中華民國第 54 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　地球科學科

080512

Hold 住啊，不要崩潰！

學校名稱：新竹市東區關東國民小學

作者：	指導老師：
小六 蔡奇佑	傅秀蘭
小六 王冠中	林國賢
小六 莫尚融	
小六 郭宇傑	

關鍵詞：防砂壩整治工程、河床地形、
水流侵蝕模擬實驗

Hold 住啊，不要崩潰！

摘要

本研究是為了要探討：造成頭前溪防砂壩只有中間部分被颱風暴雨所沖走的原因。

經過現場探查和模擬實驗，觀察水流變化後，發現主要是因為地形走向將大量的水流導向防砂壩的中間，使得中間的防砂壩因承受不住強大的水流而被沖走。在模擬實驗中，我們也發現到：在水流穩定且平勻布滿模擬河道的情形下，水流速度和水位高度成反比的關係。故在本實驗中，利用測量水位的高低變化，來推測水流速度的變化。

最後，我們提出一個避免防砂壩被沖走的施工方法，並經模擬實驗證明，可以有效防制地形對水流的導向集中作用。

壹、 研究動機

在 102 年 7 月 13 日，強烈颱風蘇力登陸台灣經過新竹時，把附近頭前溪河床上防砂壩的長方體水泥塊沖走，而且只有中間部分被沖斷，巨大的水泥塊被沖到下游好遠的地方。看到這種情形，讓我們感到非常驚訝，為什麼水的搬運力量會這麼大？為什麼只有中間被沖毀？正好我們五年級下學期自然與生活科技的第四單元，有模擬過水流的侵蝕、搬運和堆積的作用，以及認識不同的岩石種類。所以，我們就想進行模擬實驗，來研究這個問題。

貳、 研究目的

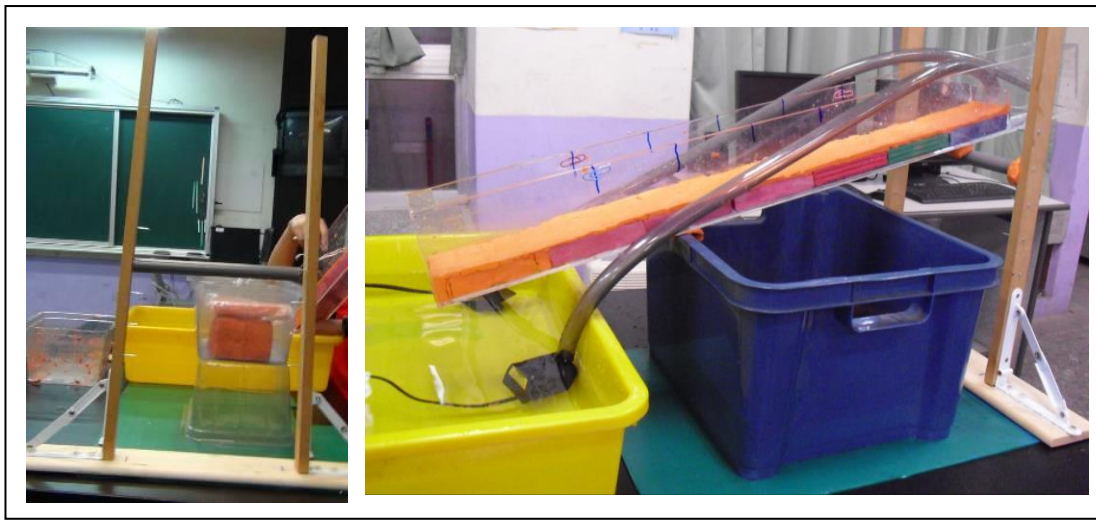
一、瞭解頭前溪防砂壩被沖毀處的河床地層特性。
二、瞭解水流通過防砂壩前後的差異性。
三、瞭解河床地形對頭前溪水流的影響。
四、瞭解設置防砂壩的功能。
五、找出保護頭前溪防砂壩不被沖毀的可行作法。

參、 研究器材與設備

一、模擬河道的用具：保麗龍長方塊、塑膠瓦楞板、熱熔膠、油性黏土、酒精燈、鐵尺、透明壓克力水道模型、吹風機、量角器。

圖一：模擬河道的用具

二、抬升河道的用具：木板、L 型固定架、塑膠水管、塑膠瓦楞板、透明塑膠盆、方形塑膠置物箱、油性黏土。



圖二：抬升河道的用具和裝置

三、模擬水流的用具：抽水馬達、塑膠軟管、方形塑膠盆。
四、模擬防砂壩的用具：油性黏土、微量電子秤、細鐵絲。

圖三：製作模擬防砂壩方形鼎塊的用具

圖四：測量與記錄實驗過程的用具結果

五、測量水流力量的用具：自製水車、棉線、迴紋針、鐵尺。
六、觀察與記錄的用具：攝影機、腳架、照像機、碼錶、指北針、5m 捲尺、壓克力夾板、記錄紙筆。
七、分析與整理資料工具：攝影機、電腦、紙筆、計算機。

肆、 研究過程與結果

一、現場觀察防砂壩實際沖毀狀況，發現可以研究的問題

102 年 7 月 23 日蘇力颱風過後，家人帶我去柯子湖溪附近的頭前溪，看颱風的威力有多強大。

那時頭前溪的水流還是很湍急，颱風時大水漫到河邊，把腳踏車步道的柏油路整片沖走。河中央巨大的防砂壩，被沖走一大段，散落在下游很遠的地方，可見溪水的力量有多大。但是只有河中央一小段防砂壩被沖走而已。甚至在竹中有一座搭在頭前溪上的橋，還被沖垮了。

我很好奇：為什麼這裡要建一座防砂壩？為什麼連岸邊的路都會被沖走，可是頭前溪的防砂壩卻只有中間一段被沖走？正好我們自然課才剛學過認識地層和岩石，所以我就找幾個對這個問題也有興趣的同學來一起研究。

圖五：勘查地點的 Google 衛星地圖(高鐵尚未建好時)

被蘇力颱風沖走的道路

防砂壩被沖毀的上游岩層走向正對防砂壩

河中間一段防砂壩被大水沖走

防砂壩石塊被沖到下游很遠的地方

圖六：防砂壩被沖毀處附近的景象

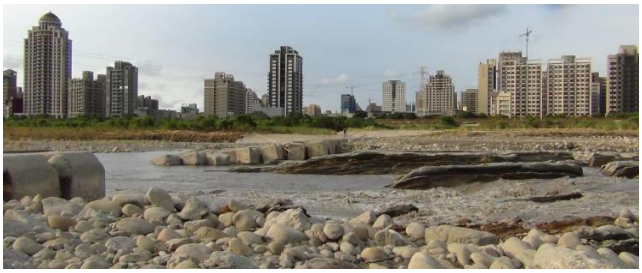
圖七：在竹中被蘇力颱風摧毀的橋梁

二、和同學一起勘察現場，瞭解研究問題和當地的地質、地形特性

102 年 7 月 25 日，老師帶我們一起去勘查現場。那時河水更為消退，可以看到河床的地形，有不同的岩層走向，也有硬度不大相同的岩石。

可以明顯的看出有兩個不同的岩層走向

靠上游的岩層斜斜的延伸到對岸較上游方向



靠近防砂壩的地層走向正對防砂壩中央

被沖毀處的地層陡立起來形成幾條凹溝

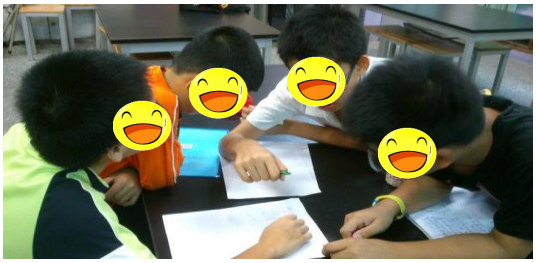
岸邊的石頭軟硬不同

有些岩石很容易就裂成碎片剝落下來

圖八：颱風後河水消退時觀察到的現象

三、討論觀察結果，擬定研究問題與實驗設計

我們回到學校整理觀察發現，討論可能會影響到防砂壩被沖毀的因素。覺得除了水流速度之外，地形和地質也可能是主要影響因素。所以想要再進一步瞭解那裡的地形和地質特性，以便製作模擬河床實驗時，能將地形因素模擬進去。



圖九：討論研究問題和實驗設計

四、再次勘查現場，確認研究方向與研究實驗設計要考慮的因素

102 年 10 月 1 日放學後，我們又去了一趟頭前溪，觀察地層和岩石特性，以及防砂壩的構造。

(一)觀察防砂壩被沖毀處的地層特性和防砂壩構造

這時的水位更為消退，可以更清楚的看見地形的岩層走向和組成。靠上游的地層主要是軟質的頁岩，地層像樓梯一樣一階一階慢慢下降，抬升情況較不明顯。

靠近防砂壩的岩層很明顯的斜斜抬升起來，一層一層的層次很清楚；有的岩層突出水面很多，組成主要是較硬的砂岩（顏色偏紅），有的岩層則是被河水切割很深，是較軟的頁岩（顏色偏灰）。不管是砂岩或頁岩層的岩石，丟到水裡會冒氣泡，可見岩石裡面有空隙。越靠近下游，突出的地形變得幾乎平行溪流流向、正對著防砂壩中間。

右邊靠近上游，地層抬升不明顯

靠下游的岩層有明顯傾斜抬高起來

岩層突出不明顯的地方是灰軟岩層

開始抬升的地層分界處露出細質頁岩層

頁岩層的岩石輕輕一敲就會碎裂開來

防砂壩前的突出岩層是堅硬的礫岩層

有些地方的岩層被湍急的水流侵蝕

水流被抬升的岩層阻擋而轉向順著岩層往下流

圖十：防砂壩上游地形和地質的觀察

防砂壩前的地層抬升最明顯侵蝕也最嚴重

地層正對的方形鼎塊狀防砂壩全部被沖走

每一個方形鼎塊在朝上游處被侵蝕而凹陷

連接方形鼎塊的粗鋼索很多都生鏽斷掉

圖十一：方形鼎塊狀防砂壩的觀察

(二)觀察位上游不遠處高鐵橋下的取水堰構造

在我們所觀察被沖毀防砂壩的上游不遠處，有另一座跨越河道的隆恩圳取水堰正好位於高鐵橋下。因為它並沒有被蘇力颱風所沖毀，所以我們順便去觀察它的構造。發現它整座取水堰都是厚厚的水泥臺階，從河岸這一頭一直連接到對岸。靠下游方向表面雖然也是排列得像方方正正的豆腐塊，不過底下卻是鋪滿河床的一整片水泥地。靠近河岸的地方，有設置了讓魚可以洄游的魚梯。

圖十二：高鐵橋下的取水堰構造

統整我們觀察河岸地形與消波塊的現場觀察結果，覺得和研究問題有關的地方有：

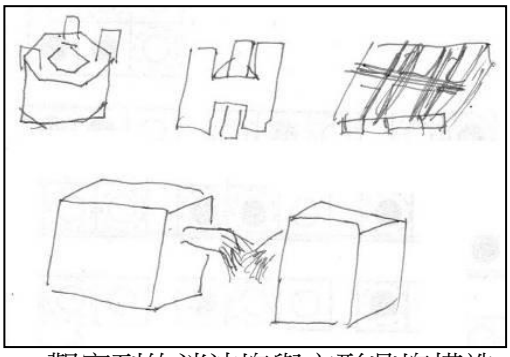
1.河岸大多是泥土、石塊夾雜細沙的組成。

2.防砂壩被沖毀處，地層有向上斜斜抬升起來，而且地層走向會將水流導向防砂壩中央。

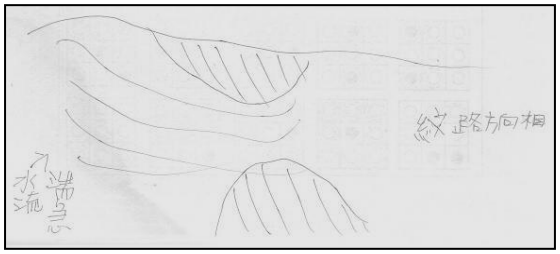
3.抬升的地層主要為頁岩層，岩塊丟到水裡會冒泡、散掉，表示岩塊組成鬆散有空隙、岩層容易碎裂，易被水流侵蝕。

4.河水的侵蝕除了造成高低落差明顯的地形走向紋路，從湍急河水兩岸岩層走向相同的現象，也顯示出河道原本應該是和兩岸相連的岩層，被河水侵蝕而從中間切開形成河道。

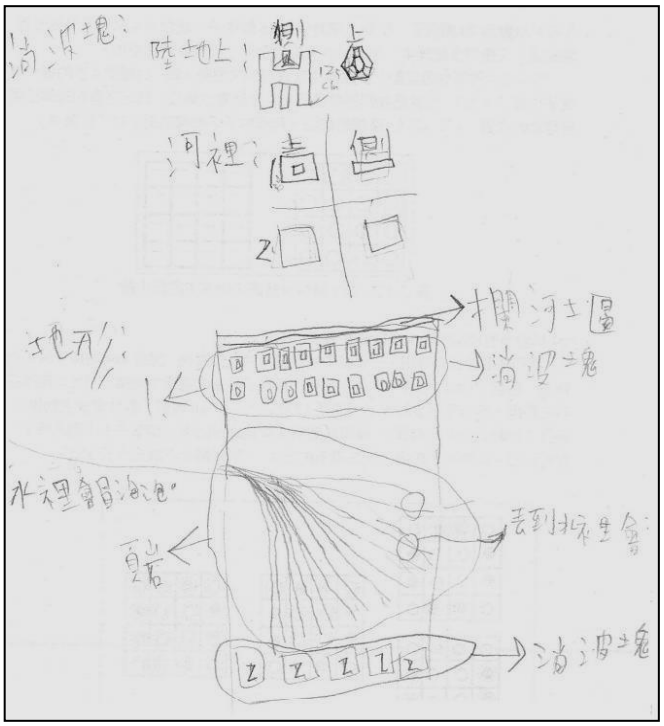
5.被沖毀處的是一個個獨立分開的方形鼎塊，彼此間靠鋼索相連。河水的侵蝕作用，讓防砂壩的方形鼎塊朝上游處中間凹陷，也讓連接方形鼎塊的鋼索被侵蝕而斷掉。



觀察到的消波塊與方形鼎塊構造



岩層被湍急水流切割分開



觀察區域的防砂壩構造與地形分布相對位置

圖十三：統整河岸地形和消波塊防砂壩的觀察結果記錄

五、搜集相關文獻，瞭解研究相關的資料

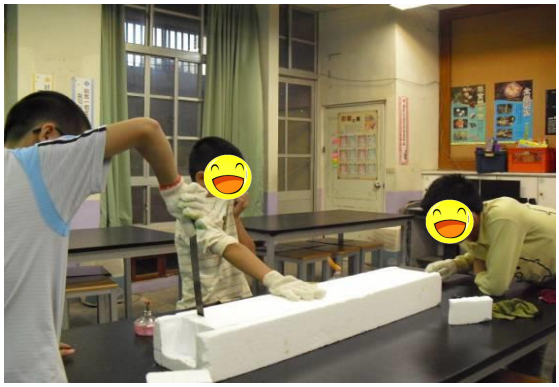
我們搜尋國立臺北科學教育館的歷屆科展作品，發現近幾年來只有第 49 屆科展「龍溪河岸及地層踏查」，有比較岩石硬度、觀察水流快慢與攻擊坡、比較岩層分布，發現消波塊放置位置和水流有關。另外第 43 屆有國中研究海岸的消波塊，他們有製作模型水道，也利用連接馬達讓起波板旋轉，做出海浪。

所以我們決定製作模型來模擬河岸，利用馬達來製造水流，觀察地形、水流和防砂壩構造的交互作用。

六、製作實驗設備

(一)製作水道模型

1.將一塊長 20 ㎝、寬 12 ㎝、高 100 ㎝的保麗龍塊，用酒精燈加熱過的 30 ㎝尺切割成離底邊和側邊各 3 ㎝的模擬河道。



用酒精燈加熱鐵尺來切割保麗龍塊

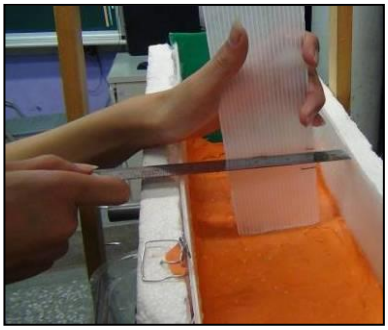
到走廊上通風處切割保麗龍

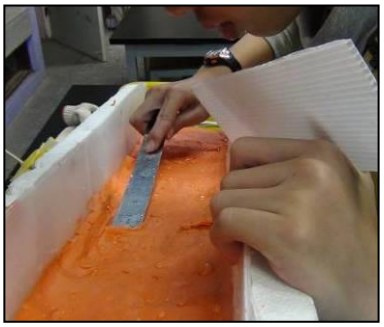
圖十四：切割保麗龍塊製作水道的過程

2.在河道的前頭用塑膠瓦楞板作出一個蓄水池，以確保水量不會忽多忽少，並讓水流量可以保持固定且均勻的分布河道上。接著在河道上鋪上塑膠瓦楞板，並在接縫處用熱熔膠黏合，以防止漏水。再把油性黏土（後面簡稱油土）鋪在塑膠瓦楞板當河床。

為了確認油土鋪的河床高度一樣平整，用塑膠瓦楞板和鐵尺來比對、修正河床高度。

將油土用熱水泡軟來製作河床



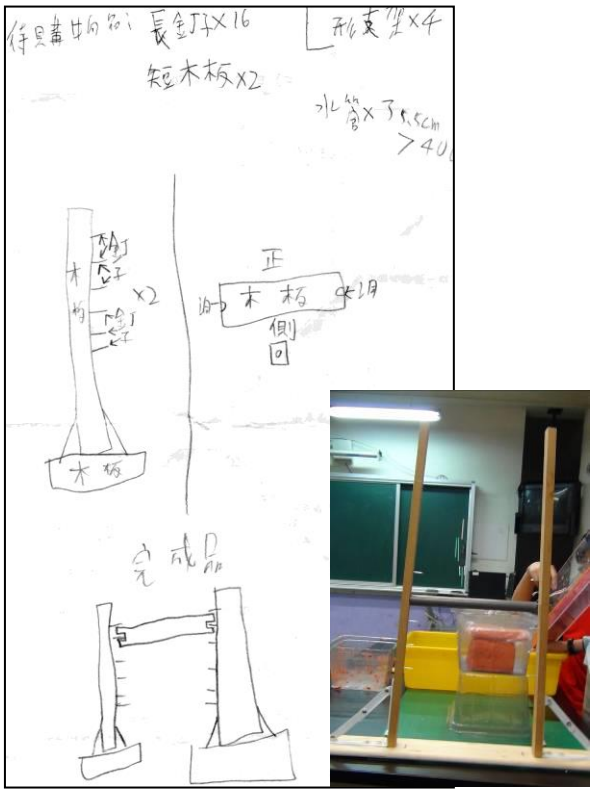


將塑膠瓦楞板抵到河床用鐵尺比對調整河床高度

圖十五：製作河床的過程

(二) 製作抬升模擬河床的支架

將一塊長 61 cm、寬 8.5 cm、高 1.5 cm的木板，在距離兩端間隔 15 cm的地方用 L 型鐵架與螺絲釘，固定兩根長 3 cm、寬 2 cm、高 67 cm的木板。並將直立木板 22 cm處釘一個釘子，往上每隔 5 cm釘一個釘子，以便可以調整河床抬升高度（雖然後來我們只採用 32 cm處的那一個釘子）。在這兩個支架的釘子之間，架上一根長 25 cm的塑膠水管，就可以把模擬水道架在上面。這樣就完成支撐河道且可以調整抬升斜度的實驗裝置。

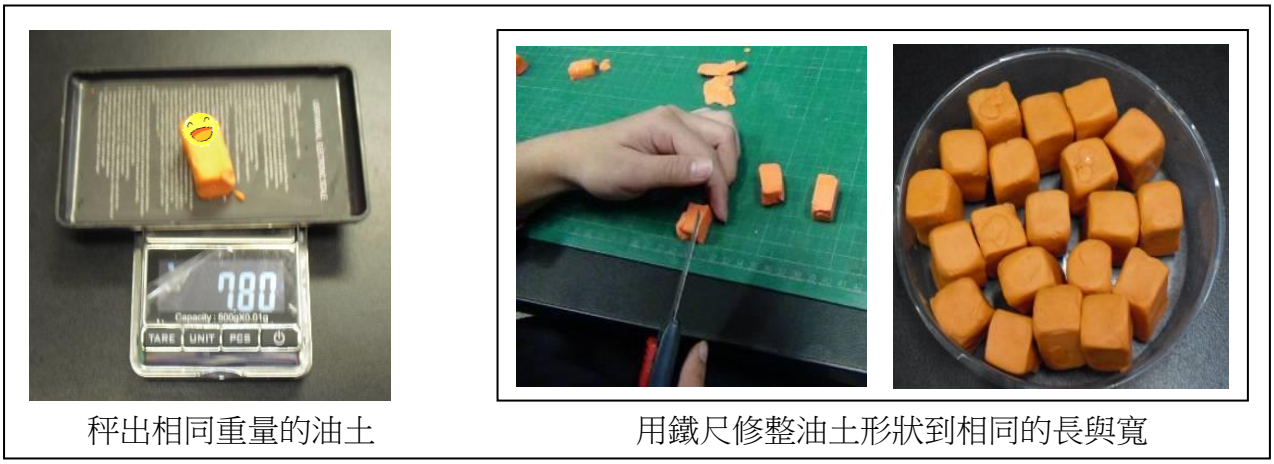


圖十六：支架設計圖（右下角是完成照片）

圖十七：製作支架的過程

(三)製作方形鼎塊模型

我們用黏土塊來製作方形鼎塊。先將油土捏成一樣重的重量，我們的油土重量是 7.8g，製成長 1cm、寬 1cm、高 2cm 的長方體。



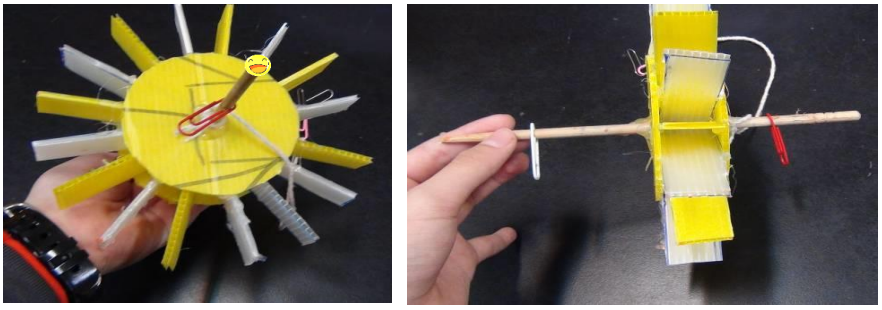
秤出相同重量的油土　　用鐵尺修整油土形狀到相同的長與寬

圖十八：製作長方體方形鼎塊的過程

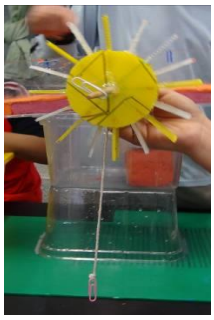
(四)製作測量水流沖力的水車裝置

將塑膠瓦楞板裁切並用熱熔膠黏合成有 16 片扇葉的水車模型。在水車的軸心綁一條細棉繩，用熱融膠固定好，棉繩的另一端綁上一個迴紋針。

要測量水流速度時，將水車架在河道上，讓棉線自然放下。只要從水車開始運轉，測量到繞完棉線、迴紋針碰到水車軸心的時間，就可以比較水流速度的快慢。



水車裝置的正面和側面



軸心綁著一條棉線

圖十九：測量水流速度的水車裝置

七、完成實驗的控制條件

(一)架設水道並控制水道的坡度

我們把模擬水道架在支架固定高度的釘子，在水道外面對準支架的地方做個記號，以便每次放置在相同位置。在支架下面鋪一片塑膠瓦楞板，在板子上畫記號線，將支架和支撐河床中間的透明塑膠盆擺放在固定的刻度線上，讓河床維持一個比較適合的斜度，就完成架設水道並控制斜度的實驗裝置了。

圖十九：實驗的時候要控制水道斜度和穩定水流

(二)製造穩定且循環再利用的控制水流

放一個大盆子擺在河道末端的下方，可蓄水並接住流下來的水。盆子裡放置接有長軟管的抽水馬達，將水抽到河道上方的蓄水槽中，讓水流可以一直循環。實驗的時候，要有一個同學專門抓住軟管，讓水都流到蓄水槽裡、讓水均勻分布且不會亂噴。

(三)測試並調整測量水流力量的方法

1.找出能讓水車運轉的抽水馬達數

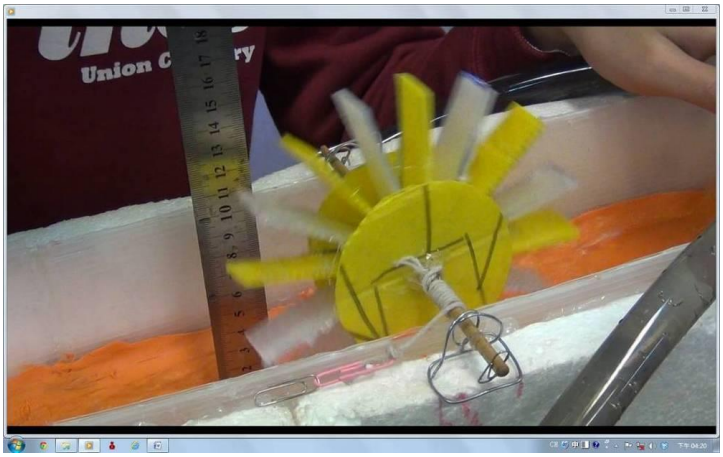
使用一個抽水馬達來製造水流時，水流量太少，水位太低，無法轉動水車。同時使用 2 個抽水馬達，才能製造出讓水車可以轉動的水流。

圖二十：鋪設河床的同時也測試使用一個抽水馬達的水流狀況

2.確認水車轉速的實驗裝置與測量方法

(1)水車裝置的測量位置

在上游（距離出水處 20cm）和下游（離水道末端 20cm）各取一個要測量水流力量的定位點。用鐵絲折兩個可以固定水車、並讓水車可以自由轉動的支架，讓水車裝置可任意移動插到要測量的地方，並固定在保麗龍水道的岸上。插入底座的水車軸心，兩端各卡住一根迴紋針，以避免水車轉動時滑出底座。



圖二十二：水車固定在上游位置測量使用 2 個馬達的水流速度與水位

(2)讀取轉速測量結果的方法

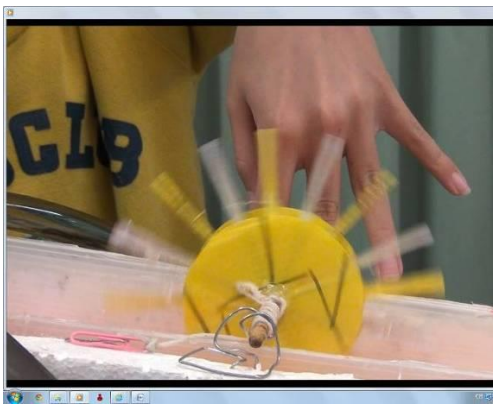
架設好實驗裝置後，用腳架架設攝影機拍攝錄下水車轉動情形，並在水車一開始轉動時觀察讀出水位的高度，以便將實驗結果用錄影方式重複播放出來，可以重複播放並和同學一起觀測水車轉動時間和水位高度，也可以看到水車轉動過程是否順暢、有沒有需要修正的地方。再將水車運轉所需時間記錄下來。

(3)水流速度觀測結果

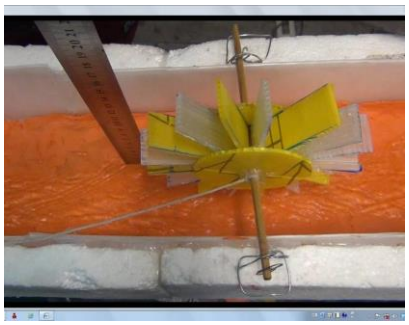
我們在上游位置共測量 3 次，測量水流速度的計時結果如表一，可以看到：三次的實驗結果都可以得到相近的測量值。表示水車裝置測量水流速度，是可行的方法。

但是下游的水位高度只有 0.3cm~0.6cm，無法讓水車穩定轉動而測不到平穩收線的時間，而且水流無法平均分布到整個河床上。所以需要改進實驗裝置，以提升下游的水流高度。

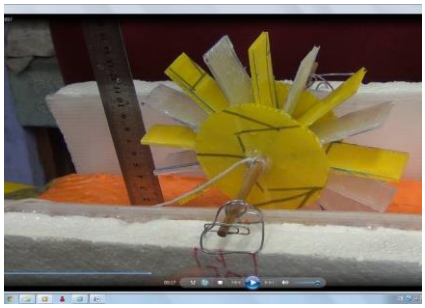
圖二十三：架設攝影機錄下水車運轉結果

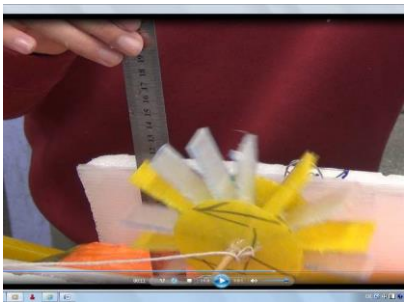


圖二十四：從轉動時開始計時到線全被收完



圖二十五：讀取水位高度





圖二十六：下游位置的水流測量裝置與運轉畫面

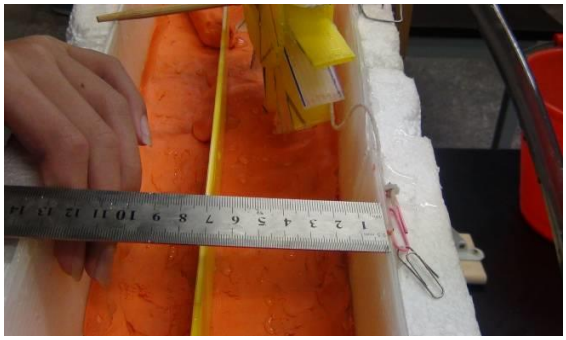
表一：保麗龍平整河床水流觀測結果 (位置：上游)

拉線時間(秒)	水車收線所需時間	水位高度
第一次	10：14	0.8cm
第二次	10：52	1cm
第三次	10：46	0.8cm
平均	10：37	0.93cm

備註：下游水位太低，水車無法穩定轉動而不易測量。

(4)縮減水道寬度

為了要提高水位高度，我們在保麗龍水道中間用油土黏貼一條塑膠瓦楞板，來將整條水道縮減成只有 7cm 寬。靠近出水口處用油土做一道高起來的導水牆，將水流導向縮減的水道裡。再用鐵尺比對上下游的寬度，保持水道寬度一樣。檢查是否有漏水的地方，將漏水處修補好。



用鐵尺比對保持水道寬度一致

用油土修補漏水處

圖二十七：縮減河道寬度的過程

(5)測量上游和下游的水流速度與水位

縮減水道寬度後，再測量上游和下游的水流速度，測量結果如表二所示。雖然下游位置的水位仍然較低而不易測量，不過唯一一次測得完整且平穩的連續收線所需時間，有比上游的速度快一些。

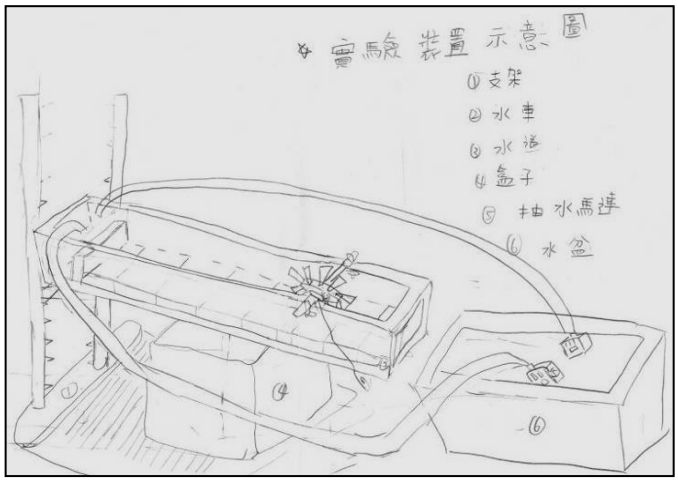
表二：保麗龍製窄水道水車運轉收線所需時間(單位：秒)

測量位置＼實驗次數	1	2	3	平均
上游	6：53	6：44	6：00	6：32
下游	6：13			6：13

(6)訂製透明壓克力水道

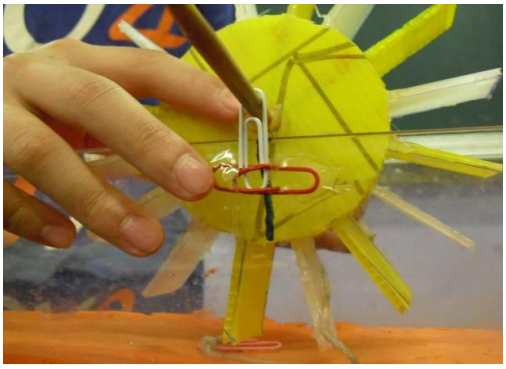
因為我們自己製作的保麗龍水道，一直會有漏水的問題，加上實驗結果發現水道太寬、水位太淺而不宜用水車測量流速。所以我們在進行完寬水道實驗後，便依照保麗龍水道的樣式，訂作一個水道寬度 8cm 的透明壓克力水道模型。這樣除了可以解決漏水問題，也可以容易觀察水位高度和水流狀況。

我們訂作的壓克力水道規格是長 100cm、寬 9cm(內部 8cm)、高 11cm。上游 15cm 處設置一個較矮的壓克力板，形成一個蓄水槽，讓水可以均勻穩定的流下來。將河床上鋪滿了高 3cm 的油土塊。在離蓄水槽隔板 25cm 處，黏貼用迴紋針製做的固定水車位置的插座，這是上游的測量位置。從這裡往下游每隔 10cm 作一記號，在離蓄水槽隔板 65cm 處，黏貼用迴紋針設製水車下游測量位置的插座。抬升水道的方法是，將水道蓄水槽上游放在支架上，下游則放置堅固的不透明塑膠製物籃。並將支架和塑膠盆擺在塑膠瓦楞板底板的固定刻度上。



壓克力水道實驗裝置示意圖

擺設壓克力水道的實驗裝置

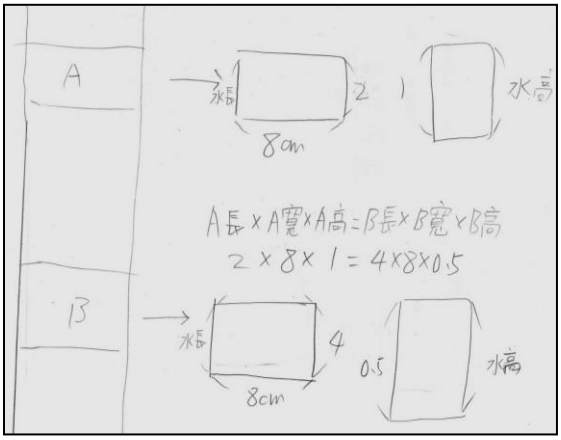


固定水車裝置的迴紋針插座

圖二十八：壓克力水道的實驗裝置

訂作的水道寬度 8cm，水位高度還是不易讓水車可以穩定的轉動。我們便測量比較上游和下游的水位，看看是否也會有下游水位較淺的現象。

推測因為用抽水馬達可控制單位時間內的出水量維持固定，水道的上游流速較慢，可以想成在同一時間內水會流過的距離較短、停留在原地累積的水位較高。而下游的水流，在平直的模擬水道上，經過一段時間的重力加速度作用後，讓流速較快，可以想成同一時間內水要流過的距離加長、分布較廣，所以停留在原地的累積水位就會降低。所以若水流寬度一樣、出水量一樣、且水流均勻分布時，那麼水流速度較快，水位應該會降低（見圖二十九示意圖）。若能確定這個關係，我們便可以用測量水位高度，來取代測量水車轉動速度，來達到測量水流速度的目的。



圖二十九：水流速度與水位高度關係示意圖

為了避免水位的測量受到水流在水道上分布不均的影響，加上透明壓克力板容易從外面直接測量水位高度的關係，所以我們有兩位同學同時一起測量讀出在離上游相同距離的兩側水位。

圖三十：兩位同學同時測量水道同一位置兩側的水位高度

測量結果如表三。整體而言，下游水位比上游水位有略微降低，但是差別不太明顯，很可能是上游水位本來就不是很高的關係。所以我們決定，還是要再縮減水道，提升水位的高度，才可能會有明顯的差異。

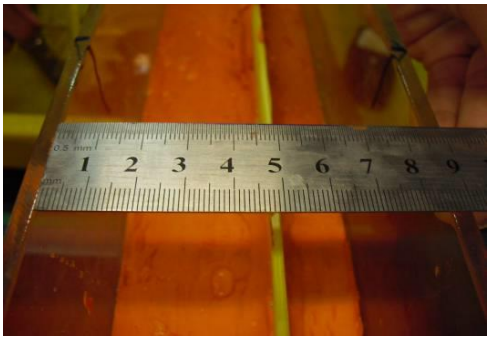
表三：寬 8cm 壓克力水道不同位置的水位高度（單位：cm）

位置(離出水處)	左側	右側	平均
25cm(上游處)	0.3	1	0.65
35cm	0.4	0.5	0.45
45cm	0.5	0.3	0.4
55cm	0.4	0.6	0.5
65cm(下游處)	0.5	0.4	0.45

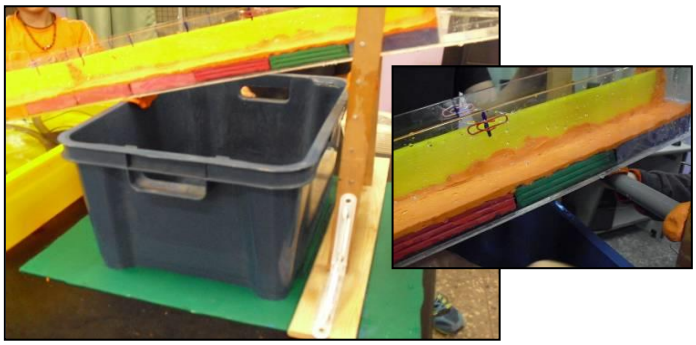
(7)縮減壓克力水道進行實驗

我們仿照將保麗龍水道縮減的方法，將整條水道的寬度，縮減成 4.8cm 寬。

為了讓水流速度變化的差異更容易觀察出來，所以放置水道時增加水道的斜度，把支架的邊緣對齊底下塑膠瓦楞板 0cm 處開始，全部往內移到刻度裡面。因為斜度增加，為了避免水道下滑，所以在支架的塑膠水管，以及籃子和水道接觸的地方，都放置油土來增加摩擦力。



將壓克力水道縮減到 4.8cm 寬



固定水道斜度並避免會滑動

圖三十一：縮減壓克力水道的實驗裝置

我們先使用一個馬達來做實驗，看看效果如何。實驗測量結果如表四。結果顯示，可以看出上游和下流的水位高度，上游比下游水位略高一些，但不明顯。而且裝置水車來測轉速的時候，水位還是不夠高，水車無法轉動。所以我們就再用雙馬達來進行實驗，實驗測量結果如表五、表六。

表四：寬 4.8cm 壓克力水道單馬達的水位高度（單位：cm）

測量同學代號 位置	A	B	平均
上游處(25cm 記號處)	0.8	0.6	0.7
下游處(65cm 記號處)	0.5	0.4	0.45

測量水位高度

用水車裝置測量水流速度

圖三十二：窄水道雙馬達的水流實驗測量方法

表五：寬 4.8cm 壓克力窄水道雙馬達的水位高度（單位：cm）

測量同學代號 位置	A	B	平均
上游處(25cm 記號處)	1.2	1.3	1.25
下游處(65cm 記號處)	0.5	0.6	0.5

表六：4.8cm 寬壓克力水道雙馬達水車運轉收線所需時間(單位：秒)

測量次數 位置	第一次	第二次	平均
上游處(25cm 記號處)	5	5	5
下游處(65cm 記號處)	2.2	2.7	2.45

結果不只發現到上游水位明顯比下游水位高出許多，而且水車收線的時間幾乎是下游的兩倍，可見下游流速也顯著的比上游快許多。所以我們對水位高度會和水流速度成反比關係的推測，是正確的。

因此，我們後面的水流速度觀察比較的實驗，可以只測量水位高度就好，這樣也比較容易測量。但是這樣的關係，必須是在水流穩定且均勻分布整個河道的前提下，才能成立。

八、現場勘查地形走向與修復工程

為了要能夠模擬真實的地形和環境，所以我們 103 年 4 月 12 日又再去現場做仔細的觀察和測量。包括：地形的走向、防砂壩的修復狀況、防砂壩設置的方法，以及水流的狀況，以便搜集模擬實驗設計所需要考慮的因素。

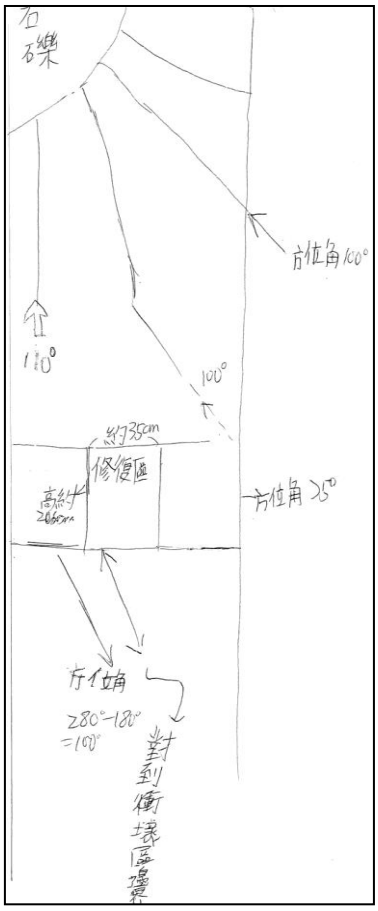
指北針拿在手心調整方位

指出上游的地層走向

指出防砂壩的走向

下游的地層走向

指出防砂壩被沖毀區邊緣的方位



圖三十三：地層走向的觀察與記錄

(一)測量地層走向

我們測量地層走向的方法是，找到可以正對地層或防砂壩走向的地點後，將指北針拿在手心，對好北方，指出要測量的方位之後，再比對指北針上是對到哪一個方位角的度數，就畫圖記錄下來(見圖三十三)。我們用這個方法，測量到防砂壩前上游方向的兩條突出的地層，都是 100°的方位角，防砂壩是 25°的方位角，防砂壩下游方向也有兩條突出的地層，走向也都是 100°的方位角。所以防砂壩前後的地層，都是平行的走向。而地層和防砂壩間有 75°的方位角。

(二)勘查修復情形與防砂壩構造

施工修復區新裝設的方形鼎塊，每塊大約長 180cm，寬 190cm，高 200cm～120cm。底部有水泥將新設的方形鼎塊防砂壩互相連成在一起。除了靠近右側（從下游往上看）的河岸處，是一大片的水泥塊之外，其它的方形鼎塊在上方都是以差不多相同的距離，一個一個獨立分開。

防砂壩中央的方形鼎塊重新修復

方形鼎塊底下有水泥相連接

方形鼎塊間的距離都差不多

用捲尺量方形鼎塊大小　　水流湍急不易丈量高度

圖三十四：觀察防砂壩新修復的方形鼎塊

(三)觀察水流侵蝕狀況與防砂壩潛在問題

除了瞭解新修復的方形鼎塊，我們也觀察保留下來的舊方形鼎塊，發現它們在角落和上方被侵蝕得很嚴重。靠近左岸的方形鼎塊，上方被侵蝕的情形，更是非常明顯的偏向從上游往下游看的左側。每一塊方形鼎塊的下方，除了看起來是一個一個獨立分開的狀態，沒有相連的水泥基座，有些底下的岩層還被侵蝕到有空洞產生。在防砂壩下游附近，有突出的地層，是一層一層夾雜碎石頭的堅硬岩層。

防砂壩下游岩層突出部分夾雜一層層的石礫

靠左岸的方形鼎塊從上游往下游看左側侵蝕嚴重

新設的方形鼎塊間正對下一塊處水流特別湍急

舊的方形鼎塊基部轉角處被侵蝕而凹入

觀察舊的方形鼎塊下方侵蝕狀況

圖三十五：觀察地層與防砂壩方形鼎塊受水流侵蝕狀況

(四)研擬模擬實驗方向

經過這次現場的調查後，我們終於確定要進行模擬實驗與觀察研究的內容，有：

1.地形的走向對水流會有什麼影響？

2.設置方形鼎塊狀的防砂壩，對水流會有什麼影響？

3.如何防止防砂壩被沖毀？

九、進行模擬地形效應實驗

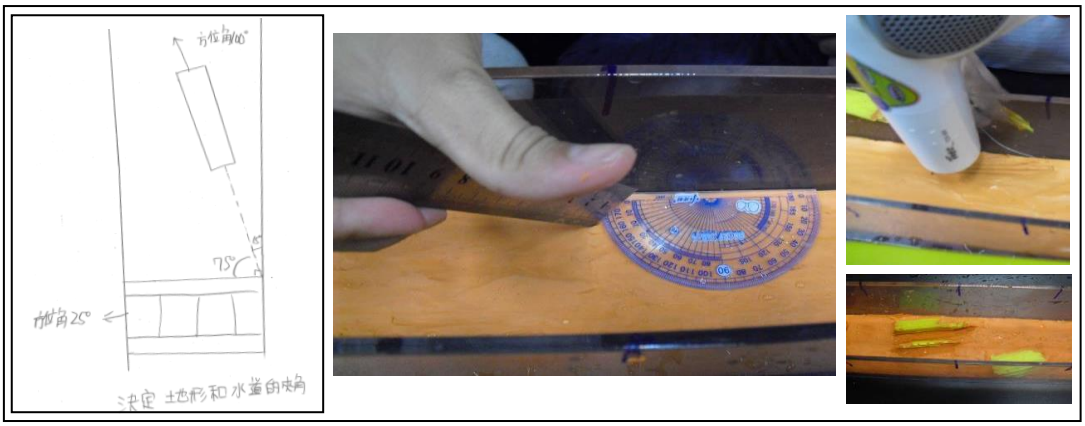
(一) 製作地形的方法

模擬地形的製作方法，是先準備一塊塑膠瓦楞板，一小片、一小片疊好，排出與現場勘查照片記錄所相似的地層斜度後，切割地形岩層樣子，再用熱融膠一層一層黏貼好整片地層。

因為經過我們用指北針進行現場勘查的結果，發現防砂壩的方位角是 25˚角，地層的方位

角都是 100°角。所以地層和防砂壩的夾角是 75°角。因為我們模擬的防砂壩和河岸是垂直的，所以我們製做的模擬地形，要和河岸成 15°的夾角來擺設。

將地層黏貼成和河岸成 15°夾角的方法如下：拿量角器測量並作記號，扣除量角器邊緣的空白處，再做一個記號，取第二個記號作為標準。然後，將模擬的地層擺好位置之後，再用鐵絲把邊框描出來，再用吹風機將油土吹熱、把河床軟化後，最後將地層插上去，用油土再作細部修整就完成了。



圖三十六：製作模擬地形的方法

(二)進行模擬河床地形效應的實驗方法與結果

為了要更容易看出地形對水流有什麼影響，我們使用雙馬達來製造平均分布河道的水流。觀察方法是，用攝影機將水流狀況從上游到下游都拍攝記錄下來，以便重複播放仔細觀看分析。再由兩位同學一起測量水道兩側上游(25cm 處)和下游(75cm 處)的水位高度。下游會改成 75cm 處測量的原因，是因為水流到這裡才又平均分布到整個河道。

圖三十七：模擬河床地形對水流的影響實驗與結果

表七：模擬地形對水流影響實驗雙馬達的水位高度（單位：cm）

河道兩側 位置	左側	右側	平均
上游處(25cm 記號處)	0.7	0.6	0.65
下游處(75cm 記號處)	0	1	0.5（很不平均）

根據實驗與觀察，地形確實會把水流導向河道中央和偏向防砂壩從上游往下游看的左側。所以地形走向會讓水流分布不均，集中向河道左側，使得河岸左側受到較多水流的衝力侵蝕。

九、進行模擬方形鼎塊狀防砂壩效應實驗

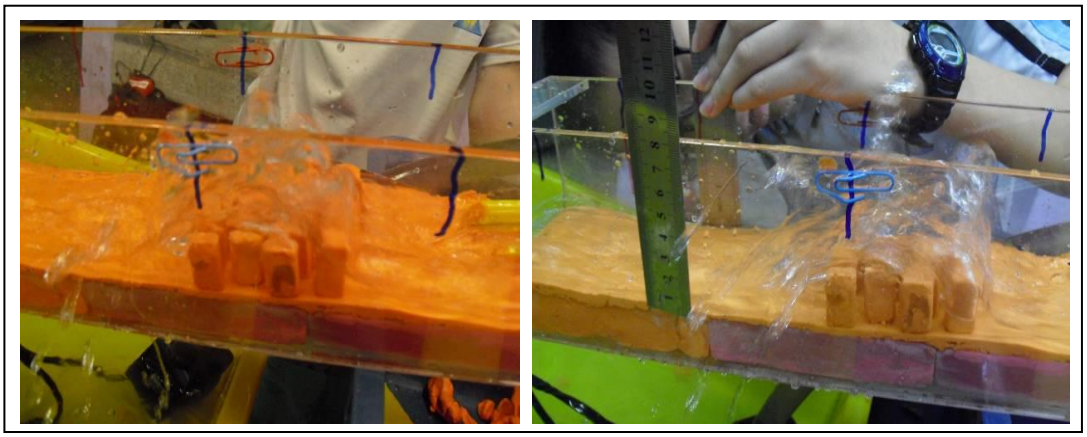
(一) 製作模擬方形鼎塊防砂壩的方法

把鐵絲剪成 2cm 長，在方形鼎塊塊上插入 2 條 2cm 長的鐵絲。再用吹風機把 65cm 處向上游方向把河床吹熱軟化後，將方形鼎塊插到河床的油土上壓緊，仿照現場觀察的方式，將每一層岩塊交錯放置，總共鋪設 4 層，就完成了模擬的防砂壩。

圖三十八：在河道上裝設模擬防砂壩的方形鼎塊

(二) 進行模擬防砂壩效應的實驗方法與結果

水流經模擬地形而被導向左岸後，碰到防砂壩時，水流噴濺出左側的模擬水道，可見水流衝擊力量很大。由此可以證明水道左側的防砂壩受力很大，故容易被沖毀。另外，經過防砂壩後的水流，在水道上呈現平均分布的現象，故防砂壩具有把水流調整回平均分布狀態的作用。



圖三十九：水流經過防砂壩的作用結果

測量下游水位的變化（見表八），和原本平整河道水流結果（見表三）的結果相比較，藉由防砂壩的作用，讓水流被調整得幾乎和沒有地形效應的結果差不多。而且測量位置有更為下游一些，甚至還有一些水流被噴出去而減少了，但是平均高度還是一樣，可見水流速度應該有稍微減緩一些。

表八：模擬設置防砂壩對水流的影響實驗雙馬達的水位高度（單位：cm）

河道兩側 位置	左側	右側	平均
上游處(25cm 記號處)	0.5	0.7	0.6
下游處(75cm 記號處)	0.4	0.5	0.45

從這個模擬實驗的結果，能解釋為何頭前溪的防砂壩為何中間一段會被沖毀，並且破壞區的界線是和地層走向相同的方位角。

我們現場觀察時，也有發現到最靠左側的防砂壩方形鼎塊，靠上游的左側侵蝕比右側更嚴重的現象，應該就是因為受到這股湧過來的水流沖擊力，也就是地形對水流的影響的結果。

所以地形走向會對防砂壩至少有兩種傾蝕的破壞力：加強水流侵蝕衝擊力道，以及在防砂壩地基的地層較軟處會容易被侵蝕而掏空地基。而防砂壩則會將水流調回平均的狀態，以及將水流速度減緩，降低水流對下游的沖刷力。可避免下游地層被水流侵蝕，導致越切越深。

(三)提出河床施工改善建議的模擬實驗

既然地形會將水流集中偏向右側，而對防砂壩造成侵蝕與抬升的破壞力，我們該如何破解這股力量呢？我們認為：應該想辦法補平地層走向的導水作用，將突出的地層區補平起來。所以我們想到如果用大石頭來補的話，不僅可以修平地層、抵擋水的衝擊力，也可以有縫隙讓水通過。若用水泥整片填平，因為不透水，遇到大水時，說不定會像蘇力颱風過後岸邊被水整片沖走的柏油路一樣被整片沖走，或是像模擬水流遇到防砂壩時一樣，被水泥河岸阻擋而噴得更高、衝力更強。所以我們決定選擇模擬用圓形大石子來填平地形走向的方法來試試看，效果會如何。

填補的方法是：我們先將油土捏成模擬縮小版圓形大石子的圓球狀，並將它們放置在明顯抬升而形成凹溝的兩條地層之間和周圍，形成一片雖然比河床高，但是較為平整的河岸。放製每一顆小油土時，都稍微用力壓黏一下，以避免油土會被水流沖走。

圖四十：鋪設模擬小石子

鋪設好之後，再用雙馬達進行水流時驗。實驗結果發現，堆石子確實有減緩水流的效用，水流不僅平均分布而且平穩的經過堆放石子的模擬地形區，沒有出現被導向一邊的情形，而且經過防砂壩時也沒有噴濺的情形。在防砂壩下游測量水位，甚至出現比上游水位更高許多的結果（見表九）。

表九：使用雙馬達模擬修整地形對水流和防砂壩的影響實驗的水位高度（單位：cm）

河道兩側 位置	左側	右側	平均
上游處(25cm 記號處)	0.7	0.6	0.65
下游處(75cm 記號處)	1	1	1

圖四十一：修整地形的模擬實驗

仔細觀察防砂壩前的水流，可以發現到，水流在防砂壩前就已經分布均勻，而且水位明顯的高出許多，幾乎是跟防砂壩一樣高。可見利用石子區導正水流後，和防砂壩一起合作，大大的減緩了水流速度，不僅使下游水流侵蝕力較小，也讓防砂壩前的水流速度降低許多，有效避免防砂壩受到急流的侵蝕！YA！看到這個成功的結果，我們都好開心啊！

伍、 討論

一、用水位高度來推測水的流速的測量方法合理嗎？

因為我們的模擬水道是不吸水的壓克力水道和油土河床，從穩定水流的體積計算來看，在出水量穩定、水流寬度一樣、且平均分布河道的時候，水流高度和水的流速才會成反比。所以我們在測量水位時，都盡量要選擇水流能平均分布整個水道的地方，或是要從水道兩側同時測量來取平均高度，才能推測比較水流速度。

因為要讓測水流速的水車裝置轉動，有時不容易達到讓水車平穩轉動的水流或是高度。

在本研究的模擬實驗中，使用水位高度來推測的這個方法來測水的流速，會比用水車裝置更容易應用且容易測量。

二、從實驗結果，可以解釋為何頭前溪的防砂壩會被蘇力颱風所沖毀嗎？

因為颱風的關係，導致水流量增加、流速變快、侵蝕與搬運的力量變強，且加上地形引導水流方向，將大水集中到河道中間偏左側的因素，使的防砂壩中間一段受到較多的水流沖刷。因此地形正對的防砂壩中間一段方形鼎塊，才會承受不住水流的衝擊，被沖離原本的位置。

三、為何頭前溪高速鐵道下的防砂壩，為何沒有被蘇力颱風所沖毀？

根據我們的觀察，推測是因橋下的地形沒有那麼明顯，水流力道沒那麼強，所以橋下的防砂壩才沒有被沖毀。

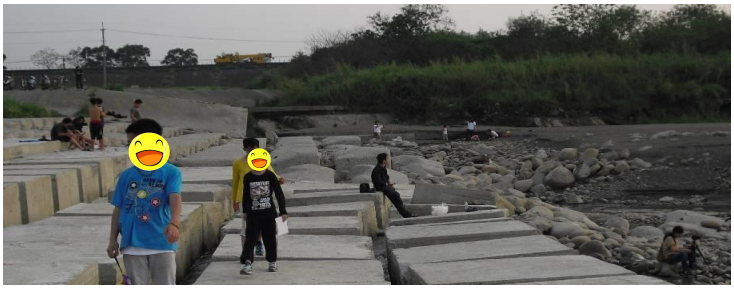
四、為什麼要在研究地點設置防砂壩？

因為在防砂壩下游的地形走向對準高壓電塔以及快速道路，甚至是更下游有高速公路，若讓地形一直將水流導過去，會沖壞高壓電塔以及這些重要的道路。

設置防砂壩後，會將水流調回平均的狀態，並將水流速度減緩，降低水流對下游的沖刷力，避免水流受地形作用而可能對高壓電塔以及重要道路的破壞。

防砂壩下游地形走向對正左岸的高壓電塔

下游不遠處是高速公路



沿著河左岸河堤有東西向快速道路，有很多人在這裡從事休閒活動

圖四十二：設置防砂壩地點周邊環境

不過因為設防砂壩會阻擋魚類洄游、破壞環境和生態，所以要盡量將傷害將到最低，可能這就是為什麼這裡的防砂壩會設計成一層一層像樓梯一樣，往下游方向慢慢降低高度的原因，而且每一個方形鼎塊都獨立分開，讓水流可以從中間穿流過去。這樣就不用設置專門讓魚洄游的魚梯了。

圖四十三：防砂壩的方形鼎塊一層層慢慢降低

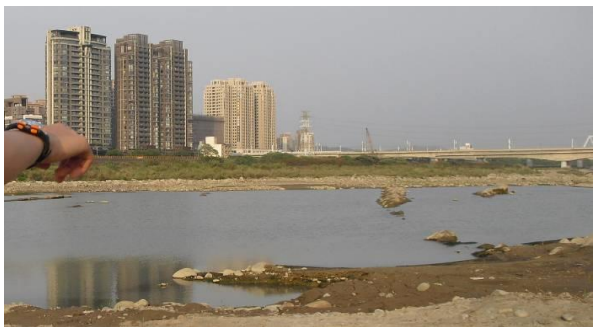
我們在網路上查詢相關資料（用「豆腐岩」查詢）時，發現到：原來這裡也是有名的攝影地點。我們去現場調查時，也可以看到許多人在這裡玩水、釣魚。所以如果能好好保護這座防砂壩，除了保護河岸和附近環境，也可以增加一個假日休閒的好去處。

五、避免防砂壩被沖毀的防治方法

從我們的防治方法模擬實驗結果，發現在上游地層明顯突出處，堆放圓形大石頭來補平地形，可以有效調整水流，平均分布河道，並減緩水流的速度，而達到避免防砂壩被沖毀的目的。

比較現場勘查修復工程的觀察，發現他們好像只有把突出的地層稍為削平，把防砂壩前被侵蝕的河床鋪滿碎石細砂。這樣大水一來，就可能把這些碎石細砂沖走，而還是會被地形影響水流，無法真正達成抵銷地形作用、將水流平均分布，甚至是減緩水流對防砂壩衝擊力的效果。

防砂壩會被沖毀，不只是因為颱風暴雨的關係，應該好好瞭解地形因素，對症下藥去調整地形對水流的作用，才能避免防砂壩再度被沖毀的可能！



防砂壩上游還可看到橫在河道中間突出的地形走向

防砂壩前的河床用碎石細砂填平

圖四十四：防砂壩修復後的河床

六、後續可以繼續研究探討的問題

從我們的研究結果，已經可以解決了我們想研究的問題。不過，還有一些可以繼續深入研究的地方，例如：

（一）關於水流速度和水位高度之間反比關係的進一步確認：可以嘗試改變水道坡度來

改變下游流速，觀測水位高度的變化。或是嘗試使用 3 個馬達來抽水，看能不能讓水車順利運轉，以便更加確認水車運轉速速和水位高度的關係。

（二）河川整治的施工方法：在模擬實驗中，使用不同形狀的人造物體或消波塊，作為防砂壩或修補地形的施工方式，看看對減緩水流速度或讓水流平均分布的作用，能否發揮更好的效果。

陸、 結論

一、本研究所獲得的結果與發現有：

（一）使用模擬河道進行研究，當水流量穩定、水流寬度一樣、且分布平均時，水流流速愈快，水位就會愈低。可以利用這個水位高度與水流速度的關係，觀測水位高度來瞭解水流速度的變化。

（二）地形會使水流導向中間、偏向從上游往下游看的河道左側方向。這可以解釋為何河道左側留存的方形鼎塊塊，會有左側侵蝕較為嚴重的現象。

（三）設置防砂壩可以將偏向左岸的水流導正回來，且減緩流速。

（四）因為地形會將水流導向防砂壩中間，使防砂壩中間與左側受到較大的水流衝擊力，所以才會只有中間一段會潰堤。

（五）將地形用圓形大石子鋪平，即可讓水流分布平均且有效減緩水流，降低水流衝擊力，可防止防砂壩潰堤。

二、提出要如何避免防砂壩被沖毀的建議：

防砂壩修復工程並沒有真正解決導致潰堤的地形因素，應該先把地形鋪平（例如用一些圓形大石頭），才能導正水流並減緩水流速度，達到保護河床和防砂壩的功能。

柒、 心得

在這一次的地球科學科科展中，我們學會操作一些平常不會用到的工具，也學習到一些因為參加科展才知道的知識，讓我們有機會能夠發揮自己的長才。透過團隊合作，一起不斷嘗試解決層出不窮的研究的問題，從中體會到了團體的合作與學習，以及做事情應該要有努力不懈的精神。因為只要努力解決問題，就一定會成功，最後成功時，得到很多的成就感，非常的開心。希望在將來還可以再參加科展！

捌、 參考文獻

1.第 49 屆科展國小組，地球科學科，080511 新港大橋至國道三號間後龍溪河岸及地層踏查。
2.第 52 屆科展國小組，地球科學科，080509 搶救「沙灘」大作戰~探討潛堤對海岸沙灘的影響。

【評語】080512

優點：

1. 研究主題能以自己生活環境做探索。

2. 能實地觀察可能的問題所在，並設計實驗進行探究，具科學精神。

建議：

1. 自製河道實驗，對於流速的控制可參考網路相關資料或前人作品。

2. 詳細說明實驗工具的製作及改良過程，但這些非研究主題的重點，宜適度整理並聚焦主要結果說明，避免流於實驗日誌形式陳述。