計畫編號：SWCB-108-201

土砂收支關係之視覺化展示研究

Visualization Research on Sediment Budget

執 行 單 位：社團法人臺灣省水土保持技師公會

執 行 期 間：108 年 2 月 20 日至 108 年 12 月 24 日

計畫主持人 ：蔡易達 技師/博士

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 108 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

土砂收支關係之視覺化展示研究

摘要

在過去，專家學者及研究單位等常以集水區土砂收支(sediment budget)來描述土砂運移情形，但土砂量體單位無統一，而成果展示方面亦無一致標準。鑒此，考量整體集水區坡面與河道等單元，本研究根據相關文獻進行蒐集及彙整，提出特性時段樹狀土砂收支圖及地理資訊定量視覺化圖等兩種展示方法；大尺度研究採用曾文水庫集水區，而小尺度研究採用茄苳寮溪集水區做為研究區域，完成此兩處集水區之特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支關係圖。最後，提出此兩種展示方法之操作手冊，逐步說明圖形製作流程，針對其展示設定，如圖形形狀、顏色、大小等進行詳細說明與建議，供後續相關研究人員持續使用，期待得提升未來土砂收支展示方式之一致性與易讀性。

關鍵字：土砂收支、曾文水庫、茄苳寮溪

Visualization Research on Sediment Budget

Abstract

In the past, experts, scholars, and research organizations often used sediment budget to describe the movement of sediment, but the unit of sediment volume was not unified, and there was no uniform standard in the display of results. In view of this, considering the slope and watercourse areas of the catchment area, this study collects and consolidates according to relevant literature, and proposes two display methods, such as the tree-sediment budget and the quantitative information visualization map of the characteristic period; The watershed of Zengwen Reservoir, and the small-scale study uses the Qiaoyuxi watershed as the research area, and completed the sediment budget and geographic information quantitative visualization of the sediment budget in the characteristic periods of the two watersheds. Finally, the operation manuals of these two display methods are presented, and the graphics production process is explained step by step. The display settings, such as the shape, color, and size of the graphics, are explained and recommended in detail for subsequent use by related researchers. Consistency and legibility of income and expenditure display.

Keywords: Sediment Budget, Zengwen Reservoir, Jia-Dong-Liao Creek

目錄

摘要 I

Abstract II

目錄 III

表目錄 V

圖目錄 VI

第一章　前言 1-1

第一節　計畫緣由 1-1

第二節　研究目標 1-1

第三節　預期成果 1-1

第四節　研究範圍 1-2

第五節　工作項目及內容 1-3

第六節　各階段工作成果要求 1-4

第七節　工作進度及期限 1-5

第二章　基本資料蒐集 2-1

第一節　曾文水庫集水區基本資料蒐集 2-1

第二節　茄苳寮溪集水區基本資料蒐集 2-18

第三章　相關文獻蒐集 3-1

第一節　國內相關文獻蒐集 3-1

第二節　國外相關文獻蒐集 3-2

第四章　綜整土砂收支關係成果 4-1

第一節　綜整相關文獻分析 4-1

第二節　綜整土砂收支關係成果 4-1

第三節　土砂收支展示方式建議 4-3

第五章　土砂收支關係展示說明 5-1

第一節　特性時段土砂收支.....5-1
第二節　地理資訊定量視覺化土砂收支.....5-6
第六章　結論與建議.....6-1
第一節　結論.....6-1
第二節　建議.....6-1
參考文獻.....參-1

附錄.....附錄-1
附錄一　歷次審查意見及處理情形.....附錄 1-1
附錄二　土砂收支關係之視覺化展示操作手冊.....附錄 2-1

表目錄

表 1-1　本研究執行進度表.....1-5
表 2-1　曾文水庫集水區高程所佔面積及比例統計表.....2-2
表 2-2　曾文水庫集水區坡度所佔面積及比例統計表.....2-2
表 2-3　曾文水庫集水區坡向所佔面積及比例統計表.....2-3
表 2-4　曾文水庫集水區地質所佔面積及比例統計表.....2-3
表 2-5　曾文水庫集水區土地利用面積統計表.....2-11
表 2-6　曾文水庫集水區各子集水區崩塌面積分布與其崩塌率.....2-14
表 2-7　曾文水庫集水區 1996 年至 2017 年災害事件一覽.....2-14
表 2-8　曾文水庫水庫集水區 98 年至 108 年各年度工程統計表.....2-17
表 2-9　茄苳寮溪集水區內各里人口分佈統計表.....2-19
表 2-10　茄苳寮溪集水區高程統計表.....2-20
表 2-11　茄苳寮溪集水區坡度統計表.....2-21
表 2-12　茄苳寮溪集水區坡向統計表.....2-22
表 2-13　茄苳寮溪集水區地層名稱與組成.....2-22
表 2-14　茄苳寮溪集水區土地利用分布統計表.....2-25
表 2-15　茄苳寮溪集水區歷年崩塌地及植生復育分析表.....2-26
表 2-16　茄苳寮溪集水區 98 年至 108 年各年度工程統計表.....2-28
表 4-1　相關文獻綜合分析彙整表.....4-2
表 5-1　曾文水庫河道生產量圖例設定建議表.....5-11
表 5-2　茄苳寮溪河道生產量圖例設定建議表.....5-18

圖目錄

圖 1-1　曾文水庫集水區研究範圍圖 1-2
圖 1-2　茄苳寮溪集水區研究範圍圖 1-3
圖 1-3　本研究工作流程圖.....1-4
圖 2-1　曾文水庫集水區山坡地、國有林地、蓄水範圍圖 2-5
圖 2-2　曾文水庫集水區高程分布圖 2-6
圖 2-3　曾文水庫集水區坡度分布圖 2-7
圖 2-4　曾文水庫集水區坡向分布圖 2-8
圖 2-5　曾文水庫集水區地質分布圖 2-9
圖 2-6　曾文水庫集水區道路分布圖 2-10
圖 2-7　曾文水庫集水區歷年崩塌面積變遷趨勢圖 2-12
圖 2-8　曾文水庫集水區 2003 年~2014 年崩塌分布 2-13
圖 2-9　曾文水庫集水區 98 年至 108 年保育治理工程點位分布圖 2-16
圖 2-10　曾文水庫集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程件數統計圖…
.....2-17
圖 2-11　曾文水庫集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程經費統計圖…
.....2-17
圖 2-12　茄苳寮溪集水區地理位置圖 2-18
圖 2-13　茄苳寮溪集水區高程分布圖 2-20
圖 2-14　茄苳寮溪集水區坡度分級圖 2-21
圖 2-15　茄苳寮溪集水區坡向分級圖 2-22
圖 2-16　茄苳寮溪集水區集水區地層分布情形 2-23
圖 2-17　茄苳寮溪集水區氣象站與計畫區相對位置 2-23
圖 2-18　茄苳寮溪集水區道路交通分布圖 2-24
圖 2-19　茄苳寮溪集水區土地利用圖 2-25

圖 2-20　茄苳寮溪集水區崩塌地與植生復育變遷 2-27
圖 2-21　茄苳寮溪集水區各年度治理工程分布情形 2-27
圖 2-22　茄苳寮溪集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程件數統計圖 2-28
圖 2-23　茄苳寮溪集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程經費統計圖 2-28
圖 3-1　蘇勒橋子集水區計畫土砂收支分析圖 3-1
圖 3-2　崩坪坑溪卡玫基颱風期間土砂運移分析圖 3-2
圖 3-3　樹狀式土砂收支圖.....3-3
圖 3-4　黃河土砂收支圖.....3-3
圖 3-5　箭頭式土砂收支示意圖 3-4
圖 3-6　海潮影響沉積物之土砂收支示意圖 3-5
圖 3-7　*Lower River* 土砂收支分析圖 3-5
圖 4-1　改良式樹狀圖示意模型 4-4
圖 4-3　圖層唯一值*(Unique Values)*展示方式.....4-6
圖 4-4　圖層漸層色*(Graduated Colors)*展示方式 4-6
圖 4-5　圖層漸層圖徵*(Graduated Symbols)*展示方式 4-7
圖 4-6　圖層點密度圖*(Dot Density)*展示方式 4-7
圖 4-7　圖層圓餅圖*(Pie)*展示方式 4-8
圖 4-8　圖層直條圖*(Bar/Column)*展示方式.....4-8
圖 5-1　曾文水庫子集水區與河道分布圖 5-2
圖 5-2　曾文水庫子集水區與河道樹狀圖 5-3
圖 5-3　曾文水庫集水區特性時段樹狀土砂收支圖 5-3
圖 5-4　茄苳寮溪子集水區與河道分布圖 5-4
圖 5-5　茄苳寮溪子集水區與河道樹狀圖 5-5
圖 5-6　茄苳寮溪集水區特性時段樹狀土砂收支圖 5-5

圖 5-7　曾文水庫子集水區圖層建立示意圖 5-6
圖 5-8　曾文水庫子集水區圖層欄位新增示意圖 5-7
圖 5-9　曾文水庫集水區各期崩塌土砂量直條圖設定示意圖 5-7
圖 5-10　曾文水庫子集水區各期崩塌土方分布示意圖 5-8
圖 5-11　曾文水庫集水區河道分布示意圖.....5-8
圖 5-12　曾文水庫集水區河道圖層欄位新增示意圖 5-9
圖 5-13　曾文水庫河道泥砂生產量設定示意圖 5-10
圖 5-14　曾文水庫河道泥砂生產量分布示意圖 5-10
圖 5-15　曾文水庫土砂收支示意圖 5-11
圖 5-16　曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化土砂收支分布圖 5-12
圖 5-17　茄苳寮溪子集水區圖層建立示意圖 5-13
圖 5-18　茄苳寮溪子集水區圖層欄位新增示意圖 5-14
圖 5-19　茄苳寮溪各期崩塌土砂量直條圖設定示意圖 5-14
圖 5-20　茄苳寮溪子集水區各期崩塌土方分布示意圖 5-15
圖 5-21　茄苳寮溪集水區河道分布示意圖 5-15
圖 5-22　茄苳寮溪集水區河道圖層欄位新增示意圖 5-16
圖 5-23　茄苳寮溪河道泥砂生產量設定示意圖 5-17
圖 5-24　茄苳寮溪河道泥砂生產量分布示意圖 5-17
圖 5-25　茄苳寮溪集水區土砂收支示意圖 5-18
圖 5-26　茄苳寮溪集水區地理資訊定量視覺化土砂收支分布圖 5-19

第一章　前言

第一節　計畫緣由

在過去，相關專家學者及研究單位等常以集水區土砂收支*(sediment budget)*來描述土砂運移情形。土砂收支可以顯示集水區內泥砂的侵蝕、運移及堆積等因子之間的關係，其為集水區內沖積物之產生、移動、貯存等連續過程的預算平衡表*(Ritter et al.,1995)*。土砂運動的過程中包含侵蝕、運移與堆積三種，因而有所謂土砂收支的概念出現(李建堂，1999)。惟土砂收支與集水區內各個野溪、水系、坡面(空間)以及不同時期(時間)之土砂收支量體有關，相當複雜。另外，使用之土砂量體單位無統一，在成果展示方面亦無一致的標準，鑒此，考量整體集水區坡面與河道等單元，本研究運用地理資訊系統展示各計畫區間之土砂流失量、推積量、生產量等土砂量，並研擬多時期土砂收支視覺化展示方式，以清楚表示集水區土砂時間與空間分布狀況，供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

第二節　研究目標

本研究藉由既有相關多時期集水區土砂收支研究成果，考量集水區、河段或坡面等重要節點間視覺化展示之不同呈現方式，研擬土砂收支於「表」及「圖」之規格化展示方式，並藉由地理資訊系統或其他空間軟體展示集水區土砂流失量、堆積量、生產量等於時、空之變動狀態，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

第三節　預期成果

一、完成特性時段土砂收支關係圖，藉由簡易圖形化表達特定之土砂量體，可以清楚呈現土砂空間分布之狀態。

二、完成地理資訊定量視覺化土砂收支關係圖，藉由地理資訊系統，可直觀展示土砂空間分布的狀況，並配合統計圖表方式套匯在圖形上，可

更清楚呈現土砂時間與空間之分布狀況。

三、土砂收支呈現之改良式樹狀圖與地理資訊定量視覺化圖，將製作過程詳實記錄並建立操作手冊，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

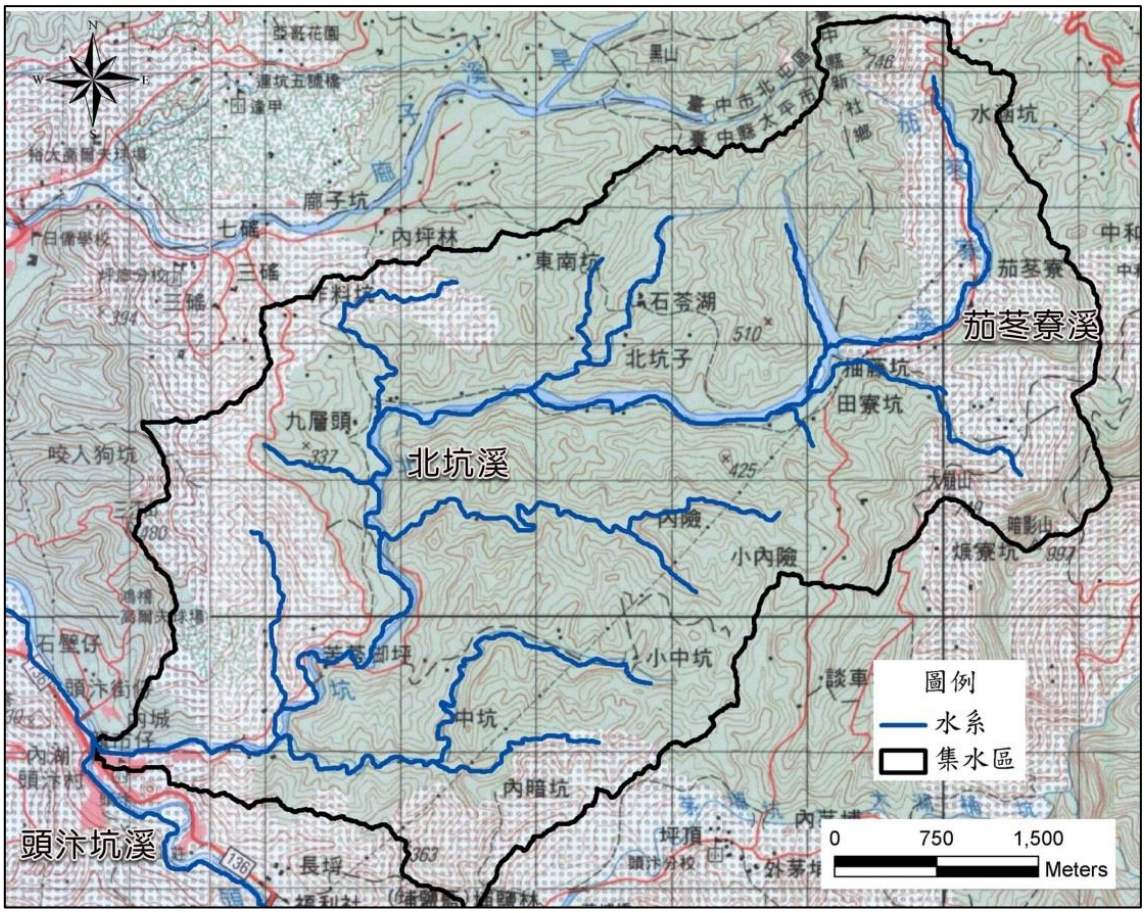
第四節　研究範圍

本研究將分別選擇大、小尺度集水區作為研究範例，大尺度以曾文水庫集水區作為研究區域；小尺度集水區則為一般水土保持局治理範圍以茄苳寮溪為例，其研究範圍分別如圖 1-1 與圖 1-2 所示。



資料來源：本研究繪製

圖 1-1　曾文水庫集水區研究範圍圖



資料來源：本研究繪製

圖 1-2　茄苳寮溪集水區研究範圍圖

第五節　工作項目及內容

依本研究目標擬定主要工作項目如下：

一、基本資料蒐集：將以曾文水庫與茄苳寮溪集水區為範例，蒐集相關基本資料，並以既有分析之坡面土砂流失量、殘留量與泥砂生產量，呈現集水區特定土砂量與多期土砂收支視覺化展示。

二、相關文獻蒐集：蒐集多篇國內、外相關土砂收支分析結果之呈現方式，並分析圖形與表格呈現之特點，作為後續綜整土砂收支關係之基礎資料。

三、綜整土砂收支關係成果：本研究將針對相關文獻中土砂收支的呈現方式進行綜整，針對特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支其重點呈現部分說明及建議

四、土砂收支關係展示說明：綜整前述土砂收支關係成果，本研究建議之土砂收支呈現之改良式樹狀圖與地理資訊定量視覺化圖，將製作過程詳實記錄之，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

依本研究之工作項目與內容擬定工作流程，如圖 1-3 所示。

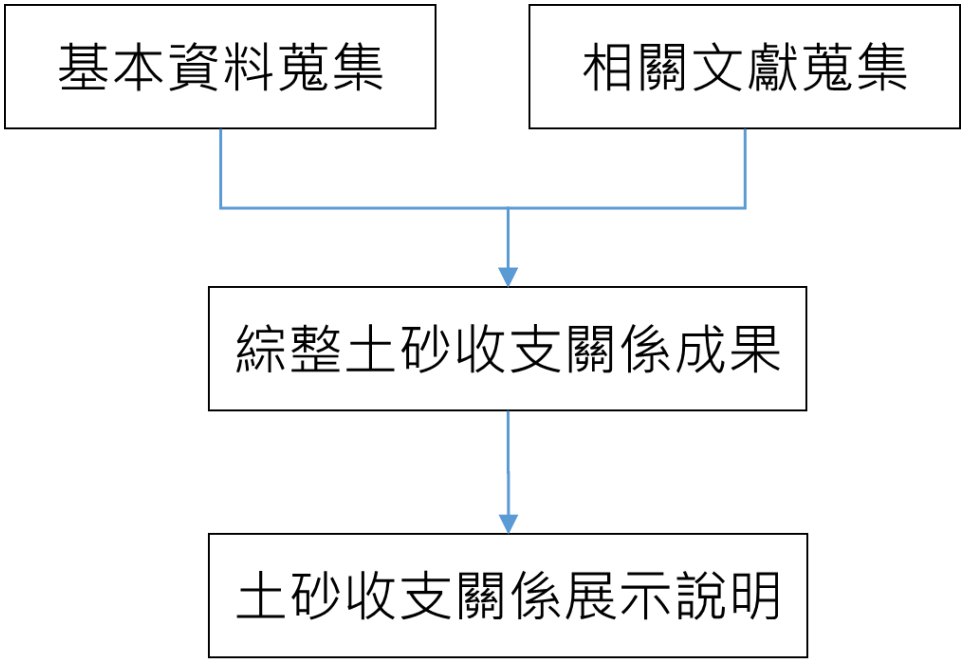


圖 1-3　本研究工作流程圖

第六節　各階段工作成果要求

本研究各階段工作成果要求說明如下：

一、期初報告：期初採會議方式審查，於核定文到達 20 日內函送工作執行計畫書 10 份，以利辦理審查作業。

二、期中報告：期中採書面審查，於 108 年 8 月 9 日前函送期中報告書 10 份，以利辦理審查作業。

三、期末報告：期末以聯合成果發表方式辦理審查，於 108 年 11 月 15 日前函送期末報告書 10 份，以利辦理審查作業。

四、成果報告：成果報告於 108 年 12 月 24 日前繳交成果報告，以利辦理結案作業。

第七節　工作進度及期限

本研究執行期成為 108 年 2 月 20 日至 108 年 12 月 24 日止，各工作進度預計如表 1-1 所示。

表 1-1　本研究執行進度表

期程 / 工作項目	108 年										
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
基本資料蒐集	■	■	■	■	■	■	■	■			
相關文獻蒐集	■	■	■	■	■	■	■	■			
綜整土砂收支關係成果		■	■	■	■	■	■	■	■		
土砂收支關係展示說明		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
查核點			▲期初報告				▲期中報告			▲期末報告	▲成果報告
實際進度累計百分比(%)	10	20	30	40	50	60	70				
預定進度累計百分比(%)	10	20	30	40	50	60	70	75	80	95	100

第二章　基本資料蒐集

本研究蒐集曾文水庫與茄苳寮溪集水區相關基本資料，包含集水區概況、氣象水文、道路交通、土地利用、歷年崩塌地及保育治理工程等，作為後續土砂收支模式展示分析之基礎資料。

第一節　曾文水庫集水區基本資料蒐集

本研究蒐集曾文水庫集水區地文、氣象水文、近年災害事件、歷年崩塌地與保育治理工程等相關基本資料，並以既有分析之坡面土砂流失量、殘留量與泥砂生產量，呈現流域特定土砂量與多期土砂收支視覺化展示。茲簡述如下：

一、基本資料蒐集

(一)集水區概況

1、地理位置：曾文水庫集水區範圍屬曾文溪流域上游，是由曾文溪、草山溪、二寮溪(草蘭溪)流域水系所匯集而成。其集水區位於嘉義地區水系，集水區面積達 482.4 平方公里，水庫蓄水範圍約 15.80 平方公里，如圖 2-1 所示。曾文水庫位於嘉義縣與臺南市交界的柳藤潭峽谷，行政區域分屬於嘉義縣及臺南市，大壩西南屬臺南市楠西區與東山區，水庫湖面屬嘉義縣大埔鄉，水庫上游集水區屬嘉義縣阿里山鄉。

2、人口資料：依據內政部戶政司人口資料，統計村里全區皆於集水區範圍內者，至 105 年 12 月底，總戶數共 8,172 戶，人口數共 21,969 人；番路鄉居民祖先多由福建、廣東遷此，閩南人居多，客家人次之，以水柿種植享譽全臺。大埔鄉被劃入水源特定保護區及「西拉雅風景區」範圍內，以麻竹筍產量居全臺之冠。阿里山鄉由鄒、漢、布農三族組成。

3、地文：集水區形狀由東北而西南，呈狹長袋形。流域中主要高程

落於海拔 194 公尺至 1,500 公尺間，佔全區面積的 82.9%，其中，高於海拔 1,000 公尺者有 40.4%；而坡度在五至六級坡間者，即佔全區域面積之 63%，茲就各項地文簡述如下：

(1)高程：境內最高高程為 2,612 公尺，平均高程為 954 公尺，以 500 公尺至 1,000 公尺所佔面積最多，達 37%，其次為 1,000 公尺至 1,500 公尺，佔 23.3%，其分布如表 2-1 如圖 2-2 所示。

表 2-1　曾文水庫集水區高程所佔面積及比例統計表

高程	所佔面積(km^2)	所佔比例
0~194	0.00	0.0%
194~550	108.78	22.6%
500~1,000	178.49	37.0%
1,000~1,500	112.15	23.3%
1,500~2,000	55.20	11.4%
2,000~2,500	27.28	5.7%
2,500~3,000	0.44	0.1%
總和	482.35	100%

資料來源：本研究製作

(2)坡度：坡度主要集中於 55%以上的六級坡，佔總面積 51.3%。平均度為 58%，集水區南北狹長，以東側較為陡峭，西南側較為平緩，分布如表 2-2 及圖 2-3 所示。

表 2-2　曾文水庫集水區坡度所佔面積及比例統計表

坡度	所佔面積(km^2)	所佔比例
一級坡	14.83	3.1%
二級坡	17.46	3.6%
三級坡	48.84	10.1%
四級坡	53.38	11.1%
五級坡	100.13	20.8%
六級坡	203.71	42.2%
七級坡	44.00	9.1%
總和	482.35	100%

資料來源：本研究製作

(3)坡向：計畫區集水區內之坡向分布較為均勻，以西向、西南向為主，其中以西向為多，佔總面積的 16.1%，分布如表 2-3 及圖 2-4 所示。

表 2-3　曾文水庫集水區坡向所佔面積及比例統計表

坡向	所佔面積(km^2)	所佔比例
平地	5.12	1.1%
北	51.59	10.7%
東北	45.97	9.5%
東	53.27	11.0%
東南	55.96	11.6%
南	56.91	11.8%
西南	69.48	14.4%
西	77.56	16.1%
西北	66.49	13.8%
總和	482.35	100.0%

資料來源：本研究製作

(4)地質：曾文水庫全區以長枝坑層為主，主要分布於集水區中上游段，佔全集水區之 34.2%，隘寮腳層及糖恩山砂岩層則佔次之，主要分布於集水區中下游段，分別佔全集水區之 16.6%及 16.4%，地層分布如表 2-4 及圖 2-5 所示。

表 2-4　曾文水庫集水區地質所佔面積及比例統計表

坡向	所佔面積(km^2)	所佔比例
三民頁岩	2.36	0.5%
水體	14.81	3.1%
北寮頁岩	26.91	5.6%
竹頭崎層	13.33	2.8%
沖積層	3.37	0.7%
長枝坑層	164.79	34.2%
南莊層	60.06	12.5%
紅花子層	11.95	2.5%
茅埔頁岩	4.77	1.0%
階地堆積層	5.72	1.2%

坡向	所佔面積(km^2)	所佔比例
隘寮腳層	80.27	16.6%
糖恩山砂岩	79.03	16.4%
鹽水坑頁岩	14.98	3.1%
總和	482.35	100.0%

資料來源：本研究製作

(二)氣象水文

1、雨量觀測站：曾文水庫集水區因印度洋低壓，夏季帶來豐沛雨量，嘉南平原與阿里山地區位於臺灣西部之迎風面，受中央山脈地形影響，降雨量及頻率相當高。歷年曾文集水區平均年降雨量可達2,500 毫米以上，每年 5 至 9 月的降雨量佔全年 80%以上。曾文水庫集水區現有觀測資料且較為完整之雨量站，有石磐龍、龍美、小公田、馬頭山、草嶺、民生及表湖等七站。

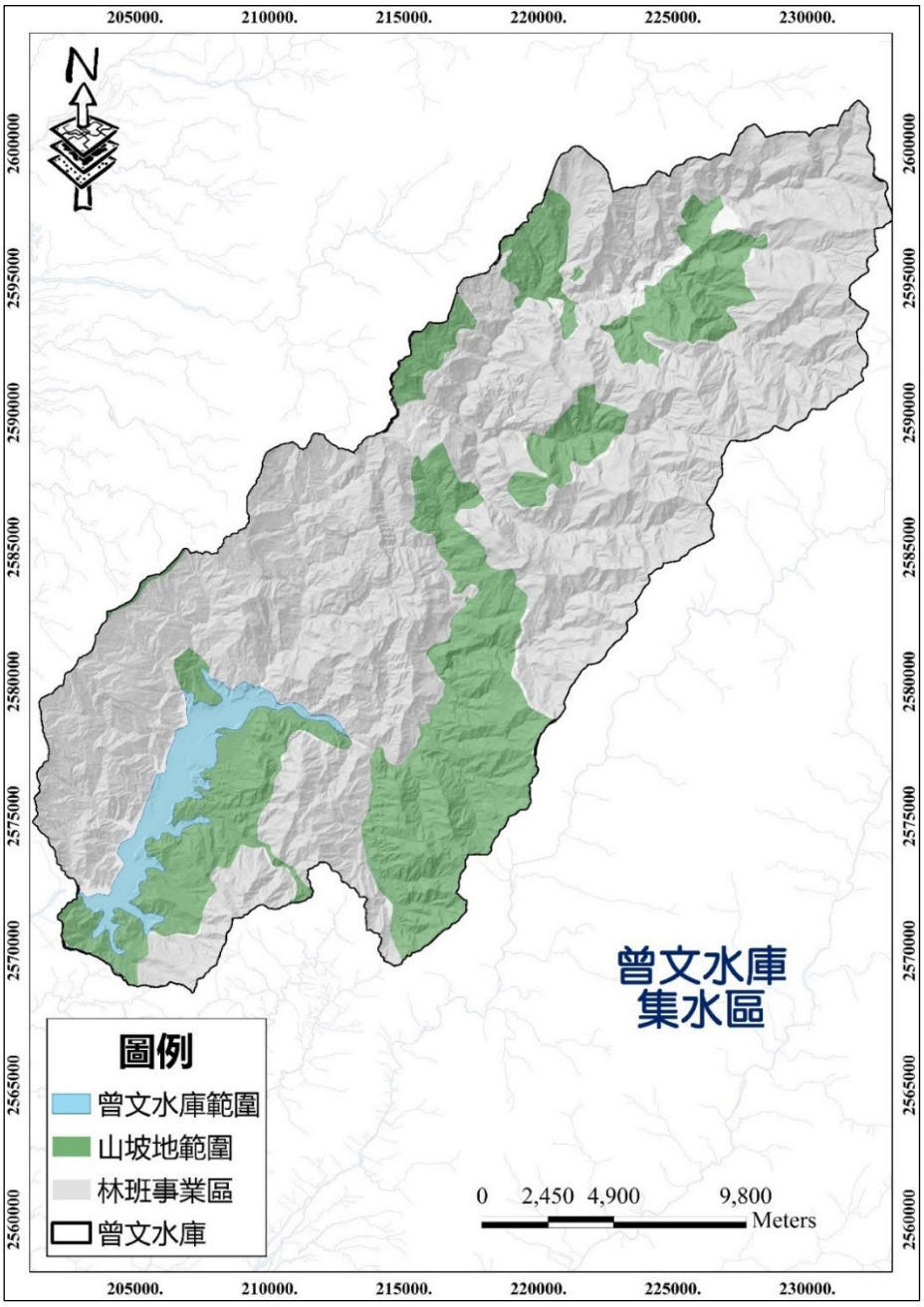
2、氣溫：由於曾文水庫集水區地處北迴歸線以南，屬於溫暖濕潤的熱帶季風氣候區，夏季長而冬季短，冬夏溫差較小，年平均溫度為 24.3℃，5 至 10 月之月均溫皆在 27.7℃以上，尤以 7、8 月 28.6℃最高，12 月至翌年 2 月間月均溫較低，平均最低溫度為 17.8℃。整體而言，山區溫度較平地低，氣溫自 5 月開始上升，8 月天氣最熱，到 10 月逐漸下降。

(三)道路交通

曾文水庫集水區以台 3 線公路為主要運輸幹線，交通便捷，另有嘉 143 縣道西接高雄市東山區，東以嘉 129、133 縣道可到達高雄市，北接嘉 131 縣道可達番路鄉。集水區東北端闢有阿里山公路臺 18 線與達邦公路在石卓會合，再沿大華公路經大湖、半天岩、菜公店往嘉義，中興公路則由石卓沿集水區邊緣至獺頭，經觸口通往嘉義。區內交通堪稱便利，惟地處山區，每逢颱風暴雨易導致土石崩坍而阻斷交通，如圖 2-6 所示。

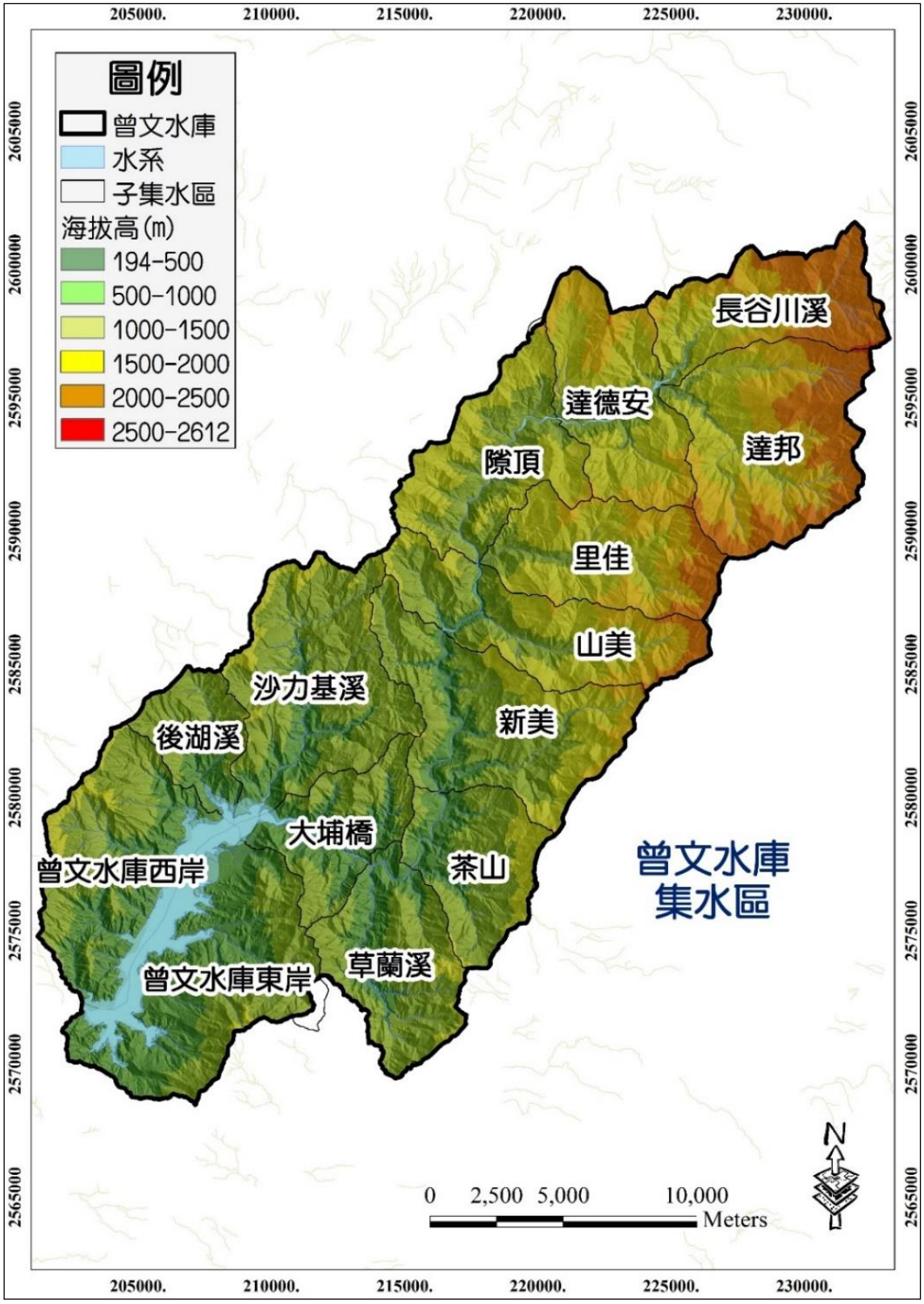
(四)土地利用

參考內政部國土測繪中心之國土利用調查資料及各期衛星影像套疊，在 2004 年至 2016 年間，土地利用變動情形較低，依據現行土地使用分區，如表 2-5 所示，人工及天然林地約佔了集水區總面積的 79.4%，其次為農牧用地，佔了 10.6%，而集水區內的水庫面積約佔了集水區面積的 3.2%。



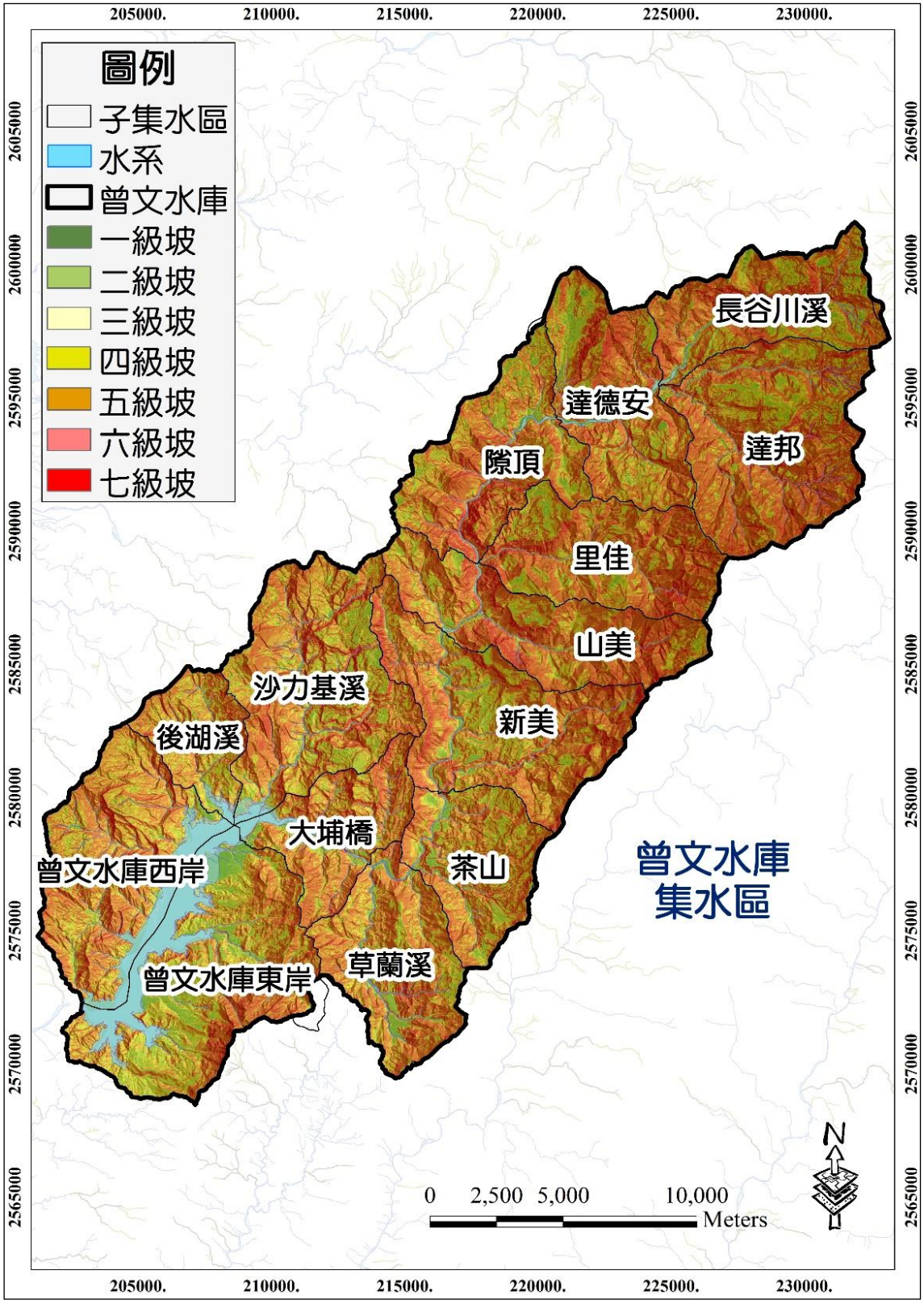
資料來源：本研究製作

圖 2-1　曾文水庫集水區山坡地、國有林地、蓄水範圍圖



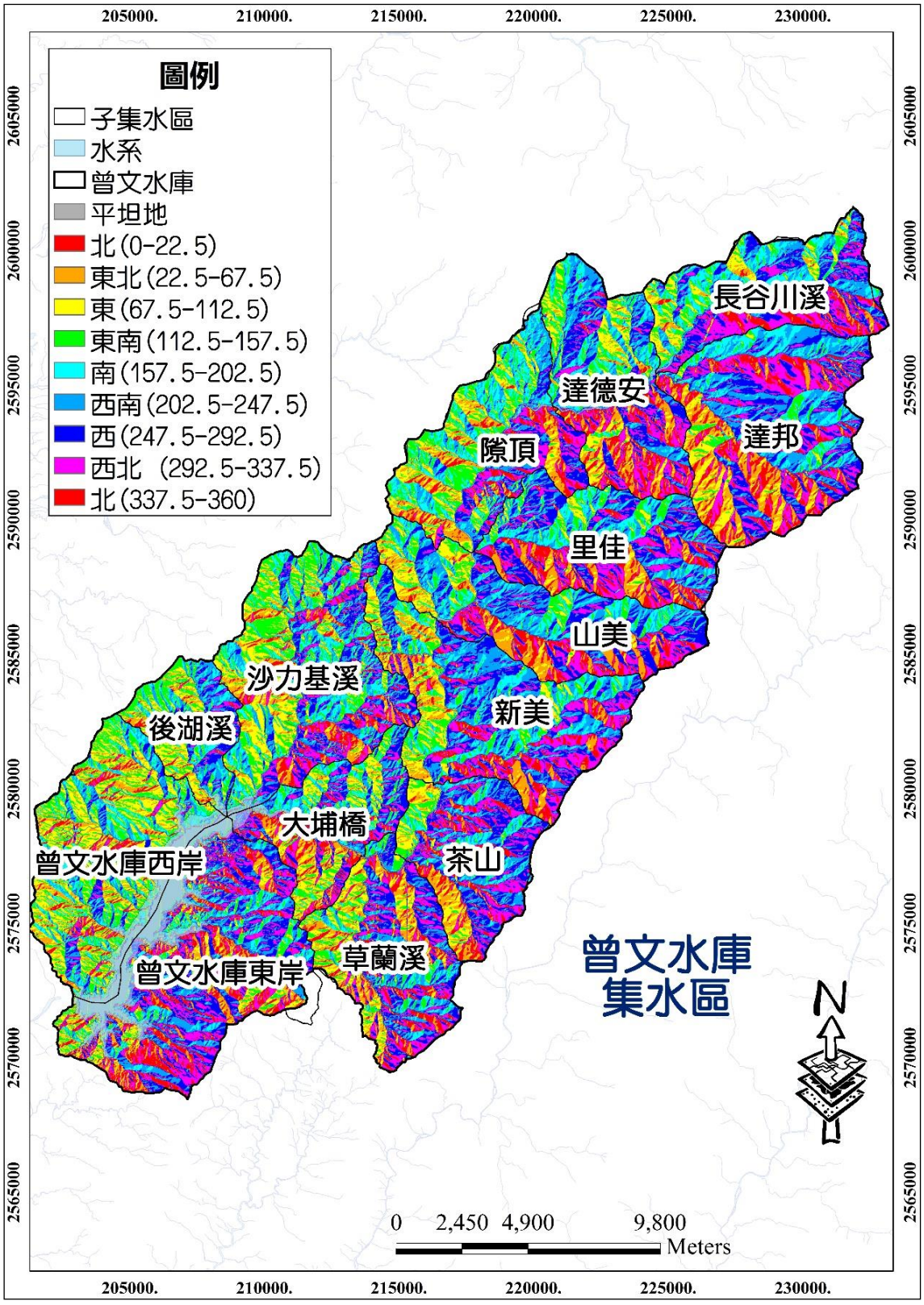
資料來源：本研究製作

圖 2-2　曾文水庫集水區高程分布圖



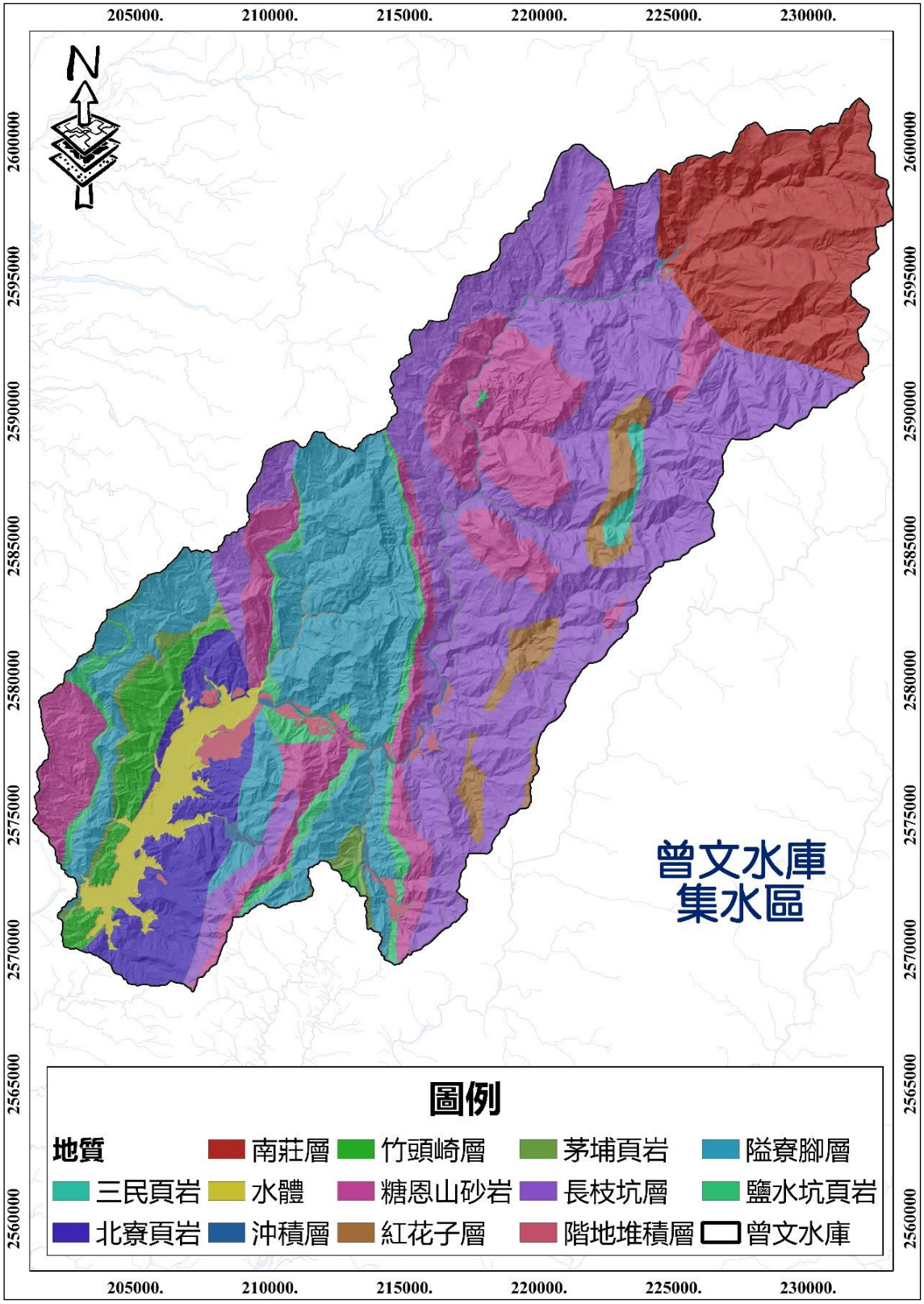
資料來源：本研究製作

圖 2-3　曾文水庫集水區坡度分布圖



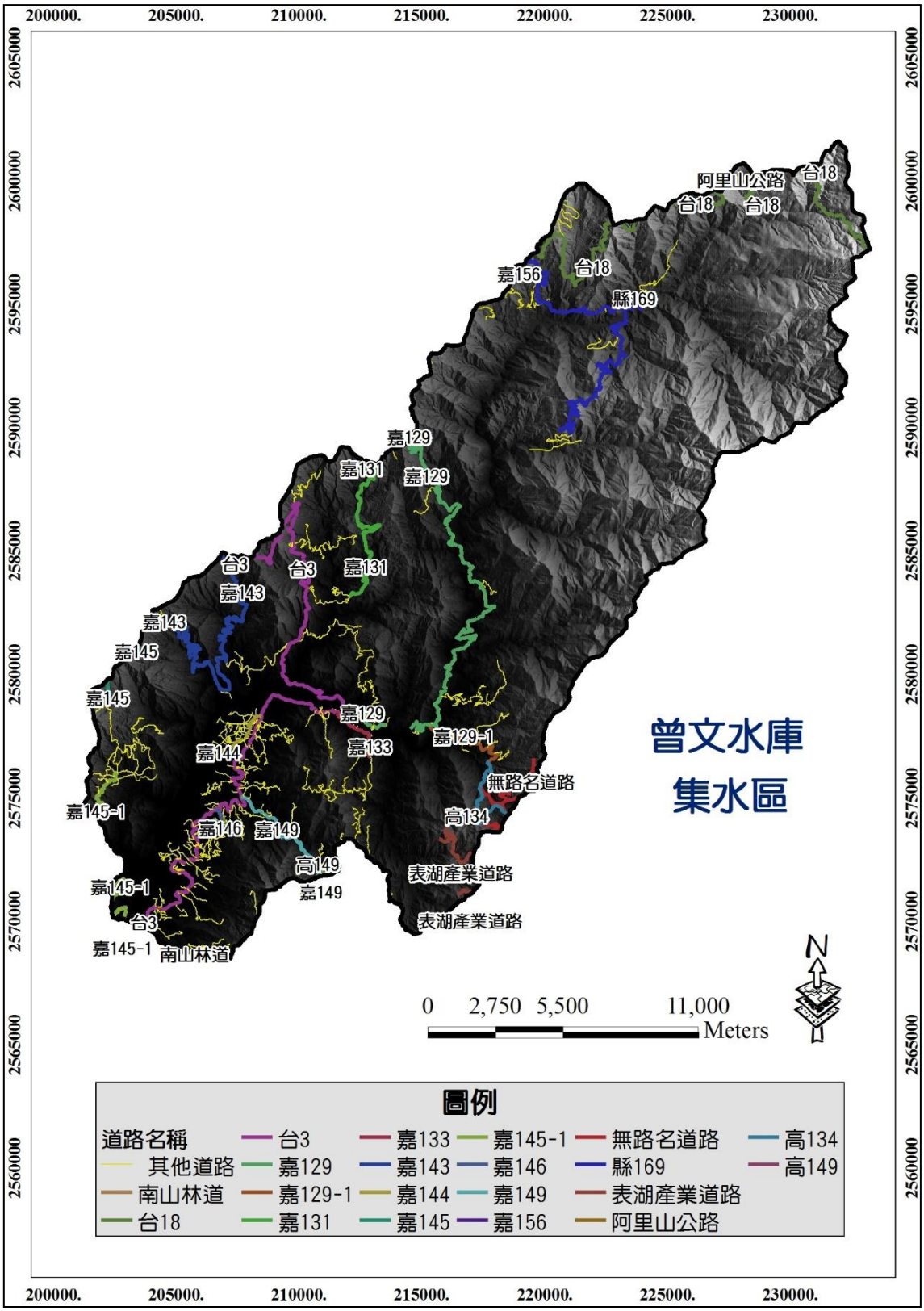
資料來源：本研究製作。註：平坦地為坡度為零之土地，無坡向

圖 2-4　曾文水庫集水區坡向分布圖



資料來源：本研究製作

圖 2-5　曾文水庫集水區地質分布圖



資料來源：本研究製作

圖 2-6　曾文水庫集水區道路分布圖

表 2-5　曾文水庫集水區土地利用面積統計表

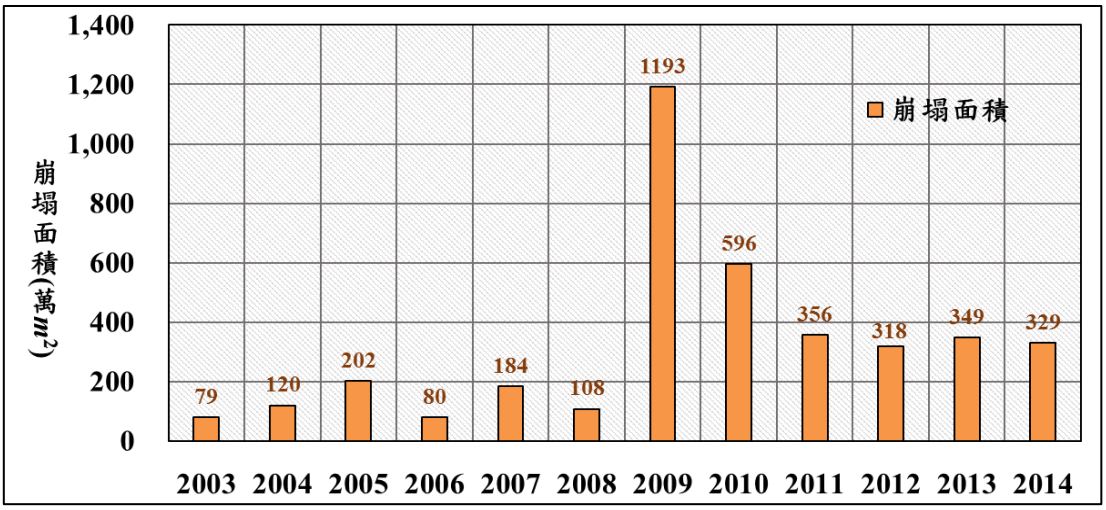
分類	細項	面積(ha)	比例	面積小計*(ha)*	比例
林地	針葉林	1447.8	2.9%	39050.4	79.4%
	闊葉林	1096.7	2.2%		
	竹林	2714.0	5.5%		
	針竹闊混合林	33791.8	68.7%		
水體	河道	514.7	1.0%	2096.2	4.3%
	水庫	1576.4	3.2%		
	湖泊	4.7	0.0%		
	水產養殖用地	0.5	0.0%		
農牧地	旱作	1936.7	3.9%	5195.2	10.6%
	果園	3250.3	6.6%		
	畜牧用地	1.0	0.0%		
	溫室	7.2	0.0%		
建築用地	住宅用地	134.8	0.3%	237.6	0.5%
	工業用地	4.0	0.0%		
	礦業用地	1.6	0.0%		
	學校	8.4	0.0%		
	醫療	0.5	0.0%		
	遊憩用地	70.3	0.1%		
	其他建築用地	18.1	0.0%		
交通用地	道路	301.3	0.6%	302.0	0.6%
	機場	0.1	0.0%		
	鐵路	0.6	0.0%		
其他用地	草生地	307.2	0.6%	2273.4	4.6%
	荒地	7.8	0.0%		
	裸露地	1824.7	3.7%		
	廢耕地	3.4	0.0%		
	空置地	124.1	0.3%		
	災害地	6.1	0.0%		

資料來源：國土測繪中心之土地利用圖層

二、歷年崩塌地

崩塌地資料來源為政府開放資料平台，乃是由林務局委託國立成功大學建置之崩塌目錄圖資，該圖資係使用該年度汛期前(1 月~7 月)之福衛二號影像，判釋每年度之崩塌區位與面積。計畫區內 2003 年(2004 年汛前)至 2014 年(2015 年汛前)之崩塌地分布，如圖 2-8 所示。以年度別分析，除了 2009 年(2010 年汛前)由莫拉克颱風促發崩塌地面積特別突

出外，於 2003 年(2004 年汛前)至 2008 年(2009 年汛前)間之年平均崩塌面積約為 129 萬 m^2，而 2009 年(2011 年汛前)至 2014 年(2015 年汛前)迄今，計畫區的年平均崩塌面積仍達 390 萬平方公尺，高出約 3 倍之多，如圖 2-7 所示；由莫拉克颱風前、後計畫區崩塌面積之演變結果，雖然已有顯著的復育成果，但仍未及災前的穩定狀態，顯示計畫區保育治理措施尚待持續加強。以子集水區別及 2014 年(2015 年汛前)崩塌面積分析，以達邦、山美、曾文水庫西岸、草蘭溪及達德安等子集水區佔比較高，崩塌面積計有 126 萬平方公尺，佔全區面積達 65.18%；此外，2014 年計畫區崩塌率達 0.4%，如表 2-6 所示。



資料來源：政府開放資料平台－Open data，福衛二號判釋之崩塌地圖層，國立成功大學

圖 2-7　曾文水庫集水區歷年崩塌面積變遷趨勢圖



資料來源：政府開放資料平台－Open data，福衛二號判釋之崩塌地圖層，國立成功大學

圖 2-8　曾文水庫集水區 2003 年~2014 年崩塌分布

表 2-6　曾文水庫集水區各子集水區崩塌面積分布與其崩塌率

子集水區名稱	子集水區面積 *(萬 m^2)*	2014 年(2015 年汛前衛星影像)崩塌面積*(萬 m^2)*	崩塌率(%)
達邦	4585.5	102.0	2.2
山美	3420.8	32.2	0.9
曾文水庫西岸	4179.5	27.4	0.7
草蘭溪	2987.3	27.2	0.9
達德安	3224.2	25.7	0.8
隙頂	3251.2	16.2	0.5
茶山	2449.9	15.3	0.6
沙力基溪	4643.1	15.1	0.3
大埔橋	2203.3	14.8	0.7
後湖溪	1494.7	14.3	1.0
新美	4380.2	13.3	0.3
曾文水庫東岸	5302.6	10.0	0.2
里佳	3149.9	7.8	0.2
長谷川溪	2838.2	7.7	0.3
合　計	48110.4	329	0.7

資料來源：本研究製作，包含林班地範圍

三、近年災害事件

歷年最大規模事件為 2009 年之莫拉克颱風，也屬災情最密集者，不過後續集水區之變遷亦是需要關注的重點，根據「土石流防災資訊網」統計 1996 年至 2017 年曾文水庫集水區之重大土砂災害事件，共計 13 件，而 2009 與 2013 年皆有顯著災害事件，如表 2-7 所示，本研究整理歷年土砂災害事件之最速報內容，其災害類型以土石流及崩塌為主。

表 2-7　曾文水庫集水區 1996 年至 2017 年災害事件一覽

項次	年度	事件名	累積降雨量(*mm*)	災害類型	縣市	鄉鎮	村里	災害地點	災害時間	死亡(人)/受傷(人)/房屋受損(棟)
1	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流	嘉義縣	阿里山鄉	來吉村	來吉國小	2009/8/9	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(29)
2	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流，洪水	嘉義縣	阿里山鄉	里佳村	169 線道路終點銜接里佳村聚落道路約 400 公尺處及里佳大橋	2009/8/9	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(16)
3	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流	嘉義縣	阿里山鄉	來吉村	內來吉-來吉橋	2009/8/9	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(6)

項次	年度	事件名	累積降雨量(*mm*)	災害類型	縣市	鄉鎮	村里	災害地點	災害時間	死亡(人)/受傷(人)/房屋受損(棟)
4	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流	嘉義縣	阿里山鄉	來吉村	來吉大橋、來吉五鄰大橋	2009/8/9	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(18)
5	2009	莫拉克颱風	2,501	崩塌	嘉義縣	阿里山鄉	樂野村	台 18 線龍頭隧道口、樂山產業道路及野溪下游等三處	2009/8/8	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(5)
6	2009	莫拉克颱風	2,501	崩塌，沖蝕	嘉義縣	阿里山鄉	達邦村	特富野度假山莊	2009/8/8	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(4)
7	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流	嘉義縣	阿里山鄉	山美村	山美國小	2009/8/8	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(15)
8	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流	嘉義縣	阿里山鄉	茶山村	雅米阿那聚落	2009/8/8	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(1)
9	2009	莫拉克颱風	2,501	崩塌	嘉義縣	阿里山鄉	新美村	新美村 2 鄰	2009/8/8	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(0)/
10	2009	莫拉克颱風	2,501	崩塌	嘉義縣	阿里山鄉	十字村	十字村 6 鄰	2009/8/7	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(1)
11	2009	莫拉克颱風	2,501	土石流	嘉義縣	大埔鄉	茄苳村	9 鄰木瓜坑	2009/8/8	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(3)
12	2012	0610 豪雨	605	土石流，洪水	嘉義縣	阿里山鄉	來吉村	來吉大橋	2012/6/12	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(0)/
13	2013	其他	501	土石流	嘉義縣	阿里山鄉	豐山村	中心嶺部落	2013/7/6	死亡(0)/受傷(0)/房屋受損(0)/

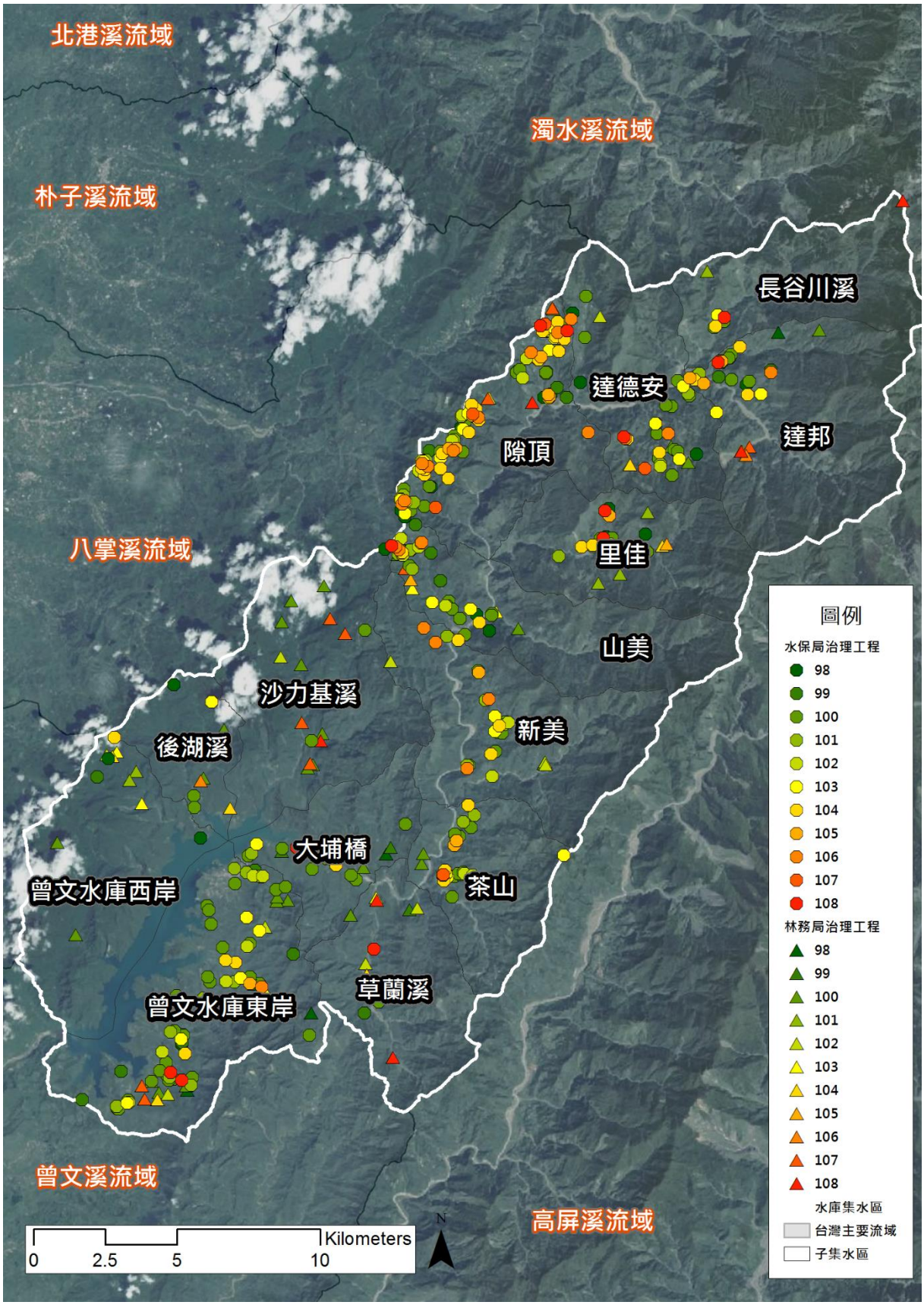
資料來源：本研究製作

四、保育治理工程

本計畫參考水保局與林務局工程管考系統，篩選計畫區 98 年至 108 年治理工程，其工程分布圖 2-9 所示。以年度別分析，由於 2009 年莫拉克颱風帶來大量入庫土砂，導致水庫淤積量增加，水土保持局相關單位開始積極治理，導致 98 年至 101 年為治理峰期，工程件數達 243 件，其中 100 年治理工程高達 146 件，歷年工程統計如資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

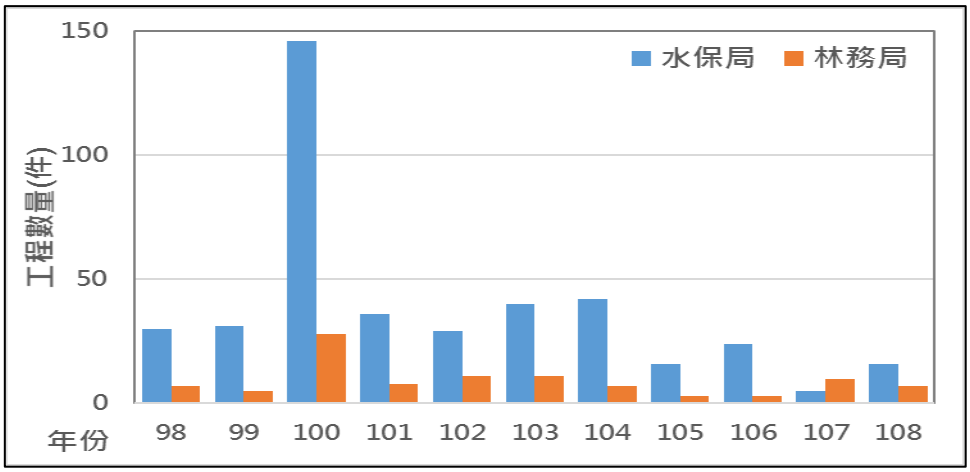
圖 2-10 及資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

圖 2-11 所示，其工程統計表如表 2-8 所示。



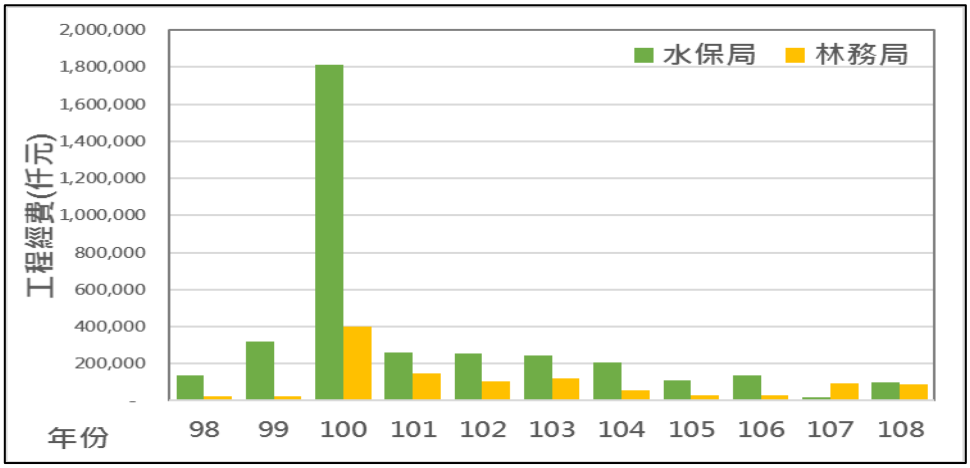
資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

圖 2-9　曾文水庫集水區 98 年至 108 年保育治理工程點位分布圖



資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

圖 2-10　曾文水庫集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程件數統計圖



資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

圖 2-11　曾文水庫集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程經費統計圖

表 2-8　曾文水庫水庫集水區 98 年至 108 年各年度工程統計表

年份	水保局		林務局	
	工程件數	工程經費(千元)	工程件數	工程經費(千元)
98	30	135,727	7	23,000
99	31	320,851	5	25,000
100	146	1,810,044	28	398,000
101	36	262,654	8	149,000
102	29	255,994	11	104,750
103	40	243,618	11	119,500
104	42	209,000	7	58,500
105	16	109,036	3	30,500
106	24	134,800	3	27,500
107	5	16,800	10	95,300
108	16	97,500	7	89,500
合計	415	3,596,024	100	1,120,550

資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

第二節　茄苳寮溪集水區基本資料蒐集

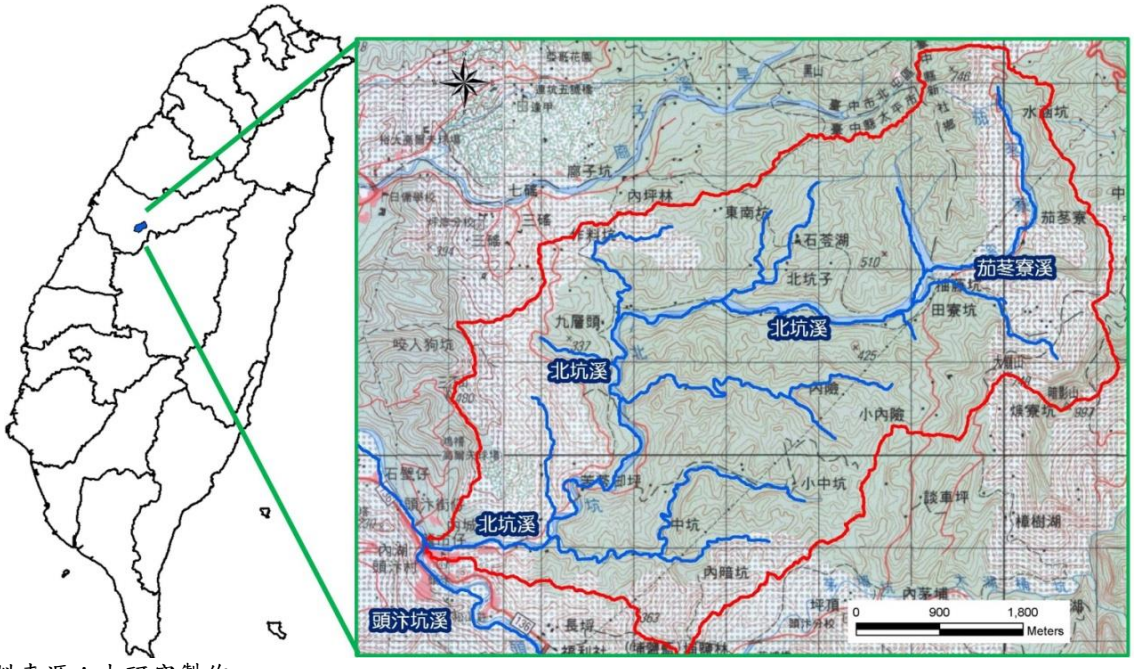
蒐集茄苳寮溪集水區地文、氣象水文、近年災害事件、歷年崩塌地與保育治理工程等相關基本資料，並以既有分析之坡面土砂流失量與泥砂生產量，呈現流域特定土砂量與多期土砂收支視覺化展示。茲簡述如下：

一、基本資料蒐集

(一)集水區概況

1、地理位置：計畫區為北坑溪集水區，其上游為茄苳寮溪，而北坑溪在臺中市頭汴國小附近匯入頭汴坑溪，如圖 2-12 所示。計畫區主要位於臺中市太平區之東北側，而上游茄苳寮溪主要位於臺中市新社區，集水區面積 2610.9 公頃。

2、人口資料：集水區內之社區較分散，但大部份沿中 99 線兩側而居，形成沿著道路發展而來的帶狀社區型態。集水區內以太平區頭汴里及新社區協成里為主要行政之涵蓋範圍。經參考 107 年 8 月臺中市政府民政局臺中市人口統計資料，可獲得各里之鄰數、戶數、人口數量統計等，如表 2-9 所示。



資料來源：本研究製作

圖 2-12　茄苳寮溪集水區地理位置圖

表 2-9　茄苳寮溪集水區內各里人口分佈統計表

區名	里名	鄰數	戶數	人口數		
				男	女	總計
太平區	頭汴里	14	673	1122	1005	2127
新社區	協成里	20	1034	1782	1674	3456

資料來源：本研究彙整

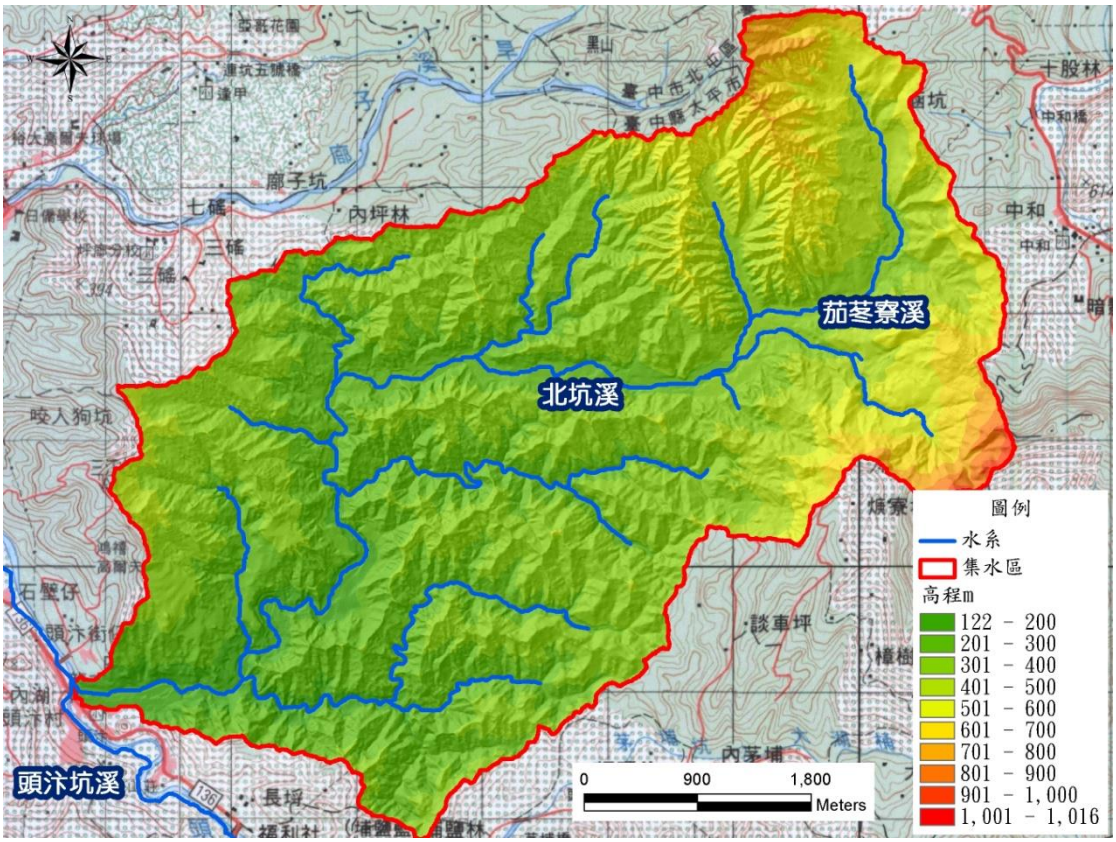
3、地文：集水區主要高程落於海拔 300 公尺至 400 公尺間，佔全區面積的 37.3%；而坡度在五至六級坡間者，即佔全區域面積之 57.6%，茲就各項地文簡述如下：

(1)高程分布：計畫區內最高高程為 1,016 公尺，平均高程為 366 公尺，高程介於 300~400 公尺所佔面積最多，達 37.7%，其高程分布如圖 2-13 及表 2-10 所示。

(2)坡度分布：坡度主要介於 55%~100%之六級坡，佔總面積約 36.9%；平均坡度為 57.2%。計畫區坡度分布如圖 2-14 及表 2-11 所示。

(3)坡向分布：計畫區坡向以南向分布最多，佔總面積約 15.0%，而以西向分布次之，佔總面積約 14.8%，坡向分布狀況如圖 2-15 及表 2-12 所示。

(4)地質：集水區範圍內包含卓蘭層、階地堆積層、頭嵙山層火炎山段、桂竹林層、福隆園層等，如圖 2-16 所示，各種地層的地質年代與地層組成，如表 2-13 所示。



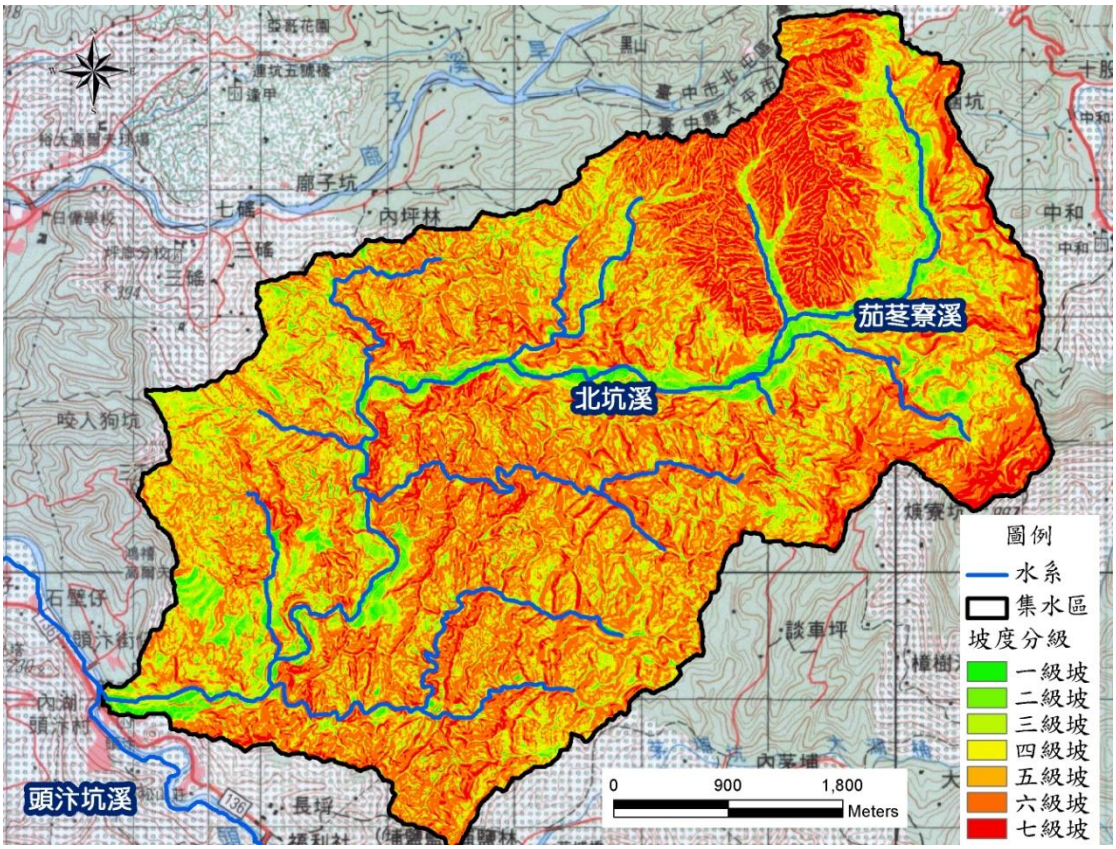
資料來源：本研究製作

圖 2-13　茄苳寮溪集水區高程分布圖

表 2-10　茄苳寮溪集水區高程統計表

高程分布*(m)*	面積*(ha)*	百分比*(%)*
100-200	131.6	5.0
200-300	743.4	28.5
300-400	984.2	37.7
400-500	344.6	13.2
500-600	229.9	8.8
600-700	117.6	4.5
700-800	39.9	1.5
800-900	13.9	0.5
900-1000	5.6	0.2
1000-1100	0.2	0.1
面積合計	2610.9*(ha)*	
平均高程	366*(m)*	

資料來源：本研究製作



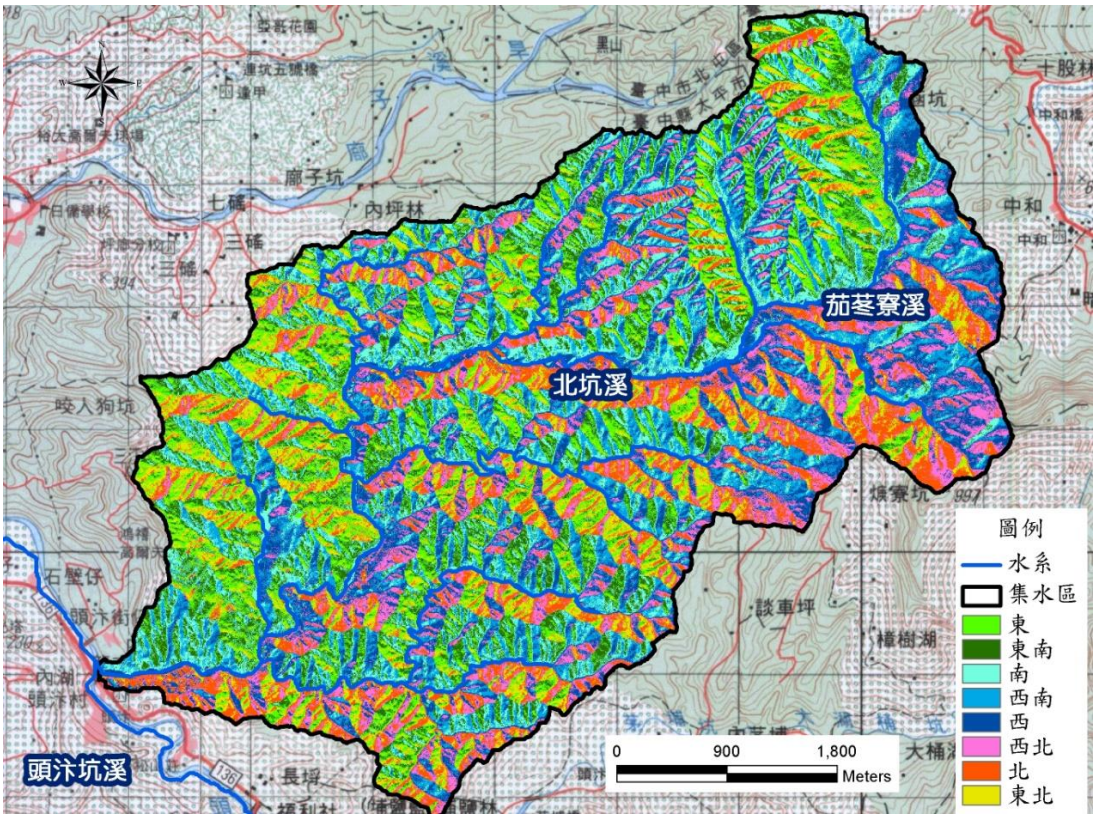
資料來源：本研究製作

圖 2-14　茄苳寮溪集水區坡度分級圖

表 2-11　茄苳寮溪集水區坡度統計表

坡度分級	面積*(ha)*	百分比*(%)*
一級坡	61.6	2.4
二級坡	147.9	5.7
三級坡	309.8	11.9
四級坡	321.5	12.3
五級坡	539.9	20.7
六級坡	962.3	36.9
七級坡	267.9	10.1
面積合計	2610.9*(ha)*	
平均坡度	57.2%	

資料來源：本研究製作



資料來源：本研究製作

圖 2-15　茄苳寮溪集水區坡向分級圖

表 2-12　茄苳寮溪集水區坡向統計表

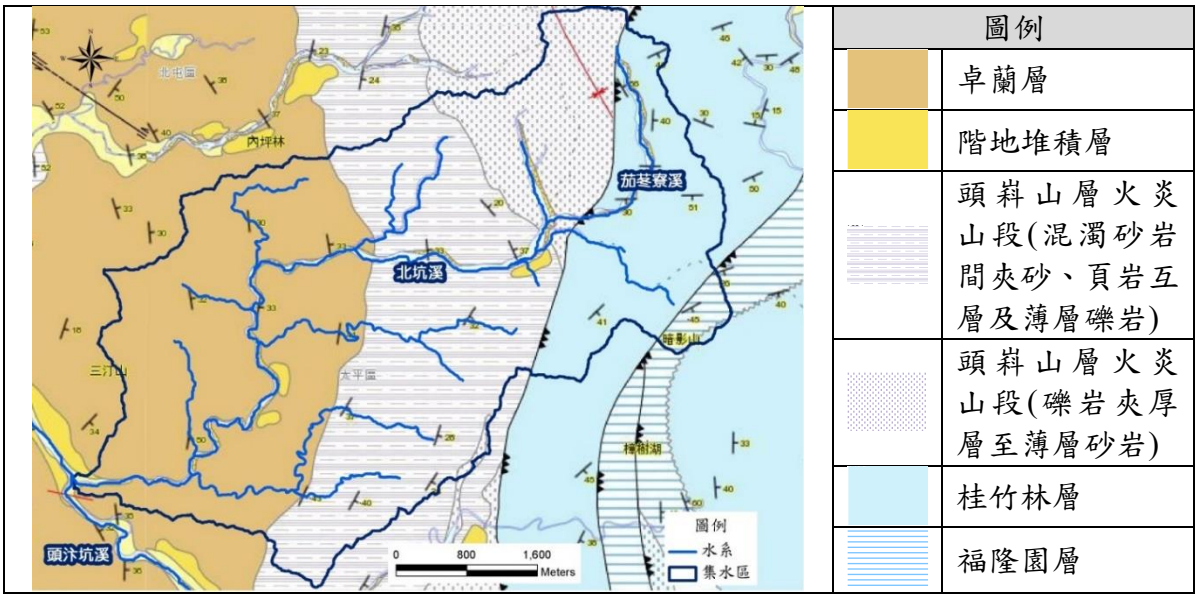
坡向分級	面積*(ha)*	百分比*(%)*
東	311.3	11.9
東南	320.2	12.3
南	390.5	15.0
西南	331.8	12.7
西	387.4	14.8
西北	287.8	11.0
北	325.6	12.5
東北	256.3	9.8
面積合計	2610.9*(ha)*	

資料來源：本研究製作

表 2-13　茄苳寮溪集水區地層名稱與組成

地層名稱	地質年代	地層組成
卓蘭層	上新世	砂岩，頁岩及泥岩互層
階地堆積層	更新世	礫石，砂及黏土
頭嵙山層火炎山段	更新世	混濁砂岩間夾砂、頁岩互層及薄層礫岩
頭嵙山層火炎山段	更新世	礫岩夾厚層至薄層砂岩
桂竹林層	中新世	塊狀砂岩、粉砂岩、砂岩夾頁岩及砂、頁岩互層
福隆園層	中新世	砂岩及頁岩

資料來源：本研究製作



資料來源：本研究製作

圖 2-16　茄苳寮溪集水區集水區地層分布情形

(二)氣象與水文

1、雨量觀測站：中央氣象局大坑氣象站與計畫區最近(圖 2-17)，該測站為無人監測之氣象站。

2、氣溫：計畫區 6 月至 9 月為高溫期，氣候受淺山地帶天然林區及河川等自然調節，平均氣溫為 23.6℃、平均最高氣溫為 32.6℃、平均風速為 1.5*(m/s)*、平均相對溼度為 76*(%)*等。

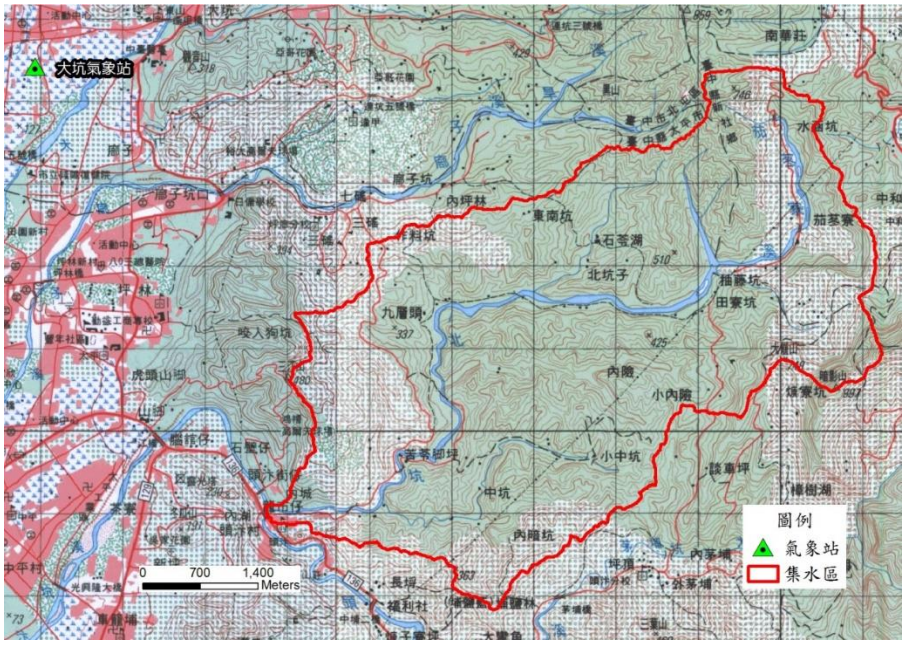
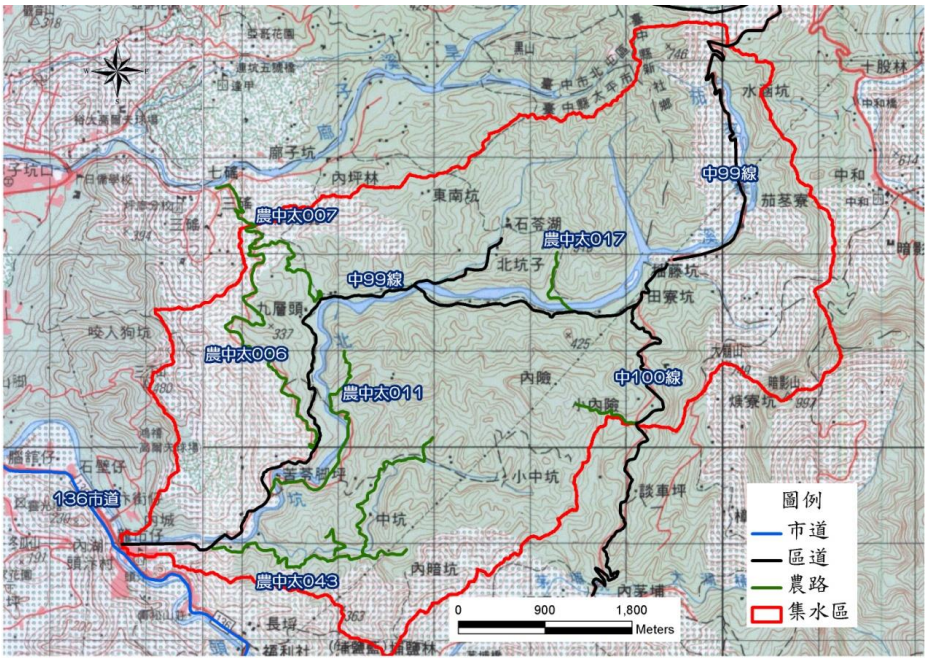


圖 2-17　茄苳寮溪集水區氣象站與計畫區相對位置

(三)道路交通

本集水區內之交通尚稱便捷，聯外道路主要有中 99 線、中 100 線與 136 市道等，如圖 2-18 所示。其中，中 99 線沿著茄苳寮溪主流通行。此外，在農路方面，有農中太 006、農中太 007、農中太 011、農中太 043、農中太 017 等分布。整體而言，對外聯繫尚稱便利，但由於太平區人口逐年激增，因此近來聯外道路交通流量日漸增多；而內部聯絡道路主要呈網狀系統聯繫各里之聚落，但其道路較為狹窄。

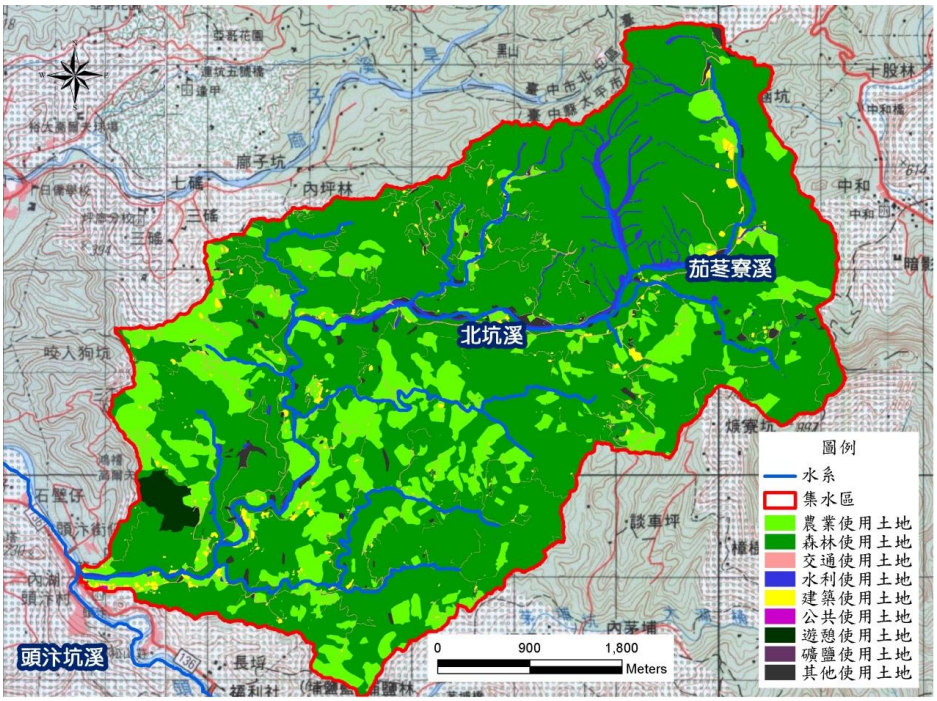


資料來源：本研究製作

圖 2-18　茄苳寮溪集水區道路交通分布圖

(四)土地利用

計畫區之土地利用分布如圖 2-19 及表 2-14 所示。以森林使用土地分布最廣，佔全區面積 73.40%，其次為農業使用土地佔全區面積 17.96%。



資料來源：本研究製作

圖 2-19　茄苳寮溪集水區土地利用圖

表 2-14　茄苳寮溪集水區土地利用分布統計表

類別	面積*(ha)*	百分比*(%)*
農業使用土地	468.9	17.96
森林使用土地	1916.4	73.40
交通使用土地	55.3	2.12
水利使用土地	90.3	3.46
建築使用土地	29.6	1.13
公共使用土地	0.6	0.02
遊憩使用土地	21.2	0.81
礦鹽使用土地	0.1	0.01
其他使用土地	28.5	1.09
合計	2610.9	100.00

資料來源：本研究製作

二、歷年崩塌地

本研究所蒐集之衛星影像，透過上述分析流程進行崩塌率分析變遷分析，並將各時期崩塌地面積進行統計如表 2-15 所示，配合圖 2-20 每年投入經費及河道防砂設施進行下列說明：

(一)民國 90~95 年一共興建 8 處潛壩，合計 23 座，96 年後開始興建防砂壩，一共興建 8 處，合計 18 座。

(二)由興建防砂壩區域比對崩塌地復育區，顯示興建防砂壩後兩岸邊坡

有效抑制且植生，由其 96 年興建防砂壩後，植生復育面積攀升明顯遽增。

(三)植生復育於民國 98 年莫拉克風災後復育最高約 90%，比對歷年治理工程投入經費分布圖(圖 2-20)，於 97 年~101 年每年投入金額均高於 8,000 萬，顯示工程與崩塌地面積降低亦有相輔相成。

本研究蒐集蒐集相關治理規劃報告、土石流防災資訊之重大災害事件資料庫等，集水區範圍內之土砂災害歷史紀錄包含 93 年敏督利颱風、97 年卡玫基颱風、98 年莫拉克颱風、101 年 0610 豪雨、105 年 2 月降雨颱風等，而在進行分年分期防砂治理後，現況河道已逐漸穩定。

表 2-15　茄苳寮溪集水區歷年崩塌地及植生復育分析表

分析年份時期	衛星影像購買日期	崩塌地面積 (ha)(編號 1)	崩塌率 (%)(公式 A)	新增崩塌地面積(ha)(編號 2)	新增崩塌率 (%)(公式 B)	植生復育地面積 (ha)(編號 3)	植生復育率 (%)(公式 C)
88 年 921 地震前	88/6/24	15.68	0.42%	-	-	-	-
93 年 72 水災前	93/2/12	16.40	0.44%	8.01	0.215%	7.29	46.5%
98 年莫拉克風災後	98/10/17	5.39	0.14%	3.88	0.104%	14.89	90.8%
100 年南瑪都風災後	100/11/30	4.18	0.11%	2.13	0.057%	3.34	62.0%
101 年 610 豪雨後	101/10/24	5.45	0.15%	2.79	0.075%	1.52	36.4%
104 年杜鵑颱風後	104/10/14	3.62	0.10%	2.36	0.063%	4.19	76.8%
105 年衛星影像	105/2/9	3.88	0.10%	1.10	0.030%	1.74	38.5%
集水區面積 3,723.84 公頃 A：崩塌率(%)= $\frac{各時期崩塌地面積}{集水區面積} \times 100\%$；B：新增崩塌率(%)= $\frac{各時期新增崩塌地面積}{集水區面積} \times 100\%$；C：植生復育率(%)= $\frac{該期植生復育面積}{前期崩塌面積} \times 100\%$;							

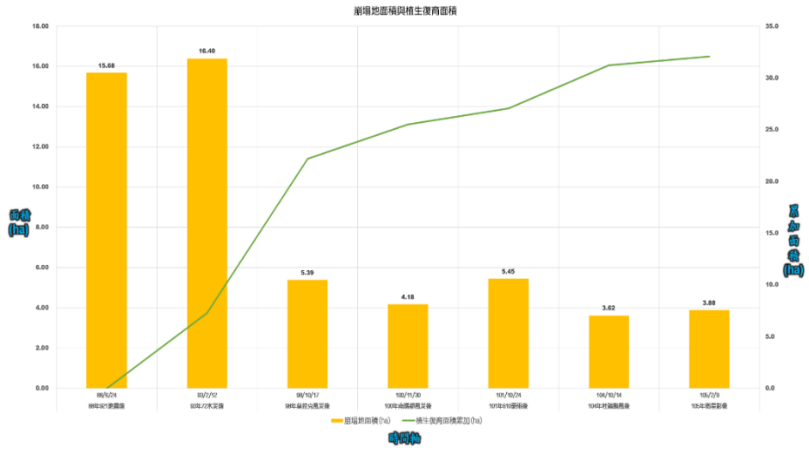
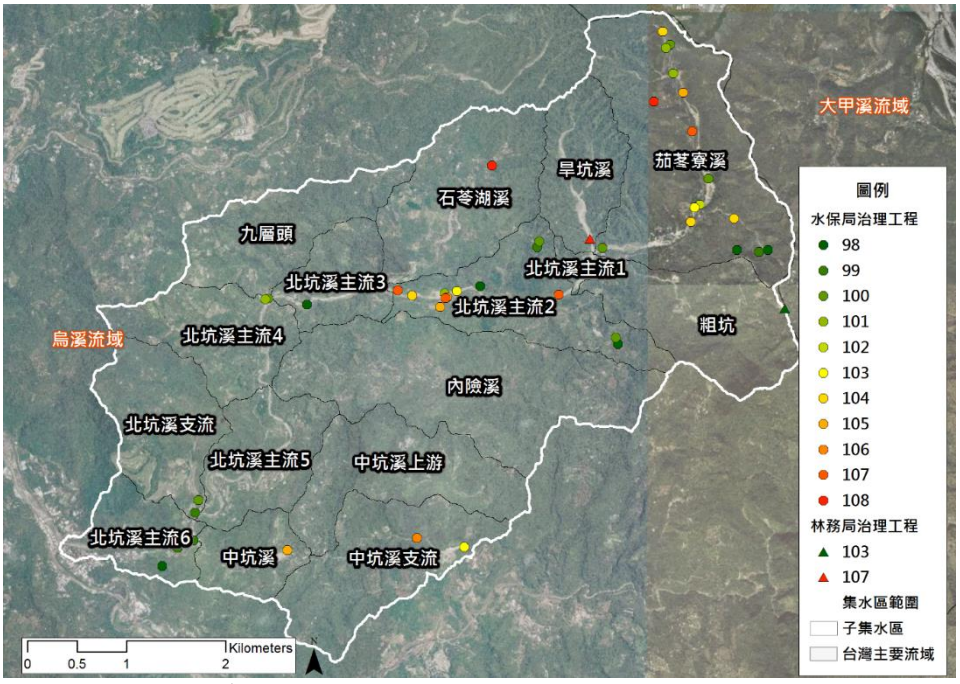


圖 2-20　茄苳寮溪集水區崩塌地與植生復育變遷

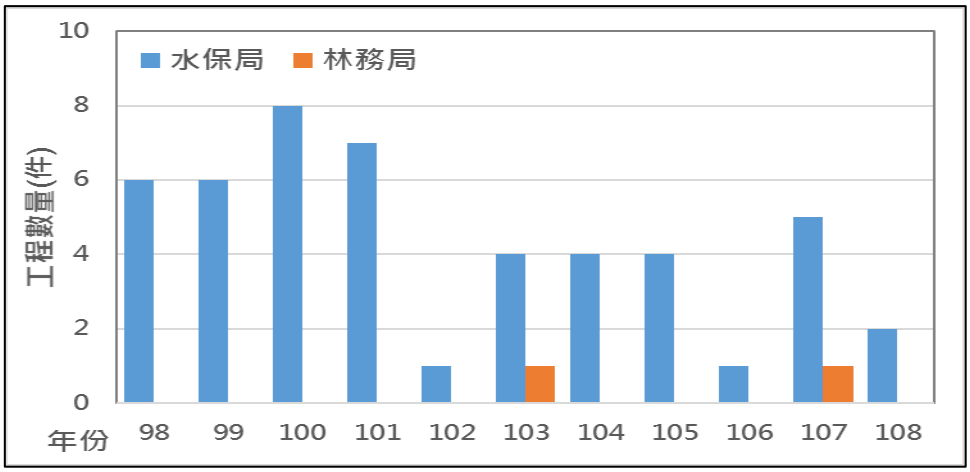
三、保育治理工程

本計畫參考水保局與林務局工程管考系統，篩選計畫區 98 年至 108 年治理工程，其工程分布圖 2-21 所示。以年度別分析，由於 2009 年莫拉克颱風帶來大量土砂，導致河道淤積，水土保持局相關單位開始積極治理，導致 98 年至 101 年為治理峰期，工程件數達 27 件，其中 100 年治理工程高達 8 件，歷年工程統計如圖 2-22 及圖 2-23 所示，其工程統計表如表 2-16 所示。



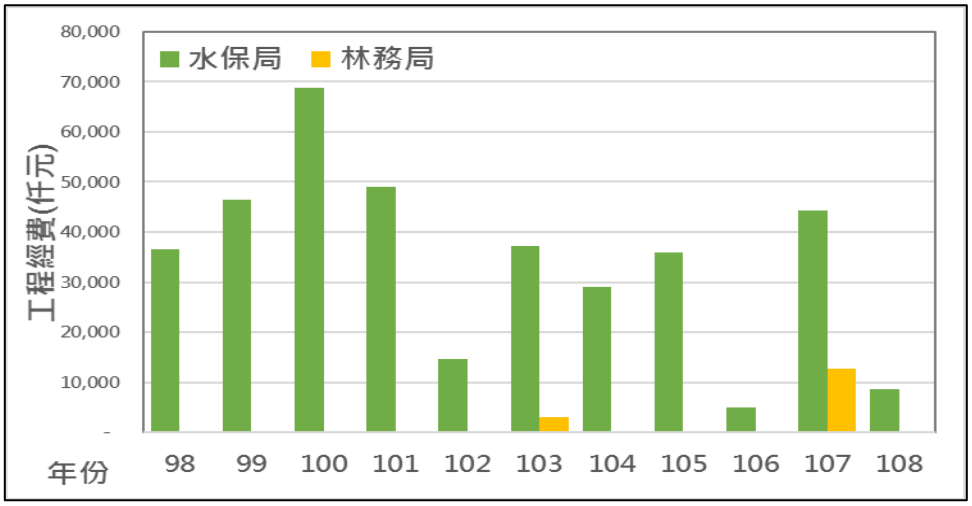
資料來源：本研究製作

圖 2-21　茄苳寮溪集水區各年度治理工程分布情形



資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

圖 2-22　茄苳寮溪集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程件數統計圖



資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

圖 2-23　茄苳寮溪集水區 98 年至 108 年水土保持局治理工程經費統計圖

表 2-16　茄苳寮溪集水區 98 年至 108 年各年度工程統計表

年份	水保局		林務局	
	工程件數	工程經費(千元)	工程件數	工程經費(千元)
98	6	36,560	0	0
99	6	46,500	0	0
100	8	68,700	0	0
101	7	49,046	0	0
102	1	14,654	0	0
103	4	37,110	1	3,050
104	4	28,950	0	0
105	4	36,010	0	0
106	1	4,900	0	0
107	5	44,200	1	12,630
108	2	8,700	0	0
合計	48	375,330	2	15,680

資料來源：工程管考系統 98 年至 108 年

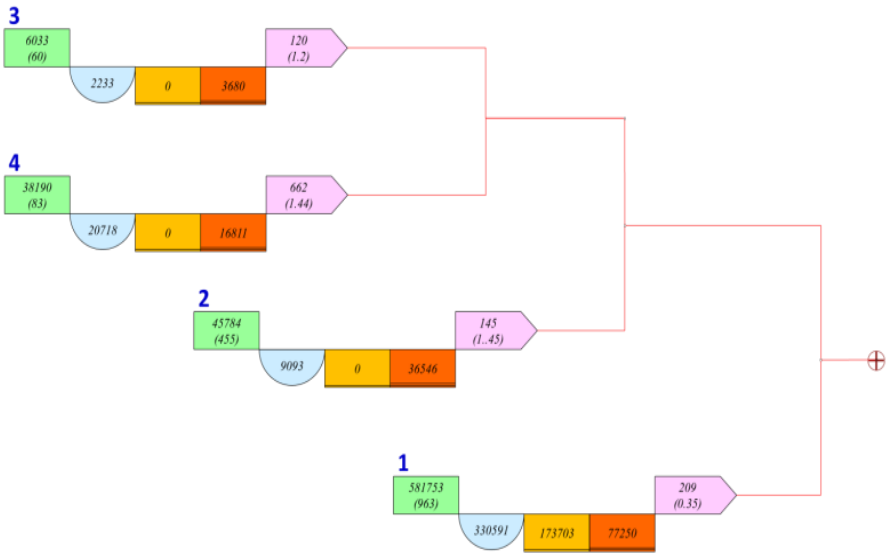
第三章　相關文獻蒐集

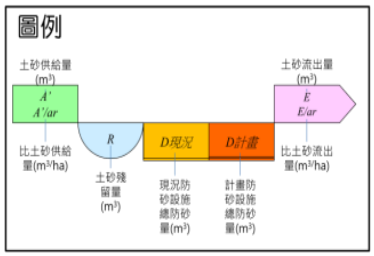
本研究蒐集多篇國內、外相關土砂收支分析結果之呈現方式，並分析圖形與表格呈現之特點，作為後續綜整土砂收支關係之基礎資料。

第一節　國內相關文獻蒐集

一、水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用

「水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用，2012」計畫以石門水庫上游蘇勒橋以上集水區為範例，運用樹狀圖方式呈現集水區水系與各子集水區上下游關係，並以不同圖形代表不同土砂量體(比土砂供給量、土砂殘留量、現況防砂設施總防砂量、計畫防砂設施總防砂量與比土砂流出量等)，且配合試算表格可清楚得知各集水區之量體之計算方式，如如圖 3-1 所示。





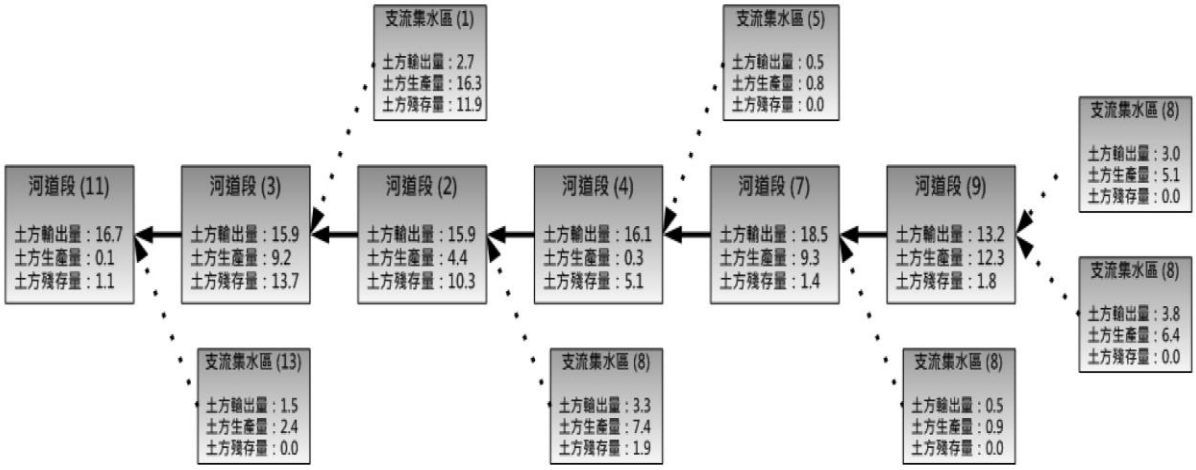
小集水區編號 ①	面積 (ha) ②	土砂生產量(m^3) 坡面崩塌土砂量 ③	坡面土壤沖蝕量 ④	河道土砂淤積量 ⑤	土砂生產量[註1] ⑥	上游河道來砂量[註2] ⑦	供給土砂量[註3] ⑧	比供給土砂量[註4] ⑨	現況防砂設施總防砂量[註5] ⑩	計畫防砂設施總防砂量[註6] ⑪	土砂殘留率[註7] ⑫	土砂殘留量[註8] ⑬	土砂流出量[註9] ⑭	比土砂流出量[註10] ⑮	容許土砂流出量[註11] ⑯	檢核[註12] ⑰	
1	604.07	558,950	22,803	0	581,753	0	581,753	963	173,703	77,250	56.83	330,591	209	0.35	13,768	13,559	OK
2	100.64	18,600	5,912	0	24,512	21,273	45,784	455	0	36,546	37.10	9,093	145	1.45	2,294	2,148	OK
3	99.96	0	6,033	0	6,033	0	6,033	60	0	3,680	37.01	2,233	120	1.20	2,278	2,158	OK
4	458.30	700	37,490	0	38,190	0	38,190	83	0	16,811	54.25	20,718	662	1.44	10,445	9,784	OK

備註：「水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用」，水保局，2012

圖 3-1　蘇勒橋子集水區計畫土砂收支分析圖

二、應用動床演算於流域土砂收支模式之研究

「應用動床演算於流域土砂收支模式之研究，2009」該研究加入動床輸砂演算於土砂收支模式中，以討論土砂自上游集水區至下游河道之運動過程。建立子集水區之分區及其連結關係，將流域分割為許多子集水區，各子集水區再透過連結關係進行串聯(圖 3-2)。當集水區系統化完成後，會得到許多子集水區，每一子集水區的地文、水文特性較整體流域為均勻，再將每一子集水區簡化成一概念集水區。將流域依據主、支流分為多個子集水區，並設定控制點將河流進行分段，配合圖塊方式表示集水區土砂流失、河道沖淤量與泥砂生產量等量體，惟無發直觀感受土砂量體之差異。



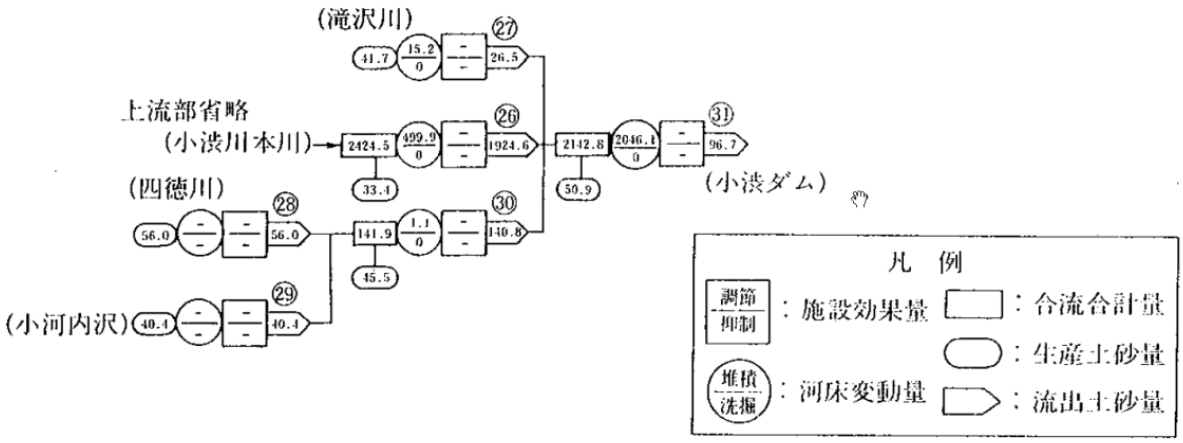
備註：「水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用」，水保局，2012

圖 3-2　崩坪坑溪卡玫基颱風期間土砂運移分析圖

第二節　國外相關文獻蒐集

一、土砂災害調查マニュアル,1988

土砂災害調查手冊以樹狀圖方式，清楚呈現集水區水系之級序關係，配合不同圖形展示設施效果量、河床變動量、合流合計量、生產土砂量、流出土砂量等量體，可展示特定時刻之集水區土砂收支關係，詳如圖 3-3 所示。

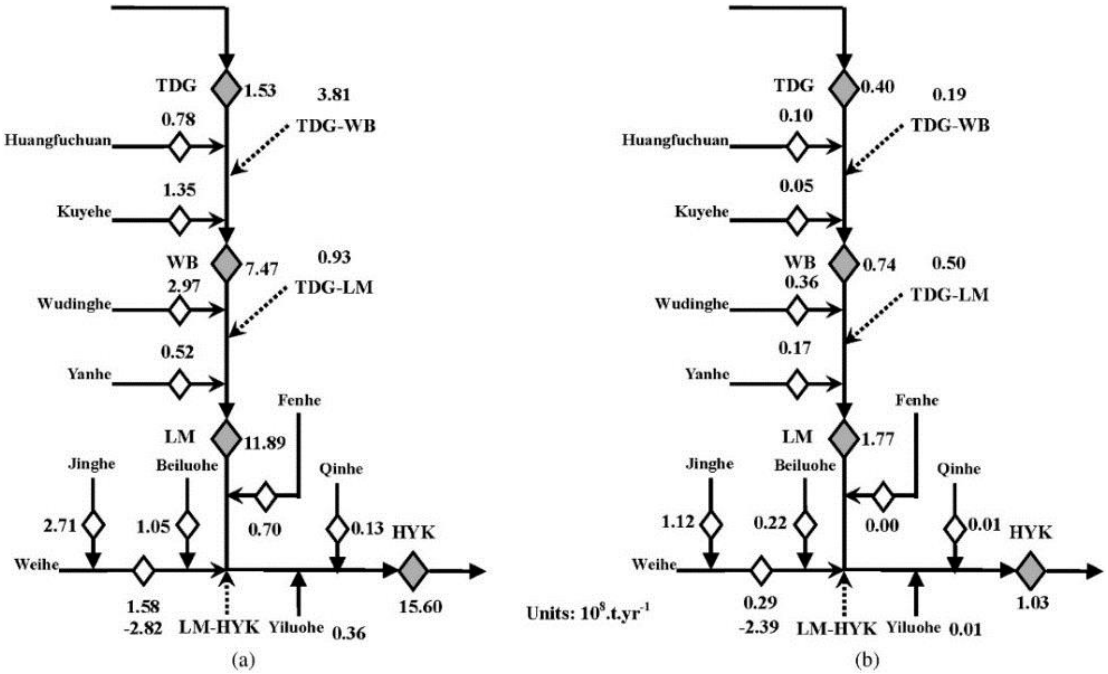


資料來源：「土砂災害調査マニュアル」，-松村和樹等人，1988

圖 3-3　樹狀式土砂收支圖

二、*Spatiotemporal Variations in Annual Sediment Yield from the Middle Yellow River, China, 1950–2010*

該研究以中國黃河中游為案例以流程系統圖方式，可清楚呈現集水區上下游之關係，實心菱形為主要控制點、空心菱形為主要支流控制點，並標示各控制點之土砂量，惟土砂量體資訊過少，且直線大小一致較難看出差異，如圖 3-4 所示。

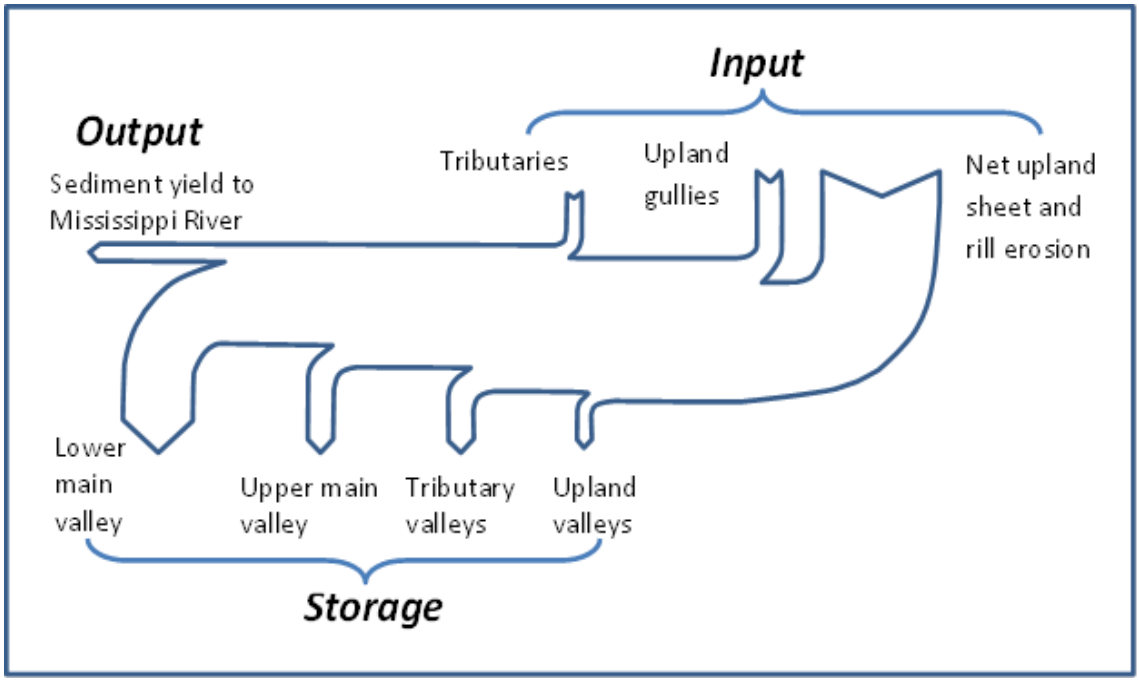


資料來源：「*Spatiotemporal Variations in Annual Sediment Yield from the Middle Yellow River, China, 1950–2010*」，*2015*

圖 3-4　黃河土砂收支圖

三、*A sediment budget for a cultivated floodplain in tropical North Queensland, Australia*

該研究係以箭頭圖形方式，繪製集水區土砂收支關係，如圖 3-5 所示，可呈現集水區各項土砂量體，包含土砂的來源，並以線條粗細表示量體之多寡，優點為資料清楚的可視化，但標示容易不清楚且圖形不協調，無法得知各土砂量體。

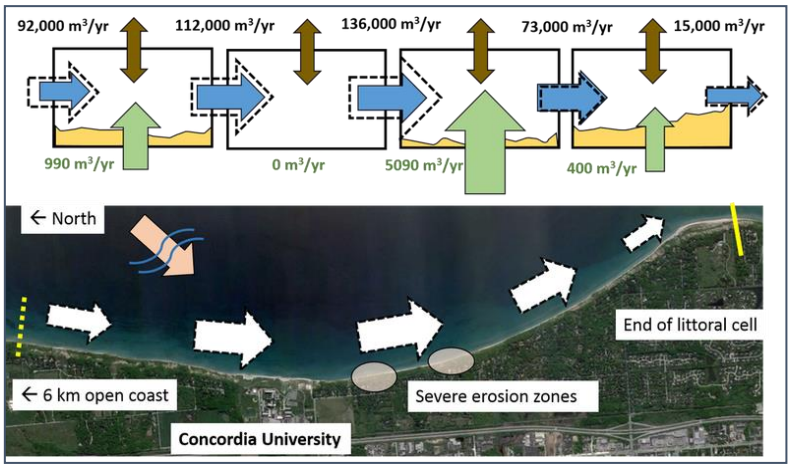


資料來源： *A sediment budget for a cultivated floodplain in tropical North Queensland, Australia ，2007*

圖 3-5　箭頭式土砂收支示意圖

四、*Coastal Bluff Evolution Adjacent to Shoreline Ppotection Structures*

本研究係探討海潮影響沉積物流動之關係，以圖塊方式表達不同區塊單元(圖 3-6)，各單元可呈現海灘砂量與推估漂流出外海之砂量，藉由箭頭大小仍可概估土砂量體，其優點圖形簡易且規律，但對於土砂量無法直觀的得知量體多寡。

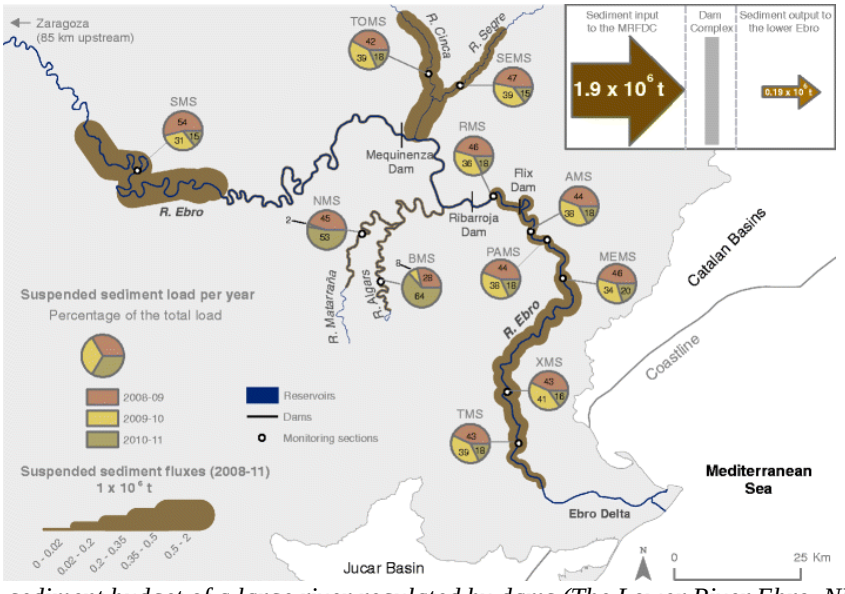


資料來源：*COASTAL BLUFF EVOLUTION ADJACENT TO SHORELINE PROTECTION STRUCTURES*，*Nick Jordan and Matt Allie, graduate students in Water Resources Engineering at University of Wisconsin*，2015

圖 3-6　海潮影響沉積物之土砂收支示意圖

五、*The sediment budget of a large river regulated by dams*

該研究以西班牙東北部的埃布羅河下游大壩為研究區域，應用地理資訊系統，繪製流域水係圖，利用不同大小之圖塊，表示水系土砂量體之多寡，並配合圓餅圖可展示不同時期之土砂量體，可清楚呈現集水區水係土砂運移之關係，如圖 3-7 所示。



資料來源：*The sediment budget of a large river regulated by dams (The Lower River Ebro, NE Spain)*，*2013*

圖 3-7　*Lower River* 土砂收支分析圖

本研究所蒐集土砂收支呈現方式之文獻資料，將分析其特點與優勢，作為後續綜整土砂收支關係之基礎資料。

第四章　綜整土砂收支關係成果

本研究將前節相關文獻中土砂收支的呈現方式進行綜整，分析其特點與優勢，針對特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支，分別提出土砂收支關係展示製作建議。

第一節　綜整相關文獻分析

本計畫綜整國內外相關文獻資料，彙整各土砂收支展示方式，依據集水區水係分布與土砂量呈現方式進行列表分析，並彙整相關相關重要資訊，相關文獻蒐集綜合分析彙整，詳如表 4-1 所示。

第二節　綜整土砂收支關係成果

本研究將前節相關文獻中土砂收支的呈現方式進行綜整，針對特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支，其重點呈現部分說明如下：

一、特性時段樹狀土砂收支圖

傳統土砂收支展示方式，多為樹狀圖方式呈現，其優點為簡化繁雜之水係關係，並將資料可視化，藉由簡易圖形化表達特定之土砂量體，可以清楚呈現土砂空間分布之狀態。

二、地理資訊定量視覺化圖

藉由地理資訊系統，可套疊不同向量與影像圖層，可清楚呈現流域集水分區與河道水系，各土砂量體資料可清楚展示在圖形上，可直觀展示土砂空間分布的狀況，並配合嶄新的呈現方式，將不同時期的土砂量體，以統計圖表方式套匯在圖形上，可更清楚呈現土砂時間與空間之分布狀況。

本研究嘗試集結各文獻之優點，並考量前述計畫目標之宗旨，建立土砂收支圖表之創新呈現方式，可清楚且直觀展示集水區土砂收支分布狀況與各期土砂量等資訊，供水土保持局未來土砂收支關係呈現展示參考。

表 4-1　相關文獻綜合分析彙整表

編號	年份	相關文獻	集水區水係		集水區土砂量				相關重要資訊
			樹狀系統	地理資訊系統	圖塊	箭頭線條	統計圖表	地理資訊系統	
1	2012	水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用	✓		✓				● 運用樹狀圖方式，呈現集水區水系與各子集水區上下游關係 ● 以不同圖形代表不同土砂量體
2	2009	應用動床演算於流域土砂收支模式之研究	✓		✓				● 運用樹狀圖方式結關係集水區上下游關係 ● 配合圖塊方式表示集水區土砂量體
3	1998	土砂災害調查マニュアル	✓		✓				● 以樹狀圖方式，呈現集水區水系之級序關係 ● 配合不同圖形展示土砂量體
4	2015	*Spatiotemporal Variations in Annual Sediment Yield from the Middle Yellow River*	✓						● 流程系統圖方式，呈現集水區上下游之關係 ● 菱形控制點標示土砂量
5	2007	*A sediment budget for a cultivated floodplain in tropical North Queensland, Australia*				✓			● 以箭頭圖形方式，繪製集水區土砂收支關係 ● 以線條粗細表示量體之多寡
6	2015	*Coastal Bluff Evolution Adjacent to Shoreline Ppotection Structures*			✓				● 以圖塊方式表達不同區塊單元 ● 呈現海灘砂量與推估漂砂量
7	2013	*The sediment budget of a large river regulated by dams*		✓			✓	✓	● 地理資訊系統，繪製流域水係圖 ● 利用不同線條粗細，表示土砂量體之多寡 ● 配合圓餅圖展示不同時期之土砂量體

備註：本研究彙整

第三節　土砂收支展示方式建議

一、特性時段土砂收支展示建議

本研究藉由上述國內外土砂收支展現方式，可知關鍵在於充分表達特定土砂量(如泥砂生產、保育減砂量、溪床變動量、近岸崩塌流失量與坡面土砂流失量等)，且需要一定程度簡化其圖形，避免造成混亂。

為此，本研究提出改良式樹狀圖，如圖 4-1 所示，表達一定特定時段下，除了以圖形化表達泥砂生產量、保育減砂量(工程治理成效)...等，以系統化方式呈現且有河川級序之分別；另外，亦可完整展現坡面與河道之分與主支流之匯流情形。

(一)線段：以線段呈現集水區水系主、支流分布情況，並設定不同寬度代表不同「級序河川」，以清楚展示集水區空間土砂收支關係。初步一級序河川採用 1.5PT、二級序河川採用 3.0PT、三級序河川採用 4.5PT、四級序河川採用 6.0PT 之線條粗細。

(二)三角形：代表各子集水區之「坡面土砂流失量」。

(三)長條形：代表各子集水區水系之「近岸崩塌流失量」。

(四)圓形：代表水系「溪床變動量」，上方為河道淤積量、下方為河道沖淤量。

(五)方形：代表各子集水區水系興建保育治理工程效益之「保育減砂量」，其上方為土砂調節量，下方為貯砂量。

(六)五角形：代表各子集水區水系之「泥砂生產量」。

(七)河川級序

根據 1945 年之荷頓河川級序定律之劃分原則，可簡述如下：

1、由河川源頭起始之河川為 1 級序河川

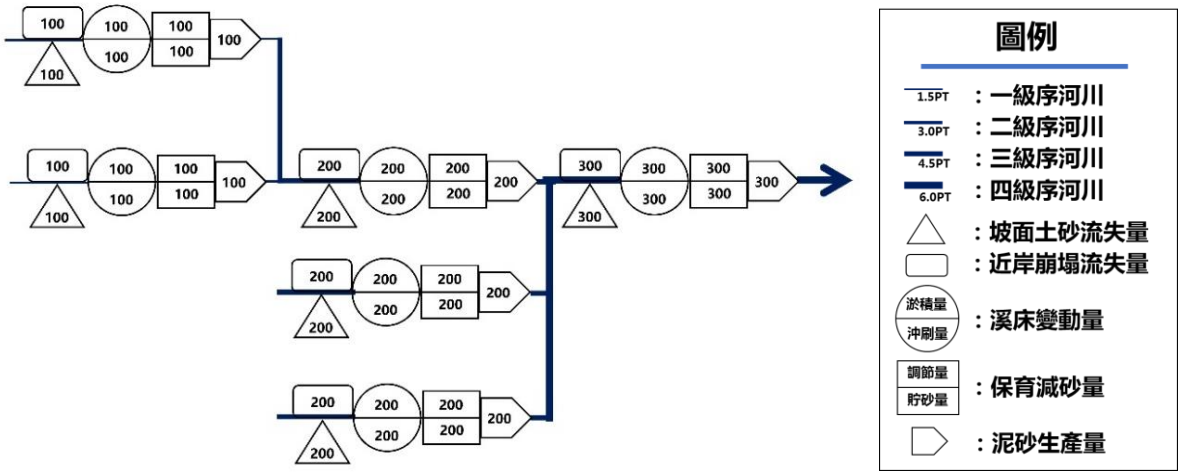
2、兩條 1 級序河川交匯,形成 2 級序河川

3、i 級序河川 j 級序河川交匯

(1)若 i 大於 j，則河川級序數仍為 i。

(2)若 i 等於 j，則河川級序增為 i+1。

(3)若 i 小於 j，則河川級序數為 j。



資料來源：本研究製作

圖 4-1　改良式樹狀圖示意模型

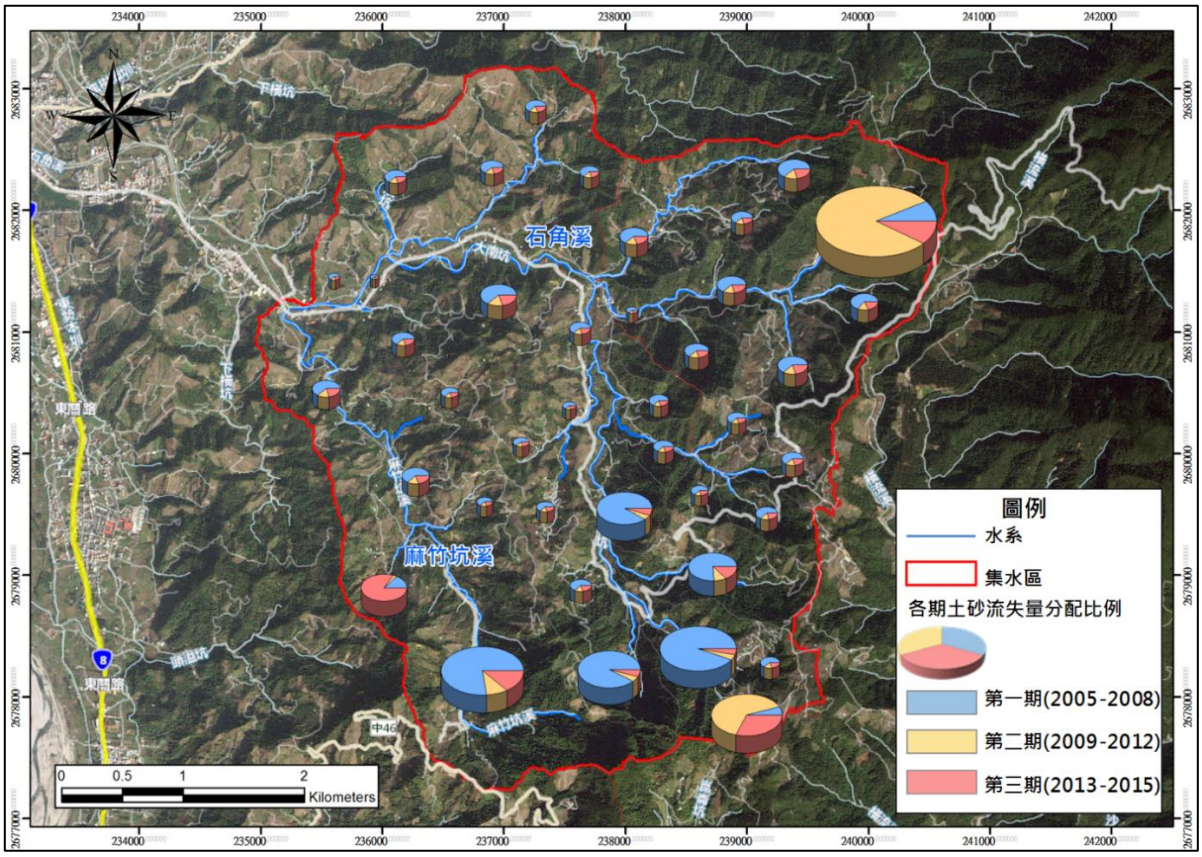
二、地理資訊定量視覺化展示建議

(一)地理資訊定量視覺化展示

上述改良式樹狀圖仍有一無法直覺展現之關鍵點，即為集水區內土砂之時間及空間分布，雖可具體反映每一河段的土砂收支，但對於土砂運移之反應，則稍顯薄弱。為此，本研究提出地理資訊定量視覺化，優點在於可利用地理資訊系統將數據進行快速套繪，並利用統計圖表清楚呈現不同時期之土砂量分布狀況。

本研究藉由地理資訊系統，可套疊不同向量與影像圖層，可清楚呈現流域集水分區與河道水系，各土砂量體資料可清楚展示在圖形上，可直觀展示土砂空間分布的狀況，並配合嶄新的呈現方式，將不同時期的土砂量體，以統計圖表方式套匯在圖形上，可更清楚呈現土砂時間與空間之分布狀況，如圖 4-2 所示，圖中，圓餅圖內直接區分三個不同時期之土砂量體，且圓餅圖之大小得以將數據資料進行可視化；

便可觀察出集水區上游土砂大於下游，且特定集水區(或特定河段)之土砂量明顯較大，此一特點可方便相關治理權責單位，做出一快速有效的判斷與決策，使集水區工程治理更加明確，對症下藥。



資料來源：本研究製作

圖 4-2　地理資訊定量視覺化土砂收支分布示意圖

(二)地理資訊定量視覺化展示選擇建議

為了能更清楚地向瀏覽者展示空間套疊分析的成果，或進一步區分各圖徵所代表的空間意義，以便於分析操作過程中對特定的圖徵進行辨識，因此可用不同色彩來加以表示其差異性。本研究應用地理資訊系統，說明如何依不同展示目的，設定圖徵色彩、材料及符號等相關展示方式。

1、唯一值*(Unique Values)*：將空間資料依特定欄位展示其差異性，因此依其特定欄位中，依不同值給予不同顏色，如圖 4-3 所示。

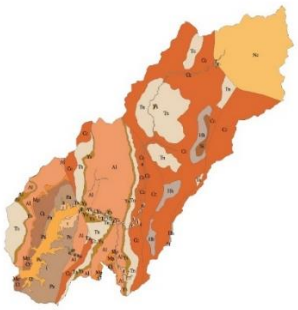
	
(a)圖層資訊	(b)圖層唯一值*(Unique Values)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Categories* > *Unique values* > *Value field*(選分類名稱) > *Add All Values* > *Color Ramp*(選顏色) > 套用 > 確定。	

圖 4-3　圖層唯一值*(Unique Values)*展示方式

2、數量分類*(Quantities)*：依不同類別的特定值進行展示外，針對數值類的欄位值屬性中的量進行等級分類，分為漸層色*(Graduated Colors)*、漸層圖徵*(Graduated Symbols)*與點密度圖*(Dot density)*等，分述如下：

(1)漸層色*(Graduated Colors)*：依數值類的欄位值進行等級分類，並以漸層色功能呈現空間資料的顯示方式，如圖 4-4 所示。

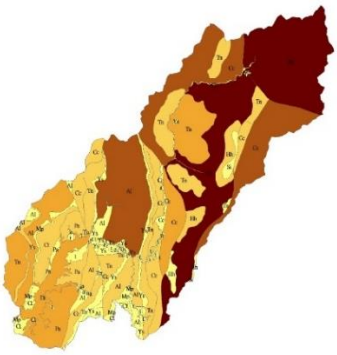
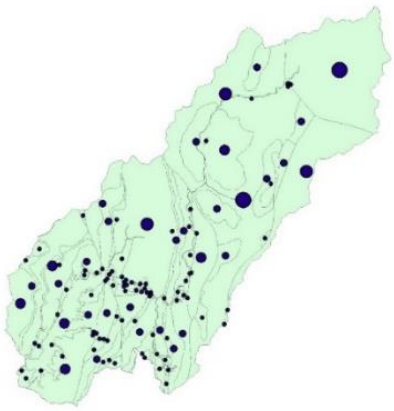
	
(a)圖層資訊	(b)圖層漸層色*(Graduated Colors)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated Color* > *Value*(選分類名稱) > *Classification*(選組數) > *Color Ramp*(選顏色) > 套用 > 確定。	

圖 4-4　圖層漸層色*(Graduated Colors)*展示方式

(2)漸層圖徵*(Graduated Symbols)*：利用漸層圖徵的方式表現，為在幾何圖形上另外再加上一種圖形標示符號，因有比例大小的差異，故可表得出屬性值「量」的差異，如圖 4-5 所示。



(a)圖層資訊



(b)圖層漸層圖徵*(Graduated Symbols)*展示方式

ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated Symbols* > *Value*(選分類名稱) > *Classification*(選組數) > *Symbol Size from _ to _* > *template*(圖形)*Background*(背景顏色)> 套用 > 確定。

圖 4-5　圖層漸層圖徵(*Graduated Symbols*)展示方式

(3)點密度圖*(Dot Density)*：點密度呈現方式是以大小一致的點狀符號代表一定數量，由點數量的多寡來代表空間上某一主題的地物數量，形成一種點密度圖(或稱「點子圖」)，方便能夠在圖面上直接觀察到該屬性資料的相對空間分布，如圖 4-6 所示。



(a)圖層資訊



(b)圖層點密度圖*(Dot Density)*展示方式

ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Dot density* > *Field Selection*(選項目)> 調整圖徵大小 *Size* 跟數值 *Value*> *Background*(背景顏色)> 套用 > 確定。

圖 4-6　圖層點密度圖*(Dot Density)*展示方式

3.統計圖*(Charts)* ：*ArcGIS* 圖徵顯示亦可以直接以屬性中的數據自動產生輔助標示的統計圖表，在統計圖中最常使用的類型為

圓餅圖*(Pie)*和直條圖*(Bar/Column)*，其展示方式與操作說明如下：

(1)圓餅圖*(Pie)*：利用圖層欄位數值進行統計分析，以常見之圓餅圖*(Pie)*呈現各其統計數值之成果，如圖 4-7 所示。

	
(a)圖層資訊	(b)圖層圓餅圖*(Pie)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Pie* > *Field Selection*(選項目) > *Background*(背景顏色)*ColorScheme*(顏色模組) > *properties*(展示設定) > 套用 > 確定。	

圖 4-7　圖層圓餅圖*(Pie)*展示方式

(2)直條圖*(Bar/Column)*：利用圖層欄位數值進行統計分析，以常見之直條圖*(Bar/Column)*呈現各其統計數值之成果，如圖 4-8 所示。

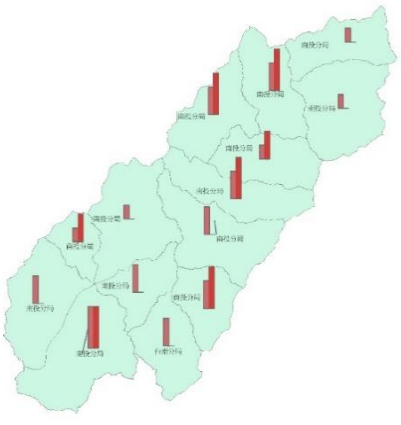
	
(a)圖層資訊	(b)圖層直條圖*(Bar/Column)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Bar/Column* > *Field Selection*(選項目) > *Background*(背景顏色)*ColorScheme*(顏色模組) > *properties*(展示設定) > 套用 > 確定。	

圖 4-8　圖層直條圖*(Bar/Column)*展示方式

第五章　土砂收支關係展示說明

根據前述彙整結果，較佳之土砂收支展現方式為特性時段土砂收支圖與地理資訊定量視覺化土砂收支圖兩種。研究區域方面，本研究分為大流域－曾文水庫集水區及小流域－茄苳寮溪集水區以兩個不同尺度進行案例展示，說明水保局常用治理集水區呈現土砂收支關係視覺化展示。

綜整前述土砂收支關係成果，並將相關既有之多時期流域土砂收支研究成果，加以研究分析，最後提出較佳土砂收支呈現方式，並詳實記錄過程，以供後續相關人員持續研究使用。展示方式說明如下：

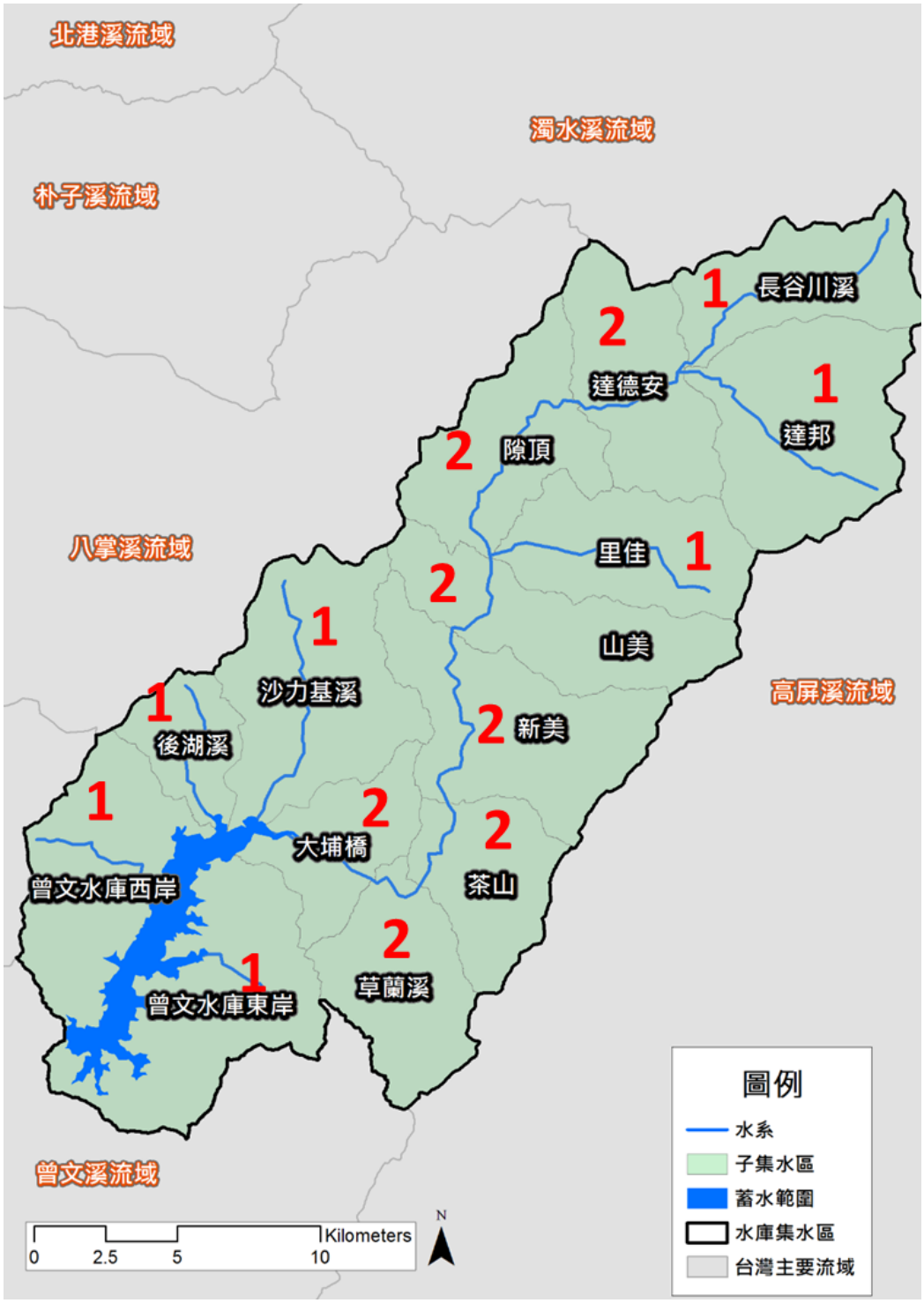
第一節　特性時段土砂收支

一、曾文溪水庫集水區特性時段土砂收支成果展示

本研究研提之特性時段土砂收支，其優點為簡化繁雜之水係關係，並將資料可視化，藉由簡易圖形化表達特定之土砂量體，可以清楚呈現特定時間土砂空間分布之狀態。本研究以 2009 年為例，展示曾文水庫集水區土砂收支分布狀況，由前述文獻資料與操作步驟建立土砂收支展式圖，曾文水庫集水區特性時段土砂收支製作步驟說明如下：

(一)製作步驟說明

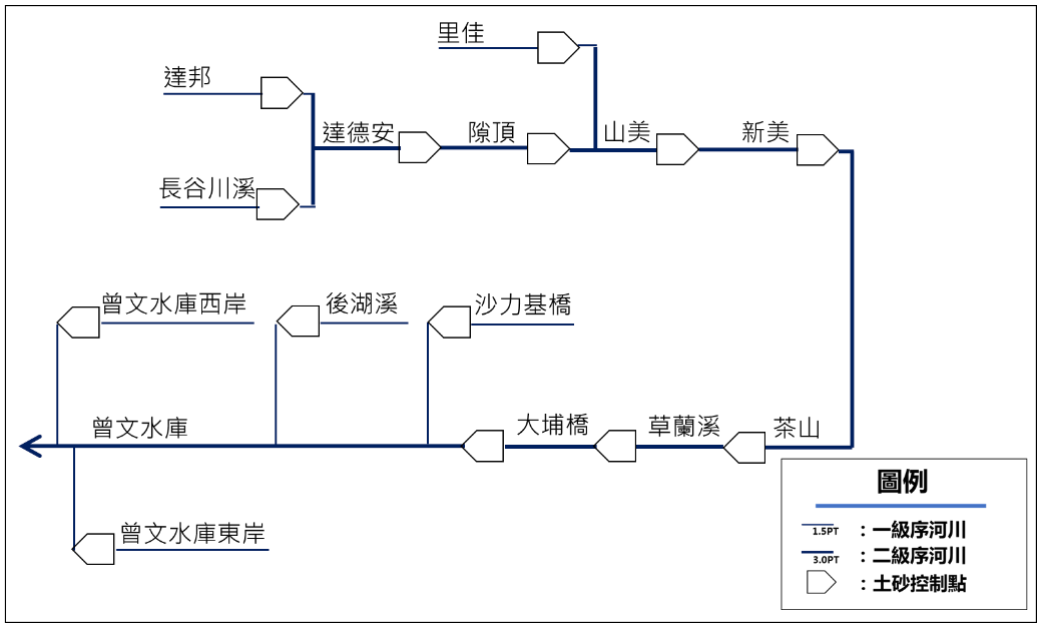
1、依據水保局劃分子集水區圖層，匯出曾文水庫集水區範圍內之子集水區範圍，將水系圖依子集水區圖層進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層，並依此訂定河川級序，曾文水庫子集水區與河道圖如圖 5-1 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-1　曾文水庫子集水區與河道分布圖

2、利用 *Microsoft PowerPoint* 製作子集水區與河道樹狀分布情形，以線段呈現集水區水系主、支流分布情況，依不同線段寬度設定河川級序，初步以五角形代表各子集水區水系之「泥砂生產量」之控制點，曾文水庫子集水區與河道樹狀圖如圖 5-2 所示。

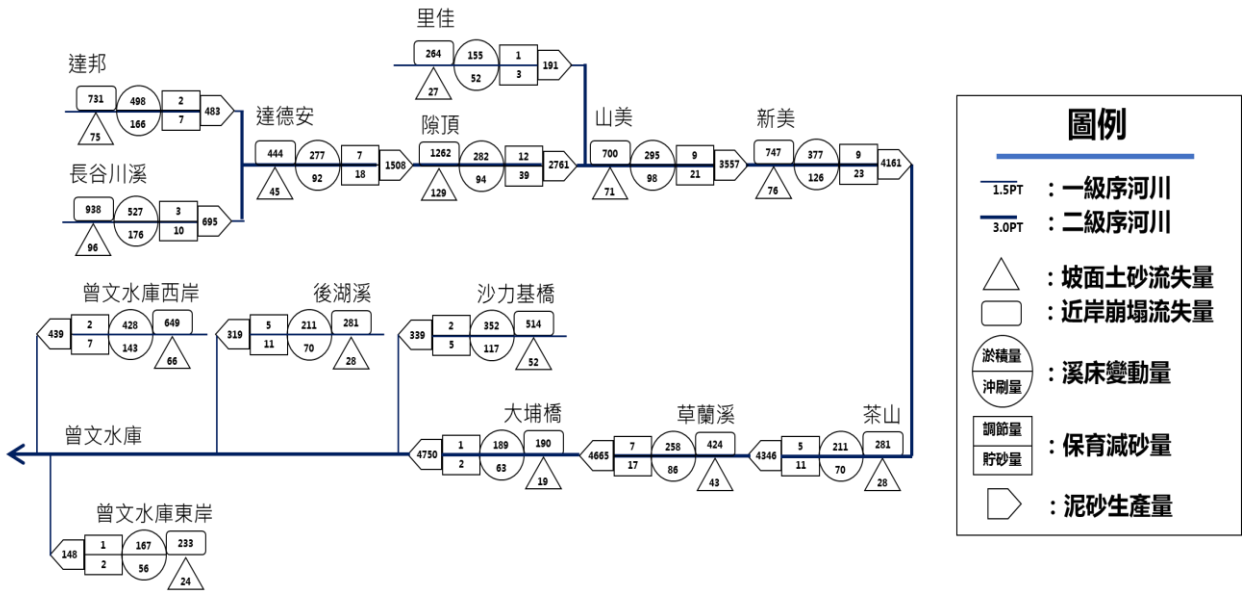


資料來源：本研究製作

圖 5-2　曾文水庫子集水區與河道樹狀圖

(二)曾文溪水庫集水區特性時段土砂收支成果展示

本研究將曾文水庫集水區 2009 年土砂收支計算成果，坡面土砂流失量、近岸崩塌量、溪床變動量、保育減砂量與泥砂生產量等資訊，依前述圖例分別建置特性時段土砂收支圖架構內，曾文水庫集水區特性時段樹狀土砂收支圖如圖 5-3 所示。



資料來源：本研究製作

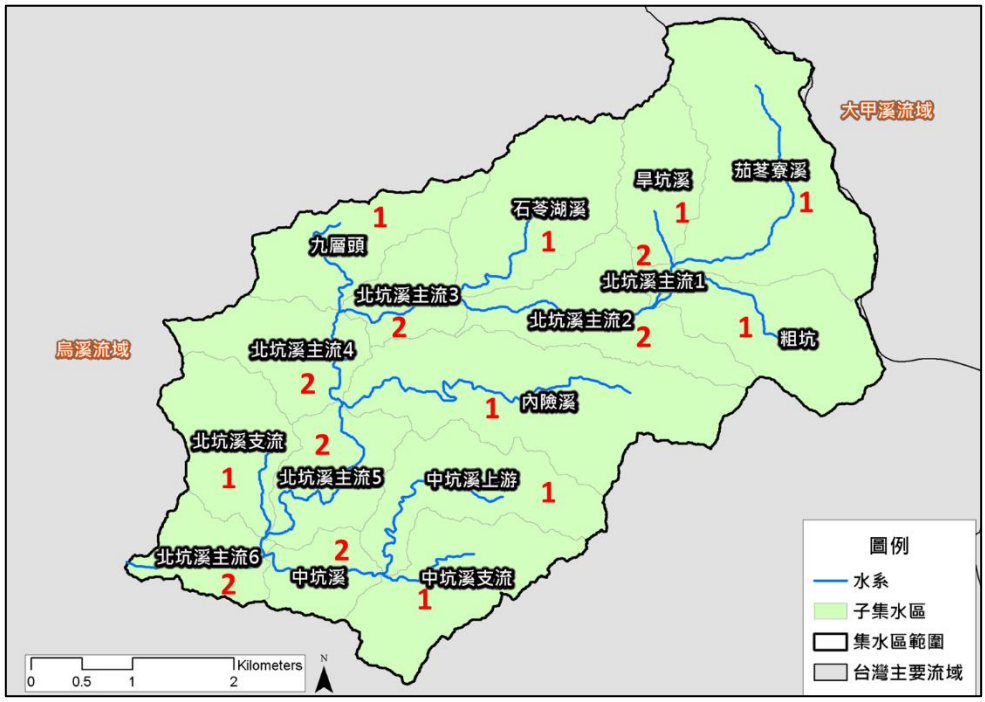
圖 5-3　曾文水庫集水區特性時段樹狀土砂收支圖

二、茄苳寮溪集水區特性時段土砂收支成果展示

本研究研提之特性時段土砂收支，其優點為簡化繁雜之水係關係，並將資料可視化，藉由簡易圖形化表達特定之土砂量體，可以清楚呈現特定時間土砂空間分布之狀態。本研究以 2009 年為例，展示茄苳寮溪集水區土砂收支分布狀況，由前述文獻資料與操作步驟建立土砂收支展式圖，茄苳寮溪集水區特性時段土砂收支製作步驟說明如下：

(一)製作步驟說明

1、依據水保局劃分子集水區圖層，匯出茄苳寮溪集水區範圍內之子集水區範圍，將水系圖依子集水區圖層進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層，並依此訂定河川級序，茄苳寮溪子集水區與河道圖如圖 5-4 所示。

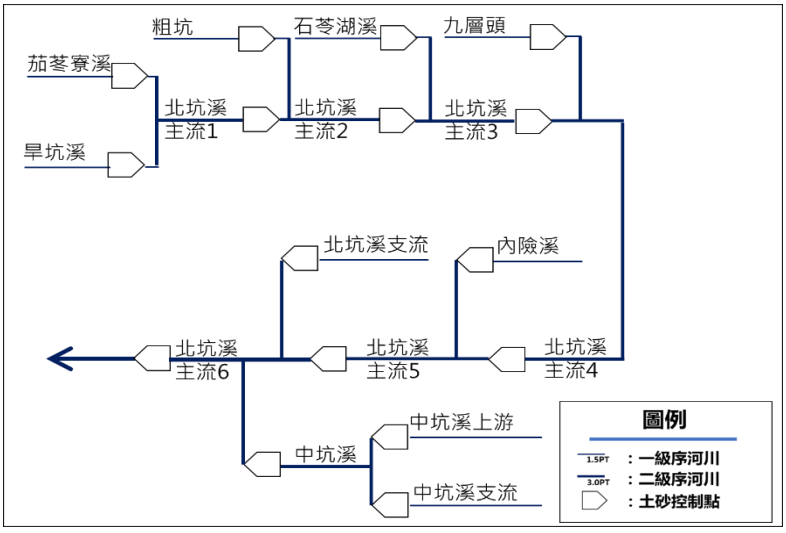


資料來源：本研究製作

圖 5-4　茄苳寮溪子集水區與河道分布圖

2、利用 *Microsoft PowerPoint* 製作子集水區與河道樹狀分布情形，以線段呈現集水區水系主、支流分布情況，依不同線段寬度設定河川級序，以五角形代表各子集水區水系之「泥砂生產量」之控制

點，茄苳寮溪子集水區與河道樹狀圖如圖 5-5 所示。

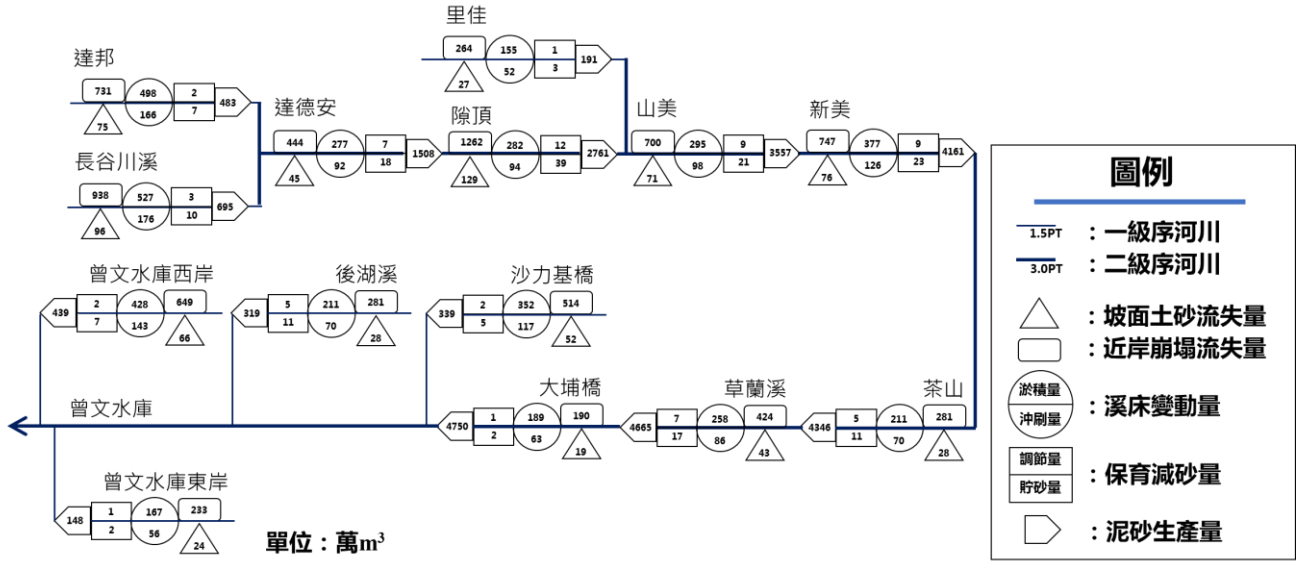


資料來源：本研究製作

圖 5-5　茄苳寮溪子集水區與河道樹狀圖

(二)茄苳寮溪集水區特性時段土砂收支成果展示

本研究將茄苳寮溪集水區 2009 年土砂收支計算成果，坡面土砂流失量、近岸崩塌量、溪床變動量、保育減砂量與泥砂生產量等資訊，依前述圖例分別建置特性時段土砂收支圖架構內，茄苳寮溪集水區特性時段樹狀土砂收支圖如圖 5-6 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-6　茄苳寮溪集水區特性時段樹狀土砂收支圖

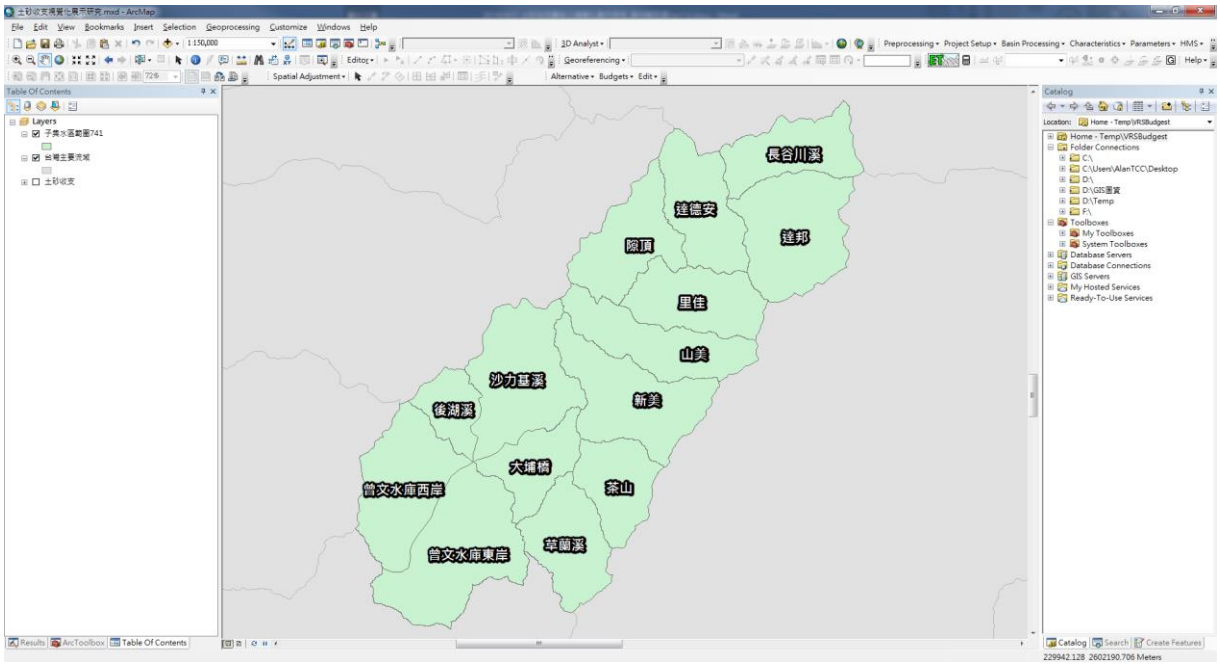
第二節　地理資訊定量視覺化土砂收支

一、曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化土砂收支成果展示

本研究將以 *The sediment budget of a large river regulated by dams, 2013* 之土砂收支圖為基礎，配合地理資訊系統展示方式，以曾文水庫為範例，展示集水區 2008~2010 年土砂收支分布狀況，續將曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化製作步驟說明如下：

(一)製作步驟說明

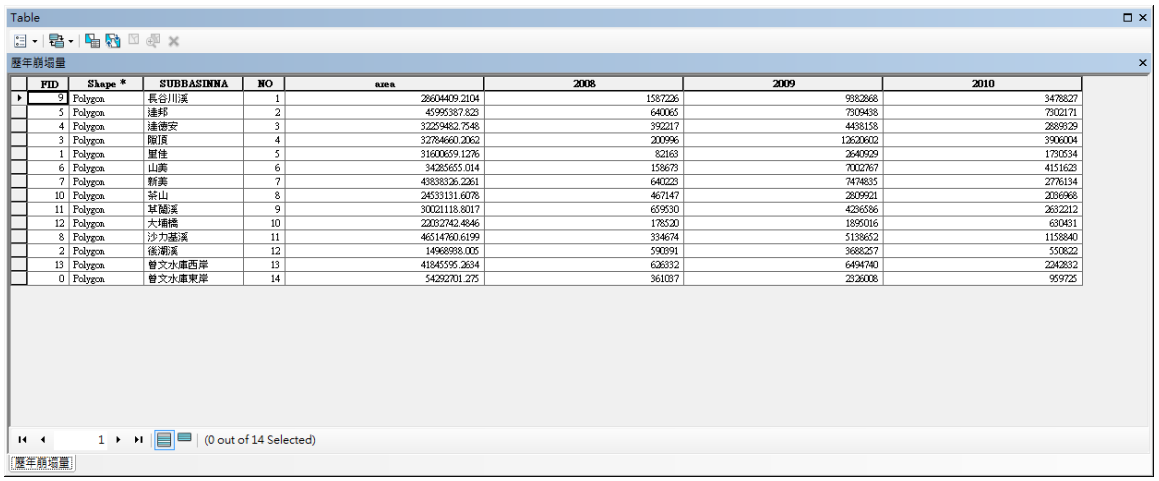
1、依據水保局劃分子集水區圖層，匯出曾文水庫集水區範圍內之子集水區範圍，點選圖層 *Data > Export Data* 建立曾文水庫子集水區圖層，如圖 5-7 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-7　曾文水庫子集水區圖層建立示意圖

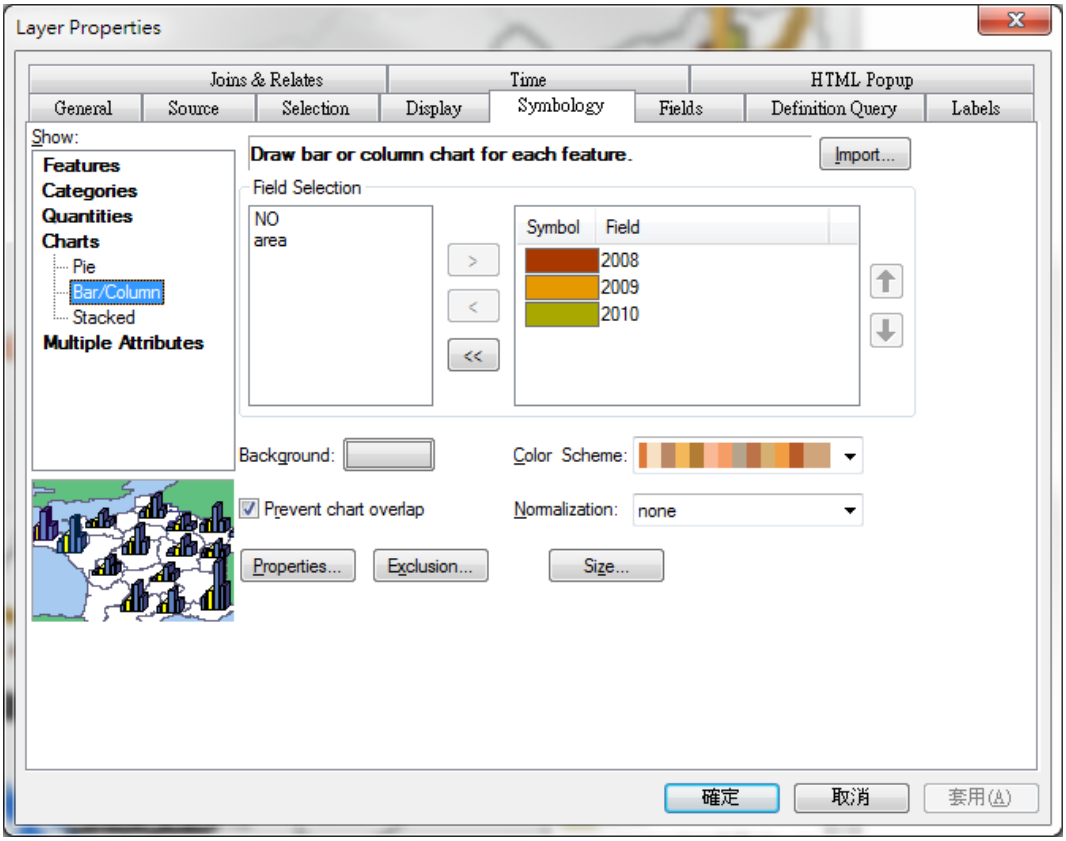
2、曾文水庫子集水區圖層點選 *Open Attribute table > Table Options > Add Field* 建立欄位資訊 2008、2009 及 2010 為集水區崩塌量體 *(單位 m^3)*，如圖 5-8 所示。



資料來源：本研究製作

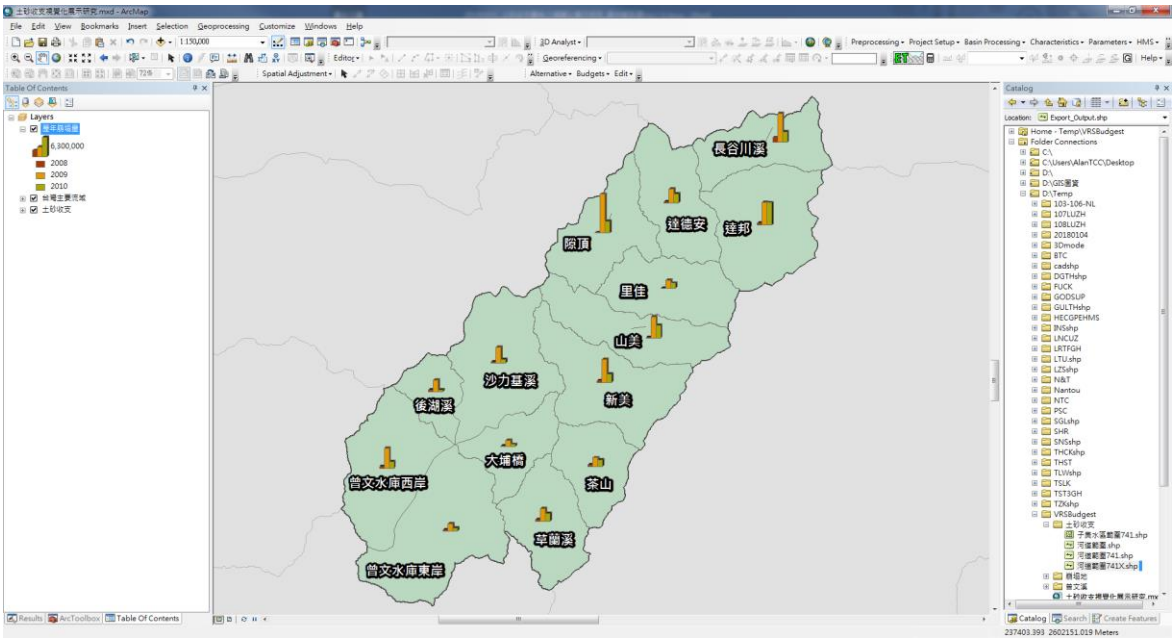
圖 5-8　曾文水庫子集水區圖層欄位新增示意圖

3、曾文水庫子集水區圖層點選 *Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Bar/Colum* 選擇 2008、2009 及 2010 欄位(圖 5-9)，以直方圖方式展式各期土砂量分布成果。而曾文水庫子集水區各期崩塌地分布如圖 5-10 所示。



資料來源：本研究製作

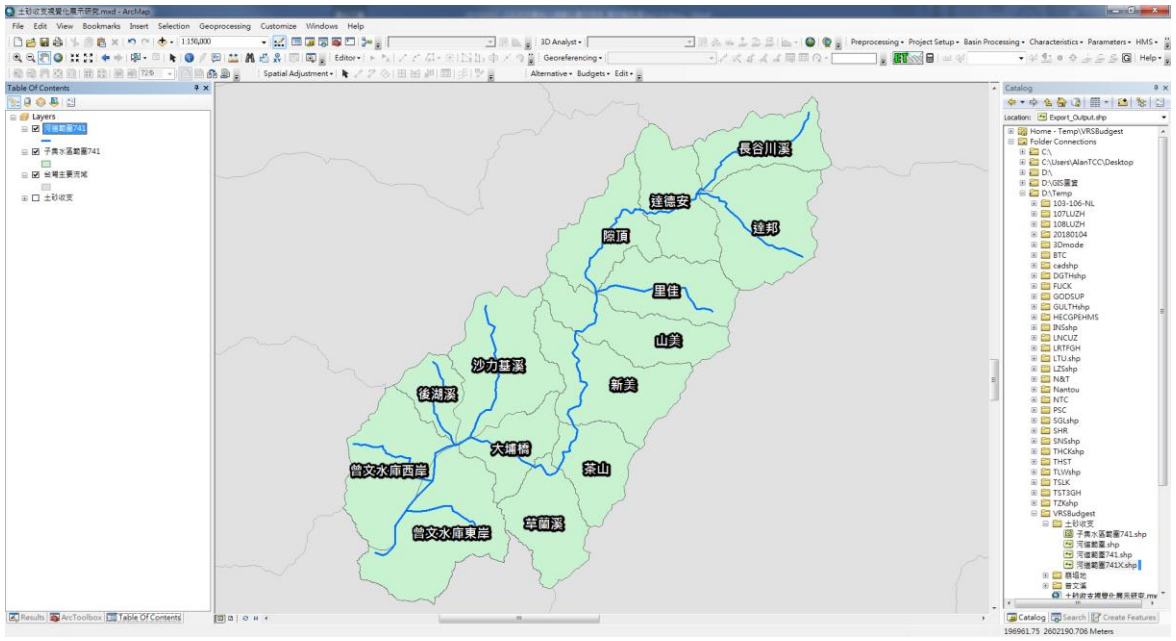
圖 5-9　曾文水庫集水區各期崩塌土砂量直條圖設定示意圖



資料來源：本研究製作

圖 5-10　曾文水庫子集水區各期崩塌土方分布示意圖

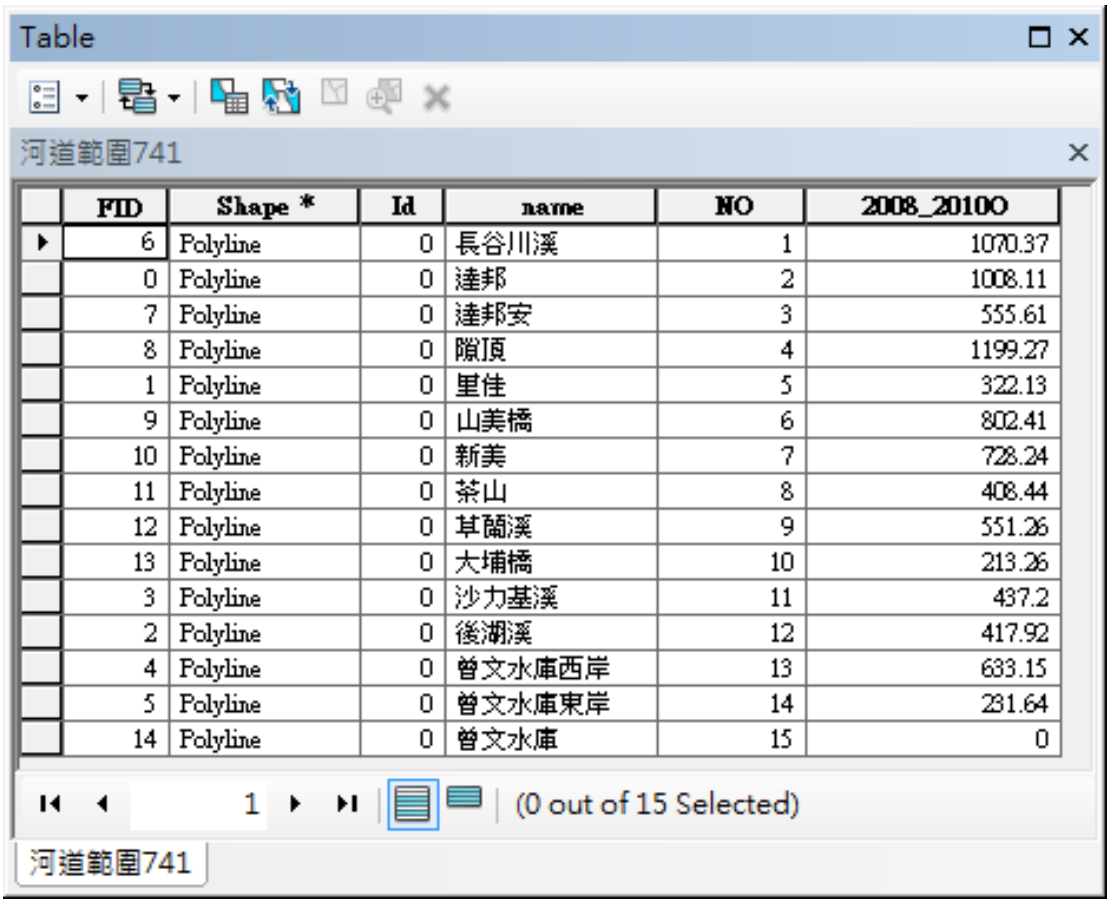
4、集水區水系為展示河道泥砂生產量分布狀況，將水系圖依曾文水庫子集水區圖層進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層。曾文水庫集水區河道分布圖如圖 5-11 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-11　曾文水庫集水區河道分布示意圖

5、集水區河道圖層點選 *Open Attribute table* > *Table Options* > *Add Field* 建立欄位資訊 2008-2010 為集水區泥砂生產體*(單位萬 m^3)*，曾文水庫集水區河道圖層新增欄位資訊如圖 5-12 所示。

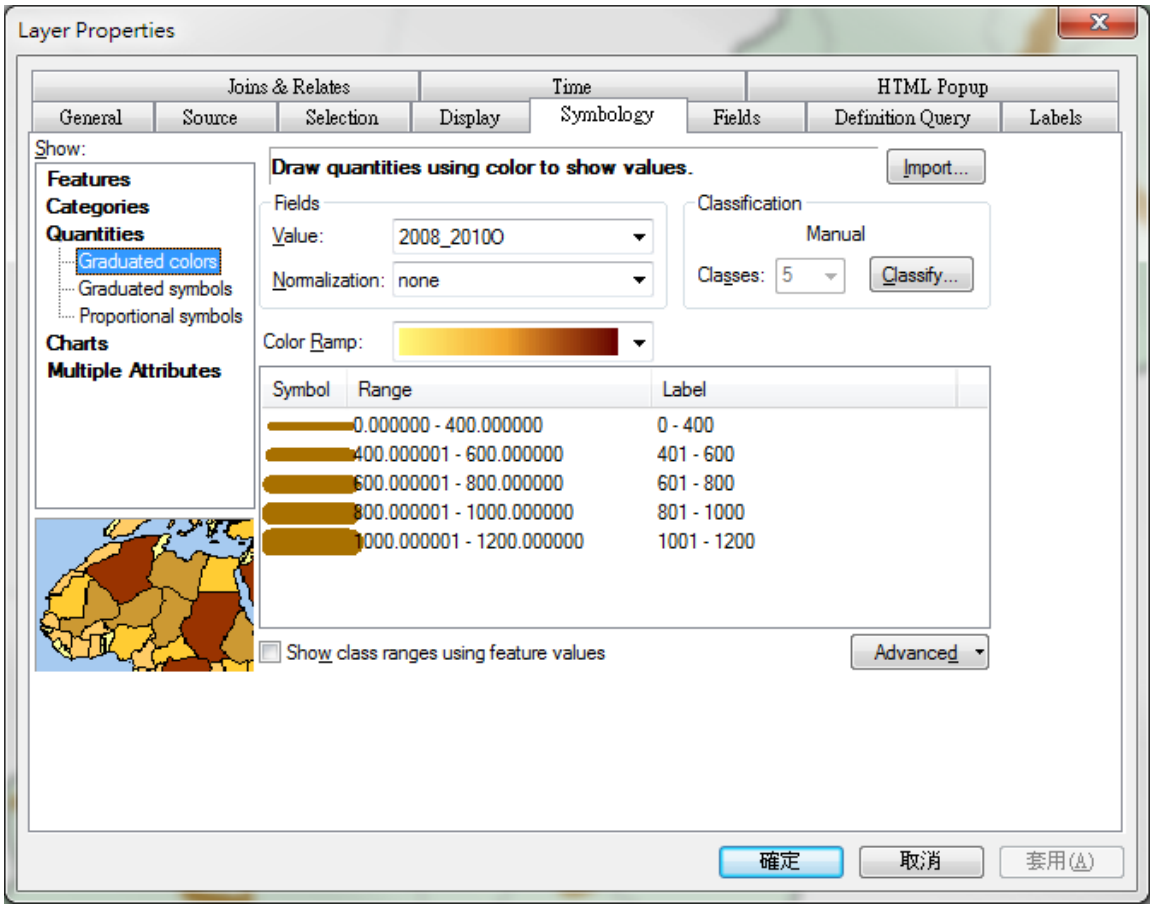


FID	Shape *	Id	name	NO	2008_2010O
6	Polyline	0	長谷川溪	1	1070.37
0	Polyline	0	達邦	2	1008.11
7	Polyline	0	達邦安	3	555.61
8	Polyline	0	隙頂	4	1199.27
1	Polyline	0	里佳	5	322.13
9	Polyline	0	山美橋	6	802.41
10	Polyline	0	新美	7	728.24
11	Polyline	0	茶山	8	408.44
12	Polyline	0	草蔴溪	9	551.26
13	Polyline	0	大埔橋	10	213.26
3	Polyline	0	沙力基溪	11	437.2
2	Polyline	0	後湖溪	12	417.92
4	Polyline	0	曾文水庫西岸	13	633.15
5	Polyline	0	曾文水庫東岸	14	231.64
14	Polyline	0	曾文水庫	15	0

資料來源：本研究製作

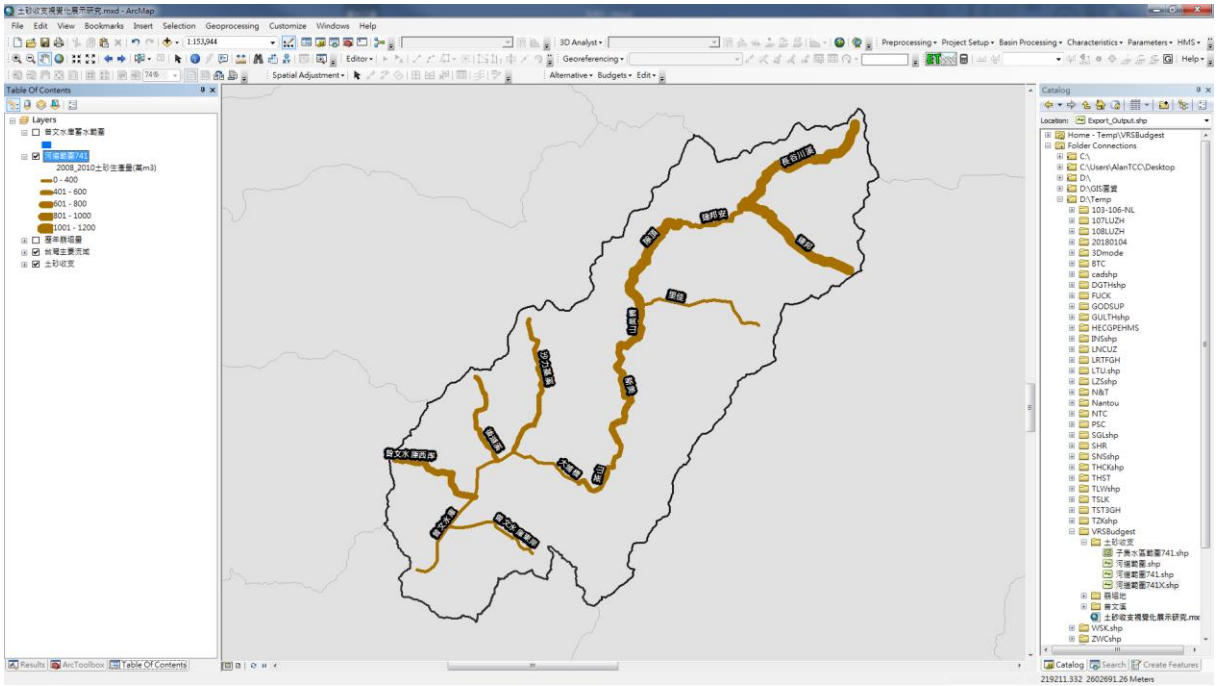
圖 5-12　曾文水庫集水區河道圖層欄位新增示意圖

6、集水區河道圖層點選 *Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated colors* > *value* 選擇 2008-2010 欄位(圖 5-13)，於 *classify* 應用 *Natural Breaksr* 選擇 5 個分類，並依不同泥砂生產量等級選擇不同寬度(表 5-1)。曾文水庫各子集水區各期泥砂生產量分布如圖 5-14 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-13　曾文水庫河道泥砂生產量設定示意圖



資料來源：本研究製作

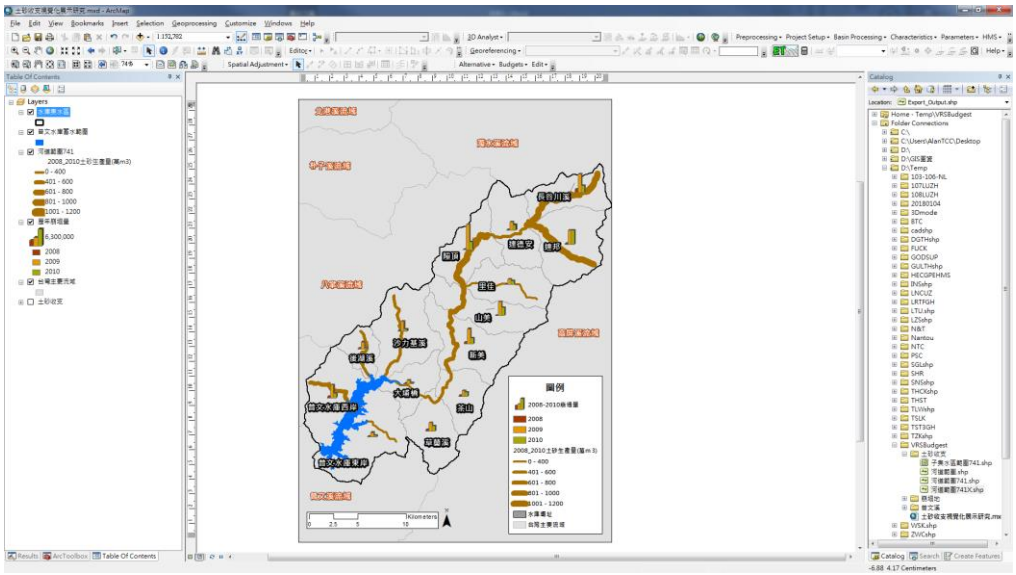
圖 5-14　曾文水庫河道泥砂生產量分布示意圖

表 5-1　曾文水庫河道生產量圖例設定建議表

等級	級距(萬 m^3)	寬度(width)
1	0-400	4.0
2	401-600	6.0
3	601-800	8.0
4	801-1000	10.0
5	1001-1200	12.0

資料來源：本研究製作

7、最後利用 *Layout View* 出圖，增加 *North Arrow*(指北針)、*Scale Bar*(比例尺)及 *Legend*(圖例)，即可完整呈現曾文水庫集水區土砂收支分布圖，如圖 5-15 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-15　曾文水庫土砂收支示意圖

(二)曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化成果展示

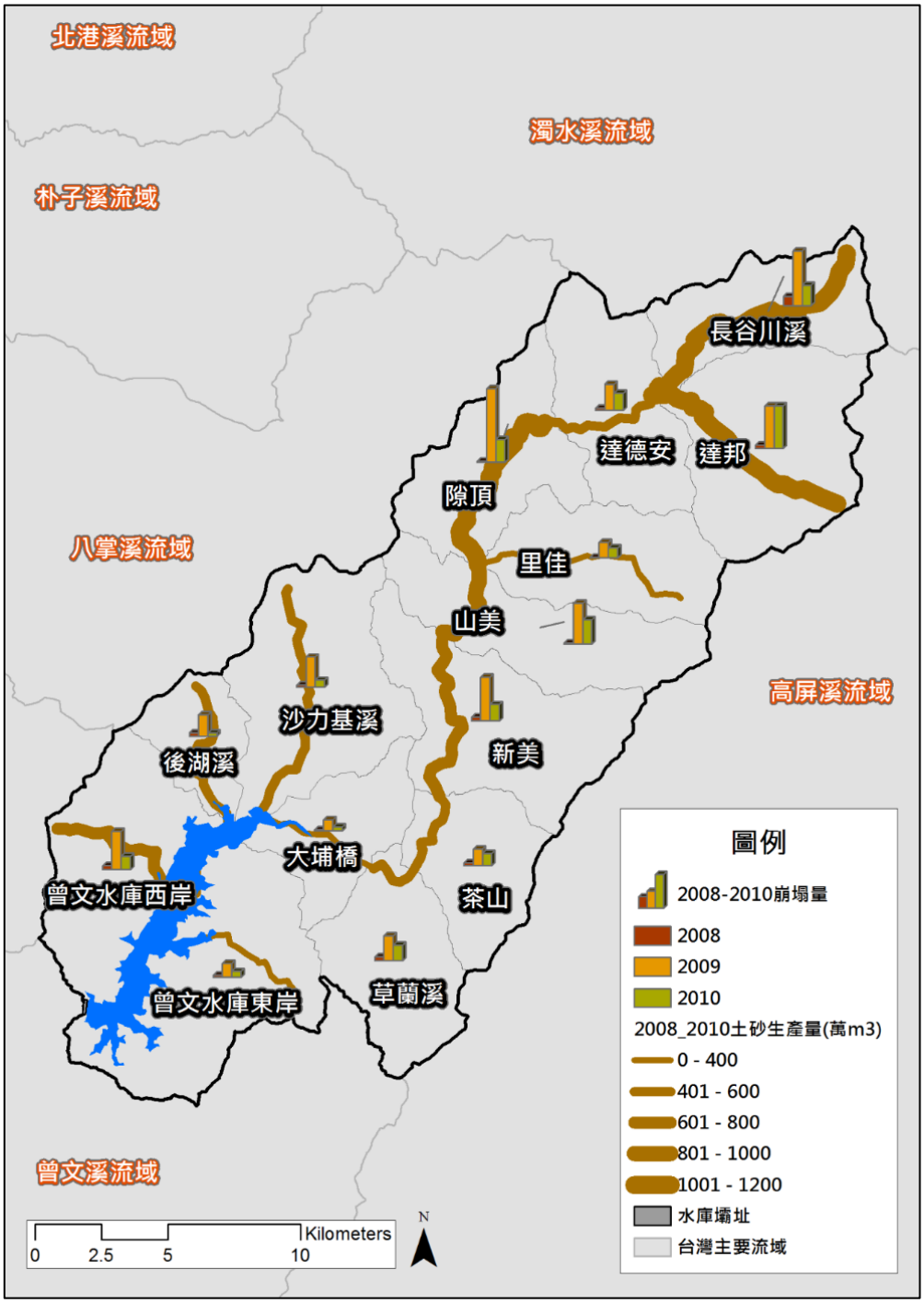
曾文水庫 2008~2010 年集水區土砂收支分布狀況，由前述文獻資料與操作步驟建立土砂收支展式圖。而曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化成果展式，如圖 5-16 所示。展式圖之各項優點說明如下：

1、崩塌土砂量：由統計圖表直方圖方式可表示 2008~2010 年各期崩塌土砂量分布成果，顯示 2009 年莫拉克颱風造成集水區崩塌量體較多，而崩塌土方集中於長谷川溪、達邦與隙頂集水區。

2、河道泥砂生產量：依不同寬度代表不同量體泥砂生產量，其呈現 2008-2010 年各子集水區泥砂生產量，可清楚瞭解土砂運移分布狀

況，針對泥砂生產旺盛之河段，建議可進行相關治理措施。

地理資訊定量視覺化成果展示，可清楚呈現曾文水庫各期崩塌土砂量與泥砂生產量之分布狀況，並可指出重點治理區位(長谷川溪、達邦與隙頂集水區)等，供水保局後續治理參考。



資料來源：本研究製作

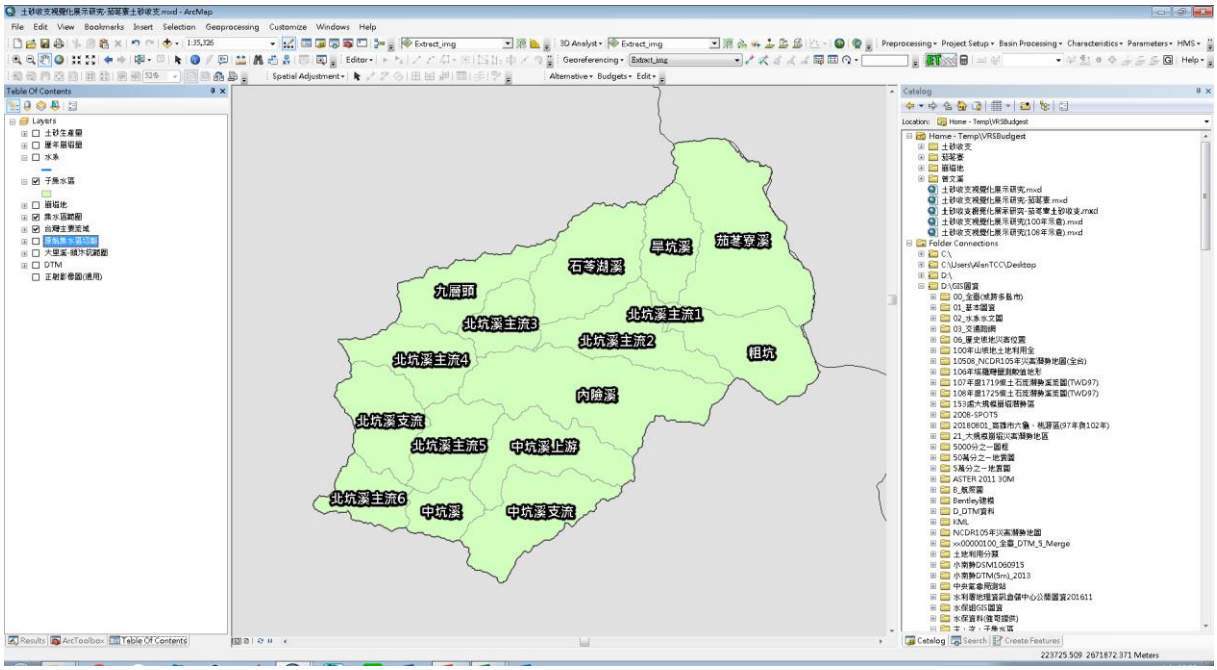
圖 5-16　曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化土砂收支分布圖

二、茄苳寮集水區地理資訊定量視覺化土砂收支成果展示

本研究以茄苳寮集水區為範例，展示集水區 2008~2010 年土砂收支分布狀況，續將茄苳寮集水區地理資訊定量視覺化製作步驟說明如下：

(一)製作步驟說明

1、依據水保局劃分子集水區圖層，匯出茄苳寮溪集水區範圍內之子集水區範圍，點選圖層 *Data* > *Export Data* 建立茄苳寮溪子集水區圖層，如圖 5-17 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-17　茄苳寮溪子集水區圖層建立示意圖

2、茄苳寮溪子集水區圖層點選 *Open Attribute table* > *Table Options* > *Add Field* 建立欄位資訊 2008、2009 及 2010 為集水區崩塌量體 *(單位 m^3)*，如圖 5-18 所示。

Table

屢年崩塌量

FID	Shape *	ID	名稱	area	2008	2009	2010
2	Polygon	1	茄苳寮溪	3598575	6139	6567	2872
1	Polygon	2	和坑溪	1155750	7470	7991	3494
3	Polygon	3	北坑溪主流1	146650	1040	1113	487
8	Polygon	4	粗坑	1856525	794	849	371
4	Polygon	5	北坑溪主流2	1776800	2905	3108	1359
0	Polygon	6	石苓湖溪	2103325	4319	4620	2020
7	Polygon	7	北坑溪主流3	893725	2412	2581	1129
6	Polygon	8	九層頭	1478625	277	297	130
10	Polygon	9	內險溪	3485925	2914	3117	1363
5	Polygon	10	北坑溪主流4	1389450	624	668	292
9	Polygon	11	北坑溪主流5	1293825	134	143	63
11	Polygon	12	北坑溪支流	1535050	0	0	0
12	Polygon	13	中坑溪上游	1798925	260	278	122
13	Polygon	14	中坑溪支流	1915300	405	433	189
15	Polygon	15	中坑溪	748900	319	341	149
14	Polygon	16	北坑溪主流6	907600	257	275	120

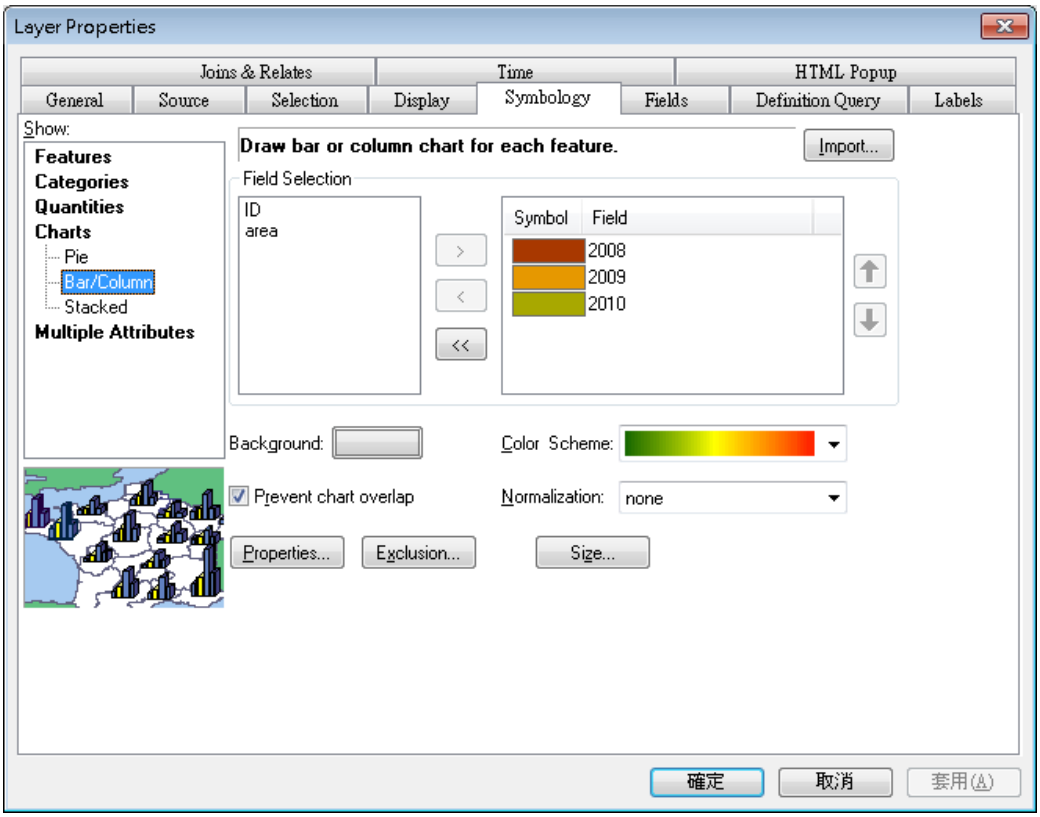
1 (0 out of 16 Selected)

屢年崩塌量

資料來源：本研究製作

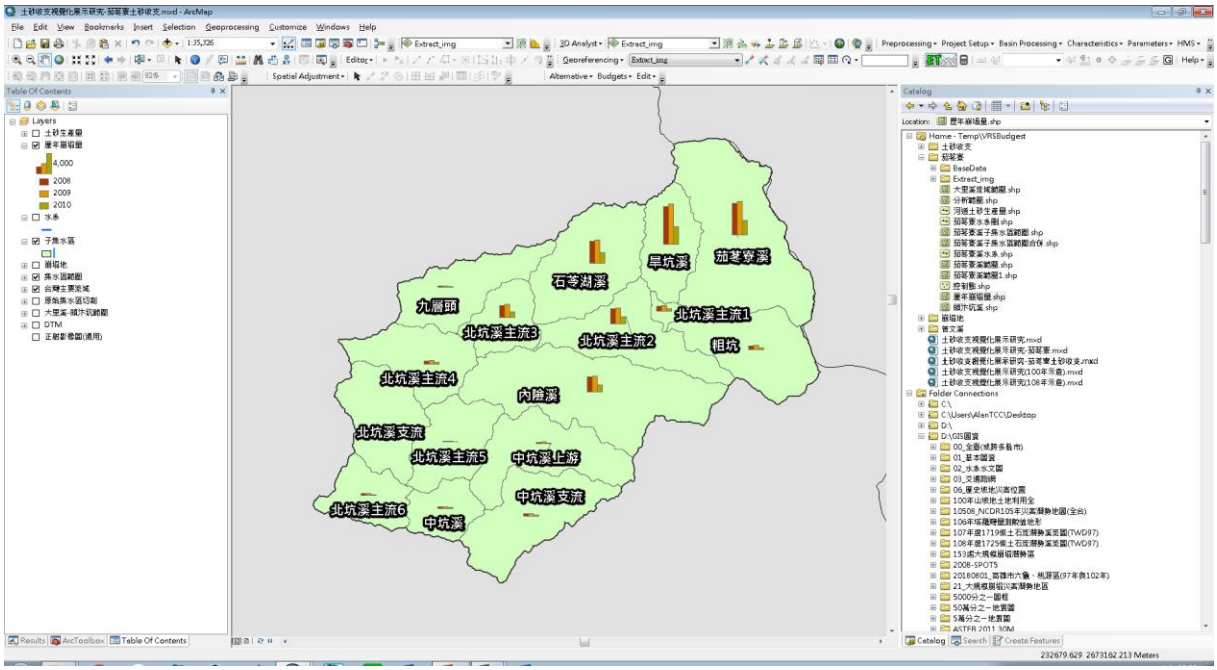
圖 5-18　茄苳寮溪子集水區圖層欄位新增示意圖

3、茄苳寮溪子集水區圖層點選 *Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Bar/Colum* 選擇 2008、2009 及 2010 欄位(圖 5-19)，以直方圖方式展式各期土砂量分布成果。而茄苳寮溪子集水區各期崩塌地分布如圖 5-20 所示。



資料來源：本研究製作

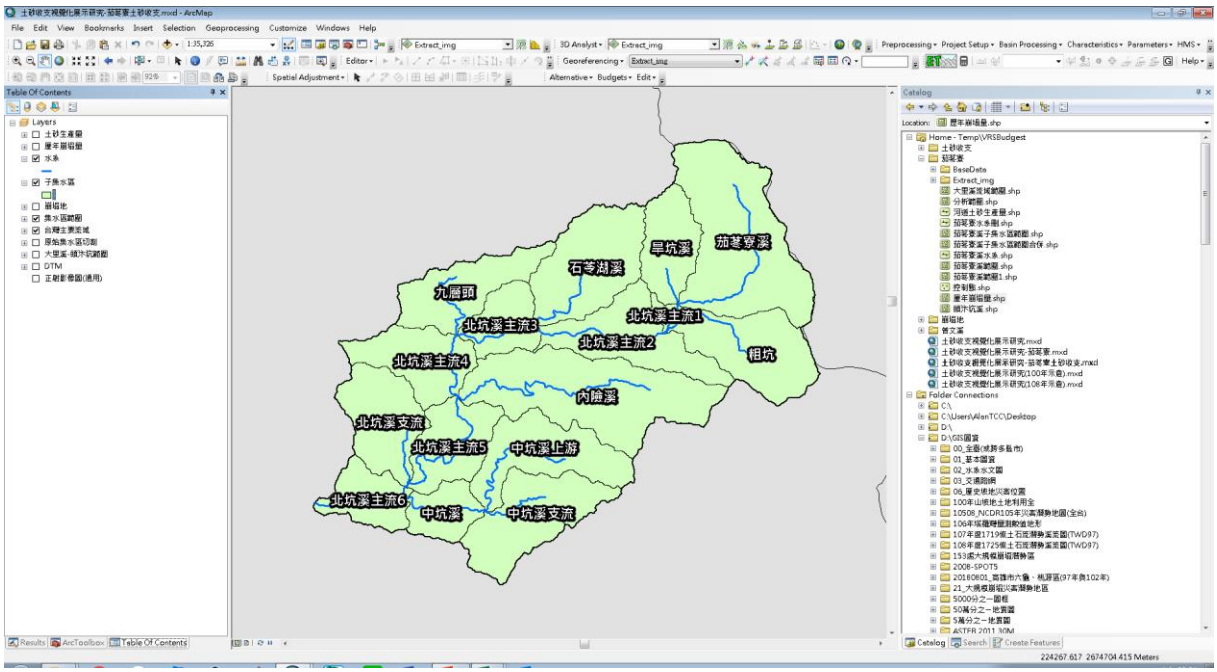
圖 5-19　茄苳寮溪各期崩塌土砂量直條圖設定示意圖



資料來源：本研究製作

圖 5-20　茄苳寮溪子集水區各期崩塌土方分布示意圖

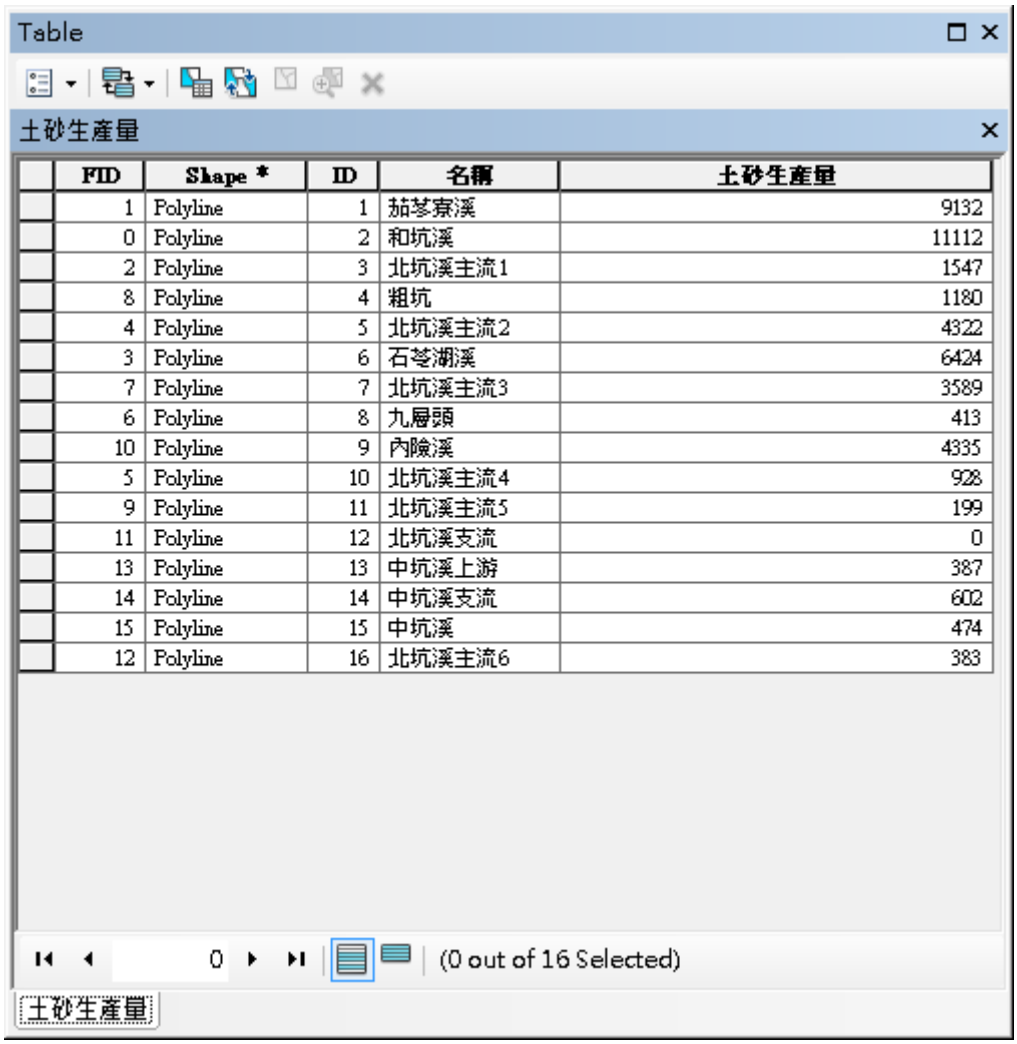
4、集水區水系為展示河道泥砂生產量分布狀況，將水系圖依曾文水庫子集水區圖層進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層。茄苳寮溪集水區河道分布圖如圖 5-21 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-21　茄苳寮溪集水區河道分布示意圖

5、集水區河道圖層點選 *Open Attribute table* > *Table Options* > *Add Field* 建立欄位資訊 2008-2010 為集水區泥砂生產體*(單位萬 m^3)*，茄苳寮溪集水區河道圖層新增欄位資訊如圖 5-22 所示。

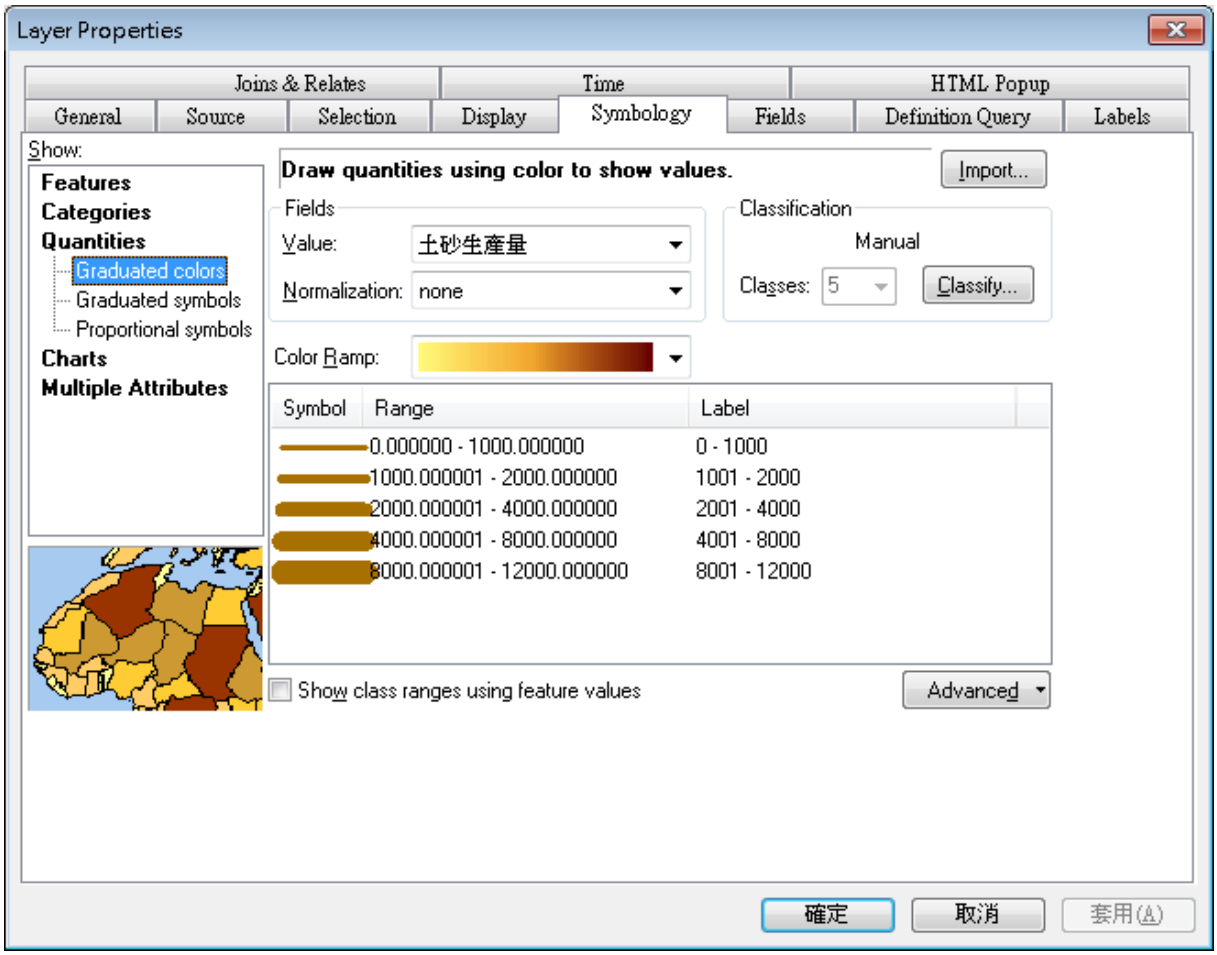


FID	Shape *	ID	名稱	土砂生產量
1	Polyline	1	茄苳寮溪	9132
0	Polyline	2	和坑溪	11112
2	Polyline	3	北坑溪主流1	1547
8	Polyline	4	粗坑	1180
4	Polyline	5	北坑溪主流2	4322
3	Polyline	6	石苓湖溪	6424
7	Polyline	7	北坑溪主流3	3589
6	Polyline	8	九層頭	413
10	Polyline	9	內險溪	4335
5	Polyline	10	北坑溪主流4	928
9	Polyline	11	北坑溪主流5	199
11	Polyline	12	北坑溪支流	0
13	Polyline	13	中坑溪上游	387
14	Polyline	14	中坑溪支流	602
15	Polyline	15	中坑溪	474
12	Polyline	16	北坑溪主流6	383

資料來源：本研究製作

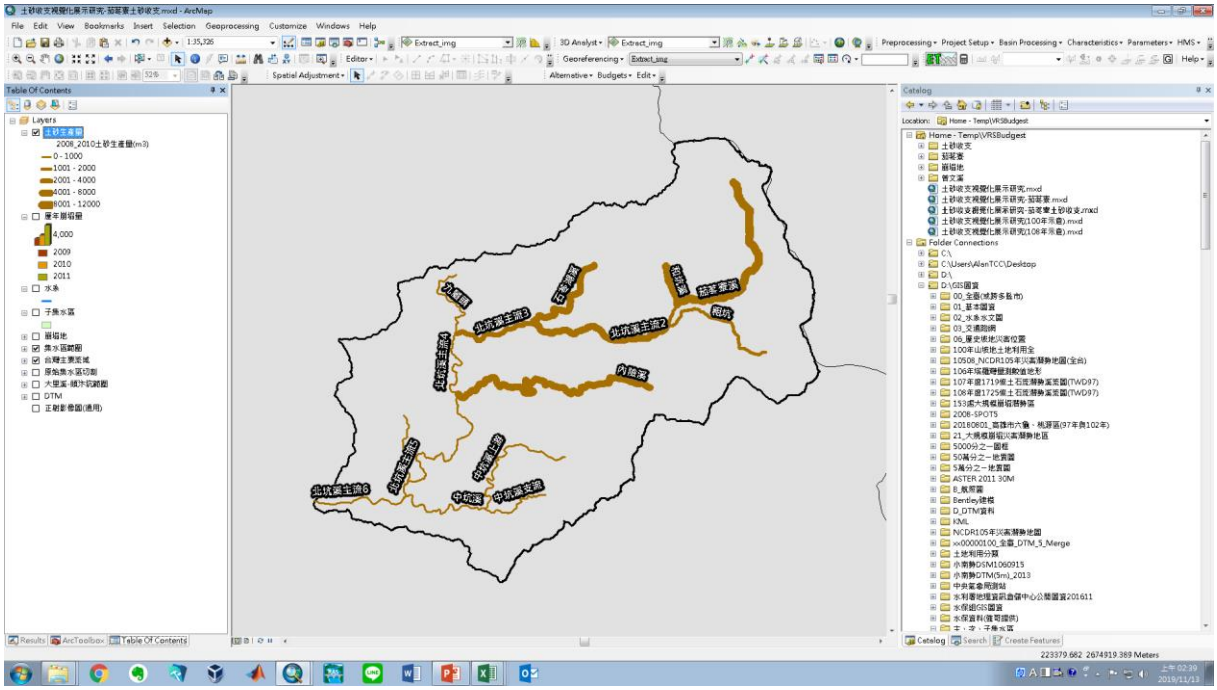
圖 5-22　茄苳寮溪集水區河道圖層欄位新增示意圖

6、集水區河道圖層點選 *Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated colors* > *value* 選擇 2008-2010 欄位(圖 5-23)，於 *classify* 應用 *Natural Breaksr* 選擇 5 個分類，並依不同泥砂生產量等級選擇不同寬度(表 5-2)。茄苳寮溪各子集水區各期泥砂生產量分布如圖 5-24 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-23　茄苳寮溪河道泥砂生產量設定示意圖



資料來源：本研究製作

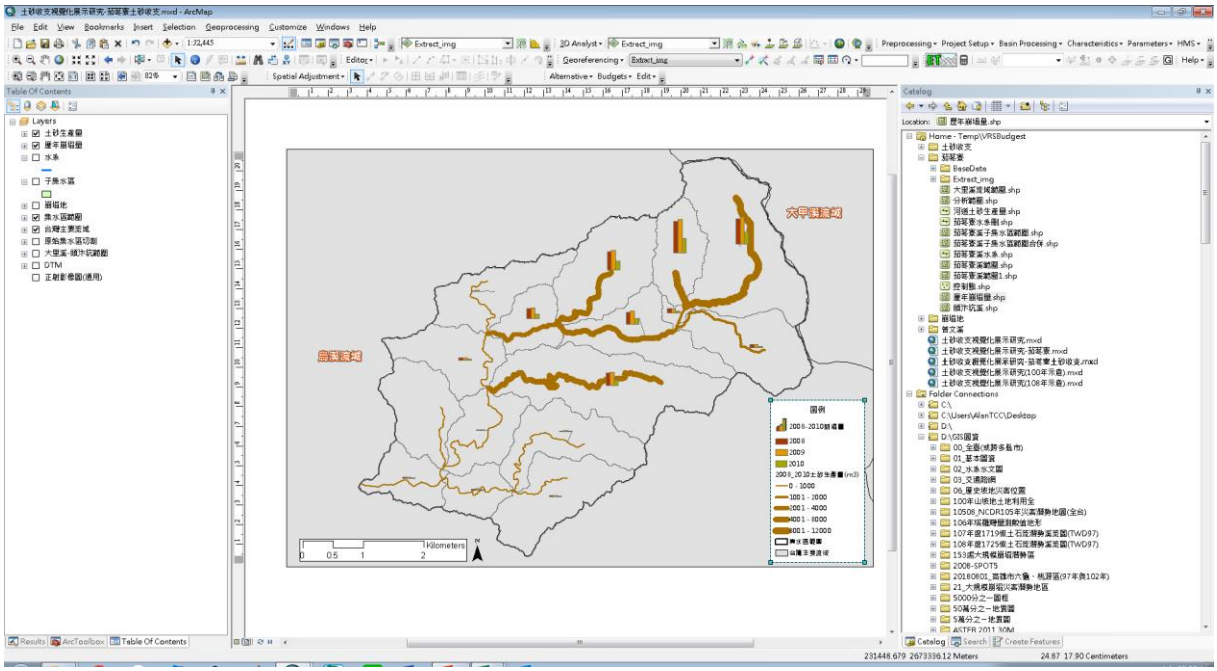
圖 5-24　茄苳寮溪河道泥砂生產量分布示意圖

表 5-2　茄苳寮溪河道生產量圖例設定建議表

等級	級距(m^3)	寬度(width)
1	0-1,000	4.0
2	1,001-2,000	6.0
3	2,001-4,000	8.0
4	4,001-8,000	10.0
5	8,001-12,000	12.0

資料來源：本研究製作

7、最後利用 *Layout View* 出圖，增加 *North Arrow*(指北針)、*Scale Bar*(比例尺)及 *Legend*(圖例)，即可完整呈現曾文水庫集水區土砂收支分布圖，如圖 5-25 所示。



資料來源：本研究製作

圖 5-25　茄苳寮溪集水區土砂收支示意圖

(二)茄苳寮溪集水區地理資訊定量視覺化成果展示

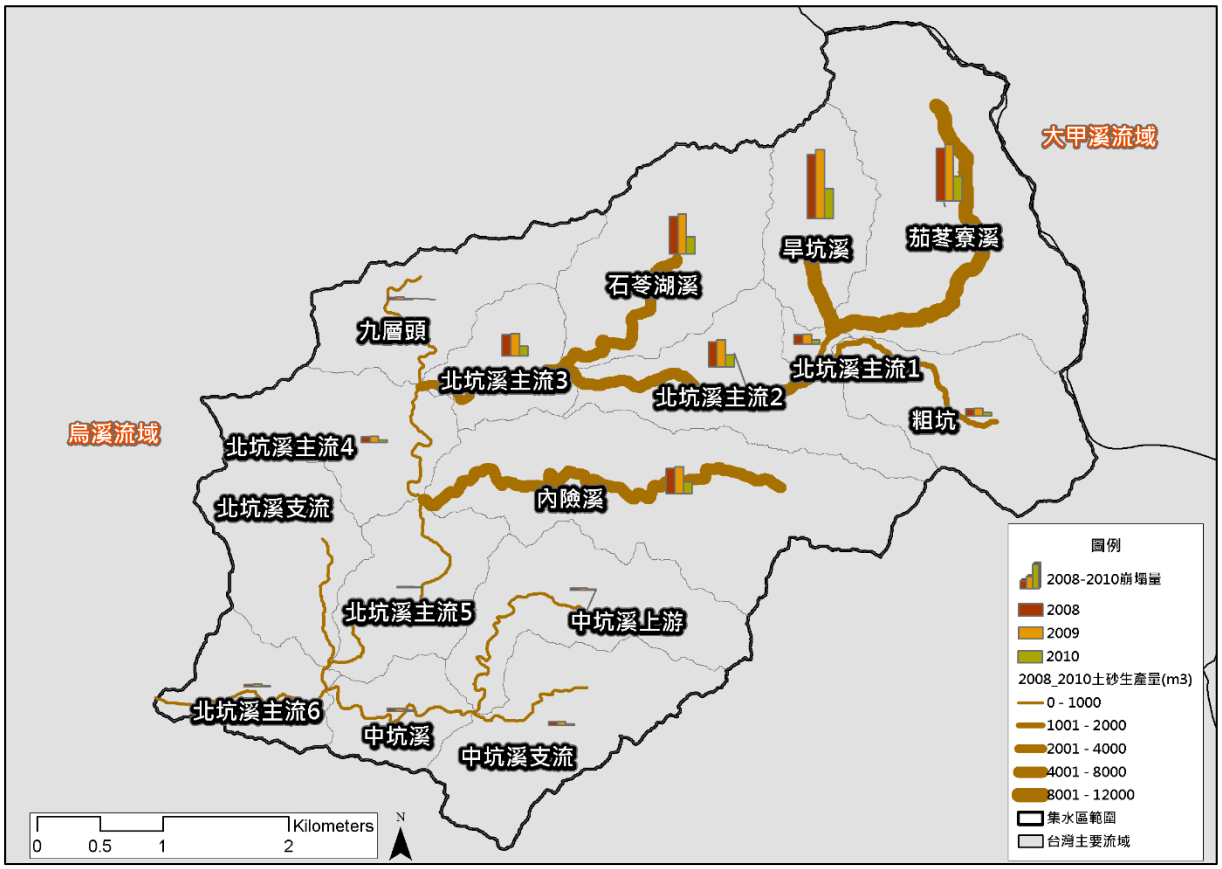
茄苳寮溪集水區 2008~2010 年集水區土砂收支分布狀況，由前述文獻資料與操作步驟建立土砂收支展式圖。而曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化成果展式，如圖 5-26 所示。展式圖之各項優點說明如下：

1、崩塌土砂量：由統計圖表直方圖方式可表示 2008~2010 年各期崩塌土砂量分布成果，顯示 2009 年莫拉克颱風造成集水區崩塌量體

較多，而崩塌土方集中於茄苳寮溪、旱坑溪與內險溪集水區。

2、河道泥砂生產量：依不同寬度代表不同量體泥砂生產量，其呈現2008-2010 年各子集水區泥砂生產量，可清楚瞭解土砂運移分布狀況，針對泥砂生產旺盛之河段，建議可進行相關治理措施。

地理資訊定量視覺化成果展示，可清楚呈現茄苳寮溪集水區各期崩塌土砂量與泥砂生產量之分布狀況，並可指出重點治理區位(茄苳寮溪、旱坑溪與內險溪)等，供水保局後續治理參考。



資料來源：本研究製作

圖 5-26　茄苳寮溪集水區地理資訊定量視覺化土砂收支分布圖

本研究建議之特性時段樹狀土砂收支與地理資訊定量視覺化土砂收支圖，詳實記錄其製作過程，並建立操作手冊供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考，手冊詳如附件二。

第六章　結論與建議

第一節　結論

一、本研究完成曾文水庫及茄苳寮集水區之展示案例，分別以不同尺度進行說明，製作特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支關係圖，供後續相關人員參考。

二、本研究完成特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支關係圖之操作手冊，逐步說明圖形製作之流程，並針對其圖形之形狀、顏色、大小等進行詳細說明與建議，供後續相關研究人員持續使用。

第二節　建議

一、集水區土砂運移過程係複雜的物理機制，為評估集水區土砂運移特性，建議透過現地監測成果，配合數值模式模擬分析集水區產砂、運移、堆積等過程，其參數設定將會更完善。

二、建議未來能應用無人載具*(UAV)*技術，於颱洪事件前後能持續進行觀測，透過完整多時期的數值表面模型*(DSM)*以及水文資訊，才能使得集水區土砂收支規律預測分析更趨完整。

參考文獻

1. 水文資料網路查詢系統 http://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/
2. 水土保持工程管考系統 https://mis.swcb.gov.tw/swcbtaojr/ntaojr.aspx
3. 交通部中央氣象局 https://www.cwb.gov.tw/V8/C/
4. 行政法人國家災害防救科技中心 https://www.ncdr.nat.gov.tw/
5. 行政院農委會水土保持局 https://www.swcb.gov.tw/
6. 經濟部中央地質調查所 http://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp
7. 經濟部水利署 https://www.wra.gov.tw/
8. 國土資訊系統 https://www.land.moi.gov.tw/landdatabase/chhtml/
9. 「土砂災害調查マニュアル」,1988
10. 「水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用」，行政院農委會水土保持局，2012
11. 「水土保持手冊」，行政院農委會水土保持局，2017
12. 「茄苳寮溪集水區整體治理效益評估」，行政院農委會水土保持局台中分局，2016
13. 「曾文水庫集水區土砂流失監測、模擬與推估分析」,行政院農業委員會水土保持局，2017
14. 「應用動床演算於流域土砂收支模式之研究」，謝正倫等，2009
15. A sediment budget for a cultivated floodplain in tropical North Queensland, Australia,2007
16. Coastal Bluff Evolution Adjacent to Shoreline Ppotection ,2015
17. Spatiotemporal Variations in Annual Sediment Yield from the Middle Yellow River, China, 1950–2010,2015
18. The sediment budget of a large river regulated by dams,The Lower River Ebro, NE Spain,2013

附錄一　歷次審查意見及處理情形

「土砂收支關係之視覺化展示研究」工作執行計畫書審查意見及處理情形

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
1.收支視覺化，建議採用西班牙東北部的研究方式。	遵照辦理。	-	-
2.增加水保局整治小集水區之土砂收支視覺化展示方式。	感謝委員意見，本研究將增加臺中市茄苳寮溪集水區為土砂收支視覺化展示之範例，將於期末階段呈現相關特性時段樹狀土砂收支與地理資訊定量視覺化土砂收支圖之成果。	-	-
3.P.1-4 表 1-1，107 年應修正為 108 年。	感謝委員指正，已修正表格誤植部分。	第一章第七節表 1-1	P.1-5
4.P.2-16，宜將土砂收支關係列表比較分析。	感謝委員意見，已補充說明相關文獻綜合分析彙整表。	第四章第一節表 4-1	P.4-2
5.P.2-22，圖層點密度圖，展示顏色宜採對比色。	感謝委員意見，圖層點密度圖，係利用點之密集度進行呈現，其數值越高則點密度越密集。	-	-
6.可否以河道和坡面土砂量變化量，沖淤情形以顏色表示？量體以寬度或顏色深淺表示？	感謝委員意見，本研究建議之地理資訊定量視覺化土砂收支展示方式主要參考*"The sediment budget of a large river regulated by dams"*，並以曾文水庫進行展示說明。	第五章第二節圖 5-21	P.5-15
7.P.2-5，圖 2-4 地質圖圖例顏色與實際顏色有差異，請確認並修正。	感謝委員指正，已修正曾文水庫集水區地質分布圖。	第二章第一節圖 2-5	P.2-9
8.P.2-8，本研究收集計畫區內 2003 至 2014 年之崩塌地資料，建議增加 2015~2018 年之資料。	1.感謝委員意見，福為 2 號於 2016 年 8 月 19 日除役，而福衛 5 號尚在測試階段。 2.本計劃崩塌圖資依政府公開資訊網「由林務局委託成功大學，以當年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像(93 年	-	-

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
	度使用 SPOT 衛星影像)，建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製崩塌地判釋最小面積為 0.1 公頃。」，最後更新年份為 2016 年(衛星影像判釋崩塌地圖 105 年，行政院農業委員會 / 詮釋資料更新時間：2019/03/17 10:15)		
9.P.2-8，圖 2-6 中 2014 年崩塌面積為 329 萬平方公尺，但表 2-2 中崩塌面積為 193.3 萬立方公尺，請修正。	感謝委員指正，已修正 2014 年各子集水區崩塌面積分布與其崩塌率分析成果。	第二章第一節 P.2-16	P.2-14
10.P.2-13 文獻三~文獻七引用方式請標示清楚，無法於文獻中對照。	感謝委員指正，已修正文獻內容與參考文獻資料。	第三章及參考文獻	P.3-1~P.3-5 P.參-1
11.P.2-18，河川級序如何劃定，是採用何種分級方式？如 Strahler 分級或其他方式？應說明清楚。	感謝委員意見，本研究係參考水土保持局公告劃分之 741 個集水區範圍為基礎資料，劃分曾文水庫集水區共 14 個子集水區，並以此建立集水區河川級序方式。	第五章第一節	P.5-2~P.5-4
12.P.2-18，一級河川如何定義，是直接以現有子集水區為劃分標準，還是其他方式？	感謝委員意見，本研究係參考水土保持局公告劃分之 741 個集水區範圍為基礎資料，劃分曾文水庫集水區共 14 個子集水區，並以此建立集水區河川級序方式。	第五章第一節	P.5-2~P.5-4
13.P.2-25，圖 2-24 僅呈現土砂流失量，無法反映土砂收支情形。	感謝委員意見，地理資訊定量視覺化展示方式，將不同土砂量運用不同圖層呈現，「崩塌土砂量量」以統計圖表(長方圖)呈現各期崩塌土砂量；而「土砂生產量」則以線段方式依不同粗細代表土砂生產量的多寡呈現。	第五章第二節	P.5-9~P.5-15

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
14.P.2-2，除現有土砂流失量外，亦可考量不同土砂量指標之呈現，另可考量單位面積之土砂流失量。	為了能讓不同尺度集水區能清楚呈現土砂量之差異，建議採用 *ARCGIS* 圖層類別 *Natural Breaks(Jenks)*方式，可依據數據分布狀況呈現清楚分類的級別。	-	-
15.簡報 17 頁以圖層漸層色來表示，土砂收支關係是否再表示坡面沖蝕的土砂收支。	感謝委員意見，圖層漸層色僅能代表單時刻之土砂量分布狀況，若要呈現坡面沖蝕情況，建議可新增另個統計圖表呈現各期坡面土砂沖蝕量之方式辦理。	-	-
16.簡報 19 頁以圓餅圖來表示土砂收支的百分比，建議以直方圖顯示數量的方式，視覺化程度較好。	遵照辦理，已補充曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化土砂收支圖。	第五章第二節	P.5-15
17.P.2-4 圖 2-3，以顏色來展示坡向圖例是單色，到圖中就成為彩色，與圖例如和對應，或是能像紅色地圖之類方式來說明。	感謝委員意見。	-	-
18.P.2-5 圖 2-4，圖例與圖中的顏色不一，P.2-9 圖 2-7 顏色不明顯。	感謝委員指正，已修正曾文水庫集水區地質分布圖。	第二章第一節 圖 2-5	P.2-9
19.P.2-7，第一段第 4 行，請修正為”1996~2008 及 2014~2017 年間無顯著災害”，2009 與 2013 年皆有顯著災害事件。	感謝委員指正，已修正文敘內容。	第二章第一節	P.2-14
20.P.2-8，福衛 2 號在 2016 年 8 月起就沒有影像提供，請說明後續崩塌資料如何取得。	感謝委員意見 1.福衛 2 號於 2016 年 8 月 19 日除役，而福衛 5 號則尚在測試階段。 2.本計劃崩塌圖資依政府公開資訊網「由林務局委託成功大學，以當年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像(93 年度使用 SPOT 衛星影	-	-

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
	像)，建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製崩塌地判釋最小面積為 0.1 公頃。」，最後更新年份為 2016 年(衛星影像判釋崩塌地圖 105 年，行政院農業委員會 / 詮釋資料更新時間：2019/03/17 10:15)		
21.P.2-10，歷年崩塌地統計至 2014 年，治理工程統計至 2017 年，建議崩塌地亦應 4 統計至 2017 年有相對應的比較。	感謝委員意見 1.福衛 2 號於 2016 年 8 月 19 日除役，而福衛 5 號則尚在測試階段。 2.本計劃崩塌圖資依政府公開資訊網「由林務局委託成功大學，以當年度 1~7 月全島鑲嵌福衛二號衛星影像(93 年度使用 SPOT 衛星影像)，建立自動判釋崩塌地作業標準，繪製崩塌地判釋最小面積為 0.1 公頃。」，最後更新年份為 2016 年(衛星影像判釋崩塌地圖 105 年，行政院農業委員會 / 詮釋資料更新時間：2019/03/17 10:15)	-	-
22.圖 2-8，林務局的治理工程是否應納入統計。	感謝委員意見，已補充林務局於曾文水庫與茄苳寮溪辦理治理工程相關資料。	第二章第一節、第二節	P.2-15~ P.2-17、P.2-27~ P.2-28
23.P.2-18 一級序河川至四級序如何分類，請說明。	感謝委員意見，本研究依集水區水系圖進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層，並根據 1945 年之荷頓河川級序定律之劃分原則，建立河川級序。	第四章第三節	P.4-3
24.展示方式有許多的收集與說明，結論是要用圖 2-	感謝委員意見，已補充綜整土砂收支關係成果	第四章	P.4-1~ P.4-2

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
4 方式表示，但未詳加說明選用理由。	分析，與本研究建議採用之特性時段土砂收支圖與地理資訊定量視覺化土砂收支圖等展示方式選用說明。		
25.本研究土砂收支相關專有名詞，請參考水保手冊與技術規範名詞。	遵照辦理。	-	-
26.為土砂收支結合出流管制及逕流分擔，請研究與水利單位之展示圖型如何結合。	感謝委員意見，水利署逕流分擔與出流管制措施係將原本全部由水路承納的逕流量，藉由集水區內水道與土地共同來分擔，以減輕淹水災害所帶來的損失。其主要針對水量進行規劃；而本研究主要為土砂收支展示方式研究。	-	-
27.請依不同步的對象使用研究展示方式。	遵照辦理。	-	-
28.由於要製作一系統化產製土砂收支圖及 GIS 圖層之工具，建議在後續補上要匯入系統的欄位、名稱、順序、格式、單位，這部分與主辦單位可再多討論。	遵照辦理，本研究將依據 107 年水土保持手冊相關名詞定義，初步研擬相關欄位資訊之名稱，供水保局參考。	-	-
29.另可針對土砂收支經常關聯指標探討合適的展示方式與再製圖中可做單一圖層開關，甚至能分成不同河川級序。	感謝委員意見，地理資訊定量視覺化土砂收支圖製作，將會依據不同土砂量設定不同圖層進行展示，而分為不同河川級序則可依使用者想表達方式呈現。	-	-
30.基本資料請更新最新資料，如近年災害事件、歷年崩塌地級治理工程等資料。	遵照辦理，以更新近年災害事件、歷年崩塌地級治理工程等資料。	第二章	P.2-1-P.2-28

「土砂收支關係之視覺化展示研究」期中報告書審查意見及處理情形

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
1.本計畫建議加強土砂收支對於河道治理之參考依據，例如： (1)預測河道土砂移動趨勢 (2)山坡地崩塌移動趨勢 (3)土石流移動趨勢	感謝委員意見，本研究藉由既有相關多時期集水區土砂收支研究成果，考量集水區、河段或坡面等重要節點間視覺化展示之不同呈現方式，研擬土砂收支於「表」及「圖」之規格化展示方式，並藉由地理資訊系統或其他空間軟體展示集水區土砂流失量、堆積量、生產量等於時、空之變動狀態，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。	-	-
2.大面積土砂移動次序為崩塌、土石流、河道運移，均與降雨、坡地及地質條件有關，建議可一次收集資料，研判啟動機制與趨勢，較能與實際工程相結合。	感謝委員意見，本研究藉由既有相關多時期集水區土砂收支研究成果，考量集水區、河段或坡面等重要節點間視覺化展示之不同呈現方式，研擬土砂收支於「表」及「圖」之規格化展示方式，並藉由地理資訊系統或其他空間軟體展示集水區土砂流失量、堆積量、生產量等於時、空之變動狀態，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。	-	-
3.附件 1-3~1-4，審查意見第 20 點至第 22 點，請說明清楚而非虛答。	感謝委員指正，已修正期初審查意見回覆情形，並補充林務局於曾文水庫與茄苳寮溪辦理治理工程相關資料。	第二章第一節、第二節	P.2-15~ P.2-17、P.2-27~ P.2-28
4.1~4 級河川如何定義仍未說明清楚。	感謝委員意見，本研究依集水區水系圖進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道	第四章第三節	P.4-3

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
	為主，建立集水區河道圖層，並根據 1945 年之荷頓河川級序定律之劃分原則，建立河川級序。		

「土砂收支關係之視覺化展示研究」期末報告書審查意見及處理情形

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
1.子集水區建議以水保局已公布的集水區範圍和編號設定。	遵照辦理。	第五章第二節	P.5-6~ P.5-20
2.土砂生產量建議名詞依水土保持相關法規規定的名詞設定，如土壤流失量、泥砂生產量…等。	遵照辦理，已修正報告書名詞敘述。	-	-
3.針對視覺化土砂收支分布中的寬度是否有界定範圍、選擇方式需要配合現場的調查嗎？	因各集水區泥砂生產量均不同，故本研究建議應用 Natural Breaksr 進行分類，以呈現不同量體之泥砂生產量。	-	-
4.土砂粗細粒徑影響河道輸砂量是否分析出土石粒徑與輸砂量之曲線圖，(當然會涉及流速、流量、坡度、集水區面積、植被、地質、河道堆積層等因子)。	感謝委員意見，本研究係藉由既有相關多時期集水區土砂收支研究成果，藉由地理資訊系統或其他空間軟體展示集水區土砂流失量、堆積量、生產量等於時、空之變動狀態，故無考量土砂粗細粒徑與河道輸砂量之關係。	-	-
5.定量視覺化土砂收支，似難呈現各河段向下游輸砂之情形。	感謝委員意見，本研究係呈現各子集水區之泥砂生產量，可供水保局掌握集水區土砂分布之狀態，並可針對土砂旺盛之子集水區辦理相關整治工作。	-	-
6.若相關河段有涉及清疏或清淤，在圖形應如何呈現。	感謝委員意見，清疏(淤)工程可納入治理工程效益之「保育減砂量」，建議可由方形上方之土砂調節量進行展示。	-	-
7.範例分為大、小尺度，其用意為何？	感謝委員意見，依據期初審查會議，建議增加水保局整治小集水區之土砂收支視覺化展示方式，故挑選臺中市茄苳	-	-

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節/圖/表	頁次
	寮溪集水區為土砂收支視覺化展示之範例。		
8.視覺化圖形除了用大小區別外，建議可加入顏色加強視覺區分，尤其線條粗細部分。	感謝委員意見，期初審查建議之地理資訊定量視覺化土砂收支展示方式參考”The sediment budget of a large river regulated by dams”文獻土砂收支之呈現方式。	第五章第二節	P.5-6~ P.5-20
9.視覺化土砂收支分布圖，其量體多寡建議採不同色差，以利快速判斷崩塌量之分布。	感謝委員意見，期初審查建議之地理資訊定量視覺化土砂收支展示方式參考”The sediment budget of a large river regulated by dams”文獻土砂收支之呈現方式。	第五章第二節	P.5-6~ P.5-20
10.在各子集水區之溪流長度，除主流外應該在各支流不會均到達集水區邊緣，此部分可再修改。	感謝委員意見，地理資訊定量視覺化土砂收支分布圖，係因河段泥砂生產量不同，設定之河道寬度不同，故展示成果時才會顯示支流均達集水區邊緣。	-	-

附錄二　土砂收支關係之視覺化展示操作手冊

土砂收支關係之視覺化展示操作手冊

第一節　計畫緣由

在過去，相關專家學者及研究單位等常以集水區土砂收支*(sediment budget)*來描述土砂運移情形。土砂收支可以顯示集水區內泥砂的侵蝕、運移及堆積等因子之間的關係，其為集水區內沖積物之產生、移動、貯存等連續過程的預算平衡表*(Ritter et al.,1995)*。土砂運動的過程中包含侵蝕、運移與堆積三種，因而有所謂土砂收支的概念出現(李建堂，1999)。惟土砂收支與集水區內各個野溪、水系、坡面(空間)以及不同時期(時間)之土砂收支量體有關，相當複雜。另外，使用之土砂量體單位無統一，在成果展示方面亦無一致的標準，鑒此，考量整體集水區坡面與河道等單元，本研究運用地理資訊系統展示各計畫區間之土砂流失量、推積量、生產量等土砂量，並研擬多時期土砂收支視覺化展示方式，以清楚表示集水區土砂時間與空間分布狀況，供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

第二節　研究目標

本研究藉由既有相關多時期集水區土砂收支研究成果，考量集水區、河段或坡面等重要節點間視覺化展示之不同呈現方式，研擬土砂收支於「表」及「圖」之規格化展示方式，並藉由地理資訊系統或其他空間軟體展示集水區土砂流失量、堆積量、生產量等於時、空之變動狀態，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

第三節　預期成果

一、完成特性時段土砂收支關係圖，藉由簡易圖形化表達特定之土砂量體，可以清楚呈現土砂空間分布之狀態。

二、完成地理資訊定量視覺化土砂收支關係圖，藉由地理資訊系統，可直觀展示土砂空間分布的狀況，並配合統計圖表方式套匯在圖形上，可

更清楚呈現土砂時間與空間之分布狀況。

三、土砂收支呈現之改良式樹狀圖與地理資訊定量視覺化圖，將製作過程詳實記錄並建立操作手冊，以供水土保持局未來土砂收支視覺化成果之參考。

第四節　研究範圍

本研究以曾文水庫集水區作為研究區域為例，其研究範圍如附圖 2-1 所示。



資料來源：本研究繪製

附圖 2-1　曾文水庫集水區研究範圍圖

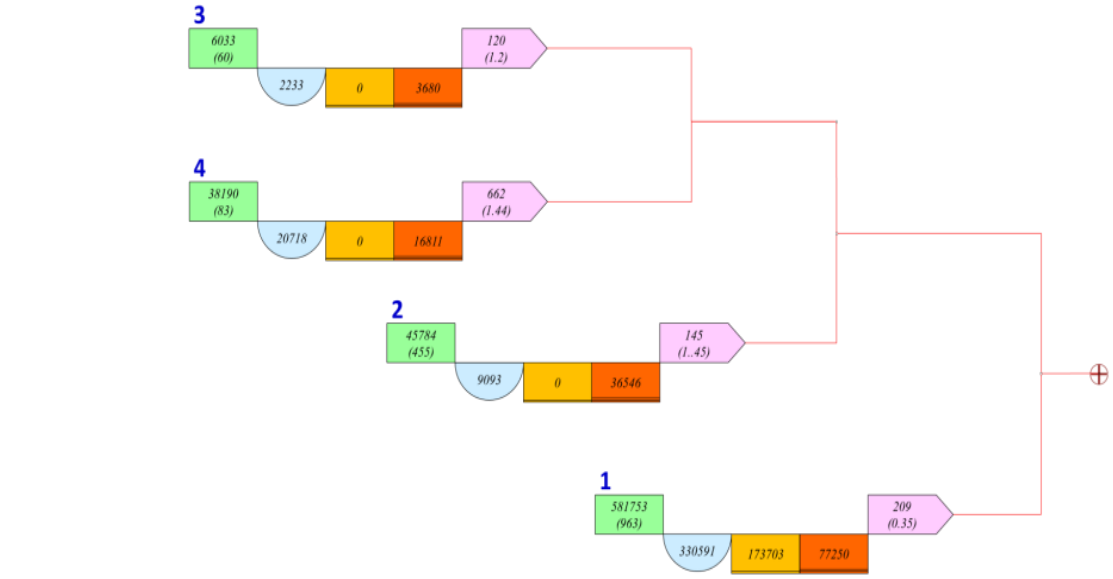
第五節　綜整土砂收支關係成果

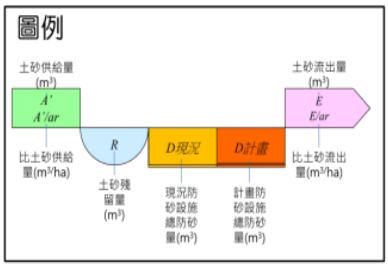
本研究將前節相關文獻中土砂收支的呈現方式進行綜整，針對特性時段土砂收支及地理資訊定量視覺化土砂收支，其重點呈現部分說明如下：

一、特性時段樹狀土砂收支圖

(一)相關文獻

「水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用，2012」計畫以石門水庫上游蘇勒橋以上集水區為範例，運用樹狀圖方式呈現集水區水系與各子集水區上下游關係，並以不同圖形代表不同土砂量體(比土砂供給量、土砂殘留量、現況防砂設施總防砂量、計畫防砂設施總防砂量與比土砂流出量等)，且配合試算表格可清楚得知各集水區之量體之計算方式，如如附圖 2-2 所示。





小集水區編號 ①	面積 (ha) ②	土砂生產量(m^3) 坡面崩塌土砂量(m^3) ③	坡面土壤沖蝕量(m^3) ④	河道土砂游積量(m^3) ⑤	土砂生產量[註1] ⑥	上游河道來砂量[註2] ⑦	供給土砂量[註3] ⑧	比供給土砂量[註4] ⑨	現況防砂設施總防砂量[註5] ⑩	計畫防砂設施總防砂量[註6] ⑪	土砂殘留率[註7] (%) ⑫	土砂殘留量[註8] ⑬	土砂流出量[註9] ⑭	比土砂流出量[註10] ⑮	容許土砂流出量[註11] ⑯	檢核[註12] ⑰	
1	604.07	558,950	22,803	0	581,753	0	581,753	963	173,703	77,250	56.83	330,591	209	0.35	13,768	13,559	OK
2	100.64	18,600	5,912	0	24,512	21,273	45,784	455	0	36,546	37.10	9,093	145	1.45	2,294	2,148	OK
3	99.96	0	6,033	0	6,033	0	6,033	60	0	3,680	37.01	2,233	120	1.20	2,278	2,158	OK
4	458.30	700	37,490	0	38,190	0	38,190	83	0	16,811	54.25	20,718	662	1.44	10,445	9,784	OK

備註：「水土保持防砂工程防砂整備之推估與應用」，水保局，2012

附圖 2-2　蘇勒橋子集水區計畫土砂收支分析圖

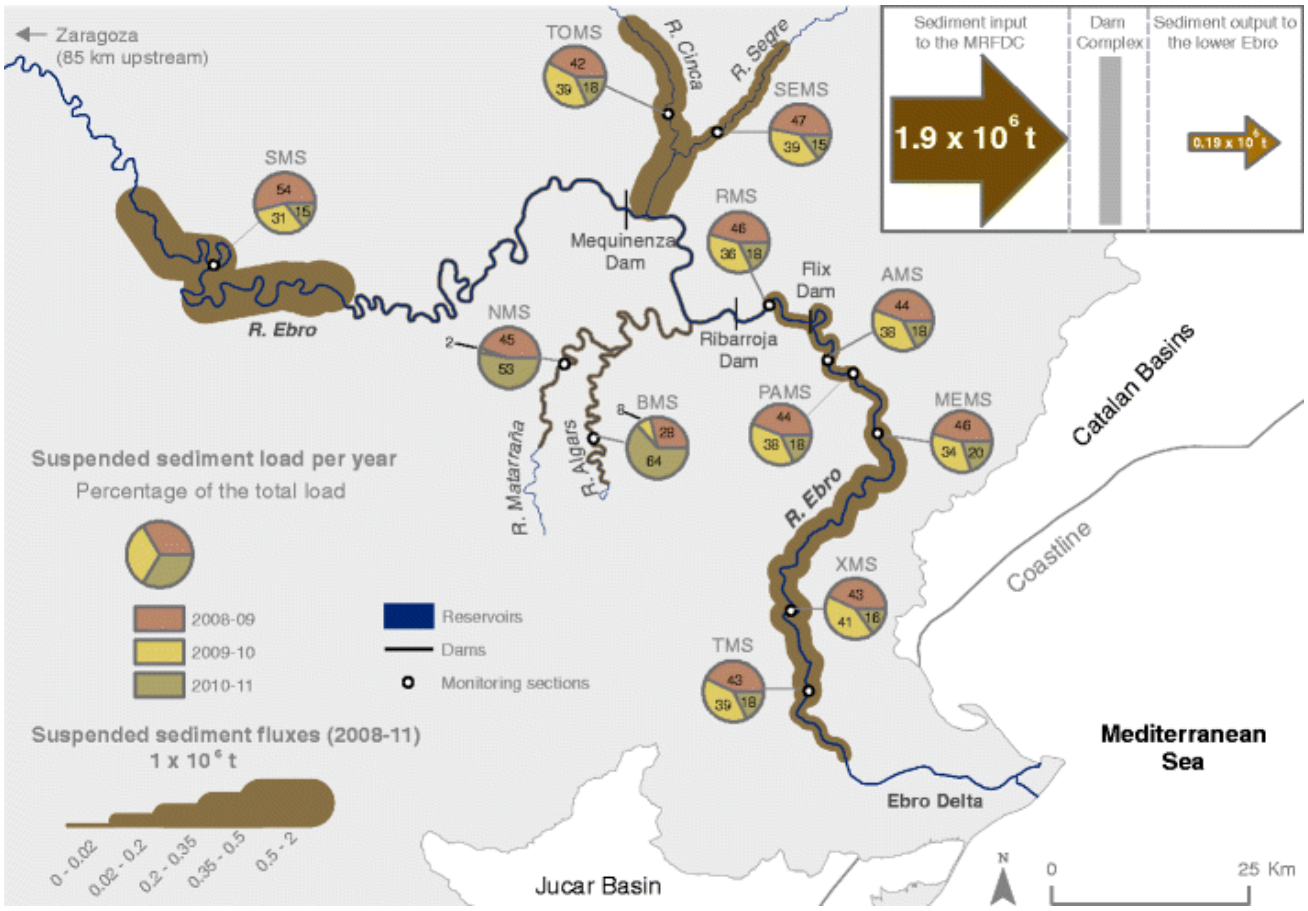
(二)特性時段土砂收支展示建議

傳統土砂收支展示方式，多為樹狀圖方式呈現，其優點為簡化繁雜之水係關係，並將資料可視化，藉由簡易圖形化表達特定之土砂量體，可以清楚呈現土砂空間分布之狀態。

二、地理資訊定量視覺化圖

(一)相關文獻

*"The sediment budget of a large river regulated by dams"*係以西班牙東北部的埃布羅河下游大壩為研究區域，應用地理資訊系統，繪製流域水係圖，利用不同大小之圖塊，表示水系土砂量體之多寡，並配合圓餅圖可展示不同時期之土砂量體，可清楚呈現集水區水係土砂運移之關係，如附圖 2-3 所示。



資料來源： *The sediment budget of a large river regulated by dams (The Lower River Ebro, NE Spain)，2013*

附圖 2-3　*Lower River* 土砂收支分析圖

(二)地理資訊定量視覺化展示建議

藉由地理資訊系統，可套疊不同向量與影像圖層，可清楚呈現流域集水分區與河道水系，各土砂量體資料可清楚展示在圖形上，可直觀展示土砂空間分布的狀況，並配合嶄新的呈現方式，將不同時期的土砂量體，以統計圖表方式套匯在圖形上，可更清楚呈現土砂時間與空間之分布狀況。

本研究嘗試集結各文獻之優點，並考量前述計畫目標之宗旨，建立土砂收支圖表之創新呈現方式，可清楚且直觀展示集水區土砂收支分布狀況與各期土砂量等資訊，供水土保持局未來土砂收支關係呈現展示參考。

第六節　特性時段樹狀土砂收支展示操作說明

本研究藉由上述國內外土砂收支展現方式，可知關鍵在於充分表達特定土砂量(如泥砂生產、保育減砂量、溪床變動量、近岸崩塌流失量與坡面土砂流失量等)，且需要一定程度簡化其圖形，避免造成混亂。

一、特性時段樹狀土砂收支展示說明

為此，本研究提出改良式樹狀圖，如附圖 2-4 所示，表達一定特定時段下，除了以圖形化表達泥砂生產量、保育減砂量(工程治理成效)...等，以系統化方式呈現且有河川級序之分別；另外，亦可完整展現坡面與河道之分與主支流之匯流情形。

(一)線段：以線段呈現集水區水系主、支流分布情況，並設定不同寬度代表不同「級序河川」，以清楚展示集水區空間土砂收支關係。初步一級序河川採用 1.5PT、二級序河川採用 3.0PT、三級序河川採用 4.5PT、四級序河川採用 6.0PT 之線條粗細。

(二)三角形：代表各子集水區之「坡面土砂流失量」。

(三)長條形：代表各子集水區水系之「近岸崩塌流失量」。

(四)圓形：代表水系「溪床變動量」，上方為河道淤積量、下方為河道沖淤量。

(五)方形：代表各子集水區水系興建保育治理工程效益之「保育減砂量」，其上方為土砂調節量，下方為貯砂量。

(六)五角形：代表各子集水區水系之「泥砂生產量」。

(七)河川級序：根據 1945 年之荷頓河川級序定律之劃分原則，可簡述如下：

1、由河川源頭起始之河川為 1 級序河川

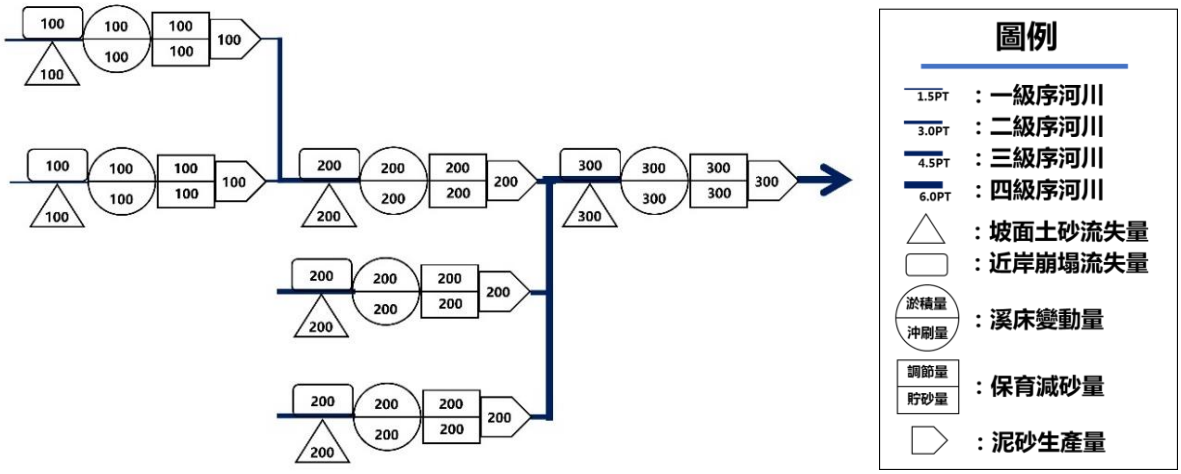
2、兩條 1 級序河川交匯,形成 2 級序河川

3、i 級序河川 j 級序河川交匯

(1)若 i 大於 j，則河川級序數仍為 i。

(2)若 i 等於 j，則河川級序增為 i+1。

(3)若 i 小於 j，則河川級序數為 j。



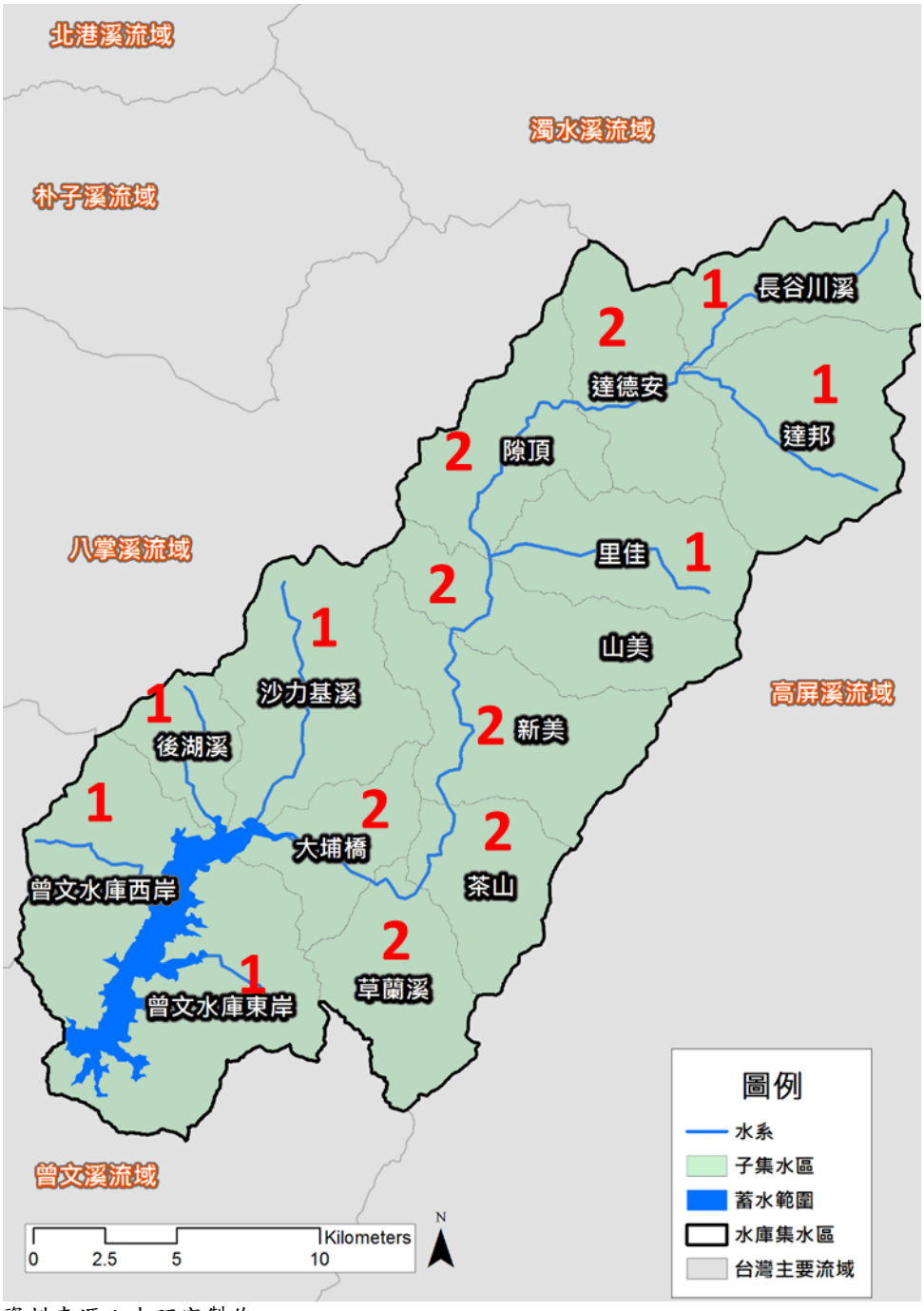
資料來源：本研究製作

附圖 2-4　改良式樹狀圖示意模型

二、特性時段樹狀土砂收支製作步驟說明

(一)依據水保局劃分子集水區圖層，匯出曾文水庫集水區範圍內之子集水區範圍，將水系圖依子集水區圖層進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層，並依此訂定河

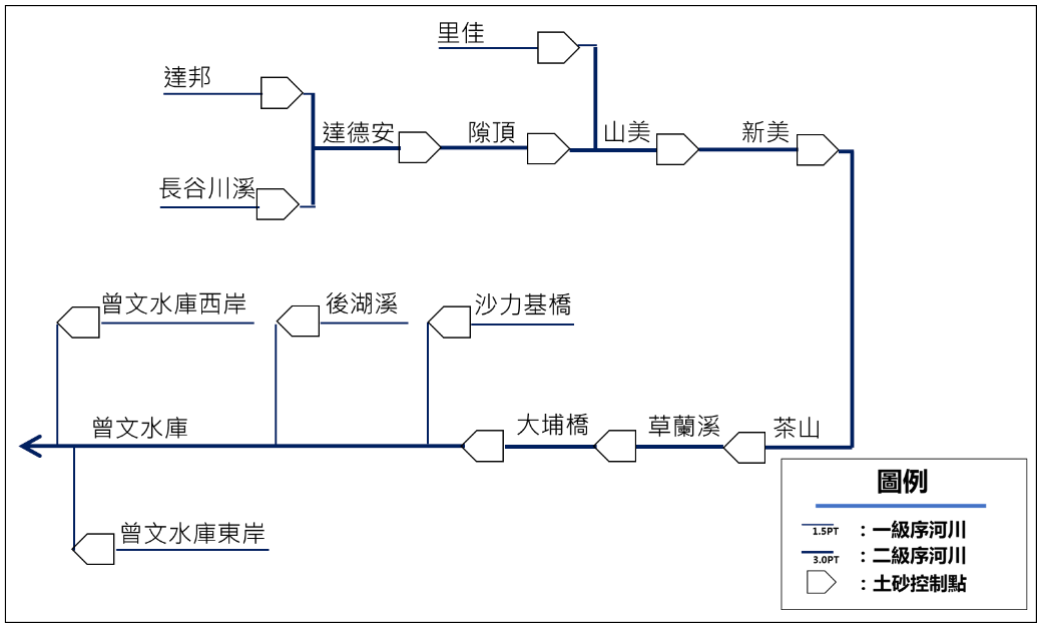
川級序，曾文水庫子集水區與河道圖如附圖 2-5 所示。



資料來源：本研究製作

附圖 2-5　曾文水庫子集水區與河道分布圖

(二)利用 *Microsoft PowerPoint* 製作子集水區與河道樹狀分布情形，以線段呈現集水區水系主、支流分布情況，依不同線段寬度設定河川級序，初步以五角形代表各子集水區水系之「泥砂生產量」之控制點，曾文水庫子集水區與河道樹狀圖如附圖 2-6 所示。

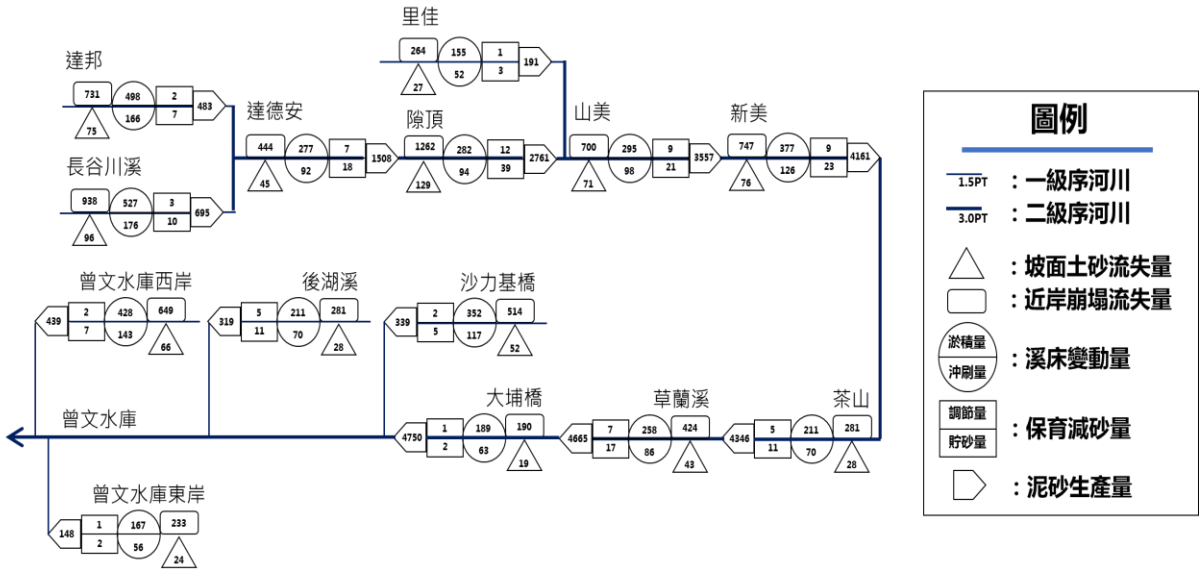


資料來源：本研究製作

附圖 2-6　曾文水庫子集水區與河道樹狀圖

三、曾文溪水庫集水區特性時段土砂收支成果展示

本研究將曾文水庫集水區 2009 年土砂收支計算成果，坡面土砂流失量、近岸崩塌量、溪床變動量、保育減砂量與泥砂生產量等資訊，依前述圖例分別建置特性時段土砂收支圖架構內，曾文水庫集水區特性時段樹狀土砂收支圖如附圖 2-7 所示。



資料來源：本研究製作

附圖 2-7　曾文水庫集水區特性時段樹狀土砂收支圖

第七節　地理資訊定量視覺化圖展示操作說明

改良式樹狀圖仍有一無法直覺展現之關鍵點，即為集水區內土砂之時間及空間分布，雖可具體反映每一河段的土砂收支，但對於土砂運移之反應，則稍顯薄弱。為此，本研究提出地理資訊定量視覺化，優點在於可利用地理資訊系統將數據進行快速套繪，並利用統計圖表清楚呈現不同時期之土砂量分布狀況。

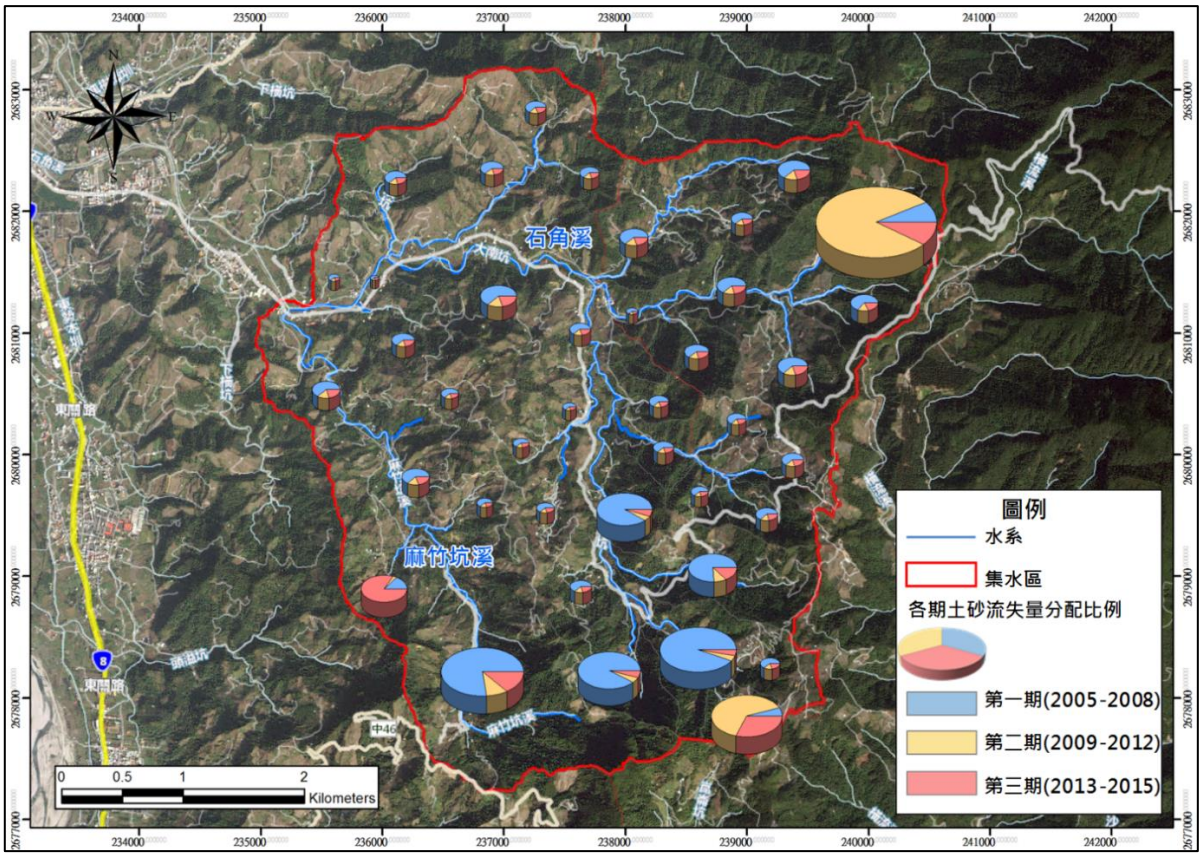
一、地理資訊定量視覺化展示說明

(一)地理資訊定量視覺化展示建議

本研究藉由地理資訊系統，可套疊不同向量與影像圖層，可清楚呈現流域集水分區與河道水系，各土砂量體資料可清楚展示在圖形上，可直觀展示土砂空間分布的狀況，並配合嶄新的呈現方式，將不同時期的土砂量體，以統計圖表方式套匯在圖形上，可更清楚呈現土砂時間與空間之分布狀況，如附圖 2-8 所示，圖中，圓餅圖內直接區分三個不同時期之土砂量體，且圓餅圖之大小得以將數據資料進行可視化；便可觀察出集水區上游土砂大於下游，且特定集水區(或特定河段)之土砂量明顯較大，此一特點可方便相關治理權責單位，做出一快速有效的判斷與決策，使集水區工程治理更加明確，對症下藥。

(二)地理資訊系統圖層統計說明

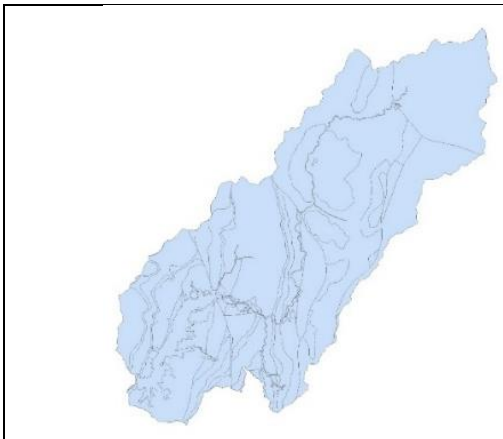
為了能更清楚地向瀏覽者展示空間套疊分析的成果，或進一步區分各圖徵所代表的空間意義，以便於分析操作過程中對特定的圖徵進行辨識，因此可用不同色彩來加以表示其差異性。本研究應用地理資訊系統，說明如何依不同展示目的，設定圖徵色彩、材料及符號等相關展示方式。



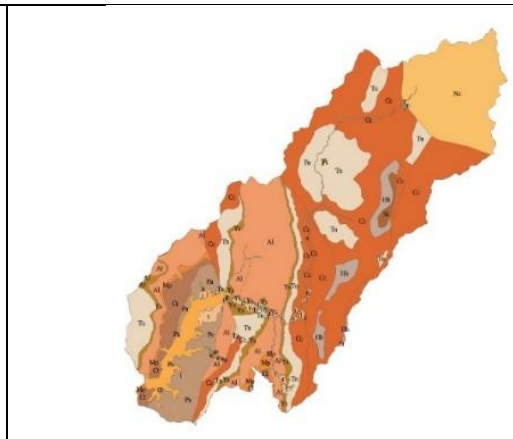
資料來源：本研究製作

附圖 2-8　地理資訊定量視覺化土砂收支分布示意圖

1、唯一值*(Unique Values)*：將空間資料依特定欄位展示其差異性，因此依其特定欄位中，依不同值給予不同顏色，如附圖 2-9 所示。



(a)圖層資訊



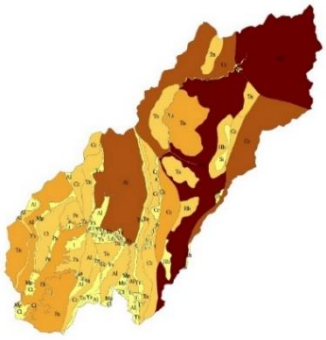
(b)圖層唯一值*(Unique Values)*展示方式

ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Categories* > *Unique values* > *Value field*(選分類名稱) > *Add All Values* > *Color Ramp*(選顏色) > 套用 > 確定。

附圖 2-9　圖層唯一值*(Unique Values)*展示方式

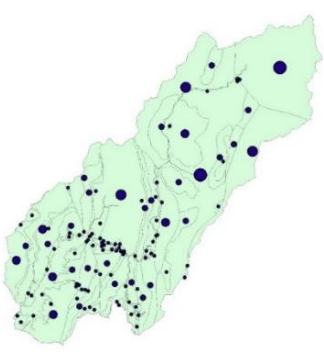
2、數量分類*(Quantities)*：依不同類別的特定值進行展示外，針對數值類的欄位值屬性中的量進行等級分類，分為漸層色*(Graduated Colors)*、漸層圖徵*(Graduated Symbols)*與點密度圖*(Dot density)*等，分述如下：

(1)漸層色*(Graduated Colors)*：依數值類的欄位值進行等級分類，並以漸層色功能呈現空間資料的顯示方式，如附圖 2-10。

	
(a)圖層資訊	(b)圖層漸層色*(Graduated Colors)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated Color* > *Value*(選分類名稱) > *Classification*(選組數) > *Color Ramp*(選顏色) > 套用 > 確定。	

附圖 2-10　圖層漸層色*(Graduated Colors)*展示方式

(2)漸層圖徵*(Graduated Symbols)*：利用漸層圖徵的方式表現，為在幾何圖形上另外再加上一種圖形標示符號，因有比例大小的差異，故可表得出屬性值「量」的差異，如附圖 2-11。

	
(a)圖層資訊	(b)圖層漸層圖徵*(Graduated Symbols)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated Symbols* > *Value*(選分類名稱) > *Classification*(選組數) > *Symbol Size from _ to _* > *template*(圖形)*Background*(背景顏色) > 套用 > 確定。	

附圖 2-11　圖層漸層圖徵(*Graduated Symbols*)展示方式

(3)點密度圖*(Dot Density)*：點密度呈現方式是以大小一致的點狀符號代表一定數量，由點數量的多寡來代表空間上某一主題的地物數量，形成一種點密度圖(或稱「點子圖」)，方便能夠在圖面上直接觀察到該屬性資料的相對空間分布，如附圖 2-12 所示。

	
(a)圖層資訊	(b)圖層點密度圖*(Dot Density)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Dot density* > *Field Selection*(選項目) > 調整圖徵大小 *Size* 跟數值 *Value*> *Background*(背景顏色) > 套用 > 確定。	

附圖 2-12　圖層點密度圖*(Dot Density)*展示方式

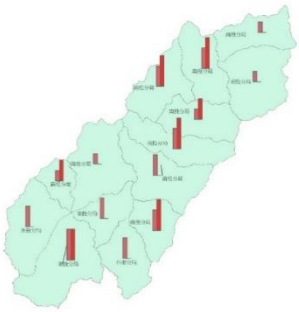
3.統計圖*(Charts)* ：*ArcGIS* 圖徵顯示亦可以直接以屬性中的數據自動產生輔助標示的統計圖表，在統計圖中最常使用的類型為圓餅圖*(Pie)*和直條圖*(Bar/Column)*，其展示方式與操作說明如下：

(1)圓餅圖*(Pie)*：利用圖層欄位數值進行統計分析，以常見之圓餅圖*(Pie)*呈現各其統計數值之成果，如附圖 2-13 所示。

	
(a)圖層資訊	(b)圖層圓餅圖*(Pie)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Pie* > *Field Selection*(選項目) > *Background*(背景顏色)*ColorScheme*(顏色模組) > *properties*(展示設定) > 套用 > 確定。	

附圖 2-13　圖層圓餅圖*(Pie)*展示方式

(2)直條圖*(Bar/Column)*：利用圖層欄位數值進行統計分析，以常見之直條圖*(Bar/Column)*呈現各其統計數值之成果，如附圖 2-14 所示。

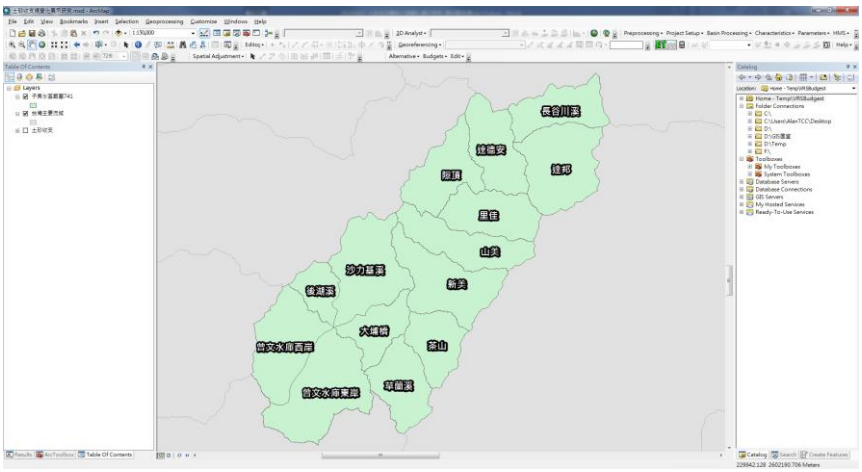
	
(a)圖層資訊	(b)圖層直條圖*(Bar/Column)*展示方式
ArcGIS 操作方式：*Layer Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Bar/Column* > *Field Selection*(選項目) > *Background*(背景顏色)*ColorScheme*(顏色模組) > *properties*(展示設定) > 套用 > 確定。	

附圖 2-14　圖層直條圖*(Bar/Column)*展示方式

二、地理資訊定量視覺化展示製作步驟說明

本研究以 *The sediment budget of a large river regulated by dam*s, *2013* 之土砂收支圖為基礎，配合地理資訊系統，以曾文水庫為範例展示 2008~2010 年土砂收支分布狀況，地理資訊定量視覺化製作步驟如下：

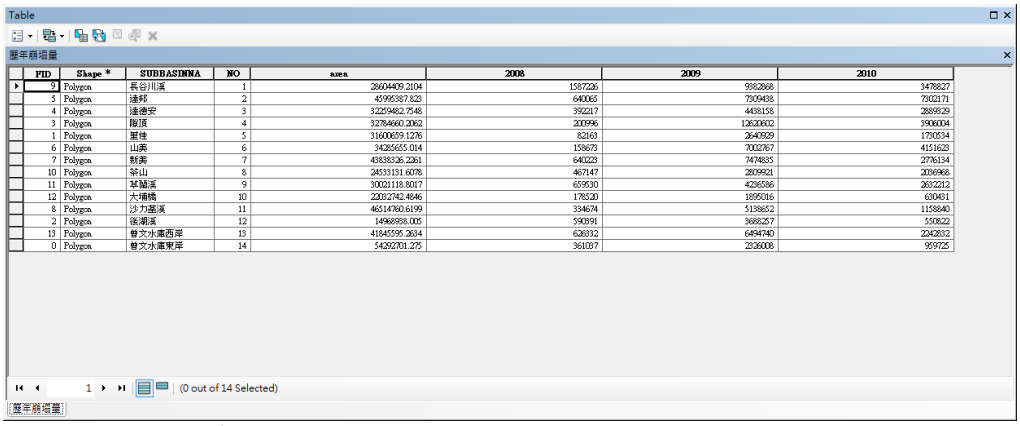
(一)依據水保局劃分子集水區圖層，匯出曾文水庫集水區範圍內之子集水區範圍，點選圖層 *Data* > *Export Data* 建立曾文水庫子集水區圖層，如附圖 2-15 所示。



資料來源：本研究製作

附圖 2-15　曾文水庫子集水區圖層建立示意圖

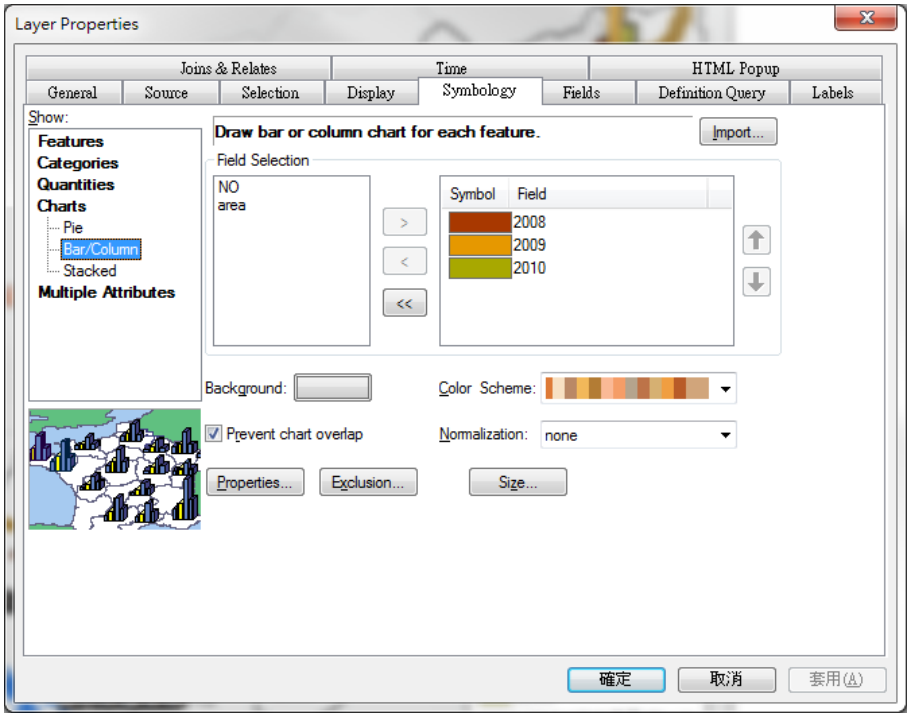
(二)曾文水庫子集水區圖層點選 *Open Attribute table* > *Table Options* > *Add Field* 建立欄位資訊 2008、2009 及 2010 為集水區崩塌量體*(單位 m^3)*，如附圖 2-16 所示。



資料來源：本研究製作

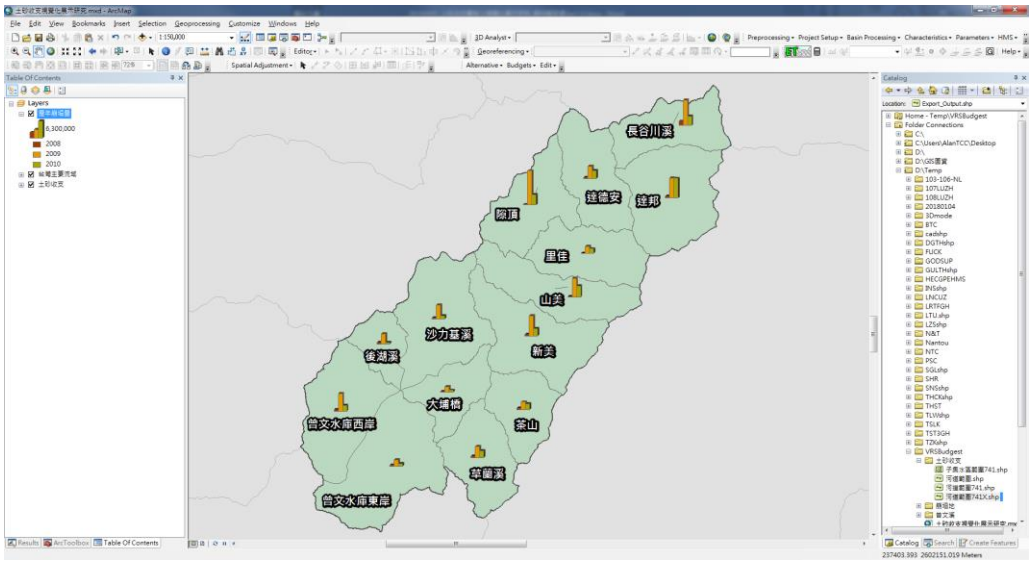
附圖 2-16　曾文水庫子集水區圖層欄位新增示意圖

(三)曾文水庫子集水區圖層點選 *Properties* > *Symbology* > *Charts* > *Bar/Colum* 選擇 2008、2009 及 2010 欄位(附圖 2-17)，以直方圖方式展式各期土砂量分布成果。而曾文水庫子集水區各期崩塌地分布如附圖 2-18 所示。



資料來源：本研究製作

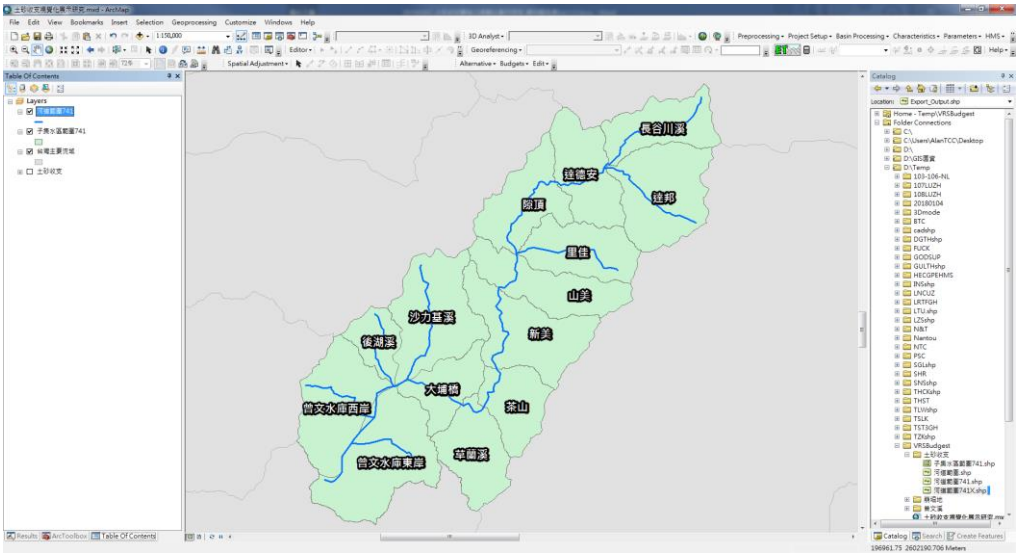
附圖 2-17　曾文水庫集水區各期崩塌土砂量直條圖設定示意圖



資料來源：本研究製作

附圖 2-18　曾文水庫子集水區各期崩塌土方分布示意圖

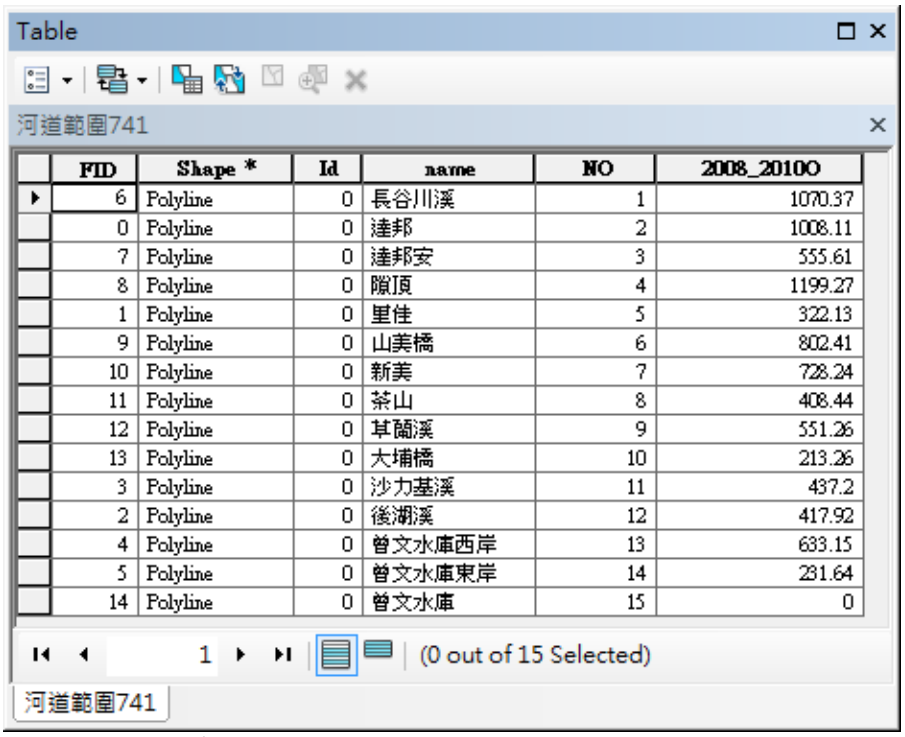
(四)集水區水系為展示河道泥砂生產量分布狀況，將水系圖依曾文水庫子集水區圖層進行劃分，河道水系圖層原則以一個集水區一條河道為主，建立集水區河道圖層。曾文水庫集水區河道分布圖如附圖 2-19 所示。



資料來源：本研究製作

附圖 2-19　曾文水庫集水區河道分布示意圖

(五)集水區河道圖層點選 *Open Attribute table > Table Options > Add Field* 建立欄位資訊 2008-2010 為集水區泥砂生產體*(單位萬 m^3)*，曾文水庫集水區河道圖層新增欄位資訊如附圖 2-20 所示。



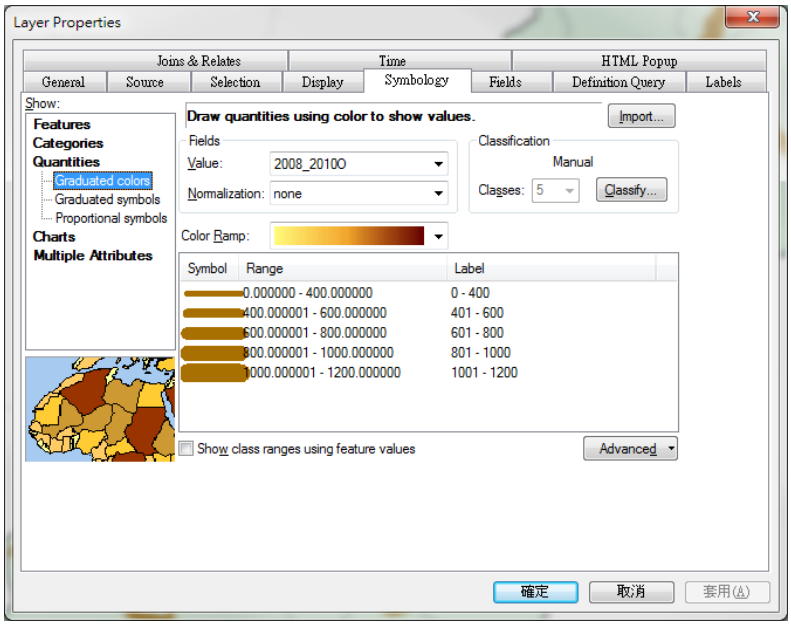
FID	Shape *	Id	name	NO	2008_2010O
6	Polyline	0	長谷川溪	1	1070.37
0	Polyline	0	達邦	2	1008.11
7	Polyline	0	達邦安	3	555.61
8	Polyline	0	隙頂	4	1199.27
1	Polyline	0	里佳	5	322.13
9	Polyline	0	山美橋	6	802.41
10	Polyline	0	新美	7	728.24
11	Polyline	0	茶山	8	408.44
12	Polyline	0	茸蔺溪	9	551.26
13	Polyline	0	大埔橋	10	213.26
3	Polyline	0	沙力基溪	11	437.2
2	Polyline	0	後湖溪	12	417.92
4	Polyline	0	曾文水庫西岸	13	633.15
5	Polyline	0	曾文水庫東岸	14	231.64
14	Polyline	0	曾文水庫	15	0

(0 out of 15 Selected)

資料來源：本研究製作

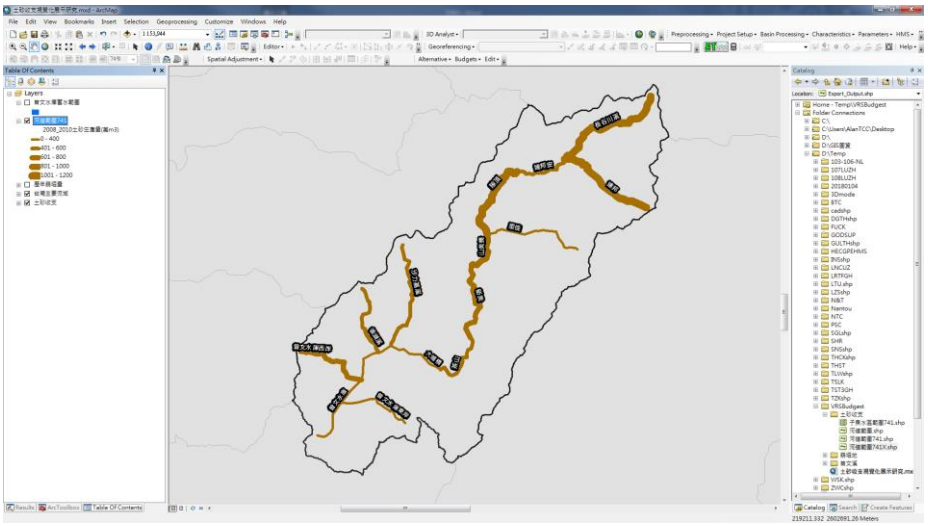
附圖 2-20　曾文水庫集水區河道圖層欄位新增示意圖

(六)集水區河道圖層點選 *Properties* > *Symbology* > *Quantities* > *Graduated colors* > *value* 選擇 2008-2010 欄位(附圖 2-21)，於 *classify* 選擇 5 個分類，並依不同泥砂生產量等級選擇不同寬度(附表 2-1)。曾文水庫各子集水區各期崩塌地分布如附圖 2-22 所示。



資料來源：本研究製作

附圖 2-21　曾文水庫河道泥砂生產量設定示意圖



資料來源：本研究製作

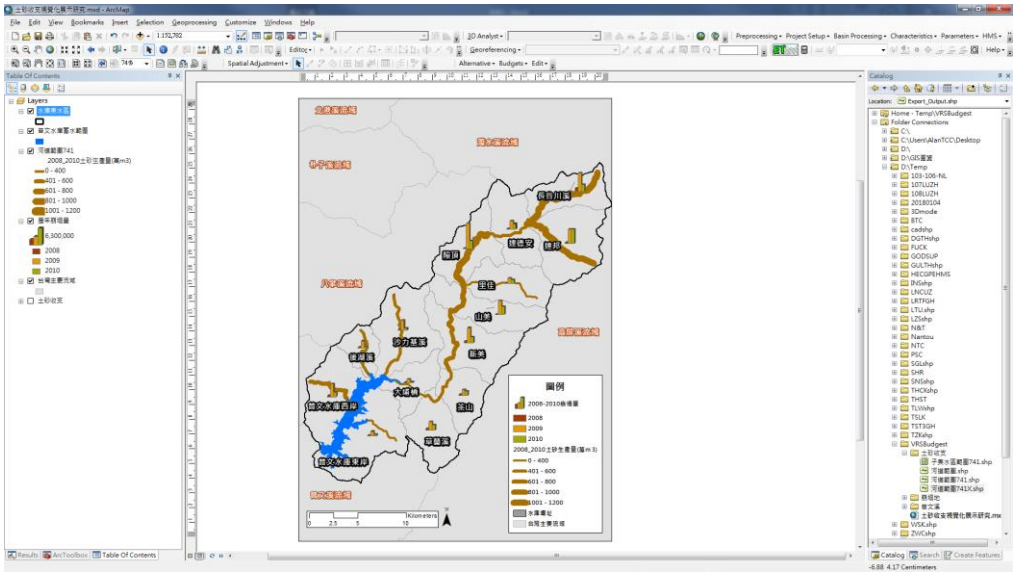
附圖 2-22　曾文水庫河道泥砂生產量分布示意圖

附表 2-1　曾文水庫河道生產量圖例設定建議表

等級	級距(萬 m^3)	寬度(width)
1	0-400	4.0
2	401-600	6.0
3	601-800	8.0
4	801-1000	10.0
5	1001-1200	12.0

資料來源：本研究製作

(七)最後利用 *Layout View* 出圖，增加 *North Arrow*(指北針)、*Scale Bar*(比例尺)及 *Legend*(圖例)，即可完整呈現曾文水庫集水區土砂收支分布圖，如附圖 2-23 所示。

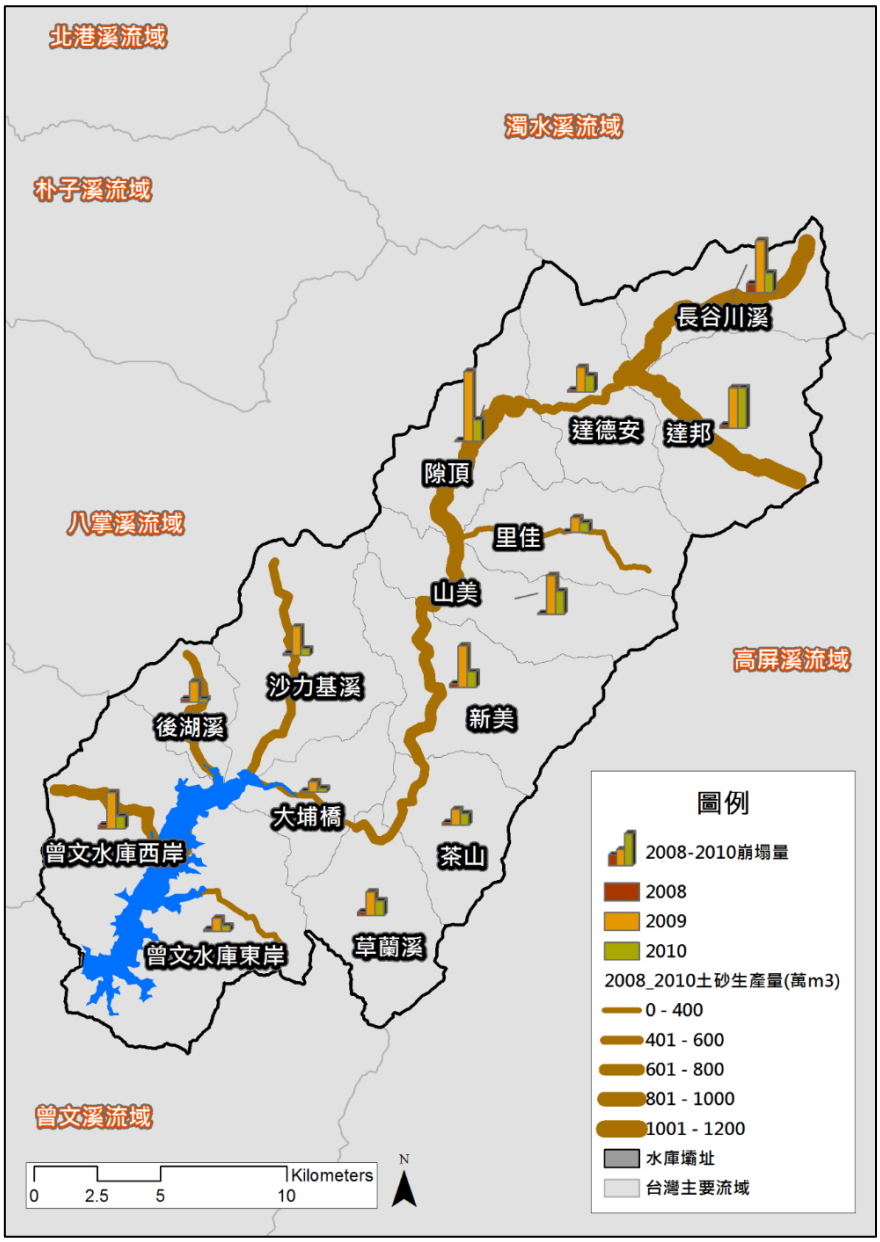


資料來源：本研究製作

附圖 2-23　曾文水庫土砂收支示意圖

三、曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化成果展示

曾文水庫 2008~2010 年集水區土砂收支分布狀況，由前述文獻資料與操作步驟建立土砂收支展式圖。而曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化成果展式，如附圖 2-24 所示。地理資訊定量視覺化成果展示，可清楚呈現曾文水庫各期崩塌土砂量與泥砂生產量之分布狀況，並可指出重點治理區位(長谷川溪、達邦與隙頂集水區)等，供水保局後續治理參考。



資料來源：本研究製作

附圖 2-24　曾文水庫集水區地理資訊定量視覺化土砂收支分布圖