

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



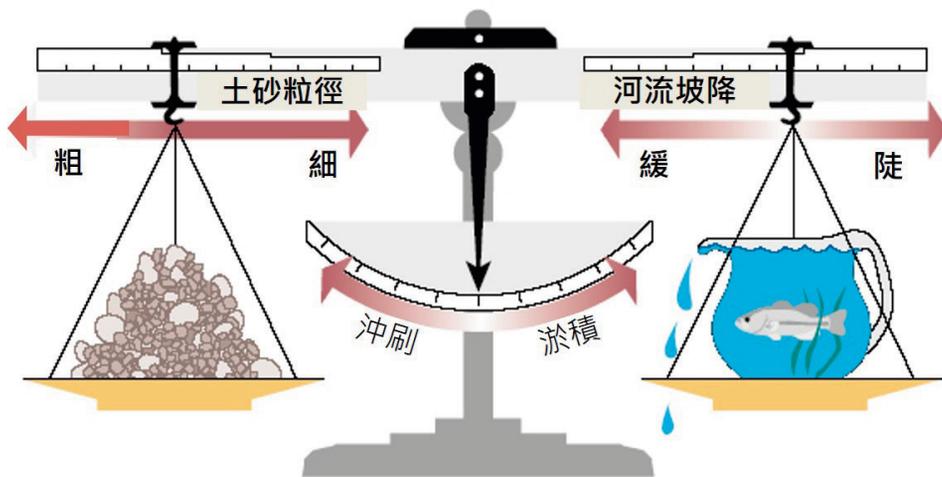
① 河相學與防災及棲地的連結

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。

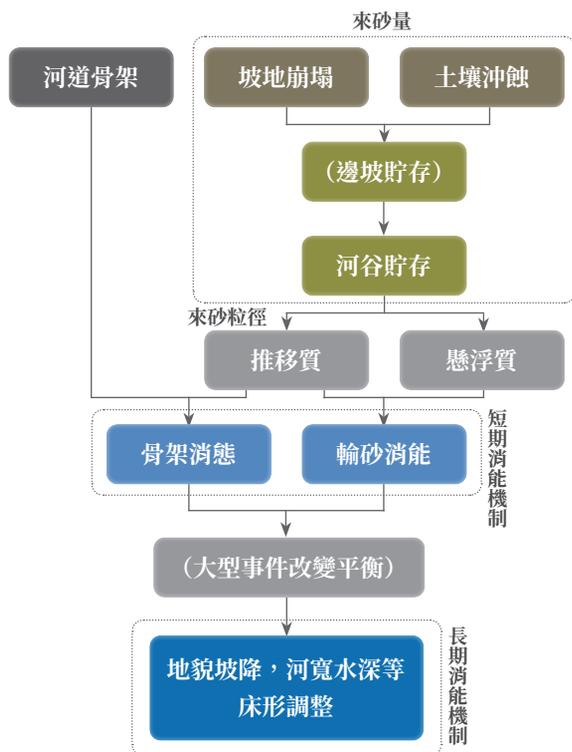
河川能量的平衡理論

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

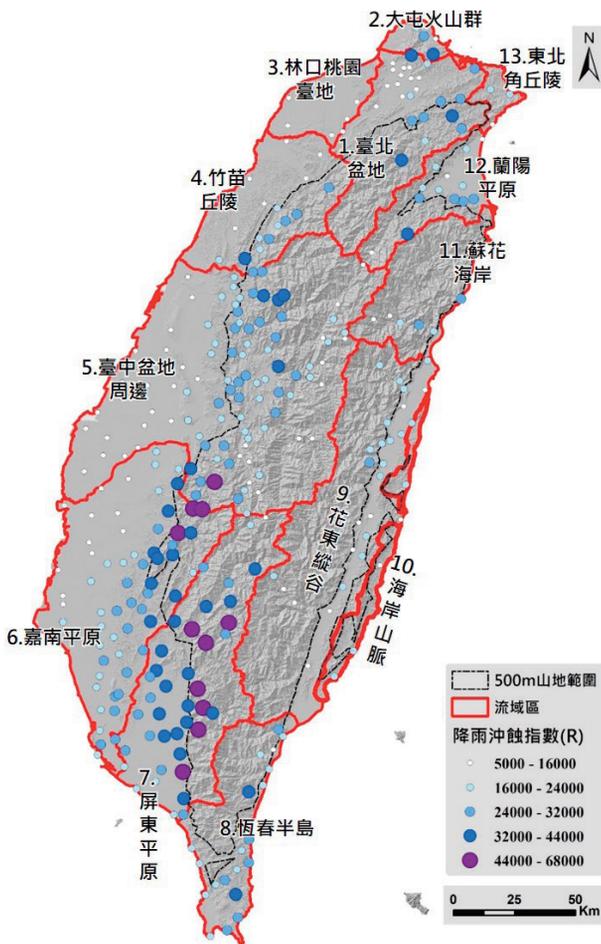
河道內流量來自集水區降雨所形成的地表逕流。降雨沖蝕指數（通常寫作R）是水土保持界熟知的「通用土壤流失公式」中的第一項，它可以視為有效降雨量與尖峰降雨強度的乘積。有效降雨對應河道內的總流量，尖峰降雨對應河道內的尖峰流量，因此降雨沖蝕指數剛好可以反映區域尺度的逕流特質，對極端事件亦有鑑別度。

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

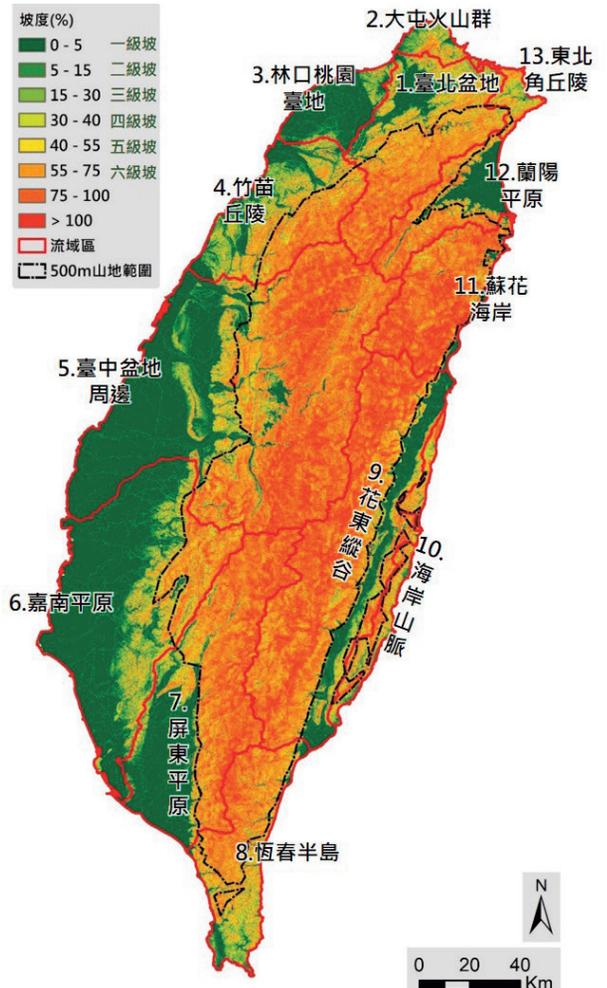
323個雨量站2002—2018年每10分鐘紀錄的雨量資料計算而得。以各流域區山區為界，劃分各測站點位與資料，再分計算各山區之平均降雨沖蝕指數，結果如表1。各地山區的R值以屏東平原最高（42,326），嘉南平原次之（37,099），二地山區的年平均雨量不算高，但於莫拉克颱風期間，都降下單日破千的雨量。排名第三的臺北盆地，則是山區年平均雨量最高者。其餘各流域區山區的R值約在20,000上下。

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

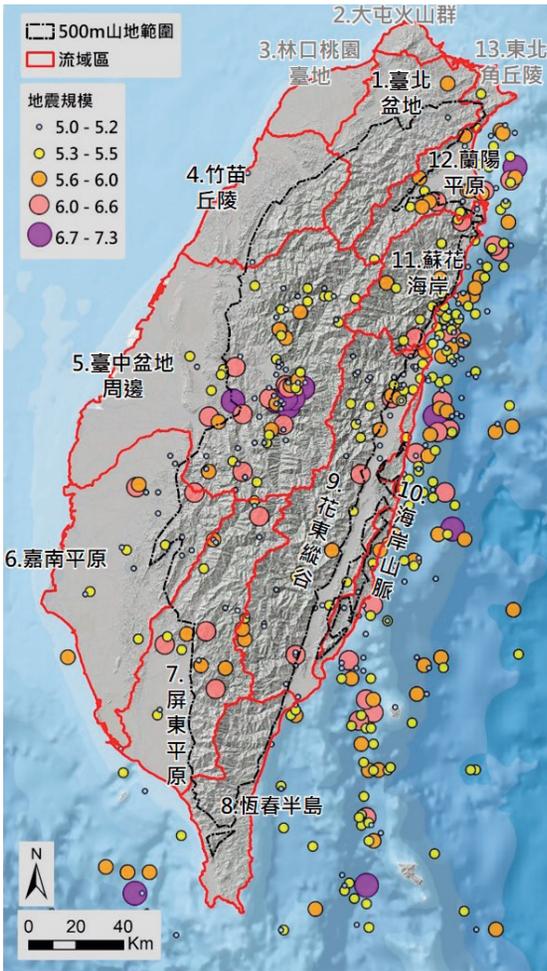
岩體強度 分級	代表岩 體強度 (MPa)	臺北盆地	竹苗丘陵	臺中盆地 周邊	嘉南平原	屏東平原	恆春半島	花東縱谷	海岸山脈	蘇花海岸	蘭陽平原
I	130	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
II	75	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	38.5%	0.2%	0.0%
III	35	51.7%	22.2%	36.1%	21.2%	5.4%	5.8%	18.4%	37.1%	54.5%	22.0%
IV	15	16.6%	54.5%	31.1%	60.2%	47.1%	17.4%	76.4%	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

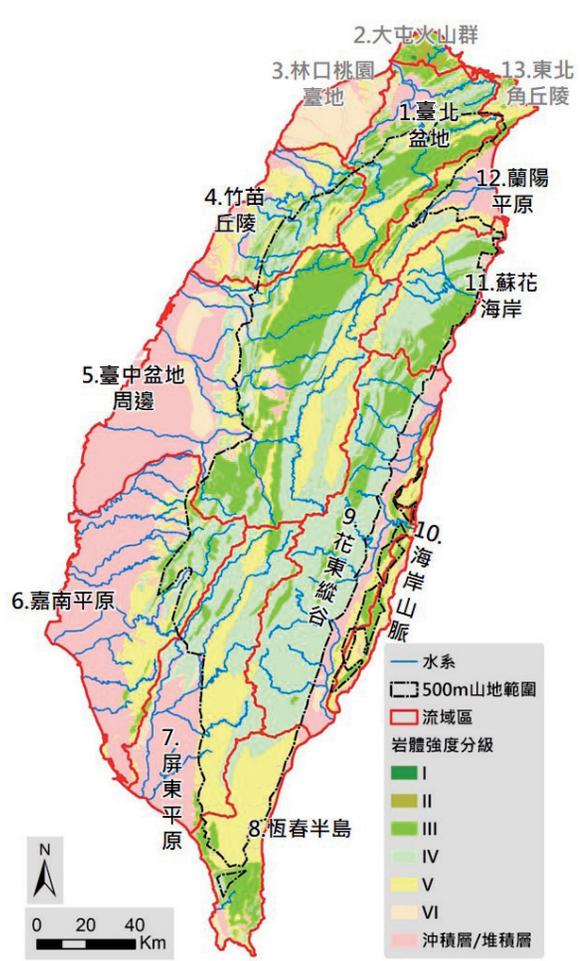
將各流域區山區平均坡降與降雨沖蝕指數相乘，可表達流域區尺度的河川能量，在此稱為「逕流功率指標」，表示為 ω_i 。假設此指標的最大值與最小值後，可進一步把這些數字轉化為0—10的數值，比較不同流域區之間的河川能量，如表3所示。屏東平原山區是逕流功率最強的地區，豐枯不均導致R值極大，設為A級。其次為嘉南平原山區，雖平均坡度緩，但R值亦大，設為B級。恆春半島、臺北盆地、蘇花海岸、臺中盆地周邊的山區為C級，其餘各區為D級。

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

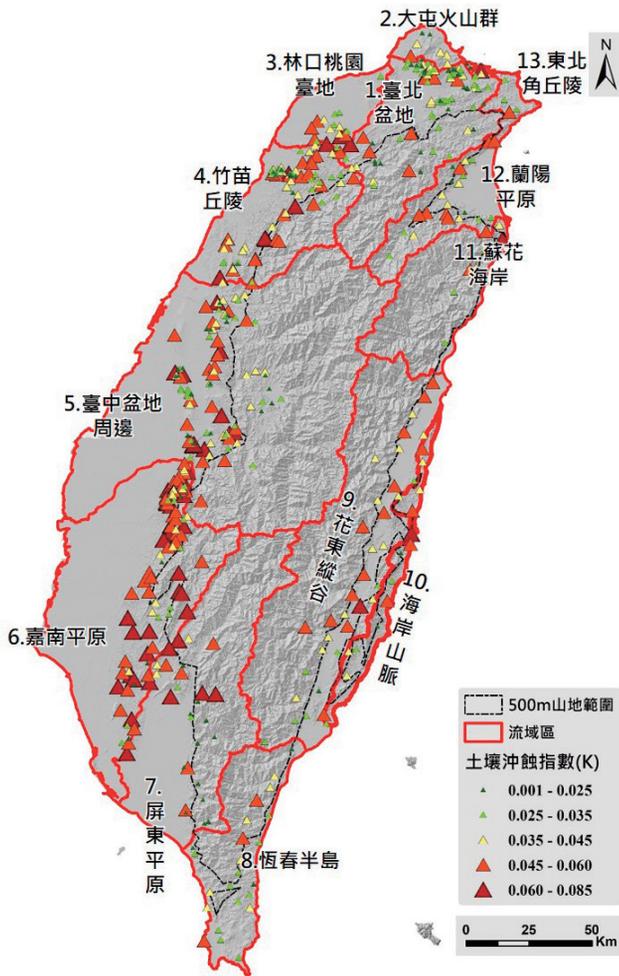
將降雨沖蝕指數、平均坡度、標準化地震能量這三項因子相乘，再除以平均岩體強度之結果，定義為坡地崩塌指標。直觀地理解，這個指標可概略解釋成在特定岩體強度下，每年因地震能量而破碎鬆動的土石，受降雨作用，而沿坡面方向運動的功率。假設此指標的最大值與最小值後，可進一步轉化為0—10之數值，以比較不同流域區之間的崩塌潛勢，再依數值分成A—D級，結果如表6。臺中盆地周邊及嘉南平原山區先遭逢九二一地震，再受敏督利、莫拉克等極端降雨影響，指標值明顯高於其他山區，設為A級。屏東平原降雨沖蝕指數最大且岩性甚弱，設為B級。海岸山脈的地震能量偏高，然而降雨沖蝕指數低且岩性最強，與岩性較弱的花東縱谷同屬C級。恆春半島、竹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

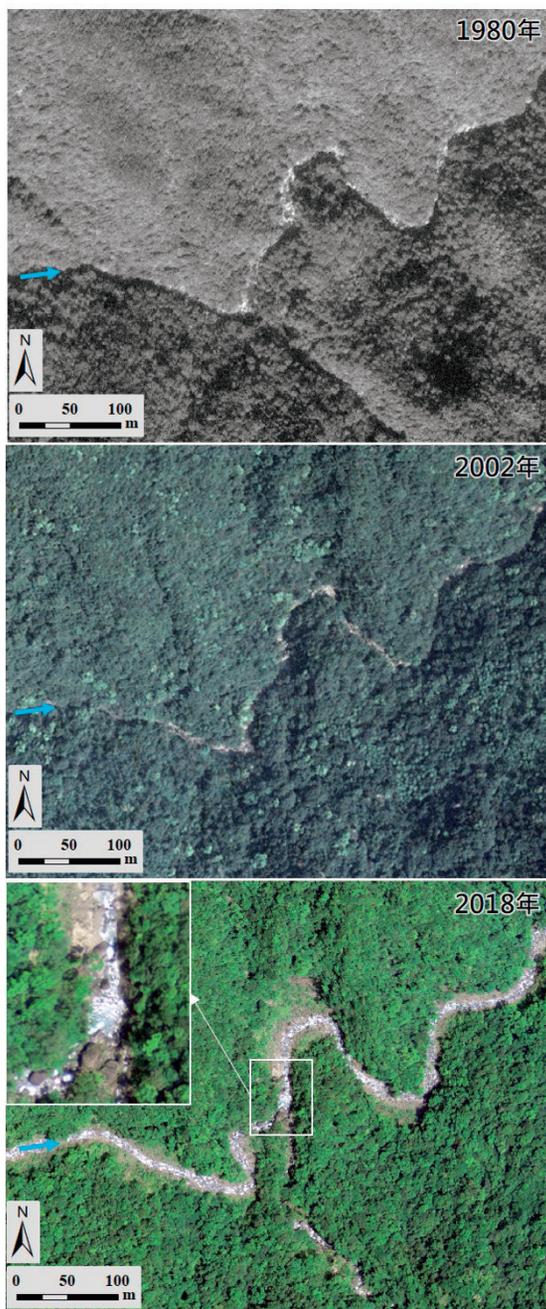
流域區溪流河相特性及治理與管理原則

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：

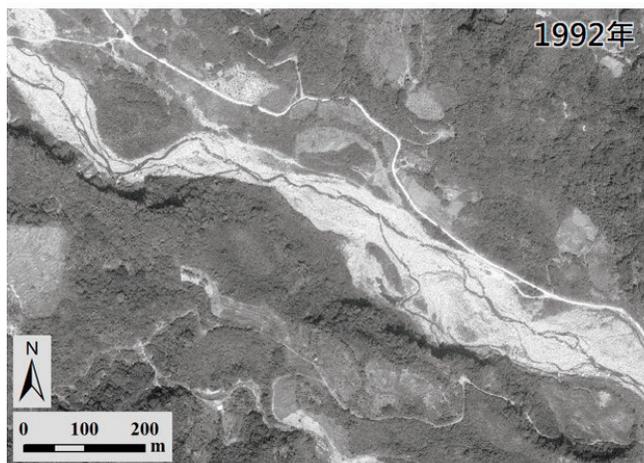


⑩ 臺北盆地山區的加九寮溪歷年正射影像
資料來源：林務局農林航空測量所

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



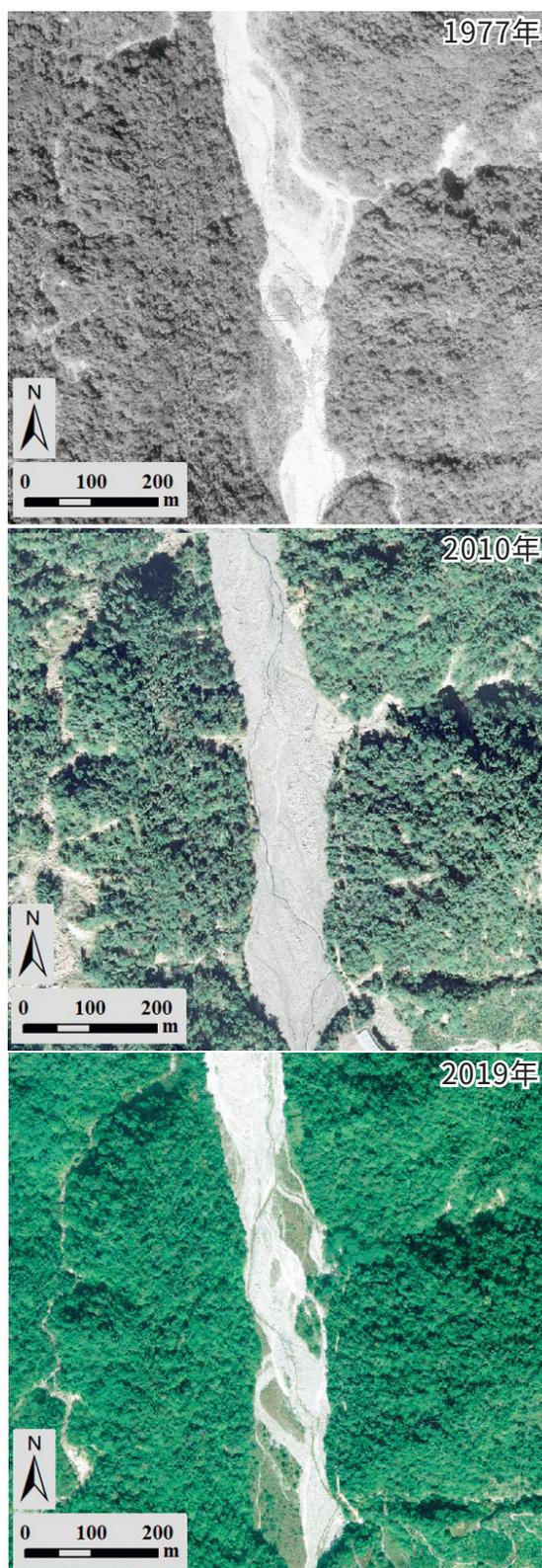
⑪ 海岸山脈的富家溪歷年正射影像
資料來源：林務局農林航空測量所

苗丘陵、花東縱谷、海岸山脈、蘭陽平原的山區野溪屬此類。

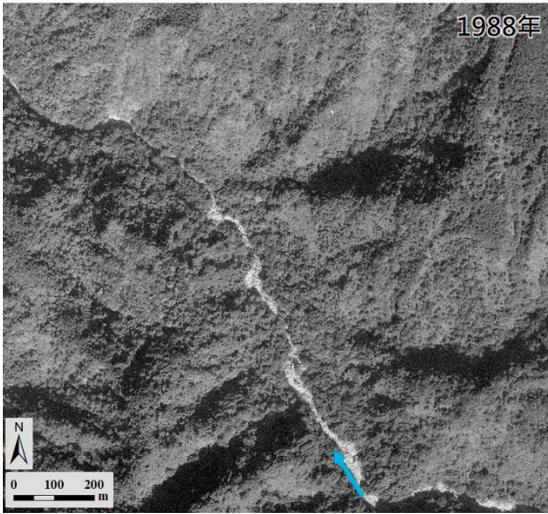
例如海岸山脈的富家溪（圖⑪），早期影像顯示土砂於寬廣的溪床堆積，而後土砂逐漸消化，植生復育，溪床再次發育出潭瀨序列。

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，也意謂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）