換審查委員，重新審查而獲通過。當然，並非一定需要被納入此施工規範才可採用，此工法在國內確實已有非常多的施工紀錄，而且也確實是長期不需維護，一直維持平整。而且，本倡議推薦的是「高承載高透水高透氣鋪面」，並非是簡單的透水鋪面，所以「第 02794 章」所規範的其他透水性鋪面就不符合本倡議要求，因此爭取納入「第 02794 章」根本是不需要的。但為何發明人對於爭取納入「第 02794 章」很執著呢？關鍵就是這個全球唯一的創新工法，在台灣卻是處處碰壁。其原因如下：

JW 生態工法是專利發明，公務單位有許多理由不使用專利發明，其中之一是「不可圖利私人廠商」，這所以發明人乾脆採取免費授權，期以圖利受惠民眾。理由之二是「全球先進國如日本、美國等都沒大幅使用，所以台灣不能冒進」，事實是全球專利都在發明人手上，只要發明人不在任何國家推廣，那一個國家敢竊取發明人的智慧財產權？所以，實際狀況是「台灣若沒有大幅使用，先進國如日本、美國等不能冒進」。理由之三是交通部在 2012 年 6 月 15 日於「醒報」的回應：「大規模使用滲水材質，滲透的水有可能會危害路基，造成破壞，因此尚不考慮。」此理由最大的問題是：用傳統道路建築工法的概念，來評論完全違反傳統的 JW 工法。傳統工法道路之下的地基必須壓實、不可進水，JW 工法卻是道路之下是碎石與土壤，不需壓實、允許雨水流通。一位只會傳統工法者，當然不會相信道路之下可以讓雨水流通，那麼為何台北科技大學內的 JW 校園道路，歷經十年而未損壞？難道過去十年，台北科技大學校園內沒有下過豪雨？所以，交通部應該是興建一條 JW 實驗道路，然後狂降豪雨，確定道路會被沖垮後，才能說出上述的理由，而非是不經研究，就貿然評論。

本倡議主張建設海綿台灣，建議全面將人工不透水鋪面改變為高承載高透水高透氣鋪面，而能夠達到此要求的，目前僅有 JW 生態工法。本倡議的短期策略是「提出倡議、形成共識、推動教育與研究、建設示範案例」。要求的就是：建設海綿世界，進行相關教育與研究，建設示範案例。JW 工法不可行，政府單位可以進行更多的研究實驗來證明；但是海綿世界卻是合理的、邁向永續的；同時，許多發明家更應積極進行新的創意工法發明，務求建設海綿世界，而非是堅持傳統，堅持建設封閉大地的不透水鋪面。

本倡議注意到未來將有兩個與 JW 工法相關的實驗研究會進行，一是在國立成功大學「孫運璿綠建築科技大樓」前 JW 道路，將進行排洪、生態、捕碳與道路建設規範的一系列實驗。二是正與地方政府協調，選擇易淹水區域，進行示範驗證實驗。

此外，新北市汐止區禮門里獲得環保署低碳社區獎勵，營造中正社區透水道路，蓄水 60-70 公噸，乾旱時將供生態區使用，目前已經完工。將可開放參觀教學，與實際驗證道路之承載、透水、協助儲水、社區美觀、環境清潔(該段道路無表面水溝)與車輛排放捕碳等效益。

## 五、我們的訴求

「建設海綿臺灣倡議」訴求各地方首長與企業承諾「一人一坪、修復環境、為子孫留下一片淨土」的建設目標。

以台中市為例，人口 266 萬，若一人許諾一坪的海綿空間，則總共為 8.79 平方公里，約為前節所估之人工鋪面及道路面積 63.1 平方公里的 13.9%。雖然還達不到改變台中市為海綿城市的目標，但已是一個非常可期的目標。至於地方首長或者會因為任期到而離職，但此項承諾仍應該傳承下去，以期給予地方民眾明確的希望。

此外，內政部營建署在審查綠建築時，或環保署環評審議到低碳建築時，均應一併納入考量，以助推廣。

氣候變遷調適並非是遙不可及的，一般民眾都可以參與，也就是直接監督政府與企業。譬如看到附近人行道、停車場、道路正在施工，卻是鋪設不透水會封閉大地的，就應強烈要求民意代表去爭取改變這類不適當的工程。或是在購買新屋時，也應要求建商鋪設高承載高透水高透氣鋪面，而非是鋪設不透水讓住家附近會增溫的鋪面。

建設海綿城市與海綿臺灣的訴求，在國際間是首次出現，國人從未聽過乃屬正常，但是既然知道了，就應該勇於追求實現，這是「建設海綿臺灣倡議」的最重要目標：讓人人知道面對氣候變遷挑戰，台灣仍會永續，且不是夢想，是可以成真的。

## 致謝

本倡議感謝發明人陳瑞文先生提供相關圖文資訊充實本倡議理念。

## 參考文獻

- 大愛電視台，2011：“2011/2/20《大愛全紀錄》末世震盪·澳洲洪災啟示錄”，  
<http://www.youtube.com/watch?v=LAcVfM4baKU>。
- 李維峰、鄭瑞濱，2004：「JW 防災空調導水鋪面工法推廣」計畫案成果報告。財團法人臺灣營建研究院。62 頁。
- 林憲德、莊惠雯、張從怡、陳建男，2012：“綠建築評估手冊-基本型”，內政部建築研究所，163 頁。
- 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，2012：“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](http://lowestc.blogspot.tw/2012/05/blog-post_8603.html)。
- Dietz, M. E., 2007: “Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions”, *Water, Air, and Soil Pollution*, 186, 351-363.
- Fan L-F, S-F Wang, W-L Chao, C-P Chen, H-L Hsieh, J-W Chen, T-H Chen, 2013: “Performance evaluation of JW and other three pavements on microbial compositions and activities”, (submitted to *Ecological Engineering*).
- Krueger, D. W. and C. W. Smitha, 2012: “City of Houston Infrastructure Design Manual”, Department of Public Works and Engineering, City of Houston, Texas, USA, 298pp, July, 2012.
- Liu, C. M., J.-W. Chen, C.-F. Chen, M.-L. Liou, M.-L. Chen, J.-C. Chen, H.-C. Hsiao, S.-S. Chen, T.-H. Chen and F.-S. Tsuei, 2012a: “Change a city to a super sponge for absorbing water, lowering temperature, preventing disasters and reducing carbon emission”, *Low-Carbon Forum of Urban and Regional Development Attention*, Shenzhen, Guangdong, China, April, 23-24, 2012.
- Liu, C. M., J.-W. Chen, J.-H. Tsai, W.-S. Lin, M.-T. Yen and T.-H. Chen, 2012b: “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.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2000: “Low Impact Development (LID): A literature review”, EPA-841-B-00-005.
- USEPA, 2006: “Fact Sheet: Low Impact Development and Other Green Design Strategies”, June 1, 2006.