

應用河相學於國有林 溪流治理與復育

—從大尺度自然營力看溪流的變化特性

撰文 | 郭鎮維（中興工程顧問股份有限公司工程美學中心工程師／通訊作者）
楊佳寧（中興工程顧問股份有限公司工程美學中心正工程師）

前言

山區野溪治理工程從提報到驗收的周期短、執行規模小，較難以個案方式做完善的規劃分析。實務上常碰到的情況是，當甲地

發生土砂災情，各地便出現工程倡議，擔心若不處理，災害可能在乙地上演，卻沒有分析甲、乙環境條件的差異。

臺灣特殊的地理環境，使得山區的地表作用相當活躍，崩塌乃是自然營力作用的必然現象。崩塌或河道土砂增加不必然會致



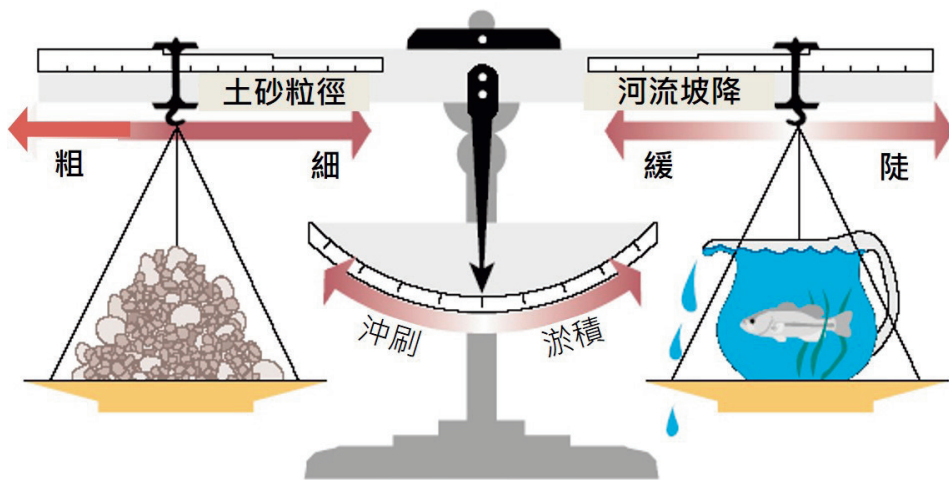
① 河相學與防災及棲地的連結

災，若工程治理過量，反而可能破壞集水區的消能機制與輸砂平衡，亦對動植物棲地造成不必要的干擾。依循生態友善的發展方向，集水區治理需要客觀、量化且實用的分析方法，以快速判斷是否有治理需求，或者就讓崩場地自然恢復或河道土砂漸次下移，允許自然界取得新的平衡。

本文從河相學的角度，蒐集並分析全島尺度的自然營力因子，包括降雨、地震、地形、地質等，研擬河川能量指標與消能機制指標，為不同區域的山區溪流提供量化分級的依據，從而解釋臺灣山區野溪形態與營力之間的關連，並且初步提出各類型溪流的治理與管理原則。透過河相學研究的進展，這樣的評估可進一步應用至集水區尺度，期能作為治理評估流程的參考，達到兼顧防災與生態復育的目標。

河相學與河川能量系統

河相學（Fluvial Geomorphology），又譯為河流地形學，為地理學的分支，係研究河川如何在自然或人為營力作用下，形成各種樣貌。河相學在大的尺度可以連結到防災，在小的尺度則直接對應到棲地。正如同醫者需明白人體健康的狀態，河溪的管理者也需了解河川自然的面貌，以及在不同營力作用下，河川會朝何種方向演變。河相學從營力的角度了解河川，因此視河川為一能量系統。河川有它消能與自我平衡的機制，應用河相學可以指認河川消能所需的空間，並善用各種自然消能機制，協助工程師以最少量的工程介入與維護成本，達成防災的目標。



② Lane平衡圖解

資料來源：Rosgen (1996)，根據Lane (1955) 所繪製。

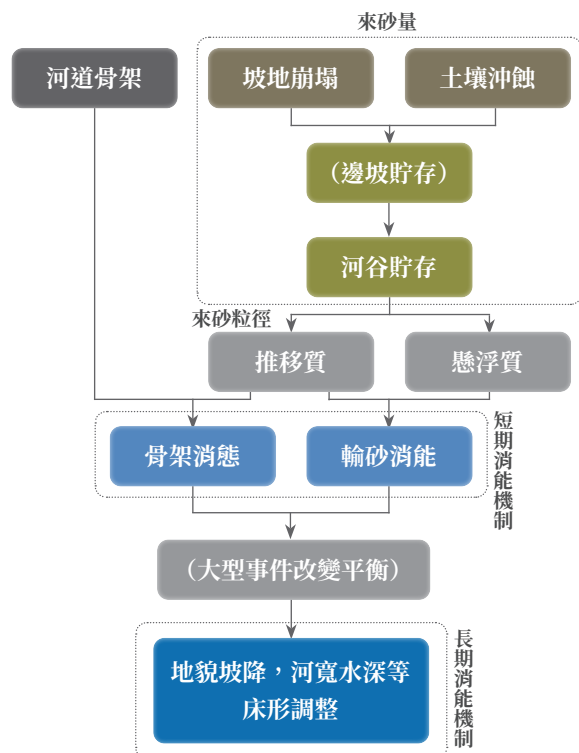
河川能量的平衡理論

美國水利工程師Lane在1955年的論文「河流形態學對水利工程之重要性」中，闡述了著名的Lane平衡，這平衡可以用圖②的天平來說明。

天平右側的魚缸代表河道內的流量，臂長代表河床的坡降，這二者相乘，就反映出一條河川有多少能量。左側則有河流中的「土砂量」及「土砂粒徑」，這二者相乘，表現出河流抵抗沖刷或侵蝕的能力，可以視為河川消能的機制。Lane平衡說明當天平中的任何因素改變時，河川可能的因應方式。例如水流量增加或坡降增加，會造成沖刷，河川會透過增加土砂量或增加河床質的粒徑，來削減能量，達到新的平衡。另一方面，當河道中土砂量突然增加（如邊坡發生崩塌）因而產生淤積，水流可透過增加河流坡降的方式，達成河段新的平衡。

消能機制的架構

Lane平衡闡述了河溪中水與砂的基本關係，但事實上，這個天平並沒有包含自然溪流消能的各種機制。如圖③所示，溪流短期的消能機制可以分為「骨架消能」及「輸砂消能」，二者的總合就是河川能量。輸砂消能是指水流攜帶著自集水區崩塌、沖蝕而來的土石前進，透過作功而消耗能量。骨架是指河道中不易變動的部分，例如溪谷的岩壁與岩床、溪床中大石頭卡合而成的結構，因此骨架消能是水流與河道骨架碰撞摩擦而消



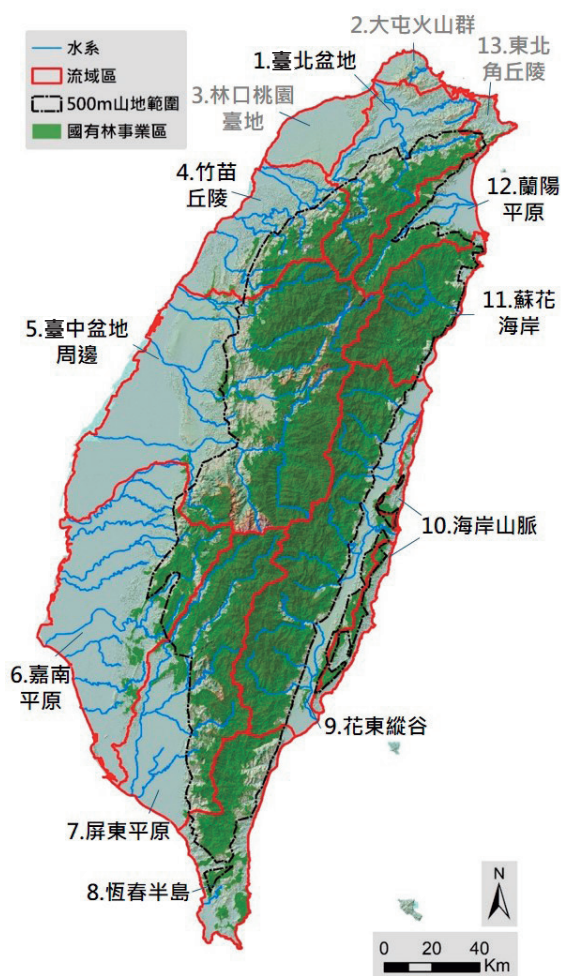
③ 溪流的消能機制架構

耗能量（以熱能的形式散逸）。

骨架消能與輸砂消能，都可在一般洪水期間持續進行。如果發生了大型的洪水或土砂事件，破壞了既有的水砂平衡，則溪流需要花較長時間調整坡降、河寬、水深等因子，以達成新的動態平衡。

臺灣流域區的劃分

我們都聽過「流域」，但「流域區」是什麼呢？如果從河相的角度思考河溪管理，我們很直覺地會想要瞭解哪些河川的個性是相似的。所謂「流域區」，是由地形、地質、水文條件類似的相鄰流域整併而成，目



④ 流域區、山區與國有林事業區
(註：淺灰字的三個流域區不納入分析)

的就是為了方便理解河川的本質。例如歐盟在2000年後全面推廣河流復育，為了讓各會員國對大大小小甚至常跨越國界的河川，有較一致的理解，因此以流域區作為河川管理的基本單元。

作者前期的研究，將臺灣島劃分為13個流域區，同區的河川具有相似的形態與營力，透過流域區的劃分與描述，較容易掌握

各地河川的特性。圖④進一步套疊這些流域區與國有林事業區，並以海拔500公尺作為山區的界線，因為95%以上的國有林事業區都位於500公尺以上。套疊後可發現，13個流域區當中，大屯火山群與林口桃園臺地沒有國有林分布，而東北角丘陵的國有林面積很小。以下以其餘10個流域區的山區為對象，從既有研究與統計資料中，選取可以代表河川能量與消能機制的水文與地文因子，從而描述各地山區溪流的特性。

流域區尺度的河川能量

圖②的天平說明，河川能量由河道內的流量與河床坡降組成，但在流域區的尺度，我們無法直接得到河道流量與河床坡降，必須先選擇合適的指標，來表達這些因子。

降雨沖蝕指數

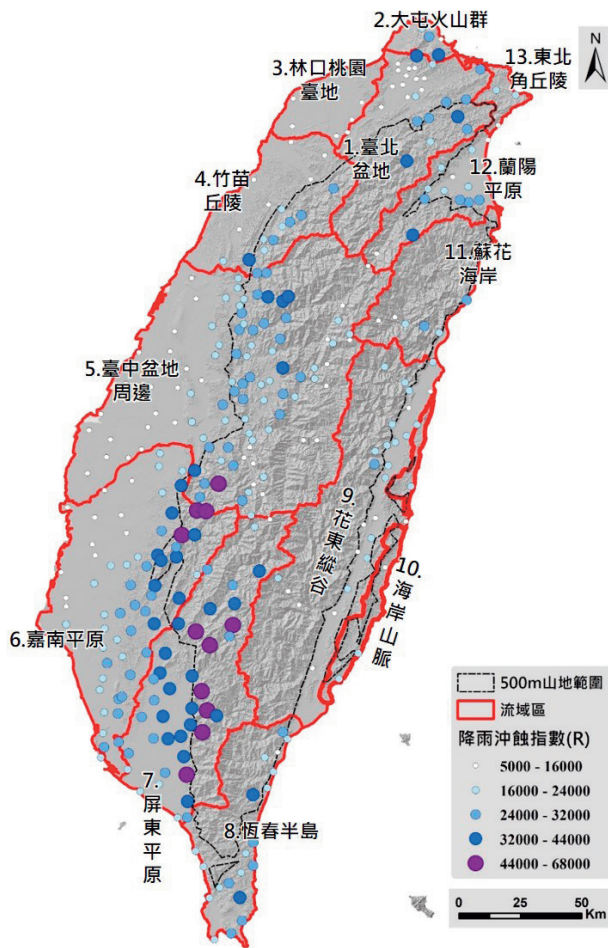
河道內流量來自集水區降雨所形成的地表逕流。降雨沖蝕指數（通常寫作R）是水土保持界熟知的「通用土壤流失公式」中的第一項，它可以視為有效降雨量與尖峰降雨強度的乘積。有效降雨對應河道內的總流量，尖峰降雨對應河道內的尖峰流量，因此降雨沖蝕指數剛好可以反映區域尺度的逕流特質，對極端事件亦有鑑別度。

全臺灣各地的年平均降雨沖蝕指數可從水土保持局的資料平臺下載，再繪製成R值分布圖（圖⑤）。這些資料是根據臺灣地區

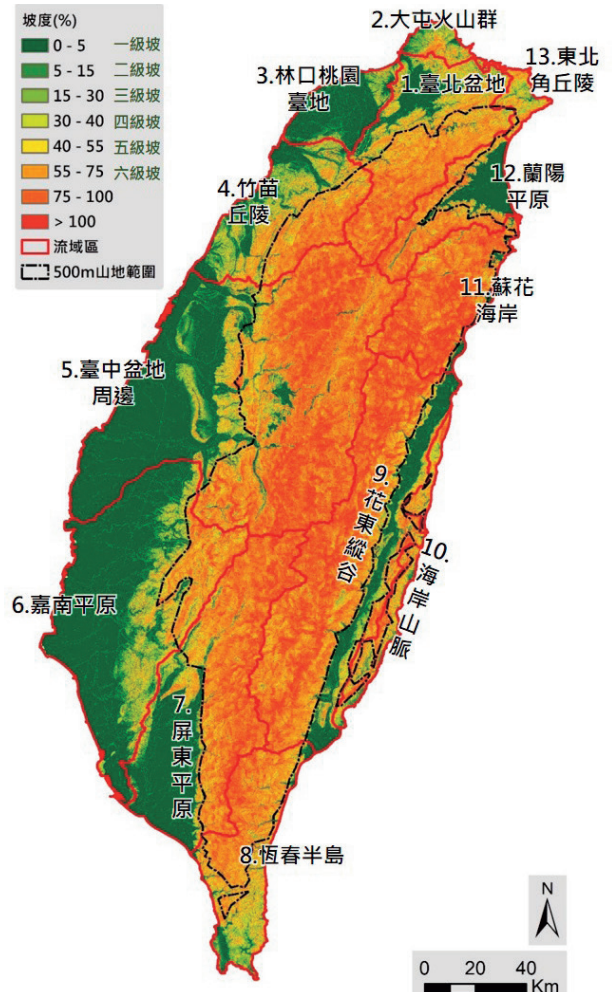
323個雨量站2002—2018年每10分鐘紀錄的雨量資料計算而得。以各流域區山區為界，劃分各測站點位與資料，再分計算各山區之平均降雨沖蝕指數，結果如表1。各地山區的R值以屏東平原最高（42,326），嘉南平原次之（37,099），二地山區的年平均雨量不算高，但於莫拉克颱風期間，都降下單日破千的雨量。排名第三的臺北盆地，則是山區年平均雨量最高者。其餘各流域區山區的R值約在20,000上下。

地形坡降

坡降的部分可直接使用內政部公開之全臺DEM（解析度20公尺），製作全島地表坡降（%）分布圖（圖⑥），再統計各流域區山區每個20公尺網格的平均地形坡降，結果如表2。花東地區的三個流域區坡度最陡；此外，屏東平原和臺中盆地周邊山區均發源自中央山脈主稜線，平均坡度均逾75%。



⑤ 臺灣降雨沖蝕指數R測站與數值分布圖



⑥ 全臺地形坡降分布圖

表1 各流域區山區之年平均降雨沖蝕指數 (R值)

| 流域區 | 臺北盆地 | 竹苗丘陵 | 臺中盆地 周邊 | 嘉南平原 | 屏東平原 | 恆春半島 | 花東縱谷 | 海岸山脈 | 蘇花海岸 | 蘭陽平原 |
|------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 山區R值 | 28,778 | 23,091 | 23,213 | 37,099 | 42,326 | 22,586 | 17,970 | 18,747 | 21,205 | 21,435 |

表2 各流域區山區各級坡度占比及平均坡度統計

| 流域區 (山區) | 臺北盆地 | 竹苗丘陵 | 臺中盆地 周邊 | 嘉南平原 | 屏東平原 | 恆春半島 | 花東縱谷 | 海岸山脈 | 蘇花海岸 | 蘭陽平原 | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 各級坡度面積占比 (%) | <5 | 1.0 | 0.8 | 2.6 | 0.7 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.2 | 0.6 | 1.3 |
| | 5~15 | 1.6 | 2.2 | 2.9 | 2.9 | 1.8 | 1.9 | 1.3 | 1.5 | 1.3 | 2.8 |
| | 15~30 | 6.0 | 6.6 | 5.3 | 9.0 | 4.1 | 5.5 | 3.6 | 6.1 | 3.4 | 5.9 |
| | 30~40 | 7.5 | 7.8 | 5.3 | 9.8 | 5.1 | 6.8 | 4.8 | 7.3 | 3.9 | 6.3 |
| | 40~55 | 16.3 | 17.1 | 11.4 | 20.2 | 13.1 | 16.5 | 13.3 | 14.8 | 9.9 | 13.7 |
| | 55~75 | 27.4 | 27.0 | 21.6 | 26.5 | 25.8 | 28.5 | 25.1 | 21.2 | 21.6 | 25.3 |
| | 75~100 | 26.8 | 25.8 | 28.1 | 20.0 | 27.8 | 26.0 | 26.3 | 24.0 | 29.2 | 28.8 |
| | >100 | 13.4 | 12.7 | 23.0 | 10.8 | 21.4 | 14.1 | 25.2 | 25.0 | 30.0 | 15.9 |
| 平均坡度 (%) | 69.1 | 67.8 | 76.1 | 63.3 | 77.4 | 70.2 | 81.1 | 78.4 | 86.6 | 70.8 | |

表3 各流域區山區之河流功率指標與分級

| 流域區 (山區) | 降雨沖蝕指數R (MJ-mm/ha-hr) | 平均坡度S (%) | 逕流功率指標 ω_i (W/km ²) | 標準化逕流功率指 標 ω_s | 逕流功率等級 ω_c |
|-------------|--------------------------|--------------|---|--------------------------|----------------------|
| 屏東平原 | 42,326 | 77.4 | 357088 | 9.58 | A |
| 嘉南平原 | 37,099 | 63.3 | 255972 | 4.90 | B |
| 恆春半島 | 28,408 | 70.2 | 217372 | 3.11 | C |
| 臺北盆地 | 28,778 | 69.1 | 216753 | 3.08 | C |
| 蘇花海岸 | 21,205 | 86.6 | 200162 | 2.32 | C |
| 臺中盆地周邊 | 23,213 | 76.1 | 192550 | 1.96 | C |
| 竹苗丘陵 | 23,091 | 67.8 | 170647 | 0.95 | D |
| 蘭陽平原 | 21,435 | 70.8 | 165418 | 0.71 | D |
| 海岸山脈 | 18,747 | 78.4 | 160204 | 0.46 | D |
| 花東縱谷 | 17,970 | 81.1 | 158853 | 0.40 | D |

表4 各流域區山區年平均地震能量

| 流域區 | 臺北盆地 | 竹苗丘陵 | 臺中盆地 周邊 | 嘉南平原 | 屏東平原 | 恆春半島 | 花東縱谷 | 海岸山脈 | 蘇花海岸 | 蘭陽平原 |
|-------------------------------------|------|------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 平均地震 能量 (MJ/km ²) | 6 | 122 | 1271 | 942 | 181 | 42 | 192 | 446 | 48 | 45 |

表5 各流域區山區岩體強度分級與平均岩體強度

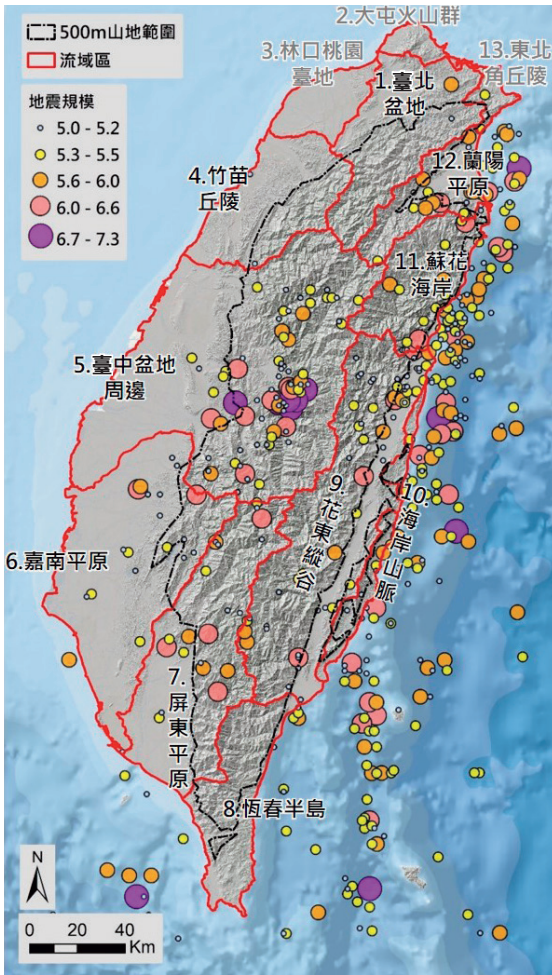
| 岩體強度 分級 | 代表岩 體強度 (MPa) | 臺北盆地 | 竹苗丘陵 | 臺中盆地 周邊 | 嘉南平原 | 屏東平原 | 恆春半島 | 花東縱谷 | 海岸山脈 | 蘇花海岸 | 蘭陽平原 |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| I | 130 | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| II | 75 | 0.1% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 38.5% | 0.2% | 0.0% |
| III | 35 | 51.7% | 22.2% | 36.1% | 21.2% | 5.4% | 5.8% | 18.4% | 37.1% | 54.5% | 22.0% |
| IV | 15 | 16.6% | 54.5% | 31.1% | 60.2% | 47.1% | 17.4% | 76.4% | 0.0% | 27.3% | 17.2% |
| V | 5 | 30.7% | 21.8% | 25.5% | 15.4% | 45.2% | 75.5% | 4.1% | 24.4% | 16.3% | 57.4% |
| VI | 1.7 | 0.0% | 0.0% | 2.6% | 0.9% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 未分級 | 0 | 0.9% | 1.6% | 4.6% | 2.2% | 2.3% | 1.3% | 1.2% | 0.0% | 1.7% | 3.4% |
| 總計 | | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| 平均岩體強度 (MPa) | | 27.32 | 22.12 | 19.83 | 25.64 | 17.31 | 7.43 | 18.08 | 27.27 | 22.95 | 18.19 |

流域區逕流功率指標

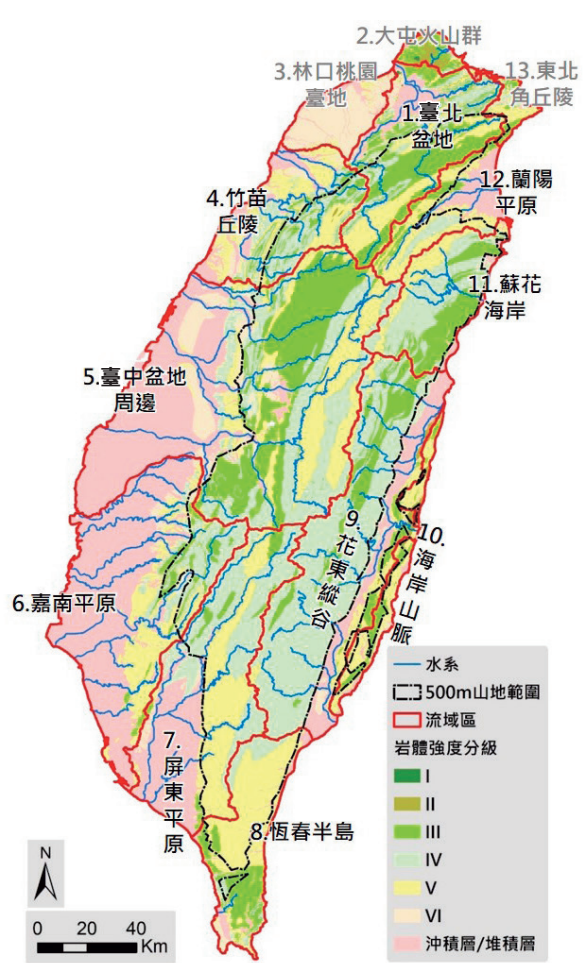
將各流域區山區平均坡降與降雨沖蝕指數相乘，可表達流域區尺度的河川能量，在此稱為「逕流功率指標」，表示為 ω_1 。假設此指標的最大值與最小值後，可進一步把這些數字轉化為0—10的數值，比較不同流域區之間的河川能量，如表3所示。屏東平原山區是逕流功率最強的地區，豐枯不均導致R值極大，設為A級。其次為嘉南平原山區，雖平均坡度緩，但R值亦大，設為B級。恆春半島、臺北盆地、蘇花海岸、臺中盆地周邊的山區為C級，其餘各區為D級。

消能機制指標分析

圖③將溪流消能機制分為「骨架消能」與「輸砂消能」。由於二者的總合就是河川能量，此消則彼長，而骨架消能很難在流域區尺度量化，因此選擇輸砂消能作為評估對象。在河川能以輸砂消能之前，河道的輸砂量取決於集水區的產砂量，而在流域區尺度，產砂量來自坡地崩塌及土壤流失。若不考慮為人治理因素，隨著時間的推移，二者大部分都會進入河道，成為消能的材料。



⑦ 全臺地震震央（1995–2021規模≥5之地震）分布圖
資料來源：中央氣象局地震測報中心
（註：淺灰字的三個流域區不納入分析）



⑧ 臺灣地層岩體強度分級圖

坡地崩塌

誘發坡地崩塌的營力因子是地震和降雨。地震來自地球內部各種營力產生的地殼變動及岩漿活動，即便不直接讓岩石破碎崩塌，也會使岩體碎裂，加速風化的進展，製造潛在的崩塌物質。降雨如果累積到一個地步，讓土層孔隙的水壓上升，土體重量增加，超過一個臨界值，就會觸發剝離或滑動。在同樣的外力作用下，崩塌量的多寡取

決於地表的岩體強度，而土砂搬運至河道的效率，又與地形坡降有關。因此我們選擇以地震能量、岩體強度、降雨沖蝕指數、平均坡度等四項因子，來評估坡地崩塌量。其中降雨沖蝕指數與平均坡度亦構成河川能量，已於前節說明。

1. 平均地震能量

關於地震，我們常聽到的量化方法是芮氏規模或震度，但這兩者都只是等級，不是

表6 各流域區山區之坡地崩塌指標與分級

| 流域區 (山區) | 降雨沖蝕指數R (MJ-mm/ha-hr) | 平均坡度S (%) | 平均地震能量 (MJ/km ²) | 平均岩體強度 (MPa) | 坡地崩塌指標Li (10 ⁻⁷ W) | 標準化坡地崩 塌指標L _s | 坡地崩塌等級 L _c |
|-------------|--------------------------|--------------|---------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 臺中盆地周邊 | 23,213 | 76.1 | 1271 | 19.83 | 314.39 | 9.58 | A |
| 嘉南平原 | 37,099 | 63.3 | 942 | 25.64 | 239.66 | 7.30 | A |
| 屏東平原 | 42,326 | 77.4 | 181 | 17.31 | 95.35 | 2.89 | B |
| 海岸山脈 | 18,747 | 78.4 | 446 | 27.27 | 66.81 | 2.02 | C |
| 花東縱谷 | 17,970 | 81.1 | 192 | 18.08 | 43.01 | 1.29 | C |
| 恆春半島 | 28,408 | 70.2 | 42 | 7.43 | 31.15 | 0.93 | D |
| 竹苗丘陵 | 23,091 | 67.8 | 122 | 22.12 | 24.03 | 0.71 | D |
| 蘇花海岸 | 21,205 | 86.6 | 48 | 22.95 | 10.71 | 0.31 | D |
| 蘭陽平原 | 21,435 | 70.8 | 45 | 18.19 | 10.46 | 0.30 | D |
| 臺北盆地 | 28,778 | 69.1 | 6 | 27.32 | 1.30 | 0.02 | E |

表7 各流域區及山區之平均土壤沖蝕指數 (K值)

| 流域區 | 臺北盆地 | 竹苗丘陵 | 臺中盆地周邊 | 嘉南平原 | 屏東平原 | 恆春半島 | 花東縱谷 | 海岸山脈 | 蘇花海岸 | 蘭陽平原 |
|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 山區K值 | 0.028 | 0.044 | 0.033 | 0.056 | 0.035 | 0.041 | 0.042 | 0.036 | 0.037 | 0.034 |

表8 各流域區山區之土壤流失指標與分級

| 流域區 (山區) | 降雨沖蝕指數R (MJ-mm/ha-hr) | 平均坡度S (%) | 土壤沖蝕指數K | 土壤流失指標Si (kg/m ²) | 標準化土壤流失 指標S _s | 土壤流失等級 S _c |
|-------------|--------------------------|--------------|---------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 嘉南平原 | 37,099 | 63.3 | 0.056 | 132 | 9.43 | A |
| 屏東平原 | 42,326 | 77.4 | 0.035 | 115 | 7.48 | A |
| 恆春半島 | 28,408 | 70.2 | 0.041 | 82 | 3.68 | B |
| 竹苗丘陵 | 23,091 | 67.8 | 0.044 | 69 | 2.19 | C |
| 蘇花海岸 | 21,205 | 86.6 | 0.037 | 68 | 2.08 | C |
| 花東縱谷 | 17,970 | 81.1 | 0.042 | 61 | 1.30 | C |
| 臺中盆地周邊 | 23,213 | 76.1 | 0.033 | 58 | 0.96 | D |
| 臺北盆地 | 28,778 | 69.1 | 0.028 | 56 | 0.66 | D |
| 海岸山脈 | 18,747 | 78.4 | 0.036 | 53 | 0.34 | D |
| 蘭陽平原 | 21,435 | 70.8 | 0.034 | 52 | 0.18 | D |

物理量，難以操作及運算。為此，需要把地震規模轉化為地震能量。我們蒐集了中央氣象局地震測報中心1995—2021年發生在臺灣本島及近海之地震震央分布圖層，篩選出芮氏規模5以上的地震，並套疊流域區，結果如圖⑦。地震規模會隨距離而衰減，需要使用衰減函數修正。接著，再將衰減後的規模用公式轉換為能量，以便各區的比較。表4顯示，平均地震能量最強的山區為臺中盆地周邊，其次為嘉南平原，二者都是造山運動的能量釋放區。海岸山脈、花東縱谷位處板塊交界帶，地震活動頻繁，能量也不小。另一方面，蘇花海岸及蘭陽平原附近的地震雖然多，但震源較深，使得傳到地表的能量大幅降低。臺北盆地山區的地震少且震源深，能量最小。

2. 平均岩體強度

根據經濟部中央地質調查所的研究，臺灣的岩體強度分級考慮「岩石單壓強度」及「岩體結構類型」二個因素，共分為7級。我們依據中央地質調查所資料，繪製全臺灣岩體強度分級圖（圖⑧），統計各流域區山區於不同岩體分級所占的面積，給予各級代表性的數值，再依面積比例加權，計算各流域區之「平均岩體強度」，結果如表5。臺灣山區的岩體強度介於I至VI級。整體而言，臺北盆地與海岸山脈流域區山區的岩性最強，脊梁山脈南端的屏東平原及恆春半島山區，平均岩性最為軟弱。

3. 流域區坡地崩塌指標

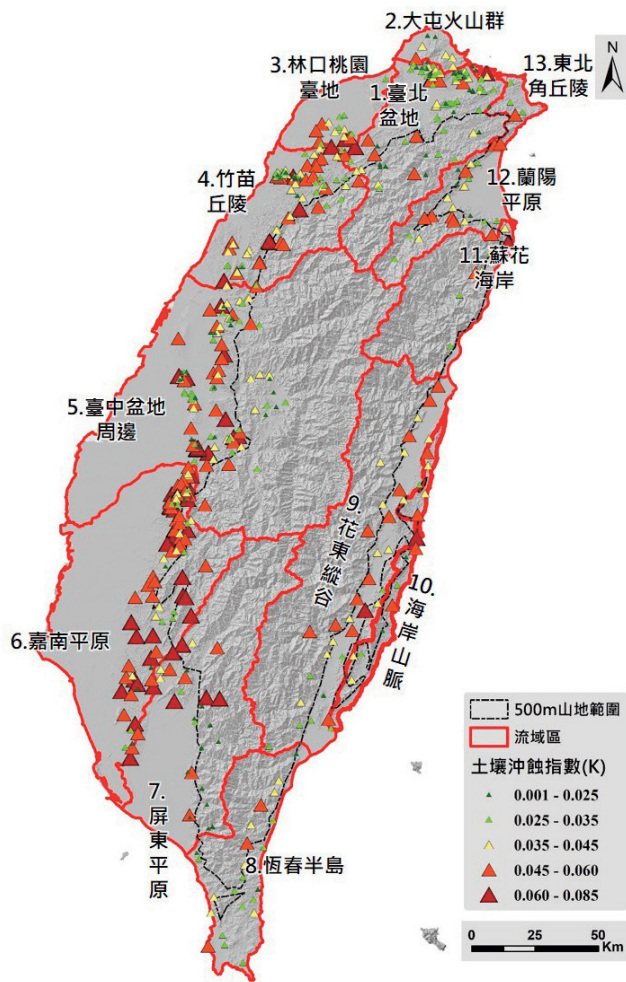
將降雨沖蝕指數、平均坡度、標準化地震能量這三項因子相乘，再除以平均岩體強度之結果，定義為坡地崩塌指標。直觀地理解，這個指標可概略解釋成在特定岩體強度下，每年因地震能量而破碎鬆動的土石，受降雨作用，而沿坡面方向運動的功率。假設此指標的最大值與最小值後，可進一步轉化為0—10之數值，以比較不同流域區之間的崩塌潛勢，再依數值分成A—D級，結果如表6。臺中盆地周邊及嘉南平原山區先遭逢九二一地震，再受敏督利、莫拉克等極端降雨影響，指標值明顯高於其他山區，設為A級。屏東平原降雨沖蝕指數最大且岩性甚弱，設為B級。海岸山脈的地震能量偏高，然而降雨沖蝕指數低且岩性最強，與岩性較弱的花東縱谷同屬C級。恆春半島、竹苗丘陵、蘇花海岸、蘭陽平原屬D級。臺北盆地山區之指標值遠低於其他區域，設為E級。

土壤流失

土壤流失是表層土壤因降雨所造成的侵蝕與搬運現象。相對於坡地崩塌材料多由大顆粒組成，土壤流失則提供河道內細顆粒土砂來源。土壤流失量除與降雨特性、坡度有關外，亦取決於土壤風化的程度。

1. 土壤沖蝕指數

在此使用通用土壤流失公式中的土壤沖蝕指數（稱為K值），作為土壤抗沖蝕能力的量化指標。K值反映土壤風化的程度，是



⑨ 臺灣土壤沖蝕指數K採集點與數值分布圖

土壤抵抗沖蝕能力高低的一種量化指標。全臺灣各地的土壤沖蝕指數可從水土保持局資料平臺下載，並繪製成圖⑨的K值分布圖。這些資料是根據2016—2019年間臺灣本島地區526個山坡地採集土樣統計所得。以各流域區山區為界，分別計算各流域區山區的平均土壤沖蝕指數，結果如表7。嘉南平原山區的K值最高，臺北盆地最低，其餘各區均在0.03—0.04附近。整體而言，各地K值的變化不大。

2. 流域區土壤流失指標

將降雨沖蝕指數、平均坡度、土壤沖蝕指數三因子相乘的結果，定義為土壤流失指標 S_i ，代表在區域降雨條件下，單位面積年平均流失的土壤量。這個值也可標準化為0—10之數值，再分成A—D級，結果如表8。嘉南平原及屏東平原山區的土壤流失指標皆大，列為A級，其次為恆春半島，列為

表9 各流域區山區溪流河相特性

| 流域區(山區) | 標準化逕流功率指標 ω_s | 逕流功率等級 ω_c | 標準化坡地崩塌指標 L_s | 坡地崩塌等級 L_c | 標準化土壤流失指標 S_s | 土壤流失等級 S_c | 河相特性 |
|---------|----------------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|
| 臺北盆地 | 3.08 | C | 0.02 | E | 0.66 | D | 骨架消能 |
| 竹苗丘陵 | 0.95 | D | 0.71 | D | 2.19 | C | 變換 |
| 臺中盆地周邊 | 1.96 | C | 9.58 | A | 0.96 | D | 埋積 |
| 嘉南平原 | 4.90 | B | 7.30 | A | 9.43 | A | 埋積 (多細料) |
| 屏東平原 | 9.58 | A | 2.89 | B | 7.48 | A | 變換 (多細料) |
| 恆春半島 | 3.11 | C | 0.93 | D | 3.68 | B | 變換 (多細料) |
| 花東縱谷 | 0.40 | D | 1.29 | C | 1.30 | C | 變換 |
| 海岸山脈 | 0.46 | D | 2.02 | C | 0.34 | D | 變換 |
| 蘇花海岸 | 2.32 | C | 0.31 | D | 2.08 | C | 骨架消能 |
| 蘭陽平原 | 0.71 | D | 0.30 | D | 0.18 | D | 變換 |

B級。整體而言，相對於坡地崩塌指標可能差距幾個數量級，各流域區之間的土壤流失指標差異並不大。

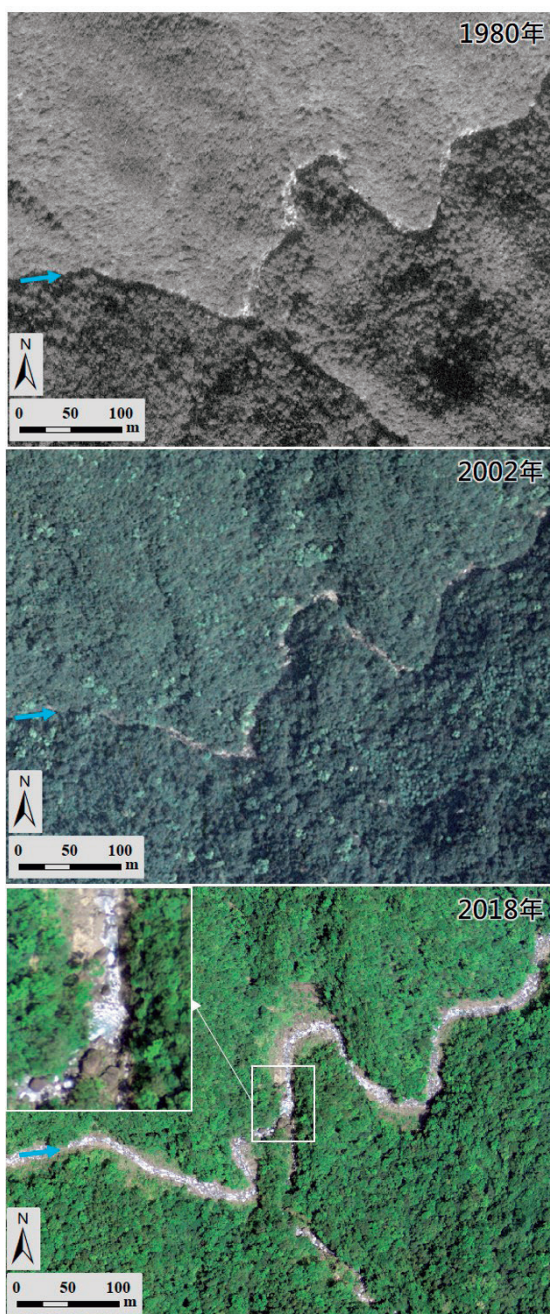
流域區溪流河相特性及治理與管理原則

從大尺度地水文因子量化指標的分析成果，可以說明山區溪流河相與能量之間的關係。比較各流域區的河流功率等級、坡地崩塌等級與土壤流失等級，並對照過往觀察經驗，可初步掌握山區溪流的能量與消能特性，歸納如表9。

骨架消能

當逕流功率等級 ω_c 高於坡地崩塌等級 L_c ，代表河川能量高且集水區產砂量小，溪流為骨架消能。 ω_c 與 L_c 差距越大，骨架消能的比例越高。臺北盆地、蘇花海岸的山區溪流屬骨架消能型。蘇花海岸多峽谷及受侷限的河谷，臺北盆地的野溪容易「見骨」，溪床往往底岩裸露，產生壺穴等地貌，凡此皆是骨架消能的見證。如新店溪上游的加九寮溪（圖10），歷年影像顯示河道穩定，兩岸植生茂密。即便2015年蘇迪勒颱風後河道略為加寬，但河床仍以底岩、巨石、深潭等單元構成，少量的崩塌並不會形成河道埋積（谷床被土砂淤埋），河床以骨架消能為主。

骨架消能型溪流，我們建議的治理與管理原則如下：

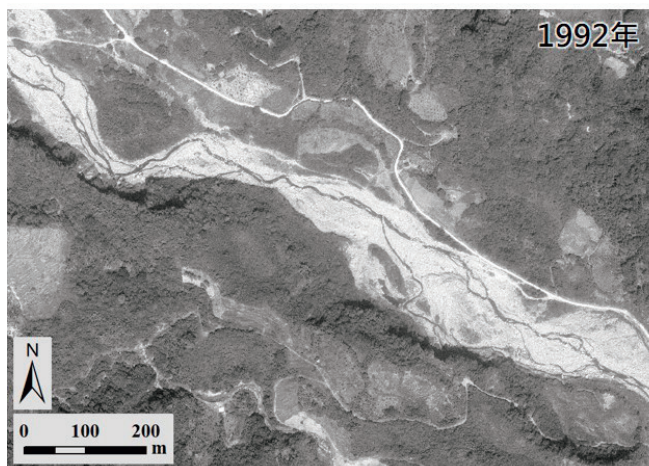


⑩ 臺北盆地山區的加九寮溪歷年正射影像
資料來源：林務局農林航空測量所

1. 盡可能維持既有河道內天然骨架，例如河床塊石卡合而成的階梯（橫跨溪床）、石組（塊石卡合但未橫跨溪床）結構，及谷壁露岩形成的天然丁壩。
2. 避免施做混凝土護岸等連續、光滑的縱向構造物，此類構造物會降低消能效果，且在洪水作用下經常破損。
3. 避免施做混凝土材質的防砂壩及固床工等橫向構造物，此類構造物在洪水作用下經常破損。
4. 由於土砂生產量較小，應避免疏濬及土砂採取。
5. 若溪流天然骨架已遭破壞，易下切至底岩裸露，或於外彎道攻擊山壁坡腳，造成小規模坡地崩塌。可視需要以自然材料建構河道內丁壩、固床工等骨架，以協助消能。
6. 若集水區發生大量土砂，需仔細探究原因，了解是否有過度的人為開發。

變換

當 ω_c 與 L_c 同等級或略低於 L_c ，溪流在骨架消能與輸砂消能之間變換。當來砂量大，溪床可能暫時埋積，輸砂消能旺盛；若一陣子沒有大型事件，則溪床的階梯石組骨架會重新顯露，轉變為骨架消能。竹



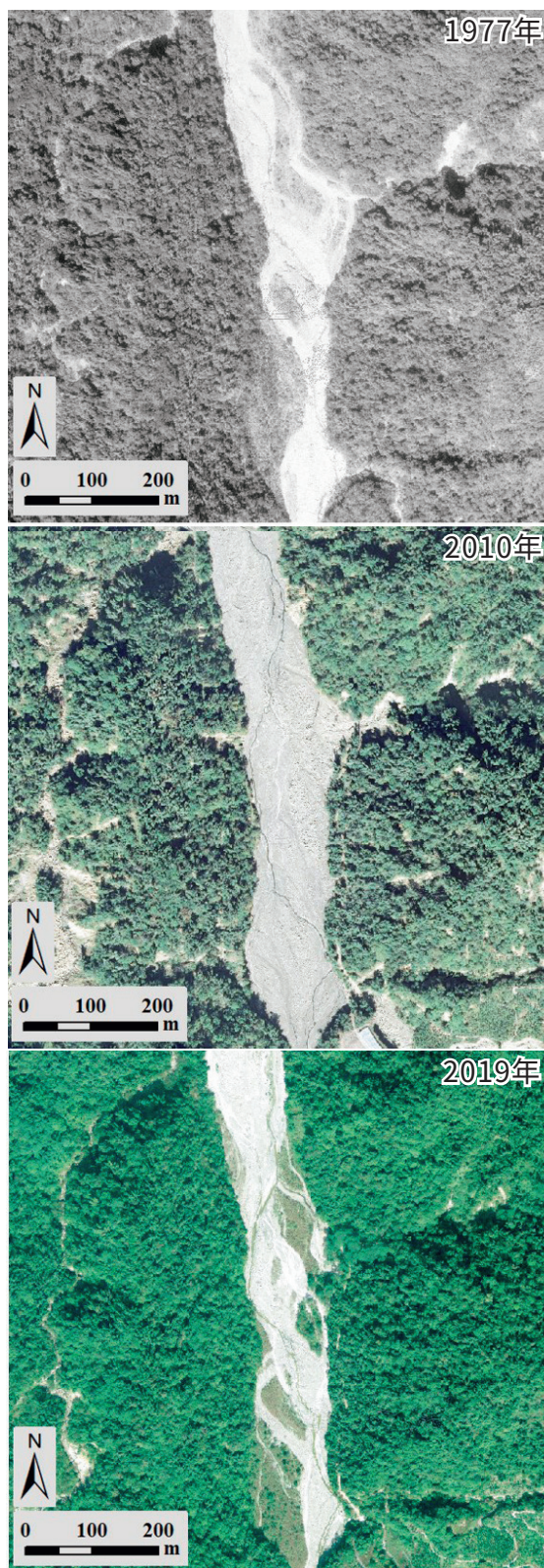
⑪ 海岸山脈的富家溪歷年正射影像
資料來源：林務局農林航空測量所

苗丘陵、花東縱谷、海岸山脈、蘭陽平原的山區野溪屬此類。

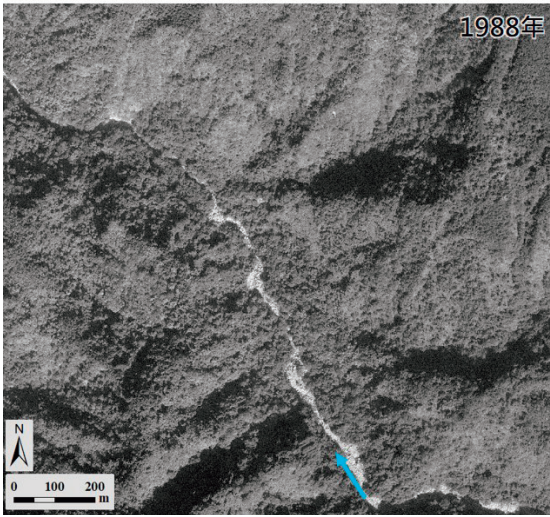
例如海岸山脈的富家溪（圖⑪），早期影像顯示土砂於寬廣的溪床堆積，而後土砂逐漸消化，植生復育，溪床再次發育出潭瀨序列。

變換型溪流的治理與管理原則如下：

1. 此類溪流樣貌變化快速，辦理工程前，需先了解溪流側向、垂向變動的範圍，評估現況溪床在側向、垂向廊道中的位置。數年前評估有疏濬需求之處，若溪床骨架出露，表示現況已不再有疏濬需求。
2. 若處於埋積階段，不宜施做具淺基礎的縱橫向構造物，以免河道下切使基礎裸露，引發更多修復工程。若施做橋梁，需確保橋面高於埋積的上限高程，基礎則低於骨架下限高程，深入底岩。
3. 若處於埋積階段，且可能危及下游保全對象，應優先評估是否能引導土砂無害下移。可考慮於局部寬闊處設置砂庫，辦理局部疏濬。
4. 避免施做混凝土護岸等連續、光滑的縱向構造物，此類構造物會促使流路緊貼岸壁而導致破損。
5. 避免施做混凝土材質的防砂壩及固床工等橫向構造物，此類構造



⑫ 嘉南平原山區的草蘭溪歷年正射影像
資料來源：林務局農林航空測量所



⑬ 屏東平原山區的老人溪歷年正射影像
資料來源：林務局農林航空測量所

物易被掩埋，或因基礎逐漸沖刷破損而失去功能。

6. 於流路迫近岸邊保全對象之處，可局部施做粗糙且可透水的護岸或丁壩。

埋積

當 ω_c 低於 L_c ，代表河流功率低但土砂量大，河道來不及消化來砂，溪流易埋積，且 L_c 越高，埋積的機率越高。臺中盆地周邊及嘉南平原的山區溪流屬此類，幾乎處於長期埋積的狀態。例如嘉南平原山區的草蘭溪（圖⑫），因上游各支流的崩塌土砂供應充足，在河谷寬廣處常處於埋積狀態。

埋積型溪流的治理與管理原則同變換型，由於產砂旺盛，側向、垂向的變動範圍皆大，建議考慮以下作為：

1. 在大規模埋積後疏通河道，整理流路，形成較安定的流心。
2. 施做通透且可調整的橫向防砂設施。

多細料

當 S_c 屬於A級或B級，代表集水區土壤流失量大，河床內細顆粒多，不容易形成階梯石組的骨架，也意味著既有的骨架一旦遭破壞流失，較難再自然形成。嘉南平原、屏東平原與恆春半島的山區皆受細料影響。此類溪流大部分時間埋積旺盛，但若一段時間沒有洪水，河道也可能出現底岩，垂向變化相當劇烈。屏東平原與恆春半島的 ω_c 高於 L_c ，若沒有細料的影響，

可能會是骨架消能型。2009年莫拉克風災後，屏東平原及恆春半島的山區溪流普遍埋積嚴重，然而回顧早年的航照圖，可清楚發現這些地區的溪流也常露出骨架（圖⑬）。嘉南平原以埋積為主，充分的細料也使得這些集水區一旦發生土石流，其流動性佳，輸砂效率更高。臺中盆地周邊的山區溪流埋積作用雖強烈，但細料較少，整體輸砂效率不如南部山區。

在多細料的溪流，除變換型與埋積型的治理與管理原則外，另建議：

1. 維護溪床、溪岸既有自然骨架。
2. 著重疏散、避難機制而非大規模治理工程。

結語

臺灣山區溪流因地文、水文條件的差異，呈現各種樣貌。我們從河相學的角度出發，以臺灣10個流域區高程500m以上的山區為分析單元，蒐集水土保持局、中央地質調查所、中央氣象局等各機關產製的全島尺度的地文及水文統計成果，轉換成可以量化比較的指標，再用這些指標來衡量各個流域區山區的河川能量與消能機制。

為了理解這些自然營力如何影響各地溪流河相的變化，我們將降雨沖蝕指數及平均坡度量化為逕流功率指標，將降雨沖蝕指數、平均坡度、平均地震能量、平均岩體強度量化為坡地崩塌指標，並將降雨沖蝕指數、平均坡度、土壤沖蝕指數量化為土壤流

失指標。這些指標如果直接比較數值，不易說明其規律，但若將數值標準化並分級，則可說明營力與河川形貌、變動特性的關連。透過河川能量與消能機制的分級比較，對照不同年期的航拍影像與經驗觀察，可以將山區溪流分為骨架消能、變換、埋積等類型。而土壤流失等級則可進一步說明集水區細料對河相變化的影響。希望這些指標與分級，能協助工程人員能從更直觀的方式理解溪流，進而了解眼前所見的狀態，處於河相變動中的什麼階段。

本文也初步提出上述各類型山區溪流的治理與管理原則，未來期望能持續發展不同尺度的河相指標，以應用於集水區治理的評估流程，協助規劃設計工作，達到兼顧防災與生態復育的目標。🌱

（參考文獻請逕洽作者）