

河溪自然工法正反例舉偶

水保系 / 梁昇

摘要

生態工法必須先行掌握生態系自我設計能力已在本期「生態系自我設計能力幕曲-食物鏈」中闡述。對河溪而言，河溪的生態系自我設計能力又是什麼？如果維持自然健康狀態下的特性是山明、水秀與鳥語花香。一旦河溪的自我設計能力走樣了，不就是岸蝕、淹洪與資源枯竭？以健康河溪為藍圖而採取適當工法對策如何因勢利導來謀取公園、社區或河川廊道之最大環境利基，即是河溪自然工法。本文分別針對水泥固床工、水泥舖底與社區利基之考量作舉例說明。

緒言

河溪生態到底有何自我設計能力？至少我們大家一而直緬懷沒有水泥的時代，河川清澈，水中有蝦有魚，河岸木草茵綠，鳥語花香，野生動物出沒。流經山間，是山明水秀。穿過下游的都市地區大多蜿蜒蛇行，偶而吹過水面的涼風帶來不同季節陣陣的健康蘊氣。河川一直供應著廊道兩旁都市或鄉村的子民。曾幾何時，這些天籟美景以及垂手可得的水中資源走了。河溪的自我設計呈現出來的成品不再健康的。吾等徒然為之無奈嗎？

如果我們已掌握住河溪健康時的特性，對於不當的整治工法加以移除，對已走樣的特性加以糾正過來，一旦步驟正確，已生病的河溪即可望再度健康起來。因此我們要涉及到健康河溪的門檻與類型。也要涉及到工法的質材特性可能的影響。更要涉及到工法組構方法。本文特別針對不當的水泥固床工、不當的水泥舖底與河道形狀糾正等案例加以說明如何達成因勢利導的原則。

水泥固床工造成河溪功能窘態

國內野溪整治，結構物常喧賓奪主，強烈地主宰河段變化，置水流與生態為無物。如圖 1 直線水泥固床工與河床因質材不同，又有水流淘刷、沖擊等現象，



圖 1 規模不當的固床工工法。連續性固床工本身的安全堪虞且河道紋亂，魚類也恐難存活。



圖 2 關西鎮東安橋整治河道上，貯泥後雜草叢生，河道何存？

固床工這種異物會有斷裂、流失以及形成旋渦等現象。如果像圖 1 寬度過大水位淺，且呈水流多線，水中魚類會趨小化且因無法避天敵而難以繁衍。如圖 2 直線水泥固床工造成河道像一串貯泥池，雜草叢生，河道失去了輸水與輸泥的基本功能。

水泥鋪底加速水流流速

一不符生態原則的河段夾在上下游均健康河段時，上下游的交互作用就立刻被離斷。譬如，一段鋪水泥的河床突然出現。它明顯地發生一些現象，此段的水流流速會加大，緊臨其下游處身受額外的水流沖擊力，如果剛好是曲流凸岸，不發生災難恐怕也難。美國加州野貓谷區域公園內石橋（圖 3 stone bridge）下水泥鋪底因此被拆除(圖 4) 以保護曲流凸岸的古蹟如圖 5，而改在其上游補充以河道及河床增加粗糙度的方法來減少不同流量之岸蝕力(圖 6)。

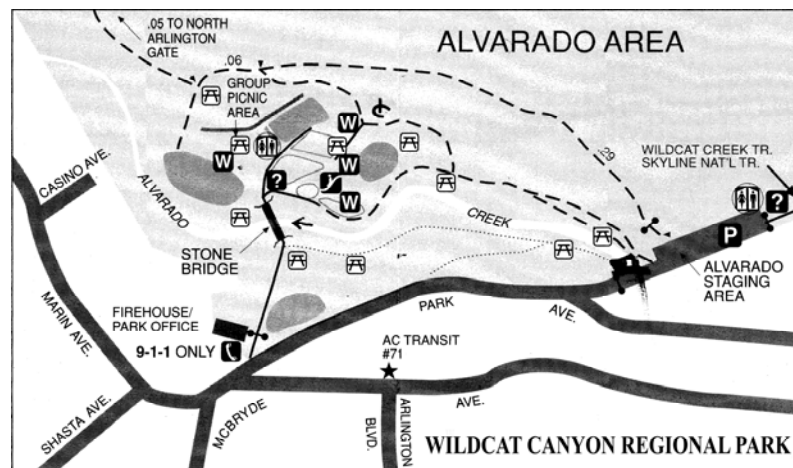


圖 3 美國加州野貓谷區域公園內 Alvarado 溪石橋(圖中 stone bridge) 出口右岸古蹟的保護整治。



圖 4 石橋河床的水泥鋪底被拆除

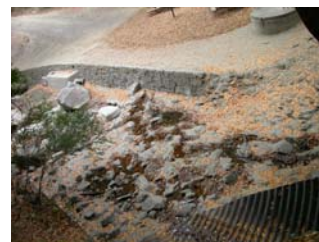


圖 6 凸岸(即攻擊坡岸)上古蹟保存是整治案目標。



圖 5 不同流量之岸蝕力在其上游補充以河道及河床增加粗糙度的方法來減少

水泥舖底處成爲魚類葬生場

在筏子溪車路巷橋前 30 公尺一處之 50 公尺水泥舖底河段(圖 7a)，它產生的問題如圖 7b。在低水時，水泥吸收太陽熱能，水溫提高；不但水生動物無法適應，也同時使藻類增多，死亡的藻類耗掉大量的水中溶氧，水質急速變差；如此棲地條件的驟變，順流而下的水中生物或魚類到此何以堪？恐怕只有等死一途。溯流而上的魚，恐也無以爲繼。而成爲水生生物斷魂場。



(a)



(b)

圖 7 筏子溪車路巷橋上游 30 公尺處，水溫驟升 6°C ，水藻過度擁塞，恐是水生生物斷魂場。(a) — 50 公尺長水泥舖底，91.12.14 水深 1m 下河床水泥塊隱約可見。(b) 水泥舖底的右半部水溫驟升 6°C ，水藻過度擁塞。穿白衣服的釣客他放魚餌在沒有水泥舖底的左岸區，兩區水溫顏色差異就如照片中幫我量水溫二人的衣服顏色一樣對比明顯。

依社區利基之河川自然工法

河溪常穿越社區，許多狀況下，社區內許多人依賴它；取水家用、灌溉及大型引水口，社區排洪或甚至提供爲釣魚、散步，配合爲親水公園之一部分或社區整體營造的一部分；顯然河溪一般與社區之互動極爲密切。因此在美國的河溪與社區的互動則是十分緊密的。河溪提供給社區用水或外來觀光客同時可參與游泳、釣魚或親水公園十分普遍。Pagosa Springs 市取用 San Juan 河 70% 的水供公共給水，是以 San Juan 河在此河段因爲減水而有氣無力；一旦洪水來時卻是到處氾濫成災，岸蝕處處；早期多不見潭水蹤跡，鱒魚量少，釣魚客甚少。這個城市有依水量計，雄居世界第一最大的熱硫磺泉。因

係地處海拔高 2000 公尺的山城，夏天避暑、打高爾夫球、冬天滑雪及洗熱硫磺溫泉外，一般性遊客不多。故在 1994 年地方人士集資配合 SFRP(運動魚復育計畫)與 FIFCAGP(柯州釣魚最有趣)的經費，邀請自然工法大師 Dave Rosgen 來進行河溪規劃與整治。Rosgen 採用低成本且低維護需求的自然工法，聲名大噪。筆者 91 年月中旬在 Pagosa Springs 這個城市跑了數天，其精華區一地的繁榮，市公園 (city park) 更標榜殘障人士可沿溪岸步道觀賞到鱒魚，溪畔餐廳林立以及觀光客來此釣魚、游泳、飄流、觀魚等遊憩活動；尤其對這個城市，房地產商以及遷入人口之驟增(五年來大約增加一倍)，十分地驚訝，特介紹此案例。

1、河溪規劃整治的目的

規劃目的有八：(1)安全地自河溪取用 70%水源，(2)杜絕洪水時產生破壞與災害，(3)增加河川內鱒魚數量，(4)提供全年性遊憩環境，觀光客可以安全地親水；低水位時，飄水、游泳、釣魚、河岸邊散步；高水位時可以划船，(5)提供無障礙親水空間，殘廢遊客可以釣魚親水及河岸邊散步，(6)維護需求低，(7)低建造成本，(8)增加河溪美觀景緻。地方人士認為同時達成這八個目標後，外來的旅客來到這個海拔兩千公尺的山城至少會在原來避暑、打高爾夫球、滑雪與洗溫泉外，增加漂水、游泳、釣魚、河岸邊散步、教育、觀魚、或划船，使能同時滿足不同年齡層遊樂需求，更能吸引過去較少家庭式遊客，提升全方位觀光訴求。由於美國 Colorado 州，1988 年起配合聯邦「運動魚復育計畫 (SFRP, Sport Fish Restoration program)」與 Colorado 州野生動物廳 (Colorado Division of Wildlife) 推行「柯州釣魚最有趣(FIF, Fishing is Fun in Colorado)」運動，要是能增加河溪鱒魚數量超過附近觀光區(如離此 100 公里外的 Durang 市)，Pagosa Springs 就有值得大肆宣傳的主軸，尤其能掘起於新完成 160 號州際公路，成為每年四百萬黃石公園遊客人潮的突出衛星都市。且由於洪水來時產生破壞潛能減少，有意經營溪畔餐廳者踴躍，滿足地方繁華需求。

2、工法的考量與佈置

將規劃目的依功能性歸類分為下列六種處理：

(1)魚棲地改善

為了改善魚棲地在規劃前的如下八項缺點：

- a、溪流中蔽蔭不佳(in-stream cover)。
- b、頂空架蔽蔭不佳(overhead cover)。
- c、高水位時無法儲水。
- d、在熱溫泉的影響下，缺乏昆蟲或食物源。
- e、缺少魚棲地的多樣性。
- f、缺少後援棲地(rearing habitat)。
- g、單位河道面積的鱒魚的生物質量太低。
- h、缺乏適當的下卵棲地。

針對這些缺點，有三個對策提出，即增加種種石頭結構物，利用鄉土

性材料安定河岸工程，與原地植物入移。綜合此三大類策略並有 8 種方法應用如下：

- a、增設 12 處交叉壩(當時尚以 Vortex rock weir 稱呼，今已改名為交叉壩 cross vane 如圖 8)。

此種結構物具有消能、增加河道內蔽蔭(in-stream cover)、提供為下卵棲地的功能，而它又不產生迴水，又可增大流速而提升河道泥沙之輸送能力，當高水時可供划船。此法為形成 C4 類型河道的優良工法。

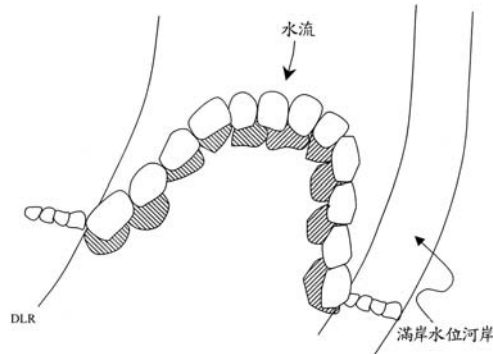


圖 8 交叉壩

- b、增設 25 處單翼突堤(single wing deflector)

此單翼突堤，示如圖 9。此突堤一則可提供河道中蔽蔭，二則降低區域性寬/深比，增加河道中心剪應力，故增大排砂能力，有助提升河道自然穩定而減低洪災。但是本法難以單獨在 C4 類型河道上應用，須配合下述護岸措施，本計劃係採原地植物移植來建構安定的河岸區。

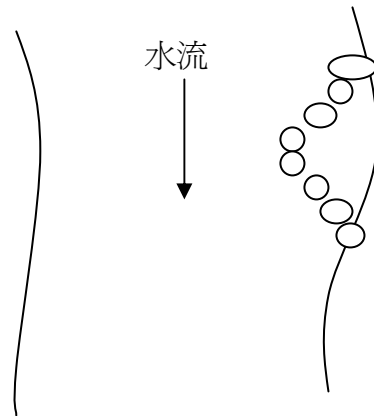
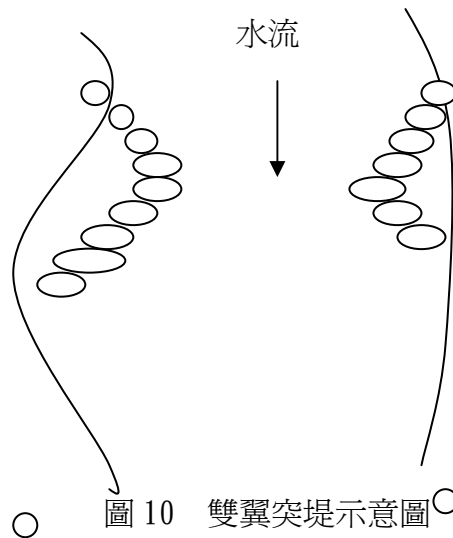


圖 9 單翼突堤示意圖

- c、增設 5 處雙翼突堤(double wing deflector)

此雙翼突堤(圖 10)最重要是締造深淵並維持它的在，它降低區域性寬/深比，與提供河道中蔽蔭如單翼突堤同。本法也難以單獨在 C4 類型河道上應用，須配合下述護岸措施，本計劃係採原地植物移植來建構安定的河岸區並加護岸拋石堆。



d、原地材料護岸(native material revetment)

在有岸蝕發生的位置，必須補充頂空(overhead cover)與河道中的蔽蔭 (in-stream cover)，且爲了改善側向穩定，木頭、根均可用來保護。另外的方法是移植原地植物如灌木的柳樹(willow)、alder 與喬木的楊木(cottonwood) 到岸邊來，植生根部有固定岸邊土壤之功效，而減少河道中泥沙的產生，故具有約束河岸的功能；冠部提供蔽蔭及降溫，與野生動物蔽護。

e、原地植物移植(native vegetation transplants)

將原地植物如上述柳樹、楊木及草類，樅樹、針樅等河岸植物移到河旁，使原地野生動物快速移入。可提供昆蟲、食物並提供區域降溫效果。大量有機物可隨著雨水由兩岸區流入河中，提供各式各樣養分及食物來源。尤其主要的美景之造成有賴這些多種原地草種、灌木與喬木樹種之高矮矮、不同形狀、不同顏色，尤其花、落葉、果等不同生育期的不同現象及其帶來蜂、蝶、松鼠、鳥等等野生動物之後活動與叫聲來提供。

f、下卵渠、抱卵池及後援池塘

後援池塘(rearing pond)，其構造示如圖 11。下卵小河，寬 1 公尺深 30 公分，有十分清潔的流水；水流入一個 8m 深 3240m²的抱卵池，抱卵池可以與河溪相通；下接一 2428m² 育魚後援池，此池供養小魚，如食物不足，此池應設置一個飼養口投入飼料，且可提供生態教育中心用。而下卵渠與抱卵池都可供釣魚用，故應可以親近。最重要是下卵渠、抱卵池與後援池均要是河溪洪水平原的一部分，才不致於影響河溪的防洪功能。

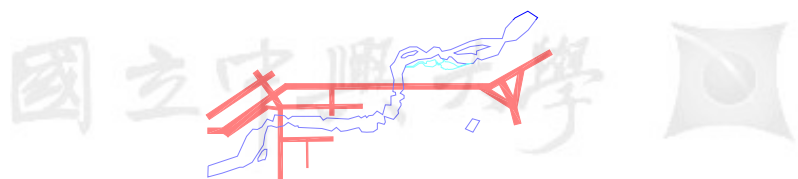


圖 11 下卵渠、抱卵池與育幼池之設置(右上角)。

g、W 堰(W weirs)

針對淺灘且較寬的河段 4 處，建置 W 堰，其構造簡示如圖 6，它除了提供河流內蔽蔭外，也同時創造出不同流速組合斷面，在外觀上也比橫切的水泥構造物美觀自然得多；此法是配合形成 C4 河道優良工法之。

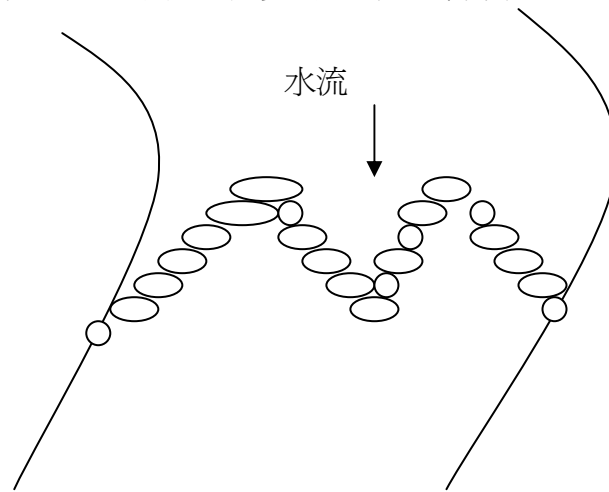


圖 12 W 堰示意圖。

h、零星石塊(individual rocks)及石堆(rock cluster)

在主要結構下方 65 顆零星石塊或石堆可以提供河道中蔽蔭，石堆對岸區也有消能功效，而且外觀上它看過來頗為自然。為了親水也可以作用親水階石及河道釣台石。

(2)、自導式生態教育中心

利用下卵渠、抱卵池與後援池提供生態觀察。

(3)、殘障人士無障礙空間

可以利用挖掘池塘的土方作為建構填方，下卵渠、抱卵池與後援池是最好的利用區，河道旁或環池走道均極易安排。

(4)、划船或漂水

春夏高水位時可供划船，而低水位時小橡皮艇或橡皮圈則可漂水。

(5)、視覺價值

鱒魚用下卵渠、抱卵池與援池，與移植的原地植生群都有實際視覺增益

功能。尤其河岸植生茂盛帶來昆蟲與野生動物生趣，效果更佳。

(6)、提供全年性遊憩

水池與河流本身在春夏秋天可供釣魚，水塘冬天可滑冰，沿著進入水塘步道可設立夜間滑冰場，春天與夏天的漂水與划船，此區具有全年性遊憩節目價值。

3、直接效益分析

(1)、排洪量演算

河道滿岸流量為 59cms，100 年流量為 243cms，整治後洪水平原寬為 165m，平均水位 2.4m，平均流速 0.9mps，故規劃通洪量為

$$Q=VA=355.4\text{cms}>243\text{cms}$$

超出 100 年洪水量甚多，故知洪災可減少。

(2)、工程構造物組合功效

整治後增大河道的剪應力，降低寬/深比(圖 13)，河道岸蝕可不再發生，泥沙不再淤積，河道景觀可以長期維持，共有 42 處工程完工之配置圖如圖 11。本例為不穩定的 D4 型。它最可能演變的穩定型是 C4 類型，故本計劃配合的工法均採配合 C4 類型的工法。1994 年 11 月完工後，此河內的二種鱒魚，經三次調查的結果如表 1。整治後，每尾在平均 0.3-0.41 磅的生育期彩虹鱒魚數目，明顯地增加，已經可以反應出對鱒魚棲地顯著的效應。至於褐鱒魚，由於生育期不一致，但極有可能同時看到鱒魚數目增加與每尾鱒魚生物質量增加的答案。



圖 13 整治後降低寬/深比

表 1 San Juan 河 Pagosa Springs 附近鱒魚調查變化表⁽¹⁾

項目 調查 時間	彩虹鱒魚(rainbow trout)			褐鱒魚(brown trout)		
	魚數 fish/acre	生物質量 bounds/acre	平均每尾 魚生物質 量	魚數 fish/acre	生物質量 bounds/acre	平均每尾 魚生物質 量
1994 (動工前)	19	5.8	0.31	6.0	2.4	0.6
1994(完工 11 月後)	71.9	27.3	0.38	55.2	20.1	0.37
1999(完工 5 年後)	103.5	32.2	0.31	4.0	4.4	1.1

4、重要啓示

民國 91 年的七月，作者繼續往 Colorado 州 San Juan 流域的上游支流 East Fork 河走，看到圖 14 的案例。上游端林地良好，河道在洪水平原上原是單線蜿蜒蛇行(圖 14 上白色線形)，河寬甚小，但水流順暢美景宜人而十分穩定；為 C4 型。地主 Mr. Don McCarthy 在 1930 年代將河旁的林地闢為牧場，下游的河段開始演育，而變為圖 15 的形狀。下游牧場地區河道已變為 D4 型，絲瓣狀河道，河寬界線則難定，景觀甚差，水流無法集中且無美景。也是經過經 Dave Rosgen 主導過河川自然工法在 1986 年的整治，目標是將 D4 恢復到 C4。整治是以採取復育手段，重塑河川最佳穩定狀況(即 C4)的維度、形態與剖面。Rosgen 之所以成功關鍵是他依 C4 河道之蜿蜒，重塑斷面與河床質如圖 17。改善效果十分顯著。整治後河床甚至於完全符合期待。



圖 14 美國 Colorado 州 San Juan 河支流 East Fork 河一處短短河段的二種類型。



圖 15 改變前河段位在上半段，是單線、景色優美的 C4 河段。



圖 16 演化成 D4 型的河段為一絲瓣狀，泥沙到處，美景不在。

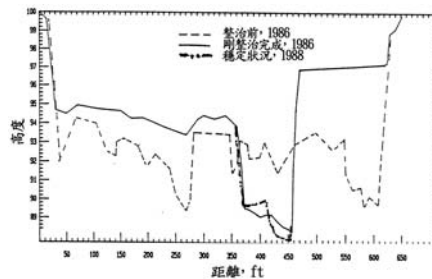


圖 17 河段整治後河床甚至於完全符合期待。

上述集水區土地利用改變因而影響河道演育之外，尚有其他如沖蝕、污染、減水、土石流等災害。可能以水流、泥沙、河岸安定與河床安定為表徵。可知河

段的類型斷分有其形成原因，此原因亦是整治時因地制宜的主要考量。特性不同而演育出不同類型的溪流。任一類溪流可能是一系列河溪演化結構樹上各據不同區位。站在現有河溪生態工法學家依河段別(reach-based)為分析、規劃、設計、施工與監測處理對象的方法學上的角度來看，也等於說河段的類型有許多種。每一種類型的河段，它一旦有洪災、有岸蝕或棲地破壞發生，或因泥沙移入增加、水量被取用而減水甚多、土地都市化影響逕流成分結構及時空分布或河道被侵占(encroachment)而發生偏離(departure)於原類型的演化；復育或整治時，就可能要依其不同類型而有不同的工法與對策。