114 年 7 月雲林縣古坑鄉草嶺堰塞湖事件初勘報告

應用地質組 謝有忠、蘇祐鼎、劭昀霆

1. 災情簡述:

丹娜絲颱風今年（2025）7 月 6 日從台灣西部登陸，侵襲本島期間對雲嘉南地區造成嚴重影響，後續環流引發 7 月 8 日豪雨事件也造成雲林草嶺堀坐山(圖 1)再次發生山崩事件，且大量土石堰塞清水溪河道形成草嶺堰塞湖。持續降雨影響，草嶺「堰塞湖」並於 7 月 9 日傍晚自然溢流。

圖 1. 0708 豪雨事件引發草嶺堀坐山山崩事件，大量土石堰塞清水溪河道形成草嶺堰塞湖，堰塞壩體已發生自然溢流，拍攝時間為 7 月 11 日。

節錄新聞報導：「雲林縣草嶺崛畚山一帶土石滑落，造成土石堆積清水溪河道，形成積水約 100 公尺長的堰塞湖。水利署第四河川分署 7/8 傍晚接獲通報，指草嶺村清水溪上游有堰塞湖，經查清水溪橋水位站於 20 分鐘內水位下降 1.2 公尺，應是上游的水減少，才會明顯下降，證實清水溪流確實被土體崩落阻斷，形成堰塞湖後，立即成立應變小組，今（9）日上午與古坑鄉公所、開口廠商前往勘查，研擬後續處置作為。經現場調查初步研判，堰塞湖壩體高度 60 公尺、壩長 320 公尺、壩體體積約 215 萬立方、蓄水量約 2245 萬立方、蓄水面積約 62 公頃，經保守估計 1 小時潰決情境，平均流量約 6200cms，約清水溪治理計畫 20 年重現期距流量，未達清水溪警戒水位。」(7/9 古坑草嶺堰塞湖變胖變高 四河署發潰決警示,今日新聞; 7/9 清水溪草嶺段再現堰塞湖！恐潰堤釀災示警 3 縣市, 聯合)、「草嶺村長陳兵通今（10）日指出，昨天山區雨勢很大，阿里山系土石隨著溪水而下流進堰塞湖，昨天下午 5 點 20 分左右堰塞湖

水位上升滿過壩堤溢流，今天仍持續溢流中，根據以前幾次經驗，自然溢流幾天後就會消失。」(7/10 草嶺「堰塞湖」已自然溢流 專家：與 1979 年類似應維持不久,自由時報)

2. 地質概況:

草嶺位於台灣中部雲林縣東南方，恰處雲林、嘉義、南投三縣交界(圖 2)。主要水系為屬濁水溪流域之清水溪，清水溪在本地區以東西方向橫切，通過草嶺地區後即北轉匯入濁水溪。本地區海拔高程約從 400 至 1300 m 之間。草嶺山崩範圍北起堀坌山(草嶺山)海拔 1,234 m，約東西向之稜線，往南延伸至清水溪河床，崩塌影響範圍達 7 km^2。本區域出露的地層有上新世的桂竹林層大窩砂岩段、錦水頁岩，及更新世的卓蘭層(Hsu and Leung, 1977; Huang et al., 1983; Liu et al., 2004)，大窩砂岩段岩性以灰色至淡灰色厚層泥質砂岩為主，並間夾薄層灰色頁岩及砂頁互層，錦水頁岩以青灰色砂質或緻密之頁岩為主，偶夾薄層砂岩，卓蘭層則以半灰色厚層泥質砂岩，間夾頁岩或粉砂岩。其中卓蘭層與錦水頁岩為草嶺山崩範圍中分佈之主要地層，也是本地區歷次山崩主要之土石來源，這些岩層受區域構造作用而產生斷層與褶皺，草嶺背斜與九芎坪向斜分別分布於山崩範圍東西兩側，另北側則有內磅斷層及東側石古坪斷層通過。這些以砂岩、頁岩等岩性組成的範圍，受這些地質構造作用，形成本區域典型的順向坡地形，加上從坡腳橫切而過之清水溪侵蝕作用影響，造就草嶺數次大型山崩紀錄(Hsu and Leung, 1977; Huang et al., 1983; Hung et al., 2002; Chigira et al., 2003; Chen et al., 2006; Tang et al., 2009; Lee, 2011)。

草嶺地區地形上屬於順向坡地形，且坡面岩性組成以頁岩風化等因素，因而在地震、颱風和豪雨等外來因素誘發下，發生多次大規模山崩，發生年代分別為西元 1862、1898、1941、1942、1951、1979、1999 年等(Hsu and Leung, 1977; Huang et al., 1983; Hung, 2000; Hung et al., 2002; Chigira et al., 2003; Chen et al., 2006; Tang et al., 2009; Lee, 2011)，其中 1862、1941、和 1999 年為受地震所誘發，前兩次地震事件地震規模分別為 6 至 7 及 7.1，1999 年 9 月 21 日發生地震規模 7.3、震矩規模達 7.6 之集集地震，其餘則為連日豪雨事件所引發，事件之雨量累積都達 600 mm 以上(Chen et al., 2006)；歷次崩塌所滑落土石岩屑，體積約為 0.026 - 0.126 km3(Chen et al., 2006; Lee, 2011)，這些崩塌土石岩屑多形成 70-170 m 高的天然壩而堰塞清水溪河道，不僅崩塌鄰近區域之草嶺聚落受災，而清水溪下游地區亦因

後來天然壩之潰決而屢受災害，過去數次災害情境也成為大型山崩研究的重要案例(Tang et al., 2009; Chang et al., 2013; Dong et al., 2013; Chen et al., 2014a; Yang et al., 2014; Kuo et al., 2015)。圖 3 為鳥瞰草嶺地區空拍照片(2008 拍攝)，其中 1999 年集集地震事件前，崩塌頭部範圍已出現 V 形崩崖特徵 表示此崩塌已有滑動徵兆(Chigira et al., 2003)，當集集地震發生時，使得草嶺地區再度發生大規模岩層滑動與土石崩落，造成該崩塌面形成一大範圍的裸露面，而後受地層累積地下水湧出與地表逕流於該崩塌面不斷沖刷，其崩塌面開始因侵蝕作用下切出蝕溝的痕跡，至 2012 年坡面岩盤已可觀察到明顯受侵蝕下切作用之蝕溝發育，而此坡面主要分布的卓蘭層砂岩和錦水頁岩，層界也可從地形顯著落差處看出，圖 3 左側可見卓蘭層砂岩層面，說明草嶺地區為明顯的順向坡地形，而坡面上半部為卓蘭層，下半部為錦水頁岩，春秋斷崖為地形上顯著的地貌特徵，也是前述兩岩層最明顯的交界處，此斷崖也受到侵蝕作用影響，崖面因砂岩陸續崩落而使崖面線持續北移，這些地貌特徵顯示本區域多受到強烈的侵蝕作用影響。

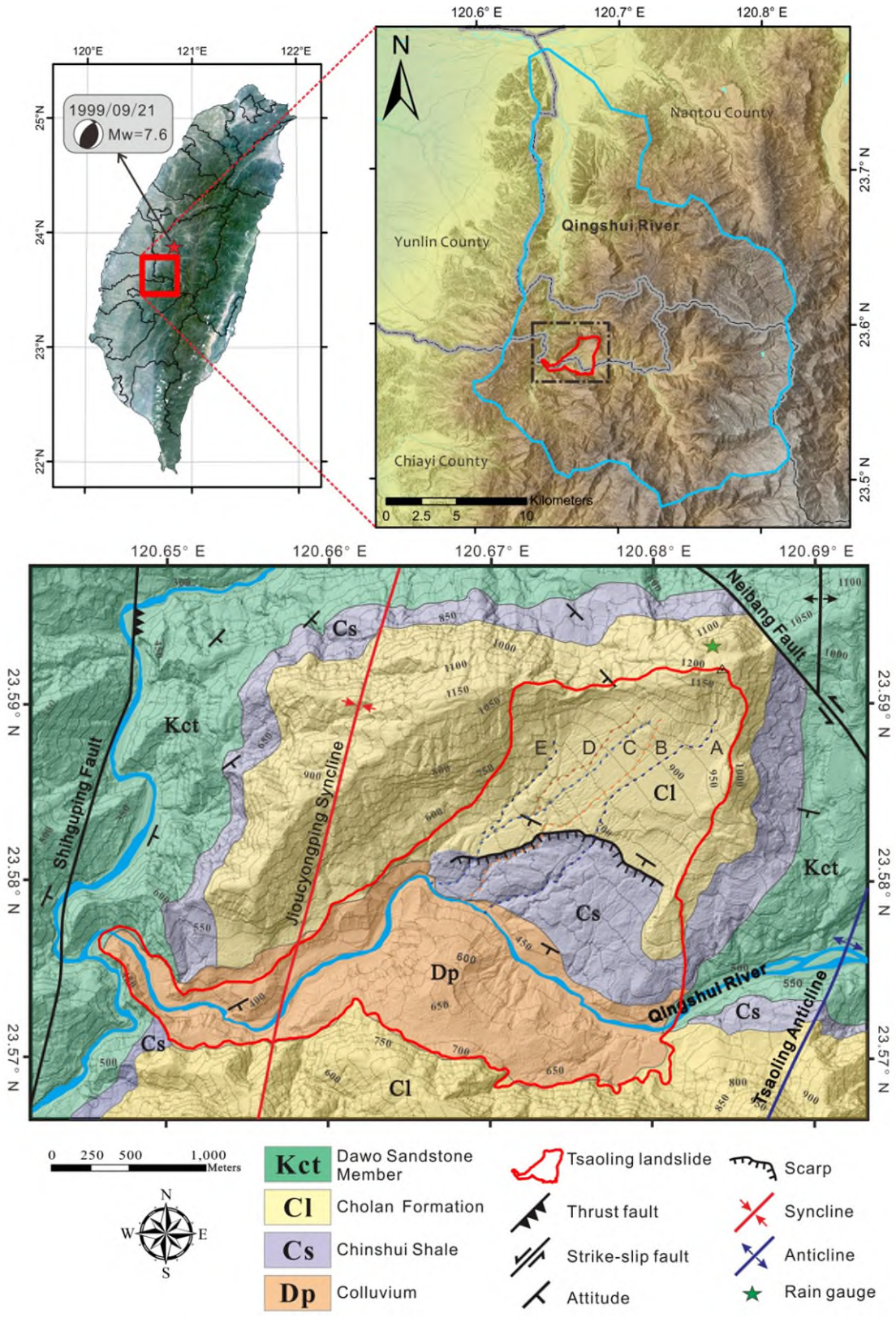

圖 2. 草嶺地區位置及地質圖。上圖為臺灣與清水溪流域相對位置分布圖，上左圖紅色星號為 1999 年 Mw7.6 集集地震震央位置(Chen et al., 2006)，下圖為草嶺地區地質圖，紅色框線為草嶺山崩的主要分布範圍。(謝有忠, 2016)

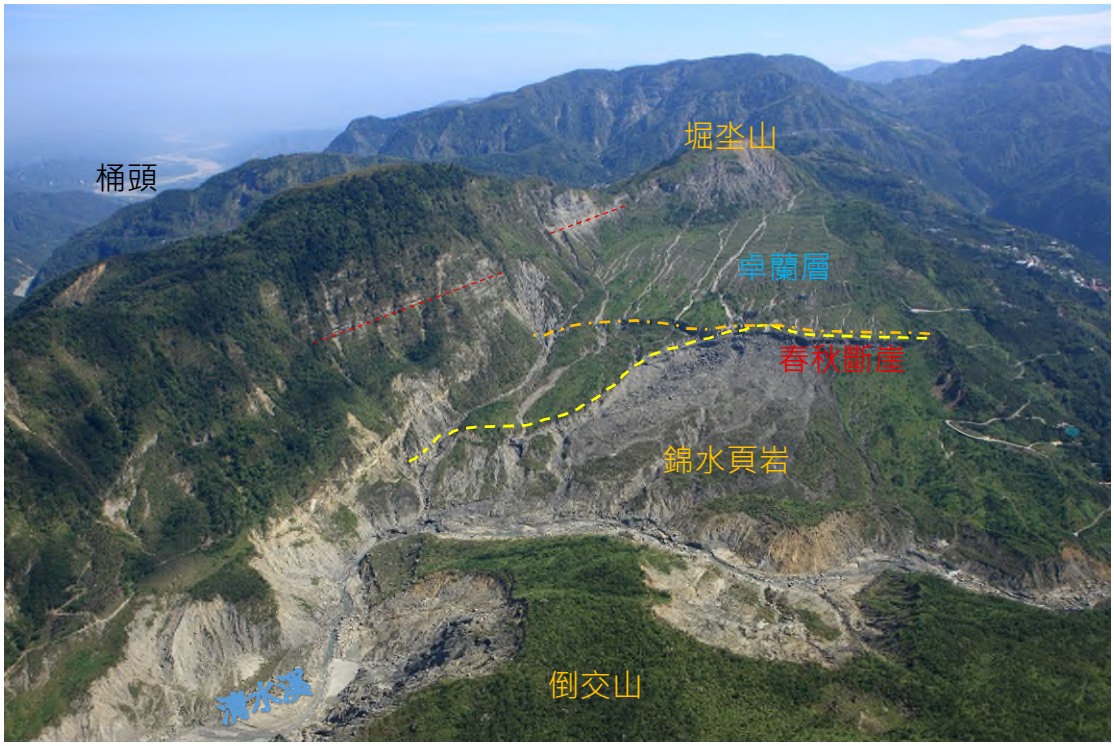

圖 3. 草嶺山崩地區空拍照片。春秋斷崖與黃色虛線段為卓蘭層與錦水頁岩的分界線，左側紅色虛線段為卓蘭層層面，顯示草嶺山崩為點形順向坡地形，崩塌坡趾受清水溪侵蝕。照片來源:經濟部中央地質調查所，易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置。

表 1. 草嶺堰塞湖事件紀錄。

發生時間	**1862**	**1941/12/17**	**1942/08/10**	**1979/08/15**	**1999/09/21**	**2025/07/08**
觸發事件	地震 (M_L=6-7)	地震 (M_L=7.1)	降雨	降雨	地震 (M_L=7.3)	降雨
推估體積 (Mm^3)	-	100-150	150-200	5	126	2.2
霸高(m)	-	70-140	170	90	50	60
阻塞長度 (m)	-	>2,000	>2,000	>2,000	>2,000	1,500
畜水量 (km^3)	-	0.15		0.04	0.045	0.022
潰決時間	1898	1951/05/18		1979/08/24	2004/06/30	2025/07/09
災害影響	-	36 死亡，下游洪泛災害		下游洪泛災害	36 死亡，下游洪泛災害	

3. 初步判釋與調查

0708 豪雨事件引發草嶺堀坐山山崩事件，由下游清水溪橋水位資料研判，約 7 月 8 日傍晚 19 時前，山崩事件致使大量土石滑落，進而堰塞清水溪河道形成草嶺堰塞湖，再由鄰近地區雨量站資料，7 月 9 日當日 8 時起持續降雨，草嶺堰塞湖湖水已近滿庫逐漸溢流，下游清水溪橋水位有上升趨勢，再由 7 月 9 日當日 18 時起，水位突然驟升，表示堰塞霸體已發生自然溢流，此狀況與本次現調詢問當地民眾表示約下午 17 時後即可看見堰塞壩體有大量水流流經，可以相互對應(圖 4)。

過去本中心歷年曾以空載光達技術進行地形測製及航拍資料，包括 100 年 7 月、101 年 9 月、104 年 12 月及 106 年 12 月，並以粒子影像測速技術 (Particle Image Velocimetry, PIV)進行時序性活動性評估，可發現草嶺崩塌坡面下半部錦水頁岩分布範圍，已有明顯活動徵兆(圖 5)。利用 4 期多時序地形資料進行河床高程分析(圖 6)，已發現清水溪河床已出露砂岩露頭，初步推論有可能桂竹林層大窩砂岩段，且清水溪河道出現明顯遷急點，會致使草嶺坡面順向坡地形出現見光現象，且遷急點也一直往上游移動，也會讓見光影響的範圍擴大。另對照過去草嶺崩塌事件的地形剖面(圖 7)，加入本中心 106 年 12 月地形資料，確實可見清水溪河床已下切侵蝕至桂竹林層大窩砂岩段。可推論草嶺地區極有可能再出現如同 1979 年主要為錦水頁岩範圍所引發的崩塌事件。

經現場調查後，主要崩塌範圍如圖 8 所示，崩塌主要地層為錦水頁岩及部分卓蘭層砂岩，使得春秋斷崖直接延伸至西側山體，橫貫整個草嶺順向坡面(圖 3、圖 8 橘色線段)，斷崖以上為卓蘭層，以下則為錦水頁岩，崩塌範圍西側清水溪河道可見明顯錦水頁岩出露，約位於堰塞壩體出口處位置(圖 9)。崩塌後所形成之堰塞壩中，經溢流後所留下壩口位置，出露經崩塌活動後之灰黑色錦水頁岩岩塊，另可見堰塞壩體表面上出現砂岩及頁岩殘塊(圖 10)。而崩塌範圍所見之地質材料約位於崩塌範圍西北側，可見崩塌表面部分殘留風化土、頁岩岩塊及部分砂岩塊，崩塌崩崖為本次卓蘭層崩落後所留下之崩崖，崩崖下方散落卓蘭層砂岩岩塊，活動體及壩體部分主要為錦水頁岩，滑動體上覆植被則受活動影響而傾倒(圖 11)。壩體上游東側約 500 至 1000 公尺處之河道仍可見堰塞水流，圖 12 可見植被受蓄水後消退影響而伏倒，以及蝕溝水流處可見錦水頁岩出露，也是清水溪已下切至錦水頁岩之露頭證據(圖 12)。往清水溪上游遠眺，可見本次堰塞後水流阻塞可至鄰近水濂洞瀑布附近，河床中可見堰塞湖水流消退後所留之沉積痕跡(圖 13)。

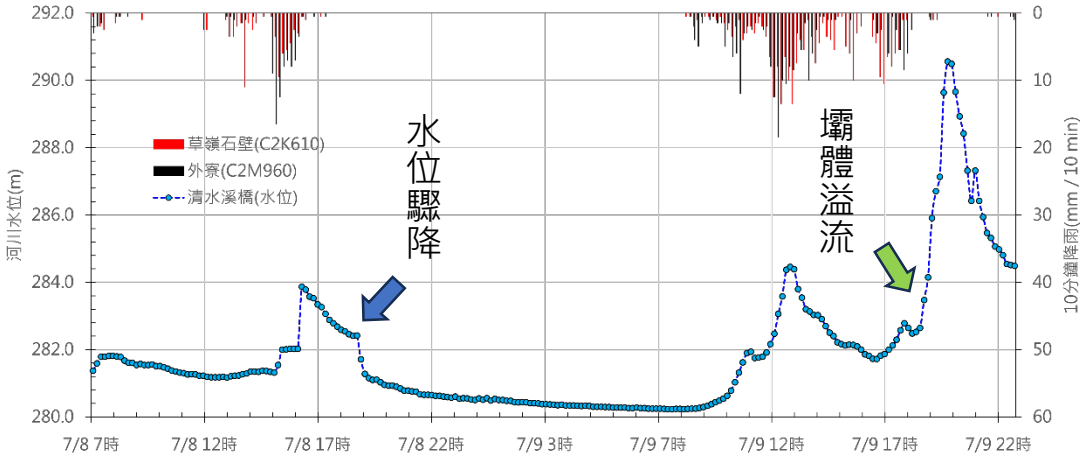

圖 4 鄰近草嶺地區 7 月 8 日至 7 月 9 日雨量及水位資料分布。(國立成功大學防災研究中心提供)

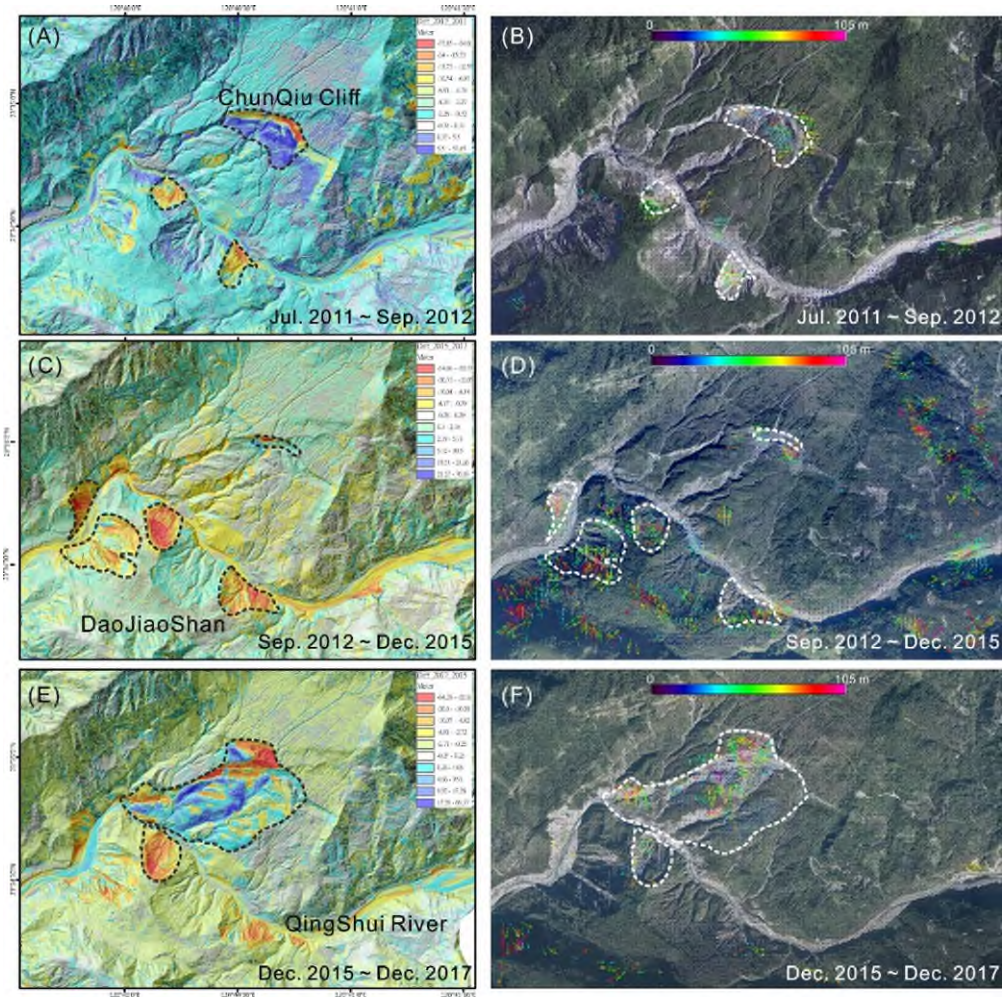

圖 5 以 100 年 7 月、101 年 9 月、104 年 12 月及 106 年 12 月等 4 時期，利用空載光達技術所獲地形資料產製坡度圖以及航拍正射影像，進行 PIV 活動分析。

圖中可見草嶺崩塌坡面下半部錦水頁岩分布範圍，已有明顯活動徵兆。

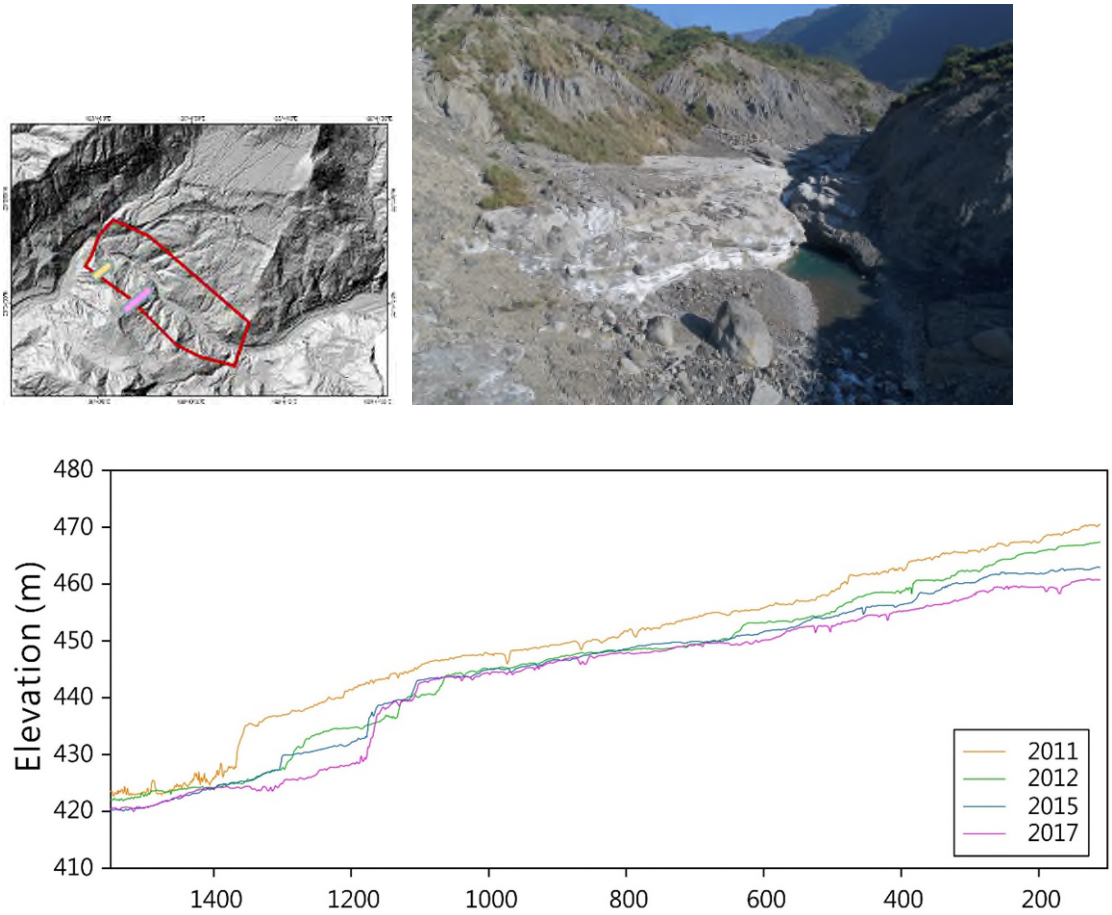

圖 6. 利用本中心 4 期多時序地形資料進行河床高程分析，已發現清水溪河床已出露砂岩露頭，初步推論有可能桂竹林層大窩砂岩段，且清水溪河道出現明顯遷急點，會致使草嶺坡面順向坡地形出現見光現象，且遷急點也一直往上游移動，也會讓見光影響的範圍擴大。

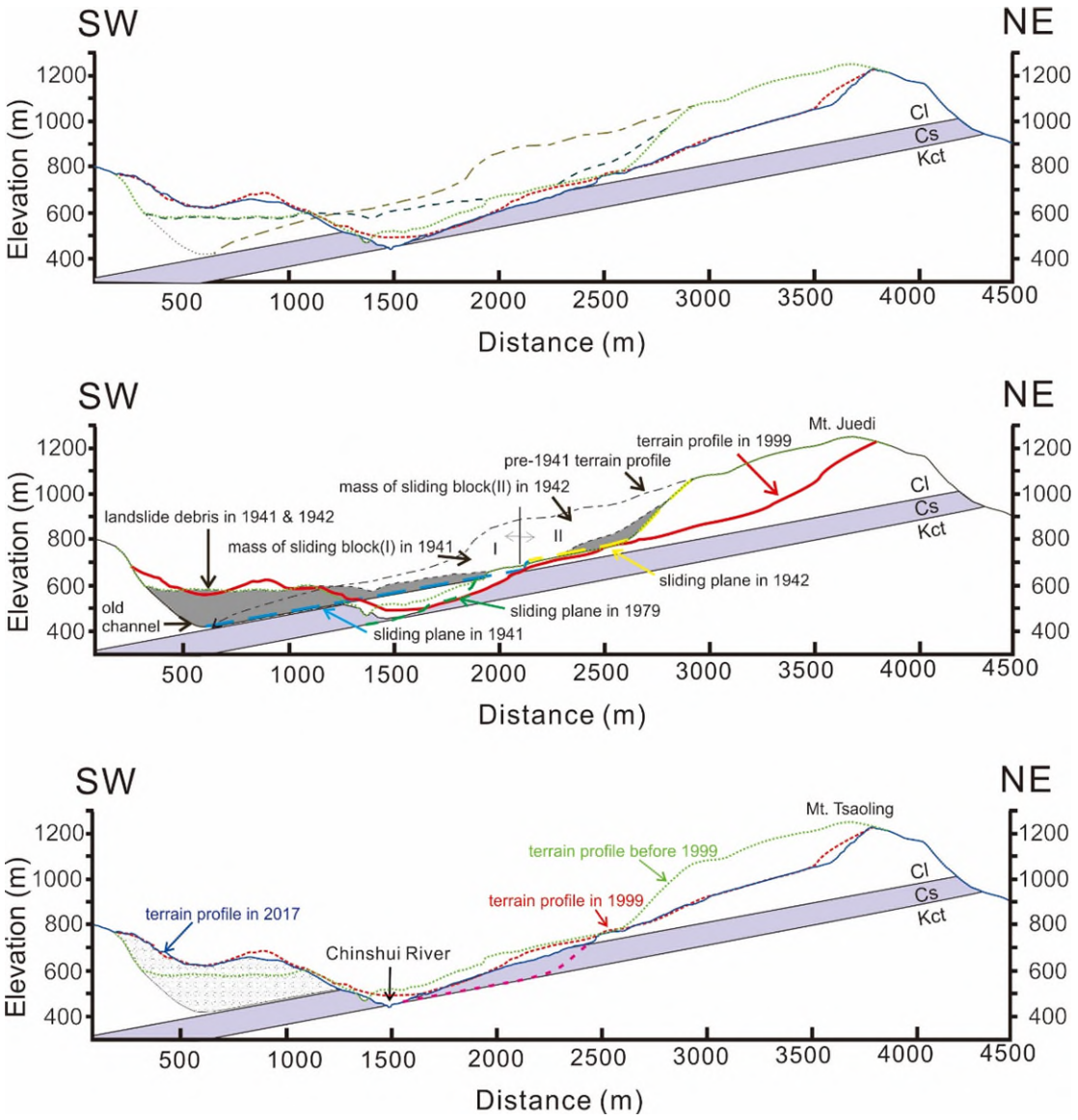

圖 7.比對歷年草嶺崩塌事件之地形剖面圖，並加入本中心 2017 年測製之地形剖面圖，顯示清水溪河床部分以下切侵蝕至桂竹林層大窩砂岩段。(修改至 Tang et al., 2009 ；Lee, 2011)

圖 8. 自嘉義梅山鄰近海鼠山附近遠眺草嶺山崩，紅色框線為本次豪雨事件引發草嶺山崩之範圍，

圖 9. 遠眺堰塞壩趾下游端(西側)，可見出露之新鮮錦水頁岩。

圖 10. 堰塞壩中較灰黑色之錦水頁岩岩塊，左圖可見經崩塌後錦水頁岩岩塊，右圖可見堰塞壩上出現砂岩及頁岩殘塊。

圖 11. 崩塌範圍所見之地質材料，左上圖約位於崩塌範圍西北側，可見崩塌表面部分殘留風化土、頁岩岩塊及部分砂岩塊，右上圖為本次卓蘭層崩落後所留流之崩崖，崩崖下方散落卓蘭層砂岩岩塊，左下為堰塞壩體部分，主要為錦水頁岩，崩塌範圍滑動體上覆植被受影響而傾倒，右下圖為本次卓蘭層崩落後之主崩崖(春秋斷崖)近照。

圖 12. 遠眺草嶺堰塞壩上游東側約 500 公尺處之河道，河道仍可見堰塞湖水，圖左可見植被受蓄水後消退影響而伏倒，圖右蝕溝水流處可見錦水頁岩出露，也是清水溪已下切至錦水頁岩之露頭證據。

圖 13. 往清水溪上游遠眺，左圖約可見本次堰塞後水流阻塞可至鄰近水濂洞瀑布附近，河床中可見堰塞湖水流消退後所留之沉積痕跡，右圖為堰塞湖水流消退後所留之沉積痕跡。

參考文獻:

Hsu, T.-L., Leung, H. (1977), Mass movements in the Tsaoling area, Yunlin-Hsien, Taiwan, *Proceed. Geol. Soc. China, 20*, 114-118.

Huang, C.-S., Ho, H., Liu, H. (1983), The geology and landslide of Tsaoling area, Yunlin, Taiwan, *Bull. Cent. Geol. Surv., 2*, 95-112.

Hung, J.-J., Lee, C.-T., Lin, M.-L. (2002), Tsao-Ling rockslides, Taiwan, *Reviews in Engineering Geology, 15*, 91-116, doi: 10.1130/REG15-p91.

Chigira, M., Wang, W.-N., Furuya, T., Kamai, T. (2003), Geological causes and geomorphological precursors of the Tsaoling landslide triggered by the 1999 Chi-Chi earthquake, Taiwan, *Eng. Geol., 68*(3–4), 259-273, doi: 10.1016/s0013-7952(02)00232-6.

Chen, R.-F., Chang, K.-J., Angelier, J., Chan, Y.-C., Deffontaines, B., Lee, C.-T., Lin, M.-L. (2006), Topographical changes revealed by high-resolution airborne LiDAR data: The 1999 Tsaoling landslide induced by the Chi–Chi earthquake, *Eng. Geol., 88*(3–4), 160-172, doi: 10.1016/j.enggeo.2006.09.008.

Tang, C.-L., Hu, J.-C., Lin, M.-L., Angelier, J., Lu, C.-Y., Chan, Y.-C., Chu, H.-T. (2009), The Tsaoling landslide triggered by the Chi-Chi earthquake, Taiwan: Insights from a discrete element simulation, *Eng. Geol., 106*(1–2), 1-19, doi: j.enggeo.2009.02.011.

Lee, C.-T. (2011), Geomorphological Evolution and Geology of the Tsaoling Rockslide, *J. Chinese Soil Water Conserv., 42*(4), 63-73.

Chang, K.-J., Taboada, A., Chan, Y.-C. (2005), Geological and morphological study of the Jiufengershan landslide triggered by the Chi-Chi Taiwan earthquake, *Geomorphology, 71*(3-4), 293-309, doi: 10.1016/j.geomorph.2005.02.004.

Dong, J.-J., Yang, C.-M., Yu, W.-L., Lee, C.-T., Miyamoto, Y., Shimamoto, T. (2013), Velocity-displacement dependent friction coefficient and the kinematics of giant landslide, In K. Ugai, H. Yagi, & A. Wakai (Eds.), *Earthquake-Induced Landslides: Proceedings of the International Symposium on Earthquake-Induced Landslides, Kiryu, Japan, 2012* (pp. 397-403). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Chen, T. C., Lin, M. L., Wang, K. L. (2014a), Landslide seismic signal recognition and mobility for an earthquake-induced rockslide in Tsaoling, Taiwan, *Eng. Geol., 171*, 31-44, doi: j.enggeo.2013.11.018.

Yang, C.-M., Yu, W.-L., Dong, J.-J., Kuo, C.-Y., Shimamoto, T., Lee, C.-T., Togo, T., Miyamoto, Y. (2014), Initiation, movement, and run-out of the giant Tsaoling landslide — What can we learn from a simple rigid block model and a velocity–displacement dependent friction law?, *Eng. Geol., 182, Part B*, 158-181, doi: j.enggeo.2014.08.008.

Kuo, C.-Y., Chang, K.-J., Tsai, P.-W., Wei, S.-K., Chen, R.-F., Dong, J.-J., Yang, C.-M., Chan, Y.-C., Tai, Y.-C. (2015), Identification of co-seismic ground motion due to fracturing and impact of the Tsaoling landslide, Taiwan, *Eng. Geol., 196*, 268-279, doi: j.enggeo.2015.07.013.

謝有忠 (2016), 以多期數值地形資料評估山崩區及河道地形之變遷, 國立臺灣大學理學院地質科學研究所博士論文, 160 頁。