

出國報告（出國類別：考察）

高速公路規劃設計施工之生態工程 觀摩考察報告

服務機關：交通部臺灣區國道新建工程局

姓名職稱：陳宏仁 正工程司兼副組長

姓名職稱：卓高端 正工程司兼主任

派赴國家：美國

出國期間：97年7月29日至97年8月7日

報告日期：97年10月7日

摘要

國內高速公路發展已進入第三代高速公路，其特點主要強調工程與環境生態的融和共存，為瞭解國外生態工法推動情形及成效，97年度出國計畫爰包括本項觀摩考察計畫。

本次考察特別請臺灣生態工法發展基金會邱執行長銘源協助規劃行程，考察地點包括美國西雅圖及丹佛地區，主要內容有西雅圖市區的自然排水系統(Natural Drainage System)、多孔隙路面及人行道案例、中央圖書館的綠建築、奧林匹克雕塑公園的整體規劃和公共藝術、數條州際及州內高速公路在規設及施工過程運用生態工法的理念，包括儘量減少對環境的干擾（採高架隧道方式構築、施工棧橋、橋梁新工法、休息區配合地形規劃、就地取材）及降低生態阻隔（設置動物通行箱涵）、表土保留、濕地補償、棲地再造等。

考察過程負責各道路計畫推動的主管、工程司及當地的學者專家沿途詳細解說，分享生態道路的推動經驗與心得，獲益良多。

目 次

壹、出國目的	2
貳、出國過程	3
參、出國心得與建議.....	15
肆、附 圖	17

壹、出國目的

國內高速公路工程的推動，隨著社會經濟的發展、工程技術的進步、民眾對環境生態的重視，而快速演進。第一代高速公路（中山高速公路）以功能需求為導向，主要提供臺灣一條南北向運輸大動脈、提高行車速度、安全及工程品質；第二代高速公路（福爾摩沙及北宜高速公路）則加強美觀，重視道路景觀、綠美化等；第三代高速公路（國道6號南投段、蘇花高速公路）進一步強調與環境生態的融和共存，將生態、景觀、及當地文化特色納入整體考量，希望以永續經營的理念將高速公路融入整體環境中。

為瞭解國外生態工法推動情形及成效，汲取寶貴實務經驗，作為未來國內推動道路建設之借鏡，97年度出國計畫爰包括本項觀摩考察。

貳、出國過程

一、行程紀要

本次考察包括美國西雅圖及丹佛附近地區，詳細行程如下：

日期	地點	考察內容
07/29	臺灣→西雅圖	去 程
07/30	西雅圖	Lake Washington Ship Canal、SEA STREET Project、High Point Housing Project、Seattle Central Library、Olympic Sculpture Park
07/31	西雅圖	Rainier National Park
08/01	西雅圖	Tolt Bridge 舊橋改建計畫、The Cedar River Watershed
08/02	丹佛	U.S.40 公路改善計畫
08/03	丹佛	I-70 州際公路 Glenwood Canyon 路段
08/04	丹佛	Colorado State Highway 82 改善計畫
08/05	丹佛	丹佛市區
08/06~08/07	西雅圖→臺灣	返 程

二、觀摩考察內容

(一)西雅圖市區(包括 Lake Washington Ship Canal、SEA STREET Project、High Point Housing Project、Seattle Central Library、Olympic Sculpture Park)

1. Lake Washington Ship Canal (圖 1~2)

鮭魚是美國原住民印地安人主要食物的來源，也是重要的文化與精神象徵，每年都有成千上萬的鮭魚逆流而上迴游到出生地孕育下一代，但因為大規模的捕撈、興建大壩阻擾鮭魚迴游、都市開發造成環境破壞，鮭魚迴游數量遽減，甚至可能嚴重整個生物鏈，西雅圖市瞭解問題的嚴重性，除了針對河川流域進行復育計畫外，在 Lake Washington Ship Canal (華盛頓湖船道) 設置大壩同時，也設置魚道幫助鮭魚迴游，並藉透明玻璃讓民眾觀察鮭魚迴游情形，瞭解鮭魚特性及環境保護的重要性。

2. SEA (Street Edge Alternative) STREET 計畫 (圖 3~4)

由西雅圖政府公共設施局 (Seattle Public Utilities) 及交通局 (Seattle Transportation) 和當地民眾共同合作在 2000 年完成的一項有別於傳統街道設計的實驗性計畫，目前市區逕流大部分都是透過下水道快速直接排入河川，除改變河川水文，也嚴重影響水棲生物 (尤其鮭魚) 的生存。為減輕此問題，西雅圖市政府開始思考嘗試另一種不同於傳統的排水方式，與其將雨水快速排除，不如將它導入街道兩旁有植栽的低窪地區，入滲到土壤裡，一方面可補注地下水，另一方面也減輕下水道的負擔，同時藉由植物的吸收污染物質淨化水質，這種藉由自然力量，稱為自然排水系統 (Natural Drainage System)。

試驗地點位於西雅圖北部的第 2 大道 (介於第 117 和 120 街間)，道路兩側均為住宅區，平常車流量不大，該計畫將原有道路寬度縮減為 14 英尺，僅容許 2 輛車會車，兩側多出的空間設計成淺低窪地種植耐水植物，同時布設人行道。完工後經過 2 年監測評估自然排水的成效，

結果發現，以每 2 年發生洪水頻率設計的 SEA Street，可以成功的在現地處理百分之九十八的逕流量，也就說是，利用地窪植栽地的自然排水設計，幾乎可以取代傳統下水道的功能，此外，研究也證實，SEA Street 所選用的植栽和土壤成功的移除了逕流中的污染物質。

SEA Street 計畫除了藉由自然排水方式保護河川生態，免除不必要的工程，同時也塑造一個更舒適、美觀的街道環境，明顯提升道路兩側環境居住品質及房地產價格，引起鄰近地區居民也要求比照辦理，西雅圖公共設施局因此陸續又完成 2 個類似計畫：110th Cascade 及 Broadview Green Grid。

3. High Point Housing Project (圖 5~8)

High Point 是西雅圖最高點，位於該市西區，第二次世界大戰期間設置臨時勞工住宅，從此該地區淪為犯罪率高的貧民區。西雅圖住宅局 (Seattle Housing Authority) 為解決此問題，進行都市更新整體規劃，將原本封閉的道路打通與區外道路銜接，全區以減輕環境衝擊 (Low Impact Development, LID) 的自然排水系統 (NDS) 和滯洪池解決排水問題，即在車道與步道間設置低淺窪地，並種植耐水性原生植物，除延緩逕流速度，提高入滲土壤比率，減少地表逕流外，也具自淨功能；當降雨超過自然排水系統處理能力時，再經由下水道系統排入滯洪池，避免將污水直接排入鄰近有鮭魚活動的溪流 (Longfellow Creek)。部分植栽採原生樹種，除保留 107 顆數十年的老樹，未來將種植超過 3000 顆的新樹，落水孔滴水版採藝術造型，人行道及路外停車場儘量使用透水材料，讓雨水儘量入滲土壤中。住宅型式規劃為出租、低收入、及一般市場價格等不同價位的社區，全區面積 129 英畝，第一期 830 戶已經在去年完成，儼然是臺灣的高級住宅區，第二期 1600 戶預定在 2010 年完成。

4. Seattle Central Library (西雅圖中央圖書館) (圖 9~12)

該圖書館造型採不規則、多角、多邊設計，雖然有著像雕塑品般的外表，設計初衷並非在創造任何特定形式，圖書館運作及使用方式才是決定該建築物形式的關鍵，外觀完全取決於不同室內空間塊體的排列組合、協調妥協。

書庫採立體停車場觀念，用旋繞方式布設，可以容納 145 萬本書籍，一個個的書櫃沿著矩形螺旋狀的空間連續陳列，不致被樓層的轉換切斷，除方便圖書館員的管理，使用者也可以隨著遞升或遞降的緩坡找書，省去進出電梯或樓梯間上下樓層的麻煩，對照傳統藏書方式是一大改革。

公共藝術與空間的融和，也讓圖書館活潑而不沈悶，藝術作品並非消極的放在建築空間，而是積極融入成為建築的一部份。投影裝置藝術「蛋」鑲在一旁的牆內，隨著手扶梯緩緩上升，被迫不會錯過這個作品；外文區的木質樓地板刻著十一種不同的語言，呼應著這個區域屬於外語學習的空間功能。

圖書館本身也是一棟綠建築，在能源、用水、材料方面都作了仔細的考量，例如：大量使用玻璃帷幕引入充沛的自然光，減少白天的照明需求，玻璃帷幕特別設計為雙層，在需要太陽直射的區域夾了鋁製薄網，以防止反光並阻隔過量熱源進入室內；在節水措施上，降到建築物上的雨水都被收集作為澆灌室內外植栽之用；建築材料儘量選擇價廉物美、容易維修的再生材料，結構的設計儘量使用最少的材料；建築裝修上也維持簡單，不做無謂的修飾。

5. Olympic Sculpture Park (奧林匹克雕塑公園) (圖 13~17):

基地原本是「加州聯合石油公司」(Union Oil Company of California)用來儲放石油的地方，土壤被嚴重污染，還被車流繁忙的道路和鐵路一分為二，但是面對著海灣以及遠方山頂終年覆雪

的奧林匹克山脈，擁有極佳的視野。1999 年西雅圖美術館在微軟前總裁強·雪雷和比爾·蓋茲等企業家的捐款支持下買下土地，經過西雅圖市政府的協助，一併將鐵道旁緊鄰海灣的狹長土地納入雕塑公園的範圍。

雕塑公園設計了一個超大 Z 字形坡道，將高度不同且分離的三塊地巧妙地連結起來。紐康溫室（Neukom Vivarium）內置放一根長達 18 公尺的哺養木，持續地腐化並支持其他生命的開展，藝術家藉此呈現自然的循環和複雜過程，讓參觀者可以透過顯微鏡和放大鏡來觀察其中的生物形式和過程。隨著時間，哺養木持續分解腐化，民眾每次來參觀的經驗都會不同，是一件有別於傳統且兼具教育性的藝術作品。

雕塑公園不只提供市民陸上休閒活動，也盡可能創造給水域生物的棲息空間，它不只是一般公園，更是一座免費的大型戶外美術館，擺設著世界各地著名藝術家的雕塑和藝術裝置作品；園區栽種各種的原生植物，還擁有都市中罕見的海灘水岸，提供市民一個親近和觀察大海的好機會。

（二）西雅圖郊區（Rainier National Park、Tolt Bridge 舊橋改建計畫）

1. Rainier National Park（雷尼亞國家公園）（圖 18~19）：

公園內擁有豐富的動植物生態及自然景觀資源，除必要的進出道路及相關設施外，避免破壞原有地形，橋梁配合當地自然背景設計，邊坡擋土牆就地取材採用當地石塊堆砌。

2. Tolt Bridge 舊橋改建計畫（圖 20~22）：

本橋位於西雅圖東方約 20 英哩，1922 年興建完成，長度約 200 公尺，包括一座 60 公尺長的鐵橋和 32 個短跨距由木樁所支撐的鋼筋混凝土路面橋，是國王郡（King County）的地標。因為是早期的設計，無法承受現代較重的貨卡車重量，還有生鏽的鋼架、多處龜裂的混凝土版

面、腐蝕的木樁等問題，另外橋梁寬度、道路線形及淨高也都不符合現代的需求。1994 年，聯邦政府同意撥款補助這座橋的更新計畫，經重新研選路線，除道路線形較佳，可提高行車安全，還可避免開挖陡峭的斜坡，也不致影響附近住家的進出，更不會干擾到大眾用來下船和釣魚的地方。

初步設計時，面臨一些挑戰性的問題，首先是該河道和它的支流是華盛頓州主要的鱒魚（Bull Trout）及鮭魚（Chinook Trout）迴游區，白頭鷹（Bald Eagle）也會來此過境休息，三種動物都受到聯邦特別法的保護。第二，研選路線通過六個大大小小的溼地，因土質非常鬆軟，需考慮河堤可能因打樁造成的震動而坍塌。經過當地住民之參與，同時為減少對河道左側溼地的影響，選用與原橋類似的長跨徑鋼桁架橋以減少落墩。新橋的長度 292.6 公尺，寬度 12.2 公尺，可布設兩個車道和兩個 2.4 公尺寬的路肩，以供行人和腳踏車使用，總建設經費約 2 仟 7 佰 5 拾萬美元。舊橋拆除後由當地政府另外選擇地點重新組裝供民眾參觀。

另外預期施工過程將對溼地及魚類棲息地區有不同程度的衝擊，經各相關單位和民眾審慎研商、分析、和評估，擬訂相關規定載明於契約書嚴格要求營造商遵守。包括：

- (1) 營造商必須使用施工便橋，以減低對河道及溼地的影響。
- (2) 設置於河道內的鋼樁其數量不可超過 40 根，而且只能用震動方式打到設計深度，才以打擊方式增加承載力，打擊樁時間不可超過 5 分鐘。
- (3) 裝置水中聲壓監控設備量測打樁造成的聲壓，若打擊樁造成的聲壓超過契約規定時，承包商應加裝能製造氣泡式幕帳（Bubble Curtain）的裝置，以減低水中聲壓的傳播。
- (4) 加派環保人員用浮潛或目視來觀察魚的動態，如有異常，應即停工。
- (5) 為了避開幼鮭魚遷移的時間（9 月 15 日後），所有的鋼樁只能在 6 月

1 日到 8 月 1 日間施工，且必須在 9 月 15 日前全部拆離。另外，白頭鷹（Bald Eagle）可能會在 11 月 1 日到隔年 4 月 1 日中過境棲息，這段期間也不可以進行打樁。

- (6) 鋼板樁和場鑄樁施工期間，河道兩側應設置監測設備避免影響堤防安全。
- (7) 在灌注橋面混凝土前，承包商應設置圍束設施以避免泥漿或雜物掉入河中或溼地。
- (8) 場鑄樁施工所用的鋼套管只能用左右擺動方式打入土中，所有挖出的泥土需完全運離施工現場。另外所挖出的污水也必須先暫時放在一個臨時挖的沈澱池或水箱中，等污泥沈澱，水接受檢驗後才可以排入河流中。

(三) 科羅拉多州

1. 美國 40 號公路(U.S.40)Berthoud Pass 至 I-70 路段改善計畫(圖 23~26):

U.S.40 改善路段位於丹佛市西方約 60 英哩，是一條通往滑雪聖地的山區景觀道路，原有道路坡度大，且未設置護欄和路肩，經常發生交通事故；另外冬季常有雪崩中斷交通情形，帶有鹽份的砂（避免結冰路滑）影響植物生長，造成邊坡裸露導致落石、坍方，影響行車安全及破壞濕地。

改善計畫主要包括：（1）調整道路線形變得平順（2）設置爬坡車道供慢速車輛使用（3）設置路肩及護欄避免車輛翻落路旁（4）設置圍籬避免鹿等大型動物闖入道路（5）設置箱涵供野生動物通行（6）增設濕地供水生動、植物棲息（7）加強邊坡植栽減少坍方（8）擋土牆型式及顏色配合山景設置提供用路人良好視覺景觀（9）設置沉砂池避免影響植生。

道路改善完成後除大幅提高行車安全，同時有效改善沿線生

態環境，由於該計畫在環境保護方面的努力，曾經獲得 AASHTO 的年度環境傑出獎項。

2. I-70 州際公路 Glenwood Canyon 路段 (圖 27~32)：

I-70 州際高速公路從丹佛市往西至 Glenwood Springs 路段，因穿越地形陡峭的洛磯山脈及環境敏感的 Glenwood Canyon (Glenwood 峽谷)，施工困難，且沿途經過 Vail、Beaver Creek 等世界級的滑雪勝地，是全美聞名的景觀與生態公路。

Glenwood Canyon 路段位於丹佛西方約 160 英哩，地形與太魯閣類似，峽谷高度超過 600 公尺，底部寬度僅 90 公尺，科羅拉多河貫穿其中，兩側分別有鐵路及美國 6 號公路，該公路係早期興建之地區性雙車道公路，部分路段安全性不足，肇事率高，難以應付日漸擁擠的交通，經科羅拉多州政府審慎研究後，決定將美國 6 號公路拓寬為 4 車道高速公路，並與峽谷外的 I-70 州際公路銜接。

1970 年代規劃之初，曾遭部分環保人士與沿線居民之質疑與反對，為避免對環境、生態與景觀造成不可彌補的破壞，短短 20 餘公里即花費 10 餘年與民眾、環保團體等溝通協調及進行規劃設計，工程於 1980 年開工，施工期間與細部設計部分重疊進行，亦長達 10 餘年，於 1992 年完工，是美國生態景觀高速道路興建之楷模，榮獲 1993 年全美土木工程傑出成就獎(1993 U.S. Outstanding Civil Engineering Achievement Award)。

本工程穿越 White River 森林遊憩區，每年有大量的遊客經由 I-70 公路進入本區，如何確保原有林區的景觀品質，為本公路建設之重要課題之一。在規劃初期，即透過聯邦及州政府所屬相關機關及專家取得珍貴的環境監測資料及寶貴意見，確定以落實環境、生態及景觀為主要考量之設計原則，並將環境保護有關規定納入設計規範及施工契約，以下謹就本工程之環境保護對策及運用生態工法之實例，說明如下：

- (1) 設計與施工同步，並配合相關研發成果隨時調整：部分細部設計與施工期間重疊進行，一邊施工一邊依據現況調整細部設計進行施工，同時委託進行多項現地研究計畫，俾與現地測量調查結果互相驗證。
- (2) 施工課題與因應對策：因地制宜研提各種橋梁新工法及環境保護對策，例如：採氧化鐵染色之預鑄擋土牆以融合整體環境、因應施工用地不足的加勁擋土牆、提高預鑄結構物之比例以降低工地之干擾等。
- (3) 服務區位的選擇：由於服務區之位置偏遠，且位於景觀敏感區，故儘量利用地形配置建物及相關設施，不做大規模之整地，另捨棄從外地接裝維生管線，採取綠建築之手法：如建物朝向陽面、設置太陽能收集裝置等。
- (4) 水土保持：從事土方沖蝕防治及水質監測相關的研究，部分材料的選用捨棄標準的工業成品改採師法自然就地取材之方式，例如：調節池不採 RC 結構而採天然石材堆砌並與植栽結合，利用樹根發揮過濾之功能；在排水溝中堆置稻草，減緩流速控制沖蝕，並兼具小型沉澱池之功能。
- (5) 邊坡處理：除儘量減少邊坡開挖，為期在人工干擾後能與當地景觀協調，加強挖方坡頂及填方坡趾與原地面的界面處理，部分坡頂修成圓角，雖增加用地範圍，但較緩之邊坡可縮短植生復育時間，降低後續維護管理費用，整體景觀亦趨於自然。
- (6) 河道整治：配合道路線形，路廊範圍內之高爾（Gore）溪必須局部改道，施工先期便邀集生態及水利專家，調查相關環境資料，作為復育之依據；另針對溪中之指標生物鱒魚，進行相關生活史的調查，並模擬原棲地之流速、溶氧量等資料，據以於改道後之河道設置原木堆及岩石堰，長期監測俾達成確保維持生態之目標。

- (7) 棲地再造：部分溪流河床不適合魚類生長，經參考野生動物專家建議，河床改成階梯狀，並於河道設置岩石堰及圓木堰，降低河床坡度，形成沖濺池增加水中溶氣量，提供魚類良好的棲息環境。
- (8) 動植物與環境的保護設施：規設時進行詳細的植物調查計畫，整地時會同林務單位專家參與俾免誤伐，並將相關規定及罰責納入設計規範及施工契約中，以保護原生林木，建造過程共計種植十五萬株大小樹木與各類植物，以維護植物生態景觀；另為避免公路之興建阻絕動物的活動路徑，依據監測資料在適當地點設置大型動物(如牛、鹿、羊)專用涵洞。此外，由於濕地對於動植物之生態助益甚大，復原工作尚包括新增數個濕地，以利野生動植物之棲息。
- (9) 表土及原生草花的利用：道路邊坡如任其裸露，藉由自然的生長復原，至少需三十年。故施工初期便將富含種源庫之表土加以保存，俟邊坡整地完成後再鋪植於地表，可加速邊坡植生；另在部分邊坡以噴植種子之方式，復育原生花草，成效卓著。

另本工程採用了多項與環境、生態、景觀相融合的新技術，包括：雙階棧橋、加勁擋土牆、雙 T 型擋土牆、預力懸臂式橋面版、預鑄節塊橋梁、隱藏式地錨錨頭、結合大自然的休息區、及與環境相容的岩面染色等，對環境、景觀、生態之助益頗大，茲說明如下：

(1) 以高架橋與棧橋通過環境敏感地區

由於峽谷地區空間有限，為避免開挖造成環境破壞及落石問題，除配合地形採雙向車道分離設計，多以高架橋及雙階棧橋(Terrace Viaduct)方式通過。區內雨量稀少、植被不易，高架橋廣用懸臂預鑄節塊工法，以避免假設工程破壞植物之生長。雙階棧橋可以減少開挖量，並增加線型的優美，棧橋以預鑄、預力式雙T 型擋土牆為主，具施工快速、面版統一美觀等優點；棧橋之上則為懸臂式預力混凝土鋪面，懸臂寬度2 公尺，不僅可節省空間，亦因日射之陰影造成

擋土牆較低之錯覺，降低駕駛人之壓迫感。

(2) 生態與環境的保護措施

為避免橋墩施工破壞周遭環境，路線盡量避免開挖，但隧道洞口與部分落石區仍無法避免，因此埋設雷管之位置均需經仔細規劃，以盡量避免造成岩壁凹凸不平，開炸後之岩面亦染成與原風化砂岩相仿的顏色，俾融合於自然景觀。

(3) 擋土結構

擋土系統可分為填方與挖方兩類，**填方部分**多採用下列兩種擋土設施：

A. 雙T型預鑄、預力擋土牆：類似扶臂式RC牆，除了基腳是現地排筋澆灌混凝土外，牆的本身則是由預鑄的雙T型版加上高拉力鋼筋所組成，版寬3公尺，牆厚只有15公分，高度可到達12公尺，先在其他場地預鑄，再用卡車運到工地，一片片用吊車把牆垂直吊起置放在已固結的牆基腳上。當雙T牆被垂直的矗立後，就可把高拉力鋼筋放入雙T部份預留的一些孔中，直接連結到基腳內預先埋置的鋼板。當鋼筋連結妥當後，再用後拉法將雙T牆及基腳由高拉力鋼筋拉緊，完成牆結構部分的施工。完工後的牆馬上可以進行填土，所以施工相當的快速，可以省掉牆面排筋和灌漿後所需的養護時間，本工法具有快速、美觀、對交通與生態環境干擾較少等優點。

B. 加勁式擋土牆：以加勁牆代替傳統的RC擋土牆，面版採預鑄式直條紋混凝土，線條簡單，可避免醜陋的場鑄RC面版破壞了峽谷的天然美景，並節省巨額經費。

挖方部分：一般地錨錨頭突出牆面，零亂散落於牆面，嚴重影響視覺景觀。本工程採用的地錨，乃經特殊設計，將錨頭隱藏於預鑄面版中，且在緩衝段廣植白樺，與擋土牆之背景調和。

(4) 休息區之設置

本工程共研選四處可供大眾休息、爬山、釣魚、划船和觀賞風景的地點設置休息區，休息區盡量利用地形地物配置各項休閒措施，避免產生突兀，並儘可能與天際線相符以免破壞景觀。另沿高速公路高架橋下設置一條自行車及人行用的車道，直達Vail滑雪區，增進民眾與大自然直接的接觸。休息區與科羅拉多河的泛舟設備相連接，以方便泛舟的遊客。

(5) 智慧型隧道管理系統

交控中心設置於Hanging Lake隧道中央，隧道管理採用智慧型控制系統，利用裝於隧道上方攝影機，透過網路連線全程監控隧道之車流量、車速、各種災害、違規、車禍事故等狀況。

3. 科羅拉多州 82 號公路 (Colorado State Highway 82) 改善計畫 (圖 33):

連接 Glenwood Springs 與 Aspen 之科羅拉多州公路，在生態環境方面的努力包括：設置專供鹿等大型動物穿越之通道、與路側背景融和之擋土牆、濕地補償等。

參、出國心得與建議

- 一、本次觀摩考察要感謝臺灣生態工法發展基金會邱執行長銘源及周南山博士精心規劃行程，讓參加人員能在有限的時間作深入地瞭解；另外也要感謝實際負責各道路計畫推動的主管、工程司及當地的學者專家沿途詳細的解說，分享生態道路的推動經驗與心得，讓參加此次考察人員都感獲益良多。
- 二、西雅圖市運用生態工法的理念，將地表逕流導入植栽的低窪地區，入滲土壤涵養水源，同時藉由植物的吸收污染物質淨化水質，這種藉自然力量的排水方式，有效解決部分市區排水問題。但臺灣地區的降雨型態及強度與該市截然不同，僅能運用其理念思考建立一套符合國情的排水方式，不能完全複製套用。
- 三、西雅圖市在 Lake Washington Ship Canal、The Cedar River Watershed 及 High Point 設置教育館和解說牌（圖 34~36），以實體讓民眾親身瞭解環境保育觀念，這種結合休閒與教育的作法，頗具成效，值得學習。
- 四、西雅圖市社區自然排水觀念、中央圖書館綠建築、雕塑公園配合地形條件限制整體規劃及公共藝術設置、及 I-70 州際公路各休息區規劃等，可作為高速公路服務區規劃設計之參考。
- 五、西雅圖由於微軟公司總部設於該市，除提供市民就業機會，帶動經濟發展，企業的慷慨捐款以及相關單位的用心規劃，將原本嚴重污染的土地改造成市民休閒的藝術公園，提高市區生活環境品質。
- 六、2007 年 8 月明尼蘇達州 I-35W 州際公路跨越密西西比河之鋼桁架橋梁發生斷橋事件後，相關單位即針對斷橋原因展開調查研究，結果發現鳥類排泄物可能加速鋼橋鏽蝕，因此 Tolt Bridge 橋梁改建工程即在鋼梁下方設置鳥踏（圖 37），防止鳥類棲息築巢，值得橋梁設計師參考。
- 七、I-70 州際公路 Glenwood Canyon 路段由於經過環境敏感區，引起環保團體及當地居民的極度關心。但反對者並非一味堅持反對推動立場，而是積極設立

公民諮詢委員會（Citizen Advisory Committee）全程參與推動過程，甚至邀請工程、生態、地質、動植物等領域有興趣的專家成立技術評估團體提供專業意見參與研討，工程單位召開說明會及定期刊物也有助各界對計畫的瞭解。甚至爲了實質逼真感受，利用影像視覺模擬（現在可利用電腦動畫）、等比例的模型、植物試栽區等方式模擬各種景象。由於公開化的設計過程和具有誠意的不斷溝通，使得原先生態界反對的力量轉化爲計畫更臻完美的助力，相當值得借鏡。

八、I-70 州際公路 Glenwood Canyon 路段工程不僅提供交通運輸服務，同時休息區結合自行車與休閒步道、釣魚、及泛舟等休閒娛樂功能，未來道路規劃時，應可思考在不增加太多經費之情形下兼具觀光休閒功能。

九、I-25 州際公路經丹佛市區路段之隔音牆造型（圖 38）委請藝術家設計，雖然造價較高，卻可帶給用路人不同的視覺景觀。

十、由於聯邦政府及民眾重視環境保護，本次考察經過環境敏感區的 Tolt Bridge 舊橋改建計畫及美國 40 號公路改善計畫，雖然建設規模及經費都不大，卻花費了相當長的時間在環境影響評估工作，且環評費用佔整體建設經費的比例也比國內高，這恐將是國內未來的趨勢，值得相關單位重視。

十一、詳細的調查計畫、確認需保護之動植物、審慎研擬施工規範、施工階段嚴格監督執行，是本次考察幾項道路建設成功推動的關鍵。

十二、本次考察各計畫運用生態工法的設計及施工方法，已有多項應用在第三代高速公路國道 6 號南投段工程上，包括：全線百分之八十以上路段採用對環境干擾較小的高架橋及隧道構築方式；表土保留作爲後續植栽復育之用，東草屯及愛蘭交流道範圍內設置生態池，提供水生動植物棲息空間（濕地補償）；設置施工棧橋減少對環境的破壞；設置生物廊道及動物逃生坡道，降低生態阻隔；高架橋路面逕流收集後漫流至橋下植草區，入滲土壤中等，未來除應持續推廣外，亦應進行監測成效檢討改進，回饋至其他道路建設計畫。



圖 1 鮭魚迴游

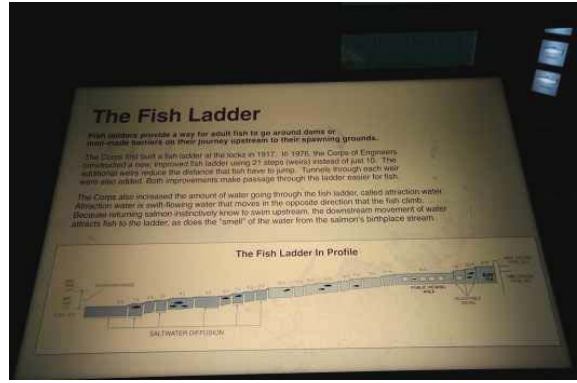


圖 2 魚梯解說牌



圖 3 第二大道現況



圖 4 低淺窪地及植栽



圖 5 High Point Project 規劃圖



圖 6 老樹保留



圖 7 鮭魚造型滴水版



圖 8 High Point 滯洪池

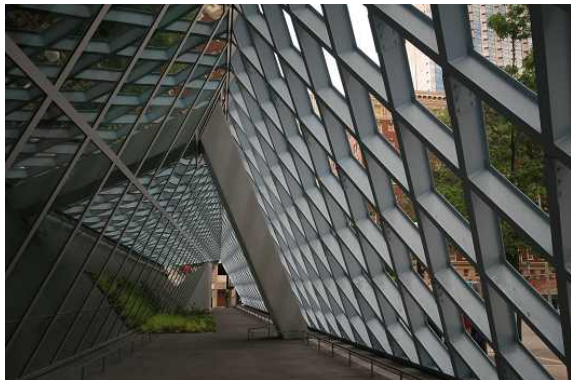


圖 9 中央圖書館呈不規則型

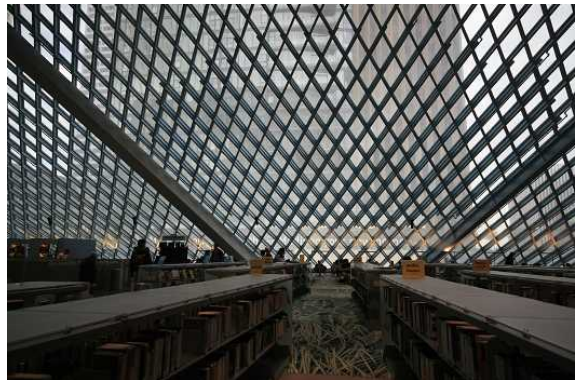


圖 10 中央圖書館內部（玻璃帷幕）

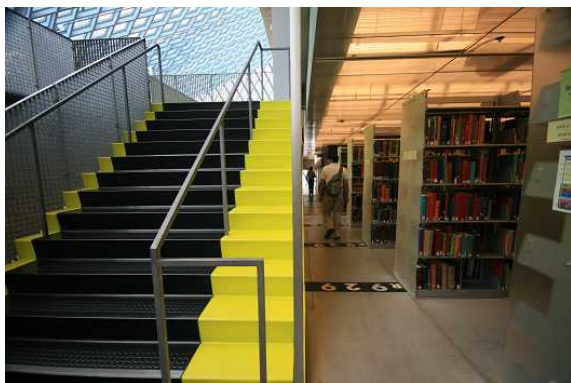


圖 11 中央圖書館書庫配置情形



圖 12 外文區木質地板



圖 13 雕塑公園設計成 Z 字型
(來源：The SEATTLE TIMES)



圖 14 紐康溫室內部
(來源：The SEATTLE TIMES)



圖 15 公共藝術 Eagle



圖 16 公共藝術 Schubert Sonata



圖 17 公共藝術 Father and Son

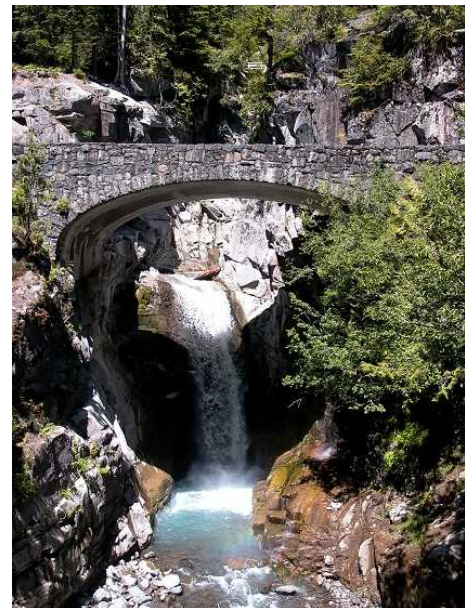


圖 18 橋梁配合自然背景設計



圖 19 擋土牆以石塊堆砌



圖 20 新完成的 Tolt Bridge



圖 21 Tolt Bridge 與滯洪池



圖 22 Tolt Bridge 舊橋基礎拆除避免雜物污染水質施工情形



圖 23 U.S.40 彎道線形改善情形



圖 24 U.S.40 公路動物通行箱涵



圖 25 增設濕地



圖 26 擋土牆配合地景設置



圖 27 I-70 公路雙階棧橋



圖 28 雙 T 型擋土牆



圖 29 溪流整治



圖 30 開挖岩面染色



圖 31 休息站避免突兀



圖 32 交控中心



圖 33 SH82 公路濕地補償



圖 34 The cedar River Watershed 教育館



圖 35 自然排水解說牌



圖 36 多孔隙道路及人行道解說牌



圖 37 防止鳥類棲息



圖 38 公路隔音牆