

現地監測與預警

大綱

- 困難與挑戰
- 監測方法、原理與成果

困難與挑戰

困難與挑戰

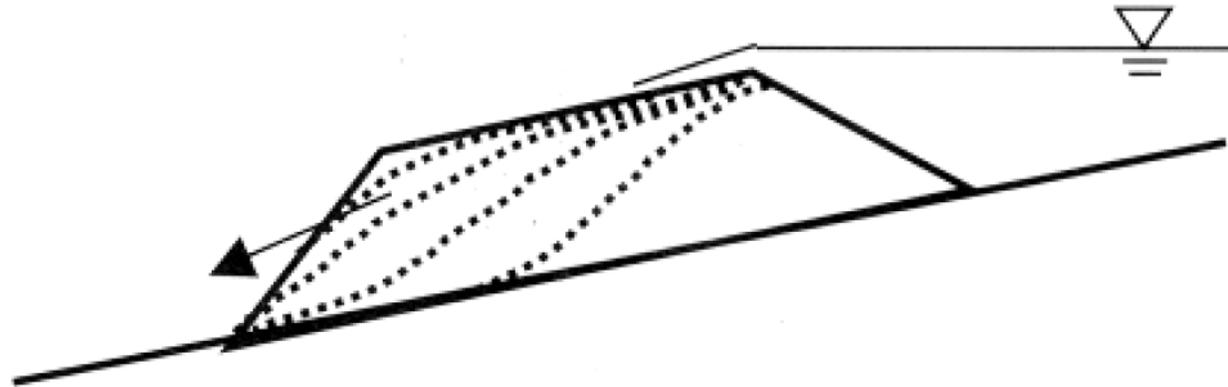
- 歷史上非地震所形成最高的天然壩
 - 如此高陡的天然壩，歷史資料上少見
- 道路不可及，即使是林保署的深山特遣隊，嘗試10天也無法抵達
 - 無法進行地表地質調查、鑽探、地球物理調查，壩體材料性質未知
 - 透過遙測方法，從地形、地貌變化、模擬結果，評估壩體穩定性

天然壩可能破壞機制

堰塞湖天然壩破壞係由溢流、壩體邊坡不穩定或滲流、管湧所引致，
以下說明不同破壞機制下天然壩潰決過程

壩頂溢流破壞

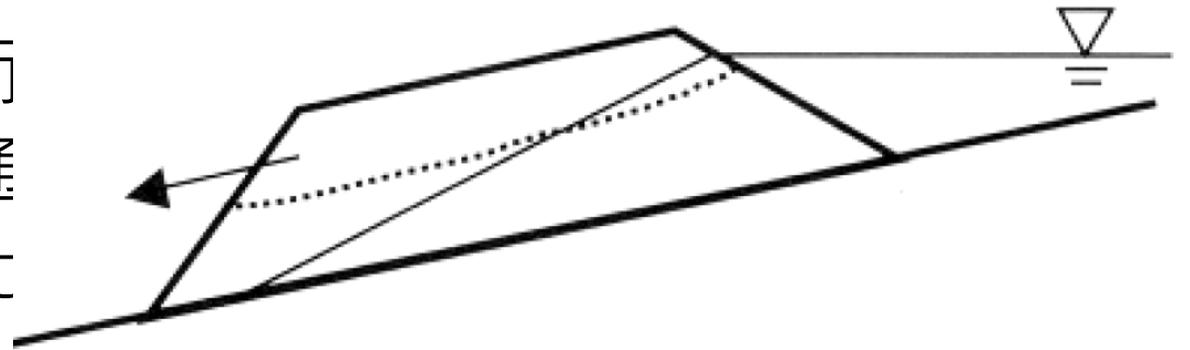
- 壩頂溢流破壞是堰塞湖天然壩破壞之最主要因素
- 依據Schuster(1995)統計，在202 個天然壩破壞案例中，有197 個係因壩頂溢流而破壞，約佔破壞總數之97%
 - 當壩體入流量大於滲流量時，湖水位持續上升，終致水位超過壩頂而溢流
 - 溢流之洪水將沖刷壩頂與壩體下游邊坡，使得壩體不斷變薄、變低



天然壩破壞方式—壩頂溢流破壞示意圖(高橋·匡，1988)

邊坡失穩破壞

- 壩體有較高透水性、較低強度時，當水位達一臨界值，壩體自身將產生一滑動面，於是驟然滑動潰決
 - 此種破壞通常發生在壩體上、下游面陡峭之狀況，且在破壞過程中，滑動塊體滑出而導致壩高降低，湖水翻越壩頂而破壞(柴賀軍等，2001)
- 然而，堰塞湖天然壩在形成過程中由於崩落土石滑動撞擊河床表面而堆積成壩，壩體上、下游面邊坡通常小於崩落材料安息角甚多，故此種潰壩機制發生機率並不高



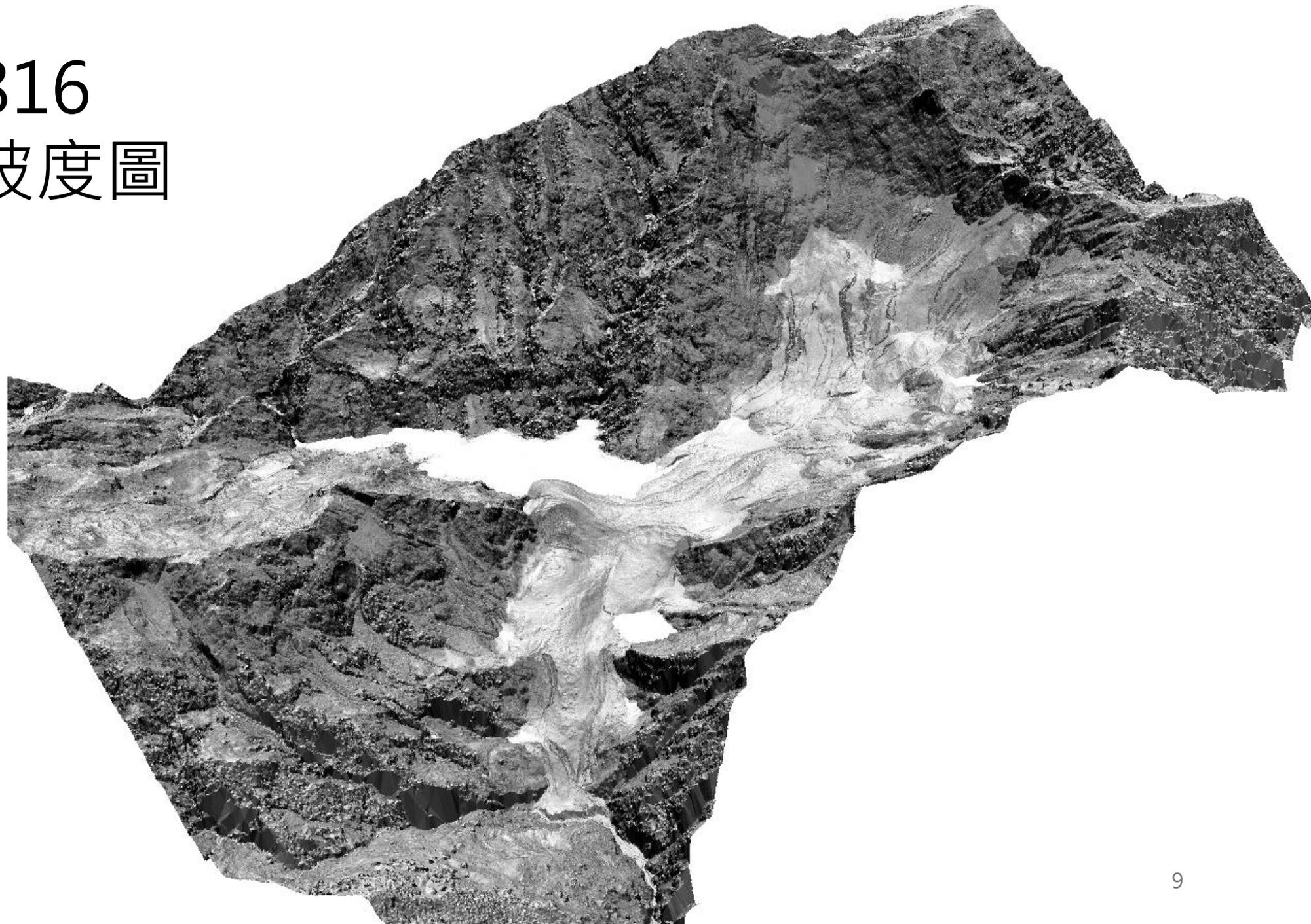
天然壩破壞方式—邊坡破壞示意圖(高橋·匡，1988)

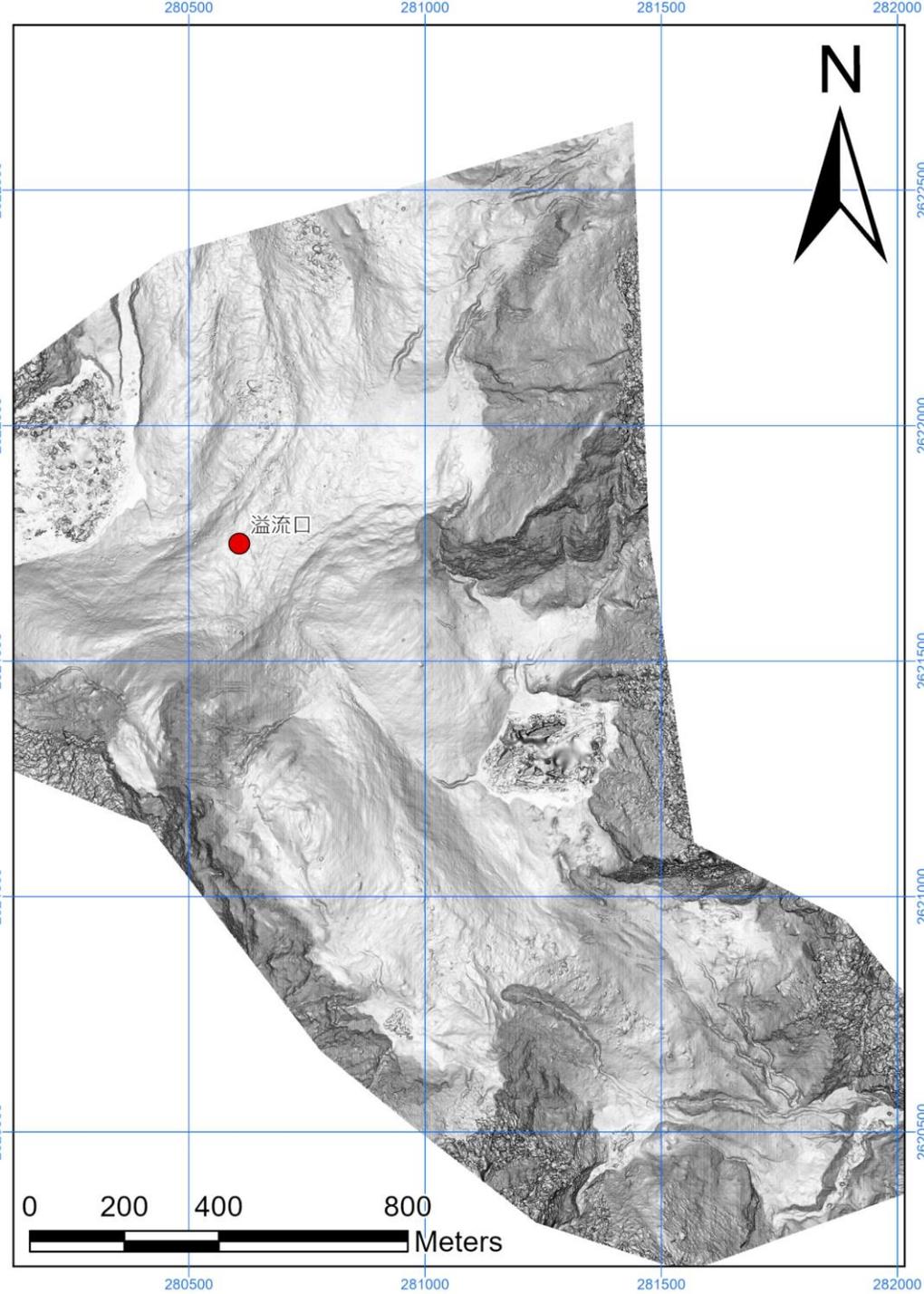
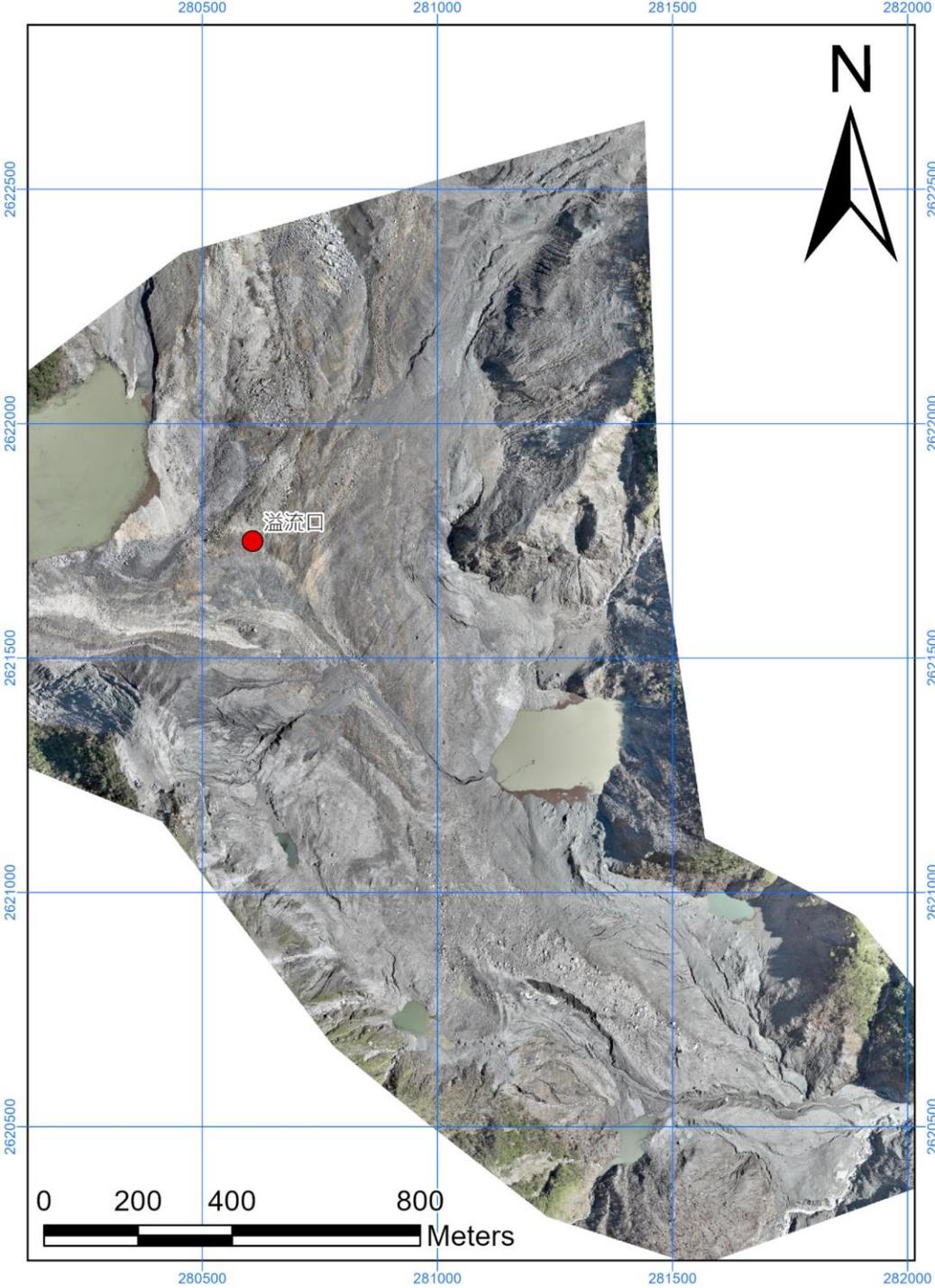
滲流、管湧破壞

- 若天然壩壩體有較高之滲透性，在水位顯著上前即有滲流水出現在壩體下游坡面。如土體強度不足，則滲流水出現時將發生部份壩體滑動流失。隨著時間進行，滑動面將朝向上游發展，直至壩頂而潰決
- 根據統計世界上堰塞湖天然壩發生溯源沖刷破壞之案例僅佔不到3% (Schuster, 1995)，可能係由於堰塞湖天然壩其組成土體所含之大型塊石較多，不易被滲流水所帶走，且壩體組成物質可能砂質土與粘土交雜，較不具備管湧的條件

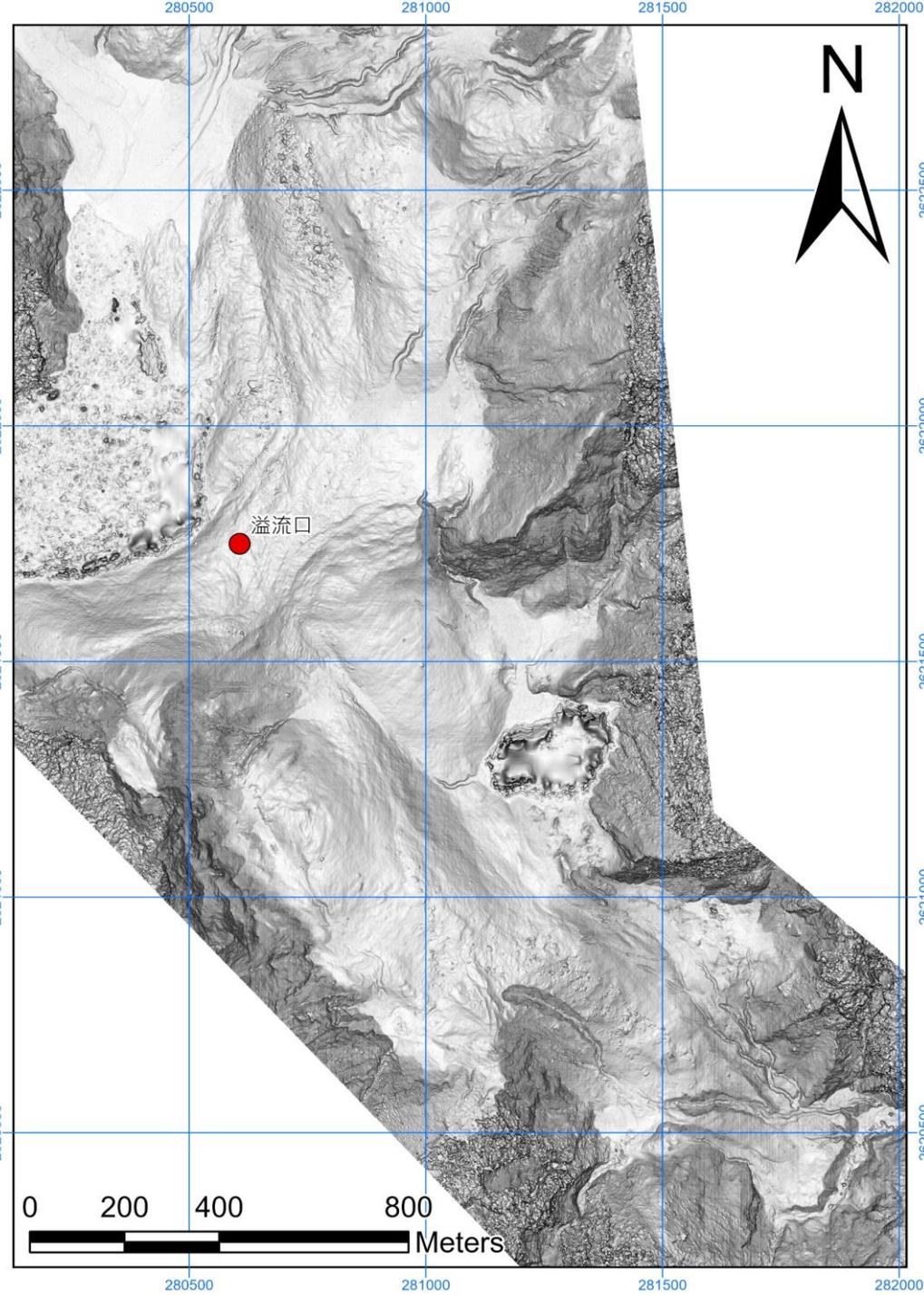
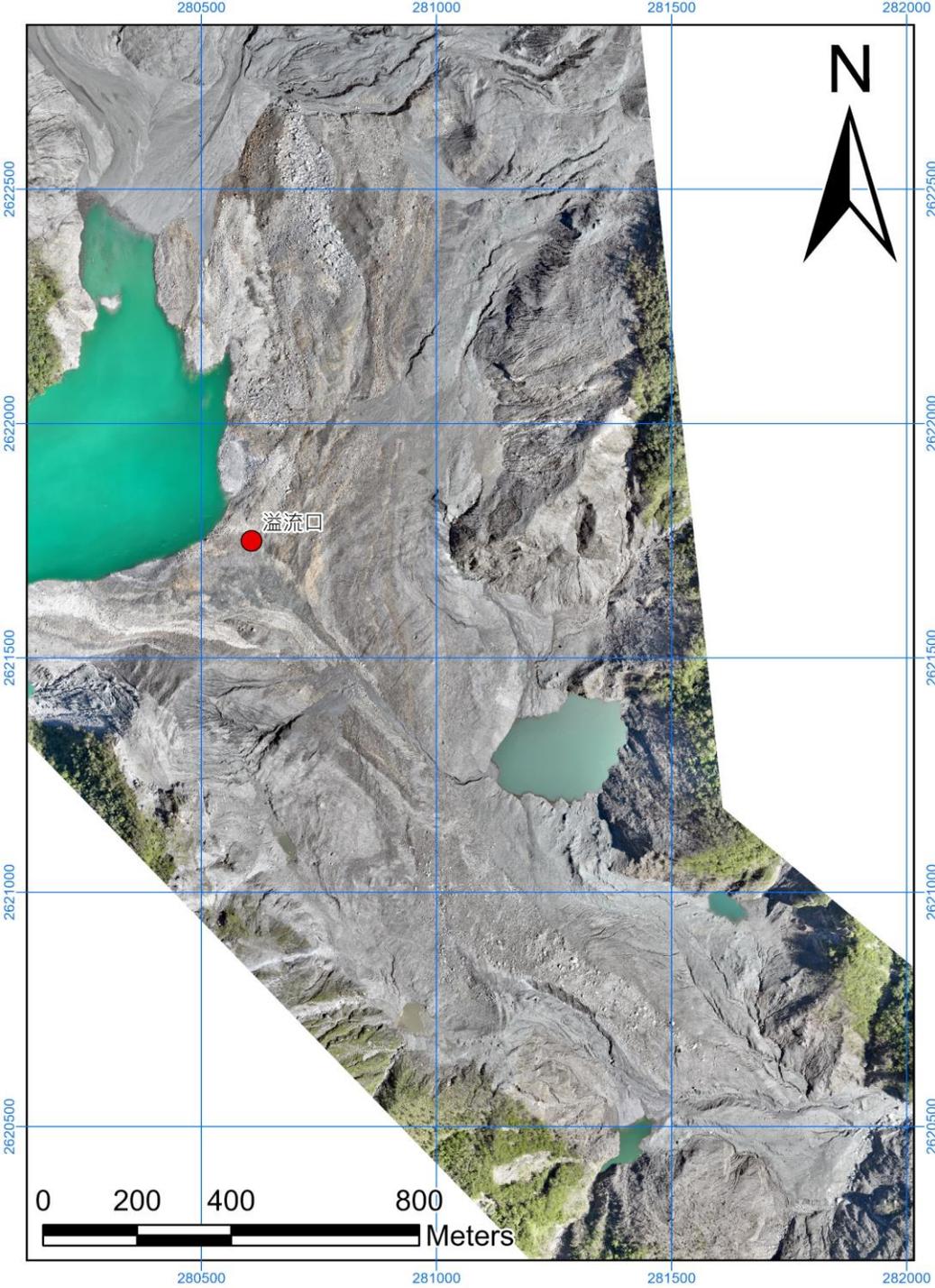
20250816

LiDAR坡度圖





20250814
楊柳颱風後隔日



20250912
間隔29日

目前沒有邊坡
破壞、滲流加
速、管湧等破
壞跡象

主串流 隱藏檢測區域

馬太鞍溪堰塞湖

2025-09-19 06:11:24



P000/T00 Z006 全景

Bitrate: 1534.0kbps
 Frame Rate: 30fps
 Resolution: 1920*1080
 Video Codec: H.264
 Smart Motion: On
 Current Connections: 2

Control panel with navigation buttons (directional arrows, power, zoom in/out), a volume slider, and various system icons (refresh, full screen, etc.).

- 001 全景
- 002 溢流口
- 003 溢流口下方
- 004 冲刷溝
- 005 壩址
- 006 預置點 6
- 007 預置點 7
- 008 預置點 8
- 009 預置點 9
- 010 預置點 10
- 011 預置點 11
- 012 預置點 12
- 013 預置點 13
- 014 預置點 14
- 015 預置點 15
- 016 預置點 16
- 017 預置點 17
- 018 預置點 18
- 019 預置點 19
- 020 預置點 20
- 021 預置點 21
- 022 預置點 22
- 023 預置點 23
- 024 預置點 24
- 025 預置點 25
- 026 預置點 26
- 027 預置點 27
- 028 預置點 28
- 029 預置點 29
- 030 預置點 30

監測方法與成果

多元監測方法

• 遙測影像監測

- 衛星影像主要用作整體環境變化之監測比對
- UAV空拍，只要天氣與環境狀況許可，可配合需求執行取像任務

影像來源	取像頻率	獲得影像時間	解析度	目的	警戒發布解除
無人飛行載具 空拍影像	目前每週，壩頂溢流前7天改為每天。	拍攝完1小時	10公分	計算堰塞湖水位，評估天然壩有無破壞跡象。	主要
航遙測分署航照	壩頂溢流前72小時，1天1次。	當日晚上	15公分	掌握崩塌地現況、計算堰塞湖水位，評估天然壩有無破壞跡象。	備用
PlantScope 衛星影像	1天1次(約上午11點)	當日晚上約6點	3~4公尺	概略掌握崩塌地、堰塞湖天然壩概況。	參考
Sentinal-2 衛星影像	5天1次(約上午11點)	當日晚上約6點	10公尺		

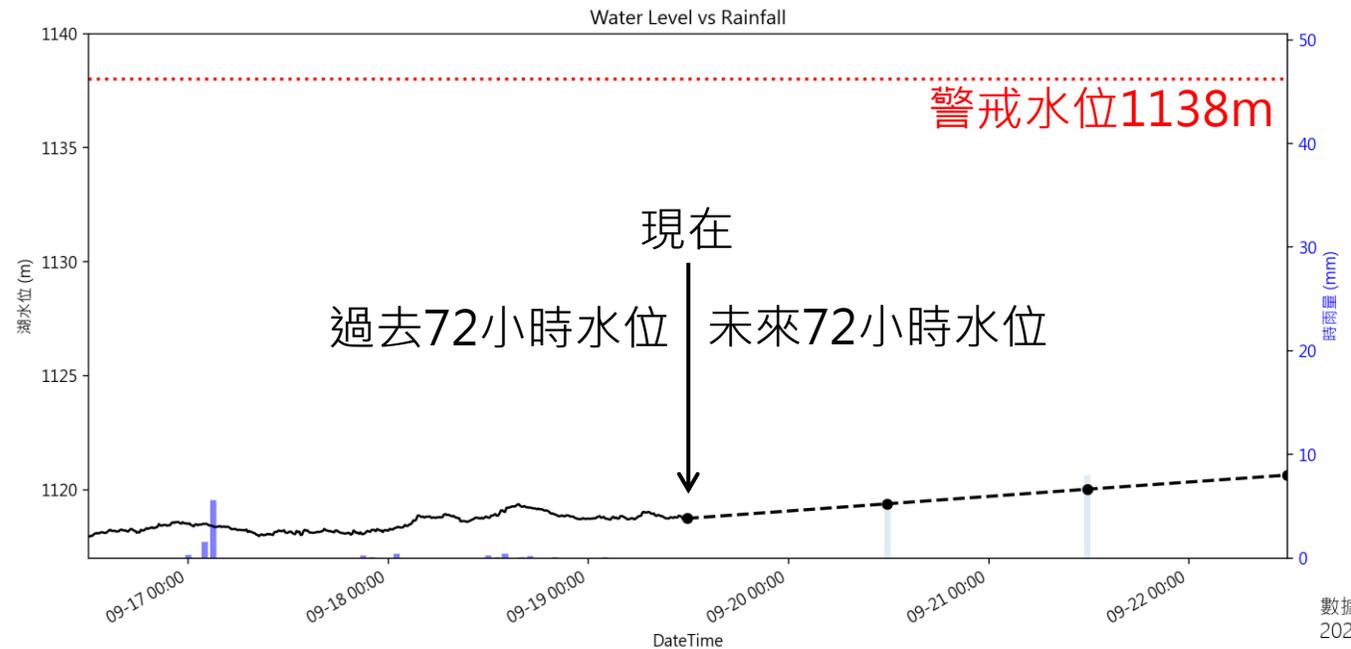
• 自動化儀器監測

- 包含水位計、雨量計、監視攝影機、泥砂濃度計
- 中央氣象署提供之集水區降雨資料

儀器名稱	更新頻率	電力	通訊方式	安裝位置	目的	警戒發布解除
湖區水位計	10分鐘	太陽能、電池	Inmarsat衛星	堰塞湖壩頂	掌握堰塞湖水位。	主要
21.5K網路攝影機	即時串流	太陽能、鋰電池	中華電信行動上網	光復林道21.5K	觀察壩體(溢流口、坡腹)有無破壞跡象。	主要
19.4K網路攝影機	每天，壩頂溢流前改為每小時	太陽能、電池	Inmarsat衛星、中華電信行動上網	光復林道19.4K	觀察壩體(坡腹、坡趾)有無破壞跡象。	主要
集水區定量降水預報	每3或6小時	-	中央氣象署	堰塞湖上游集水區63平方公里	由降雨逕流模式，估計未來48小時水位變化。	主要
集水區雷達降雨估計	1小時	-	中央氣象署	堰塞湖上游集水區63平方公里	建立日雨量與水位上升關係。若湖區水位計故障可估計目前水位。	備用
19K河道水位計	1分鐘	鋰電池	中華電信行動上網	光復林道19K下方河道	根據河道水位變化，評估是否開始溢流	備用
馬太鞍溪橋水位計、泥砂濃度計	1分鐘	市電	中華電信行動上網	馬太鞍溪橋下游右岸農水署取水閘門前	根據河道水位與濃度變化，評估是否開始溢流	備用
20.4K雨量計	1小時	太陽能、電池	Inmarsat衛星	光復林道20.4K	記錄該區雨量資料	參考

堰塞湖上游不同重現期 降雨-入流量-水位 預測

- 採用美國墾務局與水利署合作研發之流域整體二維數值模式SRH-W
 - 建置堰塞湖上游集水區降雨逕流模組
 - 考慮降雨入滲對基流量之影響
- 由H-V曲線獲得水位高
- 根據中央氣象署集水區降雨資料，作為水位預測、警戒發布標準
 - QPE(雷達降雨估計)
 - QPF(未來48小時定量降水預測，一天更新3次)



飈洪期間累積雨量(mm)	堰塞湖增加水量(萬噸)	壩頂溢流減少天數	預估溢流日期
0	0	0	2025/10/25
200	1217	14	2025/10/11
300	1715	19	2025/10/5
400	2223	25	2025/9/30
500	2741	30	2025/9/24

多元監測方法(續)

• 人工監測

- 人工監測包含人員巡視與測量，人員利用環境輔助採目視或影像記錄，比較監測環境是否出現異常變化
 - 天然壩溢流或滲流、下游水位驟升或驟降等

監測位置	監測頻率	監測人員	監測工具	目的	警戒發布解除
光復林道 20.4K下邊坡	壩頂溢流後每1小時記錄水位變化，至溢流穩定後停止。	萬榮工作站	望遠鏡、 虛擬水尺	記錄洪水位與河道高程，回報指揮中心，作為警戒解除參考。	參考
萬榮林道 2.6K路邊	壩頂溢流後，派員持續回報下游河道狀況，至溢流穩定後停止。	萬榮工作站	望遠鏡、 縮時攝影機	記錄洪水抵達與洪峰抵達時間，回報指揮中心，作為警戒解除參考。	備用

馬太鞍溪堰塞湖座落區域關係圖



堰塞湖潰決前概況

- 9/19蓄水量約6,592萬噸(庫容量72%)，湖面距離溢流口高差約20.13公尺



主串流 隱藏檢測區域

馬太鞍溪堰塞湖

2025-09-19 06:14:00



P002/T-2 Z030 溢流口

Bitrate: 709.4kbps
 Frame Rate: 42fps
 Resolution: 1920*1080
 Video Codec: H.264
 Smart Stream: On
 Current Connections: 2

Control panel with navigation arrows and a central power button.

Control panel with icons for 3D, power, location, and other camera functions.

- 001 全景
- 002 溢流口
- 003 溢流口下方
- 004 冲刷溝
- 005 壩址
- 006 預置點 6
- 007 預置點 7
- 008 預置點 8
- 009 預置點 9
- 010 預置點 10
- 011 預置點 11
- 012 預置點 12
- 013 預置點 13
- 014 預置點 14
- 015 預置點 15
- 016 預置點 16
- 017 預置點 17
- 018 預置點 18
- 019 預置點 19
- 020 預置點 20
- 021 預置點 21
- 022 預置點 22
- 023 預置點 23
- 024 預置點 24
- 025 預置點 25
- 026 預置點 26
- 027 預置點 27
- 028 預置點 28
- 029 預置點 29
- 030 預置點 30

主串流 隱藏檢測區域

馬太鞍溪堰塞湖

2025-09-19 06:12:02



P001/T-1 Z030 溢流口下方

Bitrate:1467.1kbps
 Frame Rate:28fps
 Resolution:1920*1080
 Video Codec:H.264
 Smart Stream:On
 Current Connections:2

Control panel with navigation buttons (up, down, left, right, center), a zoom slider, and various camera settings icons (3D, power, location, etc.).

- 001 全景
- 002 溢流口
- 003 溢流口下方
- 004 冲刷溝
- 005 壩趾
- 006 預置點 6
- 007 預置點 7
- 008 預置點 8
- 009 預置點 9
- 010 預置點 10
- 011 預置點 11
- 012 預置點 12
- 013 預置點 13
- 014 預置點 14
- 015 預置點 15
- 016 預置點 16
- 017 預置點 17
- 018 預置點 18
- 019 預置點 19
- 020 預置點 20
- 021 預置點 21
- 022 預置點 22
- 023 預置點 23
- 024 預置點 24
- 025 預置點 25
- 026 預置點 26
- 027 預置點 27
- 028 預置點 28
- 029 預置點 29
- 030 預置點 30

主串流 隱藏檢測區域

馬太鞍溪堰塞湖

2025-09-19 06:12:44



P359/T00 Z020 沖刷溝

bitrate:1408.4kbps
 Frame Rate:30fps
 Resolution:1920*1080
 Video Codec:H.264
 Smart Stream:On
 Current Connections:2

Navigation and control panel:

- Home icon
- Refresh icon
- Directional arrows (up, down, left, right) and a central power/clear icon
- Volume slider
- Fullscreen and window management icons
- 3D, Stop, and Location icons
- Search, Home, and Expand icons

- 001 全景
- 002 溢流口
- 003 溢流口下方
- 004 沖刷溝
- 005 壩趾
- 006 預置點 6
- 007 預置點 7
- 008 預置點 8
- 009 預置點 9
- 010 預置點 10
- 011 預置點 11
- 012 預置點 12
- 013 預置點 13
- 014 預置點 14
- 015 預置點 15
- 016 預置點 16
- 017 預置點 17
- 018 預置點 18
- 019 預置點 19
- 020 預置點 20
- 021 預置點 21
- 022 預置點 22
- 023 預置點 23
- 024 預置點 24
- 025 預置點 25
- 026 預置點 26
- 027 預置點 27
- 028 預置點 28
- 029 預置點 29
- 030 預置點 30

主串流 隱藏檢測區域

馬太鞍溪堰塞湖

2025-09-19 06:12:35



P358/T02 Z021 壩趾

Bitrate:1567.7kbps
 Frame Rate:21fps
 Resolution:1920*1080
 Video Codec:H.264
 Smart Stream:On
 Current Connections:2

Navigation and control panel with directional arrows, a central power button, and various icons for zooming and panning.

- 001 全景
- 002 溢流口
- 003 溢流口下方
- 004 冲刷溝
- 005 壩趾
- 006 預置點 6
- 007 預置點 7
- 008 預置點 8
- 009 預置點 9
- 010 預置點 10
- 011 預置點 11
- 012 預置點 12
- 013 預置點 13
- 014 預置點 14
- 015 預置點 15
- 016 預置點 16
- 017 預置點 17
- 018 預置點 18
- 019 預置點 19
- 020 預置點 20
- 021 預置點 21
- 022 預置點 22
- 023 預置點 23
- 024 預置點 24
- 025 預置點 25
- 026 預置點 26
- 027 預置點 27
- 028 預置點 28
- 029 預置點 29
- 030 預置點 30

	壩頂溢流情境			地震潰壩情境	其他破壞情境
	預估未來72小時可能溢流	預估未來48小時可能溢流	預估未來24小時可能溢流	達內政部評估可能潰壩之震度(暫定5弱)	發生壩體崩滑、沖刷、滲流加速、管湧等跡象
主要 監測方式	1. 目前水位：壩頂水位計。 2. 未來水位： (1) 由中央氣象署定量降水預報結果，預估未來24、48小時集水區累積雨量。 (2) 由降雨逕流模型，計算蓄水增加量。 a. 上游集水區日雨量 < 10 mm，每日蓄水量增加70萬噸。 b. 上游集水區日雨量 > 10 mm，查表。 (3) 由H-V曲線，計算未來水位達1,138公尺(溢流口1,139公尺)			光復(EGFH)，位於光復商工。	1. 壩頂水位計水位下降(10分鐘下降0.3m，水量減少40萬噸) 2. 正射影像與DSM 3. 21.4K網路攝影機(AI) 4. 19.4K網路攝影機 5. 目視或無人機空拍
備用 監測方式	1. 目前水位： (1) 無雲：航空攝影測量(無人機空拍)。 (2) 有雲：由最後一筆水位數據，透過降雨逕流模型推估水位 2. 未來水位：暫無。			暫無。	馬太鞍溪橋泥砂濃度，超過常時狀況10倍
應變組織	縣府開設災害應變中心、林保署成立前進指揮所(花蓮分署)、花蓮分署成立前進觀測所(光復林道16K苗圃)				
警戒發布	預備發布黃色警戒	黃色警戒+CBS簡訊發送[預告通知版]	紅色警戒+CBS簡訊發送[請速撤離版]	紅色警戒+CBS簡訊發送[請速撤離版]	1. 黃色警戒+CBS簡訊發送[預告通知版] 2. 若評估可能潰壩，發布紅色警戒+CBS簡訊發送[請速撤離版]
疏散撤離 手段	建議縣府開設災害應變中心	1. 完成避難收容處所開設前之空間物資人員整備 2. 呼籲民眾遠離河道	啟動強制疏散撤離	啟動強制疏散撤離 (若潰壩，洪水70分鐘抵達馬太鞍溪橋)	1. 呼籲民眾遠離河道 2. 啟動強制疏散撤離