

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

最佳(鄉土)教材獎

031725

美麗背後的危機-體檢佐倉步道護坡

花蓮縣立花崗國民中學

作者姓名：

國三 蔡佳穎 國二 金雍 國一 吳育姿

國三 江志浩

指導老師：

劉立軍 謝淑美

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生物與地球科學科

組 別：國中組

作品名稱：美麗背後的危機~體檢佐倉步道的護坡

關 鍵 詞：地質災害、石灰岩地形、生態工法

編 號：

目 錄

編號	單元	頁次
壹、	摘 要	1
貳、	研 究 動 機	1
叁、	研 究 目 的	1
肆、	研究設備與器材	1
伍、	研究步驟與方法	1
陸、	研 究 結 果	
	(1) 文獻回顧	3
	(2) 出露岩層分析	4
	(3) 觀察點記錄	5
	(4) 珍貴的地質與地形	6
柒、	討 論	
	(1) 地質分析	7
	(2) 觀察點的邊坡分析	8
	(3) 護坡工程的建議	9
捌、	結 論	11
玖、	參 考 資 料	11
拾、	附 錄	12

壹、摘要

原為台泥採礦道路的佐倉步道，隨礦區廢棄現已規劃成生態步道，成為花蓮市郊登高健行、拜訪自然的絕佳選擇。但是，去年的冬颱過後造成滿目瘡痍，暴露出此處有崩塌、地滑的疑慮。藉由實地的地質調查，分析此處可能造成的地質災害，觀察邊坡的防護工程，尋找需補強改善的地段。步道全長 3950 公尺，距入口處約 450 公尺與約 820 公尺兩處的擋土牆，前者因設計不良而後者因地質敏感有高度崩塌的危險性，需立即改善。此外，整段步道的護坡工程也有設計不當與施工粗糙的問題。建議有關單位加強護坡工程體檢，並於地質敏感區設立警告標示，以維護遊客安全。附帶一提，此處的生態豐富之外，也有珍貴的石灰岩地形，希望有關單位能設立解說牌以增進遊客的地理知識。

貳、研究動機

最初到達佐倉步道的動機是它的豐富生態以及遼闊景觀視野。沿途蟬聲鳥鳴不絕於耳；翠綠高聳的大樹，沿步道兩旁屹立著，橫翠送青，可眺望海岸山脈、慈濟園區、美崙山、花蓮港、花中、花女、德興運動場、整個花蓮市及東太平洋一覽無遺。直到去年的一場颱風後，再去作觀察時，原本平坦的步道上出現一條條的溝紋，比起以前更難行走些，驚覺環境安全更值得關心。

我們調查了步道的前身是台泥水泥礦山，為了因應卡車通行，因此開闢了如此偌大的車道，也為此增設許多護坡，這些工程卻看起來搖搖欲墜，甚至增添許多新的護坡設施。但是這些新的護坡設施是合格的嗎？有哪些舊的護坡是需要加強的呢？還有哪些地段也有潛在的危險？因此我們決定對佐倉步道的地質、護坡作一安全的總體檢。

叁、研究目的

- 一、調查佐倉步道的地質組成與地形類型
- 二、觀察佐倉步道的邊坡構造
- 三、體檢佐倉步道的護坡設施
- 四、探討地質災害的類型及特徵
- 五、建議佐倉步道的防治計劃

肆、研究設備與器材

- | | | | |
|--------|---------------|----------|-------|
| 一、地質羅盤 | 二、皮尺 | 三、鉛筆、記事本 | 四、照相機 |
| 五、地圖 | 六、採集袋（裝土石標本用） | 七、鏟子 | |

伍、研究過程與方法

- 一、實地走訪步道，沿途收集岩石、土壤並比對圖鑑，以確認佐倉步道之地質與土壤組成。
- 二、觀察步道兩旁邊坡的地形型態、地質構造、邊坡工程，選定十五個觀察點（以有護坡設施暨大規模地層面為觀查點），觀察點請見圖一。
- 三、測量其地層走向、傾向與傾角，紀錄山崩類型、植被林相，並填寫於田野調查紀錄表（附錄一），及隨後以數位相機拍照存檔。
- 四、討論地層構造、植被與護坡設施三者之間關係。

- 五、觀察分析各調查樣區地質災害的敏感性，並作災害類型預測。
- 六、提出需注意的事項或建議改善的措施。



圖 1：佐倉步道路線圖及邊坡 15 觀察點位置

陸、研究結果

一、文獻回顧：

(一)、地質年代：此山是位於中央山脈的東翼的砂婆礑山，高 495m，屬於「先第三紀變質岩系」，形成時期早於 6500 萬年前（南澳造山運動），是台灣最古老的地層，出露的地層以結晶石灰岩、變質砂岩、矽質片岩為主。步道是台泥廢棄礦區道路，全長 3950m。

(二)、山崩土石流基本型態：佐倉步道多為崩積類型^(註1)，並見若干風化破裂面，其他類型見表一、圖 2~7

表一、山崩土石流基本型態

編號	類別	發生條件	涉及因素
1	墜落(圖二)	岩石堅硬、坡度陡峭、落差大	岩質、坡度、落差
2	傾覆(圖三)	不連續面發達、節理向邊坡內側傾斜、陡坡	節理、坡度、坡向
3	滑動(圖四)	地層排水不良、坡腳切除	降水、風化土層厚度、不連續面的傾角、地質構造與坡向
4	流動(圖五)	降雨強度大、土層厚、坡陡	降水、坡度、土層厚度
5	側移(圖六)	硬、弱岩互層	岩質
6	潛移(圖七)	邊坡、風化土層	坡度

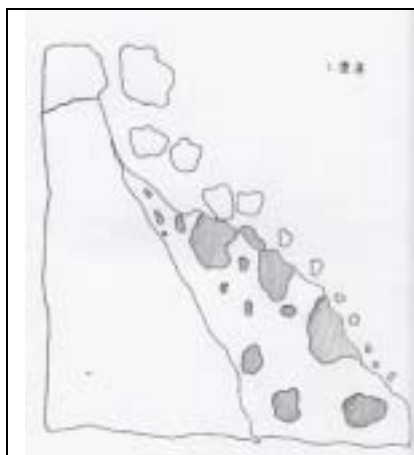


圖 2、墜落

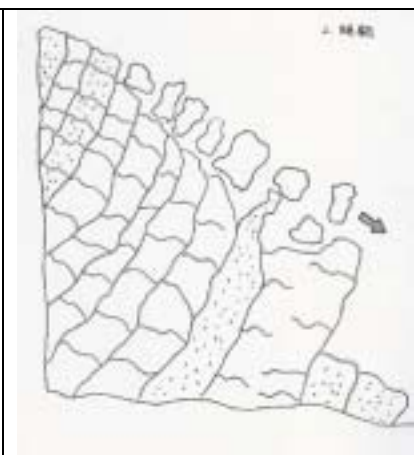


圖 3、傾覆



圖 4、滑動

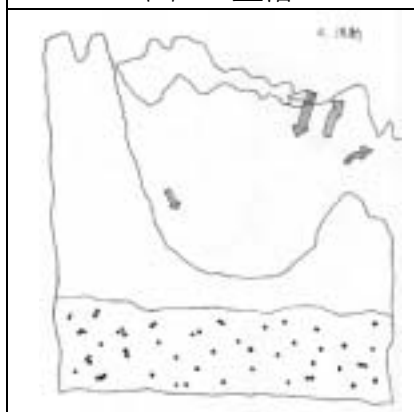


圖 5、流動

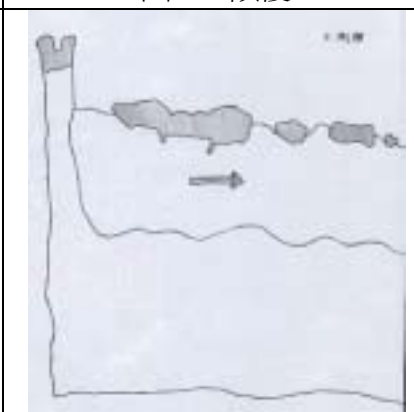


圖 6、側移



圖 7、潛移

註 1：崩積與沖積的區別：

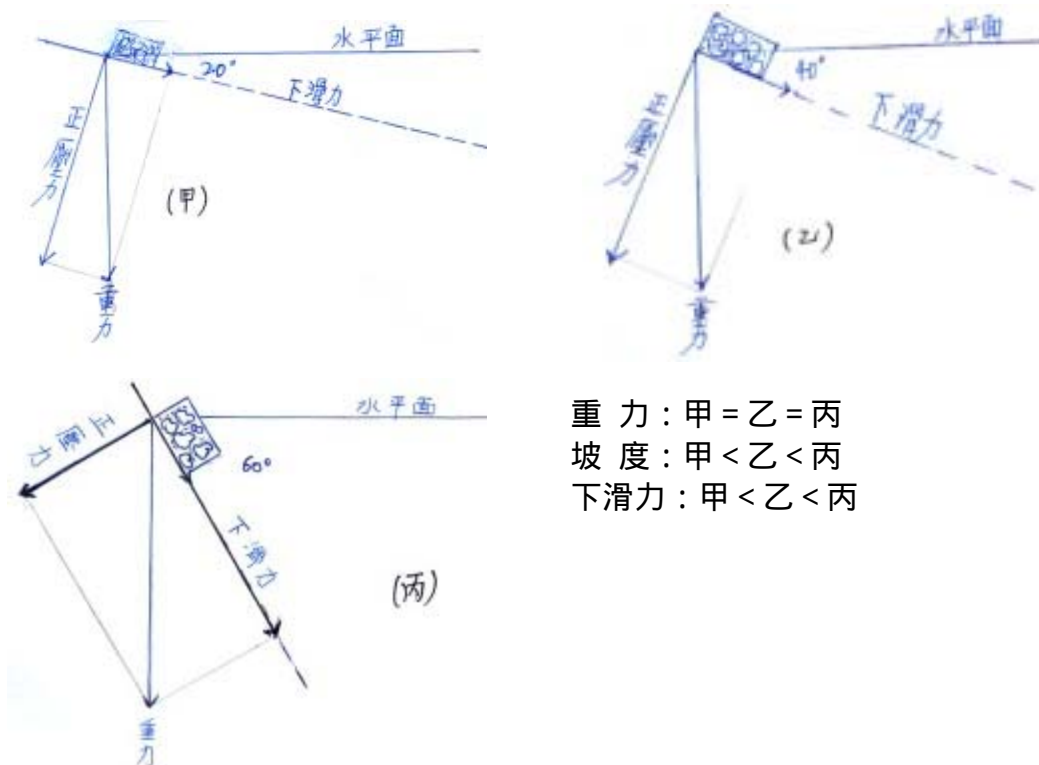
堆積	位置	因素	速度	岩石	淘選度	層次
崩積	崖錐	重力	快速卻斷續	角礫	反淘選	無
沖積	沖積扇	水流	緩慢而連續	圓礫	淘選	有

(三)、地質層態的基礎調查，以了解地層的型態與山崩特性的關聯

- 1、順向坡：傾斜方向和路是同一方向，地層會滑動或滑落，如果沿一個層面滑動，就成大規模的地層滑動，會整塊滑崩下來，規模大。
- 2、反向坡：常成倒懸狀崖壁，若風化後每次造成岩石墜落，岩屑的規模不大，但速度快，如最近文山溫泉的災害。
- 3、側向坡：路若開在此，較穩定。
- 4、坡面傾斜度愈大，崩塌、地滑機率增大。
- 5、坡面傾斜度愈小，崩塌、地滑機率則較小。

山崩土石流和坡度關係圖解：

土石的重力有兩個分力，一是正壓力、一是下滑力，兩個分力的大小，隨坡度大小而異，坡度越大，下滑力越大，越容易發生崩壞。圖解如下：



(四)、地質構造與土崩土石流關係

在斷層、褶皺、節理、層理、片理發達之處易生邊坡災害。

(五)、降雨與地下水與土崩土石流關係

雨量多、強度大、滲透差，地下水含水量愈多、水位高，易發生崩塌與地滑現象。

二、出露岩層分析：

- (一)、大理岩：分碳質大理岩（灰色）、方解石大理岩（白色）。
- (二)、片麻岩：花崗岩變質。
- (三)、矽質（石英）片岩：石英變質。
- (四)、石英雲母片岩。
- (五)、石英岩。
- (六)、黑色（石墨）片岩：頁岩、砂岩、泥岩變質。
- (七)、變質砂岩：砂岩變質

三、觀察點紀錄：

選定的十五個觀察點，依序進行地質調查、地形測量，並繪圖、拍照等記錄於田野調查記錄表。內容詳見附錄二，並將各點數據歸納統整於表二。

表二、觀察點的邊坡現況

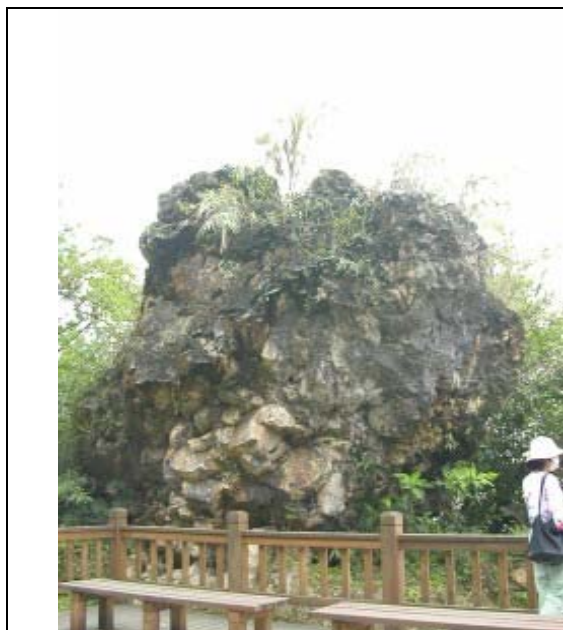
編號	位置(註2)	坡高	坡長	坡型	層態	節理或斷層	植被	護坡	危險指數
1	450m	11.6m	28.7m	非層狀	擋土牆，不詳	有護坡擋土牆 無法測量	次生林	鋼筋混凝土	☆☆☆
2	700m	牆高： 1.16m	24.1m	非層狀	隱密不明	不詳	次生林	擋土牆	☆
3	820m	2.2m	31.8m	不詳	不詳	不詳	雜草地和 次生林	混泥土 疊石牆	☆☆☆
4	945m	4.8m	9.9m	非層狀	因為看不到底岩，所以無法量。	不詳	雜草地和 次生林	石籠	☆
5	948m	3.8m	7m	非層狀	不詳	不詳	雜草地和 次生林	石籠	☆☆
6	950m	3.8m	18.9m	逆向坡	不詳	不詳	次生林	混泥土 壩	
7	1750m	4.56m	17.2m	逆向坡	不詳	每平方公尺有三條節理。崩移正斷層。	次生林	無	☆☆
8	2550m	6.3m	9.2	順向坡	無	正斷層	森林	無	☆☆☆
9	2650m	3.8m	49.2m	側向坡	背斜構造	每平方公尺有九條節理正斷層。	次生林	無	☆☆☆
10	3150m		19.9m	順向坡	發達	有，可是不明顯。	雜草地	無	☆
11	3200m	42m	2.5m	非層狀	發達	無節理	森林	無	☆
12	3250m	2.5m	10m	順向坡	不詳	不詳	森林	石籠	
13	3350m		14.5m	側反向坡	背斜褶皺	逆斷層無節理	次生林	堆石鋼筋擋土牆	☆
15	3850m	2.28m	36m	沒有，因為那裡是崩積地帶。	不詳	不詳	次生林	無	☆

註2：位置以起點為準，起點是指佐倉步道山下告示牌

四、珍貴的地質與地形：

(一)、角礫岩(圖八)：除了沿途的十五個觀察點之外，我們亦發現在佐倉步道的最高點—3950m 處，有一平坦的台地，循蜿蜒的步道而上，到了木造的涼亭旁，有一巨大的岩石，這巨岩是由大大小小不同岩塊膠結而成，各型變質岩為石基的角礫岩，更顯出巨石的奇特風貌；後來雨水來了，雨水把巨岩裡的石灰岩，有一部份的礦物溶解了，經年累月，日曬雨淋，形成珍貴的景觀，是極佳的戶外教學教室。

(二)、石灰岩地貌(圖九~圖十四)：本區觀察點發現珍貴的 karst 地形有：滴石，包括鐘乳石、石筍、石柱；流石，包括石莖、石藤、石簾。



(圖八) 佐倉步道終點所見的結晶石灰質的礫岩塊，可能是崩落而成。



(圖九) 圖中左邊從上到下連貫是石莖，右邊是石藤，裡面有一串串的石珠。



(圖十) 佐倉步道頂點的礫岩，由大理岩、石英片岩、變質燧石等岩塊，再經碳酸氫鈣膠結沉澱而成，因含鎂離子氧化成銹紅色。



(圖十一) 石灰岩因溶蝕作用而成地下洞。



(圖十二) 鈣華結晶及小型石灰岩地下洞。(圖十三) 鈣華及芻晶球。



(圖十四) Karst 地形，有小型石林及石藤。

柒、討論

一、地質分析：

除了入口處的廢棄的卡車載石通道口（見圖 8），我們所採集到的岩石中，也發現為數眾多的石灰岩，及方解石形成的喀斯特地形，甚至有崩塌掉落的大型大理岩（見圖 9），因此讓我們足以明白當時為何台泥要在此挖山開礦。

大理岩之外，片麻岩、矽質（石英）片岩、石英雲母片岩、黑色（石墨）片岩的發現，證明這是在中央山脈東麓受到大規模地殼擠壓所隆起（造山運動）〈見圖 10〉，產生高度變質的現象，證明這裡所受到的板塊壓力真的不小。

而在岩石上也發現有壺穴（見圖 11）的蹤跡，加上石灰岩的沉積地形，證明此處曾經有河蝕作用和溶蝕作用。



圖 8：卡車載石通道口



圖 9：崩塌掉落的碳質大理岩

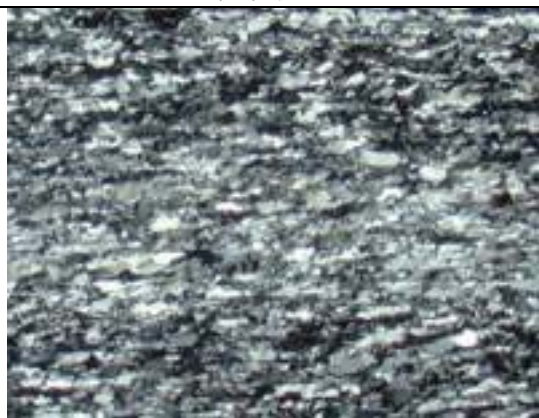


圖 10：雲母片岩



圖 11：岩石上方長蕨類的小壺穴

二、觀察點的邊坡分析：

表三、觀察點的邊坡潛在危險的分析

編號	崩塌可能性	崩塌的可能類型	護坡的缺失	防範的可能方式
1	擋土牆已開始龜裂	泥流、土石流	鋼筋和外面的水泥不夠厚，造成基礎強度不足，排水孔不足，有崩塌之虞。	加強坡腳 增加排水孔
2	擋土牆已傾覆	岩層滑落、碎石崩	植被良好，坡度不大，擋土牆宜遷移。	若要，則需加強基礎強度即可。
3	擋土牆剪裂，部份彎曲、部分掉落。	為彎道處，當泥土吸收過多水分時，會膨脹，造成地層滑動。	擋土牆的柱子擺在彎道後面，位置不對，彎道鋼筋量不足，排水設施不良。	已損壞須重新設計、建造 建造原則柱子要設在彎道上，增加彎道的鋼筋量，增加排水性。
4	已崩塌，已重新建造石籠。	碎石崩、土石流	上為一雨蝕溝、表層為疏鬆岩塊、沒有植被，光靠石籠是不足的。	利用生態工法取代石籠，並增加植被栽種。
5	已崩塌，又重新建造石籠。	平面型岩屑滑崩	表層為疏鬆岩塊、沒有植被，加上石籠施工不良，石籠已扭曲變型。	利用生態工法取代石籠，並增加植被栽種。 在轉彎處加以阻擋並加強雨水宣洩
6	發生崩塌機率小		植被完整，設備仍堅固	加強植生、可設涵管處理

編號	崩塌可能性	崩塌的可能類型	護坡的缺失	防範的可能方式
7	為一小型正斷層	崩塌、落石	無設施	地震、豪雨來臨時加強監控，並適度移除落石。
8	由崩塌岩塊膠結而成，但膠結不良。	有崩落可能	無設施	地震、豪雨來臨後適度清除落石即可。
9	為不連續面、節理發達、側順向坡，因此崩塌機率極大。	岩塊崩落	災害敏感度高，危險地段。	設危險標誌。應該避開此段道路的開發。
10	次膠結礫岩，節理、層理發達，但是植被良好，發生大規模崩塌機率不大。	岩塊崩落	有喀斯特地形，可作為戶外教學。	植被大抵良好，不要開發就是最好的開發。
11	單純的表層風化，周圍植被尚稱良好，應該只會發生小規模崩落。	平面形地滑	無設施	增加植生，即使崩移，也不要清除。
12	植被良好、雨蝕溝也不明顯，發生崩塌機率不大，但仍興建有石籠。	雨溝、洪水泛流	石籠構造完整，但是破壞景觀。	可以以更接近自然的生態工法將護坡設施融入自然環境。
13	露頭有塊狀風化，但是植被完整，大規模崩塌機率小。	平面形地滑	無設施	增加植生
14	落井式排水溝可暫存多餘雨水，但同時也可能累積落石，大規模的土石累積時，有沖刷危險。	土石流	施工粗糙水泥牆面似乎強度不足，略欠美觀與未兼顧生態原則。	應定時清理淤沙與淤泥。
15	表層風化但是植被良好，危險性不大。	岩屑滑落	無設施	不用水泥遮掩，增加植生。

三、護坡工程的建議：

護坡設施的考量，除了工法的設計外，這座山的地質、地形、水文、土壤，甚至生態植物都一起考量。在做工程之前，先要做環境影響評估，以落實生態旅遊及永續經營觀念。

在工法的設計上，水泥是近年來最常用的，因為水泥較方便，但是卻沒想到相對的也會破壞生態，使動、植物無法生存。其實我們可以回歸最原始、最古老的智慧，用石塊去疊積（見圖 12～15），因為水泥不會腐爛，而且會妨礙排水，所以這並不是種一個生態工法。千萬不能用水泥鋼筋，如果能用重力的東西去做到一個平衡，跟土壓的平衡，效果更佳，比如從

古到現在都許多擋土牆沒用水泥，但是現在還是好好的。而現在常用的石籠（見圖 16、17），綁石的材料不能用塑膠，而是需要以鐵絲或鋼絲網綁，否則強度是不夠的。

很多護坡，尤其是一些舊護坡，幾年後一定要重新修剪植被，因為我們發現很多樹根從排水口長出來，當越來越密的時候，排水口就塞住了，將來都有可能形成災禍。再者，落井式石溝的堆積物也要定時的疏濬，才能保持功能，所以護坡設施的維護亦是防止土石崩塌的關鍵。



圖 12、砌石：標準的砌石，三角洞成 z 字型，這樣砌石才有咬合力，不容易垮掉。



圖 13、以石頭堆疊成的砌石，留給動植物生存的空間。



圖 14、標準的砌石：中間一顆，周圍 4、5、6 顆，彼此咬合。



圖 15、天然的石頭縫，是小動物的藏身所。



圖 16、石籠：在佐倉的石籠，將石頭放置以鐵絲綁好的框架內，框架內還有塑膠網。



圖 17、框架加塑膠網及石頭，仍敵不過土石的威力。

捌、結論

- 一、本區廢棄的卡車登山道路，出露的地質是屬於高度變質的先第三紀變質岩系，數百萬年來蓬萊造山運動由海底不斷隆起，經台泥採礦廢棄後，規劃所形成的生態步道；由於礦業道路變成觀光道路，它的安全與生態的要求應該提高。
- 二、這裡的邊坡有一些是屬於順向坡地形或是層理、節理、片理高度發達的風化層，都有潛在的崩塌危險，在道路施工應加強這一部分的注意，對於易發生山崩土石流的危險地段，應增設警告標誌，或是邊坡防治的工程來預防或降低傷害。
- 三、護坡工程的設計時，應多方面考量地質、地層、植被與雨水的關係，不要一味地用水泥灌漿的擋土牆方式處理。可以參酌老祖宗傳統的砌石工法，以符合現代生態工法的要求。
- 四、不管是何種護坡方式，除了設計前多考量之外，施工時一定要確實，不可偷工減料。而護坡工程完成後，定期的檢查（包含植被的修剪、溝渠的疏濬與工程的補強）是不可馬虎的。
- 五、在作護坡工程之前，先請專家學者做環境影響評估，對於無法複製、不能移植、不會再生的特殊地景，如斷層、褶皺、石灰岩地質與植物昆蟲生物生態等教學資源，豎立解說牌，增加步道的教育意義。

玖、參考資料

- 一、 政院農業委員會水土保持局[http：//www.swcb.gov.tw](http://www.swcb.gov.tw)
- 二、 國小災害教育地質災害教材之研究/研究人員：蕭謙麗、陳婉菁、黃國庭/教育部 90 年度中小學科學教育專案計畫
- 三、 地形學講義/石再添/中山自然科學大辭典第六冊
- 四、 中華民國中小學天然災害師資課程教學研討會論文集

拾、附錄

附錄一 田野調查紀錄表

邊坡編號：		地點：		日期：	
邊坡穩定性分析：					
邊坡運動類型： ☐ 1 墜落 ☐ 2 傾覆 ☐ 3 滑動 ☐ 旋轉型/ ☐ 平移型 ☐ 4.側向擴展 ☐ 5.流動 ☐ 6.複合型					
地 質					
區位： ☐ 1.坡頂 ☐ 2.坡腹 ☐ 3.坡址 ☐ 4.全坡面 ☐ 5.蝕溝					
地層：大南澳片岩					
基岩岩性：石墨片岩夾石英脈，片岩質地脆弱用手即可撥開					
基岩強度： ☐ 1.軟 ☐ 2.硬					
表層	種類： ☐ 1.堆積層 ☐ 2.崩積層 ☐ 3.風化層 ☐ 4.人爲棄填土 ☐ 5.其他				
	厚度：				
不連續面：	種類		組數		走向
	密度		連續性		
層態		片理		斷層	
崩積物顆粒度					
☐ 1.塊岩 (>2m) ☐ 2.碎岩塊 (50cm-2m) ☐ 3.岩屑 (10cm-50cm) ☐ 4.碎屑 (<10cm)					
坡 型					
☐ 1.斜交 ☐ 2.逆向 ☐ 3.順向 ☐ 4.側反向坡。※河流流向：					
形 貌					
坡向：	坡度：	坡高：	坡長：	坡形：	
地表水侵蝕：					
沖蝕程度： ☐ 1.無蝕溝 ☐ 2.小蝕溝 ☐ 3.中蝕溝 ☐ 4.大蝕溝					
週邊植生：					
☐ 1.雜草地 ☐ 2.森林 ☐ 3.次生林 ☐ 4.矮灌叢 ☐ 5.耐陰樹種 ☐ 6.裸露地 ☐ 7.其他					
護坡：					
☐ 1.植生 ☐ 2.防落石網柵 ☐ 3.噴漿 ☐ 4.疊石牆 ☐ 5.混凝土固定框 ☐ 6.三 明治式擋土牆 ☐ 7.蛇籠 ☐ 8.箱型籠 ☐ 9.格籠 ☐ 10.混凝土式 ☐ 11.鋼筋混 凝土式 ☐ 12.岩錨 ☐ 13.梳子壩式擋土牆					
長： m 高： m：河床工程					
敏感區類型：					
☐ 1.落石 ☐ 2.表層崩塌 ☐ 3.順向滑動 ☐ 4.深層滑動 ☐ 5.土石流 ☐ 6.溶蝕塌陷 ☐ 7.礦坑塌陷 ☐ 8.活斷層					

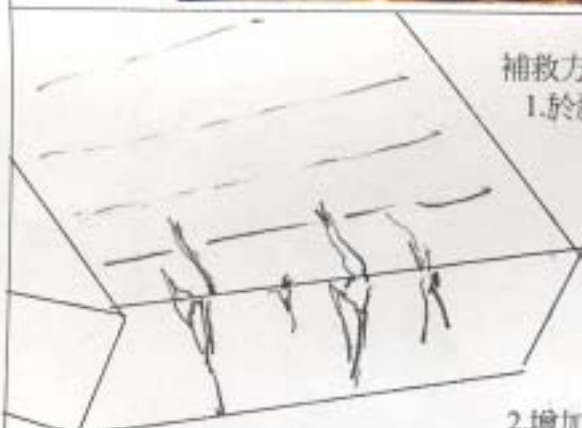
附錄二：

附錄二：
編號一



補救方式如下：

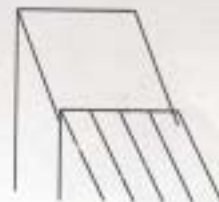
1.於斜線處填加水泥，加強坡腳。



上圖為邊坡1的簡圖

2.增加排水孔數以利於排水

3.重新設計



在四百五十公尺的地方，是一座很醒目的擋土牆，中間有一條斷裂面，稀疏的排水孔口長植被，牆上有昆蟲築巢，而排水孔共有三十一個。

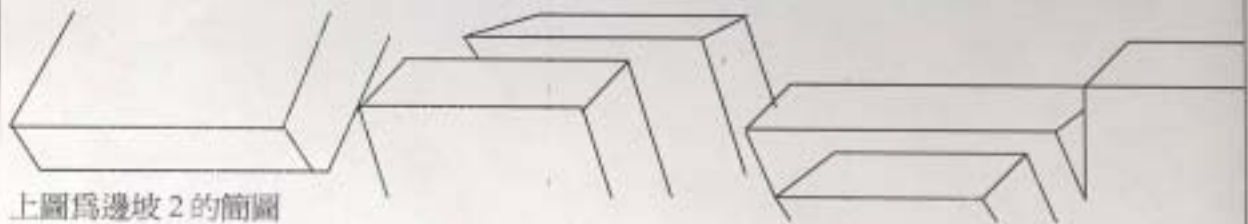
所處地層屬於堆積層，是由含礫的碎屑和泥巴層所組成，坡度 72 度，護坡已呈倒懸狀（超過 90 度），跟地平線的夾角是 100 度，若下傾盆大雨，易發生倒塌。

由於它的基礎不穩固，排水口又不密集(面積和排水孔不成比例)，若雨水滲透，體積膨脹，擋土牆會因支撐不住而裂開，而且它是兩次施工，上下銜接不良，這些問題如果不處理，將會造成表層崩塌滑動，整個擋土牆都會倒下來。

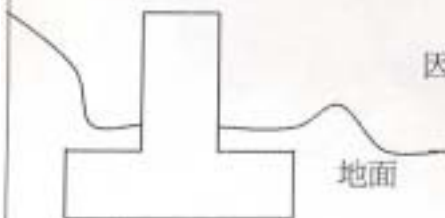
現階段補救的方法是治標，加強坡腳，使坡腳穩定，增加排水孔，使牆不至於倒塌。

在這擋土牆旁邊也有一個滑落的地層，泥沙把牆推倒，整個崩塌下來，如果雨水足夠的話，會造成小型的土石流，常常有人會疏忽這裡，所以要特別小心！

編號二



上圖為邊坡 2 的簡圖

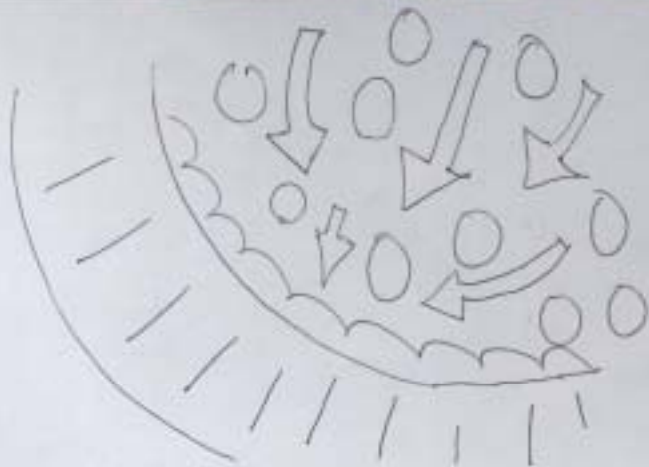


擋土牆傾覆的原因在於基礎不穩，因此正確的做法
因是：加強基礎強度(如圖)。

位於七百公尺處，屬傾覆，位坡址，多為炭質大理岩，強度硬，是崩基層，非層狀，有混凝土式固定框，牆高一點一六公尺，坡長二十四點一公尺，坡型線狀，坡向北偏東七十八度。
下方的擋土牆已經傾覆，補救方式如上。

不過整體而言，此區植被完好，坡度也不大(不會過二十度)，發生土石流機率低，擋土牆非必要。

編號三



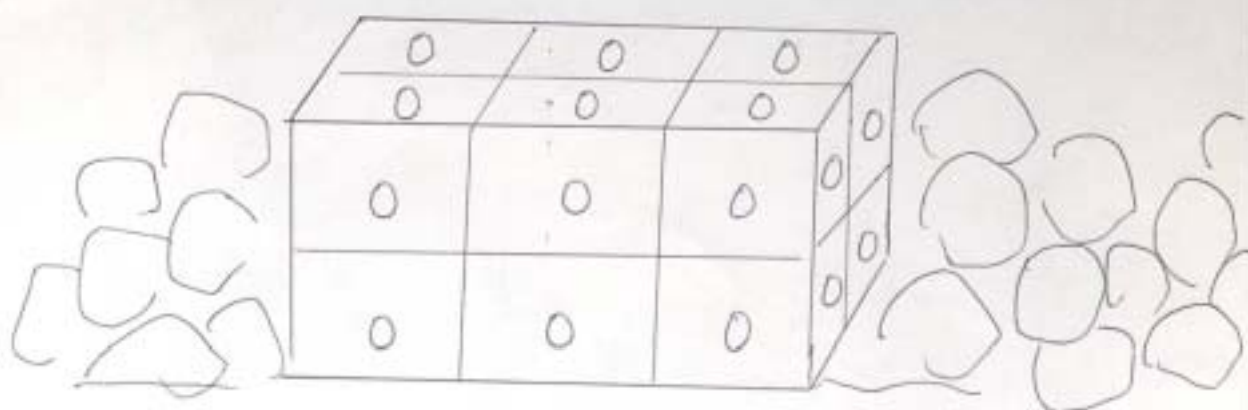
箭頭為雨水沿重力滲透的方向



這是個轉彎的地方，是在八百二十公尺的地方，上面自然坡是 64 度，下面人工的坡是 88 度。它是一個旋轉型的左移斷層，是屬於崩積層，由碎石塊組成的，它最大的缺點，就是鋼筋量不夠。當水下來到轉彎的地方，那地點的力道最大，路的灣道是個凹坡，護坡是凸坡，兩邊相對，凸坡受到最強作用力的地點在軸，就因為那裡鋼筋量不足，所以才會裂開，下面的地方也是有缺點，它的鋼筋裸露出來，經過風吹雨打，生鏽了，將來可能會造成深層滑動，非常危險，目前應力最強處已經裂了，再不做處理的話會崩塌。

補救方法為：1.改變柱子的擺放位置於衝擊力最強的處所。2.加強轉彎處的鋼筋強度。3.增加排水量。4.重新設計。

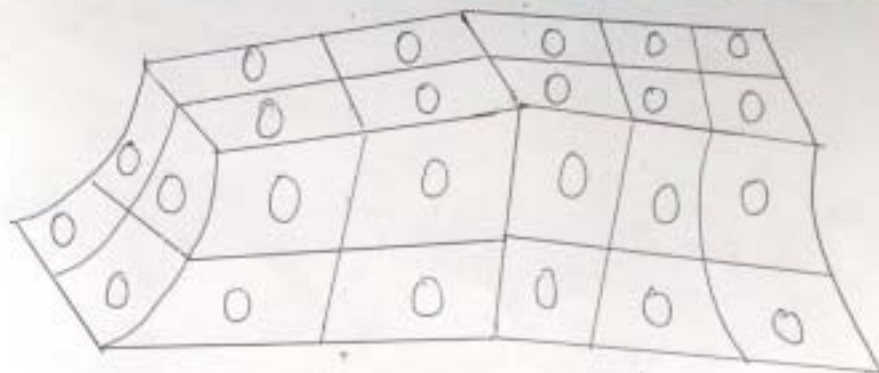
編號四



石籠高兩公尺，寬零點七公尺；坡高六點八公尺，坡長九點九公尺，厚度三點八公尺

位於九百四十五公尺，位於坡腹，岩性是碎石坡和岩屑滑落，強度為軟，表層是堆積層，由岩屑跟碎屑組成，非層狀，不連續面，周邊雖有雜草地跟次生林，也有石籠，但石籠施工不當且有點彎曲，所以不能達到很好的效果，將來可能會發生表層崩塌。為了防止此一情形，建議以砌石的生態工法取代石籠。

編號五

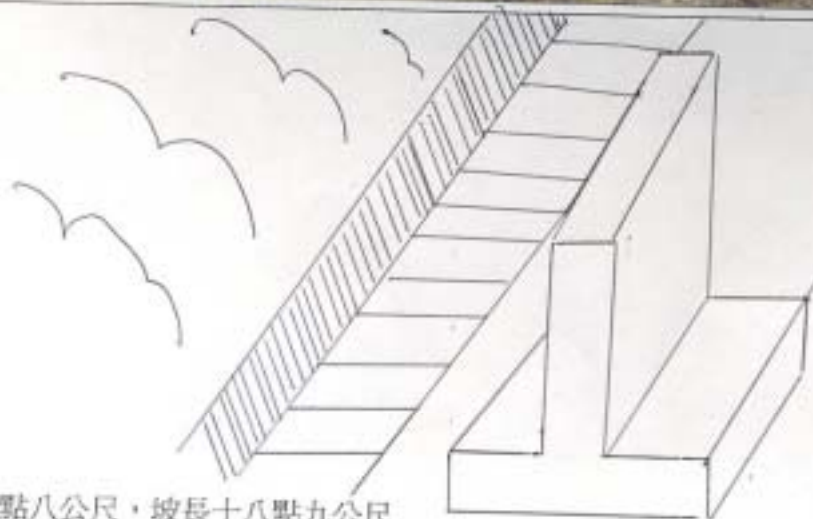


坡長七公尺，坡高三點八公尺

位於九百四十八公尺處，岩性為碎石坡或岩屑滑落，強度軟，是堆積層，由岩屑和碎屑組成，坡型為非層狀，是個山崩窪，不過由於表層岩塊疏鬆且植被不足，加上石籠施工不良，目前石籠已扭曲變形，將來可能發生表層崩塌。

補救方法以供參考：1.護坡改以砌石的方式。2.重建上方的植被。3.在上方的轉彎處加以阻擋、渲洩。

編號六



坡高三點八公尺，坡長十八點九公尺

為一長十公尺的雨蝕溝，上方雖有次生林，但因屬逆向坡且為岩屑組成，溝前雖有建混凝土壩，但其長只有二點九公尺，厚度也只有零點七公尺，一但大雨來臨，發生土石流的機率大。

編號七



這是一個坡址，是在一千七百五十公尺的地方，它是風化層，且擁有石灰岩地形。為一崩移正斷層，因此未來有落石的可能，屬於側反坡，所以未來可能會有傾翻的現象，除此之外，此區為不連續面，每平方公尺又有三條節理，因此地震時，破碎帶會有岩塊和碎屑滑崩。

編號八



坡高六點三公尺，坡長九點二公尺，厚度一米

位於兩千五百公尺處，側翼的旁邊是原石的地層風化，中間則為一快速崩積層。多屬角礫，證明其為原地崩裂。屬於順向坡，上方也有倒懸構造，同時岩塊之間膠結不良易鬆動，因此推測未來可能會發生落石和土石流的災害，應設立警告標誌。

編號九

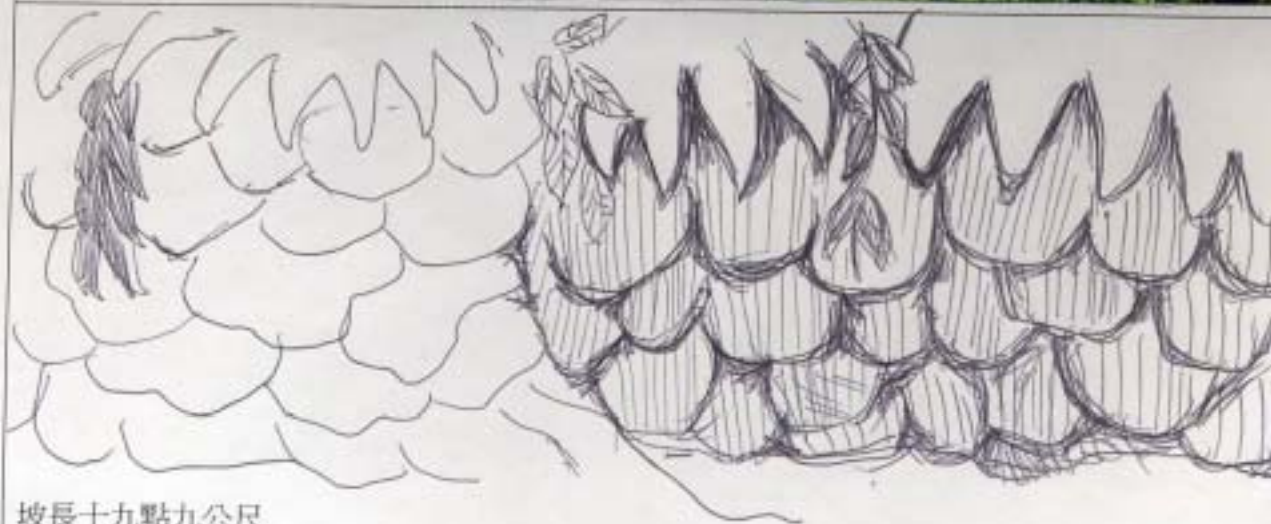


坡高三點八公尺，坡長八十二公尺

在兩千六百五十公尺處，位於坡址，為一節理發達(每平方公尺有九條節理)的風化層。因為節理和不連續面發達，加上其為順向坡，表面又無足夠植被覆蓋，因此未來可能有土石流和落石的現象。

應設立警告標誌。

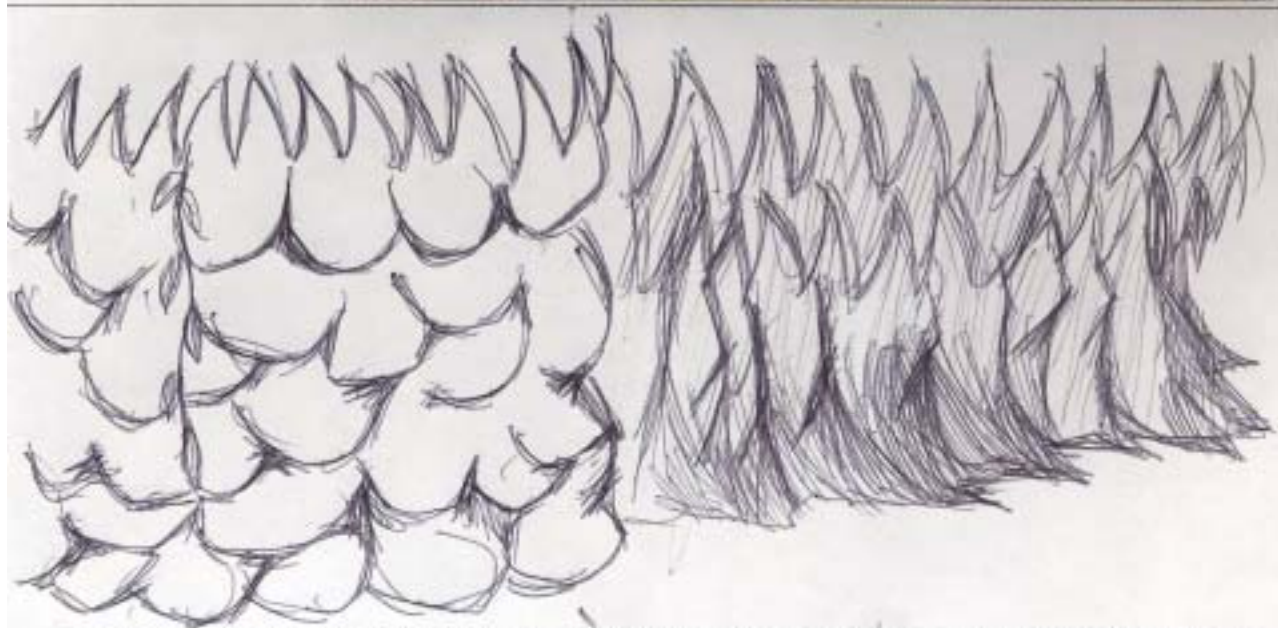
編號十



坡長十九點九公尺

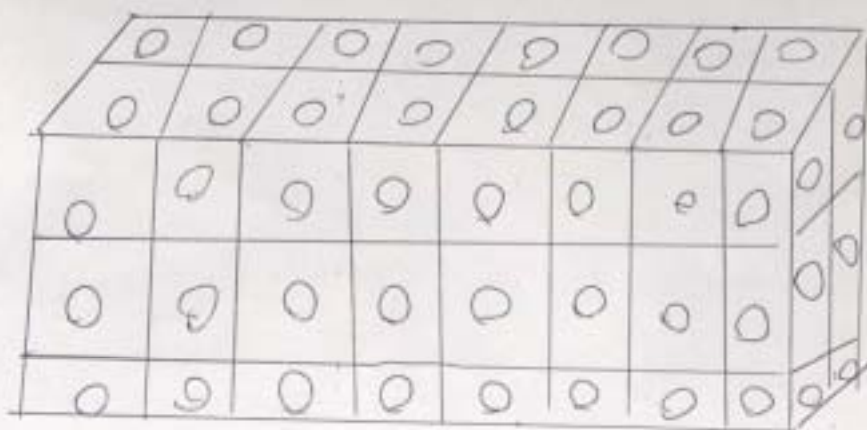
三千一百五十公尺處，岩性為炭質大理岩，是一個低角順向坡，雖有發達的節理和層理，但植被良好，所以不會有大規模土石流的危險。

編號十一



三千二百公尺處，單純的表層風化，周圍無護坡，植被也完好，僅止於小規模的表層崩落，不過若邊坡腳若崩移後退，上層就會崩移，但就算崩落了也不需要清理或移動。

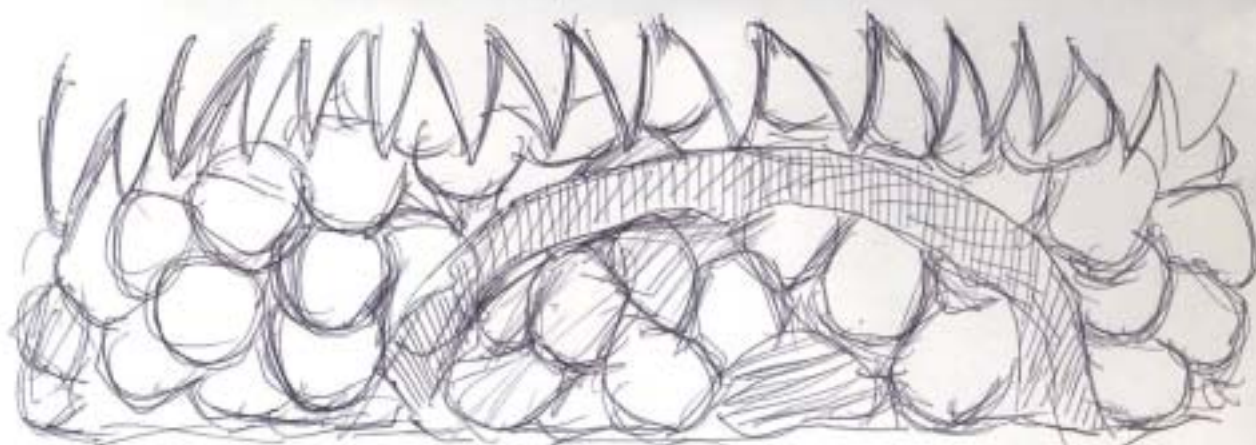
編號十二



坡高二點五公尺，坡長十公尺；石籠上厚零點七公尺，下厚一公尺

在三千二百五十公尺處，雖然是順向坡，但因上層植被完整，又沒有明顯雨蝕溝，因此若此地有雨量沖刷的情形，輕者只會造成洪水分流，重者是形成雨蝕溝，並不易讓土石流失，不會發生太大危險。其石籠完好，唯一缺點是破壞景觀，建議用砌石的生態工法。

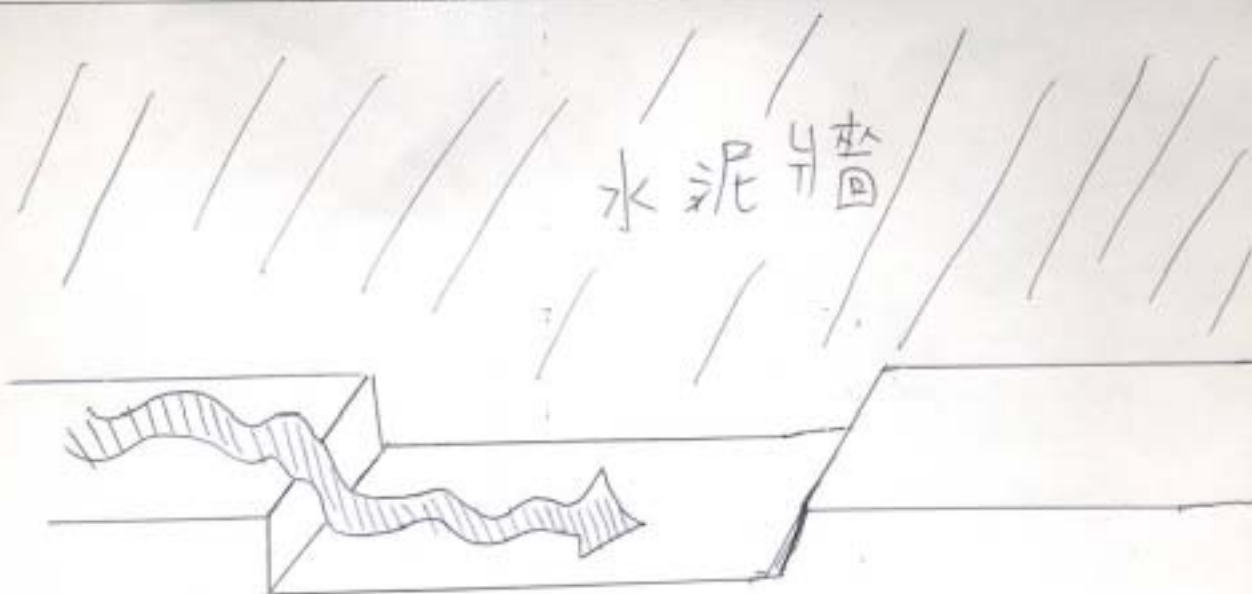
編號十三



厚度十五到二十公尺，坡長十四點五公尺

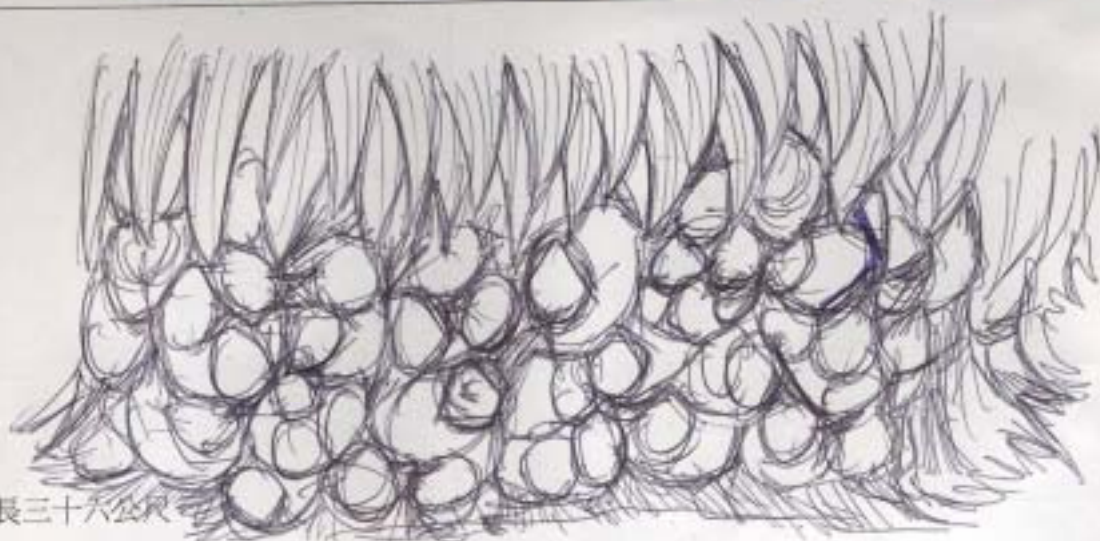
在三千三百五十公尺處，區位是在坡址，由平板狀炭質大理岩組成，強度為硬，表層是風化層。屬背斜構造，是側反向坡，由碎岩塊組成，周邊為次生林。雖有堆石鋼筋擋土牆，因其大部分屬塊狀風化，且已有局部崩積，又有逆斷層，所以將來有可能發生表層崩塌。

編號十四



在三千六百五十公尺的地方，一個由人工做成的落井式石溝，其主要功能在於豪雨時可以儲蓄水也可以減緩水的沖刷力。但由於施工粗糙，水泥與石頭不牢固，所以豪雨來臨時恐難有效減少水的沖刷力，反而有可能會造成石溝都被沖垮的危險。其下有良好的植被，沒有繼續完成石溝，所以當水的流量到達一定強度，會繼續往下流，水會自己分流在草叢中。建議石溝應利用砌石的生態工法，其旁多種植植物。

編號十五



坡長三十六公尺

在三千八百五十公尺的地方，區位為全坡面，地層為大南澳大理岩，岩性是炭質大理岩，其強度為軟。為一碎屑和岩塊組成的崩機地帶，雖然表層已風化，但因坡高不高且植被良好，因此僅止於小規模的表層滑落。

四、附錄三：

實驗一：模擬觀測點一

器材：寶麗龍、泥土、細沙、大小石頭

觀測點一描述：第一觀測點為擋土牆，第一次施工是在下層位置，其牆較矮小，所以無法抵擋土石流的沖力，因而在上層設置了較高大的擋土牆，但因為兩面牆施工時間不同，所以其接觸點有裂縫，某些部分已為小裂洞，那這會不會成為大雨下手的好機會？

實驗過程：將寶麗龍切割好，形成一面高大，一面矮小的擋土牆，其兩者寬度相同，將較小片的寶麗龍斜切一部份，用寶麗龍膠將大小接合，固定其位置；在後頭擺上混雜的泥土急沙子、大小不一的石頭，完成模型。

討論：由此實驗可知，當豪雨來臨時，水和土石因壓力太大，來不及從排水孔渲洩出來，會從上下兩片擋土牆的接縫處衝出，因而沖垮下層的擋土牆。

		
接合片大小寶麗龍	模型完成(側面觀看)	混泥水由各角度倒下，將下層擋土牆沖倒了。

實驗二：模擬觀測點三

器材：黏土、泥土、細沙、大小石頭

觀測點三描述：第三點的護坡為混泥土疊石牆，設有柱子以加強抗力，我們發現疊石牆在彎道處有破裂，而柱子是設在彎道處過後，仍然完好。究竟下雨時，土石的壓力是在彎道處？還是另有其處？

實驗裝置：將黏土碾平成後一公分，仿第三觀測點做成護坡，在護坡的後面擺上混雜的沙子和石頭，淋些許水於土石上。

實驗過程：我們找好了降水的角度，然後將水往疊石牆後方倒，我們發現其強大的衝擊力，使得疊石牆彎度最大的點出現了些微的裂縫；第二次沖水，發現裂縫變成不規則的長洞，旁也出現了小裂縫；第三次沖水，第一個裂洞幾乎隔開形成兩面牆，其他則變成小裂洞。

結論：由實驗得知當豪雨來襲時，雨水和土石的重力會集中在疊石牆的最彎處，甚至衝破疊石牆。所以第三觀測點的補救措施，應以柱子和鋼筋來加強彎道部分的疊石牆。

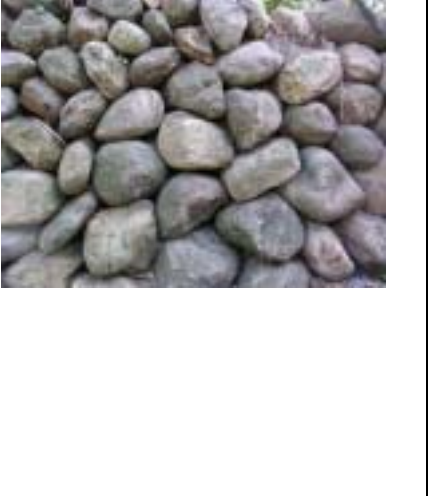
		
將土石和水，放入罐子裡，用手攪和，再放入模擬的疊石	完成疊石牆模型(側面)	完成疊石牆模型(背面)

牆。		
		
將混著土石的水，從各角度倒下，模擬土石流	彎道處出現裂痕	裂痕加大
		
土石流出	疊石牆損壞	

實驗三：砌石

砌石是傳統建牆築堤工程技術，百年前，移民來花蓮的先民，在南華一帶落腳，南華是位於木瓜溪下游的沖積扇，土質薄、石頭多，先民開墾，把巨石直接埋入土裡，甚多的大小石頭，先民發揮智慧，將石頭堆疊成牆成堤；百年來，任由風雨，它們依舊豎立在田畔山旁，護衛鄉土。而只靠大小石頭間的咬合力，不需水泥也不需泥土，也不需要任何加工，純粹只用石頭來堆砌，這種方法稱為「乾砌」。要堆成一堵堅固的牆，只靠石頭來抵擋土石雨水的重力，首先以基礎最為重要，以高十尺的擋土牆為例，它的根基要深入土裡一尺，整面牆下寬上窄，上下差約兩尺，最大的石頭放最下面，石頭則挑選長形的或橢圓的，且不能平放，要有高有低，最少用五塊石頭來圍一區，也可以用六、七塊，每塊石頭要相互咬合，區與區之間，亦要相互咬合，這樣才會非常堅固。最後要做最前面的「馬頭」，也就是收尾的地方，先把兩塊石頭放下面，上面在堆砌上石頭，這是非常精密而有智慧的工程。

		
師傅為我們示範乾砌的方法	我問師傅不用水泥如何檔得住石頭？	師傅告訴我們，砌石要用石頭互相咬合的原理，相互卡住。

		
石頭需要斜立放。	用石頭相互作用，抵擋土石的壓力。	須兩排的砌石相互支持。
		
作收尾的馬頭。	最後完成。	我們試試馬頭的承受力。
花蓮南華社區有一位年齡已逾九十的阿千伯師傅和兩位七十多歲的師傅，在今年一月二十日，被南華村長請來整修砌石牆，這堵砌石牆位在煙樓的後方，因為年代的關係，被竹林撐開倒塌了，他們一邊討論一邊交換經驗，同時也教南華的青年人學習砌石牆。		
		
年紀最大的阿千伯身手矯健。	砌石的石頭要挑選。	完成後大家很開心。
		
修理好了的砌石牆。	年輕人所砌的石牆不合格，因為排成一線，沒有咬合力。	年輕的學員所堆的合格砌石牆，阿千伯說：「五個夾一個毋樣觀，六個七個夾一個一等觀，八個九個毋合字。」

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

國中組 生物及地球科學科

最佳(鄉土)教材獎

031725

美麗背後的危機-體檢佐倉步道護坡

花蓮縣立花崗國民中學

評語：

1. 研究團隊實際至花蓮的台泥採礦道路－佐倉步道考察，提出該 3950 公尺的步道因設計不良及地質敏感有崩塌之危險性的建言，亦提出該步道有豐富的生態環境及珍貴的石灰岩地形，可建立解說牌增加遊客的地球科學知識，頗具實用價值。
2. 本研究之主題及研究成果相當具有鄉土性及實用性，建議給予最佳鄉土教材獎。