

高承載透水道路
在
「建築防洪」與「道路排水」
應用之
設計探討

陳瑞文

台灣品岱股份有限公司



柳中明、陳起鳳、崔鳳修

中華民國低碳環境學會

主辦單位：中華民國低碳環境學會



贊助單位：台達電子文教基金會



中華民國一〇〇年十一月十日

摘 要

現今正處「暴雨新紀元」，破記錄降雨與災情，隨時可能出現。傳統治水策略：圍堵與疏導，所制定的防洪、排水等標準，趕不上新的暴雨記錄。「建築防洪」與「道路排水」，乃是當今各先進國正積極推動的治水策略〔廣義的名稱為：低衝擊開發(low impact development)策略〕，其重點在讓降雨分散儲存與疏導，避免快速集中，造成防洪與排水系統失靈，導致嚴重災情。

「建築防洪」與「道路排水」策略的重點，在於增加透水面積、地下蓄水設施與排水管道。但是，市售透水鋪面無法承重也無法耐久，地下蓄水設備昂貴，「道路之下為河道」乃違背傳統道路施工原則。更且，將建築與交通建設單位，納入治水單位，更對傳統官僚形成莫大挑戰。所以，「建築防洪」與「道路排水」策略，推動困難。

本研究團隊指出：關鍵問題在於技術，首先必須改變傳統鋪面與道路工法，建造高承載與高透水鋪面及道路，就能達到「建築防洪」與「道路排水」的預期目標。其次才是官僚避重就輕的習性，需要改變。

本報告分析全球唯一的「高承載透水道路」，其完全違反傳統施工道路理念，卻已經八年以上實證，確認其能承受大吊車壓碾，且同時能讓一小時 1.5 公尺~12 公尺的雨量穿透，更能同時設計於鋪面下儲存大量雨水。其功能已超越原先所期望之「防洪」目標，還可達到抗旱、降溫、吸碳、除冰、去除空氣污染、維繫地底生態等多重功效。更驚人的是：其建造成本，經多年推廣，已降到與傳統透水鋪面相當，還可保固十年不會碎裂、破損、凹凸，且經正常維護可保持穩定的透水功能。事實是：鋪面可與建築同壽，符合國際所認定之「永續鋪面」要求，避免經常性的翻修，節省長期資金與資源浪費。

前段文字好似廣告詞般，令人不敢置信。

本研究團隊在與該工法發明人合作期間，意外發現：國內交通、道路、鋪面工程專家與學者，以及市售透水鋪面業者，幾乎是全面合作阻擋，以排山倒海之力，全力防堵高承載透水鋪面與道路，成為市售商品，更別說成為治水策略重點項目之一。包括：公共工程施工綱要規範 02794 章透水性鋪面，一直拒絕將此工法納入。而如高性能綠建材標章審核，更是刁難再三，審查五年仍未通過。同時，行政院公共工程委員會亦全力防堵具專利權的工法，使得該工法發明人心灰意冷，全力推廣海外市場。

「高承載透水道路」到底是否是真實的？還是吹噓的？行政院水利署新店辦公室前有長期的實證，大愛電視台在 2011 年 2 月 20 日的「大愛全記錄」中也已報導。近期，國際探索頻道也在 2011 年 9 月 25 日的「聚焦台灣」中報導。該工法更自 2002 年以來，於國際間取得無數獎項，近期則是取得中國發明協會「第六屆發明創業獎」，正積極於中國創業發展。

本研究團隊了解到要打破所有人認為「東西太好，根本就是廣告吹噓」的概念，以及詳查為何國內專家與業者要全力圍堵，就必須深入分析與說明。所以整理出 22 個經常被訊問的問題，提出解答。同時，也分析說明高承載透水道路對當前都市治水的重要性，以及其在「建築防洪」與「道路排水」方面的應用設計。

2011 年 9 月 29 日，高雄市政府創全國之先，在市政會議上通過「高雄市綠建築自治條例」草案，其中包括「建築防洪」的概念。顯示國內已正跟上國際腳步。但在「道路排水」方面，則尚未見任何地方與中央政府有所積極規劃。

本報告希望引起國內各界的注意，了解到人工鋪面對環境的破壞，以及此趨勢的可能扭轉。更希望大家注意到：歐美日先進國家，正等待著發明人將此工法傳入，而非我們要等他們大量使用此工法後，再傳入我國。

目 錄

摘要	1
目錄	3
一、引言	5
二、鋪面	8
三、高承載透水鋪面簡介	10
四、疑惑與解答	19
1. 為何稱之為 JW 鋪面？	19
2. 以塑膠架構取代鋼筋，鋪面強度與韌性夠嗎？車子壓過，不會垮嗎？	19
3. 水經塑膠管進入底層，底下一定是碎石層，才能儲水，那麼這些碎石可以承受上方整個水泥板與車輛嗎？車子壓過，不會垮嗎？	19
4. 碎石層內累積的水壓，以及樹根吸收到水與空氣會生長，豈非都會向上推擠水泥板，而使得表面層凹凸變形？	21
5. 夏天熱冬天冷，熱漲冷縮也會影響到水泥板與塑膠管的伸縮，如此豈不是會影響鋪面平整？	21
6. 塑膠管埋在水泥內，夏季太陽輻射，塑膠管不會融解或破碎嗎？	22
7. 塑膠管是空心的，水會直接下去，所以透水率一定很高；但是道路上飛沙走石，再加上落葉與垃圾，塑膠管不是很快就會被堵塞住嗎？	22
8. 就算水進入下方碎石層，難道不會很快就儲滿水，然後滿到路面，失去透水鋪面的作用？	23
9. 為何稱之為「空調導水管」？	23
10. 鋪面下所儲存的水，可以備乾旱時使用嗎？	24
11. 沙塵、落葉、油脂、空氣污染物、二氧化碳等，進入鋪面下層後，去了那裏？	24
12. 夏季時，鋪面溫度會下降嗎？	27
13. 在冬季下雪地區，JW 鋪面能幫助除冰嗎？	30
14. JW 鋪面與其他透水鋪面的比較如何？	30
15. 此鋪面平常要如何維護？	31
16. 當鋪面要打開，以進行地面下管線接通時，要如何處理？	32
17. 此鋪面的施工困難嗎？	32
18. 此鋪面的費用高嗎？	34
19. 水泥本身的壽命很長，但水泥鋪面會因為下面進水問題而被破壞。此鋪面既然不擔心進水，請問其壽命是多長？	34

20. 既然此鋪面有防洪、抗旱、融冰、吸碳、微濕地等優點，又是低成本、少工時、不會毀損的永續鋪面，而且已發展八年之久。那麼為何沒有到處鋪設？為何從未聽過或看過？	35
21. 如何才能確定完工後的鋪面，是真正的 JW 鋪面，而非是假冒的？	36
22. 歐美日等先進國都未大量使用，我們是否再等等？	36
五、高承載透水道路對都市治水的重要性	37
1. 若要儲水，碎石層厚度 H 應是多深？水能儲存多少？	38
2. 建築之基地保水與暴雨儲水的概念差異	39
3. 道路排水的設計概念	42
4. 重要性探討	44
六、結論	48
參考文獻	51

一、引言

2010 年夏季，巴基斯坦出現異常暴雨，連續數周，造就世紀大洪災，百萬人無家可歸。2011 年初，澳洲昆士蘭省連續數月降雨，3/4 的面積泡在水中，人口 185 萬的布里斯本也淹水，國際媒體以「聖經浩劫」形容之。2011 年秋，泰國連續三個月大雨，全國 60 多省淹水，首都曼谷失守，全球關注。這三次洪災，除了短期暴雨不斷，最令人心慌的是降雨不止。傳統的治水策略，強調圍堵與疏導，顯然不敵大自然的狂襲。

我國的洪災主要受颱風豪大雨影響，降雨量大，且每年都會在某處出現破紀錄災情，令人防不勝防。2011 年出現本世紀以來最少的颱風登陸記錄，但屏東恆春連續三日 950 公厘，打破過去紀錄，出現 50 年來最嚴重淹水。十月初宜蘭地區，受奈格颱風外圍環流與東北季風共伴效應，山區累積 1650 公厘降雨，淹水災情處處可見。

氣候變遷趨勢中，全球各地破紀錄豪雨不斷發生，堪以進入「暴雨新紀元」稱之。同時，人為治水緩不應急，傳統工法受限於經費，治水標準趕不上暴雨新記錄，人人都在擔憂：若是同樣大雨落在我住的地方，會是如何？

現今，全球人口不斷成長，土地不斷被轉換為農地、牧地、工業用地；人口也同步往都市集中，造就都市建設快步更新。但是，都市熱島效應惡化，空氣污染集中，同時出現都市雨島效應，也即閃電、暴雨出現頻率遠高於市郊。2011 年中國武漢、北京、深圳、杭州、南昌、長沙、合肥、南京、成都、揚州、江陰、咸甯、萬源、日照等城市，紛紛出現暴雨後之大淹水、交通大阻塞事件。網路上，乃出現如北京看海、觀瀑布等嘲諷之詞。

「建築防洪」與「道路排水」是當今各先進國正積極推動的治水策略，前者要求暴雨來臨時，各建築物必須儲存相當雨量，以降低都市內排水系統的承受壓力。後者乃將傳統道路改變為透水道路，讓雨水直接進入到道路之下流動，而非在道路之上流道，以免排水系統阻塞，立刻在各地出現

道路下游地區淹水災情。

「建築防洪」與「道路排水」的主要概念就是要回歸自然，讓大地回復到過去的儲水與分散洪水壓力的功能。前者是期望增加無數個小的滯洪池，後者則是增加無數條排洪道。原則上，只要政府規定建築與道路在設計時，都必須考慮此二概念，則在不動用到原本的治水經費下，就直接創造了更多有效的治水方法。

「建築防洪」與「道路排水」的概念，過去十多年在國際間的推動，主要強調要增加人為透水面積與地下儲水，所以鼓勵使用透水鋪面，以及增加公園、綠地面積。但是，現有透水鋪面都不耐重，所以都只能使用在低承載的地區，如人行道或車行量少的道路。而且，現有透水鋪面的透水性，在數個月後就漸失去效能。至於增加綠地，則會影響到建商利益；公園方面，現在流行要多功能化，反至減少綠地。至於要進行地下滯洪池、地下水庫、地下洪道等興建，全球僅日本最為積極，主要是考量減少土地徵收的費用。

所以，要推動「建築防洪」與「道路排水」，最大的困難就是如何改變傳統人為鋪面的工法，使得建築四周，非屬綠地的人行道、廣場、停車場、車行道、籃球場等，都變成高效率的透水與地下儲水池。同時，所有道路也都改變成高承載透水道路兼具地下河道功能。更且，在全球債台高築、金融風暴不斷之際，必須是不增加成本、易維護者。此外，傳統鋪面定期都需更換修復，特別是低成本的柏油道路。但是，全球現正推行永續鋪面概念，就是鋪面與建築同壽，長期不必維修更換，以降低資源浪費，降低全球環境污染與氣候暖化威脅。

本研究報告乃在「台達電子文教基金會」支持下完成。第一作者陳瑞文博士是位發明家，發明「環保透水混凝土鋪面施工法」(陳，2001)，經過多年實證，確認其所發明的工法，可以達成上述所要求之高承載與高透水功能。水利署新店辦公室內，長期進行四種透水鋪面的比較，實證結果已由

大愛電視台於 2011 年 2 月 20 日的「大愛全記錄」報導，結果是在承重與透水性能等方面，都遠遠超越其他鋪面。當初興建之初，建造成本偏高，但如今全台各地都已在使用的，建造成本大幅下降，且主動提出十年保固，符合前述低成本與長期不增加資源浪費等要求。

「中華民國低碳環境學會」在 2010 年，與氣候傳奇人物史耐德博士共同提出「暴雨新紀元」的概念，並主張探查各地面對氣候變遷下的脆弱度極限，找尋提高極限的可行辦法，降低破記錄災情不斷出現下的損失。所以，在 2010 年提出積極推廣「建築防洪」與「道路排水」的概念，並尋找關鍵技術，期以在不增加全國治水成本下，達到「可以被氣候所驚嚇，但不会被災情所驚恐」的目標。

本研究報告第二作者柳中明教授，在 2010 年初，於台北科技大學校園內，在前述已興建八年的高承載透水道路上，進行汽車排放廢氣實驗，結果發現此道路可以稀釋 76% 的二氧化碳，直接進入到道路之下，該論文已被接受發表於國際期刊 JAWMA(Journal of Air & Waste Management Association)(Liu et al., 2011)。為何此道路可以吸碳？後續又去了那裏？除了防洪、抗旱，難道還具備其他特殊效益？

本報告乃「暴雨新紀元下都市脆弱度界定與調適策略評估：高承載透水鋪面之治水可行性評估」中之一部份，主要任務在說明何謂「高承載透水道路」，或稱「高承載透水鋪面」。更且在資料收集過程中，了解到此創新工法是被國內交通、道路工程專家所不容，以及現有透水鋪面業界全力圍剿。所以，陳發明人正積極推廣海外市場。「中華民國低碳環境學會」認為要推薦此工法於「建築防洪」與「道路排水」中，就應積極說明，期以改變視聽，所以特別邀請陳發明人協助與指導，完成此報告。最重要的是：多數人都不是鋪面與道路施工專家，若果連真正的專家都不能理解，是否更當全面公開相關資訊，期以促進全民了解。

本報告首先說明高承載透水鋪面的特點，探討其與傳統柏油鋪面、水泥

混凝土鋪面、透水鋪面的不同，並分析為何不能以傳統透水鋪面視之，同時提出 22 個經常被質疑的問題，詳細解答之。其次說明，為何與如何在所有治水策略中，加入高承載透水道路的設計與施工，才能對人口不斷集中的都市，一勞永逸地解決破紀錄豪雨帶來的大面積淹水威脅。

二、鋪面

全世界每一個人類探索到的地點，必定會有一條道路抵達。而每一條道路興建後，必定會被人工鋪面覆蓋，乃至影響下方土壤與大自然的接觸。就算是使用石頭鋪路，也是如此。因此，人工鋪面可視之為人類改造大自然，所進行的第一項環境破壞行動。

鋪面到底要如何來分類，簡單可分為硬鋪面與軟鋪面，前者如水泥混凝土鋪面，後者如柏油鋪面；或是區分為透水鋪面與不透水鋪面。每一種鋪面必須因應需求，而進行詳細的評估與設計，所以無法一概而論，判定那一種鋪面較佳。譬如一般都市都是大量使用柏油鋪面，如台北市僅在公車專用道使用水泥鋪面，可想而知水泥鋪面的承重能力較佳，柏油鋪面則適合多數車輛行駛且成本較低。但是，如美國休士頓市區大量使用水泥鋪面，特別是高架道路，顯然考量的不是成本問題，而是不易破損等長期管理維護問題。

對於透水鋪面的考量，主要就是為了增加地區的透水面積，其一方面是因為阻擋與疏通策略皆不足以治水，所以期望增加都市透水面積，以降低對都市排水系統的壓力。另一方面是考量生態系統維護，希望增加土壤接觸水的機會。不過，鋪面下方若果進水，就會造成水的累積，或是影響下方支撐的鋼筋氧化膨脹，或是土壤吸水膨脹，更有樹根進入等問題，都會使得表面變形碎裂或是部份鋪面向上突起等，破壞到鋪面的平整，影響行走的安全。更且，透水磚、植草磚、透水柏油、透水水泥等透水鋪面，都不能耐久與承重。所以，願意使用透水鋪面的人工鋪面，其實是占每座都市非常少的面積。不過，若果是使用非常沉重的花崗石等，透水鋪面也是

可以持久的，這是許多古老城市的路面，到現在都沒損壞，同時也易排水的原因。

鋪面的組成結構(參考圖 1)，最下方當然是原始的土壤，再來是穩定道路的基底層(或稱級配層)，然後是碎石層，最上面是面層。土壤層通常會被要求打平、壓緊，但有些地區的土壤層可能都已非是原始泥土，如被替換為更穩定的不易吸水的泥土，或是長期以來各種廢土廢棄物的累積，甚至如垃圾掩埋場都可能位於此土壤層下方。基底層(或稱級配層)是為了穩定道路基礎，視道路或鋪面需要而設計，如人行道、停車場等就不是很重視。對於道路，有些地區使用石灰石以吸水，或是使用水泥以加強基礎等，設計會因為需求而異。碎石層則主要是為了配合透水鋪面設計，乃有利於雨水滲入與流通，有些地區還要求是三層不同大小的石頭，以有利於過濾水中污染物。至於面層，則主要是表面上看到的鋪面，如是柏油鋪面、水泥鋪面或是透水鋪面等。

長期以來，人類不斷改善鋪面。譬如飛機跑道就是要達到最嚴格標準，要承受無數飛機的重量，絕對不能讓水分滲入，更不能經常出現破損，而需要修補等。當然，這是成本問題，飛機航道的興建成本非常高。但若是普通人行道，當然就不需要考量承重或是水分進入與否，至於破損，就等著有經費時才修復。顯然，安全、成本及服務目的，是設計鋪面時的基本考量。

結語：鋪面一定會影響環境，而透水鋪面是較適合現代的治水與重視環保概念者。可是透水鋪面是無法承重的，除非是沉重的花崗石鋪面，如北京天安門廣場。但是，不可能使用這類材料在全球的鋪面上，這就牽涉到成本與施工時間。此外，水進入鋪面下，是會破壞鋪面的平整而影響安全及維護。因此，在建設道路時，工程師會提出非常多理由，堅決反對使用透水鋪面。

三、高承載透水鋪面簡介

透水鋪面能夠高承載，而且不會因為透水而破壞鋪面，更且不會是高成本與費工時的，這對許多工程師而言，是絕對無法相信與接受的。

高承載透水鋪面的概念乃如圖 1 所示，其最大特徵就是使用塑膠製的「空調導水管」(圖 2a)，如此降雨時，雨水會直接穿過管路，進入下層。其施工過程乃如圖 3 所示，先將導水管組合好(圖 3a)，然後倒下水泥混凝土(圖 3b)，必須抹平整(圖 3c)，混凝土快乾時，可以上色(圖 3d)(或不上色，視需要而定)，然後才剝除導水管上的蓋條(圖 3e)，露出一個一個的小洞(圖 2b)，最後是清理(圖 3f)。由於使用混凝土，所以要歸類為硬鋪面。而因為導水管架可以經過設計，提供多種表面圖案，配合各種色澤，所以被優先使用在人行道、公園道路、操場、停車場、車道等處。在中國，乃以「會呼吸的大地彩衣」稱之。

顯然，施工很快速，因為一般道路也必須使用鋼筋條或鋼筋架或點焊鋼絲網，與水泥結合後加強強度，而這些鋼筋條或鋼筋架或點焊鋼絲網也需要人工處理。所以，使用導水管的工時與一般水泥鋪面相接近，可是會更平整(圖 3a)，更不用擔心下方基底層的平整性，影響到鋪面平整。因為在組合塑膠架構時，就可注意水平面的平整處理。若待倒水泥後，才來確定平整，顯然是很不穩當的。

當然，這裏又出現幾個疑問。以塑膠架構取代鋼筋，鋪面強度與韌性夠嗎？車子壓過，不會垮嗎？塑膠管埋在水泥內，夏季太陽輻射，塑膠管不會融解或破碎嗎？水經塑膠管進入底層，底下一定是碎石層，才能儲水，那麼這些碎石可以承受上方整個水泥板與車輛嗎？塑膠管是空心的，水會直接下去，所以透水率一定很高；但是道路上飛沙走石，再加上落葉與垃圾，塑膠管不是很快就會被堵塞住嗎？就算水進入下方碎石層，難道不會很快就儲滿水，然後滿到路面，失去透水鋪面的作用？還有，碎石層內累積的水壓，以及樹根吸收到水與空氣會生長，豈非都會向上推擠水泥板，

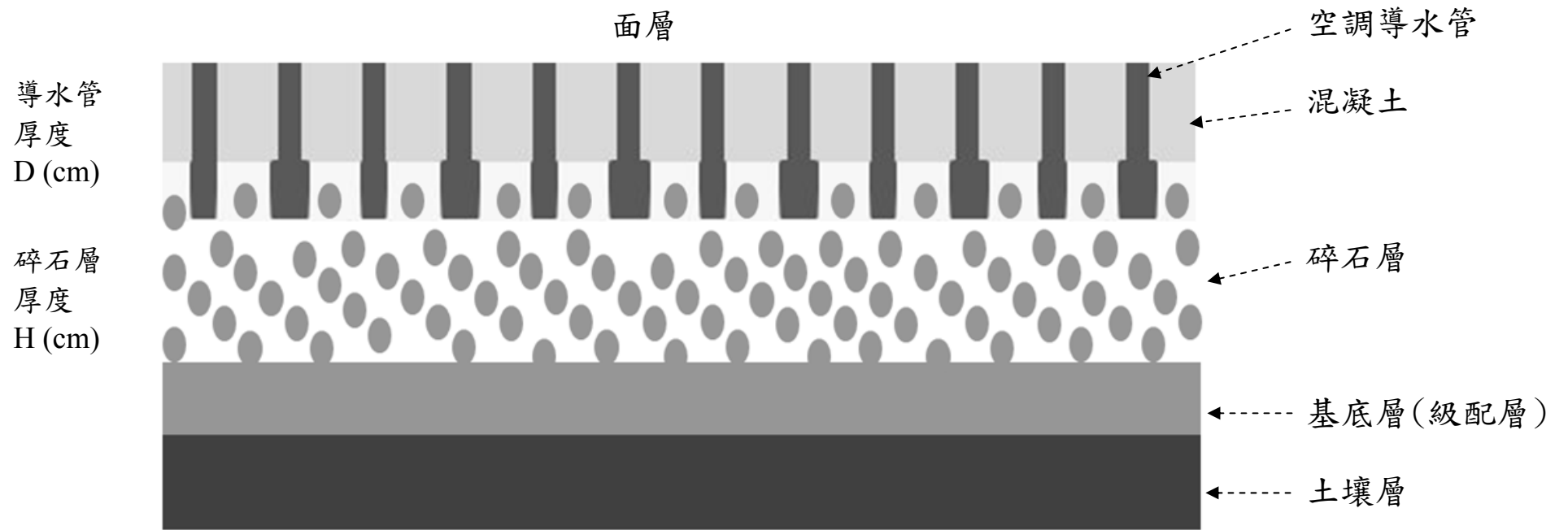


圖 1：高承載透水鋪面(或稱 JW 鋪面)的概念示意圖。

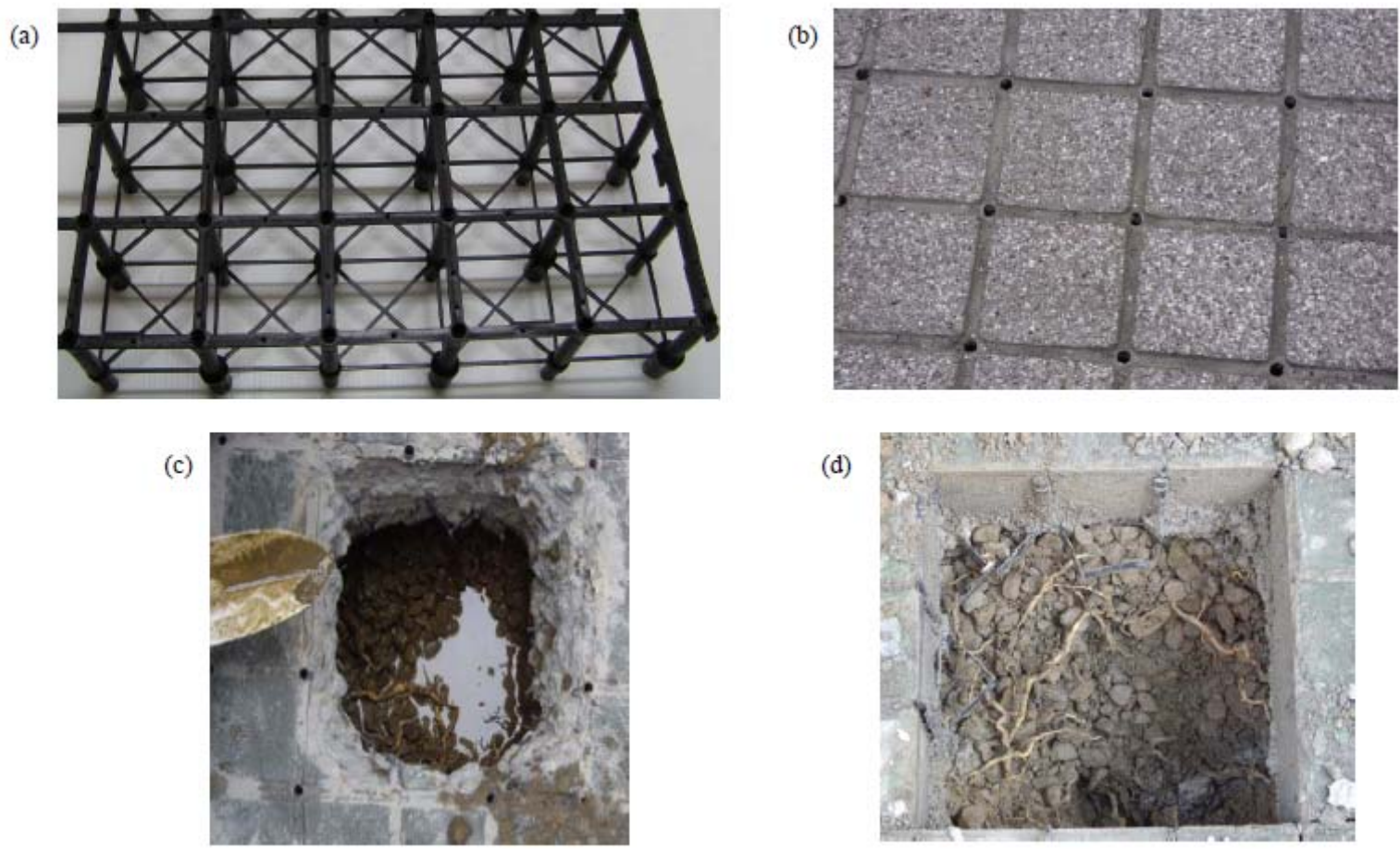


圖 2：(a) JW 鋪面使用的空調導水管；(b) 鋪面完工後，小小導水管口露在外面的樣子；(c) 鋪面之下，水聚集的狀況；(d) 鋪面之下，樹根蔓延的狀況。後二照片，是在施工八年後，開挖所照。

(a) 第一步：組合好導水管



(b) 第二步：倒水泥混凝土



(c) 第三步：壓平



(d) 第四步：上色(或其他表面處理)



(e) 第五步：剝除覆蓋條



(f) 第六步：去除碎片



圖 3：六道施工程序圖。

而使得其凹凸變形？更且，夏天熱冬天冷，熱漲冷縮也會影響到水泥板與塑膠管的伸縮，如此豈不是會影響鋪面平整？

還有政府部門的專家問過：日本、美國、歐洲的交通建設如此先進，他們都沒有使用這種工法，應該是不可行的吧？我們還是等別人用過，再來嘗試。

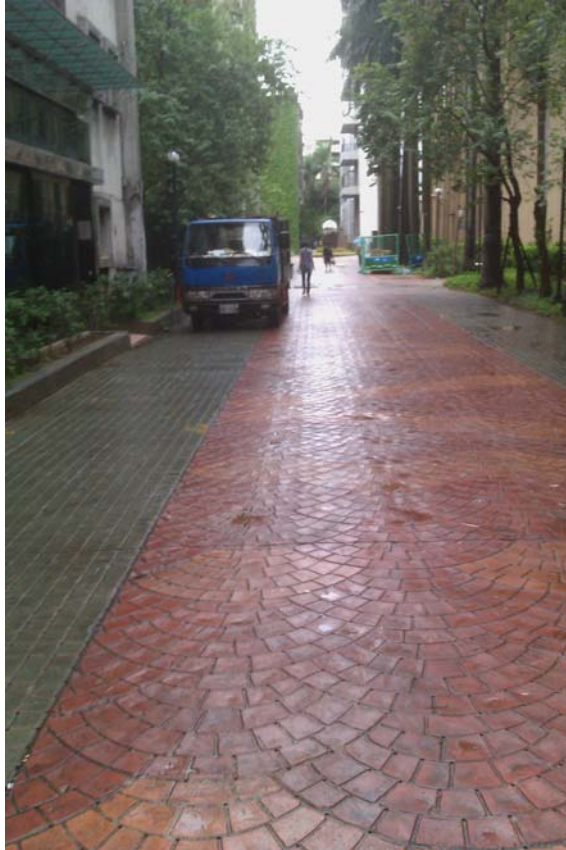
許多專家都弄不懂的問題，多數沒研究過鋪面工程的，當然也都不懂。而且，上述高承載透水鋪面的工法，其實是提供了一個新的工程概念，更且是完全違背了前述：透水鋪面不能承載，正常道路絕不能讓水進入等觀點。如此連先進國家都不會的工法，又究竟是誰發明出來的？而且，真的可行嗎？

在此就先不回答以上問題，而是提出實績。

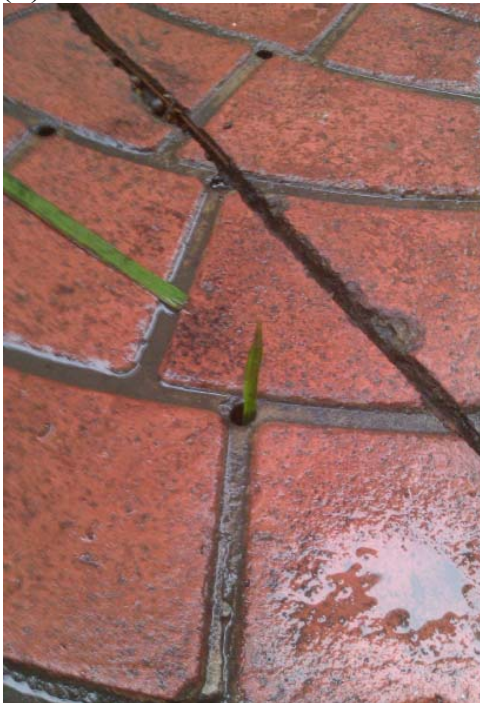
圖 4a 是座落在台北市台北科技大學校園的高承載透水鋪面，以下要簡稱為 JW 鋪面。該鋪面完工於 2003 年，當時該校爭取到教育部補助，在校園內同時鋪設八種不同透水鋪面。爾後該校因為許多建築老舊，就持續爭取經費翻修。因此，許多載運建材的卡車，與要將建材吊到附近樓層屋頂的大吊車，就非常頻繁的進出該校。根據該校設計學院蔡仁惠院長的說法(溫興煜，2011)，其他七種透水鋪面當然是無法承受如此壓力，所以都在工程過後，另外找經費修補。但是，JW 鋪面不僅沒被壓壞，而且也沒出現被樹根向上壓擠的破壞，更且是一直維持圖 4a 中的美觀畫面。事實上，圖 4b,c 內，可看到綠葉會由管洞下方往上生長。

2010 年，為了學術研究(Liu et al., 2011)，特別將部份鋪面翻起，結果(圖 2c 與圖 2d)可看到下面真的是樹根蔓延，而且不僅儲存水(圖 2c)，而且水分含量高。圖 2d 內，測量土壤的水含量是 21%，混雜著碎石的部份，其水含量也有 4.2%。此外，圖 5a,b 顯示塑膠管完全沒有被破壞或老化的狀況。

(a)



(b)



(c)



圖 4：台北科技大學校園的高承載透水鋪面(JW 鋪面)，完工於 2003 年，拍照於 2010 年 10 月。

(a) 挖出的導水管(現場拍攝)



(b) 挖出的導水管(在室內拍攝)



圖 5：八年後挖出的導水管。

蔡院長還提出：JW 鋪面的透水率最高，其他鋪面的水都無法像這個鋪面般快速排水。就算是出現阻塞的狀況，用筷子一通，水就立刻消失了。而且，該校沒有經費定期維護路面，工人們在附近建築施工時也不會注意到這些小洞。所以，沙、土、落葉等不斷累積，JW 鋪面還是能夠維持最佳的透水率，真是很令人驚訝。

2003 年底，經濟部水利署新店辦公室前的行車道，也採用 JW 鋪面完工(圖 6)。2008 年底，當時的水利署署長還致函感謝，此鋪面在過去五年，沒有經過任何維護，居然是一樣平整與透水。

2011 年元月正式開放的「孫運璿綠建築科技大樓」，又稱之為「綠色魔法學校」，其大樓四周就是採用 JW 鋪面(林憲德，2011)。圖 7 顯示一輛載滿砂石的車輛，正由入口進入。該建築在 2011 年 4 月得到內政部頒發的 EEWH(Ecology, Energy, Waste Reduction and Health；生態、能源、減廢與健康)之最高「鑽石級綠建築標章」之後，又榮獲美國綠建築協會的 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 最高白金級綠建築標章，是全亞洲第一個取得 LEED 白金級標章的教育大樓，也是唯一獲得臺灣 EEWH 與美國 LEED 最高標章的綠建築。

許多建築師夢想著設計出最新的綠建築，現在都面臨一個人生中最大的疑惑：若要拿到 EEWH 與 LEED 最高等級的大獎，是否就必須接受高承載透水鋪面的最新概念，將新建築的四周人行道、行車道、停車場、中庭廣場等，都設計為 JW 鋪面？

高承載透水鋪面(或稱為 JW 鋪面)不是空中樓閣，是真正已試用八年，且很多新建築正不斷希望使用的鋪面。下節，就來解答前述的許多疑問。



圖 6：經濟部水利署新店辦公室前的 JW 鋪面行車道。



圖 7：台南成功大學「孫運璿綠建築科技大樓」前的 JW 鋪面道路。

四、疑惑與解答

1. 為何稱之為 JW 鋪面？

正確的名稱應是 JW 生態工法系列中之一種工法鋪面，依照圖一所示的工法完成的鋪面，稱之為 JW 鋪面。JW 乃是發明人台灣品岱公司陳瑞文博士的英文名字的前面字母，就如同許多發現都是以發明人來命名一般。

2. 以塑膠架構取代鋼筋，鋪面強度與韌性夠嗎？車子壓過，不會垮嗎？

依據李與鄭(2004)的測量，7.5 公分厚度的 JW 鋪面，約可承受 $20\sim 30\text{kg/cm}^2$ (相當於 300~450psi)的垂直點荷載，而一般大型車輛約為 90psi。10 公分與 15 公分厚度的鋪面，則可各承受 $30\sim 40\text{ kg/cm}^2$ 與 $40\sim 60\text{ kg/cm}^2$ 。所以，若使用 15 公分厚度的空調導水鋪面，對於 20 公噸的公車、40 公噸的貨櫃車、或 80 公噸的大吊車，均可承受。而且，李與鄭(2004)的測量顯示：該混凝土塊的延展性與韌性均佳，所以若是單日三萬輛車輛通過，也可承受。更重要的是：此空調導水管的縫隙間，必要時也可以輔以鋼筋線材，再倒入混凝土，其承重能力幾乎可以加倍。所以，就算是應用在飛機跑道上，也不是問題。李與鄭(2004)也提出實際厚度需求的估算方法。

3. 水經塑膠管進入底層，底下一定是碎石層，才能儲水，那麼這些碎石可以承受上方整個水泥板與車輛嗎？車子壓過，不會垮嗎？

觀察圖 1，可注意到導管下方是埋在碎石層內。當倒入的水泥凝固後，上方的碎石就與導管及水泥緊密結合，但是下方的碎石仍是存在空隙的，所以圖 2c 顯示碎石層會儲水的情形。同時，上方這些與導管及水泥緊密結合的碎石，就變成每棟大樓的基柱。基柱間是中空的，所以可以儲水。同時因為有無數點基柱，就可以撐著上方的水泥板(就像是樓板)。這時車輛行駛過去，水泥板不會破碎(前面有說明)，碎石基柱也不會破碎。最簡單的想法就是：一堆沙，車子過去，輪子會陷下去；但是上面鋪一個板子，車子過去了，板子沒壞，沙也沒陷下去。

圖 8 是李與鄭(2004)試驗透水率時，所使用的模型。當時不是在研究碎石層可以儲存多少水，所以碎石層很淺。但是，注意到水泥不會在被灌入時，一直往下填塞，而是會停留到碎石層上方，如此就讓碎石層像樓層基柱般，撐著上面沉重的水泥板。碎石與碎石間，則存在著許多空隙，可以儲水。

此外，下方的級配層與土壤層也允許進水，特別是「活化土壤」，這點就是與傳統道路最大的不同。台灣一位退休的公路總局局長說：「完全違背一輩子道路施工的概念，他絕不接受！」。一般大眾都非專家，所以就要去看前述的實績，若果 JW 道路使用八年，都不會損壞，傳統觀點可能是需要調整了！



圖 8：李與鄭(2004)研究時，所使用的 JW 鋪面模型。

4. 碎石層內累積的水壓，以及樹根吸收到水與空氣會生長，豈非都會向上推擠水泥板，而使得其凹凸變形？

看到圖 2c,d 與圖 4b,c，可確定 JW 鋪面之下，充滿著水與生命，這是一般道路鋪面絕對不允許的。可是圖 4a 卻顯示車子每天來來去去，而且還可支撐大吊車，鋪面仍然維持著非常平整(圖 4a,b,c)。這是因為累積的水壓與生長的樹根，是不會去撐破碎石層上緣與導水管及水泥間的緊密結合，也不會向上推擠整個水泥鋪面，它們會去找最輕鬆的出路。譬如水滿了，就直接出來，或是在碎石層內向低勢低的區域流動；樹葉也會直接由管道向上出去(圖 4b,c)；碎石層間及下面的級配層與土壤層，都可以讓水與樹根進入(圖 2c,d)。簡單地說：去推擠上方太辛苦，所以都走向比較舒服與輕易可發展的地區，且對鋪面本身毫無影響。若果讀者擔心樹根由管道向上伸展，再因生長而撐破管道，這點更難發生，因為塑膠管道是被水泥混凝土包裹，很難撐破，且在過去八年也未發生。

有趣的是，許多鋪面都擔心下方黏土層吸水後會膨脹，譬如休士頓地區要求要鋪厚厚一層石灰石等會吸水或阻水的物質，中國武漢地區是挖起原來的黏土，然後換其他地區的泥土，如此之後才能開始進行鋪面工程。但這裏卻是讓土壤每天泡在水裏，反而不用擔心土壤吸水後變形，更且樹根還可以更往土壤中發展，而不會向上推擠。這種現象很像一大遍濕地存在於鋪面之下，而此結合生態大自然發展的觀點，與傳統道路鋪面阻隔生態發展的作法，完全相反，也就是道路工程師最無法接受者。若非真的挖起來看(圖 2c,d)，還真很難讓人相信。

5. 夏天熱冬天冷，熱漲冷縮也會影響到水泥板與塑膠管的伸縮，如此豈不是會影響鋪面平整？

在鋪面表面，固定距離處，一定要切伸縮縫，讓鋪面伸展與收縮，這是與其他水泥鋪面一樣的作法。深度則要切到導水管進入碎石層的上緣，如此下方還是結合在一起的。

6. 塑膠管埋在水泥內，夏季太陽輻射，塑膠管不會融解或破碎嗎？

塑膠導水管是 PP(polypropylene; 聚丙烯)製成，化學式是 $(C_3H_6)_n$ ，其融解溫度是 $171^{\circ}C$ ，全球沒有一個地區的道路可以達到此高溫。PP 唯一怕的是紫外線輻射，會很快退化。但圖 2b 顯示是只有一個小洞漏出來，而且幾乎都被水泥阻隔，太陽光很難進入。圖 5a,b 就是八年後挖出來的樣子，根本沒有老化碎裂等現象。

7. 塑膠管是空心的，水會直接下去，所以透水率一定很高；但是道路上飛沙走石，再加上落葉與垃圾，塑膠管不是很快就會被堵塞住嗎？

依據李與鄭(2004)的測量，當此特殊鋪面在沒有受阻塞時，其平均透水率約是 $12,557\text{mm/hr}$ ，就是一小時可倒 12 公尺的水進去。而當受完全阻塞時，也具 $1,487\text{mm/hr}$ 的平均透水率，就是一小時可倒接近 1.5 公尺的水進去。然後在阻塞被清理後，仍具 $12,372\text{mm/hr}$ 的平均透水率。這樣的透水功能，在都市內當然可以避免豪雨積水。若使用為山區道路鋪面，則可以直接排除豪雨，避免因為持續沖刷，而讓道路地基流失。當今破記錄降雨持續發生，也只有 JW 道路可以讓連續數日上千釐米的降雨，順利流通。

為什麼管道阻塞起來，水也能下滲？就如同蔡仁惠院長的觀察：長期沒有清理，水一樣向下滲透。這是因為導水管內是平滑的，水會找到空隙向下走。此外，圖 1 與圖 5b 顯示塑膠管的入口是比出口小的，所以能進入塑膠管道內的物質，一定會到達下方，不會阻塞住通道。所以，長期下來，沙塵落葉等都會慢慢沉落下去，而非是一直阻塞不通。那麼掉下去的落葉沙塵，後來跑去了那裏？由於下方是微濕地(前面有說明)，微生物會分解處理掉落葉；沙塵則在降雨後，就會融入土壤或是成為生態系所需要的礦物質。當然，這些都是需要時間緩慢進行，如台北科技大學就是放任大自然進行清除的工作。但在一般道路上，採用傳統的洗掃街車，如沖水、掃除與吸塵等，就可維持相當好的管道通暢率，無需特別處理。事實上，因為沙塵會因為大氣風吹，而進入管道內，街道會比傳統道路還乾淨。

8. 就算水進入下方碎石層，難道不會很快就儲滿水，然後滿到路面，失去透水鋪面的作用？

運用 JW 鋪面在防洪上，並非是要完全依賴碎石層儲水。當然，碎石層愈深則儲水量愈多，但終究儲水量是有限的，無法將所有降雨儲存起來。但是，若果 JW 鋪面鋪設的愈廣，則降雨會被分散儲存到四處，而不致於在地表迅速集中，造成排水系統的壓力。由於 JW 鋪面可以建築成 JW 道路，取代傳統道路，而非僅使用在人行道、停車場等，所以比其他透水鋪面，更能達成分散儲存雨水的效果。

再者，雨水量超越碎石層的儲水量時，雨水並不一定會滿到路面。關鍵在於：水往低處流。若果 JW 鋪面與 JW 道路鋪設得非常廣，則水會在碎石層內流動，而非立刻滿溢到路面。利用這個概念，就可將 JW 道路之下變成一條河川。如此，不僅暴雨被分散儲存，又能在地表之下流動，就不會造成道路之上快速積水的現象。

但是，低窪之處是否仍舊會淹水呢？關鍵就在於 JW 鋪面到底是鋪設多廣？以及是否充分利用 JW 道路之下是河川的概念，設計使得雨水被改道到其他路徑，先被排出到河道與外海，而非是集中到低窪地點？顯然，將道路興建納入防洪治水的環節中，乃是過去所有水利專家從未考慮過的。如此，交通部也變成治水單位，而非是造成淹水單位。

9. 為何稱之為「空調導水管」？

JW 鋪面若是作為道路，車子排氣管排出的風速至少約是 4.8 m s^{-1} (Ning et al., 2005)，則廢氣應該會往前衝後，再往下墜，進入導水管內。但是，有進就必須有出，所以就出現空氣在緊鄰的管柱間上下循環。然後再考慮大自然的風流動，以及車輛行進間產生的亂流，緊鄰導水管間的空氣流動，就一定持續進行。而且，觀察圖 9，空氣由左方導水管進入，再由右方導水管出去。其導水管的設計是下面直徑大，上面直徑小。所以依據白努力原理 (Bernoulli theory)，風速會愈來愈加速，也會有利於空氣流動。這所以將之稱

為「空調導水管」。

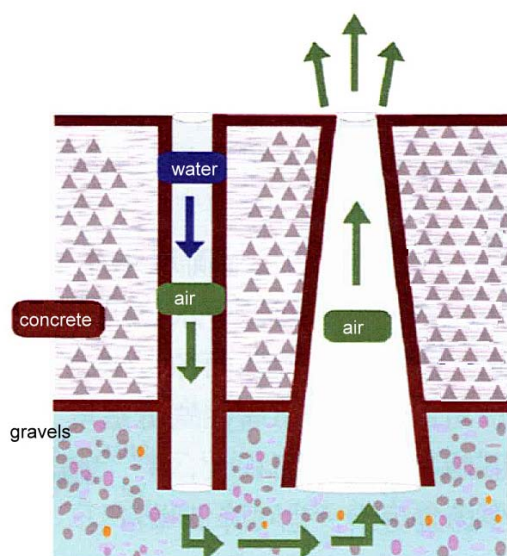


圖 9：空氣流動示意圖。

10. 鋪面下所儲存的水，可以備乾旱時使用嗎？

有關如何計算碎石層內的雨水儲存量，後面會說明，其三個影響因素為鋪面面積、碎石層深度與碎石孔隙率。原則上，碎石層內只要有孔隙，就一定能儲水。而無論儲水量多寡，但因為是均勻散布，最大好處是：大熱天時，水汽蒸發，可以降低都市氣溫。同時，可以在少數較低地勢處，抽取儲水使用。更進一步，就可以設計地下水庫，可以是一座深的大水庫，也可以是許多小的儲水桶，主要都設置在道路邊或道路下方，以供不時之需。當然，這又牽涉到可使用的經費與水資源需求的迫切性。

11. 沙塵、落葉、油脂、空氣污染物、二氧化碳等，進入鋪面下層後，去了那裏？

圖 2c 與圖 2d 已說明鋪面之下，可以儲水與呼吸，以及樹根可以生長蔓延等。東吳大學微生物學系趙維良教授在 2010 年初，於台北科技大學的四

種透水鋪面，同時進行比較實驗。其根據細菌數、真菌數、放現菌數、7 種土壤酵素活性、4 種具特殊活性細菌數目與細菌群落代謝圖譜(CLPP)等項目，針對鋪面底層土壤中微生物組成與活性之影響進行比較。結果顯示，JW 工法鋪面下之土壤中總細菌數、蛋白質分解細菌數、CMC 分解細菌數、 β -glucosidase 活性、arylsulfatase 活性、amylase 活性、dehydrogenase 活性、phenol oxidase 活性均較其它鋪面為高；而 acid phosphatase 活性、脂肪分解細菌數、澱粉分解細菌數則較透水柏油鋪面與含玻璃水泥磚鋪面為高。從細菌群落代謝圖譜來看，JW 工法鋪面下之土壤微生物對 Biolog GN2 套組中之 95 種不同碳源之代謝能力与其它 3 種鋪面比較起來，顯著的較好。整體而言，微生物活性維持得相當好。(溫興煜，2011)

中央研究院生物多樣性研究中心陳章波研究員，也同步進行四種鋪面的生態效益評估與比較，分析項目包括：環境參數如土壤溫度、土壤含水率、碎石比例、平均粒徑、粉泥/黏土含量、篩選系數、底泥酸鹼值、TOC、TN 含量、葉綠素 a 含量及底泥微生物群聚等。結果發現：在 JW 鋪面下，土壤含水率、土壤酸鹼值及土壤有機質含量均較其他鋪面為高，整體呈現飽和含水情況。由環境 16S rDNA 的萃取結果解析，底泥微生物量與群聚多樣性都相當豐富；且微生物代謝活性，對分解纖維素、氮、硫循環、及整體代理活性皆佳；微生物組成有細菌數量高、真菌數量低；活菌計數據顯示可利用脂質、蛋白質、纖維素及澱粉的菌群數量相當高。陳章波研究員認為：JW 滲水透氣的硬鋪面開口，會沖入各類有機、無機廢物，如樹葉碎片、油脂、廢氣，這些物質如同培養基，可篩選出以該等廢物為食材的各類細菌。因此，JW 硬鋪面可視之為人的皮膚，集配層與碎石層如同皮下的真皮層，因有顆粒表面的物理吸附能力，潮溼的化學反應效益，以及微生物各類酵素的分解，而具有淨化的功能。

Liu et al. (2011)以「鋪面下的微濕地」來形容 JW 鋪面下的世界，並認為除了各類微生物、細菌等的測量數據外，底層蔓延的樹根是最佳的證明。所以，沙塵、落葉、油脂、空氣污染物、二氧化碳等，進入鋪面下層後，會如

同圖 10 所示，由碎石層進行過濾、礦物質吸收油脂、蚯蚓清除雜質、微生物分解污染物等，好似生物過濾系統，自然進行著都市各類污染物的分解清除工作。當然，這樣的微濕地系統是需要時間來發展形成，雖然每次大雨來時，許多分解後的物資以及微生物等都會被沖走；但是固定下來的樹根等，卻永遠將碳、氮、蛋白質等營業物質吸存住，使得濕地內的生態系統會永續地發展下去。這對於寸土寸金的都市，期望增加綠地、濕地等，以改善空氣、水品質等，應是相當不可多得的機會。

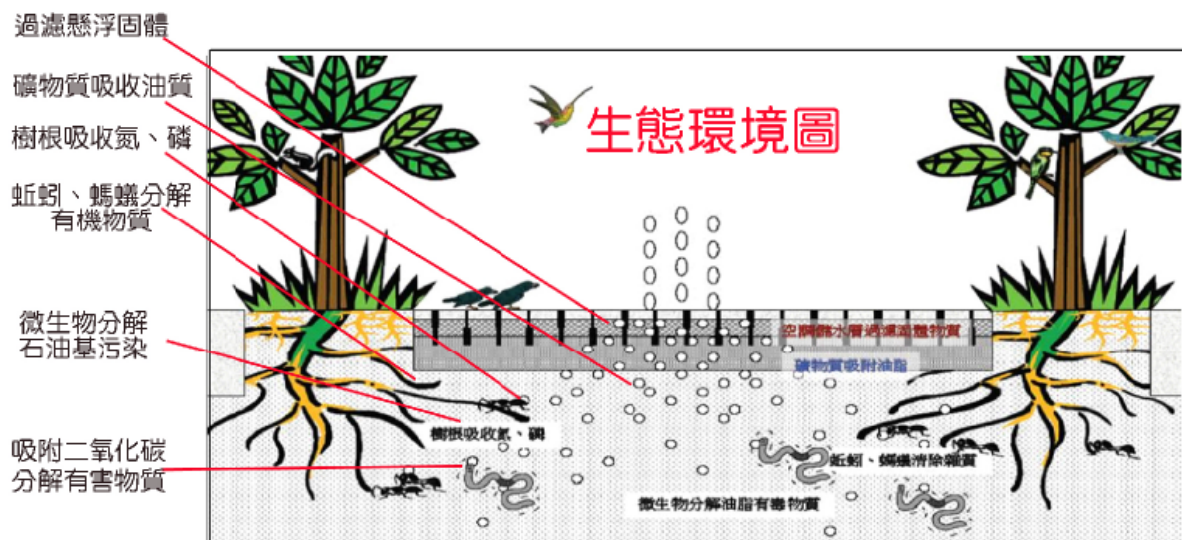


圖 10：JW 鋪面下的微濕地，碎石層進行過濾、礦物質吸收油脂、蚯蚓清除雜質、微生物分解污染物等，如同生物過濾系統，自然進行著都市各類污染物的分解清除工作。

12. 夏季時，鋪面溫度會下降嗎？

「空調導水管」自然會促進鋪面上下層間空氣流動(如圖 9)，夏季時鋪面下溫度較鋪面上溫度為低，就當然會促使鋪面上溫度下降。同時，鋪面下儲存的水(如圖 2c)，也會持續被蒸發，亦具降溫作用。

李與鄭(2004)選擇現場實驗方式，採用 TDS 資料量測系統，於 JW 鋪面上下層埋設溫度熱藕計(如圖 11a 所示)，每半小時量測一次，持續八日，並與大氣溫度相比較。圖 11b 顯示：鋪面上方溫度在午間會比大氣溫度高約 1~2 度，而在下方氣孔出口溫度則是比其低約 2~3 度。這些數據看起來似乎不是很顯著，但其重點是：鋪面上下溫度似乎與大氣溫度差距很低，且會同步變化。

那麼在實際都市內，道路鋪面與近地面間的大氣溫度差，到底是多少？圖 12 是 Ohashi et al. (2007)在日本東京神田(Kanda)區、日本橋(Nihonbashi)區，數個道路平面上，所測得之鋪面與大氣間白日溫度差的逐日變化。其數值約是 27-35°C 間。由於地表吸收太陽輻射，所以地表溫度會隨著大氣溫度而同步改變，也即圖 12 所示的溫度差變化，代表著逐日天氣變化狀況。圖中 AMeDAS 的數據，乃代表比較大面積的草坪測量，其數據約是 26.5 – 33°C。這些結果代表的是：當都市午時溫度是 30 度時，道路鋪面溫度約是 57 – 63°C，相當得高；而草坪上溫度也僅是略低。當然，這裏必須還考慮到：車子排放的廢熱也是聚集在地面上，所以近地面才會如此炎熱。

比較圖 11b 與圖 12，雖然前者測量時的大氣溫度偏低，但是大氣與鋪面間的溫差才約 1~2 度，遠低於東京所測之 27-35°C，顯示鋪面上下層間的空氣流動，對於鋪面降溫的重要性。所以，若果整個東京市改變使用此種 JW 鋪面，東京市的熱島問題必將會顯著改善。

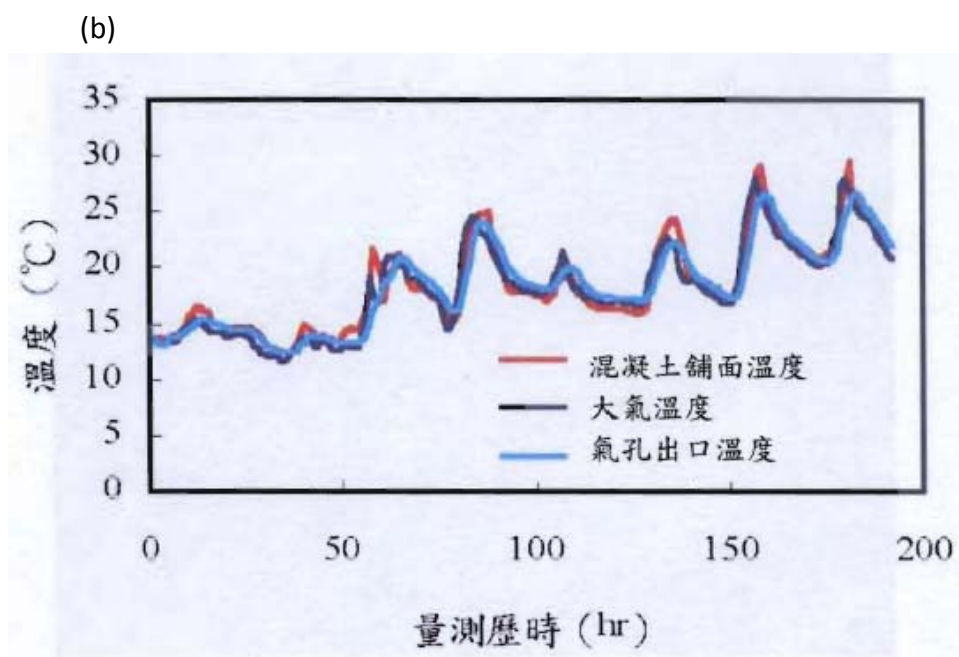
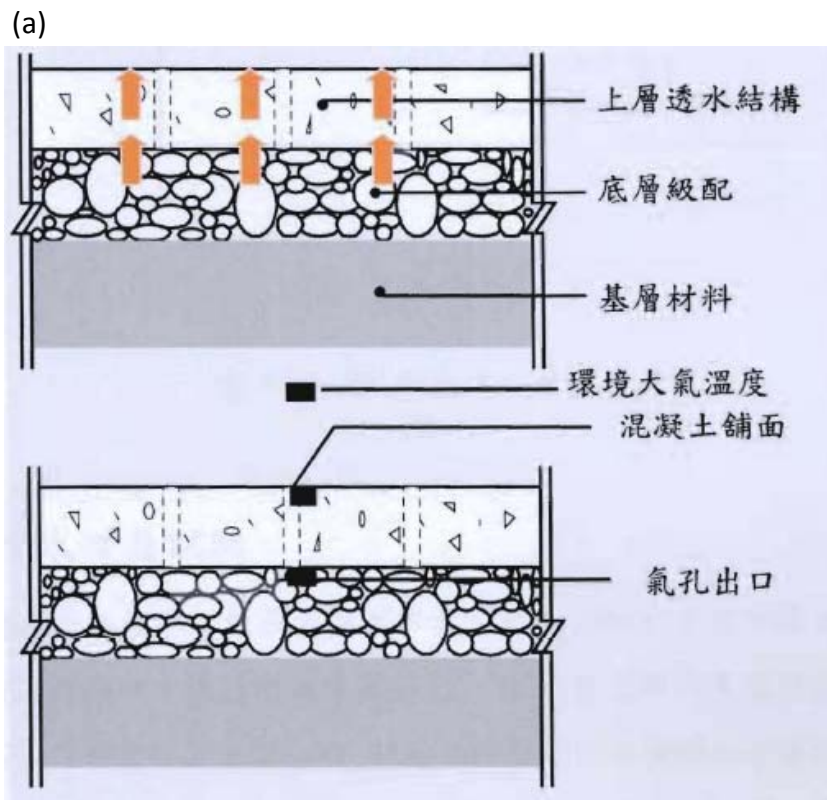


圖 11：李與鄭(2004)所進行之 JW 鋪面上下方溫度現場測量，(a)實驗設計，(b)測量結果。

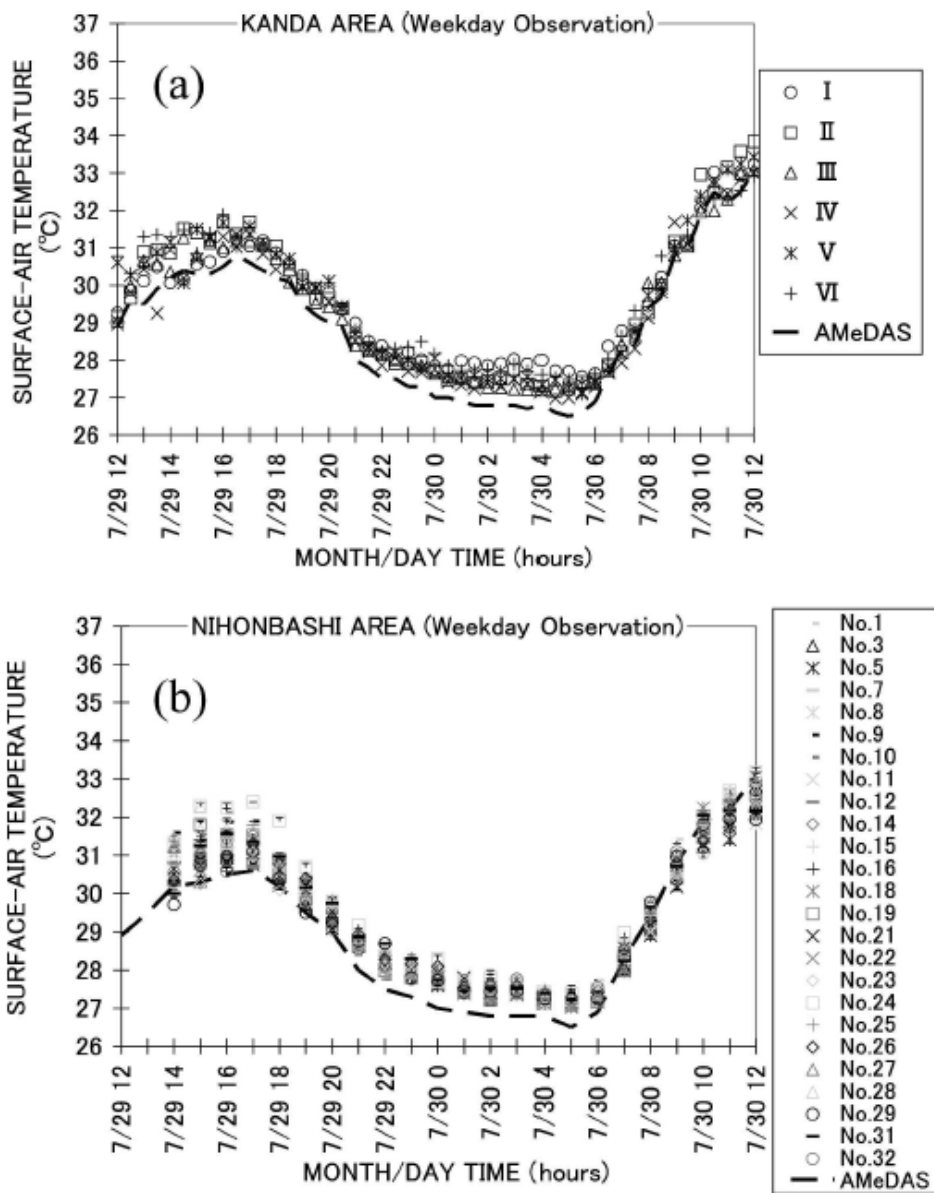


圖 12: Ohashi et al. (2007)在日本東京神田(Kanda)區、日本橋(Nihonbashi)區，數個道路平面上，所測得之鋪面與大氣間白日溫度差的逐日變化。

13. 在冬季下雪地區，JW 鋪面能幫助除冰嗎？

前述夏季時鋪面下方土壤層溫度較上方大氣層溫度低，透過上下空氣流動，而得抑制鋪面表層氣溫。若是在中緯度，冬季時，氣溫下降，但是土壤層溫度反是較大氣溫度為高，因此鋪面溫度會較大氣溫度為高，正好與夏季相反。此時出現降雪，雪會在鋪面表層融解，但因為氣溫持續維持低溫，融雪會在鋪面表層結冰，就成為道路陷阱，車輛易於打滑出事。

處理融雪後結冰的方法，主要是灑粗鹽，其乃降低雪水結冰的溫度（到 -18°C ），使其不易結冰。但是，鹽水形成後會進入地下層或河流，反影響地下水與河水水質。如此，解決了交通安全問題，卻創造出水質污染問題。特別是必須持續灑鹽，如此水質污染問題很難解決。近年來，許多歐美地區已在研究利用透水鋪面下方碎石層來過濾鹽水，但是僅適用於低車輛承載地區。

由以上討論可以了解到：融雪後若能直接排水，就已降低結冰機會，而使用 JW 鋪面，讓地底較溫暖空氣上升，不僅融雪會較正常加速，且雪水會進入地底保留在較溫暖的地區。其次，若需灑鹽以加強除冰，則鹽水會進入下層直接過濾，且此鋪面可以使用在高承載道路，而非僅在低承載地區。

14. JW 鋪面與其他透水鋪面的比較如何？

仔細觀察圖 3、圖 4a、圖 6、圖 7，以及網路上可以找到的一些已完工的 JW 鋪面，可以注意到：其多數用在人行道、停車場、行車道、校園低承載道路、廣場、籃球場地等，而且其表面多是具備紋路與色彩，且類似地磚整齊排列。許多人在看到這些圖片，再聽到這是會透水的，直覺反應都是：這就是透水磚。所以，立刻考慮到是否比其他透水磚貴，是否施工困難，然後希望是比價後，以更便宜的價格來作 JW 鋪面。

將 JW 鋪面視之為普通的透水磚，是被那些「假磚」所騙。這些磚，每一片都是假的，是要讓看到的人以為是可以一片一片剝下來的磚，其實每一片都是緊密結合在一起的水泥，根本無法剝下來。

為什麼 JW 鋪面可以作的像真的地磚一樣？觀察圖 2 與圖 3，就會注意

到：關鍵還是那個塑膠透水管架構。在表層，四個透水管就組成一個方型格(其實還可以變化)。當表層上完色(圖 3d)，剝除覆蓋條(圖 3e)，就會露出四個透水管的小洞與中間的四方磚(圖 2b)。可注意到：覆蓋條已經特別設計，所以中間的四方磚會突出來，形成一片一片的假磚。據估計，可以有 20 多種設計花紋。同時，表層所上的色料(圖 3d)，是經特別調配，具耐久、耐磨、反射等特色。表層的假磚再經止滑處理，就貌似真磚或是類似花崗岩般。

所以，將 JW 鋪面視之為普通的透水磚，乃是人之常情。只是 JW 鋪面不僅是低承載透水鋪面，還是高承載透水鋪面，所以具備防洪、抗旱、融冰、吸碳、微濕地等優點，這些特色可不是一般透水磚或透水柏油與透水水泥可比。

對於透水柏油與透水水泥路面，其實是增加原來材質的孔隙率，讓水容易穿透。但是，一方面車輛通過後，易於因磨擦導致表面碎裂而揚塵；另一方面會累積塵粒等而阻塞，也即無前述之自行清理能力。至於透水磚(包括透水水泥)，就算是使用在人行道，以避免承受重量而破損，也會因為水進入縫隙中，進行化學反應，形成氧化鈣而阻塞。所以，這類透水鋪面的使用壽命有限，且後續維護經費高。

現今，所有鋪面的驗收都是以完工後的狀態來檢定，如此各類透水磚、透水柏油、透水水泥等都還有其市場性。若是交通單位成為治水單位，則將是以每年維持固定的透水率來檢驗，那麼上述的透水鋪面都將面臨被淘汰的命運。

15. 此鋪面平常要如何維護？

由於一般透水磚易碎，且 JW 鋪面有非常多孔洞，一般都擔心是否很難維護。如前面所說明，鋪面表層是假磚，所以不會輕易碎；鋪面不擔心熱漲冷縮及下層進水，所以不會出現不平整、凹凸或碎裂等現象；沙塵、落葉、油脂等，或會出現短期阻塞，但不會是長期性的。圖 13 說明平日的維護方式，就是使用一般洗掃街車就可以(圖 13a)；若是相當一段時日後，希望加強維護，就使用水槍沖洗即可(圖 13b)。圖 13c 則是新北市人行道旁的店

家，自行設計的鐵條通水管。

顯然，除非是地震、山崩等大自然無法抗拒因素，或是人為以水泥、硬物堵塞，JW 鋪面的維護並不困難，且因不會碎裂，連定期修補的開銷都不用。

前述提及 JW 鋪面可以使用為山區道路，而山區道路所以經常崩壞的三個原因為：山崩落石、河道擴大沖刷與路基崩落。JW 鋪面道路可以避免路基崩落，因為會直接排除水的壓力；而 JW 工法可以同樣使用在山坡，降低山崩落石機率。至於河道因山洪暴發而擴大沖刷面積，則屬大自然災情。所以，若是在蘇澳鎮附近山區使用 JW 鋪面興建道路，必須經常注意落石是否會阻塞孔洞，這乃是都市鋪面不用顧慮的問題。至於要使用 JW 工法於治理山崩問題，其乃可行，且絕對比現行各種工法都有效，但問題仍在於是否有足夠經費全面實施。

16. 當鋪面要打開，以進行地面下管線接通時，要如何處理？

當鋪面施工時，圖 3a 顯示在組合透水管架時，就可將下方的管線整齊處理。而當鋪面完工後，需要處理地下管線時，可以如圖 14 將路面切割，相當簡易，且應以斜角切入。將所需要的段落切開後，就可將整塊 JW 鋪面吊起。待下方管線處理好後，再直接置入。接縫處則置入墊片，以降低摩擦。由於此鋪面原來就是要讓雨水進入，所以接縫處不用填補。大致上，沒有廢棄物需要處理，相當節省資源、工時與經費。

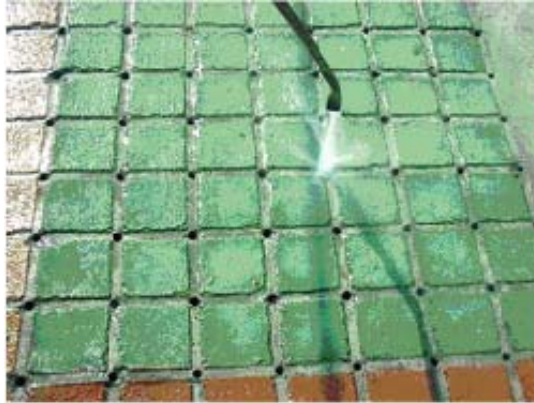
17. 此鋪面的施工困難嗎？

原則上，每一個工程施作前，都已經完整設計與規劃。土壤層、基底層、碎石層與面層所組合成的鋪面，所應擔負的功能，與所當使用的材料、深度等，都已經綿密討論、設計、審查等過程。因此，施工絕不是困難點，而是設計者是否了解到 JW 鋪面完工後，所能提供的服務功能，而將之設計進去。

(a) 平日維護：洗街車沖刷與吸塵



(b) 相當時日後之直接沖洗



(c) 新北市人行道旁住家以鐵條通導水管



圖 13：JW 鋪面的維護。



圖 14：路面切割

<http://moongenie.pixnet.net/album/photo/130863346>

至於在施工時，導水管架構組合之前（圖 3a），土壤層、基底層與碎石層必須按設計規劃先行準備妥當，然後才會進入到面層的施工部份（圖 3）。設若土壤層、基底層與碎石層，並未按規範準備好，則後續按圖 3 程序完成的面層，就不能達到所期望的目標。

圖 3a 所示的透水管架構組合，必須確定是平整，且管架部份需進入到砂石層內。至於灌漿（圖 3b）與抹平（圖 3c），則是要確定均勻、壓實與平整。上色（圖 3d）部份，就需要配合水泥乾凝的狀況，且需同時進行止滑處理。至於剝除覆蓋條（圖 3e）與去除碎石片部份（圖 3f），則已屬完工收尾部分。大致上，施工並不困難，但有許多技巧需要注意，因此未來將會要求認證。

18. 水泥本身的壽命很長，但水泥鋪面會因為下面進水問題而被破壞。此鋪面既然不擔心進水，請問其壽命是多長？

水泥的壽命若是 40 年，則在不考慮天災人禍因應下，JW 鋪面將一樣可以使用 40 年，且在這 40 年內不用擔憂鋪面會破裂需修補，而是需要定期沖洗即可。所以，JW 鋪面可謂是永續透水鋪面。

19. 此鋪面的費用高嗎？

計算鋪面價格有許多方式，由於一般人的直觀就是要與透水磚相比，因

此就會希望以一平方公尺的單價來與透水磚的單價相比較。設若鋪面面積愈大，所需透水管架構愈多，理論上，價格會下降。但其實這是以單一個案來評估。重要的是若是相當普及，生產與需求數量相當大時，價格就會顯著下降。所以，在 2003 年施工時，單價確實偏高；但到 2011 年，全台灣每一個地區都有施工案例，單價已可與一般透水磚相競爭，還可外加保固十年。

此外，由於 JW 鋪面的透水率高，且是全面性排水，部份建案就直接省略排水溝工程，則經費減少會很顯著。對於使用於道路治水工程，則建議道路兩旁排水溝仍正常保留。

計算費用，一般會以施工時經費來考量，所以施工者都以經費節省為重點。但是，真正負責任的施工者，也就是如治水單位或是道路建設單位或是建案開發商，其思考的問題不能只在可用經費，而必須考慮未來將負擔的維護經費。由於所有其他鋪面，都需要定期修復，特別是柏油路面，所以若以鋪面或道路生命期為 40 年來估算，則 JW 鋪面或 JW 道路所節省下來的費用，將可以興建更多鋪面或道路。

20. 既然此鋪面有防洪、抗旱、融冰、吸碳、微濕地等優點，又是低成本、少工時、不會毀損的永續鋪面，而且已發展八年之久。那麼為何台灣沒有到處鋪設？為何很少聽過或看過？

前面已提到，JW 工法鋪面道路可以讓坦克車通行，下面還可以讓雨水通行，這是與傳統道路工法完全不同。因此，許多道路建設者不敢輕易使用，所以並不容易推廣。至於使用為透水鋪面，則過去的單價偏高，不易說服重視成本者使用。但是，近年來推廣快速，單價持續下降，台灣各縣市已都有建案，大陸也已有三省建廠推廣。預期未來 JW 工法鋪面，將會非常普及。

另外，在台灣，政府全面防止專利智慧產品的推廣，所以公共工程委員會特別明定工務單位不准使用具專利權的工法，以保護各營造商都有承包工程的機會。這種道理似是而非，或許也就是讓國內交通專家，永遠無法突破教科書束縛的主因，當然也就阻止了 JW 工法鋪面的推廣。

此外，現有的透水鋪面市場是既得利益者所把持，如何可能輕易讓新的

創意產品攻佔。譬如公共工程施工綱要規範 02794 章透水性鋪面，一直拒絕將 JW 工法納入。而如高性能綠建材標章審核，更是刁難再三，審查五年仍未通過。這二位重要的法規，都淪落到如此，可見要在台推廣 JW 工法，是如何困難。

最好的例子就是臺灣大學新建體育館四周的透水磚鋪面，因為是全台重要學術單位，當然要使用具生態保護意涵的透水磚。但是，該體育館每週辦理各類大型活動，許多重車不斷進入，包括增加供電的柴油發電車等。結果是透水磚被摧殘的體無完膚，走在上面就像走在沙灘上。當然台大就必須更換修復，結果為保護現有市場，仍是使用原有透水磚。既然如此學術研究佳的學府，都不願面對創意鋪面的新趨勢，自然一般國民是更沒有機會看到 JW 鋪面了。

21. 歐美日等先進國都未大量使用，我們是否再等等？

JW 生態工法鋪面是受專利保護的，且是全世界唯一具備高承載透水特性的鋪面工法。全世界各地將來都會推廣使用，但若未經授權是不能生產與施工。目前是以華人世界為推廣重心，設若世界各地有意願設廠、代理與經銷，應都有大量合作推廣機會。所以，歐美日等先進國家是在等待此工法被推廣進去，而非是推廣出來。

22. 如何才能確定完工後的鋪面，是真正的 JW 鋪面，而非是假冒的？

一再強調專利，乃是因為這個發明是全世界獨一無二，但並非因此就會故意抬高價格，基本上仍是要考量成本與市場需求。原則上，任何以高承載透水工法施工的鋪面，都需經發明人同意授權施工。所以，若是詢問原發明人，發現是未經授權者，就是假冒者。同時，因為施工者必須接受此工法的訓練，才能運用與發揮。因此，台灣永續生態工法發展協會正在尋求與發明人合作，建立工程與施工單位的認證機制，以利往全球推廣。

五、高承載透水道路對都市治水的重要性

前二節說明本研究所推薦的高承載透水道路，並已解答所有相關的疑惑，特別是已了解到國內的交通、鋪面專家及相關利益團體，是全力在阻擋 JW 工法在國內推廣。但是，也了解到 JW 工法已進軍海峽對岸與國際，更已有相關學術論文發表，近期則是國際探索頻道(Discovery channel) 已在報導此工法。如此，本研究推薦 JW 工法，就要審視到底如何發揮其重要性。

原則上，本計畫認為在暴雨新紀元下，傳統的防堵與疏導策略，在面臨人口與都市建設不斷擴張，以及破記錄降雨持續發生下，將面臨困境。所以，推薦「建築防洪」與「道路排水」的策略。

在「建築防洪」方面，2011年9月29日，高雄市政府創全國之先，在市政會議上通過「高雄市綠建築自治條例」草案，制定較中央綠建築專章更高減碳標準規定。其中，要求「建築基地應實施基地保水設計」，以及「建築物應於地下筏式基礎坑或擇基地地下適當位置，設置豪暴雨水貯集設施」等，就是符合「建築防洪」的概念。目前，前者已有「建築基地保水設計技術規範」可依據，後者則仍待高雄市政府制定。

在基地保水規範中，就強調「透水鋪面」可納入保水設計，也即是 JW 工法可在都市建築保水方面，提供一定的協助。以下就會說明如何計算 JW 鋪面下的儲水量。在此要特別提出：透水鋪面必須每年維持固定的透水率，而非僅在完工時。這一點是國內所有建築的最大問題，就是消費者買到房子，進住時一切都很風光，但在數年後就會變調。目前 JW 工法提出十年保固，就是十年內出現破損、碎裂、不平整等，就免費更換。如此，若維持正常清理(前節第 15 點)，就會一直保持高透水特性。這幾點，所有透水鋪面都應比照辦理。

至於在「道路排水」方面，基本上就是使用高承載透水道路來取代傳統道路，以運用其高承載兼高透水特徵。以下也會說明如何運用 JW 道路，而

達到「短期不淹水、永續不淹水」的目標。

1. 若要儲水，碎石層厚度 H 應是多深？水能儲存多少？

由圖 8 可想像得到，若將碎石層作得愈深，就愈能儲存多的雨水。而其儲水量，是可以根據碎石間的孔隙率，計算出來。首先，依據李與鄭(2004)所提供的碎石層厚度方程式：

$$H = (0.1 I - 3600 q) * 100 t / 60 / n$$

式中，H 是厚度(cm)；I 是降雨強度(mm/hr)；q 是土壤層的自然滲透率(cm/sec)；t 是降雨延時(min)；n 是碎石層的平均孔隙率(n%)。一般是認為：上方鋪面愈厚，下方碎石層可愈厚；雖然此非必要的。在日本，透水鋪面之下，可以是 3-4cm 厚的碎石層，或是 10-20cm 厚。而若是依據上式來估算，I=200mm/hr、n=25、t=60min，則對於土壤滲透率高的地區($q > 0.7\text{cm/hr} = 1.9 \times 10^{-6}\text{m/sec}$)，H 約為 77 公分。若是 $q=0.05\text{cm/hr} = 1.4 \times 10^{-7}\text{m/sec}$ ，H 約為 79.8 公分。其意涵是：若果碎石層厚度達到 80 公分，就可將一小時內超大的豪雨(200mm/hr 乃破所有都市降雨記錄)，全部儲存。

但是，若真的向下鋪 80 公分深的碎石層，所需資金成本應是相當龐大。所以，雖然碎石層厚度是可以依據需求來推算，但若設計到厚度 20 公分，可能是比較實際的。若是如此，則若 H=20 公分，n=25、t=60min、q 介於 0.05cm/hr ~ 0.7cm/hr 間，所能儲存的小時雨量相當於 50.5~57mm，或許是低於當今台灣各都市的排水標準，但是道路面積遠大於排水溝面積，效益不容忽略。而若是使用於建築保水方面，也即是儲存相當雨量於建地面積內，不讓其進入都市排水系統，亦是值得重視。

所以，碎石層儲水必須是搭配相當廣的鋪面，分散降雨，不致於全部往排水系統或低窪地區集中，也即是鋪得愈廣愈有用。儲水多，以及搭配額外的地下儲水系統，就可供平日與乾旱不時之需。

以下取自休士頓市收集到的數據，來試算碎石層的儲水量。一片透水鋪

面面積 2,000 平方公尺，假設雨水完全進入到下面碎石層。碎石層分為三層[總厚度為圖 1 內的 $H=50$ 公分]，最下面的石頭約 0.6 公分直徑，鋪 30 公分深，孔隙率是 0.35，則若是累積雨量為 300 公厘(=30 公分)，儲水量就是 $2000 \times 30 / 30 \times 0.35 = 700$ 立方公尺。中間層的石頭約 1.9 公分直徑，孔隙率是 0.25，鋪約 10 公分深，儲水量是 $2000 \times 10 / 30 \times 0.25 = 167$ 立方公尺。最上層石頭約 3.8 公分直徑，孔隙率也是 0.25，鋪約 10 公分深，儲水量是 $2000 \times 10 / 30 \times 0.25 = 167$ 立方公尺。如此，50 公分深的碎石層，可以對累積雨量達 300 公厘時，儲存共 $700 + 167 + 167 = 1,034$ 立方公尺的水。若果再加上透水管內也可儲水，則可能達到 1,100 立方公尺水量，大於 1000 噸水，是約 500 個市售 2 噸水塔的儲水量，相當驚人吧！許多小社區的廣場、人行道、車道、網球場、籃球場等，若果如此設計，再搭配濾水系統，就可供應所需。若果深度只達 15 公分，採用的石頭約 1.9 公分直徑，孔隙率是 0.25，儲水量是 $2000 \times 15 / 30 \times 0.25 = 250$ 立方公尺，也有 125 個市售 2 噸水塔的儲水量，仍是很值得的

有關三種不同石頭，每一種都要鋪固定高度，還要先找出石頭間的孔隙率等。在美國休士頓市，是明文規定的，只要是透水鋪面都要達到上述標準 (Krueger and Smitha, 2011)。

2. 建築之基地保水與暴雨儲水的概念差異

依「建築基地應實施基地保水設計」中之透水鋪面保水量, $Q(m^3)$, 估算：

$$Q = A \times k \times t + 0.1 \times h \times A$$

式中， A 為透水鋪面面積 (m^2)； h 為透水鋪面基層厚度 (m)； t 為最大降雨延時基準值(s)，標準值為 158,400 sec； k 為基地土壤滲透係數基準值(m/s)，以表層 2m 以內土壤認定之，可參考表 1。其中，基層即為碎石儲水層，要求每層攤鋪厚度不得超過 20cm，超過 20cm 時需分層攤鋪。

取透水鋪面面積 $A = 1,411.27 (m^2)$ ； $K = 10^{-5}$ ； $h = 0.35m$ ； $t = 158,400sec$ ，則

$$Q=1411.27 \times 10^{-5} \times 158400 + 0.1 \times 0.35 \times 1411.27 = 2284.85 \text{ m}^3。$$

此估算結果似乎比前述碎石層厚度50公分的結果，還要高。但是，這個方程式內，前項是後項的58倍，也即基地保水主要假設：透水鋪面允許雨水持續穿透44小時，然後主要蓄水到基地土壤內，至於具備孔隙率0.1及35公分厚度的儲水層，非主要蓄水考量。此外，此處假設較高滲透係數的砂土(參考表1)。

顯然，基地保水的計算原則是與前節的計算不同，前節重視的是暴雨在一小時內碎石層的儲水效益，完全忽略土壤儲水。此處則是估算近兩日降雨後的土壤儲水量，且完全不考慮降雨強弱。

簡言之，基地保水與暴雨儲水的概念是有差距的。最重要的是：暴雨儲水要求透水鋪面快速讓雨水穿透，且此特性不是僅在新完工時具備，而必須是長期都具備。基地保水則是只要使用透水鋪面即可，不會對其特性有所要求。更進一步地說，若果在普通的透水鋪面與 JW 鋪面之下，都鋪三層共 30 公分厚的碎石層，前者勉強可以基地保水的概念來作保水量估算，後者則可就暴雨儲水角度來進行估算。二者間的差別就是：JW 鋪面可以讓一小時達到 1,500mm~12,000mm 的雨量穿過，且是保證維持十年；普通透水鋪面卻是需要相當時間才能透水。在這方面，水利署新店辦公室在多年前就作了實驗，且被大愛電視台記錄結果，並報導之。

當然，建築要求基地保水，目前在國內僅是對綠建築的要求，尚未普及，更別說是要求暴雨儲水。這所以我國對於透水鋪面是採取低標準，反而是 JW 工法所完成的鋪面因為可以達成高標準，所以要被台灣市場所淘汰。關鍵在於：破壞市場行情，違反公共工程委員會打擊專利的原則，更讓一般市售透水鋪面失去競爭力。非常值得深思的事實！

表 1：統一土壤分類與土壤滲透係數 k 值對照表與簡易對照表(取自「建築基地應實施基地保水設計」)。

土層分類描述	粒徑 D_{10} (mm)	統一土壤分類	土壤滲透係數 k (m/s)
不良級配礫石	0.4	GP	10^{-3}
良級配礫石		GW	10^{-4}
沈泥質礫石		GM	
黏土質礫石		GC	
不良級配砂		SP	
良級配砂	0.1	SW	10^{-5}
沈泥質砂	0.01	SM	10^{-7}
黏土質砂		SC	
泥質黏土	0.005	ML	10^{-8}
黏土	0.001	CL	10^{-9}
高塑性黏土	0.00001	CH	10^{-11}

註：屬於相同土壤統一分類的不同土質，會因為緊密程度以及組成的不同，有所誤差。本表為求評估上之客觀，乃是取其最小值，可使評估結果較為保守可信。

土壤滲透係數 k 值簡易對照表

土 質	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
土壤滲透係數 K (m/s)	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}

3. 道路排水的設計概念

在高承載透水道路之下，原則上鋪 20 公分的碎石，應該是符合不增加過多建設成本的原則；同時，面層的厚度達到 20 公分，也就足夠讓都市的重車等，順利通過。這項基本原則，適用在台北市，也適用在砂石車、貨櫃車、遊覽車等特別集中的地區，如基隆市或宜蘭蘇澳鎮等。

暴雨時，雨水迅速穿透面層，儲存在碎石層內。所以，原來因為累積雨量達到 300 公厘，而會淹水 50 公分的低窪地區，會有約 20×0.25 (孔隙率) = 5 公分的水存在下面，所以淹水高度變成 $50 - 5 = 45$ 公分。此處，不考慮瞬間暴雨之下的積水，而是累積相當時間下的積水。如此，好像還是會淹水 45 公分！

但是，現在假設會淹水 50 公分的低窪處面積是 2,000 平方公尺，同時其上游鋪面(包括道路、人行道、廣場等)的面積是 5,000 平方公尺，也都全部使用 JW 鋪面。那麼原來會到低窪處累積 50 公分的水，就會先儲存部份到 5,000 平方公尺的 JW 鋪面下，然後才流到此處造成淹水。其計算方式是： $2000 \times 0.5 = 1000$ 立方公尺(原來的淹水量)，扣掉 $5000 \times 20 / 30 \times 0.25 = 833$ 立方公尺〔累積雨量為 300 公厘(=30 公分)〕，所以就只有 167 立方公尺淹水量，相當於淹水高度是 $167 / 2000 - 0.05 = 0.0335$ 公尺。即是原來淹水 50 公分，現在只淹 0.335 公分。若是上游鋪面擴大為 6,000 平方公尺，則所有水都存在鋪面之下，沒有地方會淹水。

所以要想像使用 JW 鋪面來避免淹水，關鍵在於將雨水儲存在大範圍的地面之下，不是小小一點鋪面就能發揮作用。

另一個考量方式就是挖深些，譬如，我們若是按休士頓市標準，向下挖 50 公分，而非是 20 公分，則上游只需鋪 2,000 平方公尺，配合原本淹水地區也鋪 JW 鋪面，所有水都會存在鋪面之下，沒有地方會淹水。

上述二種鋪面方式，提供一個概念，就是必需考慮成本，包括挖土所需

的工資、廢土處理、砂石量、工時等。然後，考量是否選擇少數低窪地區，特別挖深些，形成地下儲水庫，同時搭配普遍地區是一致的 20 公分的厚度。

再者，前面的計算是以累積雨量來估算。若果考慮持續降雨，則會出現的現象是：原來雨水到達道路面，就會沿著表面，快速往下游地區聚集。現在是進入到道路之下的碎石層，然後往下游流動，速度顯然大減，就會延緩淹水出現的時間，而讓下游地區有更充份時間因應。同時，表層看不到水，水會到最低窪處才湧現出來，如此只要確定好，那一個位置是最後流水出來的位置。就可以在工程開始時，就特別針對此處，加強雨水累積時的處理設計。如抽水、導引、或注入地下等，而不必考慮每一個地區都可能淹水，如此對於整體經費運用將是非常有效。

由於 JW 鋪面的特殊設計，使得道路之下可以變成河川。譬如蘇澳鎮，2010 年因為梅姬颱風而大淹水，主因是山上的流水快速進入市鎮內，再加上本地降下大雨，快速累積。現在讓水在地面下流動，首先就是市鎮表面看不到水，然後可以將之設計為導引到海岸邊，直接出海，而非是聚集在市鎮內。這種作法會將道路上的地面水，改變為地下水。換言之，整個蘇澳鎮之下變成大面積排水河道。大水還是會來，但卻被導引到道路下面，所以在表面上都不會出現會淹水的狀況。因此，要改變原來道路鋪面為 JW 鋪面，施工時，除了要注意道路平整，也要注意上下游間水流動的關聯性。這一點，將會改變過去道路施工時的想法，也會讓交通單位成為治水單位之一。

以上分析都沒有考慮原來就有的排水系統，主要是假設其已失靈，所以才會淹水。但是現在雨水不僅到排水溝，也會流到道路下面，如此讓排水溝渠要快速處理雨水的壓力下降，反不會阻塞而出現失靈的狀況。換言之，前述可能要淹 50 公分的狀況，現在要再打個折扣了！

4. 重要性探討

本研究報告探討都市治水策略，傳統策略的重點在防範外水進入市區內，以及防止內水無法向外宣洩。二者的主要策略，就是圍堵與疏導。

現今人口持續增加，且是往都市集中，但是都市建設卻無法同步調整。譬如排水系統在舊市鎮已不堪使用，需要更新，但新市鎮也要成長，在經費與資源有限下，並無法同步調整。因此，暴雨時，外水尚未進入，內水就已因為排水系統不堪負荷，而先累積，造成局部地區淹水。

當然，興建滯洪池可視為有效策略。但是，都市內寸土寸金，如何可能增建滯洪池？因此，日本東京地區推動於高速公路下興建相當長度的地底涵洞，以避免徵收土地的困擾。但是，所需經費龐大，並非處處可以施行。

同時，氣候暖化，破紀錄降雨不斷出現，在暴雨新紀元下，排水系統採用過去標準，更是容易積水。設若要將各都市的系統都作新的調整，則將永遠趕不上暴雨記錄更新的速度。

近年來，全球各地開始推動透水鋪面概念，其構想就是讓雨水直接進入土壤，以避免雨水全部集中到脆弱的排水系統。但是，透水鋪面多無法耐久，一方面本身的損毀率高，二方面是透水性在一段時間後就失靈。所以，透水鋪面占都市面積的比例一直很難增加。

前面數節對於高承載透水鋪面的分析，指出：(1)高承載透水鋪面具高透水率，且能維持長期透水，不僅適用於建築基地保水應用，更適用於建築防洪規範之暴雨儲水設計；又具有高承載性，適於取代傳統道路，達成道路排水功效。(2)面層之下的碎石層儲水量可以推算，低窪地區的碎石層厚度愈深，愈能降低鋪面之上的淹水高度。(3)低窪地區的上游地區，無論是道路或是廣場、人行道等，若能廣為鋪設高承載透水鋪面，則愈能分散儲存降雨，避免雨水集中到低窪地區與排水系統。(4)設若能鋪設的面積受限，就應利用雨水在鋪面之下流動的特性，疏導往能加強處理的位置，如排水溝渠、抽水

站或直接進入海洋、河道等。

譬如臺北市，總面積為 272 平方公里，道路所占面積為 20 平方公里，才約 7.4%。要靠這樣低比率的道路面積，來避免整個都市不淹水，困難度其實是相當高的。即若是加入中正紀念堂、國父紀念館等大廣場、人行道等，都納入轉換為 JW 鋪面的工程之中，仍是不足以因應上千公厘的破紀錄降雨。所以，還需納入新店溪上游地區，淡水河、基隆河沿岸地區等，都改鋪為高承載透水鋪面，並且運用鋪面之下雨水流動之特性，將雨水疏導往河道、海岸地區等。

但是，臺北市過去尚未出現累積雨量達 600 公厘的破紀錄狀況，設若要費功夫去廣為鋪設高承載透水鋪面，以因應上千公厘的累積降雨量，顯然是還不到時候。

可是，設若是已經經歷過上千公厘的破紀錄降雨，而且能夠鋪設高承載透水鋪面的面積有限之時，又當如何設計以降低淹雨機率？以下取蘇澳鎮為例，探討除了均勻分散分險外，將高承載透水道路視之為快速排水道的優勢。

圖 15 將蘇澳鎮中心地形、道路與重要建築等標示出來，該地區於 2010 年 10 月 21 日因為梅姬颱風外圍環流造成淹水，以火車站(標示為 A)為中心，淹水達一層樓高。明顯地，當日大雨時，山區洪水與暴雨同時抵達市區，平面道路變成河川，所以淹水高度迅速上升。

估算當日淹水高度約 300 公分，是在 24 小時累積 939 公厘降雨下所造成，而非在短期內造成。所以估計每小時累積約 15 公分的洪水，若能將之迅速排除，就有機會避免災情擴大。所能採用的策略如導引山區洪水不到市鎮地區，但會因為該地區為地勢低處，難以避免水的聚集。其次是興建滯洪池，或挖大排水溝，此二辦法很相似，均需相當成本與工時，且當地面積小，能夠施作的地區有限。

此時，若採用高承載透水道路取代圖 15 中的主要道路，就增加了排水效

率，且在興建成本與工時方面，均會較挖大排水溝容易。

假設由西向東的中山路與蘇港路，其道路寬度均為 20 公尺，長各約 2500 公尺，而在每 0.49 平方公尺內可有 30 個 JW 道路排水孔，則每條路均有三百萬個排水孔洞同時存在。再者，每 0.49 平方公尺的排水效率是每小時 1.5~12 公尺間(李與鄭，2004)，如此可確定的是：無論多麼急的暴雨都可進入到道路之下，蘇澳當日最大小時降雨量是每小時 0.2 公尺，應該可以進入道路鋪面之下，不構成問題。

若果道路下面的碎石層深度是 20 公分，孔隙率是 0.25，則每小時可儲存 5 公分雨水。但若是水不會流動，就完全失去效用。所以，重點是道路下面的水流速度，需略大於降雨速度，也即是移出量大於進入量。所以，碎石層深度不是問題，問題在於碎石層內的積水移除速度，這就是應用在蘇澳鎮時的設計要點。原則上，道路排水會較排水溝排水的流速緩慢，在避免積水快速累積上，非常有效；同時，在確保流水移動原則下，又讓雨水不會累積，降低淹水可能。

以上分析高承載透水鋪面的特徵，並探討其運用在建築防洪與道路排水之設計策略。原則上，其對都市防洪的重要性，會因當地出現暴雨侵襲之機率而異。對於每次出現豪雨，就會出現淹水災情的地區，如中國北京、武漢等具低排水標準地區；或是已經出現破紀錄豪大雨的地區，如蘇澳、恆春等地，積極運用高承載透水鋪面，可以在短期內增強都市排水功能，再伴隨鋪設增廣，就可能達到永續不淹水的期望。

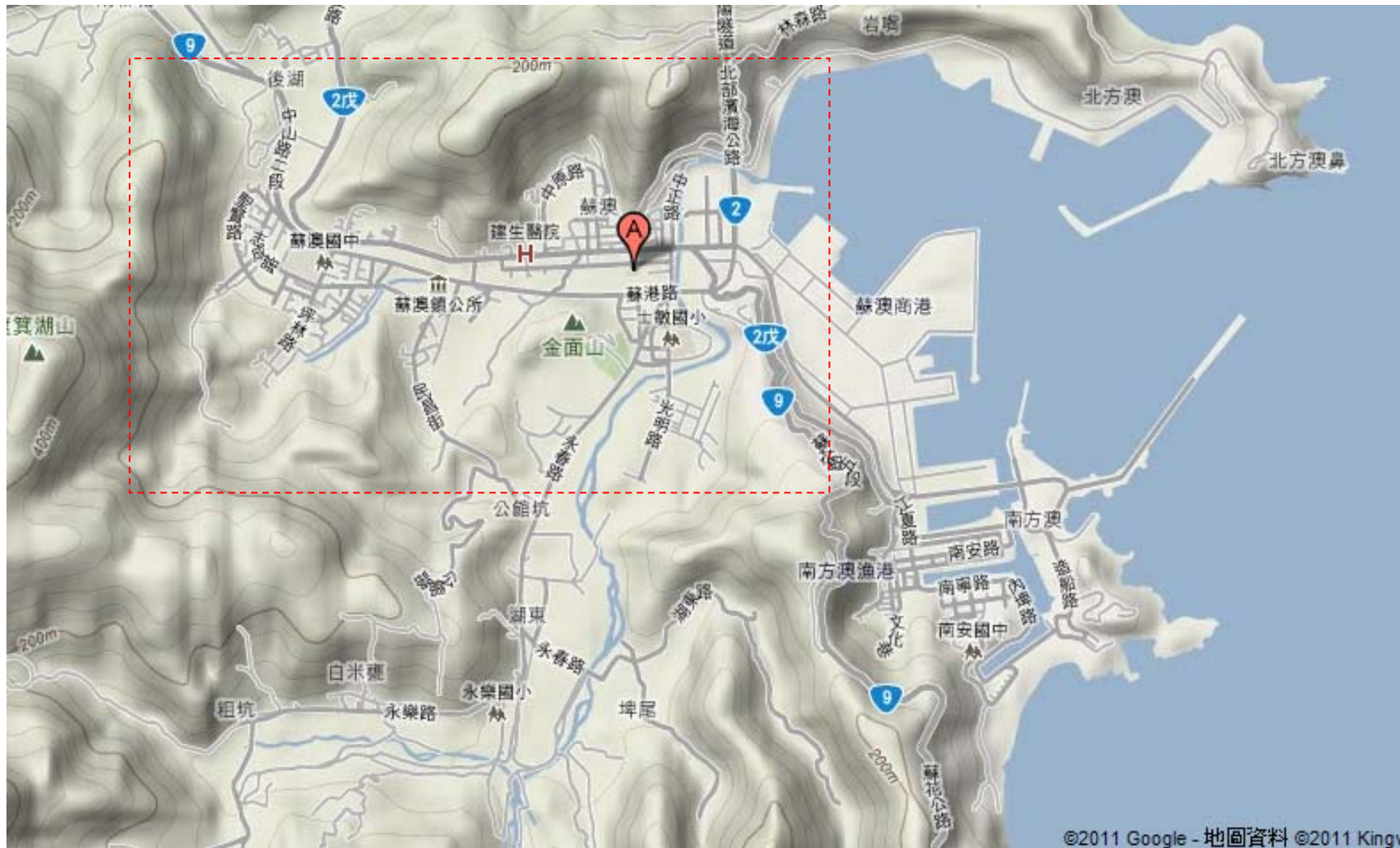


圖 15：2010 年 10 月 21 日梅姬颱風外圍環流，造成蘇澳火車站(標示為 A) 為中心，淹水達一層樓高地區之地形、道路與重要建築。

六、結論

「低衝擊開發」(low impact development, LID)是近年來歐美地區發展起的暴雨管理和面源污染處理的概念，乃強調分散與小規模的源頭控制，期以恢復自然水循環，降低排洪系統壓力與改善河川水質。生態保留區(Bioretention areas)、沼澤地(grass swales)、透水鋪面(permeable pavements)與綠屋頂(vegetated roof tops)是最常被採用的技術(USEPA, 2000)。主要達到降低「有效不透水面積」(Effective Impervious Area, EIA)，讓表面逕流減少，以減少直接進入排水系統的流量，同時增加雨水在自然生態系統中的停留時間，過濾雨水沖刷地表所攜帶之雜質。由於這些設施是要長久有效，所以後續維護以保證功能永續，是為最大挑戰。

「建築防洪」與「道路排水」的構想，與 LID 的想法相近，且更適合人口密集的都市。但是，都市面積有限，建築密集，所以「綠屋頂」搭配「雨水回收設施」，會被主張綠建築者優先考量。可是台灣地區風大雨大，「綠屋頂」不易維持，同時水價低與缺乏強制規範，「雨水回收設施」並非處處可見。此外，增加透水鋪面，如透水磚人行道，以及低承載道路使用透水柏油等，是為當前市政建設的主要作法。但是，透水磚無法承重，透水柏油無法使用在車輛密集的市區內，且如何維持長期穩定的透水功能，是為當前透水鋪面的難題。

本報告介紹高承載透水鋪面，並分析說明許多疑問，且進一步評估此鋪面在「暴雨儲水」方面的運用。其絕對可以在「建築防洪」與「道路排水」方面，達成預期貢獻。更且，其乃全球唯一能讓土壤與大自然相接觸，讓生態系統在道路鋪面之下活躍發展，所以能夠同時降溫、減碳、抑制都市污染等。

由於全球人口持續增加，全球人工鋪面將不斷擴張，阻絕地球與大自然間的接觸，斷絕土壤微生物與細菌滋長，全球暖化與氣候變遷將難以控制，如 2011 年秋季泰國水患，必將在全球各地一再出現。

高承載透水鋪面也即是 JW 生態工法鋪面，在未來十年將會席捲全球，逐步取代全球的人工鋪面與道路。或許今日許多道路專家無法接受，因為其從根本改變了所有道路施工原則；也或許現今歐美日等先進國，尚未因為發明人到當地推廣而重視此工法，進而使得台灣本土的專家與一般民眾不知所措；更或許當今傳統鋪面施工者，包括現在的透水鋪面業者，正全力阻止 JW 工法進入政府規範系統，與成為綠建築推薦建材之一，使得行政單位與一般民眾在不明就理下，決定避免使用。但是，歷史終將證明先知先覺者的睿智，而廣大的國際市場也終會將台灣拋棄在後。

面對氣候變遷之下的暴雨新紀元，傳統的治水策略當然仍是需要，但是工程建設已愈來愈難趕得上破紀錄降雨出現的頻率。人口密集的都市需要能在短期內大幅提高都市排水能力的新創意，也必須是在不增加短期建設與長期維護成本的條件下，達到永續不淹水的期望。

「中華民國低碳環境學會」在「台達電子文教基金會」的支持下，全力探索在暴雨新紀元趨勢中，人口密集的都市地區之有效治水策略，而提出「建築防洪」與「道路排水」的構想。但要能夠落實這些構想，就必須有創新工法支持。目前研究所得：都市要能短期不淹水、永續不淹水，且需在低工時、低建造成本、低維護需求條件下完成，還能創造都市鋪面之下的大面積濕地者，只有 JW 生態工法鋪面。所以本報告邀請 JW 工法發明人品岱股份有限公司的陳瑞文博士，共同撰稿。

最後，本報告提出 JW 生態工法的運用原則如下，並將選擇台灣在近年內出現破記錄降雨地區，另外撰文說明應用設計，以期提出整體建設估價，然後進行實際推廣應用。

主要運用原則如下：(1)採用 JW 生態工法，先將都市內廣場人行道、停車場等鋪面改變。主要目的：將雨水均勻分散，儲存入鋪面之下，避免全部往排水溝與下游地區集中。(2)使用 JW 生態工法，在近期淹水最嚴重的地區，更換當地道路路面。向下深度愈深，將愈儲存大量往此累積的雨水。(3)逐步

更換都市道路為 JW 鋪面，讓雨水均勻分散，降低低窪地區所受之威脅。(4) 以上 1+2+3 策略，將能在數月內就可避免最易淹水地區不再淹水，且不會因為施工，造成其他未淹水地區出現淹水。更且所需經費與工時，必定遠小於大量更換排水溝渠所需，且可處理每小時上百公厘的豪雨。更且，JW 鋪面為永續鋪面，可保當地長期不淹水。

參考文獻

- 林憲德，2011：綠色魔法學校。新自然主義公司。216 頁。
- 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。財團法人台灣營建研究院。62 頁。
- 溫興煜，2011a：陳瑞文：獨創“JW 生態工法”。科技中國，2011 年 7 月，24-25。
- 溫興煜，2011b：織造“會呼吸的大地”。科技中國，2011 年 7 月，26-33。
- Krueger, D. W. and C. W. Smitha, 2011: *Infrastructure Design Manual*. July 2011. Department of Public Works and Engineering, City of Houston, Texas, USA. 298pages.
- Liu, C.-M., J.-W. Chen, J.-H. Tsai, W.-S. Lin, M.-T. Yen and T.-H. Chen, 2011: Experimental studies of the dilution of vehicle exhaust pollutants by environment-protecting pervious pavement. (the *Journal of Air and Water Waste Management*, accepted, in press)
- Ning, Z., C.S. Cheung, Y. Lu, M.A. Liu and W.T. Hung, 2005: Experimental and numerical study of the dispersion of motor vehicle pollutants under idle condition. *Atmospheric Environment*, 39, 7880–7893.
- Ohashi, Y., Genchi, Y., Kondo, H., Kikegawa, Y. and Yoshikado, H., 2007: Influence of Air-Conditioning Waste Heat on Air Temperature in Tokyo during Summer: Numerical Experiments Using an Urban Canopy Model Coupled with a Building Energy Model. *J. Applied Meteorology and Climatology*, 46, 66-81.
- USEPA (United States Environmental Protection Administration). 2000: *Low Impact Development: Literature review*. EPA-841-B-00-005. 41pp.