



新店溪上游流域國有林  
崩塌地及濁度泥砂來源之調查研析  
成果報告書



主辦機關：行政院農業委員會林務局

執行單位：國立臺灣大學

中 華 民 國 1 0 6 年 1 1 月

新店溪上游流域國有林  
崩塌地及濁度泥砂來源之調查研析  
成果報告書

主辦機關：行政院農業委員會林務局

執行單位：國立臺灣大學

# 目 錄

目 錄.....	I
圖 目 錄.....	III
表 目 錄.....	VIII
摘要 .....	摘-1
Abstract .....	A-1
第壹章 前言 .....	1-1
1-1 緣起與目標.....	1-1
1-2 工作範圍.....	1-1
1-3 工作項目及內容.....	1-2
1-4 預定工作進度.....	1-4
1-5 預期成果.....	1-4
1-6 本階段工作項目與完成事項.....	1-6
第貳章 工作計畫及基本資料蒐集與盤點.....	2-1
2-1 工作計畫及方法.....	2-1
2-2 新店溪及南勢溪相關研究報告.....	2-3
2-3 基本資料蒐集.....	2-4
第參章 蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置.....	3-1
3-1 遙測影像與崩塌地目錄蒐集.....	3-1
3-2 崩塌地判釋方法與檢核流程.....	3-7
3-3 崩塌地目錄建置成果.....	3-15
3-4 蘇迪勒颱風新增崩塌地特性探討.....	3-23
第肆章 蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤.....	4-1
4-1 遙測影像與崩塌地目錄變遷歷程.....	4-1
4-2 UAV 空拍變遷情勢分析 .....	4-7
第伍章 蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判.....	5-1
5-1 南勢溪河道變遷判釋.....	5-1
5-2 河道變遷區域分析.....	5-6
第陸章 濁度數據蒐集與颱風洪濁度觀測.....	6-1
6-1 濁度監測數據報告蒐集.....	6-1
6-2 颱風事件於南勢溪濁度影響之量測規劃.....	6-2
6-3 即時提供 105-106 年颱風事件速報 .....	6-18
6-4 105-106 年颱風事件量測成果 .....	6-30

6-5 斷面變化評估.....	6-47
6-6 南勢溪濁度貢獻主次要地區研判.....	6-53
第柒章 濁度來源暨成因分析.....	7-1
7-1 濁度與濃度關係之建立.....	7-1
7-2 濁度泥沙來源及成因分析.....	7-6
第捌章 濁度改善於治理工法上之評估.....	8-1
8-1 建立初步降雨強度與濁度預測之關係，供自來水供水系統之警戒與應變所需.....	8-1
8-2 選擇 2 處主要崩塌地實施工程手段進行治理之各面向可行性評估及初步治理規劃.....	8-15
結論與建議.....	結-1
參考文獻.....	參-1
附錄一、崩塌地判釋原則及品管程序範例.....	附 1-1
附錄二、新竹林管處崩塌地目錄修訂意見.....	附 2-1
附錄三、南勢溪集水區歷史颱風事件新增崩塌地特性分析.....	附 3-1
附錄四、南勢溪集水區 100 處重點崩塌地變遷歷程彙整表.....	附 4-1
附錄五、水質監測站濁度與濃度資料.....	附 5-1
附錄六、旋杯式流速儀檢校報告.....	附 6-1
附錄七、颱風事件觀測紀錄.....	附 7-1
附錄八、第 1 次期中報告複審會議意見處理情形.....	附 8-1
附錄九、第 2 次期中報告審查會議意見處理情形.....	附 9-1
附錄十、期末報告審查會議意見處理情形.....	附 10-1

## 圖 目 錄

圖 1-1	工作範圍(新店溪上游流域)位置圖.....	1-2
圖 1-2	本計畫工作進度甘特圖 .....	1-4
圖 2-1	本計畫工作流程圖 .....	2-2
圖 2-2	新店溪中上游坡度分析圖 .....	2-9
圖 2-3	新店溪中上游流域地質圖 .....	2-10
圖 2-4	新店溪中上游地質敏感區分布圖 .....	2-11
圖 2-5	大桶山層野外照片 .....	2-12
圖 2-6	乾溝層野外照片 .....	2-12
圖 2-7	粗窟層野外照片 .....	2-12
圖 2-8	水長流層(巴陵層)野外照片.....	2-12
圖 2-9	雨量站分布位置圖 .....	2-14
圖 2-10	水位流量站分布位置圖 .....	2-14
圖 2-11	新店溪上游流域土地利用圖 .....	2-16
圖 2-12	河道斷面示意圖 .....	2-16
圖 2-13	本計畫工作區域對應農航所航空照片編號示意圖 .....	2-18
圖 3-1	2004~2014 年年度崩塌地目錄分布圖.....	3-6
圖 3-2	2004~2015 年(含蘇迪勒颱風)重要颱風事件新增崩塌地目錄分布圖 .....	3-6
圖 3-3	遙測判釋崩塌地作業流程圖 .....	3-9
圖 3-4	研究區蘇迪勒颱風前期崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果 .....	3-18
圖 3-5	研究區蘇迪勒颱風後期崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果 .....	3-19
圖 3-6	研究區 105 年汛期前崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果....	3-20
圖 3-7	研究區 105 年汛期後崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果....	3-21
圖 3-8	崩塌地變遷區分定義圖 .....	3-24
圖 3-9	蘇迪勒颱風新增崩塌地與復育面積統計結果 .....	3-25
圖 3-10	南勢溪集水區蘇迪勒颱風新增崩塌地個數與面積統計 .....	3-26
圖 3-11	蘇迪勒颱風後至 105 年汛期前新增崩塌地與復育面積統計結果....	3-28
圖 3-12	105 年汛期前後期新增崩塌地與復育面積統計結果 .....	3-29

圖 3-13	南勢溪集水區蘇迪勒颱風後崩塌、河道地形差異分析圖 .....	3-30
圖 3-14	南勢溪集水區於蘇迪勒颱風崩塌體積空間分布圖 .....	3-33
圖 3-15	南勢溪集水區於蘇迪勒颱風坡面土砂堆積空間分布圖 .....	3-33
圖 4-1	南勢溪集水區重點崩塌地空間分布圖(共 100 處) .....	4-2
圖 4-2	南勢溪集水區 UAV 空拍崩塌地空間分布圖 .....	4-2
圖 4-3	南勢溪集水區蘇迪勒颱風崩塌地變遷成果 .....	4-5
圖 4-4	南勢溪集水區蘇迪勒颱風後至 105 年汛期前崩塌地變遷成果...	4-5
圖 4-5	南勢溪集水區 105 年汛期前後期崩塌地變遷成果 .....	4-6
圖 4-6	UAV 空拍崩塌地調查流程圖 .....	4-9
圖 4-7	UAV 拍攝影像製作 DSM 流程圖 .....	4-12
圖 4-8	共軌點影像匹配示意圖 .....	4-14
圖 4-9	透鏡畸變修正前後影像比較 .....	4-14
圖 4-10	影像拍攝時的方位資訊示意圖 .....	4-14
圖 4-11	紅色十字交岔點為原有特徵點示意圖 .....	4-15
圖 4-12	人造空標點示意圖 .....	4-15
圖 4-13	使用 VBS-RTK 儀器示意圖 .....	4-16
圖 4-14	點雲加密前後示意圖 .....	4-19
圖 4-15	DEM 及 DSM 示意圖 .....	4-19
圖 4-16	正射影像製作示意圖 .....	4-19
圖 5-1	以正射航照判釋河道作業流程圖 .....	5-3
圖 5-2	南勢溪集水區蘇迪勒颱風前後期河道及變遷歸納結果圖 .....	5-4
圖 5-3	福山水文站上游支流基岩河道 .....	5-5
圖 5-4	福山水文站至桶後溪匯流口主要支流混和河道 .....	5-5
圖 5-5	研究區河道擴張面積空間分布圖 .....	5-7
圖 5-6	研究區蘇迪勒颱風前後河道變遷及 7 處主要變遷河道空間分布圖 .....	5-10
圖 5-7	哈盆溪環流丘於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區域 .....	5-11
圖 5-8	內洞溪匯流南勢溪主河道於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區域.... .....	5-11
圖 5-9	桶後溪匯入南勢溪主流匯流口於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區 域 .....	5-12
圖 5-10	桶後溪匯流口至平廣溪匯流口於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區 域 .....	5-12
圖 6-1	濁度監測站位置圖 .....	6-2
圖 6-2	新店溪濁度觀測點位分布圖 .....	6-4

圖 6-3	量測點位現地照片 .....	6-6
圖 6-4	覽勝橋水位-流量率定曲線示意圖 .....	6-7
圖 6-5	常流時期觀測點位 .....	6-8
圖 6-6	烏來橋水尺及自計式水位計位置 .....	6-11
圖 6-7	烏來橋 ADCP 施測路徑 .....	6-11
圖 6-8	阿玉壩水尺位置 .....	6-11
圖 6-9	阿玉溪現場配置圖 .....	6-11
圖 6-10	覽勝橋既有水尺及自計式水位計 .....	6-11
圖 6-11	覽勝橋 ADCP 施測路徑 .....	6-11
圖 6-12	烏砂溪現場配置圖 .....	6-12
圖 6-13	札孔溪現場配置圖 .....	6-12
圖 6-14	哈盆溪現場配置圖 .....	6-12
圖 6-15	旋杯式流速儀 .....	6-14
圖 6-16	旋杯式流速儀施測示意圖 .....	6-14
圖 6-17	以拖拉方式進行量測 .....	6-15
圖 6-18	ADCP 即時接收資料 .....	6-15
圖 6-19	ADCP 量測斷面示意圖 .....	6-15
圖 6-20	莫蘭蒂濁度速報 .....	6-19
圖 6-21	馬勒卡颱風濁度速報第一版 .....	6-21
圖 6-22	馬勒卡颱風濁度速報第二版 .....	6-22
圖 6-23	梅姬颱風濁度速報 .....	6-24
圖 6-24	106 年 0603 豪雨濁度速報 .....	6-26
圖 6-25	106 年 0617 豪雨濁度速報 .....	6-27
圖 6-26	尼莎、海棠颱風濁度速報 .....	6-29
圖 6-27	106 年 1013 豪雨速報 .....	6-29
圖 6-28	尼伯特颱風阿玉溪濁度、濃度觀測結果 .....	6-32
圖 6-29	尼伯特颱風 (105/07/07~9) 阿玉壩濁度、濃度觀測結果 .....	6-32
圖 6-30	尼伯特颱風 (105/07/07~9) 烏來橋濁度、濃度觀測結果 .....	6-33
圖 6-31	尼伯特颱風 (105/07/07~9) 札孔溪濁度、濃度觀測結果 .....	6-33
圖 6-32	尼伯特颱風 (105/07/07~9) 覽勝橋濁度、濃度觀測結果 .....	6-34
圖 6-33	莫蘭蒂颱風 (105/09/13~14) 阿玉溪濁度、濃度觀測結果 .....	6-34
圖 6-34	莫蘭蒂颱風 (105/09/13~14) 阿玉壩濁度、濃度觀測結果 .....	6-35
圖 6-35	莫蘭蒂颱風 (105/09/13~14) 烏來橋濁度、濃度觀測結果 .....	6-35
圖 6-36	莫蘭蒂颱風 (105/09/13~14) 覽勝橋濁度、濃度觀測結果 .....	6-36
圖 6-37	馬勒卡颱風 (105/09/16~18) 阿玉溪濁度、濃度觀測結果 .....	6-36

圖 6-38	馬勒卡颱風 (105/09/16~18) 阿玉壩濁度、濃度觀測結果.....	6-37
圖 6-39	馬勒卡颱風 (105/09/16~18) 烏來橋濁度、濃度觀測結果.....	6-37
圖 6-40	馬勒卡颱風 (105/09/16~18) 烏砂溪濁度、濃度觀測結果.....	6-38
圖 6-41	馬勒卡颱風 (105/09/16~18) 覽勝橋濁度、濃度觀測結果.....	6-38
圖 6-42	梅姬颱風 (105/09/26~28) 阿玉壩濁度、濃度觀測結果.....	6-39
圖 6-43	梅姬颱風 (105/09/26~28) 烏來橋濁度、濃度觀測結果.....	6-39
圖 6-44	梅姬颱風 (105/09/26~28) 札孔溪濁度、濃度觀測結果.....	6-40
圖 6-45	梅姬颱風 (105/09/26~28) 烏砂溪濁度、濃度觀測結果.....	6-40
圖 6-46	梅姬颱風 (105/09/26~28) 覽勝橋濁度、濃度觀測結果.....	6-41
圖 6-47	106 年 0603 豪雨 (106/06/03~04) 濁度、濃度觀測結果.....	6-42
圖 6-48	106 年 0617 豪雨 (106/06/17~19) 濁度、濃度觀測結果.....	6-43
圖 6-49	尼莎、海棠颱風 (106/07/30~08/01) 濁度、濃度觀測結果 .....	6-44
圖 6-50	泰利颱風 (106/09/13~15) 濁度、濃度觀測結果.....	6-45
圖 6-51	106 年卡努颱風 (106/10/13~15) 濁度、濃度觀測結果.....	6-46
圖 6-52	斷面量測位置 .....	6-48
圖 6-53	斷面(1)南、北勢溪匯流下游.....	6-50
圖 6-54	斷面(2)台 9 甲 10.2k 崩塌地.....	6-50
圖 6-55	斷面(3)南勢溪、桶后溪匯流後.....	6-51
圖 6-56	斷面(4)阿玉溪匯流桶后溪之前。.....	6-51
圖 6-57	斷面(5)信賢部落.....	6-52
圖 6-58	斷面(6)斯其野溪、南勢溪匯流後.....	6-52
圖 6-59	斷面(7)札孔溪、哈盆溪匯流後.....	6-53
圖 6-60	新店溪上游河床值調查點位 .....	6-57
圖 6-61	尼伯特颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-58
圖 6-62	莫蘭蒂颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-59
圖 6-63	馬勒卡颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-60
圖 6-64	梅姬颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料 .....	6-61
圖 6-65	106 年 0603 期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-62
圖 6-66	106 年 0617 期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-63
圖 6-67	106 年尼莎颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-64
圖 6-68	106 年泰利颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-65
圖 6-69	106 年 1013 泰利颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料.....	6-66
圖 7-1	歷史資料濁度與濃度關係 .....	7-5
圖 7-2	105、106 年度濁度與濃度關係 .....	7-5
圖 7-3	新店溪崩塌體積-面積關係式.....	7-7

圖 7-4	105 年汛期前後新增崩塌地面積統計成果 .....	7-7
圖 7-5	崩塌地土砂運移示意圖 .....	7-9
圖 7-6	新店溪流域土壤沖蝕因子 .....	7-15
圖 7-7	新店溪上游流域岩性分布圖 .....	7-18
圖 7-8	福山雨量站與直潭堰位置 .....	7-19
圖 7-9	蘇力颱風最大 3 小時降雨分布 .....	7-21
圖 7-10	蘇拉颱風最大 3 小時降雨分布 .....	7-21
圖 8-1	HSPF 模式、率定曲線模擬結果與實測值比較.....	8-2
圖 8-2	濁度、濃度預報模式架構 .....	8-8
圖 8-3	新店溪上游徐昇氏多邊形 .....	8-9
圖 8-4	南勢溪集水區分區代碼與 HSPF 模式集水區關聯圖 .....	8-10
圖 8-5	河床質調查位置 .....	8-12
圖 8-6	杜鵑颱風率定結果 .....	8-14
圖 8-7	蘇迪勒颱風驗證 .....	8-14
圖 8-8	106/06/02 豪雨驗證 .....	8-14
圖 8-9	東札孔溪崩塌地位置 .....	8-15
圖 8-10	東札孔溪崩塌地形貌 .....	8-16
圖 8-11	福山部落與東札孔溪崩塌地沿河道距離 .....	8-16
圖 8-12	地錨構造示意圖 .....	8-18
圖 8-13	地錨格樑示意圖 .....	8-19
圖 8-14	打樁編柵工法示意圖 .....	8-19
圖 8-15	自由樑框護坡植生工法示意圖 .....	8-21
圖 8-16	掛網噴植工法示意圖 .....	8-21
圖 8-17	一般段便道開設示意圖 .....	8-23
圖 8-18	過河段便道開設示意圖 .....	8-23
圖 8-19	60 林班地大崩塌現勘照片 .....	8-31
圖 8-20	桶后林道 3.5K 崩塌地位置 .....	8-32
圖 8-21	桶后林道 3.5K 崩塌地形貌 .....	8-33
圖 8-22	桶后林道 3.5K 崩塌地治理初步規劃 .....	8-33
圖 8-23	桶后林道 3.5K 崩塌地道路與坡面治理初步規劃示意圖 .....	8-34
圖 8-24	桶后林道 3.5K 崩塌地坡趾護岸治理初步規劃示意圖 .....	8-34

## 表 目 錄

表 1-1	應完成事項與本報告已完成事項對照表 .....	1-6
表 2-1	歷年相關文獻資料 .....	2-3
表 2-2	流域之河川特性 .....	2-4
表 2-3	雨量站列表 .....	2-13
表 2-4	水位流量站列表 .....	2-13
表 2-5	本計畫工作團隊現有航照數量檢核表 .....	2-18
表 3-1	蘇迪勒颱風與 105 年汛期前衛星影像蒐集列表 .....	3-3
表 3-2	正射航空照片蒐集列表 .....	3-4
表 3-3	歷年衛星影像與崩塌地目錄蒐集列表 .....	3-5
表 3-4	崩塌地判釋五項研判準則 .....	3-9
表 3-5	相關 GIS 資料蒐集列表 .....	3-10
表 3-6	崩塌地目錄基本資料表 .....	3-12
表 3-7	崩塌地目錄附屬資料表 .....	3-13
表 3-8	蘇迪勒颱風後至 105 年汛期後復育率 .....	3-22
表 3-9	計畫區域各子集水區土砂生產與堆積統計結果 .....	3-32
表 3-10	不同地質條件(地層)土砂生產與堆積統計結果 .....	3-36
表 3-11	計畫區域內主要岩性彙整表 .....	3-37
表 3-12	計畫區域內主要地質岩性新增崩塌面積與體積統計表 .....	3-38
表 4-1	UAV 空拍崩塌地清單 .....	4-3
表 4-2	UAV 空拍崩塌地清單、進度與規劃進度表 .....	4-8
表 4-3	無人機規格表 .....	4-10
表 4-4	常見數值地形名詞及其意義 .....	4-18
表 4-5	UAV 空拍崩塌地理環境彙整表 .....	4-22
表 4-6	UAV 空拍 12 處崩塌地之崩塌地空拍照片、判釋結果與變遷情勢 結果彙整表 .....	4-27
表 4-7	12 處空拍崩塌地變遷情勢結果彙整表 .....	4-39
表 6-1	新店溪上游流域之濁度監測數據報告 .....	6-1
表 6-2	自計式水位計規格 .....	6-13
表 6-3	Sontek M9 介紹 .....	6-15
表 6-4	攜帶式濁度計規格 .....	6-17
表 6-5	即時傳輸式濁度計規格 .....	6-17
表 6-6	新店溪 7 處河床質調查成果 .....	6-67
表 7-1	覽勝橋站人工濁度與濃度監測數據(摘錄) .....	7-2

表 7-2	105、106 年實測濃度與濁度數據 .....	7-3
表 7-2	105、106 年實測濃度與濁度數據(續).....	7-4
表 7-3	南勢溪上游濁度濃度轉換關係式 .....	7-4
表 7-4	105 年汛期前後新增崩塌地面積統計成果 .....	7-8
表 7-5	105 年汛期前後新增崩塌地體積統計成果 .....	7-8
表 7-6	崩塌土砂流失量統計成果 .....	7-10
表 7-7	崩塌土砂遞移率統計成果 .....	7-10
表 7-8	臺灣不同地表及植被狀況之覆蓋及處理因子 .....	7-14
表 7-9	土壤沖蝕量統計成果 .....	7-14
表 7-10	崩塌土砂流失量與土壤沖蝕量貢獻比較 .....	7-16
表 7-11	蘇迪勒颱風前 100 大新增崩塌地岩性統計 .....	7-17
表 7-12	101-104 年 11 場颱風事件雨量與濁度比較(依最大 3 小時降雨大小排序).....	7-20
表 8-1	HSPF 水文模組參數說明表 .....	8-4
表 8-2	HSPF 土砂模組參數說明表.....	8-5
表 8-3	本計畫 HSPF 參數整理表 .....	8-6
表 8-4	新店溪上游河床質調查 .....	8-11
表 8-5	颱風事件懸浮載篩分析 .....	8-11
表 8-6	崩塌地工法選擇總覽 .....	8-17
表 8-7	邊坡保護工法評比 .....	8-22
表 8-8	國有林班地工程效益計量表(範本).....	8-26
表 8-9	治理方法單價明細表 .....	8-27
表 8-10	總成本估算表 .....	8-28
表 8-11	總效益估算表 .....	8-29
表 8-12	東札孔溪崩塌地治理益本比 .....	8-31
表 8-13	桶後林道 3.5K 崩塌地治理成本 .....	8-35
表 8-14	桶後林道 3.5K 崩塌地治理效益 .....	8-36

## 摘要

104年8月受蘇迪勒颱風侵襲，南勢溪原水濁度急遽飆升，超出淨水場處理能力，影響大臺北地區供水穩定及用水品質，未來短延時強降雨可預期仍將造成新店溪上游之濁度飆升問題，故建置崩塌地目錄及瞭解本區濁度來源及初步研判濁度貢獻之主次要地區等工作實有其必要性。

蘇迪勒颱風新增崩塌地面積，子集水區統計結果顯示，國有林範圍以桶後溪(34.46公頃)、哈盆溪(21.81公頃)與阿玉溪(21.52公頃)為前三名，非國有林範圍以南勢溪主流(15.45公頃)、北勢溪(15.28公頃)與新店溪(4.41公頃)為前三名。計畫範圍總崩塌體積高達404.7萬立方公尺。由崩塌體積排序結果可知主要崩塌體積熱區集中在福山上游三條支流(札孔溪、哈盆溪與大羅蘭溪)，以及桶後溪、阿玉溪及南勢溪主流等。

蘇迪勒颱風河道變遷區域探討，福山水文站上游基岩河道(1)札孔溪河道彎道區域擴張最大寬度約19公尺、(2)三支流匯流口擴張最大寬度約14公尺及(3)哈盆溪環流丘擴張最大寬度約27公尺等三個河段變遷最為劇烈；福山水文站至桶後溪匯流口(1)內洞溪、烏紗溪與樟樹溪三支流匯流主河道擴張最大寬度約25公尺(2)桶後溪河道彎道區域擴張最大寬度約30公尺(3)桶後溪匯入南勢溪主流匯流口擴張最大寬度約35公尺等三個河段變遷最為劇烈。桶後溪匯流口至平廣溪匯流口擴張最大寬度約40公尺。

國內相關單位濁度監測數據，蒐集下龜山橋、覽勝大橋以及福山等三處，分析105年資料成果有二，南勢溪上游之濁度值不高，皆未達濁度警戒黃色燈號之1000NTU，顯示在一般醬雨事件中，下游濁度並非上游所造成。覽勝橋站與屈尺站資料，顯示泥砂多於中游產生，隨著往下游各支流匯入將溪水稀釋，使得濁度下降。在探討蘇迪勒颱風大降雨引致崩塌之情境時，發現烏砂溪、桶後溪、阿玉溪有單位面積崩塌量偏高之情形，故推論崩塌引起之濁度，並不一定以上游段最為嚴重。就本計畫觀測與分析，整體而言，南勢溪流域各段在小降雨事件時，以南勢溪

中游，桶後溪溪下游段最易產生濁度。大型降雨事件中產生之濁度應約略相當。

斷面量測結果顯示大部分斷面變化幅度不顯著，各斷面通水面積變化量約在 5% 內，除阿玉溪匯流統後溪前(斷面 4)下刷 1.05m，信賢部落(斷面 5)下刷 0.53m 外，其於 5 處斷面之平均深度變化在 20 公分至 30 公分之間，大部分為淘刷，使通水斷面略為加大。可能因 105、106 年度之颱風事件皆不大，降雨量小坡面沒有土砂進入之緣故，使床底泥砂持續往外運移。

泥砂來源貢獻，大部分子集水區崩塌土砂與土壤沖蝕兩土砂來源皆有一定程度之貢獻，僅烏砂溪、阿玉溪、桶后溪之崩塌土砂流失量大於土壤沖蝕量。蘇迪勒颱風前 100 大新增崩塌地，有 83.05% 之新增崩塌地發生於岩性組合為「硬頁岩(含泥質)」之區域，15.85% 之新增崩塌地發生於岩性組合為「硬頁岩(含泥質以外)」之區域，泥砂多源自以硬頁岩為主之岩層，其中尤以夾含泥質粉砂岩之岩層為多，因此這類型岩層所產生之泥砂對於濁度上升有相當程度之影響，當泥砂主要以此為來源時，濁度便容易快速上升。濁度成因方面，比較雨量與濁度關係，可以觀察到最大 3 小時降雨與最大濁度關係密切，雨量接近時，須將降雨強度分布與地質條件綜合比較。

HSPF 模式以 105 年杜鵑颱風事件率定，水位轉換流量約 1700cms，模擬流量 1800cms。流量轉換輸砂量峰值約為 55ton/s，模擬輸砂量峰值約 60ton/s。再以蘇迪勒颱風與 106/06/02 豪雨驗證。蘇迪勒颱風之觀側水位中斷，但仍反映上升段，也可見於 106/06/02 豪雨時流量模擬仍有效。蘇迪勒颱風輸砂模擬約 85ton/s，換算濃度則超過 35,000ppm，推估濁度再 28,000NTU 以上，與下游直潭淨水場超過 30,000 度吻合。受限於蘇迪勒颱風後，河道可能淤積又屢有清淤變化，以目前事件資料建立之模式，雖有待後續觀測與校正，但仍可大至預測濁度反應。

60 號林班地大崩塌於蘇迪勒颱風災前災後新增崩塌面積為 0.63 ha，然而(1) 東札孔溪崩塌地於蘇迪勒颱風之新增崩塌體積僅佔札孔溪集水區之 8.22%；(2)東札孔溪崩塌地所生產土砂之岩性，對濁度上升影響較

輕微，即使對 60 林班地大崩塌施以工程手段治理，對於濁度改善並無明顯效果。加上(3)距離人身財產等保全對象甚遠且目前並無擴大發生之現象，此外(4)治理工程需開設便道影響生態環境且擾動土砂、(5)工程經費投入之益本比僅為 0.12，(6)60 林班地大崩塌自 104 年汛前到 105 汛後，裸露面積由 12.012ha 減小至 11.215ha，可見有相當之復原能力。故應以自然復育為優先，並可持續監測之後復原情形。

桶后林道崩塌地之治理，在恢復原有交通功能與避免再次崩塌之考量下，建議原林道部分取土回填，鋪設 PC 路面，並設置排水溝，幫助道路排水改善，避免雨水滲入路基與下邊坡土壤。下邊坡之頂部施作 RC 擋土牆並搭配鋼軌樁，中段以下進行坡面排水，同時施作掛網噴植，減少雨水入滲雨土壤流失。此外坡腳部分位於河水攻擊岸，故建造護岸防止坡腳遭沖毀引致再次崩塌。

## Abstract

In August 2015 , Taiwan was hit by a Sudelu typhoon and the rainfall center of north Taiwan was in the Mt. Taiping. The typhoon caused many landslides in the upper reaches of the Xindian river basin and also seriously struck Wulai and other regions. At the same time, due to the high turbidity, which is over the water treatment capacity, it affected the stability of water supply and water quality in Taipei.

In order to cope with such problems as the turbidity increase resulting from the landslides and soil erosion in the upper catchments of Xindian river , it is imperative to step up the conservation and management of the upper reaches of Xindianx river basin.

In addition, under the impact of the global extreme climate, Xindian river will be expected to hit by short-term heavy rainfall and caused turbidity soaring, so the establishment of the landslides catalog and understanding the primary sediment source area are necessary.

This project has collected landslides records in last 10 years and satellite images in 2015 and 2016. Then, we establish the landslide catalog and analyze the features such like rainfall intensity, soil type, strata, land use and so on. At the meantime, it also has gaging station monitoring during 2016 to 2017, so it can provide water concentration and turbidity. A HSPF model was also calibrated and verified to predict water level, discharge, and sediment concentration in ethe gaging station in the future.

When the rain intensity is stronger then 550mm in 24hr, it will occur plenty landslides and make the high turbidity in the river. The basins which has the largest landside intensity(both in area and volume) is Wusha river basin, and it' s river bed has more fine particles, so it will provide plenty sdiments to downstream.

# 第壹章 前言

## 1-1 緣起與目標

104年8月受蘇迪勒颱風侵襲，主要降雨中心在太平山，烏來福山站(3)之總累積雨量為778毫米(蘇迪勒颱風降雨量分析報告，水利署)，造成新店溪上游流域國有林班範圍內誘發許多崩塌地，致使烏來等地區嚴重受創，且因南勢溪原水濁度急遽飆升，超出淨水場處理能力，影響大臺北地區供水穩定及用水品質。為因應未來新店溪上游集水區之崩塌等土砂災害致使濁度飆升等問題，加強新店溪上游流域之保育治理、管理等工作刻不容緩，以減少災害發生。

104年8月27日行政院第3463次會議毛院長指示：「有關新店溪上游流域的中長程經理策略、方向及作為，在重要河川流域協調會報處理」。104年9月10日經濟部召開「行政院重要河川流域協調會報」第八次工作小組會議，決議立即成立「新店溪上游流域保育治理工作分組」作為跨部會專責推動平台，林務局於「災害監測預警系統」區塊主要作為崩塌警戒值分析、歷史災害收集及長期崩塌變化分析等，另鑑於目前極端氣候影響，未來短延時強降雨可預期仍將造成新店溪上游之濁度飆升問題，新店溪上游流域主要為國有林地，故建置崩塌地目錄及瞭解本區濁度來源及初步研判濁度貢獻之主次要地區等工作實有其必要性。本案冀望委託專業機構，借重其專業能力，完成相關工作項目，作為未來本轄區內國有林地治理之參據及釐清濁度飆高的主要原因。

## 1-2 工作範圍

本計畫工作範圍如圖 1-1 所示。

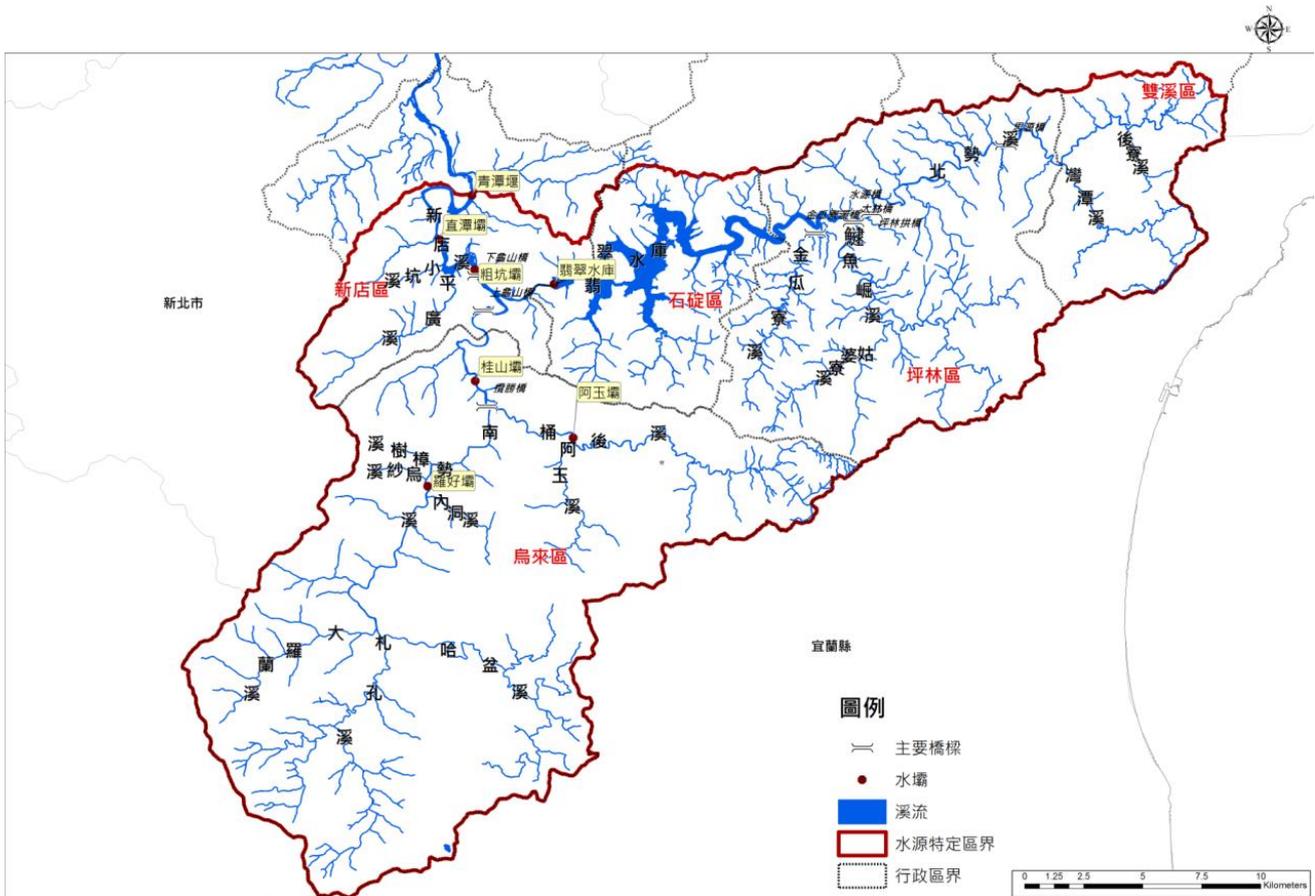


圖1-1 工作範圍(新店溪上游流域)位置圖

### 1-3 工作項目及內容

#### (一)蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置

1. 蒐集蘇迪勒颱風前後航空照片等遙測影像，判釋其崩塌地分布及編號，建立蘇迪勒颱風後新店溪上游流域崩塌地目錄(並利用相關遙測影像瞭解該區域過去歷年之新增崩塌地變遷與颱風雨量之相關性及該區植生復育情形)。
2. 納入經濟部中央地質調查所之相關地質圖資(例如：環境地質圖及山崩潛感圖等)，建立崩塌地目錄資料，該資料應至少包含行政區域(縣市鄉鎮)、事業區林班別、坐標(二度分帶97坐標)、崩塌面積、新增或既有崩塌地、道路可及性、是否近岸崩塌、地質、高程、坡度等相關水文及地理因子。
3. 配合運用GIS等空間資訊軟體建立資料庫，以利加值運用、圖資套疊與空間分析。

## (二)蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤

- 1.篩選蘇迪勒颱風後計畫區域崩塌面積大於0.3公頃以上之新增或既有崩塌地為重點崩塌地清單，蒐集多期航空照片比較歸納崩塌地變化歷程，並初步探討其崩塌發生的原因。
- 2.挑選至少10處(得由林務局指定位置)進行現地調查或UAV拍攝，以利研判崩塌地變遷情勢(擴大或復育)。

## (三)蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判

利用遙測影像之蒐集，判釋南勢溪主河道受蘇迪勒颱風影響，其各區段(各主要支流匯入主流間之河段，至少5處區段)河道之變遷情形。

## (四)濁度主次要地區之初步研判

- 1.蒐集國內相關單位新店溪上游流域之濁度監測數據報告，及持續蒐集工作期間新店溪上游流域既有濁度監測站之水質觀測資料。
- 2.各次颱風或暴雨事件(有發生濁度飆高情形，每年至少2次)後於南勢溪各主要支流匯入口(至少5處)進行人工濁度檢測、濃度試驗及斷面變化評估。(若颱風豪雨期間發生濁度飆高情形時，配合林務局需要，即時提供初步分析結果)
- 3.初步研判南勢溪其濁度貢獻之主次要地區。

## (五)濁度來源分析

- 1.泥沙濃度與濁度關係之建立，以瞭解濁度與濃度率定關係。
- 2.進行泥砂來源分析與量化，以探討逕流沖蝕坡面、崩塌及河道堆積之沉積物等所佔泥沙來源比例。(並利用濁度檢測結果來作驗證)

## (六)濁度改善於治理工法上之評估

- 1.建立初步降雨強度與濁度預測之關係，供自來水供水系統之警戒與應變所需。
- 2.蒐集國內外相關研究及案例，選擇2處主要崩塌地實施「採工程手段進行治理之各面向可行性評估及初步治理規劃」

## 1-4 預定工作進度

本計畫工作期限，自決標日(105年5月13日)起至106年12月20日止，各工作項目之預定進度，如圖1-2所示。

工作項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	年別	105年										106年									
	月份	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
集水區基礎資料盤點																					
蘇迪勒颱風崩塌地目錄建置																					
蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤																					
蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判																					
濁度主次要地區之初步研判-來源區位分析																					
濁度來源分析暨成因分析																					
濁度改善於治理工法上之評估																					
期初報告																					
第1次期中報告																					
第2次期中報告																					
期末報告																					
成果報告																					
預定進度累計百分比		5	11	17	22	27	31	35	39	43	50	56	61	66	72	77	82	87	92	97	100

圖1-2 本計畫工作進度甘特圖

## 1-5 預期成果

受託廠商應於工作執行期間，須依雙方契約之規定提送各項報告初稿計 25 份，並由林務局擇期舉行審查會議；另林務局得視需要於履約期限內，不定期召開工作會報，各期報告提交內容如下：

- (一) 期初報告 (工作執行計畫)：應於議價後40日曆天內提出，其內容應包括：工作範圍、工作項目及內容、工作計畫及方法、預定工作進度及人力配置、預期成果等。
- (二) 第1次期中報告：應於105年10月30日前提出；完成內容至少應有：
  1. 完成蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置。
  2. 提出蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤。

3. 完成蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判。
4. 持續蒐集工作期間既有濁度監測站之水質觀測資料。
5. 濁度改善於治理工法上之評估。

(三) 第2次期中報告：應於106年4月30日前提出完成內容至少應有：

1. 提出蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤。
2. 持續蒐集工作期間既有濁度監測站之水質觀測資料。
3. 濁度主次要地區之研判。
4. 濁度來源分析。
5. 濁度改善於治理工法上之評估。

(四) 期末報告：應於106年10月20日前提出；內容應包括全部工作項目：

1. 蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置。
2. 蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤。
3. 蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判。
4. 濁度主次要地區之研判。
5. 濁度來源分析。
6. 濁度改善於治理工法上之評估。

(五) 成果報告：請於期末審查會議通過後次日起21日曆天內繳交(不含期末審查會議當日)；所完成之成果、技術及智慧財產權等相關資料歸林務局所有，提送本計畫成果如后：

1. 成果報告書(照片部分需彩色影印)及電子檔光碟各50份，送交林務局及指定之相關單位。
2. 上開電子檔案光碟內，應包含成果報告電子檔(MS-Word格式：\*.doc或.docx)、照片(\*.jpg或\*.tiff格式)及各期報告(含簡報)之電子檔(MS-Power Point格式：\*.ppt或.pptx)。
3. 廠商應提交各項成果原始GIS檔案，應包含網格式影像(\*.img或\*.tiff格式)與向量式成果(\*.shp或\*.kml格式)圖層。

## 1-6 本階段工作項目與完成事項

本階段為成果報告，應完成事項與本報告已完成事項詳如表 1-1。

**表1-1 應完成事項與本報告已完成事項對照表**

編號	工作執行階段	應完成項目	完成細項	完成事項	對應章節
一	期初報告	工作範圍、工作項目及內容、工作計畫及方法、預定工作進度及人力配置、預期成果等。		✓	第壹章 1-2~1-5 節 第貳~柒章
二	第 1 次 期中報告	完成蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置。	1. 已完成蒐集蘇迪勒颱風前後航空照片等遙測影像，判釋其崩塌地分布及編號，建立蘇迪勒颱風後新店溪上游流域崩塌地目錄 2. 已完成納入經濟部中央地質調查所之相關地質圖資(例如：環境地質圖及山崩潛感圖等)，建立崩塌地目錄資料 3. 已完成配合運用 GIS 等空間資訊軟體建立資料庫，以利加值運用、圖資套疊與空間分析。	✓	第參章
		提出蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤。	1. 已完成篩選蘇迪勒颱風後計畫區域崩塌面積大於 0.3 公頃以上之新增或既有崩塌地為重點崩塌地清單。 2. 已完成至少 10 處(得由林務局指定位置)進行現地調查或 UAV 拍攝(第一、二次)。	✓	第肆章
		完成蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判。	已完成利用遙測影像之蒐集，判釋南勢溪主河道受蘇迪勒颱風影響，其各區段(各主要支流匯入主流間之河段，至少 5 處區段)河道之變遷情形。	✓	第伍章
		持續蒐集工作期間既有濁度監測站之水質觀測資料。	蒐集國內相關單位新店溪上游流域之濁度監測數據報告，及持續蒐集工作期間新店溪上游流域既有濁度監測站之水質觀測資料。	✓	第陸章 6-1 節
		濁度改善於治理工法上之評估。	完成札孔溪 60 林班地成本效益分析。	✓	第捌章 8-2 節
三	第 2 次 期中報告	提出蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤。	1. 已完成篩選蘇迪勒颱風後計畫區域崩塌面積大於 0.3 公頃以上之新增或既有崩塌地為重點崩塌地清單。 2. 已完成至少 10 處(得由林務局指定位置)進行現地調查或 UAV 拍攝(第一、二次)。 3. 完成「蘇迪勒颱風前後」、「蘇迪勒後至 105 汛期前」、「105 汛期前後」3 期重點崩塌地變化歷程追蹤。	✓	第肆章

編號	工作執行階段	應完成項目	完成細項	完成事項	對應章節
		持續蒐集工作期間既有濁度監測站之水質觀測資料。	1. 蒐集福山站、屈尺站(下龜山橋) 1985~2016 濁度觀測資料 2. 覽勝橋站 2005~2016 濁度觀測資料 3. 直潭堰濁度觀測資料	✓	第陸章 6-1 節
		濁度主次要地區之研判。	完成南勢溪濁度貢獻主次要地區研判, 初步研判南勢溪濁度主要貢獻區位為南勢溪中游(覽勝橋站至福山站之間)	✓	第陸章 6-6 節
		濁度來源分析	1. 完成泥砂來源貢獻探討 2. 完成泥砂來源成因探討 3. 完成濁度成因分析	✓	第柒章 7-2 節
		濁度改善於治理工法上之評估。	1. 初步建立濁度預測模式。 2. 完成東札孔溪崩塌地治理評估及治理建議, 建議採取自然復育。 3. 初步提出桶后林道 3.5K 崩塌治理建議。	✓	第捌章 8-2 節
四	期末報告	蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置。	1. 已完成蒐集蘇迪勒颱風前後航空照片等遙測影像, 判釋其崩塌地分布及編號, 建立蘇迪勒颱風後新店溪上游流域崩塌地目錄 2. 已完成納入經濟部中央地質調查所之相關地質圖資(例如: 環境地質圖及山崩潛感圖等), 建立崩塌地目錄資料 3. 已完成配合運用 GIS 等空間資訊軟體建立資料庫, 以利加值運用、圖資套疊與空間分析。	✓	第參章
		蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤。	1. 已完成篩選蘇迪勒颱風後計畫區域崩塌面積大於 0.3 公頃以上之新增或既有崩塌地為重點崩塌地清單。 2. 已完成至少 10 處(得由林務局指定位置)進行現地調查或 UAV 拍攝(第一、二次)。	✓	第肆章
		蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判。	已完成利用遙測影像之蒐集, 判釋南勢溪主河道受蘇迪勒颱風影響, 其各區段(各主要支流匯入主流間之河段, 至少 5 處區段)河道之變遷情形。	✓	第伍章
		持續蒐集工作期間既有濁度監測站之水質觀測資料。	蒐集南勢溪 105、106 年自動觀測記錄與人工採樣記錄。	✓	第陸章 6-4 節
		5 處斷面變化測量	彙整 105、106 年度斷面測量, 研判河道變遷情形。	✓	第陸章 6-5 節
		濁度主次要地區之研判。	以 105、106 最今監測資料, 完成南勢溪濁度貢獻主次要地區研判, 研判南勢溪濁度主要貢獻區位為南勢溪中游(覽勝橋站至福山站之間)	✓	第陸章 6-6 節
		濁度與濃度關係建立	以歷史觀測記錄與本計劃 105、106 人工採樣記錄, 分別建立濁度濃度關係式, 並建議覽勝橋站之關係式更新。	✓	第柒章 7-1 節

編號	工作執行階段	應完成項目	完成細項	完成事項	對應章節
		濁度來源分析。	1.完成泥砂來源貢獻探討 2.完成泥砂來源成因探討 3.完成濁度成因分析	✓	第柒章 7-2 節
		濁度改善於治理工法上之評估。	1.完成建立濁度預測模式。 2.完成東札孔溪崩塌地治理評估及治理建議，建議採取自然復育。 3.完成提出桶后林道 3.5K 崩塌治理建議。	✓	第捌章 8-2 節

## 第貳章 工作計畫及基本資料蒐集與盤點

### 2-1 工作計畫及方法

本計畫之工作流程如圖 2-1 所示，係按照林務局委託工作事項執行。以下茲針對各工作項之實際執行工作規畫進行詳細說明。

首先，蒐集集水區之基礎資料，包括：遙測、航拍影像、與崩塌地判釋、水文、地文、人文等。接著，進行崩塌地目錄建置以及崩塌地變化歷程分析，並以人工現地調查以及 UAV 空拍攝影驗證。再者，進行南勢溪河道變遷研判。我們亦藉由蒐集的基本資料中，河川之流量與濁度資料，輔以原水濁度與濃度試驗，換算出濃度以做為後續追蹤與驗證濁度來源區位分析之結果。而濁度來源區位分析透過於各匯流口架設水尺，輔以水砂整合模式計算個別子集水區之輸砂通量。之後進行濁度來源分析，由崩塌地目錄計算崩塌土砂產生量、USLE 公式計算土壤沖蝕量輔以現地沖蝕針驗證、河川斷面量測計算河道堆積沉積物變化量，經過各個子集水區綜合比較求得泥砂來源比例。各個分析完成後，進行 HSPF 模式建立降雨強度與濁度預測關係。最後選擇 2 處主要崩塌地實施工程手段進行治理之各面向可行性評估及初步治理規劃。

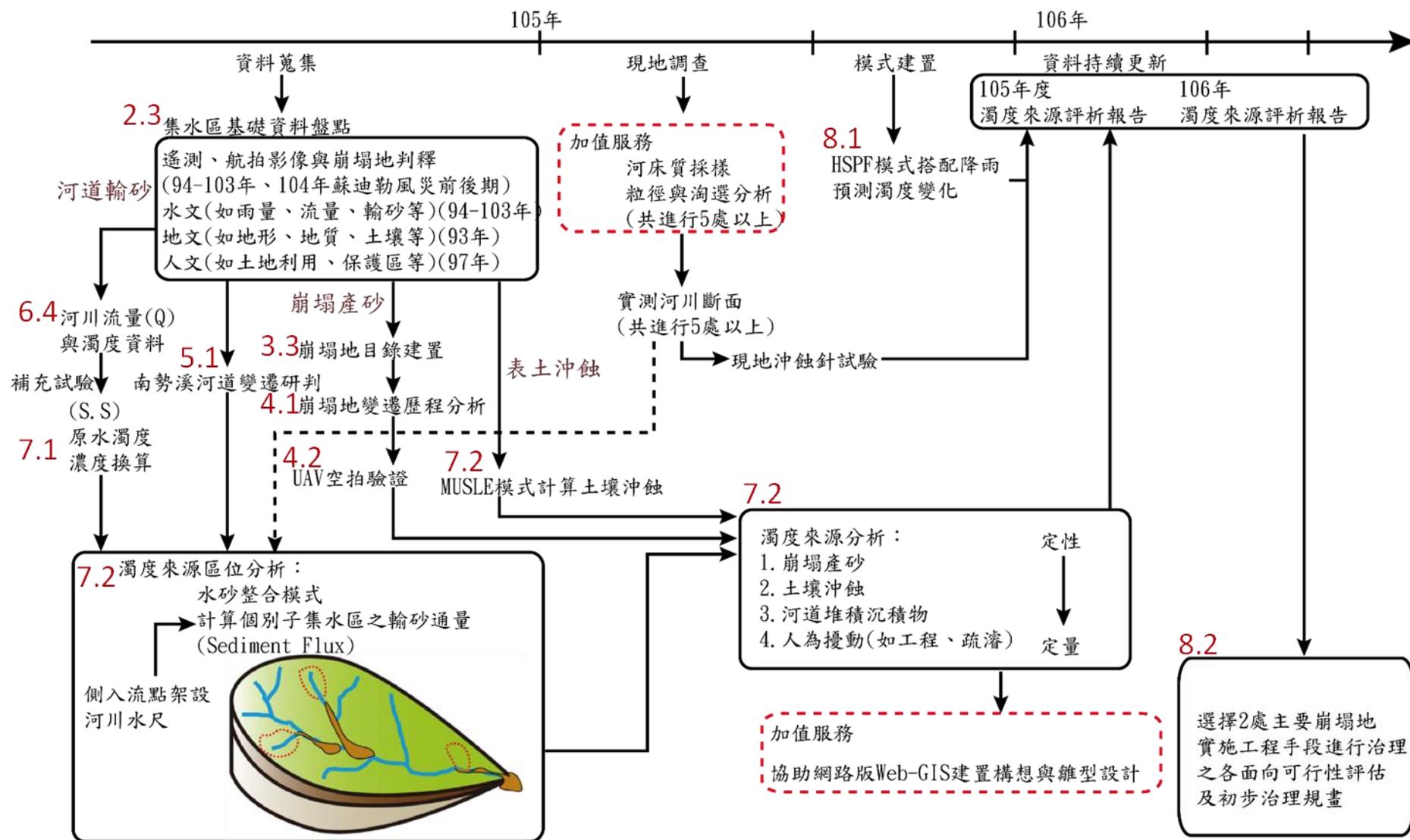


圖2-1 本計畫工作流程圖

## 2-2 新店溪及南勢溪相關研究報告

與本計畫相關之國內相關規劃報告文獻資料詳如表 2-1 所示，蒐集內容包含基本資料、河段治理規劃、歷史災害資料、土砂整治成效等相關防洪及土砂研究報告，共 18 項，將於計畫執行期間持續蒐集相關文獻，作為後續工作項目執行之參考。

**表2-1 歷年相關文獻資料**

書名	資料來源	年分	用途
新店溪上游流域保育治理及區域穩定供水綱要計畫(核定本)	經濟部	2016	規劃治理策略
國有林土砂殘留量及二次災害潛勢影響評估	國立台灣大學	2015	參考研究方法
臺北水源特定區水文監測計畫(103-105年)(1/3)	水利署臺北水源特定區管理局	2014	蒐集水文資料
新店溪青潭堰上游水文監測計畫(102年)	水利署臺北水源特定區管理局	2013	蒐集水文資料
臺北水源特定區河川流量觀測比測計畫(1/2)	水利署臺北水源特定區管理局	2013	蒐集水文資料
新店溪青潭堰上游水文監測計畫(100年)	水利署臺北水源特定區管理局	2011	蒐集水文資料
台北水源特定區水質模式分析與應用計畫	水利署臺北水源特定區管理局	2011	蒐集水文資料
新店溪青潭自來水水源水質保護區水質監測計畫(3/3)	水利署臺北水源特定區管理局	2010	蒐集水文資料
新店溪中上游段治理規劃檢討(2/3)	水利署第十河川局	2010	規劃治理策略
新店溪青潭自來水水源水質保護區水質整體自動觀測決策支援系統規劃	水利署臺北水源特定區管理局	2009	蒐集水文資料
新店溪中上游段治理規劃檢討(1/3)	水利署第十河川局	2009	規劃治理策略
新店溪上游河川環境整體營造規劃計畫	水利署臺北水源特定區管理局	2008	蒐集水文資料
新店溪青潭堰上游管理業務支援計畫--環境變遷分析	水利署臺北水源特定區管理局	2007	蒐集水文資料
南北勢溪水環境變遷研究分析計畫	水利署臺北水源特定區管理局	2007	蒐集水文資料
南勢溪上游集水區整體治理調查規劃報告	農委會水保局	2006	規劃治理策略
新店溪上游可能壩址工程地質初步調查專題報告	水利署水利規劃試驗所	2004	蒐集地文資料
台北水源特定區札孔溪流域崩坍地調查規劃報告書	臺北水源特定區管理委員會	1991	蒐集地文資料
台北水源特定區南勢溪流流域崩坍地調查規劃報告書	臺北水源特定區管理委員會	1989	蒐集地文資料

其中，「新店溪上游可能壩址工程地質初步調查專題報告」針對南勢溪流域進行工程地質調查及初步綜合評估，包括蒐集經濟部中央地質調查所出版之新店圖幅、桃園圖幅以及雪山山脈北部地區地質圖，將三者對比整合了解南勢溪之地質環境，並且透過航照判釋與現地調查進行複核，做為可能壩址之評估基礎。該報告指出南勢溪流域出露之岩層主要有中嶺層、西村層、四稜砂岩、乾溝層、粗窟層、大桶山層、木山層和大寮層，而此相關之地質資訊適合做為本計畫之參考。

「台北水源特定區水文監測計畫」對於台北水源特定區進行包括：水位、流量、泥砂等之觀測，除此之外該計畫利用所取得之觀測資料建立水位-流量率定曲線、流量-輸砂量率定曲線，其建利率定關係之點位包含：北勢溪集水區：思源橋、虎寮潭橋、水源橋、大林橋、金瓜寮溪橋、坪林拱橋；共計 6 站。南勢溪集水區：覽勝橋站以及福山站，共計

2 站。其中福山站雖未建立水位-流量率定曲線，然而其觀測之水位、流量資料仍得以做為參考。

## 2-3 基本資料蒐集

### (一) 水系概要

新店溪係屬北台灣淡水河水系的支流，流域內含之行政區包含台北市萬華、中正、文山等區以及新北市之板橋、中和、永和、新店、烏來、深坑、石碇、坪林、雙溪等區，流域面積約 909.54km<sup>2</sup>、全長約 82km。新店溪流域全域皆位於雪山山脈西麓以及台北盆地東麓等區域。流域境內除桶後、南勢、北勢溪集水區等主要支流外，並無其他大型支流與湖泊等水系。流域河川特性如表 2-2。

表2-2 流域之河川特性

主集水區	子集水區	集水面積 (km <sup>2</sup> )	主流長度 (km)	源頭標高 (m)	河口標高 (m)	主流河川坡降 (%)	主流坡度
新店溪	青潭水庫 (新店溪主流)	52.79	9.99	880	17	0.30%	1/333.33
北勢溪	翡翠庫區	89.04	—	925	—	—	—
	北勢溪	81.30	48.51	620	68	1.14%	1/87.72
	逮魚堀溪	79.10	21.28	1044	175	3.45%	1/28.96
	灣潭溪	30.05	14.31	940	307	4.42%	1/22.62
	金瓜寮溪	23.51	13.48	1025	170	6.34%	1/15.77
南勢溪	南勢溪	166.44	49.49	1788	45	3.52%	1/28.41
	桶後溪	87.71	23.47	1420	113	4.08%	1/24.51
	大羅蘭溪	29.21	10.08	1895	376	15.07%	1/6.64
	扎孔溪	62.98	16.73	2101	376	10.31%	1/9.70
	加九寮溪	29.21	10.08	1895	376	15.10%	1/6.25
	哈盆溪	73.00	25.91	1788	376	5.49%	1/18.35
	內洞溪	11.51	6.49	1410	226	18.24%	1/5.48

資料來源：臺北水源特定區管理局網站，<http://www.wratb.gov.tw/>

## (二)地文環境

### 1.地形地勢

新店溪流域的整體地勢呈現一由東南向西北延伸的坡降，其中又以南勢溪集水區發源地之棲蘭山區地勢最為高聳，流域內之最高峰為塔曼山，其標高可達 2,130m。根據地理資訊系統計算結果，新店溪流域內約 90%左右的區域為山區，河谷寬度因此受限，其主要流路僅在新店區龜山南勢溪集水區與北勢溪集水區合流並逐漸匯入台北盆地後，河流未受到地形限制情況下，而出現較寬的河谷。新店溪過碧潭大橋後，流域進入平地，地面標高 100m 以下，流域坡度如圖 2-2 所示。

### 2.土壤

新店溪流域之土壤，主要為自集塊岩風化作用而生成之幼黃壤、黃壤，次要的土壤類形則為風化程度較低的石質土。就本區域的黃壤而言，其表土層具有些許淺薄的有機層以及淺薄的腐質土壤層，故這些土壤層有機質含量偏低，土壤酸鹼性偏酸，土地肥沃程度亦偏低。

### 3.地質

新店溪流域之地質組成以雪山山脈帶中常見的第三紀及第四紀輕中度變質岩為主要地層，參考中央地質調查所最新版(103 年)五萬分之一流域地質圖，新店溪上游流域出露之地層眾多，如圖 2-3，包括：中嶺層、西村層、四稜砂岩、乾溝層、粗窟層、大桶山層、木山層、大寮層、石底層、南港層、南莊層等，其中最主要的地層為大桶山層、乾溝層以及粗窟層。

#### (1)大桶山層：

大桶山層廣布在雪山山脈帶的主要褶曲構造的中間，岩性以灰黑色硬頁岩為主，常夾薄層泥質細砂岩或粉砂岩。硬頁岩相當堅緻，常具木片狀破裂面，所夾砂岩厚度一般在數公分至數十公分之間，有時砂岩較厚可達兩公尺。分布區域主要為孝義、桶後以及福山一

帶。野外照片如圖 2-5。

#### (2)乾溝層：

乾溝層岩性為灰黑色硬頁岩夾泥質細砂岩或粉砂岩所組成，硬頁岩一般成厚層或塊狀，質地緻密，風化剝落時常成清晰的木片狀破裂面，所夾泥質細砂岩、粉砂岩一般為暗灰色，厚度從數公分至兩公尺，一般多集中出現，有時可達五公尺以上。分布區域主要為烏來、信賢一帶。野外照片如圖 2-6。

一般而言大桶山層硬頁岩所夾之砂岩較薄，且界面清晰，而乾溝層之硬頁岩所夾之砂岩較厚，但其岩性多為漸變因此界面不明顯。整體地層而論，乾溝層所含砂岩不多，而大桶山層含有較多砂岩或粉砂岩互層。乾溝層與其上大桶山層多為漸變關係，兩者間若無粗窟層出現，實在不易區分其界面所在。

#### (3)粗窟層：

粗窟層岩性為厚層塊狀泥質細砂岩夾薄層硬頁岩，砂頁比率約為 5:1 至 2:1，由於受到強烈生物擾動，故常出現塊狀結構的砂岩。粗窟層與下伏之乾溝層以及上覆之大桶山層均為整合接觸。野外照片如圖 2-7。

#### (4)水長流層(巴陵層)：

水長流層是臺灣中部整合位於白冷層或四稜砂岩以上的地層，北部地區「巴陵層」與中部地區「水長流層」之確切關係缺乏明確了解，僅能在兩地使用兩個名稱，故加註為：水長流層(巴陵層)。組成岩層以黑色硬頁岩和輕度變質的頁岩為主，一般岩石的變質度至為輕微。灰色、細粒而堅緻的砂岩出現在不同層位的硬頁岩或板岩中，厚度在五到八十公分之間，有時可以超過一公尺。塊狀的變質沉積物中常有許多木條狀裂面，除了有砂岩夾層的地方，一般頁岩質岩層的層面很難辨認。水長流層的岩性十分單調，也不容易找到清楚的層準，常因褶曲或岩層的重複出現而層序無法確定，所以這一地層的確實厚度還無法決定。大略的估計，它的全部厚度可能要超過一千五百公尺。野外照片如圖 2-8。

以對濁度之影響而言，本區地質材料破碎，節理發達，風化土層深厚，於部份災害位置可觀察到數組間距較小的節理，故此區域之風化作用甚為發達。災害規模較大者，多位於順向坡範圍內，以風化或崩積材料於坡度較陡之厚層砂質硬頁岩或砂岩順向坡面上崩滑較多，屬於岩屑崩滑型而非岩體滑動型災害。風化土層材料鬆散，容易受降雨入滲影響增加土體自重，同時提高孔隙水壓降低有效應力，並易因降雨入滲砂頁岩界面，導致岩層抗剪強度降低進而致災。依據蘇迪勒颱風崩塌地目錄之地文特性分析，顯示崩塌地多位處坡向東至東南向、坡度 30 度以上。地層分布如圖 2-3，地質敏感區如圖 2-4。

#### 4. 地質構造

由於大地構造壓縮應力來自東南方，造成本地區主要的地質構造線呈東北至東北東方向延伸展布，因此發展出甚多之變質砂岩層，詳細構造特徵較易追蹤確認；而在烏來以南地區，因岩性單調致岩層位態不易確認，因此較詳細的構造特徵不易釐清。

##### (1) 褶曲

本地區包括有很多走向為東北至東北東之背斜及向斜，這些背斜及向斜構造多為平緩開展之褶曲構造，部分區域性褶曲延伸長可達二十餘公里，褶幅寬度數百公尺至數公里，褶曲兩翼或常為逆斷層截切，而兩端亦常被斷層錯移或截失。本地區主要之褶曲由南至北包括西村背斜、萱原向斜、四堵背斜、碧湖向斜、插天山背斜、烏來背斜等，另包括一些較小未命名之褶曲。其中插天山背斜及烏來背斜有向東北端傾沒的現象。

##### (2) 斷層

主要為東北至東北東走向的逆斷層，斷面均傾向東南，但尚包括甚多小規模之橫移斷層及斜移斷層。斷層破碎帶常造成極低的岩體強度，為造成崩塌之重要原因。本地區重要之區域性大斷層由南至北包括石牌斷層、碧湖斷層（石槽斷層）、金瓜寮斷層等，及一些較小規模未命名斷層。

### (3)節理及其他剪裂帶

一般而言，本地區岩層內普遍發育至少有兩組節理，最常見的縱向節理（平行岩層走向）及橫向節理（垂直岩層走向），二者均呈高角度（ $>60$  度）傾斜。這些節理的切割岩體，使風化作用沿節理面向下進行，常造成落石及坍方。另外有些局部地區可能有沿節理或其他裂隙發展之剪裂帶，可能深入岩體內部，為造成邊坡崩塌之另一重要因素。

### (三)水文環境

新店溪主流自碧潭橋以上的中上游河段屬於典型的山岳河川地形，河道發育受到地形限制，以刷深為主要的作用模式故中上游河段的河幅較窄，兩岸多以切穿母岩形成的岩壁，屬於山岳河川常見的峽谷地形。除峽谷地形外，河道在轉彎處則因流速改變而形成些許谷間平原。除了自然條件之外，新店溪主流河床亦因水利工程影響，其流域內含多座大型攔河堰，使新店溪主流的坡降相對平緩，致使河川的主流槽呈現深緩的現象，且由於河道缺乏瓣狀水系等高動態的地形，河川流路相當穩定。新店溪主流自直潭堰以下河段逐漸進入台北盆地，至秀朗橋河段之左岸仍為淺丘地形，故河流的主深槽發育良好。整體而言，由於中上游河段內具有五座堰壩的影響，對於新店溪的坡度、流速、侵蝕等條件仍具有相當顯著的影響。

計畫範圍內及周邊所設置之雨量觀測站分布如表 2-3 及圖 2-9 所示。水位流量站分布則如表 2-4 及圖 2-10 所示。

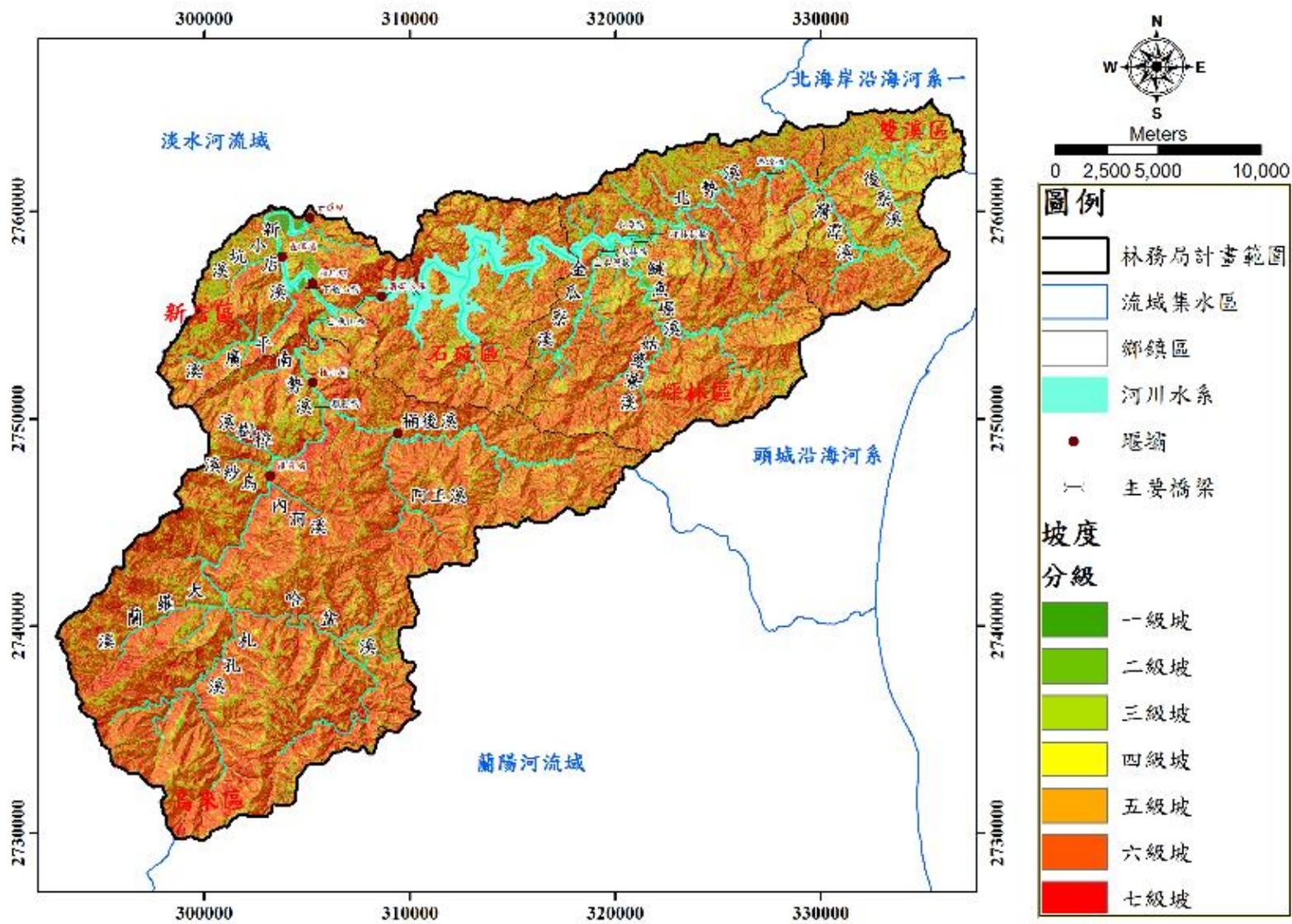


圖2-2 新店溪中上游坡度分析圖

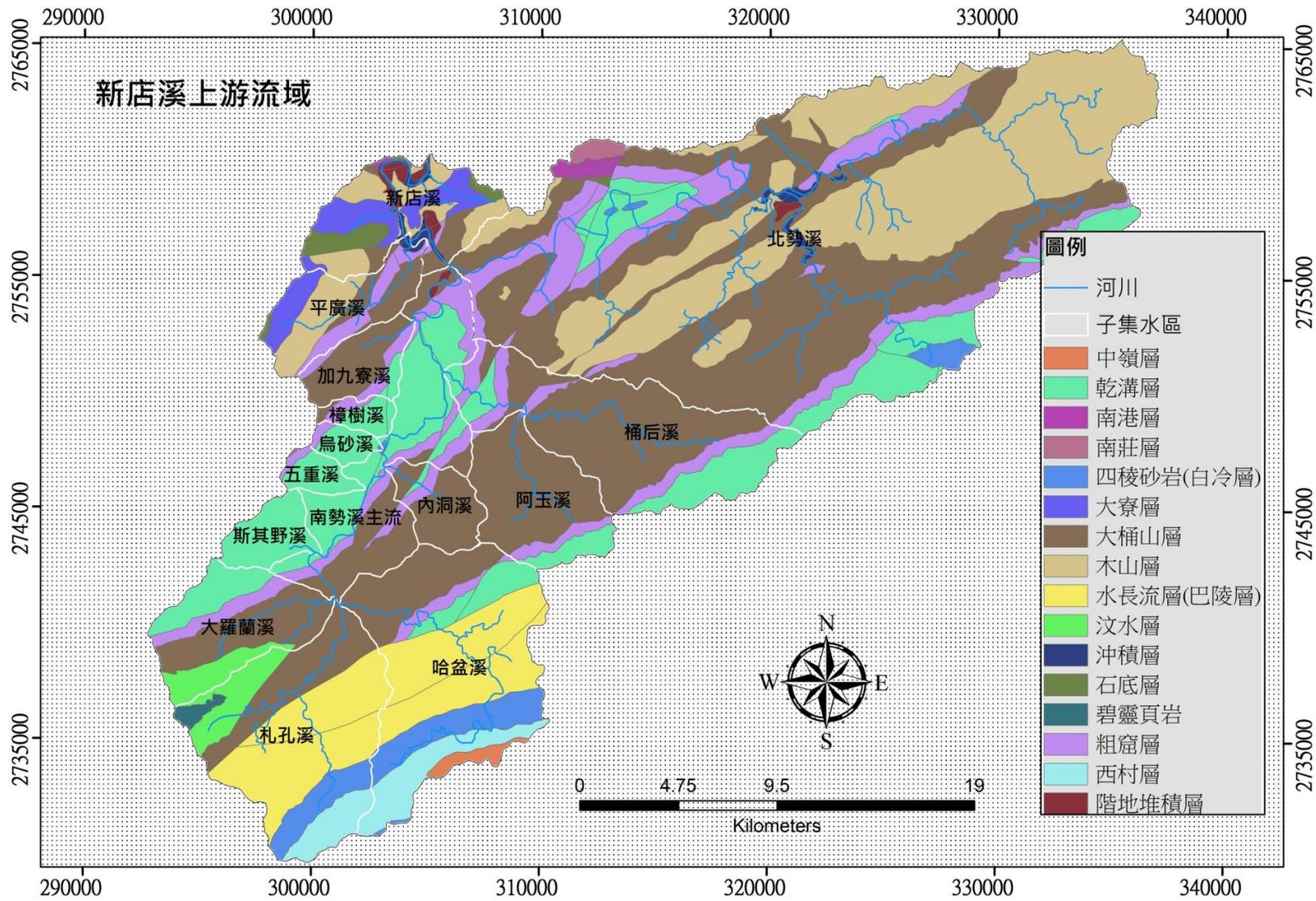


圖2-3 新店溪中上游流域地質圖

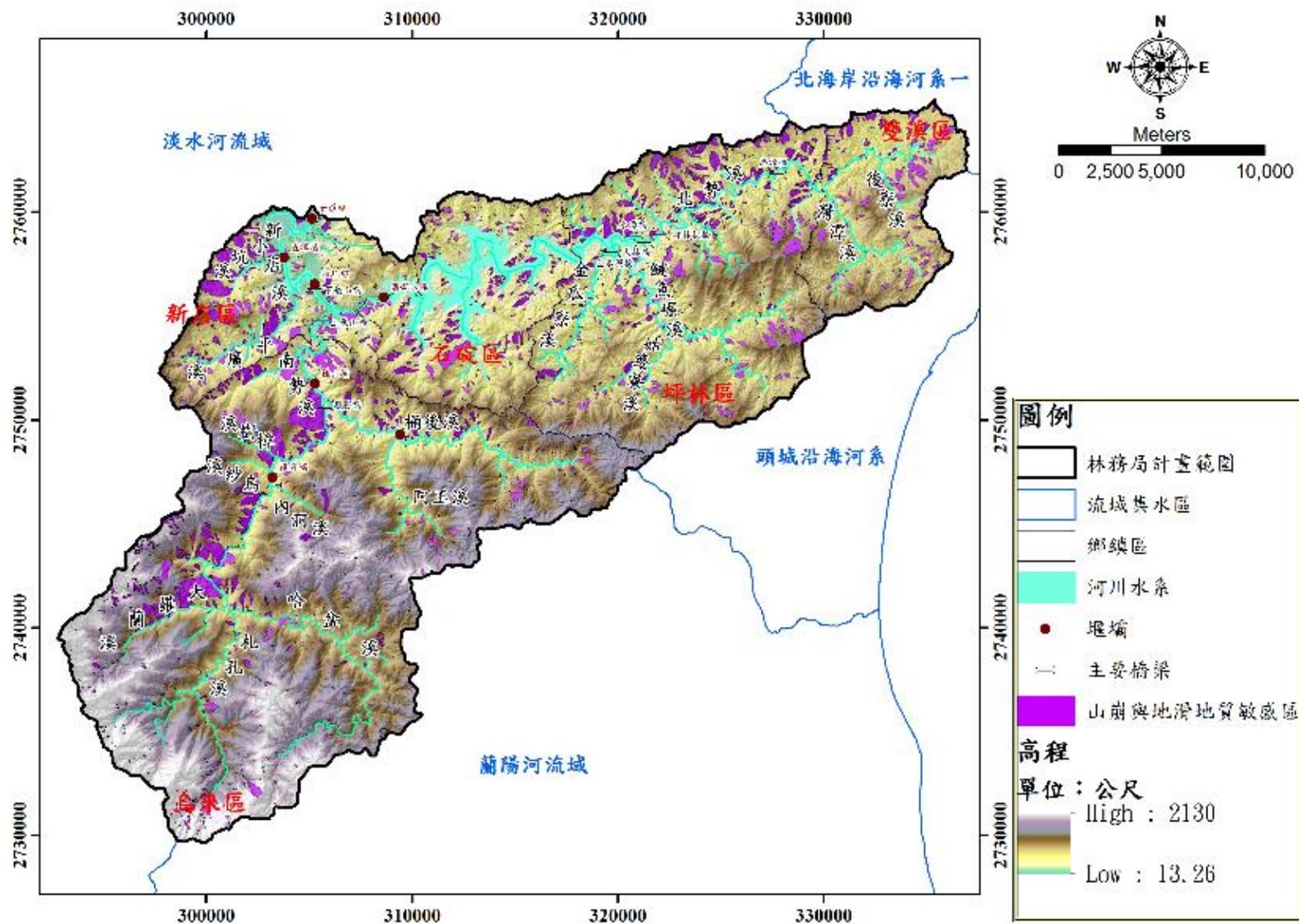


圖2-4 新店溪中上游地質敏感區分布圖



資料來源：中興工程顧問社。

**圖2-5 大桶山層野外照片**



資料來源：中興工程顧問社

**圖2-6 乾溝層野外照片**



資料來源：中興工程顧問社。

**圖2-7 粗窟層野外照片**



資料來源：黎明工程顧問股份有限公司。

**圖2-8 水長流層(巴陵層)野外照片**

表2-3 雨量站列表

站號	站名	管理單位	縣市	地址
C0A540	四堵	CWB	新北市	坪林區碧湖(北宜路旁之碧湖橋道路上行約 10 分鐘)
C0A550	泰平	CWB	新北市	雙溪區泰平里 8 鄰大平路 43 號(泰平國小分校附近)
C0A560	福山	CWB	新北市	烏來區福山里李茂岸八號(福山國小旁)
C0A570	桶後	CWB	新北市	烏來區后桶街 49 號孝義里 5-6k 處路旁
C0A580	屈尺	CWB	新北市	新店區屈尺里 10 鄰屈尺路 55 號(屈尺國民小學國小校園內)
C0A640	石碇	CWB	新北市	石碇區湳窟 34 號附近
C0AG90	中和	CWB	新北市	中和區錦和路 350 號(錦和運動公園)
C0U520	雙連埤	CWB	宜蘭縣	員山鄉雙連埤地區(需徒步 20 分鐘)
C0U600	礁溪	CWB	宜蘭縣	礁溪鄉礁溪路四段 23 號(礁溪國民中學教室後宿舍旁)
C0U620	壯圍	CWB	宜蘭縣	壯圍鄉壯五路 40 號(壯圍國民小學操場旁)
C0U650	玉蘭	CWB	宜蘭縣	大同鄉松羅村鹿場路 11 號(往松羅山頂瞭望亭旁)
C0U780	五結	CWB	宜蘭縣	五結鄉
C1A630	下盆	CWB	新北市	烏來區東勢溪中游(步行一小時)
C1A9N0	四十份	CWB	新北市	新店區北宜路旁(文山事業區第四林班)
C1U580	北關	CWB	宜蘭縣	頭城鎮(北關海防班哨旁)
C1U610	大礁溪	CWB	宜蘭縣	礁溪鄉二結村 1 鄰 9-1 號(國立宜蘭大學實驗林場)
C1U630	再連	CWB	宜蘭縣	員山鄉內城湖旁之山上果園
C1U660	三星	CWB	宜蘭縣	三星鄉月眉街(三星鄉運動公園)
C1D400	烏嘴山	CWB	新竹縣	尖石鄉新樂村復興礦場

CWB：中央氣象局

表2-4 水位流量站列表

管理單位	站號	站名	所在河川	集水面積(km <sup>2</sup> )	測站坐標(TW67)		紀錄年份	統計年數	備註
					X 坐標	Y 坐標			
北水特	1140H096	水源橋	北勢溪集水區	112.65	320732.6	2758897.6	2005-2014	10	
	1140H097	大林橋	逮魚堀溪	89.57	321230.9	2758468.9	2005-2009 2012-2014	8	
	1140H098	金瓜寮溪橋	金瓜寮溪	22.87	319850.2	2758169.3	2005-2014	10	
	1140H099	思源橋	北勢溪集水區	74.32	326812.0	2761969.8	2005-2014	10	
	1140H101	坪林拱橋站	北勢溪集水區	111.63	321992.0	2758847.0	2009-2014	6	僅觀測水位
	1140H102	虎寮潭橋站	北勢溪集水區	92.44	323967.0	2760600.0	2009-2014	6	
	—	福山	南勢溪集水區	162.41	348698.9	2741502.9	2011-2015	4	
	1140H095	覽勝橋	南勢溪集水區	223.88	305702.7	2750609.9	2005-2015	10	
	1140H109	屈尺堰	新店溪	645.65	304471.5	2756687.9	2011-2014	4	僅觀測水位
臺電公司	1140H010	福山	南勢溪集水區	160.40	300559	2741881.0	1936-2015	79	僅觀測水位
第十河川局	1140H089	上龜山橋	新店溪	345.73	304680.2	2754866.2	1983-1995 2000-2014	28	僅觀測水位
	1140H068	屈尺	新店溪	645.65	305702.7	2750609.9	1996-2014	19	



#### (四)土地利用

內政部國土繪測中心資料顯示，本區土地利用依大類而言，最大宗為「森林使用土地」，共 58,648.9 公頃(佔 84.11%)；其次依序為「其他使用土地」共 6,576.7 公頃(佔 9.43%)；「農業使用土地」共 1,788.7 公頃(佔 2.57%)；「水利使用土地」共 1,728.5 公頃(佔 2.48%)；「交通使用土地」共 435.3 公頃(佔 0.62%)；「建築使用土地」共 378.9 公頃(佔 0.54%)；「公共設施使用土地」共 88.2 公頃(佔 0.13%)；「遊憩使用土地」共 87.0 公頃(0.12%)(詳見圖 2-11)。

#### (五)河道斷面

台北水源特定區於每年進行流量站大斷面量測，南勢溪集水區集水區量測地點為覽勝橋及福山；共計 2 站，如圖 2-12 所示。目前蒐集區域內河道之斷面資料僅包含覽勝橋及福山兩處，而根據河川斷面的變遷趨勢，可知南勢溪集水區上游與中游現有觀測點的河床高程呈現穩定的狀態，僅在 104 年蘇迪勒颱風過後出現較為顯著的堆積量，如圖 2-12(1)所示。若需針對南勢溪集水區整體的河道變遷進行分析，由於缺乏南勢溪集水區上游其他河段與匯流點周邊的詳細斷面資料，本計畫量測 7 處南勢溪集水區河道斷面詳見 6-5 節。

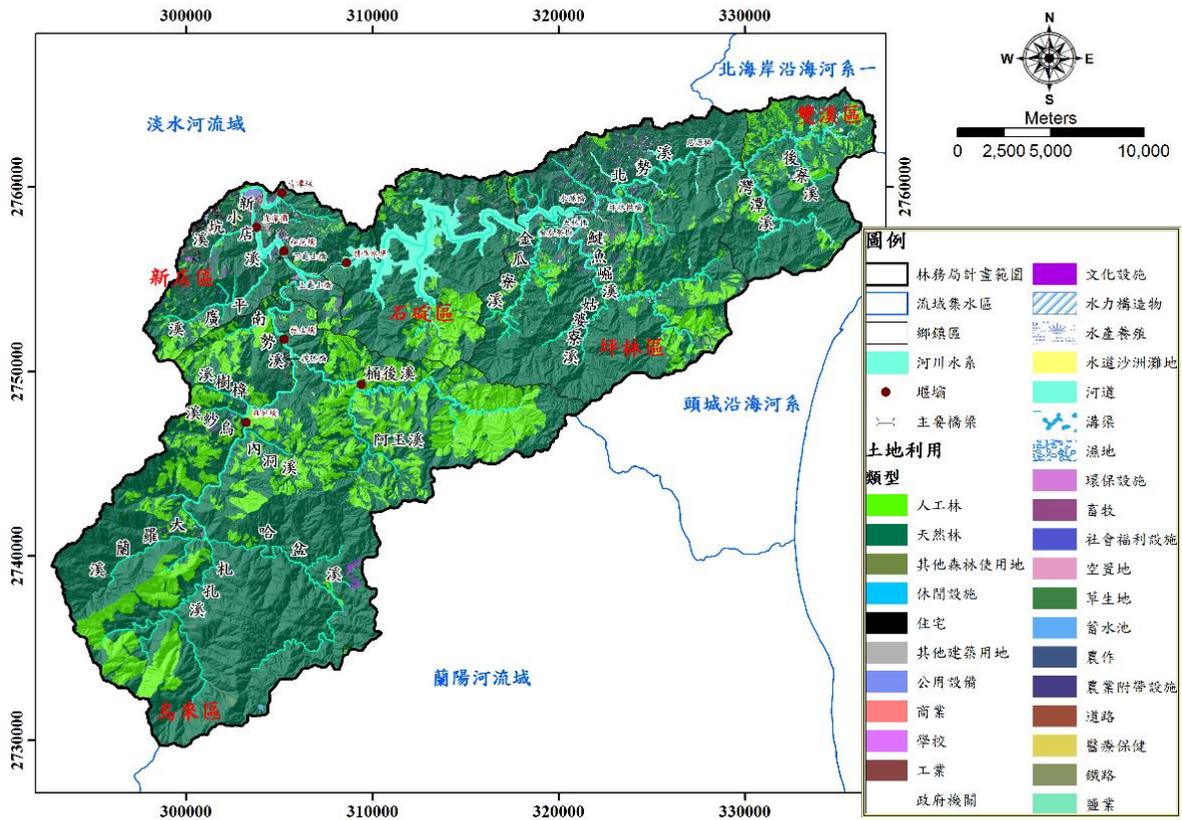
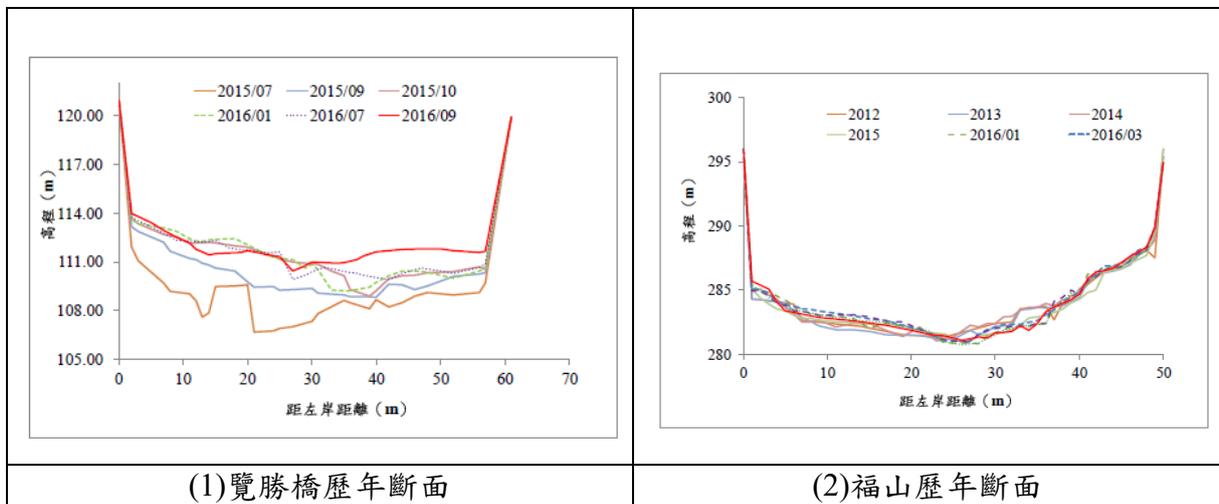


圖2-11 新店溪上游流域土地利用圖



資料來源：經濟部水利署台北水源特定區管理局。

圖2-12 河道斷面示意圖

## (六)集水區遙測資料

本團隊現已蒐集南勢溪集水區集水區內航空照片等共計四期約 104 幅，為執行蘇迪勒風災前後以及 105 年汛期後之崩塌地判釋、崩塌產砂量體計算、數值地形模型製作、以及後續土砂輸送歷程、下游源水濁度來源分析等工作事項，以下茲針對現有航照品質進行說明。

本團隊現已完成蘇迪勒颱風前後期之航空照片蒐集，以進行後續崩塌地判釋等相關工作，圖 2-13 為本計畫工作範圍及其對應之農航所航空照片圖號對照表，根據統計結果，本計畫所需之範圍共計 82 圖幅。

就蘇迪勒颱風災前之資料品質而言，農航所於近年長期進行之航空照片拍攝皆有涵蓋本計畫研究範圍，故資料來源充足。就蘇迪勒颱風災後之資料品質而言，本團隊已蒐集 104 年 8 月 11 至 8 月 14 日間航照共計 89 幅，惟受颱風過後之天氣影響，大部分航照內之雲覆率普遍偏高(大於 10%)，不利於進行集水區內崩塌判釋等相關工作，相關品質檢核統計詳見表 2-5。品質不佳之區域已以衛星影像補足，詳細說明請見 3-1 節。

現已蒐集蘇迪勒前、後期以及 105 年汛期前、後期遙測影像，並已完成崩塌地目錄建置，詳見第參章。

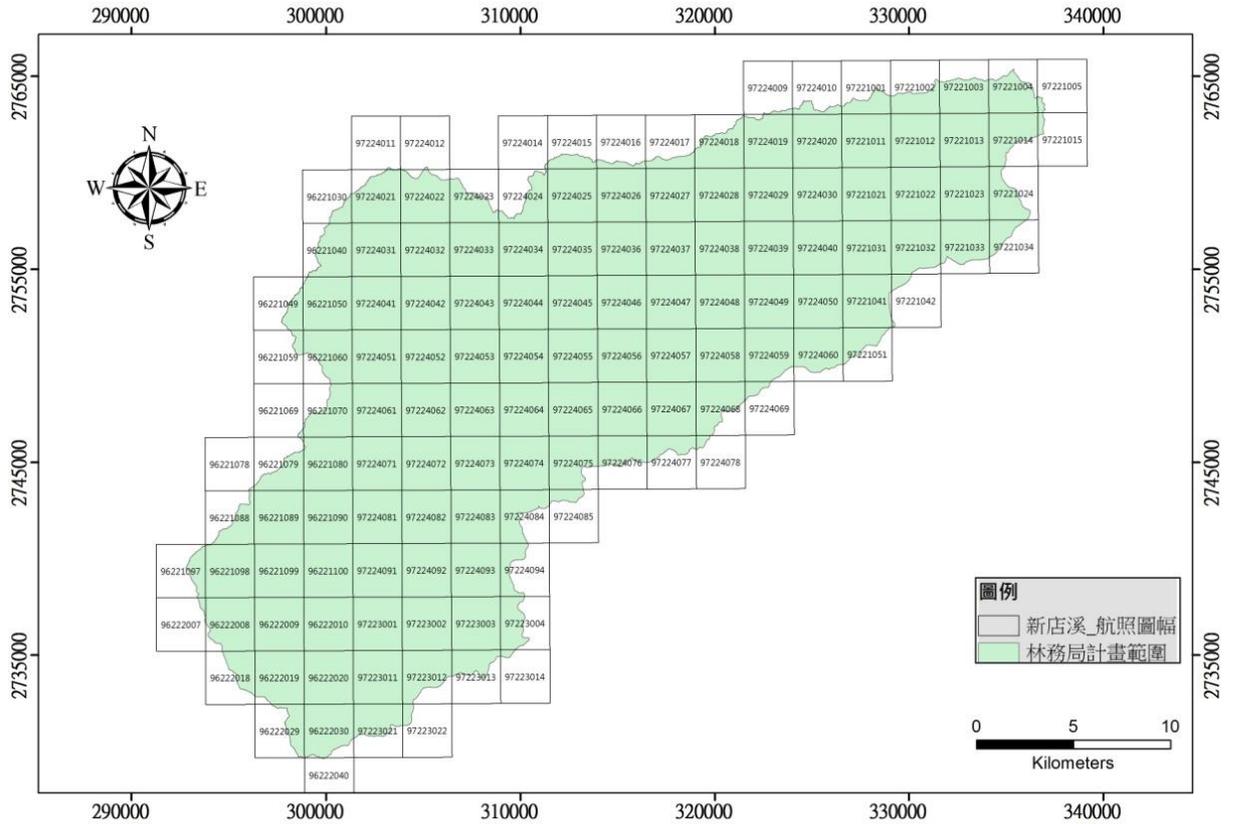


圖2-13 本計畫工作區域對應農航所航空照片編號示意圖

表2-5 本計畫工作團隊現有航照數量檢核表

類別	蘇迪勒 災前 (104年8月)	蘇迪勒 災後 (104年8月11日)	蘇迪勒 災後 (104年8月12日)	蘇迪勒 災後 (104年8月14日)
總需求航照數	82	82	82	82
現已擁有航照數	15	6	38	45
工作區域覆蓋率	18%	7%	46%	55%
高雲覆(>10%) 航照數	0	5	36	36
扣除高雲覆航照 之覆蓋率	18%	1%	2%	11%
預計添購數量	67	81	80	73

## 第參章 蘇迪勒颱風後崩塌地目錄之建置

本章茲就(1) 遙測影像與崩塌地目錄蒐集、(2)崩塌地判釋方法與檢核流程、(3)崩塌地目錄建置成果與(4)蘇迪勒颱風新增崩塌地特性探討、(5)歷史崩塌地特性探討等項說明其原則、方法、架構與成果，以利釐清崩塌與南勢溪集水區濁度關連性分析參考。

### 3-1 遙測影像與崩塌地目錄蒐集

依據契約規定須蒐集蘇迪勒颱風前後航空照片、衛星影像等遙測影像，判釋其崩塌地分布及編號，建立蘇迪勒颱風後新店溪上游流域崩塌地目錄，並利用相關遙測影像瞭解該區域過去歷年之新增崩塌地變遷與颱風雨量之相關性及該區植生復育情形。

#### (一)蘇迪勒颱風遙測影像蒐集

因「福爾摩沙衛星二號」(簡稱福衛二號)2004年5月發射至今，已超齡使用12年，近期影像常有正射影像偏移或影像品質不佳問題，終在2016年8月19日除役，在接替福衛二號的福爾摩沙衛星五號未發射前，本計畫以法國 SPOT6 或 SPOT7 (地面解像力為 1.5m\*1.5m)為採購優先選擇。

計畫執行期間，本計畫已完成蘇迪勒颱風前後及 105 年度汛期前 (105 年 2~3 月)研究區全區 SPOT 衛星影像購置，正射影像之地面解析度 1.5m/pixel，雲層覆蓋度約 10~25%不等，其採購影像目的係彌補航空照片雲遮或陰影無法順利判釋崩塌地之用。衛星影像蒐集清單與影像彙整如表 3-1 所示。

#### (二)正射航照蒐集

蘇迪勒颱風崩塌地於研究區大多在南勢溪集水區範圍，故崩塌地目錄建置以農林航空測量所 (簡稱農航所)提供南勢溪集水區之災前災後正射航照為主，前述 SPOT 衛星影像為輔，

而北勢溪集水區幾乎無新增崩塌地，故採用前述 SPOT 衛星影像為崩塌地判釋基礎圖資，以 Google Earth 影像彌補雲遮及陰影區域，以完成蘇迪勒颱風前後期崩塌地目錄。此外，農航所於計畫執行期間另提供 105 年 6 月 (視為 105 年度汛期前)與 105 年 11~12 月 (視為 105 年度汛期後) 正射航照，茲作為南勢溪 100 處重點崩塌地 (係指蘇迪勒颱風後崩塌面積大於等於 0.3 公頃者)變遷歷程探討，上述正射航照蒐集清單與影像彙整如表 3-2 所示。

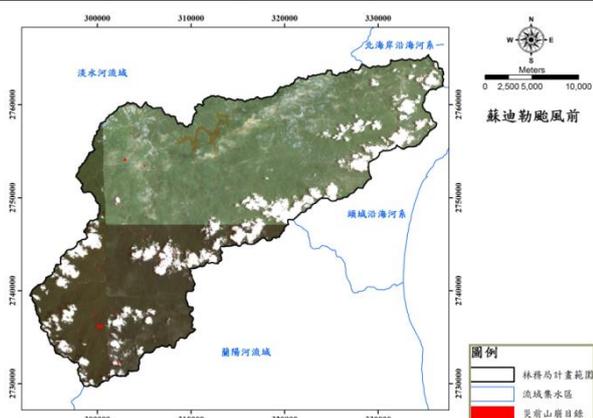
### (三)研究區歷年崩塌地目錄蒐集

基於上述，除以正射航照及衛星影像建立蘇迪勒颱風前後期與 105 年汛期前後期崩塌地目錄外，也蒐集研究區歷年崩塌地目錄，透過多時序崩塌地目錄進行新增崩塌地歷年變遷與特性分析。

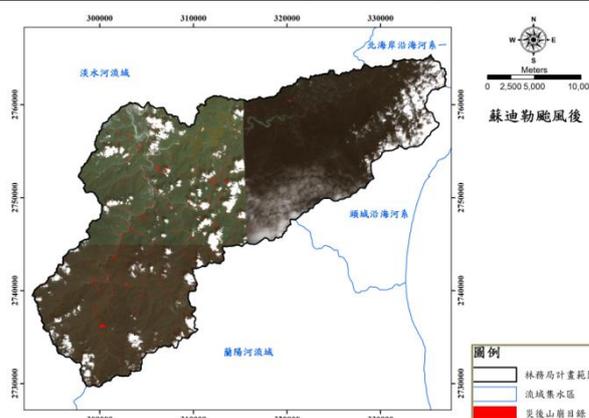
計畫執行期間，已完整回顧林務局(2015)「國有林土砂殘留量及二次災害潛勢影響評估計畫」、水利署水利規劃試驗所(簡稱水規所)(2012~2013)「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫 (1/2~2/2)」及經濟部中央地質調查所(簡稱地調所)(2007~2010)「都會區周緣坡地山崩潛勢評估 (1/4~4/4)計畫」等研究區相關計畫，已完成林務局 2004~2014 年各年度崩塌地及 2004~2012 年間颱風事件崩塌地目錄蒐集，並完成資料結構統整、坐標統一及詮釋資料編列，除可進行歷年年度崩塌地變遷及颱風事件崩塌地特性分析外，也能納入 GIS 資料庫建置應用。表 3-3 彙整歷年衛星影像、崩塌地目錄清單；圖 3-1 為 2004~2014 年年度崩塌地分布圖；圖 3-2 為 2004 年迄今重要颱風事件新增崩塌地分布圖。

表3-1 蘇迪勒颱風與105年汛期前衛星影像蒐集列表

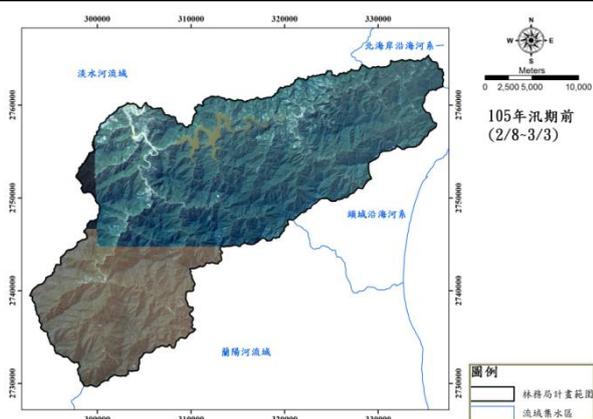
事件前後	影像種類	地面解像力	影像編號: (年月日_時分秒)	擷取影像範圍	資料來源	面積 (km <sup>2</sup> )
蘇迪勒 颱風前	SPOT7	1.5m× 1.5m	20150215_020704	右下側沒雲遮區域	國立中央大學 太空及遙測研究 中心	750以上
	SPOT6		20150726_021600	左側沒雲遮區域		
	SPOT7		20150214_021332	其它區域採此幅補足		
蘇迪勒 颱風後	SPOT6	1.5m× 1.5m	20160213_021412	南勢溪集水區		750以上
			20160208_020342	北勢溪集水區		750以上
105年汛 期前	SPOT6	1.5m× 1.5m	SPOT20160208a	北勢溪集水區		750以上
			SPOT20160208b			
			SPOT20160303a	南勢溪集水區		
105年汛 期中 (莫蘭蒂 颱風前)	SPOT6	1.5m× 1.5m	SPOT20160720a	北勢溪集水區	750以上	
			SPOT20160826b	南勢溪集水區		



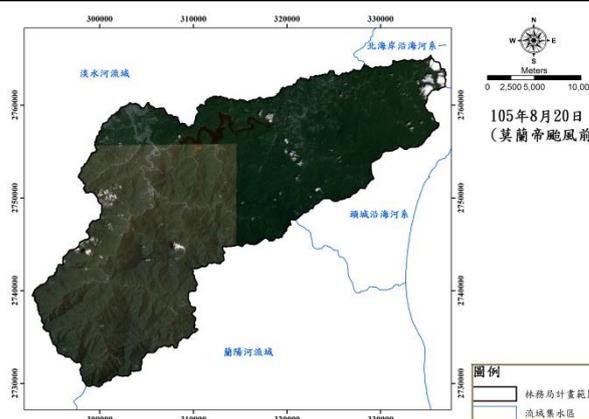
(a) 蘇迪勒颱風災前衛星影像



(b) 蘇迪勒颱風災後衛星影像



(c) 105年度汛期前衛星影像

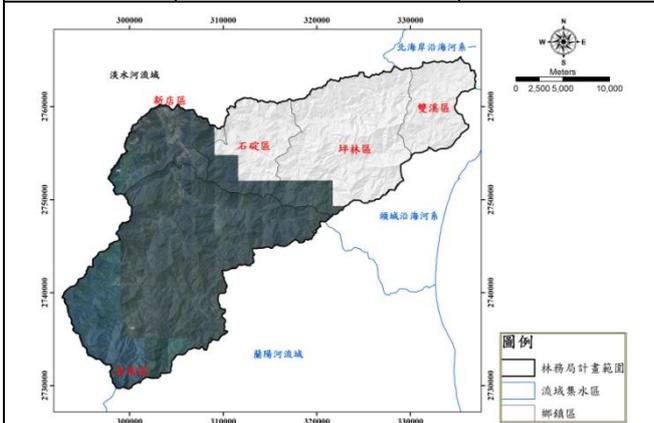


(d) 105年度汛期中-莫蘭蒂颱風前衛星影像

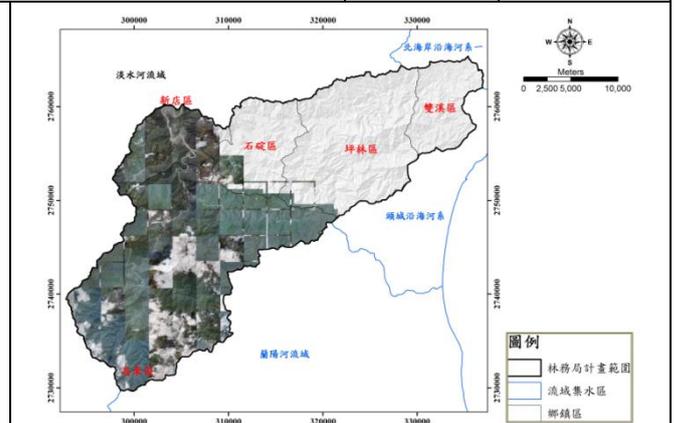
資料來源：本計畫彙整成果。

表3-2 正射航空照片蒐集列表

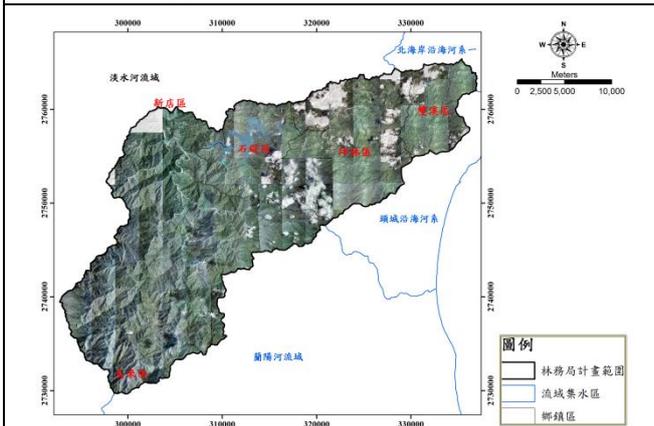
事件前後	地面解像力	影像時間(年月日) (1/5,000 張數)	資料來源	涵蓋範圍
災前	0.25m×0.25m	20100113~20140324 (103 張)	農航所	南勢溪集水區
災後	0.25m×0.25m至1.0m×1.0m	20150810~20151027 (203 張) 註:僅 7 張為 1.0m×1.0 m 解像力, 透過 QGIS layer plugin 程式下載 Google earth 影像之 1.0m×1.0m 影像)		
105 年汛期前	0.25m×0.25m	20160601~20160604 (96 張)		南勢溪集水區
		20160620~20160718 (155 張)		北勢溪集水區
105 年汛期後	0.25m×0.25m	20161113 (5 張) 20161204 及 20161213 (75 張)	南勢溪集水區	
		20161113 (88 張)	北勢溪集水區	



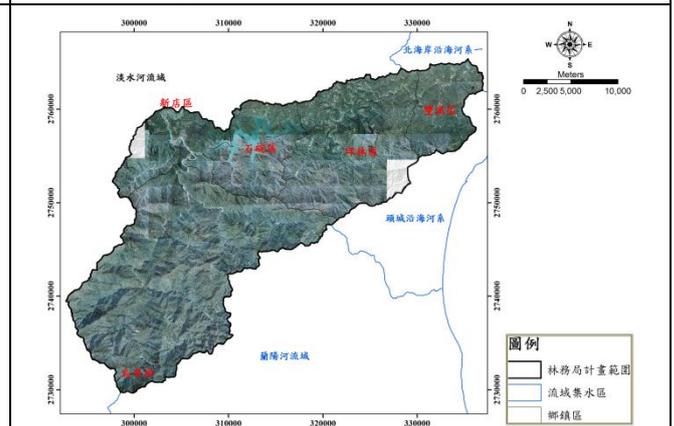
(a) 蘇迪勒颱風災前航照



(b) 蘇迪勒颱風災後航照



(c) 105年度汛期前航照



(d) 105年度汛期後航照

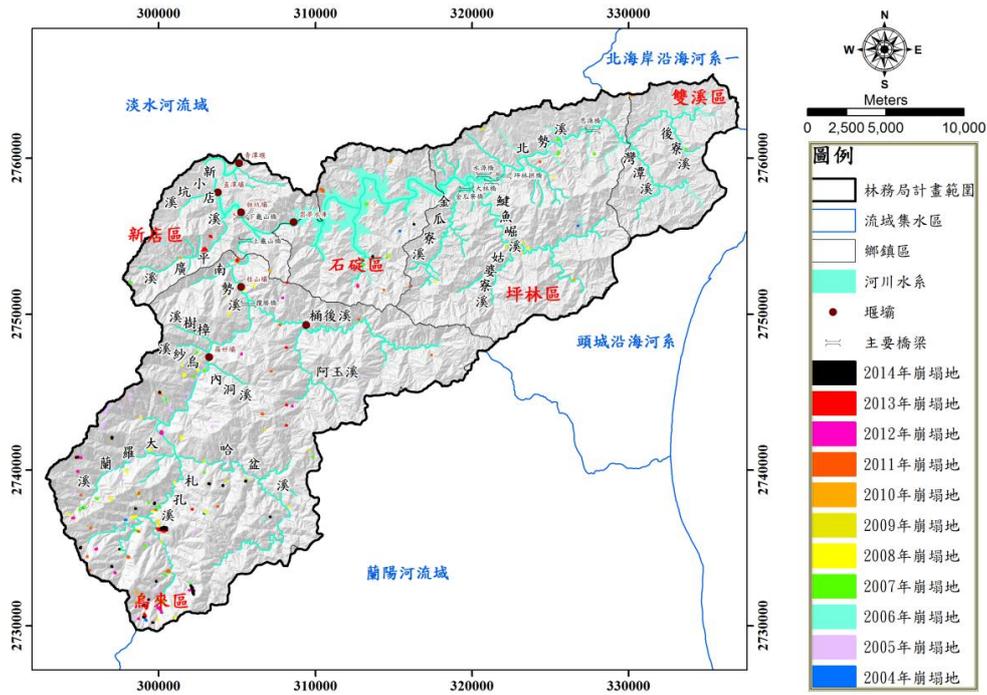
註：農航所提供南勢溪集水區範圍正射航照缺漏 7 個五分之一圖幅，分別為 96221030、96221030、96221050、97224069、97224068、97224078、97224077 共七幅，本計畫下載 Google Earth 影像定位後彌補缺漏區域影像，影像時間介於 2015 年 11 月至 2016 年 3 月之間。

資料來源：本計畫彙整成果。

表3-3 歷年衛星影像與崩塌地目錄蒐集列表

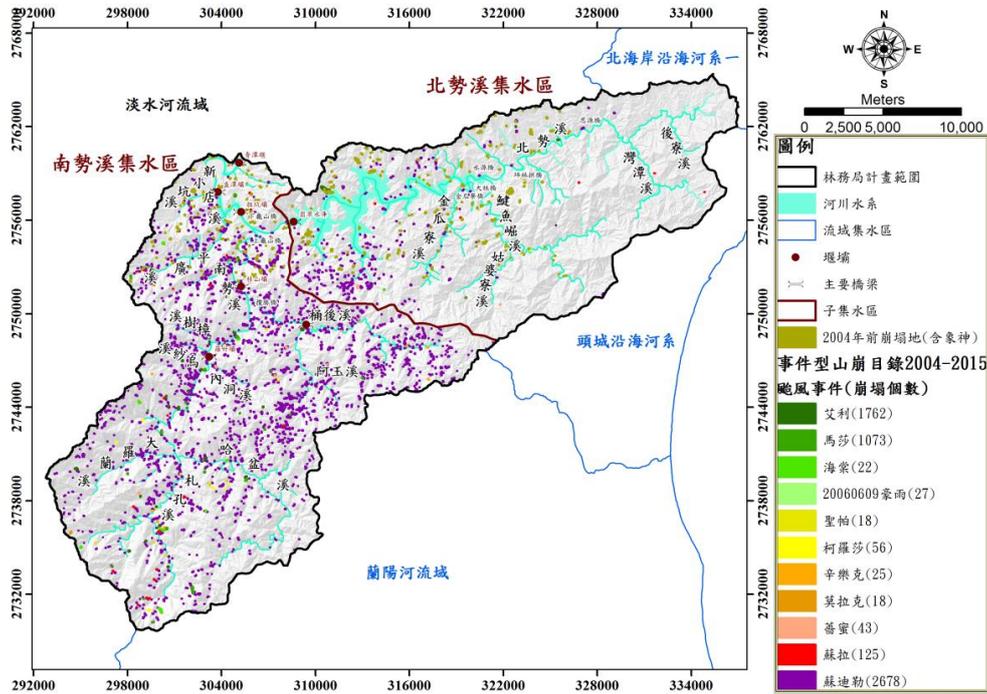
名稱	GIS 資料	檔案格式	地面解像力 或比例尺	資料來源	產製時間
衛星影像	年度衛星影像 (福衛二號FS與SPOT衛星影像)	IMG	■福衛二號: 2004年8m 2004年後2m ■SPOT: 1999,2000年10m (SPOT4) 2001~2003年 2.5m(SPOT5)	財團法人中興工程顧問社(簡稱中興社)	1999~2012年
	颱風事件衛星影像	IMG	福衛二號:2m	水規所	2004~2012年
崩塌地	年度崩塌地	SHP	大於1/25,000	林務局	2004~2014年
	颱風事件崩塌地 (艾利、海棠、馬莎、20060906 豪雨、聖帕、柯羅莎、辛樂克、 薔蜜、莫拉克、蘇拉颱風)	SHP	大於1/25,000	水規所	2004~2012年

資料來源：本計畫製作。



資料來源：本計畫繪製。

圖3-1 2004~2014 年年度崩塌地目錄分布圖



資料來源：本計畫繪製。

圖3-2 2004~2015 年(含蘇迪勒颱風)重要颱風事件新增崩塌地目錄分布圖

### 3-2 崩塌地判釋方法與檢核流程

本計畫崩塌地目錄建置以正射航照為主，衛星影像為輔，因受雲遮及陰影影響，福山上游、南勢溪沿岸等區域受遮蔽無法判釋，本計畫為解決多光譜影像受自然因素遮蔽問題，另採購研究區 SPOT 影像彌補雲遮及陰影區域，依據下述崩塌地判釋方法與檢核流程，數化建置蘇迪勒颱風前後期與 105 年汛期前研究區崩塌地目錄。

遙測判釋準則參考劉進金等人 (2001)所提航照與 SPOT 假色影像 (以紅外線波段視為紅綠藍顏色組合之紅色波段，即 R band) 之增揚處理方法，以及「五項研判準則」，主要藉由崩塌及其所處環境之物理特性進行研判。崩塌地判釋的五項研判準則 (表 3-4)，而遙測判釋作業參考經濟部中央地質調查所 (簡稱地調所) (2010) 建議方法為之，遙測判釋崩塌地作業流程如圖 3-3 所示。

數化完成之崩塌地目錄初稿，須透過室內正射航照 3~5 次複核、修正後，方可確認其數化正確性。崩塌地目錄品管流程參考地調所 (2010)建議採三級品管，品管順序如前述圖 3-3 所示。茲說明品管重點與簡述修訂進程如下：

#### (一)初步品管

利用正射航照與衛星影像照片再度確認是否所有影像變異區域是否都被圈繪，以避免雲霧遮蔽及地形陰影而遺漏可能存在之崩塌地。

#### (二)二次品管

經過初步品管認可後，進行二次品管。品管重點在於刪除誤判之區域 (如竹林、茶園、墓地、電塔、人工構造或菜園等非崩塌地區)，搭配正射航照進行再次檢核，以利濾除誤判之區域，即可獲得完整之崩塌地目錄。剔除誤判區域原則參考地調所 (2010)建議，應先確認人為整地、農田、房舍、河道堆積、電塔及雲之誤判區域是否剔除，以確保崩塌地目錄之品質，附

錄一為正射航照和衛星影像對比，清楚表示進行二次品管剔除誤判區域之意義。

### (三)圖資套疊品管

此一階段採用內政部地政司 2004~2006 年度「高精度高解析數值高程模型建置計畫」中 5 公尺數值高程模型 (DTM)產製之地形陰影圖 (Shading map)、坡度圖進行地形合理性校驗，輔以相關 GIS 圖層 (土地利用圖、路網圖、水系線分布圖、等高線等)進行崩塌堆積區、道路與河道等非屬崩塌發生區之剔除工作，以減少崩塌變遷分析誤判。

### (四)崩塌地目錄基本與附屬屬性建置

除完成崩塌地目錄建置外，本計畫彙整相關 GIS 圖資 (含名稱、資料類型、比例尺、資料來源、產製時間等內容，如表 3-5 )，參考地調所 (2010)建議，規劃崩塌地目錄基本屬性表 (表 3-6 )與附屬屬性表 (表 3-7 )，以利持續維護與擴充崩塌地目錄，達成崩塌地變遷歷程探討參考。

屬性表分為基本屬性表與附屬屬性表，基本屬性為崩塌地本身產製來源資訊，附屬屬性則以連結相關 GIS 圖資獲致的屬性，故兩屬性表除可有效記錄崩塌地分布外，也能達成崩塌地滾動式管理目標。

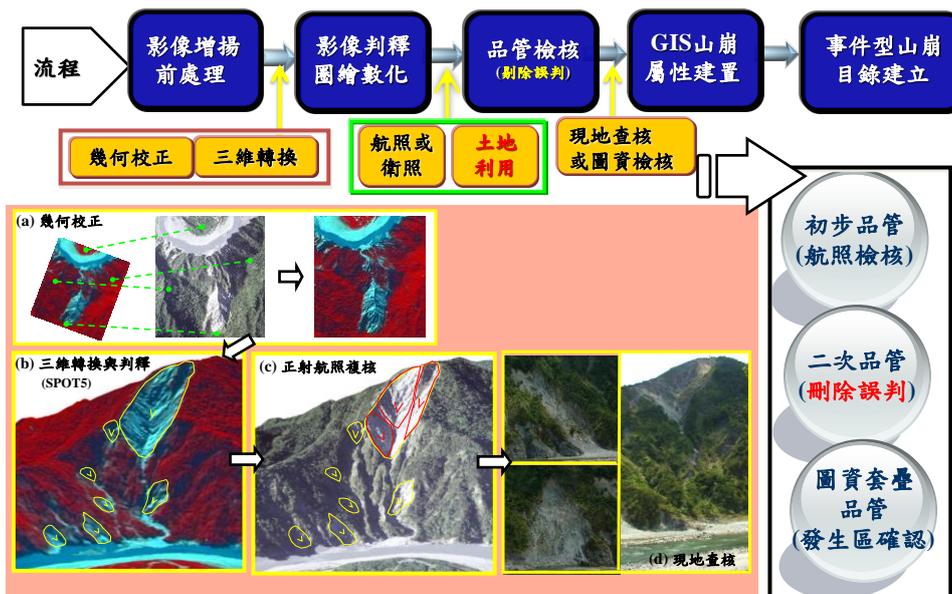
實際執行方面，利用 GIS 軟體空間分析功能，以 SQL 語法指定崩塌地 polygon 落於連結圖層，並以空間連結欲知屬性回崩塌地目錄中，依此方法逐一填入指定及必要之崩塌地屬性資訊。招標文件規定屬性至少包含國有林崩塌地之編號、行政區域 (縣市鄉鎮)、事業區林班別、坐標 (二度分帶 97 坐標)、崩塌面積、新增或既有崩塌地、道路可及性 (鄰路 100 公尺範圍)、是否近岸崩塌 (鄰河 100 公尺範圍)、地質、高程、坡度、環境地質、山崩潛感等級等相關因子屬性。

表3-4 崩塌地判釋五項研判準則

準則名稱與內涵	作業說明
色調準則(淡藍色、藍綠色、淡褐色、綠褐色)	崩塌地地區通常裸露或植生較稀疏，利用這個光譜特性作影像增揚處理，將崩塌地體與周圍環境的對比拉大。
區位準則 (靠近山脊、河谷衝擊坡、與道路等地方)	自然條件最易發生崩塌地之區位，其他區位的疑似崩塌地要審慎觀查與判斷。此準則量化分析時可使用山脊、河谷、與道路之特定距離的環域緩衝帶(buffer zone) 代替。
形狀準則 (一般長條型或湯匙型或匯集為樹枝狀，河谷旁可能成三角型或矩型)	對於類似「人工田野」(crop fields)規則狀的疑似崩塌地要審慎觀查與判斷。此準則量化分析時可使用崩塌地的圓度(即崩塌地的面積與周長的比值) 代替。
方向準則 (長軸方向與重力方向或邊坡水流方向一致)	此準則用於篩除不合理的形狀，量化分析時可使用崩塌地的滑落方向與邊坡方向之夾角代替。
陰影準則 (輔助 2D 影像之 3D 的視覺，可分辨河谷與山脊)	對於「跨山脊」或「跨河谷」的疑似崩塌地要審慎觀查與判斷。此準則用於篩除不合理的分布，量化分析時可使用崩塌地與山脊線及水系網路的交集代替。

資料來源：參考劉進金等人(2001)。

崩塌地判釋流程示意圖



資料來源：修改自地調所(2010)，都會區周緣坡地山崩潛勢評估(4/4)。

圖3-3 遙測判釋崩塌地作業流程圖

表3-5 相關GIS資料蒐集列表

名稱	GIS 資料	格式	比例尺	資料來源	產製時間
地文	地形圖	JPG	1/25,000	內政部國土測繪中心	2004年
		JPG	1/5,000	內政部國土測繪中心	2004年
	5M×5M數值地形	IMG	-	內政部地政司	2004年
		IMG	-	新北市政府	2010年
	像片基本圖	JPG	1/5,000	農林航測所	2000年~2016年間
	坡度圖	IMG	-	本團隊自行產製	2016年
	坡向圖	IMG	-	本團隊自行產製	2016年
斜坡單元	SHP	1/25,000	地調所	2010年	
水文	水系圖	SHP	1/25,000	水利署	2010年
	流域、子集水區	SHP	1/25,000	水利署	2014年
	土石流潛勢溪流(1,705條)	SHP	1/25,000	農委會水土保持局(簡稱水保局)	2017年
	雨量站	SHP	-	氣象局	2015年
	流量站	SHP	-	水利署	2015年
	水文站	SHP	-	水利署	2015年
	輸砂站	SHP	-	水利署	2015年
	時雨量資料	TXT	-	氣象局	2000~2016年
時流量、時輸砂量、時水位	TXT		水利署	2000~2016年	
人文	行政區域(縣市、鄉鎮、村里)	SHP	1/25,000	內政部	2012年
	建築物與門牌	SHP	1/5,000	內政部地政司	2012年
	土地使用分區圖	SHP	1/5,000	內政部國土測繪中心	2011年
	路網圖(含橋梁、隧道等)	SHP	1/5,000	交通部運研所	2014年
	農路圖	SHP	1/5,000	水保局	2012年
	林道	SHP	1/5,000	林務局	2014年
	林管處	SHP	1/5,000		2012年
	事業區	SHP	1/5,000		2012年

資料來源：本計畫整理。

表 3-5 相關 GIS 資料蒐集列表(續)

名稱	GIS 資料	格式	比例尺	資料來源	產製時間
地質 與 土壤	流域地質圖	SHP	1/50,000	地調所	2014年
	岩性組合圖	SHP	1/25,000		2014年
	斷層	SHP	1/50,000		2014年
	褶皺	SHP	1/50,000		2014年
	活動斷層	SHP	1/50,000		2010年
	山崩地滑敏感區	SHP	1/25,000		2015年
	地質鑽探	SHP	-		-
	岩體強度分級圖	SHP	1/25,000		2011年
	環境地質圖(包含岩屑崩滑、 岩體滑動、落石、順向坡等)	SHP	1/25,000		新北市政府工務局
			1/5,000	2012年	
坡地土壤圖	SHP	1/25,000	水保局	1997年	
土地 利用	土地利用圖	SHP	1/5,000	內政部國土測繪中心	2011年
	地籍圖	SHP	至少 1/5,000	農委會	2010年
	山坡地範圍	SHP	1/50,000	水保局	-
	林班地範圍	SHP	1/50,000	林務局	-
	原住民保留地	SHP	1/50,000	原住民族委員會	-
歷年 災害 及因 應治 理情 形	2004~2014年年度崩塌地	SHP	-	林務局	2004~2014年
	2004~2012年颱風事件崩塌地	SHP	-	水規所	2004~2012年
	崩塌潛勢圖(包含岩屑崩滑、 岩體滑動、落石、順向坡等)	SHP	1/25,000	地調所	2014年
	2003~2015年間治理工程	SHP	-	林務局	2003~2015 年 間

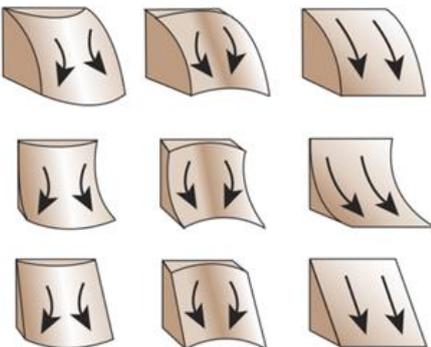
資料來源：本計畫整理。

表3-6 崩塌地目錄基本資料表

屬性中文	屬性編碼	資料型態	備註(括號中數字為字串長度字元)
崩塌地編號	LS_ID	Char(19)	所屬林班地編號(5)+1/5,000 比例尺圖框編號(9)+流水號(5) 例如： 林管處編號_事業區編號_5K 圖幅編號_+四碼流水號 (山坡地崩塌編碼為 00_00_5K 圖幅編號_+四碼流水號) 舉例： 02_02_96222030_0001 新竹林管處烏來事業區明池(一)圖幅內編號 0001 號崩塌
事件名稱	LS_Event	Char(20)	颱風或地震事件名稱(如：蘇迪勒颱風後)
縣市界	Country	Char(6)	例如：新北市
鄉鎮界	Town	Char(10)	例如：新店區
村里界	Vill	Char(10)	例如：忠治里
崩塌地所屬圖號	LS_5K	Char(10)	1/5,000 圖號
崩塌地所屬圖名	LS_5Kname	Char(10)	1/5,000 圖名
所屬子集水區名稱	LS_Subwat	Char(20)	例如：桶後溪、札孔溪等。
所屬集水區名稱	LS_Cat	Char(20)	崩塌地隸屬子集水區名稱，例如：南勢溪集水區
所屬流域名稱	LS_Wat	Char(20)	崩塌地隸屬流域名稱，例如：新店溪流域
事業區林班別	LS_Forest	Char(20)	崩塌地隸屬林業事業區名稱、林班別等
崩塌地中心 X 坐標	LS_X	Float	二度分帶 97 坐標 TM2_X(TWD97)
崩塌地中心 Y 坐標	LS_Y	Float	二度分帶 97 坐標 TM2_Y(TWD97)
崩塌地所屬影像類型	Image	Char(6)	SPOT/FS2/航照或其他
崩塌地所屬影像日期	Image_Date	Char(8)	YYYYMMDD
崩塌地所屬影像解析度	Image_RS	Char(6)	1.5/2/2.5/5/6.25/10 公尺或其他
判釋日期	LS_INT	Char(8)	YYYYMMDD

資料來源：本計畫整理。

表3-7 崩塌地目錄附屬資料表

屬性中文	屬性編碼	資料型態	備註(括號中數字為字串長度字元)
崩塌地編號	LS_Area	Char(19)	所屬林班地編號(5)+1/5,000 比例尺圖框編號(9)+流水號(5)
崩塌地面積	LS_P	Float	單位：平方公尺或公頃
崩塌地周長	LS_Slp	Float	單位：公尺
崩塌地平均坡度	LS_Asp	Float	擷取自數值地形，例如：10 度
崩塌地主要坡向	LS_Ele	Char(5)	E 東、SE 東南、S 南、SW 西南、W 西、NW 西北、N 北、NE 東北
崩塌地平均高程	LS_Geo	Float	擷取自數值地形，例如：500m
崩塌地所屬地層	LS_GeoD	Char(16)	擷取自地調所 1/50,000 地質圖或其他比例尺地質圖資訊，例如：廬山層清水湖段
崩塌地所屬地層說明	LS_Veg	Char(100)	例：板岩或千枚岩，偶夾薄層變質砂岩
崩塌地區域土地利用	LS_LU	Char(50)	連接至國土利用調查成果，例如：天然竹林
是否為鄰路崩塌	LS_Road	Char(1)	A 鄰路、B 未鄰路 →以道路 100 公尺環域範圍交集者定義為鄰路，反之未交集者為未鄰路。以 A 或 B 註記。
是否為近岸崩塌	LS_Near	Char(1)	A 近岸、B 離岸 →以河道 100 公尺環域範圍交集者定義為近岸崩塌，反之未交集者為離岸。以 A 或 B 註記。
環境地質災害種類	LS_Envi	Char(1)	參考地調所流域型環境地質圖成果，定義崩塌屬於 A 岩屑崩滑、B 岩體滑動、C 落石、D 順向坡。以 A,B,C,D 註記。
山崩潛感分級	LS_SUS	Char(1)	參考地調所流域型各類型山崩潛勢評估成果，定義崩塌屬於 A 高潛勢、B 中潛勢、C 低潛勢。以 A,B,C 註記。
崩塌坡型	LS_Slp_F	Char(50)	詳九種坡型定義如下圖： <a href="http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm">http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm</a> 

岩體結構	岩體結構	Char(254)	<p>參考地調所岩體強度分級圖定義。 岩體強度分級圖(修改自Franklin, 1975) Rock mass strength-size classification (modify after Franklin, 1975)</p> <p>Rock mass structure type</p> <p>岩體不連續面間距</p> <p>岩體結構類型</p> <p>整體結構 (a) (solid) 塊狀結構 (b) (massive) 塊狀裂隙 (c) (thick fractured &amp; thick layered) 層狀結構 (d) (thin layered laminated foliated) 薄層結構 (e) (thin layered laminated foliated) 碎裂結構 (f) (crushed &amp; shattered)</p> <p>岩石單壓強度 Uniaxial compressive strength (kg/cm<sup>2</sup>)</p>
單壓強度	單壓強度	Char(254)	
強度分級	強度分級	Char(254)	
山崩地滑地質敏感區	地質敏感區	Char(1)	Y 表示有交集
地籍地號	Land_all_c	Char(15)	地籍號，例如:080900500000-50

註：林務局定義的林管處與事業區編號如下表：

林管處名稱	事業區	林管處編號	事業區編號	林管處名稱	事業區	林管處編號	事業區編號
羅東林區管理處	文山	1	1	嘉義林區管理處	阿里山	5	14
羅東林區管理處	大溪	1	3	嘉義林區管理處	玉山	5	15
羅東林區管理處	和平	1	33	嘉義林區管理處	大埔	5	16
羅東林區管理處	南澳	1	34	嘉義林區管理處	玉井	5	17
羅東林區管理處	太平山	1	35	屏東林區管理處	旗山	6	18
羅東林區管理處	羅東	1	36	屏東林區管理處	荖濃溪	6	19
羅東林區管理處	宜蘭	1	37	屏東林區管理處	屏東	6	20
新竹林區管理處	烏來	2	2	屏東林區管理處	潮州	6	21
新竹林區管理處	大溪	2	3	屏東林區管理處	恒春	6	22
新竹林區管理處	竹東	2	4	台東林區管理處	大武	7	23
新竹林區管理處	南庄	2	5	台東林區管理處	台東	7	24
新竹林區管理處	大湖	2	6	台東林區管理處	延平	7	25
新竹林區管理處	大安溪	2	7	台東林區管理處	關山	7	26
東勢林區管理處	大安溪	3	7	台東林區管理處	成功	7	27
東勢林區管理處	八仙山	3	8	花蓮林區管理處	玉里	8	28
東勢林區管理處	大甲溪	3	9	花蓮林區管理處	秀姑巒	8	29
南投林區管理處	濁水溪	4	10	花蓮林區管理處	林田山	8	30
南投林區管理處	埔里	4	11	花蓮林區管理處	木瓜山	8	31
南投林區管理處	丹大	4	12	花蓮林區管理處	立霧溪	8	32
南投林區管理處	巒大	4	13				
南投林區管理處	阿里山	4	14				

資料來源：本計畫整理。

### 3-3 崩塌地目錄建置成果

依據前述崩塌地判釋方法與品管檢核流程（新竹林管處提供意見如附錄二），已建立蘇迪勒颱風前後期及 105 年度汛期前後崩塌地目錄，合計有四期崩塌地目錄。本章僅討論契約規定蘇迪勒颱風崩塌地目錄成果，105 汛期前後兩期崩塌地目錄作為 100 處重點崩塌地變遷情勢探討之用（第肆章 4-1 節）。至於前述蒐集之 2004~2012 年歷史颱風事件崩塌地目錄成果，本計畫也額外加值完成歷史颱風事件崩塌特性分析與探討，彙整如附錄三。

蘇迪勒颱風前後期崩塌地目錄空間分布與面積統計結果如圖 3-4 至圖 3-5，105 年汛期前後崩塌地目錄空間分布與面積統計結果如圖 3-4 至圖 3-7 所示。各期崩塌地統計結果彙整如下：

#### (一) 蘇迪勒颱風前崩塌地分布（圖3-4）

1. 國有林範圍以札孔溪子集水區為最多，崩塌面積達20.30公頃；其次為北勢溪子集水區，崩塌面積達4.30公頃；第三名為平廣溪子集水區，崩塌面積達4.42公頃。
2. 非國有林範圍以新店溪子集水區為最多，崩塌面積達1.54公頃；其次為北勢溪子集水區，崩塌面積為1.52公頃；第三名為南勢溪主流子集水區，崩塌面積達0.88公頃。
3. 綜合上述，蘇迪勒颱風前期崩塌地以國有林範圍內崩塌多，約為非國有林範圍之7.6倍，除札孔溪原有60林班東札孔崩塌面積大於10公頃外，其餘崩塌地皆小於4公頃。

#### (二) 蘇迪勒颱風後崩塌地分布（圖3-5）

1. 國有林範圍以桶後溪子集水區為最多，崩塌面積達35.84公頃；其次為北勢溪子集水區，崩塌面積達32.32公頃；第三名為阿玉溪子集水區，崩塌面積達23.67公頃。
2. 非國有林範圍北勢溪子集水區與南勢溪子集水區崩塌面積略同，崩塌面積分別為16.80公頃及16.33公頃；第三名為新

店溪子集水區，崩塌面積達5.95公頃。

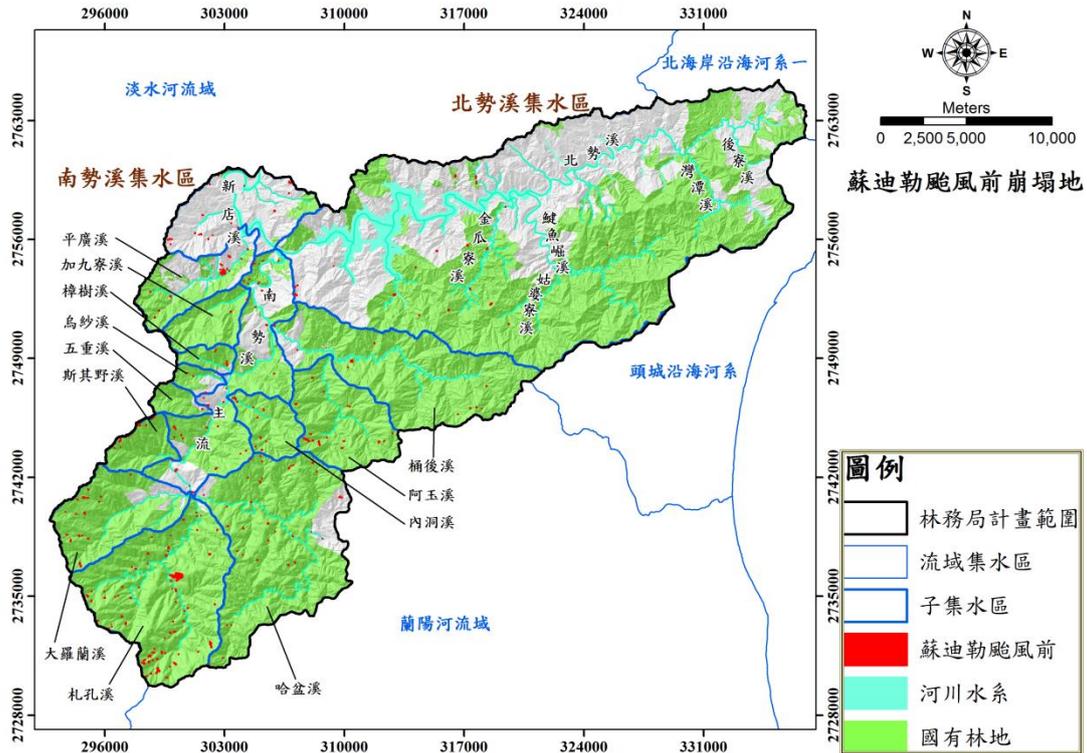
3. 綜合上述，國有林範圍蘇迪勒颱風後相較於颱風前，增加最多排序前三名依序為桶後溪、阿玉溪與札孔溪子集水區，其中桶後溪於蘇迪勒颱風後新增崩塌面積達34.46公頃，新增崩塌率(新增崩塌面積除上子集水區面積[5,709公頃])僅0.6%，僅達林務局(2015)「國有林地治山防災97~99年治理成效檢討評估及民國101~105年治理與復育計畫研擬」中崩塌率分級定義之最低門檻，非屬大規模崩塌的子集水區，相較於莫拉克颱風時於南部地區高屏溪、曾文溪流域之影響為輕。此外，除原有原有60林班東札孔崩塌面積大於10公頃外，另於非國有林範圍忠治里台九甲10.2k增加一處規模較大的崩塌地(崩塌發生區約6.68公頃，含堆積範圍高達10公頃之多)，也造成下游土砂增加與濁度升高。

### (三) 105年汛期前崩塌地分布 (圖3-6)

1. 國有林範圍以札孔溪子集水區為最多，崩塌面積達41.72公頃；其次為桶後溪子集水區，崩塌面積達35.06公頃；第三名為阿玉溪子集水區，崩塌面積達26.11公頃。
2. 非國有林範圍以南勢溪主流子集水區為最多，崩塌面積達16.09公頃；其次為北勢溪子集水區，崩塌面積達12.36公頃；第三名為桶後溪子集水區，崩塌面積達3.25公頃。
3. 綜合上述，國有林範圍105年汛期前略比蘇迪勒颱風後增加7.62公頃，主要增加在札孔溪、哈盆溪、阿玉溪、北勢溪與內洞溪子集水區，其餘集水區多為持平(新增1公頃以內)或為復育，復育最多為平廣溪子集水區。復育面積達5.57公頃。

#### (四) 105年汛期後崩塌地分布 (圖3-7)

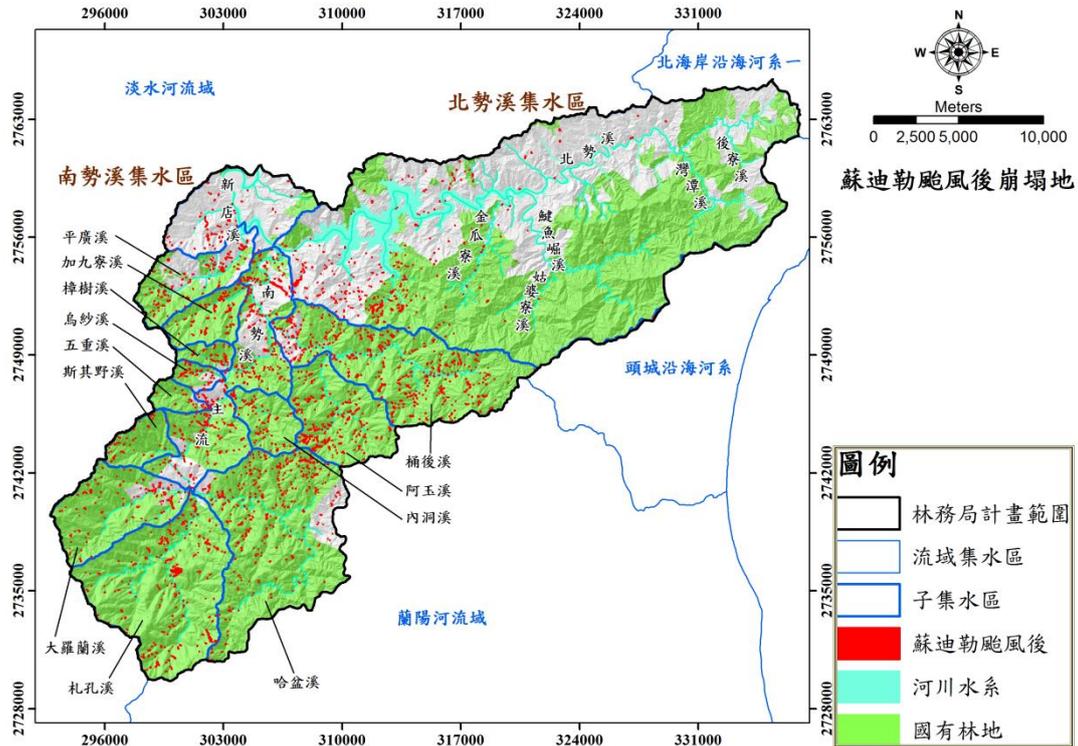
1. 國有林範圍以札孔溪子集水區為最多，崩塌面積達33.87公頃；其次為桶後溪子集水區，崩塌面積達27.92公頃；第三名為哈盆溪子集水區，崩塌面積達21.39公頃。
2. 非國有林範圍以南勢溪子集水區為最多，崩塌面積達11.64公頃；其次為北勢溪子集水區，崩塌面積達6.51公頃；第三名為桶後溪子集水區，崩塌面積達1.61公頃。
3. 綜合上述，國有林範圍105年汛期後約比105年汛期前復育108.97公頃，主要復育區在札孔溪、大羅蘭溪、哈盆溪、南勢溪主流、阿玉溪、內洞溪、桶後溪與北勢溪等子集水區，皆超過5公頃之復育面積，其餘集水區皆呈現少量復育（復育面積約3公頃內），復育最多為札孔溪子集水區。復育面積達19.11公頃。



子集水區	國有林地		非國有林地 崩塌面積(ha)	國有林地 崩塌個數	非國有林地 崩塌個數
	崩塌面積(ha)	崩塌率			
平廣溪	4.13	2.01E-03	0.98	7	14
加九寮溪	0.09	7.50E-05	0	3	0
樟樹溪	0.21	4.93E-04	0	5	0
烏砂溪	0.06	1.55E-04	0.03	2	1
內洞溪	0.77	6.78E-04	0	11	0
五重溪	0	0	0.04	0	1
斯其野溪	0.50	5.53E-04	0.12	20	1
札孔溪	20.30	3.32E-03	0	81	0
大羅蘭溪	1.79	6.26E-04	0	24	0
哈盆溪	1.39	1.96E-04	0.22	30	5
南勢溪主流	0.96	2.11E-04	0.93	22	14
阿玉溪	2.15	7.66E-04	0	21	0
桶後溪	1.38	2.42E-04	0.02	9	1
北勢溪	2.95	9.54E-05	0.99	17	11
新店溪	0	0	1.51	0	30
新店溪上游	36.68	5.27E-04	4.84	252	78

資料來源：本計畫繪製。

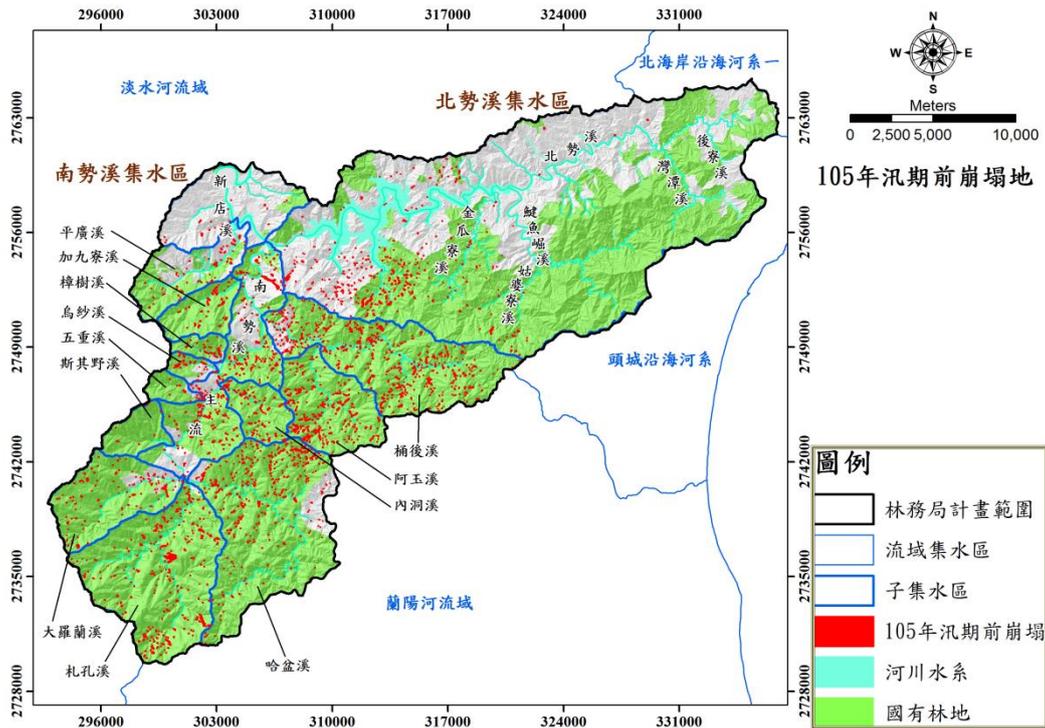
圖3-4 研究區蘇迪勒颱風前期崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果



子集水區	國有林地		非國有林地 崩塌面積(ha)	國有林地 崩塌個數	非國有林地 崩塌個數
	崩塌面積(ha)	崩塌率			
平廣溪	7.07	3.44E-03	7.19	65	61
加九寮溪	8.47	7.06E-03	0	77	0
樟樹溪	2.95	6.92E-03	0.48	32	4
烏砂溪	3.57	9.24E-03	0.74	31	24
內洞溪	8.66	7.62E-03	0	66	0
五重溪	0.93	1.98E-03	0.45	18	11
斯其野溪	1.98	2.19E-03	0.13	59	1
札孔溪	32.32	5.28E-03	0	226	0
大羅蘭溪	6.92	2.42E-03	2.35	89	41
哈盆溪	22.76	3.22E-03	1.11	320	25
南勢溪主流	17.62	3.88E-03	18.86	262	136
阿玉溪	23.67	8.44E-03	0	220	0
桶後溪	35.15	6.16E-03	3.64	436	57
北勢溪	17.01	5.50E-04	13.73	141	191
新店溪	0	0	5.96	0	75
新店溪上游	189.08	2.72E-03	54.64	2,042	626

資料來源：本計畫繪製。

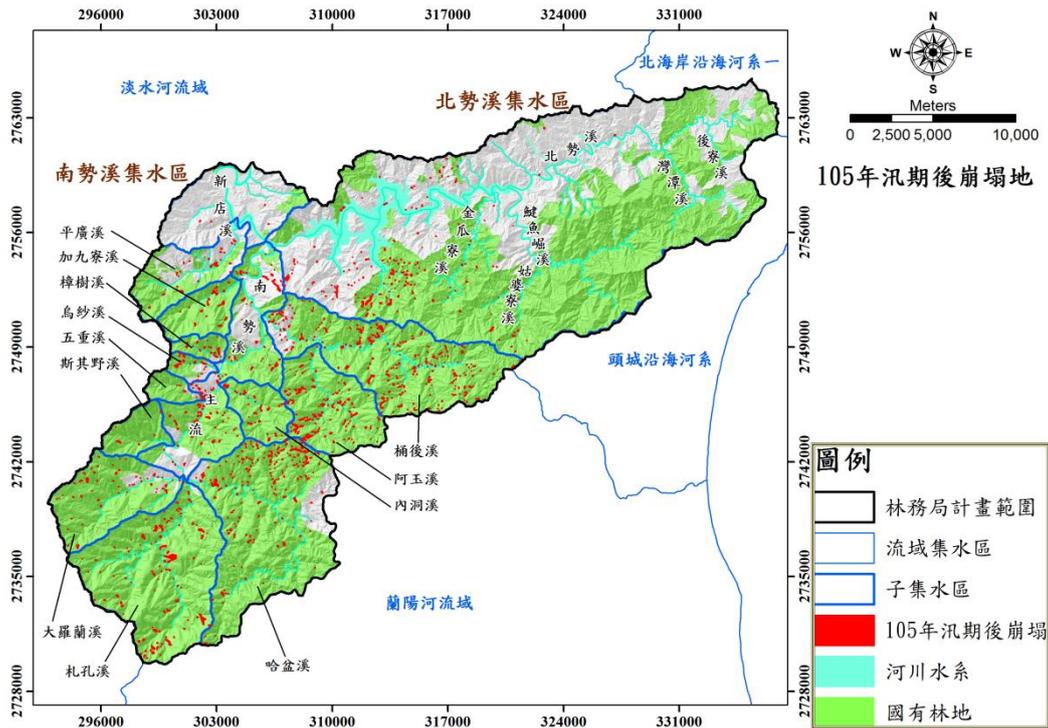
圖3-5 研究區蘇迪勒颱風後期崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果



子集水區	國有林地		非國有林地 崩塌面積(ha)	國有林地 崩塌個數	非國有林地 崩塌個數
	崩塌面積(ha)	崩塌率			
平廣溪	3.85	1.88E-03	2.93	42	35
加九寮溪	6.63	5.53E-03	0	48	0
樟樹溪	2.91	6.83E-03	0.58	32	5
烏砂溪	3.76	9.73E-03	0.34	27	15
內洞溪	9.84	8.66E-03	0	98	0
五重溪	0.70	1.49E-03	0.16	11	9
斯其野溪	0.58	6.42E-04	0	7	0
札孔溪	41.72	6.82E-03	0	296	0
大羅蘭溪	7.89	2.76E-03	1.16	101	39
哈盆溪	25.40	3.59E-03	0.86	410	28
南勢溪主流	17.58	3.87E-03	17.01	240	90
阿玉溪	26.11	9.31E-03	0	308	0
桶後溪	34.89	6.11E-03	3.41	607	65
北勢溪	21.07	6.82E-04	12.68	218	188
新店溪	0	0	2.67	1	27
新店溪上游	202.93	2.92E-03	41.80	2,446	501

資料來源：本計畫繪製。

圖3-6 研究區 105 年汛期前崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果



子集水區	國有林地		非國有林地 崩塌面積(ha)	國有林地 崩塌個數	非國有林地 崩塌個數
	崩塌面積(ha)	崩塌率			
平廣溪	3.08	1.50E-03	1.51	14	21
加九寮溪	5.68	4.74E-03	0	25	0
樟樹溪	2.97	6.97E-03	0	29	0
烏砂溪	3.46	8.95E-03	0.19	19	9
內洞溪	7.20	6.34E-03	0	36	0
五重溪	0.19	4.05E-04	0.45	4	11
斯其野溪	0.77	8.52E-04	0	6	0
札孔溪	33.87	5.54E-03	0	164	0
大羅蘭溪	4.96	1.73E-03	0.57	56	21
哈盆溪	21.39	3.02E-03	0.80	251	12
南勢溪主流	9.88	2.18E-03	11.64	89	62
阿玉溪	19.48	6.94E-03	0	182	0
桶後溪	27.92	4.89E-03	1.61	329	24
北勢溪	16.77	5.42E-04	6.51	135	102
新店溪	0.00	0	0.36	0	4
新店溪上游	157.62	2.26E-03	23.64	1,339	266

資料來源：本計畫繪製。

圖3-7 研究區 105 年汛期後崩塌地目錄空間分布與子集水區統計結果

表3-8 蘇迪勒颱風後至105年汛期後復育率

子集水區	蘇迪勒颱風後至 105 年汛期後 (國有林地)			
	蘇迪勒災後 崩塌面積	105 年汛期後 崩塌面積	期間 植生復育面積	植生復育率
平廣溪	9.65	3.32	6.33	65.60%
加九寮溪	8.47	5.68	2.79	32.94%
樟樹溪	3.29	2.26	1.03	31.31%
烏砂溪	3.58	3.52	0.06	1.68%
內洞溪	8.69	7.2	1.49	17.15%
五重溪	1.05	0.21	0.84	80.00%
斯其野溪	1.98	0.77	1.21	61.11%
札孔溪	32.32	33.87	-1.55	-4.80%
大羅蘭溪	7.23	4.98	2.25	31.12%
哈盆溪	23.2	22.01	1.19	5.13%
南勢溪主流	20.3	10.63	9.67	47.64%
阿玉溪	23.67	19.48	4.19	17.70%
桶後溪	35.84	28.21	7.63	21.29%
北勢溪	18.9	16.8	2.1	11.11%
新店溪	0.09	0	0.09	100.00%
新店溪上游	198.25(0.28%)	158.94(0.23%)	39.31	19.83%

### 3-4 蘇迪勒颱風新增崩塌地特性探討

基於蘇迪勒颱風前後期崩塌地目錄，透過 GIS 空間分析可獲致新增崩塌地，本節進行空間分析蘇迪勒颱風於南勢溪各子集水區新增崩塌地規模，輔以經濟部水利署臺北水源特定區管理局(2015)「新店溪青潭堰以上(新店溪及南勢溪部分)流域整體調查規劃(1/2)」中數值高程模型差異分析成果，釐清崩塌土砂分布。茲就上述分析結果說明如下：

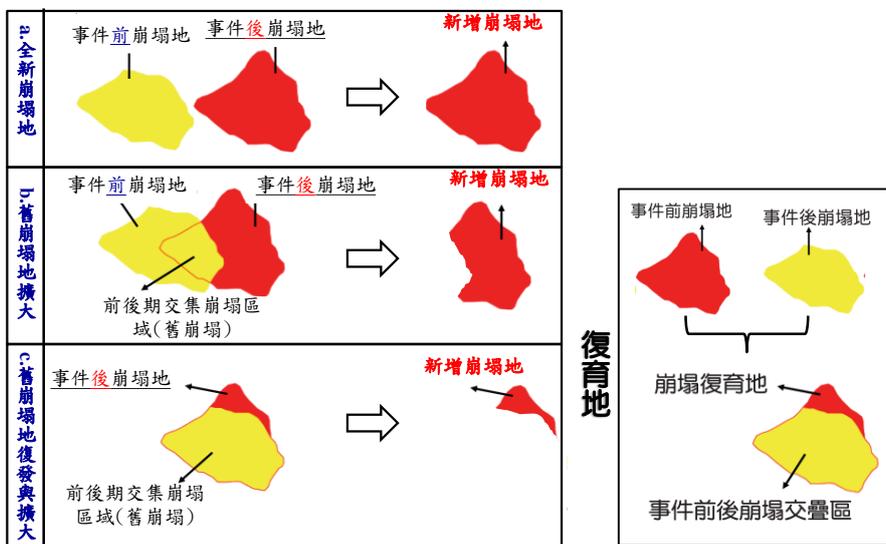
#### (一)蘇迪勒颱風新增崩塌地

本計畫參考林務局(2015)「國有林土砂殘留量及二次災害潛勢影響評估」及地調所(2010)「都會區周緣坡地山崩潛勢評估(4/4)」計畫中崩塌地變遷區分定義，係將崩塌地透過 GIS 空間分析區分為新增崩塌地(可細分為全新崩塌地、崩塌地擴大、舊有崩塌地復發與擴大)與復育地兩大類，定義區分如圖 3-8，計畫範圍各子集水區蘇迪勒颱風新增崩塌地統計結果如圖 3-9 所示。結果顯示，國有林範圍以桶後溪(34.52 公頃)、哈盆溪(21.58 公頃)與阿玉溪(21.69 公頃)為前三名，非國有林範圍以南勢溪主流(18.16 公頃)、北勢溪(12.99 公頃)與平廣溪(6.62 公頃)為前三名。

依據上述新增崩塌地資料，進行計畫範圍新增崩塌面積統計，統計結果圖 3-10 所示，結果顯示，無論南勢溪或北勢溪集水區，新增崩塌地面積主要集中在 0.1 公頃以下，合計數量佔計畫區域總崩塌個數 84%，其中又以南勢溪集水區崩塌密度較高，為新增崩塌面積主要分布集水區，故重點崩塌地後須將以南勢溪集水區為主要篩選區域。其中，新增崩塌面積 0.3 公頃以上者共計有 109 個崩塌地，其中 0.3~0.5 公頃有 62 個，0.5~1 公頃有 31 個，1 公頃以上有 16 個。

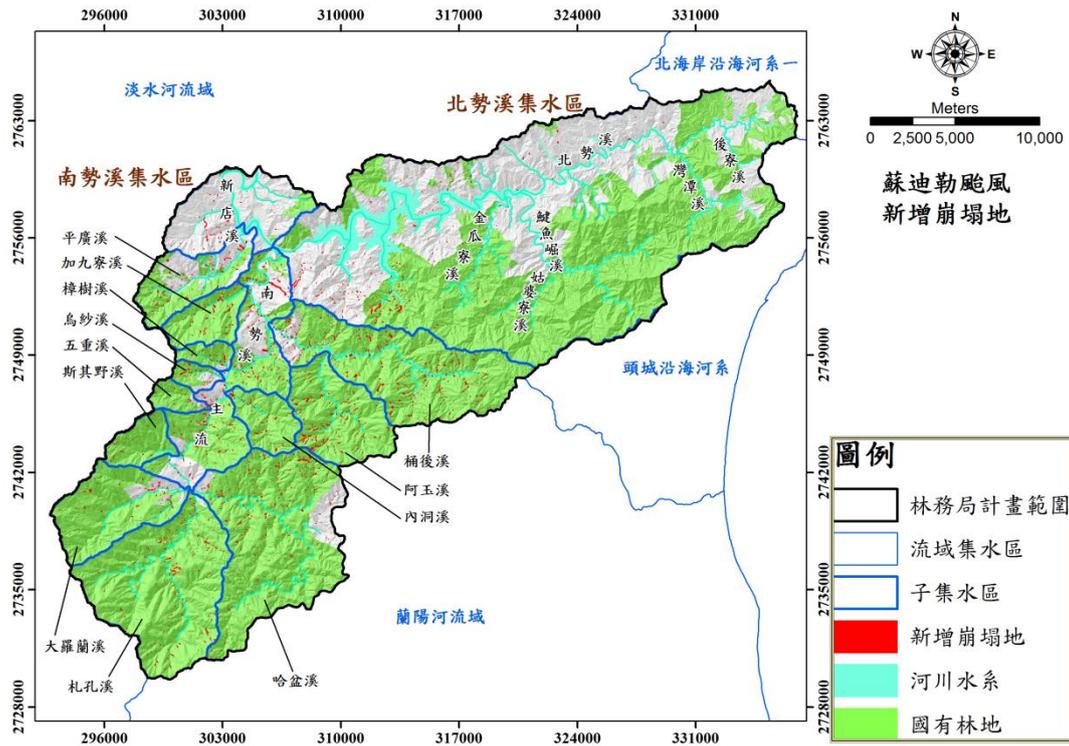
依據蘇迪勒颱風新增崩塌地進行水系範圍 100 公尺近岸崩塌統計，結果顯示北勢溪集水區共計有 179 個近岸新增崩塌，新增崩塌地面積總和為 14.02 公頃；南勢溪集水區共計有 541 個近岸新增崩塌，新增崩塌地面積總和為 60.36 公頃，為北勢溪 4.2 倍，估計畫範圍內新增崩塌地總和 (212.11 公頃) 的 28.5%，研判近岸新增崩塌地對南勢溪濁度提升有一定影響。然無論近岸或離岸，新增崩塌面積眾數皆集中在 0.01~0.1 公頃，崩塌規模不大，故蘇迪勒颱風短延時強降雨誘發之新增崩塌地多為小規模崩塌，本計畫分析結果與魏倫璋等人(2015)現地調查結果相符。

在以地表植生狀況而言，區內人工林地與天然林地產生之崩塌大小平均為 88 平方公尺、草生地平均約為 230 平方公尺、農地約為 338 平方公尺。可見地表狀態亦有明顯之影響。



資料來源：本計畫繪製。

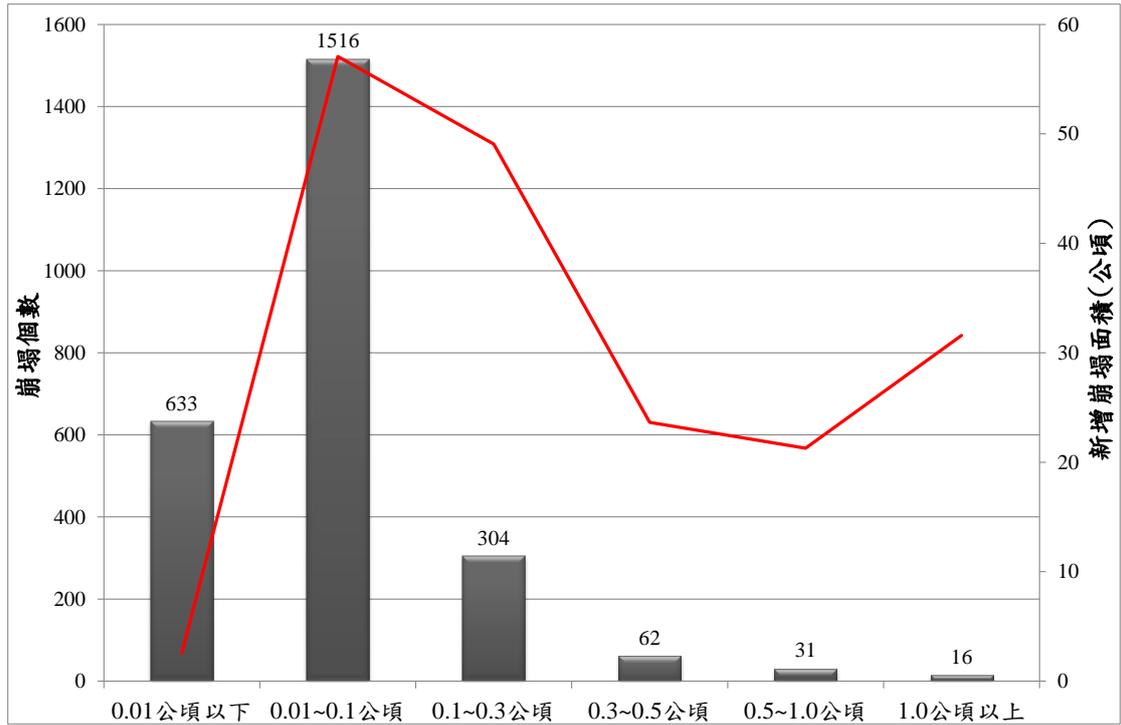
圖3-8 崩塌地變遷區分定義圖



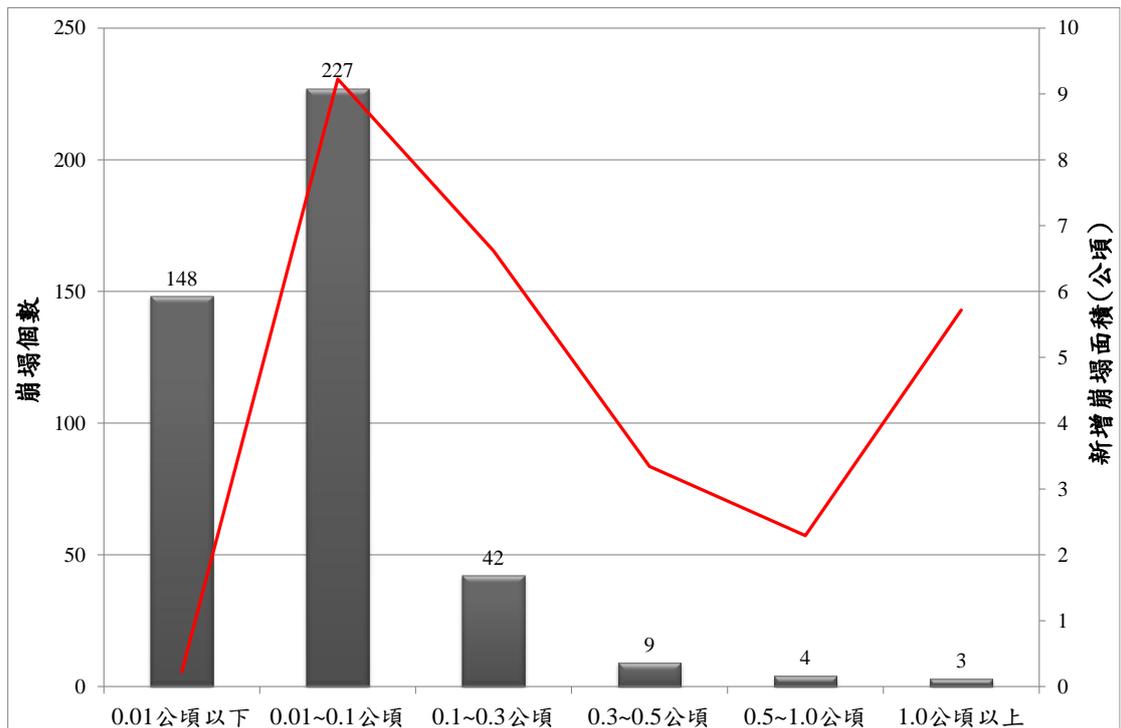
子集水區	國有林				非國有林 新增崩塌面積(ha)	計畫區域內 新增崩塌地總計(ha)
	新增崩塌 面積(ha)	崩塌率	復育面積 (ha)	復育率		
平廣溪	5.28	2.57E-03	2.34	1.14E-03	6.62	11.90
加九寮溪	8.41	7.01E-03	0.03	2.42E-05	0	8.41
樟樹溪	2.75	6.45E-03	0.01	3.24E-05	0.48	3.23
烏砂溪	3.46	8.95E-03	0.03	8.57E-05	0.73	4.19
內洞溪	8.04	7.07E-03	0.14	1.27E-04	0	8.04
五重溪	0.93	1.98E-03	0.00	0	0.44	1.37
斯其野溪	1.88	2.08E-03	0.40	4.40E-04	0.01	1.88
札孔溪	14.53	2.38E-03	2.51	4.10E-04	0	14.53
大羅蘭溪	5.76	2.01E-03	0.62	2.17E-04	2.35	8.11
哈盆溪	21.58	3.05E-03	0.21	3.00E-05	0.97	22.56
南勢溪主流	16.92	3.73E-03	0.26	5.81E-05	18.16	35.09
阿玉溪	21.69	7.73E-03	0.17	6.15E-05	0	21.69
桶後溪	34.52	6.05E-03	0.75	1.32E-04	3.63	38.16
北勢溪	14.37	4.65E-04	0.31	9.92E-06	12.99	27.36
新店溪	0	0	0	0	5.61	5.61
新店溪上游	160.11	2.30E-03	7.79	1.12E-04	52.00	212.11

資料來源：本計畫繪製。

圖3-9 蘇迪勒颱風新增崩塌地與復育面積統計結果



(a) 南勢溪集水區



(b) 北勢溪集水區

資料來源：本計畫繪製。

圖3-10 南勢溪集水區蘇迪勒颱風新增崩塌地個數與面積統計

## (二)蘇迪勒颱風後至105年汛期前新增崩塌地

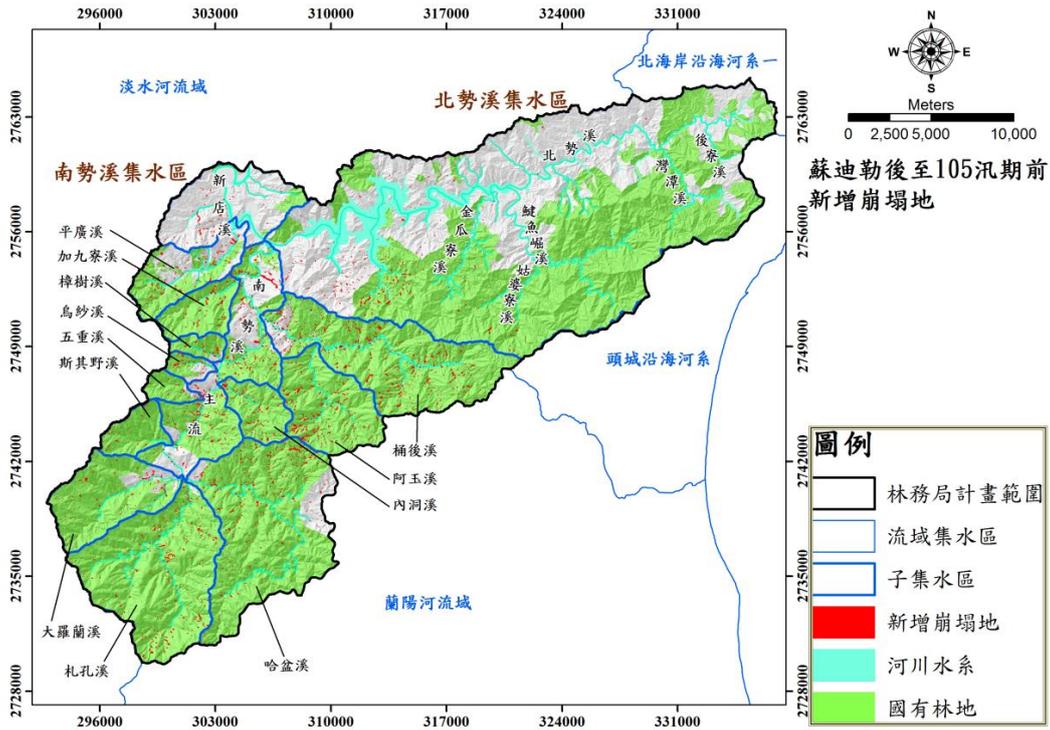
依據蘇迪勒颱風後及 105 年汛期前崩塌地目錄差異，可獲致新增崩塌地分布與統計結果，如圖 3-11 所示。結果顯示，國有林範圍平廣溪、加九寮溪、樟樹溪、五重溪、斯其野溪、南勢溪主流與桶後溪皆屬復育居多，105 年汛期前已多有復育，上開七個子集水區復育面積合計達 38.73 公頃，新增崩塌地(含完全新增與舊崩塌地擴大兩類)以札孔溪 (17.22 公頃)為多，桶後溪 (16.50 公頃)居次，第三順位為哈盆溪 (14.03 公頃)，國有林範圍新增崩塌地達 97.96 公頃，新增崩塌地與復育地相抵消，合計南勢溪集水區總計新增崩塌面積為 13.9 公頃。

總結來說，南勢溪集水區國有林範圍相較蘇迪勒颱風後明顯復育許多，且新增崩塌僅微幅增加，因此時未受 105 年汛期颱風事件影響，故舊有崩塌地以復育為主。

## (三)105年汛期前後期新增崩塌地

依據 105 年汛期前後兩期崩塌地目錄差異，可獲致新增崩塌地分布與統計結果，如圖 3-12 所示。結果顯示，各子集水區的新增崩塌地面積增量不大，且大部分子集水區皆屬復育居多，復育地面積以札孔溪主流 (復育 19.11 公頃)較多，居次為桶後溪 (復育 19.03 公頃)，第三順位為哈盆溪 (復育 14.88 公頃)，國有林範圍新增崩塌地與復育地相抵消，合計南勢溪集水區總計復育地面積為 47.21 公頃。

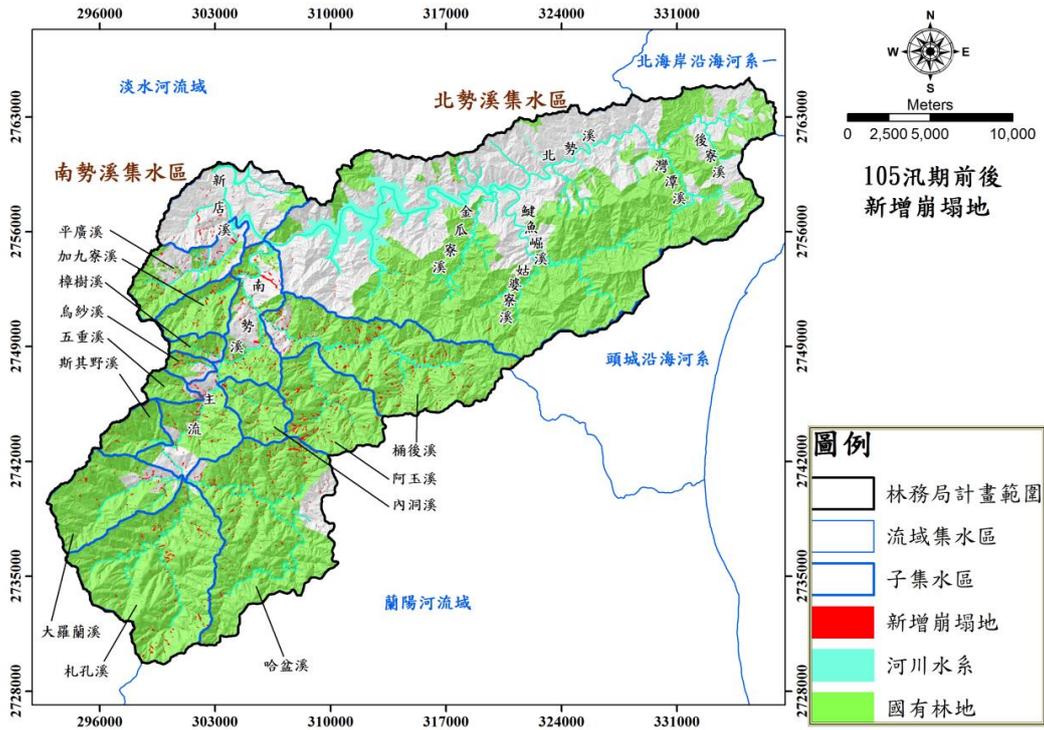
總結來說，105 年汛期中雖經數場颱風事件影響，但降雨量不高的情況，整體南勢溪各子集水區國有林範圍主要呈現復育趨勢。



子集水區	國有林				非國有林 新增崩塌面積 (ha)	計畫區域內 新增崩塌地總計 (ha)
	新增崩塌 面積(ha)	崩塌率	復育面積 (ha)	復育率		
平廣溪	1.58	7.70E-04	4.80	2.34E-03	1.00	2.58
加九寮溪	2.58	2.15E-03	4.42	3.69E-03	0	2.58
樟樹溪	1.21	2.83E-03	1.25	2.93E-03	0.22	1.42
烏砂溪	1.49	3.85E-03	1.21	3.12E-03	0.15	1.64
內洞溪	4.70	4.13E-03	3.52	3.10E-03	0	4.70
五重溪	0.30	6.29E-04	0.53	1.13E-03	0.17	0.46
斯其野溪	0.17	1.85E-04	1.57	1.73E-03	0	0.17
札孔溪	17.22	2.82E-03	7.82	1.28E-03	0	17.22
大羅蘭溪	4.13	1.44E-03	3.17	1.11E-03	0.68	4.82
哈盆溪	14.03	1.98E-03	11.39	1.61E-03	0.36	14.39
南勢溪主流	9.35	2.06E-03	9.40	2.07E-03	5.35	14.70
阿玉溪	12.14	4.33E-03	9.70	3.46E-03	0	12.14
桶後溪	16.50	2.89E-03	16.76	2.94E-03	1.63	18.13
北勢溪	12.57	4.07E-04	8.53	2.76E-04	6.54	19.11
新店溪	0	0	0	0	1.34	1.34
新店溪上游	97.96	1.41E-03	84.06	1.21E-03	17.44	115.40

資料來源：本計畫繪製。

圖3-11 蘇迪勒颱風後至 105 年汛期前新增崩塌地與復育面積統計結果



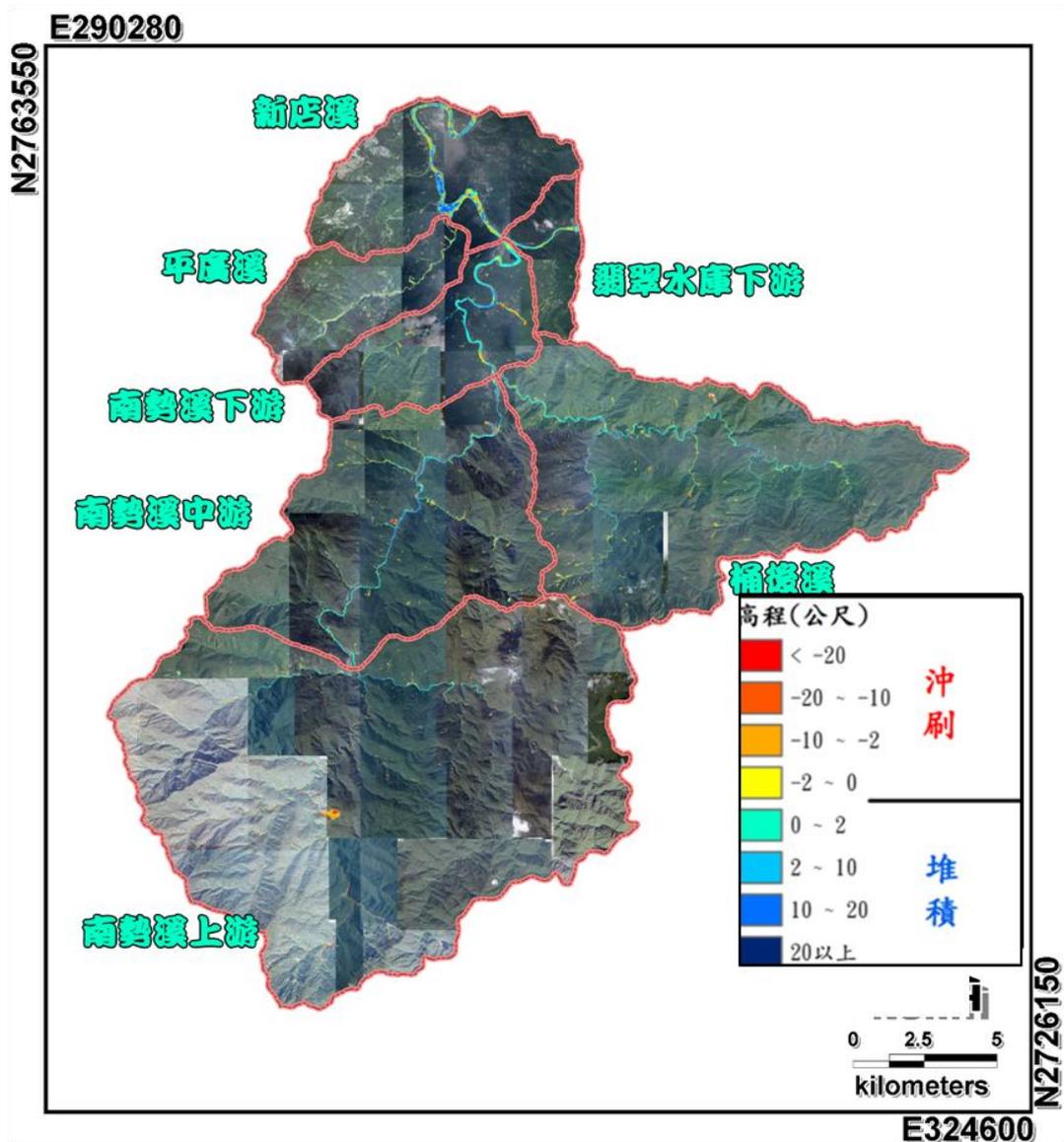
子集水區	國有林				非國有林 新增崩塌面積(ha)	計畫區域內 新增崩塌地總計 (ha)
	新增崩塌 面積(ha)	崩塌率	復育面積 (ha)	復育率		
平廣溪	1.30	6.33E-04	2.07	1.01E-03	0.56	1.86
加九寮溪	2.01	1.68E-03	2.96	2.47E-03	0	2.01
樟樹溪	0.97	2.27E-03	1.61	3.78E-03	0.31	1.28
烏砂溪	1.22	3.15E-03	1.52	3.93E-03	0.13	1.34
內洞溪	2.42	2.13E-03	5.06	4.45E-03	0	2.42
五重溪	0.05	1.01E-04	0.56	1.19E-03	0.26	0.31
斯其野溪	0.38	4.19E-04	0.19	2.11E-04	0	0.38
札孔溪	11.26	1.84E-03	19.11	3.13E-03	0	11.26
大羅蘭溪	2.09	7.32E-04	5.03	1.76E-03	0.30	2.39
哈盆溪	10.87	1.54E-03	14.88	2.10E-03	0.44	11.32
南勢溪主流	4.34	9.57E-04	12.04	2.65E-03	4.10	8.45
阿玉溪	7.22	2.57E-03	13.85	4.94E-03	0	7.22
桶後溪	12.06	2.11E-03	19.03	3.33E-03	0.59	12.66
北勢溪	5.57	1.80E-04	11.05	3.58E-04	2.48	8.05
新店溪	0	0	0	0	0.14	0.14
新店溪上游	61.76	8.87E-04	108.97	1.57E-03	9.31	71.07

資料來源：本計畫繪製

圖3-12 105年汛期前後期新增崩塌地與復育面積統計結果

#### (四)新增崩塌土砂收支分析

參考經濟部水利署臺北水源特定區管理局(2015)「新店溪青潭堰以上(新店溪及南勢溪部分)流域整體調查規劃(1/2)」中數值地形差異分析成果(圖3-13),以新增崩塌地歸納,茲就蘇迪勒颱風新增崩塌土砂於(1)各子集水區及(2)地質地層分布,歸納其土砂生產熱區特性,以供蘇迪勒颱風期間濁度遽升原因探討參據。



資料來源：摘自經濟部水利署臺北水源特定區管理局(2015),「新店溪青潭堰以上(新店溪及南勢溪部分)流域整體調查規劃(1/2)」成果報告。

圖3-13 南勢溪集水區蘇迪勒颱風後崩塌、河道地形差異分析圖

依據前述蘇迪勒颱風後南勢溪集水區範圍地形差異分析結果，套疊本計畫判釋新增崩塌地，計算新增崩塌地 Polygon 範圍崩塌體積、堆積土砂量，輔以計畫範圍各子集水區進行彙整，期供了解各子集水區崩塌土砂收支特性與熱區分布。各子集水區新增崩塌地土砂收支統計結果如表 3-9，新增崩塌地崩塌體積與坡面土砂堆積空間分布如圖 3-14 及圖 3-15 所示。國有林與非國有林土砂收支統計結果彙整如下：

### 1. 國有林範圍

崩塌體積方面 (圖 3-14)，以桶後溪子集水區崩塌體積量最多，崩塌體積高達 97.9 萬立方公尺，其次為札孔溪子集水區，崩塌體積達 87.0 萬立方公尺，第三名為哈盆溪子集水區，崩塌體積高達 52.6 萬立方公尺，其後依序為阿玉溪、南勢溪主流、內洞溪、大羅蘭溪、加九寮溪、平廣溪、烏砂溪、樟樹溪、斯其野溪、五重溪、北勢溪下游與新店溪，計畫範圍總崩塌體積高達 404.7 萬立方公尺。由崩塌體積排序結果可知主要崩塌體積熱區集中在福山上游三條支流(札孔溪、哈盆溪與大羅蘭溪)，以及桶後溪、阿玉溪及南勢溪主流等。

土砂堆積方面 (圖 3-15)，以札孔溪子集水區土砂堆積量最多，高達 37.3 萬立方公尺，其次為哈盆溪子集水區，土砂堆積量為 28.4 萬立方公尺，第三名為桶後溪子集水區，土砂堆積量為 16.0 萬立方公尺，其後依序為平廣溪、大羅蘭溪、阿玉溪、南勢溪主流、加九寮溪、內洞溪、斯其野溪、烏砂溪、樟樹溪、五重溪、北勢溪下游與新店溪，計畫範圍總土砂堆積量高達 118.2 萬立方公尺。由土砂堆積排序結果可知土砂堆積熱區集中在福山上游三條支流，其次集中在桶後溪、平廣溪、阿玉溪及南勢溪主流等。

### 2. 非國有林範圍

崩塌體積方面，以南勢溪主流子集水區崩塌體積量最多，

崩塌體積高達 73.0 萬立方公尺，其次為新店溪子集水區，崩塌體積達 8.8 萬立方公尺，第三名為平廣溪子集水區，崩塌體積達 6.3 萬立方公尺。

土砂堆積方面前三名的子集水區與崩塌體積相同，分別是南勢溪主流子集水區、新店溪子集水區與平廣溪子集水區，土砂堆積結果為 10.1 萬立方公尺、5.6 萬立方公尺與 5.0 萬立方公尺。

綜合上述，非國有林範圍，崩塌體積與土砂堆積熱區皆集中在新店溪下游子集水區與南勢溪主流。

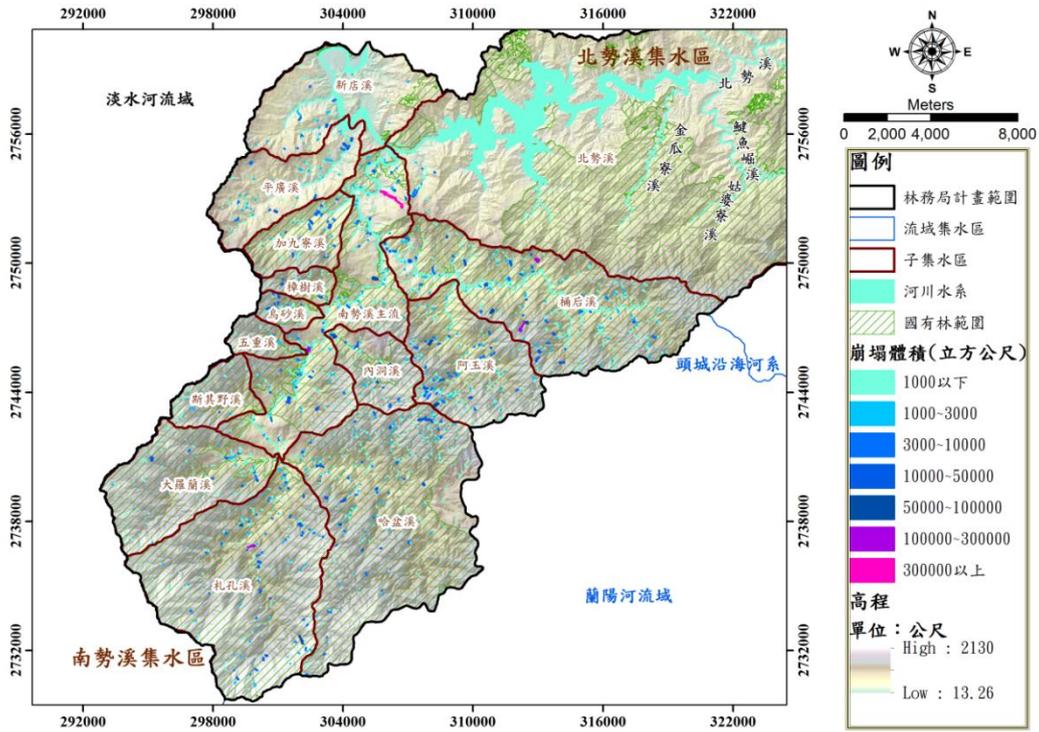
表3-9 計畫區域各子集水區土砂生產與堆積統計結果

單位：立方公尺

子集水區	國有林				非國有林			
	崩塌體積	土砂堆積	總計	單位面積崩塌體積	崩塌體積	土砂堆積	總計	單位面積崩塌體積
平廣溪	-138,243	119,161	-19,081	0.002	-63,815	50,533	-13,281	
加九寮溪	-165,940	27,972	-137,968	0.012	0	0	0	0
樟樹溪	-52,156	3,479	-48,676	0.012	-16,925	34.3	-16,891	0.004
烏砂溪	-111,126	6,153	-104,972	0.041	-6,460	734.4	-5,726	0.047
內洞溪	-227,280	18,630	-208,650	0.018	0	0	0	0
五重溪	-14,066	3,042	-11,023	0.003	-9,928	534.2	-9,394	0.020
斯其野溪	-15,019	7,627	-7,391	0.001	-0.8	12.4	11	0
札孔溪	-870,246	373,733	-496,512	0.008	0	0	0	0
大羅蘭溪	-172,888	76,690	-96,196	0.004	-13,536	9,674	-3,862	0.001
哈盆溪	-526,314	284,722	-241,592	0.004	-5,158	11,499	6,341	0.001
南勢溪主流	-293,902	48,146	-245,755	0.008	-730,305	101,702	-628,603	0.038
阿玉溪	-478,859	50,716	-428,143	0.015	0	0	0	0
桶後溪	-979,731	160,449	-819,282	0.015	-59,640	7,230	-52,410	0.016
北勢溪下游	-1,192	1,776	584	-	-44,451	32,068	-12,382	
新店溪	0	0	0	0	-88,861	56,385	-32,475	0.001
南勢溪與北勢溪下游	-4,046,963	1,182,304	-2,864,659	0.009	-1,039,084	270,409	-768,675	

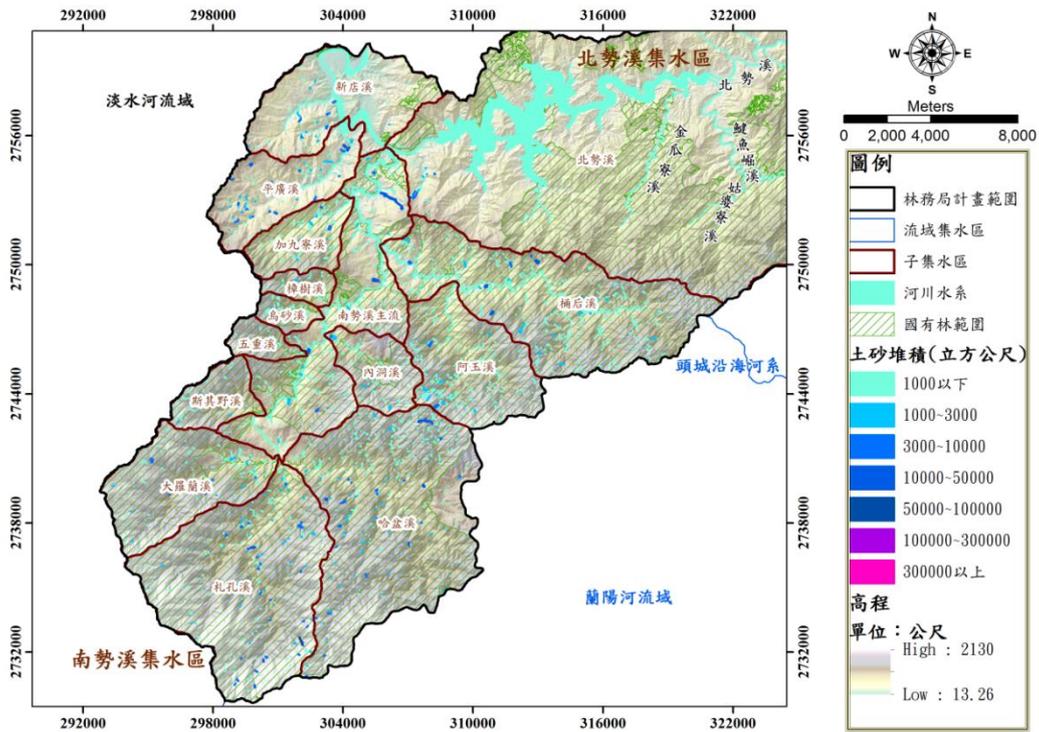
註 1：崩塌體積為負值，土砂堆積為正值。

註 2：子集水區名稱標註灰底為北勢溪下游集水區，其餘為南勢溪集水區。資料來源：本計畫分析。



資料來源：本計畫繪製。

圖3-14 南勢溪集水區於蘇迪勒颱風崩塌體積空間分布圖



資料來源：本計畫繪製。

圖3-15 南勢溪集水區於蘇迪勒颱風坡面土砂堆積空間分布圖

## 2. 各地層新增崩塌地土砂收支結果

依據前述蘇迪勒颱風後南勢溪集水區範圍地形差異分析結果，套疊本計畫判釋新增崩塌地，輔以五萬分之一流域地質圖進行歸納，探討崩塌土砂收支與地質特性，期釐清南勢溪主河道濁度成因與優勢地層。不同地質條件新增崩塌地土砂收支統計結果如表 3-10 所示，統計結果彙整如下：

### (1) 國有林範圍

崩塌體積方面，以大桶山層崩塌體積量最多，崩塌體積高達 224.6 萬立方公尺，其次為巴陵層，崩塌體積達 62.7 萬立方公尺，第三名為乾溝層，崩塌體積達 48.8 萬立方公尺，單上述三種地層已佔崩塌體積總計的 83%，合計崩塌體積高達 3,362,215 立方公尺。結果顯示，蘇迪勒颱風於南勢溪集水區主要崩塌熱區所屬地質條件以乾溝層、巴陵層與大桶山層等硬頁岩分布區為主，其中又以大桶山層為最高。

土砂堆積方面，以大桶山層土砂堆積最多，達 46.5 萬立方公尺，其次為巴陵層，土砂堆積達 27.7 萬立方公尺，第三名為西村層，土砂堆積達 14.6 萬立方公尺，其中大桶山層土砂堆積較多係因崩塌體積較高，且坡面土砂遞移率較低，以致土砂堆積較多，而西村層主要分布在札孔溪與哈盆溪上游稜線邊界。

### (2) 非國有林範圍

崩塌體積方面，以乾溝層崩塌體積量最多，崩塌體積高達 71.8 萬立方公尺，其次為粗窟層，崩塌體積達 11.5 萬立方公尺，第三名為大桶山層，崩塌體積達 9.8 萬立方公尺，單上述三種地層已佔崩塌體積總計的 89.6%。結果顯示，非國有林範圍以乾溝層崩塌體積居多，與國有林範圍之大桶山層略有不同。

土砂堆積方面，以乾溝層土砂堆積最多，達 9.3 萬立方公尺，其次為大桶山層，土砂堆積達 6.0 萬立方公尺，第三名為粗窟層，土砂堆積達 3.3 萬立方公尺。

### (3) 地質條件總結

基於五萬分之一流域地質圖中岩性組合，依據岩類(沉積岩、火成岩)、岩性組合及岩性描述，將計畫區域主要地質岩性彙整如表 3-11，並以此岩性分群進行崩塌地特性歸納，歸納結果如表 3-12。結果顯示，無論國有林或非國有林範圍，蘇迪勒颱風新增崩塌地皆分布主要發生於南勢溪集水區上游乾溝層與大桶山層硬頁岩分布區，崩塌體積生產熱區以大桶山層、巴陵層、乾溝層硬頁岩分布區為主，其中又以硬頁岩中含泥質砂岩者為多，從地層岩性上可解讀崩塌型態以坡面之風化材料沿崩積層與泥質砂岩交界面之崩滑行為為主，結果與魏倫璋等人(104 年)現地調查歸納結果一致。

表3-10 不同地質條件(地層)土砂生產與堆積統計結果

子集水區	國有林			非國有林		
	生產小計	堆積小計	總計	生產小計	堆積小計	總計
中嶺層	-983.5	1,446.6	463.1	0.0	0.0	0.0
乾溝層	-488,125.0	94,406.6	-393,719.0	-718,201.0	93,483.7	-624,718.0
南港層	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
南莊層	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
四稜砂岩 (白冷層)	-62,407.8	55,191.0	-7,216.8	-807.5	46.6	-760.9
大寮層	-4,792.3	9,905.2	5,112.9	-46,983.1	31,673.1	-15,310.0
大桶山層	-2,246,830.0	465,977.8	-1,780,852.0	-98,205.1	60,576.2	-37,628.9
木山層	-31,529.8	56,910.0	25,380.2	-38,106.7	22,524.7	-15,582.0
水長流層 (巴陵層)	-627,260.0	277,144.9	-350,115.0	-4,378.5	11,220.1	6,841.6
汶水層	-8,160.6	10,582.6	2,422.0	0.0	0.0	0.0
沖積層	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
石底層	0.0	0.0	0.0	-16,347.9	17,177.6	829.7
碧靈頁岩	-33.2	206.4	173.2	0.0	0.0	0.0
粗窟層	-398,897.0	64,408.1	-334,489.0	-115,125.0	33,086.9	-82,037.9
西村層	-177,944.0	146,124.3	-31,819.7	0.0	0.0	0.0
階地堆積層	0.0	0.0	0.0	-929.4	620.5	-308.9
南勢溪與 北勢溪下游	-4,046,963.0	1,182,304.0	-2,864,659.0	-1,039,084.0	270,409.4	-768,675.0

註1：單位為立方公尺崩塌體積為負值，土砂堆積為正值。

註2：單位面積崩塌體積係地層崩塌體積除上對應地層涵蓋面積。

資料來源：本計畫分析。

表3-11 計畫區域內主要岩性彙整表

岩類	基岩	岩性組合	岩性描述
沉積岩	硬頁岩	硬頁岩(含泥質)	硬頁岩夾薄至厚層泥質粉砂岩及細砂岩
			硬頁岩或板岩夾薄至厚層泥質粉砂岩
			薄至厚層粉泥質砂岩與硬頁岩互層
		硬頁岩(未含泥質)	硬頁岩夾薄至厚層砂岩
			硬頁岩或板岩，偶夾薄層變質砂岩
			硬頁岩與變質砂岩之薄互層
			硬頁岩與板岩
		頁岩	頁、砂岩組合
	頁岩夾砂岩		
	砂、頁岩	砂頁互層	砂岩及頁岩互層，含煤層
			砂岩及頁岩互層，含薄煤層
			砂岩與頁岩互層
砂岩	砂岩為主	厚層石英岩質砂岩與長石質砂岩，夾薄互層，部份砂岩為粗粒至小礫，頂部夾薄煤層	
火成岩	凝灰岩	安山岩、凝灰岩	安山岩質凝灰岩
未膠結土石	未膠結土石	未膠結土石	礫石，砂及黏土

資料來源：本計畫整理。

表3-12 計畫區域內主要地質岩性新增崩塌面積與體積統計表

岩性組合	國有林完全新增崩塌				非國有林完全新增崩塌			
	個數	面積 (平方公尺)	體積 (立方公尺)	單位面積 崩塌體積 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	個數	面積 (平方公尺)	體積 (立方公尺)	單位面積 崩塌體積 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
硬頁岩(含泥質)	1,539	1,214,643	-2,397,778	-1.97	268	276,672	-728,068	-2.63
硬頁岩(未含泥質)	325	224,608	-475,487	-2.12	61	30,891	-10,226	-0.33
頁、砂岩組合	12	6,481	5,286	0.82	26	33,057	-13,147	-0.40
砂頁互層	52	31,434	27,802	0.88	44	29,522	-16,164	-0.55
砂岩為主	35	23,570	-22,834	-0.97	3	587	-761	-1.30
安山岩、凝灰岩	9	2,834	-1,648	-0.58	0	0	0	-
未膠結土石	0	0	0	-	1	888	-309	-0.35
南勢溪與 北勢溪下游	1,972	1,503,570	-2,864,659	-1.91	403	371,618	-768,675	-2.07

註：單位面積崩塌體積係各岩性組合崩塌體積除上對應岩性組合涵蓋面積，用以統一面積單位間進行比較，可避免某岩性組合面積較大而有崩塌體積多之誤判情勢。

資料來源：本計畫分析。

## 第肆章 蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤

依據契約規定與前述成果可知，蘇迪勒颱風降雨誘發崩塌熱區以計畫範圍中的南勢溪集水區為主，故重點崩塌地以南勢溪集水區內國有林範圍蘇迪勒颱風後崩塌面積大於 0.3 公頃以上崩塌地為重點崩塌地清單，蒐集多期航空照片比對歸納崩塌地變化歷程，初步探討其崩塌發生的原因，依據成果挑選至少 10 處進行現地調查或無人機(UAV)拍攝，以利研判崩塌地變遷情勢(擴大或復育)。本節茲就(1) 遙測影像與崩塌地目錄變遷歷程及(2)UAV 空拍變遷情勢分析兩項進行說明。

### 4-1 遙測影像與崩塌地目錄變遷歷程

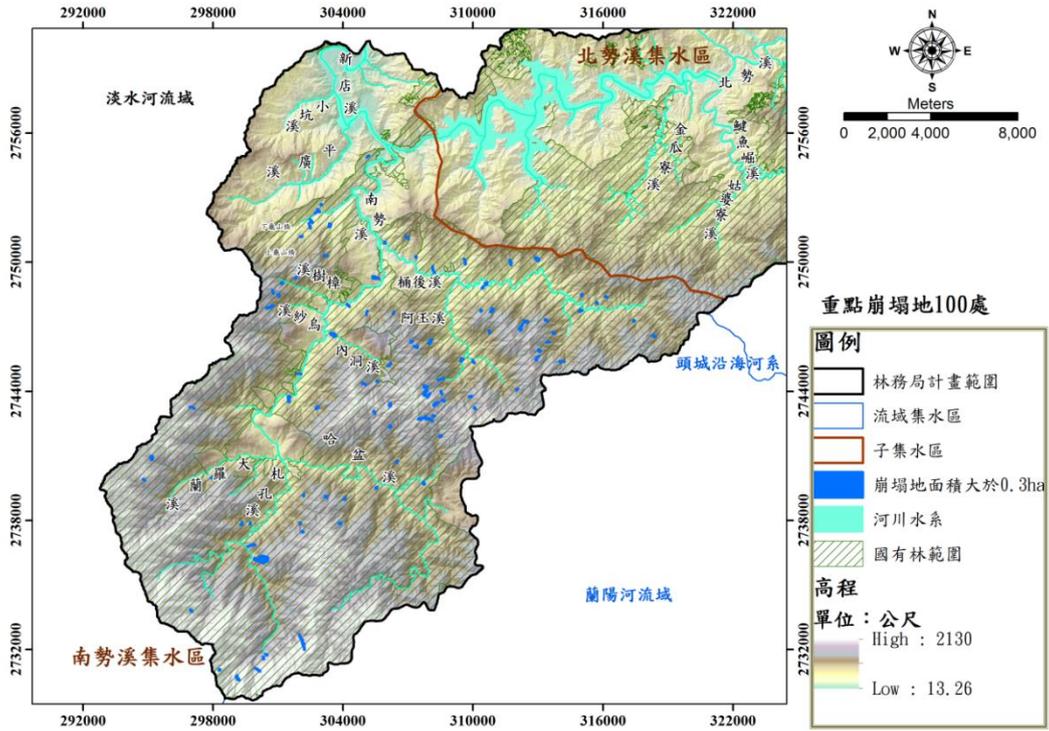
#### (一)重點崩塌地清單與UAV空拍崩塌地篩選

首先藉由蘇迪勒颱風後期崩塌地目錄，於南勢溪集水區篩選出符合契約規定(面積 0.3 公頃以上)且位在國有林範圍之崩塌地清單，合計共 100 處，空間分布如圖 4-1 所示。

UAV 空拍崩塌地篩選條件如下：

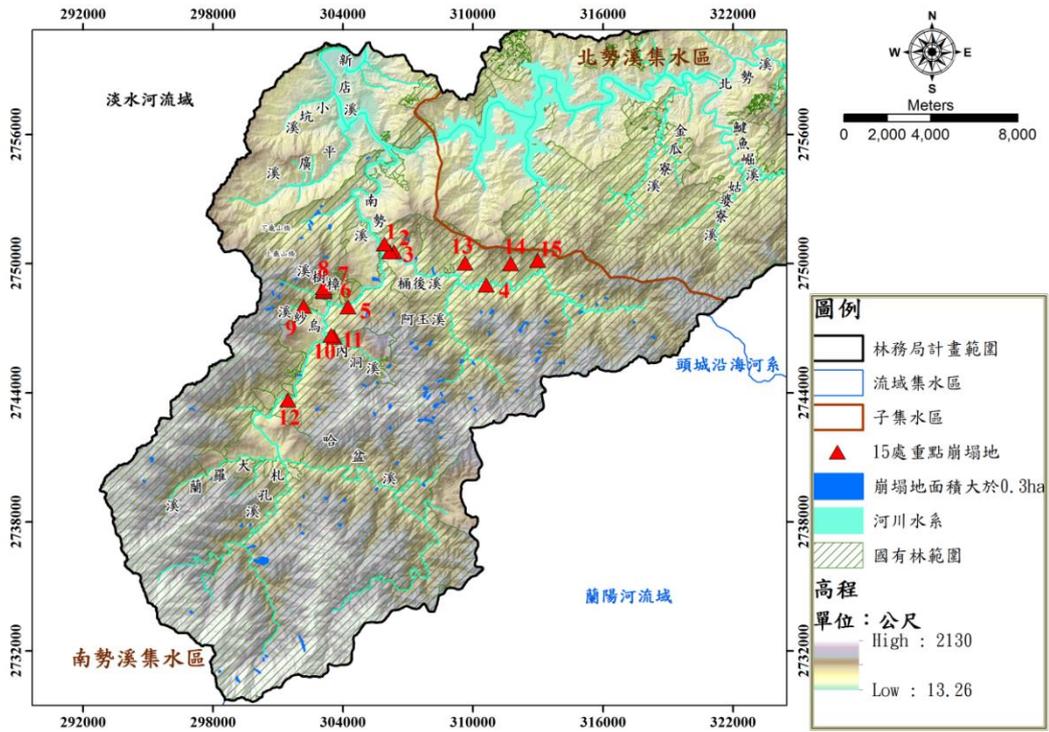
1. 面積大小：重點崩塌地中蘇迪勒颱風後期與新增崩塌地皆大於0.3公頃，且崩塌地位於國有林地者。
2. 濁度泥沙來源：為釐清研究區濁度泥沙來源，以南勢溪集水區及其各支流於國有林範圍之近岸崩塌（離河道100公尺內）、河岸攻擊側崩塌者優先。
3. 道路與空景：除遙測影像變遷分析外，也須考量執行UAV操控可行性與空景通透等因素，故採用Google Earth街景沿道路逐一搜索篩選合適崩塌地。

經以上篩選原則完成 10 處以上可順利執行 UAV 空拍崩塌地清單(契約規定至少 10 處)，本計畫篩選共計 12 處，崩塌地清單如表 4-1，空間分布如圖 4-2 所示。崩塌地變遷歷程於下節「重點崩塌地變遷歷程分析」進行比較探討。



資料來源：本計畫繪製。

圖4-1 南勢溪集水區重點崩塌地空間分布圖(共 100 處)



資料來源：本計畫繪製。

圖4-2 南勢溪集水區 UAV 空拍崩塌地空間分布圖

表4-1 UAV 空拍崩塌地清單

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	面積 (公頃)	新增崩塌地 (公頃)	子集水區名稱	林班編號
LS_UAV_1	桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌(烏來國中對岸)	305921.2	2750917.8	0.351	0.300	桶後溪下游	2
LS_UAV_2	桶後溪上游 0.7km 右岸崩塌	306171.4	2750562.4	0.301	0.581	桶後溪下游	2
LS_UAV_3	桶後溪上游 1.0km 右岸崩塌	306342.0	2750559.5	0.339	0.349	桶後溪下游	2
LS_UAV_4	桶後溪上游 8.0km 左岸崩塌	310596.6	2749008.7	1.206	1.203	桶後溪	7
LS_UAV_5	信賢吊橋上游 1.0km 南勢溪主流右岸	304236.1	2747999.1	0.451	0.451	信賢	12
LS_UAV_6	樟樹溪北支流 0.3km 右岸崩塌	303146.7	2748652.5	0.376	0.315	信賢	21
LS_UAV_7	樟樹溪北支流 0.4km 右岸崩塌	303105.0	2748799.5	0.487	0.315	信賢	21
LS_UAV_8	樟樹溪北支流 0.6km 右岸崩塌	303085.4	2748890.2	0.449	0.315	信賢	21
LS_UAV_9	烏紗溪上游 1.0km 左岸崩塌	302174.8	2748021.1	0.322	0.324	信賢	21
LS_UAV_10	內洞溪上游 0.3km 左岸崩塌	303464.1	2746673.5	0.632	0.603	屯鹿	14
LS_UAV_11	內洞溪上游 0.6km 左岸崩塌	303612.0	2746622.6	1.568	1.325	屯鹿	14
LS_UAV_12	下盆教會下游 1.0km 南勢溪主流右岸崩塌	301472.1	2743638.7	1.686	1.686	屯鹿	17

註：重點崩塌地皆位處新竹林管處烏來事業區範圍。

資料來源：本計畫整理。

## (二)南勢溪重點崩塌地變遷歷程分析

基於前述重點崩塌地，依據崩塌地目錄及多期影像探討重點崩塌地範圍於蘇迪勒颱風前至 105 年汛期後（梅姬颱風後）崩塌地變遷趨勢（包含舊崩塌地擴大及復育情況）。

本小節茲就 100 處重點崩塌地說明崩塌地變遷情勢。本研究考量蘇迪勒颱風前後期與 105 年汛期前後共四期崩塌地目錄，可建立(1)蘇迪勒颱風變遷、(2)蘇迪勒颱風後至 105 年汛期前變遷及(3)105 年汛期前後期變遷等歷程，進而歸納 100 處重點崩塌地變遷分析成果，詳細 100 處重點崩塌地變遷分析成果詳見附錄四，100 處重點崩塌地變遷類型與空間分布如圖 4-3 至圖 4-5。變遷分析結果彙整如下：

### 1. 蘇迪勒颱風變遷

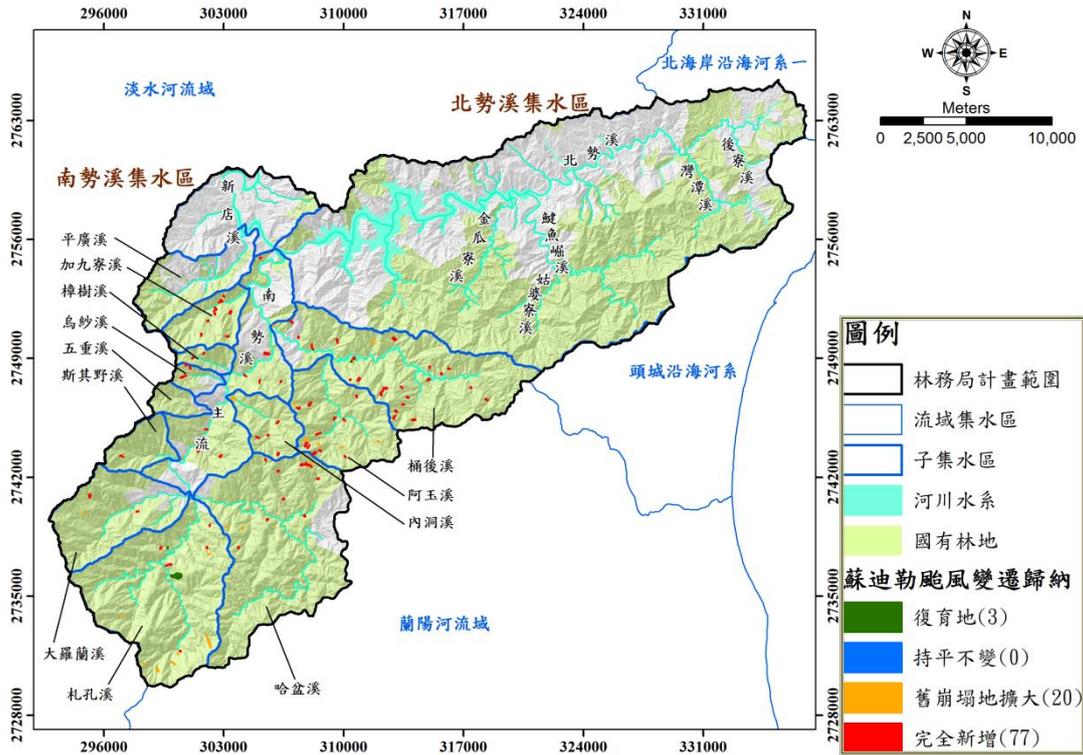
蘇迪勒颱風重點崩塌地共計有 77 處為完全新增崩塌，主要分布在桶後溪、阿玉溪、加九寮溪、哈盆溪與札孔溪；20 處為舊崩塌地擴大，主要分布在阿玉溪與札孔溪；3 處為復育地，主要分布在札孔溪(2 處)，阿玉溪(1 處)。

### 2. 蘇迪勒颱風後至 105 年汛期前變遷

蘇迪勒颱風後至 105 年汛期前，重點崩塌地計有 34 處舊崩塌地擴大，主要分布在桶後溪、阿玉溪、加九寮溪與札孔溪；60 處為復育地，主要分布在桶後溪與阿玉溪；6 處維持不變。

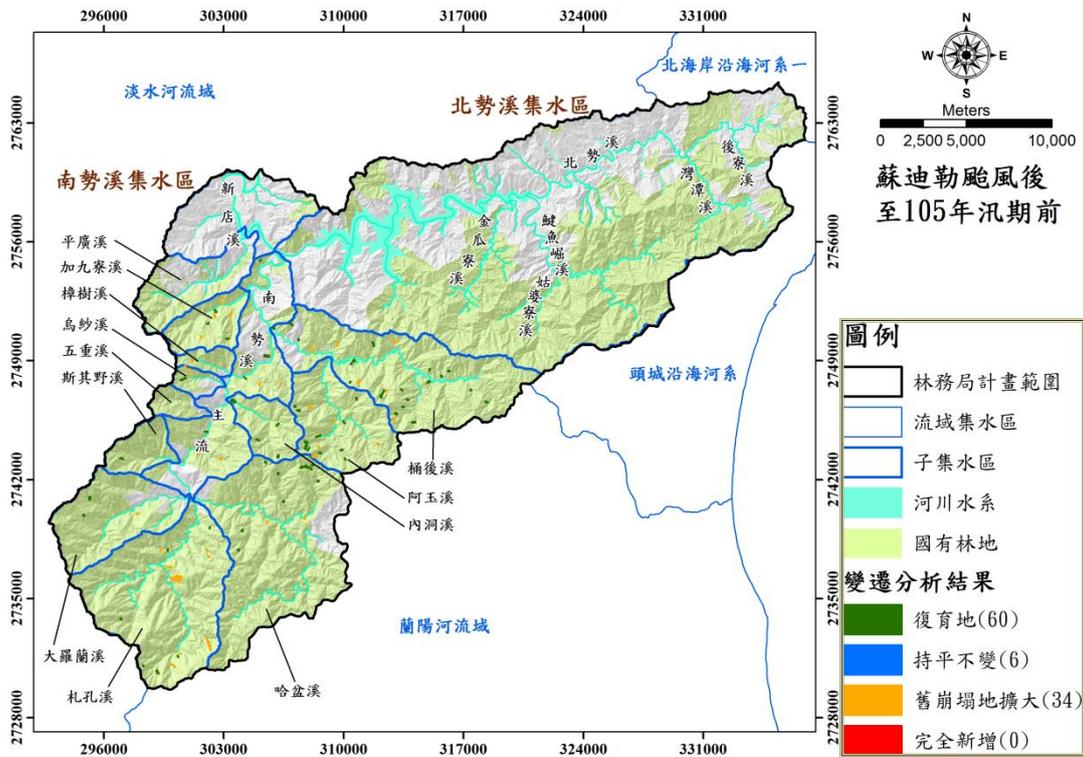
### 3. 105 年汛期前後期變遷

105 年汛期前後期重點崩塌地計有 3 處為完全新增崩塌，2 處位處桶後溪，1 處位處札孔溪；15 處為舊崩塌地擴大，主要位於桶後溪與札孔溪；70 處為維持不變或變動微小情形，約略平均分布在桶後溪、阿玉溪、哈盆溪、札孔溪與加九寮溪等。



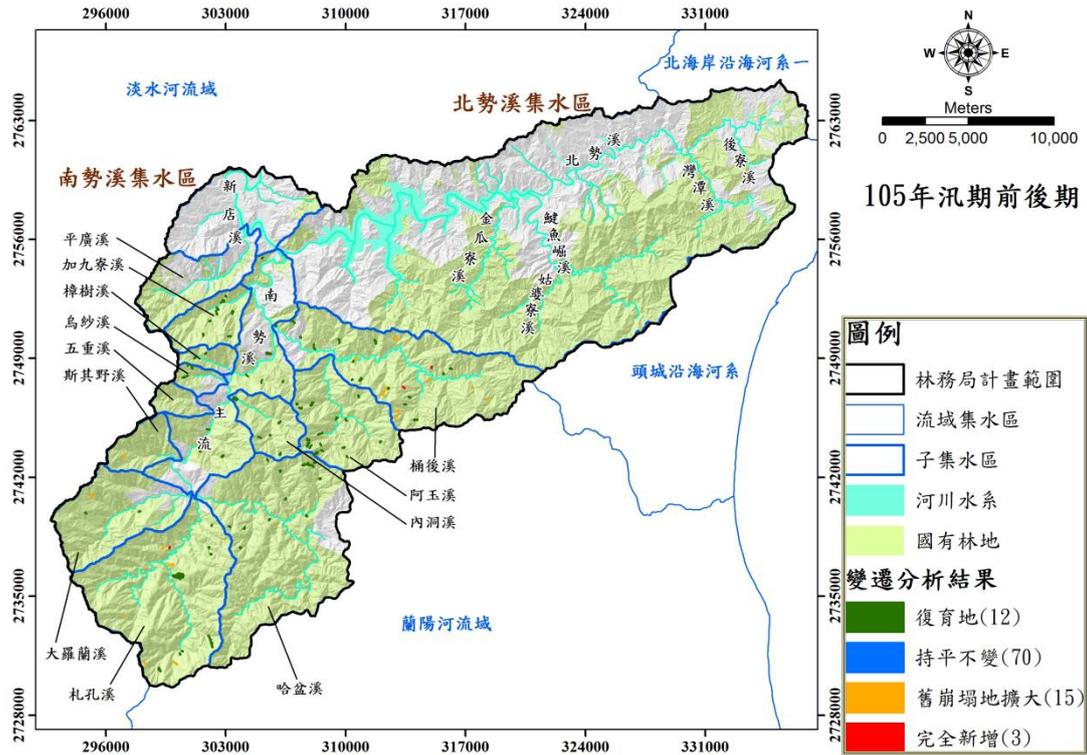
資料來源：本計畫繪製。

圖4-3 南勢溪集水區蘇迪勒颱風崩塌地變遷成果



資料來源：本計畫繪製。

圖4-4 南勢溪集水區蘇迪勒颱風後至105年汛期前崩塌地變遷成果



資料來源：本計畫繪製。

圖4-5 南勢溪集水區 105 年汛期前後期崩塌地變遷成果

## 4-2 UAV 空拍變遷情勢分析

基於蘇迪勒颱風後崩塌地目錄，國有林範圍崩塌面積 0.3 公頃崩塌區位多是人力無法到達或近距離進行崩塌調查，故本計畫採用 UAV 空拍調查，獲取崩塌全面、廣域、高精度之影像進行判釋，綜合評估崩塌地變遷情勢。茲就(1)UAV 空拍調查時間、(2)UAV 空拍調查流程與正射航照產製流程及(3)空拍調查結果進行說明。

### (一)UAV空拍調查標的規劃與進度

#### 1. UAV空拍調查標的規劃

由於本契約無規定 UAV 空拍時機與數量，然計畫執行期間，2016 年 7~9 月遭遇多場颱風事件侵台，分別有尼伯特颱風(2016/7/6~7/9)、莫蘭蒂颱風(2016/9/12~9/15)、馬勒卡颱風(2016/9/15~9/18)與梅姬颱風(2016/9/25~9/28)，基於了解蘇迪勒颱風災前、災後與 105 年汛期崩塌地變遷情勢，故規劃如表 4-2 之空拍計畫。

表 4-2 本計畫 UAV 空拍調查標的規劃及進度彙整表。其中，空拍編號 LS\_UAV\_1 為新竹林管處 2 號林班第一期工程，於尼伯特颱風後空拍可知已近完工；LS\_UAV\_2 預計進行 2 號林班第二期工程，於 105 年度汛期前空拍照片可知已噴植客土預計進行坡面植生型框整治工程，LS\_UAV\_3 為岩盤出露且目視可及，上開三處崩塌經與林務局商討後認為視為穩定，已無追蹤之必要。12 處 UAV 空拍崩塌地空間分布如前圖 4-2 所示。

#### 2. UAV空拍進度

本計畫已完成 2 次空拍作業，先後於(1)尼伯特颱風後(2016/8/4)與(2)梅姬颱風後(2016/10/3)，分別反映①蘇迪勒颱風至尼伯特颱風後及②尼伯特颱風後至三場連續颱風事件後(莫蘭蒂、馬勒卡與梅姬颱風後)之崩塌地變遷情形。

表4-2 UAV 空拍崩塌地清單、進度與規劃進度表

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	蘇迪勒後 崩塌面積 (公頃)	林 班 號	崩塌類型	空拍進度	
							第一次 2016/8/4	第二次 2016/10/3
LS_UAV_1	桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌 (烏來國中對岸)	305921.2	2750917.8	0.351	2	岩屑崩滑	✓	✓
LS_UAV_2	桶後溪上游 0.7km 右岸崩塌	306171.4	2750562.4	0.301	2	岩屑崩滑,順向坡	✓	✓
LS_UAV_3	桶後溪上游 1.0km 右岸崩塌	306342.0	2750559.5	0.339	2	岩屑崩滑	✓	✓
LS_UAV_4	桶後溪上游 8.0km 左岸崩塌	310596.6	2749008.7	1.206	7	岩屑崩滑	✓	✓
LS_UAV_5	信賢吊橋上游 1.0km 南勢溪主 流右岸	304236.1	2747999.1	0.451	12	岩屑崩滑	✓	✓
LS_UAV_6	樟樹溪北支流 0.3km 右岸崩塌	303146.7	2748652.5	0.376	21	岩屑崩滑,落石	✓	✓
LS_UAV_7	樟樹溪北支流 0.4km 右岸崩塌	303105.0	2748799.5	0.487	21	岩屑崩滑,落石	✓	✓
LS_UAV_8	樟樹溪北支流 0.6km 右岸崩塌	303085.4	2748890.2	0.449	21	岩屑崩滑,落石	✓	✓
LS_UAV_9	烏紗溪上游 1.0km 左岸崩塌	302174.8	2748021.1	0.322	21	岩屑崩滑	✓	✓
LS_UAV_10	內洞溪上游 0.3km 左岸崩塌	303464.1	2746673.5	0.632	14	岩屑崩滑,落石	✓	✓
LS_UAV_11	內洞溪上游 0.6km 左岸崩塌	303612.0	2746622.6	1.568	14	岩屑崩滑	✓	✓
LS_UAV_12	下盆教會下游 1.0km 南勢溪主 流右岸崩塌	301472.1	2743638.7	1.686	17	岩屑崩滑,落石	✓	✓

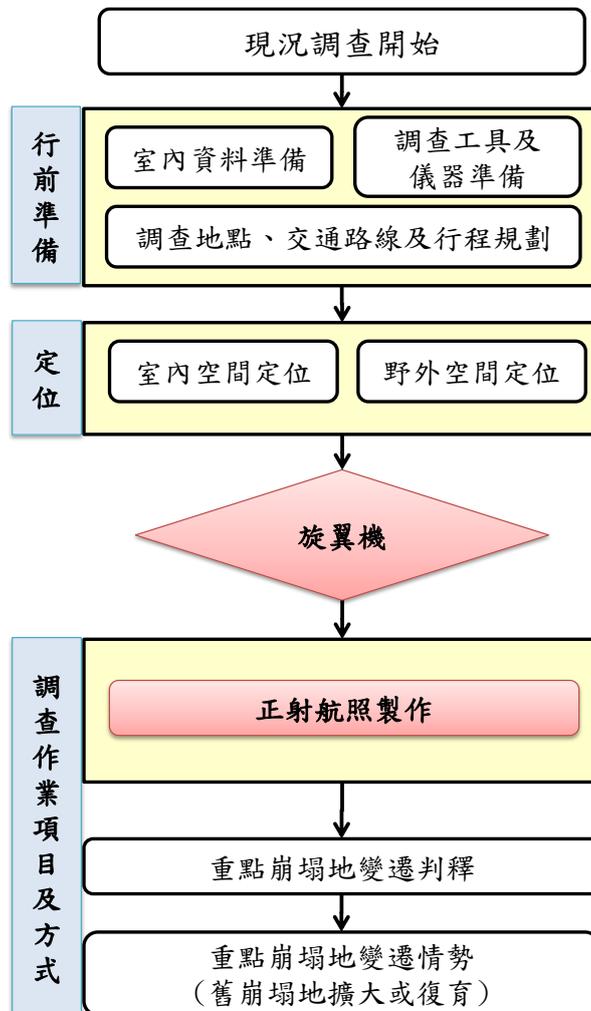
資料來源：本計畫整理。

## (二) UAV 空拍調查流程及數值地形產製

茲就 UAV 空拍調查流程與正射航照產製流程分項說明如下：

### 1. UAV 空拍調查流程

本計畫近岸崩塌地多位處邊坡與河道交界，拍攝範圍分布零散，則選取起降容易不受起飛跑道條件限制、易於定點拍攝且攜帶性與機動性高之旋翼機進行無人機空拍作業，故採大疆 Inspire 1 Pro 四旋翼無人機進行崩塌地空拍調查，UAV 崩塌地調查作業流程如圖 4-6，無人機規格彙整如表 4-3 所示。



資料來源：本計畫繪製。

圖4-6 UAV 空拍崩塌地調查流程圖

表4-3 無人機規格表

型號	T600
重量	2870g (含電池, 槳; 不含 Zenmuse X5 雲台相機)
	3400g (含電池, 槳, Zenmuse X5 雲台相機)
最大起飛重量	3500g
懸停精度 (可安全飛行狀態)	垂直: 0.5m; 水平: 2.5m
最大旋轉角速度	俯仰軸: 300°/s; 航向軸: 150°/s
最大俯仰角度	35°
最大上升速度	5m/s
最大下降速度	4m/s
最大水平飛行速度	18m/s (ATTI 模式下, 海平面附近無風環境)
最大飛行海拔高度	4,500m
最大可承受風速	10m/s
最大飛行時間	約 15 分鐘
動力電機型號	DJI 3510H
螺旋槳型號	DJI 1345T
室內定位懸停	標配
工作環境溫度 e	-10°至 40° C
軸距	559mm
飛機機體照片 (含三軸雲台)	
遙控器照片×2 (搭配 ipad mini×2) →一臺控制飛行 →一臺控制照相	

資料來源: 大疆 dji 官網 (<http://www.dji.com/zh-tw>), 照片為本計畫拍攝。

## 2. 正射航照產製流程

無人機(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)於空中拍攝，可克服傳統現地調查之地形視野障壁，針對地形死角進行補充調查，取得災害地區即時、清晰、全面之中低空照片，搭配地面控制點，即可產製近正射影像，適用於崩塌地變遷歷程探討與分析。

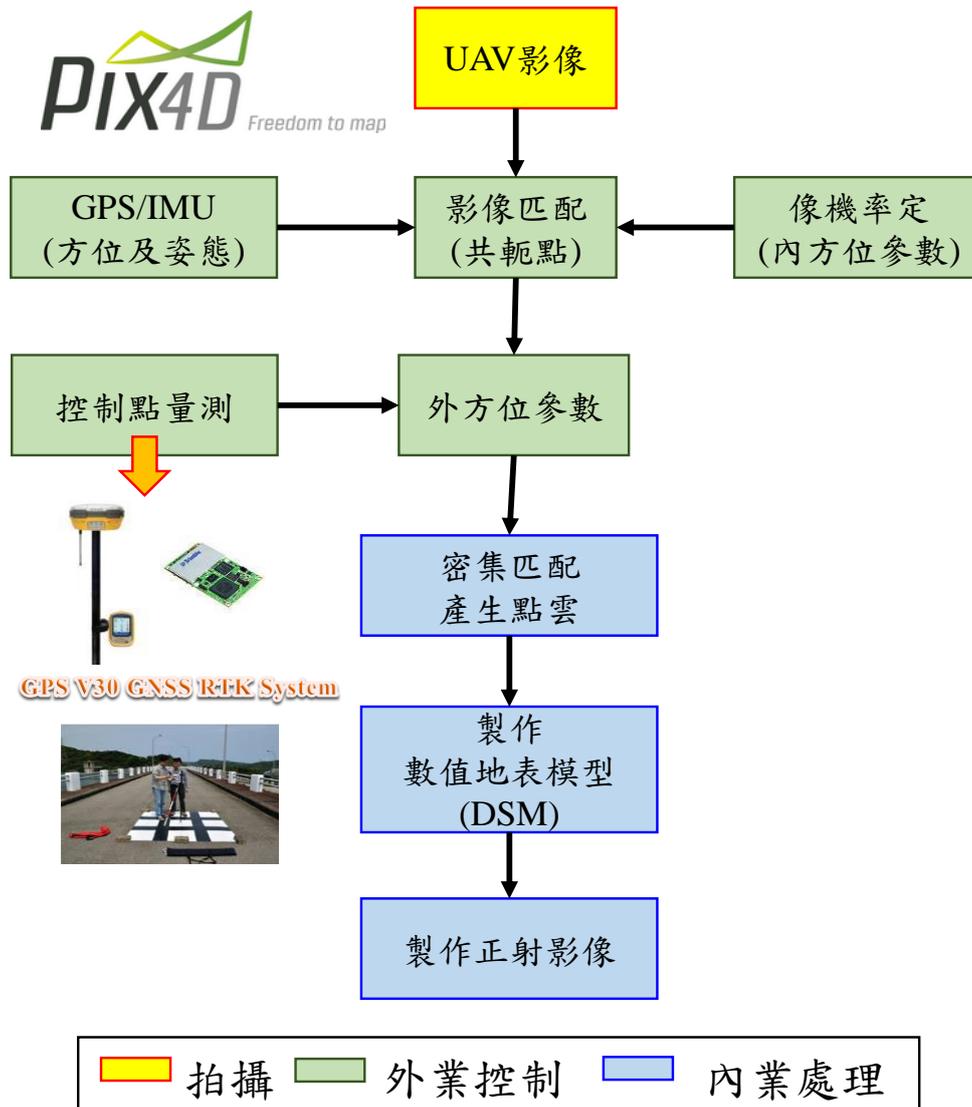
本計畫採 PIX4D Mapper 之 UAV 拍攝影像處理商用軟體，搭配 VBS-RTK 所取得停車格標線、道路分隔線、空標等地面特徵點坐標，除能加值重建 UAV 拍攝影像之三維點雲，並可再將點雲轉換成與地表雷射掃瞄量測相同的坐標系統，最後，製作正射影像。圖 4-7 為從 UAV 拍攝影像至製作 DSM 流程圖，依序分述影像匹配、像機率定、初始方位資訊、控制點測量、空三平差、密集匹配產生點雲、DSM 製作、正射影像製作等，上述流程各步驟簡述說明如後：

### (1) 影像匹配

製作 DSM 前，需對影像進行立體量測，其目的為測量共軛點坐標，進而以前方交會產生三維點雲，藉以作為後續製作 DSM 及正射影像之前置作業。早期使用傳統航照原始圖及立體觀測儀，並採人工進行測量共軛點坐標，但目前皆已使用數位相機拍攝數值航照，且多以電腦視覺的「影像匹配」技術進行自動共軛點測量(如圖 4-8)，亦為本計畫所採用技術。

### (2) 像機率定

由於影像成像時因為透鏡畸變所造成的扭曲變形會導致整體成果的誤差，因此可先針對像機進行內方位參數的率定，本計畫採用 PIX4D Mapper 的軟體自率定(率定前後示意如圖 4-9)。



資料來源：本計畫整理。

圖4-7 UAV 拍攝影像製作 DSM 流程圖

### (3) 初始方位資訊

無人飛行載具搭載的 GPS 或 IMU，可提供拍攝時初始的方位資訊(如圖 4-10)，若概略知道影像的分布，可加速影像匹配時的搜尋。

### (4) 控制點測量

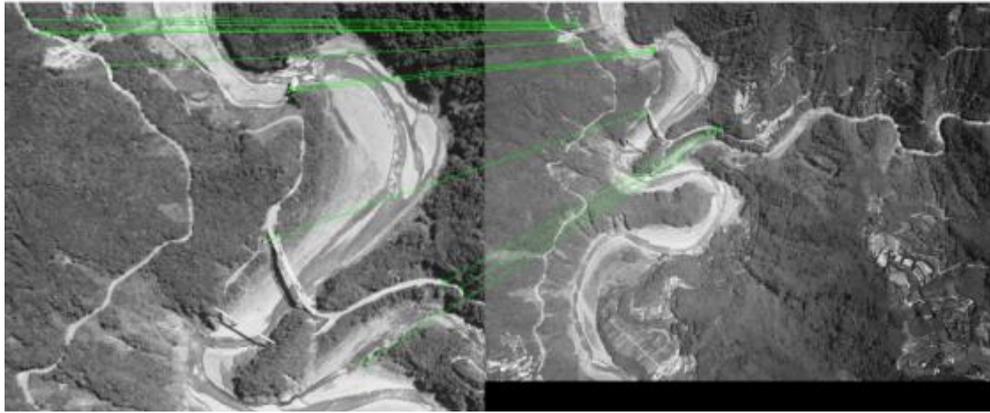
由於經空三平差後的成果乃是一局部的坐標系統成果，為與現行公告的測繪坐標系統相容，必須先透過控制點的量測以進行坐標系統間的轉換。控制點的形式可以是如屋

角點、道路中心線交點或其他明顯可辨識的原有特徵點(如圖 4-11 )，或是使用者自行於空曠地區佈設之人造空標點(如圖 4-12 )。此外，因內政部國土測繪中心為提供高精度即時定位之需要，並擴大 RTK 有效作業範圍，已設置完成透過網際網路高速、寬頻之數據傳輸技術，建置全國性電子化衛星定位基準網 (e-GPS；現稱之為 e-GNSS)。使用者可利用連續定位觀測資料，建構區域性定位誤差內插模式，並配合 VBS-RTK，可於數分鐘內獲得高精度的定位成果 (Wu *et al.*, 2013)。

因本計畫主要目的為 UAV 空拍崩塌地變遷情勢，考量效率與目的性，以原有特徵點即無人機 GPS 坐標為主，輔以 GPS V30 GNSS RTK System(採用高精度 Trimble BD970 晶片)之 VBS-RTK 動態定位技術進行控制點測量(如圖 4-13)。

#### (5) 空三平差

經過自動化的影像匹配共軛點及人工量測控制點後便能利用 GPS 輔助空三平差或以人工量測控制點進行空三平差求解外方位參數。一旦外方位參數已知，便能透過影像的密集匹配以獲取三維點雲資料，並產生 DSM，並結合原始影像產生正射影像。



註：綠色光束為左右兩張影像共軛點之連線。  
 資料來源：本計畫繪製。

**圖4-8 共軛點影像匹配示意圖**



(a)修正前

(b)修正後

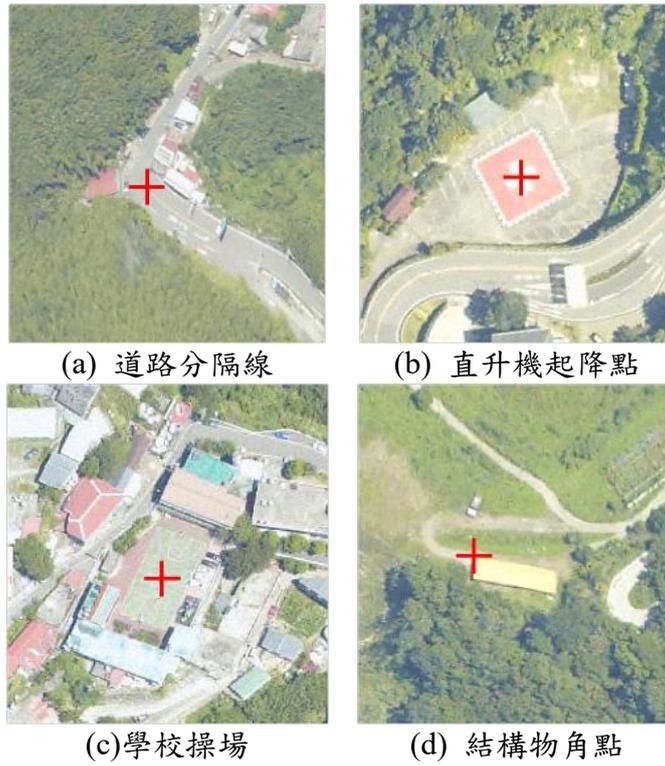
資料來源：本計畫繪製。

**圖4-9 透鏡畸變修正前後影像比較**



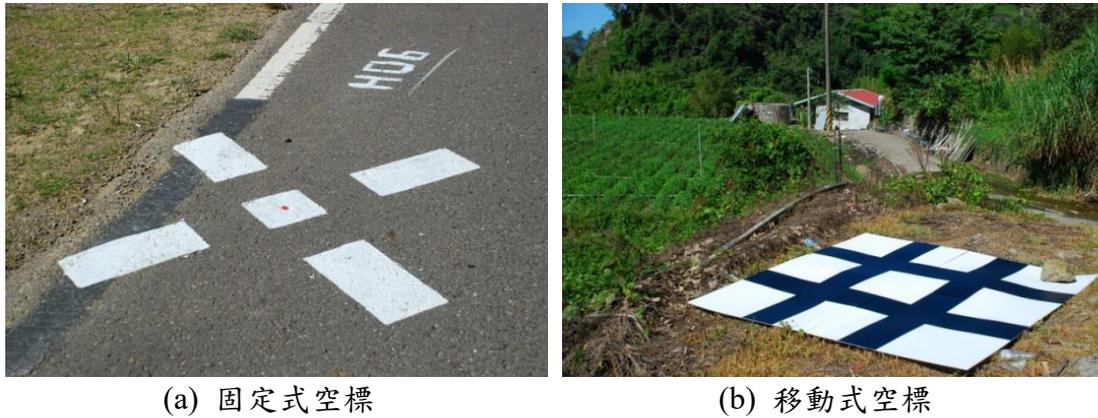
註：空中綠色框為影像拍攝時的位置及姿態。  
 資料來源：本計畫繪製。

**圖4-10 影像拍攝時的方位資訊示意圖**



資料來源：Hsiao et al.,2014。

圖4-11 紅色十字交岔點為原有特徵點示意圖



資料來源：Wu et al.,2013。

圖4-12 人造空標點示意圖



資料來源：本計畫整理。

**圖4-13 使用 VBS-RTK 儀器示意圖**

#### (6) 密集匹配產生點雲

如前所述，影像匹配之目的為測量共扼點坐標，進而以前方交會產生三維點雲，可依此點雲製作 DSM。一般而言，影像匹配可分成特徵匹配、區域匹配及描述子匹配等三種。本計畫所使用 PIX4D Mapper 採用以描述子為基礎的匹配方式，稱之為 Daisy (Engin Tola, 2010)。其原理即計算影像上某一像元與鄰近像元的梯度值，而由梯度值所組成的向量空間即稱為該點的描述子，而進行匹配時，便能藉由描述子進行不同影像間同名點的匹配。

簡要而言，描述子可以想像成一間教室裡(影像)，一位穿著紅色衣服同學(影像上的特徵點)，並與前後左右或更大範圍的同學(相鄰像元)之間的關係，以老師的角度來看，無論走到教室的前面或是後面，穿紅衣的同學並不會與相鄰同學的位置有任何的改變，而描述子便是建立此關係。同時，使用 PIX4D Mapper 進行密集匹配時，PIX4D Mapper 將先進行核影像轉換，接著針對每一像元建立描述子，因此省去了特徵點偵測的步驟，且該成果因影像的外

方位參數為已知，故經前方交會便能獲取密集的匹配點雲成果。

藉由密集匹配方式，在一影像重疊地區能求得高密度的點雲資料，然而匹配不可避免的存在錯誤的關係，在錯誤濾除上可以透過多影像匹配產生多條光束交會以提高可靠度並過濾不合理的點雲。圖 4-14 所示為點雲加密前後示意圖。其中由於點雲為三維資訊且影像方位參數已知，故可將影像的彩色資訊賦予三維點雲，進而融合達到擬真的三維環境。

#### (7) DSM 製作

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM) 最早由美國麻省理工學院提出，係以數值化描述地形表面高低起伏。其應用範圍甚廣，如防救災、建築景觀設計、水文分析、國土利用、地形分析等。依描述內容分別有 DTM、DEM 與 DSM 等不同的名稱，其名詞定義，如表 4-4 與圖 4-15 所示。由表 4-4 可知，DSM、DEM 皆屬於 DTM，差異主要在於有無樹木及建築物，然本計畫之目標為崩塌地，屬於裸露地，因此 DSM 等同 DEM，故不另產製 DEM，以提升效率也符合目的性。綜上所述，故本計畫以自動匹配方式產生之數值地形模型為 DSM。

#### (8) 正射影像製作

由於原始影像為中心透視投影的形式，使得對於真實物體的大小、方向、距離等的判釋有所誤差及難度，因此需要結合 DSM 將中心透視投影原始影像糾正為平行投影，如圖 4-16 所示。

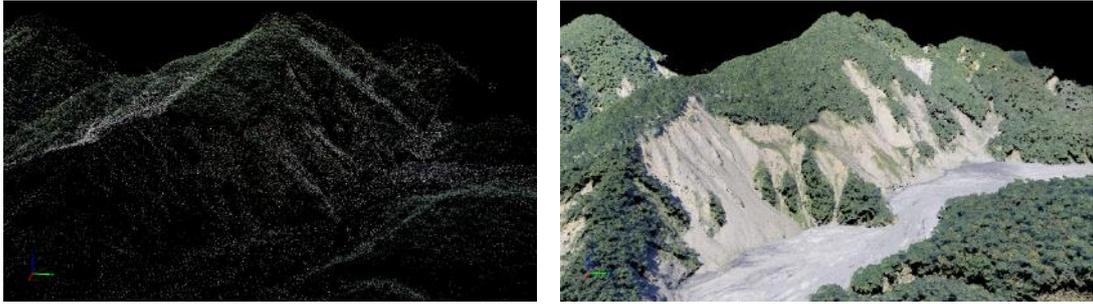
由於影像的外方位參數已經空三平差求解而得到，同時，同一地區的數值地形模型也已經由密集匹配點雲經內插求得，因此，利用共線條件式原理，可將規則網格之三

維地形資訊(X,Y,Z)推回影像空間(x,y)，再以內插方式求得正射影像之灰度值。然而，由於在拼接時需考量建物因高差移位的影響，使得影像重疊時造成錯開現象，因而後續可能需要手動調整接縫線；同時，不同影像來源因光影變化的不同，在接縫線上的處理時則利用距離倒數加權法於邊緣線的兩側進行影像的灰階值平滑化，使得接縫處看不出灰階的不連續變化，為本項工作的重點。

**表4-4 常見數值地形名詞及其意義**

簡稱	全名	意義
DTM	Digital Terrain Model 數值地形模型	定義較廣泛，涵蓋地表面上地表植被及人工構造物之所有幾何與屬性。 例如高程、坡度、坡向、等高線、河流和斷層線等。
DEM	Digital Elevation Model 數值高程模型	不含地表植被及人工構造物之地球表面自然地貌起伏的地形數值模型。
DSM	Digital Surface Model 數值表面模型	地表上包含地表植被及人工構造物等高程資料。

資料來源：摘自中興社(2013)。

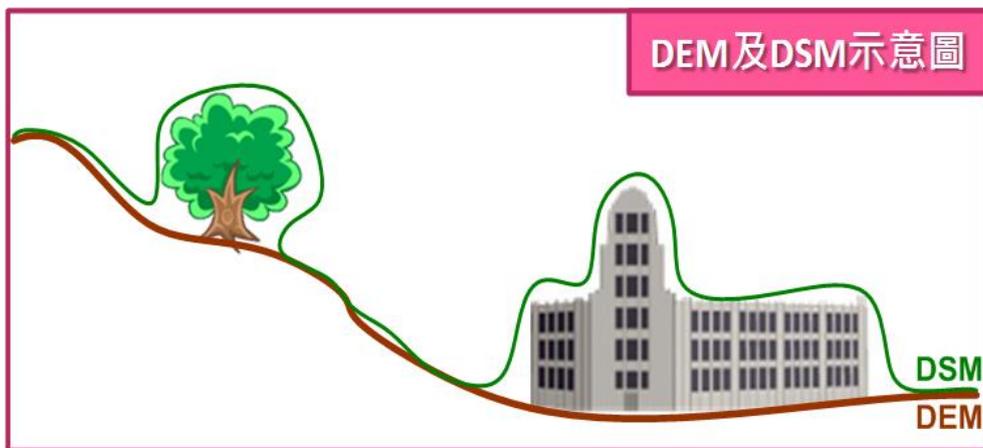


(a)加密前

(b)加密後

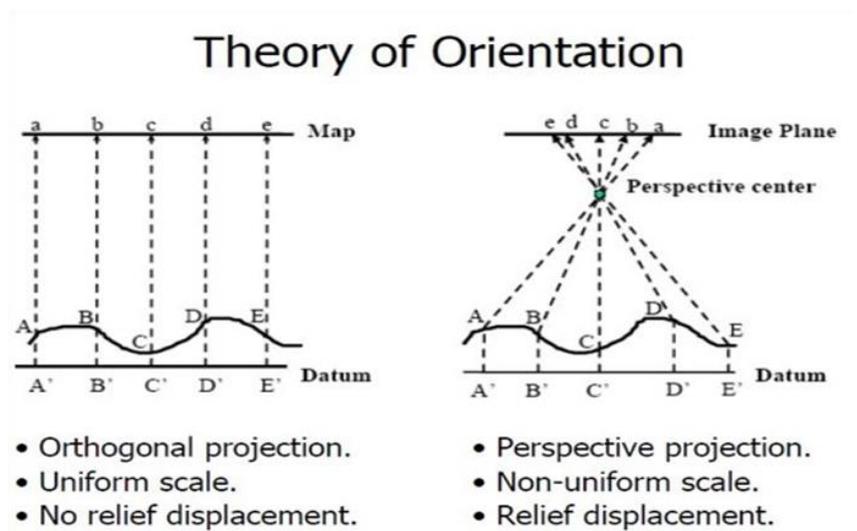
資料來源：本計畫繪製。

圖4-14 點雲加密前後示意圖



資料來源：摘自中興社(2013)。

圖4-15 DEM及DSM示意圖



資料來源：摘自 Engin Tola (2010)。

圖4-16 正射影像製作示意圖

### (三)UAV空拍調查成果

針對 2016 年 8 月 4 日第一次 UAV 空拍與 2016 年 10 月 3 日第二次 UAV 空拍調查結果進行彙整，探討蘇迪勒颱風後至梅姬颱風後崩塌變遷情勢，分就(1)地理位置、(2)正射影像判釋及(3)數值地形成果進行說明。

#### 1. 地理位置

LS\_UAV\_1~LS\_UAV\_12 共 12 處空拍重點崩塌地理位置彙整如表 4-5 所示。依據前述 3-3 節分析結果可知，桶後溪為蘇迪勒颱風在國有林範圍新增崩塌主要的子集水區，故 12 處中有 4 處位在桶後溪中(LS\_UAV\_1~LS\_UAV\_4)；樟樹溪 3 處(LS\_UAV\_6~LS\_UAV\_8)；烏紗溪 1 處(LS\_UAV\_9)；內洞溪 2 處(LS\_UAV\_10~LS\_UAV\_11)；南勢溪主流近岸崩塌有 2 處(LS\_UAV\_5,LS\_UAV\_12)。

#### 2. 正射影像判釋成果

茲就 LS\_UAV\_1 至 LS\_UAV\_12 共 12 處崩塌地正射影像判釋崩塌地，將其與蘇迪勒颱風後崩塌地進行比對，彙整 12 處崩塌地空拍照片、判釋結果與變遷分析彙整如表 4-7 所示，經歸納可知空拍為復育崩塌地多為岩屑崩滑、支流下游處之近岸崩塌、約莫 0.5 公頃之小型崩塌地且坡度較為平緩之區位為主。表 4-7 為 12 處空拍崩塌地變遷情彙整表。

##### (1) 蘇迪勒颱風後至莫蘭蒂颱風後

結果顯示，LS\_UAV\_1(桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌(烏來國中對岸))坡面進行植生型框工程中，LS\_UAV\_3、LS\_UAV\_4、LS\_UAV\_5、LS\_UAV\_7、LS\_UAV\_9、LS\_UAV\_10、LS\_UAV\_11、LS\_UAV\_12 皆呈現微幅增加，以 LS\_UAV\_12(下盆教會下游 1.0km 南勢溪主流右岸崩塌)新增崩塌地面積最高，舊有崩塌地擴大面積達成 0.325 公頃；

LS\_UAV\_2、LS\_UAV\_6 與 LS\_UAV\_8 皆呈現微幅復育，其中以 LS\_UAV\_8 (樟樹溪北支流 0.6km 右岸崩塌)復育地面積最高，復育地面積達 0.204 公頃。

## (2) 莫蘭蒂颱風後至梅姬颱風後

結果顯示，LS\_UAV\_1(桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌(烏來國中對岸))已完成植生型框工程整治，LS\_UAV\_3、LS\_UAV\_4、LS\_UAV\_5、LS\_UAV\_9、LS\_UAV\_11、LS\_UAV\_12 皆呈現微幅增加，以 LS\_UAV\_12(下盆教會下游 1.0km 南勢溪主流右岸崩塌)新增崩塌地面積最高，舊有崩塌地擴大面積僅 0.072 公頃；LS\_UAV\_2、LS\_UAV\_6~LS\_UAV\_8 與 LS\_UAV\_10 皆呈現微幅復育，其中以 LS\_UAV\_8 (樟樹溪北支流 0.6km 右岸崩塌)復育地面積最高，復育地面積達 0.167 公頃。總結而言，12 處空拍崩塌地由蘇迪勒颱風後至梅姬颱風後，舊有崩塌受降雨影響新增或擴大幅度減緩，崩塌復育增加，可知蘇迪勒颱風對南勢溪誘發新增崩塌地影響甚巨。

表4-5 UAV 空拍崩塌地理環境彙整表

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	蘇迪勒後 崩塌面積(公頃)	林班 號	崩塌類型	地理位置圖
LS_UAV_1	桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌(烏來國中對岸)	305921.2	2750917.8	0.351	2	岩屑崩滑	
LS_UAV_2	桶後溪上游 0.7km 右岸崩塌	306171.4	2750562.4	0.301	2	岩屑崩滑,順向坡	

資料來源：本計畫整理。

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	蘇迪勒後 崩塌面積(公頃)	林班 號	崩塌類型	地理位置圖
LS_UAV_3	桶後溪上游 1.0km 右岸崩塌	306342.0	2750559.5	0.339	2	岩屑崩滑	
LS_UAV_4	桶後溪上游 8.0km 左岸崩塌	310596.6	2749008.7	1.206	7	岩屑崩滑	

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	蘇迪勒後 崩塌面積(公頃)	林班 號	崩塌類型	地理位置圖
LS_UAV_5	信賢吊橋上游 1.0km 南勢 溪主流右岸	304236.1	2747999.1	0.451	12	岩屑崩滑	
LS_UAV_6	樟樹溪北支流 0.3km 右岸 崩塌	303146.7	2748652.5	0.376	21	岩屑崩滑, 落石	
LS_UAV_7	樟樹溪北支流 0.4km 右岸 崩塌	303105.0	2748799.5	0.487	21	岩屑崩滑, 落石	
LS_UAV_8	樟樹溪北支流 0.6km 右岸 崩塌	303085.4	2748890.2	0.449	21	岩屑崩滑, 落石	

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	蘇迪勒後 崩塌面積(公頃)	林班 號	崩塌類型	地理位置圖
LS_UAV_9	烏紗溪上游 1.0km 左岸崩塌	302174.8	2748021.1	0.322	21	岩屑崩滑	
LS_UAV_10	內洞溪上游 0.3km 左岸崩塌	303464.1	2746673.5	0.632	14	岩屑崩滑, 落石	
LS_UAV_11	內洞溪上游 0.6km 左岸崩塌	303612.0	2746622.6	1.568	14	岩屑崩滑	

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	蘇迪勒後 崩塌面積(公頃)	林班 號	崩塌類型	地理位置圖
LS_UAV_12	下盆教會下游 1.0km 南勢 溪主流右岸崩塌	301472.1	2743638.7	1.686	17	岩屑崩滑, 落石	

資料來源：本計畫整理。

表4-6 UAV 空拍 12 處崩塌地之崩塌地空拍照片、判釋結果與變遷情勢結果彙整表

編號/名稱	正射影像崩塌地判釋結果					
	蘇迪勒颱風後			尼伯特颱風後		
LS_UAV_1 桶後溪上游 0.3km 右岸 崩塌(烏來 國中對岸)						
	空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
	1	蘇迪勒颱風後	3,504.2	乾溝層	硬頁岩偶夾 變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地大於 0.3 公頃 2. 新竹林管處已完成整治 3. 後續不再以 UAV 追蹤，改為追蹤 LS_UAV_13
	2	尼伯特颱風後	工程整治中			
3	梅姬颱風後	完成整治				

編號/名稱	正射影像崩塌地判釋結果					
	蘇迪勒颱風後			尼伯特颱風後		
LS_UAV_2 桶後溪上游 0.7km 右岸 崩塌						
	空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	
	1	蘇迪勒颱風後	3,005.5	乾溝層	硬頁岩偶夾 變質砂岩	變遷情勢
	2	尼伯特颱風後	2,885.5			1. 蘇迪勒颱風後崩塌地大於 3,000 平方公尺(0.3 公頃)
3	梅姬颱風後	2,159.0	2. 尼伯特颱風後崩塌略為復育,復育地面積達 120.0 平方公尺			
			3. 梅姬颱風後復育地面積為 726.5 平方公尺			
			4. 106 年已完成整治			

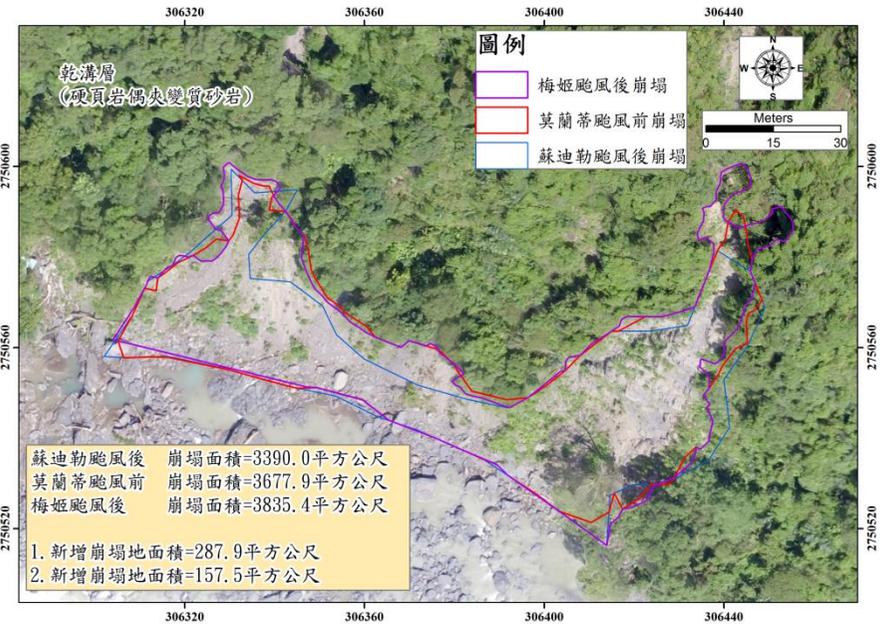
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_3  
桶後溪上游  
1.0km 右岸  
崩塌



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	3,390.0	乾溝層	硬頁岩偶夾 變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地大於 3,000 平方公尺(0.3 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌略為擴大，新增崩塌面積達 287.9 平方公尺 3. 梅姬颱風後新增崩塌地面積為 157.5 平方公尺
2	尼伯特颱風後	3,677.9			
3	梅姬颱風後	3,835.4			

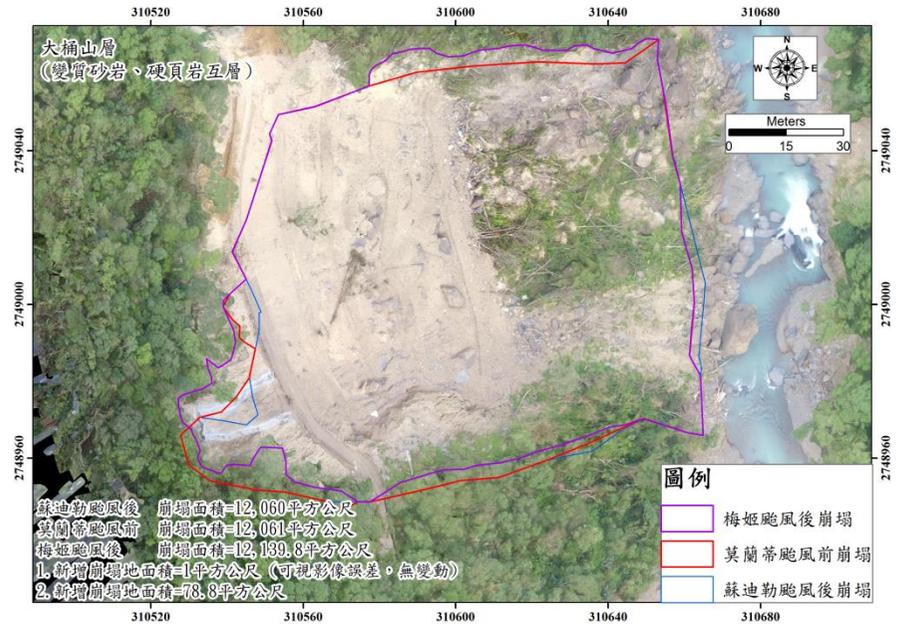
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_4  
桶後溪上游  
8.0km 左岸  
崩塌



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	12,060	大桶山層	變質砂岩、硬頁岩互層	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 12,060 平方公尺(1.2 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅新增差異 1 平方公尺，可視為數化誤差，顯示崩塌幾乎沒有變化 3. 梅姬颱風後新增崩塌地面積為 78.8 平方公尺
2	尼伯特颱風後	12,061			
3	梅姬颱風後	12,139.8			

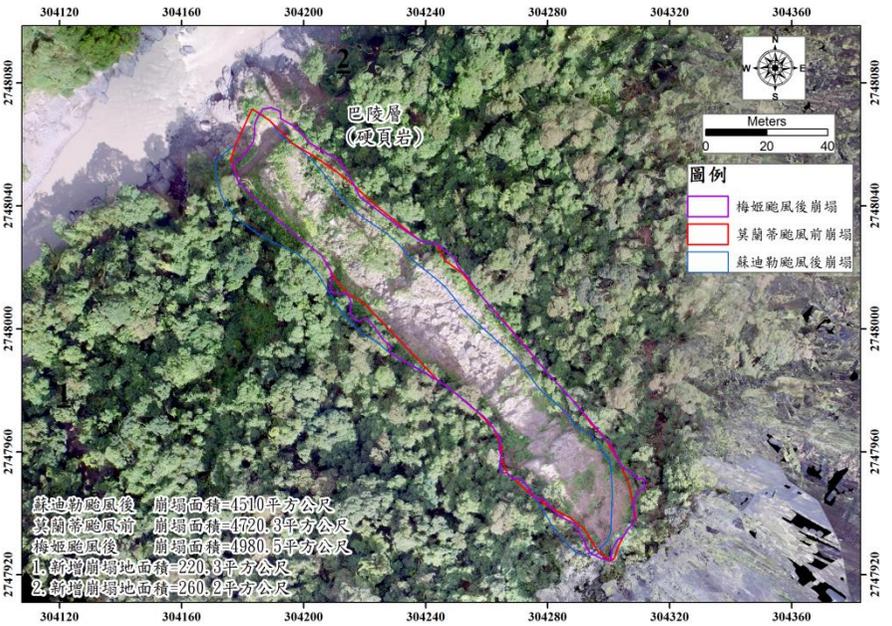
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_5  
信賢吊橋上  
游 1.0km 南  
勢溪主流右  
岸



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	4,510.0	巴陵層	硬頁岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 4,510 平方公尺(0.45 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅略為新增，新增崩塌地面積達 220.3 平方公尺 3. 梅姬颱風後新增崩塌地面積為 260.2 平方公尺
2	尼伯特颱風後	4,720.3			
3	梅姬颱風後	4,980.5			

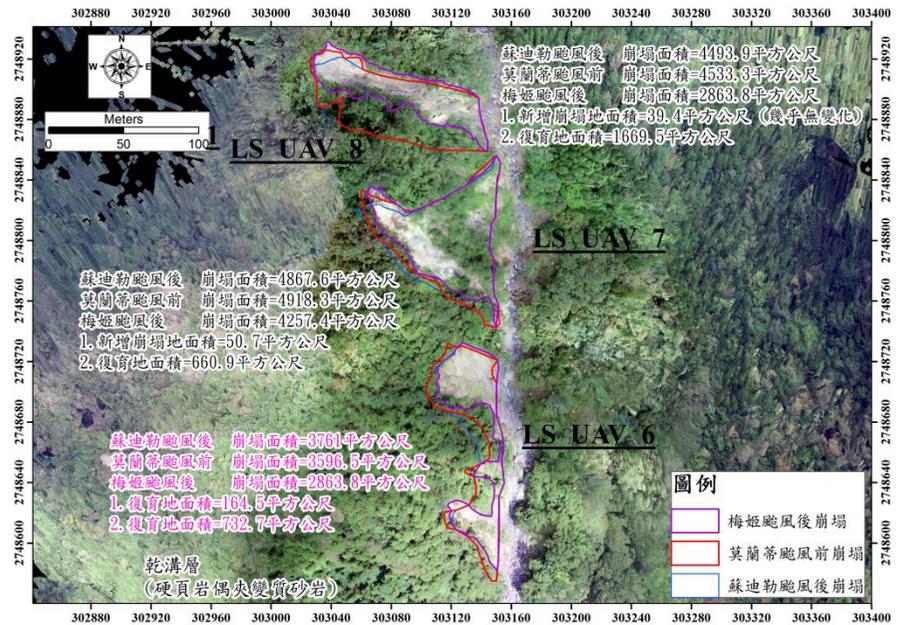
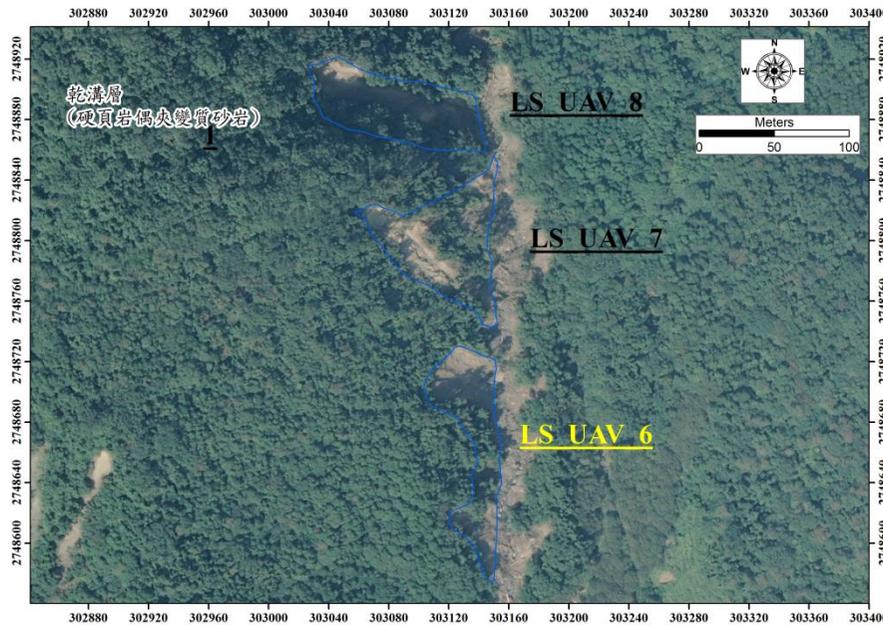
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_6  
樟樹溪北支  
流 0.3km 右  
岸崩塌



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	3,761.0	乾溝層	硬頁岩偶夾 變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 3761 平方公尺(0.38 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅略為復育，復育地面積達 164.5 平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為 732.7 平方公尺
2	尼伯特颱風後	4,918.3			
3	梅姬颱風後	2,863.8			

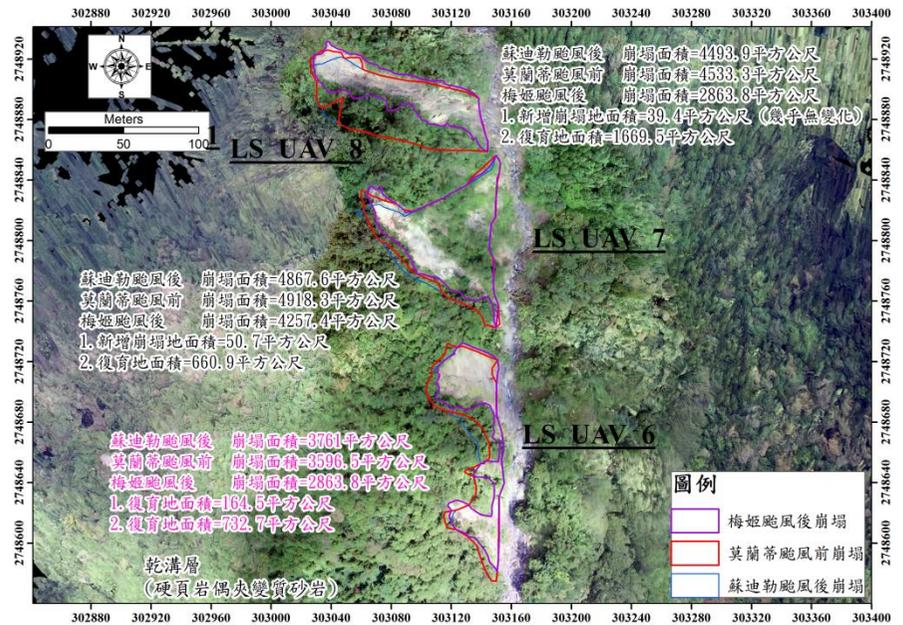
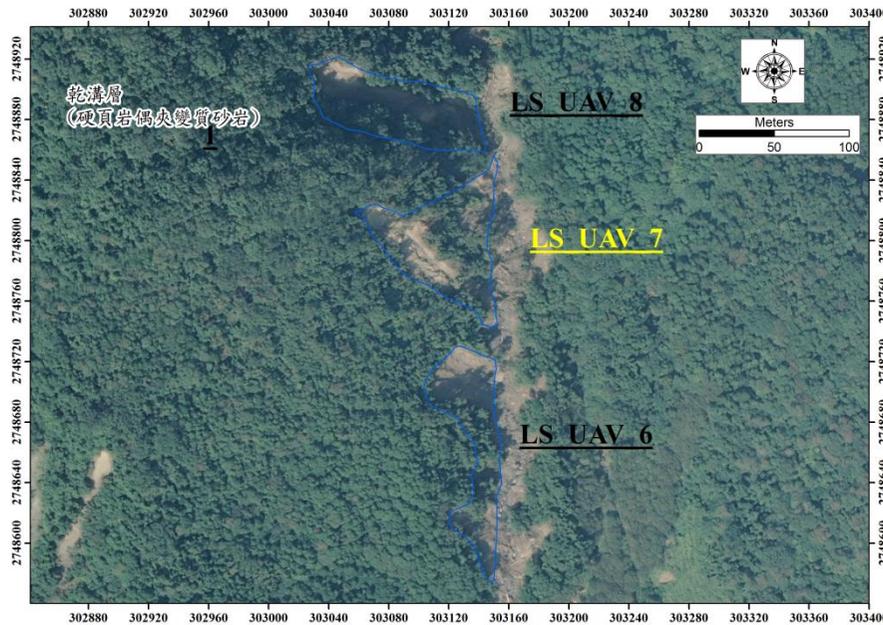
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_7  
樟樹溪北支流 0.4km 右岸崩塌



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	4,867.6	乾溝層	硬頁岩偶夾變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 4,867 平方公尺(0.49 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅略為新增，新增崩塌地面積達 50.7 平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為 660.9 平方公尺
2	尼伯特颱風後	4,918.3			
3	梅姬颱風後	4,257.4			

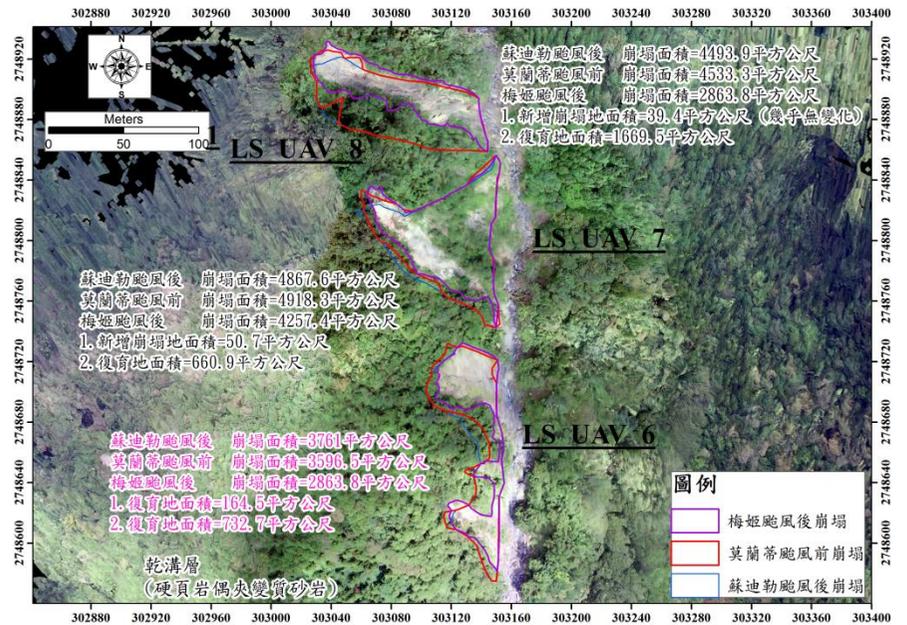
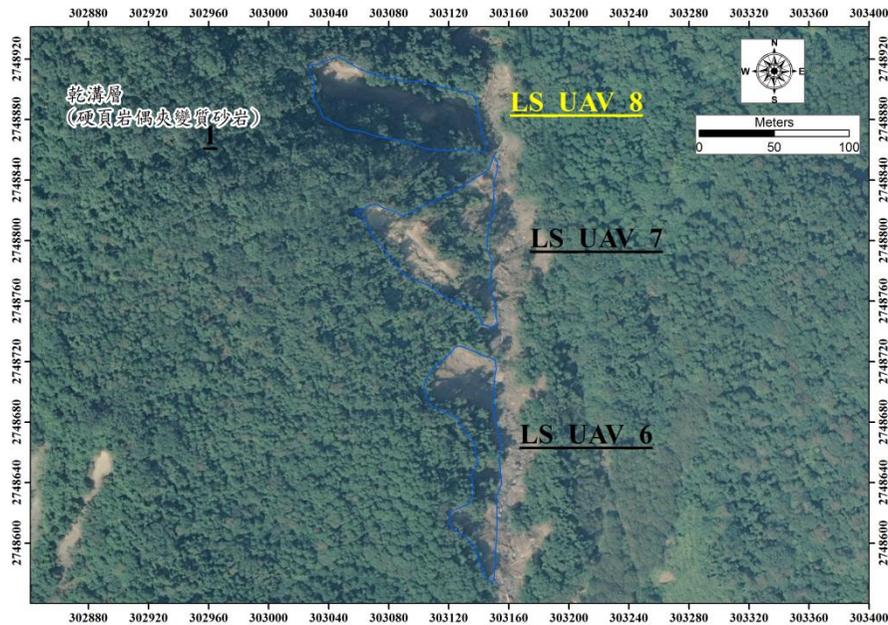
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

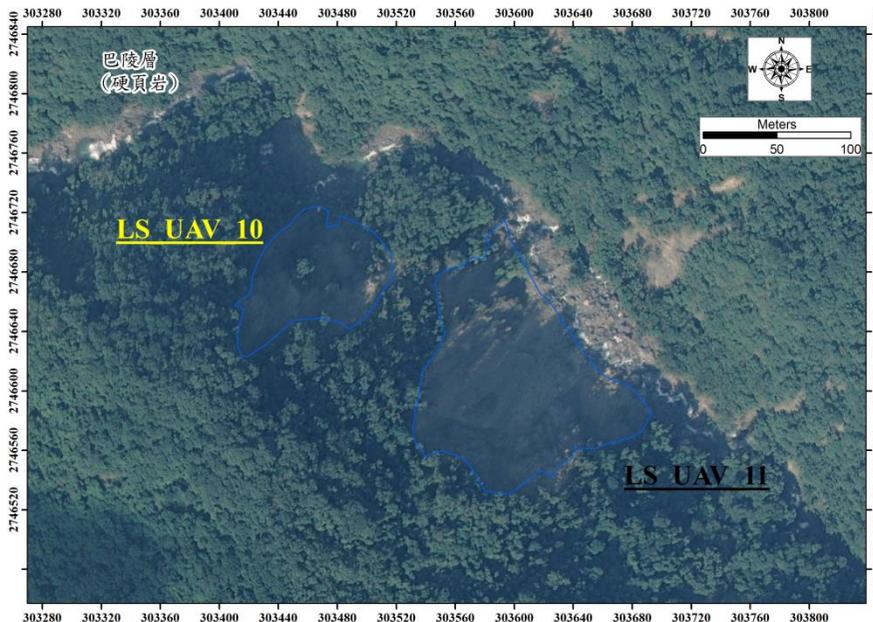
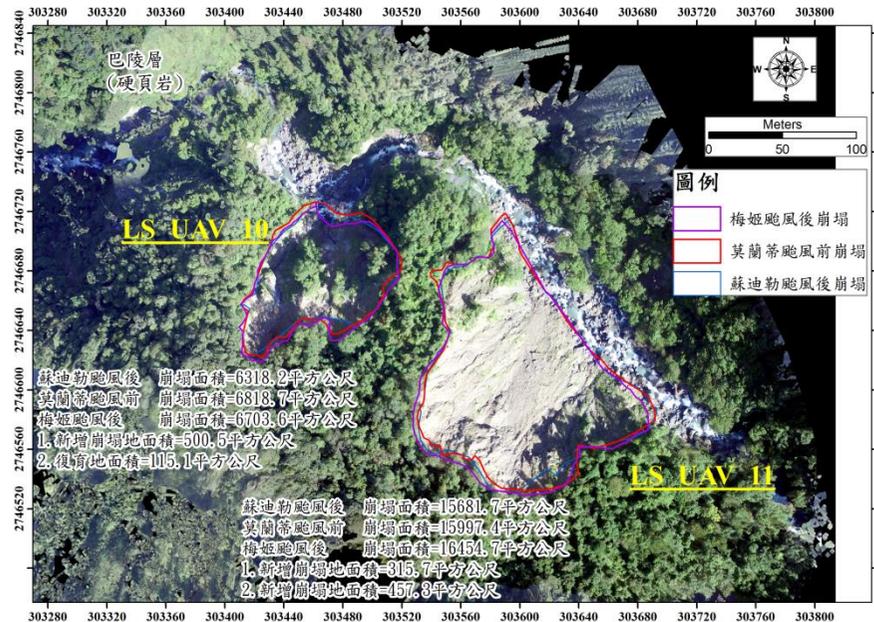
尼伯特颱風後

LS\_UAV\_8  
樟樹溪北支流  
0.6km 右  
岸崩塌



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	4,493.9	乾溝層	硬頁岩偶夾 變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 4,493 平方公尺(0.45 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅大幅度復育，復育地面積達 2,043 平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為 1,669.5 平方公尺
2	尼伯特颱風後	2,450.9			
3	梅姬颱風後	4,257.4			

編號/名稱	正射影像崩塌地判釋結果					
	蘇迪勒颱風後		尼伯特颱風後			
LS_UAV_9 烏紗溪上游 1.0km 左岸 崩塌						
	空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
	1	蘇迪勒颱風後	3,219.1	乾溝層	硬頁岩偶夾 變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 3,219 平方公尺(0.32 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅微幅新增，新增崩塌地面積達 343.5 平方公尺 3. 梅姬颱風後新增崩塌地面積為 181.7 平方公尺
	2	尼伯特颱風後	3,562.6			
3	梅姬颱風後	3,707.6				

編號/名稱	正射影像崩塌地判釋結果					
	蘇迪勒颱風後		尼伯特颱風後			
LS_UAV_10 內洞溪上游 0.3km 左岸 崩塌						
	空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
	1	蘇迪勒颱風後	6,318.2	巴陵層	硬頁岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 6,318 平方公尺(0.63 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅新增，新增崩塌地面積達 500.5 平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為 115.1 平方公尺
	2	尼伯特颱風後	6,818.7			
3	梅姬颱風後	6,703.6				

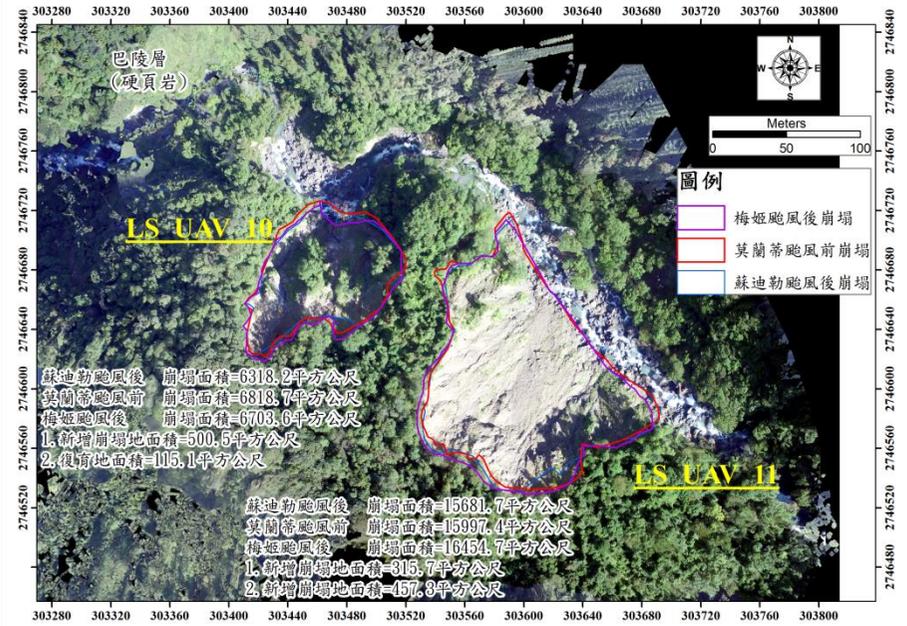
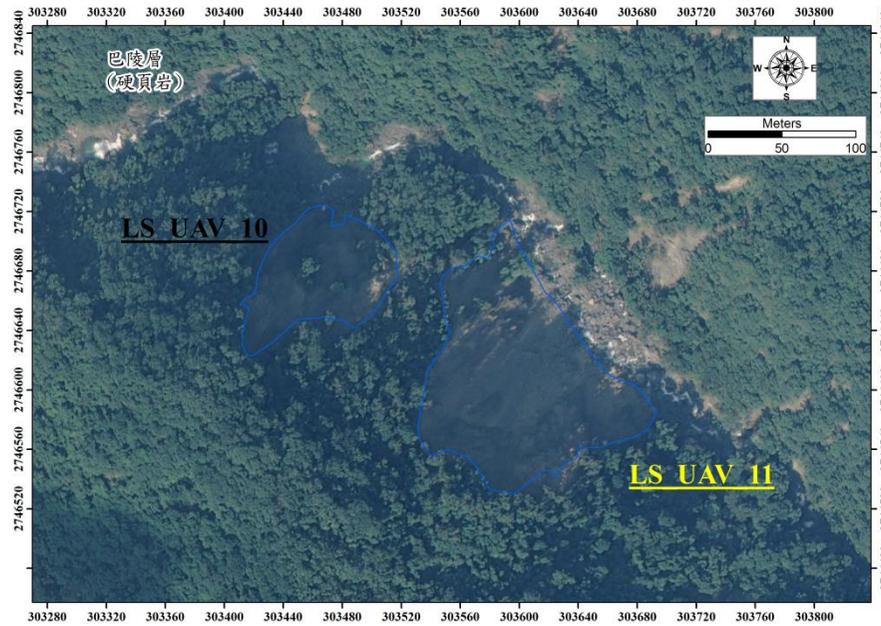
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_11  
內洞溪上游  
0.6km 左岸  
崩塌



空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	15,681.7	巴陵層	硬頁岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 15,681 平方公尺(1.57 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌僅微幅新增，新增崩塌地面積達 315.7 平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為 457.3 平方公尺
2	尼伯特颱風後	15,997.4			
3	梅姬颱風後	1,6454.7			

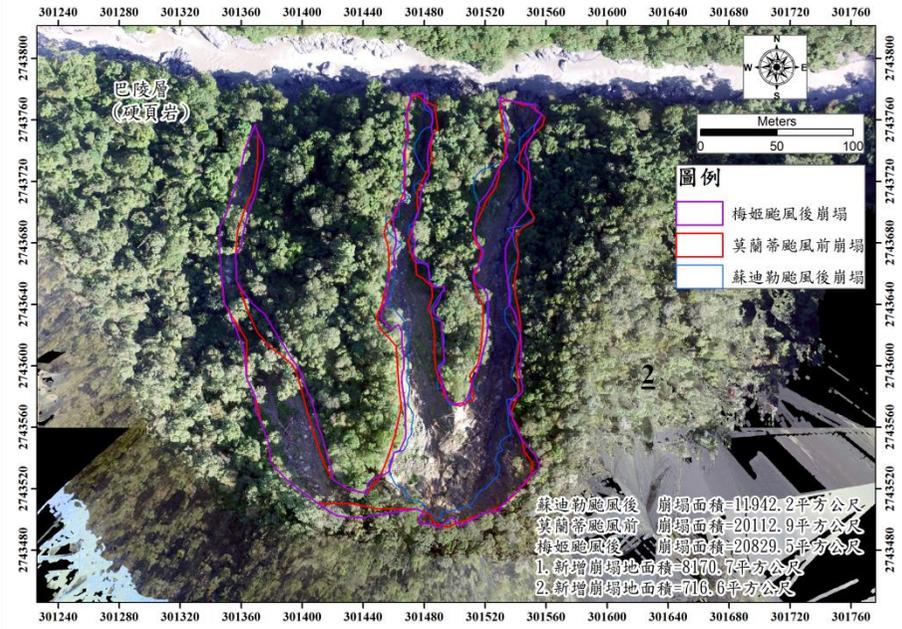
正射影像崩塌地判釋結果

編號/名稱

蘇迪勒颱風後

尼伯特颱風後

LS\_UAV\_12  
下盆教會下游 1.0km 南  
勢溪主流右  
岸崩塌



蘇迪勒颱風後 崩塌面積=11,942.2 平方公尺  
莫蘭蒂颱風前 崩塌面積=20,112.9 平方公尺  
梅姬颱風後 崩塌面積=20,829.5 平方公尺  
1. 新增崩塌地面積=8170.7 平方公尺  
2. 新增崩塌地面積=716.6 平方公尺

空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	16,863.1	巴陵層	硬頁岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達 16,863 平方公尺(1.69 公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌大幅新增，新增崩塌地面積達 3,249.8 平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為 716.6 平方公尺
2	尼伯特颱風後	20,112.9			
3	梅姬颱風後	20,829.5			

資料來源：本計畫整理。

表4-7 12處空拍崩塌地變遷情勢結果彙整表

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	崩塌類型	林班 號	蘇迪勒後 崩塌面積 (公頃)	莫蘭蒂後 崩塌面積 (公頃)	梅姬後 崩塌面積 (公頃)	蘇迪勒後至莫蘭蒂後崩塌變遷			莫蘭蒂後至梅姬後崩塌變遷		
									變遷 情勢	變遷 面積 (公頃)	崩塌變遷 比率(%)	變遷 情勢	變遷 面積 (公頃)	崩塌變遷 比率(%)
LS_UAV_1	桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌(烏來國中對岸)	305921.2	2750917.8	岩屑崩滑	2	0.351	-	-	工程整治中	-	-	已完成工程整治	-	-
LS_UAV_2	桶後溪上游 0.7km 右岸崩塌	306171.4	2750562.4	岩屑崩滑, 順向坡	2	0.301	0.289	0.216	復育	-0.012	-3.99	復育	-0.073	-24.14
LS_UAV_3	桶後溪上游 1.0km 右岸崩塌	306342.0	2750559.5	岩屑崩滑	2	0.339	0.368	0.384	舊崩塌地擴大	0.029	8.49	舊崩塌地擴大	0.016	4.65
LS_UAV_4	桶後溪上游 8.0km 左岸崩塌	310596.6	2749008.7	岩屑崩滑	7	1.206	1.206	1.214	幾近無變遷	0.000	0.01	舊崩塌地擴大	0.008	0.65
LS_UAV_5	信賢吊橋上游 1.0km 南勢溪主流右岸	304236.1	2747999.1	岩屑崩滑	12	0.451	0.473	0.498	舊崩塌地擴大	0.022	4.88	舊崩塌地擴大	0.026	5.77
LS_UAV_6	樟樹溪北支流 0.3km 右岸崩塌	303146.7	2748652.5	岩屑崩滑, 落石	21	0.376	0.36	0.286	復育	-0.016	-4.38	復育	-0.073	-19.49
LS_UAV_7	樟樹溪北支流 0.4km 右岸崩塌	303105.0	2748799.5	岩屑崩滑, 落石	21	0.487	0.492	0.426	舊崩塌地擴大	0.005	1.04	復育	-0.066	-13.57
LS_UAV_8	樟樹溪北支流 0.6km 右岸崩塌	303085.4	2748890.2	岩屑崩滑, 落石	21	0.449	0.245	0.286	復育	-0.204	-45.50	復育	-0.167	-37.18
LS_UAV_9	烏紗溪上游 1.0km 左岸崩塌	302174.8	2748021.1	岩屑崩滑	21	0.322	0.356	0.371	舊崩塌地擴大	0.034	10.67	舊崩塌地擴大	0.018	5.64
LS_UAV_10	內洞溪上游 0.3km 左岸崩塌	303464.1	2746673.5	岩屑崩滑, 落石	14	0.632	0.682	1.645	舊崩塌地擴大	0.050	7.92	復育	-0.012	-1.82
LS_UAV_11	內洞溪上游 0.6km 左岸崩塌	303612.0	2746622.6	岩屑崩滑	14	1.568	1.6	2.083	舊崩塌地擴大	0.032	2.01	舊崩塌地擴大	0.046	2.92
LS_UAV_12	下盆教會下游 1.0km 南勢溪主流右岸崩塌	301472.1	2743638.7	岩屑崩滑, 落石	17	1.686	2.011	0.216	舊崩塌地擴大	0.325	19.28	舊崩塌地擴大	0.072	4.25

註：定義崩塌變遷比率表示蘇迪勒颱風後崩塌地變遷(舊崩塌地擴大或復育)情勢及比率。崩塌變遷比率 =  $\frac{\text{各期崩塌新增或復育面積}}{\text{蘇迪勒颱風後崩塌地面積}} \times 100\%$ 。

資料來源：本計畫整理。

## 第五章 蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷研判

基於前述蒐集之正射航照，判釋南勢溪主河道受蘇迪勒颱風影響，其各區段（各主要支流匯入主流間之河段，至少 5 處區段）河道之變遷情形，此外參考經濟部水利署臺北水源特定區管理局（簡稱北特局）（2015）「新店溪青潭堰以上（新店溪及南勢溪部分）流域整體調查規劃(1/2)」數值高程模型差異分析成果，加值探討南勢溪各河段沖刷與堆積結果，藉以釐清河道土砂收支對蘇迪勒颱風期間造成高濁度之影響。由製作數值高程模型之正射航照可知（北特局，2015），主河道水位低，且近岸河道多為裸露，故採用數值高程模型差異結果進行河道土砂收支統計仍有其可信度。本章茲就(1)南勢溪河道判釋方法與成果及(2)南勢溪河道變遷分析（子集水區單元、主要變遷河段與河道土砂收支）等成果分項說明如下：

### 5-1 南勢溪河道變遷判釋

本計畫蒐集農航所蘇迪勒颱風前後正射影像照片（災前航照時間：2010/01/13~2014/03/24；災後航照時間：2015/08/10~2015/10/27），以航空照片為底圖完成南勢溪河道數化，可獲致迪勒颱風前後南勢溪主流與匯入主流之主要支流河道成果。

然正射航照為多光譜影像，會受到天氣、陰影、雲遮、拍攝角度、正射偏斜等因素影響，於河道判釋上僅能就河道土砂堆積範圍進行判釋，無法實際反映河道擴槽、側蝕現象，也難以區隔低緩邊坡與河道之邊界，此為採用航照進行河道變遷分析之限制，仍會有影像分析精度之誤差。河道判釋流程圖如圖 5-1，河道遙測判釋數化原則如下：

- (一) 圖資需求：套疊山坡地、林班地、1/25,000比例尺經建地形圖水系、子集水區及地形陰影圖於航空照片之上，描繪河道邊緣，避免繪製到山坡地範圍，確認河道與水系及子集水區邊界吻合，避免不合理地形跨越情形，並以Polygon儲存河道數化結果。
- (二) 避免納入情況：繪製河道時，應避免將崩塌堆積區、裸岩、坡面上

人工結構物 (建築物、道路、工程等)、坡面影像陰影、雲遮等數化納入河道之中。

- (三) 應納入及參考情況：河道數化時，應將河道中淺灘、深潭、淤積土砂區域、支流匯流擴大等納入河道範圍內，並觀察水工結構物及跨河結構物如護岸、丁壩、固床工、橋梁 (橋墩)等皆可做為邊界數化研判的依據。
- (四) 多光譜影像遮蔽問題解決方式：遭遇陰影、雲遮、樹林遮蔽情形，則以衛星影像或Google earth底圖彌補航空照片遮蔽問題，以完整數化河道邊界。

蘇迪勒颱風前後河道判釋成果如圖 5-2 所示。經前後期河道變遷差異分析，歸納結果共有 7 處較大變遷區域，此一變遷區域與前述新增崩塌地熱區一致。茲就河道判釋結果歸納分述如下：

#### 1. 福山水文站上游基岩河道堆積變遷

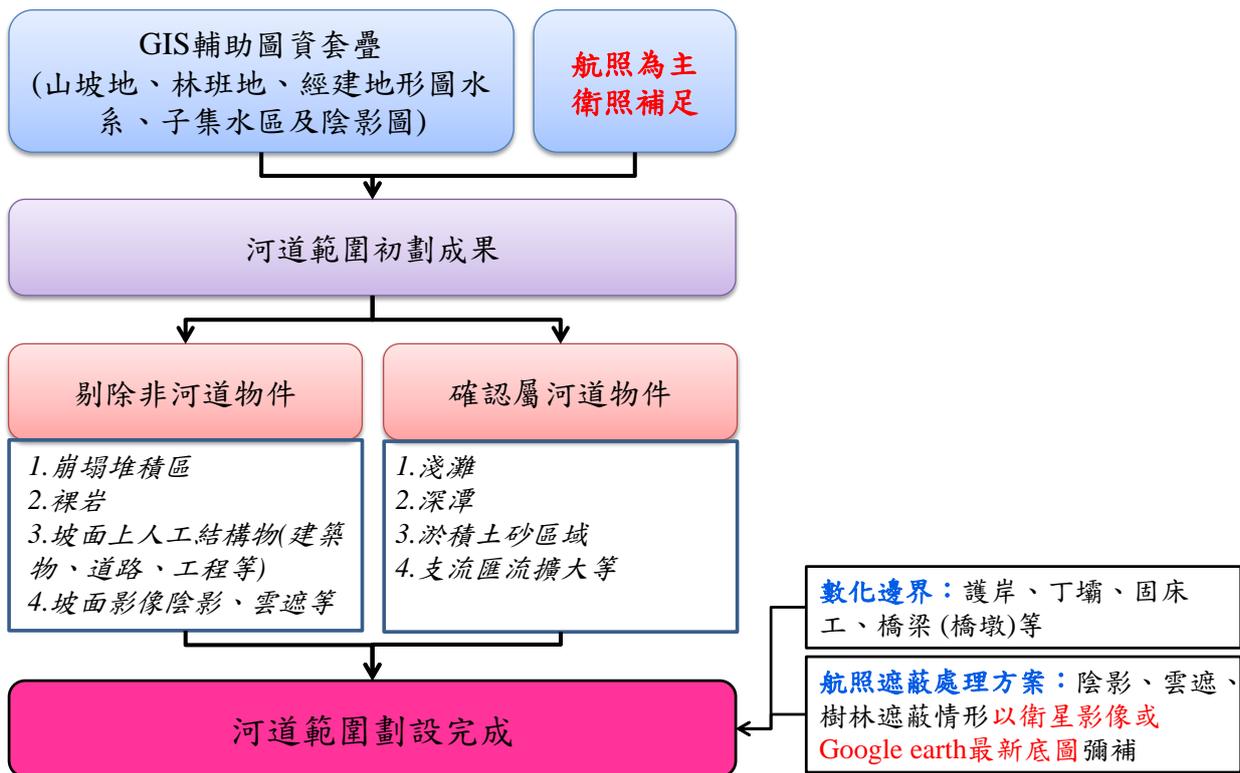
由正射航照與現地勘查可知，福山水文站上游三條支流 (哈盆溪、札孔溪、大羅蘭溪)多為基岩河道，本處列舉札孔溪、哈盆溪基岩河道照片如圖 5-3 所示。航照判釋結果顯示，河道變化皆是河道堆積土砂或河床抬升造成行水區範圍增加情況，歸納結果如圖 5-2(c)，此一變遷區域以(1)札孔溪河道彎道區域、(2)三支流匯流口及(3)哈盆溪環流丘變動最為劇烈，後續將以此三區域進行河道變遷歷程探討。

#### 2. 福山水文站至桶後溪匯流口

由正射航照與現地勘查可知，福山水文站至桶後溪匯流口多為基岩與堆積物混合河道，本處列舉內洞溪、烏紗溪與樟樹溪河道照片如圖 5-4 所示。航照判釋結果顯示，福山水文站至桶後溪匯流口河段，在南勢溪主河道有部分河道側蝕下刷情況，歸納結果如圖 5-2(c)，此一變遷區域以(1)內洞溪、烏紗溪與樟樹溪三支流匯流主河道、(2)桶後溪河道彎道區域及(3) 桶後溪匯入南勢溪主流匯流口，後續將以此三區域進行河道變遷歷程探討。

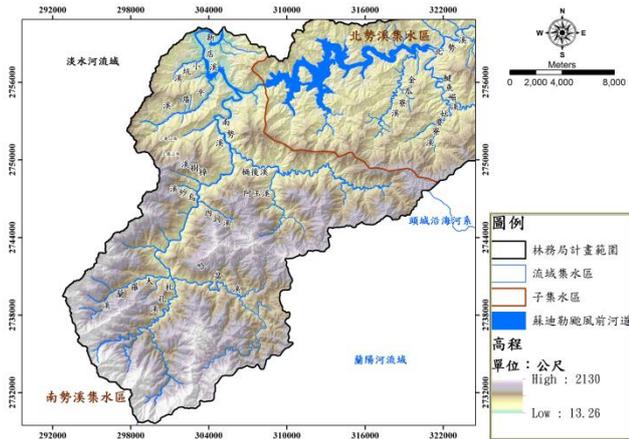
### 3. 桶後溪匯流口至平廣溪匯流口

由正射航照與現地勘查可知，桶後溪匯流口至平廣溪匯流口多為基岩與堆積混合河道。航照判釋結果顯示，此河段在南勢溪主河道彎道區及忠治里崩塌區域前河道側蝕下刷情況明顯，歸納結果如圖 5-2(c)，後續將以此區域進行河道變遷歷程探討。

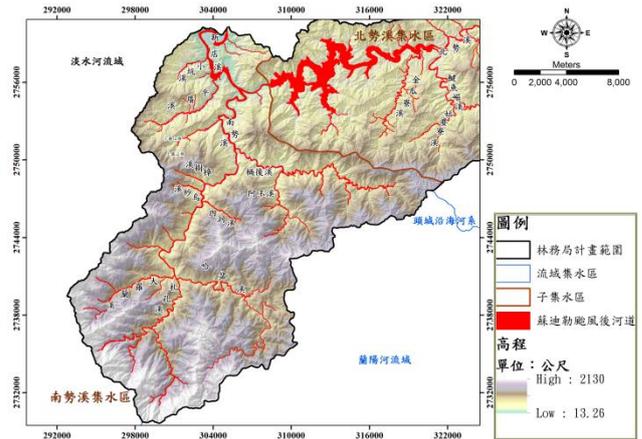


資料來源：本計畫繪製。

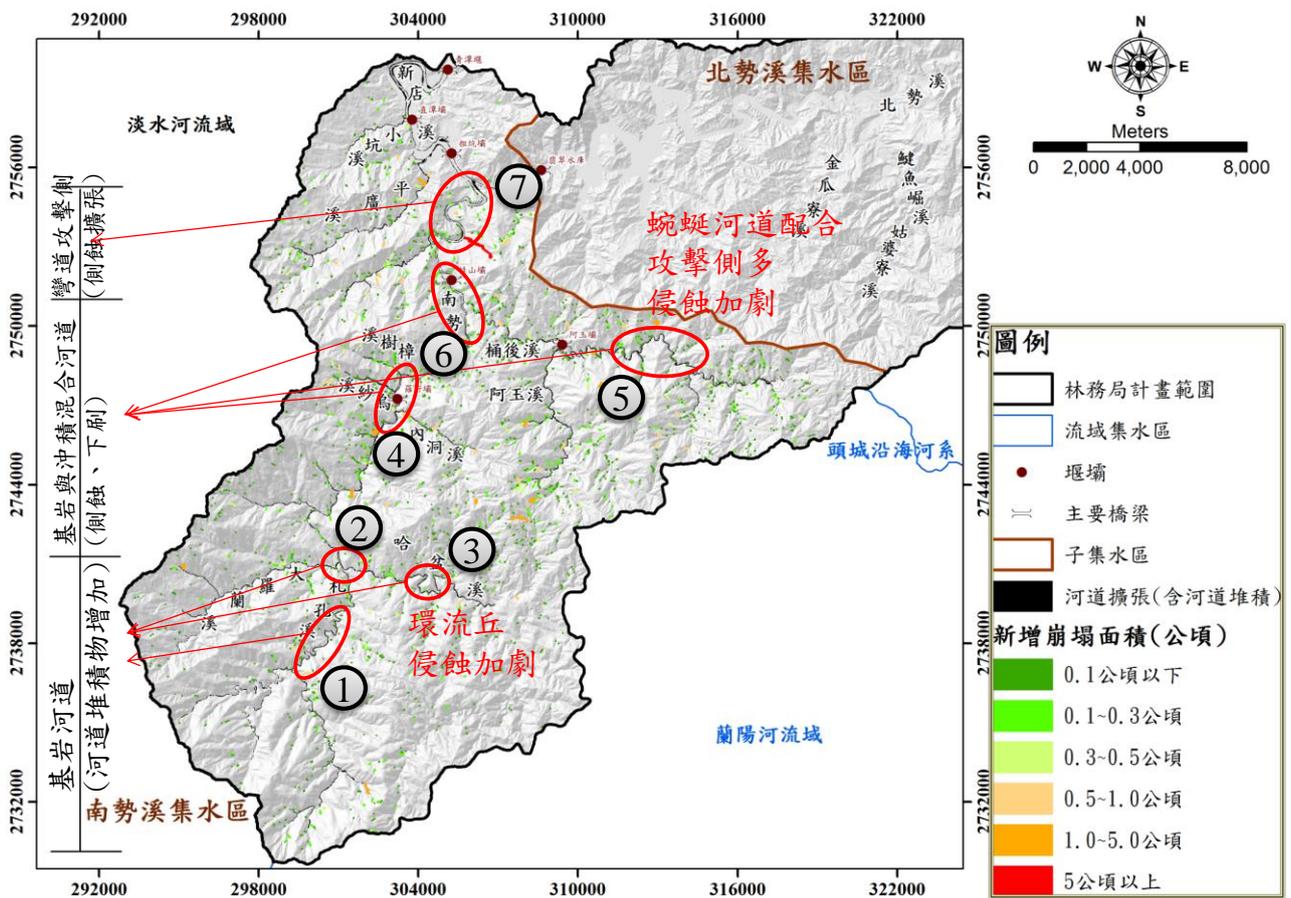
圖5-1 以正射航照判釋河道作業流程圖



(a) 颱風前河道



(b) 颱風後河道



(c) 行水範圍擴張與新增崩塌地空間分布

資料來源：本計畫繪製。

圖5-2 南勢溪集水區蘇迪勒颱風前後期河道及變遷歸納結果圖



(a)札孔溪基岩河道



(b)哈盆溪基岩河道

資料來源：本計畫拍攝。

**圖5-3 福山水文站上游支流基岩河道**



(a)桶後溪混和河道  
(覽勝橋旁向桶後溪拍攝)  
(304970,2750610)



(b)桶後溪、阿玉溪匯流後河道為主  
(308476,2749541)



(c)樟樹溪混和河道  
(302416,2748477)



(d)烏紗溪混和河道  
(301742,2746660)

資料來源：本計畫拍攝。

**圖5-4 福山水文站至桶後溪匯流口主要支流混和河道**

## 5-2 河道變遷區域分析

本節茲以蘇迪勒颱風前後河道變遷區域為基礎，分就子集水區單元、7 處主要河道變遷區域與南勢溪集水區各河段土砂收支成果進行討論，期釐清河道變遷區域與特性，進而談及對南勢溪濁度影響之初步論述。

### (一)子集水區單元河道變遷分析

依據蘇迪勒颱風前後期河道範圍，透過空間分析獲致河道範圍擴張與縮減區域，以子集水區為分析單元，統計各子集水區河道擴張(含河道堆積土砂，或河床抬升致使行水區範圍增加之區域)，研究區各子集水區擴張面積統計結果如圖 5-5 所示。統計結果彙整分項說明如下：

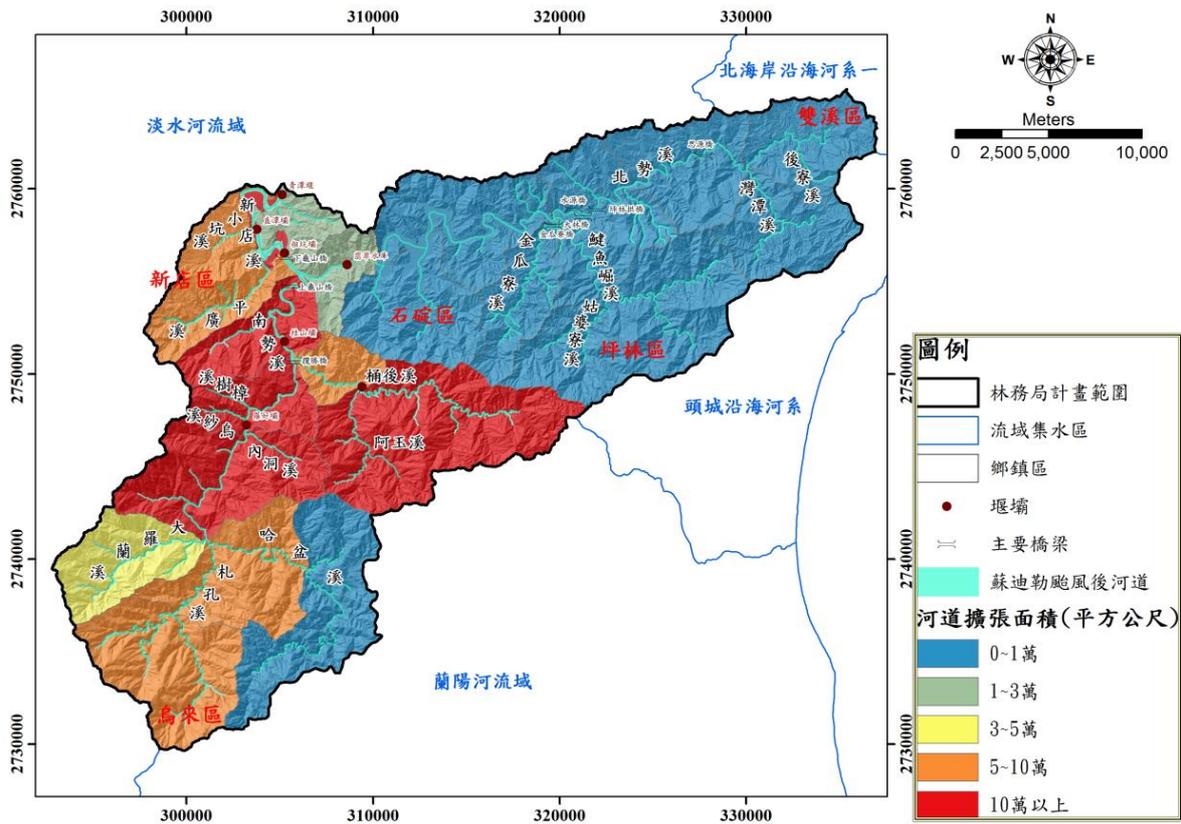
#### 1. 北勢溪集水區

研究區中北勢溪集水區各子集水區河道幾乎沒有變動。

#### 2. 南勢溪集水區

南勢溪集水區範圍內以福山水文站下游至平廣溪匯流南勢溪主河道處的沿岸支流擴張最為明顯，其中桶後溪河道擴張面積最多，約 28 萬平方公尺，其次為樟樹溪、內洞溪、烏紗溪，三條支流河道擴張範圍多是上至中游段，擴張面積皆達 10 萬平方公尺以上，其中樟樹溪下游及烏紗溪下游護岸整治工程之非變動區域已扣除。

至於福山水文站上游三條支流河道多屬基岩河道，河道擴張面積多為河道堆積土砂或河床抬升造成行水區範圍增加所致，並非河道側蝕所造成之擴槽現象，為避免誤解於此一併說明。此外，三條支流中以札孔溪河道堆積土砂最多，致使河道行水區面積增加約 5 萬平方公尺，哈盆溪上游河道幾乎沒有變動。



資料來源：本計畫繪製。

圖5-5 研究區河道擴張面積空間分布圖

## (二)7處主要河道變遷區域探討

依據前述 7 處主要河道變遷區域進行變遷歷程討論，結果歸納說明如下：

### 1. 福山水文站上游基岩河道堆積變遷

福山水文站上游基岩河道堆積變遷以(1)札孔溪河道彎道區域、(2)三支流匯流口及(3)哈盆溪環流丘等三個河段變遷最為劇烈，蘇迪勒颱風前後期河道擴張空間分布如圖 5-6 (b~d)所示。

札孔溪河道彎道區域(如圖 5-6 (a)編號①及圖 5-6 (b))，變動區域多集中在河道攻擊側、曲流彎道處及支流匯流口，擴張主要原因是堆積土砂或河床抬升造成行水區面積增加，擴張最大寬度約 19 公尺。

三支流匯流口(如圖 5-6 (a)編號②及圖 5-6 (c))，變動區域多集中在哈盆溪與札孔溪匯流口處的河道擴張，擴張主要原因也是堆積

土砂或河床抬升造成行水區面積增加，擴張最大寬度約 14 公尺。

哈盆溪環流丘(如圖 5-6 (a)編號③及圖 5-6 (d))，變動區域主要集中在哈盆溪環流丘彎道處 (圖 5-7)，蘇迪勒颱風期間高洪水位造成側蝕作用，此結果與 Barbour et al. (2009)提出觀點一致，進而加劇彎道處河道擴張變遷，擴張最大寬度約 27 公尺。

基於上述各河段擴張結果，顯見蘇迪勒颱風降雨衍生流量增加，增加主要支流 (札孔溪、桶後溪、阿玉溪與哈盆溪等)沿岸新增崩塌增加，加劇土砂入流、河道土砂輸送及河床下刷等作用，細部機制仍需要透過現地觀測才能進一步探討。

## 2. 福山水文站至桶後溪匯流口

福山水文站至桶後溪匯流口河段以(1)內洞溪、烏紗溪與樟樹溪三支流匯流主河道、(2)桶後溪河道彎道區域及(3)桶後溪匯入南勢溪主流匯流口等三個河段變遷最為劇烈，蘇迪勒颱風前後與河道擴張空間分布如圖 5-6 (e~g)所示。

內洞溪、烏紗溪與樟樹溪三支流匯流主河道(如圖 5-6 (a)編號④及圖 5-6 (e))，變動區域主要集中在樟樹溪下游、烏紗溪下游河道堆積、內洞溪崩塌處河道及三支流匯流口擴張區域，樟樹溪與烏紗溪河道係因土石堆積與部分側蝕作用之侵蝕現象；內洞溪係因崩塌土石堆積及加劇河岸沖刷造成；三支流匯流口則以土石堆積為多。上述三條支流在蘇迪勒颱風擴張最大寬度位處內洞溪匯入南勢溪主流右岸(圖 5-8)，寬度約 25 公尺。

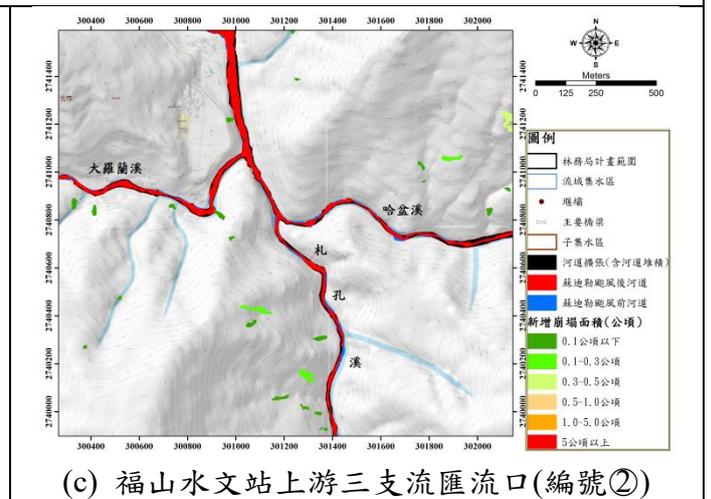
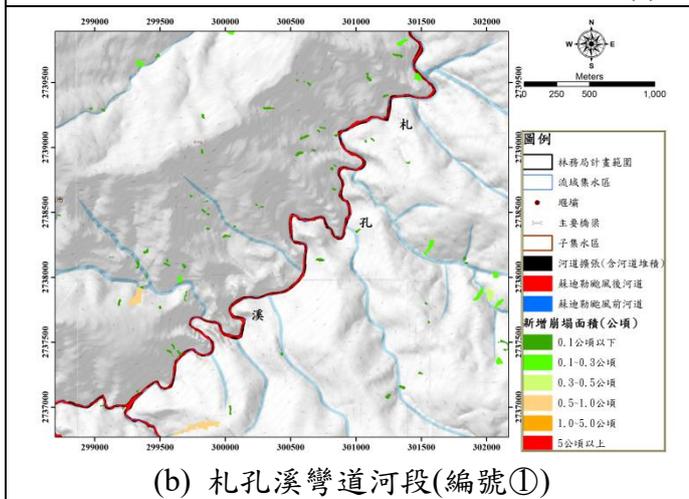
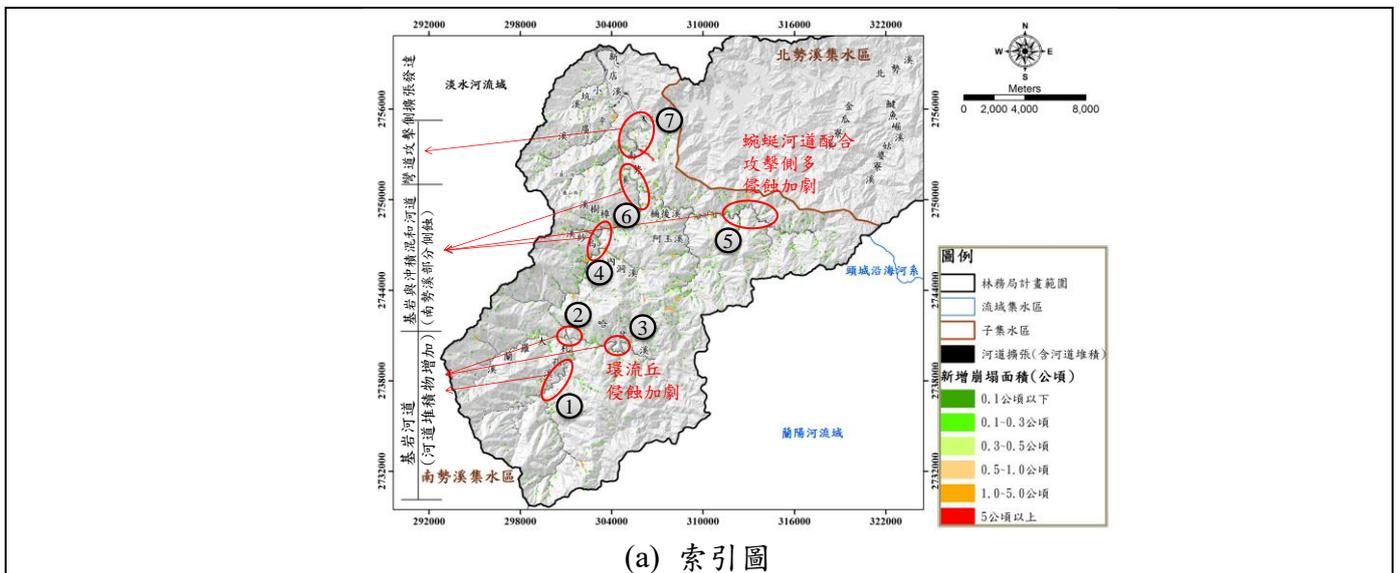
桶後溪河道彎道區域(如圖 5-6 (a)編號⑤及圖 5-6 (f))，變動區域主要集中在阿玉溪匯入桶後溪區域，原因係土石堆積與部分側蝕作用之侵蝕現象，蘇迪勒颱風擴張最大寬度同樣也是在阿玉溪匯流進桶後溪之匯流口寬度，最大寬度約 30 公尺。

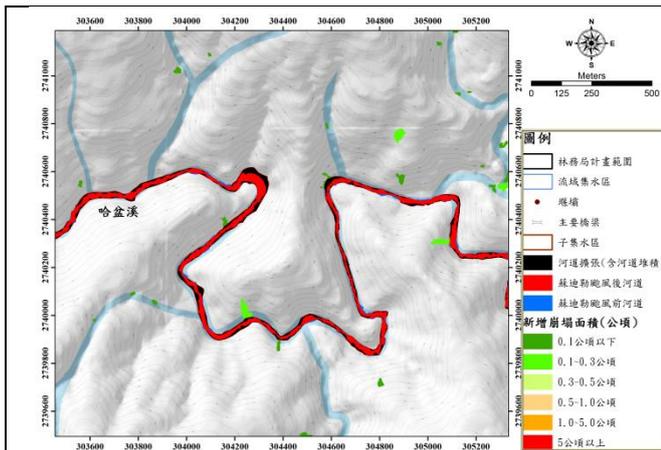
桶後溪匯入南勢溪主流匯流口(如圖 5-6 (a)編號⑥及圖 5-6 (g))，河道擴張區域與崩塌地分布頗為一致，可見應與桶後溪沿岸崩塌土石及支流含砂水流匯入加劇河道側蝕及土石堆積作用有關，上述河

段在蘇迪勒颱風擴張最大寬度位處桶後溪與南勢溪匯流口上游1公里處(圖 5-9)，寬度約 35 公尺。

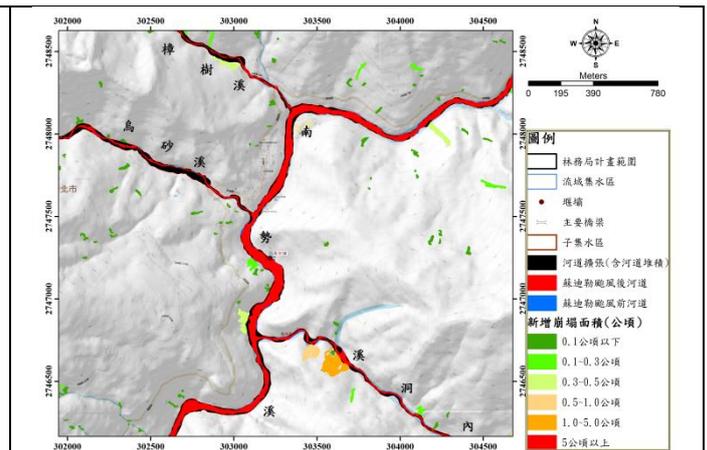
### 3. 桶後溪匯流口至平廣溪匯流口

桶後溪下游至平廣溪匯流口前主河道變遷(如圖 5-6 (a)編號⑦及圖 5-6 (h))，河道擴張區域與崩塌地分布相當一致，此一河段又是非常蜿蜒之曲流段，在雙重作用下，加劇河道側蝕及土砂堆積情況，上述河段在蘇迪勒颱風擴張最大寬度位處忠治里崩塌下方河道左岸(圖 5-10)，寬度約 40 公尺。

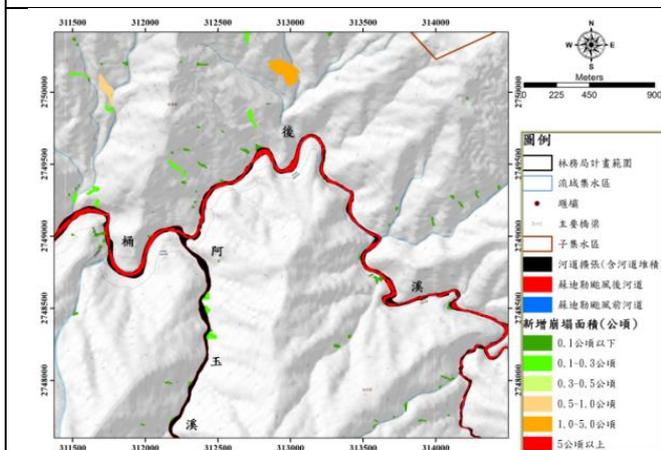




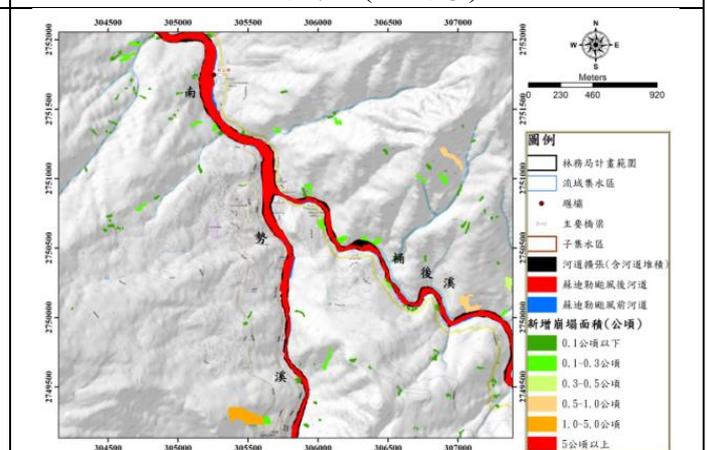
(d) 哈盆溪環流丘河段(編號③)



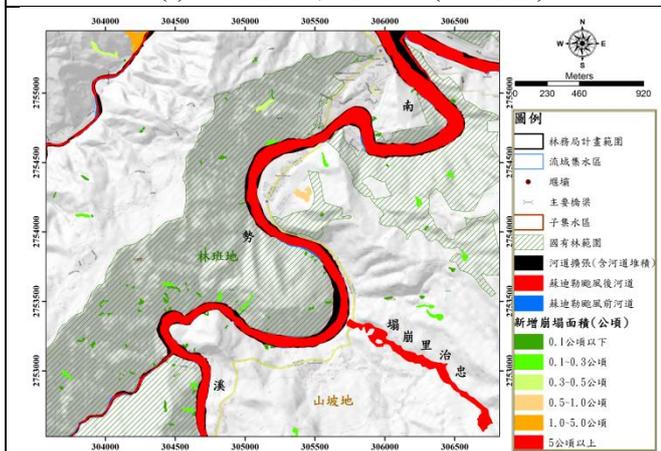
(e) 樟樹溪、烏紗溪與內洞溪匯流南勢溪區間河段(編號④)



(f) 桶後溪彎道河段(編號⑤)



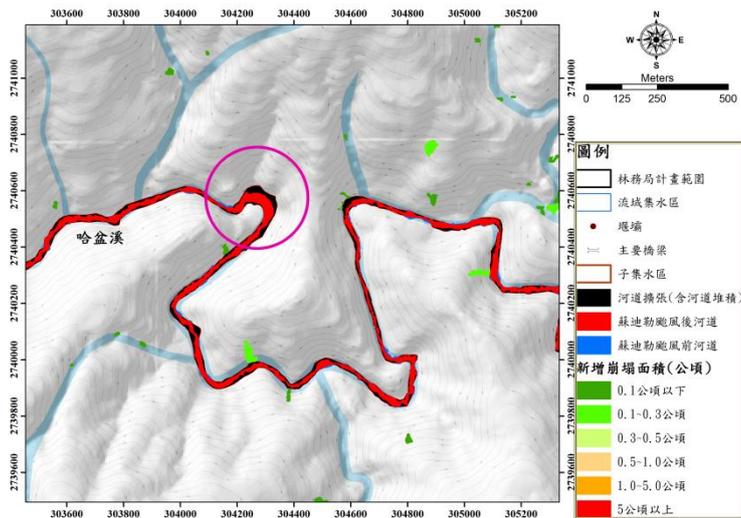
(g) 桶後溪匯入南勢溪主流河段(編號⑥)



(h) 桶後溪下游至平廣溪匯流口南勢溪主河道(編號⑦)

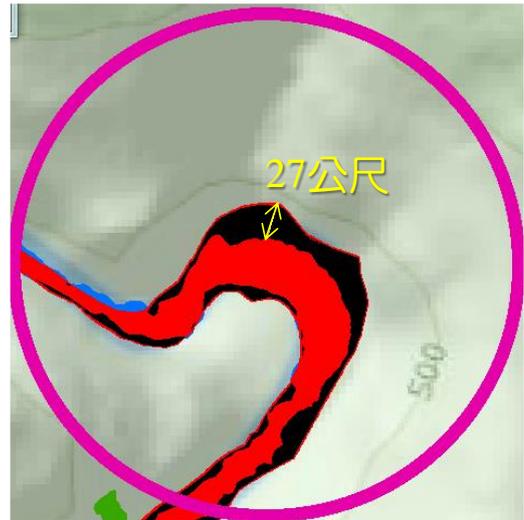
資料來源：本計畫繪製。

圖5-6 研究區蘇迪勒颱風前後河道變遷及7處主要變遷河道空間分布圖



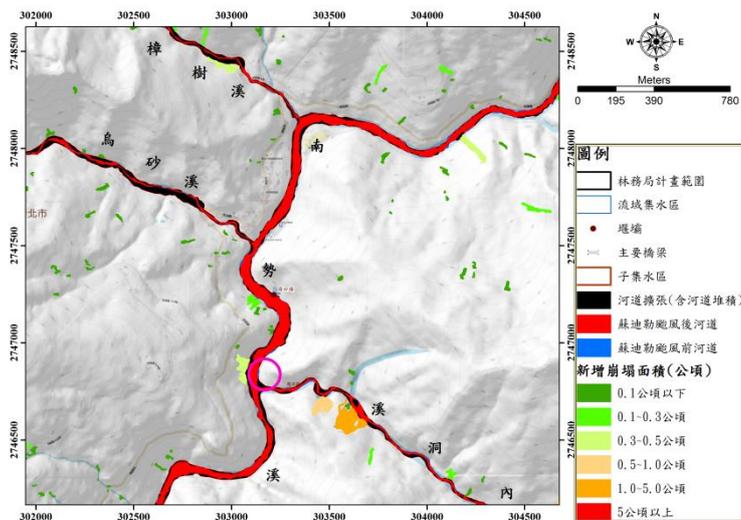
(a) 哈盆溪環流丘河道最大擴張區域  
(圓圈處)

資料來源：本計畫繪製。



(b) 哈盆溪環流丘最大擴張區域  
(約 27 公尺)

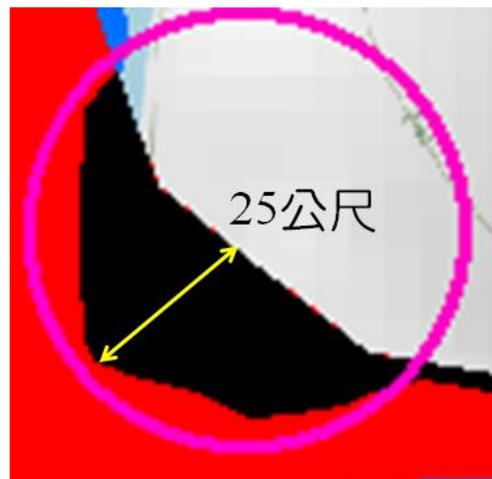
圖5-7 哈盆溪環流丘於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區域



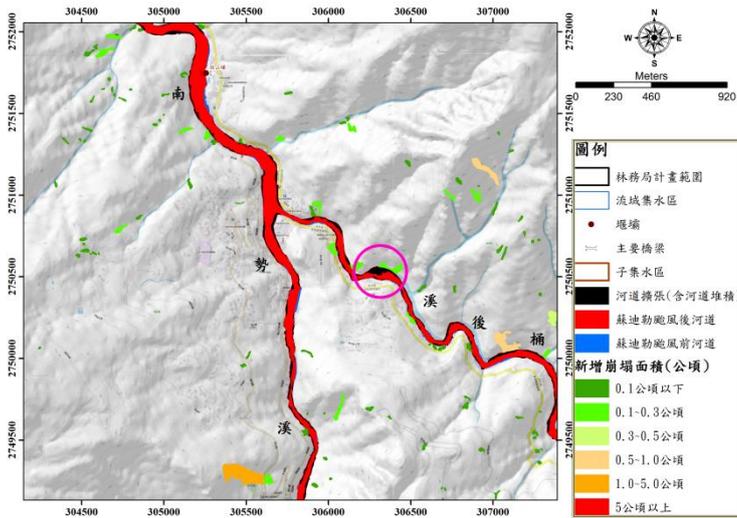
(a) 內洞溪匯流南勢溪主河道最大擴張區域  
(圓圈處)

資料來源：本計畫繪製。

圖5-8 內洞溪匯流南勢溪主河道於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區域



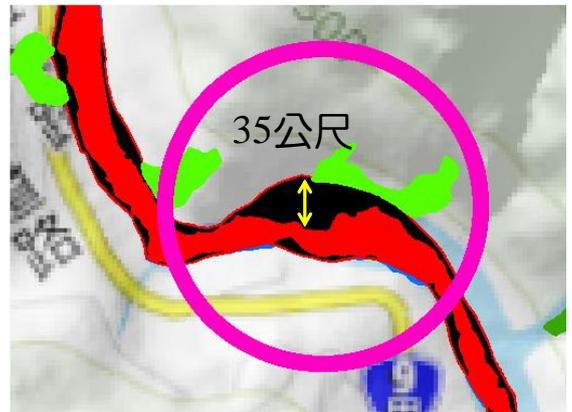
(b) 內洞溪匯流南勢溪主河道  
最大擴張區域  
(約 25 公尺)



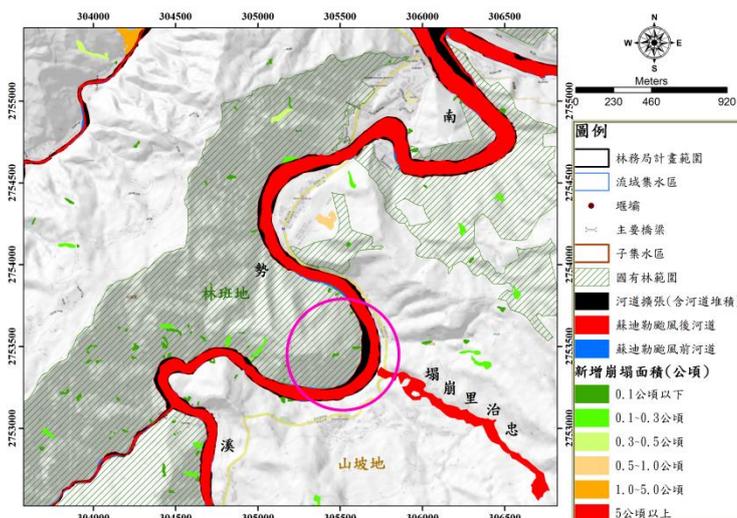
(a) 桶後溪匯入南勢溪主流匯流口最大擴張區域  
(圓圈處)

資料來源：本計畫繪製。

圖5-9 桶後溪匯入南勢溪主流匯流口於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區域



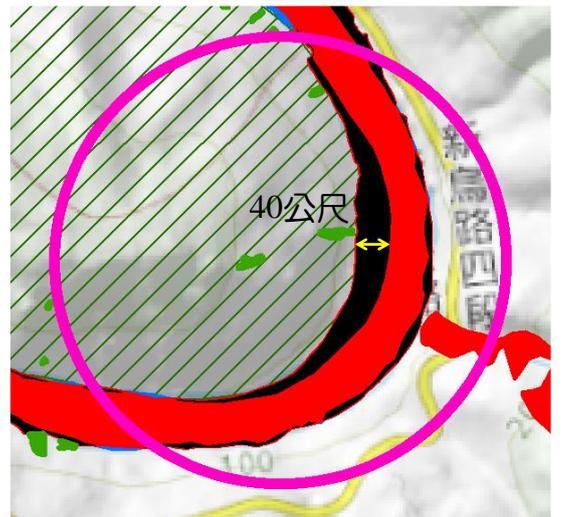
(b) 桶後溪匯入南勢溪主流匯流口  
最大擴張區域  
(約 35 公尺)



(a) 桶後溪匯流口至平廣溪匯流口最大擴張區域  
(圓圈處)

資料來源：本計畫繪製。

圖5-10 桶後溪匯流口至平廣溪匯流口於蘇迪勒颱風前後河道變遷最大區域



(b) 桶後溪匯流口至平廣溪匯流口  
最大擴張區域  
(約 40 公尺)

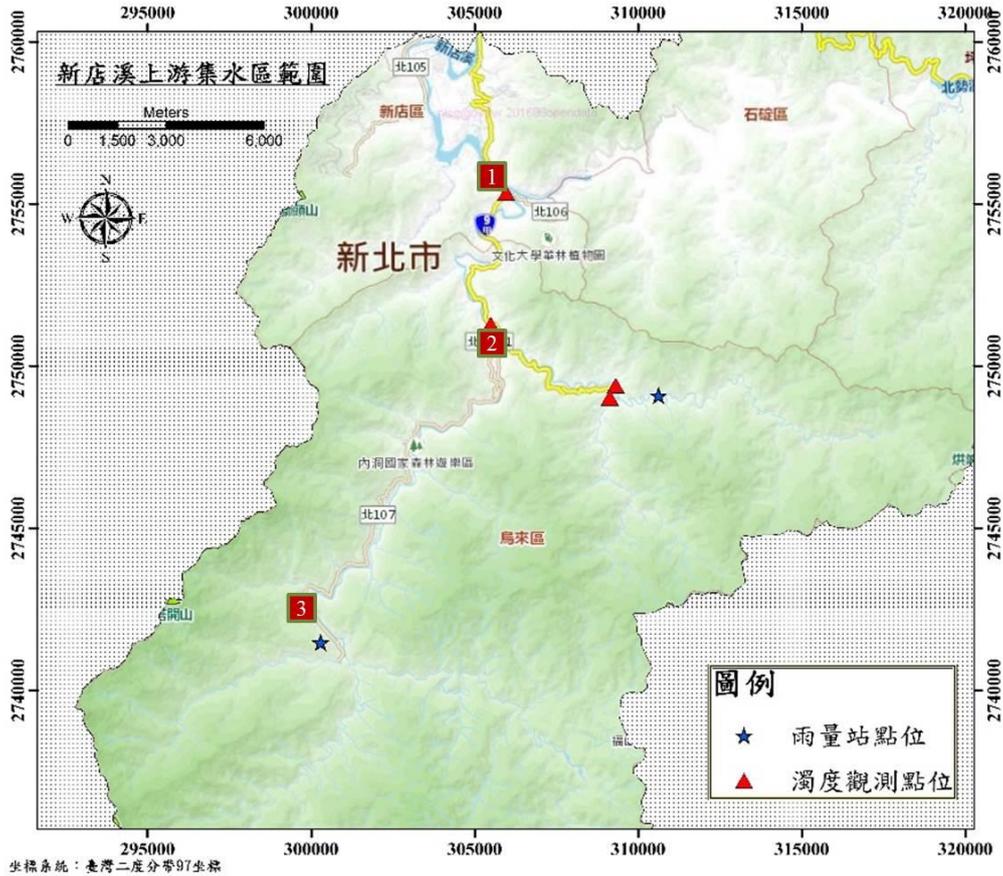
## 第陸章 濁度數據蒐集與颱風濁度觀測

### 6-1 濁度監測數據報告蒐集

本計畫持續蒐集國內相關單位新店溪上游流域之濁度監測數據報告，國內相關單位之濁度數據(由下游至上游)以下龜山橋、覽勝大橋以及福山等三處水質監測站為新店溪主要濁度觀測依據，水質監測站地理位置如圖 6-1，其中下龜山橋水質監測站原設址於屈尺(1140H068)，於今年 105 年 4 月遷移至先址，故該站之濁度數據以 105 年 4 月為界，105/04/02 之前宜採用屈尺(1140H068)之觀測數據，而 105/04/18 之後宜採用下龜山橋(1140H087)之數據，中間日期缺漏之數據為測站移轉造成。下龜山橋之資料最早紀錄自 74 年 3 月，目前更新至 106 年 10 月；覽勝大橋之資料最早紀錄自 94 年 5 月，目前更新至 106 年 10 月；福山之資料最早紀錄自 74 年 4 月目前更新至 106 年 10 月，濁度監測數據期間與量測方法(人工或自計式)彙整如表 6-1。本計畫執行期間將持續更新相關單位濁度監測數據報告，做為推估泥砂來源之參考。

表6-1 新店溪上游流域之濁度監測數據報告

站名	時間(民國年)	測量方法	測量間距
福山站 1140H010	74~104	人工測量	每月一次
	105~	自計式濁度計	10 分鐘
覽勝大橋站 1140H095	94~104	人工測量	每月一次
	105~	自計式濁度計	10 分鐘
屈尺站 (下龜山橋站) 1140H087	74~104	人工測量	每月一次
	105~	自計式濁度計	10 分鐘



資料來源：台北水資源特定區管理局

圖6-1 濁度監測站位置圖

## 6-2 颱風事件於南勢溪濁度影響之量測規劃

河川溪水濁度之高低可作為政府相關權責單位施政之依據，然欲了解泥砂對於河川之影響，除量測濁度以外，同時需量測河川之水位、流量以及含砂量。河川水位及流量量測的目的在求得各河川測點於不同水位下之相對流量，據以計算製圖做成水位-流量率定曲線，實際數據以自計式水位計獲得水位，ADCP 量測獲得流量。待建立水位-流量率定曲線之後，可透過自計式水位計所測得之水位，經率定曲線轉換成測點密度高之流量記錄。流量搭配現地河川溪水採樣分析獲得之含砂量，可推算河川之輸砂量，並進一步分析泥砂之來源。

### (一)量測地點概述

本計畫規劃 15 處可能之觀測點位，實際觀測點位依颱風事件現場狀況為主，由下游至上游包括位於南勢溪中下游之翡翠一號橋、上

龜山橋、烏來觀光大橋；位於桶後溪的烏來橋、阿玉壩、阿玉溪；位於南勢溪中上游之覽勝橋、樟樹溪、烏砂溪、屯鹿溪、斯其野溪、卡拉莫基、大羅蘭溪、札孔溪、以及哈盆溪，各點位之位置如圖 6-2，現場照片如圖 6-3。以下就各觀測點位描述(與位置圖上之編號對應)：

- (1)翡翠一號橋：位於南勢溪上，鄰近南勢溪與北勢溪匯流口，為南勢溪最下游之點位，設濁度監測站，適合作為南北勢溪匯流前之濁度觀測點位。
- (2)上龜山橋：位於台9甲10.2公里大崩塌之下游，設有自計式水位計，適合作為檢驗前述崩塌地濁度貢獻之觀測點位。
- (3)烏來觀光大橋：位於桶後溪以及南勢溪匯流口下游，適合作為桶後溪以及南勢溪濁度貢獻之檢驗觀測點位。
- (4)烏來橋：位於烏來老街之入口，同時為桶後溪之上最接近桶後溪與南勢溪匯流口之點位，適合作為檢測桶後溪對於南勢溪主流之濁度貢獻觀測點位。
- (5)阿玉壩：位於桶後溪中游，阿玉溪與桶後溪匯流後，為台電所轄，此處設有水尺，以及過去建立之水位-流量率定曲線，適合作為桶後溪濁度貢獻之觀測點位。
- (6)阿玉溪：位於阿玉溪下游與桶後溪匯流之前，適合作為桶後溪之支流阿玉溪濁度貢獻觀測點位。
- (7)覽勝橋：位於南勢溪主流上、烏來老街之出口處，為最接近南勢溪主流與桶後溪匯流口之點位，設有水尺以及自計式水位計，適合作為南勢溪中上游之濁度貢獻觀測點位。
- (8)樟樹溪：南勢溪之支流，位於信賢部落之入口，為一土石流潛勢溪流，須觀測其對南勢溪主流之濁度貢獻。
- (9)烏砂溪：南勢溪之支流，位於信賢部落之出口，為一土石流潛勢溪流，目前已完成河道整治工程，但仍須觀測其對南勢溪主流之濁度貢獻。
- (10)屯鹿溪：南勢溪之支流，位於德拉南橋(福山一號橋)，河谷下切

程度高，河道建有構造物。

- (11)斯其野溪：南勢溪之支流，位於福山二號橋。
- (12)卡拉莫基：位於南勢溪主流上游，大羅蘭溪、札孔溪、哈盆溪匯流之後，設有自計式水位計，適合作為南勢溪上游之濁度貢獻觀測點位。
- (13)大羅蘭溪：南勢溪上游三條主要支流之一，位於福山部落，河道建有河工構造物，但仍須觀測其對南勢溪主流之濁度貢獻。
- (14)札孔溪：南勢溪上游三條主要支流之一，烏來事業區60林班地之所在，為受高度懷疑為南勢溪主要濁度貢獻來源之溪流，因可及性不高不容易觀測其濁度，然其為必要之觀測點位。
- (15)哈盆溪：南勢溪上游三條主要支流之一，此觀測點位與札孔溪相鄰，同樣可及性不高不容易觀測其濁度，然其為必要之觀測點位。

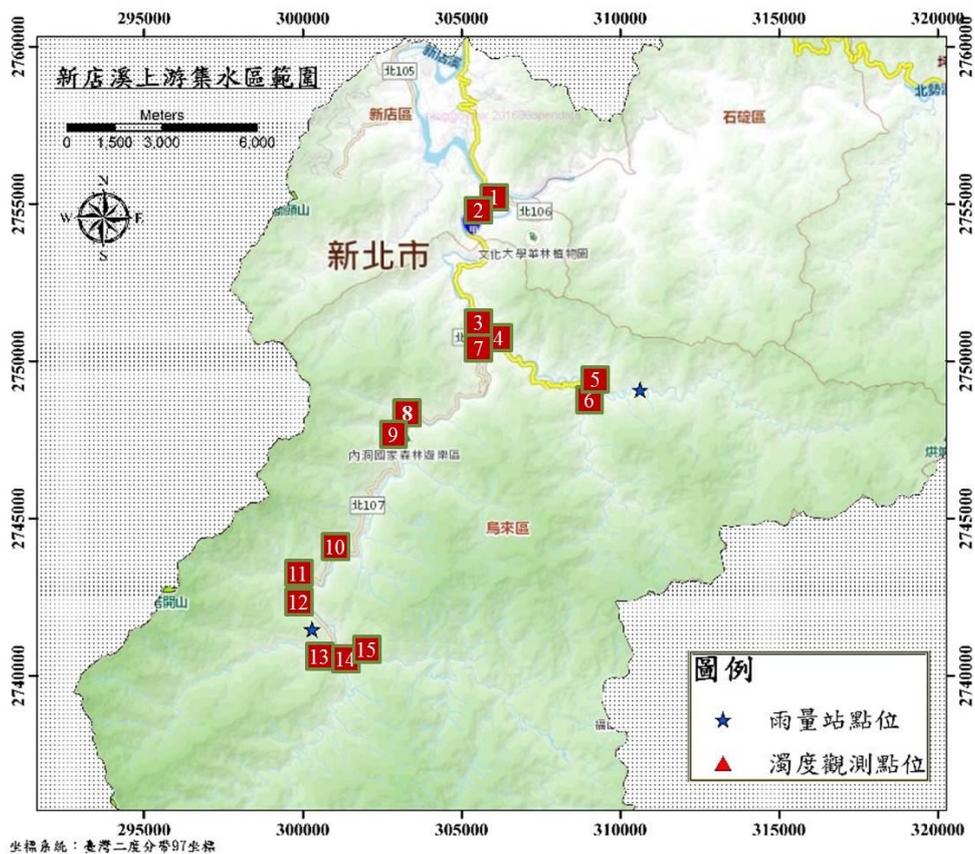


圖6-2 新店溪濁度觀測點位分布圖



(1) 翡翠一號橋



(2) 上龜山橋



(3) 烏來觀光大橋



(4) 烏來橋



(5) 阿玉壩



(6) 阿玉溪



(7) 覽勝橋



(8) 樟樹溪



(9) 烏砂溪



(10) 屯鹿溪



(11)斯其野溪



(12)卡拉莫基



(13)大羅蘭溪



(14)札孔溪



(15)哈盆溪

圖6-3 量測點位現地照片

## (二)觀測點位常流時期與颱風時期量測說明

### 1.常流時期量測

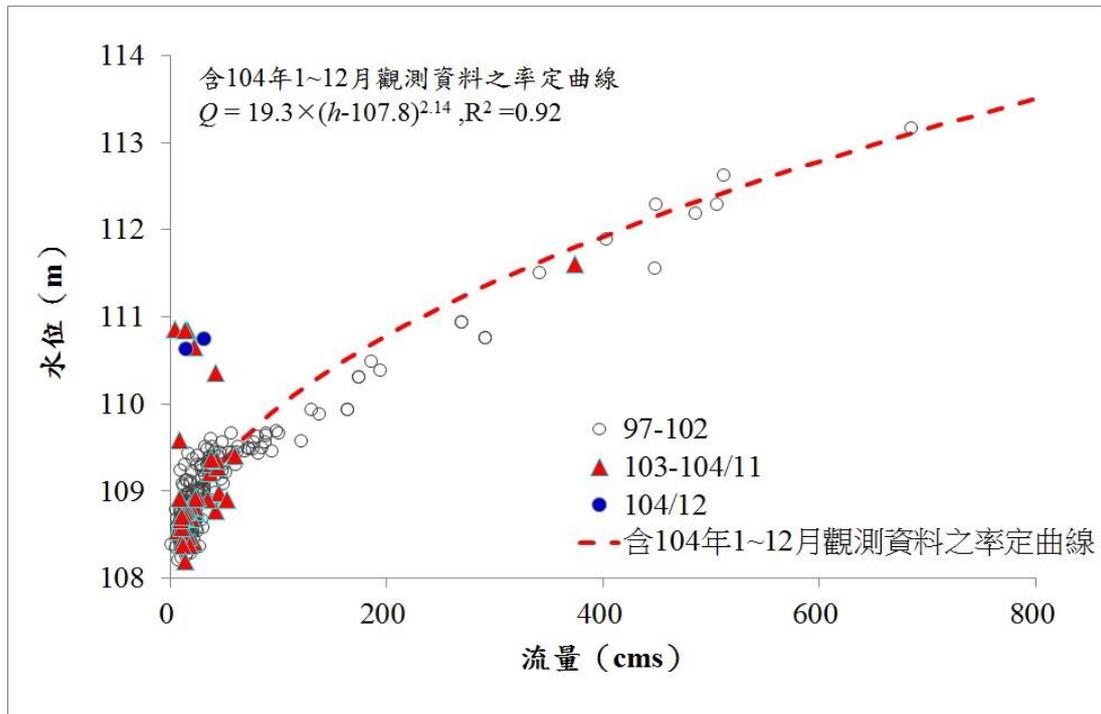
常流時期量測主要在於量測各個觀測點位之水位以及流量，藉以建立各點位之水位-流量率定曲線，此率定曲線係用來推估颱風時期之流量，進而推算河道之輸砂量。水位-流量率定曲線說明如下：

非感潮河段於短時間內水位變化不大時，通常可建立水位-流量率定曲線。水位-流量間之關係通常可藉由所得之水位與流量繪於圖上以圖形法求得，通常水位-流量率定曲線可以下式表示：

$$Q=p \times (h-h_0)^n \quad (\text{式 6-1})$$

其中， $Q$  為流量； $h$ 、 $h_0$  為水位；參數  $p$  為常數；參數  $n$  為率定

曲線之斜率。因此可藉由所收集之水位與流量資料，並由非線性迴歸法推求率定曲線之係數，而當建立水位-流量率定曲線後則可於資料範圍內以水位推估流量，然當水位超過資料範圍時，若以率定曲線推估水位，其誤差則可能較大。水位-流量率定曲線示意圖如圖 6-4。



資料來源：臺北水源特定區水文監測計畫(103-105年)(2/3)

圖6-4 覽勝橋水位-流量率定曲線示意圖

以 105 年歷次之颱風觀測經驗，選定需於常流時期量測水位以及流量之點位包括：烏來橋、阿玉壩、阿玉溪、覽勝橋、烏砂溪、札孔溪以及哈盆溪，觀測點位如圖 6-5。其中札孔溪、哈盆溪水位高時難以涉水，難以 ADCP 量測，於水位較低時可涉水而過，故採以旋杯式流速儀量測流量；烏來橋、阿玉溪、覽勝橋、烏砂溪則以 ADCP 於橋上施測或是於兩岸量測流量；阿玉壩為台電所管轄，其使用率定曲線估算流量行之有年，故採計台電將水位換算出之流量。



※札孔溪與哈盆溪位置緊鄰，僅以一點位表示

圖6-5 常流時期觀測點位

## 2. 颱風期間量測

颱風期間量測點位與常流時期同(其餘觀測點位以巡勘方式確認溪水是否混濁，並於必要時採集水樣)，除了需量測水位及流量以外，尚需量測濁度以及濃度，水位如常流時期以自計式水位計量測，並輔以人工判讀水尺檢核，流量則以常流時期繪製之水位-流量率定曲線推估，濁度以前文所述之儀器量測或是於現場架設自計式濁度計搭配即時傳輸系統回傳數據，濃度將採集之水樣以前述烘乾試驗法求得。

各個量測點位中，札孔溪及哈盆溪由於颱風期間較難到達，故於現場設置兩架自計式濁度計，分別對札孔溪以及哈盆溪進行濁度觀測，其餘量測點位皆可以人工方式取得水樣，並做進一步之濁度及濃度分析，惟考量夜間視線不良等因素，僅於白天進行水樣採集。

以下茲就覽勝橋、阿玉壩、阿玉溪、覽勝大橋、烏砂溪、札孔溪以及哈盆溪個別詳細說明觀測計畫：

### (1) 烏來橋

目前已架設水尺與自計式水位計，位置如圖 6-6，可人工讀取水位，同時以 ADCP 方式進行流量量測之量測路徑如圖 6-7)，藉以建立水位流量率定曲線。每次颱風事件桶後溪皆有濁度飆升情形，故皆會採集水樣進行濁度量測，濃度將以烘乾試驗法量測。

### (2) 阿玉壩

目前已架設水尺，位置如圖 6-8，可人工讀取水位，流量方面採以台電觀測之流量。每次颱風事件桶後溪皆有濁度飆升情形，故皆會採集水樣進行濁度量測，水樣視情況可進行全洪程採集，濃度將以烘乾試驗法量測。

### (3) 阿玉溪

目前已架設水尺與自計式水位計，位置如圖 6-9，可人工讀取水位，同時以 ADCP 方式進行流量量測(施測路徑如圖 6-9)，藉以建立水位流量率定曲線。雖然每逢颱風事件溪水皆混濁，然該點位

位於桶后林道，常有道路坍方情形，因此考量安全性以及可及性，此觀測點位視情況於白天採集水樣，進行濁度以及濃度量測。

#### (4)覽勝橋

原本即設有水尺以及自計式水位計(超音波)如圖 6-10，可人工讀取水位同時亦有連續觀測水位數據，並以 ADCP 方式進行流量量測(施測路徑如圖 6-11)，藉以建立水位流量率定曲線。每次颱風事件桶後溪皆有濁度飆升情形，故皆會採集水樣進行濁度量測，濃度將以烘乾試驗法量測。此處亦設有自計式濁度計，可與本計畫人工量測之濁度結果做比對。

#### (5)烏砂溪

目前已架設水尺，可人工讀取水位，後續預計於 11 月初裝設自計式水位計，同時以 ADCP 方式進行流量量測，藉以建立水位流量率定曲線，然若預定計畫之 ADCP 量測路徑因巨石堆積無法施測，將改採旋杯式流速儀施測。此觀測點位是否逢颱風事件便即造成溪水混濁尚待釐清，若有溪水混濁情形，必須採集水樣進行濁度及濃度量測。現場量測配置如圖 6-12。

#### (6)札孔溪

已架設自計式水位計，此處水位高時水流湍急，而水位低時河床多礫石，因此無法以 ADCP 量測流量，故預計於低水位時期採旋杯式流速儀量測流量。由於此觀測點位於颱風期間過於危險，且可及性極低，然為了能即時提供重要之濁度數據，本計畫於此設置即時回傳式濁度計，並於颱風過後退水段採集水樣，進行濁度與濃度分析，建立濁度與濃度關係式，藉此以即時回傳之濁度資料推估台洪期間之濃度。現場量測配置如圖 6-13。

#### (7)哈盆溪

與札孔溪規劃相同。現場量測配置如圖 6-14。



圖6-6 烏來橋水尺及自計式水位計位置



圖6-7 烏來橋 ADCP 施測路徑



圖6-8 阿玉壩水尺位置



圖6-9 阿玉溪現場配置圖



圖6-10 覽勝橋既有水尺及自計式水位計



圖6-11 覽勝橋 ADCP 施測路徑



圖6-12 烏砂溪現場配置圖



圖6-13 札孔溪現場配置圖



圖6-14 哈盆溪現場配置圖

### (三)量測儀器及方法

#### 1.水位量測

本計畫水位量測採自計式水位計(壓力式)量測水位並輔以人工水尺判讀作為檢核。自計式水位計(壓力式)儀器規格如表 6-2。

以人工判讀河川水位尺進行間接水位量測之方法為，河岸兩側選定護岸、橋梁基座、岩壁、露頭等相對穩定且呈現垂直之平面，裝設河川水尺，並藉由河川斷面測量工作記錄河川底床高程。本計畫根據現勘結果，配合河川斷面量測點位，選取南勢河流域各主要測入流點周邊河段合適處裝設河川水位尺，預定架設以及已架設水尺觀測點位如前 6-2 節(二)所述。

表6-2 自計式水位計規格

項目	技術規格
型號	HOBO - U20-001-01
材質	不鏽鋼
量測範圍	0 - 9 公尺
原廠校正範圍(0°C~40°C)	69 - 207 kPa
水位精度	±0.5 公分
解析度	0.21 公分
可承受極限壓力	310 kPa (約 18 公尺水深)

## 2. 流量量測

流量量測以兩種方式進行，分別為旋杯式流速儀以及 ADCP 量測。

旋杯式流速儀：旋杯式流速儀組裝好如圖 6-15，使鐵桿直立於水中如圖 6-16，並將旋杯指向水流之方向，使水流帶動旋杯旋轉，藉以測得流速，此量測採計 5 分鐘之水流流速之平均值代表平均流速，即儀器直立於水中 5 分鐘之讀值。全河道之平均流速以河流左岸至右岸距離均分為 8~10 段斷面，每一小段斷面做為一量測點位，將各段平均流速乘以各段斷面面積以得小斷面流量，最後將各個小斷面之流量加總得全斷面之流量。在 1916 年，Pardoe 假設河川垂向流速分布依循拋物線公式，當水深大於 0.5 公尺時，根據數學公式推得平均流速等於 0.21 及 0.79 水深處的流速之平均值，即為兩點法；Chow (1964) 根據對數公式忽略底床相對糙度認為 0.63D 處的流速可代表平均流速，因此若河川水深小於 0.5 公尺則可量測位於水面下 0.6 水深的流速來代表其平均流速，此即為一點法。本計畫依循此研究成果施行量測。

ADCP：利用都普勒效應原理進行流速測量，規格如表 6-3。ADCP 因其原理的優越性，突破傳統機械轉動為基礎的感測流速儀（如：propeller type current meter），用聲波換能器作感測器，換能器發射聲脈衝波，聲脈衝波通過水體中不均勻分佈的泥沙顆粒、浮游生物等反散射體反散射，由換能器接收信號，經測定都普勒頻移而

測算出流速。ADCP 具有能直接測出斷面的流速剖面、具有不擾動流場、測驗歷時短、測速範圍大等特點。目前被廣泛用于海洋、河口的流場結構調查、流速和流量測驗等。

張育嘉及曾若玄(2005, 2006)指出, 都普勒流速儀 (ADCP) 是利用都普勒偏移(Doppler shift)來測量水流速度的儀器。所謂都普勒偏移乃是指因發射訊號的波源和接收訊號的收受者之間的相對運動所導致的訊號頻率偏移。而都普勒偏移量是與兩者之間的相對運動速度大小有關。都普勒流速儀(ADCP)的測流原理是假設水層中有許多隨流移動的微小粒子, 當觀測者利用 ADCP 發射出聲波時, 由於觀測者與微小粒子間存在著相對速度, 故聲波在碰到粒子而反射時, 聲波的頻率會產生都卜勒位移, 於是當 ADCP 收到反射回來的聲波後, 計算其與原發射出去聲波之頻率差, 即可反算出微小粒子與 ADCP 之間的相對運動速度大小與方向。

簡而言之, 以 ADCP 進行直接水位流量量測之操作方法如下:

首先由繩子綁住儀器從橋上垂降至溪流, 以拖拉方式進行量測(圖 6-17), 儀器會在溪流表面以雷達波的形式發出訊號至水底回傳, 儀器會透過 GPS 定位技術計算載具位置及移動速度, 可即時測得水深、流速、航行距離等資料(圖 6-18), 並沿斷面通過一次即可測算出全流量量測, 同時獲得橫斷面面積數值及水深、流速等水文要素縱橫向分布資料。因溪流可能隱藏漩渦, 需即時觀察儀器所回傳資料是否有誤, 並視情況再增加量測次數, 如圖 6-19。



圖6-15 旋杯式流速儀



圖6-16 旋杯式流速儀施測示意圖

表6-3 Sontek M9 介紹

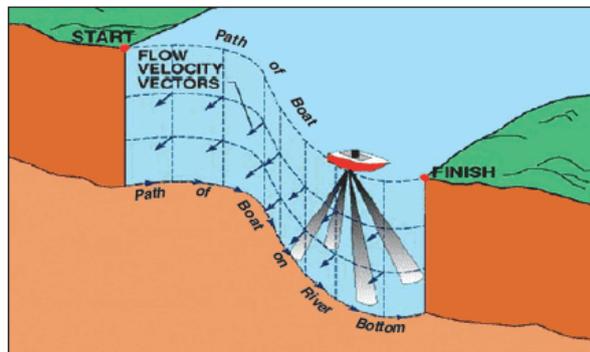
Sontek M9	
流速量測距離範圍	0.06m~30m
量測流速範圍	±20m/s
分辨率	0.001m/s
準確度	實測流速之±0.25%；±0.002m/s
單元尺寸	0.02m 至 4m
換能器配置	9 個換能器： 4 個傾角 25°的 3.0MHz 對稱波束； 4 個傾角 25°的 1.0MHz 對稱波束； 1 個 0.5MHz 垂直波束
深度量測範圍	0.2m~80m
分辨率	0.001m



圖6-17 以拖拉方式進行量測



圖6-18 ADCP 即時接收資料



Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) mounted in a small watercraft, is used for measuring the discharge of a river. The ADCP acoustic beams are directed down into the water as it is guided across a river channel.

圖6-19 ADCP 量測斷面示意圖

### 3.濁度量測

濁度量測方式有二，一為現場採集水樣，以攜帶式濁度計進行量測，二是於現場架設即時傳輸式濁度計進行觀測。以下茲就兩種方式說明：

攜帶式濁度計採用型號 LaMotte – 2020we，其規格如表 6-4，攜帶式濁度計操作流程如下：

- (1)準備水樣、搖勻
- (2)倒入濁度量測瓶至刻度處
- (3)將濁度量測瓶外以清水洗淨、擦乾
- (4)搖勻濁度量測瓶水樣
- (5)以瓶身標示對準機器標示位置，將濁度量測瓶置入濁度計
- (6)按壓濁度計 Scan Sample，取得濁度
- (7)反覆步驟 1 至步驟 6，各瓶水樣量測三點平均
- (8)若超過濁度計上限 4,000 NTU，取等體積清水混合稀釋，重複步驟 1 至步驟 7，直至濁度計可讀取，取三點平均

即時傳輸式濁度計採用型號為 OBS-3+，其規格如表 6-5。

### 4.泥砂濃度分析

烘乾試驗法之試驗步驟如下：

- (1)用天秤量未盛有水樣之空鋁製皿之重量，並記錄之。
- (2)將搖勻之水樣倒入鋁製皿中用天秤秤其重量，並記錄之。
- (3)將盛有水樣之鋁製皿放入烘箱中，以攝氏 110 度烘乾 24 小時。
- (4)以隔熱手套將烘乾之皿取出略為放涼後，用天秤秤其重量，並記錄之。
- (5)將量到之皿與土樣之重量扣除皿可得烘乾之土樣重量。
- (6)第(2)步所量得之重量扣除皿重可得水樣重量。
- (7)計算每一測點之含砂量，即

$$\text{含砂量 (ppm)} = (\text{乾砂樣淨重} / \text{水樣淨重}) \times 1,000,000$$

表6-4 攜帶式濁度計規格

項目	技術規格
型號	LaMotte – 2020we
可量測單位	NTU, AU, ASBC, EBC
濁度範圍	0-4000 NTU FNU 0-10 500 ASBC 0-150 EBC
解析度	0.01 NTU/FNU 10.00-10.99 0.1 NTU/FNU 11.00-109.9 1 NTU/FNU 110-4000
精度	-2.5 NTU 精度 $\pm 0.05$ NTU 2.5-100 NTU 精度 $\pm 2\%$ 100 NTU 以上 精度 $\pm 3\%$
最小區隔	0.05 NTU/FNU
範圍選擇	全自動
再現性	0.02 NTU/FNU or 1%
光源	Tungsten (EPA) complies with EPA 180.1 Standard 860 LED (ISO) complies with ISO 7027

表6-5 即時傳輸式濁度計規格

型號	OBS-3+
適用溫度	攝氏 0 度至 40 度
時間偏移	每年 <2%
最大資料取樣頻率	10 赫茲
使用波長	850 奈米正負 5 奈米
光源	2000 微瓦
濁度精確度	讀值 2% 或 0.5NTU (視何者較大)
直徑	2.5 公分
高度	14.1 公分
重量	181.4 克

### 6-3 即時提供 105-106 年颱風事件速報

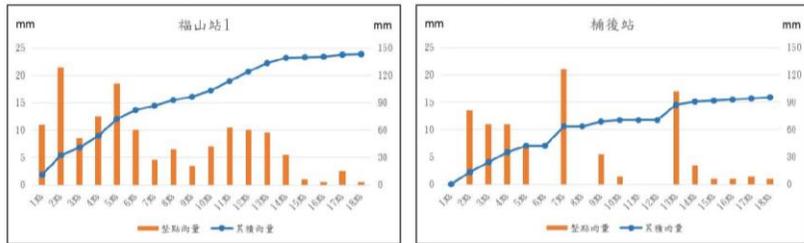
#### (一)105年莫蘭蒂颱風濁度速報

莫蘭蒂颱風於 105 年 9 月 14 日侵(近)台，屬於強烈颱風，自關島西方海面形成後往西北西轉西北方向移動，13 日 14 時其中心在恆春東南東方海面，暴風圈開始進入巴士海峽，同日 23 時起其暴風圈逐漸進入臺灣東南部陸地及恆春半島，對臺灣東部、中南部及澎湖、金門地區構成威脅。颱風中心於 15 日 2 時左右由金門進入福建，11 時金門脫離暴風圈，颱風警報解除。烏來山區受颱風外圍環流影響，南勢溪主流以及數處之流溪水產生混濁，現場勘查溪水混濁情形描述如下，濁度速報如圖 6-20。

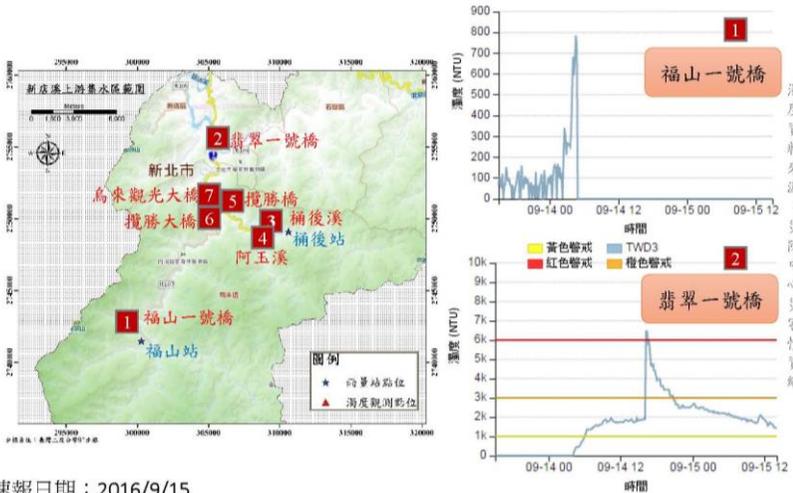
- (1)桶後溪(阿玉壩)濁度 14:30 濁度最高 2725NTU，而後開始下降。
- (2)阿玉溪濁度自 14:20 最高 1676NTU 開始下降，至 17:20 略有回升。
- (3)南勢溪(覽勝大橋)濁度於中午 12 點大於 4000NTU，至下午 3 點才略低於 4000NTU，並隨時間持續下降。
- (4)桶後溪(覽勝橋)濁度自 12:30 持續上升，至 15:10 達到最高超過 4000NTU，而後開始下降。
- (5)烏來觀光大橋自中午濁度已飆升超過 4000NTU，13:40 時濁度仍在 4000NTU 以上，直至 15 點才略低於 4000 度於傍晚 6 點濁度仍達將近 3000NTU。
- (6)福山一號橋有觀測到濁度，至凌晨 4 點達 716NTU，然濁度計自 9/14 凌晨 4:30 起無資料。
- (7)翡翠一號橋自凌晨 4 點開始濁度上升，上午 6 點達到 1000NTU，至 16 點濁度維持在近 2000NTU，然而至 16:10 濁度遽增至 6455NTU，至 17 點濁度仍有 4795NTU，直到 22 點濁度才下降至 2600NTU 左右。

**災情描述：**

1. 桶後溪(阿玉壩)濁度14:30濁度最高2725NTU，而後開始下降。
2. 阿玉溪濁度自14:20最高1676NTU開始下降，至17:20略有回升。
3. 南勢溪(攬勝大橋)濁度於中午12點大於4000NTU，並隨時間持續下降。
4. 桶後溪(攬勝橋)濁度自12:30持續上升，至15:10達到最高超過4000NTU，而後開始下降。
5. 烏來觀光大橋自中午濁度已飆升超過4000NTU，13:40時濁度仍在4000NTU以上，直至15點才略低於4000度於傍晚6點濁度仍達將近3000NTU。
6. 福山一號橋有觀測到濁度，至凌晨4點達716NTU，然濁度計自9/14凌晨4:30起無資料。
7. 翡翠一號橋自凌晨4點開始濁度上升，上午6點達到1000NTU，至16點濁度維持在近2000NTU，然而至16:10濁度遽增至6455NTU，至17點濁度仍有4795NTU，直到22點濁度才下降至2600NTU左右。



雨量資料來源：劇烈天氣監測系統 <http://qesums.cwb.gov.tw/taiwan-html2/indexEa.html>



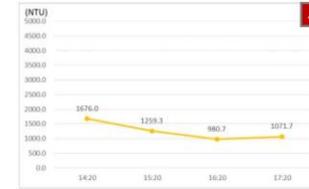
速報日期：2016/9/15

(A)莫蘭蒂濁度速報頁一

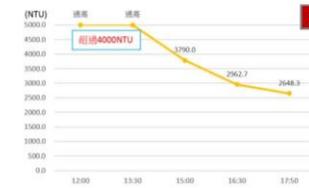
桶後溪(阿玉壩)



阿玉溪



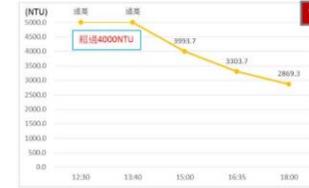
南勢溪(攬勝大橋)



桶後溪(攬勝橋)



(烏來觀光大橋) 南勢溪主流



速報日期：2016/9/15

(B)莫蘭蒂濁度速報頁二

圖6-20 莫蘭蒂濁度速報

## (二) 105年馬勒卡颱風濁度速報

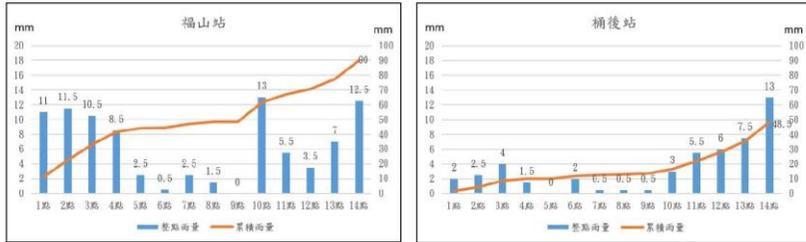
馬勒卡颱風於 105 年 9 月 17 日侵(近)台，屬於中度颱風，颱風自西北太平洋洋面形成後往西北轉北北西方向移動，16 日 20 時其中心在恆春東方海面，暴風圈進入臺灣東南部近海。17 日 0 時起其暴風圈已進入臺灣東部及東南部陸地，之後逐漸往北轉北北東進行。18 日 2 時，颱風中心在臺北東北方海面，臺灣本島已脫離暴風圈。烏來山區直接受颱風夾帶水氣影響，南勢溪主流以及數處之流溪水產生混濁，現場勘查溪水混濁情形描述如下：

- (1)翡翠一號橋濁度於 9/17 下午 3 點由約 800NTU 開始上升，至 9/18 午夜達最高約 4000NTU，而後開始下降。
- (2)覽勝橋自計式濁度計濁度於 9/17 下午 3 點再次飆升破 7000NTU，之後開始於 0~3000NTU 間震盪。現地實測數據顯示全天濁度約維持在 1100NTU 至 1600NTU 之間。
- (3)阿玉溪溪水混濁，然濁度約在 100NTU 上下。
- (4)桶後溪(阿玉壩)濁度約在 800 至 1400NTU 左右。
- (5)桶後溪(覽勝橋)濁度於上午尚僅有 80NTU，然到了下午開始飆升，下午 2 點達 1000NTU，下午 5 點 45 分達近 2400NTU。
- (6)烏來觀光大橋濁度由早上 1300NTU 至下午 2 點 1100NTU 呈現下降趨勢，然至下午 2 點過後開始上升至下午 5 點 50 分之 1800NTU。
- (7)烏砂溪濁度由中午 100NTU 上升至下午 3 點達 1000NTU。
- (8)南勢溪上游(札孔溪與大羅蘭溪匯流後)溪水混濁，實測濁度約為 120NTU。
- (9)樟樹溪原先溪水清澈，於下午 3 點發現混濁，濁度約為 100NTU。

馬勒卡颱風濁度速報包含兩版本速報，第一版為當天現場直接回報版如圖 6-21，以現場照片及溪水是否混濁為主，第二版增加濁度分析之結果如圖 6-22。

**災情描述：**

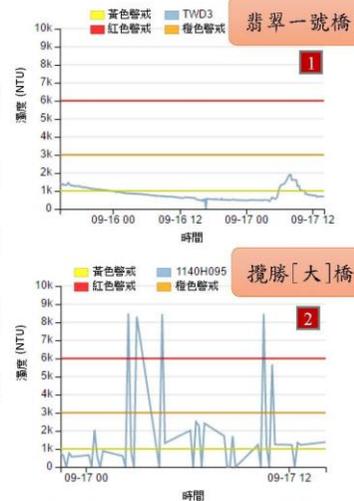
1. 翡翠一號橋濁度從午夜將近1000NTU，至4點開始上升至8點最高將近2000NTU後，開始下降至約900NTU。
2. 攬勝橋今日濁度4度飆升破80000NTU。
3. 阿玉溪溪水混濁。
4. 桶後溪(阿玉壩)溪水混濁。
5. 桶後溪(攬勝橋)溪水混濁。
6. 烏來觀光大橋溪水混濁。
7. 烏砂溪溪水混濁。
8. 南勢溪上游(札孔溪與大羅蘭溪匯流後)溪水混濁。



雨量資料來源：中央氣象局



速報時間：2016/9/17 15:30



濁度資料來源：災防中心災害情資網

南勢溪(攬勝大橋)



烏砂溪



阿玉溪



南勢溪上游(炸孔大羅蘭匯流後)



桶後溪(阿玉壩)



桶後溪(攬勝橋)



(烏來觀光大橋) 南勢溪主流



速報時間：2016/9/17 15:30

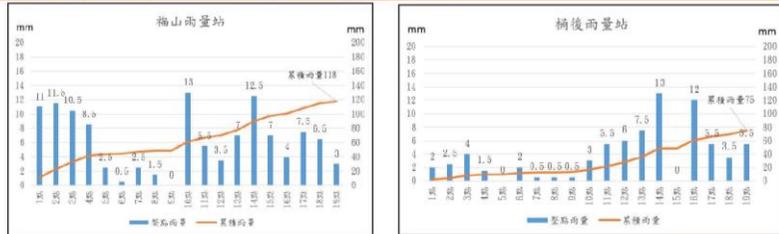
(A)馬勒卡颱風濁度速報第一版頁一

(B)馬勒卡颱風濁度速報第一版頁二

圖6-21 馬勒卡颱風濁度速報第一版

災情描述：

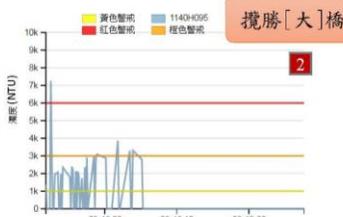
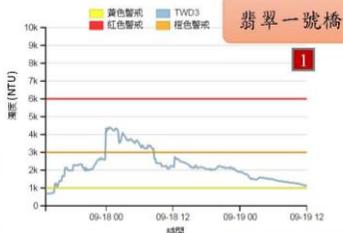
1. 翡翠一號橋濁度於9/17下午3點由約800NTU開始上升，至9/18午夜達最高的4000NTU，而後開始下降。
2. 攪勝橋自計式濁度計濁度於9/17下午3點再次飆升破7000NTU，之後開始於0-3000NTU間震盪。現地實測數據顯示全天濁度約維持在1100NTU至1600NTU之間。
3. 阿玉溪溪水混濁，然濁度的在100NTU上下。
4. 桶後溪(阿玉壩)濁度約在800至1400NTU左右。
5. 桶後溪(攪勝橋)濁度於上午尚僅有80NTU，然到了下午開始飆升，下午2點達1000NTU，下午5點45分達近2400NTU。
6. 烏來觀光大橋濁度由早上1300NTU至下午2點1100NTU呈現下降趨勢，然至下午2點過後開始上升至下午5點50分之1800NTU。
7. 烏砂溪濁度由中午100NTU上升至下午3點達1000NTU。
8. 南勢溪上游(札孔溪與大羅蘭溪匯流後)溪水混濁，實測濁度約為120NTU。
9. 樟樹溪原先溪水清澈，於下午3點發現混濁，濁度約為100NTU。



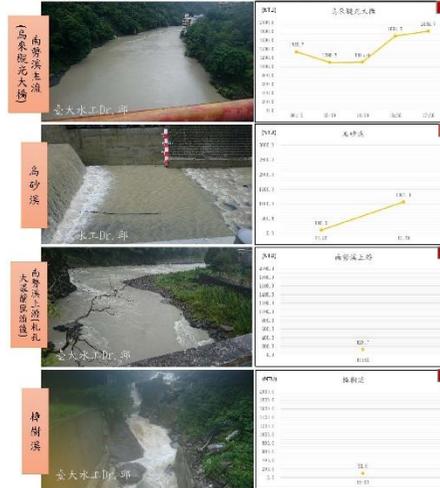
雨量資料來源：中央氣象局



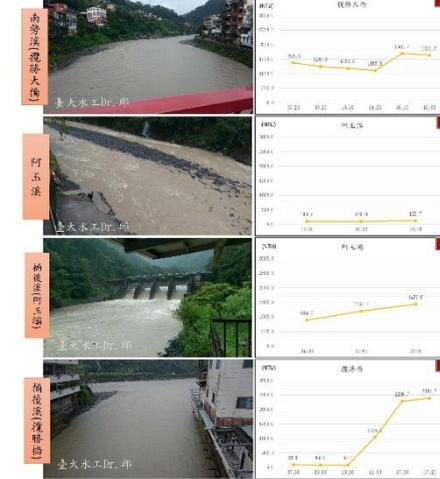
速報時間：2016/9/19



濁度資料來源：災防中心災害情資網



速報時間：2016/9/19



速報時間：2016/9/19

(A)馬勒卡颱風濁度速報第二版頁一

(B)馬勒卡颱風濁度速報第二版頁二及頁三

圖6-22 馬勒卡颱風濁度速報第二版

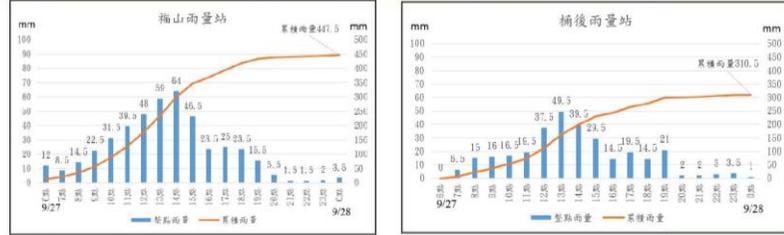
### (三) 105年梅姬颱風濁度速報

梅姬颱風於 105 年 9 月 27 日侵(近)台，屬於中度颱風，自關島附近海面形成後逐漸往西北西方向移動。25 日 23 時其中心在花蓮東南東方海面，暴風圈逐漸朝臺灣東半部海面接近；27 日 5 時，其中心在花蓮東南方海面，暴風圈逐漸影響臺灣東半部陸地。颱風中心於 27 日 14 時在花蓮市附近登陸，21 時 10 分由雲林縣麥寮出海，並於 28 日 5 時左右由金門北方進入福建。烏來山區直接受颱風夾帶水氣影響，南勢溪主流以及數處之流溪水產生混濁，現場勘查溪水混濁情形描述如下，濁度速報如圖 6-23。

- (1)翡翠一號橋於 9/27 之 12 點後濁度將近 1 萬 NTU，至 9/28 之 12 點下降至 6 千 NTU 左右後維持於此。
- (2)覽勝大橋濁度全天均超過 4000NTU。
- (3)上龜山橋濁度於 12 點 45 分點實測大於 4000NTU。
- (4)烏來觀光大橋濁度持續維持大於 4000NTU，直至 18 點約下降至 3600NTU。
- (5)桶後溪(覽勝橋)濁度於 14 點約有 2700NTU，16 點 30 分下降至約 2200NTU，18 點下降至近 2000NTU。
- (6)阿玉溪溪水遠望混濁，然受限於道路土石堆積無法通行，未進行濁度測量。
- (7)桶後溪(阿玉壩)17 點 30 分濁度約在 1500NTU 左右。
- (8)烏砂溪濁度於 14 點約為 70NTU。
- (9)卡拉模基(札孔溪與大羅蘭溪匯流後)溪水混濁，14 點 25 分現地觀測，濁度為 3477NTU。
- (10)大羅蘭溪溪水略為混濁，於 14 點 25 分現地觀測，濁度約 30NTU。
- (11)札孔溪與哈盆溪溪水皆混濁，於 15 點 20 分觀測，兩者匯流後濁度大於 4000NTU。

**現場描述：**

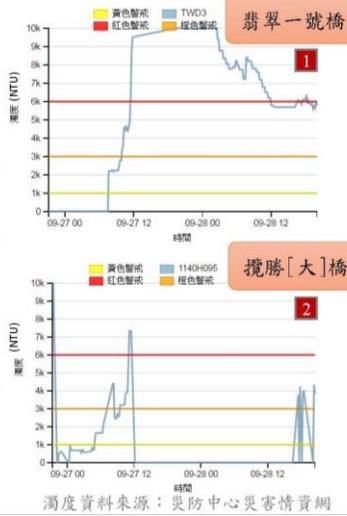
1. 翡翠一號橋於9/27之12點後濁度將近1萬NTU，至9/28之12點下降至6千NTU左右後維持於此。
2. 攪勝大橋濁度全天均超過4000NTU。
3. 上龜山橋濁度於12點45分點實測大於4000NTU。
4. 烏來觀光大橋濁度持續維持大於4000NTU，直至18點約下降至3600NTU。
5. 桶後溪(攪勝橋)濁度於14點約有2700NTU，16點30分下降至約2200NTU，18點下降至近2000NTU。
6. 阿玉漢溪水遠望混濁，然受限於道路土石堆積無法通行，未進行濁度測量。
7. 桶後溪(阿玉壩)17點30分濁度約在1500NTU左右。
8. 烏砂溪濁度於14點約為70NTU。
9. 卡拉模基(札孔溪與大羅蘭溪匯流後)溪水混濁，14點25分現地觀測，濁度為3477NTU。
10. 大羅蘭溪溪水略為混濁，於14點25分現地觀測，濁度約30NTU。
11. 札孔溪與哈盆溪溪水皆混濁，於15點20分觀測，兩者匯流後濁度大於4000NTU。



雨量資料來源：中央氣象局



速報時間：2016/9/28



濁度資料來源：災防中心災害情資網

(A)梅姬颱風濁度速報頁一

速報時間：2016/9/28

(B)梅姬颱風濁度速報頁二及頁三

圖6-23 梅姬颱風濁度速報

#### (四)106年0603豪雨濁度速報

受鋒面滯留及西南氣流影響，自 0602 啟發豪大雨事件，降雨主要集中在北海岸、中部山區與南部山區。本計畫自 0603 得知有持續降雨之可能，立即前往現場勘查溪水混濁情形，描述如下，濁度速報如圖 6-24。

- (1)福山站：現場觀測溪水幾乎皆保持清澈，至將近 16 點開始混濁，濁度介於 14.5-50.4NTU。
- (2)覽勝橋：現場觀測溪水混濁，水樣顯示溪水僅略微混濁，且濁度有下降趨勢，濁度介於 15.9- 54.3NTU。
- (3)阿玉溪：現場觀測溪水幾乎皆保持清澈，至將近 16 點開始混濁，濁度介於 4.2-32.7NTU。
- (4)阿玉壩：現場觀測溪水混濁，水樣顯示溪水僅略微混濁，濁度穩定較無變化，濁度介於 14.9-18.2NTU。
- (5)烏來橋：現場觀測溪水混濁，水樣顯示溪水僅略微混濁，且濁度有下降趨勢，濁度介於 36.0-56.9NTU。

#### (五)106年0617豪雨濁度速報

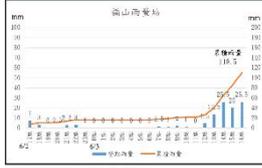
鋒面(17)日直撲中部加上西南氣流的影響下，中南部地區雨勢明顯，高雄、屏東、嘉義等地的單日雨量就破 2 百毫米。然西南氣流晚間就開始減弱，北部雨量不如預期，現場勘查溪水混濁情形描述如下，濁度速報如圖 6-25。

- (1)福山站(福山一號橋)：監測資料顯示濁度穩定在 70-260NTU。
- (2)覽勝橋：監測資料顯示濁度穩定在 50-220NTU。
- (3)烏來橋(桶後溪)：監測資料顯示濁度穩定在 90-300NTU。
- (4)下龜山橋：監測資料顯示濁度穩定在 270-500NTU。
- (5)孝義(桶後溪)：監測資料顯示濁度穩定在 10-35NTU。
- (6)小結：福山雨量站與桶後雨量站 24 小時累積雨量皆僅有 50-60 毫米，故南勢溪與桶後溪較無濁度上升情形。

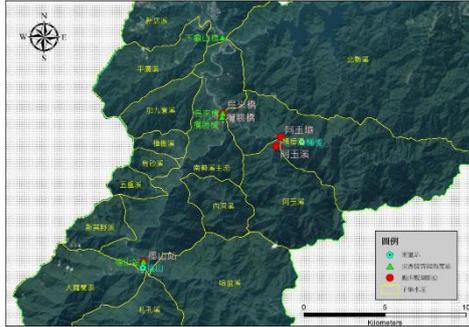
## 豪雨濁度速報(2017/6/3)

### 現場描述：

1. 福山站：現場觀測溪水幾乎皆保持清澈，至將近16點開始混濁，濁度介於14.5-50.4NTU。
2. 攔勝橋：現場觀測溪水混濁，水樣顯示溪水僅略微混濁，且濁度有下降趨勢，濁度介於15.9-54.3NTU。
3. 阿玉溪：現場觀測溪水幾乎皆保持清澈，至將近16點開始混濁，濁度介於4.2-32.7NTU。
4. 阿玉壩：現場觀測溪水混濁，水樣顯示溪水僅略微混濁，濁度穩定較無變化，濁度介於14.9-18.2NTU。
5. 烏來橋：現場觀測溪水混濁，水樣顯示溪水僅略微混濁，且濁度有下降趨勢，濁度介於36.0-56.9NTU。



雨量資料來源：中央氣象局

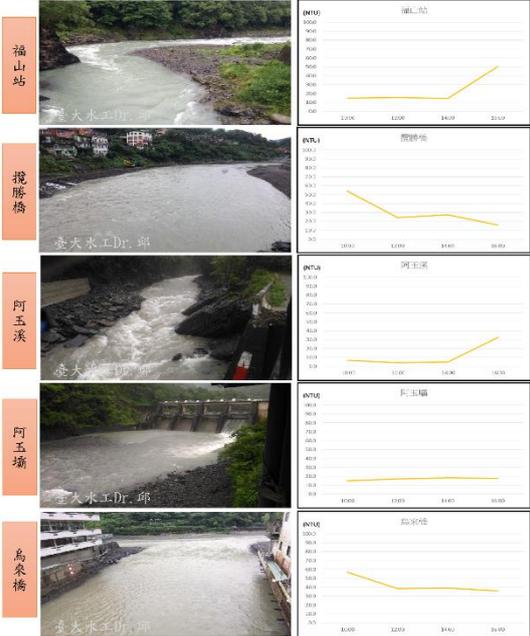


速報時間：2017/6/3 19:00

(A) 速報頁一

## 豪雨濁度速報(2017/6/3)

### 現場照片與濁度量測成果



速報時間：2017/6/3 19:00

(B) 速報頁二

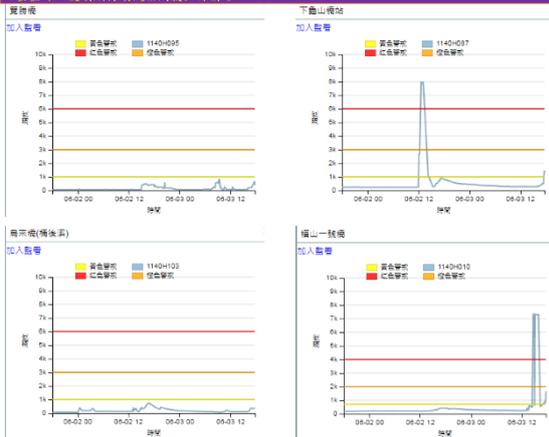
## 豪雨濁度速報(2017/6/3)

### 現場量測與監測站分析

#### 量測與監測分析比較：(以下監測資料最後時間為17點)

1. 福山站(福山一號橋)：監測資料顯示濁度175-1662.5NTU，至14點後至16點之濁度測升甚為顯著異常。監測數據相較水質普測結果偏高，趨勢則較為一致。
2. 攔勝橋：監測資料顯示濁度35-795.6NTU，10點濁度為67.5，與水樣量測結果相近。
3. 烏來橋：監測資料顯示濁度43.8-703.1NTU，10點為118.8，16點為106.3，較水樣量測成果略高，趨勢則一致。
4. 下鹿山橋：監測資料顯示濁度281.3-1465.6NTU。

小結：  
本日量測期間逢雨量較低期間，故量測期間濁度較低，山區雨量於15點轉大，16點-17點降雨量驟增，後續須持續觀察濁度上升情形。



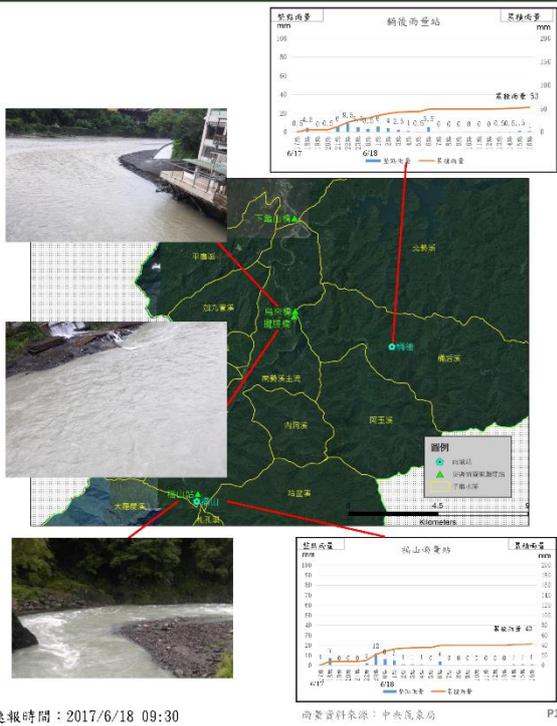
速報時間：2017/6/3 19:00

濁度資料來源：災防中心災害情資網 P3

(C) 速報頁三

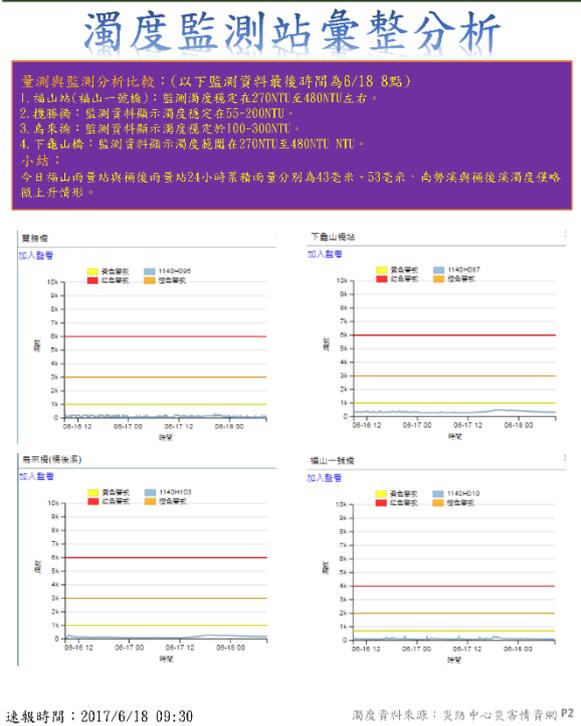
圖6-24 106年0603豪雨濁度速報

濁度速報(2017/6/18)



(A) 速報頁一

濁度速報(2017/6/18)



(B) 速報頁二

圖6-25 106年0617豪雨濁度速報

(六)106年尼莎、海棠颱風濁度速報

颱風在鵝鑾鼻西南方海面形成後往巴士海峽方向移動，30日16時40分於屏東楓港附近登陸，31日0時30分由彰化芳苑附近出海，8時其位置在馬祖西方陸地，向西北轉北北西離去。受尼莎與海棠2個颱風環流以及西南氣流之影響，南部地區有超大豪雨發生，造成臺南、高雄及屏東部分地區淹水。中央災害應變中心統計至7月30日止，全臺計有111人受傷，然而北部地區降雨不高，且降雨僅發生在29日晚間，30日起於現場各處，濁度皆呈現消退狀態。現場勘查溪水混濁情形描述如下，濁度速報如圖6-26。

- (1)福山站(福山一號橋)：測站檢修中。
- (2)覽勝橋：30日凌晨持續升高，但由於30日凌晨至今降雨暫緩，濁度已下降至警戒值以下
- (3)烏來橋：29日深夜即開始下降。

(4)下龜山橋：30 日凌晨起濁度開始下降，下降速度較緩，每小時約下降 100~120NTU，目前已脫離警戒值。

(5)小結：30 日凌晨起烏來區各處降雨稍停，濁度大多於凌晨達到高峰，接著開始下降。目前各處濁度皆以脫離警戒值。海棠颱風降雨量低，不繼續觀測。

#### (七)106年泰利颱風濁度速報

形成後往西北方向移動，13 日 23 時其中心在臺北東北東方海面往北北西方向移動，暴風圈逐漸進入臺灣東北部近海。14 日 20 時其中心在臺北東北方約 400 公里的海面上，對臺灣北部海面威脅已解除，颱風逐漸向北轉東北方向遠離。因雨量不如預期，不進行警戒與速報。

#### (八)106年1013豪雨

受颱風「卡努」影響，外圍雲系不斷接近台灣，熱帶性低氣壓外圍環流與東北風產生「共伴效應」，以宜蘭山區為中心，將下豪雨，且持續性長達 3 日以上。自 10 月 12 日降雨起，於 10 月 13 日開始往現地勘查。後因雨勢持續加據，烏來地區進入警戒管制，人工採樣觀測僅限於烏來老街地區。濁度速報如圖 6-27。

濁度速報(2017/07/30)

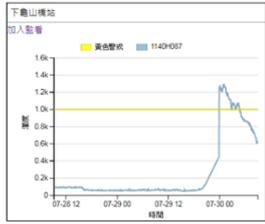
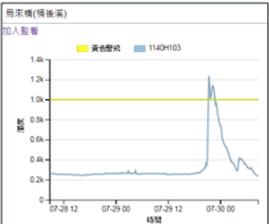
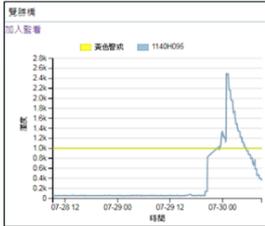
雨量統計(2017/07/30)

濁度監測站彙整分析

量測與監測分析比較：(以下監測資料最後時間為7/30 09:00)

1. 福山站(福山一號橋)：測站檢修中。
2. 攔路橋：30日凌晨持續升高，但由於30日凌晨至今降雨暫緩，濁度已下降至警戒值以下。
3. 烏來橋：29日深夜即開始下降。
4. 下龜山橋：30日凌晨起濁度開始下降，下降速度較緩，每小時約下降100-120NTU，目前已脫離警戒值。

小結：  
30日凌晨起烏來區各處降雨暫停，濁度大多於凌晨達到高峰，接著開始下降，目前各處濁度皆以脫離警戒值。

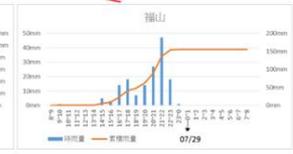
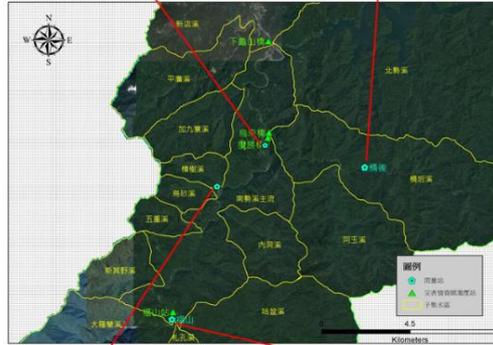
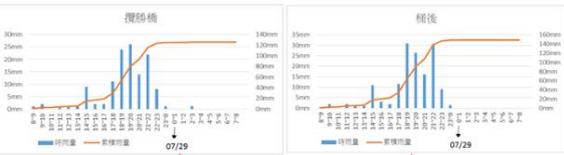


通報時間：2017/7/29 22:00

濁度資料來源：災防中心災害情資網 P2

(A) 速報頁一

雨量統計(2017/07/30)



通報時間：2017/6/18 09:30

雨量資料來源：中央氣象局

(B) 速報頁二

圖6-26 尼莎、海棠颱風濁度速報

濁度速報(2017/10/15)

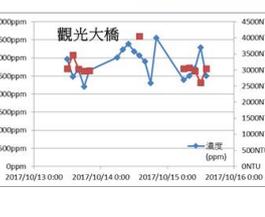
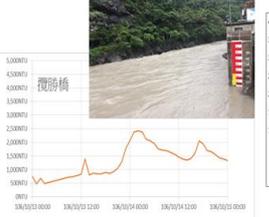
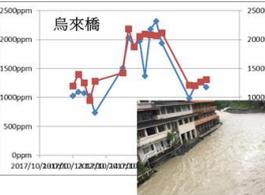
雨量統計(2017/10/15)

濁度監測站彙整分析

量測與監測分析比較：(以下監測資料最後時間為10/15 16:00)

1. 福山站：自10/13起降雨以後，福山站濁度飆升到3000NTU以上。
2. 攔路橋：10/13中午起於現場勘察水位與濁度均高，隨著雨勢略有起伏，到10/14日更升至超過2000NTU，而現地場樣測得濁度大於4000NTU。
3. 烏來橋：自10/13中午現場觀測開始時，濁度已到1500NTU，陸續於14號升高約至2000NTU，雖與是消退而降雨1500以下。
4. 觀光大橋：自10/13中午現場觀測開始時，濁度均維持3000NTU以上，大部分時端仍高於儀器測量上限，濁度下降較慢。

小結：  
13日起烏來區各處降雨增大，且延時超過3日，烏來上游地區皆進行管制、封橋等措施，從濃度濁度經驗關係，推測攔路橋、觀光大橋等處濁度均可達5000NTU。



通報時間：2017/10/15

濁度資料來源：臺大水利所 P2

(A) 速報頁一

雨量統計(2017/10/15)



通報時間：2017/10/15 09:30

雨量資料來源：中央氣象局

(B) 速報頁二

圖6-27 106年1013豪雨速報

## 6-4 105-106 年颱風事件量測成果

### (一) 105年尼伯特颱風

尼伯特颱風觀測期間遇上新北市政府入山管制，測量團隊無法前往各點位量測，故改以採集颱風後之退水段水樣方式進行觀測。於各點位觀測有溪水混濁情形進行水樣採集，採樣點位包括：阿玉溪、阿玉壩、烏來橋、札孔溪以及覽勝橋，其中札孔溪水位仍高且水流湍急，故僅能採集札孔溪與哈盆溪匯流後之水樣。水樣之濁度與濃度量測成果如圖 6-28 ~圖 6-32。

### (二) 105年莫蘭蒂颱風

莫蘭蒂颱風觀測期間適逢中秋假期，改將人力配置成 2 組，於阿玉溪、阿玉壩、烏來橋、覽勝橋進行水樣採集，札孔溪由於安全考量，雖有溪水混濁情形，然而無法臨近溪水採樣。水樣之濁度與濃度量測成果如圖 6-33~圖 6-36。

### (三) 105年馬勒卡颱風

馬勒卡颱風觀測期間為中秋假期，早上有 1 組人，於烏來橋、覽勝橋進行水樣採集，並往福山方向巡勘，發現烏砂溪有混濁情形，因此上山與下山時於烏砂溪各進行一次採樣。下午有另一組人支援，於阿玉溪及阿玉壩進行水樣採集。札孔溪仍因安全因素，雖可見有溪水混濁情形，然而無法臨近溪水採樣。水樣之濁度與濃度量測成果如圖 6-37~圖 6-41。

### (四) 105年梅姬颱風

梅姬颱風期間由於台 9 甲道路封閉，因此直至中午始得於觀測點位進行採樣，此外該期間亦為教師節假期，僅有 1 組人力，考量時間以及路程問題，札孔溪、烏砂溪、阿玉壩僅能前往一趟進行採樣，阿玉溪因為坍方導致道路中斷，無法前往進行採樣，其餘時間著重於烏來橋以及覽勝橋之水樣採集工作。量測成果如圖 6-42~圖 6-46。

(五)106年0603豪雨

事件期間於烏來橋、覽勝橋、阿玉壩、阿玉溪、福山五處採樣，進行濁度濃度觀測。成果如圖 6-47。

(六)106年0617豪雨

事件期間於烏來橋、覽勝橋、觀光大橋、阿玉壩、阿玉溪、福山六處採樣，進行濁度濃度觀測。成果如圖 6-48。

(七)106年尼莎、海棠颱風

事件期間於烏來橋、覽勝橋、觀光大橋、阿玉壩、阿玉溪、福山六處採樣，進行濁度濃度觀測，其中阿玉地區現場濁度試驗極低，無法進行濃度濁度分析，故停止採樣。成果如圖 6-49。

(八)106年泰利颱風

事件期間於烏來橋、覽勝橋、觀光大橋、阿玉壩、阿玉溪、福山六處採樣，進行濁度濃度觀測，其中阿玉地區現場濁度試驗極低，無法進行濃度濁度分析，故停止採樣。成果如圖 6-50。

(九)106年1013豪雨

事件期間於烏來橋、覽勝橋、觀光大橋、等三處採樣，進行濁度濃度觀測。成果如圖 6-51。

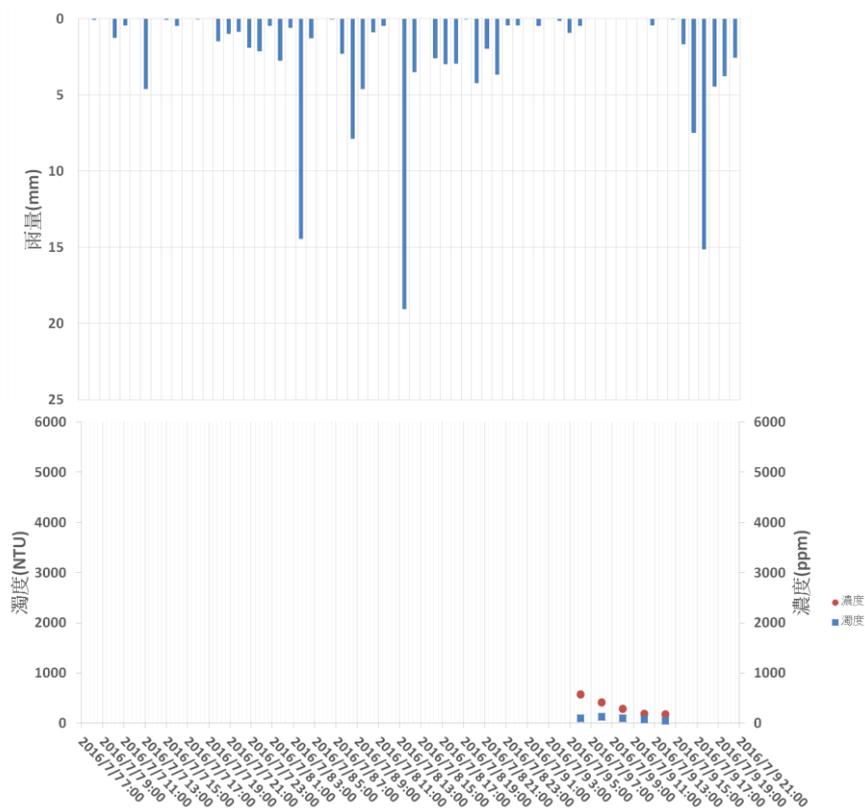


圖6-28 尼伯特颱風阿玉溪濁度、濃度觀測結果

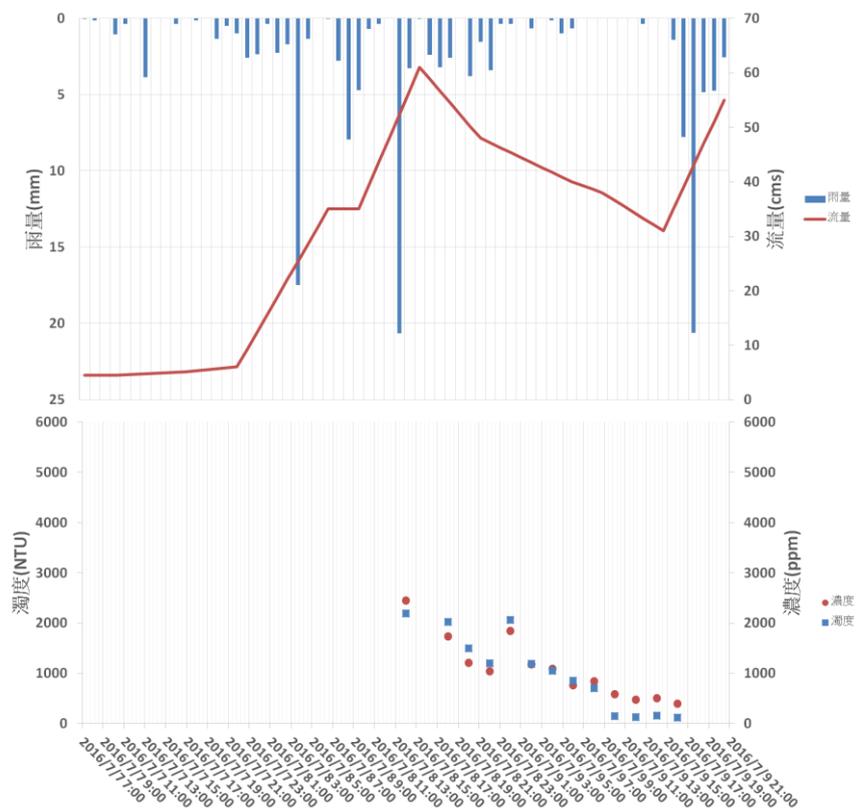


圖6-29 尼伯特颱風 (105/07/07~9) 阿玉壩濁度、濃度觀測結果

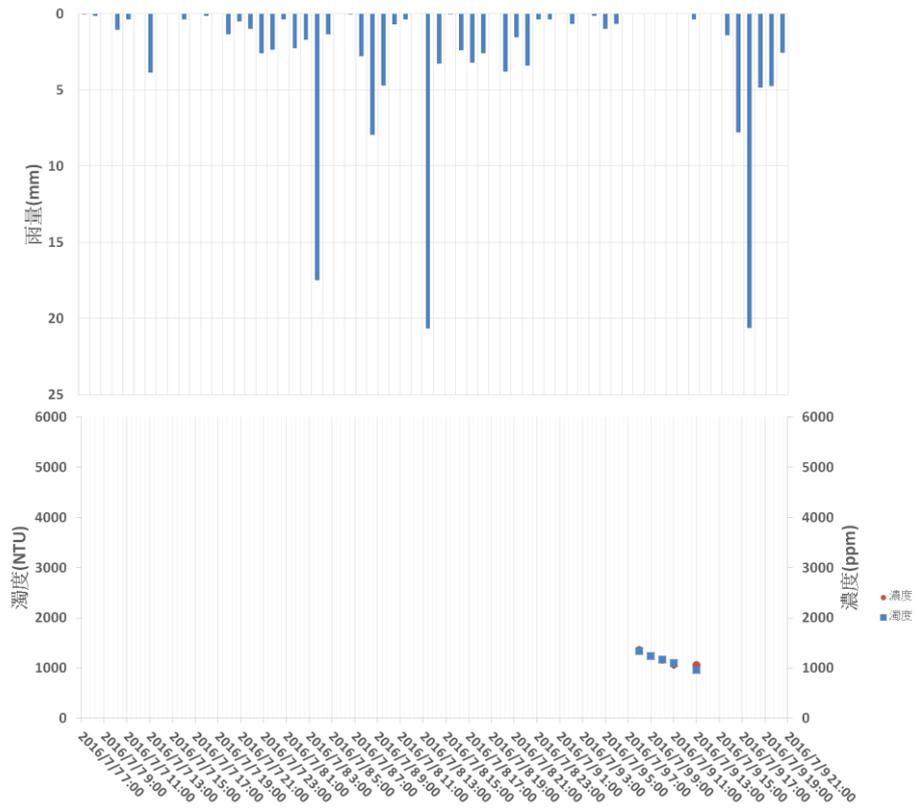


圖6-30 尼伯特颱風 (105/07/07~9) 烏來橋濁度、濃度觀測結果

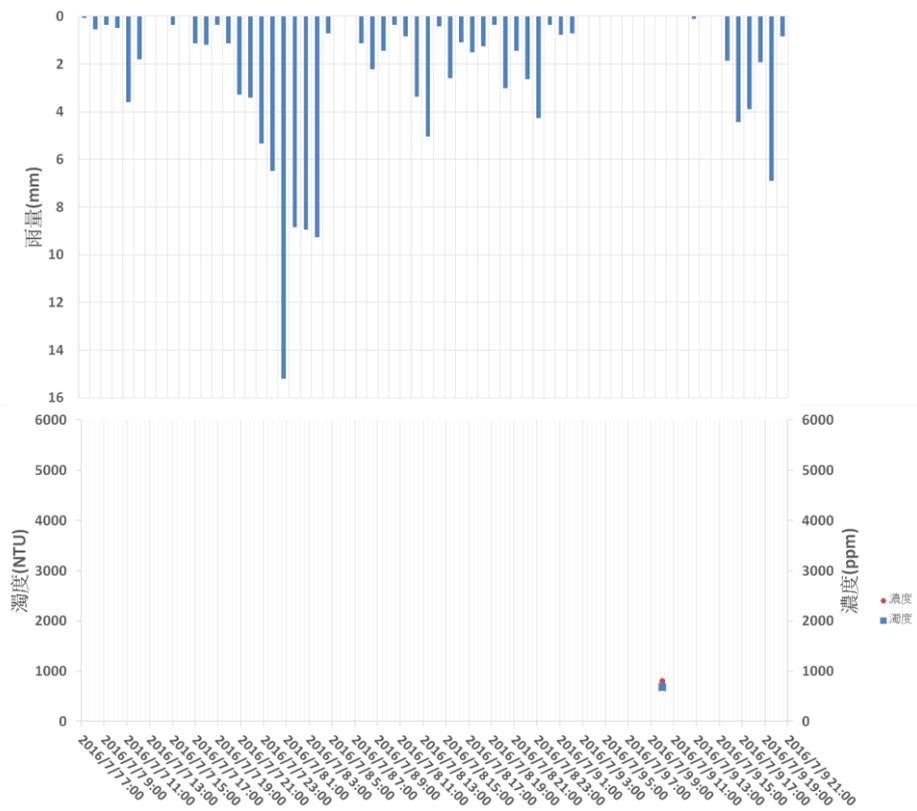


圖6-31 尼伯特颱風 (105/07/07~9) 札孔溪濁度、濃度觀測結果

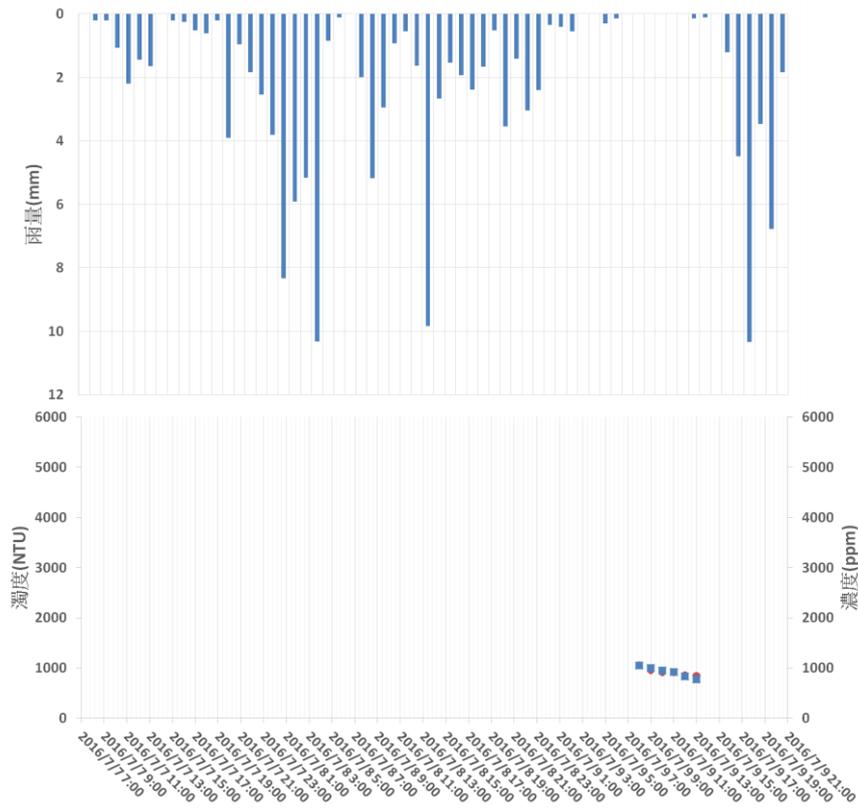


圖6-32 尼伯特颱風 (105/07/07~9) 覽勝橋濁度、濃度觀測結果

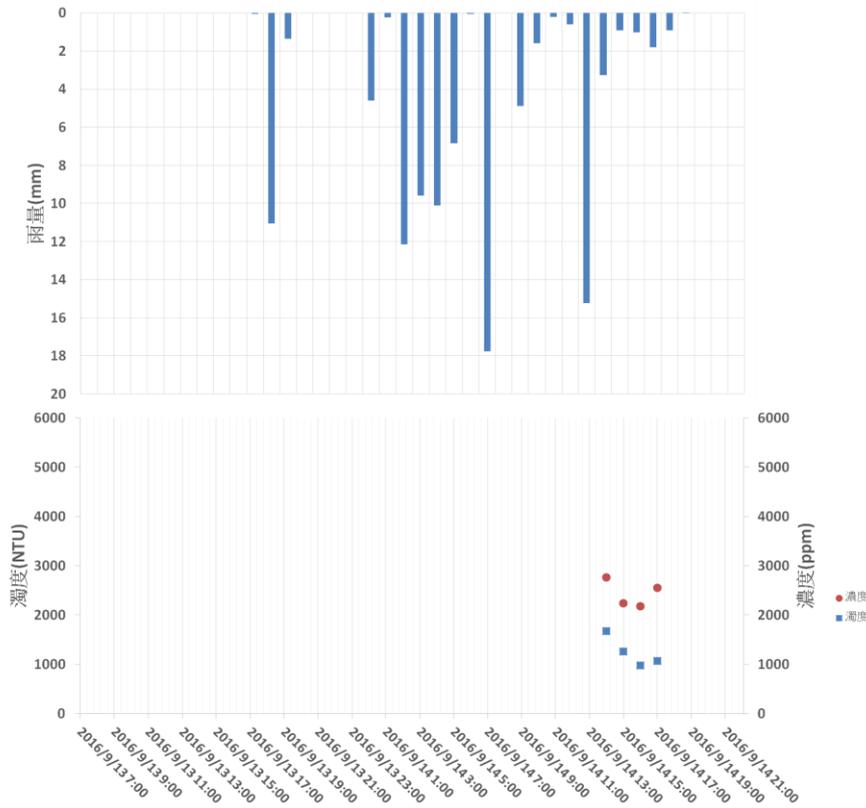


圖6-33 莫蘭蒂颱風 (105/09/13~14) 阿玉溪濁度、濃度觀測結果

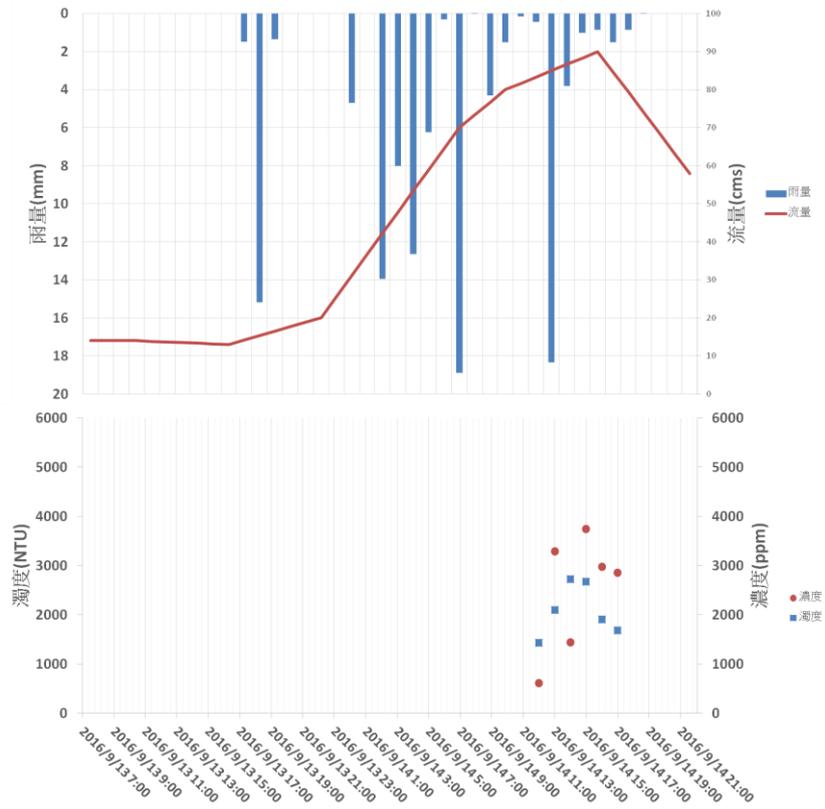


圖6-34 莫蘭蒂颱風（105/09/13~14）阿玉壩濁度、濃度觀測結果

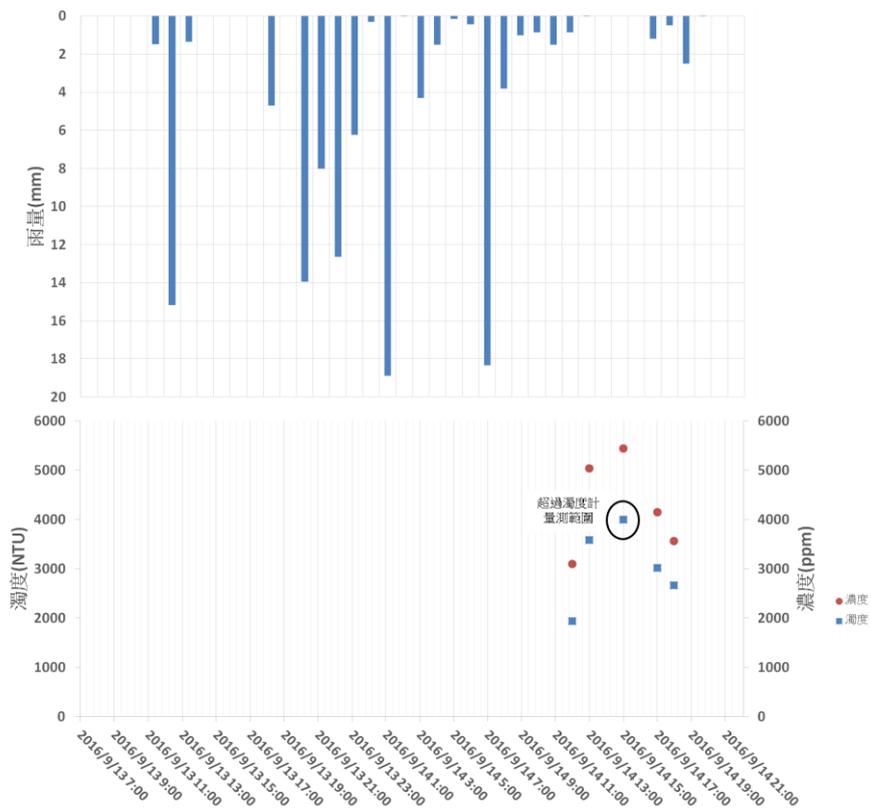


圖6-35 莫蘭蒂颱風（105/09/13~14）烏來橋濁度、濃度觀測結果

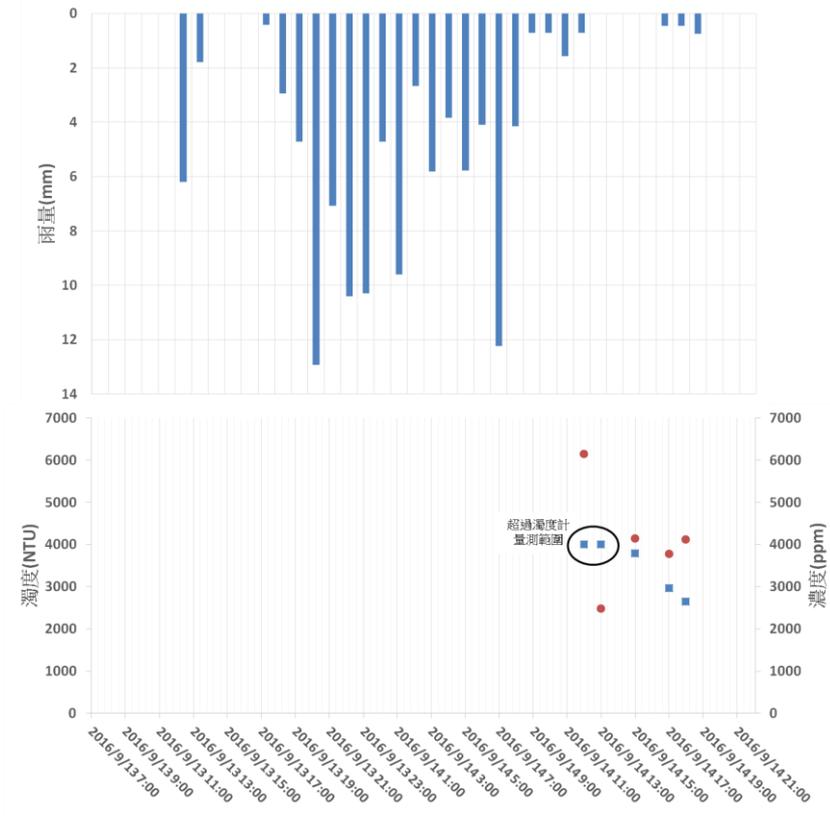


圖6-36 莫蘭蒂颱風（105/09/13~14）覽勝橋濁度、濃度觀測結果

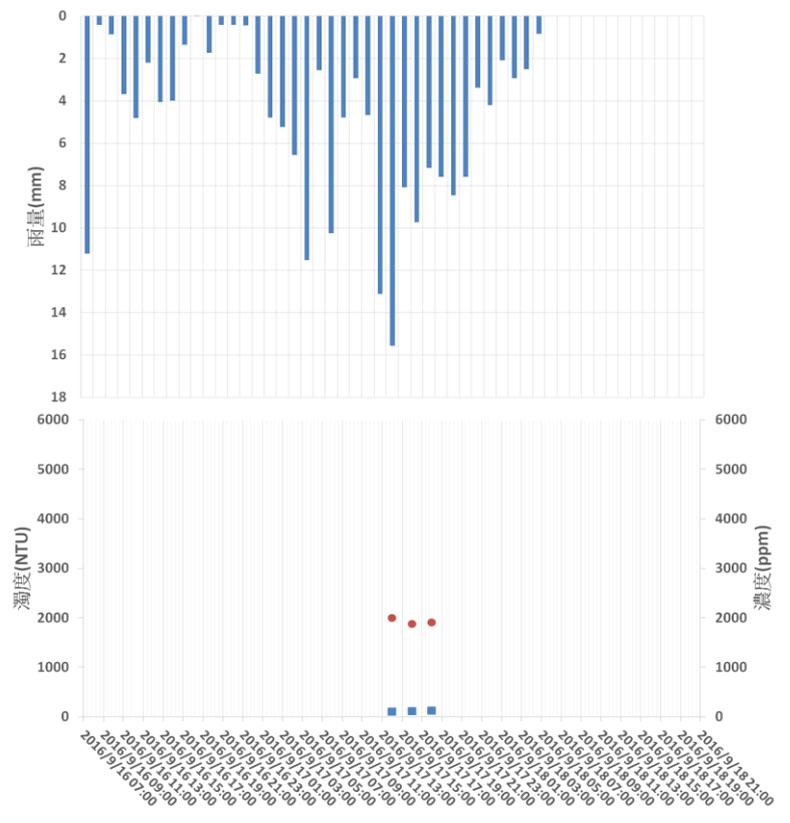


圖6-37 馬勒卡颱風（105/09/16~18）阿玉溪濁度、濃度觀測結果

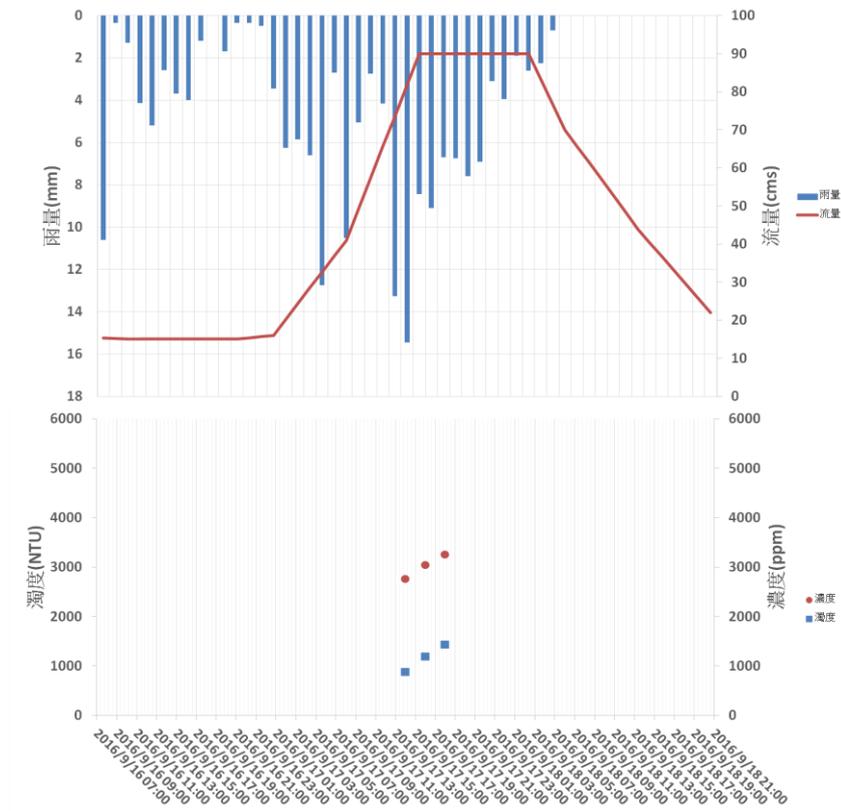


圖6-38 馬勒卡颱風（105/09/16~18）阿玉壩濁度、濃度觀測結果

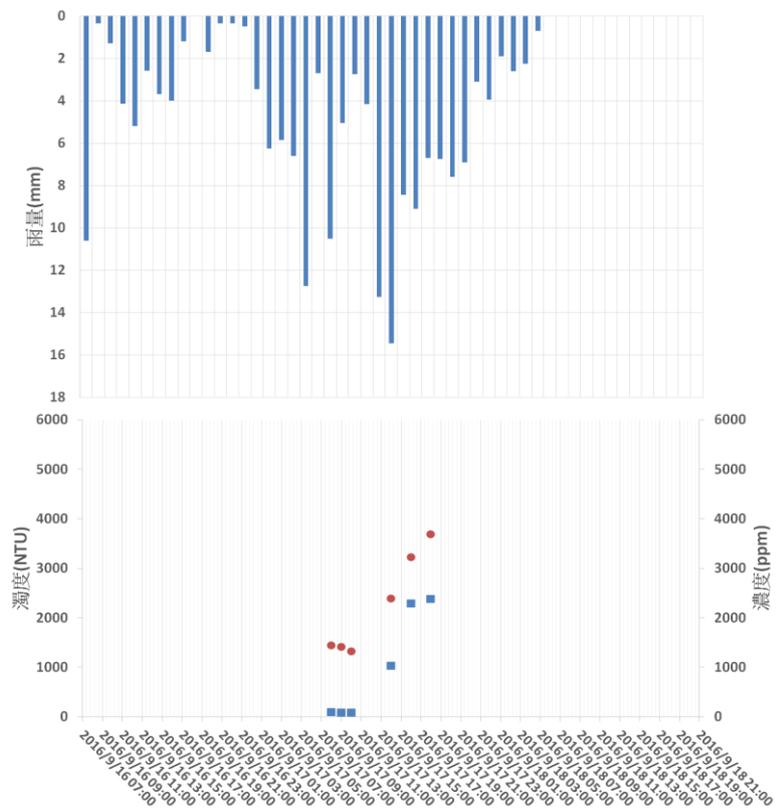


圖6-39 馬勒卡颱風（105/09/16~18）烏來橋濁度、濃度觀測結果

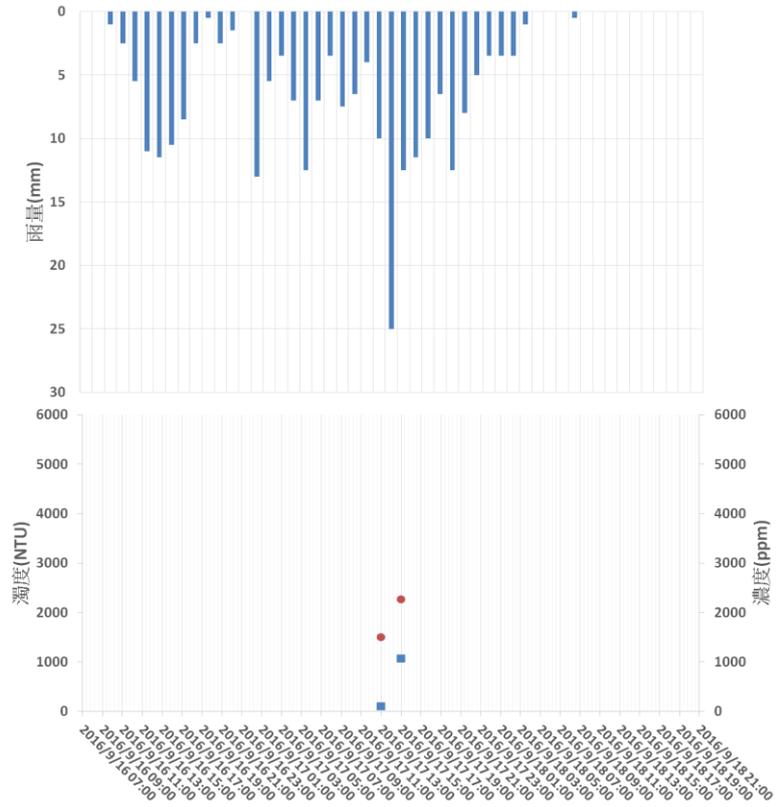


圖6-40 馬勒卡颱風（105/09/16~18）烏砂溪濁度、濃度觀測結果

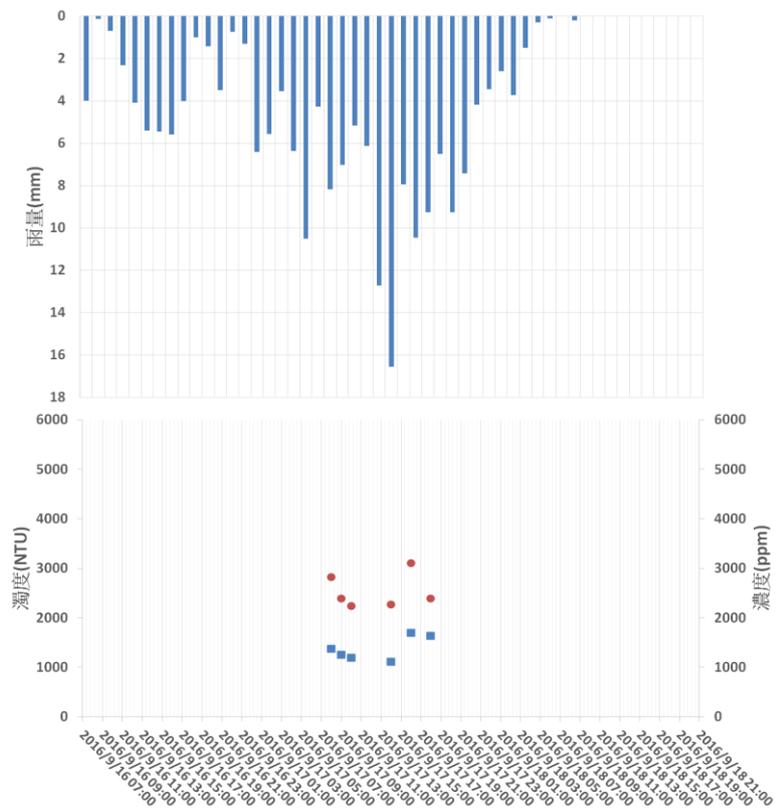
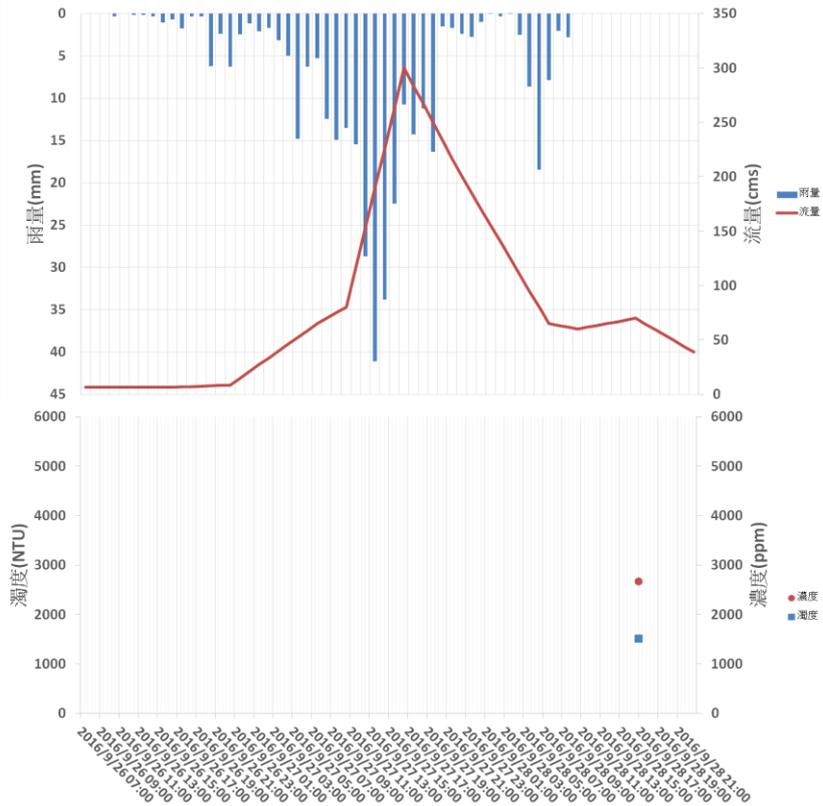


圖6-41 馬勒卡颱風（105/09/16~18）覽勝橋濁度、濃度觀測結果



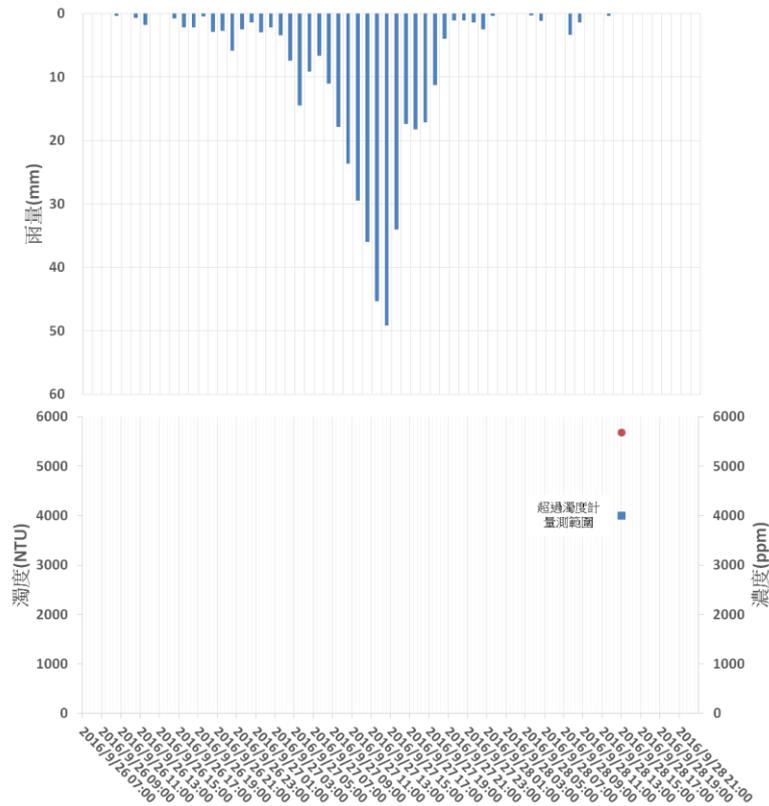


圖6-44 梅姬颱風 (105/09/26~28) 札孔溪濁度、濃度觀測結果

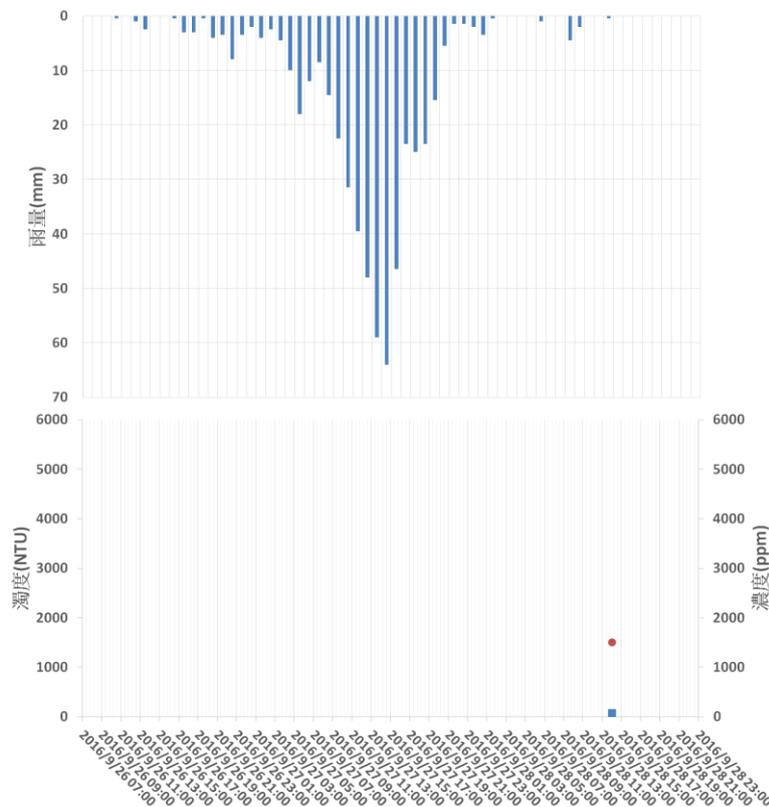


圖6-45 梅姬颱風 (105/09/26~28) 烏砂溪濁度、濃度觀測結果

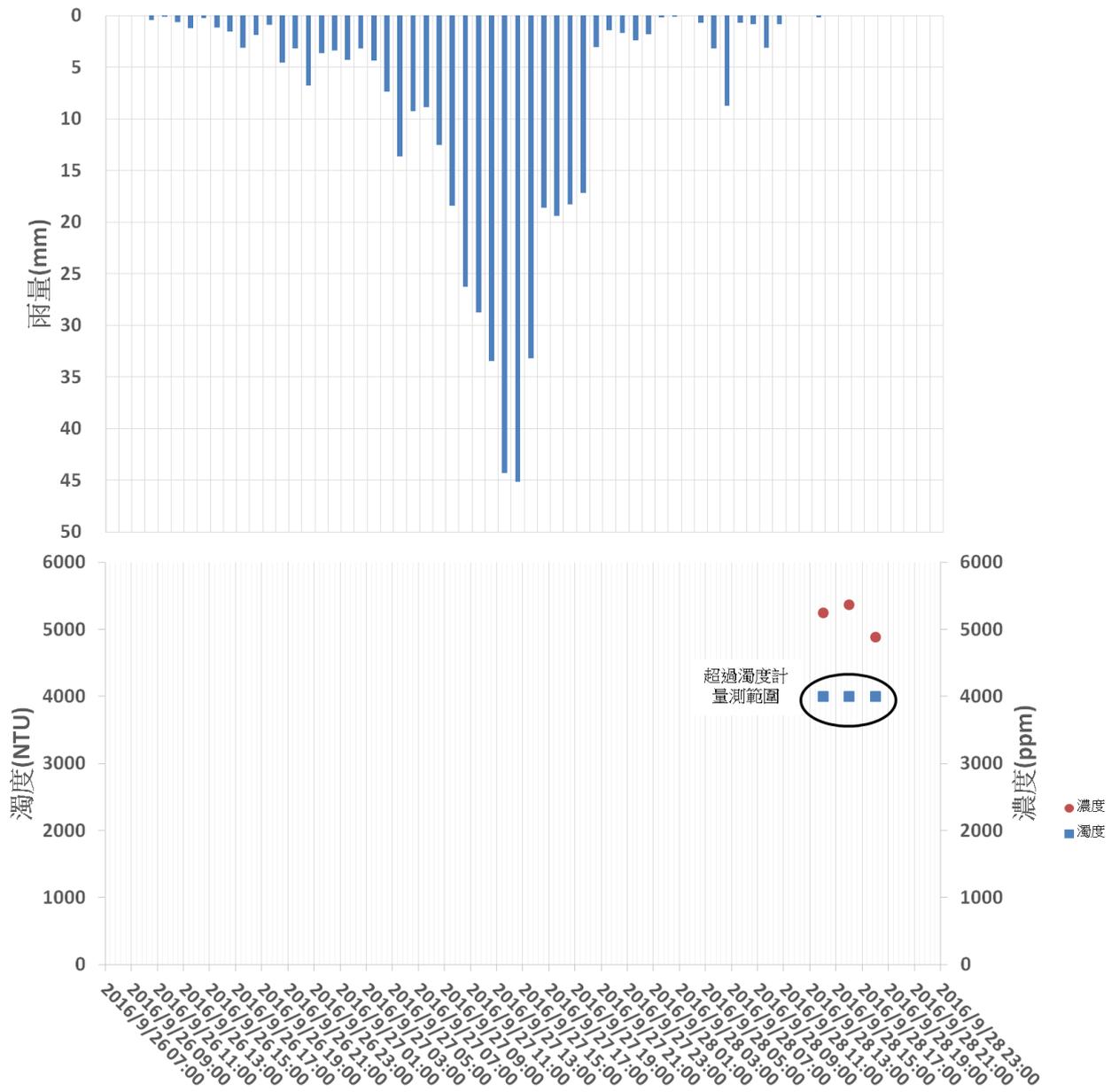


圖6-46 梅姬颱風 (105/09/26~28) 覽勝橋濁度、濃度觀測結果

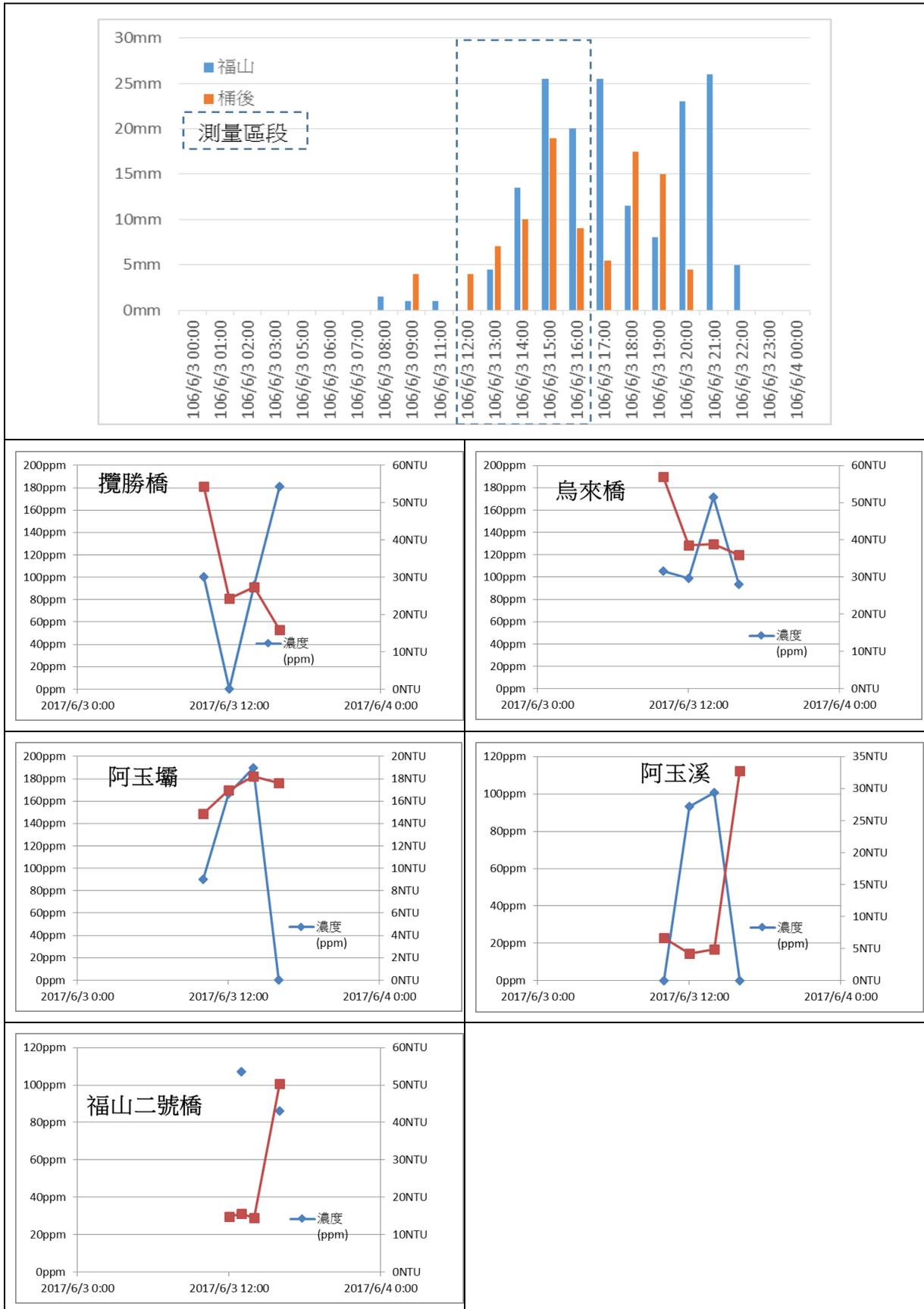


圖6-47 106年0603豪雨(106/06/03~04)濁度、濃度觀測結果

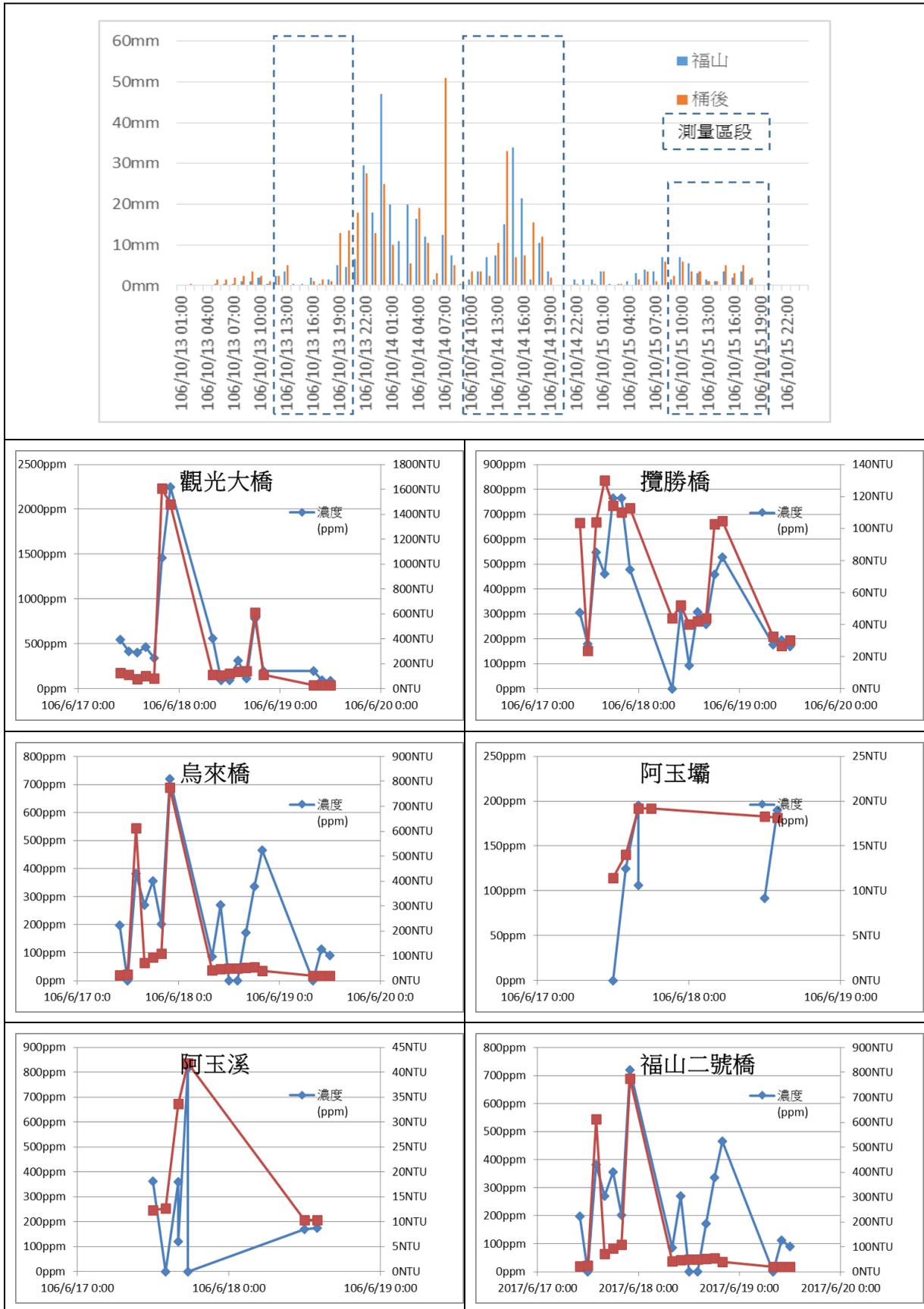


圖6-48 106年0617豪雨(106/06/17~19)濁度、濃度觀測結果

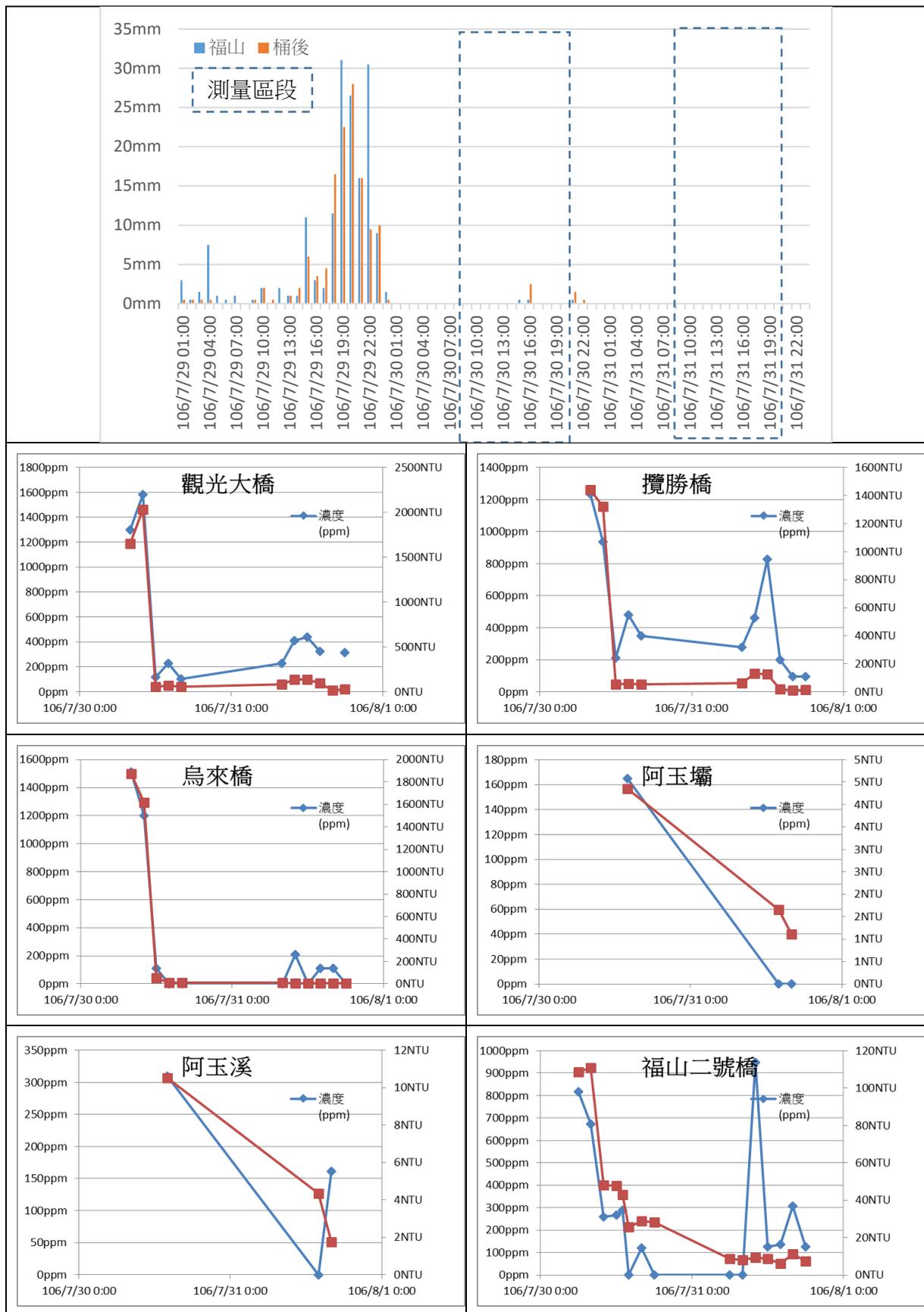


圖6-49 尼莎、海棠颱風 (106/07/30~08/01) 濁度、濃度觀測結果

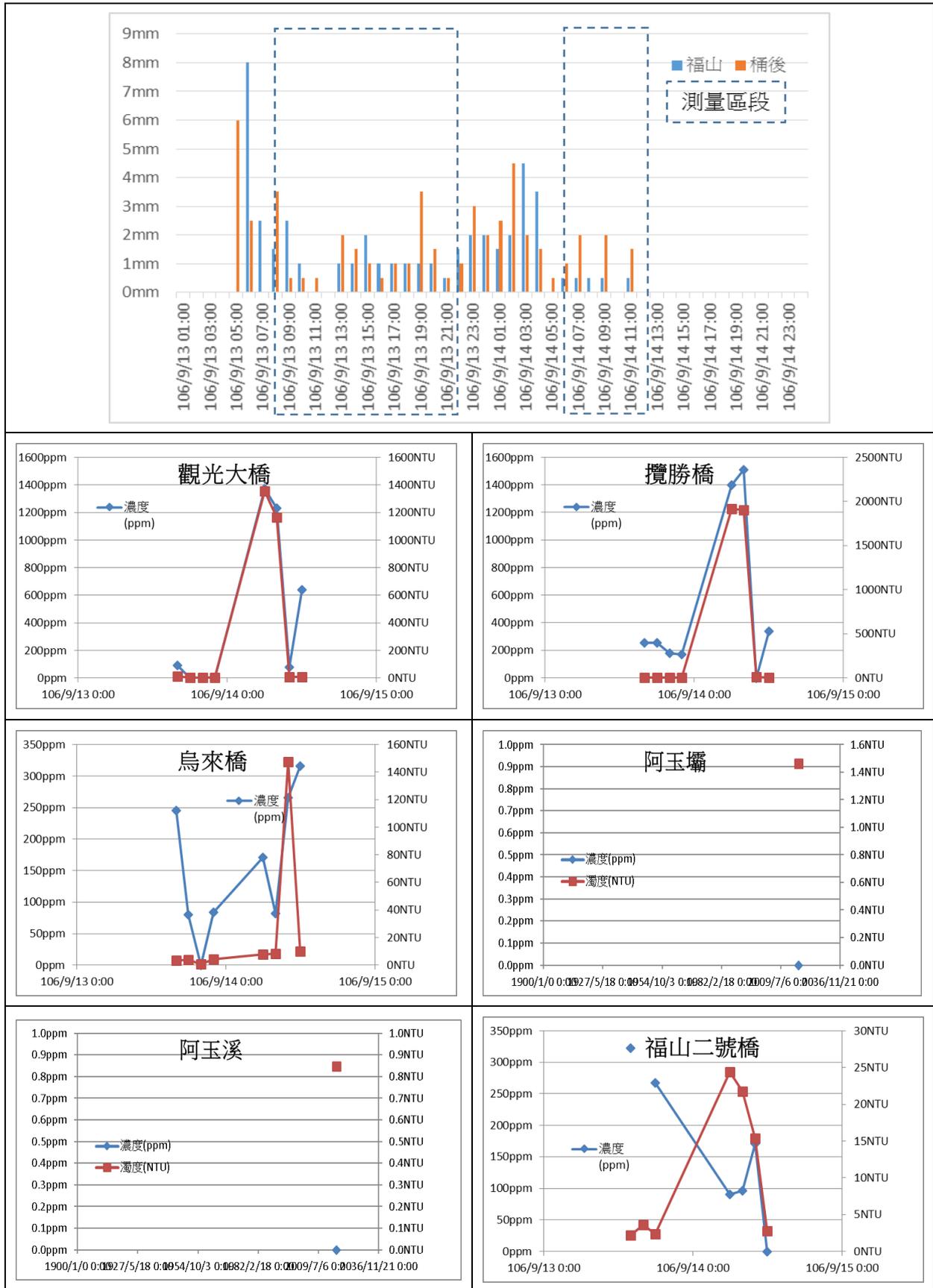


圖6-50 泰利颱風 (106/09/13~15) 濁度、濃度觀測結果

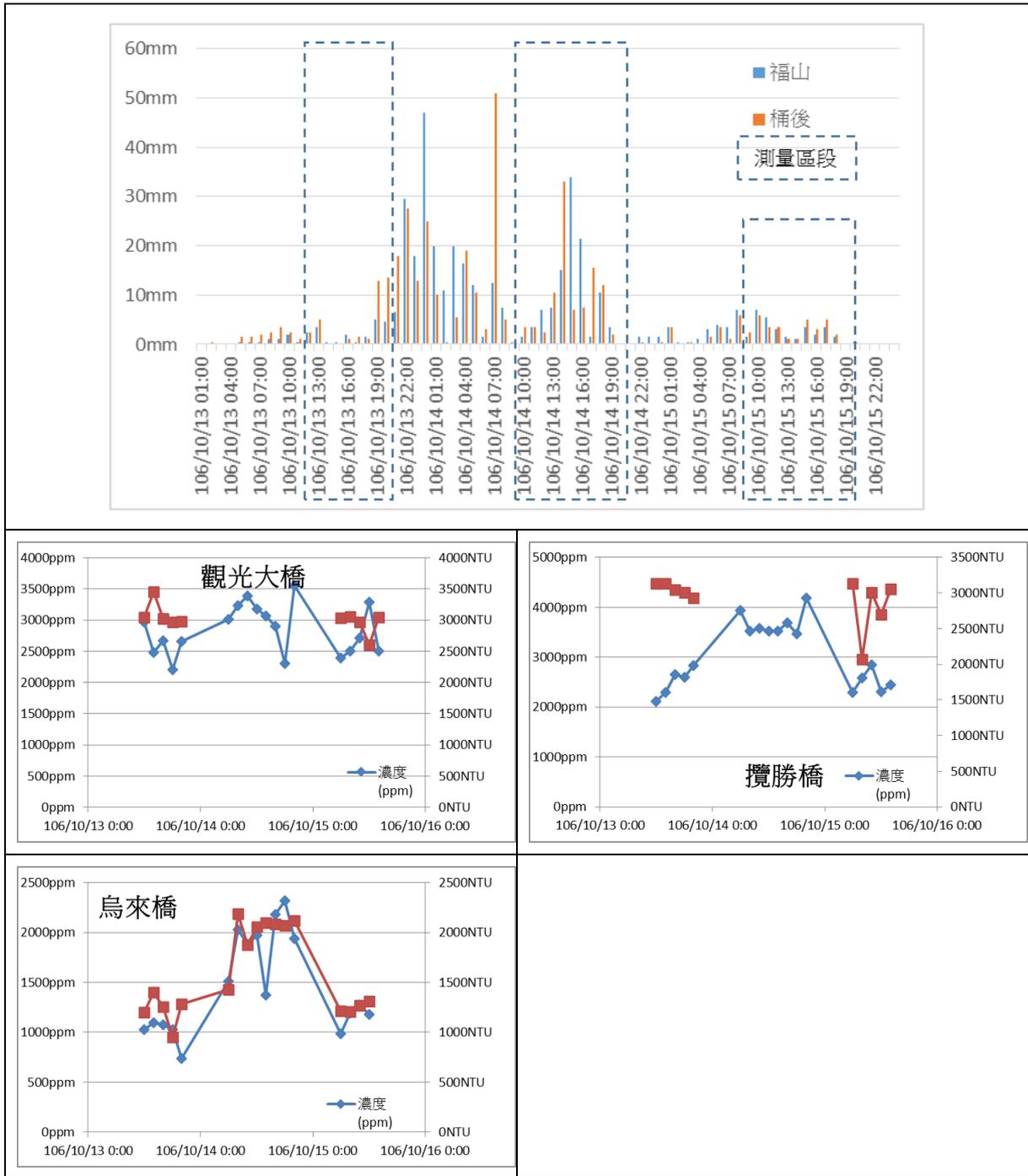


圖6-51 106年卡努颱風(106/10/13~15)濁度、濃度觀測結果

## 6-5 斷面變化評估

### (一)斷面量測作業方法

#### (1)測量系統

平面控制：採用台灣地區 TM 二度分帶 97 坐標系統。

高程控制：採用台灣地區一等一級或二級水準點。

#### (2)斷面樁平面及高程引測

經現場選點佈設新設斷面樁臨時點後(木樁、鋼釘)，以 GPS(RTK、VRS)快速靜態測量引測新設控制點，並經由內政部國土測繪中心之 [e-GNSS 系統三維坐標轉換](#)，供為全區高程 TWVD[2001]及平面 TWD97 控制系統之依據。

#### (3)大斷面測量

河道斷面高程控制系統應與水準測量系統一致。

河道橫斷面測量採用 GPS 衛星定位儀 RTK 或以光波測距經緯儀為之，高程誤差固定物不得超過 10 公分，其他不得超過 30 公分。

河道斷面以左樁為起點，往左方向為負數，往右方向為正數，施測渠床變化點，須符合實際斷面起伏變化，不得遺漏或簡化。

需繪製河道縱橫斷面成果圖，並建立橫斷面數值資料檔；河道斷面測量於深槽水面下之測點至少應有三點。

### (二)斷面量測位置

將新增崩塌地、新北市 1/5,000 比例尺環境地質圖中河岸侵蝕分布進行套疊，篩選出 7 處河道變遷區位，進行大斷面量測。變遷區位如圖 6-52，分別為(1)南、北勢溪匯流下游，(2)台 9 甲 10.2k 崩塌地，(3)南勢溪、桶后溪匯流後，(4)阿玉溪匯流桶后溪之前，(5)信賢部落，(6)斯其野溪、南勢溪匯流後，(7)札孔溪、哈盆溪匯流後。



圖6-52 斷面量測位置

### (三)斷面量測結果與討論

105、106 年度共 4 次斷面量測分別於 6 月底、10 月中旬、105 年 6 月、105 年 9 月進行，其結果如圖 6-53~圖 6-59。各次量測差異如下：

- (1)南、北勢溪匯流下游：差異主要在主深槽以及河床，橫距 70m~120m 之間於 106 年有沖刷情況，斷面面積增加  $37.2\text{m}^2$ 。通水面積變化率約 5.51%。床底平均高程變化降低 0.17m。

- (2)台 9 甲 10.2k 崩塌地：105 年 10 月主深槽不分線型平順後，無明顯變化。斷面面積增加 26.28m<sup>2</sup>。通水面積變化率約 1.13%。床底平均高程變化降低 0.19m(表淤積)。
- (3)南勢溪、桶后溪匯流後：相較於河床變化，右側邊坡變化更為明顯，大部分改變主要為邊坡土砂堆積或往下移動。105 年到 106 年 10 月，斷面面積增加 19.40m<sup>2</sup>。通水面積變化率約 3.11%。床底平均高程變化降低 0.19m。
- (4)阿玉溪匯流桶后溪之前：差異主要在河床有明顯下降，側向變化不大，斷面面積增加 31.87m<sup>2</sup>。通水面積變化率約 25.51%。床底平均高程變化降低 1.05m。
- (5)信賢部落：整體差異不大，斷面面積增加 27.90m<sup>2</sup>。通水面積變化率約 4.77%。床底大部分無變化。床底平均高程變化降低 0.58m。
- (6)斯其野溪、南勢溪匯流後：河床僅輕微變化，右側河床偶有侵蝕偶有堆積，兩年來無明顯增減，斷面面積增加-16.22(表淤積)m<sup>2</sup>。通水面積變化率約 4.52%。床底平均高程變化抬高 0.34m(表淤積)。
- (7)札孔溪、哈盆溪匯流後：主深槽略有變化，側向略有變化，斷面面積增加 5.58m<sup>2</sup>。通水面積變化率約 2.10%。床底平均高程變化降低 0.14m。

大部分斷面變化幅度不顯著，各斷面通水面積變化量約在 5%內，除阿玉溪匯流桶后溪前(斷面 4)下刷 1.05m，信賢部落(斷面 5)下刷 0.53m 外，其於 5 處斷面之平均深度變化在 20 公分至 30 公分之間，大部分為淘刷，使通水斷面略為加大。可能因 105、106 年度之颱風事件皆不大，降雨量小坡面沒有土砂進入之緣故，使床底泥沙持續往外運移。

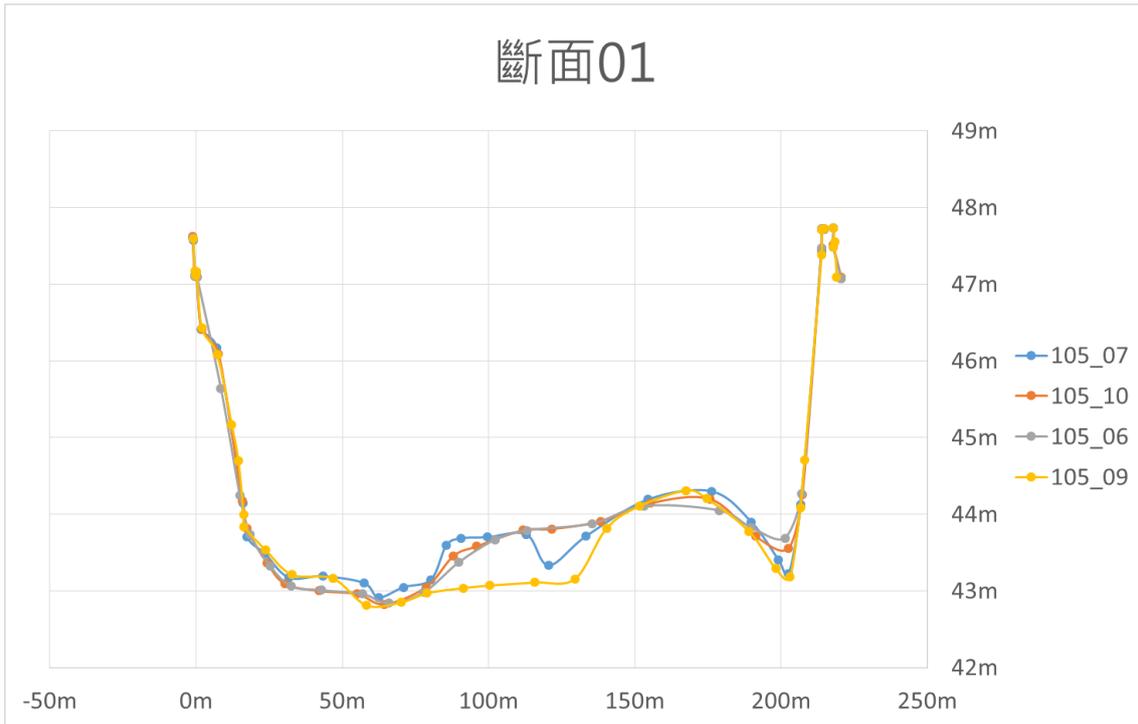


圖6-53 断面(1)南、北勢溪匯流下游

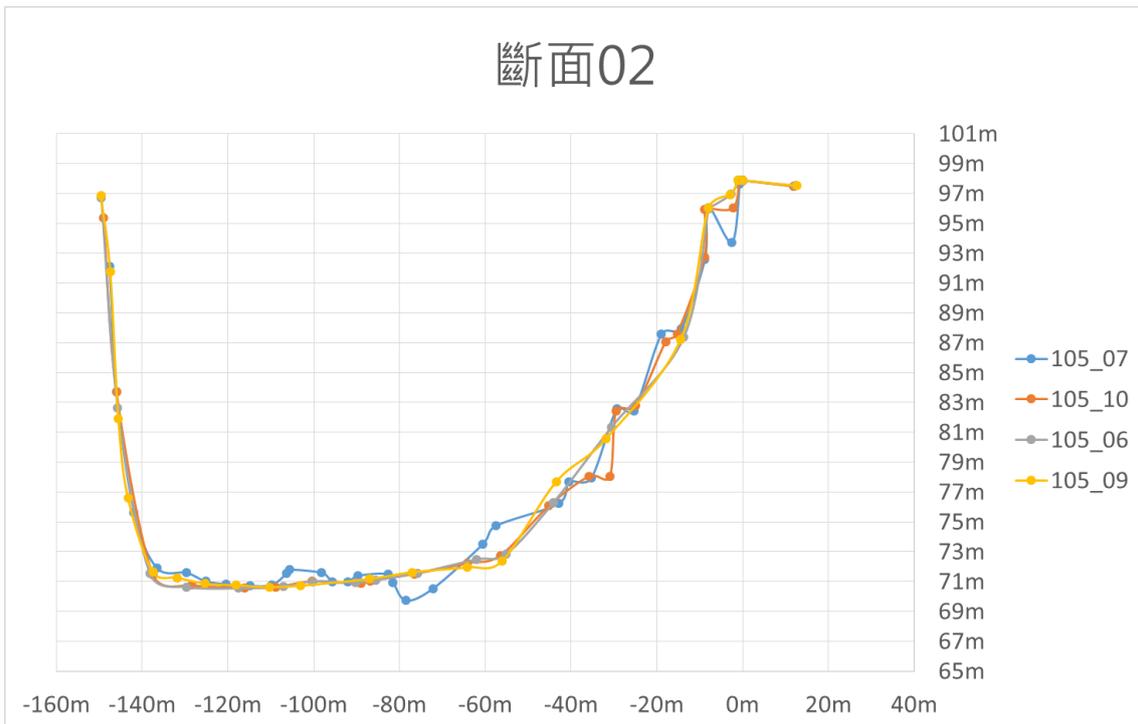


圖6-54 断面(2)台9甲 10.2k 崩塌地

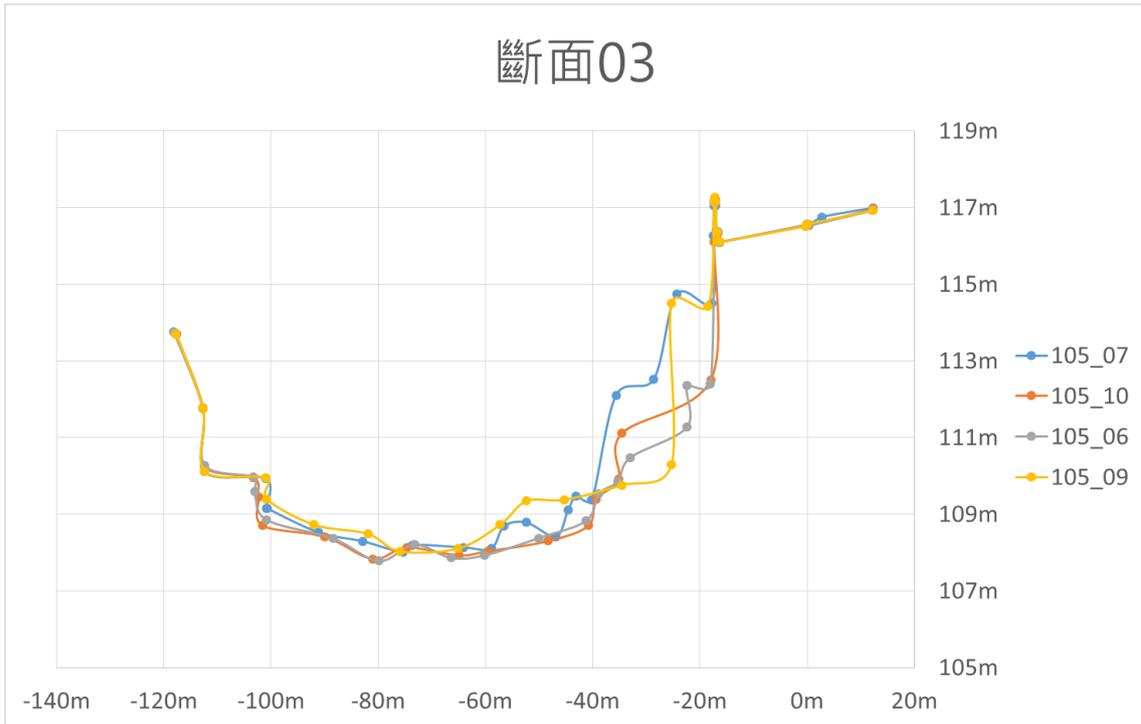


圖6-55 断面(3)南勢溪、桶后溪匯流後

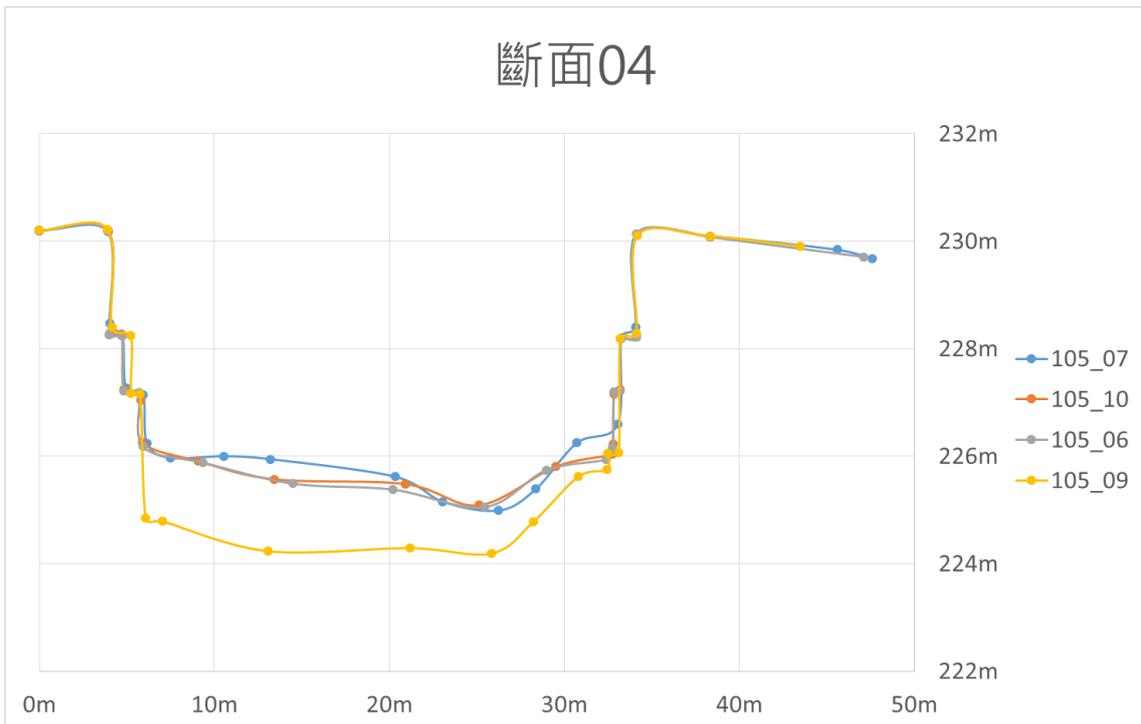


圖6-56 断面(4)阿玉溪匯流桶后溪之前。

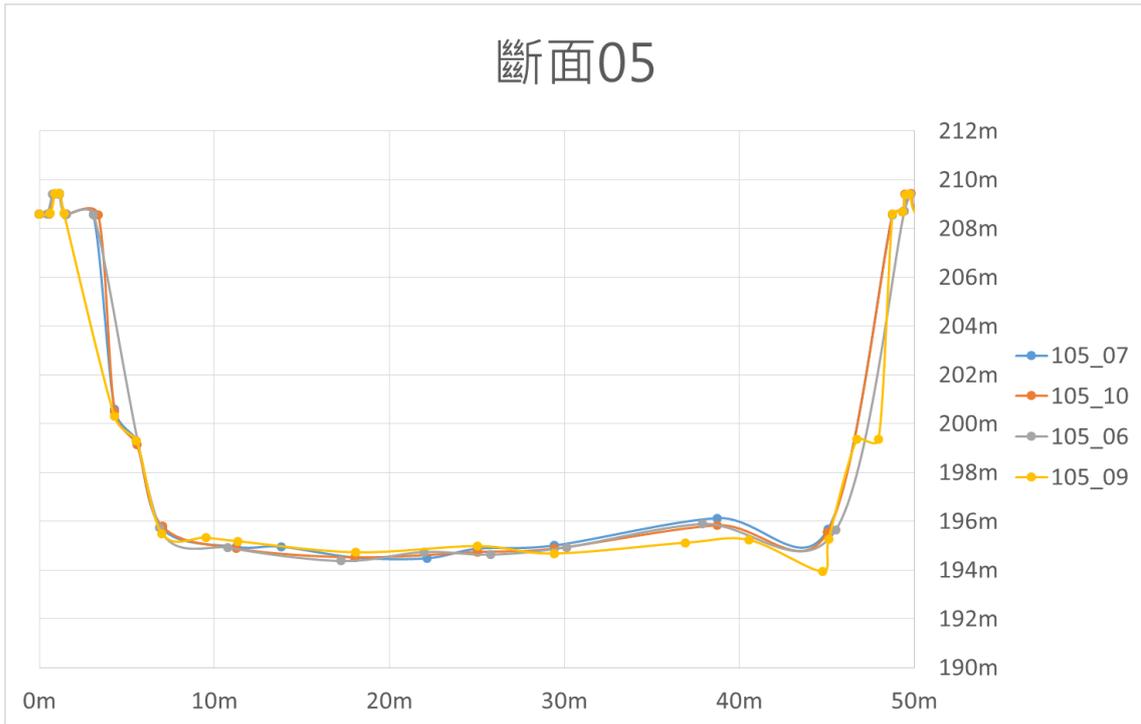


圖6-57 断面(5)信賢部落

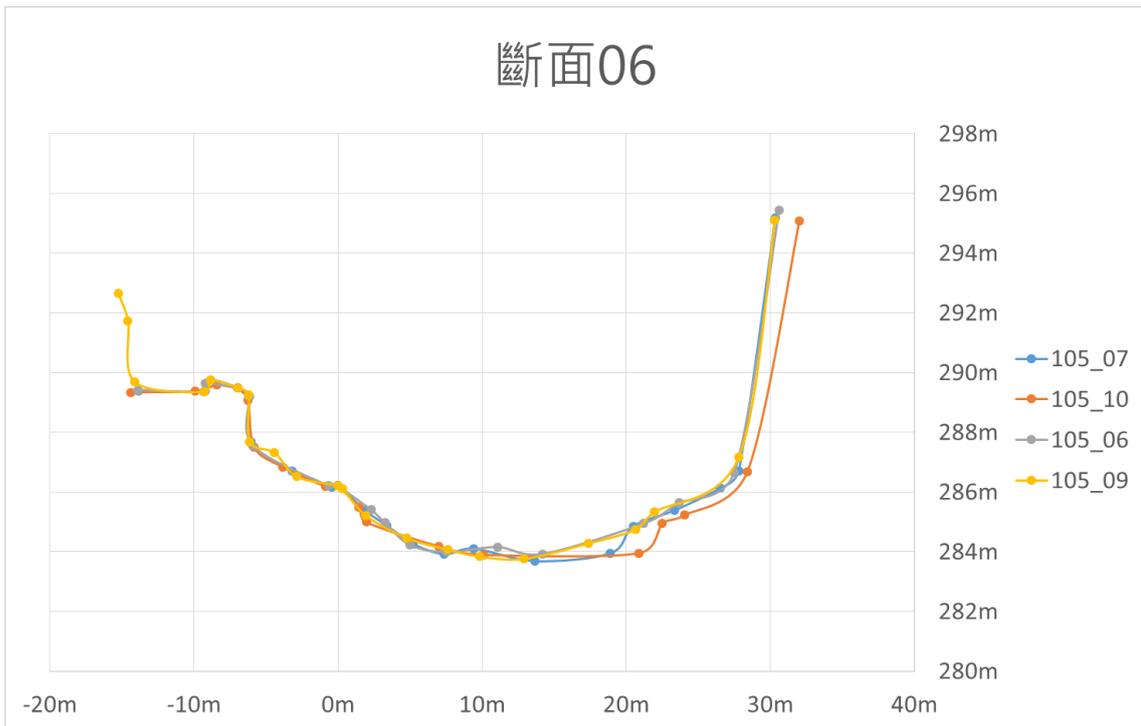


圖6-58 断面(6)斯其野溪、南勢溪匯流後

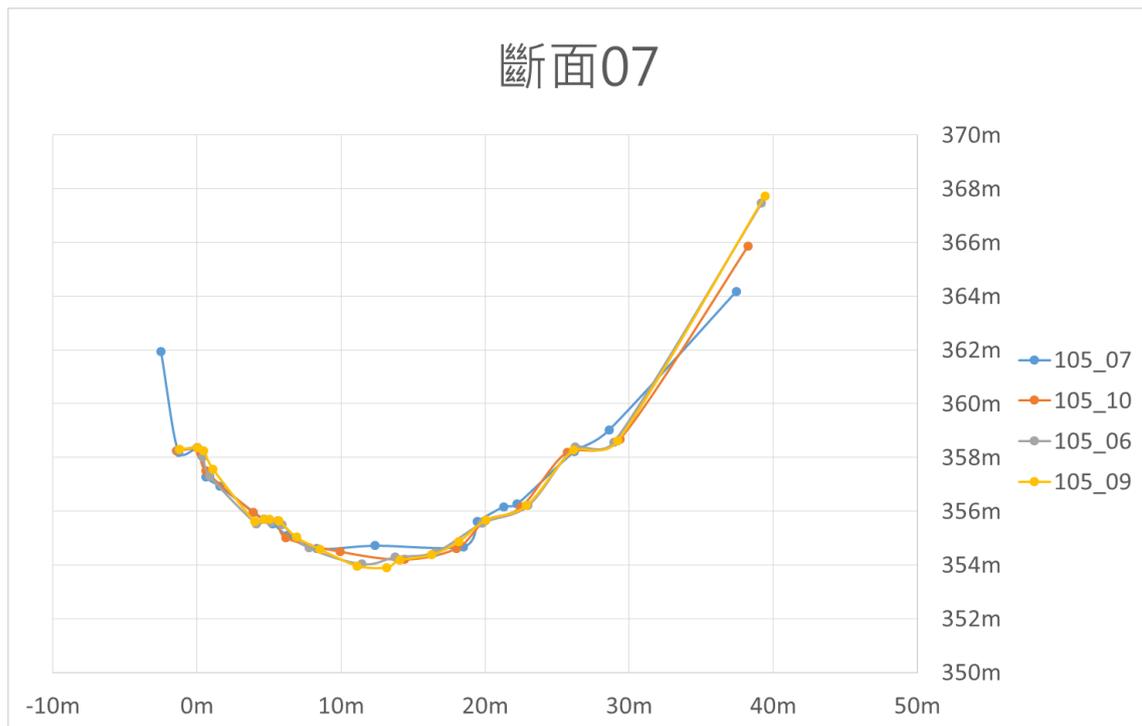


圖6-59 断面(7)札孔溪、哈盆溪匯流後

## 6-6 南勢溪濁度貢獻主次要地區研判

南勢溪之濁度監測站如 6-1 節所述，有福山站、覽勝橋站、屈尺站(下龜山橋站)，以此三站將南勢溪分成上(福山站以上)、中(覽勝橋站以上)、下游(屈尺站)以上三段，並藉由分析比較三站之濁度，初步研判南勢溪濁度貢獻之主次要地區。

### (一) 尼伯特颱風期間濁度監測資料：(圖6-61)

福山站：形狀異常(呈矩形而非峰形)，時間點異常(相較於其餘 2 測站測得時間點)，推測儀器異常，故此期間監測數據不採計。

覽勝橋站：濁度量測數據範圍介於 0-8531 NTU，數據多落在 1000~2000NTU 之間。

屈尺站：濁度量測數據範圍介於 0-6490 NTU，數據多落在 700~1500NTU 之間。

本次事件顯示南勢溪中游之濁度值大於下游之濁度值，泥砂多於中游產生，隨著往下游各支流匯入將溪水稀釋，或因流速減緩而沉澱，使得濁度下降。

(二)莫蘭蒂颱風期間濁度監測資料：(圖6-62)

福山站：濁度量測數據範圍介於 0-786 NTU。

覽勝橋站：濁度測站異常，未測得濁度數據。

屈尺站：濁度量測數據範圍介於 0-3235 NTU。

本事件顯示南勢溪上游之濁度不高(未達濁度警戒黃色燈號之 1000NTU)，下游之濁度非因上游產生，可能為中游或下游產生之泥砂造成。

(三)馬勒卡颱風期間濁度監測資料：(圖6-63)

福山站：濁度測站異常，未測得濁度數據。

覽勝橋站：濁度量測數據範圍介於 0-8491 NTU。

屈尺站：濁度量測數據範圍介於 0-6557 NTU。

本次事件顯示南勢溪中游之濁度值大於下游之濁度值，泥砂多於中游產生，隨著往下游各支流匯入將溪水稀釋，或因流速減緩而沉澱，使得濁度下降。

(四)梅姬颱風期間濁度監測資料：(圖6-64)

福山站：濁度量測數據範圍介於 0-147 NTU。

覽勝橋站：濁度量測數據範圍介於 0-7334 NTU。

屈尺站：濁度量測數據範圍介於 0-5788 NTU。

本事件顯示南勢溪上游之濁度不高(未達濁度警戒黃色燈號之 1000NTU)，下游之濁度非因上游產生，泥砂多於中游產生，隨著往下游各支流匯入將溪水稀釋，或因流速減緩而沉澱，使得濁度下降。

(五)106年0603期間濁度監測資料：(圖6-65)

福山站：大部分濁度低於警戒值，變化緩慢，但 0603 中午 12 時起，起濁度快速上升，最高突破 7,000NTU，與現場觀測不合，應為儀器故障。

覽勝橋站：濁度量測數據範圍大部分皆低於警戒，約有兩次高峰到達 500NTU，事件期間最大濁度到達 1,100NTU。

屈尺站：自 0602 中午起最早出現濁度反應，數值甚高約 8000NTU，過後並無如此高之紀錄。

本事件顯示南勢溪上游之濁度不高(未達濁度警戒黃色燈號之 1000NTU)，下游之濁度非因上游產生，泥砂多於中游產生，而在下游端可能因為水量加大，帶起在過往沉積於底部之泥砂。

(六)106年0617期間濁度監測資料：(圖6-66)

福山站：大部分時間濁度穩定在 400NTU，但現場視察與測量均低於 200NTU，應為一基準偏差，0618 中午可見一濁度高峰，但現場採樣無此情況。

覽勝橋站：濁度在 200 NTU 內變化。

屈尺站：0617 觀察到緩慢的濁度上升，約至 500 NTU。

本事件降雨量小，大部分濁值可能都在歸零偏差的範圍。在濁度反應部分，與現場觀測一致，均無飆高狀況。

(七)106年尼莎颱風期間濁度監測資料：(圖6-67)

福山站：自 29 號下午起逐漸上升，至 900 NTU。

覽勝橋站：自 29 號下午起逐漸上升，30 日凌成至最高峰 2,300 NTU。

屈尺站：同樣自 29 號下午起逐漸上升，但 30 日凌成最高峰僅有 1,200 NTU。

本事件顯示南勢溪中游之濁度隨著往下游各支流匯入將溪水稀釋，或因流速減緩而沉澱，使得濁度下降。

(八)106年泰利颱風期間濁度監測資料：(圖6-68)

本事件降雨量不斷下修，總降雨量不如預期。收集各水位站監測資料僅做為參考。

(九)106年1013期間濁度監測資料：(圖6-69)

福山站：烏來區普遍於 12 日起陸續出現降雨，13 日上午起降雨開始增強，福山紀錄到濁度飆高，皆近 3000NTU，隨降雨減緩緩慢消退。

覽勝橋站：濁度最大值時間比福山站稍晚，但自動測量數據範圍僅在 2500 以下，與現場觀測約 2000~4000 以上不一致。

屈尺站：濁度自 13 號傍晚起明顯增加，到 14 號清晨上升到 5000NTU，於中午前衰退，之後仍然有明顯濁度紀錄。

本事件由於雨勢大且延時長，福山地區也罕見的出現高濁度。中游段於覽勝橋光大橋等處採樣，濁度皆高過 5000NTU，有明顯的土砂運移與濁度現象。

(九)比較105、106年各場事件，可以歸納出二結論：

- (1) 南勢溪上游之濁度值不高，於福山區大部分降雨事件都不夠將土砂帶出，顯示在一般情況下，下游濁度並非上游所造成。
- (2) 對照本計畫於新店溪 7 處河床植採樣成果（圖 6-69，表 6-6），可見在烏砂溪匯流口後、桂山壩、屈尺堰等處之河床質粒徑小於 1mm 之比例偏高。說明在該處僅需要小的降雨或流量就可以帶出大量的懸浮載，可能是小降雨事件時濁度產生的主因。大降雨事件時，由於各子及水區都有大量的坡面土壤沖蝕，帶入河道；又隨著流量變大，河道運移能力也變大，在降雨條件相當下，各處產出之濁度大略相當。

(十)蘇迪勒事件崩塌土砂與濁度現象

計畫執行期間受限於安全管制，並無直接取得強降雨事件之完整濁度觀測，但仍嘗試討論蘇迪勒颱風事件崩塌地討論崩塌引致之濁度。經過崩塌體積推算後，雖然上游有一定比例的土砂移出，但因為濁度係與濃度一樣，需要將土砂量與流量合併考量，而流量與集水區面積大小有關，故單位面積崩塌量也會大幅濁度。依本計劃統計，單位面積崩塌量，並非上游最高，仍然是以烏砂溪等中游地區最高（烏砂溪高達 5 倍）。此外，再上游地區母岩所含泥砂較中游地區少，意味著同樣的土砂量，上游土砂因粒料特性引致的濁度會較低。此外依土砂來源量體比例而言，烏砂溪、桶後溪、阿玉溪才有崩塌佔比偏高之情形，故推論上游雖有崩塌量體產生，但引起之濁度，並不一定以上游段最為嚴重。

(十一)小結

就本計畫觀測與分析，整體而言，南勢溪流域各段在小降雨事件時，以南勢溪中游，桶後溪下游段最易產生濁度。大型降雨事件中產生之濁度應約略相當。



圖6-60 新店溪上游河床值調查點位

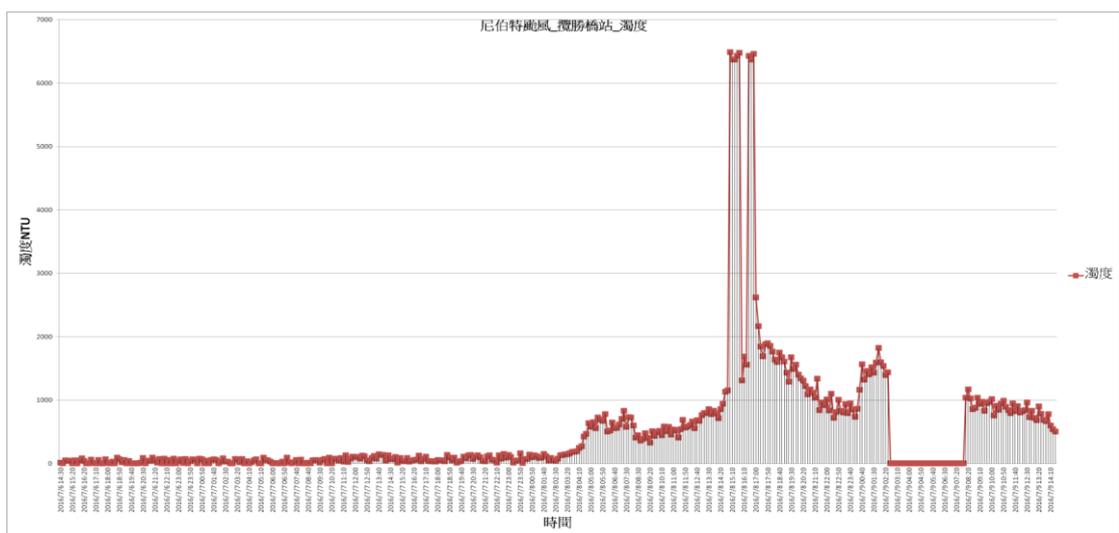
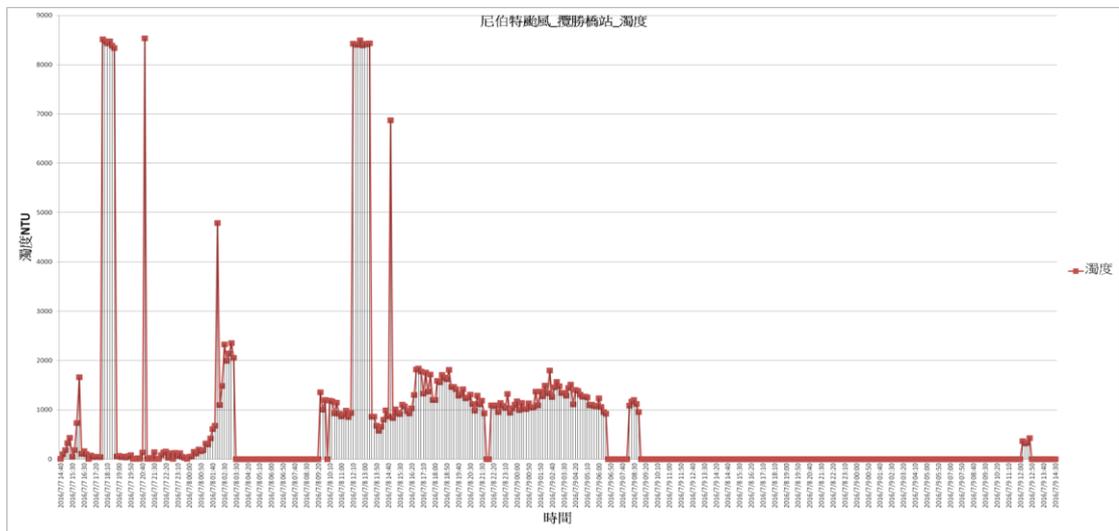
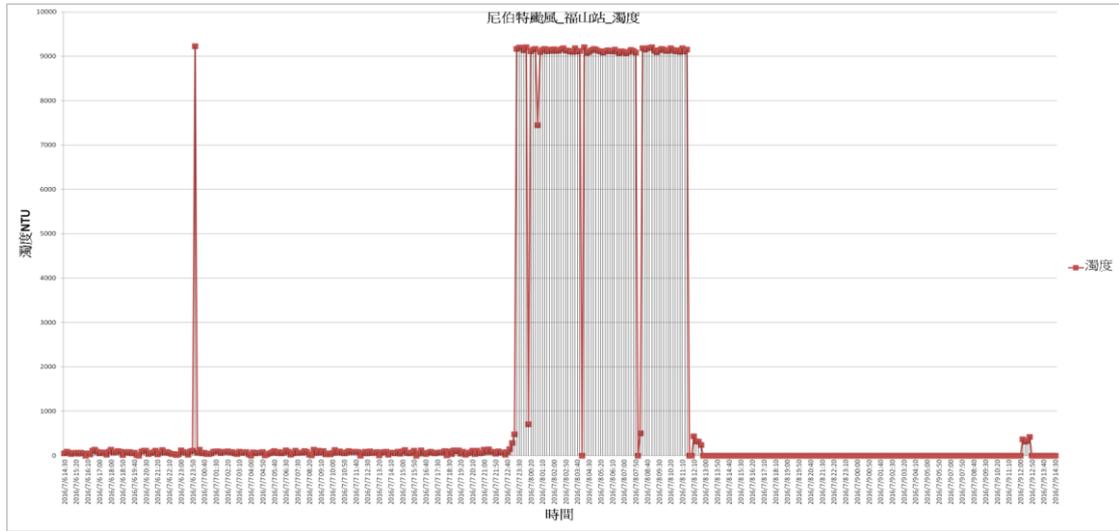


圖6-61 尼伯特颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

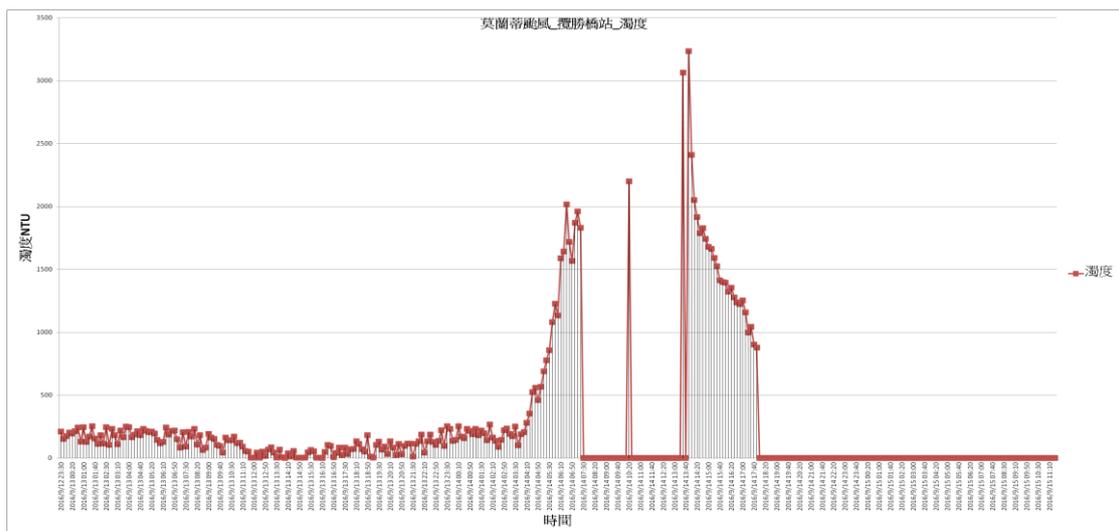
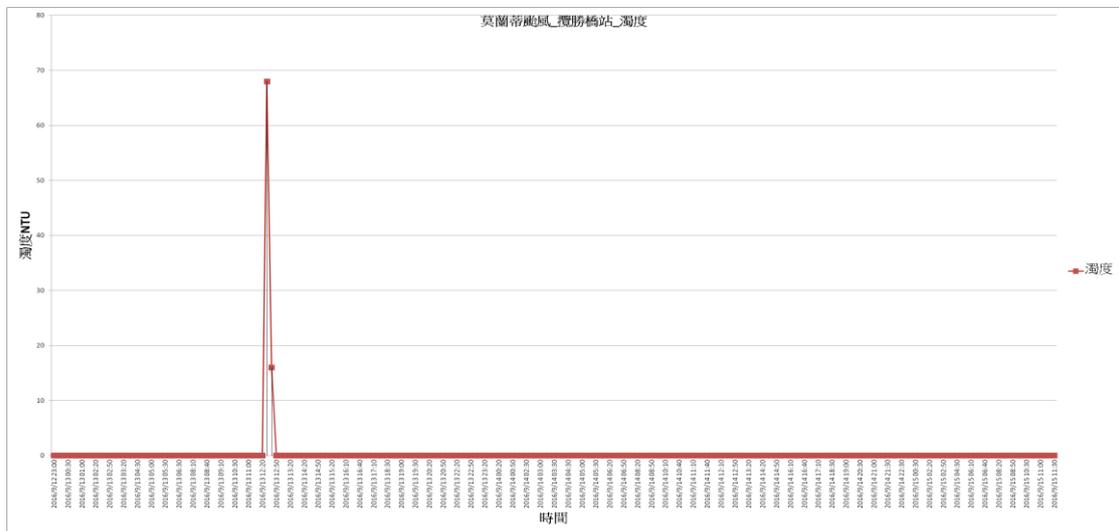
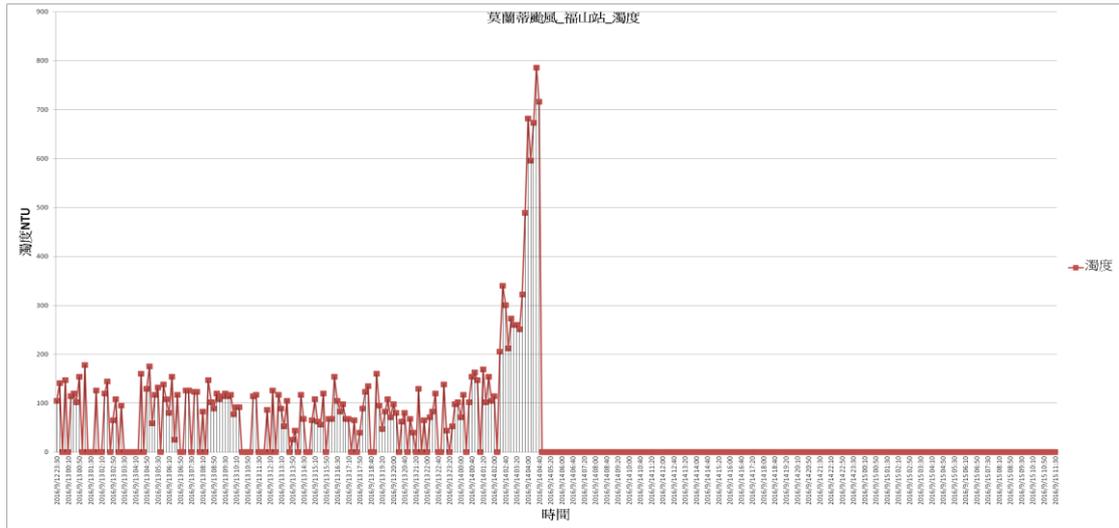


圖6-62 莫蘭蒂颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

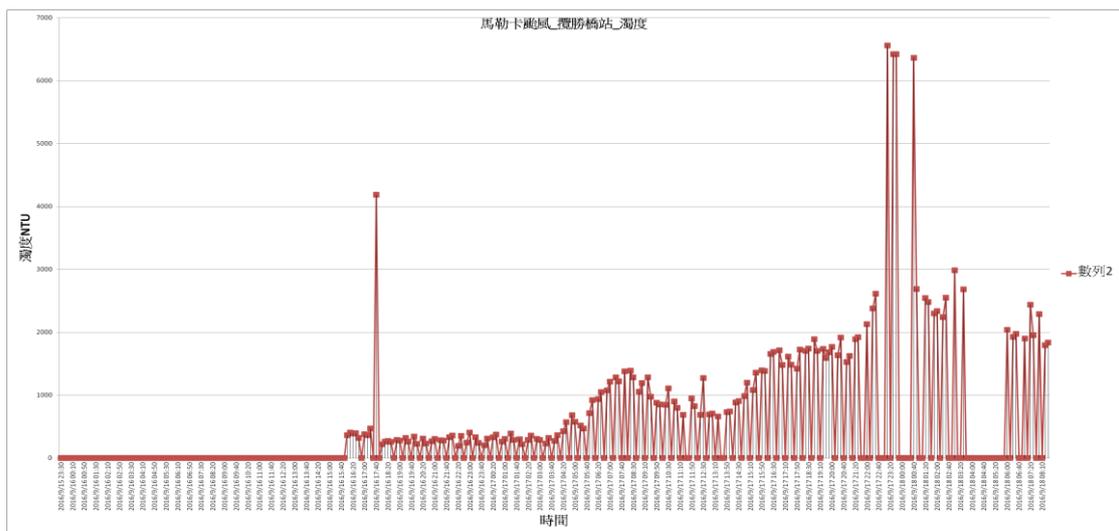
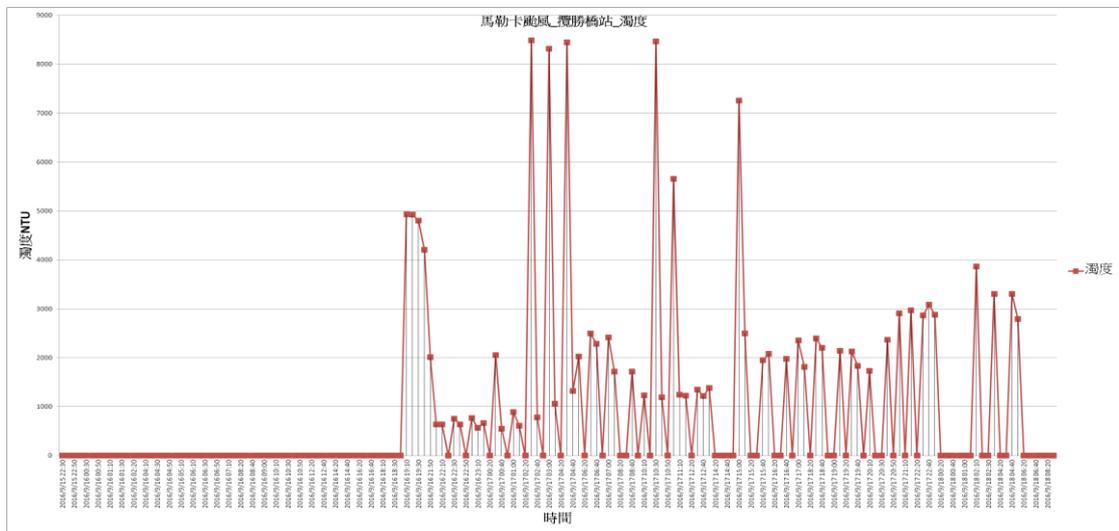
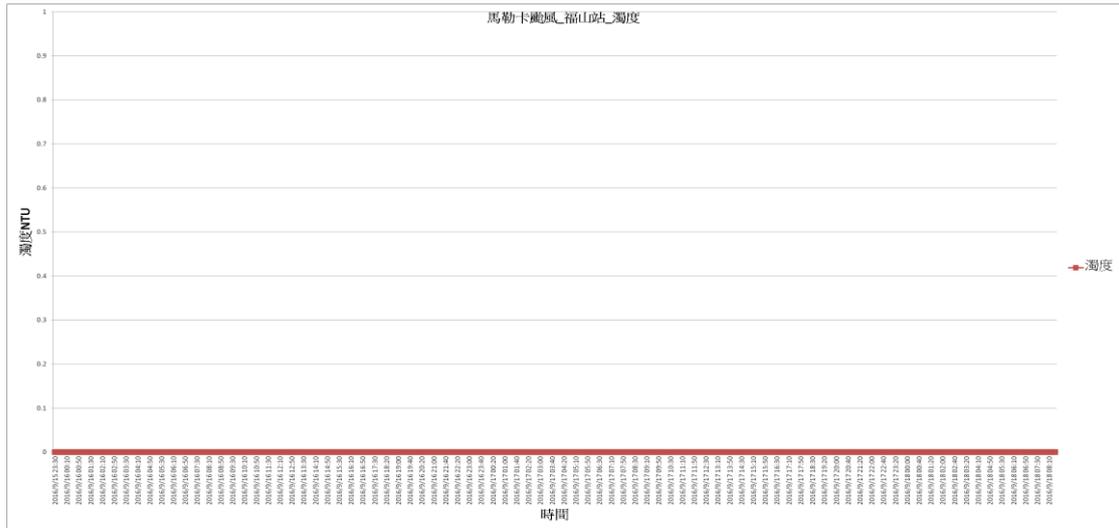


圖6-63 馬勒卡颶風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

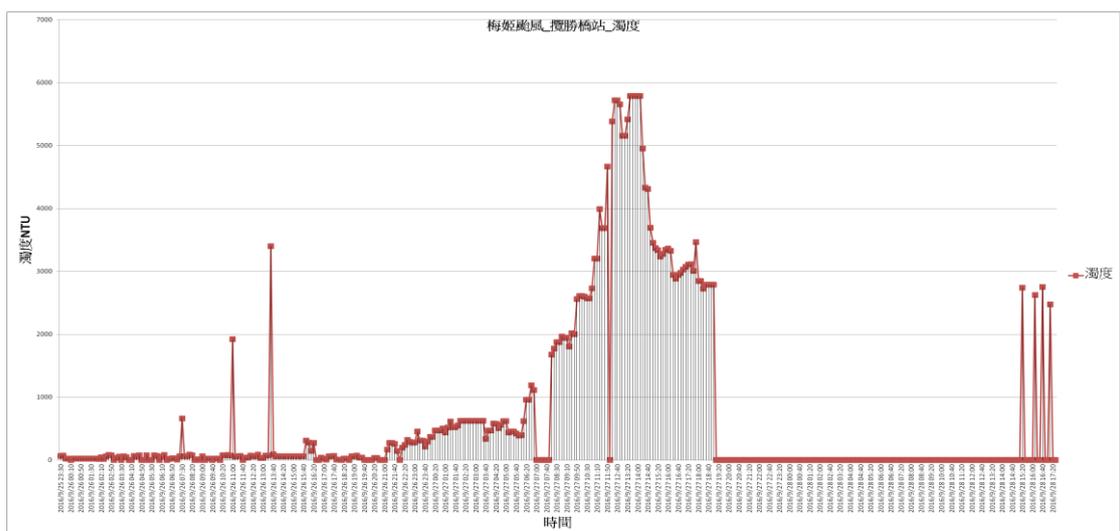
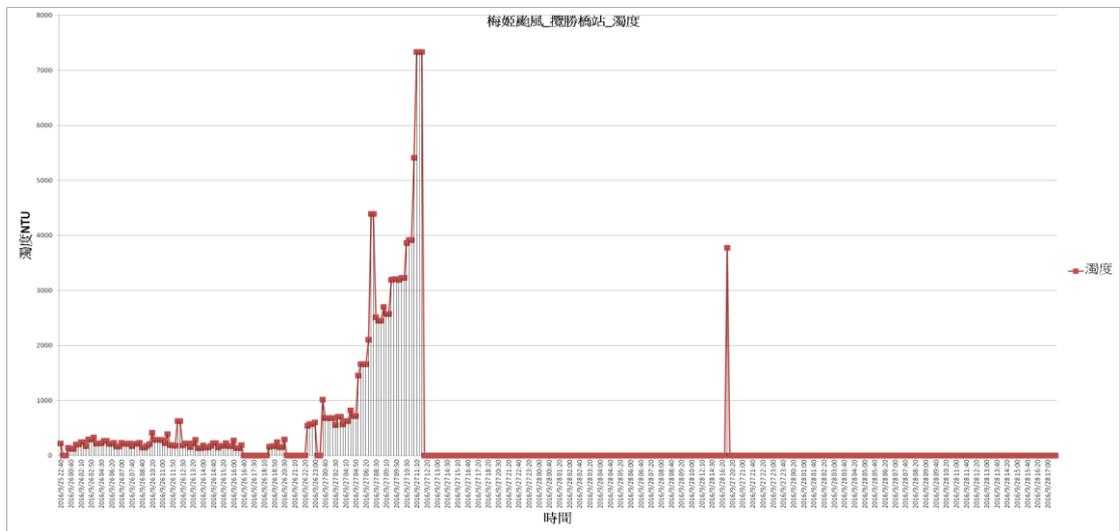
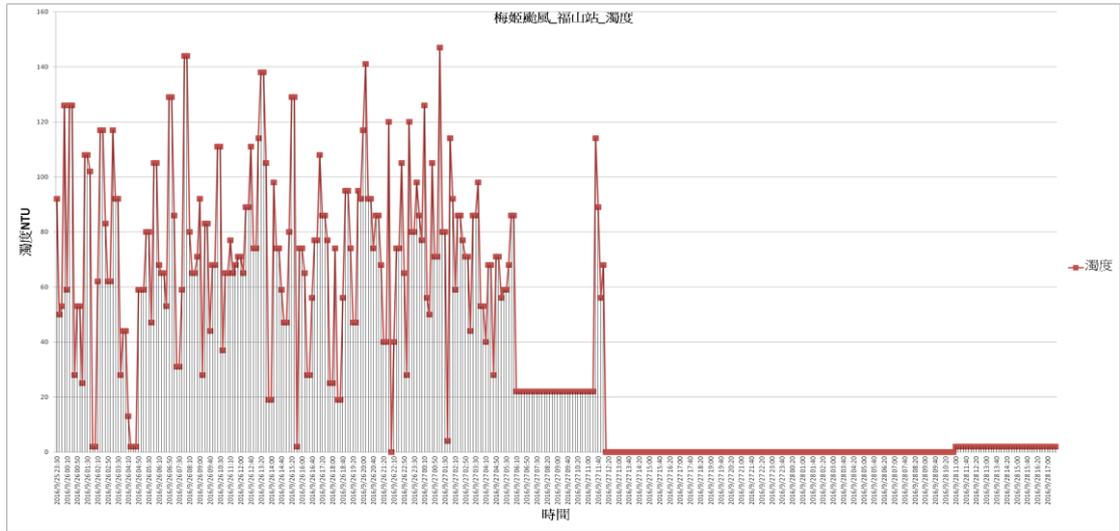


圖6-64 梅姬颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

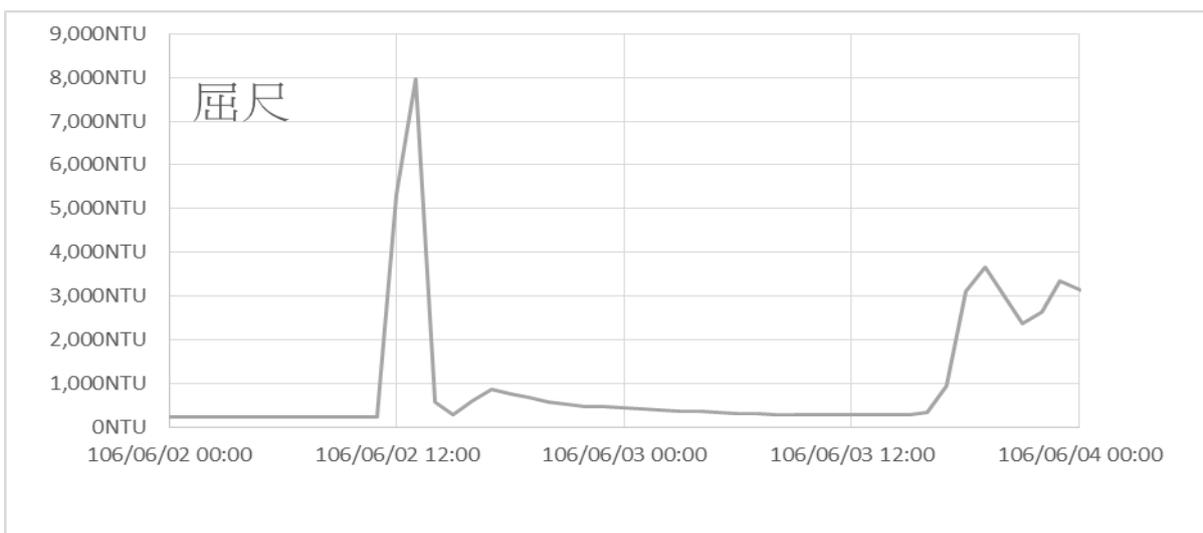
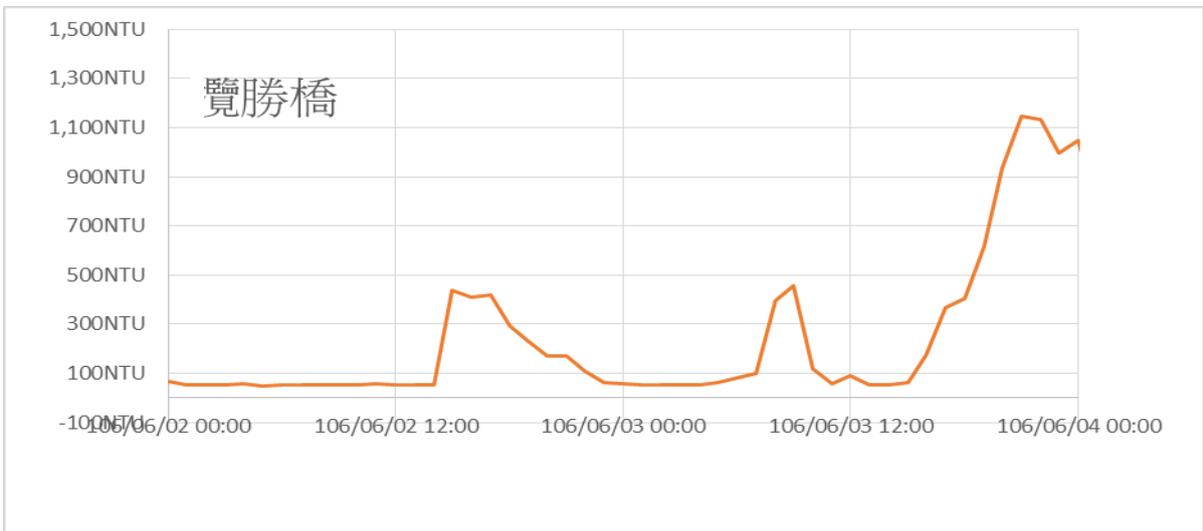
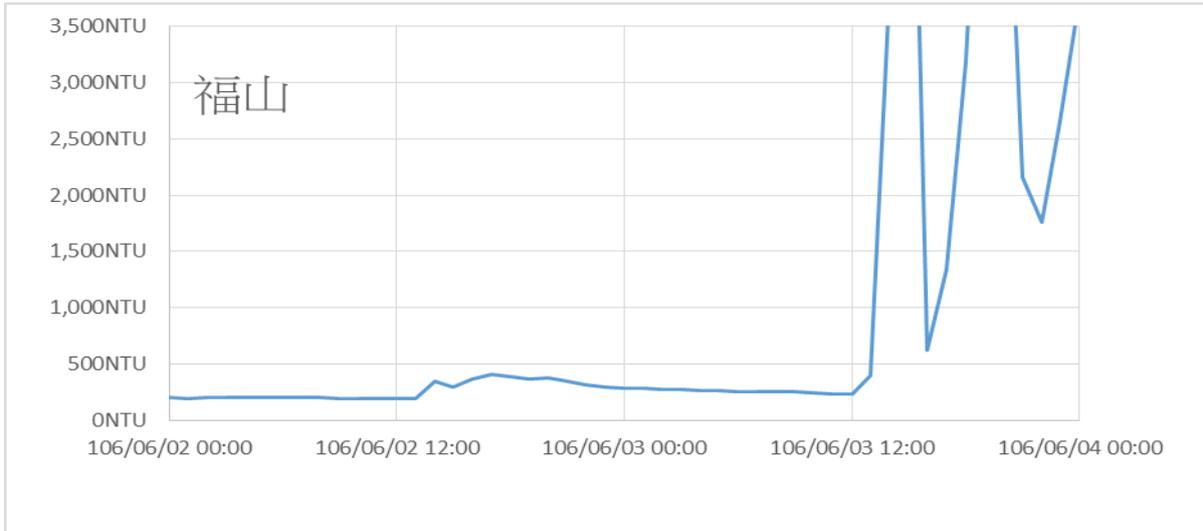


圖6-65 106年0603期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

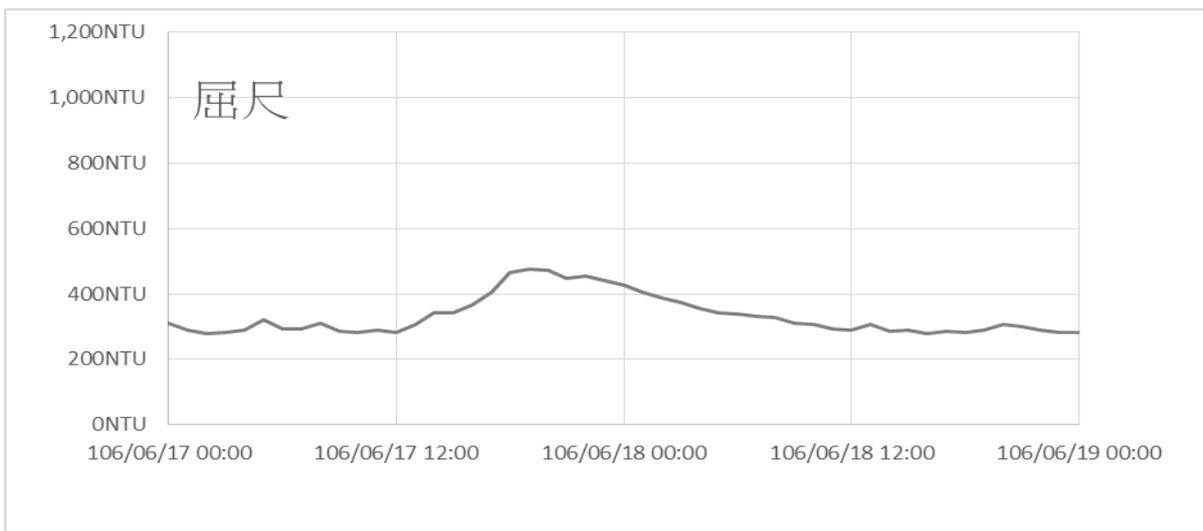
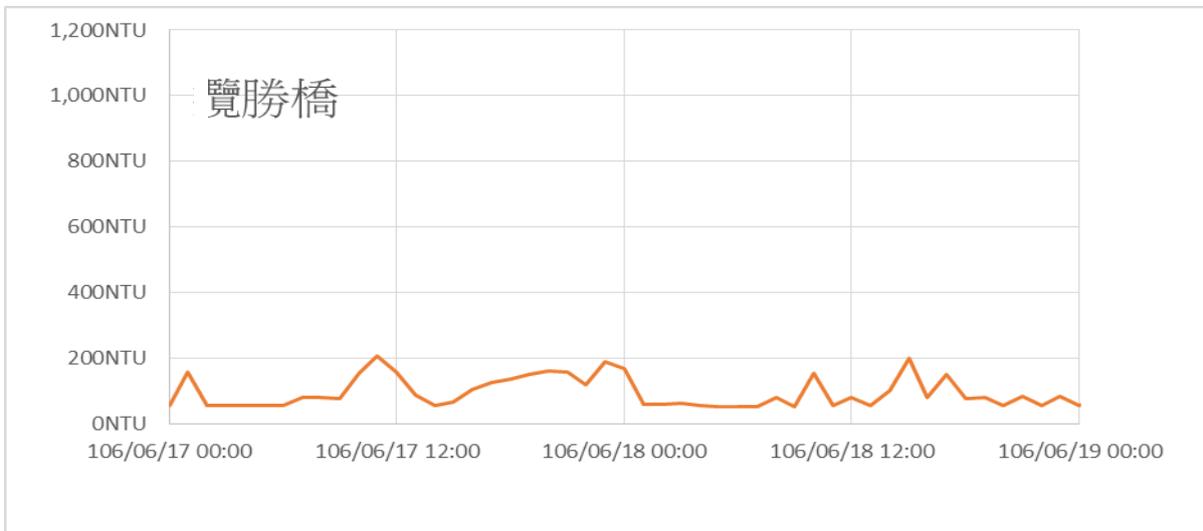


圖6-66 106年0617期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

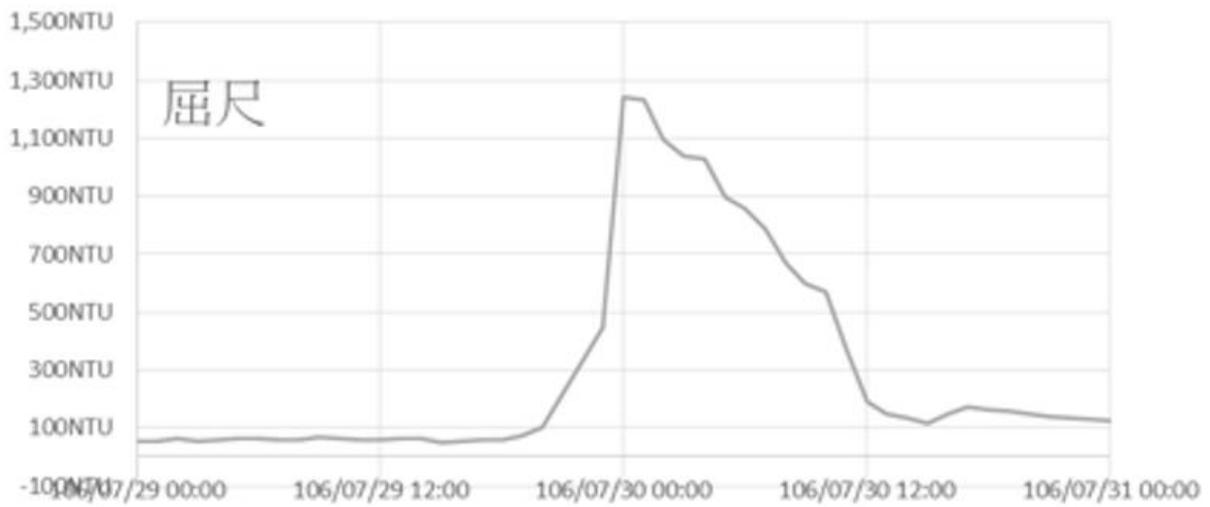
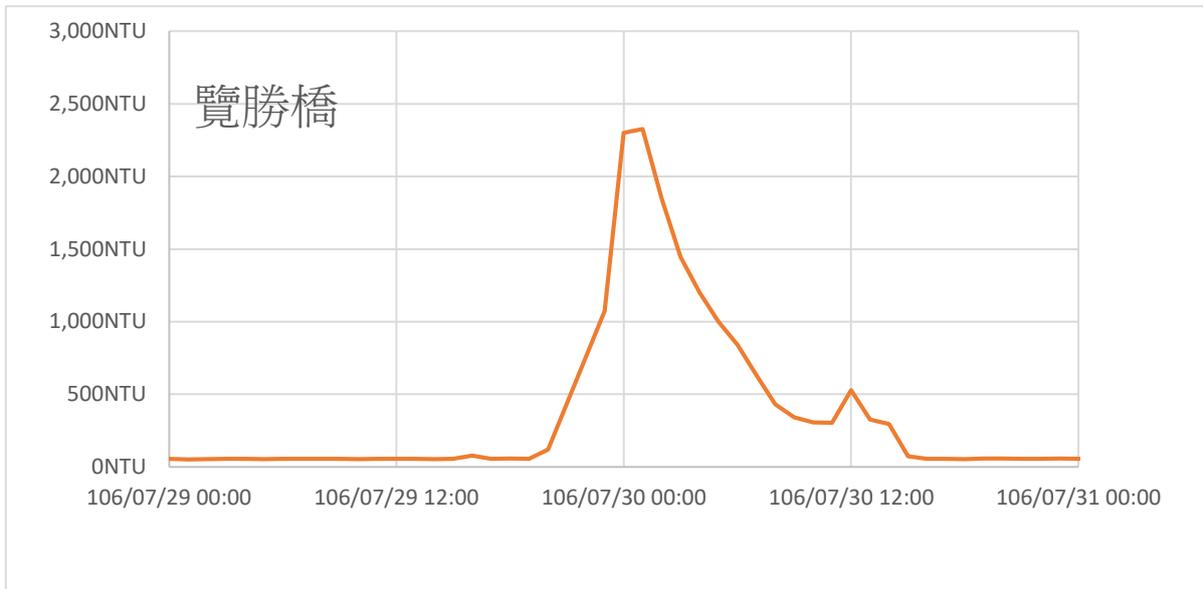
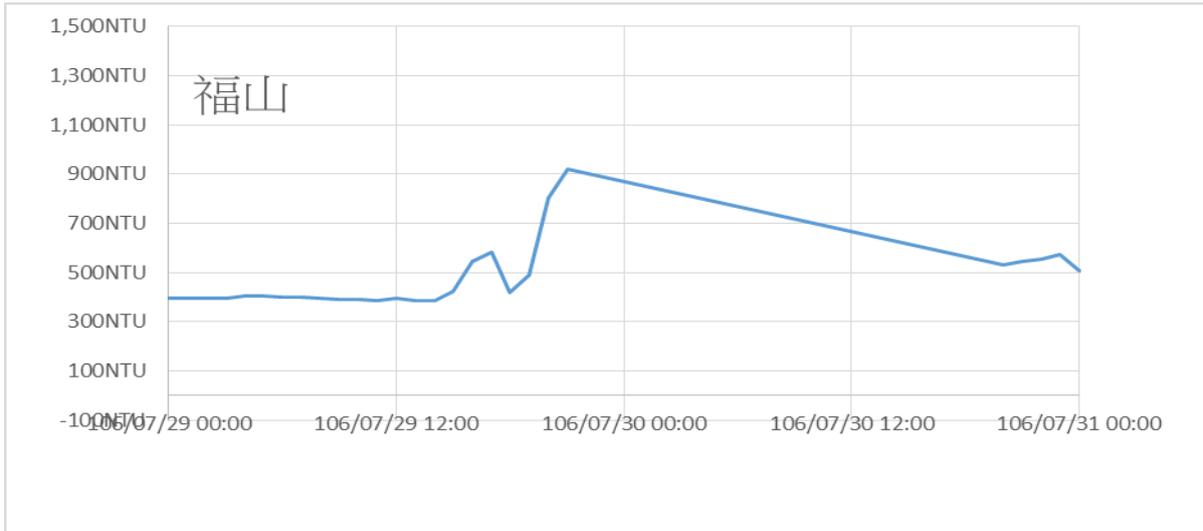


圖6-67 106年尼莎颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

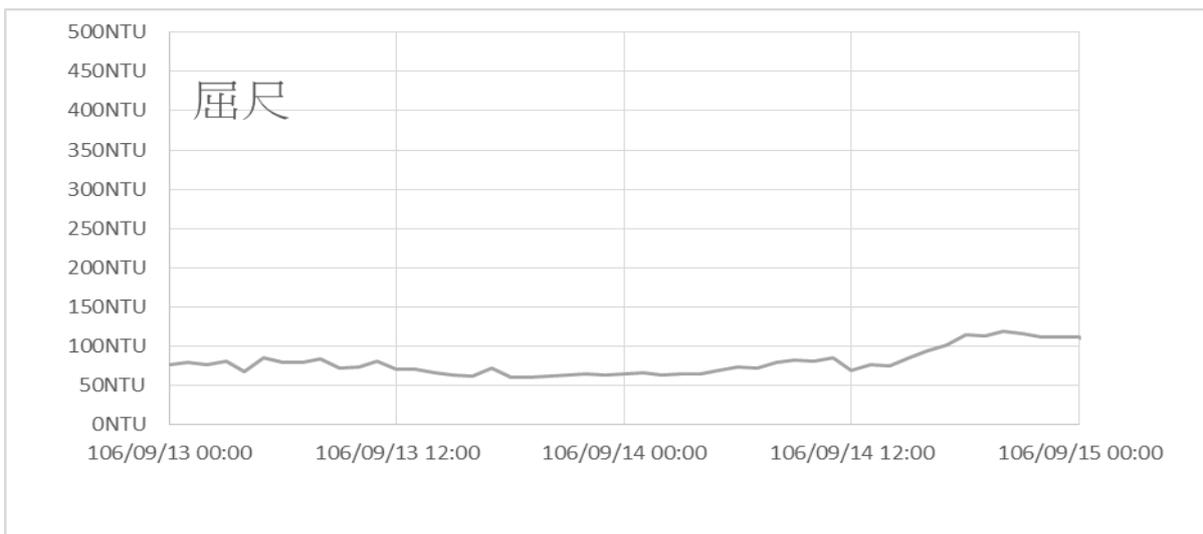
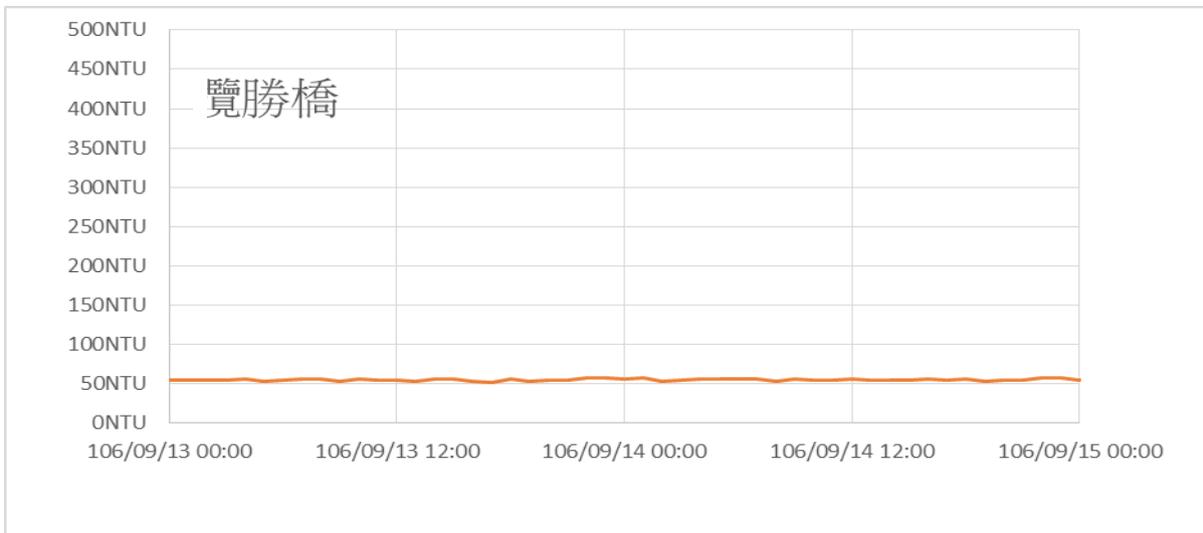
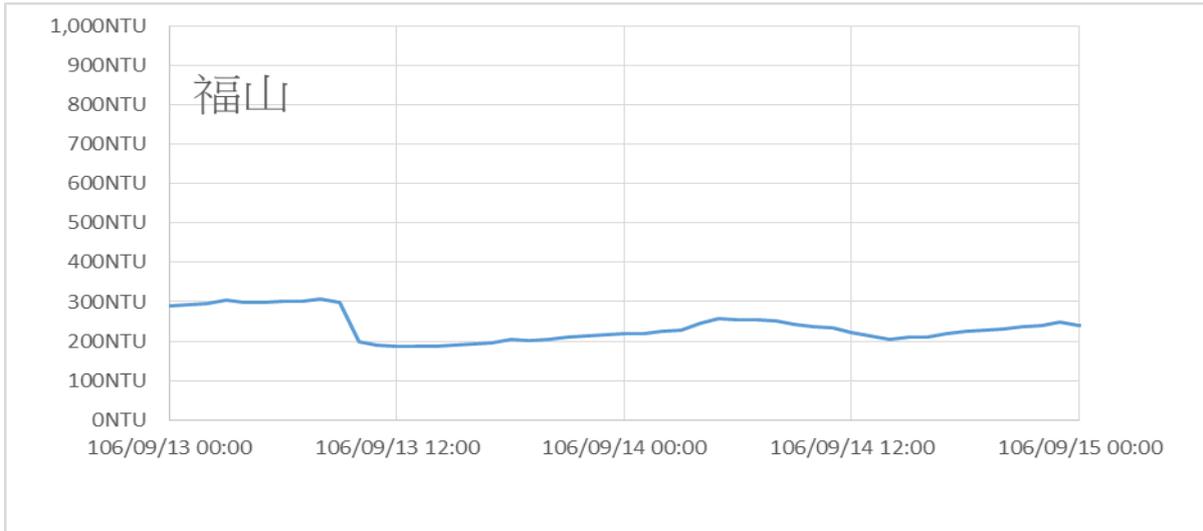


圖6-68 106年泰利颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

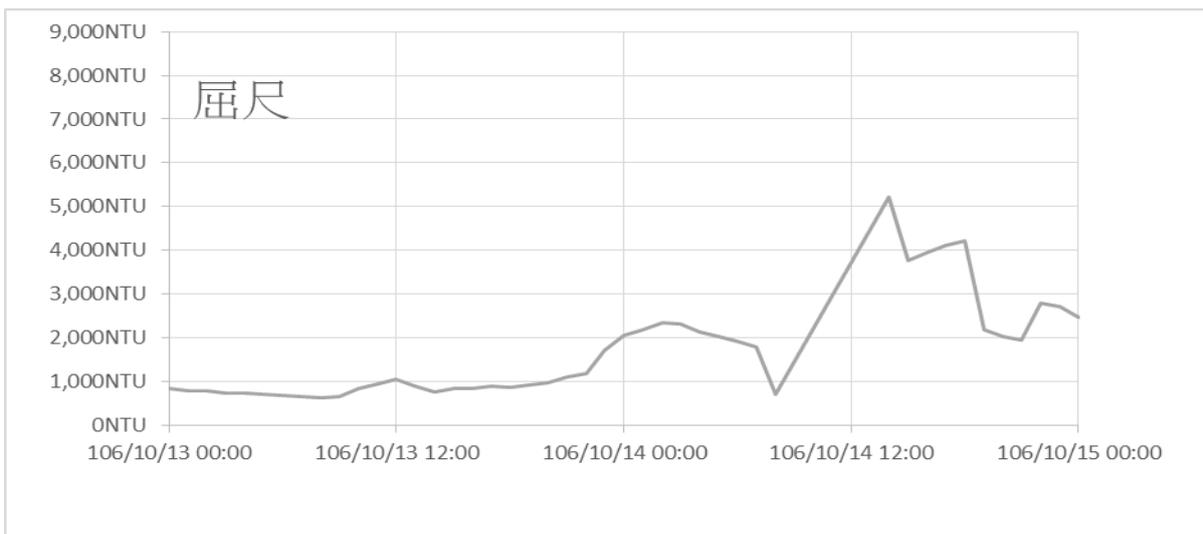
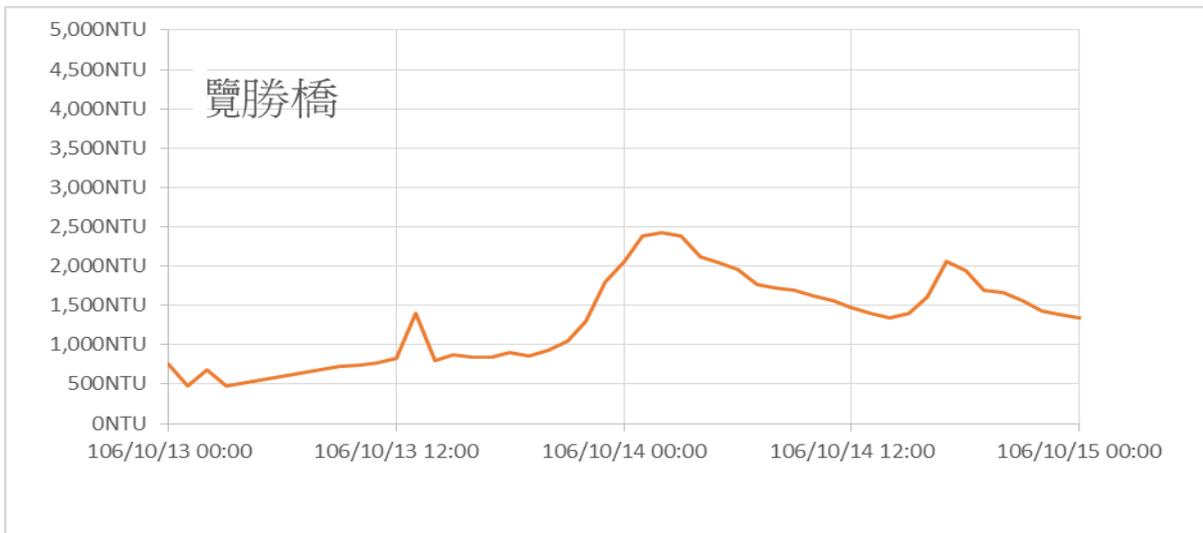
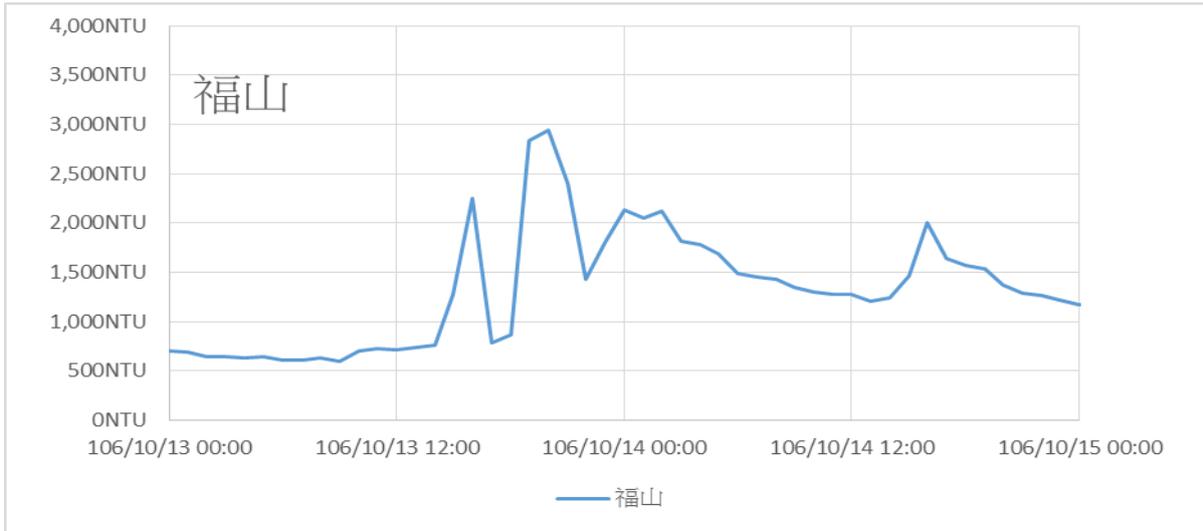


圖6-69 106年1013泰利颱風期間福山、覽勝橋、屈尺濁度資料

表6-6 新店溪 7 處河床質調查成果

篩號	粒徑別 (公厘)	通過百						
		分率%						
		HB01	HB02	HB03	HB04	HB05	HB06	HB07
24"	610	100	100	100	100	100	100	100
18"	457	100	100	100	100	100	100	100
12"	305	100	100	100	100	100	98.26	98.22
8"	203	100	100	100	97.56	96.51	96.96	97.1
6"	152	100	96.49	96.06	93.9	93.36	95.01	93.75
3"	76.2	98.7	93.36	92.69	91.34	89.28	93.81	90.96
1½"	38.1	87	77.16	73.22	69.61	65.99	76.66	69.43
¾"	19.1	72.26	59.89	52.17	47.4	50.49	61.89	56.83
3/8"	9.52	58.39	49.45	35.63	30.32	31.86	46.04	42.66
No.4	4.76	30.92	39.04	22.37	20.69	26.68	32.99	28.01
No.8	2.38	15.26	24.4	9.55	12.06	20.01	16.44	14.74
No.16	1.19	12.44	12.08	4.93	7.62	15.79	8.07	7.4
No.30	0.59	11.99	7.8	3.97	6.33	13.14	6.01	5.56
No.50	0.297	7.54	0.56	0.38	2.44	1.23	1.1	1.72
No.100	0.149	1.7	0.5	0.34	0.69	0.67	0.47	0.41
No.200	0.074	1.33	0.32	0.18	0.5	0.2	0.14	0.31

## 第柒章 濁度來源暨成因分析

本節針對造成濁度之土砂生產量進行量化分析，包括濁度與濃度關係之建立、邊坡土砂生產量計算、河道河道堆積沉積物變化量計算、以及濁度成因分析。

### 7-1 濁度與濃度關係之建立

建立濁度與濃度關係係考量數處水質觀測站僅單獨進行濁度或是濃度之觀測，若能有濁度與濃度之轉換關係，可用以補足缺少之濃度數據或濁度數據，是以於本計畫建立兩者關係。根據前文敘及本計畫所蒐集之濁度監測數據，南勢溪集水區內水質監測站為「覽勝橋站」與「福山站」。覽勝橋站於 94 至 104 年間每個月皆進行一次人工濃度(懸浮固體)量測以及人工濁度量測。福山站則於 74 至 104 年間每個月進行一次人工濃度(懸浮固體)量測以及人工濁度量測。兩測站之實測資料摘錄如表 7-1。詳細數據參見附錄五。

本計畫於 105、106 年於颱風期間，採集覽勝橋站以及福山站等處之水樣進行濁度量測以及濃度試驗，由於新北市政府入山管制，所能採集水樣有限、而因為受濁度計量測範圍限制影響，超過 4000NTU 之水樣無法量測濁度，故能用以做為分析對象之水樣亦受限，僅就得做為分析對象之水樣數據列於表 7-2。(桶後林道阿玉溪處濁度濃度過低，不列入。)

過去水質監測站之資料成果彙整，分析成果如圖 7-1。歷史性資料顯示覽勝橋站之濁度與濃度關係式為  $y=1.8040x-19.6175$  ( $y$  為濃度， $x$  為濁度)， $R^2=0.84$ ；福山站之濁度與濃度關係式為  $y=1.791x-3.0886$  ( $y$  為濃度， $x$  為濁度)， $R^2=0.82$ 。

以本計畫 105、106 年量測成果而言，各站濁度濃度率定曲線見圖 7-2。可以發現覽勝橋站之率定公式為  $y=1.2716 x+69.1785$  ( $y$  為濃度， $x$  為濁度)， $R^2=0.72$ ，考量本年度觀測在高濃度資料筆數多於歷史資料，數值範圍也比較高，建議以新量測資料做為參考公式；而福山站的公式

則變更為  $y=18.2488x-251.807$  ( $y$  為濃度， $x$  為濁度)。但考量目前資料多為低濃度資料，建議以歷史資料曲線為主。本計劃最後建議各觀測點濃度濁度轉換關係如表 7-3。

表7-1 覽勝橋站人工濁度與濃度監測數據(摘錄)

覽勝橋站			福山站		
日期	濁度(NTU)	懸浮固體(ppm)	日期	濁度(NTU)	懸浮固體(ppm)
102/1/4	3.8	3.6	102/1/4	5.2	5.8
102/2/1	6.6	ND	102/2/1	3.5	N.D.
102/3/4	3.2	2.6	102/3/4	2.9	1.2
102/4/2	6.3	4.1	102/4/2	4.3	2.7
102/5/7	3.5	1.6	102/5/7	3.4	2.2
102/6/4	5.5	3.9	102/6/4	4.1	1.8
102/7/3	6.2	4.1	102/7/3	8.8	5.4
102/8/6	6.4	4.1	102/8/6	6.2	3.3
102/9/4	27	10.6	102/9/4	9.7	3.5
102/10/2	31	20.1	102/10/2	5.1	5.7
102/11/5	6.7	14.9	102/11/5	35	19.7
102/12/2	5.1	4.5	102/12/2	5	2
103/1/2	7.5	6.3	103/1/2	14.3	5.1
103/2/11	9.1	4.4	103/2/11	5	2.8
103/3/3	3.1	1.1	103/3/3	3.3	N.D.
103/4/1	3.7	1.3	103/4/1	4	N.D.
103/5/5	195.0	136.5	103/5/5	182	173
103/6/4	4.2	3.0	103/6/4	4.3	2.3
103/7/2	28.0	10.3	103/7/2	37	49.3
103/8/6	9.9	7.9	103/8/6	6.6	1.4
103/9/3	4.5	3.1	103/9/3	2.7	1.6
103/10/2	5.6	N.D.	103/10/2	9.5	3.3
103/11/5	3.2	N.D.	103/11/5	3.7	N.D.
103/12/3	3	N.D.	103/12/3	2.4	1.8
104/1/7	2.7	N.D.	104/1/7	2.1	N.D.
104/2/4	5	4.1	104/2/4	2.6	1.4
104/3/4	7.9	11.8	104/3/4	4	1.8
104/4/2	4.8	1.4	104/4/2	5.8	3.3
104/5/6	7.8	11.4	104/5/6	8.3	4.3
104/6/3	4.9	1.8	104/6/3	4.4	2.3
104/7/1	9.1	5	104/7/1	8.2	2.5
104/8/5	6.7	1.3	104/8/5	4.3	12
104/9/2	466.0	553.0	104/9/2	16.3	16.7

N.D.：無資料。資料來源：台北水源特定區管理局

表7-2 105、106年實測濃度與濁度數據

	烏來橋		覽勝橋		觀光大橋		福山		阿玉壩	
	濃度 (ppm)	濁度 (NTU)								
105/9/14 12:00	3,102	1,935								
105/9/14 14:00	5,037	3,583							3,286	2,097
105/9/14 15:00	5,436	N	4,146	3,790	4,638	3,994				
105/9/14 16:00	4,146	3,020	3,778	2,963	4,054	3,304			3,747	2,672
105/9/14 18:00	3,563	2,668	4,115	2,648	3,839	2,869			2,979	1,906
105/9/17 8:00	1,443	96	2,826	1,378	2,396	1,338			2,856	1,685
105/9/17 9:00	1,413	84	2,396	1,249	2,181	1,099			2,764	885
105/9/17 10:00	1,321	81	2,242	1,192	2,334	1,105			3,040	1,194
105/9/17 14:00	2,396	1,036	2,273	1,108	3,440	1,695			3,255	1,437
105/9/17 17:00	3,225	2,287	3,102	1,692	3,440	1,807				
105/9/17 18:00	3,685	2,382	2,396	1,632						
105/9/28 13:25	3,624	2,737								
105/9/28 16:40	2,948	2,211								
105/9/28 18:00	2,856	2,017			4,699	3,625				
106/6/3 10:00	105	57	100	54			0	15	90	15
106/6/3 12:00	99	39	0	24			107	16	167	17
106/6/3 14:00	172	39	93	27			0	15	190	18
106/6/3 16:00	93	36	181	16			86	50	0	18
106/6/17 10:00	197	22	306	104	545	128	96	23		
106/6/17 12:00	0	25	179	24	417	112	94	19	0	11
106/6/17 14:00	382	613	546	104	404	76	193	16	125	14
106/6/17 16:00	270	71	462	130	462	104	256	17	195	19
106/6/17 18:00	355	93	765	115	344	84	295	67	106	19
106/6/17 20:00	201	108	765	110	1,457	1,606	181	35	0	19
106/6/17 22:00	721	776	478	113	2,249	1,481	181	26		
106/6/18 8:00	86	43	0	44	561	112	359	21		
106/6/18 10:00	271	46	319	52	93	108	186	19		
106/6/18 12:00	0	49	94	40	94	120	508	24	92	18
106/6/18 14:00	0	49	308	42	312	135	0	22	190	18
106/6/18 16:00	171	53	260	44	111	139	177	16		
106/6/18 18:00	336	56	458	103	780	612	486	21		
106/6/18 20:00	465	39	527	105	195	112	262	22		
106/6/19 8:00	0	21	177	32	197	30				
106/6/19 10:00	112	21	195	27	96	28				
106/6/19 12:00	90	20	169	30	90	27				
106/7/30 8:00	1,514	1,872	1,237	1,442	1,303	1,651	672	111		
106/7/30 10:00	1,200	1,618	937	1,320	1,584	2,029	260	48		
106/7/30 12:00	111	51	212	55	115	56	268	48		
106/7/30 13:00							289	43		
106/7/30 14:00	0	9	481	57	226	68	0	26	165	4
106/7/30 16:00	0	9	350	55	101	55	120	29		
106/7/30 18:00							0	28		
106/7/31 6:00							0	9		
106/7/31 8:00	0	9	277	61	229	81	0	8		
106/7/31 10:00	210	5	462	130	410	135	948	9		
106/7/31 12:00	0	5	828	127	441	135	126	9		
106/7/31 14:00	111	5	201	21	323	94	136	6	0	2
106/7/31 16:00	111	7	97	10		17	306	11	0	1
106/7/31 18:00	0	7	96	17	315	26	125	8		

資料來源：本計畫量測成果

表 7-2 105、106 年實測濃度與濁度數據(續)

	烏來橋		覽勝橋		觀光大橋		福山		阿玉壩	
	濃度 (ppm)	濁度 (NTU)								
106/9/13 16:00	245	3	253	7	92	12	323	2	0	1
106/9/13 18:00	80	4	255	7	0	3	0	4		
106/9/13 20:00	0	1	181	5	0	2	268	2		
106/9/13 22:00	84	5	169	4	0	3	90	24		
106/9/14 6:00	171	8	1,402	1,919	1,377	1,354	96	22		
106/9/14 8:00	82	8	1,510	1,902	1,234	1,165	171	15		
106/9/14 10:00	266	147	0	8	80	9	0	3		
106/9/14 12:00	316	10			640	9				
106/10/13 12:00	1,030	1,197	2,108	2,206	2,969	3,042				
106/10/13 14:00	1,097	1,403	2,299	3,132	2,480	3,460				
106/10/13 16:00	1,077	1,255	2,645	3,046	2,676	3,024				
106/10/13 18:00	1,027	955	2,594	3,009	2,202	2,970				
106/10/13 20:00	734	1,283	2,836	2,927	2,658	2,980				
106/10/14 6:00	1,509	1,429	3,941	3,390	3,015					
106/10/14 8:00	2,027	2,188	3,523		3,232	4,017				
106/10/14 10:00	1,882	1,879	3,573	4,886	3,390	4,104				
106/10/14 12:00	1,972	2,057	3,516	4,164	3,182	3,621				
106/10/14 14:00	1,369	2,098	3,527	1,180	3,067	2,708				
106/10/14 16:00	2,181	2,082	3,686	1,876						
106/10/14 18:00	2,319	2,069	3,471	734	2,302	2,727				
106/10/14 20:00	1,940	2,119	4,190	4,050	3,555	1,366				
106/10/15 6:00	986	1,217	2,299	3,133	2,392	3,039				
106/10/15 8:00	1,190	1,209	2,578	2,068	2,503	3,062				
106/10/15 10:00	1,273	1,271	2,842	3,002	2,711	2,966				
106/10/15 12:00	1,178	1,312	2,305	2,702	3,293	2,610				
106/10/15 14:00			2,450	3,058	2,507	3,045				

資料來源：本計畫量測成果

表7-3 南勢溪上游濁度濃度轉換關係式

烏來橋	$y=1.1307x+106.88$
覽勝橋	$y=0.8762x+430.95$
觀光大橋	$y=0.9056x+320.5$
阿玉壩	$y=1.622x+166.59$
福山	$y=1.791x-3.0886$
(y 為濁度，x 為濃度)	

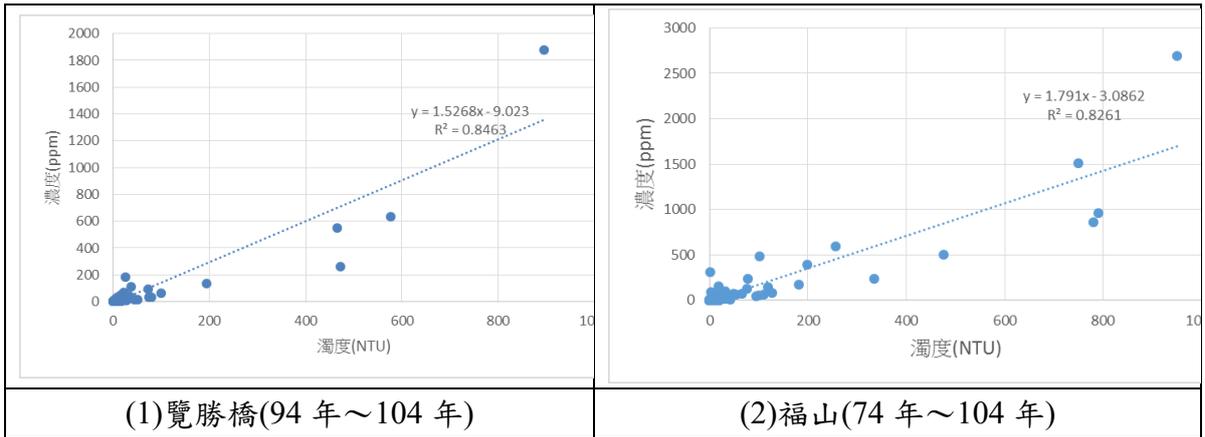


圖7-1 歷史資料濁度與濃度關係

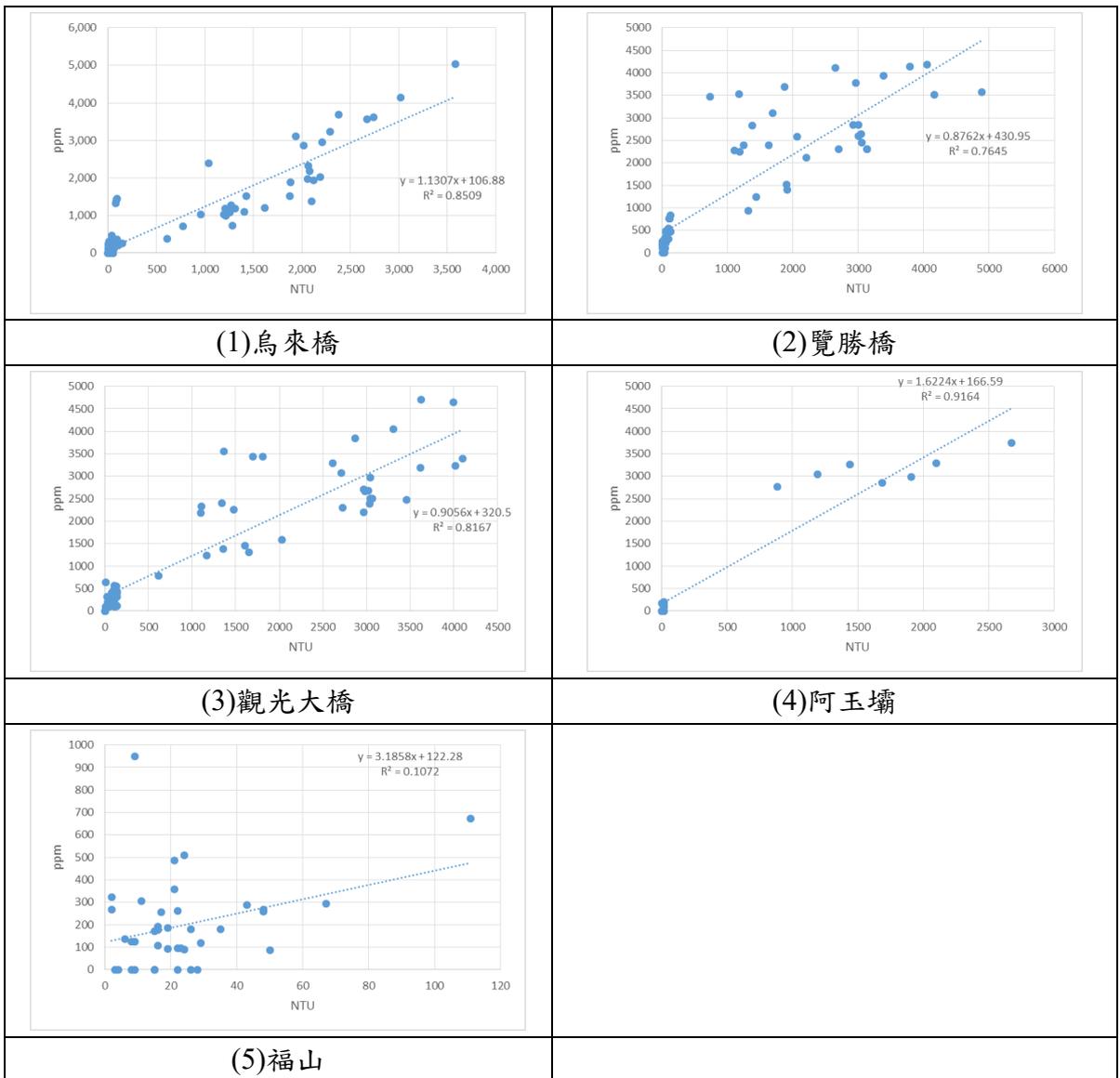


圖7-2 105、106年度濁度與濃度關係

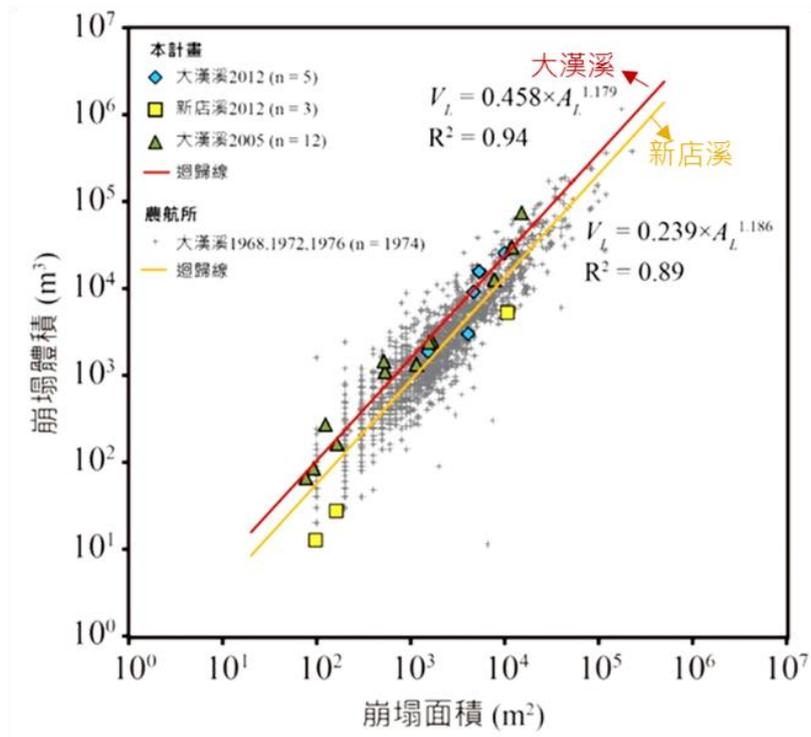
## 7-2 濁度泥沙來源及成因分析

### (一)105年崩塌體積推估

#### 1.崩塌產砂量計算

崩塌體積推估的研究方面，目前國內外常利用各種崩塌地的地貌特徵 (morphological characteristic) 與體積之相關性，建立崩塌體積推估模式。包括：(1) 崩塌面積-深度關係、(2)崩塌長軸-深度關係、(3)土壤厚度法和(4)體積-面積關係。其中以體積-面積關係目前國際上最為廣為應用的方法，已用於義大利、日本、與大陸等地之土砂量推估 (Guzzetti et al., 2009; Imaizum and Sidle, 2007; Parker et al., 2011)，國內崩塌地產砂量的相關研究包括：陳毅青(101年)建立台灣北部與南部地區崩塌體積-面積關係式，並且結合多時序山崩目錄，推估莫拉克颱風之崩塌侵蝕量；水規所(102年)「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2)」計畫中全臺灣各地質分區崩塌體積面積關係式評估各期颱風事件新增崩塌地土砂生產量等。該方法的假設為崩塌有自我相似的特性 (self-similar behavior) (Guzzetti et al., 2009; Hovius et al., 1997)，意指大面積之崩塌與小面積之崩塌形狀相似，因此可藉由此假設推導出崩塌面積與體積之關係式。但在使用體積-面積法時須注意邊坡材料類型與冪次係數對於崩塌體積估算的敏感性(Larsen et al., 2010)。

本案崩塌地體積評估方法係參考水規所(102年)「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2)」計畫中新店溪之崩塌體積面積關係式  $V=0.239A^{1.18}$ ，如圖 7-3 及表 7-4，配合 105 年汛期前航照與汛期後航照之崩塌地判釋成果，評估颱風事件新增崩塌地土砂生產量。105 年新增崩塌地面積統計成果如圖 7-4，崩塌體積統計成果如表 7-5。



資料來源：水規所(102年)「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2)」

圖7-3 新店溪崩塌體積-面積關係式

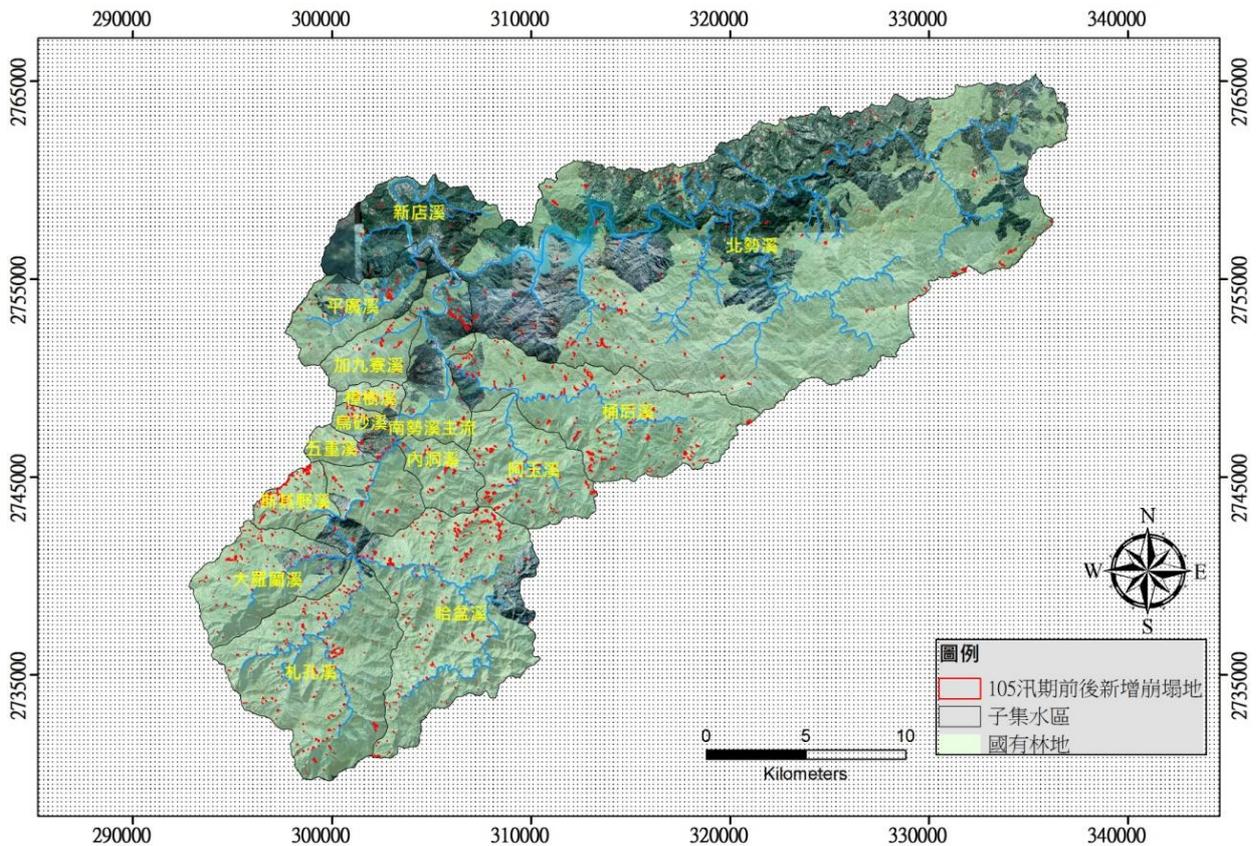


圖7-4 105年汛期前後新增崩塌地面積統計成果

表7-4 105年汛期前後新增崩塌地面積統計成果

子集水區	國有林	非國有林	計畫範圍
札孔溪	89,817	9,132	98,949
哈盆溪	196,224	15,568	211,792
大羅蘭溪	29,486	10,466	39,952
斯其野溪	67,322	3,043	70,365
五重溪	4,164	2,874	7,038
烏砂溪	38,654	0	38,654
樟樹溪	17,031	0	17,031
內洞溪	18,120	11,637	29,757
阿玉溪	102,487	9,493	111,980
桶后溪	200,410	14,252	214,662
南勢溪主流	86,063	13,162	99,225
加九寮溪	5,048	13,201	18,249
平廣溪	10,054	20,903	30,957
北勢溪	276,319	95,909	372,228
新店溪	5,731	4,945	10,675
合計	1,146,931	224,584	1,371,515

崩塌面積單位：平方公尺

表7-5 105年汛期前後新增崩塌地體積統計成果

子集水區	國有林	非國有林	計畫範圍
札孔溪	77,201	8,446	85,647
哈盆溪	210,506	14,171	224,677
大羅蘭溪	23,864	10,064	33,928
斯其野溪	62,952	2,196	65,147
五重溪	3,480	2,738	6,217
烏砂溪	42,809	0	42,809
樟樹溪	15,153	0	15,153
內洞溪	18,033	14,190	32,223
阿玉溪	115,038	9,126	124,163
桶后溪	204,539	13,563	218,101
南勢溪主流	100,410	11,630	112,041
加九寮溪	4,997	11,082	16,079
平廣溪	10,030	20,475	30,505
北勢溪	324,608	118,744	443,352
新店溪	5,658	4,942	10,600
合計	1,219,277	241,367	1,460,644

崩塌體積單位：立方公尺

本年度(105年)探討的遞移率為崩塌土砂生產量進入河道的坡地遞移率，採用 Ikeya (1981)建議崩塌地運移距離經驗公式推算崩塌土砂遞移率，此式係以崩塌體積、崩塌地坡度與距離河道距離等三個變數進行推估，以利推算坡地土砂生產量運移進入河道之土砂比例。

$$\text{崩塌地運移距離}(L) = 8.6 \times (V \tan \theta)^{0.42} \quad (7-1)$$

$$\text{坡地遞移率}(SDR) = (L - D) / L \quad (7-2)$$

其中， $V$ 為崩塌產砂量(立方公尺)、 $\theta$ 為崩塌地坡度(度)、 $D$ 為距河道距離(公尺)。崩塌地運移距離  $L$ (公尺)表示一個新增崩塌地產生之土方最大可能移動距離，示意圖如圖 7-5。

國內如陳樹群等(2006)亦針對土砂遞移率與集水區面積之關係進行探討研究，並且整理水庫集水區面積與土砂遞移率之關係式  $SDR = 122.27 * A^{-0.194}$ ，但此類公式並非對每一崩塌地之估算，係全集水區之概估，故仍以 Ikeya 公式成果為主。

崩塌土砂流失量統計成果，如表 7-6。崩塌土砂遞移率統計成果如表 7-7。

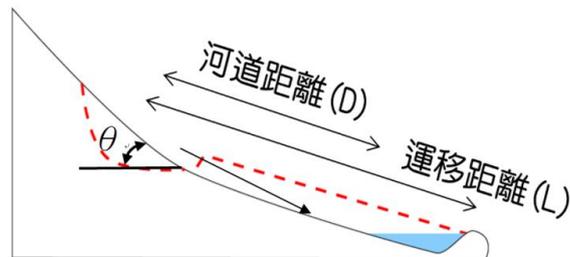


圖7-5 崩塌地土砂運移示意圖

表7-6 崩塌土砂流失量統計成果

子集水區	國有林	非國有林	計畫範圍
札孔溪	29,346	5,530	34,876
哈盆溪	32,616	1,852	34,468
大羅蘭溪	2,361	6,432	8,793
斯其野溪	1,511	119	1,629
五重溪	2,361	0	2,361
烏砂溪	22,466	0	22,466
樟樹溪	854	0	854
內洞溪	3,134	12,693	15,827
阿玉溪	78,317	2,205	80,522
桶后溪	72,101	10,261	82,362
南勢溪主流	17,050	3,598	20,649
加九寮溪	1,622	3,392	5,014
平廣溪	101	2,517	2,618
北勢溪	141,264	34,954	176,218
新店溪	2,745	980	3,724
合計	407,851	84,532	492,383

崩塌土砂流失量單位：立方公尺

註：崩塌土砂流失量係指從坡地移入河道之土砂量。與表 7-5 新增崩塌地體積不同

表7-7 崩塌土砂遞移率統計成果

子集水區	國有林	非國有林	計畫範圍	*其他遞移率公式
札孔溪	38.01%	65.48%	40.72%	55.05%
哈盆溪	15.49%	13.07%	15.34%	53.51%
大羅蘭溪	9.89%	63.91%	25.92%	63.79%
斯其野溪	2.40%	5.40%	2.50%	79.77%
五重溪	67.86%	0	37.98%	90.60%
烏砂溪	52.48%	0	52.48%	94.09%
樟樹溪	5.64%	0	5.64%	92.30%
內洞溪	17.38%	89.45%	49.12%	76.31%
阿玉溪	68.08%	24.16%	64.85%	64.04%
桶后溪	35.25%	75.65%	37.76%	55.79%
南勢溪主流	16.98%	30.94%	18.43%	58.33%
加九寮溪	32.46%	30.61%	31.18%	75.51%
平廣溪	1.00%	12.29%	8.58%	68.05%
北勢溪	43.52%	29.44%	39.75%	62.84%
新店溪	48.51%	19.82%	35.13%	56.64%
合計	33.45%	35.02%	33.71%	37.53%

\* SDR=122.27\*A<sup>-0.194</sup> (陳樹群等, 2006)

## (二)105年土壤沖蝕量推估

單一事件土壤沖蝕量推估甚為困難，推估結果存在極高誤差與不確定性，現多採用經驗公式為之，本案採用通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation USLE)，輔以年平均土壤沖蝕量轉換方法推算單場暴雨土壤沖蝕量，據以推估不同颱風事件下土壤沖蝕量。本案於 106 年另施作沖蝕釘，量測土壤沖蝕量，做為模式估算之驗證，後續於期末簡報交代量測結果。

通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation USLE)，其公式如下：

$$A_m = R_m \times K_m \times L \times S \times C \times P$$

$A_m$  為每公頃之年平均土壤沖蝕量 [公噸/公頃-年]；

$R_m$  為年平均降雨沖蝕指數；

$K_m$  為土壤沖蝕性指數；

$L$  為坡長因子；

$S$  為坡度因子；

$C$  為覆蓋與管理因子；

$P$  為水土保持處理因子。

而國內許多學者已針對各個土壤沖蝕參數進行評估，因此各參數參考前人研究成果選定，以下為各因子計算方法，因子空間分布結果如圖 7-6 所示。

### (1)年平均降雨沖蝕指數( $R_m$ )：

降雨逕流指數代表降雨及逕流對土壤可能造成沖蝕的程度。Wischmeier(1958)經由實測的土壤沖蝕資料發現，土壤沖蝕量與降雨總動能和該場降雨最大 30 分鐘降雨強度之乘積成正相關，並將該乘積稱為降雨沖蝕指數，且該指數可以累加計算，計算方法如下式。

單場暴雨土壤沖蝕量轉換方法：本研究參考楊斯堯(99年)研究建議  $R_{30} = 1.5R_{60}$ ，推估單場暴雨土壤沖蝕量。降雨沖蝕指數  $R_{30}$

為 USLE 公式中用來描述一個地區降雨和逕流對土壤沖擊能力的指標，其定義為降雨動能  $E$  和最大 30 分鐘降雨強度的乘積，即  $R_{30} = EI_{30}$ 。然而有很多地方的降雨歷史資料，常缺乏短於 30 分鐘的雨量紀錄資料，只有時雨量資料，造成  $R_{30}$  在計算上的困難。有鑑於此，本研究參考楊斯堯(99年)研究成果， $R_{30}$  和  $R_{60}$  之間呈現高度的相關，相關係數高達 0.98，且可以表示為  $R_{30} = 1.5R_{60}$  (單場暴雨與年均降雨皆適用)。

$$\begin{aligned} E &= 0.283 & I &\geq 76\text{mm/hr} & (7-3) \\ E &= 0.119 + 0.0873 \log_{10} I & I &< 76\text{mm/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{60} &= \sum_{j=1}^n E_j \times I_j & (7-4) \\ R_{30} &= 1.5 \times R_{60} \end{aligned}$$

其中  $E$  為降雨動能 ( $MJ\text{-ha}/\text{mm}$ )、 $I$  為 30 分鐘降雨強度 ( $\text{mm}/\text{hr}$ )； $I_j$  為事件  $j$  小時降雨強度 ( $\text{mm}/\text{hr}$ )； $E_j$  為事件  $j$  小時降雨動能； $R_{60}$  為事件總降雨動能； $R_{30}$  為事件最大 30 分鐘降雨強度降雨沖蝕指數。  
(2) 土壤沖蝕性指數 ( $Km$ )：

土壤沖蝕性指數為土壤抵抗沖蝕之分離及搬運力的量化指標。土壤抗蝕能力受母岩風化程度及外在地形、地貌、氣候、植生覆蓋情況、開墾情形、水土保持處理及沖蝕程度等影響，土壤沖蝕性指數愈低，顯示土壤的抗蝕能力愈強，反之則愈弱，本團隊之  $Km$  係參考萬鑫森與黃俊義(78年)建立的臺灣地區各地土壤沖蝕指數，該研究土壤沖蝕計算方法以 Wischmeier et al. (1971) 的土壤沖蝕性線解圖所推定。

(3) 坡長因子 ( $L$ )：

林文賜(91年)指出臺灣山區邊坡的坡長通常最大不超過 100m，吳岳霖(96年)採用固定坡長 20 公尺計算。本團隊採用固定坡長 10 公尺代入下式計算：

$$L = \left( \frac{X}{22.13} \right)^m \quad (7-5)$$

其中 L=坡長之水平距離；X=坡地之水平投影長(單位為 m)；  
m=坡地坡度修正係數，修正數值條列如下：

當坡度小於 1% m=0.2；

當坡度介於 1%與 3% m=0.3；

當坡度介於 3%與 5% m=0.4；

當坡度大於 5% m=0.5。

#### (4)坡度因子(S)：

吳岳霖 (96 年) 指出由於臺灣地區多屬陡坡地，若在國內應用 Wischmeier and Smith (1978) 所訂定之坡度因子，計算上常有高估現象，因此採取 McCool et al. (1987) 所建議較適用於陡坡地形之坡度因子計算，其公式如下：

$$\begin{aligned} S &= 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 9\% \\ S &= (\sin \theta / 0.0896)^{0.6} & \theta \geq 9\% \end{aligned} \quad (7-6)$$

#### (5)覆蓋及管理因子(C)：

根據土壤沖蝕公式，覆蓋與管理因子定義為種植作物耕地之土壤沖蝕量與相同降雨、土壤、地形及地勢連續休耕地之土壤沖蝕量比值。首先將土地利用圖現況分布套疊各期崩塌地目錄分布校正裸露地，參考土壤流失量估算手冊建議之 C 值(表 7-8)，進而計算颱風事件土壤沖蝕量，較能反映崩塌地會產生較高土壤沖蝕之行為。根據土壤沖蝕公式，覆蓋與管理因子定義為種植作物耕地之土壤沖蝕量與相同降雨、土壤、地形及地勢連續休耕地之土壤沖蝕量比值。

#### (6)水土保持處理因子 (P)：

水土保持處理因子為某特定水土保持處理下之土壤沖蝕量與處理前之土壤沖蝕量的比值。水土保持手冊(102 年)指出，對無任何水土保持處理場、棄土場或路砂及農地砂石開採處，P 值設定為 1.0。

土壤沖蝕量分析統計成果如表 7-9。

表7-8 臺灣不同地表及植被狀況之覆蓋及處理因子

地表及植被狀況	C 值	地表及植被狀況	C 值	地表及植被狀況	C 值
百喜草	0.01	林地	0.01	雜石地	0.01
水稻	0.10	茶	0.15	建屋用地	0.01
雜作	0.25	特用作物	0.20	牧草地	0.15
果樹	0.20	檳榔	0.10	高爾夫球場植草地	0.01
香蕉	0.14	裸露地	1.00	雜草地	0.05
鳳梨	0.20	水泥地	0.00	墓地	0.01
蔬菜類	0.39	瀝青地	0.00	水體	0.00

表7-9 土壤沖蝕量統計成果

子集水區	尼伯特	莫蘭蒂	馬勒卡	梅姬	艾利	合計
札孔溪	1,911	3,193	5,538	39,634	3,430	53,706
哈盆溪	1,511	2,734	3,691	25,954	4,184	38,074
大羅蘭溪	902	1,528	2,752	18,584	1,241	25,006
斯其野溪	294	498	898	6,065	405	8,160
五重溪	140	237	427	2,881	192	3,877
烏砂溪	85	145	261	1,762	118	2,370
樟樹溪	46	104	206	1,327	72	1,754
內洞溪	239	509	1,020	6,456	323	8,547
阿玉溪	671	800	1,159	7,349	175	10,154
桶后溪	2,114	2,626	3,142	18,200	758	26,840
南勢溪主流	777	1,644	3,623	25,333	1,113	32,491
加九寮溪	109	194	554	3,054	45	3,956
平廣溪	191	310	945	5,124	60	6,629
北勢溪	17,124	27,641	29,549	147,538	2,843	224,696
新店溪	861	1,420	4,405	23,011	262	29,960
合計	26,976	43,584	58,169	332,271	15,220	476,220

單位：公噸

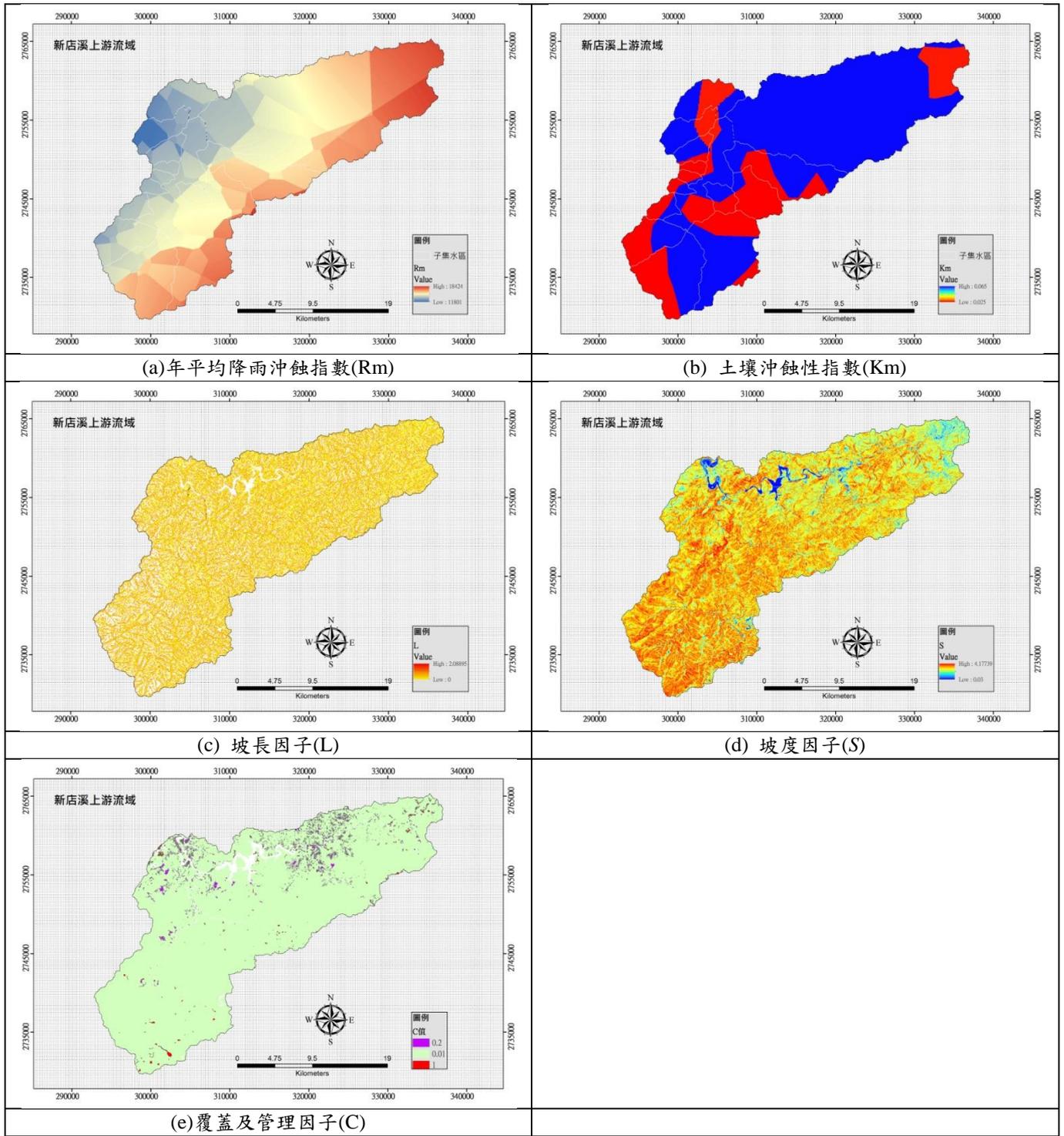


圖7-6 新店河流域土壤沖蝕因子

### (三)泥砂來源貢獻探討

前二小節分別說明 105 年崩塌土砂生產量以及土壤沖蝕量於各子集水區知量體，本小結進一步探討兩者在不同集水區之關係，統計成果如表 7-10。各子集水區崩塌土砂流失量與土壤沖蝕量之佔比不盡相同，大部分子集水區兩土砂來源皆有一定程度之貢獻，僅烏砂溪、阿玉溪、桶后溪之崩塌土砂流失量大於土壤沖蝕量；新店溪之土壤沖蝕量大於崩塌土砂流失量。烏砂溪因集水面積小，故土壤沖蝕量相對小，崩塌土砂流失量偏高，便造成崩塌地之高土砂貢獻。阿玉溪以及桶后溪崩塌體積偏高，同時土砂遞移率亦偏高，故其崩塌地對於土砂亦有相當高之貢獻度。新店溪於 105 年度崩塌體積不多，加之土砂遞移率亦不甚高，因此整體崩塌土砂流失量較低，使得此子集水區土壤沖蝕量相對貢獻度較高。

表7-10 崩塌土砂流失量與土壤沖蝕量貢獻比較

子集水區	崩塌土砂流失		土壤沖蝕		總量
	量體	佔比	量體	佔比	
札孔溪	48,826	47.62%	53,706	52.38%	73,237
哈盆溪	48,256	55.90%	38,074	44.10%	61,664
大羅蘭溪	12,310	32.99%	25,006	67.01%	26,654
斯其野溪	2,281	21.85%	8,160	78.15%	7,458
五重溪	3,306	46.03%	3,877	53.97%	5,131
烏砂溪	31,453	*92.99%	2,370	7.01%	24,160
樟樹溪	1,196	40.54%	1,754	59.46%	2,108
內洞溪	22,158	72.17%	8,547	27.83%	21,932
阿玉溪	112,731	*91.74%	10,154	8.26%	87,775
桶后溪	115,307	*81.12%	26,840	18.88%	101,534
南勢溪主流	28,908	47.08%	32,491	52.92%	43,856
加九寮溪	7,020	63.96%	3,956	36.04%	7,840
平廣溪	3,665	35.60%	6,629	64.40%	7,353
北勢溪	246,705	52.33%	224,696	47.67%	336,715
新店溪	5,214	14.82%	29,960	*85.18%	25,124
合計	689,336	59.14%	476,220	40.86%	832,540

「\*」表示佔比超過 80%。

單位：公噸

#### (四)泥砂來源成因探討

濁度主要肇因於黏土(泥質)、粉砂這類細顆粒在水中造成光線散射，若是泥砂來源以細顆粒為主，較容易造成濁度上升，若是以粗顆粒，例如：砂岩、礫石等，則較不易造成濁度上升，因此了解泥砂來源的岩性相當重要。新店溪上游流域岩性分布圖如圖 7-7，採計蘇迪勒颱風造成之前 100 大新增崩塌地統計結果如表 7-11。統計結果顯示，83.05%之新增崩塌地發生於岩性組合為「硬頁岩(含泥質)」之區域，15.85%之新增崩塌地發生於岩性組合為「硬頁岩(含泥質以外)」之區域，也就是有 98.9%之新增崩塌地發生於基岩為「硬頁岩」之岩層，其餘之 1%餘完全新增崩塌地僅為 2 塊崩塌地造成，分別為「砂岩為主」以及「頁、砂岩組合」岩性。根據統計結果，泥砂多源自以硬頁岩為主之岩層，其中尤以夾含泥質粉砂岩之岩層為多，因此這類型岩層所產生之泥砂對於濁度上升有相當程度之影響，當泥砂主要以此為來源時，濁度便容易快速上升。

表7-11 蘇迪勒颱風前 100 大新增崩塌地岩性統計

岩性組合	個數	崩塌面積 (平方公尺)	崩塌體積 (立方公尺)	體積佔比
硬頁岩(含泥質)	73	535,839	2,090,781	83.05%
硬頁岩(泥質以外)	25	75,378	398,915	15.85%
頁、砂岩組合	1	5,953	11,199	0.44%
砂頁互層	0	0	0	0
砂岩為主	1	3,336	16,595	0.66%
安山岩、凝灰岩	0	0	0	0
未膠結土石	0	0	0	0
Total	100	620,506	2,517,490	100.00%

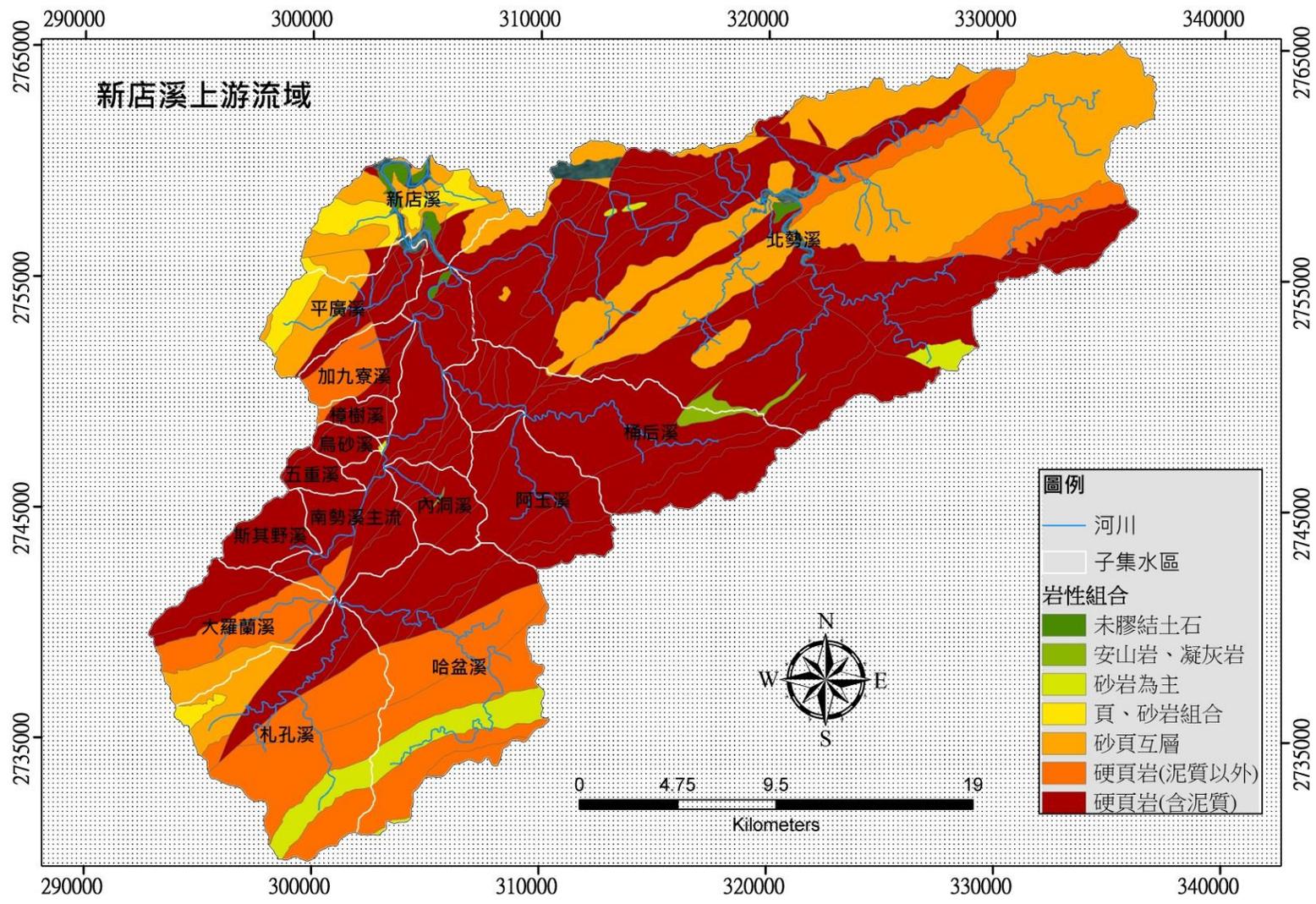


圖7-7 新店溪上游流域岩性分布圖

### (五)濁度成因分析

參考北水局(98年)「石門水庫集水區保育治理研究綜整計畫委託專業服務」計畫，提出影響濁度之主要因素為雨量以及地質條件，又參考「蘇迪勒颱風於臺灣北部之山崩致災機制初探」(魏倫璋等，104年)指出，短延時強降雨為誘發蘇迪勒颱風土砂災害之重要因子，故本案以101年至104年總計11場之颱風事件為對象，比較其最大3小時降雨、地質條件與濁度之關係，雨量分析選用福山站之雨量，濁度選用直潭堰所測得之最大濁度為分析對象，福山雨量站與直潭堰位置如圖7-8。



圖7-8 福山雨量站與直潭堰位置

101 年至 104 年 11 場颱風事件資料、福山站最大 3 小時降雨以及直潭堰最大濁度如表 7-12。最大 3 小時降雨前三名分別為「蘇迪勒颱風」253.5mm、「杜鵑颱風」190.5mm、「蘇力颱風」158mm，而濁度前三名分別為「蘇迪勒颱風」39300NTU、「杜鵑颱風」25500NTU、「蘇拉颱風」9610NTU。比較雨量與濁度關係，可以觀察到最大 3 小時降雨與最大濁度關係密切，當最大 3 小時降雨越大，直潭堰測得之最大濁度亦越大，兩項因子之前二名與其他事件差異較大，雨量所影響濁度上升亦較明顯。最大 3 小時降雨與濁度之第三、四名則有出入，由於兩者雨量接近，故將降雨強度分布與地質條件綜合比較，蘇力颱風與蘇拉颱風之最大 3 小時降雨強度如圖 7-9、圖 7-10，蘇拉颱風之降雨分布於硬頁岩(含泥質)之岩性組合(易造成濁度上升)之比例較蘇力颱風高，因此在降雨強度相近時，導至蘇拉颱風之濁度高於蘇力颱風，顯示出地質條件對濁度之影響。另外較容易注意到之「天鵝颱風」最大 3 小時降雨排名最後一名，濁度卻排名第 5 名，推測可能原因在於其發生時間緊接於蘇迪勒颱風之後，即蘇迪勒颱風所造成之濁度尚未退卻，又發生天鵝颱風之降雨，故所測得之濁度涵蓋蘇迪勒颱風造成之濁度。

**表7-12 101-104 年 11 場颱風事件雨量與濁度比較(依最大 3 小時降雨大小排序)**

NO	颱風事件	年分	期間	最大 3 小時降雨	直潭堰最大濁度	濁度排名
3	蘇迪勒	104	08/06~08/09	253.5	39300	1
1	杜鵑	104	09/27~09/29	190.5	25500	2
8	蘇力	102	07/11~07/13	158	8018.4	4
11	蘇拉	101	07/30~08/03	146.5	9610	3
4	鳳凰	103	09/19~09/22	112.5	3218.9	7
7	潭美	102	08/20~08/22	97	3358.6	6
5	菲特	102	10/04~10/07	73	1273.1	10
10	天秤	101	08/21~08/28	56	995.3	11
6	天兔	102	09/19~09/22	38.5	2011.9	8
9	杰拉華	101	09/27~09/28	27.5	1279	9
2	天鵝	104	08/20~08/23	22	4152	5

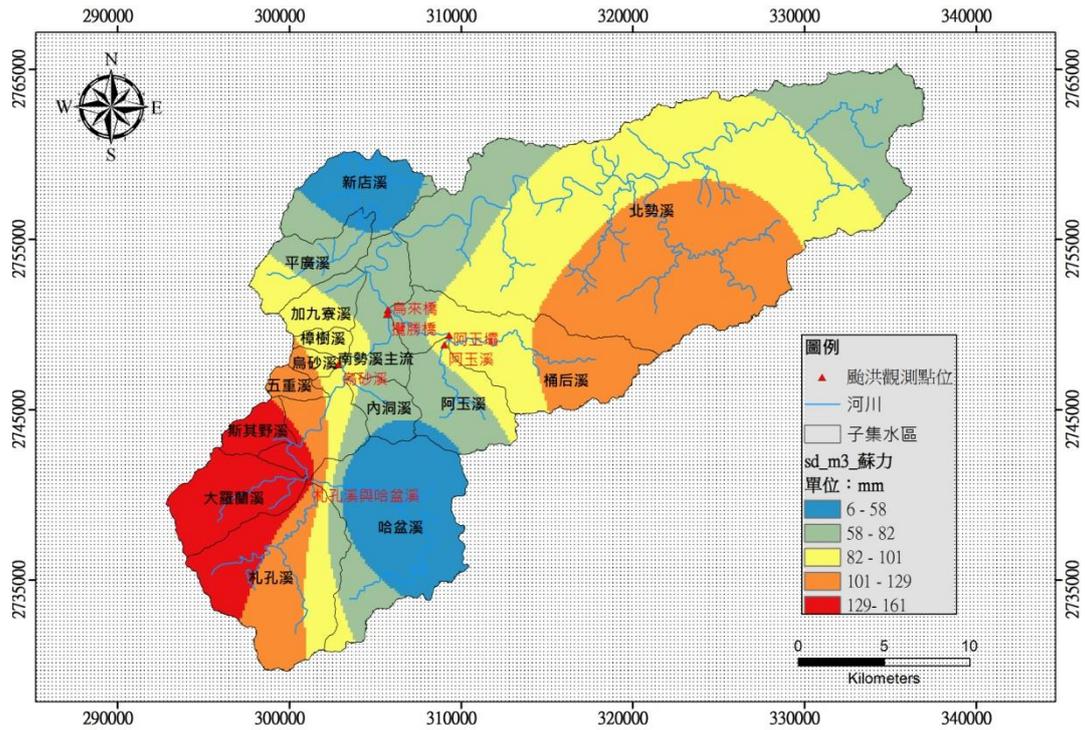


圖7-9 蘇力颱風最大3小時降雨分布

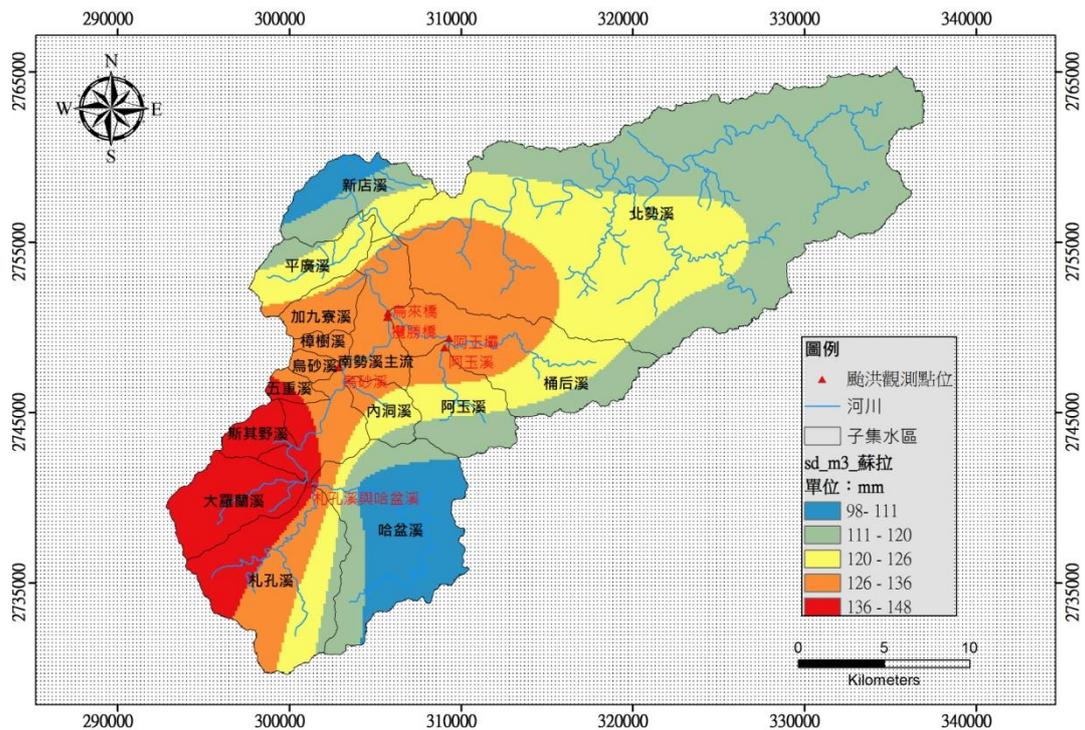


圖7-10 蘇拉颱風最大3小時降雨分布

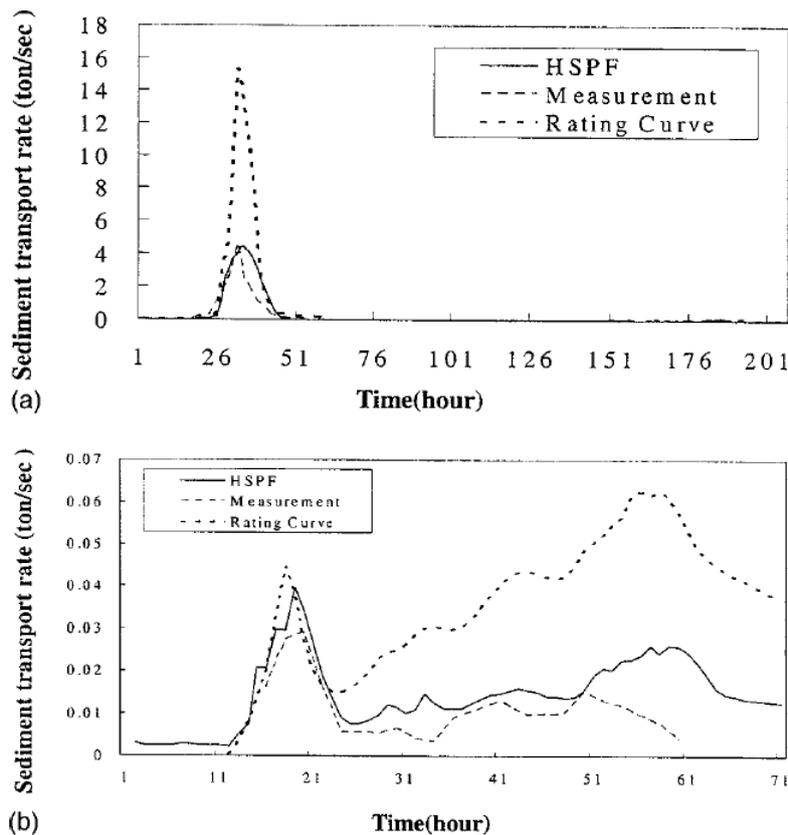
## 第捌章 濁度改善於治理工法上之評估

### 8-1 建立初步降雨強度與濁度預測之關係，供自來水供水系統之警戒與應變所需

#### (一)HSPF模式介紹

HSPF ( Hydrological Simulation Program Fortran ) 為 BASINS ( Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources ) 非點源污染模式之主要架構。BASINS 為美國環保署 ( USEPA ) 發展的集水區多目標環境分析系統，此系統結合地理資訊系統 ( GIS )、集水區資料庫、及多種水質模擬評估工具，包括 QUAL2E/QUAL2K、HSPF、SWAT 及 PLOAD。其為美國環保署 ( USEPA ) 與 Hydrocomp Inc. 所共同發展之模式，集合水文、水理、水質於一體，能夠連續模擬降雨逕流量、污染物負荷量、分析點源排放量及演算河道中流量與水質分布歷線。

HSPF 模式利用於集水區非點源污染源推估已有數十年之久，且有相當不錯之模擬結果。楊德良等 ( 78 年、79 年 ) 對模式之逕流、土壤沖蝕及泥砂運移部分做研究和檢定的工作，利用德基水庫集水區資料，進行模式驗證工作，建立德基水庫集水區各逕流、土壤沖蝕、泥砂運移之重要參數，並對合理化公式應用步驟提出探討。李鴻源等 ( 79 年、80 年、81 年 ) 利用 HSPF 模式，對大漢河流域進行非點源污染之模擬，利用模式最佳化基本原理，進行參數敏感度分析，歸納出敏感度較大之參數，作為實際應用之參考。Lee et al. (2006) 於 91 年的三場颱風事件，石門水庫集水區的玉峰橋進行逐時懸浮載濃度採樣，並分別利用率定曲線與 HSPF 模擬輸砂量，發現 HSPF 較能反應輸砂量實測值，而率定曲線則較實測值高估三倍 ( 圖 8-1 )。



資料來源：Lee et al., 2006

圖8-1 HSPF 模式、率定曲線模擬結果與實測值比較

HSPF 為半物理模式，所需檢定參數繁多。且多項參數具有互補之關連（如地表滲透率與地表漫流長），若僅以模式結果論，有可能得到極端的參數，失去半物理模型的特色（半物理模型仍然對物理條件有一定的對應）。為此，參考美國環保署「Basins Technical-Notes 6、9」兩篇與環保署「各項河川水質模式使用指南」，各項水文參數一般介紹與範圍如表 8-1，土砂參數如表 8-2。常用參數說明如下：

- (1) 下層土壤名義含水量 (LZSN) 增加會使地下水流的出流增加；上層土壤名義含水量 (UZSN) 和土地利用有關，可用來調整歷線初始及上升部分，增加 UZSN 會使地表逕流減少，增加滯留於上層區水分之蒸發散；Viessman et al. (1989) 建議 LZSN 在潮濕氣候條件下，可先估計為年降雨量之八分之一，再加上 100mm；而林地之 UZSN 約為 LZSN 的 0.14 倍。

- (2) 入滲能力指標 (INFILT) 主要與土壤特性有關，分配降雨成為地表逕流或入滲至地表下，增加 INFILT 會使下層區和地下水流增加，造成基流量增加，表面逕流減少。
- (3) 漫地流長度 (LSUR)、漫地流坡度 (SLSUR) 會影響到表面逕流量，坡度愈陡，LSUR 值愈低，則表面逕流增加，而曼寧 N 值 (NSUR) 在正常範圍下對流量之影響並不明顯。
- (4) 中間流入流參數 (INTFW) 增加可降低尖峰流量，但歷線峰值寬度增加。中間流退水率 (IRC) 表示現在中間流出流量與前一天中間流出流量的比值，影響逕流歷線中峰值與基流 (Base Flow) 間退水區之形狀，IRC 低會使中間流行為趨向漫地流，而高的 IRC 會使中間流行為趨向地下水基流，減少 IRC 使退水變緩，尖峰流量減小。
- (5) 地下水入流參數 (DEEPFR) 為進入深層地下水層之損失比例，也可用來表示其他未測量到之損失，增加 DEEPFR 會使流量減少，增加次表面 (Subsurface) 的損失。地下水退水率 (AGWRC) 表示現在地下水出流量與前一天地下水出流量的比值，在不考慮地下水入流和出流的關係，增加 AGWRC 可使基流退水變緩。地下水出流參數 (KVARY) 表示地下水儲存量每天所流出一定比例的量，設定高的 KVARY 會使流出的比例增加，通常是最後率定的參數。根據陳孟威(91年)與林雍富(91年)針對 HSPF 模式參數進行敏感性分析後指出，在 PWATER 降雨逕流模組方面，敏感度較大之參數計有下層土壤名義含水量 (LZSN)、土壤入滲容量 (INFILT)、中間流之入滲參數 (INTFW)、中間流之退水參數 (IRC) 等。

表8-1 HSPF 水文模組參數說明表

參數名稱	定義	單位	最小值	最大值
PWATER				
LZSN	下層土壤含水量	in	0.01	100
INFILT	入滲能力指標	in/hr	0.0001	100
LSUR	漫地流長度	ft	1	none
SLSUR	漫地流坡長	ft/ft	$1 \times 10^{-7}$	10.0
KVARY	地下水出流參數	1/in	0.0	none
AGWERC	地下水退水率	-	0.001	0.999
INFEXP	入滲公式指數	-	0.00	10.0
INFILD	最大與平均入滲量比值	-	1	2.0
DEEPFR	地下水入流參數	-	0.00	1.0
BASETP	基流蒸發散參數	-	0.00	1.0
AGWETP	地下水流蒸發散參數	-	0.00	1.0
CEPSC	截流量	in	0.00	10
UZSN	上層土壤含水量	in	0.01	10
NSUR	曼寧 N 值	-	0.001	1.0
INTFW	中間流入流參數	-	0.00	none
IRC	中間流退水率	-	$1 \times 10^{-7}$	0.999
LZETP	下層土壤蒸發散參數	-	0.0	1.5

資料來源：USEPA, 1999

另一大類為土砂模擬用參數，操作管理參數（SMPF）代表防止土壤沖刷措施之好壞，值介於 0 與 1 之間，參數值愈接近 0 表示地表管理愈佳，產生的懸浮物愈少；反之，若參數值愈接近 1，表示此土地利用產生的懸浮物多。土壤分離係數（KRER）依照土壤特性給定。土壤分離指數（JRER）描述因為降雨強度不同造成土壤分離之指數關係。地表覆蓋參數（COVER）代表地面被覆的程度，其值介於 0 與 1 之間，若參數值愈接近 1，表示地面覆蓋佳，產生懸浮物少。運移係數（KSER）、運移指數（JSER）用於計算地表水具有之運移能力。沖蝕係數（KGER）、沖蝕指數（JGER）可計算地表水所具有之沖刷土壤能力，運移指數（JSER）和沖蝕指數（JGER）和懸浮物有反比的關係存在。參考 BASINS HSPF Training 手冊中之說明選取 KRER，JRER；KSER，JSER；KGER，JGER 等三組共 6 個參數作為主要率定參數。

本計畫主要模擬參數整理如表 8-3，並與 EPA BASINS Technical Note 6(流量)、Note 8(砂量)之建議值對照，大部分合與典型範圍。

**表8-2 HSPF 土砂模組參數說明表**

參數名稱	定義	單位	最小值	最大值
SEDMNT				
SMPF	操作管理因子	-	0.001	1
KRER	土壤分離係數	-	0.00	none
JRER	土壤分離指數	-	none	none
AFFIX	土壤再壓密率	1/day	0.00	1
COVER	土壤覆蓋率	-	0.00	0.1
NVSI	大氣落塵量	lb/ac-day	none	none
KSER	分離泥砂之沖刷係數	-	0.00	none
JSER	分離泥砂之沖刷指數	-	none	none
KGER	土壤沖蝕係數	-	0.00	none
JGER	土壤沖蝕指數	-	none	none
DETS	分離泥砂之初始存量	tons/ac	0.00	none
BEDWRN	河床深度	ft	0.001	none
POR	河床孔隙率	-	0.1	0.9
KSAND	泥砂承載公式之係數	-	0	none
EXPSND	泥砂承載公式之指數	-	0	none
TAUCD	底床之沉澱臨界剪應力	lb/ft <sup>2</sup>	1×10 <sup>-4</sup>	none
TAUCS	底床之沖蝕臨界剪應力	lb/ft <sup>2</sup>	1×10 <sup>-4</sup>	none
M	底床之沖蝕臨界剪應力	lb/ft <sup>2</sup> /day	0	none

表8-3 本計畫 HSPF 參數整理表

參數	定義	單位	參數值	典型值域 (小值)	典型值域 (大值)
水文類參數					
LZSN	下層土壤含水量	in	5.795	3.0	8.0
INFILT	入滲能力指標	in/hr	0.144341	0.01	0.25
LSUR	漫地流長度	ft	299.84	200	500
SLSUR	漫地流坡度	ft/ft	0.64	0.01	0.15
KVARY	地下水出流參數	1/in	1	0.0	3.0
AGWERC	地下水退水率	-	0.9852	0.92	0.999
INFEXP	入滲公式指數	-	2.0	0.0	10.0
INFILD	最大與平均入滲量比值	-	2.0	2.0	2.0
DEEPFR	地下水入流參數	-	0.01	0.0	0.2
BASETP	基流蒸發散參數	-	0.01	0.0	0.05
AGWETP	地下水流蒸發散參數	-	0.0	0.0	0.05
CEPSC	截流量	in	0.1	0.03	0.2
UZSN	上層土壤含水量	in	0.60355	0.1	1
NSUR	曼寧 N 值	-	0.3	0.15	0.35
INTFW	中間流入流參數	-	5.00375	1.0	3.0
IRC	中間流退水率	-	0.092	0.3	0.7
LZETP	下層土壤蒸發散參數	-	0.1	0.2	0.7
土砂類參數					
參數	定義	單位	參數值	最小值	最大值
SMPF	操作管理因子	-	1	0.0	1.0
KRER	土壤分離係數	-	0.16539	0.15	0.45
JRER	土壤分離指數	-	2.0341	1.5	2.5
KSER	分離泥砂之沖刷係數	-	0.05	0.5	5.0
JSER	分離泥砂之沖刷指數	-	1.1735	1.5	2.5
KGER	土壤沖蝕係數	-	0.0	0.0	0.5
JGER	土壤沖蝕指數	-	2.5	1.0	3.0

HSPF 模式中含有許多模組 (module)，經由模組的選取來模擬演算各項水理、水質或沖蝕參數。模式中分為三個部分，為 PERLND、IMPLND 及 RCHRES，分別代表集水區中的透水區、不透水區及河道之模擬。北水局(103~104 年)「石門水庫自來水水質水量保護區巡守持續推動及管理協勤計畫(1/2~2/2)」建置之濁度與濃度預報模式，乃運用其中之 PERLND 以及 RCHRES 兩模組預報流量與輸砂量(濃度)，並透過率定公式推算濁度，提供予決策者做為決策的依據。該計畫選取 PERLND 以及 RCHRES 兩模組，而未使用 IMPLND 模組之理由，在於該計畫範圍屬於石門水庫水源水質水量保護區，當地不透水區不顯著，而本計畫之區域範圍內不透水區亦如是，故建議本計畫同樣宜採用 PERLND 以及 RCHRES 兩模組。濁度、濃度預報模式的架構如圖 8-2。

在模式建置過程中，需先建立集水區的地文資料與雨量資料(圖 8-3)。地文資料包括:集水區面積、平均坡度、最大坡長、主河道坡度、主河道最大坡長、河道斷面形狀等。由 DEM 高程圖透相關 GIS 分析得到 HSPF 模式所需資料。

雨量資料是由新店溪集水區周邊雨量站以徐昇式多邊形法進行集水區雨量權重劃分來計算各子集水區雨量，進而將雨量資料輸入模式計算。之後各集水區由上游至下游(集水區劃分與上下游關係詳圖 8-4)依序率定流量參數群，得到一可信之流量模式後才可繼續建立輸砂模式。

建立輸砂模式時亦由上游至下游依序率定輸砂參數群，期望可得一可靠之模式。HSPF 輸砂模式原始成果為河道輸砂量 ( $\text{ton}/\text{ft}^3$ )，須配合 HSPF 流量值轉換為濃度值，再配合前項工作成果，引入校驗完成之濁度濃度關係式後，始能轉換為濁度濃度預報模式。

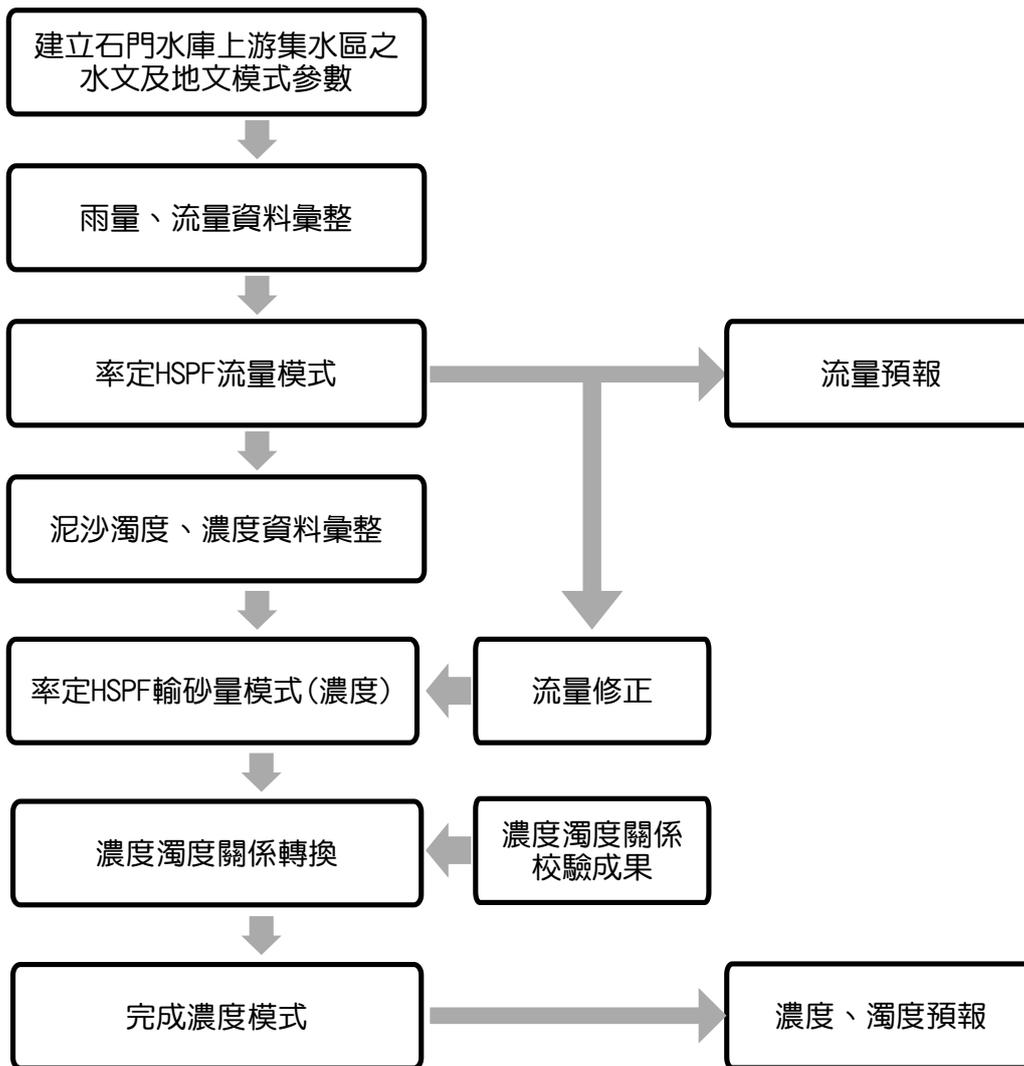


圖8-2 濁度、濃度預報模式架構

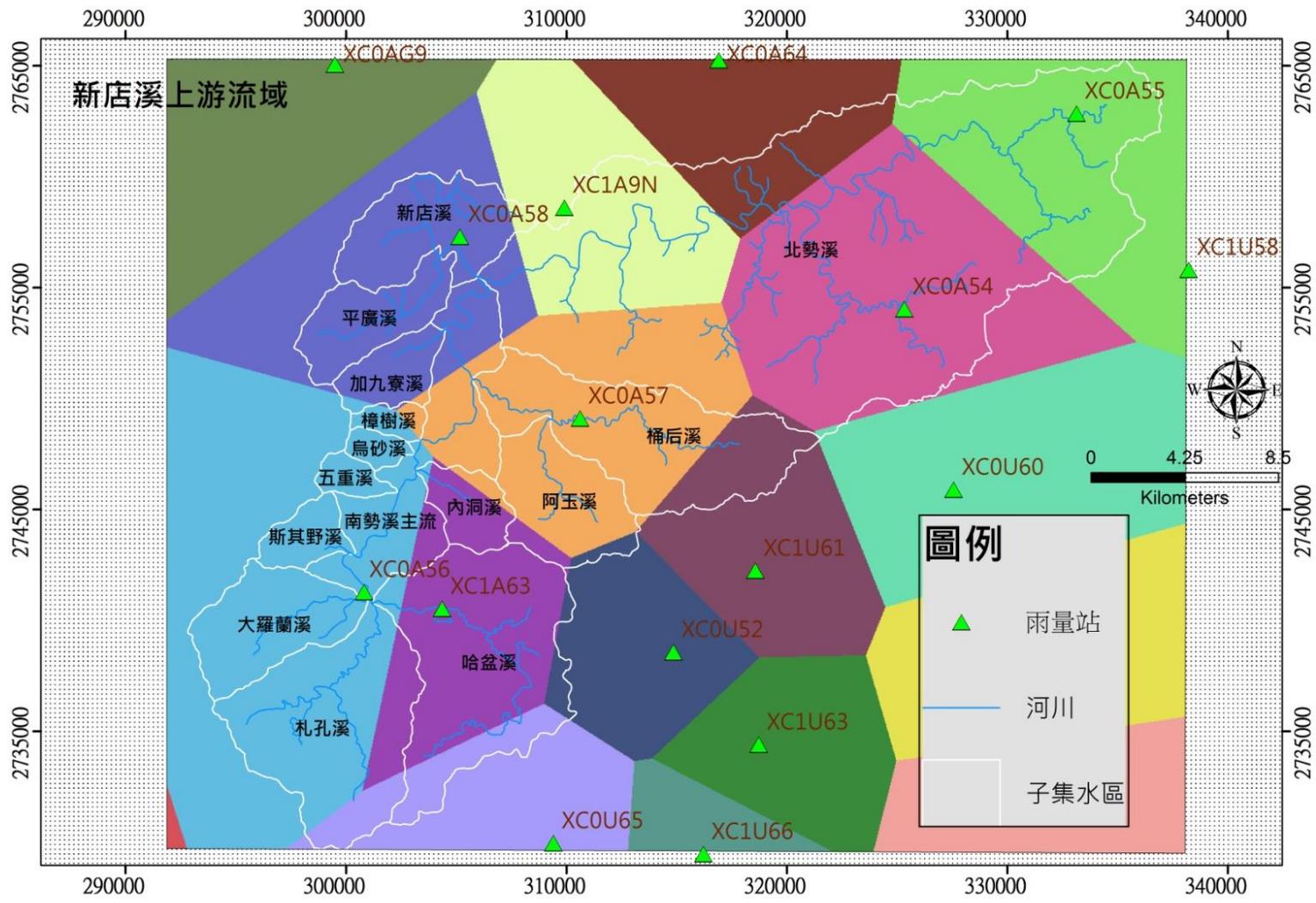


圖8-3 新店溪上游徐昇氏多邊形

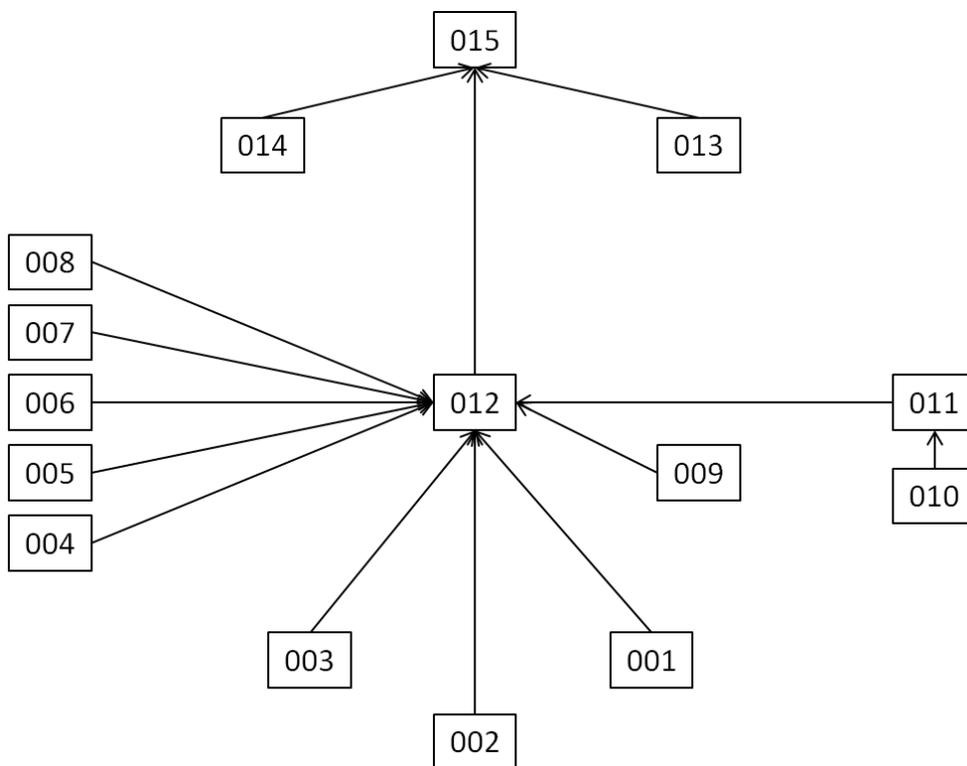
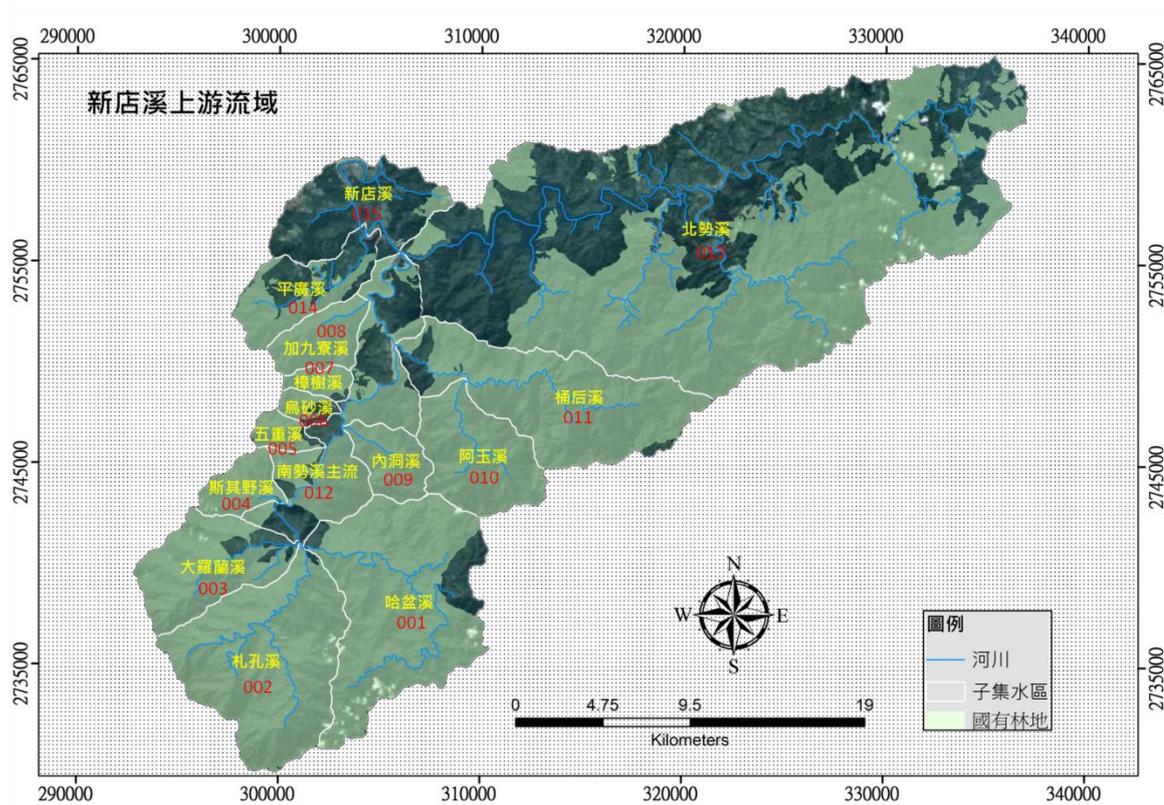


圖8-4 南勢溪集水區分區代碼與 HSPF 模式集水區關聯圖

## (二)HSPF模式之適用性

HSPF 模式主要適用於懸浮固體之模擬，本計畫主要探討對象為濁度，如前揭章節所述濁度係由黏土、粉砂等細顆粒懸浮載所造成，藉由對於新店溪上游 7 處之河床質調查，採樣位置如圖 8-5，可觀察到河床質幾乎沒有顆粒可通過 No.200 篩號，如表 8-4，顯示該粒徑以下之細顆粒皆於颱風事件等高流量水流帶走。另外，針對颱風事件採樣之混濁溪水進行懸浮載篩分析，超過 95%之泥砂皆可通過 No.200 篩號，如表 8-5，顯示泥砂幾乎都為細顆粒，因此以 HSPF 模式進行濁度之模擬應屬適宜。

而 HSPF 雖原為非點源污染模擬模式，但現已加入點源污染模組，題供更大的彈性，在針對歷史事件的降雨與輸砂模擬應用中，若能對崩塌地產生的點位、時間、土砂量有清楚的了解，則可以此方法建立一模擬模式。但若用再預測模擬方面，囿於對崩塌之發生仍有相當的不確定性，且土壤沖蝕等非點源污染亦有站相當之比例，故仍以非點源模式模擬。

**表8-4 新店溪上游河床質調查**

點號	TWD97坐標(m)		No.200篩通過比例(%)
	橫坐標X	縱坐標Y	
HB01	305134	2756794	1.33
HB02	305736	2753547	0.32
HB03	305652	2750956	0.18
HB04	309053	2748812	0.5
HB05	303305	2747878	0.2
HB06	300916	2743424	0.14
HB07	301151	2740837	0.31

**表8-5 颱風事件懸浮載篩分析**

點位	過 200 號篩佔比
阿玉壩	98.60%
札孔溪哈盆溪匯流	95.97%
覽勝(大)橋	96.11%
覽勝橋(烏來橋)	99.30%

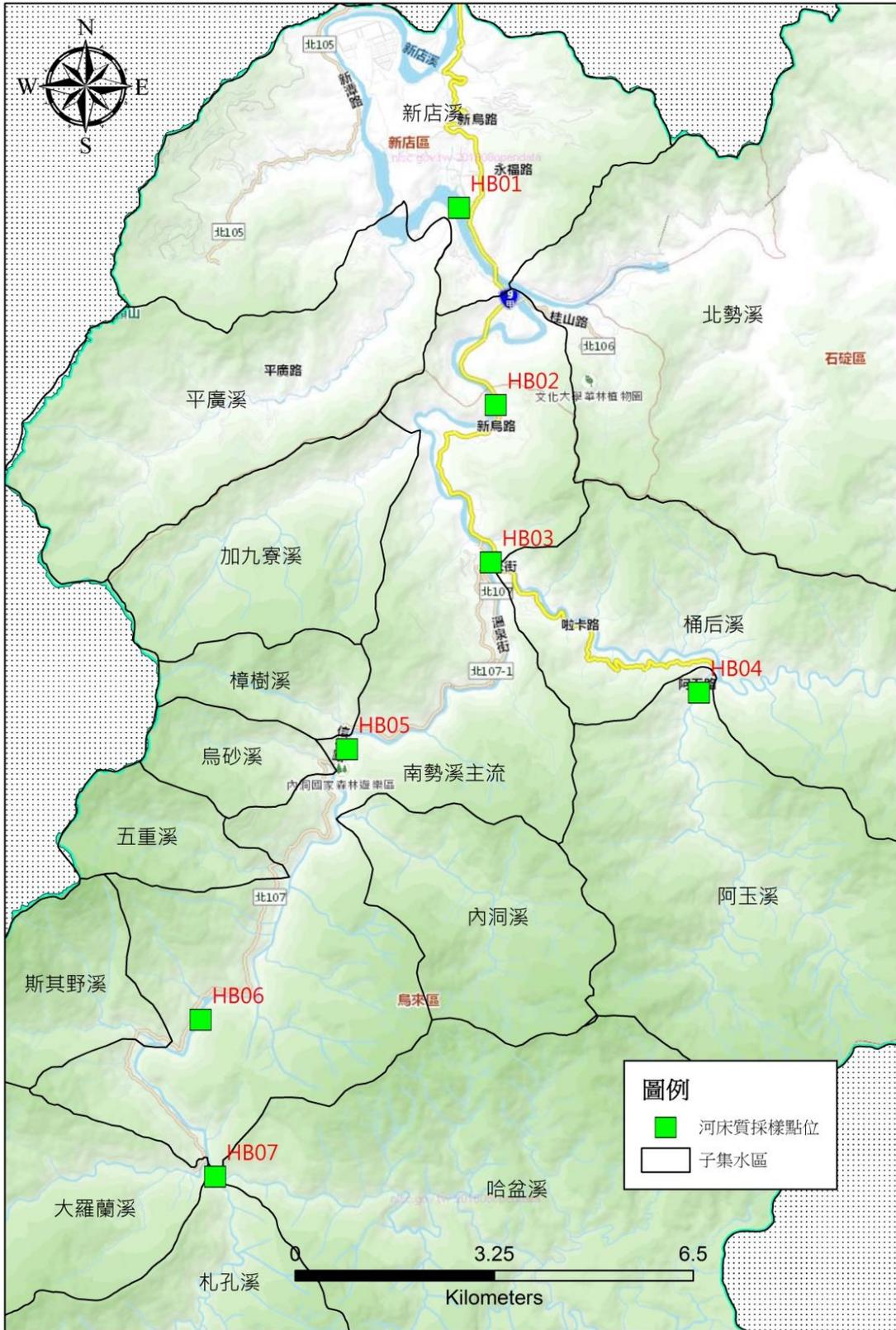


圖8-5 河床質調查位置

### (三)HSPF模式建置成果

#### 1.流量

本案蒐集 103~106 年之福山、桶后、屈尺等 19 測站雨量資料以及福山、覽勝橋、屈尺三站之時水位資料做為模式建置基礎。流量觀測資料以時水位搭配水位流量率定曲線計算得到，觀測輸砂量資料亦同樣由流量—輸砂量率定公式推算。三水位站僅覽勝橋建有水位流量率定曲線，又覽勝橋站在蘇迪勒颱風河床淤積，導致河道改變，前後期率定公式不一至，故以覽勝橋站 104 蘇迪勒颱風後之紀錄量做為率定與驗證之標準。擇定 104 年杜鵑颱風率定模式，成果如圖 8-6，水位轉換流量約 1700cms，模擬流量 1800cms。流量轉換輸砂量峰值約為 55ton/s，模擬輸砂量峰值約 60ton/s。

再以蘇迪勒颱風（圖 8-7）與 106/06/02 豪雨（圖 8-8）驗證。蘇迪勒颱風之觀側水位中斷，但仍反映上升段，也可見於 106/06/02 豪雨時流量模擬仍有效。蘇迪勒颱風輸砂模擬約 85ton/s，換算濃度則超過 35,000ppm，推估濁度再 30,000NTU 以上，與下游直潭淨水場超過 39,000 度吻合，106/06/02 之濃度（輸砂量）模擬則偏低，受限於模式主要以大事件逕行率定，對小事件失真。受限於蘇迪勒颱風後，河道可能淤積又屢有清淤變化，以目前事件資料建立之模式，雖有待後續觀測與校正，但仍可大至預測濁度反應。

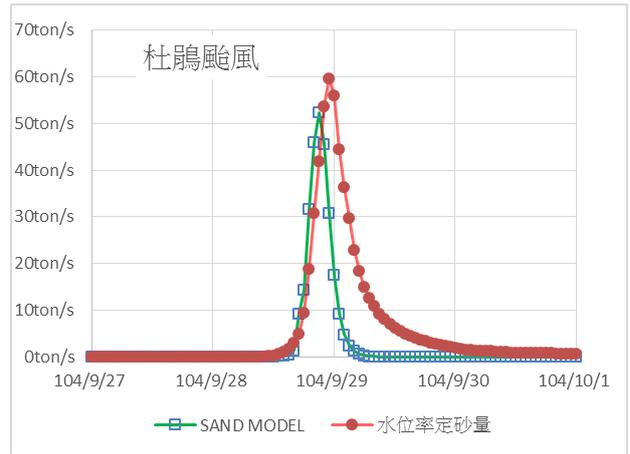
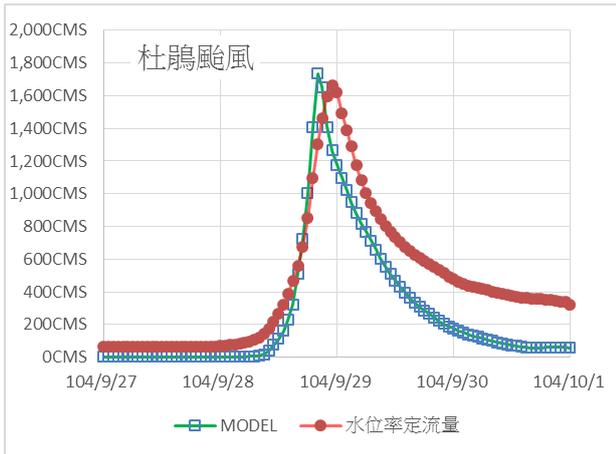


圖8-6 杜鵑颱風率定結果

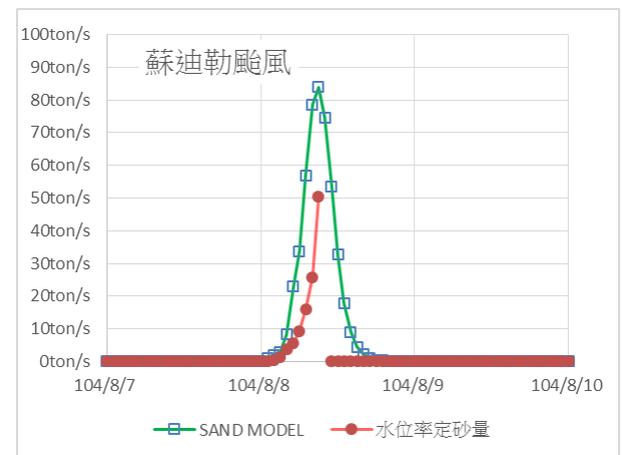
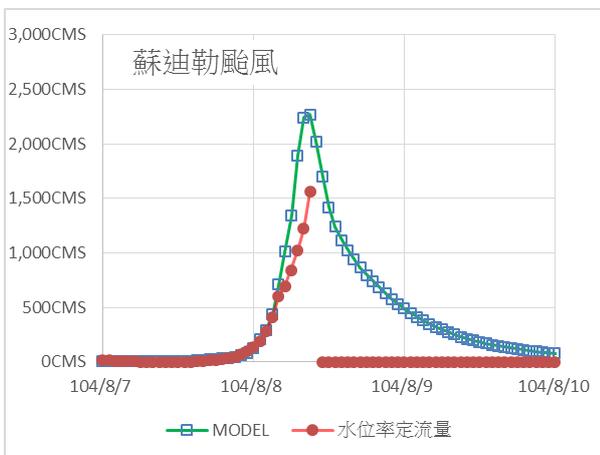


圖8-7 蘇迪勒颱風驗證

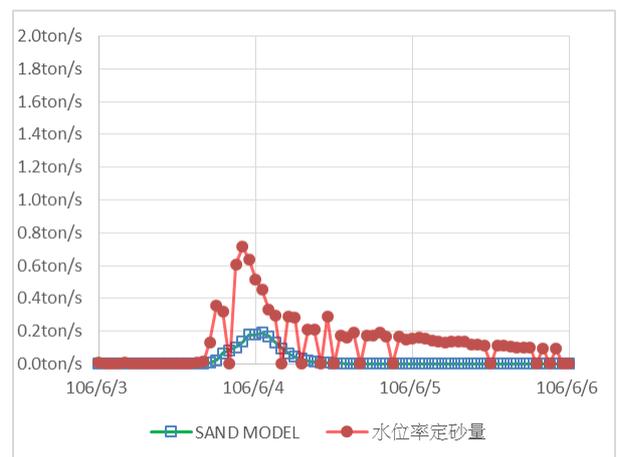
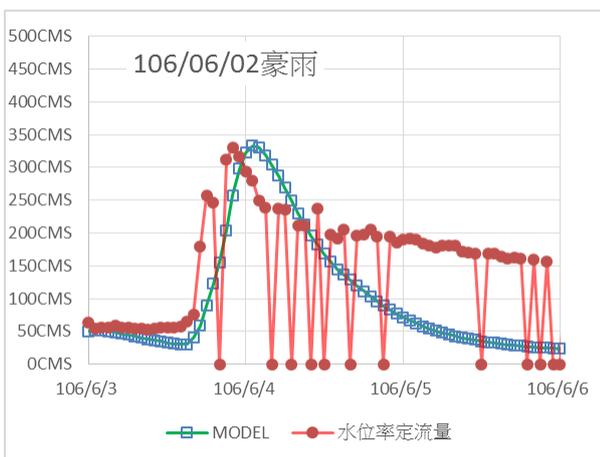


圖8-8 106/06/02 豪雨驗證

## 8-2 選擇 2 處主要崩塌地實施工程手段進行治理之各面向可行性評估及初步治理規劃

本節篩選 2 處重點崩塌地進行實施工程治理之各面向可行性評估及初步治理規劃，2 處崩塌地分別為(1)東札孔溪崩塌地、(2)桶后林道 3.5K 崩塌地，以下茲就此 2 處崩塌地治理規劃說明。

### (一)東札孔溪崩塌地

#### 1.崩塌地概述：

崩塌地位於札孔溪上游，距離最近之福山部落約為 5 公里(直線距離)，如圖 8-9，依據本計劃蘇迪勒颱風後崩塌判釋成果，崩塌地面積約為 10.99ha，崩塌地形貌如圖 8-10。該處無道路可及，由福山部落沿河道至崩塌地距離約為 9.2km，如圖 8-11。地層屬於水長流層(巴陵層)，岩性以黑色硬頁岩和板岩為主，偶夾數公分至數十公分之砂岩。



圖8-9 東札孔溪崩塌地位置

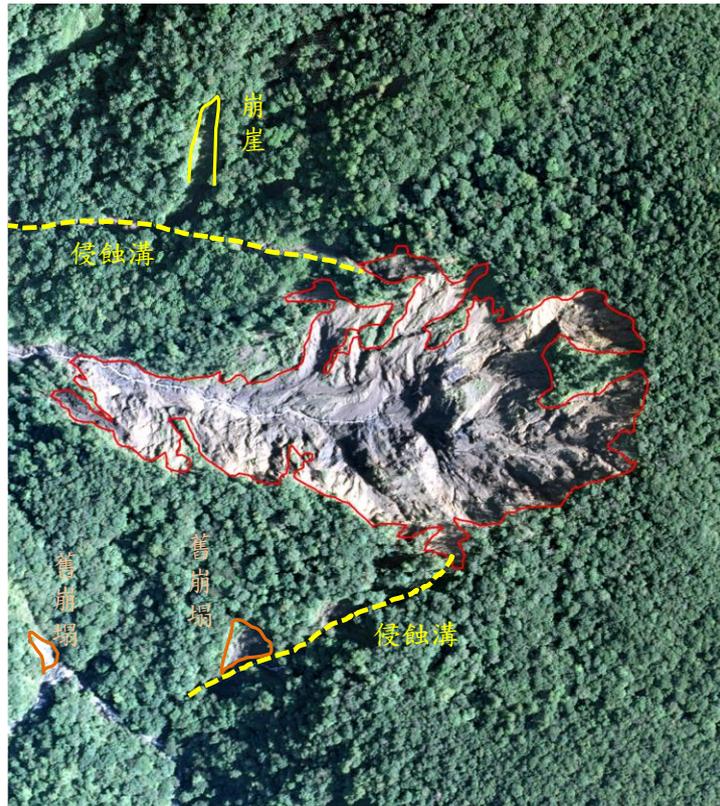


圖8-10 東札孔溪崩塌地形貌

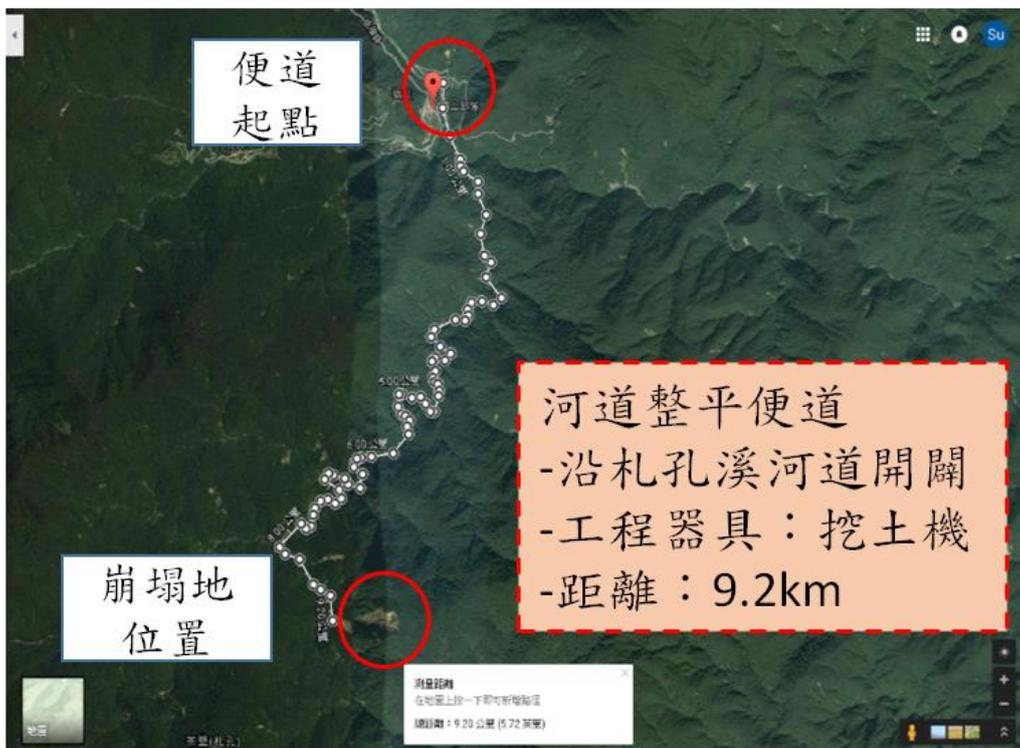


圖8-11 福山部落與東札孔溪崩塌地沿河道距離

## 2..整治工法評估：

由於該處崩塌不具備大規模崩塌性質，且較無順向坡崩塌滑動疑慮，且位處偏遠、坡面陡峭，基於距離、施工難度等考量，並不適用擋土工法、岩錨工法、加勁工法等方式，建議應採邊坡保護工法，常見之工法包括：地錨格樑、打樁編柵、自由樑框護坡植生、或掛網噴植或非工程性天然復育等（如表 8-6）。各工法之介紹如下：

**表8-6 崩塌地工法選擇總覽**

工程類	運輸方式	直升機吊運
		便道
	工法	地錨格樑
		打樁編柵
		自由梁框護坡植生
掛網噴植		
效益	快速恢復裸露地貌	
成本效益評估	工程成本	
	便道開設可能誘發濁度	
	施工擾動生態(振動、噪音)	
	環評(成本、時間)	
非工程類	方法	自然復育
	使用時機	無人員立即保全對像 無道路可及地點 *新店溪青潭堰以上(新店溪及南勢溪部分)流域整體調查規劃(1/2)

### (1)地錨格樑

地錨格樑工法，如圖 8-12、圖 8-13，地錨係將所需拉力由主要結構體傳遞至周圍緊密地層中，由地層之抗剪強度提供足夠之摩擦阻抗，使地錨、主要結構體及錨碇段周圍地層三者達到平衡狀態，同時，主要結構體及錨碇段周圍地層之變位量能夠維持在合理範圍之內。其施工步驟如下：

- A. 開挖並順平邊坡及放樣。
- B. 護坡基腳開挖，澆置混凝土。

- C. 於整理妥當之坡面上安放縱橫之格梁鋼筋及模板並澆置混凝土
- D. 於格樑交叉處鑽孔，視情況使用套管。
- E. 鋼鍵組立與安裝
- F. 灌漿、施拉預力、錨頭防鏽處理。

## (2)打樁編柵

打樁編柵工法，如圖 8-14，係於邊坡坡面上順著坡度之傾斜程度，於每一水平面適當距離打入雜木樁或萌芽樁，木樁間以竹片、PE 網、鐵絲網等較柔軟、彈性佳之材料編柵於木樁間，形成階梯狀之坡地，於階梯狀水平面灑下植生種籽，並於垂直面鋪上透水網布，如此待植生成長，可慢慢恢復自然景觀。

此種方法除了避免一般傳統混凝土施工的不透水、減少逕流之外，對於景觀環境也不造成惡質破壞，山林風景區之美景也不會因此而大打折扣，其施工步驟如下：

- A. 修整邊坡及放樣。
- B. 打設木樁，岩層處不易打設可以鋼筋代替。
- C. 以竹片、PE 網、鐵絲網等材料編柵於木樁間。
- D. 於木樁間鋪設透水網布。

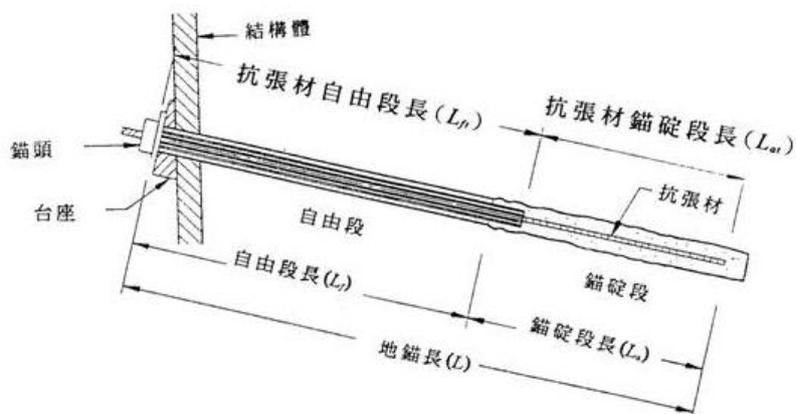


圖8-12 地錨構造示意圖



圖8-13 地錨格樑示意圖

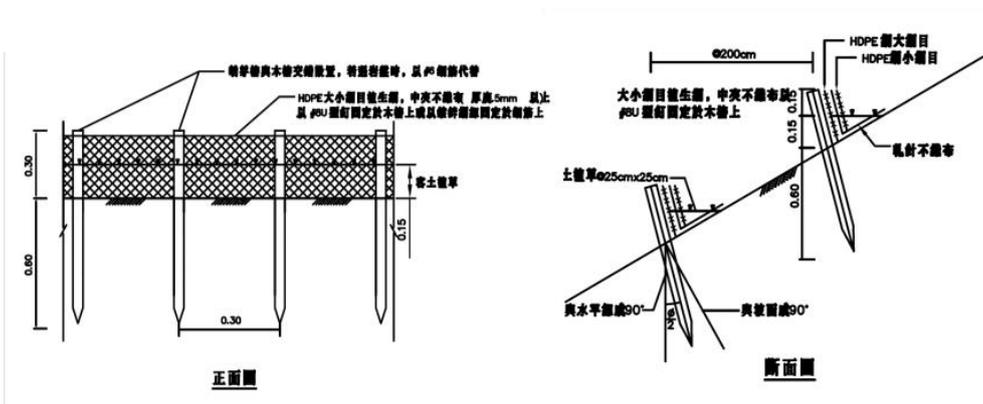


圖8-14 打樁編柵工法示意圖

### (3)自由樑框護坡植生

所謂「自由樑框護坡植生」即採用立體鋼絲網，結合格框鋼筋與噴凝土，並於格框內噴植草種或植生基材，形成連貫性坡面，為一種現地坡面保護之工法，如圖 8-15。近幾年於國內經常使用於有潛在坍方危險的邊坡，以減緩坡面之風化作用，施工完後不久即可達到綠化之效果，其施工步驟如下：

- A. 修整邊坡及放樣。
- B. 鋪設鍍鋅立體菱形鐵絲網，並以錨釘固定。
- C. 設置格框鋼筋，並與鋼絲網綁紮結合。
- D. 格框內鋪設塑膠布。
- E. 於格框鋼筋上噴置噴凝土。
- F. 除去格框內塑膠布。
- G. 噴植草種及植生基材。

### (4)掛網噴植

掛網噴植工法，如圖 8-16，施工時先於整地完成坡面覆上菱形網並以錨釘固定，將混合好的植生基材混合草種噴附於坡面上，噴植約 5 公分厚，植生基材混合草種中混雜有常綠喬木種子、樹皮堆肥、團粒黏土等。由於團粒狀黏土的結構內充滿無數大小孔隙，使空氣水分能流通其間，幫助種子萌芽與快速成長。微生物、昆蟲、蚯蚓等也由於有空氣水分以及生育基盤內的有機質、樹皮堆肥等食餌，提供樹木根系生長所需養分，其施工步驟如下：

- A. 修整邊坡及放樣。
- B. 鋪設鍍鋅立體菱形鐵絲網，並以錨釘固定。
- C. 噴植草種及植生基材。

邊坡保護工法選用，以評分方式評比「生態及景觀性」、「工程造價」、「施工難易度及工期」、「治理成效(安全性)」，結果如表 8-7，顯示「自由樑框護坡植生」工法為最佳方案。



表8-7 邊坡保護工法評比

項目	生態及景觀性	工程造價	施工難易度及工期	治理成效(安全性)	得分
地錨格樑	4	4	4	10	22
打樁編柵	9	7	6	5	27
自由樑框護坡植生	8	6	8	9	31
掛網客土植生	8	9	9	4	30
說明	因使用較大量鋼筋、混凝土材料，且地錨有鑽孔擾動問題，故最為低分。 *所有工法接有工程便道擾動問題。	掛網噴植所需材料機具最為簡便；地錨工法因使用混凝土施工，所需機材與時間成本較高。		打樁編柵、掛網噴植因使用較軟性之地工格網或天然材料等，受損可能性較大，且掛網噴植對植生與基質的固定能力視當地環境有變。	
註2：各評分項目說明：評分範圍1到10分。生態及景觀性越好得分越高；工程造價越低得分越高；施工難易度及工期，越短得分越高；治理成效(安全性)效果越好得分越高					

### 3.交通(進入)方法：

崩塌地所在位置無道路可及，探討其治理工法前，需先討論人員以及工程機具抵達目的地之方式，可行方法有二，一為開設便道，二為直升機載運。

(1)開設便道方案，採河道整理方式進行，以挖土機整平河道土石，再將底土夯實，若遇到高低差較大地段，則以現地取土回填夯實，做為通行便道，示意圖如圖8-17。有時便道開設需跨越河道(過河段)，可放置數支涵管於河道，供水流通行，其餘河水部分於現地取土石回填，或澆注混凝土，做為通行便道，示意圖如圖8-18。

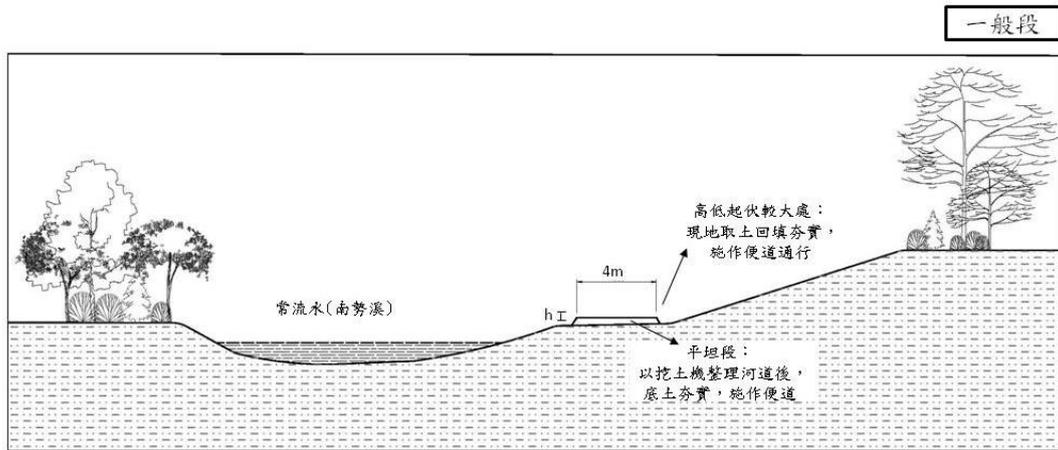


圖8-17 一般段便道開設示意圖

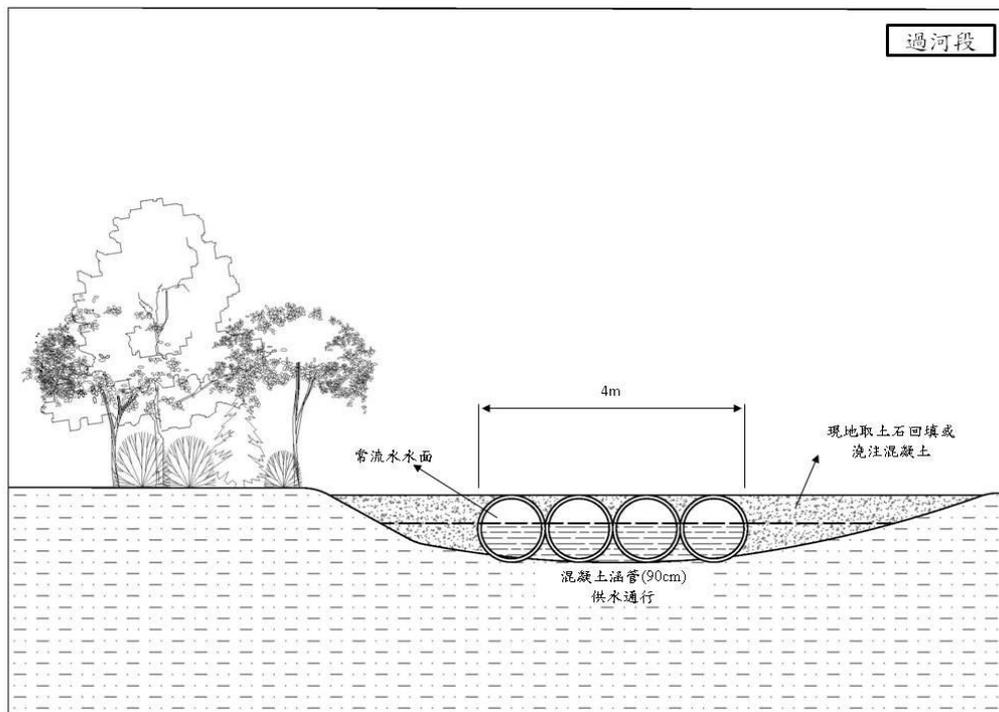


圖8-18 過河段便道開設示意圖

便道開設將取用現場土石，此舉對周遭環境可能造成影響，若就地利之便，沿河床或跨合開設 4 米寬便道，便道面積約 4 公頃，若加計路緣整理（左右各 0.5 米寬），擾動面積更大，已達崩塌地面積之一半，一則是否比例失當，

二來後續是否需進行環境影響評估，係由主管機關(新北市環保局)認定。倘若認定應有環境影響評估，則需進行①地域概況之調查事項包括人口、產業、交通、土地利用、水域利用、相關法令、氣象、水象以及大氣污染等地域概況調查，②水質污染、土壤、噪音、振動、地層下陷、惡臭、廢棄物、安全性、景觀、植物、文化資產、電波防礙、社會經濟以及綜合評估等現地調查，③採用各種預估模式對於開發行為對環境的影響，將其量化並分類等級。初估所需費用為 600 萬元。另依據「水土保持法」第 12 條第一項及「水土保持計畫審核監督辦法」，有涉及開挖整地行為需先擬具水土保持計畫，送主管機關「新北市農業局」，初估所需費用為 300 萬元。

- (2) 直升機載運方案，由台北松山機場出發，至崩塌地所在距離約45km，航程所需時間(單趟)約為15分鐘，在作業地點附近找尋臨時起降點吊掛貨物，於目標點容許作業時間約為90分鐘。載運重量方面，最大起飛總重為3350kg，扣除油料重量558kg、飛行員與操作人員重量240kg、吊掛器材重量200kg，剩餘籌載重量約為2352kg。將治理工程所需之人員、機具、材料盤點計算重量，再以此作業時間與載運量估算，得以獲悉所需之直升機飛行趟數，進而計算本方案之成本。

以自由樑框護坡植生工法計算，水泥砂漿噴附所需之水泥砂漿重量估計為 20,700Ton，鋼筋重量估計為 1,700Ton，其他雜項(噴植基材、菱形網、草種等)重量估計為 10,000Ton，合計總重量為 32,400Ton，直昇機每次籌載重量約為 2.352Ton，即以直昇機載運材料約需 13,775 趟始得以載運完成，此無論是時間上或金錢上皆不適用，故交通方式並無好的方案，若能需進行，只能將就選擇便道方案。

#### 4.選定工法之成本效益評估：

本案工程效益評估係以效益分析法(益本比法)來估算現況工程衍生防砂效益，評估方法係參考水保局(2010)「曾文水庫(阿里山鄉以外)南化及烏山頭水庫集水區保育治理分析與對策」、林務局(2011)「新竹處轄國有林班地上游集水區土砂產量調查與防治成效評估」以及水保局(101)「曾文南化烏山頭水庫集水區環境變異監測及治理成效評估」之經濟效益評估中益本比估算類型。成本效益評估係以年為單位進行分析，計量方式如表 8-8 所示；其中年計效益包含有形「直接效益」與無形「間接效益」，有形「直接效益」包括河道減淤效益、發電設施運轉維持效益等；無形「間接效益」包括社會價值效益及生態環境保育效益等。年計成本項目除了人工、機具、材料等費用加總以外，尚需考量年利息、年償債基金、年稅捐保險費及年運轉維護費用等。

表8-8 國有林班地工程效益計量表(範本)

項目	子項目	內容	計量方式	單位	參考數據	參考資料	
效益	直接效益	疏浚	整理面積(平方公尺)×疏浚深度(公尺)×單價(元/立方公尺)	元	疏浚量體：整理面積×清淤深度 疏浚金額單價：250 元/立方公尺	註 1	
		崩塌地	崩塌治理面積(平方公尺)×平均崩塌深度(公尺)×單價(元/立方公尺)	元	崩塌地量體：崩塌地治理面積×平均崩塌深度 平均崩塌深度：3 公尺 疏浚金額單價：250 元/立方公尺	註 1、 註 2	
		防砂壩	控制量體(立方公尺)×單價(元/立方公尺)	元	控制量體：設計控制量[(平均寬×平均高×平均長=(10 倍高))/2] 疏浚金額單價：250 元/立方公尺	註 3	
		水資源涵養效益	崩塌植生面積(公頃)×水資源價格(元/立方公尺)×平均貯水量(立方公尺/公頃)	元	平均貯水量：3,600 立方公尺/公頃	註 3	
		河道防砂量蓄水效益	防砂量(立方公尺)×崩積土孔隙率×水資源價格(元/立方公尺)	元	崩積土孔隙率：39%	註 5	
			水資源價格：9 元/立方公尺	元	水資源價格：9 元/立方公尺	註 4	
	綠覆率效益(固碳)	CO <sub>2</sub> 量(公噸/公頃/年)×增加綠覆面積(公頃)×時間(年)×CO <sub>2</sub> 交易價格(元/公噸)	元	CO <sub>2</sub> 量 草類覆蓋減碳量：131.4 公噸/公頃/年 樹林覆蓋減碳量：16 公噸/公頃/年 CO <sub>2</sub> 交易價格：1,160 元/公噸	註 3 註 3 註 6		
	間接效益	社會效益					
		生態環境效益	直接效益總和×20%	元	間接效益：直接效益總和之 20%	註 3	
		風險管理效益					
成本	年計成本	年利息	總經費(元)×年利率(%)	元	年利率：6% 年利息：總經費之 6%	註 7	
		年償債基金	總經費(元)×年償債基金百分率(%)	元	年償債基金百分率：0.34% 年償債基金：總經費之 0.34% (年利率 6%，以複利計算且設定為 50 年期攤還)	註 7、 註 8	
		年運轉維護費用(含年運轉及維護成本)	總經費(元)×年運轉維護費用比率(%)	元	年運轉維護費用比率：3% 年運轉維護費用：總經費之 3%	註 7、 註 8	
益本比	年益本比	年計效益總合(元)/年計成本總合(元)	-	年益本比：年效益總合除以年成本總合之比值	註 7、 註 8		

資料來源：

註 1：林務局(2009)，「加速國有林地治山防災及林道復建計畫 98 至 101 年度」

註 2：台灣省石門水庫管理局(1976)，「石門水庫集水區崩塌地航測調查報告」。

註 3：林務局(2010)，「札孔溪集水區整體治理調查分析及規劃」。

註 4：台灣自來水公司，「節約用水資訊網」<http://www.wcis.itri.org.tw/>

註 5：林務局(2008)，「國有林地 98 至 101 年度治理與復育計畫總報告」。

註 6：台灣環境管理協會(2005)，「台灣環境管理協會月刊」。

註 7：林務局(2010)，「石門水庫及其集水區整治計畫-實施計畫檢討報告書」。

註 8：水利署(2006)，「區域排水整治及環境營造規劃參考手冊」。

各整治工法之建議治理成本如表 8-9 所示，60 林班地該處正射崩塌面積為 109,900 平方公尺(10.99 公頃，GIS 圈繪計算)，坡面平均坡度 40 度，計算坡面面積為 143,472 平方公尺，單純自由型框植生坡面治理需考慮成本為 2 億 8600 萬餘元，掛網客土植生方法則為 1 億 5567 萬元。

#### (1)排水工法成本計算

由於坡面整治需注重坡體排水以降低孔隙水壓，避免有效應力降低，因此需增設排水路徑，本計畫建議採鋪網噴漿溝方法；根據新北市政府農業局所建議之鋪網噴漿溝成本(如表 8-9 所示)，並以中央縱溝 1 條(長 700 公尺)、橫溝四條(長 380 公尺)、環形圍繞溝 1 條(崩塌周長 3,500 公尺)、溝寬皆採 0.8 公尺進行計算，噴漿溝合計總長 5,720 公尺，面積為 4,576 平方公尺。以上述幾何形式計算噴漿溝成本為 413 萬餘元。

表8-9 治理方法單價明細表

項目\治理方法	自由型框植生	掛網噴植客土植生
噴植綠化植生	-	87 / m <sup>2</sup>
自由樑框護坡植生	997 / m <sup>2</sup>	-
鋪網噴漿溝	904 / m <sup>2</sup>	904 / m <sup>2</sup>
危木清理及坡面整理	94 / m <sup>2</sup>	94 / m <sup>2</sup>
坡面總工程單價	1,995 / m <sup>2</sup>	1,085 / m <sup>2</sup>
整理河道機具(含司機)	1,443 / Hour	1,443 / Hour

#### (2)工程便道成本計算

以挖土機清運整理河道每日工時 8 小時、每日預計進度 100 公尺計，該工程約需 100 日完成，總工時約 800 小時；以目前怪手機具(含司機)單價為 1,443 新台幣/時(300 型)，整體便道完工成本需 115 萬元。由於河道變遷受颱風

事件或其他水利災害之影響，容易遭到破壞，因此本工程成本應另考量便道受災修葺之額外成本，簡易以重新修葺三次為本工程之參考成本。

除了上述人工、機具、材料之費用外，由於崩塌地位處偏遠，尚需考量載運成本，一般載運成本以一乘數方式計算，即上述費用乘上 1.1 倍。粗估崩塌治理總計所需之工程總經費約 3.3 億新台幣，並另依照附表計算相關利息攤提等成本，如表 8-10 所示。經相關利息攤提後，總計成本為 3.6 億左右。

**表8-10 總成本估算表**

河道便道整治經費	單次費用	施工次數	金額
(含受災修葺 3 次)	\$1,150,000	4	\$4,600,000
坡面排水工程經費	-		\$4,140,000
崩塌治理經費(元)	面積	單位治理費用	金額
	(平方公尺)	(元)	
	143,472	\$1,995.00	\$286,226,640
偏遠地區經費加成	-		1.1
環境影響評估	-		\$6,000,000
水土保持計畫	-		\$3,000,000
崩塌治理經費總計			\$333,463,304
年利息	總經費	年利率	金額
	(元)		
	\$333,463,304	6.00%	\$20,007,798
年償債基金	總經費	年償債基金百分率	金額
	(元)	(%)	
	\$333,463,304	0.34%	\$1,133,775
年運轉維護費用 (含年運轉及維護成本)	總經費	年運轉維護費用比率	金額
	(元)	(%)	
	\$333,463,304	3.00%	\$10,003,899
施工年數	-		1
總成本			\$364,608,777

### (3) 治理工程效益計算

因 60 林班地為崩塌性質，因此僅考量該處整治包含崩塌地防砂效益、崩塌地植生復育水源涵養效益、綠覆率效益(固碳)、間接效益等部分進行效益計算。

治理崩塌地所能帶來的效益方面，總價值約為 4,150 萬，各項目效益計算結果如表 8-11。效益計算分成三個面向—防砂效益、崩塌地植生復育水源涵養效益、綠覆率效益(固碳)，防砂效益以平均深度 0.92 公尺計算，可產生 3,300 萬元之經濟效益；崩塌地植生復育水源涵養效益如前文所述採型框植生護坡方式，每一單位型框之長度與寬度皆為 1.3 公尺，而植生部分之長度與寬度為 1 公尺，故治理崩塌地所能產生之植生面積約為 5.65 公頃，水源涵養效益為 27 萬 5 千元；綠覆率效益同樣以植生面積約為 5.65 公頃計算，可產生之效益約為 129 萬元。

表8-11 總效益估算表

防砂效益	崩塌治理面積 (平方公尺)	平均崩塌深度 (公尺)	單價 (元/立方公尺)		金額
	143,472	0.92	\$250		\$32,998,560
崩塌地植生復育 水源涵養效益	崩塌植生面積 (公頃)	水資源價格 (元/立方公尺)	平均貯水量 (立方公尺/公頃)		金額
	8.48	\$9	3600		\$274,752
綠覆率效益 (固碳)	減 CO2 量 (公噸/公頃/年)	增加綠覆面積 (公頃)	時間 (年)	CO2 交易價格 (元/公噸)	金額
	131.4	8.48	1	\$1,160	\$1,292,556
間接效益	直接效益總和				金額
	\$34,565,868	20%			\$6,913,144
<b>總效益</b>					<b>\$41,479,012</b>

## 5.東札孔溪崩塌地之治理益本比及治理建議

就現有估算表計算 60 號林班地大崩塌之治理總成本而言，已遠超出可估計之效益，益本比已遠小於 1，如表 8-12 所示，其距離保全對象距離亦甚遠、不具任何立即危險，此外，本治理工程依目前分析結果，東札孔溪崩塌地於蘇迪勒颱風災前災後新增崩塌面積為 0.63 ha，而札孔溪集水區所有新增崩塌地面積共計 14.46 ha，東札孔溪崩塌地於集水區佔比僅有 4.42%；東札孔溪崩塌地於蘇迪勒颱風災前災後新增崩塌體積為 4.08 萬 m<sup>3</sup>，而札孔溪集水區所有新增崩塌地體積為 49.65 萬 m<sup>3</sup>，東札孔溪崩塌地於集水區佔比亦僅有 8.22%。再者，東札孔溪崩塌地所屬之岩層岩性組合為硬頁岩(泥質以外)，所屬地層為水長流層(巴陵層)，現地調查結果，如圖 8-19，顯示當地地層之岩層以硬頁岩與板岩為主，符合 GIS 圖資套疊成果。東札孔溪崩塌地如此之岩性(易造成濁度飆升之黏土、粉砂比例較低)，相對其他崩塌地以硬頁岩(含泥質)為主之岩性，其所產生之崩塌土砂對於溪水濁度之影響較輕微。綜合上述兩點，(1) 東札孔溪崩塌地於蘇迪勒颱風之新增崩塌體積僅佔札孔溪集水區之 8.22%；(2)東札孔溪崩塌地所生產土砂之岩性，對濁度上升影響較輕微，即使對 60 林班地大崩塌施以工程手段治理，對於濁度改善並無明顯效果，加上(3)距離人身財產等保全對象甚遠且目前並無擴大發生之現象，此外(4)治理工程需開設便道(便道約長 1 公里，面積大於 4 公頃)影響生態環境且擾動土砂、(5)工程經費投入之益本比僅為 0.12，(6)60 林班地大崩塌自 104 年汛前到 105 汛後，裸露面積由 12.012ha 減小至 11.215ha，可見有相當之復原能力。故應以自然復育為優先，並可持續監測之後復原情形。因此東札孔溪崩塌地並不具備相關防災之理由必須實施治理，本計畫建議採自然復育方式，避免投注治理工程及經費。

表8-12 東札孔溪崩塌地治理益本比

總效益	\$41,479,012
總成本	\$354,768,177
益本比	0.12



圖8-19 60 林班地大崩塌現勘照片

## (二)桶后林道3.5K崩塌地

### 1.崩塌地概述：

崩塌地位於桶后林道 3.5K 處，距離烏來老街約為 8.4 公里(公路距離)如圖 8-20，崩塌地同時包括林道之上邊坡與下邊坡，依據本計劃 UAV 調查成果，崩塌地面積約為 1.2ha，崩塌形貌如圖 8-21。地層屬於大桶山層，岩性以灰黑色硬頁岩為主，常夾薄層泥質細砂岩或粉砂岩。

### 2.治理規劃。

原林道部分取土回填，鋪設 PC 路面，並設置排水溝，幫

助道路排水改善。下邊坡之頂部施作 RC 擋土牆並搭配鋼軌樁，中段以下進行坡面排水，同時施作掛網噴植。坡腳部分位於河水攻擊岸，故建造護岸防止坡腳遭截切引致再次崩塌。如圖 8-22、圖 8-23。

### 3.工程本益評估

參考前結工法圖說與單價計算，以及「105 年度新北市天然災害緊急搶修復建工程及農業工程(第八區)」等單價資料，結合本場址工程規劃計算工程成本約 7,557,639 元（表 8-13）、總工程收益為 2,981,789 元（表 8-14）。其中觀光經濟活動應因有不確定性暫不計入。近年臺灣旅客平均休閒遊憩平均支出約每人每日 1400 元，而再蘇迪勒颱風前年，向新竹林管處申請進入桶後林道之車次達 16 萬輛，意即桶後林道一年的觀光效益達 224 萬元，以及連帶間接效益 50 萬元。以此估算，桶後林道整治仍有適當的本益比例。

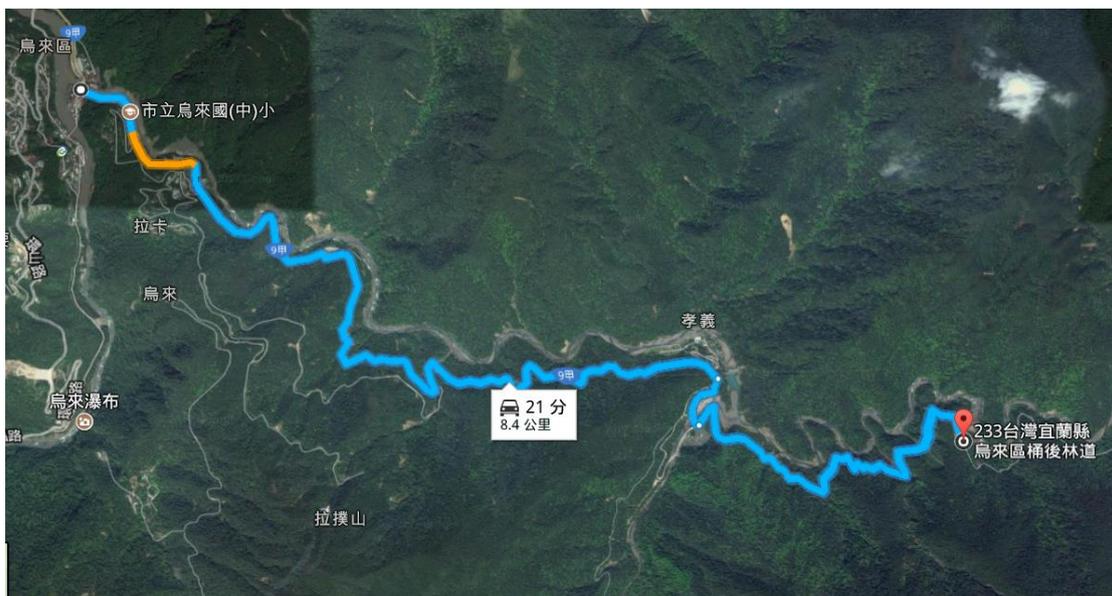


圖8-20 桶后林道 3.5K 崩塌地位置



圖8-21 桶后林道 3.5K 崩塌地形貌

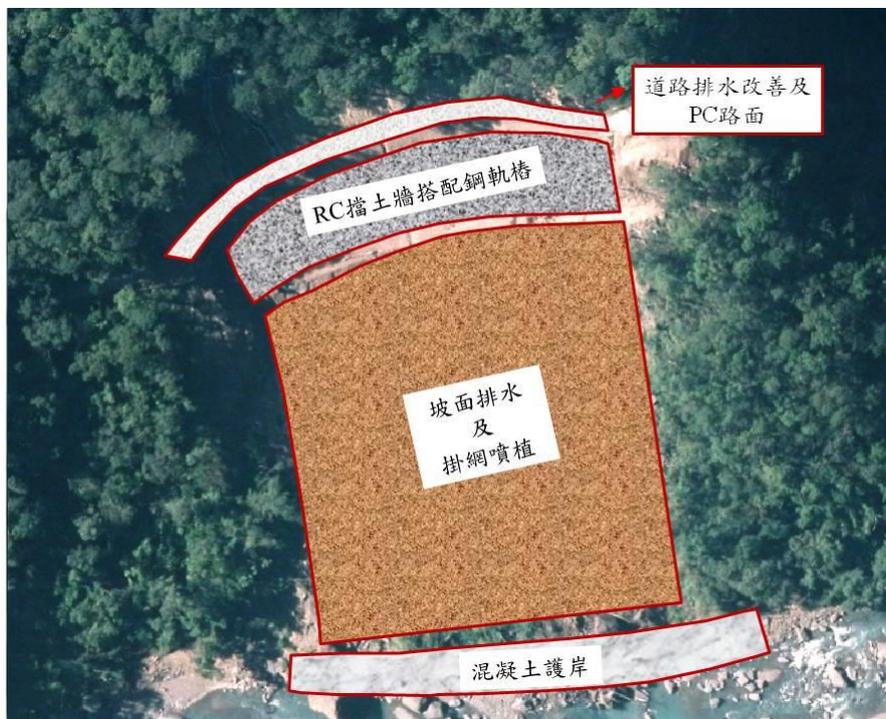


圖8-22 桶后林道 3.5K 崩塌地治理初步規劃

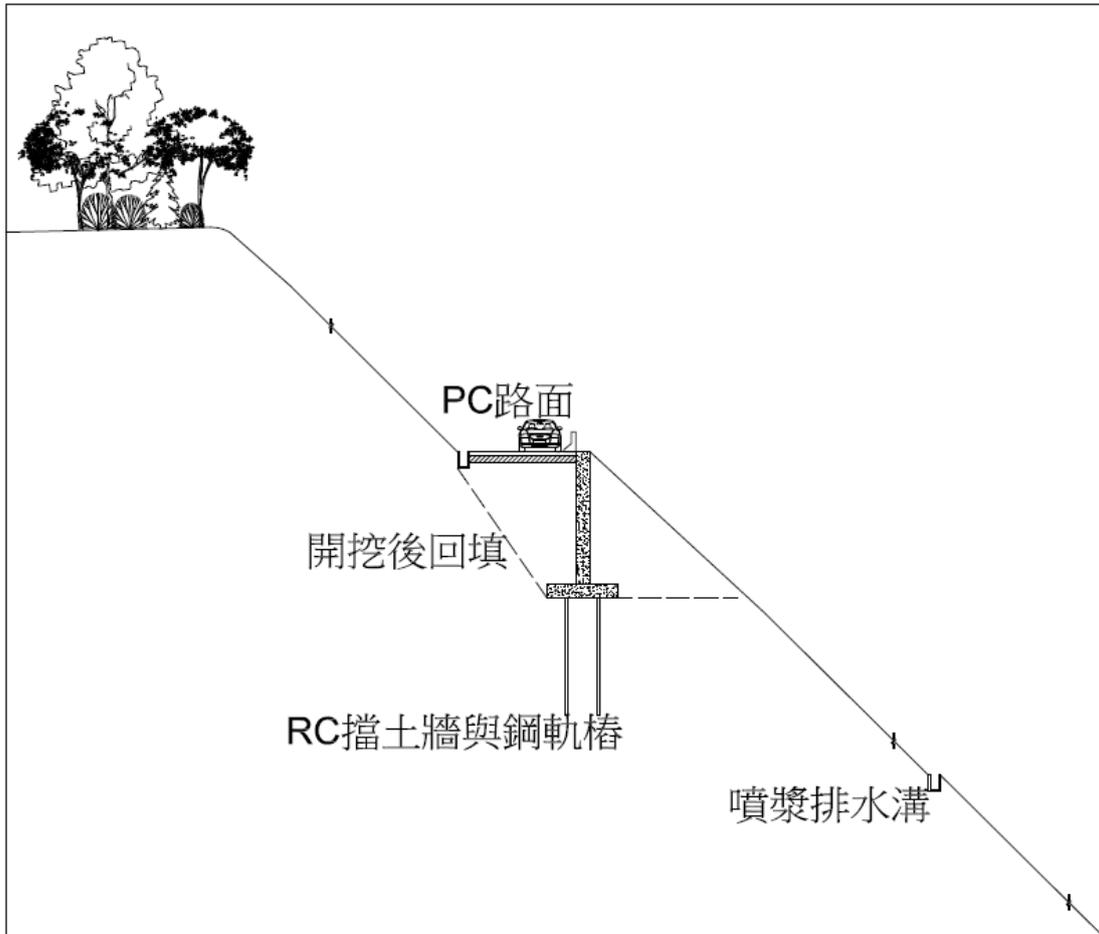


圖8-23 桶后林道 3.5K 崩塌地道路與坡面治理初步規劃示意圖

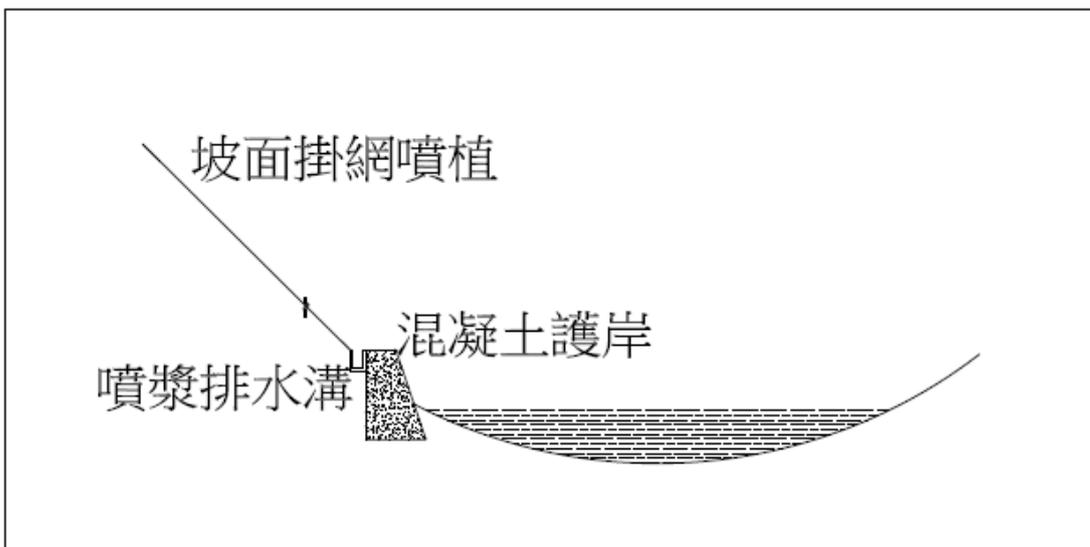


圖8-24 桶后林道 3.5K 崩塌地坡趾護岸治理初步規劃示意圖

表8-13 桶後林道 3.5K 崩塌地治理成本

	單次費用	施工次數	金額
河道便道整治	既有道路	0	-
坡面排水工程	噴漿溝 \$700/m*300m		\$210,000
崩塌治理經費 (元)	面積	單位治理費用	金額
	(平方公尺)	(元)	
	約 10,000	\$1,085	\$10,850,000
護岸	100m 長 (3 米高)	\$9,500	950,000
擋土牆	100m 長 (5 米高)	\$23,000	2,300,000
鋼軌樁	18ton	\$18,033	3,245,94
偏遠地區加成			1.1
環境影響評估			-
水土保持計畫			1,000,000
崩塌治理經費總計			\$6,912,053
年利息	總經費	年利率	金額
	(元)		
	\$6,912,053	6.00%	\$414,723
年償債基金	總經費	年償債基金百分率	金額
	(元)	(%)	
	\$6,912,053	0.34%	\$23,501
年運轉維護費 (含年運轉及維 護成本)	總經費	年運轉維護費用比率	金額
	(元)	(%)	
	\$6,912,053	\$566,012	\$207,362
施工年數			1
總成本			\$7,557,639

表8-14 桶後林道 3.5K 崩塌地治理效益

防砂效益	崩塌治理面積 (平方公尺)	平均崩塌深度 (公尺)	單價 (元/立方公尺)		金額
	~10,000	0.92	\$250		\$2,300,000
植生復育 水源涵 養效益	崩塌植生面積 (公頃)	水資源價格 (元/立方公尺)	平均貯水量 (立方公尺/公頃)		金額
	1	\$9	3600		\$32,400
綠覆率效 益(固碳)	減 CO2 量 (公噸/公頃/年)	增加綠覆面積 (公頃)	時間 (年)	CO2 交易 價格 (元/公噸)	金額
	131.4	1	1	\$1,160	\$152,424
間接效益	直接效益總和				金額
	\$2,484,824	20%			\$496,965
<b>總效益</b>					<b>\$2,981,789</b>

註：未計觀光效益

# 結論與建議

## 一、結論

### (一)崩塌地目錄建置成果與崩塌地特性探討

南勢溪集水區面積為 35,678 ha，集水區內國有林地面積為 31,544 ha，非國有林地面積為 4,134 ha，國有林地面積與非國有林地面積比約為 8:1。蘇迪勒颱風事件時國有林地之崩塌地面積為 179.26ha、崩塌體積為 287 萬 m<sup>3</sup>，非國有林之崩塌面積 45.15ha，崩塌體積為 74 萬 m<sup>3</sup>，即國有林地崩塌體積與非國有林地崩塌面積與體積比均約為 4:1。整理將各子集水區之崩塌地布(圖 3-5 等)，發現五重溪集水區、樟樹溪集水區、桶后溪集水區以及南勢溪主流集水區等四個子集水區，其非國有林地之單位面積崩塌量皆較國有林地為大，其中南勢溪主流集水區非國有林地崩塌體積佔所有崩塌體積之 1/6 強，此結果顯示南勢溪集水區內之崩塌土砂生產量，並非全由國有林地所貢獻。事實上，就整個南勢溪集水區而言，非國有林地單位面積崩塌量為 0.018(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)而國有林為 0.009(m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)，南勢溪中國有林地之單位面積崩塌量僅僅只有非國有林地單位面積崩塌量之一半而已(見表 3-8)。北勢溪下游與新店河流域國有林地崩塌量體並不顯著，非國有林地崩塌率也較南勢溪區域低。

為了解崩塌地在各種地貌上之有無特性差異，統計天然林地、人工林地、草生地、農耕地等四類地況之平均崩塌面積。人工林地與天然林地產生之崩塌大小平均為 88 平方公尺、草生地平均約為 230 平方公尺、農地約為 338 平方公尺。可見地表狀態確有明顯之影響。故國有林地整體土砂保持性較非國有林地好，恢復力也旺盛，104~105 平均復育約 20%左右之舊有崩塌地。

透過研究蘇迪勒颱風事件新增之崩塌地體積前 100 大者，了解崩塌地分佈與程因之特性。總計 100 處崩塌體積為 252 萬 m<sup>3</sup>，佔全部新增崩塌體積之 7 成。前 100 大崩塌地之岩性統計如表 7-

11，崩塌地發生於硬頁岩(含泥質)岩層者約佔前 100 大崩塌體積之 83%；發生於硬頁岩(泥質以外)岩層之崩塌體積為約佔前 100 大崩塌體積之 16%，兩者佔比合計將近 99%，此類岩性由於組成中含有較高比例之黏土(如前文第二章所述，黏土與粉砂為造成濁度上升之主要因子)，因此容易導致濁度飆升。南勢溪集水區大部分之崩塌地發生於此類岩層，為溪水濁度飆升之原因。

## (二)蘇迪勒颱風後重點崩塌地變化歷程追蹤

蘇迪勒颱風後 100 處重點崩塌地(面積 0.3 公頃以上且位在國有林範圍)中，共計有 77 處為完全新增崩塌，主要分布在桶後溪、阿玉溪、加九寮溪、哈盆溪與札孔溪；20 處為舊崩塌地擴大，主要分布在阿玉溪與札孔溪；3 處為復育地，分布在札孔溪(2 處)，阿玉溪(1 處)。

至 105 年汛期前，重點崩塌地計有 34 處舊崩塌地擴大，主要分布在桶後溪、阿玉溪、加九寮溪與札孔溪；60 處為復育地，主要分布在桶後溪與阿玉溪；6 處維持不變。

105 年汛期前後期重點崩塌地計有 3 處為完全新增崩塌，2 處位處桶後溪，1 處位處札孔溪；15 處為舊崩塌地擴大，主要位於桶後溪與札孔溪；70 處為維持不變或變動微小情形，約略平均分布在桶後溪、阿玉溪、哈盆溪、札孔溪與加九寮溪。

另透過空拍機追蹤 12 處重點崩塌地，舊有崩塌受降雨影響新增或擴大幅度減緩，崩塌復育增加，可知蘇迪勒颱風對南勢溪誘發新增崩塌地影響甚巨。

## (三)蘇迪勒颱風後南勢溪河道變遷

比對蘇迪勒颱風前後期影像，進行河道變遷差異分析，歸納結果共有 7 處較大變遷區域，此一變遷區域與前述新增崩塌地熱區一致。茲就河道判釋結果歸納分述如下：

### 1. 福山水文站上游基岩河道堆積變遷

由正射航照與現地勘查可知，福山水文站上游三條支流(哈盆溪、札孔溪、大羅蘭溪)多為基岩河道，本處列舉札孔溪、哈盆溪基岩河道照片如圖 5-3 所示。航照判釋結果顯示，河道變化皆是河道堆積土砂或河床抬升造成行水區範圍增加情況，歸納結果如圖 5-2(c)，此一變遷區域以(1)札孔溪河道彎道區域、(2)三支流匯流口及(3)哈盆溪環流丘變動最為劇烈。

### 2. 福山水文站至桶後溪匯流口

由正射航照與現地勘查可知，福山水文站至桶後溪匯流口多為基岩與堆積物混合河道，航照判釋結果顯示，福山水文站至桶後溪匯流口河段，在南勢溪主河道有部分河道側蝕下刷情況，歸納結果如圖 5-2(c)，此一變遷區域在(1)內洞溪、烏紗溪與樟樹溪三支流匯流主河道、(2)桶後溪河道彎道區域及(3)桶後溪匯入南勢溪主流匯流口。

### 3. 桶後溪匯流口至平廣溪匯流口

由正射航照與現地勘查可知，桶後溪匯流口至平廣溪匯流口多為基岩與堆積混合河道。航照判釋結果顯示，此河段在南勢溪主河道彎道區及忠治里崩塌區域前河道側蝕下刷情況明顯。

## (四)濁度主次要地區研判

綜覽本計劃蒐集之歷史資料與現場料，分析各河段濁度特性如下：

桶後溪、阿玉溪集水區：依現場採樣資料，發現在比較強的降雨事件如 105 梅姬颱風事件，阿玉壩濁度與烏來橋相當，而在 106 年降雨事件中，阿玉壩下游採樣普遍呈清澈。可知在小事件中，濁度大部分在阿玉壩下游至烏來橋中間產生，而大降雨事件中，全段流域均產生相當之濁度。

南勢溪上游：依據歷史記錄在 100/10/4 測得福山站濁度 951NTU，覽勝橋站濁度 856NTU，106/10/13 福山站約 3000NTU，覽勝橋站 4000NTU，其他時段（含本計劃現場採樣）福山站濁度均遠較覽勝橋站低。可見在上游地區若雨勢強烈，其濁度與下游段接進、若雨勢小則不產生濁度。

南勢溪中游：比較本計劃現場採樣記錄，在烏來橋、覽勝橋、觀光大橋處濁度反應均相當明顯，105 年記錄各站濁度相當，106 年則烏來橋濁度最低、覽勝橋最高、觀光大橋則混合二者水體，濁度居中。僅 106/06/17 發現烏來橋（800NTU）、觀光大橋（1600NTU）、下龜山橋(500NTU)均有濁度，但阿玉壩、覽勝橋無濁度上升，可能與局部人為工程擾動有關，

南勢溪下游：比對屈尺站濁度記錄，大部分低於覽勝橋濁度，可能受到下游之流量稀釋，濁度略為降低。

整體而言，南勢溪流域各段在大型降雨事件中產生之濁度應約略相當，但小降雨事件時，以南勢溪中游，桶後溪下游段最易產生濁度。

對照本計畫於新店溪 7 處河床植採樣成果（表 6-6），可見在烏砂溪匯流口後、桂山壩、屈尺堰等處之河床質粒徑小於 1mm 之比例偏高。說明在該處僅需要小的降雨或流量就可以帶出大量的懸浮載，可能是小降雨事件時濁度產生的主因。大降雨事件時，由於各子及水區都有大量的坡面土壤沖蝕，帶入河道、隨著流量變大，河道運移能力也變大，在地文條件相當下，各處產出之濁度大略相當。

計畫執行期間受限於安全管制，並無直接取得強降雨事件之完整濁度觀測，但仍嘗試討論蘇迪勒颱風事件崩塌地討論崩塌引致之濁度。經過崩塌體積推算後，雖然上游有一定比例的土砂移出，但因為濁度係與濃度一樣，需要將土砂量與流量合併考量，而流量與集水區面積大小有關，故單位面積崩塌量也會大幅濁度。依本計劃統計，單位面積崩塌量，並非上游最高，仍然是以烏砂

溪等中游地區最高(烏砂溪高達5倍)。此外，再上游地區母岩所含泥砂量比中游地區少，意味著同樣的土砂量，上游土砂因粒料特性引致的濁度會較低。此外依土砂來源量體比例而言，烏砂溪、桶後溪、阿玉溪才有崩塌佔比偏高之情形，故推論上游雖有崩塌量體產生，但引起之濁度，並不一定以上游段最為嚴重。

就本計畫觀測與分析，整體而言，南勢河流域各段在小降雨事件時，以南勢溪中游，桶後溪下游段最易產生濁度。大型降雨事件中產生之濁度應約略相當。

### (五)濁度來源分析

依本計畫執行期觀測結果，建立福山站至觀光大橋站等共5站之濁度濃度關係式，並與覽勝橋94~104年歷史記錄比對，建議更新覽勝橋之關係式。各站濁度濃度關係式如表7-3。

泥砂來源貢獻統計成果如表7-10。各子集水區崩塌土砂流失量與土壤沖蝕量之佔比不盡相同，大部分子集水區兩土砂來源皆有一定程度之貢獻，僅烏砂溪、阿玉溪、桶后溪之崩塌土砂流失量大於土壤沖蝕量。

土壤沖蝕量在USLE分析模式下大部分區域均相同，但在人為開發區與農耕區較高；崩塌土砂量則明顯受到坡向與風向影響，集中在東面坡地，且發現蘇迪勒颱風新增崩塌地布主要發生於南勢溪集水區上游乾溝層與大桶山層硬頁岩分布區，其中又以硬頁岩中含泥質砂岩者為多，經本計畫研究後發現硬頁岩所發生之崩塌地，平均崩塌深度約為當地砂岩、安山岩區之2倍，是相對容易崩塌之地質。從地層岩性上可解讀崩塌型態以坡面之風化材料沿崩積層與泥質砂岩交界面之崩滑行為為主，結果與魏倫璋等人(104年)現地調查歸納結果一致。此為本區土砂料源之特性。

### (六)濁度成因分析

濁度主要肇因於黏土(泥質)、粉砂這類細顆粒在水中造成光線散射，若是泥砂來源以細顆粒為主，較容易造成濁度上升，若是以粗顆粒，例如：砂岩、礫石等，則較不易造成濁度上升，因此了解泥砂來源的岩性相當重要。採計蘇迪勒颱風造成之前 100 大新增崩塌地統計結果如表 7-11。統計結果顯示，83.05%之新增崩塌地發生於岩性組合為「硬頁岩(含泥質)」之區域，15.85%之新增崩塌地發生於岩性組合為「硬頁岩(含泥質以外)」之區域，也就是有 98.9%之新增崩塌地發生於基岩為「硬頁岩」之岩層，其餘之 1%餘完全新增崩塌地僅為 2 塊崩塌地造成，分別為「砂岩為主」以及「頁、砂岩組合」岩性。根據統計結果，泥砂多源自以硬頁岩為主之岩層，其中尤以夾含泥質粉砂岩之岩層為多，因此這類型岩層所產生之泥砂對於濁度上升有相當程度之影響，當泥砂主要以此為來源時，濁度便容易快速上升。

另外要關注的是造成土壤沖蝕或崩塌的驅動成因，USLE 土壤沖蝕模式推估之土壤沖蝕量大約與各事件降雨量成低冪次關係（降雨沖時指數 R 由 0.119 漸增至 0.283），故一般降雨事件仍可觀察到濁度變化。而崩塌地則需要一定強度的降雨或累積雨量才會大量引發，依據歷史事件觀察其門檻約為 3hr 降雨達 160mm；6hr 降雨達 260mm；24hr 降雨達 750mm 以上，則誘發大量崩塌。

### (七)降雨濁度預測模式

本案蒐集 103~106 年之福山、桶后、屈尺等 19 測站雨量資料以及福山、覽勝橋、屈尺三站之時水位資料做為模式建置基礎。流量觀測資料以時水位搭配水位流量率定曲線計算得到，觀測輸砂量資料亦同樣由流量—輸砂量率定公式推算。三水位站僅覽勝橋建有水位流量率定曲線，又覽勝橋站在蘇迪勒颱風河床淤積，導致河道改變，前後期率定公式不一至，故以覽勝橋站 104 蘇迪勒颱風後之紀錄量做為率定與驗證之標準。擇定 104 年杜鵑颱風

率定模式，成果如圖 8-6，水位轉換流量約 1700cms，模擬流量 1800cms。流量轉換輸砂量峰值約為 55ton/s，模擬輸砂量峰值約 60ton/s。

再以蘇迪勒颱風（圖 8-7）與 106/06/02 豪雨（圖 8-8）驗證。蘇迪勒颱風之觀側水位中斷，但仍反映上升段，也可見於 106/06/02 豪雨時流量模擬仍有效。蘇迪勒颱風輸砂模擬約 85ton/s，換算濃度則超過 35,000ppm，推估濁度再 30,000NTU 以上，與下游直潭淨水場超過 30,000 度叻和，106/06/02 之濃度（輸砂量）模擬則偏低，受限於模式主要以大事件逕行率定，對小事件失真。受限於蘇迪勒颱風後，河道可能淤積又屢有清淤變化，以目前事件資料建立之模式，雖有待後續觀測與校正，但仍可大至預測濁度反應。

#### (八)濁度改善於治工法上之評估

60 號林班地大崩塌於蘇迪勒颱風災前災後新增崩塌面積為 0.63 ha，然而(1)東札孔溪崩塌地於蘇迪勒颱風之新增崩塌體積僅佔札孔溪集水區之 8.22%；(2)東札孔溪崩塌地所生產土砂之岩性，對濁度上升影響較輕微，即使對 60 林班地大崩塌施以工程手段治理，對於濁度改善並無明顯效果。加上(3)距離人身財產等保全對象甚遠且目前並無擴大發生之現象，此外(4)治理工程需開設便道影響生態環境且擾動土砂、(5)工程經費投入之益本比僅為 0.12，(6)60 林班地大崩塌自 104 年汛前到 105 汛後，裸露面積由 12.012ha 減小至 11.215ha，可見有相當之復原能力。故應以自然復育為優先，並可持續監測之後復原情形。

桶后林道崩塌地之治理，在恢復原有交通功能與避免再次崩塌之考量下，建議原林道部分取土回填，鋪設 PC 路面，並設置排水溝，幫助道路排水改善，避免雨水滲入路基與下邊坡土壤。下邊坡之頂部施作 RC 擋土牆並搭配鋼軌樁，中段以下進行坡面

排水，同時施作掛網噴植，減少雨水入滲雨土壤流失。此外坡腳部分位於河水攻擊岸，故建造護岸防止坡腳遭沖毀引致再次崩塌。

### (九)小結

- 1.南勢溪集水區國有林地面積與非國有林地面積比約為8:1。國有林地崩塌體積與非國有林地崩塌體積比僅為4:1，國有林地單位面積之土砂生產量僅為非國有林地之50%。又發現林地平均崩塌面積僅為草地平均崩塌面積之1/3，故國有林土砂保持能力遠高於其他用地。104~105平均復育崩塌面積之20%
- 2.大部分子集水區崩塌土砂與土壤沖蝕兩土砂來源皆有一定程度之貢獻，僅烏砂溪、阿玉溪、桶后溪之崩塌土砂流失量大於土壤沖蝕量；新店溪之土壤沖蝕量大於崩塌土砂流失量。
- 3.崩塌地83%發生在硬頁岩(含泥質)之岩層，此岩層從地層岩性上可解讀崩塌型態以坡面之風化材料沿崩積層與泥質砂岩界面之崩滑行為為主，結果與魏倫璋等人(104年)現地調查歸納結果一致，又風化之碎片容易釋出細粒泥沙，也成為溪水濁度大幅上升之原因。
- 4.南勢溪上游之濁度於小降雨時較中、下游低，泥砂最易於中游產生，往外運移，系因烏砂溪匯流口附近土壤礫料相對細小，容意懸浮與運移產生濁度。下游因流速變化，河床亦多有泥沙沉澱，因此下游河道偶有濁度提前升高之現象。
- 5.大降雨時，各區均有大量的坡面土壤沖蝕進入河道，並伴隨崩塌土砂，使濁度大幅升高。但南勢溪上游崩塌土砂量大是由於集水面積最大，並非單位面積流失體積最高之區域，單面積流失體積最高之區域為中游烏砂溪等處；又因目前尚無直接採樣證據證明南勢溪上游濁度最高，故依本計畫觀測認為，大降雨時，全段濁度應約略一致。
- 6.颱風事件降雨為造成濁度上升之主因，最大3小時降雨與濁度

上升關係顯著，降雨中心位置亦影響濁度高低。

7.林務局於104年蘇迪勒颱風後，於南勢溪共執行24件工程，地點散佈於南勢溪中游與桶后溪下游，與本計畫觀測、分析之濁度好發地區吻合。預計可有效防砂123萬立方公尺。另亦植樹保林27處，降低未來災害風險。

## 二、建議

- (一)東札孔溪60林班地大崩塌於集水區佔比為8.22%，此崩塌所屬之岩層岩性組合為硬頁岩(泥質以外)，崩塌生產之土砂對濁度上升影響較輕微，工程治理所能改善濁度問題相當有限，且依據各期影像判釋，崩塌地俱自然回復能力，故建議採自然復育。
- (二)桶后林道3.5K崩塌地之治理，建議原林道部分取土回填，鋪設PC路面，並設置排水溝，幫助道路排水改善。下邊坡之頂部施作RC擋土牆並搭配鋼軌樁，中段以下進行坡面排水，同時施作掛網噴植。坡腳部分位於河水攻擊岸，故建造護岸防止坡腳遭截切引致再次崩塌。
- (三)南勢溪上游地區，在颱風或大豪雨事件時，觀測資料並不足，且亦受新北市政府管制，人員無法進入。故建議架設自動監測儀器，以取得更完整資料。

## 參考文獻

1. Barbour J. R., Stark C. P., Lin C.-W., Chen H., Horng M.-J., Ko C.-P. Yi, T.-C., Tsai T.-T., Chang W.-S., Lee S.-P., and Huang C., 2009, Magnitude-frequency distributions of boundary shear stress along a rapidly eroding bedrock river. *Geophysical Research Letters*, VOL. 36, L04401
2. Casadei M, Dietrich WE, Miller NL. 2003. Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms* 28 : 925-950.
3. Chang KT, Chiang SH. 2009. An integrated model for predicting rainfall-induced landslides. *Geomorphology* 105 : 366-373.
4. Chang, K., Chiang, S., 2009, An integrated model for predicting rainfall-induced landslides, *Geomorphology*, Vol. 105, Issue 3, pp. 366-373.
5. Chang, K., Chiang, S., Hsu, M., 2007, Modeling typhoon- and earthquake-induced landslides in a mountainous watershed using logistic regression, *Geomorphology*, Vol. 89, Issue 3, pp. 335-347.
6. Chen CK, Hsiao CY and Lin BS. 2013. Combination with Multi-scale Remote Sensing and Spatial Data Warehouse Technology for Immediately Evaluating Sediment Disaster of the Typhoons Event in the Reservoir Watershed, ASPRS 2013 Annual Conference, 24~28, March, Baltimore Marriott Waterfront Hotel, Baltimore, Maryland USA.
7. Chen, YC. Chiu, YJ Wu, YH. Lee, HY. Shen, CW. (2012) Combination of landslide volumes estimation and debris flow simulation in the Xinkai village, southern Taiwan. *EGU General Assembly 2012*. Vol. 14, EGU2012-4043, Wien.
8. Chen, YC., Chang, KT., Chiu, YJ, Lau, SM., Lee, HY. (2013) Quantifying rainfall controls on catchment-scale landslide erosion in Taiwan, *Earth Surface Processes and Landforms* 38 : 372-382.
9. Chiang SH, Chang KT, Mondini AC, Tsai BW, Chen CY. 2011. Simulation of event-based landslides and debris flows at watershed. *Geomorphology* 138 : 306-318.
10. Chiang SH, Chang KT. 2009. Application of radar data to modeling rainfall-induced landslides. *Geomorphology* 103 : 299-309.
11. Chun-Kai Chen, Cheng-Yang Hsiao, Bor-Shiun Lin, Wai-Yi Leung, Chin-Tung Cheng, Wei-Che Chang(2012), Multi-scale remote sensing technology for the catchment area of sediment disaster assessment, 2012 International Conference on Earth Science and Remote Sensing (ESRS 2012)
12. Dadson SJ, Hovius N, Chen H, Dade WB, Hsieh ML, Willett SD, Hu JC, Horng MJ, Chen MC, Stark CP, Lague D, Lin JC. 2003. Links between erosion, runoff

- variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature* 426(6967): 648-651.
13. Dadson SJ, Hovius N, Chen H, Dade WB, Hsieh ML, Willett SD, Hu JC, Horng MJ, Chen MC, Stark CP, Lague D, Lin JC. 2003. Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen. *Nature* 426(6967): 648-651.
  14. Dadson SJ, Hovius N, Chen H, Dade WB, Lin JC, Hsu ML, Lin CW, Horng MJ, Chen TC, Milliman J, Stark CP. 2004. Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt. *Geology* 32(8): 733-736.
  15. De Bruijn, K.M. & Klijn, F. , 2009, “ Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods”, *Journal of Flood Risk Management* 2 (2009) 58-67
  16. Dietrich WE, Reiss R, Hsu ML, Montgomery DR. 1995. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Processes* 9 : 383-400.
  17. Fuller CW, Willett SD, Hovius N, Slingerland R. 2003. Erosion rates for Taiwan mountain basins: New determinations from suspended sediment records and a stochastic model of their temporal variation. *The Journal of Geology* 111(1): 71-87.
  18. Guthrie RH, Evans SG. 2004. Analysis of landslide frequencies and characteristics in a natural system, coastal British Columbia. *Earth Surface Processes and Landforms* 29 : 1321-1339.
  19. Guzzetti F, Ardizzone F, Cardinali M, Galli M, Reichenbach P. 2008. Distribution of landslides in the Upper Tiber River basin, Central Italy. *Geomorphology* 96 : 105-122.
  20. Guzzetti F, Ardizzone F, Cardinali M, Rossi M, Valigi D. 2009. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters* 279 : 222-229. DOI: 10.1016/j.epsl.2009.01.005
  21. Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, Reichenbach P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31(1-4) : 181-216.
  22. Guzzetti F, Manunta M, Ardizzone F, Pepe A, Cardinali M, Zeni G, Reichenbach P, Lanari R. 2009. Analysis of ground deformation detected using the SBASS-DInSAR technique in Umbria, Central Italy. *Pure and Applied Geophysics* 166.
  23. Haflidason H, Lien R, Sejrup HP, Forsberg CF, Bryn P. 2005. The dating and morphometry of the Storrega Slide. *Marine and Petroleum Geology* 22 : 187-194.
  24. Hovius N, Meunier P, Lin CW, Chen H, Chen YG, Dadson S, Horng MJ, Lines M. 2011. Prolonged seismically induced erosion and the mass balance of a large earthquake. *Earth and Planetary Science Letters* 304(3-4): 347-355.
  25. Hovius N, Stark CP, Allen PA. 1997. Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping. *Geology* 25 : 231-234.

26. Hovius N, Stark CP, Chu HT, Lin JC. 2000. Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt: Central Range, Taiwan. *The Journal of Geology* 108(1): 73-89.
27. Hsiao CY, Hsieh PS, and Chi SY. 2013. Assessing Volume Earthwork by Using Unconventional Photogrammetry, *Landslide Science and Practice, Volume 2: Early Warning, Instrumentation and Monitoring, Part I*, pp. 49-56(Book - ISBN:978-3-642-31444-5)
28. Hsiao, C. Y., Lin, B. S, Chen C. K., and Chang, D. W(2014), Application of airborne LiDAR technology in analyzing sediment-related disasters and effectiveness of conservation management in Shihmen Watershed, *Journal of GeoEngineering*, Vol. 9, No. 2, August, pp. 55-73 (EI 收錄)
29. Huang, J. C., Kao, S. J., 2006, Optimal estimator for assessing landslide model efficiency. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions Discussions*, Vol. 3, Issue 3, pp. 1125-1144.
30. Hung JJ, Lee CT, Lin ML, 2002. Tsao-Ling rockslides, Taiwan, catastrophic landslides: effects, occurrence, and mechanisms. *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology* 15 : 91-115.
31. Hung JJ. 2000. Chi-Chi earthquake induced landslide in Taiwan. *Earthquake Engineering and Engineering Seismology* 2(2) : 25-33.
32. Hunt B. 1994. Newtonian fluid mechanics treatment of debris flow and avalanches. *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*. 120 : 1350-1363.
33. Ikeya, H., 1981, "A Method for Designation for Areas in Danger of Debris Flow, In: *Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands*", IAHS Spec. Publ. 132: 576-588.
34. Imaizumi F, Sidle RC, Kamei R. 2008. Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Earth Surface Processes and Landforms* 33 : 827-840. doi:10.1002/esp.1574.
35. Imaizumi F, Sidle RC. 2007. Linkage of sediment supply and transport processes in Miyagawa Dam catchment, Japan. *Journal Geophysical Research* 112 (F03012). doi:10.1029/2006JF000495.
36. Innes JN. 1983. Lichenometric dating of debris-flow deposits in the Scottish Highlands. *Earth Surface Processes and Landforms* 8 : 579-588.
37. Iverson, R. M., 2000, Landslide triggering by rain infiltration, *Water Resour. Res.*, Vol. 36, Issue 7, pp. 1897-1910.
38. Iverson, R. M., Reid, M. E., LaHusen, R. G., 1997, Debris flow mobilization from landslides, *Annual Review of Earth Planet Sciences*, Vol. 25, pp. 85-135.
39. Jackson, J. A. (1997) *Glossary of geology*, 4th ed., American Geological Institute, 769p.

40. John Peter Wilson, John C. Gallant(2000), "Terrain Analysis: Principles and Applications", John Wiley & Sons, PP479.
41. Julien PY, Lan Y. 1991. Rheology of Hyperconcentrations. *Journal of Hydrological Engineering* 117 : 346-353.
42. Kao S, Lee T, Milliman JD. 2005. Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 16(3): 653.
43. Korup O. 2005. Distribution of landslides in southwest New Zealand. *Landslides* 2 : 43-51.
44. Kron, W., 2003, " Flood risk= hazard x exposure x vulnerability", *Journal of Lake Sciences*, 15, 185-204.
45. Larsen IJ, Montgomery DR, Korup O. 2010. Landslide erosion controlled by hillslope material. *Nature Geoscience* 3 : 247-251. DOI: 10.1038/NGEO776
46. Larsen MC, Torres Sanchez AJ. 1998. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. *Geomorphology* 24 : 309-331.
47. Lin GW, Chen H, Hovius N, Horng MJ, Dadson S, Meunier P, Lines M. 2008. Effects of earthquake and cyclone sequencing on landsliding and fluvial sediment transfer in a mountain catchment. *Earth Surface Processes and Landforms* 33(9): 1354-1373.
48. Lorente A, Beguería S, Bathurst JC, García-Ruiz JM. 2003. Debris flow characteristics and relationships in the Central Spanish Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3 : 683 - 691.
49. Malamud BD, Turcotte DL, Guzzetti F, Reichenbach P., 2004, Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 29(6), pp. 687-711.
50. Martin Y, Rood K, Schwab JW, Church M. 2002. Sediment transfer by shallow landsliding in the Queen Charlotte Islands, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences* 39 : 189-205.
51. Menard, Scott. 2002. *Applied Logistic Regression Analysis*. Thousand Oaks, CA:Sage.
52. Montgomery DR, Dietrich WE. 1994. A physically based model for topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research* 30 : 1153-1171.
53. Montgomery, D. R., Dietrich, W. E., 1994, A physically based model for the topographic control on shallow landsliding, *Water Resources Research*, Vol. 30, Issue 4, pp. 1153-1171.
54. Montgomery, D. R., Schmidt, K. M., Dietrich, W. E., 2009, Instrumental record of debris flow initiation during natural rainfall: Implications for modeling slope

- stability, *Journal of Geophysical Research- Earth Surface*, Vol. 114, Article number: F01031.
55. O'Brien JS, Julien PY, Fullerton WT. 1993. Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *Journal of Hydraulic Engineering* 119 : 244-259.
  56. O'Laughlin EM. 1986. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resource Research* 22 : 794-804.
  57. Parker RN, Densmore AL, Rosser NJ, de Michele M, Li Y, Huang R, Whadcoat S, Petley DN. 2011. Mass wasting triggered by the 2008 Wenchuan earthquake is greater than orogenic growth. *Nature Geoscience* 4 : 449-452.
  58. Rice RM, Corbett ES, Bailey RG, 1969. Soil slips related to vegetation, topography, and soil in Southern California. *Water Resources Research* 5 : 647-659.
  59. Rice RM, Foggin III GT, 1971. Effects of high intensity storms on soil slippage on mountainous watersheds in Southern California. *Water Resources Research* 7 : 1485-1496.
  60. Rickenmann D. 1999. Empirical relationships for debris flows. *Natural Hazards* 19 : 47-77.
  61. Scheidegger AE. 1973. On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. *Rock Mechanics* 5 : 231-236.
  62. Selby, M.J. (1985). *Earth's changing surface: an introduction to geomorphology*, Oxford University Press.
  63. Stark CP, Barbour JR, Hayakawa YS, Hattanji T, Hovius N, Chen H, Lin C-W, Horng M-J, Xu K-Q, Fukahata Y. (2010). The Climatic Signature of Incised River Meanders, *Science*, Vol.327, No. 5972, pp.1497-1501.
  64. Tsai MP, Hsu YC, Li HC, Shu HM, Liu KF. 2011. Application of simulation technique on debris flow hazard zone delineation - a case study in the Daniao tribe, Eastern Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11 : 3053-3062.
  65. Tsou CY, Feng ZY, Chigira M. 2011. Catastrophic landslide induced by Typhoon Morakot, Shiaolin, Taiwan. *Geomorphology* 127 : 166-178.
  66. U.S. ten Brink, Geist EL, Andrews BD. 2006. Size distribution of submarine landslides and its implication to tsunami hazard in Puerto Rico. *Geophysical Research Letters* 33 : L11307.
  67. Walling DE. 1977. Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin, *Water Resources Research* 13 (3): 531-538.
  68. Whitehouse IE, 1983. Distribution of large rock avalanche deposits in the Central Southern Alps, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 26 : 271-279.
  69. Wu CT, Hsiao CY, Chen CS. 2013. An Assessment of Errors Using

Unconventional Photogrammetric Measurement Technology-with UAV Photographic Images as an Example, Journal of Applied Science and Engineering, Vol.16, No.2, pp. 105-116.

70. Wu CT, Hsiao CY, Hsieh PS. 2013. Using UAV and VBS-RTK for Rapid Reconstruction of Environmental 3D Elevation Data of the Typhoon Morakot Disaster Area and Disaster Scale Assessment, Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 44 (1): 23-33.
71. Xie M, Esaki T, Zhou G. 2004. GIS-based probabilistic mapping of landslide hazard using a three-dimensional deterministic model. Natural Hazards 33 : 265-282.
72. 內政部建築研究所, 2011, 應用政府環境地質調查資料進行全國坡地建築安全簡易評估與建築管理對策初擬, 內政部建築研究所業務委託計畫報告。
73. 王天佑、蕭震洋(2013), 應用無人載具航拍及非常規攝影量測進行土石流三維地形重構, 中興工程季刊, 第 120 期, 7 月, 第 3 頁至 12 頁。
74. 王晉倫(2010), 泰平溪集水區臨溪崩塌空間分布及土砂量之研究, 中興大學水土保持學系, 博士論文。
75. 王晉倫、蕭國鑫、游明芳、陳大科、劉進金(2005), 空載 LiDAR 資料應用於地形變化偵測, 內政部「辦理 LIDAR 測區之高精度及高解析度數值地形測繪、資料庫見至與應用推廣工作案」成果發表暨應用研討會, 237-246 頁。
76. 行政院農委會水土保持局(2008), 「集水區整體調查規劃參考手冊」。
77. 行政院農委會水土保持局(2009), 「石門水庫集水區高精度地形量測及地形貌變化歷程之研究」, 財團法人中興工程顧問社。
78. 行政院農委會水土保持局(2010), 「石門水庫集水區豪雨誘發土砂災害之變化歷程與機制探討」, 財團法人中興工程顧問社。
79. 行政院農委會水土保持局(2010), 「南投縣神木地區土砂災害機制歷程調查及潛勢評估」, 財團法人中興工程顧問社。
80. 行政院農委會水土保持局(2011), 「石門水庫集水區土砂災害歷程分析」, 財團法人中興工程顧問社。
81. 行政院農委會水土保持局(2011), 「石門水庫集水區土砂歷程調查及災害評估」, 財團法人中興工程顧問社。
82. 行政院農委會水土保持局(2011), 「曾文水庫集水區多元尺度環境調查與保育治理成效評估」, 財團法人中興工程顧問社。
83. 行政院農委會水土保持局(2012), 「石門水庫集水區保育治理後續追蹤與評估」, 財團法人中興工程顧問社。
84. 行政院農委會水土保持局(2012), 「阿里山鄉重點區域土砂運移變異分析」。
85. 行政院農委會水土保持局(2012), 「曾文南化烏山頭水庫集水區環境變異監測及治理成效評估」, 財團法人中興工程顧問社。
86. 行政院農委會水土保持局, 2003, 以降雨因子進行土石流警戒基準值訂定,

九十二年度土石流防災暨監測科技計畫成果彙編。

87. 行政院農委會水土保持局，2008，集水區整體調查規劃參考手冊，行政院農委會水土保持局出版。
88. 行政院農委會林務局 (2004~2014)，「運用衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析計畫」，財團法人成大基金會。
89. 行政院農委會林務局(2012)，「新竹處轄國有林班地上游集水區土砂產量調查與防治成效評估」，臺灣大學。
90. 行政院農委會林務局 (2013)，「國有林莫拉克風災土砂二次災害潛勢影響評估」，臺灣大學水工試驗所。
91. 行政院農委會林務局，2004~2014，運用衛星影像於全島崩塌地判釋與災害分析，行政院農委會林務局託計畫。
92. 行政院農委會林務局，2015，國有林土砂殘留量及二次災害潛勢影響評估計畫，行政院農委會林務局託計畫。
93. 李昶谷，2007，蝕溝沖蝕產砂量推估之研究，國立臺灣大學土木工程學系碩士論文。
94. 林伯勳、蕭震洋、許振崑、冀樹勇(2012)，空載光達高精度掃描技術評估石門水庫集水區整治成效，中興工程季刊，第 114 期，第 23 至 33 頁。
95. 林孟龍、林俊全，2003，颱風對於蘭陽溪上游集水區懸移質生產特性的影響，地理學報，33: 39-53。
96. 林俐玲、蘇煒哲、與蔡義誌，2009，不同土地利用下土壤飽和水力傳導度與粗孔隙之探討，中華水土保持學報，40：195-204。
97. 林務局農林航空測量隊，1980，曾文水庫集水區崩坍地航測調查研究計畫報告，臺灣省曾文水庫管理局。
98. 姜壽浩，2010，多重災害模擬-崩塌誘發及土石流，國立臺灣大學地理環境資源學研究所博士論文
99. 姜壽浩與徐美玲，2006，以局部穩定條件率定之土壤厚度估測模式，地理學報，44: 23-38.
100. 袁承偉，2007，石門水庫集水區的山崩與輸砂量在不同颱風事件中之相對應關係，國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文。
101. 許家銘、陳宏宇，2012，濁口溪流域的地表作用與曲流地形間之相對應關係，中華水土保持學報，第 43 期，第 3 卷，第 227-238 頁。
102. 逢甲大學營建及防災研究中心，2011，南部地區重大土砂災害及堰塞湖緊急調查評估計畫」，行政院農委會水土保持局臺南分局委託計畫。
103. 陳志勤，2007，蝕溝產砂量推估與模式建置之研究，國立臺灣大學土木工程學系碩士論文。
104. 陳毅青，2012，降雨誘發崩塌侵蝕之規模頻率及其控制因子，國立臺灣大學土木工程研究所博士論文。
105. 陳翰霖、張瑞津，2003，曾文水庫對流量和輸沙量的影響，師大地理研究報

- 告，39: 37-53。
106. 黃朝恩，1982，臺灣河川輸沙特性及其地形意義，師大學報，27: 649-679。
  107. 經濟部中央地質調查所(2001~2006)「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地岩體工程特性調查研究」，中興工程顧問公司。
  108. 經濟部中央地質調查所(2001~2006)「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地環境地質災害調查研究」，亞新工程顧問公司。
  109. 經濟部中央地質調查所(2007~2010)「高山聚落地區地質災害基本調查(1/4~4/4)」，亞新工程顧問公司。
  110. 經濟部中央地質調查所(2007~2010)「都會區周緣坡地山崩潛勢評估(1/4~4/4)」，財團法人中興工程顧問社。
  111. 經濟部中央地質調查所(2010)，「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置(第二期)—集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫(3/3)」，財團法人中興工程顧問社。
  112. 經濟部中央地質調查所(2010)，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置—集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫」，財團法人中興工程顧問社。
  113. 經濟部中央地質調查所(2010)，「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置—集水區侵蝕及堆積之調查與評估計畫」，財團法人成大基金會。
  114. 經濟部中央地質調查所，2007，地質敏感區災害潛勢評估與監測-都會區周緣坡地山崩潛勢評估(1/4)，經濟部中央地質調查所委託計畫。
  115. 經濟部中央地質調查所，2007，易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫(第一期)-子計畫：集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫，經濟部中央地質調查所委託計畫。
  116. 經濟部中央地質調查所，2008，地質敏感區災害潛勢評估與監測-都會區周緣坡地山崩潛勢評估(2/4)，經濟部中央地質調查所委託計畫。
  117. 經濟部中央地質調查所，2009，地質敏感區災害潛勢評估與監測-都會區周緣坡地山崩潛勢評估(3/4)，經濟部中央地質調查所委託計畫。
  118. 經濟部中央地質調查所，2010，地質敏感區災害潛勢評估與監測-都會區周緣坡地山崩潛勢評估(4/4)，經濟部中央地質調查所委託計畫。
  119. 經濟部水利署 (1995)，「雲林地區水庫水源開發調查及可行性規劃(民國 84 年)」。
  120. 經濟部水利署 (2003)，「湖山水庫工程計畫-水庫區工程地質補充調查與試驗(民國 92 年)」。
  121. 經濟部水利署 (2008)，「水利建造物檢查及安全評估技術規範蓄水與引水篇」。
  122. 經濟部水利署中區水資源局(2015)，「湖山水庫工程計畫-水庫周圍邊坡安定校核成果報告」，中興工程顧問公司。
  123. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2007~2011)，「美國國家計算水科學及工程中

- 心河道變遷模式之引進及應用研究」，交通大學。
124. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2008~2012)，「臺灣西部多砂河川沖淤模式研發及復育研究計畫」，美國墾務局。
  125. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2009~2012)，「台美合作案之技術引進及應用研究」，臺灣大學水工試驗所。
  126. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2010)，「強化高屏溪流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫(1/2)」，臺灣大學天氣氣候災害研究中心。
  127. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011)，「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪流域為例(2/2)」，臺灣大學天氣氣候災害研究中心。
  128. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011)，「強化高屏溪流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫(2/2)」，臺灣大學天氣氣候災害研究中心。
  129. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011)，「濁水溪流域整體治理規劃」。
  130. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011)，「濁水溪流域整體治理規劃檢討」。
  131. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2012~2013)，「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫」，臺灣大學水工試驗所。
  132. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪流域為例(1/2)」，臺灣大學天氣氣候災害研究中心。
  133. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，「濁水溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫」，臺灣大學水工試驗所。
  134. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2012，淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(1/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所委託計畫。
  135. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2013，淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2)，經濟部水利署水利規劃試驗所委託計畫。
  136. 劉進金，翁勳政，黃金鴻，楊明宗，2001，豪雨型崩塌地之遙測影像分析，二十一世紀土木工程技術與管理研討會論文集，明新技術學院土木系主辦，第 C23~C33 頁。
  137. 劉進金、翁勳政、黃金鴻、楊明宗，2001。豪雨型崩塌地之遙測影像分析，21 世紀土木工程技術與管理研討會論文集，新竹，第 C-21~C-31 頁。
  138. 蔡宗賢，2012，石門水庫集水區崩塌地產砂與後續沖刷之量化研究，國立臺灣大學土木工程學系博士論文。
  139. 蕭震洋(2013)，應用非常規攝影量測技術於土砂災害調查，2013 年臺灣地球科學聯合學術研討會，桃園。
  140. 蕭震洋，謝寶珊，柯傑夫，冀樹勇 (2011)，緊急情況下之非常規攝影量測應用初探，100 年度中華水土保持學會年會。
  141. 蕭震洋、林伯勳、鄭錦桐、辜炳震、徐偉城、冀樹勇(2009)，應用光達技術進行集水區土砂運移監測及攔阻率評估，中興工程季刊，第 105 期，第 17 至 26 頁。
  142. 蕭震洋、林伯勳、鄭錦桐、辜炳震、徐偉城、冀樹勇(2009)，應用光達技術

- 進行集水區土砂運移監測及攔阻率評估，中興工程季刊，第 105 期，第 17 至 26 頁。
143. 蕭震洋、陳俊愷(2014)，應用 UAV 調查環境現況及評估水土保持需求性初探- 以台東金崙溪為例，中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 103 年年會暨學術研討會，花蓮。
  144. 蕭震洋、謝寶珊、冀樹勇 (2011)，應用非常規攝影量測評估國道 3 號 3.1 公里崩塌事件之土方量，中華水土保持學報，第 42 期，第 3 卷，第 120 至 130 頁。
  145. 鍾欣翰，2008，考慮水文模式的地形穩定分析－以匹亞溪集水區為例，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
  146. 魏倫璋、黃韋凱、黃春銘、李璟芳、林聖琪、紀宗吉，2015，蘇迪勒颱風於臺灣北部之山崩致災機制初探，中華水土保持學報，46(4): 223-232。