

嘉義市第三十八屆中小學科學展覽會

作品說明書



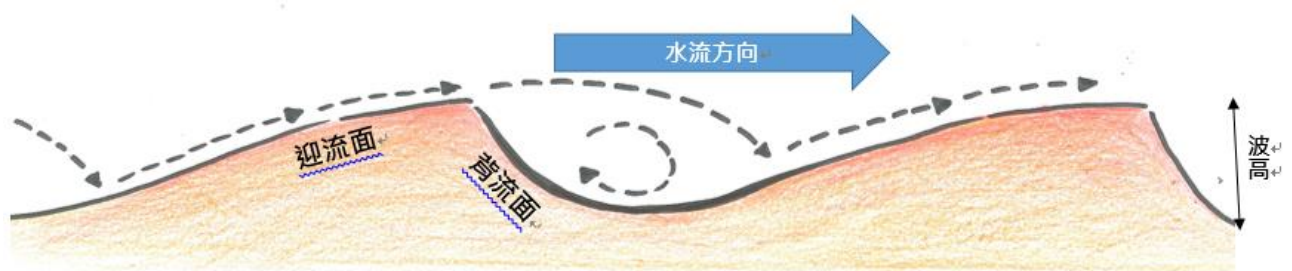
科 別： 地球科學科

組 別： 國小組

作品名稱： 鬼斧神工層層波-波痕探秘

關 鍵 詞： 波痕、漣痕、沙波紋（最多 3 個）

編 號：



鬼斧神工層層波-波痕探秘

摘要

為了揭開岩層波痕的神秘面紗，我們前往戶外進行野外探查，並分別在曾文溪上游河床、阿里山岩壁表面以及外傘頂沙洲上發現各種不同樣貌的波痕。經整理文獻後發現，波痕形成與水流有密切的關聯，為了幫助我們解開波痕的成因之謎，並釐清不同波痕間的相關性，我們設計了一連串實驗分別檢驗砂石顆粒粗細、水流方向、河床坡度與障礙物可能對波痕形成產生的影響。最後，經比對野外探查資料與實驗結果，我們推斷阿里山波痕岩壁曾經如同沙洲波紋一樣是受到海水流動影響形成，再經長時間的石化作用成為岩層並受到板塊運動土地抬升出現在現在的位置，是十分珍貴且脆弱的地質景觀，更像一本記錄古地理環境的書，值得我們好好保護！

壹、研究動機

在一次冬季戶外教學時，我們意外發現公路旁邊裸露的岩層層面上，竟然佈滿了各式各樣形狀奇特的紋路。我們仔細觀察紋路的外觀發現，雖然每一道紋路的形狀看起來不盡相同，但是它們似乎都遵循著某種神祕的規律，井然有序地排列著。一道道的紋路遠遠看就如同南美洲著名的「納斯卡圖騰」一般，地層層面上的這些紋路究竟是如何形成的呢？大自然又想藉由這些神祕的紋路傳達哪些重要的訊息給我們呢？【本研究與課程的關係：六上自然與生活科技：變動的大地】

貳、研究問題與目的

- 一、阿里山達邦與特富野段的野外地質調查。
- 二、沉積岩上的「波痕」形成的原因為何？
- 三、砂石顆粒大小與波痕化石形成的樣貌有關嗎？
- 四、水流方向對波痕形成的影響為何？
- 五、模擬不同坡度的河床，形成的波痕會一樣嗎？
- 六、模擬不同形狀障礙物形成波痕有差異嗎？
- 七、水流強度會影響波痕化石的樣貌嗎？
- 八、波痕與交錯層的關係如何？

參、研究設備及器材

*實驗材料:曾文溪上游河床採集之砂石

*實驗器材:

淺盤	篩網	鏟子	燒杯	鵝卵石	解剖顯微鏡
					
水桶	傾斜儀	坡度板	鑷子	培養皿	雨量筒
					
壓克力盒	石膏粉	印模粉	油土	台車	地質錘
					

肆、研究過程、結果與討論

一、文獻探討

(一)沉積岩的主要沉積構造現象

沉積岩的主要特點為具有各種沉積構造現象，可以根據這種現象決定沉積時的環境、上下層面、和古水流方向等。

1.無機構造現象(Inorganic Structures)：

機械的構造現象：層理(Stratification)、泥裂(Mudcracks)、波痕(Ripple Marks)、表面痕(Surface marks)、拖痕(Tool marks)、挖痕(Scour marks)、同時變形構造(Penecontemporaneous Deformation Structures)。

化學的構造現象：溶蝕構造(縫合線 Stylolite 等)、積聚構造(結核 Concretion、團塊 Nodule)、複式構造(晶洞 Geode、疊錐 Cone-in-cone、龜甲石 Septaria)。

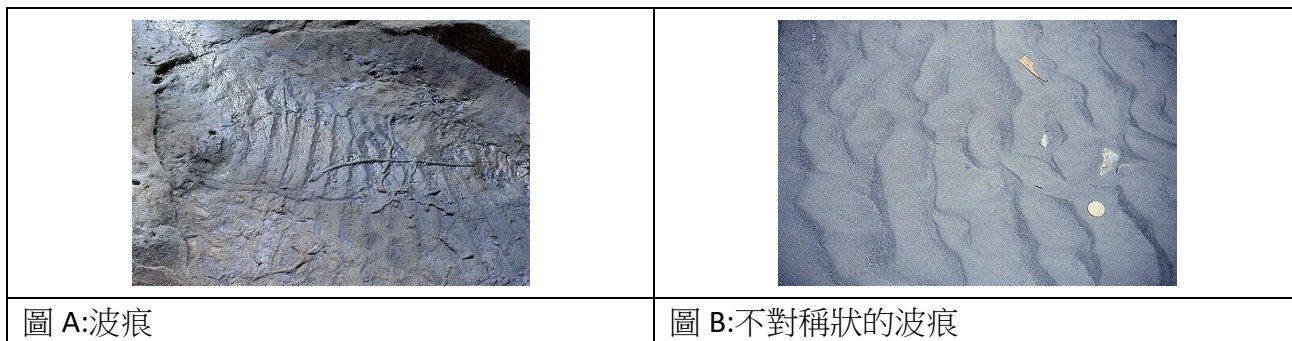
2.有機構造現象(Organic Structures)：

化石(Fossils)、生物擾動構造(Bioturbation Structures or Ichnofossils)、生物痕(Biogenic Marks)

本研究是針對沉積岩上的波痕(Ripple Marks)作為本研究對象。

(二)波痕

砂岩表面經常發現有排列整齊呈波狀外型的構造，這是由波浪、潮汐或水流流動時將海床表面沈積物搬動所形成的波狀外型，稱為波痕（圖 A）。仔細的察看波痕的結構，突起的部份稱為波峰、凹下的稱為波谷。從波峰突起的外型來看，兩側斜面有時呈對稱形型，有時呈不對稱形型，以此外型就可以知道是由那種水流作用所形成的波痕，呈對稱型的是由波浪作用造成，不對稱狀的是由單向水流或潮汐作用形成（圖 B）。一般在野外看到的波痕大小只有十數公分長，而且都是由砂岩所組成。但極少的機會可以看到長約 1 公尺以上巨大的波痕，巨大的波痕必須由非常強勁的波浪才能形成，只有在颱風或是海嘯時的暴風浪才可能造成。不對稱形的波痕可以從外型知道當時的水流方向，不對稱型波痕有一側的斜面較大且較緩，另一側較小且較陡；水流是由斜面較緩的流向較陡的方向（圖 B）。



波痕的形狀和大小變化很多，一般較重要的有，水流波痕、浪成波痕與風成波痕。而本研究在達邦橋下曾文溪北側發現的應該為浪成化石，證明此地過去為淺海的證據。水的流動可以塑造出底下砂子的各種形貌，科學家進行水槽實驗找出兩個造成底形產生變化的主因：水流強度、砂子顆粒大小。如下圖 C 所示，粗顆粒的砂不會形成小波痕，而是以平行層為主，因為水流強度弱無法搬運粗顆粒的砂。但當水流強度變強後，顆粒粗細便不再有影響。大致上，隨著水流強度的增加，底形的脊會從直線形變成波曲形，再破碎成舌形或新月形，波痕是發育成舌形，而沙丘則是新月形。

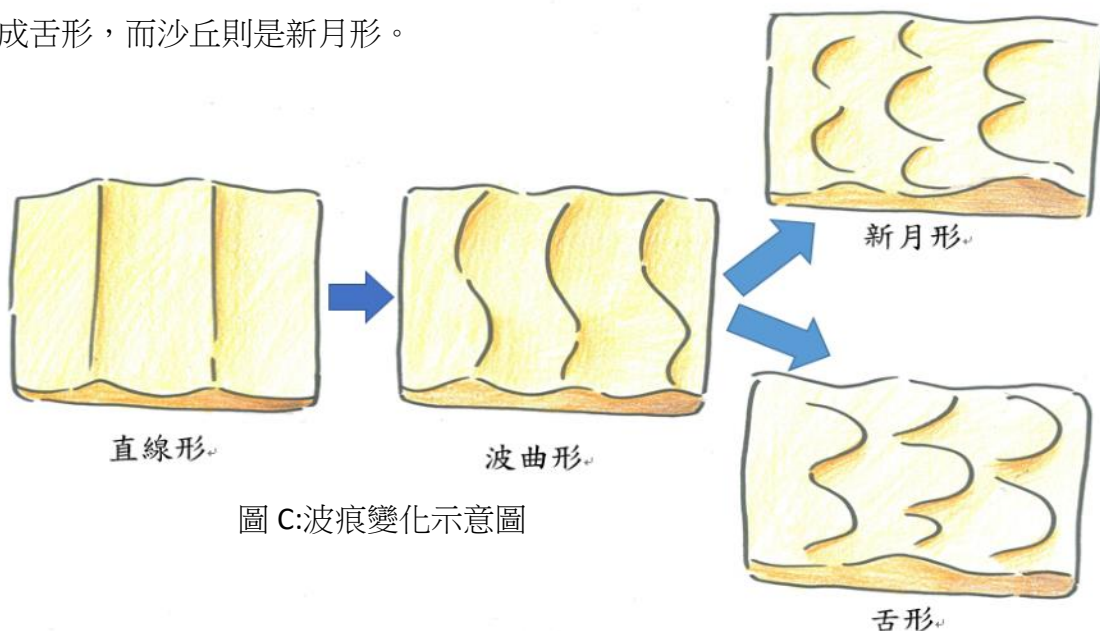


圖 C:波痕變化示意圖

(三)波痕成因之背景知識和各型波痕介紹：

波痕要素包括波長 (L)、波高 (H)、波痕指數 (RI) 和波痕不對稱指數 (RSI)。

波長 (L) — 兩個相鄰波峰或波谷之間的水平距離。

波高 (H) — 波峰與波谷之間的高差。

波痕指數 (RI) = L/H，表示波痕相對高度及起伏程度。

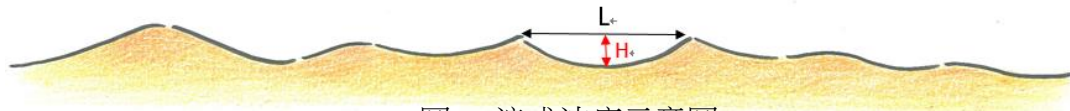


圖 D 浪成波痕示意圖

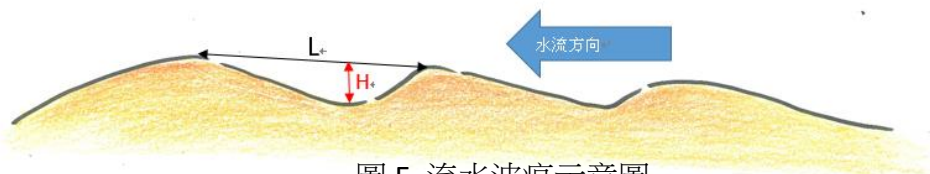


圖 E 流水波痕示意圖

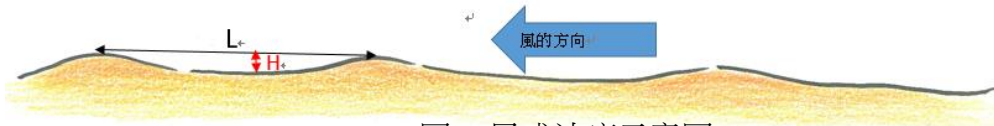


圖 F 風成波痕示意圖

1. 浪成波痕 (wave ripple)

(1) 成因：由產生波浪的動盪水流形成，常見於海、湖等淺水地帶。

(2) 特點：波峰尖銳、波谷圓滑、形狀對稱，RI=4~13 (多為 6~7)

2. 流水波痕 (current ripple)

(1) 成因：由定向流動的水流形成，見於河流和存在有底流的海湖近岸地帶。

(2) 特點：波峰波谷均較圓滑，呈不對稱狀，RI>5 (8~15)，陡坡指示水流方向。

3. 風成波痕 (aeolian ripple)

(1) 成因：由定向風形成，常見於沙漠、海、湖濱岸的沙丘沉積中。

(2) 特點：呈不對稱狀，不對稱度比流水波痕更大，RI=10~70，陡坡傾向與風向一致。

(四) 波痕研究意義

1. 根據波痕類型可以了解岩石形成條件。
2. 波痕可指示古代環境裡介質的流動方向。(圖 G)
3. 波痕的形態和分布，是識別沉積環境的重要依據。

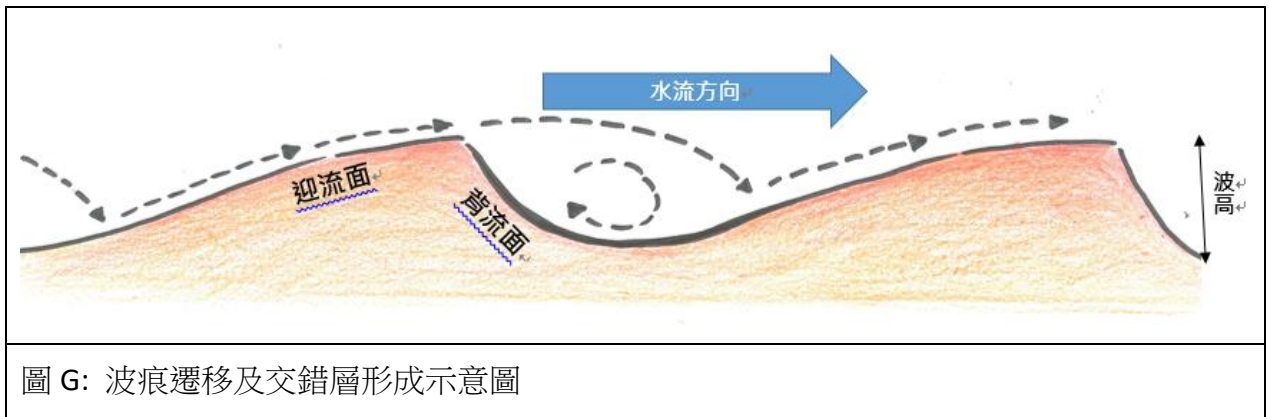
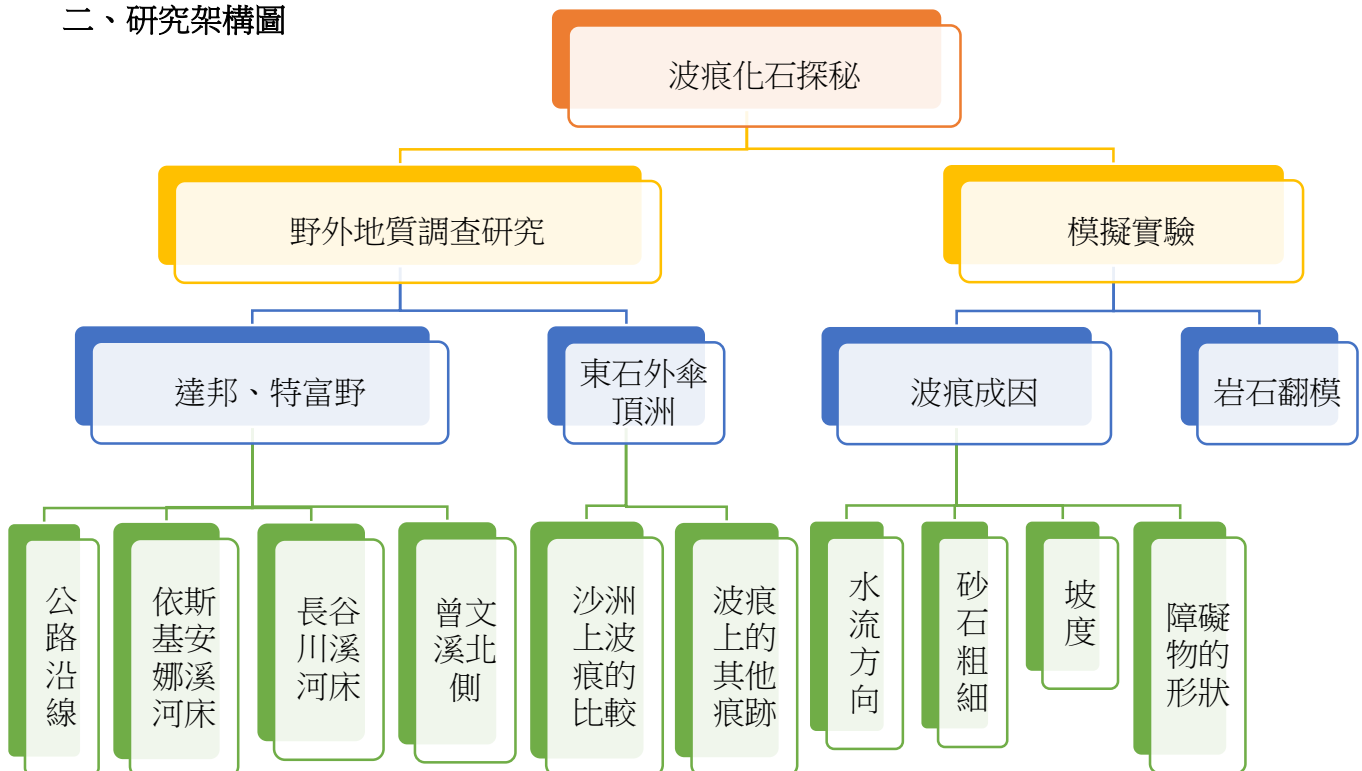


圖 G: 波痕遷移及交錯層形成示意圖

(五)全國科展作品

作品名稱	摘要重點	分析
細說二寮光陰的故事 第 49 屆科展(98年)國小組-地球科學科-最佳(鄉土)教材獎	二寮這裡有許多海相生物化石遺跡,其他還有波痕及犬牙交錯的沈積構造等,它們都是過去濱海環境的重要證據。	本件作品著重於古生物化石的研究分析,對於波痕的描敘並不多,與本研究的相關性不大。
風過水無痕,水過沙有痕 第 53 屆科展(102年)高中組-地球科學科-佳作	本實驗主要是藉由改變水波的頻率、水槽中的水深、沙子的粒徑大小等三個變因,以探討大自然中影響波痕產生的情況。並希望能藉由該發現來推斷出一個可以分析波痕與沉積環境的關係。	本件作品著重於實驗探討影響波痕產生的因素,缺乏野外實際的調查與本研究波痕探秘的方向不同。

二、研究架構圖



研究一 阿里山達邦與特富野段曾文溪上游公路沿線及河床的地質調查

星期天我們起了個大早，科展團隊的同學和老師們相約在校門口集合，早上 8:15 準時出發，一路由嘉義縣 159 甲縣道接台 18 線阿里山公路再轉嘉 130 縣道到石棹，接著由石棹轉縣道 169 往達邦方向，前往曾文溪上游河床進行野外地質調查，紀錄如下：

露頭一：縣道 169 上 28K 公路旁的外露岩層

		
<p>圖 1-1:研究地點的露頭一位於縣道 169 的 28K 公路旁。</p>	<p>圖 1-2:露頭一全景圖，外露岩層，是砂岩、頁岩互層。</p>	<p>圖 1-3:馬路另一邊北段，有一大排的水泥防護堤崩落。</p>
		
<p>圖 1-4:砂頁岩互層的岩壁上，發現砂頁岩交錯層。</p>	<p>圖 1-5 人工隧道北端岩壁陡直，水溝旁跌水，目的在消能。</p>	<p>圖 1-6:排水溝中白色沉澱物，滴稀鹽酸會起泡，是碳酸鈣。</p>
		
<p>圖 1-7:大岩壁一層一層的地層，排列較亂，是不整合面。</p>	<p>圖 1-8:圖中的紅色圈圈是開路炸藥爆破點，炸後留下的痕跡。</p>	<p>圖 1-9:我們測量爆炸點的大小，呈放射狀，直徑約 37 公分。</p>
		
<p>圖 1-10:砂頁岩互層上有很多組的節理，砂岩比較厚，頁岩比較薄。</p>	<p>圖 1-11:砂頁岩互層的層面上，發現好幾組的交錯層可以看出海進海退的痕跡。</p>	<p>圖 1-12:向西邊看去曾文溪河道呈現 S 形河道，應為是枯水期，所以水量偏少。</p>

【露頭一討論】



我們在縣道 169 前往達邦的途中，於 28K 公路旁發現了一片外露的岩層，定為露頭一。這片岩層原先鋪有水泥防護堤，但由於雨水長時間的沖蝕，防護堤崩落後讓裡面的岩層重見天日。除此之外，我們也在這裡發現了水土保持的人工構造物—跌水設施。它的形狀是一個三面用水泥搭建，坐落在岩壁旁的方型蓄水池，它能匯集山壁湧出的泉水，等到水集滿到一定高度以後，再沿著水平鋪設的函管，往外側的山谷排出。為了讓順著山壁流下來的大量雨水或岩壁中滲出的泉水，延遲一段時間後，再排入山谷中才做了這個設計；跌水主要的功能是消能，減緩水流侵蝕的能力。在露頭一，我們一共看到四個跌水設施，我們仔細觀察流進跌水的水溝，發現底部有白白的沉澱物，我們懷疑那可能是溶解沉澱的碳酸鈣礦物。

我們在塊狀砂岩的岩壁上發現了拓寬道路和建造人工隧道時，疑似是被炸藥炸過的輻射狀爆炸點痕跡。經由老師說明，進一步了解開路時的艱辛和危險性。測量後得知這個爆炸點直徑大約是 37 公分。我們還看到了不少砂頁岩互層的層面，砂岩比較厚，頁岩較薄。也發現了層面上有許多組節理，呈不規則的形狀。在砂頁岩互層的層面上同時能發現好幾組的交錯層，可以看出海進海退的明顯痕跡。從露頭一向西邊看去，曾文溪河道呈現 S 型河道，因為現在是枯水期，所以河道內的水量偏少。

從跌水的裝置、複雜的節理、掉落的路邊護堤及岩層的不整合面，可以看出露頭一由於地層岩石破碎、山高岩壁陡直，又有地下水與雨水沖蝕，影響 169 縣道的安全，因此在露頭一前建造了兩座的人工隧道。

露頭二：人工隧道附近的崩塌地

		
圖 2-1: 坡地的中間有一道崩塌地，規模不大，其中大多是頁岩碎屑	圖 2-2: 明隧道正下方的崩塌地為砂岩的碎塊，規模較大。	圖 2-3: 人工隧道下面有很多碎掉的石頭，也有水流過的痕跡。

		
圖 2-4:崩積層坡面上已經長滿了草，水土保持功能已經發揮。	圖 2-5:在這塊人工水泥噴漿的護坡上發現許多排水管。	圖 2-6:砂岩頁岩互層，其中砂岩比較薄，砂岩碎屑掉滿地。

【露頭二討論】

在達邦附近，嘉義縣 169 縣道 28K 前建造了兩座的人工隧道；在露頭一我們發現了跌水的裝置、複雜的解理、掉落的路邊護堤及岩層的不整合面，難怪需要建造人工隧道這樣的工程來保護往來交通的安全。其實，就在露頭二的坡地的中間，也就是人工隧道附近下方的露頭，也不太穩定；其中有一道崩塌地，從外觀看來，規模不大，崩落的大多是頁岩碎屑。而明隧道正下方的崩塌地規模比較大，掉落的是大塊砂岩。我們在人工隧道下面有很多碎掉的石頭，也有水流過的痕跡，有可能是被大水沖刷而造成石頭崩落。目前我們發現崩落的坡面上已經長滿了雜草，可見水土保持的功能已經發揮。我們在這塊人工水泥噴漿的護坡上發現了許多排水管，這是人們為了避免讓水滲進土裡，導致岩壁含水飽和以後，被側壓力推擠崩塌所做的。我們在露頭二也發現了岩層都是屬於砂頁岩互層，砂岩的碎屑掉了滿地。







露頭三：特富野橋下依斯基安娜溪河床探查

		
圖 3-1:露頭三位於特富野橋下的依斯基安娜溪河床。	圖 3-2:河床表面為破碎的砂頁岩，並散落不少鵝卵石。	圖 3-3:於河床上找到一塊長度約 14.4 公尺的外露砂岩岩層。
		
圖 3-4:測量岩層方位為北偏東 14 度傾斜角為由西向東 22 度。	圖 3-5:岩層交疊層面是砂頁岩互層外，表面也有一些波紋。	圖 3-6:於河床上發現包裹現象所導致的特殊卵石—結核。

【露頭三討論】

特富野橋下的依斯基安娜溪河床寬度大約 35 至 40 公尺左右，在河床上能發現許多破碎的砂岩與頁岩，其中也能發現不少較大型的鵝卵石散落於河床兩側。在這個河床上，最大的發現是我們找到了一塊長度約 14.4 公尺的外露岩層，我們推斷這是一片巨型的塊狀砂岩，雖然在河床上出露只有一小部分，但是它的底部向下延伸，深不可測。很明顯的，我們站立在這塊大砂岩上，正好是地層的層面，測量這片岩層的「走向與傾斜角」，方位為北偏東 14 度，斜角為由西向東 22 度。並且在這個岩層附近，發現由於「地層的包裹定律」，將不同的小石塊包裹在大石頭中，成為「結核」在一起的岩石。在露頭三，我們發現這一塊片岩層有明顯的波紋痕跡。從這一些波痕的形狀看起來，「長波紋」和「短波紋」依序排列，很清楚顯現出它的規則性。我們根據長短波紋的規律性，判斷在淺海時期，當這片地曾是淺灘或沙灘時，海水流動的方向是由西北向東南；這一現象正好與目前的地形東邊高、西邊低是吻合的。

露頭四：長谷川溪枯水期河床探查

		
圖 4-1:露頭四位於長谷川溪與曾文溪匯流處。	圖 4-2:長谷川溪由於正值枯水期，溪水乾枯河床外露。	圖 4-3:於乾枯的河床表面發現波紋痕跡。
		
圖 4-4:發現在河床上的石頭周圍波紋的痕跡產生一些改變。	圖 4-5:在露頭四河床旁發現巨大的單面山。	圖 4-6:於單面山的岩壁上發現一道明顯的正斷層裂痕。

【露頭四討論】

長谷川溪由於冬天正值枯水期的緣故，幾乎斷流的溪水讓河床完整的裸露出來。我們發現，河床上有許多大小特別突出的巨石，我們推測它們可能是由於土石流或颱風山洪暴發才有足夠的力量將它們由上游帶到這裡。我們在露頭四乾枯的河床上發現了不少波紋的痕跡(沙波紋)，這些紋路是表現在河床上較低的位置，而且是砂質的平地；我們認為波紋的形成可

能跟水流有密切的關係，並且要在乾枯的河床上比較容易被發現，而且我們也發現在石頭的周圍波紋的痕跡也有不同的變化，特別明顯突出。

最後，在露頭四還發現了單面山，之所以會形成這樣的景象是因為傾斜排列的岩層，上下的岩石軟硬程度不同，經過長期的風化與雨水沖刷，岩層最上面因為劇烈風化，而且層面結構節理多，變得脆弱、較軟，因此這一面由於侵蝕速度快而崩落，就形成了單面山。在單面山的岩層上發現了一道斷層面，觀察比對後發現這個上盤低於下盤的斷層，應為正斷層。

露頭五：達邦橋下曾文溪南側

		
<p>圖 5-1:在大岩壁上發現了許多沒有規律性的波紋。</p>	<p>圖 5-2:大岩壁上，有很多斜斜的線，是層面的交界線。</p>	<p>圖 5-3:很多有稜角的大石頭，表示石頭沒有被帶很遠。</p>
		
<p>圖 5-4:岩壁上，左邊那塊的傾斜角度約 60 度，右邊的約 10 度。</p>	<p>圖 5-5:傾斜的構造，砂頁岩互層，砂岩突出，頁岩凹進去，形成差異侵蝕。</p>	<p>圖 5-6:砂頁岩互層，取其中一處作為測量的層面，把測得的結果記錄下來。</p>
		
<p>圖 5-7:上半部砂岩層面平整，我利用它來測量傾斜角度。</p>	<p>圖 5-8:我們用傾斜儀量河岸上了岩層的走向和傾斜的角度。</p>	<p>圖 5-9:砂頁岩互層，在地上有很多頁岩的碎屑，是灰黑色。</p>

【露頭五討論】

我們在 32K 山路旁找了一處坡度較緩的地點，在路旁的電線桿上，綁上攀樹使用的粗麻

繩，再抓著繩索爬下約兩層樓高的曾文溪河床—「露頭五」。露頭五這一段的曾文溪的河道，是屬於上游地段，河流來到達邦橋這個地方正好是一處大轉彎，由原來的東向，轉向南流動，約 200 公尺以後再向溪流。河床上有很多有稜角的大石頭。河流東北岸，是薄層的砂頁岩互層，風化很厲害，因此形成大面積的崩塌；目前河床上建造了好幾層、很長的蛇籠護岸，來防止碎石等崩塌物堆積、堵塞河道。由於東北岸的砂頁岩剖面陡直而高聳，無法測量，因此我們把重點放在南岸。

達邦橋下曾文溪南岸的岩層非常壯觀，此地有很多巨大的岩壁結構，都是砂頁岩互層，頁岩較薄而碎裂，也因為河水差異侵蝕的結果，頁岩部分往內凹進去，地上留下很多頁岩的碎屑，顏色呈現灰黑色。我們找到砂頁岩的交界面，確認為層面後，用傾斜儀量岩層的走向和傾斜角度，是北偏東 62 度，傾斜 40 度。

在上方我們發現大岩壁上有著不規律的波痕，像是月球表面凹凸凸凸的，和以前發現的截然不同，推測是因為水流不穩定所造成的。

露頭六: 169 縣道公路 31.5 公里處，達邦橋附近

169 縣道公路北側的地方，在此我們發現有好幾層的波紋化石，但因為高度較高，於是我們在這裡蒐集一些崩落在地上的標本。



圖 6-1: 岩層上有許多不同的波紋，有好幾層，推測是在不同時代形成的。

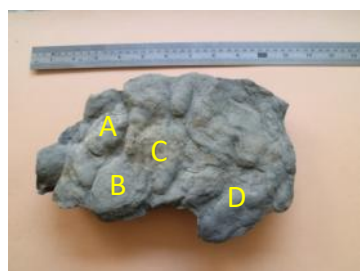








圖 6-2: A.B.D 凸起較明顯，C 凹陷，起伏很大。(長:29cm，寬:19cm)



圖 6-3: A 呈現微微凸起狀，B 凹陷。(長:18cm，寬:8.6cm)



圖 6-4: A.B.C 凸起明顯，D 微凹陷，表面有很深的溝紋。(長:26.2cm 寬:19.5cm)

		
<p>圖 6-5:A.C.E 微凸起，B.D 微凹陷，表面上的起伏不明。 (長:18.5cm，寬:16.5cm)</p>	<p>圖 6-6:A.B 凸起明顯，D 微凸起，C 有明顯溝狀凹陷。 (長:27.5cm，寬:12cm)</p>	<p>圖 6-7:A.B.C 明顯凸起，D 凹陷，表面起伏不大。(長:25.5cm，寬:19.5cm)</p>
		
<p>圖 6-8:A 凸起明顯，B 凹陷不明顯，石頭表面很圓滑。(長:12.5cm，寬:6.5cm)</p>	<p>圖 6-9:明顯上下起伏紋路，紅線的部分微凸起，中間凹陷。(長:36cm，寬:16.5cm)</p>	<p>圖 6-10:這塊石頭較大，表面有小又不明顯的起伏的紋路，紅線的部分微凸起，中間凹陷(長:46cm，寬:32cm)</p>

【露頭六討論】

我們在這裡蒐集一些標本，它們都有一個共同的特性，那就是這些一大片砂頁岩互層的層面上，表面都有凸出的樣子(如圖 6-2 到圖 6-8)，為了想知道為什麼會這樣，於是從文獻中找資料，發現與「荷重鑄型」的形式很像，所謂的「荷重鑄型」是因為的這些砂土在沉積的時候，先沉積的是泥層，再來才是砂粒大的沉積，因為泥的顆粒太小，排水性差，水分較難排出，所以就會因為含有太多水分而造成可塑性較大，當較重的砂粒不平均的覆蓋並擠壓泥層，就會造成荷重鑄型。這一個發現實在太有趣，因此我們心裡有一個疑問，這些石頭是荷重鑄型嗎？還是與障礙物有關？它和「波痕」有關係嗎？這是我們想進一步作探討的。

露頭七：達邦橋下曾文溪北側

我們觀察露頭六與露頭七的關係很有趣，我們發現露頭六是在露頭七的上面，它們應該是相同的地層。另外我們從地層的測量證明，此地的傾斜走向是「北偏東 64 度，傾斜 65 度」，露頭七與露頭六大致相同，因此可以證明是相同地層，只是上下位的不同而已。在露頭七有一大片的塊狀砂岩大層面，這一片層面很陡，後來測量的結果傾斜角度接近 70 度，果然很陡。

		
<p>圖 7-1:在充滿了波紋的層面上測量地層的走向傾斜，北偏東 86 度，向西傾斜 69 度。</p>	<p>圖 7-2:岩壁上有許多的解理，裂縫石塊崩塌，層面上靠近地質錘附近有一片波紋。</p>	<p>圖 7-3:這塊岩壁上有許多波紋，就在地質錘的右邊，這些波紋看起來像方塊狀。</p>
		
<p>圖 7-4:露頭七這塊壯觀的砂岩岩壁上布滿許多形狀相同、有規律性的波紋。</p>	<p>圖 7-5:這一層砂岩層面上波紋的紋路看起來較粗，比較不規則。</p>	<p>圖 7-6:右側河邊節理面圓滑，層面上，有一大片的波紋，就在畫圈圈的地方。</p>
		
<p>圖 7-7:這塊岩壁較平坦，有波紋，但是紋路比較淺，看起來不太明顯。</p>	<p>圖 7-8:地質錘的左右兩側都是波紋，波紋的形狀和前面幾個都不太一樣。</p>	<p>圖 7-9:層面上的波紋很明顯，就在砂岩上面，地質錘的右側有一道節理。</p>
		
<p>圖 7-10:這是同一個層面，砂岩上有很裂痕，也佈滿了波紋。</p>	<p>圖 7-11:砂岩上一大片都是波紋，從破裂的地方可以看到下層也有波紋。</p>	<p>圖 7-12:向西邊看過去，右側的岩壁上有一大片的波紋，非常壯觀。</p>

【露頭七討論】

露頭七的砂岩層面整個都充滿波痕，是這一次野外地質調查中看到最壯觀的露頭。層面上測量結果是北偏東 68 度，傾斜 69 度。我們在露頭七看到了有波紋的大岩壁，和露頭四的波紋長得很像，不過露頭四的波紋是由河床上的沙子形成的，容易被破壞，而露頭七的波紋

卻是在堅硬的大岩壁上，不容易破壞。我們推測岩壁上的波紋，可以說明此地過去曾經是沙灘或淺海地區，經由海浪前進、後退，在沙灘或淺海底部形成一些紋路後，再經一些河流帶來的堆積物掩埋，和成岩作用使波紋與堆積物緊密交結，等到造山運動後隆起成陸地，這一片地層露出地表，再因為風化作用，把覆蓋在上面的岩層自然剝落或崩落，這時候我們才能看到就是目前所看到的波痕。

研究二 砂石粗細程度對波紋形成之影響

操作變因：砂石的粗細

保持不變的變因：塑膠盤的大小、水量、搖動的次數、搖動的方向、砂石的量

應變變因：波紋的明顯程度

1. 實驗器材：淺盤、量杯、篩網、曾文溪上游河床採集的砂石

2. 實驗步驟：①先用篩網篩出三種不同顆粒大小的砂石。

②取三種不同顆粒大小的砂石各 500g，分別鋪在

三個不同淺盤上面，並分別倒入 250ml 的自來水。




③輕輕的將水底因為倒水沖開的砂石鋪平。

④分別將三個淺盤以左右方向搖晃 100 下。

⑤靜置淺盤讓砂石沉澱，並等待兩天讓淺盤中的水蒸發，並觀察實驗結果。



3. 實驗結果：

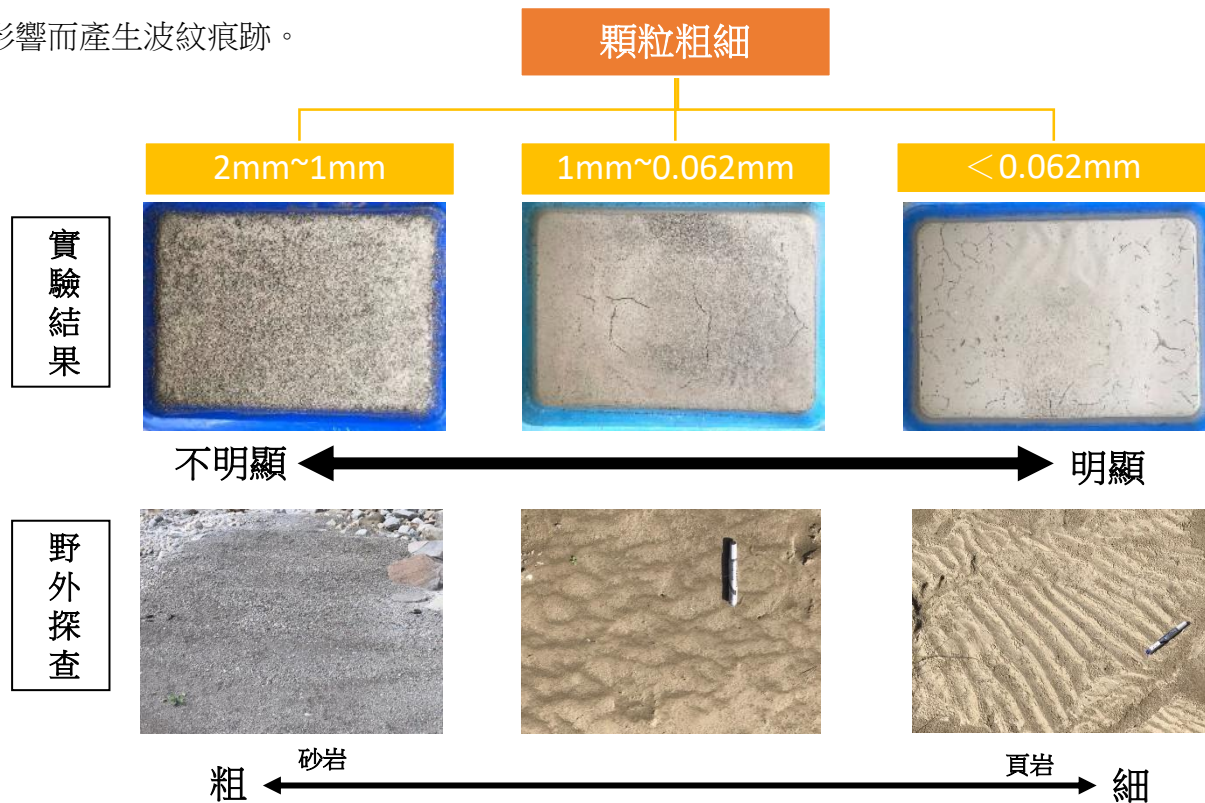
砂石大小:2mm~1mm	砂石大小:1mm~0.062mm	砂石大小:< 0.062mm
		
圖 8-1:砂石顆粒大於 1mm，所形成的波紋痕跡不明顯。	圖 8-2:砂石介於 1mm 到 0.062mm 間，能發現些微波紋痕跡。	圖 8-3:砂石顆粒小於 0.062mm，波紋的痕跡最為明顯。

4. 結論：①不同顆粒大小的砂石所形成的波紋痕跡有所差異，痕跡砂石顆粒大於 1mm，所形成的波紋最不明顯；砂石顆粒小於 0.062mm，波紋的痕跡最明顯。

5. 我們的發現：

由研究二的實驗結果我們發現，不同顆粒大小的砂石產生的波紋有所不同，顆粒較小的

砂石產生的波紋痕跡比較明顯，而顆粒較大的砂石波紋痕跡則比較不明顯。我們比對野外探訪所調查的資料，也找出在大自然中存在著相似的現象。我們發現砂石顆粒較細的頁岩河床上，能發現比較明顯的波紋痕跡；而砂石顆粒較粗的砂岩河床上，發現的波紋痕跡則比較不明顯。我們認為造成這樣的結果，可能的原因是在同樣水流強度狀況下，顆粒越細的砂石越容易受到水流的影響而移動，產生波紋痕跡；相反的顆粒越粗的砂石則比較不容易受到水流的影響而產生波紋痕跡。



研究三 水流方向對波痕形成之影響

操作變因：水流的方向

保持不變的變因：塑膠盤的大小、水量、搖動的次數、砂石的粗細、砂石的量

應變變因：波痕的方向

1. 實驗器材：壓克力盒、量杯 1 個、曾文溪上游河床採集的砂石


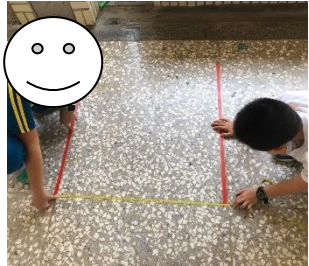
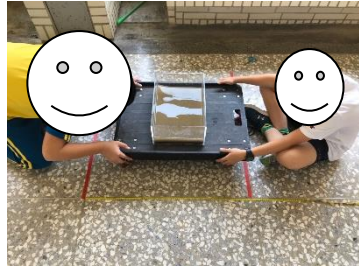

2. 實驗步驟：①在兩個壓克力盒上分別鋪上 2 公分的砂石。

②分別在兩個壓克力盒中倒入自來水，直到高度到達 5 公分。





③輕輕的將水底因為倒水沖開的砂石鋪平。

④一個以前後方向搖晃 100 下，另一個淺盤以左右方向搖晃 100 下。

⑤靜置壓克力盒讓砂石沉澱，觀察實驗結果，並記錄發現。

			
圖 9-1:在壓克力箱加入砂子及水。	圖 9-2:在底板貼上固定距離。	圖 9-3:在台車上放上壓克力盒。	圖 9-4:搖晃 100 下。

3.實驗結果：

前後搖晃		左右搖晃	
正面照		正面照	
側面照		側面照	
圖 9-5:前後搖晃淺盤形成的波紋痕跡為水平狀。		圖 9-6:左右搖晃淺盤形成的波紋痕跡為垂直狀。	

4.結論：①前後搖晃水箱時波浪會水平前後移動，形成的波紋痕跡也是呈水平狀的。

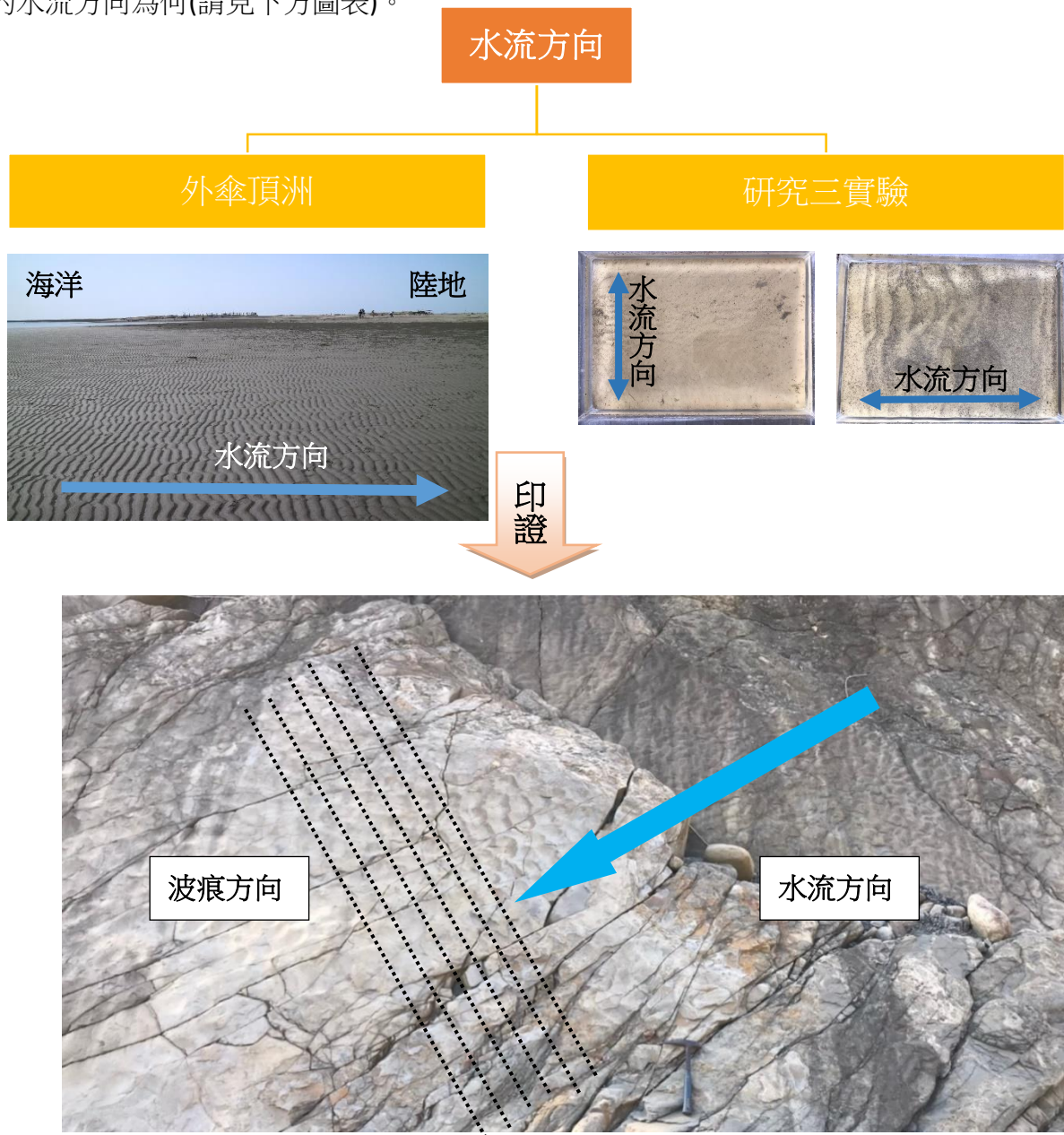
②左右搖晃水箱時波浪會垂直左右移動，形成的波紋痕跡也是呈垂直狀的。

③我們發現左右搖晃水箱形成的波紋痕跡比前後搖晃時還要明顯。

5. 我們的發現：

由研究三我們發現，波紋痕跡與水流方向有十分密切的關連。當我們搖晃水箱讓水流水平前後移動時，所產生的波紋痕機會順著水流呈水平狀；當我們搖晃水箱讓水流垂直左右移動時，所產生的波紋痕跡也會順著水流呈垂直狀。除此之外我們還發現，左右搖晃水箱時所形成的波紋痕跡比前後搖晃時還要更明顯，我們認為這有可能是因為長方形的水箱在左右搖晃時，所形成的水流波浪移動距離比較長，因此導致波紋的痕跡較為清楚明顯。根據這個研究結果，我們比對野外探查蒐集的資料，發現外傘頂洲觀察到的沙波紋方向與水流方向之間

也存在相同的關聯性。因此我們以波紋的方向與規律變化，來推斷岩壁上的波痕在形成之初，可能的水流方向為何(請見下方圖表)。



研究四 不同坡度對波紋形成之影響

操作變因：坡度的角度

保持不變的變因：淺盤的大小、坡度板的大小、水量、砂石的粗細、砂石的量




應變變因：波紋的狀態

1. 實驗器材：淺盤 1 個、塑膠盤 1 個、量杯 1 個(裝 250ml 自來水)、坡度板(10 度、15 度和 20 度)、曾文溪上游河床採集的砂石

2. 實驗步驟：①準備一個能夠調整角度的坡度板，將砂石平鋪於模擬河床上。

- ②以量杯取 250ml 的自來水，將自來水到入淺盤當中。
- ③將淺盤中的水由頂端緩緩地倒入板面上，讓流水由上而下沖刷砂石。
- ④觀察實驗結果，並記錄發現。

3.實驗結果：

角度	10 度	15 度	20 度
照片 紀錄			
	圖 10-1:倒了 250ml 的自來水，要到的非常平均，否則實驗結果會受到影響。	圖 10-2:同樣到 250ml 的自來水，泥土沖刷的波紋痕跡越來越明顯，泥土都被沖刷下來了。	圖 10-3:一樣是 250ml 的水，波紋卻比 10、15 度的都還要更明顯。
結果	坡度傾斜 10 度，水流速度較慢，板子上的模擬河床起伏平緩，只有末端出現一些波紋痕跡。	坡度傾斜 15 度，水流速度中等，板子上模擬河床左側侵蝕嚴重，並在末端出現明顯波紋痕跡。	坡度傾斜 20 度，水流速度較快，整個版面上的模擬河床都能看見波紋的痕跡。

4.結論：①讓水流由上而下沖刷坡度板上的砂石，所產生的波紋形狀為垂直的。

②坡度 20 度時，水流速度較快，波紋痕跡最明顯；坡度傾斜 10 度時，稅流速度較慢，所以波紋痕跡最不明顯。

5.我們發現：

我們發現，水流由上而下沖刷所形成的波紋為垂直狀，並且波紋之間的形狀差異較大，和我們在曾文溪河床上與岩壁上看見的波紋痕跡似乎不太相同。另外，坡度傾斜角度越大，水流速度越快，，波紋的痕跡會越清楚，這可能是因為坡度傾斜越大水流速度與侵蝕能力越強，越容易移動底部的砂石產生紋路，也造成整個模擬河床產生劇烈的起伏變化。而這項實驗的結果也幫助我們理解在野外探查時所發現的地質現象，砂石在沉積的過程當中如果遇到較強的水流影響時

，會使原本應該平緩沉澱的河床產生起伏變化，而這樣的河床石化之後觀察它的橫切面會發現，原本應該層層依序堆疊的岩層會變得相互交錯，而這樣的岩層我們就稱為交錯層。



水流造成河床起伏



產生波紋進行石化



原本應該依序排列的岩層出現交錯變化

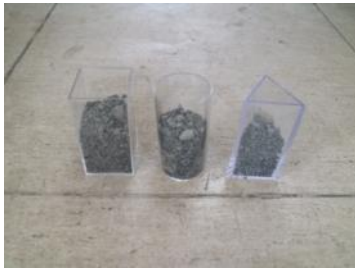
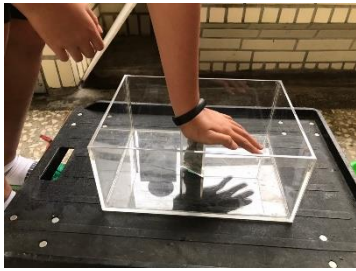

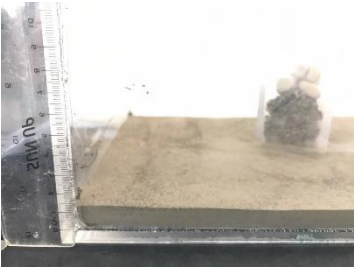
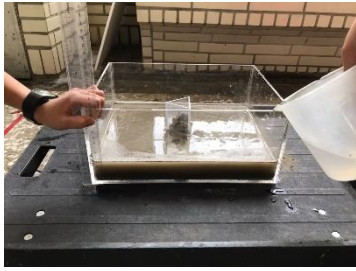
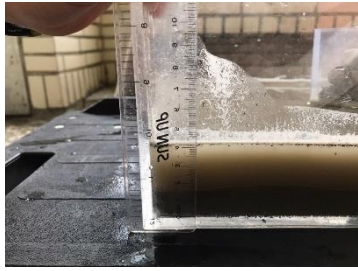
研究五 不同障礙物對波紋形成之影響

操作變因：障礙物的形狀




保持不變的變因：塑膠盤的大小、水量、搖動的次數、搖動的方向、砂石的粗細、砂石的量

應變變因：波紋的形狀

1. 實驗器材：壓克力盒、塑膠盤、量杯、各種不同形狀障礙物(圓形、正方形、三角形)、砂石
2. 實驗步驟：
 - ①在壓克力盒內鋪入高度 2cm 的砂石。
 - ②在三個壓克力盒內分別倒入高度 3cm 的自來水。
 - ③分別將三個不同形狀的障礙物放置淺盤中間，並以左右方向搖晃 50 下。
 - ④靜置淺盤讓砂石沉澱，並等待兩天讓淺盤中的水蒸發。
 - ⑤觀察實驗結果，並記錄發現。

		
圖 11-1:我們分別用了三角形、圓形和正方形來做實驗。	圖 11-2:將障礙物以免釘黏土固定在壓克力盒中央	圖 11-3:在壓克力盒中加入砂土。
		
圖 11-4:砂土高度為 2 公分高	圖 11-5:在壓克力盒內加入自來水。	圖 11-6:水面高度為 5 公分。

3.實驗結果

		
圖 11-7:正方柱的周圍大部分都有明顯的凹陷，他們的形狀看起來彎彎的。	圖 11-8:圓柱四周圍有凹陷的痕跡，成圓形狀，看起來不太明顯。	圖 11-9:三角柱周圍都有凹陷痕跡，唯獨其中一個尖角不太明顯。

4.結果：①水流流經障礙物時會產生方向變化，進而導致障礙物四周的波紋痕跡跟著改變。

②不同形狀障礙物導致的波紋痕跡改變都接近圓形，似乎沒有明顯的差異性。

5.我們發現：

透過障礙物的實驗我們發現，水流流經障礙物四周時水流方向會順著表面改變流動方向，經過調查相關的資料得知這樣的現象稱為「康達效應」。因為水流方向改變，波紋的外形也會跟著受到影響，因此能看見障礙物四周會出現圓形的波紋痕跡。透過比對野外探查的資料，我們也發現河床上的石頭四周波紋痕跡也會有一些變化，然而這樣的波紋變化似乎與露頭六發現的崩落樣本不同，而且在露頭六的岩層上似乎也沒發現大型的障礙物出現，所以我們判斷這兩者之間應該是沒有關聯性。

實驗結果



野外探查



水流流經障礙物產生波紋改變

無關聯性



岩層上無明顯障礙物

紋路形狀不同



崩落樣本



研究六 外傘頂沙洲上的波紋調查

每隔十公尺的區域，每五步找出較平的 10 個點，觀察記錄波長及波高，並計算出波痕指數。

波痕指數 (RI) = L/H，表示波痕相對高度及起伏程度。



圖 12-1:乘船抵達外傘頂洲進行波痕野外探察。



圖 12-2:以直尺測量兩個波峰之間的距離(波長)。



圖 12-3:以直尺測量波峰與波谷之間的距離(波高)。



圖 12-4:同一區域每隔五步找出十個測量點進行波痕調查。









圖 12-5:由下船處每隔十公尺分成十個區域進行波痕調查。



圖 12-6:外傘頂洲沙痕面積遼闊且呈規律性分布。

測量結果：

		
圖 12-7:區域一的波痕質地潮濕，波長平均 7.36cm，波高平均 1.55 cm。	圖 12-8:區域二的波痕質地潮濕，波長平均 8.25 cm，波高平均 1.37 cm。	圖 12-9:區域三的波痕質地潮濕，波長平均 8.65 cm，波高平均 1.35 cm。
		
圖 12-10:區域四的波痕質地潮濕，波長平均 9.2 cm，波高平均 1.18 cm。	圖 12-11:區域五的波痕質地乾燥，波長平均 9.86 cm，波高平均 0.99 cm。	圖 12-12:區域六的波痕質地乾燥，波長平均 11.28 cm，波高平均 0.78 cm。

表一:區域一波痕指數調查

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
L	7.5	7.8	7	7.5	7	7.8	7.5	7	7.5	7	7.36
H	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.55
波痕指數 (RI) =4.75											

表二:區域二波痕指數調查

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
L	8.5	8	8.5	9	8.5	8	8.5	8.5	7.5	7.5	8.25
H	1.4	1.3	1.2	1.4	1.4	1.3	1.4	1.5	1.4	1.4	1.37
波痕指數 (RI) =6.02											

表三:區域三波痕指數調查

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
L	9	9	8.5	8	8.5	9	8.5	8	8.5	9.5	8.65
H	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.4	1.35
波痕指數 (RI) =6.41											

表四:區域四波痕指數調查

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
L	9.5	9	9	9.5	9.5	9	9.5	9	9	9	9.2
H	1.2	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.18
波痕指數 (RI) =7.80											

表五:區域五波痕指數調查

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
L	10	9.5	10	9	10	10.5	10.6	10.5	9	9.5	9.86
H	1.1	1	1.1	1.2	0.9	0.9	1	1	0.9	0.8	0.99
波痕指數 (RI) =9.96											

表六:區域六波痕指數調查

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
L	12	11.5	11.5	11.3	11	11.4	10.9	11.5	10.7	11	11.28
H	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.78
波痕指數 (RI) =14.46											

【觀察結果】

我們由東石漁人碼頭出發前往外傘頂洲，航行路途中由東石漁人碼頭到外傘頂洲之間的水域被稱為東石瀉湖。在抵達外傘頂洲時，沙洲正處於退潮當中，我們趕緊把握上岸的時間到沙洲上觀察、測量並紀錄波痕，我們觀察到結果包含：

1. 離岸邊較遠的區域，波峰之間的距離(波長)較短，而波峰與波谷之間的距離(波高)較高。
2. 離岸邊較近的區域，波峰之間的距離(波長)較長，而波峰與波谷之間的距離(波高)較低。
3. 根據我們探查的資料發現，離岸邊越遠的區域波痕指數 (RI) 越低，代表波痕起伏變化較大；離岸邊越遠的區域波痕指數 (RI) 越高，代表波痕起變化伏較小。

在沙波紋上我們還發現了以下現象:

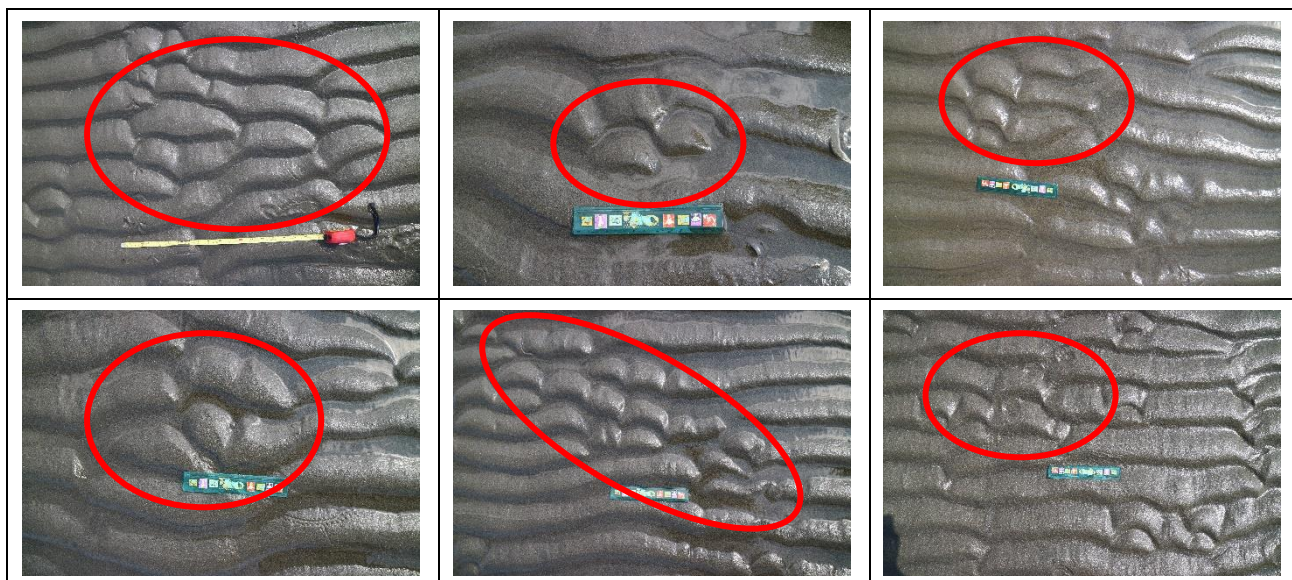


圖 12-13-圖 12-18 沙波紋中有發現很多半月形的構造痕跡。

上面這些構造與我們露頭六所撿回來的岩石非常相似，因此我們推測在露頭六的那些岩石標本都是上面波痕所崩落下來的石塊，所以也屬於波痕的一部分。並非我們原先推測是荷重鑄型的結構。

研究七 如何利用翻模技術來解決岩石標本的問題

我們這次進行波紋研究時，為了蒐集需要的樣本材料花費了大量的心力，但是時常還是會遇到一些問題，例如有些樣本太大太重無法帶回實驗室，或者是有些樣本帶回來過了一段時間就會風化碎裂。為了幫助我們未來更便利的取得與保存樣本，於是我們想到了解決的方法:

實驗 6-1：石膏翻模

1. 實驗器材:岩塊、石膏粉、量杯(裝 800ml 自來水)、塑膠盤、磅秤、木棒、塑膠袋
2. 實驗步驟:
 - ①將石頭用自來水洗乾淨，並抹上沙拉油。
 - ②量 1000g 的石膏粉，並倒入 800ml 的水，攪拌均勻。
 - ③將調好的石膏倒入塑膠盤中，放入抹好油的石頭。
 - ④靜置，等待石膏乾掉。
 - ⑤把石頭從石膏中取出，波痕構造的翻模就完成。

		
<p>圖 13-1:量 1000g 石膏粉</p>	<p>圖 13-2:將石膏粉和水用木棒攪拌均。</p>	<p>圖 13-3:把石膏倒入塑膠盤裡，接著鋪平。</p>
		
<p>圖 13-4:將石頭放入裝滿石膏的淺盤裡。</p>	<p>圖 13-5:敲開後的情況，因為石膏和石頭黏得太緊，所以翻模出來的石膏很髒。</p>	<p>圖 13-6:敲開後的情形。</p>

實驗結果:


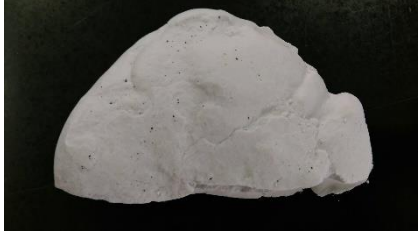

我們希望透過石膏翻模的方式，能夠幫助我們留存不容易保存的地質樣本。有些容易因為風化產生碎裂的樣本，透過石膏翻模的方式能夠幫助我們將它的外型保存下來，甚至能用這些石膏進行再翻模，這樣未來研究需要時就比較不用擔心樣本外型保存不易的問題。但在將石頭取出來的過程中，因為石頭和石膏黏的太緊密，無法獲得完整的模型，於是我們繼續找尋其他的解決方法。

實驗 6-2：印模粉翻模的應用

1. 實驗器材:岩塊、印模粉、量杯、塑膠盤、磅秤、木棒、塑膠袋
2. 實驗步驟:
 - ①將 625ml 的自來水和一包印模粉 500g 倒入容器，並攪拌均勻。
 - ②將印模粉溶液倒入塑膠盤，輕輕左右晃動，讓溶液分布均勻。
 - ③放入石頭並靜置三分鐘。
 - ④石膏粉加水攪拌均勻後，倒入已經變硬的模型中。
 - ⑤等待石膏液變硬後取出，脫模就完成了。

		
圖 13-7:我們先將油土捏成圍牆的形狀。	圖 13-8:再來把捏好的油土黏在石頭上面。	圖 13-9:把印模粉倒進桶子裡，加水攪拌均勻。
		
圖 13-10:將攪拌好的印模粉倒入圍牆中。	圖 13-11:我們將另一顆石頭也放到攪拌好的印模粉中。	圖 13-12:最後等印模粉掉後，模型就完成了。
		
圖 13-13:石膏粉加水攪拌均勻	圖 13-14:倒入已經變硬的模型中	圖 13-15:脫模後即成為岩石模型

3. 實驗結果:

		
圖 13-16:用印模粉將岩石翻模出來	圖 13-17:完成後的石膏模型	圖 13-18:石膏模型與真實岩石之比較

我們這次的實驗改用印模粉翻印石頭上的紋路，結果就發現印模粉翻印的速度、成功率和效果比用石膏翻印還更好。再將製作好了翻模灌上石膏，石膏模型即為實際看到的岩石模型。希望透過印模翻模的方式，能夠幫助我們蒐集像是岩壁波痕這種體型巨大且笨重的樣本

材料。因為這樣子的樣本通常很難直接將它們搬回實驗室進行研究，因此藉由使用印模翻模的方式，就可以將岩壁上的波痕記錄下來，方便日後回到實驗室進行後續的調查分析。

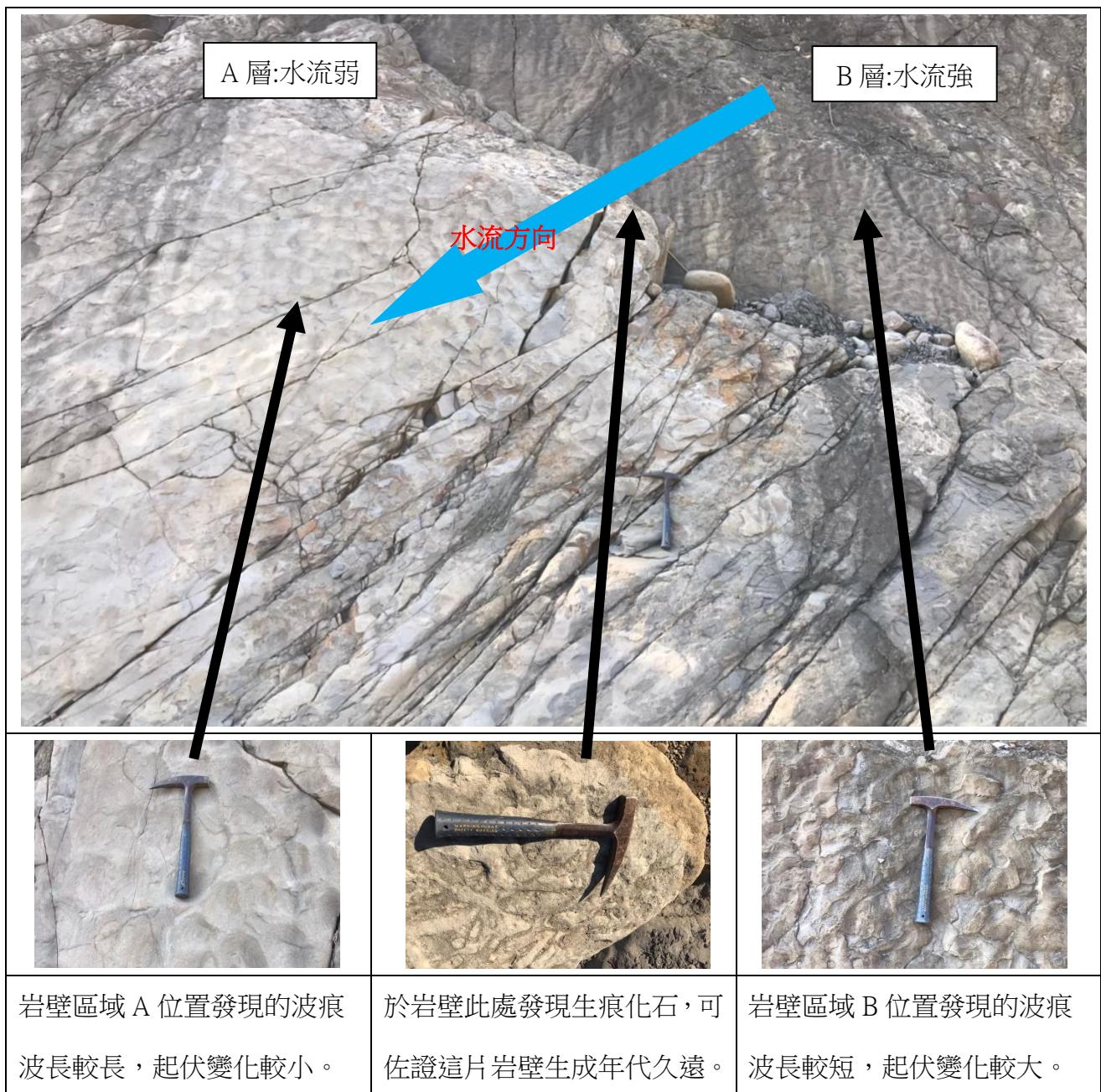
伍、討論

一、岩壁上的波痕沙洲上的波紋跟有何關係?這些波紋如何被保留下來的。

- (一)經過比對野外探查的資料並整理相關文獻後，我們認為沙洲上的波紋與岩壁上的波痕有著密切的關聯性。
- (二)透過我們的模擬實驗發現，波痕的形成是由於沉澱在水底的泥沙，受到水流作用力的影響而在表面形成規律性的紋路。
- (三)外傘頂洲沙洲上的沙波紋是由於受到海浪作用力所形成，但這些波痕會隨著浪潮改變，不易保存；長谷川溪河床上發現的波痕則是受到河水的作用力而形成的，結構脆弱，無法長久保留下來。
- (四)在達邦橋下曾文溪南側所發現的大面積波痕岩壁，波痕的結構非常的堅固，想必需要很長的時間進行石化作用形成。

二、以沙洲波痕的規律性推斷岩壁上的波痕分布。

了解岩壁上的波紋與沙洲上的波紋可能存在著密切的關聯後，我們更進一步的發現分布在岩壁上的波痕也有大小差異的變化，並希望用我們在沙洲上所調查的資料來推斷這些波紋的差異。在岩壁區域 A 上的波痕明顯波峰與波峰之間的距離(波長)較長，而波峰與波谷的高度差(波高)則較小，整體起伏變化較平緩；相反地在岩壁區域 B 上發現的波痕波峰與波峰之間的距離(波長)則較短，而波峰與波谷的高度差(波高)較大，整體起伏變化較劇烈。根據我們調查外傘頂洲波痕的資料得出的結論，水流較強、波痕的起伏會較大；水流較弱、波痕起伏變化會較小。因此我們推斷，過去在這片波紋岩層形成之初，區域 A 的位置可能離岸邊較近，因此波痕的起伏變化較為平緩；而區域 B 的位置可能離岸邊較遠，因此波痕的起伏變化就較為劇烈。



三、波痕岩壁是大自然留給我們的瑰寶

本研究發現岩層的石化作用需要非常長的時間，所以岩壁上堅硬的波痕並不是在短時間內所形成的，我們更在同一面岩壁上發現了砂棒與早期海洋生物留下來的化石痕跡。因此我們認為，達邦橋下曾文溪南側的這塊岩壁早期可能是海底的沉積岩層，受到海浪作用力後在表面留下了波痕紋路，並非常幸運地在沒有受到破壞的情況下進行石化作用保存了下來，最後受到板塊作用陸地抬升的因素而出現在現在的位置。因此我們認為達邦橋下曾文溪南側所發現的大面積波痕岩壁，是大自然留給人類的瑰寶，更是難得一件的地質奇景，值得我們好好的珍惜與愛護。



沙洲上的波痕

岩壁上的生痕化石



有關連性
生成久遠



岩壁上的波痕



河川上的波痕

無關連性
生成尚早



河川佈滿大型礫石

陸、結論

一、探訪阿里山達邦與特富野段的野外地質調查。

我們達邦與特富野的乾枯河床上發現了不少波紋痕跡，並且在達邦橋下發現了一片大面積的波痕岩壁。

二、沉積岩上的「波痕」形成的原因為何。

我們認為沉積岩上的「波痕」，是這片岩層形成之初，受到海水流動的影響造成海底沉澱砂石產生起伏變化，進而石化，最後隨著板塊運動出現在現在的位置。

三、砂石顆粒大小、水流方向、坡度、水流強弱與波痕化石形成的樣貌有關嗎？

根據實驗結果，可以推論出顆粒較大的砂石不容易受水流影響，所產生的波痕比較不明顯；相反地，顆粒較小的砂石容易受到水流影響，所產生的波痕比較明顯。而波痕是水底砂石受到水流影響所形成，因此波痕的走向與水流動時產生的波浪走向相同。因此，我們能根據岩層上的波痕來推斷過去的水流方向。當坡度傾斜角度較大時，河床在水流之後起伏變化會比較大；坡度傾斜角度越小，河床在水流之後起伏變化會比較小。由研究四的實驗結果我們發現，傾斜角度低時水流強度較弱，對河床的侵蝕力也較弱，所形成的波紋痕跡比較不明顯；傾斜角度高時水流強度較強，對河床的侵蝕力也較強，所形成的波紋痕跡就比較明顯。

四、模擬不同形狀障礙物形成波痕的差異性。

由障礙物的實驗結果我們發現，當水流流經障礙物時，水流會由於康達效應順著障礙物的表面流動，因此使的障礙物四周的波紋產生變化。

五、波痕化石與交錯層的關係如何？

我們認為波痕與交錯層是相同的地質構造，水底砂石在沉積過程中如果受到水流影響，會使原本平緩的河床產生起伏變化，而這樣起伏變化的河床形成的岩層由正面來看即為波痕，如果由橫切面來看能發現交錯的沉積岩層即為交錯層。

柒、參考資料

- 一、內政部營建署玉山國家公園管理處(2017)。玉山國家公園玉山地體構造與地質演變第 2 年地質地層與區域構造調查。取自

https://www.y SNP.gov.tw/upload/documents/20180108_162733.674.pdf

- 二、4-17 沉積岩的主要沉積構造現象。臺大地質科學數位典藏博物館。取自

http://nadm.gl.ntu.edu.tw/nadm/cht/class_detail.php?serial=40&serial_type_1=8&serial_type_2=4&serial_type_3=6

- 三、蔡翊琳、林節倫、蔡昀恩、方芊雅、李誌、王宜羚(2009)。細說二寮光陰的故事。全國第 49 屆科展國小組-地球科學科。

- 四、林銘文、鄭凱中、謝品寬(2013)。風過水無痕，水過沙有痕。全國第 53 屆科展高中組-地球科學科。

- 五、水流動的感覺只有交錯層最知道

<http://www.geostory.tw/crossbedding-ripple-sedimentary/>

- 六、阿山的地科研究室-沈積岩構造

http://ashan.gl.ntu.edu.tw/chinese/GeoClass/rock/index-GC_main02_01_sedimentary_00_04.html