中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　地球科學科

第二名

最佳創意獎

080511

老天爺也愛「戳戳樂」？

－瑞里蝙蝠洞的地質調查研究

學校名稱：國立嘉義大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 羅予婷	劉恬如
小六 林映萱	何夢青
小六 鍾炘芳	

關鍵詞：燕子崖、蝙蝠洞、蜂窩岩

摘要

瑞里燕子崖、蝙蝠洞擁有豐富的地質景觀，附近皆為沉積岩地形，可由我們在此發現的生痕化石「砂棒」來證明。兩處的地形皆為水平的地層，表示從形成到現在沒有出現太大的地層變動。蝙蝠洞的地層在燕子崖上方，所以較年輕，但蝙蝠洞的凹洞比燕子崖較大，是因為先露出水面受到差異侵蝕的結果，與野柳的蜂窩岩和風化窗類似。我們在蝙蝠洞的岩石上發現有些白色的粉末附著於此，經由實驗證明這些白色粉末為硫酸鹽類。因河流曲道流水速度較慢及崩塌的影響，蝙蝠洞與燕子崖在粗紙坑溪對岸的地層，沒有辦法產生風化窗，因此我們更要好好愛惜此珍貴的地形地貌。

壹、研究動機

我以前常常聽許多朋友告訴我蝙蝠洞有多壯觀、多漂亮，一定要去看一看。而最近親人來嘉義也要求去蝙蝠洞。

初訪蝙蝠洞時，看到蜿蜒直下的階梯，心頓時涼了一半，腳也突然變得有千斤重、寸步難行，果然想看到美景還是需要付出代價的。在爬階梯的同時，我努力幻想著等一下會看到甚麼樣的景色?是深不見底的大地洞？還是一堆密密麻麻的小洞？或是崩塌一半的山洞？好期待喔！好不容易爬完了階梯、穩住了因疲累而不穩的氣息，抬頭看了一眼蝙蝠洞；沒看還好，一看就愣住了，大自然的鬼斧神工令人屏息，與想像中完全不同，一面有層次的牆，上面佈滿了形狀不一的洞，有如「戳戳樂」一般。不過這些洞有深有淺、有大有小，旁邊翠綠色的竹子映襯著山的雄偉，隨行的表哥、表姐也驚訝望著，張大的嘴彷彿可以塞下一顆雞蛋。

回到家後，望著天花板，想著今天所見所聞，心中無法忘懷那壯麗的美景。而一向求知欲強的我，不禁想了解為何「老天爺也愛玩戳戳樂」？蝙蝠洞是怎麼形成的？為什麼顏色與

一般岩石不同？…好多好多個關於蝙蝠洞的「為什麼」逐漸在我腦中形成。剛好六上的自然課有一單元「大地的奧妙」，提到有關岩石與岩石侵蝕、風化的問題，更加深了我想要了解蝙蝠洞的衝動。於是我和我的夥伴，一起利用這次的機會進行研究，希望能揭開蝙蝠洞的神秘面紗。

貳、研究目的

一、調查蝙蝠洞和燕子崖附近的地質與地層構造

二、探討蝙蝠洞的形成原因

根據上述目的，我們討論出下列幾個問題，進行研究。

（一）蝙蝠洞與燕子崖附近的地質調查。

（二）蝙蝠洞和燕子崖比較，它們之間有何異同？

（三）蝙蝠洞和燕子崖水平排列的岩壁有甚麼意義？

（四）製作瑞里蝙蝠洞與燕子崖附近的等高線地層模型。

（五）為什麼蝙蝠洞像「戳戳樂」戳過後，一個洞一個洞的樣子？

（六）為什麼蝙蝠洞的洞深淺、大小、形狀都不同？為何有些洞有隔板？

（七）蝙蝠洞岩石上白色的粉末為何物？

（八）為什麼蝙蝠洞與燕子崖在粗紙坑溪對岸的地層，沒有相同地形？

參、文獻探討

從歷屆全國科展作品中搜尋探討相關文獻，發現以「蝙蝠洞」及「蜂窩岩」關鍵字並未找到相關的研究作品可供參考；以「野柳」為關鍵字查到 2 篇文章，以探討野柳地質海水侵蝕與風化結晶形成方式；以「風化窗」為關鍵字查到 1 篇相關文獻，主要探討南部墾丁國家公園中的風化窗地質景觀。相關研究內容與文獻探討如下方表格(表一)，在本次的瑞里蝙蝠洞地質探究實驗中，因為無相關蝙蝠洞地質的研究文獻，因此，我們特地到野柳地質公園觀察的蜂窩岩及風化窗的地形地景面貌，與此次的瑞里蝙蝠洞做比較。

表一：全國科展歷屆作品文獻搜尋表

搜尋關鍵字:野柳				
作品名稱	研究內容	關鍵字	學校	年次/名次
野柳風景石真相？	探討野柳風景石中，奇形怪狀的岩石及地面上有許多坑洞形成原因，了解其因為為海水的侵蝕作用和風化的結晶的形成過程。	侵蝕、風化	學校名稱：台北市內湖區東湖國民小學 指導老師：張永欽、羅清水 作　　者：甘明仁、洪啟仲、陳啟文	第 26 屆(民國 75 年)地球科學科第一名
野柳岬奇岩成因的研究	野柳岬位於基隆西北方約十五公里的地方，岬上海蝕地形十分發達，奇岩怪石。研究中利用科學的方法探討野柳岬上奇岩怪石生成的原因，得知地表的生成係歷經漫長的歲月，逐漸侵蝕、堆積而成的。其形成的歷程中，岩質、營力的不同以及環境因素的迴異或驟變，往往造成特殊的地形景觀。	岬奇岩、海蝕	學校名稱：恆毅中學 指導老師：陳燕妊、潘月霞 作　　者：王耀宏、楊開華、尤兆民	第 19 屆(民國 68 年)地球科學科第一名
搜尋關鍵字:風化窗				
作品名稱	研究內容	關鍵字	學校	年次/名次
鬼斧神工的風化窗	藉由墾丁國家公園自然景觀實察中，發現了許多形狀變化多端，猶如一個一個窗戶排列在岩石上的小洞穴景觀，此為「風化窗」地形景觀，實際探究其形成的奧秘。	岩石、洞穴、風化窗	學校名稱：高市師院附中國中部 指導老師：胡金印 作　　者：王懷鵬、劉懿璇、張嘉文、江信怡	第 27 屆(民國 76 年)地球科學科第三名

肆、研究設備及器材

一、野外地質調查工具：50m 皮尺、傾斜儀、地質錘、捲尺、稀鹽酸、塑膠袋。

二、流水台與沉積試驗器材：小鏟子、三合板、水桶、噴水壺、壓克力盒子、沙子、泥土、水。

三、製作等高線地層模型：珍珠板、保麗龍切割機、等高線地形圖、剪刀、白膠、大頭針。

四、其他：解剖顯微鏡、數位相機、pH meter 、油性筆、蒸餾水、培養皿、滴管、試管、硝酸鎂、硝酸鉀。

伍、研究過程與結果

一、研究一：嘉義縣瑞里蝙蝠洞和燕子崖附近的野外調查。

（一）野外地質調查

我們由嘉義市林森路往東經由林森國小、精忠國小、變電所、灣橋、鹿滿到竹崎。就在未進入竹崎市區前，在加油站右轉，走外環道，接 166 縣道，瑞水公路上山。途中「水道」是重要的一站，因為從水道以後，高度便開始上升，真正進入山區。還經過金獅寮、哈路仔、下頭凍仔，沿途看到裸露的岩壁、崩塌的地形和沉積的現象，尤其是砂頁岩互層中塊狀的砂岩，覺得非常雄偉。由於沿線有幾處崩塌很嚴重，所以建造了人工隧道。接著抵達圓潭自然教育中心，全程大約 70~80 分鐘。前往蝙蝠洞的入口處就在嘉 166 線圓潭自然教育中心繼續向前約 500 公尺，172k 附近的產業道路旁，左轉進入青年嶺登山步道的入口。開始沿著青年嶺登山步道下階梯，一路往下走，全部階梯大約一千三百多階。最後經過橫跨粗紙坑溪的情人吊橋，迎面看到的就是燕子崖。粗紙坑溪河床上的石頭大小不均，不管是大的或是小的，都沒有稜角，表面圓滑。河谷兩岸的岩壁為砂岩頁岩互層，粗紙坑溪南岸（蝙蝠洞與燕子崖對岸）的岩壁，有不少處崩塌的情形。

圖 1-1：燕子崖與蝙蝠洞附近的地圖及照片

瑞里風景區的蝙蝠洞位於臺灣嘉義縣梅山鄉瑞里村，瑞里海拔約 1000 公尺，清水溪支流粗紙坑溪切割其間，形成三個縱切河谷的高地，為聚落分佈地點，分別稱為幼葉林、九芎林及柯子林；其中最大聚落就是古稱「幼葉林」的「瑞里」。

燕子崖所在岩壁寬度約 40 公尺，上部為凹凸有致之平行線條，下部則為一高約 2 公尺的凹壁。在這一大片突出的峭壁上，有著相互平行的橫條狀條紋，非常清楚，而且在橫條紋之間，密佈著整齊的細孔，按照瑞里風景區摺頁介紹及當地人士的傳聞，傳說中曾經有燕子在這裡築巢。燕子崖崖下，有一條人行小徑通過，南面面臨粗紙坑溪河道，平時有水從岩壁上傾瀉而下，好像水濂洞一樣，形成特殊景觀。可以想像得到，若是下雨時行走其間，大水自崖上直瀉下來，必定會像萬馬奔騰。「燕子崖」與「千年蝙蝠洞」，兩個景點相距大約一百公尺左右。蝙蝠洞的岩壁為燕子崖上部地層的延伸，綿延 200 多公尺。岩性為層狀砂頁岩互層，陡直的岩面上形成蜂窩似的洞口，最大的洞口寬約 50 公分，深約 60 公分，相傳是過去蝙蝠棲息的場所，故稱為「蝙蝠洞」。

圖 1-2：對岸岩壁崩塌情形

圖 1-3：蝙蝠洞的岩壁為燕子崖上部地層的延伸

圖 1-4：蝙蝠洞及其人行步道近照

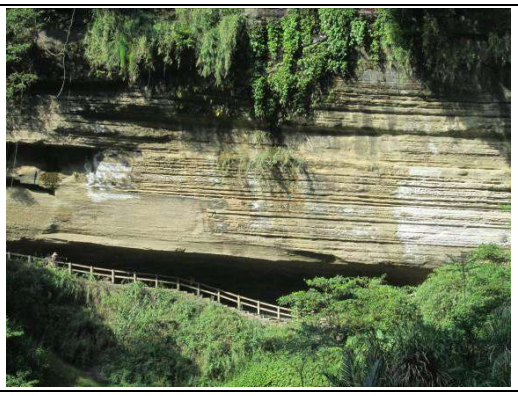


圖 1-5：從粗紙坑溪南岸拍攝燕子崖

圖 1-6：先找到地層層面，鋪一片板子再測量	**圖 1-7**：使用傾斜儀測量地層地傾斜走向
圖 1-8：岩壁上的砂棒化石	**圖 1-8**：岩壁上的砂棒化石

（二）燕子崖、蝙蝠洞野外調查資料總結：

1.燕子崖、蝙蝠洞附近的地質皆為沉積岩，都是砂岩頁岩互層，砂岩比較發達，所以能見到很厚實的岩壁。在岩壁中我們找到貝類化石、砂棒生痕化石。此地的傾斜走向，測量結果為：

(1)第一個點：北偏西 84 度，傾斜 11（蝙蝠洞）

(2)第二個點：北偏西 84 度，傾斜 12（蝙蝠洞）

(3)第三個點：北偏西 88 度，傾斜 12（燕子崖）

2.蝙蝠洞和燕子崖之地層均向西傾斜，傾斜角度介於 11~12 之間，坡度不大。

二、研究二：蝙蝠洞和燕子崖比較，它們之間有何異同？

我們將野外觀察到的地質現象，分為「蝙蝠洞」與「燕子崖」，描述如下：

（一）蝙蝠洞(見圖 2-1)

圖 2-1：蝙蝠洞砂、頁岩互層的岩壁立面，有很多的洞，大小不一

1.岩層的表面是天然的沉積，有層次的排列。岩壁的表面有點類似階梯狀，但上層較厚，下層較薄。

2.突出的岩壁上有大小不一的洞。岩壁上比較脆弱的地方被侵蝕長度由 2 公分至 75 公分不等，形成大小、形狀、深淺都不同的洞。

3.蝙蝠洞質地較堅硬。蝙蝠洞與燕子崖在同一個岩層上，所以質地應該相同，都是砂岩、頁岩互層。但或許它脆弱的部分都崩塌掉了，我們沒看到（又或者根本看不到），以致於我們覺得它比較堅硬。

4.每一水平面厚度不一。很可能每段時間水流帶下來的砂材質不同，又或者是因為每段時間的水流快慢不同，所以導致帶下來的砂量不同，需再進一步研究。

5.蝙蝠洞上的大大小小的凹洞，內測岩壁上，不管是上、下、左、右都發現有白色粉末，跟家裡牆壁上油漆剝落後，從水泥牆生出來的白色粉狀物很接近。

（二）燕子崖(見圖 2-2)

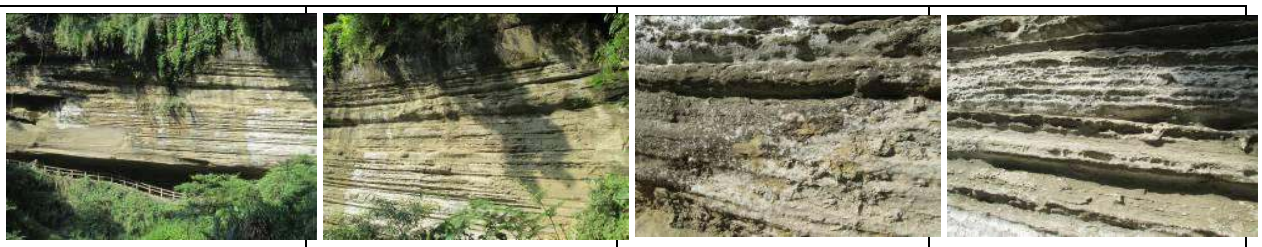


圖 2-2：燕子崖地層排列近似水平，表面不像蝙蝠洞，沒有大凹洞，但仍有坑洞

1.牆壁有被人工開鑿過：為讓遊客行走、瀏覽風景與體驗大自然的鬼斧神工，因此留有開鑿、擴大步道寬度的痕跡。

2.燕子崖靠近河谷岩壁立面和蝙蝠洞比較起來較平坦。不過仔細觀察後發現，其實燕子崖的立面也不是完全光滑，也有一些部分是類似蝙蝠洞一樣坑坑洞洞的，只是洞很小。

3.質地較鬆散的是燕子崖下方的頁岩，顏色是深灰色。我們是以地上的落石作為判斷的依據，在燕子崖地上的落石一捏就碎，所以風化較厲害。

4.每一水平面的厚度平均，地層與地層之間的厚度差異較小，有可能那段沉積的時間裡，水流較平緩，帶下來砂的量或材質也大致相同。

5.和蝙蝠洞一樣，岩壁上都有鐵鏽，是岩石中所含的鐵的礦物氧化後所形成的。

（三）蝙蝠洞與燕子崖，砂岩、頁岩互層，岩石顆粒大小觀察

我們使用解剖顯微鏡觀察從蝙蝠洞與燕子崖帶回來的岩石標本，將表面用清水沖洗乾淨後，用鐵釘刮取一些碎屑，放在培養皿中，再移至顯微鏡下觀察，觀察後使用電腦軟體測量岩石顆粒的尺寸，結果記錄如下 (觀察八個數據去掉極大極小的五個觀察值) ：

圖 2-3：使用解剖顯微鏡連結電腦觀察砂、頁岩顆粒之大小，並使用軟體測量大小

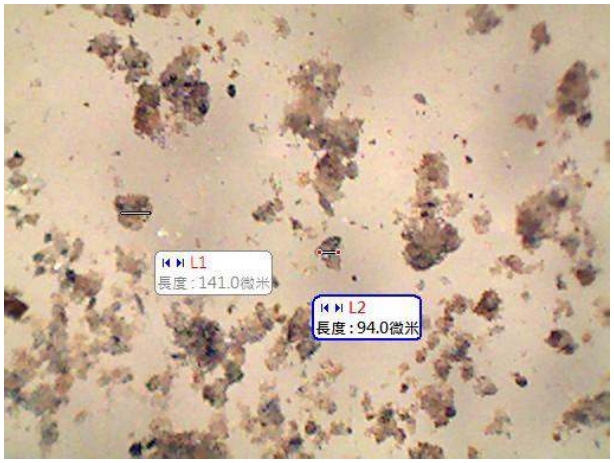
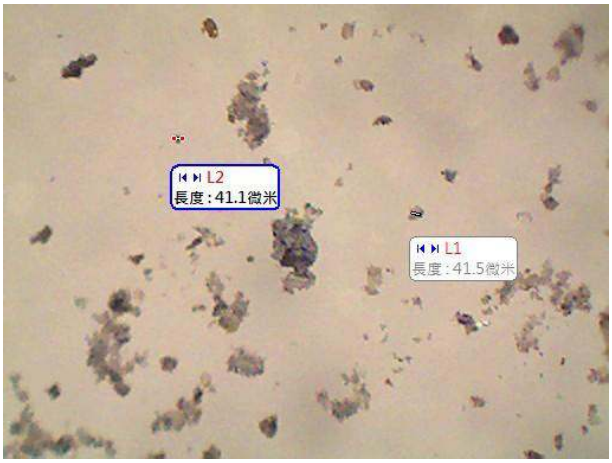


圖 2-4：蝙蝠洞砂頁岩互層中，砂岩在解剖顯微鏡底下的照片(40X)



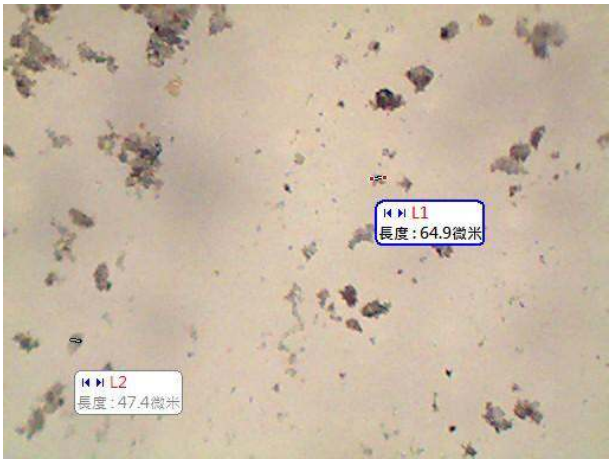
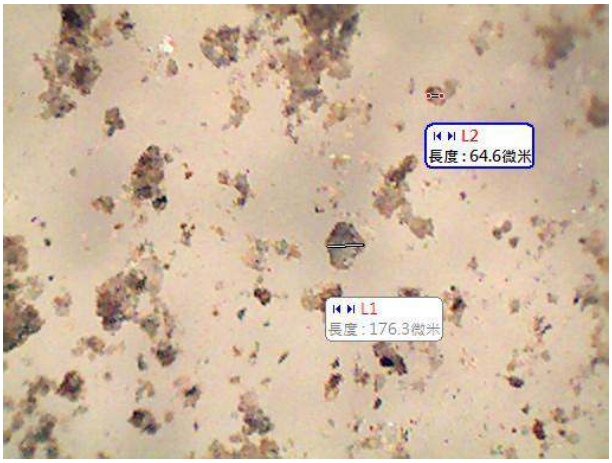


圖 2-5：蝙蝠洞砂頁岩互層中，頁岩在解剖顯微鏡底下的照片(40X)



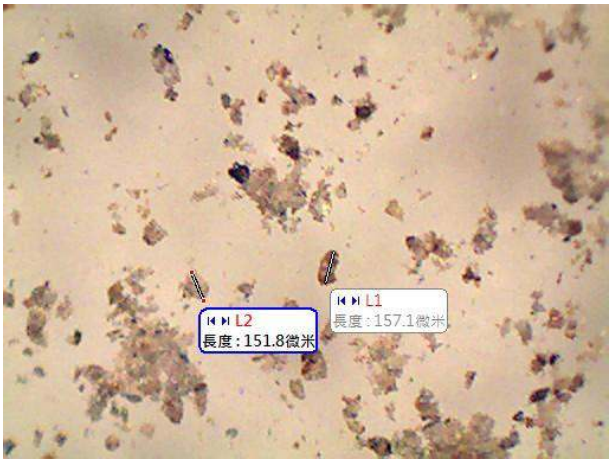
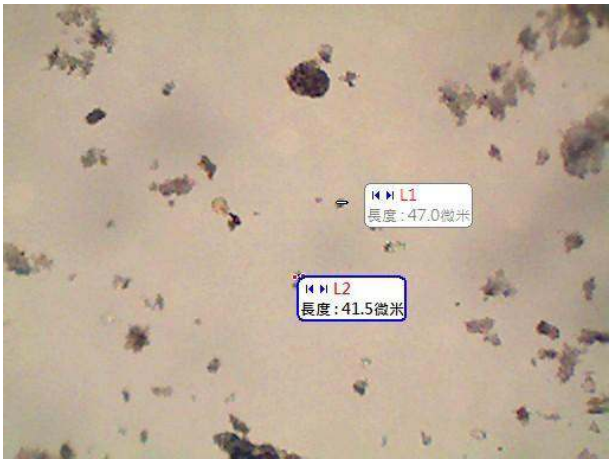


圖 2-6：燕子崖下方人行通道北側岩壁的砂岩在解剖顯微鏡底下的照片(40X)



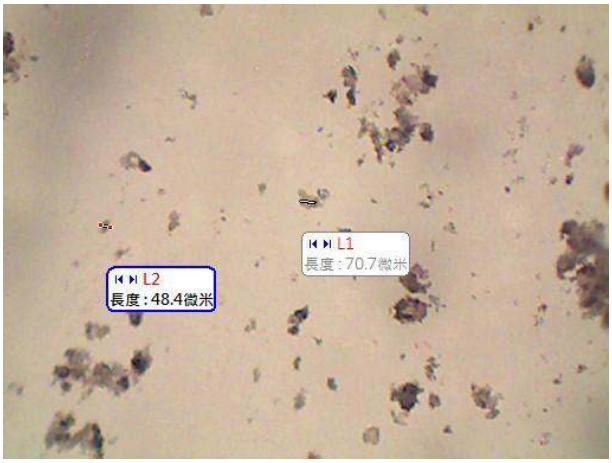


圖 2-7：燕子崖下方人行通道北側岩壁的頁岩在解剖顯微鏡底下的照片(40X)

表二　蝙蝠洞與燕子崖砂頁岩顆粒大小紀錄表　　單位：微米

地點	岩石類別	1	2	3	4	5	平均
蝙蝠洞	砂岩顆粒	94.0	141.0	152.8	171.6	182.5	148.4
	頁岩顆粒	32.3	35.1	41.1	41.5	47.4	39.5
燕子崖	砂岩顆粒	89.2	151.8	157.1	176.3	191.4	153.2
	頁岩顆粒	39.6	41.5	47.0	48.4	58.7	47.0

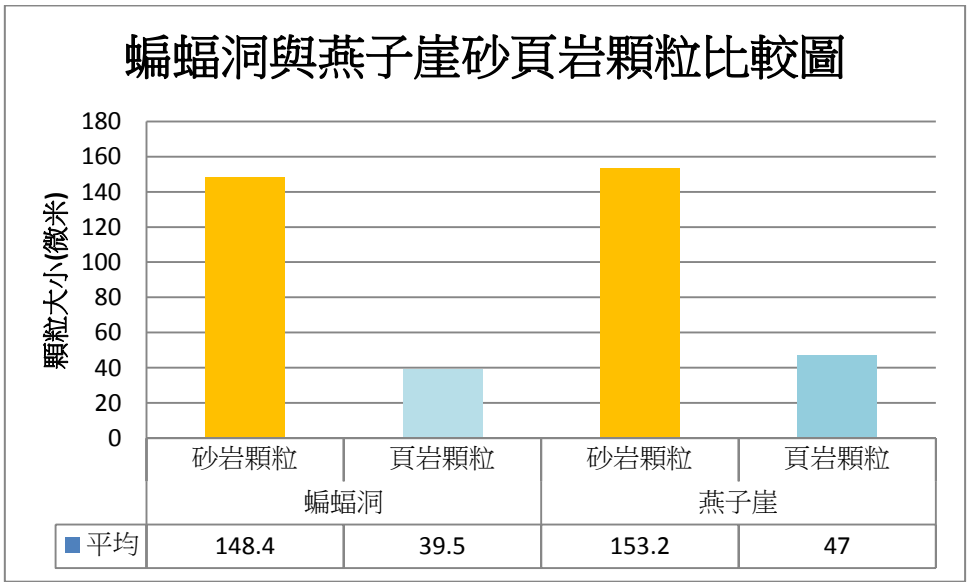


圖 2-8：蝙蝠洞燕子崖砂頁岩顆粒比較圖

（四）我們發現：

1.蝙蝠洞與燕子崖都是沉積岩，由發現的化石和生痕化石「砂棒」可以證明，他們都屬粗紙坑溪北岸上砂岩、頁岩互層的地層，所不同的是蝙蝠洞的地層在燕子崖上面，蝙蝠洞的地層較年輕。

2.雖然這兩處的外觀看起來不同，但是沿著層理，其節理面，垂直於層面的裸露岩壁上，都有密集的凹洞，只是大小不同而已。

3.根據我們的觀察紀錄，燕子崖的砂頁岩顆粒平均都比蝙蝠洞顆粒來的大，但是差異並不明顯。

三、研究三：蝙蝠洞和燕子崖水平排列的岩壁有甚麼意義？

經由我們的調查與測量，地層的走向約在北偏西 84~88 度之間，傾斜約在 11 至 12 度，都是向西傾斜。從對岸觀察這些地層，看起來接近水平，我們想了解這樣的地層，可以告訴我們甚麼？於是設計了兩個實驗來印證；一個使用流水台河水的搬運作用觀察，一個是岩石顆粒的沉積試驗，以便進一步探討地層水平排列的意義。

（一）試驗一：流水台沉積觀察實驗

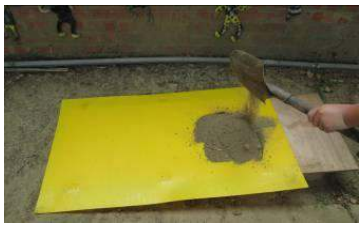


圖 3-1：在塑膠板上放一堆沙土	圖 3-2：使用噴水器模擬水流	圖 3-3：流水帶走更多的泥沙
圖 3-4：流水和泥沙的運動情形	圖 3-5：水量越大，泥砂運動越激烈	圖 3-6：泥沙的沉積現象

1.實驗材料：花圃裡的沙土

2.實驗方法：

（1）把花圃裡的沙土放在傾斜的塑膠板斜面上。

（2）倒入 200 cc.的水，觀察流水把沙子帶動的情形。

（3）等觀察過後，做成紀錄，再次進行步驟（2）。

（4）觀察水與砂石、泥土在塑膠板斜面上移動與在平面的泥土地上堆積的情形。

3.我們發現：

河流的搬運作用與深海沉積成為岩層是有關係的；流水量的大小會影響攜帶砂子顆粒的數量，以及搬運的距離。當流水量越大，所攜帶的泥砂越多，搬運距離越遠，泥砂的運動也就越激烈。

（二）試驗二：沉積岩地層的形成

1.實驗材料：不同的砂（石英砂、粗砂、細砂、小石頭）少許、塑膠盒五個（二大、一中、二小）、篩網兩個。

2.實驗方法：

（1）在塑膠盒中倒入 200 cc的水。

（2）把沙子倒入盒中。

（3）等沙子沉澱後，再次進行步驟（2）。

（4）觀察其沉積厚度與沉積的情形。

3.實驗觀察記錄：

我們用塑膠杯製作一個流水實驗的器具，用來模擬沉積岩的形成過程。當我們把細沙、石英砂和粗砂依序分別用水沖入盒中，觀察砂石沉澱的情形。隨著實驗進行，盒中的沙石呈現一層一層的沉積物。

由於我們使用的圓形塑膠杯透明度較差，觀察起來較不清楚，於是我們在實驗室中找到了方形壓克力盒來做實驗，效果較好，砂石的沉積地層次非常明顯。

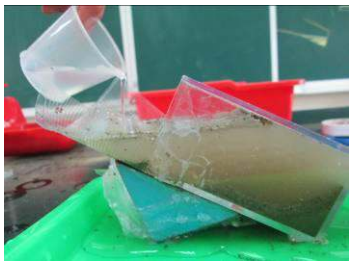
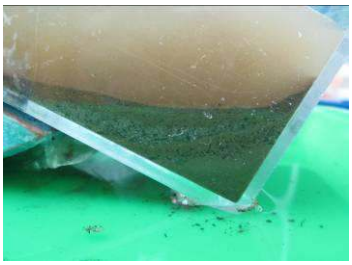
	

圖 3-7：將水和沙流入壓克力盒	圖 3-8：開始觀察到沉積的狀態	圖 3-9：沉積層次明顯，分為 4 層

4.我們發現：

河水由上游將砂石往下游搬運，受地形影響，最後都沉積在海裡。這些沉積的顆粒，很自然地排列成水平狀。當岩層膠結、固化、石化成為堅硬的地層。地殼隆起後還是接近水平，正好告訴我們，在蝙蝠洞與燕子崖這個區域，岩層的變動不大。

四、研究四：製作瑞里蝙蝠洞與燕子崖附近的等高線地層模型

為了野外地質調查的需要，我們使用中央地質調查所繪製的瑞里附近的等高線航測地質圖做為參考資料。根據這張圖，我們擷取蝙蝠洞為主，包含粗紙坑溪附近的地質圖，按五年級學過的等高線地形圖製作這個地區的地層模型，當作本研究的參考。製作過程如下：

1.製作材料：珍珠板、保麗龍切割器、尺、地圖、美工刀

2.製作方法：

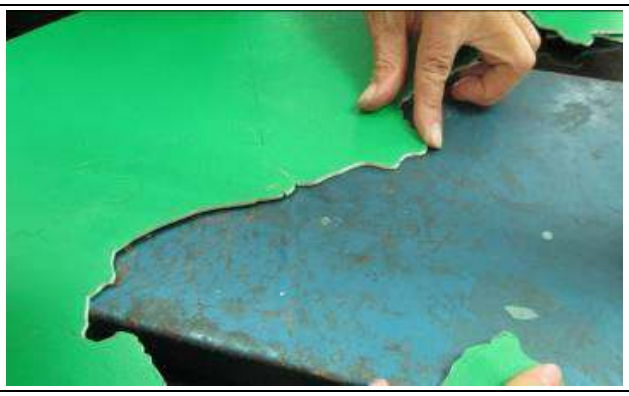
（1）沿著等高線剪地圖。

（2）描在珍珠板上。

（3）用保麗龍切割器沿線切割塑膠板。

（4）由海拔較低的地方做到海拔較高的地方，並黏在底板上。

（5）一層一層的往上黏貼，模型逐漸成山的樣子。

	
圖 4-1：利用保麗龍切割器切割塑膠板	圖 4-2：要常旋轉塑膠板，不然會卡到
圖 4-3：完成等高線地層模型	圖 4-4：在等高線地層模型上，加入公路及河流

3.我們發現：

（1）經過這次做模型的經驗，我們學到了如何使用保麗龍切割器，在使用這個工具時，要非常小心，一來是因為要小心頭髮或皮膚不能碰到電烙線，以免燙傷。二來是要小心切

割珍珠板，需要細心的控制塑膠板的動向，不然如果移動到塑膠板或切錯位置，我們就要重新再做了。

（2）從等高線模型上，很容易就可以看出地形高低，相對位置的方位也較清楚，比起平面的等高線圖來說，更能幫助我們了解不同地形高度與侵蝕、崩塌之間的關係。

（3）這個模型對我們進行「瑞里蝙蝠洞的地質研究」，提供了具體的 3D 地形樣貌，我們可以清楚了解，粗紙坑溪北岸蝙蝠洞所在的位置，正是河谷彎曲的凹面，也就是同一河段中，水流較強的一側，可以佐證蝙蝠洞在地質年代中，曾經被侵蝕的可能性。

五、研究五：為什麼蝙蝠洞像「戳戳樂」，一個洞一個洞的樣子？

我們的實驗目的在於探討蝙蝠洞的坑洞形成原因。實驗設計構想如下：先使用自製泥塊（把泥土或水攪拌均勻，靜置一個星期後成為乾燥的硬泥塊）、再使用油漆師傅在油漆前，填補牆壁不平或凹洞的「批土」，置於小塑膠淺盆中，等它硬化後，進行「水蝕」試驗。最後使用石膏來做水侵蝕的試驗觀察。

(一)試驗一：自製泥塊水蝕試驗

1.實驗材料：六塊大小差不多的泥塊、被剪一個洞的飲料杯(當相機的架子)、灑水器一個。

2.實驗方法：

（1）找一塊大小符合（可橫躺放入飲料杯中）的泥塊。

（2）使用澆花用的噴水器，以相同方式對著泥塊噴灑水，每噴水 10 下後觀察。

（3）重複（2）的步驟，總共七次，並做記錄。

3.實驗結果

由於泥塊遇到水後會融化，所以變成軟軟的一團，連拿都拿不好，還會東一塊、西一塊的掉下來，觀察不到差異侵蝕的情形，所以我們另外再用第二種方法。

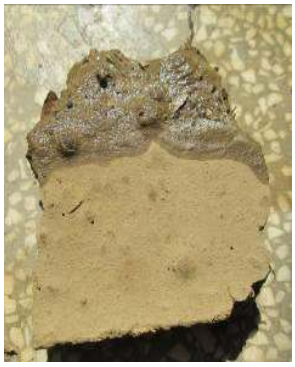


圖 5-1：試驗一，自製泥塊膠結差，泡水就軟化

圖 5-2：試驗二，油漆用的披土，太硬，觀察不到變化

(二)試驗二：批土泥塊水蝕試驗

1.實驗材料： 批土、沙土、二個扁平塑膠盒、一個透塑膠盒、攪拌棒。

2.實驗步驟

（1）先把批土跟砂混合。

（2）抹在扁平塑膠盒上。

（3）把批土戳洞，接著把沙土填進去，等披土硬化以後再進行侵蝕試驗。

（4）把批土連同塑膠盒裝水，並把乾了的批土放進裝水的方形水族箱中。

（5）攪拌塑膠盒中的水，形成渦流，觀察批土被水侵蝕的情形。

3.實驗結果

攪拌在批土中的沙土，隨著批土硬化後，已經成為硬塊，而且我們使用人工攪拌製造渦流，卻未能製造出較大、較強的渦流，縱然改用玩具馬達旋轉，效果大致相同。所以除了後來填在披土凹洞中的沙土脫落之外，無法看到明顯的侵蝕情形，實驗前後幾乎沒有差異。

（三）試驗三：石膏泥塊水蝕試驗

1.實驗材料：紙盒一個、石膏粉、水、攪拌棒、手搖鑽、鋸子。

2.實驗方法：

（1）把石膏粉跟水攪拌成勾芡狀，再倒入紙盒中。

（2）等待石膏乾燥凝固後，把紙盒撕開，將石膏取出。

（3）利用鋸子將所製造的石膏塊平分成二半，以便進行實驗觀察。

（4）在編號一的石膏上打一個小洞，然後在編號二的石膏上打一些小洞。

（5）把二個石膏都放在水龍頭下，用小水滴沖，沖一天一夜，觀察結果。

3. 實驗結果

沖一天一夜以後，我們發現兩塊石膏都有明顯變化，除了表面都有明顯坑洞以外，原來的小洞面積也擴大了。因為水會從平面上流下來。所以四邊立面也會有凹痕的變化。出現類似蝙蝠洞的水平水痕。而石膏一的洞深度比石膏二要淺，石膏二上的紋路也較深，估計是因為沖擊石膏二的水流較大。我們將實驗過程拍照如下：

圖 5-3：平面的侵蝕情形		圖 5-4：鑽洞後的侵蝕情形	

4.我們發現：

從石膏上的洞看來，水的侵蝕的確會造成一些凹洞，假如日積月累，水流對堅硬岩石的侵蝕，破壞力必定會擴大。我們認為：水對岩石的侵蝕，地層中膠結較差的部分，被侵蝕形成凹洞，凹洞再逐漸擴大成為大洞。換句話說，小洞、中洞、大洞就在水流侵蝕時，慢慢進行。當洞與洞之間的的距離較大時，每一個洞是獨自發展；而洞與洞之間的距離較近，有可能在分別擴大時，兩個洞或三個洞…併成一個洞，那麼凹洞變大的速度就會快一點。在蝙蝠洞和燕子崖所觀察到的洞，大多發生在同一層中，也有少數是跨上下兩層的，如圖 5-5 至 5-7：

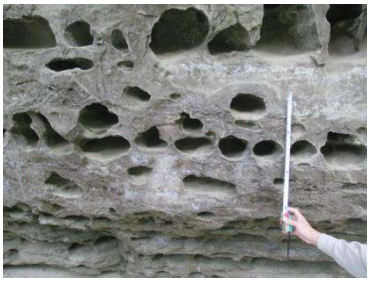
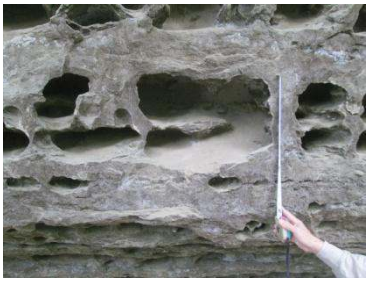
	

圖 5-5：凹洞大多數都在同一層裡	圖 5-6：少數大的洞是跨上下層	圖 5-7：同一地層小洞併成大洞

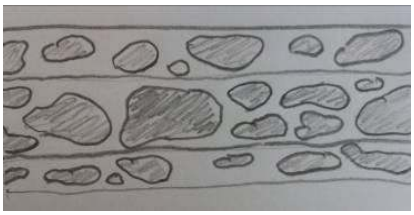
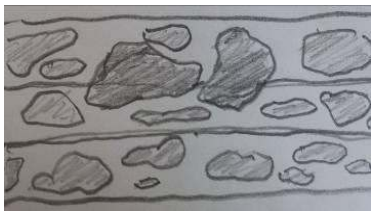
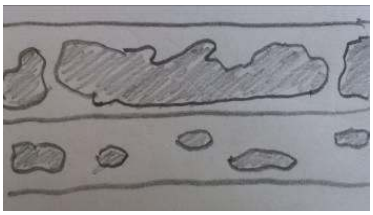

		

圖 5-5 之示意圖	圖 5-6 之示意圖	圖 5-7 之示意圖

六、研究六：為什麼蝙蝠洞的洞深淺、大小、形狀都不同？為何有些洞有隔板？

在前一個研究問題中，我們發現蝙蝠洞這個地方，岩壁上的洞有大有小，形狀和深淺也都不一樣，為了進一步求證，我們找了幾個樣區進行測量，作為分析的依據。

（一）野外測量

我們兩個人一組測量，另一人紀錄。測量的人利用捲尺測量洞的長、寬、深，並用口頭回報給記錄人，記錄的人會重複一次以確保數據的正確性。我們把四公尺的童軍繩圍成一個正方形，測量每平方公尺中有幾個大洞、小洞。第一個樣區有 21 個洞（編號 1~21），第二樣區有 29 個洞（編號 22~50），第三樣區有 14 個洞（編號 51~64）。

表三　瑞里蝙蝠洞 洞的大小測量記錄表　　單位:公分

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
長	10	7	6	6	2	10	17	5	7	80
寬	6	8	8	6	1	10	7	7	4	12
高	4	4	3	3	18	4	4	6	3	21
體積	240	224	144	108	36	400	476	210	84	20160
編號	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
長	7	4	5	4	5	33	4	4	6	15
寬	10	3	4	5	4	17	7	6	8	18
高	7	3	2	7	3	14	8	4	2	9
體積	490	36	40	140	60	7854	224	96	96	2430
編號	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
長	7	4	7	30	31	14	10	49	75	26
寬	3	5	8	27	17	13	8	28	30	17
高	4	4	2	14	11	18	7	19	22	21
體積	84	80	112	11340	5797	3276	560	26068	49500	9282
編號	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
長	9	9	12	10	16	53	17	17	30	10
寬	7	6	10	6	9	17	30	13	10	13
高	6	6	8	6	9	14	12	25	9	21
體積	378	324	960	360	1296	14098	6840	5525	2700	2730
編號	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
長	10	65	10	6	9	10	50	20	10	13
寬	11	16	14	18	8	20	13	13	16	29
高	18	36	24	36	10	19	20	30	20	13
體積	1980	37440	3360	3132	720	3800	13000	7800	3200	4901

編號	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
長	10	13	10	10	20	7	25	3	21	8
寬	23	18	19	20	15	14	14	5	23	10
高	20	17	13	12	9	18	13	3	13	15
體積	4600	3978	2470	2400	2700	1764	4550	45	6279	1200
編號	61	62	63	64						
長	31	4	30	3						
寬	30	5	17	4						
高	23	7	19	5						
體積	21390	140	9690	60						

圖 6-1：實際測量蝙蝠洞洞口大小之情形

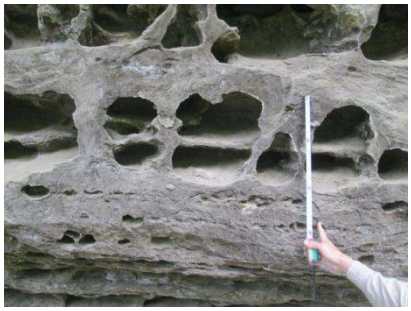


圖 6-2：有隔板的洞

（二）我們發現：

1.蝙蝠洞上面的洞，它們的大小差異都非常明顯，連深淺也有很大的差異。另外，有一些洞有隔板，有一些洞沒有隔板，而如果有隔板的話，洞就會比較小。如圖 6-2。

2.根據前面「研究三」的實驗，我們發現，當水流越大時，侵蝕作用便會越明顯。所以我們推測，蝙蝠洞的洞之所以有大小、深淺、形狀不一，其中的一個因素是因為岩層中造岩礦物膠結時，他們本身就有不同的軟硬程度，較軟的地方受到的侵蝕較嚴重，形成的洞也會比較大的關係。

3.也可能是因為岩石質地的關係。在研究五的試驗一，操作時，我們看到土塊在試驗過程中，只要土塊一碰到水就容易軟化，表面的沙石很快就脫落，我們認為顆粒之間的膠結比較差，也較容易掉下來。

4.因此我們知道，質地越軟的岩石通常越容易侵蝕。何春蓀（1984）他在普通地質學一書中提到「差異侵蝕」，所講的岩層膠結的強度不一，或者砂頁岩互層的地層中，比較脆弱的部分，會先受水的侵蝕而掉落，可以印證蝙蝠洞的形成過程。

七、研究七：蝙蝠洞岩石上白色的粉末為何物？

蝙蝠洞的岩壁上有著一些白色粉末（見圖 7-1），分布面積不均，有時長度超過十五公分，有時只有小小的幾點（見圖 7-2），而粉末上還附著著不明的絨毛物質或結晶，而它密集的程度也不均勻，有時會有很多白色粉末，那塊區域看起來就很白，有時只有薄薄的一層，還看得到裡面的岩壁上，也有白色粉末。這些白色粉末，時多時少，到底原因為何，都值得我們探討。(見圖 7-3、7-4)

因此我們想設計實驗來檢驗這些粉末，看看它們到底是什麼？我們初步想到的辦法，是拿牆壁上產生的壁癌「白華」來與這些粉末做比較。

圖 7-1：蝙蝠洞中上下左右都可發現白色粉末

圖 7-2：筆當比率尺，圖中筆長度約為 15 公分

圖 7-3：這些粉末有些形成結晶而凸起

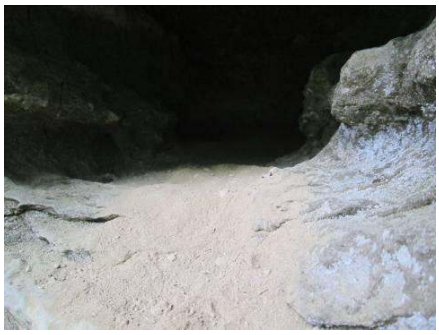


圖 7-4：每一次去，粉末的量都有些改變

圖 7-5：將蝙蝠洞裡的白色物質，用尺刮下來，帶回教室進行化驗

（一）蝙蝠洞上的白色粉末和「白華」比較

我們為什麼會拿「白華」和蝙蝠洞裡的「白色粉末狀物」來做比較？首先我們要知道甚麼是「白華」？所謂白華就是一般人所稱的「壁癌」，是指在混凝土、磚塊等材質中，可溶解的成份隨水溶解，在水份蒸發之後，析出白色的鹽類的附著物質。其產生的原因相當複雜，因此工程界仍無法找出一勞永逸的防治方法，故以「壁癌」稱之（維基百科，2015）。

由於蝙蝠洞的地層形成初期在海底，地殼隆起，升上來之後，地層裡面所含的鹽類因為潮濕、乾燥的循環而被釋放出來，所以便稱成了這種白色的、毛毛的，粉末狀的晶體。與蓋房子使用的水泥、磚塊、沙子、小石子等原料，也都是早期地層的混合物或化合物，情況是相同的。

按照有關建築專家和土木工程師研究的結果發現，壁癌是因為水泥受到空氣中的水氣侵蝕，當水氣進入牆壁的裂縫時，便會產生酸鹼中和，產生碳酸鈣，固著於混凝土表面並呈白色。我們在蝙蝠洞觀察的結果，此地空氣較為潮濕、陽光照到河谷、岩壁時，又顯得乾燥，和建築物每天所面對的環境是一樣的，因此，我們決定在更深入探討白華與蝙蝠洞白色粉末到底是不是一樣的東西?

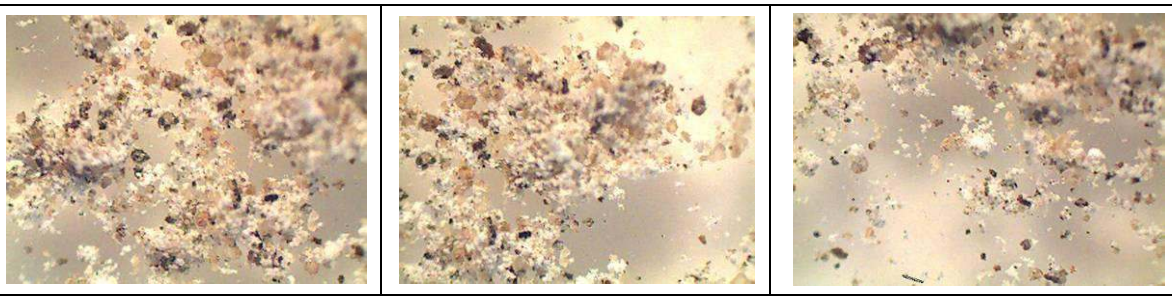


圖 7-6：瑞里蝙蝠洞所產生的白色粉末，在數位顯微鏡下，放大 40 倍所看到的影像

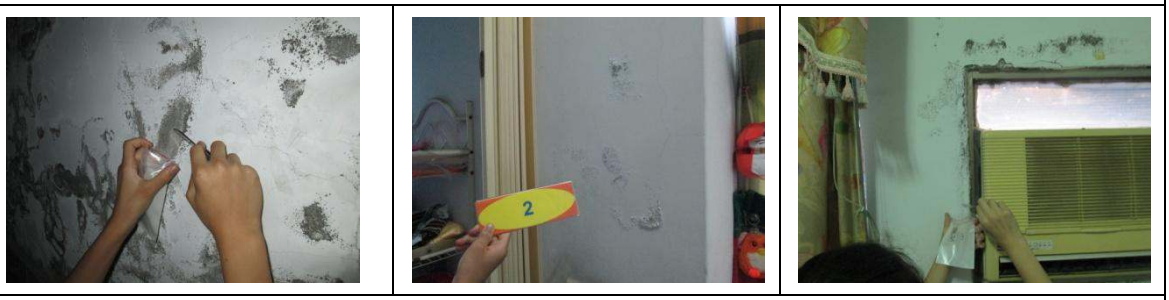


圖 7-7：這是舅舅家水泥牆上面產生的壁癌，一般人稱為壁癌的「白華」

（二）試驗一：蝙蝠洞上白色粉末及白華的酸鹼值試驗：

1.實驗設計：了解蝙蝠洞上的白色粉末及白華的酸鹼值

2.實驗材料：蒸餾水、白華粉末、蝙蝠洞白色粉末、燒杯、pH meter、湯匙、微量天平

3.實驗步驟

（1）在兩個燒杯中各倒入 50ml.蒸餾水。

（2）用微量天平量 3g 的白色粉末和白華粉末。

（3）各將粉末倒入燒杯中，並攪拌均勻。

（4）利用緩衝溶液調整 pH meter。

（5）等水溶液沉澱後，利用 pH meter 進行測量。

圖 7-8：利用 pH meter 進行測量

4.實驗結果：

經過檢測後，發現蝙蝠洞白色粉末(pH7.2)與白華粉末(pH7.1)皆偏中性，我們推測有可能是鹽類。根據我們查到的資料，因為山上的水質中含有硫酸鹽及碳酸鹽居多，因此，我們合理的推測這些粉末有可能是兩者之中其一，於是設計以下試驗。

（三）試驗二：蝙蝠洞上的白色粉末是否為碳酸鹽類？

1.實驗設計：了解蝙蝠洞上的白色粉末及白華成分是否為碳酸鹽類。

2.實驗材料：蒸餾水、白華粉末、蝙蝠洞白色粉末、試管、稀鹽酸、滴管。

3.實驗步驟：

（1）分別取「白華」及「白色粉末」各一小湯匙於試管中。

（2）在兩支試管中滴入稀鹽酸，並觀察紀錄。

4.實驗結果：根據碳酸鹽加上稀鹽酸會產生二氧化碳，我們可以由實驗結果知道，當「白華」粉末加上稀鹽酸時，有產生氣泡，再加上我們查到的資料，更加印證「白華」確實為碳酸鹽類。但是蝙蝠洞的粉末加上稀鹽酸時沒有產生氣泡，因此確定不是碳酸鹽類，但成分不明。

圖 7-9：左為「白華」，右管為「蝙蝠洞白色粉末」

（四）試驗三：蝙蝠洞上的白色粉末是否為硫酸鹽類？

1.實驗設計：了解蝙蝠洞上的白色粉末成分是否為硫酸鹽類

2.實驗材料：蒸餾水、白華粉末、蝙蝠洞白色粉末、試管、硝酸鋇、滴管

3.實驗步驟

（1）取試驗一所製造的水溶液 5ml 加於試管裡。

（2）將蒸餾水與硝酸鋇混合均勻。

（3）利用滴管分別滴入 1.5ml 硝酸鋇於兩支試管裡，並觀察實驗結果。

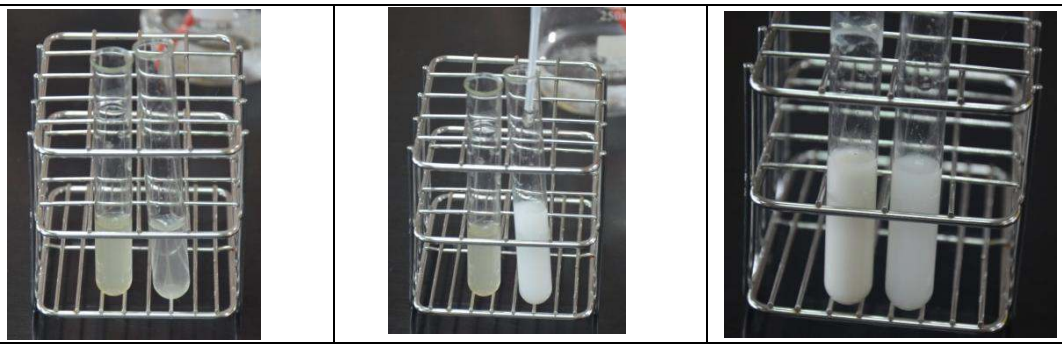


圖 7-10：左管為蝙蝠洞白色粉末，右管為白華；兩根試管加入硝酸鋇後均產生白色沉澱物。

4.實驗結果：

當蝙蝠洞粉末水溶液、白華水溶液加入硝酸鋇後均有白色沉澱，經過我們查證資料後，發現碳酸鹽、硫酸鹽及磷酸鹽加入硝酸鋇後均可能有此情形產生。但因蝙蝠洞粉末水溶液在碰到稀鹽酸時無氣泡，所以不可能是碳酸鹽類。因此為了確定為硫酸鹽或磷酸鹽，我們進行以下實驗。

（五）試驗四：確認蝙蝠洞上的白色粉末是否為硫酸鹽類。

1.實驗設計：確認蝙蝠洞上的白色粉末成分是否為硫酸鹽類

2.實驗材料：蒸餾水、蝙蝠洞白色粉末、試管、硝酸鎂、滴管

3.實驗步驟

（1）取試驗一所製造的蝙蝠洞白色粉末水溶液 5ml 加於試管裡。

（2）將蒸餾水與硝酸鎂混合均勻。

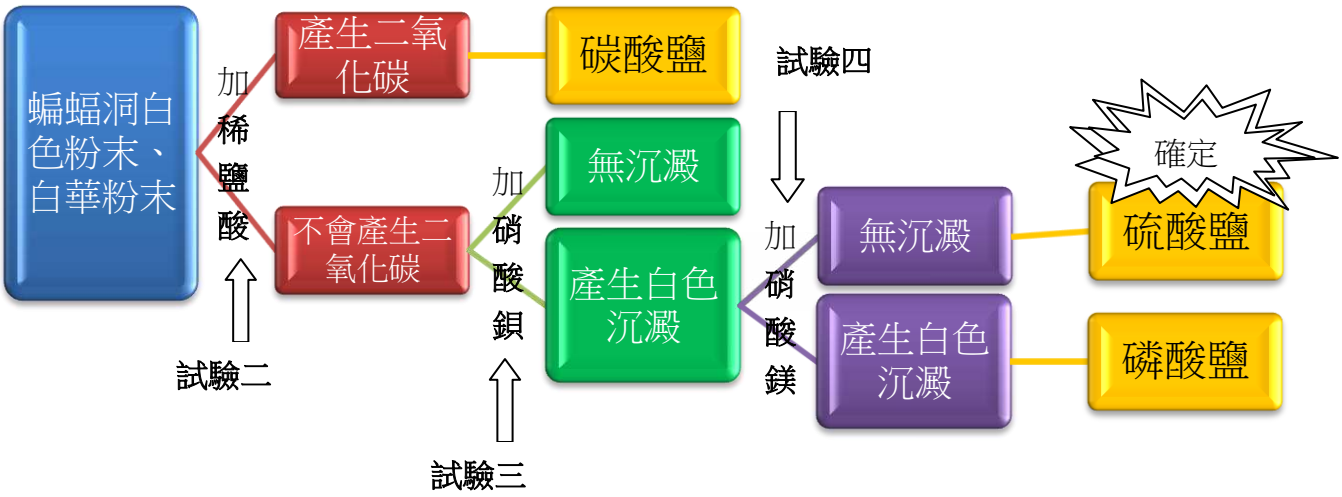
（3）利用滴管分別滴入 1.5ml 硝酸鎂於試管裡，並觀察實驗結果。

圖 7-11：加入硝酸鎂後無沉澱

4.實驗結果：

當蝙蝠洞粉末水溶液加入硝酸鎂後沒有白色沉澱產生，所以確定為硫酸鹽類。若是磷酸鹽加入硝酸鎂會產生磷酸鎂的沉澱。

綜合以上試驗二、三、四的結果



八、研究八：為什麼蝙蝠洞與燕子崖在粗紙坑溪對岸的地層，沒有相同地形？

在研究過程中，我們一直在想一個問題，那就是蝙蝠洞所在位置的對岸，相同的都是砂、頁岩互層，為什麼那一邊就沒有像蝙蝠洞或燕子崖一樣，產生一些岩壁上的小洞穴？經過深入討論，我們的看法如下：

（一）從河道型態來看

圖 8-1：燕子崖下方河道成小弧形彎曲，屬於水流對河道之攻擊面，容易造成侵蝕。

圖 8-2：我們設計的河流曲流觀察實驗，河道彎曲的凹面，受到侵蝕較為嚴重。

圖 8-3：何春蓀地質學提到，河道曲流的外側，也就是凹面，水流速度較快，凸岸較慢。

我們發現：

粗紙坑溪北岸，就是地形上河道的凹面，地質年代早期，瑞里蝙蝠洞和燕子崖所在的位置沒有這麼高，他們是浸泡在水中，「溶蝕」和「侵蝕」都有可能發生。而蝙蝠洞這一邊水流

較強、較快，岩石受到的侵蝕可能較快，因此有機會形成現在一樣的坑洞。另外，我們也從崩塌的另一個角度來探討。

（二）從崩塌情形來看

圖 8-4：蝙蝠洞與燕子崖對岸，粗紙坑南岸河道的岩層崩塌嚴重。

圖 8-5：燕子崖與蝙蝠洞這一邊的岩壁，只有凹洞，沒有較大的崩塌情形。

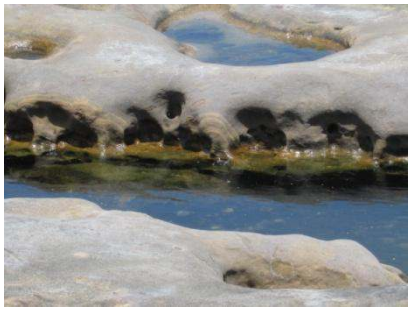
我們發現：

1998 年 7 月 17 日中午 12 點 51 分時，嘉義附近發生了一次芮氏規模達到 6.2 的大地震，造成瑞里大飯店部分建築物倒榻。而瑞里大飯店所在地約略是粗紙坑溪南岸接近河谷山崖，也就是目前蝙蝠洞對岸的位置，從現在粗紙坑溪沿步道下來這一邊正好是蝙蝠洞與燕子崖的對岸，我們沿途可以看到岩壁崩塌、石塊墜落的痕跡，若再加上大地震災害發生的現場來推想，蝙蝠洞對岸的砂頁岩互層的地層較不穩定，容易崩塌，因此，縱然是有一些溶蝕或侵蝕的情形發生，但是只要一崩塌就消失了，是可以說明為什麼同一河段，河岸兩側的景觀截然不同的原因。不過我們期望後續研究時，能從地質或岩石礦物方面再來探討這個問題。

陸、討論

一、過去式與現在式－探討「瑞里蝙蝠洞」是怎麼來的？

有關蝙蝠洞這些凹洞到底是怎麼形成的，我們找到一些相關的資料。那就是新北市野柳、墾丁南灣、台東小野柳的「蜂窩岩」和「風化窗」。為了這個研究，我們實際到了野柳做地質探訪，也從文獻上找到，所謂蜂窩岩，以野柳為例，砂岩中有些貝殼碎屑，這些化石因含石灰質，會被雨水中的微酸溶蝕成洞，再經海水侵蝕作用擴大，形成一個個小洞，密密麻麻像蜂窩一樣，海水繼續侵蝕，小洞逐漸擴大，就是蜂窩岩。

圖 9-1：蜂窩岩	圖 9-2：風化窗	圖 9-3：風化窗
		
圖 9-4：結核	圖 9-5：正在侵蝕形成的風化窗	圖 9-6：正在侵蝕形成的風化窗
圖 9-7：正在侵蝕形成的蜂窩岩	圖 9-8：正在侵蝕形成的蜂窩岩	圖 9-9：屹立在野柳的女王頭

蜂窩岩和風化窗的形成過程大致相同，但蜂窩岩上的洞排列是不規則的，風化窗則是有規律的(如圖 9-1~9-3)。根據我們實際探訪觀察現在正在進行侵蝕的情形，可以發現當地層層

面若與水平面平行時，經過差異侵蝕後較容易產生風化窗，洞與洞之間排列為水平排列；若是地層層面雨水平面不平行時，經過差異侵蝕後產生的稱為蜂窩岩，洞與洞之間排列較不規則(如圖 9-5~9-8)。示意圖如圖 9-10~9-11。

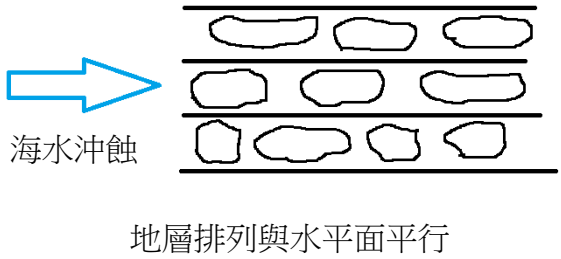


圖 9-10：風化窗的產生示意圖

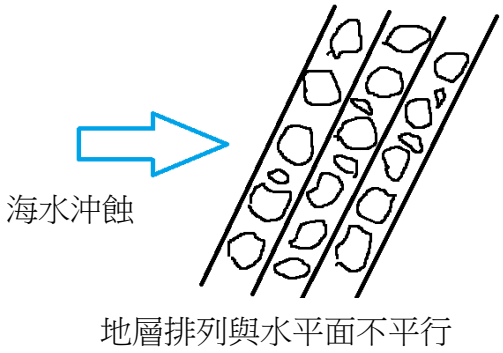


圖 9-11：蜂窩岩的產生示意圖

所以我們推論燕子崖應該是蝙蝠洞的雛形，如果燕子崖還沉在水底的話，或許再經過幾百萬年後，是有可像蝙蝠洞一樣，沿著水平地層，一個一個的小洞會逐漸形成，而變成像今天的蝙蝠洞。不過這件事情已經不可能發生了，因為這個地方早已隆起。而蝙蝠洞，在地殼隆起的過程中，沉在水裡的時間較長，受到水的侵蝕作用較大，因此形成坑洞。我們也有想過破壞岩石的另一種作用－風化作用，但風化作用大多發生在岩石的表面，並不會像侵蝕作用一樣深入岩石二、三十公分深，所以我們也否決了這個可能。

二、蝙蝠洞自然景觀雖然吸引人，但是有一些不確定的因素值得大家注意。

在野外地質調查的過程，我們發現此地有些地方有龜裂情形，為了遊客安全，有關單位可能要樹立一些警語，並定期派員查看並做追蹤紀錄。如圖 9-12。

圖 9-12：從東邊燕子崖往蝙蝠洞，兩個景點之間，大型垂直的裂隙，高度超過兩層樓

圖 9-13：蝙蝠洞由上往下的裂縫，高度到頂

圖 9-14：燕子崖西半段楔形節理，約 2~3 公尺

圖 9-15：燕子崖下方頁岩破碎的情形，頁岩上面的節理，各方向都有，底部形成崖錐

從這些裂隙與節理看來，此地是存在著很多不確定的變因。為了遊客通行方便，道路寬度好像有一些增加，會不會影響負載的安全？再加上蝙蝠洞到燕子崖之間的裂隙，其長度和規模都不小，值得我們後續對這個地方再做研究。不過風景區的管理單位，是必須派專人定期檢測，並請專家進行研究，才是迫不及待的工作。

柒、結論

（一）蝙蝠洞與燕子崖附近的地質調查結果發現：燕子崖、蝙蝠洞附近的地質皆為沉積岩，由發現的化石和生痕化石「砂棒」可以證明。都是砂岩頁岩互層，砂岩比較發達，走向為「北偏西 84 度」地層均向西傾斜，傾斜角度介於 11~12 之間。

（二）蝙蝠洞與燕子崖都位於粗紙坑溪北岸接近水平的地層，所不同的是蝙蝠洞的地層在燕子崖上面；兩者比較，相對蝙蝠洞的地層，燕子崖地層較老。蝙蝠洞的凹洞大，燕子崖的凹洞小，但都是差異侵蝕造成的。

（三）實驗證明，蝙蝠洞和燕子崖地層層面接近水平排列，和此一地層在海底沉積時之水平構造相去不遠，表示從形成到現在，沒有太大的變動。

（四）製作瑞里蝙蝠洞與燕子崖附近的等高線地層模型，可以讓我們對地形高低有較具體的概念。

（五）蝙蝠洞像「戳戳樂」被戳過後，一個洞一個洞的樣子，是因為地層岩壁被水侵蝕、風化形成；類似野柳、墾丁的蜂窩岩和風化窗，有其獨特的景觀。

（六）由於差異侵蝕的結果，蝙蝠洞的洞有深有淺、有大有小、形狀都各不相同。因為岩層礦物膠結不同，侵蝕洞與洞之間的距離也不一樣，所以有些洞與洞之間會殘存隔板，有些沒有隔板，沒有隔板的洞都比較大。

（七）蝙蝠洞岩石上白色的粉末經由我們實驗的結果確定為磷酸鹽類，至於陽離子目前我們沒有辦法確定，期待日後我們可以繼續研究。

（八）因河流曲道流水速度較慢及崩塌的影響，蝙蝠洞與燕子崖在粗紙坑溪對岸的地層，沒有辦法產生一個洞、一個洞的景觀。因此我們更要好好愛惜此珍貴的地形地貌。

捌、參考資料

何春蓀（1984）。普通地質學。台北市：五南。

薛美芳（1998）。地景保育名詞解釋－地震災害。

中央地質調查所（1999）。瑞里地區等高線地形圖。台北市：經濟部。

周宇廷（2001）。台灣全圖。台北市：珊如。

甘明仁、洪啟仲、陳啟文(1986)。野柳風景石真相？。全國科展第 26 屆作品。

王耀宏、楊開華、尤兆民(1979)。野柳岬奇岩成因的研究。全國科展第 19 屆作品。

王懷鵬、劉懿璇、張嘉文、江信怡(1987)。 鬼斧神工的風化窗。全國科展第 27 屆作品。

阿山的地科研究室網站 http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoPark/YehLiu/

index-YehLiu_main03_06.html(20150610)

國立自然科學博物館學習資源網站 http://edresource.nmns.edu.tw/ShowObject.

aspx?id=0b81a1f92d0b81da1ee00b820a9e63(20150610)

野柳地質教室網站 http://www.nkps.tp.edu.tw/00075/country/outdoor/yeliao.htm（20150119）

野柳地質公園網站 http://www.ylgeopark.org.tw/content/landscape/Sight.aspx（20150314）

【評語】080511

對蝙蝠洞白色粉末設計有創意的實驗分析步驟，此外利用等高線模型簡化複雜的地形問題。討論完整，實驗設計完整，科學問題全面，有深度。複審提出實驗改良，顯示其仔細思考能力。