

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書  
(出國類別：研習)

## 河川生態工程、魚道、河川景觀與空間利用 出國研習報告

服務機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

出國人職稱：研究員

姓名：謝天元

出國地點：奧地利

出國期間：民國 95 年 7 月 11 日至

民國 95 年 9 月 30 日

報告日期：民國 95 年 12 月 29 日

# 目 錄

目錄 .....	I
圖目錄 .....	II
表目錄 .....	II
照片目錄.....	II
摘要 .....	1
壹、研習目的.....	2
貳、研習過程.....	3
參、研習心得.....	6
一、奧地利地理、水文資料及河川治理工程行政體系介紹.....	6
二、河川生態工程.....	9
三、魚道工程.....	31
四、河川景觀與空間利用 .....	45
肆、結論與建議.....	51
伍、謝誌.....	53
附錄 出國行程表.....	54

## 圖目錄

圖 1 河流流速與不受拖曳力影響之石頭最小粒徑關係.....	10
--------------------------------	----

## 表目錄

表 1 奧地利農林環境及水利經營部組織編制表.....	8
表 2 河流流速與不受拖曳力影響之石頭最小粒徑關係表.....	10

## 照片目錄

照片 1 維也納自然資源及應用生命科學大學.....	5
照片 2 維也納自然資源及應用生命科學大學節能綠建築大樓..	5
照片 3 與學者專家進行河溪現場勘查.....	18
照片 4 河溪乾砌塊石護岸工程.....	18
照片 5 河溪乾砌塊石護岸工程.....	19
照片 6 河溪拋塊石護岸工程.....	19
照片 7 河溪乾砌塊石護岸工程.....	20
照片 8 河溪乾砌塊石護岸工程完工後植生覆蓋恢復情形良好..	20
照片 9 靠近住宅處使用混凝土及漿砌塊石工程布置以確保安 全.....	21
照片 10 上奧地利地區岩塊石採取情形.....	21
照片 11 河溪拋塊石丁壩護岸工程.....	22
照片 12 河溪拋塊石護岸工程.....	22
照片 13 都會區河溪拋塊石護岸及防洪牆工程.....	23
照片 14 滯洪壩壩體中心部分以混凝土建造（施工中）.....	23

照片 15	底部開口式攔砂壩可避免阻斷水中生物通道	24
照片 16	攔砂壩不同位置設置開口避免阻斷水中生物通道	24
照片 17	攔砂壩中間之攔砂閘使用圓木頭材料	25
照片 18	木頭搭配乾砌塊石固床跌水工程	25
照片 19	河溪上、中游之木樁攔砂壩	26
照片 20	混凝土固床工上、下游以拋塊石穩定河床	26
照片 21	河溪主支流交匯處布置鐵樁與乾砌塊石避免落差產生	27
照片 22	乾砌塊石彎拱形 (Arch) 固床工可兼做魚道使用	27
照片 23	乾砌塊石彎拱形 (Arch) 固床工可兼做魚道使用	28
照片 24	生態景觀滯洪池兼具防洪、生態、景觀功能	28
照片 25	河溪木製護岸工程	29
照片 26	河岸種植大樹可增加泥土護岸抗沖能力	29
照片 27	軟弱土壤區之河道轉彎處布置木樁圍籬護岸工程	30
照片 28	軟弱土壤區之河道布置木樁固床工及護岸工程	30
照片 29	魚道出口 (上游水流流入處) 附設 V 型量水堰	36
照片 30	魚道出口 (上游水流流入處) 施設攔阻漂流木布置	36
照片 31	魚道出口 (上游水流流入處) 附設魚類上溯量計裝置	37
照片 32	魚道出口 (上游水流流入處) 水質清澈適合魚類生存	37
照片 33	繞行魚道 (Bypass Fish Way) 流況	38
照片 34	魚道設計多處轉彎以減小水池間之落差	38
照片 35	魚道兩側種植樹木提供遮蔭及綠美化	39
照片 36	水池式魚道流況	39
照片 37	魚道內流況	40
照片 38	魚道內流況	40
照片 39	水池式魚道流況	41
照片 40	既有攔河堰增設魚道設施	41
照片 41	既有攔河堰採用大塊石增設魚道	42
照片 42	攔河堰布置傾斜面魚道與水池式魚道	42
照片 43	既有攔河堰採用大塊石增設魚道	43

照片 44	既有攔河堰採用大塊石增設魚道	43
照片 45	設計較不佳之魚道入口（遠離水流紊流區）	44
照片 46	設計不佳之魚道（上游沒有水流流入）	44
照片 47	郊區河道景觀	46
照片 48	郊區河道岸邊植樹兼具安全與景觀功能	46
照片 49	都會區河道休憩與景觀布置	47
照片 50	都會區河道休憩與景觀布置	47
照片 51	都會區河道生態與景觀布置	48
照片 52	都會區河道休憩與景觀布置	48
照片 53	都會區乾砌塊石排水路綠美化	49
照片 54	生態景觀滯洪池兼具防洪、生態、景觀功能	49
照片 55	都會區河道防洪牆前拋塊石及植樹綠美化	50
照片 56	都會區河道休憩與景觀布置	50

## 摘要

為確保水資源永續發展，水利工程建設除了治水、利水方面外，同時亦應考慮河川環境保全、注意河川生態保育，以建立生物多樣性。本研習計畫藉由前往河川條件與我國相近且實施生態治河較早之奧地利研習及進行現場觀摩。在奧國有關河川治理生態工程方面之學校研究單位計有維也納自然資源及應用生命科學大學（University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna）及維也納科技大學（University of Science and Technology, Vienna），本次研習即於維也納自然資源及應用生命科學大學之土木工程與山區自然災害研究所進行研究。另外經由奧國之聯邦野溪及雪崩防治局（The Federal Forest Technical Service of Torrent and Avalanche Control）安排，前往該局轄內之下奧地利、上奧地利、薩爾斯堡、提絡、、、等地區參訪與觀摩河川生態工程、魚道、河川景觀與空間利用規劃設計管理。研習、參訪與觀摩所得之知識、觀念與技術，可提供國內水利相關單位辦理規劃、設計參考，期使河川治理及水資源開發能兼顧安全與生態保育，確保河川之生機生生不息。

## 壹、研習目的

為確保水資源永續發展，水利工程建設除了治水、利水方面外，同時亦應考慮河川環境保全、注意河川生態保育，以建立生物多樣性。邇來國內之河川治理工程或水資源開發建設工程均已顧及環境保護措施，惟生態及保育工程之實施經驗尚淺，各種河道生態工程是否適用於台灣之河川特性，均有待調查與研究評估。本研習計畫擬藉由前往河川條件與我國相近且實施生態治河較早之奧地利研習及進行現場觀察，以學習所得之知識、觀念與技術，提供國內水利相關單位辦理規劃、設計參考，期使河川治理及水資源開發能兼顧安全與生態保育，確保河川之生機生生不息。

## 貳、研習過程

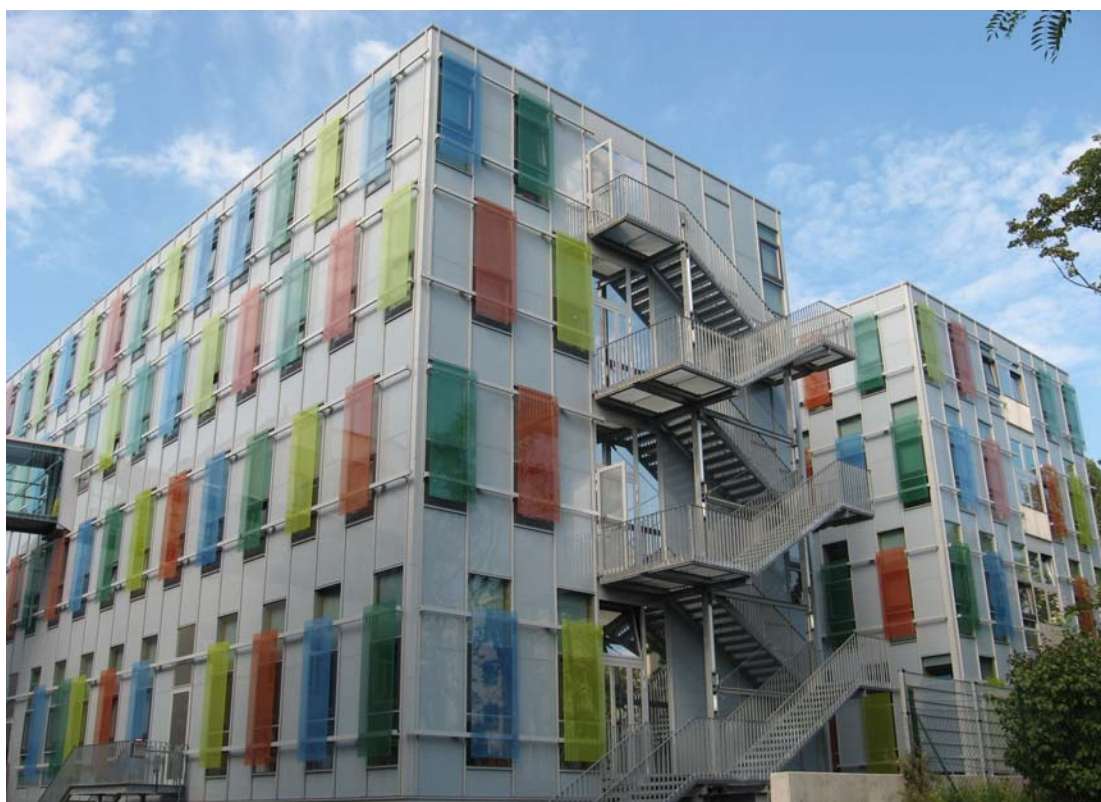
奧地利是一個重視人文與愛好大自然之國家，其境內多高山，河川條件與我國相似。由於崇尚自然，因此在河川治理上，較其他國家早將生態工程及生物通道觀念納入工程中，在國內積極推動河川生態工程、河川生物通道（魚道）、河川景觀與空間利用規劃設計管理之際，實在有必要前往該國學習與研究。本研習計畫除了前往奧國之學校研究單位學習相關之觀念、技術與理論外，亦安排前往該國有施設生態工程、河川生物通道（魚道）或河川景觀與空間利用之河川進行現場觀察研究。在奧國有關河川治理生態工程方面之學校研究單位計有維也納自然資源及應用生命科學大學（University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna）及維也納科技大學（University of Science and Technology, Vienna），本次研習即於維也納自然資源及應用生命科學大學之土木工程與山區自然災害研究所進行研究（照片 1）。該校為一非常重視自然資源之學校，筆者進行研究之處為一棟節能之彩色玻璃帷幕綠建築大樓（照片 2），整棟大樓白天採光非常良好，幾乎都不必開燈即可辦公及進行研究，冬季時保溫效果亦佳。另外為提高研習效果，經由奧國之聯邦野溪及雪崩防治局（The Federal Forest Technical Service



of Torrent and Avalanche Control) 安排，前往該局轄內之下  
奧地利、上奧地利、薩爾斯堡、提絡、、、等地區參訪與觀摩河  
川生態工程、魚道、河川景觀與空間利用，研習、參訪與觀摩行  
程詳如附錄行程表所示。



照片 1 維也納自然資源及應用生命科學大學



照片 2 維也納自然資源及應用生命科學大學節能綠建築大樓

## 參、研習心得

### 一、奧地利地理、水文資料及河川治理工程行政體系介紹

奧地利由西至東有 560 公里,由南到北有 280 公里,總面積有 83,858 平方公里,約為台灣的 2.5 倍。整個奧地利有三分之二的地區被山地覆蓋著,北部有海拔 3,000 公尺的北阿爾卑斯山與德國接壤,南有南阿爾卑斯山與義大利、斯拉維尼雅接壤,中央則有奧地利最高峰葛洛斯葛拉克那峰(Grossglockner, 海拔 3,797 公尺)及覆蓋著冰河的中央阿爾卑斯山。在河川方面,北部的多瑙河(Danube)是奧地利最有名的自然景觀,南部則有穆爾河(Mur)、德拉瓦河(Drau),西部有因河(Inn River)、薩爾察赫河(Salzach River)。眾多的湖泊是奧地利的另一個自然景觀,東邊有全歐最大的諾吉勒草原湖(Neusiedler See),西邊則有與德國、瑞士交接的伯登湖,又稱康世坦斯湖(Constance)。

奧地利氣候屬中歐型氣候。西部受大西洋影響,冬夏溫差和晝夜溫差大且多雨。阿爾卑斯山地區寒冬季節較長、夏季比較涼爽;七月平均氣溫為 14~19 度,冬季從 12 月到 3 月,山區 5 月仍有積雪,氣溫達零度以下。奧地利年平均雨量僅 800mm,但由於每年溶雪帶來大量的水量,在水資源方面不虞匱乏,且由於全

國人民具有高度環保觀念，水質未受污染相當乾淨，因此尚有水資源對外輸出。

奧地利人口約八百萬人，政治體制為聯邦制，全國分為九個聯邦，分別為布爾根蘭 (Burgenland)，克恩滕 (Carinthia)，下奧地利 (Lower Austria)，上奧地利 (Upper Austria)，薩爾斯堡 (Salzburg)，施蒂利亞 (Styria)，提洛 (Tyrol)，福拉爾貝格 (Vorarlberg) 及維也納 (Vienna)。各邦有其自己的省政府 (province government) 具有高度自治權，各聯邦政府之下又區分為數個行政區 (district) 負責執行各項聯邦法律，但並非實質具有經費的行政體，至於最下層則為市 (鎮) (community)。

奧地利在河川整治管理方面，主管之行政機關為奧地利農林環境及水利經營部 (Ministry of Agriculture, Forestry, Environment, and Water Management, BMLFUW)，其下設有野溪及雪崩防治局 (The Federal Forest Technical Service of Torrent and Avalanche Control) 及水利經營管理局 (Water Management Bureau)。野溪及雪崩防治局業務範圍為河川中、上游區域，水利經營管理局業務範圍為河川中、下游區域，其組織編制詳如表 1 所示。

表 1 奧地利農林環境及水利經營部組織編制表



## 二、河川生態工程

由於台灣地小人稠，我國早期河川治理工程偏重於保護居民生命財產安全之高流量防禦工程，因此建築了大量之混凝土堤防，其也確實發揮了保護居民生命財產安全之預期功能。之後經過政府水利單位持續努力之下，台灣重大河川之高流量防禦工程幾乎已完成。其後隨著經濟的蓬勃發展，人民對於環境的要求也日益高漲，加之近年來國際上生態意識抬頭，河川生態工程風行，因此我國河川治理由高流量防禦工程進而推展至低水治理工程再進到所謂的生態工程。生態工程顧名思義即是工程除了要確保人類生命財產安全外，亦需考慮兼顧其他生物生存所需之環境。根據筆者於國內現場調查結果，目前較常使用之河川生態工程計有拋石護岸工、砌石護岸工、鉛絲箱（蛇）籠護岸工、砌石跌水工、混凝土鼎塊護腳工、石樑工、丁壩工（水制）、、等，其中使用較多之工程為乾砌塊石護岸及鉛絲箱（蛇）籠護岸工。而此次筆者前往奧地利研習及工程現場參訪觀摩期間，發現奧地利在河川及野溪整治上，大量採用乾砌塊石護岸工，因此本報告針對乾砌塊石護岸工做一整理介紹。

目前筆者收集到與乾砌塊石護岸工設計有關之文獻資料計有下列幾項：

(一) 美國農業部水土保持局提出拋石或堆砌石基本上石頭最小粒徑  $D_{min}$  自重以能抵抗水流之拖曳力(又稱掃流力)為設計原則，方能維持河道之穩定性，而拋石堆石不受河流拖曳力影響之最小粒徑  $D_{min}$  與流速  $V$  之關係如表 2 及圖 1 所示。

表 2 河流流速與不受拖曳力影響之石頭最小粒徑關係表

V (流速) (公尺/秒)	$D_{min}$ (公分)	V (流速) (公尺/秒)	$D_{min}$ (公分)
0.6	2.5	2.7	30.0
0.9	4.5	3.0	36.0
1.2	6.5	3.6	52.0
1.5	9.5	4.2	72.0
1.8	13.0	4.8	96.0
2.1	18.0	5.4	120.0
2.4	24.0	6.0	145.0

資料來源：美國農業部水土保持局

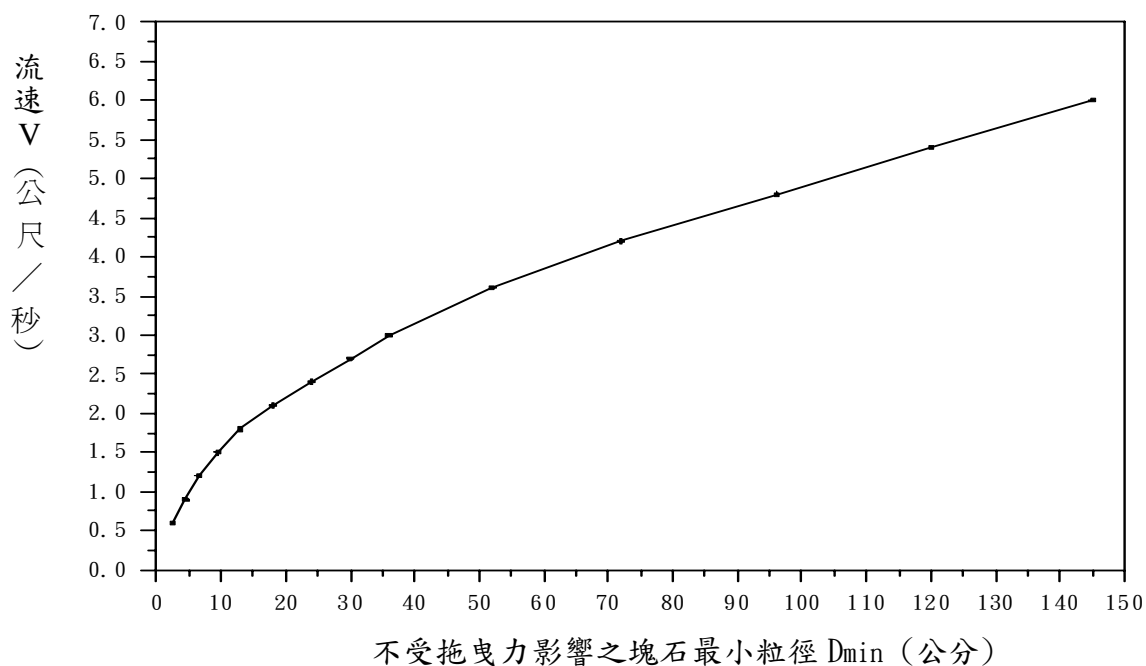


圖 1 河流流速與不受拖曳力影響之石頭最小粒徑關係

(二) Kramerg 氏提出臨界掃流應力之估算公式如下式：  
 式中

$$\tau_c = \frac{100 (r_s - r_w) \cdot D_{50}}{6 C_u}$$

$r_s$ ：土砂單位重       $D_{50}$ ：河床材料中值粒徑  
 $C_u$ ：河床材料粒徑分佈曲線之均勻係數

(三) 根據專家學者之實驗，天然卵石之臨界曳引力可以下列公

$$\tau_c = 0.78d$$

式估算之。式中  $\tau_c$ ：臨界曳引力(公斤/公尺<sup>2</sup>)  $d$ ：比重為 2.65 之天然卵石直徑(公分)如為級配卵石時表示不受拖曳力影響之平均石徑。

另外亦可利用  $\tau_c = (0.04 \sim 0.06)(r_s - r) d$  估算天然卵石之臨界拖曳力。式中  $d$ 之單位為公尺， $r_s - r = 1650$  kgw/m<sup>3</sup>。

(四) 日本國土開發技術研究中心所編之「護岸的力學設計法」

提出塊石能抵抗曳引力(掃流力)，而不發生移動之最小

粒徑可由下式決定：

$$D_m = \frac{1}{E_i^2 \times 2g \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)} \times V_0^2$$

式中

$D_m$ ：塊石之平均粒徑(公尺)

$V_0$ ：代表流速(公尺/秒)

$\rho_s$ ：塊石之密度(公斤/公尺<sup>3</sup>)，一般採用 2.65

$g$ ：重力加速度(公尺/秒<sup>2</sup>)



$\rho_w$ ：水之密度(公斤/公尺<sup>3</sup>)

$E_i$ ：亂流影響係數( $E=1.2\sim 0.86$ ，亂流小係數值大，反之則小)

上式為塊石放置於水平條件下計算時所使用，若坡面之傾角為 $\theta$ 時則須加以修正，其修正值為 $K$ 。

$$K = \frac{1}{\cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}}$$

式中 $\phi$ ：材料於水中之安息角；自然石塊一般 $38^\circ$ ，碎石 $41^\circ$ 。

註：若坡面之傾角 $\theta$ 大於材料於水中之安息角時，上述計算式即無法使用。

(五)日本財團法人中部建設協會所編之「河川構造物設計要領」

提出塊石能抵抗曳引力(掃流力)，而不發生移動之最小粒

徑可由下式決定：

(1)平坦河床上

$$D_m = V_0^2 / [ \{ 6.0 + 5.75 \log(H_d / K_s) \}^2 \tau_{sd} \cdot S \cdot g ]$$

式中  $D_m$ ：塊石平均粒徑(公尺)

$H_d$ ：設計水深(公尺)

$K_s$ ：相對糙度(以 $D_m$ 為準)

$\tau_d$ ：作用於塊石上之無因次掃流力 = 0.05

$S$ ：材料在水中之比重 [=  $(\rho_s / \rho_w - 1)$  通常為 1.65]

$g$ :重力加速度 9.8(公尺/秒<sup>2</sup>)

$V_0$ :代表流速(公尺/秒)

## (2)斜坡面上

當斜坡面角度為  $\theta$  時須以下式進行修正

$$\tau_{sd} = \tau_d \times \cos \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}$$

式中

$\theta$ :斜面角度

$\phi$ :材料在水中之安息角

(3)在計算時，先假設  $K_s = D_{m1}$  ( $D_m$  之初期值)，根據上式反覆計算求得  $D_m$ 。另為安全起見，在使用時要將所求得之  $D_m$  值再增加 30~50% 之安全係數。

註：若坡面之傾角  $\theta$  大於材料於水中之安息角時，上述計算式即無法使用。

另外筆者亦曾於河川現場進行調查及於試驗室內辦理乾砌塊石護岸工水理模型試驗，獲得到下列初步成果可提供設計參考：

1. 若乾砌塊石護岸基腳保護工保護良好不被沖壞，則護岸斜坡

面上之乾砌塊石較不易被沖動，因此建議在進行相關生態工法設計或施工時，護岸基腳保護工要妥為處理，另外現場施工時直線段護岸斜坡面乾砌塊石之前端與尾端須要特別加強保護，以提高護岸之安全。

2. 經由現場調查及模型試驗結果顯示，河川中之斜向流對護岸沖刷破壞之影響甚鉅，因此建議在河道直沖段或轉彎處，避免使用強度較弱之工法布置，以減少災害發生之機會。
3. 護岸斜坡面角度對乾砌塊石抗沖能力之影響甚鉅，因此建議在設計護岸工時，應避免於護岸邊坡角度超過 $42^{\circ}$ （塊石之自然安息角）以上之護岸邊坡面上使用乾砌塊石工法以策安全。
4. 由於乾砌塊石護岸為軟性工法，其力學影響機制複雜，水工模型試驗較難全盤模擬。惟由試驗初步結果可知，當護岸邊坡角度小於塊石之自然安息角（穩定角）條件下，根據美國農業部水土保持局所提出之曲線，選定乾砌塊石護岸斜坡面之塊石粒徑，進行設計工作應屬安全可行之作法。

在奧地利方面，筆者曾與多位學校教授、學者專家及奧國聯邦野溪及雪崩防治局之工程師討論及到河溪現場勘查觀摩，獲得以下成果：

1. 由於奧地利境內多高山且大部分地質為堅硬岩石，塊石取得容易，尤其是在中西部區域更是容易，因此在河溪整治上大量採用乾砌塊石或拋石護岸工程布置。
2. 塊石不分尺寸，依重量及運輸距離計價，以上奧地利地區為例，目前（2006 年）塊石每噸約 15 歐元，採全年契約方式由工程單位指定塊石尺寸，廠商依所需塊石尺寸供料。
3. 野溪整治工程所使用乾砌塊石大小之決定係根據該流域之地質、水流含砂石量、河床坡度、水流流向、河床質粒徑、、、等條件以經驗判斷或經驗式（僅少數局部地區有）推估，選擇塊石大小，惟經驗式只能用於當地河溪，無法使用於其他別的地區。
4. 由於野溪整治工程大部分沒有計算塊石尺寸之公式可用，因此在設計施工時，若該區域能夠取得大尺寸塊石就盡量採用大尺寸塊石布置。另外塊石之排列方式及技巧非常重要，在堆砌塊石時須根據經驗進行，以期能達到較穩固之乾砌塊石護岸工程。
5. 在推動河川生態工程、魚道、河川景觀與空間利用設施時，人民的生命財產安全是首要確保之目標，因此在靠近住宅、通水斷面狹窄流速快、河流急速轉彎處、、、等區域，

河溪護岸工程應採用強度較高之混凝土或漿砌塊石工程布置，以確保安全。

6. 河溪乾砌塊石護岸工程施工時，乾砌塊石之基礎與底床塊石須儘量深埋。
7. 野溪整治方式自集水區源頭至河溪下游，採用一連串因地制宜之工程措施，以達到較佳之防治效果，例如在集水區源頭種樹植生，實施水土保持工程；在河溪上、中游建不同型式攔砂壩及滯洪壩，以減少土石流及降低洪峰流量；在河溪中、下游布置各種生態工程及生態景觀滯洪池，保護居民生命財產安全及河溪中生態環境完整，整治效果頗佳。
8. 在土石流容易發生之野溪，於其上游適當地點建築開口式攔砂壩，以使水流能夠快速通過，並保持生物通道之暢通。攔砂壩有多種型式，例如有採用外包鋼板之鋼筋混凝土柱式；有單純圓木柱式；有心牆使用混凝土結構，外面使用塊石培厚後再以泥土覆蓋式，此式攔砂壩長草後與自然相融合景觀良好。另外攔砂壩中間之攔砂閘材料計有鐵條、圓木頭、、等多種，攔砂閘之間隙頗大，每根鐵條或圓木頭可分別單獨以吊車取出，維修工作容易。一般設計標準採用重現期距 100 年洪峰流量進行設計。

9. 野溪自然環境適合植物生長，生態工程施工後約 6 個月即可見綠草密佈，植生覆蓋恢復情形良好。
10. 為穩定河溪兩側山坡地減少崩塌，於兩岸易崩塌坡面種植適當種類之樹木幼苗並架鐵絲網加以保護，避免被動物吃掉。
11. 河溪整治工程案例中，曾有利用乾砌塊石排成彎拱形（Arch）固床工，其可達到改變水流方向，避免沖刷有居民之河岸，並可兼做魚道使用。
12. 在河溪主支流交匯處，其處理方式如下：在交匯處主流之下游適當位置建固床工確保主流河床不被刷深，再於交匯處沿著主流流向布置鐵樁，插入深度約 4~5 公尺，並於支流出口鐵樁後布置乾砌塊石，以確保主支流交匯處不會產生落差，使主支流之水生動物能夠上溯與下游。

以下是筆者現場參訪觀摩所拍攝之照片（照片 3 ~ 照片 28），謹提供參考。



照片 3 與學者專家進行河溪現場勘查



照片 4 河溪乾砌塊石護岸工程



照片 5 河溪乾砌塊石護岸工程



照片 6 河溪拋塊石護岸工程





照片 7 河溪乾砌塊石護岸工程



照片 8 河溪乾砌塊石護岸工程完工後植生覆蓋恢復情形良好



照片 9 靠近住宅處使用混凝土及漿砌塊石工程布置以確保安全



照片 10 上奧地利地區岩塊石採取情形



照片 11 河溪拋塊石丁壩護岸工程



照片 12 河溪拋塊石護岸工程



照片 13 都會區河溪拋塊石護岸及防洪牆工程



照片 14 滯洪壩壩體中心部分以混凝土建造（施工中）



照片 15 底部開口式攔砂壩可避免阻斷水中生物通道



照片 16 攔砂壩不同位置設置開口避免阻斷水中生物通道



照片 17 攔砂壩中間之攔砂閘使用圓木頭材料



照片 18 木頭搭配乾砌塊石固床跌水工程



照片 19 河溪上、中游之木樁攔砂壩



照片 20 混凝土固床工上、下游以拋塊石穩定河床



照片 21 河溪主支流交匯處布置鐵樁與乾砌塊石避免落差產生



照片 22 乾砌塊石彎拱形 (Arch) 固床工可兼做魚道使用





照片 23 乾砌塊石彎拱形 (Arch) 固床工可兼做魚道使用



照片 24 生態景觀滯洪池兼具防洪、生態、景觀功能



照片 25 河溪木製護岸工程



照片 26 河岸種植大樹可增加泥土護岸抗沖能力



照片 27 軟弱土壤區之河道轉彎處布置木樁圍籬護岸工程



照片 28 軟弱土壤區之河道布置木樁固床工及護岸工程

### 三、魚道工程

魚道顧名思義即為提供魚類克服河道水流中例如攔河堰、水力發電廠、、、等人為阻礙物而上溯、下游之通道。魚道種類大致可分為接近自然型態式魚道及人工技術型態式魚道兩種。而接近自然型態式魚道依構造設計理念不同大致有以下幾種：1. 底床傾斜面與斜坡 (Bottom ramps and slopes) 2. 繞行魚道 (Bypass channel passes) 3. 傾斜面魚道 (Fish ramps)；人工技術型態式魚道大致有以下幾種：1. 水池式魚道 (Pool passes) 2. 垂直豎孔魚道 (Vertical slot passes) 3. 丹尼爾魚道 (Denil passes) 4. 舟通式魚道 (Larinier type passes) 5. 鰻、鱔魚梯 (Eel ladders) 6. 魚閘 (Fish locks) 7. 昇降式魚道 (Fish lifts)、、、等。在設計及建造魚道時，其主要選擇考量因素為擬建魚道之河道河性、地質與地形、擬保護魚種、所需經費、施工期長短、、、等。魚道整體結構大致可分為魚道入口（下游水流流出處）、魚道主體、魚道出口（上游水流流入處）等3部分。在設計與布置上，其各有應注意重點須考慮，例如在魚道入口處須保持適當之水流紊流強度，以便吸引魚群往此處集中，進而找到魚道入口。另外亦須確保魚道入口與河床之高程連貫，避免魚道入口因河床淤積被阻塞或河床刷深而產生高落差，影響魚類上溯功能。在魚

道主體部分須確保魚道內之水深、流速、水流落差、、、等水理條件，以符合欲保育魚類上溯之需求，另外須在適當位置設置休息區，提供魚類休息及恢復體力之空間，在水理設計上亦須考慮避免砂石或漂流木淤積問題產生。在魚道出口(上游水流流入處)部分，應注意避免水位變動程度過大而影響魚道入流量大小，進而影響魚道主體部分之水理條件。例如奧地利多瑙河位於維也納郊區某發電廠之魚道，因其上游水位變動程度過大影響魚道功能，據悉目前正由維也納科技大學水工試驗室進行改善布置模型試驗中。因此若於水位變動程度過大或有漂流木之河溪，必要時魚道出口需要考慮設置控制設施，以改善問題。另外魚道出口位置必須離攔河堰堰頂或取水口適當距離，以避免魚類好不容易上溯到上游又馬上被水流沖到攔河堰下游。另外亦必須確保水流能夠順利且持續流入，若魚道出口位置設置不當，可能會產生斷水失去魚道功能情形，筆者於奧地利現場參訪時，曾發現因魚道出口位置設置不當，產生斷水失去魚道功能之實例發生。以下是筆者此次前往奧地利研習與現場參訪心得及照片(照片 29 ~ 照片 46)，謹提出供參考：

- 1、優良之水質與安全之生態基流量是魚道成功與否甚至是魚類能否生存最重要因素之一。

- 2、在一個水壩或攔河堰建築多個魚道以提供各種水生生物種類能夠安全上溯，有時候似乎是必需的。
- 3、魚道入口一般設在河道岸邊，因為此處水流較強，可以使魚道更容易連結河床或河岸。
- 4、在水力發電廠建魚道，一般較適當之位置是建在與發電廠之同一邊。而魚道入口處（水流流出口）必須儘可能靠近水壩或攔河堰水流紊流區域。
- 5、一般而言魚道內流速範圍應介於 0.8~2.0 公尺/秒，以保持紊流吸引魚類並可避免流速太快使魚類上溯不易。
- 6、根據模型試驗結果顯示，吸引魚類之紊流流向與魚道入口之間角度約 45° 時，效率最好。
- 7、魚道建於水力發電廠或水壩、攔河堰時，其出口處（水流流入口）應遠離攔河堰或電廠進水口，以避免魚類由魚道游出後又被水流掃到攔河堰下游或被吸入發電廠內。一般魚道出口位置與攔河堰或發電廠進水口最少要保持 5 公尺以上。假如水流速度超過 0.5 公尺/秒 時，魚道出口區域須以導流牆方式延伸其流域。
- 8、當上游水位變化超過 1 公尺時，必須在不同高程建築魚道出口，以確保魚道能在不同水位情況下發揮功能。

- 9、魚道出口區域水流強度太強或流速超過 2 公尺/秒 之情形應盡量避免，以確保魚類更容易上溯。
- 10、為確保各種水生動物能夠上溯，水流之紊流強度應盡量降低，根據LARINIER (1992) 氏理論，水池式魚道中每一個水池之能量消散量不得超過  $150\sim 200W/m^3$ 。
- 11、雖然有些魚類之跳躍能力很強，可以跳過落差超過 1 公尺高之水池，惟為顧及幼魚或保育對象為跳躍能力較弱之魚類，每一水池或階梯間之高差應儘量縮小，一般而言以小於 0.2 公尺為佳。
- 12、人工技術型態式魚道之底床坡度範圍應在 1：5 到 1：10 之間，接近自然形態式魚道之底床坡度範圍應小於 1：15。
- 13、魚道底床坡度從 1：3 到 1：10 一般稱為傾斜面魚道(ramps)，若底床坡度範圍介於 1：15 到 1：30 則稱為底床坡度式魚道(bottom slopes)。
- 14、攔河堰堰頂須設有一較低之缺口通道，以確保河溪在小流量時能持續有水流通過。在最低流量時，其主要通道水深不可小於 0.3~0.4 公尺。
- 15、河川從最上游集水區至最下游出海口，各個河段皆有其獨特之水文及地文條件，若有因施設水工構造物妨礙魚類上溯且

該河段之水文及地文條件適合魚類生存，則應盡力設置適當型式之魚道供魚類上溯。有些河段之水文及地文天然條件不適合魚類生存之處，例如上游野溪時常斷水乾枯或地質地形易崩塌之流域，則可考慮不用設置魚道，以避免徒勞無功浪費資源。

16、目前設計魚道之新趨勢，為先利用數學模式計算魚道內各部位之水深、流速等水理資料，作為評估或修正之依據，以避免魚道施工完成後才發現功能不佳之缺失。惟若因魚道內部之水理變化太大且複雜，以數學模式計算無法完全掌握或正確反映真實流況時，則需考慮辦理水工模型試驗，以解決相關問題。

17、魚道完工後須要進行現場觀測，一方面可以確認及評估其功能，供後續類似魚道設計參考，另一方面若發現水理上有缺失，可以據以進行改善布置及調整維護操作方式，使魚道發揮較佳功能。





照片 29 魚道出口（上游水流流入處）附設 V 型量水堰



照片 30 魚道出口（上游水流流入處）施設攔阻漂流木布置



照片 31 魚道出口（上游水流流入處）附設魚類上溯量計裝置



照片 32 魚道出口（上游水流流入處）水質清澈適合魚類生存



照片 33 繞行魚道 (Bypass Fish Way) 流況



照片 34 魚道設計多處轉彎以減小水池間之落差



照片 35 魚道兩側種植樹木提供遮蔭及綠美化



照片 36 水池式魚道流況



照片 37 魚道内流況



照片 38 魚道内流況



照片 39 水池式魚道流況



照片 40 既有攔河堰增設魚道設施



照片 41 既有攔河堰採用大塊石增設魚道



照片 42 攔河堰布置傾斜面魚道與水池式魚道



照片 43 既有攔河堰採用大塊石增設魚道



照片 44 既有攔河堰採用大塊石增設魚道





照片 45 設計較不佳之魚道入口（遠離水流紊流區）



照片 46 設計不佳之魚道（上游沒有水流流入）

#### 四、河川景觀與空間利用

奧地利整個國家土地綠覆蓋率非常高，除了人口密集之都會區外，放眼所見到處都是綠色樹林與碧草如茵之緩山坡地，風景非常漂亮。再加上觀光事業發達，人民天性喜愛自然，因此不僅郊區森林與草原一片綠意盎然，其可媲美我國台灣中部山區清境農場之「青青草原」美景到處可見（尤其是位於上奧地利至薩爾斯堡之間郊區），而且每個家庭庭院窗台亦佈滿紅花綠葉，非常賞心悅目。由於美景不虞匱乏，因此在河川治理方面較偏重於安全、生態保育與親水環境之營造，在景觀與空間利用上與目前大部分國家所推動之方向大致相類似。在人口稠密之都會區例如維也納、林茲、薩爾斯堡、、、等地區，首要考慮與確保之目標為居民之生命財產安全，因此大部分作法為在河道兩岸建造堅固之堤防與防洪牆等水利工程，若主要防洪構造物建好後河道還有空間，才進行河道景觀綠美化與親水空間設施工程布置。一般而言，河道景觀綠美化與親水空間設施工程皆以種草皮、設運動公園、闢自行車道、、、等低度工程建設方式進行，一方面可避免影響洪水來臨時河道之通洪能力，另一方面若設施被洪水沖壞時，維修復原工作較容易且所需經費亦較少。以下是筆者現場參訪觀摩所拍攝之照片（照片 47 ~ 照片 56），謹提出供參考。



照片 47 郊區河道景觀



照片 48 郊區河道岸邊植樹兼具安全與景觀功能



照片 49 都會區河道休憩與景觀布置



照片 50 都會區河道休憩與景觀布置



照片 51 都會區河道生態與景觀布置



照片 52 都會區河道休憩與景觀布置



照片 53 都會區乾砌塊石排水路線美化



照片 54 生態景觀滯洪池兼具防洪、生態、景觀功能



照片 55 都會區河道防洪牆前拋塊石及植樹綠美化



照片 56 都會區河道休憩與景觀布置

## 肆、結論與建議

- 1、優良之水質與安全之生態基流量是河川生態工程、魚道、河川景觀與空間利用布置能否成功之先決條件，奧地利政府與人民皆具有此觀念與認知並努力推動相關措施，因此幾乎所有河川之水質都非常乾淨，生態保育工作成效良好，此點頗值得我們學習與努力推動。
- 2、為確保水資源永續發展，水利工程建設除了治水、利水方面外，同時亦應考慮河川環境保全、注意河川生態保育，以建立生物多樣性。
- 3、在推動河川生態工程、魚道、河川景觀與空間利用設施時，人民的生命財產安全是首要確保之目標，因此在靠近住宅、通水斷面狹窄流速快、河流急速轉彎處、、、等區域，河溪護岸工程應採用強度較高之混凝土或漿砌塊石工程布置，以確保安全。
- 4、奧地利在野溪整治方式為：自集水區源頭至河溪下游，採用一連串因地制宜之工程措施，以達到較佳之防治效果，例如在集水區源頭種樹植生，實施水土保持工程；在河溪上、中游建不同型式攔砂壩及滯洪壩，以減少土石流及降低洪峰流量；在河溪中、下游布置各種生態工程及生態景



觀滯洪池，保護居民生命財產安全及河溪中生態環境完整，整治效果頗佳，值得參考學習。

5. 由於河川生態工程大部分為軟性工法，其力學影響機制複雜且較難以掌握，建議在參考相關研究成果進行設計工作時，應盡可能適度提高工程設計之水理安全係數，以確保安全。

6、因我國大粒徑之塊石取得較不易，而在河川生態工程中，箱（蛇）籠工所需塊石粒徑較小且符合生態需求，頗適合台灣河川施設，惟在奧地利因大粒徑之塊石取得容易而且工資成本很高，河川護岸大部分以乾砌塊石或拋塊石方式布置，很少有箱（蛇）籠工程布置案例可供參考，因此建議提供機會前往布置此類工程較多之國家例如義大利、、、等進行研究與觀摩。

## 伍、謝 誌

本次研習感謝經濟部國際合作處提供研習機會與經費，及承蒙該處羅特研究員、國立中興大學水土保持系陳樹群教授、農業委員會水土保持局柯勇全科長、、、等協助，才得以順利成行；在奧地利承蒙維也納自然資源及應用生命科學大學之土木工程與山區自然災害研究所所長 Prof. Johannes Hubl、副所長 Prof. Dieter Rickenmann、Mr. Markus Holub 及 WLV 薩爾斯堡 (Salzburg) 工作站之站長 Gernot Fiebiger 博士以及茵斯特 (Imst) 工作站之站長 Mr. Jorg Heumader、副站長 Christian Weber 博士、、、等之安排與接待，使這次之研習獲得許多寶貴之經驗與觀念，在此一併致上由衷之謝意。

## 附 錄

### 出 國 行 程 表

時 間	地 點	工 作 內 容
7/11 2006	Taipei - Vienna 台北－維也納	前往維也納
7/12-8/13, 2006	Vienna 維也納	於自然資源及應用生命科學大學研習 河川生態工程
8/14, 2006	Wiener Neustadt 維也納新市	前往下奧地利野溪及雪崩防治局拜會 參訪與觀摩下奧地利 (Wiener Neustadt 等)地區河川生態工程、魚 道、河川景觀與空間利用
8/15, 2006	Vienna 維也納	於自然資源及應用生命科學大學研習 河川生態工程
8/16-8/17, 2006	Wiener Neustadt 維也納新市 Steyr 斯鐵爾	前往下奧地利、上奧地利野溪及雪崩 防治局拜會 參訪與觀摩下奧地利、上奧地利 (Steyr、Enns、Geblet 等)地區河川 生態工程、魚道、河川景觀與空間利 用
8/18-8/22, 2006	Salzburg 薩爾斯堡	前往薩爾斯堡野溪及雪崩防治局拜會 參訪與觀摩薩爾斯堡 (St. Gilgen/Strobl、Thalgau 等)地 區河川生態工程、魚道、河川景觀與 空間利用
8/23-8/27, 2006	Imst, 茵斯特, Tyrol 提絡省	前往提絡野溪及雪崩防治局拜會 參訪與觀摩提絡 (茵斯特- Umhausen Murback、Oetz Holderback 等) 地區 河川生態工程、魚道、河川景觀與空 間利用
8/28-9/6, 2006	Vienna 維也納	於自然資源及應用生命科學大學研習 魚道工程
9/7, 2006	Traisen Valley 泰山河谷	參訪與觀摩泰山河谷地區河川生態工 程、魚道、河川景觀與空間利用
9/8-9/28, 2006	Vienna 維也納	於自然資源及應用生命科學大學研習 魚道、河川景觀與空間利用
9/29-9/30, 2006	Vienna-Taipei 維也納－台北	返回台北