摘要

一、緊急災害調查

因 113 年 4 月 3 日花蓮地區發生芮氏規模 7.2 地震事件，花蓮各地區災情嚴重，林業及自然保育署花蓮分署為掌握國有林事業區崩塌變異狀況，遂即緊急啟動「1130403 地震後立霧溪、木瓜山及林田山事業區崩塌地變異分析」。透過 4 月 14 日衛星影像追蹤發現木瓜溪上游河道疑似有多起深潭形成，為避免深潭擴大遂進行持續追蹤，後於 4 月 19 日發現其中一處深潭區蓄水量增加疑似形成堰塞湖，本計畫遂緊急通報林業及自然保育署花蓮分署知悉，於隔日 4 月 20 日 8 時 30 分由林業及自然保育署花蓮分署發布緊急通報單，後續為確實掌握災害現況，於 4 月 25 日啟動木瓜溪堰塞湖災害緊急調查評估工作。

二、無人載具空拍結果

經由 113 年 4 月 20 日無人載具空拍資料顯示，木瓜溪堰塞湖崩塌地最大長度約 350 公尺，最大寬度為 310 公尺，崩塌地面積為 6.86 公頃，天然壩堆積長度沿河道計算約 180 公尺，寬度為 90 公尺，堆積土體已造成河道阻塞，現場已出現溢流情形。湖區最大長度約 700 公尺，最大寬度約 130 公尺，最大深度約 29 公尺，蓄水面積約 5.6 公頃，蓄水體積約 46 萬立方公尺，目前天然壩左岸處已被溪水沖刷出一個寬約 10 公尺的溢流水道，另由 5 月 10 日空拍影像顯示，堰塞湖蓄水面積亦無持續擴大之情形。崩塌地所在坡面出露之岩層為天長大理岩，具有發達節理，岩體容易風化出露，易受到外營力影響啟動岩塊與岩體分離機制，易形成山崩、落石等現象，屬於地形陡峭之岩屑崩落類型。

三、崩塌地災因分析結果

回溯衛星影像與堰塞湖下游水位觀測紀錄顯示，本堰塞湖區於 113 年 4 月 14 日衛星影像顯示仍為深潭，後於 113 年 4 月 17 日則擴大形成堰塞湖，研判崩塌發生原因係該坡面位處於攻擊坡，長期受河道侵蝕坡腳，加上長期的風化作用導致邊坡不穩，主要受到本次 113 年 0403 地震與餘震群引起地表搖晃作用(就堰塞湖發生時間點，研判應主要受餘震群影響較大)，因地震力

產生加速度使殘石稜線風化材料因而崩落，進而導致木瓜溪蓄積成湖。另針對水位觀測部分，因上游有水簾壩設施操作影響，水位歷線較難以判斷確切形成時間。

四、天然壩穩定分析及災害影響範圍

透過無因次阻塞指標(DBI)進行天然壩穩定性分析，推估木瓜溪堰塞湖為不穩定壩體(DBI值為4.24)，颱洪期間暴漲的水流可能導致堰塞湖潰壩。若天然壩一旦潰決，將造成下游河床水位驟變，然堰塞湖與下游最近之部落距離約 17~21 公里。分別為銅門部落，該部落緊鄰河道，高差約 10.5 公尺，河道寬度約 150 公尺；榕樹社區緊鄰河道，高差約 19.5 公尺，河道寬度約 400 公尺；文蘭部落緊鄰河道，高差約 23.7 公尺，河道寬度約 540 公尺；仁壽橋高差約 14.3 公尺，河道寬度約 260 公尺，目前各保全對象所處之河道斷面較寬，有助於減低潰壩洪流水深，且高差仍有近 10 公尺以上，暫時無立即性危險。

目前堰塞湖與各保全對象之距離相當遠，並有足夠之高差可安全通洪，在水理分析後研判即使堰塞湖壩體潰決，其對下游住家與聚落之致災風險相對較低，但為確保安全除設置警告標示或於布告欄張貼資訊外，建議應建立堰塞湖應變通報機制及進行河道勸導，避免人員進入河床，以策安全。

五、建議處置對策

木瓜溪堰塞湖四周邊坡皆為陡坡地形，具有交通不可及的特性，工程整治可行性低，目前已架測自動化監測設備(雨量與攝影機)，但考量現地通訊與電力仍不穩定仍有通訊中斷可能，建議可同時參考木瓜溪下游仁壽橋水位站資料與鄰近堰塞湖範圍之銅門、瀧澗雨量站資料，掌握集水區降雨及水位變化情形，若當木瓜溪集水區達豪雨等級(200mm/24hr 或 100mm/3hr)以上或地震震度達 4 級以上時，應立即透過電話通知緊急通報聯絡人，同時秀林鄉公所可運用村里鄰長、警察、消防人力，及巡邏車、廣播車傳遞堰塞湖災害訊息，告知居民避免進入溪床，而村長亦可藉由社區廣播之方式，迅速告知村民。於災害事件後，應進行空拍作業或進行衛星影像追蹤工作，以便掌握堰塞湖最新狀況。

目錄

摘要 ..... A
目錄 I
圖目錄 II
表目錄 IV
壹、前言 1
貳、地文及水文分析 5
2-1、水文資料 5
2-2、地形資料 7
2-3、地質資料 9
2-4、土地利用資料 11
2-5、地震資料 12
參、航遙測影像分析 13
肆、 現地調查及地形分析 21
4-1、崩塌地基本資料 21
4-2、現況說明 24
4-3、地形分析 29
4-4、下游保全對象分布 31
伍、堰塞湖災害量化評估資料 33
5-1、壩體穩定性評估 33
5-2、堰塞湖下游斷面(保全對象)檢核分析 35
5-3、堰塞湖潰壩影響分析 39
陸、災害衝擊評估及影響 49
柒、後續處置建議 55
7-1、結論 55
7-2、建議 56
捌、地方說明會辦理成果 59
附錄一、「木瓜溪堰塞湖緊急調查評估」報告書審查意見及辦理回覆
附錄二、「木瓜溪堰塞湖緊急調查評估報告速報」

圖目錄

圖 1-1、木瓜溪堰塞湖位置圖(兩萬五千分之一地形圖).....2
圖 1-2、木瓜溪堰塞湖林班地位置圖.....2
圖 1-3、木瓜溪堰塞湖所在行政區域圖.....3
圖 1-4、木瓜溪堰塞湖新聞媒體露出(113/04/21).....4
圖 2-1、木瓜溪堰塞湖與鄰近水文測站分布圖 6
圖 2-3、木瓜溪堰塞湖鄰近 LiDAR 地形圖.....7
圖 2-4、木瓜溪堰塞湖鄰近坡度圖.....8
圖 2-5、木瓜溪堰塞湖鄰近坡向圖.....8
圖 2-6、木瓜溪堰塞湖鄰近五萬分之一流域地質圖 10
圖 2-7、木瓜溪堰塞湖集水區鄰近山崩與地滑地質敏感區 10
圖 2-8、木瓜溪堰塞湖及右岸崩塌地土地利用情形 11
圖 2-9、0403 地震及餘震活動分布統計(113/4/18).....12
圖 3-1、盤石(三) 9621-II-095 航照正射(70/4/27).....14
圖 3-2、盤石(三) 9621-II-095 航照正射(75/7/15).....14
圖 3-3、SPOT 衛星影像(93 年).....15
圖 3-4、SPOT 衛星影像(101 年).....15
圖 3-5、SPOT 衛星影像(105 年).....16
圖 3-6、SPOT 衛星影像(110 年).....16
圖 3-7、木瓜溪堰塞湖(112/9/13)- 堰塞湖尚未形成 (PlanetScope 影像).....17
圖 3-8、木瓜溪堰塞湖(113/3/25)-堰塞湖尚未形成(Sentinel-2) 17
圖 3-9、木瓜溪堰塞湖(113/4/3)-地震後堰塞湖尚未形成(PlanetScope 影像)18
圖 3-10、木瓜溪堰塞湖(113/4/4)-堰塞湖尚未形成(Sentinel-2) 18
圖 3-11、木瓜溪堰塞湖(113/4/5)-堰塞湖尚未形成(FORMOSAT-5) 19
圖 3-12、木瓜溪堰塞湖(113/4/14)- 深潭蓄積 19
圖 3-13、木瓜溪堰塞湖(113/4/17)-堰塞湖形成 20
圖 3-14、木瓜溪堰塞湖(113/4/29 航照)- 堰塞湖無明顯變異 20
圖 4-1、木瓜溪堰塞湖位置圖.....23
圖 4-2、木瓜溪堰塞湖與周邊交通位置圖.....23
圖 4-3、木瓜溪堰塞湖尺寸參數基本示意圖.....25
圖 4-4、木瓜溪右岸崩塌地尺寸判釋成果.....26
圖 4-5、木瓜溪堰塞湖天然壩尺寸判釋成果.....26
圖 4-7、木瓜溪堰塞湖溢流口空拍照片.....27
圖 4-8、木瓜溪堰塞湖蓄水區河寬示意圖.....28
圖 4-9、木瓜溪堰塞湖水體體積估算圖.....28

圖 4-10、木瓜溪堰塞湖縱剖面位置圖 29
圖 4-11、木瓜溪堰塞湖縱剖面 AA'示意圖 30
圖 4-12、木瓜溪堰塞湖縱剖面 BB'示意圖 30
圖 4-13、木瓜溪堰塞湖可能保全對象分布圖 31
圖 4-14、木瓜溪堰塞湖可能保全對象現地照片 32
圖 5-1、木瓜溪堰塞湖上游集水區位置圖 33
圖 5-2、堰塞湖天然壩體穩定性評估結果 34
圖 5-3、木瓜溪堰塞湖下游主要保全對象相對位置圖 35
圖 5-4、下游保全對象 A、B 剖面位置(銅門、榕樹) 36
圖 5-5、下游保全對象 C、D 剖面位置(仁壽橋、文蘭) 36
圖 5-6、下游保全對象 A、B、C 地形剖面圖 37
圖 5-7、堰塞湖潰壩類型 39
圖 5-8、三角歷線潰壩洪峰流量計算示意圖 39
圖 5-9、木瓜溪橋水位上升高度與潰壩時間關係圖 42
圖 5-10、木瓜溪堰塞湖常水流情境下仁壽橋水位抬升量檢核示意圖 42
圖 5-11、Hyper KANAKO 數值模式計算模組 43
圖 5-12、洪水來臨時民眾可步行避難之流速及水深範圍 43
圖 5-13、二維水砂數值模式設定入流邊界範圍圖 45
圖 5-14、木瓜溪堰塞湖潰壩模擬水深最大可能抬升量(常水流) 45
圖 5-15、堰塞湖潰壩設計條件下模擬成果(常流水) 46
圖 5-16、木瓜溪流域各控制點重現期距洪峰量估算成果 47
圖 5-17、重現期 100 年潰壩情境下木瓜溪橋水位抬升量檢核示意圖 48
圖 6-1、木瓜溪堰塞湖通報 Line 群組(已建立通報機制) 52
圖 6-2、國有林防災應變處理程序 53
圖 6-3、木瓜溪下游交通部公路總局 CCTV 即時影像位置 54
圖 6-4、木瓜溪下游交通部公路總局 CCTV 即時影像擷取照片 54
圖 7-1、建議施作警示牌位置分布示意圖 57
圖 7-2、堰塞湖觀測設備現地評估測試(1/2) 59
圖 7-3、堰塞湖觀測設備現地評估測試(2/2) 59
圖 7-4、堰塞湖監測攝影機現地評估測試(1/2) 60
圖 7-5、堰塞湖監測攝影機現地評估測試(2/2) 60
圖 8-1、113 年 5 月 31 日辦理木瓜溪堰塞湖啟動應變說明會 63

表目錄

表 1-1、木瓜溪堰塞湖調查及相關行程表.....3
表 2-1、木瓜溪堰塞湖鄰近雨量測站基本資料.....5
表 2-2、木瓜溪堰塞湖鄰近水位測站基本資料.....5
表 2-3、各坡度/坡向分級崩塌所佔百分比.....7
表 2-4、木瓜溪右岸崩塌地地質資料.....9
表 3-1、堰塞湖航遙測影像判釋追蹤列表.....13
表 4-1、木瓜溪右岸崩塌地調查表.....21
表 4-2、木瓜溪堰塞湖現況參數表.....25
表 5-1、木瓜溪堰塞湖保全對象檢查表.....38
表 5-2、各關注區河道流下時間彙整表(Rziha 公式概算).....38
表 5-3、仁壽橋常流水情境潰壩抬升檢核表.....42
表 5-4、潰壩計算上游邊界基本參數表.....44
表 5-5、木瓜溪各重現期雨量估算(最大 48 小時暴雨量表).....47
表 5-6、木瓜溪各控制點各重現期比流量洪峰估算.....47
表 5-7、木瓜溪堰塞湖上游集水區各重現期比流量洪峰估算.....48
表 5-8、木瓜溪橋各重現期流量情境潰壩抬升檢核表.....48
表 6-1、潰壩災害發生度初步評估分級表.....49
表 6-2、保全危害度緊急評估分級表.....50
表 6-3、堰塞湖風險評估分級表.....50
表 6-4、堰塞湖風險處理原則對應表.....51

壹、前言

因 113 年 4 月 3 日花蓮地區發生芮氏規模 7.2 地震事件後，林業及自然保育署花蓮分署為掌握國有林事業區崩塌變異狀況，遂即請本計畫團隊協助進行國有林事業區衛星追蹤工作，於 4 月 14 日透過衛星影像發現木瓜溪上游河道疑似有多起深潭形成，後於 4 月 19 日(由 4 月 17 日衛星影像判釋)發現其中一處深潭蓄水增加形成堰塞湖，本計畫遂緊急通報林業及自然保育署花蓮分署知悉，於隔日 4 月 20 日由林業及自然保育署花蓮分署發布緊急通報單，請堰塞湖下游相關機關單位，預先啟動防災應變機制及河道示警，並請附近居民及遊客暫時勿進入溪床活動，隨即啟動堰塞湖災害應變機制。後於 4 月 25 日啟動木瓜溪堰塞湖災害緊急調查評估工作。

木瓜溪堰塞湖位於花蓮縣秀林鄉銅門村，屬於木瓜山事業區第 47 林班與 57 林班交界處(如圖 1-1、圖 1-2 所示)，本團隊透過空拍進行現地調查，確切掌握崩塌地及堰塞湖相關資訊，提供林業及自然保育署花蓮分署擬定土砂災害防禦策略之參考。

本次調查工作完成災害地點航遙測影像蒐集、地文及水文資料分析、遙測影像處理、現地調查及地形分析、堰塞湖災害量化評估資料、災害衝擊評估及影響等項目，並將調查與評估成果於 5 月 3 日彙整為「木瓜溪堰塞湖緊急調查評估報告調查速報」提送林業及自然保育署花蓮分署，以供進行後續處置時之參考資訊，並於 14 天(5 月 14 日)內依照規定完成調查項目，將資料彙整成「木瓜溪堰塞湖緊急調查評估報告」，以作為後續工程處理、緊急應變與中長期處置措施規劃與實施之參考。

雖目前堰塞湖資訊已由媒體廣為露出(如圖 1-4)，但後續為加強資訊傳遞與能保全對象防災作為說明，本案已於 113 年 5 月 31 日上午在召開居民說明會(詳第捌章說明)，以讓當地民眾了解目前該堰塞湖狀況、下游部落後續影響以及未來處置行為，說明後續堰塞湖資訊公開事宜。

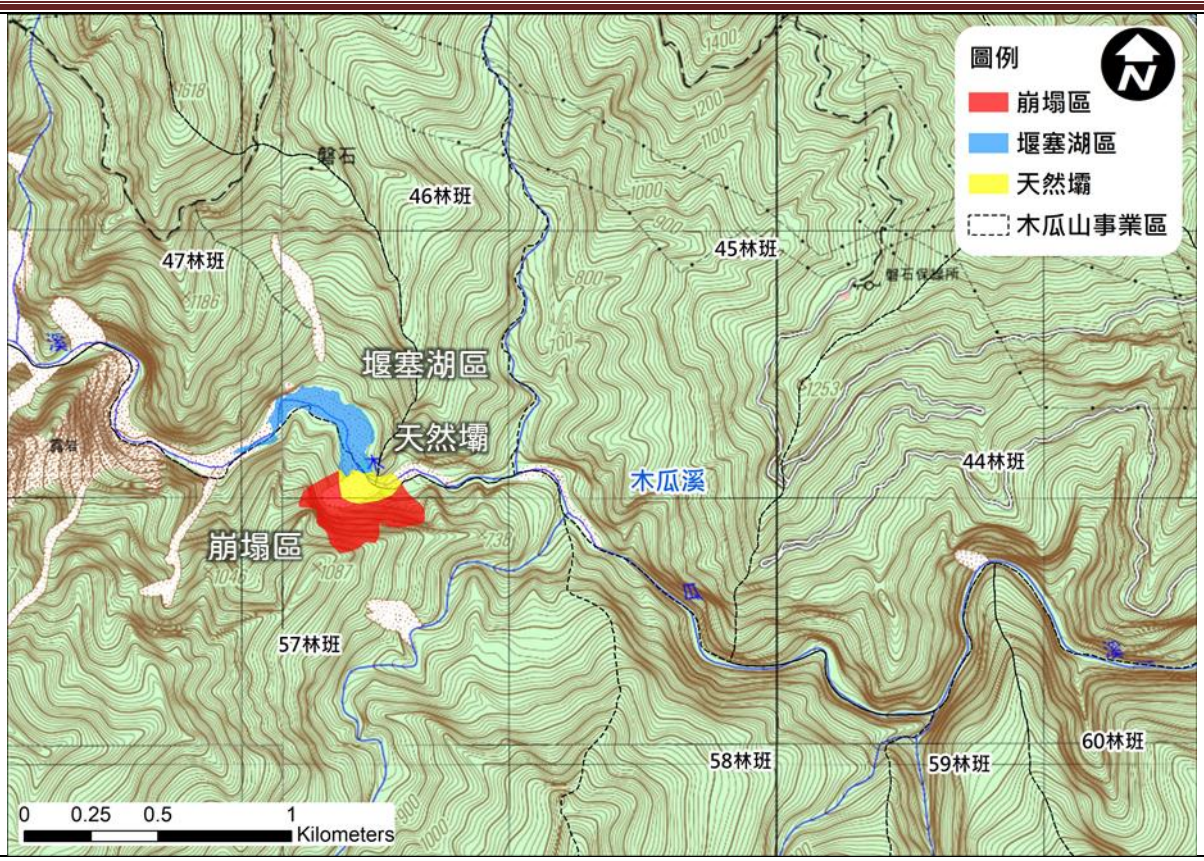


圖 1-1、木瓜溪堰塞湖位置圖(兩萬五千分之一地形圖)

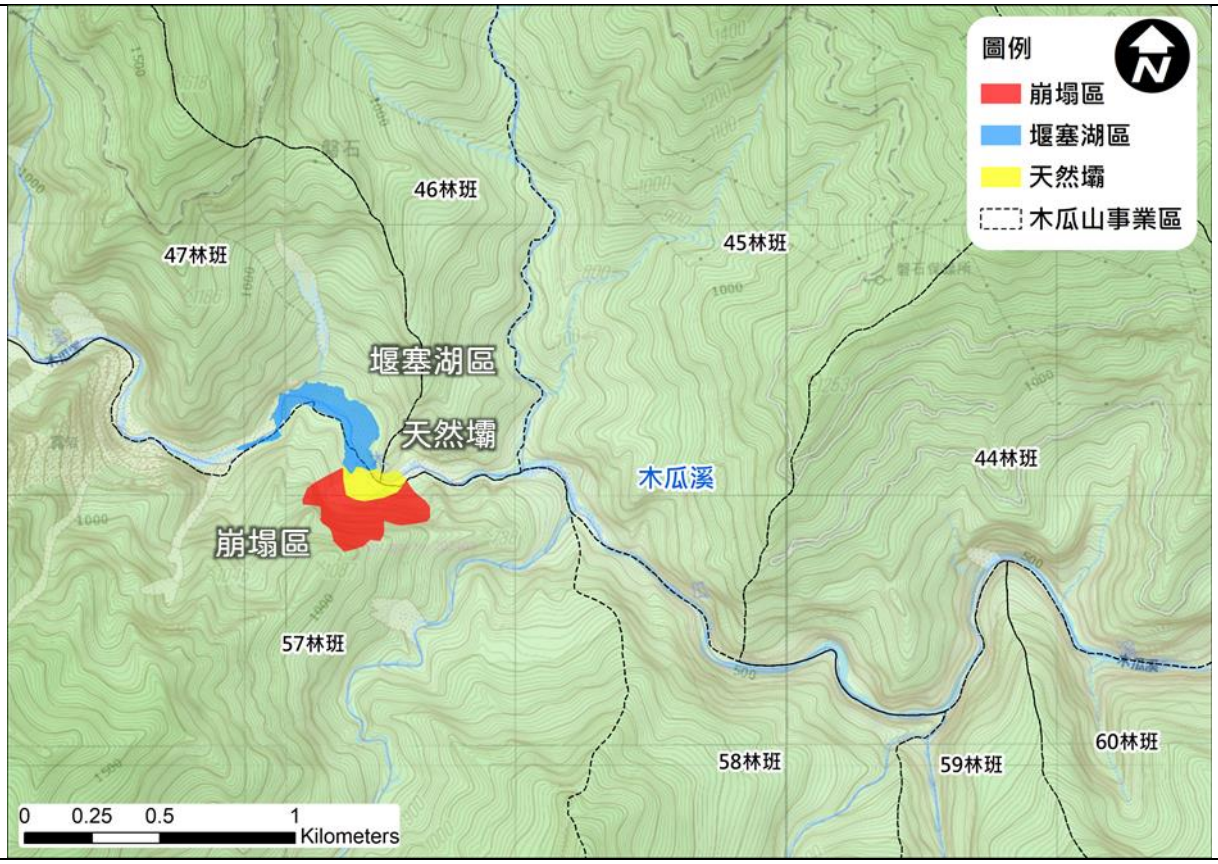


圖 1-2、木瓜溪堰塞湖林班地位置圖

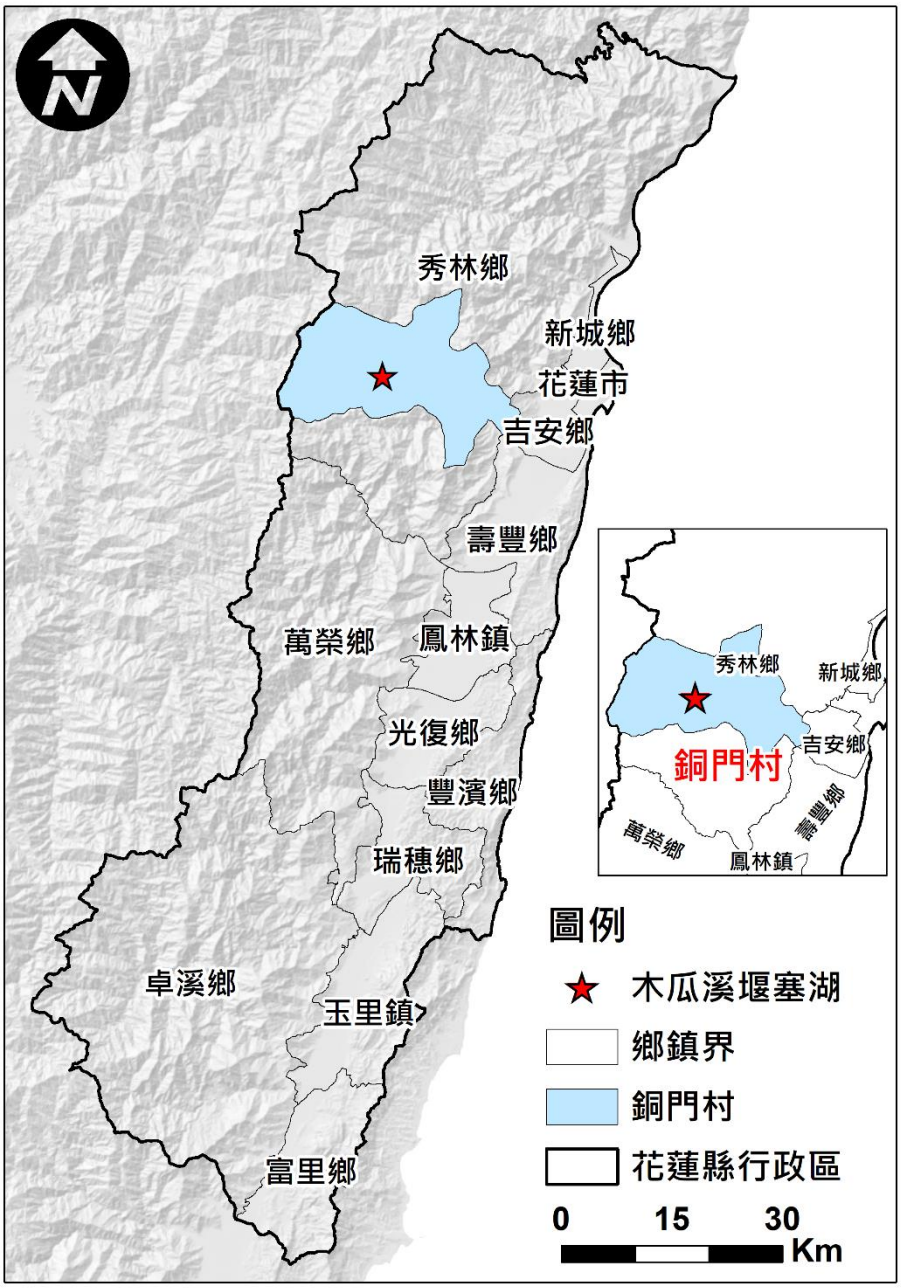


圖 1-3、木瓜溪堰塞湖所在行政區域圖

表 1-1、木瓜溪堰塞湖調查及相關行程表

時間	工作事項	參與人員	地點
4/19	緊急判釋	李心平、臧運忠、王上銘	成功大學防災中心會議室
4/20	災害現場空拍確認	黎璧瑞、廖述麟	木瓜溪堰塞湖
5/3	現地勘查及監測設備設置評估	林昂、吳定澄	龍溪路/奇萊路
5/10	現地空拍勘查及監測設備測試評估	林昂、吳定澄	龍溪路/奇萊路 木瓜溪堰塞湖

圖 1-4、木瓜溪堰塞湖新聞媒體露出(113/04/21)

貳、地文及水文分析

2-1、水文資料

木瓜溪堰塞湖位於林業保育署花蓮分署所轄之木瓜山事業區第 47 與 57 林班地交界，經蒐集交通部中央氣象署及經濟部水利署管轄之雨量站資料後，篩選鄰近災害發生點的雨量站作為災因分析參考對象，可參考鄰近測站為交通部中央氣象署的銅門(C1Z130)與龍澗(C1T980)雨量站，且下游鄰近河道亦有經濟部水利署水位站之仁壽橋站(2420H019)可參考，與崩塌地直線約距離為 14 公里，如表 2-1 至表 2-2 所示，各測站位置參照如圖 2-1。

表 2-1、木瓜溪堰塞湖鄰近雨量測站基本資料

測站名稱	測站編號	海拔高度	TWD97(X)	TWD97(X)	行政區	管理單位	資料起始時間
龍澗	C1T980	1,306	291853	2657644	花蓮縣	交通部中央氣象署	85/01/01
銅門	C1Z130 C1T860	539	300155	2651302			85/01/01

表 2-2、木瓜溪堰塞湖鄰近水位測站基本資料

測站名稱	測站編號	流域	TWD97(X)	TWD97(X)	行政區
仁壽橋	2420H019	花蓮溪(木瓜溪)	301516	2650215	花蓮縣
地址		管理單位		資料起始時間	
花蓮縣秀林鄉銅門村		水利署第九河川分署		49/01/01	

本案堰塞湖區主要因 113 年 0403 地震後造成木瓜溪沿線多處崩塌，本計畫執行團隊隨即配合林業保育署花蓮分署進行國有林事業區衛星影像追蹤工作，透過 4 月 14 日衛星影像於木瓜溪上游發現多處深潭區域，後持續追蹤多日衛星影像資料，透過 4 月 17 日 PlanetScope 衛星影像發現原有深潭已蓄積形成堰塞湖。

藉由衛星影像研判堰塞湖形成時間為 4 月 14 日至 17 日間由深潭蓄積形成，由於堰塞湖上方仍有多處深潭，故自 113 年 0403 地震後逾約十多日堰塞湖才形成。且因堰塞湖下方為台電公司木瓜壩與水簾機組水利設施操作影響，導致下游水位站觀測資料具有人工操作因素(放水、蓄水等因素)，難以判斷水位變異時間點，故尚未能得到堰塞湖形成時間，水位與雨量組體圖如圖 2-2 所示。

初步研判原有堵塞深潭之天然壩體，4 月 14 日前後可能因降雨或地震使得木瓜溪右岸邊坡再次崩落導致天然壩擴大，因造成後續堰塞湖蓄積災害。

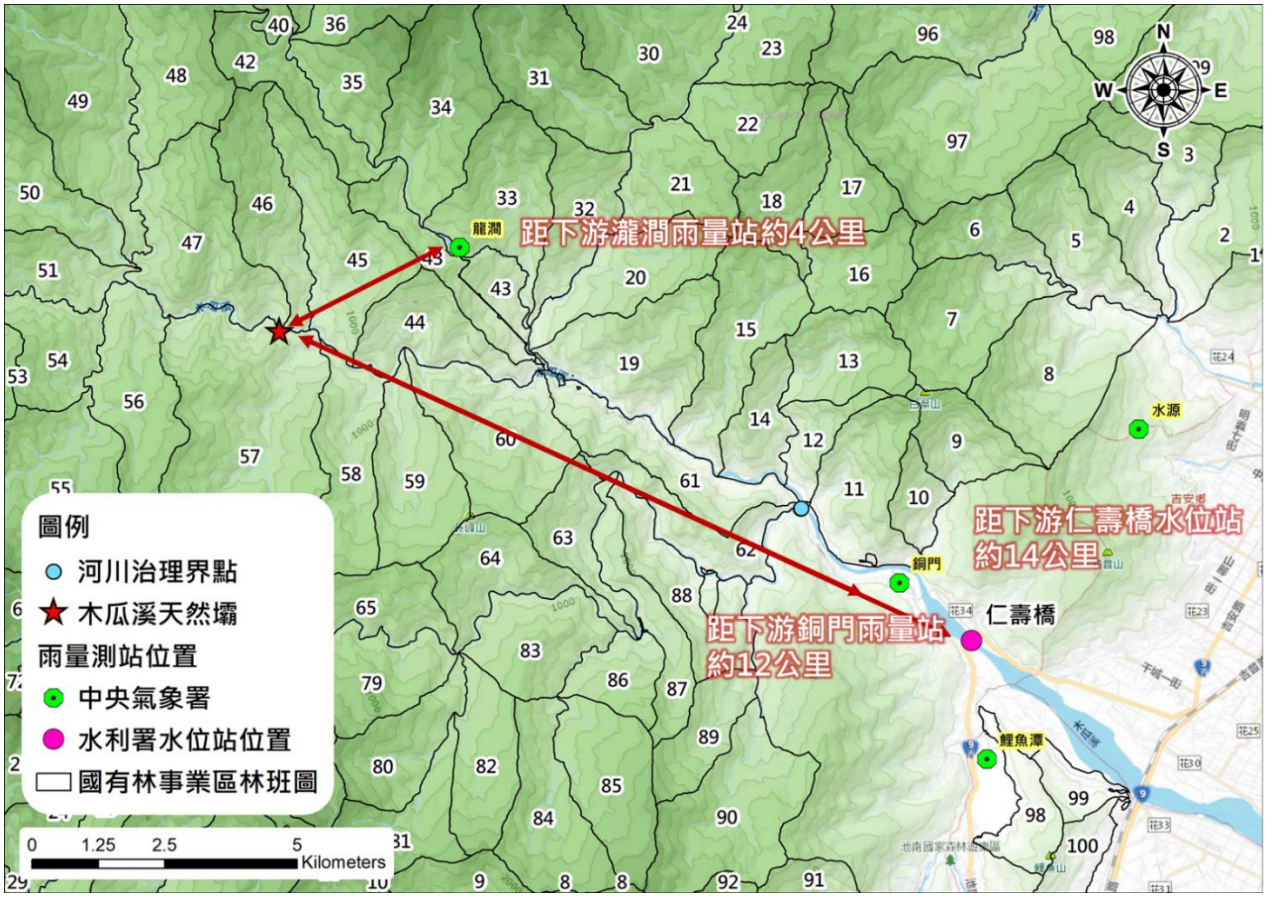


圖 2-1、木瓜溪堰塞湖與鄰近水文測站分布圖

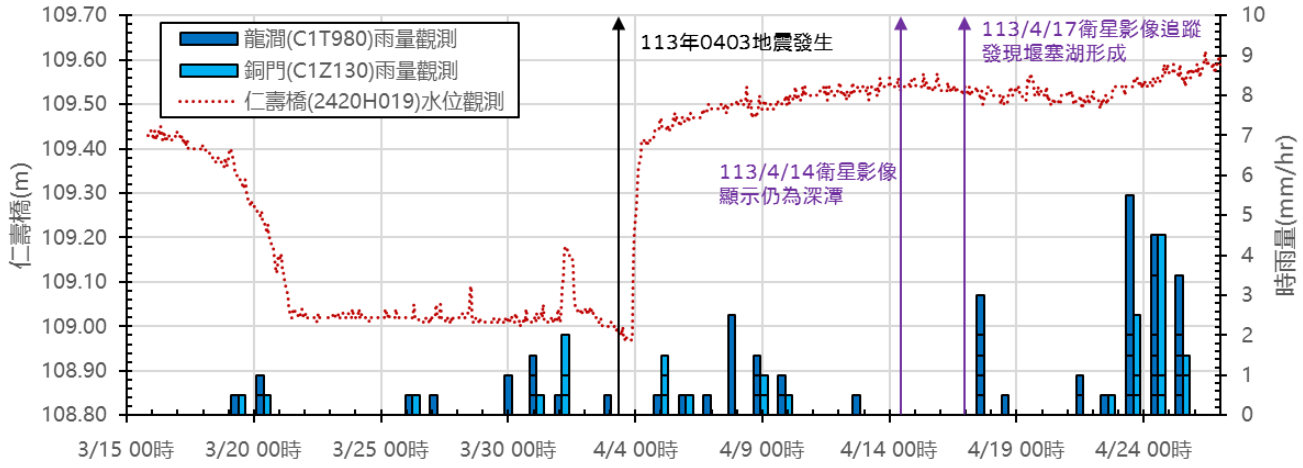


圖 2-2、木瓜溪堰塞湖形成歷程水位及雨量追蹤

2-2、地形資料

本調查崩塌位置隸屬花蓮縣秀林鄉銅門村，位於木瓜溪右岸、天長隧道南側、林業保育署花蓮分署磐石駐在所處西側下邊坡處，依據內政部 104 年 1 公尺數值高程地形(DEM)資料(圖 2-3)，崩塌地最低處海拔高度約 580 公尺，最高處海拔約 1,060 公尺，高差約 480 公尺，屬於地形陡峭之岩屑崩落類型。木瓜溪右岸崩塌地位於河道轉彎處，崩塌地最大長度為 350 公尺、最大寬度為 310 公尺，崩塌面積約 6.86 公頃，坡向主要為北、東北向，坡度多為六級坡(圖 2-4)，屬於陡坡地形(圖 2-5)。

表 2-3、各坡度/坡向分級崩塌所佔百分比

坡向分級	所佔面積(m^2)	面積百分比	坡度分級	所佔面積(m^2)	面積百分比
平地	0	0.00%	一級坡	10	0.01%
北	26,255	38.23%	二級坡	110	0.16%
東北	18,192	26.49%	三級坡	1,131	1.65%
東	8,425	12.27%	四級坡	6,205	9.04%
東南	3,697	5.38%	五級坡	19,525	28.43%
南	26	0.04%	六級坡	41,694	60.71%
西南	16	0.02%	七級坡	0	0.00%
西	1,454	2.12%	合計	68,675	100.0%
西北	10,610	15.45%			
合計	68,675	100.00%			

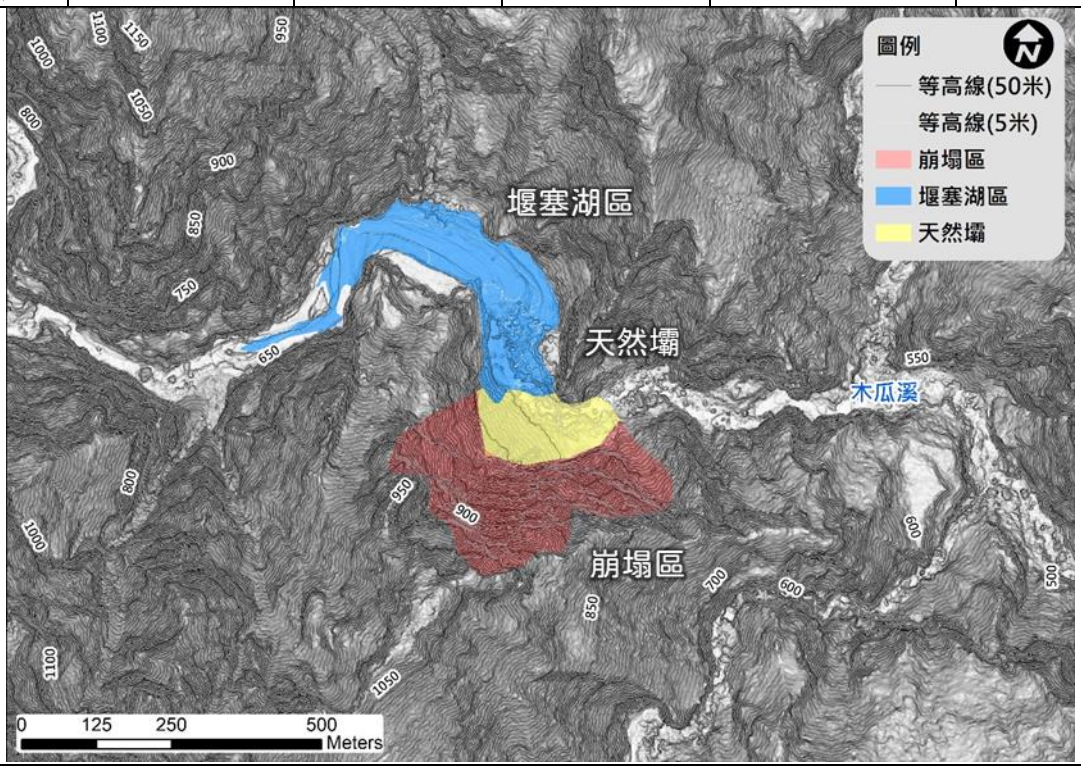


圖 2-3、木瓜溪堰塞湖鄰近 LiDAR 地形圖

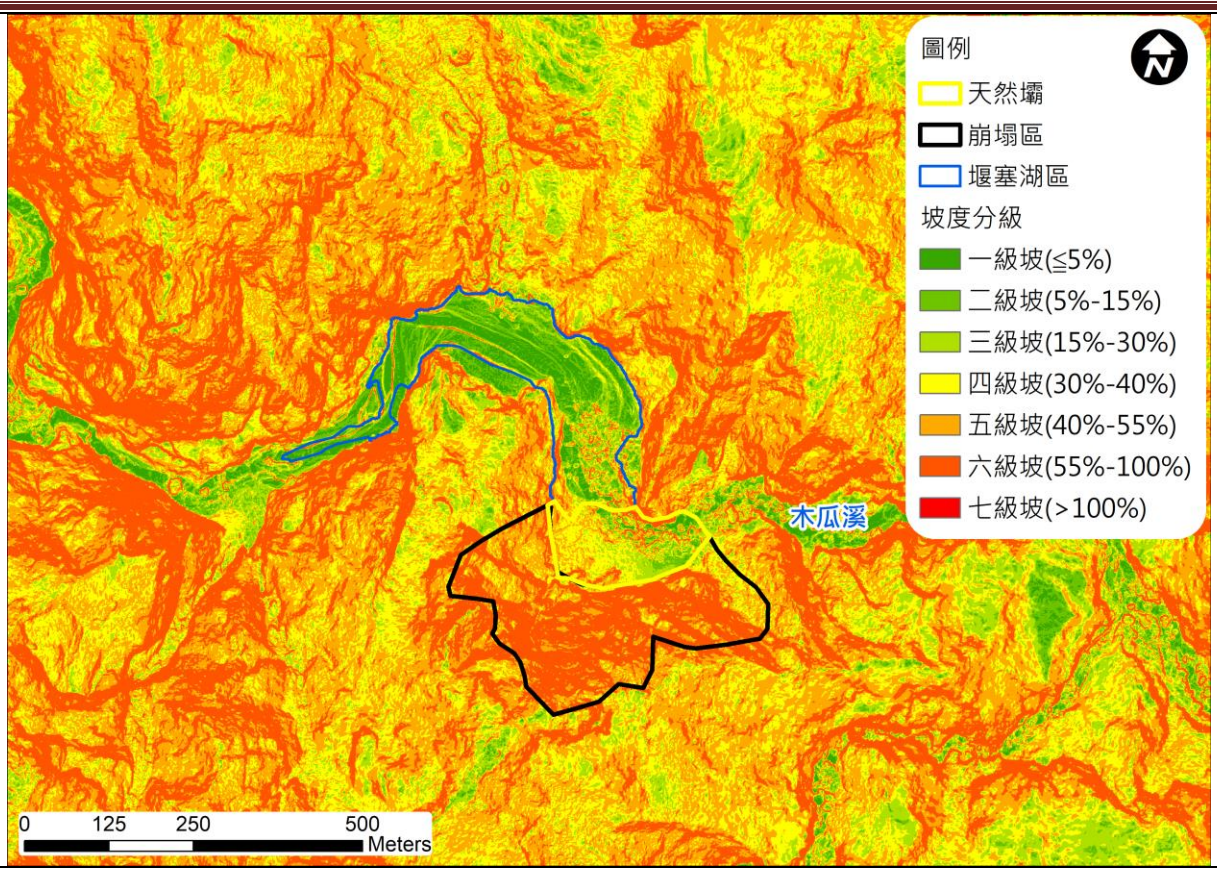


圖 2-4、木瓜溪堰塞湖鄰近坡度圖

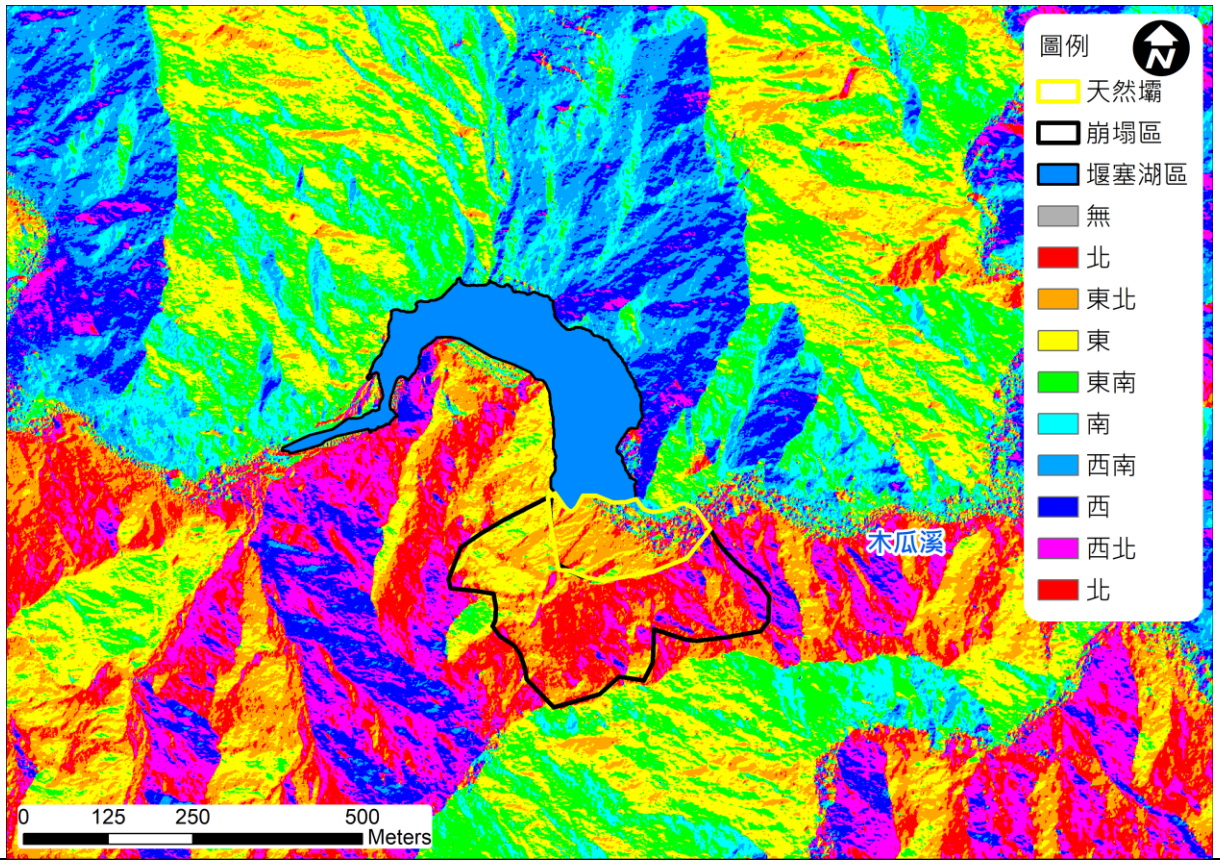


圖 2-5、木瓜溪堰塞湖鄰近坡向圖

2-3、地質資料

根據中央地質調查所五萬分之一流域地質圖顯示，木瓜溪右岸崩塌地出露的岩層分別為天長大理岩、谷園片岩帶，周邊亦有白楊片岩分布，天長大理岩屬中生代晚期至古新世之變質岩，而谷園片岩屬於古生代晚期至中生代之變質岩。

天長大理岩岩性為透鏡狀大理岩體(外觀上呈黑白相間條帶狀外觀，看起來像沉積岩的層理，實際上則因為變質分凝作用所產生)為主，幾乎全由再結晶方解石礦物組成，僅含有少量的白雲石、石英及雲母類礦物，其岩體堅硬常成峭壁，為易於溶解之岩石，較易風化，大理岩成塊狀或厚層狀，有中至細粒的粒狀變晶構造。

而谷園片岩岩性為千枚岩、雲母片岩、石英雲母片岩等組成(以黑色片岩為主，因風化呈現灰、黑色)，由於片岩帶因受過強烈的擠壓作用(經歷多次變質作用)，經常可以看到小型的褶皺構造(緊密的褶皺型態)，且具有良好的葉理面，容易順著葉理面剝落，常形成山崩、落石等現象。

在地質構造方面，由西向東分別為天長山斷層、磐石複背斜、龍溪斷層等相互穿插形成一系列褶皺構造。

此外，根據經濟部地質調查及礦業管理中心之山崩與地滑地質敏感區圖資顯示，堰塞湖右岸皆為陡峭山壁皆屬於地質敏感區域(指曾經發生土石崩塌或有山崩或地滑發生條件之地區)，顯示地質條件不佳，具有崩塌再次發生的可能性較高，此次木瓜溪堰塞湖右岸舊崩塌地受地震影響下，再次崩落阻塞河道形成堰塞湖的災害事件。

表 2-4、木瓜溪右岸崩塌地地質資料

地質	地層	天長大理岩(主要)、谷園片岩(次要)
	岩性	透鏡狀大理岩體為主、千枚岩與片岩為輔
	風化程度	□無□輕□中■嚴重
植被覆蓋程度	■裸岩 □植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) □植被密集(植被面積>80%)	

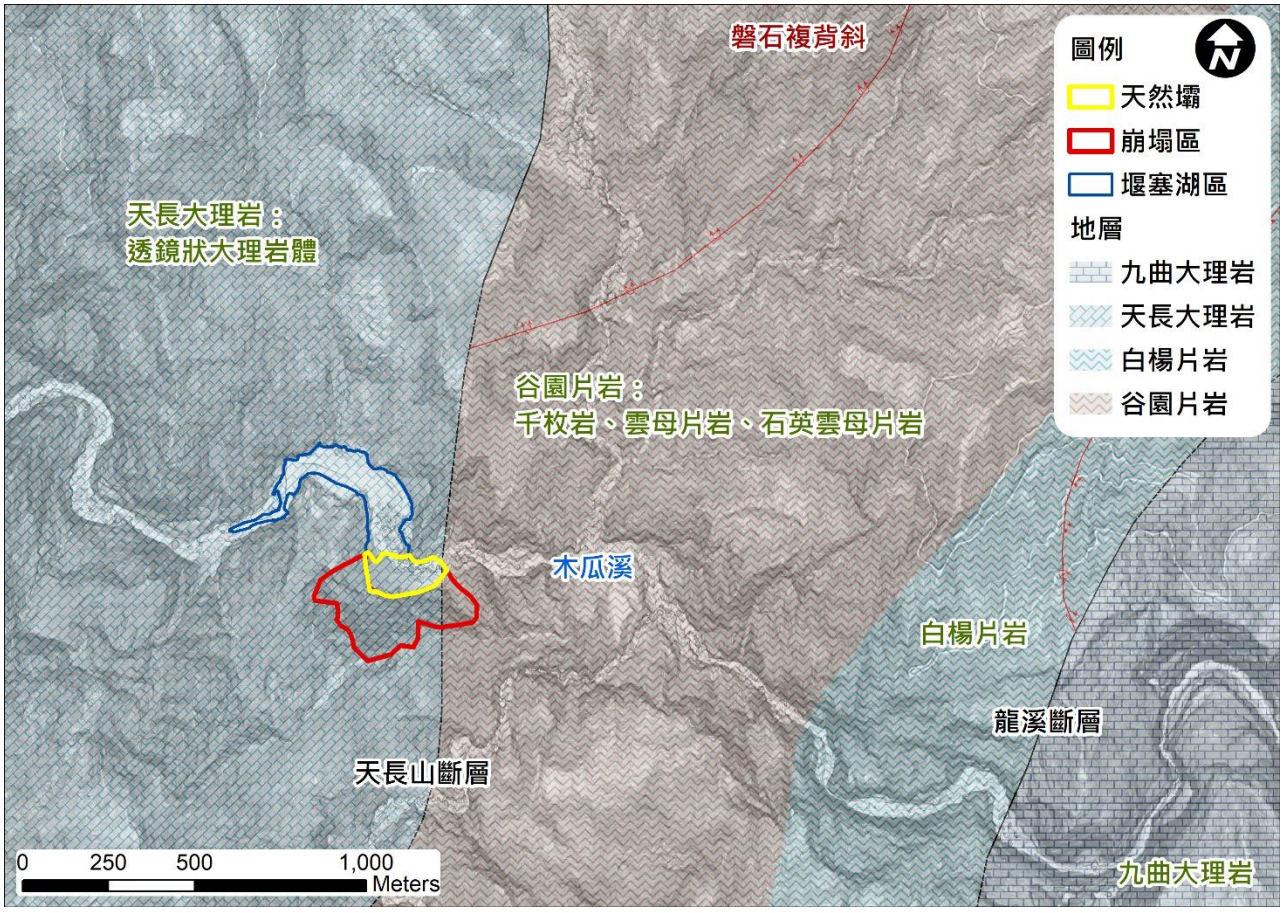


圖 2-6、木瓜溪堰塞湖鄰近五萬分之一流域地質圖

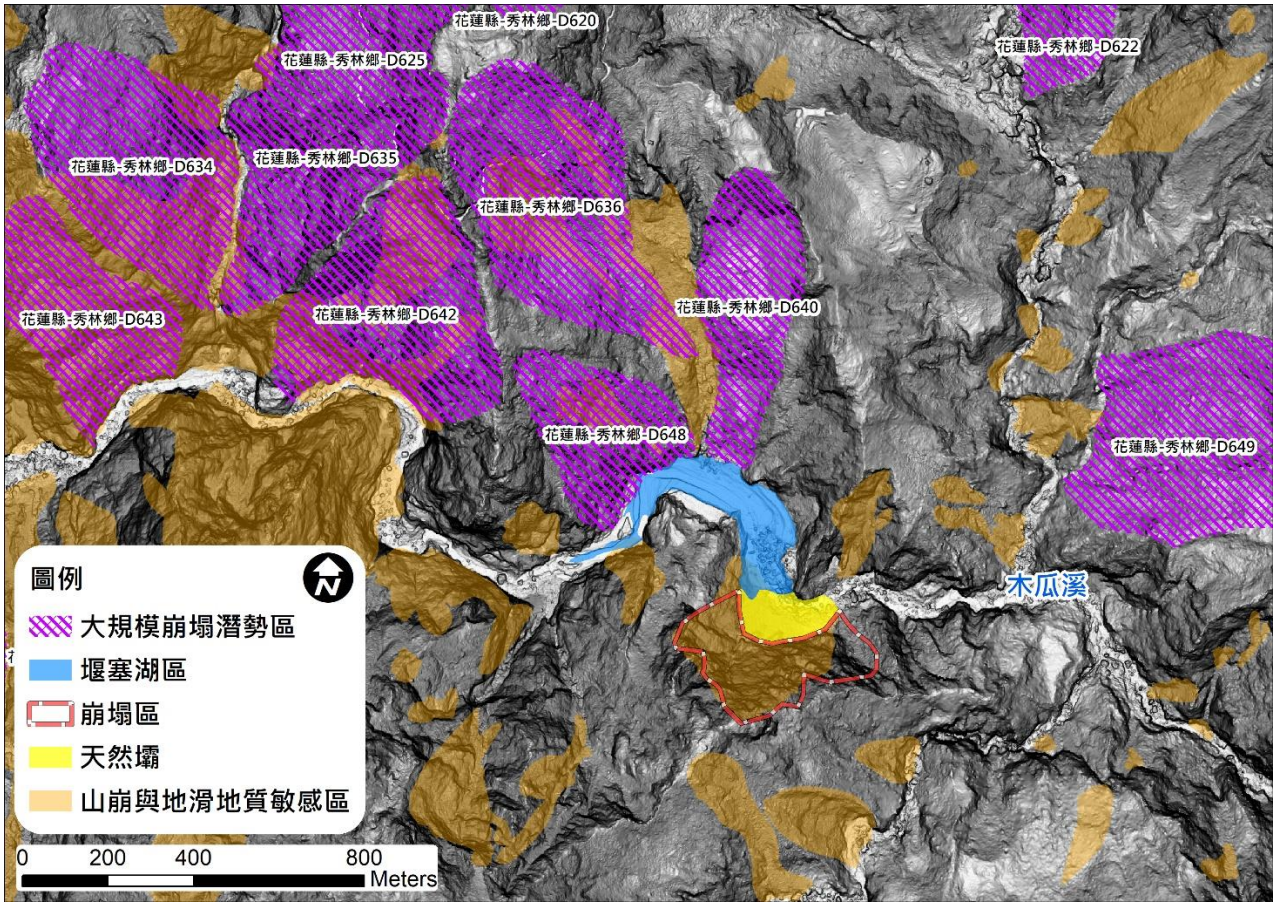


圖 2-7、木瓜溪堰塞湖集水區鄰近山崩與地滑地質敏感區

2-4、土地利用資料

本調查根據內政部所編繪的土地利用圖資(圖 2-8)，藉以了解到目前木瓜溪堰塞湖周遭土地利用型態以森林使用土地(闊葉林、針闊葉混淆林)為主，其次則為水利使用土地(河川)與其他使用土地，其中其他使用土地包含草生地及崩塌地，草生地意指從未栽植農作物及林木之草生荒地，而崩塌地則為水利用地以外之裸露地，包括落石、翻覆、滑動、側滑、流動等五類，涵蓋坍方、山崩、崩塌等土地。

綜合土地利用情形與現地調查結果可知，木瓜溪堰塞湖四周屬陡峭地形，裸露地眾多，且尚無道路可到達，人員或機具進入困難，交通易達性低。本區位於陡峭地形，無種植等農墾行為，鄰近具有多處裸露、草生地，周圍皆屬原始森林，並無道路可抵達，屬於未受人為擾動純自然邊坡。

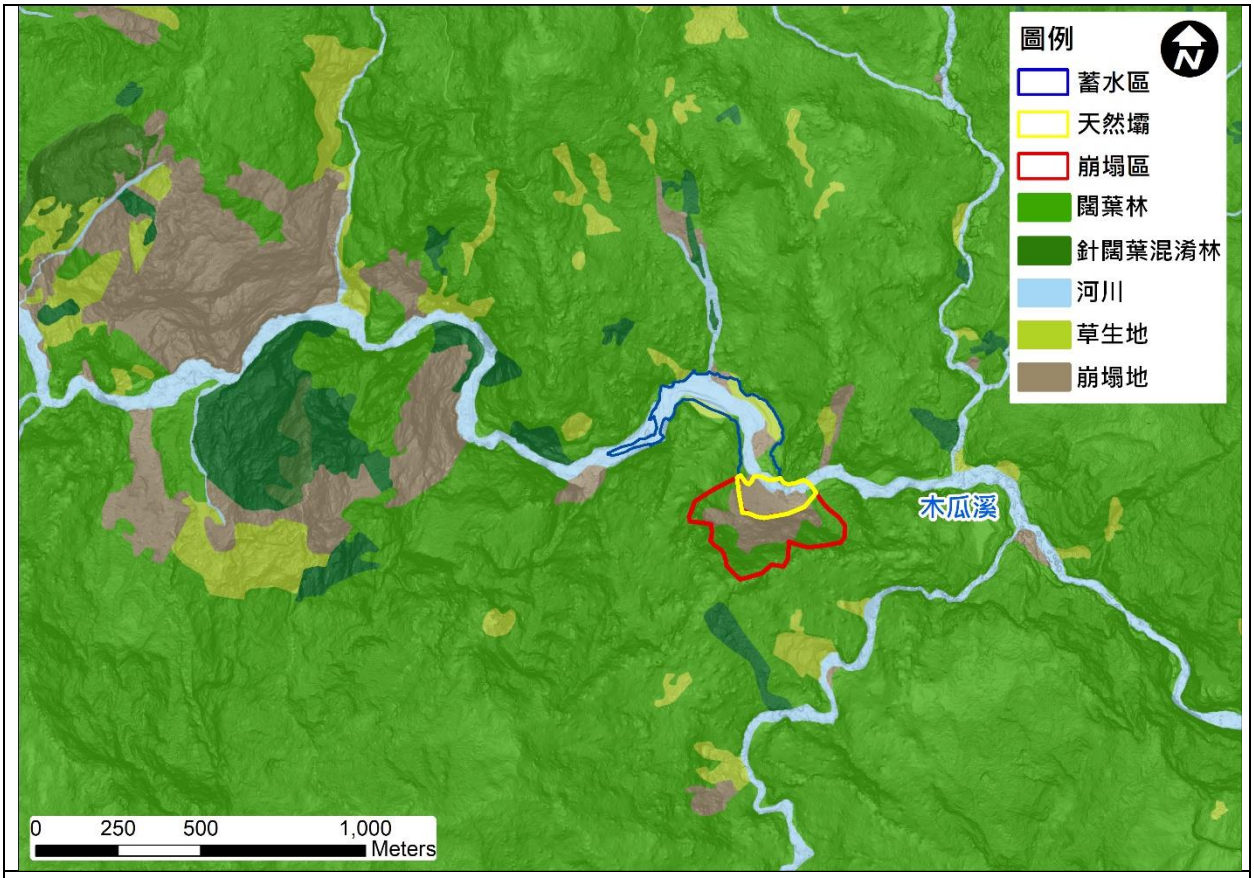
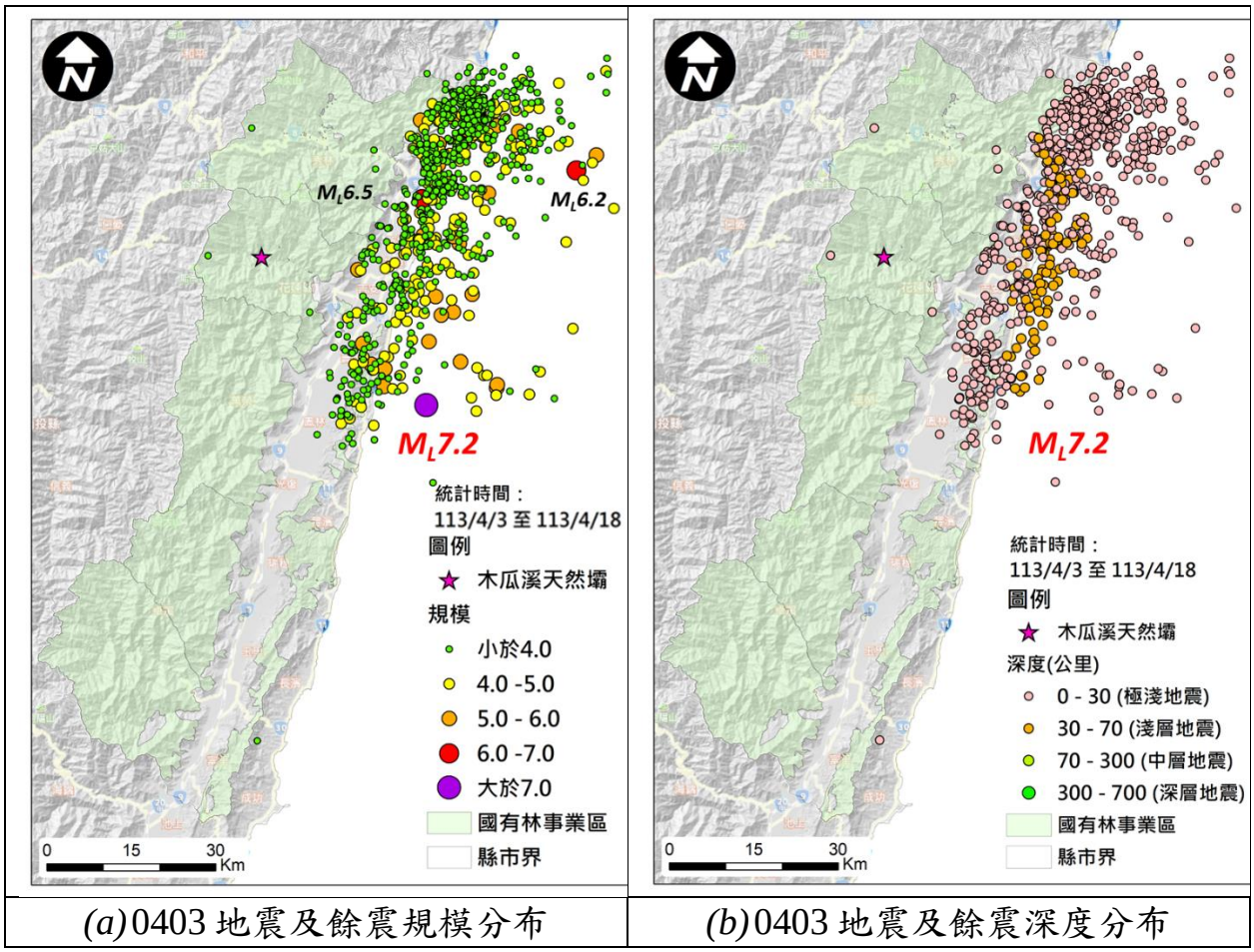


圖 2-8、木瓜溪堰塞湖及右岸崩塌地土地利用情形

2-5、地震資料

本堰塞湖區主要因 113 年 0403 地震後花蓮地震後，林業保育署花蓮分署執行國有林事業區崩塌變異追蹤工作，由 4 月 17 日 PlanetScope 衛星影像發現後緊急通報。蒐集堰塞湖形成前後地震資料，以下根據交通部中央氣象署地震活動資料庫統計，自規模 7.2 主震發生後，陸續截止 113 年 4 月 18 日時，後續餘震約近 911 起(含主震)，當中規模最大餘震規模分別為 6.5(編號 21)及 6.2(編號 45)，研判地震造成木瓜溪右岸坡面崩落，且後續大量餘震群加劇崩落規模與範圍，使河道賭塞，為堰塞湖發生之主要原因。

木瓜溪右岸崩塌地本身由於坡度陡峭，再加上屬於舊有崩塌，且目前岩盤已出露風化程度達中至高度，又位處河道攻擊坡一側長期受溪水淘刷，有多重的坡面不穩定因素。



*(a)*0403 地震及餘震規模分布　　*(b)*0403 地震及餘震深度分布

圖 2-9、0403 地震及餘震活動分布統計(113/4/18)

參、航遙測影像分析

本次調查之災害點位於花蓮縣秀林鄉銅門村，係林業保育署花蓮分署木瓜山事業區第 47 與 57 林班地交界處，堰塞湖位處銅門部落上游河道距離約 17 公里處，崩塌位於木瓜溪右岸，地形十分陡峭嚴峻。

由歷年航遙測影像(如圖 3-1 至圖 3-14)可知，木瓜溪右岸崩塌屬於舊有崩塌區，於 70 年時已有崩塌裸露跡象，植生覆蓋不明顯，直至 112 年間崩塌地並無明顯變化，木瓜溪主流溪水仍可自然流經，並無阻塞河道情況。

後為瞭解災害原因，透過逐日的 Sentinel、PlanetScope 與 FORMOSAT-5 衛星影像進行災害成因追蹤，根據結果顯示自 4 月 3 日地震後至 5 日間並無蓄水堵塞情事(爾後逾多日雲覆嚴重，衛星影像品質不佳)，然於 113 年 4 月 14 日起已有明顯深潭，因仍有大量餘震不斷發生，遂即通報林業保育署花蓮分署關注，後於 113 年 4 月 17 日衛星影像發現已有明顯堰塞湖存在，遂馬上進行緊急通報，並由林業保育署花蓮分署透過無人載具空拍瞭解堰塞湖狀況，根據無人載具空拍影像確認堰塞湖已溢流後，進行相關堰塞湖應變工作。

目前堰塞湖雖溢流口逐漸擴大，但整體湖區暫無明顯變異但仍需注意後續汛期強降雨之影響。由於木瓜溪堰塞湖災害位置具有交通不可及特性，若要投入人力進行調查除了交通限制外，其四周地形陡峭嚴峻對調查人員活動上具有安全上的顧慮及威脅，故為求能迅速且有效的掌握災害發生現況、發生原因及區域全貌，建議後續採用無人載具空拍作業進行追蹤，除了具備高機動力外，亦可克服傳統現地調查之地形障礙，取得現地照片，提供較完善的現地資訊供後續災情量化評估使用，有利於災情量化作業。

表 3-1、堰塞湖航遙測影像判釋追蹤列表

採用影像來源	時間點	堰塞湖區狀態
Sentinel-2	113/3/25	113 年 0403 地震前，沒有蓄水，尚未形成
PlanetScope	113/4/3	113 年 0403 地震後，餘震不斷，沒有蓄水，尚未形成
Sentinel-2	113/4/4	113 年 0403 地震後，餘震不斷，沒有蓄水，尚未形成
FORMOSAT-5	113/4/5	113 年 0403 地震後，餘震不斷，沒有蓄水，尚未形成
PlanetScope	113/4/14	113 年 0403 地震後，餘震不斷，已有深潭蓄積
PlanetScope	113/4/17	113 年 0403 地震後，餘震不斷，原有深潭蓄水形成堰塞湖
無人載具空拍 UAV	113/4/20	確認堰塞湖已溢流，啟動應變工作
Sentinel-2	113/4/29	堰塞湖區無明顯變異
無人載具空拍 UAV	113/5/1	堰塞湖區無明顯變異
無人載具空拍 UAV	113/5/10	堰塞湖已溢流

圖 3-1、盤石(三) 9621-II-095 航照正射(70/4/27)

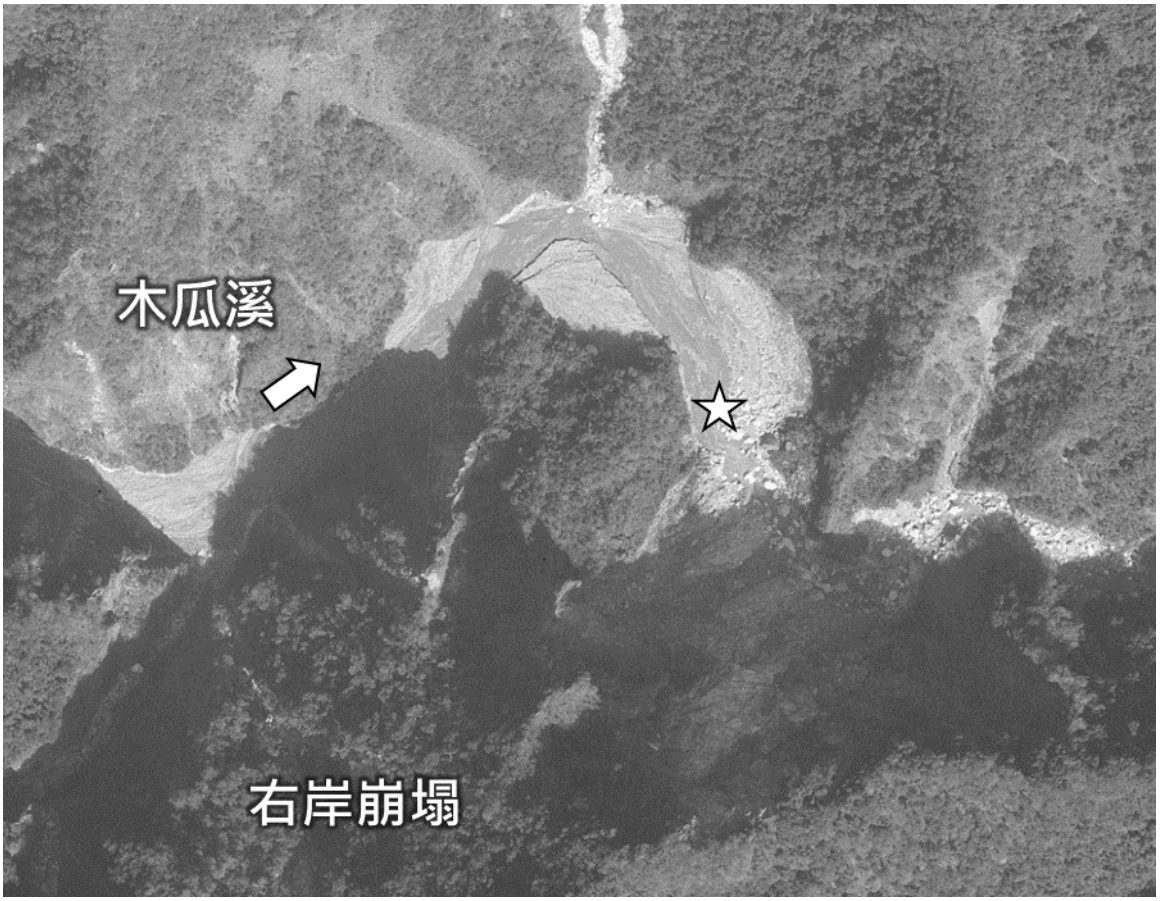


圖 3-2、盤石(三) 9621-II-095 航照正射(75/7/15)

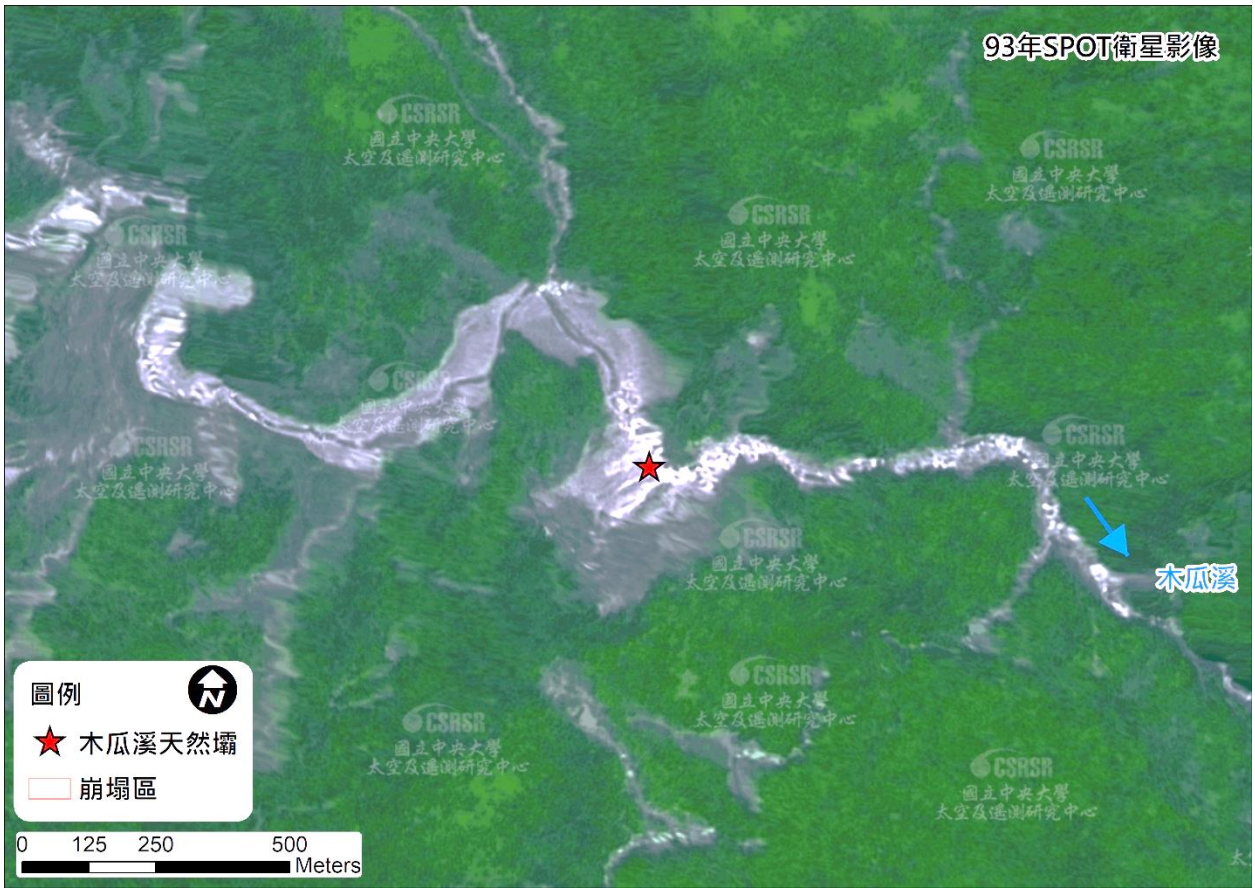


圖 3-3、SPOT 衛星影像(93 年)

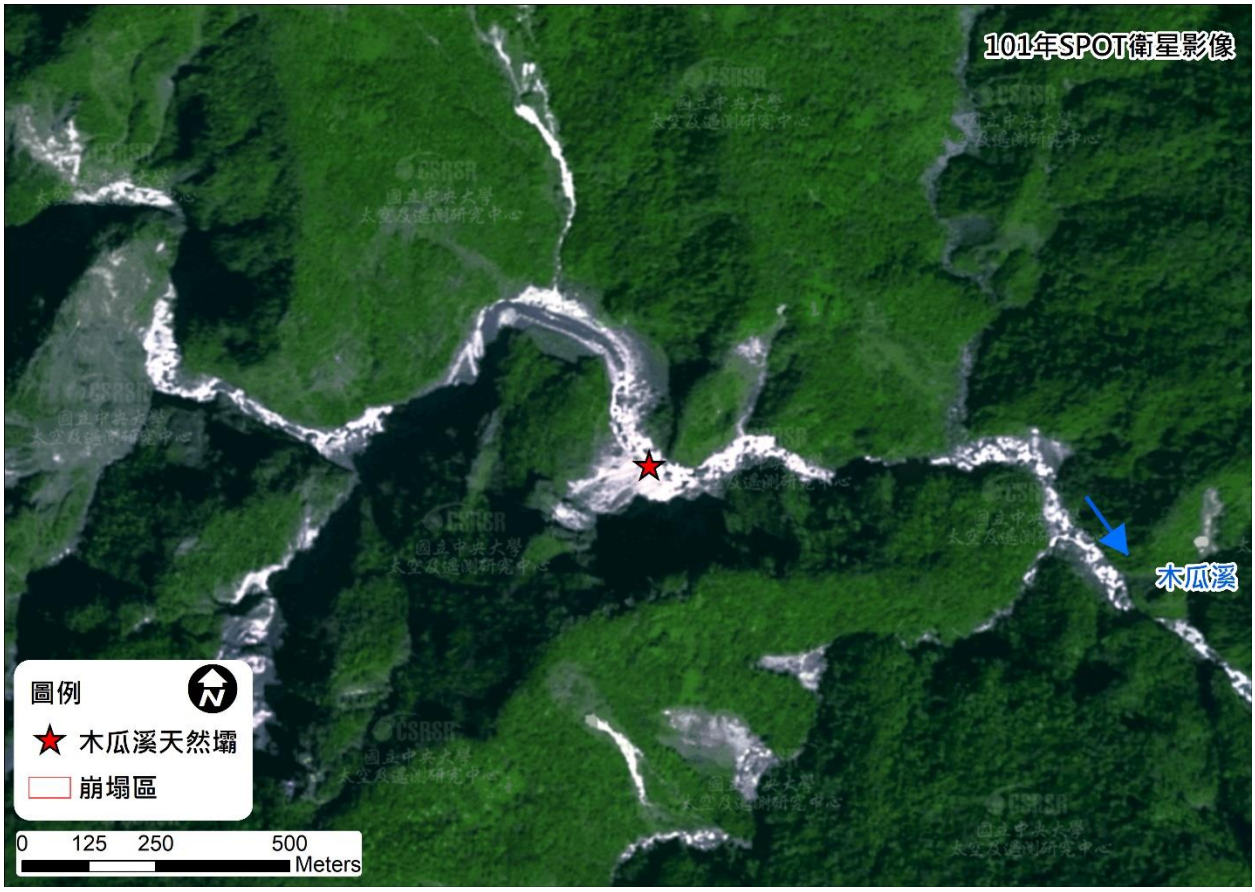


圖 3-4、SPOT 衛星影像(101 年)

圖 3-5、SPOT 衛星影像(105 年)

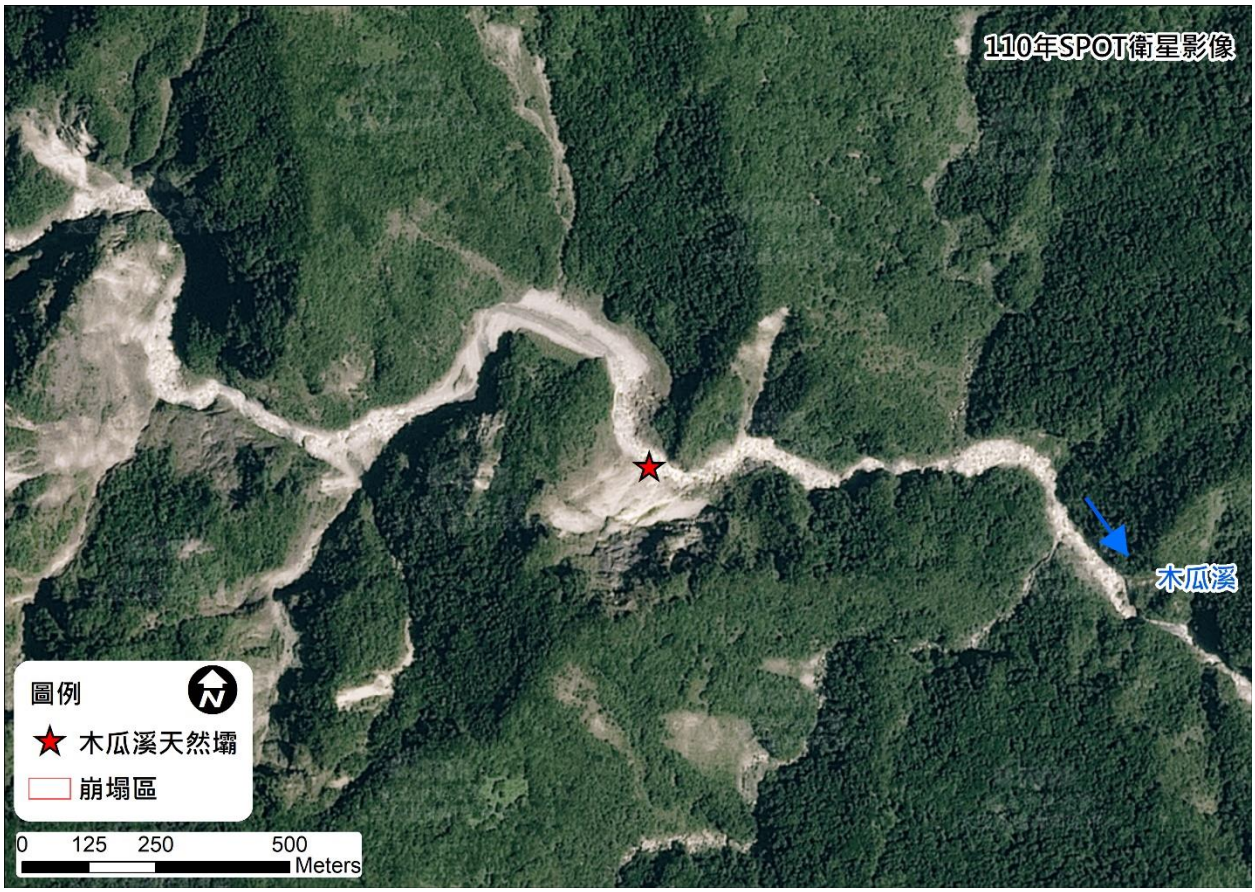


圖 3-6、SPOT 衛星影像(110 年)

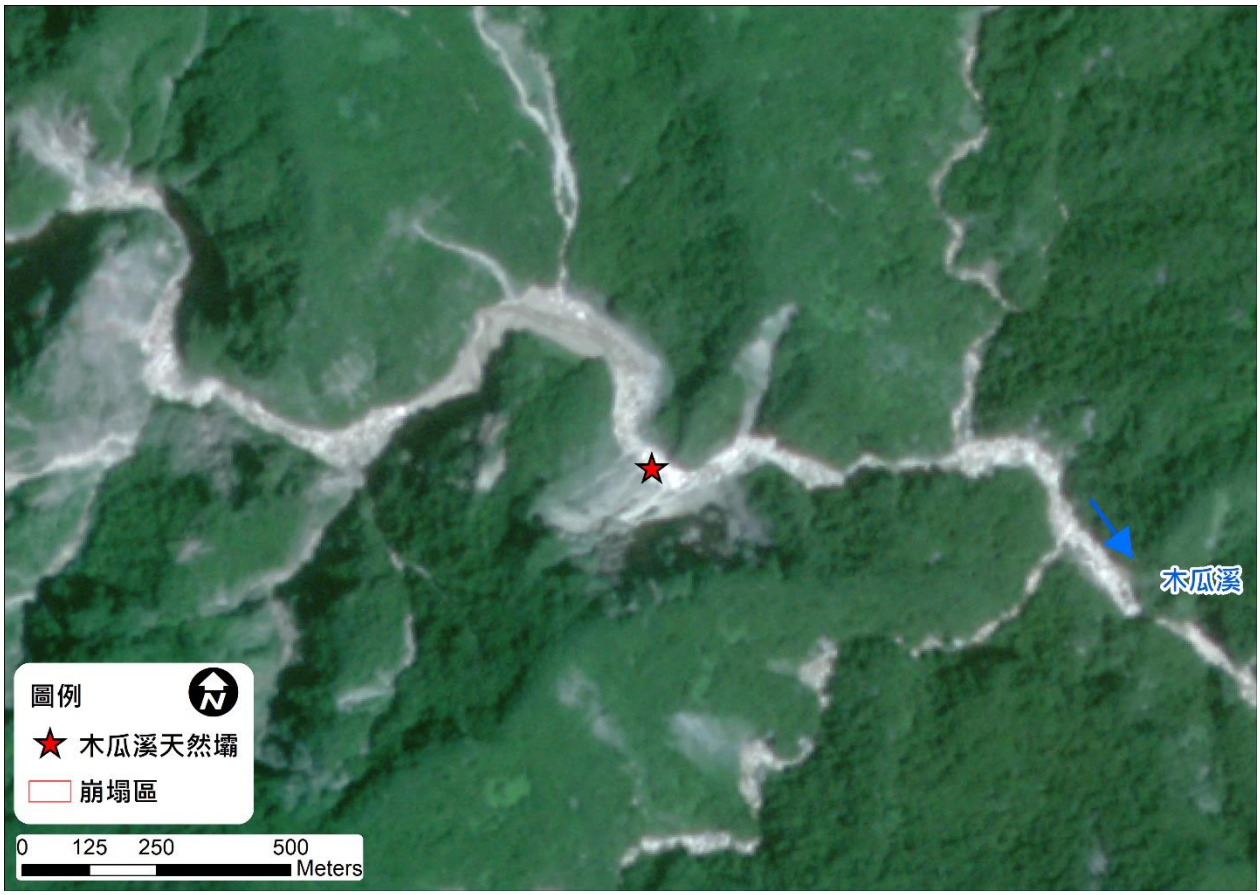


圖 3-7、木瓜溪堰塞湖(112/9/13)- 堰塞湖尚未形成 (PlanetScope 影像)

圖 3-8、木瓜溪堰塞湖(113/3/25)-堰塞湖尚未形成(Sentinel-2)

圖 3-9、木瓜溪堰塞湖(113/4/3)-地震後堰塞湖尚未形成(PlanetScope 影像)

圖 3-10、木瓜溪堰塞湖(113/4/4)-堰塞湖尚未形成(Sentinel-2)

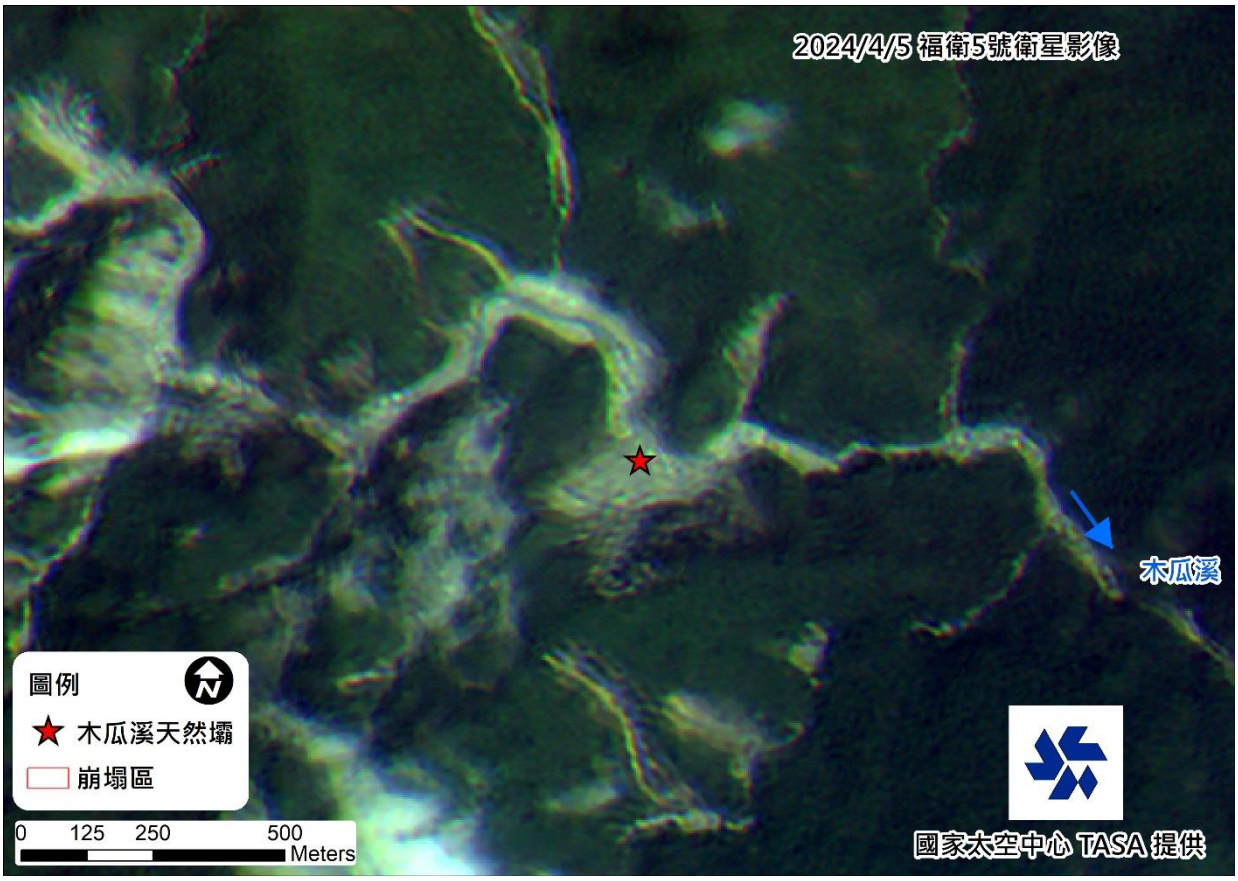


圖 3-11、木瓜溪堰塞湖(113/4/5)-堰塞湖尚未形成(FORMOSAT-5)

圖 3-12、木瓜溪堰塞湖(113/4/14)- 深潭蓄積

圖 3-13、木瓜溪堰塞湖(113/4/17)-堰塞湖形成

圖 3-14、木瓜溪堰塞湖(113/4/29 航照)- 堰塞湖無明顯變異

肆、現地調查及地形分析

4-1、崩塌地基本資料

本次崩塌地調查基本資料如表 4-1 所示，木瓜溪右岸崩塌地行政區域位於花蓮縣秀林鄉銅門村(圖 4-1)，鄰近奇萊/龍溪交界處遠眺點直線距離約 1.5 公里處(海拔高度約 1,109 公尺) (圖 4-2)，為林業保育署花蓮分署木瓜山事業區第 47 與 57 林班地交界。崩塌地位於木瓜溪右岸，代表座標為(X：288412、Y：2656216，TWD97)。

堰塞湖天然壩沿河道往下游約 17 公里即達銅門部落，沿途經過榕樹社區、文蘭部落等地，並流經木瓜溪橋(台 9 線 201K 與花東鐵路)。由於木瓜溪河道屬於地形陡峭之岩屑崩落類型，且堰塞湖天然壩及崩塌地無道路可到達，具有交通不可及之特性，所幸鄰近周邊有往林業保育署花蓮分署之磐石駐在所聯絡道(龍溪路與奇萊路交界轉角，具有一處高位遠眺與無人載具空拍點可提供人員目視巡查與無人載具起降)。

目前崩塌地海拔最高處為 1,060 公尺，最低處為 580 公尺，高差約為 480 公尺，過去木瓜溪右岸坡面雖然呈現裸露狀態，但河道仍可自然流通，但藉由本次現地調查後發現，右岸坡面已發生崩塌，土砂堆積造成河道堵塞，導致蓄積迴水形成堰塞湖。崩塌土砂之組成材料以塊石為主，所在坡面岩石風化程度呈中至高度，崩塌地坡腳有崖錐堆積，崖錐物質為岩屑，所在坡面出露之岩層為大理岩及片岩質為主。

表 4-1、木瓜溪右岸崩塌地調查表

(1)基本資料　　調查時間：5 月 10 日　　調查者：林昂、吳定澄

縣市別	鄉鎮別	村里別	集水區名稱	TWD97 座標		顯著地標
				X	Y	
花蓮縣	秀林鄉	銅門村	木瓜溪	288412	2656216	林業保育署花蓮分署磐石駐在所 龍溪路與奇萊路交界轉角
林班地	木瓜山事業區第 47、57 林班地					
崩塌區位	□河岸淘刷崩塌 ■河岸山腹崩塌 □集水區邊坡崩塌					

(2)現場情形

崩塌原因 (可複選)	□暴雨集中 ■地震 □河岸淘刷 □其他	
崩塌類型 (可複選)	□落石 □翻轉型破壞■楔型破壞□平面破壞□弧形破壞 ■表層岩屑崩滑 □潛移 □沖蝕 □路基流失 □其他	
崩塌地岩層	□層狀岩石 ■塊狀岩石 □砂頁岩互層 □礫岩 風化岩	
岩層組成材料 (可複選)	□火成岩(□長石 □石英 □輝石) ■變質岩(□板岩 ■片岩 □片麻岩 □變質砂岩 ■大理石) □沉積岩(□砂岩 □頁岩 □礫岩 □石灰) □其他(□崩積土 □其他_____)	
規模(m)	□皮尺測量 □目視 ■影像判釋 最大長度 350 *m*，最大寬度 310 *m*	
植被狀況	■裸露地 □草地 □人造林 □自然林	
植被覆蓋程度	■裸岩 □落石堆積（無植被:植被面積<10%） □落石堆積（植被稀疏:10%<植被面積<30%） □植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) □植被密集(植被面積>80%)	
土地 利用 (可複選)	上邊坡	□建地 □水田 □旱田 □果園 □檳榔園 □竹林 □人造林□道路 □景觀區 ■其他(林地)
	下邊坡	□建地 □水田 □旱田 □果園 □檳榔園 □竹林 □人造林 □道路 □景觀區 ■其他(林地)

(3)保全對象

建築物	□無 □公共建築(學校、醫院、民眾聚集場所等) ___處 □民宅 戶(五戶以上為聚落)				
公共設施	□無 □道路_____可能危害長度____公尺 ■橋樑_____數座_____座(名稱：銅門大橋、仁壽橋) □護坡(或擋土牆)可能危害長度___公尺(波浪狀嚴重變形) ■水利設施(台電公司木瓜壩、水簾壩)				
其他	■無 □農地、果園 □其他_____				
保全對象住戶地址	□				
下游鄰岸聚落	銅門、榕樹、文蘭				
災害歷史 ■有 □無	時間	災害類型	災害原因	災損情況(傷亡、財損)	防治工程
	不可考	崩塌		無	無
崩塌危害度	目前木瓜溪堰塞湖崩塌仍處不穩定，可能受到後續降雨或地震事件，影響下再次擴大崩落，所幸崩塌區無保全對象，無立即性危害。				

圖 4-1、木瓜溪堰塞湖位置圖

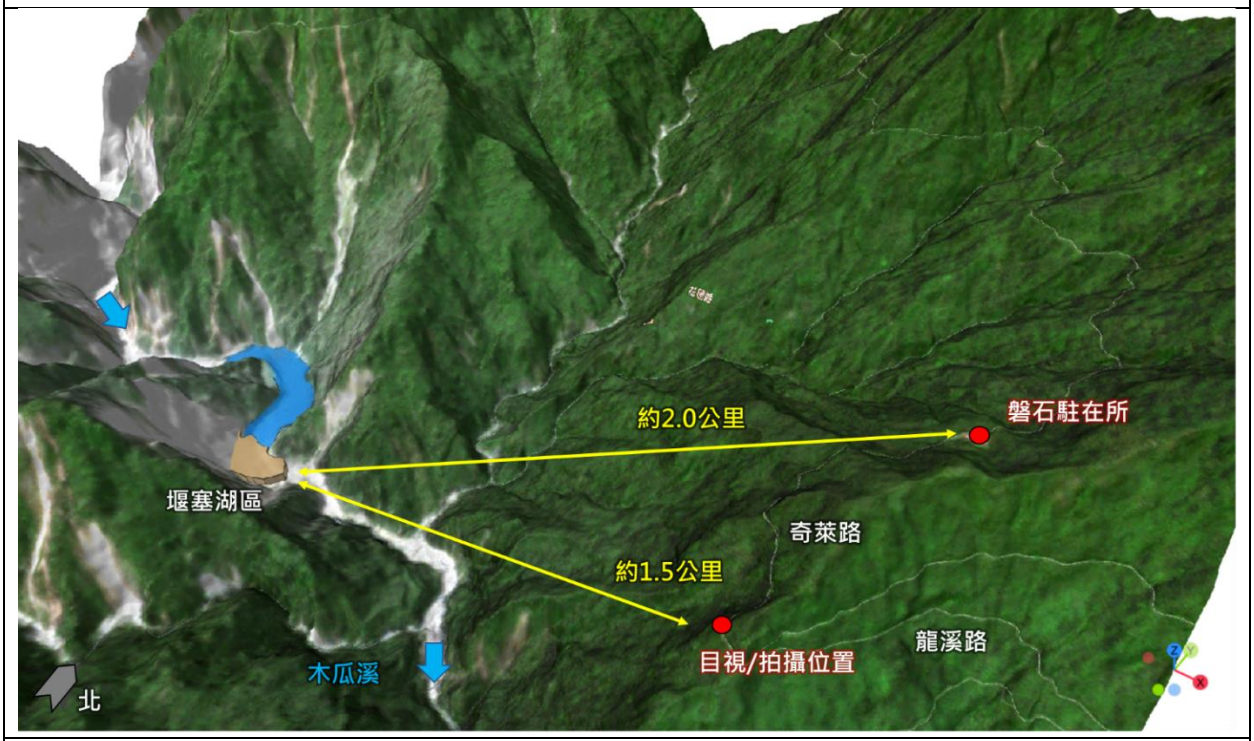


圖 4-2、木瓜溪堰塞湖與周邊交通位置圖

4-2、現況說明

由於木瓜溪河道上游兩側呈連續之峽谷地形，地形險阻，具有交通不可及之特性，故採用無人載具空拍進行相關調查評估作業。

木瓜溪堰塞湖由右岸崩塌地之土砂阻塞河道而成，且目前堰塞湖區已溢流中。藉由災前航遙測資料研判該崩塌屬於舊有崩塌區，本身坡面已具有不穩定的因素。本次空拍調查分別針對既有崩塌區、堆積土體與天然壩、溢流口及蓄水區之變化，進行詳細說明如下：

(1)、崩塌區

天長大理岩呈塊狀，沒有葉理，但是仍然可以發育出解壓節理，大理岩表面曝露於大氣中受到大氣、水和陽光影響，接觸產生物理性崩解和化學性分解等破壞性作用，因而變成破碎之風化岩，稱之為「解壓節理」，本案位處於陡峭岩壁上，故節理發達之岩體更容易風化出露，易受到外營力影響啟動岩塊與岩體分離機制，並引發相關土砂(崩塌、岩屑)災害。

崩塌坡面位於木瓜溪右岸，研判崩塌發生原因係該坡面位處於攻擊坡，長期受河道侵蝕坡腳，加上長期的風化作用導致邊坡不穩，受到本次 113 年 0403 地震與餘震群引起地表搖晃作用，因地震力產生加速度使殘石稜線風化材料因而崩落。目前坡趾崖錐堆積，且既有裸露面已見岩盤出露，主要因稜線崩落為主，崩塌地最大長度約 350 公尺，最大寬度約 310 公尺，崩塌地面積約 6.86 公頃。

(2)、堆積土體與天然壩

本災害屬天長大理岩，岩性多為透鏡狀大理岩體，岩體風化程度呈中至高度。木瓜溪堰塞湖天然壩壩頂長度為 70 公尺，天然壩壩底長度為 180 公尺，壩頂最大寬度為 90 公尺，天然壩壩底寬度為 35 公尺，壩高為 30 公尺，壩體土方量約為 19 萬立方公尺，目前天然壩左岸已被沖刷出一溢流水道。

(3)、溢流口

透過航測照片與衛星影像判釋目前溢流口寬度約為 10 公尺，雖然比原河寬(原河道約 35 公尺)較為狹窄，但目前河水已自然流出，研判堰塞湖蓄水量、湖水面積亦無繼續增加之情形。

(4)、蓄水區

據空中勘查照片顯示，目前蓄水位已達壩體最高位置而形成溢流，天然壩上游迴水長度約 700 公尺，最寬處為 130 公尺，最大可能水深約 29 公尺，蓄水面積為 5.6 公頃，蓄水體積為 46 萬立方公尺。

由於堰塞湖天然壩沿河道距離下游保全對象所在位置約 17 至 21 公里，且堰塞湖天然壩堆積土砂量體有限，再加上目前已有自然溢流情形，對下游地區的影響及威脅也會逐漸減少，後續河道土方沖失後河道即能恢復通暢。

表 4-2、木瓜溪堰塞湖現況參數表

木瓜溪堰塞湖		量化資訊	單位
位置	秀林鄉銅門村	坐標: 288412, 2656216	(TWD97)
崩塌區	最大長度	350	公尺
	最大寬度	310	公尺
	崩塌面積	6.86	公頃
天然壩	壩頂長	70	公尺
	壩頂寬	90	公尺
	壩底寬	35	公尺
	壩高	30	公尺
蓄水區	最大長度	700	公尺
	最大寬度	130	公尺
	最大深度	29	公尺
	蓄水面積	5.6	公頃
	蓄水體積	46 萬	立方公尺
下游	沿河道距離下游保全對象	17~21	公里

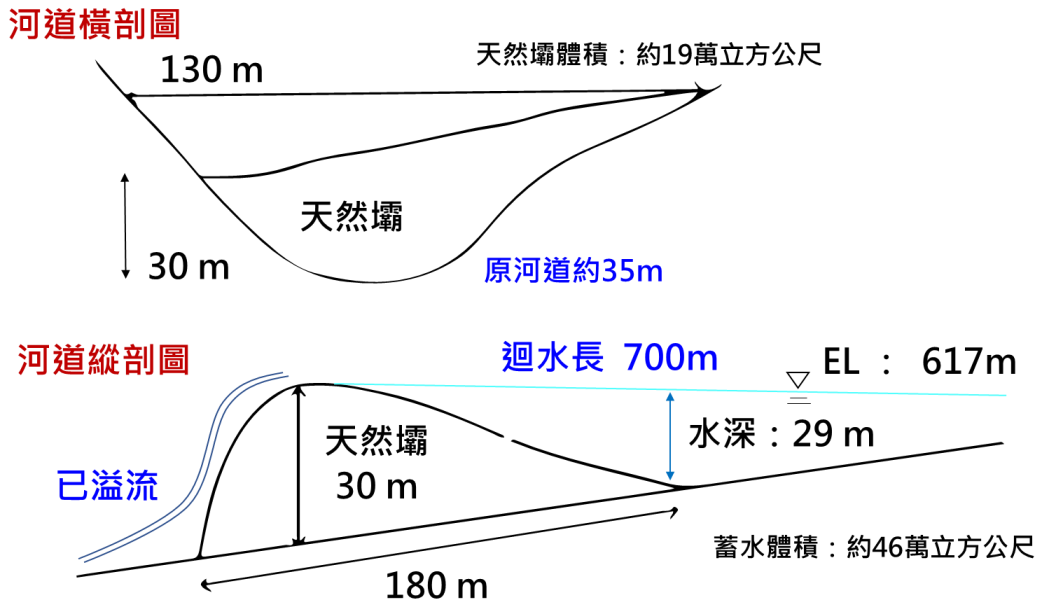


圖 4-3、木瓜溪堰塞湖尺寸參數基本示意圖

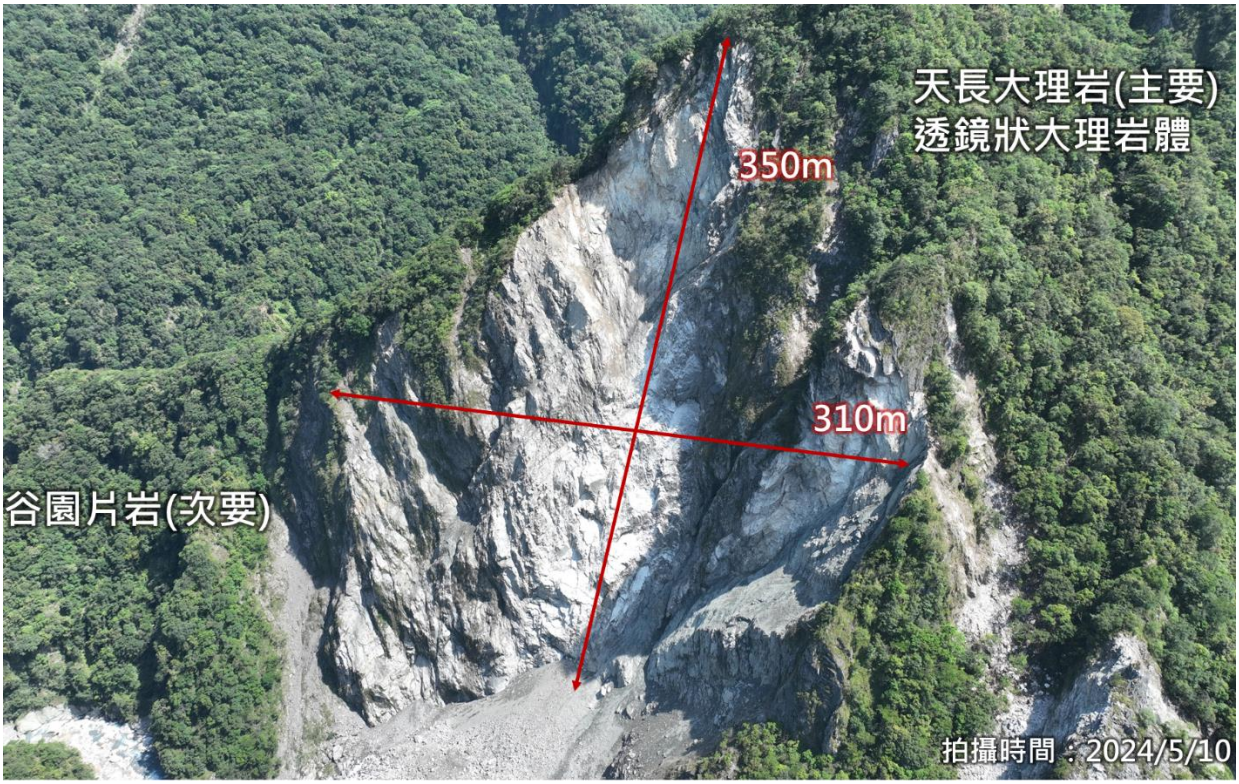


圖 4-4、木瓜溪右岸崩塌地尺寸判釋成果

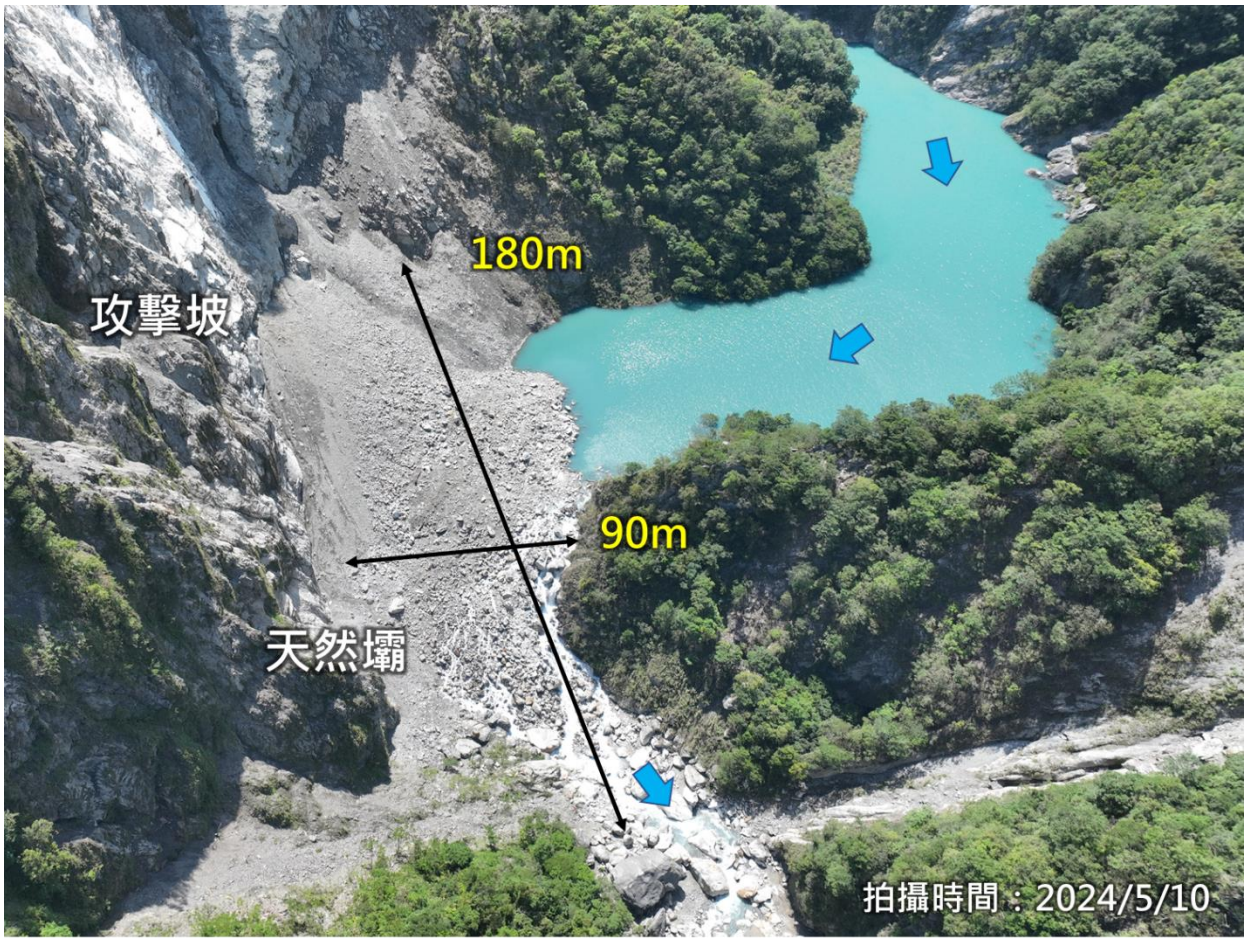


圖 4-5、木瓜溪堰塞湖天然壩尺寸判釋成果

圖 4-6、木瓜溪堰塞湖迴水上游空拍照片(上游往下游看)

圖 4-7、木瓜溪堰塞湖溢流口空拍照片

圖 4-8、木瓜溪堰塞湖蓄水區河寬示意圖

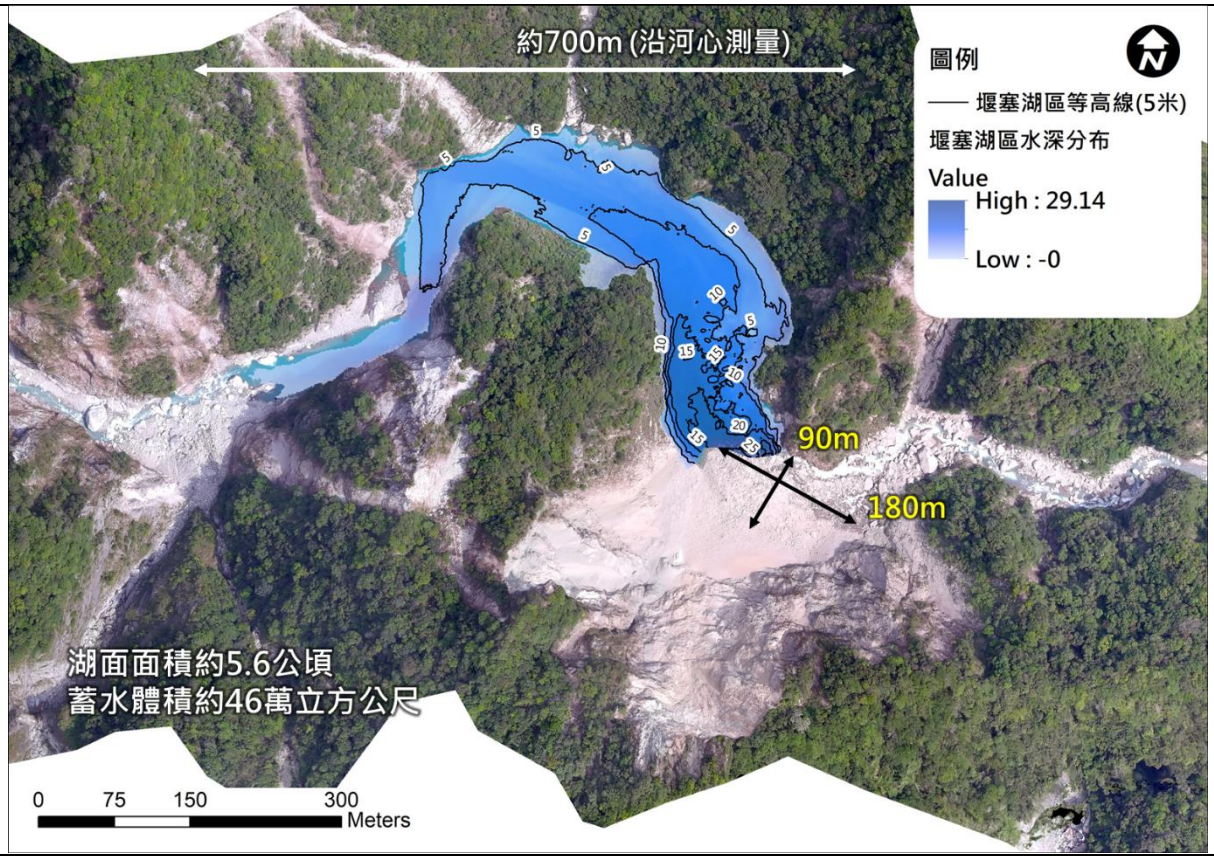


圖 4-9、木瓜溪堰塞湖水體體積估算圖

4-3、地形分析

本計畫將無人載具空拍影像產製正射影像與木瓜溪堰塞湖及右岸崩塌地之數值地形，以作為崩塌地地形分析之基礎。

本計畫根據無人載具空拍照片產製之災後數值地形(圖 4-10)，並蒐集前期 104 年高精度 DEM 資料比對本次現場無人載具空拍產製之 DSM 進行相互比較，由木瓜溪堰塞湖右岸崩塌地之地形縱剖面(圖 4-11 至圖 4-12 所示)可經由轉折點區分出崩塌區、崖錐堆積、崩塌土體堆積區等分區，依結果顯示，目前崩塌已崩塌至稜線，地形呈現為一凹型坡，崩塌區地形前後高低差距約 40~50 公尺，而土體堆積於河道後地形前後高低差距約 20~30 公尺，風化旺盛，且堰塞湖左右兩側為陡坡類型，具有交通不可及的特性。

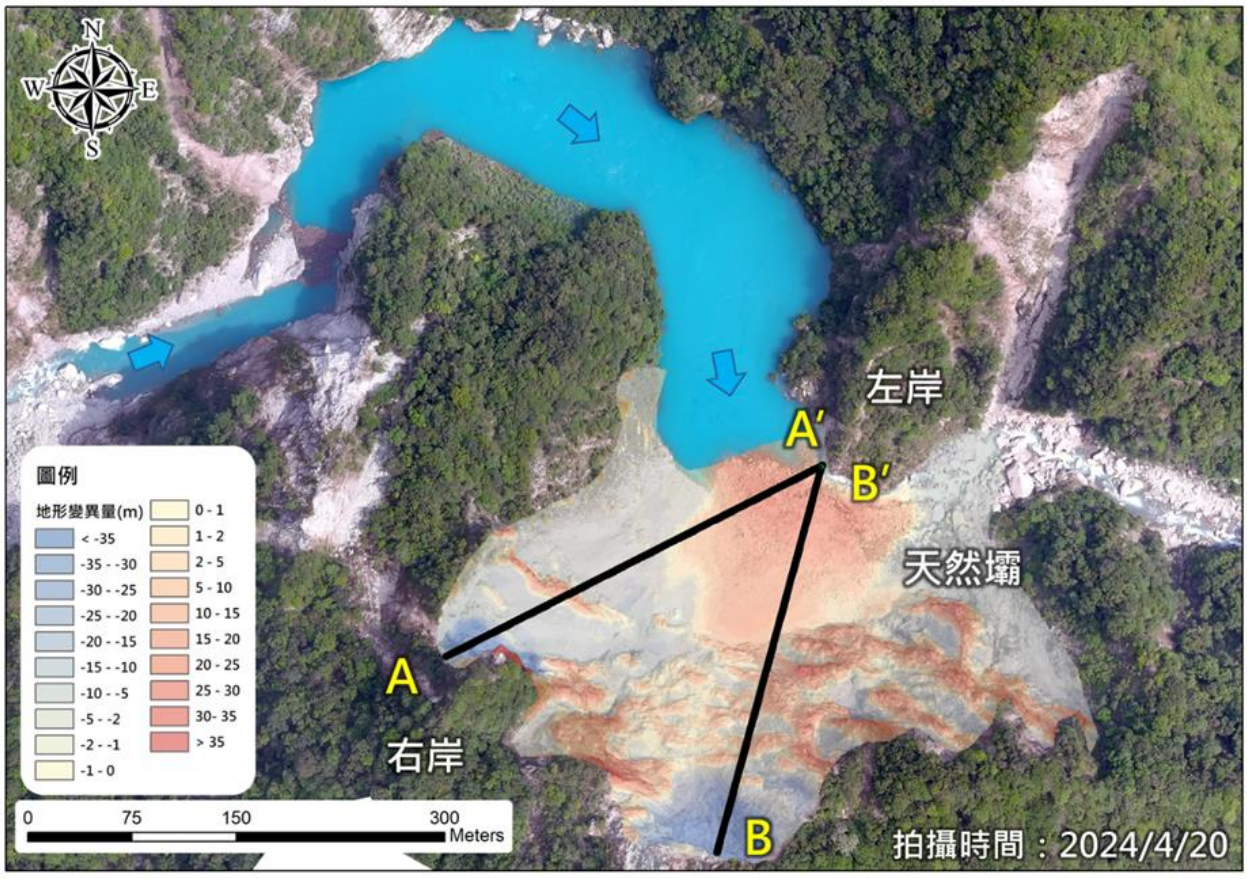


圖 4-10、木瓜溪堰塞湖縱剖面位置圖

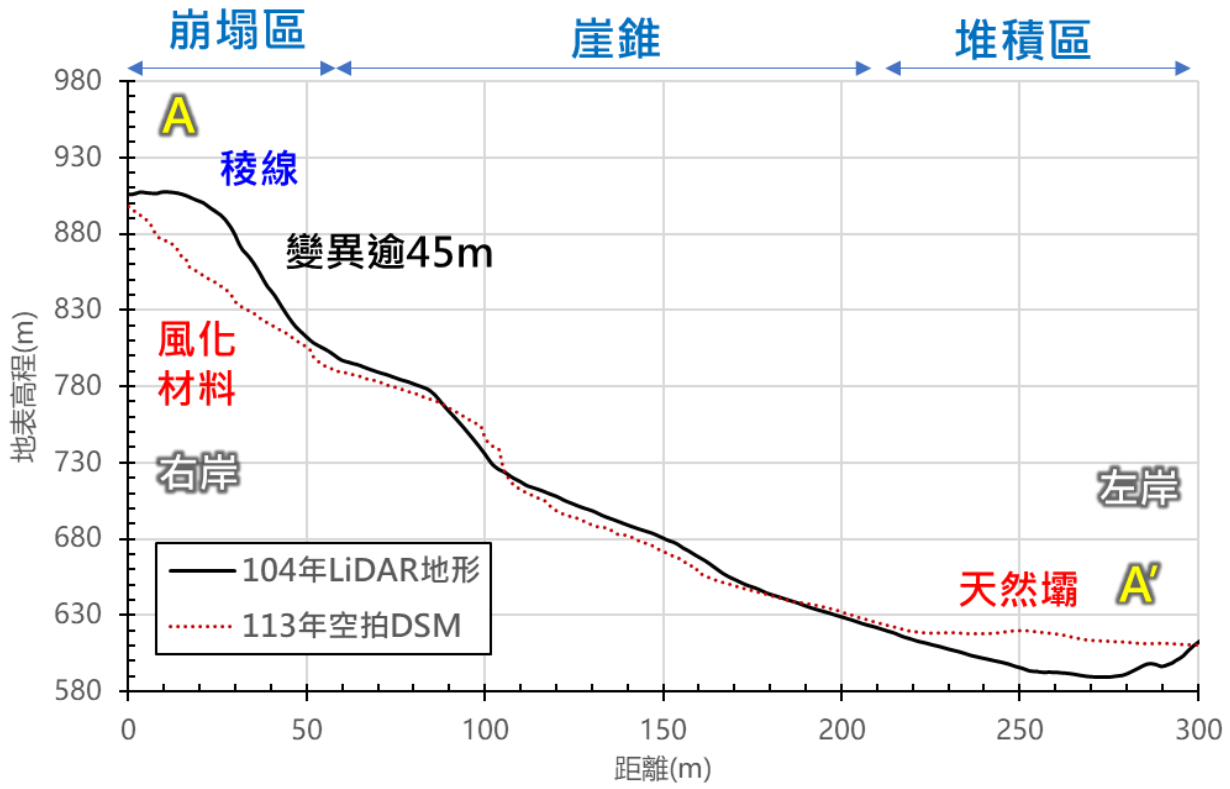


圖 4-11、木瓜溪堰塞湖縱剖面 AA'示意圖

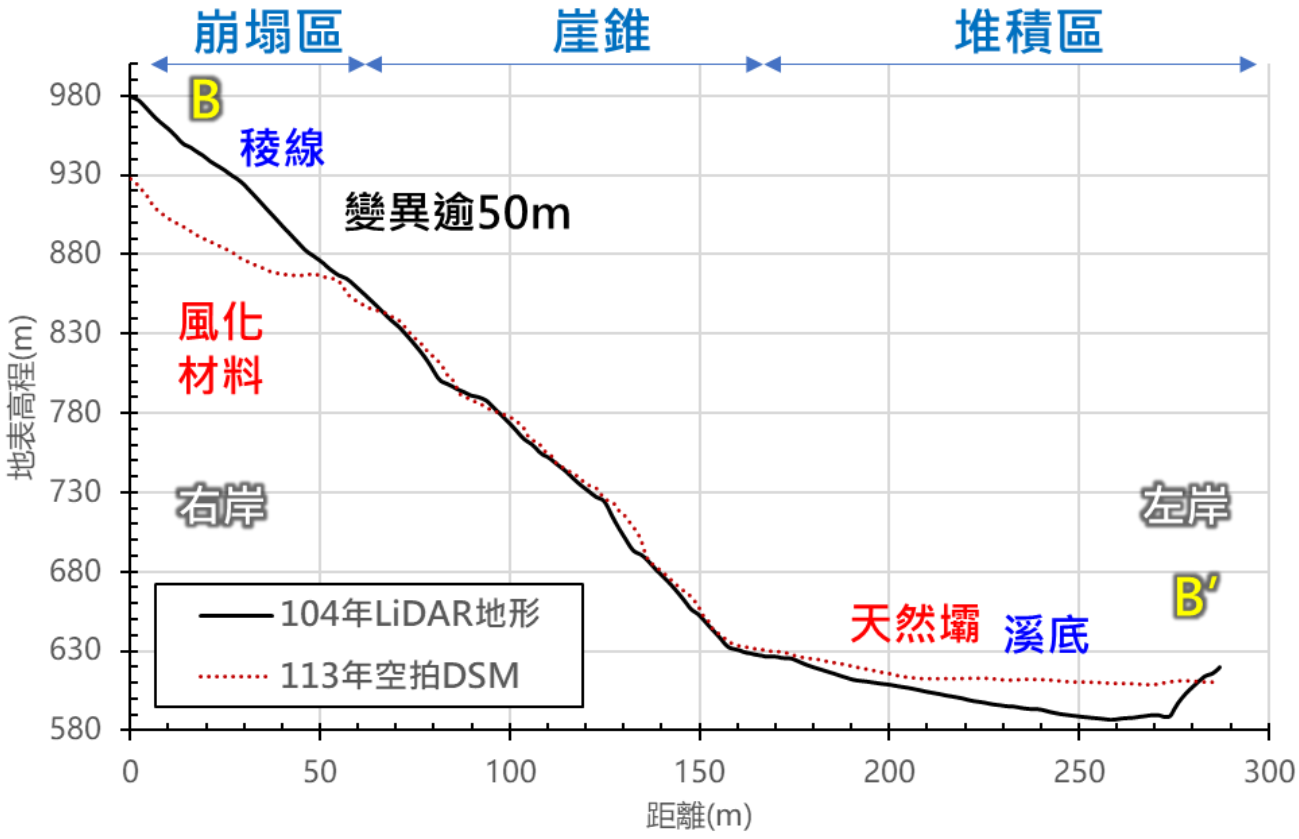


圖 4-12、木瓜溪堰塞湖縱剖面 BB'示意圖

4-4、下游保全對象分布

由於木瓜溪堰塞湖天然壩壩體後方蓄積水體，若壩體持續溢流沖刷破壞，溢流道將逐漸擴大且加深，壩高亦逐漸沖刷降低，壩體後方水體流出水量將增加，導致下游河川水位及流量增高，造成下游鄰近河岸之社區、道路、橋梁等設施發生洪水或土砂沖淤災害，因此須針對其上游與下游側評估可能之保全對象分佈，以利相關緊急疏散撤離等決策之參考。木瓜溪堰塞湖其上游迴水範圍內並無保全對象，故主要針對下游可能遭受潰壩洪水影響區域進行調查與評估。沿途經過榕樹社區、文蘭部落等地，並流經木瓜溪橋(台9線201K與花東鐵路)

木瓜溪堰塞湖與下游最鄰近主要保全對象分別為銅門部落、榕樹社區、文蘭部落，距離堰塞湖約17至21公里，推估堰塞湖蓄水體積約為46萬立方公尺。雖然上述保全對象與木瓜溪堰塞湖沿河道距離皆超過17公里以上，且目前堰塞湖已呈穩定溢流，無立即危害疑慮，但仍建議相關單位針對自堰塞湖起至花蓮溪匯流處進行河道勸導，避免人員進入溪床遊憩，以策安全。

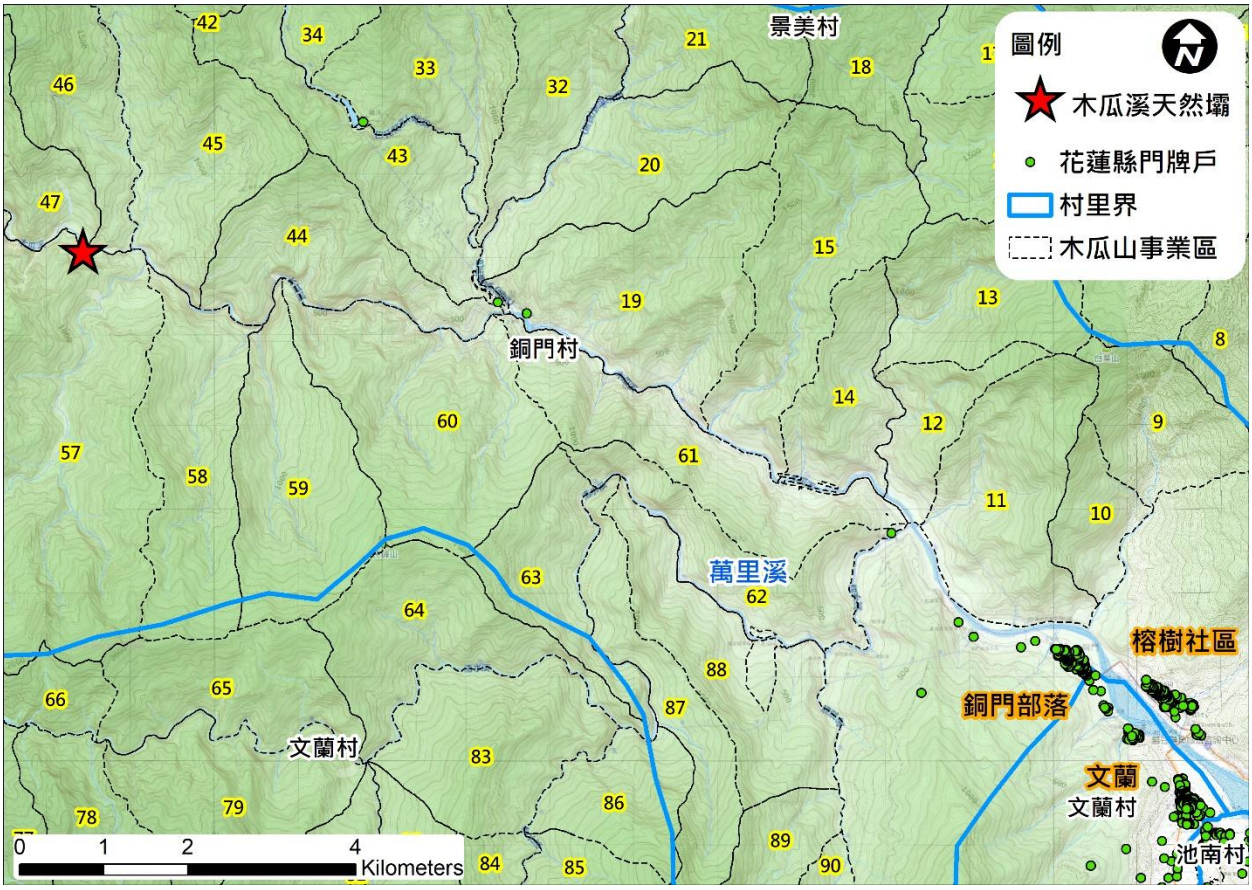


圖 4-13、木瓜溪堰塞湖可能保全對象分布圖

圖 4-14、木瓜溪堰塞湖可能保全對象現地照片

伍、堰塞湖災害量化評估資料

5-1、壩體穩定性評估

木瓜溪是台灣東部花蓮溪水系最北，也是流域面積最大的支流。流經花蓮縣秀林鄉、壽豐鄉與吉安鄉，為吉安鄉與壽豐鄉的分界河，最後在經東華大橋後約 1 公里注入花蓮溪。木瓜溪最遠源流為發源於能高南峰東南坡的清水溪，由此源流計算，木瓜溪長約 54 公里，而溪名為木瓜溪的本流發源於能高南峰東北坡的檜溪，長 42.78 公里，木瓜溪流域面積 468.21 平方公里。木瓜溪溪流左、右岸土壤肥沃及縱谷平原的地理環境，造就了豐饒的農業，是吉安鄉及壽豐鄉主要的農業生產區域，就業人口中高度賴以為生。而木瓜溪堰塞湖上游集水區面積約為 110.18 平方公里，如圖 5-1 所示。

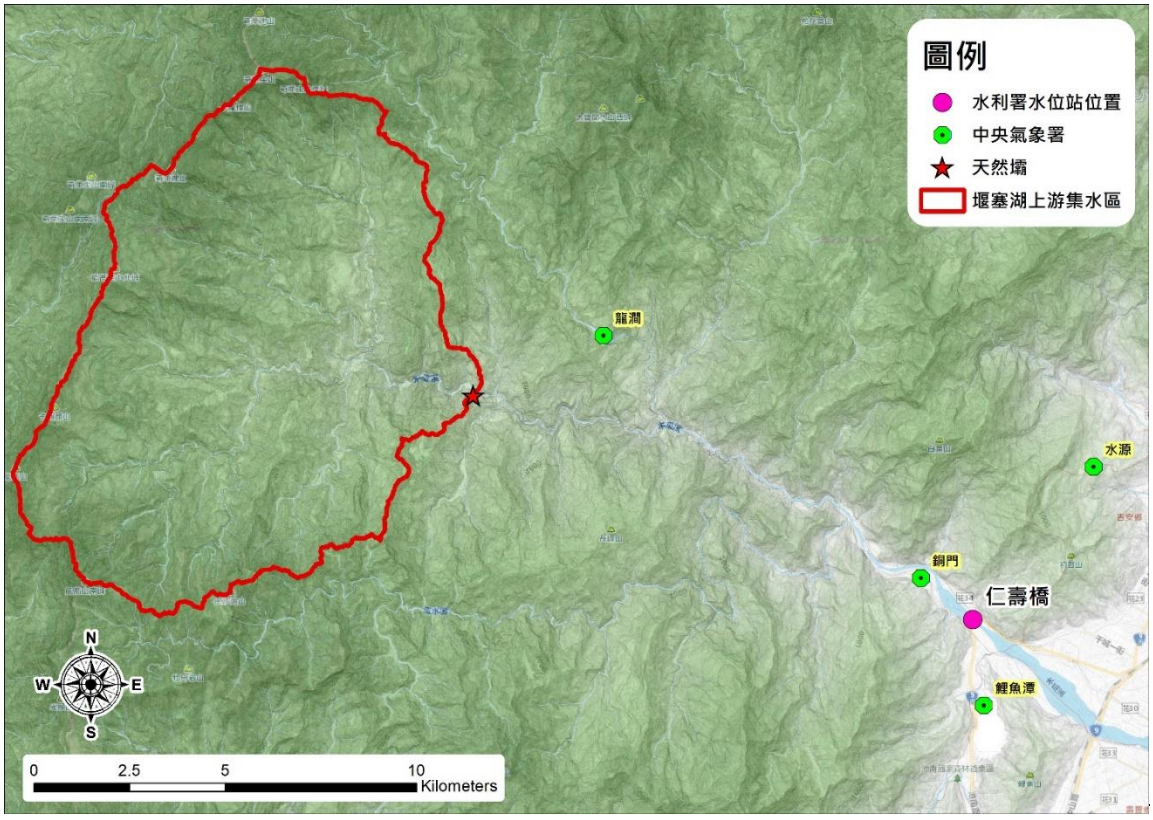


圖 5-1、木瓜溪堰塞湖上游集水區位置圖

由於天然壩穩定與否，將直接影響後續處置作業所需時程與資源投入，因此須謹慎評估。一般天然壩之穩定性評估可透過現場調查所得之壩體形狀、材料特性、水文條件配合數值分析方可完成，然本次災害位置之堆積土體受限於交通條件，並無法進行詳細的調查工作，因此採下述評估方式。

為了評估堰塞湖天然壩之穩定性，參考「國有林地堰塞湖應變標準作業程序」，採用 Erimini & Casagli (2003) 以義大利、日本、美加等國家之 84 個堰塞湖案例資料，利用統計方法歸納出堰塞湖天然壩體穩定性研判指標，稱為無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index，*DBI*)，其關係式如式 1。無因次阻塞指標以地形因子為基礎，採用堰塞湖上游集水面積(A_b，公頃)、天然壩壩高(H_d，公尺)及天然壩堆積土體體積(V_d，萬立方公尺)評估天然壩體穩定性，當 *DBI* 指數大於 3.08 者判定為不穩定壩體，小於 2.75 者為穩定壩體，介於 2.75 至 3.08 者則不予斷定。

$$DBI = \log\left(\frac{A_b \times H_d}{V_d}\right) \qquad \text{(式 1)}$$

其中，A_b 為堰塞湖上游集水面積(公頃)

H_d 為天然壩壩高(公尺)

V_d 為天然壩堆積土體體積(萬立方公尺)

根據前述地形資料分析成果，木瓜溪堰塞湖壩高 30 公尺，壩體體積約 19 萬立方公尺，上游集水面積 110.18 平方公里，經計算後 *DBI* 值為 4.24(圖 5-2)，將其堰塞湖天然壩判定為不穩定壩體。

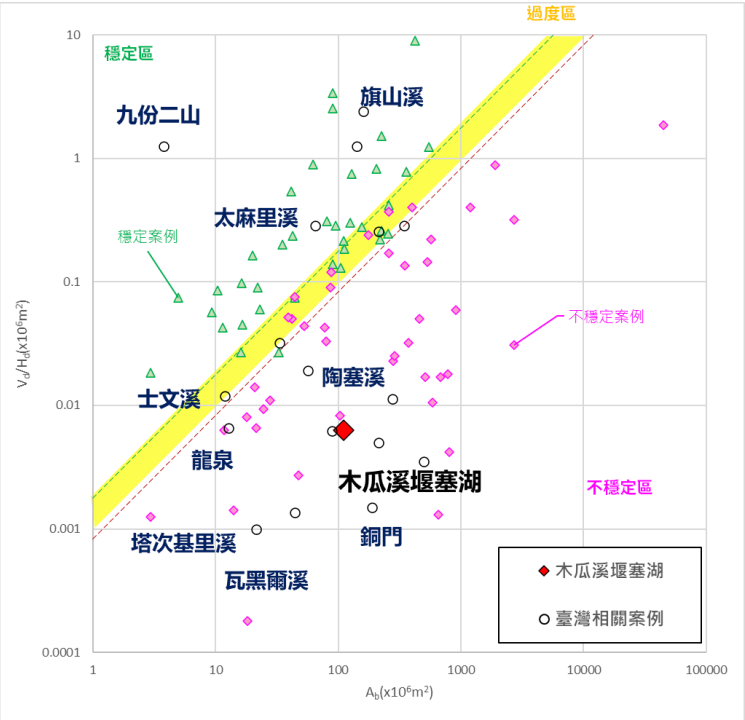


圖 5-2、堰塞湖天然壩體穩定性評估結果

然天然壩體安定性初步評估係指評估天然壩體之穩定性，壩體屬不穩定者，表示堰塞湖達滿水位或於河道流量增大時，天然壩體有易遭水流沖刷潰壞之虞，存留時間可能不長，故應立即進行保全之疏散避難；而壩體偏穩定者，雖不易瞬間潰壞，但容易蓄積大量水體而具高致災性，則可利用工程手段降低蓄水量以降低致災可能。本次調查之堆積土體經分析後屬不穩定狀態，且因地理位置及交通可及性不易到達，工程手段執行困難，故應就下游保全對象進行影響評估。

5-2、堰塞湖下游斷面(保全對象)檢核分析

根據上述評估結果判定木瓜溪堰塞湖天然壩為不穩定壩體，因此若堰塞湖壩體一旦潰決，將會對下游溪床水位造成變化。依據衛星影像結果配合內政部 104 年 LiDAR 地形針對保全對象的位置如圖 5-3 所示，相關地形剖面空間位置分布則如如圖 5-4 所示。

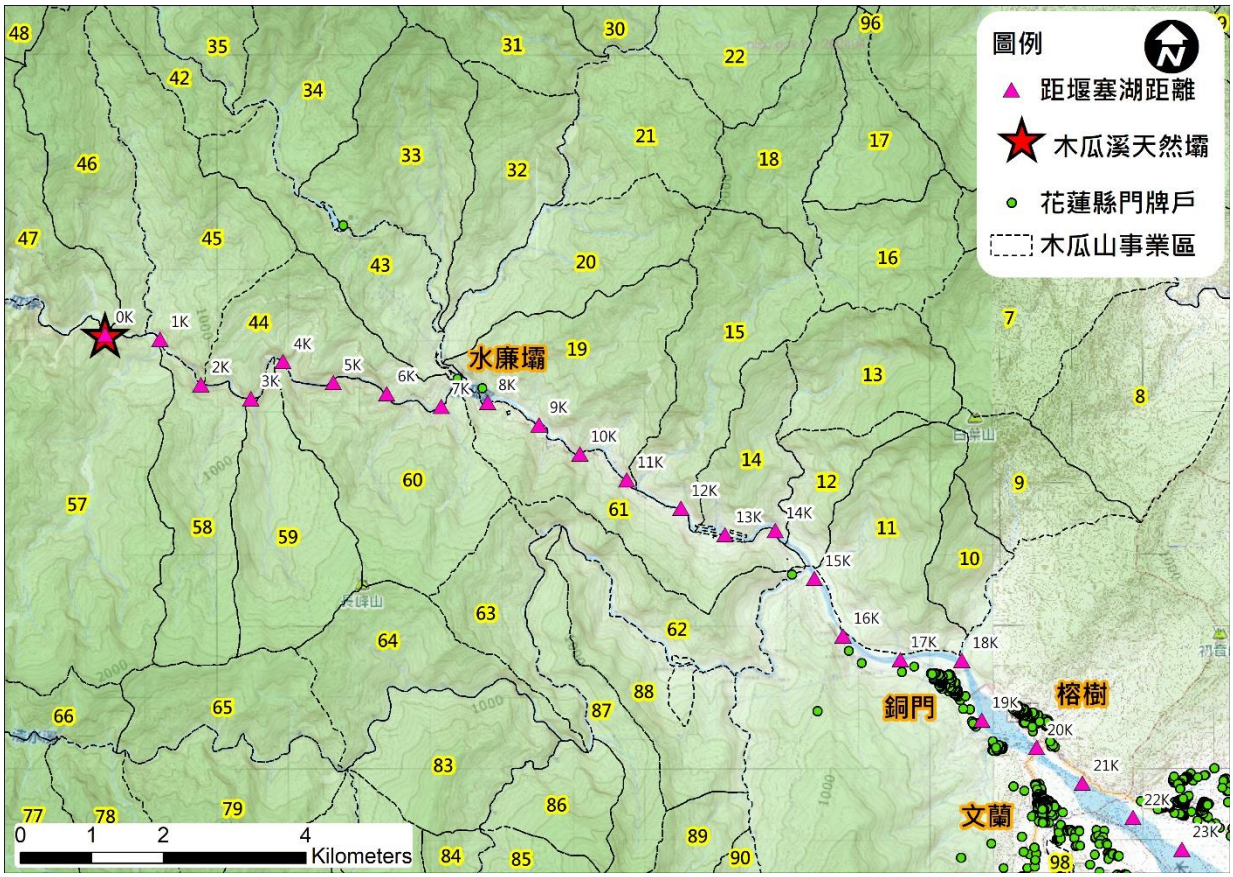


圖 5-3、木瓜溪堰塞湖下游主要保全對象相對位置圖

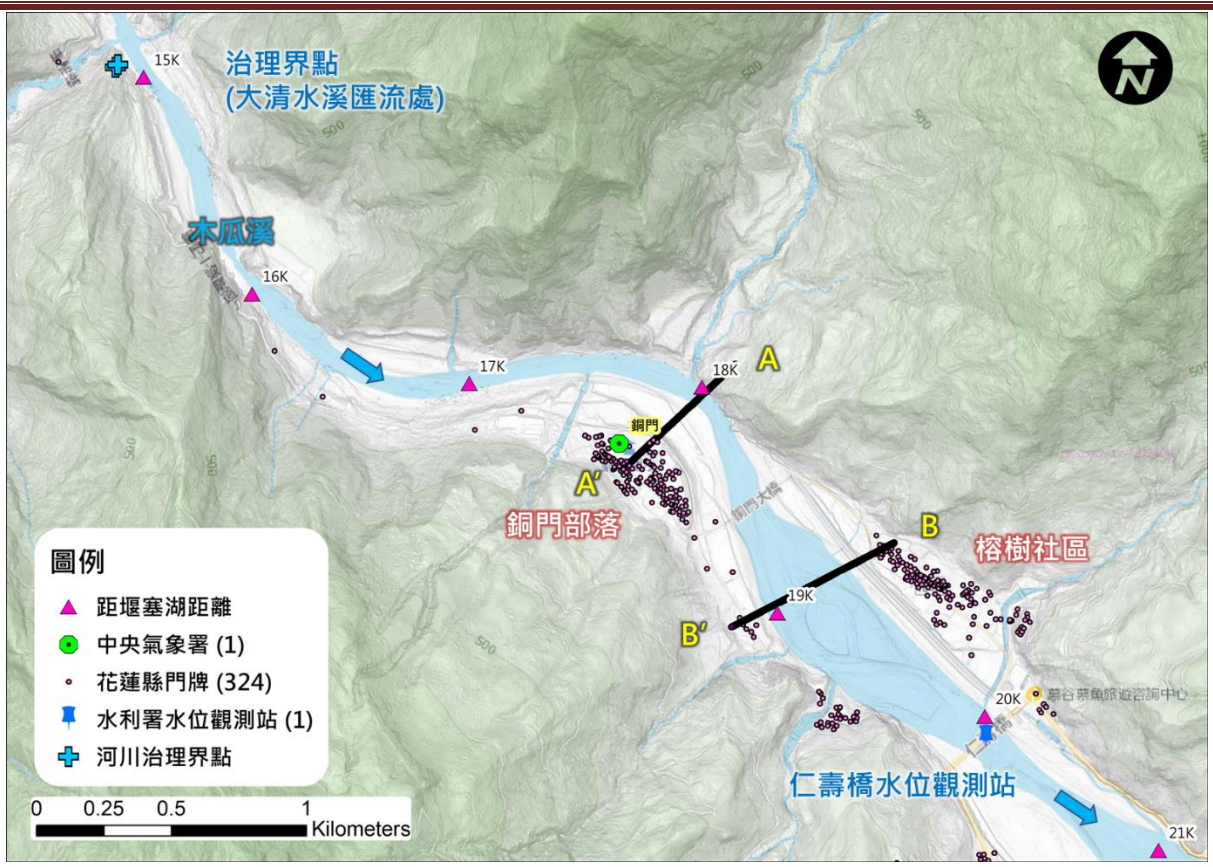


圖 5-4、下游保全對象 A、B 剖面位置(銅門、榕樹)

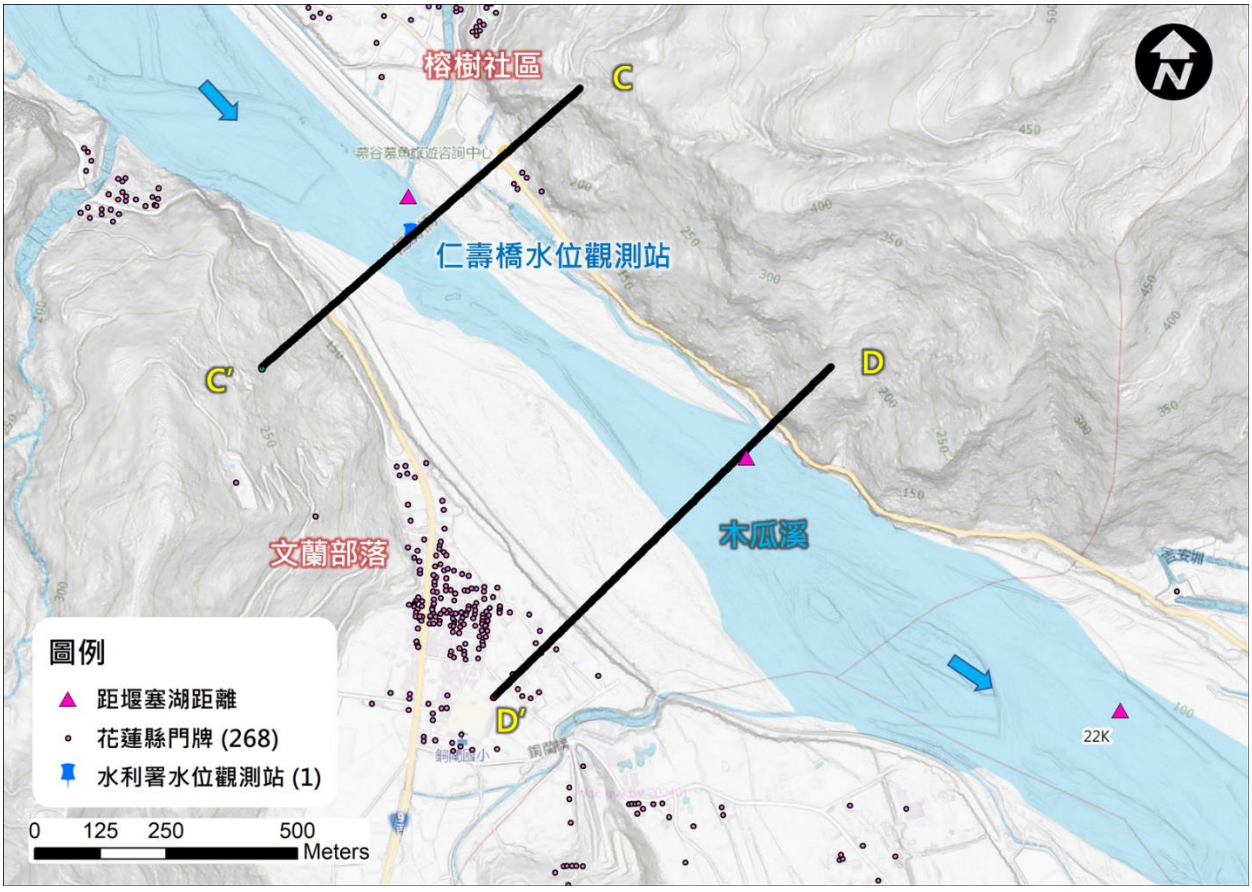


圖 5-5、下游保全對象 C、D 剖面位置(仁壽橋、文蘭)

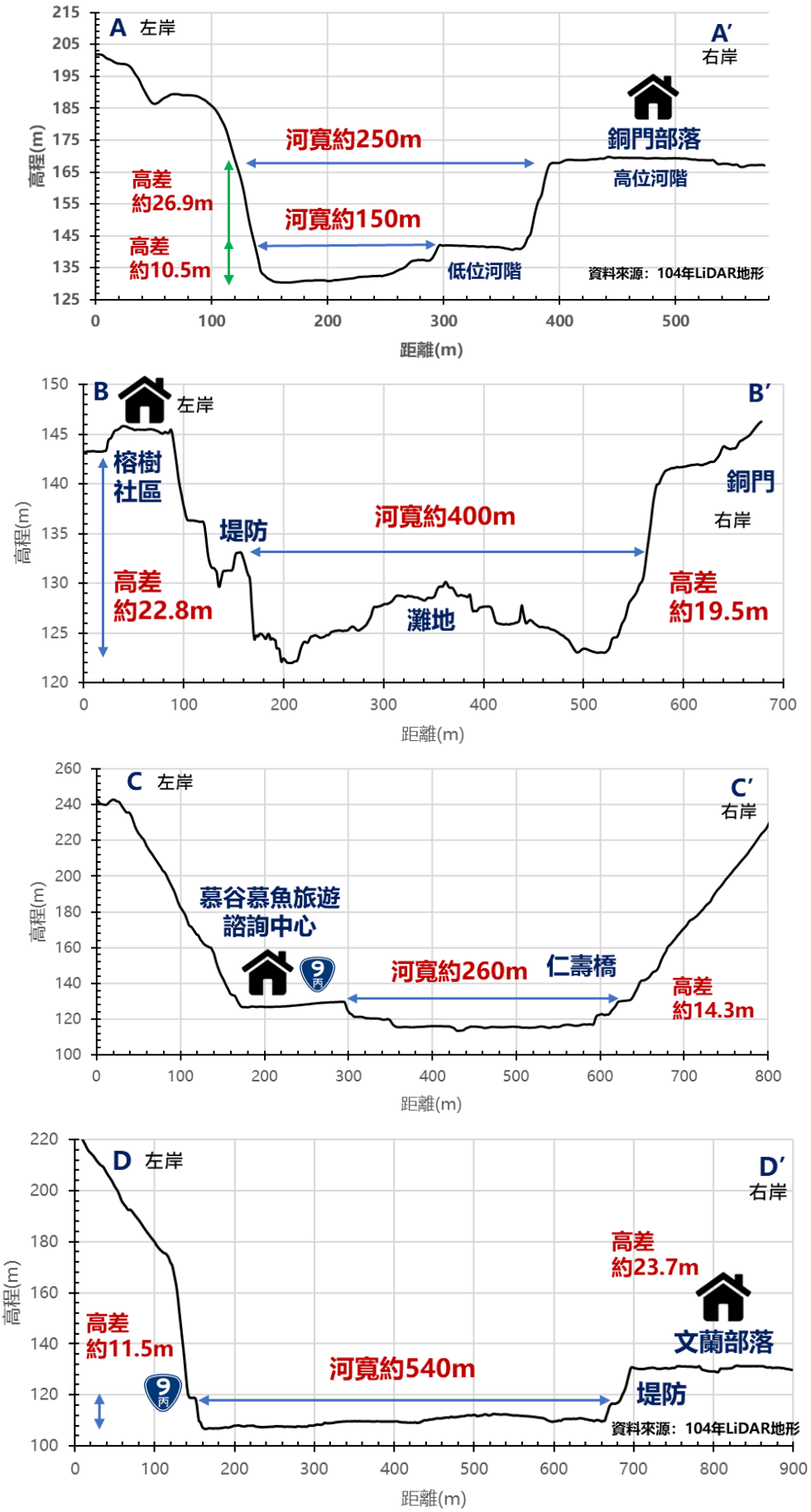


圖 5-6、下游保全對象 A、B、C 地形剖面圖

根據保全對象地形剖面圖(圖 5-6)顯示，剖面線 A 點至 A’銅門部落(有高、低位河階地)，該部落緊鄰河道，低位河階地高差約 10.5 公尺、高位河階地高差約 26.9 公尺，河道寬度約 150 至~250 公尺；剖面線 B 點至 B’榕樹社區緊鄰河道，高差約 19.5 公尺，河道寬度約 400 公尺；仁壽橋位於剖面線 C 點至 C’點上，高差約 14.3 公尺，河道寬度約 260 公尺；而剖面線 D 點至 D’文蘭部落緊鄰河道，高差約 23.7 公尺，河道寬度約 540 公尺目前各保全對象所處之河道斷面較寬，有助於減低潰壩洪流動能，且高差仍有近 10 公尺以上，暫時無立即性危險。考量現階段堰塞湖已穩定溢流，研判堰塞湖若潰決未來將對下游村落發生溢流淹沒之風險較低，但考量相關人員可能進入河床從事各種活動，故建議相關單位實施河道勸導與警示，以避免發生災害。

下游主要保全對象分別為銅門部落、榕樹社區兩處，保全對象與堰塞湖及河道相對距離、高差及河道寬度如表 5-1 所示，推估堰塞湖蓄水體積約為 46 萬立方公尺。

另有關於木瓜壩、水簾壩為堰塞湖潰決後影響區域，但考量防災需求不同，且涉及橋涵、取水放流等水利設施操作狀況，故本案只針對下游保全對象進行緊急性災害評估，建議後續木瓜壩、水簾壩管理單位可透過本案調查資料，針對設施所需進行潰決影響評估之工作。

表 5-1、木瓜溪堰塞湖保全對象檢查表

保全對象	戶數	高差	距離堰塞湖	河道寬度
銅門部落	約 178 戶	約 10.5 公尺	約 17 公里	約 150 公尺
榕樹社區	約 129 戶	約 22.8 公尺	約 19 公里	約 400 公尺
仁壽橋	約 6 戶	約 14.3 公尺	約 20 公里	約 260 公尺
文蘭部落	約 177 戶	約 23.7 公尺	約 21 公里	約 540 公尺

表 5-2、各關注區河道流下時間彙整表(Rziha 公式概算)

關注區	高差(m)	距離天然壩距離	流速(m/s)	集流時間(min)
木瓜壩	230.02	約 5,835 公尺	2.87	33.84
水簾壩	300.77	約 8,000 公尺	2.79	47.73
銅門	479.62	約 17,000 公尺	2.35	120.50

5-3、堰塞湖潰壩影響分析

堰塞湖天然壩體若發生劇烈沖刷甚或潰決破壞，其潰壩洪水可能對下游保全對象之安全性造成影響，因此須盡速完成潰壩評估。堰塞湖天然壩體潰壩時機一般有下列三種形式：(1)滿水位時：水壓大於摩擦力而整體潰壩。(2)滲流後：壩體因管湧現象產生淘空而潰決(下游面邊坡破壞)。(3)達滿水位且開始滲流而未潰決之壩體：以壩頂溢流破壞居多，破壞類型如圖 5-7 所示。

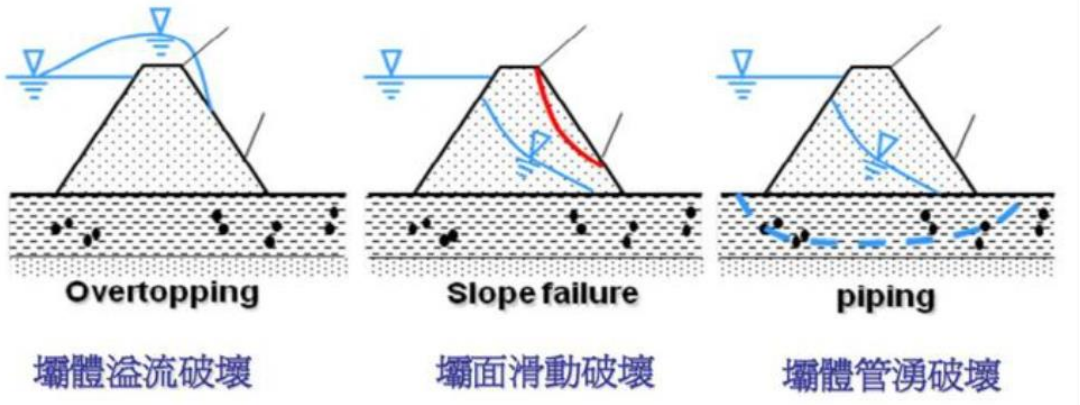


圖 5-7、堰塞湖潰壩類型

一般可採用三角形單位歷線法，藉以推估堰塞湖潰壩洪峰流量，以利檢討下游河段通洪能力。假設潰壩流量歷線之形狀為三角形(圖 5-8)，潰壩洪峰流量 Q_p 可表示如下式 2：

$$V = (T_c \cdot Q_P)/2 \qquad \text{(式 2)}$$

式中，V 為堰塞湖蓄水量(m^3)，

T_c 為時間(s)

Q_p 為尖峰流量(m^3/s)

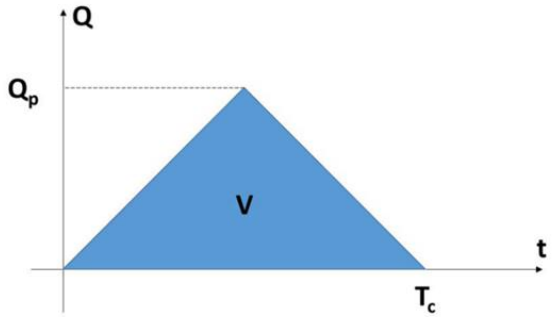


圖 5-8、三角歷線潰壩洪峰流量計算示意圖

當假設本案木瓜溪堰塞湖潰決型式為最常見的溢流破壞(Overtopping failure)，並根據堰塞湖所在位置之河道地形、衛星影像及空勘結果進行堰塞湖迴水體積及堰塞湖天然壩壩高估算，經推估，堰塞湖迴水長度約為 700 公尺，湖面最大寬度為 130 公尺，堰塞湖蓄水體積(V)約 46 萬立方公尺。其中潰壩延時可採用不同時間計算相對應之潰壩洪峰流量，若假設之潰壩延時越小，表示壩體饋壞之速度越快(驟然破壞)，潰壩延時越大，則表示壩體潰壞速度越慢(漸進式破壞)，因此本案假設 3 種潰壩情形，例如當蓄水體積於 60 分鐘(3,600 秒)、45 分鐘(2700 秒)、30 分鐘(1800 秒)內消散，經計算後可能潰壩流量分別約為 256、341 及 511 cms(立方公尺/秒)。

得到潰壩洪峰流量後，接續再透過曼寧公式檢算(式 3)，可推估此潰壩洪峰流量於下游保全對象所在位置河段造成之水位抬升量，並評估潰壩水位抬升量對於保全對象之安全是否會造成影響。其中山區流速大約為 3~5m/sec。

$$Q_p = AV = A\times\frac{1}{n}\mathrm{R}^{\frac{2}{3}}\mathrm{S}^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\mathrm{n}}\times\frac{(B\times h)^{\frac{5}{3}}}{(B+2h)^{\frac{2}{3}}}\times S^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(式 3)}$$

式中，Q_p 為尖峰流量(m^3/s)

H 為下游河道水位抬升高度(m)

V 為流速(m/s)

B 為河道寬度(m)。

情境一、常流水下，潰壩情形

當河道現況水深極小時(枯水期)或常流水時，可直接比對潰壩水位抬升量以及保全對象所在位置之河床高差，檢核是否有安全上之疑慮，銅門部落處則以低位河階地形做為計算之參考。

1、假設潰壩水流於 1 小時(3,600 秒)內流光

序號	保全對象	n	S	$Q_p(m^3/s)$	$V(m/s)$	$B(m)$	$H(m)$	高差(m)	安全檢核
1	銅門部落	0.04	0.028	256	2.92	150	0.58	10.5	通過
2	榕樹社區	0.04	0.028	256	1.97	400	0.32	19.5	通過
3	仁壽橋	0.04	0.028	256	2.34	260	0.42	14.3	通過
4	文蘭部落	0.04	0.028	256	1.75	540	0.27	23.7	通過

註：曼寧 n 值以 0.04 假設為天然渠道(河道中有深潭及淺灘)、河道坡降 S 透過地形概算採 0.028。

尖峰流量 Q_p 為 256cms，透過 $Q_p=Av$ 之公式計算(Q_p 為潰決後洪峰流量，A 為斷面面積，v 為流速)，若潰壩各控制點區域溪床水位抬升約 0.27 至 0.58 公尺(約 27~58 公分左右)，河床抬升水位距離銅門部落最低的河岸高程差仍有 10.5 公尺，無造成部落及住戶溢淹狀況。

2、假設潰壩水流於 45 分鐘(2700 秒)內流光

序號	保全對象	n	S	Q_p(m3/s)	V (m/s)	B(m)	H(m)	高差(m)	安全檢核
1	銅門部落	0.04	0.028	340.7	3.28	150	0.69	10.5	通過
2	榕樹社區	0.04	0.028	340.7	2.21	400	0.38	19.5	通過
3	仁壽橋	0.04	0.028	340.7	2.63	260	0.50	14.3	通過
4	文蘭部落	0.04	0.028	340.7	1.96	540	0.32	23.7	通過

註：曼寧 n 值以 0.04 假設為天然渠道(河道中有深潭及淺灘)、河道坡降 S 透過地形概算採 0.028。

尖峰流量 Q_p 為 341cms，透過 $Q_p=AV$ 之公式計算(Q_p 為潰決後洪峰流量，A 為斷面面積，v 為流速)，若潰壩各控制點區域溪床水位抬升約 0.32 至 0.69 公尺(約 32~69 公分左右)，河床抬升水位距離銅門部落最低的河岸高程差仍有 10.5 公尺，無造成部落及住戶溢淹狀況。

3、假設潰壩水流於 30 分鐘(1800 秒)內流光

序號	保全對象	n	S	Q_p(m3/s)	V (m/s)	B(m)	H(m)	高差(m)	安全檢核
1	銅門部落	0.04	0.028	511	3.85	150	0.88	10.5	通過
2	榕樹社區	0.04	0.028	511	2.60	400	0.49	19.5	通過
3	仁壽橋	0.04	0.028	511	3.09	260	0.64	14.3	通過
4	文蘭部落	0.04	0.028	511	2.31	540	0.41	23.7	通過

註：曼寧 n 值以 0.04 假設為天然渠道(河道中有深潭及淺灘)、河道坡降 S 透過地形概算採 0.028。

尖峰流量 Q_p 為 511cms，透過 $Q_p=AV$ 之公式計算(Q_p 為潰決後洪峰流量，A 為斷面面積，v 為流速)，若潰壩各控制點區域溪床水位抬升約 0.41 至 0.88 公尺(約 41~88 公分)左右，河床抬升水位距離銅門部落最低的河岸高程差仍有 10.5 公尺，無造成部落及住戶溢淹狀況。

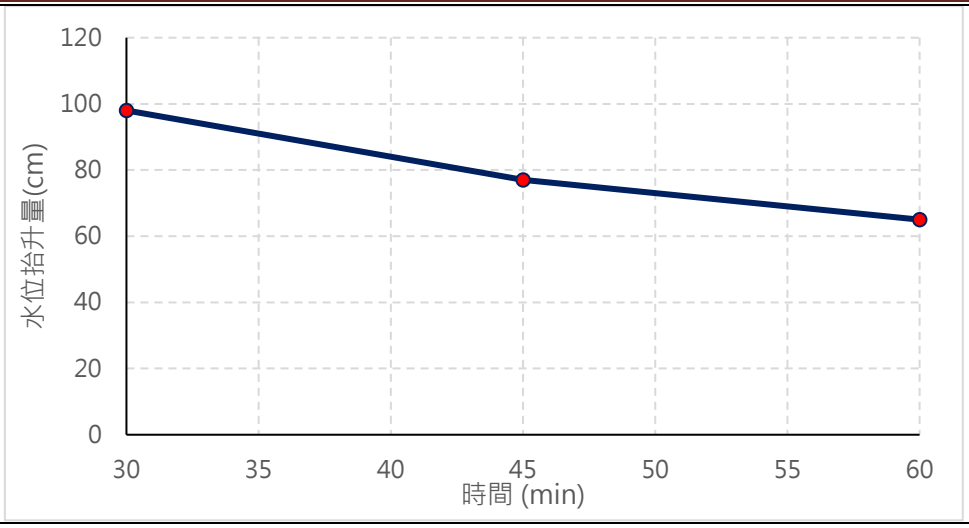


圖 5-9、木瓜溪橋水位上升高度與潰壩時間關係圖

另參考經濟部水利署仁壽橋水位站相關一、二級警戒水位，堤頂高與現況水位進行估算是否會造成聚落或其他保全對象因河床抬升而造成積淹災害，經檢核評估後於常流水情境下，皆小於警戒水位。

表 5-3、仁壽橋常流水情境潰壩抬升檢核表

潰決時間	Q_p (m^3/s)	V (m/s)	B(m)	H(m)	呆水位	警戒水位	堤頂高	潰壩水位
3600 秒	256	2.12	260	0.42	109.55	124.9	126.25	109.97
2700 秒	341	2.38	260	0.50	109.55	124.9	126.25	110.05
1800 秒	511	2.80	260	0.64	109.55	124.9	126.25	110.19

註：呆水位(以 113/5/14 日 12 時為基準)，警戒水位(一級為 124.9 m、二級為 122.9m)

圖 5-10、木瓜溪堰塞湖常水流情境下仁壽橋水位抬升量檢核示意圖

雖本次經快速評估結果顯示潰壩影響範圍未影響在地居民等保全對象，但為求精準評估影響範圍本計畫搭配數值模式進行估算，瞭解災害致災規模、範圍與類型。一旦堰塞湖潰決，大量洪水伴隨土砂下移，可能形成二次災害，嚴重危及下游居民之安全。

為評估堰塞湖潰決後，洪水對於下游保全對象影響程度，本研究採用 Hyper KANAKO 數值模式之河道輸砂模組進行整理流況之分析評估，模擬網格為 5m，採用半小時潰決情境尖峰流量 Q_p 為 562.1 cms(考量潰壩後挾砂量，一般採用流量之 5%～10%計，本計畫以洪峰流量的 10%為潰壩挾砂量)，作為模式上游邊界入流條件，進行潰壩洪水分析。此外，當堰塞湖潰壩引致的洪水災害，在洪水來臨時民眾若要自行疏散避難，必須考量到淹水深度及流速，避免在移動時無法抵抗洪水衝擊而發生意外，建議參考水深比及流速之關係，是否可能進行安全避難，若不能則需相關河道勸導避免人員進入。

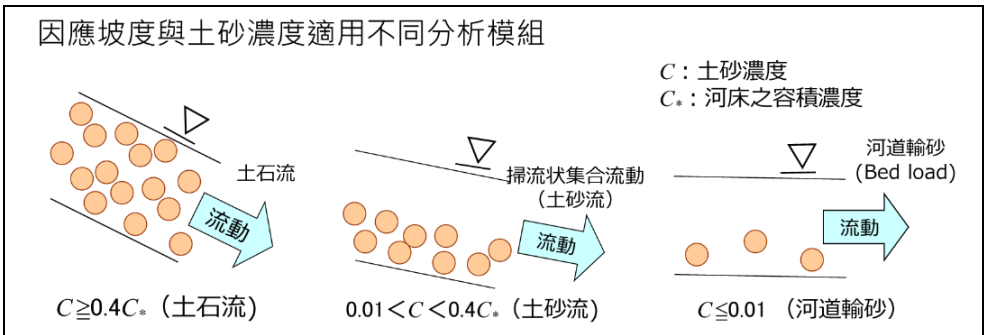


圖 5-11、Hyper KANAKO 數值模式計算模組

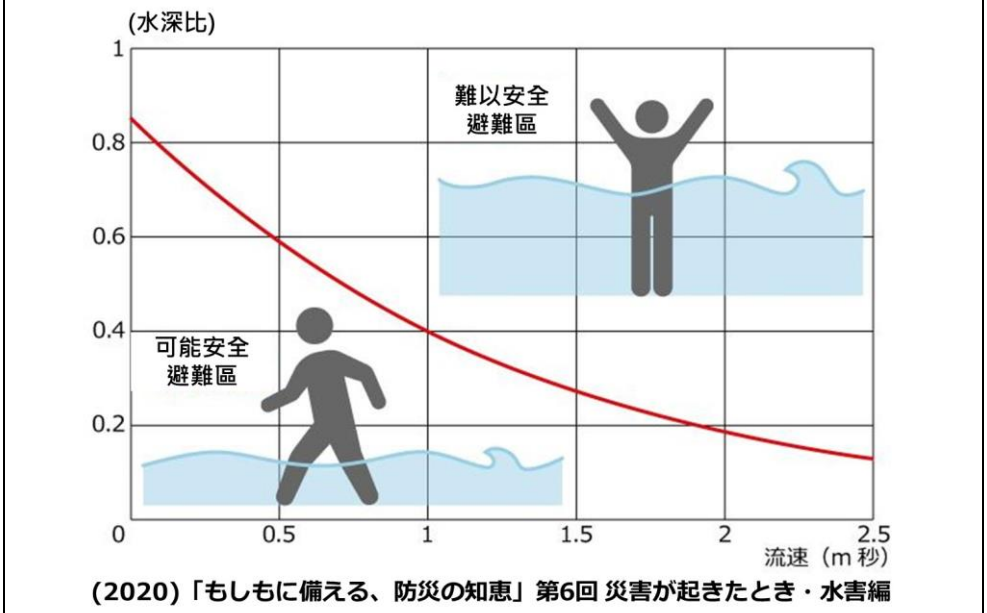


圖 5-12、洪水來臨時民眾可步行避難之流速及水深範圍

表 5-4、潰壩計算上游邊界基本參數表

砂礫密度	2.65	河床堆積濃度	0.67
曼寧粗糙係數	0.04	流體密度	1.00
尖峰流量 Q_p (挾砂洪峰量)	562.1	土砂濃度 (10%計)	0.1
上游河道寬度(公尺)	70.00	動床設定條件(公尺)	1.50

在數值模式設定上為有效提升計算速度，於入流邊界上設定於距堰塞湖天然壩下游約 11 公里處作為模式入流點，於距堰塞湖天然壩下游約 12 公里處作為二維模擬邊界模式串接點。而堰塞湖天然壩至 11 公里處則以芮哈經驗公式進行計算(溪流長約 11 公里，縱斷面海拔高程差約 396 公尺計，流速約 2.72m/s)，集流時間約 4,000 秒(約 1.1 小時)。因此在潰壩模擬上則以芮哈公式計算秒數加上數值模擬為成果，模式邊界設置範圍如圖 5-13 所示。

天然壩堰塞湖由於存在時間不確定、崩塌料材組成強度較難估計、潰決時間無法預測，本次堰塞湖天然壩主要為木瓜溪潰壩之土石流下移形成，材料組成相對不穩定，易受水流影響流失，驟然潰決之可能性較低，本次模擬分析主要採半小時(1800 秒)潰決分析情境，根據模擬成果於仁壽橋斷面處，主深槽模擬水深約有 1 至 3 公尺以上，已超過一個成人高度(如圖 5-14 所示)，當流速較高時，較有致命危險，建議進行河道勸導與警示工作。

此外，在銅門部落上游，約堰塞湖至銅門入山檢查所下方河道區間，因河道寬僅 40~70 公尺公尺不等，若發生堰塞湖潰決最大可能抬升量可能達 5 公尺以上，恐有較高風險，建議該區域非必要請勿進入河床。

而當流經文蘭部落至初英(南華)周邊，因河幅變寬，有助於減低潰壩洪流動能，下游抬升量約達 0.5 至 1 公尺間，但為確保安全，在堰塞湖存續期間，建議仍避免進入河床，建議以河道警示手段為主。故堰塞湖天然壩至文蘭部落處危險區建議以河道示警，而文蘭部落下游地區建議採河道警示。

由於本區位處經濟部水簾壩水庫下游段，過去因水簾壩防洪運轉之水利操作放水時需發布警報，提醒下游沿岸附近民眾加強注意並遠離河床，建議本計畫可在既有警報通報基礎上，加強當地居民與遊客針對堰塞湖之資訊與傳達，故本計畫已於 113 年 5 月 31 日進行地方說明會，加強並同時呼籲民眾避免進入河床，尤其汛期季節將至，堰塞湖潰壩不確定風險再次提升。

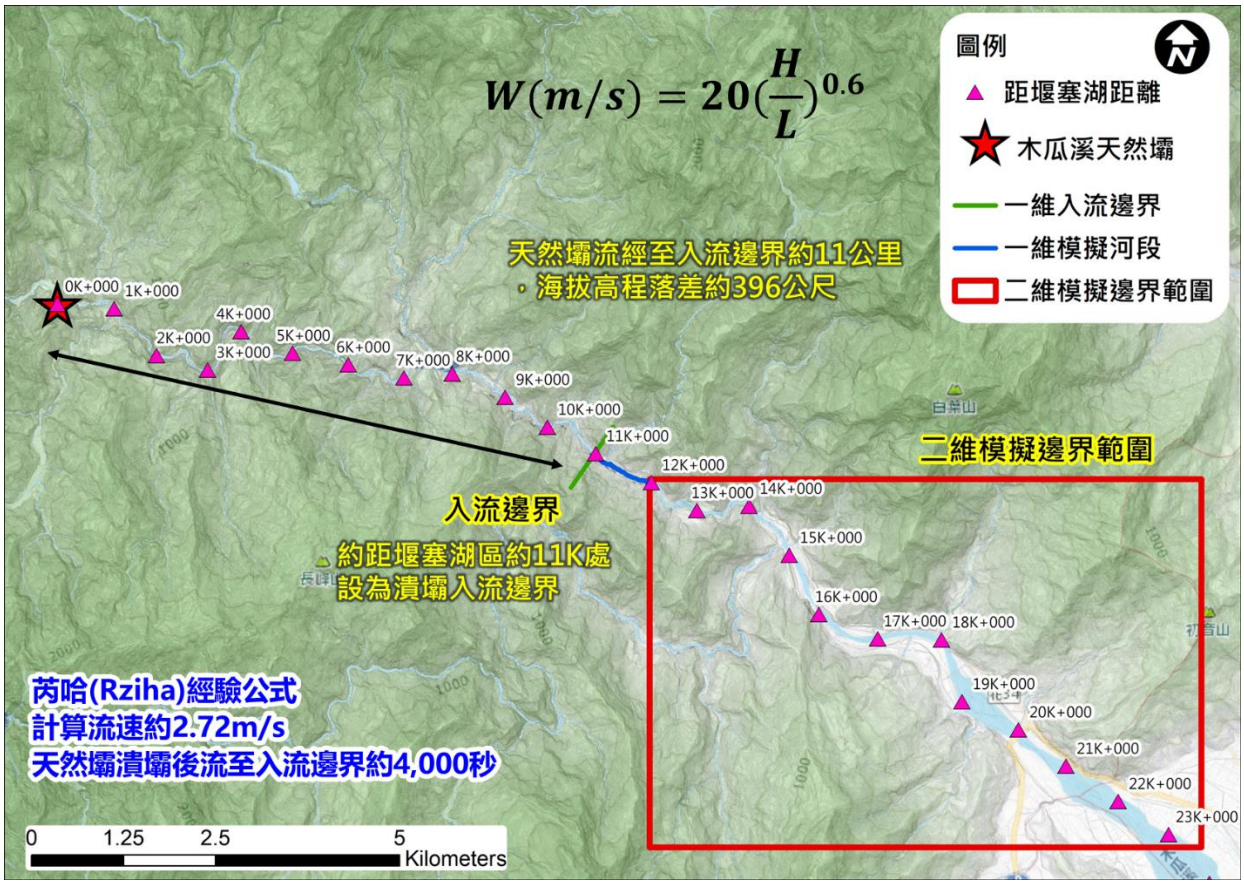


圖 5-13、二維水砂數值模式設定入流邊界範圍圖

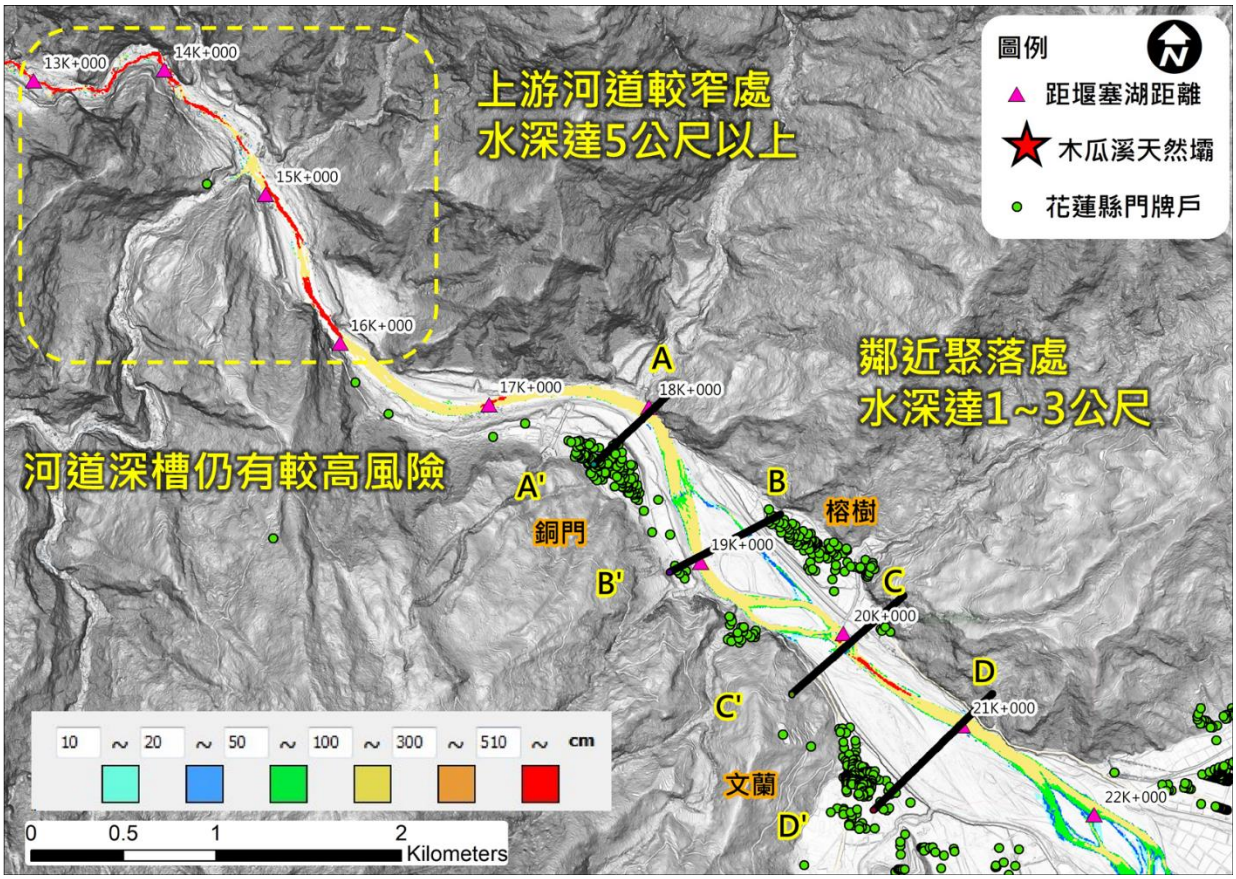
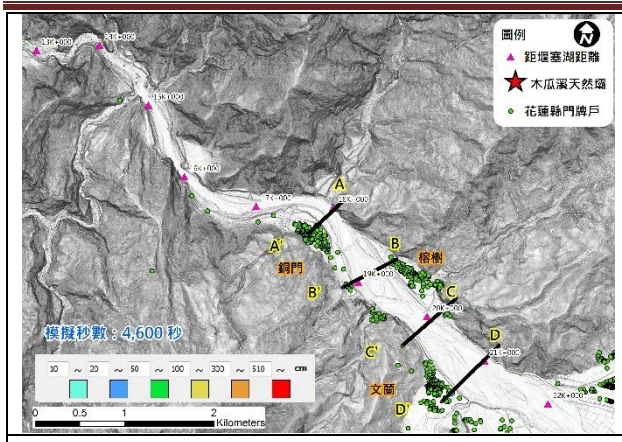
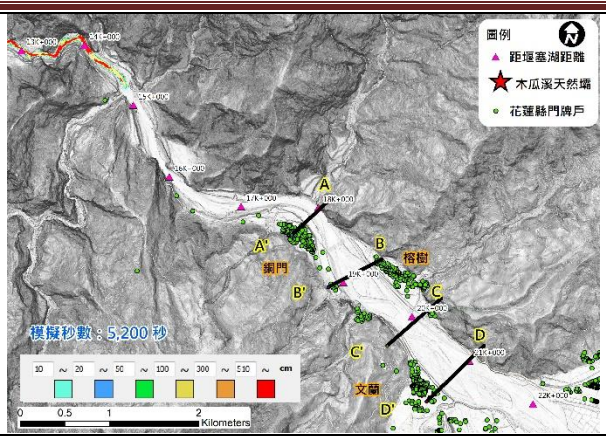


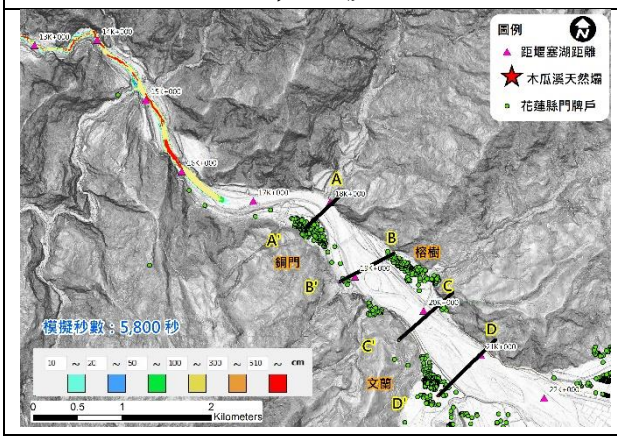
圖 5-14、木瓜溪堰塞湖潰壩模擬水深最大可能抬升量(常水流)



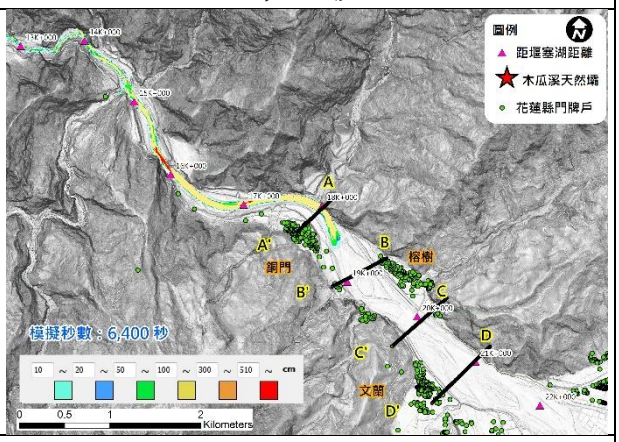
4,600 秒



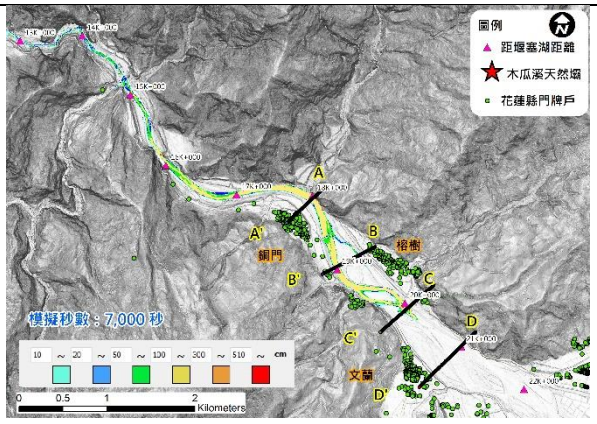
5,200 秒



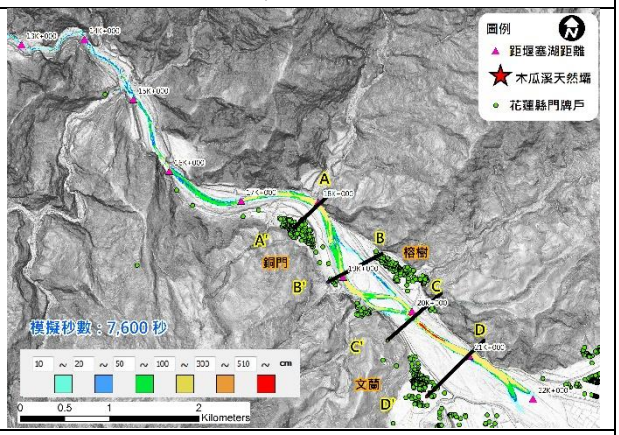
5,800 秒



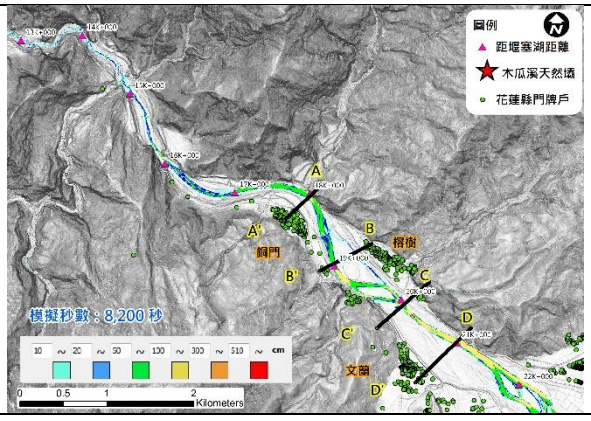
6,400 秒



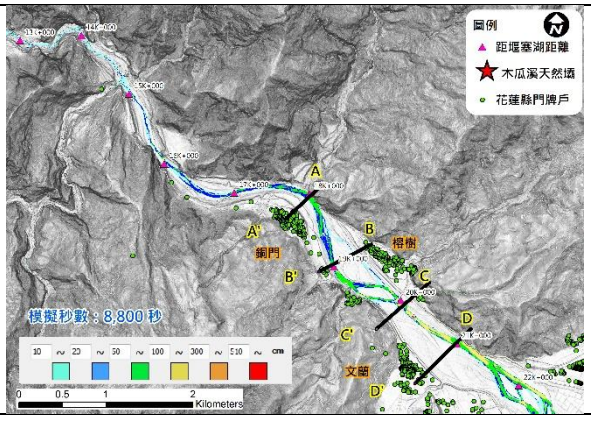
7,000 秒



7,600 秒



8,200 秒



8,800 秒

圖 5-15、堰塞湖潰壩設計條件下模擬成果(常流水)

情境二、各重現期流量下，潰壩情形

參考經濟部水利署之 102 年度「花蓮溪治理規劃檢討」報告書，木瓜溪流域各控制點各重現期距洪峰流量分析成果，針對 2、5、50 及 100 年重現期頻率等不同分析潰壩抬升量影響進行分析如下：

單位：立方公尺/秒

水系	控制點	推估方法	重現期距(年)							
			2	5	10	20	25	50	100	200
木瓜溪	木瓜溪匯流口	花蓮溪水系治理規劃	2,479	4,035	4,905	5,622	-	6,373	6,851	7,253
		三角形單位歷線法	3,387	4,888	5,704	6,371	6,560	7,094	7,551	7,949
		無因次單位歷線法	2,491	3,633	4,250	4,752	4,895	5,294	5,636	5,931
		運動波-地貌瞬時單位歷線	2,026	3,268	3,987	4,580	4,751	5,227	5,638	5,994
		實測流量法	1,055	1,913	2,482	3,027	3,200	3,733	4,261	4,788
	仁壽橋	花蓮溪水系治理規劃	2,280	3,710	4,510	5,170	-	5,860	6,300	6,670
		三角形單位歷線法	3,298	4,764	5,556	6,199	6,383	6,895	7,333	7,712
		無因次單位歷線法	2,391	3,417	4,004	4,483	4,619	5,003	5,332	5,617
		運動波-地貌瞬時單位歷線	1,951	3,125	3,809	4,378	4,542	5,005	5,406	5,756
		實測流量法	970	1,759	2,282	2,783	2,942	3,432	3,919	4,403
	大清水溪匯流前	花蓮溪水系治理規劃	1,636	2,662	3,236	3,710	-	4,205	4,521	4,786
		三角形單位歷線法	2,549	3,686	4,310	4,823	4,970	5,384	5,743	6,056
		無因次單位歷線法	1,725	2,515	2,997	3,371	3,501	3,726	4,025	4,154
		運動波-地貌瞬時單位歷線	1,409	2,306	2,857	3,295	3,446	3,727	4,078	4,254
		實測流量法	696	1,262	1,637	1,997	2,111	2,463	2,812	3,159

參考來源：102 年 7 月經濟部水利署「花蓮溪治理規劃檢討」

圖 5-16、木瓜溪流域各控制點重現期距洪峰量估算成果

表 5-5、木瓜溪各重現期雨量估算(最大 48 小時暴雨量表)

控制點/重現年	2 年	5 年	10 年	20 年	50 年	100 年	200 年
仁壽橋	384.5	540.6	626.2	696.6	773.7	822.9	865.9

參考來源：102 年 7 月經濟部水利署「花蓮溪治理規劃檢討」。因木瓜溪流域寬廣若控制面積大於 100 平方公里者，則以先期規劃報告採用 48 小時暴雨量進行洪峰量估算。

表 5-6、木瓜溪各控制點各重現期比流量洪峰估算

控制點	控制面積(平方公里)	重現年						
		2 年	5 年	10 年	20 年	50 年	100 年	200 年
仁壽橋	420.24	2,280	3,710	4,510	5,170	5,860	6,300	6,670

參考來源：102 年 7 月經濟部水利署「花蓮溪治理規劃檢討」

本案假設崩塌上游迴水體積一次性宣洩，則宣洩水體將通過各保全對象所在斷面，並檢視所在斷面的水位上升量是否超過河道的最大深度。

表 5-7、木瓜溪堰塞湖上游集水區各重現期比流量洪峰估算

保全對象	假設潰壩水流於 1 小時(3,600 秒)內流光							
	Q_d+Q_2 (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_5 (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_{50} (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_{100} (m^3/s)	H(m)
仁壽橋	2,536	1.67 (14.3)	3,966	2.19 (14.3)	6,116	2.84 (14.3)	6,556	2.96 (14.3)
保全對象	假設潰壩水流於 45 分鐘(2,700 秒)內流光							
	Q_d+Q_2 (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_5 (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_{50} (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_{100} (m^3/s)	H(m)
仁壽橋	2,621	1.70 (14.3)	4,051	2.22 (14.3)	6,201	2.87 (14.3)	6,641	2.99 (14.3)
保全對象	假設潰壩水流於半小時(1,800 秒)內流光							
	Q_d+Q_2 (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_5 (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_{50} (m^3/s)	H(m)	Q_d+Q_{100} (m^3/s)	H(m)
仁壽橋	2,791	1.77 (14.3)	4,221	2.27 (14.3)	6,371	2.91 (14.3)	6,811	3.03 (14.3)

註：括弧()標註處為保全對象與河床高差值。

根據經濟部水利署仁壽橋水位站相關一、二級警戒水位基本資訊，若當水位抬升達 3.36 公尺時，仍未達一、二級警戒水位，雖不會造成溢淹情形，但建議河岸居民亦須提高警覺，因其抬升高度已超過成人高度，恐有致命危險，建議應減少不必要之溪床活動。

表 5-8、木瓜溪橋各重現期流量情境潰壩抬升檢核表

潰決時間	Q_d+Q_2 抬升量(m)	Q_d+Q_5 抬升量(m)	Q_d+Q_{50} 抬升量(m)	Q_d+Q_{100} 抬升量(m)	呆水位	警戒水位	堤頂高	Q_d+Q_{100} 潰壩水位
3600 秒	1.67	2.19	2.84	2.96	109.55	124.9	126.25	112.51
2700 秒	1.70	2.22	2.87	2.99	109.55	124.9	126.25	112.54
1800 秒	1.77	2.27	2.91	3.03	109.55	124.9	126.25	112.58

潰決時間	Q_d+Q_{100} 抬升量 (m)	呆水位(m)	潰壩水位 (m)	檢核
3600 sec	2.96	109.55	112.51 ▲	未達二級緊戒水位
2700 sec	2.99	109.55	112.54 ▲	未達二級緊戒水位
1800 sec	3.03	109.55	112.58 ▲	未達二級緊戒水位

圖 5-17、重現期 100 年潰壩情境下木瓜溪橋水位抬升量檢核示意圖

陸、災害衝擊評估及影響

本調查參考國有林地堰塞湖應變標準作業程序(圖 6-2)，針對木瓜溪堰塞湖進行風險初步評估，其中主要採用危險度(災害發生之可能性)與危害度(災害之衝擊程度)兩項指標建立風險分級劃分基準，執行程序分別敘述如下：

1. 利用天然壩穩定性評估與預估破壞類型進行潰壞風險評估

評估堰塞湖潰壞風險可分為天然壩穩定性及預估破壞類型，根據空中勘查及上章分析後可知，當 *DBI* 指數大於 3.08 者判定為不穩定壩體，小於 2.75 者為穩定壩體，介於 2.75 至 3.08 者則不予斷定，而木瓜溪堰塞湖經計算後 *DBI* 值為 4.24，故將其堰塞湖天然壩判定為不穩定壩體；經由勘查後發現，目前堰塞湖已暫時形成穩定溢流，堰塞湖無持續蓄水、湖水面積亦無持續擴大情形，預估溢流道寬度約 10 公尺。綜合上述研判木瓜溪堰塞湖為不穩定壩體且破壞類型屬溢流破壞，經下表 6-1 可知，該壩體潰壞風險為高。

表 6-1、潰壩災害發生度初步評估分級表

壩體潰壞風險	穩定性與破壞類型	符合條件
低	穩定，溢流破壞	溢流沖刷破壞，但沖刷速度緩慢
高	過度區或不穩定，溢流破壞	溢流沖刷破壞，但可能發生劇烈沖刷(上游入流量高時)
	過度區或不穩定，滲流破壞	可能發生滲流破壞
	過度區或不穩定，驟然破壞	可能發生驟然破壞

2. 根據環境與保全分佈條件評估保全危害度

木瓜溪堰塞湖影響範圍內地形險峻，且無道路能抵達河床區域，具有交通不可及特性，且上游迴水淹沒區無住戶或設施，但下游部落周邊可能有人員從事河床活動，經由下表 6-2 評估保全危害度為中。

表 6-2、保全危害度緊急評估分級表

保全 危害度	符合條件 (堰塞湖上、下游災害影響範圍內保全對象)	備註
低	1.無保全對象或重要設施分佈 2.人員不易抵達河床從事活動。	堰塞湖影響範圍內因地形險峻或屬管制區，致使人員無法抵達河床從事活動
中	1.無保全對象或重要設施分佈 2.人員可能於河床從事活動。	
高	1.有保全對象或重要設施分佈	1.上游迴水淹沒區有住戶或設施 2.下游住戶高程＜潰壩警戒水位
	2.無保全對象或重要設施分佈，但下游住戶緊臨河岸且位處高流速沖刷區。	河岸階地遭洪水沖刷導致災害
	3.存有複合型土砂災害問題	2 次災害潛勢須進一步評估

3.根據壩體潰壞風險與保全危害度評估堰塞湖風險

經由前述分析結果指出，木瓜溪天然壩壩體潰壞風險為高，而保全危害度呈中，綜合評估後顯示(表 6-3)，該堰塞湖風險應屬於低風險區。

表 6-3、堰塞湖風險評估分級表

壩體潰壞風險 保全危害度	低	高
低	暫無風險	
中	低風險	
高	高風險	極高風險

4.由堰塞湖風險分級對應處理原則，藉以規劃後續處置對策

木瓜溪堰塞湖風險經評估後屬低風險區，由於既存之堰塞湖可能因豪雨或颱風期間的強降雨導致壩體潰決，其洪流或土石流衝擊將造成潰決破壞，加劇造成下游保全衝擊之影響。根據堰塞湖風險處理原則對應表(表 6-4)結果顯示，本案建議即時監測(受限交通狀況建議可採雨量與即時影像監測)採配合河道示警手段為主，以防止人員從事溪床活動受潰決水流衝擊影響，降低堰塞湖可能致災風險，保障居民生命財產安全。

表 6-4、堰塞湖風險處理原則對應表

風險等級	監測	警戒	工程急迫性	
暫無風險	定期調查	無	無	
低風險	即時監測	河道管制	可及性低	無
			可及性高	低
高風險	即時監測	達警戒值時撤離	中	
極高風險	即時監測	緊急撤離	高	

因應堰塞湖可能引致災害之不確定性，故需針對堰塞湖進行即時監測，以立即掌握堰塞湖之變化，適時通報下游住戶及部落居民提高警覺。

由於木瓜溪堰塞湖現地環境險惡，無道路供人員及機具抵達現場適當位置從事工程處理，所幸鄰近周邊有一處高位遠眺與無人載具空拍點可提供人員目視巡查與無人載具起降點(龍溪路與奇萊路交界轉角)，經初步評估應可安裝自動化監測設備(如雨量與監測攝影機)。但考量現地電力及通訊受山區自然環境(日照與下雨等)影響甚大，可能有訊號中斷或設備電力用盡等問題，若遭遇通訊中斷時，在現地設備尚未恢復前，可參考經濟部水利署木瓜溪下游「仁壽橋橋」水位站資料與鄰近堰塞湖範圍之交通部中央氣象署「銅門」與「瀧澗」雨量站資料，以利及時掌握狀況，快速應變。此外，建議亦可同步採衛星影像定期監測追蹤，以便取得具有廣闊範圍之影像，必要時輔以無人載具空拍可作為災區鄰近整體環境變化之監測比對。

然為考量人員可及性及安全性，若於重大災害事件時(24 小時累積雨量達 200mm，或地震震度達 4 級以上)，建議林業及自然保育署花蓮分署於事件後進行無人載具空拍作業，比較堰塞湖環境是否出現異常變化，如：湖區水位驟升或驟降、下游水位驟升或驟降、崩積土體變形等，以便掌握堰塞湖近況。同時亦可洽詢堰塞湖下游台電公司木瓜壩及水簾壩相關觀測資料(如水位、影像或雨量等)，以利及時掌握狀況，並通知相關單位應變。

經前述潰壩影響檢算結果指出，木瓜溪下游主要保全聚落居住區所在位置之河床高差皆足夠安全通洪，暫無立即危險，但對下游河道行水區內活動的人員則會有較直接影響，建議於堰塞湖存在期間，持續針對堰塞湖下游河川行水區（堰塞湖至木瓜溪、花蓮溪匯流處），將其列為危險區域並行河道

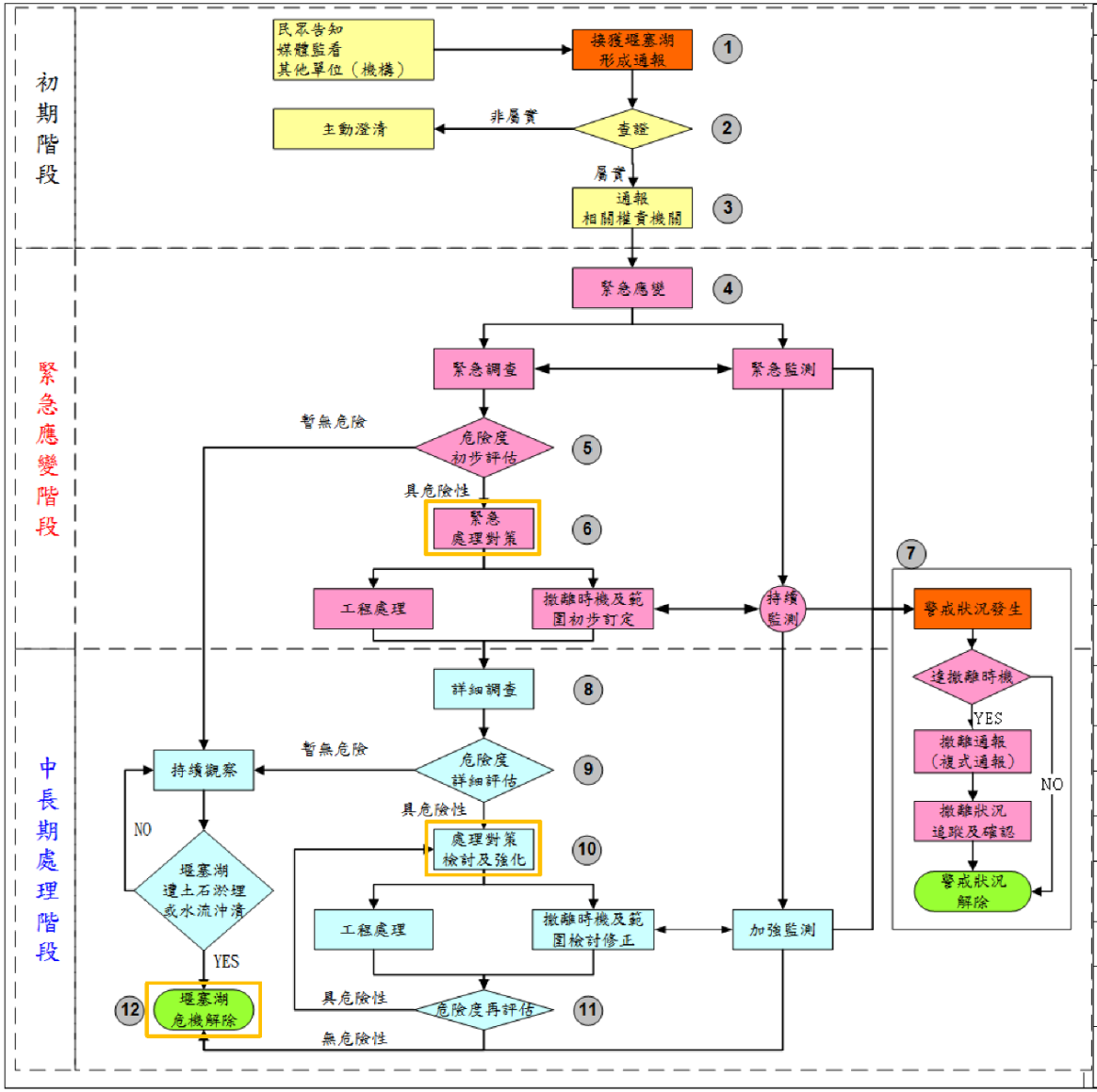
勸導或示警作業，同時亦請經濟部水利署第九河川分署於下溪河床路口處設置張貼告示牌(設置位置為容易下溪床處)，以利告知進入風險地區。

此外，在堰塞湖尚未解除列管前如有最新情況，林業及自然保育署花蓮分署請通知相關涉及單位承辦人，若另遇中央災害應變中心開設時，亦請林業及自然保育署花蓮分署或執行團隊於防災群組通報最新狀況。此外，藉由透過部落的布告欄、國有林防災應變及堰塞湖監測系統(https://qlakenew.forest.gov.tw/public/index)、木瓜溪堰塞湖 Line 群組以及社群網站(社區臉書等)等進行堰塞湖最新資訊之露出，並建議秀林鄉公所慕谷慕魚旅遊諮詢中心亦能向遊客進行宣導，讓民眾了解堰塞湖的消長情形，勸導請勿進入河川行水區域。而在堰塞湖存在期間，建議經濟部水利署第九河川分署能派請河川駐警於日常巡邏時注意是否有民眾進入河床。

平時可藉由「台 9 丙線 13K+155」仁壽橋與「台 9 丙線 13K+200」壽豐鄉仁壽橋北端堤岸南下路側兩處交通部公路總局 CCTV 即時影像資料隨時進行仁壽橋水位監看，掌握河道水位抬升狀況。

應由林業及自然保育署花蓮分署建立完整堰塞湖應變通報機制，確認相關資訊可正確且快速傳達，於重大災害事件時，立即透過電話通知緊急通報聯絡人(包含鄉公所、村、里長、村幹事等)，同時秀林鄉公所亦應運用村里鄰長、警察、消防人力，及巡邏車、廣播車傳遞堰塞湖災害訊息，告知居民避免進入溪床，而建議請村長可藉由社區廣播之方式，迅速告知村民。

圖 6-1、木瓜溪堰塞湖通報 Line 群組(已建立通報機制)



步驟	項目	說明
初期階段		
1	接獲堰塞湖形成通報	主動釐清通報情資，內容重點：1. 發現/形成時間、2. 堰塞湖形成位置(坐標)、3. 堰塞湖規模、4. 交通狀況、5. 情資來源
2	查證	(1) 查證堰塞湖情資真偽 (2) 補充重點情資 (3) 依據堰塞湖所在位置判定處理權責機關
3	通報相關權責機關	填寫堰塞湖通報單，通報相關權責機關；或發布適當澄清資訊
緊急應變階段		
4	緊急應變*	林區管理處啟動應變作業，成立堰塞湖應變小組，評估疏散避難需求，掌握堰塞湖變化 (1) 堰塞湖基本資料蒐集及分析 (2) 堰塞湖概況調查 (3) 保全對象分佈調查 (4) 堰塞湖監測作業
5	危險度初步評估	堰塞湖應變小組須於短時間內完成初步評估，以及時掌握堰塞湖影響程度，擬定緊急處理對策方案。
6	**緊急處理對策***	依據初步評估結果，辦理緊急疏散避難計畫及辦理緊急防減災工程等工作。
7	堰塞湖警戒與守視	監測堰塞湖概況，達警戒撤離基準值時，應即時通知地方政府發布或解除撤離管制
中長期處理階段		
8	詳細調查	視個案條件決定實施詳細調查及評估之方法及時機
9	危險度詳細評估	完成細部調查資料評估，提出對策檢討及強化建議
10	**處理對策檢討與強化***	依據危險度細部評估結果進行檢討，提出中長期防災工程以強化區域抗災能力。
11	危險度再評估	因應環境變化進行，以掌握堰塞湖致災條件之變化
12	**堰塞湖危機解除***	堰塞湖遭土石淤埋或水流沖潰或經判定為無危險後，解除堰塞湖應變工作

*必要時得由林務局召開「國有林地堰塞湖處理專家諮詢會議」，邀集學者專家與相關機關共同研商堰塞湖之工程處理方案、警戒撤離對策或解除列管機制。

圖 6-2、國有林防災應變處理程序

圖 6-3、木瓜溪下游交通部公路總局 CCTV 即時影像位置

台 9 丙線 13K+200	台 9 丙線 13K+155

圖 6-4、木瓜溪下游交通部公路總局 CCTV 即時影像擷取照片

柒、後續處置建議

7-1、結論

因 113 年 4 月 3 日花蓮地區發生芮氏規模 7.2 地震事件後，林業及自然保育署花蓮分署為掌握國有林事業區崩塌變異狀況，遂即請本計畫團隊協助進行國有林事業區衛星追蹤工作，透過 4 月 14 日衛星影像發現木瓜溪上游河道疑似有多起深潭形成，後於 4 月 19 日(由 4 月 17 日衛星影像判釋)發現其中一處深潭蓄水增加形成堰塞湖，本計畫遂緊急通報林業及自然保育署花蓮分署知悉，於隔日 4 月 20 日 8 時 30 分由林業及自然保育署花蓮分署發布緊急通報單，後於 4 月 25 日啟動木瓜溪堰塞湖災害緊急調查評估工作。

根據調查分析，本次調查崩塌地為舊有崩塌地，研判崩塌發生原因係該坡面位處於攻擊坡，長期受河道侵蝕坡腳，加上長期的風化作用導致邊坡不穩，主要受到本次 113 年 0403 地震與餘震群引起地表搖晃作用，因地震力產生加速度使殘石稜線風化材料因而崩落，進而導致木瓜溪蓄積成湖。

透過無人載具空拍及衛星影像資料得知，木瓜溪堰塞湖崩塌地最大長度約 350 公尺，最大寬度為 310 公尺，崩塌地面積為 6.86 公頃，天然壩堆積長度沿河道計算約 180 公尺，寬度為 90 公尺，堆積土體已造成河道阻塞，現場已出現溢流情形。湖區最大長度約 700 公尺，最大寬度約 130 公尺，最大深度約 29 公尺，蓄水面積約 5.6 公頃，蓄水體積約 46 萬立方公尺。

根據堰塞湖天然壩壩體穩定分析之結果，雖木瓜溪堰塞湖天然壩為不穩定壩體，但由於其與下游部落及住戶距離遙遠(約 17~21 公里)，且下游河道寬大約介於 150 到 540 公尺間，堰塞湖若於常水流情境下，1 小時至 30 分鐘內潰壩，造成之潰壩洪流將使河床水位抬升 30~98 公分不等，位處行水區人員可能有安全疑慮。

因本案堰塞湖區於 113 年 4 月 20 日署發布緊急通報，已請堰塞湖下游相關機關單位，預先啟動防災應變機制及河道示警，並請附近居民及遊客暫時勿進入溪床活動，同時本計畫已於 5 月 3 日、10 日安排人員進行現地監測設備安裝評估(雨量與監測攝影機)，以利堰塞湖追蹤與預警工作。

7-2、建議

1. 堰塞湖資訊露出

藉由透過部落的布告欄、國有林防災應變及堰塞湖監測系統、木瓜溪堰塞湖 Line 群組以及社群網站等進行堰塞湖最新資訊之露出，並建議秀林鄉公所慕谷慕魚旅遊諮詢中心亦能向遊客進行宣導，讓民眾了解堰塞湖的消長情形，勸導勿進入河川行水區域。同時亦請經濟部水利署第九河川分署於下溪河床路口處設置張貼告示牌，以利告知進入風險地區。

2. 堰塞湖下游河道勸導與警示

木瓜溪下游主要保全聚落居住區所在位置之河床高差皆足夠安全通洪，暫無立即危險，但對下游河道行水區內活動的人員則會有較直接影響，建議於堰塞湖存在期間，建議經濟部水利署第九河川分署能派請河川駐警於日常巡邏時注意是否有民眾進入河床，並持續針對堰塞湖下游河川行水區（堰塞湖至文蘭部落建議進行河道勸導管理，文蘭部落至木瓜溪、花蓮溪匯流處建議進行警示），將其列為危險區域進行河道勸導與示警作業。

3. 堰塞湖情勢持續追蹤

災害地點位於坡度陡峭、地形嚴峻地區，無道路可抵達，具有交通不可及性，工程整治可行性相對較低，雖目前已架測自動化監測設備(原則上應可達到每天一次監測取像，颱風期間甚至可以加強頻率，達到每天數次)，但考量現地通訊與電力仍不穩定仍有通訊中斷可能，若遭逢中斷時建議可參考木瓜溪下游仁壽橋水位站資料與鄰近之銅門、瀧澗雨量站資料，以利及時掌握狀況，快速應變，亦可同步採衛星影像定期監測追蹤，瞭解湖區變異狀況。

4. 堰塞湖應變通報機制

在堰塞湖存在期間，林業及自然保育署花蓮分署應建立完整堰塞湖應變通報機制，確認相關資訊可正確且快速傳達，若木瓜溪集水區累積雨量達大雨等級(80mm/24hr 或 40mm/hr)以上時，堰塞湖監測團隊應提高監測頻率，密切注意堰塞湖變化情形，若累積雨量達豪雨等級(200mm/24hr 或 100mm/3hr)以上或地震震度達 4 級以上時，建議立即透過電話通知緊急通報聯絡人，同時秀林鄉公所可運用村里鄰長、警察、消防人力，及巡邏車、廣播車傳遞堰

塞湖災害訊息，告知居民避免進入溪床，而村長亦可藉由社區廣播之方式，迅速告知村民。

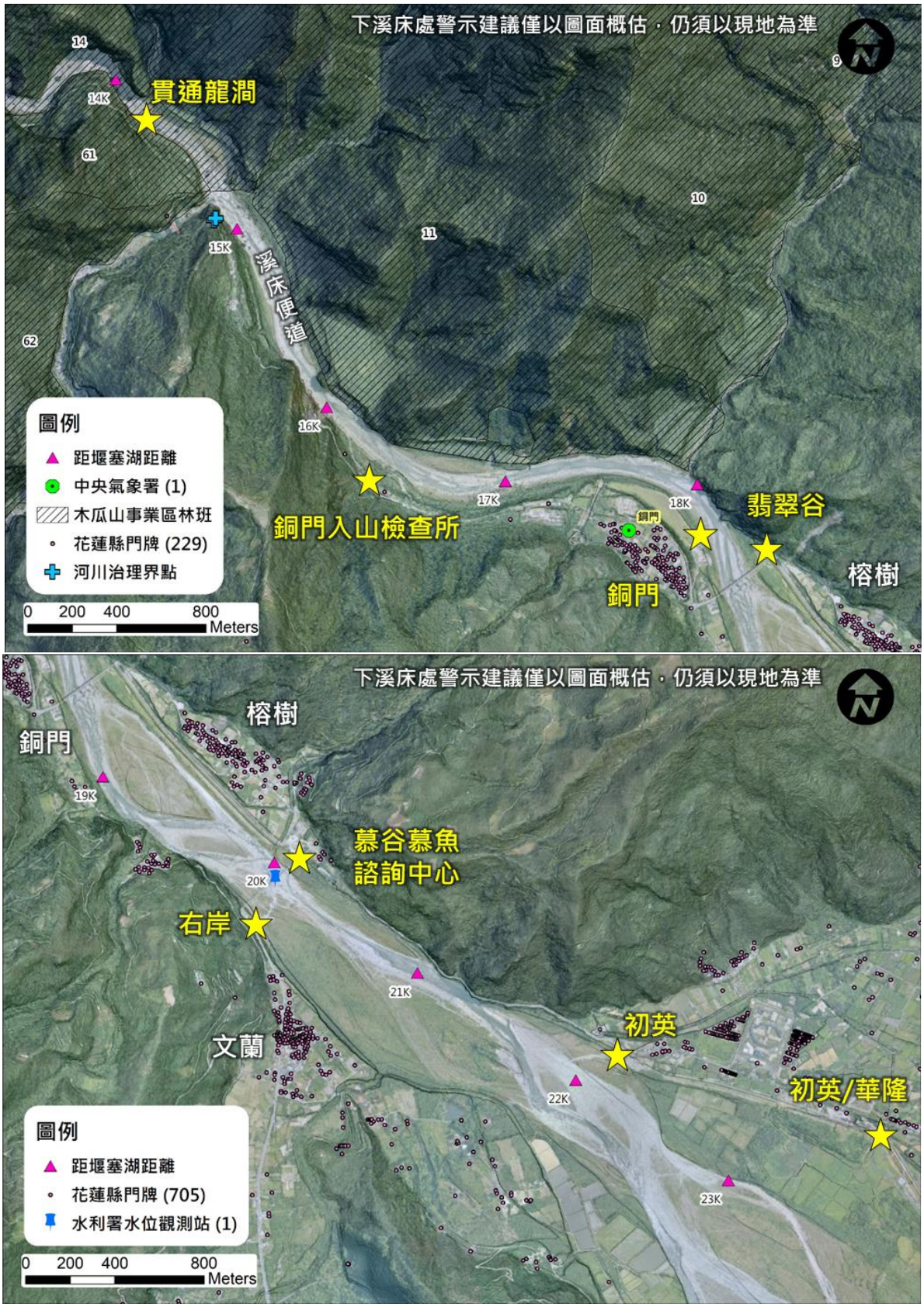


圖 7-1、建議施作警示牌位置分布示意圖

各權責單位辦理項目相關分工表如下表所示：

1.日常情形：

權責單位	建議辦理項目
林業及自然保育署 秀林鄉公所	於管轄範圍內設置告示牌。
經濟部水利署 第九河川分署	協助設置告示牌，並派遣河川駐警於日常巡邏時，注意是否有民眾進入河床，進行勸導工作。
秀林鄉公所 慕谷慕魚旅遊諮詢中心	向遊客說明堰塞湖災害資訊，並宣導避免進入溪床。
林業及自然保育署 花蓮分署	進行自動化監測設備評估與安裝進行監測，定期發布最新監測資訊，必要時輔以衛星影像或空拍追蹤。

2.當集水區 24 小時累積雨量達 200mm 以上，或當地地震震度達 4 級以上時

權責單位	建議辦理項目
林業及自然保育署 花蓮分署	以電話、簡訊或傳真方式通知地方政府及相關防救災人員組織加強警戒，同時亦須通報鄉公所，確認訊息已傳達。
	當中央災害應變中心開設時，須將湖區最新狀況通報於防災群組及林業及自然保育署承辦人。
秀林鄉公所	運用村里鄰長、警察、消防人力，及巡邏車、廣播車傳遞堰塞湖災害訊息，告知居民避免進入溪床。
台灣電力公司東部發電廠	若木瓜壩及水簾壩相關觀測資料(如水位、影像或雨量等)有變異時，協助主動通報並通知相關單位。
村、里長	廣播傳遞堰塞湖災害訊息，告知居民避免進入溪床。

3. 堰塞湖潰決後確認

權責單位	建議辦理項目
林業及自然 保育署花蓮分署	利用無人載具方式確認堰塞湖潰決情形，是否仍具災害風險，若湖體已消失、無蓄水狀況，恢復自然河道變動時，則解除堰塞湖應變工作。
	以電話、簡訊或傳真通知相關人員及單位解除警戒

圖 7-2、堰塞湖觀測設備現地評估測試(1/2)

圖 7-3、堰塞湖觀測設備現地評估測試(2/2)

圖 7-4、堰塞湖監測攝影機現地評估測試(1/2)

圖 7-5、堰塞湖監測攝影機現地評估測試(2/2)

捌、地方說明會辦理成果

農業部林業及自然保育署花蓮分署

113 年度「木瓜溪堰塞湖調查評估報告」地方說明會會議記錄

壹、開會時間：113 年 5 月 31 日（星期五）上午 10 時 30 分

貳、開會地點：花蓮縣秀林鄉銅門村多功能集會所

參、主 持 人：黎科長璧瑞

肆、報告及討論事項：

根據衛星影像判釋，花蓮縣木瓜溪上游約 20 公里處發現堰塞湖，經分析壩高約 30 公尺，迴水長度約 700 公尺，迴水面積約 5.6 公頃，蓄積水量約 46 萬立方公尺，目前已穩定溢流。林業及保育署花蓮分署經委託「成大團隊」辦理「木瓜溪堰塞湖調查評估」工作。該堰塞湖下游重要保全對象為花蓮縣秀林鄉銅門村(距離約 15 公里)，請「成大團隊」針對調查結果進行說明，並請與會各位村民提出意見，以作為未來警戒、通報及處置之依據。

伍、各單位意見重點：

一、 林業保育署花蓮分署目前已經有建立堰塞湖的 Line 群組，並已經有進行堰塞湖資訊的說明及風險宣導，請村民不要下溪床活動。

二、 建議用人為挖降的方式降低壩體高度及減少水量，降低堰塞湖風險。

三、 建議在部落或是下溪床入口，要做一些告示牌，提醒民眾不要下溪床活動。也要提醒附近學校、遊客不要辦理溪床旅遊活動。

陸、林業及保育署花蓮分署回應說明：

一、 本分署已經成立木瓜溪堰塞湖 Line 群組，成員包括影響範圍內相關公務單位，相關村長、幹部及工作人員等。有關堰塞湖資訊的宣導，將由目前 Line 群組內各單位窗口聯絡人負責接收，再負責通報、傳遞及執行相關應注意及辦理之事項。

二、 有關堰塞湖壩體挖降工作，考量施工技術、道路可及性及施工過程對周遭生態環境影響，評估施工可行性非常低。目前本分署已建立相關

現場監測設備（監視攝影機、雨量計等），並建立緊急通報機制，當發生異常狀況時，將立即通報相關單位。也再次呼籲，目前堰塞湖仍不穩定，具有風險，也請各位村民，在堰塞湖存在期間，切勿下溪床活動。

三、 有關下溪床的風險提醒工作（附近學校、遊客），考量學校及遊客可能無法全部通知。建議還是以加強「慕谷慕魚旅遊諮詢中心」內的旅客宣導，以及於下溪床入口處設置警示牌誌，本分署將協調相關單位宣導及設置警示牌誌。

柒、臨時動議： 無。

捌、會議參與人員：

花蓮縣秀林鄉公所、賴偉翔代表(秀林鄉鄉民代表)、葉清賢村長(銅門村)、葉順清(部落會議主席)、林業及保育署花蓮分署集水區治理科、林業及保育署花蓮分署南華工作站、成大委辦團隊等約 40 餘人。

玖、散會（上午 11 時 30 分）

主持人開場說明	委辦團隊說明
村長發言	花蓮縣秀林鄉公所發言
鄉民代表發言	部落會議主席發言
委辦團隊補充說明	主持人回覆說明

圖 8-1、113 年 5 月 31 日辦理木瓜溪堰塞湖啟動應變說明會

農業部林業及自然保育署花蓮分署
堰塞湖緊急通報單

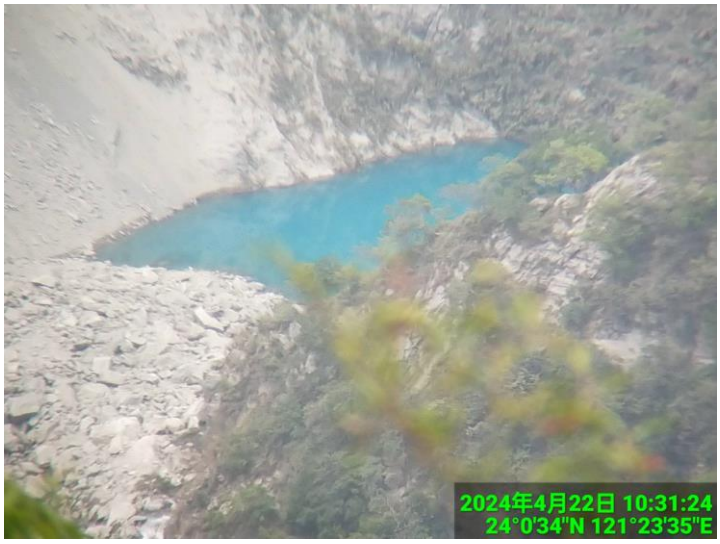
通報時間：113 年 4 月 20 日上午 8 時 30 分

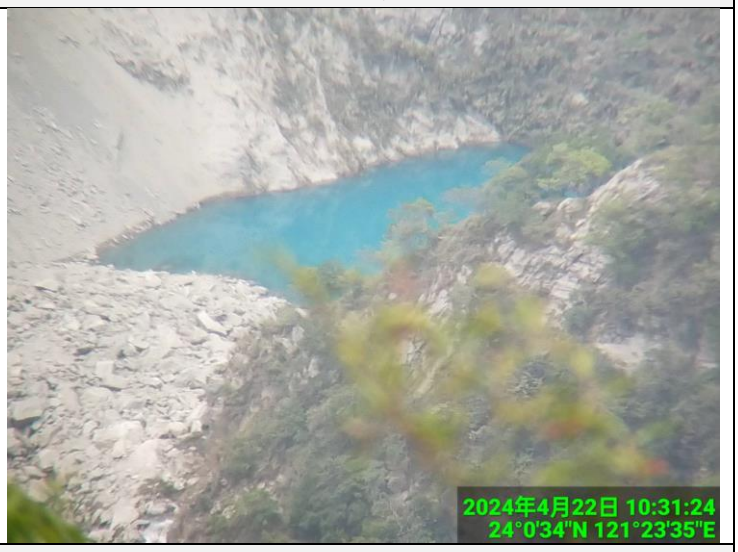
堰塞湖名稱	木瓜溪堰塞湖	發現時間	113 年 4 月 19 日
發生地點	花蓮縣秀林鄉銅門村	通報別	■初報□續報(　)□結報
事業區(林班)	木瓜山事業區第 47、57 林班交界	坐標 (TWD97)	X：288412；Y：2656216
現況摘要	1. 根據衛星影像判釋，由 4/14 衛星影像顯示花蓮縣木瓜溪上游發生崩塌已有深潭跡象，後於 4/17 影像發現已形成堰塞湖，經分析壩高約 30 公尺，迴水長度約 700 公尺，迴水面積約 5.6 公頃，蓄積水量約 43 萬立方公尺，距下游主要保全對象為台電木瓜壩(距離約 5 公里)、台電瀧洞電廠(距離約 6.8 公里)與銅門村聚落(距離約 15 公里)。 2. 若堰塞湖於 1 小時內潰壩，假設山區之流速約為 3 m/sec，可能造成下游銅門聚落(河道平均寬度約 150 公尺)抬升量約 53 公分、榕樹社區(河道平均寬度約 400 公尺)抬升量約 20 公分，聚落距離河床尚有 10-20 餘公尺高，且堰塞湖下游鄰近河道部落及保全對象距離堰塞湖相當遠，部落旁斷面較寬，爰不致對下游聚落造成立即危險，居民不必過於憂心，但對下游河道行水區內活動的人員則會有較直接影響。		
處理情形	請堰塞湖下游相關機關單位，預先啟動防災應變機制及河道管制，並請附近居民及遊客暫時勿進入溪床活動。		
預估災害/潛勢區域	河道管制（管制範圍：自堰塞湖起至木瓜溪、花蓮溪匯流口）		
影響戶數與人數	住戶	0 戶	居住人數	0 人
本分署緊急連絡人	姓名	電話	住址	
	黎科長璧瑞	03-832514 轉 218	花蓮市林政街 1 號	
相關單位	連絡人	電話/傳真	備註	
行政院東部聯合服務中心	謝豪杰組長	089-350070(台東) 089-350069(台東傳真) 03-8350080-723 03-8311100	0912-519386	
水利署第九河川分署	莊立昕科長 陳杰明正工程司	03-8325104、8334986 03-8327638		
農村發展及水土保持署花蓮分署	陳芋瑄工程員	03-8221141#6403 03-8246311	0970-913282	

交通部公路局東區養護工程分局花蓮工務段	徐俊彥總工程師	03-8230570~4 03-8228018	
交通部公路總局蘇花公路改善工程處	項授青科長 （工程科）	03-9592000#131 03-9595999(傳真) 0936-906448	請轉知木瓜溪橋改建工程工程團隊，期間注意溪水變化及施工安全。
台灣鐵路管理局工務處花蓮工務段	許文杰 助理工程師	03-8570938 03-8576043(傳真) 0929-309291	
花蓮縣政府農業處水土保持科	曹惠羽課員	03-8221999 03-8221912	
農業部農田水利署花蓮管理處	穆季遠股長 （灌溉股）	03-8463609 03-8564350(傳真)	0912-792196
台灣電力公司東部發電廠		03-8350161#303 03-8338721	24小時值班人員
花蓮縣政府消防局	彭明德科長	03-8462119 03-8575614(平日傳真)、 03-8578491(假日傳真)	
花蓮縣秀林鄉公所	葉家豪(農經課)	03-8612116#560 0976-597451 03-8611185	
花蓮縣秀林鄉公所銅門村	葉清賢村長	03-8641057 03-8641816	汪弘凱村幹事(Line群組)
花蓮縣吉安鄉公所	黃維君(農業課)	03-8523126#186 03-8547796	
	林鉑智(民政課)	03-8523126#158 03-8539021	
花蓮縣吉安鄉公所南華村	蕭萬生村長 徐秋貞村幹事	0933-488549(村長)、 0933-651276(村幹事)、 03-8523126#173(專線)	無傳真號碼
花蓮縣吉安鄉公所千城村	林世昌村長 邱美村幹事	03-8526086(村長) 0928-981676(村長) 0933-650726(村幹事) 03-8523126#176(專線)	無傳真號碼
花蓮縣吉安鄉公所光華村	石福春村長 邱美村幹事	0972-600386(村長) 0933-650726(村幹事) 03-8523126#176(專線)	無傳真號碼
花蓮縣壽豐鄉公所	黃宥蓁(農業課)	03-8652131#505 03-8560337	
	范姜月珠 （民政課）	03-8654110(專線) 03-8652131#201 03-8652505(傳真)	
花蓮縣壽豐鄉公所志學村	蔡漢東村長	0932-661901 03-8661800(電話)	無傳真號碼
農業部林業及自然保育署	李技士佑陞	02-23515441 02-23911530	
林業及自然保育署花蓮分署南華工作站	陳智宏	03-8527526 03-8534463	

林業及自然保育署花蓮分署巡查彙整

日期	巡視單位	照片
4/20	林業及自然保育署花蓮分署集水區治理科緊急確認	
一、本日本分署進行緊急空拍確認後堰塞湖已形成，目前已溢流中。		

日期	巡視單位	照片
4/23	林業及自然保育署花蓮分署南華工作站巡查	
一、堰塞湖位於木瓜山 47 林班木瓜溪上游處。 二、於木瓜山 45 林班奇萊路約 50 公尺（X：289980 Y：2656100）可目視堰塞湖位置 三、今已通知銅門部落主席、村長、崖勇蘇漾協會等重要關係人，請他們協助宣導上游有堰塞湖村民不要進入河床。		

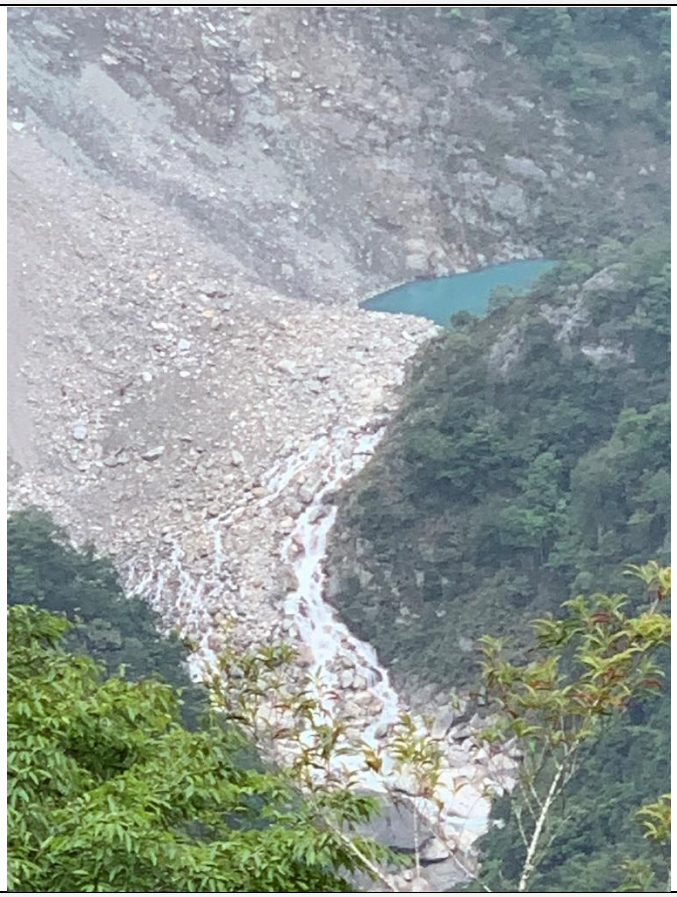
日期	巡視單位	照片
4/23	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、堰塞湖位於木瓜山 47 林班木瓜溪上游處。 二、於木瓜山 45 林班奇萊路約 50 公尺（X：289980　Y：2656100）可目視堰塞湖位置 三、今已通知銅門部落主席、村長、崖勇蘇漾協會等重要關係人，請他們協助宣導上游有堰塞湖村民不要進入河床。		
日期	巡視單位	照片
4/24	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日欲辦理堰塞湖監測情事，因天氣下雨沿路前崩塌地有持續崩塌擴大情事，無法前往目的地，經查木瓜溪下游無任何異狀，並至銅門社區宣導近期勿靠近河床或入山從事任何相關活動。 二、目前巡視路線只能至龍銅路 5 公里處，清水線可通行至發電廠		
日期	巡視單位	照片
4/25	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日巡視轄區堰塞湖情事，除因近日雨天至湖口沃水量有稍變大外，未發現任何潰堤或邊坡續崩塌等情事，惟因地震發生不斷，本日至磐石保線所勸離台電駐在人員下徹並陪同下山。 二、目前巡視路線開車只能至瀧溪路 8 公里處。		

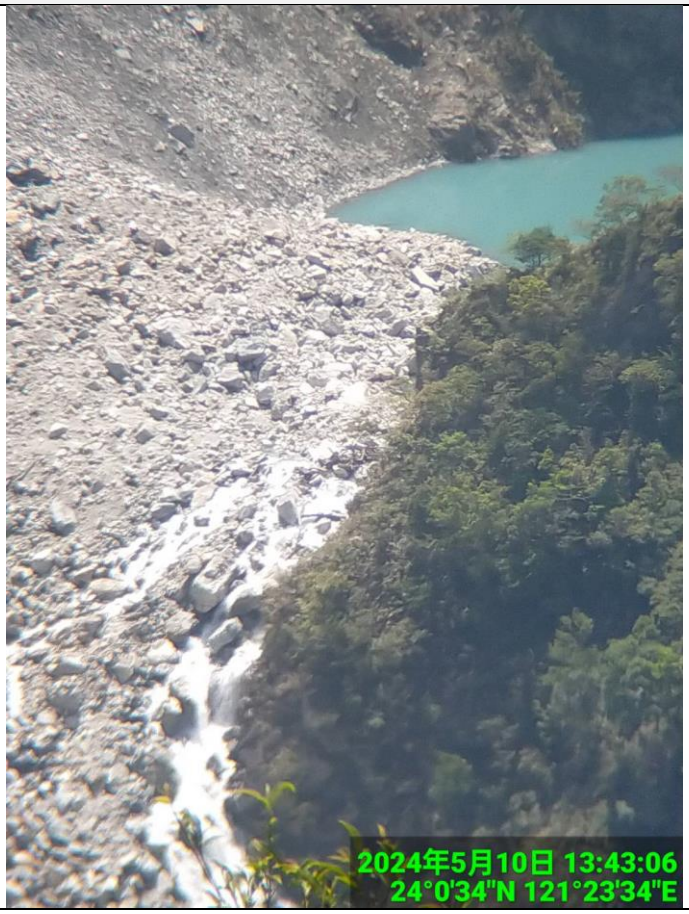
日期	巡視單位	照片
4/26	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日巡視轄區堰塞湖情事，除因近日雨天至湖口沂水量有稍變大外，未發現任何潰堤或邊坡續崩塌等情事，惟因地震發生不斷，本日至磐石保線所勸離台電駐在人員下徹並陪同下山。 二、目前巡視路線開車只能至瀧溪路 8 公里處。 三、關於媒體報道銅門至瀧澗聯外道路明隧道（於龍銅路約 7 公里處）崩塌情事，經查位於本轄區木瓜山 61 林班（X:294660. Y:2654518)，且近期巡視仍有陸續土石崩落情事。		

日期	巡視單位	照片
4/30	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日巡視轄區堰塞湖情事，除湖口沂水量有稍變大外，未發現任何潰堤或邊坡續崩塌等情事，惟上山要小心落石。		

日期	巡視單位	照片
5/1	林業及自然保育署花蓮分署集水區治理科空拍巡查	
一、本日本分署進行空拍確認堰塞湖變化工作，經比對 5/1 空拍與 4/20 空拍影像顯示堰塞湖區較無明顯變化。		

日期	巡視單位	照片
5/3	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日協助林業及自然保育署監測團隊評估堰塞湖架設監測設備規劃事宜。 二、查堰塞湖洩水量有增大，未發現其他潰堤或湖口改變等情事。		

日期	巡視單位	照片
5/8	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日巡查堰塞湖洩水量有增大，未發現其他潰堤或湖口改變等情事。		

日期	巡視單位	照片
5/10	林業及自然保育署 花蓮分署南華工作站巡查	
一、本日協助林業及自然保育署監測團隊評估堰塞湖架設監測攝影機事宜。 二、經查堰塞湖水位下降外，未發現其它異狀。		