

屏東縣第 64 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：轉角遇到“礙”~渦流之研究

關 鍵 詞： 渦流、仿河道模型、流體動力學

編號：B5006

目錄

摘要-----	p.3
壹、前言-----	p.3
貳、研究設備及器材-----	p.5
參、研究過程與方法-----	p.6
肆、研究結果-----	p.13
伍、討論-----	p.20
陸、結論-----	p.23
柒、參考資料和其他-----	p.24

摘要

我們訂製一個透明壓克力仿河道模型，用來研究高屏溪的渦流現象。首先是岸邊障礙物所產生的渦流，在障礙物的前側會有泥沙的淤積現象，而後側會有渦流。此渦流會受流速和障礙物的角度而異。

在河道底部挖凹洞，一樣會產生渦流，而此渦流不同於岸邊的障礙物所產生的水平方向流動的渦流，而是上下的鉛垂方向流動的渦流。雖然渦流的一樣受流速和傾斜角的影響，但破壞力卻高於水平渦流。

若在凹洞內豎立細竹條，則可又效改善渦流的形成和破壞。其中對水平渦流的改善較為明顯。

壹、前言

一、研究動機：

台灣是一個水資源豐沛的地區，每到雨季，山區往往容易有致災性的豪雨，而雨水匯集的地區，則是溪流。山區的溪水，流速快，侵蝕作用也強。在平常，看是平靜的河面，往往也暗藏危險。尤其是暑假期間，很多人會選擇在天氣晴朗的日子去山區踏青或露營。但危險也往往伴隨而來。對山區的不熟悉、對溪流的輕視，是意外的主因之一。

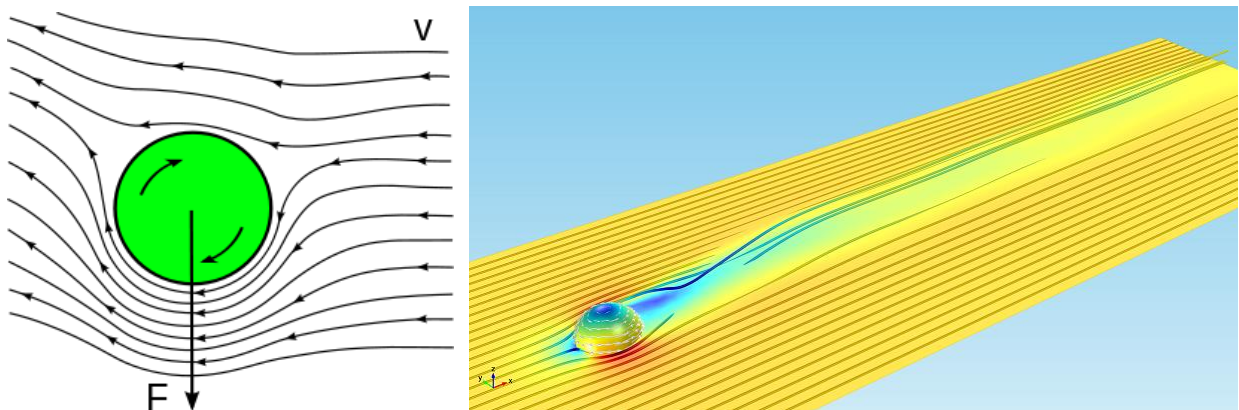
河砂是台灣建設最重要的物質之一，所以開採河砂是台灣溪流最常見的現象。但也因此溪流底部的凹洞會影響河流水的流動，因而形成各種不同的渦流。渦流，常常是河水面很平靜，但暗藏洶湧。尤其是戲水的人，一旦被捲入，就很難脫身。為了解溪流的渦流，我們決定以這個主題來做深入的研究。

二、研究目的：

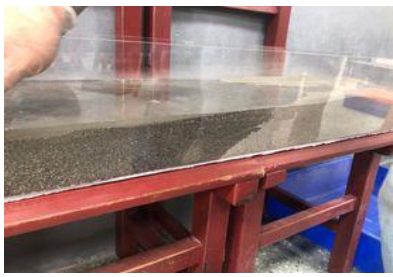
- (一)、河流岸邊障礙物對渦流的影響。
- (二)、河流凹洞對渦流的影響。
- (三)、降低河道渦流的方法。

三、文獻回顧：

- (一)、內政部消防署特種搜救隊的金大衛隊員曾與國立高雄科技大學的彭生富教授合作拍攝〈急流水域的分析(改)〉的影片，內容提及主流域常出現在河道的正中央，遇到障礙物時會改變主流的方向。從表層到河底流速會不同，出現在底部較慢，表面層則較快。而急流的特性分為水流速度會增加水流的力量同時衝擊物體的力量也跟著增加、水流是持續不斷的流動、水勢的流動明顯可預測水流方向等三種特性。
- (二)、渦流又稱「**漩渦**」，是一個漩渦型的水流，由反水流的活動形成。絕大多數的渦流，不是很強大。強大的渦流被稱為大漩渦（**Maelstrom**），但和渦流是同一個原理，所有有下沉氣流的渦流亦可稱為渦旋（**Vortex**）
- (三)、流體力學是力學的一門分支，是研究流體（包含氣體、液體及電漿）現象以及相關力學行為的科學。流體力學可以按照研究對象的運動方式分為流體靜力學和**流體動力學**，前者研究處於靜止狀態的流體，後者研究力對於流體運動的影響。流體力學按照應用範圍，分為空氣力學及水力學等。
- (四)、地貌的改變與平衡，在台灣形成各種地形的平衡作用力主要有：
1. 地球表面的風化、侵蝕、搬運和沉積作用，風、水等力量逐漸夷平山脈、填補低窪處，使得地表高低落差減少，是一種破壞性的力量。
 2. 地球內部熱能所驅動的板塊運動，導致火山活動與造山運動，而形成火山、山脈和海溝等，增加地球表面高低落差，是一種建設性的力量。
- (五)、白努利效應：這項原理是以荷蘭物理學家丹尼爾-白努利（**Daniel Bernoulli**）命名。此原理可以**白努利方程式**表示如下： $\rho v^2/2 + \rho gh + P = \text{常數}$ 其中 v 為液體流速， ρ 為液體密度， g 為重力加速度， h 為液體相對於基準點的高度， P 為液體壓力。這個方程式必須在不可壓縮、沒有黏滯力的穩定流體下才成立。
- (六)、馬格納斯效應：當一個旋轉物體的旋轉角速度矢量與物體飛行速度矢量不重合時，在與旋轉角速度矢量和移動速度矢量組成的平面相垂直的方向上將產生一個橫向力。在這個橫向力的作用下物體飛行軌跡發生偏轉的現象稱作馬格納斯效應。旋轉物體之所以能在橫向產生力的作用，從物理角度分析，是由於物體旋轉可以帶動周圍流體旋轉，使得物體一側的流體速度增加，另一側流體速度減小。



貳、研究設備及器材



仿河道模型



磚頭



砂土及濾網



水槽



4mm² 濾網



竹籤



1000 立方公分壓克力杯



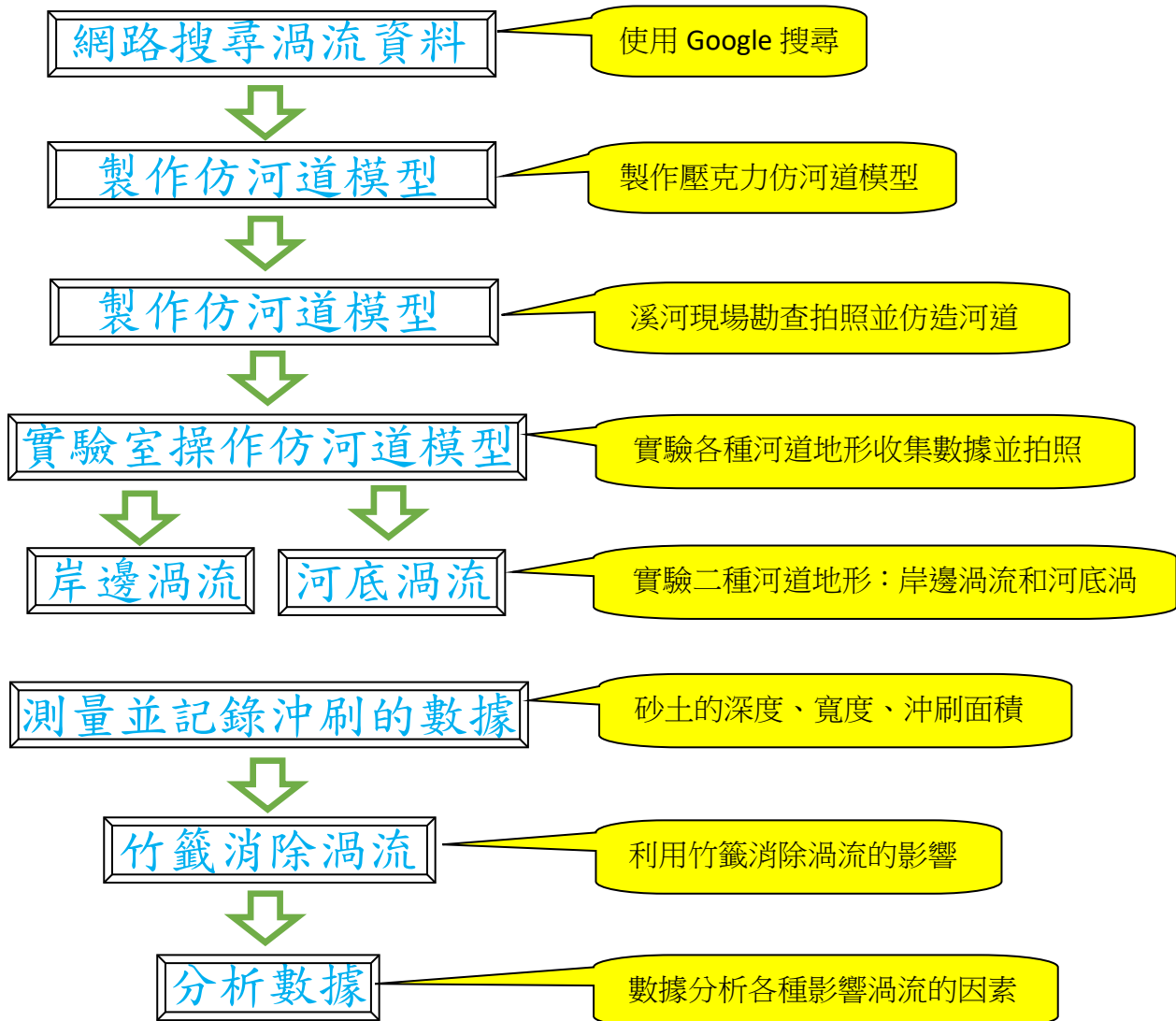
碼錶



水管

參、研究過程與方法

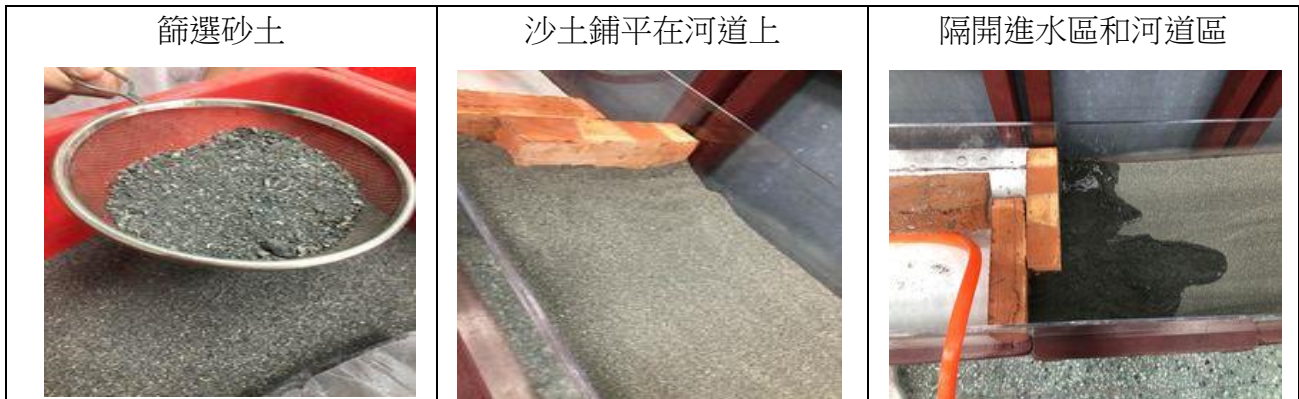
一、實驗架構：



二、實驗步驟：

(一)、製作仿河道模型：如下圖(01)所示。

- 1.訂製長 200cm，寬 40cm，深 20cm，尾端封閉 10 公分高的透明壓克力仿河道模型。
- 2.將砂土使用 4mm² 濾網篩選，將仿河道模型砂土的顆粒大小固定。
- 3.將篩選好的沙土鋪平在仿河道模型上
- 4.使用磚頭將進水區和河道區分開，使水流可以平緩地進入河道區。

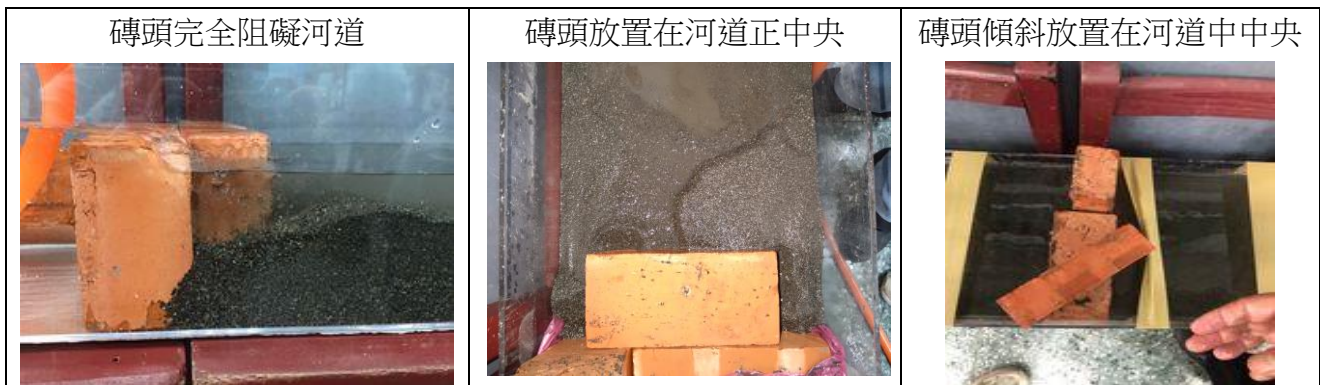


圖(01)為仿河道模型的實驗前準備事項

(二)、河流障礙物對過流的影響。

使用磚頭設計水流障礙，觀察仿河道模型砂土的變化。如下圖(02)所示。

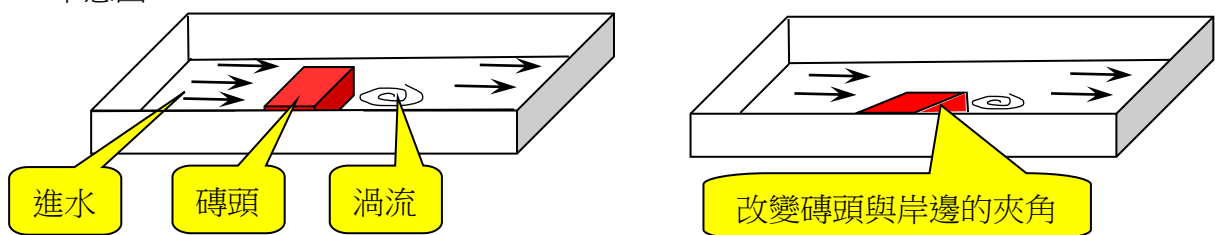
1. 磚頭完全阻礙河道，使河水只能越過磚頭而流入下方。
2. 磚頭放置在河道正中央，使河水能由磚頭的兩側流入下方。
3. 磚頭傾斜不同的角度，放置在河道邊側，使河水由不同角度的磚頭障礙物流向下方，然後觀察，磚頭前側和後側的沙土狀況。然後由透明壓克力的側邊測量砂土的分布狀況。



圖(02)為流水流過不同岸邊障礙物的沙土

(三)、河道岸邊障礙物，對河流水的渦流影響。如下圖(03)所示。

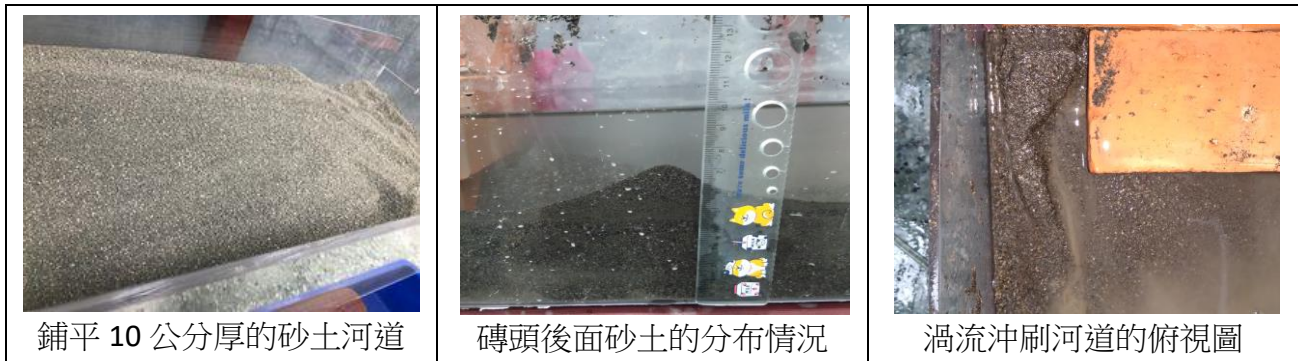
示意圖：



圖(03) 為河道岸邊障礙物，對河流水的渦流影響示意圖

(四)、測量和河道內的泥沙分布情況。如下圖(04)所示。

1. 先將河道內的砂土，使砂土深度為 8 公分厚。
2. 設置磚頭障礙物後，讓水流入河道。
3. 5 分鐘之後，將水流關閉，然後測量磚頭前後的砂土厚度變化。並計算 5 分鐘的用水量，然後換水流速。
4. 將積存在仿河道模型中的積水抽乾，然後觀察砂土的沖刷範圍，之後測量並記錄。
5. 將河道還原之後，然後改變磚頭與的壓克力邊的夾角。承上的實驗再做一次，然後測量砂土的厚度分布情況。



圖(04) 為實驗並測量記錄各種渦流沖刷數據

(五)、河道底部凹洞所形成的渦流，對河道沖刷的影響實驗操作。如下圖(05)所示。

1. 在河道底部的砂土中，埋入一個長、寬、深均為 10 公分的正立方體透明壓克力杯子。
2. 外側的砂土鋪成 8 公分的厚度，壓克力的杯子內鋪砂子厚度為 5 公分厚度。
3. 然後規劃河道的寬度，用以改變水流速的快慢。
4. 水流 5 分鐘之後，觀察壓克力杯內的砂土分布狀況並記錄。包括深度、寬度、水流速換算。



圖(05)為河道底部凹洞渦流得形成實驗

(六)、將各種操作變因設定，分成三組實驗。如下圖(06)所示。

1. 實驗一：操作變因：表面水流速度。

我們改變水流量(水龍頭轉開的圈數)，設定河道寬度為 10 公分，河道水深 7 公分，(總河道深度為 15 公分，砂土深度 8 公分)。

控制變因：外層砂土 8 公分、內層砂土 5 公分、水流時間 5 分鐘。

2. 實驗二：操作變因：內層砂土厚度。

控制變因：外層砂土 8 公分、表面水流速度每分鐘 6.57 公尺、水流時間 5 分鐘。
(當水龍頭全開時，1 分鐘的水流量約為 46 公升，河道寬度 10 公分、深度 7 公分，所以水流速為 6.57143 公尺)

3. 實驗三：操作變因：水流時間。

控制變因：外層砂土 8 公分、內層砂土 5 公分、表面水流速度每分鐘 6.57 公尺。



圖(06)為三組不同的操作變因實驗

4. 在實驗一中，我們將水流速的操作分為：

- (1) 水龍頭轉開 1/4 圈，水流速 1.56 公尺/分。
- (2) 水龍頭轉開 2/4 圈，水流速 2.97 公尺/分。
- (3) 水龍頭轉開 3/4 圈，水流速 4.32 公尺/分。
- (4) 水龍頭轉開 4/4 圈，水流速 5.48 公尺/分。
- (5) 水龍頭轉開 5/4 圈，水流速 6.57 公尺/分。(水龍頭全開)

5. 在實驗二中，我們將內層砂土厚度操作分為：

- (1) 內層砂土厚度 2 公分，水面高度 10 公分。凹洞深度 8 公分。
- (2) 內層砂土厚度 3 公分，水面高度 10 公分。凹洞深度 7 公分。
- (3) 內層砂土厚度 4 公分，水面高度 10 公分。凹洞深度 6 公分。
- (4) 內層砂土厚度 5 公分，水面高度 10 公分。凹洞深度 5 公分。
- (5) 內層砂土厚度 6 公分，水面高度 10 公分。凹洞深度 4 公分。

6. 在實驗三中，我們將水流時間的操作分為：3 分鐘、4 分鐘、5 分鐘、6 分鐘、7 分鐘。

- (1) 河床沙土厚度 8 公分。
- (2) 和水流速為：6.57 公尺/分(水龍頭全開)
- (3) 凹洞沙土厚度 5 公分

(七)、在仿河道模型的磚頭障礙旁插上竹籤，觀察渦流的侵蝕狀態是否受影響。如下圖(07)所示。

1. 在障礙物的旁邊，間隔約 1.5 公分處插上竹籤。此竹籤可以當作在河道旁種植蘆葦。
2. 在水流的上游處，靠近竹籤之處上注入紅墨汁，使用手機錄影，然後觀察水流受竹籤影響的狀況。
3. 5 分鐘之後，再測量砂土受渦流影響之後的侵蝕和堆積情況。



圖(07)為仿照岸邊蘆葦生長影響渦流形成之圖片

(八)、在仿河道模型的凹洞底部插上竹籤，觀察渦流的侵蝕狀態是否受影響。如下圖(08)所示。

1. 將竹籤每 1 公分的長度，用麥克筆做上記號。
2. 在凹洞的前後端分別間隔相差 1.5 公分處，插上竹籤。
3. 在凹洞內，每間隔相差 1.5 公分處，插上竹籤。
3. 在水流的上游處，靠近竹籤之處上注入紅墨汁，使用手機錄影，然後觀察水流受竹籤影響的狀況。
4. 最後在流水沖刷 5 分鐘之後，積水抽乾，然後觀察並測量砂土的侵蝕和堆積狀況。



圖(08)為仿照河道凹洞插入障礙竹竿後，影響渦流形成之圖片

(九)、依照上述(八)實驗模式，我們將實驗分為三大主軸：如下圖(09)所示。

1. 岸邊插竹籤：

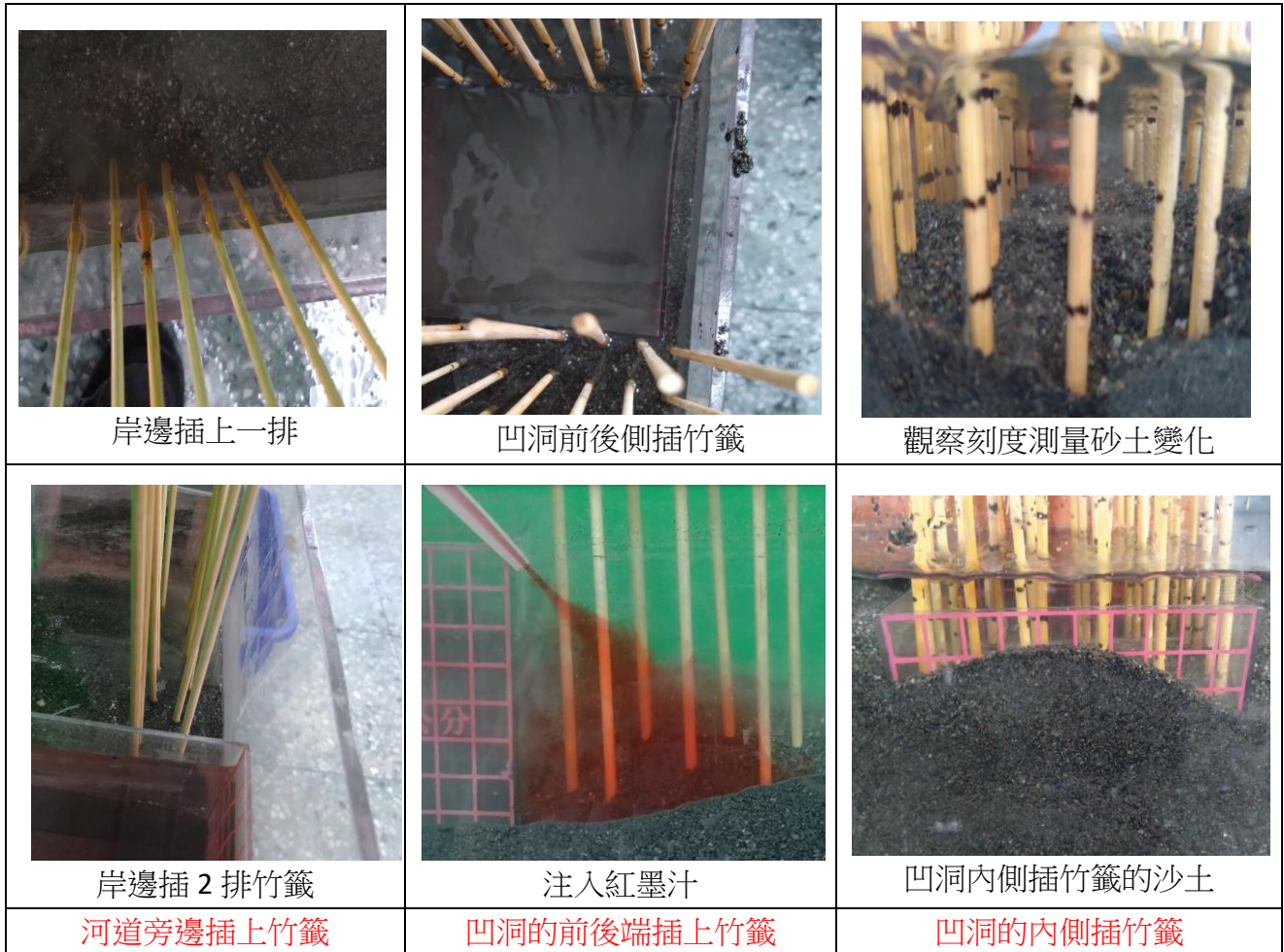
在河道旁邊，分別插上 1 排和 2 排竹籤，然後觀察渦流對砂土的影響。

2. 凹洞外側插竹籤：

在凹洞的前後端，分別插上 1 排、2 排和 3 排竹籤，然後觀察渦流對砂土的影響。

3. 凹洞的內側插竹籤：

在凹洞的內部共插滿橫縱各 5 排竹籤，然後觀察凹洞內渦流對前後砂土的影響。



圖(09)竹籤對渦流形成的影響

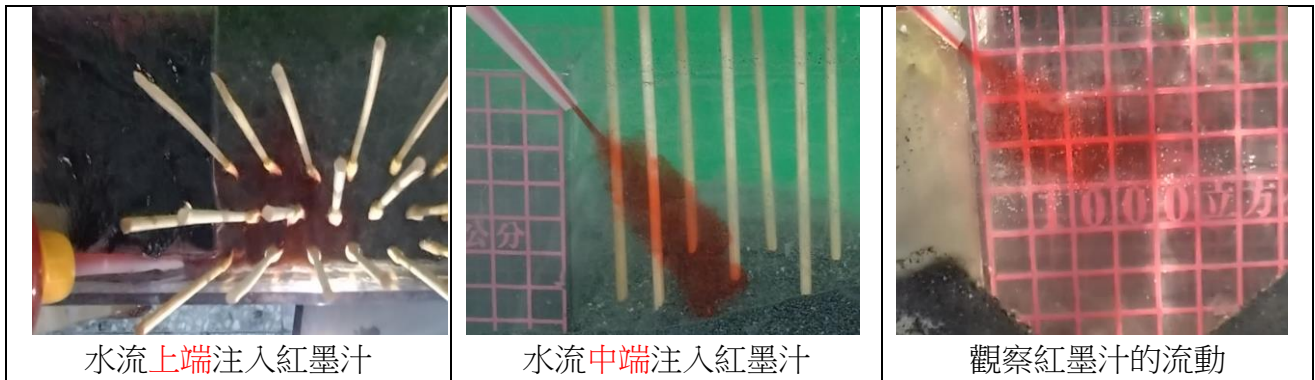
4. 控制變因：

- (1) 水流速：6.57 公尺/分。(水龍頭全開)
- (2) 凹洞內層沙土厚度為 5 公分。
- (3) 凹洞外層沙土厚度為 8 公分。
- (4) 表面流水高度為 12 公分。(高於河底砂土 4 公分)
- (5) 流水沖刷時間為 5 分鐘。

(十)、水流速和渦流的觀察：

1. 紅墨汁的觀察：如下圖(10)所示。

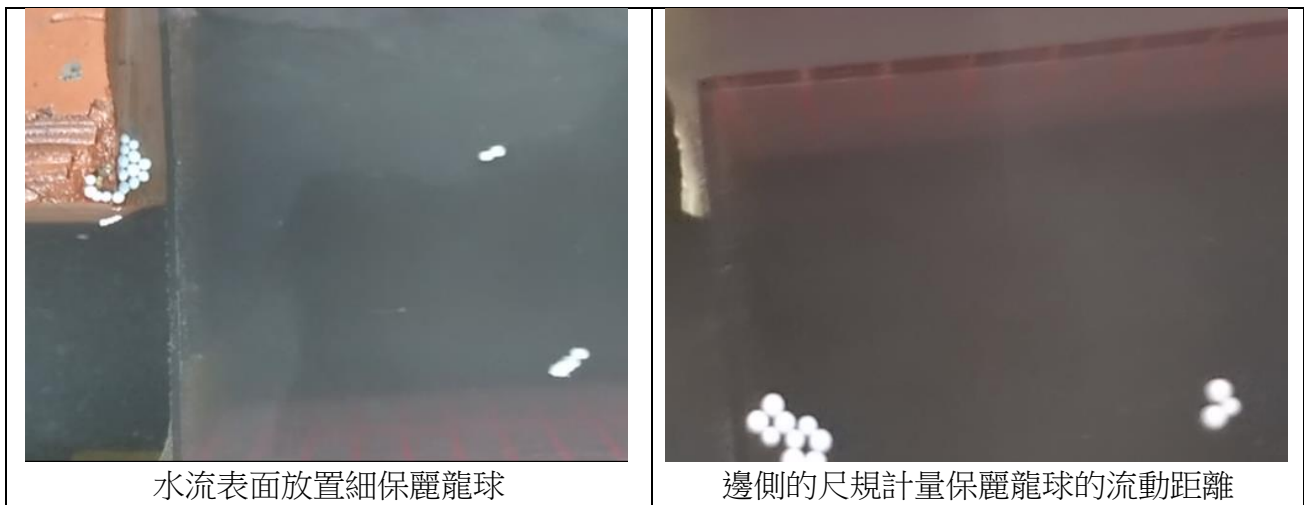
- (1) 在水面內的上端、中端、下端滴入紅墨汁，然後觀察紅墨汁的流動狀態。
- (2) 利用錄影回放，討論渦流的形成。



圖(10) 為注入紅墨汁對渦流的觀察

2. 水面保麗龍球的觀察：如下圖(11)所示。

- (1) 將保麗龍球放入水面漂流。
- (2) 在河道岸邊擺放尺標，然後利用錄影回放觀察流動的距離和時間，依此來計算流速。和渦流的關係。
- (3) 除了觀察流速以外，還觀察流動的路徑。



圖(11)為細保麗龍球在水面的流動情況

肆、研究結果

一、磚頭和障礙物的角度，所產生的渦流效應之研究結果。

(一)、控制變因：

1. 河流流速：3.6855 公尺/分。

(1) 水流量 46 公升/公尺。

(2) 河道寬=仿河道寬 40 公分 - 磚頭寬 23 公分=17 公分。

(3) 河水深=15 公分 - 8 公分砂土深=7 公分。

(4) 河流流速=46000/17/7=368.55 公分/分=3.6855 公尺/分。

2. 相同的一組仿河道模型及所有上面的物件。

(二)、操作變因為水流下游，磚頭與壓克力的夾角。實驗結果的數據，如下表(12)所示。

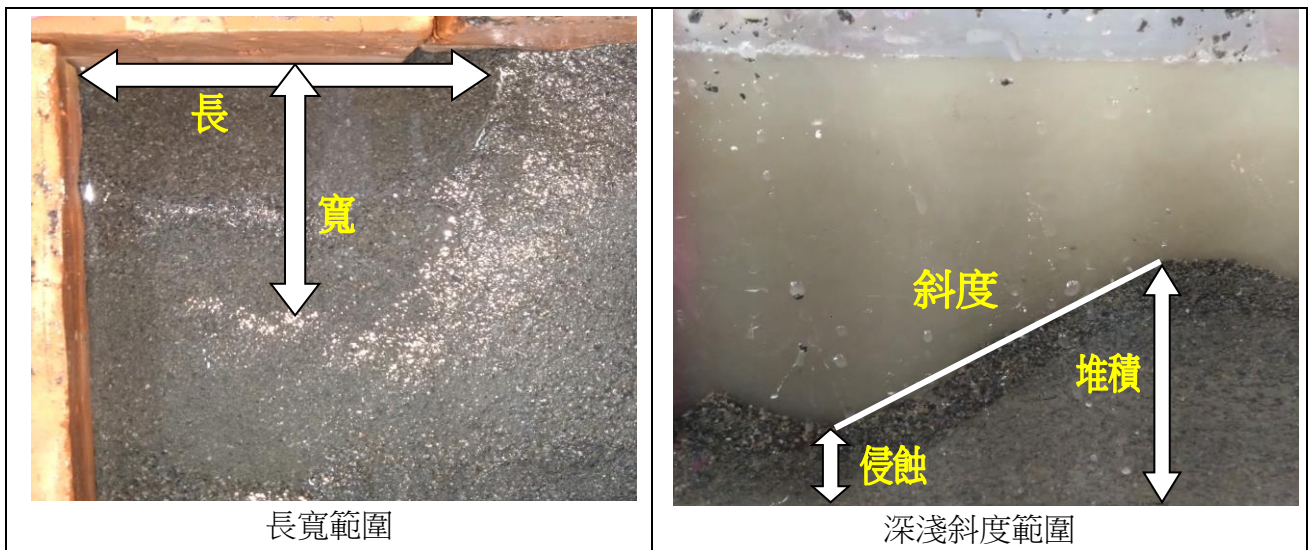
角度	渦流長度	渦流寬度	渦流面積	沙土堆積	砂土侵蝕	砂土斜度
60 度	12.5cm	6.7 cm	83.75cm ²	4.2 cm	9.9 cm	0.456
70 度	11.3cm	7.6 cm	85.88 cm ²	4.1 cm	9.3 cm	0.460
80 度	10.4cm	9.7cm	100.88 cm ²	4.0 cm	8.7 cm	0.452
90 度	8.8cm	11.7cm	102.96cm ²	4.3 cm	8.2 cm	0.443
100 度	8.1cm	14.7cm	119.07cm ²	4.4 cm	7.6 cm	0.395
110 度	6.3cm	16.0cm	100.80cm ²	4.6 cm	7.4 cm	0.444
120 度	5.8cm	17.7 cm	102.66cm ²	4.6 cm	7.8 cm	0.551

表(12)為不同磚頭夾角所形成的渦流資料

1. 渦流影響面積為長度×寬度。

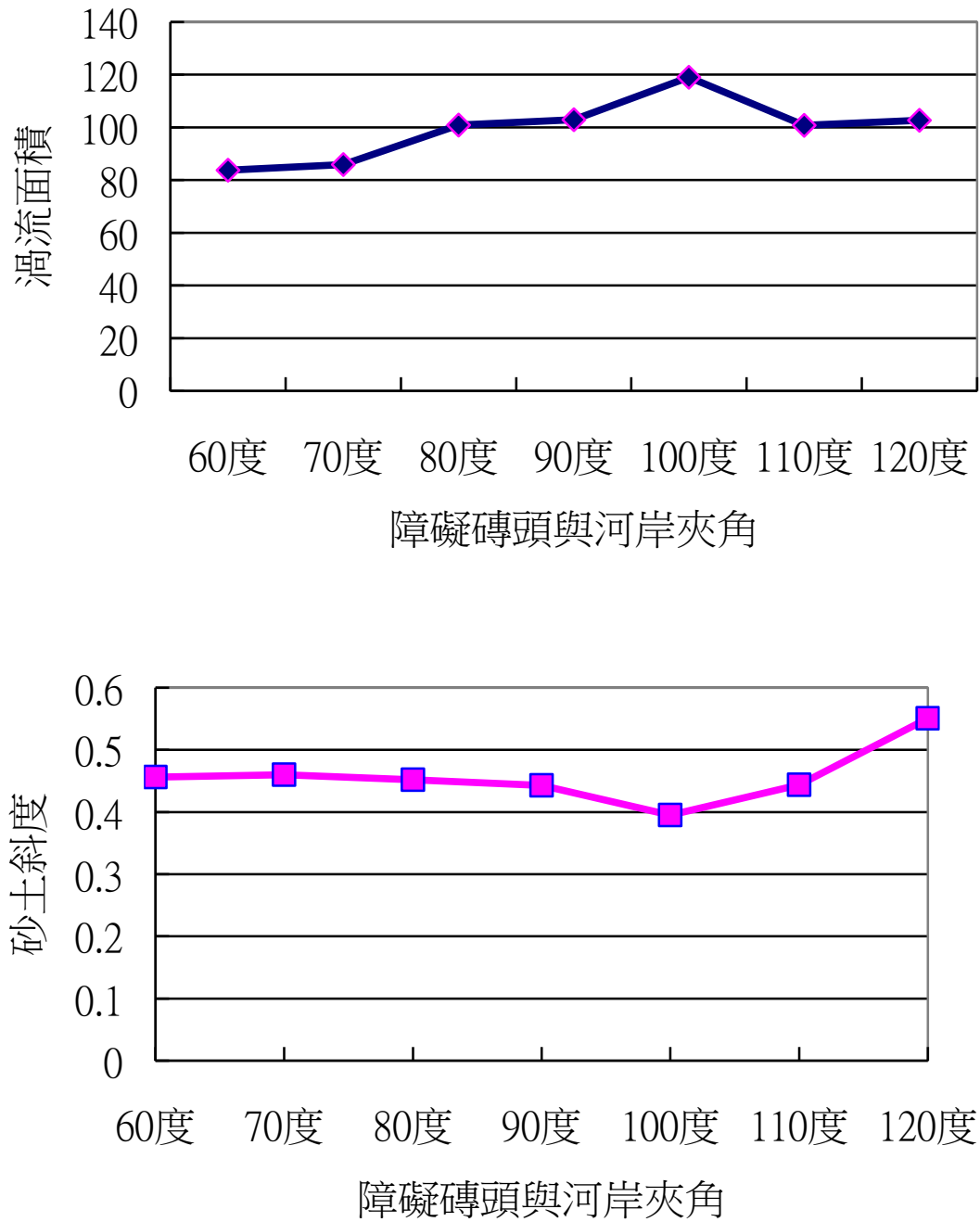
2. 沙土堆積斜度為(堆積高度 - 侵蝕高度)/渦流長度

(三)、下圖(13)為渦流所產生的數據解說。



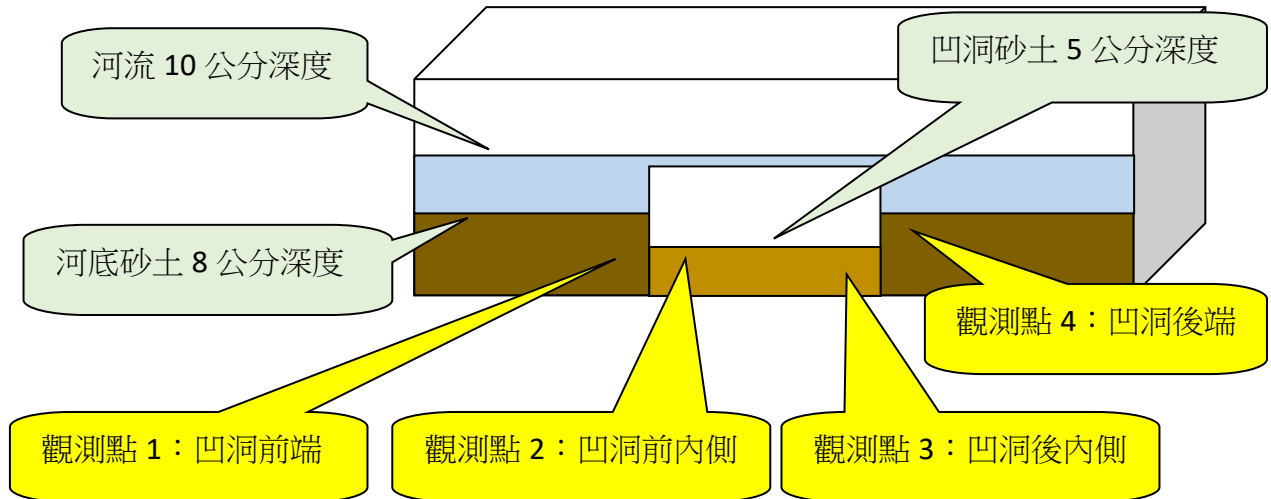
圖(13)為統計數據的測量來源依據

(四)、將表(09)的統計數據換算成折線圖，針對渦流面積和砂土形成的斜坡斜度，方便比較，如下圖(14)所示。



圖(14)為不同障礙碼頭與河岸夾角的渦流面積和砂土斜度折線圖

二、河道底部凹洞所形成的渦流，我們所觀察的數據位置示意圖如下圖(13)所示。



圖(15)為凹洞渦流四個砂土觀測點

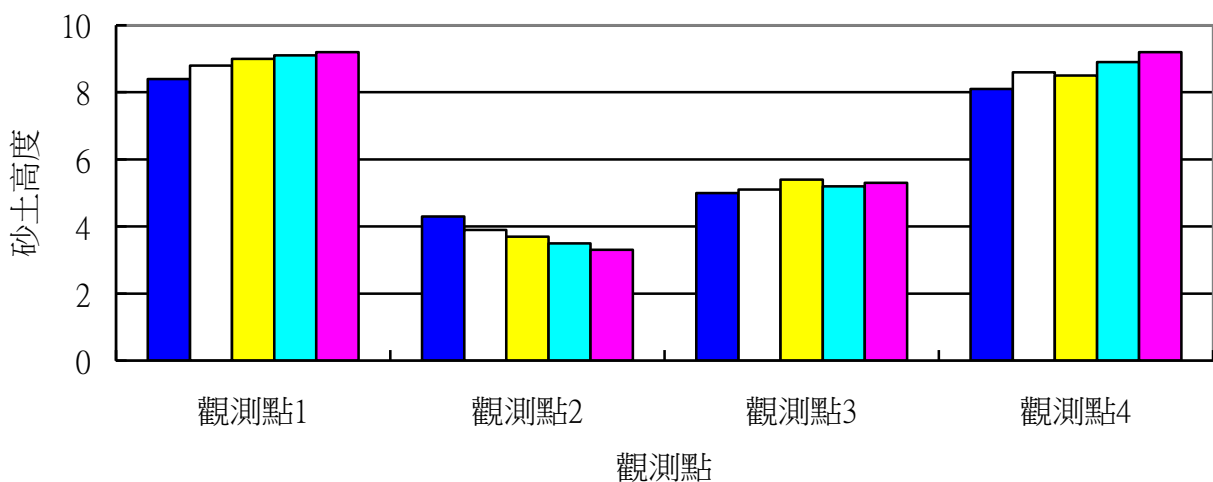
(一)、在不同的水流速之下，以下表(16)為四個觀測點的砂土高度情況。

觀測點 水流速	觀測點 1 凹洞前端	觀測點 2 凹洞前內側	觀測點 3 凹洞後內側	觀測點 4 凹洞後端
1.56 m/s	8.4	4.3	5.0	8.1
2.97 m/s	8.8	3.9	5.1	8.6
4.32 m/s	9.0	3.7	5.4	8.5
5.48 m/s	9.1	3.5	5.2	8.9
6.57 m/s	9.2	3.3	5.3	9.2

表(16)為不同的水流速之下四個觀測點的砂土高度

(二)、將表(14)轉換成柱狀圖，方便比較。如下圖(17)所示。

流速 1.56 m/s、流速 2.97 m/s、流速 4.32 m/s、流速 5.48 m/s、流速 6.57 m/s



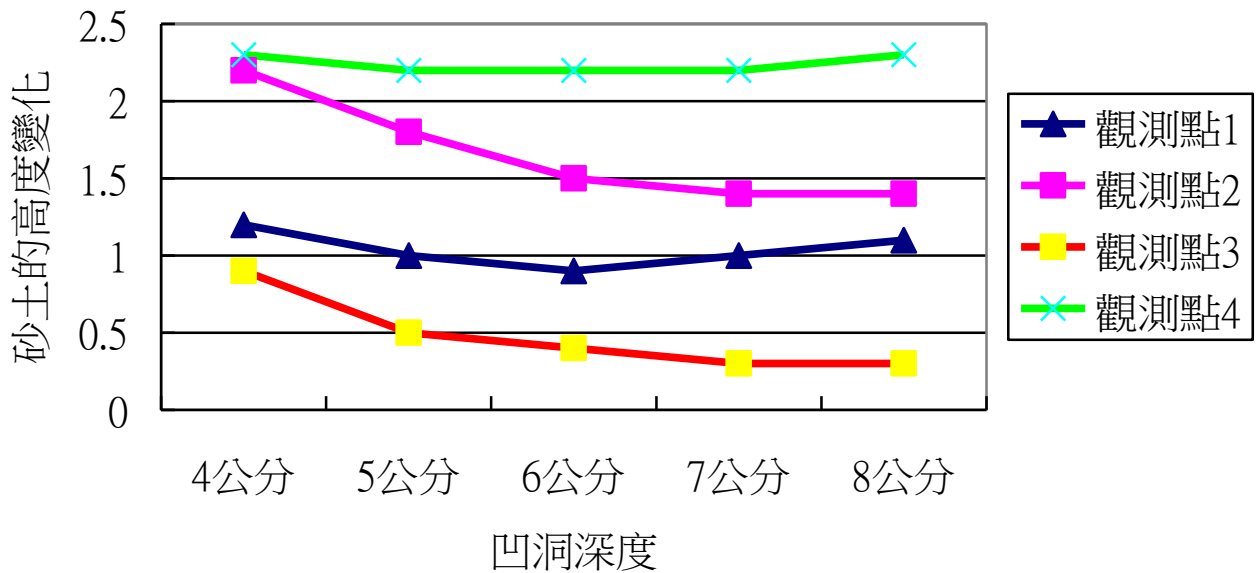
圖(17)為不同的水流速之下四個觀測點的砂土高度的柱狀圖比較

(三)、改變凹洞深度所形成的渦流，對四個觀察點的沙土影響如下表(18)所示。

觀測點 凹洞深度	觀測點 1 砂土增加的高度	觀測點 2 砂土減少的高度	觀測點 3 砂土增加的高度	觀測點 4 砂土減少的高度
8 公分	1.1 公分	1.4 公分	0.3 公分	2.3 公分
7 公分	1.0 公分	1.4 公分	0.3 公分	2.2 公分
6 公分	0.9 公分	1.5 公分	0.4 公分	2.2 公分
5 公分	1.0 公分	1.8 公分	0.5 公分	2.2 公分
4 公分	1.2 公分	2.2 公分	0.9 公分	2.3 公分

表(18)為凹洞深度對四個觀察點的沙土影響

(四)、將表(18)轉化成折線圖，如下圖(19)所示，方便比較形成的效果。



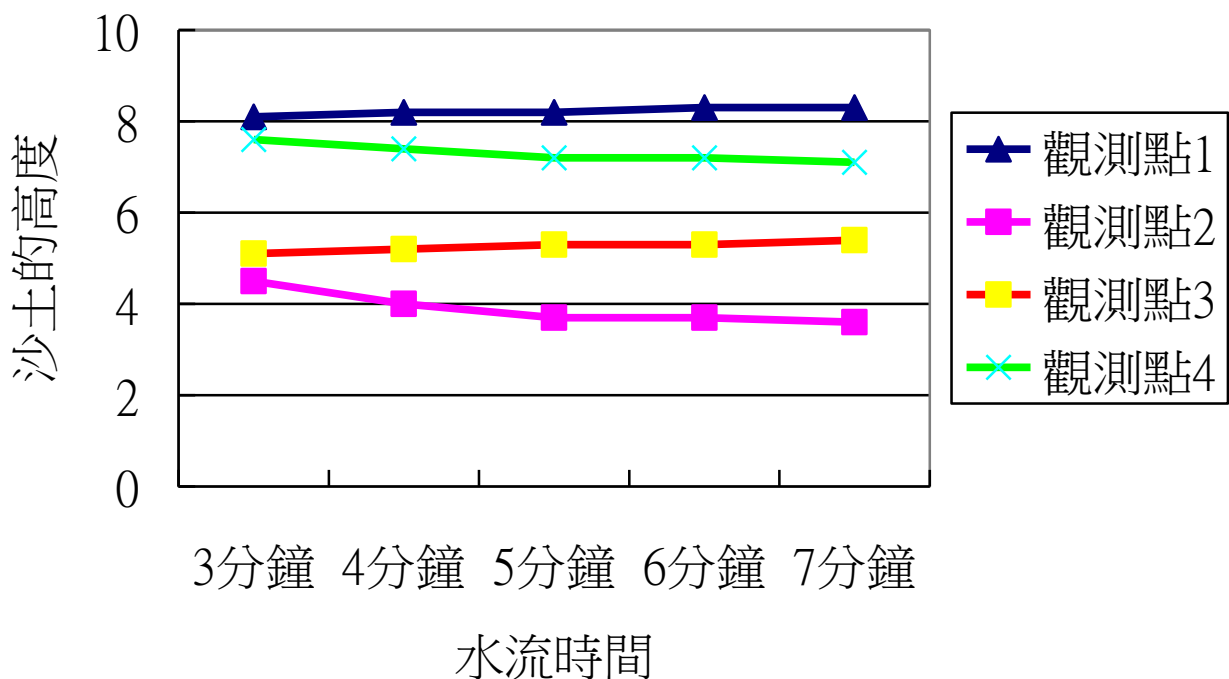
圖(19)為表(18)的數據的折線圖轉換

(五)、在凹洞的冲刷時間的實驗中，我所在四個觀察點所測量的四個觀察點的沙土高度變化數據如下表(20)所示。

觀測點 水流時間	觀測點 1 凹洞前端	觀測點 2 凹洞前內側	觀測點 3 凹洞後內側	觀測點 4 凹洞後端
3 分鐘	8.1 公分	4.5 公分	5.1 公分	7.6 公分
4 分鐘	8.2 公分	4.0 公分	5.2 公分	7.4 公分
5 分鐘	8.2 公分	3.7 公分	5.3 公分	7.2 公分
6 分鐘	8.3 公分	3.7 公分	5.3 公分	7.2 公分
7 分鐘	8.3 公分	3.6 公分	5.4 公分	7.1 公分

表(20) 凹洞的冲刷時間和四個觀察點的沙土高度變化

(六)、將表(20)轉化成折線圖，如下圖(21)所示，方便比較形成的效果。



圖(21)為表(20)的數據的折線圖轉換

三、在仿河道模型的磚頭障礙旁插上竹籤，觀察渦流的侵蝕狀態是否受影響的實驗中，我們一共做了三個實驗結果：

(一)、岸邊插竹籤：所收集數據如下表(22)所示。

	實驗前沙土高度	實驗後沙土高度	沙土高度相差
未插竹籤	8 公分	7.5 公分	-0.5 公分
插 1 排竹籤	8 公分	7.4 公分	-0.6 公分
插 2 排竹籤	8 公分	7.6 公分	-0.4 公分

表(22)岸邊插竹籤對渦流沙土的高度影響

(二)、凹洞外側插竹籤：前端沙土高度變化數據如下表(23)所示。

	實驗前沙土高度	實驗後沙土高度	沙土高度相差
未插竹籤	8 公分	8.2 公分	+0.2 公分
插 1 排竹籤	8 公分	8.4 公分	+0.4 公分
插 2 排竹籤	8 公分	8.2 公分	+0.2 公分
插 3 排竹籤	8 公分	8.2 公分	+0.2 公分

表(23)為前端插竹籤沙土高度變化數據

(三)、凹洞外側插竹籤：後端沙土高度變化數據如下表(24)所示。

	實驗前沙土高度	實驗後沙土高度	沙土高度相差
未插竹籤	8 公分	7.2 公分	-0.8 公分
插 1 排竹籤	8 公分	7.4 公分	-0.6 公分
插 2 排竹籤	8 公分	7.5 公分	-0.5 公分
插 3 排竹籤	8 公分	7.5 公分	-0.5 公分

表(24)為後端插竹籤沙土高度變化數據

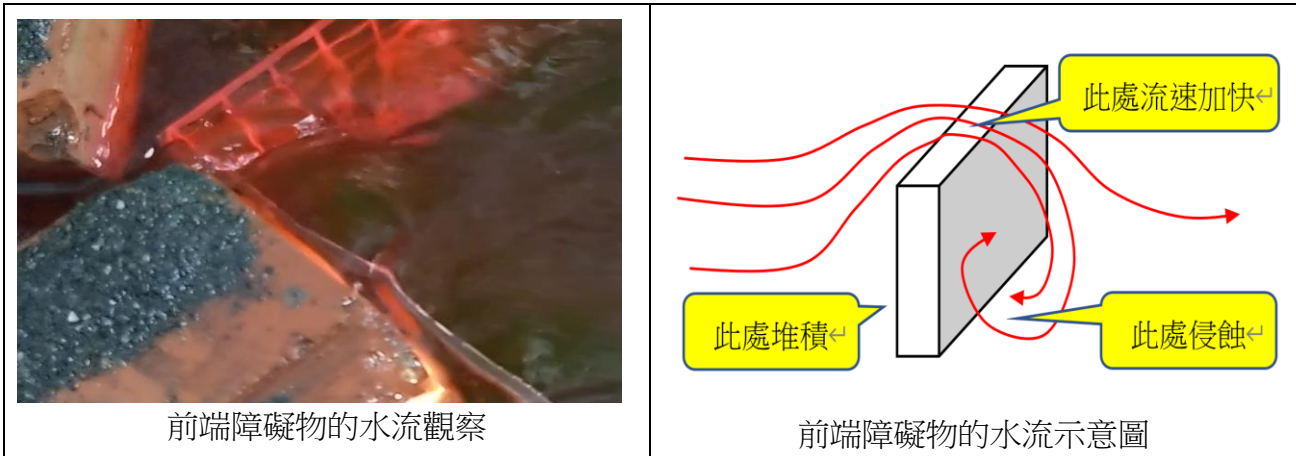
(四)、凹洞內側插竹籤：沙土高度變化數據如下表(25)所示。

	實驗前沙土高度	實驗後沙土高度	沙土高度相差
未插竹籤	5 公分	3.4 公分	-1.6 公分
第 1 排竹籤(前)	5 公分	4.2 公分	-0.8 公分
第 2 排竹籤(前)	5 公分	4.8 公分	-0.2 公分
第 3 排竹籤(中)	5 公分	5.9 公分	+0.9 公分
第 4 排竹籤(後)	5 公分	5.4 公分	+0.4 公分
第 5 排竹籤(後)	5 公分	5.2 公分	+0.2 公分

表(25)為凹洞內側插竹籤沙土高度變化數據

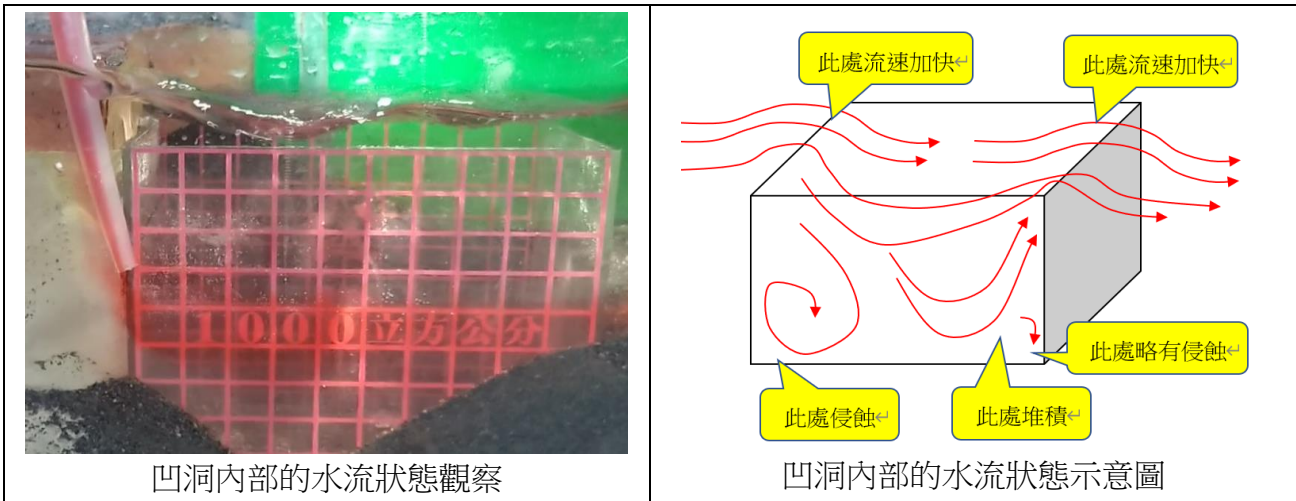
四、在水中注入紅墨汁，觀察渦流的形成實驗中，我們發現以下幾個結果。

(一)、前端遇到障礙物的水流狀態和示意圖。如下圖(26)所示。



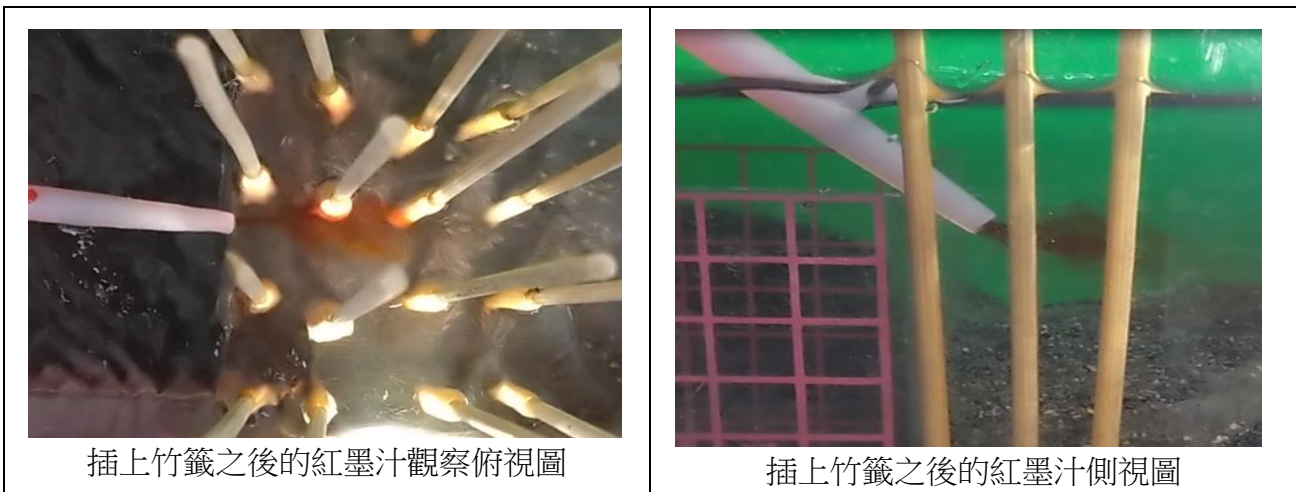
圖(26)為前端遇到障礙物的水流狀態和示意圖

(二)、凹洞內部的水流狀態和示意圖。如下圖(27)所示。



圖(27)為凹洞內部的水流狀態和示意圖

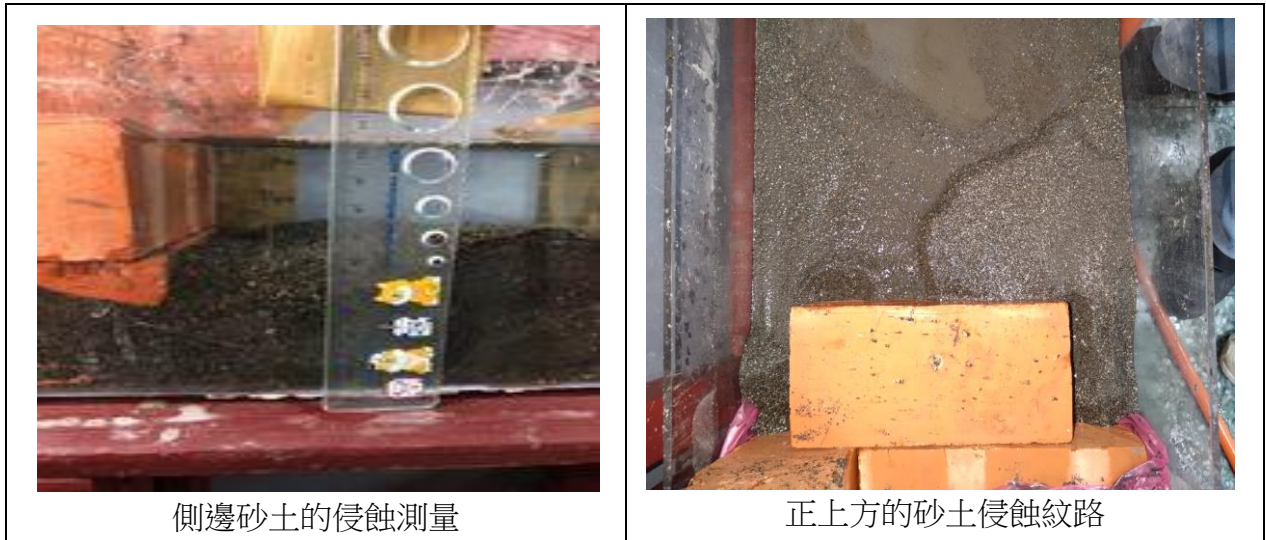
(三)、在插上竹籤之後，注入紅墨汁，觀察水流的狀態。如下圖(28)所示。



圖(28)為插上竹籤之後，注入紅墨汁觀察水流狀態

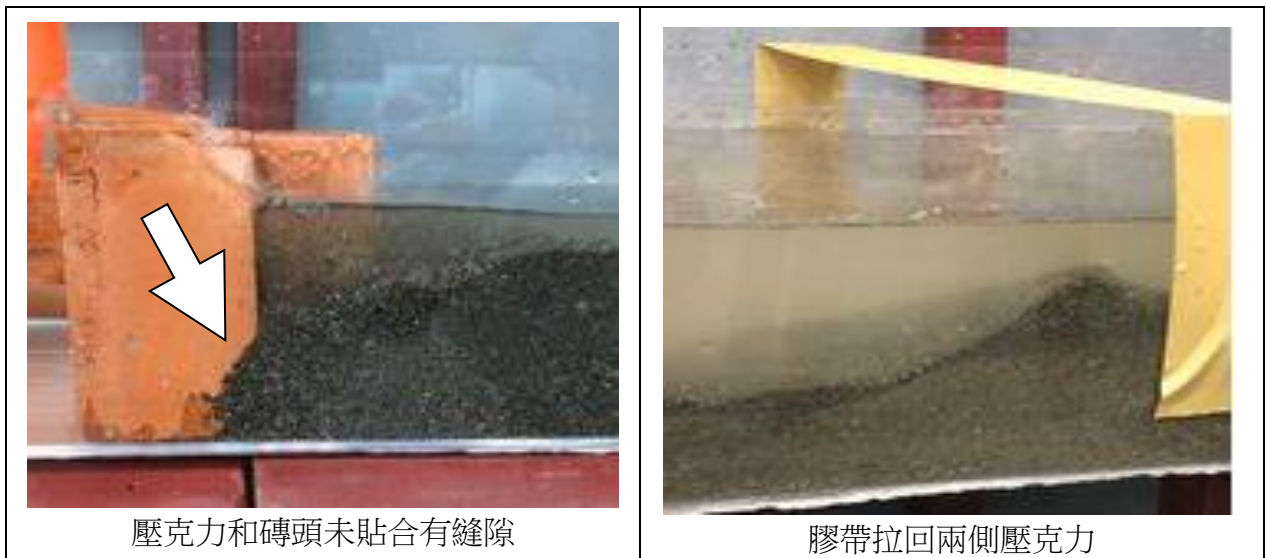
伍、討論

- 一、因為從高屏溪收集來的河砂大小不一，而且還有部分雜物。所以我們討論之後，決定用 4mm^2 的濾網將其過濾。以此來當作沙粒的控制變因之一。
- 二、因為我們沒有測量衝擊力的儀器，所以我們購買的壓克力是透明的。我們透過砂土被流水的衝擊，使砂土的侵蝕和堆積的高低變化來測量渦流的作用力狀況。如下圖(29)所示。



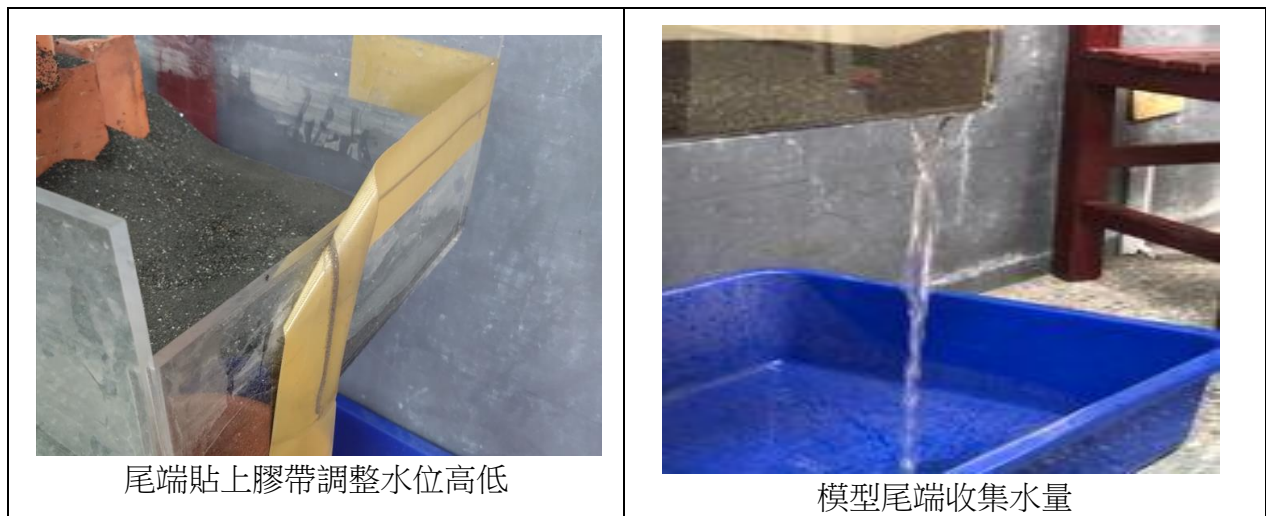
圖(29)是由側面和正上方觀察沙子的侵蝕和堆積紋路

- 三、因為壓克力具有彈性，所以在裝上砂土之後，側邊的壓克力板，會因為壓力而往兩側翻開，導致水流會經由磚頭和壓克力之間的縫隙流過，導致實驗有所誤差。為了解決此問題，我們採用最原始的方式處理，就是在兩側沾黏上膠帶，然後向內側拉。如此兩側的壓克力板就會回到原來垂直的界面。如下圖(30)所示。



圖(30)是利用膠帶拉回兩側壓克力，使磚頭和壓克力板貼合

四、我們為了使表面水的深度固定在 15 公分的深度，所以我們在仿河道模型的尾端，利用膠帶將水的流出模型高度固定在 15 公分處。又為了測量水流量，所以我們在尾端收集流出的水量，然後收集總水量除以所花的時間，如此即可計算出水流速。如下圖(31)所示。



圖(31)為利用膠帶控制水位和計算水流量

1. 我們先將用 1 公升的燒杯，裝滿水之後，倒入水桶中，然後每裝 1 公升的水，就在水桶的內側用麥克筆畫上刻度記號，如此用此水桶來測量流水量。再加上用碼錶來測量收集水量所花的時間，如此換算就可以得到水的流速。因為水速度 = 水流量 / 時間
2. 因為我們當初訂製的仿河道模型的尾端高度是 10 公分，所以我們利用貼上膠帶來提高水位的高度。
3. 當我們需要調整河道的水位高低時，我們就在仿河道模型的尾端貼上不高度的膠帶，以此來調整水位的高低所須。

五、河道的沖刷時間為什麼要訂在 5 分鐘？

1. 我們用目視的方式觀察後，發現沖刷時間在 3~4 分鐘之後，就沒有太明顯的變化。
2. 因為實驗的時間非常有限，我們討論之後。所以才訂 5 分鐘為一個計量的基數。
3. 因為實驗需要多次反覆的測試，而在每週一次的實驗中，就必須使用大量的水。基於不浪費太多的水，所以我們訂為 5 分鐘為一時間基數。

六、渦流是在溪流常出現的現象，而蘆葦也是常出現在河道旁的植物，而蘆葦是否會影響渦流的形成。所以我們在障礙物的旁邊插上竹籤，此竹籤可以當作在河道旁種植蘆葦。

七、在凹洞所產生的渦流實驗中，我們發現水的流速對河底的沙土侵蝕和堆積的影響並不明顯。這和我們的認知有些微的差距。我們在實驗前，大家普遍認為應該有明顯的數據差異才對。後來針對這點，我們討論之後，有以下幾點的結果：

- (一)、我們認為最主要的影響應該是凹洞的距離太短。因為渦流的形成，在流體力學中，需要有一定的作用範圍，否則水流和水流之間可能會因為距離太短而相互影響，甚至相互抵銷。
- (二)、仿河道模型太小，水量太小。因為沙子還是一樣這麼大的溪流沙子，可是水量卻只有水龍頭的水量。所以可能沖刷的力道小了一些。
- (三)、時間太短。平均實驗指沖刷 5 分鐘所形成的效果，真的要與經年累月的溪流相比，簡直是小巫見大巫。

八、在凹洞的深度實驗中，我們發現，深度越深，渦流所產生前端侵蝕效果並不明顯、後端地堆積效果也不明顯。反而凹洞越淺，侵蝕和堆積效果越好。若依此推論，那沒有凹洞，不就是侵蝕效果最強嗎！對於這個數據結果，我們還是認為因為凹洞的大小不夠大，若時間可以重來，我們絕對要將凹洞的大小列為操作變因之一。至少要將這一實驗的凹洞長度拉長至 20 至 50 公分左右。然後再來考慮水流和渦流相互干擾的關係。

九、在觀察水流速時，我們做了一個小觀察。我們在水面上放置 1~3 顆系保麗龍球時，發現以下幾種種況

- (一) 因為表面張力的關係，小保麗龍球常常會聚在一起變成一片。所以在錄影觀察時，我們會鎖定其中一顆來進行觀察。
- (二) 水流的路徑，因為每次的錄影還是有些差異，再加上每人的觀察有所差異。所以我們是共同觀察錄影之後，然後再彼此用紙筆先各自畫出路徑，之後再討論決定。
- (三) 在小範圍的水流速會有所差異，例如河岸邊流速、恰越過障礙物的流速、水面流速和河底流速，因為細節太多。所以我們最後決定，統一以總注水量除以河道結面然後除以所花的時間為統一的水流速。
- (四) 在插上竹籤之後的水流狀態，因為實驗次數少，再加上沒有一次的錄影是大致相同的。我們真的找不出任何規律性，所以最後我們放棄討論插上竹籤之後的渦流影響。如果可以，這個項目幾乎完全可以當做我們下次科展的流體力學主題。

陸、結論

一、由磚頭與河道岸邊的壓克力夾角實驗，我們發現以下幾個結果：

- (一)、若障礙物與河岸的夾角越大(在 60 度~120 度之間)，則渦流的長度越短、渦流的寬度越寬，但渦流的面積卻變化不大。所以可以得到的結論是，只要是同一塊障礙物，無論其如何角度擺放，渦流的面積大致是差不多的。
- (二)、渦流在接近障礙物這一端的侵蝕力是差不多的，和擺放角度無關。
- (三)、渦流的堆積能力，會隨著角度的變大而變弱。
- (四)、從數據上發現，高度差會隨著角度變大而變小。但是渦流的長度也會隨著變短，所以砂土坡度的斜度大致是在 0.45 左右，變化不大。

二、由凹洞所形成的渦流實驗中，我們發現以下幾點結論：

- (一)、雖然水流速會影響渦流的侵蝕和沙土堆積，但從我們的實驗數據中發現，影響效果並不是非常明顯。
- (二)、在凹洞深度的實驗數據中，我們發現以下幾點結論：
 1. 凹洞的前後端砂土，並不會受影響渦流的影響。
 2. 凹洞的深度越深，渦流所產生前端侵蝕效果並不明顯、後端地堆積效果也不明顯。反而凹洞越淺，侵蝕和堆積效果越好。
- (三)、因為一開始的凹洞設計太小，導致實驗數據和預測值相差太大，甚至效果是相反的。

三、在凹洞的沖刷時間和砂土的侵蝕和堆積關係實驗中，我們發現以下幾點結果：

- (一)、任一觀察點的前 3 分鐘，沖刷和堆積效果都相當明顯。但隨著時間的進行，效果就沒有顯著的表現出來。尤其在第 6 分鐘之後，幾乎就到達一種平衡的狀態。
- (二)、由實驗數據的效果發現，侵蝕的效果比堆積的現象表現來的明顯。而堆積的表現在凹洞的內側和外側表現差不多，但侵蝕的效果在外側則比內側來的效果顯著。

四、由插竹籤影響渦流的實驗中，我們發現以下幾種結果：

- (一)、在岸邊插竹籤，對渦流的影響幾乎沒有。因為 1 組是較大一些，另一組是較小一些。
- (二)、在凹洞的前端插竹籤，對砂土高度變化中，我們發現，差上一排的效果是最好的。然後在增加竹籤的排數，幾乎對砂土的堆積就沒有幫助了。
- (三)、在凹洞的後端插竹籤，對砂土高度變化中，我們發現，有插竹籤和沒插竹籤的效果比前端來得明顯，而且插 2 排的效果最好。在多插就沒有明顯效果了。
- (四)、在凹洞內側插竹籤對砂土高度變化的實驗中，我們發現效果是相當顯著的。幾乎可以干擾渦流到達很明顯的程度。

五、在觀察紅墨汁的實驗中，我們得到以下幾個結論：

- (一)、有紅墨汁停留的地方，幾乎可以斷定水流速為零，而此處常是沙土堆積之處。
- (二)、在放大觀察紅墨汁的行徑錄影時，明顯的看到砂土侵蝕之處，會有紅墨汁的轉圈圈旋轉路徑流動。

六、在插上竹籤觀察水流動的實驗中，我們在抽乾河水時，還是發現在竹籤的周圍有些微的砂土侵蝕現象。所以竹籤本身也是可以視為障礙物的一種。

柒、參考資料及其他

一、南一出版社，第五冊-第五章-我們身邊的大地

二、翰林出版社，第五冊-第五章-地表的改變與平衡

三、康軒出版社，第五冊-第五章-水與陸地

四、維基百科，渦流

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B8%A6%E6%B5%81>

五、YouTube 影片-急流水域的分析(改)

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

六、科學月刊，隱藏的詭異漩渦——海洋的渦流與沖刷

<https://www.scimonth.com.tw/archives/2022>

七、第 12 屆旺宏科學獎-成果報告書，漩渦對橋墩侵蝕與堆積現象之探討

https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/12th/doc/SA12-174_final.pdf

八、維基百科-流體力學

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B5%81%E4%BD%93%E5%8A%9B%E5%AD%A6>

九、白努利原理，國立彰化師範大學物理系，趙書漢

<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1524&cpage=1>

十、YouTube 影片，TVBS 新聞台，科學不一樣，流速快慢影響壓力

<https://www.youtube.com/watch?v=zP7Eu4FDE8I>

十一、維基百科，馬格納斯效應

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A9%AC%E6%A0%BC%E5%8A%AA%E6%96%AF%E6%95%88%E5%BA%94>