

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(一)科

第一名

032801

浮踪浪跡---簡易水流流場監測模組的建立與探討

學校名稱： 新北市立正德國民中學

作者： 國二 陳睿聲 國二 陳宣妤 國二 王永瑞	指導老師： 王志銘
---	------------------

關鍵詞： 六軸加速度陀螺儀、水流流場、監測模組

得獎感言

近在咫尺，遠在天邊，沒有最後

很榮幸能參加本次全國中小學科學展覽會，這是個非常寶貴的經歷，為我們的國中生活增添了一層斑斕的色彩，也帶給我們成長的契機。

沙崙海水浴場與溪流水潭是很多人喜愛的遊樂景點，然而我們常從新聞中看到民眾戲水遊玩時，因不諳水性發生危險甚至失去寶貴的生命。於是，我們希望能透過自創的水流監測系統，提前了解水流狀況，找出水域危險處並告知民眾避開這些危險的區域來進行安全的戲水活動。實驗過程可說是一波三折，不論是監測模組軟硬體、水域模型的設計與製作，我們不斷地從失敗和錯誤中學習、改進，一步步的朝著我們的目標前進，並在新北市的科展獲得評審的賞識，取得全國科展參展的機會。

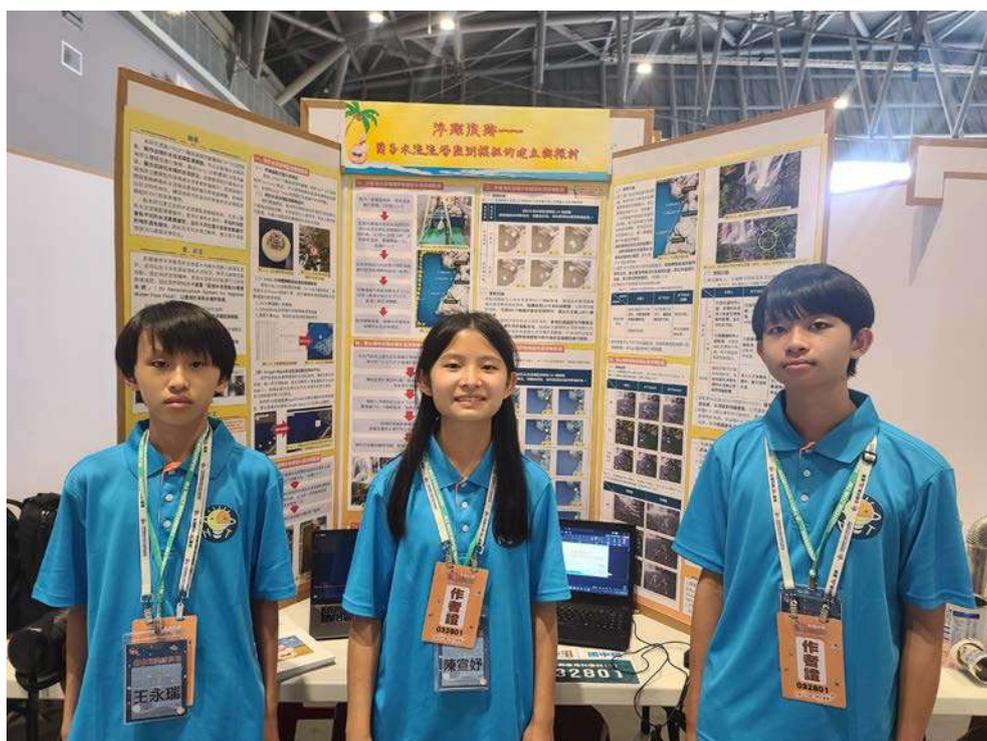
在國展的培訓中，教育局安排了輔導教授，針對我們的研究提供了許多的建議與寶貴意見，讓我們找到依循精進的方向，完備了實驗的整體架構。我們實地勘查了公司田溪、八連溪、青山瀑布等多個水域，最後選定了有較深水潭與湍急水流的青山瀑布作為監測系統的實驗場地。我們三度揹著小型實驗室，經歷近一個小時的車程與約四十分鐘的上山路程，才能到達青山瀑布進行實驗。

青山瀑布實驗是我們踏出理論與應用的重要一步，在冷冽的空氣中伴隨著紛紛細雨，腳踩著濕滑的地面並隨時注意著可能出現的虎頭蜂，克服重重困難一步步的爬上山。記得有次實驗時，指導老師不慎跌入瀑布水潭中，全身濕漉漉的爬起來，像極了尼斯湖水怪，在我們的狂笑聲中，為整個枯燥而嚴謹的實驗，留下了一幅最有趣的畫面。國展報告繳交截止日的前一天，我們仍在山上做最後的數據採集與地形探查，趕在太陽下山前回學校熬夜撰寫報告，於繳交期限的最後一刻送出我們研究的心血。

在台南的國展比賽，受到凱米颱風的影響，比賽日期不斷延後，「加油，再撐一天就好了！」我們經歷了一個個「最後一天」，終點就在眼前，卻好像永遠

無法抵達。雖然在台南無法按原計劃參展，但在這期間我們與新北市其他參展選手彼此激勵、互相交流、共同成長，創造了許多美好回憶與彼此之間特殊的合作情誼。最終在視訊評審的比賽中，很榮幸地獲得了全國第一名的殊榮！感謝評審委員的青睞與主辦單位的安排，讓颱風對這次比賽的影響降到最低，更要感謝指導老師不辭辛勞的帶領，讓我們深刻體會到「沒有最後」的真正意涵。

所謂的「沒有最後」就是科學研究中最為重要的精神：看似成功在望卻又失敗橫出，在失敗的局裡卻又摸索到成功的線索。秉持這樣的精神，不斷的調整研究的步伐一步步邁向真理的康莊大道。科展，最大的收穫不僅是成績，而是磨練出來的堅韌毅力與洞燭機先的敏銳觀察力！



台南國展現場進行模擬訓練，最後因颱風停班停課而無法現場實體操作說明



不畏風雨三度長途跋涉至石門區青山瀑布進行監測實驗



搬運比人重的沙包、切割塑膠墊堆疊製作沙崙海水浴場模型的艱辛成果

摘要

本研究透過 JY61P 六軸加速度陀螺儀與 ESP-32S 控制板，製作出球形水流流場監測模組。先以沙崙海水浴場的海岸立體模型進行實驗，藉由 Unity 3D 軟體與 C# 程式編寫繪製出路徑圖，擬合出研究水域的水流狀況。由實驗得知沙崙海水浴場海岸立體模型的鳥喙處水流會朝岸邊繞行；而海岸線中間與南側岬角的水流皆沿著海岸線向鳥喙處移動，與參考文獻之研究結果吻合，確認本研究所設計的簡易水流流場監測模組可行性與準確性。

由本研究建立出的水流流場監測模組系統，在青山瀑布水流流場監測實驗中發現在瀑布水潭中，不同的深度會有不同的水流差異產生；且在不同位置可能會有斷層式的地形高低變化，因此在未知水域活動時，應注意水域環境狀況以確保自身安全。

壹、前言

由參考文獻 63 屆全國科展作品《步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與幽愁》中，藉由沙崙海水浴場海岸立體地形模型的實驗，得出了「當西南側的海流進入填海造陸後的沙崙海水浴場的海灣時，在公司田溪口延伸的約 353 公尺的防波堤與海岸線形成的鳥喙地形及明顯的岬角繞射使得到達此處的海水會產生迴流並倒灌與進入公司田溪」的結果，而此文獻缺少量化的數據與水流流場模型建立來呈現實驗結果，因此我們希望藉由海水浴場的實體模型，再以自製水流流場監測模組進行實驗，由測得的數據分析，與參考文獻的結果比對，擬合出水流流場真實的樣貌，並希望本研究的結果應用於未知水域的探索及該水域水流流場模型建立。

我們上網搜尋了測量水流方向、流速等的儀器，發現其功能較單一且價格高昂，因此我們突發奇想，開始思考自製簡易水流流場監測模組之可行性，尋找能夠感測加速度與轉動變化的儀器，恰好於「投球姿態校正---六軸感測器」一研究中發現六軸加速度陀螺儀（本文簡稱陀螺儀）正符合本研究的需求，同時可測得物體的移動加速度與三軸角度的變化，以建構出水流流場監測模組。

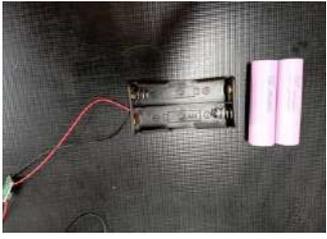
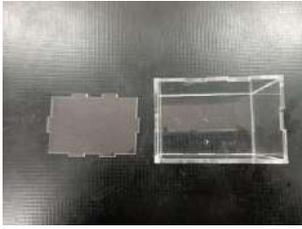
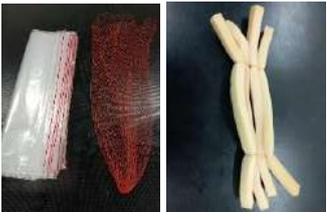
我們希望透過此研究，達成以下研究目的：

- 一、以較低的價格和更簡易方式，自製水流流場監測模組，監測研究水域水流的變化。
- 二、藉由自製水流流場監測模組，多點觀測水流流場變化訊息，擬合出觀測範圍內的水流流場模型。
- 三、藉由自製的水流流場監測模組，建立青山瀑布未知的水流流場模型。

貳、研究設備與器材

一、球形水流流場監測模組使用器材

表 2-1、球形水流流場監測模組使用器材表

名稱	ESP-32S 控制板 (3 個)	六軸加速度陀螺儀 (6 個)	18650 充電電池與電池盒 (6 組)
照片			
規格	ESP-32S (Wi-Fi & Bluetooth)	JY61P	三星原廠 ICR18650
用途	作為目前模組的主控板。	測量三軸加速度與三軸轉動角度。	作為控制板和模組供電，同時使用兩顆。
名稱	SD 卡儲存模組和 SD 卡 (3 組)	壓克力模組盒 (3 組)	麵包板、彩虹杜邦線 (若干)
照片			
規格	Micro SD (SPI 介面)	9cm×6cm×6.5cm	無
用途	儲存實驗數據。	保護與固定模組器材。	將電路中的電子元件連接。
名稱	砝碼 (若干)	塑膠球 (6 組)	保鮮膜、塑膠袋、網袋、海綿 (若干)
照片			
規格	500g、100g、10g	直徑 16cm	無
用途	球形水流流場監測模組配重。	保護測量器材且使其受力平均。	提供防水和固定功能。

二、實驗工具

表 2-2、實驗工具器材表

名稱	起波板 (1 片)	泳池 (1 組)	塑膠墊 (若干)
照片			
規格	54cm×42cm	3m×2m×0.6m	100cm×100cm×2.5cm (不含鋸齒)
用途	推動水流。	製作沙崙海水浴場模型。	製作沙崙海水浴場模型。
名稱	沙包 (35 包)	單擺造浪器 (梯子、童軍棍、童軍繩、沙包) (1 組)	消波海綿與防水膠帶 (若干)
照片			
規格	30kg	沙包 11kg	17cm×10cm×6cm
用途	製作模型並作為固定模型的承重。	使用沙包撞擊起波。	防止水池邊產生反射波。
名稱	空拍機 (1 組)	釣竿 (1 組)、沉子 (若干)	攝影機及支架 (1 組)
照片			
規格	DJI Mini Pro	釣竿長度為 2.4 公尺	SonyDC-437 DL 型
用途	拍攝水域俯視圖。	進行未知水域監測實驗、測量水域深度。	拍攝實驗過程之影片。

參、研究過程與方法

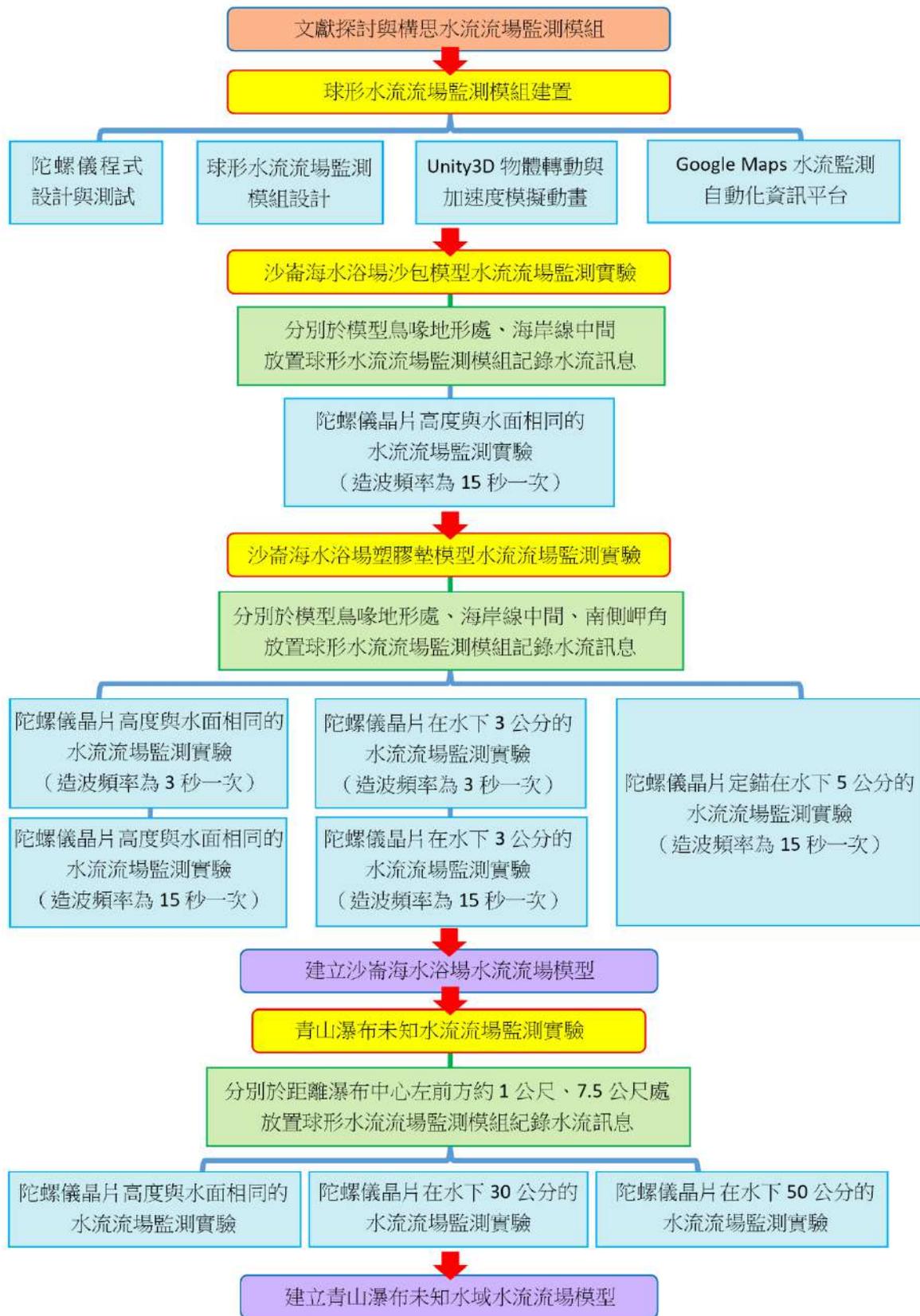


圖 3-0-1、研究架構圖

一、球形水流流場監測模組建置

表 3-1-1、模組建置流程表



(一) 陀螺儀程式設計與測試

我們選用 JY61P 六軸加速度陀螺儀，搭配 ESP-32S 控制板的 Arduino 程式，每 0.5 秒紀錄晶片三軸加速度與三軸轉動角度值，使用下列 1、2 兩種方式進行資料儲存。

1. 網路儲存：Firebase 雲端資料庫，搭配自行架設轉檔網站來轉換數據格式。
2. SD 卡儲存：使用 SD 卡模組搭配 ESP-32S 控制板進行儲存。
3. 我們使用 Unix Time 時間戳作為數據中的時間軸，此為國際通用時間戳，可以透過函數換算取得實驗當時時間，方便從連續數據中找出我們的實驗時段。

(二) 球形水流流場監測模組設計

將六軸加速度陀螺儀模組、電池與控制板固定於雷射切割的壓克力模組盒避免晃動，並透過海綿與膠帶固定壓克力模組盒（如圖 3-1-1）。外殼使用空心塑膠球，再加入砝碼進行配重，外層以塑膠袋包裹模組作為防水措施（如圖 3-1-2）。

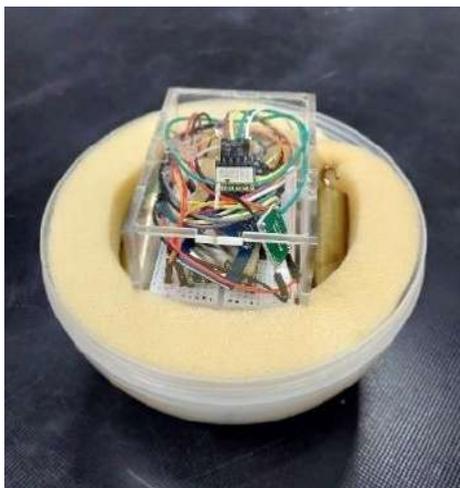


圖 3-1-1、空心塑膠球作為外殼並透過海綿固定壓克力模組盒（作者拍攝）



圖 3-1-2、透過塑膠袋包裹模組作為防水措施（作者拍攝）

(三) Unity 3D 物體轉動與加速度模擬動畫

運用 Unity 3D 遊戲開發軟體，以 C# 語言編寫程式，選用其中的 Physics 物理引擎，模擬出重力作用於物體的情況，再將陀螺儀晶片加速度與轉動角度數據進行動態模擬。

1. JSON 資料輸入與轉換

輸入 JSON 格式的實驗數據檔案（如圖 3-1-3），包含三軸加速度與轉動角度並設定起始座標（x,y,z），透過程式依據定義好的格式，解析 JSON 檔案，將數據分別儲存至球體的加速度陣列、轉動角度陣列中。

2. 模擬場景設計

我們製作實驗水池的模擬場景，並設計一顆圓球，進行動態模擬（如圖 3-1-4）。

INDEX	ANG_X	ANG_Y	ANG_Z	ACC_X	ACC_Y	ACC_Z	
1	1.19	0.68	-259.96	0.06	4.02	1	
2	1.171E+11	1.53	9.11	-130.47	0.06	4.02	1
3	1.171E+11	0.46	-1.39	-130.78	0.06	4.04	1
4	1.171E+11	0.53	-1.45	-130.94	0.06	4.06	0.99
5	1.171E+11	0.47	-0.31	-131.15	0.06	4.03	0.99
6	1.171E+11	1.53	0.42	-131.36	0.05	4.02	1
7	1.171E+11	0.75	0.29	-131.2	0.06	4.04	1
8	1.171E+11	1.51	0.52	-131.18	0.06	4.01	1
9	1.171E+11	2.52	0.46	-131.13	0.05	4.03	1.01
10	1.171E+11	1.86	0.66	-130.83	0.04	0	1
11	1.171E+11	1.42	-0.63	-130.5	0.06	0	1
12	1.171E+11	1.3	2.73	-130.22	0.13	4.01	0.99
13	1.171E+11	0.1	2.32	-129.63	0.16	4.06	0.99
14	1.171E+11	0.31	-0.64	-128.73	0.09	4.04	0.99
15	1.171E+11	1.37	0.22	-127.85	0.04	0	1
16	1.171E+11	1.09	-0.3	-127.37	0.06	4.03	0.99
17	1.171E+11	0.61	0.36	-127.52	0.07	4.07	1
18	1.171E+11	-0.29	0.52	-126.16	0.02	4.07	1
19	1.171E+11	0.45	0.66	-126.62	0.02	4.05	1
20	1.171E+11	0.46	0.85	-129.3	0.02	4.04	1
21	1.171E+11	1.09	0.24	-129.84	0.06	4.03	1
22	1.171E+11	1.07	0.77	-130.29	0.06	4.03	0.99
23	1.171E+11	1.61	0.36	-130.52	0.07	4.02	1
24	1.171E+11	0.77	0.99	-131.42	0.02	4.04	1
25	1.171E+11	0.27	0.23	-131.86	0.04	4.05	1
26	1.171E+11	0.59	0.07	-132.35	0.07	4.04	0.99
27	1.171E+11	1.19	0.61	-132.84	0.07	4.02	1
28	1.171E+11	1.42	0.27	-132.26	0.05	4.01	1
29	1.171E+11	1.69	-0.44	-133.7	0.07	4.01	1
30	1.171E+11	1.2	-1.09	-134.05	0.08	4.02	0.99
31	1.171E+11	1.48	0.51	-134.41	0.09	4.01	1
32	1.171E+11						



圖 3-1-3、加速度模組原始數據

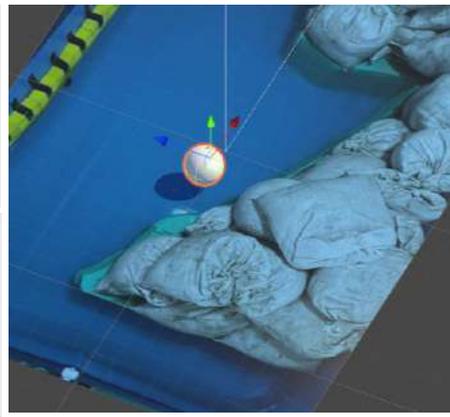


圖 3-1-4、Unity 3D 模擬場景
(擷自軟體畫面)

3. 加速度移動公式原理

使用 Unity3D 中的 Rigidbody 元件進行移動轉動模擬，按下播放鍵時開始計時，每到指定秒數（0.5 秒）就切換至陣列中的下個加速度、轉動角度，並透過以下公式進行移動。

```
velocity = currentAcceleration.magnitude * 0.5f;
```

```
Vector3 movement = transform.position + (transform.TransformDirection(currentAcceleration.normalized * velocity) * Time.fixedDeltaTime);
```

```
rb.MovePosition(movement);
```

```
rb.MoveRotation(Quaternion.Euler(tiltX, tiltY, tiltZ));
```

- (1) Velocity(float)：物體目前速度，加速度向量的大小(currentAcceleration.magnitude)乘上時間間隔 0.5 秒。
- (2) Movement(Vector3)：將加速度(currentAcceleration)進行正規化(normalized)後，即為加速度的方向，乘以速度(velocity)，再乘以時間間隔(Time.fixedDeltaTime)。最後轉換為全域座標系，將結果與物體的目前位置相加，得到新的位置。
- (3) rb.MovePosition(movement)：將物體移動到新位置。
- (4) rb.MoveRotation(Quaternion.Euler(tiltX, tiltY, tiltZ))：將物體轉換到目前的轉動角度。

動畫進行的過程中，程式會將球體的移動路徑與偏航角變化繪製出來。粉紅色線段為移動路徑，球體為終點。綠色箭頭代表以 Z 軸為軸心的偏航角。後續實驗我們皆以 3D 動態模擬影片的最後一幀製作成模擬圖。(如圖 3-1-5)

4. 手機 APP 建置

我們將 3D 模擬軟體建置於 Android 系統的手機上，只要透過手機讀取檔案，就可以產生並上傳水流路徑圖至雲端資料庫，增加自動化系統的易用性與即時性。(如圖 3-1-6)

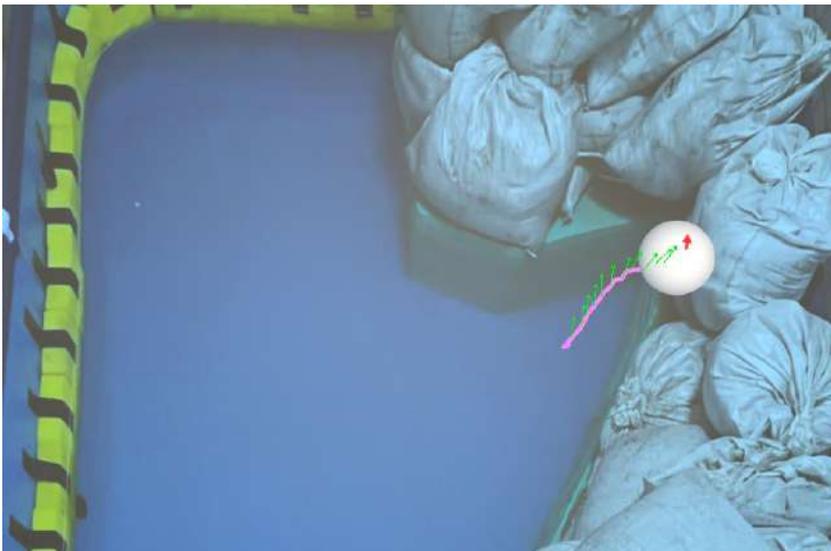


圖 3-1-5、球體移動路徑示意圖 (擷自軟體畫面)



圖 3-1-6、手機 APP (擷自軟體畫面)

(四) Google Maps 水流監測自動化資訊平台

我們發想未來實際運用於水流監測時，建置自動化的系統，每小時定期監測，將運算得出的路徑，上傳到雲端伺服器並繪製於 Google Maps 上，由網站直接提供民眾查詢目前的水流情形或歷史資料，也可以即時發布警示的資訊。

在 3D 模擬動畫 App 中，我們將 Unity 坐標系，轉換到真實的經緯度上 (如圖 3-1-7)，儲存到 Firebase 雲端資料庫中，再由網頁前端整合 Google Maps API 圖資，將水流路徑呈現於 Google Maps (如圖 3-1-8)。

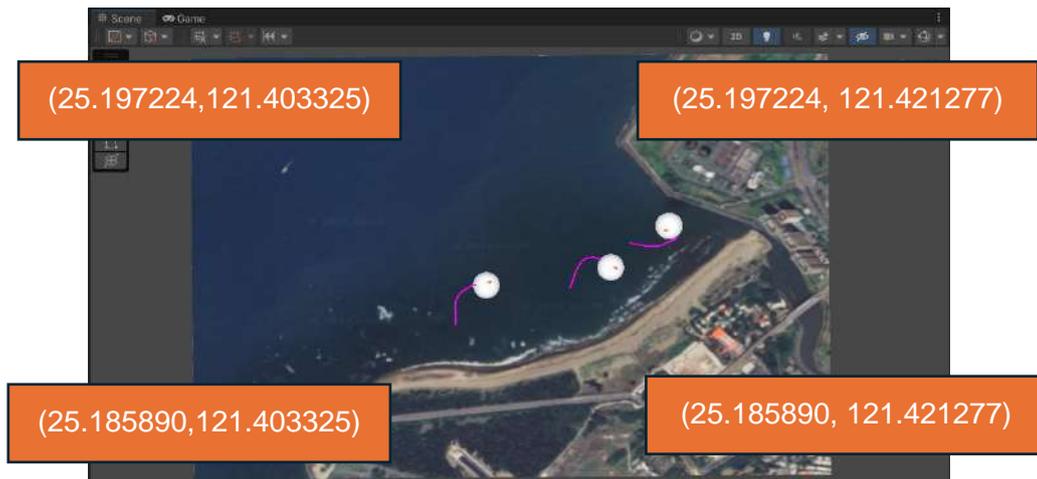


圖 3-1-7、Unity 場景中的經緯度轉換（擷自軟體畫面）

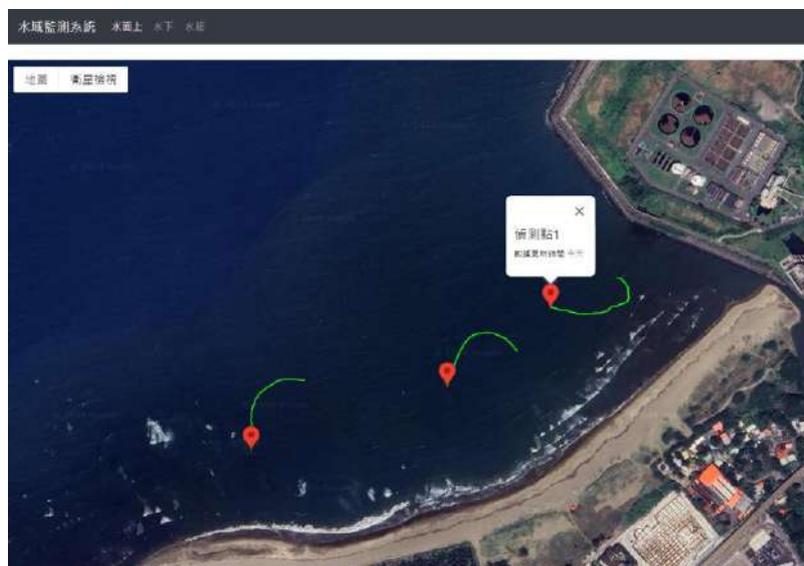


圖 3-1-8、水流監測自動化資訊平台設計（紅色圖標為偵測點起點，點選可顯示詳細資訊）
（擷自作者設計網頁平台，圖資來自 Google Maps）

二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測實驗

- （一） 模型製作過程：以 1:700 比例的沙崙海水浴場塑膠墊模型放置於水池底部，接著在模型上總重量約 1000 公斤重的沙包，模型總高度約為 45 公分，加水至水池水位 32 公分高，模擬沙崙海水域場的地形（如圖 3-2-1），並在水池邊緣使用消波海綿，減弱水面的反射波。
- （二） 將陀螺儀晶片高度與水面相同的球形水流流場監測模組，放置於沙崙海水浴場沙包模型中鳥喙地形處，以 1 公尺為 1 單位長度的座標為 (1.45, 2.10)（如圖 3-2-2），以 15 秒一次的頻率製造波動監測 1 分鐘，實驗重複三次，錄影紀錄並分析結果，並以 Unity3D 軟體運用 C # 語言進行動態模擬。
- （三） 將球形水流流場監測模組置於沙崙海水浴場沙包模型海岸線中間處 (1.30, 1.65)，重複步驟（二）。

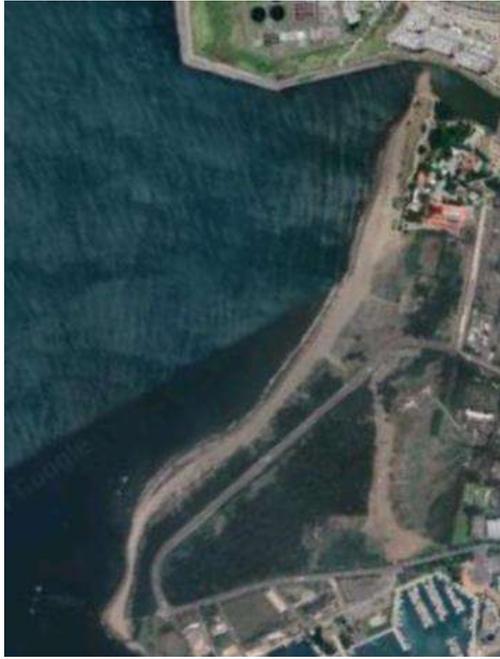


圖 3-2-1、沙崙海水浴場空拍照
(擷自 Google Maps)

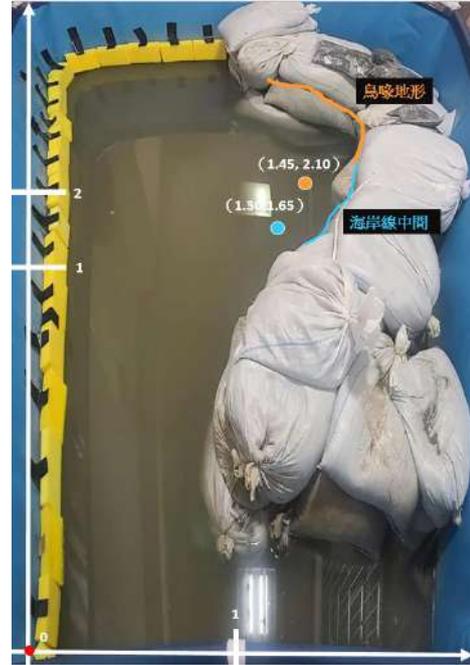


圖 3-2-2、沙包堆成沙崙海水浴場模型
模組監測位置圖 (作者拍攝)
(備註：因拍攝角度非俯視，經過修正
後，模型座標之 y 軸座標中間間距較短)

三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測實驗

(一) 將沙崙海水浴場沙包模型內的水排乾，再移離沙包後，堆疊高度約為 37 公分的沙崙海水浴場塑膠墊模型，接著移回總重量約 1000 公斤重的沙包，壓放在模型上方，以防止模型因受水的浮力而漂浮，影響實驗結果，並加水至水池水位 32 公分高 (如圖 3-3-1、3-3-2)。



圖 3-3-1、塑膠墊堆成沙崙海水浴場模型
(作者拍攝)



圖 3-3-2、模型加水並放上消波海綿
(作者拍攝)

- (二) 為控制實驗造浪的力度，避免影響結果的呈現，我們以 11 公斤重的沙包、童軍棍與鋁梯製作一擺長 76 公分、擺高 17 公分（單擺的最高點與撞擊點的高度差）的單擺造浪器，撞擊池邊長 54 公分、寬 42 公分的造浪板以產生穩定的波動來進行實驗（如圖 3-3-3）。
- (三) 將陀螺儀晶片高度與水面相同的球形水流流場監測模組，放置於模型座標 (1.54, 2.04) 的鳥喙地形處，將造浪擺拉至離地面 25 公分的位置，以 3 秒一次或 15 秒一次的頻率撞擊造浪板以產生週期波，分別監測 30 秒或 1 分鐘，實驗重複三次，觀察球形水流流場監測模組的移動與轉動情形，錄影紀錄與分析結果，並以 Unity3D 軟體運用 C # 語言進行動態模擬（如圖 3-3-4）。
- (四) 依序將陀螺儀晶片高度與水面相同的球形水流流場監測模組分別放置於模型海岸線中間處 (1.42, 1.78)、南側岬角處 (1.12, 1.25) 重複步驟（三）的實驗，觀察球形水流流場監測模組的移動與轉動情形。
- (五) 將球形水流流場監測模組內的陀螺儀晶片高度調整為水下 3 公分處，重複步驟（三）至（四）。
- (六) 將球形水流流場監測模組內的陀螺儀晶片高度調整為水下 5 公分處，並利用細線綁住球形水流流場監測模組與重錘，重複步驟（三）至（四）。
- (七) 綜合步驟（三）至（六）的實驗結果，描繪出沙崙海水浴場的水流流場模型。



圖 3-3-3、梯子與沙包搭建單擺造浪器
（作者拍攝）



圖 3-3-4、塑膠墊堆成沙崙海水浴場模型
模組監測位置圖（作者拍攝）

四、青山瀑布未知水流流場監測實驗

- (一) 在石門區青山瀑布（如表 3-4-1）選定距離在瀑布中心左前大約 1 公尺的 A 點與大約 7.5 公尺的 B 點進行監測實驗（如圖 3-4-1）。以釣竿吊掛球形水流流場監測模組到定點後將釣魚線放鬆，使監測模組隨水流移動。

表 3-4-1、青山瀑布基本資料表

地點	新北市石門區尖山湖，屬於陽明山國家公園
經緯度位置	121°25'14"20"N 121°33'24"E
海拔	310 公尺
瀑布高	約 10 公尺

- (二) 將陀螺儀晶片高度與水面相同的球形水流流場監測模組放置於選定的 A 點，監測 20 秒，觀察模組的移動與轉動情形（如圖 3-4-2），實驗重複三次，錄影紀錄並分析結果，再以 Unity3D 軟體運用 C # 語言進行動態模擬。
- (三) 將球形水流流場監測模組放置於選定的 B 點重複步驟（二）之實驗。
- (四) 將球形水流流場監測模組以浮標固定沉至水下 30 公分處，重複步驟（二）至（三）實驗。
- (五) 將球形水流流場監測模組以浮標固定沉至水下 50 公分處，重複步驟（二）至（三）實驗。
- (六) 綜合步驟（二）至（五）的實驗結果，描繪出青山瀑布水流流場模型。
- (七) 使用釣竿懸掛重錘，以浮標控制重錘沉入水中的深度，並以長捲尺輔助，測量在瀑布水潭不同位置的水深，描繪出青山瀑布定點深度圖。
- (八) 操控空拍機，前往瀑布水潭上方拍攝俯視圖，觀察青山瀑布整體樣貌。



圖 3-4-1、測量點估測定位圖（作者自繪）



圖 3-4-2、使用魚竿控制模組監測起點
（作者拍攝）

肆、實驗結果與討論

一、六軸加速度陀螺儀基本測量方式探討

(一) 結果與討論

1. 垂直於地面的軸（通常為 Z 軸且正面朝上時）會產生 $1g$ （重力加速度約 $9.8m/s^2$ ）的加速度，是重力造成。
2. 當加速度變大時，加速度與速度變化同方向；反之，加速度變小時，加速度與速度變化反方向；當加速度不變，則是等加速度狀態。
3. **X 軸角度（滾轉角）定義：**當陀螺儀正面朝上，以 X 軸為軸心，Z 軸朝順時針旋轉半圈會由 0 度到 180 度，朝逆時針旋轉半圈會由 0 度到 -180 度，範圍為 ± 180 度。
4. **Y 軸角度（俯仰角）定義：**當陀螺儀正面朝上，以 Y 軸為軸心，X 軸上仰時會由 0 度至 90 度再回到 0 度（如圖 4-1-3①至②），下俯時則由 0 度至 -90 度再回到 0 度（如圖 4-1-3③至④），範圍為 ± 90 度。
5. **Z 軸角度（偏航角）定義：**Z 軸 0 度位置可以與真實的座標系對應，並透過程式指令校正與定義。當陀螺儀正面朝上，以 Z 軸為軸心，X 軸朝逆時針旋轉半圈會由 0 度到 180 度，朝順時針旋轉半圈會由 0 度到 -180 度，範圍為 ± 180 度。

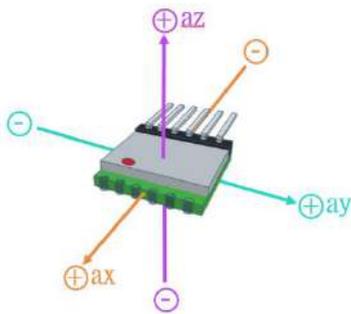


圖 4-1-1、重力加速度軸向示意圖
(作者自繪)

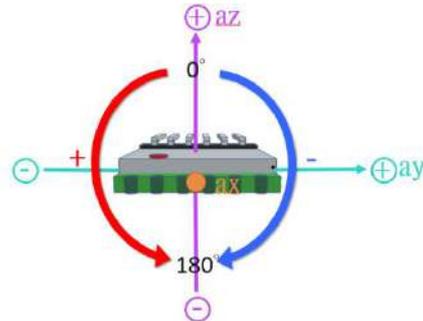


圖 4-1-2、以 X 軸為軸心滾轉角示意圖
(作者自繪)

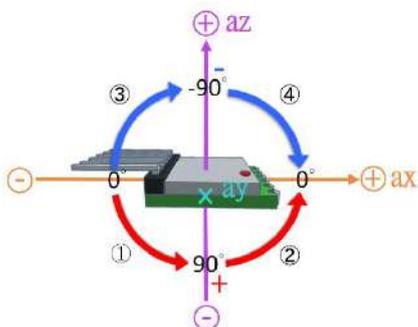


圖 4-1-3、以 Y 軸為軸心俯仰角示意圖
(作者自繪)

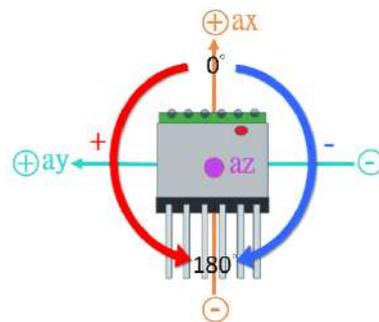


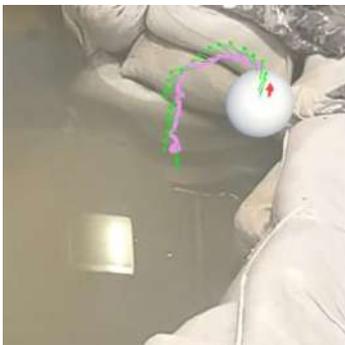
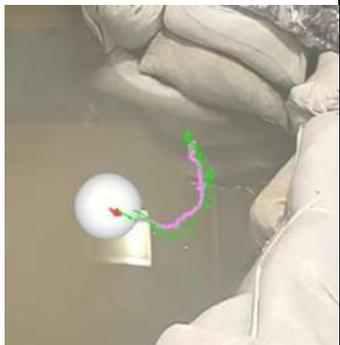
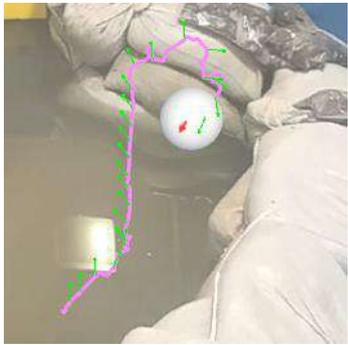
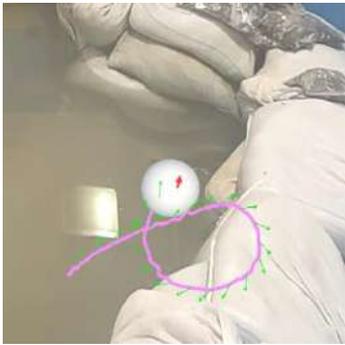
圖 4-1-4、以 Z 軸為軸心偏航角示意圖
(作者自繪)

二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測

(一) 實驗結果

※本研究中所有無特殊標示的實驗結果 3D 模擬圖，均由作者以 Unity3D 軟體編寫程式繪製，背景圖由作者實地拍攝。

表 4-2-1、球形水流流場監測模組於水面上之鳥喙地形 (1.45, 2.10) 及海岸線中間 (1.30, 1.65) 三次實驗水流監測路徑圖

監測位置	模組深度	起波頻率	球形水流流場監測模組 3D 路徑模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點。綠色箭頭代表 Z 軸測得偏航角)		
			第一次	第二次	第三次
鳥喙地形	水面上	15 秒一次			
海岸線中間	水面上	15 秒一次			

※原始數據三軸加速度、角度變化圖請參閱附件一。

(二) 實驗討論

1. 本實驗先以沙崙海水浴場的地圖裁切塑膠墊 (比例尺約為 1:700)，作為模型的底板，在模型上堆疊高約 50 公分的沙包，模擬出沙崙海水浴場的簡易地形。水池邊緣使用消波海綿消除水流的反射波。
2. 我們原先選用保麗龍球製作模組外殼，進行水流監測時發現保麗龍外殼容易破損、縫隙不易防水，為了減少球形水流流場監測模組的外層厚度與提升耐用度，改用空心塑膠球作為外殼，更容易進行操作。

3. 我們曾將監測模組沉入水中並使用 Wi-Fi 傳輸數據，卻因為水會阻隔無線訊號而無法接收資料，**後續改用 SD 卡來紀錄數據，以取得完整的資料**。不過 Wi-Fi 無線訊號的即時性較佳，適合於水面上小範圍監測。
4. 我們首先嘗試在相同位置，將監測模組分別放置於水面上與定錨於水下 5 公分監測（如圖 4-2-1）。發現**兩顆球同時測量時，會造成水流改變而相互干擾**，造成測得之水流情形與實際狀況產生差異（如圖 4-2-2），因此後續在各個位置分開進行監測。
5. 由實驗中發現沙包中的泥沙容易流失，使地形邊緣並不平整甚至發生改變，**產生很多紊亂水流，造成每次測得的水流狀況與方向差異較大**。泥沙滲出也會造成水池混濁不易觀察，於是我們決定改變實驗方式，以**塑膠墊堆疊製作新的海水浴場模型進行實驗**。
6. 本實驗以人力撞擊水池邊的造浪板製造波浪，故每次造成的水流狀況與方向差異較大，**當模組碰撞到模型中的海岸線，加速度數據可能產生誤差，整體路徑與實際情形產生差異**。**後續實驗改以單擺造浪的方式，每次造浪擺拉到相同高度後釋放，控制造浪波形的振幅大小，減少實驗過程中所產生的誤差**。



圖 4-2-1、兩組模組同位置進行監測實驗圖
（作者拍攝）

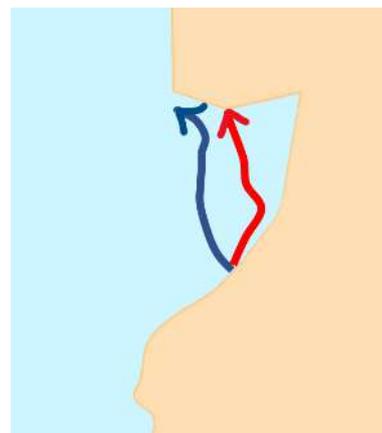
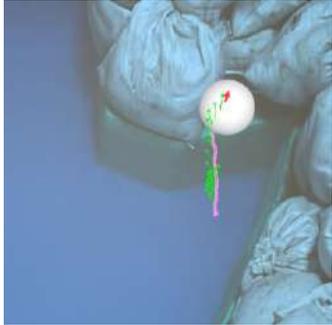
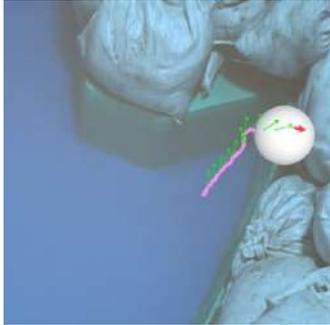
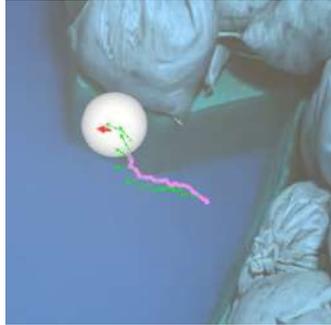
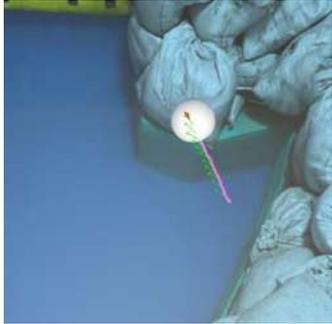
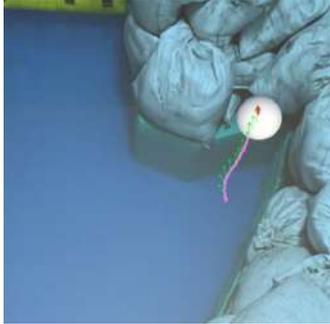
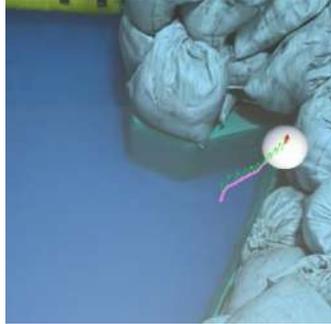
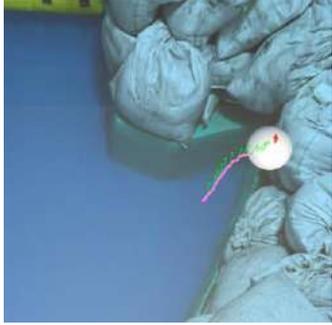
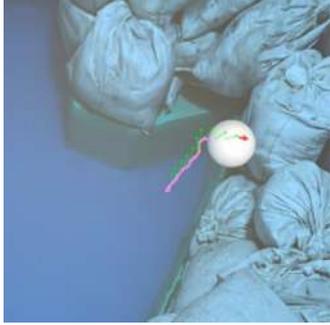
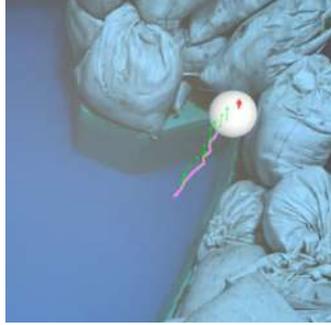
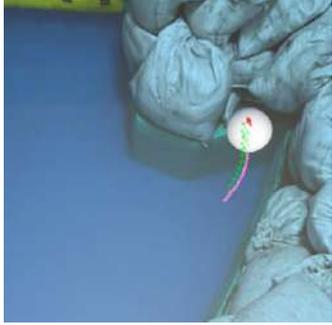
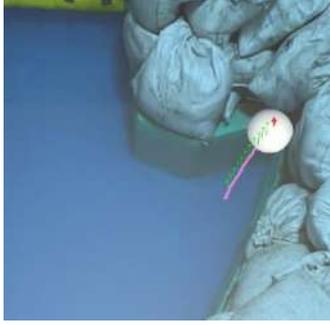
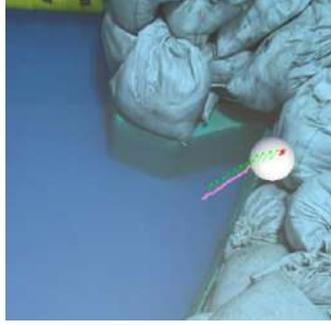


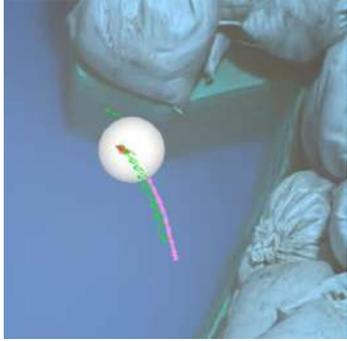
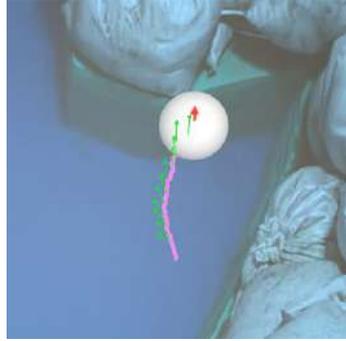
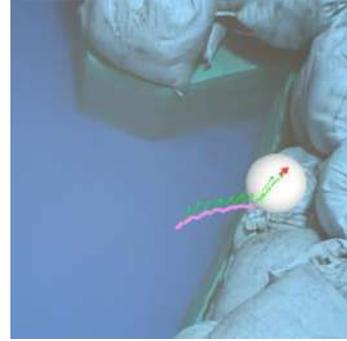
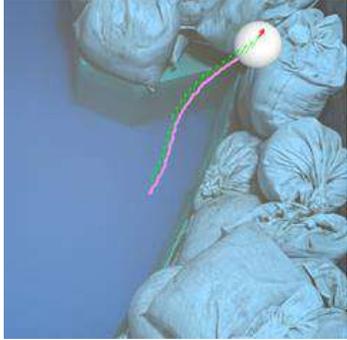
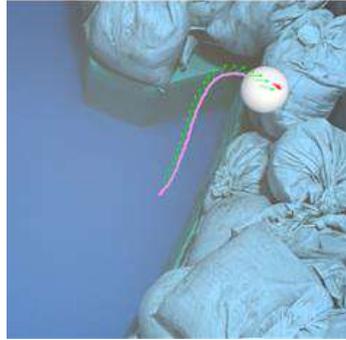
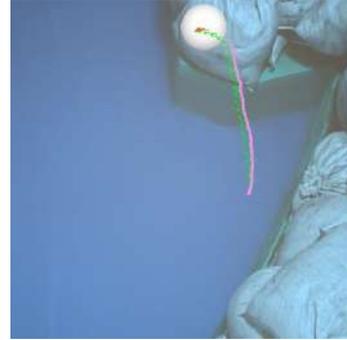
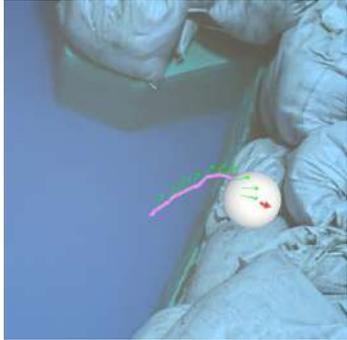
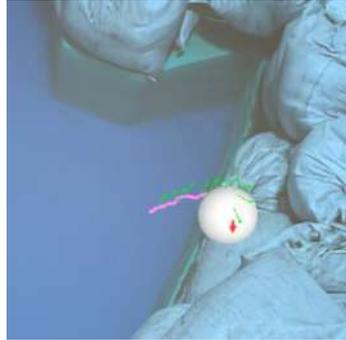
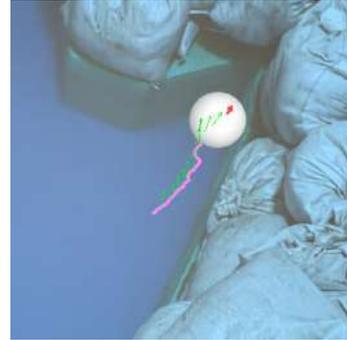
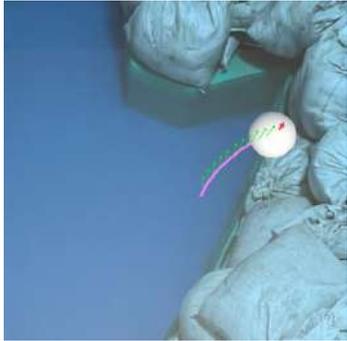
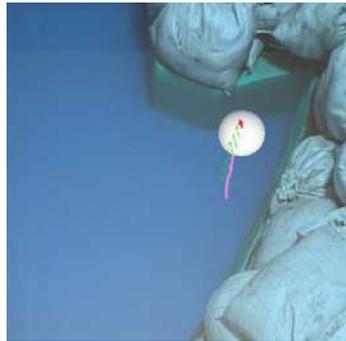
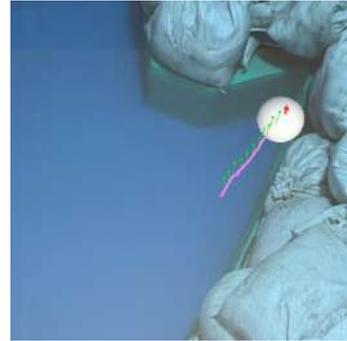
圖 4-2-2、比較單顆球（紅）與兩顆球同時實驗（藍）的軌跡，可以發現兩者有明顯差異（作者自繪）

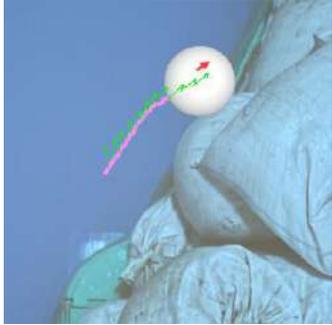
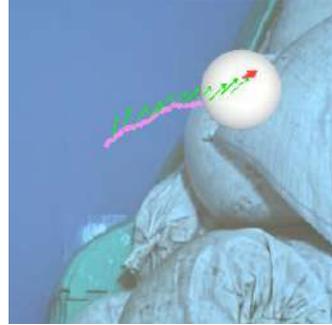
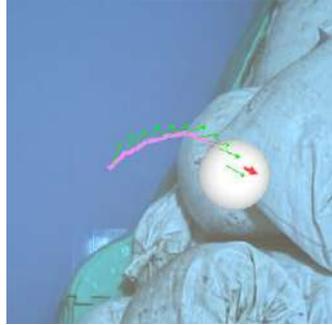
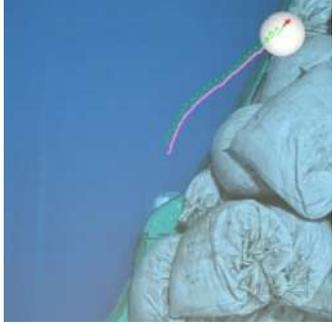
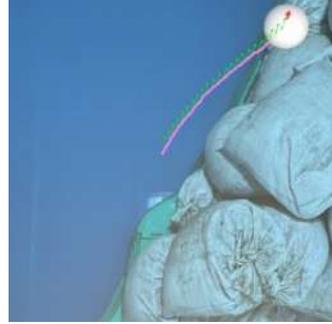
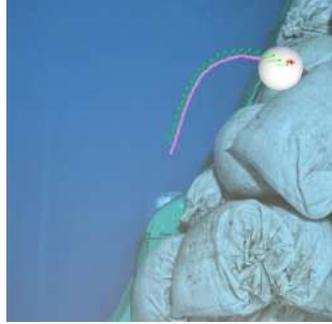
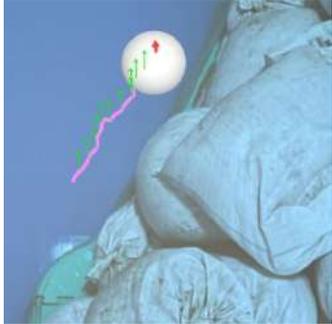
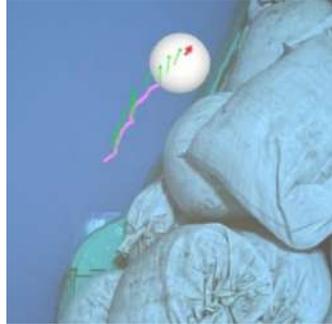
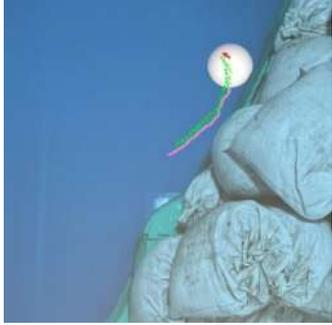
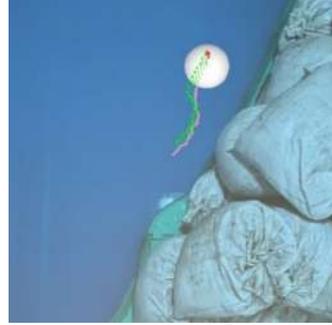
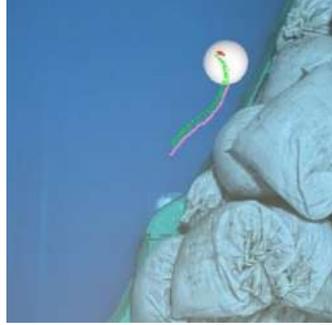
三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測實驗

（一）實驗結果

表 4-3-1、球形水流流場監測模組於鳥喙地形 (1.54, 2.04)、海岸線中間 (1.42, 1.78) 及南側岬角 (1.12, 1.25) 三次實驗水流監測路徑圖

監測位置	模組深度	起波頻率	球形水流流場監測模組 3D 路徑模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點。綠色箭頭代表 Z 軸測得偏航角)		
			第一次	第二次	第三次
鳥喙地形	水面上	3 秒一次			
		15 秒一次			
	水下 3 公分	3 秒一次			
		15 秒一次			

監測位置	模組深度	起波頻率	球形水流流場監測模組 3D 路徑模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點。綠色箭頭代表 Z 軸測得偏航角)		
海岸線中間	水面上	3 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 
		15 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 
	水下 3 公分	3 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 
		15 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 

監測位置	模組深度	起波頻率	球形水流流場監測模組 3D 路徑模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點。綠色箭頭代表 Z 軸測得偏航角)		
南側岬角	水面上	3 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 
		15 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 
	水下 3 公分	3 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 
		15 秒一次	第一次 	第二次 	第三次 

※實驗結果的原始數據三軸加速度、角度變化圖請參閱附件二。

(二) 實驗討論

1. 從《步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與憂愁》研究中，探討到「沙崙海水浴場在民國 86 年時，興建汙水處理場，填海造陸所形成的北側巨大岬角，改變沙崙海水浴場的海流，並在海岸線中間形成離岸流。而這樣的海流也改變沙崙海水浴場的海底地形。所以有了沙崙海水浴場陸地地形改變的因，才產生海底地形的果。」
依參考文獻「沙崙海水浴場填海造陸前、後海岸立體模型海流模擬實驗」的設計理念，沙崙海水浴場海岸線地形對水流的影響大，於是我們僅製作海岸線地形模型，去除水底地形影響進行監測，達到本實驗的主要目的，確立水流流場監測模組的可行性與準確性，與參考文獻結果比對相符。
2. 本實驗水流從沙崙海水浴場模型西南方進入，模擬海水浴場的夏季海流，讓實驗結果更接近研究環境水流流場的真實樣貌。
3. 為了減少每次製造波浪的誤差，本研究在沙崙海水浴場塑膠墊模型的實驗中，改以單擺造浪的方式，使用梯子、沙包搭成的單擺造浪器與造浪板，每次造浪擺拉到相同高度後釋放，控制造浪波形的振幅大小，減少實驗過程中所產生的誤差。
4. 由沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測實驗，我們目測觀察到南側岬角處在實驗過程中有明顯的反射波，於是在沙崙海水浴場塑膠墊模型中增加此監測位置，希望由這三點能觀測到完整水流流動情形。
5. 在沙崙海水浴場塑膠墊模型中不同監測位置的結果比較：

表 4-3-2、沙崙海水浴場塑膠墊模型不同監測位置結果比較表

監測位置 觀測結果	鳥喙地形	海岸線中間	南側岬角
模組移動情形	朝鳥喙處移動，往岸邊繞行。	沿著海岸線向鳥喙處移動。	
擬合結果	南側岬角與海岸線中間的水流，會沿著海岸線流向鳥喙地形處，再往岸邊繞行前進，如圖 4-3-2。		

6. 在沙崙海水浴場塑膠墊模型中不同測量深度的結果比較：

表 4-3-3、沙崙海水浴場塑膠墊模型不同測量深度結果比較表

模組深度 觀測結果	水面上	水下 3 公分	水下 5 公分 (定錨)
模組移動情形	隨著移動的方向而轉動，因模組較輕移動距離較遠。	每次移動方向皆相近，Z 軸偏航角朝向固定方向。	微幅移動。
	移動路徑相似		無法明顯觀察結果

※我們曾實作水下 5 公分以棉線固定之定錨監測（如圖 4-3-1），但模組被底部重物束縛只能微幅移動，無法觀察出結果。此測量方式只要增加水域深度、水流大小及水域面積，即可測出不同深度的水流狀況。我們在後續實驗改以浮標實驗，吊掛監測模組沉至固定深度，進行不同深度的水流流場監測。

7. 造波頻率 3 秒一次與 15 秒一次的結果比較：

表 4-3-4、沙崙海水浴場塑膠墊模型實驗不同造波頻率結果比較表

造波頻率 觀測結果	3 秒一次	15 秒一次
模組移動情形	因水波產生較快，波與波之間的干涉明顯，模組 移動距離較短 。	在水面上監測時，模組 轉動、移動情況較明顯 。

8. 本研究運用參考文獻「步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與幽愁」對沙崙海水浴場的觀察結果來佐證實驗結果，從文獻中提及：「填海造陸的陸地（鳥喙地形）在沙崙海水浴場形成巨大的岬角地形，改變海流流向。」**海流會沿著海岸線移動，在岬角處繞向岸邊，與我們的實驗結果吻合**。因此本研究設計的球形水流流場監測模組可以在所欲觀察的水流流場的海岸地形模型或真實海域中，不同的位置、不同的深度，放置多顆球形水流流場監測模組，將所取得的水流數據擬合出真實的水流情形。本研究與「步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與幽愁」的比較如下：

表 4-3-5、研究內容比較表

研究作品 研究內容	步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與憂愁	浮踪浪跡---簡易水流流場監測模組的建立與探討
研究目的	探討淡水區沙崙海水浴場離岸流的特性與成因。	建立水流流場監測模組。
地形模型	以保麗龍切割出沙崙海水浴場海岸地形模型，放置於水波槽內。	以塑膠墊切割出沙崙海水浴場海岸地形模型，放置於水池內。
起波方式	起波器。	以沙包、童軍棍及鋁梯製作的單擺造浪器，撞擊造浪板產生波動。
水流觀測/監測器材	水波槽投影：目測觀察水流情形。	球形水流流場監測模組：模組測得數據以 Unity3D 模擬動畫觀察移動情形。
測得水流在鳥喙地形情形	鳥喙地形及明顯的岬角繞射使得到達此處的海水會產生迴流並倒灌與進入公司田溪，再繞射回在本研究中的海岸線中間。	在海岸線中間，觀測到模組皆沿著海岸線向鳥喙處移動，鳥喙處有北側岬角的反射波與南側岬角繞入的繞射波。



圖 4-3-1、水下 5 公分（定錨）監測實驗照片（作者拍攝）

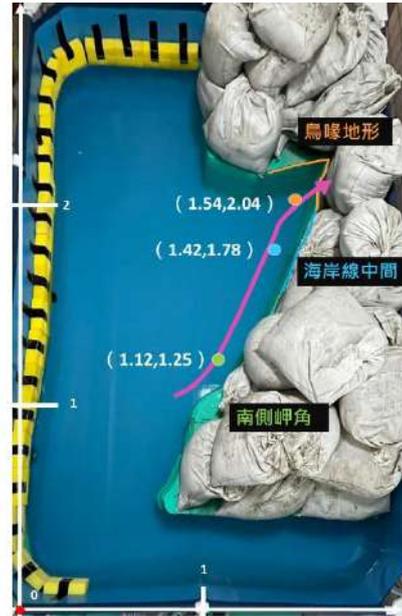


圖 4-3-2、水流路徑擬合圖（作者自繪）

9. 關於模組測量精準度的探討

- (1) 由陀螺儀規格書中，陀螺儀晶片之加速度精密度為 $\pm 20\sim 40\text{mg}$ ，角度精密度為 $\pm 0.2^\circ$ 。
- (2) 我們選擇一組實驗，水下 3 公分、造波頻率 15 秒一次、南側岬角監測實驗，來驗證模組測得數據與目測觀察之差異性。

我們將實驗時以腳架拍攝的影片，以 Tracker 軟體的自動追蹤功能來繪製模組移動的軌跡，與模組之 3D 模擬圖相互比對其相似性，發現路徑差距甚小，再次顯示本實驗設計的水流流場監測模組的可行性與準確性。

- (3) Tracker 軟體在使用時需要拍攝水面上的物體移動影片，拍攝視角需固定且與水面垂直，才可進行路徑繪製，當物體在廣大區域移動或沉入水中，則無法拍攝呈現出物體移動路徑。本研究建構的監測模組，即使沉入水中仍可由陀螺儀晶片紀錄的數據進行移動路徑擬合，明顯優於 Tracker 軟體的應用場景。

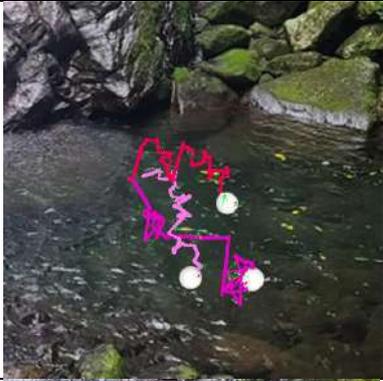
表 4-3-6、模組 3D 路徑模擬圖與影片觀測路徑圖對照表

模組 3D 模擬圖	影片觀測路徑圖	模組 3D 模擬圖	影片觀測路徑圖

四、青山瀑布未知水域監測實驗

(一) 實驗結果

表 4-4-1、球形水流流場監測模組於青山瀑布水面上、水下 30 公分與水下 50 公分之 A、B 兩點三次實驗水流監測路徑圖

	水面上	水下 30 公分	水下 50 公分
A 點			
B 點			
AB 點結果比較			

※A 點和 B 點結果圖比例尺約為 1:550；A、B 點結果比較圖比例尺約為 1:700。

※原始數據加速度、角度變化圖請參閱附件三。

表 4-4-2、球形水流流場監測模組於青山瀑布 A、B 兩點之水面上、水下 30 公分與水下 50 公分水流監測路徑斜視圖與俯視圖

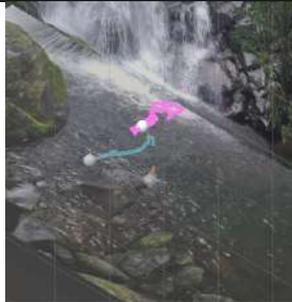
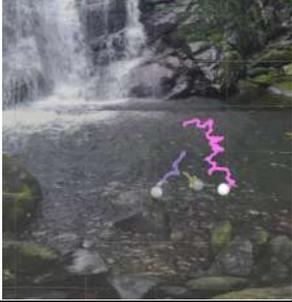
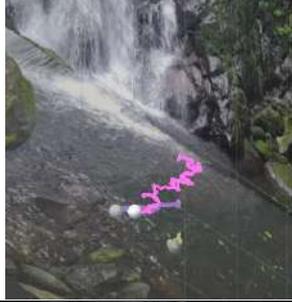
	正面斜視圖	斜面側視圖	斜視圖	俯視圖
A 點				
B 點				
AB 點結果比較				



圖 4-4-1、青山瀑布空拍照片（比例尺約為 1:240）（指導老師拍攝）



圖 4-4-2、青山瀑布不同地點深度圖（每格邊長約為 1.2 公尺）（作者自繪）

(二) 實驗討論

1. 青山瀑布屬於水流量大且瀑布較高的水域，為北海岸知名觀光景點，許多遊客下水嬉戲，卻未注意青山瀑布是否有渦流或是潭水較深的區域而發生危險。於是本實驗選定青山瀑布作為未知水域水流流場監測地點與模型建立。
2. 選定青山瀑布水流沖入水潭處左前方約 1 公尺附近區域作為測量點 A，及目測較深的瀑布中心左前方約 7.5 公尺的 B 點水域作為測量點，並分別於 A、B 點的水面上、水下 30 公分及水下 50 公分分別進行水流監測實驗。藉由簡易水流流場監測模組測得水流流向，尋找出此水域可能存在之危險性與水流特性。
3. 青山瀑布 A、B 兩點不同水深的水流比較：

表 4-4-3、青山瀑布 A、B 兩點不同水深的水流比較表

		水面上	水下 30 公分	水下 50 公分
相異處	A 點	因接近瀑布中心處，受瀑布水流落下所產生環境風的影響，移動較明顯，所以每次模組移動路徑較不同。	因接近瀑布中心處，水下水流較強，移動速率較快，所以移動距離較水下 50 公分處長。	模組於小範圍移動與轉動，可能是瀑布水流沖進水潭所產生的漩渦的影響，讓模組幾乎在原地轉動。
	B 點	因距離瀑布中心處較遠，受瀑布水流落下所產生環境風的影響較不明顯，所以每次模組移動路徑較接近。	因距離瀑布中心處較遠，水下水流較弱，移動速率較慢，所以移動距離較短。	受到較深層的移動水流影響，移動距離較 A 點長。
相同處		模組移動至岸邊的時間較短，轉動情形明顯，水面有瀑布水流沖進水潭中時拍打出的水波導致水面波動紊亂，且容易受到瀑布往岸邊吹的環境風影響。	因為瀑布水流沖進水潭中時產生強勁水流，造成模組在移動時搖晃幅度較水面上大。	實驗模組移動路徑較水面上及水下 30 公分短。可能在此深度時會有漩渦產生所造成的影響。

4. 由 Unity3D 模擬動畫繪製出斜視圖與俯視圖，可以更明顯的看出模組在不同位置、深度的移動速率差異及較詳細的移動路徑，能顯現更明確真實的實驗結果。
5. 由圖 4-4-1 青山瀑布的空拍照片，可看出瀑布表面水波的傳遞與地形地貌，而因為搜尋網路有關青山瀑布的資料，均無空拍照片，使我們很難看出瀑布的整體樣貌，讓我們對青山瀑布水流流場模組的建立，少了一點完整性，於是在青山瀑布的第三次踏查研究中，冒著空拍機會被瀑布沖下的危險，進行空拍機的飛行與拍攝、錄影。由圖 4-4-2 相片中利用垂釣法探測瀑布潭底的深度，發現紅圈處其水深有斷層式落差，所以民眾在此瀑布活動時應多加注意。

伍、結論與展望

一、陀螺儀與球形水流流場監測模組的建立

- (一) 透過 JY61P 六軸加速度陀螺儀與 ESP-32S 控制板，即可測量出物體移動的軌跡與轉動情形，進而觀測水流狀況。我們以空心塑膠球作為外殼，製作出球形水流流場監測模組。
- (二) 透過監測模組的建立與多點測試，能完整紀錄模組移動與轉動的方向，藉由 Unity 3D 軟體與 C#程式編寫，繪製出路徑圖並透過不同測量位置、深度的模組相互擬合出水流狀況。
- (三) 本研究建立手機 App 與 Google 地圖資訊平台，增加系統的易用性與即時性，未來實際運用時，於固定水域每小時定期監測，將運算得出的路徑繪製於 Google Maps 上，由網站直接提供民眾查詢目前的水流情形或歷史資料，也可以即時發布警示的資訊。

二、沙崙海水浴場模型水流流場監測

- (一) 在水面上監測時，模組會既移動又轉動，移動的情況較不穩定。在水下 3 公分監測時，路徑每次都很相近。
- (二) 我們觀測到模組在鳥喙地形中會朝鳥喙處移動，並有往岸邊繞行的情況；海岸線中間與南側岬角的模組皆沿著海岸線向鳥喙處移動。可得知鳥喙地形有入射北側岬角的反射波及通過南側岬角沿海岸線前進的繞射波會合，與參考文獻「步步驚魂 ---沙崙海水浴場的美麗與幽愁」之研究結果吻合，確認我們所設計的簡易水流流場監測模組的可行性與準確性。

三、青山瀑布未知水域監測實驗

- (一) 在水面上監測時，水面有瀑布水流沖進水潭中時拍打出的水波，且容易受到瀑布環境風的影響。水下 30 公分監測時因為瀑布水流沖進水潭中時產生強勁水流。水下 50 公分監測時，可能會有漩渦影響，使得監測模組在原地打轉。
- (二) 由青山瀑布未知水域監測實驗結果發現，在瀑布下的水潭充滿了重重的危機，即在瀑布水潭中，不同的深度，會有不同的水流產生，如本研究中的青山瀑布當監測水深由 30 公分加深至 50 公分，雖然僅有 20 公分的深度落差，水流就有明顯的差異；或是在不同位置可能會有斷層式的地形高低變化，遊客稍有疏忽就可能遭遇不可預測的危險，因此當我們到未知水域進行戲水活動時，應多加注意水域環境狀況，以確保自身安全。

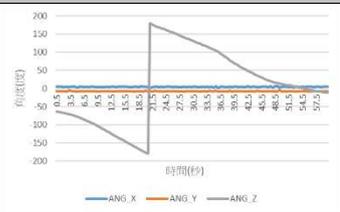
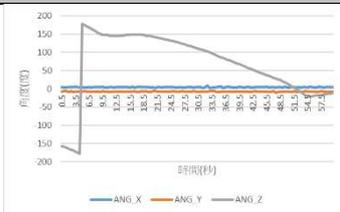
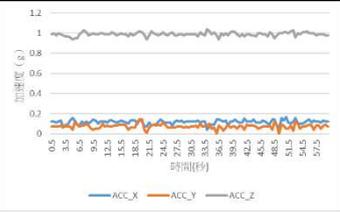
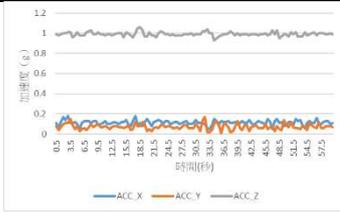
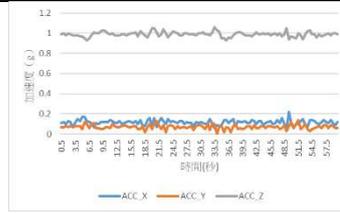
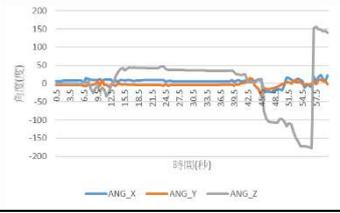
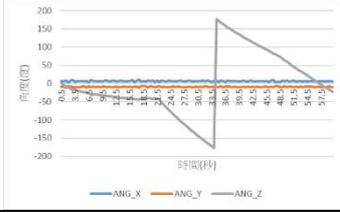
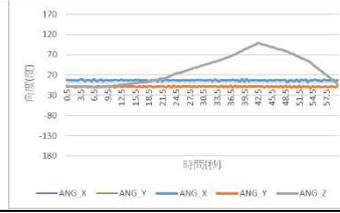
陸、參考文獻資料

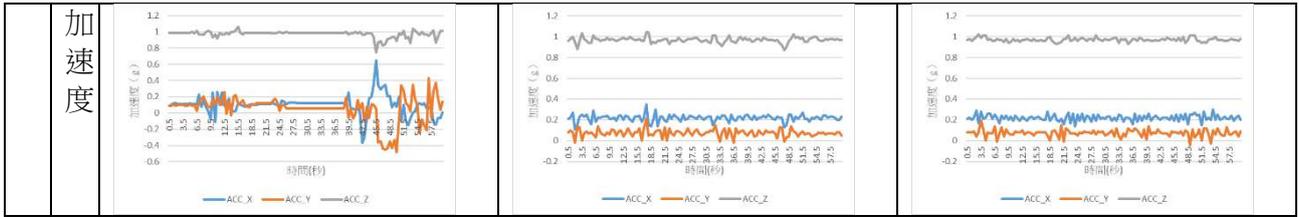
1. 陳宣妤、丁士軒。步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與幽愁。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/63/pdf/NPHSF2023-030502.pdf?0.8346289980690926>
2. 黃韋珀、李及翔。投球姿態校正一六軸感測器。
<https://implementation.ee.nthu.edu.tw/competition/groups/c3cbc23b-b2f1-40e2-8ac3-bbb4ce24f870/attachments/summary?download=0>
3. 中央氣象署數位科普網。少年亞果的奇幻漂流任務－漂流浮標觀測海溫。
<https://edu.cwa.gov.tw/PopularScience/index.php/marine/370-少年亞果的奇幻漂流任務－漂流浮標觀測海溫>
4. 蔡典融、游在宥、劉嘉雯、陳柏蓉、王思詠、葉容好。瀑布、深潭、上下捲動的水流。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080511.pdf>

附錄、原始實驗數據

※實驗原始數據過於龐大，因此省略呈現。此數據圖表與實驗結果使用的數據相同。

一、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測

監測位置		第一次	第二次	第三次
鳥喙地形	角度			
	加速度			
海岸線中間	角度			
	加速度			

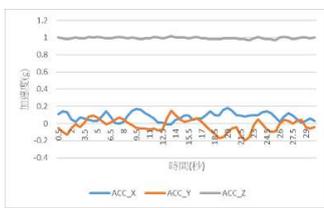
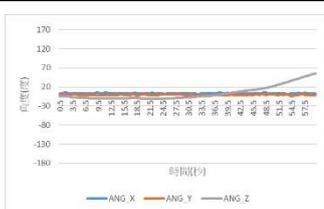
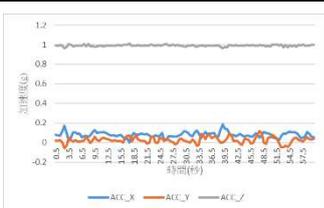
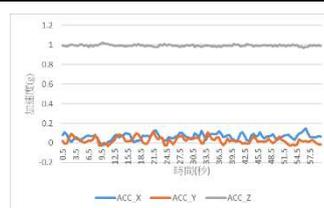
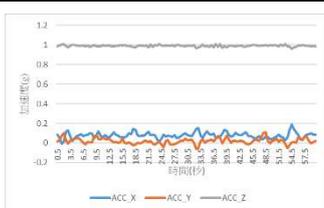


二、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測

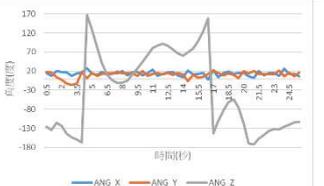
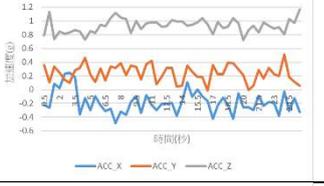
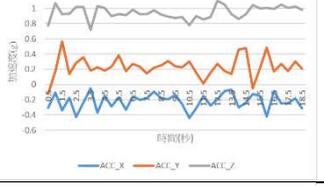
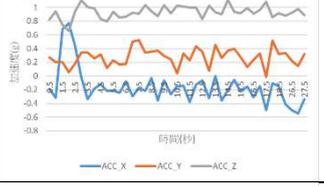
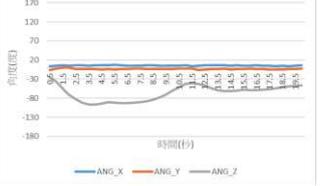
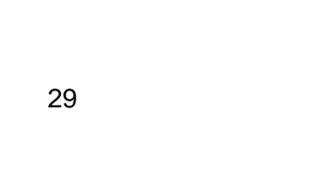
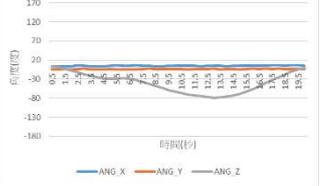
監測位置	模組深度	起波頻率	第一次	第二次	第三次			
			鳥喙地形	水面上	3秒一次	角度 	加速度 	角度
鳥喙地形	水面上	15秒一次	角度 	加速度 	角度 	加速度 	角度 	加速度
			3秒一次	角度 	加速度 	角度 	加速度 	角度
水下3公分	3秒一次	角度 	角度 	角度 				

海岸線中間	水面上	1 5 秒 一次	加速度			
			角度			
		加速度				
		角度				
		加速度				
		角度				
	水下 3 公分	1 5 秒 一次	角度			
			加速度			
		3 秒 一次	角度			

南側岬角	水面上	1 5 秒 一次	加速度			
			角度			
		加速度				
		3 秒 一次	角度			
			加速度			
		1 5 秒 一次	角度			
	加速度					
	角度					
	加速度					

水下 3公分	3秒 一次	角度			
		加速度			
	15秒 一次	角度			
		加速度			

三、青山瀑布水流監測

監測位置	模組深度	第一次			第二次			第三次		
		角度	加速度	角度	加速度	角度	加速度	角度	加速度	角度
A點	水面上									
	水下30公分									

B 點	水下 50 公分	加速度			
		角度			
		加速度			
		角度			
		加速度			
		角度			
	水面上	角度			
		加速度			
		角度			
		加速度			
		角度			
		加速度			
水下 30 公分	角度				
	加速度				
	角度				
	加速度				
	角度				
	加速度				
水下 50 公分	角度				
	加速度				
	角度				
	加速度				
	角度				
	加速度				

【評語】 032801

1. 作品整體構想明確，流程描述清晰，並詳細列出實驗器材，呈現出一件優異且完整的作品，值得讚賞。
2. 利用小模型進行海水浴場的模擬，充分展現了科學實驗精神。
3. 實際至瀑布進行水流測試，符合求真務實的研究態度。

作品簡報



浮踪浪跡——

簡易水流流場監測模組的建立與探討

摘要

本研究透過JY61P六軸加速度陀螺儀與ESP-32S控制板，製作出球形水流流場監測模組。先以沙崙海水浴場的海岸立體模型進行實驗，藉由Unity 3D軟體與C#程式編寫，擬合出研究水域的水流狀況。由實驗得知沙崙海水浴場海岸立體模型的鳥喙處水流會朝岸邊繞行；而海岸線中間與南側岬角的水流皆沿著海岸線向鳥喙處移動，與海岸沿岸流特性吻合，確認本研究設計的簡易水流流場監測模組的可行性與準確性。

由本研究建立出的水流流場監測模組系統，在青山瀑布水流流場監測實驗中，發現在瀑布水潭中，不同的深度會有不同的水流差異產生；且在不同位置可能有斷層式的地形高低變化，因此在未知水域活動時，應注意水域環境狀況以確保自身安全。

壹、前言

新聞事件中常看見有遊客戲水時被水流捲入而發生意外，若可以在下水前提前預知水流狀況，就可以避開危險地點，或在有民眾落難時，透過水流狀況的監測可以加快救援速度。因此我們開始思考建置「區域水流流場3D重建系統」(3D Reconstruction System for Regional Water Flow Field)，以應用於未知水域的探索。

我們希望透過此研究，達成以下研究目的：

- 一、以較低價格和更簡易方式，自製水流流場監測模組，監測研究水域水流的變化。
- 二、藉由自製水流流場監測模組，多點觀測水流流場變化訊息，3D擬合觀測範圍內的水流流場模型。
- 三、藉由自製水流流場監測模組與空拍圖、水域深度探測，建立青山瀑布水域未知水流流場模型。

貳、研究設備與器材

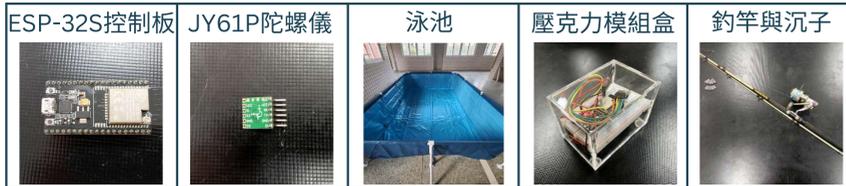


圖 2-1-1、研究設備與器材表

參、研究過程與方法

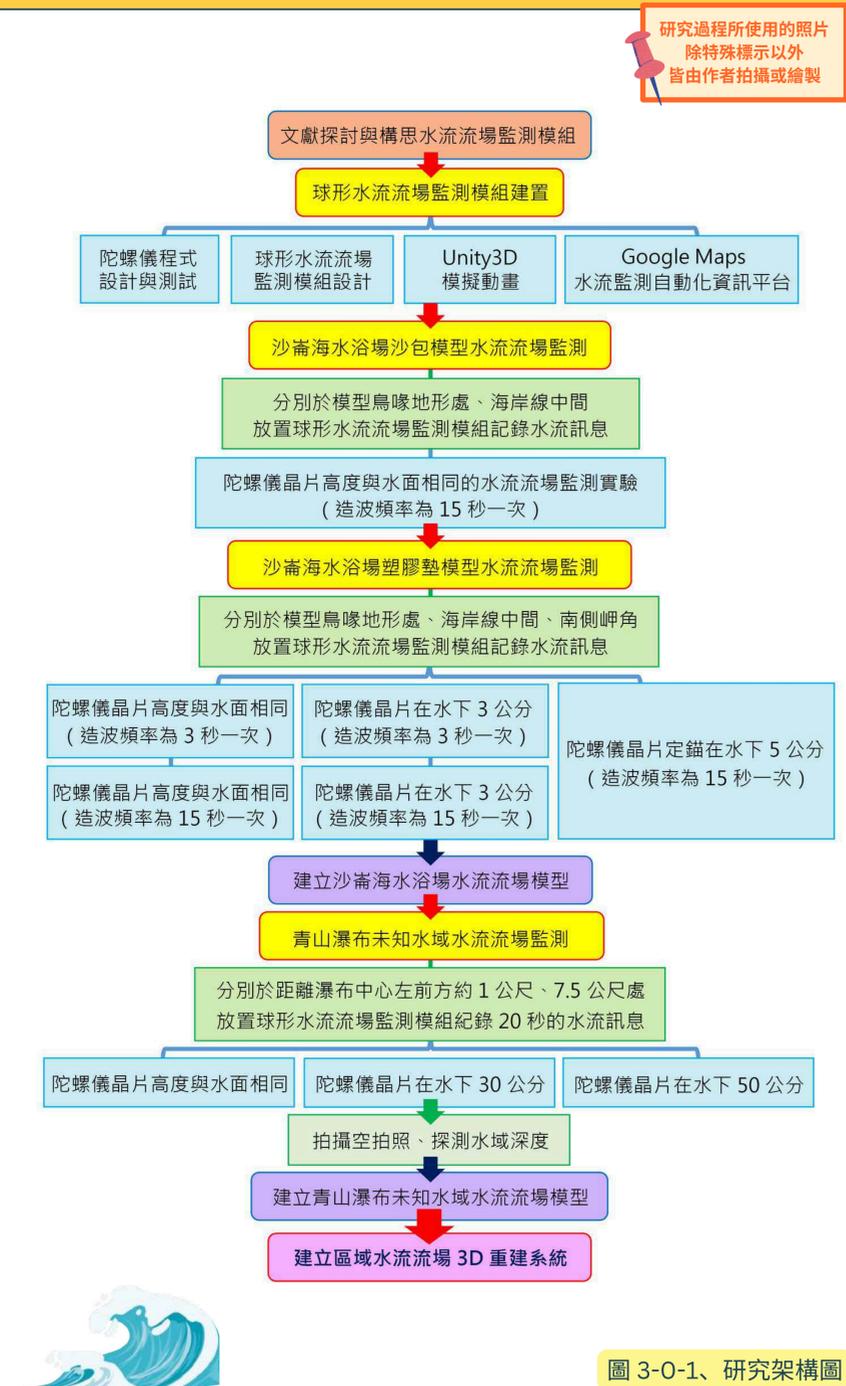


圖 3-0-1、研究架構圖

一、球形水流流場監測模組建置

(一) 陀螺儀程式設計與測試

選用 JY61P 六軸加速度陀螺儀，搭配 ESP-32S 控制板的 Arduino 程式，可以測得移動加速度與轉動角度變化，並使用 Unix Time 時間戳作為數據中的時間軸。

(二) 球形水流流場監測模組設計

將陀螺儀模組、電池與控制板固定於雷射切割的壓克力模組盒避免晃動，外殼使用空心塑膠球，再加入重物進行配重，外層以塑膠袋包裹模組作為防水措施。

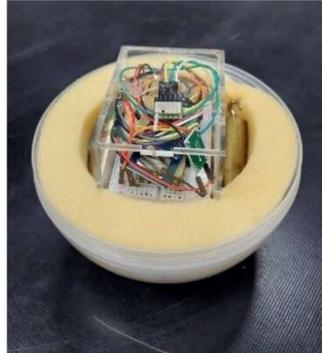


圖 3-1-1、空心塑膠球作為外殼



圖 3-1-2、透過塑膠袋包裹模組作為防水措施

(三) Unity 3D 物體轉動與加速度模擬動畫

運用 Unity 3D 遊戲開發軟體，以 C# 語言編寫程式，選用其中的 Physics 物理引擎，將陀螺儀加速度與轉動角度數據進行動態模擬。

1. JSON 數據輸入與轉換
2. 以 RigidBody 元件進行移動轉動運算模擬
3. 建置手機 App，增加系統易用性與即時性

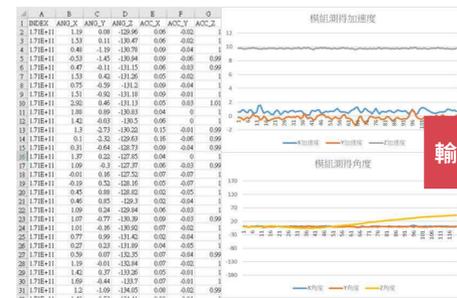


圖 3-1-3、陀螺儀模組原始數據



圖 3-1-4、Unity 3D 模擬場景

(四) Google Maps 水流監測自動化資訊平台

我們發想未來實際運用於水流監測時，建置自動化的系統，每小時定期監測，將水流路徑上傳並繪製於 Google Maps 上，由網站提供查詢目前的水流情形或歷史資料，亦可即時發布警示的資訊。

我們將 3D 模擬動畫 App 的 Unity 坐標系轉換到真實經緯度，整合雲端資料庫與 Google Maps API 呈現水流路徑。



圖 3-1-5、手機 App 與水流監測自動化資訊平台 (背景圖來自 Google Maps)

二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測

將 1:700 比例的沙崙海水浴場塑膠墊模型放置於水池底部，在模型上方放置沙包。(如圖 3-2-2)

將陀螺儀晶片高度與水面相同的球形水流流場監測模組置於模型中的鳥喙地形處，以 15 秒一次的頻率造波，重複實驗三次。

將模組放置於模型海岸線中間處進行監測。



圖 3-2-1、沙崙海水浴場照片 (擷自 Google Maps)



圖 3-2-2、沙包堆成海水浴場模型監測位置圖

三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測

製作一單擺造浪器，穩定造浪進行實驗。(如圖3-3-1)

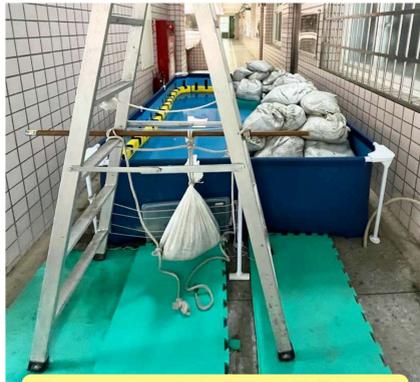


圖3-3-1、梯子與沙包搭建單擺造浪器

放置陀螺儀高度與水面相同的球形水流流場監測模組於鳥喙地形處，以3秒一次或15秒一次的頻率造波，重複實驗三次。(如圖3-3-2)

依序將模組分別放置於模型海岸線中間或南側岬角處進行監測。



圖3-3-2、塑膠墊堆成沙崙海水浴場模型模組監測位置圖

陀螺儀晶片高度調整為水下3公分或以重錘定錨於水下5公分，重複三點監測實驗。

綜合實驗結果，描繪出沙崙海水浴場的水流流場模型。

二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測

無特殊標示之研究結果照片或3D模擬圖皆由作者拍攝或繪製

(一) 實驗結果

表4-2-1、監測模組於水面上之鳥喙地形及海岸線中間三次實驗水流監測路徑圖

監測位置	模組深度	球形水流流場監測模組 3D 模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點，綠色箭頭為Z軸測得偏航角。)				
鳥喙地形	水面上	第一次	第二次	第三次		
		海岸線中間	水面上	第一次	第二次	第三次

(二) 實驗討論

1. 將監測模組沉入水中並使用Wi-Fi傳輸數據，會因為水會阻隔無線訊號而無法接收資料，後續改用SD卡來紀錄數據，以取得完整的資料。不過Wi-Fi無線訊號具有即時性，適合於水面上小範圍監測。
2. 由實驗中發現沙包中的泥沙容易流失，使地形邊緣並不平整甚至發生改變，產生很多紊亂水流，造成每次測得的水流狀況與方向差異較大。泥沙滲出也造成水池混濁不易觀察，於是我們決定改變實驗方式，改以塑膠墊堆疊製作新的海水浴場模型進行實驗。

四、青山瀑布未知水域水流流場監測

在石門區青山瀑布選定距離在瀑布中心左前方大約1公尺的A點與大約7.5公尺的B點進行監測實驗。(如圖3-4-1)

模組放置於選定的A點，監測20秒，重複實驗三次，再放置於B點監測。

模組以浮標固定沉至水下30公分或水下50公分處，重複進行A、B兩點監測，描繪出青山瀑布水流流場模型。

使用釣竿懸掛重錘與長捲尺輔助，測量在瀑布水潭不同位置的水深。(如圖4-4-2)

操控空拍機拍攝俯視圖，觀察青山瀑布整體樣貌。(如圖4-4-1)



圖3-4-1、測量點估測定位圖



圖3-4-2、使用魚竿控制模組監測起點

三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測

(一) 實驗結果

表4-3-1、頻率15秒一次，監測模組於水面上、水下3公分之鳥喙地形、海岸線中間及南側岬角三次實驗水流監測路徑圖

監測位置	模組深度	球形水流流場監測模組 3D 模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點，綠色箭頭為Z軸測得偏航角。)				
鳥喙地形	水面上	第一次	第二次	第三次		
		水下3公分	鳥喙地形	第一次	第二次	第三次
				海岸線中間	水面上	第一次
水下3公分	海岸線中間					第一次
		南側岬角	水面上			第一次
				水下3公分	南側岬角	第一次

肆、研究結果與討論

一、六軸加速度陀螺儀滾轉角、俯仰角、偏航角定義說明

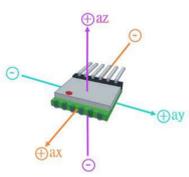


圖4-1-1、重力加速度軸向示意圖 (作者自繪)

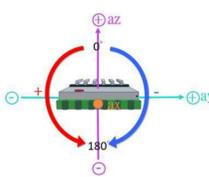


圖4-1-2、以X軸為軸心滾轉角示意圖 (作者自繪)

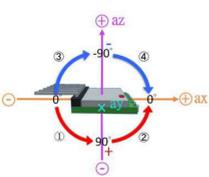


圖4-1-3、以Y軸為軸心俯仰角示意圖 (作者自繪)

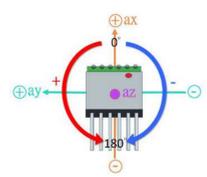


圖4-1-4、以Z軸為軸心偏航角示意圖 (作者自繪)

(二) 實驗討論

- 為了減少每次製造波浪的誤差，本研究在沙崙海水浴場塑膠墊模型的實驗中，改以單擺造浪的方式，使用梯子、沙包搭成的單擺造浪器與造浪板，每次造浪擺拉到相同高度後釋放，控制造浪波形的振幅大小，減少實驗過程中所產生的誤差。
- 海岸線地形對水流的影響大，我們僅需製作沙崙海水浴場海岸線地形模型，即可進行水流監測實驗。
- 在模型中不同監測位置的結果擬合：**南側岬角與海岸線中間的水流，會沿著海岸線流向鳥喙地形處，再往岸邊繞行前進，與沿岸流特性相符。**(如圖4-3-1)
- 在模型中不同測量深度的結果比較：

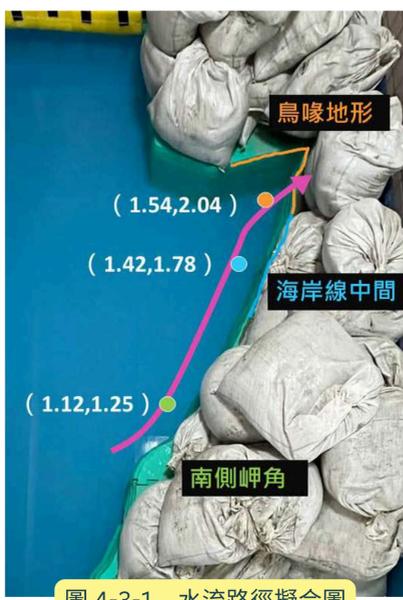


圖 4-3-1、水流路徑擬合圖

表4-3-2、沙崙海水浴場塑膠墊模型不同測量深度結果比較表

監測深度	水面上	水下3公分	水下5公分(定錨)
監測結果			
模組移動情形	隨著移動的方向而轉動，因模組較輕移動距離較遠。	每次移動方向相近，偏航角朝固定方向。	微幅移動。
	移動路徑相似		無法明顯觀察結果

- 我們曾實作水下5公分定錨監測，但模組被重物束縛只能微幅移動，無法呈現結果與3D模擬圖。

四、青山瀑布未知水域水流流場監測

(一) 實驗結果

表4-4-1、監測模組於青山瀑布水面上、水下30公分與水下50公分之A、B兩點三次實驗水流監測路徑圖(比例尺約為1:240)

	水面上	水下30公分	水下50公分
A點			
B點			
AB點結果比較			

表4-4-2、監測模組於青山瀑布A、B兩點之水面上、水下30公分與水下50公分水流監測路徑斜視圖與俯視圖(比例尺約為1:240)

	斜視圖	俯視圖
A點		
B點		
AB點結果比較		



圖4-4-1、青山瀑布空拍照片(指導老師拍攝)



圖 4-4-2、青山瀑布不同位置深度圖(單位:公分,每格邊長約為120公分)

(二) 實驗討論

- 青山瀑布 A、B 兩點不同水深水流比較：

表 4-4-3、青山瀑布 A、B 兩點不同水深水流比較表

	水面上	水下30公分	水下50公分
相異處	A點 因接近瀑布中心處，受瀑布水流落下所產生環境風的影響，模組移動較明顯。	因接近瀑布中心處，水下水流較強，模組移動速率較快。	模組幾乎在原地轉動，推測瀑布水流沖進水潭時可能產生漩渦。
	B點 因距離瀑布中心處較遠，受環境風的影響較不明顯，每次模組移動路徑較接近。	因距離瀑布中心處較遠，水下水流較弱，移動速率較慢。	受到較深層的水流影響，移動距離較A點長。
相同處	模組移動至岸邊的時間較短，易受到瀑布沖進水潭的水流與往岸邊環境風影響。	瀑布水流沖進水潭中，產生強勁水流。	模組移動路徑較短。在此深度時推測有漩渦產生所造成的影響。

- 當監測水深由30公分加深至50公分，僅有20公分的深度落差，水流就有明顯差異，可見瀑布水域之危險性。
- 由圖4-4-1青山瀑布的空拍照片，看出瀑布表面水波的傳遞與地形地貌。而由圖4-4-2中利用垂釣法探測瀑布潭底深度，發現黃圈處水深有斷層式落差，應多加注意。

伍、結論與展望

一、陀螺儀與球形水流流場監測模組的建立

- 透過JY61P六軸加速度陀螺儀與ESP-32S控制板，即可測量出物體移動軌跡與轉動情形，觀測水流狀況。
- 透過監測模組的建立與Unity 3D軟體與C#程式編寫，繪製出路徑圖並透過不同測量位置、深度的模組相互擬合出水流狀況。
- 本研究建立手機App與Google地圖資訊平台，增加系統的易用性與即時性，未來實際運用時，由網站直接提供民眾查詢水流情形。

二、沙崙海水浴場模型水流流場監測

綜合三點觀測結果，鳥喙地形有入射北側岬角的反射波及通過南側岬角沿海岸線前進的繞射波會合，此結果與海岸沿岸流的特性吻合，確認本研究監測模組的可行與準確性。

三、青山瀑布未知水域水流流場監測

- 在水面上監測時容易受到瀑布環境風的影響。水下30公分監測時瀑布水流沖進水潭中時產生強勁水流。水下50公分監測時，可能會有漩渦使模組在原地打轉。
- 在瀑布水潭中，不同的深度，會有不同的水流產生，且不同位置可能會有斷層式的地形高低變化，遊客稍有疏忽就可能遭遇不可預測的危險。

陸、參考文獻資料

- 黃韋珀、李及翔。投球姿態校正—六軸感測器。
<https://implementation.ee.nthu.edu.tw/competition/groups/c3cbc23b-b2f1-40e2-8ac3-bbb4ce24f870/attachments/summary?download=0>
- 呂特根、塔布克、塔沙(著)/黃靜雅、蔡菁芳(譯)。觀念地球科學3：海洋·大氣(二版)。台北市：天下文化。