

堰塞湖災害應變、調查、監測與處置技術指引

農業部農村發展及水土保持署

中華民國一一〇年十二月 編印

中華民國一一五年 七 月 修正

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
第一章、堰塞湖特性與衍生災害	1
1-1 堰塞湖類型	2
1-2 堰塞湖發生原因	6
1-3 堰塞湖存續時間	8
1-4 堰塞湖衍生災害	9
第二章、堰塞湖災害應變與處置流程	11
2-1 查證與通報階段	11
2-2 緊急調查及致災風險評估階段	12
2-3 緊急處置階段	12
2-4 後續處置階段	12
第三章、堰塞湖災害查證與通報	15
3-1 接獲堰塞湖形成通報	16
3-2 堰塞湖形成查證	16
3-3 權責確認與通報	18
第四章、堰塞湖災害緊急調查與致災風險評估	21
4-1 堰塞湖緊急調查	24
4-2 堰塞湖致災風險評估	33
第五章、堰塞湖災害緊急處置與應變	43
5-1 堰塞湖應變小組成立	43
5-2 堰塞湖緊急處置	45

5-3 堰塞湖守視與警戒.....	58
5-4 災後調查與風險評估.....	59
5-5 堰塞湖危機解除.....	59
參考文獻	參-1
附錄一、民用航空法 【 遙控無人機專章 】	附-1
附錄二、內政部空中勤務總隊航空器申請暨派遣作業規定.....	附-5
附錄三、堰塞湖警報傳真通報	附-15
附錄四、使用表單	附-17
附錄五、堰塞湖查證、通報、調查案例	附-23

表次

表 1-1 堰塞湖天然壩之形成類型.....	2
表 1-2 堰塞湖天然壩之主要形成類型.....	5
表 1-3 堰塞湖天然壩破壞時間綜整.....	8
表 2-1 堰塞湖災害應變作業內容.....	14
表 3-1 常用遙測影像取得來源.....	17
表 3-2 農業部重大緊急事件通報單.....	19
表 3-3 農村水保署○○分署堰塞湖案件通報單	20
表 4-1 堰塞湖災害緊急調查表.....	22
表 4-2 堰塞湖災害致災風險評估表.....	23
表 4-3 堰塞湖相關基本圖資參考清單.....	24
表 4-4 堰塞湖保全對象檢查表.....	32
表 4-5 通洪能力檢核表.....	39
表 4-6 潰壩危害度評估分級表.....	41
表 4-7 保全危害度評估分級表.....	41
表 4-8 堰塞湖致災風險緊急評估分級表.....	41
表 4-9 堰塞湖致災風險處理原則對應表.....	41
表 5-1 ○○分署堰塞湖應變小組編制表.....	44
表 5-2 應變措施回報項目	44
表 5-3 緊急處置方案優、缺點比較表.....	49
表 5-4 堰塞湖災害觀(監)測方法選用一覽表	51
表 5-5 觀(監)測方案優、缺點比較表	53
表 5-6 堰塞湖災害疏散避難計畫參考內容.....	57
表 5-7 結束總報告章節內容.....	59

圖次

圖 1-1 集集地震引發之清水溪草嶺堰塞湖(1999 年).....	1
圖 1-2 莫拉克颱風引發之太麻里溪堰塞湖(2009 年).....	1
圖 1-3 世界各地不同類型之堰塞湖.....	3
圖 1-4 堰塞湖天然壩土體來源運動型式統計圖	4
圖 1-5 堰塞湖主要誘發原因總整.....	7
圖 1-6 堰塞湖蓄水區衍生積淹水災害.....	9
圖 1-7 堰塞湖壩體衍生水流沖刷災害.....	9
圖 2-1 堰塞湖災害應變作業流程.....	13
圖 3-1 查證與通報作業流程.....	15
圖 4-1 堰塞湖緊急調查與致災風險評估流程.....	21
圖 4-2 現場調查方法	25
圖 4-3 無人載具空拍	25
圖 4-4 直升機空中勘查	26
圖 4-5 堰塞湖現場調查項目與做法.....	26
圖 4-6 崩塌地長度量測示意圖	27
圖 4-7 崩塌地寬度量測示意圖	27
圖 4-8 蓄水面積估算示意圖	30
圖 4-9 蓄水體積估算示意圖	31
圖 4-10 堰塞湖周邊保全對象調查範例.....	32
圖 4-11 無因次阻塞指標(DBI)定義圖	34
圖 4-12 堰塞湖上游影響區域示意圖.....	35
圖 4-13 三角歷線潰壩洪峰流量計算示意圖.....	37
圖 5-1 堰塞湖應變小組任務編組.....	43

圖 5-2 東竹澤地區幫浦排水紀錄.....	45
圖 5-3 湯之倉溫泉地區堰塞湖緊急施工作業情形	46
圖 5-4 緊急排水工程.....	46
圖 5-5 溫湯地區河道除石削掘施工情形.....	47
圖 5-6 崩塌堆積土石移除工程.....	47
圖 5-7 壩體安定性加強工程.....	48
圖 5-8 下游河道既有防災設施功能強化工程.....	48
圖 5-9 堰塞湖災害觀(監)測布置規劃.....	50
圖 5-10 堰塞湖災害觀(監)測示意圖	51
圖 5-11 堰塞湖災害觀(監)測方法	52
圖 5-12 堰塞湖潰壩影響評估流程.....	54
圖 5-13 堰塞湖影響範圍劃設案例.....	55
圖 1 調查區歷史影像蒐集	23
圖 2 堰塞湖查證成果(拍照日期 113/10/9).....	24
圖 3 堆積區與蓄水狀況(拍照日期 113/10/9).....	24
圖 4 率芒溪支流集水區土地權屬分布	25
圖 5 崩塌區現況 (拍照日期 113/10/9).....	26
圖 6 崩塌頂部裂隙現況 (拍照日期 113/10/9).....	26
圖 7 北側蓄水區 (拍照日期 113/10/9).....	27
圖 8 南側蓄水區 (拍照日期 113/10/9).....	27
圖 9 崩塌區與士文村相對關係 (拍照日期 113/10/9).....	28
圖 10 崩塌區下游經過士文五號橋(拍照日期 113/10/9).....	28
圖 11 事件後數值地形 (影像時間 113 年 10 月 9 日).....	29
圖 12 事件後空拍影像(影像時間 113 年 10 月 9 日).....	29
圖 13 事件後地形比對 (影像時間 113 年 10 月 9 日).....	30

圖 14 堰塞湖相關尺寸參數	31
圖 15 壩體安定性評估成果	32
圖 14 崩塌區現況 (拍照日期 114/10/9)	38
圖 15 崩塌頂部裂隙現況 (拍照日期 114/10/9)	38
圖 16 堆積區與蓄水狀況(拍照日期 114/10/9)	39
圖 17 溢洪道現況 (拍照日期 114/10/9)	39

第一章、堰塞湖特性與衍生災害

臺灣因位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交會處，地質構造破碎脆弱且常有地震災害的侵襲，此外在夏季易受颱風與豪雨的影響而常有劇烈降雨事件發生的可能，地震與颱風除直接造成災害外，也常造成集水區內大規模的崩塌或土石流等土砂災害，當集水區坡面產生崩塌或土石流時，大量土砂材料往下滑(崩)落運移阻斷河道形成天然壩(Landslide dams)後，若天然壩上游仍持續有水流供應則將可能形成堰塞湖(陳樹群，1999)；近年來隨氣候環境的變遷導致降雨特性的改變，崩塌、土石流災害的頻率與規模相對提高，發生堰塞湖災害的風險也相對增加。

堰塞湖災害一般可定義為：「熔岩流、火山泥流、冰河冰磧物或山崩土石等形成之天然壩阻塞溪流所形成。因為堰塞湖壩體材料疏鬆，膠結不良，極容易潰決，造成下游地區生命財產的重大損失」(Costa and Schuster, 1988)。

堰塞湖因發生的時間、地點，以及潰決的時間與規模的不確定性，故堰塞湖一旦潰決往往造成下游洪水氾濫及土石災害，後果可能非常嚴重。臺灣地區在 1999 年集集大地震時草嶺與九份二山皆發生堰塞湖；2009 年莫拉克颱風超大豪雨下，造成臺灣南部旗山溪、荖濃溪等多條河川形成十多處堰塞湖(陳樹群、許中立，2010)。



圖 1-1 集集地震引發之清水溪草嶺堰塞湖(1999 年)



圖 1-2 莫拉克颱風引發之太麻里溪堰塞湖(2009 年)

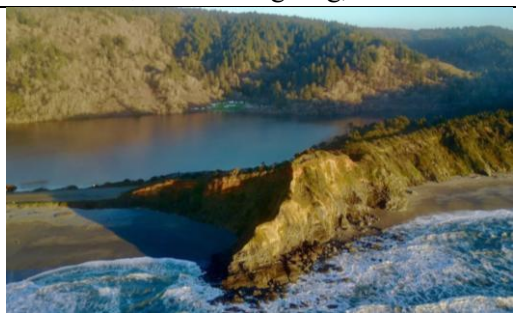
1-1 堰塞湖類型

根據 Costa and Schuster (1988) 堰塞湖的分類包含火山天然壩(Volcanic dams)、崩塌天然壩(Landslide dams)、冰川天然壩(Glacial dams)、河川天然壩(Fluvial dams)、風化天然壩(Eolian dams)、海岸天然壩(Coastal dams)、有機天然壩(Organic dams)等七大類型(如表 1-1)。

表 1-1 堰塞湖天然壩之形成類型

類型		案例
火山	火山口自然降雨蓄水	Lake Nicaragua, 尼加拉瓜
	火山熔岩流出	Snag Lake, 美國加州
	火山碎屑流流出	Rio Magdalena Lake, 墨西哥
崩塌	地滑/崩移	Earthquake Lake, 美國蒙大拿州
	泥流/土石流/土流動	Lake San Cristobal, 美國科羅拉多州
	岩屑崩落/土石崩落	Spirit Lake, 美國華盛頓州
	敏感性黏土液化	Yamaska River Lake, 加拿大魁北克
	泥炭滑動	Addergoole Bog Lake, 愛爾蘭
	岩屑堆	Goatswater, 英國
冰川	冰川(直接阻斷河道)	Gapshan Lake (Shyok), 巴基斯坦
	冰川帶動土砂	Nostetuko Lake, 加拿大英屬哥倫比亞
	冰川崩落/雪崩	Rio Plomo, 阿根廷
河川	支流沉積物	Lake Pepin, 美國明尼蘇達州-威斯康辛州
	主流沉積物	Lake Tung-ting, 中國
	沖積扇	Lake Tulare, 美國加州
	三角洲	Blue Lakes, 美國路易斯安那州
	堤防沉積物	Old River, 美國路易斯安那州
風化	沙丘	Moses Lake, 美國華盛頓州
海岸	海岸漂流物	Freshwater Lagoon, Eureka, 美國加州
有機	流木或其他植生	Lake Okeechobee, 美國佛羅里達州
	海狸築巢	Beaver Lake, 美國蒙大拿州

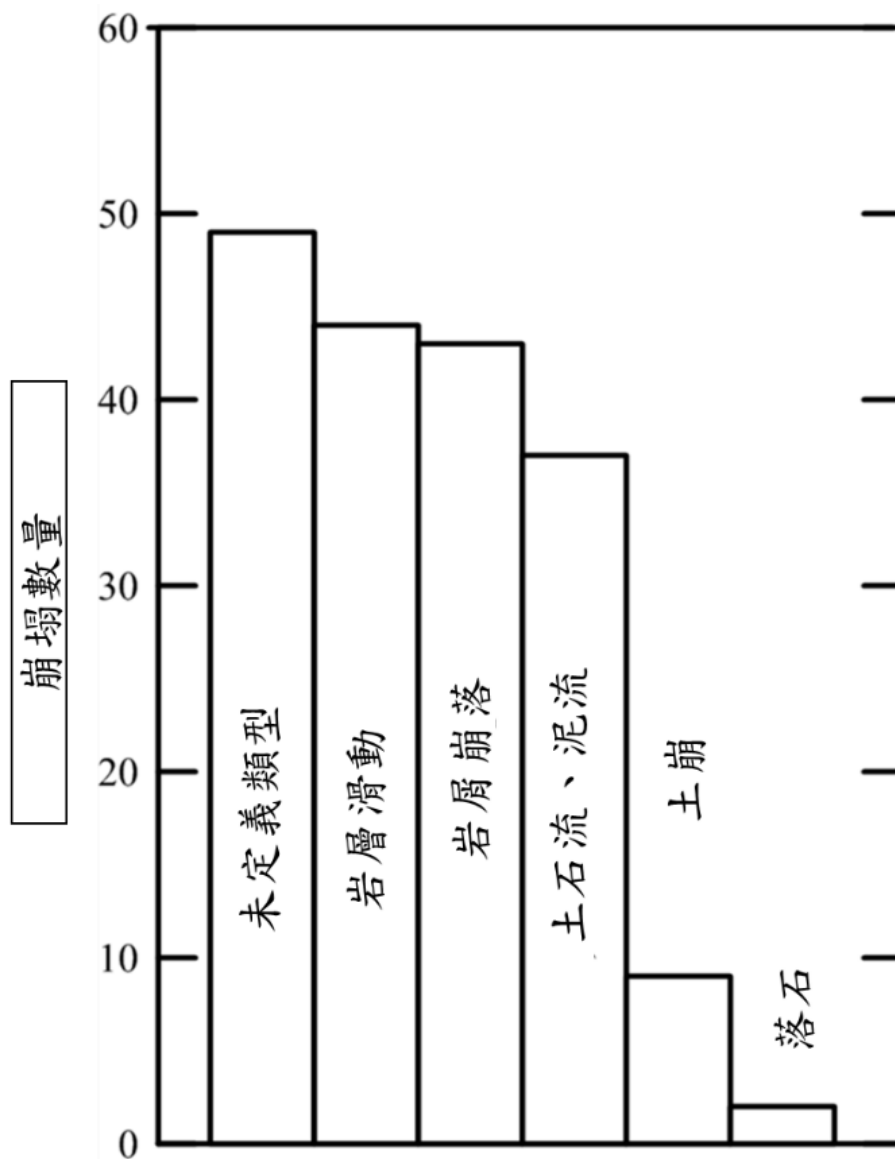
資料來源：修改自 Costa and Schuster (1988)

	
火山- Lake Nicaragua, 尼加拉瓜	崩塌- Earthquake Lake, 美國蒙大拿州
	
崩塌- Spirit Lake, 美國華盛頓州	冰川- Nostetuko Lake, 加拿大英屬哥倫比亞
	
河川- Lake Tung-ting, 中國	風化- Moses Lake, 美國華盛頓州
	
海岸- Freshwater Lagoon, Eureka, 美國加州	有機- Lake Okeechobee, 美國佛羅里達州

資料來源：My Costa Rica、維基百科、Clague & Evans(2002)、百度百科、Destination 360、Googlemap

圖 1-3 世界各地不同類型之堰塞湖

國內常見的類型為坡面滑動形成堰塞湖天然壩(Landslide dams)，除了無法辨識的土體運動，天然壩之土體來源運動型式主要以岩屑崩落、地滑及土石流為主(如圖 1-4)。

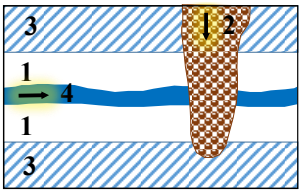
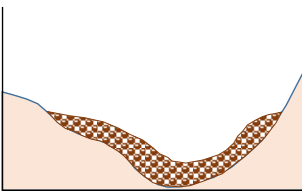
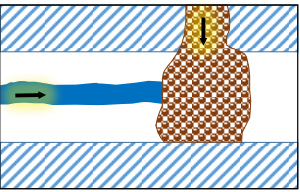
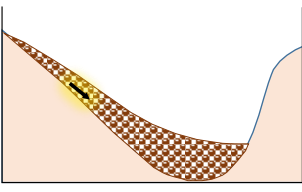
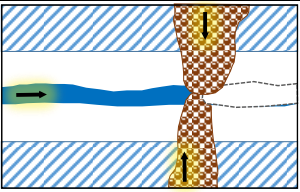
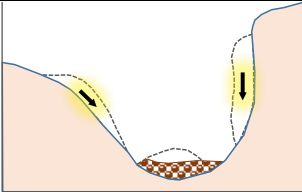
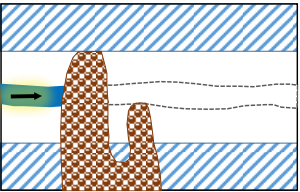
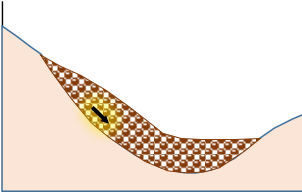
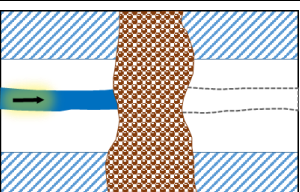
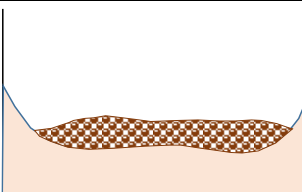


資料來源：陳昆廷(2015)

圖 1-4 堰塞湖天然壩土體來源運動型式統計圖

陳樹群(1999)參考 Costa and Schuster(1988)對堰塞湖的分類，將堰塞湖天然壩之形成類型細分成五大類型(表 1-2)，前四種類型為山崩型，第五種類型為隆起型。

表 1-2 堰塞湖天然壩之主要形成類型

類型	特徵	示意平面圖	示意剖面圖	典型實例
類型 I	地滑、崩塌體、土石流以較高之速度越過河道衝向對岸斜坡，並爬高至一定高度後再折回到河道，造成河道堵塞。			草嶺堀坐山滑動至對岸之倒交山。
類型 II	以整體或碎層流之型式滑動，並以一定之速度沖入河道，沿河谷向上、下游流動了一段距離後堵塞河道，形成寬厚之天然壩。			九份二山地區，崁斗山滑動特性。
類型 III	兩岸相對之斜坡體同時發生破壞失穩，向河谷流動，首首相接堵塞河道。			雪山坑溪兩側同時崩塌。
類型 IV	崩塌分兩股以上進入河道，形成兩座或兩座以上之天然壩，至少有一座壩體完全堵塞河道。			石盤溪形成二處堰塞湖。
類型 V	河道受地震擠壓而隆起，天然壩壩體來源由下而上，壩體較為平整，開闊河道亦可能發生。			位於東勢附近之大安溪及沙連河。

註：1. 河道；2. 堵塞河道之土體；3. 兩岸斜坡；4. 河流。

資料來源：修改自陳樹群(1999)

1-2 堰塞湖發生原因

根據過去的文獻(圖 1-5)整理，堰塞湖主要誘發原因包含降雨、地震、火山、及其他。Schuster(1986)統計了 135 處堰塞湖案例，其中由降雨(包含暴風雪和融雪)誘發的共有 46%，地震誘發造成有 38%，火山引致的佔約 7%，剩下的 9%則由其他因素誘發，包含冰壩破壞、植被減少、河道沖刷侵蝕等。

Costa and Schuster (1988) 針對全球 128 個堰塞湖進行分析，降雨及融雪誘發的堰塞湖約為 51%，地震誘發崩塌形成堰塞湖約佔 39%，火山爆發形成堰塞湖約佔 8%，其他如冰川、渦湖、風力侵蝕及生物構築等形成原因則佔約 2%。

水利規劃試驗分署(原水利規劃試驗所，2004)統計全球 429 個堰塞湖案例，堰塞湖主要誘發原因為降雨(包含融雪)(52%)，其次是地震(36%)、人為活動(5%)、火山(3%)以及其他。

森俊勇等人(2011)以田畑等人(2002)對日本堰塞湖天然壩的研究為基礎，分析日本截至 2008 年宮城岩手地震的 61 個事件共 168 個堰塞湖，誘發因素以地震的 46%最高，降雨誘發 45%次之，火山誘發 7%，地震與降雨共同造成 3%，以及不確定誘發原因的 2%。

Peng and Zhang (2012)分析全世界 1,239 個堰塞湖形成原因，以降雨(42%)以及地震為主(40%)，人為(3%)、火山(1%)、其他(2%)為其他誘發因素，另外有 12%的堰塞湖不確定是由什麼引起。

陳昆廷(2015)蒐集臺灣堰塞湖天然壩案例共計 75 筆，天然壩之主要誘發原因也以降雨及地震為主，約 55%為降雨誘發，32%為地震誘發，約 13%誘發原因不明。

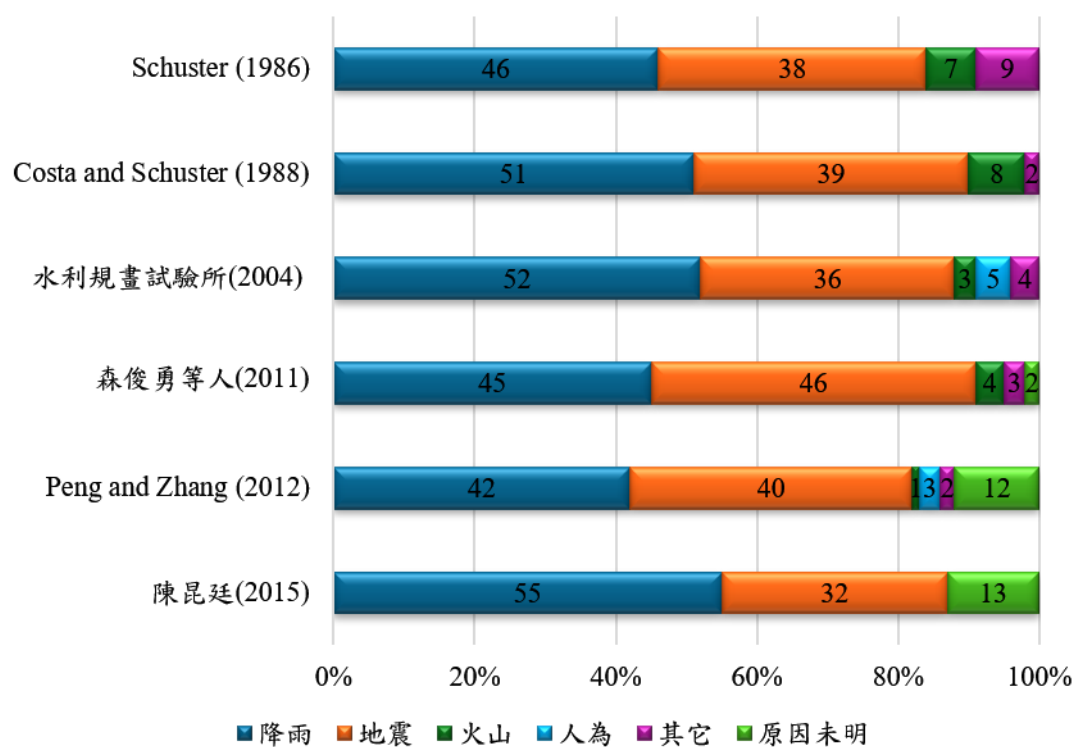


圖 1-5 堰塞湖主要誘發原因總整

1-3 堰塞湖存續時間

堰塞湖災害的應變時間取決於天然壩潰壩時間，根據壩體體積、堆積材料、滲透率、上游入流量等不同因素，堰塞湖的壽命可以從數分鐘到數千年，Schuster (1986)分析 63 處堰塞湖潰壩時間，22%的堰塞湖會在形成後 24 小時內潰決，44%可維持 7 天，50%以上會在形成後 10 天內消失，83%於半年內潰壩，有 91%的堰塞湖將在形成 1 年內消失 (如表 1-3)。

Costa and Schuster (1988)分析了 73 個堰塞湖案例，27%的堰塞湖在一天內潰壩，41%在一周內潰壩，50%在 10 天內潰壩，80%在半年內潰壩，85%在 1 年內潰壩。經濟部水利署水利規劃試驗分署(原水利規劃試驗所)在 2004 年發表的研究中也顯示，285 個堰塞湖統計案例中，20%的堰塞湖在 1 天內潰壩，30%在 1 周內潰壩，41%在 1 個月內潰壩，54%的堰塞湖在 1 年內潰壩。Peng and Zhang (2012) 分析了 204 個堰塞湖案例，超過一半的堰塞湖會在 7 天內潰決，能存活超過 1 年的堰塞湖僅有 13%。

表 1-3 堰塞湖天然壩破壞時間綜整

	案例數	1 天內	7 天內	10 天內	1 個月內	0.5 年內	1 年內
Schuster (1986)	63	22%	44%	50%		83%	91%
Costa and Schuster (1988)	73	27%	41%	50%		80%	85%
水利規劃試驗分署(2004)	285	20%	30%		41%		54%
Peng and Zhang (2012)	204	34%	51%		71%	83%	87%

1-4 堰塞湖衍生災害

堰塞湖之災害主要來自其蓄積水體，在發生區上游，河道兩側聚落、道路可能受到蓄水量增加而發生淹沒災害(圖 1-6)，而因其壩體相關不安定，一旦壩體發生不穩定，蓄積水體將於短時間大量湧出造成壩體之潰決，進而引發潰壩水流或大量土砂流出等現象，對下游地區造成極大之威脅(圖 1-7)。



圖 1-6 堰塞湖蓄水區衍生積淹水災害



小林村潰壩後地形



小林村下游旗山溪河道

圖 1-7 堰塞湖壩體衍生水流冲刷災害

1-5 重要名詞定義

一、堰塞湖災害

當保全對象受堰塞湖蓄積水體淹沒，或受潰決水流影響而導致損失發生時，即為堰塞湖災害。

二、保全對象：保全對象一般包含保全住戶、交通及重要設施

(一)保全住戶：係指堰塞湖災害發生時，影響範圍內居住之人員。

(二)交通設施：係指堰塞湖災害發生時，影響範圍內受影響之道路與橋樑等交通設施。

(三)重要設施：如防災相關公用設施和防災避難場所、高壓電塔、攔河堰、水庫蓄水範圍等

三、風險等級：

(一)致災風險：利用潰壩危害度及保全安全度進行評估，量化堰塞湖可能造成之危害程度，分為暫無風險、低風險、中高風險及極高風險四級。

(二)潰壩危害度：可利用壩體安定性進行評估，主要評估堰塞湖發生危險之機率高低。

(三)保全危害度：針對利用堰塞湖上、下游保全對象之分布、使用狀況等因子進行評估，主要評估目標為堰塞湖發生後可能之災害規模。

第二章、堰塞湖災害應變與處置流程

因堰塞湖本身之高度不確定性，因此堰塞湖災害之應變與處置需要快速展開，同時也需要跨單位聯合處置，在實務執行上應有作業流程可供參考，以利相關人員處置時得以確認工作完成狀況。

在莫拉克颱風事件後，因尚有旗山溪上游堰塞湖(高雄縣那瑪夏鄉民生村上游)及太麻里溪堰塞湖(臺東縣金峰鄉包盛社上游)等 2 處堰塞湖需要進行處置，因此行政院訂定「堰塞湖警戒、監測及撤離與演練方案」，就警戒、監測、及撤離與演練等事項訂定執行方案，俾為各機關及地方政府之執行依據，以避免發生二次災害。而後農業部林業保育署(原農業委員會林務局)根據此方案，研擬「堰塞湖應變標準作業程序」(99 年 7 月 8 日農林務字第 0991730473 號函)送行政院版核定。

農村發展及水土保持署(後稱農村水保署)依照前述程序之因應相關作業方式為基礎，並參酌 114 年花蓮馬太鞍堰塞湖及燕子口堰塞湖處置經驗，提出堰塞湖災害處置流程(圖 2-1)，以提供在堰塞湖災害發生時，農村水保署相關人員參考使用。

堰塞湖災害應變工作可依時間序列分成四階段，依序為一、查證與通報階段，二、緊急調查及致災風險評估階段，三、緊急處置階段，以及四、後續處置階段，各階段作業工作內容說明如下：

2-1 查證與通報階段

當接獲堰塞湖形成情資後，接獲者應主動釐清情資是否屬實並進行紀錄，並轉知相關情資予形成位置對應之轄管分署，由轄管分署進行查證、權責確認與通報工作。工作內容如下：

- (一)接獲堰塞湖形成情資(項目 1)
- (二)堰塞湖形成之查證(項目 2)
- (三)堰塞湖權責確認與通報(項目 3)

2-2 緊急調查及致災風險評估階段

當堰塞湖處置權責屬農村水保署時，應由分署進行堰塞湖緊急調查及致災風險評估，作為分署堰塞湖應變小組成立之參考。本階段工作如下：

(一)堰塞湖緊急調查(項目 4)

(二)堰塞湖致災風險評估(項目 5)

2-3 緊急處置階段

若堰塞湖根據致災風險評估為具風險時，分署應成立堰塞湖應變小組，以利後續緊急處置工作之推動。若為無直接風險但經評估有必要者，亦得成立應變小組進行後續處置。

分署堰塞湖應變小組成立後，除將堰塞湖情資通知相關機關及副知農村水保署，同時應根據風險等級評估成果進行緊急處置工作之規劃與執行，以利後續應變小組堰塞湖守視與警戒、相關機關撤離、收容等決策訂定與工作執行之參考。

在事件後應變小組應再次進行災後調查及致災風險評估，以評估堰塞湖災害風險變化情形，並評估是否解除堰塞湖應變工作。

(一)堰塞湖緊急處置(項目 6)

(二)堰塞湖守視與警戒(項目 7)

(三)災後緊急調查與致災風險評估(項目 8)

(四)堰塞湖災害風險解除(項目 9)。

2-4 後續處置階段

當堰塞湖應變狀況解除後，針對堰塞湖位置之持續追蹤、崩塌及河道之中長期處理則回歸至業務權責單位進行評估與執行。

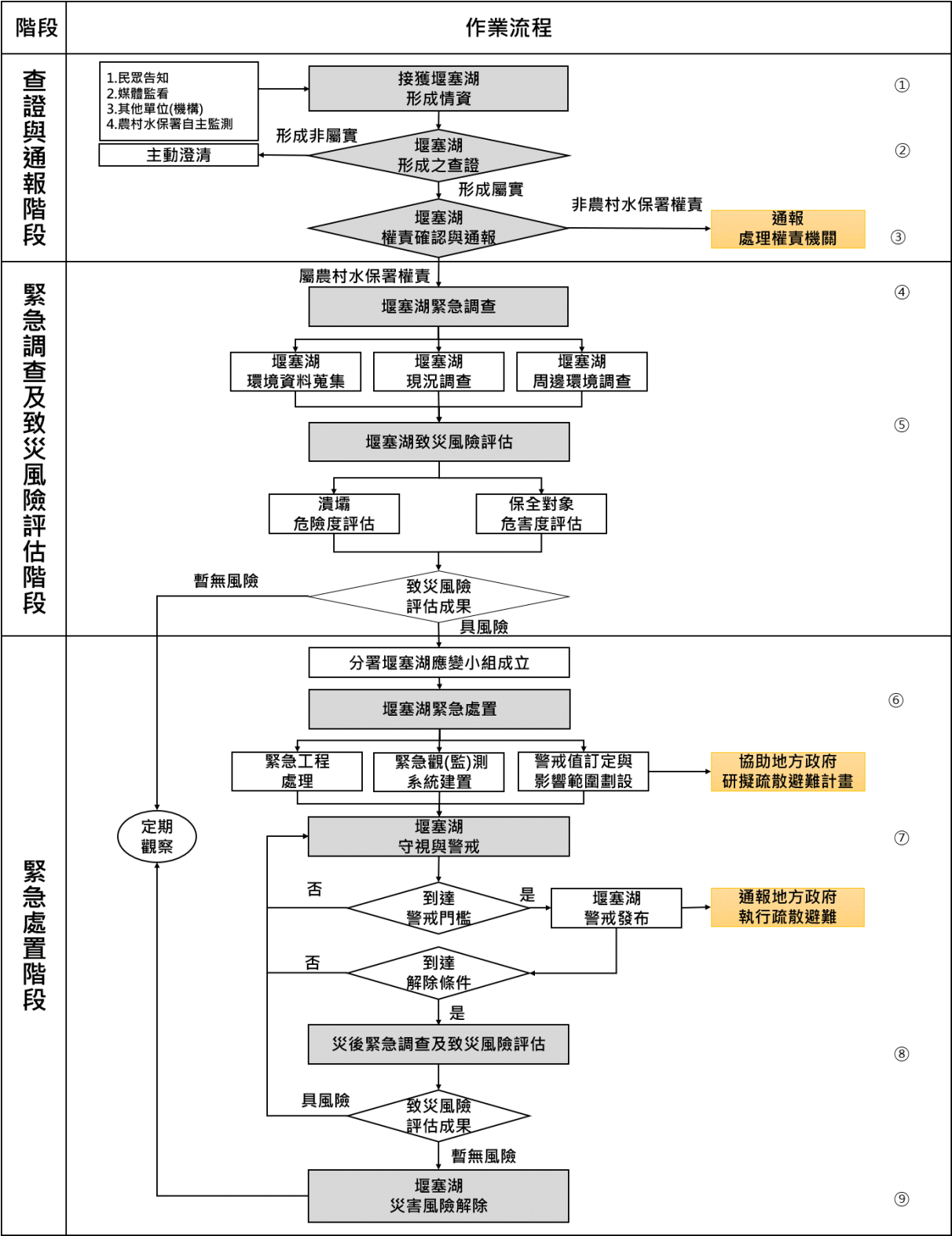


圖 2-1 堰塞湖災害應變作業流程

表 2-1 堰塞湖災害應變作業內容

項目		執行單位	說明	對應章節	使用表單
1	接獲堰塞湖形成情資	本署、分署	當接獲堰塞湖形成情資時，應主動確認接獲情資內容	3-1	
2	堰塞湖形成之查證	分署	由分署進行堰塞湖情資查證。若非屬實應主動澄清；若屬實，則應進行堰塞湖處置權責確認。	3-2	
3	堰塞湖權責確認與通報	分署	若堰塞湖形成屬實，則應依據堰塞湖所在位置進行處理權責判定及情資縱橫向通報	3-3	表 3-2、表 3-3
4	堰塞湖緊急調查	分署	當堰塞湖處置權責為農村水保署，分署應進行緊急調查，以取得堰塞湖環境情資與現地狀況	4-1	表 4-1
5	堰塞湖致災風險評估	分署	分署應依據緊急調查成果進行堰塞湖致災風險評估。	4-2	表 4-2
6	堰塞湖緊急處置	分署 堰塞湖應變小組	若堰塞湖具風險或評估有需求時，分署應成立分署堰塞湖應變小組，以進行緊急工程處理、緊急觀(監)測系統建置、影響範圍劃設及警戒值訂定、協助地方政府疏散避難計畫等，本署提供監測設備及分析技術等支援。	5-1 5-2	表 5-1 表 5-2
7	堰塞湖守視與警戒	分署 堰塞湖應變小組	應變小組守視堰塞湖狀況，達警戒發布門檻/解除條件時，應縱橫向通報相關單位。	5-3	
8	災後緊急調查與致災風險評估	分署 堰塞湖應變小組	堰塞湖警戒解除後，應變小組應再進行堰塞湖緊急調查及風險評估，仍有風險時應持續守視與警戒工作	5-4	表 4-1 表 4-2
9	堰塞湖災害風險解除	分署 堰塞湖應變小組	當堰塞湖經確認蓄水區消失、水流不受影響，或經災後致災風險評估判定為暫無風險時，分署堰塞湖應變小組得辦理堰塞湖應變工作解除。 解除後將應變解除資訊縱橫向通報相關機關，相關治理計畫則回歸業務權責。	5-5	表 5-7

第三章、堰塞湖災害查證與通報

災害應變期間災情通報管道眾多，相關情資之真實性有待確認，接獲堰塞湖通報資訊後，接獲者應設法先確認堰塞湖情資真偽，如聯繫初始資訊提供者，再將資訊轉知對應之轄管分署。分署接獲資訊時應先透過遙測影像提供單位，取得最新影像資料；或於必要時(無法取得確實資訊時)派遣人員至現場或以空勘調查方式進行查證。證實堰塞湖資訊後，應依據堰塞湖所在位置判斷處理權責並進行通報。

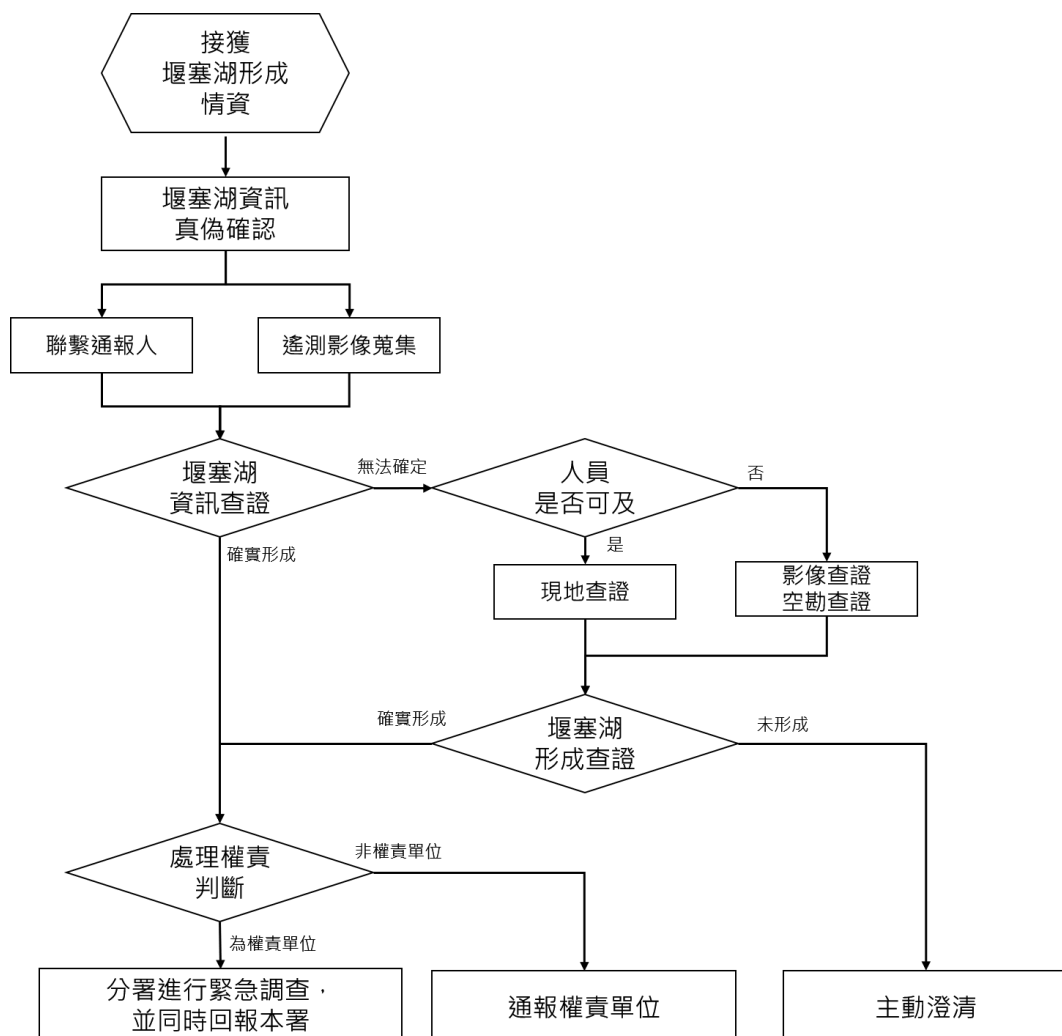


圖 3-1 查證與通報作業流程

3-1 接獲堰塞湖形成情資

- 一、堰塞湖形成地點多位於偏遠山區，故發現堰塞湖形成之通報者多為鄰近堰塞湖之現地民眾，其可能透過警政、消防及民政通報系統，或是藉由大眾傳播媒體進行情資發布，農村水保署之定期或災害緊急航遙測影像監測機制、其他單位人員、志工通報亦為情資來源之一。
- 二、接獲情資時，應主動釐清堰塞湖重要概況資訊並記錄，以利後續資訊查證與後續緊急應變作業之進行，相關資訊應轉知通報地點對應之轄管分署。
- 三、堰塞湖重要概況資訊包含 1.情資來源、2.發現時間(或推估形成時間)、3.堰塞湖形成位置(坐標)、4.堰塞湖大致規模、5.交通狀況等。

3-2 堰塞湖形成查證

一、堰塞湖資訊查證

接獲堰塞湖形成情資後，分署應設法確認堰塞湖情資真偽，如聯繫初始通報者，或透過遙測影像提供單位取得確實影像資料，以判斷堰塞湖是否確實形成。

二、堰塞湖形成查證

若無法確認是否形成，或無法取得確實資訊，必要時派遣人員至現場查證或以影像或空勘方式進行查證。

(一)現地查證

若車輛或人員於安全無虞下徒步可及堰塞湖者，可採直接調查方式進行現地查證。

(二)影像查證

受限於交通狀況，部分災害土砂來源或現象位置可能不利人員現場勘查，則可利用遙測影像(表 3-1)進行查證。建議可先透過農村水保署開

發之「BigGIS_巨量空間資訊系統」了解既有影像資源狀況，再考量其他取得來源。若採用無人載具進行確認時，則應依「民用航空法-遙控無人機專章」相關規定(附錄一)辦理，必要時得依災害防救目的申請。

(三)空勘查證

若認為有需要進行現場確認卻受限於交通狀況，可考量申請飛行載具支援進行空勘查證。(可參考「內政部空中勤務總隊航空器申請暨派遣作業規定」(附錄二)申請)。

表 3-1 常用遙測影像取得來源

遙測影像類型	取得來源
福衛影像	中央災害防救緊急應變中心、國家災害防救科技中心、國家太空中心
SPOT / Pleiades 衛星	中央大學太空遙測中心
Sentinel 衛星	歐洲太空總署
其他商用衛星	如鴿子衛星、捷鳥衛星、WorldView 等，需洽各經銷商
航照影像	中央災害防救緊急應變中心、國家災害防救科技中心、國防部、林業及自然保育署航測及遙測分署、民間航拍公司
無人載具影像	中央災害防救緊急應變中心、國家災害防救科技中心、國防部、農村水保署及分署、民間航拍公司

三、查證結果公開

(一)若確認為誤報，則視需求配合發布必要資訊以進行澄清。

(二)若確認堰塞湖形成屬實，則應進行堰塞湖處置權責之判定，再進行相關通報工作。

3-3 權責確認與通報

一、堰塞湖處置權責判定

依據「堰塞湖潰決造成災害之中央災害防救業務主管機關權責」研商會議(民國 99 年 4 月 20 日中央災害防救會報第 13 次會議准予備查)，新生堰塞湖之處理權責機關依據堰塞湖所在位置而定。判定原則如下：

(一)經濟部水利署

負責中央管河川界點以下之河川區域之堰塞湖處理。

(二)農業部農村發展及水土保持署

負責中央管河川界點以上山坡地(國有林班地外)野溪之堰塞湖處理。

(三)農業部林業及自然保育署

負責中央管河川界點以上國有林班地野溪之堰塞湖處理。

(四)地方政府(含直轄市、縣、市政府及鄉、鎮、市、區公所)

1. 負責縣(市)管河川區域之堰塞湖處理

2. 負責受堰塞湖影響地區保全對象撤離、通報、回報及解除工作。

二、查證成果通報

完成查證與處置權責判定後，分署應填報「農業部重大緊急事件通報單」(表 3-2)並縱向通報農業部及本署，填報「堰塞湖案件通報單」(表 3-3)，將查證及權責判定成果橫向通知相關單位。若判斷屬農村水保署權責者，則應立即進行後續調查與致災風險評估。

(一)縱向通報機關：縱向通報單位包括農業部及農村水保署。

(二)橫向通報機關：橫向通報單位包括堰塞湖位置對應之林業保育署相關分署、水利署及所屬機關以及地方政府及其他相關單位等。

(三)另為爭取防救災時效，可利用各式傳訊工具(電話、傳真、簡訊、電子郵件、通訊軟體等)，於第一時間進行各級防救災權責機關之複式多元通報。

表 3-2 農業部重大緊急事件通報單

敬陳單位人員(請於□內填 V 勾選)				通報時間		年 月 日 時 分			
☐ 部長 ☐ 政務次長 ☐ 政務次長 ☐ 常務次長 ☐ 主任秘書 ☐ 政風處主任 ☐ 綜規司司長 ☐ 協服科科長 ☐	☐ 農村水保署 ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	通報別		□初報□續報 () □結報					
		通報人員		單位： 農村發展及水土保持署 ○○分署 職稱： 姓名：					
		電話	() -	傳真	() -				
		發生時間		年 月 日 時 分		發生地點			
案 由									
案 情 摘 要									
處 理 情 形									

表 3-3 農村水保署○○分署堰塞湖案件通報單

農業部農村發展及水土保持署○○分署
○○堰塞湖通報單 第 ○ 報(稿)

基本資訊	發生時間	年 月 日 時 分	發生地點		
堰塞湖 事件摘要					
堰塞湖 最新狀況					
堰塞湖 風險評估 成果					
預估災害 潛勢範圍					
應注意 事項					
*通報 事項	★請收到傳真單後，簽名回傳至本分署傳真。 單位_____姓名_____				
聯絡 資訊	緊急聯絡人	姓名	電話	電子信箱	
	分署應變中心	電話	傳真	地址	
通報單位		聯絡人	電話/傳真	備註	

*通報單位請依需求增加

第四章、堰塞湖災害緊急調查與致災風險評估

堰塞湖引致災害之不確定性極高，故於堰塞湖形成後，相關評估工作必須儘速實施，包括致災風險評估、緊急觀(監)測設置、緊急減災工程實施、疏散撤離機制建立等，這些工作都需要透過緊急調查取得堰塞湖相關資料後方可進行。

當確認堰塞湖發生位置位於河川界點以上山坡地範圍時，所在地分署應進行緊急調查與致災風險評估工作(圖 4-1)，並填寫「堰塞湖災害緊急調查」(表 4-1)及「堰塞湖災害致災風險評估表」(表 4-2)，表格內容可參本章後續說明進行。完成後應就致災風險分析成果進行後續處置。

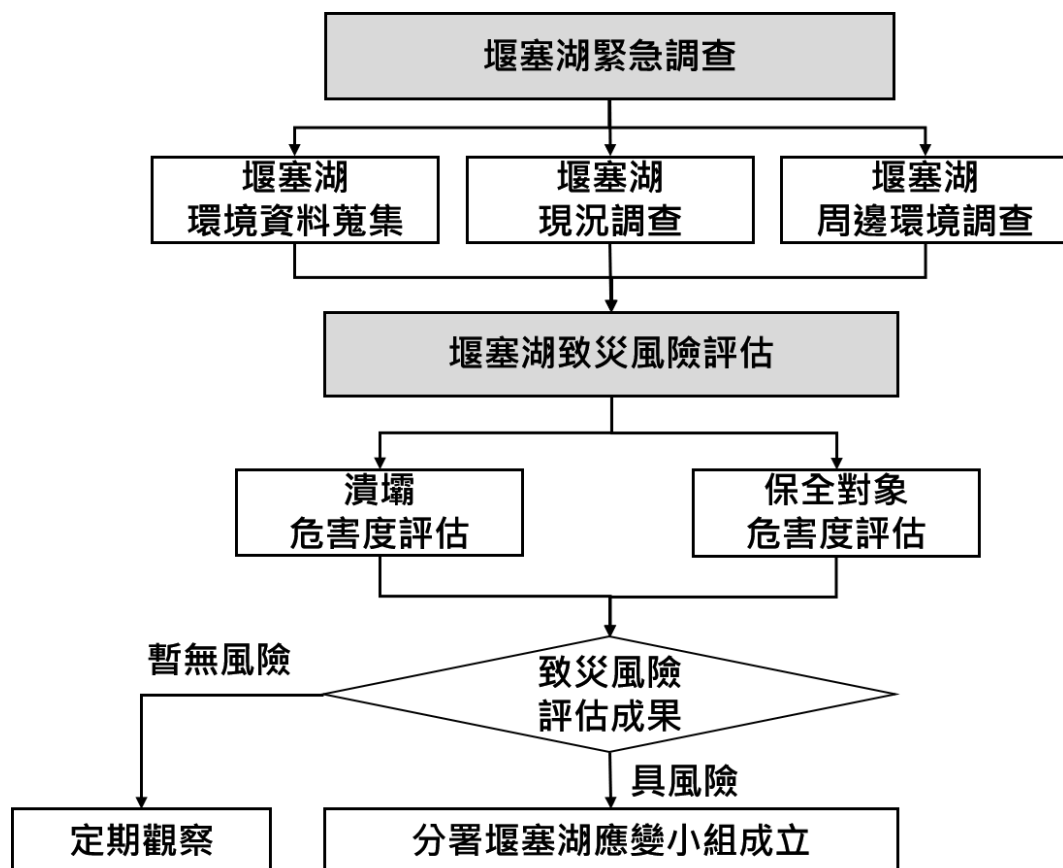


圖 4-1 堰塞湖緊急調查與致災風險評估流程

表 4-1 堰塞湖災害緊急調查表

調查人/單位：_____ / _____ 調查時間：_____					
形成地區	_____ 市/縣 _____ 鄉/鎮/市/區 _____ 村/里				
土地權屬	☐ 林班地 _____ 事業區 _____ 林班 _____ 小班 ☐ 山坡地 _____ ☐ 其他 _____				
溪流名稱	_____ 流域 _____ 河/溪				
坐標 TWD97	X		Y		
位置簡述					
形成日期	民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 時				
誘發原因	(☐ 地震/ ☐ 豪雨/ ☐ 其他)： _____				
調查方式	(☐ 地面/ ☐ 空勘) (☐ 目測/ ☐ 測量/ ☐ 拍照/ ☐ 攝影/ ☐ 其他)： _____				
崩塌區概況	崩塌地寬度(最大)				(m)
	崩塌地長度(最大)				(m)
	崩塌面積				(m ²)
	崩塌深度(最大)	(m)	崩塌深度(平均)		(m)
	崩塌材料體積(估算)	崩塌面積×崩塌平均深度			(m ³)
	擴大可能性描述				
	崩塌區綜合描述				
天然壩概況	天然壩高				
	壩頂長度	(m)	壩頂寬度		(m)
	壩底長度	(m)	壩底寬度		(m)
	壩體體積(估算)				
	壩體材料	☐ 大型岩塊 ☐ 破碎材料 說明：			
	壩體形狀	上游坡度	(度)	下游坡度	(度)
	河道水流狀況	☐ 已滲流 ☐ 已溢流 ☐ 水流中斷 說明：			
天然壩綜合描述					
堰塞湖概況	目前蓄水深	(m)	最大可能水深		(m)
	目前蓄水面積	(m ²)	最大蓄水面積		(m ²)
	目前蓄水量	(m ³)	最大蓄水量		(m ³)
	上游集水面積				(km ²)
	上游入流量				(m ³ /s)
	堰塞湖綜合描述				
周邊概況	保全分布：	☐ 有 ☐ 無 說明：			
	交通情形：	☐ 有 ☐ 無 說明：			
	電力狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：			
	通訊狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：			
	周遭環境綜合描述				

表 4-2 堰塞湖災害致災風險評估表

評估人/單位：_____ / _____		評估時間：_____	
形成地區	_____ 市/縣 _____ 鄉/鎮/市/區 _____ 村/里		
土地權屬	☐ 林班地 _____ 事業區 _____ 林班 _____ 小班 ☐ 山坡地 _____ ☐ 其他 _____		
溪流名稱	_____ 流域 _____ 河/溪		
坐標 TWD97	X _____	Y _____	
位置簡述			
形成日期	民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 時		
誘發原因	(☐ 地震/ ☐ 豪雨/ ☐ 其他)： _____		
潰壩 危害 害度	壩體 安定 性	集水面積	(km ²)
		壩體體積	(m ³)
		壩體高度	(m)
		安定性分析成果	DBI 值
		安定性綜合描述	
保全 危害 害度	保全 對象 安全 性	最大蓄水高程	(m)
		最大蓄水面積	(m ²)
		蓄水區保全對象狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：
		潰壩流量	(m ³ /s)
		河道通洪能力檢討	☐ 通過 ☐ 未通過 說明：
		下游保全對象狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：
		安全性綜合描述	
堰塞 湖 致 災 風 險	潰壩危害度分析成果	☐ 低 ☐ 高	
	保全危害度分級成果	☐ 低 ☐ 中 ☐ 高	
	堰塞湖致災風險評估成果	☐ 暫無風險 ☐ 低風險 ☐ 中高風險 ☐ 極高風險	
	堰塞湖風險處置建議		

4-1 堰塞湖緊急調查

一旦經判斷堰塞湖確實形成時，應儘速實施緊急調查工作。現場緊急調查工作應於調查人員安全無虞之前提下進行。緊急調查工作內容包含環境資料蒐集、崩塌區概況、天然壩概況、堰塞湖概況及周邊概況等調查工作。

一、環境資料蒐集

為利緊急調查作業實施，可依表 4-3 準備堰塞湖相關基本圖資與環境資料，以利調查人員進行現地比對及資料研析，提供後續評估參考，相關圖資可利用 BigGIS 平台、各資料來源或協請本署協助取得。

表 4-3 堰塞湖相關基本圖資參考清單

資料類別	資料項	格式	資料來源
地文 資料	數值高程模型	網格	內政部
	數值高程地形	網格	內政部
	岩性組合圖	向量	經濟部
	地質圖	向量	經濟部
	土壤圖	向量	農業部
	歷史崩塌	向量	農業部
水文 資料	雨量站雨量資料	表格	交通部
	水系資料	向量	經濟部
人文 資料	行政村里區界	向量	內政部
	土地權屬	向量	內政部
	橋梁、道路	向量	交通部
	聚落分布	向量	內政部
其他資料	地震資料	表格	交通部
	鄰近交通災情	表格	交通部、地方政府
	電力損害狀況	表格	臺灣電力公司等
	電信損害狀況	表格	中華電信公司等

二、堰塞湖現況調查

堰塞湖初步調查是針對堰塞湖規模、集水區概況及重要設施分布等，進行現場調查。調查方法之選定需考量實際交通狀況及工作人員安全性，決定採用現場調查、直升機空中勘查或遙測影像判釋等方式進行。

現場調查的施行可利用目視、拍照、簡易測量等方式進行(圖 4-2)；若交通狀況及安全性考量結果無法進行現場調查，則可以透過無人載具空拍方式(圖 4-3)或直升機空中勘查(圖 4-4)進行調查，無人機使用與直升機申請應就相關規定辦理。

現地調查之作業需於安全情況下於最短時間內抵達堰塞湖現場進行調查作業。調查項目包括崩塌區、天然壩堆積區、堰塞湖蓄水區(圖 4-5)，以及鄰近周邊概況，各調查項目調查方法說明如後。



圖 4-2 現場調查方法

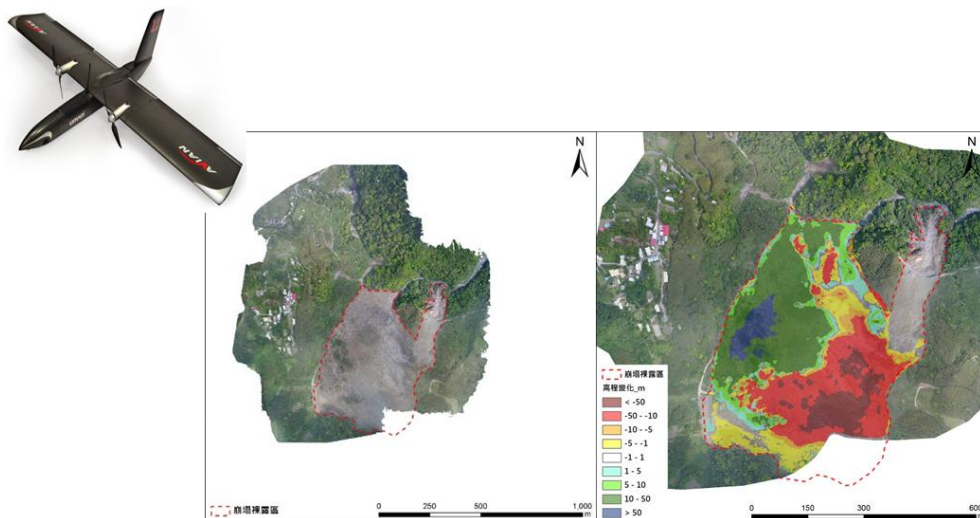
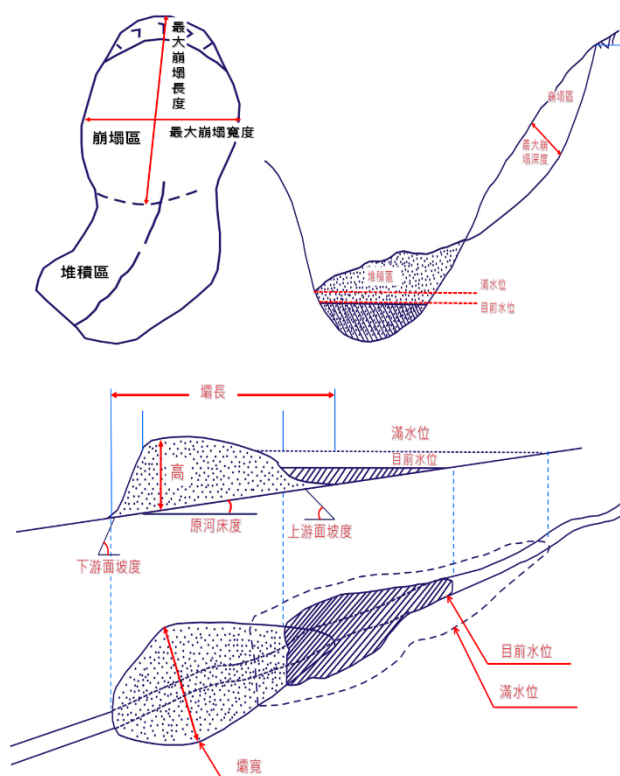


圖 4-3 無人載具空拍



圖 4-4 直升機空中勘查



位置	欄位名稱	說明
崩塌區概況	崩塌地寬度	崩塌區域左右側寬度
	崩塌地長度	崩塌區域中高程最高點與最低點之斜坡長
	崩塌面積	崩塌區域面積
	崩塌深度	崩塌滑移地層之深度或厚度
	崩塌材料體積	崩塌面積*崩塌深度
	擴大可能性評估	崩塌地持續擴大之可能
天然壩概況	天然壩高	天然壩壩高，由河床底面起算，至壩頂之高度
	壩頂長度	天然壩壩頂長概估值，採平行河流主軸方向量測
	壩頂寬度	天然壩壩頂寬概估值，採垂直河流主軸方向量測
	壩底長度	天然壩壩底長概估值，採平行河流主軸方向量測
	壩底寬度	天然壩壩底寬概估值，採垂直河流主軸方向量測
	壩體體積	天然壩堆積材料於河道範圍內概估體積
	材料特性	天然壩堆積材料概估粒徑組成。
	堆積形狀	天然壩上、下游堆積坡度概估值，上下游分別計算
堰塞湖概況	河道水流狀況	天然壩下游水流狀況，評估是否已發生滲流或溢流
	目前蓄水深	調查時堰塞湖水位，可於現場搭配地形資料進行推估。
	最大可能水深	最大可能水深可配合現地地形與壩體堆積形狀進行推估。
	目前蓄水面積	調查時堰塞湖蓄水面積，可於現場利用水寬與迴水長度進行簡易估算
	最大蓄水面積	最大可能蓄水面積可配合現地地形與壩體堆積形狀進行推估。
	目前蓄水量	目前蓄水面積*水深/2 ~ 目前蓄水面積*水深/3
	最大蓄水量	最大蓄水面積*水深/2 ~ 滿水位蓄水面積*水深/3
	上游集水面積	堰塞湖發生位置之上游集水面積，可於地點確認後進行計算，同時可
	上游入流量	利用不同時間水位計算蓄水量，再由不同時間點計算結果計算上游入流量

圖 4-5 堰塞湖現場調查項目與做法

1. 崩塌區概況：

包括崩塌長度、寬度、面積、深度等形狀因子，初估崩塌土體體積等規模因子，並依現場狀況進行崩塌擴大可能性之評估，方法說明如下。

(1)崩塌長度

現場可利用手機、雷射測距儀或全站儀，於崩塌下方定點測量至崩塌最高點距離 a 、至崩塌最低點距離 b 、以及至崩塌最高點與最低點之夾角 θ ，利用三角函數公式，先求得面積再配合三角函數與畢氏定理，求得崩塌地長度 y (如圖 4-6)。

$$y = \sqrt{\left(\frac{a \sin \theta}{\tan \theta} - b\right)^2 + (a \sin \theta)^2}$$

(2)崩塌地寬度

利用手機、雷射測距儀或全站儀，於崩塌下方定點測量至崩塌左端距離 A 、至崩塌右端距離 B 、以及兩端之間的夾角 γ ，利用三角函數公式，先求面積再配合三角函數與畢氏定理，求得崩塌寬度 W (圖 4-7)。

$$W = \sqrt{\left(B - \frac{A \sin \gamma}{\tan \gamma}\right)^2 + (A \sin \gamma)^2}$$

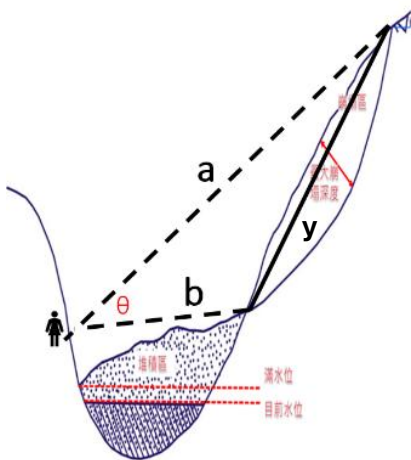


圖 4-6 崩塌地長度量測示意圖



圖 4-7 崩塌地寬度量測示意圖

(3)崩塌面積

崩塌面積於現場可採用崩塌長度及寬度進行簡易推估，若可取得最新遙測影像或空拍產製影像，亦可利用 GIS 進行崩塌面積計算。

(4)崩塌深度

崩塌滑移地層之深度或厚度，於現場利用地形圖比對目測深度，或由樹高、崩崖高程差判斷，亦可利用空拍方式建立之數值地形模型進行計算。

(5)崩塌材料體積

崩塌面積乘以崩塌深度即可求得崩塌材料體積，或利用數值地形模型進行評估。

(6)擴大可能性評估

依據現地狀況評估崩塌坡面是否有持續崩塌之可能，如崩塌邊緣裂隙狀況、出露岩盤狀況、坡面殘存材料分布情形、現地水系發育或滲流位置等資訊。

2. 天然壩堆積區概況：

包括天然壩壩高、壩頂長度、壩底長度、壩頂寬度、壩底寬度、壩體體積、材料特性、堆積形狀等堆積區相關參數，以及河道坡度及水流狀況等項目，常用測量方法說明如下。

(1)天然壩壩高

由河床底面起算至壩頂之高度，於現場可選擇數處利用高度計測量或利用 GPS 定位比對災前地形求得，亦可利用空拍方式建立之數值地形模型進行計算。

(2)壩頂長度、壩底長度

天然壩頂長度及壩體長度概估值，採平行河流主軸方向測量，若現場狀況允許，可利用皮尺、智慧手機或雷射測距儀測得，亦可採用建立之數值地形模型進行計算。

(3) 壩頂寬度、壩底寬度

天然壩頂寬度及壩體寬度概估值，採垂直河流主軸方向測量，若現場狀況允許，可利用皮尺、智慧手機或雷射測距儀測得，亦可採用建立之數值地形模型進行計算。

(4) 壩體體積

天然壩壩體體積可由前述壩體幾何形狀調查成果計算，公式為：壩體體積 $[(壩頂長*壩頂寬)+(壩底長*壩底寬)]*壩高/2$ ，或是利用建立之數值地形模型計算。

(5) 壩體材料

壩體材料粒徑與壩體孔隙率有關，材料粒徑越小，孔隙率越小，粒徑越大，孔隙率越大。一般可用採樣孔分析或是表面粒徑調查等方式進行。

(6) 壩體形狀

壩體形狀會影響壩體穩定與否，一般較高陡壩體穩定性較差，存續時間較短、反之較低緩壩體穩定性較好，存續時間要長得多。壩體形狀通常在現場會利用坡度計或地質羅盤進行，分別量測壩體上游、下游堆積坡度，或另由數值地形資料分析。

(7) 河道水流狀況

於天然壩體下游側確認河道水流狀況，確認是否發生溢流或滲流。若已發生滲流，可於圖面上標示滲流位置，並記錄滲流量變化。若已發生溢流，則應紀錄溢流寬度及溢流流量。溢流寬度可利用皮尺、智慧手機或雷射測距儀求得，並進一步估算水深以計算通水面積，再搭配流速計或浮標測得流速，透過通水面積與流速計算溢流流量。

3. 堰塞湖區調查：

包括堰塞湖之水深(現況及最大)、蓄水面積(現況及最大)、蓄水量(現況及最大)、上游集水區面積等項目。

(1)現況/最大蓄水深估算

利用遙測影像比對迴水末端高程，或利用現地調查迴水末端與鄰近地形特徵點之相對位置，藉以比對前期地形，可概估為現況水位；再以現況水位與天然壩體之前期河道高程之差為估算之堰塞湖水深。

(2)現況/最大蓄水面積估算

現場可利用蓄水寬與迴水長度進行簡易估算，利用遙測影像或以現地調查之特徵點比對繪製堰塞湖蓄水範圍，可與現況水位之評估值互相校正。

簡易估算：蓄水範圍面積=平均蓄水寬*迴水長度

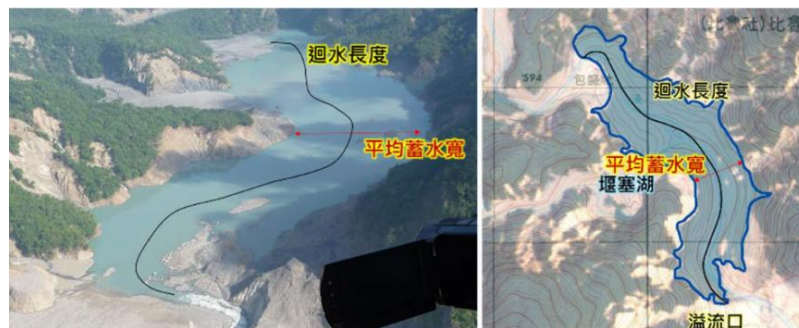


圖 4-8 蓄水面積估算示意圖

(3)現況/最大蓄水量估算

現場可利用蓄水寬(B)、迴水長(L_L)與水深(h_w)進行簡易估算(圖 4-9)，一般來說坡度較緩者可採/2，坡度較陡者則採/3，或於室內利用河道斷面地形(或 DEM)與蓄水位，以斷面法進行蓄水體積計。

簡易體積估算：蓄水面積*水深/2～蓄水面積*水深/3

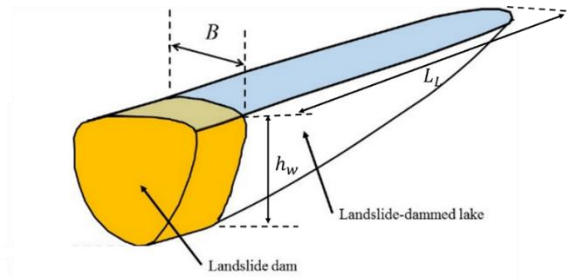


圖 4-9 蓄水體積估算示意圖

(4)上游集水區面積

根據堰塞湖所在位置，計算該位置之集水面積。

(5)上游入流量

利用不同時間水位計算蓄水量，再由不同時間點之蓄水量差異來計算上游入流量。

三、堰塞湖周邊環境調查

針對堰塞湖周邊之保全對象、重要設施、聯絡交通、電力及通訊狀況等環境現況進行調查。

1. 保全對象及重要設施分布調查

堰塞湖形成後，保全對象之確認為必要之工作，應根據堰塞湖形成位置，搭配地圖、地形資料進行堰塞湖上、下游臨河之保全對象類型與分布狀況之判釋(圖 4-10)，以提供後續可能保全對象影響評估使用。

另除透過地形圖資掌握保全對象分布外，對於堰塞湖上、下游是否有人員(現地居民、工程施作人員、觀光旅遊人員等)進入河道從事各類活動之可能亦須一併調查。必要時得針對可能活動行為進行管制，如設立警示牌、劃設管制區、建立河道環境巡查機制等應變作業。堰塞湖保全對象檢查表如表 4-4。



圖 4-10 堰塞湖周邊保全對象調查範例

表 4-4 堰塞湖保全對象檢查表

名稱	戶數 及人數	重要 設施	與堰塞湖 距離(m)	與河床 高差(m)	與河岸 距離(m)	是否常有 河床活動
範例：○○村						

2. 對外交通調查

堰塞湖形成地點多位於偏遠山區，聯絡交通易受事件影響而中斷，因此調查時應詢問當地居民或權責單位堰塞湖現地交通狀況，有無道路中斷或現場替代道路狀況並記錄，釐清資訊以利規劃後續查證工作。

3. 電力及通訊狀況調查

依據現地調查結果，評估觀(監)測作業實施之需要性與急迫性，並依據現地電力及通訊狀況，選定適當之觀(監)測方法、觀(監)測設備與觀(監)測位置。

4-2 堰塞湖致災風險評估

堰塞湖形成初期處於不穩定狀態，為利緊急減災工程實施及疏散撤離決策等緊急應變措施之投入，需於短時間內完成致災風險初步評估工作，以利後續相關措施之規劃與施做。致災風險初步評估作業(表 4-2)係依據堰塞湖潰壩危害度及保全危害度兩指標進行評估，其中潰壩危害度可以利用壩體安定性進行評估，而保全危害度則可透過堰塞湖上、下游保全對象安全性評估成果進行評估，利用兩者成果進行堰塞湖致災風險分級後，則可根據不同風險等級評定結果，訂定堰塞湖後續處置對策與方法。

一、潰壩危害度評估

天然壩安定與否，將直接影響後續處置作業所需時程與資源投入時間點，因此須謹慎評估之。

一般天然壩之安定性評估需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，惟緊急應變階段時程緊湊，建議此階段應採容易操作及可快速評估之方式進行。評估方法說明如下。

Ermini & 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, 圖 4-11)，本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)評估天然壩體之穩定性。

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

A_b ：堰塞湖上游集水面積(公頃)

H_d ：天然壩壩高(公尺)

V_d ：天然壩堆積土體體積(萬立方公尺)

若 $DBI < 2.75$ ，則壩體判定為穩定；

$DBI > 3.08$ ，則壩體判定為不穩定；

$2.75 < DBI < 3.08$ 之間則屬過渡區(不確定區)。

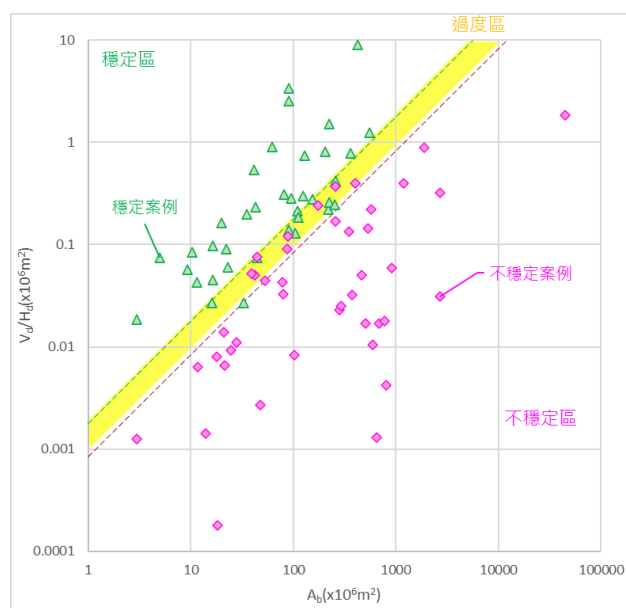


圖 4-11 無因次阻塞指標(DBI)定義圖

1. 穩定狀況：

表示壩體於短時間內暫時無立即潰決之虞；可考量工程方法設法挖降或挖除天然壩體，降低堰塞湖可能蓄水量，並視需要實施細部調查及評估，以確定堰塞湖之致災風險與處理對策；考量相關人員可能進入河床從事各種活動，故仍須持續觀(監)測堰塞湖之變化，並實施河道管制，避免衍生意外。

2. 不穩定狀態或過度區：

分析為不穩定或過度區時，表示堰塞湖達滿水位或於河道流量增大時天然壩體有潰決破壞之虞；需儘速評估潰壩影響，訂定疏散避難警戒範圍及撤離時機，以利適時啟動疏散避難機制；並視現地施工條件考量施做緊急工程措施；亦持續觀(監)測堰塞湖變化，並實施河道管制，避免衍生意外。

3. 評估成果說明

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，瞬間破壞機會大，應立即進行保全之疏散避難；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，應透過工程手段降低蓄水量以降低致災可能。

以時間序列來看，堰塞湖壩體之存在即為不穩定狀態，穩定與不穩定為相對定性評估成果，並非指壩體破壞情形不會發生，因此安定性分析成果係用來評估潰決是否容易發生，作為後續應變工作投入時機之參考。此外，本評估方法未考慮潰壩對於下游保全對象之影響，亦未討論壩體潰壞形式，針對下游潰壩影響範圍、可能潰壩情形必要時應進行更細緻之評估。

二、保全危害度評估

(一)堰塞湖上游保全安全性評估

堰塞湖形成後，湖區水位將持續上升，迴水淹沒範圍將逐漸朝上游擴大，可能淹沒上游低位河階之保全對象。分署應進行緊急調查及圖資判釋，評估堰塞湖上游可能因迴水淹沒之保全對象分布及可能淹沒時間，除提供進行疏散撤離決策下達之參考，亦可進行保全對象安全性評估，提供後續保全危害度量化評估參考。評估步驟如下：

1. 堰塞湖上游淹沒範圍分析

利用地形圖資配合航遙測影像，標繪不同湖水位高程對應之堰塞湖淹沒區範圍(圖 4-13.a)。

2. 保全對象影響評估

依據淹沒區範圍判釋保全對象及重要設施之分布位置(高程)，評估保全對象是否會受持續增加之蓄水影響(圖 4-13.b)。

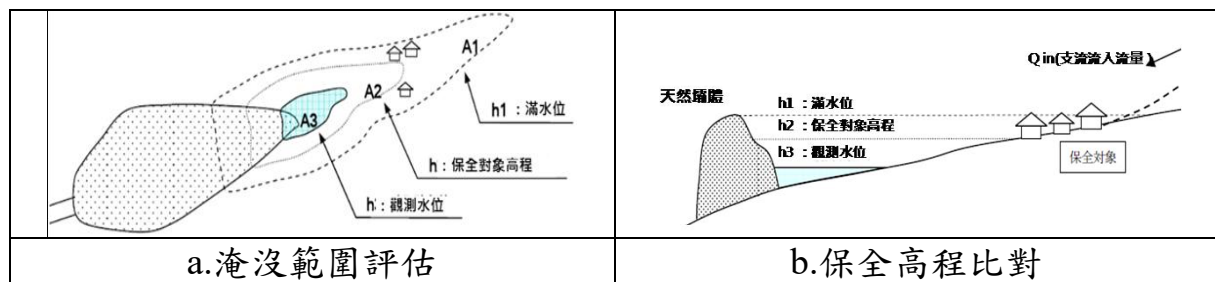


圖 4-12 堰塞湖上游影響區域示意圖

(二)堰塞湖下游保全對象安全性

堰塞湖天然壩體若發生劇烈沖刷甚或潰決破壞，潰決後洪水將對下游保全對象之安全性造成影響，因此須盡速完成影響評估，以評估可能受影響之保全對象及其安全性。然在堰塞湖形成初期之緊急階段，調查資料有限，建議先利用較簡易之方法進行快速評估。評估方法如下：

1. 潰壩洪峰流量推估

常用之天然壩潰壩洪峰流量(Q_w)推估公式眾多，可以依照取得之壩體相關參數決定使用公式，各方法之使用方式整理如下：

(1) Costa (1985)潰壩流量估算式

$$Q_w = 672 V_w^{0.56}$$

$$Q_w = 181 (H_d V_w)^{0.43}$$

(2) Costa and Schuster(1988)潰壩流量估算式

$$Q_w = 0.0158 (PE)^{0.41}$$

(3) Froehlich (1995) 潰壩流量估算式

$$Q_w = 0.607 V_w^{0.295} d^{1.24}$$

(4) Walder and O'Connor(1997) 潰壩流量估算式

$$Q_w = 1.94 g^{0.5} d^{2.5} \left(\frac{H_d}{d} \right)^{0.75}$$

(5) Cenderelli (2000) 潰壩流量估算式

$$Q_w = 24 d^{1.73}$$

$$Q_w = 3.4 V_w^{0.46}$$

$$Q_w = 1.9 (V_w d)^{0.4}$$

(6) Peng and Zhang(2012) 潰壩流量估算式

$$Q_w = \left(\frac{H_d}{H_r} \right)^{-1.371} \left(\frac{V_w^{1/3}}{H_d} \right)^{1.536} e^{\alpha} \sqrt{g H_d^5}$$

(7) Froehlich (2022) 潰壩流量估算式

$$Q_w = k_Q \left(\frac{V_w^{\frac{1}{3}}}{H_d} \right)^2 \sqrt{g H_d^5}$$

(8) 三角形單位歷線法

若未取得壩體相關參數，則可利用三角形單位歷線法推估潰決洪峰流量(圖 4-12)，假設潰壩流量歷線之形狀為三角形，潰壩洪峰流量 Q_w 可表示如下式：

$$Q_w = \frac{2 \times V_w}{T_c}$$

本公式可採用不同潰壩延時計算相對應之潰壩洪峰流量，其中若假設之潰壩延時越小，表示壩體潰壞之速度越快(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)，可依據天然壩組成特性及水區水文特性訂定，小林村案例為 1 小時(堆積壩體體積為 1,053 萬立方公尺)。

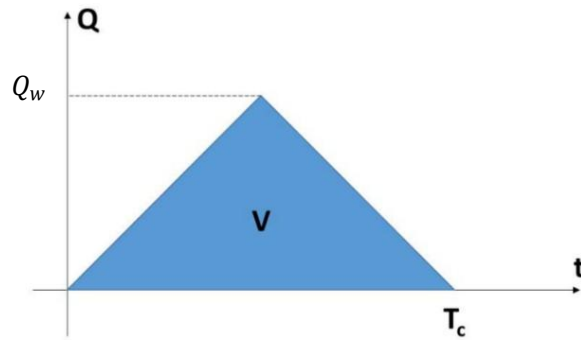


圖 4-13 三角歷線潰壩洪峰流量計算示意圖

前述公式中， Q_w 為洪峰流量(m^3/s)； H_d 為壩高(m)； V_w 為蓄水體積($10^6 m^3$)； V_d 為壩體體積(m^3)； $PE = H_d * V_w * (9800 N/m^3)$ ； d 為潰口高度(m)； g 為重力加速度(m/s^2)； $\alpha = -0.380$ ； k_Q 為易蝕性； T_c ：潰壩延時

2. 含砂水流之考慮

堰塞湖壩體發生破壞後，蓄積水體大量流出，與壩體本身材料混合後，會以高濃度水流或土石流方式流出，進而增加逕流量，因此除潰壩流量計算外，另應考量誘發高濃度水流或土石流之可能。

土石流流量計算公式如下

$$Q_d = \frac{C_*}{C_* - C_d} Q_w$$

Q_d 土石流設計流量(m³/s)； Q_w 則代表潰壩流量計算成果(m³/s)； C_* 溪流堆積層土砂濃度(通常以 0.65~0.67 為設定條件)； C_d 則代表土石流平衡濃度，而 C_d 最大值一般會以 $0.9 C_*$ 作為設定上限值。因此當 $C_d=0.8\sim0.9 C_*$ 時土石流設計流量則為清水流量 5 到 10 倍。

其中土石流平衡濃度可採用 Takahashi(1991)所推導之土石流平衡濃度進行土石流運動之水理計算，土石流濃度應通過以下平衡濃度公式計算：

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)}$$

C_d 代表土石流平衡濃度； σ 土砂密度(約 2,600 kg/m³)； ρ 水體密度(約 1,000 kg/m³)； ϕ 為堆積層土壤內摩擦角(°)，一般砂土材料範圍為大約 25°至 40°，黏土材料則約 15°至 30°； θ 溪流坡度(°)。

3. 通洪能力檢討(比對治理計畫流量)

針對已完成治理之河川，可將前述潰壩流量及該河段之計畫流量(河川治理規劃報告)進行比對，若潰壩流量超過該河段之計畫流量，相關防洪設施(如堤防、護岸)可能無法承受潰壩洪水所帶來的衝擊，針對潰壩流量超過下游防洪設計標準之河段，應另考量水利設施毀壞對下游保全對象產生之衝擊。

4. 保全對象影響評估(比對潰壩水位抬升量)

下游保全對象之溢淹風險，係以有無遭受潰壩水流影響來進行評估。首先計算下游河段水位抬升量，再比對潰壩水位抬升量與保全對象高程，評估潰壩洪水是否會對保全對象安全性造成影響。

(1)潰壩水位抬升量

潰壩水位抬升量之計算方法如下式，其中 B 為河道寬度，可由地形圖或遙測影像直接量測，流速 v 可利用曼寧公式計算或自行假設合理值，參考國內常用河川觀(監)測資料，山區河川一般約 $2.0\sim 5.0\text{ m/s}$ 、中游河段約 $1.0\sim 2.0\text{ m/s}$ ，若是颱風豪雨期間，一般洪水約 $3.0\sim 6.0\text{ m/s}$ ，極端洪水可達 $8.0\sim 10.0\text{ m/s}$ 以上。

$$\Delta h = \frac{Q_d}{B \times v}$$

Δh ：潰壩水位抬升量(m)、 Q_d ：潰壩洪峰流量(m^3/s)

v ：流速(m/s)、 B ：河道寬度(m)

(2)保全對象高程比對

保全對象安全性，主要係根據潰壩洪峰水位高程(河道水位加上潰壩水位抬升量)以及保全對象(或堤防)之高程值之比對進行(表 4-5)，若潰壩洪峰水位高程大於保全對象所在位置高程或是高於該河段之堤防高程時，則該保全對象於潰壩時有發生溢流淹沒之風險，應列為危險潛勢區域；反之則保全對象遭潰壩洪水影響之風險較小，但仍需進一步考量所在河段是否位於高流速沖刷段，是否有河岸沖刷等其他水力問題。

若當河道現況水深極小時(枯水期)，則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。

表 4-5 通洪能力檢核表

編號	保全對象	潰壩流量 (cms)	河道寬度 (m)	流速 (m/s)	水位抬升量 (m)	現況水深 (m)	抬升水位 (m)	保全對象高差 (m)	堤頂距河床高 (m)	檢討結果

三、堰塞湖致災風險初步評估

堰塞湖致災風險評估可提供後續處置作為判斷依據，分別採用潰壩危害度(災害發生之可能性)與保全危害度(災害之衝擊程度)兩項指標來進行，其中潰壩危害度(表 4-6)可透過壩體安定性評估進行評估，保全危害度(表 4-7)則可透過保全對象安全性進行評估，分別完成評估後進行量化，即可得到堰塞湖之致災風險分級(表 4-8)，並根據致災風險分級結果進行適當的緊急應變處置(表 4-9)。

(一)潰壩危害度評估

當壩體安定性分析為穩定性，表示壩體相對不易潰決，發生緩慢溢流沖刷破壞機會較大，潰壩危害度相對較低，反之，當壩體安定性分析為過渡或不穩定，不論是何種破壞形式，驟然潰決機會都將大幅增加，潰壩危害度相對就大幅增加，因此不論是何種型態，危害度都設定為高。

(二)保全危害度評估

針對保全危害度分析，在確認上游蓄水區沒有保全對象時，係根據下游河道人為活動行為進行判斷，如果下游沒有活動情形，保全危害度設定為低，後續進行必要之觀(監)測工作即可。但只要河道中有明確人為活動行為，保全危害度至少設定維持為中以上，以利進行河道管制措施工作，以避免人員於河道範圍內而受潰壩水流影響。

另當上游蓄水區有受影響保全對象時，保全危害度則至少為高。

(三)致災風險評估

綜合來說，堰塞湖致災風險評估係以有無影響保全對象為主，當沒有明確保全對象且人員不易進入河道範圍時，致災風險設定為暫無風險，由分署針對堰塞湖進行定期追蹤即可，若有明顯變化出現，再進行調查及致災風險分析。而在可能有人員活動之狀態下，致災風險評定為低，應搭配壩體或河道水位之即時監測，以利河道管制執行。若進一步有保全住戶會受到影響時，則應進行工程評估與疏散避難之規劃。

表 4-6 潰壩危害度評估分級表

潰壩危害度	壩體安定性分析成果
低	壩體安定性分析為穩定，可能發生緩慢溢流沖刷破壞
高	壩體安定性分析為過渡區或不穩定，可能發生劇烈溢流沖刷破壞
	壩體安定性分析為過渡區或不穩定，可能發生滲流破壞
	壩體安定性分析為過渡區或不穩定，可能發生驟然破壞

表 4-7 保全危害度評估分級表

保全危害度	保全對象分布及可能活動情形
低	上游淹沒範圍僅河道，下游因地形險峻或屬管制區，故無保全對象或重要設施且人員不易抵達從事活動。
中	上游淹沒範圍內無保全對象，下游有親水環境或有河床活動紀錄，可能有人員於河床從事活動。
	上游淹沒範圍內無保全對象，但下游保全對象高程於潰壩影響水位之出水高不足，有受影響疑慮。
高	上游淹沒範圍內無保全對象，但下游保全對象緊鄰河岸且位處高流速沖刷區，河岸階地可能遭洪水沖刷導致崩塌災害。
	上游淹沒範圍內有保全住戶或重要設施，或下游保全對象高程小於潰壩水位。
	現場存有複合型土砂災害問題。

表 4-8 堰塞湖致災風險緊急評估分級表

潰壩危害度 保全危害度	低	高
	低	高
低	暫無風險	
中	低風險	
高	中高風險	極高風險

表 4-9 堰塞湖致災風險處理原則對應表

致災風險等級	觀(監)測方法	警戒與管制方法	工程急迫性
暫無風險	定期觀(監)測	無	無
低風險	即時觀(監)測	河道範圍管制	可及性低-無
			可及性高-低
中高風險	即時觀(監)測	達警戒時啟動撤離	中
極高風險	即時觀(監)測	直接撤離	高

第五章、堰塞湖災害緊急處置與應變

為避免堰塞湖對上、下游保全對象造成災害，若確認堰塞湖權責屬農村水保署權責，且堰塞湖致災風險評估後屬於低風險以上，轄管分署應成立堰塞湖處理應變小組以進行必要之應變措施，若為暫無風險者，經評估有必要者亦得成立應變小組。應變措施包括規劃堰塞湖觀(監)測計畫、實施緊急工程處理、訂定警戒參考值及劃設影響範圍、設置警戒設施(如警示牌、管制哨、管制人員進入河床、加強巡查等)以及協助疏散避難等工作，以降低堰塞湖可能致災風險，保障居民生命財產安全。其中警戒參考值與影響範圍可提供地方政府研訂堰塞湖災害緊急疏散避難計畫及設置警戒設施之參考。

5-1 分署堰塞湖應變小組成立

若確認堰塞湖權責屬農村水保署權責，且堰塞湖致災風險評估後屬於低風險以上時，分署完成通報工作時，應立即成立「○○分署堰塞湖應變小組」(任務編組請參閱圖 5-1，人員清冊如表 5-1)，以負責後續堰塞湖處置作業。若評估成果為暫無風險者，但經評估有必要者亦得成立應變小組。由於堰塞湖應變小組之任務為堰塞湖災害風險相關處置，當土石流及大規模崩塌災害應變小組成立時，分署堰塞湖應變小組應併入分署土石流及大規模崩塌災害應變小組。

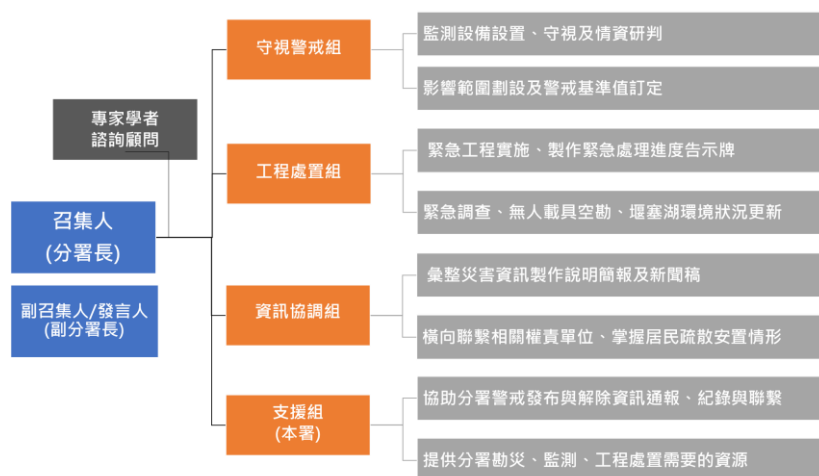


圖 5-1 堰塞湖應變小組任務編組

表 5-1 ○○分署堰塞湖應變小組編制表

	單位	職稱	姓名	連絡方式	任務編組
召集人	_____分署	分署長			
副召集人	_____分署	副分署長			發言人
應變小組 工作人員	_____分署				守視警戒組
					工程處置組
					資訊協調組
	本署				處置應變 相關支援
聯絡窗口	水利署 分署				
	林業保育署 分署				
	_____縣(市)政府				
	_____鄉(鎮、市、區) 公所				
	_____村(里)				
專家學者					

註 1：分署得依召集人指示，指派所屬非輪值人員協助、聯繫及辦理勘查等相關災害應變作為。

註 2：應變小組應以「農業部重大緊急事件通報單」、「農業部農村發展及水土保持署○○分署○○堰塞湖緊急通報單」縱橫向通報應變措施處置情形。

表 5-2 應變措施回報項目

項目	紀錄內容說明
應變小組開設紀錄	應變小組開設歷程之紀錄。
事件紀錄	重大事件(地震、降雨或其他)重要資訊之紀錄。
緊急處置作為紀錄	緊急處置工程、現地觀(監)測設備配置等處置作為內容。
警戒發布情形	堰塞湖警戒發布情形之紀錄。
疏散情形統計	地方政府回報疏散情形之統計。
通報情形統計	應變期間通報其他單位之統計。
重機械準備統計	應變期間重機械待命、整備情形統計。
應變人次統計	參與應變作業人次統計。

註：項目可依實際狀況酌予增減。

5-2 堰塞湖緊急處置

一、堰塞湖災害緊急工程處理

(一)堰塞湖緊急工程處理方法

堰塞湖緊急工程處理常用之工程方法包括 1.堰塞湖規模降低，利用抽水、排水、降低天然壩頂高度等方式，以降低堰塞湖蓄水深度及蓄水量；2.壩體安定性加強，強化壩趾安定條件等；3.下游河道既有防災設施功能強化等。目前堰塞湖緊急工程處理採用的工程方法整理如下：

1. 堰塞湖規模降低

(1)緊急抽水

為初期應變階段之緊急處置方式之一，利用抽水機、虹吸(siphon)原理排除湖水，以降低或控制堰塞湖蓄水區水位高度及水位上升速度，避免湖水於溢流時造成壩體發生劇烈沖刷，其後再陸續實施臨時排水工程。



資料來源：國土交通省北陸地方整備局湯澤砂防事務所(2005)

圖 5-2 東竹澤地區幫浦排水紀錄



直升機空運小型重機具零件



排水幫浦施作情形

資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-3 湯之倉溫泉地區堰塞湖緊急施工作業情形

(2)緊急排水

為初期應變階段之緊急處置方式之一，於堰塞湖壩體開挖溢流水道(鋪設保護工)為緊急工程中最有效的方法，除可導引水流沿溢流水道排至下游，避免堰塞湖蓄水區湖水於溢流時造成壩體發生劇烈沖刷外，並可藉溢流口高度的控制，逐步降低堰塞湖水面高度；但須嚴防溢流口流速過高導致大量沖刷，造成壩體破壞。



緊急溢洪道工程



士文溪堰塞湖溢洪道開挖工程

資料來源：農村水保署、林業保育署屏東分署

圖 5-4 緊急排水工程

(3)降低天然壩之壩體高度(壩頂挖降)

降低壩頂高度可直接減少堰塞湖蓄水體積，並可降低堰塞湖潰決之機率及危害程度，但因直接對壩體進行處理，有較高之風險。在安全性考量下，壩頂高度的降低工程宜在枯水期間進行，在堰塞湖蓄水位低於壩體高度時儘可能降低壩體高度，但須嚴防

壩體高度低於當時之蓄水水位高程，以免造成溢流而衍生災害。在壩體高度降低後，建議可於壩頂中心位置配合施設溢洪道或是排水管道，增加壩體的穩定性。



除石施工情形

除石前(左圖)及除石後(右圖)河道通水情形

資料來源：國土交通省東北地方整備局北上川下流河川事務所(2010)

圖 5-5 溫湯地區河道除石削掘施工情形

(4) 崩塌堆積土石移除

崩塌堆積土石易於颱風豪雨期間，經降雨形成土石流而衝擊天然壩壩體，造成潰決破壞。因此可考量結合壩體降低工程(壩頂挖降)，將移除土石回填堰塞湖湖區，以減少堰塞湖之蓄水體積，降低潰壩發生的可能性。



龍泉溪堰塞湖第一次降挖工程



龍泉溪堰塞湖第二次降挖工程

資料來源：林業保育署

圖 5-6 崩塌堆積土石移除工程

2. 壩體安定性加強

為降低後續可能發生之土砂災害之衝擊及增加崩塌地坡趾穩定性，常透過梳子壩及固床工工程等工法穩定壩體下游河道，以減少沖刷可能性。



柱狀透過性潛壩工程



崩塌區坡腳護坡工程

資料來源：農村水保署、林業保育署

圖 5-7 壩體安定性加強工程

3. 河道防災功能強化

為維持河道流路的暢通，選擇適當時機進行河道淤積土石的清理工程，並利用現地淤積的塊石材料以堆砌或石籠方式施作護岸與整流工程，以維持河道的穩定。

針對河道主要淤積區段與現況出水高度不足的河段，可考量以河道疏濬措施，增加通水斷面積以提高河道的輸洪能力。下游若有防砂壩、蓄水池(壩)，儘量保持空庫；亦視需要可疏濬河床。



龍泉溪堰塞湖堆石潛壩及護岸工程



下游防洪設施位置圖

資料來源：林業保育署

圖 5-8 下游河道既有防災設施功能強化工程

(二)堰塞湖緊急處理工程方案比較

透過堰塞湖緊急工程投入，確實可降低堰塞湖規模，進而達到降低後續災害之目的，但堰塞湖之發生，多位於偏遠山區、交通不便，導致重型機具難以快速進場施工，若搭配便道開設，則須再考慮便道施工時間納入評估，大幅增加作業時間。因此工程方案實施之前題為交通可及性，當重型機具可快速抵達堰塞湖位置時，工程方案可行性將大幅提升，反之，若需要開設長距離便道時，工程方案之效益則將明顯降低。

此外因天然壩壩體結構鬆散，且開始蓄水後壩體含水高，易受沖刷，一旦直接開挖或進行爆破，可能誘發壩體發生不穩定，進而引發二次災害，處置上風險相對高。

而當堰塞湖壩體規模較大時，土砂移除往往需要大量重型機具投入，短期工程效益有限，相對來說，適當引流或下游防洪能力提升為較可行之方案。另蓄積水體之引流，多須以既有壩體進行水道開挖或是設置各類機具，因此壩體安定性為必須考慮之因子。以下就目前上述主要問題將現有方案優、缺點整理如表 5-3 所示。

表 5-3 緊急處置方案優、缺點比較表

課題	可用方案	優點	缺點
堰塞湖 規模降低	緊急抽水	1.可直接降低堰塞湖規模 2.施作容易	1.需有合適設置地點 2.壩體太高時抽水效果差
	緊急排水	1.可直接降低堰塞湖規模 2.可分階段進行	排出水流需有合適控制，避免引發沖刷導致壩體失穩
	壩頂降挖	1.可直接降低堰塞湖規模 2.可分階段進行	直接對壩體施工，可能引發壩體不穩定，危險度相對較高
	崩塌堆積 土石移除	可直接降低堰塞湖規模	1.崩塌區施工危險度高 2.可能引發二次災害
壩體 安定性加強	坡腳保護	降低壩體破壞機率	1.無法直接降低堰塞湖規模 2.施工危險度高
河道 防災能力強化	堤防、護岸 功能強化	增加河道通洪能力	1.無法直接降低堰塞湖規模 2.影響河道周遭環境
	流出土砂控 制	降低潰壩洪峰與流出土砂	1.無法直接降低堰塞湖規模 2.影響河道周遭環境
	河道整理 與清疏	增加河道通洪能力	1.無法直接降低堰塞湖規模 2.影響河道周遭環境 3.須持續進行

二、堰塞湖緊急觀(監)測系統建置

(一)堰塞湖觀(監)測目的與方法

堰塞湖觀(監)測的目的為掌握堰塞湖之變化，以利掌握災害徵兆，適時啟動防災應變作業，其觀(監)測重點包括堰塞湖及下游河道水位、天然壩體及崩塌區之變化(圖 5-9)。

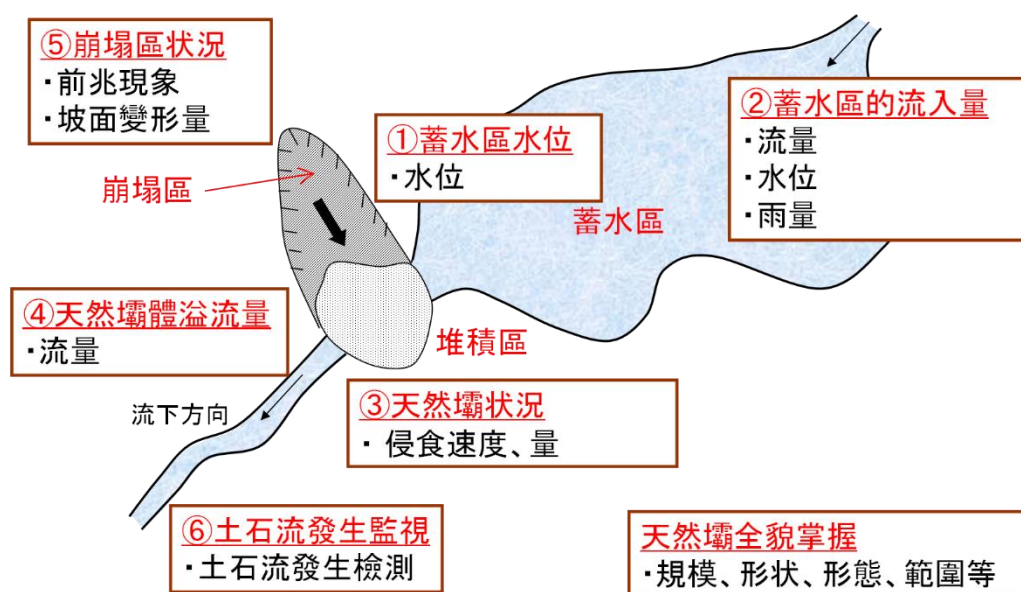


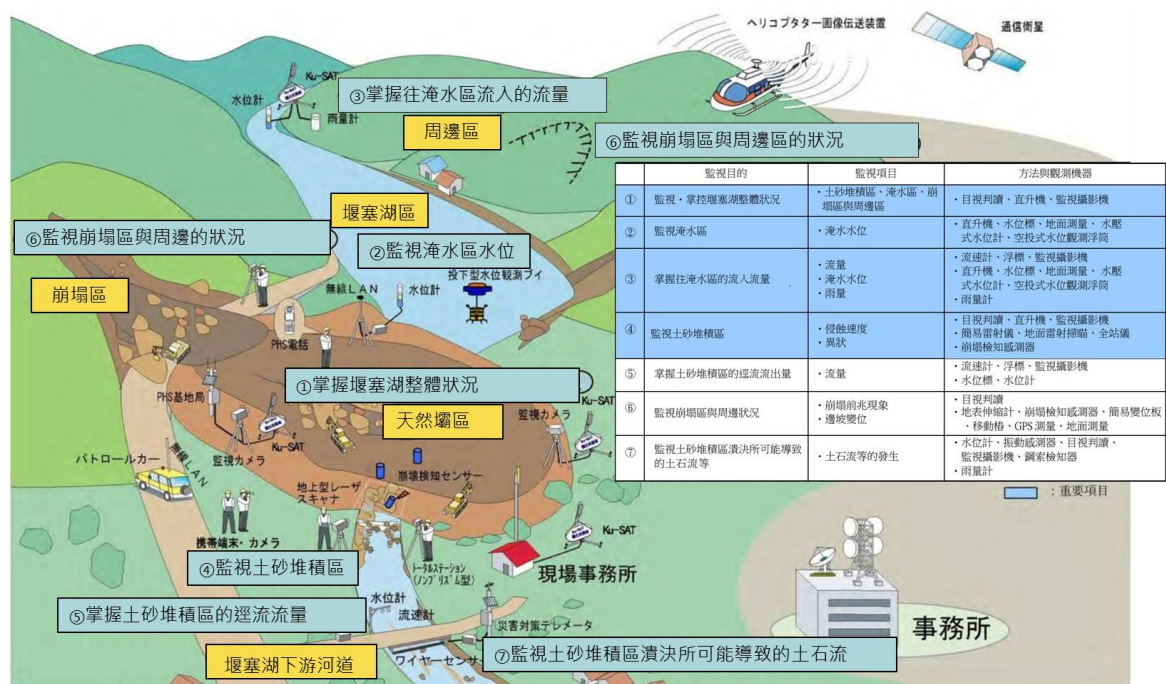
圖 5-9 堰塞湖災害觀(監)測布置規劃

觀(監)測方法、觀(監)測時機及觀(監)測頻率應視現地條件決定採用人工觀測、自動化儀器或是遙測影像監測(衛星影像、航空照片或直升機空勘等)，其中人工觀測之採用須考量人員可及性及安全性，自動化儀器監測須考量現地電力及通訊問題，決定電力供應(市電、蓄電池、太陽能蓄電池)及資料傳輸方法(有線網路、無線網路、衛星通訊)，觀(監)測方法與觀(監)測儀器之選用如表 5-4，圖 5-10 則為日本堰塞湖觀(監)測系統配置案例。

表 5-4 堰塞湖災害觀(監)測方法選用一覽表

	觀(監)測目的		觀(監)測項目	觀(監)測方法及儀器
1	堰塞湖區	蓄水量變化	湖面水位(深)*	人員巡視、衛星影像判釋、直升機空勘、水位測量、監視攝影機、湖面水位計(接觸式及非接觸式)
		入流量變化	流量	流速儀、浮標、監視攝影機
			降雨量*	自計式雨量計
2	天然壩	溢流量變化	流量	流速計、浮標、監視攝影機、水位計
			溢流水深	人員巡視、水位測量、監視攝影機、湖面水位計(接觸式及非接觸式)
		滲流量變化	滲流量	人工量測
		天然壩體地形變化	壩體地形變化*	人員巡視、壩體地形測量(地面掃描儀(LIDAR)、全測站雷射測距儀)、無人載具空拍、直升機空勘、攝影機
			壩體地下水位	地下水位監測井
3	崩塌區	崩塌區地形變化	地表地形*	人員巡視、監視攝影機、地形測量
			地表移動量	地表伸縮計、地形變動監測樁(GPS 測量、儀器自動監測)、地形測量
4	堰塞湖下游河道	河道水位變化	河道水位*	人員巡視、監視攝影機、水位計(接觸式及非接觸式)
		天然壩潰決引發土石流	土石流發生	水位計、鋼索檢知器、地聲儀、振動感測儀、監視攝影機、雨量計

註 1：*項目為優先進行之監測；
註 2：觀(監)測設備與方案選擇得依現地狀況(電力及通信狀況) 決定

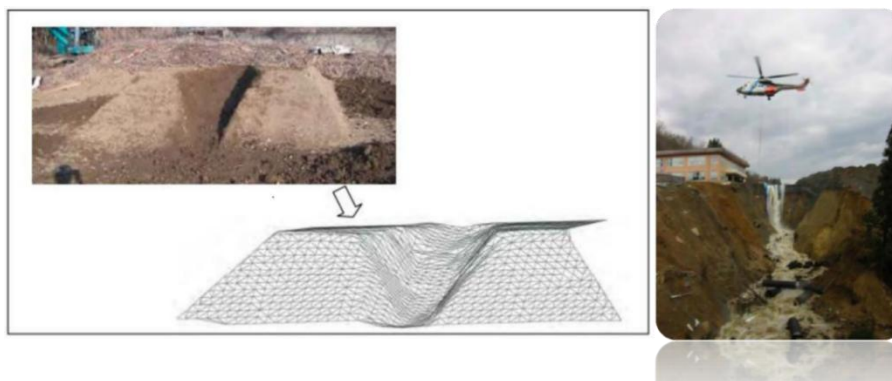


資料來源：大規模土砂災害を想定した実践的な訓練について

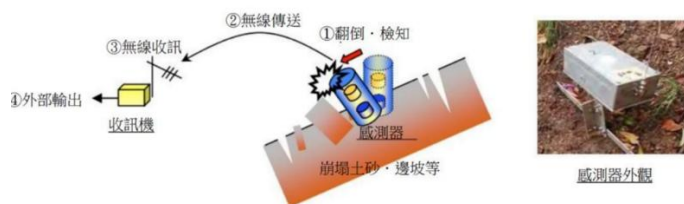
圖 5-10 堰塞湖災害觀(監)測示意圖



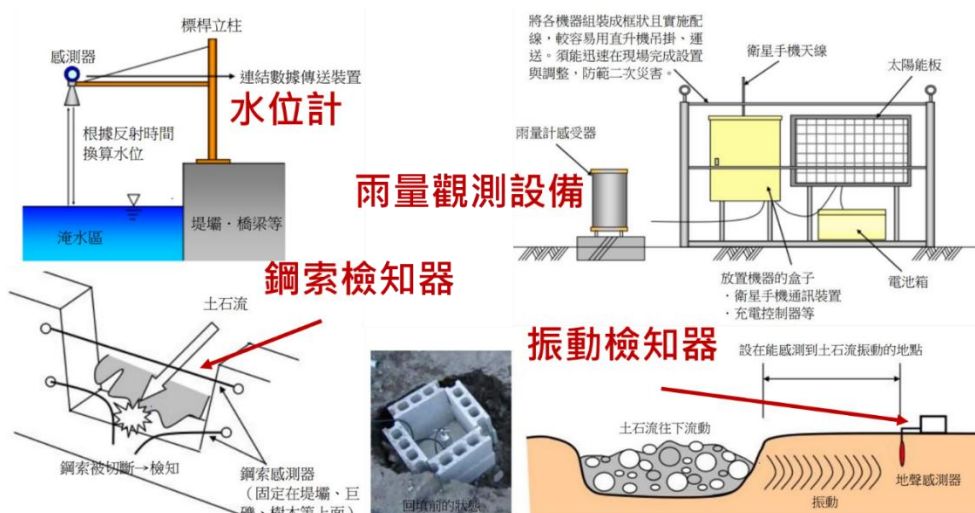
堰塞湖區觀(監)測方法



天然壩觀(監)測方法



崩塌區觀(監)測方法



堰塞湖下游河道觀(監)測方法

圖 5-11 堰塞湖災害觀(監)測方法

(二)堰塞湖觀(監)測方案比較

堰塞湖發生地區可能現地並無電力之基礎設施且電信通訊傳輸訊號強度相當微弱，加上現地環境相對嚴峻，故觀(監)測系統建置、觀(監)測資料的傳輸及觀(監)測頻率與後續運作維護作業亦須考慮前述課題，選定適宜之觀(監)測設備及資料傳輸之方式，以克服電力、通訊傳輸、環境承载力等問題，方可確保系統未來能正常運作，以下就目前上述主要問題將現有方案優、缺點整理如表 5-5 所示。

表 5-5 觀(監)測方案優、缺點比較表

課題	可用方案	優點	缺點
電力課題	市電	穩定供應電力	1.布線難度高且經費過於昂貴 2.電力設施(電桿)可能於地震、颱風豪雨影響毀壞
	一般蓄電池	經費低廉，施工快速	電力容量有限，需派員定期更換
	太陽能蓄電池	可利用太陽能充電，增加設備運作時間	須有穩定日照以提供電力來源，陰雨氣候下可能無法穩定回充
通訊課題	有線網路	1.網路穩定 2.通訊費用低廉 3.傳輸頻寬大	1.佈線經費昂且施工困難度高 2.傳輸線路可能受地震、颱風豪雨影響毀壞
	無線網路	1.免布設網路線 2.通訊費用低廉 3.傳輸頻寬大	1.山區等偏遠地區若未涵蓋於其通訊範圍內，需架設中繼站 2.傳輸距離短且易受地形影響
	電信網路	1.免布設網路線 2.通訊費用低廉	1.山區等偏遠地區可能未涵蓋於其通訊範圍內 2.既有電信傳輸穩定性較有線網路差
	衛星通訊	1.無須架設基地台或傳輸線路 2.山區等偏遠地區仍可傳輸訊號	1.傳輸效能可能受地形遮蔽及天候影響(天線須有足夠透空空間且天線對應方向無阻隔) 2.通訊費用較為昂貴
環境承载力	固定式監測站	保護強度較高	1.採現地組裝，施工難度高 2.需於現地檢測維修，施工困難
	移動性監測站	1.以人力搬運至現場裝設，適用交通較難以到達地點 2.採模組化設計，裝設及維護簡易	因設備可攜化與模組化，系統功能設計缺乏彈性。

三、影響範圍劃設及警戒值訂定

(一)影響範圍劃設

由於天然壩堰塞湖潰決機制難以事前預測，為利地方政府依權責執行疏散撤離工作，應就堰塞湖潰壩可能影響範圍進行評估，協助地方政府進行緊急應變計畫制定。因疏散避難工作需要大量空間資訊，除前述保全危害度評估使用之溢淹風險評估外，應透過數值模式進行潰壩模擬，以決定可能影響範圍空間分布狀況。

初步蒐集全球相關案例，如莫拉克颱風引發之小林村堰塞湖(林等人，2012；Li et al., 2011)、汶川地震引發之唐家山堰塞湖(Zhong et al., 2018；Fan et al., 2012) 等案例都有相關的模擬成果可供參考。由於方法論眾多，因此本次指引彙整相關分析案例提出建議流程，並不指定特定模式之選用。

1. 模擬流程

一般來說，潰壩模擬之作業流程共可分為三步驟(如圖 5-12)。第一步為堰塞湖規模設定，主要係利用現場調查成果進行堰塞湖之壩體規模、蓄水規模等參數之設定。第二步驟為壩體破壞情境設定，包含潰壩規模(潰口深度)及潰壩延時，主要目的為潰壩流量歷程之取得，常用模式有 Breach 模式、Hec-RAS 模式等。第三步驟為潰壩水流影響範圍之分析，主要係利用潰壩流量歷線作為邊界，輸入二維水理數值模式，以求得流量歷線造成之水深、流速分布變化，常用模式有 Flo-2D、HEC-RAS，或其他 CFD 軟體進行，後續再依據分析成果劃設影響範圍。



圖 5-12 堰塞湖潰壩影響評估流程

2. 堰塞湖潰決情境設計

針對堰塞湖壩體之潰決，一般多會使用 Breach 模式或 HEC-RAS 模式進行模擬，亦可參考其他已發表之潰壩流量推估方法。在情境設定上，考慮天然壩潰壞形式多是以溢流破壞(Overtopping failure)為主，分析上應考慮潰壩規模及潰壩延時兩種參數。

3. 堰塞湖影響範圍劃設

堰塞湖影響範圍包含上游迴水範圍以及下游潰壩影響範圍

(1)堰塞湖上游迴水範圍

因天然壩形成時，難以取得其堆積組成材料相關資料，因此藉由不同壩體高度之設定，分析上游迴水長度、面積、蓄水量等資料，提供迴水區域之分析。

(2)堰塞湖下游潰壩影響範圍

因天然壩潰壩時間難以推估，因此應考量不同潰壩情境下之模擬成果，利用各類數值模擬求得對應之洪水波水位、流速及到達時間等物理量，根據分析成果製作風險地圖，再與保全對象分布套疊以判斷保全對象受潰壩水流之影響程度。

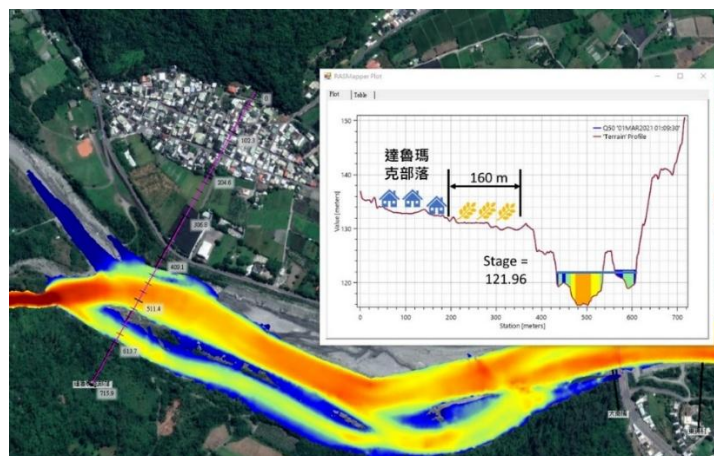


圖 5-13 堰塞湖影響範圍劃設案例

(二)警戒值訂定

由於堰塞湖潰決之不確定性甚高，警戒值之訂定相對複雜，但在處置時間壓力下，在未完成實地詳細調查評估前，建議可先參考「堰塞湖警戒、監測及撤離與演練方案」以雨量為警戒基準值設定，待後續相關工作完成後再進行滾動更新。

1. 雨量警戒基準值

依據「堰塞湖警戒、監測及撤離與演練方案」建議，堰塞湖形成初期可先以 24 小時累積降雨量達 200 毫米為警戒值，當該地區 24 小時預報累積降雨量達 200 毫米時，進行黃色警戒發布並通知地方政府及相關單位，以利地方政府及各單位進行疏散撤離準備與相關應變。而在堰塞湖鄰近雨量站實際測得 24 小時累積雨量達 200 毫米時，而進行紅色警戒發布並通知地方政府及相關單位，以利地方政府實施疏散撤離之啟動。警戒基準值亦可參考堰塞湖鄰近土石流潛勢溪流警戒值進行設定。當現地觀(監)測設備建置完成後，亦可參考觀(監)測成果修正雨量警戒基準值。

2. 水位警戒基準值

堰塞湖之水位警戒基準值可依空間分布分為湖區水位警戒值及下游河道水位警戒值，其中湖區水位警戒係用來評估溢流發生時間，或是蓄水區發生重大變化。若針對溢流時間，可參考壩高訂定基準值，以在溢流發生前發布警戒。反之若是針對蓄水區變化，則可利用水位上升或下降速度設定基準值發布警戒。而下游河道水位警戒值則是針對潰壩洪水之預警，一般以水位上升量或上升速度進行設定。

3. 壩體變化警戒基準值

若壩體發生明顯變化，將直接影響壩體穩定性，因此可透過現地 CCTV，或是於壩體設置振動計、傾斜計、伸張計等設備進行壩體變形之觀察，再依據儀器特性或是壩體變形狀況設定警戒值。

四、協助地方政府研擬疏散避難計畫

由於堰塞湖對於保全對象具有危險潛勢，可能因上游迴水淹沒或壩體潰壞等事件發生而危及上、下游保全對象之安全。因此分署堰塞湖應變小組應將完成之堰塞湖影響範圍及警戒參考值通知當地縣市政府及鄉鎮公所，以利地方政府擬訂堰塞湖災害疏散避難計畫，內容可參考表 5-6。

表 5-6 堰塞湖災害疏散避難計畫參考內容

項目	內容
1.基本資料 與潛勢分析	堰塞湖現況：列出轄區內堰塞湖與聚落之相對位置 保全對象清冊：統計受影響的住戶、人數，並特別註記避難弱者（如獨居長者、行動不便者）。 歷史災情紀錄：整理過往災害發生的時間、規模與受損情形。
2.疏散避難編組 與任務	應變小組成員： 包含里長、鄰長、志工或警察/消防單位。 任務分工： 通報組：傳遞警戒訊息與疏散通知。 疏散引導組：協助民眾前往避難處所。 收容安置組：負責避難所物資發放與秩序管理。
3.疏散避難作業 程序 (SOP)	啟動時機：明確定義「黃色警戒」（建議疏散）與「紅色警戒」（強制撤離）的處置方式。 通知與引導：列出通報流程、聯絡電話及勸告單格式。 孤島應變計畫：針對可能發生對外交通中斷的地區，預置物資與搶通機具計畫。
4. 避難地圖 與設施	避難地圖：標示危險區域、疏散路線及收容處所位置。 避難收容處所資訊：詳細地址、最大收容人數、設施清單及管理人員聯絡方式。
5. 整備與復原	定期演練：規定每年防汛期前的演練計畫。 復原措施：包含災後環境清理、返家安全性評估與後續服務諮詢。

5-3 堰塞湖守視與警戒

堰塞湖天然壩除遭遇颱風、豪雨等天然災害帶來洪流造成破壞外，亦可能受到地震、崩塌地再擴大、緊急工程實施之影響而發生變化，因此除天然災害期間外，平日亦須進行堰塞湖守視與警戒。

一、平時守視

堰塞湖守視作業主要為堰塞湖狀況之觀(監)測及警戒值之紀錄，若堰塞湖未有明顯變化或未達警戒基準時仍應持續進行觀(監)測作業。

二、警戒發布

當發現堰塞湖發生狀況，且達警戒狀態時，分署應變小組應進行警戒之發布，以通報單將警戒資訊進行縱橫向通報，並即時通知地方政府，由地方政府進行加強警戒或強制撤離作業。

警戒之發布，除現有傳訊工具(電話、傳真、簡訊、電子郵件、通訊軟體等)，亦可透過內政部警政署訂定「警察機關協助堰塞湖警報傳遞聯絡規定」(附錄三)，規範警察機關運用防空警報系統，加強堰塞湖警報之傳遞聯絡。

三、警戒解除

依據「堰塞湖警戒、監測及撤離與演練方案」，當天然災害影響解除，同時具備下列條件，分署應變小組可適時解除堰塞湖警戒，並通知直轄市、縣(市)政府建議解除管制，再由直轄市、縣(市)政府衡酌當地實際狀況，查察後執行解除撤離管制作業。

(一)中央氣象局解除颱風警報(或豪雨特報)，且堰塞湖之參考雨量站顯示連續 24 小時無明顯降雨情形。

(二)經現地勘查，若堰塞湖周圍無持續崩塌之虞，且堰塞湖穩定溢流，以及壩體下游坡面出現滲流，但壩體仍呈現穩定狀態。

(三)現場觀(監)測數據已恢復為正常狀況。

5-4 災後調查與風險評估

堰塞湖警戒解除後，應變小組應再進行堰塞湖緊急調查，以更新堰塞湖狀況並重新進行致災風險評估(參考第四章內容)，若仍有風險時則須持續進行守視與警戒工作。

5-5 堰塞湖危機解除

若堰塞湖蓄水區遭土石淤埋或水流沖潰時、現場水流不受堆積區影響時、或經災後致災風險評估判定為暫無風險時，分署堰塞湖應變小組可依據調查或評估成果，辦理堰塞湖危機解除並結束應變工作。必要時得由本署另邀集專家學者與相關機關，召開諮詢會議，共同研商解除堰塞湖危機與否。

確認堰塞湖危機解除時，分署堰塞湖應變小組除將解除資訊以通報單縱橫向通知相關機關解除應變工作外，需撰寫結束總報告(表 5-7)提交本署，由本署通報農業部。危機解除後，堰塞湖所在位置之持續追蹤、崩塌及河道之中長期處理回歸至業務權責單位進行評估與執行。

表 5-7 結束總報告章節內容

項目	紀錄內容說明
一、應變總紀錄	應變小組開設歷程之紀錄。
二、事件紀錄	重大事件(地震、降雨或其他)重要資訊之紀錄。
三、緊急處置工程	緊急處置工程處置之紀錄。
四、警戒發布情形	堰塞湖警戒發布情形之紀錄。
五、疏散情形統計	地方政府回報疏散情形之統計。
六、通報情形統計	應變期間通報其他單位之統計。
七、重機械準備統計	應變期間重機械待命、整備情形統計。
八、應變人次統計	參與應變作業人次統計。

參考文獻

1. 田畑茂清、水山高久、井上公夫，「天然ダムと災害」，古今書院，2002。
2. 林家興、謝正倫、曾志民、蔡元融、陳俞旭。天然壩潰壩水位模擬之研究—以小
林村為例。中華防災學刊，4(1)，5-15，2012。
<https://doi.org/10.30052/JTDPS.201202.0001>
3. 高橋保、匡尚富，「天然ダムの決壊による土石流の規模に関する研究」，京都大學
防災研究所年報，第 31（B-2）期，第 601-615 頁，1988。
4. 陳昆廷，「堰塞湖天然壩潛勢區位判釋之研究」，國立成功大學水利及海洋工程研究
所，博士論文，2015。
5. 陳昆廷，大規模崩塌衍生堰塞壩之動態穩定性評估研究，行政院農業委員會水土保持
局，2023。
6. 陳樹群，「堰塞湖潰決機制與減災工法研究」，中華水土保持學報，第 30 卷，第 4
期，第 299-311 頁，1999。
7. 陳樹群、許中立，「八八水災堰塞湖類型及其危險度評定」，工程科技通訊，第 106
期，第 27-35 頁，2010。
8. 森俊勇、坂口哲夫、井上公夫、水山高久，「日本の天然ダムと対応策」，古今學院，
2011。
9. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「堰塞湖引致災害防治對策之研究」，總報告，2004。
10. Costa, J. E. and Schuster, R. L.. “The formation and failure of natural dams.” Geological
Society of America Bulletin, Vol. 100, pp. 1054-1068, 1988.
11. Ermini, L. and Casagli, N.. “Prediction of the behaviour of landslide dams using a
geomorphological dimensionless index.” Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 28,
pp. 31-47, 2003.
12. Peng, M. and Zhang, L. M.. “Breaching parameters of landslide dams.” Landslides, Vol.
9, pp. 13-31, 2012.
13. Schuster, R. L., and Costa, J. E.. “A perspective on landslide dams.” In Schuster, R. L., ed.,
Landslide Dam: Processes Risk and Mitigation, American Society of Civil Engineers,

- Geotechnical Special Publication 3, pp. 1-20, 1986.
14. Ming-Hsu Li, Rui-Tang Sung, Jia-Jyun Dong, Chyi-Tyi Lee, Chien-Chih Chen, The formation and breaching of a short-lived landslide dam at Hsiaolin Village, Taiwan - Part II: Simulation of debris flow with landslide dam breach, *Engineering Geology*, 123, Issues 1-2, 2011, pp 60-71, ISSN 0013-7952, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.05.002>.
 15. Fan, X., Tang, C. X., van Westen, C. J., and Alkema, D.: Simulating dam-breach flood scenarios of the Tangjiashan landslide dam induced by the Wenchuan Earthquake, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3031–3044, <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3031-2012> , 2012.
 16. Zhong, Q.M., Chen, S.S., Mei, S.A. *et al.* Numerical simulation of landslide dam breaching due to overtopping. *Landslides* **15**, 1183–1192 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10346-017-0935-3>

附錄一、民用航空法 【 遙控無人機專章 】

1070403 立法院三讀通過版

第二條 本法用詞定義如下：(僅臚列有關遙控無人機部分)

十七、航空器失事：指自任何人為飛航目的登上航空器時起，至所有人離開該航空器時止，或自遙控無人機為飛航目的啟動推進系統準備移動時起，至飛航結束且推進系統關閉時止，於航空器運作中所發生之事故，直接對他人或航空器上之人，造成死亡或傷害，或使航空器遭受實質上損害或失蹤。

十八、航空器重大意外事件：指自任何人為飛航目的登上航空器時起，至所有人離開該航空器時止，或自遙控無人機為飛航目的啟動推進系統準備移動時起，至飛航結束且推進系統關閉時止，發生於航空器運作中之事故，有造成航空器失事之虞者。

十九、航空器意外事件：指自任何人為飛航目的登上航空器時起，至所有人離開該航空器時止，或自遙控無人機為飛航目的啟動推進系統準備移動時起，至飛航結束且推進系統關閉時止，於航空器運作中所發生除前二款以外之事故。

二十六、遙控無人機：指自遙控設備以信號鏈路進行飛航控制或以自動駕駛操作或其他經民航局公告之無人航空器。

第四十四條 航空器飛航中，不得投擲任何物件、噴灑、拖曳航空器及其他物體或跳傘。但為飛航安全、救助任務或經民航局核准者，不在此限。

第九章之二 遙控無人機

第九十九條之九 於建築物外開放空間從事遙控無人機飛航活動，適用本章規定。遙控無人機所有人或操作人應負使用安全、風險管理及法規遵循等責任。
遙控無人機發生飛航安全相關事件後，其所有人或操作人應通報民航局事件經過。

第九十九條之十 自然人所有之最大起飛重量二百五十公克以上之遙控無人機及政府機關（構）、學校或法人所有之遙控無人機，應辦理註冊，並將註冊號碼標明於遙控無人機上顯著之處，且一定重量以上遙控無人機飛航應具射頻識別功能。
下列遙控無人機之操作人應經測驗合格，由民航局發給操作證後，始得操作：

- 一、政府機關（構）、學校或法人所有之遙控無人機。
- 二、最大起飛重量達一定重量以上之遙控無人機。
- 三、其他經民航局公告者。

第九十九條之十一 遙控無人機設計、製造、改裝，應向民航局申請檢驗，檢驗合格者發給遙控無人機檢驗合格證；其自國外進口者，應經民航局檢驗合格或認可。但因形式構造簡單且經民航局核准或公告者，得免經檢

驗或認可。

前項遙控無人機之檢驗基準，由民航局定之。國際間通用技術規範，適於國內採用者，得經民航局核定後採用之。

第九十九條之十二 外國人領有外國政府之遙控無人機註冊、操作及檢驗合格等證明文件者，得向民航局申請認可後，依本章之規定從事飛航活動。

第九十九條之十三 禁航區、限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內，禁止從事遙控無人機飛航活動；航空站或飛行場四周之一定距離範圍由民航局公告之。

前項範圍外距地表高度不逾四百呎之區域，由直轄市、縣（市）政府依公益及安全之需要，公告遙控無人機活動之區域、時間及其他管理事項。但相關中央主管機關認有禁止或限制遙控無人機飛航活動之需要者，得提請所在地之直轄市、縣（市）政府公告之，直轄市、縣（市）政府應配合辦理。

政府機關（構）、學校或法人執行業務需在第一項範圍之區域從事遙控無人機飛航活動，應申請民航局會商目的事業主管機關同意後，始得為之。

政府機關（構）、學校或法人執行業務需在第二項公告之區域、時間及其他管理事項外從事遙控無人機飛航活動，應申請直轄市、縣（市）政府會商相關中央主管機關同意後，始得為之。

未經同意進入第一項禁航區、限航區活動之遙控無人機，由禁航區、限航區之管理人採取適當措施予以制止或排除；必要時，得通知民航局會同警察機關取締。

未經同意進入第一項航空站或飛行場四周之一定距離範圍內活動之遙控無人機，由航空站、飛行場之經營人、管理人會同航空警察局取締；必要時，並得洽請有關機關協助執行。

未經同意於第二項公告之區域、時間及其他管理事項外活動之遙控無人機，由直轄市、縣（市）政府取締；必要時，得洽請警察機關協助取締。但未經同意進入政府機關（構）區域之遙控無人機，政府機關（構）可採取適當措施予以制止或排除。

第九十九條之十四 從事遙控無人機飛航活動應遵守下列規定：

- 一、遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面四百呎。
- 二、不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。
- 三、不得裝載依第四十三條第三項公告之危險物品。
- 四、依第九十九條之十七所定規則之操作限制。
- 五、不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。
- 六、不得於日落後至日出前之時間飛航。
- 七、在目視範圍內操作，不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。
- 八、操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。
- 九、操作人應隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況。
- 十、應防止遙控無人機與其他航空器、建築物或障礙物接近或碰撞。

政府機關（構）、學校或法人經檢具有關文書向民航局申請核准者，得不受前項第一款至第八款規定之限制。

前項政府機關（構）、學校或法人，從事核准之遙控無人機飛航活動前，應向民航局申請許可；其涉及第一項第五款之限制者，應先取得活動場地之直轄市、縣（市）政府及相關中央主管機關之同意。

第九十九條之十五 操作遙控無人機而致他人死傷，或毀損他人財物時，不論故意或過失，遙控無人機所有人應負賠償責任；其因不可抗力所生之損害，亦應負責。自遙控無人機上落下或投下物品，致生損害時，亦同。

遙控無人機所有人將其遙控無人機交由他人操作所生之損害，由所有人及操作人負連帶賠償責任。

政府機關（構）、學校或法人於依前條第三項從事活動前，應依第九十三條第一項所定辦法之損害賠償額，投保責任保險。

第九十九條之十六 政府機關為執行災害防救、偵查、調查、矯正業務等法定職務，於第九十九條之十三第一項公告之航空站或飛行場四周之一定距離範圍內或第二項公告之區域、時間及其他管理事項外，從事遙控無人機飛航活動，經民航局同意者，不受該條第三項及第四項規定之限制。

政府機關為執行災害防救、偵查、調查、矯正業務等法定職務，從事第九十九條之十四第一項第二款至第八款之活動，經民航局同意者，不受該條第三項規定之限制。

第九十九條之十七 遙控無人機之分類、註冊（銷）、射頻識別、檢驗、認可、維修與檢查、試飛、操作人員年齡限制、體格檢查與操作證之發給、飛航活動之申請資格、設備與核准程序、操作限制、活動許可、費用收取、製造者與進口者之登錄及責任、飛航安全相關事件之處理與通報及其他應遵行事項之規則，由交通部定之。

第九十九條之十八 遙控無人機之註冊、檢驗、認可及操作人員測驗等業務，民航局得委託機關（構）、團體或個人辦理之；受委託者之資格、責任、監督及其他相關事項之辦法，由交通部定之。

第九十九條之十九 第九十九條規定，於遙控無人機準用之。

第一百十八條之一 遙控無人機之所有人或操作人有下列情事之一者，由民航局廢止其操作證，並處新臺幣三十萬元以上一百五十萬元以下罰鍰，並得沒入遙控無人機：

- 一、違反第九十九條之十三第一項規定，於禁航區、限航區 及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內從事飛航活動。
- 二、違反第九十九條之十四第一項第一款規定，逾距地面或水面高度四百呎從事飛航活動。

第一百十八條之二 遙控無人機之所有人或操作人有下列情事之一者，禁止其活動，並處新臺幣六萬元以上三十萬元以下罰鍰；情節重大者，並得沒入遙控無人機：

一、違反第九十九條之十第二項規定，未領有操作證而操作遙控無人機。

二、違反第九十九條之十五第三項規定，未投保或未足額投保責任保險而從事遙控無人機活動。

遙控無人機之所有人或操作人有下列情事之一者，禁止其活動，並處新臺幣三萬元以上十五萬元以下罰鍰；情節重大者，並得沒入遙控無人機：

一、違反第九十九條之十第一項有關遙控無人機註冊或標明註冊號碼之規定。

二、違反第九十九條之十三第二項有關直轄市、縣（市）政府公告之區域、時間及其他管理事項之規定。

三、違反第九十九條之十四第一項第二款至第十款有關遙控無人機飛航活動應遵守之規定。

本條規定之處罰，除同時違反第九十九條之十三第一項或第九十九條之十四第一項第一款由民航局處罰外，由直轄市、縣（市）政府處罰之。

第一百十八條之三 違反依第九十九條之十七所定規則有關射頻識別、檢驗、認可、維修與檢查、飛航活動之活動許可及內容、製造者與進口者之登錄及責任、飛航安全相關事件之通報等事項規定者，禁止其活動，並處新臺幣一萬元以上一百五十萬元以下罰鍰；情節重大者，並得沒入遙控無人機。

附錄二、內政部空中勤務總隊航空器申請暨派遣作業規定

中華民國 93 年 3 月 23 日空勤勤指字第 0930000178 號函頒
中華民國 94 年 12 月 23 日空勤勤指字第 0940005784 號函修正
中華民國 97 年 05 月 09 日空勤勤指字第 0970002948 號函修正
中華民國 104 年 03 月 09 日空勤勤指字第 1044000085 號函修正
中華民國 110 年 07 月 06 日空勤航字第 1102000361 號函修正
中華民國 114 年 11 月 13 日空勤航字第 1147031528 號函修正

一、目的

內政部空中勤務總隊(以下簡稱本總隊)為建立所屬航空器申請、派遣及管制機制，特訂定本作業規定。

二、申請項目

相關業務主管機關有非經航空器支援，無法有效達成緊急救災、救難、救護或行政作為之目的者，得向本總隊申請派遣航空器，其項目如下：

- (一) 各種天然災害及重大意外事故等災害搶救之空中救災支援。
- (二) 山難搜救、水上救溺及海上救難等人命搜救之空中救難支援。
- (三) 緊急醫療之空中救護轉診、器官移植等空中救護支援。
- (四) 災情觀測、重大緊急犯罪空監追緝、海洋（岸）空偵巡護、交通空巡通報、環境污染調查、國土綜合規劃空勘航攝等空中觀測偵巡支援。
- (五) 救災人員、裝備、物資之運送等空中運輸支援。
- (六) 空中救災、救難及其他相關之演習訓練支援。
- (七) 其他有關空中支援勤務。

三、空中勤務申請、審核、及派遣作業

(一) 申請作業程序

1. 需求(申請)機關填具「本總隊航空器申請表」(如附件 1)或至「國搜中心智慧搜救平臺」申請，經由中央業務主管機關審查後，以電話或傳真本總隊並確認收到。但情況緊急時，得以電話方式申請，並敘明任務性質、災況情形、位置座標、無線電頻率及現場指揮官聯絡電話號碼；惟申請資料應於十分鐘內，透過前揭方式或系統，補送申請表及相關資料，逾時未補送者，視為未完成申請。
2. 需求(申請)機關需指派相關專業人員登機共同執行任務，並填具登機共同執勤作業人員名單及裝備清單(如附件 2)載明職稱、姓名、國民身分證統一編號、工作性質、體重、攜行裝備及搭

機同意書(如附件 3)等資料併同申請表送本總隊審核；除已將固定共同執勤作業人員造冊送本總隊備查者外。

3. 空中轉診或器官移植緊急運送，申請機關應至衛生福利部「空轉後送遠距醫療會診平臺」填報「空中轉診申請表」等表單資料或填具「器官移植緊急運送申請表」，經衛生福利部空中轉診審核中心審查後，以電話或傳真聯繫本總隊並確認收到。
4. 申請支援演習或訓練事項者，申請機關填具「本總隊隊航空器申請表」並附演習或訓練計畫，函請中央業務主管機關審查後，應於實施演習或訓練前一週，行文本總隊受理。
5. 巡護、監測、空勘航攝及其他需要之空中支援及專案勤務，申請機關應填具「本總隊航空器申請表」並檢附計畫函報中央業務主管機關審查後，於勤務執行前一週，行文本總隊受理。
6. 申請航空器派遣作業流程，如附件 4、5。

(二) 審核作業

1. 本總隊勤務指揮中心(以下簡稱勤指中心)執勤人員受理中央業務主管機關轉報之緊急任務航空器申請表時，應依申請表所列項目逐一審查，必要時主動與申請單位聯繫，詳查各項支援細節，並考量勤務種類、狀況、天氣、機況、能力等因素分析研判，如確屬緊急狀況，且符合出勤條件時，應於二十分鐘內查明各項支援細節並完成派遣程序；若為非必要任務或無法出勤支援時，亦應於二十分鐘內告知申請機關。
2. 非屬下列演習或訓練支援申請事項者，不予受理：
 - (1) 年度計畫性或專案性救災或防範犯罪演訓項目。
 - (2) 直轄市、縣(市)政府層級以上辦理或中央災害防救業務主管機關委辦之重大演習或訓練，對於提升災害搶救技能顯有重大助益者。
 - (3) 其他具特殊狀況需求，經中央業務主管機關核准之項目。
3. 前款申請事項審核結果，應於演習或訓練前回覆中央業務主管機關，並副知申請機關。
4. 申請本總隊支援之演習、訓練或其他例行性勤務，未依期限(一

週前)行文至本總隊者，得不予受理。

(三) 派遣作業

1. 派遣程序如下：

- (1) 本總隊勤指中心執勤人員受理審查核准之緊急任務，直接派遣航空器執行。
- (2) 本總隊各勤務隊之備勤機無法執行任務，應填具無法執行飛航任務報告單，但情況緊急時得直接以口頭回報，並於二十分鐘內補送。
- (3) 本總隊派遣航空器支援演習、訓練或其他例行性勤務者，非經本總隊核准，不得派遣搜救待命機執行。

2. 派遣優先順序如下：

- (1) 人命優先原則：生命危急案件，優先派遣。
- (2) 嚴重緊急優先原則：嚴重緊急事故案件，優先派遣。
- (3) 偏遠離島地區優先原則：交通不便、醫療短缺地區，優先派遣。

3. 派遣原則：

- (1) 合適機種原則：以勤務需求及性能考量，派遣適當機種執行。
- (2) 快速就近原則：以時間因素及地點考量，派遣適當機種執行。
- (3) 遇本總隊無合適機種，為考量救災時效或屬行政院國家搜救指揮中心 (以下簡稱國搜中心)任務範圍者，得轉請該中心支援。
- (4) 為避免執勤機陷入夜間作業風險，在預估起飛、航程與二十分鐘吊掛作業時間，已逾終昏時，陸上(含山區)任務於翌日清晨執行；海上(含岸際)吊掛任務，派遣適合夜間吊掛作業直升機，或報請國搜中心支援。
- (5) 航空器於終昏後至拂曉前，原則不在機場以外之場地實施降落，以確保飛航安全，並避免夜間於未設置航空燈光或相關助航設施之場地操作所肇生之風險。

4. 派遣命令包括：

- (1) 勤務種類、性質與規模。
- (2) 執勤時間、地點(座標)。
- (3) 人力、機型及數量。

- (4) 執勤機編號。
- (5) 通信頻率。
- (6) 管制單位。
- (7) 現場受理報到單位(人員)等相關資料。
- (8)(8)其他相關目標區資料。

四、作業管制

(一) 執勤期間

1. 本總隊各勤務隊執勤機，於起飛時應通知本總隊勤指中心，並詳實記錄任務全程各項資料，如出動人力及參與單位、人員、成果等，並於任務結束返隊後，填寫「任務執行報告表」。
2. 本總隊各勤務隊主管應掌握執勤機飛航及任務執行動態，並隨時通報本總隊勤指中心。申請單位亦應隨時將目標區最新天氣與環境等訊息動態回報本總隊勤指中心。
3. 本總隊航空器執行搜救及緊急救護任務，完成階段性任務後(人員、裝載物脫離直升機)，即轉由相關業務主管機關負責處理後續相關事宜。

(二) 協調聯繫

為提高飛航安全及執勤效能，申請空中緊急任務之機關(單位)應配合辦理下列事項：

1. 本總隊航空器除任務所需之武器、彈藥裝備外，嚴禁於航空器攜載其他武器、彈藥、爆炸物品、毒氣、放射性物料或其他危害飛航安全之物品，但經本總隊事先同意者，不在此限。
2. 登機共同作業人員應於起飛前一小時抵達本總隊駐地，參加本總隊任務提示，說明登機共同執勤作業目的及請求支援事項。執勤機機長須簡報各項安全及配合事項。惟如共同執勤作業人員集結地點距離本總隊駐地車程達一小時以上者，得與任務機組員以視訊方式實施任務提示會議；如為緊急任務，可於起飛前實施任務提示。
3. 前款人員登機時應依本總隊人員指示，穿戴或扣上必要安全裝備，並隨時接受檢查；若攜帶裝備登機，須事先聲明，並獲得機長同意。

4. 指派現場指揮官並與執勤機保持通信暢通。
5. 負責協調相關機關(單位)維持航空器起降場淨空及周邊人車管制。
6. 應通知現場人員執勤機預計到達目標區時間，及顯示目標措施(如狼煙、反光鏡、信號彈、或煙標彈等)，並將後送人員安置於適當位置。

(三) 緊急狀況

執勤機如有無線電、機載識別器(TRANSPONDER)、助航設施失效、天候因素、飛機狀況等影響飛航安全因素，則應立即停止任務並回報。

五、有關受理及執行各項空中勤務所填寫之各項表單均應彙整並保存一年。

六、其他如有未盡事宜，得隨時另函修正或補充。

附-10

附件 2、申請派員登機共同執勤作業人員名單及裝備清單

申請派員登機共同執勤作業人員名單及裝備清單						
單 職	位 稱	姓 名	國 民 身 分 證 統 一 編 號	工 作 性 質	體 重 (公 斤)	備 註
裝 項	備 次	裝 備 名 稱	裝 備 長 寬 高 (尺 寸)		裝 備 重 量 (公 斤)	
申請機關聯絡人：			單位主管：		(職 章)	
電 話：			傳 真：			
備註：如有需要可自行增加表格。						

附件 3

搭機同意書

一、內政部空中勤務總隊(以下簡稱空勤總隊)之聲明

1. 執行飛航任務之機組員，在飛航期間均依照飛航法規等相關規定作業。
2. 在時間與環境狀況許可下，告知搭機安全注意事項與緊急逃生程序。
3. 飛航期間如遭遇特殊飛航狀況(人員、天氣、機械、環境、其他)，機長基於飛航安全之考量得為必要之緊急應變處置。
4. 飛航期間如發生意外事故，造成人員生命財產之損失，將依照空勤總隊所辦理之保險辦理理賠。

二、搭機者之聲明

1. 我已了解搭乘空勤總隊航空器的必要性，並願意依照空勤總隊人員之指導行動。
2. 我已了解空勤總隊有辦理任務人員團體保險，及直升機第三人意外責任險。
3. 我已了解飛航期間，若遇意外事件造成生命財物(不含行李及個人隨身物品)之損失，空勤總隊會主動協助辦理保險賠償範圍內之理賠事宜。
4. 我已了解直升機進出及搭乘相關安全規定，並確實遵守規定，以確保裝備及人身安全，如未依規定造成飛機損壞或人員傷亡，空勤總隊將依規定求償。

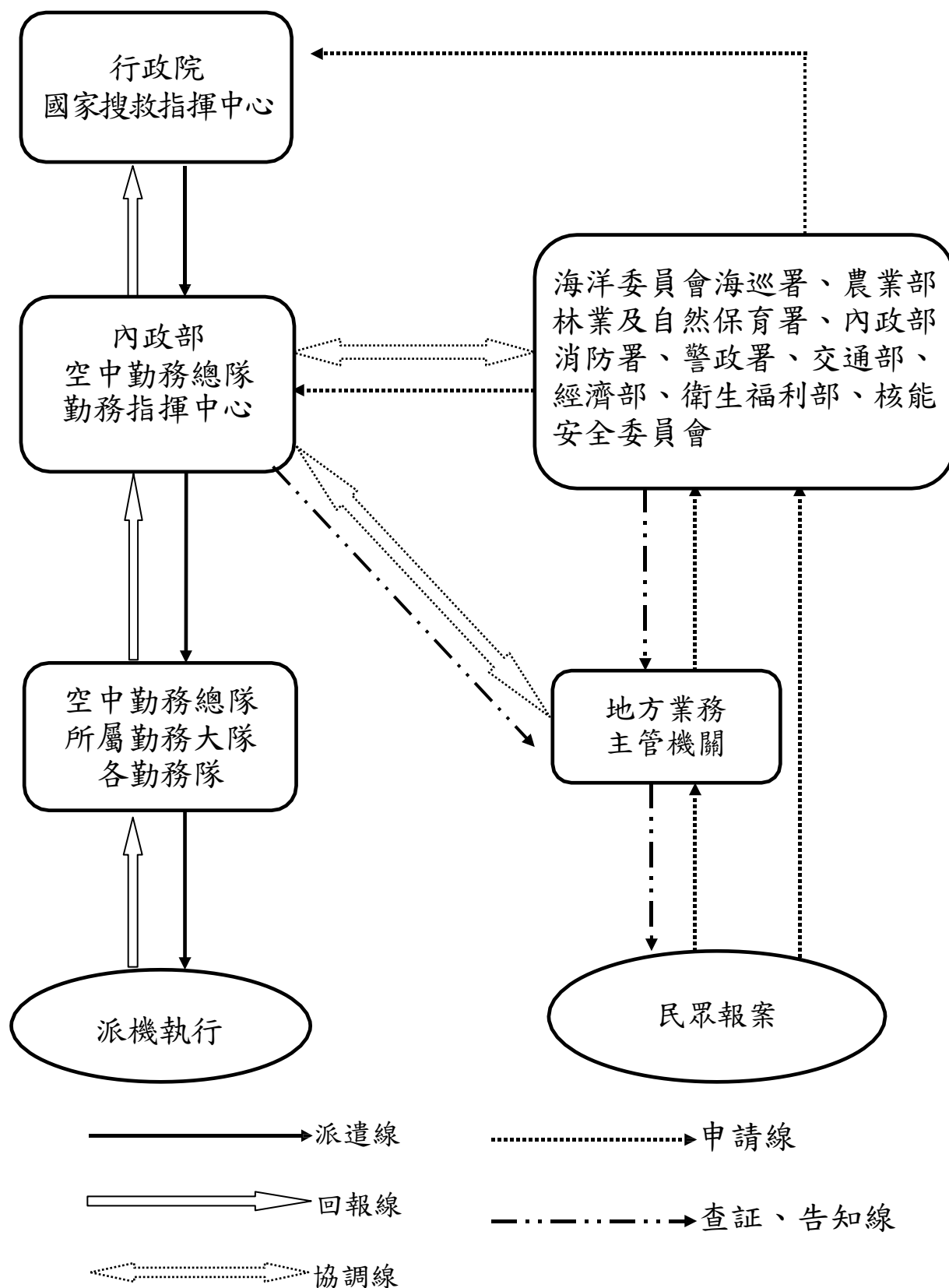
基於上述聲明，我同意搭機。

立同意書人姓名：

身分證字號： 生日： 年 月 日 體重： 公斤

日期： 年 月 日 時 分

附件 4 內政部空中勤務總隊航空器緊急派遣作業流程表



附錄三、堰塞湖警報傳真通報

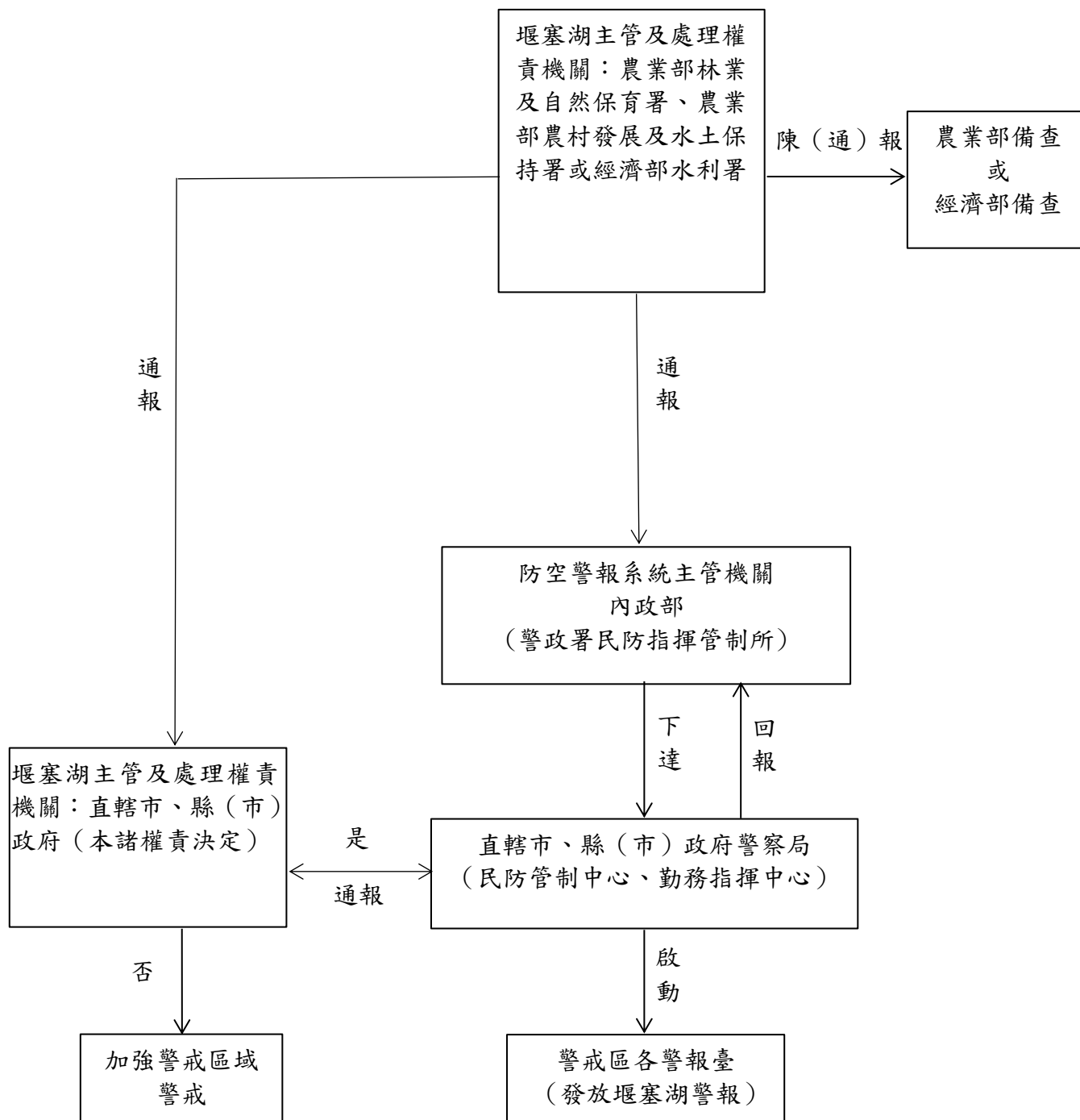
(堰塞湖主管及處理權責機關適用)

堰塞湖警報傳真通報

通報時間: 〇〇年〇月〇日〇時〇〇分

受理單位	☐ 內政部警政署民防指揮管制所(傳真: 02-2933-4452) ☐ 〇〇縣(市)政府警察局民防管制中心(傳真:)
副本	☐ 行政院災害防救辦公室 ☐ 農業部 ☐ 經濟部 ☐ 〇〇縣(市)政府 ☐ 視狀況新增
通報機關	☐ 農業部林業及自然保育署〇〇分署 ☐ 農業部農村發展及水土保持署〇〇分署 ☐ 經濟部水利署〇〇分署
通報事項	一、〇〇堰塞湖因〇〇事由可能造成〇〇河溪下游保全對象〇〇等區域之水位抬升、土砂大量流動、〇〇災害,請於時間〇年〇月〇日〇時〇分針對〇〇地區(〇〇縣【區】〇〇鄉【鎮】或〇〇村【里】)協助發放堰塞湖警報,以通知範圍內民眾預警疏散避難。 二、堰塞湖警報預警範圍如下附圖。
通報者	〇〇機關職稱〇〇姓名〇〇〇
聯絡電話	00-0000-0000
備註	一、保全對象舉例為: 〇〇社區、聚落、道路、橋梁等名稱。 二、各堰塞湖主管及處理權責機關於傳達「堰塞湖警報通報」前,務請提前與內政部警政署民防指揮管制所確認、預告警戒範圍,以準確匡列協助發放之警報臺。

堰塞湖警報發布流程圖



附錄四、使用表單

農業部重大緊急事件通報單

敬陳單位人員(請於□內填 V 勾選)				通報時間		年 月 日 時 分			
☐ 部長 ☐ 政務次長 ☐ 政務次長 ☐ 常務次長 ☐ 主任秘書 ☐ 政風處主任 ☐ 綜規司司長 ☐ 協服科科長 ☐	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐	農村水保署	通報別		☐ 初報 ☐ 續報 () ☐ 結報			
				通報人員		單位： 農村發展及水土保持署 ○○ 分署 職稱： 姓名：			
				電話	() -		傳真	() -	
				發生時間		年 月 日 時 分		發生地點	
案 由									
案 情 摘 要									
處 理 情 形									

農業部農村發展及水土保持署 OO 分署 OO 堰塞湖通報單 第 O 報(稿)

基本資訊	發生時間	年 月 日 時 分	發生地點	
堰塞湖 事件摘要				
堰塞湖 最新狀況				
堰塞湖 風險評估 成果				
預估災害 潛勢範圍				
應注意 事項				
*通報 事項	★請收到傳真單後，簽名回傳至本分署傳真。 單位_____姓名_____			
聯絡 資訊	緊急聯絡人	姓名	電話	電子信箱
	分署應變中心	電話	傳真	地址
通報單位		聯絡人	電話/傳真	備註

*通報單位請依需求增加

堰塞湖災害緊急調查表

調查人/單位：_____ / _____ 調查時間：_____				
形成地區	_____ 市/縣 _____ 鄉/鎮/市/區 _____ 村/里			
土地權屬	☐ 林班地 _____ 事業區 _____ 林班 _____ 小班 ☐ 山坡地 _____ ☐ 其他 _____			
溪流名稱	_____ 流域 _____ 河/溪			
坐標 TWD97	X		Y	
位置簡述				
形成日期	民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 時			
誘發原因	(☐ 地震/ ☐ 豪雨/ ☐ 其他)： _____			
調查方式	(☐ 地面/ ☐ 空勘) (☐ 目測/ ☐ 測量/ ☐ 拍照/ ☐ 攝影/ ☐ 其他)： _____			
崩塌區概況	崩塌地寬度(最大)	(m)		
	崩塌地長度(最大)	(m)		
	崩塌面積	(m ²)		
	崩塌深度(最大)	(m)	崩塌深度(平均)	(m)
	崩塌材料體積(估算)	崩塌面積×崩塌平均深度 (m ³)		
	擴大可能性描述			
	崩塌區綜合描述			
天然壩概況	天然壩高			
	壩頂長度	(m)	壩頂寬度	(m)
	壩底長度	(m)	壩底寬度	(m)
	壩體體積			
	壩體材料	☐ 大型岩塊 ☐ 破碎材料 說明：		
	壩體形狀	上游坡度	(度)	下游坡度 (度)
	河道水流狀況	☐ 已滲流 ☐ 已溢流 ☐ 水流中斷 說明：		
	天然壩綜合描述			
堰塞湖概況	目前蓄水深	(m)	最大可能水深	(m)
	目前蓄水面積	(m ²)	最大蓄水面積	(m ²)
	目前蓄水量	(m ³)	最大蓄水量	(m ³)
	上游集水面積	(km ²)		
	上游入流量	(m ³ /s)		
	堰塞湖綜合描述			
周邊概況	保全分布：	☐ 有 ☐ 無 說明：		
	交通情形：	☐ 有 ☐ 無 說明：		
	電力狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：		
	通訊狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：		
	周遭環境綜合描述			

堰塞湖災害致災風險評估表

評估人/單位：_____ / _____		評估時間：_____	
形成地區	_____ 市/縣 _____ 鄉/鎮/市/區 _____ 村/里		
土地權屬	☐ 林班地 _____ 事業區 _____ 林班 _____ 小班 ☐ 山坡地 _____ ☐ 其他 _____		
溪流名稱	_____ 流域 _____ 河/溪		
坐標 TWD97	X		Y
位置簡述			
形成日期	民國 _____ 年 _____ 月 _____ 日 _____ 時		
誘發原因	(☐ 地震/ ☐ 豪雨/ ☐ 其他)： _____		
潰壩 危害 度	壩體 安 定 性	集水面積	(km ²)
		壩體體積	(m ³)
		壩體高度	(m)
		安定性分析成果	DBI 值
		安定性綜合描述	
保全 危害 度	保全 對 象 安 全 性	最大蓄水高程	(m)
		最大蓄水面積	(m ²)
		蓄水區保全對象狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：
		潰壩流量	(m ³ /s)
		河道通洪能力檢討	☐ 通過 ☐ 未通過 說明：
		下游保全對象狀況	☐ 有 ☐ 無 說明：
		安全性綜合描述	
堰 塞 湖 致 災 風 險	潰壩危害度分析成果		☐ 低 ☐ 高
	保全危害度分級成果		☐ 低 ☐ 中 ☐ 高
	堰塞湖致災風險評估成果		☐ 暫無風險 ☐ 低風險 ☐ 中高風險 ☐ 極高風險
	堰塞湖風險處置建議		

OO 分署堰塞湖應變小組編制表

	單位	人員	姓名	連絡方式	任務編組
召集人	_____分署	分署長			
副召集人	_____分署	副分署長			發言人
堰塞湖 應變小組 工作人員	_____分署				
	本署				
聯絡窗口	水利署 分署				
	林業保育署 分署				
	_____縣(市)政府				
	_____鄉(鎮、市、區)公所				
	_____村(里)				
專家學者					

註 1：分署得依召集人指示，指派所屬非輪值人員協助、聯繫及辦理勘查等相關災害應變作為。

註 2：堰塞湖應變小組應持續以「農業部重大緊急事件通報單」、「農業部農村發展及水土保持署 OO 分署 OO 堰塞湖緊急通報單」通報應變措施處置情形。

附錄五、堰塞湖查證、通報、調查案例

一、堰塞湖查證與權責確認

於 113 年 10 月 8 日農村水保署收到農村水保署臺南分署通報率芒溪有崩塌情形發生，且形成堰塞湖，因此啟動查證工作。

(一)堰塞湖形成查證

1. 衛星影像查證

為進行堰塞湖形成之查證，針對通報地點蒐集歷史影像進行比對，分別取得民國 103 年、民國 109 年及民國 110 之歷史影像，可以看到本區坡趾處於 103 年就有崩塌現象，在 109 年影像中裸露區並不明顯，但在 110 年影像中可以看到崩塌區域未有明顯差異，但因接獲通知時未取得較新知衛星影像，因此另安排現地查證。

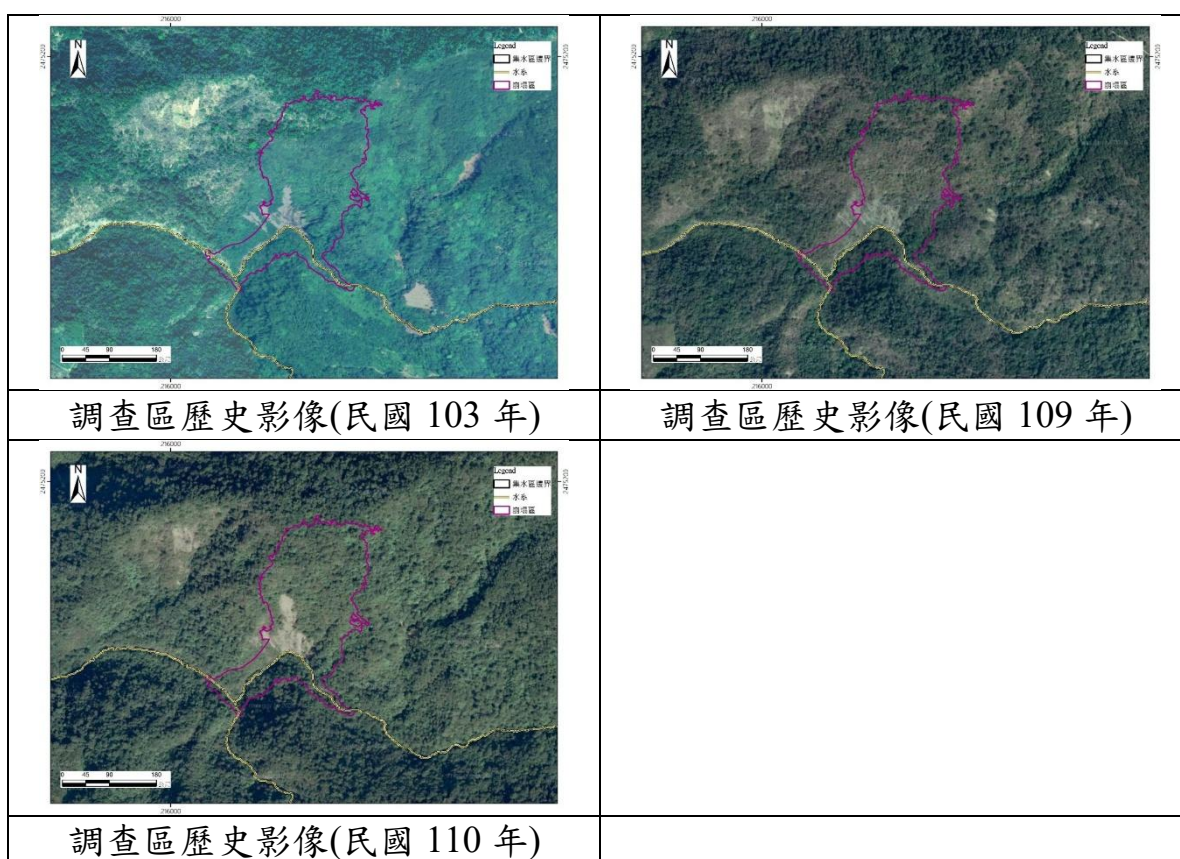


圖 1 調查區歷史影像蒐集

2. 現地空拍查證

由於坡面位於無交通可達地點，因此利用無人機進行查證，從士文部落起飛，至率芒溪河道上空，可以看到崩塌區發生於率芒溪支流內匯流處，因此分別形成兩個蓄水區域。因此回報農村水保署並進行後續調查與分析工作

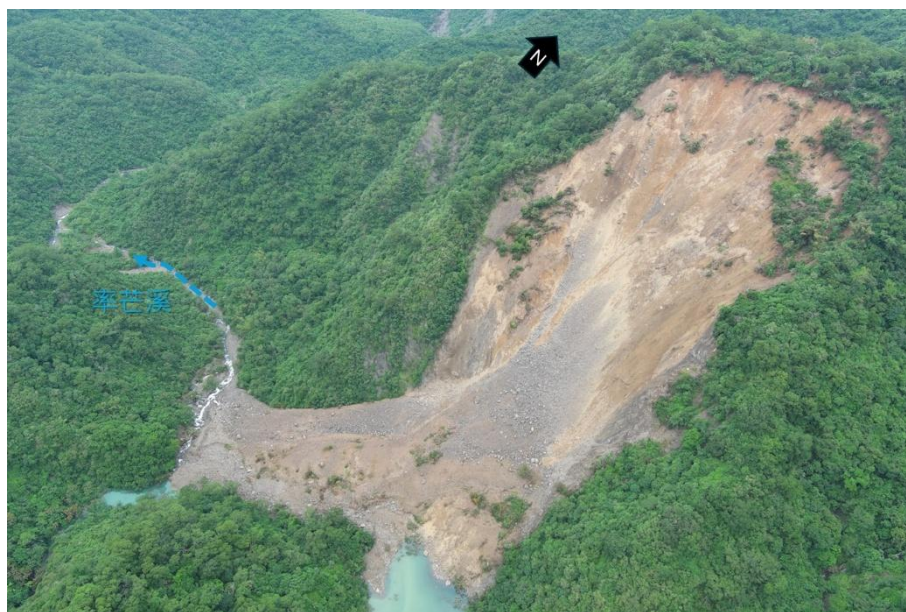


圖 2 堰塞湖查證成果(拍照日期 113/10/9)

其中位於北側支流之蓄水區尚未蓄滿，但已有滲流狀況。而南側支流蓄水區已發生溢流，並形成溢流水道。



圖 3 堆積區與蓄水狀況(拍照日期 113/10/9)

(二)堰塞湖權責確認

發生位置為率芒溪集水區，屬於縣管河川，且集水區範圍內為山坡地，且為公告之原住民保留區。依堰塞湖處置分工原則，應屬於屏東縣政府權責。

表 1 率芒溪支流集水區土地管轄權屬面積統計

管轄地	面積(公頃)	百分比(%)
山坡地	683	100 %
總計	683	100 %

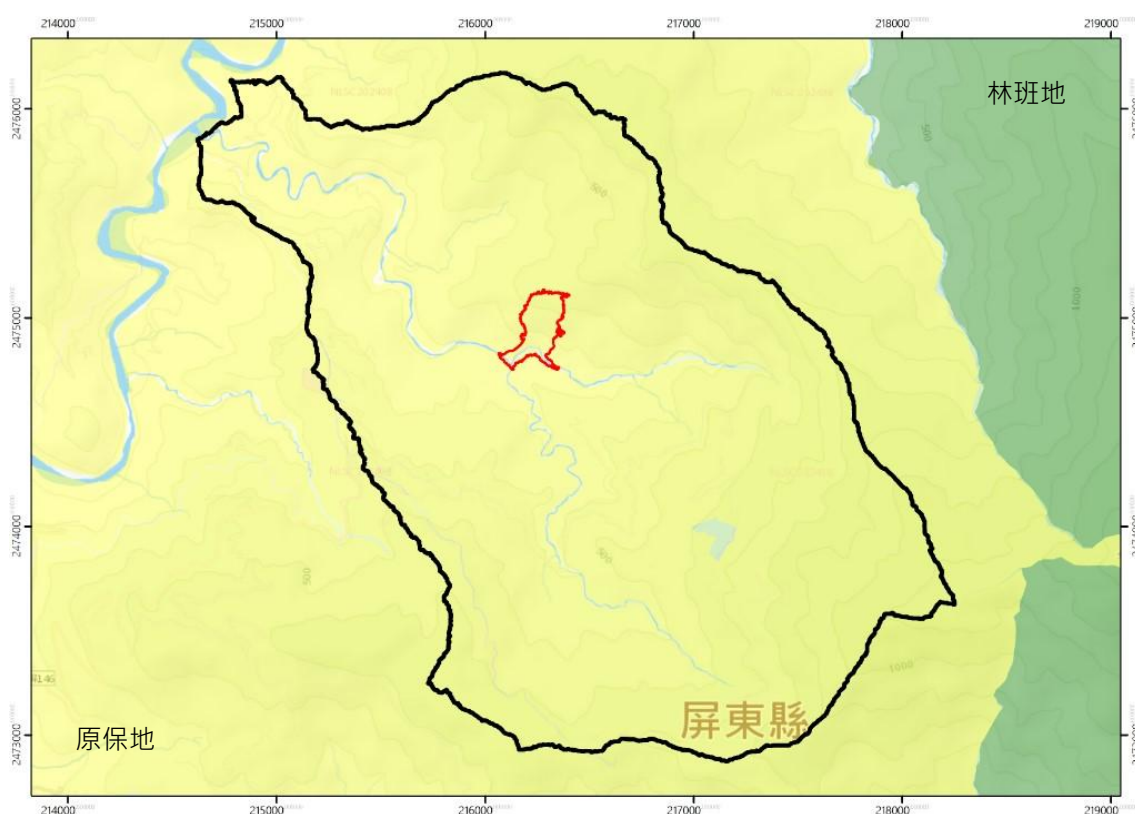


圖 4 率芒溪支流集水區土地權屬分布

二、堰塞湖調查

(一)現地狀況調查

1. 崩塌區調查

崩塌區表面可見明顯岩盤出露，幾乎無殘存材料(圖 5)，且邊界已發展至坡頂，但於照片中可見明顯坡頂已有裂隙產生，仍有持續破壞可能(圖 6)。



圖 5 崩塌區現況 (拍照日期 113/10/9)



圖 6 崩塌頂部裂隙現況 (拍照日期 113/10/9)

2. 堆積區及蓄水區

在蓄水區域部分，位於北側支流之蓄水區尚未蓄滿，但已有滲流狀況。而南側支流蓄水區已發生溢流，並形成溢流水道。



圖 7 北側蓄水區 (拍照日期 113/10/9)



圖 8 南側蓄水區 (拍照日期 113/10/9)

3. 周遭保全對象

堆積區下游河道兩側並無保全住戶，僅距離 2.5 公里處有士文五號橋。



圖 9 崩塌區與士文村相對關係 (拍照日期 113/10/9)



圖 10 崩塌區下游經過士文五號橋(拍照日期 113/10/9)

(二)規模評估

1. 數值地形產製

利用無人載具進行空拍，以利相關數據之量化分析，產製成果如圖 11 及圖 12，分別為數值地形及空拍影像拼接成果，從地形比對(圖 13)，本次事件主要為既有崩塌冠部再破壞導致。

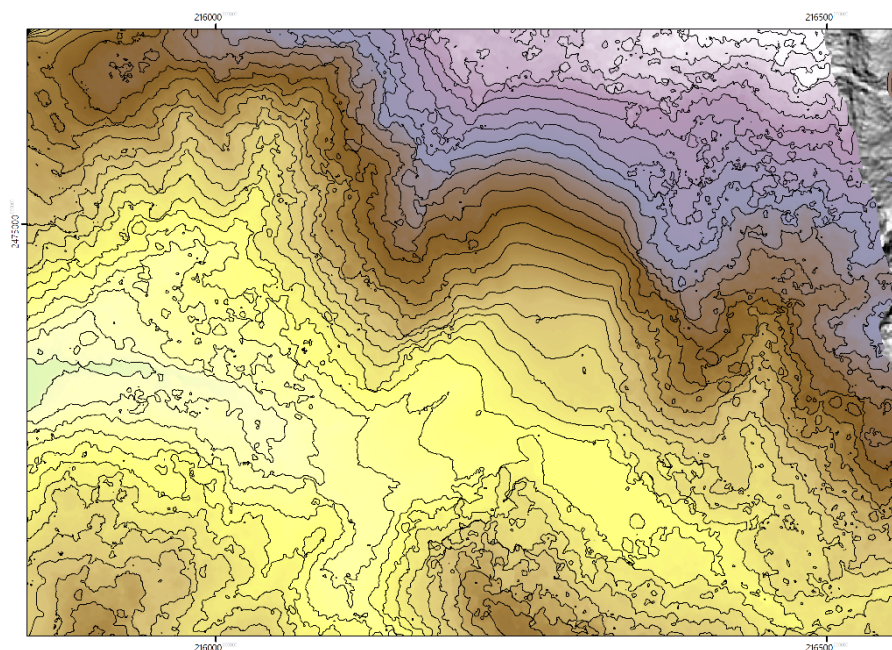


圖 11 事件後數值地形 (影像時間 113 年 10 月 9 日)



圖 12 事件後空拍影像(影像時間 113 年 10 月 9 日)

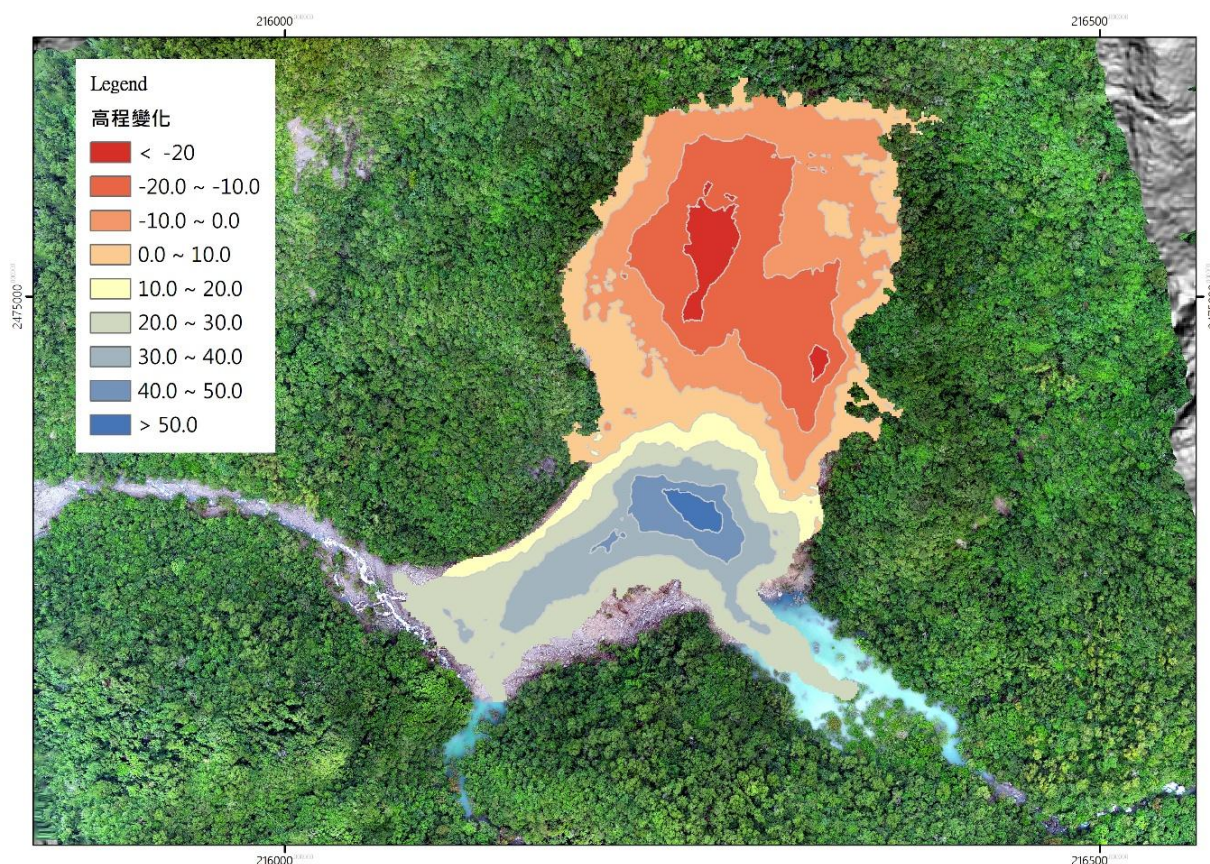


圖 13 事件後地形比對 (影像時間 113 年 10 月 9 日)

2. 堰塞湖規模分析

利用地形比對成果，現地坡面裸露面積約 3.6 公頃(長 200 公尺、寬 200 公尺)，崩塌深度約 6 公尺，初估土砂量約 21 萬立方公尺。

壩體材料係由崩落材料堆積而成，因發生位置為支流匯流處，分別於兩支流河道均造成蓄水狀況。初估河道堆積材料約 19.6 萬立方公尺(河寬 70 公尺、堆積高度 30 公尺，阻斷長度 280 公尺)。

北側支流蓄水需尚未蓄滿，已有滲流狀況，南側支流已發生溢流，並形成溢流水道。北側蓄水面積 0.8 公頃(長 200 公尺，寬 40 公尺)，蓄水深度 13 公尺，蓄水量約 3.4 萬立方公尺。南側蓄水面積 0.14 公頃(長 80 公尺，寬 20 公尺)，蓄水深度 7 公尺，蓄水量約 0.3 萬立方公尺。

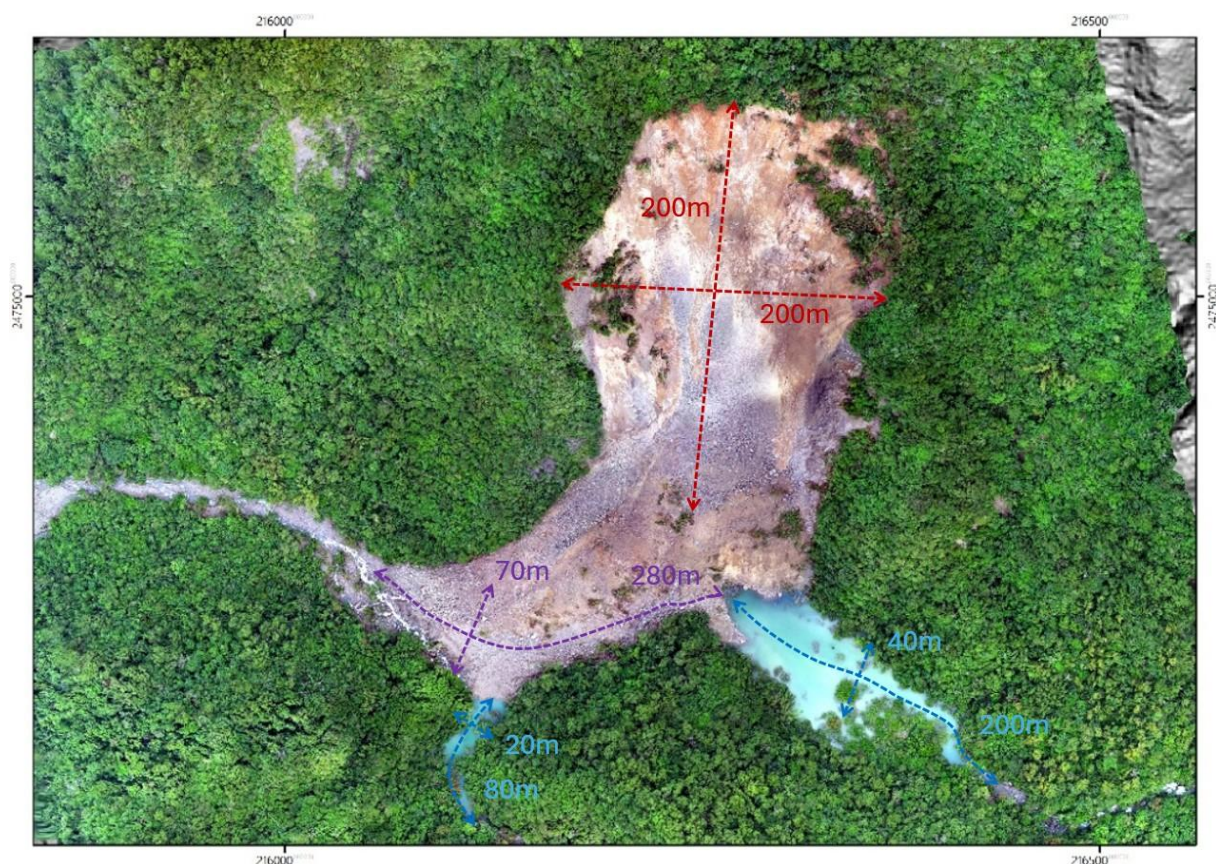


圖 14 堰塞湖相關尺寸參數

表 2 率芒溪堰塞湖相關尺寸

項目	尺寸	推估量體
崩塌區	長 200 公尺、寬 200 公尺、 深度 6 公尺	21 萬立方公尺 (3.6 公頃*6 公尺)
堆積區	長 280 公尺、寬 70 公尺、 高度 30 公尺	19.6 萬立方公尺 (280*70*30/3)
北側蓄水區	長 200 公尺、寬 40 公尺、 深度 13 公尺	3.4 萬立方公尺 (200*40*13/3)
南側蓄水區	長 80 公尺、寬 20 公尺、 深度 7 公尺	0.3 萬立方公尺 (80*20*7/3)

三、堰塞湖致災風險評估

(一)潰壩危害度評估

利用無因次阻塞指標(Dimensionless Blockage Index, DBI)進行壩體安定性評估，以利評估壩體之潰壩危害度。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)來評估天然壩體是否安定。

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

其中 A_b ：堰塞湖上游集水面積(公頃)； H_d ：天然壩壩高(公尺)； V_d ：天然壩堆積土體體積(萬立方公尺)。當若 $DBI < 2.75$ ，則壩體判定為穩定； $DBI > 3.08$ ，則壩體判定為不穩定； $2.75 < DBI < 3.08$ 之間則屬過渡區(不確定區)。

根據地形資料分析成果，率芒溪支流堰塞湖壩體堆積高 30 公尺，壩體體積 19.6 萬立方公尺，上游集水面積 423 公頃，經計算後 DBI 值為 2.81，壩體安定性落於過渡區。配合現場狀況來看，壩體已發生溢流，後續遭逢降雨事件時，潰決機會高。

$$DBI = \log\left(\frac{423 \times 30}{19.6}\right) = 2.81$$

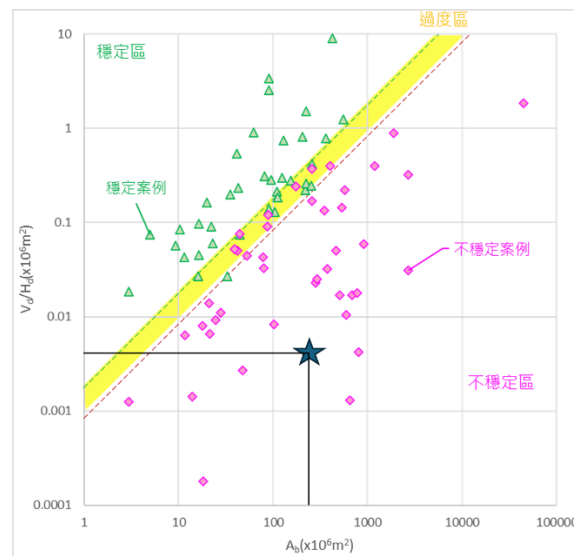


圖 15 壩體安定性評估成果

(二)保全危害度

保全危害度之評估包含上下游之保全安全性，本案例在現場檢視後，上游未有保全對象，蓄水區下游僅有一座橋梁為可能受影響對象。因此需評估一旦潰壩後對於下游之影響。

1. 潰壩流量分析

因本案例調查資料有限，故採三角形單位歷線法推估潰決洪峰流量，假設潰壩流量歷線之形狀為三角形，潰壩洪峰流量 Q_p 可表示如下式：

$$Q_p = \frac{2 \times V}{T_c}$$

Q_p ：潰壩洪峰流量(m^3/s)

V ：堰塞湖蓄水量

T_c ：潰壩延時

本案例因為壩體堆積量較小，僅有 19.6 萬立方公尺，故取潰壩延時為 30 分鐘，蓄水量為 3.4 萬立方公尺，經計算後最大可能潰壩流量為 37.7 cms。

$$Q_p = \frac{2 \times 34000}{30 \times 60} = 37.7$$

2. 保全對象影響評估

得到潰壩洪峰流量後，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造成影響，潰壩水位抬升量之計算方法如下式，其中 B 為河道寬度，可由地形圖或遙測影像直接量測。

$$\Delta h = \frac{Q_p}{B \times V}$$

Δh ：潰壩水位抬升量(m)

Q_p ：潰壩洪峰流量(m^3/s)

V ：流速(m/s)

B ：河道寬度(m)

以士文五號橋分析資料，河道頂寬 26 公尺、底寬約 20 公尺，河道深度 8 公尺，流速 V 可利用曼寧公式計算或自行假設合理值，考慮現場地形，該位置河道坡度約 3%，屬較下游之山區河道，建議流速可取 2~4m/s 進行分析。經計算後，在潰壩水流通過時，河道水位抬升量約 0.4~0.8 公尺，對於橋梁處無溢淹風險。

$$\Delta h = \frac{37.7}{24 \times 2} = 0.78, \Delta h = \frac{37.7}{24 \times 4} = 0.39$$

表 3 保全對象影響評估

潰壩流量	河道平均寬度	流速	水位抬升量	保全受影響
37.7 cms	24 m	2 m/s	0.78 m	否
		4 m/s	0.39 m	否

(三)堰塞湖致災風險初步評估

1. 參考壩體安定性分析成果進行潰壩危害度評估，本案例安定性分析為過渡區，且已發生溢流，**潰壩危害度判斷為高(表 4)**。
2. 根據保全分布狀況與可能活動情形進行保全危害度評估，區域內僅有下游有橋梁，無直接影響之保全住戶，且橋梁通洪斷面可容納潰壩流量通過，**保全危害度為低(表 5)**。
3. 根據潰壩危害度與保全危害度進行堰塞湖致災風險評估，因沒有保全對象，所以評估成果為**暫無風險(表 6)**。
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，暫無風險之對應處置建議以**定期觀(監)測為主(表 7)**。

表 4 潰壩危害度評估分級表

潰壩危害度	壩體安定性分析成果
低	壩體安定性分析為穩定，但會發生緩慢溢流沖刷破壞
高	<u>壩體安定性分析為過渡區或不穩定，可能發生劇烈溢流沖刷破壞(上游入流量高時)</u>
	壩體安定性分析為過渡區或不穩定，可能發生滲流破壞
	壩體安定性分析為過渡區或不穩定，可能發生驟然破壞

表 5 保全危害度評估分級表

保全危害度	保全對象分布及可能活動情形
低	<u>影響潛勢區為河道，下游無保全對象或重要設施且人員不易抵達從事活動。</u>
中	1.淹沒潛勢區內無保全對象，但下游保全對象有受影響疑慮。 2.人員可能於河床從事活動。
高	影響潛勢區內有保全對象或重要設施。
	淹沒潛勢區內無保全對象，但下游保全對象緊鄰河岸且位處高流速沖刷區。
	存有複合型土砂災害問題。

表 6 堰塞湖致災風險緊急評估分級表

保全危害度 \ 潰壩危害度	低	高
	低	高
低	<u>暫無風險</u>	
中	低風險	
高	中高風險	極高風險

表 7 堰塞湖致災風險處理原則對應表

致災風險等級	觀(監)測	警戒	工程急迫性
<u>暫無風險</u>	<u>定期觀(監)測</u>	<u>無</u>	<u>無</u>
低風險	即時觀(監)測	河道管制	可及性低-無
			可及性高-低
中高風險	即時觀(監)測	達警戒時撤離	中
極高風險	即時觀(監)測	緊急撤離	高

堰塞湖災害緊急調查表

調查人/單位：蔡 O 融 / 國立成功大學					評估時間：113/10/9				
形成地區		屏東 市/縣 春日鄉 鄉/鎮/市/區 士文 村/里							
土地權屬		☐ 林班地 ☐ 事業區 ☐ 林班 ☐ 小班 ☒ 山坡地 ☒ 其他 原住民保留地							
溪流名稱		士文溪 流域 士文 河/溪							
坐標 TWD97		X		坐標 TWD97		X		坐標 TWD97	
位置簡述		發生於率芒溪支流上游，士文村旁							
形成日期		民國 113 年 10 月 1~5 日							
誘發原因		(☐ 地震/ ☒ 豪雨/ ☐ 其他)：山陀兒颱風							
調查方法		☒ 地面/ ☐ 空勘		(☐ 目測/ ☐ 測量/ ☐ 拍照/ ☐ 攝影/ ☒ 其他)：空拍					
崩塌區概況	崩塌地寬度(最大)		200 (m)						
	崩塌地長度(最大)		200 (m)						
	崩塌面積		36000(m ²)						
	崩塌深度(最大)		20 (m)		崩塌深度(平均)		6 (m)		
	崩塌土石量(估算)		崩塌面積×崩塌平均深度 210000 (m ³)						
	擴大可能性描述		坡頂已有裂隙產生，仍有持續破壞可能						
	崩塌區綜合描述		崩塌區已發展至坡頂，且現場可見明顯裂隙，仍有持續破壞可能。						
天然壩概況	天然壩高		30 (m)						
	壩頂長度		- (m)		壩頂寬度		- (m)		
	壩底長度		280 (m)		壩底寬度		70 (m)		
	壩體體積		19.6 萬立方公尺						
	壩體材料		☐ 大型岩塊 ☒ 破碎材料 說明：						
	壩體形狀		上游坡度 (度)		下游坡度 (度)				
	河道水流狀況		☒ 已滲流 ☐ 已溢流 ☐ 水流中斷 說明：						
	天然壩綜合描述								
堰塞湖概況	目前蓄水深		13 (m)		最大可能水深		15 (m)		
	目前蓄水面積		0.8 (m ²)		最大蓄水面積		1.0(m ²)		
	目前蓄水量		34000(m ³)		最大蓄水量		40000(m ³)		
	上游集水面積		4.23 (km ²)						
	上游入流量		- (m ³ /s)						
	堰塞湖綜合描述		發生位置為支流匯流處，分別於兩支流河道均造成蓄水狀況。北側支流尚未蓄滿，已有滲流狀況。南側支流已發生溢流，並形成溢流水道。						
周邊概況	保全分布：		☒ 有 ☐ 無		說明：蓄水區內無保全，下游有橋梁				
	交通情形：		☐ 有 ☒ 無		說明：交通不可及				
	電力狀況		☐ 有 ☒ 無		說明：現地無電力				
	通訊狀況		☒ 有 ☐ 無		說明：有電信網路				
	周遭環境綜合描述		崩塌位置為交通不可及地區，周圍無直接保全住戶。						

堰塞湖災害致災風險評估表

評估人/單位：蔡○融 / 國立成功大學					評估時間：113/10/10				
形成地區	屏東 市/縣 春日鄉 鄉/鎮/市/區 士文 村/里								
土地權屬	☐ 林班地 ☐ 事業區 ☐ 林班 ☐ 小班 ☒ 山坡地 ☒ 其他 ☐ 原住民保留地								
溪流名稱	士文溪 流域 士文 河/溪								
坐標 TWD97	X		216213			Y		2474970	
位置簡述	發生於率芒溪支流上游，士文村旁								
形成日期	民國 113 年 10 月 1~5 日								
誘發原因	☐ 地震/ ☒ 豪雨/ ☐ 其他：山陀兒颱風								

潰壩危害度	壩體安定性	集水面積	4.23 (km ²)
		壩體體積	19.6 (m ³)
		壩體高度	30 (m)
		安定性分析成果	DBI 值 2.81 分析狀態 過渡區
		安定性綜合描述	壩體穩定性落於過渡區。配合現場狀況來看，壩體已發生溢流，後續遭逢降雨事件時，潰決機會高。
保全危害度	保全對象安全性	最大蓄水高程	(m)
		最大蓄水面積	8000(m ²)
		蓄水區保全對象狀況	☐ 有 ☒ 無 說明：
		潰壩流量	37 (m ³ /s)
		河道通洪能力檢討	☒ 通過 ☐ 未通過 說明：
		下游保全對象狀況	☐ 有 ☒ 無 說明：
		安全性綜合描述	區域內僅有下游有橋梁，無保全住戶，且橋梁通洪斷面可容納潰壩流量通過，保全危害度為低
堰塞湖致災風險	潰壩危害度分析成果		☐ 低 ☒ 高
	保全危害度分級成果		☒ 低 ☐ 中 ☐ 高
	堰塞湖致災風險評估成果		☒ 暫無風險 ☐ 低風險 ☐ 中高風險 ☐ 極高風險
	堰塞湖風險處置建議		根據潰壩危害度(高)與保全危害度(低)進行堰塞湖致災風險評估，評估成果為暫無風險。建議以定期觀(監)測為主。

四、堰塞湖致災風險再調查

於 114 年 10 月 8 日接獲農村水保署通知屏東縣春日鄉率芒溪既有堰塞湖處有再蓄水情形，因此啟動再調查。

(一)崩塌區調查

崩塌區表面可見明顯岩盤出露，幾乎無殘存材料(圖 14)，且邊界已發展至坡頂，原先坡頂裂隙為本次崩塌發生地點，本次空拍發現已經崩落 (圖 15)。

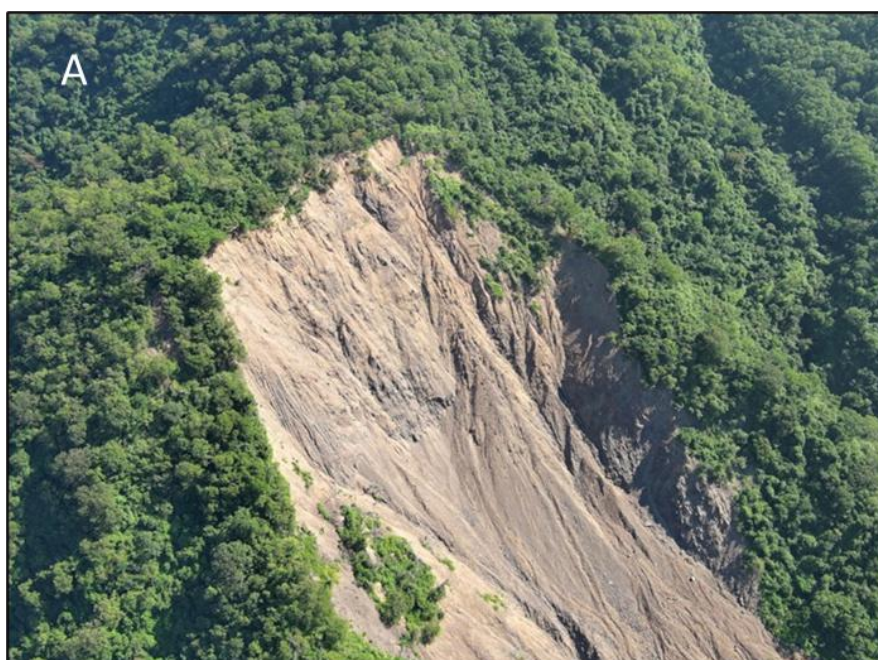


圖 14 崩塌區現況 (拍照日期 114/10/9)

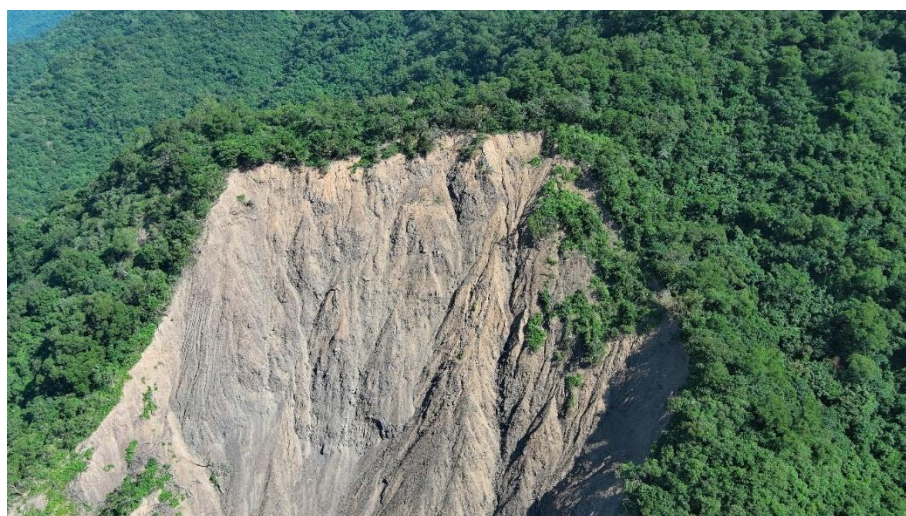


圖 15 崩塌頂部裂隙現況 (拍照日期 114/10/9)

(二)壩體及蓄水區調查

在蓄水區域部分，位於北側支流之蓄水區受再崩塌材料影響，未持續溢流(圖 16)，但現場可見既有溢流水道，形狀完整(圖 17)，當水位持續上升後應會持續溢流，因此維持暫無風險。



圖 16 堆積區與蓄水狀況(拍照日期 114/10/9)



圖 17 溢洪道現況 (拍照日期 114/10/9)