

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

030505

泥岩坡地地貌與滲水衝頂現象之探討

學校名稱：臺南市立後甲國民中學

作者： 國一 鍾昀臻	指導老師： 林承賢 陳聰智
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：侵蝕、酸雨、衝頂

得獎感言

科展活動對於國中生是一個學習科學研究很好的歷練，從一開始決定要投入科展研究後，我開始學習和認識所有的相關資料，在確定泥岩為研究主題後，我更進一步的讀了許多泥岩、月世界有關的資料，參考資料的蒐集，是科學研究的第一步。

野外泥岩地貌的調查，是此次科展研究活動重要的工作之一，多去野外實地觀察泥岩的地貌，方便回到實驗室後，可以更深入的對泥岩做一些實驗。不同於其他冷氣房內的研究，雖然在野外非常熱，而且雨後的泥岩惡地環境很容易讓身體變的髒兮兮的，但是想到可以親眼看到特別的地形、特殊的構造，與可以看到許多在都市看不到的動物與植物，我還是熱衷於野外實地調查行動，畢竟汗水下的研究，往往是最有價值的。

經過幾次野外調查後，也想了一些實驗來進行泥岩特性的探索，但科展的實驗並不像自然課本中的實驗，自然課本中的實驗有些是可以預期出結果，或是前人已經做出結果的實驗；而科展則是自己想出的實驗，並不知道結果，需要一系列的改變，才會有一個答案出來，有時為了完成一條數據曲線，我必須花上一整天的實驗時間，實驗的失敗會讓我很洩氣，但重大的實驗突破卻往往是振奮人心的，這些過程的經歷是一般沒有參與科展活動的學生所體會不到的，這更是一種不同於教科書上的體驗。

這次的科展，雖然只有我一個人，但我也花了許多時間和精力，更付出了一百分的努力，果然在這次的全國賽，才國一的我，竟然得到了全國第一名的殊榮，我感到非常開心，所以要感謝指導我的教授和老師們，還有爸爸媽媽對我的支持，我的指導教授是國立成功大學地球科學系退休的鍾廣吉教授，他是我的爺爺，今年已經 70 多歲了，還帶著我上山下海做野外調查，讓我的報告與眾不同，台南市立後甲國中林承賢老師於實驗技巧上的教導讓我的實驗有很大的突破，另一位指導老師是台南市立東區勝利國小陳聰智老師，他是我科學研究的啟蒙老師，帶著我從國小五年級開始連續三年都參加了全國科展的盛會，在大家共同的投入，才可以有這麼好的一個結果。



指導老師左起陳聰智老師、林承賢老師、爸爸與鍾廣吉教授(爺爺)



團隊在台南草山月世界的一個重要野外觀察點，該地區就叫做小玉山



我指的位置就是古亭坑層-泥岩(右邊)與崎頂層(左邊)的交界線

摘要

本研究針對台南草山、牛埔與高雄田寮等三處月世界，透過野外調查與空拍露頭，分析南部月世界地形的特性。實驗發現有日曬作用的剝蝕率是無日曬的三倍，也發現了酸液會對泥岩產生極嚴重的剝蝕作用，推測如果繼續空氣汙染，所產生的酸雨會**加速**對泥岩特殊地貌的破壞。

實驗以千分表與電子顯微鏡可觀察到滲水衝頂的現象，也推想高速公路-中寮隧道北口外的路面災害，是跟泥岩滲水衝頂現象有關，該區域因斷層的推擠使泥岩區產生的裂縫，與夾層砂岩間的縫隙，都是提供了極佳的滲水路徑，也發現震動是會加速泥岩的滲水速率，因此高速公路每天大量車輛經過所產生的震動與該區域的裂縫，都會**加速**泥岩滲水衝頂的產生，這也是該區域災害的形成原因之一。

壹、研究動機

泥岩-月世界對身為台南人的我並不陌生，但這樣特殊的自然景觀區議題，在去年的台南市長選舉中，才被突顯了出來。而台南境內，不只有牛埔月世界，草山的月世界也是非常著名的景點。其中的二寮觀日點，雖然曙光是主角，但襯托光影的配角-山稜線，即為月世界所形成的。我們經過資料的查詢，發現南台灣由嘉義中崙到高雄燕巢區，為主要泥岩區的分布範圍。

每到週末，我們全家人都會回屏東爺爺奶奶家度假，路途中會經過南台灣第二長的中寮隧道 (1855公尺)，隧道北口處是非常著名的月世界地形，但近年來此區域一直都有工程在進行，每次經過都發現車流量很大，如果再加上下雨，在軟韌的泥岩區施工，不知道會不會引起可怕的災難？

所以我決定更深入的去探討泥岩可能發生的災害，並透過實驗設計與模擬，來推演出產生災害的可能原因，才能更深入了解泥岩的特性，當在經過中寮隧道時，不只是看到獨特的自然景觀，也更能了解月世界地質的安全性。

貳、研究目的

- 一、透過野外地質調查，了解南部月世界地形的特性。
- 二、探討泥岩因降雨、日曬產生的物理風化，與酸蝕產生的化學風化作用。
- 三、探討泥岩的基岩層因震動與滲水，而加速產生的衝頂作用。
- 四、討論泥岩滲水衝頂作用造成的災害-以中寮隧道與呂家古厝為例。

參、研究設備及器材

一、設備儀器：

數位式千分量表、空拍機、數位顯微鏡、電暖爐、平板、游標卡尺、磅秤、電子測距儀、pH計、沉水馬達、實驗水槽1~3、攝影機、腳架、超音波洗淨機、蓮蓬頭。

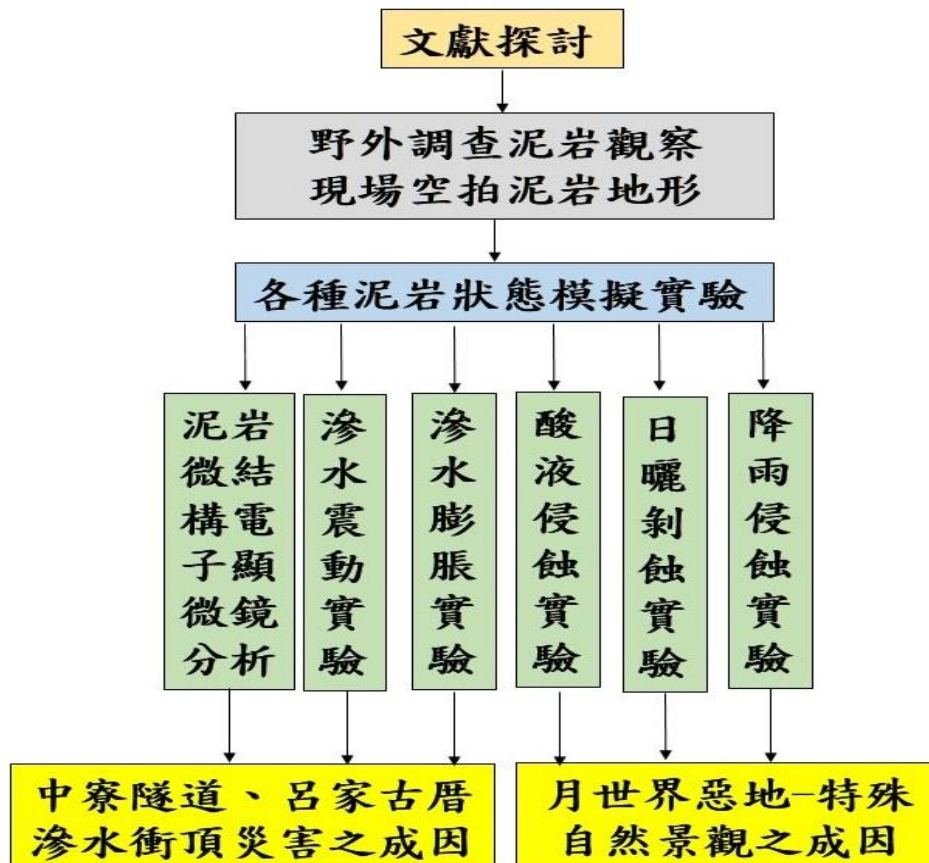
二、材料工具：

草山月世界泥岩塊、田寮月世界泥岩塊、筆記本、夾鏈袋、棉布袋、螺絲起子、地質錘、小鏟子、標籤紙、油性筆、篩網、塑膠盤、稀鹽酸、酒精、砂紙、地質圖、計時器、鑷子、培養皿、比例尺、剪刀、小刷子、描圖紙、量角器、小水桶、放大鏡、熱熔膠、廣用試紙、束帶。



肆、研究過程與討論

一、研究流程圖



二、文獻與相關資料

我們根據所想要了解的問題，查得下列相關的資料。

- (一) 惡地(badland)是指鬆軟或膠結不佳的岩石或土壤，在受到水流或風力侵蝕作用下，土壤嚴重流失所形成崎嶇地形、高密度紋溝(rill)與蝕溝(gully)、植被覆蓋稀疏、有機質稀少的地區。台灣西南部丘陵地區分布著大範圍的泥岩惡地，北起新營附近的龜重溪，南至旗山阿公店溪，東西界為西部麓山帶之官田-新化-關廟-岡山一線的以東，與玉井-南化-旗山一線以西的區域(圖2-1)，裸露面積高達一千餘平方公里，約占臺灣島面積之百分之三。因泥岩鬆軟、易受侵蝕，許多地方寸草不生、陡峭且破碎的地表裸露，如同月球表面荒涼，故有「月世界」之稱。(參考資料1)

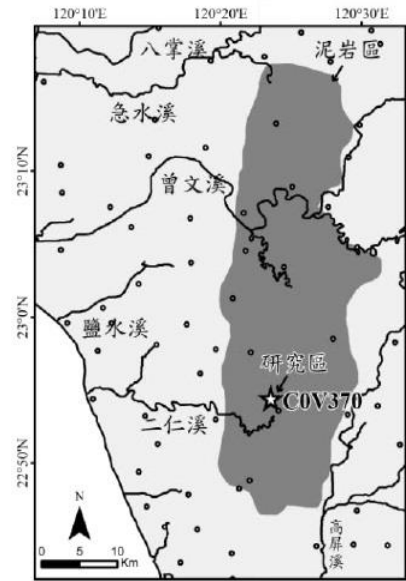


圖2-1

- (二) 泥岩早期農業界稱青灰岩，主要由細粒的石英、伊萊石、綠泥石、碳酸鈣及少量的長石等礦物所組成，岩性大致均一。泥岩顆粒組成為黏土($<3.9 \mu\text{m}$)佔 27~31%，粉砂($3.9\sim62.5 \mu\text{m}$)佔 42~49%，及細砂粒($62.5 \mu\text{m}\sim2\text{mm}$)佔 20~31%。受礦物結構與顆粒大小影響，泥岩顆粒將會具有膠體之特性，即表面帶有負電荷，具有吸引土壤溶液中陽離子的能力，主要以 Na^+ 、 Mg^{2+} 為主，其次為 Ca^{2+} 、 K^+ 等離子。由於泥岩帶電的特性，當遇到降雨沖刷時，往往溶化成泥漿而快速流失。(參考資料2)

- (三) 台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的交界，菲律賓海板塊每年以82公厘的速度向西北方向推擠。參考中油所出版的台南十萬分之一地質圖(圖2-2)，可以發現，台灣西南部的地質構造，是由一系列東北-西南走向的斷層、背斜與向斜所組成，其中旗山斷層，為距離中寮隧道最近的地質構造。國道三號約378公里，高雄中寮隧道的北端處，自民國八十九年開通以來，隧道結構便持續的受到損毀。造成此現象之原因，仍未明瞭。前人藉由測量發現，國道三號於旗山斷層，以及龍船斷層之間路段，其水平位移平均每年約有 92 公厘、垂直位移平均每年約有 82 公厘，明顯大於台灣島每年82公厘的板塊擠壓縮短量。(參考資料3)

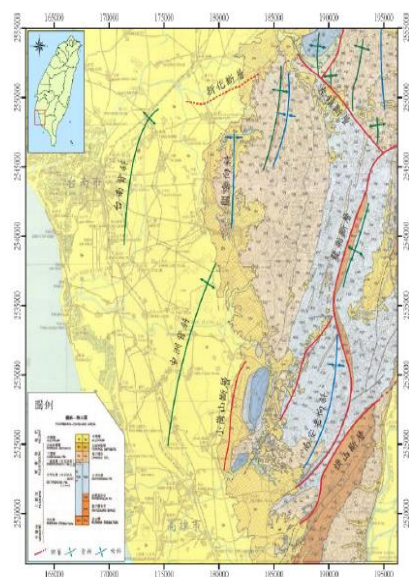


圖2-2

(四) 台灣本島西南部的泥岩，是屬上新—更新世地層的巨厚泥岩（青灰岩）所組成；泥岩本身顆粒細小，且膠結性疏鬆，透水性又低，因此遇雨水表面就變得十分軟滑，順坡向下流動，坡面因而形成雨溝和蝕溝；植生相當困難，到處童山濯濯。泥岩裸露，稜脊(或稱凸壟)和溝谷密佈是泥岩惡地形的一種特有景觀。山脊坡面甚陡，往往在60度以上，平均在45°~55°之間。濱臨河道之邊坡往往形成兩段坡，緊臨河床河道邊坡，受流水沖蝕影響，時有出現80°以上的坡度，或凹陷的淘空狀況。山谷溝在雨季時會發生泥流、潛水洞穴、天然橋、泥痕……等小地形；泥岩本身如夾雜有一些硬質粉砂顆粒，受降雨衝擊作用會形成土指，也是值得觀賞的自然現象。(參考資料14)

(五) 「琉球嶼泥岩」與其上方的「琉球嶼石灰岩」成不整合接觸，海底震測剖面發現台灣西南海域，出現許多泥質衝頂構造(Mud diapir)，且琉球嶼的正下方似有一此構造，使「琉球嶼石灰岩」，為泥質衝頂下形成之石灰岩(參考資料6)。另文獻資料提出琉球嶼下方的泥岩因為海水側向滲入，而石灰岩被局部的侵蝕掉，以致上壓力重量減少，而引起下方泥岩衝頂回脹的現象，也造成了泥岩呈現微背斜狀，如圖2-3所示(參考資料11)。

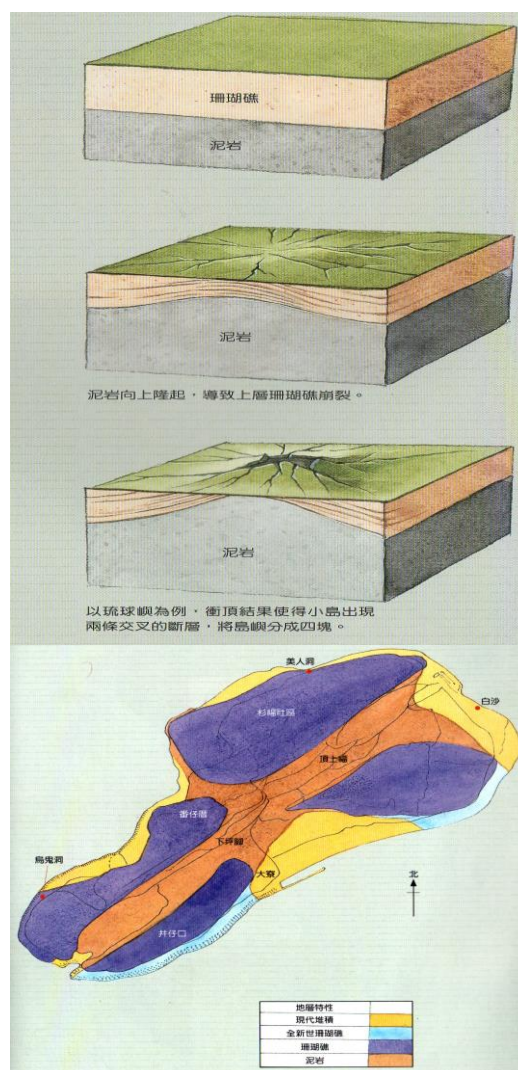


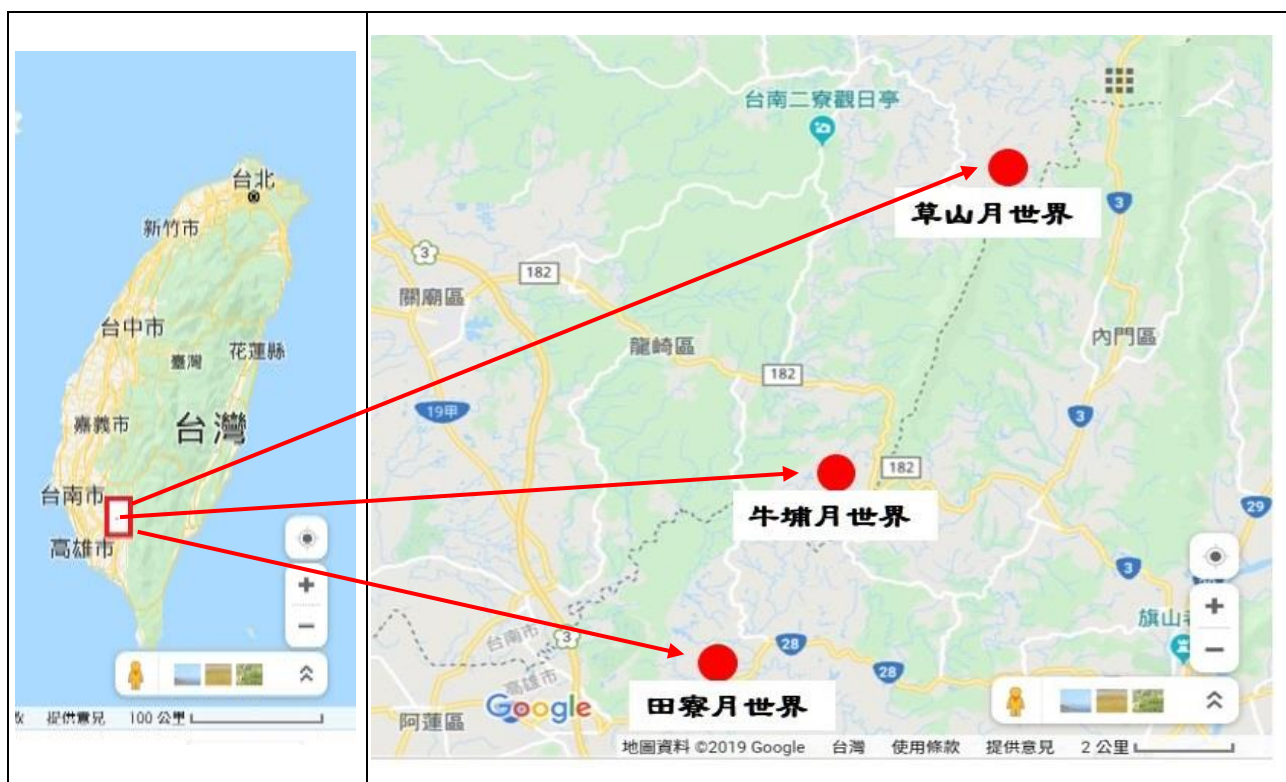
圖2-3. 琉球嶼泥岩衝頂示意圖與地質圖

三、研究項目

【研究一】月世界的位置與環境

(一) 決定位置：

我根據文獻資料，並請教學者專家，決定選擇下列三處為調查地點。利用暑假準備了採集工具與空拍機，前前後後一共進行十多次的調查。



(二) 地層介紹與地質圖(參考資料 7)

位置	草山月世界	牛埔月世界	田寮月世界
地質圖			
地層介紹	<p>地層名稱：古亭坑層 地質年代：中新世晚期至更新世 絕對年代：約90萬前~700萬年前 主要岩性：泥岩，夾砂泥岩互層</p>		

(三)環境描述：
1.草山月世界



圖1-31-1:裸岩斜坡受雨水沖蝕，呈凸壟與凹溝相互出現的奇特地形，兩側坡面之間形成峽谷狀，因此此處稱為大峽谷。



圖1-31-2: 由308高地遠眺月世界稜線，略具方向規則性。



圖1-31-3: 大峽谷右側為順向坡，所以坡腳處有崩坍。



圖1-31-4: 大峽谷左側逆向坡，凸壟凹溝相隔密度小。



圖1-31-5: 小玉山斜坡上的斷層泥。



圖1-31-6: 灰色的斜坡上，較深黑色的泥岩是斷層泥。



圖1-31-7: 小玉山空拍照片，山稜線與二次堆積谷明顯。



圖1-31-8: 具尖銳薄弱的小山頭，獨特地聳立著，此區稱為小玉山。



圖1-31-9: 小玉山之南側，厚層陡直的夾層砂岩，聳立在另一座泥岩質邊。



圖1-31-10: 附近可見10公分以內的夾層砂岩，且甚為破裂，為易滲入雨水的位置。

2.牛埔月世界



圖1-32-1:牛埔月世界 的牛埔農塘



圖1-32-2: 泥岩上方可見厚層砂岩透鏡體出露



圖1-32-3: 牛埔月世界有明顯的夾層砂岩，具數公尺厚。



圖1-32-4: 牛埔月世界，山陵線呈分支延伸態。



圖1-32-5:空拍照片可看到山稜線方向性明顯。



圖1-32-6: 牛埔農塘兵工廠管制區內的特殊泥岩地貌。



圖1-32-7:進入農塘兵工廠可見泥岩膨脹隆起，使道路產生裂縫。



圖1-32-8: 呈尖山脊的山頭，可以看見垂直的小雨蝕溝。



圖1-32-9: 泥岩砂岩混合，產生差異侵蝕，形成土指。



圖1-32-10: 泥岩中處處可見有薄層夾層砂岩。

3.田寮月世界



圖1-33-1:中寮隧道，範圍甚大的開挖區及開挖之護坡工程。



圖1-33-2: 中寮隧道有大量開挖的工地。



圖1-33-3: 俯視角空拍照片，泥岩呈不規則的惡地地形。



圖1-33-4: 中寮隧道附近泥岩，可見多層鐵質砂岩夾層。



圖1-33-5: 砂岩夾層的節理。



圖1-33-6: 開挖出來的泥岩，滴稀鹽酸，也會產生氣泡，顯示含有碳酸鈣。



圖1-33-7: 中寮隧道，我們有機會施工工地參訪，可以看到明顯的斷層泥分布。



圖1-33-8:車瓜林斷層，裸岩如棕色橫向部分。



圖1-33-9: 車瓜林斷層，可見呈黑色線條的斷層泥。



圖1-33-10: 除斷層泥外，夾層砂岩亦甚破碎。

(四)氣候條件

1. 雨量：

(1)由表1-4-1，據水利署台南市靠近牛埔月世界的崎頂測站(1951~2018)月平均雨量紀錄(參考資料8)，本區1952年雨量達**3595.2mm**，68年來的平均年雨量**1970.1mm**，顯示長期年雨量相當充沛。

(2)由圖1-4-1，超過90%的雨量集中於4月至9月之六個月中，其中以6月至8月夏季颱風季節的雨量最大，最大月雨量達**1880mm**(1952年7月)，幾乎接近一年的年雨量；顯示本區雨季集中，乾季雨季分明，雨量的分布極不平均。

表1-4-1 台南市崎頂(牛埔月世界)(1951~2018)年雨量紀錄

年度統計 Annual Summary												
年雨量 Annual R.	年降雨日數 Annual Rain Days		年一日最大/發生日期 Annual 1-day Max/Date			年二日最大/發生日期 Annual 2-day Max/Date			年三日最大/發生日期 Annual 3-day Max/Date			
3088.0	97		356.0 (8/23)			545.0 (8/23)			588.0 (8/23)			
歷年統計資料(自1951年至2018年，統計年數：68) Statistics For Recorded Years From 1951 To 2018, Recorded Years: 68												
月 month	一月 Jan.	二月 Feb.	三月 Mar.	四月 Apr.	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug.	九月 Sept.	十月 Oct.	十一月 Nov.	十二月 Dec.
平均月雨量 Avg. Mo. R.	17.9	24.9	35.2	66.3	185.6	398.8	437.9	512.5	251.6	38.1	19.1	12.4
最大月雨量 Max. Mo. R.	131.0 (2016)	180.0 (1998)	165.0 (1983)	341.0 (1990)	727.0 (2001)	1474.0 (2005)	1880.8 (1952)	1506.0 (1994)	994.0 (2016)	202.0 (2007)	148.0 (2011)	103.0 (2004)
最小月雨量 Min. Mo. R.	0.0 (1963)	0.0 (1960)	0.0 (1955)	0.0 (1958)	0.0 (1962)	0.0 (2015)	4.0 (2003)	68.0 (2008)	29.2 (1967)	0.0 (1956)	0.0 (1957)	0.0 (1959)
平均年雨量 Avg. Annual R.	最大年雨量 Max. Annual R.	最小年雨量 Min. Annual R.	年一日最大/發生日期 Annual 1-day Max/Date			年二日最大/發生日期 Annual 2-day Max/Date			年三日最大/發生日期 Annual 3-day Max/Date			
1970.1	3595.2 (1952)	558.6 (1980)	588.0 (2009/08/08)			815.5 (1952/07/17)			1179.5 (1952/07/16)			

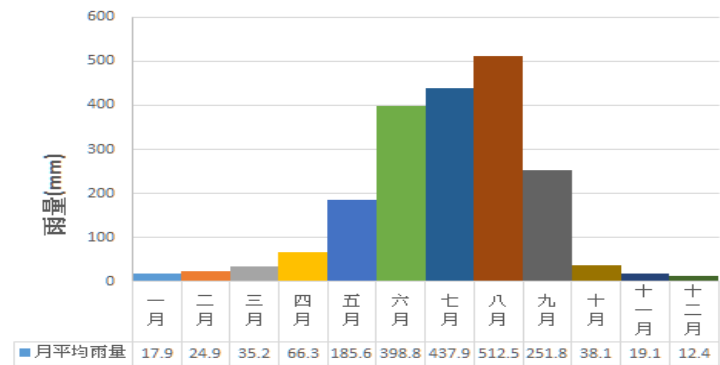


圖1-4-1 台南市崎頂(1951~2018)月平均雨量趨勢圖

2. 酸雨：

由表1-4-2，中央氣象局台南市三十年雨水酸鹼質紀錄(參考資料9)(1989~2018)，顯示台南市的雨水pH值在5.1至6.5之間，平均值**5.9**，屬於弱酸性，但長時間的累積作用亦相當可觀。

表1-4-2：台南市三十年雨水酸鹼質紀錄

▶ 歷年平均雨水酸鹼度值資料

1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
*	*	*	5.5	5.1	5.9	6.0	6.5	6.4	6.1	5.9	5.7	6.2	5.8
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
5.8	5.6	5.5	5.5	5.4	5.9	5.9	5.8	5.6	5.8	5.9	6.0	6.2	6.1
2014	2015	2016	2017	2018							平均值	最大值	最小值
6.0	6.0	6.2	6.0	6.2							5.9	6.5	5.1

3. 氣溫：

由圖1-4-2，根據氣象局台南站三十年月平均溫度紀錄(參考資料9)，本區在夏季6月至8月，月平均溫度都在**29℃**左右，即使在冬季12月~1月，溫度也在18℃左右，顯示本區屬於溫暖的氣候，日夜溫差易造成熱漲冷縮的作用。

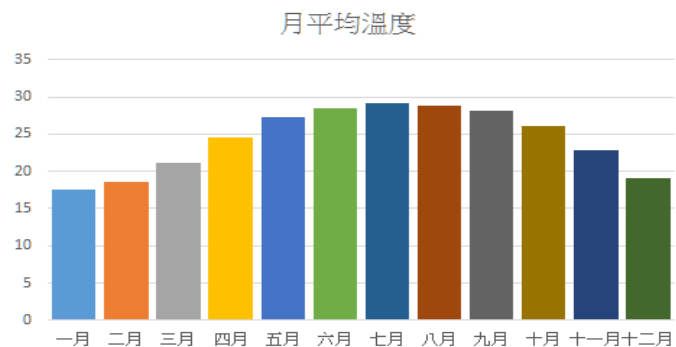

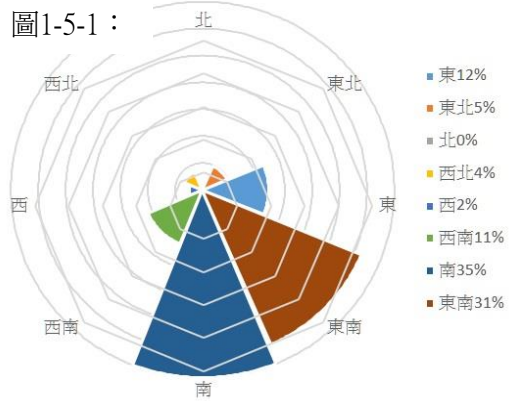
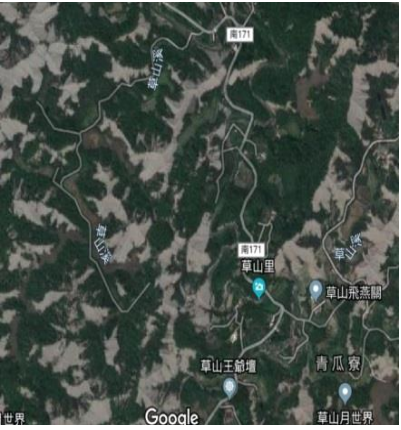
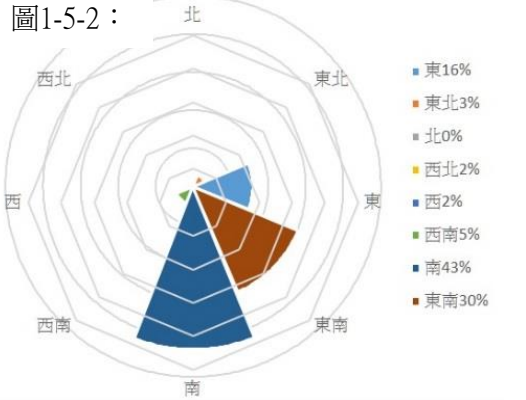

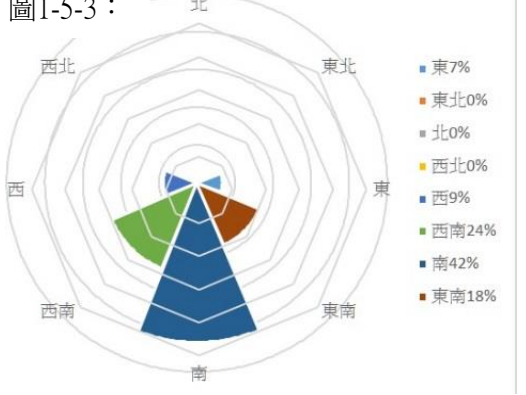


圖1-4-2：台南站三十年月平均溫度紀錄

(五)南面裸岩坡面

我們在現場環境踏查時，發現月世界的山丘地形，有許多呈現一邊是裸坡，一邊是植被的情形，我們想要知道裸坡分布的方向性，於是利用google衛星照片，擷取三處月世界，各約4平方公里的面積，計算山丘裸坡八方位的數目。

根據繪製成方向統計表和玫瑰圖1-5-1~圖1-5-3，顯示三處月世界裸坡，其方向位於南面的占35%至43%，如果加上西南向與東南向，裸坡位於廣義南面的則占77%至84%，約占八成，因本區屬於北回歸線以南的熱帶季風氣候，夏季西南季風經南海帶來雨量，因此迎風的南面受到風吹、日曬、雨淋等物理風化的作用特別顯著，所以侵蝕較嚴重，也使得泥岩南面山坡多有裸露的現象，因此日照配合氣候、雨量條件，使得裸岩斜坡易形成。

位置	衛星照片	裸岩方向玫瑰圖
牛埔月世界		<p>圖1-5-1：</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ 東12% ■ 東北5% ■ 北0% ■ 西北4% ■ 西2% ■ 西南11% ■ 南35% ■ 東南31%
草山月世界		<p>圖1-5-2：</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ 東16% ■ 東北3% ■ 北0% ■ 西北2% ■ 西2% ■ 西南5% ■ 南43% ■ 東南30%
田寮月世界		<p>圖1-5-3：</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ 東7% ■ 東北0% ■ 北0% ■ 西北0% ■ 西9% ■ 西南24% ■ 南42% ■ 東南18%

(六)結果與討論：綜合上述月世界的泥岩惡地地貌，有下列幾項特性：

1.陡峭的裸岩質斜坡現象：

- (1)於強降雨或多日雨後觀察，可以看到一條一條近乎陡直由上而下似層面界限的線條，有些是雨蝕溝，有些是層面。陡峭斜坡令物理風化的泥塊不易停留，後來的強降雨沖蝕，令不明顯的層理可以顯現出來。
- (2)不明顯薄層層理的地質意義，是粉砂或泥經多次的快速堆積條件下，進行的是快速下沉停積所形成的。若是砂、細砂略長些時間的多次堆積，即為泥岩中夾層砂岩的堆積現象。

2.特殊的鋸齒狀山稜線：

- (1)由圖1-32-4與1-33-3可以看到山稜線似具有近乎規律性線條，呈樹枝狀分支狀態，主山稜線稱為一級山稜線，在一分為二的為二級山稜線，現場甚至可以看到二級山稜線在一分為二的三級山稜線，於分支點夾角有一定範圍，分支後亦呈向下坡的方向。

3.陡峭裸岩性斜坡凹溝的泥流（或是泥塊流）：

- (1)陡峭斜坡凹溝的上段，僅見基岩質岩面，中段（泥塊流之上段）看到的是呈指頭粗狀的粗粒或略大些的泥塊，下段看到的最大拳頭粗以上的碎塊，中間摻雜了泥流或較細粒的碎塊。造成此現象主要是重力的原因，大塊的一般存在於較底部，泥塊是為泥流重新裂解的碎塊，或本為基岩質之碎塊，不易研判，需實際敲開才能知曉。
- (2)泥流（或泥塊流）不易填滿整個凹溝，下部受持續強降雨，易漸泥漿化呈流體狀，往坡腳逐漸填平谷地，至呈硬化的泥質平坦地形面，這是凹溝侵蝕、搬運、堆積的過程，終致此平坦地形面，雜草雜木叢生。
- (3)泥流（或泥塊流）材料有二類來源，其一為強降雨滴擊碎的基岩碎屑，有時是被裂解的大碎塊（可稱為基岩質），另一部份是來自強降雨之多量雨水所泥漿化的泥漿流，二者往下坡移動式、推移式或流動式的搬運停積，不同的下滑型式，形成不同的岩塊與泥漿流的相互關係，產生多樣化的地質景像。

4.明顯的斷層現象之證據—呈線性分佈的斷層泥：

- (1)由小玉山景點西側的前路，往東北方向右轉的小山側，可以明顯地看到約1公尺寬，較深黑色的泥岩，位於淡灰色的小山斜坡上，這是斷層泥(圖1-31-6)。由此往小玉山北側斜坡上部，約1/4高度觀看，呈直線型的一條暗黑色線性斷層泥(圖1-31-5)，此兩處的斷層泥互為延伸的，推測應力的來源，與約略在北側的西北東南走向，左移平移的左鎮斷層可能有關。
- (2)應力作用結果應不祇僅左鎮斷層發生，相信必也產生一些更小的斷層或岩石的錯移（off set）裂隙現象，仔細觀察線性斷層泥即不只一條，仍有二三條的存在，但延伸不長而已，岩體有破碎現象的產生。顯示泥岩持續受應力的作用，泥岩的塑性消耗了一些應力，所以也以小斷層居多。

5.陡直厚層大塊的夾層淡棕黃色砂岩：

- (1)此露頭(圖1-31-9)位在小玉山偏西側通達道路上，離小玉山約300多公尺之南側，厚層陡直的夾層砂岩，聳立在另一座泥岩質小山頭頂部。
- (2)在此露頭南側，看到的夾層砂岩層面上有植物的生長，下部並有崩坍落下的岩塊，但前方的泥岩坡面上是裸岩面。
- (3)此夾層砂岩層面清楚呈近乎垂直，露頭離小玉山僅300公尺左右，中途未見有明顯的地質構造作用，如褶皺之向斜/背斜或其他斷層，我們研判小玉山泥岩，若有夾層砂岩或層理存在，必也與此夾層砂岩相似呈陡直條件，這也是令小玉山山頭局部聳立的原因之一。

【研究二】降雨侵蝕實驗

(一)實驗步驟：

- 1.採樣：小玉山與其周邊泥岩區，採集泥岩表面8~10公分風化層泥塊，與其底下基岩層泥塊，如圖2-1。
- 2.設計：討論設計降雨實驗配置如圖2-2，2-3。
- 3.降雨時間：每次20分鐘。
- 4.出水裝置：霧狀蓮蓬頭，水源：自來水龍頭。



圖2-1：岩塊採樣



圖2-2：實驗配置



圖2-3：模擬降雨

(二)結果與討論：

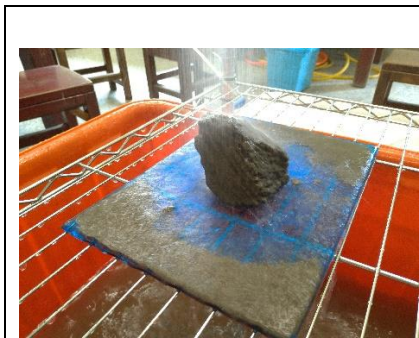


圖2-4：出現甚薄的層面界限線條



圖2-5：坡面上出現的條紋為雨蝕溝

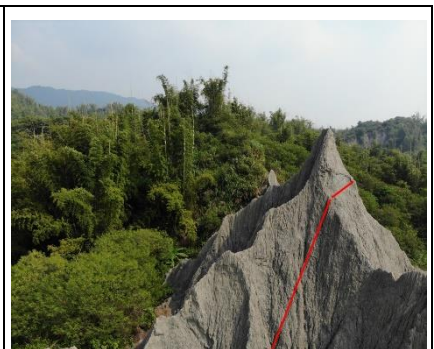


圖2-6：小玉山空拍照片，顯示垂直之似層理。

- (1)不防害觀賞視覺的情形下，敲下一小塊新鮮的標本於實驗室內，約1.5米高度下以最細的蓮噴頭，由上往下對此標本作以強降雨般的沖蝕澆水噴水，不只會出現雨蝕溝，亦出現甚薄（小於0.1cm）的層面界限線條出現(圖2-4)。
- (2)圖2-5坡面上的垂直條紋，應是屬於下雨侵蝕後所形成的雨蝕溝條紋。
- (3)圖2-6是由側面方向呈現的小玉山空拍照片，透過觀察到近乎垂直的夾層砂岩，推測坡面上也近乎垂直的紋路應為泥岩的層面，因此泥岩具有層面構造，僅是薄層被細泥充填了層面，而不易見到層面，因為不易看到層面，所以往往以塊狀不呈層來描述它們，即如實驗室用蓮蓬頭沖水模擬降雨相同，沖洗出明顯或不明顯的層理，亦暗示泥岩的堆積並非連續性無間斷的，間斷的時刻即為層理形成的條件。

【研究三】日曬剝蝕實驗

(一)研究步驟：

- 1.實驗模型：將月世界現場採集的泥岩塊，以鋼鋸從中間鋸開至分成等重的兩塊。
- 2.每天上午7:30，取出兩塊泥岩，分別秤重紀錄後，浸泡水中一小時。
- 3.浸泡一小時後取出泥岩塊，放置於塑膠盤內。
- 4.將兩個盛裝泥岩塊的塑膠盆，分成有日曬(放於教室走廊有日曬處)和無日曬(放於教室內)，分別放置於固定位置。。
- 5.重複步驟2~4，時間十天。



圖3-1-1：以鋼鋸鋸開泥塊，分成等重的兩塊。



圖3-1-2：浸泡水中一小時後取出，表面成糊狀。



圖3-1-3：曬乾一天後取出。

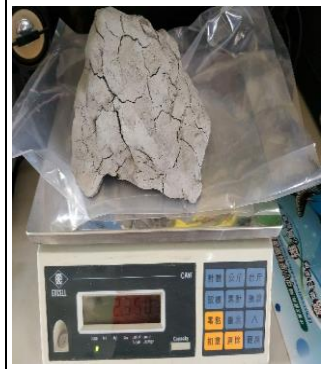


圖3-1-4：每天秤重記錄後。

(二)實驗記錄：

天數	無日曬(克)	有日曬(克)
1	2340	2340
2	2335	2320
3	2340	2300
4	2340	2300
5	2340	2250
6	2305	2200
7	2255	2190
8	2250	2155
9	2195	2095
10	2180	2050
剝蝕率(%)	6.84	12.39

表3-1-1：泥塊剝蝕重量紀錄表

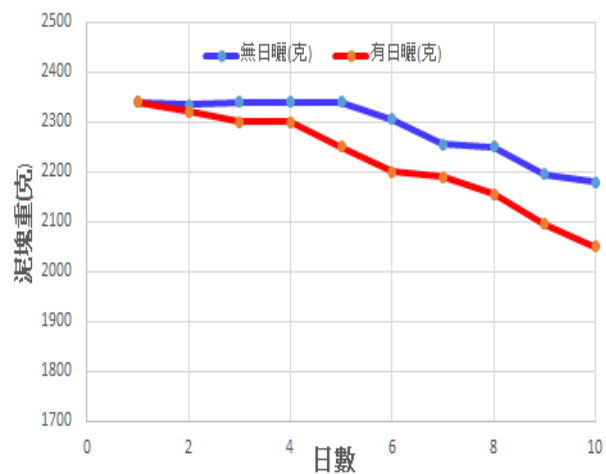


圖3-1-7：泥塊剝蝕重量變化圖

(三)結果與討論：

- 1.由圖3-1-3，可以看到泥塊浸泡水中一小時後取出時，表面泥岩顆粒溶解呈糊狀。
- 2.由圖3-1-4，可以看到乾燥後的泥岩塊，表面散布許多不規則的裂縫，我們推測是水滲入泥岩的薄弱處，而產生裂縫。
- 3.由表3-1-1、圖3-1-7，日曬組的剝蝕率12.39%，無日曬組的剝蝕率6.84%，我們推測是因為日曬的溫度變化，產生的熱漲冷縮作用，導致日曬組的泥塊較容易發生剝蝕，這也是我們在野外觀察到的實況。
- 4.本實驗顯示有日曬作用和無日曬作用，對於泥岩坡面的剝蝕率，有明顯的差異。這是造成植物不易在坡面著根生長的重要因素。

【研究四】酸液侵蝕實驗

【研究四~1】酸蝕實驗一

(一)實驗步驟：

- 1.調製三種水溶液：(1)自來水 (2)稀鹽酸:水=1:1(體積比) (3) 稀鹽酸:水=1:5(體積比)
- 2.採用的稀鹽酸，其濃度為2M，將調製好的水溶液倒入250ml的玻璃燒杯中。
- 3.取草山月世界採集的泥岩塊三塊，秤其重量後分別放入三個燒杯內。
- 4.實驗時間：10分鐘

(二)實驗記錄表4-1-1：

泥岩塊編號	1	2	3
稀鹽酸：水(體積比)	純水	1:1	1:5
實驗前重量(克)	38	77	56
實驗後	還剩下一小塊	全被侵蝕光了	還剩下一小塊

(三)結果與討論：

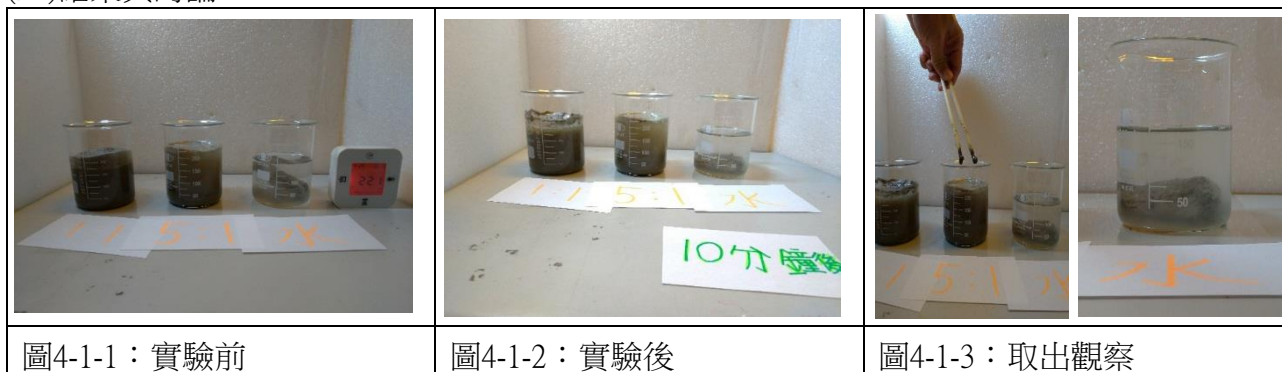


圖4-1-1：實驗前

圖4-1-2：實驗後

圖4-1-3：取出觀察

- 1.由圖4-1-1與4-1-2，發現1:1與1:5的酸液，腐蝕能力強，所以泡在酸液中的泥塊，幾乎都瓦解掉了，顯示酸液對泥岩土有明顯的侵蝕力，泥岩中必含有碳酸鈣成分。
- 2.由圖4-1-3，可看見水溶液呈現泥漿狀糊狀物，但是泡在自來水中的泥塊，狀況是還好的，觀察是仍呈現小泥塊狀。
- 3.由結果得知應該是酸強度太強，腐蝕過頭了，所以嘗試降低酸強度。

【研究四~2】酸蝕實驗二

(一)實驗步驟：

1. 因為研究四~1酸液實驗中，泥岩幾乎被侵蝕光了，我們決定調降酸液比例。
2. 調製二種水溶液：(1)稀鹽酸:水=1:10(體積比) (2) 稀鹽酸:水=1:20(體積比)
3. 採用的稀鹽酸，其濃度為2M，將調製好的水溶液倒入250ml的玻璃燒杯中。
4. 取草山月世界採集的泥岩塊二塊，秤其重量後分別放入二個燒杯內。
5. 實驗時間：10分鐘

(二)實驗記錄表4-2-1：

泥岩塊編號	1	2
稀鹽酸：水(體積比)	1:10	1:20
實驗前重量(克)	51	34
實驗後重量(克)	26(還剩下一小塊)	9(還剩下一小塊)

(三)結果與討論：



圖4-2-1：實驗前



圖4-2-2：實驗後



圖4-2-3：取出觀察

- 1.由圖4-2-1與4-2-2，發現降低酸液濃度，實驗後泥塊已可以存在於溶液中。
- 2.由圖4-2-3，發現取出泥塊後，燒杯內的酸液仍然是很混濁，推測應該酸液的強度還是太大，所以我們決定持續降低酸液濃度。

【研究四~3】酸蝕實驗三

(一)實驗步驟：

- 1.繼續調降酸液比例：(1)自來水 (2) 稀鹽酸:水=1:100(體積比)
- 2.採用的稀鹽酸，其濃度為2M，將調製好的水溶液倒入250ml的玻璃燒杯中。
- 3.取草山月世界採集的泥岩塊二塊，秤其重量後分別放入二個燒杯內。
- 4.實驗時間：10分鐘

(二)實驗記錄表4-3-1：

泥岩塊編號	1	2
稀鹽酸：水(體積比)	純水	1:100
實驗前重量(克)	52	33
實驗後重量(克)	40(還剩下一小塊)	9(還剩下一小塊)

(三)結果與討論：



圖4-3-1：實驗前



圖4-3-2：實驗後



圖4-3-3：取出完全泡入水中10分鐘的小泥塊。



圖4-3-4：敲開泥塊後，只有滲入塊大約1cm左右的深度。

- 1.由圖4-3-2，由酸液中取出泥塊，可以初步看出，在自來水中的泥塊明顯體積比在1:100的酸液中來的大許多了。
- 2.討論後我們決定持續降低酸液濃度與縮短蝕刻時間。
- 3.泥塊泡入酸液中的實驗中，如圖4-3-3所示，完全泡入水中的小泥塊，當取出後觀察到表面是完全呈現浸潤的現象；但敲開泥塊後(圖4-3-4)，卻發現水只有滲入大約1cm左右的深度，中心部份是完全乾燥的，由此可以證明泥岩的滲水性非常不好。

【研究4~4】酸蝕實驗四

(一)實驗步驟：

- 1.調製三種水溶液：(1)自來水 (2)稀鹽酸:水=1:800(體積比) (3) 稀鹽酸:水=1:500(體積比)
- 2.採用的稀鹽酸，其濃度為2M，將調製好的水溶液倒入250ml的玻璃燒杯中。
- 3.取(1)中寮隧道北口基岩層的泥塊(2)中寮隧道北口的砂岩，共二塊，秤其實驗前重量，分別放入燒杯內。
- 4.實驗時間：4分鐘，秤其實驗後重量。

(三)實驗記錄表4-4-1：

中寮隧道	浸泡前	浸泡後	相差	剝蝕率%
泥岩-自來水	58.43	56.85	1.58	2.70
泥岩-酸：水=1：800	45.95	44.02	1.93	4.20
泥岩-酸：水=1：500	50.92	48.76	2.16	4.24
砂岩---酸：水=1：500	129.05	127.44	1.61	1.25

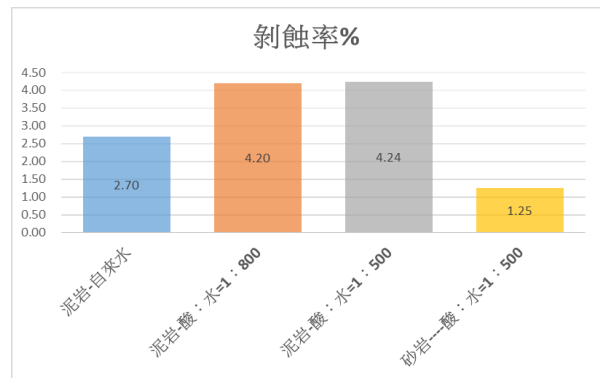


圖4-4-1：基岩層的泥塊實驗前



圖4-4-2：中寮隧道北口基岩層的泥塊實驗後

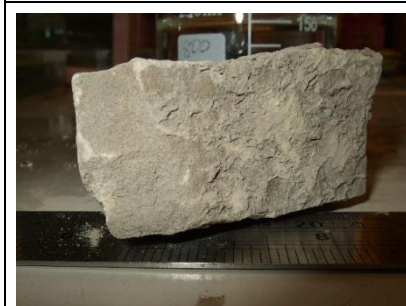


圖4-4-3：中寮隧道北口的砂岩實驗前

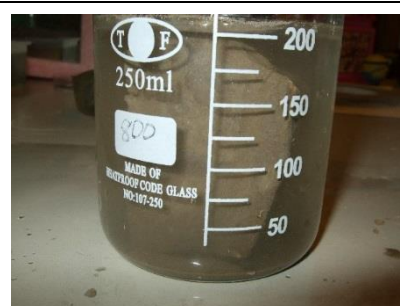


圖4-4-4：中寮隧道北口的砂岩實驗後



圖4-4-5：中寮隧道北口的砂岩取出觀察

(三)結果與討論：

- 1.由圖4-4-1~圖4-4-2，發現酸液蝕刻過程中，原本平滑的泥岩表面，變成很粗糙，下方也掉落了很多泥岩碎屑。
- 2.由圖4-4-3~圖4-4-5，可看見酸洗後，砂岩體積幾乎不變，中寮隧道的砂岩剝蝕率，隨著酸液濃度的增加，僅增加到1.25%，顯示砂岩耐酸蝕的能力大於泥岩，應是砂岩中碳酸鈣的含量極低，即不含化石。
- 3.由表4-4-1，中寮隧道泥岩在不同酸液濃度下的剝蝕率分別為4.20%與4.24%，降低酸液的濃度與縮短蝕刻時間，雖然可以有效的使泥塊殘存在酸液中，但因為剝蝕率差異不大以致無法清楚的分辨，因此接續實驗以朝向拉長蝕刻時間進行。

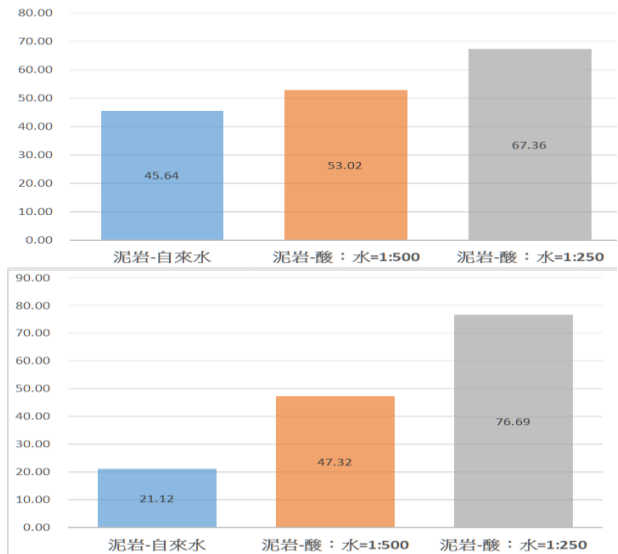
【研究四~5】酸蝕實驗五

(一)實驗步驟：

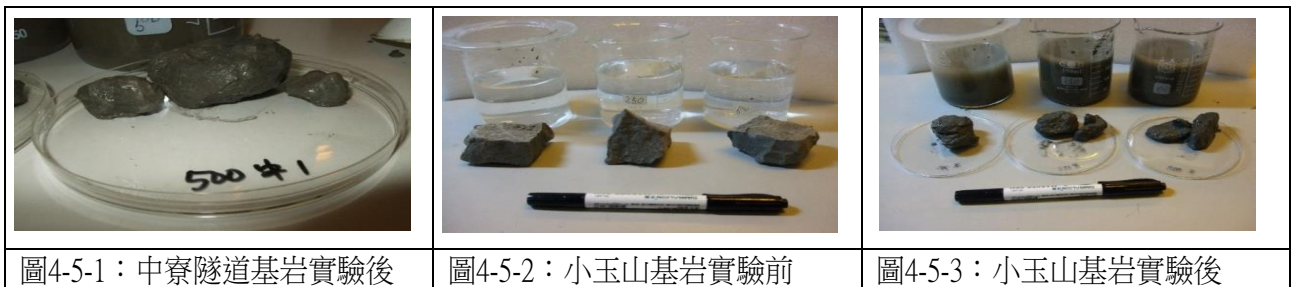
- 1.本次實驗增加1:250的設計，其目的是透過降低pH值，來模擬短時間效應下，真實酸雨侵蝕現象；侵蝕時間也增加到30分鐘，以模擬實際豪雨狀況。
- 2.調製三種水溶液：(1)自來水 (2)稀鹽酸:水=1:250(體積比) (3) 稀鹽酸:水=1:500(體積比)
- 3.採用的稀鹽酸，其濃度為2M，將調製好的水溶液倒入250ml的玻璃燒杯中。
- 4.取(1)小玉山基岩層的泥塊 (2)中寮隧道北口基岩層的泥塊，共二塊，秤其實驗前重量，分別放入燒杯內。
- 5.實驗時間：30分鐘，秤其實驗後重量。

(四)實驗記錄表4-5-1：

小玉山	浸泡前(g)	浸泡後(g)	相差(g)	剝蝕率%
泥岩-自來水	46.14	25.08	21.06	45.64
泥岩-酸：水=1:500	57.37	26.95	30.42	53.02
泥岩-酸：水=1:250	59.47	19.41	40.06	67.36
中寮隧道	浸泡前(g)	浸泡後(g)	相差(g)	剝蝕率%
泥岩-自來水	92.53	72.99	19.54	21.12
泥岩-酸：水=1:500	79.31	41.78	37.53	47.32
泥岩-酸：水=1:250	84.85	19.78	65.07	76.69



(三)結果與討論：



- 1.由表4-5-1，小玉山的泥岩剝蝕率，隨著酸液濃度的增加，由45.64%增加到67.36%。而中寮隧道的泥岩剝蝕率，隨著酸液濃度的增加，由21.12%增加到76.69%，在透過調整酸液的體積濃度與酸蝕時間後，可以得到50%~70%是最易觀察的剝蝕率條件。
- 2.由圖4-5-1~圖4-5-3，發現酸液蝕刻過程，泥塊會有一分為二的現象，此很容易造成取樣上的誤差，會有此現象，主要是泡在酸液中的泥塊，是透過筷子與湯匙的撈取，在撈取過程中，發現很多小泥塊-碎塊都沉在燒杯底部，這些小泥塊，很難判斷是否為合理取樣物。
- 3.所謂合理取樣物，應該是泥塊表面剝蝕下來的泥沙顆粒，而不是取樣表面過程中，被破壞的小泥塊，所以實驗過程中的取樣工具，就變得很重要了。
- 4.由前面多組實驗發現，酸蝕泥塊後的變化並沒有很規則性，主要是取樣的誤差值太大。所以過程中改善了很多實驗手法，包括將泥塊變大與酸洗時間拉長，目的是將可能的誤差值減小，最後定義：要在一定的酸洗時間下，透過篩網進行撈取，可以減少較多的重量損耗誤差，接下來的實驗我們將改用篩網進行撈取。

【研究四~6】酸蝕實驗六

(一)實驗步驟：

1. 本次實驗改以**紗網**(圖4-6-1)當作承載物，紗網孔隙尺寸大約5mm*5mm。
2. 調製兩種水溶液：(1)自來水 (2) 稀鹽酸:水=1:500(體積比)。
3. 採用的稀鹽酸，其濃度為2M，將調製好的水溶液倒入250ml的玻璃燒杯中。
4. 取中寮隧道北口基岩層的泥塊，共二塊，以紗網包覆後，秤其實驗前重量與空紗網的重量，分別放入燒杯內。
5. 實驗時間：30分鐘，秤其實驗後重量，再減去紗網重。

(二)實驗記錄表4-6-1：

中寮隧道	浸泡前(克)	浸泡後含網重(克)	網重(克)	剝蝕量(克)	剝蝕率(%)
自來水	74.38	70.08	5.26	9.56	12.85
酸:水=1:500	45.03	22.66	5.21	27.58	61.25

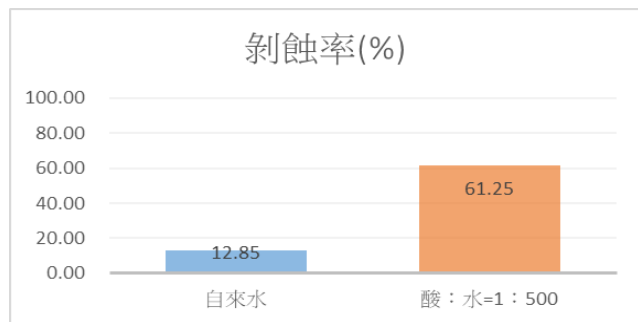


圖4-6-1：紗網當作承載物



圖4-6-2：基岩層的泥塊實驗前

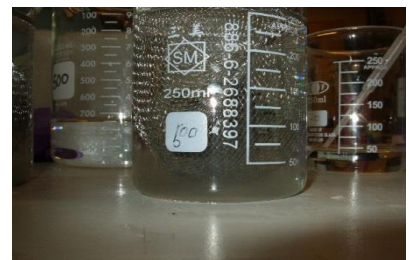


圖4-6-3：基岩層的泥塊實驗中



圖4-6-4：基岩層的泥塊實驗後



圖4-6-5：過濾後殘留小泥塊

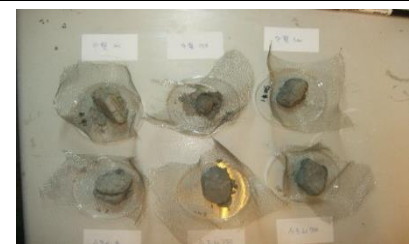


圖4-6-6：過濾後殘留小泥塊

(三)結果與討論：

1. 由表4-6-1，中寮隧道的泥岩剝蝕率，隨著酸液濃度的增加，由12.85%增加到61.25%左右。顯示酸液對泥岩的剝蝕有相當的影響。
2. 能通過5mm*5mm孔隙的顆粒，應該就是剝蝕下來的泥岩物質，而不是泥塊未被剝蝕的殘留主體物；因為能通過5mm*5mm孔洞的物質，如果存在酸液中，也幾乎都會被腐蝕成泥沙顆粒了，所以這樣的取樣手法應該是合理的。

【研究四~7】酸蝕實驗七

(一)實驗步驟：

- 1.依據前面的實驗結果，我們嘗試以更大尺寸的泥塊進行酸蝕時驗。根據表1-4-2：台南市三十年雨水酸鹼質紀錄，台南市的雨水pH值在5.1至6.5之間，屬於弱酸性，於是在水桶中盛自來水，倒入少量以稀鹽酸(濃度2M)，調製pH值約5.6的弱酸水。
- 2.實驗模型：將月世界現場採集的泥岩塊，以鋼鋸從中間鋸開至分成等重的兩塊。
- 3.每天上午7:30，取出兩塊泥岩，分別秤重紀錄後，浸泡自來水與弱酸水中一小時。
- 4.浸泡一小時後取出泥岩塊，放置於塑膠盤內。
- 5.將兩個盛裝泥岩塊的塑膠盆，分成自來水組和弱酸水組，分別放置於走廊固定位置。
- 6.重複步驟3~5，時間十天。

(二)實驗記錄：

天數	自來水	弱酸水
1	2015	2015
2	1985	1990
3	1945	1940
4	1920	1925
5	1910	1910
6	1895	1885
7	1855	1845
8	1840	1825
9	1830	1815
10	1825	1810
剝蝕率(%)	9.43	10.17

表4-7-1：泥塊剝蝕重量紀錄表

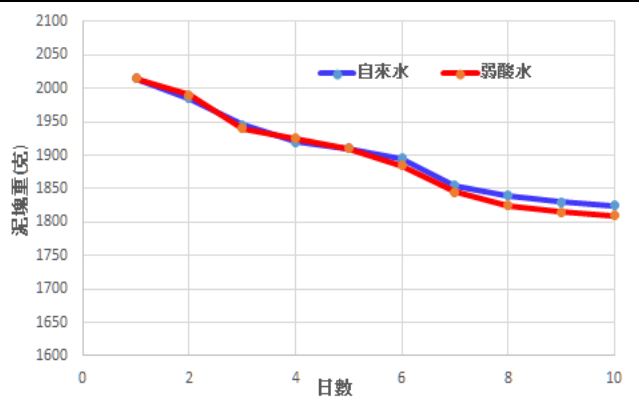


圖4-7-1：泥塊剝蝕重量變化圖



圖4-7-2：倒入少量以稀鹽酸，調製pH=5.5弱酸水。



圖4-7-3：兩塊泥岩分別浸入自來水和弱酸水每天一小時。



圖4-7-4：日曬一天後秤重。

(三)結果與討論：

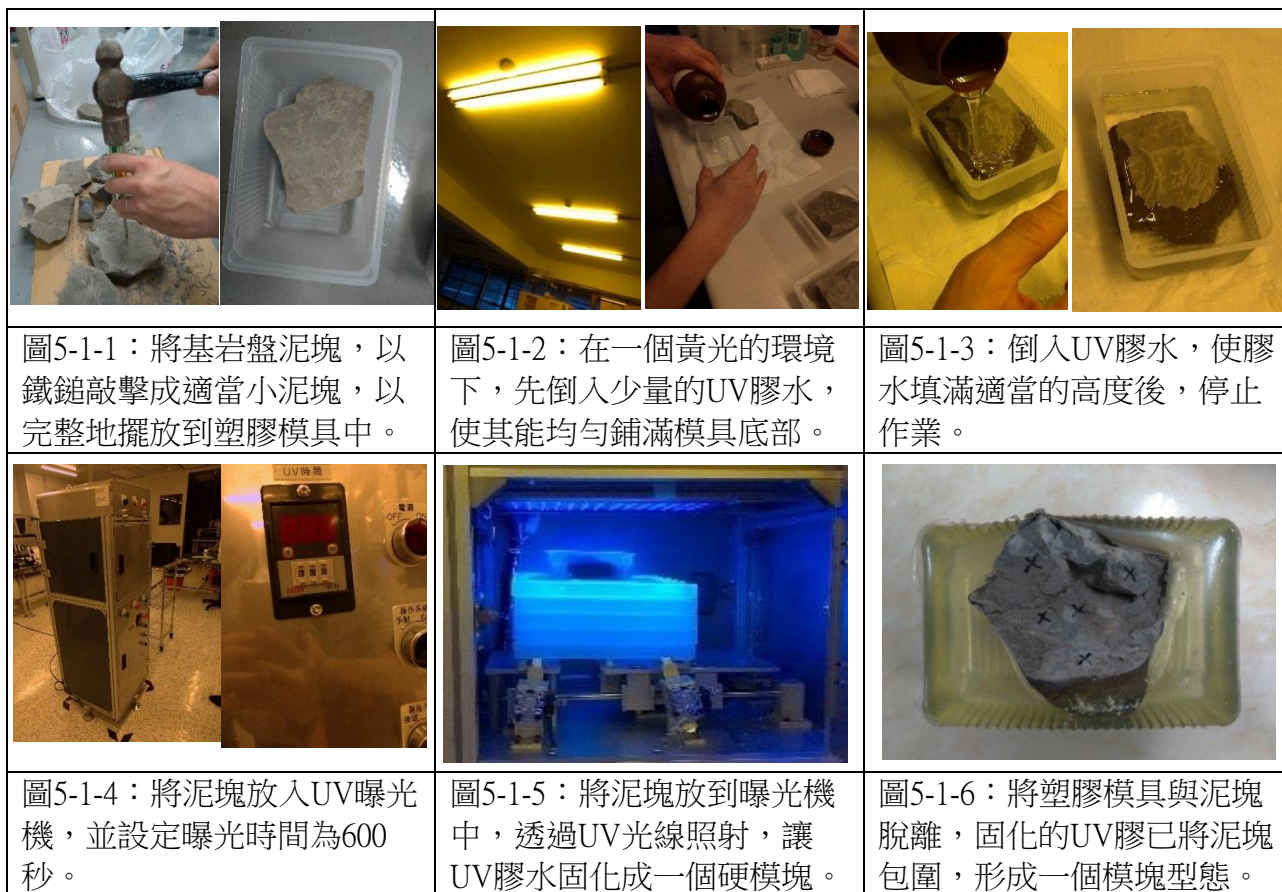
- 1.由表4-7-1、圖4-7-1，可以看到在十天的實驗中，自來水組和弱酸水組的剝蝕率，均顯示相同的趨勢。
- 2.由圖4-7-3，可以看到泥塊剛浸泡在水中時，會一直冒出氣泡，顯示泥塊縫隙有相當的深度。
- 3.本實驗弱酸水(pH5.6)的剝蝕率10.17%，自來水組(pH7.4)的剝蝕率9.43%，顯示弱酸雨水對於泥岩坡面的剝蝕率略大於自來水。
- 4.本實驗兩組剝蝕率的差異不大，我認為主要是因為十天的時間不夠長，隨著長時間的酸蝕效果，台南弱酸性的雨水，對於泥岩的剝蝕仍會有相當程度的影響。

【研究五】滲水膨脹實驗

【研究五~1】膨脹實驗一

(一)研究步驟：

1.製作膨脹實驗用泥塊：



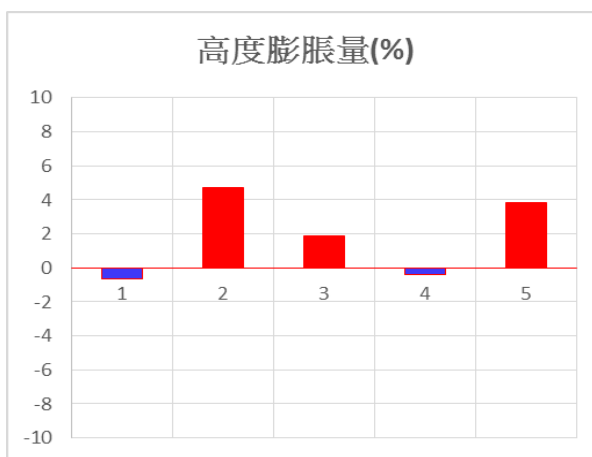
2.在泥塊模塊上面，繪出五個取位點。

3.在表面加水(第一次19cc，第二次6cc)，等待水份完全滲入，且表面完全硬化。





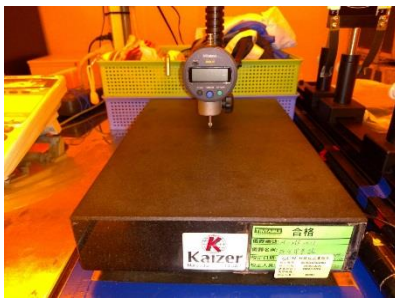
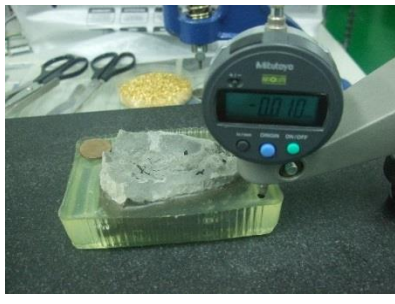
4.一天後以千分儀，測量表面膨脹的高度。

(二)研究紀錄：(表5-1)

泥岩滲水膨脹實驗					
取位點	原高度	第一次滲水19cc	第二次滲水6cc	高度膨脹量(mm)	高度膨脹量(%)
1	7.250	7.118	6.992	-0.258	-0.6363
2	5.080	6.755	6.998	1.918	4.72996
3	-0.290	-0.009	0.477	0.767	1.89149
4	3.356	2.993	3.190	-0.166	-0.4094
5	0.000	1.390	1.556	1.556	3.83724
平均				0.76	1.88
基準點高度	40.550				



(三)結果與討論：

		
圖5-1-7：第二次(滲水6cc)實驗前	圖5-1-8：第二次(滲水6cc)實驗中	圖5-1-9：第二次(滲水6cc)實驗後
		
圖5-1-10：實驗前立面圖	圖5-1-11：數位千分表測量台	圖5-1-12：以千分表測膨脹量

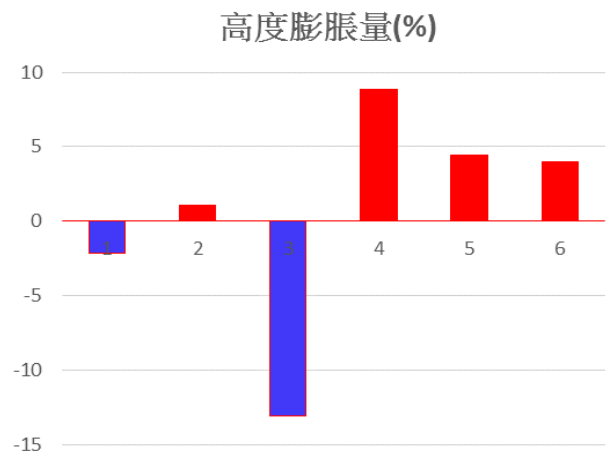
1. 本來採用游標卡尺測量膨脹量，可是因為基岩塊表面凹凸不平(圖5-1-10)，且需要上下定位，一直無法準確測量，經過多方嘗試，最後找到數位千分表(圖5-1-11)當作量測膨脹高度的儀器，儀器的準確度可達到數十微米的計量值。實驗首先在泥塊上標記幾個待量測位置，並以其中一個適當高度的位置當作零點；接者以千分表，對標記的位置進行高度的量測，完成各點高度紀錄後，開始注入水於凹槽內，待一天後使其水完全滲入泥塊並完全乾燥後，同樣的位置再量測一次高度，如此的程序重複兩次，即可以以精準的紀錄下泥岩吸水膨脹前後的高度差。
2. 以UV膠水固定泥塊的模塊，在表面敲出一個凹槽後，再注入適當的水量於凹槽中，等待一天讓水完全滲入並使其表面完全乾燥後，再重新注入一次水於凹槽內，等待一天使其完全滲入與乾燥後，可以看到泥塊的表面，出現了許多裂縫(圖5-1-9)，此為水滲入過程造成的膨脹現象。
3. 固化後的UV膠極為堅硬，所以用固化後的UV膠圍住泥塊的五個面，主要是讓此五個面不要發生體積膨脹的狀況，保留泥塊上面當作主要滲水膨脹面。
4. 從表5-1，可以看到五個取位點，滲水作用後有2處下陷0.4%~0.6%，有三處膨脹1.9%~4.7%，顯示受到泥岩的成分和構造的影響，水分滲入泥岩內部後，會產生不均勻凹凸的作用。

【研究五~2】膨脹實驗二

(一)研究步驟：(同膨脹實驗一)

(二)研究紀錄：(表5-2)

泥岩滲水膨脹實驗					
取位點	原高度	第一次滲水13cc	第二次滲水9cc	高度膨脹量(mm)	高度膨脹量(%)
1	3.894	4.706	3.328	-0.566	-2.1505
2	1.149	1.967	1.440	0.291	1.10562
3	2.518	-1.799	-0.911	-3.429	-13.028
4	4.082	6.008	6.400	2.318	8.80699
5	6.076	6.915	7.249	1.173	4.45669
6	6.526	7.908	7.571	1.045	3.97036
平均				0.14	0.53
基準點高度	26.320				



(二)結果與討論：

- 從表5-2，可以看到六個取位點，滲水作用後有2處下陷2.2%~13.0%，有四處膨脹1.1%~8.8%，顯示受到泥岩的成分和構造影響，水分滲入泥岩內部後，的確會產生不均勻凹凸的作用。
- 比較表5-1和5-2，發現同一塊標本，各不同座標位置之孔隙及孔隙率並不平均，滲水後之膨脹及有差異；會有此差異主要是泥岩材質分布不均勻的原因。
- 我們發現滲入後產生的裂縫有二型，而這兩種型態都會造成表面的淺層應力：
 - (1)表面裂片之間的裂隙：可能表面層吸水後先橫向膨脹，水再繼續往下部滲乾，則表面層呈現縮收現象，此時表面的開口型張力裂隙即發生，此時會產生一個水平方向的應力，而龜裂後的每一片必有凹凸現象。
 - (2)表面裂片與下層岩體之間的裂縫：試著剝開表面裂片後，即可觀察到裂片與下層岩體間有空隙，也可以由所剝開的裂片處，去觀察周圍未被剝之裂片與母岩體之間存有空隙，形成此空間縫隙的原因是表層裂片乾燥收縮後，與下層未乾燥的岩體分離所造成，此時會產生一個垂直方向的應力。
- 更往下(或內部)滲入的水也會引發內部的回脹應力，此為內部深層應力，方向僅能往上方，即頂上作用(衝頂作用)，原英文叫(Diapir) (參考資料12)，此現象即類似於屏東縣琉球鄉下部泥岩與上部向四方傾斜崩落的石灰岩之間的關係，即泥岩的衝頂作用(參考資料11)。
- 本實驗結果雖然數據差異不大，但仍是可以直接證明泥岩具有滲水膨脹的現象，相信滲水的次數再增加，數據會有一定的差異值出現。如果進一步的令本實驗中岩塊體積為V，時間為t，則 $V \times \text{膨脹率}(\%) \times t = K$ ，K即為一區的長期膨脹量，將K值分配至往上與往側向，即為災害。
- 以本章節實驗的結果與滲水膨脹衝頂現象的概念，我們嘗試去探討中寮隧道北口的災害產生原因，相關的討論在研究八的內容中。

【研究六】震動實驗

(一)研究步驟：

1.製作膨脹實驗用泥塊，同研究五的製作方式。

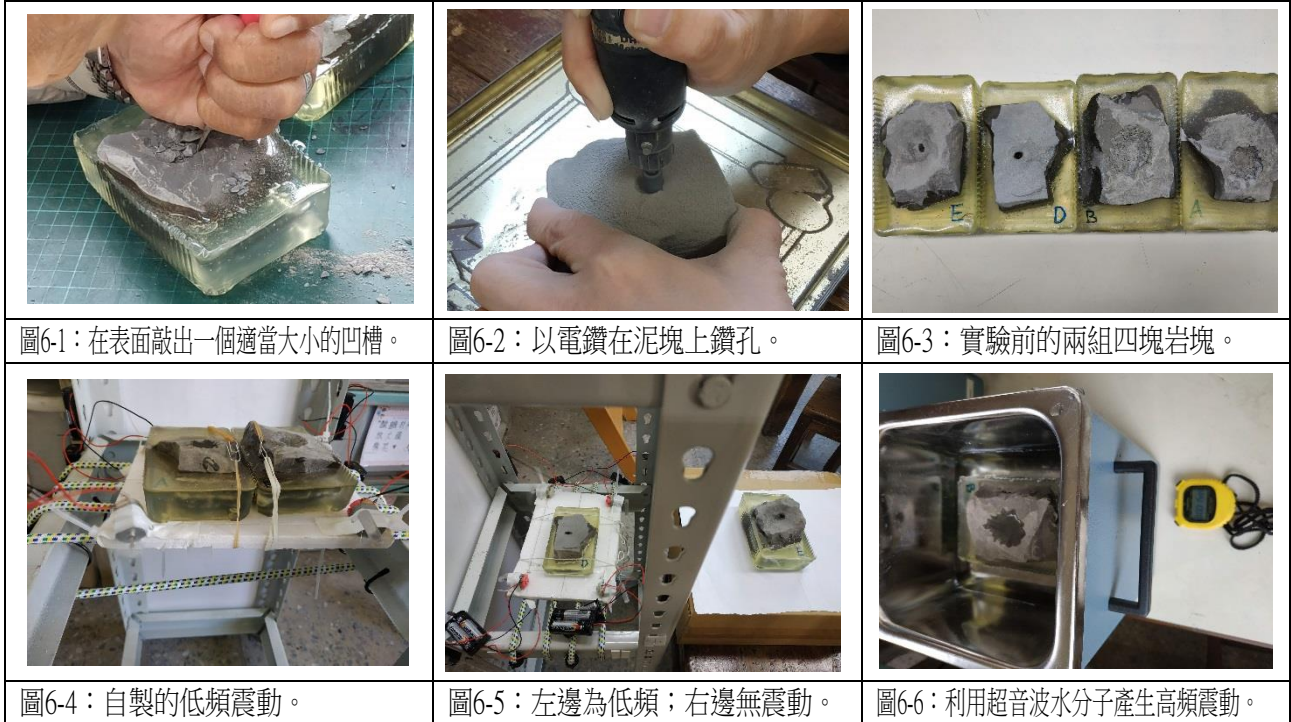


圖6-1：在表面敲出一個適當大小的凹槽。

圖6-2：以電鑽在泥塊上鑽孔。

圖6-3：實驗前的兩組四塊岩塊。

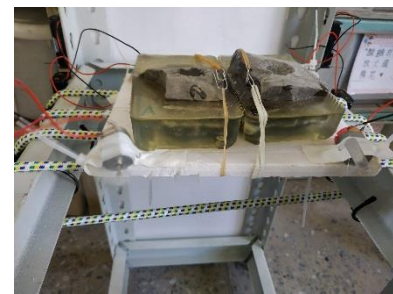


圖6-4：自製的低頻震動。

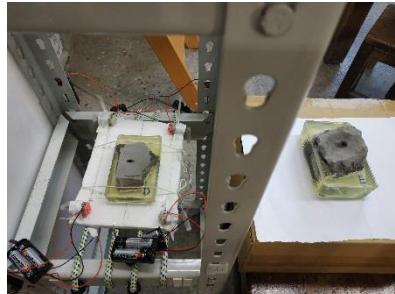


圖6-5：左邊為低頻；右邊無震動。



圖6-6：利用超音波水分子產生高頻震動。

2.震動方式：低頻震動、高頻震動、無震動(對照組)

3.震動模式：低頻震動以玩具小馬達串聯4顆1.5V3號電池，如圖6-1-1；

高頻震動以超音波震動機(40KHz)，如圖6-1-2。

4.A, B組岩塊：以工具在表面敲出一個適當大小的凹槽；

D, E組岩塊：以電鑽在泥塊上鑽孔(直徑0.7mm，深度0.7mm)。

5.測量岩塊重量後，注入(0.2~0.7ml)的水量於凹槽或孔洞中，以不溢出孔洞為原則，再測量一次含水岩塊重量，兩者相減得到滲入的水量。

6.分別採三種震動模式，紀錄水完全滲入岩塊的時間，計算滲水速率。

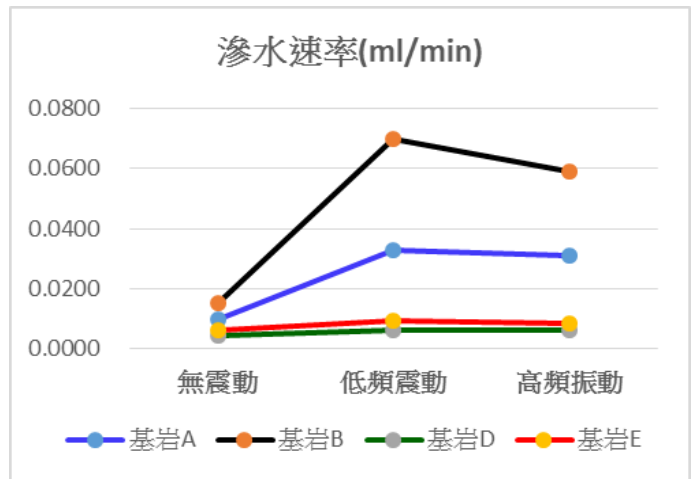
7.等待一天讓水完全滲入，重複上述的實驗。

(二)研究紀錄：(表6-1)

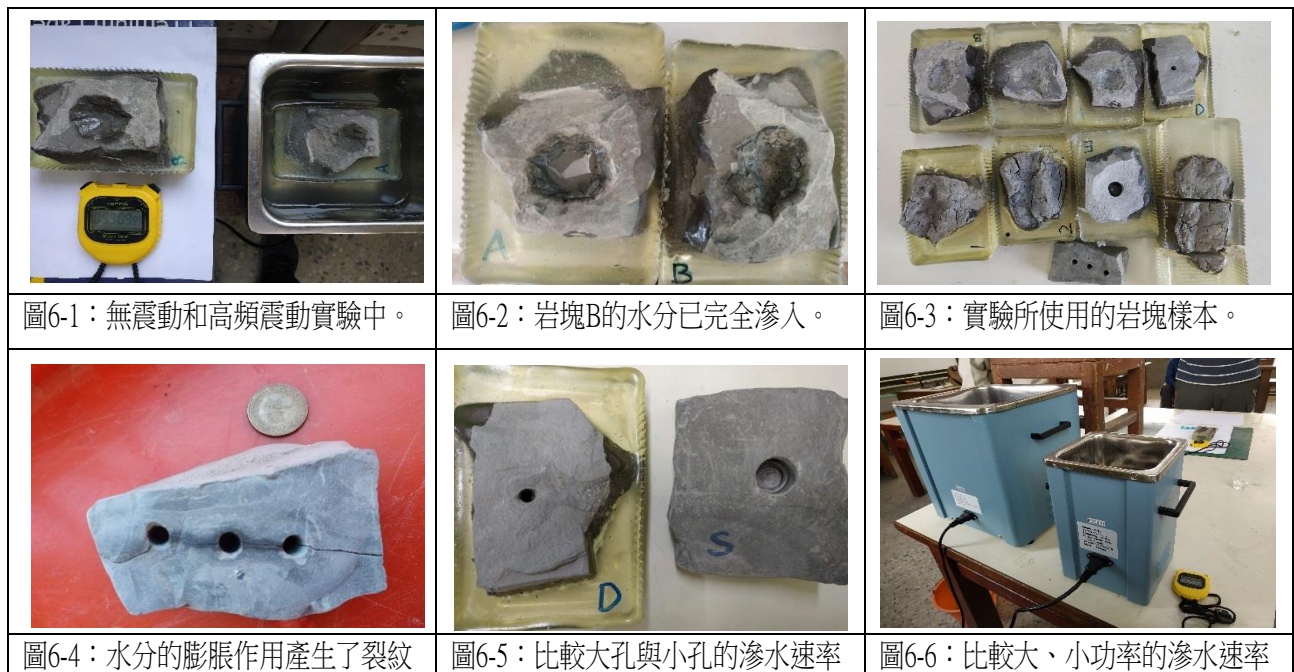
項目	滲水前重量(g)	滲水後重量(g)	滲入水量(ml)	滲入時間(min)	滲水速率(ml/min)	項目	滲水前重量(g)	滲水後重量(g)	滲入水量(ml)	滲入時間(min)	滲水速率(ml/min)	項目	滲水前重量(g)	滲水後重量(g)	滲入水量(ml)	滲入時間(min)	滲水速率(ml/min)
A-無震動	432.38	433.04	0.66	67.50	0.0098	A-低頻震動	431.70	432.34	0.64	19.50	0.0328	A-高頻震動	431.56	431.88	0.32	10.30	0.0311
B-無震動	446.14	446.74	0.60	39.30	0.0153	B-低頻震動	446.14	446.74	0.60	8.60	0.0698	B-高頻震動	446.08	446.58	0.50	8.50	0.0588
D-無震動	288.22	288.42	0.20	46.50	0.0043	D-低頻震動	288.44	288.64	0.20	33.00	0.0061	D-高頻震動	288.45	288.66	0.21	33.00	0.0064
E-無震動	477.46	477.68	0.22	35.00	0.0063	E-低頻震動	477.76	478.00	0.24	26.00	0.0092	E-高頻震動	477.76	477.98	0.22	26.00	0.0085

表6-2：滲水速率比較表

滲水速率 (ml/min)	基岩A	基岩B	基岩D	基岩E
無震動	0.0098	0.0153	0.0043	0.0063
低頻震動	0.0328	0.0698	0.0061	0.0092
高頻振動	0.0311	0.0588	0.0064	0.0085



(三)結果與討論：



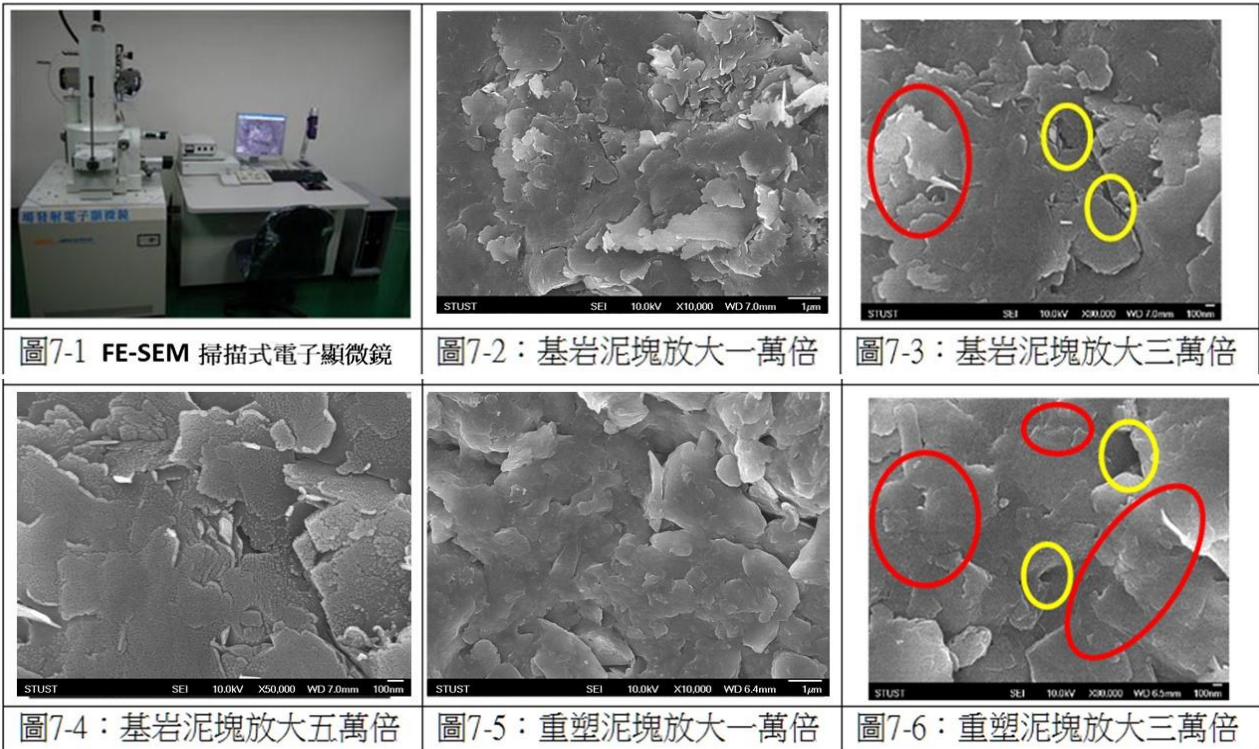
1. 由表6-1~6-2，基岩滲水速率 $B > A > D > C$ ，有受到震動的基岩，滲入速度為無震動的1.5倍~4倍，我們認為震動會加速水分的滲入速度；低頻震動下的滲水速率略大於高頻，但是差異不大。
2. 基岩泥塊的顆粒細緻，極不易滲水；以工具敲出凹槽的AB組(圖6-2)，其滲水速率是以電鑽鑽孔的2倍~7倍，我們認為以工具敲擊凹槽的過程中會產生裂縫，滲水面積也較大，造成水分容易從裂縫滲入
3. 圖6-4中，我們連續鑽三個孔洞，滲入水分乾燥後，發現表面出現裂紋，顯示水分在泥岩內部的膨脹的作用，產生了具方向性的裂痕。
4. 圖6-5中，我們用鑽孔鑽了大孔(直徑15mm)和小孔(直徑7mm)，經比較其滲水速度，不論採取震動模式或無震動模式，兩者的滲水速率都與表6-1相似，這更進一步說明了，用電鑽鑽孔時，因不易產生裂縫，即使滲水面積增大，滲水速率也不會增加；裂縫是水分滲入的主要因素。
5. 圖6-6中，我們比較高功率(200W)和低功率(80W)超音波高頻震動，對滲水速率的影響，實驗顯示兩者差異不大，也許是標本均為小塊者之故，至於未用超音波者之差異也僅時間長短差異，久之相等量的水量全滲入了。

【研究七】基岩泥塊電子顯微鏡分析

(一)研究步驟：

- 1.為能進一步了解基岩泥塊的微結構，我們接洽南台科技大學貴重儀器中心，請專家運用 FE-SEM 掃描式電子顯微鏡 (如圖7-1)，拍攝高倍率微結構影像照片。
- 2.選取兩種樣品作微結構的比較，第一種是中寮月世界基岩層岩塊，稱為基岩泥塊樣品，第二種是同位置的泥塊，但是經過泡水與乾燥的後處理，稱為重塑泥塊樣品，透過拍攝放大一萬倍至五萬倍的影像作比較討論。

(二)研究紀錄：



(三)結果與討論：

- 1.由李德河教授(參考資料10)所述，泥岩回脹之物理性為吸水關係，泥岩對水而言為吸水，水對泥岩而言為滲水，所以我們以滲水作用稱之。滲水進入泥岩造岩作用(Diagenesis)後，構成顆粒之間的空隙之物理性令泥岩回脹 (swelling)，此僅說到組成泥岩的大小顆粒之間的空隙。
- 2.根據參考文獻的描述，泥岩含有少量的黏土礦物即綠泥石、伊萊石的結晶，但大部分為片狀的矽酸物質，而透過電子顯微鏡一萬倍~五萬倍(圖7-2~7-4)觀察，是可以看到片狀物質的存在，且是佈滿整個視野範圍，而且是呈現片與片的平坦堆積型態，每個片狀物的邊緣都是可以很清楚的觀察到。而在圖7-4超高倍率的視野下，是可以看到很多點狀物分布在片狀物表面，推測可能是其他成分的礦物結晶體，但仍需更精密的儀器進行判定。片狀體與片狀體之間有層間空間(紅色圈)；片狀體的堆與堆之間也有孔隙(黃色圈)，這些空間也可能為水滲入的孔道。
- 3.在重塑泥塊的照片中(圖7-5~7-6)，顯示片狀體邊緣是不明顯，推測可能呈捲曲現象，此乃因滲入層間的水，非均勻分布撐開之故，而在乾燥後片狀體已不易恢復原本的型態，就像衛生紙吸水潮濕再乾燥後，紙片是呈現捲曲狀，而不再是平整狀態了，相對的捲曲後所占的空間也是變大的，此似乎亦可解釋泥岩體，受強降雨水滲入，空間體積改變所發生的衝頂作用。

【研究八】滲水衝頂災害實例之探討

(一)實例一：(參考資料4：高速公路局<https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=195&p=9044>)

高工局參考資料提及中寮隧道北口處因旗山斷層的影響，造成路面抬升1公尺左右，如圖8-1所示，但國道3號田寮3號高架橋因位處泥岩與砂頁岩等複雜地質構造區，並受旗山、龍船兩活動斷層不等量的抬升作用影響，造成路面擠壓隆起及高架橋伸縮縫損壞，影響了國道行車安全。為有效解決大地變位影響，高公局進行長期改善工程，設計理念是以柔性結構(路堤、路塹)取代剛性結構(橋樑、隧道)，以吸收因大地擠壓與斷層活動所產生的變形，仍保持路面的平整，所以將挖掘該區的烏山砂岩填充於田寮3號高架橋底部，此填築路堤及開挖路塹方式，以易於日後養護工作。

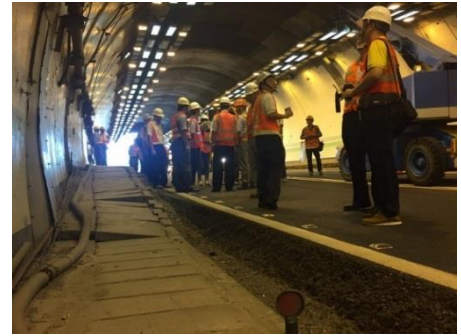


圖8-1：通車16年的中寮隧道，路面隆起達130公分(參考資料5)

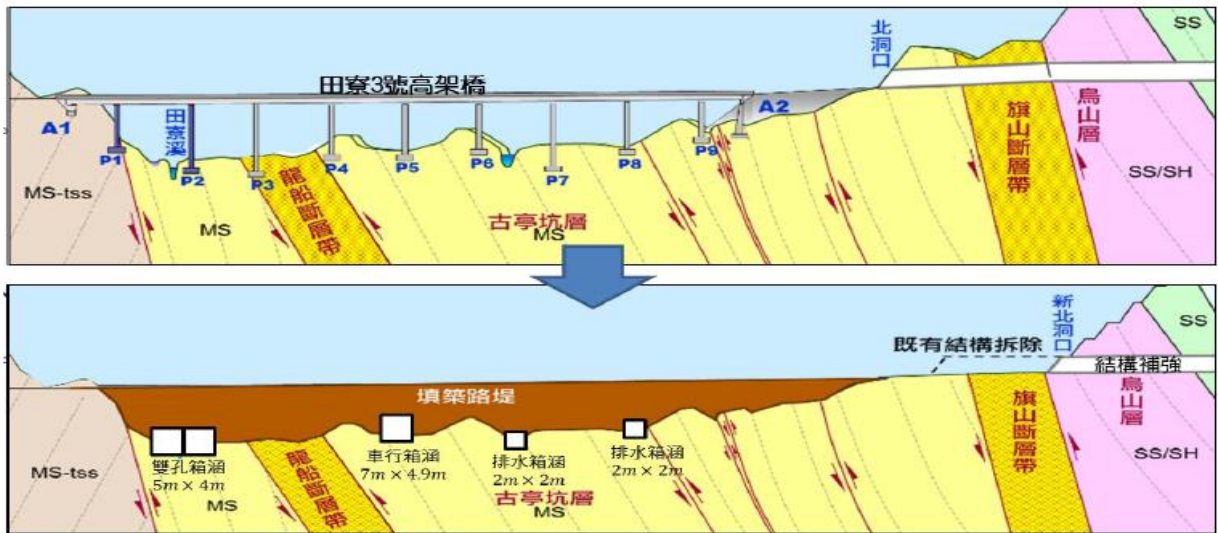


圖8-2：中寮隧道改善工程示意圖

(二)實例二：(高雄旅遊網<https://khh.travel/Article.aspx?a=6898&l=1&stype=1057&sitem=4089>)

在中寮隧道北口附近，隱身於七星里南勢湖的呂家古厝，已有百餘年的歷史，是高雄現存規模最大、形制最完整的傳統民居聚落，也是墾民時期土塙厝建築的代表作之一。我與指導老師於108年11月間造訪呂家古厝，發現部分地面成不均勻隆起，甚至造成牆面龜裂，如圖8-3~圖8-5。



圖8-3：田寮鄉南勢湖47號的呂家古厝，曾是旅遊景點。



圖8-4：地面紅磚拱起，磚牆也因擠壓而龜裂。



圖8-5：多處牆面與地磚，發生擠壓龜裂與隆起現象。

(三)結果與討論：

<p>圖8-6：旗山段五萬分之一地質圖。</p>	<p>圖8-7：疑似車瓜林斷層的位置。</p>	<p>圖8-8：密集的铁質砂岩夾層與斷層泥。</p>
<p>圖8-9：將水倒在夾岩砂層上面觀察滲水狀況。</p>	<p>圖8-10：中寮隧道北洞口複雜的地形。</p>	<p>圖8-11：高速公路的厚層級配基礎與護坡排水的石籠。</p>

1. 圖8-6為中央地調所旗山段五萬分之一地質圖，從圖上可以看到中寮隧道北洞口，介於旗山斷層和車瓜林斷層之間。交通部高速公路局的工程簡報中，將車瓜林斷層誤植為龍船斷層，真正的龍船斷層，應該在車瓜林斷層的上方西北側。
2. 圖8-7為我與指導老師在現場踏勘時，根據地質圖找到疑似車瓜林斷層的位置。
3. 根據地調所的資料車瓜林斷層不是活動斷層，而旗山斷層雖是活動逆斷層，但是主要災害是發生在上盤，也就是隧道北口內與南口處，所以高工局提出的兩個活動斷層不等量的推擠造成田寮3號橋路面隆起的想法是不對的，此橋是位於特殊泥岩區，因此主要產生災害的原因應該是跟泥岩的特性有關係。
4. 如圖8-8，我們在田寮鄉中寮隧道附近調查泥岩地形與特性，發現多處泥岩山頭均有呈5~10公分厚，中粗至粗粒的铁質砂岩，這些砂岩的節理間距大約在10~20公分以內；除了密集的砂岩層外，中寮隧道北口兩側的泥岩山頭，隨處可見斷層痕跡的斷層泥，有的厚度達一公尺。
5. 如圖8-9，我們將水倒在夾岩砂層上面，發現水極易滲入；而附近又有許多斷層泥分布，斷層泥所產生的破裂帶，也是提供滲水的極佳路徑。因此我們認為，降雨在距離不到100公尺的高速公路上，此區域的夾層砂岩縫隙與斷層泥的裂縫，都是提供雨水滲入泥岩內部的絕佳路徑。所以泥岩滲水所產生回脹衝頂作用，應該是造成地面隆起原因之一，而滲水衝頂的現象於前面的研究五與研究七均有證實此現象的發生。
6. 圖8-10，為108年11月間，我與指導老師到中寮隧道施工工地現場踏勘，從照片中可以看到，中寮隧道北洞口，位於烏山層砂岩與古亭坑泥岩兩種地質的交會處。

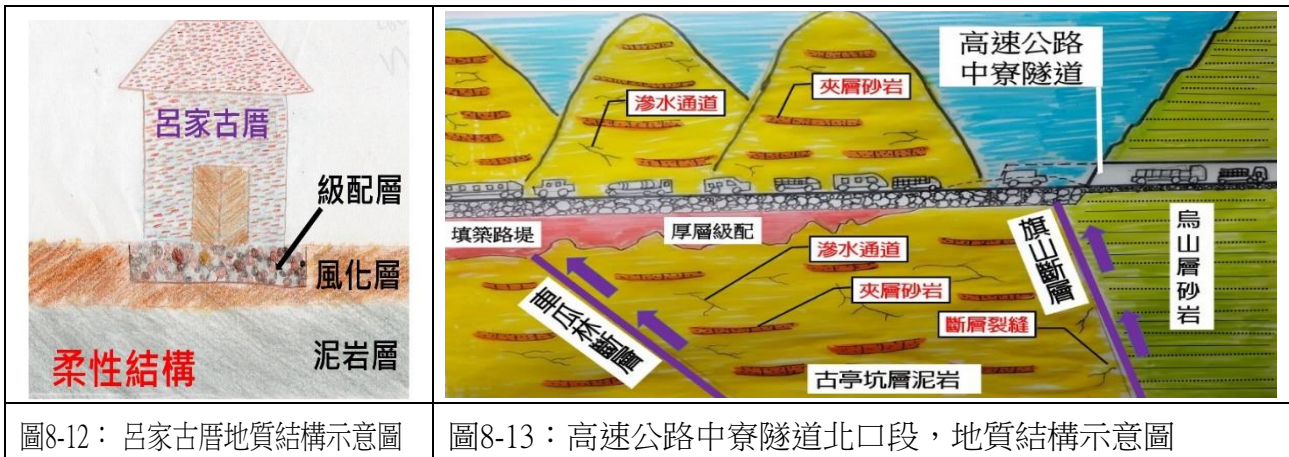


圖8-12：呂家古厝地質結構示意圖

圖8-13：高速公路中寮隧道北口段，地質結構示意圖

7. 從圖8-12中，一般古厝的地基都會有級配層，屬柔性結構下，仍然因為泥岩的滲水膨脹作用，而產生地面隆起與牆壁龜裂，如圖8-4~8-5所示。由此可推論，泥岩地質上的建築物雖有配置級配層，但還是很有可能因為泥岩滲水膨脹的衝頂作用，而造成損害。因此我也認為高工局提出的柔性結構工法，是否能改善地面隆起之現象，仍有待商榷。
8. 由研究五的膨脹實驗與研究六的震動實驗，我們發現泥岩不只會因滲水而造成不等量的膨脹現象，也會因路面車輛行駛所造成的震動，而加速水的滲透。如圖8-13所示，因本路段地質構造複雜，我們歸納出下列四項造成路面隆起的因素：
 - (1)夾層砂岩層太多，增加了水滲透的路徑
 - (2)旗山斷層的擠壓作用，造成的裂縫太多，增加了水滲透的路徑
 - (3)每天大約有4萬輛車子經過(參考資料13)，震動增加滲水的能量
 - (4)該區泥岩層有數千公尺厚，2~20公尺的柔性結構，應不足以抵銷滲水膨脹的膨脹量
9. 目前高公局防止雨水滲入泥岩，在本路段的邊坡設計截流溝，透過有效排水方式，紓解泥岩上頂與側向壓力的設計，如圖8-11所示；可是我們認為此設計只能收集路堤兩側向內斜坡的雨水，集水面積太小雨水容易從其他路徑滲入，泥岩仍會產生不均勻回脹。
10. 偶然下在路邊有看到防水漆的廣告，強調具有高滲透性，能滲入縫隙填補的特性，這種滲透補強概念給了我靈感想嘗試能不能利用酸性雨水來溶解鈣質，讓其滲入縫中，久而久之的把泥岩的縫隙-滲水路徑補起來，讓雨水主動來幫我們抓漏補漏，因為泥岩本身不易透水，在沒有裂縫路徑下，應該可有效減緩衝頂現象。若概念可行，將來施工可在級配層下方先鋪上一層碳酸鈣，由自然的降雨來溶解鈣質讓其緩慢的滲入孔隙中並填補起來，應可以減緩泥岩衝頂的現象，此概念在本報告書截稿前實驗還在進行中，如果有進一步的成果將會在全國賽的會場中與各位委員分享結果。

伍、結論

一、本研究調查台南草山月世界、牛埔月世界與高雄的田寮月世界，透過野外地質調查，我們發現南部月世界地形，具有下列幾項特性：

1. 陡峭的裸岩質鋸齒狀斜坡：南向為裸坡者約占八成。
2. 特殊的凸形壠狀稜線：具有近乎規律性線條，常呈樹枝狀分布。
3. 鋸齒性斜坡凹溝的泥流或泥塊流：不同的下滑型式下，形成不同的岩塊與泥漿流的相互關係，產生多樣化的地貌。
4. 明顯的斷層現象之證據—呈線性分佈的斷層泥。

二、在探討泥岩因降雨、日曬與酸蝕產生的風化作用方面：

1. 透過降雨實驗可以觀察到泥岩微細的層理。
2. 有日曬作用的泥岩剝蝕率為無日曬作用的二倍。
3. 日曬後乾涸的泥塊可以看到很多張力產生的裂縫。
4. 酸液侵蝕泥岩的剝蝕率明顯大於一般自來水的剝蝕率。

三、在探討泥岩因震動與滲水實驗，產生的衝頂作用方面：

1. 透過簡單的實驗設計並搭配精密的千分表，可以輕易的量測出泥塊膨脹後的高度差，也成功的證實出泥岩確實有滲水衝頂的現象。而泥岩體表面產生的高度差是不均一的，會有這種現象主要是因為泥岩內部材質分佈不均勻所造成的。
2. 以馬達的低頻震動與超音波高頻震動進行實驗設計，結果得到泥岩會因為震動的存在而加速滲水的速率。
3. 透過1萬倍電子顯微鏡的觀察得知泥岩的微結構是呈現片與片的堆積狀態，但吸過水再乾燥的泥岩微結構片狀物邊緣變的不明顯，有類似捲曲的現象，而捲曲的現象會造成片與片之間的空間變大，這應該是泥岩滲水衝頂的直接證據。

四、關於泥岩滲水衝頂作用，造成災害實例之探討方面：

1. 田寮3號高架橋路面不等量攏起的災害，應該是與泥岩的滲水衝頂特性有關係，泥岩是不易透水的材質，如要透水一定要有適當的路徑，而此區域滲水的主要路徑為(1)夾層砂岩間的縫隙；(2)旗山斷層推擠泥岩區所產生的裂縫。
2. 此區域為高速公路，資料得知每天會有近4萬輛車子經過，車子輪胎的震動會加速此區域的滲水速率，以致此區域比其他區域更容易有滲水衝頂現象的發生。
3. 呂家古厝也是位於此區域內，房子四周也是有發現衝頂的現象。
4. 由於古亭坑層泥岩深度超過四千公尺，高速公路改善工程，僅增加數十公尺內的厚層級配，難以有效解決衝頂作用產生的膨脹量，應繼續研究泥岩層的有效排水方式，紓解泥岩上頂與側向壓力的設計，才能有效解決路面不均勻隆起的問題。

五、建議與未來規劃：

1. 月世界特殊自然景觀被台南市政府強勢的保護下來，但是面對空氣汙染日趨嚴重的南台灣，酸雨正悄悄的在對泥岩進行不可挽回的侵蝕行為，我大膽的假設，如果空氣汙染再持續下去，酸雨的pH值再持續降低，平頭的小玉山可能會變成尖頭的大霸尖山，甚至變成高雄柴山型態了。
2. 國外對於泥岩區的工程處理是換土的方法，目前高工局是以厚層級配與搭配排水系統進行改善，本研究我提出一個滲透回補的方法，目前還在實驗進行中，希望在全國賽會場上，可以與委員分享此方法的實驗成果。

陸、參考資料及其他

- (一) 參考資料1：陳毅青，運用無人機和數值近景攝影測量監測泥岩惡地地形演育，科技部補助專題研究計畫成果報告，民國106年至107年。
- (二) 參考資料2：吳千右等，泥岩沖刷與地形變化之分析探討，中華民國第 58 屆中小學科學展覽作品說明書，高雄市立阿蓮國民中學。
- (三) 參考資料3：藺于鈞、黃文正，台灣西南部中寮隧道北端旗山與龍船斷層帶構造特性研究，國立中央大學應用地質研究所碩士論文，民國108年1月。
- (四) 參考資料4：交通部高速公路局，民國109年2月11日，擷取自：
<https://www.freeway.gov.tw/Publish.aspx?cnid=195&p=9044>
- (五) 參考資料5：聯合影音網，民國109年2月11日，擷取自：
<https://video.udn.com/news/741787>
- (六) 參考資料6：袁彼得，「琉球嶼石灰岩」之沉積學，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫，民國98年。
- (七) 參考資料7：林啟文，旗山，五萬分之一圖幅第五十六號，台灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所，中華民國102年5月。
- (八) 參考資料8: 水文年報電子書(民國107年)，水文資料網路查詢系統，水利署。
民國109年2月11日，擷取自：<http://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/ebooks/getebook.asp>
- (九) 參考資料9: 台南氣象站氣候資料統計表，中央氣象局。民國109年2月11日，擷取自：
http://www1.geo.ntnu.edu.tw/~shensm/Course/CourseWork/TaiGeom_Stu/%E5%8F%B0%E5%8D%97%E7%B8%A3%E4%B8%83%E8%82%A1%E9%84%89/%E6%B0%A3%E5%80%99%E7%89%B9%E6%80%A7%E5%9C%96%E8%A1%A8.htm
- (十) 參考資料10: 李德河，蔡錦松，翁駿德，泥岩吸水破壞過程及其穩定方法之研究，行政院國科會防災科技研究報告 73-15 號（1984）。
- (十一) 參考資料11: 鍾廣吉，台灣的石灰岩，遠足文化出版，台灣地理百科96，2008年。
- (十二) 參考資料12: 許琦，林宗曾等，泥岩吸水回脹行為及機制。民國109年2月11日，擷取自：http://www2.kuas.edu.tw/prof/tooeasy/3research/RES_1/RES_1.htm
- (十三) 參考資料13：國道3號田寮3號高架橋及中寮隧道長期改善工程規劃報告，交通部高速公路局。民國109年2月24日。
- (十四) 參考資料14: 蘇禹銘，月世界泥岩惡地形，高雄市湖內文賢國小。民國109年2月11日，擷取自：<http://www.wxp.ks.edu.tw/nature/theme4/book/book1/2/2.htm>

【評語】 030505

研究主題清楚且聚焦，具鄉土相關性。具實用價值，對社會有產生影響的潛力。為一設計周全的研究計畫。回答問題清楚縝密，處理與執行作品有極佳的獨立性。

這個作品探討了台南草山、牛埔與高雄田寮等三處月世界泥岩地形的特性，觀察出泥岩的剝蝕作用，以及先天性的地形弱點，也分析了三號國道中寮隧道北口外路面及民宅的裂縫災害，可能與泥岩滲水衝頂現象有關。作者探討泥岩地形因震動和滲水可能造成的災害，以空拍機瞭解泥岩地形的形貌和周遭建設(如：隧道)損害情形，再選取泥岩地點和範圍，並分析 google 衛星照片分析裸岩斜坡方向、山稜線、泥流、斷層泥分布等，以了解所選取地點的地貌陷困、可能受到的衝擊以及潛在的災害。再經由實驗室來驗證關於泥岩地形因震動和滲水的推論。是結合野外調查與實驗驗證的專題研究，深具有鄉土性的課題。作者對於研究的背景知識、地調等有充分掌握。

此外，此作品能以實際災害實例來檢視泥岩地形因震動和滲水推論的真實性，對於專題研究成果如何在生活周遭被檢驗提供很好的例子，尤其是災害照片和推論示意圖相互配搭，可以清楚說明實

例與泥岩地形因震動和滲水所造成的影響。自行設計實驗，整體環境資訊收集完整，實驗操作，包含空拍機的使用，模型建置等有一定挑戰性！作者能獨立思考並批判高公局施工可能的問題，並提出證據證明自己的想法。

實驗較為不足的是泥岩的排水問題沒有考慮，降雨量的多寡也沒有列入評估。

整體而言實驗設計豐富且詳盡，考察次數多，且注意到細節。對科學原理陳述非常清楚。類似的研究對於南部泥地公路品質可以有實質影響。未來研究有發展性。

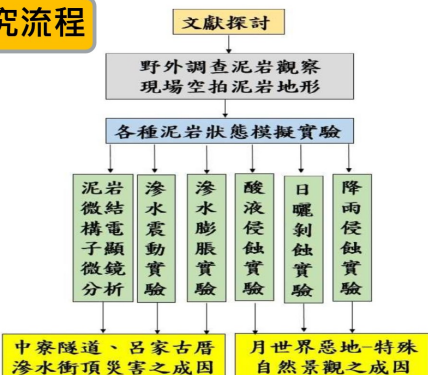
壹 研究動機

每到週末，我們全家人都會回屏東爺爺奶奶家度假，路途中會經過南台灣泥岩區的中寮隧道(1855公尺)，隧道的北口段，近年來因路面隆起而變成凹凸不平。我決定更深入的去探討泥岩可能發生的災害，並透過實驗設計與模擬，來推演出產生災害的可能原因，才能更深入了解泥岩的特性，當在經過中寮隧道時，不只是看到獨特的自然景觀，也更能了解月世界地質的安全性。

貳 研究目的

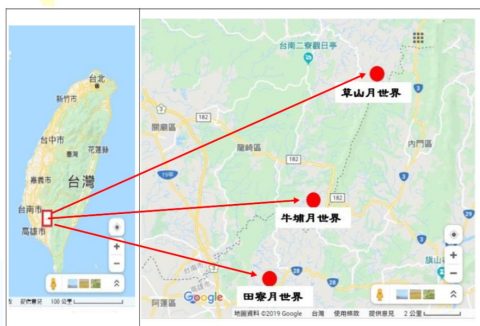
- 透過野外地質調查，了解南部月世界地形的特性。
- 探討泥岩因降雨、日曬產生的物理風化，與酸蝕產生的化學風化作用。
- 探討泥岩的基岩層因震動與滲水，而加速產生的衝頂作用。
- 討論泥岩滲水衝頂作用造成的災害-以中寮隧道與呂家古厝為例。

參 研究流程



肆 研究過程與討論

【研究一】月世界的位置與環境



1.草山月世界



圖1-31-1: 裸岩斜坡受雨水沖蝕，呈凸壟與凹溝相互出現的奇特地形，兩側坡面之間形成狹窄谷狀，因此此處稱為大鞍谷。



3.田寮月世界



圖1-33-1: 中寮隧道，範圍甚大的開挖區及附設之護坡工程。



圖1-33-8: 車瓜林斷層，裸岩如紅色橫向部分。 圖1-33-9: 車瓜林斷層，可見呈黑色線條的斷層泥。 圖1-33-10: 除斷層泥外，夾層砂岩亦甚破碎。

位置	草山月世界	牛埔月世界	田寮月世界
地質圖			
地層介紹	地層名稱：古亭坑層 地質年代：中新世晚期至更新世 絕對年代：約90萬前~700萬年前 主要岩性：泥岩，夾砂泥岩互層		

2.牛埔月世界



圖1-32-1: 牛埔月世界的牛埔農塘

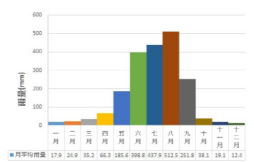
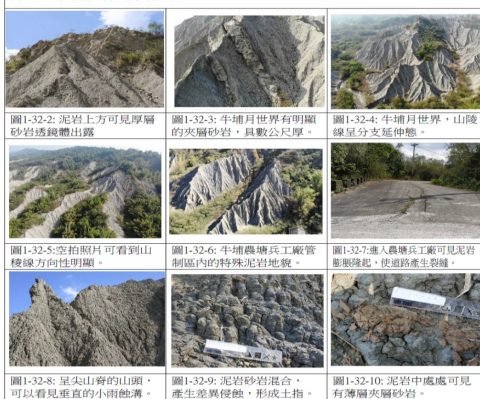


圖1-41 台南市崎頂(1951~2018)月平均雨量趨勢圖

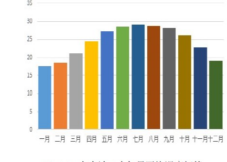


圖1-42: 台南站二十年月平均溫度紀錄

位置	衛星照片	裸岩方向玫瑰圖
牛埔月世界		圖1-5-1:
草山月世界		圖1-5-2:
田寮月世界		圖1-5-3:

【研究二】降雨侵蝕實驗



圖2-1：岩塊採樣 圖2-2：實驗配置 圖2-3：模擬降雨



圖2-4：出現甚薄的層面界限 圖2-5：坡面上出現的條紋為雨蝕溝 圖2-6：小玉山空拍照片，顯示垂直之似層理。

【研究四】酸液侵蝕實驗

中寮隧道	浸泡前	浸泡後	相差	剝蝕率%
泥岩-自來水	58.43	56.85	1.58	2.70
泥岩-酸：水=1:1000	45.95	44.02	1.93	4.20
泥岩-酸：水=1:500	50.92	48.76	2.16	4.24
砂岩-酸：水=1:1000	129.05	127.44	1.61	1.25



中寮隧道	浸泡前	浸泡後	相差	剝蝕率%
泥岩-自來水	46.14	25.08	21.06	45.64
泥岩-酸：水=1:200	57.37	26.95	30.42	53.02
泥岩-酸：水=1:250	59.47	19.41	40.06	67.36
中寮隧道	浸泡前	浸泡後	相差	剝蝕率%
泥岩-自來水	92.53	72.99	19.54	21.12
泥岩-酸：水=1:200	79.31	41.78	37.53	47.32
泥岩-酸：水=1:250	84.85	19.78	65.07	76.69



圖4-5-1：中寮隧道基岩實驗後 圖4-5-2：小玉山基岩實驗前 圖4-5-3：小玉山基岩實驗後

【研究五】膨脹實驗

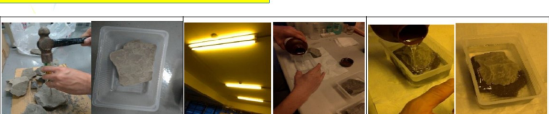


圖5-1-1：將基岩盤泥塊，以鐵線敲擊成適當小泥塊，以完整地擺放到塑膠模具中。 圖5-1-2：在一個黃光的环境下，先倒入少量的UV膠水，使其能均勻鋪滿模具底部。 圖5-1-3：倒入UV膠水，使膠水填滿適當的高度後，停止作業。

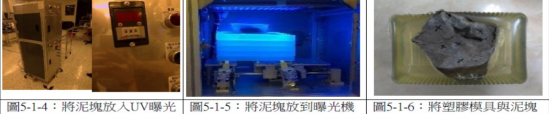
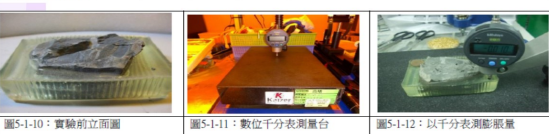


圖5-1-4：將泥塊放入UV曝光機，並設定曝光時間為600秒。 圖5-1-5：將泥塊放到曝光機中，透過UV光線照射，讓UV膠水固化成一個模塊。 圖5-1-6：將塑膠模具與泥塊脫離，固化的UV膠已將泥塊包圍，形成一個模塊型態。

泥岩滲水膨脹實驗					高度膨脹量(%)						
取位點	原高度	第一次滲水13cc	第二次滲水3cc	高度膨脹量(mm)	高度膨脹量(%)	取位點	原高度	第一次滲水13cc	第二次滲水3cc	高度膨脹量(mm)	高度膨脹量(%)
1	7.250	7.118	6.992	-0.258	-0.6363	1	1.149	1.967	1.440	0.291	1.10562
2	5.080	6.755	6.998	1.918	4.72996	3	2.518	-1.799	-0.911	-2.429	-13.0281
3	-0.290	-0.009	0.477	0.767	1.89149	4	4.082	6.008	6.400	2.318	8.80699
4	3.356	2.993	3.190	-0.166	-0.4094	5	6.076	6.915	7.249	1.173	4.45669
5	0.000	1.390	1.556	1.556	3.83724	6	6.526	7.908	7.571	1.045	3.97036
平均				0.76	1.88	平均				0.14	0.53



泥岩滲水膨脹實驗					高度膨脹量(%)						
取位點	原高度	第一次滲水13cc	第二次滲水3cc	高度膨脹量(mm)	高度膨脹量(%)	取位點	原高度	第一次滲水13cc	第二次滲水3cc	高度膨脹量(mm)	高度膨脹量(%)
1	3.894	4.706	3.328	-0.566	-2.1505	1	1.149	1.967	1.440	0.291	1.10562
2	1.149	1.967	1.440	0.291	1.10562	3	2.518	-1.799	-0.911	-2.429	-13.0281
3	2.518	-1.799	-0.911	-2.429	-13.0281	4	4.082	6.008	6.400	2.318	8.80699
4	4.082	6.008	6.400	2.318	8.80699	5	6.076	6.915	7.249	1.173	4.45669
5	6.076	6.915	7.249	1.173	4.45669	6	6.526	7.908	7.571	1.045	3.97036
6	6.526	7.908	7.571	1.045	3.97036	平均				0.14	0.53

【研究三】日曬剝蝕實驗

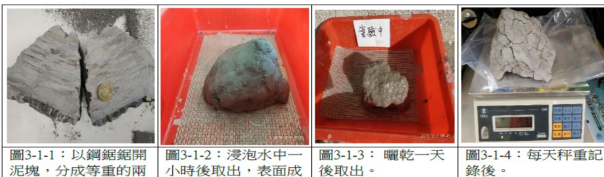


圖3-1-1：以鋼鋸鋸開泥塊，分成等重的兩塊。 圖3-1-2：浸泡水中一小時後取出，表面成糊狀。 圖3-1-3：曬乾一天後取出。 圖3-1-4：每天秤重記錄後。

天數	無日曬(克)	有日曬(克)
1	2340	2340
2	2335	2320
3	2340	2300
4	2340	2300
5	2340	2250
6	2305	2200
7	2255	2190
8	2250	2155
9	2195	2095
10	2180	2050

表3-1-1：泥塊剝蝕重量紀錄表

中寮隧道	浸泡前	浸泡後	剝蝕率	剝蝕率
泥岩	74.38	70.08	5.26	9.56
酸：水=1:500	45.03	22.66	5.21	27.58

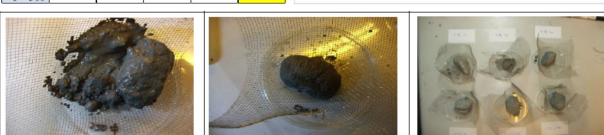


圖4-6-4：基岩層的泥塊實驗後 圖4-6-5：過濾後殘留小泥塊 圖4-6-6：過濾後殘留小泥塊

天數	自來水	弱酸水
1	2015	2015
2	1985	1990
3	1945	1940
4	1920	1925
5	1910	1910
6	1895	1885
7	1855	1845
8	1840	1825
9	1830	1815
10	1825	1810

表4-7-1：泥塊剝蝕重量紀錄表



圖4-7-2：倒入少量以稀鹽水，調製pH=5.5弱酸水。 圖4-7-3：兩塊泥岩分別浸入自來水和弱酸水每天一小時。 圖4-7-4：日曬一天後秤重。

【研究六】震動實驗

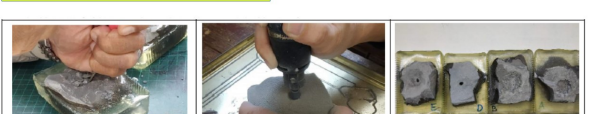


圖6-1：在表面敲出一個適當大小凹洞。 圖6-2：以電鑽在泥塊上鑽孔。 圖6-3：實驗前的兩組四塊岩塊。



圖6-4：自製的低頻震動。 圖6-5：左邊為低頻；右邊無震動。 圖6-6：利用超音波水分子產生高頻震動。

表6-2：滲水速率比較表				
滲水速率(ml/min)	基岩A	基岩B	基岩D	基岩E
無震動	0.0098	0.0153	0.0043	0.0063
低頻震動	0.0328	0.0698	0.0061	0.0092
高頻振動	0.0311	0.0588	0.0064	0.0085

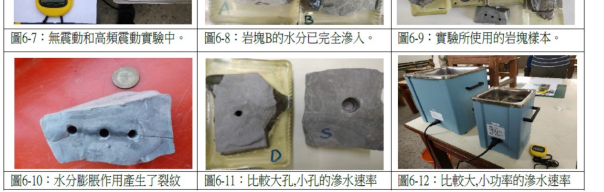
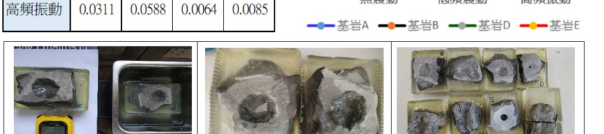
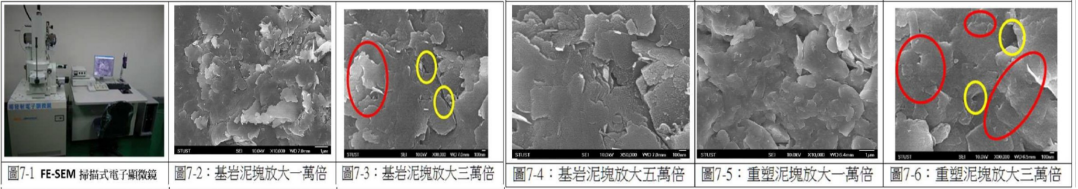


圖6-7：無震動和高頻震動實驗中。 圖6-8：岩塊B的水分已完全滲入。 圖6-9：實驗所使用的岩塊樣本。 圖6-10：水分膨脹作用產生了裂紋。 圖6-11：比較大孔小孔的滲水速率。 圖6-12：比較大小功率的滲水速率。

【研究七】基岩泥塊電子顯微鏡分析



- 透過電子顯微鏡一萬倍~五萬倍(圖7-2~7-4)觀察，是可以看到片狀物質的存在，且是佈滿整個視野範圍，而且是呈現片與片的平坦堆積型態，每個片狀物的邊緣都是可以很清楚的觀察到。而在圖7-4超高倍率的視野下，是可以看到很多點狀物分布在片狀物表面，推測可能是其他成分的礦物結晶體，但仍需更精密的儀器進行判定。片狀體與片狀體之間有層間空間(紅色圈)；片狀體的堆與堆之間也有孔隙(黃色圈)，這些空間也可能為水滲入的孔道。
- 在重塑泥塊的照片中(圖7-5~7-6)，顯示片狀體邊緣是不明顯，推測可能呈捲曲現象，此乃因滲入層間的水，非均勻分布撐開之故，而在乾燥後片狀體已不易恢復原本的型態，就像衛生紙吸水潮濕再乾燥後，紙片是呈現捲曲狀，而不再是平整狀態了，相對的捲曲後所占的空間也是變大的，此似乎亦可解釋泥岩體，受強降雨水滲入，空間體積改變所發生的衝頂作用。

【研究八】滲水衝頂災害實例之探討



- 根據地調所的資料車瓜林斷層不是活動斷層，而旗山斷層雖是活動逆斷層，但是主要災害是發生在上盤，也就是隧道北口內與南口處，所以高工局提出的兩個活動斷層不等量的推擠造成田寮3號橋路面隆起的想法是不對的，此橋是位於特殊泥岩區，因此主要產生災害的原因應該是跟泥岩的特性有關係。
- 如圖8-9，我們將水倒在夾岩砂層上面，發現水極易滲入；而附近又有許多斷層泥分布，斷層泥所產生的破裂帶，也是提供滲水的極佳路徑。因此我們認為，降雨在距離不到100公尺的高速公路上，此區域的夾層砂岩縫隙與斷層泥的裂縫，都是提供雨水滲入泥岩內部的絕佳路徑。所以泥岩滲水所產生回脹衝頂作用，應該是造成地面隆起原因之一，而滲水衝頂的現象於前面的研究五與研究七均有證實此現象的發生。
- 由研究五的膨脹實驗與研究六的震動實驗，我們發現泥岩不只會因滲水而造成不等量的膨脹現象，也會因路面車輛行駛所造成的震動，而加速水的滲透。如圖8-13所示，因本路段地質構造複雜，我們歸納出下列四項造成路面隆起的因素：
 - (1) 夾層砂岩層太多，增加了水滲透的路徑
 - (2) 旗山斷層的擠壓作用，造成的裂縫太多，增加了水滲透的路徑
 - (3) 每天大約有4萬輛車子經過(參考資料13)，震動增加滲水的能量
 - (4) 泥岩層有數千公尺厚，2~20公尺的柔性結構，應不足以抵銷滲水膨脹的膨脹量