地質構造與邊坡破壞相關之研究

摘　要

經過幾個月的研究，我們一路上發現許多的化石，例如砂棒、螃蟹還有牡蠣……，有大小不一的山崩跟河流侵蝕的痕跡，有看到因地動導致路面滑動而產生高低落差，也有去探索兩處河谷，分別是濁水溪橋下方和墘仔寮橋下方的八掌溪上游支流。研究結果發現：

一、研究區域範圍內都是砂頁岩互層，也有發現不少的化石。159 甲沿線公路的內側有許多大小不一的崩塌，崩塌為此研究區域的特徵。

二、影響邊坡破壞的因素有降雨、地震、地質構造、人為因素等。其中降雨是重要影響，每一年的豪大雨總是會造成山區崩塌事件，不能不提防。地震因素也是影響至鉅的因素，但是地震很難預測，唯有平常就做好準備。地質構造不分，本研究區裡的砂頁岩互層，很多地方層面都接近垂直，可見擾動很大，其他如坡度陡、節理發達、風化劇烈、小斷層與摺皺等也分佈在各岩層的結構中。從專家的調查研究裡，曾提到這裡的岩層破碎，對邊坡的破壞更是不利，因此未來只有做好水土保持和多留意氣象預報，隨時做好準備，才能確保安全。

壹、研究動機

國三時，參加學校社團舉辦的戶外教學，在 159 甲縣道途中，我們看到大小不一的崩塌，也有下到兩條溪流，第一條是位在濁水橋下的八掌溪支流，溪床上，有許多的化石，例如砂棒、螃蟹還有牡蠣……，第二條則是位於墘仔寮橋下的八掌溪支流，我們站的位置是河川上游的河床上面，我們看到很多大的石頭，我們看到南邊靠近公路，長了許多的茅草，北邊是一個峭壁，它是崩塌還有侵蝕形成的，這裡的岩層是砂岩跟頁岩互層，露頭的層面是接近垂直，砂岩的層面有厚有薄，沿著層面一直往上，很明顯地看到地層是傾斜的排列。

本研究與課程的關聯是國中三年級，南一版自然與生活科技第五冊的第五章「我們身邊的大地」。上課中老師提到地表的地質作用，於是聯想到科展，所以決定對嘉義縣 159 甲縣道進行調查研究。

貳、研究目的　為了瞭解地質構造與邊坡破壞之相關問題，我們針對嘉義縣 159 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線的地質現象，擬定下列幾個問題進行研究。

一、嘉義縣 159 甲大華公路「湖尾至石桌」公路沿線之地質調查二、嘉義縣 159 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線之地質構造特徵為何？三、影響邊坡破壞的因素有那些？

(一) 降雨對邊坡的破壞有影響？

(二) 地震對邊坡的破壞有影響？

(三) 地質構造對邊坡的破壞有影響？

(四) 人為因素對邊坡的破壞有影響？

參、研究設備及器材

傾斜儀、地質槌、木板、量杯、泥土、水、尺、石膏、寶特瓶、捲尺、1000 立方公分的盒子

肆、研究過程一、研究流程圖

圖一 研究流程圖

二、文獻探討

圖二　嘉義縣 159 甲大華公路湖尾至石桌公路路線圖(全長約 28 公里)

蔡光榮、李明熹、陳怡睿、陳筱妍(2017)研究指出，過去 50 年臺灣地區之降雨資料顯示，臺灣地區因瞬間暴雨與超大豪雨等極端降雨事件之致災規模與範圍均大幅增加，伴隨大規模崩塌土砂災害發生。

「山崩」一詞，廣義山崩泛指坡地材料，包含岩石、岩屑及土壤，其受到重力作用，而產生向下運動的現象。同樣物理現象，在土木工程界常被稱之為「坍方」或是「邊坡破壞」；在水土保持界則被稱之為「崩塌」；在地質學界有時被稱之為「崩山」。

山崩運動型態包括有墜落 (falls)、傾覆 (topples)、滑動 (slides)、側滑 (lateral spreads)、流動 (flows)以及複合型運動 (complex and compound)等六類；山崩材料方面則分為岩石 (bedrock)、岩屑 (debris)以及土壤 (earth)等三類。目前國內常用之山崩分類，共分為 6 種。1.落石、2.陡坡崩落、3.弧形崩塌、4. 平面型崩塌、5.弧形滑動、6.平面型滑動。

一般而言，影響山崩的因素不外乎降雨、層面、節理、褶皺、斷層、地震與人為因素等。本研究所指的「邊坡破壞」就是山崩、坍方、崩塌或崩山。

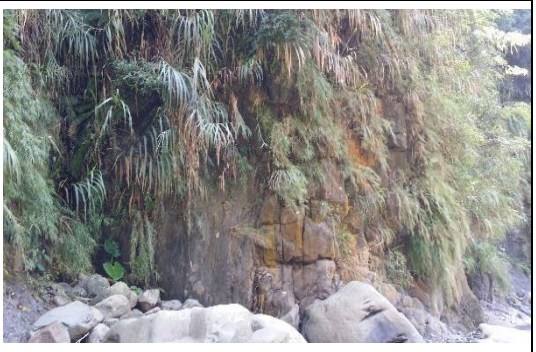
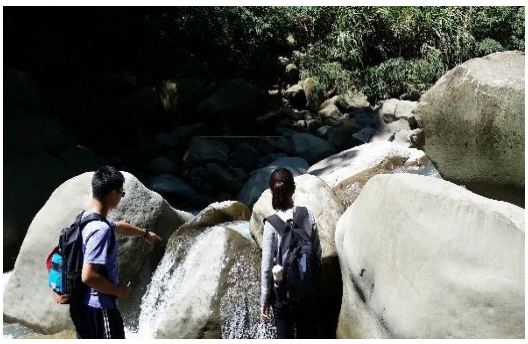
三、研究過程及結果

研究一 嘉義縣 **159** 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線之地質調查

為了釐清地質構造與邊坡破壞之相關問題，我們首先針對嘉義縣 159 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線的地質現象，進行野外地質調查並加以記錄。縣道 159 號 新港－番路，大致呈東西向聯絡嘉義平原與山區，北起嘉義縣六腳鄉蘇厝寮，東至嘉義縣番路鄉菜公店，全長共計 36.641 公里。縣道 159，有一條支線，名為「縣道 159 甲線」，嘉義－石桌，西起嘉義市西區，東至嘉義縣竹崎鄉石桌，又稱「大華公路」，全長共計 45.554 公里，是少數支線比主線還要長的

縣道之一。本研究是節取「湖尾至石桌」這一段，全長約 28 公里。野外地質調查將公路沿線劃分成為 10 個露頭進行研究。分別紀錄如下：

露頭一

八掌溪支流的河床上，佈滿著大小不一的石頭還有茅草。	在此露頭發現了很多波紋，每個波紋的大小不一。
	
北邊是一個峭壁，這裡有崩塌和侵蝕，岩層是砂岩跟頁岩互層，砂岩的層面是接近垂直，且有厚有薄。	此砂岩上面佈滿著許多茅草，支流旁砂岩因擠壓而變塊狀。
	
用傾斜儀測量此層面的垂直傾斜走向。	以人當比例尺判斷石頭的大小，此處多為較大的石頭。

觀察結果討論：

露頭一為砂頁岩互層的沉積環境，層面與地面接近垂直，斜交坡的河岸陡峻而風化嚴重，目前只有小規模的小石子崩落。在此地發現層面有波紋，是早期海底沉積的證明。

露頭二

墘仔寮橋下的河流，較西邊(左圖)的岩層受擠壓而接近垂直。較東邊(右圖)的層面傾斜接近水平。疑似褶皺構造。	
此處位於河岸，是沙，頁岩互層，因受河流侵蝕，岩層傾斜接近垂直，層面凹凸不平	因為河水侵蝕，所以河道轉彎處的石頭沒有稜角
此處中間的石頭受擠壓而碎裂，碎裂大小不均。	用地質垂來判斷被兩側巨石擠壓後巨石中間石頭碎裂大小。

觀察結果討論：

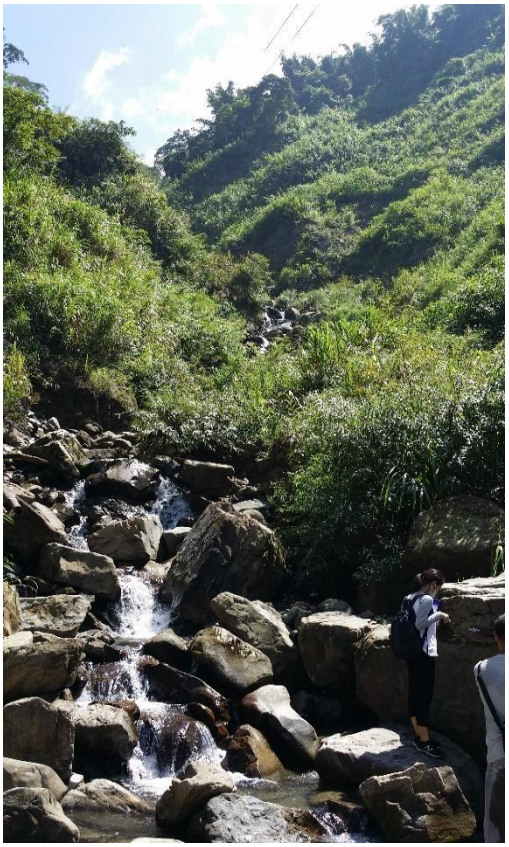
露頭二位於墘仔寮橋東北，河道下切後形成的一處谷地，兩岸受河水侵蝕痕跡很清楚。往東走，砂頁岩互層的下半部分是塊狀砂岩，其中有些擠壓後破裂的節理。

露頭三

利用傾斜儀測量層面測量傾斜走向，得知此層面是北偏東 20 度向西傾斜 82 度。	觀察砂、頁岩，可發現此岩層層面排列與其他地方不同。這是一個背斜構造，照片中凹洞的地方就是軸部。
北偏東 50 度向東傾斜 41 度。	此處都為頁岩。
砂頁岩互層，用筆來做比例尺比較岩層的厚薄，每層的厚度不大。	河谷中石頭大小差異大，大石頭從坡地上方滾落下來。

觀察結果討論：　砂頁岩互層的露頭，為河岸的兩側，風化嚴重，破裂面多，差異侵蝕明顯，凹下去的部分都是頁岩。

露頭四

	
V 字型的河谷，目前水量不大，石頭的稜角都不見了，小石子不多。	此處是砂頁岩互層，砂岩中含有氧化鐵。岩層被河水侵蝕而破裂。
石頭含鐵物質，所以有氧化。露頭面呈圓滑狀，凹下去的是頁岩。	此處地勢較平，溪流上有大小不一的石頭，河岸陡峭。

因擠壓而導致岩層傾斜接近垂直。	位於墘仔寮橋下的八掌溪支流。

觀察結果討論：

河水侵蝕的痕跡，可以從兩岸及河道石頭與河床地層的圓弧型構造得到證明，砂頁岩互層，每一層的厚度都不大。

露頭五

受擠壓的石頭，碎裂後掉落在河道中，且稜角已被磨成圓滑。	位於河道岸邊，此處的砂岩有明顯被河水侵蝕。
砂頁岩互層，頁岩發達，此處為碎屑崩塌，岩層表面大多是頁岩碎屑。	被河水沖刷下來大小不一的石頭，小山溝成 V 字型。

偏西河床有一個露出的砂頁岩互層構造，很明顯差異侵蝕，頁岩凹進去。	崩塌使溪流佈滿大小不一的石頭，兩岸陡峭，崩塌嚴重掉落一歲時居多。

觀察結果討論：　河道較遠處是 V 字型河谷，為一處山溝，兩側坡度在 30~40 之間，目前是穩定狀態，因為山溝兩側的植被長得不錯。河道主流的河按下側是塊狀砂岩。

露頭六

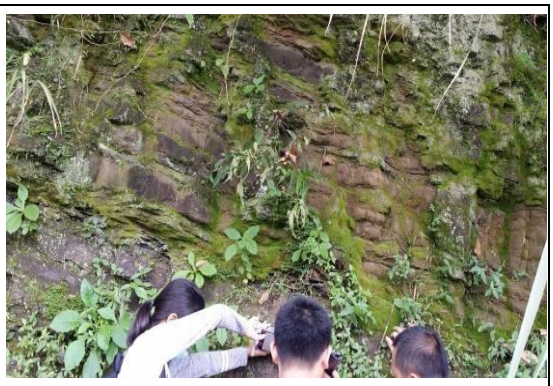
在前仔寮橋旁有一處崩塌，掉落下許多的碎石。	砂岩崩塌下來撞壞了護欄，到道路上，再由人力剷除到道路外。
利用地質槌來比較，因為地震而滑動的路面，高低之落差。	靠此路段的外側下陷約 40 公分，對於行車來說非常得不安全。

用地質鎚來判斷因道路位移而裂開的寬度。	在縣道 159 甲約 41.5 公里處，長約 50 公尺地層裂開落差為 30 公分。

觀察結果討論：

我們野外調查，1~5 的露頭在河谷，這個露頭是在 159 甲公路的一側，就在前仔寮橋附近。橋的南端就是一個崩塌地，看到護欄被撞擊而損壞，可以推測撞擊的力量應該不小，不過現場只剩下一些小石子形成的崖錐。柏油公路旁邊，可以在馬路邊看到裂縫，我們推測，在柏油路下方的地層應該是受到外力的影響產生變動。由於裂隙就發生在公路外側，所以公路下的邊坡的變動，可能是邊坡下陷。

露頭七

	
崩塌掉落下來的砂岩碎裂成大小不一的碎石，且稜角分明。	此處層面因擠壓而凹凸不平，且上面有許多苔蘚類植物。

砂頁岩互層，雖然路頭不明顯，我們還是可以明顯看到侵蝕，有水流過的痕跡。	此地曾經過擾動，道路與擋土牆分離，擋土牆有點像道路中央偏離。
因為邊坡滑動，所以有一些地基下陷，暫時利用水泥代替柏油。	道路外側邊坡下陷，前方道路有一段下陷，使得道路形成波浪型。

觀察結果討論：

這一段露頭，道路邊坡除了少部份發生落石外，靠山壁這一側已呈穩定狀態。但是公路的外側卻有很大的變化。其中之一就是公路靠山谷的一側有新鋪設水泥的痕跡，另外山坡那一側的擋土牆和地面有分離的現象，我們推測可能是馬路下方地層下陷，造成的結果。

露頭八

崩塌地上面都是碎石，坡度約百分之35，土石鬆散容易含水崩落。	含水重的砂石，順著坡面滑落下來，底部就形成了一個崖錐。

坡地上崩塌嚴重，土石鬆散，防砂壩的周圍已被崩塌下來的石頭覆蓋。	這是一個邊坡側面的一道山溝，谷地很深，坡度很陡，是一個容易崩塌的地區。
利用網狀型的擋土牆來保護山壁，防止山壁繼續崩塌。	使用地質槌比較崩塌下來體積較小的砂頁岩。

觀察結果討論：

露頭八是一處大崩塌，道路上方坡地有嚴重的崩塌，碎石往下滑，雖然邊坡曾經建造擋土牆來維護這一段的安全，但是不穩定的邊坡，還是造成擋土牆受到撞擊而損毀。從新建的防砂壩看來，這裡的變動一定是很劇烈。靠山谷這一側，有格子噴漿處理的護坡設施。山谷下方也可以看大型的崩塌面。

露頭九

利用地質槌比較崩塌下來頁岩的大小。頁岩上有砂棒化石。	道路的護欄因為崩塌下來的石塊而被撞壞了。

此圖為右圖的放大圖，在崩塌的碎石中夾雜著許多泥沙。	此地因為雨水沖刷、土石滑落，導致原本覆蓋在上面的植物也跟著滑落。
崩塌的過於嚴重，所以利用安全網來防止岩石掉落。	上方崩塌嚴重，因此此處堆積了許多的砂石。

觀察結果討論：

這裡是一處大崩塌地，邊坡上方掉落下來的碎石很多，雖然原來坡面上有茂盛的植被，有一大片的相思樹林，每一棵約有 2 公尺的高度，而且生長的情形是好的，不過還是防止不了崩塌的發生。目前看到有將近 20~30 公尺長的編柵護欄暫時擋住落石，但是柵欄的下方擋土牆上仍塞滿了石頭，看起來好像要滿出來的樣子，若再來一次豪大雨，可能還會崩落下來。

露頭十

上方崩塌嚴重，掉落下大小不一的石頭，導致擋土牆破裂位移。	此圖為左圖的局部放大，在崩塌下來的土方當中夾雜著碎石，碎石的稜角還很清楚。

原本崩塌下來碎石被堆積在路旁，隨時有可能再往下滑動非常危險。	崩塌下來的碎石塊，暫時性的放到道路的外側。
因此處上方崩塌，掉落的碎石就在此處形成一個 V 字型的小山谷。	露頭附近的岩層都很破碎，砂頁岩碎落下來的顆粒都不大。

調查發現：

露頭十的崩塌最嚴重，崩落的材料有大中小型的石頭都有，其中泥土最多。現在看到的是工程單位把大量的崩塌物，暫時堆積到路旁靠近山谷的一面，體積不小。靠近坡面的鋼筋水泥混凝土擋土牆出現位移，每一個伸縮裂縫的地方位移的程度不一，雖然偏離不是很大，但是仍有不安全的感覺。

研究二 嘉義縣 **159** 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線之地質構造特徵為何？

1. 研究方法

(1) 野外調查

(2) 為了蒐集 159 甲沿線公路地質、地形資料，我們特地選擇墘仔寮橋下和濁水橋下的八掌溪上游的河谷與河岸作為調查地點。

(3) 我們採取八掌溪上游，位在嘉義縣 159 甲縣道沿線幾處崩塌地附近的河谷的目的，最主要是此地河谷安全性高，有小徑可以從公路下到河谷，而河谷中又有不錯的露頭可供研究。

(4) 調查結果：

針對研究地區之地質特徵，我們依照野外所獲得的資料，從地質構造角度來說明它們的特徵。為確保我們研究態度的嚴謹，特別依照國家教育研究院學術名詞及辭書資訊網對地質構造所作的解釋，摘錄部分如下，做為參考。所謂岩石、岩體、或地殼的某一分區的整體，必由各部分構成，其構成之方式，各部分岩石之型態，以及各部分岩石間的相互關係，稱為所論岩石、岩體、或地殼分區之地質構造。 地質構造常可分原生地質構造與次生地質構造。本研究按照地層排列方式、節理、褶皺、斷層等次生地質構造分類如下：

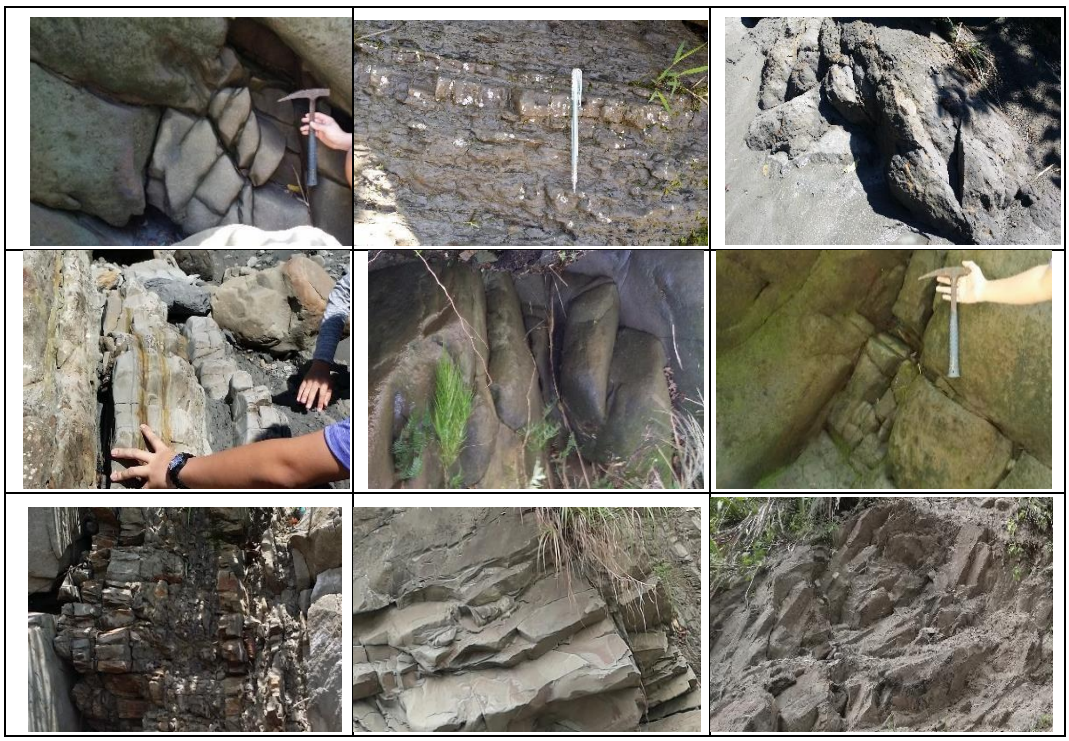
表一 嘉義縣 **159** 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線露頭之地層排列彙整表

說明：

甲. 此次研究地點所看到的地層排列方式，都屬於傾斜排列，沒有看到水平排列，褶皺部份另外再討論。

乙. 有好幾處地層排列方式幾乎與地面垂直，表示此地的的層形成後，受到不少的擾動。

表二 嘉義縣 **159** 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線露頭岩層之節理彙整表



說明：

研究地區之野外岩層，不管砂岩或頁岩，岩層的厚或薄，也不論是岩層的層面、側面，節理都很發達。因為節理發達，岩層就顯得破碎，這對下雨時，水分的滲透，加速岩層風化，和往後的崩塌都有很大的影響。

表三 嘉義縣 **159** 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線露頭之褶皺彙整表

說明：

甲. 露頭三與露頭二，分別發現了褶皺構造，這兩處都屬於背斜構造。

乙. 在這兩處褶皺構造附近的岩層都很破碎。

表四 嘉義縣 **159** 甲大華公路湖尾至石桌公路沿線露頭之斷層彙整表

說明：

在露頭七的地方，我們看到一處小斷層，這是此次研究中唯一發現的斷層，另外在這裡也看到一處交錯層，代表過去海進海退的證據。當然這些地質現象，也可以告訴我們，由於地層活動、變動頻繁，也會是這一條路線容易崩塌的主要原因。

2. 其他相關之觀察紀錄與討論

(1) 墘仔寮橋下的八掌溪支流，峭壁由垂直到大顆粒狀再到斜面，由此可知此切面受過擠壓。墘仔寮橋下和濁水溪橋下八掌溪支流旁皆有砂岩、頁岩，水和河岸的交界處有些許的波紋。

(2) 縣道 159 甲，41.5 公里處，有一段約 50 公尺的地層龜裂，裂差約 40 公分，公路的外側有明顯的下陷，而公路內側上方的峭壁上有因崩塌而折斷的竹子。目測此峭壁約 4 層樓高。

(3) 縣道 159 甲，41.5 公里處往北 100 公尺，邊坡滑動到山谷下，而暫時用水泥來替代原本的道路。

(4) 我們在縣道 159 甲，約 41 公里處，發現了一約 7 層樓高的大崩塌，傾斜角度約為 58 度，崩塌最低處有沙、頁岩，利用防砂壩防止土石繼續被沖落，防砂壩旁有蛇籠和用石頭堆砌而成的擋土牆，可以減少水對擋土牆造成的壓力。

(5) 縣道 159 甲，約 33 公里處有約 10 層樓高的大崩塌，而在往石桌約 33.5 公里也有一處大崩塌。

(6) 在縣道 159 甲，約 29.5 公里處有著很多超過 1 公尺的塊狀砂岩，而這些砂岩的共通點就是都有開闢道路時爆破的痕跡，也就是爆炸點。

(7) 縣道 159 甲濁水溪橋下的八掌溪支流，往北走約 50 公尺發現大小約 7 立方公分的螃蟹化石，且保持完整。

砂棒化石	砂棒化石	螃蟹化石

研究三 影響邊坡破壞的因素有那些？

我們研究的對象縣道 159 甲大華公路，早期在台 18 號阿里山公路未開闢之前，是嘉義通往阿里山的主要公路。民國 72 年阿里山公路通車後，這一條公路仍然扮演著替代道路的角色，還是具有其重要性。雖然這一條大華公路只是縣道等級，雙線車道中，仍有部分是僅能勉強讓小汽車會車，寬度還不是很理想。但是目前，對熟悉山路的人士，有大部分會選擇使用這一條公路上山，因

為可以避開大客、貨車的阻塞和假日上山遊覽的人潮。所以這條路的邊坡若受到豪雨破壞，就無法提供服務，甚至釀成危險。因此我們針對降雨、地震、地質構造與人為行為等四個變因，探討這幾個因素對邊坡破壞的影響。

探討(一) 降雨對邊坡的破壞有影響？

1 .實驗設計

（1）操縱變因 : 水量為 400、800、1200 毫升，三種水量各淋 10 次

（2）保持不變的變因：距離山谷 20 公分、傾斜角度 15 度、土量 1000 立方公分

（3）應變變因 : 觀察每次將水量淋在土上，然後土滑落的變化及土量

2. 實驗方法

（1）將傾斜 15 度的板子模擬山坡，將一千立方公分的土倒在距離板子底 20 公分處（2）用 400、800、1200 毫升水當做雨水澆淋土各連續 1 次測量土滑下來的量，將其記錄

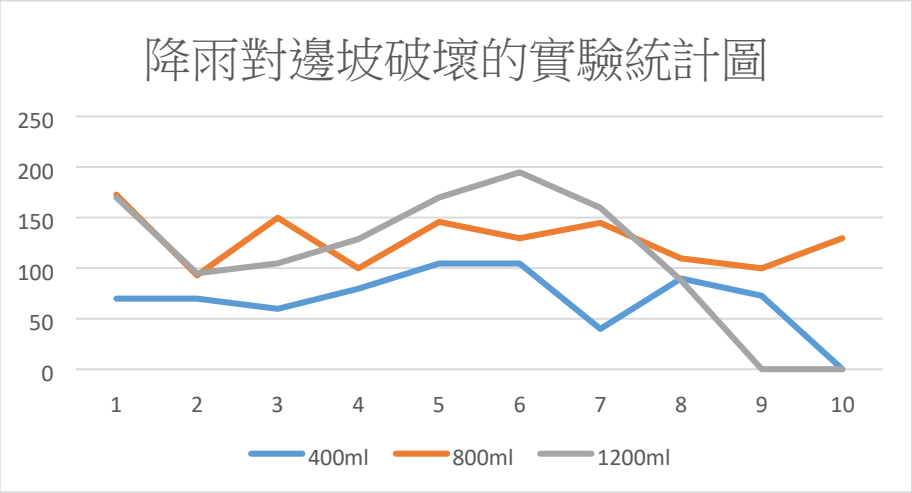
剛開始階段	第二階段	第三階段	第四階段

3. 實驗記錄

紀錄表一 降雨對邊坡破壞的實驗紀錄表

降雨量	實驗記錄										
次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
400ml	70	70	60	80	105	105	40	90	73	—	77
800ml	173	93	150	100	146	130	145	110	100	130	127.7
1200ml	170	95	105	129	170	195	160	88	—	—	139

備註：傾斜 15 度距離 20 公分



圖三　降雨對邊坡破壞的實驗統計圖

研究結果：

1. 當雨落下高度一樣、土量一樣、傾斜角度一樣時，雨量越大所沖走的土會越多，導致邊坡結構失衡，就會崩塌。
2. 降雨對邊坡的破壞是有影響的。

探討(二) 地震對邊坡的破壞有影響？

試驗一 當邊坡是乾燥的時候(長時間未降雨)

1. 實驗設計

（1）操縱的變因:模擬地震

（2）保持不變的變因 : 距離 20 公分、傾斜角度 15 度、乾燥土量 1000 立方公分、在板子兩側一次各敲五下、每次敲擊力道相同

（3）應變變因 : 觀察每次敲擊完溼土的變動

2. 實驗方法

（1）將傾斜 15 度的板子模擬山坡，把一千立方公分的溼土倒在距離板子底部 20 公分處

（2）模擬地震，在板子兩側一次各敲五下，總共敲擊四次

（3）觀察溼土的變動，將其拍照記錄下來。

剛開始階段	第二階段	第三階段	第四階段

3.實驗記錄：

(1) 剛開始設置時，可以看到夯好的模擬邊坡，總共 1000 立方公分的土

(2) 第二階段模擬小規模的地震，邊坡上掉落了一些泥土。

(3) 地震的規模加大，隨著滾落的石頭也越多。

(4) 最後當地震更大時，掉落的石頭和土也就越多。

4.實驗結果：

(1)地震會使土質鬆動，以至於造成崩塌。當震動越大對邊坡的破壞越多

(2)從實驗中發現土石崩落，大都發生在兩側，那是因為震動從兩側來。

(3)地震對邊坡的破壞是有影響，越大的規模崩落的材料會造成較大傷害

試驗二 當邊坡是潮濕的時候(降過雨邊坡是濕的)

1.實驗設計

（1）縱的變因 : 模擬地震

（2）保持不變的變因 : 距離 20 公分、傾斜角度 15 度、潮濕土量 1000 立方公分、在板子兩側一次各敲五下、每次敲擊力道相同

（3）應變變因 : 觀察每次敲擊完溼土的變動

2.實驗方法

（1）將傾斜 15 度的板子模擬山坡，把一千立方公分的溼土倒在距離板子底部 20 公分處

（2）模擬地震，在板子兩側一次各敲五下，總共敲擊四次

（3）觀察溼土的變動，將其拍照記錄下來。

剛開始階段	第二階段	第三階段	第四階段

3.實驗記錄：

(1) 剛開始設置時，可以看到夯好的模擬邊坡，1000 立方公分潮濕的土

(2) 第二階段模擬小規模的地震，邊坡前端掉落了一些泥土。

(3) 地震的規模加大，隨著調落的詩泥土也稍多。

(4) 最後當地震更大時，掉落的土塊就越多。

4.實驗結果：

(1)地震會使土質鬆動，不管是濕的泥土也一樣，震動越大破壞越多。

(2)從實驗中發現濕泥土崩落，大都發生在前緣，與震動的地方無關。

(3)地震對邊坡的破壞是有影響，不管乾的或濕的材料都會影響。

探討(三) 地質條件對邊坡的破壞有影響？

一般說來，地質條件包括層面構造、坡度、節理、褶皺、斷層等，因為我們無法將每一種地質條件都設計成實驗來進行，現在僅採「坡度」來進行探討

1.實驗設計

（1）操縱的變因 : 坡度

（2）保持不變的變因 : 距離山谷 20 公分、土量 1000 立方公分、在板子兩側一次各敲五下、每次敲擊力道相同

（3）應變變因 : 觀察每次敲擊完溼土的變動

2. 實驗方法

（1）將傾斜 15、20、25 度的板子模擬山坡，把一千立方公分的溼土倒在距離板子底部 20 公分處

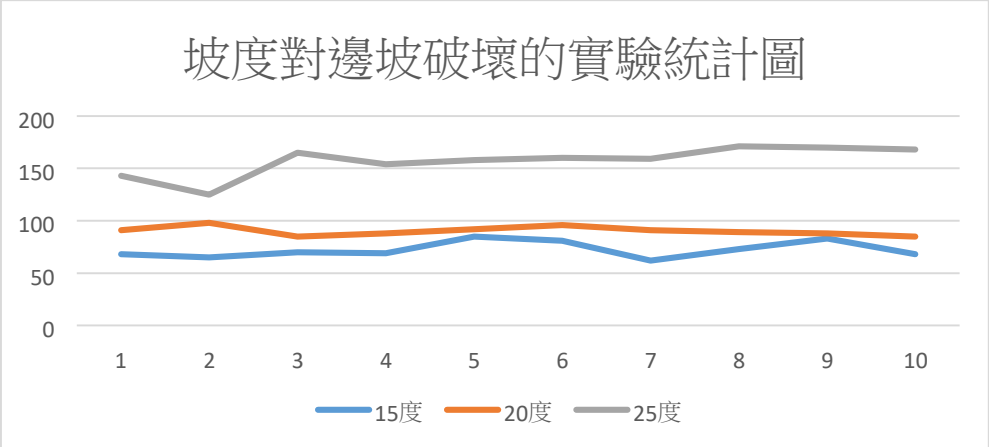
（2）模擬降雨，在流水台，總共進行四次

（3）觀察溼土的變動，將其拍照記錄下來。

紀錄表二 坡度對邊坡破壞的實驗紀錄表

坡度	實驗記錄										
次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
15 度	68	65	70	69	85	81	62	73	83	68	72
20 度	91	98	85	88	92	96	91	89	88	85	90
25 度	143	125	165	154	158	160	159	171	170	168	157

備註：距離 20 公分



圖四　坡度對邊坡破壞的實驗統計圖

3. 實驗結果

坡度越陡，會使坡面上的泥土質鬆動、崩塌。

探討(四) 人為因素對邊坡的破壞有影響？　試驗一

當坡地被開墾或不當開挖的時候

1.實驗設計

(1)操縱的變因 :邊坡有無擾動

(2)保持不變的變因 : 石膏厚度，泥土厚度

(3)應變變因 : 觀察每次敲擊完溼土的變動

2. 實驗方法

(1)在水平邊坡，上面加一層石膏模擬柏油路面。

(2)模擬不當的開挖，在石膏層下方，淘空部分泥土總共四次。

(3)觀察石膏表面的變動，將其拍照記錄下來。

剛開始階段	第二階段	第三階段	第四階段

3. 實驗結果

淘空柏油路下方的邊坡，會使土質鬆動，以至於馬路龜裂，甚至滑到山坡下。

試驗二 當邊坡施作駁崁擋土牆的時候

1. 實驗設計

（1）操縱變因 : 有無擋土牆

（2）控制變因 : 距離山谷 20 公分、傾斜角度 15 度、土量 1000 立方公分、每次澆淋 400 毫升

（3）應變變因 : 觀察有擋土牆和無擋土牆對於土變動的差別

2.實驗方法

（1）將傾斜 15 度的板子模擬山坡，把一千立方公分的溼土倒在距離板子底部 20 公分處

（2）用 400 毫升的水當作雨水澆淋 4 次，紀錄有擋土牆時土滑落的量

（3）用 400 毫升的水當作雨水澆淋 4 次，紀錄無擋土牆時土滑落的量

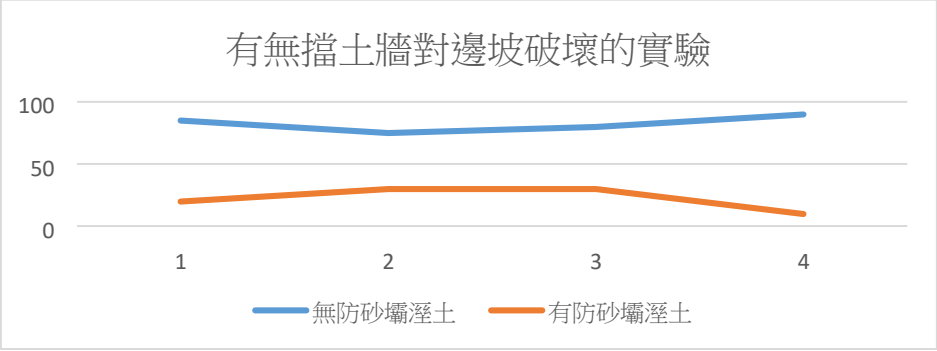
剛開始階段	第二階段	第三階段	第四階段

3. 實驗結果

紀錄表三 有無擋土牆對邊坡破壞的實驗紀錄表

400ml	1	2	3	4	平均
無防砂壩溼土	85	75	80	90	82.5
有防砂壩溼土	20	30	30	10	22.5

備註：傾斜 15 度距離 20 公分



研究結果：由上述可知有擋土牆可以防止土石的崩塌、滑落。

伍、討論

一、墘仔寮橋下方，是八掌溪上游支流，大多都是砂頁岩互層，靠近南邊是公路，北邊則是岩壁，較西邊的岩層接近垂直，而較東邊的岩層接近水平，經過比對兩岩層的砂、頁岩互層相同，因此，我們推論，此地的岩層可能因崩塌而整個倒下。

二、濁水溪橋下方，也屬於八掌溪上游支流，有著大小不一的砂、頁岩，此支流較北邊的河岸，大多屬於頁岩，只要輕輕的碰觸到就會掉落，在這些頁岩中也找到了許多的化石，例如：曾經是生物棲息地或走過的痕跡的沙棒，死亡後被泥沙掩埋與周圍的沉積物憶起石化的螃蟹，眾上述所知，此地原本是在海底。

三、濁水溪橋下方，靠南邊的岩石，大多屬於砂岩，岩石大小平均都較大，且砂岩上有大小不一的壺穴，所以我們可以知道，這邊的岩石較軟且此地常常被水沖刷。

四、縣道 159 甲，有許多大大小小的崩塌，有些擋土牆因崩塌而導致產生裂痕、斷裂。可在此道路上看見防止崩塌的措施有：蛇籠、安全網、防砂壩等等，這些崩塌我們可以知道，是因為人為因素加上天然因素而倒置，無法復原的結果。

陸、結論

一、濁水溪橋和墘仔寮橋下方的八掌溪上游支流大多都是砂頁岩互層，也有發現不少的化石。159 甲沿線公路的內側有許多大小不一的崩塌，崩塌為此研究區域的特徵。我們在濁水溪橋下的八掌溪支流，發現有一塊大砂岩，音

為水流的衝擊而產生壺穴。降雨、地震，都會造成土石鬆動，而導致崩塌。人為因素，可能因為邊坡濫墾，山的結構失衡崩塌。

二、影響邊坡破壞的因素有降雨、地震、地質構造、人為因素等。其中降雨是重要影響，每一年的豪大雨總是會造成山區崩塌事件，不能不提防。地震因素也是影響至鉅的因素，但是地震很難預測，唯有平常就做好準備。地質構造不分，本研究區裡的砂頁岩互層，很多地方層面都接近垂直，可見擾動很大，其他如坡度陡、節理發達、風化劇烈、小斷層與摺皺等也分不在各岩層的結構中。從專家的調查研究裡，曾提到這裡的岩層破碎，對邊坡的破壞更是不利，因此未來只有做好水土保持和多留意氣象預報，隨時做好準備，才能確保安全。

柒、參考資料

蔡光榮、李明熹、陳怡睿、陳筱妍(2017)。極端降雨影響曾文水庫集水區大規模崩塌土砂量之變異分析。鑛冶：中國鑛冶工程學會會刊 ； 61 卷 3 期，P8 – 24

李鎮鍵、林昂、蔡元融，2010，「莫拉克颱風引發土砂問題之研究- 以曾文水庫集水區為例」，中華防災學刊，第 2 卷，第 1 期，第 51-58 頁。

詹錢登，2000，「土石流概論」，科技圖書股份有限公司，台北。

楊樹榮、林忠志、鄭錦桐、潘國樑、蔡如君、李正利(2017)臺灣常用山崩分類系統。防災科技中心，台北。

陳宏宇，「山崩」，地球科學園地，第 6 期，第 12-21 頁(1998)。

周南山，「山區道路邊坡災害防治」，森林遊憩設施規劃設計與施工研習會暨 94 年度林務局育樂工程計畫內容說明報告(2005)。

何春蓀（1985）。普通地質學。台北：五南。

Lutgens, Tarbuck, & Tasa(2011,王季蘭譯，2012)。觀念地球科學 1。台北，天下文化。

余贊南（1972）。地層的觀察。嘉義，明統書局。

台灣省國校教師研習會（1991）。美麗的環境。台北，國校教師研習會。

蔣東坤、蔡啟漳、王朝義、葉慶祥（1998），嘉義縣境內石棹經光華、大湖至番路間沿線地質、化石之探討暨戶外教學路頭之調查。嘉義市：嘉義市立蘭潭國民中學。

夏元瑜（1986）。河流的運動。嘉義：明統圖書公司

高源清（1989）。少年地理百科。台北：牛頓出版股份有限公司。

馬路灣（2005）。雲嘉南都會圈地圖王。台北：戶外生活圖書公司。

薛美芳（1998）。地景保育名詞解釋－地震災害。