

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科  
(鄉土)教材獎

080114

欲速，“渦”可達！

學校名稱：彰化縣溪州鄉水尾國民小學

作者：  小五 洪佳彬  小五 陳禹蓁  小五 鐘允呈  小五 鐘昱淇	指導老師：  吳建儒  林碧珊
---	-----------------------------

關鍵詞：渦流、流速、岩石排列

## 摘要

本研究主要探討，定向水流作用於水面下擋體時，在前方形成渦流的變化情形。我們模擬溪流中岩石堆疊，並自製水壓觀測儀、壓力點推論模型、水流強度測量裝置來觀察和驗證，找到穩定形成渦流的环境條件，也發現渦流讓流速變快的秘密。研究結果如下：

- 一、四種產生自由渦流的岩石排列中，阻擋型渦流出現的位置最集中且固定。
- 二、阻擋型渦流的產生是因為兩側擋體製造了加壓點，讓下方水快速轉動，形成雙渦合流。
- 三、水流速 185cm/s 以上，阻擋型渦流平均持續時間和間隔時間比大於 15：1，穩定出現。
- 四、水位與岩石高度比會影響阻擋型渦流穩定性，比值在 1.86 至 2.14 之間時，表現最佳。
- 五、阻擋型擋體的夾角在 120 度時，產生最大的水流強度，達到 4.22 倍的增益效率。

## 壹、研究動機

有一次在進行溪流探索的課程時，教練提醒我們要避開大石縫旁的踏點，說可能會有捲人的漩渦，另外，我們也曾在新聞上看到不少，因為溯溪發生意外被捲入溪中的報導，於是我們對這個現象感到好奇，在水平方向流動的水裡，要如何透過擋體來產生垂直方向吸力的渦流呢？除了石頭排列之外，還有什麼是產生渦流的必要條件呢？渦流的威力到底有多大？我們決定進行一連串的探索和研究，來解開心中的疑惑。

作品與教材之相關性：

南一版 自然與生活科技領域 六上 第三單元 變動的大地

南一版 自然與生活科技領域 六下 第一單元 巧妙的施力工具

## 貳、研究目的

- 一、探討四種不同的岩石排列產生渦流的差異。
- 二、探討阻擋型渦流產生時，水流的壓力變化。
- 三、比較不同的流速下，阻擋型渦流的持續狀況。
- 四、比較不同的水位時，阻擋型渦流的持續狀況。
- 五、探討改變阻擋型擋體的夾角時，水流強度的變化。

## 叁、文獻探討

### 一、會形成渦流的岩石排列方式

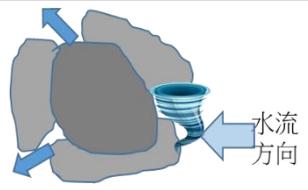
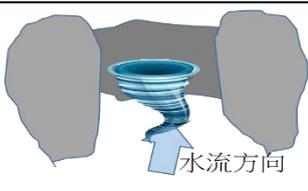
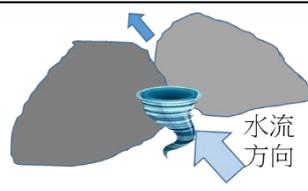
在過去的科展作品中，並沒有渦流形成與岩石排列有關的研究。我們在 Youtube 看到「水洞種類與救援分析」影片，發現片中的水洞和溪流中的渦流相似。於是實際訪問影片作者鄧智坤教練，了解水洞與岩石排列的關係。



圖 1：溪流中產生的水洞

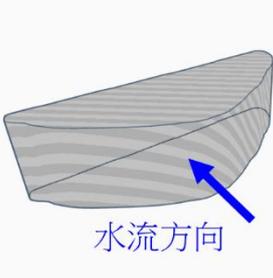
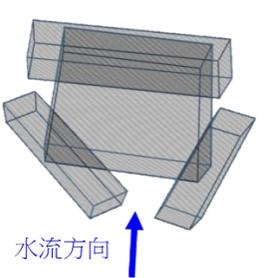
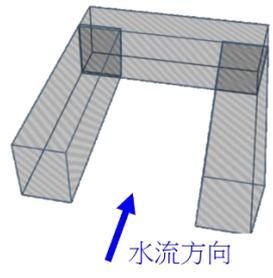
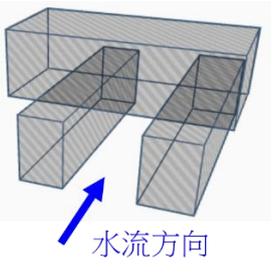
依據訪談的內容，我們整理出四種容易產生渦流岩石排列類型，分別為**阻擋型**、**多穴型**、**包夾型**和**貫穿型**並圖示水流流動情形、及分析岩石排列與渦流的發生位置。

表 1：四種岩石排列與水流關係整理表

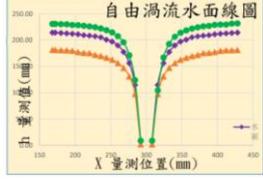
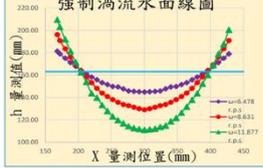
阻擋型		多穴型	
			
岩石擋在行水區，因岩石角度和流水作用，產生渦流		由三顆以上的岩石堆疊而成，岩石間產生空間，形成通道，在孔洞前產生渦流。	
包夾型		貫穿型	
			
岩石排列成U字型，溪水沖擊岩石，在U字型空間內迴流互相作用，形成渦流		兩顆岩石之間形成石縫，水流經石縫形成渦流，產生吸力	

根據上述的文獻，我們繪製透視圖來理解四種排列方式和岩石之間的相對位置。

表 2：四種岩石排列模型透視圖

類型	阻擋型	多穴型	包夾型	貫穿型
透視模型				

## 二、渦流分類：(許汶芳、謝侑廷、吳沂哲，2019)

類別	渦流形成方式	實例	渦流水面線形狀
自由 渦流	在沒有外力的情況下， 渦旋通常會快速形成	洗手台大量的水，往排水孔流動	 水面線呈 <b>漏斗狀</b>
強制 渦流	當流體受到外力作用而 保持旋轉狀態	果汁機的刀片快速旋轉，液體會不斷地旋轉	 水面線呈 <b>拋物線狀</b>

從上述資料，我們發現**溪流中的產生的渦流都是水流和岩石之間交互作用而產生**，並無外力介入，且都呈漏斗狀的水柱，因此是**屬於自由渦流**。

## 三、白努利原理(Bernoulli principle)

白努利原理是能量守恆定律在流體上的應用。為了滿足能量守恆定律，流體分子力學能的總和應該在流動路徑上的各處皆要相同，也就是動能與位能的和不論流體流往何處皆應保持定值。流體在同一水平面上流動（當液體相對於基準點的高度為定值），則在**流體流速快的地方壓力會變大**，相反的，**流體流速慢時壓力會變小**。(趙書漢、洪連輝，2009)

## 四、溪流中水的流速

河流的水往下游流動時，不同層的水會以不同的速度流動，且流速會依深度而有所不同，越接近水面流速就越快，水底則較緩慢，**最快的水流通常是在位在河中央水平面正下**。

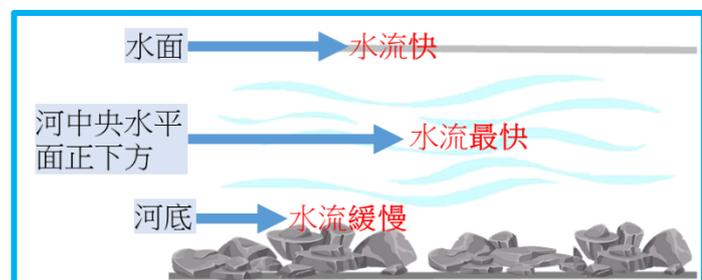
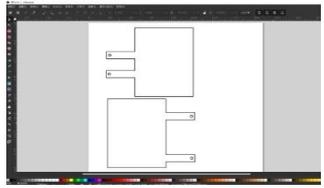


圖 2：溪水分層流速示意圖

根據上述，接下來實驗中**模擬實際河道的水流，會設置於裝置中央水面下的位置**，製造出最快的水流速度，以符合實際的狀況。

## 肆、研究設備及器材

- 一、器材：水族箱(長 120cm、寬 30cm、高 35cm)、變頻沉水馬達、電子秤、滑輪組、平板、相機、腳架、俯拍架、壓克力折彎器、刻磨機、水族箱 LED 架燈、
- 二、材料：岩石、地磚、發泡球、水管、分隔板、海綿、3mm 壓克力板、螺絲、螺絲帽、輸液套、紅墨水、3ML 針筒、保鮮膜、塑膠瓦楞板、膠帶、紙尺、積木、鐵棍、長尾夾
- 三、軟體：

	<b>Media Player Classica</b> 利用軟體播放記錄的影片，因渦流速度快，使用「 <b>慢速播放</b> 」功能來 <b>記錄數據</b> ，也可直接儲存 <b>擷取畫面</b> ，儲存成圖檔。
	<b>Inkscape</b> 是一款 <b>向量繪圖軟體</b> ，我們利用此軟體繪製實驗四中「 <b>自製擋體</b> 」的線條，輸出 SVG 檔，作為雷射切割使用。

### 四、室內流水循環系統

為探討水流、岩石和渦流之間的關係，我們以水族箱(長 120cm、寬 30cm、高 35cm)當作河道，自製室內流水循環系統。為了在系統中製造快速的水流，衝擊岩石產生渦流，經過三次的修改，室內流水循環系統更符合現實狀況。

#### (一)第一期：

在系統內放兩組沉水馬達，將水抽到另一側上方的儲水箱內，儲水箱底部有挖孔，插入 L 型塑膠管，透過水向下的衝擊力，模擬河水流動的情形。但實際狀況發現，馬達抽水速度有限，無法提供足夠的水量，讓水流流速緩慢，因此，針對馬達的馬力再做修正。

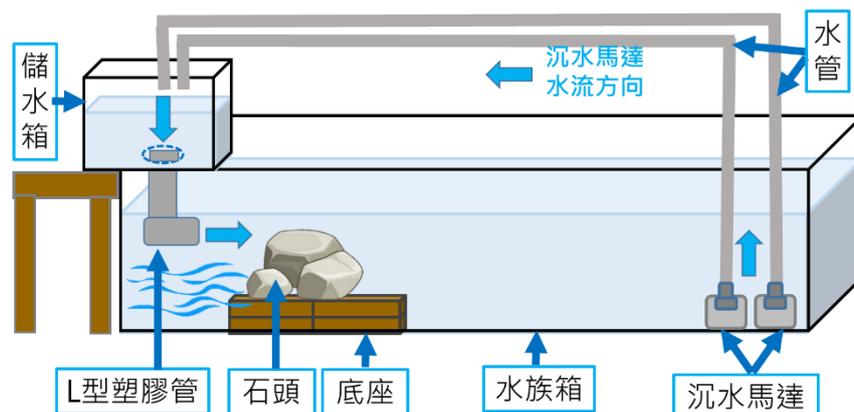


圖 3：第一期流水循環系統示意圖

(二)第二期：

為了增加儲水箱的水量，我們加大儲水箱的容積，並將沉水馬達置換成變頻水泵(10000L/H)，可增加儲水箱的水量。操作後發現，雖然水泵送水的速度可以將儲水箱補滿，製造的水流速度有明顯增加，但還是不夠快。因此得再改變方式，增加水流的速度。

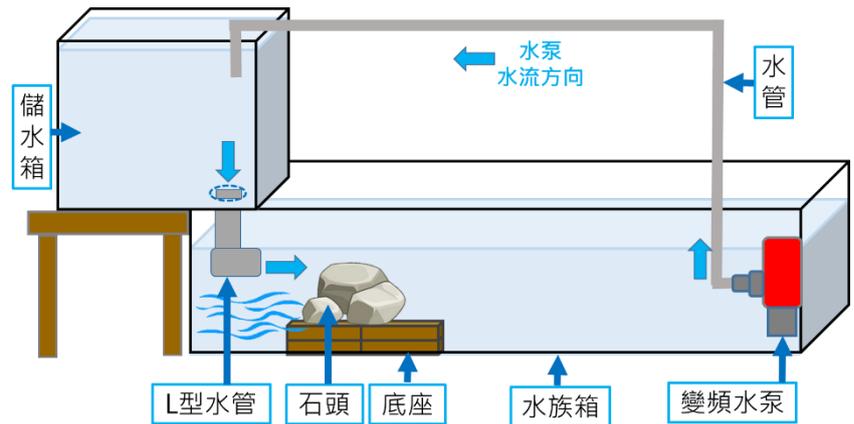


圖 4：第二期流水循環系統示意圖

(三)第三期：

為了增加水流速度，我們用變頻水泵來模擬河道的水流，並將出水口的水管換成直徑最大的 3.2 公分，增加水流的範圍。變頻水泵能提供穩定的水量，也可以調整水量的輸出，更符合實驗環境的需求。

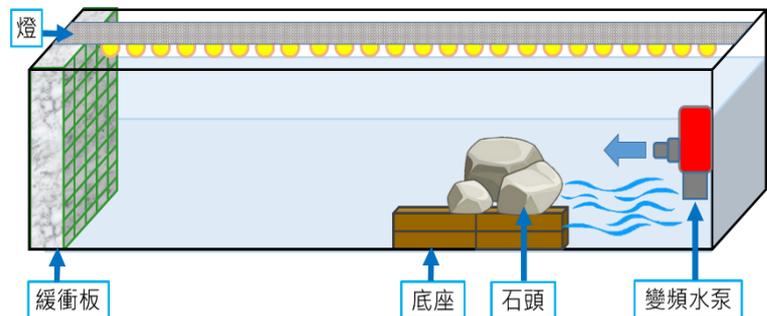


圖 5：第三期流水循環系統示意圖

五、測量變頻水泵不同段速的流速

變頻水泵可分成 10 段不同的段速，為了解每一段速的流速，設計以下實驗：將 100 公分長的 PVC 管固定在底座上方，變頻水泵的出水孔對準 PVC 管，管內有塑膠球，錄影拍下，當水泵一噴水，塑膠球通過 PVC 管的時間，算出水流的速度，一個段速測量五次，求出平均值。

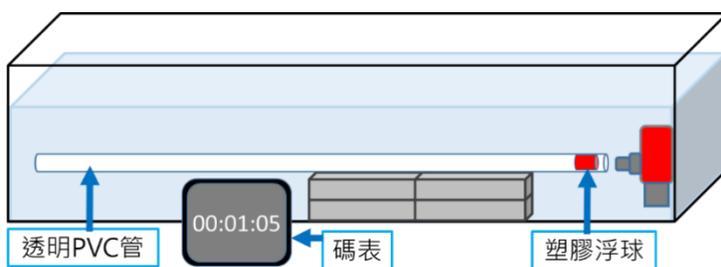


圖 6：測量水泵流速裝置示意圖

表 3：水泵不同段的流速紀錄表

段速	1	2	3	4	5
流速 (cm/s)	143	152	156	158	163
段速	6	7	8	9	10
流速 (cm/s)	171	179	185	200	217

## 伍、研究方法與結果

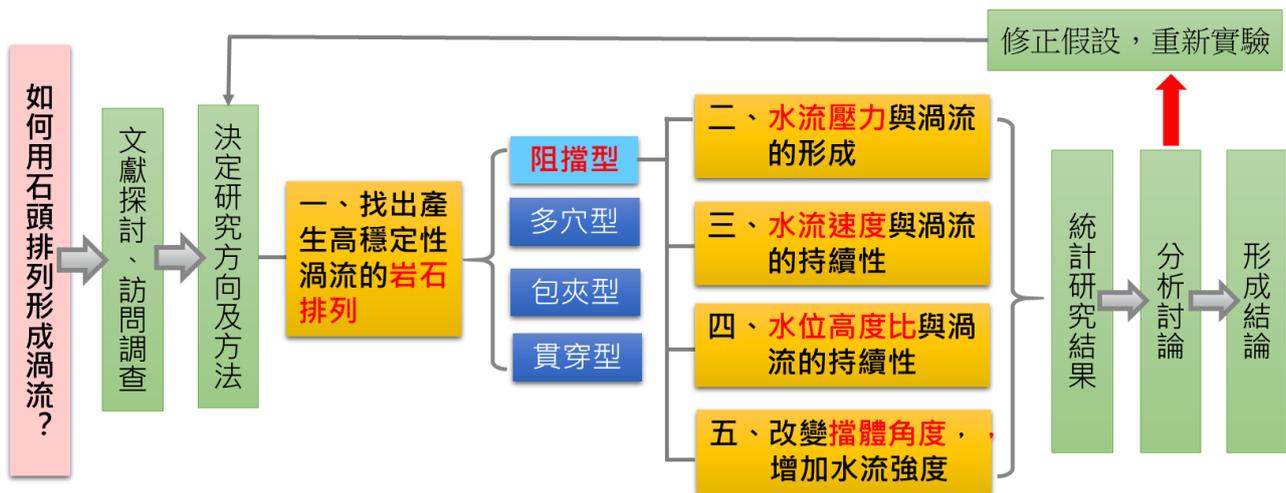


圖 7：實驗流程圖

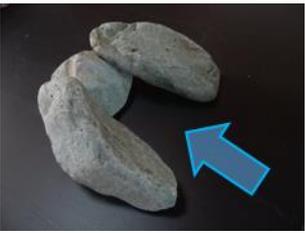
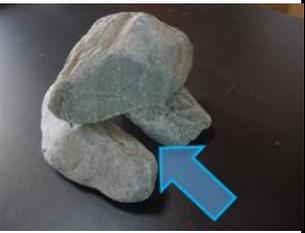
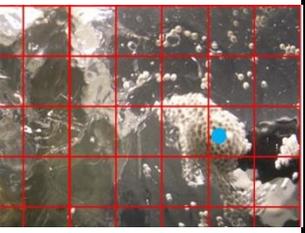
### 實驗一、探討四種不同的岩石排列產生渦流的差異

從文獻中可知，快速水流和不同的岩石排列作用後，有機會在溪中形成危險的渦流。我們想知道，當這四種岩石排列放置在水道中央下方處，水流流速最快的地方，而不是露出水面時，是否也會產生渦流？形成的渦流是否有所差異？

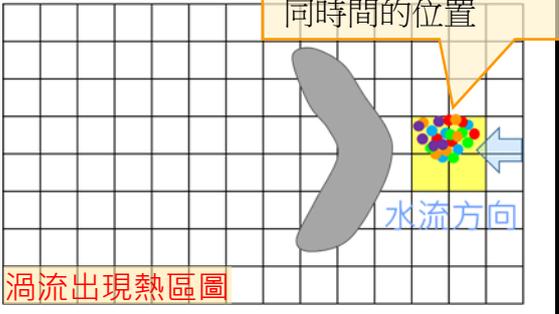
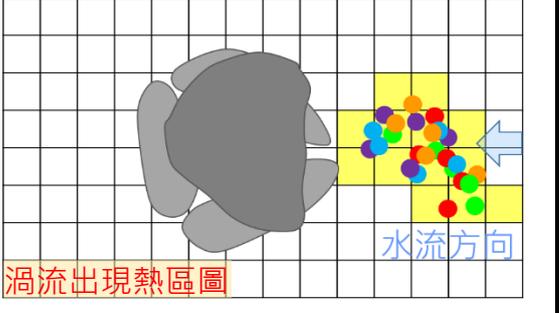
#### (一)實驗步驟

- 變因：(1)控制變因：①水位：15 公分(底座上方到水面的距離)；②流速：217cm/s  
(2)操作變因：四種岩石的排列。(阻擋型、多穴型、包夾型、貫穿型)
- 環境布置：拍攝環境為全暗的教室，將水族 LED 架燈擺放在水族箱側面打光。在水面上撒直徑 2~3mm 的發泡球，便於觀察渦流的位置。
- 拍攝位置：以俯拍架固定相機在循環系統上方，將鏡頭對焦在岩石與出水孔的範圍。將平板用腳架固定在系統前方拍攝渦流，四組岩石排列皆拍攝 2.5 分鐘。
- 擷圖方式：每組岩石排列找出 5 個渦流，以 Media Player Classica 慢速播放，每個渦流 2 秒鐘擷取一張圖片，擷取 5 張，最後每組排列會有 25 張渦流圖片。
- 渦流定位：為了解渦流分布位置，製作 14\*8 的方格板，定位渦流的位置，五個渦流的定位點分別以紅、藍、綠、橘、紫標示。

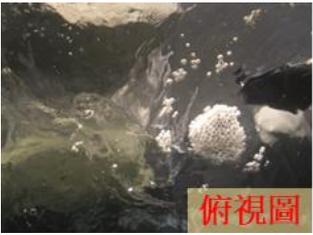
表 4：實驗一步驟說明

四種類型岩石排列方式			
			
阻擋型	多穴型	包夾型	貫穿型
			
在水面上灑下發泡球	從側面打燈，相機從正上方拍攝	側面觀察發泡球被渦流捲入水中的狀況	擷取圖片，以方格板定位渦流的位置

(二)實驗結果

<b>阻 擋 型</b>	 <p>五種顏色的圓分別代表五個渦流在不同時間的位置</p> <p>渦流出現熱區圖</p>
	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 渦流出現在岩石<b>前端</b>，<b>位置集中</b>，主要熱區分布在 <b>4 個方格</b>內，呈<b>順時針</b>轉動。</li> <li>2. 渦流會將發泡球往水中拉下去，再被水流帶到岩石後方。</li> <li>3. 形成明顯的漏斗狀渦流，以螺旋狀的方式<b>快速</b>地往下<b>旋轉</b>。</li> </ol>	
<b>多 穴 型</b>	 <p>五種顏色的圓分別代表五個渦流在不同時間的位置</p> <p>渦流出現熱區圖</p>
	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 渦流出現在岩石<b>前端</b>，時間和位置<b>不穩定</b>，熱區分布 <b>13 個方格</b>內，呈<b>順時針</b>轉動。</li> <li>2. 水流沖進岩石間隙，一進兩出，只有<b>入口有渦流</b>，兩個出口沒有，對水產生吸力，呈漏斗狀渦流，發泡球<b>會被拉進水中</b>。</li> </ol>	

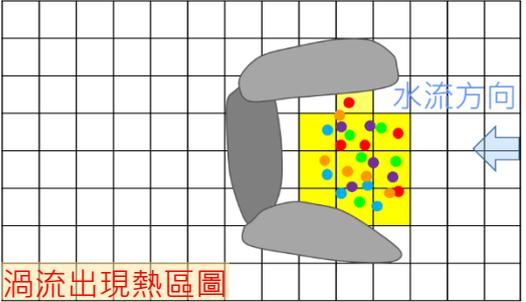
**包夾型**



俯視圖



正面



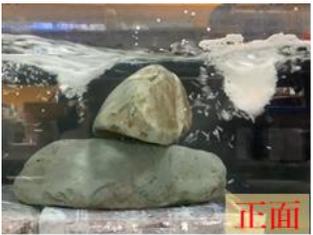
渦流出現熱區圖

- 1.水流直接衝擊U型底部的岩石，回流和水泵的水流在U型間產生渦流，呈**逆時針**轉動。
- 2.漏斗狀渦流出現的時間及範圍較**不穩定**，約佔熱區**10個方格**。
- 3.發泡球會被拉進水中，但不會被帶到岩石後方，。

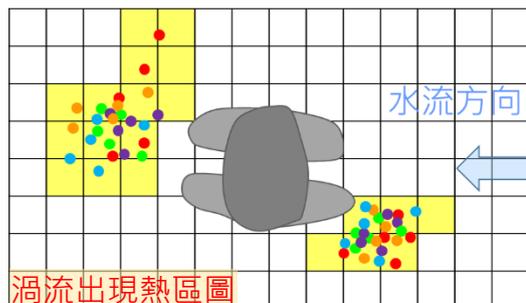
**貫穿型**



俯視圖



正面



渦流出現熱區圖

- 1.水流沖向岩石堆疊出的通道，形成岩石**前後端皆出現渦流**，兩渦流皆**逆時針**轉動。
- 2.岩石前端呈現明顯的漏斗狀渦流，但深度不深，熱區範圍約**6個方格**；後端渦流力量較弱，吸引的發泡球呈現鬆散的漏斗狀，出現時間短，範圍較廣，熱區約為**14個方格**。
- 3.因兩個渦流皆**無法將發泡球拉入水中**。

### (三)實驗發現

- 1.四種岩石的排列，在**最前端都會產生自由渦流**，猜測應該和水流作用到擋體之後，速度和方向發生變化有關，但為何四種排列都產生同樣的結果呢？這讓我們相當好奇。
- 2.**貫穿型渦流是具有前後雙渦流形態的排列方式**，水流有一個入口和一個出口，兩邊的渦流會互相吸引，**阻擋型排列方式在大渦流形成前，可以偶爾看到兩個小渦流**，但很快就消失。
- 3.為比較四種岩石排列方式，在熱區分佈和渦流吸力這兩方面的差異，我們繪製了表5。

表5：四種岩石排列的渦流比較

類型	阻擋型	多穴型	包夾型	貫穿型
熱區範圍是否集中	○	X	X	○
發泡球是否被捲入水中	○	○	○	X

- 4.從表5的結果來判斷，**阻擋型渦流形成的熱區最集中，吸入發泡球的狀況也最明顯**，所以，我們決定**用阻擋型渦流來做更深入的探討**，了解其它的環境條件對渦流產生的影響。

## 實驗二、探討阻擋型渦流產生時，水流的壓力變化

依據實驗一的結果，知道渦流會產生在擋體的前方，所以，我們想要探討阻擋型排列的岩石遇到水流時，水中產生什麼變化，才會造成漏斗狀的自由渦流。我們利用自製「水壓觀測裝置」，測量水中壓力的變化；再將壓力變化情形以「壓力推論模型」呈現，了解渦流周圍壓力的變化。

### (一)水壓觀測裝置

為測量擋體前的渦流，形成前後的壓力變化，我們利用點滴輸液套中的「筒體」及「輸液管」改良成簡易型的水壓觀測裝置。



1. 紙尺貼於塑膠瓦楞板中間，判讀壓力的數據。
2. 量50公分長的輸液管，瓦楞板上排U型，再用膠帶固定。
3. 用針管吸取1.5ML的稀釋的紅色水(針筒空氣需先排空)，注入輸液管中。

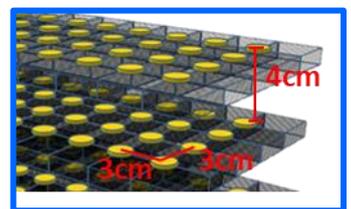


筒體伸入水中，水壓擠壓保鮮膜，筒體內的空氣推擠輸液管內的空氣，造成紅色水上升或下降，再判讀紙尺上的數據，找出不同位置的壓力差。

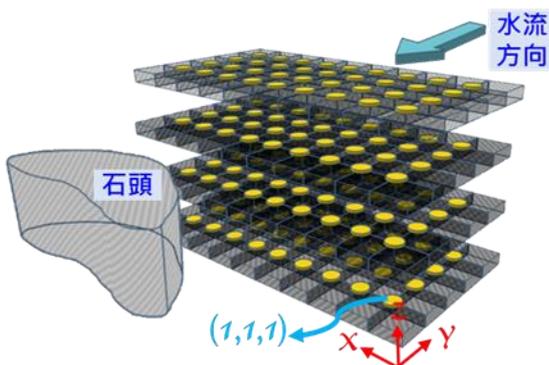


### (二)水壓觀測點

水壓觀測位置是渦流生成的空間，介在出水口和岩石之間。我們以座標方式定位測量，將測量的空間分成4層，每層間距為4公分；每層共有36個點，每點之間的距離為3公分，共144點。



#### 水壓定位座標示意圖



以積木架於裝置上方，在出水口及岩石之間，以紅色積木標示出36個點，做觀測位置。



1. 在鐵棍上量長度並做記號，可調整筒體深度
2. 鐵棍固定於積木上，讓筒體定位。



## (六)實驗發現

1.由圖 8 可知，發生壓力變化的壓力點，都集中在擋體前方的中間區域，與渦流產生的位置大致相符。壓力點(4,1,2)和(6,1,2)顯示為加壓點，應該是水流遭遇擋體後導致。

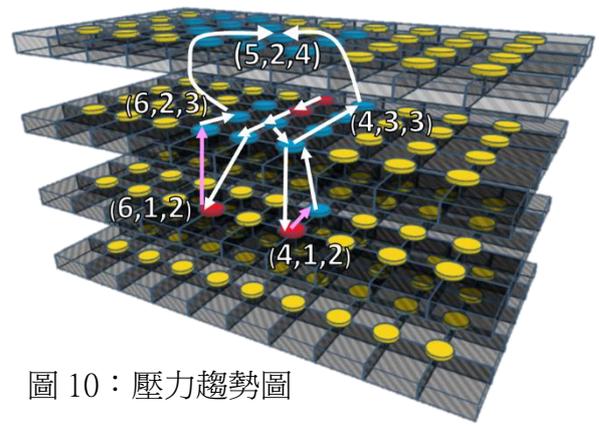


圖 10：壓力趨勢圖

2.我們參考壓力差數值，嘗試繪製壓力趨勢

圖，由圖 10 可知，當水流遭遇擋體後，從加壓點產生的高壓，會往兩側壓力低點(4,3,3)(6,2,3)的方向移動，因此帶動水流旋轉，上層的水往低點(5,2,4)聚集後，再往下壓，因此形成阻擋型渦流的循環。

3.由結果推論，兩側擋體的角度，應該會影響壓力與水流的方向，是必須探討的環境變因。



圖 11：雙渦流形成

## 實驗三、比較不同的流速下，阻擋型渦流的持續狀況

由實驗二結果可知，渦流的產生與加壓點的壓力有關，而水壓與流速也有直接相關，因此在實驗三中，我們想知道，如果改變水流速度，當水流速越高，渦流出現的時間是否越長？在多少流速下，渦流就無法形成呢？

### (一)實驗步驟

- 1.變因：(1)控制變因：①水位：18 公分(底座上方到水面的距離)；②岩石排列：阻擋型  
(2)操作變因：水流速度，共十組
- 2.在水族箱前置放平板，使用碼表，記錄渦流形成時間。
- 3.相機在水族箱前方，側面拍攝渦流形成的過程，拍攝的同時，負責觀察的同學要同時計數，當有十個渦流產生後，即可停止拍攝。
- 4.以 Media Player Classica 慢速播放影片，紀錄渦流開始及停止的時間點。

表 6：實驗二步驟說明

		
在全黑教室，從上方打燈，正面拍攝	水族箱前擺放碼表，利於記錄時間	慢速播放影片，記錄數據

(二)實驗結果

表 6：不同流速下，渦流持續時間記錄表

渦流 流速 cm/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均時間 (S)
143	0.94	1.51	2.12	6.53	2.07	11.36	12.24	1.85	5.13	3.57	4.73
152	2.03	1.38	4.87	1.91	6.10	2.44	10.99	8.01	12.06	5.11	5.49
156	4.32	0.67	5.42	6.80	1.49	1.27	13.53	18.05	2.14	3.40	5.71
158	1.78	21.98	2.81	5.30	7.10	11.51	8.11	12.98	21.6	4.02	9.72
163	1.35	8.42	18.87	1.97	7.99	4.85	25.21	3.70	2.00	29.19	10.36
171	0.99	33.29	21.10	1.63	31.13	8.90	12.34	2.37	10.55	2.98	12.53
179	5.57	4.41	18.89	6.46	22.05	1.80	4.33	23.38	15.21	19.01	12.11
185	10.97	15.18	11.31	11.84	9.30	120	4.96	13.07	9.72	22.77	12.11
200	6.69	12.47	18.69	12.89	4.41	12.37	24.14	16.11	5.25	17.20	13.02
217	20.9	12.05	24.07	10.12	10.98	8.13	30.98	9.38	26.42	12.21	16.52

註：較長時間渦流(超過 10 秒)，底色為黃色；較短時間渦流(低於 2 秒)底色為粉紅色

表 7：不同流速下，渦流間隔時間記錄表

渦流 流速 cm/s	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6	6→7	7→8	8→9	9→10	平均時間 (S)
143	3.77	3.29	8.70	2.21	3.62	4.20	3.80	5.80	3.34	4.30
152	2.30	2.63	1.28	1.19	7.19	3.09	2.60	2.54	1.56	2.71
156	6.70	3.89	1.04	1.23	1.70	1.93	1.92	1.94	2.61	2.55
158	2.28	1.14	1.44	1.67	0.69	1.68	0.68	1.50	6.41	1.94
163	0.59	1.89	1.80	1.89	1.29	0.36	1.29	0.45	0.39	1.11
171	2.65	0.64	1.41	0.96	0.36	0.42	0.41	0.07	0.32	0.80
179	1.23	1.31	1.34	0.30	0.26	0.77	1.01	0.33	0.47	0.78
185	1.80	0.02	1.90	1.16	0.56	0.20	0.31	0.70	0.35	0.78
200	1.04	0.03	0.29	0.90	0.76	0.23	0.43	0.44	0.31	0.49
217	0.20	0.19	0.47	0.76	0.37	0.33	0.38	0.42	0.21	0.37

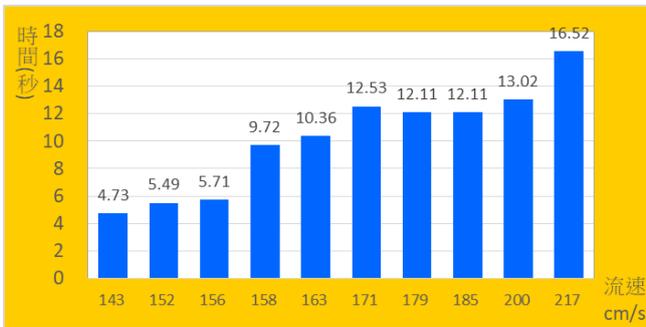


圖 12：不同流速下，渦流持續平均時間直條圖

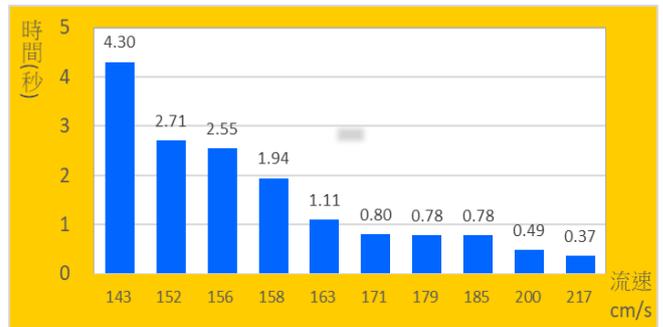


圖 13：不同流速下，渦流間隔平均時間直條圖

### (三)實驗發現

1.綜合持續時間和間隔時間的數據，我們繪製了圖 14 來做分析比較，發現在第一個臨界點，流速大於 158cm/s 之後，平均持續時間和平均間隔時間比開始高於 5：1，有明顯的變化。

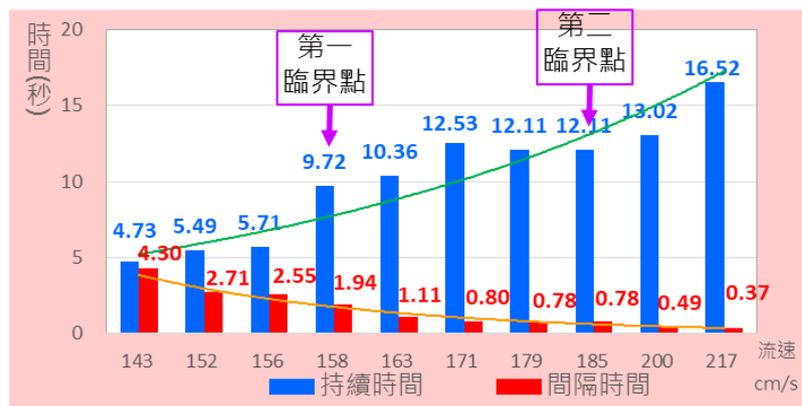


圖 14：渦流持續及間隔時間比較

2.持續分析圖 14，發現流速從 171cm/s 增加到 179cm/s 時，平均持續時間並沒有增加，甚至有一點點減少的現象，這讓我們感到疑惑，於是我們重新檢視表 6 的數據，並將持續時間超過 10 秒的渦流定義成較長時間渦流，平均持續時間低於 2 秒的渦流定義為極短時間渦流，並整理出在不同流速下，較長時間渦流的出現機率，是為表 8。

表 8：不同流速下，較長時間渦流出現率統計表

流速 (cm/s)	143	152	156	158	163	171	179	185	200	217
出現率 %	20	20	20	40	30	50	50	70	70	80

3.從表 8 可知，流速從 179cm/s 增加到 185cm/s 時，雖然平均持續時間沒有增加，但較長渦流的出現機率升高了，而且從流速 185cm/s 之後，也沒有再發現極短時間渦流出現的現象，所以我們找到第二個臨界點，也就是流速 185cm/s 之後，阻擋型渦流的平均持續時間和平均間隔時間比高於 15：1，幾乎不中斷，一直出現。

## 實驗四、比較不同的水位時，阻擋型渦流的持續狀況

由實驗一我們發現，循環系統的水位高低會影響渦流產生；實驗二的結果也證實，阻擋型渦流的產生，是擋體前方的加壓點讓水產生轉動導致，所以水位高低應該會直接影響轉動慣量，水位是越低越好？還是有一個適合的高度區間呢？是這個實驗我們想要解開的疑惑。

◎名詞定義：

**高度比** → 水位與岩石高度的比值。以高度比表示水位與岩石高度之間的關係，此數值可供實驗作為這兩者高度的參考。

**關係式** → 高度比=水位高度÷岩石高度

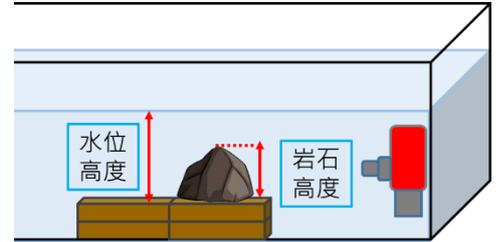


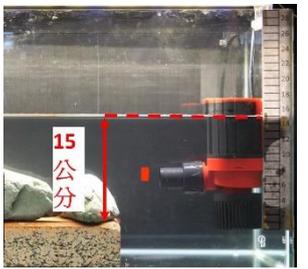
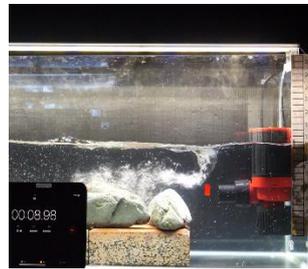
圖 15：水位與岩石高度判別

(一)實驗步驟

1.變因：(1)控制變因：①流速：217cm/s；②岩石排列：阻擋型(2)操作變因：水位高度。

2.其餘步驟同實驗三

表 10：實驗四步驟說明

			
在缸外貼上尺規，用來判別水位高低	水位高度是以岩石底座到水面的距離	從正面記錄，不同高度比時，渦流的變化	以軟體擷圖，記錄渦流形成的時間

(二)實驗結果

表 9：不同水位下，渦流持續時間紀錄表

渦流高度比	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均時間(秒)
1.86	30.37	23.81	22.09	21.65	20.92	24.1	23.44	6.58	7.95	29.94	21.09
2.00	20.88	22.74	9.26	23.8	25.3	24.41	27.88	21.79	9.19	19.33	20.46
2.14	26.8	24.04	25.74	26.31	8.64	23.38	21.37	22.54	23.26	9.48	21.16
2.29	20.9	12.05	24.07	10.12	10.98	8.13	30.98	9.38	26.42	12.21	16.52
2.43	20.36	13.17	14.64	13.67	8.22	22.86	8.02	11.7	10.93	14.16	13.77
2.57	14	11.07	15.07	11.28	5.38	11.42	8.46	8.01	10.39	14.85	10.99
2.71	5.69	4.06	6.44	11.59	4.35	3.96	7.62	13.13	11.03	12.28	8.01
2.86	1.02	2.58	2.51	1.4	3.21	1.82	4.56	1.38	3.46	2.93	2.49

表 10：不同水位下，渦流間隔時間記錄表

渦流 高度比	1→2	2→3	3→4	4→5	5→6	6→7	7→8	8→9	9→10	平均時間 (秒)
1.86	0.23	0.26	0.41	0.3	1.09	0.47	0.31	0.26	0.23	0.40
2.00	1.29	1.25	0.25	1.09	0.32	0.31	0.25	0.55	0.51	0.65
2.14	0.09	0.32	0.59	0.37	0.56	0.46	0.87	0.62	0.75	0.51
2.29	0.52	1.39	1.62	0.68	1.59	0.34	0.22	0.61	1.26	0.91
2.43	0.2	0.19	0.47	0.76	0.37	0.33	0.38	0.42	0.21	0.37
2.57	1.53	0.28	2.27	6.06	2.38	0.4	0.29	0.19	2.76	1.80
2.71	11.03	1.88	4.86	7.7	1.14	11.68	2.6	0.8	1.65	4.82
2.86	6.55	1.87	19.18	10.95	1.24	9.78	1.36	3.22	1.73	6.21

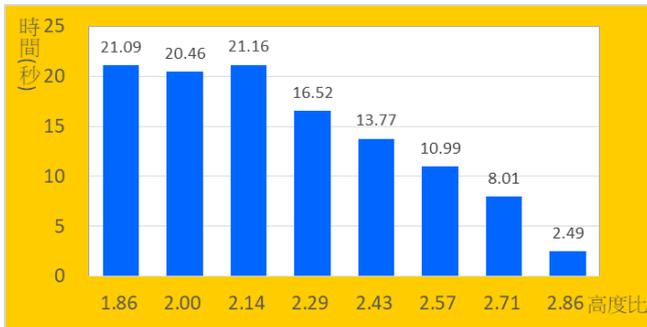


圖 16：不同水位下，渦流持續時間直條圖

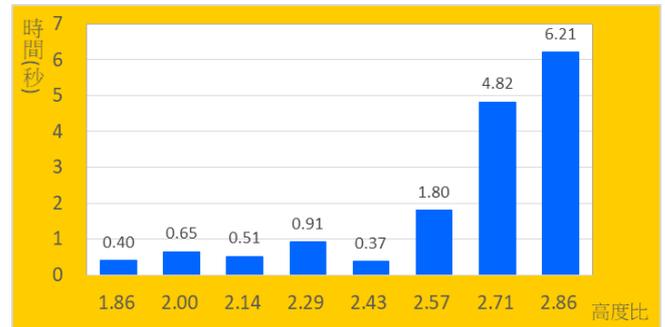
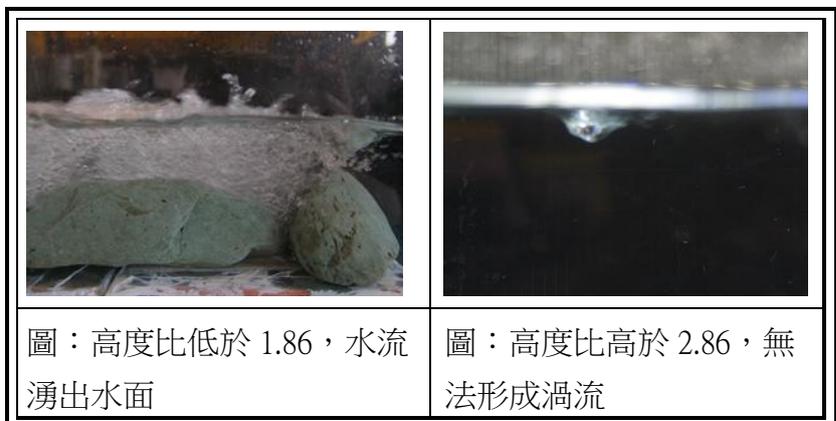


圖 17：不同水位下，渦流間隔時間直條圖

### (三)實驗發現

1.從實驗操作中可以發現，

高度比太低或太高，**阻擋型自由渦流**都不會產生，只會發生在高度比值 1.86 到比值 2.86 之間。高度比太低時，水流會直接湧出水面，再一路往後；高度比



太高時，可以在水面觀察到微小的迴流，但是無法形成渦流。

2.綜合圖 16 和圖 17 的數據，我們繪製了圖 18 來做分析比較，發現高度比在 1.86 到 2.14 間，效果最好。另外，高度比越高，持續時間會越短，間隔時間會越長，最後甚至呈現間隔時間比持續時間長的狀況，相較於流速，高度比對阻擋型自由渦流產生的影響，似乎更為重要。

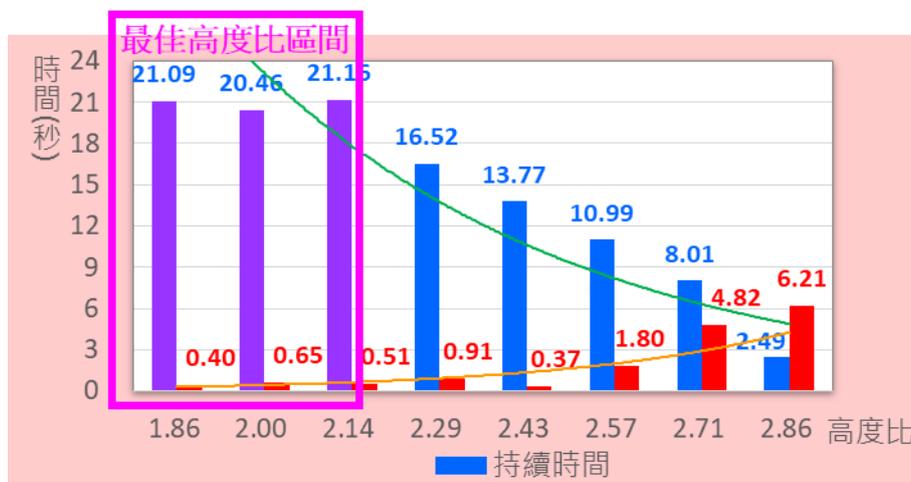


圖 18：渦流持續及間隔時間比較圖

3.實驗過程中我們也發現，在最佳高度比區間(1.86~2.14)產生的渦流，和區間外的渦流強弱似乎有所不同，圖 19 是八種高度比的渦流側面截圖，可以看出渦流的速度有明顯差異。測量渦流持續時間只能知道渦流的穩定性，如果想知道渦流產生後，對於本來的水流帶來的變化，應該進一步測量水流強度。

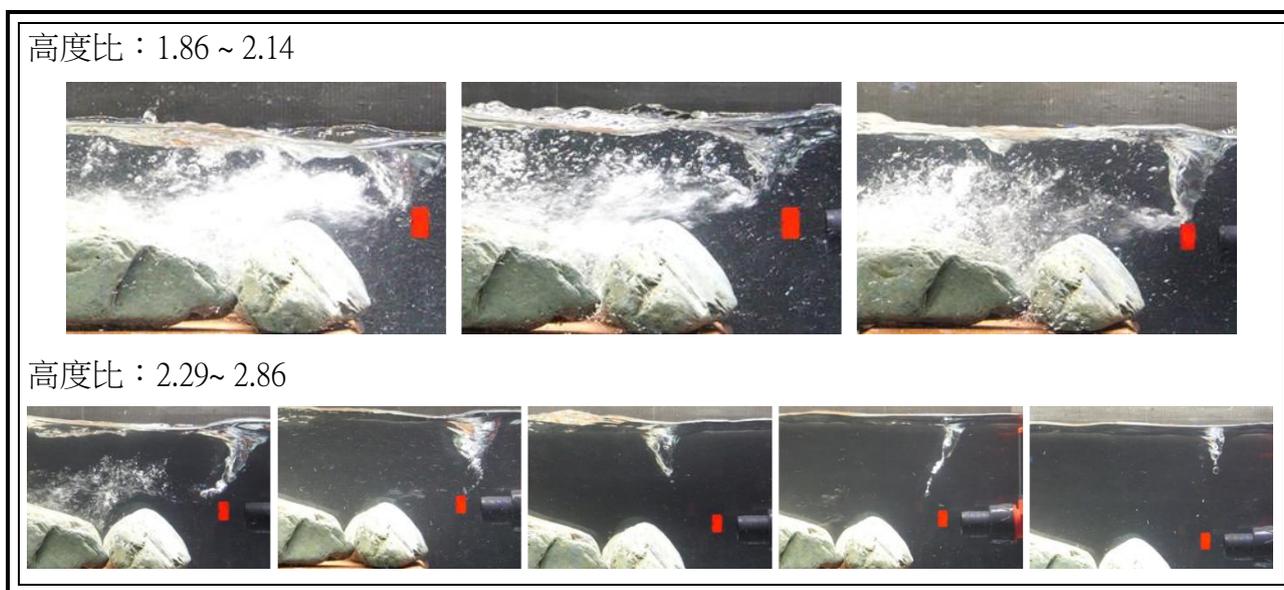


圖 19：八種高度比的渦流側面截圖

## 實驗五、探討改變阻擋型擋體的夾角時，水流的強度變化

在本實驗中我們想知道，渦流往下的吸力，和水流原本往後的推力，在擋體上方相遇之後，對水流強度會產生什麼樣的變化呢？而擋體的角度到底應該要多大，才會有最好的效果呢？首先要克服兩個難題，一個是如何在水中建置可以調整角度，又能抵擋水流的活動式擋體？一個是要如何定點測量水流力量，來表示它的強度呢？



### (一)可調式擋體製作

1.材料：3mm 壓克力板、絞鏈、5mm 椴木板、螺絲、螺絲帽

2.製作步驟：

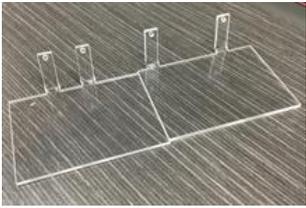
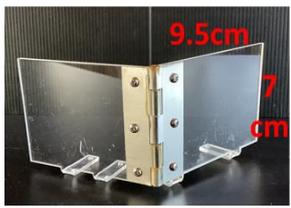
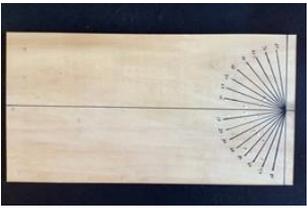
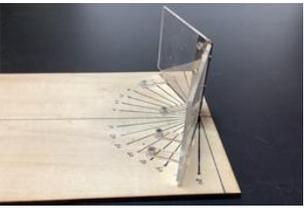
(1)以 inkscape 繪出兩面擋體(長 9.5cm，寬 7cm)的形狀，再用雷切機切出。

(2)用壓克力折彎器加熱擋體，折出鎖螺絲的部位。

(3)用螺絲將兩片壓克力擋體固定在絞鏈，以尖尾螺絲將壓克力擋體固定在椴木底座上

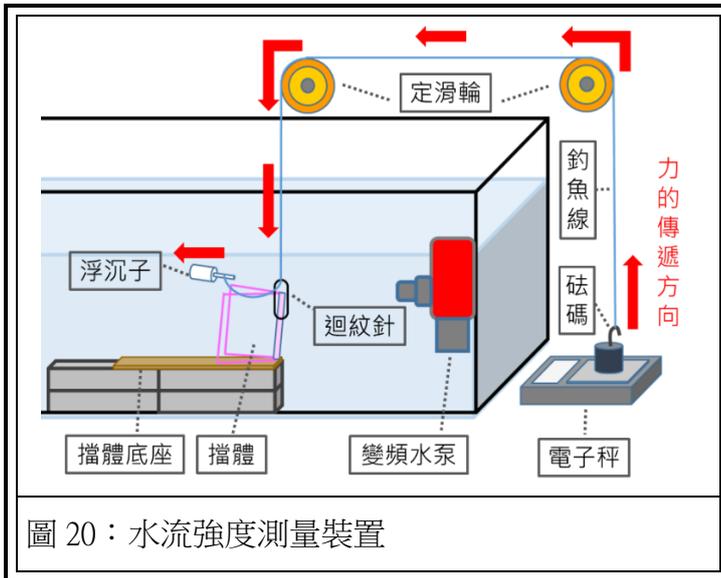
(4)以椴木板(長 38cm，寬 20cm)做底座，以奇異筆畫出角度，利於擋體做角度的調整。

表 13：擋體製作流程

			
雷切擋板，用折彎器折出螺絲固定處	將兩塊壓克力板用螺絲固定在絞鏈上	在椴木板上以奇異筆畫出角度	以尖尾螺絲將壓克力擋體固定在椴木底座

### (二)水流強度測量裝置

為測量渦流對水流強度的影響，我們做以下布置，利用水流往後帶動浮沉子，並拉扯釣魚線，此時釣魚線的拉力，相當於水流的推力，也可以代表水流強度的變化。



我們使用定滑輪改變施力方向，以電子秤(最小刻度：0.01g)來測量數據，以釣魚線綁在電子秤上的砝碼，線經過兩個定滑輪，穿過固定在擋體上的迴紋針，尾端綁上浮沉子。當水泵未啟動前，電子秤上的數值為砝碼的重量，當水泵一啟動，浮沉子被水流拉扯，牽動到砝碼，會讓數值產生變化，當有渦流產生時，會增加水流的強度，讓數值變少。

### (三)實驗步驟

- 變因：(1)控制變因：①流速：217cm/s；②水位高度：15 公分  
(2)操作變因：可調式擋體角度。(40°、60°、80°、100°、120°、140°、160°、180°)
- 記錄數據方式：水泵運作後，將相機對著電子秤的數據拍攝兩分鐘，記錄數值變化。
- 以 Media Player Classica 慢速播放影片，兩秒紀錄一次電子秤數值(每組共 60 個數據)。

對照組		實驗組	
			
沒有擋體時，當水流動，浮沉子會拉著釣魚線向後方扯動		有擋體時，渦流產生前後，可看出流速有明顯的差異	

(四)實驗結果

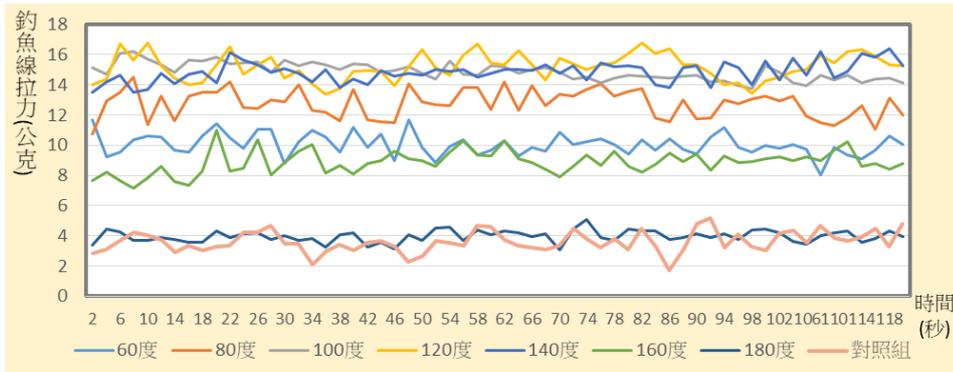


圖 21：不同夾角的擋體，水流推力變化折線圖

表 11：

擋體不同角度時，釣魚線拉力變化紀錄表

擋體角度(度)	60	80	100	120
水流推力(公克)	10.06	12.76	14.89	15.19
擋體角度(度)	140	160	180	對照組
水流推力(公克)	14.84	8.87	3.97	3.60

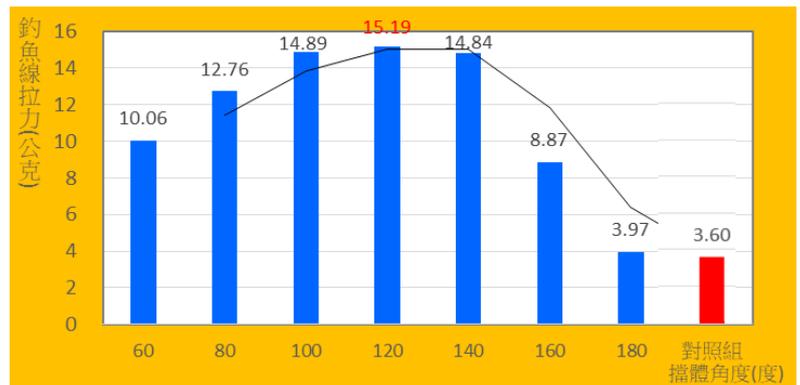


圖 22：擋體不同角度時，水流推力變化直條

(五)實驗發現

- 1.由圖 21 可知，水流推力變化隨水流呈現波形高低起伏，其中在角度 100 度至 140 度之間最佳，另由圖 22 可以發現，平均推力在夾角 120 度時最大，顯示在該角度渦流強度最強，角度 180 度的擋體沒有渦流產生，拉力最低。
- 2.我們想進一步知道，阻擋型渦流發生後，對原來的水流強度，可以產生多大的影響，於是我們將沒有擋體的拉力值設為對照組，有渦流產生的其他擋體數據設為實驗組，由表 12 可以發現，有產生渦流的增益效率都比沒有渦流的擋體高至少兩倍以上，在角度 120 度時，居然可以達到最高的 4.22 倍！

表 12：渦流拉力增益率紀錄表

擋體角度(度)	60	80	100	120	140	160	180
有渦流釣魚繩拉力(g)	10.06	12.76	14.89	15.19	14.84	8.87	3.97
對照組拉力(g)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
增益效率(倍)	2.79	3.54	4.14	4.22	4.12	2.46	1.10

## 陸、研究討論

從這次實驗的發現中，我們得到啟發，原來自由渦流可以透過擋體排列來確定它的位置，還可以透過調整水流速度和水位高度來得到持續幾乎不間斷的渦流，最重要的，是發現，**往下捲的渦流和原來的水流交互作用後，可以產生超過四倍的力量，這也代表渦流可以在特定位置，幫水流加速。**

這讓我們聯想到，我們居住的農村裡，身邊就有一條條灌溉農田的水溝，如果可以在固定流向的水圳裡，設置可調整角度的阻擋型擋體，在特定位置製造渦流，再用來發電，有機會提高灌溉溝渠微水力發電的效能，為環境永續盡一份心力。

## 柒、研究結論

- 一、**阻擋型、多穴型、包夾型、貫穿型**此四種岩石排列方式，都能有效產生自由渦流，**產生位置都在水流衝擊岩石的前端**。其中**阻擋型渦流分布的範圍最小，位置較固定**，具有較大的吸力。
- 二、由自製壓力點模型顯示，**阻擋型渦流**的產生，與擋體兩側在水流沖擊時形成加壓點有關，**加壓點的高壓，會往兩側壓力低點移動，因此帶動水流旋轉，上層的水往中央聚集後，再往下壓，因此形成阻擋型渦流的循環。**
- 三、水流**速度高於 158cm/s** 時，阻擋型渦流的平均持續時間與平均間隔時間比達至 5:1，**渦流開始穩定的出現**。水流速度**高於 185cm/s** 時，平均持續時間與平均間隔時間比達至 15:1，**阻擋型渦流可以幾乎不間斷的持續出現。**
- 四、當水位與岩石的**高度比值介在 1.86~2.14 之間**，**阻擋型渦流持續時間長，間隔時間短**。當比值低於 1.86，水流會濺出水花，無法形成渦流，高於 2.14 時，水面只會形成小迴流。
- 五、**阻擋型擋體**的夾角會影響渦流造成的水流強度，當**夾角 120 度**時，**水流能產生最大的推力，比沒有渦流的推力大了 4.22 倍。**

## 捌、參考資料及其他

1. 康軒版自然與生活科技領域四上第二單元，水生家族。
2. 南一版自然與生活科技領域六下第一單元，巧妙的施力工具。
3. 許汶芳、謝侑廷、吳沂哲 (2019)。渦流試驗。台中市：逢甲大學
4. 趙書漢、洪連輝(2009)。白努利原理。科學 online。  
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=1524>
5. 水洞種類與救援分析。<https://www.youtube.com/watch?v=wgxW0u4kkBs&t=233s>
6. 認識河流。<http://www.comc.ncku.edu.tw/dapeng/Downloads/101/3-水上任我遊之安全須知.pdf>

## 【評語】 080114

主題發想貼近自身經驗，方法務實且具體，並提出此研究主題之後的可能應用在自己生長的环境，很有創意。測量水壓的實驗設計符合六年級知識背景，在前期利用發泡球觀察被水渦流捲入水中的狀況非常具體且可以從中直接挑定接下來要觀察及討論的岩石排列方式，鎖定了明確的討論對象，也與一開始的動機相符。數據分析及做圖上可以再改善，是否每一個數據都可以取平均來呈現，可以再多思考。

## 作品海報

# 摘要

本研究主要探討，定向水流作用於水面下擋體時，在前方形成渦流的變化情形。我們模擬溪流中岩石堆疊，並自製水壓觀測儀、壓力點推論模型、水流強度測量裝置來觀察和驗證，**找到穩定形成渦流的环境條件**，也**發現渦流讓流速變快的秘密**。研究結果如下：

- 一、四種產生自由渦流的岩石排列中，**阻擋型渦流出現的位置最集中且固定**。
- 二、阻擋型渦流的產生是因為兩側擋體製造了加壓點，讓下方水快速轉動，形成雙渦合流。
- 三、**水流速185cm/s以上**，阻擋型渦流平均持續時間和間隔時間比大於15:1，**穩定出現**。
- 四、**水位與岩石高度比**會影響阻擋型渦流穩定性，比值在**1.86至2.14之間時**，表現最佳。
- 五、**阻擋型擋體的夾角在120度時**，產生最大的水流強度，**達到4.22倍的增益效率**。

## 壹、研究動機

有一次在進行溪流探索的課程時，教練提醒我們要避開大石縫旁的踏點，說可能有捲人的漩渦，另外，我們也曾在新聞上看到不少，因為溯溪發生意外被捲入溪中的報導，於是我們對這個現象感到好奇，**在水平方向流動的水裡，要如何透過擋體來產生垂直方向吸力的渦流呢？除了石頭排列之外，還有什麼是產生渦流的必要條件呢？渦流的威力到底有多大？**我們決定進行一連串的探索和研究，來解開心中的疑惑。

## 貳、研究目的與架構

- 一、探討四種不同的岩石排列產生渦流的差異。
- 二、探討阻擋型渦流產生時，**水流的壓力變化**。
- 三、比較不同的流速下，阻擋型渦流的持續狀況。
- 四、比較不同的水位時，阻擋型渦流的持續狀況。
- 五、探討**改變阻擋型擋體的夾角**時，水流強度的變化。



## 參、文獻探討

### 一、會形成渦流的岩石排列方式

阻擋型	多穴型	包夾型	貫穿型

### 二、自由渦流



溪流中的渦流都是水流和岩石之間交互作用而產生，除重力外，並無其他外力介入，且都呈漏斗狀的水柱，因此是屬於自由渦流。

### 三、白努利原理

能量守恆定律在流體上的應用。流體在同一水平面上流動，在**流體流速快的地方壓力會變小**，相反的，**流體流速慢時壓力會變大**。

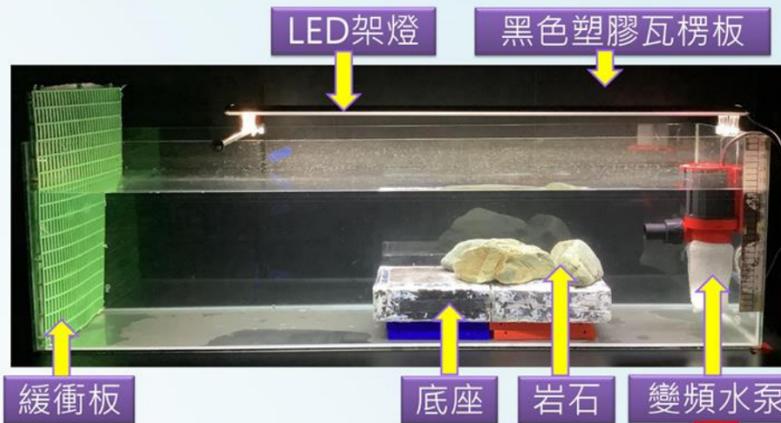
### 四、溪水的流速



# 肆、研究環境布置

## 室內流水循環系統

為探討水流、岩石和渦流之間的關係，我們以水族箱當作河道，自製室內流水循環系統。



## 變頻水泵不同段速的流速



## 實驗步驟

將100公分長的PVC管固定在底座上方，變頻水泵的出水孔對準PVC管，記錄塑膠浮球流經管道的時間，每段操作五次，算出平均流速。

水泵不同段速的流速紀錄表

段速	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
流速 (cm/s)	143	152	156	158	163	171	179	185	200	217

## 伍、研究方法與結果

### 實驗一、探討四種不同的岩石排列產生渦流的差異

#### (一) 實驗步驟

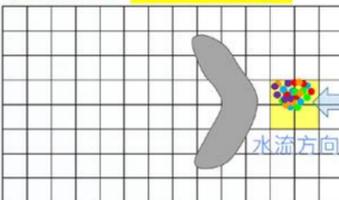
#### 四種不同岩石的排列方式



1. 在水面灑發泡球，以相機俯拍發泡球在水面位置變化；以平板從側面拍攝發泡球受渦流的影響。
2. 渦流定位：每組岩石排列找出5個渦流，每2秒鐘記錄渦流位置，記錄5次。製作14\*8的方格板定位，五個渦流的定位點分別以紅、藍、綠、橘、紫標示。

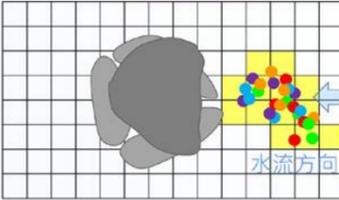
#### (二) 實驗結果

##### 阻擋型 熱區：4格



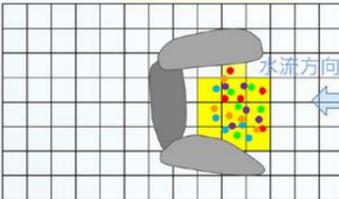
1. 渦流出現在岩石**前端**，**位置集中**，呈**順時針**轉動。
2. 漏斗狀渦流**快速**地將發泡球往水中拉，再被水流帶到岩石後方

##### 多穴型 熱區：13格



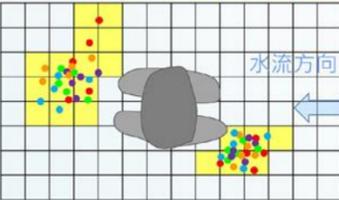
1. 渦流出現在岩石**前端**，**時間和位置不穩定**，呈**順時針**轉動。
2. 水流沖進岩石間隙，形成漏斗狀渦流，**發泡球會被拉進水中**。

##### 包夾型 熱區：10格



1. 在**口型**間產生渦流，呈**逆時針**轉動。
2. 漏斗狀渦流出現的**時間及範圍較不穩定**。
3. 發泡球被拉進水中，**不會被帶到岩石後方**

##### 貫穿型 前端熱區：6格 後端熱區：14格

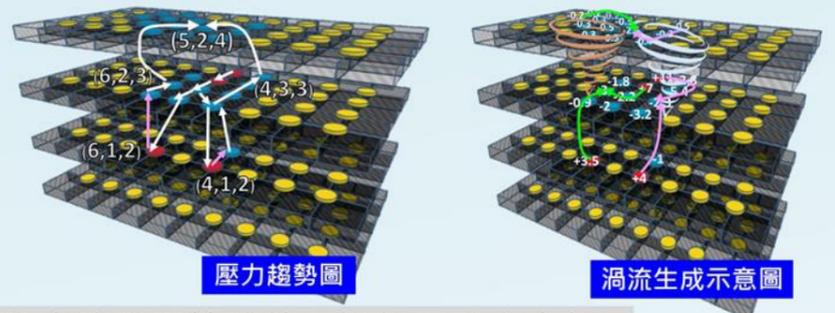


1. 岩石**前後端**皆出現渦流，皆**逆時針**轉動。
2. 岩石前端呈現明顯的**漏斗狀**渦流，**深度不深**；後端渦流力量較弱，出現時間短。兩渦流皆**無法將發泡球拉入水中**。

### (三)實驗發現

- 四種岩石排列在最前端都會產生自由渦流。貫穿型是具有前後雙渦流形態的排列，兩邊的渦流會互相吸引；阻擋型在大渦流形成前，偶爾看到兩個小渦流，但很快就消失。
- 阻擋型渦流形成的熱區最集中，吸入發泡球的狀況也最明顯。

類型	阻擋型	多穴型	包夾型	貫穿型
熱區範圍是否集中	○	X	X	○
發泡球是否被捲入水中	○	○	○	X



2.當水流遭遇擋體後，從加壓點產生的高壓，會往兩側壓力低點(4,3,3)(6,2,3)的方向移動，因此帶動水流旋轉，上層的水往低點(5,2,4)聚集後，再往下壓，因此形成阻擋型渦流的循環。



### 實驗二、探討阻擋型渦流產生時，水流的壓力變化

#### (一)自製水壓觀測儀

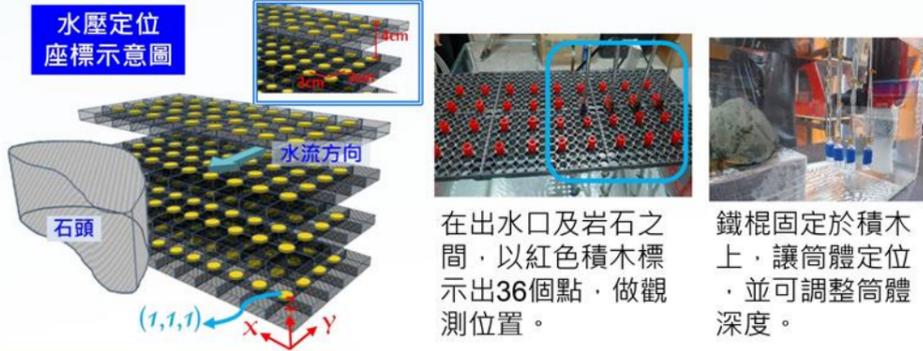


- 紙尺貼於瓦楞板中間，判讀壓力的數據。
- 輸液管在瓦楞板上黏成U型。
- 用針管注入稀釋的紅色水到輸液管中。

筒體伸入水中，水壓推擠保鮮膜，筒體內的空氣擠壓輸液管內的空氣造成紅色水上升或下降，再判讀紙尺上的數據，找出不同位置的壓力差。

#### (二)水壓觀測點

將測量的空間分成4層，每層間距為4公分；每層共有36個點，每點之間的距離為3公分，共144點。



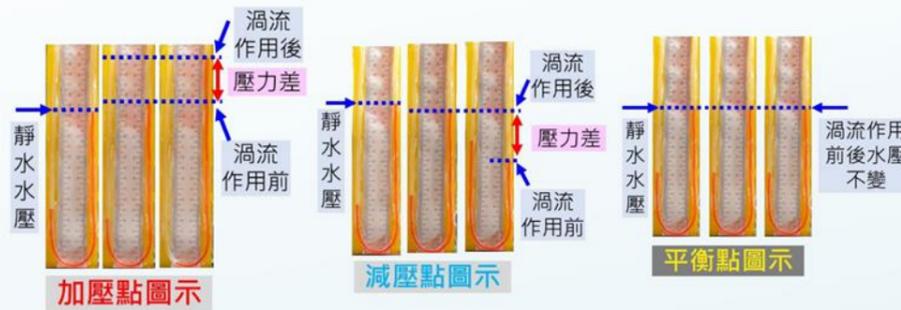
#### (三)壓力點推論模型

為了瞭解壓力分佈情形，將壓力點數據空間化。我們以吸管及接頭組合成壓力點推論模型，便於推測壓力與水流之間的關係。

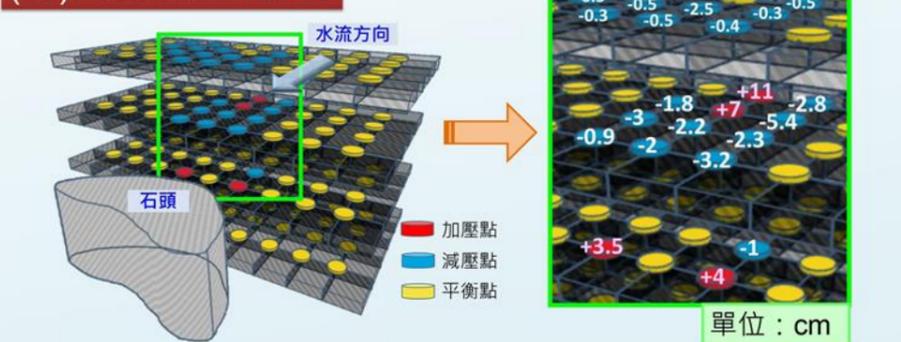


#### (四)實驗步驟

- 固定流水循環系統內的水位、流速及岩石排列方式。
- 靜水狀態下，將自製水壓觀測儀筒體放置在觀測點，一次可測量四個點，共有144個觀測點。
- 在流水循環系統前方放置相機拍攝，記錄水壓的升降，以及渦流生成的情形。
- 依據影片記錄色水升降數據，計算出該點的水壓差。



#### (五)實驗結果與發現



1.發生壓力變化的壓力點，都集中在擋體前方的中間區域，與渦流產生的位置大致相符。壓力點(4,1,2)和(6,1,2)顯示為加壓點，應該是水流遭遇擋體後導致。

### 實驗三、比較不同的流速下，阻擋型渦流的持續狀況

#### (一)實驗步驟

在流水系統側面架設相機，不同流速下，每組拍十個渦流。再以軟體播放，記錄渦流的起訖時間，並計算每個渦流的持續時間及間隔時間。

#### (二)實驗結果與發現



#### 不同流速，較長時間及極短時間渦流出現率統計表

流速(cm/s)	143	152	156	158	163	171	179	185	200	217
較長時間渦流出現率%	20	20	20	40	30	50	50	70	70	80
極短時間渦流出現率%	30	20	40	20	20	20	10	0	0	0

註：較長時間渦流→持續時間超過10秒，極短時間渦流→持續時間低於2秒

- 第一個臨界點：流速大於158cm/s之後，平均持續時間和平均間隔時間比開始高於5：1，有明顯的變化。
- 第二個臨界點：(1)比較流速179cm/s和185cm/s，平均持續時間沒有增加，但較長渦流的出現機率升高，且流速185cm/s之後，極短時間渦流沒有再出現。(2)流速185cm/s之後，阻擋型渦流的平均持續時間和平均間隔間比高於15：1。

### 實驗四、比較不同的水位時，阻擋型渦流的持續狀況

#### (一)名詞定義

**高度比**→水位與岩石高度的比值。可供實驗作為這兩者高度的參考。

**關係式**→

$$\text{高度比} = \text{水位高度} \div \text{岩石高度}$$



#### 高度比對照表

水位(cm)	13	14	15	16	17	18	19	20
高度比	1.86	2.00	2.14	2.29	2.43	2.57	2.71	2.86

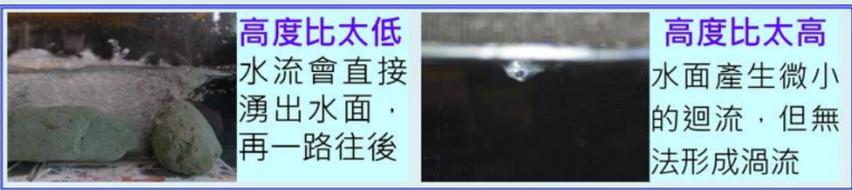
#### (二)實驗步驟

- 流水系統外貼上尺規，供作水位高度的標準。
- 固定流速及排列方式。其餘步驟同實驗三。



用尺規判別水位高度

### (三)實驗結果與發現



1. 高度比太低或太高，阻擋型自由渦流都不會產生，只會發生在**高度比值1.86到比值2.86之間**



2. 高度比在**1.86到2.14間**，渦流形成的效果最好。高度比越高，持續時間會越短，間隔時間會越長，最後甚至呈現間隔時間比持續時間長的狀況，相較於流速，高度比對阻擋型自由渦流產生的影響，似乎更為重要。



3. **最佳高度比區間(1.86~2.14)**產生的渦流，和區間外的渦流強弱似乎有所不同，八種高度比的渦流側面截圖，可以看出渦流的速度有明顯差異。

### 實驗五、探討改變阻擋型擋體的夾角時，水流強度的變化



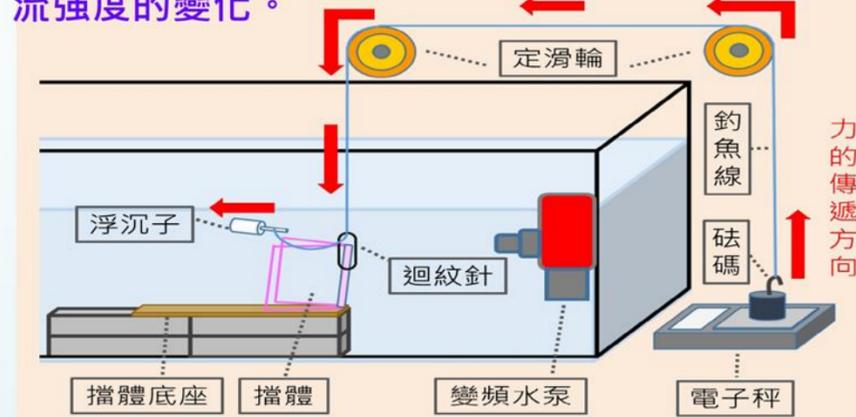
渦流往下的吸力，和水流原本往後的推力，在擋體上方相遇之後，對水流強度會產生什麼樣的變化呢？

#### (一)可調式擋體



#### (二)水流強度測量裝置

利用水流往後帶動浮沉子，拉扯釣魚線，釣魚線的拉力，相當於水流的推力，也可以代表水流強度的變化。

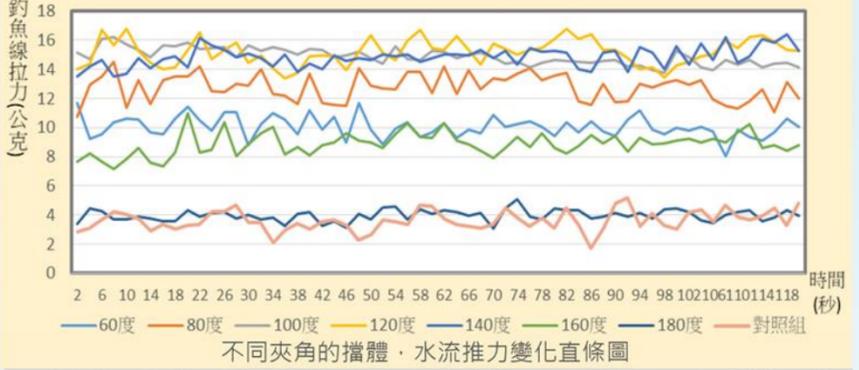


#### (三)實驗步驟

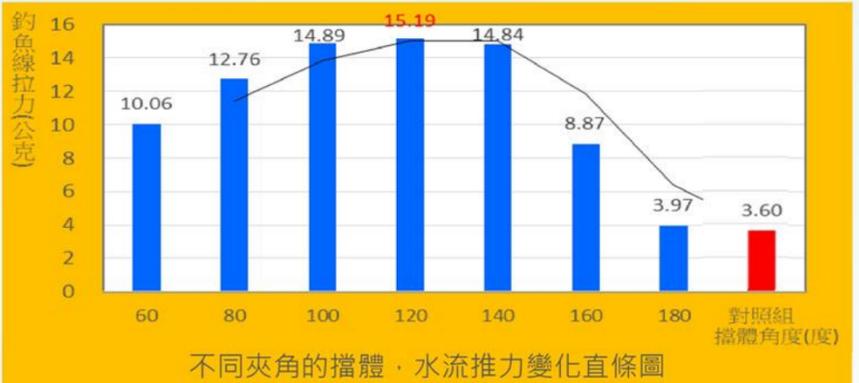
1. 在流水循環系統中固定流速及水位，以測量裝置分別測量對照組與實驗組的水流強度。
2. 以相機拍攝電子秤數據變化。各組每兩秒取一數據，記錄兩分鐘，算60個數據的平均值。



### (四)研究結果與發現



1. 釣魚線的拉力變化隨水流呈現波形高低起伏，其中在**角度100度至140度**之間拉力表現最佳。



2. **平均拉力在夾角120度時最大**，顯示在該角度水流強度最強，**角度180度的擋體沒有渦流產生**，水流強度最低。

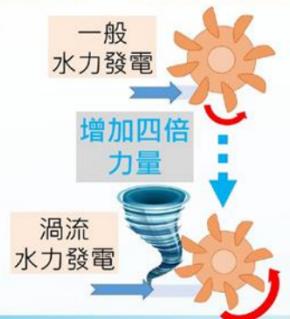
水流強度增益率紀錄表						
擋體角度(度)	60	80	100	120	140	160
釣魚繩拉力(g)	10.06	12.76	14.89	15.19	14.84	8.87
對照組拉力(g)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
增益效率(倍)	2.79	3.54	4.14	4.22	4.12	2.46

3. 有產生渦流的**增益效率**比沒有擋體的對照組高至少兩倍以上，在**角度120度時**，達到最高的**4.22倍**。

### 陸、未來展望

實驗發現：自由渦流可以透過擋體排列來確定位置，並透過調整水流速度和水位高度來得到幾乎不間斷的渦流，**往下捲的渦流和原來的水流交互作用後，可以產生超過四倍的力量**，代表渦流可以在特定位置，幫水流加速。

未來應用：可以在固定流向的水圳裡，設置可調整角度的阻擋型擋體，在特定位置製造渦流，再用來發電，有機會提高灌溉溝渠微水力發電的效能。



### 柒、研究結論

- 一、**阻擋型、多穴型、包夾型、貫穿型**此四種岩石排列方式，都能有效產生自由渦流，**產生位置都在水流衝擊岩石的前端**。其中**阻擋型渦流分布的範圍最小，位置較固定，具有較大的吸力**。
- 二、由自製壓力點模型顯示，**阻擋型渦流**的產生，與擋體兩側在水流沖擊時形成加壓點有關，**加壓點的高壓，會往兩側壓力低點移動，因此帶動水流旋轉，上層的水往中央聚集後，再往下壓，因此形成阻擋型渦流的循環**。
- 三、水流速度高於**158 cm/s**時，阻擋型渦流的平均持續時間與平均間隔時間比達至5:1，**渦流開始穩定的出現**。水流速度高於**185 cm/s**時，平均持續時間與平均間隔時間比達至15:1，**阻擋型渦流可以幾乎不間斷的持續出現**。
- 四、當水位與岩石的**高度比值介在1.86~2.14之間**，**阻擋型渦流持續時間長，間隔時間短**。當比值低於1.86，水流會濺出水花，無法形成渦流，高於2.86時，水面只會形成小迴流。
- 五、**阻擋型擋體**的夾角會影響渦流造成的水流強度，當**夾角120度**時，**水流能產生最大的推力，比沒有渦流的推力大了4.22倍**。