



# 生態工法參考技術

# 目的

- 生態工法為state of art
- 生態工法之實施應因地制宜，工程師應依現地之狀況，以基於安全及生態之保育之理念，應用適合當地生態之工法，以設計合宜之生態棲地環境
- 以圖例說明可操作之概念式的生態工法
- 為US FISRWG所發展，適用於美國，應用於台灣時應考慮其適用性與可行性
- 相關資料可與林鎮洋教授索取

# 內容

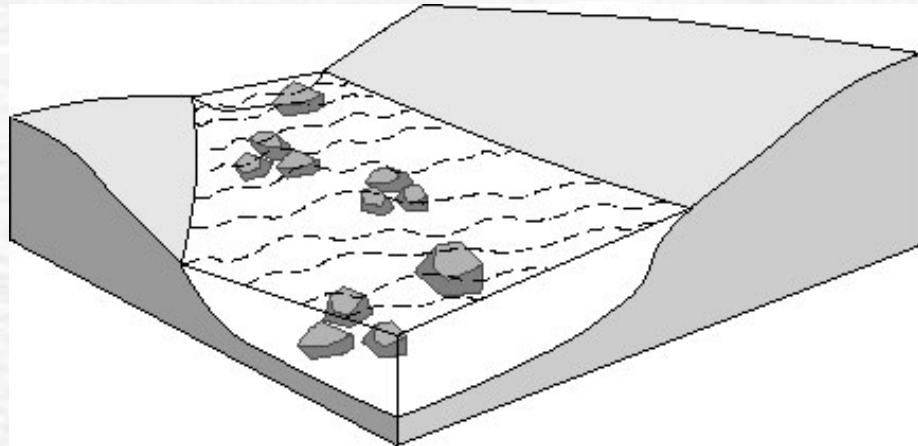
- ☛ 河道內之應用
- ☛ 河岸處理
- ☛ 水資源管理
- ☛ 河道重建
- ☛ 溪流廊道工法
- ☛ 流域管理



# 河道內之應用 (Instream Practices)

# 卵石灘 (Boulder Clusters)

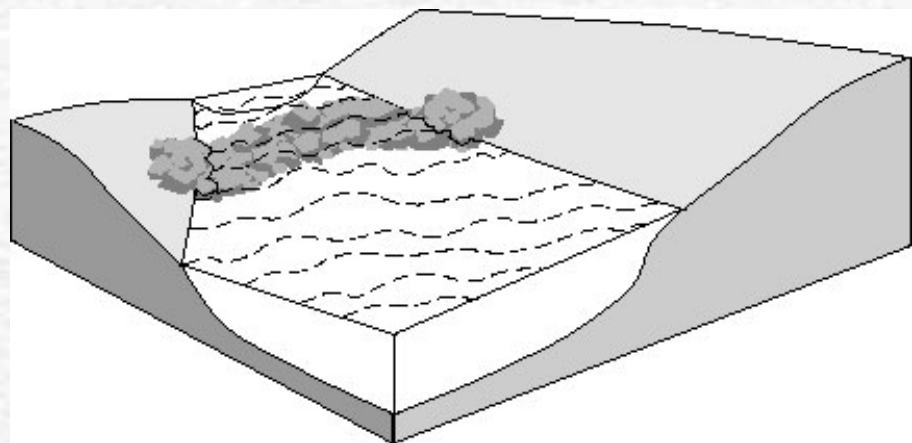
卵石推置在基流河道裡，以提供庇護、創造沖蝕穴或緩流區



- 可以用在大部分的溪流環境裡，包括湍流、急流、緩流與水池
- 用在平均流速超過0.6 m/sec的溪流中能獲得最大的效果。
- 最好能以群落方式堆置，但在非常小的溪流裡，卵石分開單獨推置也會有效果。
- 在寬闊與水淺的礫石床上最有效果。
- 在較深的溪流裡可以提供庇護或造成懸浮物堆積，增加底質。
- 不建議在泥砂或更細顆粒的河床上施用，因為容易被掩埋。
- 但須注意堆置後所產生的沖蝕力可能會造成河岸與渠道崩塌。
- 在懸浮物多的溪流裡容易產生砂洲

# 堰 (Weirs or Sills)

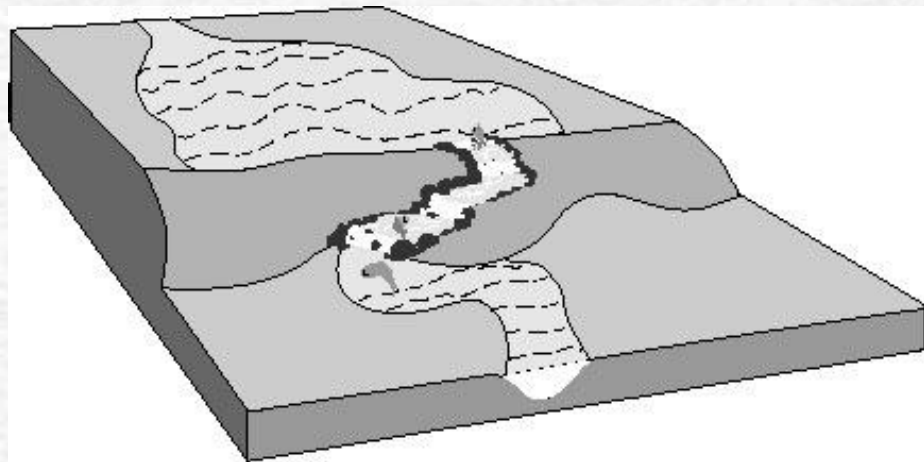
利用圓木或塊石建構跨越渠道的橫式構造物，並固結於河道兩岸或河床，以創造水池棲地、防止河床沖蝕或攔阻卵石。



- 穩定的渠道裡可以創造多樣的棲地與水文環境。
- 連續建構堰時，堰與堰間之距離不能過於靠近，以避免河道中之湍流與急流消失。
- 懸浮物過多的溪流裡，堰所創造出的水池容易淤積。
- 堰的下游處容易產生湍流。
- 砂質底床的溪流，堰的底部容易遭淘刷。
- 在低流量時，容易變成水生生物遷徙的阻礙。
- 材質的選擇相當重要。
- 設計渠道的斷面形狀以滿足特定的需求。

# 魚道 (Fish Passages)

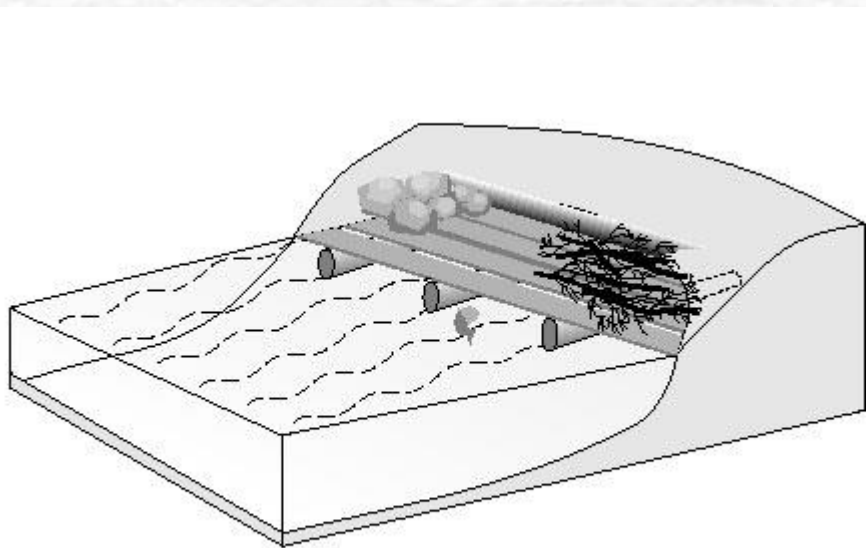
任何有助於指標魚種能夠自由遷徙至上游以完成生命週期（產卵、育苗等）的工法。



- 可設置在因有自然或人為阻隔，而阻礙魚類遷徙的溪流環境裡。
- 需審慎評估水生生態系，確保其不會對其他生物或溪流廊道功能造成衝擊。
- 需考量魚道的坡降、深度與不同流量剖面的相對位置。
- 應慎重考慮是否應需移除渠道中的障礙物。
- 依照不同的地點或標的物種，選擇不同的設計。

# 木頭/殘枝/石頭庇護所 (Log/Brush/Rock Shelters)

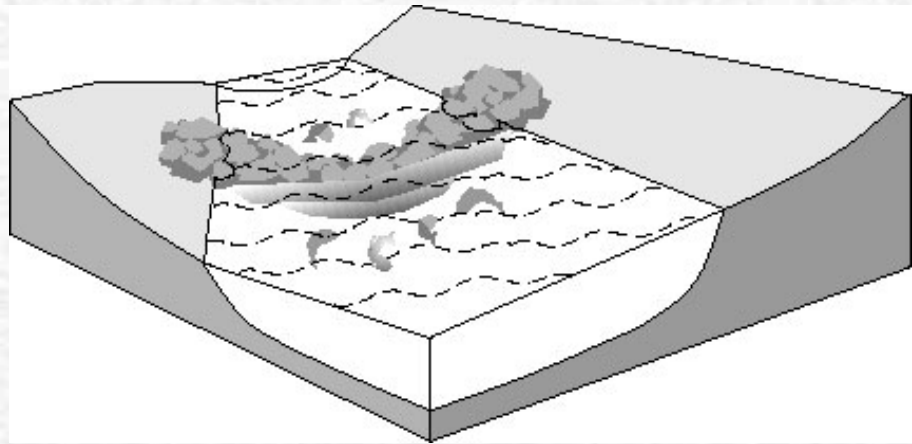
將由木頭、殘枝、石頭組成的構造物安置在河岸底部，以改善魚類棲地環境、增進食物網絡、避免河岸沖蝕及提供陰影。



- 在已有水池形成並需要遮護的低坡降曲流最適合放置
- 可以吸引昆蟲等生物棲息，而其又成為其他生物的食物來源。
- 可在河岸就近尋找適合的材料迅速構築而成。
- 除非結合其他穩定性工程，不然不適合構築在在受到嚴重侵蝕的河岸或陡降的河床上。
- 適合水生生物棲息環境不足的溪流。
- 需用生態工法（土壤生物工程或植生）穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 較不適用於凸岸。

# 遷徙路障 (Migration Barriers)

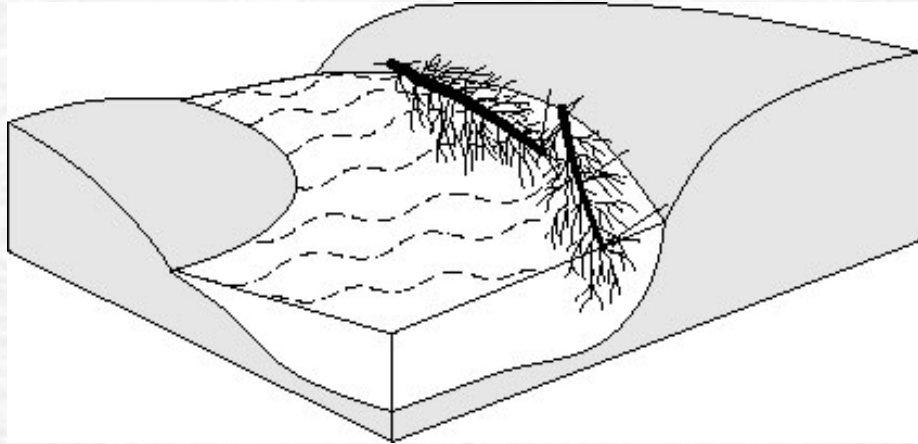
略性地在河道安置路障，以避免厭惡種之生物上溯。



- 適於用在需阻隔特定物種（外來種或厭惡種等）的溪流裡。
- 需確保路障的設置不會對其他水生生物或溪流廊道功能造成衝擊。
- 結構性或電子性的路障皆可考慮：
- 基流量深度低於0.6 m、寬度低於9 m的溪流裡最有實用。
- 同上面條件的溪流裡，可使用臨時性的方法，如漁網等。
- 電子性路障可用於較深的溪流，其阻隔的方法為利用光線、電子脈衝與光頻，來避免魚類通過過進入禁區。
- 路障需能抵擋洪流衝擊。

# 樹遮護 (Tree Cover)

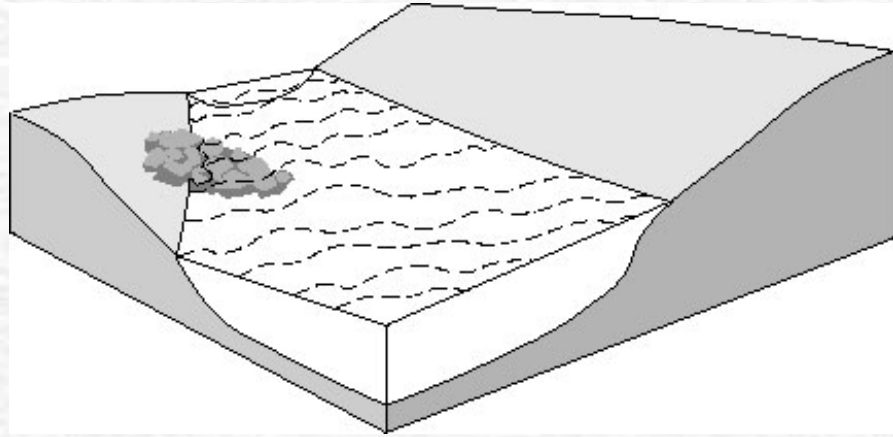
將樹木倒臥排置在河岸，以提供水生生物庇護所、有機質、導流功能與沈積環境。



- ☞ 設置成本較低。
- ☞ 適於河床不穩定及可就近取得木材的溪流。
- ☞ 溪流寬度需大到足以避免樹木影響水流，造成河岸沖蝕，並限制渠道流量。
- ☞ 需設計適當的錨定系統。
- ☞ 需考量殘木的積聚在下游橋樑是否會對安全構成威脅。
- ☞ 需經常維護。

# 丁壩 (Wing Deflectors)

凸出於河岸的構造物，但並不完全橫跨河道。其可將流心導離河岸，並藉由約束河道與加速水流，沖刷出水池。

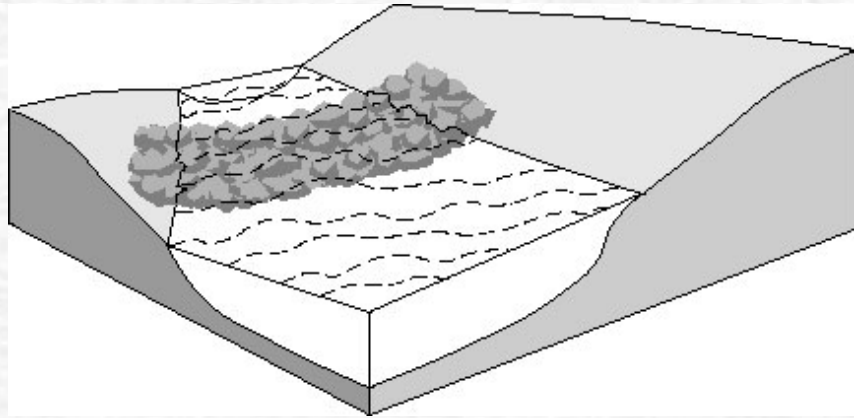


- 應盡量設置在湍流得下游遠方處，以避免其所產生的迴水，影響湍流的形成。
- 尺寸的大小決定於所需的沖刷力。
- 被沖刷掉的物質通常會沈澱於下游不遠處，形成一沙洲或湍流區，這些區域通常由乾淨的礫石組成，並提供特定生物良好的棲息地。
- 在不同的河岸可設置一系列的丁壩，以創造蜿蜒之河道及相關的棲地多樣性。
- 岩石丁壩或填塞岩石的木構丁壩最為常見。
- 適用於物理性棲地多樣性不足的溪流，尤其是缺少穩定水池棲地的溪流。
- 在泥質底床的溪流裡，丁壩易因泥砂的沖蝕而沈陷或崩塌，因此在此地區的丁壩下，需構置一過濾層或土工織物。

# 固床工 (Grade Control Measures)

橫跨河道並固結於溪流兩岸的構造物，以提供河床一個堅固點，以抗拒沖蝕區的沖蝕力，並減少上游能量坡降，以避免沖刷。

- 可穩定河床，作為復育的初始工作。
- 阻止水流滔刷河道。
- 增加受到沖蝕的河床高度。
- 藉由減少河岸高度，可增加河岸穩定性。
- 在下游處人為造成的沖蝕穴可改善水生生物棲息地。
- 在上游處形成的水池區可提高低流量的棲地水深。
- 可能成為低流量時的遷移路障。
- 可設計成魚類能夠遷徙的型式。
- 上游有大量沈積，會使下游河道沖蝕。
- 上游沈積現象會增加渠道彎曲的趨勢。
- 選址在設計的過程中相當重要，其需考量土壤機制與地工技術。

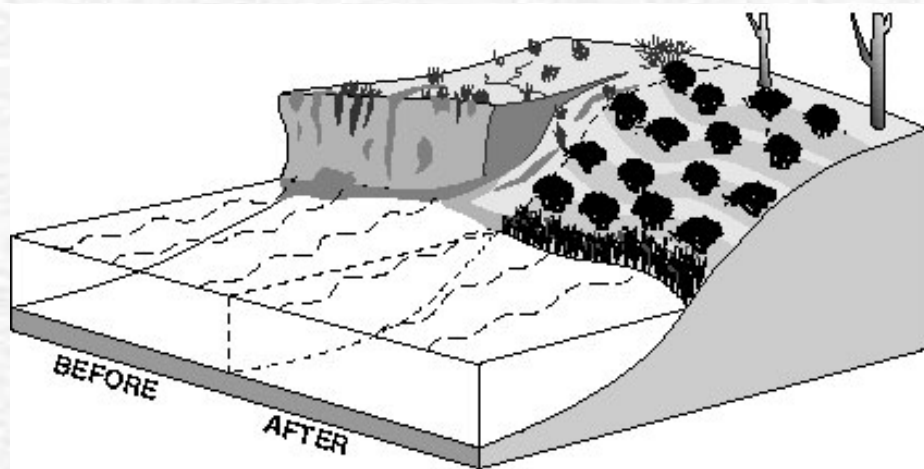




# 河岸處理 ( Steambank Treatment )

# 河岸塑造與植生 (Bank Shaping and Planting)

改變岸坡度至穩定的狀態，並覆以表土或其他有助於植物生長的物質。再挑選並栽種適當植生。

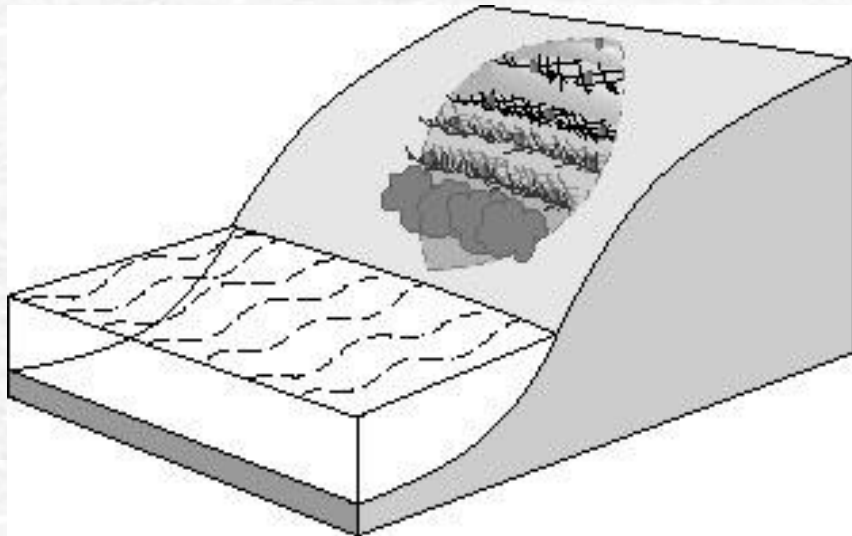


- 適於河岸受到中度沖蝕及需維持生物遷徙的溪流。
- 需強化坡腳。
- 能增進原生物種擴展的條件。
- 當流速超過植生所能忍受的範圍或在基流以下發生沖蝕作用時，通常結合需其他保護性措施。
- 河岸坡度決定於土壤性質、地下水可能的坡動與邊坡承載條件。
- 建議需進行邊坡穩定分析。

# 樹枝網紮 (Branch Packing)

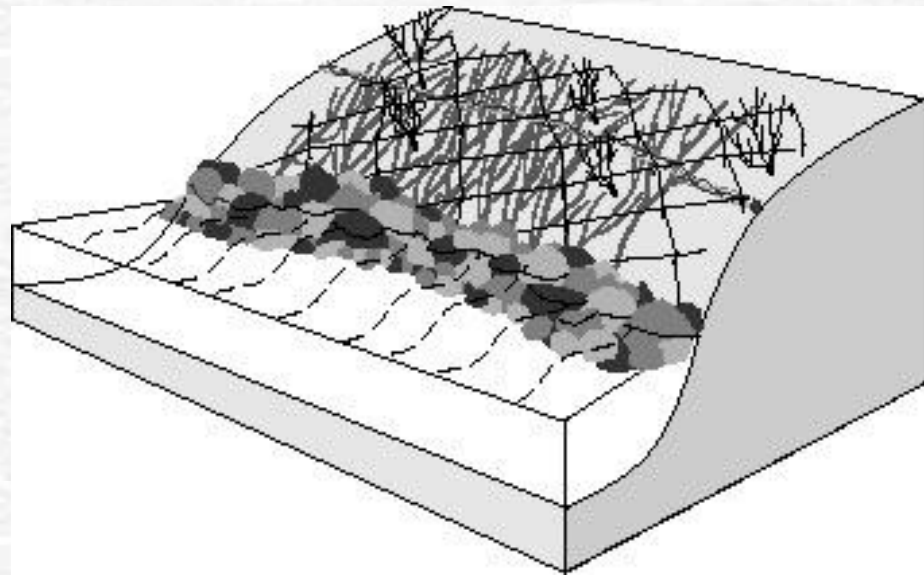
由具萌芽能力的樹枝與夯實回填土互層組成，可穩定河岸崩塌地與洞穴，並恢復其植生。

- 適於河岸已遭沖刷，並崩塌成一凹穴之溪流。
- 需先去除造成河岸崩塌的力量。
- 較不適用於為埋置樹枝而需挖掘受沖蝕的邊坡。
- 形成一過濾防護帶，可防止河岸受到沖蝕或滿溢水流。
- 能快速建立河岸植生。
- 能增進原生植生物種擴展的條件。
- 提供立即的土壤強化。
- 活樹枝可發揮抗張力的功能，強化土壤。
- 通常較不適用於大於 1.2 m 深與 1.2 m 寬的崩塌地。



# 樹枝柴排 (Brush Mattresses)

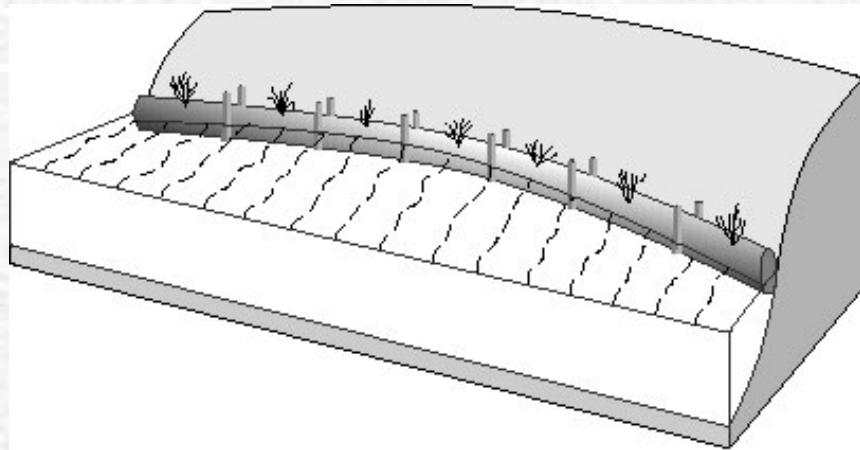
由具有萌芽能力的木樁與殘枝組成，覆蓋在河岸作為物理性保護，最後會衍生出許多植群。



- 為河岸提供立即性保護層。
- 提供河岸殘枝生根的機會。
- 迅速恢復河岸植生與棲地環境。
- 能增進原生植生物種擴展的條件。
- 受限於基流水位以上的坡度。
- 需保護坡腳。
- 適於受到高流量威脅的裸露河岸。
- 不適用於邊坡不穩定的河岸。

# 椰纖捲 (Coconut Fiber Roll)

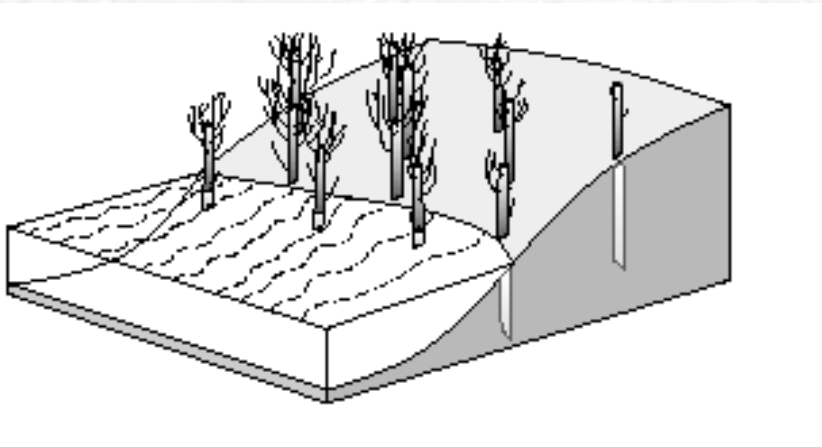
由椰子外殼的纖維與其捲成的細繩所構成的圓筒構造物，可防止邊坡沖蝕，並創造沈積環境，以利椰纖裡的植物生長。



- 直徑30 cm與長度6 m為最常見的尺寸。
- 通常用當地的殘枝或生根植物做為木樁固定於坡腳。
- 當復育河岸時需要適當坡腳穩定性時，可用此法。
- 在臨水處提供植物極佳的生長介質。
- 不適用於高流速的河岸。
- 其易曲性能符合彎曲的河岸。
- 適用於只允許較小干擾的河岸。
- 椰纖捲會產生浮力，需固定於河岸。
- 成本較高。
- 能維持6-10年的壽命。
- 能增進原生植生物種擴展的條件。

# 休眠樁植生 (Dormant Post Plantings)

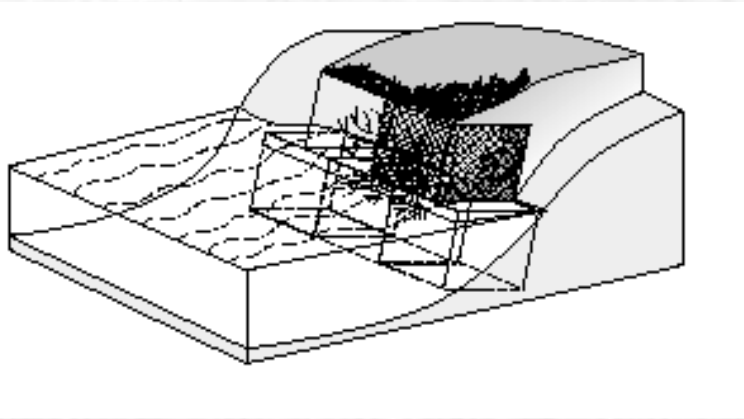
於河岸垂直栽種棉白楊、楊柳、白楊或其他物種之休眠植物，以增加渠道粗糙度，降低流速並促進沈積環境生成。



- 可充作木樁，穩固河岸。
- 可迅速恢復乾旱且地下水位較低的河岸地區之植生。
- 會降低鄰岸之流速，減少河岸沖蝕，並促進沈積環境之生成。
- 通常具有自我復原能力，以抗拒牲畜或海獺的侵擾。
- 能增進原生植生物種擴展的條件。
- 其抗沖蝕能力較活性木樁與小殘枝為佳。
- 需用生態工法（土壤生物工程或植生）穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 樹種還原最好來自其他地方需移除或多餘的樹種。

# 植生蛇籠 (Vegetated Gabions)

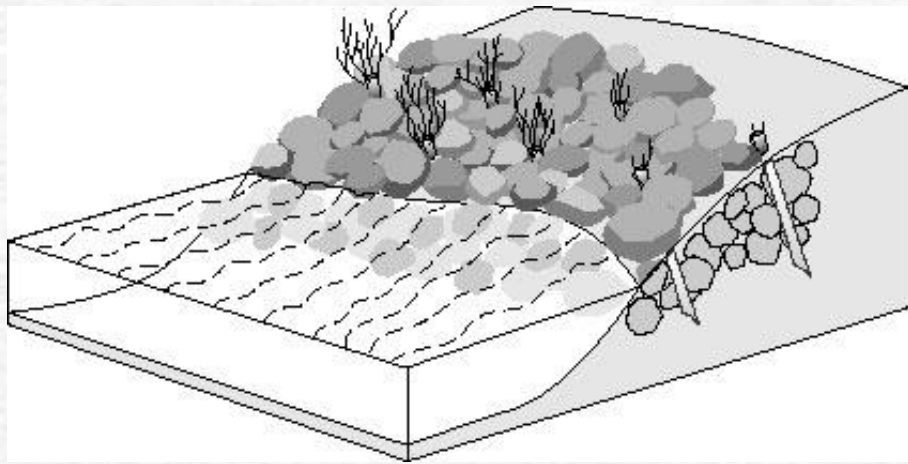
堆置填塞小至中型石塊與土壤的方形鐵籠，形成一結構性坡腳或邊牆 (Sidewall)，並在縫隙中插置活性樹枝，待其根系長成時，不但可固結蛇籠，更能藉由根系的延伸，將蛇籠錨定於河岸。



- 用於受到沖蝕或承載較大的河岸陡坡。
- 當地石塊小於設計之需尺寸時。
- 當邊坡需維持較陡坡度時，其可作為穩固坡腳之低矮結構物。
- 無法抵抗較大之橫向土壓力。
- 覆土或植生以穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 需要有一穩固基礎。
- 安置與更換的成本較高。
- 蛇籠材質需考慮其耐久性。
- 不適用於懸浮物濃度高之河川。

# 連結植生 (Joint Plantings)

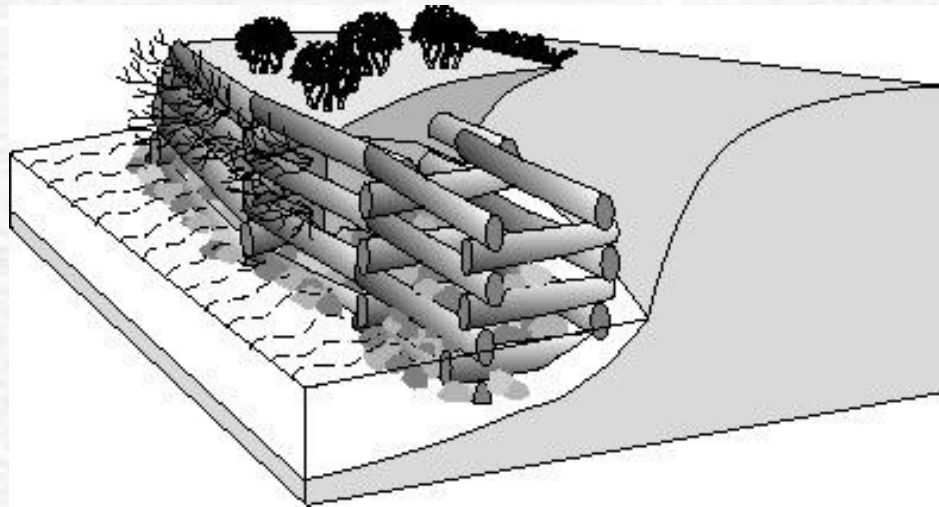
用土壤包裹活性木，並填塞河岸先前安置的石塊間的孔縫間。



- 適於缺少植生之岩石河岸。
- 活性樁長成的根系會包裹岩石，並避免岩石底下泥砂受到沖刷，使的石岸基部遭到淘空。
- 能迅速回復河岸植生。
- 覆土或植生以穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 只要根部能夠深入地下水位，活性木樁栽種的範圍可從基流量水位至邊坡頂部。
- 當活性樁之新生組織（形成層）受到損傷或缺少生長基質（土壤），存活率將會降低。
- 當砌石岸厚度過大，將需要特定工具挖掘植生穴。

# 活性木格框 (Live Cribwalls)

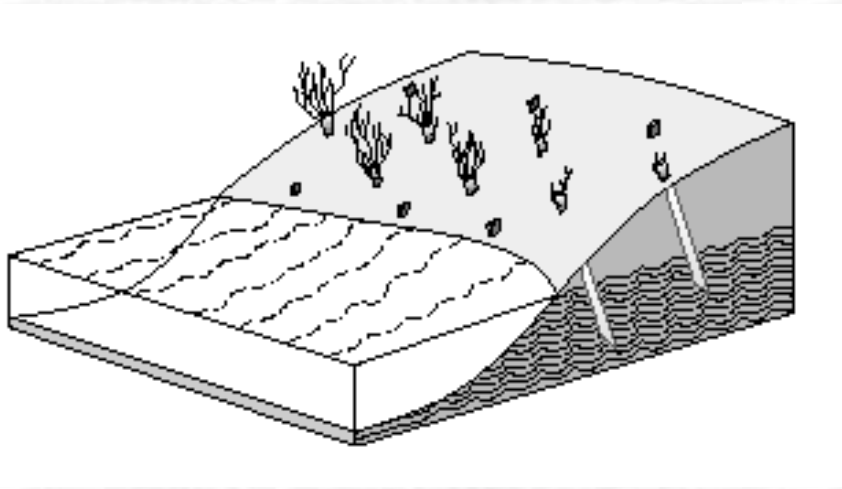
疊置由未經處理的圓木構成的木格框，在基流量水位以上混塞土壤與活性樹枝，待活性樹枝根系長成，將取代原有木框之結構功能。



- 可為坡度較陡或無法變為緩坡的河岸，提供保護的功能。
- 能提供河岸自然的面貌及立即的保護，並加速建立喬木或灌木林。
- 在溪流凹岸高流速區，可發揮良好的功效。
- 當邊坡較陡時，其可作為穩固坡腳之低矮結構物，並降低邊坡整體坡度。
- 無法適應坡腳沖刷。
- 覆土或植生以穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 工法較為複雜，成本也會較高。

# 活性樁 (Live Stakes)

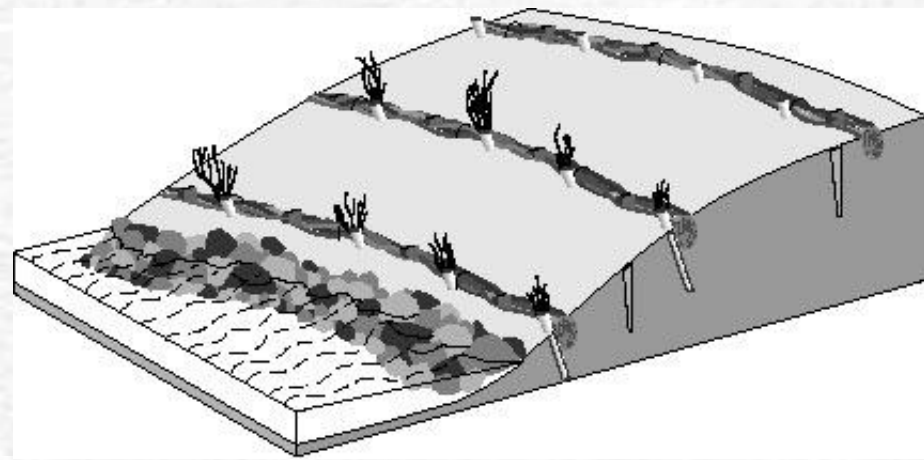
將具有萌芽生根能力的活性樁置入土壤中，待其根系長成，可藉由土壤顆粒的強化及包裹與土壤水的吸收，穩定邊坡。



- 適於條件較單純、施工時間較短或施工經費不多的基地。
- 適於穩固經常保持濕潤的小型土滑或崩塌地。
- 能錨定避免邊坡沖蝕的物質。
- 能穩定不同土壤生物工法之間的介面。
- 能迅速恢復河岸植生與棲息地。
- 應結合其他土壤生物工法與植生工程。
- 能夠增進由周遭植群入侵的條件。
- 當坡腳有沖刷現象時，需保護坡腳。

# 活性捆樁 (Live Fascines)

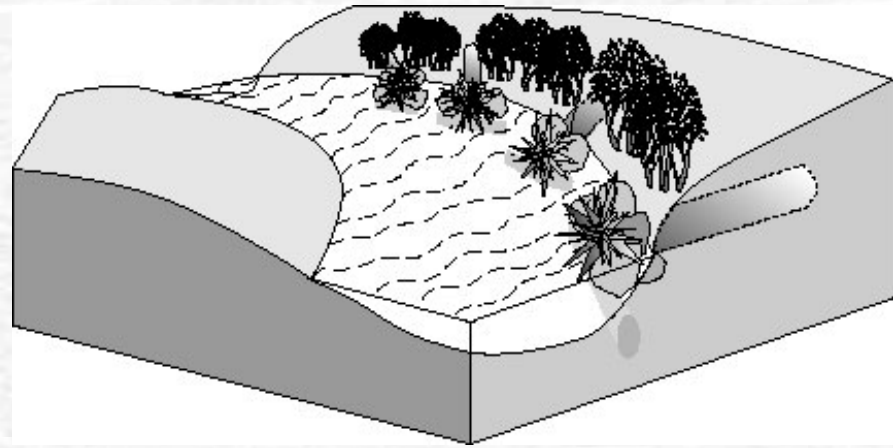
將休眠樹枝捆成一長圓筒狀，並置入邊坡的淺溝裡，以避免沖蝕與淺層滑動。



- 如小型霸體的結構能夠攔阻與固結邊坡土壤，並將長形邊坡分成數段短坡。
- 當以特定角度置入邊坡時，可幫助邊坡排水。
- 能增進原生植生物種擴展的條件。
- 應結合其他土壤生物工法與植生工程。
- 當坡腳有沖刷現象時，需保護坡腳。
- 再將干擾降至最低的條件下，能有效地穩固邊坡。
- 不適用於有大規模移動的邊坡。

# 圓木、樹根團與砌石岸

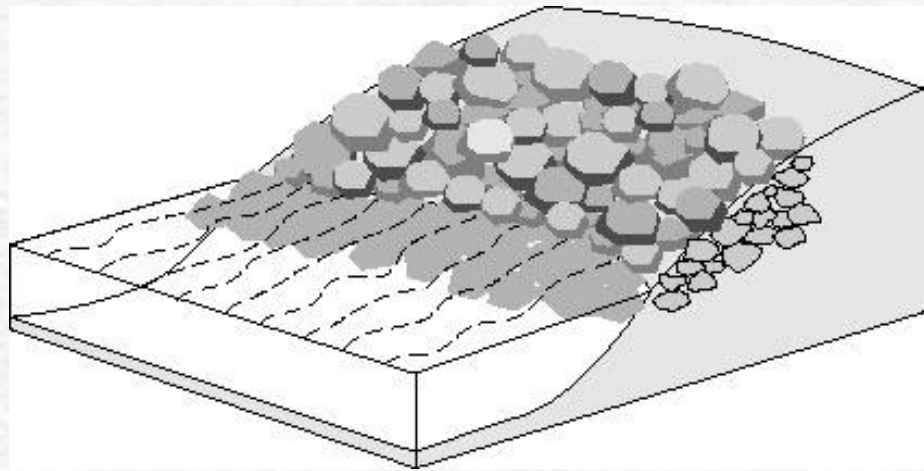
將樹根纏繞的圓木與卵石置入邊坡，以防止邊坡沖蝕，並創造沈積環境，增進棲地多樣性。



- 圓木與樹根團錨定完全，將能夠抵抗大邊界剪力。
- 適於棲地多樣性低的溪流。
- 覆土或植生以穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 壽命將決定於氣候與選定的植生物種。
- 使用原生物種較能攔阻沈積物或殘木，使得即使在流速高的溪流裡，也能復育河岸棲地，並改善魚類產卵與撫育場所。
- 基地必須能夠讓重型機具到達。
- 在某些地方，材料可能不能立即取得。
- 可能會引起沖蝕現象。
- 成本會較高。

# 砌石岸 (Riprap)

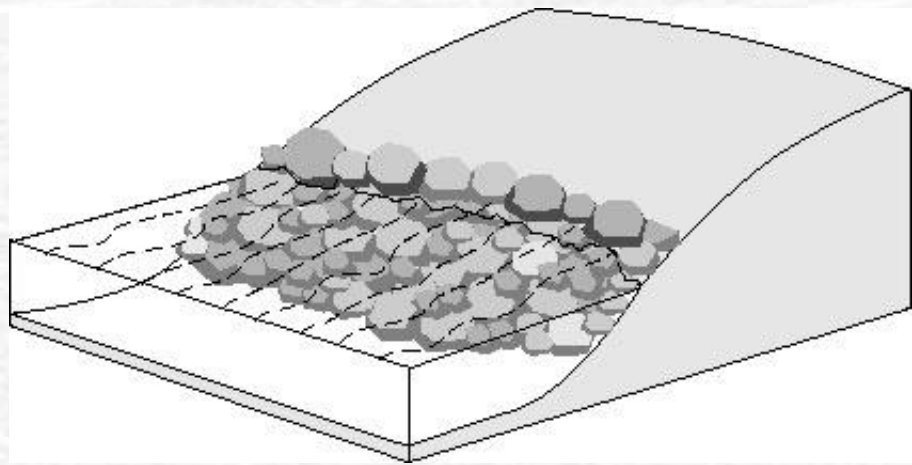
將特定尺寸的石塊，從坡腳推置至所需的高度。



- 可進行植生工程
- 適用於需耐久性工法、高設計流量、生命財產受到嚴重威脅或沒有實際方法可將植生融入設計的地方。
- 覆土或植生以穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 較具彈性，且不因沈陷或調整所引起的輕微位移而影響其功能。
- 不能推置到較適用植生或土壤生物工程的高度。
- 常見保護河岸的工法。
- 如果材料不能在當地取得，成本會較高。

# 坡腳塊石保護 (Stone Toe Protection)

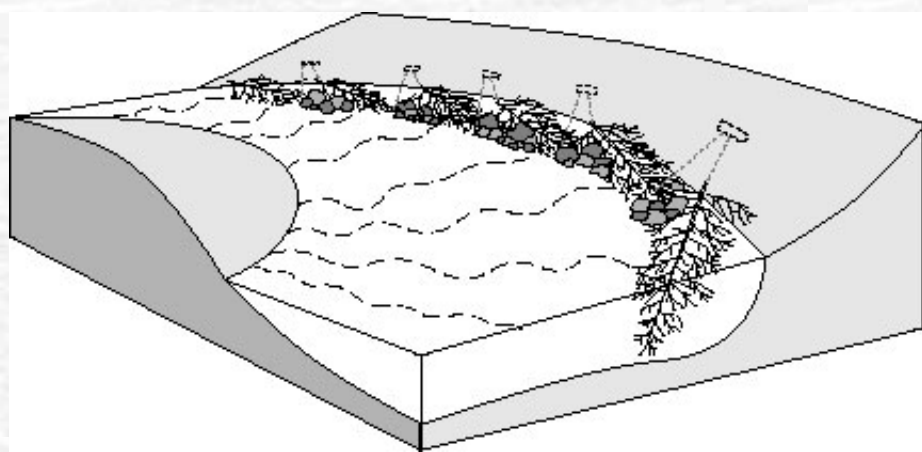
在坡腳堆置一帶狀塊石作為防護帶，避免坡腳受到沖刷，穩定邊坡並促進沈積。



- 適用於坡腳受到淘刷，也無法進行植生工程的河岸。
- 塊石會防止坡腳積聚的物質受到淘刷，而促進植生恢復，並穩定邊坡。
- 需用土壤生物工程或植生以穩定河岸上坡，並維持一個能夠再生的河岸植物資源。
- 工法能將對現有坡度、棲地與植生干擾程度降到最低。

# 植生護岸 (Tree Revetments)

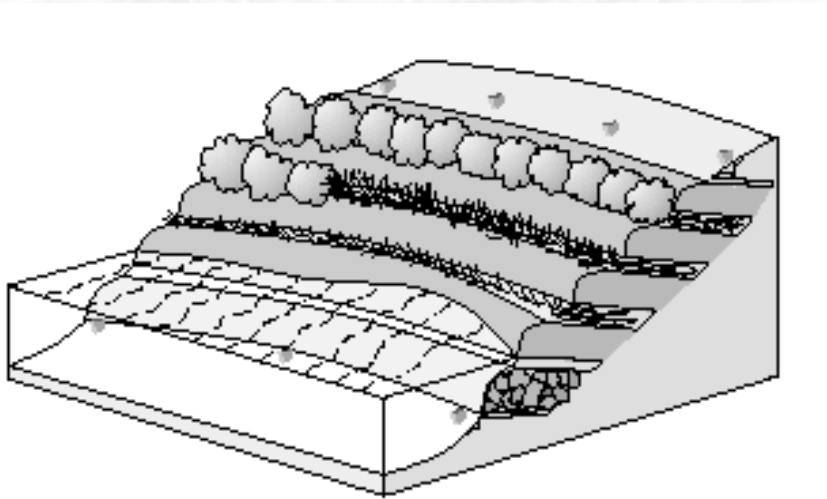
將一串相互連結的樹木固結於坡腳或河岸的錨樁，以減少沿岸流的流速所造成的沖蝕、促進泥砂沈積並提供植物生長的基質與沖蝕控制。



- 需要有合適錨定系統設計。
- 於高度大於3.6 m河岸、沿岸流的速度低於1.8 m/s的溪流最能發揮功效。
- 使用便宜與容易取得的材料。
- 在懸浮物濃度高的溪流，植生護岸能促進沈積，幫助河岸原生物種的擴植。
- 壽命有限，需定時更換。
- 不適用於橋樑的上游或狹窄的渠道。
- 植生護岸所佔據河道斷面積不能超過15%。
- 材質不易腐朽的樹種最合適，其壽命可持續到原生物種完成演替。
- 當坡腳有沖刷時，需保護坡腳。

# 植生土工網格 (Vegetated Geogrid)

將活性樹枝與由天然或人工土工織物包裹的土壤互層疊置在邊坡，以重建沖蝕的河岸之植生並恢復其植生。



- 如果設計與堆置良好，將能迅速建立河岸植生。
- 能用於較陡與較高的邊坡，並對於流速的抵抗地優於壓條工法。
- 會很複雜，且成本也會較高。
- 會產生一個新構且強化的河岸。
- 能有效復育收到沖蝕的凹岸。
- 會促進沈積，並有益於植生擴植的條件。
- 建議進行邊坡穩定性分析。
- 需要一個穩固的基礎。

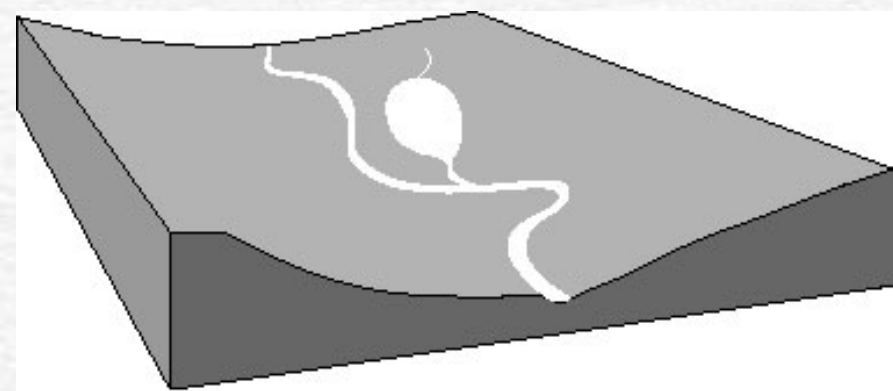


# 水資源管理 ( Water Management )

# 沉澱池（Sediment Basins）

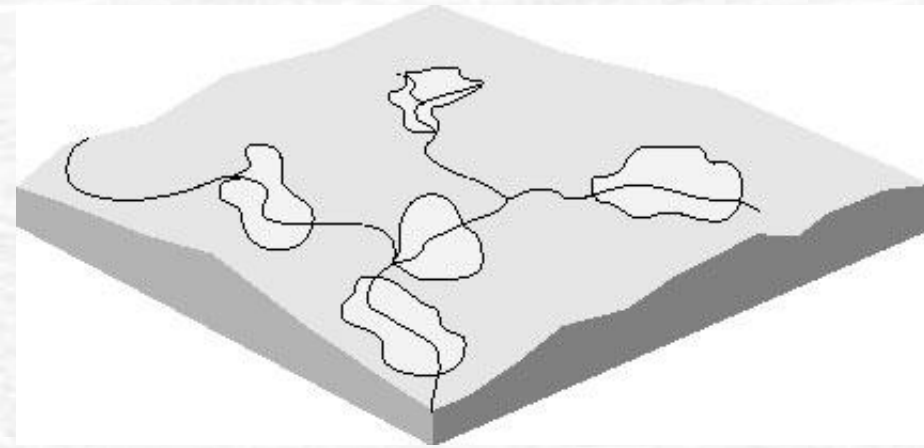
橫跨排水道或與藉由分流渠道與溪流相連的障礙物，常常與水池相結合，攔阻或促進沉澱。

- 幫助溪流降低懸浮物濃度的暫時性方法。
- 通常被用來淘選並分離懸浮物，尤其那些超乎下游承载力並會造成危害的懸浮物。
- 可與較永久性的滯洪池結合。
- 只能攔阻較大顆粒懸浮物（砂、礫），對於較細顆粒（粉砂、黏土），卻只能任其通過。
- 需要定期除淤與維護。



# 水位控制 (Water Level Control)

控管河道與鄰近河岸的水位，以控制水生植物，並復育所需的機能與水生棲地。



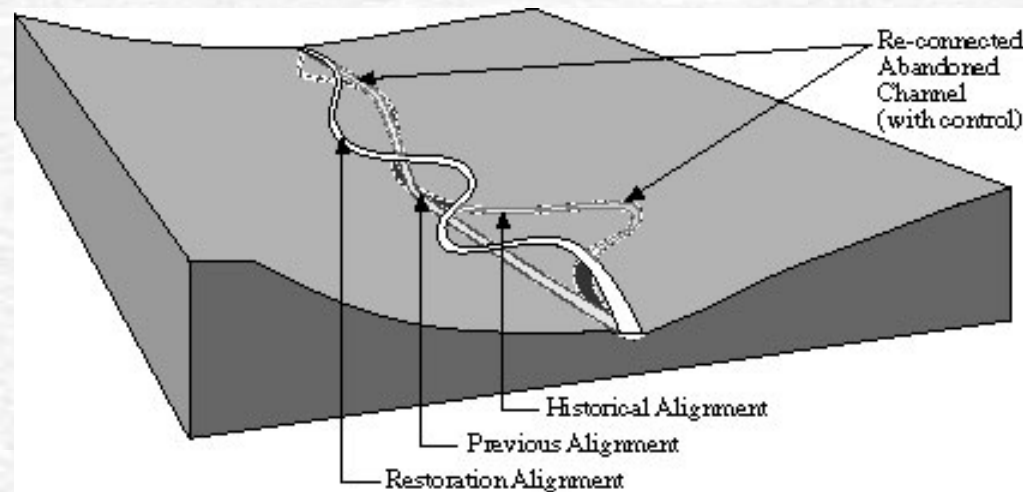
- 適於因水深不足而無法發揮生態功能的溪流與鄰近的濕地。
- 因需求會隨季節而變化，故需有彈性之控管設施。
- 規劃與設計必須考量維持沈積平衡、水溫變化、底質與水體的改變等因素。



# 河道重建 ( Channel Reconstruction )

# 溪流連通性之維持

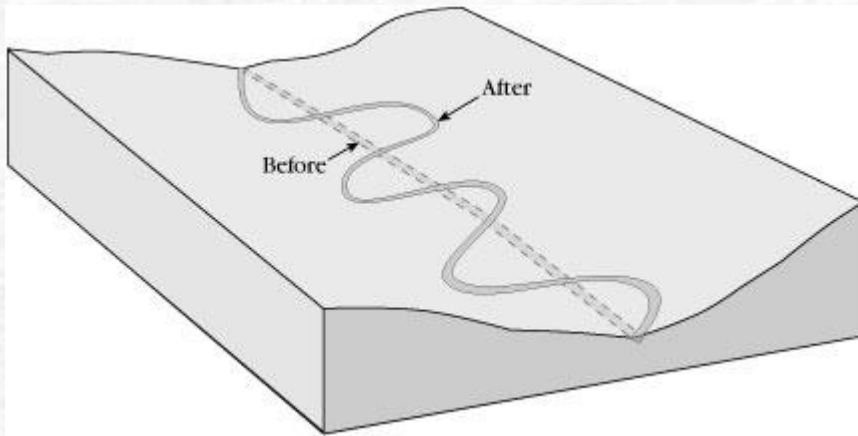
維持溪流連通性以利水與生物遷徙於溪流與荒廢渠道流域之間。



- 可避免水生棲地面積與多樣性的喪失。
- 靠近主河道的沿岸流區域能夠作為許多魚類產卵育雛的場所，也是許多水中或生物的重要棲地。
- 如果連接的渠道深度足夠，放置小船或獨木舟，增加遊憩價值。
- 適於曾經被截斷的渠道。
- 不適用於沒有足夠流量可以連通荒廢渠道流域的溪流。
- 如果發生沈積現象，則需要維護。
- 壽命有限。

# 溪流彎曲性之復育

將溪流截直取彎，以回復大自然動態系統，改善渠道穩定性、棲地品質、美觀及其他溪流廊道功能或價值。



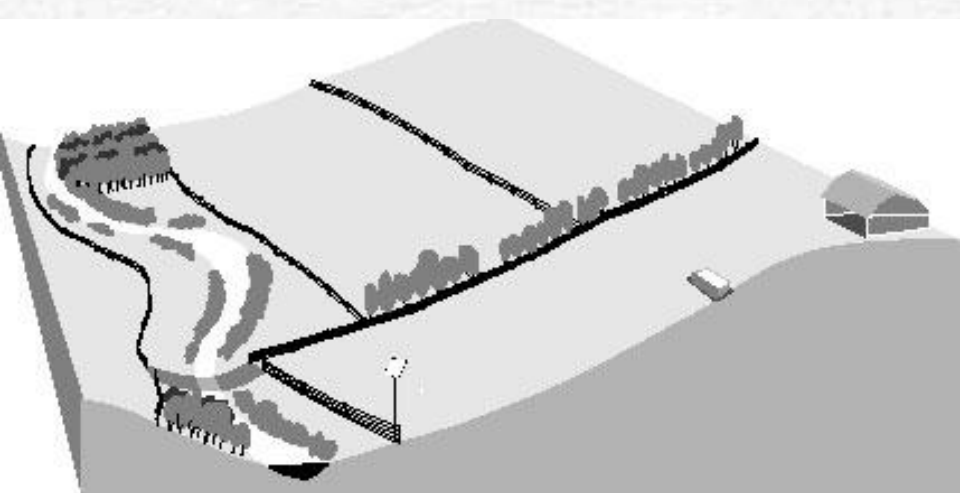
- ❏ 可以增加溪流穩定性與棲地多樣性。
- ❏ 將受限於沿岸之土地利用，因此不適用於土地利用變動快的地方。
- ❏ 需穩固凹岸的邊坡。
- ❏ 失敗的可能性高。
- ❏ 可能大大提高洪水水位。
- ❏ 需計算現今與未來的流量需求，尤其在都市化的流域。



# 溪流廊道工法 ( Stream Corridor Measures )

## 畜牧排除或管理

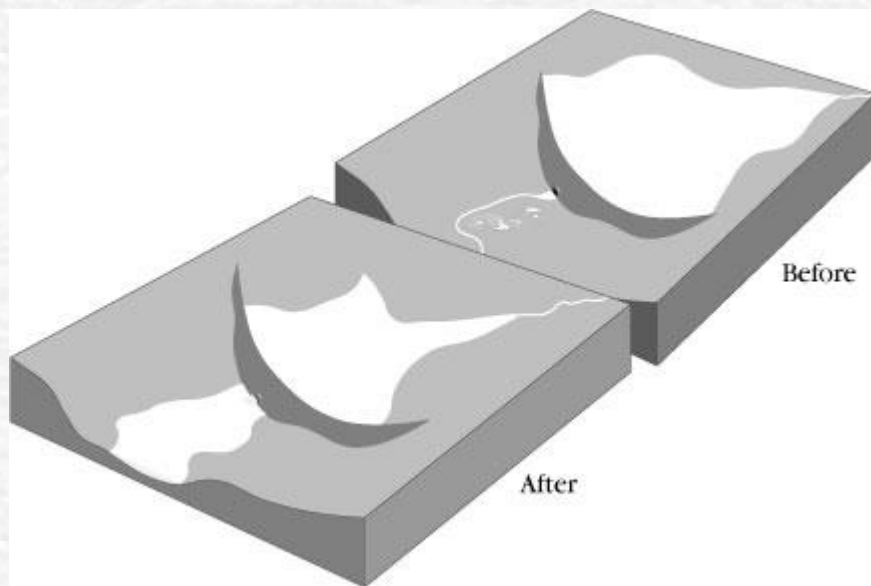
為家畜興建圍籬、另闢水源與遮護及食草控管，以保護、維持或增進河岸動植物與水質。



- 當家畜啃食樹木、污染水質及造成邊坡的不穩定以影響溪流廊道功能時，適用此法。
- 當河岸生態系已回復時，可將輪流放牧納入管理計畫。
- 必須有整體之放牧計畫。

# 棲地復育之沖刷法

讓水庫短暫大量放水，製造人工洪水，以沖刷河床細顆粒，復育合適的溪流棲地。



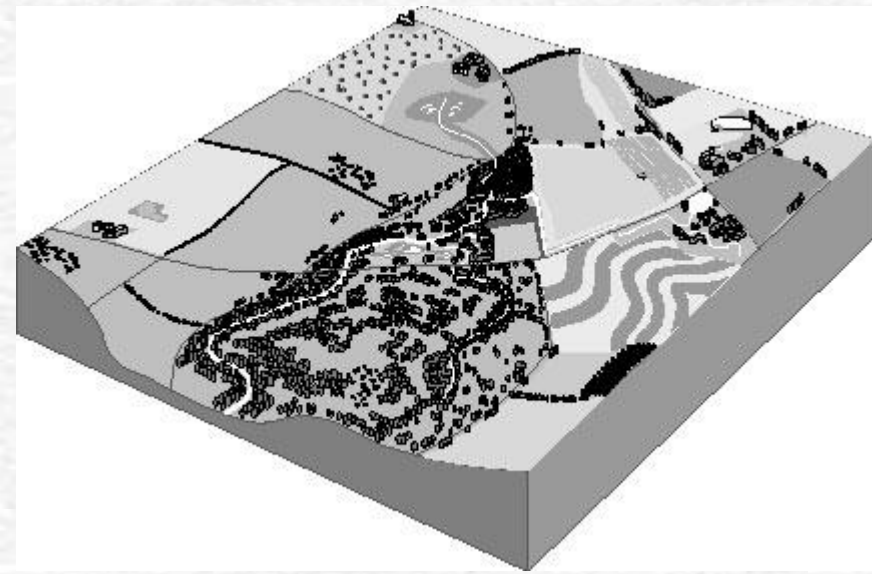
- 配合流域管理的一部份
- 可能淹沒水庫下游洪氾平原、沖毀河床卵石底質並改變渠道型態。
- 沖刷細顆粒可能只是把問題往下游推移。
- 需考量季節性的流量限制、流量變化與水庫下游的河川水位，以避免對溪流與河岸造成衝擊。
- 能夠淘選河床底質、抑制水生植物並維持溪流所需的棲地環境。
- 會導致洪氾平原受到沖刷，而提供河岸植生較好的生長條件。
- 放水時刻表需審慎評估。
- 不適於水權受到支配的地區。



# 流域管理 ( Watershed Management )

# 農業最佳管理作業 (BMP: Agriculture)

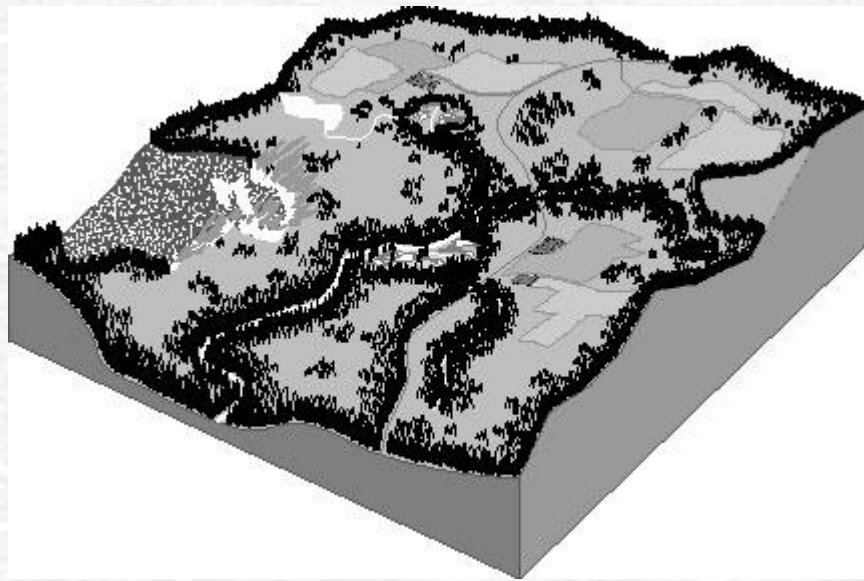
個別且系統化的方法，用於減輕來自非點污染源-農地所產生的迴歸水。



- 必須結合農業整體管理計畫、流域行動計畫或溪流廊道復育計畫。
- 需考量四季的土壤、水與微生物之保存。
- 耕耘、播種、施肥、施藥與採收都需考量環境品質，並利用鄰近土地作為水、土壤保育與管理、以及害蟲管理。
- 土地放牧管理必須保護環境特性。
- 可輪作以演育土壤，保護水質與野生動物。
- 果園與苗圃需隨時監視害蟲與水管裡技術，以保護生態系品質與多樣性。
- BMP可包括：順勢耕種、保育性耕耘、梯田耕種、重要地點植生、營養鹽管理、沈砂池、過濾帶、廢棄物管理與整合性害蟲管理。

# 林地最佳管理作業 (BMP: Forestland)

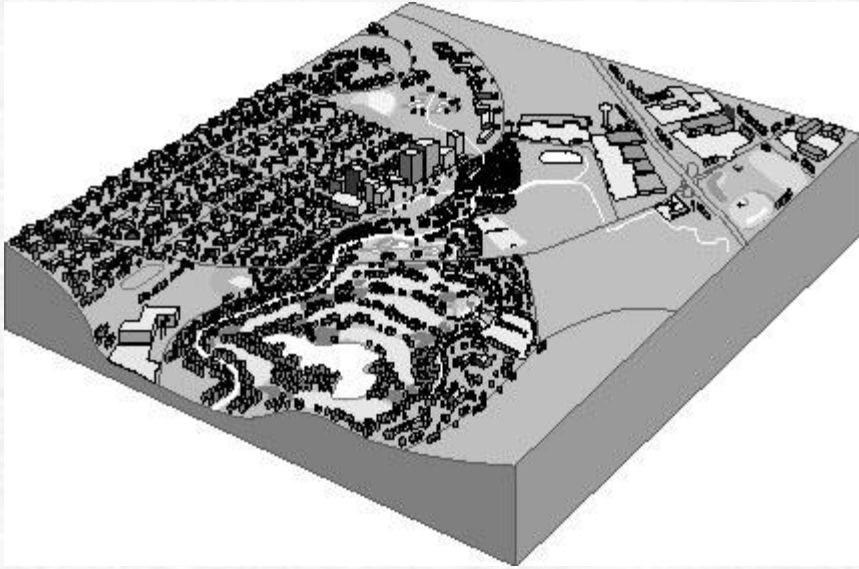
利用個別且系統化的方法，用於減輕來自非點污染源-林地所產生的逕流水。



- 適於流域流量管理系統出現問題，並有危害溪流廊道之高度潛在威脅的地方
- 當管理計畫目的在於恢復流域一個以上的自然資源功能時，可用此法。
- 必須結合林地整體管理計畫、流域行動計畫或溪流廊道復育計畫。
- BMP可包括：先伐計畫、河岸管理措施、道路建造或重建、道路管理、伐木、基地預備、森林生產、火災管理、干擾地區植生復育、森林化學管理與濕地管理。

# 都市地區最佳管理作業 (BMP: Urban Areas)

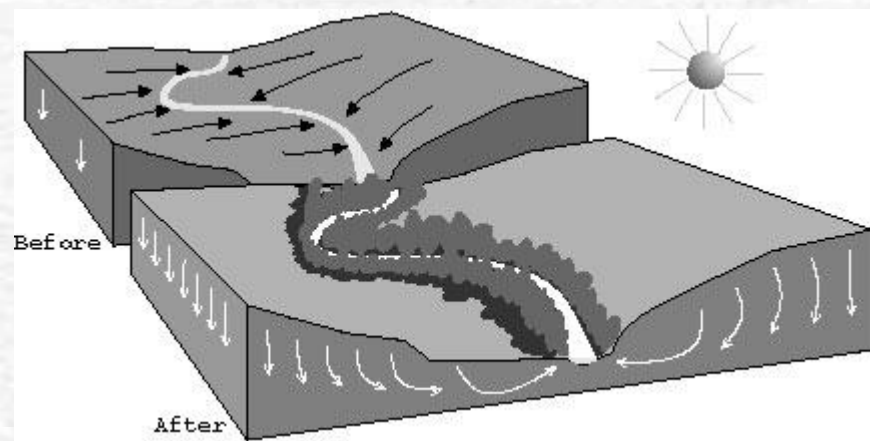
利用個別且系統化的方法，用於減輕或避免因都市發展與活動對溪流廊道的衝擊。



- 適於因人類干擾流量特性而失去溪流原有功能的地區。
- 需結合其他地區之BMP，以確保能盡量達到沿著溪流廊道的復育工作。
- 個別都市BMP需協同全面性溪流復育計畫。
- 都市地區變動迅速，有高度的干擾潛力。
- 地區的外在環境、與整個系統的相關性、干擾的排除與維護的安排都需要審重考量。
- BMP可包括：乾式沈砂槽、池塘、人工濕地、油脂分離器、沼澤、過濾帶、過濾溝槽、透水性鋪面及都市造林。

# 溪流量水溫管理

於河岸植生與高地措施能夠減少溪流水溫上升。



- 適用於河岸能夠提供陰影且大部分樹冠已去除的小型溪流。
- 能夠建立河岸植生、增加綠覆率、增進過濾功能與伏流，以維持基流量，並避免沖蝕。
- 污濁的水（懸浮物多）較乾淨的水容易吸收太陽輻射線，因此流域的沖蝕控制（減少懸浮物）能夠防止熱污染。
- 從水庫底層放出來的水，溫度與溶氧量較低，故在放水時，需增加其溶氧。混合水庫需放的水，可調勻水溫。
- 農地迴歸水再排入溪流前，必須經過冷卻處理。