# 嘉義市第 37 屆中小學科學展覽會

# 作品說明書

科　　別：地球科學

組　　別：國中組

作品名稱：國土流失的省思 —以外傘頂洲為例

關 鍵 詞：海岸線、防砂壩、梳子壩、海堤

編　　號：

# 摘要

本研究發現：東石鄉外海的外傘頂洲，在 1984 年退潮時，土地面積約 1,000 公頃，但時至今日面積僅剩 100 公頃，主要因為除了海浪的侵蝕之外，北港溪上游砂石開採、水土保持政策及下游六輕海埔新生地建設，造成北港溪流入外海的砂源不斷減少。從實驗結果得知：1.不同型態的海堤，如離岸堤、突堤等能夠減緩海浪的侵蝕，對海岸線產生不同程度的保護效果。2.為了水土保持，在河川上游興建攔砂壩，攔截大量砂石，使得流往河口砂源減少，假如能採用改良後的梳子壩作為水土保持措施，使得河流中細小砂粒能夠順利被帶往下游，有利於河口砂石淤積，讓自然砂源循環供應沙洲與沙灘所需，相較人造海堤、突堤、養灘…等方式是比較好的選擇，讓天然的砂源供給與人工堤防同時呵護脆弱的海岸線與珍貴的沙洲，才是防止國土流失的永續經營之道。

## 壹、研究動機

隨著現代人口增加，人們對海岸線的開發越來越頻繁，開發的面積愈廣闊，導致海岸生態受到嚴重的衝擊，甚至失衡。

近年來，人們為了解決河水氾濫與土石流的問題，在河流上游興建攔砂壩，造成海濱砂源不足，海岸線逐漸後退，美麗的沙灘不復存在，令人憂愁。其次，為了經濟發展，興建港口擴大，養殖漁塭等，使海岸嚴重的侵蝕，國土流失問題日益嚴重。而我們家鄉外海的外傘頂洲原先是由北港溪上游沖積下來的砂石所形成的，在 1984 年退潮時，有 1000 公頃的土地，島上還有最高到 10 公尺的沙丘，但是到 2000 年時，漲潮時卻只剩 0.5 公尺的高度，而且仍在繼續縮小，附近的蚵農也非常的擔心，因為他們的「護蚵神州」即將消失。

我們針對「國土流失」主題進行研究，深入了解，希望可以守護住寶貴的資源，不再讓土地流失。

本研究和國中課本自然與生活科技第五章水與陸地中海岸線平衡及海岸線向外擴張、向內退縮，及河道平衡有關，而外傘頂洲就在我們身邊慢慢消失，令人感概及擔憂，所以希望此研究能對未來減緩國土流失有些許貢獻。

## 貳、研究目的

近年來，外傘頂洲的問題越來越嚴重，為了解決這一個國土流失的問題，經過小組討論後，我們準備依照下列的問題進行研究。

一、外傘頂洲、布袋遊艇碼頭、好美里海岸、雙春海濱的野外調查

二、華山溪土石流園區附近的野外調查。

三、台灣海岸線的現況都呈現後退的現象嗎？

四、用消波塊作為海堤對減緩海岸被侵蝕而後退是否有效？

五、除了海堤以外，是否有其他海岸加固的替代方案？

六、改良防砂壩可以減緩國土流失嗎？

（一）梳子壩和傳統防砂壩有何不同

（二）河口砂源的增加與濱線的變動是否有關係？

## 參、文獻探討

一、臺灣海岸線：

依據台灣經濟部水利署全球資訊網有關臺灣海岸說明，臺灣本島海岸線全長約 1,200 公里，近年因陸上土地加速利用而使得海岸線出現劇烈的變化，更加速了海岸的侵蝕。

二、外傘頂洲：

外傘頂洲是臺灣沿岸最大的沙洲，現在面積約 100 公頃，無人居住，沙洲與

本島間廣大淺水海域，是臺灣主要牡蠣養殖區之一。

本沙洲不斷的往西南方(外海)移動(每年 60-70 公尺)，從最早在濁水溪、北港溪外海，直到現在位於東石外海 10 公里，它由濁水溪主流、北港溪、西螺溪河口沙堆積而成，現在沙洲已成平地，隨著每年沙洲面積的減少和漂移，未來有可能會成為潟湖。

圖一 外傘頂洲位置圖

(資料來源：http://bimeci.pixnet.net/album/photo/170397201-%E6%97%85%E8%A1%8Cmap 20140711 將消失的移動國土，外傘頂洲登陸紀行（旅行 map)）

三、防砂壩：

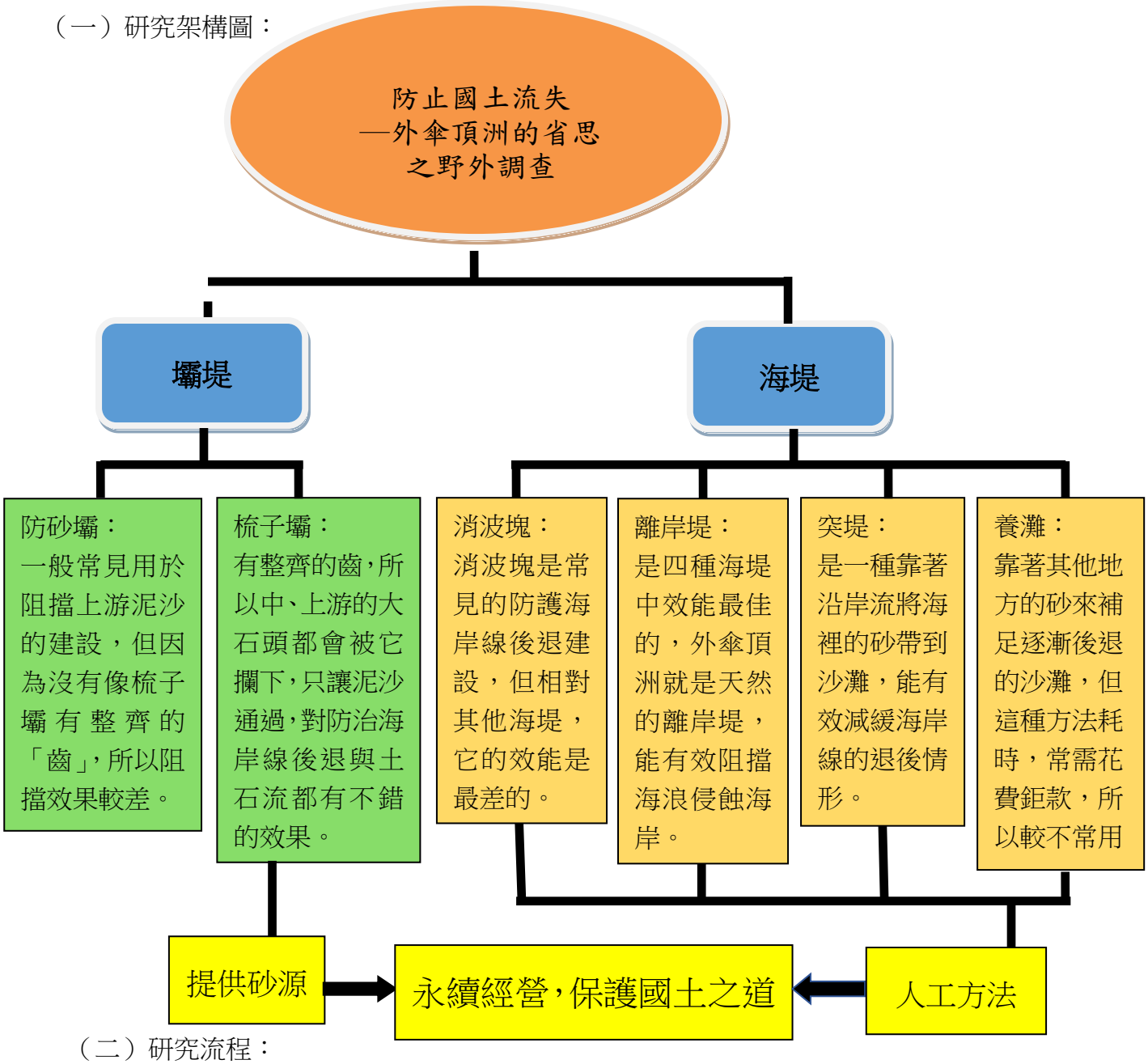
依據水土保持局水土保持手冊定義：攔阻或調節河床砂石、減少河床坡度、抑止亂流、防止橫向沖蝕、固定兩岸坡腳、防止崩塌、抑止土石流，是防砂壩的重要功能。

四、梳子壩：

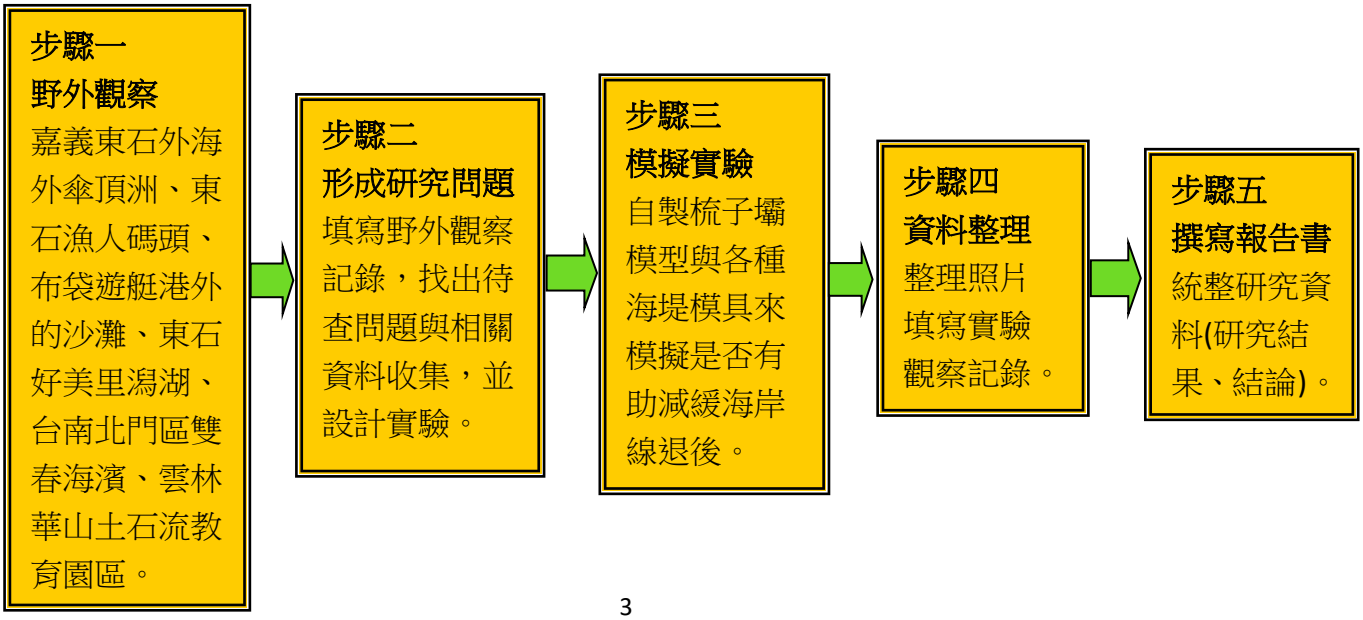
在土石流或土砂流量較高之溪流，為減少大量土砂流出致災，而將防砂壩壩體加以改良，其中壩體設計成狀似梳子型態者，謂之梳子壩；梳子壩主要功能為阻擋較大的土石並且讓較小的砂石流過，使砂石不會淤積在河床而可以流至出海口，才不致造成河口砂源的短缺。

五、研究架構與流程

（一）研究架構圖：




（二）研究流程：



## 肆、研究設備及器材

（一）野外地質調查：傾斜儀、地質槌、鋁梯、皮尺、鑷子、量杯、標本收集盒、水桶、耙子。

（二）實驗操作：模擬河道、模擬防砂壩、實驗塑膠盒、燒杯、細顆粒砂、中顆粒砂、大顆粒砂、流水台、鑷子、彩色玻璃石、泥土、磚頭、水、尺、水桶、量杯。

## 伍、研究過程與結果

**研究一　田野調查：對東石漁人碼、外傘頂洲、布袋遊艇碼頭、好美里海岸、雙春海濱進行野外調查。**

(一) 第一調查點：東石漁人碼頭

| | |
|---|---|
| | |
| 這裡的消波塊中夾雜了了許多碎石子，塞住縫隙。此處的消波塊，佈滿了整個海岸，從此處無法看到盡頭。 | 這裡消波塊形狀為三角狀，彼此密合，保護海岸，而我們到觀測點時，剛好是海水漲潮，所以看不到底下的砂。 |
| | |
| 位於嘉義縣東石鄉的漁人碼頭，是以風，陽光，漁船、碼頭和燈塔所匯聚組成的一處觀光名勝，重塑人們心中碼頭的形象。 | 同時引進"漁人碼頭"及國外海岸景觀的發展經驗，以港區景觀、文化特色、休閒遊憩及自然生態資源帶動地方發展。 |

調查結果與討論：

1. 在漁人碼頭的棧道下，有許多類似三角形的消波塊，夾雜著小石子相互緊扣著，保護此地的海岸。
2. 碼頭的另一側是由排列整整齊齊的消波塊，用來防止海岸被快速的侵蝕。

(二) 第二調查點：外傘頂洲

| | |
|---|---|
| | |
| 外傘頂洲由濁水溪、北港溪沖積而成，是臺灣沿岸最大的沙洲，現在面積約 100 公頃，無人居住，沙洲與本島間廣大淺水海域，是臺灣主要牡蠣養殖區。 | 砂石來源的河川遭防砂壩阻攔，再加上長年受到風及海浪的侵蝕，使得外傘頂洲土地面積大量縮減，如上方照片。 |
| | |
| 可以看到島上有許多的廢棄蚵棚支架，這邊是蚵農所需的天然屏障，但也可能成為垃圾的聚集地。 | 此地風中夾帶許多的細沙，再加上此地風勢強大，讓許多砂石飄離外傘頂洲，目前沙洲高度比高潮線略高，因此漲潮時，海岸水淺，船隻容易擱淺。 |

調查結果與討論：

1. 透過野外調查，我們發現外傘頂洲的風非常強勁，且其中夾雜了許多砂石，海浪作用及風力將沙洲上的砂石嚴重侵蝕，且外傘頂洲的砂源來自北港溪上游，因下游麥寮台塑六輕工廠興建，使得北港溪流入河口之砂源嚴重不足，因此，外傘頂洲因風蝕、海浪沖蝕、砂源不足等因素，導致土地面積逐年減少。

2. 外傘頂洲長年被海水搬運，所以逐年往東南方延伸，每年平均南移 50~60 公尺。

(三) 第三調查點：布袋遊艇港外的沙灘

布袋遊艇港座落於嘉義縣布袋鎮以西濱海地區，現有港區水域泊地面積約 5 公頃，陸域土地面積約 6.7 公頃，位於布袋鎮第一期海埔新生地北側，西南側鄰布袋國內商港，東北側隔一 60 公尺航道與布袋第三漁港相鄰，合稱布袋三港。

| | |
|---|---|
| | |

| | |
|---|---|
| 位於遊艇碼頭西側，此地風強浪大，導致侵蝕作用旺盛，海岸線迅速後退，此地沙岸豐富，而我們在此地觀察海浪前進後退的流動。 | 此海灘東側有許多消波塊，消波塊為梯形，其排列方式為正反穿插，此種排列方式可以令消波塊更緊密，達到更有效率的消能。 |
| | |
| 布袋遊艇港座落於嘉義縣布袋鎮以西濱海地區，位於布袋鎮第一期海埔新生地北側，西南側鄰布袋國內商港，東北側隔一 60 公尺航道與布袋第三漁港相鄰，合稱布袋三港。 | 布袋遊艇港現有港區水域泊地面積約 5 公頃，陸域土地面積約 6.7 公頃，包含遊客服務中心、景觀廣場、男女廁所、遊艇停泊及整備區等。 |

調查結果與討論：

1. 此處有許多形狀類似兩個三角形交叉而成的消波塊整整齊齊地排成好幾列並正反穿插在海岸邊，但不像漁人碼頭有小石子在其中。
2. 此處海水作用力豐富，導致海岸受到嚴重的侵蝕，海岸線不斷的後退。

(四) 第四調查點：好美里潟湖

位在布袋鎮好美里境內，面積 959 公頃，屬於泥沼地，西邊是台灣海峽，建有防波堤，除了北方利用碎石子之外，其他方位都利用正式的消波塊來消能，保護海岸和沙灘的流失。由於八掌溪與龍宮溪兩條河流交會淤積的結果，使得此處形成自然資源豐富的孕育場所。

| | |
|---|---|
| | |
| 此地的消波塊形狀與布袋遊艇碼頭的形狀相同，都由兩三角型交叉組成。 | 此處被消波塊所環繞，保護措施相對其他方位較完善。 |

| | |
|---|---|
| | |
| 此處的後方又加了一道消波塊，補上前方小石子的不足。 | 此地退潮時為沼澤地，漲潮時海水上升，淹沒成為潟湖。 |

調查結果與討論：

1. 此處的消波塊形狀與遊艇碼頭的形狀相同，但是此處消波塊並沒有正反穿插，而是同一個方向並排。
2. 此處的消波塊前，又加了一道由碎石子組成的海堤，在消波塊前消能。

（五）第五調查點：雙春海濱

其位於臺南市北門區雙春里，其西北方是八掌溪的出海口，連接台灣海峽，面積 628 公頃，界於八掌溪、急水溪之間，是台南市最北端的海濱。

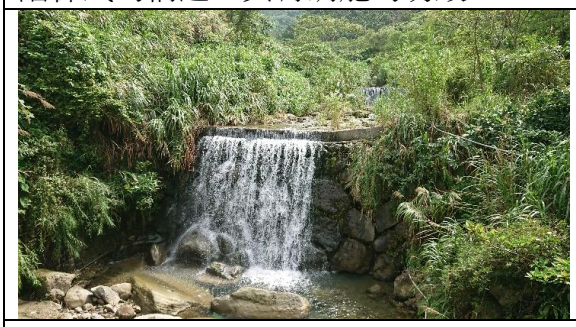
| | |
|---|---|
| | |
| 八掌溪出海口，海岸礫線砂質平直細柔，屬於沖積型砂岸 | 此地的消波塊與河流成垂直向，消波塊密合，能有效的達到消能的效果。 |
| | |
| 海岸邊有水流因為被阻擋而形成漩渦，並向下侵蝕，才會有如上圖般圓形凹洞。 | 消波塊與海浪的方向呈垂直，此地消波塊有三種，分別是 H 型、三角體及不規則型。 |

調查結果與討論：

1. 此處有許多形狀為三根長方體互相相疊的消波塊和 H 型的消波塊互相咬合，且消波塊的排列與海浪成垂直走向。
2. 此處海浪並未直接打到岸上，而是與砂岸平行，由側邊慢慢侵蝕。

**研究二　華山溪土石流園區附近的野外調查。**

田野調查：我們至華山溪土石流教學園區進行田野調查。

| | |
|---|---|
| | |
| 這是 10 齒的梳子壩，用水泥製成的。能夠阻擋來自上游的石子與沙子。 | 這是土石流檢測器，用來自動偵測河水的高度做為警報系統的一部份。 |
| | |
| 這是另一種梳子壩，與傳統的水泥梳子壩不同，這種梳子壩是用鋼管制成的。 | 這是整個梳子壩溢水口的圖片，每柱間隔 1 公尺，換句話說，只要崩落被搬移的石塊超過 1 公尺時，就無法通過。 |
| | |
| 這是從上游流下來的溪水，河道中採用階梯式的構造，具有消能的功效。 | 這是駁坎，駁坎不但可以防土石崩塌，上方也有更多空間可以滲水。 |
|  | |
| 這是一處落差較大的階梯形河道，讓溪水能一階一階的流下，減緩沖擊的能量。 | 圖中的露頭是塊狀砂岩，經過流水侵蝕後，被切成斷崖，遠遠看過去非常壯觀，垂直的坡面上長了草。1 |

調查結果與討論：

1. 華山土石流園區將傳統防砂壩改為梳子壩，甚至利用輪胎和一些鋼管代替水泥製作而成的梳子壩，使下游既不會淤積，也可保持穩定的砂石來源，減少位於出海口的沙灘砂源不足的問題。

2. 園區有許多因應土石流的相關保護措施，例如駁坎、用沙包堆成的擋土牆、砌卵石擋土牆…等，具有示範作用。

3. 此處的土石流教學園區因 2000 年時遭到納莉颱風的沖刷，產生土石流而造成大災難，因此，水土保持局細心規劃，做為教育和訓練的場所。

## 研究三　台灣海岸線的現況都呈現後退的現象嗎？

為了瞭解文獻中有關台灣目前海岸線後退的問題，特別設計以下兩個實驗，做為討論的依據。

（一）實驗設計：

1. 實驗設備：10 公分 x20 公分的壓克力盒、1000cm$^3$ 的砂石、適量大石頭、30cm 的尺、2 公升的水。

2. 控制變因：

（1） 操縱的變因：浪的大小

（2） 應變的變因：砂石的分布

3. 操作方式：

（1） 依實驗需要，於壓克力盒一端放入約 1 公升的砂。

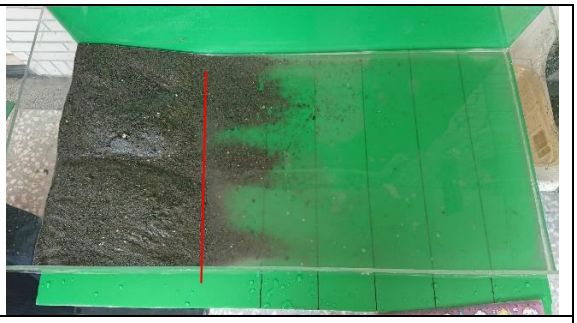
（2） 取約 2 公升的水，倒入壓克力盒中。

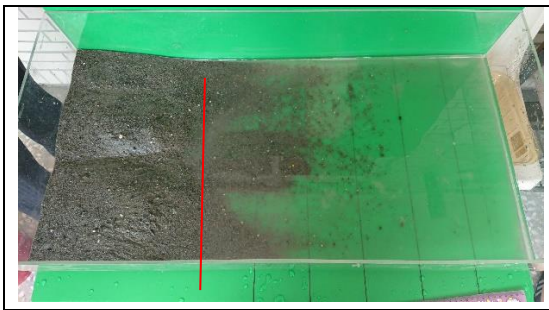
（3） 依實驗要求，\於水面製造波浪。

（4） 等待水面已無波浪，觀察岸邊的砂石是否有被沖出和侵蝕的情況。

（二）實驗一：海浪是否會影響砂石的分布？

為了證明海浪作用會侵蝕海岸與搬運砂石，我們利用人工的海浪去模擬現實海浪的狀況，觀察海岸與砂石移動的情形，藉此驗證海浪作用對海岸的影響。

| | |
|---|---|
| |  |
| 我們在模擬沙灘的中間開了一條凹進去的小溝，模擬平常的河道。 | 第一次，我們發現地勢越低，越容易因回流而被沖蝕。 |

| | |
|---|---|
|  | |
| 第二次，我麼可以看到有更多的砂石因海浪而被沖蝕。 | 第三次，因海浪不斷的反彈，所以砂石最多只能被沖刷到 40 公分的位置。 |

- 研究發現：沙灘上的砂會因海浪的作用力而被侵蝕和搬運，使砂石被帶到離陸地較遠的地方。

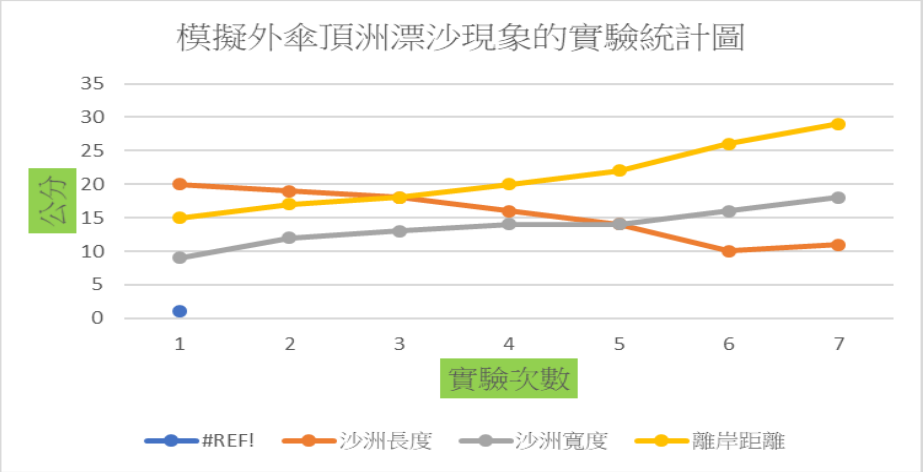
（三）實驗二：模擬海浪作用是否影響外傘頂洲相對位置和大小之改變?

為了證明海浪之作用力會影響外傘頂洲的大小和相對位置，我們利用模擬海浪來了解真實的情況，因此，設計了以下的實驗。

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 我們用與外傘頂洲垂直的海浪做實驗。 | 第一次，外傘頂洲前緣的砂石被帶往兩側，使外傘頂洲變寬。 | 第四次，外傘頂洲又被持續的搬運，使其向後變長許多。 | 第六次，外傘頂洲形成了一個 U 的形狀型。 |

表一 海浪作用是否影響外傘頂洲相對位置和大小之實驗記錄

| 實驗次序 | 沙洲長度 | 沙洲寬度 | 離岸距離 |
|---|---|---|---|
| 0 | 20 | 9 | 15 |
| 1 | 19 | 12 | 17 |
| 2 | 18 | 13 | 18 |
| 3 | 16 | 14 | 20 |
| 4 | 14 | 14 | 22 |
| 5 | 10 | 16 | 26 |
| 6 | 11 | 18 | 29 |




圖二 模擬外傘頂洲漂沙現象的實驗統計圖

- 研究發現：經由實驗二我們發現，在海浪的衝擊之下，外傘頂洲的長度變短，寬度增寬，離岸的距離愈遠了。因此，海浪確實對外傘頂洲的大小及相對位置有相當程度的影響。

（四）實驗結果：由實驗一及二可同時發現海浪對沙灘的堆積、國土的鞏固確實有負面影響。因此，接下來即要以目前對減緩海岸侵蝕後退的設施—消波塊、海堤、突堤、防波堤，用實驗證明是否有其效力。

## 研究四　用消波塊作為海堤對減緩海岸被侵蝕而後退是否有效？

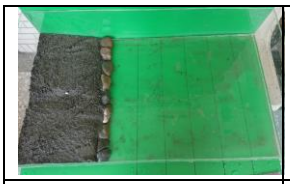
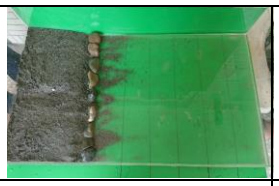
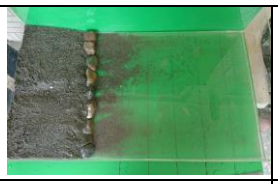
本研究範圍裡，我們在四個調查點中，看到了非常多的消波塊，於是我們便想出了這個問題,設計此實驗來應證設置消波塊與海堤到底對減緩海岸線後退有沒有幫助。

（一）實驗設計：

1. 實驗設備：10x20 壓克力大盒、2~3 公升的砂石、適量大石頭、30cm 尺、水
2. 控制變因：
   （1） 操縱的變因：加固措施的種類
   （2） 不變的變因：模擬海岸的長寬、砂量、波浪大小、水量
   （3） 應變的變因：海岸侵蝕情形
3. 操作方式：
   （1） 取約 2 公升的水，倒入壓克力盒中。
   （2） 拿出 30cm 的尺，將水往前撥，尺不能撥超過原本畫記號的地方。
   （3） 等待水面已無波浪，觀察岸邊的砂被沖出的情況與海岸線有無後退。

（二）實驗一：消波塊與海堤對減緩海岸線後退有幫助嗎？

試驗一：一道海堤

| | | | |
|---|---|---|---|
|  |  |  | |
| 我們用較大的石頭代替消波塊，再利用消波塊作為海堤。 | 第一次，我們發現未被海堤保護的海灘被侵蝕得更加嚴重。 | 第二次，很明顯可以看到砂石由石頭間的縫隙被沖蝕而出。 | 第三次，海灘被侵蝕的狀況與沒有消波塊保護的海灘差不多。 |

試驗二：二道海堤

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 我們在大石頭縫隙中多放了幾塊小石頭，試試是否提升保護效果。 | 第一次，有些砂石從縫隙間被沖蝕而出，並飄到大約 20 公分的位置 | 第二次有更多的砂石被沖刷而出。 | 第三次砂石在消波塊前行成了一道長條狀的沙洲。 |

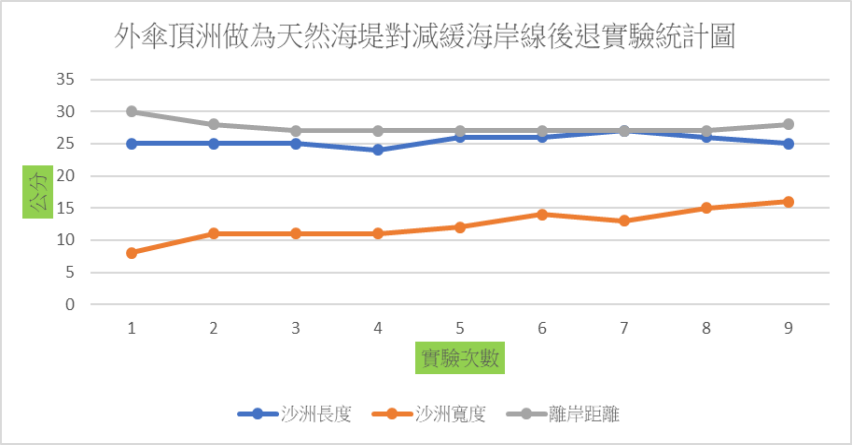
- 研究發現：試驗一，發現對海灘沒有明顯幫助。我們再進行了試驗二，效果有變得較好，但還是有不少的砂被沖出。

（三）實驗二：外傘頂洲做為天然海堤對減緩海岸線後退有幫助嗎？

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| 我們利用與外傘頂洲呈垂直向的海浪去實驗。 | 第一次，外傘頂洲被海浪侵蝕和搬運後，明顯的變寬。 | 第三次，東石和外傘頂洲有些部份相連起來，且外傘頂洲變長了。 |
| | | |
| 第五次，外傘頂洲被侵蝕和搬運非常嚴重，但東石則無。 | 第七次，東石兩側有一些砂石被侵蝕和搬運出來。 | 第八次，外傘頂洲和東石已經完全地相連了。 |

表二　外傘頂洲做為天然海堤對減緩海岸線後退之實驗記錄

| 實驗次序 | 沙洲長度 | 沙洲寬度 | 離岸距離 |
|---|---|---|---|
| 0 | 25 | 8 | 30 |
| 1 | 25 | 11 | 28 |
| 2 | 25 | 11 | 27 |
| 3 | 24 | 11 | 27 |
| 4 | 26 | 12 | 27 |
| 5 | 26 | 14 | 27 |
| 6 | 27 | 13 | 27 |
| 7 | 26 | 15 | 27 |
| 8 | 25 | 16 | 28 |




圖三 外傘頂洲做為天然海堤對減緩海岸線後退實驗統計圖

- 研究發現：利用外傘頂洲作為天然海堤對減緩海岸線是有幫助的，因為在實驗中，我們可以觀察到當海浪來襲時，直接衝擊到外傘頂洲，但並未直接衝擊到東石，史東石受到的作用力減少。

（四）實驗結果：我們發現利用海堤可減緩海岸線後退，二道海堤效果比一道海堤好，另外，模擬以外傘頂洲為離岸堤，發現有減緩海浪對東石海岸的侵蝕。

## 研究五　除了海堤以外，是否有其他海岸加固的替代方案？

我們想要知道除了海堤之外，是否有其他的加固措施也能夠保護海岸，所以，我們嘗試用防波堤與突堤來實驗其減緩海岸線後退的效果，是否比消波塊做為海堤來的更加出色。

（一）實驗設計：

1. 實驗設備：10x20 壓克力大盒、2~3 公升的砂石、適量大石頭、30cm 尺、水

2. 控制變因：

（1） 操縱的變因：石子的多寡

（2） 不變的變因：模擬海岸的長寬、砂量、波浪大小、水量

（3） 應變的變因：海岸侵蝕情形

3. 操作方式：

（1） 取約 2 公升的水，倒入壓克力盒中。

（2） 拿出 30cm 的尺，將水往前撥，尺不能撥超過原本畫記號的地方。

（3） 等待水面已無波浪，觀察岸邊的砂被沖出的情況與海岸線有無後退。

（二）實驗：利用防波堤和突堤是否可加固海岸？

1. 試驗一：一道防波堤並模擬海浪作用

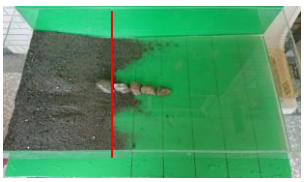
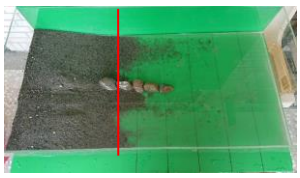
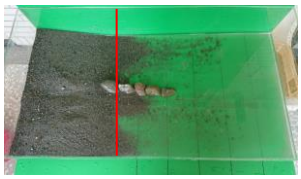
| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 我們這次設置模擬防波堤，試試效果是否有差別。 | 第一次，防波堤使海浪在更前面就被屑弱了。 | 第二次，海堤因無沙灘支撐而被海浪沖潰。 | 第三次因潰堤而使沙灘被海浪侵蝕了。 |

2. 試驗二：兩道防波堤並模擬海浪作用

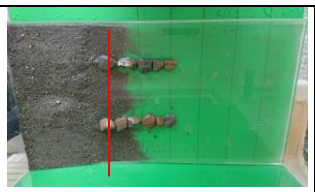
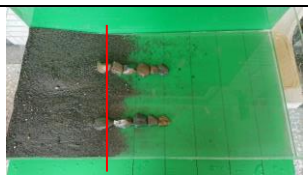
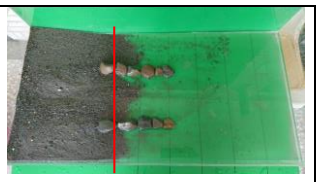
| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 我們設置了第二道防波堤。 | 第一次，因有兩道防波堤保護，無砂石被沖蝕。 | 第二次，第一道的防波堤被海浪打亂。 | 第三次，沙灘仍毫髮無傷，但兩道海堤被沖毀了。 |

➢ 研究發現：由試驗一及二可發現，防波堤對沙灘起了保護作用，兩道防波堤的保護效果優於一道防波堤。

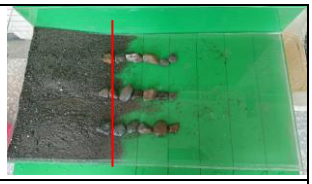
3. 試驗三：一道突堤並模擬海浪作用

| | | | |
|---|---|---|---|
| |  |  |  |
| 我們設置模擬突堤，測試突堤對海浪的效果。 | 第一次，突堤似無明顯效果，兩側的沙仍然被沖刷而出。 | 第二次，砂石被帶到大約 30 公分的位置。 | 第三次，更多砂石被帶離，可知突堤對海浪無太大的幫助。 |

4. 試驗四：兩道突堤並模擬海浪作用

| | | | |
|---|---|---|---|
| |  |  |  |
| 接下來將突堤增加為兩道，試試效果是否較好。 | 第一次，可以看到有許多的砂石被海浪沖出。 | 第二次，有更多的砂石被沖出，最遠達到 30 公分的位置。 | 第三次，被沖刷的砂石最遠被沖蝕到 40 公分的位置。 |

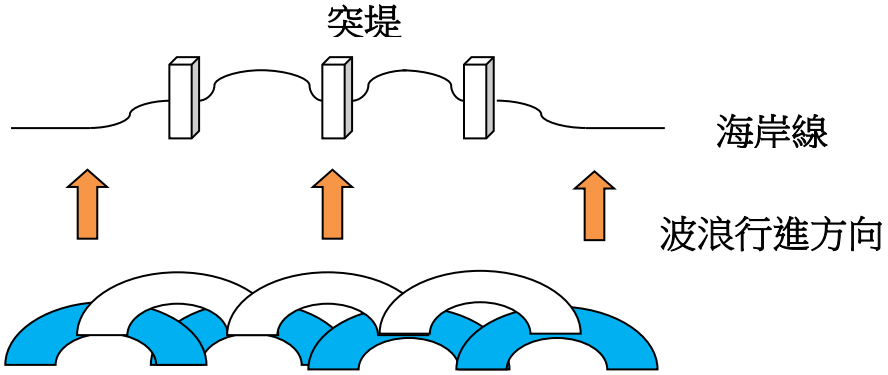
5. 試驗五：三道突堤並模擬海浪作用

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | |  |
| 我們將突堤加到三道，試試效果是否會更好。 | 第一次，只有些許的砂石被沖出至不到 10 公分之處。 | 第二次仍只有些許的砂石被沖出，與前一次沒什麼差別。 | 第三次，只有些許部分被侵蝕而已，可見效果的確有增加。 |

- 研究發現：由試驗三、四、五可發現，雖然三道突堤才對防止海岸侵蝕有一定效果，但突堤愈少，防護力愈低，甚至沒有突堤就毫無保護。

（三）實驗結果：

1. 防波堤因為無海灘支撐，所以很快就潰堤了。
2. 兩道防波堤對海岸的防護效果較一道防波堤好。。
3. 嘗試突堤加固方式，未設置突堤的地方，砂石容易被沖出，愈多道突堤，效果愈佳。




圖四　突堤對海岸保護示意圖

6. 試驗六：三道突堤並模擬沿岸流作用

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 我們將海浪改成沿岸 | 第一次，我們看到有 | 第二次，受保護的沙 | 第三次，未被保護的 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 流，實驗突堤對沿岸流的效果。 | 被突堤保護的地方較能保留住砂石。 | 灘仍將沙子保留住。 | 沙灘被侵蝕嚴重，形成明顯對比。 |

➢ 研究發現：突堤能將受到沿岸流搬運的砂石阻擋，而達到保護海岸的作用。

（四）研究發現及結果：

1. 試驗防波堤對海岸的防固效果，一道防波堤後方因無沙支撐，很快就被海浪沖垮，測試兩道防波堤時，在前方的防波堤雖然被海浪沖垮，但後方防波堤因有第一道防波堤的消能，使其毫髮無傷，顯示兩道防波堤對海岸的加固效果較一道防波堤高。
2. 利用突堤來試驗對海岸的防固效果，顯示多道突堤防固效果雖然較一道突堤效果佳，但相較於海堤及防波堤等加固措施，其防固效果比較低。
3. 觀察了突堤對沿岸流的加固效果後,我們發現突堤可將沿岸流搬運的砂石阻擋而增加其沉積效果，但同時突堤也會使位於突堤後方的海岸線缺乏砂源。
4. 以上實驗因時間及設備的限制，而無法將海流大小、海浪大小、波浪長短、颱風及海岸高度或深淺等等影響因素放進去，是很大的遺憾，希望我們未來再有機會針對這個議題再做深入探討。

## 研究六　改良防砂壩可以減緩國土流失嗎？

為了解決海岸砂源不足的問題，我們將研究延伸至河道砂石來源，發現攔砂壩將大多數的砂石給攔了下來，改良攔砂壩是否可以增加河道下游砂石，減緩海岸消失。

（一）實驗設計：

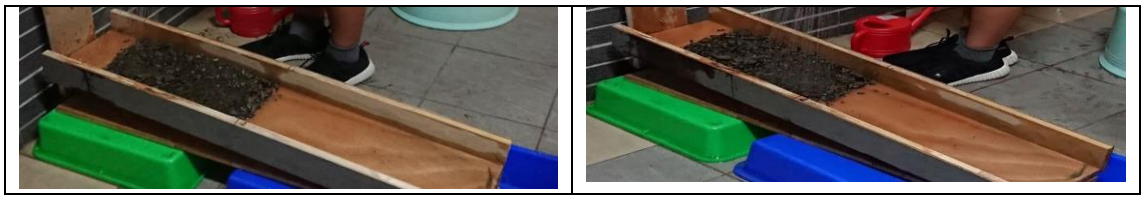
1. 實驗設備：河道流水台模型、攔沙壩模型、梳子壩模型、野外收集之大、中、小砂石、水、集水塑膠盒、澆花器、燒杯。
2. 控制變因：
   （1） 操縱的變因：河道的坡度
   （2） 不變的變因：流水台的長寬、原始砂量、原始水量
   （3） 應變的變因：砂量、水量
3. 操作方式：
   （1） 將 1 公升砂石布置在流水台上。
   （2） 利用 1.5 公升至 10 公升的水分次自固定高度倒下。
   （3） 觀察流下的砂量並記錄。

（二）實驗一：梳子壩和傳統防砂壩有何不同？

我們設計實驗，模擬防砂壩、梳子壩及無防護措施之河川，觀察河道被不同的壩體保護的砂量比較，較多的表示較多砂流入大海，補足土地流失的地方；較少的表示較少的沙流入大海，使土地流失，海岸線後退。

1. 試驗一：模擬無防護措施之河道。

（1）大砂 10 度：

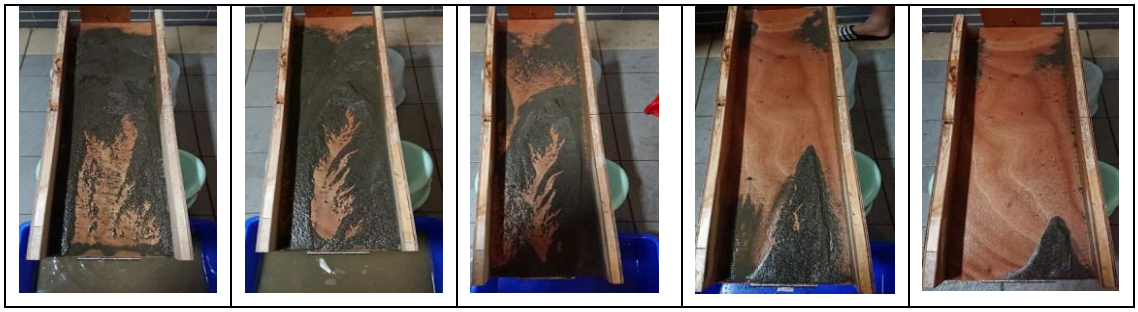


我們發現：在大砂 10 度實驗中，因河道坡度極緩，大砂不易被搬移，因此，幾乎無變化。

（2） 中砂 10 度：

我們發現：在中砂 10 度實驗中，砂石隨著水流會慢慢往河道下游移動，因坡度緩且中砂重量較重，經過 10 次沖刷尚餘約 1/3 砂留在河道上。

（3） 細砂 10 度：



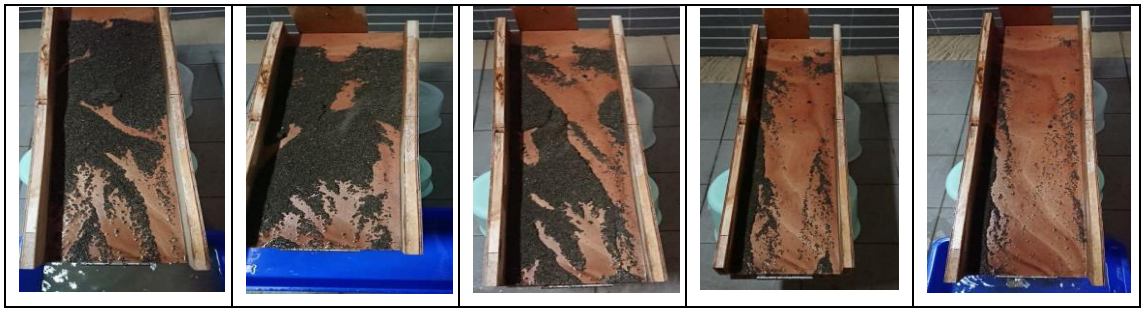
我們發現：在細砂 10 度實驗中，砂石隨著水流會明顯大量往河道下游移動，經過 10 次沖刷僅尚餘些許砂留在河道上。

- 研究發現：在 10 度的實驗中，因河道坡度極緩，大砂不易被搬移，因此，做了 10 次幾乎沒有變化。中砂 10 次尚有部分砂石沒被沖走，細砂已經都流到下面了。

（4） 大砂 15 度：

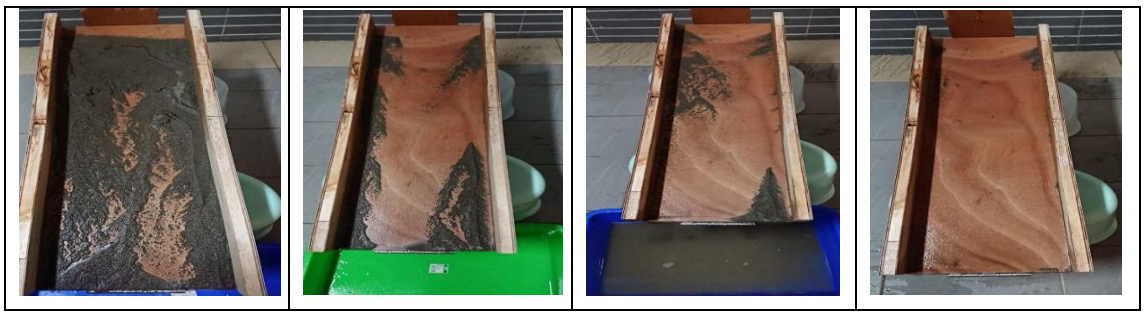
我們發現：在大砂 15 度實驗中，經 10 次沖刷，細小的砂石有往下移動，但數量不多。

（5） 中砂 15 度：



我們發現：在中砂 15 度實驗中，經過 10 次沖刷，留在河道上的砂量幾乎所剩無幾。

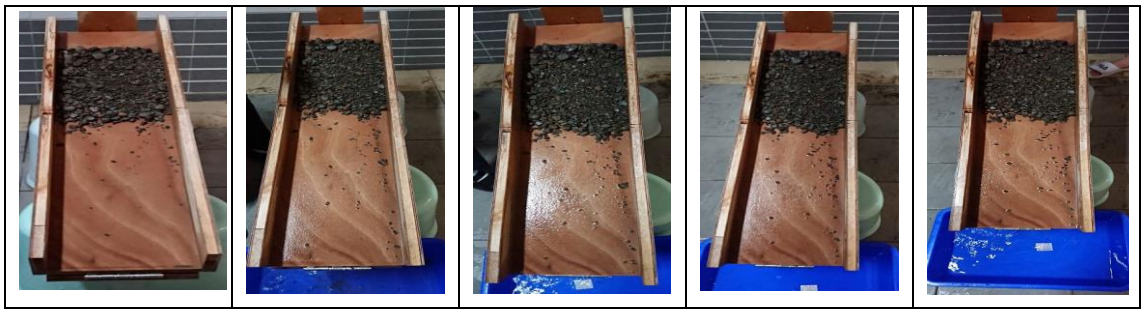
（6）細砂 15 度：



我們發現：在細砂 15 度實驗中，只經過 5 次沖刷，河道上細砂幾乎流光。

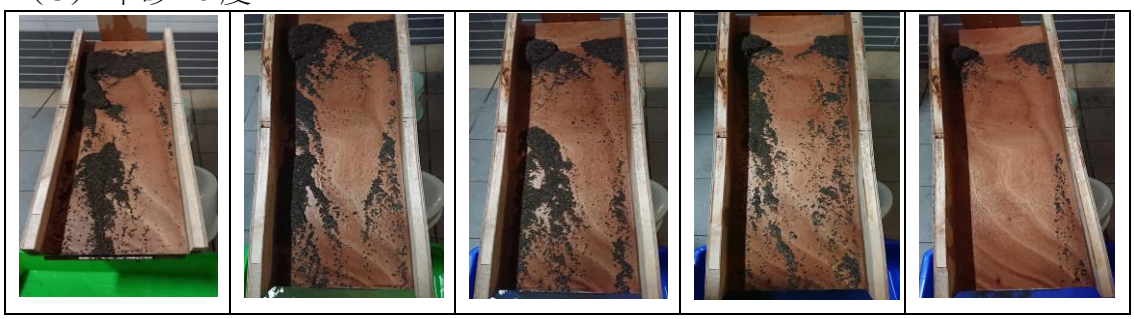
- 研究發現：在 15 度的實驗中，因河道坡度稍緩，大砂還沒有什麼變化，中砂開始流動，細砂則是經河道流水沖刷，第 5 次就全部流光。

（7）大砂 20 度：



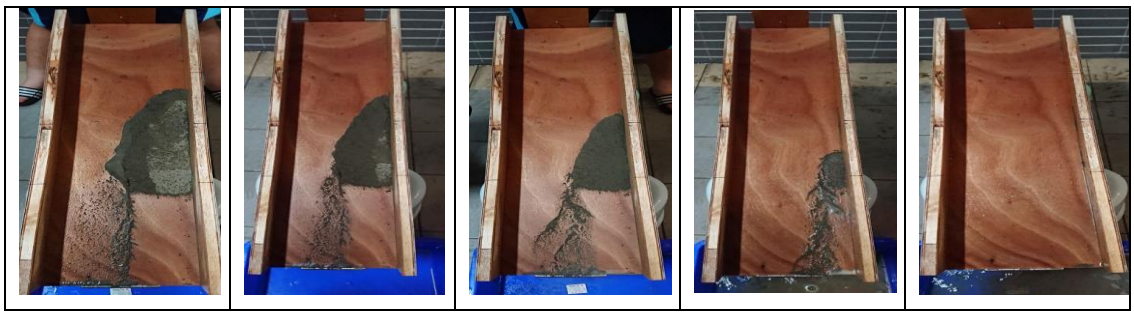
我們發現：我們在大砂 20 度實驗，經 10 次沖刷，細小砂石有往下移動，但數量不多。

（8） 中砂 20 度：



我們發現：我們在中砂 20 度實驗中在第 6 次沖刷後，除水流沖不到的地方外，砂石幾乎流光。

（9） 細砂 20 度：



我們發現：我們在細砂 20 度實驗中，經過 7 次沖刷河道上的細砂都已被帶走。

- 研究發現：在 20 度的實驗中，因河道坡度稍陡，大砂 10 次還是不太有變化，中砂 6 次時，剩些許在最上游，細砂 7 次時就全沖光。

（10） 大砂 25 度：

我們發現：在大砂 25 度實驗中，砂石明顯產生位移，且有許多砂石掉落下來。

（11） 中砂 25 度：

我們發現：在中砂 25 度實驗中，砂石在第 3 次就已經被沖刷完畢。

（12） 細砂 25 度：

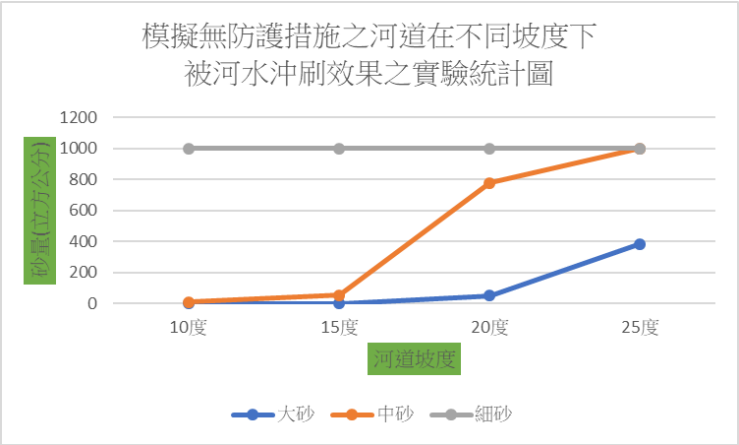
我們發現：我們在細砂 25 度實驗中，沖刷速度非常快，第 3 次就被沖光了。

- 研究發現：因坡度高的關係，大砂明顯產生被搬移，中沙和細砂都在 3 次被清空。

（13） 實驗結果：模擬自然沖刷之河道，我們發現砂石會因為坡度的改變而不同。在坡度 10 度、15 度、20 度及 25 度的情況下，每種砂石經水沖蝕流下的砂量整理如下：

表三 模擬無防護措施之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗記錄

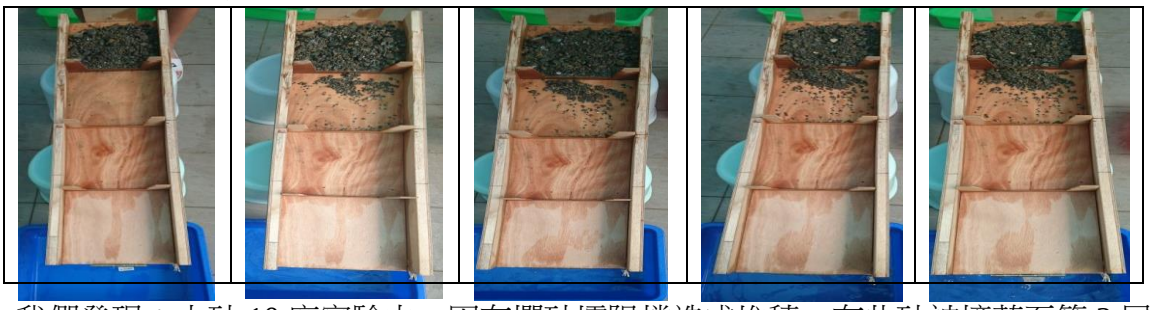
| 坡度/砂量(立方公分) | 大砂 | 中砂 | 細砂 |
|---|---|---|---|
| 10 度 | 0 | 10.05 | 1000 |
| 15 度 | 0 | 55.26 | 1000 |
| 20 度 | 50.24 | 778.72 | 1000 |
| 25 度 | 384.336 | 1000 | 1000 |




圖四 模擬無防護措施之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗統計圖

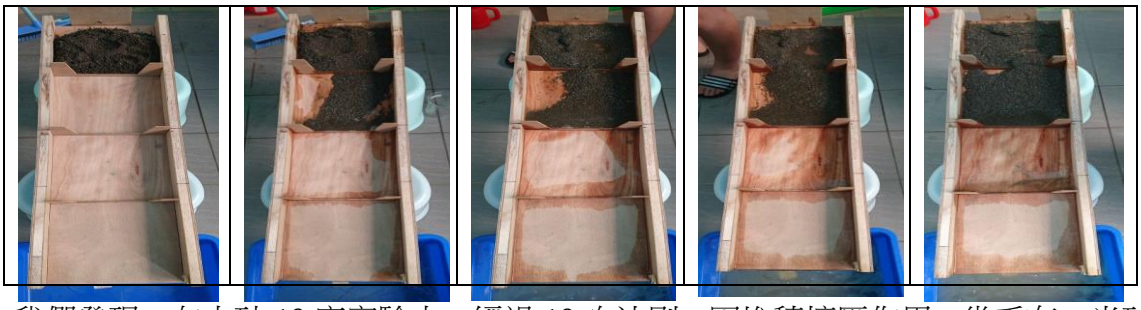
2. 試驗二：模擬有防砂壩保護的河道。

（1）大砂 10 度：



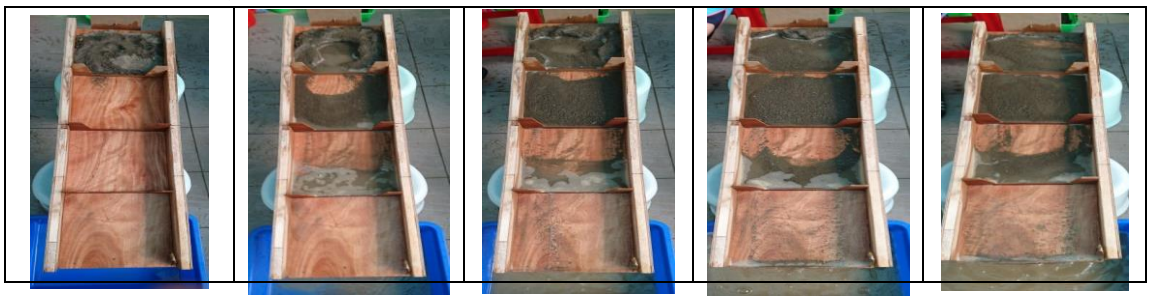
我們發現：大砂 10 度實驗中，因有攔砂壩阻擋造成堆積，有些砂被擠落至第 2 層。

（2）中砂 10 度：



我們發現：在中砂 10 度實驗中，經過 10 次沖刷，因堆積擠壓作用，幾乎有一半砂石填滿第 2 層河道。

（3）細砂 10 度：



我們發現：在細砂 10 度實驗中，大部分砂石累積在第 2 階，也有些許流到最後 1 階。

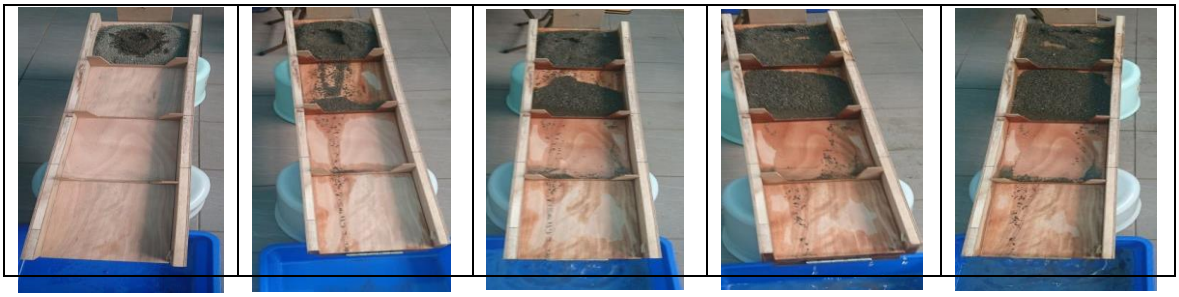
- 研究發現：在坡度 10 度的一般河道上，每次以 500cc 的水沖 20 次實驗結果，大砂只有少數的砂石移動到第 2 階，中砂大部分移到第 2 階，細砂大多數留在第 2 階，

第 3 階少許，也有一些在第 4 階。

（4）大砂 15 度：

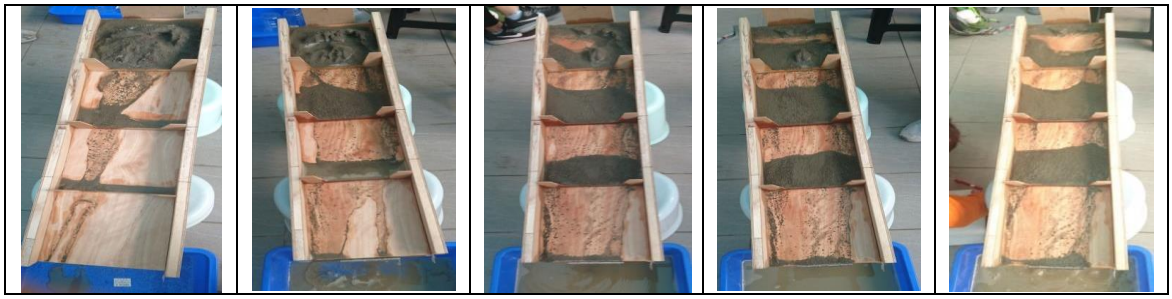
我們發現：在大砂 15 度實驗中，只有些許較小的砂石掉落到第 2 階。

（5）中砂 15 度：



我們發現：中砂 15 度實驗中，大部分的砂石多停留在第 2 階，只有少許掉落到最下游的位置。

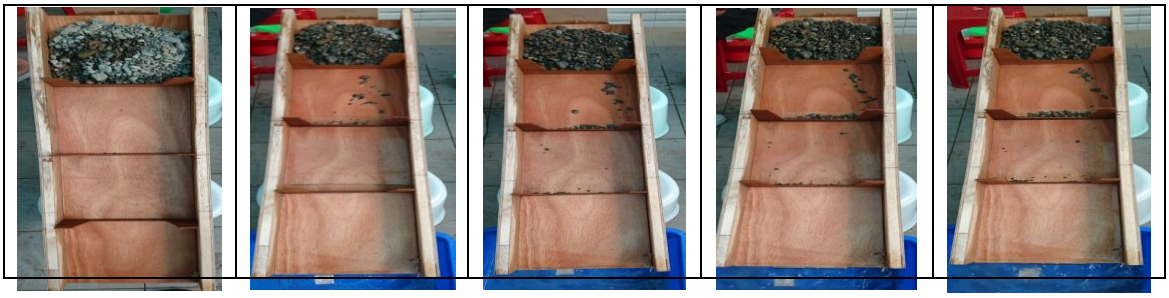
（6）細砂 15 度：



我們發現：在細砂 15 度實驗中，砂石幾乎平均分配在每一層防砂前。

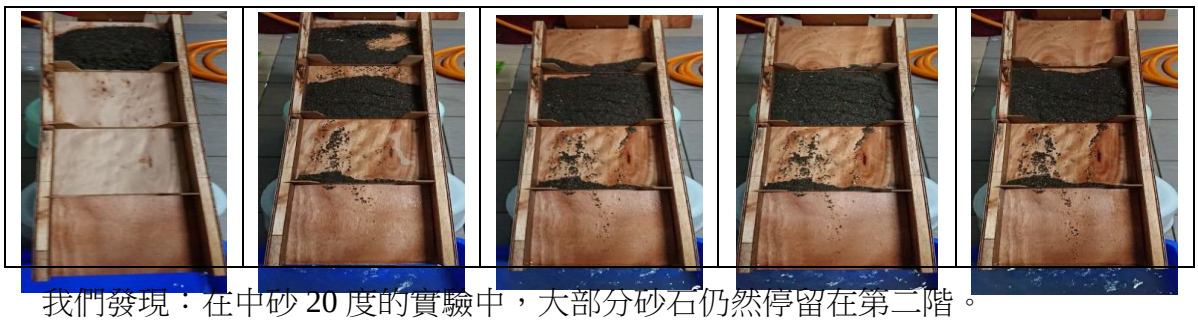
- 研究發現：當坡度提升到 15 度時，大砂有些許小砂石掉到第 2 階，中砂多停留在第 2 階，只有細砂很容易地被移到第 3 階，並堆積在防砂壩上。

（7）大砂 20 度：



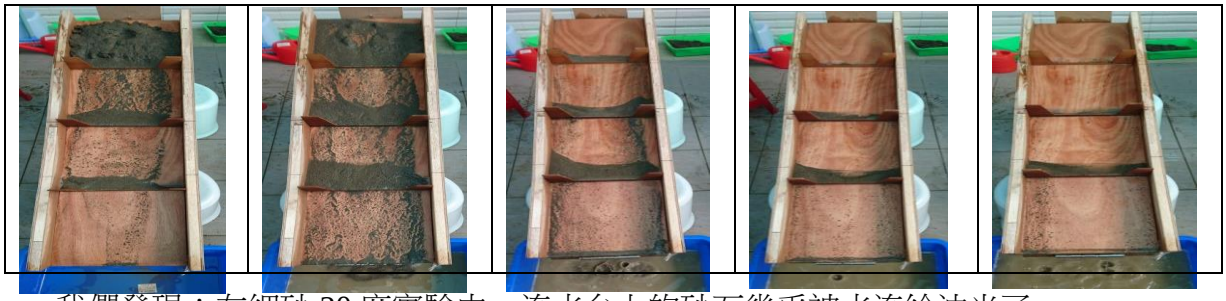
我們發現：在大砂 20 度實驗中，只有些許較小的砂石掉落到第 2 階防砂壩前方。

（8） 中砂 20 度：



我們發現：在中砂 20 度的實驗中，大部分砂石仍然停留在第二階。

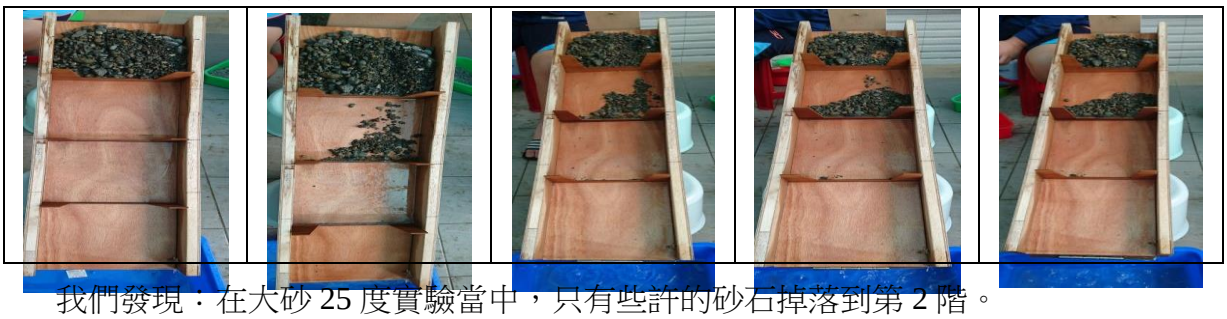
（9）細砂 20 度：



我們發現：在細砂 20 度實驗中，流水台上的砂石幾乎被水流給沖光了。

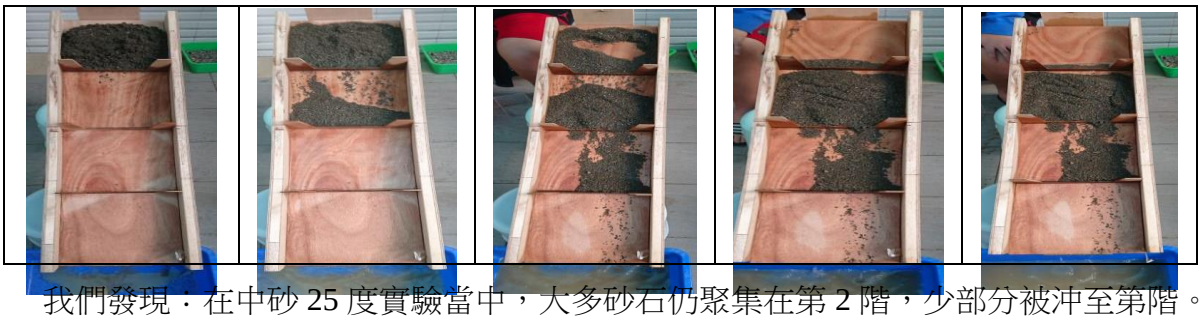
- 研究發現：當坡度提升到 20 度時，大砂有些許小砂石掉到第 2 階，中砂多停留在第 2 階，小部分至第 3 階，只有細砂幾乎被水流給沖光了，少部分堆積在防砂壩前。

（10） 大砂 25 度：



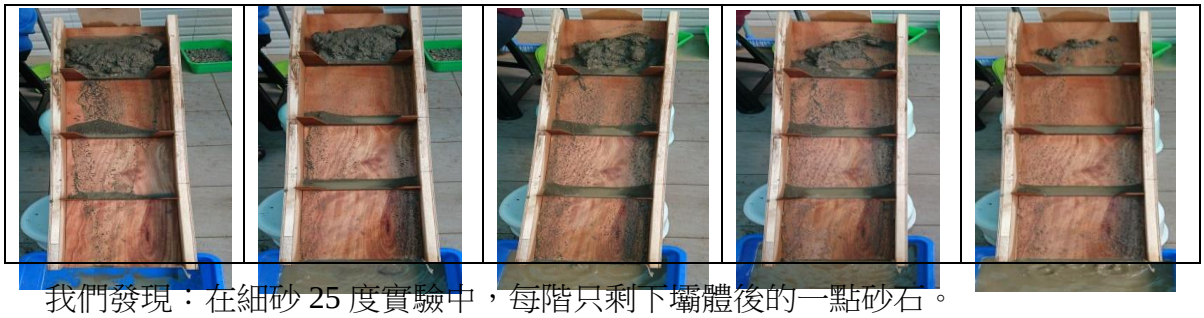
我們發現：在大砂 25 度實驗當中，只有些許的砂石掉落到第 2 階。

（11） 中砂 25 度：



我們發現：在中砂 25 度實驗當中，大多砂石仍聚集在第 2 階，少部分被沖至第階。

（12） 細砂 25 度：



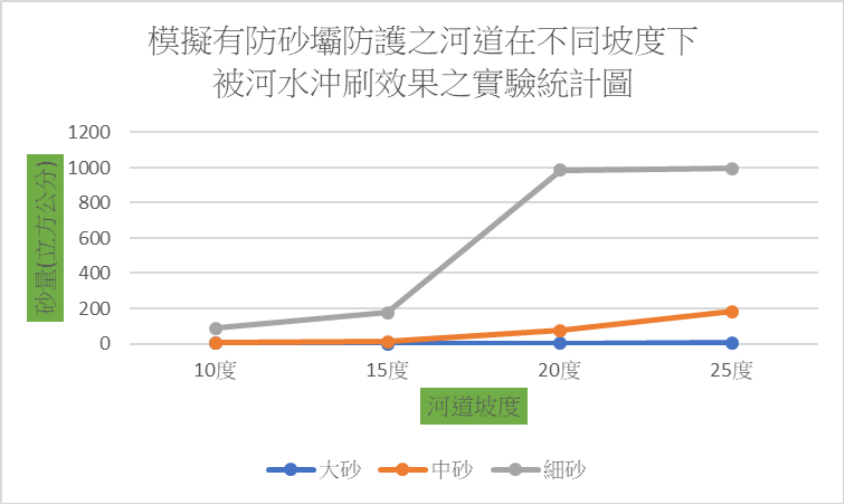
我們發現：在細砂 25 度實驗中，每階只剩下壩體後的一點砂石。

➢ 研究發現：當坡度提升到 25 度時，大砂有許多小砂石掉到第 2 階，中砂多停留在第 2 階，小部分至第 3 階，只有細砂幾乎被水流給沖光了，少部分堆積在防砂壩前。

（13） 實驗結果：模擬有防砂壩防護之河道，我們發現砂石會隨著坡度增加而更容易被搬運，但因為有防砂壩，所以還是有部分砂石殘留在防砂壩後方。在坡度 10 度、15 度、20 度及 25 度的情況下，每種砂石經水沖蝕流下的砂量整理如下：

**表四 模擬有防砂壩防護之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗記錄**

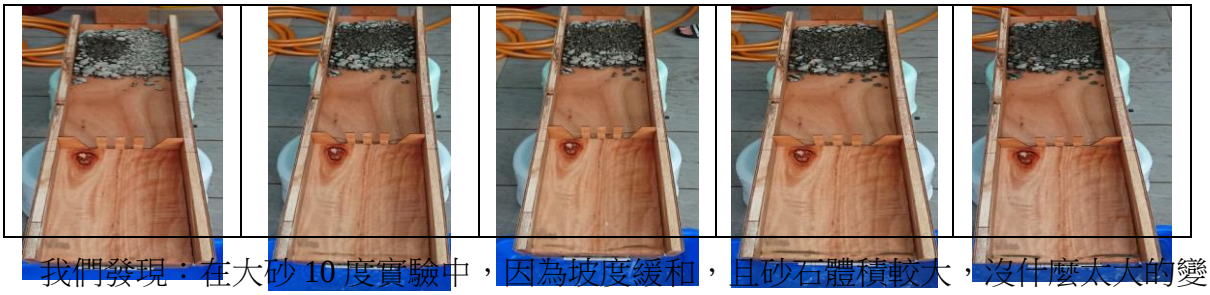
| 坡度/砂量(立方公分) | 大砂 | 中砂 | 細砂 |
|---|---|---|---|
| 10 度 | 5.02 | 5.04 | 85.8 |
| 15 度 | 0 | 10.05 | 175.84 |
| 20 度 | 3.01 | 76.06 | 986.7 |
| 25 度 | 6.03 | 183.04 | 993.6 |




**圖五 模擬有防砂壩防護之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗統計圖**

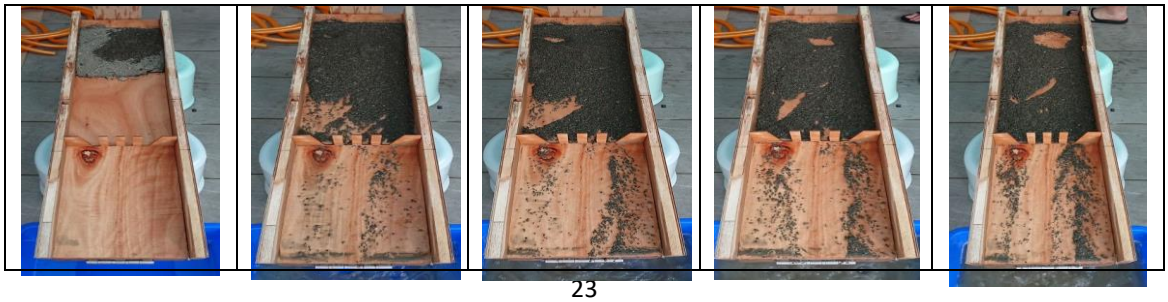
3. 試驗三：模擬有 3 齒梳子壩保護的河道。

（1）大砂 10 度：



我們發現：在大砂 10 度實驗中，因為坡度緩和，且砂石體積較大，沒什麼太大的變動。

（2） 中砂 10 度：



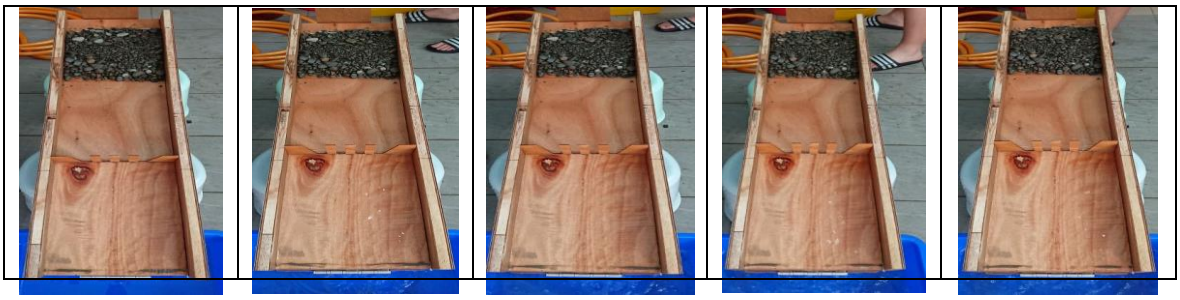
我們發現：在中砂 10 度實驗中，因坡度緩和，所以堆積在梳子壩前的砂石被搬運而下的速度相對較慢，但仍有些許的砂石掉落到接水盒子中。

（3）細砂 10 度：

我們發現：在細砂 10 度中，只有部分砂石被搬運到下方。

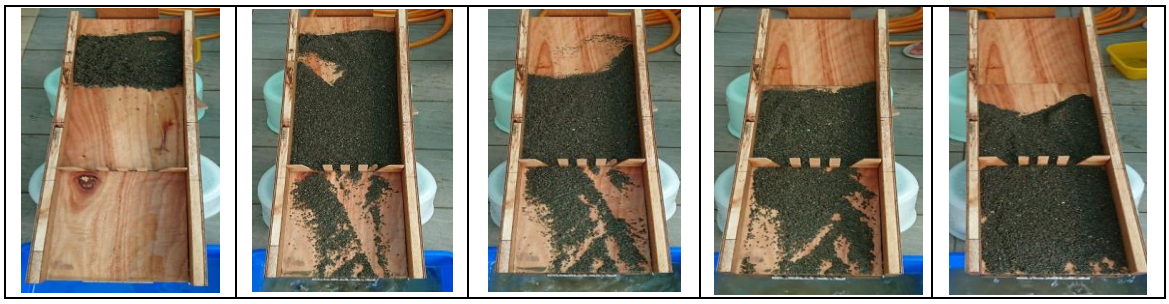
- 研究發現：坡度 10 度的河道屬於非常和緩的河道，所以無論是細沙或是中沙，都只能將部分砂石搬運而下，但是大砂是完全沒有動的。

（4）大砂 15 度：



我們發現：在大砂 15 度實驗中，雖然坡度提升，但大砂重量實在太重，以至於砂石仍然沒有太大的改變。

（5）中砂 15 度：



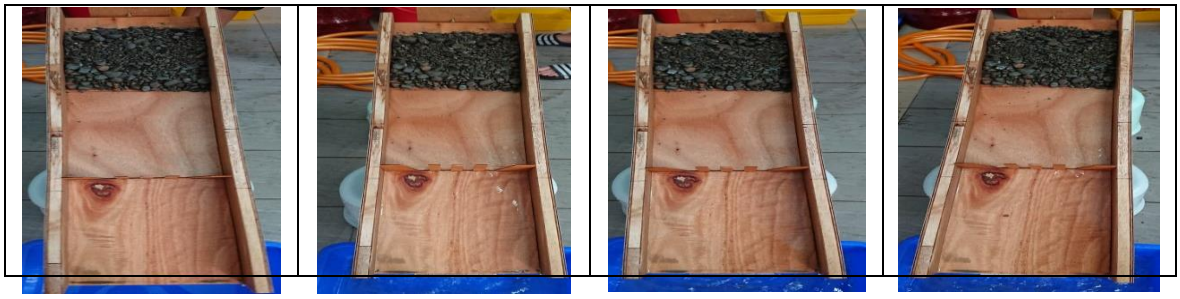
我們發現：在中砂 15 度實驗中，河道輸砂量遠比坡度 10 度之河道來的要多。

（6）細砂 15 度：

我們發現：在細砂 15 度實驗中，由於坡度增加，細沙的流速明顯的變快且侵蝕速度也有提升許多。

- 研究發現：坡度提升至 15 度，水流的流速和搬運速度有明顯增加，但因大砂重量太重，所以無顯著效果，但若以細沙來看，坡度的提升可使細砂能夠順利地被帶往下游。

（7） 大砂 20 度：

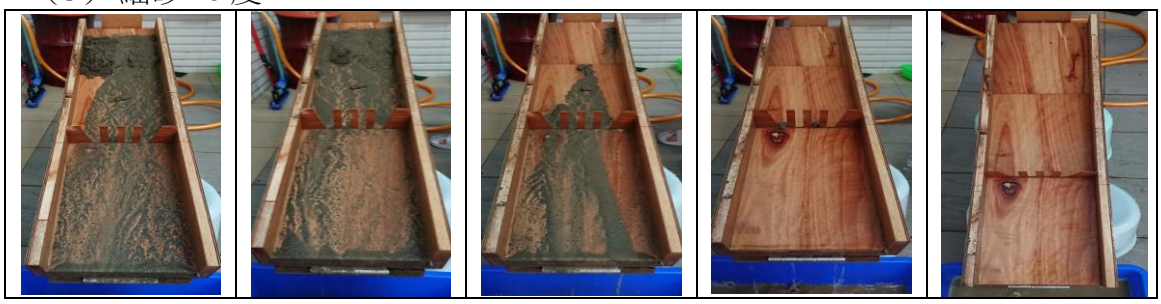


我們發現：在大砂 20 度實驗中，就算坡度提升，仍然無法搬運大砂石。

（8） 中砂 20 度：

我們發現：在中砂 20 度實驗中，坡度提升，沖刷速度明顯增加，使中砂能夠順利地被帶往下游。

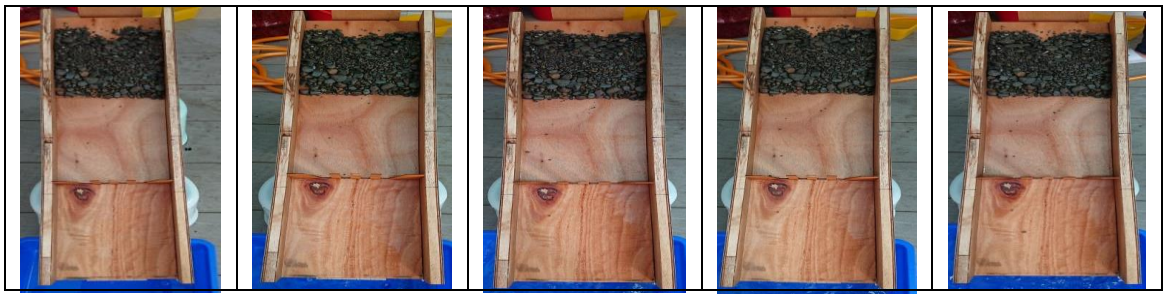
（9） 細砂 20 度：



我們發現：在細砂 20 度實驗中，細沙可以順利且快速的搬運到河流下游的位置。

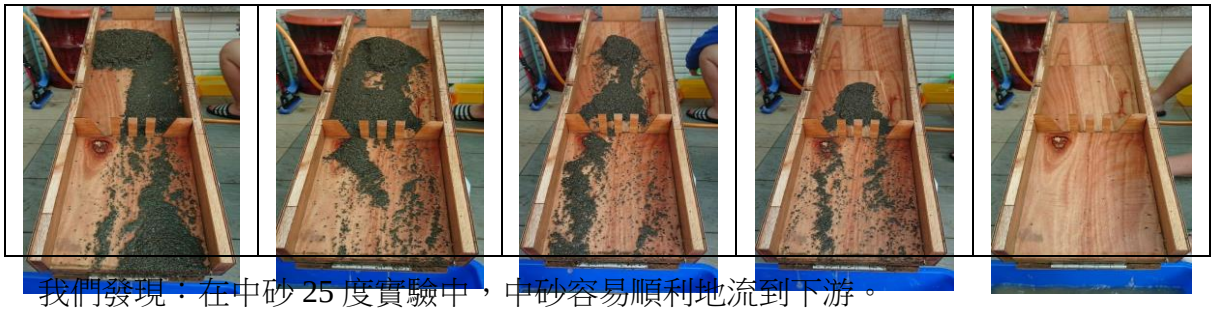
- 研究發現：坡度 20 度的河道除了大砂之外，中砂和細砂都能較順利且快速地流到下游。

（10） 大砂 25 度：



我們發現：在大砂 25 度實驗中，仍然無法讓大砂往下掉落。

（11） 中砂 25 度：



我們發現：在中砂 25 度實驗中，中砂容易順利地流到下游。

（12） 細砂 25 度：

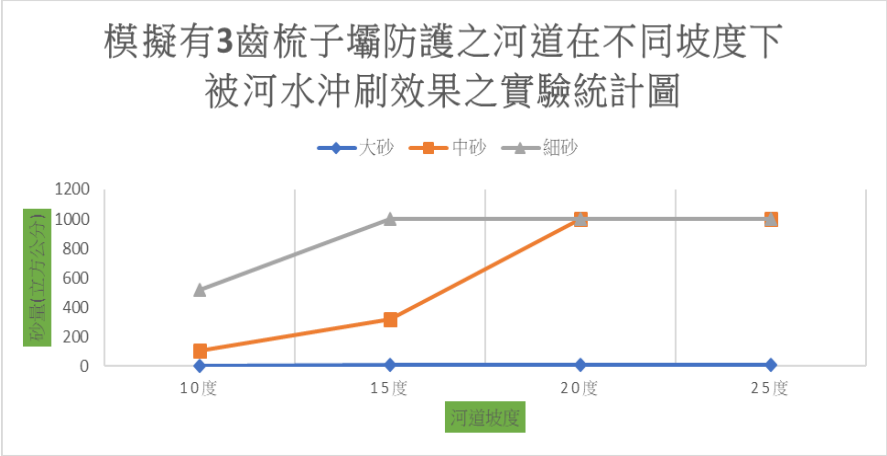
我們發現：在細砂 25 度實驗中，細沙如同中砂一般，會隨著坡度的增長，被帶往下游的砂石量就越多。

- 研究發現：在模擬 25 度陡峭的河道上，搬運砂石的能量比較大，除了大砂之外，中砂和細砂都全部被沖刷流到下游。

（13） 實驗結果：模擬有 3 齒梳子壩防護之河道，我們發現三齒梳子壩會使砂石被搬運的速度減緩，同時河道淤積的速度也相對減緩。在坡度 10 度、15 度、20 度及 25 度的情況下，每種砂石經水沖蝕流下的砂量整理如下：

**表五 模擬有 3 齒梳子壩防護之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗記錄**

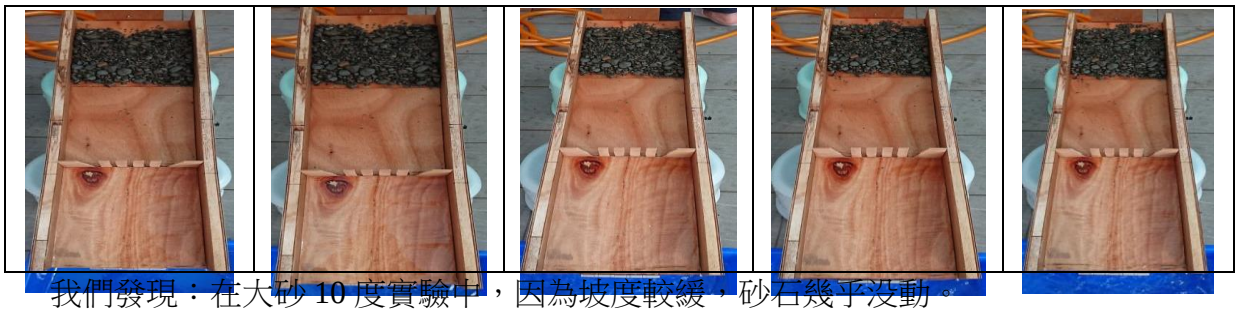
| 坡度/砂量(立方公分) | 大砂 | 中砂 | 細砂 |
|---|---|---|---|
| 10 度 | 2 | 100.48 | 517.47 |
| 15 度 | 5.02 | 316.51 | 1000 |
| 20 度 | 5.02 | 1000 | 1000 |
| 25 度 | 5.02 | 1000 | 1000 |




**圖六 模擬有 3 齒梳子壩防護之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗統計圖**

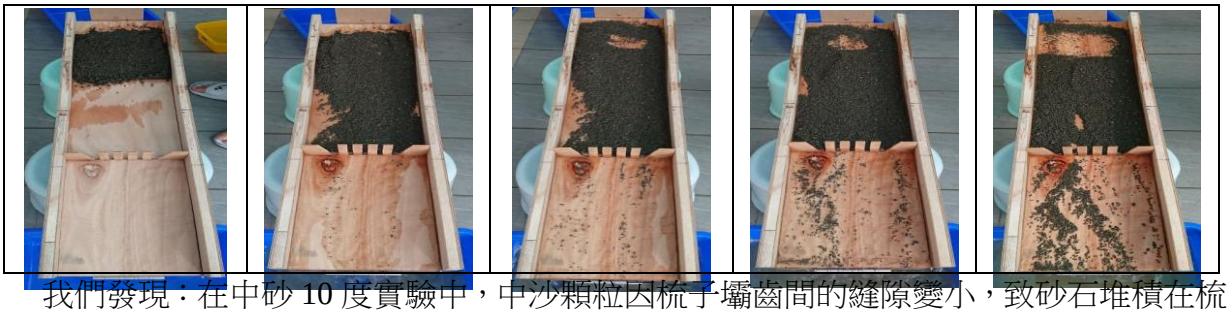
4. 試驗四：模擬有 4 齒梳子壩保護的河道。

（1）大砂 10 度：



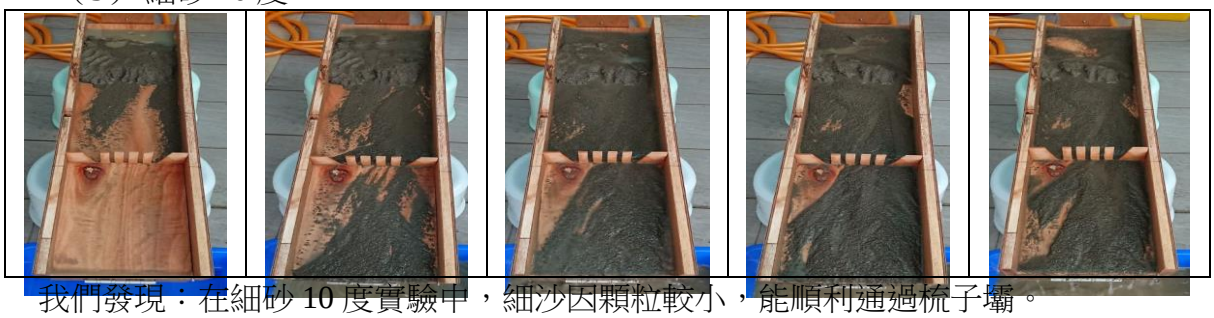
我們發現：在大砂 10 度實驗中，因為坡度較緩，砂石幾乎沒動。

（2）中砂 10 度：



我們發現：在中砂 10 度實驗中，中沙顆粒因梳子壩齒間的縫隙變小，致砂石堆積在梳子壩後方，無法往下游去。

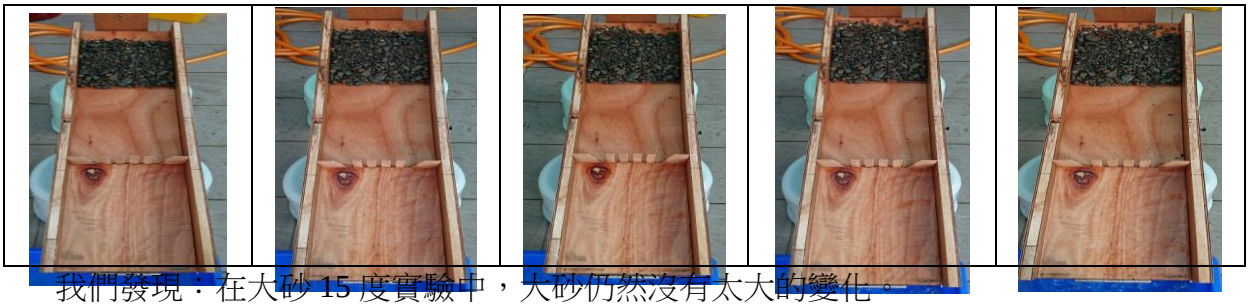
（3）細砂 10 度：



我們發現：在細砂 10 度實驗中，細沙因顆粒較小，能順利通過梳子壩。

- 研究發現：由於細砂和大砂的情況與 3 齒梳子壩差不多，但我們可以發現中砂所流下來的砂量比剛剛較少，有更多砂石受到阻礙。

（4）大砂 15 度：



我們發現：在大砂 15 度實驗中，大砂仍然沒有太大的變化。

（5）中砂 15 度：

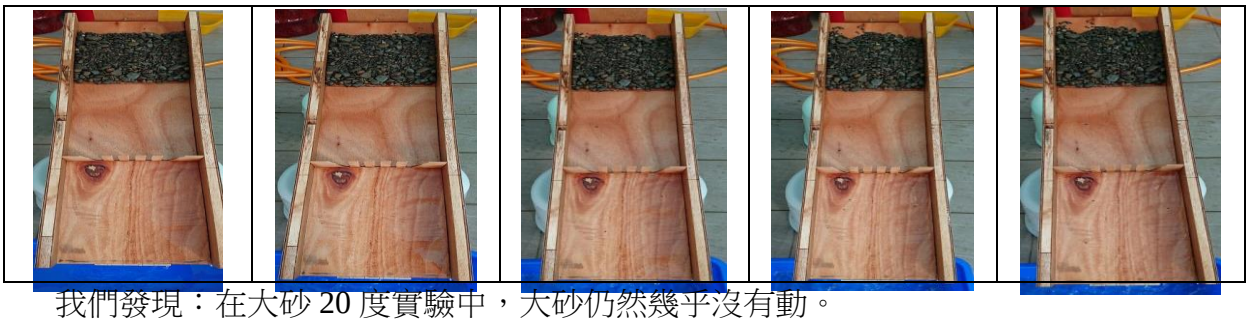
我們發現：在中砂 15 度實驗中，中砂仍然會被梳子壩阻饒，只有少許能到達下游。

（6）細砂 15 度：

我們發現：在細砂 15 度實驗中，細沙相對於其他的砂可以較順利且快速的到達下游。

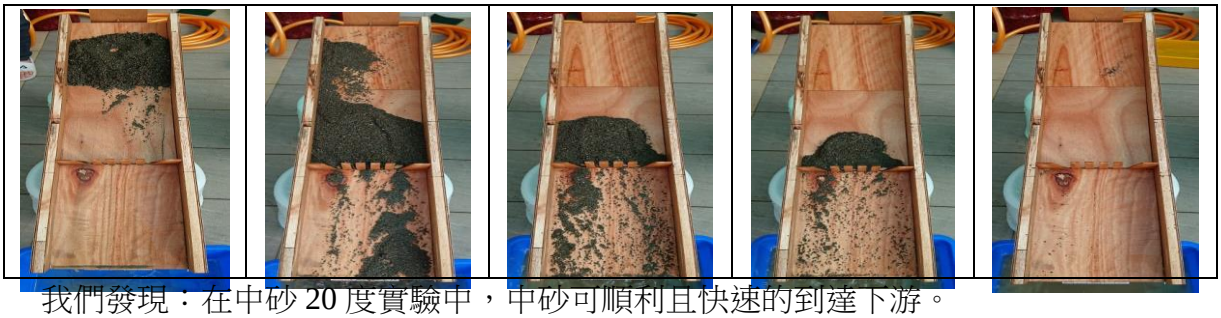
- 研究發現：細沙仍然和 3 齒梳子壩的情況差不多，無受到阻礙，全數流光，中砂無法順利通往下游，而大砂仍然無法觸碰到壩體。

（7）大砂 20 度：



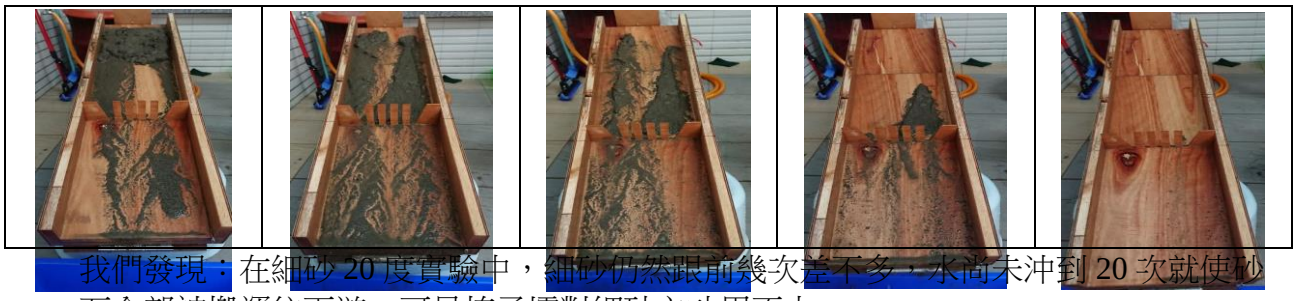
我們發現：在大砂 20 度實驗中，大砂仍然幾乎沒有動。

（8）中砂 20 度：



我們發現：在中砂 20 度實驗中，中砂可順利且快速的到達下游。

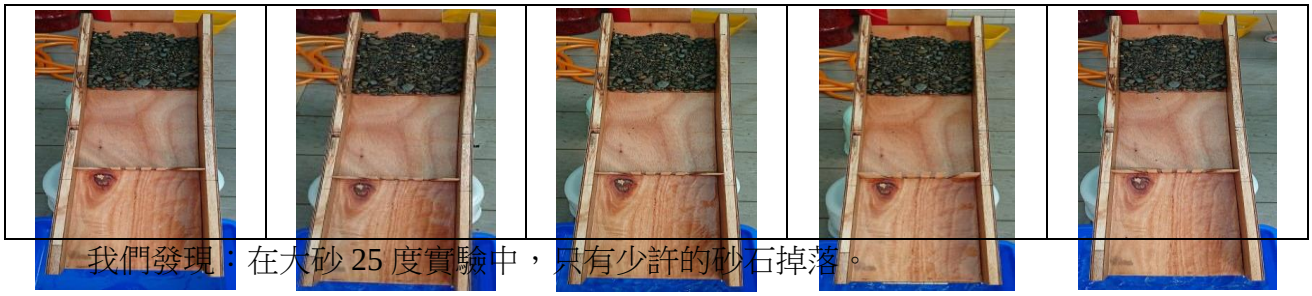
（9）細砂 20 度：



我們發現：在細砂 20 度實驗中，細砂仍然跟前幾次差不多，水尚未沖到 20 次就使砂石全部被搬運往下游，可見梳子壩對細砂之功用不大。

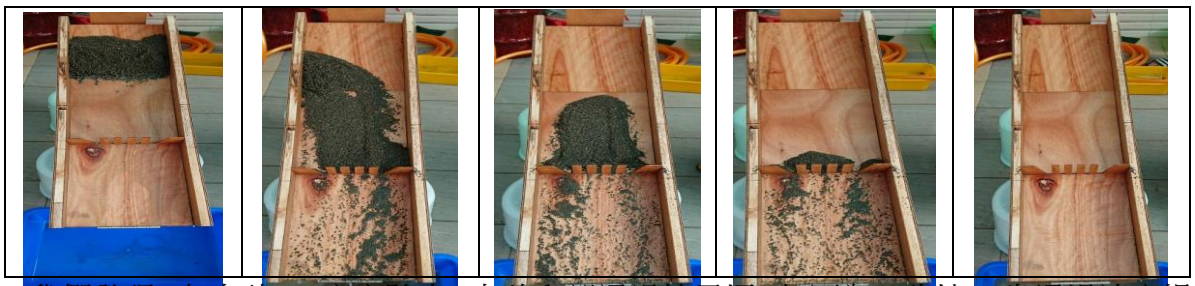
- 研究發現：坡度 20 度的河道，中砂和細砂順利和快速地通過梳子壩，但大砂始終沒有什麼變動。

（10） 大砂 25 度：



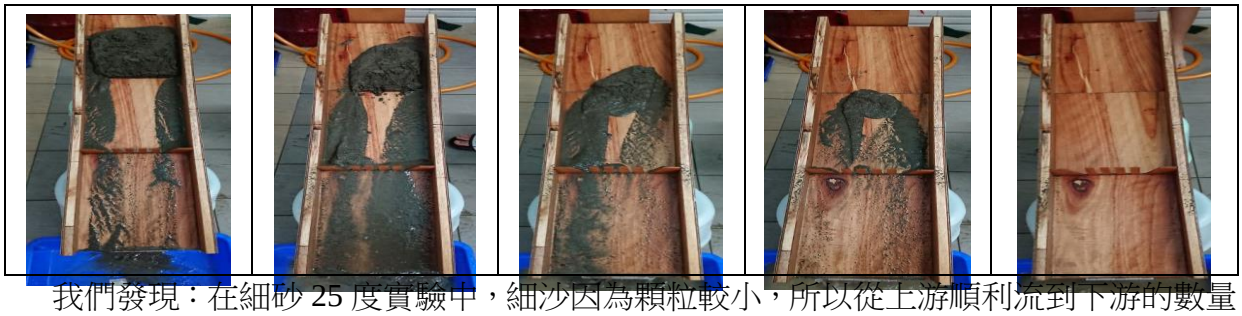
我們發現：在大砂 25 度實驗中，只有少許的砂石掉落。

（11） 中砂 25 度：



我們發現：在中砂 25 度實驗中，中砂全部通過梳子壩，但因為 4 齒比 3 齒通過速度慢，沖水次數也比較多。

（12） 細砂 25 度：



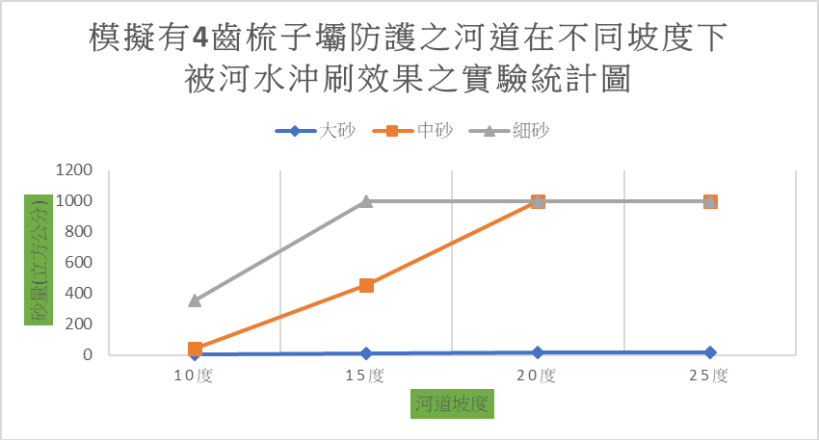
我們發現：在細砂 25 度實驗中，細沙因為顆粒較小，所以從上游順利流到下游的數量很多。

- 研究發現：坡度 25 度實在太陡了，除了大砂只有微小的變動外，中砂和細砂都已順利的流光。

（13） 實驗結果：模擬有 3 齒梳子壩防護之河道，我們發現四齒的梳子壩使砂石被搬運的速度減緩，並且讓適量的砂石通過，為海岸增加砂源。在坡度 10 度、15 度、20 度及 25 度的情況下，每種砂石經水沖蝕流下的砂量整理如下：

表六 模擬有 4 齒梳子壩防護之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗記錄

| 坡度/砂量(立方公分) | 大砂 | 中砂 | 細砂 |
|---|---|---|---|
| 10 度 | 5.02 | 40 | 351.68 |
| 15 度 | 10.05 | 452.16 | 1000 |
| 20 度 | 15.07 | 1000 | 1000 |
| 25 度 | 15.07 | 1000 | 1000 |




**圖七 模擬有 4 齒梳子壩防護之河道在不同坡度下被河水沖刷效果之實驗統計圖**

## 陸、討論：

一、根據我們對外傘頂洲、東石漁人碼頭、布袋遊艇碼頭、好美里及北門雙春海濱的田野調查中，我們看到外傘頂洲受到強風及海浪的侵蝕，據學術位研究，其面積不斷縮減，可信度很高；東石漁人碼頭在消波堤外已被海水淹没，看不到沙灘。再加上多重人為的問題，例如：為了水土保持及減緩河道堆積，在上游興建攔砂壩，加之過度採集砂石，與海爭地的結果，己然造成下游河口砂源不足，破壞大自然的平衡，加上波浪長期侵蝕海岸，導致國土嚴重流失，令人擔憂，針對此問題，雖然政府也提出多項改善措施，例如設置離岸堤、突堤等各項不同保護海灘計畫或改良攔砂壩等，以求減緩海岸線後退的現象。但是若無自然抑注砂源,，未來還是堪憂。

二、過去，未經整治的河道，在河水的沖刷下，大量砂石被帶往河口，但是，現今為了水土保持大量使用攔砂壩攔截砂石，造成下游河口砂源嚴重不足，對維護國土，避免流失，是雪上加霜，未來可參考使用梳子壩，方能解決河口砂石不足的問題。

## 柒、結論

一、我們到東石漁人碼頭、布袋遊艇碼頭、外傘頂洲、好美里保護區和雙春海濱進行野外調查，使我們看到了很多為防止國土流失所做的防護措施。

二、我們到達了華山土石流教學園區進行野外調查，我們在這裡發現梳子壩除了可防止土石流外，又能提供海濱所需的砂源，甚具特色。

三、我們設計兩個實驗來證明學者所提的海岸線後退的問題，首先，我們利用實驗來證明海浪有侵蝕搬運等作用力，也會使模擬海岸呈現後退的現象。外傘頂洲也是受到嚴重的侵蝕，令我們擔憂。

四、為了瞭解利用消波塊作為海堤是否對減緩海岸被侵蝕有效，我們的實驗證明了消波塊作可減緩海岸被侵蝕，但並非長久之計。作為東石海岸的離岸堤-外傘頂洲而言，它也是汲汲可危。

五、為了證明除了海堤以外的加固措施，我們進行了多次的實驗，發現除了海堤以外，還有離岸防波堤、突堤…等措施，可保護海岸不受到太大的侵蝕。

六、從實驗證明，梳子壩和傳統防砂壩不同，我們發現梳子壩可使同一尺寸以下的砂石通過，只將大型石塊攔下，並非像傳統防砂壩一樣，將所有砂石攔下。我們也做了相對的輸砂量來比較，且我們還發現，隨著梳子壩的齒數不同，也可管控不同大小砂石的量。

## 捌、參考資料


一、觀念地球科學 3，遠見天下文化出版股份有限公司

二、遠見雜誌 107 年 4 月號

三、https://www.wra.gov.tw/6950/7170/7356/7378/ 經濟部水利署網站

四、紙上遊台塑六輕計畫 - 能源報導 - 台灣經濟研究院

五、宜蘭海岸線長期變遷之研究，第 34 屆海洋工程研討會論文集 國立成功大學 2012 年 11 月

六、以 GENESIS 模擬長期海岸線變遷之應用，國立中山大學海洋環境及工程學系碩士班碩士論文

七、後勁溪河口結構物興建前後海岸線變遷之研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文

八、嘉義海岸線變遷與預測探討，國立嘉義大學理工學院土木與水資源工程學系碩士論文