

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

(鄉土)教材獎

030116

水落石出-探討水流在不同障礙物形狀與排列下的流動現象

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者： 國二 洪欣妤 國二 張芸甄	指導老師： 丁崇祺 李姿瑤
-------------------------	---------------------

關鍵詞：水波紋、曲率、康達效應

摘要

為了預防在溪邊戲水造成的憾事，我們模擬水流經障礙物的流動，計算波紋中心曲率大小，探討障礙物後方水流的狀況，發現如下：

水溫越高，水流越紊亂；若障礙物大小佔河道的 $1/3\sim 2/5$ 時，水流容易被吸入後方區域，較為危險；若障礙物越尖銳或水流與障礙物夾角約 30 度，障礙物後方流速差異大，也須特別注意。若前方障礙物較小或與後方障礙物相同大小時，前後排列距離較近，可能會有被吸入的風險；前面障礙物較大時，後方安全區域則會變大。若大小相似障礙物左右排列距離較近，須注意兩側水流；若兩不同大小的障礙物排列距離較遠，則須注意小障礙物附近的區域，有可能被沖擊的危險。盡量避免以上的狀況，以保護自身安全。

壹、研究動機

炎炎夏日，大家總是想到溪邊戲水或到山上避暑，卻經常在戲水的過程中，因溪流的暗流而不小心失足溺斃，因此戲水的風險一直是大家很關注的議題。長輩們的叮嚀，學校的宣導重複不斷，在河流戲水而溺斃的新聞依舊不斷上演。我們在看到某一則新聞後，靈光一閃，腦中突然出現一個念頭：有沒有什麼方法是可以盡量預防這些憾事發生的？因為這次比賽的機會，強烈的好奇心促使我們想要更進一步了解。我們希望可以觀察與發現物體在水流中產生不同的變化，經過網路的資料以及詢問老師後，我們偶然知道康達效應，這便是關於水（流體）受到障礙物而改變流向的原理。而我們想要自己動手實驗模擬探討：不同的變因會不會影響不同的水流方向、會不會造成影響區域面積的改變與水波的探討。藉由簡單的實驗來觀察出更多的細節，希望能透過這些實驗找到最適合溺水當下幫助自己免於洪水衝擊之地，能觀察地形，進而推論水的流動方向。

貳、研究目的

建立模擬溪流的裝置

設計並製作出模擬障礙物與溪流的裝置

環境模擬：

- 1、探討水流溫度變化經障礙物後對水流的影響
- 2、探討流量經障礙物後對水流的影響

障礙物模擬：

- 3、探討障礙物大小對水流的影響
- 4、探討水流與障礙物的夾角對水流的影響
- 5、探討障礙物形狀對水流的影響
- 6、探討障礙物擺放方式對水流的影響
 - (1) 平行水流放置
 - (2) 垂直水流放置

參、研究器材

水泵	電腦	三軸穩定器	手機	水管、水桶	電子秤
					
USB 燈	紅外線溫度計	3D 列印機	模擬障礙物	模擬河道	
					

肆、研究原理與方法

研究架構圖：

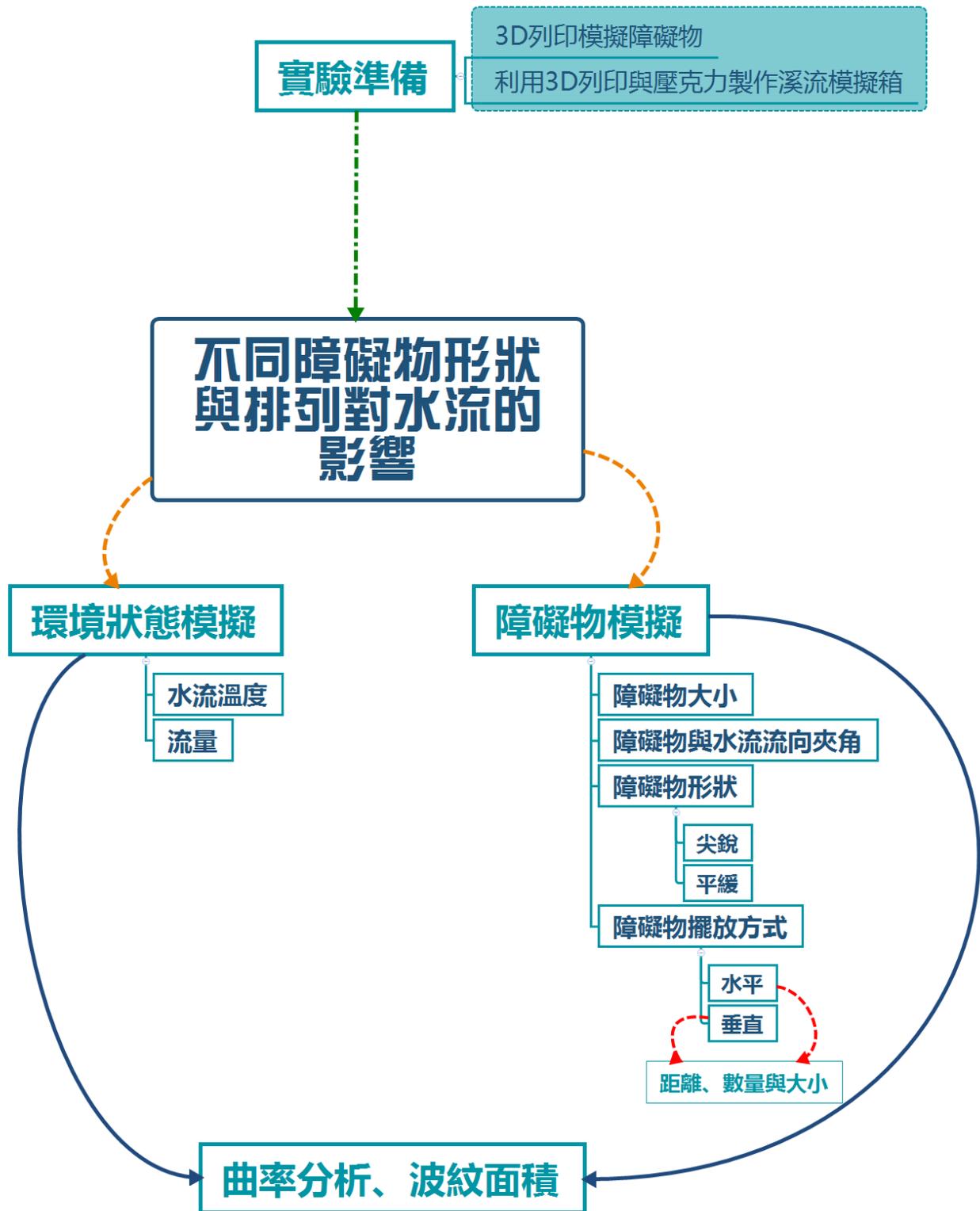


圖 1 研究架構圖

研究原理：

一開始觀察溪流流動，發現水流因石頭阻擋，往石頭表面傾向流動。以模擬河川流動的方式觀察可以發現，影響河川流動的原因主要可能有兩種原因影響，一是康達效應，二是水流遇到障礙物的反射。以下為實驗原理與本實驗的關係討論：

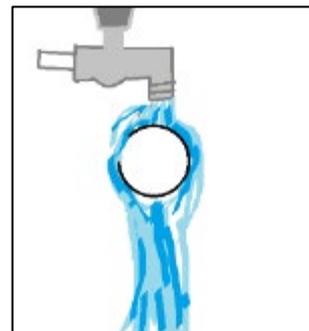


圖 2 生活上康達效應示意圖

1、康達效應

當水流通過物體時，會因為水與物體表面之間的摩擦力而使流速減慢，而讓水流離開原本的運動方向，並隨著凸出的物體表面流動的傾向（圖 2）。因流線的彎曲需要向心力，彎曲的流線，內外層壓力會不相同(如圖 3)，外層氣壓(向內)會大於內層(向外)，因此合力向內而彎向內。

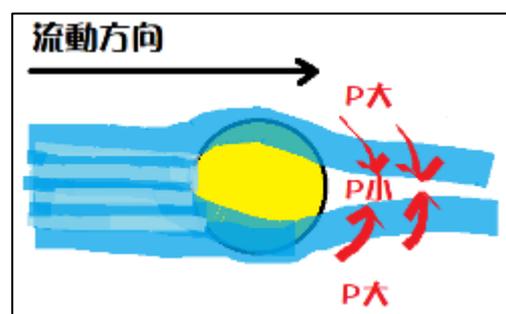


圖 3 流體的康達效應

2、水流對障礙物的反射

水流是個連續性的流體，在邊緣的凸型表面會以康達效應的方式沿著有弧度的壁面彎曲，但有些水流也會因為撞擊物體的關係而產生反射的效果，可以由水波的反射波可以明顯看出反射，利用反射定律(入射角=反射角)，這些反射的水流會反射而影響原來的流體，進而改變水流的方向，且容易產生紊流的現象，我們後續實驗會利用反射的範圍來推測水流的流動與影響。

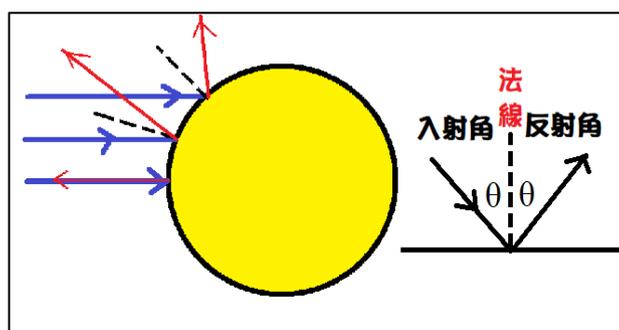


圖 4 水流反射的情形

實驗準備：

- 1、利用 autodesk 程式繪出模擬石頭的障礙物及利用 3D 列印網頁 Tinkercad 設計模擬箱的 3D 圖(如下圖 5)。
- 2、再以 3D 圖列印出不同形狀與大小的障礙物以及利用壓克力與 3D 列印結合製作溪流模擬裝置。

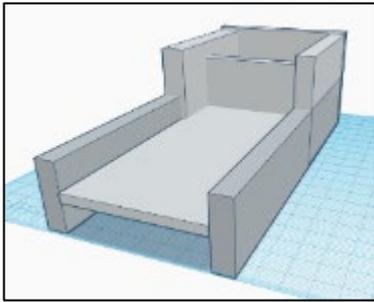


圖 5 溪流模擬裝置設計圖



圖 6 溪流模擬裝置

實驗方法：

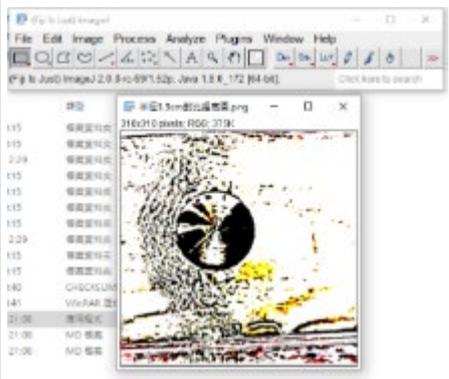
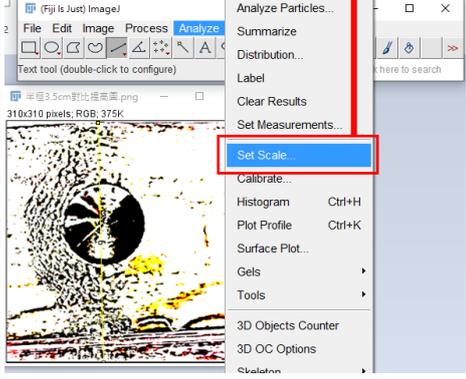
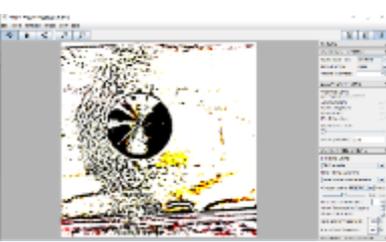
環境狀態模擬：

實驗一：水流溫度變化經障礙物後對水流的影響

1. 利用半徑 1.5cm 的圓形半球體當水流阻礙物放入模擬溪流箱內。
2. 在下層加入不同水溫的水：10°C、15°C、25°C、35°C、45°C。
3. 利用半徑為 1.5cm 的半圓球體當河流中障礙物（阻礙物）放入模擬溪流箱內(固定點)，並以膠帶固定。
4. 調整水泵流速固定為 76.69 ml/s，先流一分鐘讓模擬障礙物底部被水淹沒約 0.5cm。
5. 利用檯燈與手機由上向下照亮，再將手機架在上方，慢速攝影 10 秒。
6. 影片以固定時間間距(10 秒)截圖五張，調高對比+100%、亮度+45%、銳度+100%來判斷。
7. 以程式 Image J 分析曲率平均並分析流向。

下表 1 為利用 image J 的外掛程式 Kappa 來分析波紋曲率方式：

表 1 曲率分析方式(以半徑大小 3.5cm 為例)：

圖例																					
步驟	先將影片截圖，並把圖形提高對比。	利用 image J(Fiji 版)打開高對比圖形。	以 set scale 讓模擬河道的寬度訂出參考長度(20.2cm)。																		
圖例			<table border="1" data-bbox="1086 799 1552 1041"> <thead> <tr> <th>F</th> <th>G</th> <th>H</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y-Coordinate</td> <td>Point Curvature (um-1)</td> <td>Point Curvature</td> </tr> <tr> <td>16.8206</td> <td>0.019886115</td> <td>102.7907</td> </tr> <tr> <td>10.71551</td> <td>-0.004217587</td> <td>195.8372</td> </tr> <tr> <td>5.334194</td> <td>-0.042766279</td> <td>200.9767</td> </tr> <tr> <td>7.549065</td> <td>-0.029389971</td> <td>174.9612</td> </tr> </tbody> </table>	F	G	H	Y-Coordinate	Point Curvature (um-1)	Point Curvature	16.8206	0.019886115	102.7907	10.71551	-0.004217587	195.8372	5.334194	-0.042766279	200.9767	7.549065	-0.029389971	174.9612
F	G	H																			
Y-Coordinate	Point Curvature (um-1)	Point Curvature																			
16.8206	0.019886115	102.7907																			
10.71551	-0.004217587	195.8372																			
5.334194	-0.042766279	200.9767																			
7.549065	-0.029389971	174.9612																			
步驟	利用 plugins 中的 Analyze-kappa-curvature Analysis 來分析波紋曲率。	利用 <u>control point tool</u> 與 hand tool，在圖形上點出五點，並利用右下角產出的曲率圖進行調整與分析。	最後輸出 excel 格式，在 <u>Point Curvature</u> 的數據中做波紋曲率分析圖形。																		

實驗二：水流流量對水流的影響

1. 利用半徑 4.5cm 的圓形半球體當水流阻礙物放入模擬溪流箱內。
2. 分別以 16.5 秒/公升、14.6 秒/公升、13.6 秒/公升、12.5 秒/公升、9.4 秒/公升五種不同流量實驗，並先流一分鐘讓模擬障礙物底部被水淹沒約 0.5cm。

(流量計算方式：將水導入量筒，當水流滿一公升並計時，再將其轉換成 60.61 ml/s、68.49 ml/s、73.53 ml/s、80.00 ml/s、106.38 ml/s 五種不同流量)

3. 重複實驗一步驟 5-7，分析流向平均並分析流向與反射波紋面積。

障礙物模擬(水流經障礙物狀態)：

實驗三：不同大小的模擬障礙物對水流的影響

1. 利用半徑為 1.5cm、3.5cm、4.0cm、4.5cm、5.0cm 的半圓球體當河流中障礙物 (阻礙物)放入模擬溪流箱內(固定點)，並以膠帶固定。

2. 重複實驗一步驟 4-7，分析曲率與影響區域面積。

實驗四：水流與障礙物的夾角對水流的影響

1、橢圓形障礙物調整對水流流向夾角為 0° 、 30° 、 45° 、 55° 、 72° 、 90° 。

2、重複實驗一步驟 4-7，分析曲率與影響區域面積。

實驗五：障礙物形狀對水流的影響

1、將外心半徑 3.5cm 的三角形，以不同的放置方式(下頁圖 7)放入模擬溪流箱內，並以膠帶固定。

2、分別針對正立與倒立三角形重複實驗一步驟 4-7，分析曲率與影響區域面積。

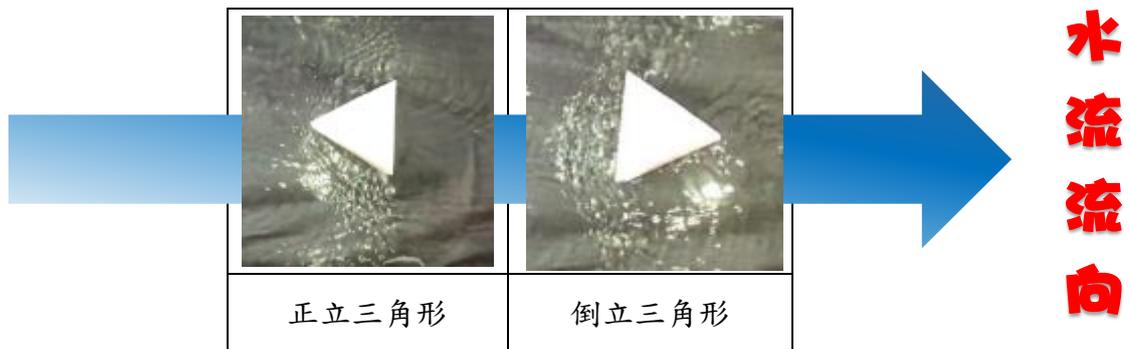


圖 7 三角形不同放置方式

實驗六：障礙物擺放方式對水流的影響

6-1 障礙物平行水流放置(改變障礙物之間距離、數量及大小)

1、利用兩顆半徑 1.5cm 的圓形半球體當水流阻礙物放入模擬溪流箱內。

2、將模擬障礙物以平行水流流向前後放置，並分別間隔 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm，以膠帶固定。

3、重複實驗一步驟 4-7，並重複實驗共五次平均並分析曲率與影響區域面積。

4、改利用三顆半徑 1.5cm 的圓形半球體分別前後間隔 1cm、2cm、3cm、4cm 與一大一小半徑 1.5cm 及半徑 3.5cm 的圓形半球體，分別前後對調放置，並間隔 2cm、4cm、6cm、8cm，以膠帶固定，重複實驗一步驟 4-7，並做五次平均來分析曲率。

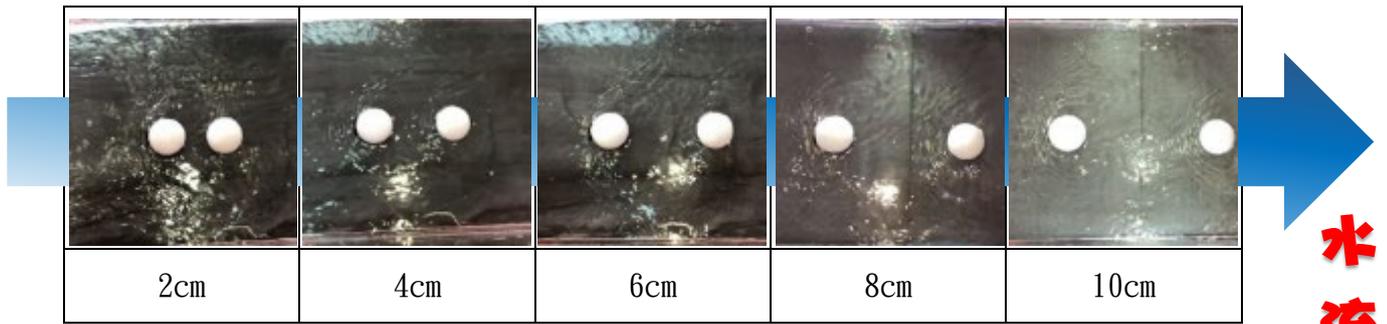


圖 8 兩障礙物不同距離(平行水流放置)

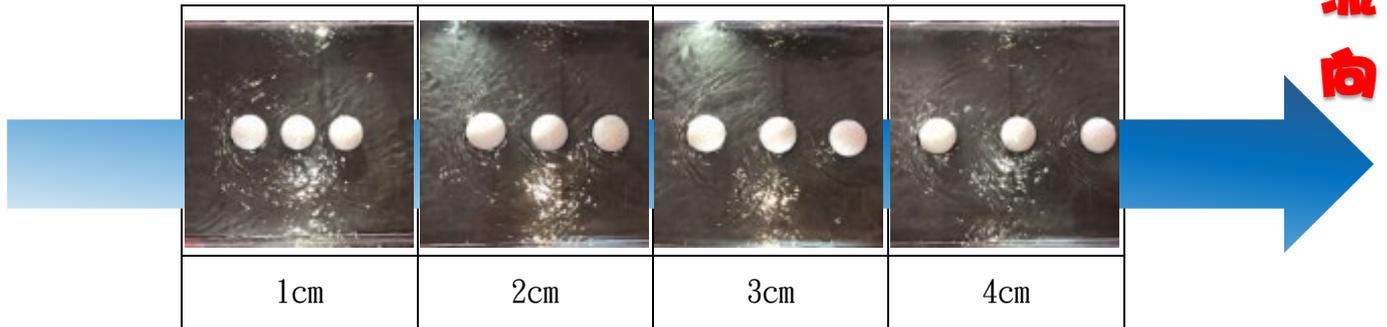


圖 9 三障礙物不同距離(平行水流放置)

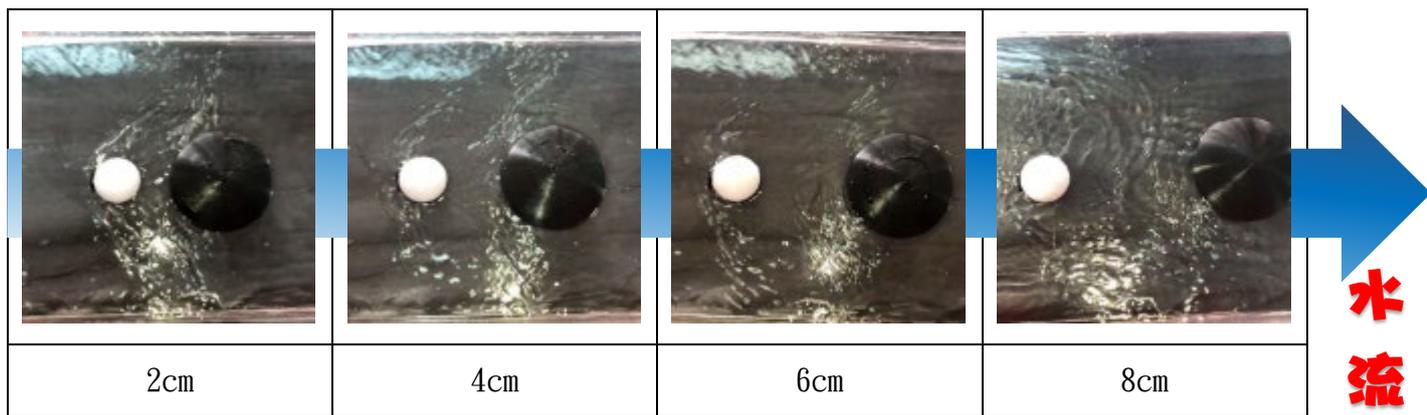


圖 10 前小後大障礙物不同距離

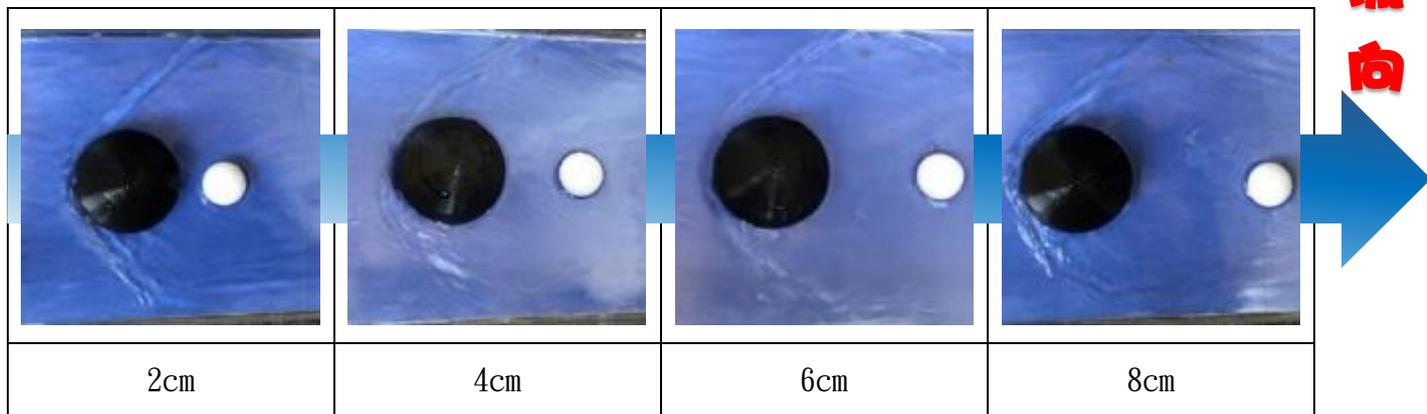


圖 11 前大後小障礙物不同距離

6-2 障礙物垂直水流放置(改變障礙物之間距離、數量及大小)

- 1、利用半徑 1.5cm 半球體當模擬障礙物放入模擬溪流箱內。
- 2、將障礙物垂直水流流向對稱放置，並分別間隔 2cm、4cm、6cm、8cm、10cm，再以膠帶固定(如下圖 12)。

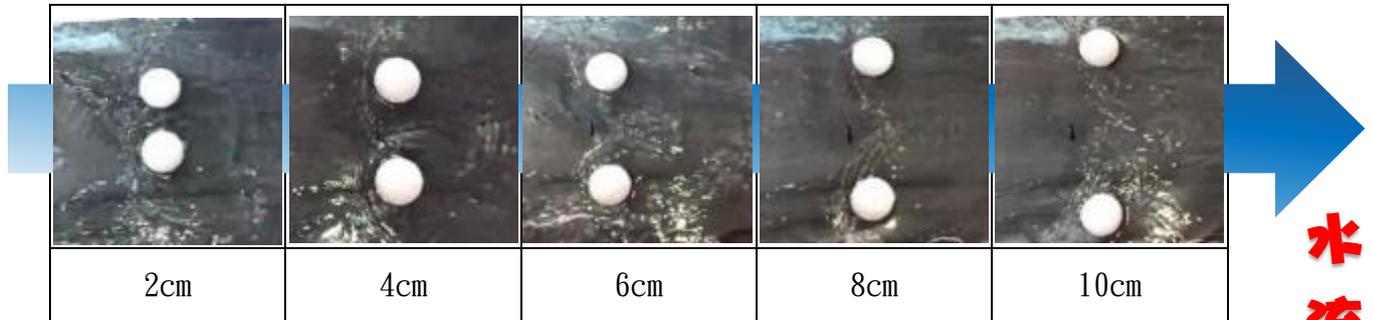


圖 12 兩障礙物不同距離(垂直水流放置)

- 3、重複實驗一步驟 4-7，並重複實驗共四次平均並分析曲率。
- 4、改利用三顆半徑 1.5cm 的圓形半球體分別間隔 1cm、2cm、3cm、4cm(如下圖 13)與一大一小半徑 1.5cm 及半徑 3.5cm 的圓形半球體垂直水流放置，分別間隔 2cm、4cm、6cm、8cm(如圖 14)，再以膠帶固定，重複實驗一步驟 4-7，並做五次平均來分析曲率。

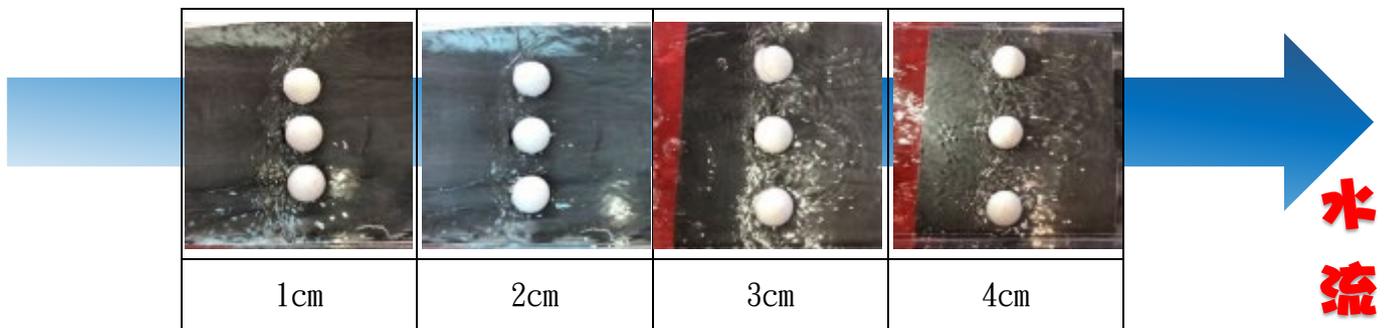


圖 13 三障礙物不同距離(垂直水流放置)

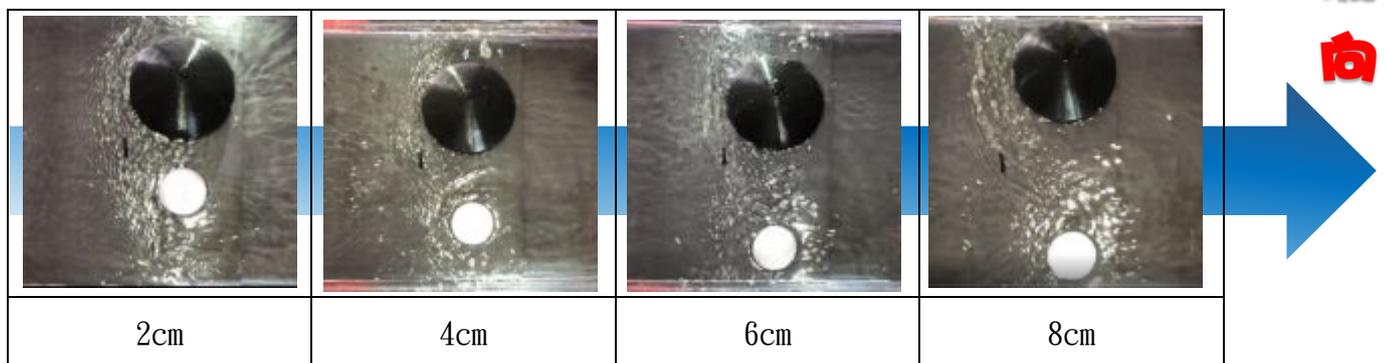


圖 14 左右一大一小障礙物不同距離

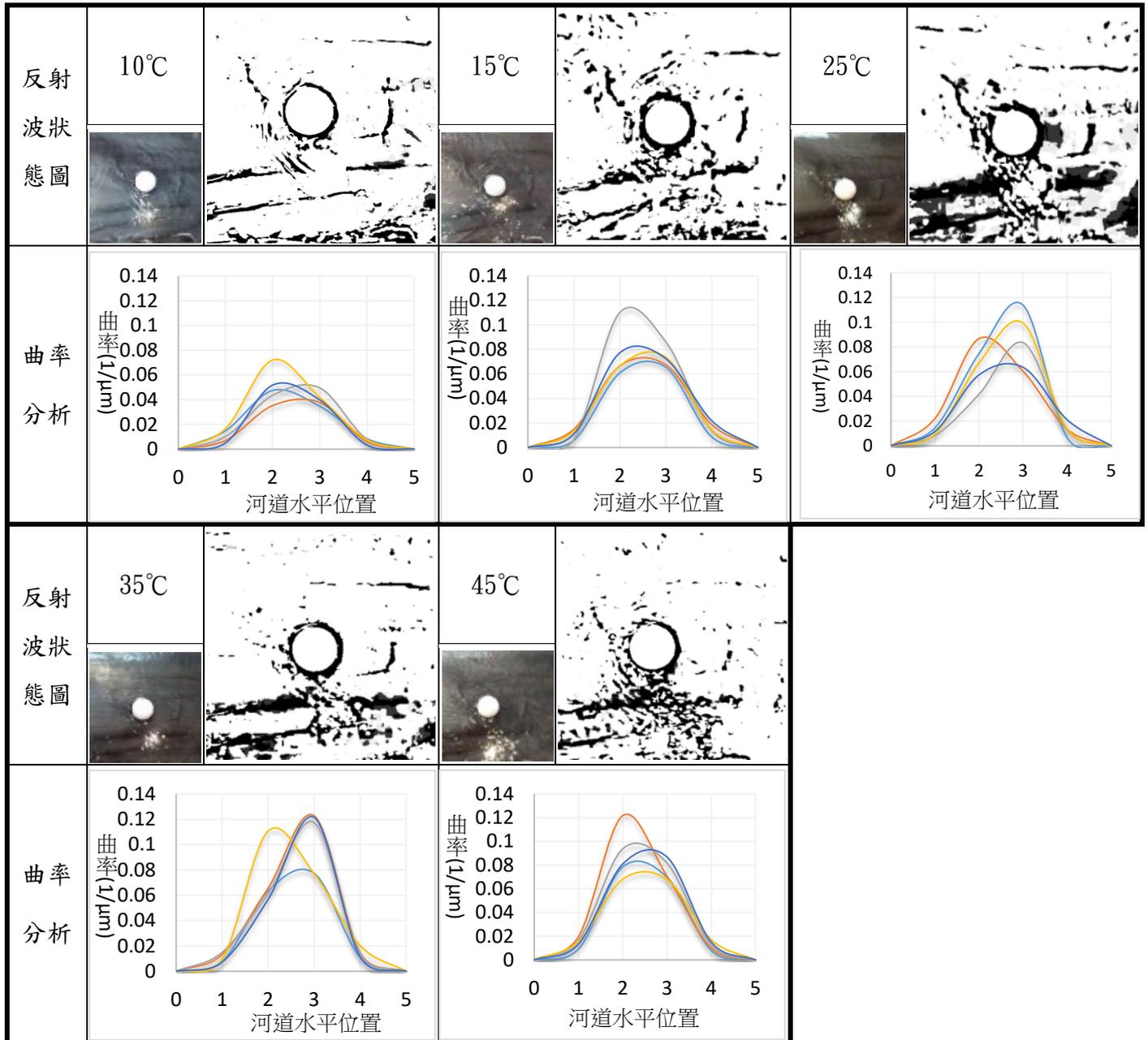
伍、研究結果

環境狀態模擬：

實驗一：探討水溫對水流的影響

曲率圖橫坐標說明：一開始先將河道 set scale 為 20.2cm，產生曲率圖的橫坐標會以此範圍五等分均等河道水平寬度(兩端分別標定位置 0-5)，最後再去對照縱座標所標示的曲率。

表 2 不同水溫的反射波狀態圖與曲率分析



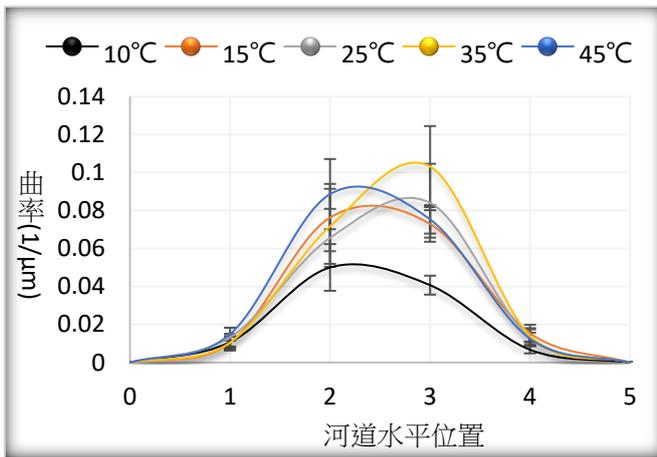


圖 16 溫度變化對曲率平均值影響圖(n=5)

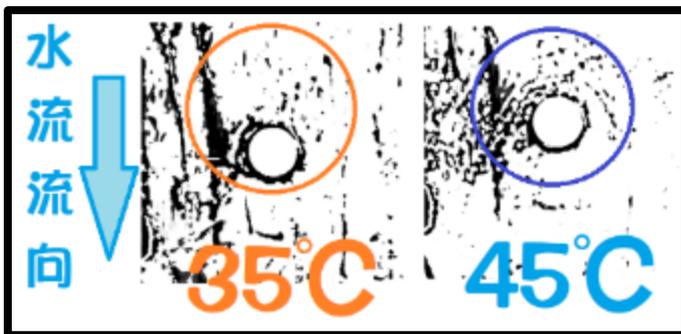


圖 17 35°C 與 45°C 對曲率變化影響圖

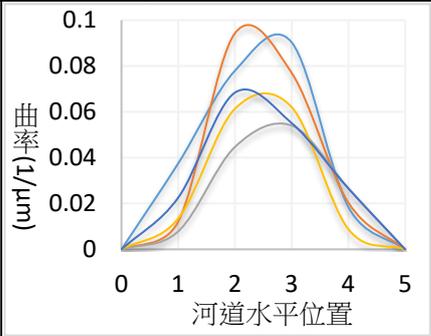
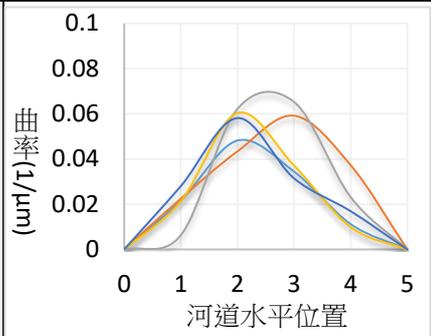
本實驗因為是用微型水泵抽取不同的溫度的水，其水量較少，造成截圖處理後的圖不好觀測，同時也不好觀察波紋區域面積，所以我們利用原始影片來對照其曲率位置。所選的溫度是河道可能的溫度範圍。從影片可以發現溫度越低，其波紋越明顯，溫度越高，波紋越紊亂，當超過 15°C 時，曲率差異不大；在 35°C 中心曲率最大，有可能是溫度變高，能量較大，造成水運動越明顯，與球體後方的速度差開始變大而產生更大的壓力差讓波紋往後拉，而溫度達到 45°C 時，可以看出波紋變比較穩定，中心曲率也開始變小，反射波似乎影響了水流運動，讓速度差稍微變小。

實驗二：探討水流流量經障礙物對水流的影響

表 3 不同流量的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	60.61 ml/s		68.49 ml/s		73.53 ml/s	
曲率分析						
影響面積	67.28 cm ²	68.30 cm ²	68.30 cm ²	68.30 cm ²	65.93 cm ²	65.93 cm ²

表 3 不同流量的反射波狀態圖與曲率分析(續上頁)

反射波狀態圖	80.00 ml/s		106.38 ml/s	
				
曲率分析				
	71.27 cm ²		57.21 cm ²	
影響面積				

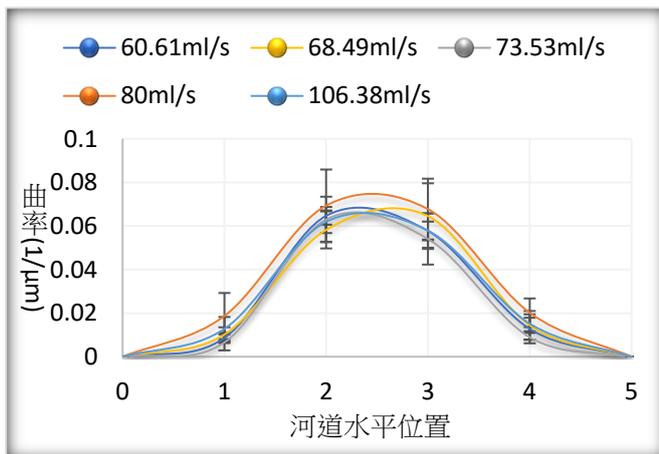


圖 18 流量變化對曲率平均值影響圖(n=5)

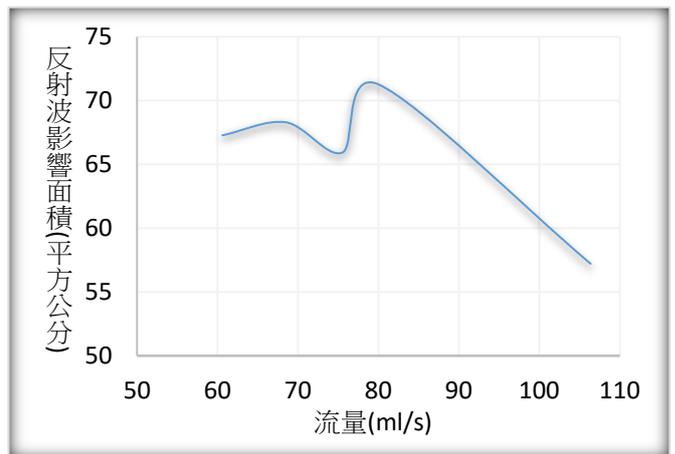


圖 19 流量變化對反射波範圍影響圖

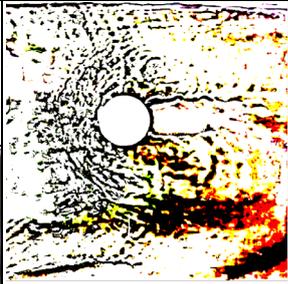
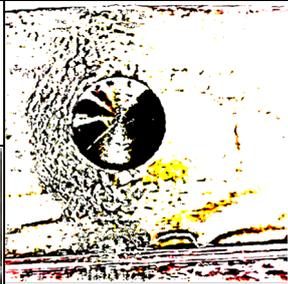
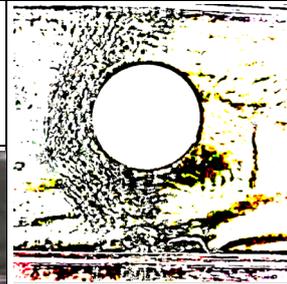
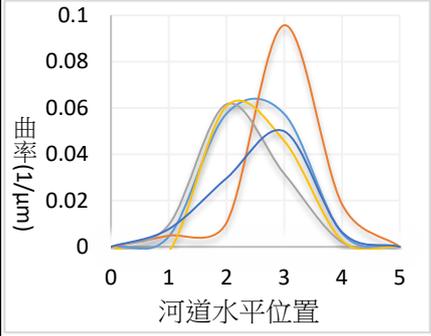
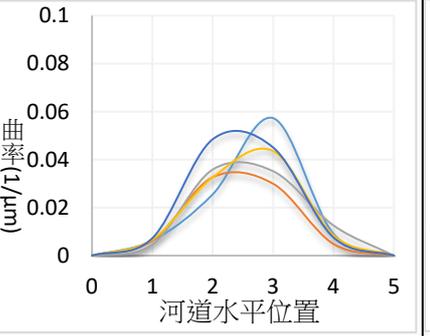
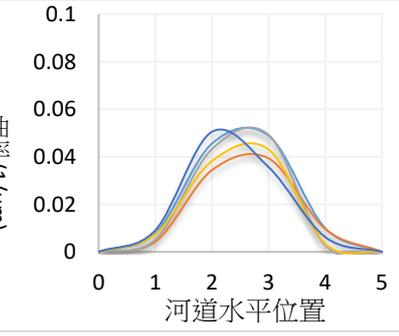
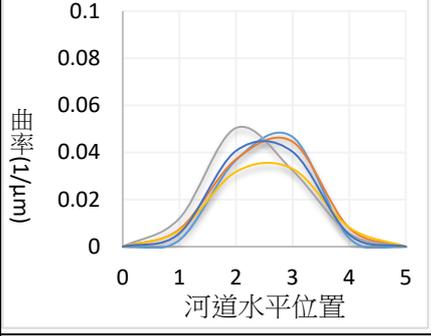
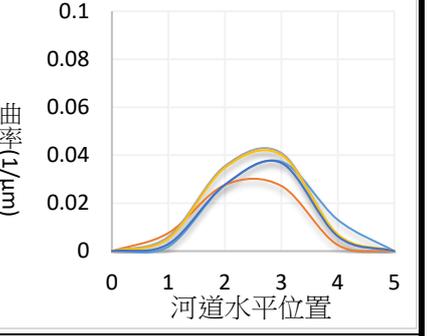
由以上不同流量的曲率圖可以發現，流量越少，曲率越穩定，而從圖 18 可以發現，水流流量較不影響曲率平均值的變化，另外反射波的範圍可以看出流量要大於某個程度(80ml/s)時，波紋有壓縮的現象，但曲率沒因為波紋壓縮而有太大的變化，主要是由於兩側水流也跟著往後帶動而讓曲率影響不大。

依據原理來判斷，若曲率產生變化可用康達效應來判斷，因流速的差異而產生往球體後方內拉的引力導致曲率發生變化，後續也會探討障礙物的狀態是否影響到曲率變化，並利用曲率的變化，來試著預測水流流動情形。

障礙物模擬：

實驗三：探討障礙物大小對水流的影響

表 4 障礙物不同大小的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	1.5cm		3.5cm		4.0cm	
						
曲率分析						
	66.01 cm ²		103.27 cm ²		120.37 cm ²	
反射波狀態圖	4.5cm		5.0cm			
						
曲率分析						
	129.35 cm ²		159.66 cm ²			
影響面積						

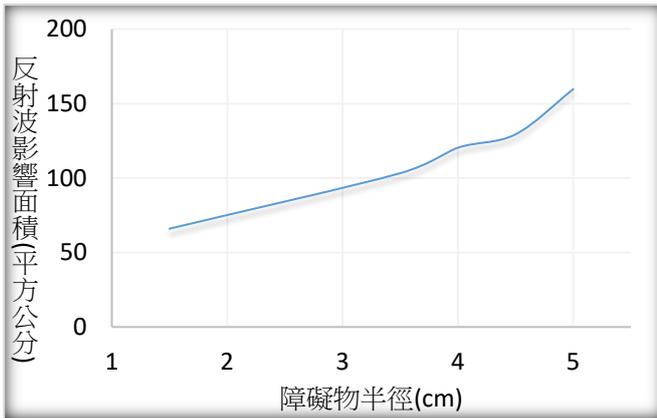


圖 20 障礙物大小對反射波範圍影響圖

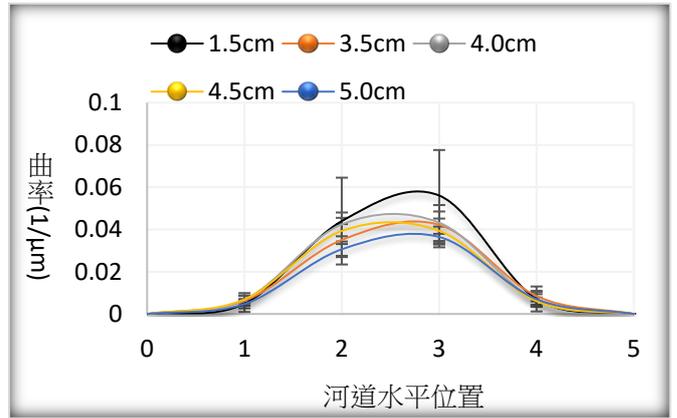


圖 21 障礙物大小對曲率平均值影響圖(n=5)

從圖 20 發現，當物體越大時，反射波範圍越大，而我們對範圍的定義是包含障礙物一半往上游來計算波紋範圍，因為這主要是反射波出現的位置，也試過將物體所占面積扣除，但影響趨勢差異不大，所以才以包含障礙物面積來當整體影響區域面積，另外發現曲率並不是與障礙物半徑呈現正向趨勢，所以推測當物體大小若是佔河道(20.2cm)的 1/3(34.7%)至 2/5(39.6%)時，曲率較易受到障礙物後方引力影響，而使得中心曲率變化是物體半徑 1.5cm > 4.0cm > 3.5cm > 4.5cm > 5cm，另外從曲率分析圖可以發現，當障礙物越小的時候，不同時間的曲率變化差異較大，所以當物體越大時，反射波的影響範圍反而越穩定。

故針對這兩種不同半徑大小障礙物反射波來觀察：

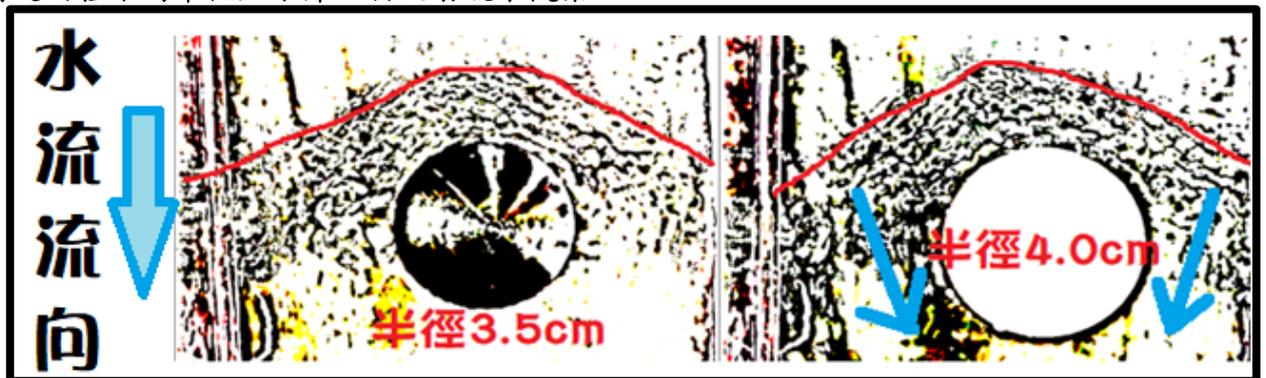


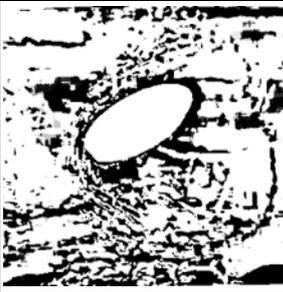
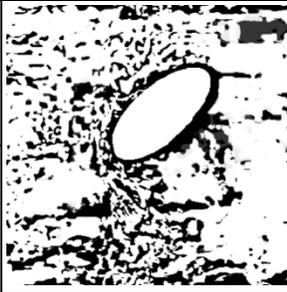
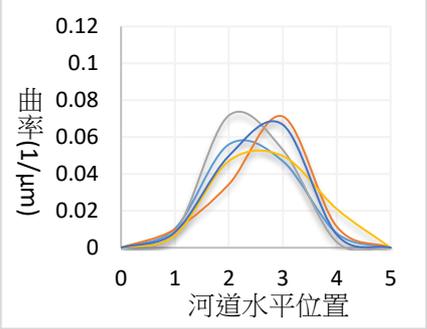
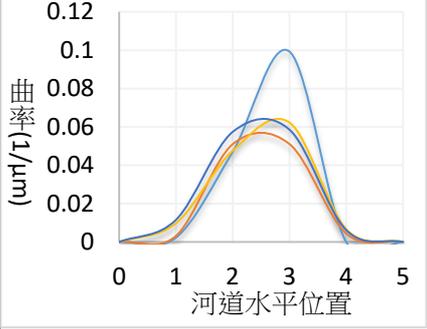
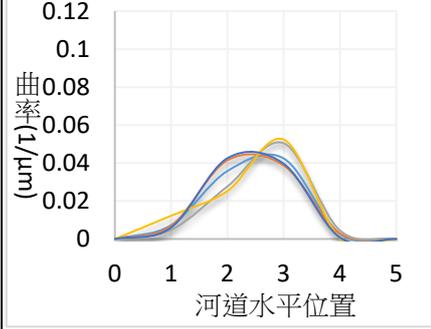
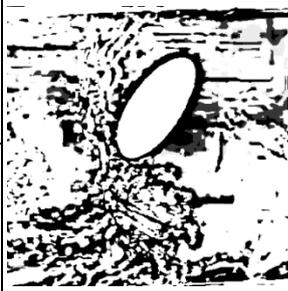
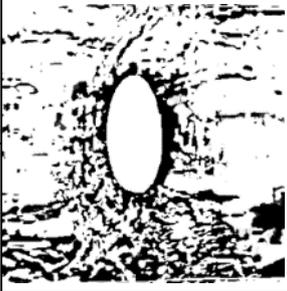
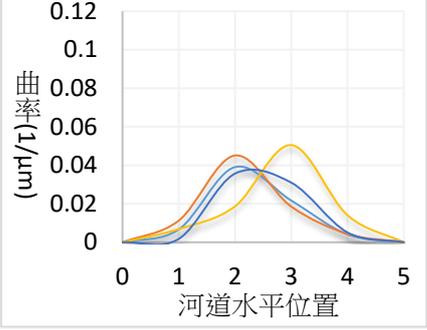
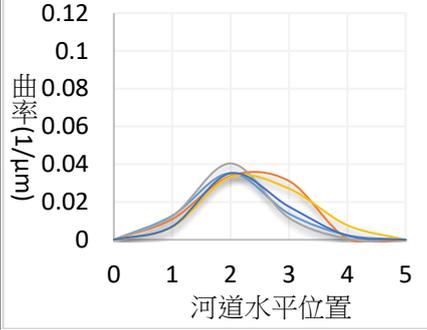
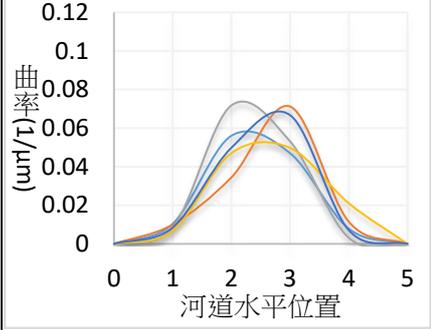
圖 22 障礙物半徑 3.5cm 與 4.0cm 反射波比較

在半徑 4.0cm 的障礙物的圖中可以看出，兩側反射範圍波照理說會因為物體越大而往外反射擴張了反射範圍，但可以發現有往中間河道收縮的情形，可能是當物體越大時，兩側的水流也跟著越多，波的反射對水流的影響變小，而也因為兩測水流流速較快，會更容易被障礙物後方的壓力較小而吸引過去，而造成明顯的收縮。而 4.5cm 以上，反而會因為體積過大，除了水可以通過的空間變小，還有兩側河道的反射，反而讓曲率變小。

實驗四：探討水流與障礙物的夾角對水流的影響

以橢圓形障礙物調整與水流平行流向夾角為 0、30、45、55、72、90 度

表 5 水流與障礙物不同夾角的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	0°		30°		45°	
						
曲率分析						
	51.47 cm ²		66.70 cm ²		74.15 cm ²	
影響面積	51.47 cm ²		66.70 cm ²		74.15 cm ²	
	55°		72°		90°	
反射波狀態圖						
						
曲率分析	90.21 cm ²		85.64 cm ²		84.23 cm ²	
	84.23 cm ²		85.64 cm ²		90.21 cm ²	
影響面積	90.21 cm ²		85.64 cm ²		84.23 cm ²	

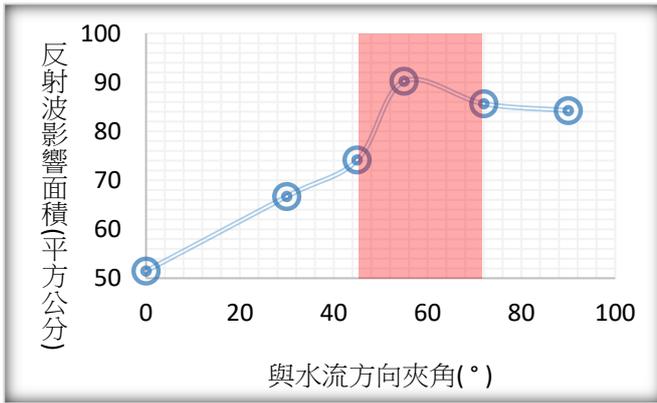


圖 23 與水流方向夾角對反射波範圍影響圖

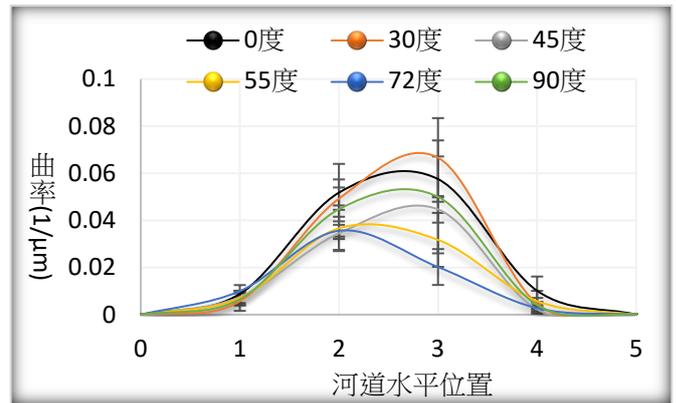


圖 24 與水流方向夾角對曲率平均值影響圖(n=5)

由上圖 23 可以知道，當橢圓物體從夾角 0° 慢慢轉向 90° 時，可以看出因產生阻力讓波紋面積有越大的趨勢。原本角度越大，物體兩側的流速差異會越大，會讓物體後方因壓力差而產生吸引的現象，而讓反射波的範圍減小，使角度越大反射波影響範圍越大的趨勢減緩；但當角度發生在 $45\sim 70$ 度時，可以看到反射波的影響範圍並不像低角度一樣有正比的趨勢，推測之間可能是因為反射波容易反射至河道兩端，而造成範圍變得更大。另外曲率最大在 30 度，最小則是 72 度。



圖 25 側面反射結果(55 度)

實驗五：探討障礙物形狀對水流的影響

表 6 不同形狀障礙物的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	正三角形		倒三角形	
曲率分析				
	影響面積		影響面積	
124.89 cm ²		126.44 cm ²		

河川源頭



圖 26 障礙物不同形狀對反射波範圍比較圖

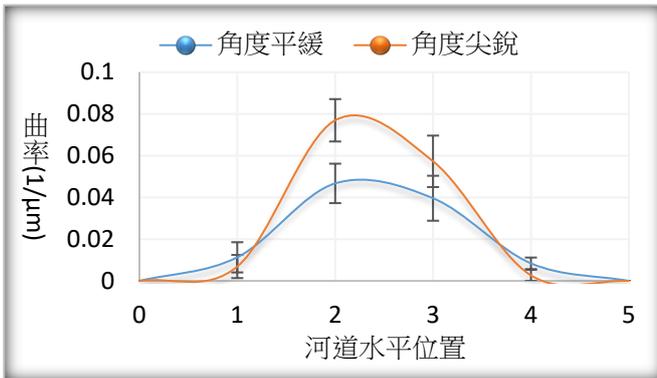


圖 27 障礙物形狀對曲率平均值影響圖 (n=5)

障礙物尖銳與否對反射波的範圍影響不大，差異在於是尖頭產生反射波主要會在兩側，而平頭反而會在前側。雖然說面積大小差不多，但從圖 27 可以看到尖頭的曲率比較大，平頭會因為中間水流直接撞擊平的部位，而使得前方的波紋明顯，且後方波紋較不明顯，而尖頭的除了會因為受到水流對接觸面反射外，同時水流往兩側擠壓，障礙較小。推測尖頭會讓障礙物後方流速差比平頭還更大。

兩個以上障礙物產生的波紋較為複雜，因彼此會干涉，故多障礙物實驗就不探討波紋範圍。

實驗六：探討障礙物擺放位置對水流的影響

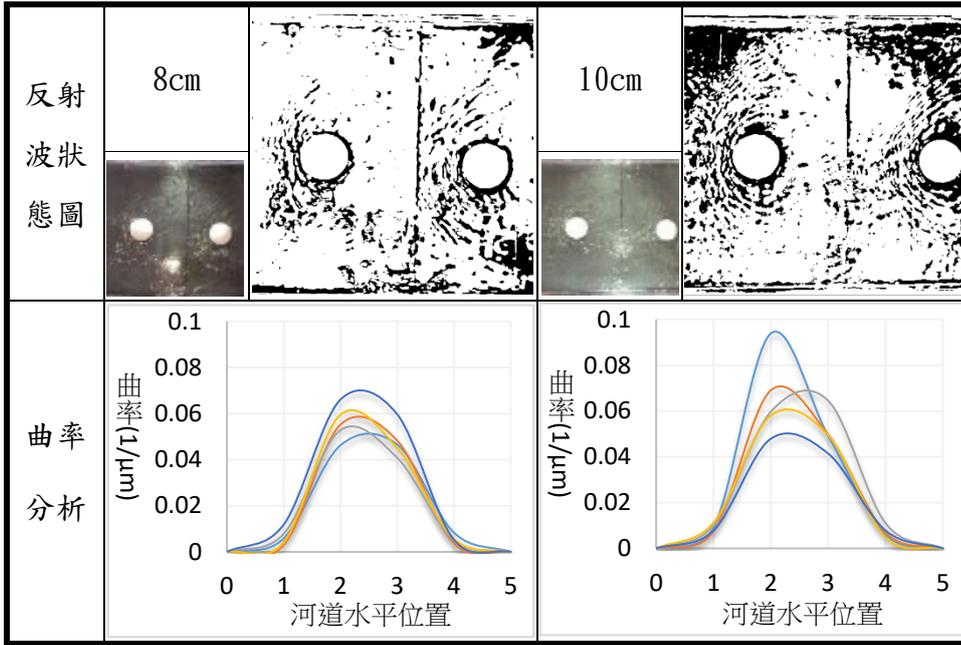
6-1 障礙物平行水流放置

1、兩障礙物平行水流放置

表 7 兩相同障礙物間不同距離(水平放置)的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	2cm		4cm		6cm	
曲率分析						

表 7 兩相同障礙物間不同距離(水平放置)的反射波狀態圖與曲率分析(續上頁)



發現距離與曲率不成正比，於是將曲率最大的點拉出來分析，我們把它分為 A、B、C 三段來看

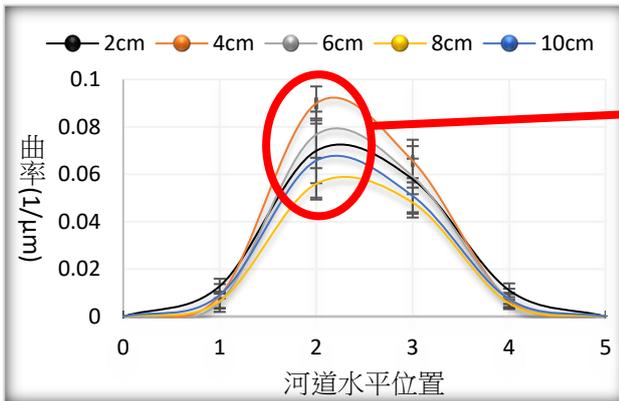


圖 28 兩障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

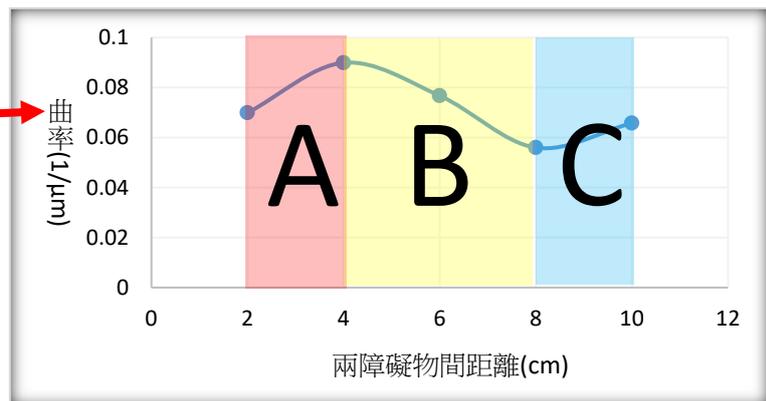


圖 29 兩障礙物距離對曲率最大值比較圖

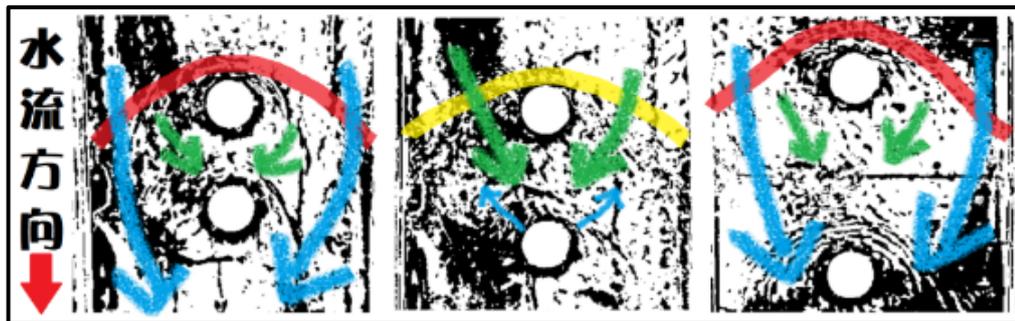


圖 30 兩障礙物距離 4、6、10cm 曲率比較圖

A 段(拉到物體直徑 1.3 倍距離)從距離靠近稍微拉大時，可以看出前方障礙物所反射的波紋有被往後拉的現象，曲率彎曲很明顯，推測是兩障礙物之間的空间開始吸引部分水流，但到 B 段(物體直徑 1.33 到 2.67 倍距離)時，可以看出後面障礙物所反射的波將引進兩物體間的水推開，導致 B 段曲率開始慢慢變小(如圖 30)，同時可以判斷此時的水因後障礙物阻礙而變慢，到了 C 段(物體直徑 2.7 倍至大約 3 倍)距離慢慢拉大，讓後障礙物的影響慢慢變小。

3、三障礙物平行水流放置

表 8 三相同障礙物間不同距離(水平放置)的反射波狀態圖與曲率分析

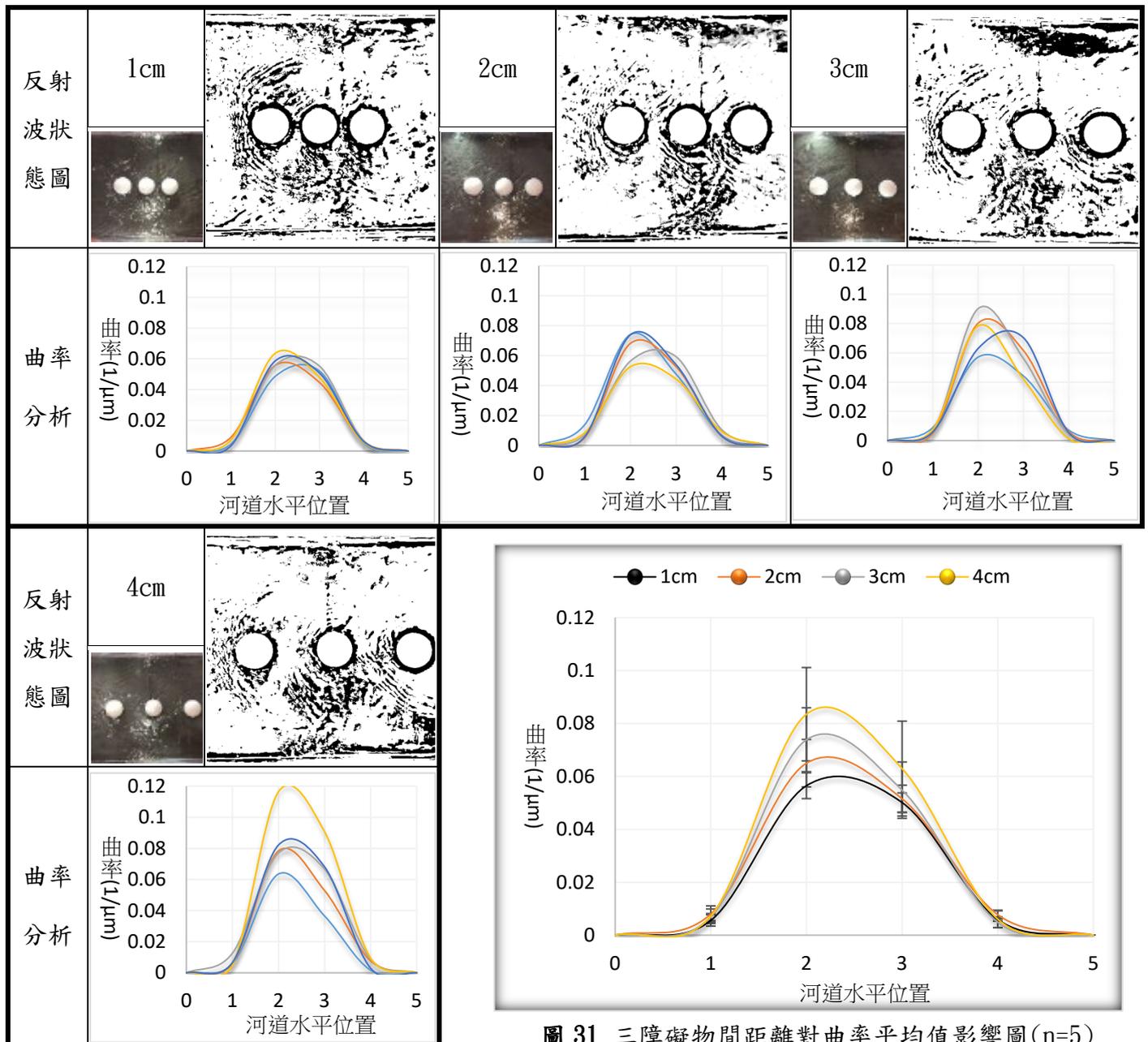


圖 31 三障礙物間距離對曲率平均值影響圖(n=5)

可以發現三障礙物平行水流放置與兩障礙物 4cm 內的趨勢相同，其中間曲率會隨著之間的距離增加，且曲率會彎曲的越明顯，也就是兩側的水有往後拉的情形，而之間的距離因為只有四公分(設備的關係)，可能距離超過 4 公分後，或許會跟兩球的情形相同，超過一定的距離反而會產生阻礙進而讓曲率變小。另外可以看出兩顆與三顆球只要放置距離相同，其曲率變化影響不大，趨勢相同。

3、前小後大障礙物平行水流放置- (曲率取第一顆障礙物)

表 9 前小後大障礙物間不同距離(水平放置)的反射波狀態圖與曲率分析

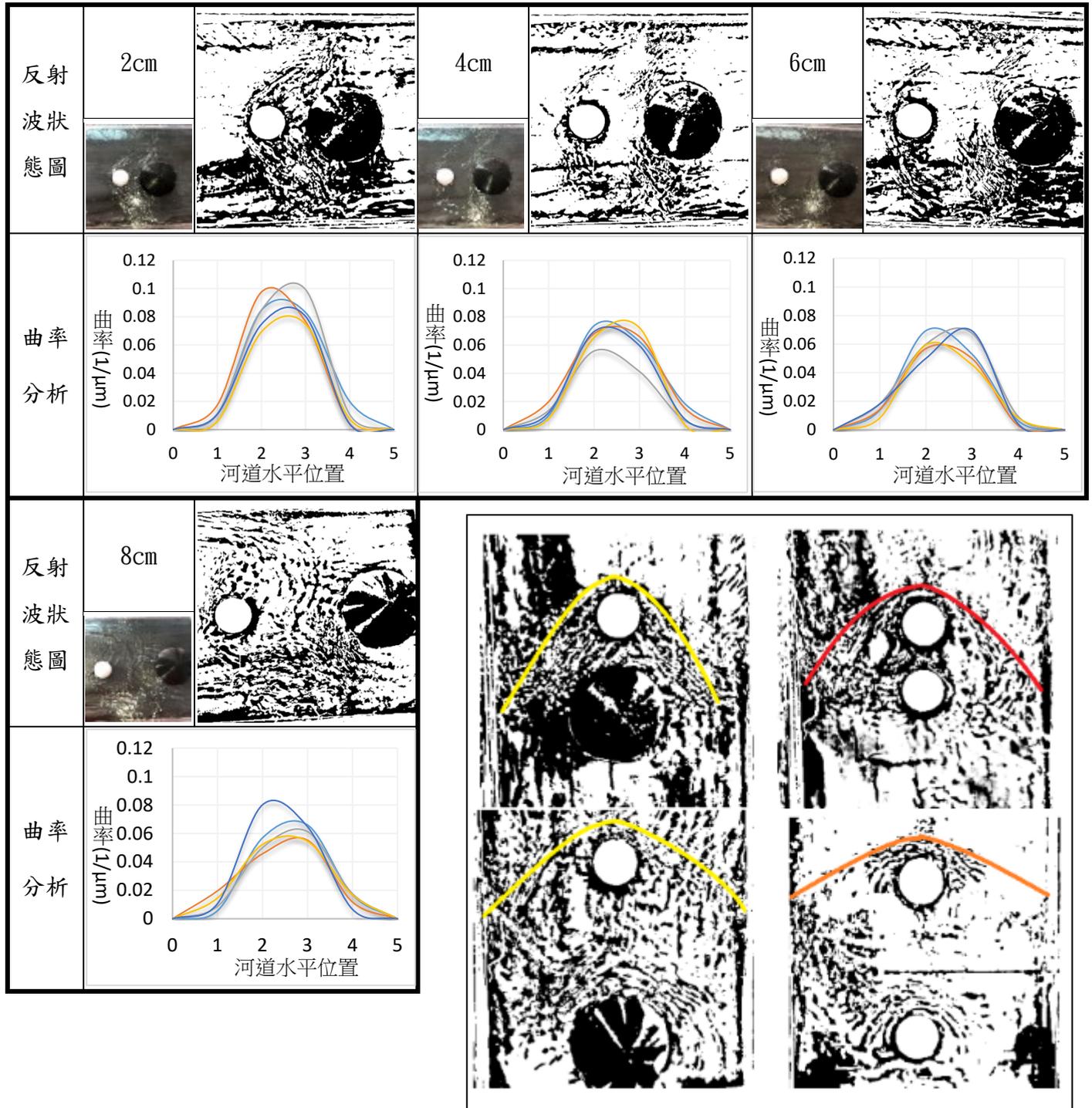


圖 32 兩相同與一大一小障礙物在
距離 2cm 與 8cm 比較圖

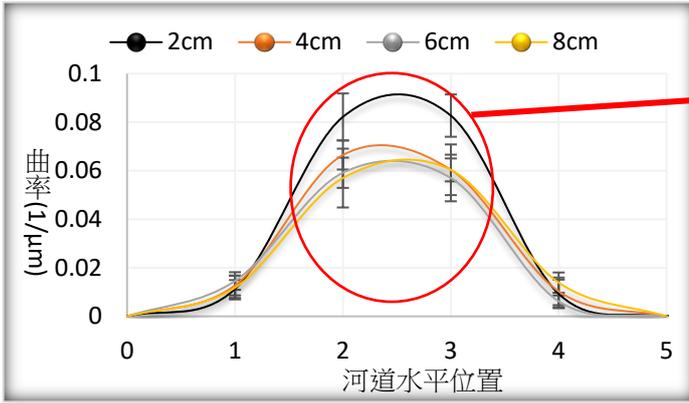


圖 33 前小後大障礙物之間距離對曲率平均值影響圖(n=5)

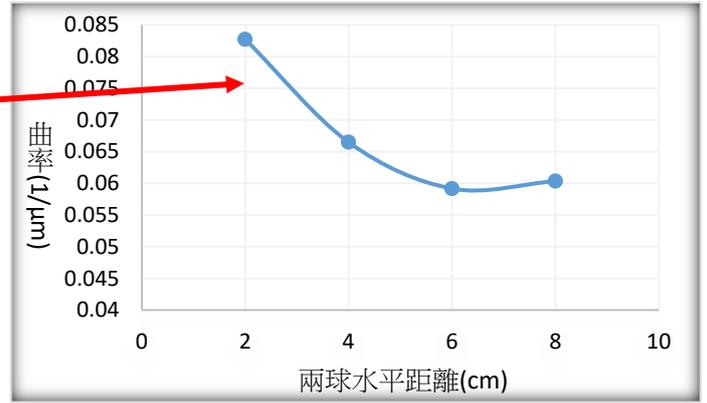


圖 34 前小後大障礙物之間距離對曲率最大值比較圖

將曲率變化圖拉出最大值來觀察(圖 34)，可以發現障礙物前小後大彼此距離越大，中間曲率有越小的趨勢，也就是兩障礙物距離越近，其後方對水流往後的吸引力越強，另外距離拉長至比前方物體直徑大時，後方障礙物所產生的反射波，會讓兩障礙物間波紋很混亂，另外就相同大小與一大一小障礙物距離皆為 2cm 綜合來看，發現後方障礙物越大，波紋曲率越大，也就是後方物體越大，對水流吸引力越強，可能是後半球體後方的水流較少導致壓力較小，兩側壓力大，產生了康達效應讓水流往後彎曲。後續將兩障礙物顛倒放置，看障礙物後方較小是否有不一樣的現象。

4、前大後小障礙物平行水流放置- (曲率取第一顆障礙物)

表 10 前大後小障礙物間不同距離(水平放置)的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	2cm	4cm	6cm
曲率分析			

表 10 前大後小障礙物間不同距離(水平放置)的反射波狀態圖與曲率分析(續上頁)

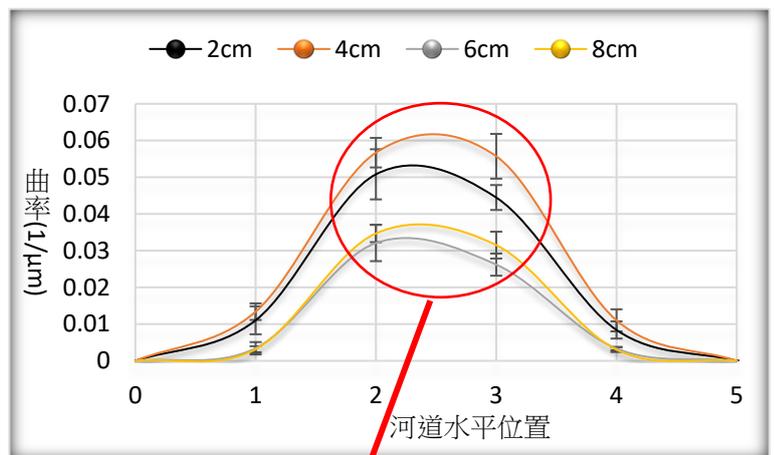
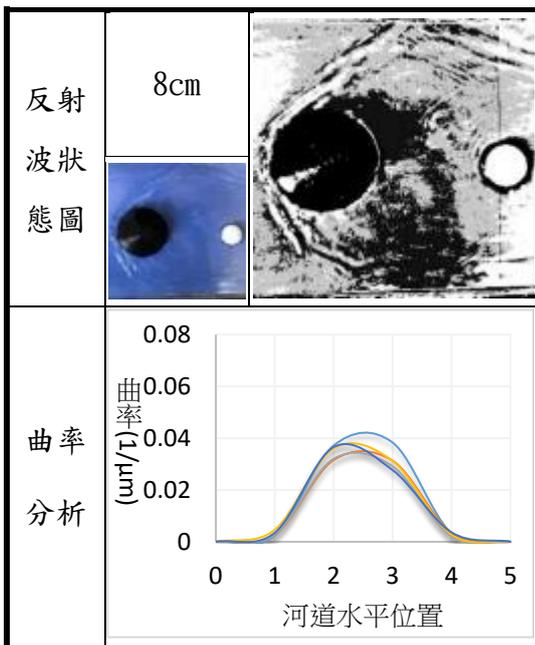


圖 35 前大後小障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

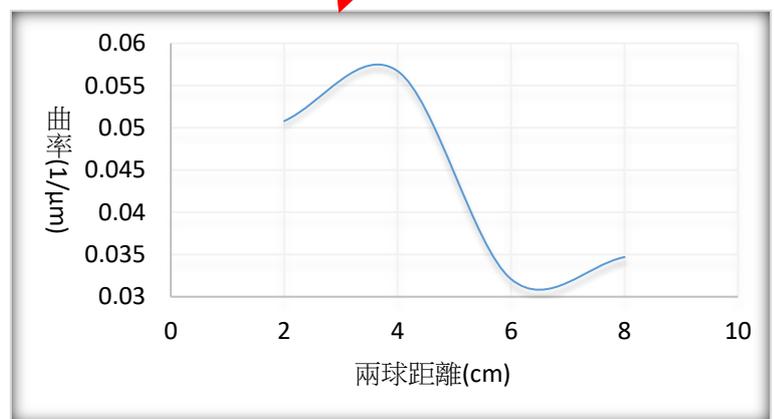


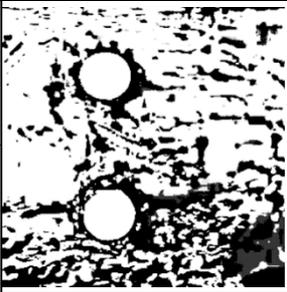
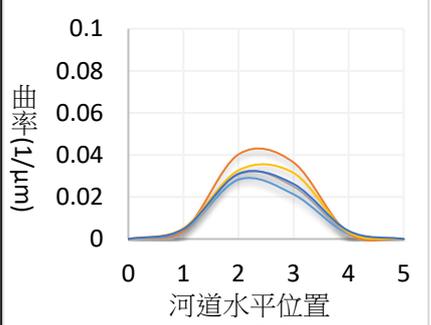
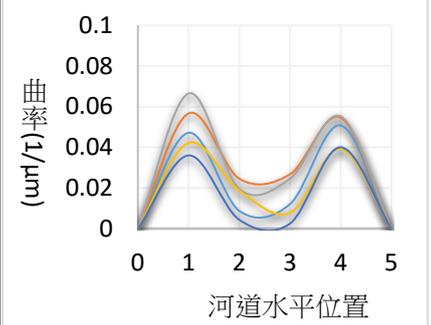
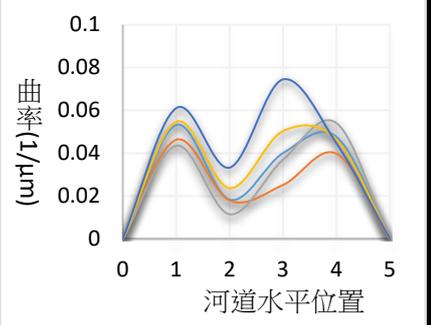
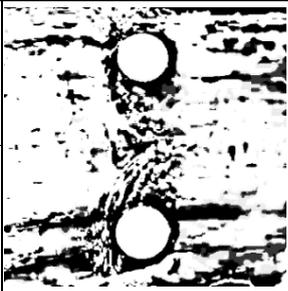
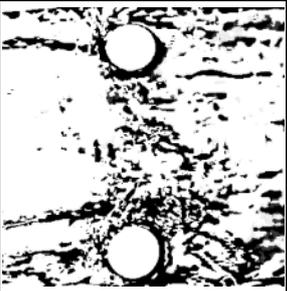
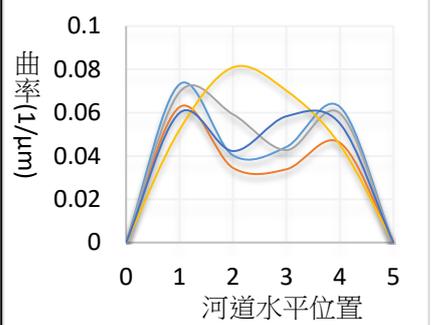
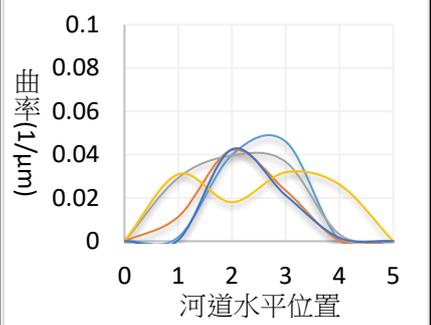
圖 36 前大後小障礙物距離對曲率最大值比較圖

與前一個實驗做比較，發現前大後小與前小後大的曲率變化趨勢不同，於是將中間曲率最大值變化拉出來看(如圖 36)，在 4cm 內，可把兩球視為一個逐漸拉長的橢圓體，水流與橢圓體的夾角變小使曲率變大，而距離加大至 6cm 時，後方障礙物因離前方距離過遠，而讓後障礙物所產生的影響變弱了。

6-2 障礙物垂直水流放置

1、兩障礙物垂直水流放置

表 11 兩相同障礙物間不同距離(垂直放置)的反射波狀態圖與曲率分析

反射 波狀 態圖	2cm		4cm		6cm	
						
曲率 分析						
	<p>曲率 ($1/\mu\text{m}$)</p> <p>河道水平位置</p>		<p>曲率 ($1/\mu\text{m}$)</p> <p>河道水平位置</p>		<p>曲率 ($1/\mu\text{m}$)</p> <p>河道水平位置</p>	
反射 波狀 態圖	8cm		10cm			
						
曲率 分析						
	<p>曲率 ($1/\mu\text{m}$)</p> <p>河道水平位置</p>		<p>曲率 ($1/\mu\text{m}$)</p> <p>河道水平位置</p>			

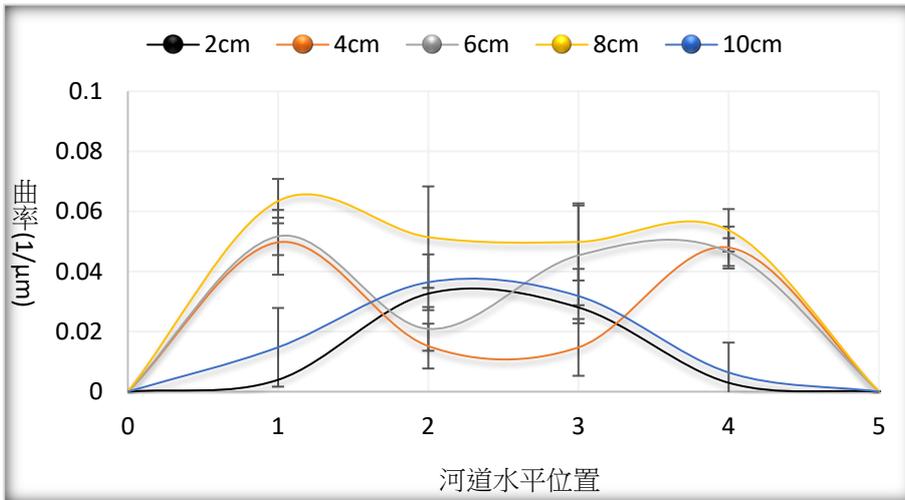


圖 37 兩障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)



圖 38 比較距離 2、6、10cm 曲率差異圖

可以發現當兩球極為靠近的時候，中間曲率會比兩側大，但漸漸拉開距離(4cm)時，因為中間的距離仍不夠大，而水與球體之間的摩擦力造成中間流速減慢使得水會累積在兩障礙物前方，造成像 M 型的波紋，此時水會往兩側跑，造成兩側流速較快，但中間距離漸漸拉開到本身障礙物兩倍距離(6cm)時，可以看到兩側的曲率對中間曲率達相對大值，超過此距離後，可以發現兩側曲率與中間曲率差異變小，但超過 3 倍距離(10cm)後，中間曲率反而又比兩側大，從實際影片可以看到曲率是往後凹，也就是水主要是從中間通過，水流將中間反射波紋往後拉。

2、三障礙物垂直水流放置

表 12 三相同障礙物間不同距離(垂直放置)的反射波狀態圖與曲率分析

反射波狀態圖	1cm	2cm	3cm
曲率分析			

表 12 三相同障礙物間不同距離(垂直放置)的反射波狀態圖與曲率分析(續上頁)

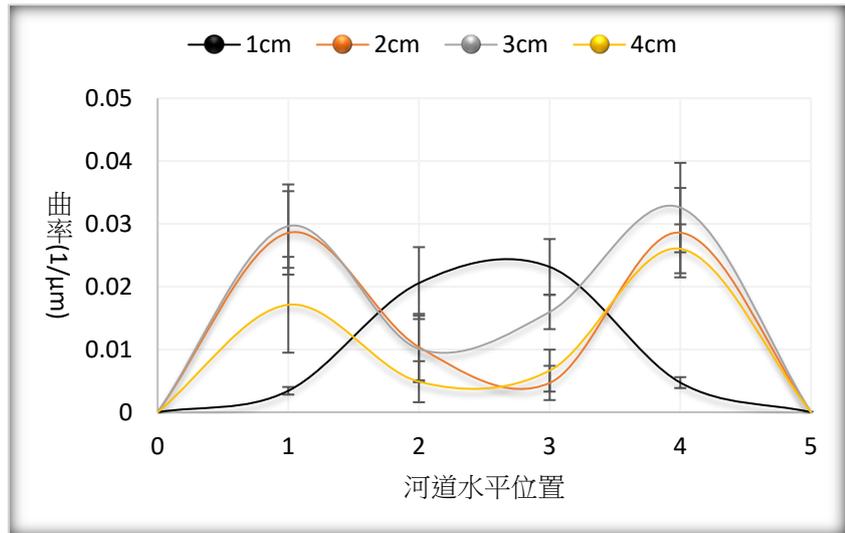
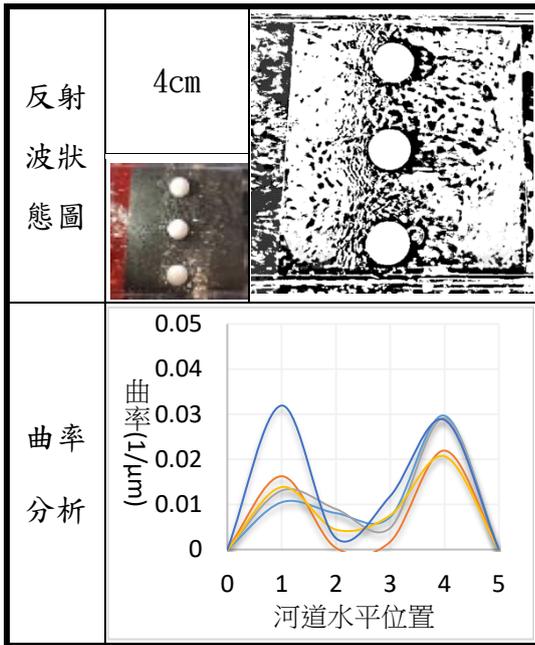


圖 39 三障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

從上圖可以發現因為障礙物之間間距太短(1cm)，所以水流通過時，幾乎是將三個障礙物當成一個物體，讓水流主要由兩側通過，當距離超過 2cm 時，可以發現障礙物反射的波紋會變小，因部分水流往球體間流動而讓波紋往後拉，同時也發現當距離 4cm 時，其波紋會因為水流的不穩定，造成障礙物之間的反射波互相影響，而產生阻力讓曲率下降。

與兩障礙物相比，可以發現當多一障礙物時，同樣都在總間距 4cm 時，會發生 M 型波紋，但兩障礙物 M 型兩端的曲率比三障礙物還更大，推測中間障礙物會阻礙水流往中間流動。

3、不同大小障礙物垂直水流放置

表 13 大小不同障礙物間不同距離(垂直放置)的反射波狀態圖與曲率分析

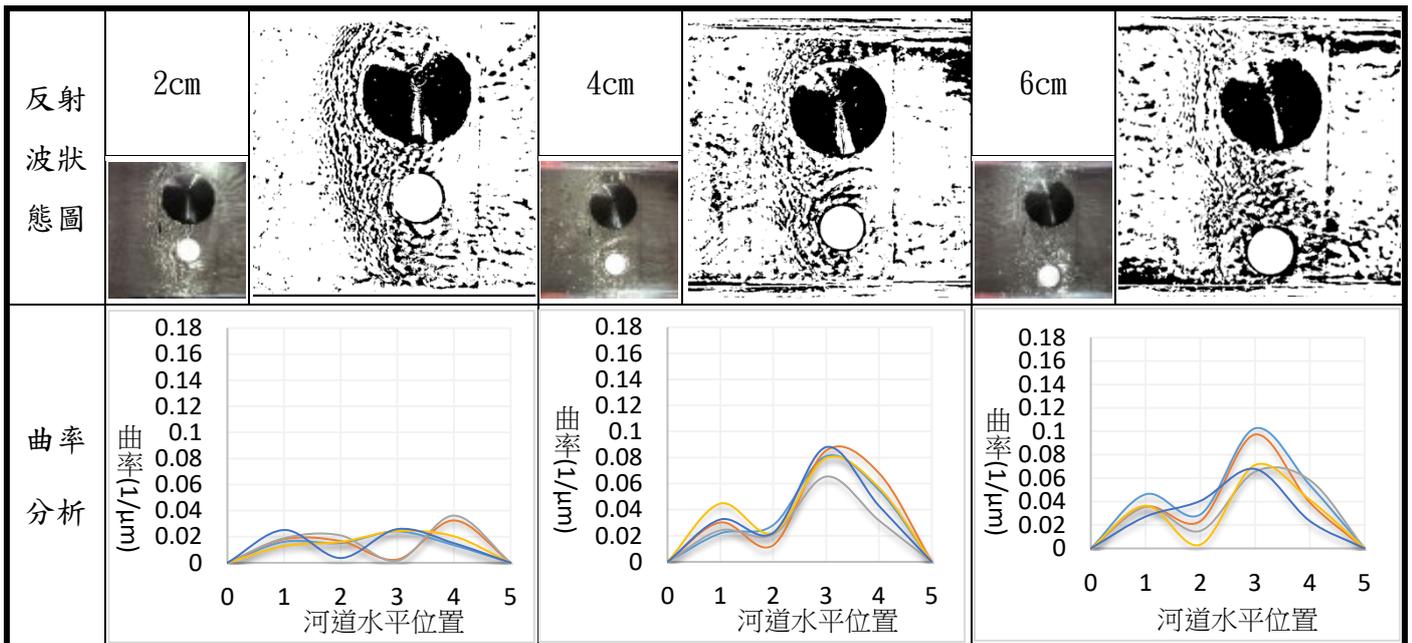


表 13 大小不同障礙物間不同距離(垂直放置)的反射波狀態圖與曲率分析(續上頁)

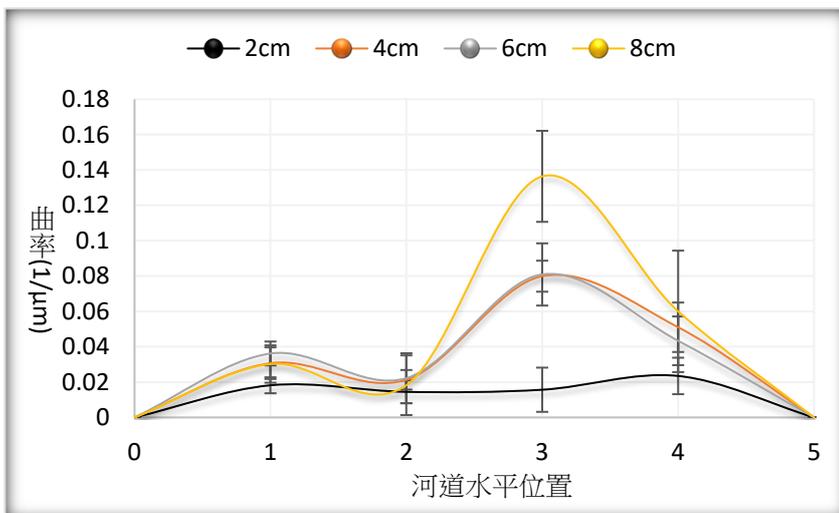
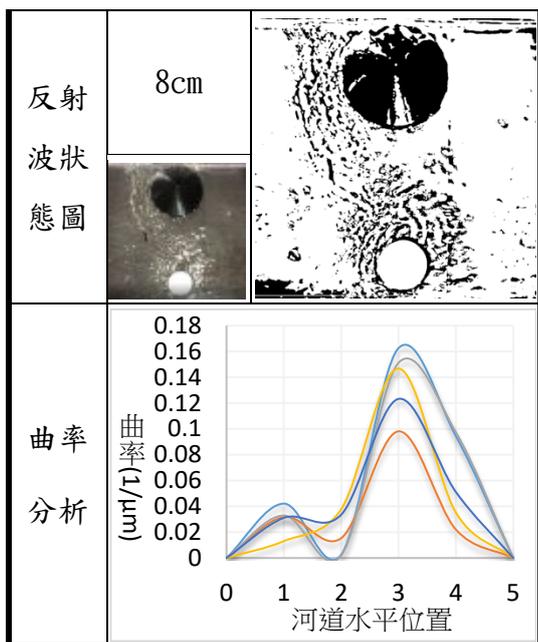


圖 40 一大一小障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

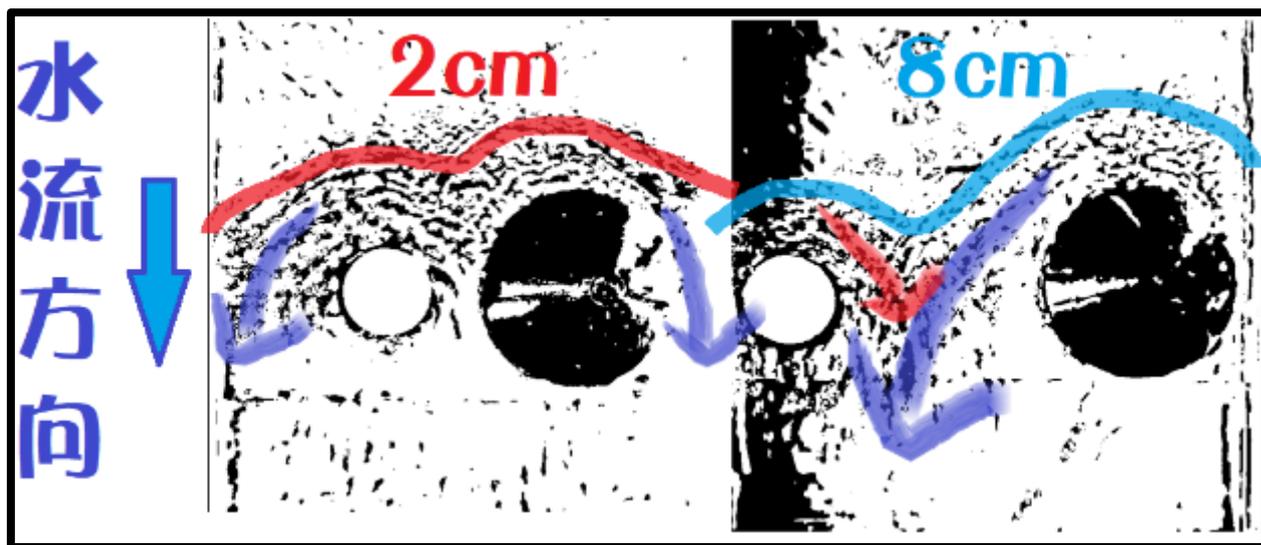


圖 41 大小障礙物距離 2cm 與 8cm 比較圖

可以看出當兩障礙物一大一小非常靠近時，曲率很小，水流幾乎是從兩側走。

若跟兩相同大小障礙物比較：

- 1、曲率更小，表示兩側流速更慢。
- 2、波紋距離較短，阻力會比兩相同大小障礙物更大。
- 3、距離拉開時，可以看到大障礙物前方曲率變得越大，且水流的方向主要是由大往小障礙物方向拋物線流入(如圖 41)。

陸、研究結果討論

就各個實驗結果討論如下：

實驗一：水溫對水流的影響

- 1、溫度高低影響波紋的清晰度，溫度越低越清晰。
- 2、溫度變化對中心曲率差異不大，從 10°C 至 35°C，溫度越高曲率越大，但 45°C 時，曲率變小，推測反射波抵銷了水流運動，讓速度差稍微變小。

實驗二：探討水流流量經障礙物對水流的影響

- 1、流量越慢，曲率越穩定，但流量不影響中心曲率變化。
- 2、綜合康達效應判斷，應是產生流速差而造成障礙物後方產生引力影響波紋。

實驗三：探討障礙物大小對水流的影響

- 1、物體越大時，反射波範圍越大。
- 2、除了物體大小是佔河道的 $1/3$ (34.7%) 至 $2/5$ (39.6%) 時，其餘呈現物體越大，曲率越小，判斷此大小範圍因反射波的影響造成不同的趨勢。

實驗四：水流與障礙物的夾角對水流的影響

- 1、與水流夾角越大，波紋面積越大，只有在 45~70 度因為反射波容易反射至河道兩端，而造成範圍變得比正常趨勢更大。
- 2、中心曲率最大在水流與障礙物夾角 30 度發生，代表障礙物後方引力在 30 度時最大。

實驗五：障礙物形狀對水流的影響

- 1、障礙物尖銳度對反射波的範圍影響不大，但正三角形產生的反射波會在兩側，平頭的反射波會在障礙物前側。
- 2、障礙物越尖銳，中心曲率越大，同時發現波紋會在角度尖銳的三角形障礙物兩側出現，推測尖銳的障礙物後方流速差比平緩障礙物還更大。

實驗六：障礙物擺放方式對水流的影響

障礙物平行水流放置：

- 1、兩障礙物與三障礙物距離 4cm 內，距離越遠，其中心曲率越大；而兩障礙物距離再拉大時，後方障礙物產生的反射波會讓曲率變小，要等距離拉大到 8cm 時，反射波的影響才會開始減小。
- 2、若障礙物大小不一，前小後大時，兩障礙物越遠時，中心曲率越小，表示大障礙物後方對水流的吸引越弱；前大後小時，距離在 4cm 內，兩障礙物可視為一個橢圓體，曲率有變大的趨勢，但距離再拉大時，後方障礙物影響變弱，使曲率下降許多。

障礙物垂直水流放置：

- 1、兩障礙物相距 2cm 時，水仍會從兩側走，當逐漸拉開至 4cm 時，水會累積在兩障礙物之間，形成 M 型波紋；距離超過 8cm 距離時，可以發現曲率開始變小，表示水開始漸漸從中間拉往後方；超過距離 10cm 時，可以發現引力是從中間吸引大部分的水流。
- 2、三個障礙物時，形成 M 型波紋的間距縮短。同時發現距離拉大至 4cm 時，波紋會不穩定，干擾較多。
- 3、M 型波紋出現在兩障礙物間距 4cm，三障礙物則是出現在間距 2cm，可發現兩實驗總間距相同；但兩障礙物 M 型兩端的曲率比三障礙物還更大，推測中間障礙物會阻礙水流往中間流動。

柒、結論

實際上河床上岩石擺放情形影響水流流動的情況當然比實驗更為複雜，因為岩石的形狀與地形有很多變化，岩石形狀先以半球型與三角型為前提下進行分析，綜合實驗結果可以得知在河床嬉戲有幾個該注意的地方：

- 1、當天氣炎熱時(約 35°C)，水流會較為紊亂，需要注意岩石後方的水域。
- 2、岩石前端越尖銳或是水流與岩石擺放夾角約 45 度至 72 度角時，側面因河道反射水波造成紊流，靠近岩石側面時需要特別注意。而夾角在 30 度則是岩石後方流速差異大，也需要特別注意。

- 3、前方岩石較小或與後方岩石相同大小時，前後排列距離較近，兩岩石可視為一體，岩石的後方安全水域較小，可能會有被吸入的風險；而前面岩石變大時，後方安全區域會慢慢變大。
- 4、相似大小岩石左右排列，距離較近時，要注意岩石兩側水流；距離大於岩石大小時，則是要注意兩岩石間水流狀態；如果兩岩石大小不一，當距離拉大時，則是要注意小岩石那邊的水流。

捌、參考資料

- 1、小峯龍男. (2015). 流體力學. 新北市: 瑞昇文化.
- 2、白努利定律. (2018年7月17日). 擷取自 維基百科:
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 3、張慧貞. (2016年5月5日). 白努利定理的誤解與錯誤應用. 擷取自 物理雙月刊:
https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_m1_id=3&index_id=192

【評語】 030116

本件作品探討溪邊水流經障礙物的流體動力學行為，設計實驗模型模擬水流經障礙物的流動，研究者能設計系統化變因，測計算波紋中心曲率等，探討水流經障礙物的現象。

建議本作品應對實驗探討參數做嚴謹定義，如波紋中心曲率等，並避免可能產生誤差因素，以能獲得信確結果，且留意實驗數據誤差分析方法。

另，建議應學習實驗數據誤差分析及有效數字，及應留意作圖科學表示方法，並應查閱查閱相關研究文獻，深究物理詮釋意義等。

1 摘要

為了預防在溪邊戲水造成的憾事，我們模擬水流經障礙物的流動，計算波紋中心曲率大小，探討障礙物後方水流的狀況，發現如下：

水溫越高，水流越紊亂；若障礙物大小佔河道的1/3~2/5時，水流容易被吸入後方區域，較為危險；若障礙物越尖銳或水流與障礙物夾角約30度，障礙物後方流速差異大，也須特別注意。若前方障礙物較小或與後方障礙物相同大小時，前後排列距離較近，可能會有被吸入的風險；前面障礙物較大時，後方安全區域則會變大。若大小相似障礙物左右排列距離較近，須注意兩側水流；若兩不同大小的障礙物排列距離較遠，則須注意小障礙物附近的區域，有可能被沖擊的危險。盡量避免以上的狀況，以保護自身安全。

3 研究目的

建立模擬溪流的裝置：

設計並製作出模擬障礙物與溪流的裝置

環境模擬：

- 1、探討水流溫度變化經障礙物後對水流的影響
- 2、探討流速經障礙物後對水流的影響

障礙物模擬：

- 3、探討障礙物大小對水流的影響
 - 4、探討水流與障礙物的夾角對水流的影響
 - 5、探討障礙物形狀對水流的影響
 - 6、探討障礙物擺放方式對水流的影響
- (1) 平行水流放置 (2) 垂直水流放置

4 研究器材

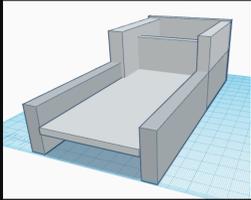
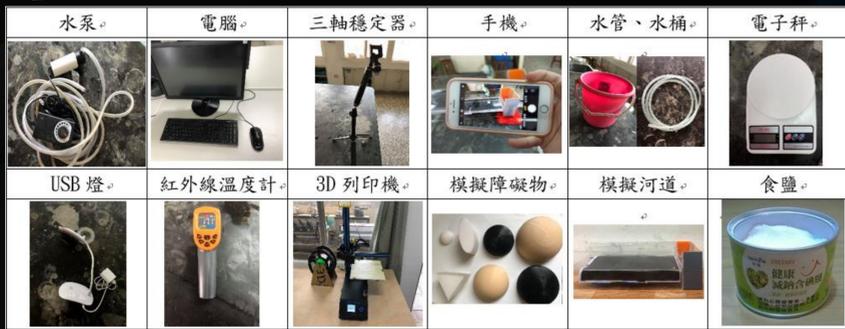


圖2 溪流模擬裝置設計圖

圖3 溪流模擬裝置

5 研究結果與討論

實驗一：水流溫度變化經障礙物後對水流的影響

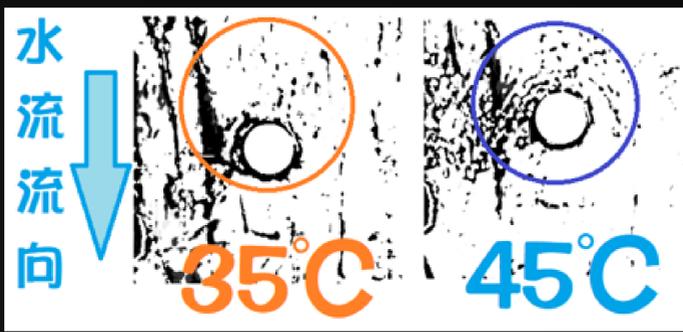
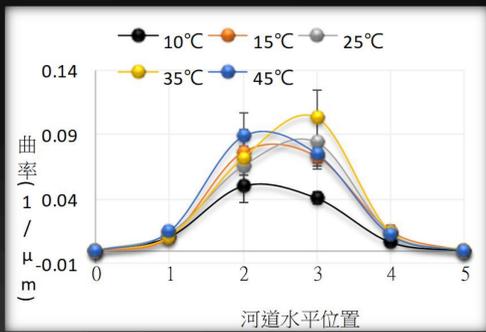
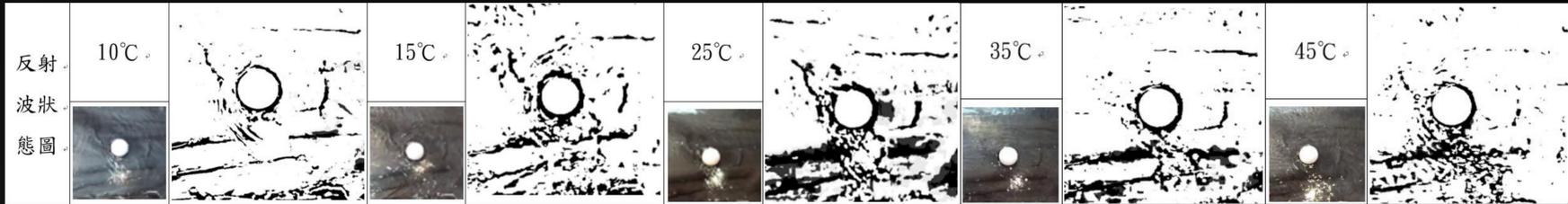


圖7 35°C與45°C對曲率變化影響圖

1. 溫度高低影響波紋的清晰度，溫度越低越清晰。
2. 溫度變化對中心曲率差異不大，從10°C至35°C，溫度越高曲率越大，但45°C時，曲率變小，推測反射波抵銷了水流運動，讓速度差稍微變小。

2 研究動機

炎炎夏日，大家總是想到溪邊戲水或到山上避暑，卻經常在戲水的過程中，因溪流的暗流而不小心失足溺斃，因此戲水的風險一直是大家很關注的議題。長輩們的叮嚀，學校的宣導重複不斷，在河流戲水而溺斃的新聞依舊不斷上演。我們在看到某一則新聞後，靈光一閃，腦中突然出現一個念頭：有沒有什麼方法是可以盡量預防這些憾事發生的？因為這次比賽的機會，強烈的好奇心促使我們想要更進一步了解。

我們希望可以觀察與發現物體在水流中產生不同的變化，經過網路的資料以及詢問老師後，我們偶然知道康達效應，這便是關於水（流體）受到障礙物而改變流向的原理。而我們想要自己動手實驗模擬探討：不同的變因會不會影響不同的水流方向、會不會造成影響區域面積的改變與水波的探討。藉由簡單的實驗來觀察出更多的細節，希望能透過這些實驗找到最適合溺水當下幫助自己免於洪水衝擊之地，能觀察地形，進而推論水的流動方向。

研究架構圖



圖1 研究架構圖

研究原理

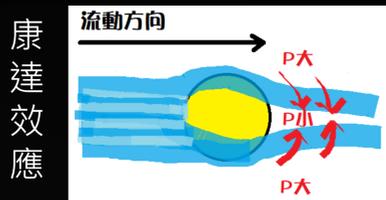


圖4 流體的康達效應

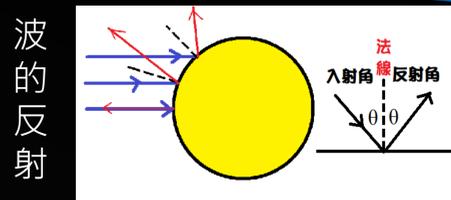


圖5 水流反射的情形

當水流通過物體時，會因水與物體表面間的摩擦力使流速減慢，讓水流隨凸出的物體表面流動的傾向；彎曲的流線，內外層壓力會不相同，外層氣壓(向內)會大於內層(向外)，因而彎向內。

水流會因撞擊物體的關係而產生反射，利用反射定律(入射角=反射角)，這些反射的水流會反射而影響原來的流體，進而改變水流的方向，且容易產生紊流的現象。

實驗二：探討水流流量經障礙物對水流的影響

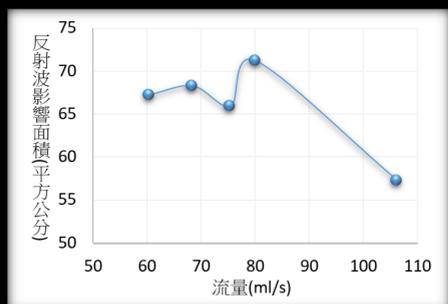
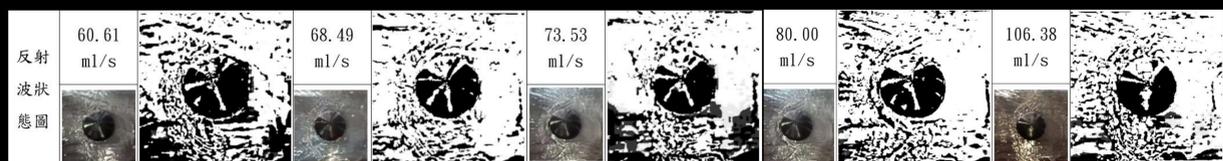


圖8 流量變化對反射波範圍影響圖

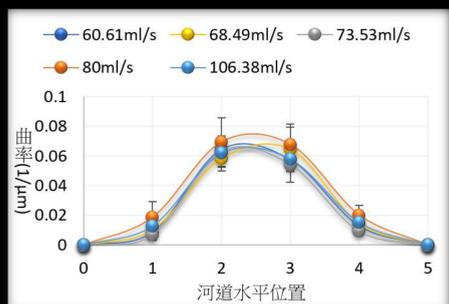


圖9 流量變化對曲率平均值影響圖(n=5)

1. 流量越小，曲率越穩定，但流量不影響中心曲率變化。
2. 綜合康達效應判斷，應是產生流速差而造成障礙物後方產生引力影響波紋。

實驗三：探討障礙物大小對水流的影響

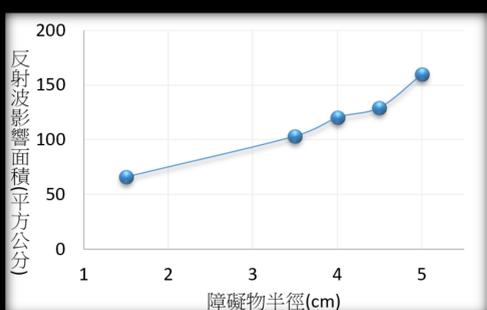
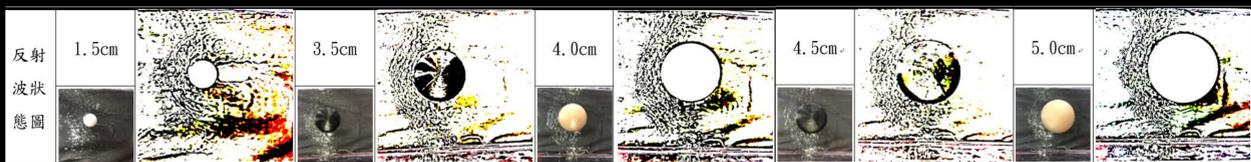


圖10 障礙物大小對反射波範圍影響圖

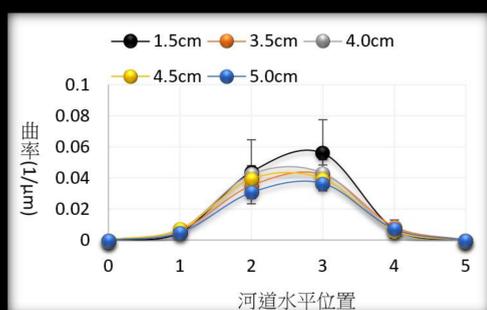


圖11 障礙物大小對曲率平均值影響圖(n=5)

1. 物體越大時，反射波範圍越大。
2. 除了大小佔河道的1/3(34.7%)至2/5(39.6%)，其餘呈現物體越大，曲率越小，判斷此範圍因反射波影響造成不同的趨勢。

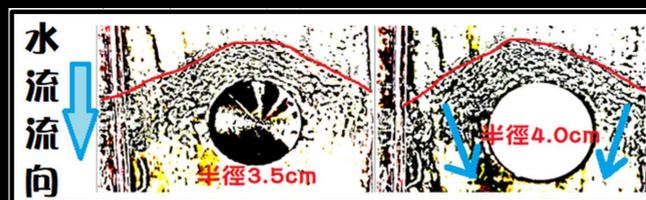


圖12 障礙物半徑3.5cm與4.0cm反射波比較圖

實驗四：探討水流與障礙物的夾角對水流的影響

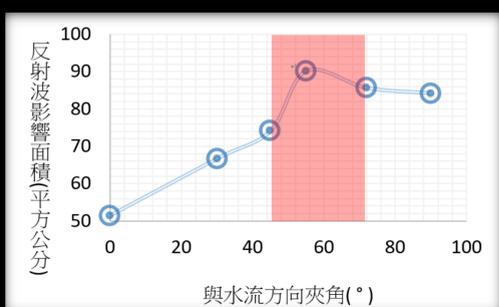
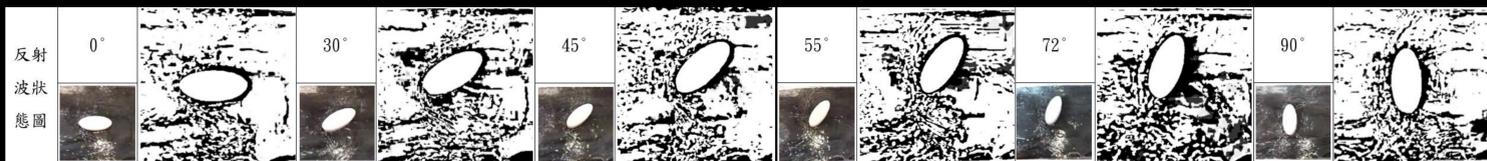


圖13 與水流方向夾角對反射波範圍影響圖

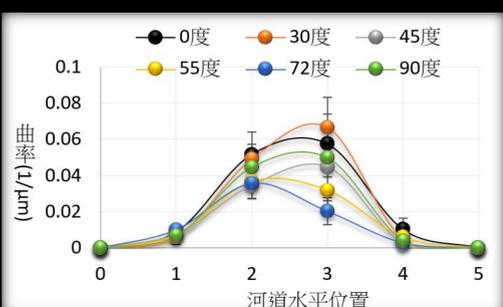


圖14 與水流方向夾角對曲率平均值影響圖(n=5)



圖15 側面反射結果(55度)

1. 與水流夾角越大，波紋面積越大，只有在45~70度因為反射波容易反射至河道兩端，造成範圍變得比正常趨勢更大。
2. 中心曲率最大在水流與障礙物夾角30度發生，代表障礙物後方引力在30度時最大。

實驗五：探討障礙物形狀對水流的影響

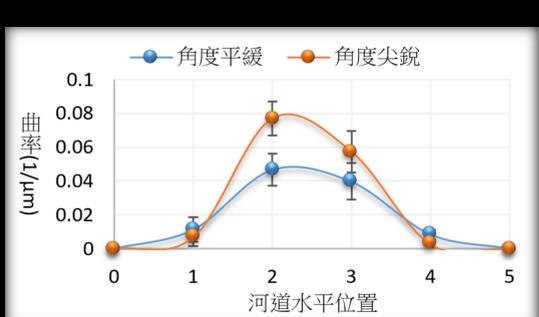


圖16 障礙物尖銳度對反射波範圍比較圖(n=5)

河川源頭



圖17 障礙物尖銳度對反射波範圍比較圖

1. 障礙物尖銳度對反射波的範圍影響不大，但正三角形產生的反射波會在兩側，平頭的反射波會在障礙物前側。
2. 障礙物越尖銳，中心曲率越大，同時發現波紋會在角度尖銳的三角形障礙物兩側出現，推測尖銳的障礙物後方流速差比平緩障礙物還更大。

實驗六：探討障礙物擺放位置對水流的影響

6-1 障礙物平行水流放置

1. 兩障礙物平行水流放置

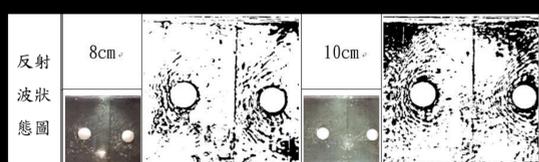
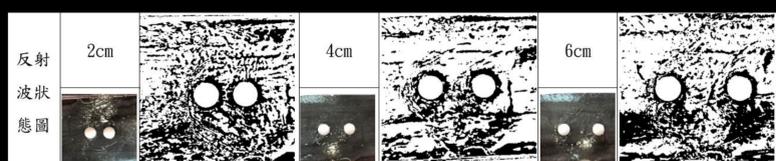


圖18 兩障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

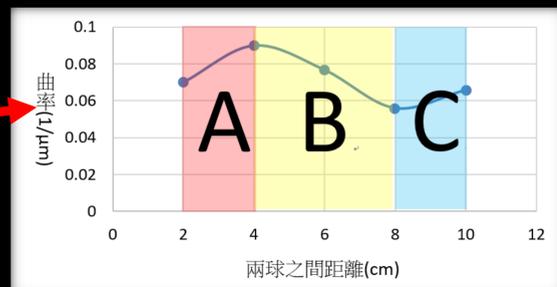


圖19 兩障礙物距離對曲率平均值影響圖

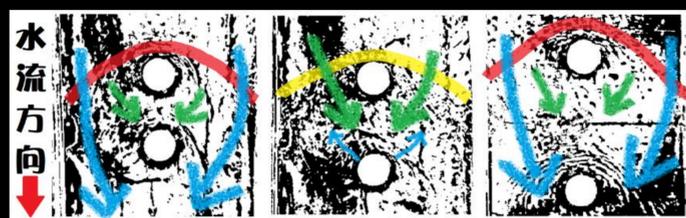


圖20 兩障礙物距離對曲率最大值比較圖

2.三障礙物平行水流放置

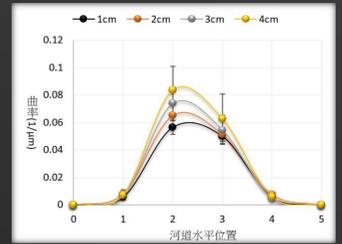
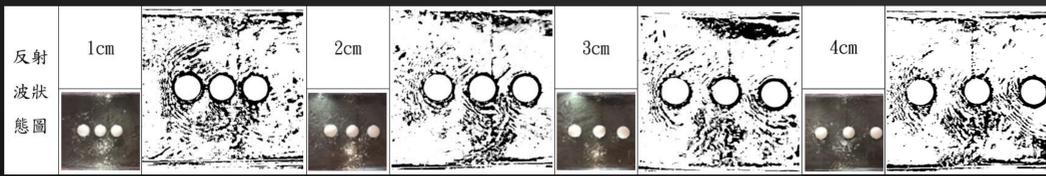


圖21 三障礙物間距離(平行水流)對曲率平均值影響圖(n=5)

3.前小後大障礙物平行水流放置

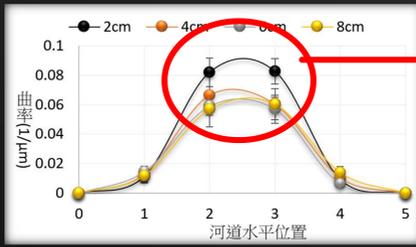
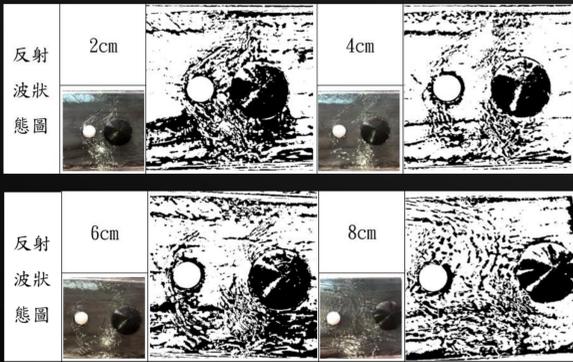


圖22 前小後大障礙物之間距離對曲率最大值比較圖(n=5)

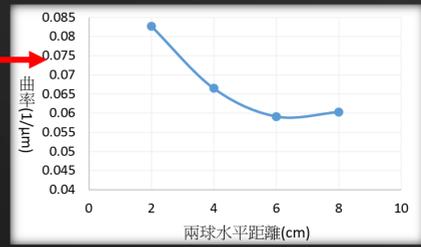


圖23 兩障礙物距離對曲率最大值比較圖

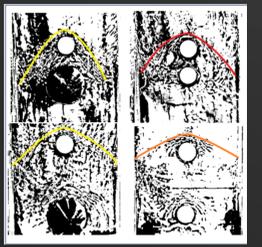


圖24 兩相同與一大一小障礙物在距離2cm與8cm比較圖

4.前大後小障礙物平行水流放置

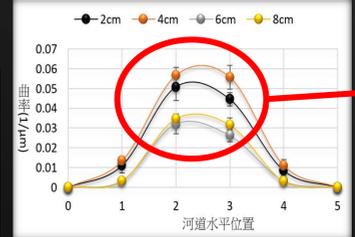
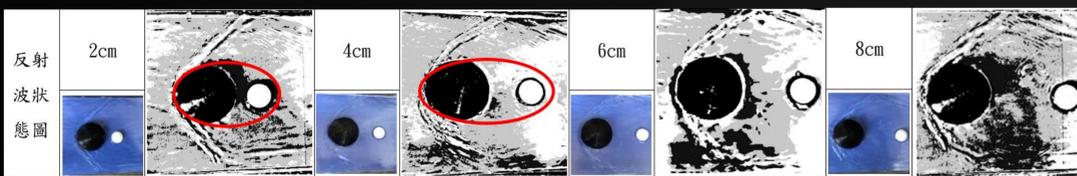


圖25 兩障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

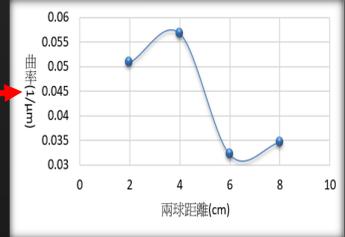


圖26 前小後大障礙物之間距離對曲率平均值影響圖

1. 兩障礙物與三障礙物在距離4cm內，距離越遠，中心曲率越大；而兩障礙物距離再拉大時，後方障礙物產生的反射波會讓曲率變小，當距離拉大到8cm時，反射波影響開始減小。
2. 若前小後大障礙物越遠，曲率越小，表示大障礙物後方對水流吸引越弱；前大後小時，距離4cm內，兩障礙物可視一橢圓體，曲率有變大趨勢，距離再拉大時，後方障礙物影響變弱使曲率下降許多。

6-2 障礙物垂直水流放置

1.兩障礙物垂直水流放置

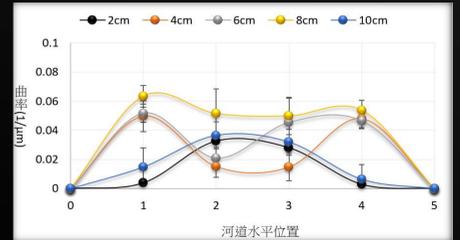
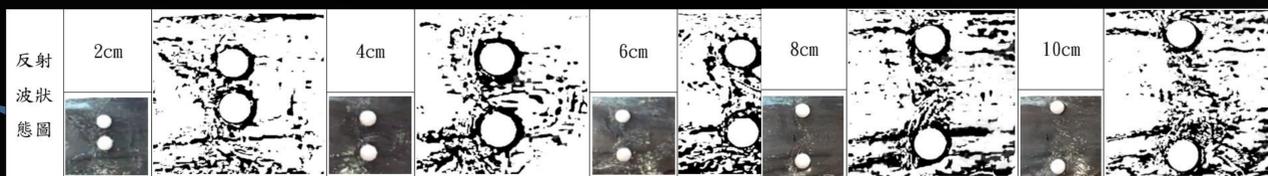


圖27 兩障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

2.三障礙物垂直水流放置

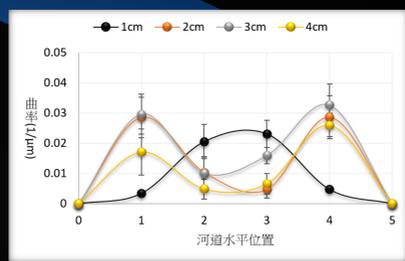
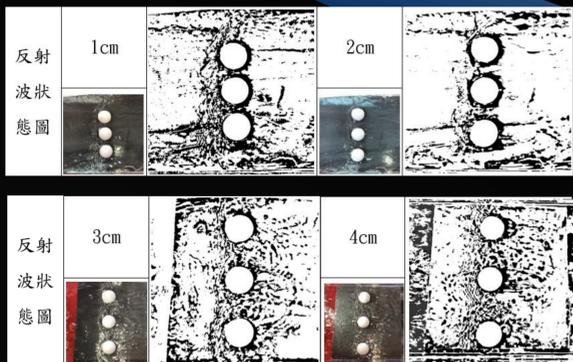


圖28 三障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

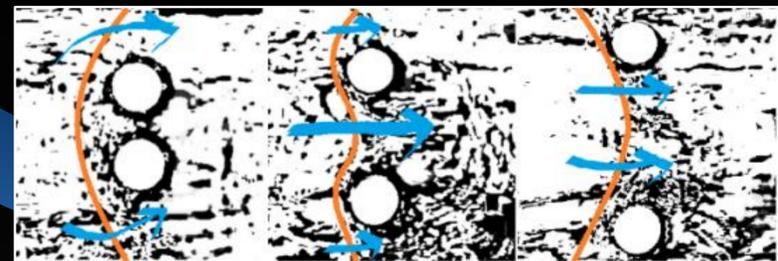


圖29 比較距離2、6、10cm曲率差異圖

3.不同大小障礙物垂直水流放置

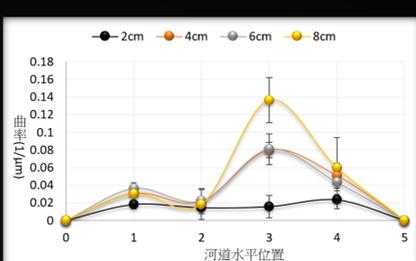
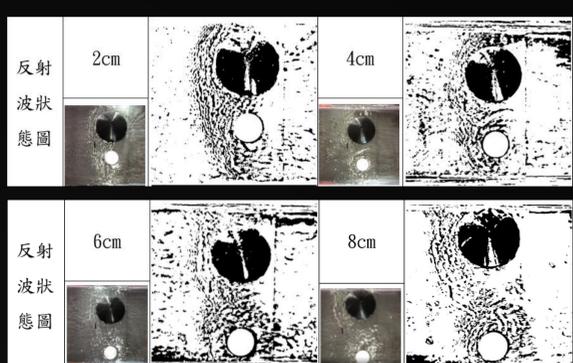


圖30 一大一小障礙物距離對曲率平均值影響圖(n=5)

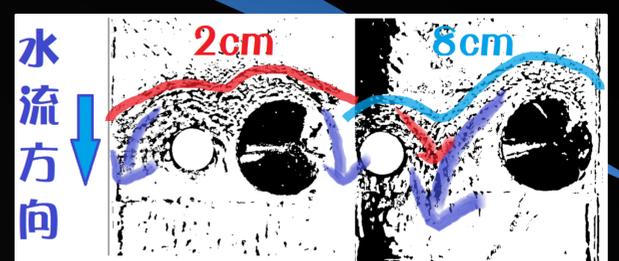


圖31 大小障礙物距離2cm與8cm比較圖

1. 兩障礙物相距2cm時，水仍會從兩側走，當逐漸拉開至4cm時，水累積在兩障礙物之間，形成M型波紋；距離超過8cm距離時，可發現曲率開始變小，表示水開始漸漸從中間往後拉；距離超過10cm可發現引力是從中間吸引大部分的水流。
2. 三個障礙物時，形成M型波紋的間距縮短。同時發現距離拉大至4cm時，波紋會不穩定，干擾較多。
3. M型波紋出現在兩障礙物間距4cm，三障礙物則是出現在間距2cm，可發現兩實驗總間距相同；但兩障礙物M型兩端的曲率比三障礙物還更大，推測中間障礙物會阻礙水流往中間流動。

實際上河床上岩石擺放情形影響水流流動的情況比實驗更為複雜，因岩石形狀與地形有很多變化，形狀先以半球型與三角型為前提下進行分析，綜合實驗結果可以得知在河床嬉戲有幾個該注意的地方：

1. 當天氣炎熱時(約35°C)，水流會較為紊亂，需要注意岩石後方的水域。
2. 岩石前端越尖銳或是水流與岩石擺放夾角約45度至72度角時，側面因河道反射水波造成紊流，靠近岩石側面時需要特別注意；而夾角在30度則是岩石後方流速差異大，也需特別注意。
3. 岩石前後排列距離較近時，岩石的後方水域需要注意，可能會有被吸入的風險；前面岩石較大時，後方區域反而較為安全。
4. 相似大小岩石左右排列，距離較近時，要注意岩石兩側水流；距離大於岩石大小時，則是要注意兩岩石間水流狀態；如果兩岩石大小不一，當距離拉大時，則是要注意小岩石那邊的水流。

結論

六 參考文獻

- 1、小峯龍男.(2015). 流體力學. 新北市: 瑞昇文化.
- 2、白努利定律.(2018年7月17日). 擷取自 維基百科: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BC%AF%E5%8A%AA%E5%88%A9%E5%AE%9A%E5%BE%8B>
- 3、張慧貞.(2016年5月5日). 白努利定理的誤解與錯誤應用. 擷取自 物理雙月刊: https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_m1_id=3&index_id=192