

立霧溪流域人工壩堤對地形、地質及地理景觀之影響

委託單位：內政部營建署太魯閣國家公園管理處

執行單位：國立臺灣師範大學地理學系

計劃主持人：張瑞津教授

中華民國八十九年十一月三十日

目次

中文摘要

英文摘要

圖次

表次

附錄目次

相片目次

一、緒論	1
(一) 研究動機與目的	1
(二) 文獻回顧	3
(三) 研究架構	6
(四) 研究方法與資料	10
二、河道系統之主要環境因子	19
(一) 地形、地質與氣候	19
(二) 邊坡形態	22
(三) 河川水文	27
(四) 河道形態	32
三、人為活動	39
(一) 開發簡史	39
(二) 水利工程	40
(三) 道路修建	51
四、人為活動對河道系統與地理景觀的影響	57
(一) 研究期間主要河川水文事件與其影響	58
(二) 實測橫剖面的變化	62
五、結論	72
參考文獻	75
附錄	82
照片	111

摘要

立霧溪流域面積約佔太魯閣國家公園的三分之二，不但孕育著名的「太魯閣峽谷」，其河道形態與水沙特性也構成溪流生態的環境基礎，具有地形、地質與生態上的獨特性與重要性。本溪所蘊藏的水力資源自日據時期以來就被規劃為台灣東部電力開發的目標區，歷年來所興修的建物主要包括立霧電廠、溪畔壩、砂卡礑壩，以及相關道路系統。而立霧電廠的營運與人工壩堤和道路的存在對立霧溪河道特性的直接、間接影響，經常是電力開發與環境保育議題的焦點。

為進一步探究此問題，本研究從流域地形系統的觀點出發，以河道地形次系統為焦點，建立本溪的「河道行為與形態特徵」，並以定期觀測資料為基礎，探討「溪畔壩對河道形態之影響」。研究結果顯示，立霧溪屬山地型底岩河道，與邊坡崩塌關係密切的巨礫灘和河流寬度、坡度是決定天祥以下整體河道形態的主因，而豪雨期的洪峰流量是局部改變河床（表層）沈積物特性與河道橫剖面形態的主要有效營力。

根據近一年來的實察資料，溪畔壩對立霧溪河道的影響至少包括三個方面。(1) 全年度截取河水，使溪畔以下主流流量減少一半以上，進而降低本溪搬運沈積物的能力，河流負荷物滯留河道中的時間被延長。(2) 溪畔壩以上蓄水區因壩體攔截使水位提高，流速減緩而使泥沙顯著淤積，影響範圍大致到布洛灣野溪匯入點之下游側（回水之上限）。(3) 在洪峰減退時為調節水位、掌握蓄水量而進行的排洪、排沙作業，可使鄰近壩體下游側的河道形態沖淤變化量達 6 公尺，尤其以白沙橋以上至溪畔壩間最為顯著。此外，此種排洪、排沙的調節作業也增加高懸移質水流（混濁水流）通過下游河道的時間，影響景觀。

一、緒論

（一）研究動機與目的

太魯閣國家公園位於台灣島東部，在行政上全區分屬花蓮縣、南投縣、台中縣縣境，在水系上則以立霧溪流域為主，流域面積 621 平方公里(石再添等 1987)約佔國家公園的三分之二（圖一）。立霧溪發源於合歡山與奇萊北峰之間，全程幾乎均蜿蜒於本島最古老地層所構成的山嶺中。其中太魯閣至天祥間的中、下游河段（約 20 公里長）河谷深度甚至超過 1000 公尺，形成舉世聞名的「太魯閣峽谷」；而河道形態、水沙特性與其變動性等也是溪流生態的自然環境基礎，本溪實具有地形、地質與生態上的獨特性與重要性。

隨著科技的進展，人類在求取生存與發展的過程中，經常以「技術」

「工程」來處理環境「障礙」以便「有效的」利用環境資源，但也常發生不同土地利用方式的衝突，此情形在台灣這種地窄人稠的地區尤其顯著。立霧溪雖然偏處台灣東部，但所蘊藏的水力資源自日據時期以來就被規劃為電力開發的目標區。二次大戰之後興修的立霧電廠（主賴溪畔、砂卡礑兩壩取水）提供東部地區約六分之一的電力；台灣電力公司（以下簡稱台電或台電公司）並於 1979 年起擬再增建溪畔電廠、谷園電廠，但受到民間（環保人士）與官方（國家公園成立）雙重壓力而停止。當時反對意見以峽谷之地理景觀與溪流生態環境的雙重破壞為首要訴求，而興建單位也辦理相關研究案（台電公司 1988），強調立霧溪水電計劃將不致影響峽谷景觀與溪畔壩下游沖淤情形。雖然當時決策階層做出裁定，暫停谷園、溪畔發電計畫，但是究竟久已存在之溪畔壩（台電公司文獻稱之為立霧壩）與砂卡礑壩的運作如何影響本溪的水沙搬運和河道形態；其影響範圍與程度又如何等，均缺乏進一步的了解。

欲釐清此些問題,首先必須掌握立霧溪之河道形態與河川水文特性,而河道狀況又與邊坡相關,因此所有影響邊坡的自然作用與人為活動也應納入考慮。自工業革命以來,「人類」已被視為河、海、風、冰等自然外營力(exogenic processes)之外改變地形的重要因子,立霧溪的水利計畫與施行正提供探討河道工程干預溪流自然運作的例證。本研究之具體目標有三:

1. 了解本溪河流地形與河川水文的自然運作特性;
2. 釐清本溪主流與重要支流的流域開發與河川工程興建歷程;
3. 分析溪畔壩對本溪河道系統的衝擊。

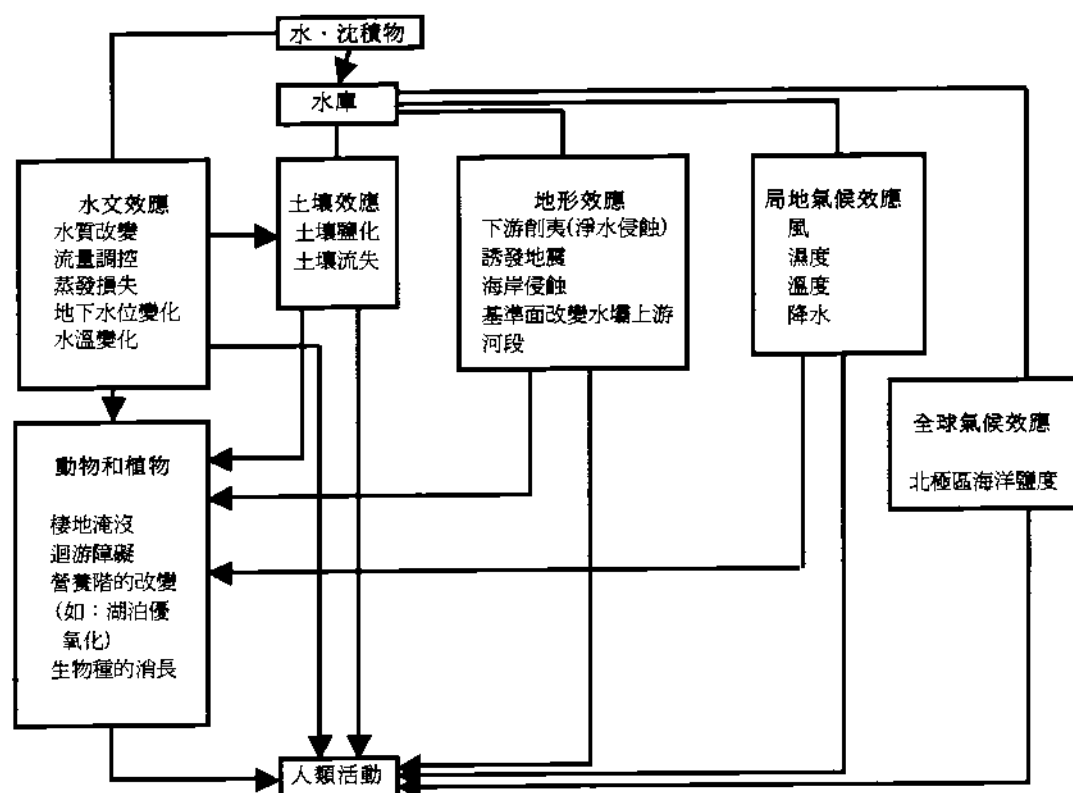
(二) 文獻回顧

立霧溪是屬於典型的山地型底岩河道,只有在錦文橋以下的扇洲段才屬於沖積河道。由於河床主由底岩構成,所以對河流水文特性的變化不似沖積河道般敏感。底岩河道的相關研究遠不及沖積河道,不過近十餘年對於此方面的研究逐漸增多,可供參考。

Montgomery and Buffington (1997) 將山地流域的河段按照形態分為截然不同的七類 - 崩積的(colluvial)、底岩的(bedrock)和五種沖積的(alluvial)河道類型(包括 cascade, step pool, plane bed, pool riffle 和 dune ripple 等)。Wohl (1993) 對澳洲西北部的 Piccaninny Creek 進行研究,歸納出此溪底岩河道的侵蝕特徵可以分為平行的縱向溝槽(parallel longitudinal grooves)和內河道侵蝕系列(inner-channel sequence)兩種基本型,此特徵可由偶爾出現的洪水($50 \text{ to } 100 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$)造成。上述二種河道類型又與礫石堆積的河段向下游交替出現,這三種類型河床的區位與構成河床的岩層特性(岩石強度、岩性或構造)並無關係,但與河床坡降有關。此外,現在所觀察某些河道特徵可能並不是由當代的河川營力所造成,此點對於底岩河床尤其重要。例如, Wohl (1992a,b) 指出在澳洲東北部的 Burdekin 峽谷和 Herbert

峽谷（底岩峽谷）的多項河道形態主要是由過去一千年來僅發生數次的大洪水所造成。洪水會產生很高的流速、邊界剪切力(boundary shear stress)和單位面積的河流功率(stream power per unit area)。這些變數向下游的變動大致可以解釋巨礫壩(boulder bars)、大洪水自然堤(high flood levees)、底岩上小尺度侵蝕特徵的位置，和內河槽(inner channels)的形成。

任何的河道工程都會對河流的物理、化學環境產生影響，進而對生態環境造成衝擊。如果只是從河道中抽水，會使下游河道流量減少，並使低流量（low flows）的頻率提高，所造成的影響較小、也較局部。建水壩所造成的衝擊較大，包括水文、地形、土壤、局地氣候等多方面（圖二）。因為不論是為供水、防洪、發電、或航行的目的，水壩都需要調節河水流量，同時造成大量沈積物被攔截在水庫內，常使水壩以下的水、沙特性顯著改變，而水壩以上河道的侵蝕基準面從原來的河口被抬高為水庫水面。埃及



圖二 水壩興建對環境和人類生活的可能影響(改繪自 Goudie and Viles 1997)

尼羅河的亞斯文大壩(Aswan High Dam)是世人所熟知的例子之一，大壩完成後下游段河流沈積物顯著減少、季節性洪峰流量不再出現，造成一系列環境衝擊，包括隨洪水帶到下游平原和地中海東南部的營養鹽減少，尼羅河三角洲海岸線逐漸侵蝕後退，以及河床的加速侵蝕等。

不同目的的水庫所造成的流量和沈積物的影響略有不同。就供水的水庫而言，平均流量減少，低流量更為頻繁，洪水位降低。相對地，調節水庫 (regulating reservoirs) 之低流量和高流量的頻率都會減少。當流量狀態 (flow regime) 被改變，水壩以下河段的流速和水流深度的變化範圍 (range) 也會受影響，但是沈積物搬運的變化才是造成河道形態 (channel morphology) 變化的主因。當沈積物被留在水庫中，水流可能缺乏甚或完全沒有沈積物。在高水位放水 (high water release) 或溢壩洪流 (overtopping flood flows) 的狀況時，水壩以下河道可能會發生侵蝕。侵蝕的程度和規模則取決於放水的模式與相關水力狀況、河床底質的性質、河岸穩定性及支流的影響 (Raynov et al. 1986; Thorne and Osman 1988)。例如美國科羅拉多州的胡佛壩，緊鄰壩體下的河床在 13 年間降低 37.5 公尺，而且在此期間，侵蝕範圍可達 120 公里長 (Williams and Wolman 1984)。研究者也發現侵蝕會造成河床冑層 (bed armoring) 現象，因為底部細顆粒物質都被移走，只有粗顆粒的留下。當河床堆積物移動性降低，沙和粉砂會掉落入礫石之間的縫隙中，而降低滲透性，並使礫石不適於魚類孵卵。而跨流域的河水調節會改變兩條河的河川水文特性，為了維持河川天然的穩定性，河川調節應該設計成不會改變「搬運底質」之水流的狀況。例如 Erskine, et.al. (1999) 之研究顯示，1967 年起開始的跨流域水電計畫使澳洲東南部雪河 (Snowy River) 下游段的水文狀況大受影響，造成年、月、平均日流量與瞬時洪峰流量的減少，以及洪水之變易性的增加。河川地形隨水力動態 (hydrological dynamics) 而調節，進而改變了河川生物的棲地。

台灣地區近年來對於水庫、水壩造成河川水文之衝擊的研究也逐漸增

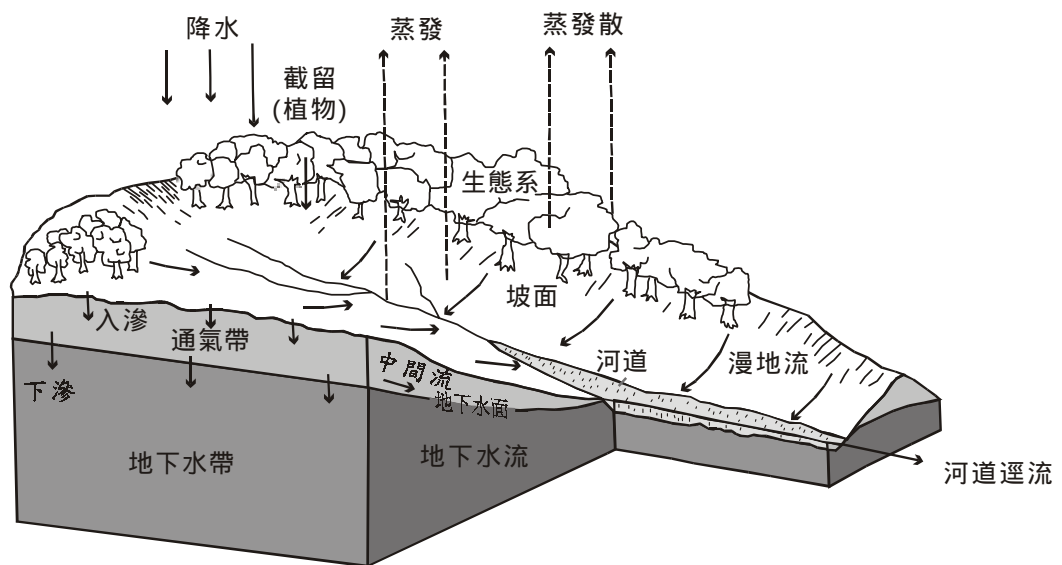
加，可以大致分為河道形態（例如顏清連 1993）、河川沖淤平衡（賴進松等 1996）、流量（顏清連 1988）和水質（廖述良等 1989，徐學文等 1994-1995）各方面。但是所討論的水庫集中在台灣西部，而且對於河道形態或沖淤平衡的研究都是以沖積河道(alluvial channel)，還未見到以底岩河床為討論對象的。

綜觀國內外討論水壩對河道地形的影響，多是針對沖積河道（河道組成物質以未膠結的碎屑物為主）。Inbar (1990) 研究以色列戈蘭高地(Golan Heights)的底岩河流系統，發現該處 11 個水庫蓄水的主要影響是洪峰流量的顯著降低，水庫下游的洪峰流量僅達先前自然狀況的三分之一。河道的橫剖面積縮減，底質的搬運和大礫、巨礫的粒徑都從水壩向下游減低。從水壩向下游的植被覆蓋漸增，則是最顯著的效應。

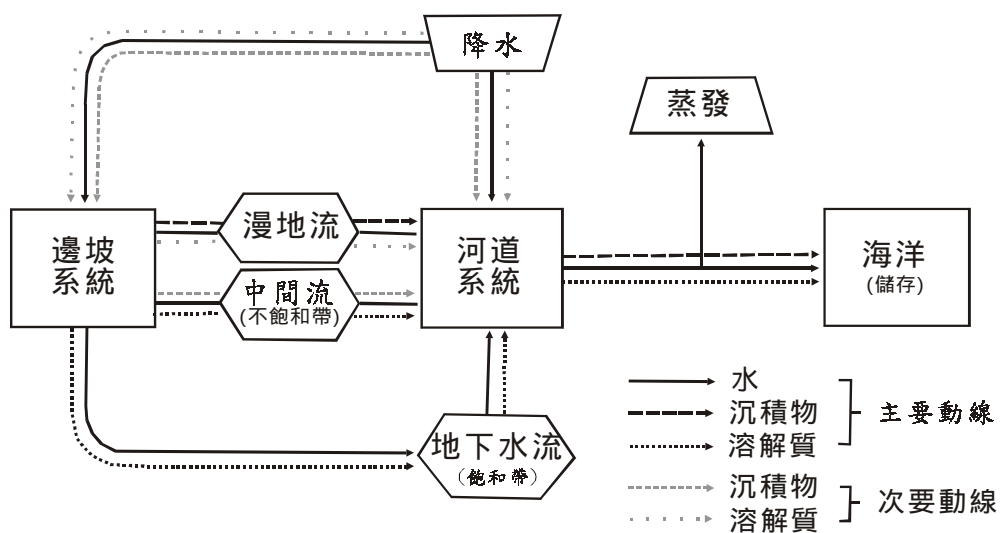
本區自國家公園成立以來，曾進行多項研究計畫。其中與地形、地質直接相關的課題可大致分為景觀資源、峽谷地形發育、峽谷地層與岩性特性、邊坡災害等，至於針對太魯閣峽谷段河道本身之地形、地質（沈積）特性的研究，則還未觸及。由於河道之形態、水沙的特性與其變動性是溪流生態的物理環境基礎，所以相關的研究將極有助於了解太魯閣峽谷自然環境系統中物理環境和生物體系的連結。

(三) 研究架構

本研究關注的兩個焦點是立霧溪的「河道形態與河川水文特性」和「工程（尤其是水壩）對於河道形態的影響」。從「地形系統」的觀點著眼，強調系統內各要素(elements)的相互關連性（即任何一要素發生變化其他構成要素也會受到影響），應該是十分恰當的。整個立霧溪流域可視為一個河流系統(fluvial system)或流域系統(catchment system)，流域中所有的邊坡構成坡面次系統(slope sub-system)，所有的主、支流河段構成河道次系統(channel sub-system)（圖三 A）。



圖三A 流域系統示意圖 (改繪自White *et al.* 1992)



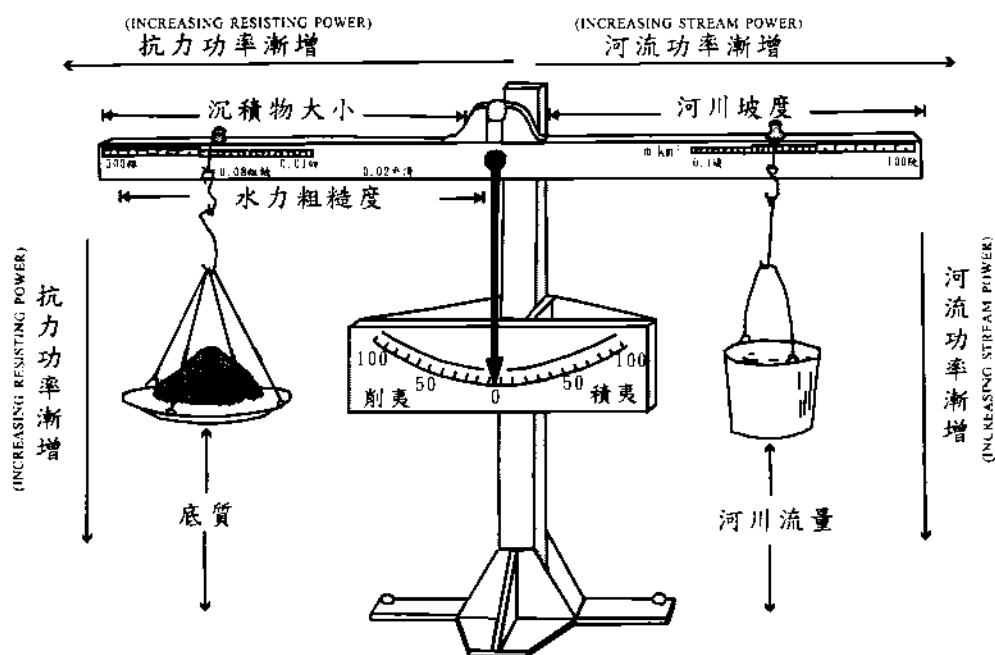
圖三B 流域系統中水與礦物流動的路徑 (改繪自White *et al.* 1992)

此系統中主要傳輸的物質為水、沈積物（泛指土、沙、岩塊等碎屑物）與溶解質（礦物溶解於水中），三者的傳輸動線各有異同（圖三 B）。大氣降水至地表後可能沿坡面進入河道，或下滲至不飽和帶或飽和帶（地下水）後再回到河道；沈積物與溶解質因受到風化、侵蝕、崩壞作用主要自邊坡產出，進入河道後形成河流負荷(river loads)。這些負荷依其在河水中被搬運的方式可分為溶解質(solutes)、懸移質(suspended loads)和推移質（或底質 bedloads）三類，最後被傳輸至海洋而離開此系統。

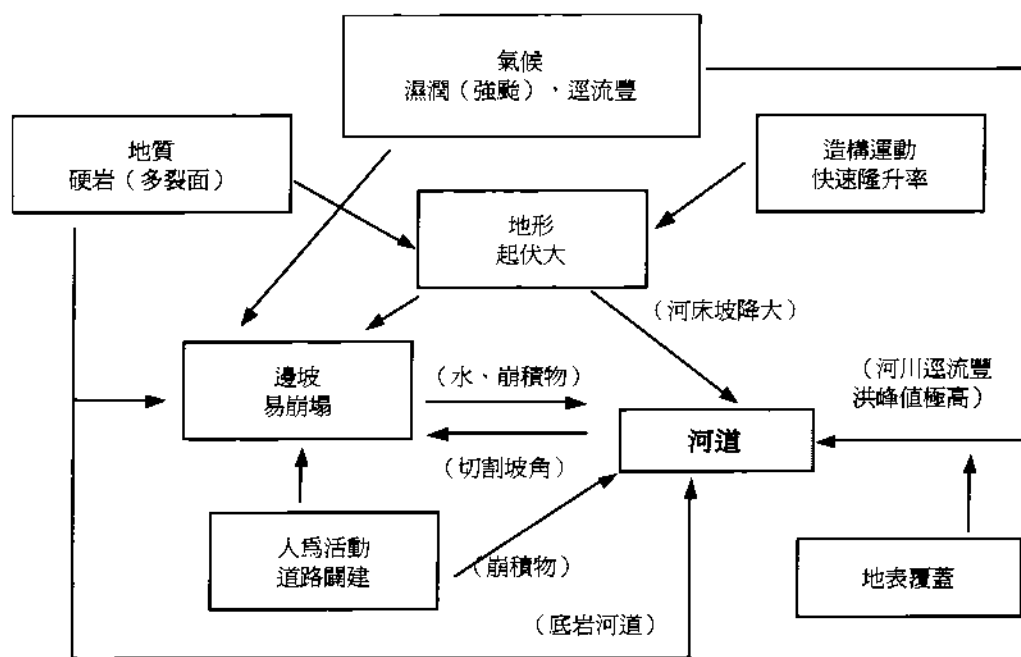
河道中負荷的性質（粒徑、比重等）各異，大體而言，粒徑愈大者愈不易被搬運。而河水侵蝕、搬運的能力也有時空變化，一旦河水搬運力減低，較粗的顆粒就會開始堆積，而要到下一次流水搬運力夠強時才會再運動。隨著河流負荷不斷被侵蝕、搬運、堆積的過程中，造成河床沖淤及沙洲的增減或移動，河道形態與景觀也隨之改變。三類負荷中溶解質因為體積極小，對河道形態的影響通常也不顯著。簡而言之，河道中任一河段以侵蝕（削夷 degradation）或堆積（積夷 aggradation）作用為主，取決於河流功率(stream power)和抵抗功率(resisting power)之間的抗衡(圖四)。例如河床坡降或流量增加會提高河流功率，而沈積物粒徑大（水力粗糙度 hydraulic roughness 高）或推移質比例高，則增強抵抗功率。某些河段的特性可能使侵蝕作用相對較佔優勢，而有些河段則使堆積作用較佔優勢，而展現出不同的削夷、積夷特徵，決定了該河流的整體形態。

影響一個河流或流域系統的因子很多，大致分為系統之外的獨立變數(independent variables)與系統之內的依賴變數(dependent variables)。兩組因子的主要差別在於系統外的因子會直接或間接影響系統內的構成要素；就短期而言，系統內的因子不會影響系統外的因子，但系統內多項因子之間的交互作用顯著。各流域的基本構成要素與影響因子相同，但是每一流域有其特定的環境背景而展現不同的地形、水文特徵；據此，本文建立立霧

漢流域系統（圖五），作為探究本溪「河流行為與河道形態特徵」和「工程對河道形態之影響」兩問題的架構。



圖四 河流積夷與削夷作用平衡的示意圖 (改繪自 Chorley *et al.* 1984)



圖五 立霧溪河道系統概念圖

(四) 研究方法與資料

1. 蒐集相關文獻，彙整自日據時期以來在立霧溪流域主流與重要支流所興建的河川工程，包括中橫公路以及台電之電廠連絡道路開發過程，與所產生之棄土的處理方式，以了解人為干預的程度。

2. 蒐集歷年各式圖像資料（一般相片、地圖、航空像片等），以具體掌握各時期的河道狀態與變化。本流域全部或部分地區的圖像資料可以分為一般相片、歷史地圖(historical maps)、等高線地形圖(topographical maps)、航空像片(aerial photographs)和衛星影像(satellite images)與其他主題地圖/資料庫（例如土地利用分圖）等。由於本區開發較晚，一般相片和等高線地形圖目前只能追溯自日據時期，航空像片則開始於二次大戰前後。

本流域較詳細的地圖是從大正三年(1914)太魯閣戰役後日人政治勢力正式進入立霧溪流域後展開，分由官方或民間繪製（附錄一）。例如，大正三年(1914)、昭和十一年(1936)年臺灣總督府民政部警察本署、陸地測量部所製的五萬分之一地形圖，或為開鑿道路(合歡越、產金道路)之需，或總督府各單位為業務或特定需要所繪製的主題圖。民間繪製的立霧溪流域地圖主要出現於昭和十年(1935)次高太魯閣國立公園候補地成立後，為觀光、攬勝需要而繪製的示意圖。本時期的地圖大致而言已標繪了主要山嶽、水系、道路及山崩的分布及相對位置，但是由於比例尺較小，不利河道形態變化的比對。光復後聯勤總部因應軍用與經建需求陸續編修過數套 1/25000 和 1/50000 等高線地形圖，但以 1970 年代下半期農林航空測量所根據航空相片所製作的像片基本圖（比例尺 1:5000 與 1:10000）在判讀河道形態上較具參考價值。

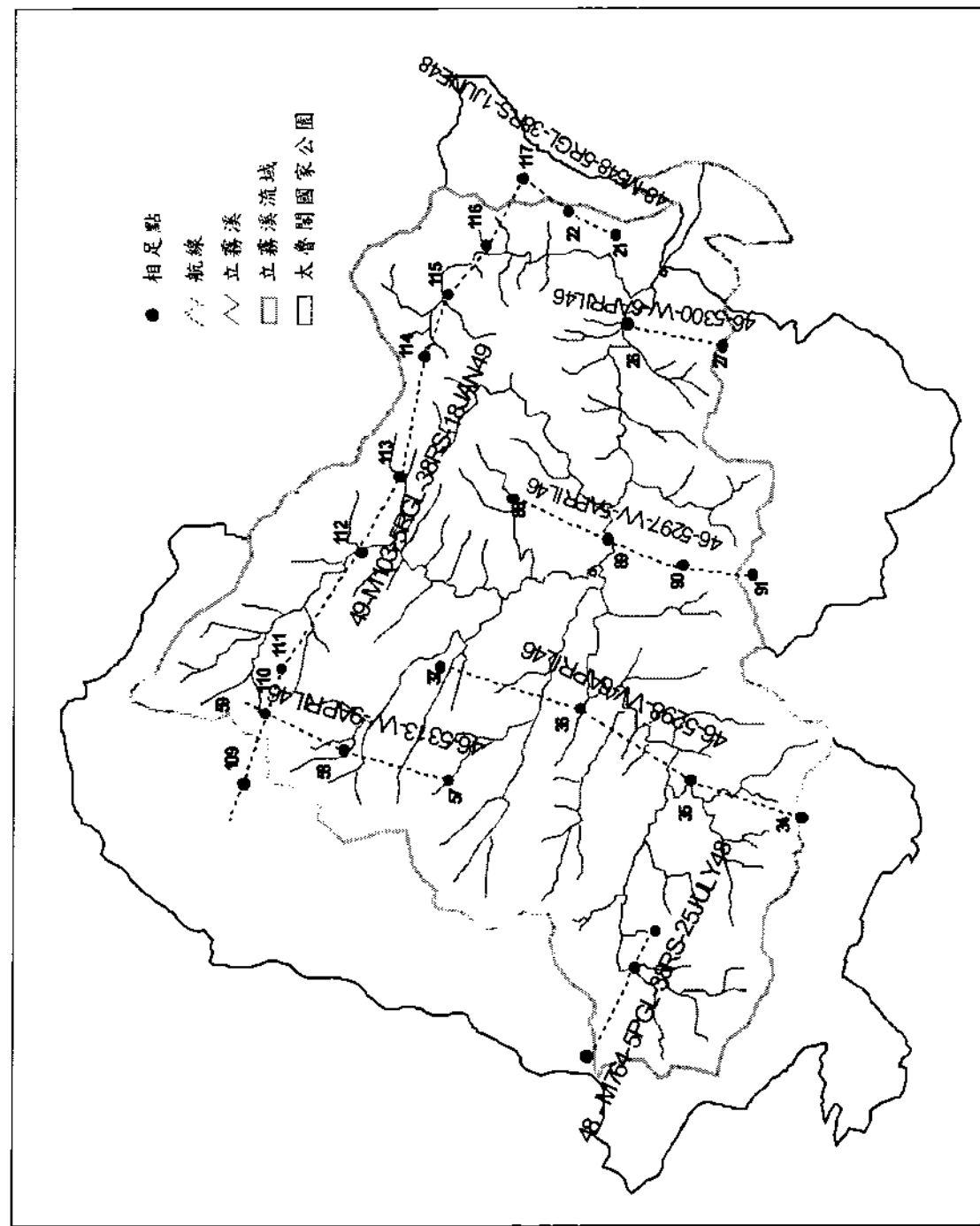
在台灣地區拍攝的航空照片主要包含三種來源（沈淑敏 1997）：1950 年前後，美軍曾替我國拍攝航空照片（工研院能資所保存一套，目前正與中研院計算機中心合作，掃描並建立查詢系統）；自 1950 年代後期起空軍

的照相技術隊為國防需要，進行拍攝；1976 年之來，農林航空測量負責軍務以外之拍攝工作。由於本研究地區已屬山區，也無特別重要軍事意義，早期被拍攝次數較少，而且空軍照技隊部分底片或目錄損毀，無法使用，所以使用的照片從 1970 年代下半期起才較為密集。本計畫盡力蒐集現存之歷年來拍攝到研究區內所有航空照片（附錄二），其中以 1946~1951 年間美軍拍攝的航照最早（表一、圖六）。由於航空相片記錄了拍照當時的地景，而且未經繪圖員簡化地表狀況，對於判讀河道形態、巨礫灘分布、崩塌地等很有幫助。此外，本研究並定期定點拍攝河床，有助於掌握河道形態以及巨礫移動的短期時間變化。主要拍攝範圍為立霧溪天祥以下與砂卡礑溪三間屋以下河段。

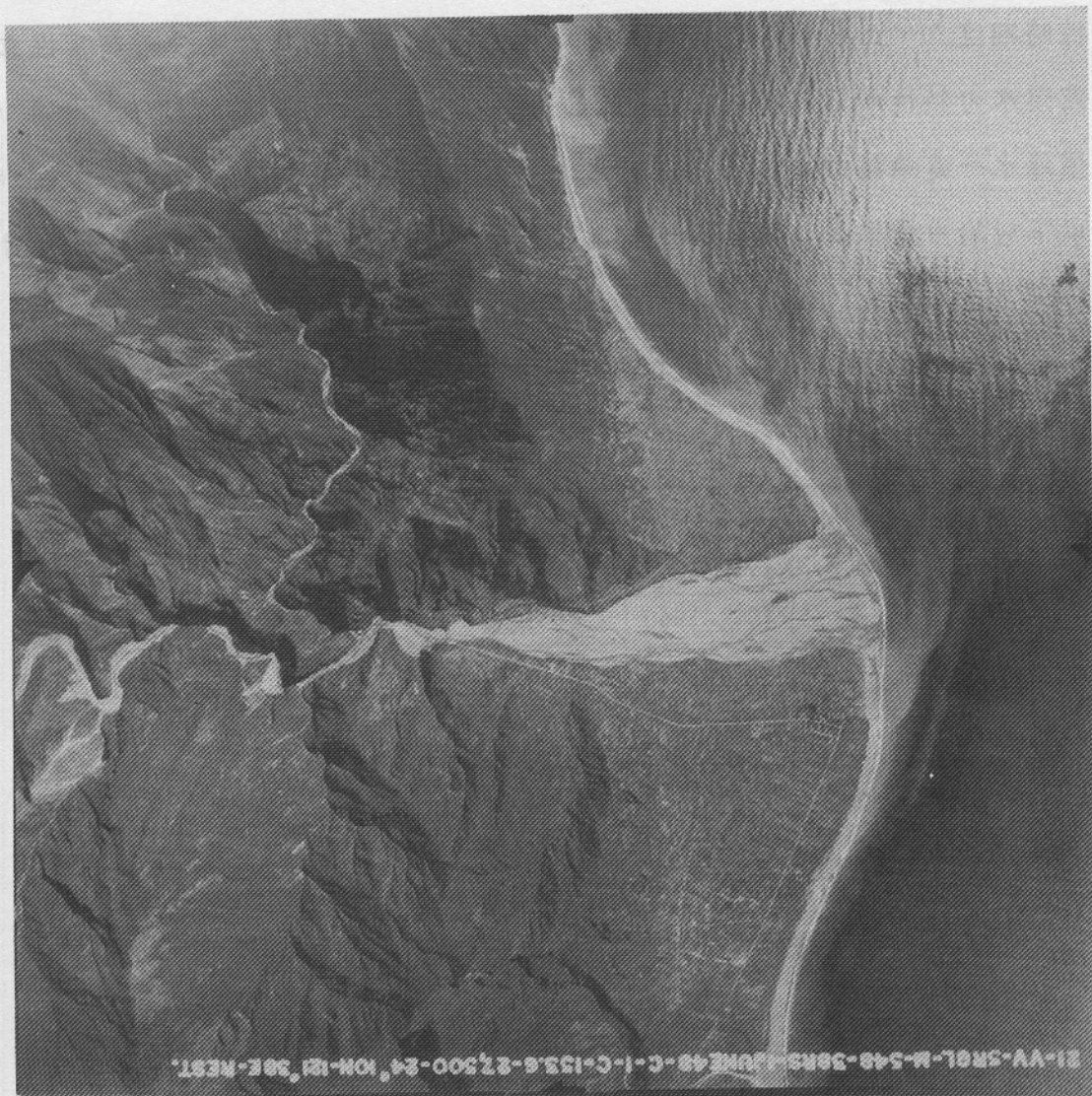
表一．立霧溪流域 1946~1949 年航空照片一覽表

航帶號碼	相片號碼	日期
48-M548-5RGL-38RS	21~22	1 JUNE, 1948
46-5300-VV	26~27	6APRIL, 1946
46-5297-VV	88~91	5APRIL, 1946
46-5298-VV	35~37	6APRIL, 1946
48-M764-5RGL-38RS	5、9~12、157	25JULY, 1948
46-5313-VV	57~59	9APRIL, 1946
49-M103-5RGL-38RS	109~117	18JAN, 1949
51-M433-6204PMF-FEAF	48	19JULY, 1951

註：據查訪美軍曾於 1950 年代前後協助臺灣拍攝航空相片（沈淑敏 1997），國內並未保留底片，收藏該套相片最完整者為工研院能資所，目前正與中研院計算機中心合作掃描整理中。影像資料已建檔完成，可向該中心申請網頁查詢。



圖六 A 立霧溪流域 1946-49 年航空照片航帶位置圖



圖六 B 立霧溪流域 1946~1949 年航空照片舉例

地點：立霧溪河口至白沙溪

編號：48-M548-5RGL-38RS: 21

拍攝日期：1 June, 1948

(原照片由工研院能資所收藏，並由中研院計算機中心掃瞄，建立查詢系統。)

3. 彙整流域內歷年流量和含沙量資料，建立立霧溪的河川水文特性。流域內自 1937 年起前後共計建立過 17 個流量站，其中除兩測站為日據時期建立、立霧測站屬省水利局，其他 13 個測站均為台電公司為掌握立霧溪水力特性所建(附錄三 B、三 C、圖七)。多數測站觀測時期不到十年，僅綠水一處維持較長期而持續的觀測(包括流量與含沙量)(表二、表三)。以下討論中所採用之流量資料若無特別註明，均係採用本測站之數值(附錄四 A)。

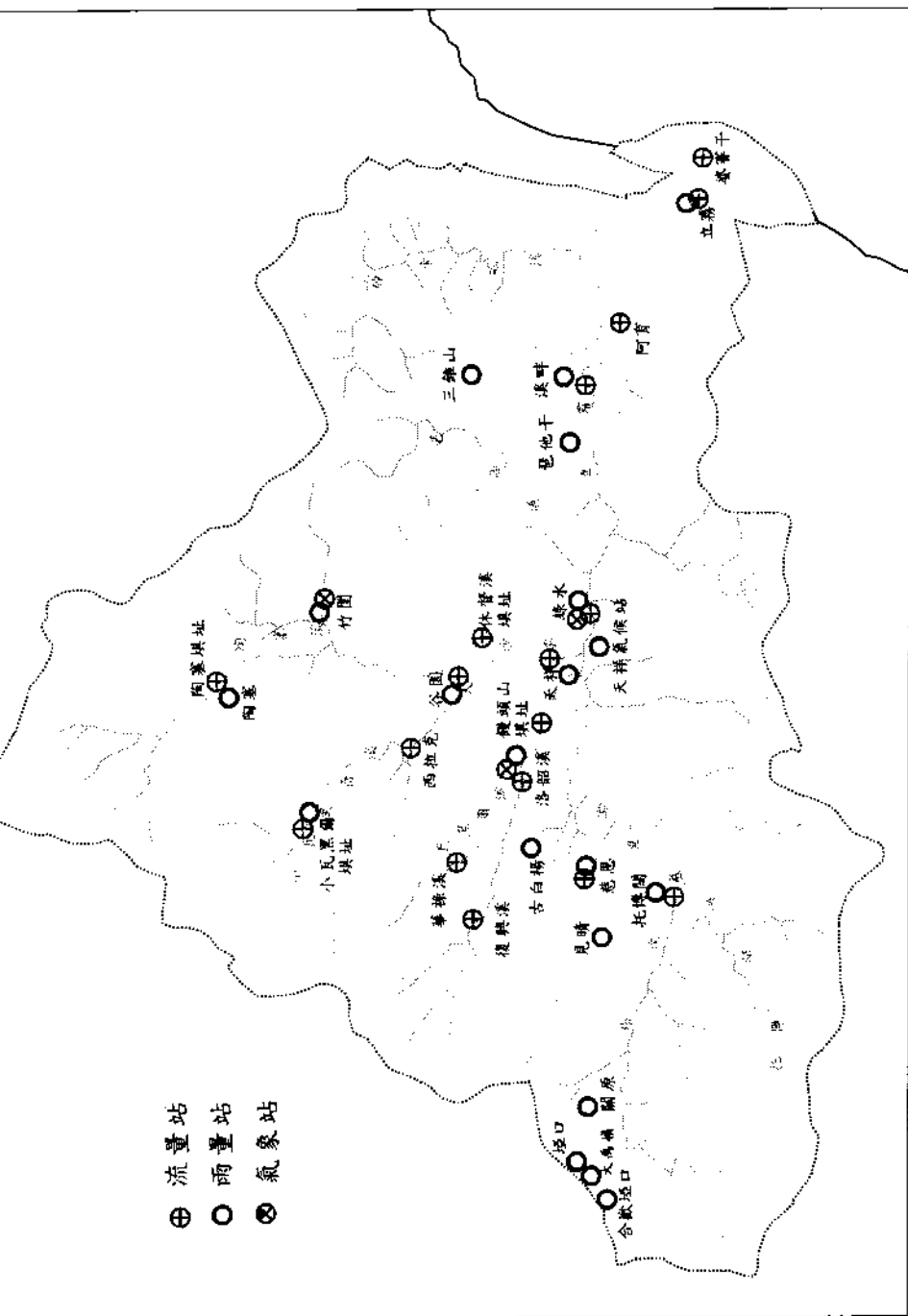
表二. 立霧溪流域流量站記錄年份

測站設立時期	起迄年份	測 站 名 稱
日據時期	1937~1941	婆賽干、阿育
光復初期	1952~1960	立霧、溪畔
	1956~迄今	綠水 (1958 年無觀測資料)
台電溪畔、谷園 計劃探勘期	1964~1973	天祥、西拉克、陶塞埧址、慈恩埧址、復興溪、洛韶溪、華祿溪、小瓦黑爾埧址、休督溪埧址
	1964~1982	饅頭山埧址、谷園、托博閣

資料來源：整理自徐世大(1955)、經濟部水資源統一規劃委員會(1991)；各測站詳細資料請參閱附錄三 B、附錄三 C。

表三. 本研究所蒐集之立霧溪流域流量、雨量資料一覽表

類 別	測 站	來 源
日流量 (1997 以前)	本流域所有測站 (並有統計資料)	臺灣河川流量資料庫 (臺灣河川流量資料庫： http://water.hre.ntou.edu.tw/~river/cgi-bin/query.pl)
日流量 (1998-1999)	綠水測站	台灣電力公司電源開發處水文課
日雨量 (設站-1999)	合歡埡口、洛韶、 綠水、溪畔測站	台灣電力公司電源開發處水文課
月降水量、最 大降水量等 (1977-迄今)	年限內各測站	中央氣象局氣候資料年報(地面資料)



圖七 立霧溪流域歷年流量站及雨量站位置分佈圖

4. 定點實測立霧溪布洛灣至長春祠間河道橫剖面共計 1~10 次不等 (表四), 扇洲河道橫剖面冬夏季各一次, 以及砂卡礑溪壩堤上下游縱剖面一次。施測儀器主要採用雷射測距儀(相片一 A), 其優點為只要通視良好, 毋須反射稜鏡也可以測量, 此點對溪水較高無法橫渡至對岸時最為有利。正常狀況下儀器可能誤差為 15 公分之內, 此誤差值對沈積物粒徑較大的河段而言仍屬可容忍的範圍。

測量橫剖面時選擇之點位首重能夠反映地形特徵, 如有沙洲、深潭、小階等會打較多點位。一般情況下雷射測距儀以對準光滑的反射面時效果最佳, 水面則無法有效反射。

實測剖面時, 也同時觀察記錄沈積物組成, 以利掌握河川沈積物的空間分布特性。由於本溪沈積物粒徑較粗, 粒徑大者多於現場直接測量(相片一 B), 以細礫或沙為主的樣本(相片一 C)則攜回本系地形實驗室, 以篩分法進行粒度分析(grain-size analysis)。

表四 A. 立霧溪靳珩橋至長春祠間河道橫剖面實測時間一覽表

測站	靳珩橋	上溪橋	溪畔壩下	沉沙池	白沙橋 A	白沙橋 B	寧安橋	長春祠 A	長春祠 B	溪畔壩放水
1999/11/5~7										是
2000/1/15										否
2000/2/9~10										否
2000/4/7~8										否
2000/7/13~15 (啟德颱風後)										是
2000/8/7~8										否
2000/08/28~29 (碧利斯颱風後)										是
2000/10/14										是
2000/11/11~12 (象神颱風後)										是
2000/11/16~17										是

表四 B. 立霧溪靳珩橋至長春祠間河道橫剖面實測地點一覽表

剖面名稱	剖面固定施測位置	可否過溪	可否使用稜鏡
靳珩橋	靳珩公園上方，合流工務段殉職紀念碑前方欄杆。	否	是
上溪橋下	上溪橋下野溪右岸底岩上	否	是
溪畔壩下	溪畔壩下方右岸灘面上；無法下河床時則在溪畔壩下方右岸公路路面上。	是	是
沉沙池	溪畔公路上轉彎處反光鏡下方河床右岸上；無法下溪時則在該處公路路面上。	是	是
白沙橋 A(明隧道)	白沙橋明隧道東口面向河道處	否	否
白沙橋 B(下游側)	中橫公路 183.5K 附近警告標示臨河岸處	否	否
寧安橋	寧安橋與明隧道間面對河道處	是	是
長春祠 A(上游)	長春隧道與長春祠停車場間欄杆面對河道處	是	是
長春祠 B (舊長春橋)	長春祠停車場與長春橋間欄杆面對河床處	是	是

註：可否下溪床的情形是指一般狀態下，颱風、大雨後或遇溪畔壩排水排沙時，立霧溪流急且深則無法過溪。

5. 蒐集溪畔壩近十年排沙放水資料，並訪問台電工作同仁，以釐清立霧電廠運作模式（包括排洪、排沙之頻率與規模），本研究所蒐集到的資料量詳列如表五。

表五. 本研究所蒐集之立霧電廠運作資料一覽表

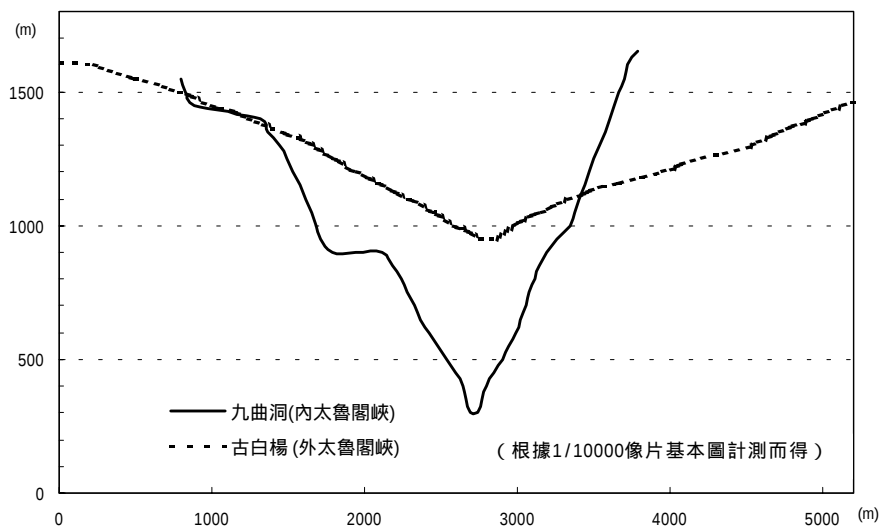
類別	項目	來源
溪畔壩排洪排沙量 (旬資料, 1989-1998)	進水量、發電量、排水量、排沙量	台電東部發電處、立霧電廠 (溪畔壩運作實績表)
溪畔壩排洪排沙量 (日資料, 1998/1-2000/11)	本流量、進水量、排水排沙量(未區分排水 排沙量)	台電東部發電處、立霧電廠 (溪畔壩排洪排沙量資料表)
砂卡礑壩流量 (不定時測量, 1985~1996)	流量及水位高	引用自曾晴賢(1995)。 原始資料：台電提供。

二、河道系統之主要環境因子

立霧溪流域位於中央山脈東斜面，主流發源於奇萊北峰(3607 公尺)與合歡山(3417 公尺)之間，沿途納入托博闊溪、慈恩溪、瓦黑爾溪、小瓦黑爾溪、大沙溪、荖西溪以及砂卡礑溪等，於新城北方注入太平洋，主流全長約 54.50 公里(石再添等 1987)(圖一)。臺灣河川多峽谷，尤其是流經山地區的上游段及硬岩控制的河段，例如大甲溪中游段的登仙峽谷。但是太魯閣峽谷之深切與狹窄的程度則非其他溪流所能比擬，顯然本流域中各主要環境因子的配合有其獨特性。有關本流域的地形地質概觀或太魯閣峽谷的成因與演育方面以往均有專論闡述(王鑫等 1988；張石角等 1990)。本文根據圖五所揭示的本溪河流系統架構，首先檢視河道系統的外部環境要素，進而說明邊坡次系統的特徵，最後河川水文和河道形態兩部分來彰顯立霧溪的河道地形特徵。

(一) 地形、地質與氣候

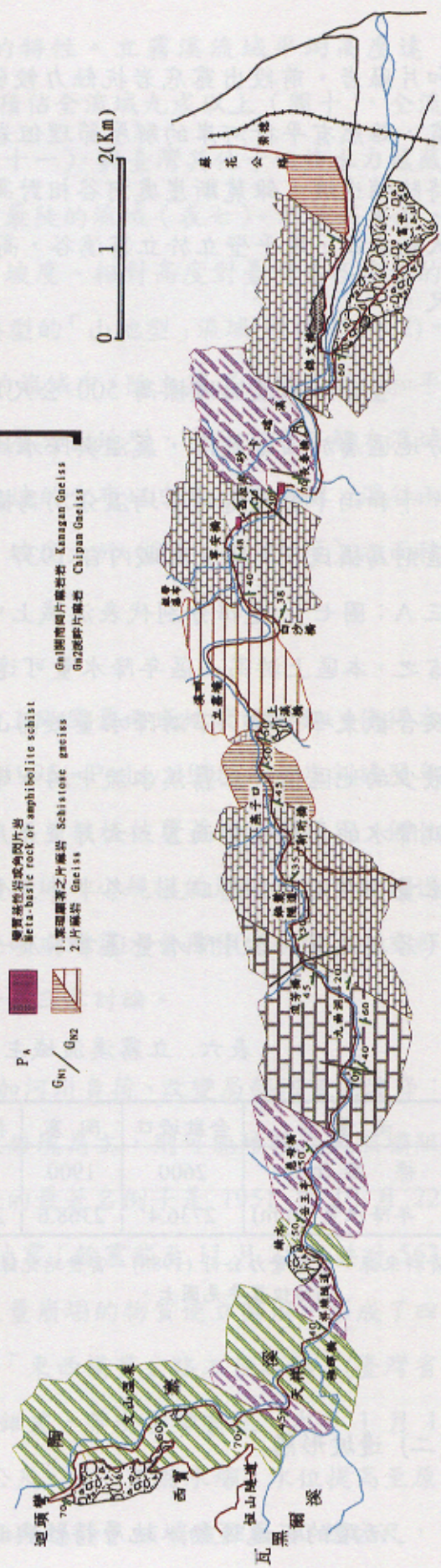
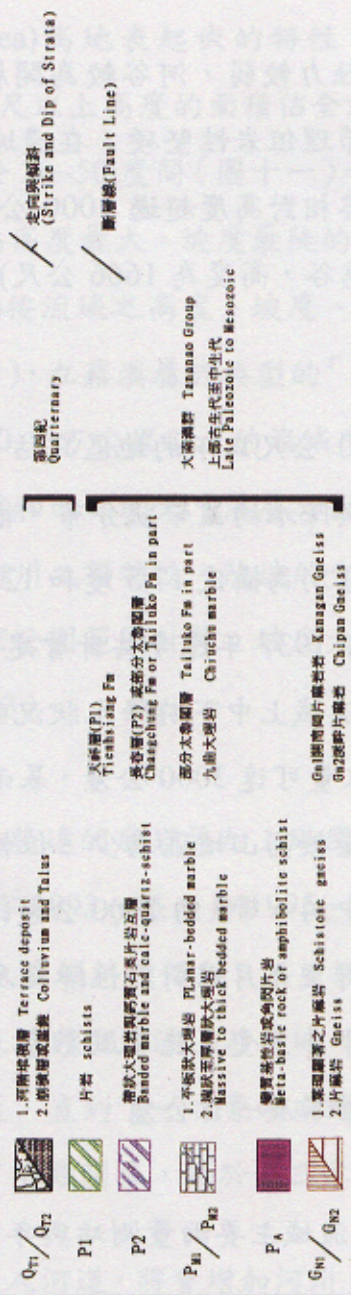
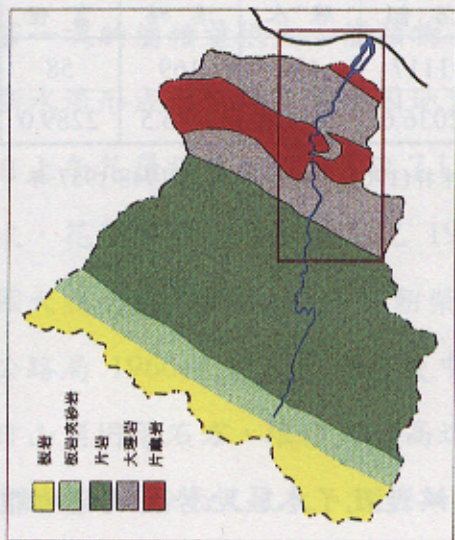
從地形特徵來看，立霧溪大致可以天祥和谷口(錦文橋)分為三段。佔河流總長絕大部分的山谷段大致可以天祥為界，分為以西的「外太魯閣峽」和以東的「內太魯閣峽」(富田芳郎 1972；林朝榮 1957)。立霧溪出山谷後(錦文橋)與出海口僅相距 6.07 公里，河流挾帶之沈積物於此堆積形成沖積扇三角洲(以下簡稱扇洲)(許民陽 1985)。外太魯閣峽溪谷較寬闊呈 V 字型，與本島一般大河上游之河谷形態相似；內太魯閣峽溪谷上部為 V 型谷而下部為 U 型谷的特徵(圖八、相片二)。一般認為顯著的板塊隆升率、強度高的底岩、高起伏的地表、旺盛的河流下切力以及颱風事件的強大衝擊等因子的配合，是造就深切 U 型峽谷地景的主要因子(富田芳郎 1972；王鑫 1988；張石角、齊士崢 1990；Petley 1996, 1998)。



圖八 立霧溪內太魯閣峽與外太魯閣峽谷形之比較

台灣島因位處聚合板塊邊緣，數百萬年以來歐亞板塊與菲律賓海板塊間的隱沒與碰撞，使島嶼逐漸成形，而經常發生的地震則可能促使邊坡的不穩定性增高。陸地相對於海準面的抬升，表示河流侵蝕基準(base level)下降，河床整體坡降增加；從長期地形演育的觀點來看，將促使河流自河口向上游地形回春 (rejuvenation)，回春作用上溯所及的河段將會出現所謂「幼年期」的河谷景觀。沿立霧溪主流縱剖面，可發現關原、天祥上游和谷口三處遷急點，可能代表三次地形回春期(謝敬義 1980)。張石角(1990)根據九梅園（陶塞溪）至谷口之殘餘古河床面的對比，推斷本溪曾經歷八個地形期（五次加速侵蝕和三次加積作用）而發展出今日河谷之面貌。

岩性分布的差異被認為是內、外太魯閣峽溪谷形態不同的另一個重要因子。本流域出露的地層除源流區為第三紀的板岩帶(以大禹嶺層為主)(羅偉 1991)和扇洲區的沖積層外，大部分地區均以先第三紀變質雜岩（在地層單位上統稱為大南澳片岩）中的太魯閣帶為主（顏滄波 1954）(圖九)；在關原至合流間主要為片岩區，合流至谷口間主要為變質石灰岩(大理岩)



圖九 立霧溪中下游沿線地質圖 (地質圖改繪自陳培源, 1986; 插圖改繪自台灣電力公司, 1988)

和片麻岩。前段出露底岩抗蝕力較弱，河谷較為開展；後段大理岩出露處，雖然有平行河岸的解壓節理但岩性堅硬，在邊坡崩壞的過程中仍能維持陡峭邊坡。錐麓斷崖處河谷相對高度超過 1000 公尺(位於錐麓段峽谷的大斷崖山，幾乎壁立於立霧溪谷，高度為 1666 公尺)、底部寬度不及 50 公尺。

整個立霧溪流域標高 500 公尺以下的地區只佔全流域區的 4%，大部分地區屬於山地氣候，氣溫與降水均呈帶狀分布。根據統計，流域內海拔一千和兩千公尺處的年均溫分別為攝氏 17.5 度和 12.5 度，三千公尺以上山區則為攝氏 7.7 度。流域內自 1937 年迄今共計曾建立 20 處雨量站（附錄三 A；圖七），選擇分別代表流域上中下游降水狀況的測站列於表六。簡要言之，本區上游高山區年降水量可達 3000 公釐，暴雨中心在砂卡礑溪上游及合歡東峰一帶；下游降水量較高山地區為少，但較中游為多；年降水量最少的地區位於立霧溪本流中游一帶，約 2000 公釐(台灣電力公司 1986)。就降水的季節分布而言，六月至九月以對流性陣雨及颱風雨為主，各月降水量多在兩百公釐以上。冬半年主受東北季風影響，自十二月至翌年五月（若無颱風）各月降水量通常不及一百公釐。

表六. 立霧溪流域主要雨量測站與年降水量

雨 量 站	合歡埡口	陶 塞	托博閣	洛 韶	綠 水	溪 畔	富 世
標 高 (m)	2600	1900	1255	1117	430	169	58
年降水量 (mm)	2736.4	2368.6	2114.3	2036.6	2081.0	1786.5	2289.0

資料來源：台灣電力公司 (1988)。富世站記錄引用自裘林祥(1965)，觀測時期為 1948-1957 年。測站位置參見圖七。

(二) 邊坡形態

活躍的板塊運動、地層特性與暖濕的氣候造就了本區地勢展現新地體

構造區(neotectonic area)高地表起伏的特性。立霧溪流域平均高度達 1748.2 公尺，1000 公尺以上高度的面積佔全流域九成以上（圖十），全流域的坡度等級主要介於 20~50 度間（圖十一），與臺灣其他十四條水力蘊藏量較高的河川相較，為高度最大、坡度最陡的流域（表七）。根據石再添、張瑞津、黃朝恩(1980)按流域之高度、坡度、相對高度對臺灣島各流域的分類（可分為六種類型），立霧溪屬於典型的「山地型」流域（張瑞津 1982）。依此分類，全臺面積 10 平方公里以上的流域中，除立霧溪外僅鄰近的和平溪、三棧溪、卡那岡溪和西部的大甲溪屬於山地型，由此亦可了解本流域地勢起伏在本島主要河川之獨特性。陡坡的分布以中橫公路兩側、溪谷兩側為最，若以整個國家公園範圍計算，坡度大於 60%（約 31 度）之面積約佔五成（陳宏宇 1993）。

陡峭的地勢、裂面發達的底岩再加上颱風豪雨或地震的擾動，使得本溪邊坡容易崩塌（陳宏宇 1993、張石角 1995、Petley 1998）。初步判讀歷年航照（附錄二），某些大崩塌持續活動，不曾被植被覆蓋而保持穩定，例如陶塞溪上游、荖西溪上游與白沙溪上游等地，小規模的崩塌地則可能經過一段時間就被植生覆蓋，直到下一次豪雨或地震才會再發生崩塌。也有部分崩塌地和道路修築有明顯關係，將於第三章討論。

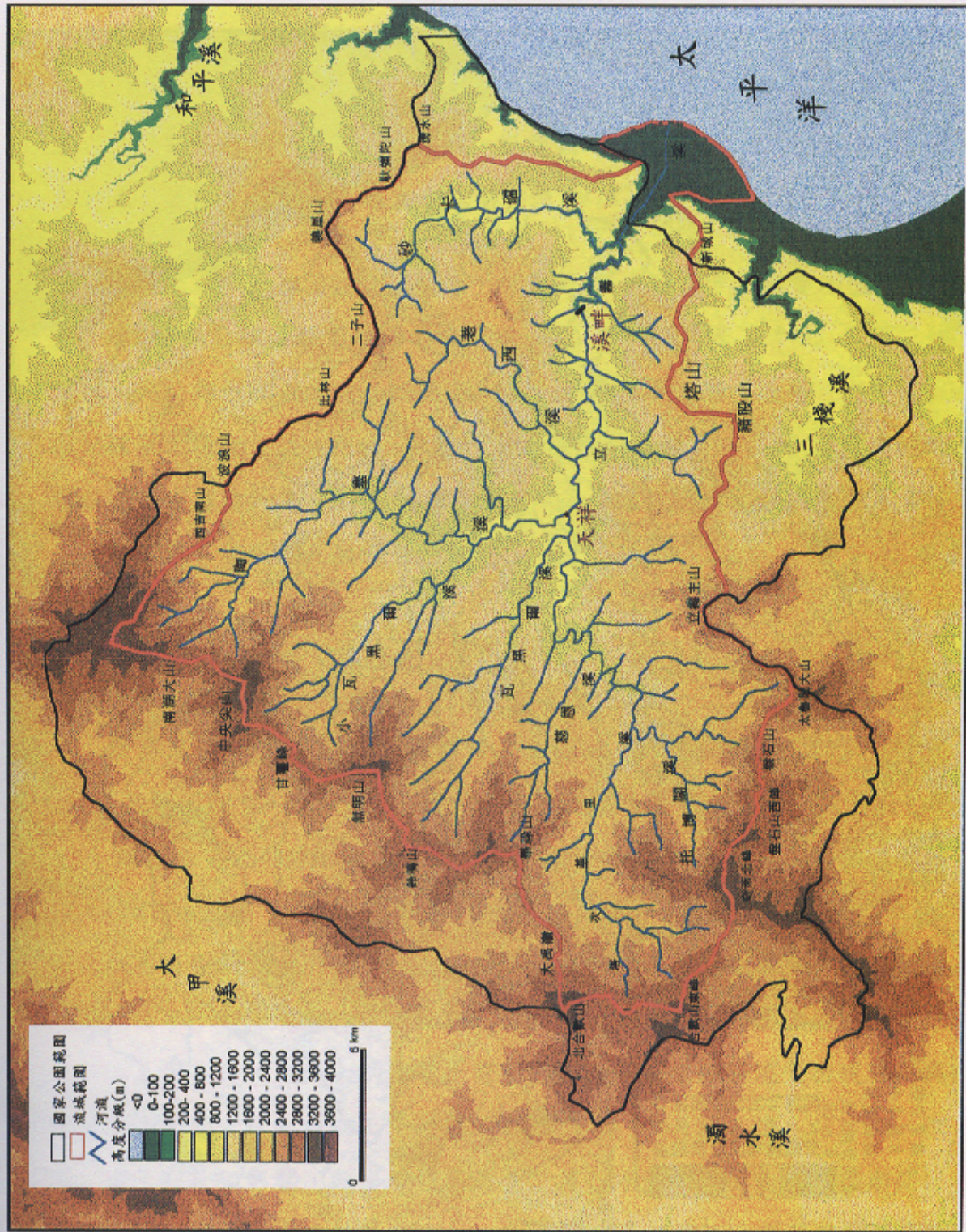
這些崩積物一旦進入河道，將會增加河川負荷、改變局部河道的坡降；若一次的崩積量很大，崩積物又以巨大岩塊為主，則可能堆積成天然壩阻斷水流形成堰塞湖。其中因地震所引發的最著名例子是 1951 年 10 月 22 日上午花蓮發生規模 7.3 與 7.1 之連續地震（餘震截至 11 月 25 日共計 563 次，花蓮縣志稿卷首大事記 1957），大量崩塌的物質使立霧溪中形成了四個天然壩與「堰止湖」（林朝榮 1957）。「東西橫貫公路工程專輯」（臺灣省公路局 1960）則提及該地震使中橫東段錐麓一帶受影響甚鉅，次年 1 月 1 日山崩坍塌石方，堆積河谷高達 70 餘公尺，成一天然水壩，水位提高至原有路基 30 餘公尺之上。同年 4 月 8 日山洪爆發，該壩被沖去 40 餘公尺，

表七. 臺灣十五條河川流域地形與水文特性表

河流	流域面積 (km ²)	平均高度 (m)	平均坡度	流域類型	主流長 (km)	平均降水量 (mm yr ⁻¹)	平均逕流量 (mm yr ⁻¹)	平均蒸發散量 (mm yr ⁻¹)	逕流係數	河流等級
立霧溪	621	1748.2	35° 30'	山地型	54.50	2331.32	1575.07	756.25	0.68	6
淡水河	2728	664.6	23° 00'	山丘型	152.25	2939.22	2081.67	857.55	0.71	7
頭前溪	565	798.7	23° 30'	山丘型	61.20	2131.24	1255.17	876.07	0.59	6
南澳溪	329	854.3	30° 00'	丘山型	46.00	4028.12	3187.22	840.90	0.79	5
和平溪	578	1421.3	32° 00'	山地型	51.50	3646.71	2869.92	776.79	0.79	6
大安溪	751	1469.4	30° 00'	丘山型	97.35	2485.29	1725.19	760.10	0.69	5
大甲溪	1244	1706.8	30° 15'	山地型	135.50	2359.65	1689.53	670.12	0.72	6
烏 溪	2065	619.7	19° 00'	山丘型	114.10	2077.26	1345.54	731.72	0.65	7
濁水溪	3941	1147.6	24° 00'	山丘型	174.30	2219.91	1565.91	654.00	0.71	7
花蓮溪	1497	1221.1	30° 30'	丘山型	79.75	2887.47	2078.34	809.13	0.72	7
秀姑巒溪	1774	1217.8	28° 00'	丘山型	103.80	2721.03	1943.61	777.42	0.71	6
卑南溪	1607	1397.5	28° 00'	丘山型	97.05	2739.92	2026.80	713.12	0.74	6
曾文溪	1186	497.6	19° 30'	丘陵型	137.05	2714.08	1990.39	723.69	0.73	7
知本溪	177	1000.9	27° 00'	丘山型	37.10	2792.94	2017.25	775.68	0.72	5
高屏溪	3290	1056.7	26° 25'	山丘型	168.00	3105.84	2405.90	699.94	0.77	7

資料來源：整理自石再添等(1987)，其中流域類型引用自張瑞津(1982)。

註：本表中所列河川乃本島理論水力蘊藏量較高的河川，十五條河流的總線性理論水力蘊藏量佔全島 61 條較大河流的 90.5%強。



圖十 立霧溪流域高度分布圖



圖十一 立霧溪流域坡分布圖

路基得以復出，並高出水面約 20 公尺。許多地點都曾重複發生崩坍，例如塔次基里溪在台電公司托博闊測站上游約 200 公尺處的右岸山壁曾於 1976 年 11 月 18 日和 1977 年 5 月 19 日發生坍方，又於同年 6 月 15 日坍方，第三次估計平均崩塌深度 4 公尺左右、崩塌土方量達 15 萬立方公尺，河床明顯淤高，並形成天然壩與堰塞湖（簡桐煙 1978）。

根據沿中橫公路（谷口至關原）所量測 38 處共 108 個的實測值，陳宏宇(1993)歸納公路沿線節理面的分布以 $N32^{\circ}E$ 、 $N50^{\circ}W$ 及 $N55^{\circ}E$ 等三組為主，而公路所切割的坡面以東西向為主，兩者多呈斜交狀態，亦即形成楔形模狀之破壞方式。此外，該文作者根據航照判釋共計得到 38 處崩塌地區，涵蓋面積估計為 10.52 平方公里，不過並未說明所判釋的航照為某特定一年版或多年版照片的綜合結果。

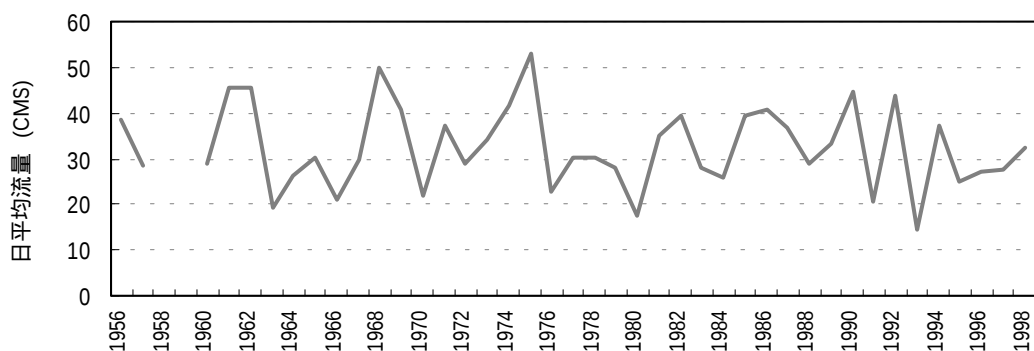
(三) 河川水文（流量、含沙量）

立霧河流域河川逕流尚稱豐沛，全流域平均年流量為 $2.71 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2}$ ；因降水頗豐，流域起伏又大，其水力蘊藏含量為全島前五名內（表七）。根據台電公司綠水測站流量記錄（1956~1998），本溪歷年平均流量為 32.4 CMS($\text{m}^3 \text{ sec}^{-1}$)，豐水期為 5~10 月，大致符合颱風季節（圖十二 B），在此期各日平均流量介於 25~65 CMS，枯水期則為 15~25 CMS；豐水期逕流量約佔年平均逕流量之 71.6%（台灣電力公司 1986）。但流量的時間變化受極端氣象事件（颱風）的影響十分明顯，各年最大瞬時流量出現時間與颱風事件相關者達九成以上（附錄四 A）。本溪 11 月雖已進入枯水期，但仍可能受到秋颱影響，而出現較高流量；另一方面，即使是在豐水期間，若無豪大雨發生則水位仍低（圖十二 C）。颱風豪雨常使水位顯著高漲，流量及含沙量均暴增，破壞力十分驚人，例如 1990 年歐菲莉颱風時谷口錦文橋被沖毀、1997 年安珀颱風時靳珩橋被沖毀等。其中歐菲莉颱風（1990

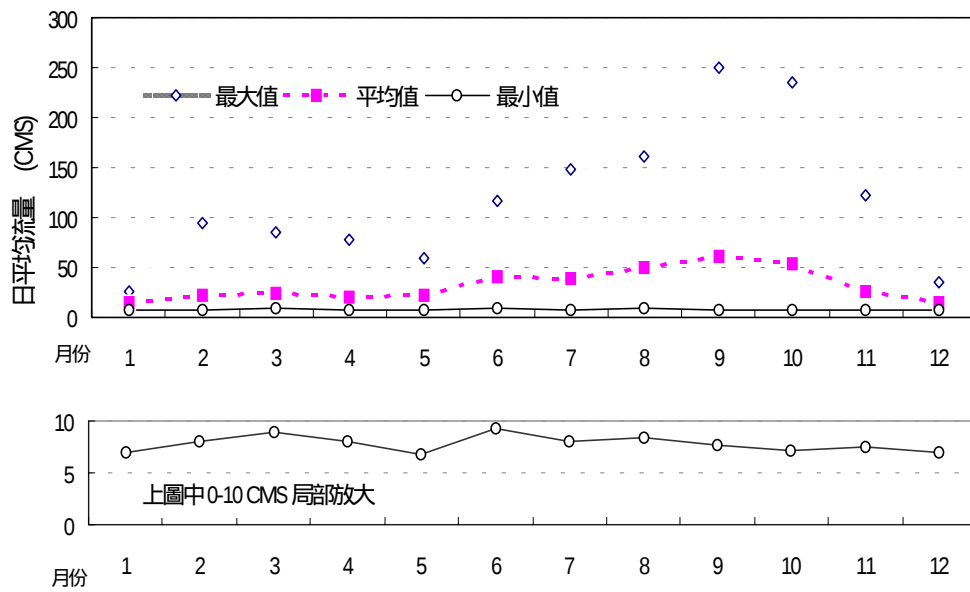
年 6 月 21-23 日) 的最大降雨強度可達每小時 106 公釐, 造成流量超過 1000 CMS 的時間達七小時(最大瞬時流量 1580 CMS), 而大約在洪峰流量 20 小時之後水位快速降到 400 CMS, 140 小時之內都還未回復到基流(base flow)的狀態(Petley 1998)。

颱風豪雨的影響不但反映在季節性差異, 也表現在流量的逐年變化上(圖十二 A); 過去三十餘年間的最大值(平均日流量達 53.1 CMS) 出現在 1975 年, 最小值出現在 1993 年(平均日流量僅 14.6 CMS)(水利局 1999)。1975 年有強烈颱風妮娜(8/3 登陸, 綠水站日雨量 392.20mm)和中度颱風貝蒂(9/22 登陸, 綠水站日雨量 786.00mm)挾帶豐沛降水來訪, 所以平均日流量高達 53.1 CMS。無颱風出現的年度, 通常該年流量至多在平均值(32.4 CMS) 上下, 例如 1983 年的日平均流量為 33.5 CMS(附錄四)。

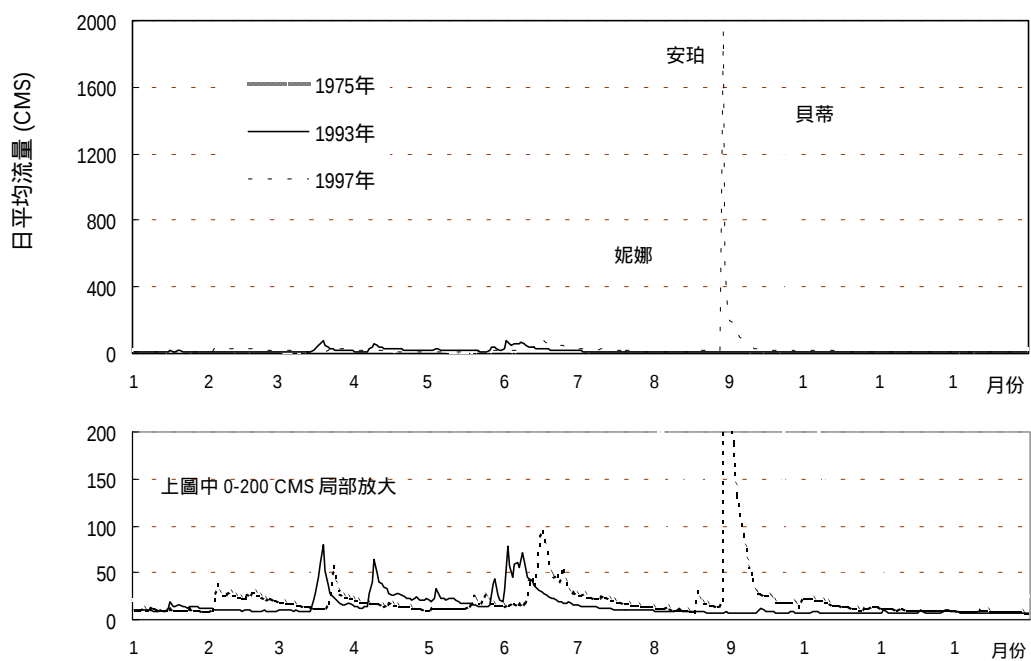
流量不但有時間上的變化, 也有空間上的變化, 此變化主要取決於納入支流(流量)和轉為地下水數量的多寡。由於本流域僅綠水一測站(相片三) 有長期監測紀錄, 所以無法作詳細的比較。在全流域自然環境相似的



圖十二 A 綠水站歷年平均流量圖 (1956-1998)



圖十二 B 綠水站歷年統計月流量值 (1956-1998)



圖十二 C 綠水站年內逐日流量變化舉例

前提下，流域面積的大小也可以反映此一特性。根據統計（表八），天祥與綠水（水文站）以上流域面積約佔總面積之七成，至溪畔壩僅再增加一成，累計面積為 81%，至下游砂卡礑溪匯口累計面積已達全流域的 96%。台電公司(1988)曾求得天祥以下數個斷面平均流量，資料顯示天祥普渡橋至溪畔間流量向下游增加之情形並不特別顯著（表九）。此情形主因立霧溪水系配置之故，本溪多數主要支流在天祥以上就已會合，天祥至溪畔間的較大支流只有荖西溪、科蘭溪和魯丹溪（圖一）來匯。由此也可肯定綠水水文站流量資料可應用於討論天祥至砂卡礑溪匯流口河段之河道形態變化。

本流域在中下游段岩性以大理岩為主，有利於洞穴與地下水系的發展，但相關的研究有限。吉村和久等(1997)比較降水量和流量值後，認為本流域在天祥以上主要是以地表水的形式流動，位於天祥至太魯閣間的支流則有相當部分轉為地下水，而使部分支流成為低水流或乾涸的河床。他們並發現湧泉主要分布於太魯閣至九曲洞之主流的兩岸，但其特徵大多是從落石堆壁（崩積錐）或裂隙中湧出，少見從洞窟之地下河川中流出者，推究其因乃立霧溪之快速下切使得近河床面附近的地下水系無充裕時間發展之故。立霧溪下游河道的水除了來自上游以及沿途支流供應的水源外，也有沿著主流之湧泉(相片四)的補注，不過缺乏詳細估算資料。

依據台電立霧溪水力普查報告所推估而得，立霧溪懸移質、推移質的年輸沙量分別為 6.23 和 0.87 百萬公噸（相當於 5.37 和 0.51 百萬立方公尺），年平均輸沙量為 7.10 百萬公噸（相當於 5.88 百萬立方公尺）；其中推移質乃根據綠水測站懸移質輸沙量的 14%估算（水利局慣用原則）。立霧溪之河床負荷以底質（推移質）為主，枯水期時水位低落幾乎無法搬運任何沈積物，只有在豪雨流量高漲時才是有效的沈積物搬運期，所以對立霧溪而言也只有在一年少數幾天的高水位期河道形態才可能發生顯著的變化。就各年而言，有 95%的數量是在單一次颱風事件中所搬運(Petley 1998)。

表八. 立霧溪累計流域面積比較表

控制點	累計流域面積 (km ²)	佔總流域面積 比例 (%)	控制點 代號
天祥(含陶塞溪)	429	69	07
綠水	442	71	08
溪畔壩	506	81	10
砂卡礑溪(含)匯流口	598	96	12
全流域	621	100	13

資料來源：整理白石再添等(1987)

註：各研究流域地形計測所得數值常出現大同小異情形，可能因為所使用之地形圖和量測標準不同之故。

表九. 天祥以下主要斷面平均流量表

斷面位置	普渡橋 (天祥)	綠 水	慈母橋	九曲洞	流芳橋	靳珩橋	溪 畔
歷年平均日 流量(CMS)	32.41	32.71	35.24	36.74	36.88	37.48	38.39

資料來源：台灣電力公司(1988)；各斷面之流量係按綠水站流量以面積比推估而得。

檢視綠水測站 1970~1998 年以來各年水文年報所刊登之含沙量資料與當時之流量（每年調查 50 餘次），可歸納出可測得含沙量（不論數值高低）之歷年最小流量值以及無含沙量的最大流量值。結果顯示在本測站凡是流量不及 10 CMS 者多半未測得含沙量（僅 1981~1983 例外），流量大於 100 CMS 者均可測得含沙量。含沙量監測只有考慮河川負荷中懸移質的部分，也就是較小顆粒的部分，未考慮較粗顆粒推移質的部分，所以就綠水測站所在河床斷面的情況而言，大致可以推知當流量達 100 CMS 時，就會有明顯可測得的沈積物搬運發生，而流量 10~100 CMS 之間是一過渡帶。

除了大規模降水事件對立霧溪流量有直接而明顯的影響外，因邊坡崩

塌所產生的崩積物質堆置河道中有時會形成天然壩或堰塞湖；一般而言堰塞湖的平均壽命小於十天，且九成以上於一年內潰決(陳樹群 2000)，但是也有對河川流量造成顯著影響的，如上述 1951 年花蓮大地震造成立霧溪堰塞湖的事件就是一例。據估計其中最大的堰塞湖位於錐麓大斷崖附近，其天然壩高達 73 公尺，湖水面達到合流附近，總蓄水量約 500 萬立方公尺（林朝榮 1957）。若此數值可信，則此堰塞湖之容積比今日之溪畔壩的蓄水量還大，但是由於天然壩的結構疏鬆，不易維持長久，而一旦潰堤時就會造成異常的高水位。根據當時本溪僅有之立霧流量測站(谷口附近)的流量記錄(1952~1955)來看，1952 年 4 月初以前流量很低，此不僅是因為該時屬枯水期，且有溪畔（川流式壩體）引水發電，也可能因為天然壩仍具阻水功能，河水漫溢壩堤而下所以水位較低。4 月 5 日的異常高水位則反映了天然壩潰堤，湖水宣洩而下的狀況，之後數日流量又恢復穩定。此外，若本測站流量資料無誤，根據洪峰流量出現日期，此堰塞湖應於 4 月 5 日就開始潰決，與其他文獻所記載之 4 月 8 日潰堤之情形略有出入。

托博閣測站上游在 1977 年 6 月 16 日之崩塌會引起立即的注意，乃因溪畔引水口水位在該日顯著下降，台電公司特別派員前往勘查（附錄五），發現此次崩塌造成天然壩（估計天然壩高、壩頂寬和壩底寬分別為 35、25、15 公尺），估計堰塞湖蓄水量可達 42 萬立方公尺，遠大於溪畔壩的 36 萬立方公尺。由於天然壩孔隙度較大，溪流自然流量仍可經壩體流出，壩體受到該年夏秋之交數個颱風所引發之高流量的沖蝕逐漸低降，蓄水區也逐漸消失。簡而言之，因崩塌造成天然壩及堰塞湖進而影響洪峰流量的出現時間的狀況，可說是立霧溪這種底岩河道的一大特色，但對流量影響的程度則取決於蓄水區的大小以及天然壩消失的方式是突然潰堤或逐漸低降。

(四) 河道形態

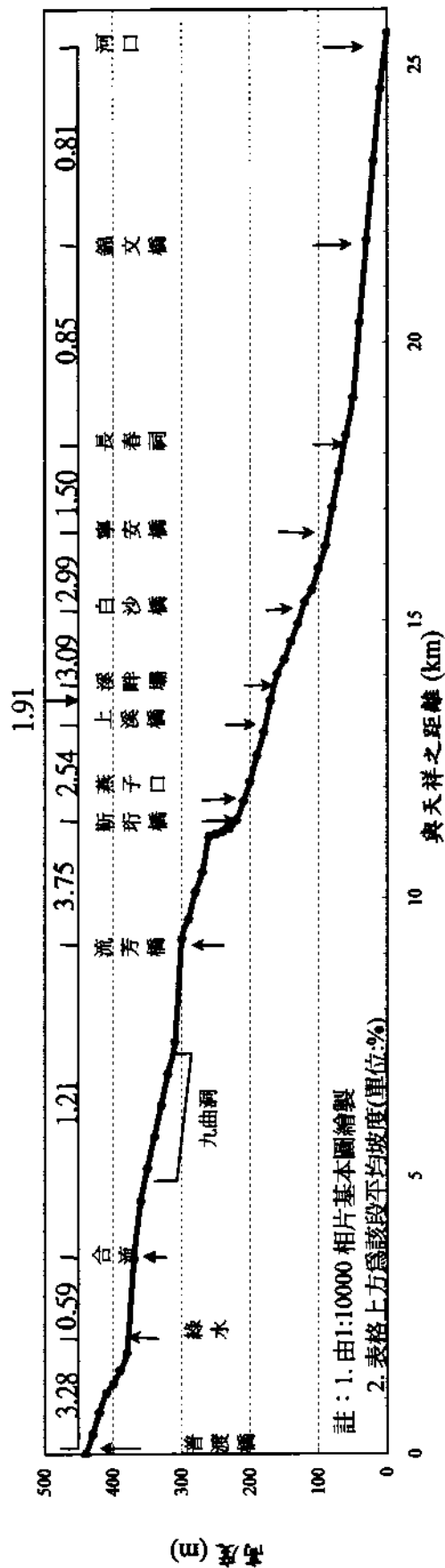
河道的形態特徵可以從縱剖面、橫剖面和平面形態三方面來討論，從

縱剖面來看，河流可以分為上、中、下游，通常上游山高谷深而下游開闊低緩。從橫剖面來看，河谷可以分為谷床和谷坡兩部分；平時水流所佔據的谷床部分稱為河床，河水洪流期間淹沒的河床以外的谷床部分則稱為河漫灘（或氾濫原），山區河流河漫灘發育遠不如平原河流。河道的平面形態通常分為直流、曲流和網流三大類。以下就天祥至河口間的河道形態探討如后：

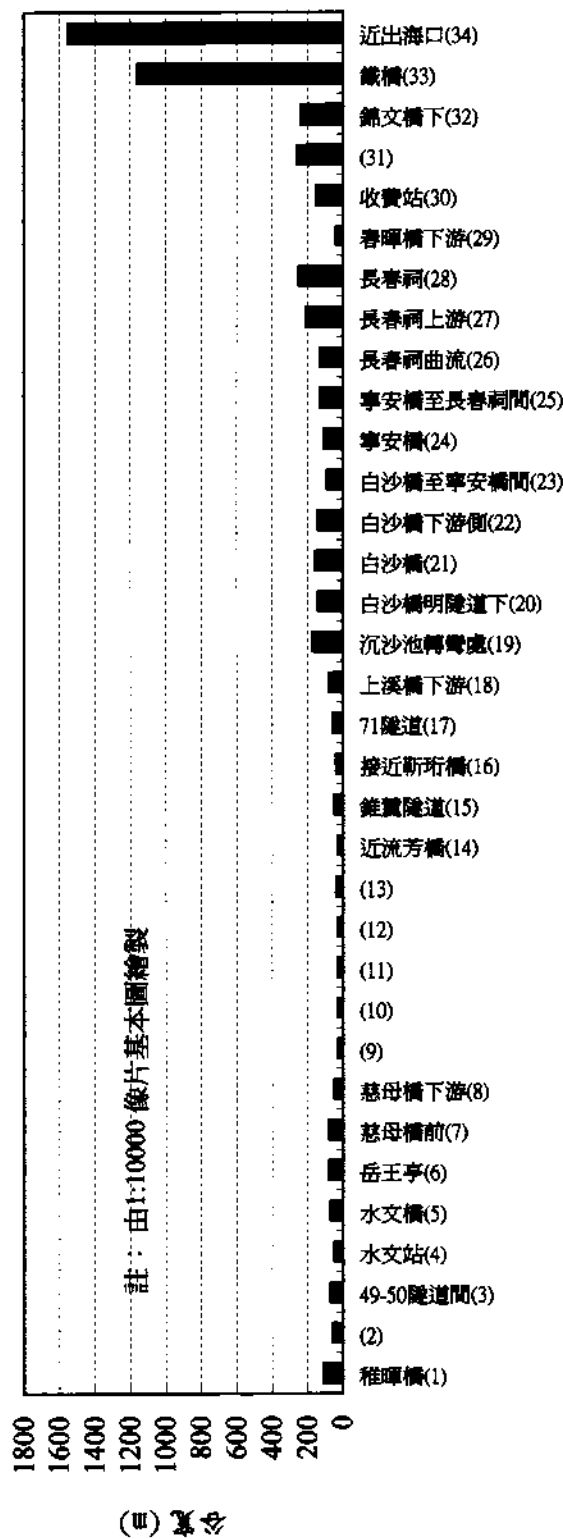
立霧溪絕大部分河道流貫於山地，根據地形計測，主流（由發源地至河口）坡降可達 3.1%（1:32），十分陡急。天祥至河口的平均坡降約 1.7%（圖十三）；各河段坡度不同，靳珩橋以下至寧安橋之間的河段最陡，長春橋至河口段最緩。值得注意的是靳珩橋上游側有一處遷急點，此點是河流回春或硬岩控制所造成，值得再深究。本溪外太魯閣峽呈 V 形谷，內太魯閣峽則為極狹窄的 V 形谷、而最下部有時呈 U 形（圖八），雖然沿途零星有高位河階分布，但河谷底部多十分狹窄；河道寬度介於 20~250 公尺之間，近谷口處最寬，而九曲洞一段最窄（圖十四）。

就河道平面形態而言，天祥至谷口間屬於較低曲流率的（掘鑿）曲流形態，擺幅較大的曲流彎僅出現在綠水段、錐麓大斷崖段、溪畔 - 白沙橋段、長春祠段和砂卡礑溪匯注口以下，谷口以下扇洲段則呈現網流形態。立霧溪口扇洲的存在顯示河川自流域內搬運大量的物質至河口，但是天祥至谷口間河谷堆積並不顯著，表示源流區侵蝕的土石砂礫大多（尤其是較小顆粒的）快速被帶往河口，河川負荷暫時儲存於河道的規模有限。

根據沈積物分布的情形可以慈母橋和燕子口將本段河道分為三部分，天祥 - 慈母橋與燕子口 - 谷口兩段河道堆積物較多，後者又比前者豐富（圖十五），而且其中某些河段還有相當穩定的沙洲發展，規模較大的有長春祠、峽谷橋等處（相片五 C、五 D）。慈母橋至燕子口間河床堆積物有限，通常是在河岸局部凹入處堆積（相片五 A），而且容易在下一次洪水事件時被沖走，尤其九曲洞一段在枯水期也少見河床堆積物（相片五 B）。



圖十三 立霧溪天祥至谷口段河道縱剖面

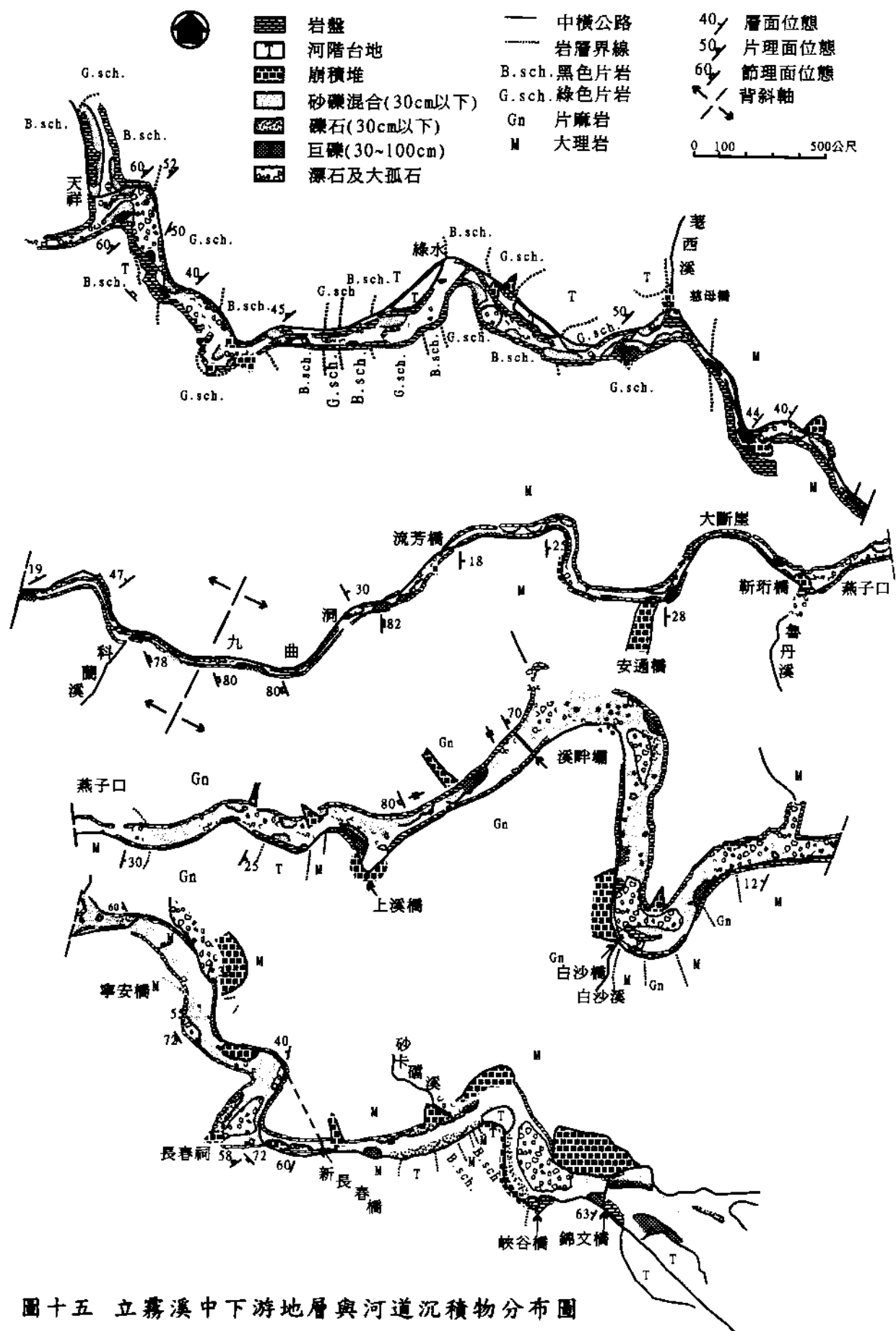


圖十四 立霧溪天祥至谷口河道寬度變化

在任一河段的任一時間，侵蝕、搬運、堆積作用經常是同時進行的，只是三者的相對重要性不同。若某一河段經歷一次洪水事件後，搬運往下游的沈積物比來自上游而堆積於此的沈積物多，則此河段沈積物減少，發生侵蝕。當流水挾帶的砂礫由於條件改變（如坡度變緩、流速變慢、水量減少和砂礫增多等）而使河水搬運力減弱時，就會發生堆積。對各河段之沈積物與河道形態的空間變化來說，凡是河床坡度減緩或河道寬度增大（水深變小、流幅加寬使流速減緩）之處，最利於堆積。河道狹窄處由於過水斷面小（寬深比較小），洪水到來時水位抬高較多而且流速較快；此情形使其上游段河道容易產生壅水現象而發生堆積，並使其本身形成沖刷帶。當然各次水文事件的水沙特性以及前一次事件後所造成的河道形態，都會有影響。

分別比較立霧溪中、下游段河道平面形態和河道寬度與坡降的關係，可以發現河道平面形態的影響較為顯著。河道中沈積物最有限的慈母橋到燕子口一帶坡度並不特別陡，但是河寬最窄；沈積物較豐富的燕子口至長春祠間坡度並不特別緩，但是河道較寬；而沈積物最豐富的長春祠以下是河道最寬、坡度也最緩的河段。對於太魯閣峽谷段這種切穿高硬度底岩的河道而言，河寬與河床坡降的變化速率遠小於高敏感性的沖積河道。沖積河道因組成物質疏鬆、膠結不佳，一旦經歷較大規模的洪水事件，河岸就可能因河水側蝕而崩塌，導致河道加寬，進而改變該河段的流能與搬運能力。但是此種高變動的特性不太可能發生在太魯閣峽谷段的河道，由於河床兩側鄰接底岩邊坡，河水對邊坡的侵蝕相對而言十分緩慢，只有在邊坡崩塌時河道才略為加寬，而其頻率與規模都遠低於沖積河道。就較短的地形時間尺度來看，控制河道寬度的是邊坡的特性，而非水流的侵蝕力。出露於九曲洞一帶的塊狀大理岩（PM2）就比其他各河段的片麻岩或呈片狀的大理岩（PM1）抗蝕力更強（圖九）。

在本河段另一值得注意的是有幾處河漫灘上有特別顯著的巨礫灘，尤



圖十五 立霧溪中下游地層與河道沉積物分布圖

(改繪自台電公司 1988)

其是白沙橋曲流(相片五 F)和寧安橋下游兩處，其次是天祥(相片五 E)、綠水和溪畔沈沙池等處，其他多處還有較為零星分布的孤立大巨礫。這些大巨礫的長徑經常達四、五公尺以上，顯然不是一般洪水的能力所能帶動，其分布的位置常與邊坡崩塌或小溪流的入口處相關，推斷應為自邊坡或沿支流溪溝崩下後就停置於該處，而少能移動。這些巨礫盤據河床，使流道被迫偏移一側，它們是否會影響較粗顆粒沈積物的向下搬運，以及它們在峽谷段河道形態上扮演的角色值得進一步探討。此外，長徑一、二公尺的巨礫在此段河道更是經常可見，這種巨礫的移動性必然較高；第四章中將說明在野外實察的發現。

地球上任一地區的地形是由來自地球內部的運動（內營力）與外部的氣候（外營力）作用在地表（構成物質之特性）並隨著時間的發展至當代而呈現出的特徵。本流域在劇烈的內營力（高速的地殼隆升率與經常性地震）與旺盛的外營力（平均每年兩個颱風造成顯著影響，24 小時降雨量達 600 公釐以上，且最大降雨強度達每小時 100 公釐以上）衝擊下，流域在抗蝕力大小不同的片岩區和大理岩、片麻岩區演育。本流域展現了新構造地區(neotectonic areas)經常可見之極端動態地形系統的特徵。立霧溪河道次系統的特徵反映了自然環境的控制，顯著的洪枯流量變化以及與邊坡岩性強烈影響的底岩河道，使天祥以下河段的河道平面形態呈現顯著的空間差異。本河流最常見的景象是一年幾次洪水事件期間水位高漲河水溢滿河道，絕大部分的枯水期時，河水侷限於狹窄的流道中蜿蜒而下，而人類活動對河道的可能影響必須在了解河道特性之後才可能有適當的評估。

三、人為活動

對立霧溪而言，除了自然環境因子的運作，流域內的人為活動也必須加以考慮。如前所述，流域的運作成一系統，人類在邊坡與河道上的活動都會間接或直接的影響河流的水沙特性。立霧溪流域內的人為活動可以大致分為水壩、防砂壩（點），中橫公路、電廠施工路等（線），與農地、林地的開發（面）等三型。除了立霧電廠為發電需要而抽水、攔沙可能會影響河川水文、河道形態外，流域內的道路工程也是不可忽略，因為工程單位常常就近將開挖邊坡、隧道所產生的大量土方棄置於鄰近的河道中。從河流地形的觀點來看，大量的物質在很短的時間內進入河道，這種數量的沈積物可能在自然的狀況下是要數千年甚至更久的時間才會被侵蝕進入河道。在此情形，河道形態（橫剖面或坡降）必然會調節以搬運突然出現的過量沈積物。本章首先簡要回顧立霧溪流域的開發過程，再針對與河流地形較密切的道路、河川工程細述。

（一）開發簡史

立霧溪流域在史前時代曾有屬十三行文化普洛灣類型的人群居住在流域內河階上，河口扇洲則有哆囉美遠人居住，文獻也記錄有西班牙人及荷蘭人在立霧溪扇洲一帶淘金。在近三百年前泰雅族太魯閣群進入流域內散居，生活方式大致以自給自足為主，流域內雖有交易、遷徙，但大致相當封閉，清政府的開闢北路(蘇澳至花蓮間)的行動亦未對流域內產生較大的影響。

日據時期，在大正三年(1914)太魯閣戰役後，較強勢的政治勢力進入立霧溪流域內，除了控管居民外，也著手進行流域內礦產、林產及觀光的發展。在殖民政府開發東部、工業化東台灣的藍圖中，立霧溪的水力發電是籌設中的花蓮工業區主要電力供給來源，興建了今日立霧電廠與溪畔壩的

前身。

光復後闢建中橫公路，促使溫帶蔬果栽培業的發展，不過大規模拓墾的農場多分布於大甲溪流域，立霧溪流域因地形、交通之限，而且地權上除少數山地保留地外多屬國有林地範圍，農業拓墾範圍遠小於前者。農業用地大致位於中橫公路兩側十公里內坡度較緩處，主要分布在太魯閣閣口附近的三處山地保留地(大禮、大同、西拉岸)、陶塞溪河階地(梅園、竹村、蓮花池等地)、西寶農場、卡拉寶，以及中橫公路華綠溪、大禹嶺一帶。由於近河道處坡度較陡，所以農業用地之位置均與河道有相當的距離。除農業開發外，本流域在光復後也曾進行林木開採，森林施業地計有林務局立霧溪事業區所轄的砂卡礑林道一帶，退輔會森林開發處所轄的研海林道、和平林道支線一帶，均已於國家公園成立後停止作業。國家公園成立之後，流域內自然資源以保育為主要目的，所以除了少數農業用地外，所有林木和礦產開採活動均已停止，地表覆蓋物(land cover)仍維持以天然林地為主(內政部 1984)(詳見附錄六)。

(二) 水利工程

在立霧溪流域內和河流直接有關的工程包括護岸、防砂壩和因為水力發電所興建的水壩等，其中又以後者的影響為最大。在主、支流上早有因為電力開發而興建的水壩，以供河流下游的立霧電廠使用。發電所引用的水源除了來自立霧溪主流溪畔壩（立霧壩）的蓄水池(相片六 A)外，另外在支流砂卡礑溪也築有一壩(相片六 B)，提供部份水源。溪畔壩位於距離河口約 12 公里處（以上流域 512.25 平方公里），是目前立霧溪流域內最主要的河流工程（圖一）。

1. 防砂壩（攔沙壩）

臺灣地區因中上游河川輸沙量大，過去常以修築防砂壩作為延緩河川

負荷快速下移的主要防治工程。根據記錄立霧溪流域共有 14 座防砂壩，均為退輔會森林開發處(現為森林保育處)在 1978 至 1985 年間所建造(台灣省林務局 1992)，因為行政院退輔會森林開發處於 1976 年起奉准增撥立霧溪事業區九個林班地(面積 5,490 公頃)的立霧工作區以開發林業資源，主要的施業地包括合流以南至奇萊東稜的研海林道一帶，以及立霧溪流域北界一帶的和平林道支線(910、911、912、914 林道)一帶(圖十六)。

根據森林保育處退休人員所言，建設防砂壩的範圍會在林班施業地水平距 40 公里以內的範圍內。防砂壩是為攔蓄河道泥砂、調節泥砂輸送、穩定河床及崩塌、防止侵蝕、沖蝕、抑止土石流所構築五公尺以上之橫向構造物。在本流域的 14 座防砂壩中，有 9 座為蛇籠壩，5 座為重力壩(混凝土及砌石造)；蛇籠壩適用於荒廢小侵蝕溪流、交通不便或地滑地區、臨時搶修等，而混凝土壩適用於逕流或規模較大，且具永久性治理效能之構造物(表十)。

由於森林保育處並未留存過去防砂壩的詳細位置圖，而且均已淤滿埋沒，現場勘查也不易判斷(如陶塞溪崩塌作用旺盛，供應大量的沉積物，因此防砂壩相當可能在短期內即淤滿)，所以無法得知這些防砂壩的確切位置。若根據森林開發處的施業地來看防砂壩的可能分布位置與範圍，研海林道一帶有科蘭溪流經，但科蘭溪因落差甚大，流經之處多為峭壁深谷，而研海林道在第二索道後爬升甚高，防砂壩應非築在研海林道一帶的施業地內，而可能在和平林道支線的 910、911、912、914 林道一帶，即防砂壩可能築在 910、911、912、914 林道附近的陶塞溪中上游主、支流上。總之，由於 14 座防砂壩應均建在立霧溪支流的中上游一帶，而且推測在建成後短期內就快速淤滿，對立霧溪中下游河道形態應無重要的影響。

2. 發電水壩

立霧溪水力蘊藏量可謂豐富，但其含沙量較大且河床狹窄，又缺乏優

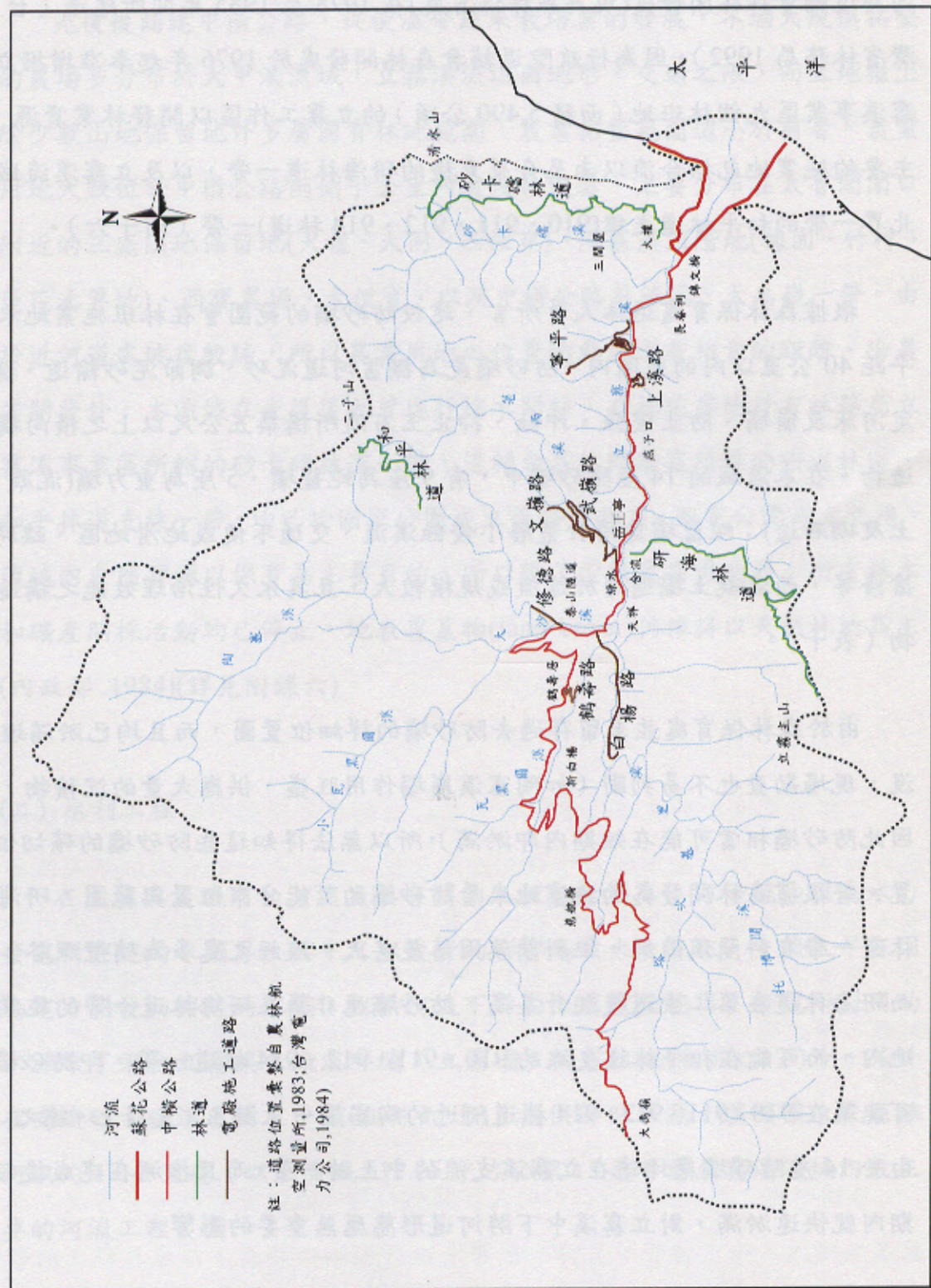


圖 6-16 立霧溪流域主要道路系統位置圖

表十．立霧溪流域森林開發處所築防砂壩一覽表(1978~1985)

壩名	類別	施工期間	總工程費(千元)	壩體長	寬	高	壩體材料	壩面坡度(上游)	壩面坡度(下游)	壩址岩層	淤沙情形
851 線防砂壩	蛇籠壩	67.8~68.3	804	10.0	4.2	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
850 線防砂壩	蛇籠壩	67.8~68.3		10.0	4.2	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
北區防砂壩	混凝土重力型	68.6~68.10	1998	34.0	8.0	2.0	混凝土	1:0.2	1:0.3	砂礫岩	已淤滿
南區防砂壩	蛇籠壩	69.8~69.11	986	25.0	4.8	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
北區防砂壩	混凝土重力型	69.2~69.4	2482	34.0	7.0	2.0	混凝土砌塊石	1:0.2	1:0.3	砂礫岩	已淤滿
910 線防砂壩	砌石造重力型	69.12~70.1	1593	22.0	6.0	1.5	混凝土砌塊石	1:0.2	1:0.3	軟岩	已淤滿
912 線防砂壩	砌石造重力型	70.1~70.3	1403	18.0	7.0	1.5	漿砌岩	1:0.2	1:0.3	砂礫岩	已淤滿
850 線防砂壩	蛇籠壩	71.8~72.11	140	25.0	4.8	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
910 線防砂壩	蛇籠壩	71.6~71.7	143	20.0	4.5	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
911 線防砂壩	蛇籠壩	72.11~72.11	962	23.0	4.2	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
910 線防砂壩	蛇籠壩	72.11~73.1	4234	28.0	3.9	3.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
911 線防砂壩	蛇籠壩	73.11~73.11	832	18.0	4.5	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿
911 線防砂壩	砌石造重力型	74.3~74.4	1174	20.0	6.5	1.5	漿砌石	1:0.2	1:0.3	砂礫岩	已淤滿
910 線防砂壩	蛇籠壩	74.5~74.5	597	20.0	3.6	2.0	鐵絲籠	1:1	1:1.5	砂礫岩	已淤滿

資料來源：台灣省林務局(1992)，所有防砂壩在調查時均已被埋沒。

良水庫地點與興建電廠之適當地面，加上東部的區域開發相對較緩，本溪電力的開發雖自日據時期即已開始，但迄今仍以立霧發電廠引用立霧溪主流及支流砂卡礑溪之水流發電為主。日據時期建立之發電設備及機組因受颱風洪水災害而於 1944 年損毀。光復後（1950 年）立霧工程處成立，修建重力式溢流壩一座及進水口；1962 年起進行「立霧尖峰計劃」改建攔河壩，形成調整池，蓄水容量為 0.34 百萬立方公尺，以調節尖峰負載，於 1965 年 12 月 25 日完成後翌日即正式蓄水，作尖峰運轉操作迄今。發電機方面於 1951 年修復第一部機組，1955 年完成第二部裝機，裝置容量達 3.2 萬瓩；1965 年底完成尖峰工程計劃後，尖峰電力增加並可調節負載量。

東部目前總發電量約為 18 萬瓩，以木瓜溪的水力發電為主。立霧電廠（位於花蓮縣秀林鄉富世村）目前發電量約占東部總發電量的 1/6（發電量 3.2 萬瓩）。電廠位在蘇花公路旁，立霧溪下游左岸上方，在溪畔壩及砂卡礑壩分別引用立霧溪及砂卡礑溪的溪水。主要引水地點為花蓮縣秀林鄉溪畔之溪畔壩（立霧事業區第 19、86 林班內）以及砂卡礑溪上游之砂卡礑壩（立霧溪事業區第 18 林班內）（表十一）。

溪畔壩壩底海拔高度約為 157 公尺，最高水位 167.8 公尺（最高洪水位標高），低水位 157.5 公尺。根據訪問所得，滿載發電流量為 36 CMS，沉沙池可負荷水位 3.6 公尺；由電廠值班主任決定發電量的多寡。自 1965 年 12 月尖峰工程竣工起溪畔壩總容量和有效容量分別為 0.354 和 0.34 百萬立方公尺，但因淤沙影響，有效容量通常只有總容量的 3/5（表十二）。

溪畔壩有寬 8.5 公尺、高 10.7 公尺之活動弧形閘門七座（由北向南稱為第 1 至第 7 排洪門）（相片七 A），每個排洪門可開至 10m 高（可據此換算最大流量）；另於北岸（左岸）有排沙閘門（相片七 B）一座，為寬 6.58 公尺、高 4.17 公尺直提滾輪式排沙閘門，其閘門基部比排洪門約低 2.5 公尺。取水發電之流程為在溪畔壩經進水口（相片七 C）- 引水隧道 - 沉沙池（相片

表十一．立霧電廠核准引水量一覽表

(單位：CMS)

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
每月用水日數	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
引水量(溪畔壩)	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
引水量(砂卡礑壩)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
每日用水小時	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

資料來源：經濟部水資源局網站 (<http://www.wrb.gov.tw/>)

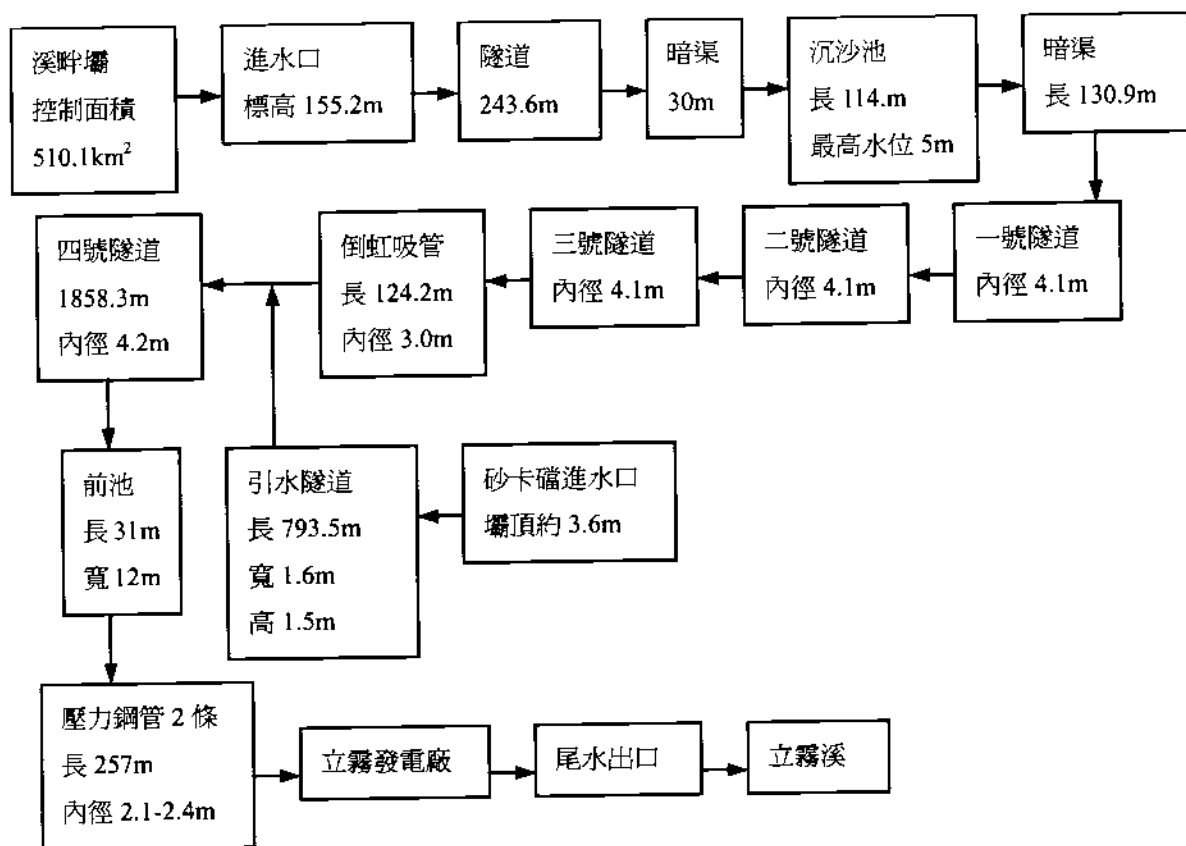
表十二．溪畔壩歷年總容量、有效容量與淤沙量

(單位：10⁶ m³)

年份	總容量	有效容量	淤沙量
1989	0.354	0.242	無資料
1990	0.354	0.297	0.254
1991	0.354	0.170	0.167
1993	0.354	0.170	0.220
1994	0.354	0.170	0.220
1995	0.200	0.170	0.184

七 D) - 砂卡礑進水口(相片七 E) - 前池 - 電廠(相片七 F)發電，尾水再流入立霧溪(錦文橋以下的立霧溪下游段)(圖十七)；有關立霧電廠的建設經過請參閱附錄七。以下進一步說明溪畔壩取水、溢流、排沙、尾水之情形，主要係根據訪問電廠相關管理人員之資料彙整而成。

溪畔壩為調整池式的水力發電運作方式，希望盡量利用所有流量以供尖峰發電；根據溪畔壩 1998/7~2000/8 營運資料，一般情況下進水量等於發電量。通常在晚間蓄水至滿水位，白天送水發電，至午時左右水用完再蓄。進水量在豐水期(5~10 月)與枯水期(11~次年 4 月)的差異甚大，枯水期各旬之日平均進水量約 10~30 CMS 左右，颱風期間甚至可達 1000 以上。



圖十七 立霧電廠取水與送水流程圖

溪畔壩排洪門主要功能是降低水位，冬季發生大水的機會少，通常最多開不到三個排洪門。平日並不會開開門排水，若非必要也不會排沙（因為需要靠一定規模的水流才能有效排沙），只有在流量及蓄水量超過負載時才會排水（溢流）（表十三）。例如颱風豪雨期水位可能超過 167.80 公尺的滿水位，基於壩體安全的考量，必須立刻開啟開門洩洪。溪畔壩近十年排洪溢流、排沙情形整理如表十四。

開門開啟的情形原則上由溪畔壩管理員視現場流量而定，通報立霧電廠後決定是否需要開啟開門。平常蓄水至滿約需 8 小時，若在颱風期間約僅 15 分鐘即可從 157 公尺達到 167 公尺的警戒水位；排洪時水漲至寧安橋河段約十數分鐘。颱風期間流量常可達 1000 CMS 以上，水位甚至可能滿

表十三. 溪畔壩歷年較大「旬溢流量」一覽表

單位：CMS

年份	旬別	溢流量	備 註
1989	9 月中	188.70	09/11 強烈颱風莎拉(SARAH)
1994	8 月上	1202.96	08/03 輕度颱風凱特琳(CAITLIN) 08/08 強烈颱風道格(DOUG)
1994	8 月中	273.8	
1996	7 月下	142.927	07/26 中度颱風葛樂禮(GLORIA)
1996	8 月上	101.209	07/31 強烈颱風賀伯(HERB)
1997	8 月下	134.055	08/29 中度颱風安珀(AMBER)
1998	10 月下	158.340	10/16 強烈颱風瑞伯(ZEB)

表十四. 溪畔壩歷年溢流量(排洪量)佔該年進水量之百分比

年份	年進水量 [A] (CMS)	年溢流量 [B] (CMS)	[B/A] (%)	年溢流量[B]及 排沙量[C] (CMS)	[B+C/A] (%)
1989	1156.80	340.43	29.43	354.94	30.68
1990	1707.45	288.31	16.89	1064.23	62.33
1991	858.07	167.15	19.48	200.70	23.39
1993	603.97	37.54	6.22	41.60	6.89
1994	2888.85	2222.21	76.92	2228.15	77.13
1995	1132.87	249.86	22.06	268.92	23.74
1996	1299.496	323.248	24.87	479.200	36.88
1997	1139.163	247.318	21.71	293.222	25.74
1998	1332.12	255.26	19.16	300.80	22.58

註：本研究未獲得 1992 年資料。

過閘門最上緣。通常會保持水位在 164 公尺左右，以免洪峰流量時水位急速暴漲。排洪門全開時為「自然取水」狀態，即有多少水，發多少電。例如今年(2000)碧利斯及象神颱風時溪畔壩閘門均曾全開（碧利斯颱風時溪畔壩最大流量：3080 CMS）。若壩前淤沙量高時，則八個排洪門全開且不進水發電，以避免高含沙量的流水淤塞進水隧道和損壞機具。

由於立霧溪在源頭區及上游地帶流經板岩、片岩地質區，加上上游集水區內的崩場地供應大量沉積物(大沙溪尤其明顯)，以及中橫公路沿途工程的棄土等，為立霧溪帶來大量的沉積物，在降雨或颱風、大雨時更使懸移質大增。根據經驗，水位約在 164 公尺以上時，沙就會進入。含沙量過高時容易堵住溪畔壩進水口，並減低有效蓄水量。根據溪畔壩實測壩上立霧溪溪水的懸移質，正常情況含沙量約為 0.1~0.2%，遇颱風、大雨時含沙量可達 2.0~2.5%以上，相當於平時含沙量的十餘倍。

若有排沙需要，大壩管理員需向立霧電廠值班主任報告，電廠再向東部發電處調度課報備。排沙一般在晚上進行，需通知各單位(太管處、農田水利會等)並廣播。排沙時需較急水流，管理員視壩前（上游側）淤積情形及沙洲位置決定開啟閘門的方式與順序，流量在 60 CMS 以上時，排水或排沙較有用。排沙時通常不發電，讓水溢流。壩前沙洲太高擬排沙時，需先蓄水，待水位夠高能有效帶動淤沙後才開始排沙，排沙門開啟前需先關閉進水口，以免隧道淤沙。近十年間排沙情形整理如表十五。

表十五. 溪畔壩 1989~1998 年各年排沙情形一覽表

年份	排沙量 (CMS)	排沙月份
1989	14.51	4,6,9,10 月
1990	775.92	5,6,8,9 月
1991	33.55	3,4,5,7,8,9,10,11 月
1993	4.06	3,4,5,6 月
1994	5.94	2,7,8,10 月
1995	19.06	2,3,4,6,7,8,9,10 月
1996	155.952	4,5,7,8,11 月
1997	45.904	2,3,5,6,7,8,9,11 月
1998	45.54	8,9,10 月

*1990 年因自 7 月中至 8 月下旬皆未發電，進水量均排出(記錄中列為排沙量),因此排沙量特別高.(可能為不發電放水維修)

溪畔壩的排沙門位於最北側(河流左岸), 由於開第 1 至第 3 排洪門時容易將淤沙帶往進水口和排沙門附近, 所以為調節蓄水區水位高低而排洪時, 都是以局部開啟第 5 至第 7 排洪門(南側、近公路側)為原則。排沙前通常會先開排洪門 1~3, 先將壩後(下游側) 沙洲沖掉, 以清理出空間供即將下洩之淤沙停置。排沙門的設計比其他排洪門低 2.5 公尺, 表示當水位低於排洪門時, 水流仍能通過排沙門, 帶動沙石繼續移出。水位低時先關排洪門, 讓水沙自排沙門流出。由於長年使用或操作不當, 排洪門或排沙門未必完全密合, 有時會發生滲水的情形。

簡而言之, 排洪排沙之操作主要由溪畔壩之管理員視現場狀況決定, 其主要考量為壩體安全和有效蓄水以達發電目標。電廠年度歲修時停止發電(多在冬季), 大壩也會配合檢修, 或壩體本身工程需求, 會做排沙排水的操作。排洪門主要目的是調節蓄水區水位, 排沙門則為排除淤沙。第 4~7 排洪門最常開啟, 第 1~3 排洪門通常在排沙前後開啟。

位於砂卡礑溪的砂卡礑壩則是引用該溪溪水作為冷卻水或輔助發電、清洗機具之用。此壩屬溢流式攔水壩(overflow dam), 與溪畔壩不同, 在大水時水可直接漫流過砂卡礑壩, 壩體高度約 3.6~4 公尺。砂卡礑壩目前無人固定看守, 但在 2000 年 2 月尚有整修砂卡礑壩的工程, 而在颱風前後電廠也會派人勘查情形。

3. 人為的水資源利用

目前全立霧河流域內除小規模的引水取用外登記在案的較大規模取水單位及引用水量共有五處, 詳如表十六。除天祥晶華飯店與天祥祥德寺在天祥引用約 0.002~0.006CMS 的水量外, 再向下游的引用者為台電立霧電廠溪畔壩在溪畔的發電用引水, 核准引水量為 31.5CMS (表十七)。再向下游為花蓮農田水利會為灌溉立霧溪扇洲上農作的農用水, 依季節不同,

用水量也有所差異。因立霧溪本流在溪畔壩的調整池式引水，雖然在溪畔以下河道有支流及地下水的補助，也有較大支流砂卡礑溪(亦有水壩的引水)的匯入，但因下游處流量較小，且流道呈分流狀態，因此農田水利會有時會在河道以人工進行分流取水的方式，以利灌溉水源的穩定（表十八）。

表十六. 立霧溪水權核准引水單位與引水量
(引水單位自上游向下游排列)

引水單位	引用水系	引用流量(CMS)
天祥晶華飯店股份有限公司	立霧溪	0.006
財團法人花蓮太魯閣祥德寺	立霧溪	0.002
台灣電力公司(立霧電廠溪畔壩)	立霧溪	31.5
花蓮農田水利會	立霧溪	3.382~5.963
台灣電力公司(立霧電廠砂卡礑壩)	砂卡礑溪	4.5

資料來源：經濟部水資源局全球資訊網(<http://www.wrb.gov.tw/>)

表十七. 天祥、溪畔平均流量及核准引水量一覽表

斷面位置 流量比較	普渡橋 (天祥)	天祥晶華與祥德寺 核准用水量合計	溪 畔	溪畔壩核准引水量
平均流量(CMS)	32.41	0.008	38.39	31.50

資料來源：經濟部水資源局全球資訊網，台電公司(1988)

表十八. 農田水利會不同月份的核准用水量比較

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
每月用水 日數	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
引水量 (CMS)	3.584	5.963	5.963	4.990	4.990	5.761	5.963	4.990	4.990	4.990	4.184	3.382
每日用水 小時	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

資料來源：同表十六。

(三) 道路修建

本流域較明確的道路系統可追溯自日據時期的軍用理蕃道路及合歡越嶺古道，在大正三年(1914)太魯閣戰役後陸續興建理蕃道路，通往重要聚落及各駐在所，大正十年(1921)起開築內太魯閣道路，昭和年間並加以整修，使合歡越道路成為觀光道路。由於本時期的道路系統均屬步行系統道路(閣口-仙寰橋的自動車道除外)，寬度有限，而且多順地勢而行，對邊坡的影響有限。繼而興建的道路系統主要是為資源開採或區域發展，隨著道路規模的增加，對環境的影響也逐漸顯著。大致可以分為日據時期的發電道路與產金道路，和光復後的早期的立霧電廠施工維護道路、中橫公路東段和較近期的台電施工道路。

1. 發電道路與產金道路 (1940~1944)

1929 年 (昭和 4 年)日本學者在大阪朝日新聞發表報告，宣稱臺灣東部有豐富的沙金蘊藏量，引發日本人在臺探金的熱潮。1939-1941 年間臺灣總督府在中央山脈各河系探勘，發現全臺灣含金的河階僅有 104 處，但其中的 35 處分布於立霧溪，以「多用」、合歡山、奇萊山與屏風山一帶的河床沙金最豐富（附錄八）。

為了開發太魯閣峽的沙金與電力，殖民政府擬闢建仙寰橋（今舊長春橋上方）至達比多（天祥）的道路。仙寰橋至溪畔間長 5 公里的自動車路由東臺灣電力會社開鑿，稱為發電道路、溪畔至達比多間長 12 公里的自動車路，由花蓮港廳理蕃課負責開鑿，稱為產金道路。1940 年 (昭和 15 年)7 月 4 日，二路同時開工，1941 年 4 月 30 日發電道路與產金道路第一工區(溪畔—山月橋)同時完工(東臺灣新報社，1941)。1943 年自動車已可駛抵合流，但因戰爭影響，產金道路並未開闢至達比多(富田芳郎 1972、李瑞宗 1998)。

2. 電廠施工維護道路 (1950~1956)

1944 年大洪水破壞立霧發電所及道路後,1950 年秋台電成立工程處進行修復,於 1950 年 10 月完成由蘇花公路上達梓里橋(今錦文橋)頭至溪畔進水口間之人行道路一段。路長 7 公里,寬 1.2 公尺,中有吊橋 4 座,跨度各約 80 公尺,板橋全長約 70 公尺(朱書麟 1952)。此路自 1956 年 7 月 7 日起由中橫公路太魯閣段合流工程處將之改建為公路(東西橫貫公路工程專輯 1960)。此外光復後為便利立霧電廠復舊工程之進行,曾於 1950 年 12 月完成達梓里橋至溪畔進水口間的器材運輸路,計公路 1.3 公里、臺車路 5 公里、跨度 100 公尺之吊橋 1 座、過河吊索 2 支,在立霧電廠復舊工程完工前拆除。

3. 中部橫貫公路東段 (1956~)

由於中央山脈阻隔臺灣東西向的交通,為了改善臺灣東、西部間的交通,開發山區之森林、礦產、水力資源,以及其他國防、社會方面的需要,決定興建中部橫貫公路。路線幾經取捨,最後決定以「臺中~關原~花蓮」為主線,「臺中~宜蘭」為支線。1956 年完成全線測量工作,同年 7 月 7 日舉行開工典禮。主線東端太魯閣至錐麓段於 1957 年 10 月 8 日通車,太魯閣至天祥段於次年 3 月 1 日正式行駛營業客車。全線通車典禮於 1960 年 5 月 9 日舉行(附錄九)。公路最東段約 18 公里沿立霧溪谷而行,以隧道和橋樑聯絡一系列的底岩小階(ledges),公路與河床比高約為 15-50 公尺 (Petley 1998)。

橫貫公路原估列坍方數量為土石方總額約百分之二十,但至竣工結算統計,實作路基土石方計七百萬立方公尺,而坍方高達四百餘萬立方公尺,約為土石方總額的 60%,超出原預估三倍以上 (東西橫貫公路專輯 1960)。

而颱風、地震所帶來的災情在濱臨立霧溪谷的主線東段往往最為嚴重，而開路時所產生的土方幾乎全數傾倒入溪谷之中。據中橫施工人員口述，中橫興建完成時立霧溪河床較以往淤高，但規模如何並無詳細數據。根據野外觀察，現今中橫公路及相關設施的修建所產生的大量土方仍然是就近倒入立霧溪中，直接增加本溪流的河川負荷量，以下舉靳珩橋為例說明。

靳珩橋位於中橫公路 182K 左右，燕子口至安通橋之間，位於魯丹溪匯入主流立霧溪處。在橫貫公路興建時，在本處蓋設拱橋，以便利魯丹溪所帶來的山洪宣洩（東西橫貫公路工程專輯 1961）。靳珩橋處於 1997 年 8 月 29 日，由於安珀颱風挾帶豪雨的侵襲之下被魯丹溪因大雨而帶來的大水所沖毀。之後預定新建鋼樑構造的靳珩新橋，在 1999 年 8 月 21 日因山姆颱風外圍環流而發生嚴重坍方，上方整片岩壁坍落，不但造成西側通路全毀，坍下的土石也波及已近完工的靳珩橋，整個坍落路段近百公尺。

受靳珩橋上方岩壁崩落(相片八 A)影響，靳珩橋下魯丹溪谷匯入立霧溪處在地形上改變甚大，邊坡帶來的土方及崩積物進入立霧溪河道(相片八 B)，而由靳珩橋下對岸、大理岩岩壁上的印第安人頭像與立霧溪水位的比高來看，水位有顯著的抬升，目前立霧溪的水位約在印第安人頭像的鼻子處，較以往抬升許多(相片八 C)。

靳珩橋橫剖面的施測即為希望進一步觀測沉積物進入河道的情形，以定點拍照及取兩條橫剖面施測，瞭解公路工程與邊坡災害所產生的沉積物是否對河道有顯著的影響。比較今年(89 年)啟德、碧利斯颱風前後的情形，原靳珩橋下的崩積斜坡上雖然有些變動，但在落石及沉積物向下伸入河道的情形，暫無太多的變化，但是目前崩塌上方的崩壁仍不穩定，因此若有新崩塌造成，河道中的沉積物仍有增加的可能。

在秀富隧道下方的立霧溪河道中，亦有因 1999 年 11 月發生的崩塌，

而產生沉積物阻塞河道的情形(相片八 D)。但在今年(2000)的颱風季後，原本堰塞河道的情形已改變。

4. 台電施工道路 (1980~)

台灣電力公司於 1979 年起，為進行溪畔、谷園發電計劃陸續新闢施工道路，共計七條（表十九），全長約為 34~38 公里（圖十六）。由於施工道路多直接瀕臨溪谷，開路時也造成多處崩塌(如寧平路、文嶺路、武嶺路、鶴壽路、白楊路等)，在航照上可看出施工前後的差異，在施工道路未使用後部分路段的崩塌(如寧平路)有減少的趨勢(相片九 A)，但如荖西溪的崩塌(相片九 B)依然甚大。因電廠施工道路多直接穿鑿河谷或切過峽谷，造成多處邊坡崩塌與河床淤積，目前除上溪路(相片九 C)、白楊路(前段)由國家公園使用外，其餘施工道路多已廢棄。

表十九. 台電公司為進行溪畔、谷園計劃興修之施工道路一覽表

道路別	河系	長度(km)	寬度 (m)	目前狀態
寧平路	立霧溪主流	10.5~13.5	3.5	未使用
上溪路	布洛灣無名溪	2.2	3.5	使用中
武嶺路	荖西溪	4.7~4.9	3.5	未使用
文嶺路	荖西溪	2.7	3.5	未使用
白楊路	立霧溪主流	7.6~8.5	2.5	使用中(前段：白楊步道)
鶴壽路	瓦黑爾溪	3.0~4.1	3.5	崩毀嚴重
修德路	休督溪	0.7~1.8	3.5	未使用

註：各施工道路之位置與現況細節請參閱附錄十。

5. 林道、產道及其他

為開發本區森林資源，退輔會森林開發處(現為森林保育處)在立霧溪流域內主要有和平林道支線與研海林道的運材輸送道，道路寬度均約 3.5~5

公尺。和平林道主線自北方的和平入山，至比林山鞍部（長 60 公里），其 910、911、912、914 支線為在本流域中，長度共計約 20 公里。研海林道自合流岳王亭可抵達南酬山以東海拔 2300 公尺處，全長約 22 公里。

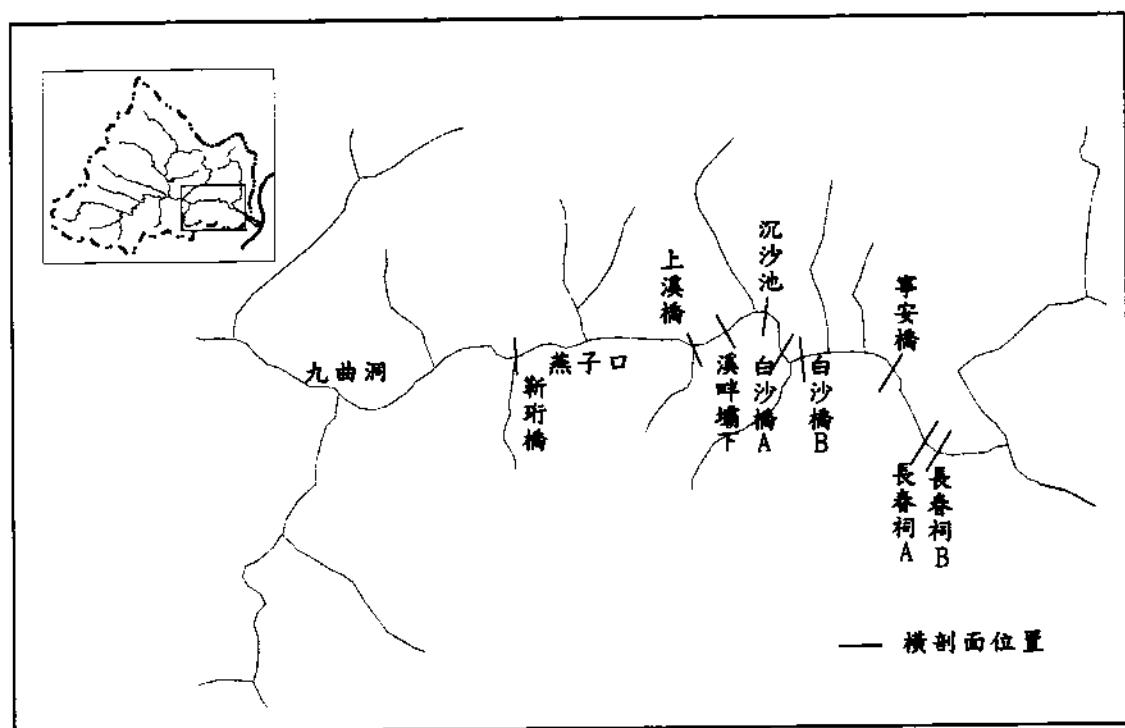
砂卡礑林道為以往林務局立霧溪事業區第 12、13 林班施業地之伐木運輸道路，由太魯閣口附近沿運材索道上達海拔 800 公尺處，續行 14 公里抵第二索道，再上至海拔 2100 公尺處，林道續向前行約 4 公里，全長約 18 公里，路寬 3.5~5 公尺(參見附錄十一)。

1986 年太魯閣國家公園成立後，園區內已停止伐木作業。從不同年度的航照來看，停止伐木作業較和平林道支線一帶及研海林道為早的砂卡礑林道，在航照上可看出施業前後及植被的不同變化。三條林道附近林地從施業期的大量砍伐，至今在造林及休養下，已可看到植被復生的情形。而林道的部份路跡，在近年來的航照中也漸不明顯。

目前立霧溪流域內其他的重要產業道路如從迴頭灣至竹村，沿陶塞溪的摩托車道，及上游農業開墾地一帶的簡易產業道路。除沿陶塞溪的產業道路外，其他產業道路多為簡易路面，路寬不大，且距離河道有相當的距離。

四、人為活動對河道系統與地理景觀的影響

本流域內的人為活動中直接影響河道系統的是為取水發電所建的相關壩堤設施，本章以位於主流河道上的溪畔壩為焦點，討論其運作對立霧溪河道系統與地理景觀的影響。溪畔壩位於立霧溪主河道海拔高度約 160 公尺處，壩體的存在事實上已經改變了壩上河道的侵蝕基準面，使得上游整體河道坡度減緩，但是因為溪畔往上游約 2.5 公里處就是新珩橋邊急點（參見 3-4 節），其落差約達 50 公尺，所以可以推斷因溪畔壩體之存在而提高邊急點所造成的影響應不至於超過新珩橋。而溪畔壩的滿水位標高近 170 公尺，因此蓄水區回水(backwater)範圍向上游通常不會超過布洛灣野溪與主流之匯流點（上溪橋附近）（圖十三），本研究最密集觀察的範圍也以此為上限。觀測剖面主要分布於溪畔壩下游至長春祠間，共計 7 處，各測量 5~9 次不等（表四），剖面位置請見圖十八。以下的討論將以 1999/11~2000/11 期間實測各剖面之變化的情形為焦點，但必須了解第一次剖面量測前與研究期間立霧溪雨量與流量的情形才能理解剖面變化所代表的意義。



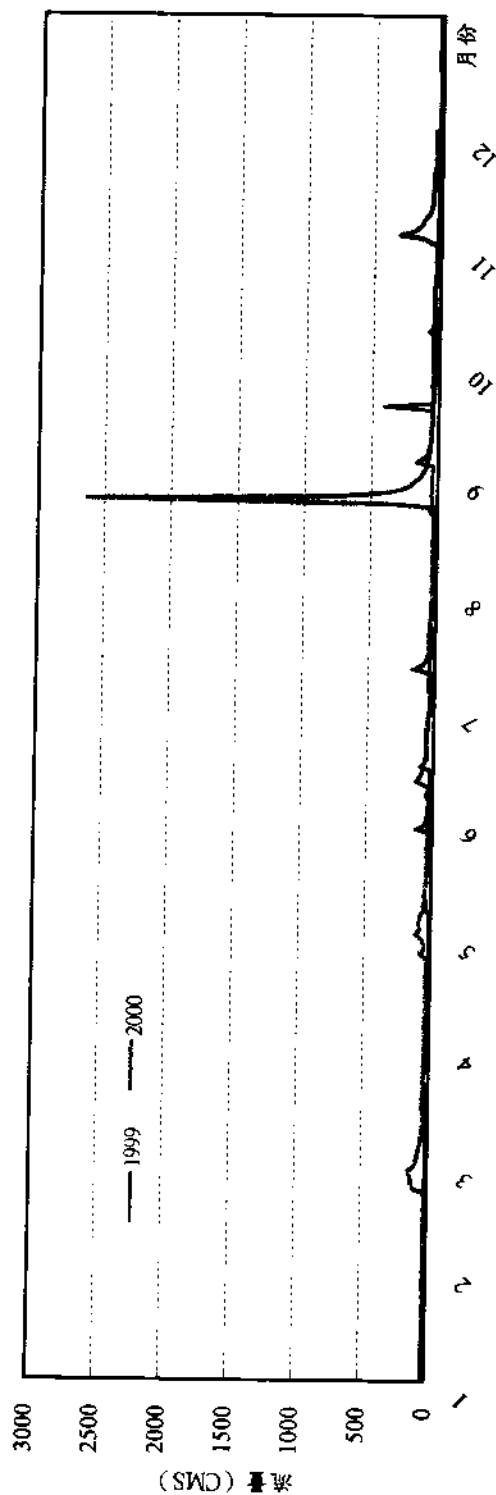
圖十八 立霧溪新珩橋~長春祠段河道橫剖面實測位置圖

(一) 研究期間主要河川水文事件與其影響

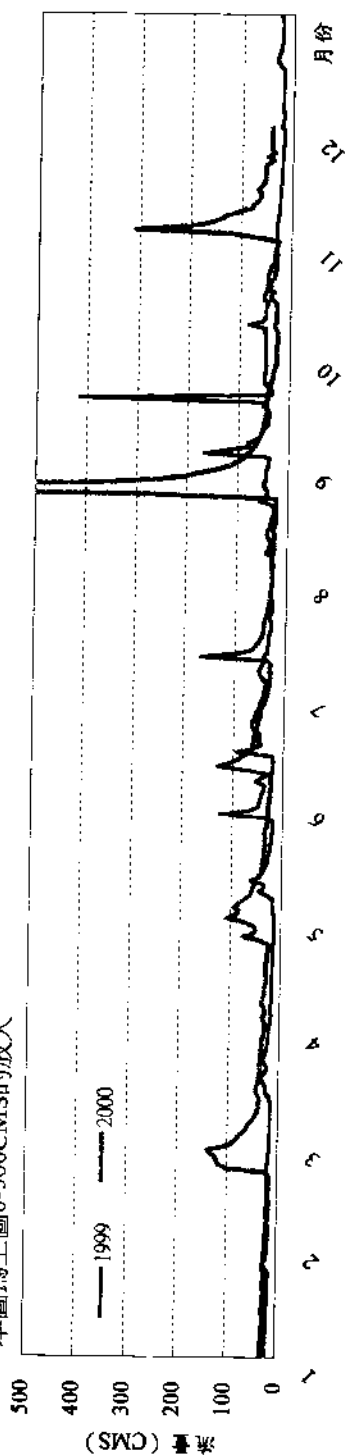
由於一般水文站的資料大多以一年為期彙整後才對外公佈或供外界索取，再加上本溪唯一的綠水測站儀器在今年八月底的碧利斯颱風時被破壞，未能記錄到碧利斯颱風時的洪水事件，所以近兩年的水文資料以流域內主要雨量測站降水量，及溪畔壩記錄的日流量值（立霧電廠提供）為參考依據(圖十九)。溪畔測站的流量值並非如綠水站乃實際觀測，應用溪畔資料時須特別注意此點。

在 1999 年和 2000 年間對立霧溪影響較大的颱風事件有四次，其中又以 2000 年的碧利斯颱風(8 月 22 日)與象神颱風(11 月 1 日)對本流域之降水的影響最顯著(表二十)。豐沛的降水通常會引發洪水，根據溪畔壩的(本)流量資料，碧利斯的洪峰值可達 2500 CMS 以上，規模驚人(圖十九)。但象神颱風時溪畔的洪流量規模不大，與其降水量不甚吻合；此差異主要因為上述兩測站獲取資料之方法不同，或有其他因素，待明年度綠水水文站之數據公布後應可進一步釐清。本研究也整理出 1956-1999 年綠水測站的最大瞬時流量(附錄四 A)，得知 1982 年的安迪颱風引發此 44 年間規模最大的洪水事件，其次為 1997 年的安珀颱風；最大瞬時流量超過 1000 CMS 的有 13 年次，表示此種規模的事件每 3~4 年就會出現一次(附錄四 B)。若可得到碧利斯與象神颱風相當綠水站的資料，則可以評估此二颱風所造成之洪水事件的規模。

河道形態在每次水文事件後的整體變化主要取決於該次事件的流量規模、洪水延時與含沙量的多寡等，而同一事件中各剖面變化的空間差異還受各河段之形態與沈積物特性的影響。立霧溪流域因邊坡陡峭，山崩後崩積物多能快速進入(參見 2-4 節的討論)，所以一次大規模降水事件造成多處山崩後，大量的崩積物可能也在同一次事件輸入河道成為河川負荷，而被湍急的洪水帶往下游。



本圖為上圖0-500CMS的放大



圖十九 溪畔壩 1999.1-2000.11 日平均流量圖

表二十. 立霧溪流域內 8801-8911 期間重要颱風事件降水量

(單位：mm)

名稱	強度	日 期	合歡 埡口	慈恩	洛韶	天祥	綠水	布洛 灣	溪畔
瑪姬(MAGGIE)	中度	880605	81.0		247.0		328.0		196.0
	中度	880606	114.0		112.0		407.0		226.0
啟德(KAI-TAK)	中度	890708			41.5		46.5		57.0
	中度	890709			121.5		165.5		202.0
碧利斯(BILIS)	強烈	890822		281.5	182.5	291.0		249.0	
	強烈	890823		398.5	14.0	760.5		458.0	
	強烈	890824		71.5	0.0	88.5		77.0	
	強烈	890825		19.0	0.0	14.5		53.0	
象神(XANGSANE)	中度	891030		39.5	34.0	35.0		31.5	
	中度	891031		306.0	518.0	739.5		589.5	
	中度	891101		133.0	140.5	223.0		277.0	

註：各颱風登陸日期以黑體字表示；空白表示未蒐集到該測站之資料。

當洪水逐漸消退，河水搬運能力立刻減低，開始發生堆積。按沈積物粒徑大小，粒徑愈大者愈先停止移動，所以一次洪水事件的堆積層常具有（由下而上）由粗而細的篩分現象。洪水的減退雖然自河流上游開始，但是河流搬運能力（以流速為代表）還受水深、坡降與河床粗糙度的影響，河川水文學中著名的曼寧式(Manning formula)：

$$V_m = 1/n * H^{2/3} * S^{1/2}$$

V_m — 平均流速， n — 粗糙度， H — 徑深（或平均水深）， S — 水面坡度

就反映此一情況（轉錄自楊萬全 1993），這三個變數中又以徑深最為重要。所以除了坡緩處較坡陡處（暫以河床坡降代替水面坡降）流速為低外，一段寬而淺的河道比窄而深的河道流速更容易下降，而一段多巨礫散布的河

道也比以細顆粒為主要沈積物的河道流速更早減緩。若沿河道縱剖面中的任一段河道兼具此三項特徵，則埋積物必然豐富。

就同一橫剖面而言，在直流段通常是愈往兩側河岸水深愈淺，在曲流段則是愈接近滑走坡（凸坡處）水深愈淺，河中有沙洲處的水深自然也較流心線（深水線）為小。當水位逐漸低降，最先發生堆積之處必然是在橫剖面上的最淺處，通常是低緩的河岸，繼而是河中沙洲。沈積物的分布也反應此種變化，所以在較大規模洪水事件後，而且上游側有足夠的沈積物供應，水退之後在相對較寬淺之河段的河岸處大多可以看到堆積的小階。如果一次大洪水的含沙量很低，對一河段而言，很可能只在洪峰時搬運走前一次洪水事件堆積的物質，而未能於水退時再堆積小階。

此外，需注意的是岩性的空間配置決定了立霧溪供沙的特性。源流區地層以片岩、板岩為主，而中下游段以大理岩、片麻岩為主；前者較易受風化侵蝕而崩解成較細粒物質，後者則多成塊狀或供給較粗顆粒物質。所以源流區支流兩岸有活躍的大型崩塌地者，通常含沙量高而水色經常渾濁。大沙溪匯入主流處（天祥稚暉橋）(相片十 A)和下游砂卡礑溪匯入主流處(相片十 B)，兩溪水色的差異就是兩處好例子。大沙溪因其支流陶塞溪有大崩塌地，每逢豪雨崩塌物必大量進入河道，所以溪水多較主流渾濁；而砂卡礑溪流流域出露地層以大理岩為主，除非源流區偶見的崩塌（訪問當地居民，砂卡礑溪上游曾發生大崩塌，中下游河道被顯著埋積），一般來說砂卡礑溪溪水清澈，與主流成顯著對比。

以上的說明表示，若一次事件的流量不大、延時短，則通常所能搬運的沈積物總量有限，而且以挾帶較細顆粒的沈積物為主，無法搬動粗大的顆粒。同時由於水位上漲有限，流水可能仍侷限於流心線，所以在此小規模事件之後，即使在寬淺的河道通常也沒有顯著的河道形態變化，實測期間有數次河道剖面的測量就是反映此情形。如果一次大規模事件帶來大量

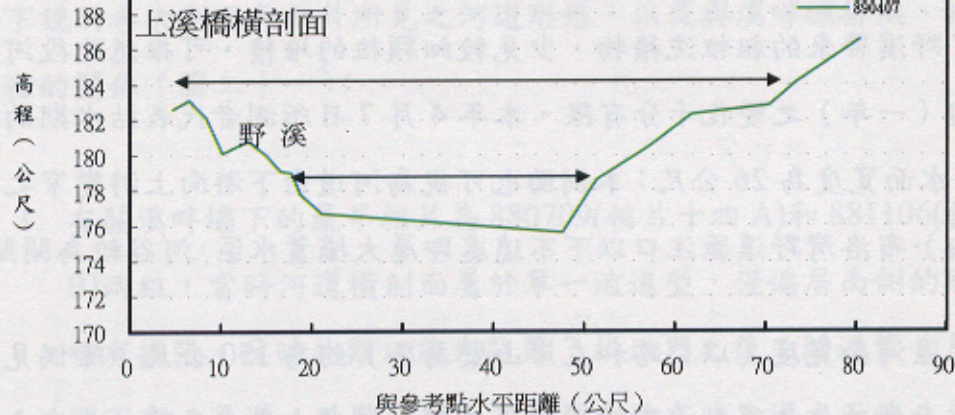
與高含砂量的溪水（通常是颱風事件引起也經常引發多處山崩而提供大量沈積物），則事件之後可能發現河道普遍發生堆積的現象，例如碧利斯颱風之後至少天祥以下河道都出現堆積的情形；綠水站流籠處河段河岸兩側至少埋積高約 2 公尺的狹窄小階（該處河寬約僅 30 公尺）(相片十一)。

根據野外觀察，天祥至布洛灣野溪間的這些小階在象神颱風之後大多消失，但溪畔壩以下多處的堆積情形反而增加。雖然洪水水位一度高漲，但主要是在洪峰時將布洛灣野溪以上之沖積物構成的小階沖走，又未能於水退時重新堆積。而這些被往下帶的沉積物反而變成下游段河道的沙源，使下游段多處河道堆積狀況還超過碧利斯颱風之後。可惜的是綠水站的觀測儀器在碧利斯颱風時被沖壞，以致缺乏碧利斯颱風的含沙量記錄，無法更進一步的印證此一狀況。

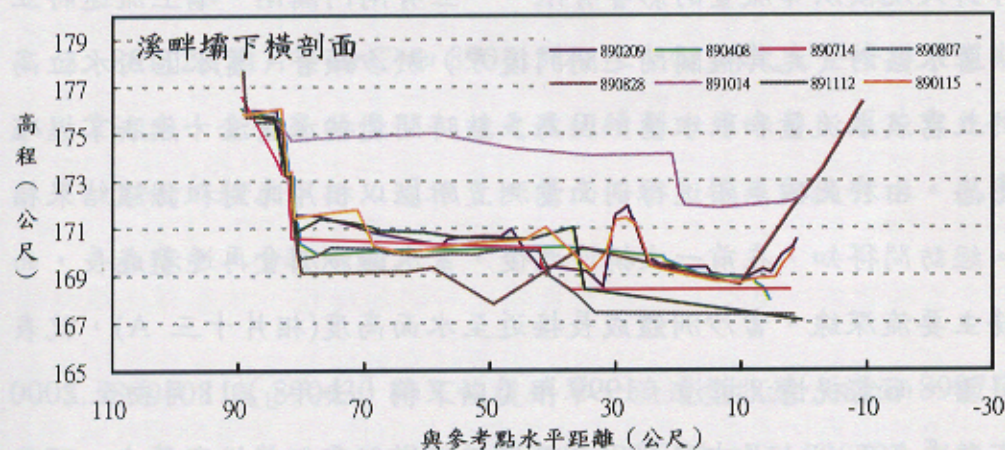
在上述立霧溪洪水事件水沙傳輸的大背景下，溪畔壩為達成取水發電之目標所施行的排沙、排水方式又會造成何種影響呢？通常洪水事件開始，水位逐漸高漲，當超過警戒水位時就會開啟部分排洪門，但若水位快速上漲則為顧及壩體安全會將所有閘門打開。在壩體無安全之虞後（洪峰最高水位已過）就會開始蓄水，而通常只以第 4~7 排洪門小幅度的開關來調節壩上水位。此即意味著溪畔壩的調節雖然不致於顯著的減低最大洪峰流量的規模與速度（在「自然取水」的狀況下，取水量與洪峰量不成比例）但是在洪峰の後退期間會因為閘門的調節（流速減緩）與取水（流量減少）而減低下游河道在自然狀況下所應經歷的流能。總之，因溪畔壩排洪門、排沙門的操作對緊臨壩體之上、下游河道所造成的影響最為顯著。

(二) 實測橫剖面的變化

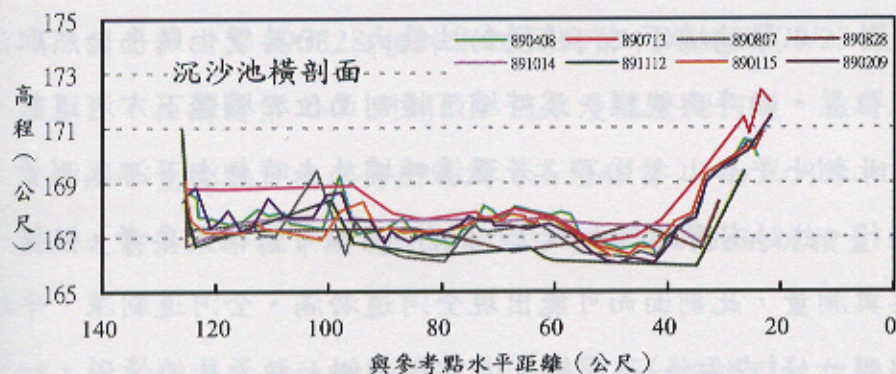
野外實測剖面中位於最上游者是在上溪橋下布洛灣野溪匯注口(相片十二)，由於野溪中常出現深潭阻礙通行，所以本剖面僅進行一次量測。該河段頗為狹窄，河道基部寬度僅 33 公尺(圖二十)，應可視為當代氣候狀況



圖二十 上溪橋歷次實測剖面疊合圖



圖二十一 溪畔壩下歷次實測剖面疊合圖



下經常水位之流動範圍，較高處之寬度也不及 60 公尺。河岸為片麻岩露頭，除了野溪帶來的粗粒沈積物，少見較細顆粒的堆積，可推想此段河道在短期內（一年）之變化十分有限。本年 4 月 7 日所測者代表枯水期的狀態，該時水面寬度為 26 公尺；本剖面也可視為河道由下游向上游變窄之處（圖十四），布洛灣野溪匯注口以下不遠處即屬大壩蓄水區，河谷較為開闊。

蓄水區河面寬度（以公路和左岸山壁為準）約為 150 公尺，除偶見沙洲浮出水面外，無法得知水下流道變化情形。通常大洪水來時，為安全考量八個閘門都會全開，若該時連進水口也關閉（即不取水發電）則表示水壩之操作對大規模洪峰流量的影響有限。一旦有閘門關閉，壩上流速將立刻減緩，蓄水區內（尤其被關閉之閘門後方）淤沙顯著。蓄水區內水位高度取決於立霧溪本流量和取水量，因為多數時間是被水淹沒，無法掌握確切河道形態。由於此段無法進行剖面量測，所以以相片比對和訪談結果相互印證。經訪問得知，在前一次排沙之後，蓄水區沙洲會再逐漸成長，而出現幾條主要流深線。當沙洲體成長接近至水面高度(相片十三 A)，就表示淤沙嚴重，而需視情況排沙。1999 年（以下稱「去年」）11 月初至 2000 年（以下稱「今年」）1 月中旬間因為整修排沙道之需，曾排空蓄水，可見水下淤沙多以較小顆粒為主（相片十三 B）。

除蓄水區外，以緊臨壩下之河段變動性最大，而其變化幾乎全然取決於閘門的開啟位置、順序與規模。溪畔壩下橫剖面位於壩體下方河道數十公尺處，正對北側小平台上之巨石；若遇溪畔壩放水時無法下河床測量，就在公路上進行。共計有實測剖面 8 次、照片 14 組可供比對參考。根據一年多來的觀察與測量，此剖面而可能出現全河道淤滿、全河道刷深、平坦的埋積面上出現一條(或兩條)流深線（通常在南側）和紊亂的情形。一次洪水事件中前三種形態可能交替出現數次，但以單一流道型或兩條刷深溝的副型最為常見，紊亂型則為特例。整個洪水事件（至回復基流 base flow

狀態)結束前的最後一次操作,會決定到下一次事件前壩下河道的形態。以下說明各次剖面 and 相片所見之河道形態,以及與溪畔壩排洪、排沙運作流程的關係(圖二十一):

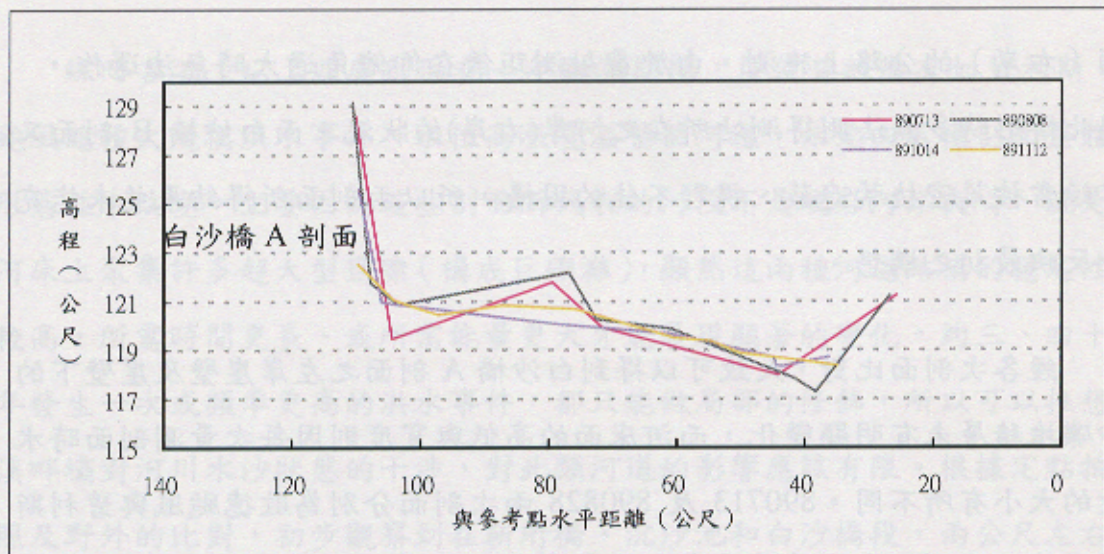
1. 有關溪畔壩下的最早相片為 880709(相片十四 A)和 881106(相片十四 B)兩組,當時河道橫剖面屬於單一流道型,僅偏居南側的刷深河道略有擴張。反映此期以前先開第 7 排洪門之後又開過第 6 門,排沙門下有一淺溝,乃因此門未完全閉合而有些為漏水而使北側淺溝逐漸擴大。
2. 881122(相片十四 C)和 890115(相片十四 D)代表整修排沙道期間壩下河床十分紊亂的情形,並大致延續到四月中旬。照片中並可見到為方便工程車下行,還堆置一條土石路,壩下即使有水,也多停滯於水窪中,少有流動。
3. 890408 與 890430 時又恢復到單一流道型狀態。剖面 890714(相片十四 E,拍照時閘門約只開 20 公分)與剖面 890807 都代表類似情形。
4. 剖面 and 相片 890828(相片十四 F)為碧利斯颱風(8/23 最大洪峰)後數日,拍攝時第 6-7 門開啟,流水漫溢整個河道。值得注意的是最大洪峰量後數日水色仍然混濁(高懸移質);而且河床相對仍低,表示之前洪水帶往下游的沈積物略多於停置於此的沈積量。
5. 此事件後至象神颱風前壩下仍維持單一流道型,但經過多次排洪和排沙,整體剖面逐漸淤高,其中剖面 and 相片 891014(相片十四 G)記錄到此次洪水事件本剖面被埋積的最高位置(注意北側小平台)。

891021(相片十四 H)上剖面形態未變，但是整體剖面已降低數公尺。象神颱風(11/1)的主要洪峰又將壩下沈積物帶往下游，之後的小規模排洪和排沙似乎又開始淤高整體剖面，如 891117(相片十四 I)，可以預見剖面在真正乾季到達之前仍將持續做小規模調整。

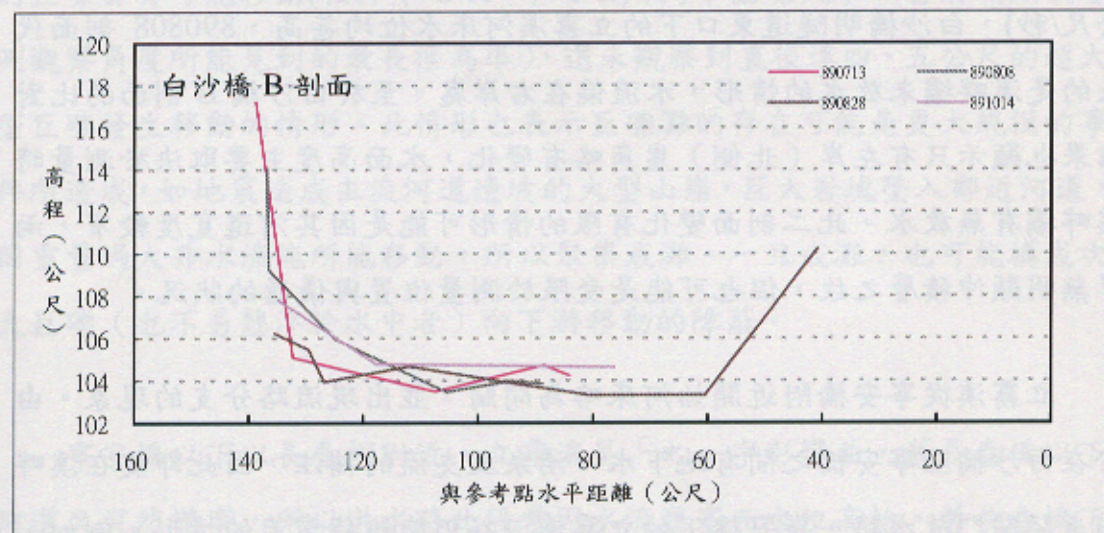
在研究期間，本剖面整體淤高、刷深的最大變化量可達近 6 公尺。若閘門全關（且密合）則壩下河道幾乎成乾涸狀態。埋積之沈積物以中小型的大礫(cobble)、小礫(pebble)和粗沙為主，多次沖淤的變化並未影響直徑數公尺的超大型巨礫（注意北岸野溪口下方）。

溪畔壩以下至下一處寬淺河床長春祠間共測量四個剖面，分別位於溪畔壩沈沙池略下游側，白沙橋曲流上、下游側和寧安橋下游側，主要是為了解巨礫灘對河道形態的影響。沉沙池剖面（圖二十二）(相片十五)所在河段河床被一河中洲分為兩支，河洲上粒徑頗粗，多直徑 1/2 ~ 2 公尺巨礫，近北岸則有直徑達四、五公尺之超大型巨礫分布的崩積體，其基部比流深線高約 1-2 公尺。由於河床粗糙、崎嶇，測量時常因剖面方位角些微的誤差和經過大巨礫時選點的差異，而造成高低起伏的剖線。尤其溪畔壩放水時，無法過溪，在公路上施測時則細微之地形起伏容易被巨礫遮蔽，十分困擾。所得結果雖較紊亂，但各次剖面量測結果仍反映出粗顆粒物質構成之河中洲和北側河岸崩積體的穩定性，其基本形態並未因大洪水的沖刷而改變，只有小幅度的沖淤。

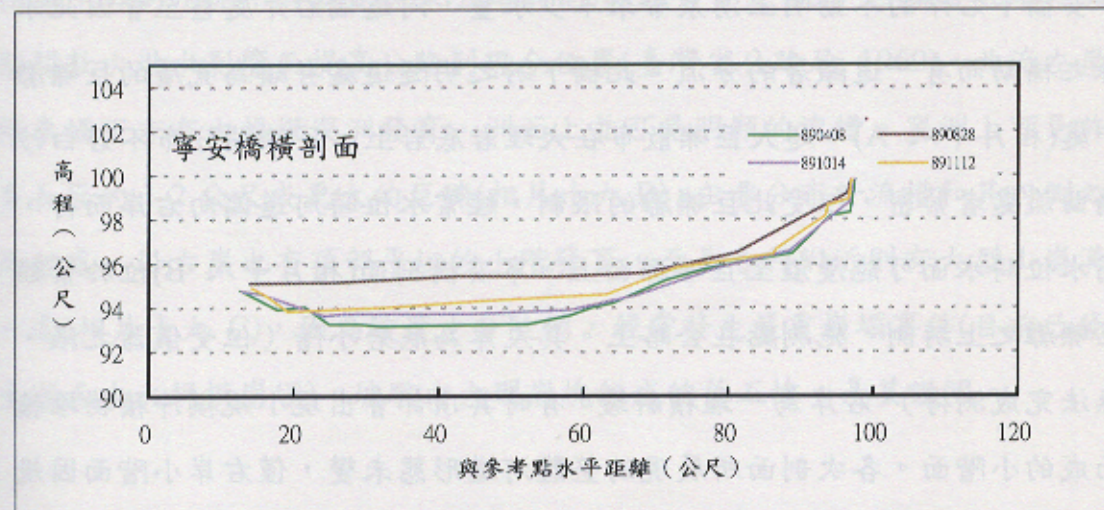
立霧溪在白沙橋附近形成一大曲流(相片十六 B)，曲流處有巨礫灘(相片十六 A)分布，雖然此處河床出露底岩為大理岩，並有大理岩崩積礫石分布，但超巨大礫仍以片麻岩質為主。此巨礫灘上超巨大礫之體積與密集程度為天祥以下河段最大者，應對水沙的傳輸有一定的影響，所以選定巨礫灘上下游各一剖面計測，分別稱為白沙橋 A 剖面（白沙橋明隧道東口）與 B 剖面（白沙橋下游側）(圖二十三、二十四)。此二剖面都只能在河道南



圖二十三 白沙橋A剖面歷次實測剖面疊合圖



圖二十四 白沙橋B剖面歷次實測剖面疊合圖



圖二十五 寧安橋剖面歷次實測剖面疊合圖

側（右岸）的公路上施測。由於雷射測距儀在仰俯角過大時無法運作，遇此情形時多無法測得測站所在之河岸(右岸)的狀況。而白沙橋 B 剖面又有經常被茂密枝葉遮蔽、視野不佳的困擾，所以兩剖面所得結果並未能充分反映最初之構想。

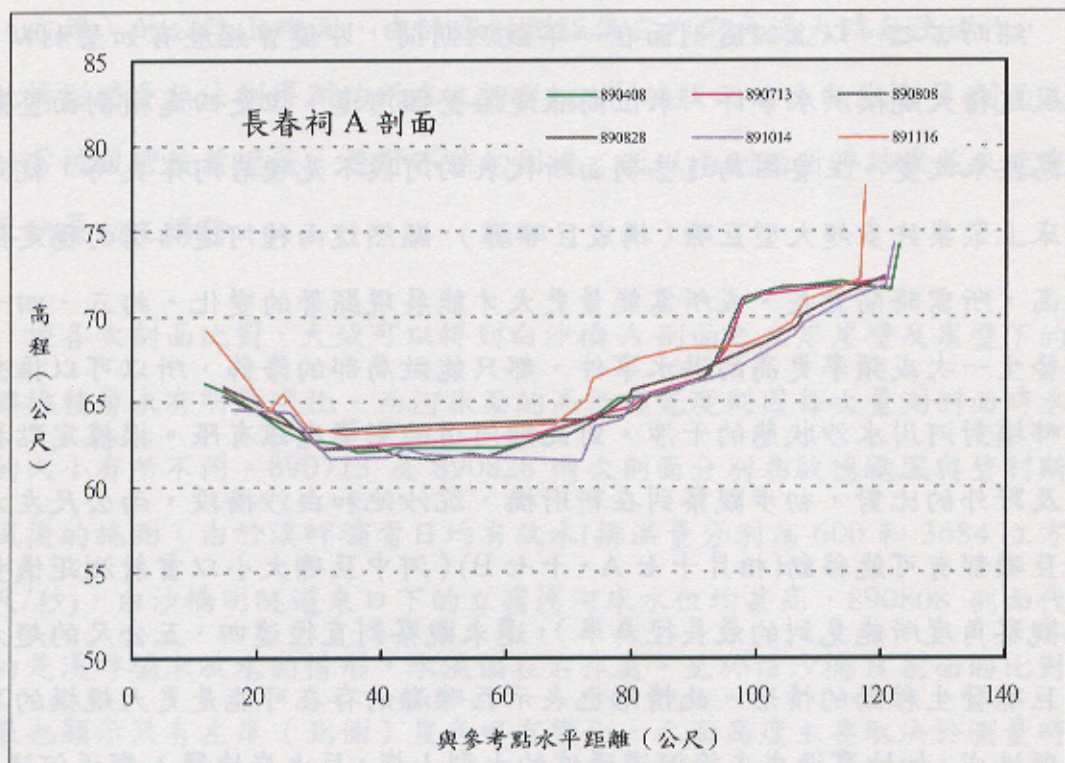
經各次剖面比對，大致可以得到白沙橋 A 剖面之左岸崖壁及崖壁下的沙礫堆積層未有明顯變化，而河床面的高低與寬度則因每次量測剖面時水量的大小有所不同。890713 及 890828 兩次剖面分別為啟德颱風與碧利斯颱風後的施測，由於溪畔壩當日均有放水(排洪量分別為 600 和 3684 立方公尺/秒)，白沙橋明隧道東口下的立霧溪河床水位均甚高，890808 剖面代表的是溪畔壩未放水的情形，水流偏在右岸處。至於白沙橋 B 剖面的比對結果也顯示只有左岸（北側）崖角略有變化，水面高度主要取決於測量時溪畔壩有無放水。此二剖面變化有限的情形可能是因其河道寬度較窄，兩岸無明顯沖積層之故，但也可能是受限於測量位置與儀器的狀況。

立霧溪從寧安橋附近開始河床略為開闊，並出現流路分支的現象。由於在白沙橋至寧安橋之間有地下水、湧泉及支流的補注，因此即使在溪畔壩未開閘門放水時，寧安橋下的立霧溪河谷仍能維持常流的情形。例如，寧安橋下右岸的不動明王湧泉帶來不少水量，河道偏右岸處甚至會因此水源之補助而有一道顯著的分流。此橋下游之明隧道處有頗為寬廣的巨礫灘一處(相片十八 A)，超大巨礫散布在大理岩底岩上，巨礫間分布不若白沙橋曲流處者緊密，但受此巨礫灘的限制，經常水位時河道偏向右岸而行，高水位時水面可能漫溢至巨礫灘面上。寧安橋剖面(相片十八 B)位於緊臨巨礫灘之上游側，施測點在公路上。其左岸為底岩小階（但受儀器之限，無法完成測得），右岸為一埋積斜坡，有時其頂部會出現小規模沖積物堆積而成的小階面。各次剖面所展現的整體河道形態未變，僅右岸小階面因規模有限，而且抗力弱，容易在下一次大洪水事件時被影響（圖二十五）。

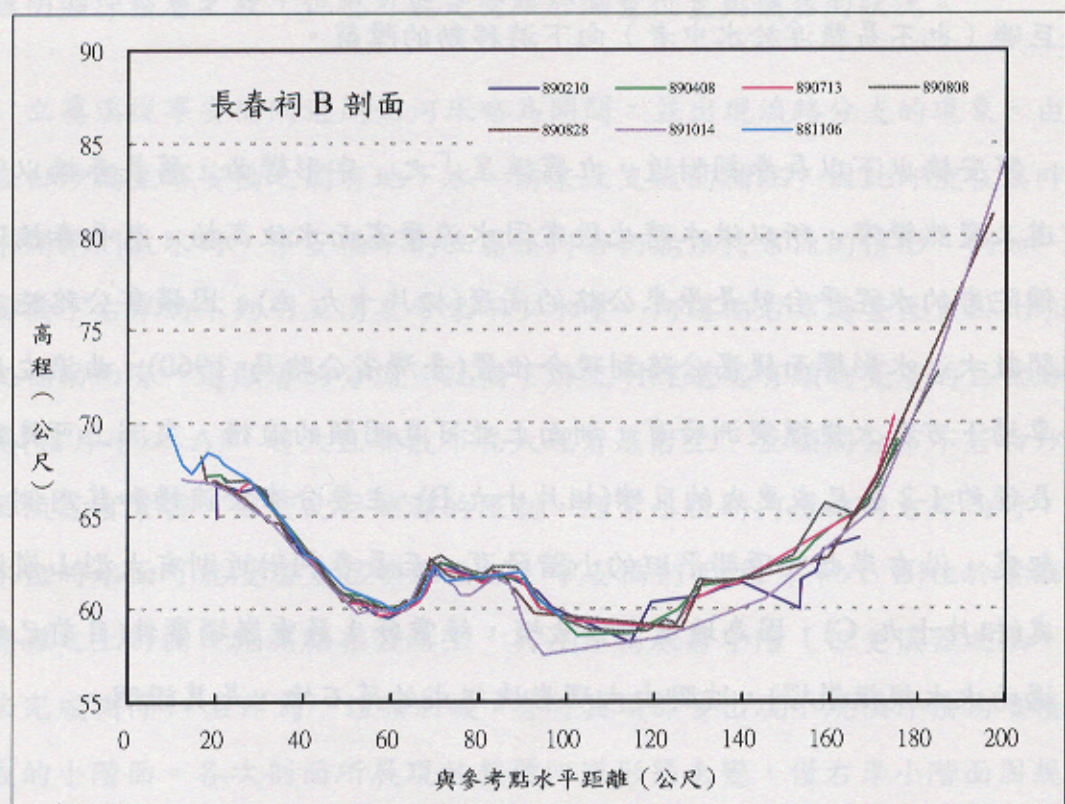
綜而言之，以上四處剖面在一年觀測期間，即使曾經歷有如碧利斯颱風這種大規模洪水事件，水位高漲漫溢整個河道，但是四處橫剖面整體形態並未改變。主要因為這些剖面所代表的河段不是硬岩河岸夾峙，就是河床上聚集許多超大型巨礫（構成巨礫灘），顯然這兩種河道結構的穩定性較高，所需時間更長、或所需能量更大才能展現顯著的變化。約三、四十年發生一次或頻率更高的洪水事件，都只能做局部的修飾，所以可以推想溪畔壩對河川水沙狀態的干涉，對此類河道的影響應該有限。根據定點拍照及野外的比對，初步觀察到在靳珩橋、沉沙池和白沙橋段，兩公尺左右的巨礫都有可能移動(相片十七 A、十七 B)(河中巨礫大小以雷射測距儀量測觀察角度所能見到的最長徑為準)，還未觀察到直徑達四、五公尺的超大型巨礫發生移動的情形。此情形也表示巨礫灘的存在可能是更大規模的事件所造成，如地震造成主流河道邊坡的大型山崩，巨大岩塊墜入鄰近河道，因重量過大非水流能所能移動，所以聚集成灘。一旦成灘，也可能構成次大巨礫（也不易懸浮於水中者）向下游移動的障蔽。

寧安橋以下以長春祠附近，立霧溪呈「之」字形彎曲，舊長春橋以下河道又突然變窄，所以洪水時此段常因水流壅塞而水位高抬。舊長春橋下往彌陀岩的水泥平台就是原來公路的高度(相片十九 A)，因橫貫公路施工期間數次洪水影響而提高公路到現今位置(臺灣省公路局 1960)。曲流左岸停車場下方有大規模突洲發育，洲面上並可見明顯的流槽。突洲上可見許多長徑約 1-2 公尺或更大的巨礫(相片十九 B)，主要分布於流槽和其內側之高起處。沿右岸也有頂部平坦的小階發育，至長春祠附近則有大型山崩溝一處(相片十九 C)，因為坡度十分陡峭，經常發生嚴重崩塌事件(目前已發生過兩次大規模崩塌)，坡腳由大理岩塊組成的落石堆，是其證明。

此處因堆積作用比其上游各處發達，而且河床沈積物粒徑較小，預測應該對河川水文的變化較為敏感，所以選取兩處剖面進行觀測，分別稱為



圖二十六 長春祠A剖面歷次實測剖面疊合圖



圖二十七 長春祠B剖面歷次實測剖面疊合圖

長春祠 A 與長春祠 B 剖面。前者位於停車場西側入口處（較上游），後者位於舊長春橋西口（較下游），一年來分別做過 6 次和 7 次測量（圖二十六、二十七）。沿長春祠 A 剖面左岸為底岩崖壁，右岸為前述之小階面；沿 B 剖面左岸為突洲，右岸為落石堆。透過剖面的比對可得知自去年底至今年八月初，河道剖面幾乎無顯著改變，只有流道兩岸、沙洲邊緣受到水流的略微修飾。最大的變化是由碧利斯和象神颱風造成，前者造成長春祠 A 剖面右岸的小階被侵蝕而露出下伏之底岩，而象神颱風的洪水事件之後，此小階反而略微埋積（相片十九 D、E、F）。此二洪水事件也對突洲造成影響（相片十九 G、H、I），主要是對突洲周緣的側蝕，突洲的整體形態並未改變。原來突洲是緩降至流道，兩次事件後流道側形成約 2~3 公尺高的小崖（相片十九 J）。其變化在剖面圖上不甚明顯，但是現場的觀察十分清楚。

此外，雷射測距儀在理想狀況下施測的精度雖然可以達 15 公分，但是當剖面變化複雜或粗糙時（例如巨礫灘），若無專人攜反射稜鏡置於目標點之上（相片二十），並且沿剖面做許多點位，則不同時間所作剖面比對時的差異未必是真正的差異。立霧溪多處河床均無法下達，或可下達但無法跨越，是實測上較難解決的問題。

五、結 論

本研究之主要目的在於了解人工壩堤對立霧溪地形、地質、地理景觀的影響，為達此目的必須釐清本溪之河道形態與河川水文的自然特性，以及全面檢視流域內各種人類活動的方式。在掌握本溪之河道系統運作特徵後，本研究進一步以實測河道剖面的方法來釐清現今立霧電廠（尤其溪畔壩）之營運對河道形態與景觀的直接影響。

研究結果顯示，本流域在劇烈的內營力與旺盛的外營力作用下，展現了新構造地區(neotectonic areas)經常可見之極端動態的地形系統特徵。流域在抗蝕力不同的片岩區和大理岩、片麻岩區演育，發展為典型之山地型流域的底岩河道，並具有邊坡陡峭、河水流貫於底岩之上、河床沈積物顆粒偏粗的特色。尤其高敏感性的邊坡在豪雨和地震的影響下容易崩塌；又因邊坡陡急，同一次事件產生的崩塌物質會快速進入河道而成為河川負荷(river loads)。此外，河道中多處出現的巨礫灘多為鄰近河岸邊坡崩塌的產物，也反映本流域邊坡與河道次系統的密切關係。

以綠水測站為據，本溪歷年平均日流量約為 32 CMS，豐水期中日流量也多在平均值之下；各年中平均日流量值高於 100 CMS 者多不及 20 日，年中最大日流量多與颱風事件有關。主控本溪河道橫剖面形態的首推底岩性質，其次為推移質（較粗顆粒的沙、礫）所組成的河洲（河中洲、突洲或漫洲），可以想見一年中少數豪大雨日的洪峰流量才是能改變河床形態的有效營力。天祥以下河道橫剖面形態的空間分布則與河道寬度有密切的關係。

在經常水位狀態時，河水多僅能搬運懸移質（較細顆粒物質），而且水流不能漫溢出（較深切的）流道之外，對河道橫剖面形態的影響只限於流道的側壁。在較大流量時，水位可能漫溢整個河道（包括河洲之上），但由一年來的實地觀察得知，大水時通常只能改變河洲表層的沈積物，或產生

局部的侵淤現象。又根據歷年航照的對比發現，本溪雖然在過去五十年間經歷過多次（颱風）豪大雨，主要河洲、巨礫灘的分布與整體形態也無顯著變化。顯然在短期（一年）的觀察時期中立霧溪河道整體形態展現了相當高度的抗變性，而人類活動對河道的可能影響就是在這樣的自然環境背景運作之下進行。

流域內各種人為活動中對河道有直接影響的首推立霧電廠的溪畔壩，根據一年來的實察，發現其影響可以分為三個部分：

1. 立霧電廠為達成發電目標，必須善用水源，除非發電滿載、檢修設備，幾乎全年截取河水，使溪畔以下主流流量減少一半以上。除了排洪期間，壩體至白沙橋間經常呈現幾乎無水流狀態。流量的減少會使河流搬運沈積物的能力降低，進而延長河流負荷物滯留河道中的時間，而改變本溪水沙傳輸之時空配置的自然狀態。
2. 因溪畔壩之修建，壩體以上河道（指蓄水區）水位提高、流速減緩而使泥沙顯著淤積，最明顯之影響範圍大致到布洛灣野溪匯入點之下游側（回水之上限）。
3. 在洪峰減退時為調節水位、確保蓄水量而進行的排洪、排沙作業，可使鄰近壩體下游側河道形態的侵淤變化量達 6 公尺，尤其以白沙橋以上至溪畔壩間最為顯著。此外，此種排洪、排沙的調節作業也增加高懸移質水流（混濁水流）通過下游河道的時間，影響景觀。

整個流域及峽谷地形是經歷漫長時期（可能數十萬年至數百萬年）的演育而成今貌。本研究所進行之為期一年的實察或五十年間航照的比對，與之相比可謂十分短暫。實察期間立霧溪曾經歷碧利斯、象神颱風兩次主要洪水事件，所觀測到的變化侷限於河道之內，顯示河道內的形態遠較峽谷形態具有地形上的動態性。此概念應該也適用於砂卡礫溪的情形（相片二十一）。峽谷的發展涉及不同時空尺度的多種因子間的交互影響，十分複雜，需要更多的研究才能進一步釐清對太魯閣峽谷之地形發展具有決定性

影響的是「數年或數十年出現一次之洪水事件的逐漸侵蝕」，或是「偶發之極端事件所誘發的遽變」（例如，數千年才發生幾次的大洪水，或如沈積層中所記錄的誘發山崩、形成堰塞湖的強烈地震）。也唯有了解二者之相對重要性後，才能解答「河床沈積物埋淤漸高是否對河流下切及峽谷發展有顯著影響」的問題。

本研究的討論雖以溪畔壩為焦點，但是流域內其他人為活動對河道形態的影響也不可忽視。當地居民所提長春祠曲流段數十年來河床逐漸淤高，除了可能受到溪畔壩取水、降低其下游河水之搬運能力外，也可能是中上游所供給的沈積物增加之故。流域內各種道路系統的開闢與維修拓寬，及因道路開發而引發更多的邊坡崩塌(初步可由航照判讀得知)，都值得更深入的探討。

本溪最下游的扇洲段雖然不屬於國家公園的範圍，但是當然也會受到流域內各種變化與活動的影響。本研究另行根據各式圖像資料的比對及現場實測，初步掌握立霧溪扇洲海岸線與河道形態在數十年間與近一年內的變動情形（附錄十二），奠定日後持續監測的基礎。

立霧溪的天然美景除了可讓一般遊客體驗山林野趣，也是提供不同屬性訪客知性之旅的最佳戶外教室。本研究以地形系統架構所彰顯出的立霧溪河道特性及此河道系統中各要素間的關連，正是提供解說服務由「針對個別現象說明」提升到「觀察不同現象間之關係」的良好素材，例如「河道中的石礫從哪裡來？」、「底岩為大理岩的河床上為何有許多直徑一、二公尺的片麻岩巨礫？」、「各河段沈積物多寡（或有無河洲出現）與河道寬度的關係」、「巨礫灘上直徑四、五公尺之巨石主要來自鄰近邊坡，顯示本溪邊坡與河道之關係密切」、「溪畔壩之存在與運作對人為活動對河道地形與溪流生態的直接衝擊」。相信透過深入淺出的引導，不但可以增進訪客觀察自然的能力，同時也是實踐國家公園推廣自然保育觀念的目標。

參考文獻

中文部分

- 朱書麟(1950) 立霧溪水力發電工程經緯，臺灣工程界，4(2)：22-28。
- 林朝榮(1950) 臺灣之金礦業，臺灣銀行經濟研究室臺灣特產叢刊第六種，臺灣銀行，16-60。
- 顏滄波(1950) 臺灣之高位段丘砂金，臺灣銀行經濟研究室臺灣特產叢刊第六種，臺灣銀行，61-65。
- 戴之焄(1951) 天然河道之變遷，台電工程月刊，30：1-6。
- 黃輝(1952) 臺灣之電力問題，臺灣研究叢刊第十六種，臺灣銀行經濟研究室。
- 朱書麟(1952) 臺灣之電源，臺灣之電力問題，臺灣研究叢刊第十六種，臺灣銀行經濟研究室。
- 柯文德、盧承宗(1952) 日治時代臺灣之電業，臺灣之電力問題，臺灣研究叢刊第十六種，臺灣銀行經濟研究室。
- 蔣丙然(1954) 台灣氣候誌，臺灣研究叢刊第二十六種，臺灣銀行經濟研究室。
- 顏滄波(1954) 關於大南澳片岩的幾個地質問題，台灣省地質調查所彙刊，7：5-7。
- 徐世大(1955) 臺灣省通志稿經濟志水利篇，臺灣省文獻委員會編纂組。
- 林朝榮(1957) 臺灣地形，台灣省通志稿土地志地理篇第一冊。
- 花蓮縣文獻委員會(1957-1968) 花蓮縣志稿，花蓮縣文獻委員會。
- 臺灣省公路局(1958) 台灣公路工程，6(6)。
- 臺灣省公路局(1960) 東西橫貫公路工程專輯。
- 陳正祥(1960) 臺灣地誌(中、下冊)，敷明產業地理研究所研究報告第九十四號。
- 裘林祥(1965) 立霧溪流域水力開發之展望(一)，台電工程月刊，199：1-6。
- 裘林祥(1965) 立霧溪流域水力開發之展望(二)，台電工程月刊，202：34-36。
- 台灣電力公司立霧尖峰工程處(1966) 立霧尖峰工程竣工報告，台灣電力公司。
- 臺灣省公路局(1966) 台灣公路工程，14(3)。

臺灣省公路局(1966) 台灣公路工程，15(2)。

交通部觀光局(1978) 中部橫貫公路沿線地區觀光遊憩發展綱要計畫，台灣省政府建設廳公共工程局編印。

簡桐煙(1978) 立霧溪托博閣天然壩的處理經過，台電工程月刊，359：56-66。

石再添、鄧國雄、張瑞津、黃朝恩、石慶得(1980) 台灣地區水庫集水域地形計測分析圖集，國立台灣師範大學地理學系。

石再添 張瑞津 黃朝恩(1980) 臺灣島諸流域高度、坡度及相對高度的分析研究，地理學研究，國立臺灣師範大學地理系，4：1-24。

謝敬義(1980) 立霧溪流域之地形與地質特性在工程上之意義，台電工程月刊，380：27-35。

張瑞津(1982) 台灣島諸流域的水流等級及水系網比值，地理研究報告，國立臺灣師範大學地理研究所，8：113-156。

台灣電力公司電源開發處(1982) 立霧溪流域水力開發溪畔水力發電計畫可行性及基本設計修訂報告，台灣電力公司。

駱香林、苗允豐(1983) 臺灣省花蓮縣志，成文出版社。

顏清連(1984) 立霧溪水力發電計劃環境影響評估研究，國立台灣大學土木工程學研究所。

廖守臣(1984) 泰雅族的文化-部落遷徙與拓展，世界新聞專科學校觀光宣導科。

羅偉(1984) 台灣中央山脈大禹嶺地區之構造地質學研究，國立台灣大學地質研究所碩士論文。

張石角(1985) 立霧溪水力發電計劃環境影響評估研究之評述，內政部營建署。

許民陽(1985) 蘇花海岸南澳、和平、立霧三溪沖積扇三角洲之比較研究，地理學研究，國立臺灣師範大學地理系，12：94-124。

經濟部水資會 台灣電力公司台灣地區水力普查工作小組(1986) 立霧溪水力普查報告，經濟部能源委員會。

石再添等(1987) 臺灣地區十五條河川理論水力蘊藏量及地表逕流係數研究，地理研究叢書第十四號，國立臺灣師範大學地理學系。

陳培源(1987) 花蓮太魯閣峽谷地質簡介，台灣北部十條地質實習考察路線沿線地質簡介，國立臺灣師範大學地科系，157-197。

- 王鑫(1988) 太魯閣國家公園地理、地形及地質景觀，太魯閣國家公園管理處。
- 財團法人中興工程顧問社(1988) 立霧溪溪畔水力發電計畫景觀維護措施 和平溪引水規劃研究報告，台灣電力公司 PDD-HD-2201-7701。
- 財團法人中興工程顧問社(1988) 立霧溪溪畔水力發電計畫太魯閣峽谷水流切蝕及河谷沖淤研究報告，台灣電力公司 PDD-HD-2202-7701。
- 楊南郡(1988) 太魯閣國家公園合歡越嶺古道調查與整修研究報告，太魯閣國家公園管理處。
- 劉志學(1989) 立霧溪河階之沈積學研究與對比，國立臺灣大學地質研究所碩士論文。
- 夏禹九、黃正良、王立志(1989) 太魯閣國家公園氣候調查及移動式測候站規劃，太魯閣國家公園管理處。
- 廖述良、張守玉、宋家敏(1989) 水力發電對河川水質影響之探討，第二屆環境規劃與管理研討會論文集，105-115。
- 李思根、楊貴三、廖秀芬(1990) 中部橫貫公路太魯閣至西寶沿線遊憩資源，台灣省立花蓮師範學院學報，3：1-61。
- 張石角(1990) 太魯閣峽谷地形發育過程的研究，太魯閣國家公園管理處。
- 王執明(1991) 太魯閣峽谷之變質岩，太魯閣國家公園管理處。
- 經濟部水資源統一規劃委員會(1991) 臺灣地區河川月流量記錄，經濟部水資源統一規劃委員會 00-H-40，471-499。
- 林恩顯等(1991) 太魯閣國家公園人口變遷與經濟活動研究報告，太魯閣國家公園管理處。
- 皓宇工程顧問公司(1991) 太魯閣國家公園三棧、神秘谷整體規劃研究報告，太魯閣國家公園管理處。
- 羅偉(1991) 臺灣中央山脈合歡山至天祥地區之地層與構造研究，國立台灣大學地質研究所博士論文。
- 王執明(1992) 太魯閣國家公園地質現象永久觀察站之規劃，太魯閣國家公園管理處。
- 徐谷(1992) 台灣水力開發問題之探討，台電工程月刊，525：7-14。
- 臺灣省林務局(1992) 臺灣省近期防砂壩現況調查報告，農委會補助 81 農建 - 9.1 - 林 - 26 (5) 計劃執行報告，行政院農委會。

- 楊貴三(1992) 台灣東部木瓜溪流域的地形學研究，社會科教育學刊，1：1 - 90。
- 楊萬全(1993) 水文學(增訂版)，地理研究叢書第二號第二版，台灣師範大學地理系所。
- 陳宏宇、謝順隆(1993) 太魯閣國家公園崩場地之調查及處理之研究，太魯閣國家公園管理處。
- 施添福(1993) 臺灣聚落研究及其史料分析-以日治時期的地形圖為例，臺灣史與臺灣史料，自立晚報，131-184
- 游保杉、楊道昌、陳嘉榮(1993) 立霧溪流域年平均流量與地文因子關係之研究，台灣水利，41(3)：68-76。
- 齊士崢(1994) 立霧溪流域的河階地，國立台灣大學地理學系地理學報，17：33-46。
- 內政部(1995) 太魯閣國家公園計畫(第一次通盤檢討)。
- 吳明進、莊秉潔(1995) 氣候變遷對臺灣地區水文的影響
- 吳明進(1995) 台灣區域氣候變遷，國科會專題研究計畫 NSC-84-2111-M-002-016。
- 經濟部水資會、台灣電力公司台灣地區水力普查工作小組(1995) 台灣地區水力普查總報告。
- 曾晴賢(1995) 太魯閣國家公園砂卡礑溪魚道規劃之研究，太魯閣國家公園管理處。
- 蔡坤良(1995) 模糊多屬性決策分析在河川環境保育之應用，國立海洋大學河海工程學系碩士論文。
- 齊士崢(1995) 立霧溪流域的地形演育，國立臺灣大學地理學研究所博士論文。
- 齊士崢(1995) 立霧溪流域蓮花池地區的河川襲奪，國立台灣大學地理學系地理學報，18：35-44。
- 齊士崢(1995) 河川地形演育與潛在地形災害，國立台灣大學地理學系地理學報，19：51-70。
- 賴進松、張斐章、柳文成等(1996) 建壩後下游河道沖淤變化之探討，八十五年農業工程研討會論文集，169-175。
- 徐美玲、賴建盛(1996) 河床地形與防沙壩之空間關係 - 七家灣溪個案研究，國立台灣大學地理學系地理學報，21：65-82。

齊士崢(1996) 太魯閣國家公園地形、地質文獻蒐集整理研究，太魯閣國家公園管理處。

David Petley (1996) 太魯閣峽谷地形學之研究，太魯閣國家公園管理處。

劉益昌(1996) 臺灣的史前文化與遺址，南投：臺灣省文獻委員會，63-69。

莊永明(1996) 台灣鳥瞰圖，臺北市：遠流出版社。

沈淑敏(1997) 圖像資料在討論花東地區海岸地形變遷上的應用，地圖，8：219-232。

吉村和久等(1997) 太魯閣峽谷石灰岩區域之喀斯特地形發育及伴隨進行 CO² 通量研究(一)，太魯閣國家公園管理處。

David Petley(1997) 太魯閣國家公園變質岩構造及地質史之研究，太魯閣國家公園管理處。

劉益昌(1998) 再談台灣北、東部地區的族群分布，平埔族群的區域研究論文集，臺灣省文獻委員會，5-14

李瑞宗(1998) 錐麓古道沿線聚落暨建築之調查研究，太魯閣國家公園管理處。

李瑞宗(1998) 錐麓古道沿線農業墾殖暨植物利用之研究，太魯閣國家公園管理處。

David Petley(1998) 太魯閣國家公園河階地形之研究，太魯閣國家公園管理處。

陳天任、游祥平(1999) 太魯閣國家公園立霧溪流域淡水蝦蟹調查計畫，太魯閣國家公園管理處。

林曜松等(1999) 立霧溪人工壩體對水域生態影響之研究，太魯閣國家公園管理處。

施添福(1999) 開山與築路：晚清臺灣東西部越嶺道路的歷史地理考察，地理研究報告，30：65-99。

蔡瑞明、伍木林(1999) 太魯閣國家公園資料庫整合與牌示管理系統開發，太魯閣國家公園管理處。

陳樹群(2000) 集集地震引發之堰塞湖類型及其潰決機制

網站資料庫

黃文政、楊富堤：臺灣河川流量資料庫：

<http://water.hre.ntou.edu.tw/~river/cgi-bin/query.pl>

中央氣象局颱風資料庫：<http://photino.cwb.gov.tw/>

經濟部水資源局全球資訊網：<http://www.wrb.gov.tw/>

日文部分

檜崎太郎(1914) 太魯閣蕃討伐誌，台南新報社台北支局。

小笠原美津雄(1936) 研海圖幅說明書，臺灣總督府殖產局，第 765 號。

佐佐木舜一(1936) 臺灣國立公園號，臺灣山林會。

岡田紅陽(1939) 臺灣國立公園寫真集，臺灣國立公園協會。

富田芳郎(1972) 台灣地形發達史的研究，古今書院。

外文部份

Williams, G.P. & Wolman, M.G. (1984) Downstream effects of dams on alluvial rivers, *US Government Printing Office*, Washington DC.

Raynov et al. (1986) River response to hydraulic structures, UNESCO, Paris, 115p.

Thorne, C.R. & Osman, A.M. (1988) Riverbank stability analysis - II Application, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 114(2), 151-172.

Inbar, M. (1990) Effect of dams on mountainous bedrock rivers, *Physical Geography*, 11(4), 305-319.

Downs, P.W. & Gregory, K.J. (1991) How integrated is river basin management? , *Environmental Management*, 15(3), 299-309.

Wohl, E.E. (1992a) Bedrock benches and boulder bars - floods in the Burdekin Gorge of Australia, *Geological Society of America Bulletin*, 104(6), 770-778.

Wohl, E.E. (1992b) Gradient irregularity in the Herbert Gorge of northeastern Australia, *Earth Surface Processes and Landforms*, 17(1), 69-84.

Wohl, E.E. (1993) Bedrock channel incision along Piccaninny Creek, Australia, *Journal of Geology*, 101(6), 749-761

- Angelaki, V. & Harbor, J.M.** (1995) Impacts of flow diversion for small hydroelectric power plants on sediment transport, *Physical Geography*, 16(5), 432-443.
- Riedel, J., Stoker, B. & Harbor, J.M.** (1992) Skagit River hydroelectric project erosion control plan. Proceedings of Conference XXIII, International Erosion Control Association: 'The Environment is our Future' ,207-226.
- Montgomery, D.R. & Buffington, J.M.** (1997) Channel-reach morphology in mountain drainage basins, *Geological Society of America Bulletin*, 109(5), 596-611.
- Takeuchi, K.** (1997) Least marginal environmental impact rule for reservoir development, *Hydrological Sciences Journal (Journal Des Sciences Hydrologiques)*, 42(4), 583-597.
- Goudie, A. & Viles, H.** (1997) The Earth Transformed - An Introduction to Human Impacts on the Environment, Blackwell Publisher, 129p.
- Tinkler, K.J.; & Wohl, E.E.** (1998) A primer on bedrock channels. Publication : Rivers over Rock: fluvial process in bedrock channels. *Geophysical Monographs. American Geophysical Union*, Washington, DC. 107,1-18.
- Smelser, M. E. and Schmidt, J. C.** (1998) An assessment methodology for determining historical changes in mountain streams: U.S. Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-6, 29 p.
- Nicola Surian** (1999) Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy, *Earth Surf. Process. Landforms* 24, 1135-1151.
- Katherine F. Leys ,Alan Werritty** (1999) River channel planform change: software for historical analysis, *Geomorphology*, 29 107-120.
- Erskine, W.D., Terrazzolo, N. and Warner, R.F.** (1999) River rehabilitation from the hydrogeomorphic impacts of a large hydro-electric power project: Snowy River, Australia, *Regulated Rivers-Research & Management*, 15(1-3), 3-24.
- Grams, P. E. and Schmidt, J. C.** (1999) Geomorphology of the Green River in the eastern Uinta Mountains, Dinosaur National Monument, Colorado and Utah, in *Varieties of Fluvial Form*, edited by A. J. Miller and A. Gupta: John Wiley & Sons, 81-111.

附錄一 立霧溪流域相關等高線地形圖一覽表

年代	圖名	比例尺	圖幅	製圖單位	說明
大正 3 年 (1914)	蕃地地形圖	1 : 50000		臺灣總督府 警察本署 蕃務本署	*實測
大正 12 年 (1923)	蕃地地形圖	1 : 50000		臺灣總督府 民政部 警察本署	*為大正 2 年所測圖 再發行 *實測
昭和 7 年 (1932)	地形圖	1 : 50000	新城	大日本帝國 陸地測量部	*尚未完全完成， 圖上留有空白 *實測
昭和 11 年 (1936)	地形圖	1 : 50000	新城	大日本帝國 陸地測量部	*同昭和 7 年地形 圖，補齊全圖 *實測
昭和 11 年 (1936)	地形圖	1 : 50000	合歡山	大日本帝國 陸地測量部	*實測
昭和 16 年 (1941)	產金道路 路線圖	1 : 25000		臺灣總督府 交通局港灣課	*實測
民國 42 年	台灣省圖	1 : 50000	新 城、他比多、 合歡山、愚 堀	聯合勤務總司 令部測量處	*未實地查對 *除「新城」外精度 欠佳 *河道以細線表標 示，不易比對 *投影方式： 高斯克呂格
民國 44 年	臺灣省圖	1 : 25000	三角錐山、三棧、 大濁水南溪	聯合勤務總司 令部測量處	*未經實地查對 *不利河道計測比對
民國 45 年	台灣地形圖	1 : 50000	新 城、他比多、 合歡山、愚 堀	聯合勤務總司 令部測量處	*未實地查對 *河道仍以細線表示
民國 45 年	臺灣地形圖	1 : 25000	新城、三角錐山、 天祥、合歡埡口、 清水山、三棧	聯合勤務總司 令部測量處	*未實地查對 *投影方式： 改「橫麥卡脫」
民國 50 年	台灣地形圖	1 : 50000	新 城、他比多、 合歡山、愚 堀	聯合勤務總司 令部測量處	*經實地查對
民國 50 年	臺灣地形圖	1 : 25000	新城、三角錐山、 天祥、合歡埡口、 清水山、三棧	聯合勤務總司 令部測量處	*經實地查對 *將「合流」誤標為 「天祥」
民國 55 年	台灣地形圖	1 : 50000	新城、合歡山、 南湖大山、和中	聯合勤務總司 令部測量處	*實地調繪
民國 55 年	臺灣地形圖	1 : 25000	新城、三角錐山、 天祥、合歡埡口、 清水山、三棧	聯合勤務總司 令部測量處	*實地調繪
民國 58 年	臺灣地形圖	1 : 25000	新城、三角錐山、 天祥、大禹嶺、 清水山、三棧	聯合勤務總司 令部測量處	*實地調繪
民國 61 年	台灣地形圖	1 : 50000	新城、合歡山、 南湖大山、和中	聯合勤務總司 令部測量處	*實地調繪
民國 61 年	臺灣地形圖	1 : 25000	新城、三角錐山、 天祥、大禹嶺、 清水山、三棧	聯合勤務總司 令部測量處	*實地調繪

民國 71 年	台灣地形圖	1 : 50000	新城、大禹嶺、 環山、和平	聯合勤務總司 令部測量署	*實地調繪
民國 72 年	臺灣地區 像片基本圖	1 : 5000 ; 1 : 10000	全流域 (略)	農林航空 測量所	*實地調繪
民國 77 年	臺灣地形圖 經建第一版	1 : 25000	新城 太魯閣 天祥、 和平、曉星山、南湖 大山、環山、北埔、 龍澗、能高山	聯勤總部 測量署	*實地調繪
民國 78 年	臺灣海岸 像片地形圖	1 : 1000	立霧溪出海口一帶 (崇德~順安)	農林航空 測量所	*實地調繪
民國 80 年	臺灣地形圖 經建第一版	1 : 50000	新城、大禹嶺、 環山、和平	聯勤總部 測量署	*實地調繪
民國 82 年	臺灣地形圖 經建第二版	1 : 25000	新城 太魯閣 天祥、 和平、曉星山、南湖 大山、環山、北埔、 龍澗、能高山	聯勤總部 測量署	*實地調繪

作者說明：

1. 昭和 7 年與昭和 11 年的五萬分之一地形圖大部份內容相同。由於大正 12 年起展開的五萬分之一地形圖測繪，在山區測量時往往拖延數年，同一幅地形圖於測完一部份地區後，為提供給學術、行政或軍警機關使用，通常即付之製版發行，以致圖上仍留有一片空白地區，等全部測量工作完成後，再補上重新出版，因而造成同一幅地形圖所記錄的內容有時並非屬於同一年代的結果。因此在使用這一部份地形圖時，必須特別留意同一圖幅測圖時間的差距對圖上內容可能造成的影響 (施添福 1993)。

2. 光復後在山區實地進行大規模測繪製圖前，地形圖底圖多參照日據時代地形圖或美軍所製地形圖，因此圖上所呈現的情形可能並非當時現況。以民國 44 年臺灣省圖「三角錐山」圖幅為例，沿立霧溪的道路系統除通往溪畔、砂卡礑的道路外，溪畔往天祥的道路似為昔日產金道路舊路，惟在白沙溪、荖西溪附近似循合歡越嶺古道路線，所呈現的是日據時代立霧溪的道路系統，而非當時現況。

3. 1952 年美國陸軍製圖局亦曾繪製「臺灣省五萬分之一圖」。

4. 立霧溪流域光復後歷年聯勤五萬分之一地形圖圖號對照表

圖名	圖幅	圖名	圖幅
他 比 多	2319-I	新 城	2419-III
合 歡 山	2319-II	愚 堀	2419-IV
南湖大山	9621-I	新 城	9721-III
合 歡 山	9621-II	和 中	9721-IV
環 山	9621-I	新 城	9721-III
大 禹 嶺	9621-II	和 平	9721-IV

註：「愚堀」，今「和中」；「他比多」，今「天祥」。

5. 立霧溪流域光復後歷年聯勤二萬五千分之一地形圖圖號對照表

三角錐山	2419-IV-SW	清水山	2419-IV-SE
三棧	2419-III-NW	新城	2419-III-NE
環山	9621-I-SW	南湖大山	9621-I-SE
大禹嶺	9621-II-NW	天祥	9621-II-NE
能高山	9621-II-SW	龍澗	9621-II-SE
曉星山	9721-IV-SW	和平	9721-IV-SE
太魯閣	9721-III-NW	新城	9721-III-NE
北埔	9721-III-SW		

附錄二 農林航空測量所歷年拍攝立霧河流域像片一覽表

圖幅名	航帶編號	像片號碼	地點
新 城	65P01	257-269	和平林道-錐麓隧道
	65P02	054-058	朝墩山-鍛鍊山
	66P08	032-038 039-047	新城山-立芹山 丹錐山-北加禮宛山
	66P39	005-012 079-085	立霧溪口 北加禮宛山-靳珩橋
	67P52	031-043 052-071	立霧溪口 砂卡礑溪
	68P26	089-097	立霧溪口
	69P39	5803-5804 5818-5820	砂卡礑溪上游 白髮山
	69P43	6836-6868 6885-6888 6887-6901	和平林道-北加禮宛山 寧安橋-立霧溪口 砂卡礑溪
	69P85	6747-6765	嵐山-鍛鍊山
	69P86	6990-7004	偶屈山-丹錐山
	70P23	4946-4974	和平林道-研海林道
	70P37	6945-6946	朝墩山
	72P39	3895-3898	砂卡礑溪上游、砂卡礑林道
	73P26	103-111	立霧溪口
	73T56	016-022	立霧溪口
	74P29	238-244	立霧溪口
	74P78	127-133 134-135	清水山-砂卡礑溪 白沙橋-太魯閣口
	74P156	120-124	立霧溪口
	74D77	7949-7950	靳珩橋-長春祠
	74P78	020-021	太魯閣口
	75P58	9294-9341 9446-9501 9505-9540	嵐山-朝墩山 嵐山-加禮宛山 論外山-砂山
	75P106	2985-3010 3011-3047	新城山三角錐山 太魯閣口-砂卡礑溪上游
	75P129	108-120	立霧溪口
	76P06	8459-8463 8475-8476	砂卡礑溪上游 太魯閣口-靳珩橋
	76P07	171-183	立霧溪口
	76P20	252-280	立霧溪口
	76P26(二)	002-026	立霧溪口
	76P30	041-047	立霧溪口
	76P45	1433-1438	靳珩橋-太魯閣口
	76P80	5674-5678	太魯閣口
	76P122	7731-7754 7766-7767	和平林道 天祥-流芳橋
	77P01	2985-3009	和平林道
	77P42	085-089	立霧溪口
	77P44	7442	和平林道
	77P93	109-113	立霧溪口
	78P48	6803-6807	立霧溪口
	78P76	045-049	立霧溪口
	79P29	4894-4900	立霧溪口
	79P53	7141-7150 7151-7160	豬股山-和平林道 人道山-砂卡礑溪上游

	79P54	7186-7192 7193-7200 7212-7213 7214-7218	千里眼山-新城山 新城山-清水斷崖 和仁-清水斷崖 立霧溪口
	79P69	0063-0067	立霧溪口
	80P32	3008-3014	立霧溪口
	80P104	236-242	立霧溪口
	81P27	196-204	立霧溪口
	81P51	101	砂卡礑溪上游
	81P54	261-262	和平林道-砂卡礑溪上游
	81P62	120-123	和平林道-荖西溪
	81P66	185-186	寧安橋-太魯閣口
	81P85	087-091	立霧溪口
	81P91	5943-5945	和平林道
	82P20	9858-9860	砂卡礑溪上游
	82P30	0973-0979	立霧溪口
	82P122	2527-2533	立霧溪口
	83P23(-)	000-004	立霧溪口
	84P15	5524-5530	立霧溪口
	84P39	9352-9356	立霧溪口
	85P09	3007-3009	立霧溪口
	85P27	6582~6585	太魯閣口-天祥
	85P55	263-267	立霧溪口
	86P43	247~266	砂卡礑溪-溪畔-天祥
	86P62	7966-7972	立霧溪口
	87P23	095-099	立霧溪口
	87P48	131-143 148-154	和仁-砂卡礑溪 上崇德-匯源
	87P63	051-071 077-083 124-131 135-143 206-237	砂卡礑林道-上崇德 和仁-清水斷崖 清水斷崖-匯源 立霧溪口 朝墩山-嵐山
	87P64	139-146 147-150 192-205 214-245	清水山-千里眼山 砂卡礑溪上游 和平林道-白沙橋 和平林道-加禮宛山
	87P66	001-018 044-060 086-105 106-134	和平林道-丹錐山 砂卡礑溪上游-富世 新城山-三角錐山 和平林道-加禮宛山
	88P25	022-025 026-034	寧安橋-太魯閣口 立霧溪口
	88P48	5056-5058 5067-5073 5074-5080	清水斷崖 長春祠-布洛灣 布洛灣-塔山-三棧南溪
	88P61	6932	太魯閣口
大禹嶺	69P39	5821-5831	太魯閣大山-江口山
	69P43	6712-6730	關原-奇萊北峰
	69P69	265-281	華綠溪-畢祿山
	69P74	3674-3688	天祥-梅園
	69P86	6868-6876 7005-7011	下梅園-研海林道 慈恩-碧綠
	70P37	6909-6911	陶塞溪
	71P45	5863~5868	帕托魯山-立霧主山
	72P21	0883-0893	研海林道
	74P179	0856-0868	碧綠溪-樵巴宇山

	76P16(一)	9190-9212	大禹嶺一帶
	76P39	0673-0681	卡拉寶-太魯閣大山
	76P40	0988-1000	三棧溪-帕托魯山
	76P74	4281-4295	鈴鳴山-畢祿山
	76P122	7776-7786 7790-7796 7801-7815	江口山-祖輪山 研海林道-荻板 古白楊-立霧主山
	76D03(二)	8295-8299 8301-8309	加卑里山 黑岩山-碧綠
	77P105(一)	9929-9949	大禹嶺-文山
	80P108	169-172 173-180 190-195 211-217	奇萊南峰-濁水溪上源 濁水溪上源-松泉崗 奇萊山-智遠莊 松泉崗-卡羅樓山
	80P117	8459-8463 8506-8516 8547-8559 8608-8621 8625-8630 8680-8684	三棧溪-瓦黑爾 瓦黑爾-托博閣 太魯閣大山-洛韶 華綠溪-天長山 帕托魯山-南神山 椎巴宇山-古白楊
	81P53	223-225	陶塞溪
	81P88	5737-5745 5754-5762	奇萊主峰-屏風山 合歡山莊-奇萊南峰
	84P15	5551-5555	嵐山-富田山
	84P39	9371-9375	嵐山-富田山
	85P27	6586-6593	天祥-托博閣
	85P33	7123-7128	關原-奇萊山
	86P43	267-270	天祥一帶
	87P58	018-024 068-078 113-123 142-154 172-180 188-212 236-244	鈴鳴山-關原 托博閣-華綠溪 華綠溪-托博閣 太魯閣大山-洛韶橋 洛韶-立霧主山 下梅園-帕托魯山 下梅園-富田山
	87P63	163-185	嵐山-下梅園
	88P14	261-264	屏風山-奇萊山
	88P21	088-096	大禹嶺一帶
	88P40	023-037	碧綠-濁水溪上游
環 山	80P117	8503-8505 8465 8631-8635 8650-8654 8604-8607 8656-8660 8674-8679	小瓦黑爾溪 竹村西側一帶 陶塞溪上游 和平南溪-竹村 甘薯峰東南 中央尖山以東-南湖大山 中央尖山以南
	81P53	226-239	西吉南山-竹村
	81P65	176-190	西吉南山-竹村

附錄三 A 立霧溪流流域雨量站一覽表

河 流 名 稱	雨量站 編 號	站 名	高程	記錄年 份 (民 國)	位 置		經 辦 單 位	類別
					東 經	北 緯		
立霧溪	P001	見 晴	1317	26~30	121° 25'	24° 11'	臺灣總督府 交通局遞信部 水力調查係	普通
立霧溪	P002	琶 他 干	400	26~31	121° 33'	24° 11'	臺灣總督府 交通局遞信部 水力調查係	普通
立霧溪	P003	溪 畔(1)	200	40~64	121° 35'	24° 11'	臺灣電力公司	普通
立霧溪	P004	富 世	58	37~46	121° 37'	24° 09'	臺灣省水利局	普通
立霧溪	P005	達 美 多	430	45~迄今	121° 30'	24° 11'	臺灣電力公司	自記
立霧溪	P006	關 原	58	47~51	121° 20'	24° 11'	臺灣電力公司	普通
立霧溪	P007	綠 水	430	45~迄今	121° 30'	24° 11'	臺灣電力公司	普通
陶塞溪	P008	竹 圍	1200	51~62	121° 30'	24° 16'	臺灣電力公司	自記
立霧溪	P009	天祥瞭望台	1000	53~65 67~74	121° 28'	24° 13'	林務局木瓜 林區管理處	普通
立霧溪	P010	慈 恩	1995	52~61	121° 24'	24° 09'	臺灣電力公司	普通
瓦黑爾溪	P011	洛 韶	1364	53~迄今	121° 26'	24° 13'	臺灣電力公司	自記
	P012	合歡埡口	2550	47~48 50~迄今	121° 18'	24° 09'	臺灣電力公司	自記
立霧溪	P013	古 白 楊	1250	54~62	121° 26'	24° 10'	臺灣電力公司	自記
托博闊溪	P014	托 博 闊	1255	54~71	121° 24'	24° 09'	臺灣電力公司	自記
	P015	三 錐 山	2606	57~60	121° 33'	24° 12'	林務局木瓜 林區管理處	普通
	P016	埡 口	2900	56~76	121° 18'	24° 11'	林務局木瓜 林區管理處	普通
陶塞溪	P017	陶 塞	1500	58~71	121° 28'	24° 18'	臺灣電力公司	自記
小瓦 黑爾溪	P018	小瓦黑爾	1710	58~62	121° 28'	24° 15'	臺灣電力公司	自記
立霧溪	P019	谷 園	643	59~60	121° 28'	24° 12'	臺灣電力公司	自記
立霧溪	P020	天祥氣候	2565	62~	121° 29'	24° 11'	花蓮復興電台	普通
立霧溪	P021	大 禹 嶺	2600	61~	121° 19'	24° 11'	電信代辦所	普通
立霧溪	P022	溪 畔 (2)	169	65~迄今	121° 34'	24° 11'	臺灣電力公司	自記

資料來源：整理自臺灣省通志稿經濟志水利篇、立霧溪水力普查報告、氣候資料年報

作者註：

1. 本表尚不包括在 1994 年後氣候年報有資料登錄的「太魯閣」站(太管處所轄)、1996 年後氣候年報有資料登錄的「布洛灣」站、「慈恩」站、「洛韶」站(中央氣象局所轄)。
- 2.P001「見晴」，今多稱「巴多諾夫」，位於慈恩溪下游，相當於西拉歐卡與古白楊間。
- 3.P002「琶他干」，即「巴達岡」，位於錐麓斷崖下方，立霧溪左岸台地上。
- 4.P005「達美多」與 P007「綠水」同站。
- 5.P006「關原」、P020「天祥氣候站」高度有誤。

附錄三 B 立霧溪流域流量站一覽表

河流	編號	站名	流域面積(km ²)	高程(m)	記錄年份(民國)	位置		經辦單位	類別
						東經	北緯		
立霧溪 246000	H001	溪畔	509.30	200	44~49	121° 34'	24° 11'	臺灣電力公司	普通
立霧溪 246000	H002	阿育	532.82	400	28~31	121° 35'	24° 10'	臺灣總督府 交通局遞信部 水力課	普通
立霧溪 246000	H003	立霧	604.55	200	41~41 43~46	121° 37'	24° 11'	臺灣省水利局	普通
立霧溪 246000	H004	婆賽干	606.11	100	26~27	121° 37'	24° 09'	臺灣總督府 交通局遞信部 水力課	普通
立霧溪 246000	H005	綠水	434.60	379	45~46 48~迄今	121° 30'	24° 11'	臺灣電力公司	自記
陶塞溪 246010	H006	天祥	175.76	425	53~62	121° 30'	24° 11'	臺灣電力公司	自記
大沙溪 246020	H007	西拉克	51.44	825	54~57	121° 28'	24° 14'	臺灣電力公司	自記
瓦黑爾溪 246030	H008	饅頭山 埧址	51.80	718	54~71	121° 28'	24° 12'	臺灣電力公司	自記
陶塞溪 246010	H009	谷園	152.07	626	54~71	121° 29'	24° 13'	臺灣電力公司	自記
陶塞溪 246010	H010	陶塞埧址	37.77	1233	53~62	121° 29'	24° 17'	臺灣電力公司	自記
立霧溪 246000	H011	托博閣	115.24	1128	54~71	121° 25'	24° 09'	臺灣電力公司	自記
慈恩溪 246040	H012	慈恩埧址	18.60	1244	54~62	121° 25'	24° 10'	臺灣電力公司	自記
復興溪 246050	H013	復興溪	12.00	1205	53~62	121° 25'	24° 12'	臺灣電力公司	自記
洛韶溪 246060	H014	洛韶溪	3.05	1155	53~59	121° 26'	24° 12'	臺灣電力公司	自記
華祿溪 246070	H015	華祿溪	27.10	1273	53~62	121° 25'	24° 12'	臺灣電力公司	自記
小瓦黑爾 溪 246080	H016	小瓦黑爾 埧址	34.91	1056	57~57 59~62	121° 27'	24° 16'	臺灣電力公司	自記
休督溪 246090	H017	休督溪 埧址	18.02	664	59~62	121° 28'	24° 13'	臺灣電力公司	自記

資料來源：整理自臺灣省通志稿經濟志水利篇、臺灣地區河川月流量紀錄

作者註：

1. H003 立霧測站在記錄上之經度為 121° 30'，但比較其流域面積及流量資料，立霧測站的實際經度應為 121° 37'，位於立霧溪扇洲一帶。
2. H002 「阿育」，今多譯為「阿唷」，位於西拉岸台地下方，今中橫公路長春祠與寧安橋之間。
3. H004 「婆賽干」，或名「富世岡」，今名「富世」，位於立霧溪下游右岸處。
4. 如以陶塞溪與小瓦黑爾溪匯流後，匯入立霧溪本流前稱大沙溪，西拉克測站所在河流應為小瓦黑爾溪。
5. 日據時代在本流域內尚有臺灣電力會社所設「立霧」流量測站，惟未有資料留存。

附錄三 C 立霧河流域含沙量記錄站一覽表

河流	編號	站名	流域面積(km ²)	高程(m)	記錄年份(民國)	位置		經辦單位
						東經	北緯	
立霧溪 246000	H001	溪畔	509.30	200	44~49	121° 34'	24° 11'	臺灣電力公司
立霧溪 246000	H005	綠水	434.60	379	49~迄今	121° 30'	24° 11'	臺灣電力公司
陶塞溪 246010	H006	天祥	175.76	425	53~62	121° 30'	24° 11'	臺灣電力公司
大沙溪 246020	H007	西拉克	51.44	825	54~54	121° 28'	24° 14'	臺灣電力公司
瓦黑爾溪 246030	H008	饅頭山 埧址	51.80	718	53~71	121° 28'	24° 12'	臺灣電力公司
陶塞溪 246010	H009	谷園	152.07	626	59~71	121° 29'	24° 13'	臺灣電力公司
陶塞溪 246010	H010	陶塞埧址	37.77	1233	54~62	121° 29'	24° 17'	臺灣電力公司
復興溪 246050	H013	復興溪	12.00	1205	53~62	121° 25'	24° 12'	臺灣電力公司
洛韶溪 246060	H014	洛韶溪	3.05	1155	53~59	121° 26'	24° 12'	臺灣電力公司
華祿溪 246070	H015	華祿溪	27.10	1273	53~62	121° 25'	24° 12'	臺灣電力公司

作者註：含沙量記錄站均為流量測站，惟含沙量與流量的記錄年限略有不同

附錄四 A 綠水站歷年流量一覽表

年份	年平均 日流量	最大日 平均流量	日期	最大瞬 時流量	日期	相關事件	最小日 平均流量	日期
1956 (1月 未測)	38.66	1407.00	09/23	無記錄	無記錄	無記錄	7.00	11/16
1957	28.61	222.00	06/25	無記錄	無記錄	無記錄	6.00	09/11
1958 (全年 未測)	無記錄	無記錄	無記錄	無記錄	無記錄	無記錄	無記錄	無記錄
1959 (僅測 1-8月)	不計算	46.30	06/01	無記錄	無記錄	無記錄	17.20	08/27
1960	28.93	355.00	08/01	460.00	08/01	07/31 強颱風莉(Shirley)	6.80	05/17
1961	45.37	1250.50	09/12	1550.00	09/26	09/12 強颱風密拉(PAMELA)	7.50	02/16
1962	45.62	1310.00	09/05	2959.32	09/05	09/05 強颱風愛美(AMY)	8.40	02/04
1963	19.22	223.00	09/11	595.00	07/16	09/11 強颱風葛樂禮(GLORIA) 07/16 強颱風范迪(WENDY)	5.60	06/11
1964	26.22	280.00	08/08	350.00	08/08	08/07 強颱風艾達(IDA)	8.70	05/06
1965	30.35	950.00	07/26	2470.00	07/26	07/26 強颱風哈莉(HARRIET)	9.30	04/13
1966	21.12	432.00	06/09	586.00	06/08		6.80	12/12
1967	29.75	1000.00	11/18	4120.00	11/18	11/18 強颱風吉達(GILDA)	6.70	01/06
1968	50.02	1450.00	09/30	1730.00	09/30	09/30 強颱風艾琳(ELAINE)	9.80	12/26
1969	40.87	723.00	10/03	1199.00	10/02	10/02 中颱風勞西(FLOSSIE)	7.00	05/17
1970	22.11	172.00	09/07	195.00	09/17	09/07 輕颱風安(FRAN)	8.50	08/27
1971	37.35	1160.00	07/26	2020.00	07/26	07/26 強颱風娜定(NADINE)	9.10	07/14
1972	28.88	187.00	07/15	295.00	07/15		9.90	12/17
1973	33.95	1450.00	10/10	2140.00	10/10	10/09 強颱風娜拉(NORA)	8.20	03/16
1974	41.76	415.00	10/18	476.00	10/18		8.90	02/17
1975	53.08	1325.00	09/23	3700.00	08/03	09/22 中颱風貝蒂(BETTY) 08/03 強颱風妮娜(NINA)	12.70	03/06
1976	22.57	168.00	07/05	211.00	07/05		7.90	05/03
1977	30.29	369.13	09/23	537.00	09/23		6.40	05/07
1978	30.15	149.04	03/24	434.00	08/13	08/13 輕颱風黛拉(DELLA)	11.60	12/17
1979	28.18	725.25	08/02	1120.00	08/02	08/01 強颱風賀璞(HOPE)	8.10	12/15
1980	17.56	444.77	09/18	880.00	09/18	09/18 強颱風珀西(PERCY)	5.95	08/02
1981	35.13	1078.46	09/21	1490.00	09/21	09/20 強颱風葛萊拉(CLARA)	8.25	02/14
1982	39.51	2593.46	07/29	3760.00	07/29	07/29 強颱風安迪(ANDY)	8.89	01/11
1983	27.99	196.33	02/11	218.00	02/11		6.47	12/17
1984	25.74	186.97	08/30	260.50	08/30	08/30 輕颱風裘恩(JUNE)	6.39	01/19
1985	39.36	364.81	09/17	775.00	09/17	09/17 輕颱風衛奧(VAL)	7.64	01/24
1986	40.52	617.65	09/19	825.00	09/19	09/19 強颱風艾貝(ABBY)	9.69	02/02
1987	36.82	751.26	09/10	1170.00	09/10	09/09 強颱風傑魯得(GERALD)	10.25	09/05
1988	28.94	193.26	10/26	250.00	10/26		11.39	02/27
1989	33.48	543.12	09/12	1282.20	09/12	09/11 強颱風莎拉(SARAH)	9.29	03/01
1990 (09/6- 09/30 未測)	44.70	905.71	06/23	1568.00	06/23	06/23 中颱風歐菲莉(OFELIA) 09/07 中颱風黛特(DOT)	10.04	04/09
1991	20.58	324.94	07/19	780.00	07/19	07/19 強颱風艾美(AMY)	10.60	07/17
1992	43.90	941.01	09/22	1700.50	09/22	09/22 輕颱風泰德(TED)	9.91	12/27
1993	14.61	79.68	03/19	147.00	06/02		6.31	12/30
1994	37.39	1439.04	07/11	4771.80	07/11	07/10 強颱風提姆(TIM)	6.00	01/04

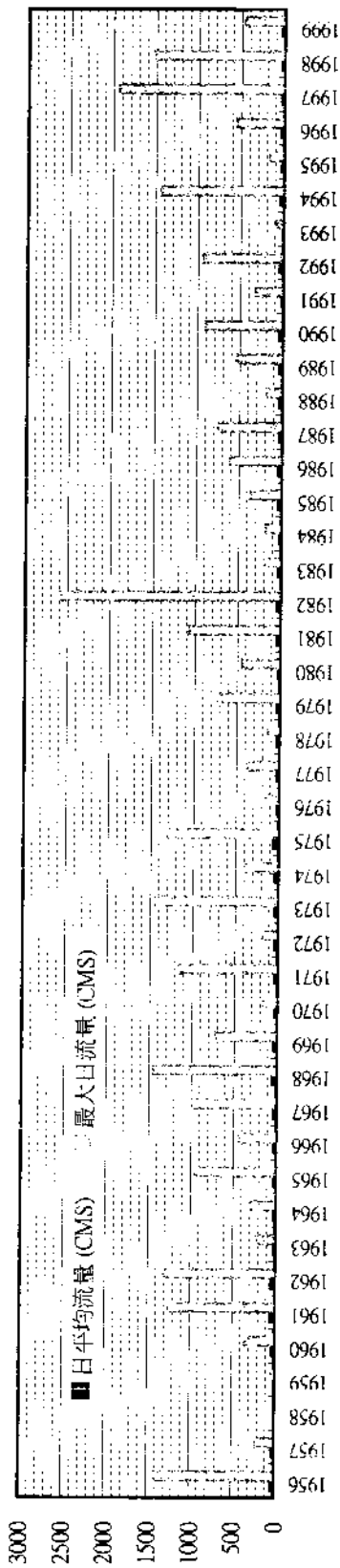
1995	25.03	168.17	08/31	496.12	無日期	08/30 中颱肯特(KENT)	9.50	01/22
1996	27.14	557.26	08/01	1109.10	無日期	07/31 強颱賀伯(HERB)	7.40	02/07
1997	27.51	1942.54	08/29	4210.00	08/29	08/29 中颱安珀(AMBER)	7.50	12/29
1998	32.37	1521.52	10/16	3940.00	無日期	10/16 強颱瑞伯(ZEB)	7.60	01/11-13
1999	30.59	462.94	06/06	暫無資料	無日期	06/06 中颱瑪姬(MAGGIE)	9.53	04/08

<註 1> 1959 年 9~12 月綠水站無流量記錄，僅 1~8 月資料無法代表全年情形，因此該年最大、最小日流量不列入所有年度的統計。

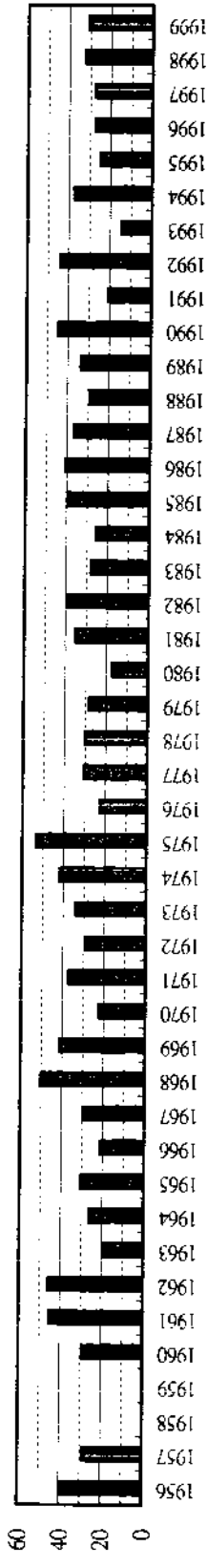
<註 2> 最大瞬時流量自 1950 年起始有記錄。

<註 3> 1993 年綠水站最大日流量 79.68CMS 為歷年來最大日流量之最小值，由於該年夏天颱風過門不入，整個夏季雖然太平洋高壓並不強，但是環流的異常，導致盛行風方向偏南，因此全臺降水減少。(吳明進 1995)

資料來源：彙整自臺灣流量資料庫、颱風資料庫（參見參考文獻）與歷年水文年報。



[此附圖為上圖 0~60 CMS 範圍之放大]



附錄四 B 綠水站歷年綠水站歷年主要颱風事件流量(1956~1999)

附錄五 1977 年托博闊天然壩的發現與監測過程

時間	地點	記要
06/15 15:00	溪畔壩取水口	發現水位下降
06/15 16:00	溪畔壩取水口	水位急驟下降
06/15 19:00	溪畔壩取水口	水位回升
(前往綠水水文站查閱記錄)		
06/15 11:00	綠水水文站	水位下降
06/15 17:00	綠水水文站	水位緩慢回升
(前往陶塞溪的谷園測水站)		
06/16	谷園水文站	谷園站水位平靜，溪水清澈，應非立霧溪北方支流崩山，可能是主流或南方支流崩山
(前往新白楊)		
06/16	新白楊一帶	發現古白楊附近溪水混濁，可能是托博闊測站上游崩山
06/17	托博闊 (第一次勘察)	實地勘察托博闊測水站上游因崩山造成的天然壩
06/19	會議	提出防範天然壩崩潰措施：1.溪畔壩閘門全部開啟；2.於天然壩壩址觀測水位變化；3.加強綠水水文站水位觀測工作。
06/21	托博闊 (第二次勘察)	發現天然壩安定度尚佳，且溪流自然流量仍經過天然壩流出，設水尺持續觀測水位
07/01 07/05~07	托博闊 (第三次勘察) 托博闊 (第四次勘察)	勘察結論：天然壩未崩潰前，溪畔壩仍維持防洪門全部開啟狀態
08/24	洛韶水文站 托博闊	水位下降 水位變化
08/29	托博闊 (第五次勘察)	天然壩被部份沖去，水由壩頂溢流，蓄水量約為原來的 1/2
10/06	綠水水文站	經三次颱風後無明顯變化，撤除綠水站的警報器。
10/15	溪畔壩	關閉閘門貯水、恢復蓄水發電。
10/18	托博闊 (第六次勘察)	天然壩已無增高趨勢，危機解除，停止觀測水位工作。

資料來源：整理自簡桐煙 (1978)

附錄六 立霧溪流域各時期大事記（河道工程、土地開發）

年代	大事記
史前時代	
距今 790-506 年	十三行文化普洛灣類型人群居住在立霧溪流域，疑為 Makquolin 人(猴猴族)。另根據口傳，立霧溪中下游住有 Pabanangh 人，立霧溪下游住有 Dadangh 人，立霧溪河口住有 Taraboang 人，主要從事產食、採食(種子與根莖類)及漁獵。
西元 1660-1740 年	泰雅族東賽德克托魯閣群人進入立霧溪流域定居
西荷時代	西班牙人與荷蘭人均曾在立霧溪口淘取沙金，但並未進入立霧溪內部流域
清代	
同治 13 年(1874) 9 月	羅大春率兵開北路，部份兵力進紮新城、得其黎(立霧溪口)一帶
光緒 元年(1875)正月	北路正式開通
光緒 3 年(1877)	北路蘇澳至新城段廢棄
日據時期	
大正 3 年(1914) 02 月	日人構築得其黎隘勇線
大正 3 年(1914) 05 月	太魯閣戰役，日人動員二萬餘人討伐太魯閣蕃，自合歡山向東往太魯閣進攻，所經之處路徑均拓寬為一米半以上
大正 3 年(1914) 08 月	戰事結束，日人繼續拓築警備道路
大正 10 年(1921)	開鑿內太魯閣卡拉實行人道
大正 11 年(1922) 05 月	內太魯閣西拉克附近開始開採水晶礦
昭和 8 年(1933)	日本總督府發表「臺灣原住民集團移住十年計劃」，開始將內、外太魯閣山地居民遷徙下山。
昭和 9 年(1934) 06 月	臺灣總督府重新整修合歡越嶺道
昭和 10 年(1935)03 月	合歡越嶺道整修完畢
昭和 10 年(1935)03 月	修築太魯閣峽至仙雲橋間的自動車道
昭和 12 年(1937)	遷徙內、外太魯閣山地居民下山工作完成，僅餘希達岡(今西拉岸)、砂卡礑(今大同)、赫赫斯(今大禮)三社為蔬菜種植區
昭和 15 年(1940)07 月	太魯閣產金道路興工
昭和 17 年(1942)02 月	南邦林業株式會社花蓮支店計劃開發太魯閣大山、帕托魯山、嵐山一帶林地為太魯閣林場
昭和 18 年(1943)10 月	太魯閣林場開始建立山地運輸系統，以帕托魯山為主要對象，規模頗巨
昭和 19 年(1944)04 月	東臺灣電力株式會社建立霧發電廠
昭和 19 年(1944)08 月 14 日	立霧發電廠引水設備被颱風所毀，主流攔河壩全部流失，廠房附近河谷淤高 8 公尺，全廠區淪為荒谷
昭和 20 年(1945)07 月	太魯閣林場開始出材
光復後	
民國 36 年(1947)	太魯閣林場歸併太平山林場，成立為太魯閣分場
民國 37 年(1948)01 月	成立太魯閣林場，脫離太平山林場，作業區域包括研海與木瓜山二事業區
民國 39 年(1950)08 月	台電立霧工程處成立
民國 40 年(1951)	重建立霧發電廠，開始運轉
民國 41 年(1952)08 月	立霧電廠工程完竣
民國 42 年(1953)	立霧電廠建設完成
民國 43 年(1954) 06 月 12 日	立霧水力發電所竣工
民國 43 年(1954)	立霧電廠第二機組增加工程
民國 45 年(1956)07 月 07 日	東西橫貫公路在太魯閣正式開工
民國 46 年(1957)10 月 08 日	中橫主線東段太魯閣至錐麓段通車
民國 47 年(1957)04 月 19 日	中橫主線東段天祥至文山段通車

民國 47 年(1958)12 月 26 日	中橫主線東段文山至洛韶段通車
民國 53 年(1964)02 月	改建立霧攔河壩及進水口
民國 54 年(1965)12 月 25 日	立霧電廠尖峰工程竣工，將溪畔壩加裝閘門，形成調整池式水力發電廠。
民國 64 年(1975)05 月	太魯閣至天祥中橫路段改鋪設高級路面
民國 65 年(1976)07 月 02 日	林務局奉經濟部核准增撥立霧溪事業區九個林班面積 5,490 公頃予退輔會森林開發處經營，成立立霧溪工作區
民國 65 年(1976)12 月	森林開發處成立立霧工作區，進行伐木運材
民國 75 年(1986)11 月 28 日	太魯閣國家公園正式成立

流域內重要自然災害事件：

昭和 19 年(1944)08 月 14 日	強烈颱風來襲，立霧發電廠引水設備被颱風所毀、道路受損
民國 40 年(1951)10 月	花蓮大地震，立霧溪中下游因山崩形成四個堰止湖，最大的一個堤堰高達 73 公尺，所成湖泊的水面伸展至合流附近，總水量約 500 萬立方公尺
民國 41 年(1952)08 月 06 日	花蓮四級地震，震央在新城立霧山
民國 46 年(1957)02 月 24 日	花蓮發生五級強震，震央在大清水附近，中橫東段合流工程區損害嚴重
民國 47 年(1958)07 月 15 日	溫妮颱風來襲，中橫東段及立霧發電所均遭受嚴重災害
民國 48 年(1959)08 月 29 日	瓊安颱風來襲，中橫東段嚴重受創，太魯閣至長春橋段路基被沖毀
民國 56 年(1967)11 月 18 日	吉達颱風來襲，農林及道路受災甚重
民國 68 年(1979)08 月	長春祠第一次坍方
民國 76 年(1987)07 月 06 日	長春祠第二度坍方
民國 79 年(1990)06 月 23 日	歐菲莉颱風來襲，中橫沿線多處坍方，錦文橋被沖毀
民國 79 年(1990)09 月 07 日	黛特颱風來襲，多處坍方，中橫路基流失數十處
民國 86 年(1997)08 月 29 日	安珀颱風來襲，靳珩橋被沖毀，中橫沿線坍方多達百餘處

資料來源：本表彙整自多項文獻資料。

附錄七 立霧溪水力發電大事記

昭和 18 年 05 月 01 日 (1943 年)	東臺灣電力興業株式會社收買東部電氣株式會社，合併更名東臺灣電力株式會社。(詳見 *1)
19 04	立霧發電所竣工。(詳見 *2)
19 08	立霧發電廠引水設備被颱風所毀,主流攔河壩全部落失,廠房附近河谷淤高 8 公尺,全廠區淪為荒谷。(詳見 *3)
民國 39 年 03 月 14 日 (1950 年)	台灣電力公司協理等會同中美經濟合作總署派員來花，視察立霧、銅門、清水等發電所，計劃積極修復。
39 08	立霧工程處成立(詳見 *4)
40 01 06	行政院政務委員董文琦來花蓮，視察立霧發電所復舊工程。
40 08	重建立霧發電廠工程完成，開始運轉。
40 10	花蓮大地震，立霧溪中下游因山崩形成四個堰止湖，最大的一個堤堰高達 73 公尺，所成湖泊的水面伸展至合流附近，總水量約 500 萬立方公尺。
40 12 19	橫斷中央山脈東西輸電線竣工。
41 02 17	省水利局派防洪組長劉濬業來勘察立霧天然壩。
41 08	立霧電廠工程完竣
42 04 02	美國懷特公司電機專家皮爾遜、台灣電力公司總工程師孫運璿等視察立霧、銅門發電所。
42	立霧電廠建設完成。
43	立霧電廠第二機組增加工程。
43 06 12	立霧水力發電所舉行竣工禮。
47 07 18	受溫妮颱風影響，立霧發電所及銅門發電所損害均重。
53 02	改建立霧攔河壩及進水口，溪畔壩加裝閘門。
54 12 27	台灣電力公司耗資三千二百餘萬元，歷時兩年二個月，在本縣立霧溪興建之發電所尖峰用電工程，已於今日竣工試水，定明年元月開始使用。(詳見 *5)
56 10 08	天祥地區供電系統建設，已經全部裝置完成，今日試輸順利，開始全日供電。
56 12 22	水利局舉行防洪工程技術研習討論會，於今日結束，與會工程師等，曾集體考察立霧、木瓜及壽豐等溪流，就現有設施研究利弊交換意見。
58 02 26	台灣電力公司為加強東部水資源運用，決在立霧溪興建第一、第二兩座發電廠，並在木瓜溪興建水壩，充實龍澗發電之發電量，準備工作正繼續進行。
68 08	台電進行「溪畔計畫」施工準備工程，開發施工道路計 35 公里。(詳見 *6)
75	太魯閣國家公園正式成立，經濟部中止溪畔發電計畫。(詳見 *7)

資料來源：整理自花蓮縣志稿卷首一大事記、增補大事記、大事記續篇

(*1)日據時期之立霧發電所(溪畔、砂卡礑壩)：1942~1944

東臺灣河川水量豐沛、坡陡而落差大，所蘊藏的水力甚為可觀。1938 年初遞信省聲明獎勵東部自營發電，1938 年即有日本鋁業株式會社申請開發木瓜溪水電。遞信省核准由東部電力企業花蓮港電氣株式會社開發，開發資金則由日本鋁業株式會社供應。隨著東部水力開發的機會成熟，如日本橡膠、關東水電、日本鹼業、鹽水港製糖、東邦金屬、朝鮮化學、東洋化學等七家會社皆申請自家發電，特別以立霧溪為中心競相申請。而遞信省亦認為東部與西部之水力電源被中央山脈所阻隔，因此決定東部單獨開發。1938 年秋，勸誘上列七社與日本鋁業株式會社聯合經營東部水力開發。

之後日本橡膠、關東水電、日本鹼業三社退出，由剩餘五會社進行協議，於 1939 年 6 月 5 日協定成立東臺灣電力興業株式會社，而開發目標為立霧第一(3 萬瓩)、立霧第二(6 萬瓩)、木瓜溪(3 萬瓩)。開發費用依 1943 年之計算，東臺灣每瓩之建設費合 400 日圓，西臺灣則合 600 餘日圓，日本國內則為 800 日圓左右。每瓩之成本，東臺灣僅合日金 4 錢，較西臺灣及日本均為低廉。其後花蓮港電氣株式會社改稱東部電氣株式會社，於 1943 年 5 月 1 日出賣與東臺灣電力興業株式會社，並改社名為東臺灣電力株式會社。

1944 年由於戰爭情勢不佳，臺灣電力株式會社有意統一臺灣電業東西兩大系統，而東臺灣電力株式會社之電源開發第一期計劃完成在即，但該會社股東卻未能配合其電源開發，使立霧第一發電廠之 30,000KW 發電量過半未能消費，不得不放流於太平洋。1944 年 8 月 1 日，東臺灣電力株式會社終合併於臺灣電力株式會社。而立霧第一發電所毀於 1944 年 8 月 14 日颱風帶來的洪水。

除了上述的立霧電廠之外，在 1941 年太平洋戰爭後，臺灣總督府為誘導工業之設立與振興及配合軍需，提出「電源開發十年計劃」，在「東部方面電源開發計劃」之第二階段計劃中預定在立霧溪下游建設二座發電所，預定在 1942 年上半年完成立霧第一發電所後再於 1943 年完成立霧第二發電所，第三階段計劃中預定於 1943 年下半年完成立霧第三發電所。但實際建設完成者僅有立霧第一發電所，因建設成本較預算為高，且預定消費發電所電力的工廠也未見興建(僅一部份電力供日本鋁業使用)，因此立霧第二發電所並未著手興建，立霧第三發電所則因太平洋戰爭後期日軍戰事失利而未興建。

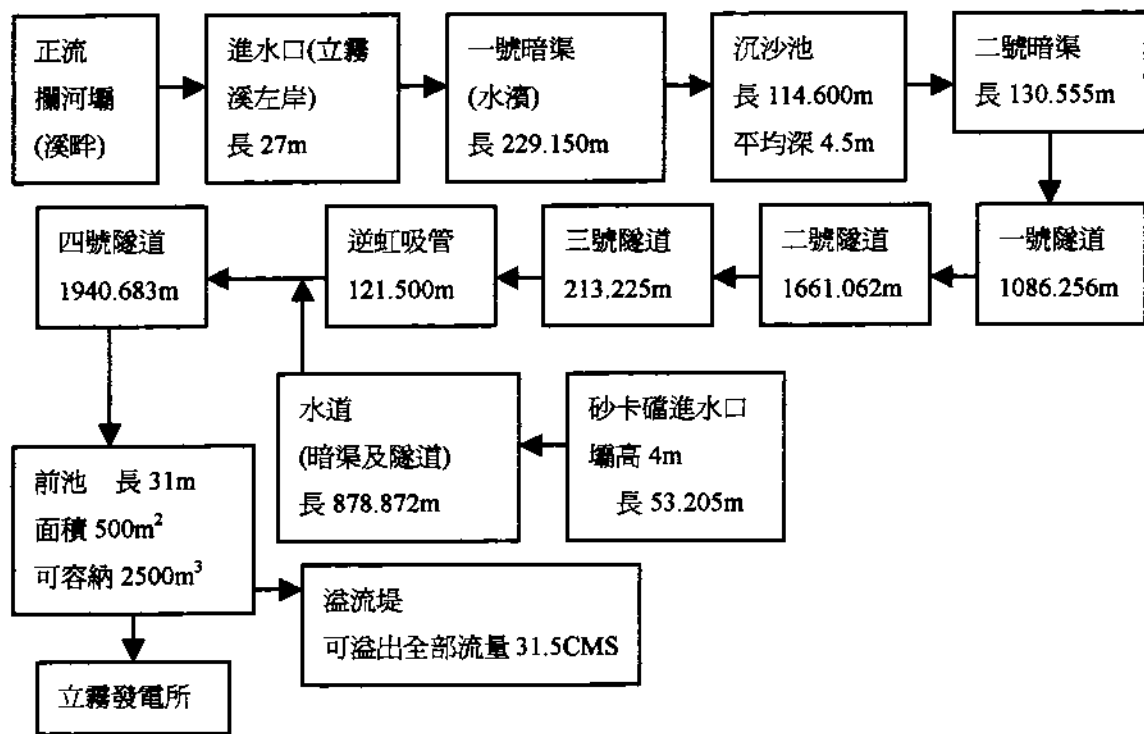
臺灣總督府電源十年開發計劃：立霧溪

發電所	發電方式	水路長(m)	有效落差(m)	平均用水量(CMS)	最大用水量(CMS)	平均發電量(KW)	最大發電量(KW)
立霧第一	川流式	5937	118.5	24.40	31.50	23440	30200
立霧第二	川流式	11000	295.0	19.50	25.03	46600	60000
立霧第三	川流式	5800	390.0	8.70	11.06	26950	34800

(*2) 立霧(第一)發電所的硬體設施與引水量
(運作方式參見附圖一)

立霧發電所自 1941 年初開工，至 1944 年 4 月完工，歷時 3 年 4 月。發電所位於花蓮港北約 20 餘公里(公路距離 26 公里，送電線距離 18 公里)之立霧溪上，廠房位於當時蘇花公路達梓里橋(今錦文橋)下游約 500 公尺。

發電所引用立霧溪及其支流砂卡礑溪之水流，分別設有攔河壩、進水口及引水道。合計引用流量，最大 31.5 秒/立方公尺(立霧溪主流 28.4 秒/立方公尺，支流砂卡礑溪 3.1 秒/立方公尺)，最小 13.0 秒/立方公尺(立霧溪主流 11.8 秒/立方公尺、支流砂卡礑溪 1.2



資料來源：整理自朱書麟(1952)

附圖一 立霧發電所運作模式

秒/立方公尺)，有效落差 118.5 公尺(相當 $Q=31.5$ 秒/立方公尺)至 11.93 公尺。

正流攔河壩設於溪畔，設計洪水位為 167.150 公尺，壩頂標高 156.30 公尺(即進水口之水位)，壩底標高 149.50 公尺。壩身為溢流型混凝土建築物，上游垂直，頂部寬 4 公尺，下游面平均坡度 1:2.2，底部全寬 17.4 公尺，壩軸長度 45 公尺。壩基為河床沉積物及砂礫層。壩內包容一塊其體積約達 1000 立方公尺、重約 2400 公噸的巨大滾石。進水口緊鄰壩上游側之北岸(左岸)。

砂卡礑引水線壩高 4 公尺，長 53.205 公尺，進水口在壩上游左岸，下接高 1.76 公尺、寬 1.6 公尺之水道(暗渠及隧道)878.872 公尺；至逆虹管之下游，接入正流之隧道。前池貯水池面積約 500 立方公尺，可容納水量約 2500 立方公尺。池測有溢流堤，可溢出全部流量 31.5 秒/立方公尺。廠房設於本溪東岸(左岸)，以岩基為基礎，長 28.8 公尺，寬 20.3 公尺。發電所 15100 瓩設備一組在 1944 年 4 月完成後，因水量豐富，機械效能良好，常發足 15000 瓩。至 8 月遭遇洪水，摧毀引水設備，尾水道亦被埋。

(*3) 立霧(第一)發電所的損毀

立霧發電所被毀於 1944 年 8 月 14 日颱風帶來的洪水，洪水流量據推測約達每秒 20000 立方公尺，大於設計最大洪水量約 4 倍。洪水一舉沖去由 4000 餘立方公尺的混凝土，及一單獨體積 1000 立方公尺左右之大石所構成之攔河壩。進水口亦大部被毀，一號暗渠損失 100 餘公尺，沉沙池全部淤滿。二號暗渠側、底及頂部均破損，進水口區河床降低 1.2 公尺乃至 5.6 公尺不等，主隧道內淤積土砂約 20000 立方公尺，沿河公路、橋樑均損毀嚴重。下游在發電廠廠房附近，則被所挾帶之沙石一次淤高 4 公尺，估計洪水帶來淤積在下游地區的物質約達 1000 萬立方公尺以上，直接被沖入海中者尚不包括在內。

(*4) 光復後溪畔壩(川流式)、砂卡礑壩(1950~1965)

臺灣光復後，電業由臺灣電力監理委員會監理，之後成立電力接收委員會接收，並改稱為臺灣電力股份有限公司。民國 39 年 8 月立霧工程處成立，修建重力式溢流壩一座及進水口。民國 40 年修復第一部發電機，40 年 8 月立霧發電廠工程開始運轉，民國 42 年完成復舊工程(今日溪畔公路上方的立霧電廠殉職紀念碑日期民國 42 年 7 月 4 日，紀念民國 42 年因颱風造成溪畔山崩而殉職的電廠工作人員)；43 年進行立霧電廠第二組增加工程，44 年再完成第二部裝機，裝置容量達三萬二千瓩。民國 39 年起所進行之立霧電廠復舊工程內容主要如下：

1. 溪畔攔河壩進水口之興建：引用立霧溪主流的溪畔攔河壩進水口，在 1944 年遭受洪水以後，只剩壩端附著於天然岩層上之少許混凝土，進水口則只剩半壁，均需重新興建。新設攔河壩不以砂礫層為基礎，而以天然岩層為基礎。岩基經鑽探得知在水面以下 8 公尺~10 公尺深處。新壩全高約 14 公尺，壩頂標高仍為 156.30 公尺，基礎寬 22 公尺，以混凝土建造。新進水口位置略退入山壁，基礎一部依靠攔河壩在岩層上，以求穩固。進水口頂標高 160 公尺，與攔河壩之一段加高其壩頂標高至 160 公尺者相接，大水時可溢流。並增寬攔河壩之溢流段，降低壩頂洪水位。進水口前壩內開一排砂門，並將此門特別加寬至 9 公尺，以排除此一河中的巨石。進水口內設一座制水門，準備在任何情形下關閉自如。

2. 溪畔引水隧道之新建：原有接連進水口之一號暗渠，經 1944 年大水嚴重破壞後，已無利用價值。其位置在河之凹岸，受洪水劇烈沖刷，有再度被毀之危險。故決定放棄，而改在山內開鑿隧道，由進水口直接通往沉砂池，以免受洪水衝擊。

3. 砂卡礑引水建築物之整修：砂卡礑攔河壩損壞相當嚴重，其下游基礎已被淘深至水面以下 6 公尺以上。

(*5) 尖峰工程改建後溪畔壩 (1966~迄今)

立霧尖峰發電工程是將立霧電廠之原有立霧壩改建，使壩上游面構成一調整池(reservoir)，藉以調節天然流量，儲備水源，於尖峰負載時作滿載運轉而補系統容量在枯水期之不足。

立霧壩控制流域面積為 510.1 平方公里，以鄰近水文站之實測流量比算歷時 5 小時的尖峰，計算所需調整池流量為 340,000 立方公尺。為達到此項容量，需將原壩壩頂提高 1.3 公尺，新設壩面 33 公尺，並建兩端非溢流段，以利取水，護坦加長 15 公尺，以增加其安定性，並於壩頂安裝寬 8.50 公尺、高 10.7 公尺之活動閘門弧形閘門七座，用以構成上游調整池，並便於控制與調節水位，將舊壩原有之排砂道，進水口予以撤除重建之。新排砂道設有寬 6.58 公尺、高 4.17 公尺直提滾輪式排砂閘門一座。立霧尖峰工程於民國 1963 年 12 月 26 日開工，至 1965 年 12 月 25 日完成，翌日即正式蓄水，作尖峰運轉操作。

(*6) 溪畔、谷園計劃發電水壩 (1979~1980 開始，未繼續)
(預定興建水壩位置圖參見附圖二)

1. 溪畔計劃：

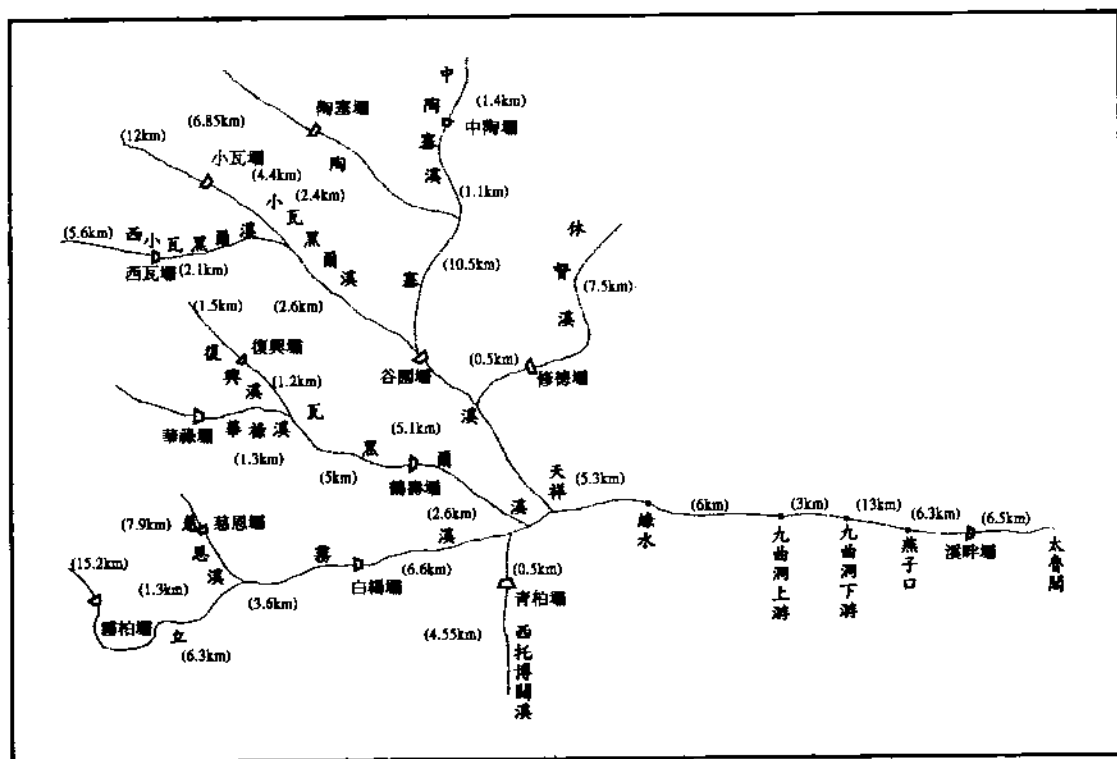
溪畔水力發電計劃在陶塞溪與小瓦黑爾溪匯流點下游約 50 公尺處，興建谷園壩一座，形成容量為 608,000 立方公尺之調整池。並在西托博閣溪、立霧溪主流及瓦黑爾溪興建青柏壩、白楊壩、鶴壽壩及修德壩(修德壩為頭水隧道上游段引水設施)，再經頭水隧道(10.5 公里長)，將水引至溪畔附近的地下電廠發電，發電後尾水放入現有立霧電廠溪畔壩的沉沙池。設計用水量為 36.8CMS，電廠裝置容量為 160,000 瓩(160 千瓩)。

壩 別	水 系	集水面積 (km ²)	設計引水量 (CMS)	壩 高 (m)
谷園壩	陶 塞 溪	147.20	36.8	57.0
青柏壩	西托博閣溪	16.20	1.50	9.5
白楊壩	立霧溪主流	159.00	16.50	23.5
鶴壽壩	瓦黑爾溪	52.10	26.05	19.7
修德壩	休 督 溪	15.00	1.40	12.5

2. 谷園計劃：

谷園水力發電計劃在立霧溪主流上游標高 1250.7 公尺處，興建霧柏壩一座，形成有效容量為 390,000 立方公尺之調整池。並在中陶塞溪、陶塞溪、小瓦黑爾溪、西小瓦黑爾溪、華祿溪、復興溪及慈恩溪興建中陶壩、陶塞壩、小瓦壩、西瓦壩、華祿壩、復興壩及慈恩壩，利用各壩匯集溪水，經導水管道引至壓力隧道(12.8 公里)，將水引至谷園地下電廠發電，發電後尾水直接導入谷園調整池中。設計用水量為 20.0CMS，電廠裝置容量為 90 千瓩。

壩 別	水 系	集水面積 (km ²)	設計引水量 (CMS)	壩 高 (m)
霧柏壩	立霧溪主流	243.00	20.00	61.5
中陶壩	中 陶 塞 溪	6.4	0.5	9
陶塞壩	陶 塞 溪	36.2	3.0	13
小瓦壩	小瓦黑爾溪	32.3	2.6	21
西瓦壩	西小瓦黑爾溪	7.2	0.6	5
華祿壩	華 祿 溪	27.7	2.3	12
復興壩	復 興 溪	11.2	1.0	8
慈恩壩	慈 恩 溪	18.6	1.5	11.5



附圖二 立霧溪「溪畔計劃」、「谷園計劃」預定興建水壩位置圖

(*7) 溪畔水力發電計畫景觀維護措施、和平溪引水規劃

民國 75 年 3 月，台電完成環境影響評估，經建會以「維護自然環境品質及資源有效利用」為由，暫緩計畫實施。台電繼續辦理「太魯閣峽谷水流切蝕及河谷沖淤研究」及「溪畔水力計畫景觀維護措施和平溪引水規劃研究」(將和平溪引水至陶塞溪，再引水至溪畔計畫谷園調整池，使天祥段立霧溪白天觀光時段維持 5.55 立方公尺/秒的調放流量)。

立霧溪溪畔水力發電計畫在實際情況下由於環保輿論之壓力，導致位於太魯閣國家公園之溪畔計畫無法核准實施，故台電傾向於選擇開發次優之和平溪碧海水力發電計畫。(蔡坤良 1995)

(*8) 原中部橫貫公路完工後所計畫的立霧溪水力開發

立霧溪水力開發，若就單位面積之水量及單位隧道長之落差而言，較大甲溪為優，惟其容砂量較大甲溪為多，且河床狹谷，非但無優良水庫地點，即適當之地面電廠亦甚難覓，是其缺點。該溪發電廠現已完成者，僅立霧發電所一處，此外立霧第二發電計畫、饅頭山計畫、梅園計畫、及大北投計畫等，均曾經勘察認為技術上尚無大問題，茲分別簡介如左：

(一) 立霧第二計畫

本計畫擬築壩址在大北投下游一五 0 公尺處，壩高二 0 公尺，長七 0 公尺，壓力隧道直徑三 六公尺，長八 七九公尺，電廠位於溪畔立霧第一沉砂池之上游，統計水頭二六九公尺，最大引水量三二秒立方公尺，裝置容量為六八、0 0 0 千瓦，據電力公司研究比較之結果，認為未來可開發水力地點中最優異計畫之一。

(二) 饅頭山計畫

本計畫擬利用立霧溪主流、隆溪、及黑爾溪三溪之水合併發電，平均引水量為七 四八秒立方公尺，有效水頭達七九一公尺，裝置容量為七六、四 0 0 千瓦。

(三) 梅園計畫

本計畫係引用大沙溪上游支流陶塞溪與小瓦黑爾溪之流水，會合後引至梅園發電所，平均引水量為六、一五秒立方公尺，有效水頭二二 0 公尺，裝置容量為一七、三 0 0 千瓦。

(四) 天祥計畫

本計畫係引用大沙溪之流水，緊接梅園發電所下游之另一發電計畫，平均引水量為七 四秒立方公尺，有效水頭二六 0 公尺，裝置容量為二三、九 0 0 千瓦。

以上所述立霧溪流域四處發電計畫連同現已完成之立霧發電所，其總計裝置容量為二一七、六 0 0 千瓦。

附錄八 日本殖民政府探勘台灣東部沙金始末

昭和 4 年(1929)，日本秋田礦山專門學校校長橫掘治三郎在大阪朝日新聞發表報告，宣稱臺灣東部從蘇澳至臺東之間，約長 236 公里、寬 2.14 公里的地帶，沙金層平均厚 30 公尺，每一立方公尺含金約 0.12 公克，總價約值四十億日圓（林朝榮 1950）。橫井對臺灣東部沙金的報導引起了日本人在臺探金的熱潮，當時臺灣總督府礦務課地質調查所技師小笠原美津雄於昭和 14 年(1939)亦前往立霧溪附近進行調查，認為「多用」(Toyon)河階地(今綠水附近)長 600 公尺、寬 600 公尺、厚 30 公尺，總共含金約一百萬兩（譚立平、魏稽生 1997）。受到小笠原美津雄之估計值的激勵，昭和 14 年(1939)~昭和 16 年(1941)間臺灣總督府礦務科地質調查所地質調查所在中央山脈各河系探勘沙金三年，成員分成六隊，僱用一千名工人。最後獲得的結論是全臺灣含金的河階僅有 104 處，但其中的 35 處分布於立霧溪，以「多用」、合歡山、奇萊山與屏風山一帶的河床沙金最豐富。

附錄九 中部橫貫公路東段闢建始末

由於中央山脈阻隔臺灣東西向的交通，為了改善臺灣東、西部間的交通，開發中央山脈及立霧、大甲、濁水溪三流域之森林、礦產與水力資源，以及其他國防、社會方面的需要，在民國 40 年起由公路局組隊分別戡測「北線」（太魯閣口~霧社）、「中線」（銅門~能高越~霧社）、「南線」（銅門~能高越~廬山），民國 41 年進行南北二線複勘後，以施工難易及水力、森林、礦產、觀光之經濟價值取捨，認為北線優於南線，決定橫貫公路採用「北線」。

民國 43 年為配合經濟開發計劃，決定以東勢至花蓮為「主線」、梨山至羅東為「支線」，加建霧社至合歡垭口之「運輸供應線」，再經取捨後決定以「臺中~關原~花蓮」線取代「霧社~關原~花蓮」線，支線則改為「臺中~宜蘭」。

民國 45 年完成全線測量工作，並於同年 7 月 7 日於太魯閣舉行開工破土典禮。

橫貫公路主線東端太魯閣至錐麓段於民國 46 年 10 月 8 日通車，太魯閣至天祥段於民國 47 年 3 月 1 日正式行駛營業客車。而在歷經數次地震、颱風的侵襲下，橫貫公路仍於在民國 49 年 5 月 9 日於主線西段谷關舉行全線通車典禮。

[註：本附錄資料摘錄自臺灣省公路局(1960)橫貫公路工程專輯]

附錄十 台電公司為進行溪畔、谷園計劃興修之施工道路

道路	位置
寧平路	自寧安橋立霧溪左岸處，沿立霧溪北岸，經溪畔至 CP5 施工橫坑，續繞行至巴達岡溪上游，至 CP4 施工橫坑。全長約 13.5 公里，路寬 3.5 公尺。
上溪路	自上溪橋至開關廠平台(布洛灣平台)及炸藥庫。全長約 2.2 公里。在國家公園管理處開發布洛灣為遊憩區後，目前為布洛灣台地與中橫上溪橋間的聯絡道路。
武嶺路	自合流岳王亭處，經合流台地，沿荖西溪向上游伸展，至 CP3 施工橫坑。全長約 4.7 公里，路寬 3.5 公尺。
文嶺路	自武嶺路約 2 公里處，沿荖西溪至 CP2 施工橫坑。長約 2.7 公里，寬約 3.5 公尺。
白楊路	自天祥隧道南口，沿塔次基里溪北岸(立霧溪主流)向上游延伸，經饅頭山東南麓、白楊瀑布，跨越塔次基里溪，順塔次基里溪南岸，經白楊壩預定地至青柏引水隧道出口。全長約 7.6 公里，路寬 2.5 公尺。
鶴壽路	自天祥隧道南口至鶴壽壩預定地，截去瓦黑爾溪口至鶯橋間的合歡越嶺古道，至薛家場下方。目前崩毀嚴重，且路徑不清。全長約 4.1 公里，路寬 3.5 公尺。
修德路	自泰山隧道至修德壩預定地前 CP1 施工橫坑。全長約 0.7 公里，路寬 3.5 公尺。

資料來源：彙整自台電公司(1982, 1984, 1986)

附錄十一 立霧溪流域主要林道

林道	位 置
和平林道支線	和平林道支線為退輔會森林開發處(現為森林保育處)開發立霧溪事業區 22、23、29、30、33、34、35 林班地的運材道路。自和平起入山，經二子山至比林山鞍部，長約 60 公里。在立霧溪流域內，有和平林道 910、911、912、914 支線。 910 林道由比林山鞍部沿二子山往朝墩山至砂山稜線，全長約 11 公里，分出三條支線、911 林道在 910 林道 3 公里處分歧，長約 7 公里、912 林道在 910 林道起點分歧，長 1.4 公里、914 林道在 910 林道 5 公里處分歧，長約 1 公里。
研海林道	研海林道為退輔會森林開發處(現為森林保育處)開發立霧溪事業區第 78、81、82 林班林地所關設的林道。 自合流岳王亭，經兩段索道後，上升至海拔 1200 公尺處，再接第三段索道，上至海拔 1700 公尺處，林道繼續上升 17 公里，抵達南酬山以東、海拔 2300 公尺處。
砂卡礑林道	屬立霧溪事業區第 12、13 林班。由太魯閣口附近沿運材索道上達海拔 800 公尺處，續行 14 公里抵第二索道，再上至海拔 2100 公尺處，林道續向前行約 4 公里，全長約 18 公里，路寬 3.5~5 公尺。

附錄十二 立霧溪河口扇洲之變化

一、立霧溪河口概況

立霧溪河口扇洲為圓弧狀三角洲，河中洲散佈河床，水流呈網流形態。河口段坡度陡，形成向外開展的沙礫質河床，其水路紊亂，沙洲常有變動，出谷口後，主流向 SEE 方入海，沙礫自平口線向外海延伸約 2000m，水路改變快速且無明顯河中洲。河口地區的夏季水流仍以 SEE 方向為主，直流入海；颱風期後，因海岸有相反方向的波浪向 NWW 方向直接侵襲河口，使直流入海的出口產生明顯變化。如 1994 年 9 月初葛拉絲颱風的強烈波浪，將河口沙洲外緣礫石掀起成 20° 以上的濱堤，造成 N-S 向的沙洲壩橫阻河口出水路，甚至使主要水路轉為 SW 向出海。冬季枯水期，河川水流營減小，而海岸營力增強致河口地區近左岸的各條水流均成為分流，主要出水路受東北盛行風浪的驅使偏向右岸；波浪之強，可由 40° 70° 的陡濱堤得知，而 N45° E 走向的濱堤，使水路轉為 S 向入海。夏季豐水期形成約 20m 的出水寬度，至冬季縮為 10m 束流切割河口沙洲，形成約 2m 高的崖坡，洪枯水位的差異每次約可堆積出 40cm 厚的礫石層。

因此，為了解立霧溪扇洲變遷過程與營力作用之情形，本研究採用不同時距的方式來呈現河口扇洲的變化歷程，並分別由各氣象事件、河水營力流能的變化與人為開發利用等向度來探討扇洲河道變遷之原因。

二、立霧溪扇洲長期變遷（1904-1989）

為探討立霧溪扇洲長期變遷過程，利用 1926 年（昭和 12 年）大日本帝國陸地測量部測繪之 1/50000 地形圖與 1954、1970、1980、1989 年聯勤總司令部測量署測繪之 1/50000 與 1/25000 等五個不同年代的地形圖，以經緯度、下游的流路形狀、河流位置及高地等定點加以套疊（附圖三），作為河口地區各時期演變比對，瞭解河口扇洲河道之變化趨勢，並估算河口地形變化量，瞭解各時期河口堆淤能力。

表一 立霧溪歷年河口地形變化量

單位：m

河口	1926-1954	1954-1970	1970-1980	1980-1989	1926-1989
立霧溪	650	+275	-475	+750	-110
	(SSW)	(SE)	(SW)	(NNE)	(SWW)

註：（1）“+”為河口中點向外海延伸增長，“-”為河口向內陸縮減之大致趨勢，無+、-表示整體而言只作平行位置移動，無向內或向外增減。

（2）表中（ ）內為河口中心點主要的變動方向。

（3）表中之數據系量化地形圖套疊之河口中心點位置之變量。

整理自石再添等(1995)

立霧溪口為蘇花海岸的沖積扇三角洲，兩側山脈逼近河床，河谷下切深而陡，兩岸平口線寬約 1km，但河口流路僅約 150m 寬，三角洲上的河道顯著擺移。河口時淤時沖，中心點位置變動不大，大致作 NE-SW 平行方向的移動。河口域的堆淤能力並非穩定成長或消滅，顯示各時期堆淤能力不定，且差異不小，但整體而言，63 年間以侵蝕為多。

隨著洪枯期流量的差異、季節風的轉變及颱風的侵襲，立霧溪河口地形的年間季節變化相當明顯。就長期而言，立霧溪河口地形尚稱穩定，河口的左岸稍多侵蝕，右岸則為堆積。1904-1989 年間下游河床的流路擺移較劇，河口變動則不大，出水口則多平行沿岸移動。

三、立霧溪扇洲近期變遷 (1977-1998)

沖積扇三角洲河道變化相當豐富，其改變主要是因為洪水時河道無法負荷大量流水能而改道，另沖出新河道，也可能是河道長期積累堆積物，加高河床高度，因而溢出河道向他處發展。流路的改變，左右交替擺移並堆積，形成沖積扇洲扁圓錐體得以成形。透過近二十年來立霧溪扇洲地區之航空照片進行判讀，發現河道變化擺移河口扇洲成形的過程，似乎有一規律性，因此試著歸納出下列各階段之變化歷程，以了解河道變遷的時空特性。(附圖四)

1. 中央軸線小曲流河道 (民 66-69)：由 66-69 年航照顯示，河道呈小曲流之網流狀，流軸以河床中央為主，期間並未有太多的河道擺移現象，即曲流現象不顯著。枯水期間河床上的沙洲農作蔓延開來，由民 69 年航照發現，除了河水流道外幾乎都已經開墾農作。(代表：民 68)
2. 直流型河道(民 74-76)：民 73 年 7 月颱風 (Alex,亞力士) 直接侵襲臺灣東部，7 月上旬的平均日流量達 64.75 cms，大量河水出谷後在沖積扇三角洲沖出寬廣的直流狀水道，且河床上農作物大部分遭河水沖毀。74 年 4 月航照中仍可發現洪水期在河床上沖出的流路痕跡，可見當時氾濫地區十分廣大，而農作等土地利用有較為緩和跡象。往後幾年的河道形態多呈直流狀，而網流、曲流形態較不普遍，即使枯水期亦是。(代表：民 74)
3. 曲流型河道 (民 77-79)：民 78 年(Sarah,莎拉)颱風直接侵襲，造成的河水流量顯著增加，大水再次改變原本直流的河道形態，河道在流經鐵橋後大幅度左曲，即偏北流向左岸後入海。右岸河床受此次的事件影響較小，而左岸的河床農作幾乎全毀。隔年的航照顯示，河道下游段(鐵橋以下) 改向後，上游(扇端以下) 的河道也開始呈現彎曲現象，曲流河道形態開始發生，枯水期時並形成網流河道。之後幾年幾次的大水事件並擴大曲流河道的規模與曲度，並一直持續維持於河床中央軸線附近。(代表：民 78 年)
4. 曲流河道北移 (民 79-82)：79 年間幾次連續的颱風 (Robyn,羅賓；Dot,黛特) 與降雨事件，使原本蜿蜒在河床中央軸線的曲流重心，略約偏離至河床中央軸線左側地區。民 81 年 8 月底至 9 月中旬連續三次直襲臺灣東部的颱風(Polly,寶莉；Omar,歐瑪；Ted,泰德)，降雨累積所造成的大規模洪流更將主流河道軸線帶向沖積扇三角洲河床左岸，主要水路幾乎都沿著左岸崖邊行走，尤其從扇央到入海的下游河道區段更是明顯。水流減少後的枯水期，河道便以河床左岸為行進方向，並形成曲流與網流的河道形態。(代表：民 82 年)
5. 曲流形態擴張 (民 82-85 年)：82 年鐵橋改建工程開始進行，因此在扇央附近增加許多工程活動與導流工程。鐵橋以上之河道原本沿著左岸行走的流路，在工程開始進行後，河道行走方式有了改變，扇央以上河道由原本靠左岸的水路大幅改變成走右岸右岸水路，而期間並未有颱風與大流量事件發生，因此可能是工程的導流活動，使河道形態又有重大改變。而在沖積扇三角洲扇端附近流路又以左岸流路為主，扇央地區偏向右岸，過鐵橋後河道又大改向偏向左岸，然後直流入海，形成幾十年間規模最大的曲流形態 (代表：85 年曲流)
6. 曲流形態縮減 (民 86 至今) 民 86 颱風(Amber,安珀)東部登陸，並造成規模

很大的洪水事件，主要流路仍為蔓延河床的大曲流狀態，但河道流經鐵橋後在右岸沖出一道直流河道，扇端地區形成兩道寬廣的河道，而扇央地區河道有向左岸偏移現象，曲流形態較不明顯，形成今日河道形態的基本架構（代表：民 87）

根據以上分析可以發現，河口扇洲的河道形態由直流型、曲流型、網流交替出現，並有大幅度的擺移現象，其中洪水構成的直流河道對於沙洲河床的破壞性有明顯的影響，並因越流（overflow）改變河道位置，形成新河道；規模較小的洪水事件未必造成河道大幅變化，但卻能加寬河道，形成日後網流、曲流的主要流路。河道形態以曲流型居多，特別是在流水動能減小後，由上流曲流能動力延伸而下所構成的，其中網流現象亦併存在曲流與直流河道中。

河道中心流軸有略往北（左岸）偏移趨勢，各時期的主要流路在河口處的出海方向偏北（左岸）流出居多，其次為由河中出海，南岸出海的河道幾乎不見，顯示扇洲的流路重心以左岸為主。許民陽（1985）透過立霧溪扇洲兩側的河階發展，說明河道北移現象，認為北岸 FT3 階地受侵蝕僅留下立霧物電廠右側一塊片段，FT2 階地也遭強烈沖蝕，反觀南岸 FT2、FT3 二階地皆保持完整，階地植生茂密，甚少崩壞，可見河道遠徙已久。並認為河道北移現象係因為台島自更新世中、晚期以後，曾有中央高、南北低之不等量隆起撓曲運動，立霧溪在撓曲軸以北，因此有河道北移現象。

扇洲上進行橋樑工程而疏導流水亦會影響河道型態，河道產生偏移擺動，並改變了河水流能，流速改變後而產生曲流現象，顯示人為的干擾活動亦對河流作用有相當程度的影響。

四、立霧溪扇洲短期季節變化（2000.4-9）

立霧溪洪枯期流量的差異、季節風的轉變及颱風的侵襲，河口地形的年間季節變化相當顯著。立霧溪洪水時水流強大，流路的擺移十分顯著，河口位置也隨之變動頻繁，立霧溪河口曾在三個月內，經過一場洪水使河口北移四百公尺之遠（許民陽，1985）。本研究試著由季節變化洪枯流期之特性，透過下列之研究方法，期以發現河口沙洲的變化趨勢及特性：

1. 為了解立霧溪下游河口段河水營力與形態變遷之關係，分別於立霧溪沖積扇三角洲的扇頂、扇央、扇端測量河口斷面剖線，比較豐水期前後河口形態之變化並說明其改變的原因。
2. 為了解河口區河水營力作用的程度，分別於扇頂、扇央、扇端及濱線採集礫石作粒度分析，探討礫石大小的空間分布與河水營力之關係。剖線測量與粒度分析地點如附圖五。

（一）枯水期扇洲特性

1. 由扇頂剖面圖（附圖六）可看出，枯水期水流河道以右岸於右岸為主，寬約 20 公尺。且立霧電廠自左岸排水而下，使得河口段水路常年偏河床左岸而行。
2. 扇央剖線上可看出，枯水期水流河道仍以左岸岸邊為主要水路，河道寬約 30m，另外在中洲與右岸河床有少數網流河道。鐵橋前端有台 9 線立霧溪大橋工程，疏導流水集中於左岸河道。
3. 在扇端剖線上，枯水期流路呈漫流狀，雖然扇央的工程將河水導流至左岸，

但最終仍轉向至沖積扇三角洲中央軸線處，因此主要河道皆在河床中央。較寬的河水流路有兩道，兩者寬都在 150-200m 左右。左岸則呈現紊亂複雜網流狀，並無較寬的河道。

(二) 豐水期扇洲特性

1. 在扇頂剖線上，豐水期水流河道最寬可達 200m 以上，河中洲與右岸沙洲遭洪流大量沖刷，河床右岸階面已漸夷平。
2. 由扇央剖線圖上，豐水期水流河道依舊以河床左岸為主，河道寬約有 80m。颱風事件（89.7.9-10 啟德颱風、89.8.23-24 碧利斯颱風）洪水形成的河水營力對河床侵蝕並帶走大量沙洲沈積物，河中洲起伏狀態已不如枯水期明顯。洪水對河床的侵蝕現象以左岸主流河道兩側的沙洲最為明顯，尤其是主流右側河中洲，大量的砂石遭侵蝕搬運消失。
3. 在扇端剖線上，豐水期的洪流事件對扇端的河道的改變並不會太大，主流河道仍以河床中央地區為主，同樣形成兩道主要河道，寬約 200m。左岸形成的漫流河道規模變大，而且河中洲普遍遭侵蝕下切，整體的起伏變化較為和緩，但相對高度也下降 50cm 左右。研判河床中央偏左岸的較寬河道，洪水後河床高度相對下降，顯現河床受河水營力而下切；而另一處中央偏左岸的河道相對高度則上升，應該是沈積物堆積造成的。上述兩處河床高度變化現象，可能是因為立霧溪沖積扇三角洲的主要河道以河床左岸為主，顯示河床左岸地勢相對較低，因此洪流事件下河流營力在河床左岸的表現以侵蝕下切為主，而河床右岸則以堆積作用為主，故產生偏左河道下切、偏右堆積的現象。

(三) 河床粒徑分布說明

1. 由 4 月（枯水期）測量之粒徑分布圖顯示（附圖七），最大粒徑的點位為中央扇端，與河口堆積特性的一般概念不同，正常狀況下粒徑大小的空間分布由扇頂至濱線應該是由大至小。但此區的分布情形卻不是如此，顯示在此區的河流營力的作用具有其特殊性，洪枯水期的流量差異大，流能不穩定所致。淘選力不佳，亦是河流營力不穩造成的。
2. 由 9 月（豐水期）粒徑分布圖中可以發現，整個沖積扇三角洲河床的左岸地區與中洲地區，河流營力是較大的。以扇央來說，可以很明顯的看出左岸礫石比其他兩測點礫石的平均粒徑大，扇端則以中洲的較大。再與剖線做比對可以發現主要河道流經的地區，河床上的粒徑較其它點位大，顯現河流作用在下游沖積扇地區的搬運營力仍舊相當大。

(四) 小結

曲流流軸的關係，立霧溪在流經錦文橋後河道轉向左岸，因流軸的自然延伸轉變為基蝕坡，水路以左岸岸邊為主，並在立霧電廠附近與其排出之尾水匯流，形成下游河口區最主要的流路，尤其是枯水期流路幾乎都以左岸為主。河水長時間流經河床左岸，河水流能相對較大，由粒度分析中亦可發現左岸礫石粒徑較其他點位大，顯示左岸確實為主要流路。這也說明了河床地勢是呈現左低右高的趨勢。當豐水期的洪水事件發生時，左岸河流營力相對較大，對於左岸崖坡的侵蝕狀況，是否影響當地聚落、公路之地基，值得注意。

在河床各點所做的粒度分析中發現，扇頂至扇端的淘選度都很差，尤其在扇端中央位置的淘選度是最差等級的，顯現洪枯水期的河水流能相當不穩定。同時

也發現此區巨礫的分布相當普遍，相對於左右兩岸又更為顯著，因此，當水流能達最大能量時，在扇端所行的水路應以河中央為主；至於扇央的最大礫石分布則以左岸地區為主，可見最大的河水流能所行經路線為左岸區段，同樣的情形也發生在扇頂地區。

立霧溪扇洲上的台 9 線新橋樑工程，在河床上進行疏導流水而改變河道，造成河水流能在河床上作用力的改變，河水流能動力改變，侵蝕與堆積作用交互形成，曲流型態有逐漸擴大趨勢。

在扇端剖線與其粒徑分析上，顯示兩次調查期間的變化有十分顯著之差異，發現扇端河床右岸有顯著堆積現象，左岸與河中央則有顯著侵蝕下切，期間經歷了兩次颱風（啟德與碧利斯）侵襲，河水營力有明顯的增加，加上工程的進行，雙重變數加乘下，造成大規模的形態變動。

五、結論

就長期而言，立霧溪河口地形尚稱穩定，河口的左岸稍多侵蝕，右岸則為堆積。1926-1989 年間下游河床的流路擺移較劇，河口變動則不大，出水口則多平行沿岸移動。河口扇洲上堆淤情況並不穩定，各時期的堆積量與向海延伸增長量差異很大，但整體而言 63 年間以侵蝕為多。

根據近二十年的航照分析可以發現，河口扇洲的河道形態由直流型、曲流型、網流交替出現，並有大幅度的擺移現象，其中洪水構成的直流河道對於沙洲河床的破壞性有明顯的影響。河道形態以曲流型居多，其中網流現象亦併存在曲流與直流河道中。河道中心流軸有略往北（左岸）偏移趨勢，各時期的主要流路在河口處的出海方向偏北（左岸）流出居多，其次為由河中出海，南岸出海的河道幾乎不見，顯示扇洲的流路重心以左岸為主。許民陽（1985）透過立霧溪扇洲兩側的河階發展，亦認為河道北移現象，係因台島自更新世中、晚期以後，曾有中央高、南北低之不等量隆起撓曲運動，立霧溪在撓曲軸以北，因此有河道北移現象。

流水經過錦文橋後水路以左岸岸邊為主，係因曲流流軸自然延伸至左岸轉變為基蝕坡，並在立霧電廠與其排出之溪水匯流，形成河口扇洲區最主要的流路。由粒度分析亦顯示左岸為主要流路。扇端中央位置淘選度最差，巨礫的分布最普遍，顯示洪枯水期的水流能相當不穩定，而水流能達最大能量時，在扇端的水路應以河中央為主；扇央與扇頂的最大粒徑分布是以左岸為主，最大河水流能水路應在左岸。

隨著洪枯期流量的差異、季節風的轉變及颱風的侵襲，立霧溪河口地形的年間季節變化相當明顯（石再添等，1995）。透過剖線與粒徑分析確實發現扇洲的年內季節性差異很大，期間經歷了兩次颱風（啟德與碧利斯）侵襲，河水營力明顯增加，加上工程進行，雙重變數加乘下，是造成形態重大變動的主因。關於人為活動之干擾方面，在扇洲上進行的橋樑工程，疏導流水可能影響河道型態，產生偏移擺動現象，改變河水流能、流速後可能會造成河道形態產生變化，增加曲流河道生成的機會。

立霧溪流域人工壩堤對地形、地質、地理景觀之影響

發行人：葉世文

計劃主持人：張瑞津

撰文：張瑞津、沈淑敏、滕肇芸

出版者：內政部營建署太魯閣國家公園管理處

地址：花蓮縣秀林鄉富世村富世 291 號

初版：中華民國八十九年十一月