

# 順應河相之治理措施規劃

楊佳寧

中興工程顧問股份有限公司 組長/正工程師

## 摘要

河道內治理措施需考量河川能量狀況，及河道內的自然消能機制，方能達到事半功倍之效，兼顧河防安全與環境生態、文化景觀等多重價值。本文從河相學觀點出發，依據台灣河川類群及地形分段概念，說明堤防、丁壩、護岸、橫向構造物、疏濬等各項治理措施的區位原則、常見工程課題、順應河相之規劃原則，並為此五種治理措施提出決策流程，供規劃者參考。河道內工程改善有其極限，若河川空間已嚴重不足，需探討非工程方案，故各項工程措施的決策流程中，亦納入治理規劃所涉及的數種非工程方案。

## 一、前言：從河相學看河川治理規劃

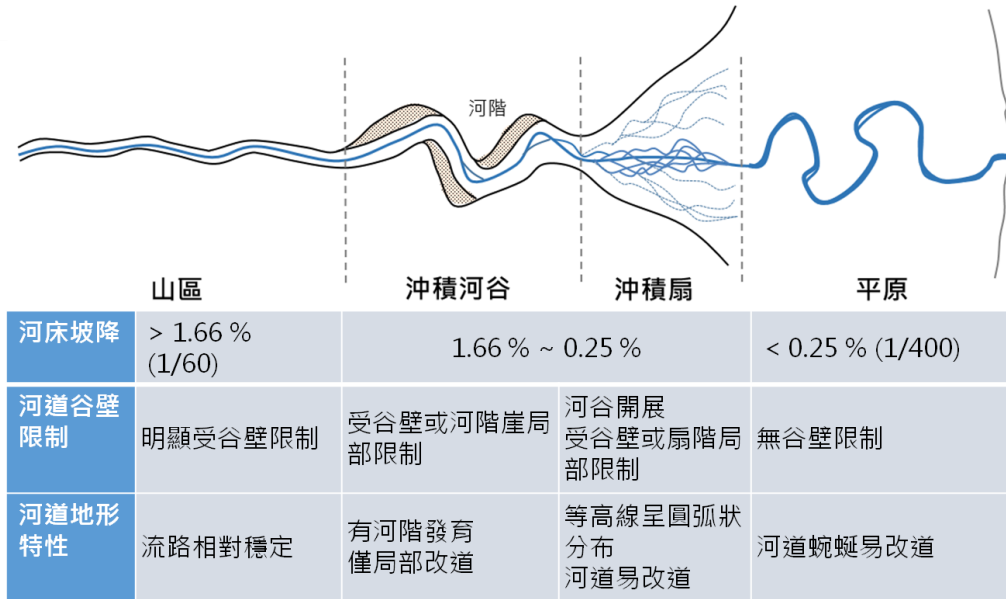
河相學(fluvial geomorphology，又譯為河流地形學)為地理學之分支，係基於自然營力，描述河川不同尺度的形貌生成與變動機制的一門學問。配合國土計畫的實施，河川治理與管理的手法與工具都有必要更新，以使河川空間能在最少量的工程介入下，兼顧河防安全與環境生態、文化景觀等多重價值。

國內過往已累積多項對河川形態的考察，在國外，結合河相學與治理防災的研究與應用近年更是蓬勃發展。本文參採國內外過往成果，發展順應河相之河道內工程規劃原則，期能進一步連結至治理規劃的實務工作。

本文探討之河道內治理措施包含四種用以限制或引導河川的人工構造物(堤防、護岸、丁壩、固床工)及一種管理作為(疏濬)。在進入主題之前，先簡要介紹掌握河川個性所需之基本概念：地形分段、流域區、河川類群。

### (一) 地形分段

地形分段是掌握一條河川縱向特性改變的重要依據。綜合考量河床坡降、谷壁受限情況、河道平面形態、河道穩定性、等高線形態、地質組成等因素，可將中央管河川主流自界點至出海口縱向分為山區、沖積河谷、沖積扇、平原等四種分段。地形分段的基本原則如圖 1。



資料來源：水利署水規所(2019)

圖 1 河川地形分段類別與基本原則

## (二) 流域區

在自然水砂營力影響下，鄰近的河川流域有相似的地形、地質、水文條件。這些相鄰的流域可合併成「流域區」(river basin district)。依此原則將台灣本島劃分為 13 個流域區，各區的河川流溪具有相似的地形、地質、水文條件，故多具有相似的形態與個性(圖 2)。

## (三) 河川類群

台灣河川依據河流地形發育之狀況(河道平面型態、沖積扇發達程度、土砂量大小等)，可進一步歸納為四個河川類群：平原曲流、獨立溪流、瓣狀河與失能河(表 1)。表中「大」係指該流域區內之主要



資料來源：水利署水規所(2019)

圖 2 台灣河川之流域區劃分

河川、「小」則為小型河川，加底線者為中央管河川。中央管河川皆屬平原曲流以及辮狀河類群，獨立溪流與失能河則均為小型河川或野溪。

表 1 台灣河川流域區及類群特色

類群	流域區	代表河溪	特色簡述
一、平原曲流	2：台北盆地 4：竹苗丘陵(小) 6：嘉南平原	→ <u>新店溪</u> 、 <u>基隆河</u> → <u>客雅溪</u> → <u>曾文溪</u> 、 <u>急水溪</u>	地勢平緩，自河谷至平原皆為蜿蜒曲流，沖積扇不發達。
二、獨立溪流	1：大屯火山群 8：恆春半島(小) 10：海岸山脈 13：東北角丘陵	→ <u>八連溪</u> → <u>港口溪</u> → <u>豐濱溪</u> → <u>大溪溪</u>	小型河川，獨流入海或河川主流，沖積扇不發達，土砂量較小。
三、辮狀河	4：竹苗丘陵(大) 5：台中盆地周邊(大) 7：屏東平原 8：恆春半島(大) 9：花東縱谷 11：蘇花海岸 12：蘭陽平原(大)	→ <u>頭前溪</u> 、 <u>後龍溪</u> → <u>大甲溪</u> 、 <u>濁水溪</u> → <u>高屏溪</u> → <u>四重溪</u> → <u>卑南溪</u> 、 <u>花蓮溪</u> → <u>和平溪</u> → <u>蘭陽溪</u>	土砂生產量大，沖積扇發達，氾濫平原狹小，至平原仍為辮狀。
四、失能河	3：林口桃園台地 5：台中盆地周邊(小)	→ <u>南崁溪</u> 、 <u>老街溪</u> → <u>新虎尾溪</u>	因襲奪、改道而失去山區能量源，具古沖積扇地形，土砂量小。

資料來源：水利署水規所(2019)

## 二、河道內工程的區位原則

堤防、丁壩、護岸、固床工、疏浚等河道內工程應考量不同類群或地形分段的河川能量狀況，及河道內的自然消能機制，並依此決定適宜施做的區位。

### (一) 平原曲流

#### 1. 山區

平原曲流及其他類型的河川，在山區都不適合設置堤防或護岸。山區河道的流速大，谷壁的露岩是主要的消能機制。倘若在山區施做堤防或護岸這類連續構造物，在洪水中會面臨強大剪力或負壓，經常破損。丁壩及固床工非與水流平行，若設計得當，在山區可發揮消能及控制流心的功能，提供局部的保護效果。疏濬需要交通可及、可於河道內作業，故原則上不適合任何類型的山區。

## 2. 沖積河谷

平原曲流的沖積河谷部分受谷壁限制，在河谷展寬近出山口處，可能已有保護需求，可依河相原則施做少量堤防、護岸、固床工，並在河道遭大量土砂埋積之際適度疏濬。若河階上有聚落，通常可於外彎道之河階崖下設置丁壩保護。

## 3. 平原

在缺乏天然骨架侷束的平原地區，若沒有堤防，整個氾濫平原都難以為人類利用。丁壩可繼續發揮攻擊岸挑流、導流的功能，控制局部水勢。護岸可在水流方向不定，不適合丁壩的地點發揮防護效果。疏濬亦可作為維持平原河道通洪斷面的臨時應急手段，但不適合作為常態管理工具。

	山區	沖積河谷	平原
堤防	×	△	○
丁壩	△	○	○
護岸	×	△	△
固床工	△	△	△
疏濬	×	△	△

○ 原則合適    △ 少量合適    × 原則不合適

圖 3 平原曲流的河道內工程施作區位

橫阻河道的固床工，在平原地區需特別留意對河相、砂洲形態的影響，若設計得當不阻斷水流，尚有可行之處。

## (二) 獨立溪流

### 1. 山區

同類群一平原曲流的山區。

### 2. 沖積河谷

獨立溪流的沖積河谷尚受谷壁限制，就算有河階發育規模也較小，一般而言沒有施做堤防護岸的必要，若施做風險也高。此外，獨立溪流的豐枯差異較小，土砂量較低，較少有大型土砂事件而需要疏濬。丁壩可提供局部河岸保護，固床工可安定河床，較為可行。

	山區	沖積河谷
堤防	×	×
丁壩	△	△
護岸	×	×
固床工	△	△
疏濬	×	×

○ 原則合適    △ 少量合適    × 原則不合適

圖 4 獨立溪流的河道內工程施作區位

## (三) 辮狀河

### 1. 山區

類群三瓣狀河的山區受谷壁限制，河川能量往往比類群一、二之山區更大，不適合興建堤防與護岸，亦因交通不便，原則上不適合疏濬。瓣狀河更因地質破碎、產砂量大，使得河谷埋積旺盛，若施做丁壩、固床工易被掩埋，或因基礎逐漸沖刷而損壞、失去功能。可以說，對類群三山區河道的最佳策略，是迴避與自然復育。

壩、固床工易被掩埋，或因基礎逐漸沖刷而損壞、失去功能。可以說，對類群三山區河道的最佳策略，是迴避與自然復育。

### 2. 沖積河谷

類型三的沖積河谷局部受谷壁或河階崖限制，但通常已呈瓣狀，流心不定。此類河道不適合施做堤防，但可在必要之河階崖下，以護岸或丁壩局部保護河岸。此類沖積河谷流功大且埋積旺盛，固床工極易受損，不適合施做，但可能有適合疏濬的地點，減少大量土砂對下游聚落的威脅。

### 3. 沖積扇

沖積扇是瓣狀河展寬之處，河道已不太受谷壁或河階崖限制，有時需建堤以束縮河道，但河川能量仍高，需特別留意。沖積扇河道施做護岸、丁壩、固床工的條件與沖積河谷類似。瓣狀河沖積扇是土砂大量沉積之處，常需要適度的疏濬，以避免河流改道，交通亦較為可及，是各類型河道中最適合疏濬的地點。

### 4. 平原

類群三平原河道仍呈瓣狀，流路不定，故相當需要堤防作為河道骨架。於流心迫近堤防之處，宜優先以丁壩挑流。若流路多變，亦可施作護岸局部保護。橫越河道的固床工對瓣狀河砂洲的干擾過大，往往造成上淤下刷之河相失衡，應盡量避免。適度的疏濬往往是這類河段可行或必要的管理手段。

	山區	沖積河谷	沖積扇	平原
堤防	×	×	△	○
丁壩	×	△	△	○
護岸	×	△	△	△
固床工	×	×	×	×
疏濬	×	△	○	△

○ 原則合適    △ 少量合適    × 原則不合適

圖 5 瓣狀河的河道內工程施作區位



#### (四) 失能河

失能河所在的河道具有沖積河谷或沖積扇的地形特徵，對於現已失能的河川而言，通常具有非常充分的消能功能，有充裕的斷面、較大徑的河床質，因此需要的河道內工程並不多。由於缺乏山區河段，土砂量也少，故也沒有疏濬需求。建議僅於需要之處施做丁壩或固床工，提供局部的河岸保護與河床穩定。

	沖積河谷	沖積扇
堤防	×	×
丁壩	△	△
護岸	×	×
固床工	△	△
疏浚	×	×

○ 原則合適    △ 少量合適    × 原則不合適

圖 6 失能河的河道內工程施作區位

### 三、河道內工程之規劃原則及決策流程

以下從河相學觀點介紹堤防、護岸、丁壩、固床工及疏濬之常見課題，簡述各項措施順應河相之規劃原則，並提出包含非工程手段在內之決策參考流程。

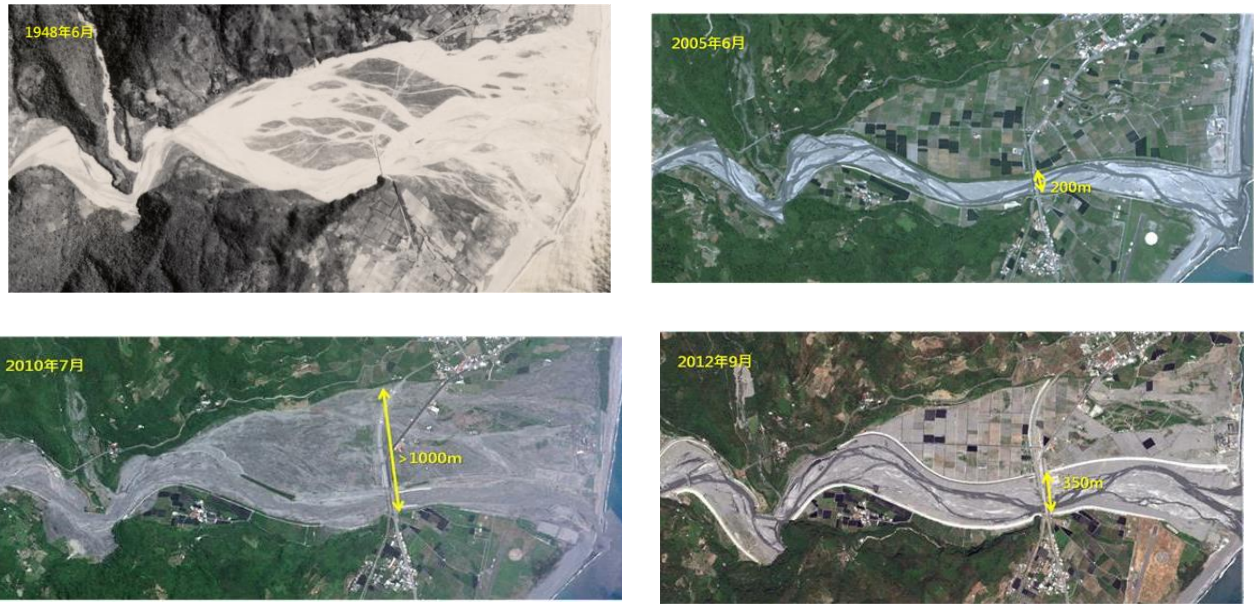
#### (一) 堤防

堤防的首要功能為防止大規模的溢淹(束洪)，也是傳統水位控制思維下終極的防災構造物。然而它並無法減少河道內的洪水量，也不太能減緩水勢。河川若能保有充分的沖淤變化空間，堤防的高度及強度都可降低。

##### 1. 常見課題

##### (1) 消能空間不足(非定點破壞)

類群三的沖積扇河道，常可見堤防間寬度不足，河川能量無法宣洩而導致破壞。以台東縣太麻里溪為例，在1948年美軍航照圖上，下游流路即遍佈整個沖積扇。後經築堤束縮，堤防在台9線橋梁處的河寬為200公尺。民國98年莫拉克颱風期間太麻里溪潰堤，河道寬達1公里以上。災後復建工程將堤防加高了2.5公尺，河道拓寬100多公尺，並以60公分厚的高強度混凝土築造堤防(圖7)。然而整個太麻里溪沖積扇為一次大洪水可作用之範圍，災後新建的堤防仍可能遭到破壞。

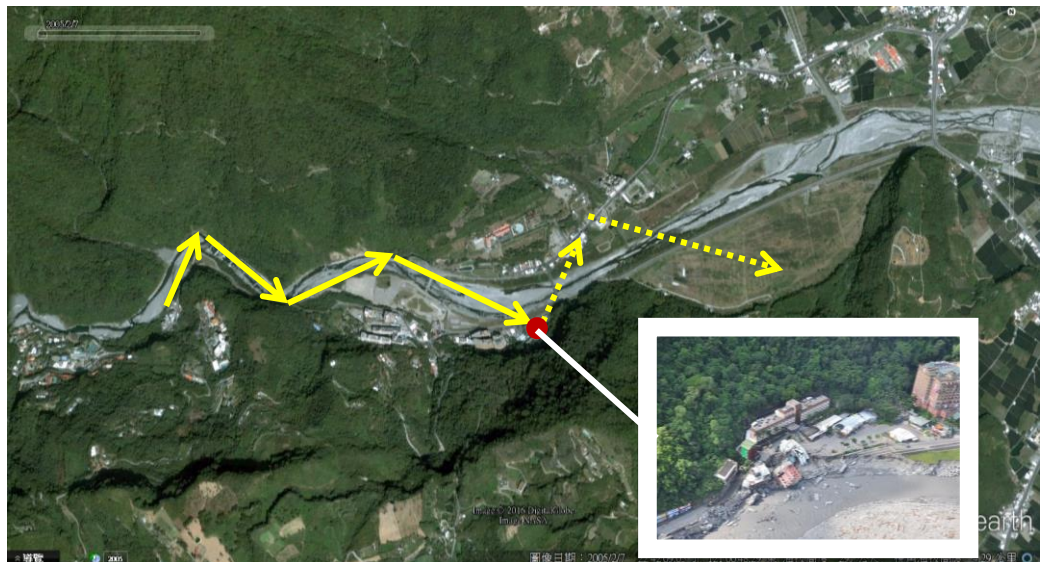


圖片來源：中央研究院人社中心(1948年航照)、Google 衛星影像

圖 7 莫拉克風災前後太麻里溪河寬變化

## (2) 定點破壞

大洪水時，水流走河道的切線，原本的辮狀流路可能整合為單一蜿蜒流路。山區及沖積扇河道展寬處的沖擊點若設有堤防，往往是最易損毀之處。例如民國98年莫拉克颱風知本溪畔倒塌的金帥飯店，正位於知本溪出山後的沖擊點(圖8)，該地點於民國62年的娜拉颱風也發生過民宅被土石掩埋。



圖片來源：Google 衛星影像、國立自然科學博物館

圖 8 金帥飯店位於知本溪出山口之沖擊點

### (3) 造成內水排水困難

平原河道堤防興建後，常見問題是洪水時河川水位高於支流排水之水位，導致內水不易排出，須倚賴抽水機。近年內水積淹情事多發，且抽水機等機械設備於緊急情況常無法順利運轉。建堤後支流無法重力排水，表示堤防已過度束縮河道，宜從流域整體觀點思考堤線放寬、逕流分擔與淹水不受災策略，以降低河道內水位。

## 2. 規劃原則

### (1) 優先思考不建堤的非工程方案

堤防的存在容易給予民眾錯誤的安全感，導致堤後的建物及公共設施越來越密集與昂貴，一旦大型事件發生，反而導致更大規模的災害(圖9)。反之，若將災害風險以洪水保險等正確反映出來，可引導資源正確配置，降低整體社會成本。

此類非工程方案包含針對集水區公有地的入滲、貯留，及針對私有地的土地容洪(農業災損補償、容洪獎勵、環境信託、民法用物役權、洪水保險等)。國土計畫對高風險地區的土地管制，以及偏遠地區行之有年的洪水預警與避難機制亦屬之。

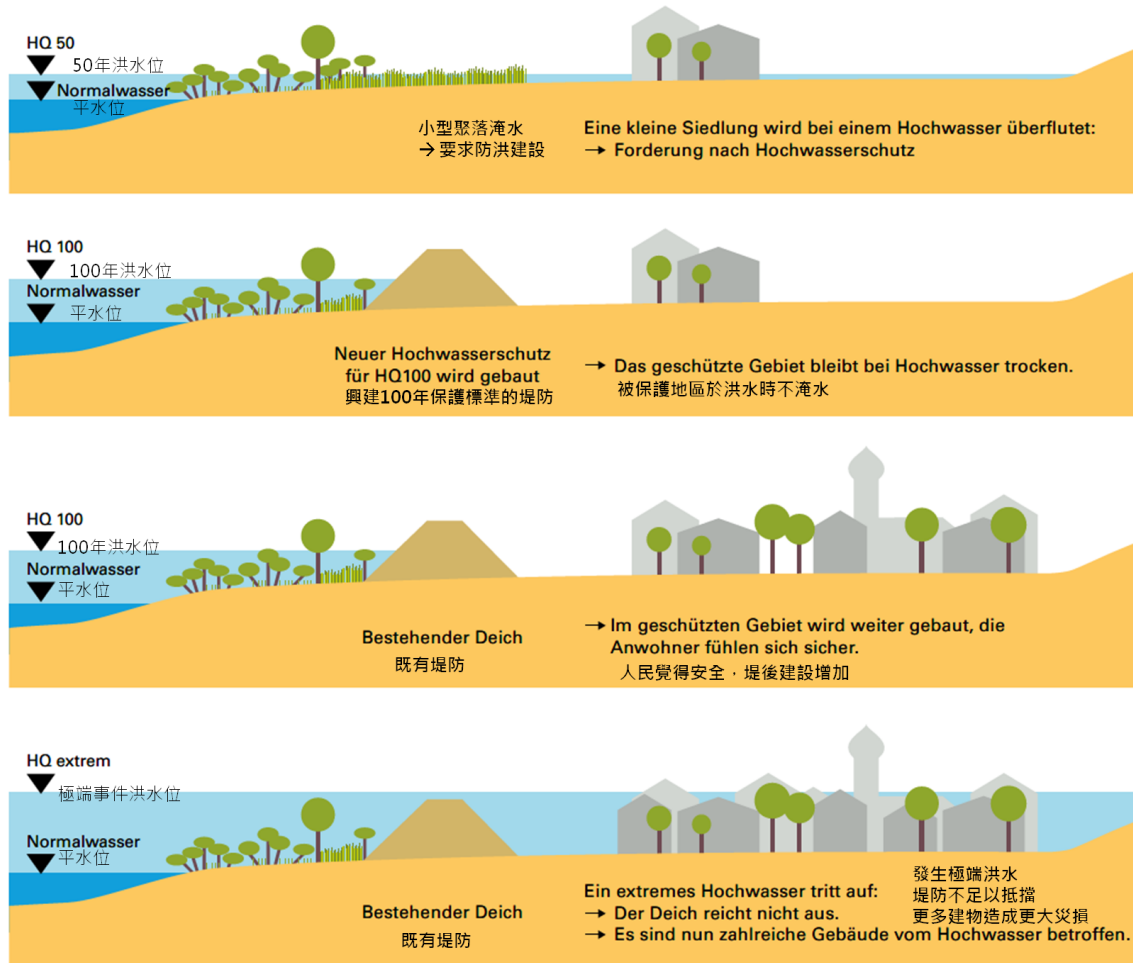
### (2) 設於侵蝕風險低的區域

在河川能量強的沖積扇或沖積河谷，即便面層為混凝土的堤防，也常被破壞。堤防重複受災地點應優先檢討，將堤防撤除或退縮到侵蝕風險低的區域。

### (3) 築堤後水位不大幅壅高

平原地形平坦，築堤後必然使得洪水水位壅高。若水位壅高程度太大，往往導致支流排水不易，引發連鎖反應，使得支流、排水的堤防亦需加高(背水堤延伸)，提高工程成本。高堤也易阻礙生物移動，造成視覺景觀的阻隔，一旦潰堤更使得災害增加。築堤後水位壅高之上限，應視設計流量及在地條件而定，以控制水道與周邊土地之水位關係。





資料來源：BSMECP (2014)

圖 9 堤防易給予民眾錯誤的安全感

#### (4) 匯流處盡可能保留寬廣的沖淤空間

主流及各支流的流量可能受集水區降雨情境不同而變化，因此匯流處就自然地貌而言，常為砂洲或濕地，是天然的緩衝區，不宜開發，應保留作為流域水砂的調節口袋。匯流處以不建堤為宜，若需築堤，應盡可能設置於河川廊道的外緣。

### 3. 以土堤植栽不受損為原則

過往堤防面層多使用混凝土，除景觀單調，導致河川水域與周邊土地失去橫向生態連結，也容易造成堤前基腳沖刷。河川廊道越廣，堤前洪水的能量越弱，堤防也就不需要過於堅固。為兼顧防洪與生態，應以土堤植栽不受損為原則。若河段有直接受洪水侵襲的風險，且通洪斷面尚有餘裕，亦可考慮保留混凝土面層或防洪牆，在堤前培厚綠化，除可改善生態景觀機能，亦可在堤前增加一道防線。

#### 4. 堤防與周邊土地管理結合

堤防若能與周邊土地管理結合，可引導洪水溢淹特定地區，讓災害減至最小。如日本16世紀起，即在沖積扇及平原利用「霞堤」(開口堤)，引導超過一定規模的洪水溢淹河道附近的特定農田，一方面減少災害，一方面讓沉積物增加農田的肥份。在德國巴伐利亞州最新政策「朝向2020年後之防洪策略」中，則強調類似開口堤的作法，控制堤防溢流至特定農地等容水空間，將未知的災害風險轉化為已知(圖10)。

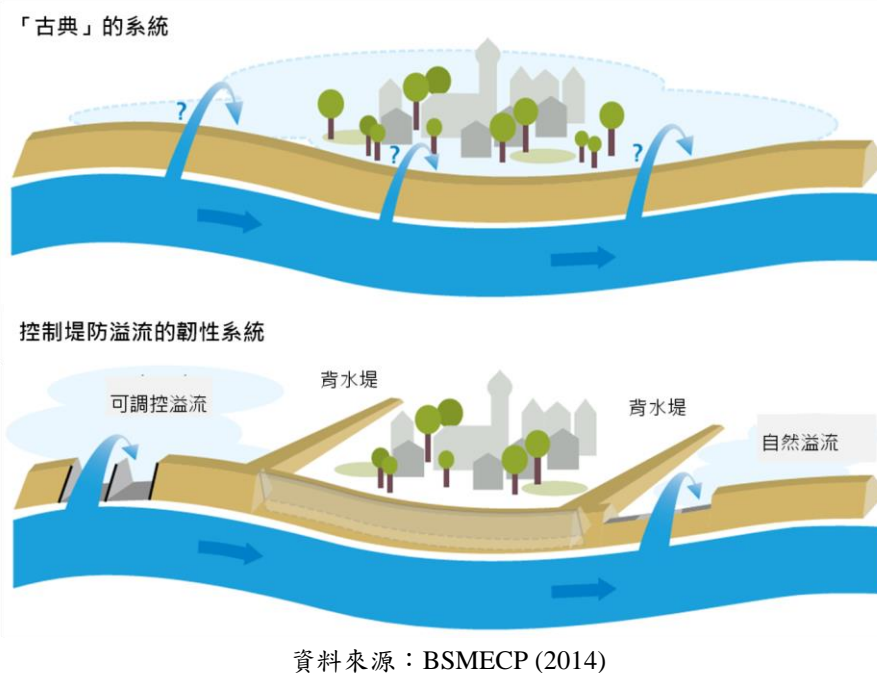


圖 10 德國控制堤防溢流的策略

#### 5. 決策流程

圖11顯示有關新建或改善既有堤防之決策參考流程。此流程假設對象河段在極端事件情境下通洪斷面不足，進而探討包括新建或改善堤防在內的各項因應措施。

##### (1) 既有堤防之改善

##### A. 必要性評估

若該河段已建堤防，首先應評估堤防是否仍為不可或缺。可能堤防結構已老舊，補強已不符經濟效益，或周邊保全對象已不存在，或可用遷移、換地等非工程方法處理，這時可評估堤防移除或替代方案。

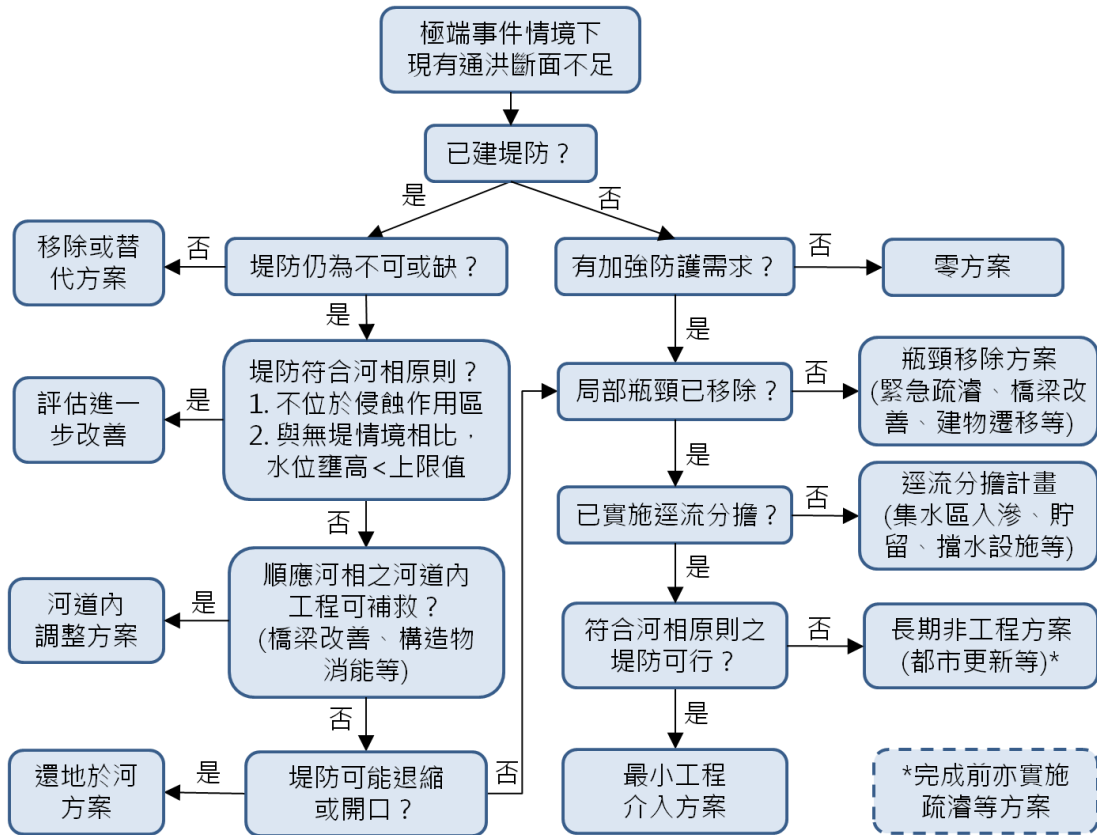


圖 11 順應河相之堤防新建或改善決策流程

### B. 符合河相原則評估

若堤防仍有明確存在必要，應檢核堤防是否依前所述，符合河相原則。其中最重要的二大原則，即「堤防位於堆積作用區」以及「與無堤情境相比，水位壅高<上限值」。若已符合此二原則，既有堤防對河相的影響不大，可維持現狀，或評估進一步改善。進一步改善有多種可能，如移除混凝土面層、覆土植栽、設置生物通道等，以改善生態或景觀機能。在此並未排除既有堤防加高的可能，但能靠加高堤防而容洪的程度有限，因為需滿足水位不過度壅高原則。反之，也有些既有堤防設計較為保守，比洪水位還高出許多，可檢討堤防降高。

### C. 河道內改善評估

若現有堤防無法符合河相原則，但差距不遠，可在河道內尋求改善。例如檢查是否有橋梁等構造物形成瓶頸，使水位局部壅高；也可試著佈設丁壩、護岸、固床工等構造物，模擬其消能效果。

#### D. 還地於河評估

若經過河道內調整方案，仍無法讓堤防符合河相原則，就要思考堤防是否有後退或開口的空間，尤其要確保匯流處有充分的緩衝空間，並視需要調整治理與管理界線，即所謂的還地於河方案。倘若沿河完全沒有堤防後退或開口的可能，就要跳脫河道本身的調整，從集水區尺度思考逕流分擔。

### (2) 新建堤防之考量

#### A. 零方案評估

若河段尚未建堤，應優先思考維持現狀的可能。或許溢淹區已發展出與水共生的產業模式；也或許現有的使用已壓縮河川空間，在無法立即排除的情況下，預警、避難機制已經足夠。此時應採取零方案，即維持現狀。

#### B. 瓶頸移除評估

若河道確實有加強防護需求，此時應優先檢討河道內局部瓶頸是否已移除。例如有些未建堤的區域，位於淺山丘陵的沖積河谷，河道仍受谷壁一定程度的侷限，但附近聚落易淹水，因為跨河橋梁建得較低，形同谷壁的缺口，洪水即從橋梁淹入聚落。也可能通洪斷面原本足夠，在大型土砂事件後床面大幅淤高，導致原本位於高位河階的有價財受到溢淹威脅。也可能有道路、建物壓縮河川空間形成瓶頸，造成水位局部壅高。

#### C. 逕流分擔評估

瓶頸移除方案實施後，若仍無法確保通洪斷面，就要思考集水區規模的逕流分擔，包括公有地滯蓄洪、低衝擊開發設施、土地容洪、擋水設施等。

#### D. 符合河相原則評估

如果經各種逕流分擔措施後，河段尚無法滿足防護需求，但符合河相原則的堤防已可行，此時可考慮依前節所述之各項原則設置堤防，連同河道內工程的配置與調整，尋求對河相衝擊最小的方案。



## E. 長期非工程方案

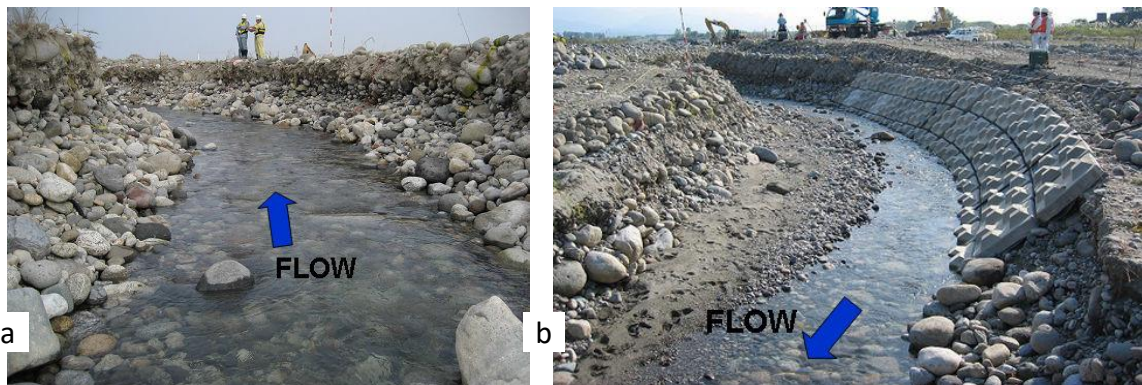
如果經各種逕流分擔措施後，符合河相原則的堤防仍不可行，表示現有河川兩岸可能開發程度太高。與其興建不符河相的堤防，進一步增加河川沿岸的開發壓力，不如透過長期的非工程手法來改造，擴充河川空間。在人口稠密的都會區，短期內或許僅能倚靠定期疏濬或現有防洪構造物的維護，但長期則可思考洪水保險、都市更新策略，逐步降低河畔土地價值與居住密度。

### (二) 護岸

#### 1. 常見課題

##### (1) 減少糙度

混凝土護岸作為河岸保護措施有其爭議，因為會減少糙度，增加局部河川能量，使後續維修不斷。福岡捷二在日本常願寺川的沖積扇河道以現地實驗，證明在沖積扇河道設置混凝土護岸，會導致深槽緊貼護岸，基腳淘刷，反而比自然河岸更易造成破壞(圖12)。



資料來源：福岡捷二(2008)

圖 12 常願寺川自然河岸與混凝土護岸安定性實驗

##### (2) 排水不良導致崩塌破壞

護岸若設於山區河道或沖積河谷的谷壁側，常見的課題，是排水孔洞受阻，使得側岸孔隙水壓升高。其結果可能是護岸本身破壞，或水流往護岸末端集中，造成末端局部崩塌，導致工程人員誤判，認為應該延長護岸保護範圍。以東北角丘陵流域區的溪流為例，該處新砌混凝土護岸非屬攻擊岸，但近年連續因局部崩塌而受創。然而鄰近乾砌石護岸透水性良好，並無受創(圖13)。



圖 13 混凝土護岸排水不良易導致山壁局部崩塌

### (3) 拓寬低水流路

此課題並非護岸本身所致，卻是中小型河川護岸設計時常見的狀況。設計者忽視低水流路的維持，因此將河道拓寬，護岸之間的河床整平，低水流路因而消失。在砂礫質河床質的河道，這往往使河道水伏流，潭瀨床型消失，河道變得寬淺單調，對生態及景觀都造成衝擊(圖14)。

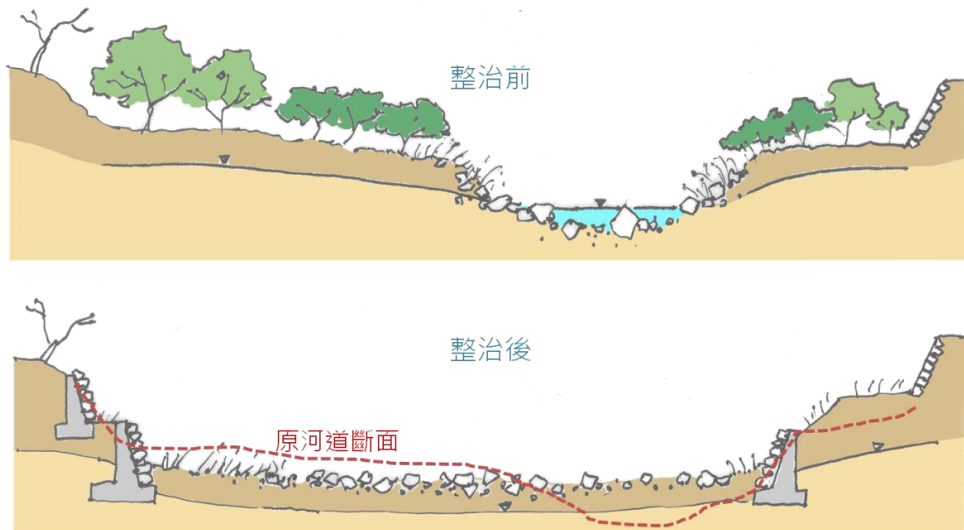


圖 14 因施作護岸導致低水流路消失示意圖



## 2. 規劃原則

### (1) 優先考慮不施作的零方案

水陸交界處具有重要的生態意義，是兩爬類、水生昆蟲自水域移至陸域的轉換空間，也是鳥類及小型哺乳類覓食飲水的地方。確保此水陸境界的柔軟及連續是河川管理的重要課題。河岸受淘刷形成的崖狀水際也具有生態功能，是多種鳥類的築巢場所，也是河道補充砂石的地方。故除非危及重要保全對象，應優先考慮零方案。

護岸的角色多可被灘地、丁壩等所取代。若能預留足夠空間，應容許灘地自由變化，不需在灘地臨水側施作護岸。當水流迫近堤防或河岸保護對象，除非水流流向多變，否則配置良好的丁壩通常比護岸更經濟有效。

### (2) 僅於潛在攻擊岸施作

在平原曲流的沖積河谷及平原河段，河道蜿蜒，砂洲不易整體移動，洪水路徑變化也不大，攻擊岸固定發生在外彎道，並可準確預測洪水時受力最大的衝擊點。辮狀河的沖積河谷、沖積扇及平原河道由於流路呈辮狀，砂洲易在較為順直的河道中整體移動，因此攻擊岸不固定。當攻擊岸或潛在攻擊岸旁有可居住之建物、基礎建設等重要保全對象，才考慮施作護岸。

### (3) 具自然河岸粗糙度

若需施作護岸，其材質須維持原本河岸的粗糙度，讓河岸能均勻消能。若粗糙度降低，將使水流局部加速，易造成護岸本身因基腳淘刷而破損。即便護岸尚未破損，未消解的能量也會增加下游河岸侵蝕的風險。

### (4) 具自然河岸透水性

自然河岸是河道水與兩側地下水交換的界面，需維持一定的通透性。洪水期間，河道水面高於兩側地下水位，河川透過河岸與河床的孔隙補充地下水，亦減少下游的逕流量。枯旱季節，河道內水位低於兩側地下水位，由河岸兩側地下水補充河道內之基流量。故若河岸失去透水性，將減損地下水的調節功能，使河道內旱澇加劇。

(5) 維持自然低水流路的形態

護岸工程的功能在於增加局部河岸抵抗沖蝕的能力，對河道的擾動越小越好。設計及施工時應留意，盡可能維持自然低水流路的形態。這包括低水流路的寬度、深度、位置、潭瀨分布、表層水密性、水際植被等。

3. 決策流程

圖15顯示有關新建或改善既有護岸之決策參考流程。此流程假設規劃者發現對象河段之河岸有侵蝕風險，進而探討包括新建或改善護岸在內的各項因應措施。

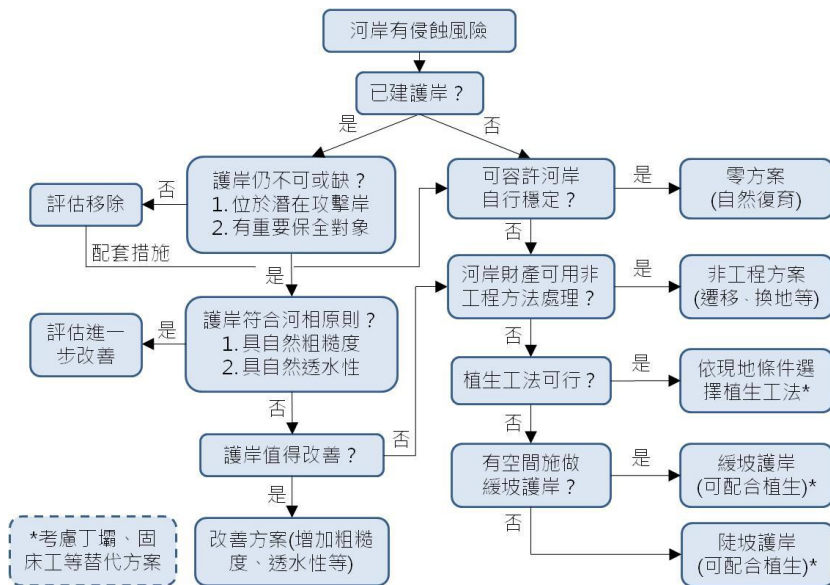


圖 15 順應河相之護岸新建或改善決策流程

(1) 既有護岸之改善

A. 必要性評估

若該河段已建護岸，首先應評估護岸是否仍為不可或缺。可能護岸當初並沒有設在潛在攻擊岸，也可能護岸旁並沒有重要保全對象，或河岸原有的保全對象已不存在，或可用遷移、補償等非工程方法處理。這時可評估護岸移除。

B. 符合河相原則評估

若護岸仍有明確存在必要，應檢核護岸是否符合河相原則，即「具自然河岸粗糙度」、「具自然河岸透水性」。若已符合此二原則，既有護岸對河相的影響不大，可維持現狀，或評估進一步改善，提高生態或景觀機能。



### C. 護岸改善評估

若現有護岸不符河相原則，接下來要問的是此護岸是否還值得改善。如前述課題，護岸可能已有基腳淘刷、破損情形，修復或補強已不符經濟效益。此時應進入右側流程，思考河岸侵蝕的成因及替代方案。若護岸尚未嚴重損壞，且增加粗糙度、透水性或恢復低水流路形態的改善工法尚符合經濟效益，則可研擬改善方案。

## (2) 新建護岸之考量

### D. 零方案評估

若受侵蝕河岸尚未建護岸，應優先思考是否有維持現狀的可能。倘若河岸與重要建物、基礎建設尚有一段距離，並非下一場洪水就可能受災，而下一場洪水來到前，有機會讓河岸植生自然復育，那麼零方案是相當合理的選擇。

### E. 人為導因評估

許多時候河岸侵蝕並非自然現象。過往河道內工程與集水區開發的綜合效果，常是一方面增大河川能量，另一方面阻擋土砂，抑制河川自然的消能機制，使得河岸侵蝕風險加劇。因此首先應研究對象河道上游近期是否有集水區開發增加逕流量，是否有護岸、道路排水、野溪坑溝整治等工程增加流速，以及是否有防砂堰壩阻擋土砂，針對這些因素研擬源頭處理方案，如逕流分擔、出流管制、防砂壩與護岸之移除或改善等。

### F. 非工程方案評估

若人為因素導致的河流功率增加量已經排除，但保全對象仍受河岸侵蝕威脅，此時應優先評估以遷移、換地等非工程方法處理河岸財產。可能保全對象位於侵蝕的高風險區，限制此處河岸的侵蝕，將會增加對岸或下游其他保全對象的風險。規劃者需從能量系統觀點，評估強化局部河岸的連鎖反應與後遺症。

### G. 植生工法評估

若河岸財產無法以非工程方法處理，需局部保護，植生工法通常是對河相影響較小的選擇。植生工法以植物體及自然河岸物質為主，有時亦配合木樁、麻網、網枝、稻草卷等柔性材

料，容許小規模的變形。構成自然河岸的卵礫石或砂土缺乏膠結，抗壓力不抗張力或剪力，但若有植物根系裹握河岸物質，則可發展成能抵抗一定水流剪力的結構體。以常見的柳枝扦插為例，1、2年後可抵抗的單位流功為100-150W/m<sup>2</sup>，3、4年後可達250-350W/m<sup>2</sup>。植株的枝、葉柔韌，亦能發揮消能效果。規劃者可根據對象河岸的單位河流功率或剪力條件，選擇合適的植生工法。

#### H. 重力式護岸評估

若河流功率過高，或在植生工法發揮強度前需要更強的臨時材料保護，可考慮施做重力式的護岸(即靠構成材料本身的重量來抵抗水流的護岸)。重力式護岸也可配合植生。若河道空間尚有餘裕，應優先考慮緩坡護岸(45度以下)，可使用拋石、鋪石等工法，覆蓋於河岸基腳，讓材料重量直接傳到地盤。基腳保護後，上方河岸通常可採植生工法或自然復育。若河岸空間受限，不得已可採陡坡護岸，包括乾砌石、箱籠、木格框等，但仍需符合維持自然粗糙度、透水性等河相原則。

#### I. 替代方案

護岸並非保護河岸的唯一選擇，也可考慮丁壩、固床工、灘地連結等替代方案。丁壩與固床工可以調整流心、局部消能；重新讓低水流路連結灘地、舊河道等則可為整個河段消能。規劃者熟悉越多種替代方案，就越能因地制宜，擇定最小工程介入方案。

### (三) 丁壩

#### 1. 常見課題

丁壩有多種型式，可具有保護堤岸、促進航運、親水景觀、棲地營造等多種功能。目前台灣丁壩多使用於保護堤岸，常見的問題在於規劃、設計不當而無法發揮其功效，茲列舉如下。

##### (1) 流失破壞

台灣常見以拋放混凝土鼎塊方式施作丁壩，鼎塊之間無法連結發揮整體結構效果，致洪水時流失破壞。有時是沒有漸次分層挑流，在衝擊點附近才開始設置丁壩，且未由短至長配置，導致第一支丁壩阻力過大而破壞。

(2) 前端淘刷崩壞

高丁壩前端通常受力最大，前端基礎會淘深，若設計不良常易因淘刷而崩壞。

(3) 設置過密

通常在直線河段，丁壩間隔為壩身長度的3-5倍，在彎道外側，丁壩間隔為壩身長度的2-3倍。設置過密的丁壩，雖不致於破壞，但易導致前端偏折的水流無法有足夠空間將河床質捲入丁壩間，因而無法發揮促淤功能。設置過密的丁壩形同護岸，浪費材料且可能影響通洪斷面。

2. 規劃原則

丁壩的主要功能為保護河岸，故護岸的規劃原則亦適用。丁壩相較於護岸的優勢，在於若設計得當，能四兩撥千金地調整水流、保護河岸，故丁壩之間可維持自然河岸不加保護，因此丁壩本身維持自然河岸粗糙度、透水性的需求較低。

(1) 根據需求的機能配置

從水勢控制的觀點，丁壩的消能機制有三種：挑流、促淤及導流(圖)。

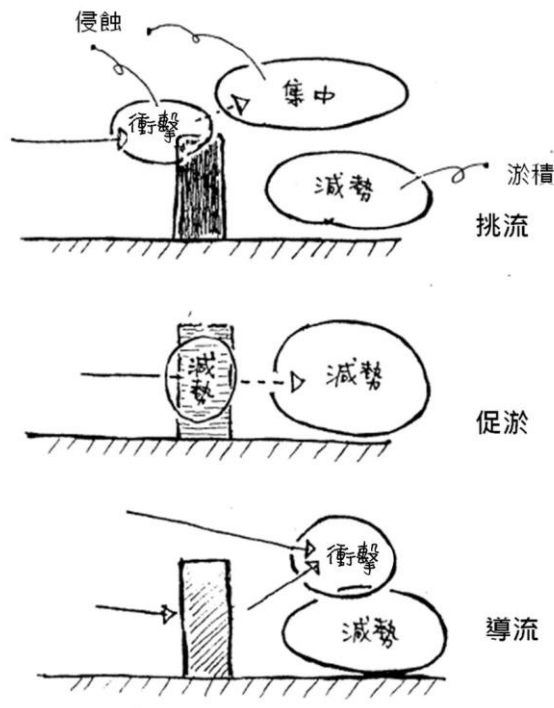


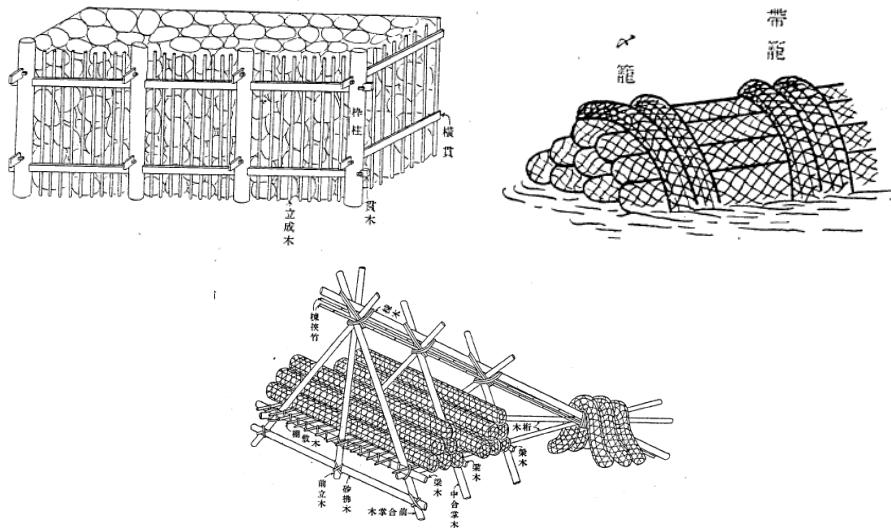
圖 16 丁壩的水勢控制功能

- A. 挑流：靠水流沖擊丁壩本身而消能，壩體前端有侵蝕傾向，下游側有淤積傾向。常選用高度較高的不透水丁壩。
- B. 促淤：靠丁壩表面的摩擦減速而消能，壩體及下游側都有淤積傾向。常選用表面粗糙的矮丁壩，或透水式丁壩。
- C. 導流：引導不同方向的水流相沖擊而消能，控制侵蝕與淤積的位置。導流丁壩在台灣較為罕見，在歐洲、日本通常使用砌石、箱籠、管材等方式，控制流向。

(2) 因地制宜選用材料工法

A. 卵礫石河道

山區、沖積河谷、沖積扇多為卵礫石河道，可選用砌石、鋪石、箱籠類、牛類(圖)。砌石、鋪石類為固定式丁壩，可用於類群三以外的山區河道。例如日本福留脩文氏提出以乾砌石丁壩工法，建構河道骨架，在保護河岸土地的同時，營造出水域生物所需的深潭。



資料來源：真田秀吉(1932)

圖 17 箱籠類丁壩(上)及牛類丁壩(下)

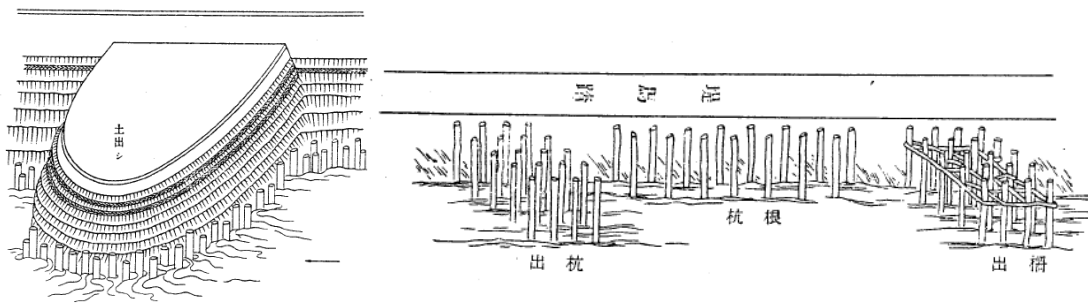
箱籠類、牛類工法的共同特質，是可隨河床局部沖淤而調整位置角度，並由木、石等材料連結成整體結構，可因應沖積扇多變的水流與河床狀況。其中「聖牛」是日本前混凝土時代多用於沖積扇的傳統工法，形態類似中國的「橋槎」，以三角木框架搭配蛇籠置於水流沖擊岸，若配置正確，可發揮良好的挑



流、促淤功效。此類傳統工法由於可兼顧生態需求，在現今的河川治理中再度被強調。

### B. 砂質河道

平原河段多為砂質河道，可選用箱籠類、填土類、排樁類、編柵類工法(圖18)。箱籠類、填土類為不透水丁壩，多用於挑流，排樁及柵工具透水性，多用於促淤。



資料來源：真田秀吉(1932)

圖 18 填土類(左)及排樁類(右)丁壩

### (3) 實驗施作，保留修正彈性

丁壩是多功能的河岸保護措施，但也因為材料、工法選擇眾多，其配置長度、間距、角度、壩身坡降、孔隙、粗糙度、基礎深度等都會影響成效，需對河性及丁壩本身的作用有深度了解才易成功。日本國土交通省河川砂防技術基準建議丁壩宜先試做一、二座，再逐漸修正。

### 3. 決策流程

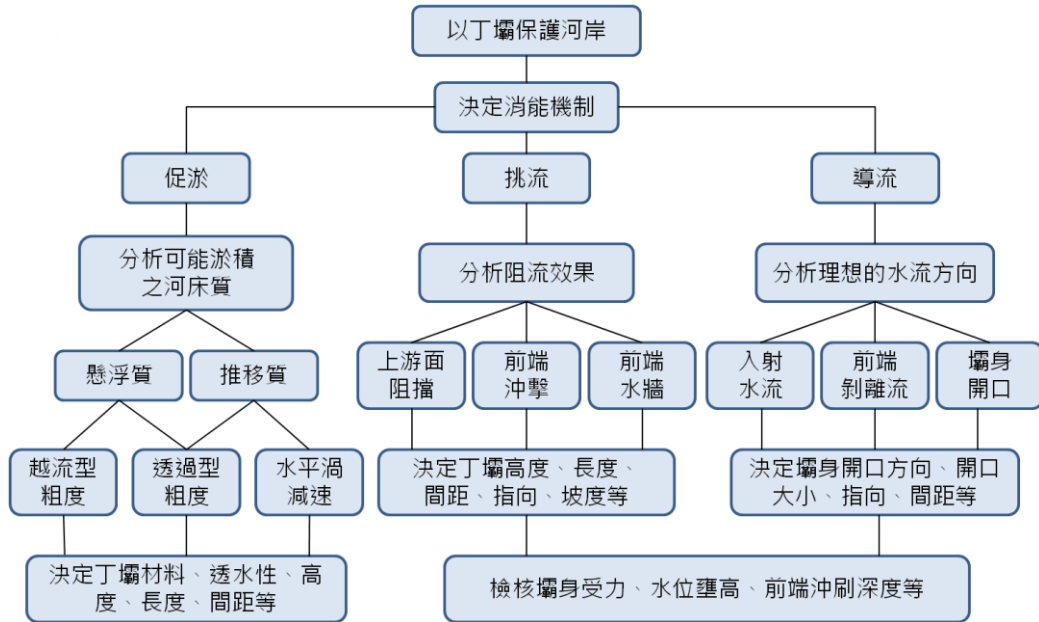


圖 19 丁壩規劃設計決策流程

圖顯示丁壩的規劃設計決策參考流程。此流程假設規劃者對丁壩的消能機制已有一定認識，依圖之護岸興建或改善決策流程，考量各種河岸保護的可能後，決定以丁壩保護河岸，進行規劃設計時需考量的因素。

### (1) 促淤

河床質在丁壩域淤積需要兩個要件，即可淤材料的供給，及丁壩域減速至淤積條件。故先分析河段在不同洪水情境下，懸浮質與推移質的供給量。其次考量以下三種丁壩促淤的途徑，根據所需的減速效果決定丁壩的材料、透水性、高度、長度、間距等。

- A. 越流型粗度：以矮丁壩群發揮粗度效應。懸浮質隨水流越過丁壩體而減速沉積。
- B. 透過型粗度：懸浮質或推移質行經排樁、箱籠等透水式丁壩時減速沉積。
- C. 水平渦減速：不透水丁壩前端在挑流的同時，會產生向河岸剝離的水流，形成丁壩間的水平渦。部分推移質會被剝離水流掃入而淤積。

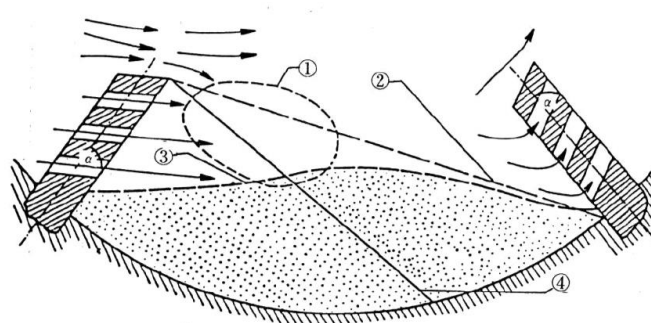
### (2) 挑流

不透水丁壩都具有阻擋水流的挑流效果。設計者可分析以下三種效應，決定丁壩的高度、長度、間距、指向、壩體及前端坡度等。

- A. 上游面阻擋：丁壩群最上游的丁壩體會全面阻擋水流，並在其上游側形成水平渦。第一支丁壩通常較短，且不會設在水流沖擊點上，而在其上游就開始布設。
- B. 前端沖擊：丁壩前端是受力集中之處，易形成沖刷坑。水流在此分離成好幾股，大部分被挑離河岸，發揮保護效果。
- C. 前端水牆：若丁壩間距、指向選擇得宜，丁壩群前端的挑離水流可在洪水時形成一道連續水牆，阻擋入侵水流。

### (3) 導流

導流比挑流更積極控制水流，需分析所有相關水流的強度與方向。這包括設計洪水情境下入射河岸的水流、因不透水丁壩前端挑流而產生的剝離流，及壩身開口引導的水流等(圖)。入射水流在不同情境下可能變化，也可能受支流匯入影響。



- ① 水流衝擊區；② 經導流後之水流；③ 堆積域的界線；
- ④ 不透水丁壩前端剝離流； $\alpha$ : 丁壩軸線與開口所夾之角度

資料來源：Nikitin, I.(1995)

圖 20 導流丁壩效果示意圖

### (四) 固床工

固床工的主要功能為防止河道過度下切，亦可透過其配置形態的調整，而改變水流的方向，達到保護河岸的目的。

#### 1. 常見課題

##### (1) 造成伏流

自然河床表面在洪水退水期間，會形成適當的水密性，大顆粒間由中顆粒填補、中顆粒間由細顆粒填補。若設置固床工，原本的水密層往往在施工期間被破壞，且由於固床工之間的坡度小於原河

床坡降，洪水後亦不易恢復原有的水密性，因此往往造成伏流，河道水從固床工下方流過。

(2) 阻礙土砂及生物移動

固床工量體往往高出原河床面，落差達50公分以上，即可能對水域的魚蝦蟹類構成阻礙，亦阻礙土砂移動，導致其下游河床缺砂而下切。

(3) 結構易破損

直壁式固床工會造成上游淤積，引發下游淘刷，使得固床工本身傾倒破壞。

(4) 破壞天然固床工

固床工等橫向構造物施工時，常破壞原有的河道內骨架或天然固床工，即位於河床波至高點、構成瀨區的階梯或石組。一旦這些石組結構消失，將使河床平坦化，棲地也隨之消失。天然固床工與常見連續階梯式混凝土固床工的比較如表2、圖21。

表 2 天然固床工與混凝土固床工的河相特性

天然固床工	混凝土固床工
水密性較佳，僅部分伏流。	水流受結構物阻斷，水密性不佳，易伏流。
河床質分選良好，生物易分區棲息利用。	河床質分選不良，大顆粒被細粒泥砂包埋。
「瀨肩」為大顆粒石組，構成河床骨架。	瀨肩的石組結構被移除，河床平坦化，棲地消失。
潭、瀨地形由洪水自然維持。	洪水造成上淤下淘，結構物本身易損壞。
不阻礙土砂與生物移動。	易形成土砂與生物移動障礙。

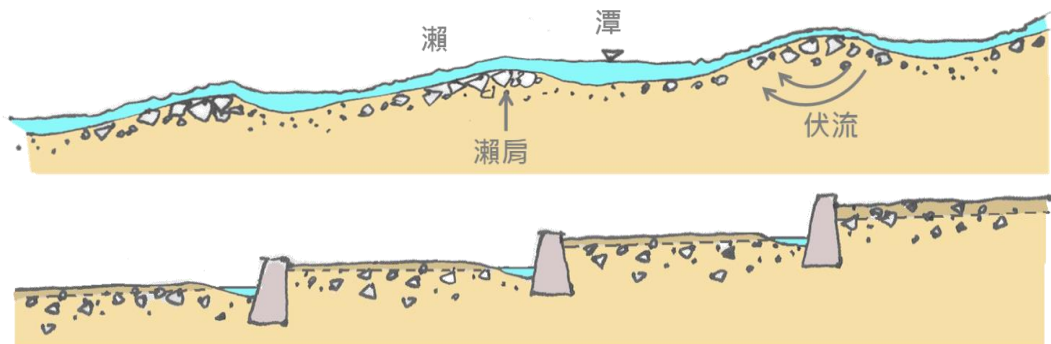


圖 21 自然階梯潭瀨與混凝土階梯示意圖

2. 規劃原則



(1) 不擾動天然固床工

溪床中穩定的階梯及石組構造常遵循一定的法則，如拱形階梯、覆瓦狀排列的石組、塊石向水流「叩首」(圖)。經過人為工程擾動的河道，往往失去重要的河床骨架及潭瀨等棲地結構。河床波至高點的瀨肩石組具有穩定河床，減少輸砂的重要功能，應優先保留。在河床尚存此類階梯或石組構造的河段，應盡量避免以人工方式施作固床工。



圖 22 安定溪床中的塊石排列

(2) 維持河床適當水密性

固床工的施作不可造成伏流，或改變河床水密性。僅管施工時有擾動，固床工的規劃設計應容許洪水後的河床能恢復適當的水密性。

(3) 允許土砂移動

固床工的功能為防止河床過度下切，不同於防止過剩土砂下移的防砂壩。固床工的規模應參考在該河段原本可能生成的天然固床工。其高度與形態若能允許洪水期間的土砂移動，通常也就能維持平時水生生物的縱向移動。

(4) 維持或營造潭瀨棲地

在自然潭瀨尚存的河段，新設固床工必須維持潭瀨形態。固床工通常以最小的量體設於潛在瀨區，而避開潭區或深流。若河道內潭瀨結構已退化或消失，可考慮以仿自然手法重建較穩定的固床工結構，以復育潭瀨棲地。

3. 決策流程

圖顯示新建或改善既有固床工之決策參考流程。此流程假設規劃

者發現對象河段之河床有下刷風險，進而探討包括新建或改善固床工在內的各項因應措施。

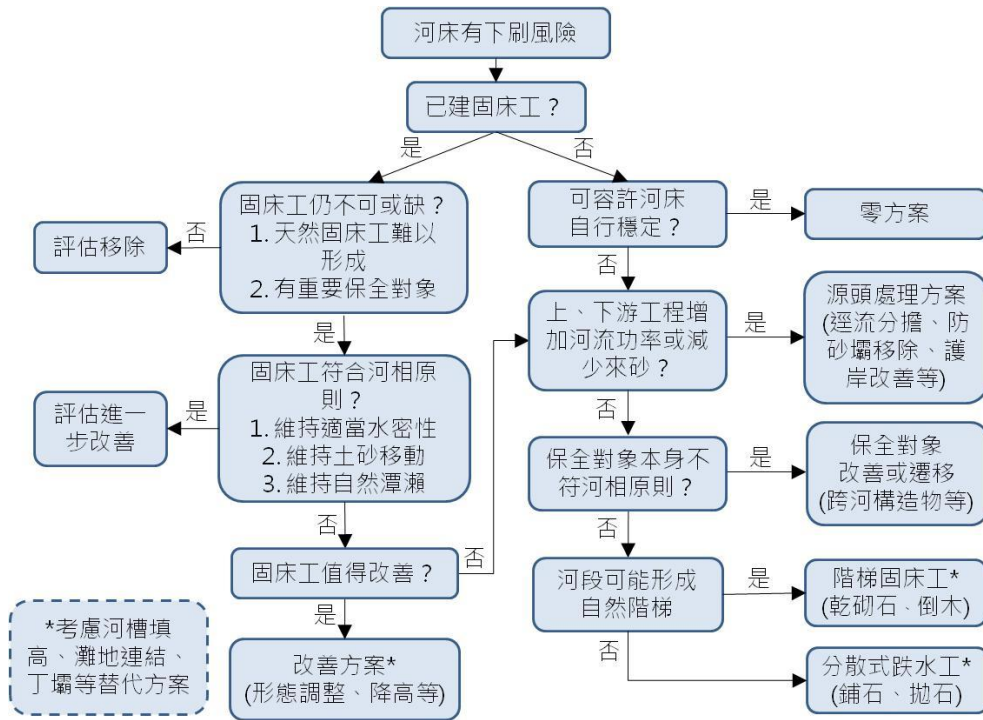


圖 23 順應河相之固床工興建或改善決策流程

(5) 既有固床工之改善

A. 必要性評估

若該河段已建固床工，首先應評估固床工是否仍為不可或缺。可能固床工的上游或下游已有天然固床工形成，也可能固床工並沒有重要的保全對象，或原有的保全對象已不存在，或可用遷移、補償等非工程方法處理。這時可評估移除固床工。

B. 符合河相原則評估

若固床工仍有明確存在必要，應檢核其是否依前所述，符合河相原則。其中最重要的三大原則，即「維持適當水密性」、「維持土砂移動」及「維持自然潭瀨」。若已符合此三原則，既有固床工對河相的影響不大，可維持現狀，或評估進一步改善，提高生態或景觀機能。

C. 固床工改善評估

若現有固床工無法符合河相原則，接下來要評估此固床工是否還值得改善。如果固床工已因不符河相而有基腳淘刷、破損情形，修復或補強可能不符經濟效益。此時應進入右側流程，

思考河床下刷的成因及替代方案。若固床工尚未嚴重損壞，且形態調整、降高等改善作業尚符合經濟效益，則可研擬改善方案。

#### (6) 新建固床工之考量

##### A. 零方案評估

除了峽谷地形，自然河道不太會有持續沖刷的現象，而會朝平衡河道(均夷剖面)調整。若河床尚未建固床工，應優先思考是否可維持現狀。倘若河床上已有階梯、石組構成天然固床工，表示已相當穩定，應採零方案，以免破壞現有的穩定河床。

##### B. 人為導因評估

如同河岸侵蝕，河床下切也可能是過往河道內工程與集水區開發的綜合結果。然而河床下切不只受上游影響，下游的河床下切亦可能溯源沖刷。支流河道下切，可能是因為主流缺砂或逕流量增加所致。對象河段本身若已被平滑護岸束縮，更易造成河床下刷。在山區、沖積河谷與沖積扇，河床易受土砂脈衝影響而變動；在平原河段，河床持續下切幾乎都是人為因素所致。規劃者應針對這些因素研擬源頭處理方案，如逕流分擔、出流管制、防砂壩與護岸之移除或改善、水庫還砂於河等等。

##### C. 保全對象改善評估

河川若無法側向消能，會往垂直方向調整。因此越是高能量的山區、沖積河谷河道，在垂直方向越需要緩衝空間。若保全對象沒有考慮此因素，位於此變動空間內的構造物(如橋墩基礎、護岸基礎、管線等)將付出極高的維護代價。橋墩等構造物本身也可能過於平滑而造成局部沖刷，此時與其另建固床工保護，應先考慮移除或改善保全對象本身，如增加橋墩及護岸粗糙度。限制某處河床下刷，將會增加下游其他保全對象的風險，規劃者不可不慎。

##### D. 固床工形態評估

排除人為導因及保全對象本身不符河相的因素後，若仍需固床工，其效果通常是協助河床較早恢復自然穩定的狀態。若對象河段位於山區或沖積河谷，坡度 $>0.01$ ，則易形成自然階梯，可用乾砌石或倒木營造類似自然階梯的結構。若河段坡度較緩

(<0.01)，可用鋪石、拋石等方式營造類似自然瀨區分散式跌水工。

#### E. 替代方案

低水河道若下切至一個地步，洪水就不易漫淹灘地，形成河槽越切越深的惡性循環。此時除了固床工，也可考慮局部填高河槽或削低灘地，重建流路與灘地的連結，以降低洪水時河槽內的剪應力。丁壩亦可局部消能、促進淤砂。規劃者能熟悉越多種替代方案，就越能因地制宜擇定最小工程介入方案。

### (五) 疏濬

疏濬之目的在於增加有效通水斷面，降低洪水位，促進排洪能力，保護河防安全。從河相觀點，土砂是河道內不可或缺的消能因子，也是構成多樣棲地的基盤。疏濬是多砂河川中下游必要的管理作為，但需謹守適當的時機、地點與形態原則。

#### 1. 常見課題

##### (1) 干擾穩定河相的發育

若管理目標偏離健康河相，然後試圖以疏濬或河道整理手法來達成，會造成河道內工程不斷。例如圖所示河段，在開發時經歷拓寬及截彎取直。其後河道雖逐漸恢復原有的潭、瀨、砂洲，然而當河相恢復，砂洲及其上的植被就被疏濬清除。此處通洪斷面尚有餘裕，但河道內沒有砂洲被認為是較理想的樣貌。形成天然固床工的階梯或石組結構亦常在疏濬或河道整理時被移除，使河床平坦化，棲地消失。



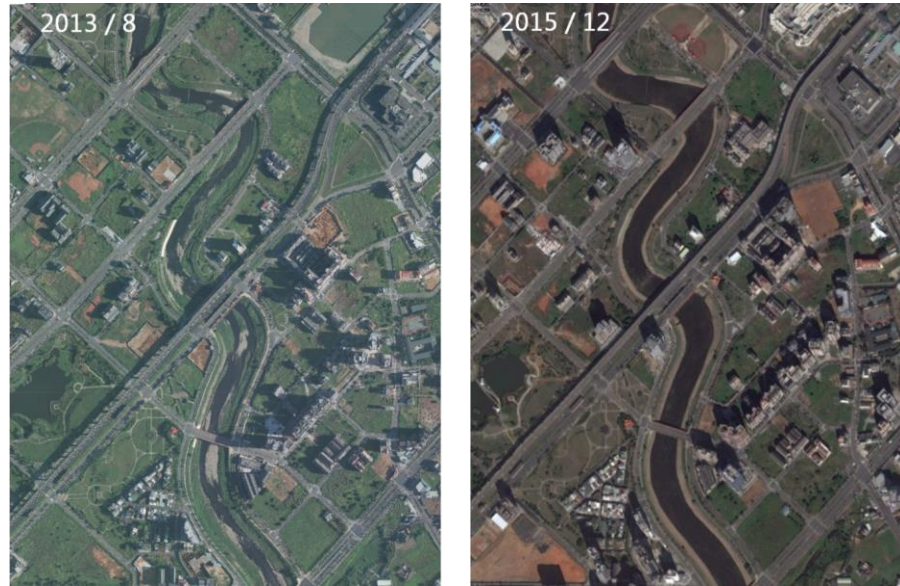


圖 24 發育良好之河床(左)與清淤後的河床(右)

## (2) 影響縱向輸砂平衡

疏濬雖是為河防安全，土砂資源的開採亦往往成為疏濬的動機。若沒有檢視長期的河道沖淤變化，在已缺砂的河段疏濬，進一步降低河道消能機制，其結果可能是加劇海岸侵蝕、河口沙洲退縮、構造物沖刷破損風險升高。

## (3) 影響水質與生態

疏濬若大規模移除原覆蓋於砂洲的植被，會直接衝擊灘地陸域棲地。若夷平河床，可能使潭瀨消失，水溫升高，直接衝擊水域棲地。若未設沉砂、圍堰、遮雨、擋雨、泥水分離等措施，亦可能在雨後造成濁度大幅增加，影響水生生物及下游取用水質。

## 2. 規劃原則

### (1) 優先考慮不疏濬的零方案

河道內土砂在許多時候並非致災因子，也不是可有可無，而是防災消能的要素。疏濬的規劃若能依循專業決策流程，就不易受地方居民期望、產業壓力等因素左右。

### (2) 除緊急應變外不連年疏濬

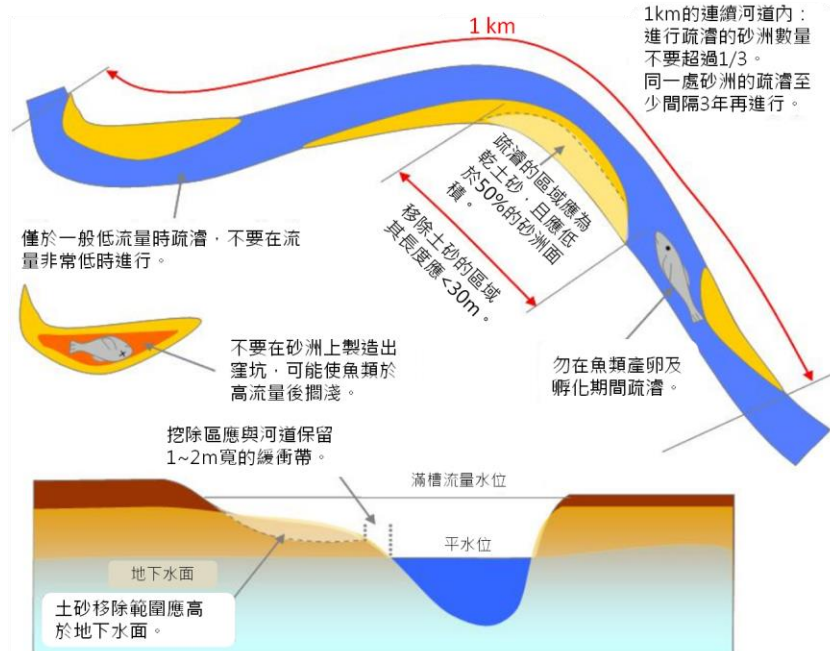
疏濬可作為緊急應變對策，但不宜作為常態管理措施。除了在大規模土砂災害後因保全重要聚落及橋樑道路做的疏濬工程之外，應盡量避免對同一河段頻繁的疏濬。密集的疏濬會破壞河川長期的土砂平衡，引起河床深槽化及河岸沖刷問題。

### (3) 疏濬頻率盡量低於三年一次

原則上，同一河段的疏濬頻率應控制在三年一次以下。健康的灘地每1~2年即會被中小型洪水溢淹，使植被維持在草本或小型灌木，而不致陸化成林影響通洪。若連續三年沒有洪水，且可能危及通洪，才需要疏濬與植生管理。

### (4) 維持自然低水流路與水質

除河床已遭埋積之大型土砂事件外，疏濬應避開低水流路，只挖掘灘地上的乾土砂，以免水質惡化，或對潭瀨棲地直接干擾。砂洲的疏濬應強化沉砂、圍堰、遮雨、擋雨等泥水分離措施。其生態考量可參考蘇格蘭水環境條例中的砂洲土砂移除守則(圖)。



資料來源：SEPA(2016)

圖 25 蘇格蘭水環境條例中的砂洲土砂移除守則

### (5) 長期淤積河段需探究根本原因

若一河段有長期的淤積趨勢，重複疏濬將耗費大量成本，需從河相與河川營力的角度探究其原因，如上游集水區的土砂來源問題，或河幅不足或坡度變化所造成。

### (6) 土砂資源優先於河道內利用

河道中移除的土砂可就近回歸河川系統，以減少外運成本。如補充河段中礫石維持魚類棲地，或是增強自然護岸的強度等。除了有改道風險之辮狀河沖積扇河道，否則疏濬之土砂不宜外運或標售。

### 3. 決策流程

圖顯示疏濬之決策參考流程。此流程假設規劃者發現對象河段之河道淤積已影響通洪斷面，進而探討包括疏濬在內的因應措施。首先應判斷淤積是否已使基礎設施或重要建物有立即風險？如果是，朝緊急應變處理。若否，則屬一般評估流程。

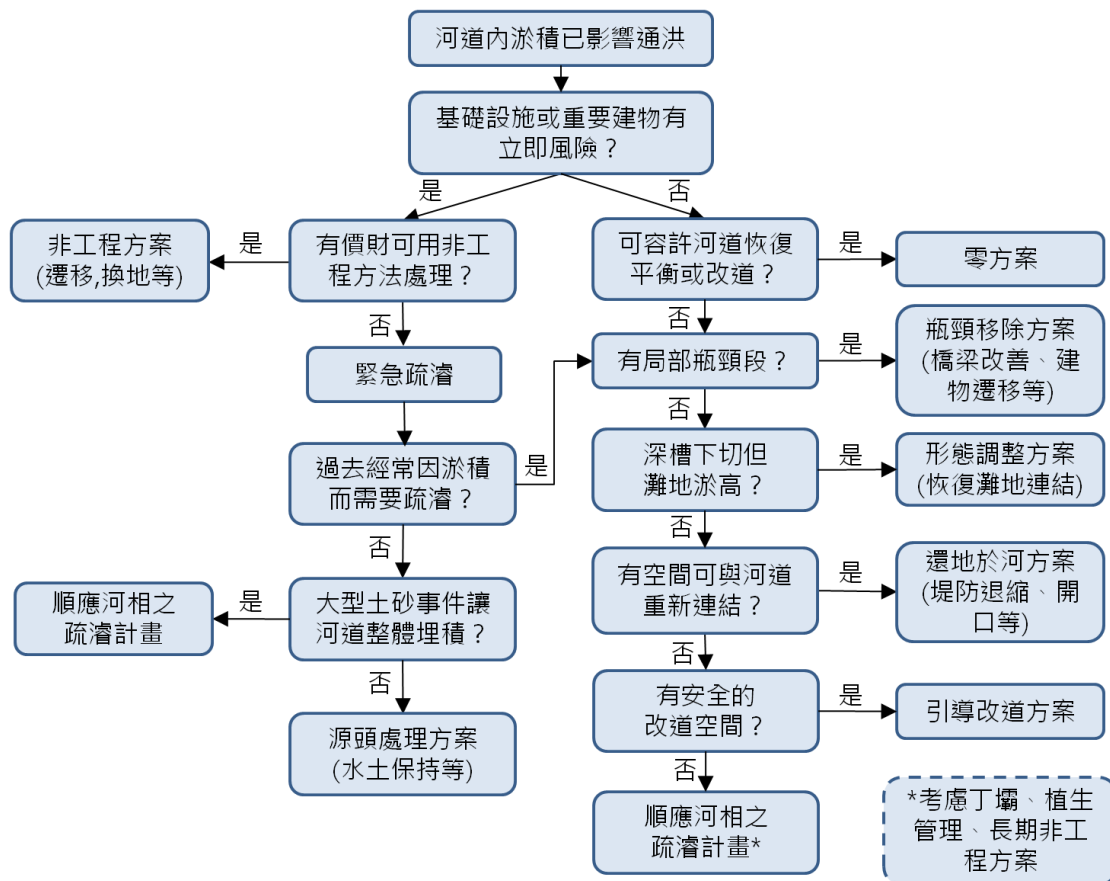


圖 26 順應河相之疏濬決策流程

#### (1) 緊急應變對策

##### A. 非工程方案評估

如果保全對象為橋梁、道路等基礎建設，或住屋、商辦等重要建物，且在下一場洪水就可能因溢淹、洪水衝擊或土砂災害而受損，應優先考慮將其遷移。可能保全對象已壓縮廊道，限制河道淤積的空間，容許其留在原地將會使其自身承受風險，並帶來日後更多的治理與管理負擔。

##### B. 緊急疏濬

若保全對象無法在短期內遷移，緊急疏濬是自然的選擇。

但此時疏濬的規模應盡量小，例如整理出流路，讓規劃者有一些時間能做更完整的應變。緊急疏濬後，接著要問的是對象河道過去是否常因淤積而需疏濬？如是，應進入右側的評估流程，找出經常性淤積的原因，尋求解決之道。

### C. 土砂事件評估

若河段過去不常需要疏濬，可能此次為偶發的大型土砂事件所致。大型土砂事件導致的整體埋積，可能需訂定疏濬計畫，評估上游集水區潛在土砂量，依河相原則分年分期實施。若並非由自然土砂事件所致，就需進一步了解土砂來源。例如可能是近期上游工程或開發增加來砂量，此時應研擬源頭處理方案。

## (2) 一般評估流程

### A. 零方案評估

自然河道不太會有持續淤積的現象，而會不斷朝平衡河道調整。即便是傾向淤積的沖積扇，在河道淤高後，也會改道，切出一條新流路。一次洪水使河道淤積後，往往低含砂水流又會沖刷河道。若沒有重要保全對象受到立即威脅，應優先考量不疏濬的零方案，容許河道恢復平衡或改道。

### B. 瓶頸移除評估

如果河段無法自行恢復平衡，或過去經常有疏濬需求，往往是人為因素所致。可能保全對象本身即是瓶頸，如跨距、高度不足的橋梁、束縮河道的建物等。也可能下游有瓶頸，導致對象河段淤積。此時自然應先排除瓶頸，使土砂能順暢流下。

### C. 河床兩極化評估

若局部瓶頸已排除，接著要評估河段是否深槽下切但灘地淤高？若是，此即所謂的「兩極化河道」，常見於連續混凝土護岸下游。混凝土護岸使流功增加、深槽下切，中小型洪水時水流難漫淹灘地。一旦多年生草本佔據灘地，洪水不易將其掃除，植生會捕捉越來越多細粒土砂，讓灘地淤得更高、更難被洪水清洗，形成惡性循環。矯正兩極化河道除需移除平滑的護岸，也需調整河道的形態，例如削高灘、填深槽，使水流能重新溢淹灘地，恢復與灘地的連結。



#### D. 還地於河評估

若河床兩極化因素已排除，河道仍會持續淤積，就要思考是否有空間可與河道重新連結，尤其要確保匯流處有充分的緩衝空間，並視需要調整治理與管理界線。還地於河方案可能包括堤防後退或開口，讓河道周邊有更多淤砂的空間。

#### E. 改道評估

若現有河道已淤積到接近兩岸土地高程，表示河川已有改道的傾向。此時若加高堤防，就是製造懸河，增加日後災害風險及維護成本。可評估附近是否有舊河道或開發程度尚低的土地可供改道，並積極引導河川改道。若確實沒有空間，則應在符合河相原則的前提下，辦理定期疏濬。

#### F. 替代方案

除疏濬外，亦可考慮使用丁壩的挑流、導流功能，束縮流路排除淤砂(束水攻砂)，或配合植生管理降低灘地粗糙度等。若河道周邊已高度開發，完全失去沖淤變化的空間，亦可考慮在定期疏濬的同時，採取都市更新等長期非工程方案來因應。規劃者能熟悉越多種替代方案，就越能因地制宜擇定最小工程介入方案。

### 四、結語

本研究針對五種常用之治理措施(堤防、護岸、丁壩、固床工及河道疏濬)，依河川類群及地形分段，建議適宜之施作區位，說明現況課題，提出順應河相之規劃原則及決策流程，期能作為實務參考。其中施作區位考量不同類群及地形分段能量狀況，但尚需更多案例檢證。決策流程圖中的步驟，已納入順應河相之規劃原則，雖有大致優先順序，但仍仰賴規劃者對各種可能方案的理解，及對財務、社會面可行性之判斷。

治理之需求與周圍土地利用息息相關，若土地利用過度壓縮河川空間，河道內工程難以依循河相原則，則易發生構造物破損需一再修復，或河川能量及致災風險轉移至其他未受保護河段。部分非工程方案的落實有待相關法規制度的修訂，以發展更有彈性的土地管理工具，使合理的土地利用與治理規劃接軌。此外，部分決策涉及上下游不同機關權屬範圍，亦需建立跨機關整合的機制。

應用河相學於河川治理規劃的技術與工具，在國內尚屬發展階段。本文修改自作者於民國107、108年為水利規劃試驗所執行的計畫，該研究主要成果已匯整

於「河相學應用於河川治理規劃參考手冊(草案)」。研究過程中承蒙水規所河川課陳春伸課長及其同仁指正，以及中興工程郭鎮維博士提供諸多寶貴意見，在此一併致謝。

### 參考文獻

1. Bavarian State Ministry for the Environment and Consumer Protection, 2014, Hochwasserschutz Aktionsprogramm 2020 plus.
2. Nikitin, I., 1995, 「水制の理論と計算」—近自然河川工法の発想を高めるために，信山社サイテック(福留脩文、山脇正俊譯)
3. Scottish Environment Protection Agency, 2016, WAT-SG-86: Registration rules for exposed sediment removal.
4. 水利署水利規劃試驗所，2019，河相學應用於河川治理規劃參考手冊(草案)。
5. 真田秀吉，1932，日本水制工論，岩波書店。
6. 福岡捷二，2008，石礫河川の移動床水理の諸問題と解決への道筋. 河川技術論文集, 14, 1-6.