

車籠埔斷層保存園區槽溝崩坍歷史事件回顧

文·圖／鍾令和、李信和

摘要

今(2017)年 6 月 27 日發生竹山槽溝北牆的崩坍事件，本文整理過去 4 年之中所發生的槽溝崩塌事件，藉由分析雨量、地下水與邊坡角度，探討崩坍事件的發生原因與可能崩坍的量體。歸咎最大的肇因是超大強降雨所帶來的水量，造成地下水面上升，誘發邊坡的不穩定，進而產生崩坍。有效的控制地下水面的升降、減少淺層地下水的存在，可能是延長竹山車籠埔斷層槽溝使用年限的主要方法。

關鍵詞：竹山槽溝、邊坡破壞、地下水、極端降雨、車籠埔斷層

對於地震與活動斷層研究來說，開挖槽溝幾乎是唯一一種可以得知前一次大地震發生的時間與地震有沒有週期性等等重要資訊的手段，尤其是在只有 400 年歷史地震紀錄的臺灣。除了一部分的考古遺址（如兵馬俑）之外，絕大部分槽溝在相關研究完成後會就地掩埋起來。然而為了推廣地震與地球科學教育，在集集地震發生 13 年之後重新開挖竹山槽溝，並於 2013 年 5 月起成為本館教育機構之一。由於 8 公尺深的開挖面並非穩定的自然狀態，難免會發生崩坍事件，最近的一次是今年 6 月 27 日發生（圖 1）。本文整理過去 4 年之中所發生的槽溝崩坍事件，並討論其發生原因。

車籠埔斷層保存園區於 2013 年開館的第一個月適逢梅雨季，槽溝就曾發生一系列小規模崩坍事件，其崩坍範圍都在數公尺之內（圖 2）。最初是在槽溝南牆與槽溝底部的第 4 階的崩坍，經在周圍設置導水端設施後，至今都未再發生新事件。只有槽溝北牆的崩坍，從最初的小崩坍，在兩周後持續擴大，演變成更大範圍的崩坍。為了防止崩坍擴大，緊急利用磚頭搭建臨時的護坡牆，但 8 月底與 12 月仍在相同的區域產生更大的新崩坍，並且一併摧毀擋土措施。再修復之後，在 2015 年與 2016 年仍在北牆各發生一次崩坍。在無法有效遏止崩坍的情況之下，本區段槽溝最後利用水泥化加固形成護岸（圖 2）。不同於以往，今(2017)年 6 月 27 日北牆斷層線附近出現 1.6m×1m 小範圍崩坍。最初僅在崩坍的頂部出現連續的裂隙，底部土層軟落並滲水，經約半天的時間，頂部裂隙則擴大到約 20 公分。於是，跟上次一樣再建臨時的護坡牆。

從學理上來說，引發邊坡破壞（崩坍）需要 3 個必要條件：鬆軟的材料、邊坡的坡度大與充足的水量。由以往的事件可以發現：崩坍都發生在斷層下盤鬆軟的厚層粉砂層，上盤的礫石層則未曾發生過。進一步分析坡度的差異後，在斷層附近以 60 度傾斜坡取代垂直的牆面，以降低崩坍發生的可能性。從過去的崩坍事件得知，邊坡角度幾乎垂直（約 80 度），崩坍區頂部的寬度約 1 公尺，是邊坡高度的 1/2-1/3 倍，為典型的圓弧形邊坡破壞，常發生在均質的材料中（圖 3）。如圖 3 右上圖所示，相同的圓弧破壞面在兩個邊坡所產生的破壞的面積差異很大。由於邊坡的傾斜角度較大，本次崩坍的量體較小，崩坍頂的高度約 1 公尺，也僅達到第二階的一半。

本次崩坍的範圍雖小，但該處為槽溝重點展示區，無法利用水泥強化，也沒有空間進行整修。所以朝向影響崩坍發生的第三個原因（充足的水量）來解決問題。就雨量紀錄來看，可以發現崩坍發生的時間與當月的雨量高度相關（圖 4），而大型崩坍發生之前的一個月內幾乎都可以找到單日極端降雨事件。在今(2017)

年的崩坍發生的 24 天前(6/3)，園區面臨開館以來最大的極端降雨事件，單日雨量達到 398mm，2013 年的大規模崩坍是因累積的雨量更多所致。雨水滲入土中除了增加重量之外，也降低土壤的強度。今年崩坍後，我們在北牆挖了五口探井，最高地下水水位面曾經達到僅離地表 1 公尺左右。在 2013 年的崩坍事件中，也曾發現過有水直接從接近裂隙的頂部湧出。這兩個證據皆暗示，暴雨過後北牆的地層中可能含有大量的水。

我們從北牆探井的土層樣本中也發現，乾燥的土壤與含飽和水的土壤，其強度差異非常大。所以，只要將土層中的水分移除，軟土層就會變硬，強度就會增加，崩坍也就不會擴大。爲了要強制土層排水，7 月中搶工完成的抽水設施，使用的第二天便抽出約 2.5 噸的地下水，北牆的牆面馬上不滲水了，並呈現乾燥現象（圖 5），此後北牆排水系統就沒有收集到任何地下水的滲出。在持續抽水的情況下，地下水水面以每天 5 至 10 公分的速度下降。由地下水水面下降的速率我們可以推論，北牆的淺部地層中存在一水平的不透水層，導致地下水的流動相當緩慢。這也解釋了何以當初部分鑽井底的土層樣本呈現乾燥狀態，顯示當時土層中的水因爲不透水層阻隔而延遲，尚未下滲到那個深度。

從防堵到導水的策略，讓筆者連想到大禹治水的故事。帝堯令大禹之父—鯀治水，鯀在岸邊設河堤，但水卻越淹越高，歷時 9 年未能平息洪水災禍。而大禹改變了治水方法，以疏濬爲主，花 13 年的時間疏通了九河，消除中原洪水氾濫的災禍。今年暑假，臺灣歷經 5 次颱風事件，颱風所帶來的雨量都造成北牆槽溝地下水水位變化，顯示強降雨事件會造成地下水水位快速上升，但經抽水後，水位會迅速在 3 至 5 天內回復。5 月份的崩坍事件肇因於水位上升後並未有效排水，使得滲透速率很低的土層持續二十幾天在地下水水位面吸飽水才造成本次崩坍的發生。回過頭來看，第一次大規模崩坍(2013/8/30)也是在 10 天之內有兩次颱風過境後發生的（8/21 潭美颱風與 8/30 康瑞颱風）。這次的崩坍是在強降雨之後的二十幾天才發生。最有可能的原因是在經歷 2013 年大規模崩坍之後，本館員工非常努力興建許多防水措施，使得地下水的侵入速度減緩。可惜的是僅僅只是延緩，並無法有效阻擋地下水的流入。期望在本次事件後所完成的抽水系統將更有效減少淺層地下水，使得不穩定的竹山槽溝可以延長使用年限。

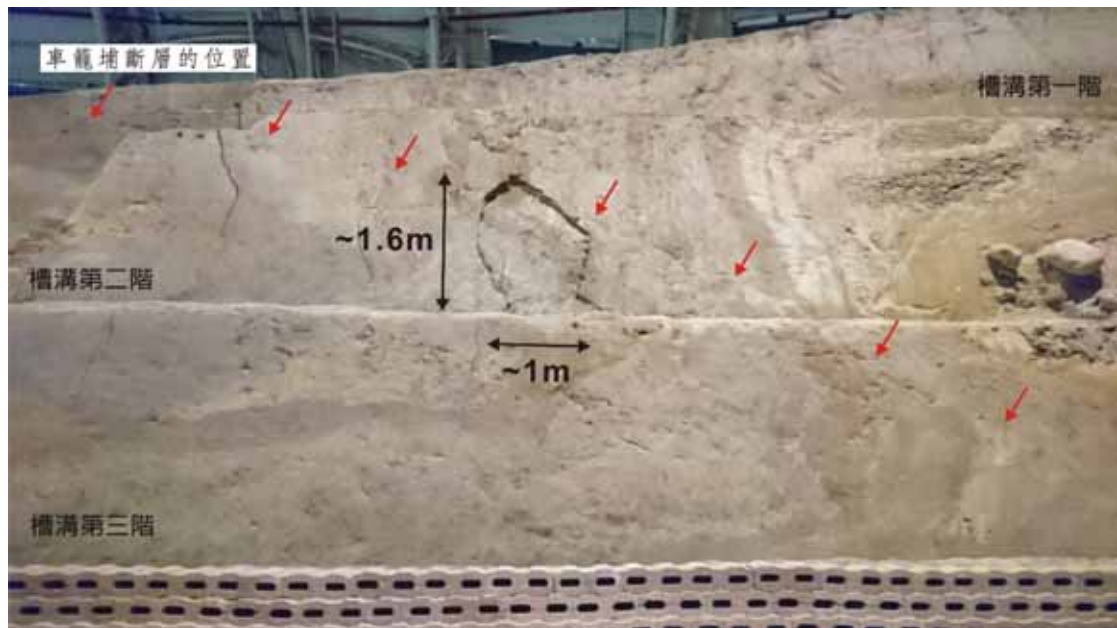


圖 1. 今年 6/27 槽溝北牆所發生的崩坍事件



圖 2. 竹山槽溝至今所發生的崩坍事件整理

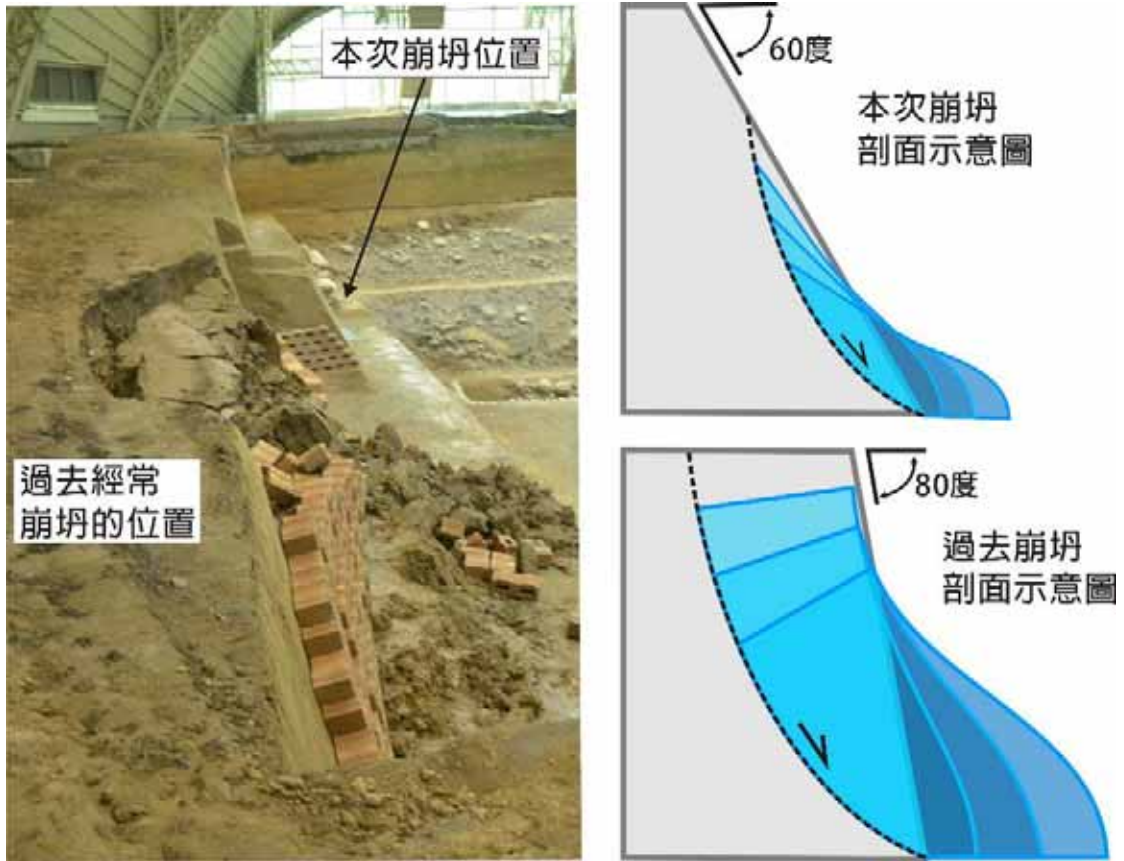


圖 3. 左圖：2013/9/2 崩塌現場與今天崩塌的相對位置圖。右圖為兩次崩塌的剖面示意圖。



圖 4. 2013 年至今竹山槽溝月雨量紀錄(紅色字體標示極端降雨事件單日雨量)

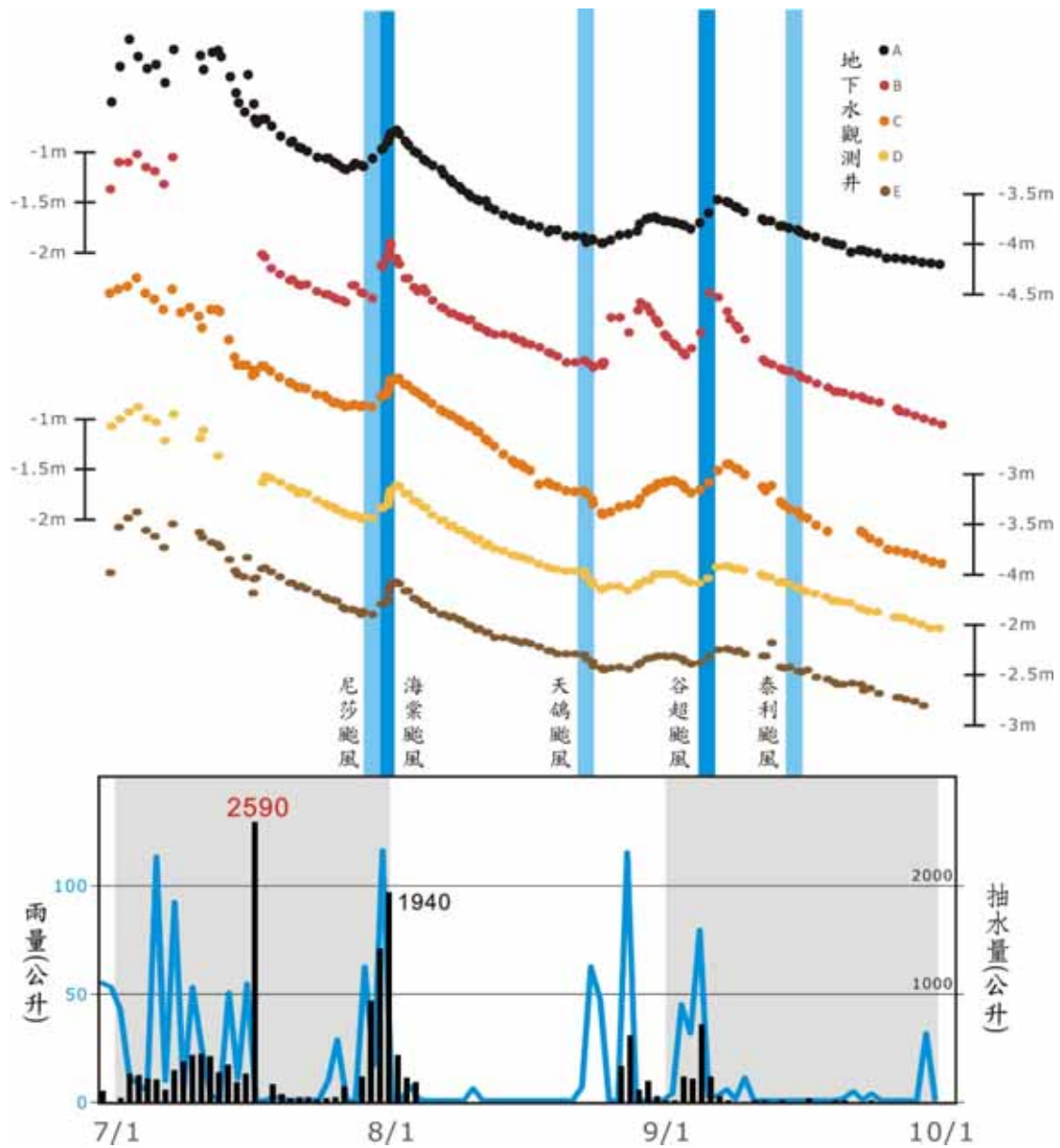


圖 5. 上圖：7-9 月五口觀測井的地下水位變化；下圖：7-9 月的竹山降雨量與槽溝中抽水量的比較。