

屏東縣第 66 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學 科

組 別：國中 組

作品名稱：暗潮洶湧～攔沙壩水渦流之研究

關 鍵 詞：翻滾流、水渦流、攔沙壩

編號：B5009

目錄

摘要-----	p.2
壹、前言-----	p.2
貳、研究設備及器材-----	p.4
參、研究過程與方法-----	p.5
肆、研究結果-----	p.12
伍、討論-----	p.15
陸、結論-----	p.16
柒、參考資料和其他-----	p.17

摘要

在做攔沙壩的「翻滾流」實驗中，我們利用水力河道模型，模擬了攔沙壩前後的水流和水渦流對河底的沖刷情況，並對表面水流做相關研究。利用墨汁觀察水流，由水力河道模型實驗中發現以下現象：

- 一、阻攔片的高低所造成的水位差越大，水渦流越強。
- 二、物體一旦進入翻滾流中，除非外力作用。則極難脫離。
- 三、水渦流對河道的底部沖刷，是主要的侵蝕力。

壹、前言

一、研究動機：

一則新聞：新竹五峰雙龍瀑布昨（27）日發生一起溯溪意外，45 歲的莊姓教練疑似捲入湍急的翻滾流中，被拉上岸時已經沒有生命跡象。送醫後仍宣告不治，詳細原因仍待釐清。

關於翻滾流，通常在攔沙壩附近的水渦流。當水流經過攔沙壩等高低落差地形時，會因重力作用形成強大的下沖水流，可能導致水流在壩體下方產生連續翻滾的迴圈，人一旦被捲入就可能被吸附其中無法脫離。

這麼危險的水渦流，我們想透過水力模型來了解它的相關資訊，並透過此研究，更深入了解溪河暗藏的危險。

二、研究目的：

(一)、研究攔沙壩前後的水渦流現象。

- 1. 攔沙壩前的水流情況研究。
- 2. 攔沙壩後的水渦流對河床底部侵蝕狀況研究。

(二)、研究翻滾流在河流表面流動狀況。

- 1. 攔沙壩前表面水流的情況研究。
- 2. 攔沙壩高度差對翻滾流的情況研究。

三、文獻回顧：

(一)、**攔沙壩**是為了攔截河道中的泥沙、調節土砂輸送、穩定河床並保護兩岸，而興建在河川上的橫向構造物。其主要功能是減緩溪床坡度、防止沖蝕與崩塌，並降低水庫淤積的速度。

(二)、**翻滾流**(如右圖 01 所示)是一種危險的現象，在水流越過瀑布、水壩或堰體時，高速水流衝擊下方較深水域而形成的強烈捲入水流。水面會出現大量白色泡沫，俗稱「沸騰區」。被捲入翻滾流的人會像洗衣機一樣被困在水中不斷翻滾，難以脫身，即使穿著救生衣也可能無法逃脫。

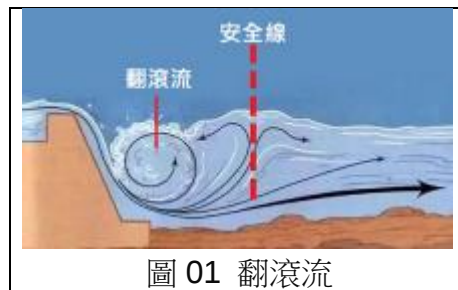


圖 01 翻滾流

(三)、**水渦流**，又稱**漩渦**，是流體（水）內部發生旋轉運動所形成的現象。它是由於水流的速度和流向不均勻，或水流遇到障礙物、地形變化等因素產生回流而形成。

水渦流主要分為兩大類：

1. **自由渦流**：流體本身無旋轉，但流線呈曲線的渦流，例如水從有孔口的容器底部流出時形成的漩渦。
2. **強制渦流**：整個流體區域像剛體一樣旋轉，例如使用攪拌器帶動水體旋轉時形成的渦流。

(四)、吳念謙 等，**流體力學試驗**：自由渦流和強制渦流最大的不同在流動是否有旋轉的發生，旋轉渦流通稱為強制渦流(**Force vortex**)；無旋轉渦流一般的稱自由渦流(**Free vortex**)。使用儀器為一透明圓筒安置在電動馬達上(以供強制轉動圓筒之用)，可透過在圓筒兩側設置兩個進水孔，可透過水管連接抽水馬達，圓筒底部有一出水口，由出水口下方之閥門控制。其實日常中有許多自由渦流與強制渦流的真實案例，而其種類分別有強制渦流、自由渦流或同時一起發生，透過實驗讓我們可了解其中的原理及奧妙，也可以了解日常生活當中實際案例，例如：洗衣機、颱風、龍捲風或浴缸排水時，排水口出現之自由渦流。

(五)、陳怡良 等，**階梯河道水流型態模擬與阻力分析**：流於階梯-深潭河道流動過程中，產生跌落、翻滾及水躍等水力特性，此三種連續流動過程構成溢濺阻力，而產生大量能量消散。有鑑於山區階梯-深潭河道之幾何形狀過於複雜，難以進行系統化分析；因此本研究由規則階梯渠道著手，利用三維流體動力數值模式，進行詳細的水流型態與阻力分析。**研究結果顯示**，當流量較低，水流型態為舌流時，水流產生跌落及水躍特性，使得總糙度係數可達 0.1 以上；而流量較高時，水流型態為滑移流，水流淹沒階梯，其總糙度係數較舌流情況者為低。然而不論流況為舌流或滑移流，階梯渠道之總糙度係數均較模式所設定之渠道表面糙度為大。本研究於階梯河道檢定所得之階梯水流能量消散與總糙度係數之關係，可供後續於山區陡坡河道進行水利工程設計時，選用糙度係數之參考應用。

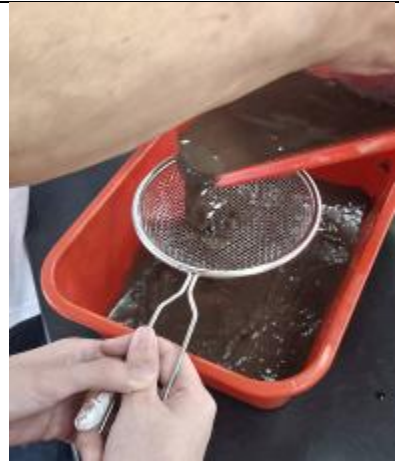
貳、研究設備及器材



水力河道模型



攔沙壩模型壓克力片



濾網、水槽



細保麗龍球



小保麗龍球



乒乓球



矽利康



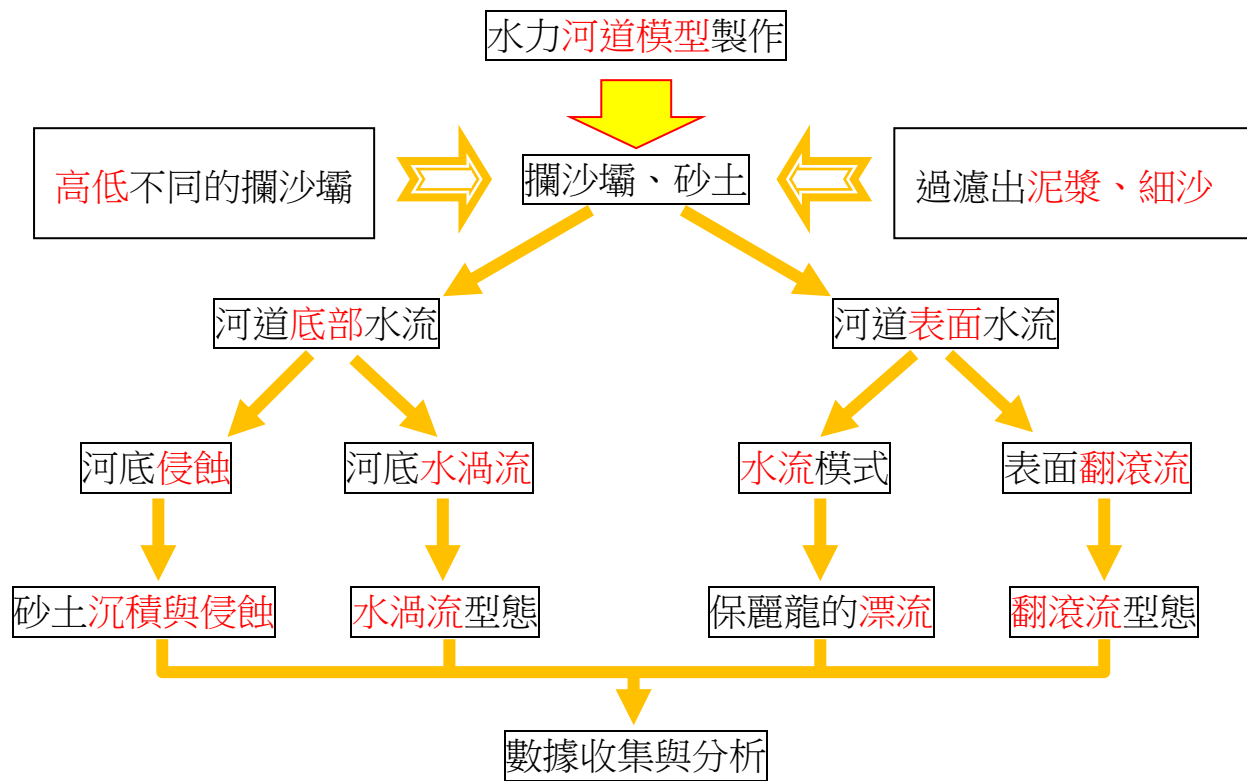
尖嘴膠瓶



印泥補充瓶

參、研究過程與方法

一、實驗架構：



二、實驗步驟：

(一)、水力河道模型的製作。

1. 水力河道模型設計圖。如下圖 02 所示。

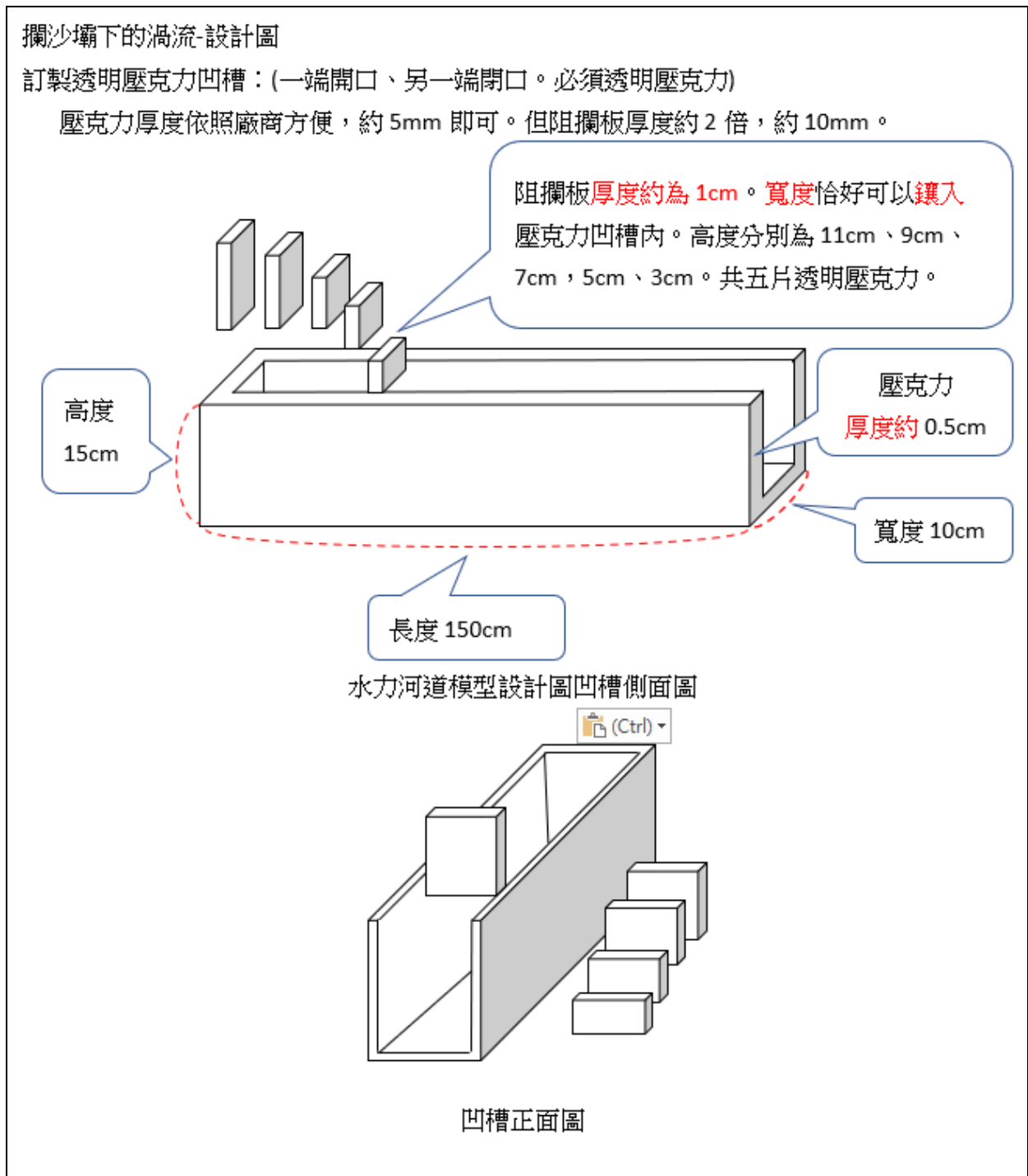


圖 02 為水力河道模型設計圖

2. 訂購壓克力片，如設計圖所示，所需訂購的壓克力材料片如下：

- (1) 底片一片：厚度 0.5cm、長度 150cm、寬度 10cm。
- (2) 河道側邊二片：厚度 0.5cm、長度 150cm、寬度 15cm。
- (3) 河道頭側邊一片：厚度 0.5cm、長度 15cm、寬度 10cm。
- (4) 阻攔板：共五片，每片厚度均為 1cm、寬度均為 10cm。
高度分別為：3cm、5cm、0.5cm、7cm、9cm、11cm。

3. 依照水力河道模型設計圖，組裝與黏合壓克力模型。

- (1) 先將底片放置在實驗桌面上，然後在兩側塗上矽利康。之後再將河道側邊二片的壓克力黏在底片壓克力上面。為了避免側邊的壓克力翻倒，所以我們在側邊壓克力的旁邊，放置重物來固定，避免側邊的壓克力翻倒。
- (2) 最後我們再黏上河道頭側邊的壓克力。然後我們就原地將水力河道模型放置在實驗桌上，等到乾燥一週之後，再作漏水的測試。

4. 隔週之後，我們將水力河道壓克力模型測試，是否會漏水。如下圖 03 所示。



圖 03 為水力河道模型的製作

5. 水力河道模型漏水測試。如下圖 04 所示。

- (1) 將阻攔板放置在水力河道模型內。
- (2) 在水力河道模型的源頭處注水。
- (3) 用手將水力河道模型的出水口擋住，然後讓水位上升到最高點，觀察底部和側邊的壓克力連接處，是否可以承受水壓而漏水。

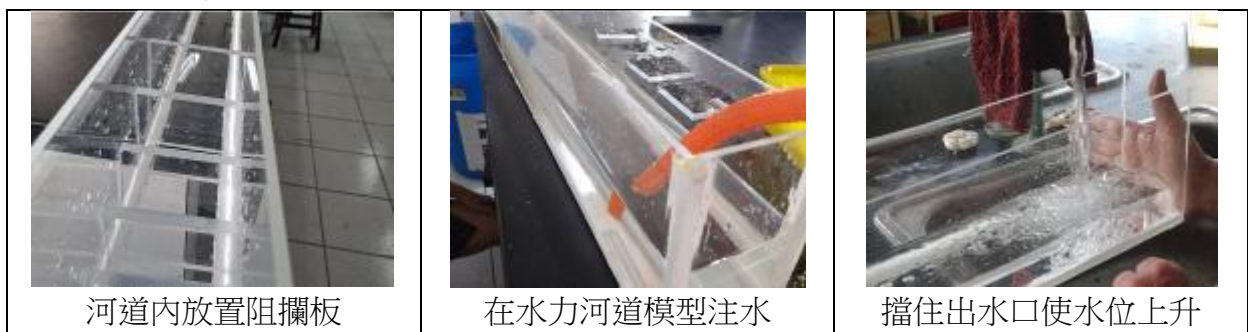


圖 04 為水力河道模型漏水測試

6. 漏水測試時，我們發現有二處漏水(小漏水)。接下來我們先將水力河道模型擦乾，然後在漏水處塗抹矽利康。同時為了讓水力河道模型更加堅固，我們又將整個水力河道模型的壓克力接縫處，再塗上一層矽利康，使之更加堅固。然後放在桌上乾燥，隔週使用。

(二)、河道中的沙土準備。為了觀察河道的流水侵蝕與沉積，我們必須有二種河道的沙土來呈現。一種是細沙、另一種是泥土。如下圖 05 所示，為我們製備細沙和泥漿的過程。

1. 在學校某一處，挖一些土壤，然後帶回實驗室。
2. 將土壤用水混合，然後用縫隙較大的漏網，先將雜質過濾掉。這些雜質包括樹葉、碎石、木條...等。
3. 第一次過濾雜質之後，我們得到較單純的泥漿。之後，我們再用縫隙較小的漏網，將細沙和泥漿分離。
4. 將細沙分離在一個水槽內，泥漿分離另三個水槽中。等到隔週，三個水槽中的泥漿沉澱之後，我們將上層的清水倒掉，然後再將三個水槽的泥漿合併在一個水槽上備用。



圖 05 為細沙土和泥漿的製備

(三)、實驗(一)，水力河道模型中，河道底部放置沙土，實驗阻攔片後面，砂土被水渦流侵蝕的準備。

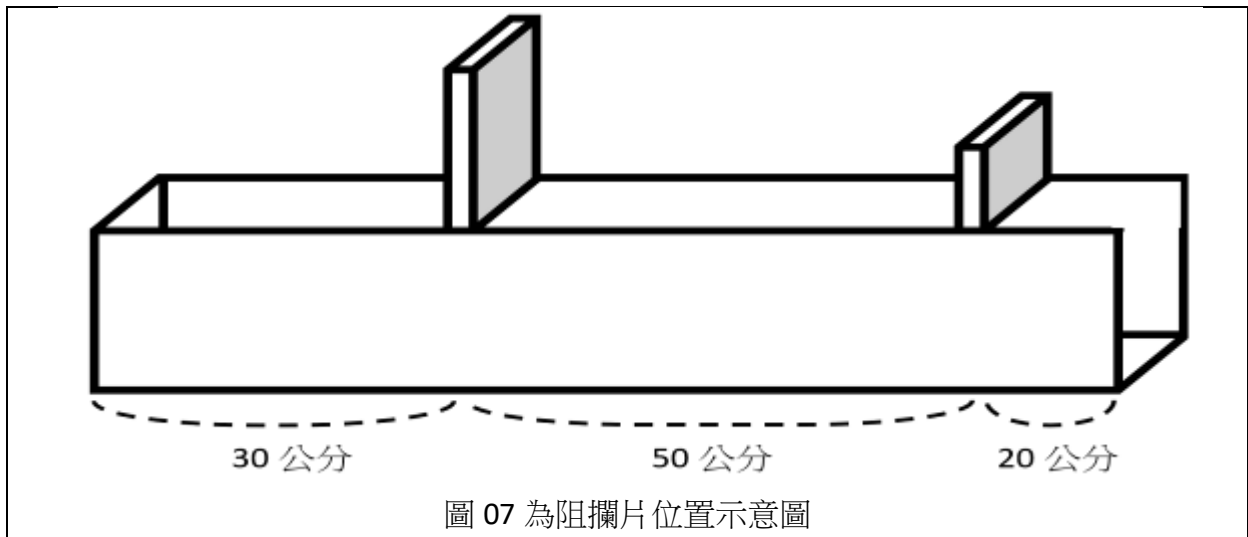
1. 將壓克力阻攔片放置在水力河道模型內。因為我們準備了五片阻攔片，所以我們設計了 10 種高低落差的阻攔片組合。組合序列如下表 06 所示。

前片 \ 後片	9cm	7cm	5cm	3cm
11cm	A001	A002	A003	A004
9cm		B001	B002	B003
7cm			C001	C002
5cm				D001

表 06 為 10 種高低落差的阻攔片組合編號

2. 本組合方式：可以了解水位落差和下層水深對渦流的影響。

3. 兩個阻攔片在水力河道模型間的距離為 50 公分，最高阻攔片與集水區之間的距離為 30 公分，示意圖如下圖 07 所示。



4. 將細沙土鋪在水力河道模型的底部，然後再加一些水，如此容易將細沙土鋪平。
5. 在水力河道模型源頭打開水龍頭，並開始計時。
6. 在水力河道模型的出水口下端，放置一個大型垃圾桶裝流下來的水。
7. 如下圖 08 所示，之後在計算所收集的水量，和流水所花的時間。如此可以用來計算流水的速度。

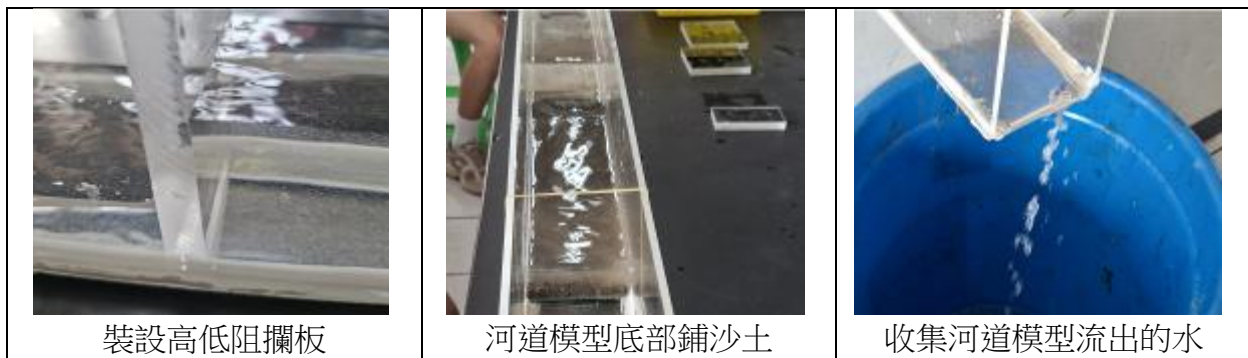


圖 08 為河道模型沙土鋪設與水流速計算

8. 改變水龍頭的水量，錄影阻攔片周圍的細沙石沉積作用與侵蝕作用。
9. 測量在不同的水流速之下，阻攔片前後的細沙石沉積作用變化量與侵蝕作用變化量。如下圖 09 所示。

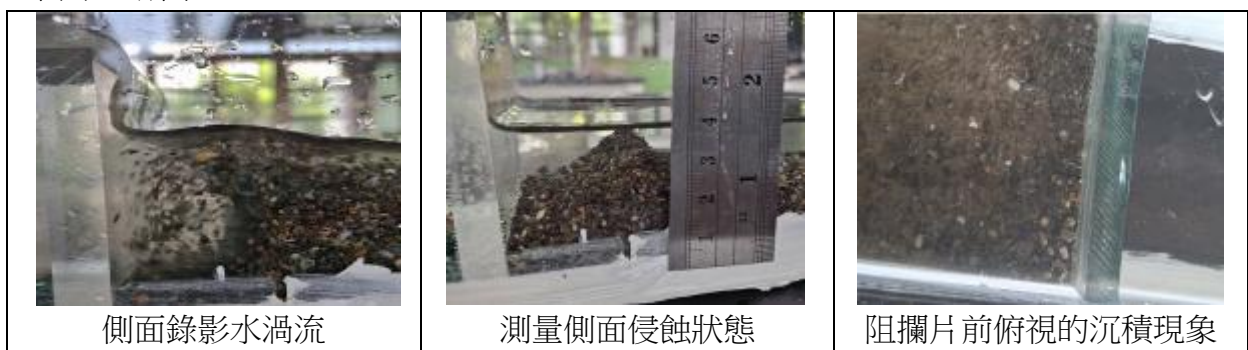


圖 09 為不同水流速對細沙石的沉積作用與侵蝕作用。

(四)、實驗(二)，水力河道模型中河道底部的泥土侵蝕的準備。

1. 如下表 09 所示，將壓克力阻攔片放置在水力河道模型內。我們準備了五片阻攔片，所以我們設計了 10 種高低落差的阻攔片組合。組合序列如下表 10 所示。

前片 \ 後片	9cm	7cm	5cm	3cm
11cm	A011	A012	A013	A014
9cm		B011	B012	B013
7cm			C011	C012
5cm				D011

表 10 為 10 種高低落差的阻攔片組合編號

2. 將泥漿鋪在水力河道模型的底部，然後再加一些水，如此容易將泥漿鋪平。
3. 將水力河道模型放置 7 天，等到泥漿的水瀉乾，而泥土變乾。如下圖 11 所示。

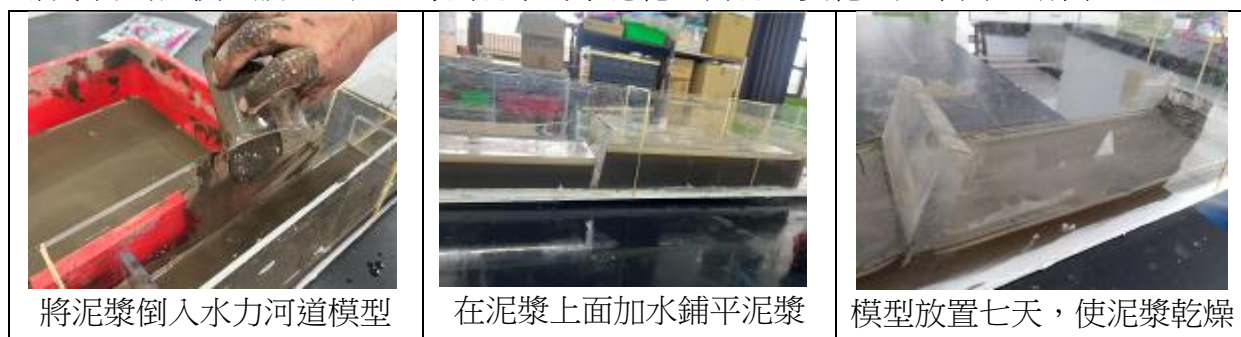


圖 11 為水力河道模型中河道底部的泥土的準備

4. 7 天之後，在水力河道模型源頭打開水龍頭，並開始計時。如下圖 12 所示。
5. 在水力河道模型的出水口下端，放置一個大型垃圾桶裝流下來的水。
6. 之後在計算所收集的水量，和流水所花的時間。如此可以用來計算流水的速度。
7. 改變水龍頭的水量，錄影阻攔片周圍的細沙石沉積作用與侵蝕作用。
8. 測量在不同的水流速之下，阻攔片前後的細沙石沉積作用變化量與侵蝕作用變化量。

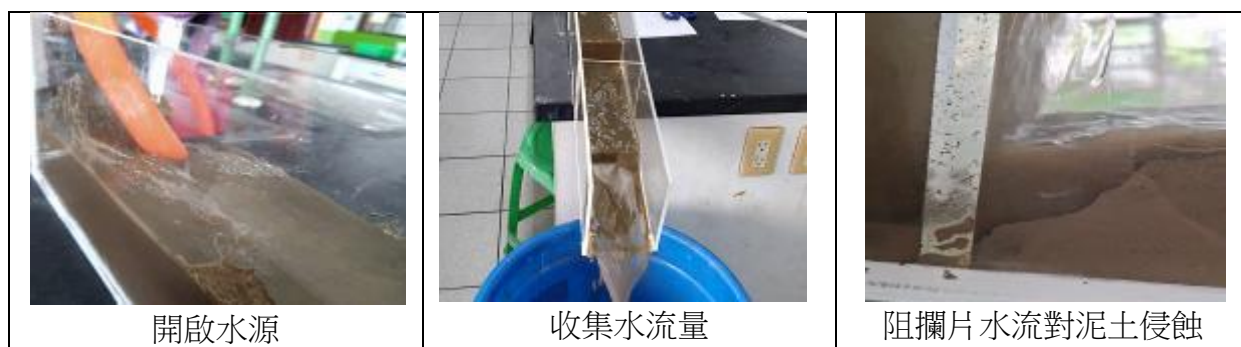


圖 12 為河底乾燥泥土的阻攔片水侵蝕

(五)、實驗(三)，阻攔片的下層水流觀察。如下圖 13 所示。

1. 阻攔片前方的上層、中層、下層水流觀察。
2. 阻攔片後方的上層、中層、下層水流觀察。
3. 調整不同的高低阻攔片組合，錄影水流的路徑並記錄。

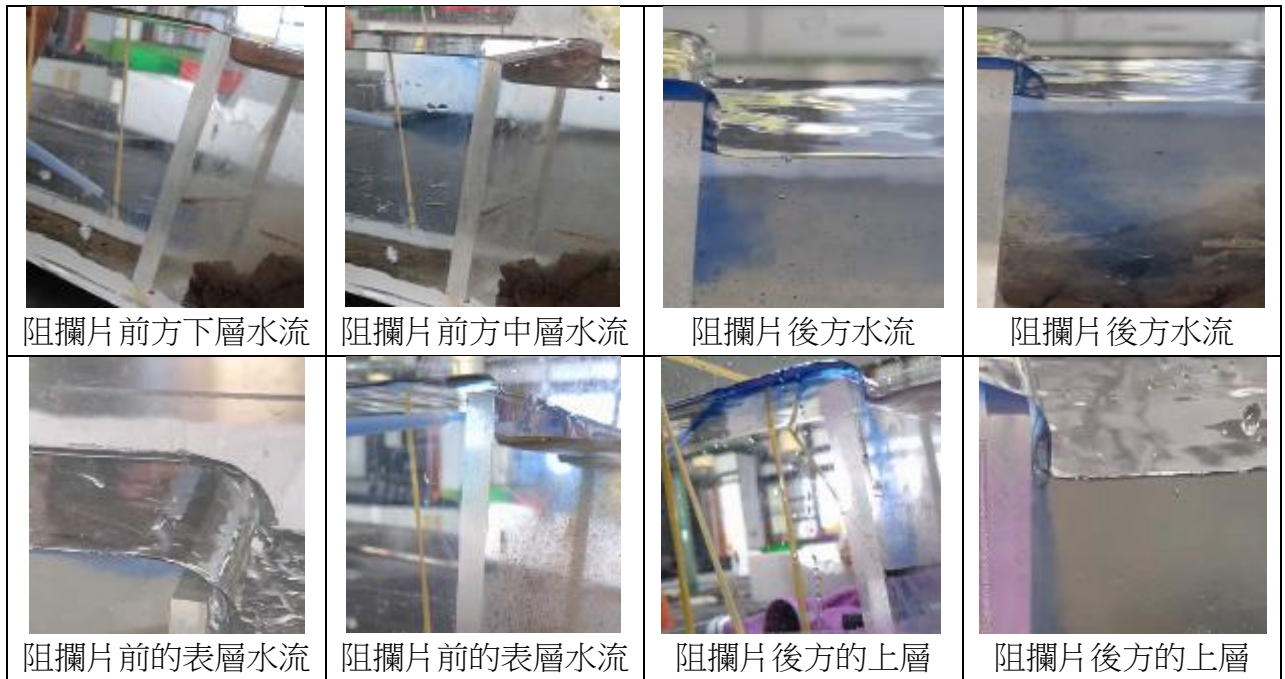


圖 13 為阻攔片個位置的水流觀察

(六)、阻攔片的表層水流觀察。如下圖 14 所示。

1. 在水力河道模型的水流表層放置細保麗龍球，觀察細保麗龍球的漂流。
2. 在水力河道模型的水流表層放置小保麗龍球，觀察小保麗龍球的漂流。
3. 在水力河道模型的水流表層放置乒乓球，觀察乒乓球的漂流。

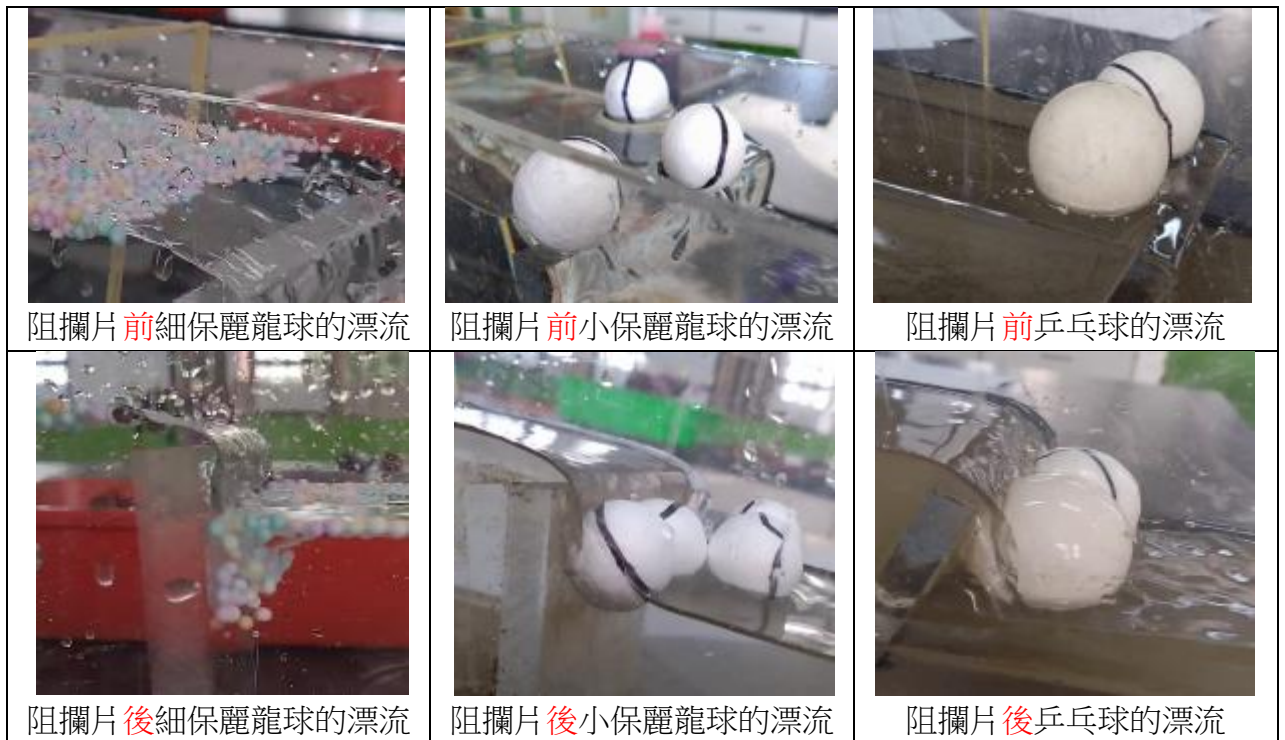
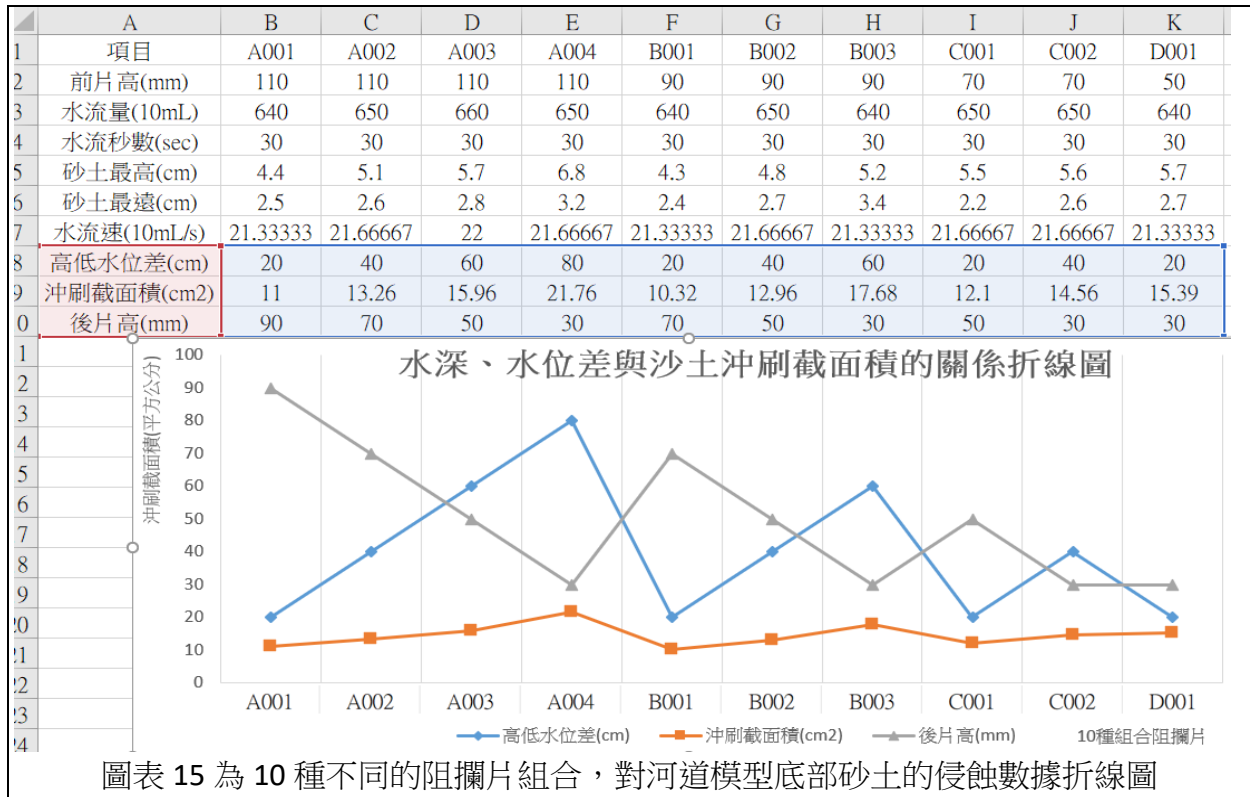


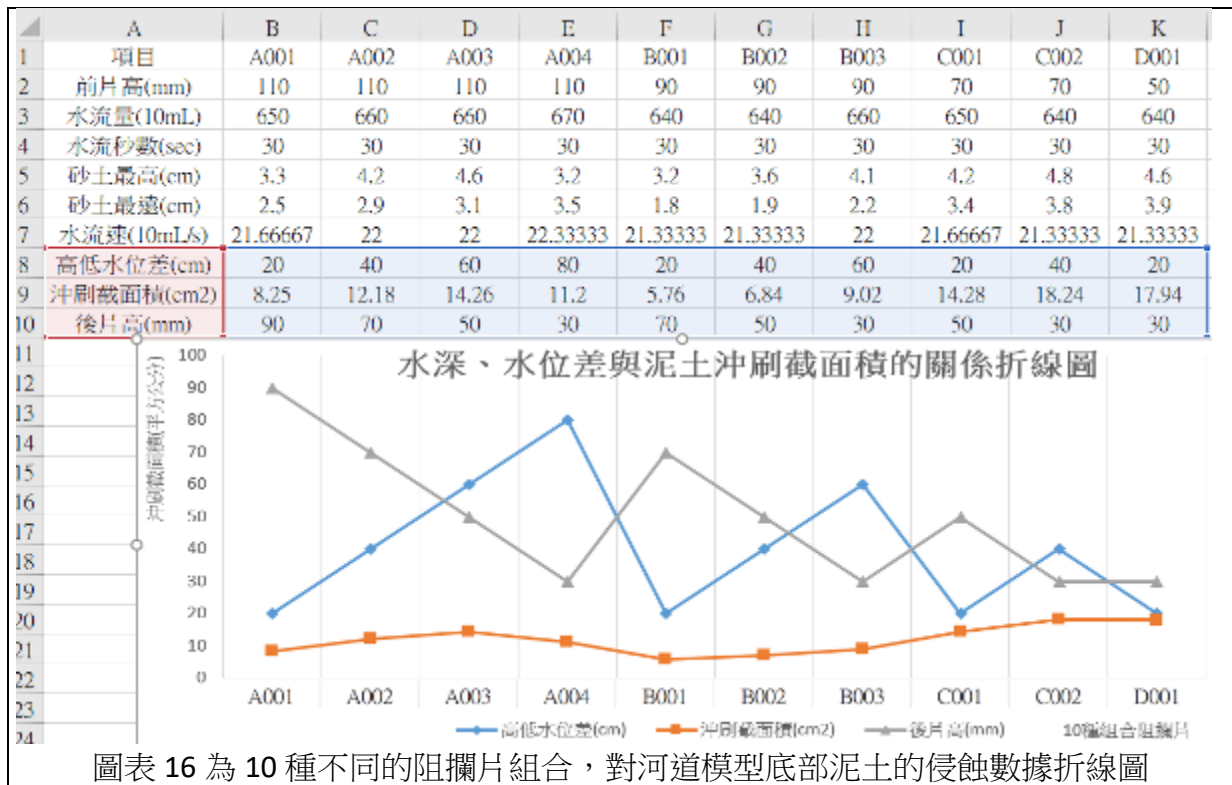
圖 14 為阻攔片的表層水流觀察

肆、研究結果

一、在實驗(一)中，我們在水力河道模型中，河道底部放置沙土，實驗砂土被阻攔片後面的水渦流侵蝕的實驗數據，下圖表 15 所示。



二、在實驗(一)中，我們在水力河道模型中，河道底部放置泥土，實驗砂土被阻攔片後面的水渦流侵蝕的實驗數據，下圖表 16 所示。



三、觀察阻攔片前的色素水流和表面水流的錄影觀察，結果如下圖 17 所示。

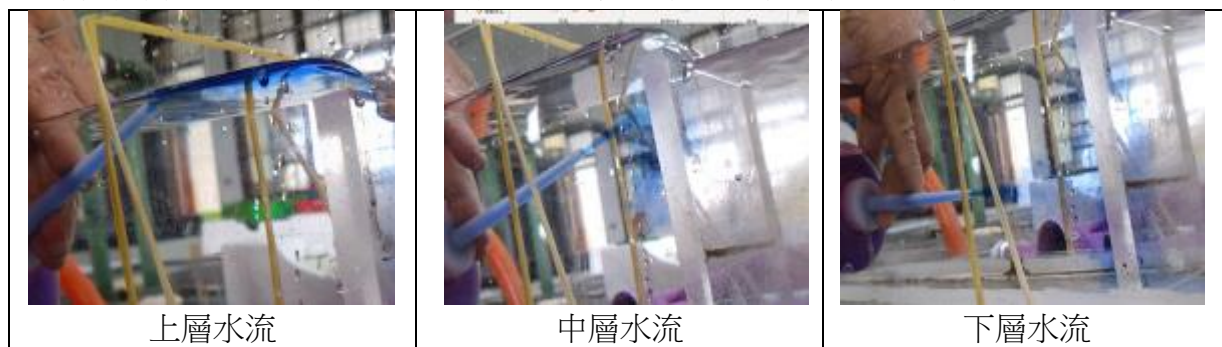


圖 17 為上中下三層色素水流

(一)、觀察色素水流，由錄影觀察得知：

1. 上層色素水流，幾乎 100% 直接由表層流過阻攔片。
2. 中層色素水流，在撞擊阻攔板後，約 70%~80% 向下流，然後在阻攔片前的下方，形成一個小型水渦流；中層色素水流，在撞擊阻攔板後，約 70%~80% 向下流，然後在阻攔片前的下方，形成一個小型水渦流。
3. 下層色素水流，在撞擊阻攔板後，約 80%~90%，隨著小型渦流向後流，然後在阻攔片前面，形成一片色素水渦流。

(二)、如下圖 18 所示，在觀察細保麗龍、小保麗龍球、乒乓球在阻攔片前面，受表面水流的影響，由錄影觀察我們得知：

1. 當水流速慢時，保麗龍反而會停在阻攔片前，甚至向後逆流。錄影放大觀察結果，確定不是被阻攔片隔擋。而水流速慢時，則小保麗龍則停在阻攔片上。
2. 當水流速快時，細保麗龍則很快被水流帶到下層，小保麗龍球一樣會被下沖。
3. 乒乓球則因為太重，陷入水中較深，所以要水流速較強，才能越過阻攔片。
4. 當水流過大時，導致乒乓球下沖時，反而衝出水渦流區。則不會被水渦流影響，而直接向後繼續流。

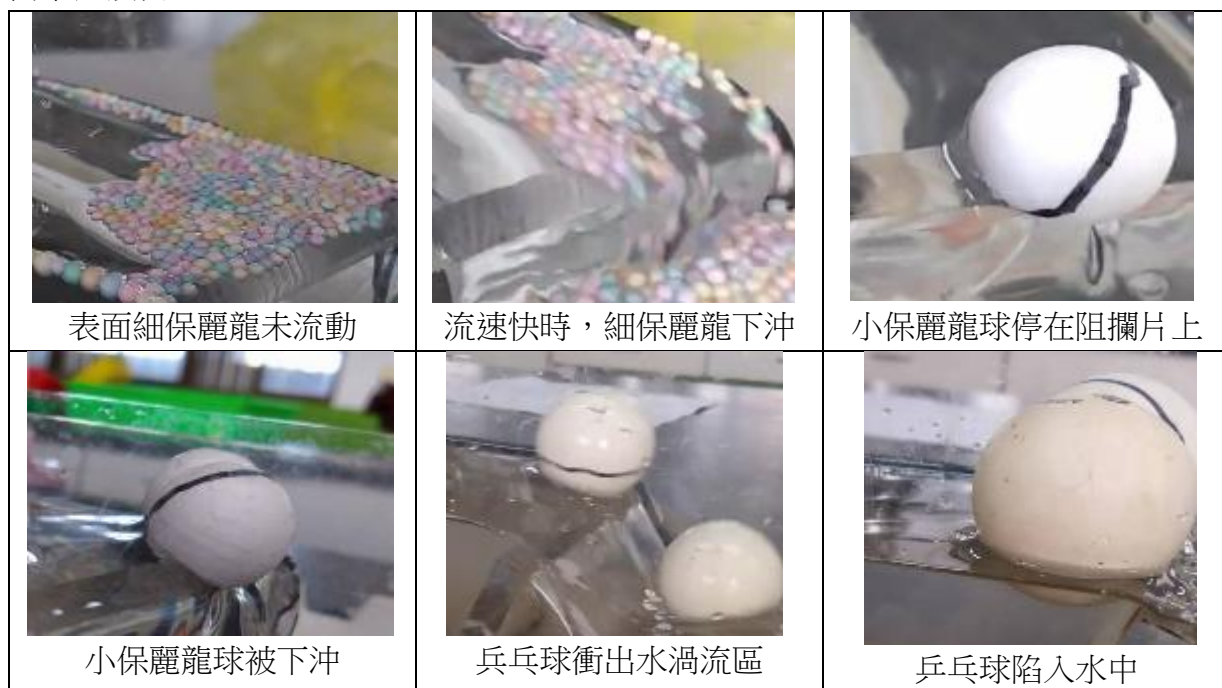


圖 18 為細保麗龍、小保麗龍球、乒乓球在阻攔片前面，受表面水流的影響，

四、觀察阻攔片後的色素水流和表面水流的錄影觀察，結果如下圖 19 所示。



圖 19 為阻攔片後水流的觀測

- (一)、越過阻攔片的水流，必成一個水渦流。而且水流速越強，渦流破壞能力越強。
- (二)、無論是細保麗龍、小保麗龍球還是乒乓球，只要越過阻攔片後，進入水渦流區，則必會進入無限的旋轉中。除非被其他外物撞走，否則很難脫離。

五、改變水流速，測量流速對河底砂土的沖刷影響，數據如下圖 20 所示。



伍、討論

一、研究限制：

- (一)、依照設計圖的壓克力水力河道模型，我們向廠商訪價之後，所提報的價錢超過我們的預算。但廠商的回報說，若只採買材料，由我們自己組合沾黏。則價錢只要原有價錢的七折。因為科展經費的限制，加上我們也想嘗試自己組合壓克力水力河道模型。所以我們經過討論之後，決定只採購壓克力片材料，然後自己組合。
- (二)、組裝與黏合壓克力河道模型時，因為我們知道，自己的手藝不好，所以矽利康，而不是壓克力黏接劑。因為矽利康有彈性，黏錯了可以切割開，刮乾淨之後再重新沾黏。若用壓克力沾粘劑，雖然黏性強，防水性佳，但只有一次機會。所以我們選擇矽利康，畢竟我們是新手，有沒有專業輔助器具。所以最後花了三次的縫縫補補，完美完成壓克力水力河道模型。
- (三)、測量水流速的改變對水力河道模型底部的沙土沖刷實驗時，因為泥漿土必須等乾燥之後，才開始加水流沖刷。如果沒有等待泥漿乾燥，而是使用濕泥漿來實驗，則會因為泥漿過於細小而被水流沖刷很大的距離。如此就是記錄到水流速的沖刷了，而不是水渦流的沖刷了。所以我們才會等泥漿乾燥後，才開始測量水流改變對河底泥漿的沖刷。也因為如此，一週才能收集一次數據，所以我們只收集四次的數據來分析。

二、討論：

- (一)、因為壓克力的水力河道模型，厚度只有 0.5 公分，而模型的尾端，因為要讓水流流出，所以是開放式的。在放置阻攔片之後，河道模型的上端，會向外微張。當水壓到來時，導致摩擦力不足，無法將阻攔片固定在所需的位置上，所以一開始實驗時，阻攔片經常會被水流的水壓沖走。經過討論之後，即不能讓阻攔片被沖走，又不能焊死固定在同一位置上，所以我們用橡皮筋捆住整個河道模型，強化兩側壓克力的向內的壓力。如此即可緊緊咬住阻攔片，不被水流沖走，且可隨時交換所需阻攔片。唯一缺點就是不美觀。
- (二)、在實驗時，我們發現，水流的沖刷，大約 20 秒左右，沖刷的面積大抵不會有所變化了。所以經過我們的討論之後，考慮了時間、水資源、實驗所需的參數...等因素。所以我們最後決定，水量的沖刷時間，一律定為 30 秒。

陸、結論

一、由實驗(一)的實驗數據，我們得到以下結論：

- (一)、前後阻攔片所造成的水位差越大，則河底砂土被沖刷的截面積越大。
- (二)、後阻攔片越高，會導致水位越高，所以河底砂土被沖刷的截面積越小。所以，在一樣的水位差之下，後阻攔片所造成的水位越高，則河底砂土被沖刷的截面積越小。

二、由實驗(二)的實驗數據，我們得到以下結論：

- (一)、一樣的條件之後，水渦流對泥土的沖刷能力，比砂土的沖刷能力強。
- (二)、在觀察泥土的沖刷時，因為要限定時間為 30 秒。所以在觀察時發現，接近時間快到時，泥土依然還在被沖刷中，若時間可以延長，可能沖刷截面積會更大一些。但在錄影的影片中，我們也同時發現，那後續的泥土沖刷，比較偏向於水流速的沖刷，而不是水渦流的沖刷。最後結論，還是以 30 秒為時間限定。

三、在觀察色素水流的實驗中，我們得到以下結論，示意圖如下圖 21 所示：

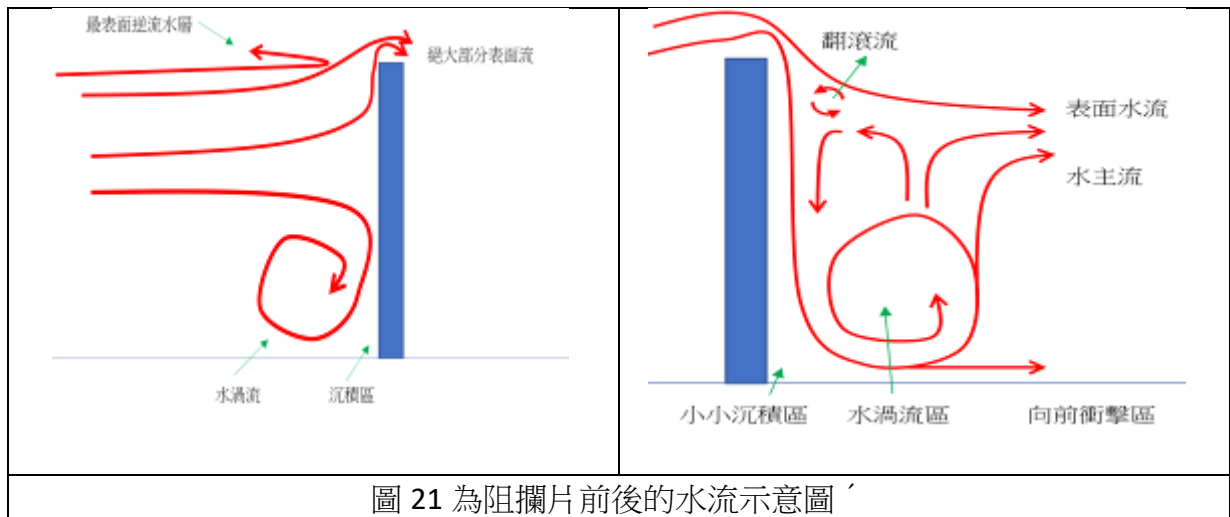


圖 21 為阻攔片前後的水流示意圖

- (一)、阻攔片前面的水會因為撞擊阻攔片而反彈。
- (二)、反彈後的向下水流，會在底部形成一個小型水渦流，而在阻攔片的下方會形成一個沉積區。若水流速慢或水位高時，在阻攔片後面的下方，也會有一個小小沉積區。
- (三)、反彈後的向上水流，會被表面的水流帶動而越過阻攔片。而越過阻攔片的水流，主要是向下沖擊，形成一個強烈水渦流。
- (四)、表面的水流，絕大部分會越過阻攔片。但因為阻攔片上方的水位有稍微上凸，導致最上層的表面水流會逆流。這在我們做細保麗龍漂流實驗中，細保麗龍的表現即可證明。但是，小保麗龍和乒乓球因為重量過重，以下壓到下層的表面水流，所以都會表現出逆流的現象。
- (五)、在阻攔片後面的水渦流，會因為下沖水的“位能”轉換成“動能”，而一直無限循環下去。而此渦流就是沖刷河底泥沙的主要作用力。
- (六)、阻攔片後的水渦流，在旋轉一週之後，一部分會在河底向前直衝，使河底砂石持續被沖刷；一部分又回流到水渦流之中，但大部分都回到主水流向前流。

四、在阻攔片後面的表面水渦流，通常被稱為「**翻滾流**」(Backwash)。我們曾經想要測量各種漂流物在翻滾流上所能滯留的時間，但是後來我錯了。因為只有二種可能可以讓物體脫離翻滾流。一是水流停止，一是外力的介入，其他絕無可能。

五、底部沙土沖刷截面積的計算，是以被沖刷的橫向距離乘以沙土的高低差距離，依此來當作沖刷砂土的依據，如下圖 22 所示。



圖 22 為被沖刷的沙土

柒、參考資料及其他

- 一、南一出版社，自然科學第三冊 第六章 力與壓力。6-1 浮力。
- 二、南一出版社，自然科學第五冊 第五章 我們身邊的大地。5-1 地球上面的水。
- 三、南一出版社，自然科學第六冊 第四章 全球氣候與環境變遷。4-3 台灣的自然災害。
- 四、龍騰出版社，基礎地球科學(上)，第六章 天然災害。
- 五、農業部農村發展及水土保持署(2024)，智能即時查詢服務。**為何要設置「防砂壩」？**
- 六、跟著鄭大師玩科學(2015)，**認識翻滾流**。

取自：

<https://masters.tw/42161/%E8%AA%8D%E8%AD%98%E7%BF%BB%E6%BB%BE%E6%B5%81>

- 七、黃煌輝 等，科學月刊-第 576 期(2017)，**隱藏的詭異漩渦-海洋的渦流與沖刷**。
- 八、吳念謙 等，流體力學試驗，水利工程與資源保育學系，建設學院。**渦流試驗**。
- 九、陳怡良 等，中華水土保持學報(2012)，**階梯河道水流型態模擬與阻力分析**。
- 十、渦流，維基百科。

取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B8%A6%E6%97%8B>

- 十一、YouTube 影片，我們的島，**一起找溪望，官民合作找回花蓮鯢溪的生命力**。財團法人公共電視文化事業基金會，

取自：<https://ourisland.pts.org.tw/keyword/10851>

- 十二、YouTube 影片，台視新聞網(2025)，**勇消防溺殉職！事發地「翻滾流」如洗衣機 15 秒奪命 穿救生衣更危險**。

取自：<https://news.ttv.com.tw/news/11407090011100I/amp>

- 十三、YouTube 影片，即新聞(2023)，**溪流裡藏「致命水洞」強大吸力捲入難救援**。

取自：<https://www.youtube.com/watch?v=kxpAt8EnU3g>