

野溪清疏作業方法之二：河溪現況的分類與評估

Operation of Wildcreek Cleanout Work -2 : Classification and Stability Evaluation of Stream Channel

姜燁秀¹ 吳上豪² 蔡正壽² 連榮吉³ 蘇苗彬^{4,*}

Yeh-Hsiu Chiang¹, Shang-Hao Wu², Cheng-Shou Tsai², Jung-Chi Lien³, Miao-Bin Su^{4,*}

¹農委會水土保持局科長 ²農委會水土保持局主辦

³農委會水土保持局組長 ⁴中興大學土木系教授

一、前言

莫拉克風災期間，超大的降雨引致台灣中南部及東部集水區上游都有大量崩塌的土砂問題，颱風過後，停留在河道中上游及野溪的土石堵塞了河床，阻礙地區原有之排水系統，可以預見後續的降雨，勢必會造成各種不同形式的二次災害。政府單位見事態嚴重，必需研擬對策儘速處理，相關單位經多次協商，提出了「加強河川野溪及水庫疏濬方案」，並於民國 98 年 11 月經行政院核定，頒佈實施。在經過了一年的清疏作業實施後，雖有初步成果，但整體災區土砂淤積情況仍相當普遍，各界也提出了野溪的清疏作業應與治理工程能相結合，發揮更大的成效，依相關理論作成說明，供各界實施之參考。

二、河溪現況的分類

河溪的種類，依其型態與特性，從討論其安定性的觀點來看，可依美國土木工程師學會(ASCE)1997 年發行之 US Army Corps of Engineers 的技術手冊 No. 20, Channel Stability Assessment for Flood Control Projects 一書中的分類，可分成如表 1 所示。

不同種類的河溪，問題不同，應先確定治理對象所屬，才能擬定正確的調查評估作業及後續的治理作業，從而擬定所需的清疏作業與方式。以下的分類，多為沖積淤積的河道，上游集水區應考慮特有的特性作調整。

以下就台灣各地上游集水區內各河道及野溪現況分類，作成說明。

2.1 山區洪流野溪

係指在陡坡面上高速的水流，通常出現系列的跌水、滯流交互，石塊與礫石質的溪床，大雨時會有沖蝕與淤積的發生，較陡坡的野溪可能發生土石流(debris flow)或土石洪流(debris torrents)，基本上是溪床堆積物以液態化的方式運移到山溝谷口以下。這是上游集水區治理最常面對的。

* 通訊作者，電話：04-22872221 轉 106；傳真 04-22856409；
E-mail:mbsu@dragon.nchu.edu.tw

山區洪流野溪可以有許多不同面貌，當上游集水範圍內崩塌土石量大時，可以有很龐大的土砂堆積與搬運，往往造成河床淤塞後水流向兩岸攻擊，再增大土石流，如圖 1 所示，為陳有蘭溪的支流阿里不動溪匯入口，在民國 93 年敏督利颱風過後的影像，陳有蘭溪上游大量土砂造成本河段淤積，淹沒了許多農地，這是上游野溪土石災害的特性，望鄉山下的支流野溪也堆積了許多土砂，等待下一次大雨時向下游搬運。

表 1 河溪型態的分類

河溪種類	典型的特徵	主要河道穩定性問題
1. 山區洪流 (mountain torrents)，野溪	1. 陡坡(溪床)； 2. 礫石分布； 3. 跌水、滯流。	1. 河床淘刷，下切； 2. 土石流。
2. 沖積扇(alluvial fans)，山溝谷口	1. 複數的流路； 2. 粗顆粒的沉積。	1. 流路突然改變； 2. 淤積、堵塞。
3. 辮狀河道(braided rivers)	1. 交錯的流路； 2. 通常為粗粒料； 3. 高河床載。	1. 主河常遷移； 2. 淘刷與淤積，時空變化。
4. 乾河(Arroyos)	1. 非經常水流； 2. 寬、平之河道； 3. 突然有洪水； 4. 高泥砂量。	1. 河道型式及縱橫剖面； 2. 很容易急劇變化。
5. 蜿蜒河道(meandering rivers)	1. 河道方向交錯； 2. 平坦的河床坡度； 3. 寬廣的洪水平原。	1. 河岸沖蝕； 2. 蜿蜒遷移； 3. 淘刷與淤積，時空變化。
6. 治理過的河道(modified streams)	1. 過去實施渠道化； 2. 河道基準面變更。	1. 蜿蜒發展； 2. 刷深或淤積； 3. 河岸侵蝕。
7. 受調節(影響)的河道(regulated rivers)	1. 上游水庫、蓄水池； 2. 灌溉取水、分水； 3. 離槽水庫取水； 4. 水力發電分水。	1. 搬運能力降低； 2. 下游刷深； 3. 支流侵蝕基準面降低； 4. 支流匯流口淤積。
8. 三角洲(Deltas)	1. 複數渠道； 2. 細粒沉積。	1. 流路改變； 2. 沉積並不斷擴大延伸。
9. 失能河(underfit streams)，不適的河道	1. 平面型式，曲折(sinuous)； 2. 低平的坡度。	1. 蜿蜒遷移。
10. 粘質渠道	1. 不規則，特殊平面型式。	1. 多變不定。



圖 1 陳有蘭溪支流阿里不動溪匯入口

野溪最上游有許多變化，有些為高大山嶺的陡坡面，其溪床可能有大量的崩落淤積，提供了持續的土砂給中下游，如圖 2，陳有蘭溪支流的郡坑溪最源頭部分。有些野溪很短，如陳有蘭小支流-烏溪(如圖 3)在淺山地區，因地質關係，土石量亦豐富。因相鄰土地利用，可能發生土石流災害。



圖 2 郡坑溪最源頭的西轆大山



圖 3 陳有蘭溪下游的支流-烏溪源頭

野溪逐漸匯流後，河道漸形成較穩定，河床堆積面也漸寬，隨著地形蜿蜒，也開始有堆積與沖刷的發生，對河岸的土地利用產生威脅，有部分又受地層岩石露頭影響，在治理規劃上應注意，如圖 4，東埔蚋溪中游河道受露頭影響，在堆積區作堤防，容易引起不當的淘刷。

有些上游野溪完全是岩盤的河道，河床坡度大水流急而無淤積，只有經年累月的水蝕，形成 V 型的河谷，在廬山溫泉的源頭，塔羅灣溪中游段，如圖 5 所示，更上游的大量崩塌通過此河段，沒有停留，到了下游進入溫泉區，河道變緩造成大量淤積。



圖 4 東埔蚋溪的中游河道(河道界點下游)



圖 5 廬山溫泉的源頭，塔羅灣溪的岩盤河道

上游野溪遭遇到地質材料變化時，常會形成淤積，地圖上常見“石門”的名稱，通常是較堅硬的岩盤，切割出溪谷後，不易往下切及擴大，往往形成跌水或瀑布的峽谷地形，如圖 6，清水溪上游支流石鰻坑的石鰻峽谷，從上游看可見大量土石堆積，其間水路已發展蜿蜒下切的河相。野溪的源頭若為堅固的岩盤，可能形成瀑布，如圖 7，發源於羅娜山的陳有蘭溪支流蒼庫溪，最源頭為瀑布地形。



圖 6 清水溪支流的石鰻峽谷



圖 7 羅娜山為蒼庫溪的源頭瀑布地形

野溪源頭及其中上游，若地質條件不佳，常會造成崩落、土石流等下切活動，大小不均的塊石堆積在溪床水路，對土地利用及下游會有很大的威脅，需經適度的評估，要疏通溪床流路或固床阻擋，都會有後續的效應，如圖 8，東埔地區的溫泉源頭彩虹溪，大塊石堆積佔用河道嚴重，固床工容易造成土石溢流，而圖 9 則為陳有蘭溪左岸支流米蘿坑溪上游兩岸材料風化嚴重，防砂工程實施不易，下切行為又影響開發農地邊坡安全。



圖 8 東埔溫泉源頭的彩虹溪



圖 9 米蘿坑溪上游土石崩落

2.2 沖積扇

係發生在野溪流出山區谷道至較平緩的區域，通常為沉積的地貌，地表為粗顆粒材料，有複數個流路且流路常會變換，主要流路往往棲止(perched)於較高處，當沖積扇於其穩定時段，較少堆積發生，流路會下切早期的堆積物，其特徵很容易由空照或地形圖上辨識出來，如有森林覆蓋則不易分辨。

沖積扇較主要的問題在於治理河段或渠道化部分的上游地區變更了水流路，繞過了治理工程導致規劃的流槽為沉積物填充，所以上游的治理工程應有適當距離，對土石的沉積，如沉砂池等的設置應有足夠的考量，而對下游排洪的渠道應特別注意局部的地形變化，亦即地面高程的考量。

沖積扇存在於地形條件改變，土石持續的堆積，經年累月終至成扇狀，也因此形成山區中較平坦的地形，吸收人們至此安家立業，在台灣許多沖積扇地都發展成村落，尤其原住民部落的居住與開發利用地點。圖 10 大甲溪的佳陽沖積扇的地形非常明顯完整。



圖 10 大甲溪的佳陽沖積扇

在陳有蘭溪中游左(西)岸的筆石溪，見圖 11，範圍不大卻有著很大的沖積扇。依台灣地形一書所述，本區為台灣溪谷中切割沖積扇規模最大者，舊稱蘆竹湳(Rorona)，為本集水區內最主要原住民部落所在，有望鄉、久美、羅娜、新鄉等部落，主要溪流有最南邊的阿里不動，中間的蒼庫溪及較北的筆石溪，整體沖積扇堆積後又遭河流切割，形成了高程不同的高低位階的段丘，是極佳的居住與可開發地區，但應注意不要太靠近切割的邊緣，仍應注意避免過度開墾。



圖 11 陳有蘭溪的筆石段地形

換一個角度看，圖 12，可以看出其沖積扇及切割地形與對岸的高灘地，其高程不連續，顯示不同的堆積時期。沖積扇的形成與後續變化都受所匯入主流的相互影響。



圖 12 蘆竹溝切割沖積扇

沖積扇的堆積，隨其發展形式不同，危險程度也不同，有些地方土石平常無法搬運堆積，只有大洪水造成土石流形式的搬運與堆積，平常時河道則乾枯無水，這樣的條件下若有土地利用則應特別小心，如圖 13 所示，陳有蘭溪的一個支流-九層坑溪，沖積扇堵住匯流口，而河道轉了彎，只留小幅度河寬，排水可以，後續再有大量土石則可能再造成災害，沿著陳有蘭溪下游河段的各個支流，都有這樣的問題，包括二廊、三廊、豐丘等，治理工程的規劃應特別注意。

沖積扇若上游仍有大量土石來源，可視為現代仍持續發展淤積的沖積扇，這樣的條件下，土地利用及治理工作應特別小心，如阿里山溪上游的豐山村地區，見圖 14，三條野溪會合，淤積出了平坦的沖積扇，整個豐山村座落在扇狀地，上游後續的土石很難安全無害的通過，如何營造一個下切的河道，變成主要的課題。



圖 13 九層坑溪沖積扇



圖 14 豐山地區的三條野溪匯流的沖積扇

在東埔地區溫泉與休閒農業持續的擴張，最近開發許多農場選擇了較平坦的地區，整地開發興建民宿，座落在近期的土石流堆積區，這也是沖積扇的形式，如圖 15，潛藏著危機，如何警戒有待後續思考。

有些地區沖積扇堆積已發展出良好下切的河道，上游並不再存在有太多的土石來源，則沖積扇可作為良好的土地利用區，如圖 16，在陳有蘭溪下游左岸的一條野溪匯流口，很安定的土地利用及排水系統構成了很好的土地利用。治理規劃應朝這個方向進行。



圖 15 東埔地區新開發的溫泉民宿



圖 16 陳有蘭溪下游左岸的不知名野溪

921 地震後，中部地區許多山區土石鬆動，在後續幾次颱風暴雨侵襲，大量的土石持續向下移動，沿著主要河川的各個主流提供了非常大量的土石，沿著大甲溪許多河段淤高了數十公尺，松鶴與谷關地區都遭淹沒，尤其松鶴地區，見圖 17，原為松鶴一、二溪的沖積扇，後續土石因大甲溪主流淤高，無法宣洩，於民眾居住地造成溢流，發生很大的災害，後續治理仍應考慮採誘導河床下切的方式，較能避免後續的災害。



圖 17 阿邦溪與松鶴地區的空照圖

2.3 辮狀河道

辮狀河道可視為交錯渠道的網絡，其中有不安定的沙丘，及島的地形，通常存在於集水區的上游或上中游的區域，其河床質多為礫石或卵石，有時也會有砂質的河床，其河床質搬運程度高，多發生在洪水期間。穩定性問題包括在考慮輸砂狀況下能維持渠道穩定，避免改變過度干擾河床縱坡，故應有計畫斷面、計畫

河道、防止河道側向位移及沖蝕河岸等的考量。

以陳有蘭溪來看，主流大部分屬辮狀河道，實質會變，上游及各支流提供了大量的土石來源，辮狀河道沖刷淤積嚴重，各種治理工程尤應特別注意輸砂搬運的問題，由圖 18，上安堤防淹沒情況看來，河道被土石淤積，又水流攻擊對岸，崩落土石將河道擠壓，造成上安堤防溢堤，淹沒了許多農田，淤積的河段即顯現辮狀的河道。另外看圖 19，在曾文溪的上游段，受達邦三號橋位置整個山壁崩落，阻礙了河道形成過量的堆積，成了堰塞湖，其上游就發展出了辮狀河道，抬高了河床會造成上游兩岸的崩落，需加注意。



圖 18 陳有蘭溪上安堤防敏督利颱風後的淤積



圖 19 曾文溪最上游受達邦三號橋崩塌阻礙河道

在河道中上游地區，河道的形狀受地質與地形影響很大，在地質較堅硬的地方易形成峽谷，河道較窄，在地形較平坦之處則易形成淤積，功能如天然的沉砂池蓄積，沉砂量多且淤平，河床坡度變緩易形成辮狀的河道，如圖 20，力行產業道路下方的北港溪，平時即呈現辮狀河道的形態。當辮狀河道在稍具河床坡度或水流加大時，易發展成蜿蜒河道，主流路逐漸變大變深，蜿蜒流動對兩岸的威脅變大，在凹岸處攻擊河岸邊坡，如圖 21 所示，東埔地區的河道，凹岸邊坡崩落，而凸岸易形成堆積，常常被用來作土地利用的擴大，圖 22 中陳有蘭溪右岸的農富坪其坡趾受河道蜿蜒水流，尤其在大洪水時，威脅與破壞更大，不易作坡面與坡趾之處理，根本之道仍在誘導河床下切來解決問題。

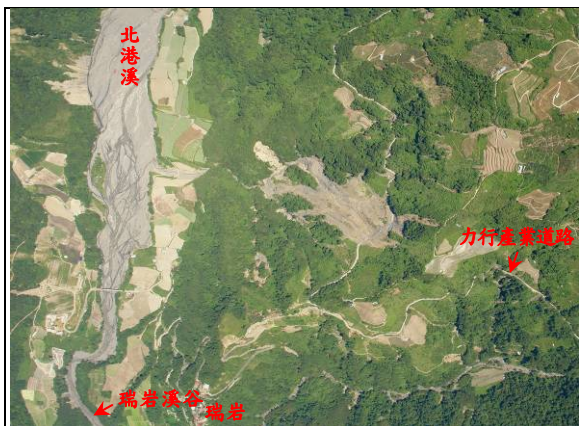


圖 20 烏溪支流-北港溪上游的辮狀河道



圖 21 東埔道路旁的陳有蘭溪上游段



圖 22 陳有蘭溪右岸的農富坪

當水庫淤砂發展到較全面時，淤砂段不再存有主流路，上游的水以漫地流的形式通過淤塞的土砂上方，亦會形成辮狀的河道，河道不再有輸砂搬運的能力，形成了一道超長的沉砂段，也一直向上游淤積發展，圖 23 為霧社水庫蓄水區入流段的現況，回淤的結果，大大的威脅上游的河道與土地的安全。



圖 23 霧社水庫淤積發展出辮狀的河道

2.4 乾河(arroyos)

通常指沙漠及乾燥地區，平常多為無水，但偶發的大雨時有大量洪水及泥沙流動，在台灣沒有這樣的氣候條件，但在頭嵙山層礫石堆積的野溪情況很像。這樣的渠道通常下切嚴重，部分河段會溢流產生災害，由於其泥沙量高，擴大河道、築堰及其他治理工程可能會造成大量的淤積問題。相關土地利用應注意避免野溪，如圖 24 為清水溪左岸林內鄉竹山鎮一帶頭嵙山層礫石堆積的乾枯野溪，土石堆積量大，下游應隨時注意土石流威脅。



圖 24 清水溪左岸林內鄉的小黃山礫石地形

頭嵙山礫石很著名的火燄山，也形成了很特殊的乾河的地形，從圖 25 遠眺來看，台地北面海的一邊較陡，面山東向則較緩傾，朝南因大安溪切割形成了火燄山的地形，陡坡面的溪床乾溝，下雨常伴隨大量土石崩落，土地利用應避開此地區。

受到古烏溪的上游帶來的岩塊、土壤等沉積物質，經由搬運與堆積的作用，在現今九九峰位置形成沖積扇，加上長時間堆積、擠壓，將地層內的礫石彼此膠結，逐漸地形成卵礫石岩層，這便是火炎山層地質構造，但此時仍是處於埋沒在地表之下，經過造山運動後，這些卵礫石構成的岩層得以露出地表。九九峰除了地質構造是火炎山層，還挾帶著香山砂岩與頁岩，後來長時間經歷雨水沖刷，將脆弱的頁岩沖蝕流失，成了現在看到黃山群起，諸峰挺立的火炎山景觀(如圖 26 所示)，九九峰與鄰近頭嵙山同屬頭嵙山層地質。



圖 25 大安溪畔的火燄山



圖 26 九九峰空照可見溪谷為乾溝

紅土礫石台地常因地表地下排水土壤易沖蝕流失，形成蝕溝，地表排水溝很容易失敗，如圖 27，在大肚山台地的某處衛生掩埋場周圍的排水路平時無水，卻很容易造成蝕溝。

台灣地區某些地形地質條件下，野溪在平時皆呈現乾枯的情況，而洪水時水量變大亦造成大量土石搬運移，如圖 28 所示之華山野溪，治理工程應注意。



圖 27 紅土礫石台地排水的下切作用



圖 28 華山野溪平時為乾溝

2.5 蜿蜒的沖積河道

通常發生在中下游河段，單一的流路形成曲折的平面形狀，通常在單側沖蝕河岸，另一側則逐漸堆積成洪水平原，河床質多為砂及礫石，在未經干擾的地區，可以很輕易的由不同時期的航照圖判釋出河道的變遷，也可以由地形變化看出舊的河道。

蜿蜒河道有許多穩定性及沉積的問題，洪水控制可能採用拉直河道(straightening)，修築護岸等來控制水流往往會改變河床質搬運的特性。蜿蜒河道對改變非常的敏感，即使是小小的改變都可能造成斷面、平面及坡度的改變，衍生各種問題，規劃中應考量過去河道的行為。對可能造成的影響預先有適當的評估與了解。

台灣主要河川的中下游大致皆呈蜿蜒河道，人口較密集的地區則多有治理工程，依現有蜿蜒線型兩岸做成護岸，大致良好，如圖 29，大里溪的治理，蜿蜒河道得以控制。



圖 29 烏溪支流-大里溪的蜿蜒河道

蜿蜒的河段持續穩定堆積與搬運，往往形成砂洲，久而久之，開發成可用的土地，台灣很多地名，包括溪洲、溪埧等都是蜿蜒河道淤積出低窪地，如圖 30 濁水溪中游段名竹大橋附近的低窪地，也屬易淹水地區，超過某頻率年的洪水可能會淹沒，堤防工程應考量土石搬運堆積可能阻礙規劃的河道，造成排洪斷面不足。



圖 30 濁水溪中游段名竹大橋

集水區上游的流路亦會呈現蜿蜒，通常與中下游的蜿蜒形成機制不同，中下游蜿蜒為在沖積材料上水流能量平衡消散呈現流水時蜿蜒，上游的流路多因為地形與地質的限制，隨地質較弱的地方切割而形成，所以在集水區的最上游若地質材料較堅硬，則可見多方不規則的彎曲，如圖 31 所示，濁水溪上游段的萬大溪支流，流路曲折迴轉，並有下切與淤積等並存。



圖 31 濁水溪上游支流-萬大溪河道蜿蜒

上游河道蜿蜒在洪水時會對兩岸，尤其是凹岸造成攻擊，往往侵蝕坡趾造成崩塌，落下的土石又可能壓迫河道，造成流路改變，河道可能取直，破壞了原為凹岸有土地利用的區域，如圖 32 中所見八掌溪上游河道的變化，這在台灣地區上游集水區的野溪中是常見的災害。



圖 32 八掌溪上游河道蜿蜒

集水區上游蜿蜒的河道，通常是在大量土石堆積後淤高的河道內，水流向變得蜿蜒，如圖 33 中和社溪在敏督利颱風、72 水災過後，大量河道堆積的土石，讓流路變得非常寬廣，後續的平時水流會呈現蜿蜒來加速搬運土石，救災與治理工作應考慮此。圖 34 的陳有蘭溪主流與十八重溪匯流口亦同，河流蜿蜒規則明顯。



圖 33 和社溪在敏督利颱風過後河道的淤積



圖 34 陳有蘭溪與支流十八重溪匯流口

河道淤高後，後續的洪水轉往兩岸攻擊，水流無法下切時會產生側蝕的現象，在蜿蜒的部分一直攻擊凹岸，可能造成邊坡崩落，又產生新的土砂量，在圖 35 的米蘿坑野溪淤積的河道蜿蜒流路很明顯。在圖 36 的石鼓盤溪則因道路緊臨淤積的河床，受到很大的威脅。



圖 35 陳有蘭溪下游左岸支流-米蘿坑野溪



圖 36 阿里山溪支流-石鼓盤溪河道淤高

2.6 治理過的河道

過去許多地區為了增加土地利用對許多河道施行治理工程，讓河道已不具有天然水路的情勢。通常見到的是拉直或拓寬河道來作排洪工程，如果經過了幾拾年，可能已無法了解其間的改變，另一種為影響為洪水控制或蓄水構造物，造成了支流侵蝕基準的改變。這在台灣非常的普遍，許多不當治理留下的問題，在待後續治理，也應加強檢討，不再犯相同的錯誤。

溪流通過高度開發區時，應特別注意其河道治理的工作，一般而言，土地利用常選擇平坦、低窪、臨近水路的土地，常發生無法安全排水的問題，尤其在主支流匯流的地方，常需控制高程及加大河道來避免問題，圖 37 中，水里溪通過水里人口密集的地區即施以完善的河道治理，安全的匯流至濁水溪主流。



圖 37 濁水溪支流-水里溪的匯流口

上游野溪的治理，最重要的在其流路與高程的控制和土石運移的調整，台灣過去的治理工程中，常會過度壓縮水路，佔用了土石堆積、沉砂的位置，或設置護岸、興建道路等，引發很多後續的問題，如圖 38 中東埔溫泉的彩虹溪，流路內崩落土石散布，硬是以護岸方式修築道路，留下後續可能發生災害的點

位。有些野溪土石堆積區，經年開發為農業用地，甚或住宅區，這有如沖積扇狀地一樣，對其河道治理應特別注意，在有高度土地利用區域的上游，應有完全控制土砂運移之機制，在通過土地利用區的溪床則應控制其高程，不允許下切造成兩側的不穩定，也不可發生淤積造成淹水泛濫。如圖 39 所示，華山野溪的治理。



圖 38 東埔溫泉源頭的彩虹溪



圖 39 華山野溪的河道治理

治理過的河道仍需檢討其河道變遷，在上游野溪中，土石搬運與河床高程是最重要需掌握的部分，過度的淤積造成容易溢流，兩側土地流失，過度下切易造成兩岸崩落，後續災害不斷，如圖 40 中所示，水里溪上游的東光野溪，因過去的治理工程抬高了河床，淤積滿了後，兩岸即發生災害。各種治理的構造物，尤其應考慮其淤砂坡度與土石量，如圖 41 在玉崙溪上的野溪治理工程，設置的梳子式防砂壩，經過數年沒有土砂淤積，按其高程可能造成很多農地的淹沒，在調查規劃時應詳加考慮。



圖 40 水里溪上游的東光野溪



圖 41 玉崙溪通往潭南的野溪治理

有些治理過的河道，野溪可能仍存在大量堆積不安定的土石，然後仍可能再有土石流的發生。在檢討集水區上游的河道安定時應特別的注意，尤其在特別大量開發土地利用時，常會把土石堆積區開發作為可利用的土地，長期具有危險性，如圖 42 為苗栗汶水溪上游，河道治理部分河岸開發為停車場，在圖 43，更上游靠近泰安溫泉區河床內設置連絡道路，均要小心。



圖 42 苗栗汶水溪的河道治理工程



圖 43 苗栗泰安溫泉的河道淤積嚴重

在高度開發的地區應特別注意其河道的演變，尤其土地利用的增加會造成水文環境的改變，其洪峰加大、集流時間變短等效應，應有相關的調查研究來進行了解，圖 44 所示為台北市政府在北投地區所設置的溪流水文環境監測站，包括量測其降雨水文歷線、地下水水位變化等。

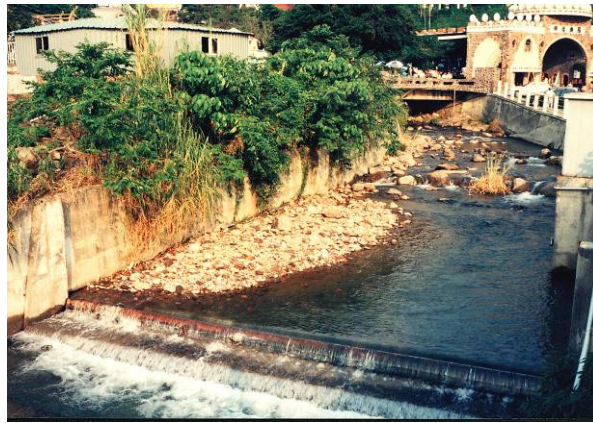


圖 44 台北近郊的清礮溪

2.7 受調節影響的河道

通常指河道中的水流因河道的工程設施造成洪峰降低，但低水流量變大的情況，如上游蓄水設施造成。這樣的河道通常會喪失其地貌演變的營力，其河道寬可能減少，沉積增加，且有植生入侵，如上游原有高的輸砂量，則蓄水設施可能造成輸砂阻斷，下游河道坡降可能會改變，所以河道的調節設施會造成許多複雜的穩定性的影響，實施時應特別注意過去的特性及調節的形式與程度。

在台灣地區水資源的利用程度相當高，水庫、水力發電、離槽水庫等幾乎可開發的水資源均已開發，對河道的演變會造成長遠的影響，應詳加檢討與深入追蹤，以大安溪上游的士林壩或稱攔河壩來看，由圖 45 中可見其下游河道淤積嚴重，水被攔截後，減低了沖蝕泥砂搬運的力量，其下游遭遇支流有大量土石來源則易衍生問題，緊臨壩址下游有雪山坑野溪，在 921 地震後有大量土石堆積，支流因主流淤積，泥砂無法往下帶，一路回淤了十數公尺，威脅到了住在雪山坑高灘地的桃山部落。



圖 45 大安溪上游的士林埧

濁水溪的中游地區為了有效利用水資源，統籌下游灌溉用水取水口，設置了集集攔河堰，阻斷了濁水溪的河道，為了調節水資源運用，卻也阻斷了泥沙的運移，從圖 46 可以看到在攔河堰上游大量的土砂淤積，只留出深槽能有搬運能力，土砂回淤情況讓上游兩岸的保護不易，而從圖 47 及圖 48 可以看到上游土砂被淤積沉澱後，下游河道不斷的刷深造成濁水溪下游各橋樑呈現基礎裸露及河岸流失現象嚴重。



圖 46 集集攔河堰造成的淤砂



圖 47 濁水溪下游中沙大橋裸露的橋墩



圖 48 濁水溪下游西螺大橋河岸的切蝕

在受水利設施影響河道最顯著的，可以用霧社水庫對濁水溪最上游河段來看，霧社水庫在興建完成後，不斷的淤積作用造成上游河道的回淤，目前的情況可見圖 49，回淤確實嚴重，但從泥沙觀點來看，回淤造成了堵塞，後續泥

沙反而不容易進入水庫蓄水範圍。回淤的情況逐漸的擴大其影響範圍，如圖 50 所示為水庫上游約 3 公里處的德魯灣橋近年來不斷發生溢流橋面，對地區造成很大的影響，雖然經過不斷的疏濬，上游持續來的泥沙在近年來更擴大回淤的範圍，已影響到了塔羅灣溪更上游的廬山溫泉區，河道每逢大雨大量的泥沙堵塞河道，十分危險，嚴重影響溫泉區的發展與維持，如圖 51 及圖 52 中所示。



圖 49 霧社水庫的回淤情況嚴重



圖 50 霧社水庫上游塔羅灣溪的德魯灣橋



圖 51 塔羅灣溪上游，廬山溫泉區的溫泉橋



圖 52 廬山溫泉橋往上游看河道的淤積

在大甲溪的情況也很嚴重，自德基一路下來許多的水力設施也切斷了大甲溪正常的河相演變，自谷關以下，天輪、新天輪等發電廠的攔河堰取水口，阻斷了輸砂運行，沿線的支流，在 921 地震後大量的土砂無法搬運，將大甲溪河道淤高數十公尺，連帶的使各支流土砂無法匯入，在松鶴即造成土砂堵塞溢流淹沒部落的嚴重災害，如圖 53 中可見土石流淤積的情況。

同樣的大甲溪的回淤也一路淹沒了谷關溫泉區，原有之吊橋為泥砂埋沒，較低處的民間設施也慘遭滅頂，如圖 54 中所示，河道淤高亦造成水流的阻礙，產生側面侵蝕造成如圖 55 所示邊坡的崩壞，圖中台 8 線往上谷關的明隧道路基流失造成交通的中斷。

從空中照片可以看到相關位置，如圖 56，自馬鞍埧的回淤，大甲溪一路淤高了數十公尺，影響上游地區，雖然大水過後深槽線仍存在，但洪水最大時泥砂一路影響沿線的安定，兩岸的邊坡還有支流匯入的影響。



圖 53 松鶴部落的土石流災害



圖 54 谷關地區淤砂嚴重



圖 55 谷關往上谷關的明隧道下邊坡崩塌嚴重



圖 56 谷關地區大甲溪淤積的空照

2.8 三角洲

三角洲與沖積扇類似，但生成於河道流入靜止水體，而其泥沙產生沉積，在自然狀況下，多形成一系列的分支，其河床面逐漸上升，而三角洲亦向水面逐漸擴大，在其間所設置的洪水控制的堤防可能需要隨時間增加其高度，尤其在人工整流成單一河道時，而在其流入前的上游可能發生溢流洪泛，應特別注意。這是水患治理計畫，下游易淹水常需面對的部分，與上游集水區較無關係。圖 57 為濁水溪的入海口，有很多養殖利用。圖 58 為美國紐奧良市，位於北美洲最大的長河，密西西比河的出海口，原為濕地三角洲，開發為城市後，利用堤防工程擋水，在 2006 年的卡翠娜風災，大量堤防損毀，整個低窪地區淹水數十天，搶救工作非常困難。



圖 57 濁水溪的入海口



圖 58 紐奧良市位於密西西比河入海口

2.9 失能河(underfit streams)

在冰河發生過的地區容易生成，通常形成小斷面而蜿蜒的河道，但有較大的河谷寬，原為冰河末期冰河流通的部分，河谷的坡度可能很小，失能河通常流速小，相對安定，兩岸植生良好。

失能河也可能發生在廢棄的河道，興建堤防或水庫的情形，通常失能河可重新定線整流，不易發生過大的穩定性問題，但仍應經過評估。野溪興建農塘，不論在槽或離槽，均會造成下游河道失能，如圖 59 所示。在水庫蓄水區的下流也會因水庫調節，造成下游河道淤積，如圖 60，武界水庫取水下游河道淤積寬闊。



圖 59 農塘工程截斷河道自然排水



圖 60 武界水庫下游的武界部落

2.10 粘質材料的河道

在冰河地區的冰積土平原，海岸附近的堆積，湖泊的堆積等地方可能出現粘質材料的河道，其平面形狀可能高度不規則，其間若出現規則的蜿蜒可能是接觸到沖積的渠道，在粘土質也可能出現均勻、寬、平河床的蜿蜒，其外觀與沖積材料的蜿蜒有所不同，粘質材料的河道，穩定性通常較低，但變異性亦大。這亦屬於下游的河段，在台灣沖積扇平原仍多粉砂質，只有湖泊的堆積才有較多的粘質材料。

三、集水區上游的土砂管理

台灣地狹人稠，用了太多地形地質條件不佳、天然風險過高的地區，近年來經歷了許多令人民難以忍受的災害，在八年水患特別預算，應該強調一個很重要的觀念，就是整體配套的做法，從上游集水區的水土保持、治山防災工作到中下游河道整理疏濬，到進入都市計畫區的雨水下水道工程等，整體配套。過去受政府組織規程所限，高山地區的林班地，由林務局主管；山坡地則由水土保持局及其前身山地農牧局管理，到了平原地區則有各地方政府管轄，中下游河道的防洪工程則為水利署及其前身水利局與水利處負責，各司其職。但早期政府為經濟發展，林務局延續日據時代政策採較積極的林業政策，雖有各種人工造林，樹木成長不足砍伐的速度；山地農牧局也以開發山坡地作為農牧用地使用，積極協助農民，順利的達成居民改善生活厚實國力的目標，讓台灣可以維持相當的經濟發展，並為今日的工業化，立下了基礎，但是台灣的生存環境產生了質變。

近十餘年來，伴隨著台灣經濟的成長，產官學各界也開始的檢討與反省，我們所居住的土地是否遭受過度的使用，在各界關心環境保護人士的強力催促下，政府的政策有了極大的改變，首先就是林務局改變了過去的林業政策，台灣的山

林不再視為可生財的產業，不再伐木，加強造林，以維持高山地區的安定，山地農牧局也改制為水土保持局，依立法院所通過的水土保持法積極推動坡地水土保持作業與集水區的整體經營管理，在整體的工商發展上，成立了環保署，並依環評法積極管理整體環境，務不再讓開發利用過度消耗我們的生存環境。

上游集水區為整體流域中下游的水與土石的來源，水資源及土石來源皆有賴上游集水區的經營管理。良好的水土保持作業可以讓集水區的降雨變成涵養的水源細水長流，否則洪水狂流，中下游負擔不了，致造成水害。同樣的土地管理不當，崩塌造成土石流或大量輸砂，亦對中下游造成負擔，助長水患。所以上游集水區的整體調查規劃應從整理現況到調查及評定，找出本集水區的問題所在，並據以擬定對策及實施方法，依需要編定管理計畫及治理計畫，由權責單位據以實施。而清疏作業的需求與工作內容的擬定，應按整體治理的需求項下來訂定。

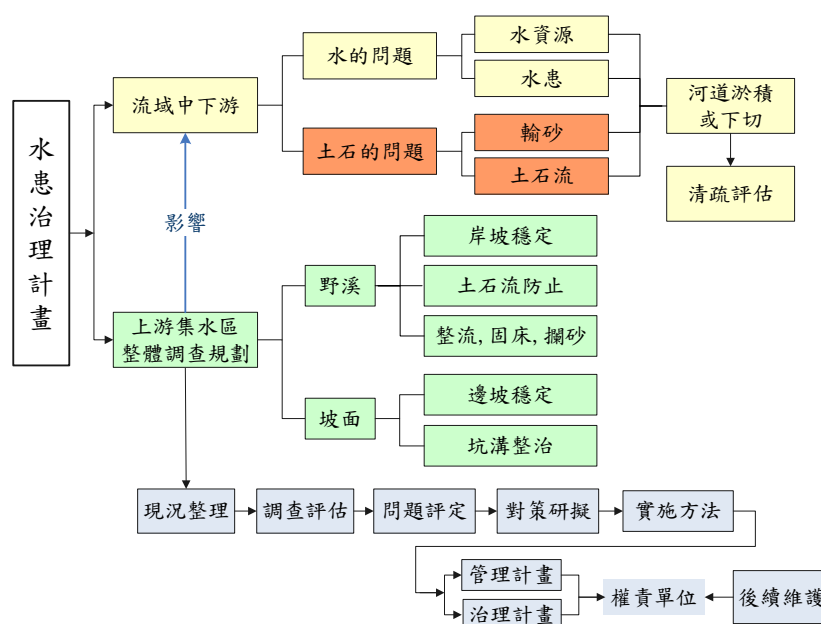


圖 61 集水區經營管理流程圖

四、清疏對野溪土石運移的影響

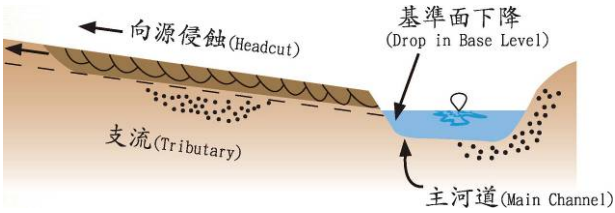
實施野溪清疏作業會造成區域環境水土保持的影響，尤其野溪河道土石的運移是必然的結果，不管是搬運、淤積、溢流或淘刷造成河工構造的損毀，均可能造成災害，因此清疏作業對野溪土石運移的影響，提出有效的施行調查與評估，並進而提供檢討清疏作業實施的方法為目前最主要的課題。

1.河道地貌的演變

下切的河道，包括蝕溝的成長及河流的沖蝕都屬於整體排水網路的不安定，其啟動為地質上的所謂回春作用(rejuvenation)，會在排水系統發生一連串的反應與變化。Simons and Senturk (1976)總結了兩個圖表(見圖62及圖63)，說明河道下切與截彎取直可能發生的效應，對整體沖積系統(fluvial system)的許多部分均會造成影響，如Keller (1975, 1976)及Nunnally and Keller(1979)文中所述。

由相關地貌學的文獻中顯示，回春作用造成的反應相當的複雜，下切作用會連帶的發生淤積的後果。不穩定的河道會造成上、下游段的不連續，包括排水與

輸砂，尤其是短時間內的反應相當複雜，但地貌學的研究結果顯示其較長時間的調整方向是可預期的。



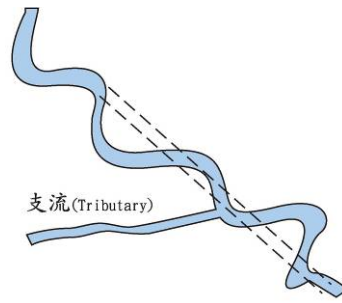
局部的效應 (Local Effects)	上游的效應 (Upstream Effects)	下游的效應 (Downstream Effects)
1.向源侵蝕 (Headcutting)	1.增加流速 (Increased velocity)	1.增加輸砂入主河道 (Increased transport to main channel)
2.一般性淘刷 (General scour)	2.增加輸砂 (Increased material transport)	2.淤積 (Aggradation)
3.局部的淘刷 (Local scour)	3.不穩定的河床 (Unstable channel)	3.提高洪水量 (Increased flood stage)
4.河岸的不穩定 (Bank instability)	4.可能改變河道形態 (Possible change of form of river)	4.可能改變河道形態 (Possible change of form of river)
5.高流速 (High velocities)		

(from Simons and Senturk, 1977)

圖62 降低支流基準面的可能效應

總結：當河道特性改變時，會進入河段演變的過程包括：

- (1)河道深會先增加後減少；
- (2)河道頂寬會增加；
- (3)河道深寬比(F)會增加；
- (4)河段內河床質會增加；
- (5)河道坡度會降低；
- (6)單位河流力(stream power)會減少；
- (7)滿槽流量時的平均流速會降低。



局部的效應 (Local Effects)	上游的效應 (Upstream Effects)	下游的效應 (Downstream Effects)
1.較陡的河道(Steeper slope) 2.較高的流速(Higher velocity) 3.較大的輸砂 (Increased transport) 4.刷深並向源侵蝕(Degradation and possible headcutting) 5.河岸不穩定(Banks unstable) 6.河道編狀化(River may braid) 7.支流下切 (Degradation in tributary)	1.(同局部的效應)	1.下游淤積 (Deposition downstream of straightened channel) 2.洪水位提高(Increased flood stage) 3.排洪能力降低(Loss of channel capacity)

(from Simons and Senturk, 1977)

圖63 截彎取直的可能效應

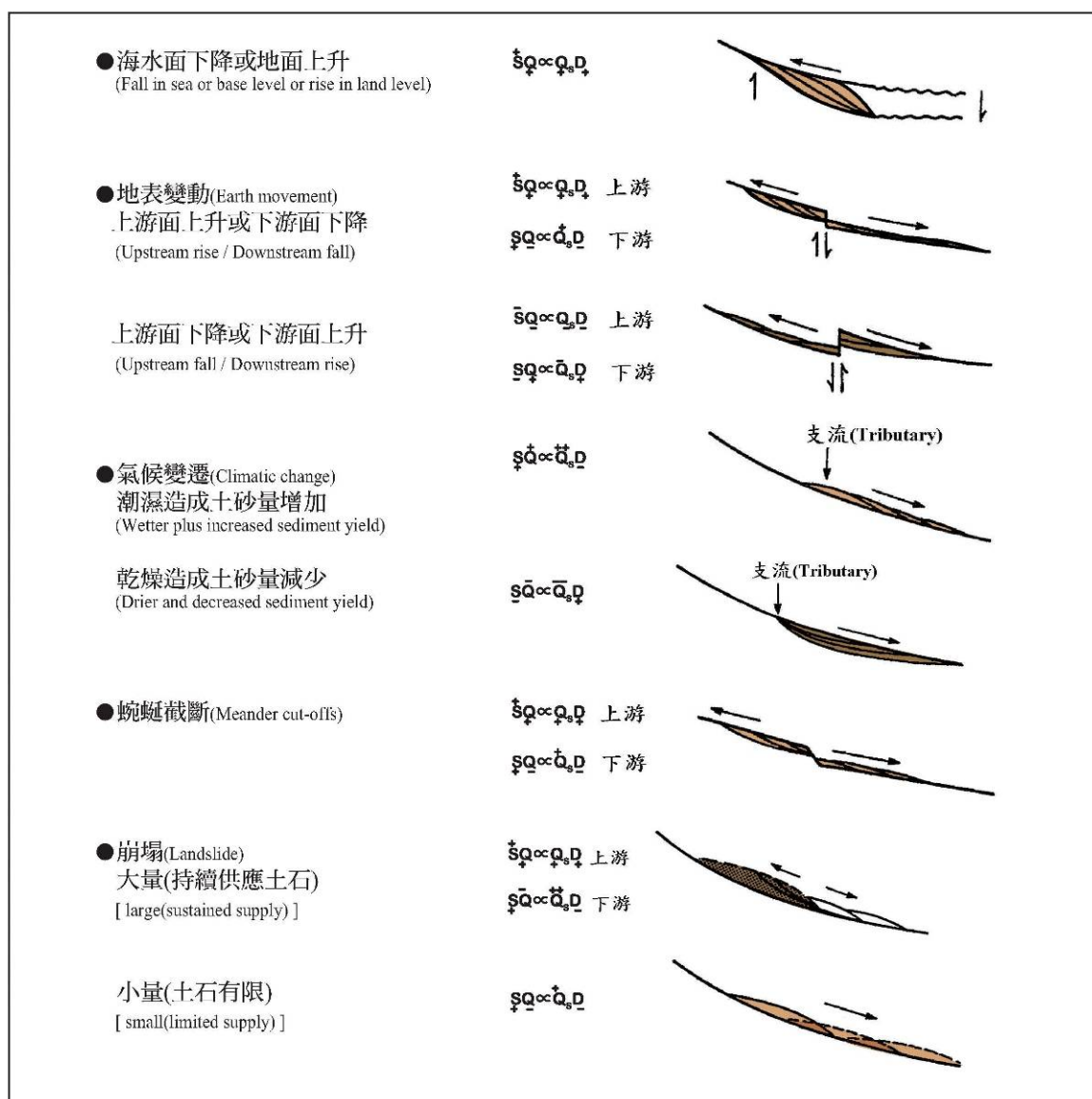
4.2 河道安定性的評估作業

河谷的寬度與河床的坡度比值可以用來評估河段的安定性。向源侵蝕的發生與河床的坡度也有關係。

影響河道反應的快慢因子包括：河道的流量、輸砂量、河床與河岸的穩定性、支流對河床坡度等。較陡的河床通常反應會較快，當整體排水系統輸砂較多時，河岸的穩定性通常較差，河岸沖蝕會較快速，若輸砂為粉土及粘土質則相反會較為穩定。

大部分的河道，當達到其臨界河寬時，沉積及植生開始侵入，這時，河道加寬及加深作用減緩，可以用穩定方法來治理，但加寬會影響相鄰土地的使用。當河岸壁傾斜成坡面，上方植生良好，顯示河道相當穩定，一個地區穩定河道的特性通常可由相同氣候及地質條件的區域統計調查評估得到。

自然變化(NATURAL)

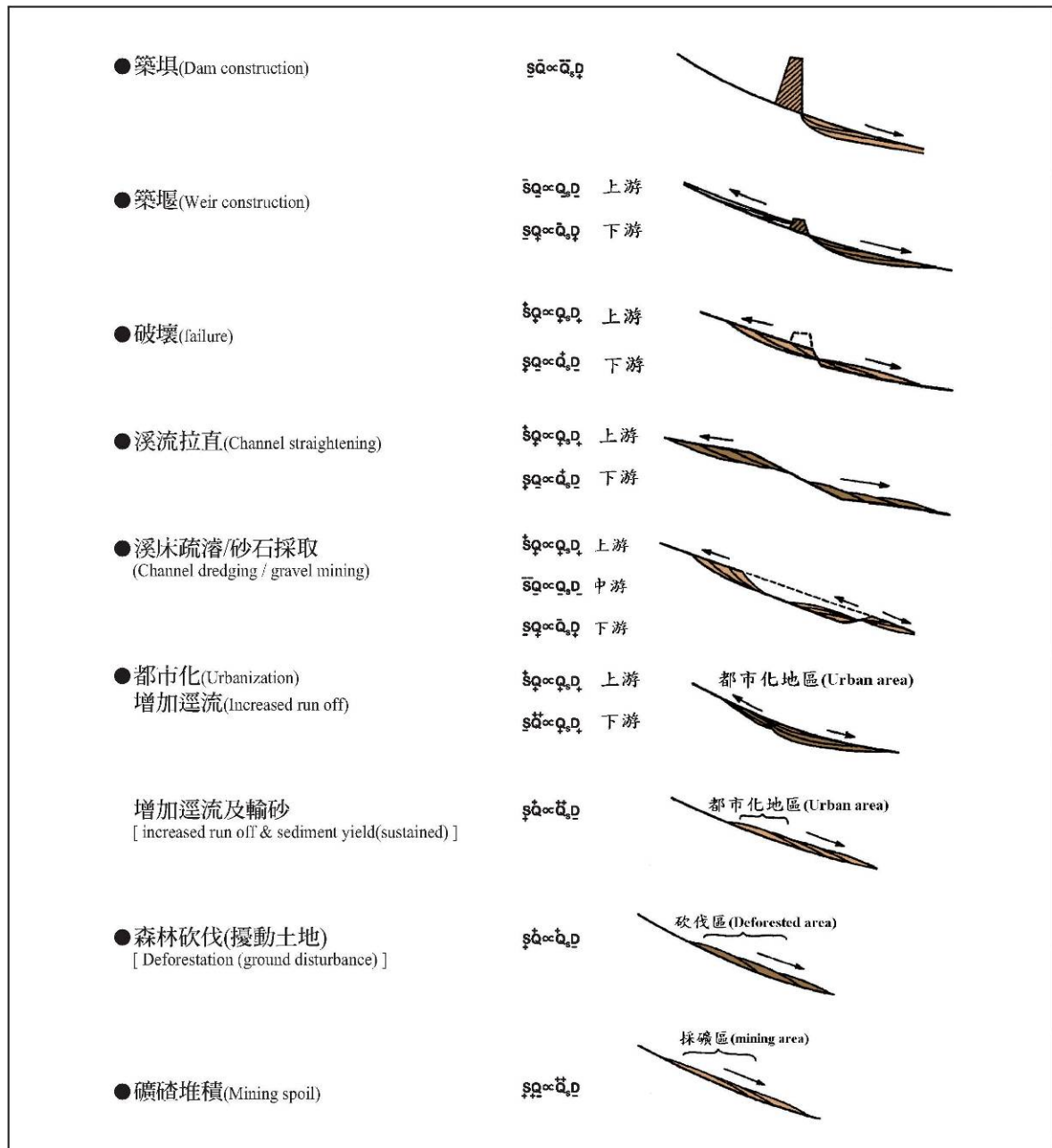


公式中符號S為坡度，Q為流量， Q_s 為土石搬運量，D為河床質地表粒徑，上方的正負號代表控制因子，標於下方的符號代表反應，正負號本身則表示增加或減少

(from Hey and Heritage, 1993)

圖64 溪床受土石供應或輸送能力改變造成的影響

人為影響(ARTIFICIAL)



公式中符號S為坡度，Q為流量， Q_s 為土石搬運量，D為河床質地表面粒徑，上方的正負號代表控制因子，標於下方的符號代表反應，正負號本身則表示增加或減少

(from Hey and Heritage, 1993)

圖64(續) 溪床受土石供應或輸送能力改變造成的影響

4.3 現地評估作業

河道或野溪不穩定的跡象可經由現地觀察河道的現況加以研判其可能形成的原因並推測未來之發展(如表2所示)，研判的結果可以供治理對策的擬定，淤積的河段需要清疏作業，下切的河床則需要固床來保護。

表2 河道與野溪不穩定現象與可能原因

現 地 現 象	可 能 原 因
1.河岸保護設施或橋樑基礎淘空	河床下切，過度疏濬
2.結構物淹埋，橋底通水斷面不足	淤積
3.河道兩岸淘刷	河床下切，設計不良
a.無河中淤砂	
b.有河中淤砂	淤積
4.河道堵塞，側面受縮，植生入侵，流量變小，成瓣狀流 (變淺，細河床質，梯度變小)	淤積(aggradation)
5.河道變大，流量變大 (變深，粗河床質，梯度變大)	河床下切，且側向沖蝕
6.河岸沖蝕擴大，在蜿蜒河段有部分淤積	刷深(Degradation)

清疏作業之重點在於恢復野溪之安全排水及自然土砂搬運能力，挖築深槽複式斷面是最簡易可達成的方式。

全野溪自下游踏勘至所有的可能土砂來源，逐步編定計畫進行清疏作業。其中並應注意，清疏的量不同於崩塌堆積的土砂量，重點在營造成適當高程的深槽，則相鄰土地可得安全保護，低窪地往上填築或多餘土方運走則視現地情況而定。

複式斷面中，河道所需寬度可初步以 50 年洪水頻率安全範圍來考量，並逐步就地形特性營造出範圍外的河階地與範圍內的灘地及深槽。

深槽為必要的緊急清疏處理的第一步，在河道形成堵塞時，依現地現況，挖出疏通水流的通道，就現地可作業的條件下，逐步挖深挖大深槽，目標可以兩年重現期的通洪斷面實施。