

永續土木工程 參訪心得

土木所水利組碩一 R05521321 郭隨安

(一) 台北科技大學

台北科技大學對我而言並不陌生，說起來是我高中上、下學必經之路。因為高中念的是成功高中，且家住基隆，忠孝東路成了高中三年最富回憶的一條路。儘管如此，經過這趟校外參訪，方知我與這條忠孝東路可謂最熟悉的陌生人。

走進台北科技大學，可以發現北科整體校園規畫皆以生態為出發點，打造綠色校園，；老師也帶我們參觀了北科校園內幾個比較有特色的生態工法，如下：

1. 綠色大門

從捷運忠孝新生站 4 號出口往右步行幾公尺，首先映入眼簾的是北科大著名的「綠色大門」。該大門屬於一種生態爬藤鋼架，採用 FRP（玻璃纖維強化塑膠）作為材料，較不怕日曬，材料強度亦不輸鋼筋，但是比鋼筋輕很多且便宜；寬約 30 公分、厚度約 6 公分的纖維板內，**植入不織布包覆的土包、滲透管及爬藤類種籽**，**有植栽的樹幹部份直通土壤**，並附雨水回收澆灌系統，不僅具有生態景觀美化街道的效果外，還可以阻隔熱空氣進入校園。



圖一、綠色大門(I)



圖二、綠色大門(II)

2. 生態河道(護城河)

北科不同於其他大學，灰色的水泥圍牆被生態河道取代，**三個滯洪池**圍繞

著綠樹，平時是景觀池，下雨時可蓄水調節地表逕流，降低淹水風險。該生態河道利用高度差採三段式過濾，到了下游水漸漸乾淨，最後再留到生態蓄水池，並利用**太陽能發電的電力啟動抽水馬達**，將乾淨的水沖到樓塔利用。水池中的水非死水而是會流動的活水，水質尚屬清澈，亦有多種魚類優游其中。蚊子偶爾會在水中產卵，魚在水裡吃孑孓，儼然自成一個小生態系。



圖三、生態河道(I)



圖四、生態河道(II)



圖五、生態滯洪池

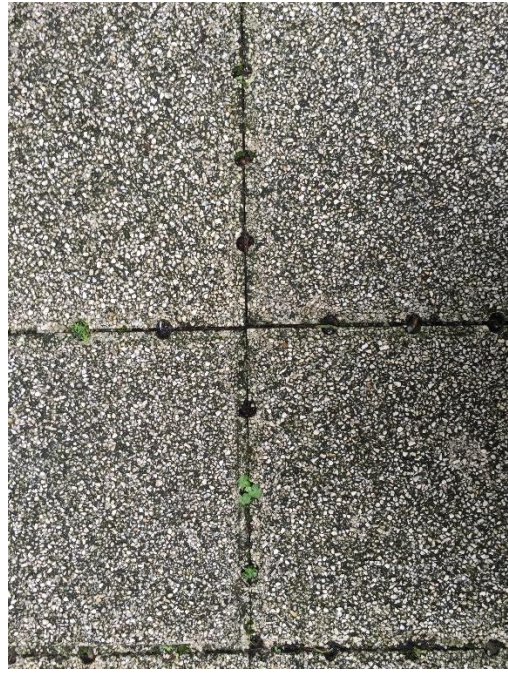
3. 透水鋪面

北科校園內在道路鋪面方面也別有一番新意，整個校園總共用了八種透水鋪面，號稱可以讓六點八公頃的校園在降雨時減少百分之卅七的地表逕流，整個校園地表下儼然成了一個地下滯洪池。然而，北科一部分的透水鋪面是採用 JW 透水鋪面。據此種透水鋪面原創者-陳瑞文先生表示，該工法具有高透水、高承載、高抗壓，可儲水滯洪，建立地下水庫，循環透氣，降低溫室熱島效應，改善環境汙染，例如：大氣汙染、水汙染。同時可活化土壤，孕育地下生態系統，猶如一個小型的生態海綿城市。**但是經過我們實地考察發現，JW 空調導管的孔洞已經部分阻塞，透水率大幅降低，因此關於北科校園內透水鋪面的實際透水效率，我認為這一點還有待商榷。**

[備註] 透水鋪面將於下一個參訪地點—JW 工法，會有更詳細的說明。



圖六、北科透水鋪面(I)



圖七、北科透水鋪面(II)



圖八、北科透水鋪面(III)



圖九、北科透水鋪面(IV)

(二) 樹林 JW 生態工法總部

剛才於第一個參訪點北科有提到校園內的透水鋪面部分採用 JW 空調導水(透水)鋪面，現在第二個參訪點便要介紹 JW 生態工法。

JW 生態工法乃是一種由台灣發明家陳瑞文先生自行開發且創造新思維的新技術。據當天陳瑞文先生演講的內容與簡報表示，由於 JW 生態工法是現場整體澆置之剛性透水鋪面，因此未犧牲強度，其永續性可達 30 年以上壽命，具備安全、永續、生態、環保、節能、減碳等功能。JW 生態工法的鋪面具有高抗壓強度，可以抵抗重車長期擠壓，適合作為道路使用，還可以讓車輛廢氣排入地下而減少污染。為了證明這幾點，參訪當天陳瑞文先生邀請班上一位身材壯碩的同學在空調導水管桁架結構上跳，結果顯示其結構確實很穩固。另外，也現場做了一個實驗，示範空調導水架構如何利用「煙囪效應」使空氣對流排出廢氣。

陳瑞文先生表示早在 10 年前他便發明出會呼吸、能儲水且不容易壞的海綿道路，他將塑膠導水管埋在海綿馬路的混凝土裡面，讓水可以迅速流到儲水層、馬路地底下的大水庫，還能有淨化空氣功能。這項發明取得全球專利，被 30 多個國家搶著要，但在台灣卻受限《採購法》而推不動。經過多年的推廣與努力，JW 生態工法目前已有相關若干實績，亦為公部門所持續採用，包括 Discovery 頻道等四百餘家國內外媒體持續報導及關注，在國際間更有超過 60 個國家有意引進本項技術。甚至在 2015 年年底，陳瑞文先生參加法國巴黎全球氣候會議(COP21)，被國內及國際媒體廣為報導，遠遠超越台灣 21 年來在氣候會議新聞的曝光總量，JW 生態工法同時被認為是減緩全球暖化的關鍵技術。

因我國受限於《採購法》規定，對於專利技術相當不友善，造成創新技術反而無法被應用。招標工程也多採「最低標」，雖然海綿道路兼具多重好處，但

政府為了省錢，只看一開始造價，就回到傳統透水磚、瀝青作法，卻忽略背後每年龐大的維修費用。據陳瑞文先生當天簡報所提供之數據，JW 透水鋪面的維護成本約 43 元/平方公尺，相較於透水磚 4000 元/平方公尺的維護成本僅為其百分之一。另外，針對孔隙阻塞部分，陳瑞文先生也有提出解決之道，他表示孔隙若受土壤顆粒阻塞，蚯蚓會幫忙分解；若有較大的顆粒或石頭卡在其中，使用電鑽將顆粒打碎讓顆粒自然掉入孔內。

JW 生態工法提供都市生態功能，重新賦予系統化功能，並予以縫補、串連，除可豐富都市生物多樣化，並可調節氣候變遷所帶來潛在威脅及舒緩都市熱島問題。又可以減少地表逕流，建構都市的綠色基盤設施，以達成「永續發展、健康城市」的總目標。該工法的優勢是能利用道路創造海綿城市，直接降低城市熱島效應，達成節能減碳目標，兼收治水防洪、涵養水源、回補地下水、淨化空氣、調節溫溼度、促使地下微生物蓬勃發展多樣化之功，此外在未來碳交易市場上，必能為國家獲得龐大利益，福國利民。

此外，亦能儲水滯洪、減少地表逕流、預防水災、回補地下水，涵養水源、防止地層下陷，以確保各縣市治水、防洪；免受暴雨淹水及乾旱限水之苦，俾使水資源充沛無虞。根據柳中明教授的研究，以臺中市為例，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，則一次總共相當於儲存一億八千九百萬元的用水量，可在平日提供大臺中地區都市綠化與環境清潔之所需。若以臺中地區年雨量為 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，乃可直接供臺中市區使用。台北夏季熱島效應大約是 4.5 度，如果全市道路採用 JW 生態工法地下滯洪池就能產生降溫 3 度，也能夠在炎熱的夏季節約 30 億度用電，捕捉至少 180 萬噸的二氧化碳排放。因此唯有在鋪面上全天候捕碳，方可確實超越減碳目標。



圖十、 JW 透水鋪面



圖十一、 防災空調導水架構與 JW 透水鋪面



圖十二、 防災空調導水架構



圖十三、 JW 工法逐層結構



圖十四、 透水植草鋪面

另外，JW 生態工法亦可應於植草磚鋪面，陳瑞文先生當天在園區內一塊植草磚展示區現場拔了一株草，從圖十四可以看出該區植物的根可以說是又深又粗。JW 透水植草磚不同於傳統植草磚的地方在於，其塑膠架構與混凝土結合達到平均分散重量，一體成形施工可承受重車輾壓亦可將瞬間暴雨倒入地底下達到儲水之功效，地底下土壤不會被壓密，植物可在植草穴內向下扎根生長。

(三) 台中盟鑫生態工程教育園區

盟鑫公司成立於 1996 年 3 月，為亞洲規模最大之地工合成材料公司，公司主要服務項目為：綠色地工合成材料之研究生產，包含加勁格網、土工織布、各式植生網類、景觀、水利相關資材；及綠色工程之相關整合應用服務。盟鑫生態園區佔地 10000 平方公尺，路堤總長 423 公尺，河道長度 50 公尺，內含工法 26 種，植栽面積 1400 平方公尺，植栽種類 36 種。

詳細園區內各種工法介紹如下：

1. 在加勁結構工程部分，包括：回包式加勁擋土牆、鋼柵式加勁擋土牆、石籠面版式加勁擋土牆、景觀石式加勁擋土牆、預鑄面版式加勁擋土牆、場鑄面版式加勁擋土牆，共六種工程。



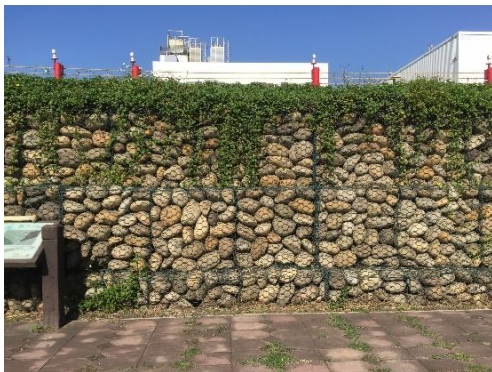
圖十五、回包式加勁擋土牆

圖十五為回包式加勁擋土牆，在土壤中鋪設加勁材料，藉由土壤與加勁材間之互制行為產生摩擦阻力以穩定土體，並藉由加勁結構本身的重量，抵抗來自牆體背後的土壤壓力或其它應力。工法簡易，便於趕工，適合各種地形變化，其應用不僅可大量減少施工經費、縮短工期、達成土方平衡、容許地震或其它外力產生之結構物較大變形。

圖十六為鋼柵式加勁擋土牆，鋼柵式加勁擋土牆利用 L 形鋼柵成型牆面，鋼柵再與加勁格網連結，配合完整之填方排水系統逐層重複填築。以焊接鋼線網構築加勁擋土牆之牆面，除可維持加勁擋土牆之柔性結構，更可防火並抑制側向變形，並與周圍景觀生態環境相呼應。



圖十六、鋼柵式加勁擋土牆



圖十七、石籠面版式加勁擋土牆

圖十七為石籠面版式加勁擋土牆，是一種石籠結合加勁格網。藉由土壤與加勁材間之互制行為產生摩擦抵抗穩定土體，並藉由加勁結構本身的重量，抵抗來自牆體背後的土壓力或其他應力。石籠係編成六角形金屬絲籠中填入石塊之工法，可以加以堆疊形成一重力結構，提供必要功能，具有多孔隙、透水效果好之優點，是和卵石多的現地使用。



圖十八、景觀石式加勁擋土牆

圖十八為景觀石式加勁擋土牆，利用預鑄景觀石構築而成，景觀石再與加

勁網格連結，配合完整之填方排水系統逐層重複填築。藉由土壤與加勁材間之互制行為產生摩擦抵抗穩定土體，並藉由加勁結構本身的重量，抵抗來自牆體背後的土壓力或其他應力。景觀石式面牆造型美觀多變，適合四季分明，造景需求之社區、風景區及河道沖刷等邊坡工程。景觀石式加勁擋土牆本身為柔性結構，可防火並抑制側向變形，為兼具造型、美觀與安全之加勁結構。



圖十九、場鑄面版式加勁擋土牆

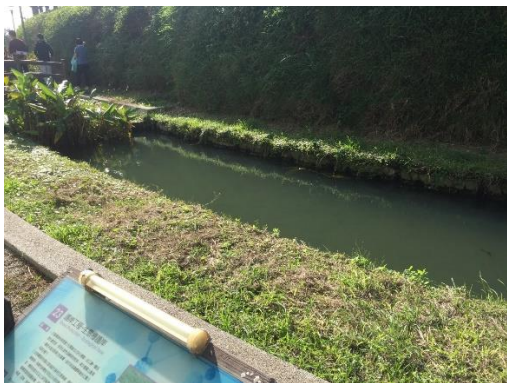


圖二十、預鑄面版式加勁擋土牆

圖十九為場鑄面版式加勁擋土牆，係於土壤中鋪設加勁材料，藉由土壤與加勁材間之互制行為產生摩擦抵抗穩定土體，並藉由加勁結構本身的重量，抵抗來自牆體背後的土壓力或其他應力。場鑄面版式加勁擋土牆依這回包式加勁結構之施工流程，逐層於牆面預留連結鋼筋，俟回填土堤沉陷達穩定後，材構築場鑄之 RC 面牆，令混凝土與回包加勁材充分膠結。

圖二十為預鑄面版式加勁擋土牆，為較大尺寸之版塊式預鑄品，面版預留連結系統以結合加勁格網。藉由土壤與加勁材間之互制行為產生摩擦抵抗穩定土體，並藉由加勁結構本身的重量，抵抗來自牆體背後的土壓力或其他應力。預鑄版塊可因應需求做顏色、造型之設計，預鑄品能嚴格控制品質，垂直牆面亦能節省用地空間，適用於新建道路路堤或拓寬工程。

2. 在河川及海事工程方面，包括：土工砂腸護岸、織物模板護岸、生態槽護岸、生態袋護岸、土石籠護岸、堤防加高系統、護岸槽護岸、駁坎石護岸、景觀磚護岸，共九種工程。



圖二十一、生態槽護岸



圖二十二、土工砂腸護岸

圖二十一為生態槽護岸，生態槽係利用混凝土材質製成之空心槽體，由工廠一體成形生產而成，採多孔設計回填現地粒料，減少廢棄土處理，藉由本身

及回填土的重量，抵抗來自牆體背後的土壓力或其他應力。生態槽應用於臨水區域除可維持生態廊道，提供水中生物棲息地，其剛性結構並可防止水流沖刷，維持河道護岸穩定。應用於常水位以上另可裝填土壤作植栽空間，搭配河道線型造型美觀多變。適用於親水護岸工程，如排水渠道、河岸、池塘、湖泊等。

圖二十二為地工砂腸護岸，地工砂腸護岸係利用高強度織布加工縫製而成之砂腸袋，內部填灌現地土砂(河砂，海砂或淤泥)，藉由本身重量，抵抗來自牆體背後的土壓力或其它應力，能有效利用現地資源，取代傳統混凝土護岸，以最少的人工材料達到安全、生態、綠化的護岸工程。地工砂腸袋擁有良好透水性及阻絕泥沙流失等性質，並具備耐海水腐蝕、耐酸鹼特性，並經抗紫外線處理，可適用於惡劣天候環境及長期日照。配合其他外層防護工，可應用於各式壩體類結構堤心(突堤、離岸堤、防波堤、潛堤)、填海造陸臨時圍堤、海岸線保護(人工沙丘)、人工養灘、溼地保護、水庫淤泥處理、污泥處理等。



圖二十三、織物模板護岸



圖二十四、生態袋護岸

圖二十三是織物模板護岸，織物模板護岸是利用高強度織布加工縫製而成雙層織布結構，本身具柔性，內填混凝土砂漿，以低壓灌漿填滿管狀空間可確實貼合地形，成為護坡或護岸結構。織物模板另有 50%面積為透水面積，另可植生綠化，同時保有防止水流沖刷之剛性護岸效果及植生減碳之效益。織物模板具有良好透水性及抗張強度，質輕易搬運、施工方便。內部另可填充植生基材，以穩定坡面並綠化環境。適合邊坡、河岸與海岸堤防等保護工程。

圖二十四是生態袋護岸，生態袋護岸是利用以不織布縫製之小型織袋，就地取材裝填現地沃土混合草籽，沿岸交丁堆疊，藉由袋體之束制力將土壤裹實，使土體邊坡或護岸更加穩定，並搭配袋體高開孔率之特性，提供優良植生條件。草種在溼潤且多孔隙的織袋內極易萌芽生長，自然形成植生多元化之生態護岸。生態袋具備適度透水性且同時保有保土之功能，利用現地土方當回填材料，以達土方資源化、減少廢棄物之效果。適合邊坡排水草溝、低水護岸、景觀生態池等親水工程。

(四) 南投暨南大學邊坡整治

暨南大學邊坡整治是周老師過去在九二一災後重建的一個時空背景下，受

校方委託而全程參與並設計規畫的一個案例，也是老師在課堂上每每提及便十分得意的加勁擋土牆應用於邊坡整治的實例。民國八十九年，九二一地震重創南投，位於南投埔里的國立暨南大學災後重建工程刻不容緩，而在這樣的背景下，重建工程發包也破例讓校方自行選擇業主，於是周老師便接下了這個邊坡破壞後建工程的重責大任。

由於該處於開挖時即曾發生大規模順向坡滑動情形，修建工程設計便著重緩和斜坡，並配合植生綠化與排水，兼顧景觀與生態。這次整治方案採生態工程為主軸，幾乎未採用混凝土結構，老師當初提出這個想法還備受外界的質疑，但經過時間的淬鍊，證明老師的邊坡整治生態工法完全經得起多次颱風豪雨的考驗。然而，周老師採用**土釘、蜂巢格網、加勁擋土牆、植生綠化**等土工技術，並配合公路改線、修坡等手段，使近八十公尺的陡坡不採用混凝土而矗立不搖；所覆蓋之植生，防止了沖蝕，其後原生草種、灌木、喬木亦逐漸生長演替，**加勁擋土牆與蜂巢格網的多孔隙，也提供了動植物的棲地**。此外，邊坡綠化成效良好，並**將整治區與非整治區間界面以圓弧曲線處理，融合新舊結構**，乃是整個邊坡整治工程最困難卻也最難能可貴之處。



圖二十五、暨大邊坡整治工法(I)



圖二十六、暨大邊坡整治工法(II)

另外，老師也帶我們到暨南大學的操場參觀，操場四周都是邊坡，經過周老師的加勁材料邊坡整治，使得邊坡不會滑動，即使學生在操場中運動、跑步也無安全之疑慮。再者，老師也有提到當初這塊地在九二一災後宛如一塊廢墟，堆滿了斷垣殘壁，然而危機正是轉機，這些**垃圾反而成了天然的預壓密應力**，讓操場底下的土壤變得更緊密，這何嘗不是一種順應自然的生態工法？



圖二十七、暨大操場

(五) 苗栗火炎山明挖箱涵隧道土石流災害整治

礫岩層中的泥土，由於氧化淋溶作用迅速，使地表含氧化物較多的鐵鋁物質，在深溝峽谷與直立的圓錐狀山峰間，構成鮮紅、金黃、橘紅及褐黃等各種色彩，在夕陽餘暉的映照下，邊坡表層的紅土更顯通紅，有如火欲燃燒般，因而得火炎山之名。



圖二十八、火炎山一隅

140 線火炎山段由於地形與地質構造特殊，自民國 76 年完成迄今，即因颱風豪雨甚或地震，而多次遭受土石流侵襲覆蓋，阻斷 11K+550~12K+800 附近路段，造成往來交通極大不便。第二區養護工程處乃於民國 91 年 5 月公開徵選本工程之規畫設計廠商。最後由堅尼士工程顧問有限公司(周老師時任的工程顧問公司)經投標及評比獲得委託，提送設計及隧道型式呈請審定。

因火炎山之地質景觀特殊，故應順應大自然崩坍與自行復育之循環機制，不以人為介入，保持現有之景觀，因此周老師建議採用**避開工法**，包括：高架橋、**地下箱涵**、**明隧道**。其整治方法乃在現有道路北側另興築箱涵式隧道設計原則及隧道型式利用箱涵結構，沈埋於現有土石流堆積區之下方，新發生之土石流將在箱涵之上方通過。

另外，於火炎山隧道西側隧道口，原導流堤內側幾已淤滿土石而失去導流功能，土石流由上而下切割衝破脆弱之土石堤往西側較低處漫流。遂採用採用導流工法。

1. 設置加勁導流堤：原就地取材構築之土石堤因其凝聚力極低而導致結構體

易受雨水侵蝕或受土石流撞擊而崩解，因此採用較石籠堤經濟耐用之加勁工法(如圖二十九)予以強化導流堤之結構穩定性，其優點為可就地取材，且該工法在地形之配合性與高度之可調整性上皆較其他工法為優，另加勁土石堤對基礎之要求較低，並對結構體變形之容許性最高。

2. 設置路緣加勁防護堤：可為土石流之第二道防護工。
3. 抑止工：於加勁導流堤及路緣加勁防護堤間設置數座沈砂池，一可為土石流之第三道防護工，二則便於砂石資源之採取利用。
4. 設置疏浚用便道：因導流之故土石將逐漸集中堆積於東西側兩隧道口間而影響導流堤之功能，故將設置清淤便道以收永續營運之效。



圖二十九、加勁土堤作為土石流的導流堤



圖三十、火炎山隧道整治後現況

