

計畫編號：109 保發-11.1-保-01-06-001(5)

水庫集水區特定水土保持區分級管理可行性之研究

**Feasibility Study on Hierarchical
Management of Specific Soil and Water
Conservation Areas in Reservoir
Catchments**

執行單位：財團法人臺灣營建研究院

執行期間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：黃奉琦 助理研究員

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 109 年 11 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)

水庫集水區特定水土保持區分級管理可行性之研究

摘要

水庫集水區區域可能涵蓋經濟高度發展、農業活動頻繁、既有都市發展之區域，為了維持水庫庫容量及水質，集水區內之土地必需限制開發行為，但禁止全面性的開發，對於土地資源有限的我國並不適當，因此提出水庫集水區土地分級管理之概念。

本研究將水庫集水區範圍內的土地，劃分為水庫蓄水區、水庫保護帶及水庫集水區等三個區域，以水庫蓄水區範圍為中心，向外依序建立限制土地開發策略分級制度，透過環境指標的評定及脆弱度分級，並結合地理資訊軟體的展示，提供快速且科技的方法，找出相對脆弱的地區，以作為後續政策擬定之參考。

關鍵詞：特定水土保持區、水庫集水區、土地分級管理

Feasibility Study on Hierarchical Management of Specific Soil and Water Conservation Areas in Reservoir Catchmen

Abstract

Reservoir catchment area may cover areas with high economic development, frequent agricultural activities, and existing urban development. In order to maintain the reservoir capacity and water quality, the land in the catchment area must restrict development activities. The prohibition of development is not appropriate for us where land resources are limited. Therefore, the concept of land hierarchical management in reservoir catchment areas is proposed.

The study divides the land within the reservoir catchment area into three areas: the reservoir storage area, the reservoir protection zone, and the reservoir catchment area. Establish a land development strategy grading system centered on the reservoir storage area. It is produced through the assessment of environmental indicators and the classification of vulnerability. At the same time, it uses the display of geographic information software to provide a fast and technological method to find relatively vulnerable areas.

Keywords: Special Soil and Water Conservation, Reservoir catchment area, Land classification management

目次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目次.....	III
表次.....	V
圖次.....	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究目的	1
第二節 工作執行方法	1
第三節 工作執行步驟	2
第四節 工作執行	2
第二章 研究區域基本資料及相關文獻蒐集	5
第一節 白河水庫集水區地質條件	5
第二節 白河水庫營運現況概述	10
第三節 集水區內災害潛勢分佈及防砂設施	14
第四節 集水區人口結構、產業發展及土地利用概 況.....	21
第五節 國外集水區土地管理原則	27
第六節 水庫集水區低衝擊度開發措施	31
第七節 水源區土地管理方式	36
第三章 集水區土砂管理之風險評估方式	41
第一節 土砂管理風險評估之相關文獻探討	41
第二節 土砂災害風險評估流程	47
第三節 集水區土砂管理模式參數分析	51
第四節 氣候變遷土砂災害情境分析	65

第四章	水庫集水區脆弱度地圖產製	80
第一節	水庫集水區基礎圖資	80
第二節	危害度地圖	81
第三節	脆弱度地圖	81
第五章	結論與建議	83
第一節	結論	83
第二節	建議	84
參考文獻.....		86
附錄.....		89
	第一次工作執行會議紀錄暨回覆辦理情形	89
	109 年創新研究計畫期初審查意見暨回覆表	90
	109 年創新研究計畫期中審查意見暨回覆表	93

表次

表 1-1 研究區域基本資料蒐集	4
表 2-1 白河水庫歷年庫容及淤積量統計表	11
表 2-2 白河水庫淤砂成分調查綜整表	13
表 2-3 集水區地形高程分布彙整表	15
表 2-4 集水區坡度分析彙整表	16
表 2-5 土石流潛勢溪流表	18
表 2-6 白河水庫崩塌面積判釋變遷表	19
表 2-7 白河水庫集水區行政區域統計表	22
表 2-8 白河水庫集水區人口分布與歷年變化統計表	24
表 2-9 白河水庫集水區土地使用類別	26
表 2-10 低衝擊度開發措施方法概要	34
表 3-1 災害風險定義之相關文獻彙整	42
表 3-2 災害風險各因子之定義	44
表 3-3 土砂災害風險評估方式彙整表	44
表 3-4 災害風險分析架構及對應之土砂災害影響因子彙整	46
表 3-5 水環境各領域災害風險因子分析架構	49
表 3-6 坡地災害致災原因彙整	50
表 3-7 集水區內擷取資料之雨量站彙整表	52
表 3-8 關子嶺雨量站水文年報資料	54
表 3-9 颱風事件降雨資料統計表	56
表 3-10 關子嶺雨量站日雨型分析表	57
表 3-11 關子嶺雨量站不同重現期降雨強度表	60
表 3-12 白河集水區各重現期一日暴雨頻率分析之降雨強度表	60

表 3-13 有效降雨延時推估	63
表 3-14 三角形單位歷線參數表	64
表 3-15 白河水庫集水區氣候變遷水文量推估值	68
表 3-16 集水區土石流潛勢溪流分布概況表	69
表 3-17 數值模式參數表	71
表 3-18 集水區土石流潛勢溪流風險等級概況表	74
表 3-19 土砂運動危害分級表	75
表 4-1 基礎圖資來源及需求內容	80
表 4-2 危害度圖資來源及需求內容	81
表 4-3 脆弱度圖資來源及需求內容	82

圖次

圖 1-1 研究計畫流程圖	3
圖 2-1 白河水庫集水區區域地形分布圖	6
圖 2-2 白河水庫集水區區域地質圖	6
圖 2-3 白河水庫集水區區域環境地質圖	9
圖 2-4 白河水庫集水區區域地質災害潛勢圖	9
圖 2-5 白河水庫集水區區域地質敏感區套繪成果圖	10
圖 2-6 白河水庫民國 95 年庫區淤泥採樣點位置圖	12
圖 2-7 白河水庫水利設施改善工程佈置圖	14
圖 2-8 白河水庫集水區坡向分布圖	16
圖 2-9 白河水庫集水區坡度分布圖	17
圖 2-10 白河水庫集水區土石流潛勢溪流分布圖	18
圖 2-11 白河水庫集水區-福衛二號影像判釋崩塌地面積	19
圖 2-12 白河水庫集水區災害潛勢分布圖	20
圖 2-13 白河水庫集水區防砂壩位置分布圖	21
圖 2-14 白河水庫集水區行政區域圖	22
圖 2-15 白河水庫集水區土地使用分布圖	25
圖 2-16 集水區管理阻擋汙染物示意圖	28
圖 2-17 低衝擊開發(LID)推廣說明流程	32
圖 2-18 LID 設施配置：植生滯留槽、草溝（草渠）、透水性鋪面、 植生屋頂.....	33
圖 2-19 國土計畫之國土功能分區	38
圖 2-20 國土計畫各分區土地使用原則	38
圖 3-1 風險評估流程圖	48

圖 3-2 風險定義示意圖	48
圖 3-3 白河水庫集水區鄰近雨量站分布圖	52
圖 3-4 白河水庫集水區年平均雨量分布圖	53
圖 3-5 關子嶺雨量站 SSGM 長延時設計雨型	54
圖 3-6 關子嶺雨量站 SSGM 短延時設計雨型	55
圖 3-7 關子嶺雨量站颱風事件分析雨型	58
圖 3-8 三角形單位歷線圖	61
圖 3-9 三角形 $U(1,t)$ 單位歷線	64
圖 3-10 年最大連續 5 日降雨量之平均改變率	66
圖 3-11 雨量降雨強度之平均改變率	67
圖 3-12 年總降雨量之平均改變率	67
圖 3-13 氣候變遷極端情況下推估流量歷線	68
圖 3-14 白河水庫集水區土石流潛勢溪流	70
圖 3-15 脆弱度模擬網格單元圖	72
圖 3-16 土石流潛勢溪流風險分布矩陣圖	73
圖 3-17 DF001 脆弱度分析成果圖	76
圖 3-18 DF002 脆弱度分析成果圖	77
圖 3-19 DF009 脆弱度分析成果圖	77
圖 3-20 DF011 脆弱度分析成果圖	78
圖 3-21 DF035 脆弱度分析成果圖	78
圖 4-1 評估指標圖資處理流程	80

第一章 緒論

第一節 研究目的

依據水土保持法第 19 條規定，「經劃定為特定水土保持區之各類地區，區內禁止任何開發行為…」，包含水庫集水區、主要河川集水區等六大類地區，其中依據 104 年 7 月所公告之水庫集水區面積總計 124.11 萬公頃，佔全島面積約 34.28%，然水庫集水區面積必涵蓋經濟高度發展、農業活動頻繁、既有都市發展之區域，為了保護水庫水體及水質，集水區內必需進行適度的限制開發，但是禁止全面性的開發，對於土地資源有限的我國並不適當，因此產生土地分級管理的概念。

第二節 工作執行方法

於集水區土地管理決策中，常見的分級方法是以蓄水區之相對距離為決策指標；當開發行為距離蓄水區越近之區域，所產生的污染物質有較高的機率，在較短的時間內影響水質，故對於水體週邊的區域，會給予較嚴格的土地限制標準及規範。在距離水體較遠的區域進行土地開發，所產生的污染物質在集水區環境中傳遞，有機會被沉降、阻擋或分解，因此，在這些區域會給予較為寬鬆的土地限制標準，允許適度的土地開發與利用。

除了與蓄水區相對距離的指標外，以集水區環境脆弱度分析方法，透過綜合性的多屬性分析，釐清各個集水區內土地的特性，可綜合考量每個區域的土地均有不同的環境特性，存在著不同的開發價值與使用限制，故將自然因素及社會因素均納入分析考量，可以客觀地規劃出每一區域應該給予不同標準的土地限制策略，本研究將綜合上

述兩者，建立因地適宜的集水區土地分級管理策略。

第三節 工作執行步驟

本研究將以白河水庫集水區為研究區域，藉由收集國內外相關文獻以審視現階段管理原則與管理方式，同時應用地理資訊技術，收集或建立集水區特定保護區管理圖層資料，以瞭解土地變遷之情形，並利用風險評估的概念，分析研究區域內之環境脆弱度，以劃分集水區範圍土地脆弱等級與分布範圍，整合上述地理圖資以水庫集水區分級地圖呈現，並參酌現行相關法源規範以作為管理策略擬定之參考，相關工作流程如圖 1-1，

第四節 工作執行

為瞭解研究區域相關集水區特性，透過蒐集、彙整計畫區域內相關研究報告、地文及水文資料，以做為後續分析之參考。彙整之資料來源包括：農委會水土保持局、農委會林務局、經濟部中央地質調查所、經濟部水利署、交通部中央氣象局、農業委員會資料開放平台、政府資料開放平台等，本計畫所蒐集相關資料綜整如表 1-1，並以此進行地文、水文及情境分析，得到氣候變遷土砂災害情境模擬脆弱度。

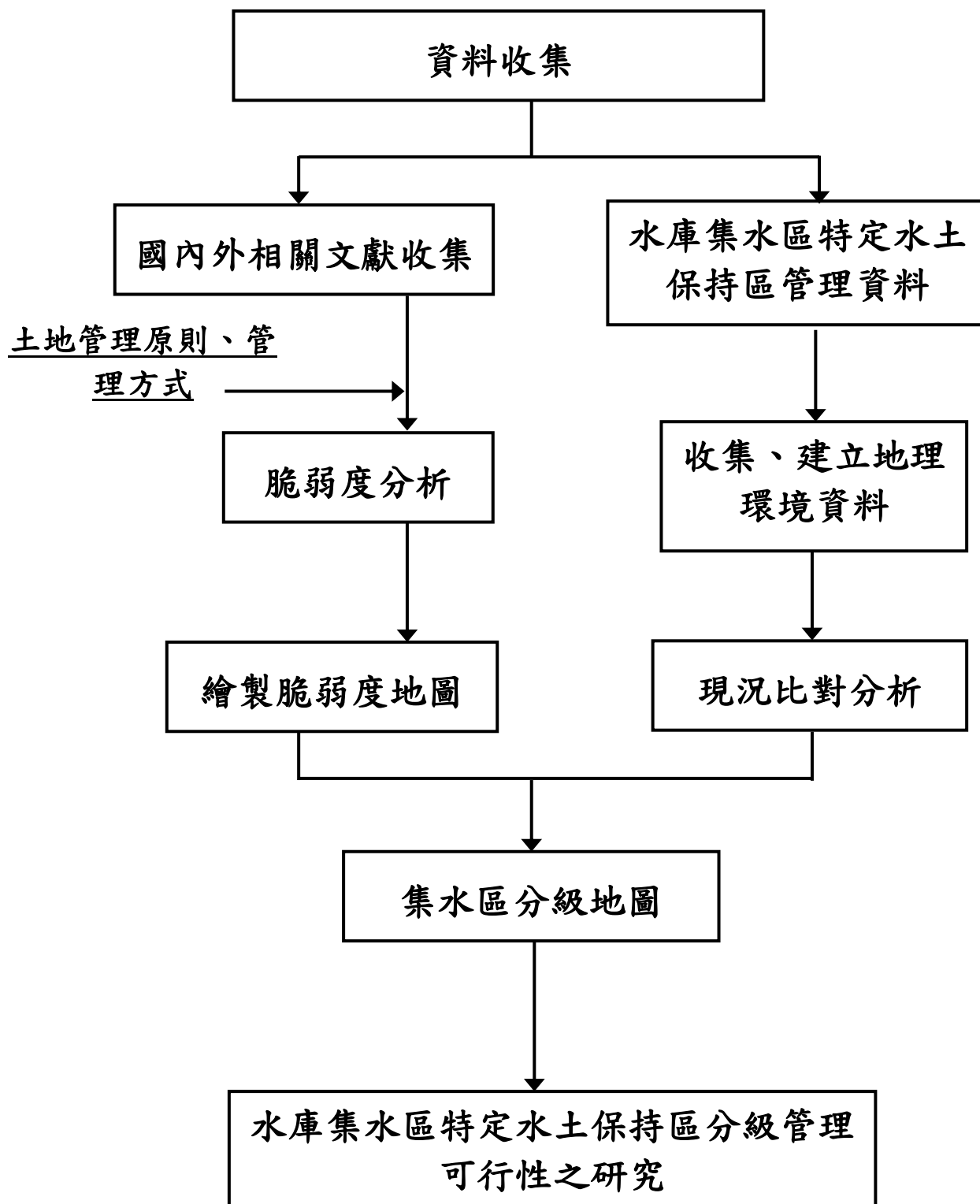


圖 1-1 研究計畫流程圖

表 1-1 研究區域基本資料蒐集

資料項目	資料內容	資料來源
集水區資訊	子集水區編號、名稱、地理位置及溪流分布狀況。	●行政院農業委員會水土保持局 ●經濟部水利署
水庫資料	蓄水範圍及面積	●行政院農業委員會水土保持局 ●經濟部水利署
數值地形模型 (20 公尺網格)	地形高程、坡度、坡向	國家發展委員會政府資料開放平台
經建版地形圖	二萬五千分之一地形圖	內政部國土測繪中心
土石流潛勢溪流	土石流潛勢溪流、土石流潛勢溪流集水區、土石流潛勢溪流影響範圍	行政院農業委員會水土保持局
山坡地土壤圖	土壤分布	行政院農業委員會水土保持局
森林土壤圖	土壤分布	行政院農業委員會林務局
土壤圖	土壤分布	●行政院農委會農業試驗所 ●內政部地理資訊雲服務平台
福衛判釋全島崩塌地圖	崩塌分布及規模	●行政院農業委員會林務局 ●內政部地理資訊雲服務平台
土地利用	土地使用類別	●內政部國土測繪中心 ●行政院農業委員會水土保持局
國有林事業區林班	林班地範圍	●行政院農業委員會林務局 ●內政部地理資訊雲服務平台
雨量站	空間分布、觀測資料	●交通部中央氣象局 ●行政院農業委員會水土保持局
道路分布	國道、省道、縣道	內政部國土測繪中心

第二章 研究區域基本資料及相關文獻蒐集

第一節 白河水庫集水區地質條件

白河水庫位於急水溪流域，其集水區主要位於嘉義丘陵區範圍內，集水區地形分布如圖 2-1 所示，地形高程由東南至西北為海拔 1300 至 50 米間，其中海拔高於 500 公尺以上佔 24%，以高程 500 公尺以下佔全體面積之 75%左右為最多。

嘉義丘陵位於台灣西部麓山帶以西之山麓丘陵，北自八掌溪，南至曾文溪，東緣觸口斷層及崙後斷層。在地形上，斷層以東為突起之山塊，高程差約 300m~400m 間，斷層鞍部甚為明顯，以下針對區域地質、環境地質及地質敏感區進行說明。

一、區域地質/地層分布

計畫區域內出露地層包括上新世沱水溪層，更新世-上新世六重溪層，更新世崁下寮層、二重溪層、階地堆積層，以及全新世沖積層等。集水區地質圖如圖 2-2 所示，各地層描述如下分述。

1. 沱水溪層

以頁岩及砂質頁岩為主，夾泥質粉砂岩，含炭質物。地層剖面約略可分介為上、中、下三段，上段厚約 100~250m 間，主為深灰色或青灰色塊狀頁岩或砂質頁岩；中段厚約 120m~240m，以灰色細至極細粒厚層泥質砂岩為主；下段厚約 200m，主要為深灰色塊狀砂質頁岩。本地區枕頭山一帶之下段上部夾有凸鏡狀石灰岩。

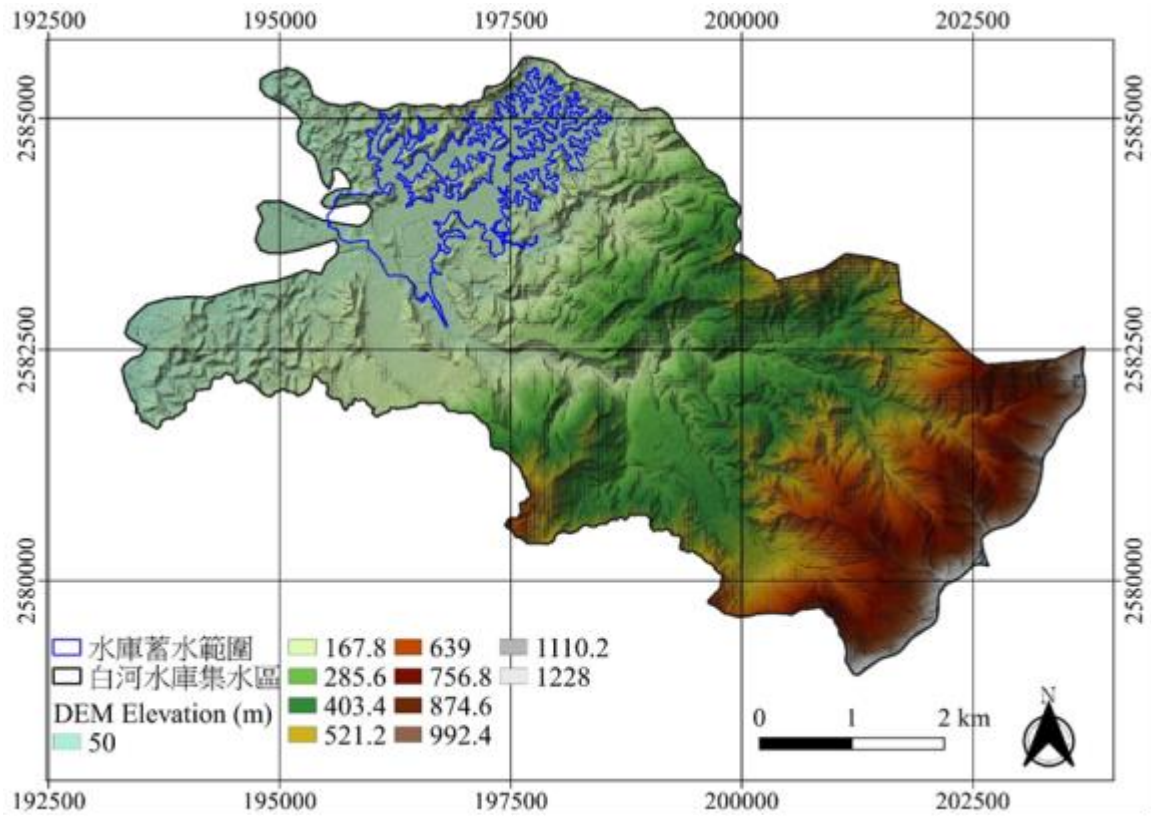


圖 2-1 白河水庫集水區區域地形分布圖

資料來源：本研究分析成果

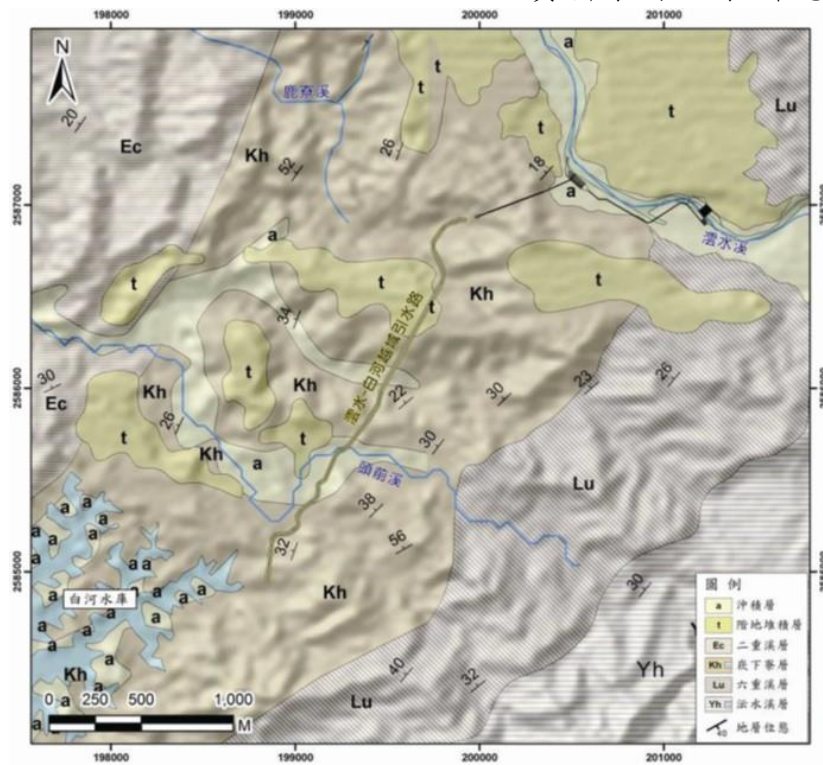


圖 2-2 白河水庫集水區區域地質圖

2.六重溪層

本層由淺灰至灰色之泥質粉砂岩，夾深灰色頁岩或灰色砂質頁岩、泥質砂岩組成。其中泥質粉砂岩與砂質頁岩常為漸變性質，野外可見大型交錯層理及生痕化石，偶含堅硬之大型鈣質團塊或炭質頁岩或劣煤之碎片，層理常不顯著或不發達。

3.崁下寮層

本層出露岩性以泥岩與砂質頁岩為主，其底部及頂部均含砂岩，基底則為礫岩層，礫岩層以下即為六重溪層，於本層中亦發現有珊瑚石灰岩。可對比於台灣中、北部頭科山層之中段。

4.二重溪層

本層以泥岩、砂岩、砂質頁岩及薄層粗砂岩為主，含炭質物，可見大型交錯層，其基底之砂岩層中夾薄層礫岩。本層之砂質較崁下寮層為多，部份為方解石膠結，甚為堅硬，節理亦發達。

5.階地堆積層

本區階地堆積層為更新世晚期至全新世河流兩岸及河口沖積物，因地殼上升及河流下切作用造成，為大部分年代較年輕，未紅土化之礫石堆積物。其主要由礫石、砂、粉砂、黏土等未固結物混雜而成。

6.沖積層

主要由未固結之砂及粉砂、黏土、礫石等組成，覆蓋於本區各河流主支流河床附近或沖積平原上。

二、環境地質

白河水庫西北方係屬於丘陵地形，地勢起伏較平緩且無大型地質構造通過，地層相對完整，地質災害以岩屑崩滑為主，大多分布於較陡峭邊坡區域，如圖 2-3 環境地質圖所示，標註區域內順向坡及岩屑崩滑區域，圖 2-4 地質災害潛勢圖，依岩屑崩滑敏感度，低、中、高標示，其分布情形大致與地形、岩性及地質構造有密切關係。

三、地質敏感區

依據地質敏感區劃定變更及廢止辦法，第 6 條「曾經發生土石崩塌或有山崩或地滑發生條件之地區，及其周圍受山崩或地滑影響範圍，並經中央主管機關劃定者為山崩與地滑地質敏感區」之規定，進行「山崩與地滑地質敏感區」之劃定工作。經濟部分別於 2014 年 12 月 26 日及 2014 年 12 月 31 日公告之「山崩與地滑地質敏感區(L0004 嘉義縣市)」及「山崩與地滑地質敏感區(L0005 臺南市)」；而依據地質法第八條規定「基地位於地質敏感區內者，應於申請開發前，進行基地地質調查及地質安全評估」，參考白河越域引水路路線套繪中央地質調查所公布之地質敏感區範圍如圖 2-5 所示。

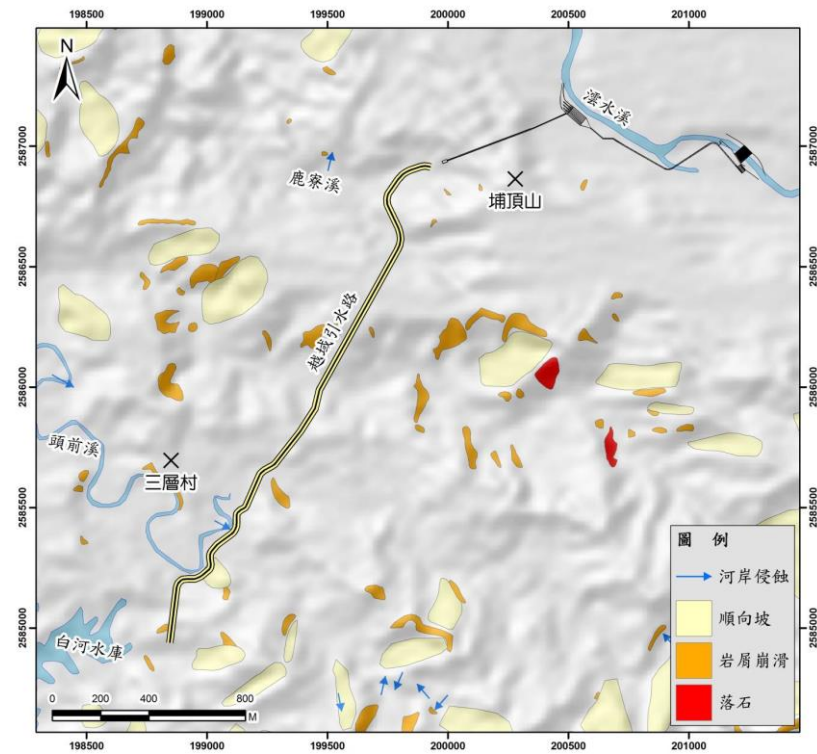


圖 2-3 白河水庫集水區區域環境地質圖

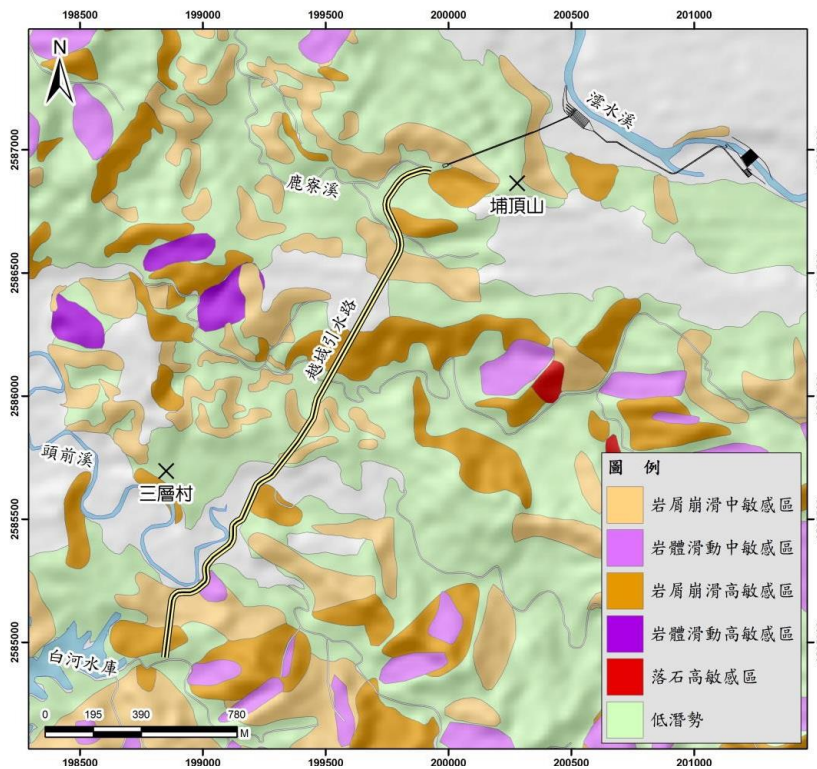


圖 2-4 白河水庫集水區區域地質災害潛勢圖

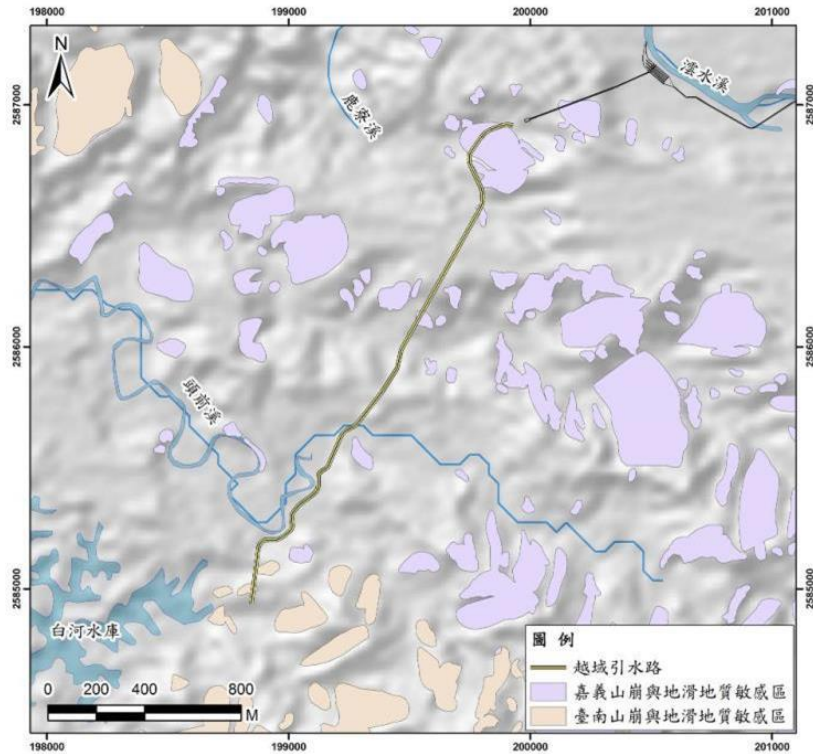


圖 2-5 白河水庫集水區區域地質敏感區套繪成果圖

第二節 白河水庫營運現況概述

白河水庫原規劃有效庫容 1,940 萬 m^3 ，於民國 56 年水庫竣工後，實測成果修訂為有效庫容為 2,253.2 萬 m^3 （總庫容 2,509.3 萬 m^3 ），至民國 106 年 12 月淤積測量數據顯示，水庫庫容剩餘 1018 萬 m^3 ，約為水庫竣工後之 40.77%，但是，相較於民國 98 年 11 月，莫拉克颱風後庫容 969.5 萬 m^3 ，則恢復約 48.5 萬 m^3 蓄水容量，依據水利署 2018 年統計報告，白河水庫年平均淤積量約 41 萬立方米，在此期間曾辦理多次清淤工作，總清淤量 573 萬立方米，為原庫容總量的 21.24%，年平均清淤量約 19 萬立方米，本研究計畫收集並彙整水庫歷年淤積測量資料，如表 2-1 所示。

表 2-1 白河水庫歷年庫容及淤積量統計表

單位：萬立方米

淤積測量 時間	總庫容	有效庫容	實測 淤積量	累積 清淤量	實測累積 淤積量	年平均淤積量 (扣減清淤量)
56年6月	2509.3	2253.2	0.0	0.0	0.0	0.0
59年6月	2290.6	2179.4	218.7	0.0	218.7	72.9
61年6月	2275.9	2208.0	233.4	0.0	233.4	46.7
66年7月	1903.7	1897.9	605.7	0.0	605.7	60.1
70年10月	1645.3	1645.3	864.0	0.0	864.0	60.3
77年5月	1637.9	1937.9	871.4	0.0	871.4	41.7
81年5月	1596.5	1596.5	912.5	58.9	853.6	39.0
84年6月	1441.6	1441.6	1067.7	92.6	975.1	41.4
88年5月	1326.6	1203.6	1182.7	188.4	994.3	43.0
92年8月	1067.8	898.8	1441.5	328.5	1113.0	48.9
95年9月	1199.3	1197.5	1310.0	353.1	956.9	42.4
98年7月	1032.7	1032.7	1476.6	391.7	1084.9	44.4
98年11月	969.5	969.5	1539.8	391.7	1148.1	45.5
100年12月	1074.7	1074.7	1434.6	437.7	996.9	42.1
106年12月	1018	1018	1018	572.7	918.6	40.77

資料來源：白河水庫後續更新改善工程計畫

一、入庫泥沙特性

嘉南農田水利會於民國 95 年 12 月完成「白河水庫永續經營規劃定案報告(第一年)」，於水庫庫區選定 5 處採樣點，如圖 2-6 所示，採樣深度為 0~0.15m，經彙整該計畫庫區近主壩(P1)及主出水工進水塔附近(P2)採樣平均粒徑，如表 2-2 所示，由表所示白河水庫庫區底床淤積物以細顆粒粉土為主。依取樣之水庫淤積表土濕密度資料，推估白河水庫泥砂乾單位重約 1.31t/m³。

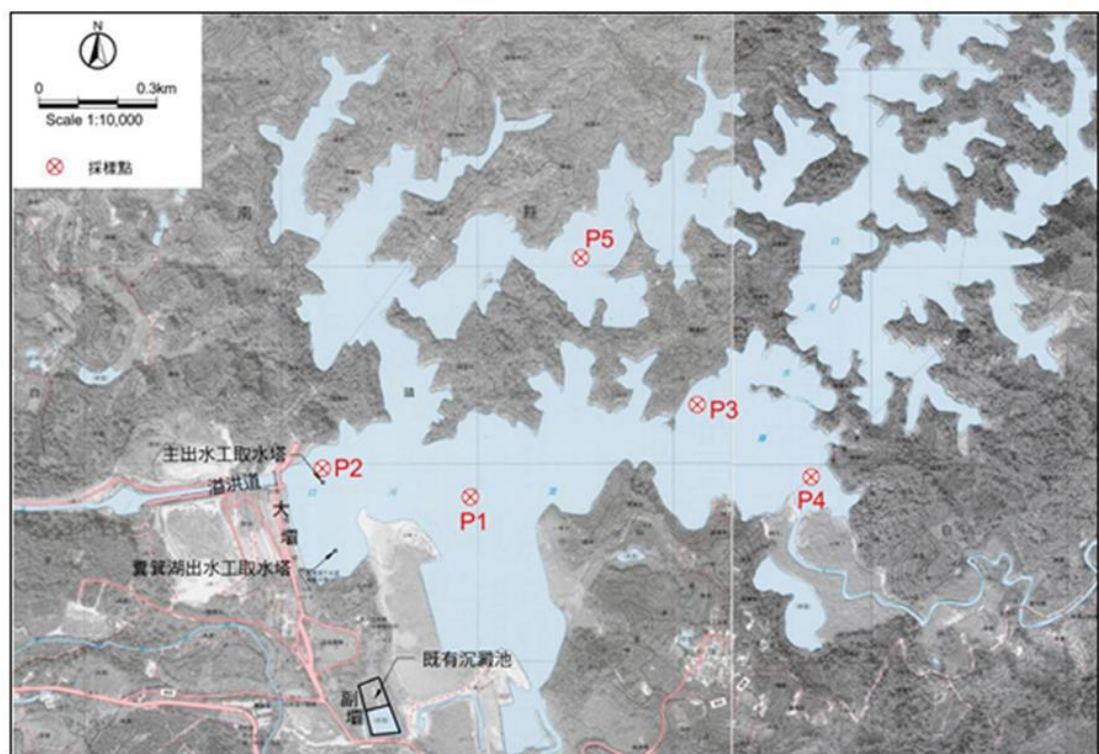


圖 2-6 白河水庫民國 95 年庫區淤泥採樣點位置圖

資料來源：白河水庫永續經營規劃定案報告

二、水庫水利設施改善工程計畫

依據 107 年 6 月「白河水庫後續更新改善工程計畫第一階段」所述，因水庫營運已久現況淤積嚴重，原有之功能逐漸喪失，考量其防洪安全及水資源設施永續利用，已於 103 年 7 月 10 日將白河水庫水利設施改善工程計畫，納入「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水計畫」，相關內容，包括水庫清淤 50 萬立方公尺、主出水工取水塔改建、箕箕湖出水工取水塔改建、大壩心層加高工程，以及新建防洪防淤隧道，相關配置分布如圖 2-7 所示。

表 2-2 白河水庫淤砂成分調查綜整表

取樣點	深度(m)	顆粒粒徑及含量比例(%)				含水量 (%)	濕土密度 (g/cm ³)
		礫石	砂	粉土	黏土		
P1	1.80~2.25m	0.0	6.2	53.8	40.0	44.3	1.75
	3.00~3.45m	0.0	52.5	37.5	10.0	27.7	1.81
	5.00~5.45m	0.0	4.2	56.0	39.8	35.7	1.79
P2	2.00~2.45m	0.0	13.4	59.4	27.2	32.7	1.74
	3.50~3.95m	0.0	5.8	60.0	34.2	44.7	1.71
	5.00~5.45m	0.0	2.2	56.1	41.7	28.9	1.87
P3	1.00~1.45m	0.0	33.6	45.5	19.9	36.1	1.79
	3.00~3.45m	66.6	24.2	4.2	5.0	19.8	2.12
	5.00~5.45m	0.0	1.7	63.1	35.2	17.2	2.43
P4	1.00~1.45m	0.0	13.2	58.3	28.5	35.9	1.88
	3.00~3.15m	0.0	14.5	55.4	30.1	24.5	2.15
	3.15~3.30m	0.0	2.0	62.2	35.8	21.3	1.96
P5	0.00~0.15m	0.0	45.5	36.0	18.5	48.3	1.78
	0.15~0.30m	0.0	28.1	44.1	27.8	39.9	1.82
	0.30~0.45m	0.0	9.3	60.7	30.0	42.9	1.74
N1 溢洪道 右側	表土	0.0	52.0	44.0	4.0	1.23	1.45
	表土下1m	0.0	62.5	29.5	8.0	17.47	1.50
	表土薄管	0.0	75.0	21.0	4.0	3.10	1.43
	1m下薄管	0.0	85.0	9.5	5.5	9.70	1.54
N2 主壩 左側	表土	0.0	23.5	62.0	14.5	10.86	1.46
	表土下1m	11.0	38.0	36.5	14.5	12.60	1.53
	表土薄管	9.0	30.0	46.0	15.0	9.40	1.49
N3 白水溪	表土	0.0	6.0	70.0	24.0	20.06	1.81
	表土薄管	0.0	31.5	52.5	16.0	34.60	1.70

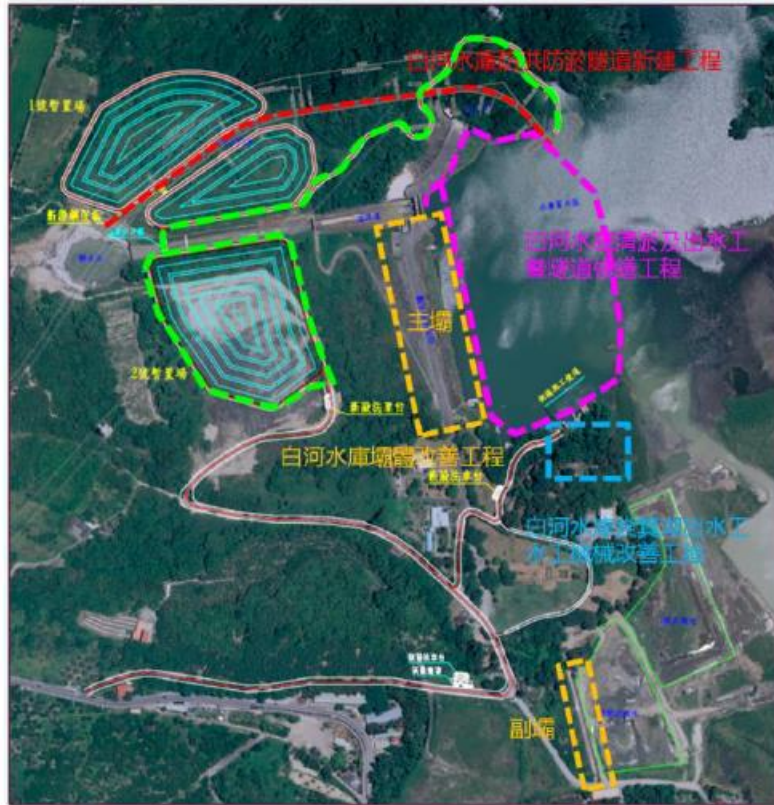


圖 2-7 白河水庫水利設施改善工程佈置圖

資料來源：白河水庫後續更新改善工程計畫

第三節 集水區內災害潛勢分佈及防砂設施

一、集水區溪流及坡度、坡向分佈

白河水庫集水區流域由白水溪及其上游之三重溪所構成，主要支流有柚子頭溪、粗坑溪、雨留坑、險潭坑等溪流。白水溪發源於大凍山，於白水溪橋附近進入水庫蓄水區，溪流長度 10.28 km，集水面積 1,813 公頃，平均坡降 7.81%。三重溪發源於凍子頂，溪流長度 1.88 km，集水面積 203.61 公頃，平均坡降 10.69%，三重溪於八寶寮附近匯入白水溪。柚子頭溪發源於大棟山北面山麓，溪流長度 4.12km，集水面積 397.04 公頃，平均坡降 12.15%，於滴翠橋附近匯入白水溪。粗坑溪發源於枕頭山東側山麓，溪流長度 1.59 km，集水面積 173.41

公頃，平均坡降 12.06%，於雲泉橋附近匯入白水溪。雨留坑位於興農橋附近匯入水庫蓄水區，溪流長度 2.56 km，集水面積 90.91 公頃，平均坡降 8.02%。險潭坑位於慈光橋下游匯入水庫蓄水區，溪流長度 4.01 km，集水面積 242.84 公頃，平均坡降 5.86%，地形高程由東南至西北為海拔 1300 至 50 米間，其中海拔高於 500 公尺以上佔 24%，以高程 500 公尺以下佔全體面積之 75%左右為最多，彙整如表 2-3、圖 2-8 所示。

綜合上述，區域內坡度主要集中於三級度、五級坡及六級坡此三者，合計佔總面積約 62%。平均坡度約為 22，以東南側地形陡峭，西北側為白河水庫及下游地區，其地形較為平緩，坡度分布如圖 2-9 及表 2-4 所示。

表 2-3 集水區地形高程分布彙整表

分類	面積 (公頃)	比例 (%)
0 ~ 250	1456.1	45.4%
250 ~ 500	966.3	30.1%
500 ~ 750	494.9	15.4%
750 ~ 1000	225.0	7.0%
1000 ~ 1250	67.9	2.1%

資料來源：本研究分析成果

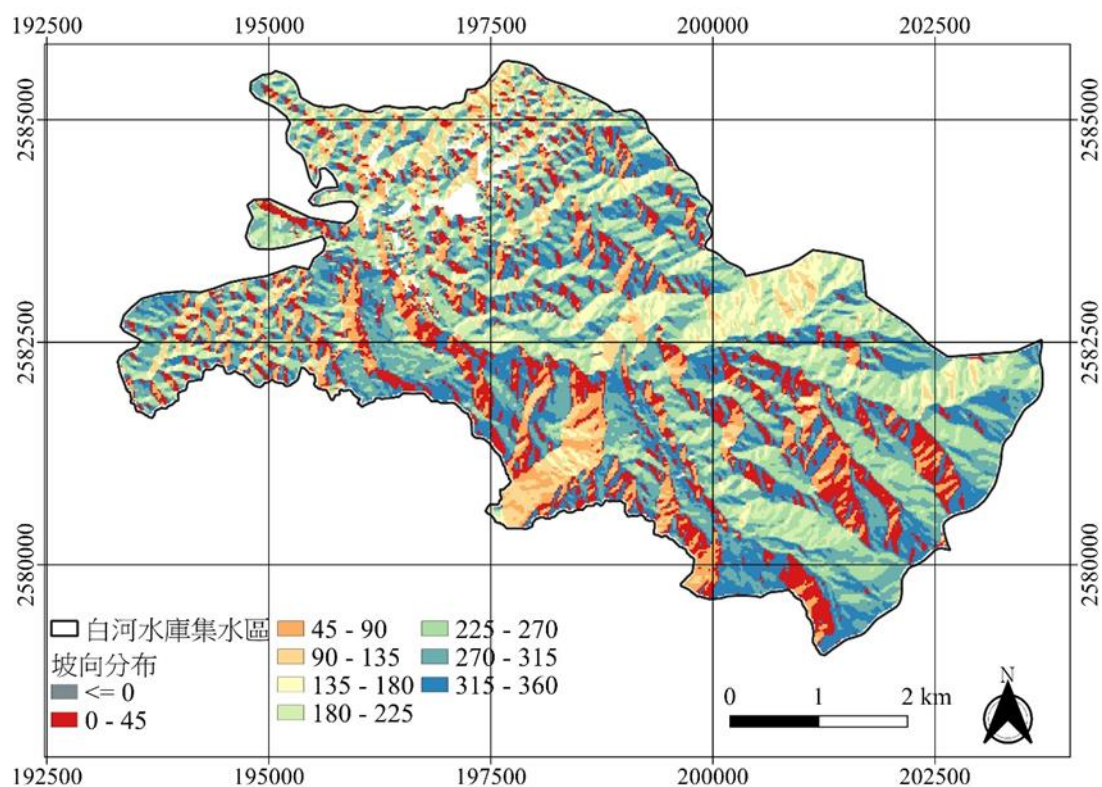


圖 2-8 白河水庫集水區坡向分布圖

資料來源：本研究分析成果

表 2-4 集水區坡度分析彙整表

坡度級別	級序	坡度 (S) 範圍	面積 (公頃)	比例 (%)
一級坡	1	$S \leq 5\%$	294.08	9.2%
二級坡	2	$5\% \leq S \leq 15\%$	321.28	10.0%
三級坡	3	$15\% \leq S \leq 30\%$	623.28	19.4%
四級坡	4	$30\% \leq S \leq 40\%$	514.23	16.0%
五級坡	5	$40\% \leq S \leq 55\%$	718.50	22.4%
六級坡	6	$55\% \leq S \leq 100\%$	648.93	20.2%
七級坡	7	$S > 100\%$	89.45	2.8%

資料來源：本研究分析成果

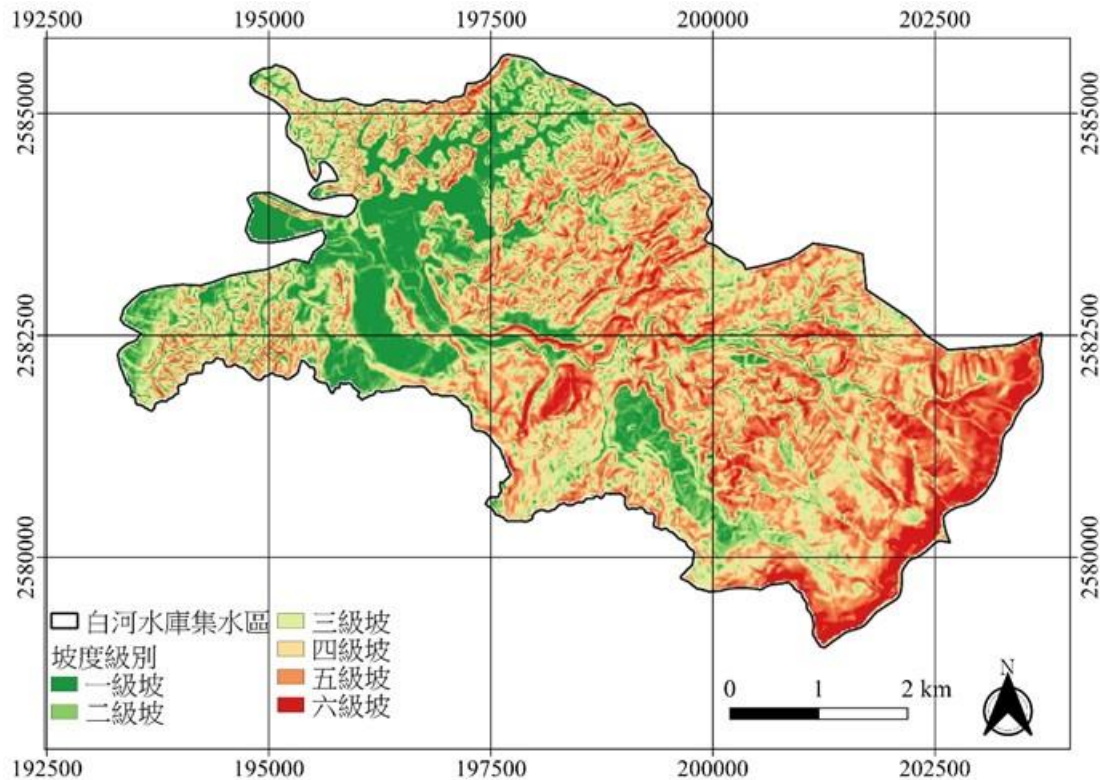


圖 2-9 白河水庫集水區坡度分布圖

資料來源：本研究分析成果

(一) 土石流潛勢溪流暨崩塌地分佈

依水土保持局公告之土石流潛勢溪流分布，得知區內共 6 條土石流潛勢溪流，其中除南縣 DF010 屬坡面型外，其餘屬溪流型；南縣 DF001 屬低潛勢溪流，其餘均屬高潛勢溪流，如圖 2-10 及表 2-5 所示。對於崩塌地調查，其資料來源為林務局之開放資料，使用福衛二號影像判釋全島崩塌地位置與面積，針對白河水庫集水區內 2004 年至 2017 年間各颱風事件所引發之崩塌地變遷歷程，本研究彙整如表 2-6，如圖 2-11 所示，其中，圖 2-12 所示，編號南市 DF001 及南市 DF006 之土石流潛勢溪流相對於其他 4 條潛勢溪流，與水庫蓄水區距離較短，且其周圍因颱風事件所引發之地滑敏感區相對分布較為密集。

表 2-5 土石流潛勢溪流表

位置	編號	參考雨量站	警戒值(mm)	潛勢等級
中埔鄉東興村	嘉縣DF035	汴水國小/大棟山	350	高
白河區仙草里	南市DF001	關子嶺/關子嶺(2)	500	低
白河區仙草里	南市DF002	關子嶺/關子嶺(2)	500	高
白河區關嶺里	南市DF006	關子嶺/關子嶺(2)	500	高
白河區關嶺里	南市DF010	關子嶺/關子嶺(2)	500	高
白河區關嶺里	南市DF011	關子嶺/關子嶺(2)	500	高

資料來源：本研究分析成果

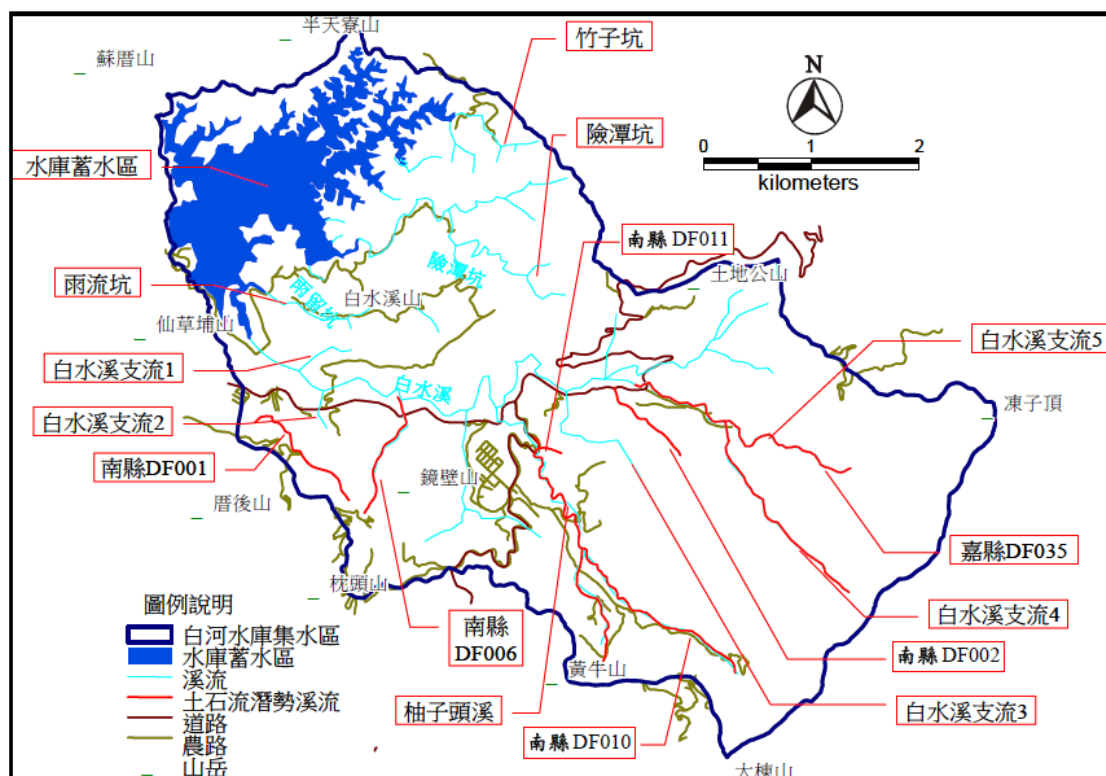


圖 2-10 白河水庫集水區土石流潛勢溪流分布圖

資料來源：白河水庫更新改善規劃檢討報告

表 2-6 白河水庫崩塌面積判釋變遷表

判釋日期	崩塌面積(m ²)	崩塌(%)	颱風事件
2004	2636	0.0082%	-
2005	45694	0.1424%	-
2006/2/7	85024	0.2649%	海棠、泰利、龍王
2007/5/11	49226	0.1534%	碧利斯、凱米
2008/1/1	81594	0.2542%	聖帕、韋帕、柯羅莎
2009/1/1	51083	0.1591%	卡玫基、鳳凰、辛樂克、薔蜜
2010/1/1	315366	0.9825%	莫拉克、芭瑪
2011/1/1	62566	0.1949%	凡那比、梅姬
2012/5/14	27616	0.0860%	南瑪都
2013/3/17	102438	0.3191%	蘇拉、天秤
2014/8/23	84902	0.2645%	蘇力、潭美、康芮
2015/4/3	63326	0.1973%	麥德姆、鳳凰
2016/1/26	47832	0.1490%	蘇迪勤、杜鵑
2017/2/16	114311	0.3561%	尼伯特、莫蘭蒂

資料來源：本研究分析成果

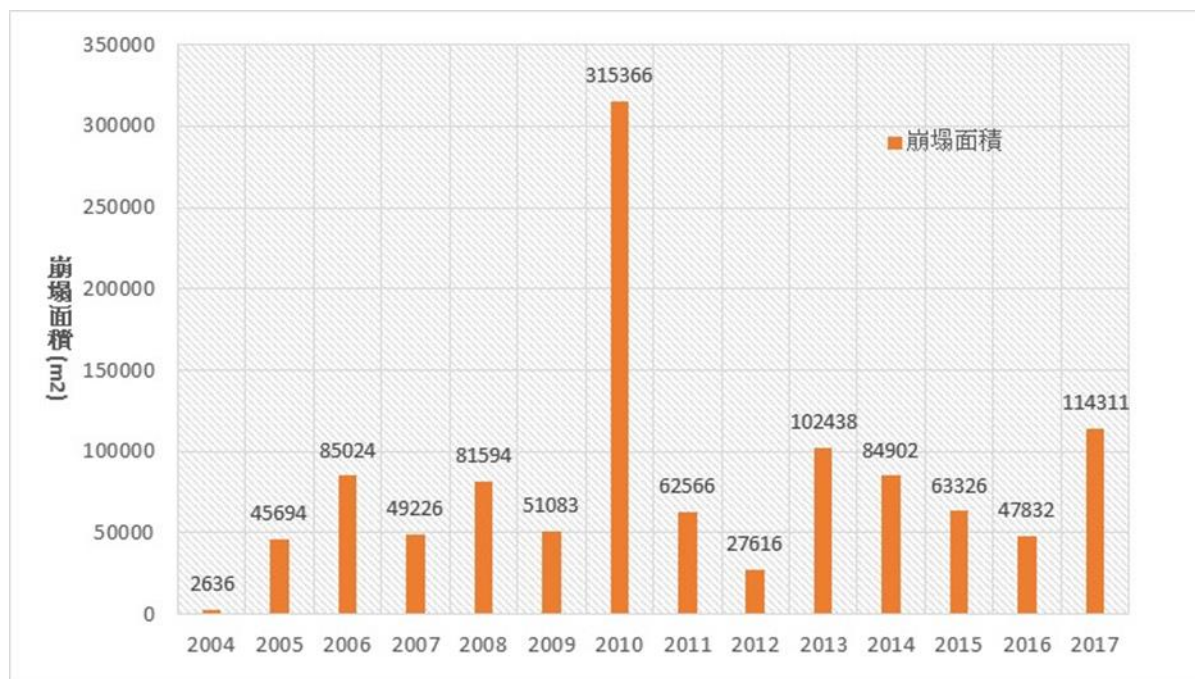


圖 2-11 白河水庫集水區-福衛二號影像判釋崩塌地面積

資料來源：政府開收資料平台，林務局

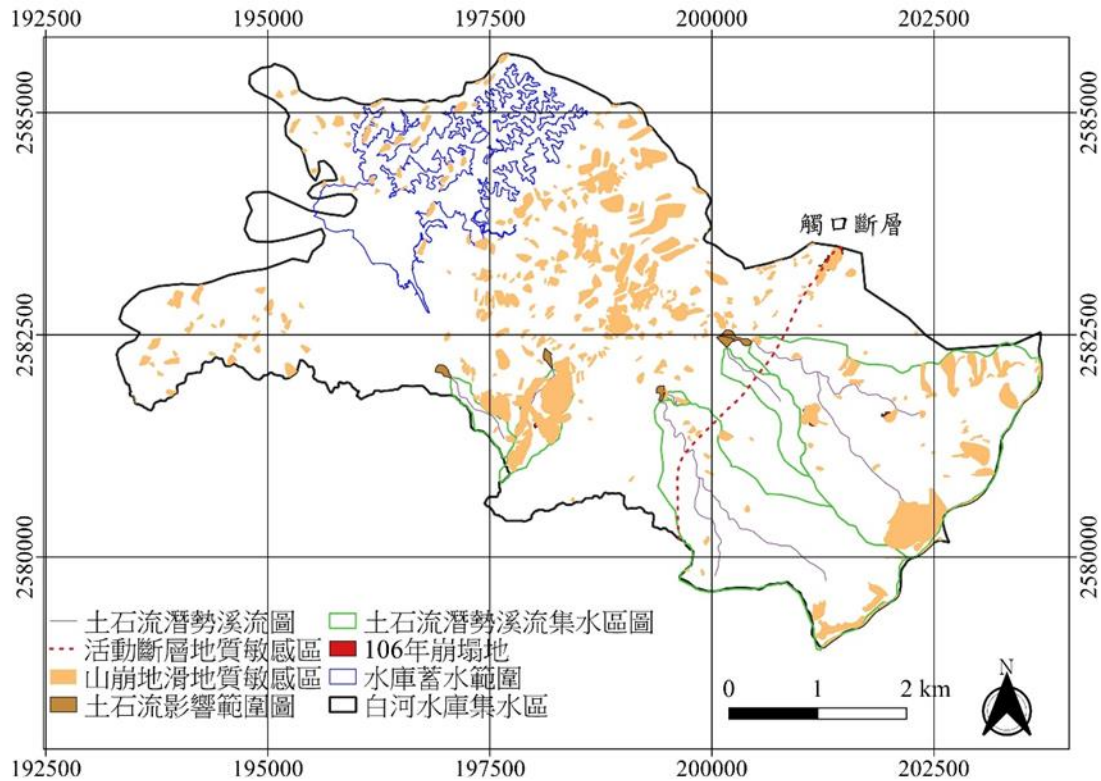


圖 2-12 白河水庫集水區災害潛勢分布圖

資料來源：本研究分析成果

另根據 98 年 12 月「白河水庫集水區保育實施計畫」調查結果，白河水庫集水區 6 條土石流潛勢溪流均位於白水溪主流左岸，南縣 DF002、DF006 及 DF010 河道皆有嚴重淤積情形，其中南縣 DF006 溪流兩岸邊坡陡峭，植被覆蓋狀況不佳，有多次發生土石流災害紀錄，且上游仍可見大型崩塌地，目前已施作連續式防砂壩。南縣 DF011 於民國 90 年納莉颱風時有土石下移造成交通中斷之紀錄，目前崩坍坡腳已設箱籠擋土牆。嘉縣 DF035 溪床縱向坡度較陡，容易因縱向刷深、向源侵蝕或坑溝發展等誘使兩岸崩塌，現設有潛壩。南縣 DF001 及 DF010 目前尚無發生土石流之災害歷史。

(二) 集水區內防砂壩

白水溪主、支流既設許多防砂壩，以攔阻入庫砂量減緩水庫淤

積，參考「白河水庫集水區保育實施計畫」調查結果，計畫區內既設防砂壩位址共有 18 處，如圖 2-13，其中白水溪 3 號防砂壩位於白水溪下游距庫區最近，壩高、壩長分別為 12 m 及 92 m，依據「白河水庫更新改善規劃檢討報告」調查水庫集水區既設防砂壩多已淤滿，並無蓄砂空間，且部分防砂壩構造物毀損。

第四節 集水區人口結構、產業發展及土地利用概況

一、行政區統計及人口結構

白河水庫集水區位於臺南市白河區及嘉義縣中埔鄉，行政區域以關嶺里面積較大為 1,077.01 公頃，佔全區 40.57%，仙草里面積 921.35 公頃次之，佔全區 34.70%。白河水庫集水區行政區域分布及統計如圖 2-14 及表 2-7 所示。

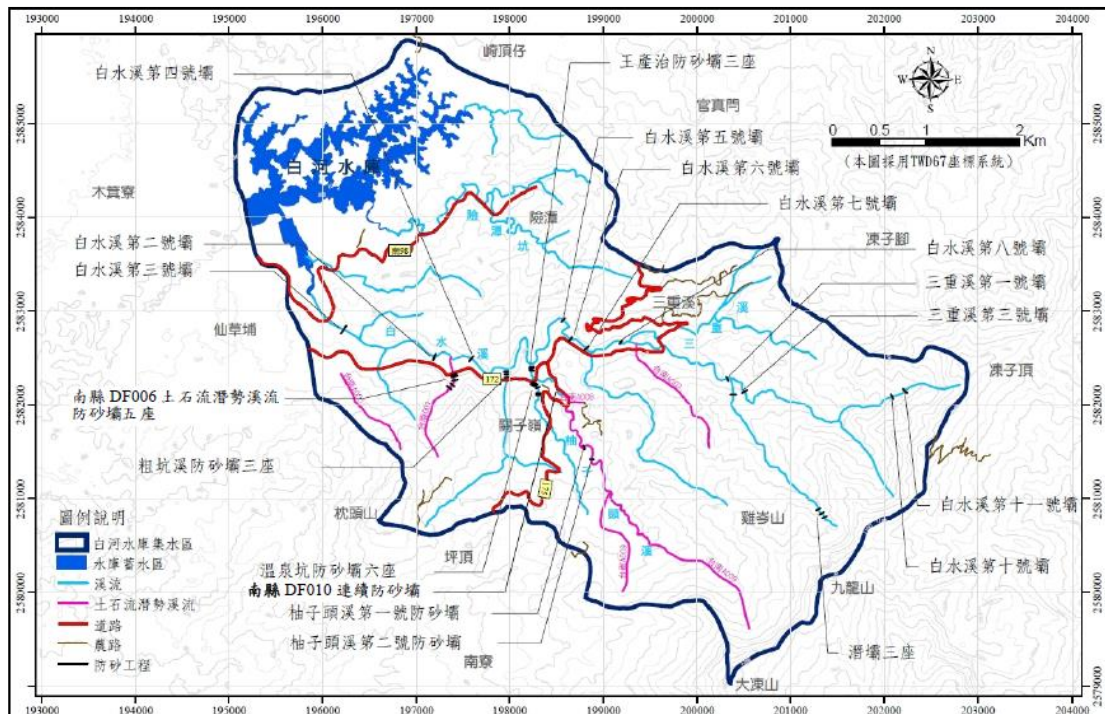


圖 2-13 白河水庫集水區防砂壩位置分布圖

資料來源：白河水庫更新改善規劃檢討報告

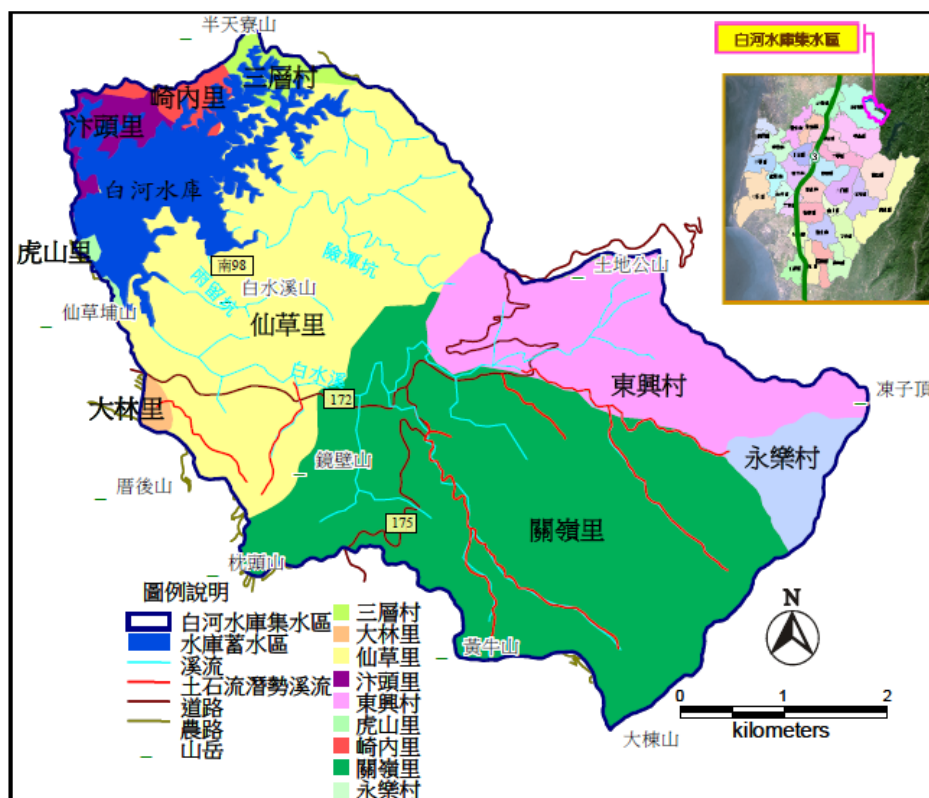


圖 2-14 白河水庫集水區行政區域圖

資料來源：白河水庫集水區保育實施計畫

表 2-7 白河水庫集水區行政區域統計表

行政區域		面積(公頃)	百分比(%)
臺南市白河區	關嶺里	1,077.01	40.57
	仙草里	921.35	34.70
	崎內里	39.55	1.49
	汴頭里	75.51	2.84
	虎山里	21.81	0.82
	大林里	10.21	0.38
嘉義縣中埔鄉	三層村	46.28	1.74
	東興村	386.01	14.55
嘉義縣大埔鄉	永樂村	77.27	2.91
合計		2,655.00	100.00

資料來源：本研究分析成果

根據臺南市白河區戶政事務所及嘉義縣中埔鄉戶政事務所統計資料顯示(至民國 100 年 10 月)，關嶺里、仙草里、大林里及東興村總戶數為 1,645 戶，男性居民有 2,293 人，女性居民為 1,886 人，合計共 4,179 人。民國 55 年 8 月至民國 67 年 12 月期間，區內人口僅增加 197 人，可能為農村人口遷居城市所致。

至民國 68 年以後，由於區內產業結構改變，關子嶺溫泉區有明清別墅型之開發，鄉村呈都市化發展，牽動區內產業及經濟發展，促使關子嶺溫泉區發展為典型的商業觀光區，成為台灣地區重要觀光景點，因此民國 67 年 12 月至民國 78 年 12 月期間人口快速增加，增加率近兩倍。民國 78 年以後，集水區鄰近地區陸續開發許多新的觀光風景據點，關子嶺之旅遊機能出現衰退現象，觀光盛況不若 70~80 年代，人口明顯轉趨下降，至民國 95 年 4 月總人口數為 3,049 人，較民國 78 年 12 月減少了 1,198 人，隨後因政府推動觀光產業發展，至民國 100 年 10 月總人口數為 4,179 人，較民國 95 年 4 月增加 1,130 人。綜整上述，白河水庫集水區人口分布與歷年變化情形詳如表 2-8 所示。

表 2-8 白河水庫集水區人口分布與歷年變化統計表

統計年度 及月分	村里 戶數		關嶺里	仙草里	大林里	東興村	合計
民國 55 年 8 月	戶數		297	89			386
	人口 數	男	738	332			1070
		女	708	309			1017
		共計	1,446	641			2087
民國 67 年 12 月	戶數		297	116			413
	人口 數	男	891	334			1225
		女	781	278			1059
		共計	1672	612			2284
民國 78 年 12 月	戶數		478	569			1047
	人口 數	男	1040	1184			2224
		女	910	1113			2023
		共計	1950	2297			4247
民國 95 年 4 月	戶數		382	662	26	42	1112
	人口 數	男	560	1098	44	83	1785
		女	491	673	35	65	1264
		共計	1051	1772	79	148	3049
民國 100 年 10 月	戶數		517	728	271	138	1654
	人口 數	男	682	974	400	237	2293
		女	636	727	326	197	1886
		共計	1318	1701	726	434	4179
備註：臺南市白河區崎內里、汴頭里、虎山里及嘉義縣中埔鄉三層村、永樂村，於白河水庫集水區範圍內無人居住。							

資料來源：臺南市白河區及嘉義縣中埔鄉戶政事務所

二、土地使用分類及面積

本研究計畫參考國土測繪中心之國土利用調查成果，依據成果報到顯示，集水區上游屬林務局國有林事業區，國土保安用地之林班地主要以闊葉林為主，佔集水區面積 37.93 公頃，整體集水區用地以混

雜林所佔之比例最大，其次為檳榔用地，再者以竹林、常綠果樹、水庫用地、草荒地等，其餘如建築、交通、水旱田等類型之用地則較小，如圖 2-15、表 2-9 所示。

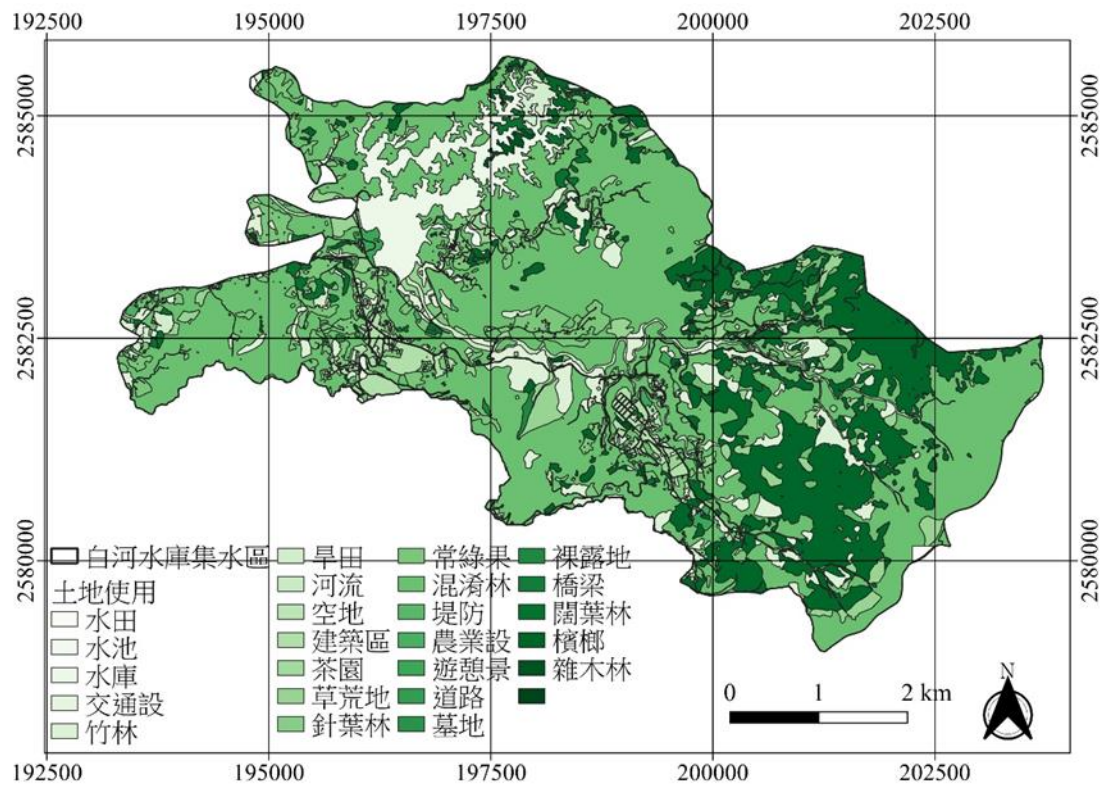


圖 2-15 白河水庫集水區土地使用分布圖

資料來源：本研究分析結果

表 2-9 白河水庫集水區土地使用類別

分類	面積 (公頃)	比例 (%)	分類	面積 (公頃)	比例 (%)
交通設施	3.86	0.12%	混雜林	1661.31	51.80%
堤防	0.41	0.01%	空地	2.62	0.08%
墓地	2.57	0.08%	竹林	192.90	6.01%
常綠果樹	187.49	5.85%	茶園	0.15	0.00%
建築區	88.43	2.76%	草荒地	112.96	3.52%
旱田	40.46	1.26%	裸露地	5.19	0.16%
橋樑	0.38	0.01%	農業設施	4.59	0.14%
檳榔	563.90	17.58%	遊憩景觀	13.53	0.42%
水庫	167.46	5.22%	道路	43.06	1.34%
水池	6.43	0.20%	針葉林	9.37	0.29%
水田	0.76	0.02%	闊葉林	37.92	1.18%
河流	50.76	1.58%	雜木林	10.69	0.33%

資料來源：本研究分析結果

三、區域產業發展

本區居民除關子嶺觀光區及小部分枕頭山石灰石區外，大多以務農為生，生活簡樸，產業結構多為一級產業及三級產業。區內農作物以龍眼、柑桔、檳榔及香菇為主，林產作物有桂竹、麻竹及刺竹等，桂竹主要分佈在關嶺里地區，麻竹等其他種類則分布於仙草埔地區，為本區重要的經濟來源，「關子嶺香菇」及「南寮極柑」之品質享譽全台。區內主要副產包括家畜及家禽兩類，家畜類以豬、牛為主，家禽類包括雞、鴨、鵝及火雞，其中雞為最多。

本區礦產主要有溫泉及石灰石，關子嶺溫泉區為國內重要觀光據點，關子嶺之居民多經營旅館業、溫泉等，關子嶺溫泉海拔高程約 240 m，屬於第三紀層中之溫泉，泉質滑而不膩，味道苦澀，水呈深灰色並帶泉泥，適於沐浴。另於仙草埔枕頭山地區產有石灰石(俗稱咕佬石)，是製造水泥重要原料之一，經過處理後產生之石灰，可為

建築材料，亦是製糖業用之清淨劑及造紙業用之漂白劑。石灰原石主要於民國 12 年開始有開採的紀錄，至民國 70 年，因採石嚴重破壞生態環境，致使枕頭山石灰石禁止開採。

白河水庫集水區產業發展與白河區產業經營息息相關，白河區水源豐沛，北有發源於關子嶺大凍山的白水溪，南有發源於中埔鄉三層崎而注入八掌溪的頭前溪，兩條河川橫貫白河區，成為白河地區農田的主要水源。白河區主要農作產品為水稻、甘蔗，主要蔬果有竹筍、洋香瓜、柳橙、荔枝與蓮子、蓮藕等，其中以蓮子、蓮藕為其特產。

第五節 國外集水區土地管理原則

水庫集水區設置保護帶的功能是用來減緩漫地流、阻截及過濾泥砂，以及去除逕流水中部分之營養鹽及農藥(Barling and Moore,1994; Osborne and Kovacic, 2006;Kuan and Chang, 2007)，可視為保護水庫水體的最後一道防線，如圖 2-16，因此，在土地管制的標準必然較為嚴格。

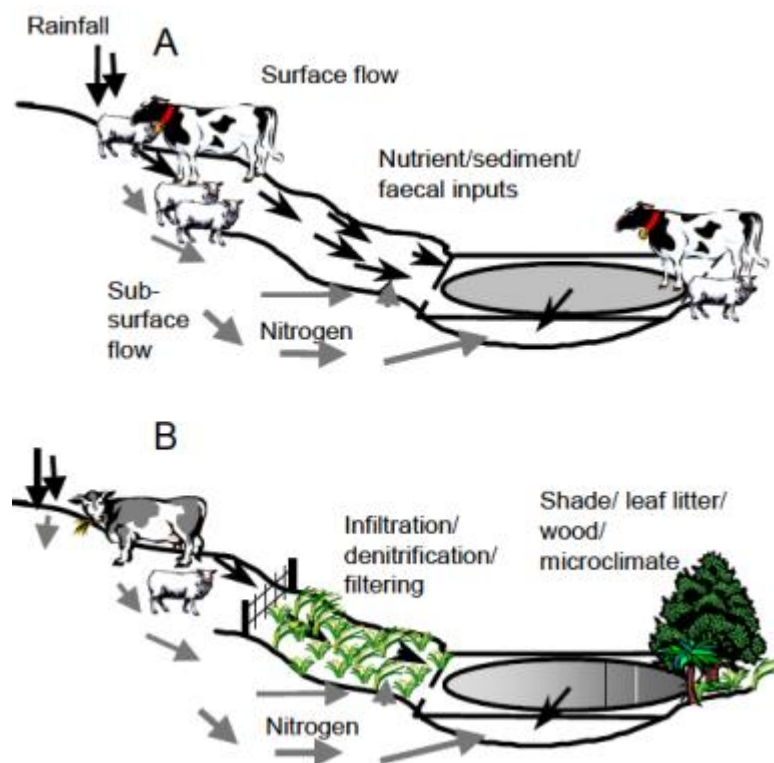


圖 2-16 集水區管理阻擋污染物示意圖

資料來源：Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand (2004)

一、河岸緩衝帶之形式

依據紐西蘭污染物注入水體之相關研究(Review of Riparian Buffer Zone Effectiveness)中，河岸管理方式可以採取多種形式，分述如下：

- 草濾帶：植草濾帶用於過濾農用養分和沈積物。
- 上游或河岸濕地：利用濕地是去除農藥及農用養分的熱點。
- 輪流放牧：規劃不同放牧區域規劃，避免污染物集中。
- 森林或種植本地樹木：利用本地樹木的緩衝帶，可將回復生態功能，並可提昇河道水質。
- 種植經濟樹木或經濟作物：可提供生態功能，並提供由河岸帶

去除磷等養分的機制。

- 多層系統：緩衝帶的組合，在溪流旁可使用本地林木以增強生態功能和生物多樣性，經濟作物(樹木)的緩衝帶可在該緩衝帶的外側使用，而農業用地旁邊的外緣則設置草濾帶。

除此之外，以何種型式的緩衝區及阻隔、過濾農用養分和沈積物為的最佳寬度之研究，本研究計畫亦彙整如下：

比較相同位置的多個寬度緩衝區的研究樣區，隨著緩衝區寬度由4.6 m增加至27m，沉積物和總磷去除率由53%提昇至98%，尤其泥沙顆粒能被大量清除（Barling and Moore 1994，Fennessy and Cronk，1997）。其中，草濾帶在阻隔顆粒性沉積物方面非常有效，可在5 m的草生緩衝帶中去除大部分較大的沉積物顆粒，但較細的顆粒物可能需要長度約10 m（Gharabaghi等，2002）。

農業營養物去除所需的寬度仍有許多爭論，Fennessy 和 Cronk（1997）回顧 Riparian Buffer Zones (RBZ) 去除污染物，特別是可溶性硝酸鹽的研究，當緩衝帶寬度約 20-30 m，其檢測結果約為 100% 的去除率，然而，當寬度降至只剩 10 m 則緩衝帶能檢測出約殘留 70% 的硝酸鹽。對於溶解氮的研究案例中，許多緩衝帶都是由森林所覆蓋，植物根系吸收的氮素被認為是去除可溶性氮的重要因素，依據相關研究結果，河岸濕地對氮素的衰減（反硝化）非常有效。

以汙染物擴散型態而言，微粒和溶解污染物的運輸方式不同，因此，可使用多層緩衝帶或組合緩衝帶的類型。義大利的研究案例，由 5 m 的草濾帶和寬度 1 m 的落葉樹林組成緩衝區，可減少硝酸鹽在農田地下水流中的檢出量。（Borin and Bigon，2002）

Hubbard and Lowrance (1997)以美國為研究案例，緩衝帶由一處

被管理的造林區和一處原始森林區，以及區域內有一條溪流通過，其研究結果顯示，此三種森林管理方式對於淺層地下水中的硝酸鹽均能有效的被吸收。

在河岸地區收穫生產樹木或植物，或從樹上收穫水果和堅果可以提供一種機制，可以從河岸地區去除磷。磷積累在河岸土壤中，可以被植物吸收，但是沒有類似於反硝化的過程將磷釋放到大氣中。因此，除非沉積物或有機物從緩衝帶中去除，否則緩衝帶可能會變得飽和，捕集磷的能力會隨著年齡而下降（Barling & Moore 1994）

去除養分和沈積物所需的最佳寬度可能會有很大差異，奧克蘭地區委員會已經建議了一種替代方法，該方法基於開發原生植物自我維持緩衝所需的寬度。Parkyn 等(2000)，建議緩衝區寬度為 10-20 m，這是在雜草控制最少的情況下發展可持續的本地植被並實現許多水生功能所必需的最小寬度。

二、影響緩衝帶阻隔效果之因素

草類緩衝區可能需要通過排水方式進一步向內陸延伸，導致緩衝區沿溪流長度的寬度不均勻。同樣，許多關於緩衝區研究的評論文章得出結論，當坡度陡峭時，緩衝區需要變寬，通常要給更多的時間以減少地表徑流的速度（Barling and Moore 1994，Collier 等，1995）。

緩衝帶的使用壽命限制，當土壤中的孔隙可能會堵塞沉積物或污染物已飽和，亦或是植物生長早期所吸收的養分最多等因素，均必須考慮這些因素，並且其寬度可能需要大於早期研究所建議的寬度。

因為緩衝帶的有效性會受到設計和現場特定因素（例如坡度，土壤中的粘土含量，排水模式等）的影響。Collie 等(1995)，發布 CREAMS 模型準則(Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management

Systems)，用於計算最佳的緩衝帶寬度，所需相關參數包含地形、坡度、排水條件、土壤性質、黏土含量等。

第六節 水庫集水區低衝擊度開發措施

臺灣因受到先天環境限制，可利用之水資源相當稀少，隨著極端降雨事件增加等因素，傳統的開發思維與工法在挑戰中不斷演進，發展成結合治水防洪及環境營造的低衝擊開發概念(Low Impact Development，LID)。

水利署透過推動水庫集水區保育實施計畫，加強保育措施，強化土砂治理、水質優化及防災措施，結合土地規劃、景觀等面向，以達成改善水質、減少暴雨逕流量之目標。同時，依據各水庫集水區面臨之課題與特性，設定以適用於南區水庫集水區之 LID 措施、推廣論壇與工作坊建議，以及應用於保育新生活社區之方向等。推廣說明 LID 案例、優選之社區，以及水庫集水區 LID 之適用性措施評估，規劃計畫執行之工作流程，如圖 2-17 所示。



圖 2-17 低衝擊開發(LID)推廣說明流程

於土地開發使用過程中導入低衝擊開發的概念，將低衝擊開發技術引入公共營建工程與都市開發，可有效降低開發對自然之衝擊效應。依據內政部營建署所發行之低衝擊開發設施操作手冊，低衝擊開發是以分散式、小規模的就源處理設計，透過貯存、滲透、蒸發及延遲逕流，以生態系統為根基的暴雨管理方法，同時可帶來涵養水源、美化城市、改善生態環境及降低都市熱島效應等附加價值。

低衝擊開發技術中常用之設施為生態滯留單元(Bioretention Cell)、草溝或草渠(Grass Swales or Channel)、透水性鋪面(Permeable Pavement)、植生屋頂(Vegetated Rooftops)、雨水貯留桶(Rain Barrels)、儲水槽(Cisterns)、植生過濾帶(Vegetated Filter Strips)、合併式進化槽(Multi-Chambered Treatment Train, MCTT) 等設施，如圖 2-18。其中，集水區範圍內以生態滯留單元、草溝或草渠、植生過濾帶、雨水貯留桶及合併式進化槽較為廣泛被應用。

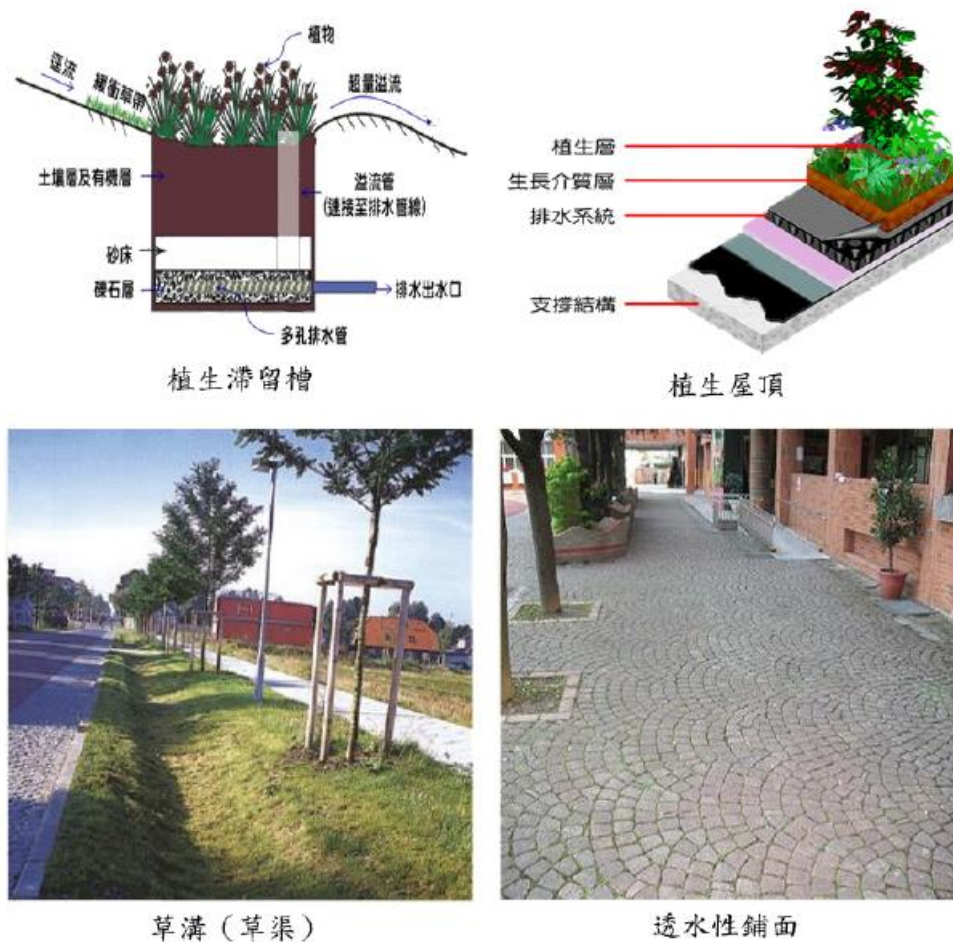


圖 2-18 LID 設施配置：植生滯留槽、草溝（草渠）、透水性鋪面、植生屋頂

水庫集水區則期望藉由使用 LID 相關設施，也可以減低承受水體受初期沖刷之負面衝擊如降雨頻率、流量、水質並維持基流量，使得開發區域更接近原有水文狀態，減少污染源，達水質改善、總磷削減的目的，然低衝擊度開發措施執行方式內容如表 2-10 所示。

表 2-10 低衝擊度開發措施方法概要

低衝擊度開發措施(LID)方法	內容概要
低衝擊度開發措施：現地設計	定義開發行為
	減少總不透水面積
	分割不透水面積
	增加排水路徑
低衝擊度開發措施：公眾參與	定義公眾參與目標
	找出主利益相關者
	建立參與方式
	推廣與發送相關資訊
低衝擊度開發措施：水文分析	分割子集水區
	定義設計暴雨
	定義模式技術
	評估開發前狀況與建立基準值
	評估整合性管理措施表現
低衝擊度開發措施：沖刷與沉積控制	規劃
	操作時程
	土壤沖刷控制
	沉積控制
	維護
低衝擊度開發措施：整合性管理措施(IMP)	界定水文控制程度
	現場限制條件
	篩選可行的 IMPS
	選擇最佳 IMP
	依需要增加特殊控制

資料來源：集水區非點源污染現地處理技術研發與應用計畫，林鎮洋

參考經濟部水利署北區水資源局「石門水庫集水區非點源污染削減現地處理調查規劃」報告中，彙整國內 LID 實務應用案例，其中，於水庫集水區相關的案例，彙整如下：

●集水區非點源污染現地處理技術研發與應用

環保署分別於民國 99 年、100 年執行「非點源污染現地處理技術研究計畫」、「集水區非點源污染現地處理技術研發與應用計畫」，以國內 11 座水庫集水區的水質改善為目標，瞭解水質污染負荷及熱點，更新非點源污染最佳管理作業手冊。

經濟部水利署臺北水源特定區管理局推動非點源污染削減，利用茶園既有排水路及其匯流處，設置淨化設施進行在槽處理，分散處理污染源源頭，於「金瓜寮流域茶園非點源污染削減現地處理調查規劃」完成 36 處 LID 場址規劃，及 2 處示範區之植生滯留槽設施設置。南區水資源局則在 104 年於阿公店水庫利用既有農地辦理 LID 示範規劃，透過示範場址污染源源頭之非點源改善試驗計畫，削減降雨帶來地表逕流之非點源污染，改善原果園中降雨逕流懸浮固體、氨氮、總磷，平均去除率為 82%。另於現地進行水量觀測試驗，推估出示範場址設置 LID 的蓄存洪水量的效益約 6%，提供改良之技術來保護環境與承受水體。

●水庫蓄水範圍及臨近集水區水質保護設施規劃

桃園市政府於 102 年「中庄調整池」完工後，考量其取水安全，故針對污染源進行全面調查，進行污染管制措施，導入 LID 措施，包括有：植生滯留槽、草溝、透水性鋪面，削減污染源強度及採行實質管制策略，以同時達到保護區自然資源育及用水安全之目的，以改善鳶山堰上游集水區水質達成率偏低之現況。

●低衝擊開發論壇：

低衝擊開發論壇或工作坊可提升民眾對於水庫集水區環境議題的重視，故台北市政府工務局於民國 102 年 4 月召開衝擊開發論壇，包括美國提出的低衝擊開發(Low Impact Development, LID)、歐洲國家的永續都市排水系統(Sustainable Urban Drainage Systems, SUDS)，邀集國內外知名的專家學者，分享華盛頓、北京，與我國都市的暴雨治理經驗，其中也包括都會區 LID 措施的應用。相對於水庫集水區，也可透過論壇或工作坊的辦理，提升全民公共參與之意識，已達集水區保育經營之效。

第七節 水源區土地管理方式

水資源保護與管制概念，興起於 1960 以後歐美發展的法學領域之環境權。主要探討環境資源的公平與正義，以及環境資源如何進行有效率的利用與分配，貫徹「污染者付費」或「肇因者付費」的環境法原則，亦或如何對環境資源的付費，此一概念被廣泛的應用，只因各個國家面對自然資源的態度不同而有不一樣的作法，以下針對各個國家的保護與管制方式進行說明。

一、臺灣

針對集水區之劃設及訂定，目前僅公告兩處特定水土保持區，分別為烏山頭水庫及白河水庫。依據「水土保持法」(水土保持局，2018)第二十條規定，經劃定為特定水土保持區之水庫集水區，其管理機關應於水庫滿水位線起算至三十公尺或至五十公尺範圍內，設置保護帶。保護帶內之私有土地得辦理徵收，公有土地得辦理撥用，其已放租之土地應終止租約回收保護帶內之土地，未經徵收或收回者，管理機關得限制或禁止其使用收益，或指定其經營及保護之方法，私有土

地所有人或地上物所有人所受之損失得請求補償金。

全國區域計畫，「重要水庫集水區（供家用或公共給水之水庫）」為第 1 級環境敏感地區，並新增「水庫集水區（非供家用或公共給水）」納入第 2 級環境敏感地區，故全國水庫集水區皆納入環境敏感地區。其中，水庫集水區(供家用或供公共給水)範圍內，非屬與水資源保育直接相關之環境敏感地區範圍，開發行為不得影響水庫集水區保育實施計畫之執行，辦理非都市土地設施型使用分區變更或使用地變更編定者，應辦理相關規定事項，以供各該區域計畫擬定機關或興辦事業計畫之目的事業主管機關審核參考。

國土計畫法已於 105 年 5 月 1 日施行，107 年 4 月 27 日核定內政部的「全國國土計畫」（同月 30 日公告實施），它是一個整體性、政策性與目標性的計畫，將作為後續地方政府，擬定直轄市、縣（市）國土計畫及國土功能分區的上位指導原則。該計畫針對可發展與不可發展的土地訂定了劃分原則，將原本的都市土地、國家公園土地及非都市土地，重新檢視及規劃為國土保育、海洋資源、農業發展、城鄉發展 4 種地區，將促使我國土地的利用更為明確，達成「適地適用」，逐步落實國土永續發展。

目前非都市土地係按現況劃設為 11 種使用分區及 19 種使用地，如圖 2-19 及圖 2-20 所示，後續將依據自然環境條件、糧食自給率目標及城鄉發展願景等，劃設「國土保育地區」、「海洋資源地區」、「農業發展地區」及「城鄉發展地區」等功能分區及其分類，以計畫引導土地使用。

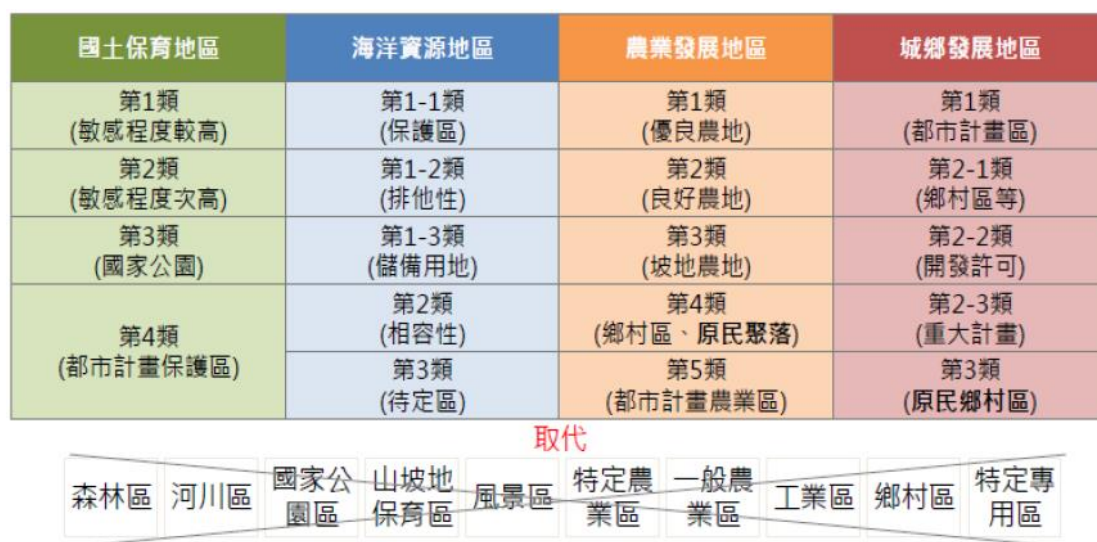


圖 2-19 國土計畫之國土功能分區

土地使用原則		
國土保育地區	第一類	維護自然環境狀態，並禁止或限制其他使用。
	第二類	儘量維護自然環境狀態，允許有條件使用。
	第三類	按環境資源特性給予不同程度之使用管制。
海洋資源地區	第一類	供維護海域公共安全及公共福祉，或符合海域管理之有條件排他性使用，並禁止或限制其他使用。
	第二類	供海域公共通行或公共水域使用之相容使用。
	第三類	其他尚未規劃或使用，按海洋資源條件，給予不同程度之使用管制。
農業發展地區	第一類	供農業生產及其必要之產銷設施使用，並禁止或限制其他使用。
	第二類	供農業生產及其產業價值鏈發展所需設施使用，並依其產業特性給予不同程度之使用管制、禁止或限制其他使用。
	第三類	按農業資源條件給予不同程度之使用管制。
城鄉發展地區	第一類	供較高強度之居住、產業或其他城鄉發展活動使用。
	第二類	供較低強度之居住、產業或其他城鄉發展活動使用。
	第三類	按城鄉發展情形給予不同程度之使用管制。

圖 2-20 國土計畫各分區土地使用原則

二、日本

水道法給予自來水事業向行政機關請求指定水源保護地域的法律依據，然而，水源保護區土地要承擔蓄水區滿水淹沒的損失，且保護蓄水區生態環境和水質的需要使生產和生活受到限制等影響，故透過適當的利益補償機制對水源保護區進行補償。於 1972 年制定「琵琶湖

琵琶湖綜合開發特別措施法」，以此法為基礎，琵琶湖綜合開發規劃水源保護區一系列綜合開發和整治項目，政府部門除了提升對水源區保護的經費負擔比例，同時下游受益地區也負擔水源區的部分項目經費，並且於 1973 年製定的「水源地區對策特別措施法」，以及在 1976 年對於水源保護區受限土地的補償訂定相關制度。

三、美國

利用行政契約的方式來與地主形成水源保護的共識，並授權各州政府可依土地利用情形、水源保護的需要和各種開發行為對生態危害的程度，劃設不同的管制區域，例如明尼蘇達州將地下水水源供給區，劃分成三個管制區域，分別針對不同區域限制土地使用及開發行為，第一區為取水口附近，嚴格限制開發行為；第二區為地下水回注區，可作為低污染之住宅區，但是可能產生重度污染的工廠及垃圾掩埋場則禁止設立於此區；第三區為不包含以上兩區之地下水區，有允許較廣泛的土地利用行為。

四、澳洲

澳洲的水源保護區內之土地分級管制措施，以同時兼顧水源保護及經濟發展為目標，是許多國家水源保護政策及土地管理政策的發展方向，其將保護區依公告分為三類，分別限制各區域土地開發行為如下所述：

- 1.第一級保護區為水資源品質不得下降區域，本區域的土地管理方式，以提供最高品質之飲用水為目標故應避免具有風險之開發行為。
- 2.第二級保護區為不增加水資源污染風險之保護區，通常此

區域已存在低密度開發行為，以保護公共給水水源為優先，其管理策略以風險最小化為原則，允許開放遵從規範之適當開發行為。

- 3.第三級保護區為限制水資源污染風險之保護區，此保護區必須與其他土地使用別共存，包括住宅區、商業區輕工業區等，其依循土地管理方式並非完全限制土地開發，而是當保護區水源遭受污染時，可進行相關處理方式或尋找其他替代水源之方案。

第三章 集水區土砂管理之風險評估方式

國內已有許多研究針對土砂災害進行風險評估，然而，其評估過程中所定義的各項名詞與其內涵，名稱雖然接近，但內涵卻不盡相同。因此，以下回顧與釐清氣候變遷下土砂管理各面向之災害風險分析內容，並提出本計畫之災害風險定義與分析架構。

第一節 土砂管理風險評估之相關文獻探討

一、災害風險定義

災害 (Disaster) 係指人類生命財產或環境資源因危害發生而導致大量損失之事件，而災害風險則表示特定危害發生的可能性。因此，危害指的是威脅的因子，而風險則指危害發生的機率，至於災害，則指危害後果的具體實現。災害風險之定義，目前已有許多文獻進行定義與評估，本研究彙整如表 3-1 所示。

根據文獻彙整可知，災害風險定義中，一般均包含兩個或三個元素 (危害度、脆弱度與暴露)，為了明確的區分各風險因子的作用，參考 IPCC AR5 之風險定義，採用較多(三個)元素定義風險，即風險為危害度、脆弱度與暴露度的乘積。

二、災害風險分析架構

目前風險分析多為定性描述或利用安全係數概念計算，例如若(供給/需求)小於 1，則為失效事件；如此計算則忽略需求端與供給端不確定性。為求更精準地掌握風險，風險之不確定性應以機率形式表示。因此，災害風險(Risk)則表示特定危害發生的可能性，可表示成：

$$\text{Risk} = \text{Hazard} * \text{Vulnerability} * \text{Exposure}$$

其中，危害度(Hazard)可分為人為或自然所引致的危害事件之超越機率，本計畫僅考慮與氣候相關之危害度，不同重現期之危害度的具體實現為降雨量。

脆弱度(Vulnerability)為關注目標對特定重現期之危害事件的損害程度或敏感度，根據上述定義，脆弱度是介於 0~1 之間的危害事件條件機率，用以呈現危害事件發生下，目標的受損程度。

暴露度(Exposure)為對特定重現期之危害事件發生且造成損害時，所影響之居民、經濟價值或生產面積；本計畫所定義之暴露度為特定期間內一個常數值，且依據土砂管理之概念，暴露度定義對象以土砂管理問題之受損規模為主，如因河道土砂淤積而溢淹之農田範圍等，並將該值進行正規化。關於上述各風險之定義，如表 3-2。

表 3-1 災害風險定義之相關文獻彙整

定義類別	風險分析計算方式	參考文獻
災害風險定義	對於風險有許多闡述，例如風險通常表示為發生危險事件或趨勢的機率(probability)乘以衝擊(impact)、或風險為(發生事件或趨勢的可能性)與所引致後果的乘積；風險應為脆弱度、暴露和危害度三者相互作用下的結果。其中、危害度係指自然或人為產生的物理事件、趨勢或其物理影響，可能會導致傷亡或其他健康影響，以及財產、基礎設施、生計、服務供應、生態系統、環境資源的損害和損失；在此報告中，「危害」一詞通常指與氣候有關的物理事件、趨勢或其物理影響。暴露度為在環境中可能會受到不利影響的人(與其生活)、物	IPCC WGII AR5 (2014)

	種或生態系統、環境機能、服務和資源、基礎設施、經濟、社會或文化資產。脆弱度包括敏感度(sensitivity)、易受傷害以及缺乏應對和適應能力等概念。財富、社會地位和性別等一系列的因素決定了與氣候相關風險的脆弱度和暴露度。	
災害風險定義	風險是危險事件發生的機率以及暴露事件的後果（若危害發生會造成的衝擊程度）的乘積；具體而言，風險為危害度、脆弱度與暴露度之乘積。其中，危害度是指可能會使某一地區受到破壞的物理事件；脆弱度與會使單元易或不易受到不利影響的性質特點相關；暴露是指暴露於危害因子中單元的數量、類型和價值。	Liu 等人(2016)
災害風險定義	依據 IPCC2012 及 IPCC2014，定義風險為危害度、暴露量與脆弱度三者之交集。危害度的內容為災害發生的自然變異因素與程度，如強降雨、颱風次數增加等造成的災害，以淹水和坡地災害為例，主要考量降雨因素造成的自然危害。脆弱度的內容為系統面臨特定危害使否容易致災的程度，如該地區是否容易淹水或是發生坡地崩塌。暴露量為災害可能受影響的對象，可能是人口、設施、作物、經濟行為。	科技部災害管理資訊研發應用平臺-氣候變遷之災害衝擊與調適(2018)

表 3-2 災害風險各因子之定義

風險因子	定義
危害度(Hazard)	●危害度(hazard)可分為人為或自然所引致 ●考慮與氣候相關之危害度 ●不同重現期之危害度的具體實現為降雨量
脆弱度(Vulnerability)	●脆弱度(vulnerability)為對特定重現期之危害事件的損害程度或敏感度 ●脆弱度為一個條件機率(介於 0~1 之間的數值)
暴露度(Exposure)	●暴露度(Exposure)為對特定重現期之危害事件發生且造成損害時，所影響之居民、經濟價值或生產面積 ●暴露度為一個常數值，以土砂管理問題所致災之受損規模為主 ●暴露度應以受損規模進行正規化

三、土砂風險評估方式探討

彙整國內外於氣候變遷下，坡地災害風險因子探討，如表 3-3 所示。

表 3-3 土砂災害風險評估方式彙整表

參考文獻	風險評估方式	
	風險因子計算方式	文獻說明
臺灣氣候變遷科學報告 2017—衝擊與調適面向 (106 年)	●危害度：降雨量、坡地災害潛勢(例如：土石流潛勢、崩塌潛勢)。 ●脆弱度：社會因子(例如：人口密度、人類發展指標、防災避難設施)、經濟發展因子(例如：土地利用強度)，以及環境因	我國過去探討坡地災害風險及其風險圖的研究中多數僅探討危害度及脆弱度的因子。

	子(例如：歷史崩塌率)。 水保局(2011)、水保局(2012)、內政部營建署(2011)、林又青等(2010)	
	●危害度：發生極端降雨之機率(24 小時累積雨量達 350mm 以上(超大豪雨))。 ●環境脆弱度：歷史崩塌率、坡度、地質災害面積。 ●暴露量：人口密度。 ●社會脆弱度：人類發展指標。	陳韻如等(2014)使用不同氣候變遷衝擊風險因子指標，綜合風險為這些指標的乘積，並給予風險等級，最後以圖資的方式呈現臺灣氣候變遷災害風險之熱點區域。
●曾文溪流域因應氣候變遷總合調適研究(3/3) 106 年 ●曾文溪流域因應氣候變遷總合調適研究(2/3) 105 年 ●曾文溪流域因應氣候變遷總合調適研究(1/3) 104 年	●危害度：計算崩場潛勢、河床平均沖蝕深度並分級。 ●脆弱度：評估因子包含建物(0.5)、交通設施(0.2)、現地整治成效(0.3)，再進行分級評分。	風險為脆弱度與危害度的組合，以風險矩陣表現。
氣候變遷衝擊下縣市災害風險評估-以臺南市為例	●危害度：25 年期間發生『24 小時內降雨超過 350mm』之機率。 ●環境脆弱度：歷史崩塌率、坡度及地質災害面積。 ●社會脆弱度：人口密	風險圖指標由危害度、環境脆弱度與社經脆弱度組成。分別計算各指標等級後，再以等權重方式，將危害度、環境脆弱度與社經脆弱度三面向指標相乘，以獲得各個災害風

	度。	險值。風險圖呈現則是將相乘後之風險值，再劃分為五個等級呈現，等級越高，災害風險越高。
--	----	--

依據相關文獻回顧，得知坡地災害分析中，定義危害度一般以降雨因子為自然致災之主要指標；而脆弱度因子部分，以土砂管理之致災潛勢等級為主；暴露度因子，則以土砂管理影響之災害影響規模為主。故結合前述災害風險定義與分析，定義土砂風險評估方式如表 3-4 所示。

表 3-4 災害風險分析架構及對應之土砂災害影響因子彙整

災害風險因子	定義	災害內容	影響因子
危害度(Hazard)	●危害度可分為人為或自然所引致 ●計畫僅考慮與氣候相關之危害度 ●不同重現期之危害度的具體實現為降雨量	以降雨因子為主要參數，考量不同重現期距下，不同降雨強度、降雨延時及累積降雨量作為設計值。	●重現期距 ●降雨強度 ●降雨延時 ●累積降雨量
脆弱度(Vulnerability)	●脆弱度為對特定重現期之危害事件的損害程度或敏感度 ●脆弱度為一個條件機率 ●脆弱度為一個介於 0~1 之間的數值	泛指土砂管理之致災潛勢等級，以河道沖刷、河道淤積為主。	●河道蜿蜒度 ●底床坡度 ●地質條件 ●地形條件
暴露度(Exposure)	●暴露度為對特定重現期之危害事件發生且造成損害時，所影響之居民、經濟價值或生產面積	泛指土砂管理影響之災害影響規模，以河道沖刷、河道淤積為主。	●易溢淹之保全對象 ●束縮段鄰近保全對象

	●暴露度為一個常數值，以土砂管理問題所致災之受損規模為主 ●暴露度應以受損規模進行正規化		●轉彎段鄰近保全對象
--	---	--	--

第二節 土砂災害風險評估流程

集水區內的土砂管理及災害風險評估，需考量未來災害風險之必要，因此制定完整的風險評估因子與指標計算方式應為首要任務。制定完整的風險評估流程，有利於災害風險量化與計算，於本計畫中將針對一示範集水區進行河道土砂收支模擬，並分別計算氣候變遷下不同時期之土砂災害風險以進行比較，分析結果可作為參考依據，供集水區進行後續治理規劃。風險評估流程，如圖 3-1 所示。

一、風險定義與計算

依據文獻整理歸納風險之定義，係指氣候變遷衝擊下，對自然與人類社會系統造成的可能損害程度，如颱風災害、洪水災害、崩塌災害等。依據 IPCC 在 2012 及 2014 年對災害風險之定義，以危害度、暴露量、脆弱度三者之交集表示，如圖 3-2，計算上則可界定風險為前述三項指標之乘積。

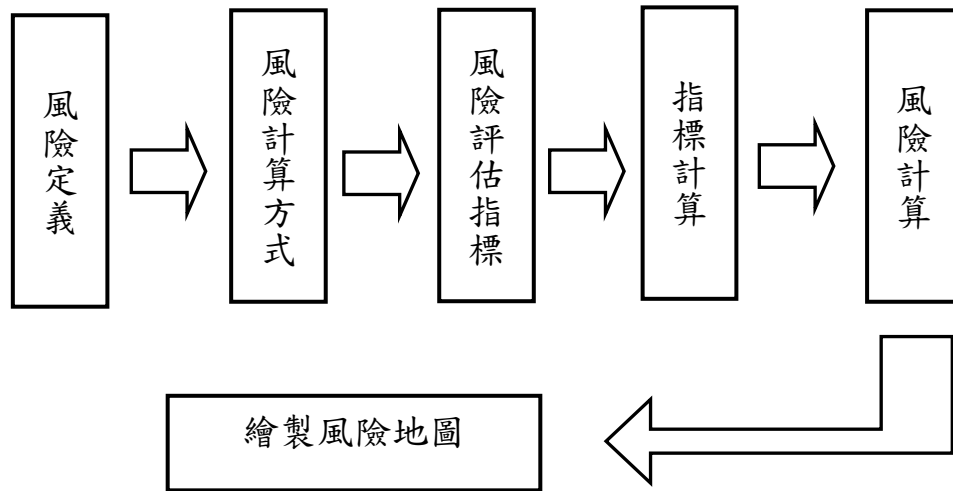


圖 3-1 風險評估流程圖



圖 3-2 風險定義示意圖

風險由危害度、脆弱度及暴露度組成，必須界定各項評估指標以後續量化與計算，然而根據探討領域之不同，將擇定不同因子進行災害風險分析，如水利署 2018 年《氣候變遷下水環境跨領域動態策略技術評

析與規劃報告》中，對於水環境、洪災及土砂災害分別提出不同的評估因子，以符合該探討目標之需求，如表 3-5。本計畫以集水區土砂管理為目標，期望了解氣候變遷對土砂災害風險之影響，以研擬相對應之管理策略，因此本計畫將擇定一示範集水區進行土砂收支計算，並根據河道沖淤情形進行災害風險分析，詳細評估因子界定及量化計算方法，將於後續章節進行詳細說明。

表 3-5 水環境各領域災害風險因子分析架構

風險因子	水資源	洪災	土砂
危害度 (hazard)	特定時間(旬或月)，降雨量小於某門檻值的機率	「特定時間(時或日)降雨超過特定事件」之發生機率	「特定時間(時或日)降雨超過特定事件」之發生機率
脆弱度 (vulnerability)	特定事件下供給小於需求的機率	特定事件下發生淹水的機率	特定事件下發生泥砂入庫的影響程度
暴露 (exposure)	民生：人口密度之正規化 工業：工業產值之正規化 農業：水稻面積之正規化	鄉鎮市區保全對象密度之正規化	剩餘有效庫容之正規化
風險(Risk)= 危害度(hazard) ×脆弱度(vulnerability) ×暴露(exposure)			

資料來源：氣候變遷下水環境跨領域動態策略技術評析與規劃報告
2018

二、風險評估指標與計算

進行集水區土砂災害風險管理時，首先定義風險為危害度、脆弱度與暴露度的乘積，後續章節針對土砂災害定義及危害度、脆弱度、暴露度指標進行進一步說明，並界定本計畫所使用之各項評估因子。

(一) 土砂災害之定義

以集水區土砂管理作為目標，當集水區內發生土砂災害時，部分土壤、岩屑等坡地材料，將直接或間接進入河道，影響河段土砂收支平衡，然坡地災害之成因相當複雜，外在因素如暴雨、地震、人為開發等誘因，內在因素如地形、地質條件等都將造成影響。

(二) 危害度評估因子

危害度應考量引致災害事件發生之因子，可分為人為及自然因素，歸納如表 3-6。在此欲針對氣候變遷衝擊進行風險管理，探討模擬河段之危害程度並進行正規化，雨量為一常見危害度指標。

表 3-6 坡地災害致災原因彙整

自然因素	1.地形地勢陡峭（坡度） 2.地質脆弱地區（地質構造、土壤岩石特性） 3.地震破壞地質穩定 4.當地環境因素（風化程度、植被） 5.地下水位 6.降雨過大
人為因素	1.森林砍伐 2.集水區內山坡地過度開發及超限利用 3.山區開闢道路或興建水庫 4.工程選址或道路選項不當 5.邊坡排水系統與護坡工程維護不周

(三) 脆弱度評估因子

由脆弱度之定義，應衡量關注目標對於特定危害事件的損害程度。一般界定土砂災害之脆弱度因子常為崩塌潛勢評估、土石流潛勢評估、坡面坡度、順向坡比等，而以集水區土砂管理角度而言，乃應針對河段之土砂沖淤情形進行探討，尚能評估該河段之脆弱程度。

為量化脆弱度因子，以土砂數值模擬結果而言，將每一網格作為一節點，並依各節點模擬結果將其分為淤積段及沖蝕段。若該點為淤積

段，則脆弱度因子應為淤積土砂深度除以河段最大淤積深度，反之若該點為沖刷段，則脆弱度因子為沖刷土砂深度除以該河段最大沖刷深度。

(四) 暴露度評估因子

根據暴露度之定義，應評估當危害事件發生且造成損害時，將受影響的對象，可能包括居民人身安全及經濟生產量等，一般常以人口密度、土地使用及經濟生產價值作為暴露度之評估準則。

第三節 集水區土砂管理模式參數分析

一、水文參數資料

本計畫以白河水庫集水區為示範區，收集雨量資料及水庫入庫砂量資料，其中，降雨資料主要應用於集水區水文特性分析、歷史颱風事件雨量分析，以及土石流數值模式所需之輸入條件。

依據經濟部水利署之水文年報資料，將白河水庫集水區內雨量站資料及歷年年平均雨量分布標註如圖 3-3、表 3-7 所示，其中，鄰近白河水庫集水區內之雨量站包含關子嶺、大棟山、馬頭山及沱水國小等，本研究收集雨量站近十年得資料，分析年平均雨量，並繪製年平均雨量分布圖，如圖 3-4 所示。

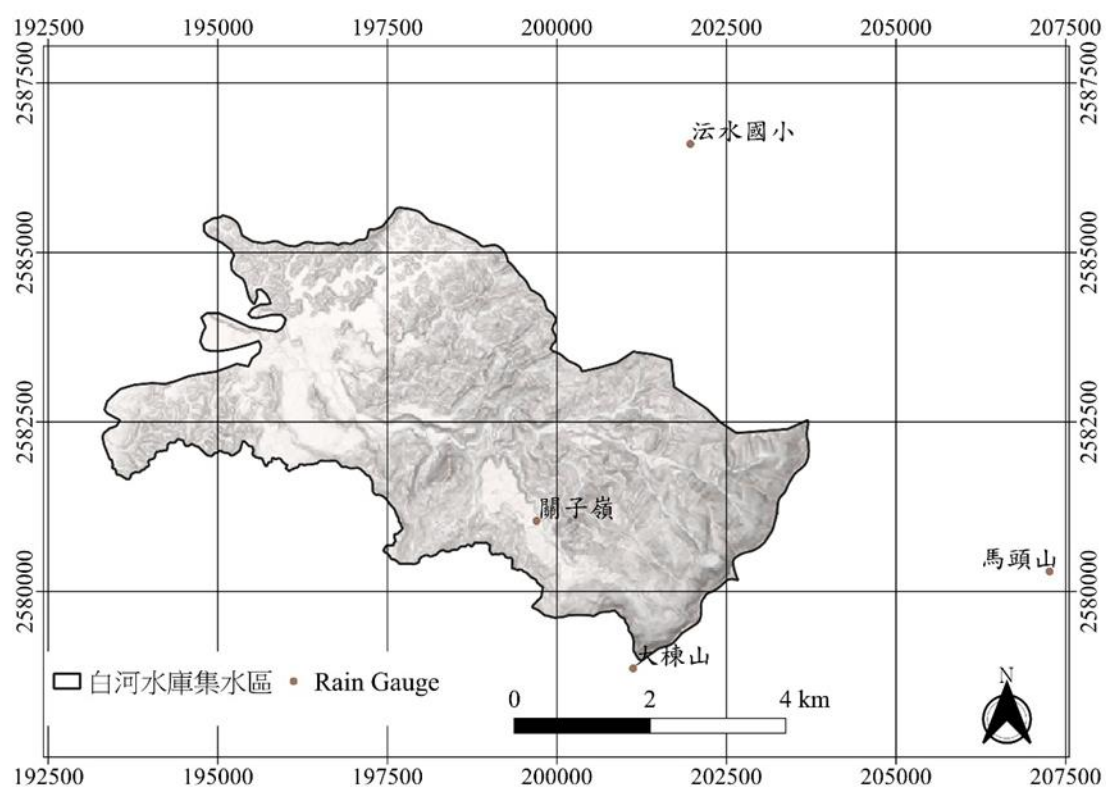


圖 3-3 白河水庫集水區鄰近雨量站分布圖

資料來源：本研究分析成果

表 3-7 集水區內擷取資料之雨量站彙整表

雨量站編號	名稱	資料年限	資料單位
C0M410	馬頭山	2000-2019	中央氣象局
C0X020	關子嶺	2000-2019	中央氣象局
C1O870	大棟山	2000-2019	中央氣象局

資料來源：本研究分析成果

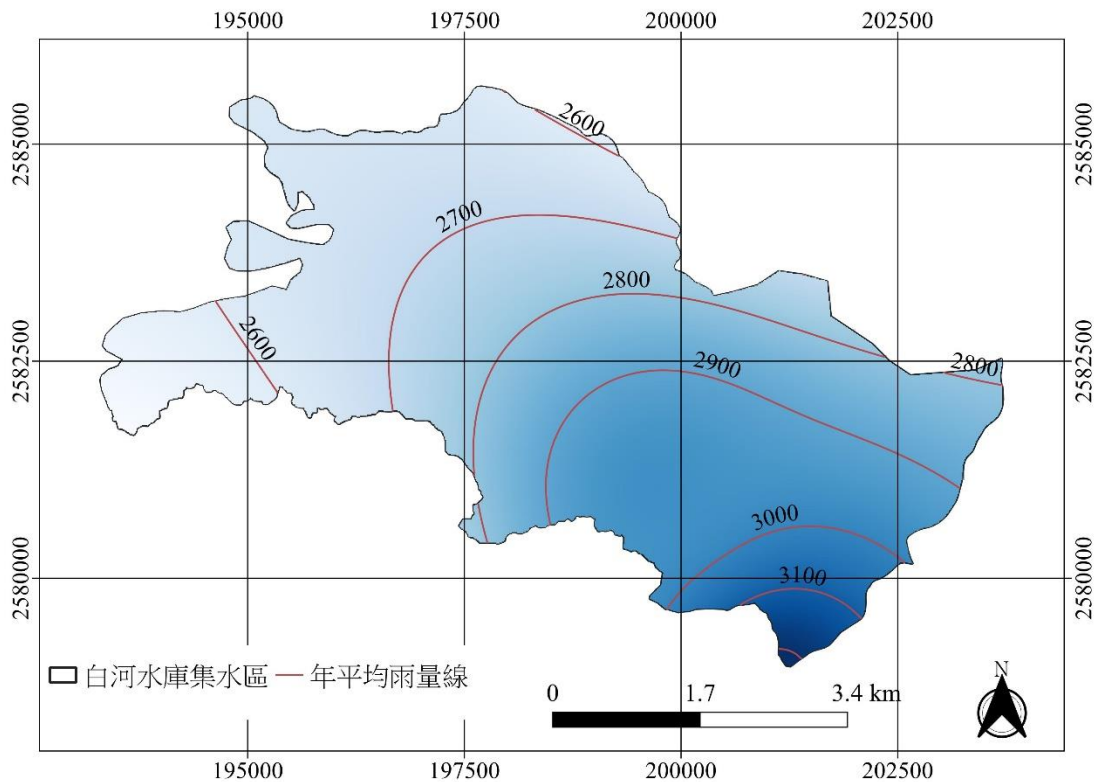


圖 3-4 白河水庫集水區年平均雨量分布圖

資料來源：本研究分析成果

由統計資料顯示，白河水庫集水區年平均雨量在 1,500 至 4,800 mm 間，水利署水文年報資料，年雨量約為 3930 mm，年降雨日數 123 日，其月平均雨量在 22 至 810 mm 間，年平均雨量約在 2,970 mm 如表 3-8。以雨量站記錄期間資料，其 24 小時降雨量達 100 mm 以上或總降雨量達 200 mm 以上者，作為氣候變遷測分析雨量站與其雨型，如圖 3-5 與圖 3-6 所示。

表 3-8 關子嶺雨量站水文年報資料

年雨量	年降雨日數			年一日 最大雨量			年二日 最大雨量			年三日 最大雨量		
3929	123			528			882			885		
月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均雨量	29	40	60	94	275	490	636	810	465	86	25	22
年平均雨量	最大年雨量			最小年雨量			年一日 最大雨量			年二日 最大雨量		
2970	5100 (2005)			38.2 (1957)			824 (2009/08/08)			1374 (2009/08/08)		

資料來源：本研究分析成果



圖 3-5 關子嶺雨量站 SSGM 長延時設計雨型

(水利署，2001)



圖 3-6 關子嶺雨量站 SSGM 短延時設計雨型

(水利署，2001)

另本計畫依所蒐集雨量站資料，並利用中央氣象局颱風警報單之日期，將颱風事件之雨量資料進行統計，篩選累積降雨量達 100mm 以上之事件進行統計，其結果如表 3-9 所示。

雨量資料顯示近年來颱風事件降雨量以 2009 年莫拉克颱風 (平均累積降雨量 1835mm)、2005 海棠颱風 (平均累積降雨量 1084mm)、2008 卡玫基颱風 (平均累積降雨量 797mm) 此三者為最大，而統計期間颱風事件平均累積降雨量約為 432mm 至 558mm 間。依關子嶺雨量站颱風事件，進行暴雨資料分析雨型，其結果如表 3-10 及圖 3-7 所示。

表 3-9 颱風事件降雨資料統計表

颱風事件	日期		關子嶺	大棟山	馬頭山
娜克莉	2002	7/8 ~ 7/13	179.5	213.5	127
敏督利	2004	6/28 ~ 7/3	685.5	643	897.5
海棠	2005	7/16 ~ 7/20	993.5	1017	1241
泰利	2005	8/30 ~ 9/1	416	418	410.5
龍王	2005	9/30 ~ 10/3	142	170.5	141
碧利斯	2006	7/12 ~ 7/15	448.5	533	642.5
凱米	2006	7/23 ~ 7/25	114	119	131
聖帕	2007	8/16 ~ 8/19	354	321.5	439.5
韋帕	2007	9/17 ~ 9/19	173	225.5	207
柯羅莎	2007	10/4 ~ 10/7	50	283.5	873.5
卡玫基	2008	7/16 ~ 7/18	775	738	877.5
鳳凰	2008	7/26 ~ 7/29	426.5	413	498
辛樂克	2008	9/11 ~ 9/16	500.5	557	466
薔蜜	2008	9/26 ~ 9/29	526	377	508
莫拉克	2009	8/5 ~ 8/10	1644.5	1578.5	2280.5
凡那比	2010	9/17 ~ 9/20	119	278	408
南瑪都	2011	8/27 ~ 8/31	195	213.5	312
泰利	2012	6/19 ~ 6/21	220.5	266	352
蘇拉	2012	7/30 ~ 8/3	371	388.5	474
潭美	2013	8/20 ~ 8/22	402.5	452	466.5
康芮	2013	8/27 ~ 8/29	424	389.5	391.5
麥德姆	2014	7/21 ~ 7/23	195.5	184.5	247
蘇迪勒	2015	8/6 ~ 8/9	-	410.5	629
杜鵑	2015	9/27 ~ 9/29	-	236.5	469.5
梅姬	2016	9/25 ~ 9/28	677.5	495	724.5
海棠	2017	7/29 ~ 7/31	344.5	291.5	292

資料來源：本研究分析成果

表 3-10 關子嶺雨量站日雨型分析表

颱風事件	莫拉克颱風 980808~980808			卡玫基颱風 970718~970718			梅姬颱風 1050928~1050928			日雨型分析	
時間 (hr)	雨量 (mm)	雨量 (mm) 遞減 排序	百分 率 (%) 遞減 排序	雨量 (mm)	雨量 (mm) 遞減 排序	百分 率 (%) 遞減 排序	雨量 (mm)	雨量 (mm) 遞減 排序	百分 率 (%) 遞減 排序	採用 位序	採用 百分比
1	15.5	64.5	8.87	89.5	113.5	23.72	0.0	62.0	16.60	23	0.50
2	12	54	7.43	113.5	91.0	19.02	0.0	54.5	14.59	21	0.59
3	18.5	51	7.02	91.0	89.5	18.70	0.0	44.0	11.78	19	0.75
4	11	50	6.88	19.0	42.5	8.88	0.0	40.0	10.71	17	1.10
5	10.5	45.5	6.26	37.0	37.0	7.73	0.0	36.5	9.77	15	1.66
6	12	43	5.91	14.5	19.0	3.97	0.0	30.5	8.17	13	2.26
7	19	41.5	5.71	16.5	16.5	3.45	0.0	29.0	7.76	11	2.71
8	43	40.5	5.57	42.5	15.5	3.24	2.0	13.5	3.61	9	3.80
9	23	36.5	5.02	15.5	14.5	3.03	2.5	12.5	3.35	7	5.64
10	18	35	4.81	10.5	10.5	2.19	4.0	10.0	2.68	5	7.92
11	26	32.5	4.47	5.0	6.0	1.25	7.5	9.0	2.41	3	12.50
12	12.5	28	3.85	6.0	5.5	1.15	10.0	8.5	2.28	1	16.40
13	32.5	27	3.71	3.5	5.0	1.04	8.5	7.5	2.01	2	13.68
14	28	26	3.58	2.0	3.5	0.73	12.5	7.5	2.01	4	8.82
15	41.5	23	3.16	5.5	3.5	0.73	13.5	4.0	1.07	6	6.02
16	40.5	19	2.61	3.5	2.0	0.42	29.0	2.5	0.67	8	4.14
17	27	18.5	2.54	1.0	1.0	0.21	54.5	2.0	0.54	10	3.23
18	45.5	18	2.48	1.0	1.0	0.21	44.0	0.0	0.00	12	2.43
19	36.5	15.5	2.13	0.5	0.5	0.10	30.5	0.0	0.00	14	2.11
20	35	12.5	1.72	0.0	0.5	0.10	40.0	0.0	0.00	16	1.23
21	51	12	1.65	0.5	0.5	0.10	7.5	0.0	0.00	18	0.89
22	54	12	1.65	0.0	0.0	0.00	9.0	0.0	0.00	20	0.61
23	64.5	11	1.51	0.5	0.0	0.00	36.5	0.0	0.00	22	0.55
24	50	10.5	1.44	0.0	0.0	0.00	62.0	0.0	0.00	24	0.48

資料來源：本研究分析成果

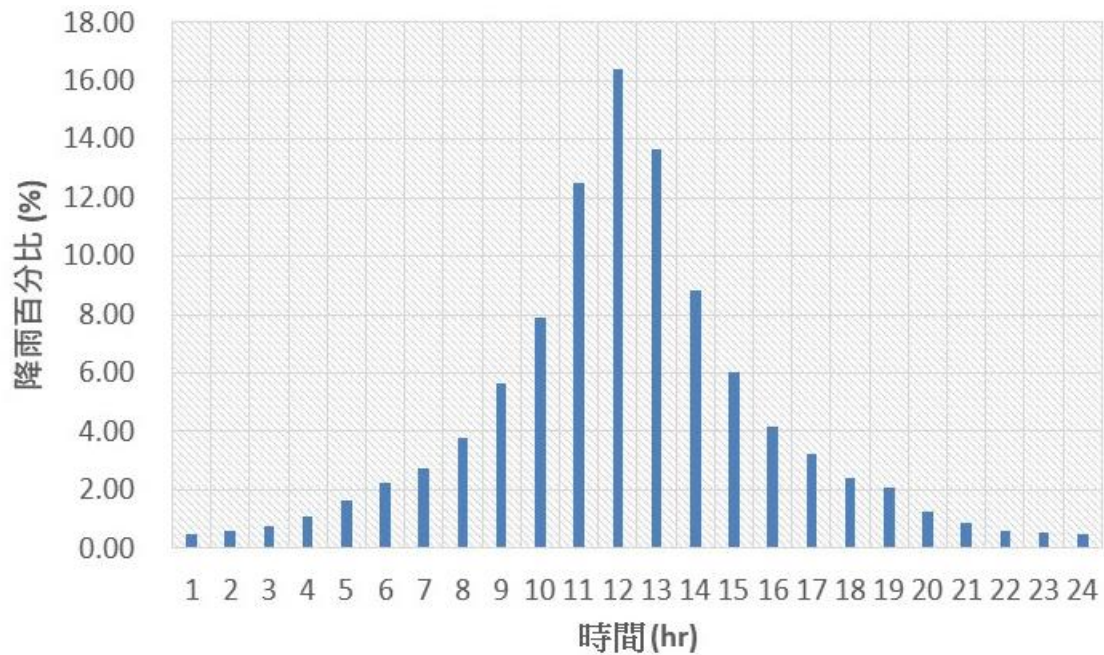


圖 3-7 關子嶺雨量站颱風事件分析雨型

資料來源：本研究分析成果

二、逕流分析

根據水土保持手冊(2017)，當集水區面積小於 1,000 公頃或集流時間小於 1 小時者，被歸類為小型集水區，當集水區面積大於 1,000 公頃或集流時間大於 1 小時者，屬中、大型集水區。但由於溪流上游之小型集水區，多缺乏水文站及實測流量資料，因此常以合理化公式推估洪峰流量，於中型集水區以上洪峰流量推算，常採用能反應時變性降雨強度方法，如單位歷線法或臺灣山區常用之三角形單位歷線法。

在估算降雨延時及重現期之平均設計降雨強度，根據降雨強度-延時-頻率公式如下式所示：

$$I = \frac{cT^m}{(t+b)^k} \quad (\text{式 1})$$

其中：

I: 單位時間降雨量 (mm/hr)，即降雨強度，

t ：降雨延時（分）， a 、 b 、 c 、 m 、 k ：待定常數，

T ：重現期（年）。

通常，降雨強度-延時-頻率公式採用 Horner 公式，若缺乏 Horner 降雨強度公式或集水區缺實測資料時，可採用日雨量資料推求各延時之降雨強度，依據「水土保持技術規範」及「水土保持手冊」，以集水區平均降雨量為參數之無因次降雨強度公式如下式：

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + H \log T) \frac{A}{(t+B)^C} \quad (\text{式 2})$$

上式中，

$$I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2$$

$$A = \left(\frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2$$

$$B = 55$$

$$C = \left(\frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2$$

$$G = \left(\frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2$$

$$H = \left(\frac{P}{-65.33 + 1.836P} \right)^2$$

T ：重現期（年），

t ：降雨延時（分），

I_t^T ：重現期 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度（mm/hr），

I_{60}^{25} ：重現期 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度（mm/hr），

P ：年平均降雨量（mm），

A 、 B 、 C 、 G 、 H ：無因次降雨強度公式係數。

依據水利署水文年報關子嶺雨量站年平均雨量為 2970mm，不同重現期 T 之計算包含 5 年、10 年、50 年、100 年、200 年，利用公式 2 可得到白河水庫集水區無因次降雨強度公式各重現期之降雨強度，如表 3-11 所示。同時，參考水保局(2019)「108 年南化、烏山頭及石門、曾文等水庫上游集水區土砂收支模式建立與保育減砂量推估」資料，其一日暴雨頻率分析結果，如表 3-12 所示。兩者不同在於無因次降雨強度公式採用雨量站年平均降雨量，為單點推估整個集水區各重現期之降雨資料，而一日暴雨頻率分析，採用 24 小時降雨量大於 100mm 之降雨事件進行分析，因此後續本研究採用一日暴雨頻率分析結果進行後續分析。

表 3-11 關子嶺雨量站不同重現期降雨強度表

無因次降雨強度係數								
係數	A		B		C		G	H
係數值	16.51913		55		0.572638		0.553244	0.303895
不同重現期無因次降雨強度(mm/hr)								
重現期	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年	
降雨強度	74.43	88.39	98.95	112.92	123.48	134.04	144.60	

資料來源：本研究分析成果

表 3-12 白河集水區各重現期一日暴雨頻率分析之降雨強度表

機率分析 / 重現期	重現期	5 年	10 年	50 年	100 年	200 年	SSE	SE
白河水庫 集水區降 雨強度 (mm)	對數常態 II	518.73	639	921.29	1048.26	1179.72	52.18	1.81
	對數常態 III	541.83	647.54	861.22	946.25	1028.91	48.06	1.79
	皮爾遜 III	543.08	649.6	861.74	944.68	1024.43	47.46	1.78
	對數皮爾遜 III	541.95	668.52	943.29	1057.62	1170.65	43.11	1.7
	極端值 I	572.25	712.12	1019.96	1150.1	1279.77	38.29	1.55

資料來源：水保局 (2019)，「108 年南化、烏山頭及石門、曾文等水庫上游集水區土砂收支模式建立與保育減砂量推估」

臺灣山區山坡地常採用修正三角形單位歷線法估算降雨逕流 (水保局，2017)，其假設集水區流量歷線呈三角形分布，具有固定的基期，洪峰流量與降雨量成正比關係，如圖 3-8 所示及公式 3。

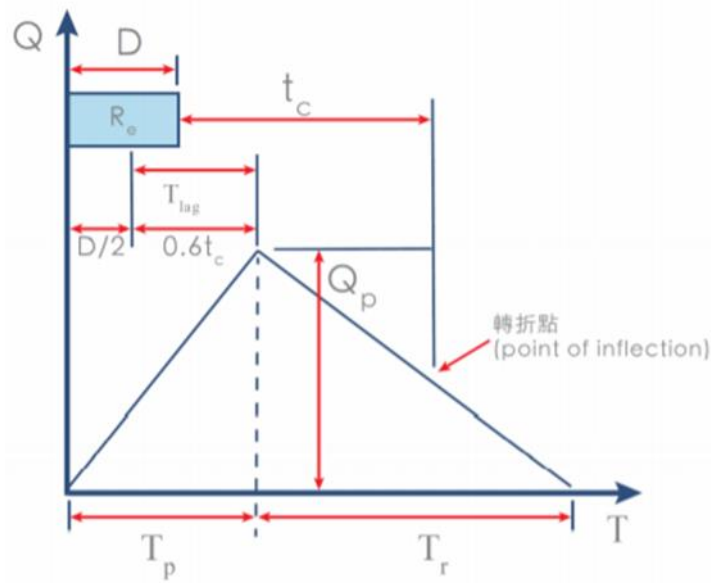


圖 3-8 三角形單位歷線圖

資料來源：(水保局，2017)

$$Q_p = \frac{2QA}{T_p + T_r} \quad (\text{式 3})$$

式中，

Q_p ：洪峰流量，

Q ：總逕流水深，

A ：集水區面積，

T_p ：歷線開始至到達洪峰流量時間，

T_r ：到達洪峰流量時間至歷線終端，

T_b ：歷線時間基期 ($T_b = T_p + T_r$)。

當總逕流水深 Q 等於單位有效降雨深度 R_e (一般取 10mm)，則上式稱之為三角形單位歷線。三角形單位歷線法概念相當簡單，適用於海洋島嶼型小集水區的洪峰流量設計，尤其在欠缺實測資料的上游集水區更顯重要。

根據水保手冊(2017)得知洪峰流量到達時間 T_p 可以表示為：

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag} \quad (\text{式 4})$$

式中，

D ：有效降雨延時 ($D \leq 0.133t_c$)，

T_{lag} ：稽延時間，表有效降雨中心至洪峰流量到達時間，依 Mockus (1957)及 Simas (1996)可表示如下：

$$T_{lag} = 0.6t_c \quad (\text{式 5})$$

式中，

t_c ：集流時間。假設 $T_r = mT_p$ ，且 Mockus (1957)提出， $m=1.67$ ，

則三角形單位歷線洪峰流量及洪峰流量到達時間可分別表示如下：

$$Q_p = 0.208 * A * R_e / T_p \quad (\text{式 6})$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c \quad (\text{式 7})$$

式中，

Q_p ：洪峰流量 (cms)，

R_e ：單位有效降雨深度 (mm)，

A ：集水區面積 (km^2)，

T_p ：歷線開始至到達洪峰流量時間 (hr)。

由公式 7 得知，有效降雨延時可以由集流時間計算，但是，考量集水區面積較小之實際問題，於是水利署提出適用於臺灣的有效降雨延時的推估方法，其推估方法如表 3-13 所示，雖然部分集流時間採用值大於 $0.133t_c$ ，惟依 Viessman et al. (2003)認為，只要不大於 $0.17t_c$ 皆屬可容許之範圍。

表 3-13 有效降雨延時推估

集流時間	$D \leq 0.133t_c$	採用值 (min)
$t_c \geq 6 \text{ hr}$	$>48 \text{ min}$	60
$5 \leq t_c < 6 \text{ hr}$	$40 \leq D < 48 \text{ min}$	50
$4 \leq t_c < 5 \text{ hr}$	$32 \leq D < 40 \text{ min}$	40
$3 \leq t_c < 4 \text{ hr}$	$24 \leq D < 32 \text{ min}$	30
$2 \leq t_c < 3 \text{ hr}$	$16 \leq D < 24 \text{ min}$	20
$1 \leq t_c < 2 \text{ hr}$	$8 \leq D < 16 \text{ min}$	10
$t_c < 1 \text{ hr}$	$D < 8 \text{ min}$	5

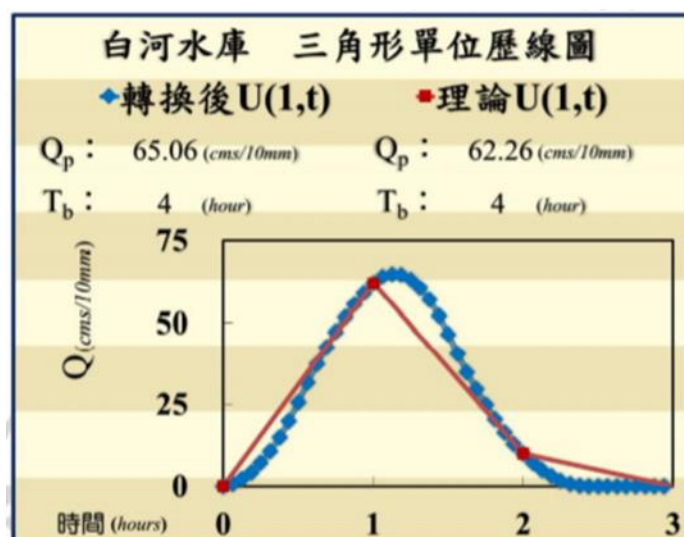
資料來源：水土保持手冊 (2017)

白河水庫集水區之三角形單位歷線相關參數則參考水保局(2019)「108 年南化、烏山頭及石門、曾文等水庫上游集水區土砂收支模式建立與保育減砂量推估」資料，如表 3-14 所示，計算單位降雨延時之三角形單位歷線 $U(D,t)$ ，經 S 曲線轉換其延時為一小時，即可得到有效降雨 10 mm 之一小時三角形單位歷線 $U(1,t)$ ，如圖 3-9 所示。

表 3-14 三角形單位歷線參數表

項目	數值	項目	數值
集水區面積 $A(\text{km}^2)$	25.98	流入時間 $t_1(\text{hr})$	0.14
主流總長度 $L(\text{m})$	9017	流下時間 $t_2(\text{hr})$	0.72
源頭至出口之高程差 (m)	490.7	集流時間 $T_c(\text{hr})$	0.86
漫地流長度 (m)	300	單位降雨延時 $D(\text{hr})$	0.0625
漫地流流速 (m/s)	0.6	洪峰時間 $T_p(\text{hr})$	0.55
溪床坡度 $S(\text{m/m})$	0.05	基期 $T_b(\text{hr})$	1.46
流下速度 $W(\text{km/hr})$	12.55		

資料來源：水保局(2019)

圖 3-9 三角形 $U(1,t)$ 單位歷線

資料來源：水保局(2019)

第四節 氣候變遷土砂災害情境分析

一、氣候變遷情境選定

在氣候變遷情境分析的資料方面，推估未來氣候變化趨勢則引用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (TCCIP, Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform) 雨量資料，利用年最大連續 5 日降雨量之平均改變率做為衡量短期降雨量指標，雨日降雨強度是評估所有雨日中的平均降雨強度指標，年總降雨量之平均改變率做為衡量所有雨日中的累積降雨量指標 (劉曉薇等人，2019)。

氣候變遷水文量指標使用 TCCIP 所產製統計降尺度資料，時間長度為 1986 至 2005 年共計 20 年，做為資料參考基期使用，而對 21 世紀氣候變遷的推估，將未來推估情境資料分為近未來 (2016 ~ 2035 年)、世紀中 (2046 ~ 2064) 及世紀末 (2081 ~ 2100 年) 等三個時期。

氣候變遷情境則是 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5 模式，本計畫樣區之集水區位屬於南部地區，因此，在此四者之情境下其不同之水文量變化，以年最大連續 5 日降雨量平均改變率增加約 19%~20% (圖 3-10)，而雨日降雨強度平均改變率則增加約 5% ~ 8% (圖 3-11)，年總降雨量平均改變率則是增加約 1% ~ 7% (圖 3-12)。

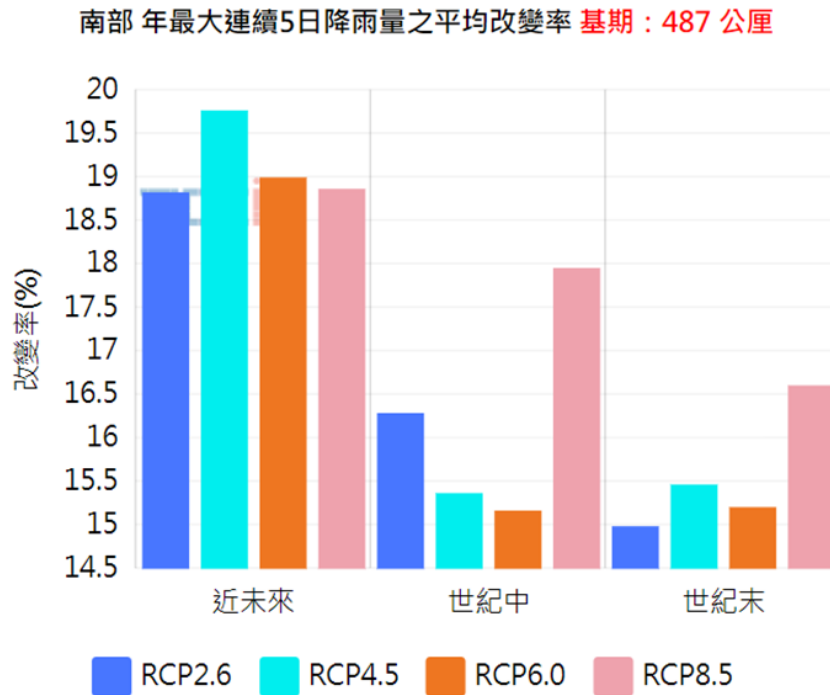


圖 3-10 年最大連續 5 日降雨量之平均改變率

(TCCIP:https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_05_chart.aspx?a=%e5%8d%97%e9%83%a8&p=RX5DAY)

由四種情境結果顯示，近未來時間水文量變化將增加，故本計畫將未來氣候變遷影響之降雨量推估，以關子嶺雨量站作為氣候變遷測分析雨量站，以因應未來水文量變化增加趨勢，採用 RCP8.5 模式，進行推估氣候變遷設計降雨量及流量歷線。

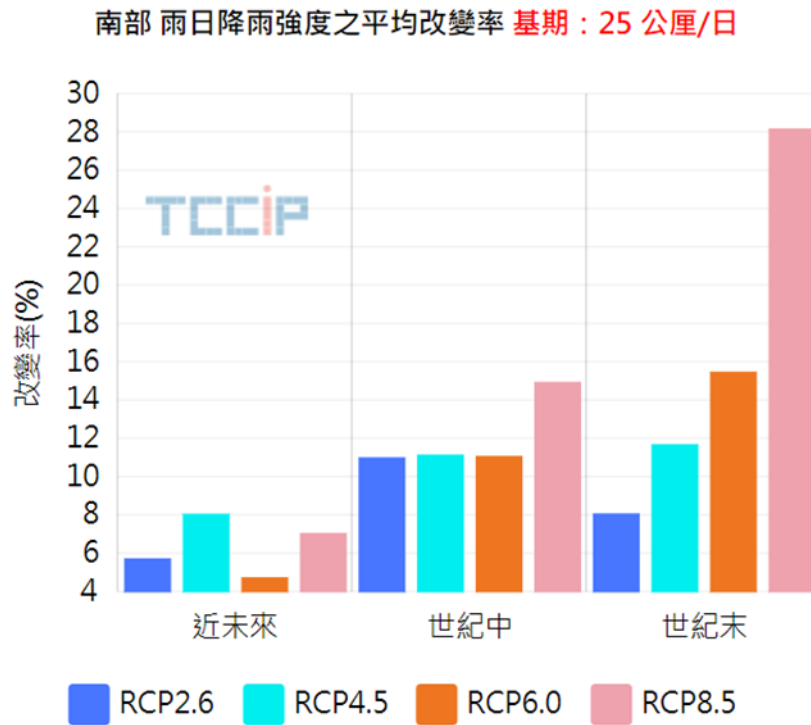


圖 3-11 雨量降雨強度之平均改變率

(TCCIP:https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_05_chart.aspx?a=%e5%8d%97%e9%83%a8&p=SDII)

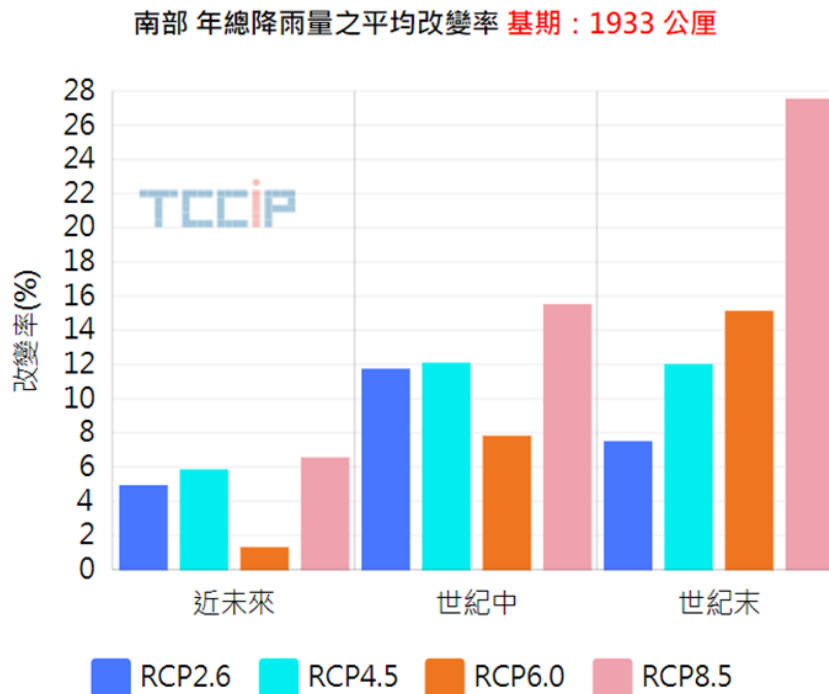


圖 3-12 年總降雨量之平均改變率

(TCCIP:https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_05_chart.aspx?a=%e5%8d%97%e9%83%a8&p=PRCPTOT)

在降雨量和流量歷線推估方法，採用上節一日暴雨頻率分析及三角度單位歷線法配合白河水庫集水區資料進行推估，在近未來情境下，年總降雨量平均增加率為 1% ~ 7%，因此在計算上以一日暴雨頻率分析重現期降雨強度值加計 7% 做為極端情況進行計算，其成果如下表 3-15 所示，同時，推估極端情況流量歷線如圖 3-13。

表 3-15 白河水庫集水區氣候變遷水文量推估值

各重現期一日暴雨降雨強度 (mm)					
重現期	5 年	10 年	50 年	100 年	200 年
降雨強度	612	762	1091	1230	1369
各重現期洪峰流量 (cms)					
重現期	5 年	10 年	50 年	100 年	200 年
洪峰流量	743	925	1325	1494	663

資料來源：本研究分析成果

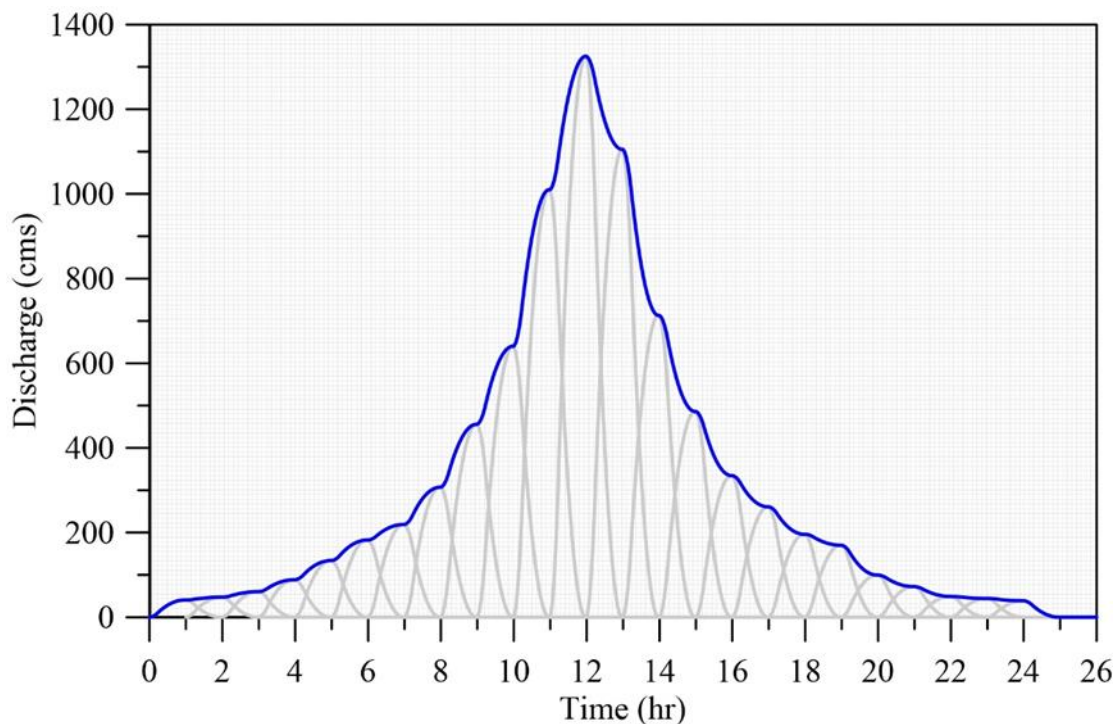


圖 3-13 氣候變遷極端情況下推估流量歷線

資料來源：本研究分析成果

二、土砂災害模擬

依據水土保持局土石流潛勢溪流資料，在白河水庫集水區內有六處土石流潛勢溪流，如表 3-16、圖 3-14 所示，集水面積由 2.8 公頃至 468 公頃之間，其中有四處下游有保全對象而二處無保全對象。由上節氣候變遷影響之水文量推估資料，配合土石流潛勢溪流上游集水區面積等地文資料，計算土石流潛勢溪流各重現期之洪峰流量以做為土石流災害模擬計算。

表 3-16 集水區土石流潛勢溪流分布概況表

土石流名稱	位置	保全數	型態	溪流長	集水區面積 (ha)	影響範圍面積 (m2)
嘉縣 DF035	中埔鄉東興村	保全戶 5 戶以上	溪流型	3.075	467.9	25414.3
南市 DF001	白河區仙草里	保全無	溪流型	1.057	47.9	12461.0
南市 DF002	白河區仙草里	保全 1~4 戶	溪流型	0.99	20.3	14549.5
南市 DF009	白河區關嶺里	保全戶 5 戶以上	溪流型	3.33	344.1	11222.7
南市 DF010	白河區關嶺里	保全無	坡面型	0.289	2.81	1037.0
南市 DF011	白河區關嶺里	保全 1~4 戶	溪流型	0.914	38.8	12586.0

資料來源：本研究分析成果

(一) 土石流模擬程式說明

土石流模擬程式 Hyper-Kanako 二維模式係依據京都大學 Takahashi 教授等人之理論發展而成 (Takahashi and Kuang, 1986; Takahashi and Nakagawa, 1991; Takahashi et al., 2001)，其理論方程式包含連續、動量、地形變動等。Hyper Kanoko2D 土石流控制方程式包括連續方程式 (流體及土砂)、動量方程式 (X 軸及 Y 軸)及地形變動方程式，其可表示如下：

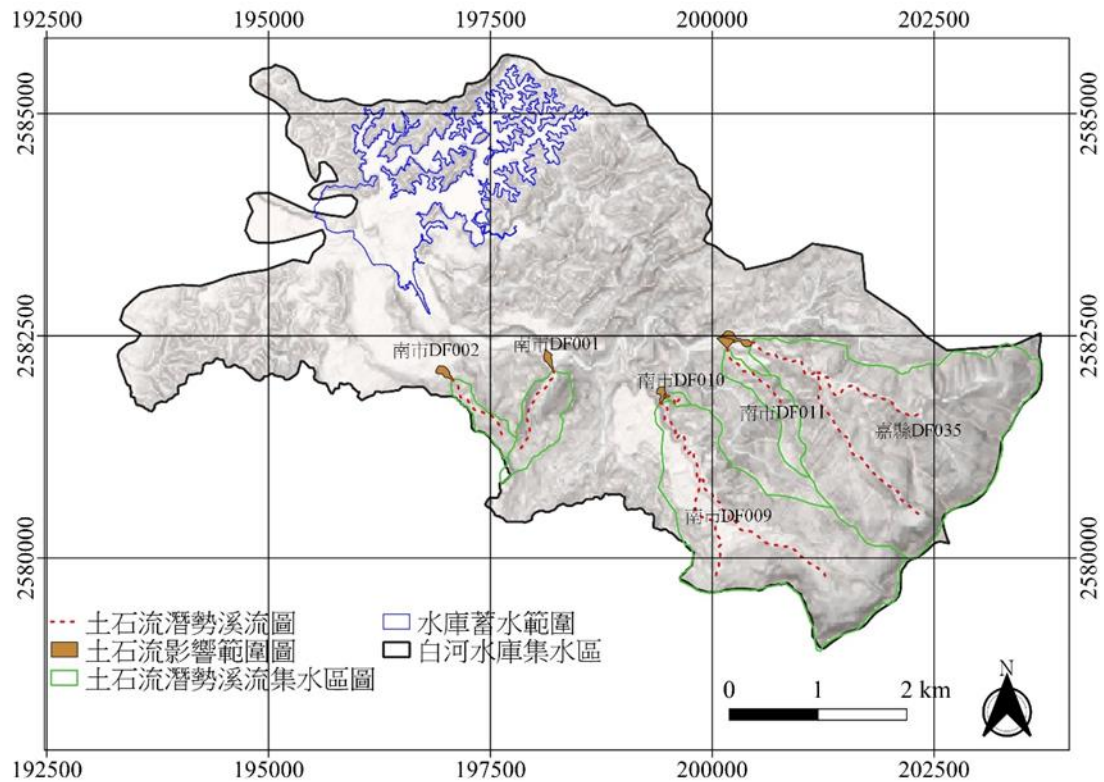


圖 3-14 白河水庫集水區土石流潛勢溪流

資料來源：本研究分析成果

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} &= S_T \\ \frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chu}{\partial x} + \frac{\partial Chv}{\partial y} &= S_T C_* \\ \frac{\partial Ch}{\partial t} + \frac{\partial Chu}{\partial x} + \frac{\partial Chv}{\partial y} &= S_T C_* \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho h} \\ \frac{\partial z}{\partial t} + S_T &= 0 \\ \delta_e \frac{C_* - C}{C_* - C_\infty} \frac{q}{d} \\ \delta_d \frac{C_\infty - C}{C_*} \frac{q}{d} \end{aligned}$$

式中， h 為水深、 u 為 X 方向之流速、 v 為 Y 方向之流速、 C 為土石流體積濃度、 z 為底床高程、 t 為時間、 C_* 為土石流動床層體積濃度、 C_∞ 為平衡濃度、 g 為重力加速度、 $H = h + z$ 為水位、 ρ 為流體密度、 S_T 為侵蝕/堆積速度、 τ_x 及 τ_y 分別為 X 及 Y 方向之剪應力、 δ_e 侵蝕速度係數、 δ_d 為堆積速度係數、 q 為單寬流量、 d 為顆粒粒徑。

本研究應用 Hyper-Kanako 二維土石流模擬程式，分別建立各土石流潛勢溪流模擬範圍，利用 20 米網格數值地型資料作為演算地形高程及氣候變遷水文量作為上游邊界流量歷線，數值模式之參數如表 3-17 所示。完成模型建置後，各土石流網格模型之建置如圖 3-15 所示，南市 DF001 建置 1806 網格單元、南市 DF002 建置 962 網格單元、南市 DF009 建置 2438 網格單元、南市 DF011 建置 726 網格單元、嘉縣 DF035 建置 6426 網格單元。

表 3-17 數值模式參數表

模式參數			
流體密度, ρ	1000	堆積速度係數, δ_d	0.05
土砂密度, ρ_s	2650	曼密糙度係數, n	0.03
流動床層體積濃度, C_*	0.65	粒徑, d	0.001
重力加速度, g	9.81	土石流濃度, C	0.3
侵蝕速度係數, δ_e	0.0007		

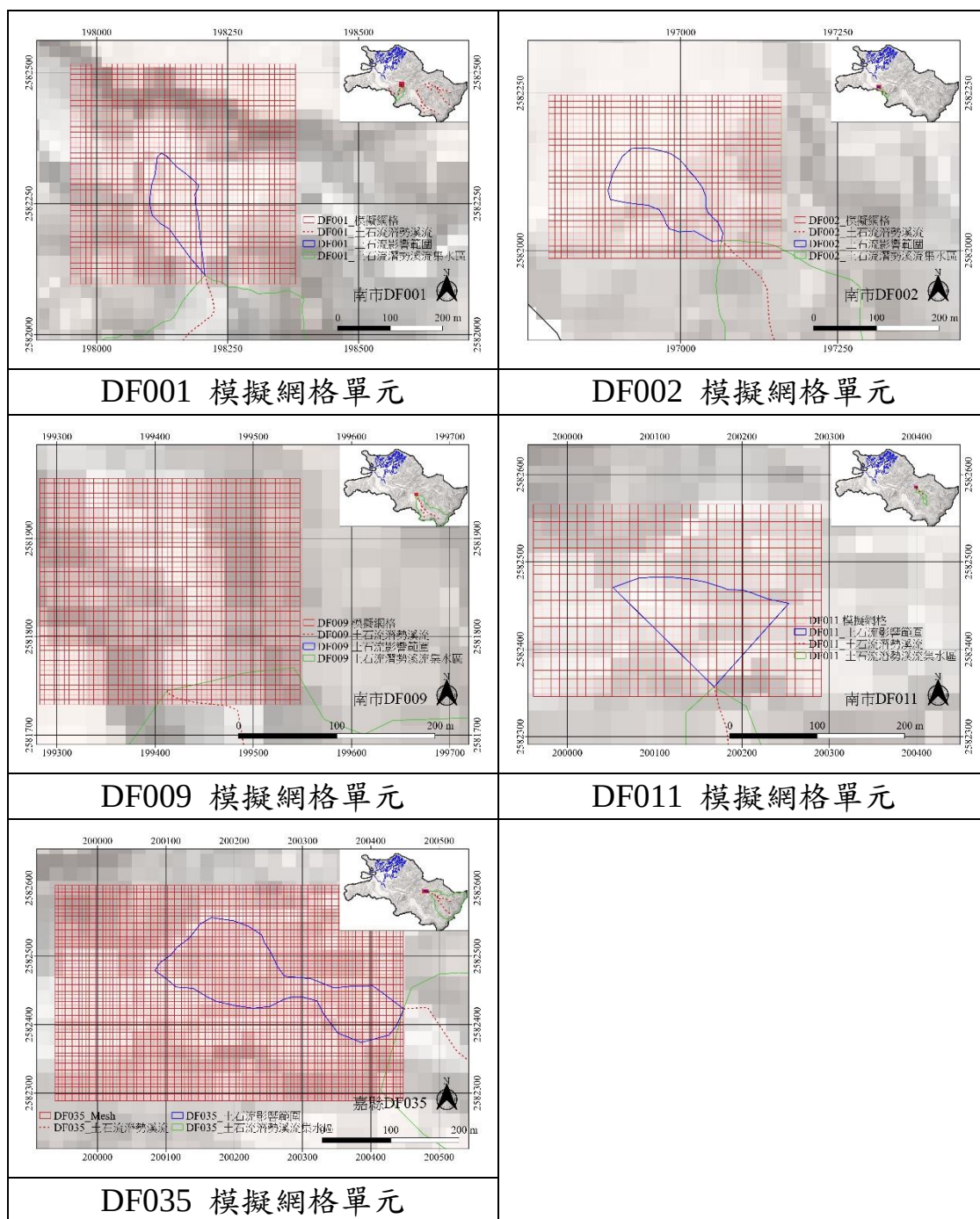


圖 3-15 脆弱度模擬網格單元圖

(二) 土石流潛勢溪流風險等級評估

土石流潛勢溪流風險等級評估方法係由「發生潛勢等級」及「保全對象等級」兩項因子所構成，並導入風險觀念。土石流潛勢溪流風險等級評估方法中，土石流發生潛勢等級相當於矩陣圖之發生頻率概念，而保全對象度等級則相當於災損程度，故將土石流發生潛勢等級與保全對象度等級利用分級矩陣圖，可得到土石流潛勢溪流風險等級。其風險分布矩陣圖如圖 3-16 所示（水保局－土石流防災資訊網 https://246.swcb.gov.tw/Info/Potential_Risk）。

風險等級		風險潛勢等級評估		
		高	中	低
保全對象等級	高	高	高	中
	中	高	中	低
	低	中	低	低

圖 3-16 土石流潛勢溪流風險分布矩陣圖

資料來源：水保局－土石流防災資訊網

(三) 保全對象之選定

保全對象因子之選定主要考慮兩項因子，分別為對建築物之危害及對交通設施之危害。在建築物部分因公共建築一般使用人數較多，故評分等級最高，另外保全戶數越多，評分也越高；交通方面則以橋樑受損對交通之危害較高，故給予較高分數。而經歷 921 地震及桃芝颱風災害後，已有不少土石流潛勢溪流進行整治設施工程，故於現地調查時加入現地整治設施成效評估，若整治設施成效良好，則可降低土石流潛勢溪

流對保全對象之危害。其保全對象因子配分方式如下表所示，最高得分為 100 分，其評分乃綜合上述建物、交通設施以及現地整治成效等分數累加，若評分結果大於等於 60 分者，列為高保全對象等級；小於 60 大於 40 者列為中保全對象等級；小於等於 40 者列為低保全對象等級(水保局-土石流防災資訊網 https://246.swcb.gov.tw/Info/Potential_Risk)。

依據土石流發生潛勢等級及保全對象等級判定，本研究各潛勢溪流之土石流潛勢溪流風險等級如表 3-18 所示，嘉縣 DF035 為高潛勢、南市 DF001 為持續觀察、南市 DF002 為低潛勢、南市 DF009 為高潛勢、南市 D010 為低潛勢、南市 DF011 為低潛勢。

表 3-18 集水區土石流潛勢溪流風險等級概況表

土石流名稱	位置	保全數	型態	溪流長	風險潛勢等級	集水區面積 (ha)	影響範圍面積(m ²)
嘉縣 DF035	中埔鄉東興村	保全戶 5 戶以上	溪流型	3.075	高	467.9	25414.3
南市 DF001	白河區仙草里	保全無	溪流型	1.057	持續觀察	47.9	12461.0
南市 DF002	白河區仙草里	保全 1~4 戶	溪流型	0.99	低	20.3	14549.5
南市 DF009	白河區關嶺里	保全戶 5 戶以上	溪流型	3.33	高	344.1	11222.7
南市 DF010	白河區關嶺里	保全無	坡面型	0.289	低	2.81	1037.0
南市 DF011	白河區關嶺里	保全 1~4 戶	溪流型	0.914	低	38.8	12586.0

資料來源：本研究分析成果

(四) 土砂運動危害度

在將脆弱度定義為「量化環境系統，暴露在災害、壓力或干擾下可能經歷之傷害程度」，依據災害敏感面向分成坡度、堆積深度、土石流

影響範圍面積比例進行量化脆弱度。在災害強度方面 Lateltin et al.(2005) 於瑞士崩塌風險管理一文內，將土石流風險程度依堆積深度、流動速度、組成粒徑分為高、中、低三種等級；另林德貴等人(2008)則是依流動深度及流動速度分為高、中、低三種等級。在坡度因子方面，依據溫惠鈺等人(2010)研究可以將土石流發生區坡度大於 50 度、發生區坡度介於 30 度至 50 度間、發生區坡度小於 30 度分為三種等級。在土砂堆積深度方面，依 Hsu et. al. (2018) 之研究，當土砂堆積深度大於 0.5m 時開始發生危害，其危害度設定為 0，並將土砂堆積深度分隔為 0.5～1m 間、1～2m 間、2～3m 間、3～5m 間、大於 5m 等，其危害度最大值為 1、最小值為 0，綜合前人研究將土砂運動危害分級如表 3-19 所示。再利用土石流模擬之結果依表 3-19 關係進行脆弱度量化估算。

表 3-19 土砂運動危害分級表

堆積深度 (m)	D	坡度 (degree)	S	運動速度度 (m)	V
< 0.5	0	< 30	0	0	0
0.5 ~ 1	0.2	30 ~ 35	0.2	< 1 m/s	0.5
1 ~ 2	0.4	35 ~ 40	0.4	> 1 m/s	1
2 ~ 3	0.6	40 ~ 45	0.6		
3 ~ 5	0.8	45 ~ 50	0.8		
> 5	1	> 50	1		

資料來源：Lateltin et al., (2005); Hsu et al., (2018); 林等人 (2008);
溫等人 (2010)

(五) 土砂運動脆弱度分析

經由土砂堆積深度、運動速度及坡度等災害敏感因子之危害分級，藉由 QGIS 地理空間資訊軟體，以各潛勢溪流模擬結果呈現網格空間分布方式，各土石流潛勢溪流之脆弱度評估如圖 3-17 至 3-25 所示，以紅色漸層表示脆弱度之異差程度，正值數值愈大代表脆弱度愈嚴重，數值

愈小代表無受到影響。

模擬結果皆可看出於土石流溢流口由於受到土砂運動前緣堆積之影響，故其脆弱度之數值最大，而於愈下游處，土砂運動已停止，因此大都呈現白色，顯示無受土砂衝擊影響其脆弱度之數值最小。

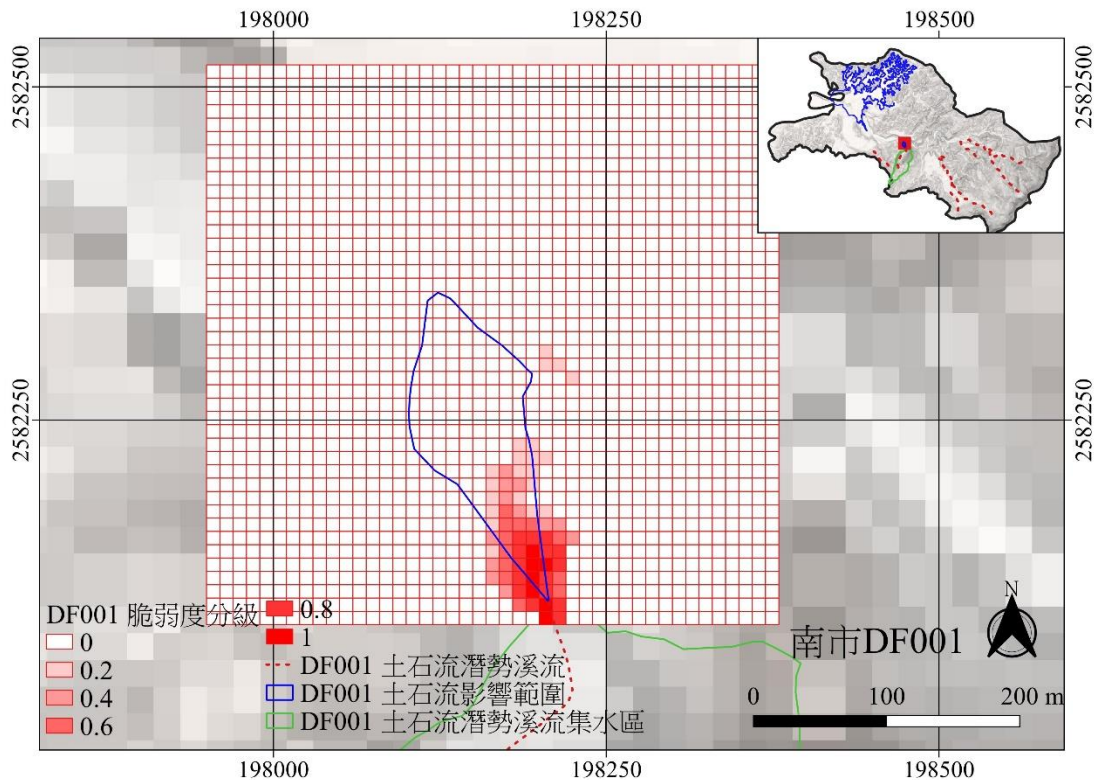


圖 3-17 DF001 脆弱度分析成果圖

資料來源：本研究分析成果

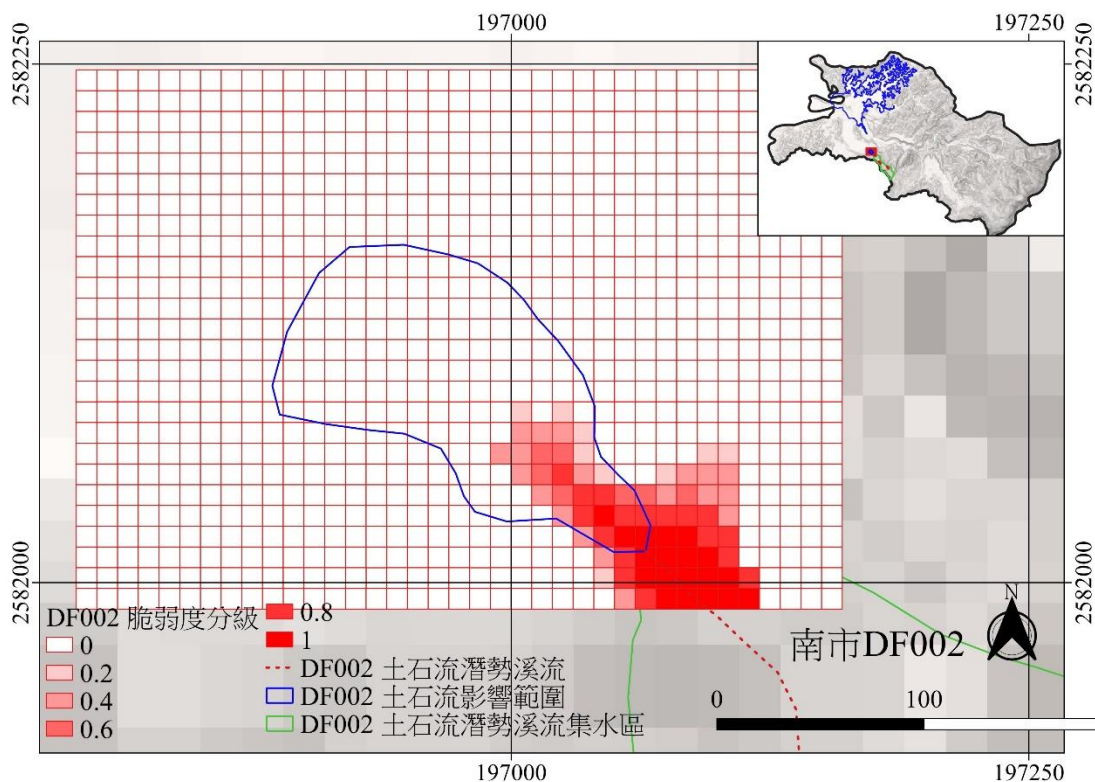


圖 3-18 DF002 脆弱度分析成果圖

資料來源：本研究分析成果

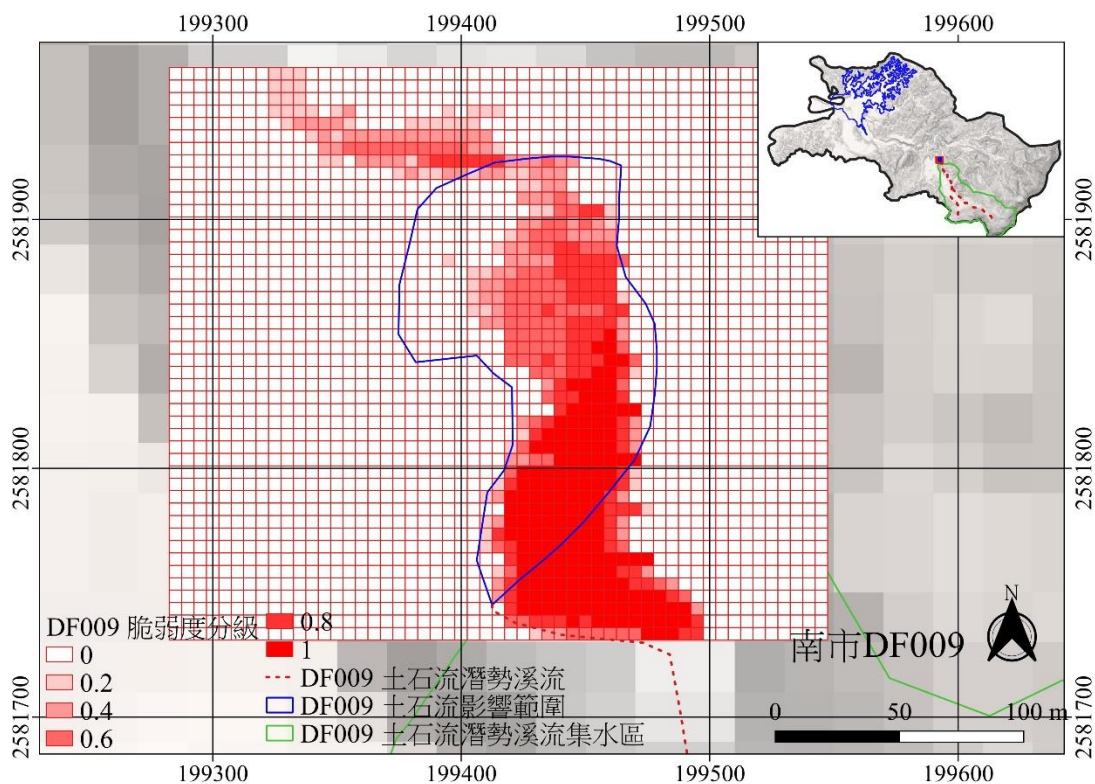


圖 3-19 DF009 脆弱度分析成果圖

資料來源：本研究分析成果

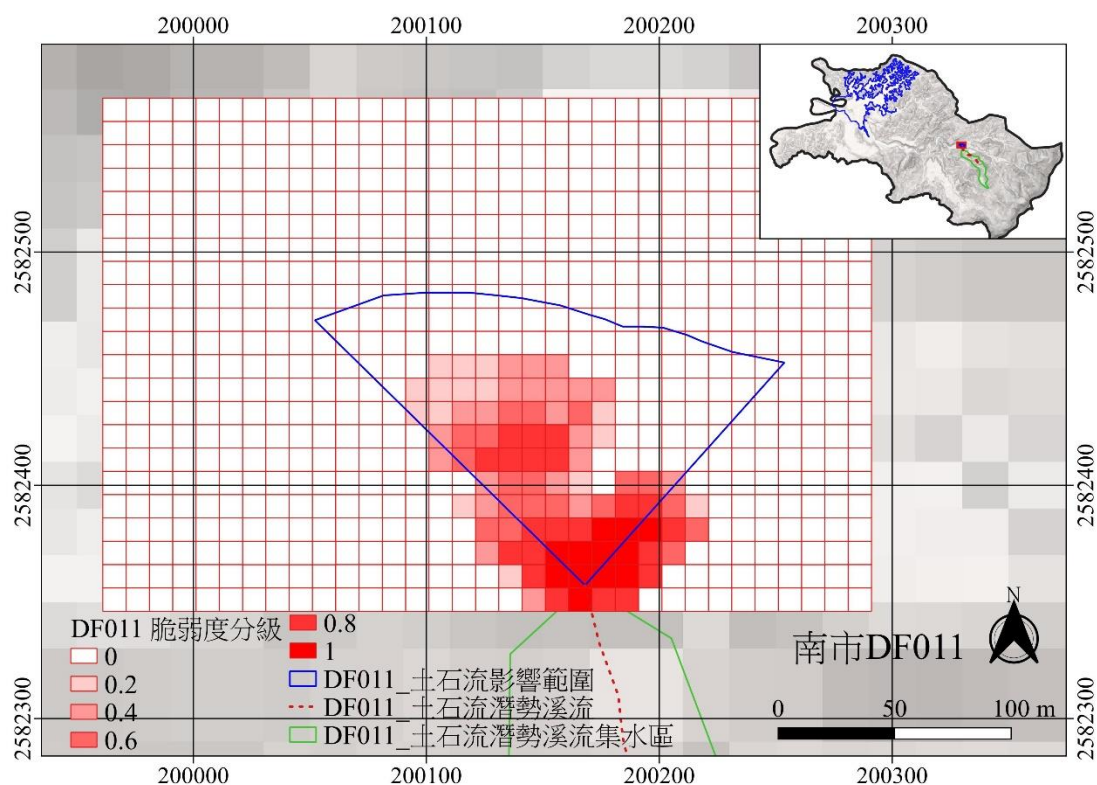


圖 3-20 DF011 脆弱度分析成果圖

資料來源：本研究分析成果

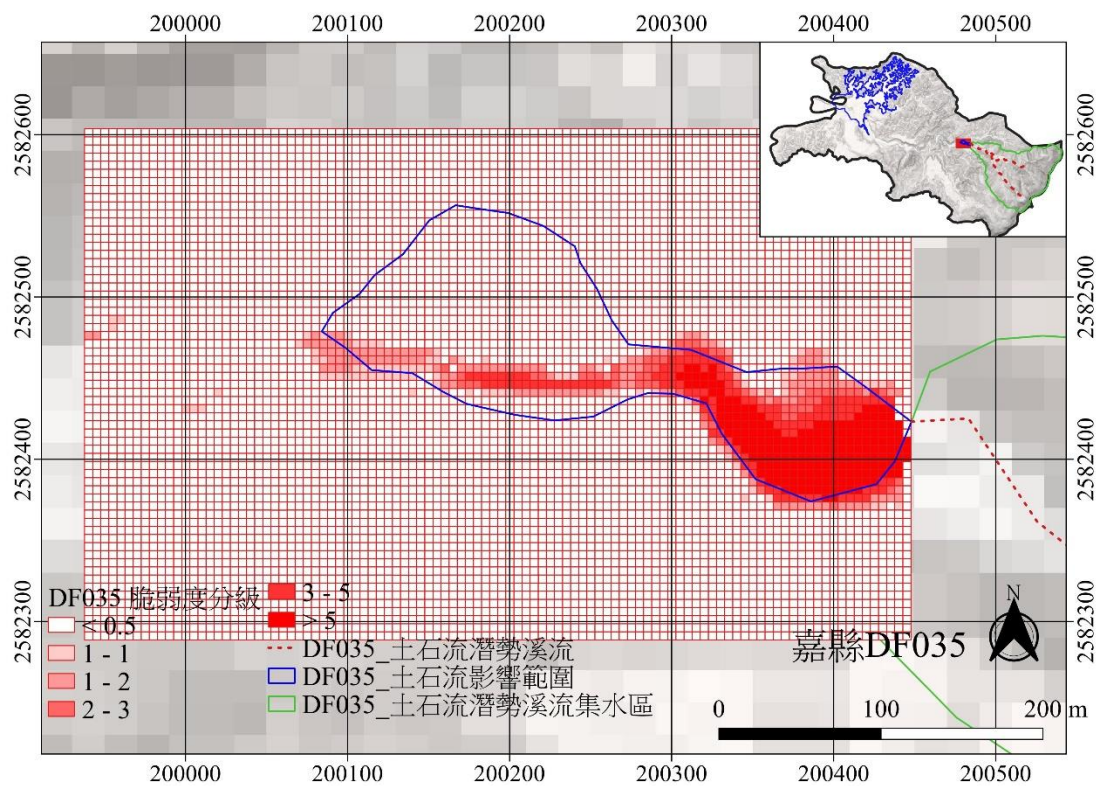


圖 3-21 DF035 脆弱度分析成果圖

資料來源：本研究分析成果

(六) 小結

土石流數值模擬藉由一日暴雨降雨強度及修正三角形單位歷線所提供之設計洪峰流量，作為上游邊界流量資料，並以 20M 數值地型資料建置模擬範圍，各土石流潛勢溪流於 50 年重現期之情境模擬結果，土石流潛勢溪流 DF009、DF011、DF035 此三者模擬結果其堆積土石範圍較廣，且此三者於水保局之風險潛勢等級屬於高潛勢，在影響範圍內皆有保全住戶，而土石流潛勢溪流 DF001 及 DF002 在水保局之風險潛勢等級屬於低潛勢，由模擬結果，其土砂大部分淤積於出口處，雖然 DF001 下游並無保全住戶，但 DF002 下游有保全住戶，仍需注意下游土石淤積狀況，整體而言，DF009、DF011、DF035 三者受到土石流衝擊影響程度較 DF001 及 DF002 為大，除了上游集水面積較大之影響外，其保全住戶較多也是考量原因。

第四章 水庫集水區脆弱度地圖產製

將風險評估分為危害度與脆弱度兩個面向，面向下的評估指標再透過空間量化與矩陣運算後產製指標圖資，地圖處理流程如圖 4-1，



圖 4-1 評估指標圖資處理流程

第一節 水庫集水區基礎圖資

針對水庫集水區範圍收集區域內數值地形資料、坡度及坡向、土壤分類資料、土地使用資料等，用以確定集水區及蓄水區範圍，並分析集水區面積、高程、坡度及坡向等資料。

表 4-1 基礎圖資來源及需求內容

項目	內容	來源
集水區資訊	子集水區編號、名稱、地理位置、溪流分布	水土保持局、水利署
水庫資料	蓄水範圍	水土保持局、水利署
數值地形模型	高程、坡度、坡向	政府資料開放平台
經建版地形圖	二萬五千分之一地形圖	國土測繪中心
山坡地土壤圖	土壤分布	水土保持局
森林土壤圖	土壤分布	林務局
土壤圖	土壤分布	農委會農業試驗所、地理資訊雲服務平台
土地利用	土地使用類別	國土測繪中心、水土保持局
國有林事業區林班	林班地範圍	林務局、地理資訊雲服務平台

第二節 危害度地圖

危害度評估係以集水區災害潛勢發生機率程度為評估指標，土石流潛勢溪流及崩塌潛勢敏感區域，為本研究集水區主要之坡地災害，並結合集水區內水土保持設施型式，相關圖資數化來源如表 4-2。

表 4-2 危害度圖資來源及需求內容

項目	內容	來源
土石流潛勢溪流	土石流潛勢溪流、土石流潛勢溪流集水區、土石流潛勢溪流影響範圍	水土保持局
福衛判釋全島崩塌地圖	崩塌分布及規模	林務局、 地理資訊雲服務平台
水土保持設施	防砂壩型式及功能性	水土保持局

一、不同情境之極端氣候降雨因素導致之坡地災害

參酌相關單位基礎調查成果，依據集水區之三角形單位歷線相關參數推算該區域所需之水文演算參數，並以極端降雨的條件下推估不同情境之可能發生的潛勢地圖。

二、依各區段水保設施調整分級

集水區內之防砂壩能有效阻斷區域內土砂的運移，因此，運用工程設施的設置、維護或回復其功能，可降低集水區內崩塌之土砂流入水庫蓄水區內，本研究參考既有之設施調查資料，在不同設施功能之狀況下，模擬分級調整的考量。

第三節 脆弱度地圖

脆弱度評估指標主要分為潛在影響程度與設施調適能力兩個面向，其指標項目包含：產值、設施安全性、預警應變作為等三個項目，如表 4-3。

表 4-3 脆弱度圖資來源及需求內容

項目		內容	來源
潛在影響程度	產值	鄉鎮產值分布圖	行政院主計總處
設施調適能力	設施安全性	防砂壩型式及功能性、水庫排砂設施	水土保持局
	預警應變作為	水保設施維護計畫、水庫蓄水區清淤計畫	水土保持局 水利署

資料來源：本研究分析成果

一、潛在影響程度

區域內產值分析的部分，分為現況年與未來年兩個年期，現況年引用行政院主計總處近期的鄉鎮工商及服務業普查資料為基礎，未來年部分則預測該區就業人口進行未來預測年產值的估算，同時，彙整各鄉鎮現況年與未來年產值數據後，透過 GIS 以鄉鎮名連結方式將數值匯入鄉鎮行政界圖。

二、設施調適能力

依據主管機關對設施的掌控程度作為其分級認定，考量防砂壩的型式及功能殘餘程度，並參酌水庫排砂清淤設施的維護及功能，另外，對於預警應變作為項目中，依據水保設施維護計畫及水庫蓄水區清淤計畫，達到降低蓄水範圍淤積超出標準之可能。

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 1.本研究所提出之分級管理的概念，即以對水庫集水區影響程度來分級，依水庫蓄水區、水庫保護帶，以及水庫集水區來劃分，以水土保持法第二十條、第二十一條規定，限制或禁止水庫保護帶之公(私)有土地開發、收益，故以水庫蓄水區距離之遠近來區分等級，距離越近對環境影響越大，包含入庫水質的影響、土砂入庫量之影響等，所以，在保護帶以下之土地應禁止一切開發行為。
- 2.對於保護帶以上之水庫集水區，本研究利用集水區土砂管理模式，來評估區域內土石流潛勢溪流對下游的衝擊影響，以作為對蓄水區之危害評定，並參考行政院主計總處近期工商及服務業普查資料，預測集水區內就業人口未來預測年之產值估算，作為潛在衝擊影響因素之考量，再利用地理資訊系統作為應用工具，建置集水區環境敏感區位以區分集水區之脆弱度分級。
- 3.針對本研究之可行性分析探討，提出水庫集水區域之土地應以（分區）及（分級）的方式管理。於（分區）的概念中，將劃設為（限制發展地區）及（可發展地區），其中，（限

制發展地區)應包含：有條件開發地區、禁止開發地區，而(可發展地區)則區分為非限制發展地區及已發展地區，分別給予不同的限制條件，此概念法源依據為(國土計畫法)。另外，(分級)的部分，目前僅考慮水土保持局所屬業務範圍，將土石流潛勢流視為主要危害因素，進行集水區脆弱度低、中、高分級，(低脆弱度)等級之土地開發管轄單位，由地方政府規劃有條件之開發行為，(中、高脆弱度)等級之土地開發管轄單位，由中央政府規劃有條件開發或禁止開發之行為，此概念法源參考(海岸法第十條)條文內容。

第二節 建議

- 1.本研究完成之集水區分級地圖可作為水土保持局主管單位研擬土地管理策略時之參考。
- 2.執行研究之過程設定許多假設參數及合理化條件，建議更新相關基礎圖資及基礎資料，例如集水區內水土保持設施的基本資料、功能性、地理空間資訊等，以及集水區內的現況調查與相關管轄單位對此集水區之規劃資料等，以利於各相關資料能有系統的被整合，亦能產生更合理並適切的脆弱度地圖。
- 3.目前僅劃定公告白河水庫及烏山頭水庫，兩處水庫集水區特

定水土保持區，然臺灣地區共有 95 座水庫，集水區面積合計約 8,748 平方公里，約佔全臺國土面積之 24%，其所涵蓋之管轄範圍及主管機關眾多，土地管理制度可能因各機關屬性不同而有所差異，為建立一套可長可久之管理制度，建議提早因應未來可能劃設及管制集水區特定水土保持區之需求，循序建立水庫集水區調查之後續工作。

參考文獻

1. 陳亮全 (2009)，「各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回復力之評估研究 -以社區空間為對象」， NSC97-2621-M-002-028，台北：行政院國家科學委員會。
2. 簡連貴、邱淑宜、張志新、馮宗盛、張書瑋(2010)，「台灣本土性海岸脆弱度指標之建立與應用」，第 32 屆海洋工程研討會論文集，第 497-502 頁。
3. 謝漢欽、呂明倫、蔡真珍(2012)，介紹海岸林地及森林集水區生態脆弱度評估與調適的方法，「林業論壇」，第 19 卷，第 1 期，第 64-69 頁。
4. 內政部營建署(2015)，水環境低衝擊開發設施操作手冊。
5. 內政部營建署 (2016)，國土計畫法，
<https://www.cpami.gov.tw/%E6%9C%80%E6%96%B0%E6%B6%88%E6%81%AF/%E6%B3%95%E8%A6%8F%E5%85%AC%E5%91%8A/19499-%E5%9C%8B%E5%9C%9F%E8%A8%88%E7%95%AB%E6%B3%95.html>。
6. 行政院農業委員會水土保持局(2018)，水土保持法規，
https://www.swcb.gov.tw/Laws/laws_more?id=9b0d90fc2a4cf19a48a9a3410fb41b。

7. 經濟部水利署(2018)，水庫集水區保育治理推動綜整服務計畫報告。
 8. Blaikie, P. et al. (1994). At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters. London: Routledge.
 9. Bohle, H.G., Downing, T.E., Watts, M.J. (1994) Climate change and social vulnerability: toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environmental Change*, 4: 37 – 48.
 10. Barling, R. D. and Moore, I. D. (1994). Role of buffer strips in management of waterway pollution: A review. *Environmental Management*, 18(40), 543-558.
 11. MAFNZ (Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand) (2004). Review of Riparian Buffer Zone Effectiveness.
 12. Kuan, Y. C., Chang, K. C. (2007). Conservation practices on reservoir impoundment and buffer zones in Taiwan. *Journal of Ecotechnology*, 3(2), 13-22.
- 世紀における琵琶湖・淀川水系が歩んできた道のり (2003)，琵琶湖淀川水質保全機構。
13. 經濟部水資源局 (2001)，水文設計應用手冊。
 14. 余濬 (2009)，由雨型推估流量方法之差異探討-以河川治理與區域排水整治為例，水利會訊，第十二期。
 15. 經濟部水利署南區水資源局 (2018)，白河水庫淤積物抽取放淤工程設計-白河水庫淤物放淤檢討與評估報告。

16. 劉曉薇、童裕翔、林修立、陳正達 (2019)，臺灣氣候變遷關鍵指標圖集，國家災害防救科技中心。
17. Lateltin. O., Haemming. C., Raetzo. H., Bonnard. C., (2005), Landslide risk management in Switzerland, Landslides, Vol. 2, pp. 313-320.
18. 溫惠鈺、許世孟、趙啟宏 (2010)，土石流潛勢溪流危害度評估模式之研究，中興工程季刊，27-33。
19. 林德貴、徐森彥、趙啟宏、溫惠鈺、許世孟、顧承宇、冀樹勇 (2008)，土石流流動模擬技術於災害風險區劃定及災損評估應用之研究，中華水土保持學報，39(4)，391-402。
20. 經濟部水資源局 (2001)，水文設計應用手冊。
21. 余濬 (2009)，由雨型推估流量方法之差異探討-以河川治理與區域排水整治為例，水利會訊，第十二期。
22. 經濟部水利署南區水資源局 (2018)，白河水庫淤積物抽取放淤工程設計-白河水庫淤物放淤檢討與評估報告。
23. 水土保持局 (2018)，107 年明德水庫與白河水庫集水區土砂收支模擬、推估與保育治理效益關聯分析。
24. 水土保持局 (2019)，108 年南化、烏山頭及石門、曾文等水庫上游集水區土砂收支模式建立與保育減砂量推估。

附錄

第一次工作執行會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	著重「理論分析」，規劃以水庫為中心，配合遞移理論建構及脆弱度分析，依序向外向上建立水庫集水區分級分區管制策略，將可強化水庫集水區特定水保區管理策略的論述。	遵照辦理
二	計畫內容之分級分區概念請與本局特定水土保持區業務勾稽，以利參考。	甲、遵照辦理 乙、研究成果將參酌相關法規進行修正。

109 年創新研究計畫期初審查意見暨回覆表

項次	審查意見	回覆辦理情形
審查意見：吳菁菁 委員		
一	P1-1，第一章緒論下兩行字請刪除。	已修正。
二	中英文摘要請於期末時再將研究成果一併呈現。	遵照辦理。
三	第一章第一節名稱為“關鍵問題”，惟配合其內容，建議修正為“研究目的”。	已修正。
四	表1-1全台水庫使用狀況彙整表，其中目前有效容量(萬立方公尺)是否符合現況，請再檢核。	已確認，符合水利署公告現況。
五	P1-6頁，公告之特保區資料請以最新資料說明，請修正；並請加強說明研究樣區之選擇理由。	已修正，如 P1-6 第三節。
六	圖2-1研究計畫流程圖，脆弱度分析及繪製脆弱地圖是否應收集建立地理環境資料才可辦理，相關流程請再檢視。	為爭取時間，故脆弱度分析之前置作業可與地理環境資料作業並行，謝謝委員建議。
七	本研究之對於“社會脆弱性”之論述及方法何？請說明。	本研究主要以水保業務委主之為自然條件下，環境自然脆弱度為分析因子，關於“社會脆弱性”，研擬以土地使用分區圖層套疊，評估社會經濟面向，謝謝委員意見。
八	P2-9，圖2-4本研究之資訊空間為何最終整合為“海洋脆弱分布圖”？請說明。	已修正。
九	P3-2四、集水區管理地圖與圖3-1計畫執行甘特圖4集水區分級管理地圖不同，請統一文字。	已修正
十	請提供本計畫未來可能之研究成果，請以文字或圖表展現。	已說明，如 P3-3 第二節。
十一	請附工作會議紀錄	已補充並回覆於 P 附錄-1。

項次	審查意見	回覆辦理情形
審查意見：連惠邦 委員		
一	以特定水土保持區觀點，水庫集水區實施分級管理之概念及做法早已被水土保持從業人員所認同，但迄今未能落實分級管理理念的主要原因，其關鍵並非受到技術層面之限制，而是法規層面問題。因此，建議本計畫除了從技術層面進行分析外，亦應從法規面研析其解套對策。	本研究計畫擬藉由收集國內、外文獻，參酌相關政策方案，期望研析解套對策，謝謝委員建議。
二	P2-8，提出7個自然脆弱度指標，其中： 1.何謂土石流影響範圍面積比例？ 2.泥沙濃度暨體數據如何取得？ 3.崩塌深度如何定義？ 4.何謂淤積率？ 5.各指標僅有名詞，位有實質內容，且與水土保持常用之災害及土砂等指標頗有出入。建議參考以往水土保持相關報告，再提出適當指標。	1.已針對相關脆弱度指標內容加強說明，如 P2-8。 2.土砂診斷指標，各項因子參考於水利署「全國水庫集水區水源保護總體檢計畫」，後續各指標名稱之統一及重要性，將以專家訪談釐清，謝謝委員意見。

項次	審查意見	回覆辦理情形
審查意見：周良勳 委員		
一	圖次，缺圖2-4 P2-9	已修正。
二	P1-1，緒論內容？一二行內容？	已修正。
三	表1-1宜列合計欄位。	已修正，如 P1-3 表 1-1。
四	P2-3應收集環保單位水質觀測和非點源污染源減量計畫資料並納入評估。	關於水質資料，本研究計畫參考環保署「全國水庫集水區水源保護總體檢計畫」成果，並以水庫庫區濁度為評估指標，謝謝委員建議。
五	P3-1未訂定期初、期末審查時程。	已修正。
六	第二章內容和表3-1工作項目內容不符，宜敘明如何達成計畫目標的方法與步驟。	已修正，並加強說明，如 P2-1 第二節。

109 年創新研究計畫期中審查意見暨回覆表

項次	審查意見	回覆辦理情形
一	報告中所有圖表應註明出處。	已修正
二	P3.何謂「集水區特定保護區?」	誤植，已修正為「水庫集水區特定水土保持區」。
三	P1.「環境脆弱度」與P44.第二節土砂災害風險評估流程中「脆弱度」之定義是否一致?	環境脆弱度，除考量設施衝擊損壞因素，另加入潛在影響程度，如就業人口產值衝擊性等，以加強說明於報告中。
四	P11.，表2-1除了資料來源外，包括有效庫容及實測淤積量之相關數據均有錯誤，應更正。另補充個參數之單位。	感謝委員提醒。 本資料依據經濟部南區水資源局及水土保持局相關報告綜整資料，已補正相關數據及單位。
五	P25.，蒐集國外集水區土地管理原則內容僅涉及保護帶文獻，建議加強蒐集其他土地類型之管理對策，其他文獻亦應加強之。	感謝委員提醒。 將補充於報告中。
六	本研究蒐集眾多災害風險之相關研究，但本研究最終採用何種「風險分析」模型，如何確定風險等級?	感謝委員提醒。
七	計畫區水文分析內容多處交代不清，建議重新釐清。	感謝委員建議。 本研究分析論述以參照水土保持手冊 (2017)及水土保持局2019年報告 (108年南化、烏山頭及路門、曾文等水庫上游集水區土砂收支模式建立與保育減砂量推估)，補充於本文中。
八	氣候變遷影響僅用比例調整，是否過於簡易?	感謝委員建議。 本研究主軸為探討土地分級管理之概念，故在氣候變遷之影響則是引用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台之資料，其分為觀測資料與模式資料，觀測資料為臺灣氣候變遷推估資訊與

項次	審查意見	回覆辦理情形
		調適知識平台 (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP) III 計畫所產製的日時間尺度 5 公里網格，模式資料為 CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) 模式輸出，經由統計降尺度方法處理後所得之結果，取每組情境實驗之系集平均計算與分析。因此本文應用其分析之結果，套用於後續分析。
九	建議採用較高解析度 (目前是採用 20m) 之網格數值地形資料。	感謝委員建議。 本研究採用內政部 20 公尺網格數值地形模型資料，因其屬開放資料，在使用上無機敏資訊與管制限制，後續研究將申請高解析度網格數值地形資料進行應用。
十	補充說明採用何種二維土石流模擬程式？	感謝委員提醒。 本研究採用 Hyper Konoka 2D 土石流模擬程式，相關資料補充於數值模擬一節。
十一	土石流危害度及脆弱度之分析方法，建議應參考水土保持局防災中心之相關報告。	感謝委員提醒。 參考水土保持局土石流防災中心相關報告及水保局土石流防災資訊網資料，補充於本文中
十二	水庫集水區特定水土保持區分級管理問題不僅探討土石流潛勢溪流集水區之風險問題，其他包括大規模崩塌等..應納入分析。	感謝委員提醒。 由於大規模崩塌之成形及發生評估相當困難，且本研究依目前可取得之行政院農業委員會資料開放平台及內政部地理資訊圖資雲服務平台資料進行研究分析，因此兩平台上皆無大規模崩塌相關圖資及資料，故目前不考慮大規模崩塌類型災害。
十三	計畫書左頁上端應為計畫名稱，請修正，另英文關鍵字及摘要，請重新審視。	感謝委員提醒。 已修正。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十四	工作執行方法，所提常見分級方法，建議提出文獻或先前之研究依據。	感謝委員提醒。
十五	研究流程圖分支，似乎與研究方法無法對應。	感謝委員提醒。 已修正。
十六	表1-1所列之項目，是否有所本？或如何決定？請補充。	感謝委員提醒。 已補充於報告中。
十七	第5、14、70頁建議，均只有一沒有二，請重新編排。	感謝委員提醒。 已修正。
十八	全文之年份，請一致。	感謝委員提醒。 已修正。
十九	第19頁，第四節標題請修正，因為”人口產業”似乎不妥。	感謝委員提醒。 已修正。
二十	國外集水區土地管理原則，惟其內容四維緩衝帶之文獻，似有落差。	感謝委員提醒。 已補充於報告中。
二十一	P34.第七節，國內外之分析，請註明文獻或文裝出處，另日本有無近期土地管理法規？所提美國及澳洲是現況內容？為何以這幾個國家為例，請說明。	感謝委員提醒。 已補充於報告中。
二十二	第48頁，第三節之參數分析，僅有水文及流量資料，是否有其他參數？	目前本研究考量致災因素為降雨，故只考慮此兩項參數。
二十三	本計畫之工作係尋求”集水區分級管理之可行性”(或方式)，期於期末結案，團隊可以針對此目的，提出具體可行之方向。	感謝委員提醒。 將補充於報告中。