

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	100031
參展科別	工程學
作品名稱	區域水流流場3D重建系統的探討與應用 Discussion and Application of 3D Reconstruction System for Regional Water Flow Fields
得獎獎項	三等獎

就讀學校	新北市立正德國民中學
指導教師	王志銘
作者姓名	陳睿聲 陳宣妤 王永瑞

關鍵詞	<u>六軸加速度陀螺儀、水流流場、監測模組</u>
-----	---------------------------

作者簡介



我們是陳睿聲（左）、陳宣妤（右）和王永瑞（中），來自北海岸的正德國中。出自於對家鄉的熱愛與深厚的情感，大海給予了我們研究的動力，也成為團隊一同前進的目標。藉由多次參展經驗，我們合作默契十足，彼此在學業與科學研究間取得良好的平衡，曾攜手參加全國科展榮獲第一名佳績，這段經歷堅定了我們的團隊精神與專業的研究能力，共同邁向成功的未來。

2025 年臺灣國際科學展覽會 研究報告

區 別：北區

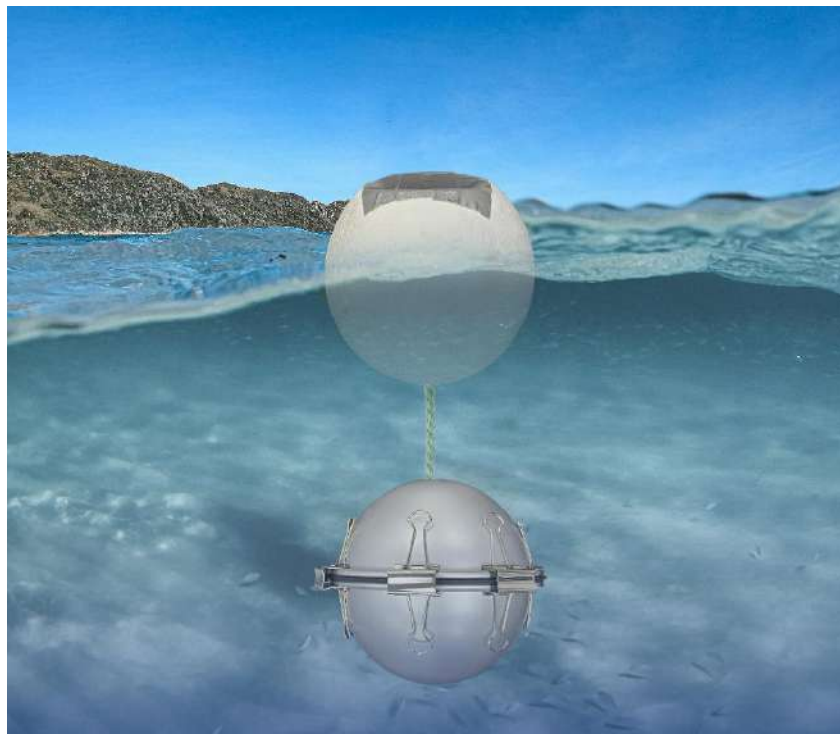
科 別：工程學科

作品名稱：區域水流流場 3D 重建系統的探討與應用

Discussion and Application of 3D Reconstruction System for Regional
Water Flow Field

關 鍵 詞：六軸加速度陀螺儀、水流流場、監測模組

編 號：



目次

摘要	1
壹、前言	1
貳、研究設備與器材	2
一、球形水流流場監測模組使用器材	2
二、實驗工具	3
參、研究過程與方法	5
一、球形水流流場監測模組建置	6
(一) 陀螺儀程式設計與測試	6
(二) 球形水流流場監測模組設計	6
(三) Unity 3D 物體轉動與加速度模擬動畫	7
二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測實驗	8
三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測實驗	9
四、青山瀑布未知水流流場監測實驗	11
五、球形水流流場監測模組硬體與 GPS 浮標定位系統研發	12
(一) 監測模組硬體改進與浮標功能提升	12
(二) 改良後之監測模組與 GPS 浮標測試實驗	13
肆、實驗結果與討論	15
一、六軸加速度陀螺儀基本測量方式探討	15
二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測實驗	16
三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測實驗	17
四、青山瀑布未知水流流場監測實驗	25
五、球形水流流場監測模組硬體與 GPS 浮標定位系統研發	29
伍、結論與未來展望	31
陸、參考文獻資料	32
附錄、原始實驗數據	33
一、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測	33
二、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測	34
三、青山瀑布未知水流流場監測	38

ABSTRACT

This study developed a spherical water flow monitoring module using a JY61P six-axis accelerometer and gyroscope in combination with an ESP-32S control board. By employing Unity 3D software and C# programming, we simulated water flow conditions within specific aquatic environments. Drone imagery and depth sounding data were then incorporated to construct a 3D water flow model. In the model created for the Shalun Beach water flow, it was observed that coastal currents entering from the southwest moved along the coastline into the bird-beak-shaped terrain, aligning with the simulated flow fields. This confirmed the feasibility and accuracy of the designed 3D regional water flow reconstruction system. Connecting the water flow monitoring module to a GPS buoy could ease retrieval and enhance monitoring capabilities, supporting exploration of deeper and more extensive uncharted water flow fields.

The 3D reconstruction system developed in this study for regional water flow fields has broad applications in creating models of uncharted water bodies, offering potential early-warning capabilities. In an experiment conducted in the Qing Shan Waterfall's water flow field, it was found that different depths within the waterfall pool exhibit varying flow patterns. Furthermore, fault-like terrain variations may exist at different locations. This indicates the importance of monitoring water environments to ensure safety when tourists explore unfamiliar waters.

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，藉由 Unity 3D 軟體與 C# 程式編寫，擬合出水域的水流狀況，再搭配空拍圖與水域深度探測，進行水域模型的建立。在沙崙海水浴場水流模型，發現當水流由西南方進入模型時沿岸流會順著海岸線流入鳥喙地形，與本研究模擬出的水流流場相符，確認所設計之區域水流流場 3D 重建系統的可行性與準確性。若將水流流場監測模組連接 GPS 浮標，可方便回收監測模組並輔助水流流場監測，能探測更深、更廣的未知水域流場。

本研究建立的區域水流流場 3D 重建系統，可廣泛應用在未知水域的模型建立，發揮預警功能。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

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。

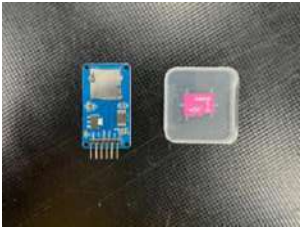
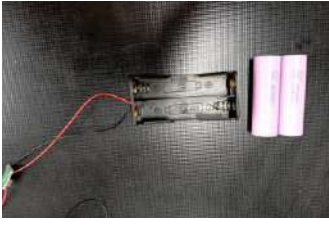
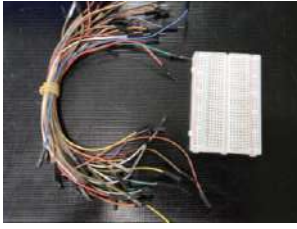
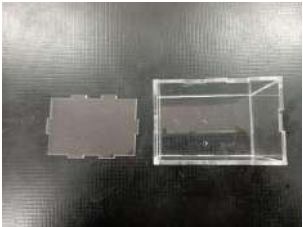
我們希望透過此研究，達成以下研究目的：

- 一、以較低的價格和更簡易的方式，自製具有耐壓、防水、不同水深探測、可回收與多功能無線訊號傳輸的耦合水流流場監測模組，以探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監測青山瀑布水流變化，配合空拍圖、水域深度探測，建立青山瀑布水域未知水流流場模型，提供水流狀況與警示資訊予民眾參考。

貳、研究設備與器材

一、球形水流流場監測模組使用器材

表 2-1-1、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)	NEO-M8N GPS 晶片 (1 組)
照片			
規格	ESP-32S (Wi-Fi & Bluetooth)	JY61P	NEO-M8N
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。	定位並追蹤模組位置。
名稱	SD 卡儲存模組和 SD 卡 (3 組)	18650 充電電池與電池盒 (6 組)	麵包板、彩虹杜邦線 (若干)
照片			
規格	Micro SD (SPI 介面)	三星原廠 ICR18650	無
用途	儲存實驗數據。	作為模組供電，同時使用兩顆。	將電路中的電子元件連接。
名稱	壓克力模組盒 (3 組)	砝碼與鉛塊 (若干)	塑膠球 (6 組)
照片			
規格	9cm×6cm×6.5cm	500g、100g、10g	直徑 16cm
用途	保護與固定模組器材。	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。

名稱	鋁合金外殼（1 組）	防水密封膠條（1 捲）	長尾夾（若干）
照片			
規格	內直徑 6 吋（大約 15.24cm）	外直徑 18cm	32mm
用途	保護測量器材且使其受力平均。	增加模組防水與耐壓效果。	固定鋁合金球與防水密封膠條。
名稱	塑膠袋、海綿（若干）	保麗龍浮標（1 顆）	網袋、麻繩（若干）
照片			
規格	無	直徑 20cm，凹槽 7cm*7.5cm*10cm	無
用途	提供防水和固定功能。	以繩子將模組與浮標連接， 控制模組監測深度。	連接保麗龍浮標與監測模 組。

二、實驗工具

表 2-2-1、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/包	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。
名稱	漁網	捲尺	大型水桶 (1 個)
照片			
規格	長 180cm	全長 5.5m	106 公升
用途	擺放模組。	測量水深與距離。	進行防水效果測試。

參、研究過程與方法

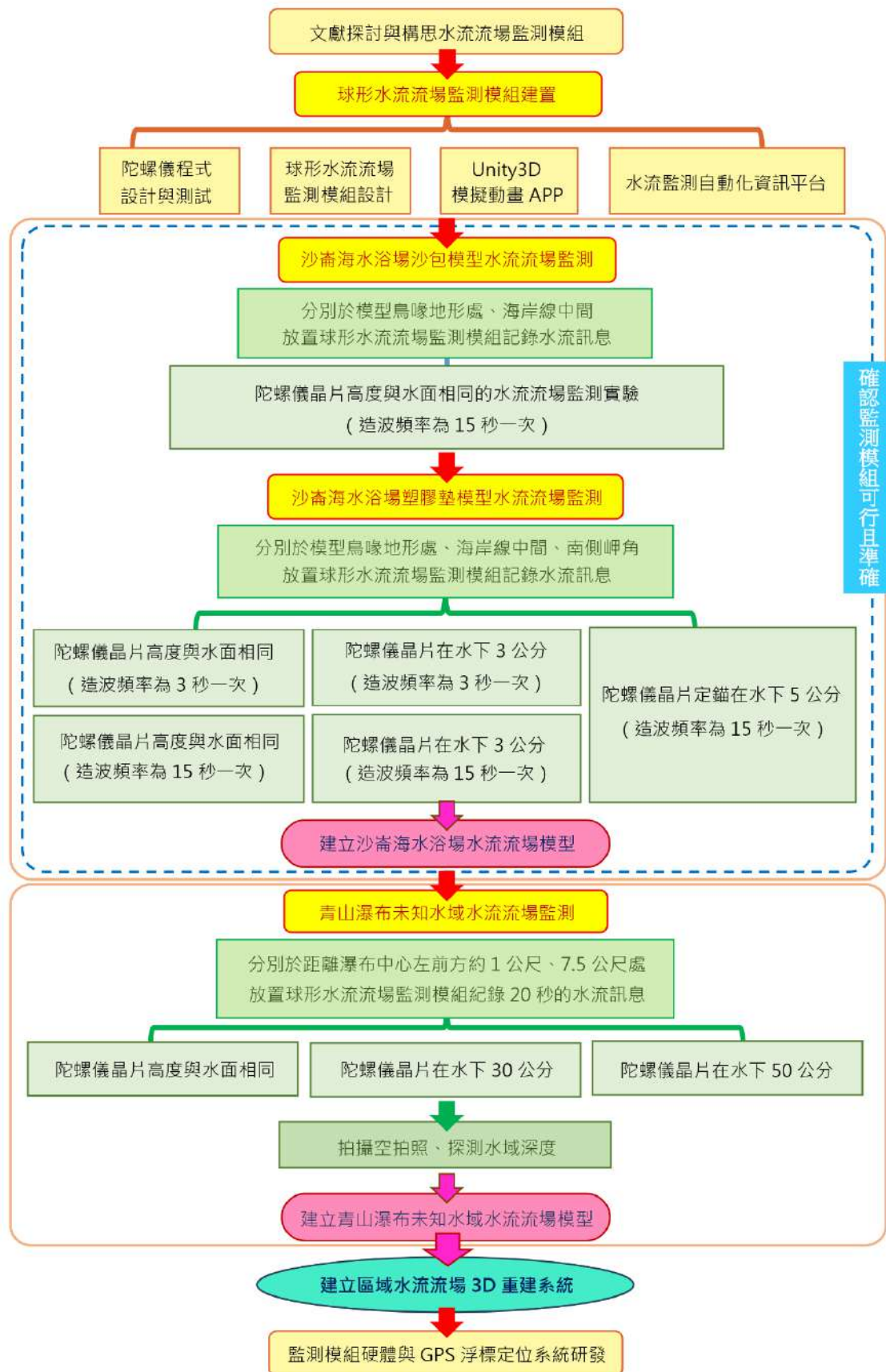


圖 3-0-1、研究架構圖

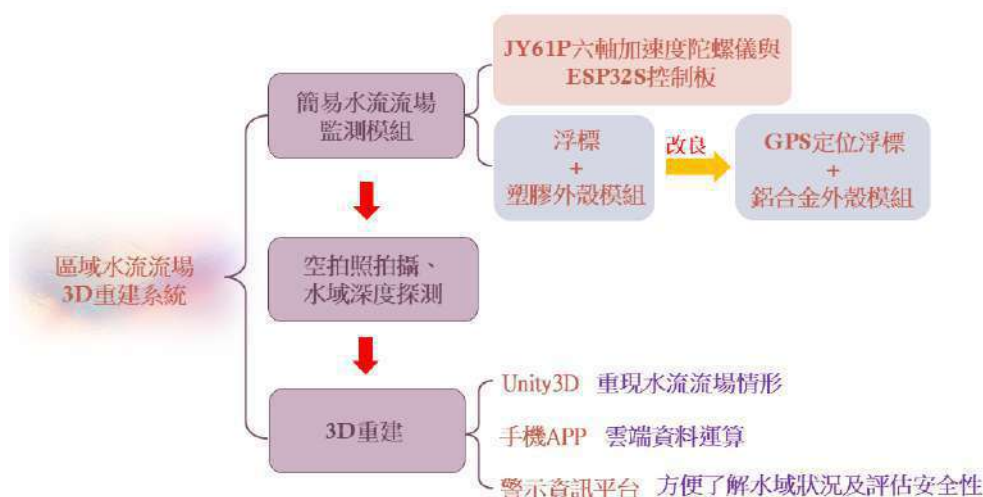


圖 3-0-2、區域水流流場 3D 重建系統建立流程圖（作者自繪）

一、球形水流流場監測模組建置

（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 秒紀錄陀螺儀三軸加速度與三軸轉動角度值，使用下列 1、2 兩種方式儲存資料。

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）。

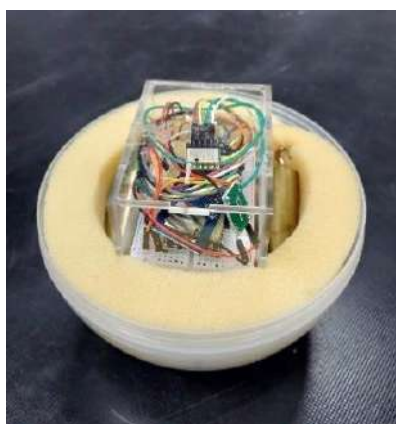


圖 3-1-1、空心塑膠球作為外殼並透過海綿固定壓克力模組盒（作者拍攝）



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）。

#	A	B	C	D	E	F	G
1	INDEX	ANO_X	ANO_Y	ANO_Z	AOC_X	AOC_Y	AOC_Z
2	1.71E+11	1.19	0.68	-129.94	0.06	4.72	1
3	1.71E+11	1.53	0.11	-130.47	0.06	6.02	1
4	1.71E+11	0.46	-1.39	-130.78	0.06	6.04	1
5	1.71E+11	0.53	-1.45	-130.94	0.06	6.06	0.99
6	1.71E+11	0.47	-0.11	-131.15	0.06	6.03	0.99
7	1.71E+11	1.53	0.42	-131.36	0.05	6.02	1
8	1.71E+11	0.75	0.59	-131.2	0.06	6.04	1
9	1.71E+11	1.51	0.52	-131.18	0.06	6.01	1
10	1.71E+11	2.52	0.46	-131.13	0.05	6.03	1.01
11	1.71E+11	1.88	0.69	-130.83	0.04	6	1
12	1.71E+11	1.42	-0.63	-130.5	0.06	6	1
13	1.71E+11	1.3	2.73	-130.22	0.13	6.01	0.99
14	1.71E+11	0.1	2.32	-129.63	0.16	6.06	0.99
15	1.71E+11	0.31	0.64	-128.71	0.19	6.04	0.99
16	1.71E+11	1.37	0.22	-127.85	0.04	6	1
17	1.71E+11	1.69	-0.3	-127.37	0.06	6.03	0.99
18	1.71E+11	-0.61	0.36	-127.52	0.07	6.07	1
19	1.71E+11	-0.19	0.52	-126.06	0.02	6.07	1
20	1.71E+11	0.45	0.68	-126.62	0.02	6.05	1
21	1.71E+11	0.46	0.85	-129.3	0.02	6.04	1
22	1.71E+11	1.69	0.24	-129.84	0.06	6.03	1
23	1.71E+11	1.87	0.77	-130.29	0.06	6.03	0.99
24	1.71E+11	1.61	0.36	-130.52	0.07	6.02	1
25	1.71E+11	0.77	0.99	-131.42	0.02	6.04	1
26	1.71E+11	0.27	0.23	-131.66	0.04	6.05	1
27	1.71E+11	0.59	0.07	-132.35	0.07	6.04	0.99
28	1.71E+11	1.19	0.1	-132.84	0.07	6.02	1
29	1.71E+11	1.42	0.27	-133.26	0.05	6.01	1
30	1.71E+11	1.69	-0.44	-133.7	0.07	6.01	1
31	1.71E+11	1.2	-1.06	-134.05	0.06	6.02	0.99
32	1.71E+11	1.48	-0.71	-134.61	0.06	6.01	1



圖 3-1-3、加速度模組原始數據

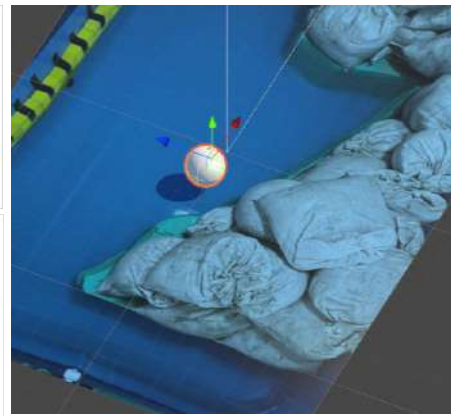


圖 3-1-4、Unity 3D 模擬場景
（擷自軟體畫面）

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)

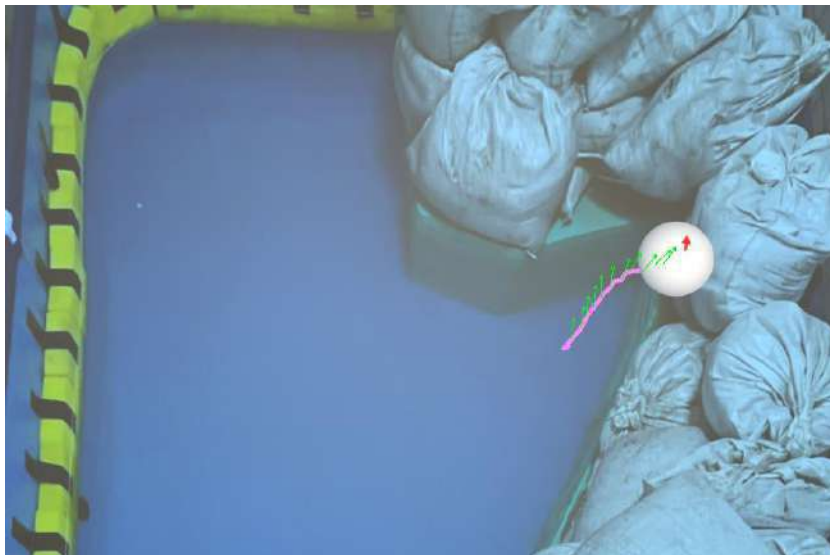


圖 3-1-5、球體移動路徑示意圖（擷自軟體畫面）



圖 3-1-6、手機 APP（擷自軟體畫面）

二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測實驗

- (一) 沙崙海水浴場模型製作過程：以 1:700 比例的沙崙海水浴場塑膠墊模型一片，放置於水池底部，接著在模型上壓放總重量約 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海岸線地形（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)。

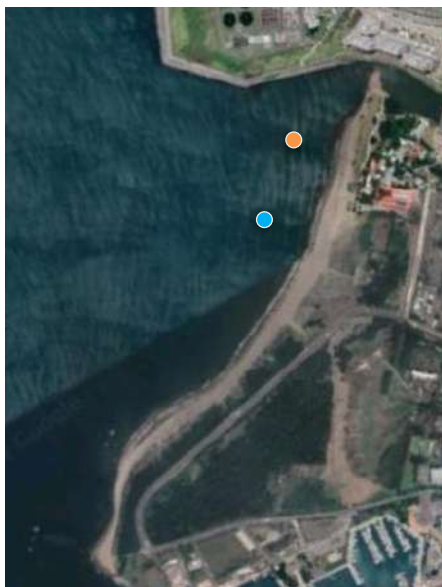


圖 3-2-1、沙崙海水浴場空拍照
(擷自 Google Maps)



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)

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)

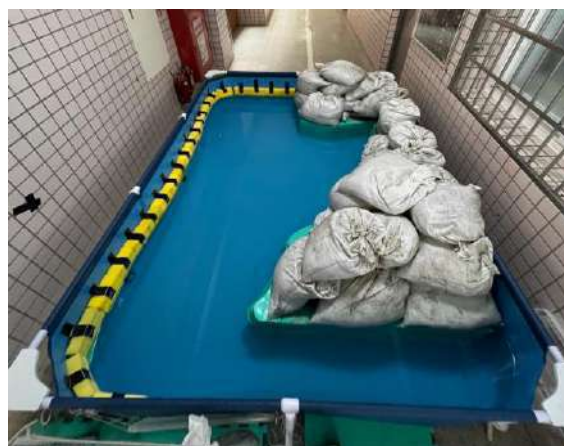


圖 3-3-2、模型加水並放上消波海綿
(作者拍攝)

- (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）（如圖 3-3-4）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。
- (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。

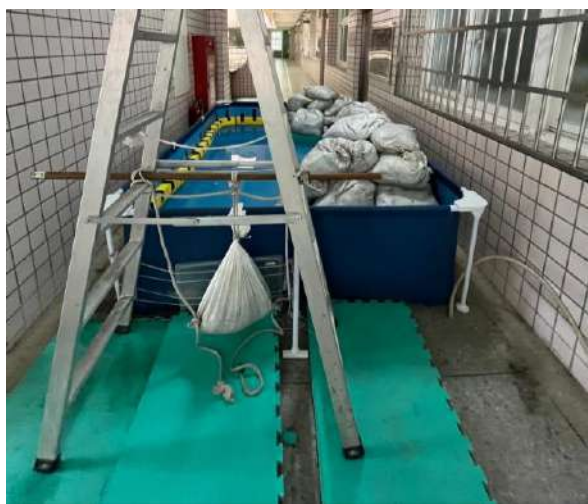


圖 3-3-3、梯子與沙包搭建單擺造浪器
（作者拍攝）



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情形。
- (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與地形立體模型。
- (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。
- (九) 綜合步驟(二)至(八)，藉由區域水流流場 3D 重建系統，描繪出青山瀑布水流流場模型。
- (十) 將青山瀑布水流流場模型觀測結果，上傳至自動化資訊平台，並於青山瀑布建立告示牌，提供民眾預先了解水流狀況與安全性。



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)

五、球形水流流場監測模組硬體與 GPS 浮標定位系統研發

為了使未來於更深更廣的未知水域進行監測實驗時，更方便進行操作，我們著手重新設計球形水流流場監測模組，將內部架構進行模組化，並採用鋁合金外殼，使模組更堅硬耐壓與防水，再設計 GPS 定位浮標，追蹤模組移動的路徑，輔助水流流場監測與模組回收，實驗步驟如下：

（一）監測模組硬體改進與浮標功能提升

1. 監測模組增加外殼耐用度與防水效果及內部架構模組化：

改用直徑 15 公分的鋁合金外殼，增加耐用度，上下兩半殼的接觸面以防水密封膠條貼合，外圍則使用長尾夾固定，使防水效果更加完善。將鉛塊放置於球體底部進行配重，用保麗龍隔板固定模組盒，讓內部結構更加穩固，再使用海綿做為緩衝，避免球體內部模組在晃動時受到影響。（如圖 3-5-1、3-5-2）

2. 重新設計浮標，以利大範圍定位：

浮標內部放入 GPS 定位模組，預留可搭配 Wi-Fi 與 IoT-SIM 傳輸經緯度的功能，方便操作者定位追蹤模組位置，以利尋找與回收。浮標外部包覆網袋，以繩子與監測模組連接，組合成耦合水流流場監測模組。（如圖 3-5-3、3-5-4）

3. GPS 定位系統的建置：

設計 ESP-32S 之程式，再架設網站資料庫，整合 Google Maps API，即時紀錄定位資訊與移動軌跡。（如圖 3-5-6）

GPS 定位系統網站資料庫前端設計（JavaScript 程式節錄）：

```
function updateData() {
  fetch('DATABASE_LOCATION')
    .then(response => response.json())
    .then(data => {
      flightPlanCoordinates = [];
      let latestPoint = null;
      let latestTimestamp = "";
      const keys = Object.keys(data);
      const lastKey = keys[keys.length - 1];
      for (let key in data) {
        if (data.hasOwnProperty(key)) {
          let point = data[key];
          flightPlanCoordinates.push({ lat: point.lat, lng: point.lng });
          if (point.timestamp > latestTimestamp) {
            latestTimestamp = point.timestamp;
            latestPoint = { lat: point.lat, lng: point.lng };
          }
        }
      }
    })
}
```

```

}
if (lastKey) {
  const point = data[lastKey];
  flightPlanCoordinates.push({ lat: point.lat, lng: point.lng });
  latestTimestamp = point.timestamp;
  latestPoint = { lat: point.lat, lng: point.lng };
}
flightPath.setPath(flightPlanCoordinates);
if (latestPoint) {
  marker.setPosition(latestPoint);
  map.setCenter(latestPoint);
  document.getElementById('timedisplay').innerText = "資料更新時間：" + latestTimestamp;
  showTemporaryAlert('資料已更新', 3000);
}
})
.catch(error => console.error('Error:', error));
}

```

(二) 改良後之監測模組與 GPS 浮標測試實驗

1. 防水效果測試：

以繩子連接模組放置於水位高度為 60cm 的大型水桶底部，持續 36 小時，測試改良後的監測模組是否能避免進水。（如圖 3-5-4）

2. 耐壓效果測試：

以繩子連接模組與浮標，並放置於水位高度為 130cm 的蓄水池底部，持續 4 小時，測試改良後的監測模組能否承受水壓而不變形或進水。（如圖 3-5-5）

3. 3D 動態模擬測試：

將水流流場監測模組放置於台車上，繞行長約 200 公尺崎嶇石子路，模擬模組改良後在大範圍水域的監測情境，以確立改良後的監測模組具有可用性。

4. GPS 追蹤測試：

將 NEO-M8N GPS 模組架設於 ESP-32S 控制板上，並將此定位模組放入壓克力保護盒中，再置入浮標球內，於環形路徑進行 GPS 定位追蹤實驗，確立使用 GPS 尋找與回收監測模組之可行性。（如圖 3-5-6）



圖 3-5-1、改良後之模組（作者自攝）

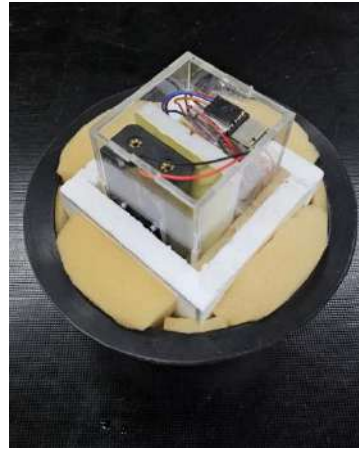


圖 3-5-2、改良後之模組內部構造
（作者自攝）



圖 3-5-3、浮標內部構造（作者自攝）



圖 3-5-4、防水效果測試過程（作者自攝）



圖 3-5-5、耐壓實驗蓄水池外觀
（作者自攝）



圖 3-5-6、GPS 定位系統網站
（作者製作，底圖擷自 Google Maps）

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. 陀螺儀垂直於地面的軸（通常為 Z 軸且正面朝上時）由重力造成會產生 $1g$ （約 $9.8m/s^2$ ）的加速度。
2. **加速度計基本原理**：其內部包括可移動的質量塊與彈簧連接感測器的相對固定端，分別作為電容的兩極。當外界因加速度而使得質量塊與彈簧固定端發生相對位移時，兩極間的電容量即會產生變化，透過特殊電路可將此變化量轉換成相對應的輸出訊號，進而得到相對加速度值。（如圖 4-1-1、4-1-2）

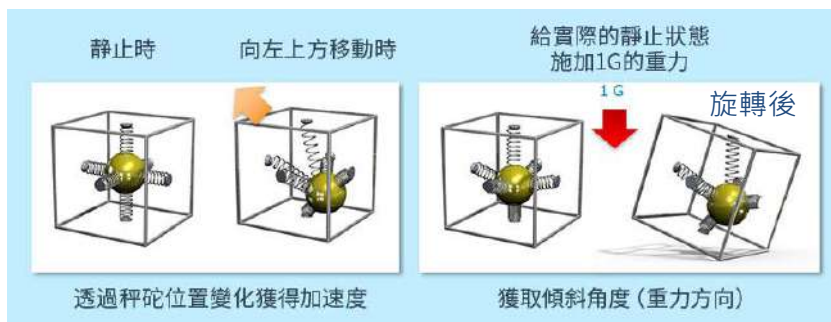


圖 4-1-1、加速度計基本原理示意圖

（圖片來源：TechWeb 電源設計技術資訊網站。加速度感測器的工作原理）



圖 4-1-2、六軸加速度陀螺儀（作者自攝）

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 4-1-5①至②），下俯時則由 0 度至 -90 度再回到 0 度（如圖 4-1-5③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。

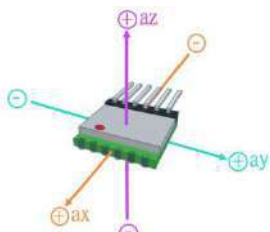


圖 4-1-3、重力加速度軸向示意圖（作者自繪）

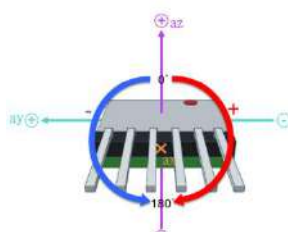


圖 4-1-4、以 X 軸為軸心滾轉角示意圖（作者自繪）

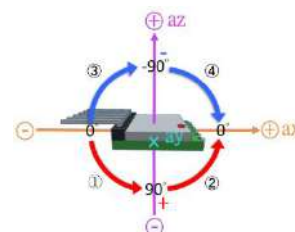


圖 4-1-5、以 Y 軸為軸心俯仰角示意圖（作者自繪）

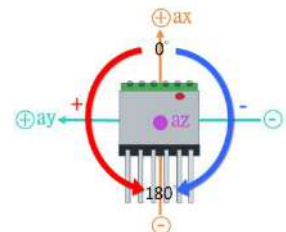


圖 4-1-6、以 Z 軸為軸心偏航角示意圖（作者自繪）

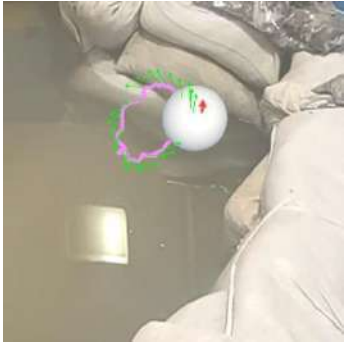
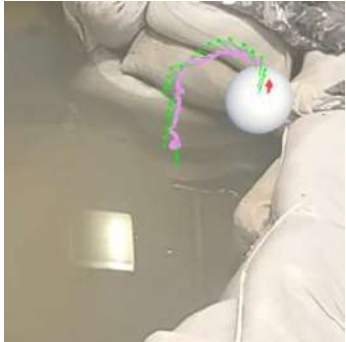
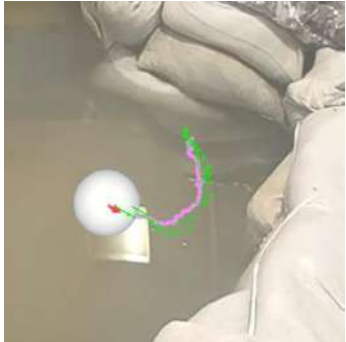
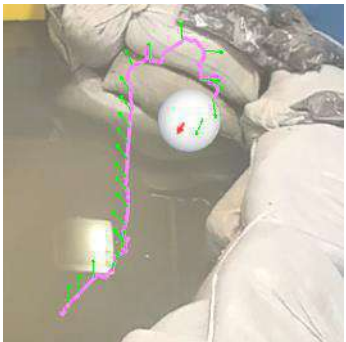
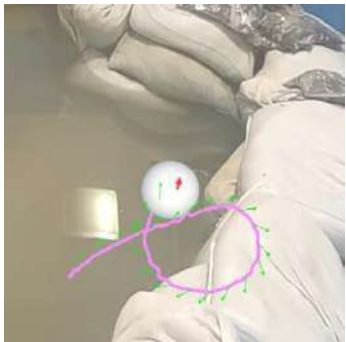
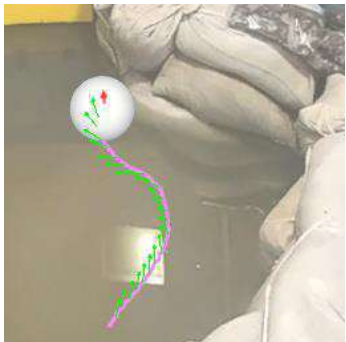
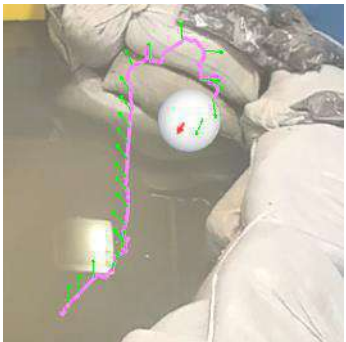
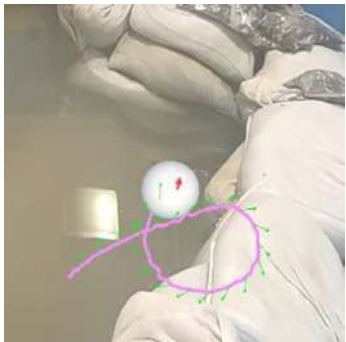
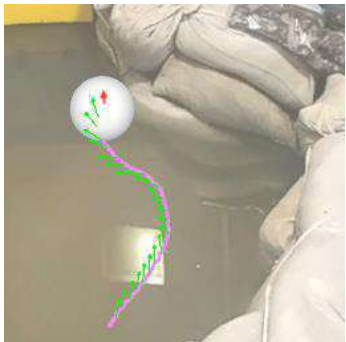
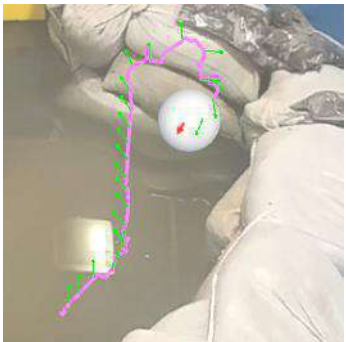
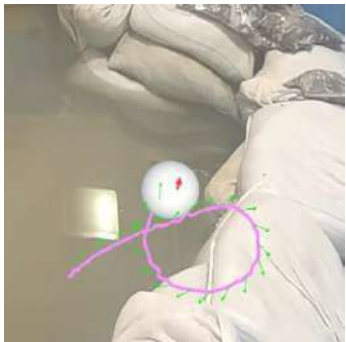
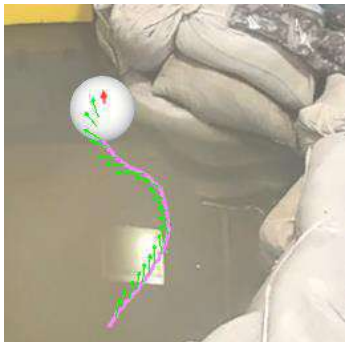
二、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測實驗

(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，由作者以 Unity3D 軟體編寫程式繪製，背景圖由作者實地拍攝。

※原始數據三軸加速度、角度變化圖請參閱附錄一：沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測。

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	監測水深	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)		
鳥喙地形	水面上	15 秒一次	第一次	第二次	第三次
					
					
海岸線中間	水面上	15 秒一次	第一次	第二次	第三次
					
					

(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、縫隙造成防水效果不佳，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，因為水深不足，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），因此後續監測時以單獨一個監測模組來進行實驗。
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）

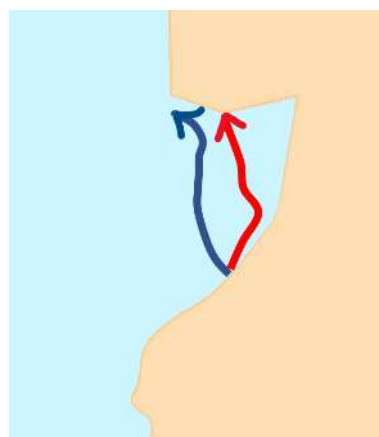


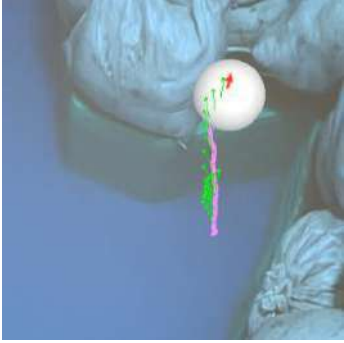
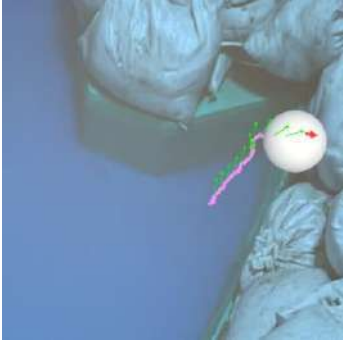
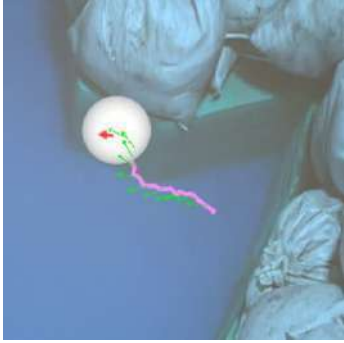
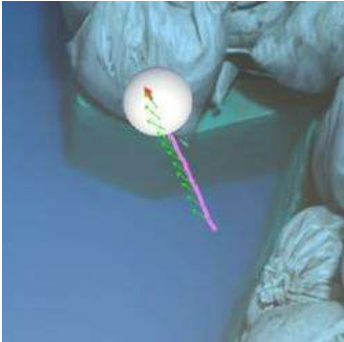
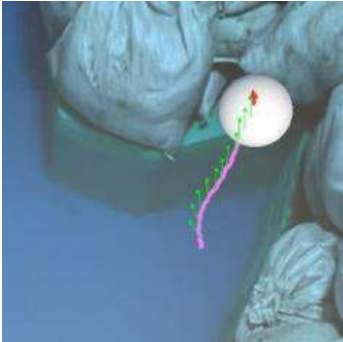
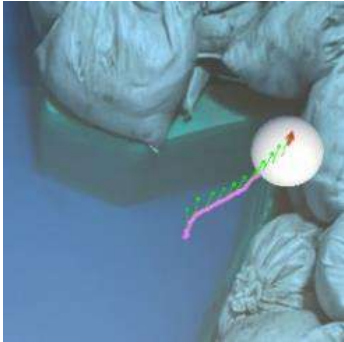
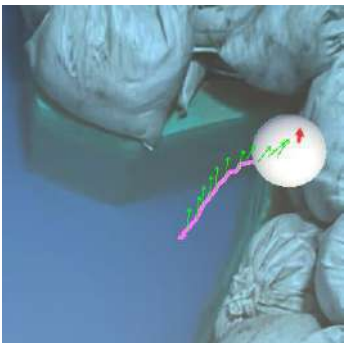
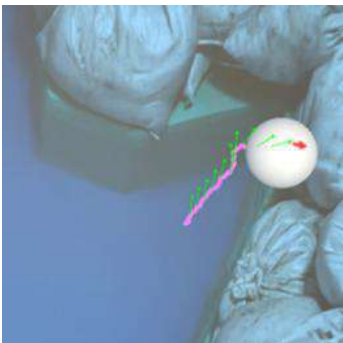
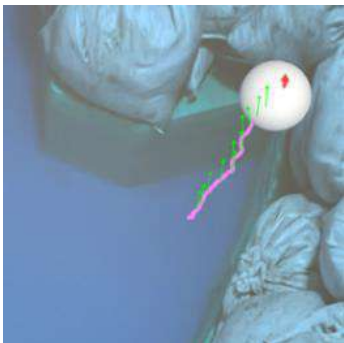
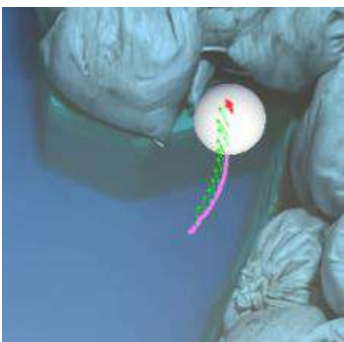
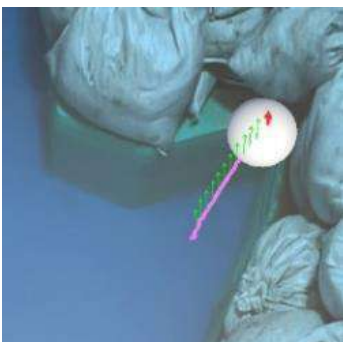
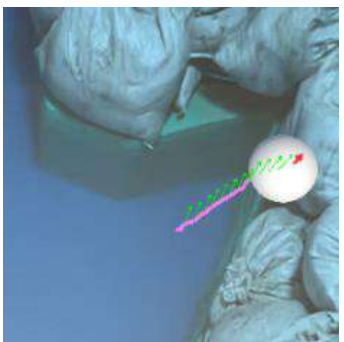
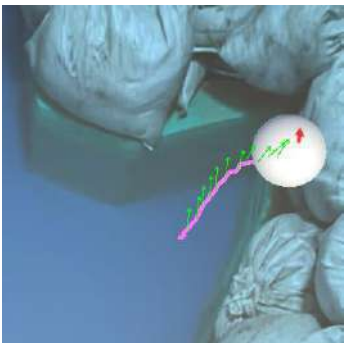
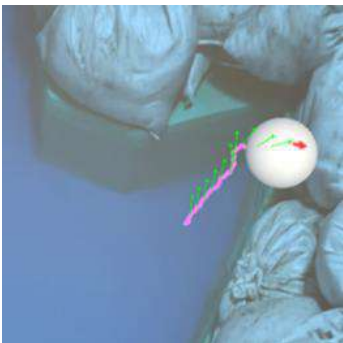
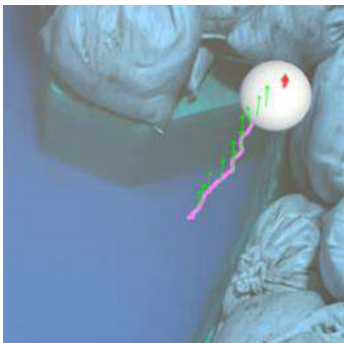
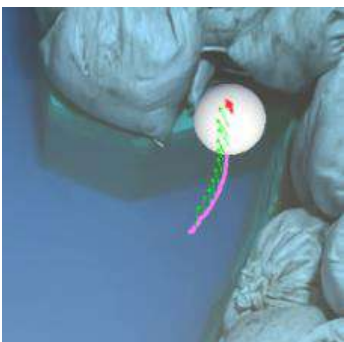
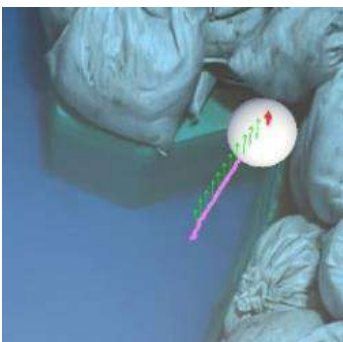
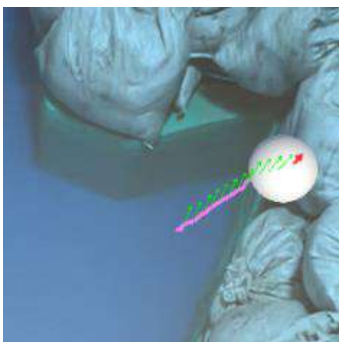
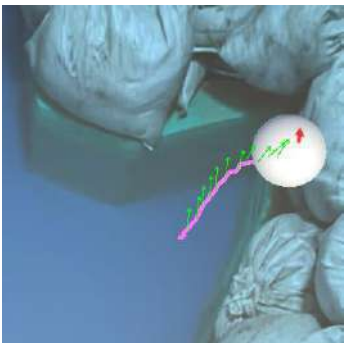
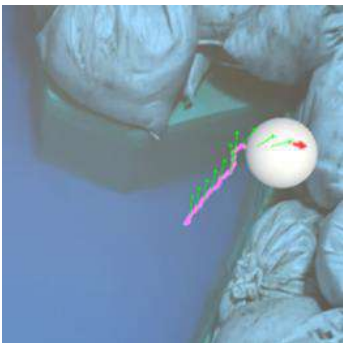
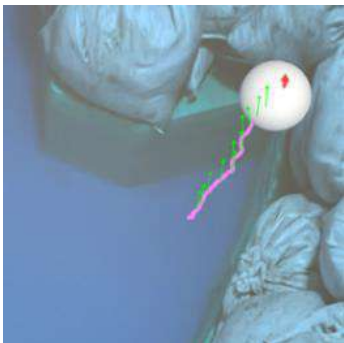
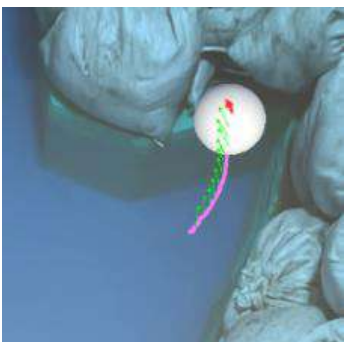
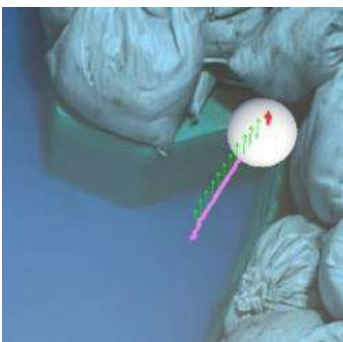
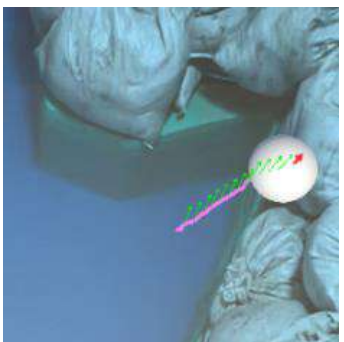
圖 4-2-2、比較單顆球（紅）與兩顆球同時實驗（藍）的軌跡，可以發現兩者有明顯差異（作者自繪）

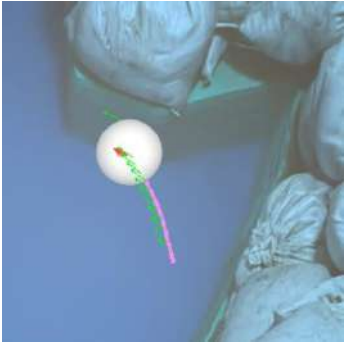
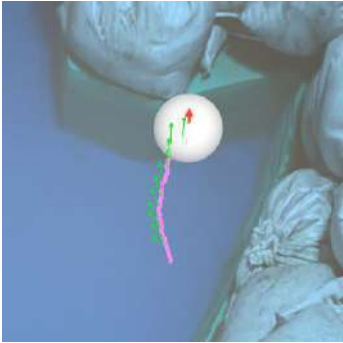
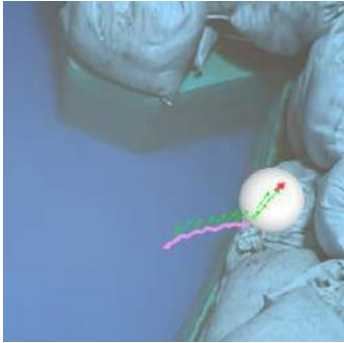
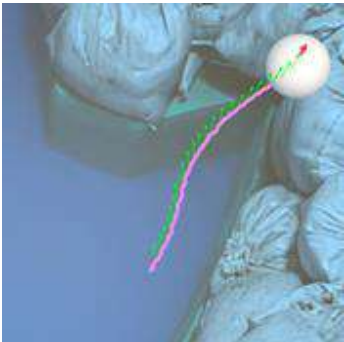
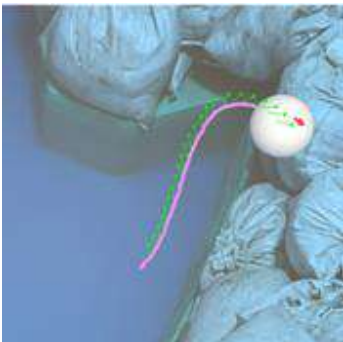
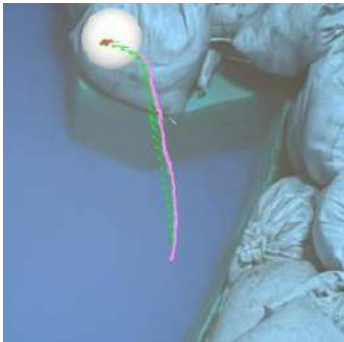
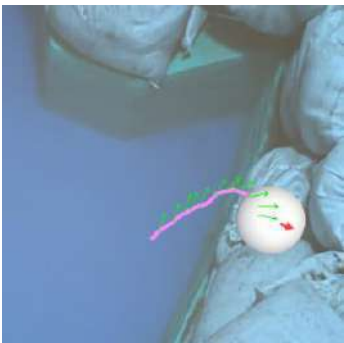
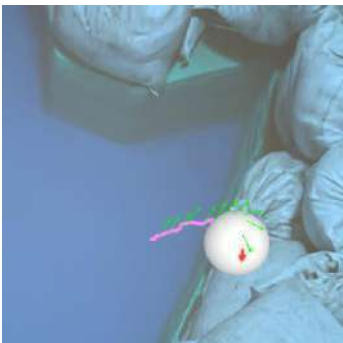
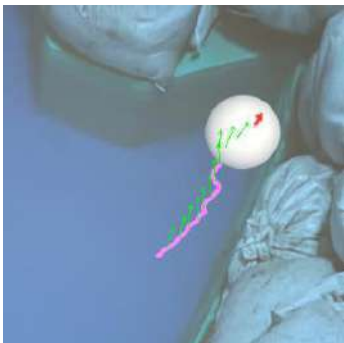
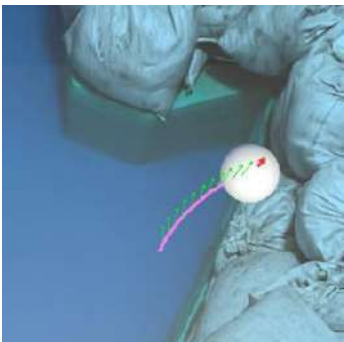
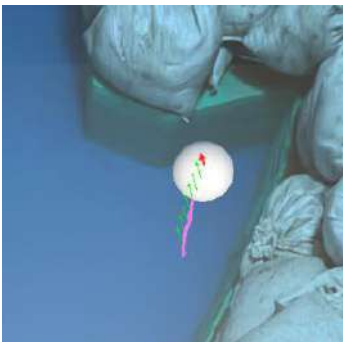
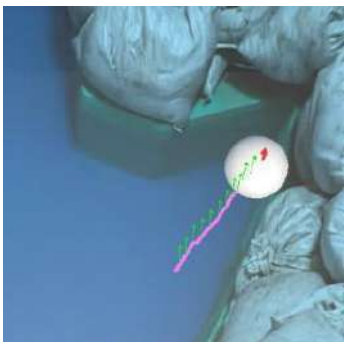
三、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測實驗

（一）實驗結果

※實驗結果的原始數據三軸加速度、角度變化圖請參閱附錄二：沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測。

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	監測水深	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			
		3 秒一次			
		15 秒一次			
	水下 3 公分	3 秒一次			
		15 秒一次			
		3 秒一次			
		15 秒一次			

監測位置	監測水深	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
海岸線中間	水面上	3 秒一次			
		15 秒一次			
	水下 3 公分	3 秒一次			
		15 秒一次			

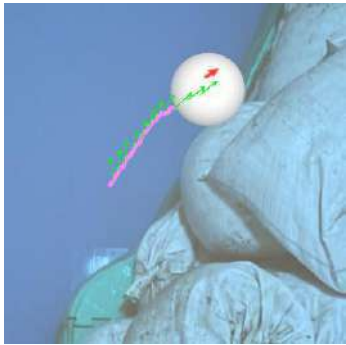
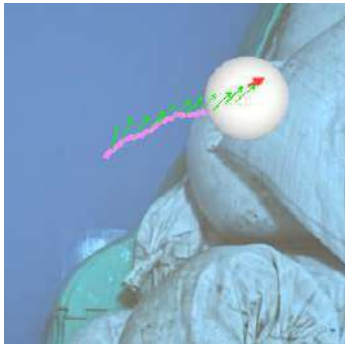
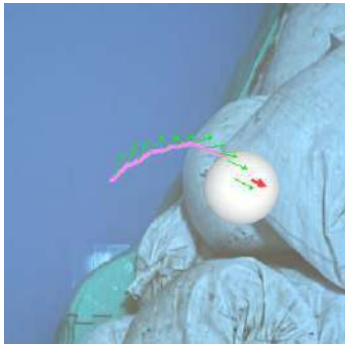
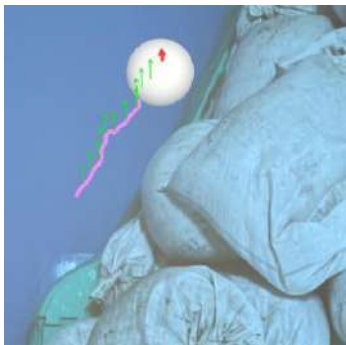
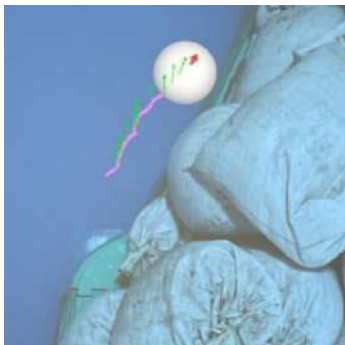
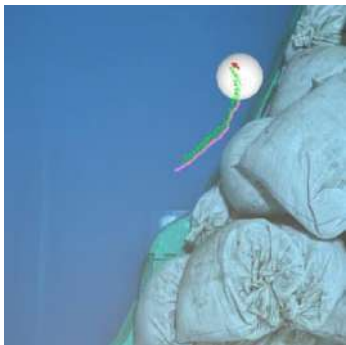
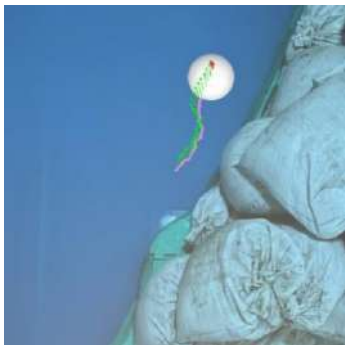
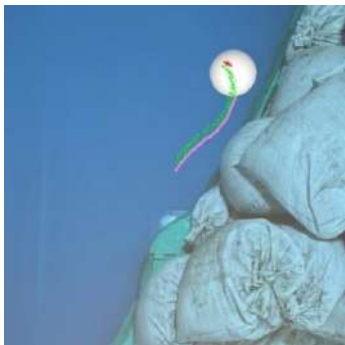
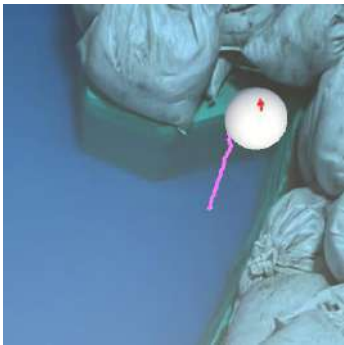
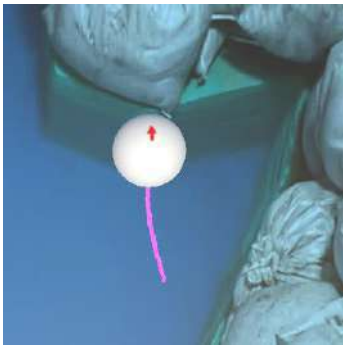
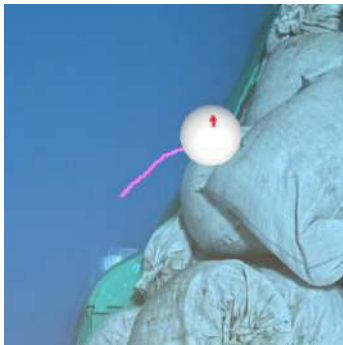
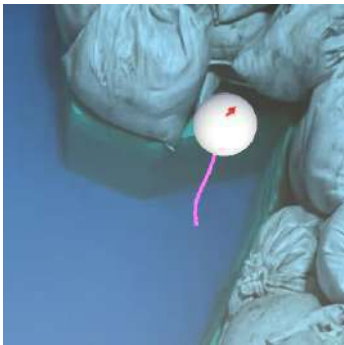
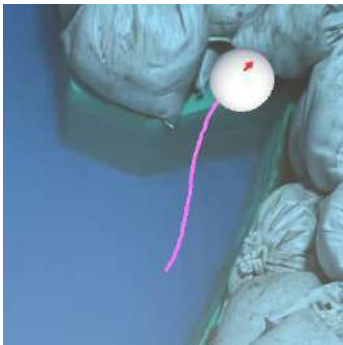
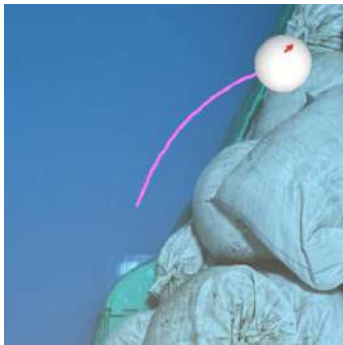
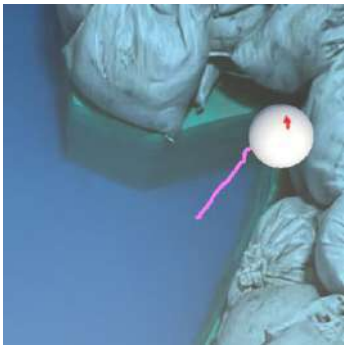
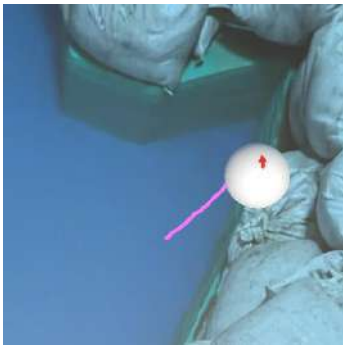
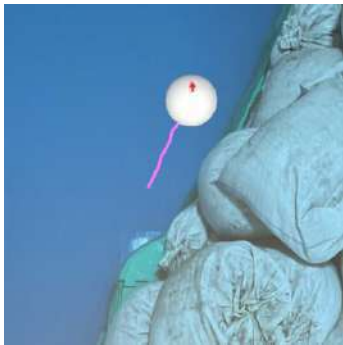
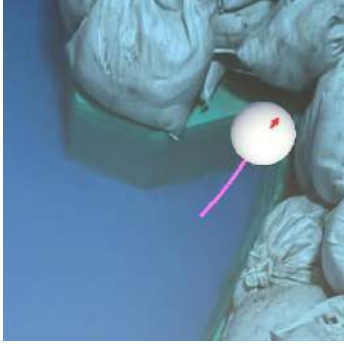
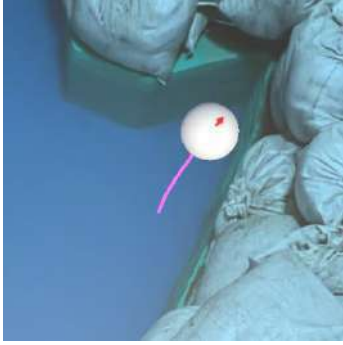
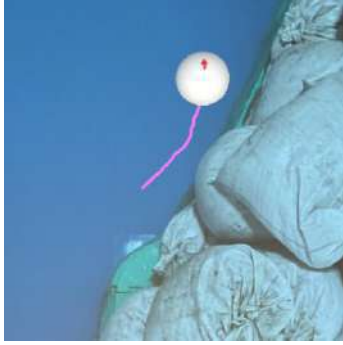
監測位置	監測水深	起波頻率	球形水流流場監測模組 3D 路徑模擬圖 (粉紅線段為移動路徑，球體為終點。綠色箭頭代表 Z 軸測得偏航角)		
			第一次	第二次	第三次
南側岬角	水面上	3 秒一次			
		15 秒一次			
	水下 3 公分	3 秒一次			
		15 秒一次			

表 4-3-2、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）實驗平均水流監測路徑圖

監測水深	監測位置	鳥喙地形	海岸線中間	南側岬角
	起波頻率			
水面上	3 秒一次			
	15 秒一次			
水下 3 公分	3 秒一次			
	15 秒一次			

（二）實驗討論

1. 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。
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. 由參考文獻《步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與幽愁》指出，沙崙海水浴場填海造陸所形成的北側巨大岬角，改變了沙崙海水浴場的海流。在夏季西南季風的影響下，形成大致與海岸線平行的沿岸流（如圖 4-3-1），流入東北方的公司田溪口，與實驗模型觀測的水流狀況相符。（如圖 4-3-2）
6. 表 4-3-2 中，將相同監測位置的實驗繪製成平均水流路徑圖（如表 4-3-2），進行數據分析（如表 4-3-3）。其中受風及水池周邊反射波干擾較小的監測水深水下 3 公分、起波頻率 15 秒一次之三個監測位置的實驗，將其擬合為水流路徑擬合圖，描繪出沙崙海水浴場的水流情形。（如圖 4-3-2）
7. 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 4-3-3、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，往公司田溪口岸邊繞行。	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。		

8. 在沙崙海水浴場塑膠墊模型中不同監測水深的結果比較：

表 4-3-4、沙崙海水浴場塑膠墊模型不同監測水深結果比較表

監測水深 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，易受風的影響，移動距離較遠，每次實驗路徑差異較大。	每次移動方向皆相近，Z 軸偏航角朝向固定方向，不易受細微水流影響而轉動。	微幅移動。
	移動路徑相似		無法明顯觀察結果

9. 水下 5 公分以棉線固定之定錨監測（如圖 4-3-3），模組會被底部重物束縛**只能微幅移動，無法觀察出結果**。但此測量方式只要**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。我們在後續實驗可**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，來克服目前遇到的問題。
10. 起波頻率 3 秒一次與 15 秒一次的結果比較：

表 4-3-5、沙崙海水浴場塑膠墊模型實驗不同起波頻率結果比較表

起波頻率 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 。

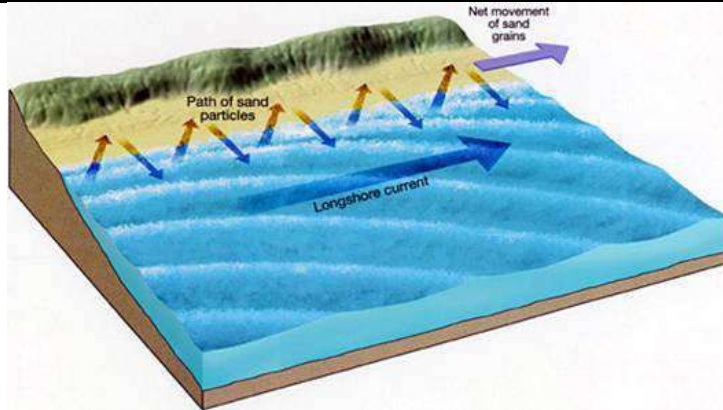


圖 4-3-1、沿岸流原理圖

（圖片來源：Lutgens, Tarbuck, & Tasa (n.d.). 觀念地球科學 3:海洋・大氣(黃靜雅、蔡菁芳, Trans.).）

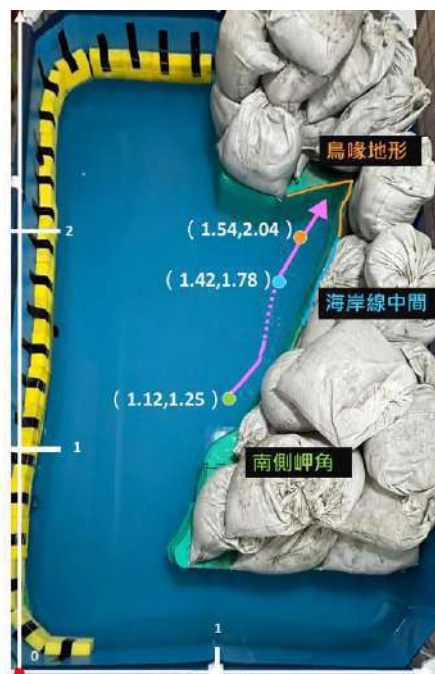


圖 4-3-2、水流路徑擬合圖
（作者自繪）



圖 4-3-3、水下 5 公分（定錨）監測實驗照片
（作者拍攝）

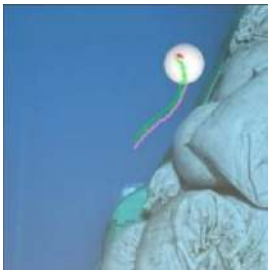
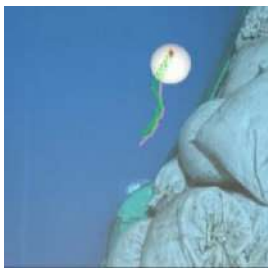
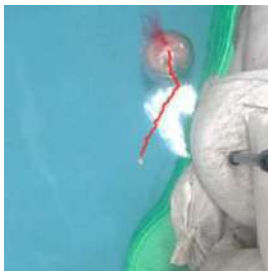
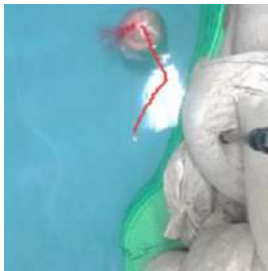
11. 關於模組測量精準度的探討

- (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、起波頻率 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。（如表 4-3-6）

- (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

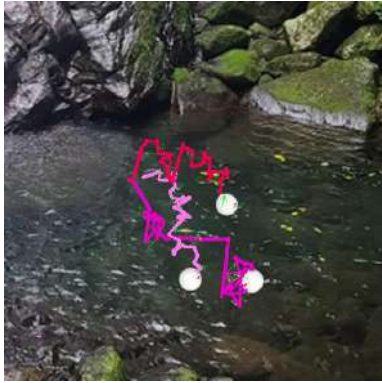
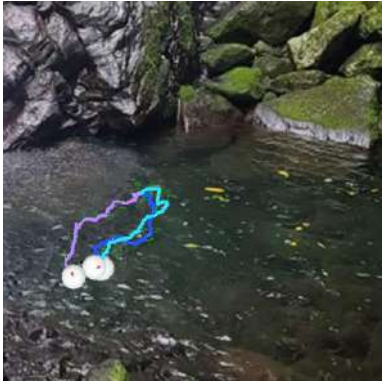
模組 3D 模擬圖			
影片觀測路徑圖			

四、青山瀑布未知水流流場監測實驗

(一) 實驗結果

※原始數據加速度、角度變化圖請參閱附錄三：青山瀑布未知水域監測。

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。

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

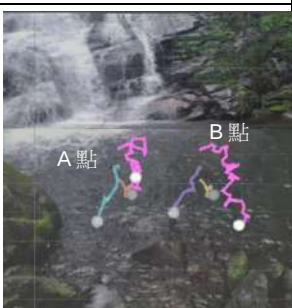
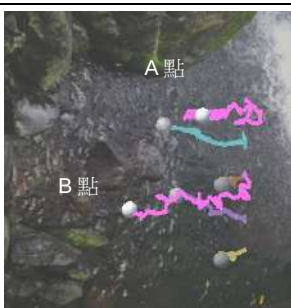
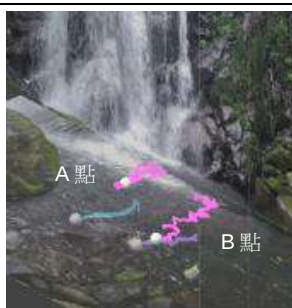
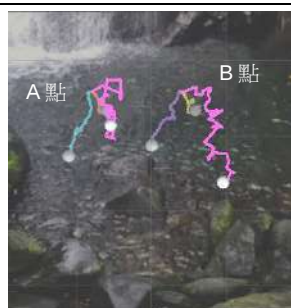
	正面斜視圖	斜面側視圖	斜視圖	俯視圖
A 點				
B 點				
AB 點結果比較				



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)

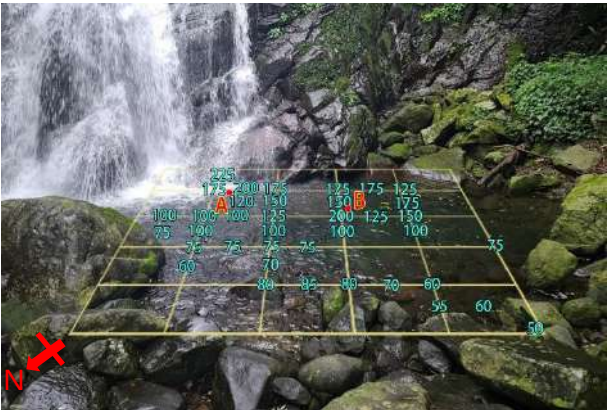


圖 4-4-2、青山瀑布不同地點深度圖
(單位：公分，每格邊長約為 120 公分)
(作者自繪)

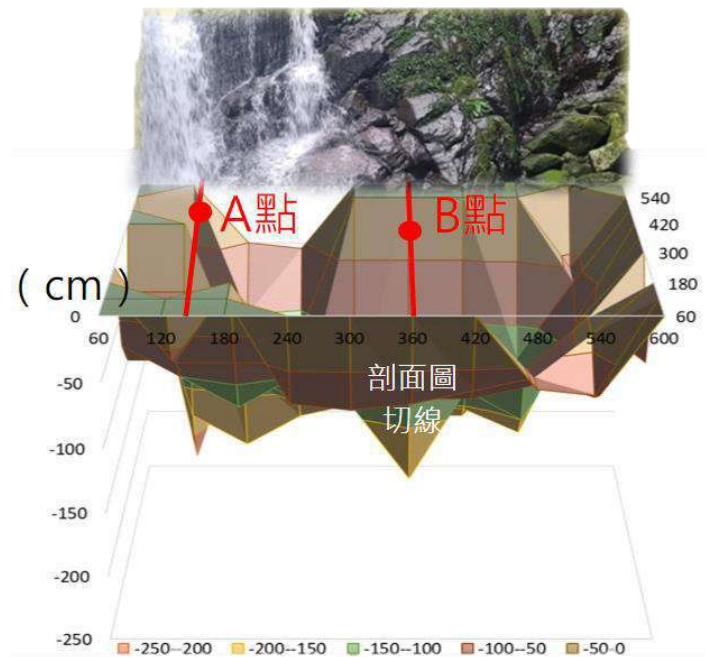


圖 4-4-3、瀑布水域地形立體模型（單位：公分）（作者自繪）

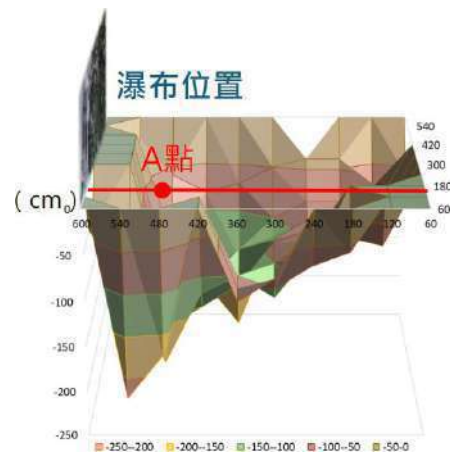
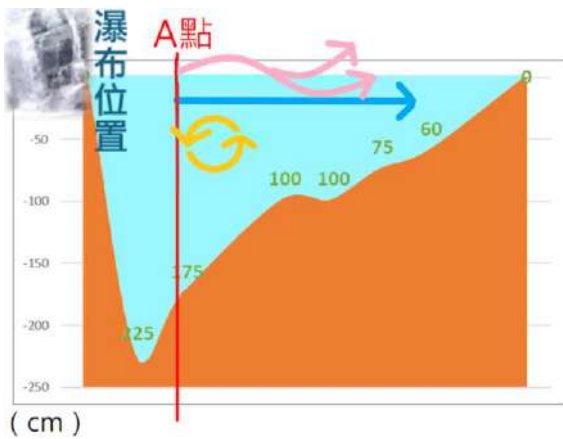


圖 4-4-4、A 監測點地形剖面與水流示意圖及地形立體模型（作者自繪）

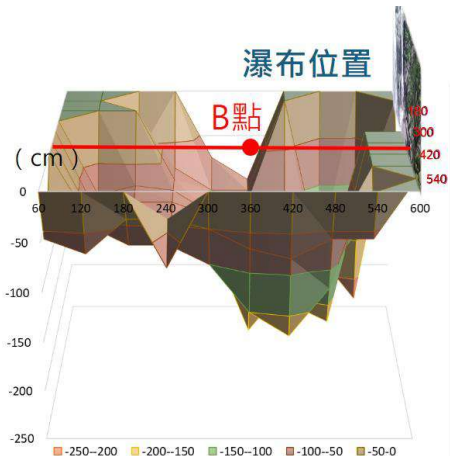
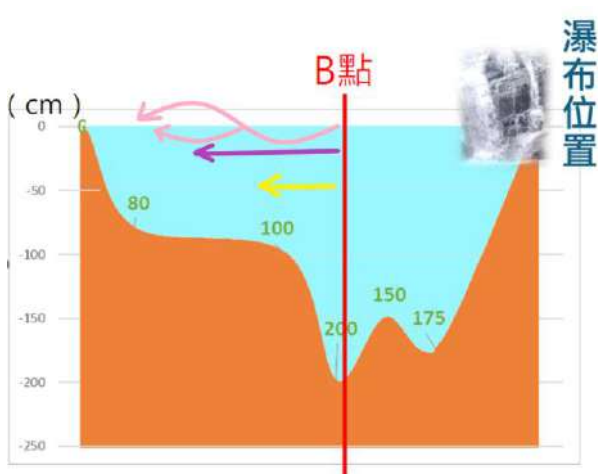


圖 4-4-5、B 監測點地形剖面與水流示意圖及地形立體模型（作者自繪）

(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漩渦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並建立模型。
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，及目測水深較深，且常有遊客下水之瀑布中心左前方約 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 A 點短。	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，如表 4-4-2，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。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。
6. 圖 4-4-3 為青山瀑布的立體模型，我們在 A、B 兩點縱切製作地形剖面圖（如圖 4-4-4、4-4-5），在瀑布下的 A 點可以看到水深較深，可能是漩渦產生的位置，而在 B 點地形剖面圖中可以發現有斷層式的地形落差，民眾應多加注意避免發生危險。
7. 我們希望未來可以和警消單位或大型研究團隊合作，在各地以簡易水流流場監測模組監測水流狀況，搭配空拍照與地形圖，建立全台危險水域自動化資訊平台，提供民眾查詢水流狀況與警示資訊，並在各地設立告示牌，讓遊客下水前可以事先了解水流狀況，避開危險區域進行活動，減少意外發生。（如圖 4-4-6、4-4-7）



圖 4-4-6、自動化資訊平台操作畫面（作者製作之系統截圖，底圖擷自 Google Maps）

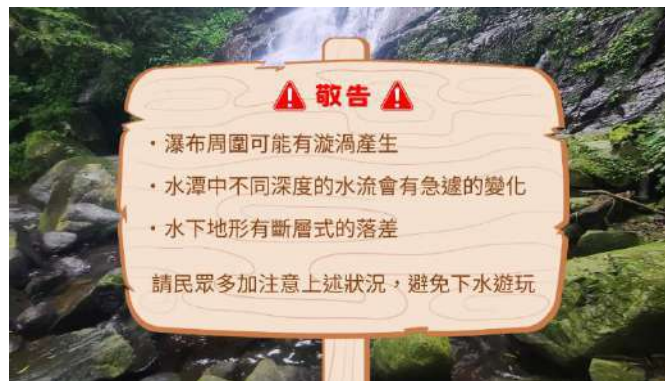


圖 4-4-7、青山瀑布告示牌（作者自繪）

五、球形水流流場監測模組硬體與 GPS 浮標定位系統研發

（一）實驗結果

1. **防水效果測試：**以繩子連接監測模組與浮標，並放置於水位高度為 60cm 的大型水桶底部，持續 36 小時，無進水情形，防水效果良好。
2. **耐壓效果測試：**將監測模組放置於蓄水池水下 130cm 處，持續 4 小時，改良後的監測模組無進水與外觀變形，可承受較大水壓。
3. **3D 動態模擬測試：**於開放空間崎嶇石子路面環形路徑進行模擬監測，可描繪出監測模組移動移動軌跡，確立改良後的監測模組具有可用性。（如圖 4-5-1）
4. **GPS 追蹤測試：**於開放空間環形路徑進行模擬監測，由下圖 4-5-2 的結果可知，GPS 浮標定位模組可描繪出監測模組移動軌跡，並協助監測模組的追蹤和回收。

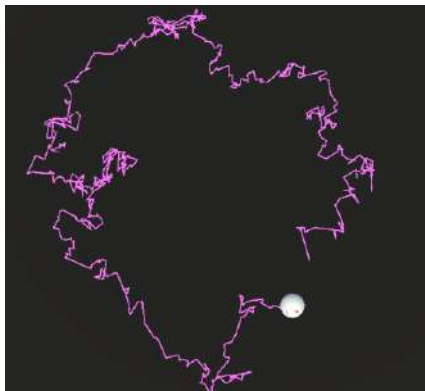


圖 4-5-1、於開放空間環形路徑進行模擬監測 3D 路徑模擬圖



圖 4-5-2、於開放空間環形路徑進行 GPS 軌跡監測與紀錄（作者製作，底圖擷自 Google Maps）

（二）實驗討論

1. 改良後的鋁合金外殼模組防水效果佳且可承受至少 130cm 以上的水深而不變形或漏水，適用於更深更廣的水域監測。使用保麗龍隔板進行空間配置，球體內部的模組盒及鉛塊皆可固定不受晃動影響而產生過大的實驗誤差。鋁合金外殼的監測模組不易變形，外殼拆卸及組裝更好操作。
2. 水流流場監測模組與具 GPS 定位的浮標結合，可組合出一耦合水流流場監測模組，可在水面上下同時監測水流情形，且方便使用者定位模組位置，協助監測模組的追蹤和回收，未來亦可加入 Wi-fi 與 IoT-SIM 傳輸經緯度的設計，擴充模組使用功能。
3. 耦合水流流場監測模組組成示意圖：

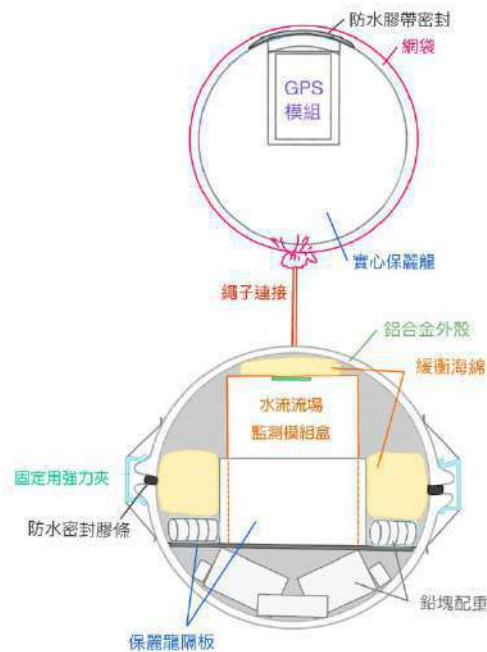


圖 4-5-3、監測模組與浮標內部構造示意圖（作者自繪）

伍、結論與未來展望

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。
- (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流場狀況。
- (三) 本研究建立手機 App，增加系統的使用方便性與即時性。我們也希望未來可以和警消單位或大型研究團隊合作，在各地監測水流狀況，搭配空拍照與地形圖，建立全台危險水域自動化資訊平台，提供查詢水流狀況與警示資訊使民眾避開危險區域進行活動，減少意外發生。

二、沙崙海水浴場模型水流流場監測實驗

- (一) 在水面上監測時，模組易受風的影響，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，路徑穩定，每次實驗結果都很相近。
- (二) 由參考文獻《步步驚魂---沙崙海水浴場的美麗與憂愁》中指出沙崙海水浴場夏季海流由西南方流入南側岬角，順著海岸地形流動的沿岸流，在鳥喙地形位置與入射北側岬角的反射波匯合，朝著公司田溪的鳥喙位置前進後往再岸邊繞行，與監測模組描繪的結果相符，確認本研究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) 在與瀑布中心不同距離所產生的瀑布水流可能會有極大的差異，如在離瀑布中心較近的 A 點水下 50cm 處會有漩渦產生，使模組不易移動而在原地翻滾，但在離中心較遠處的 B 點則水流較緩且漩渦不明顯。而在水下 30cm 處離瀑布較近的 A 點，監測模組會受到較強勁的水流影響，移動的方向較 B 點穩定，距離也稍遠。
- (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。

四、耦合水流流場監測模組

- (一) 水流流場監測模組以鋁合金外殼包覆內部晶片模組，可以加強防水、耐壓的功能，提升監測深度、廣度與耐劇烈的水流變化的能力，優化監測水流的品質。
- (二) 水流流場監測模組結合具有 GPS 功能的浮標，可以追蹤監測模組最終的監測位置，可回收模組再利用。浮標在 Google Maps 紀錄的移動路徑，可以輔助監測模組對於水流的流向觀察。若未來搭配 Wi-fi 與 IoT-SIM 傳輸經緯度，更可即時收集水流現況提供有關單位使用。還可以藉由改變模組與浮標二者連結的繩索長度，方便探測不同深度的水流。
- (三) 本研究區域水流流場 3D 重建系統模式：

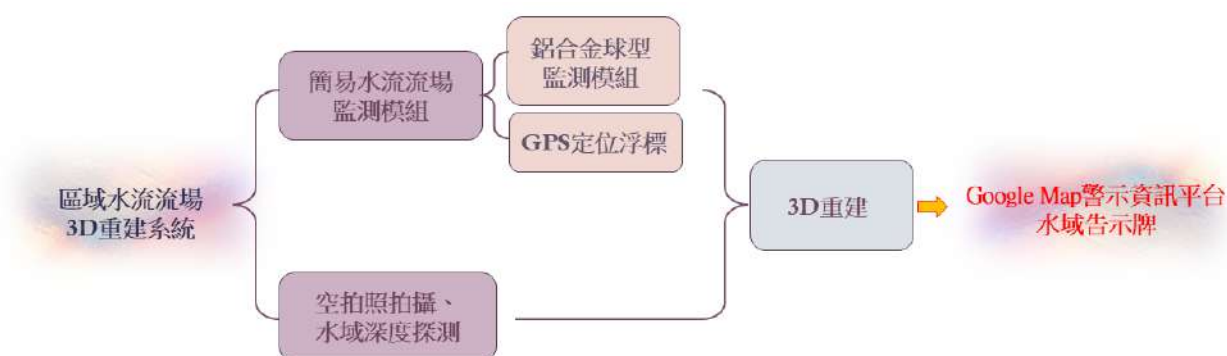


圖 5-4-1、區域水流流場 3D 重建系統模式圖（作者自繪）

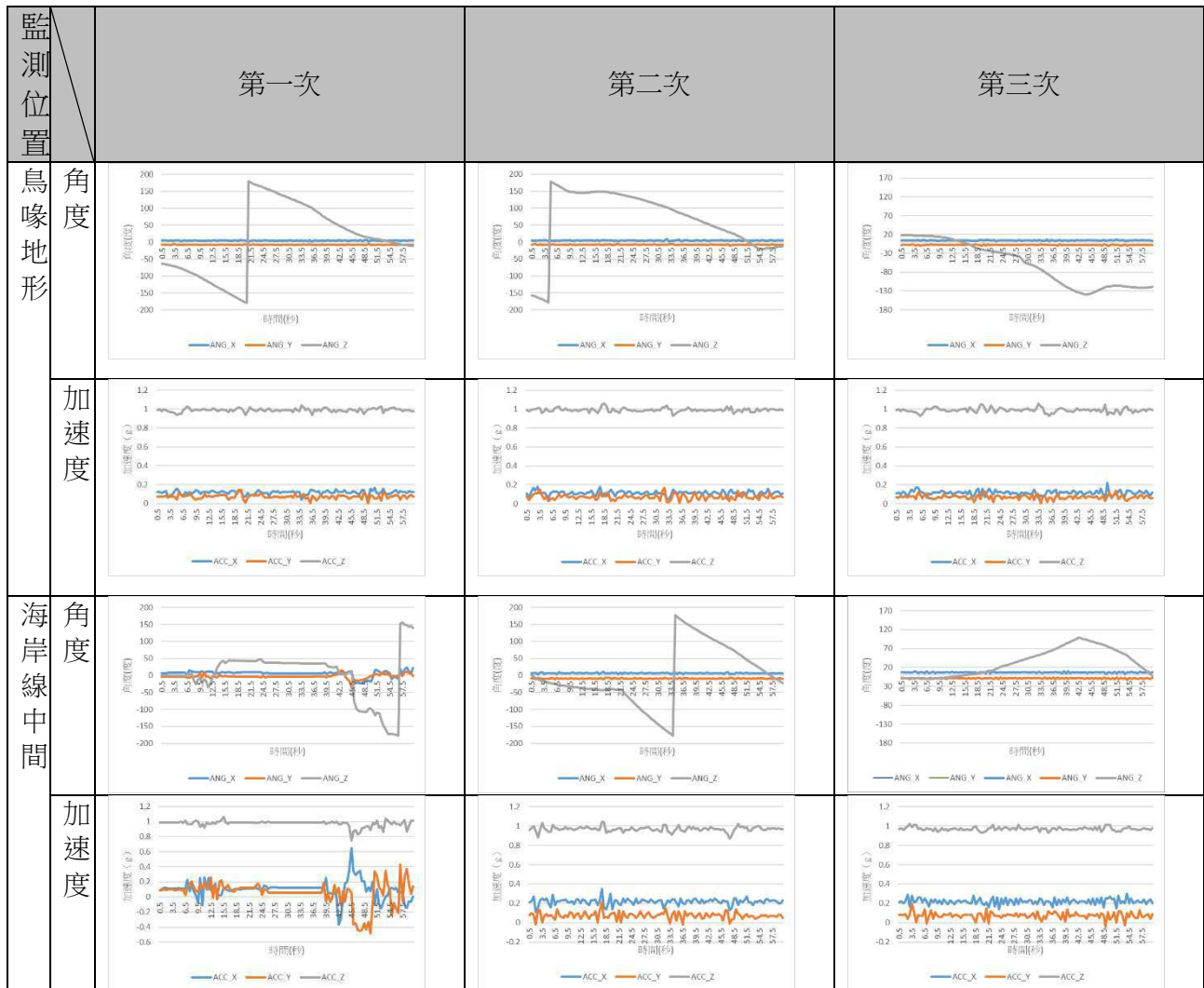
陸、參考文獻資料

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、葉容妤。瀑布、深潭、上下捲動的水流。
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/080511.pdf>
5. Lutgens, Tarbuck, & Tasa (n.d.). 觀念地球科學 3:海洋・大氣(黃靜雅、蔡菁芳, Trans.).
6. TechWeb 電源設計技術資訊網站。加速度感測器的工作原理。
<https://techweb.rohm.com.tw/product/sensor/sensor-device/sensor-device-basic/4892/>

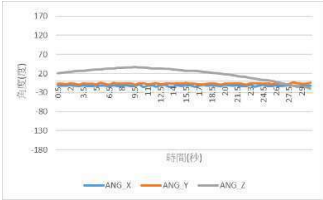
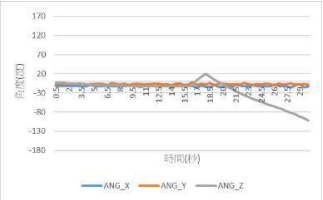
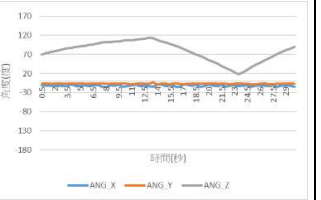
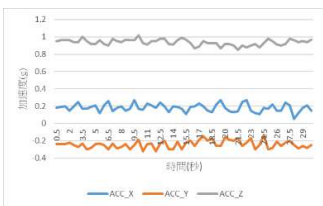
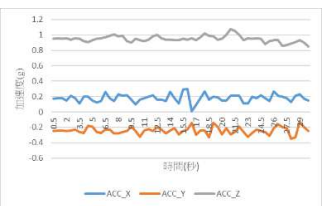
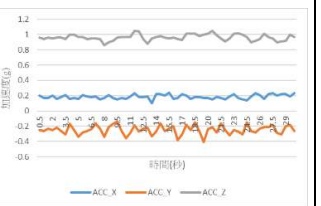
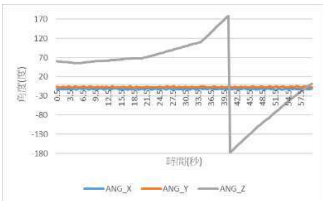
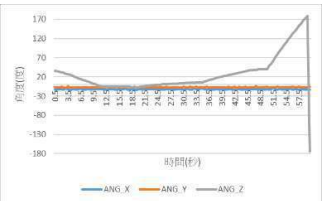
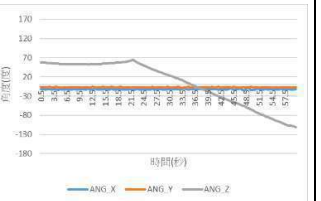
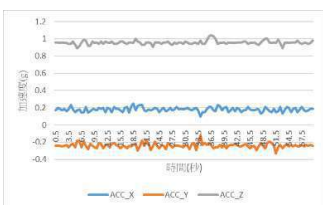
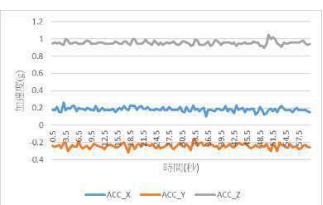
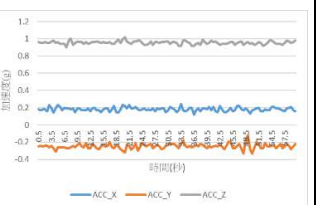
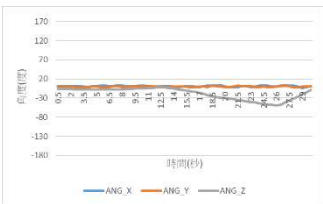
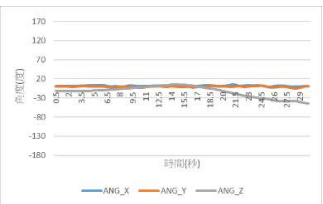
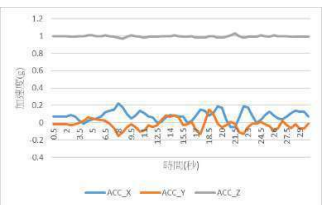
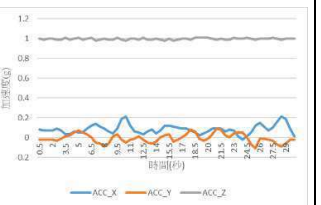
附錄、原始實驗數據

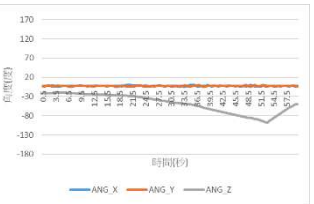
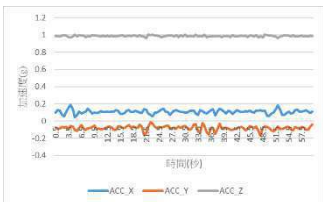
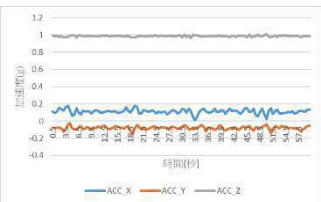
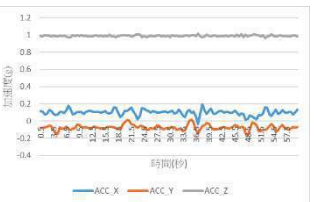
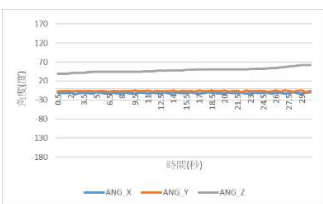
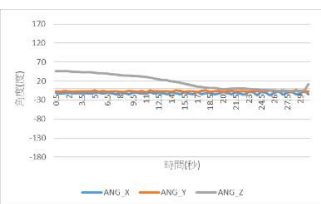
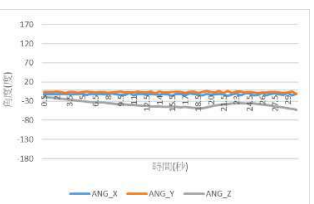
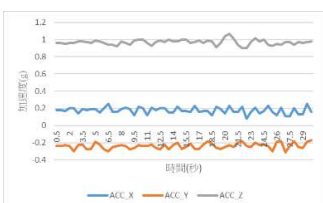
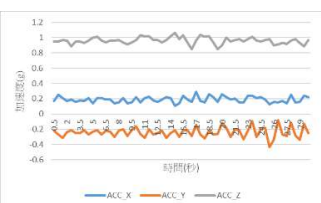
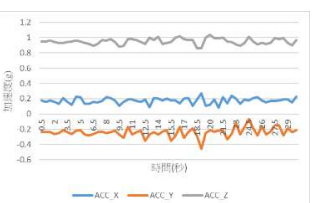
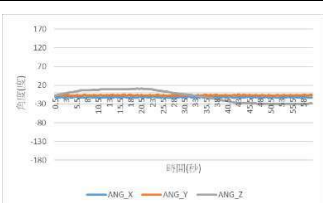
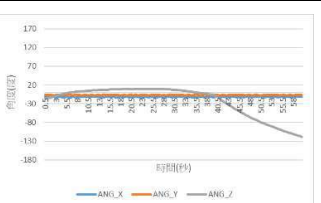
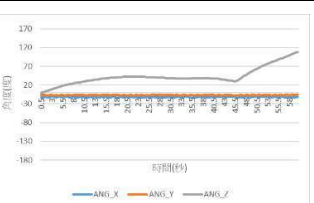
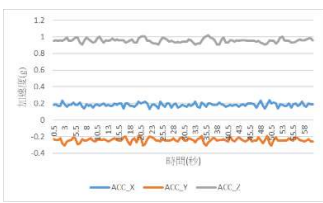
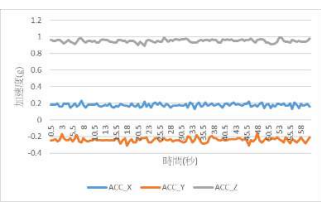
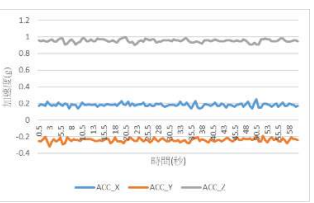
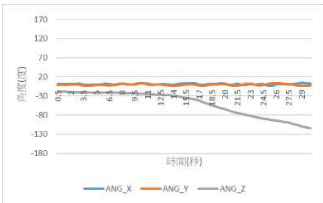
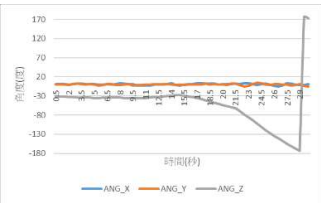
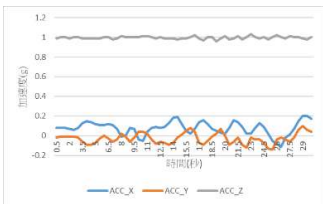
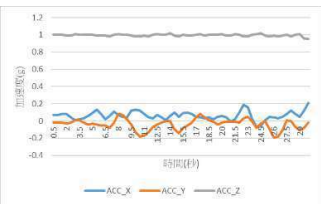
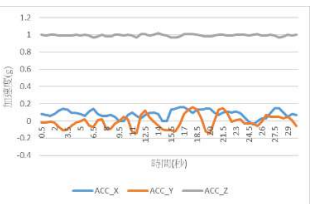
※實驗原始數據過於龐大，因此省略呈現。此數據圖表與實驗結果使用的數據相同。

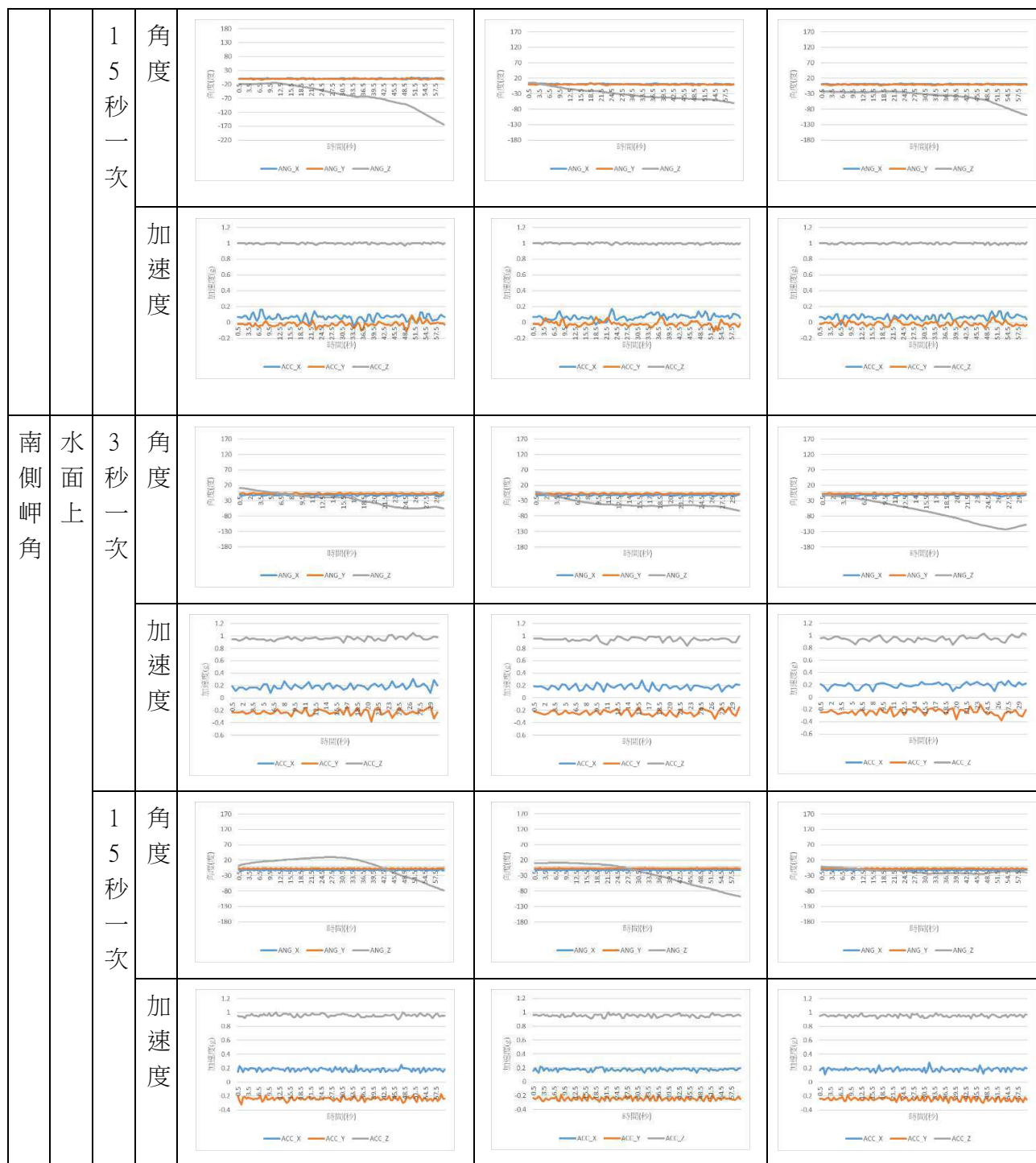
一、沙崙海水浴場沙包模型水流流場監測

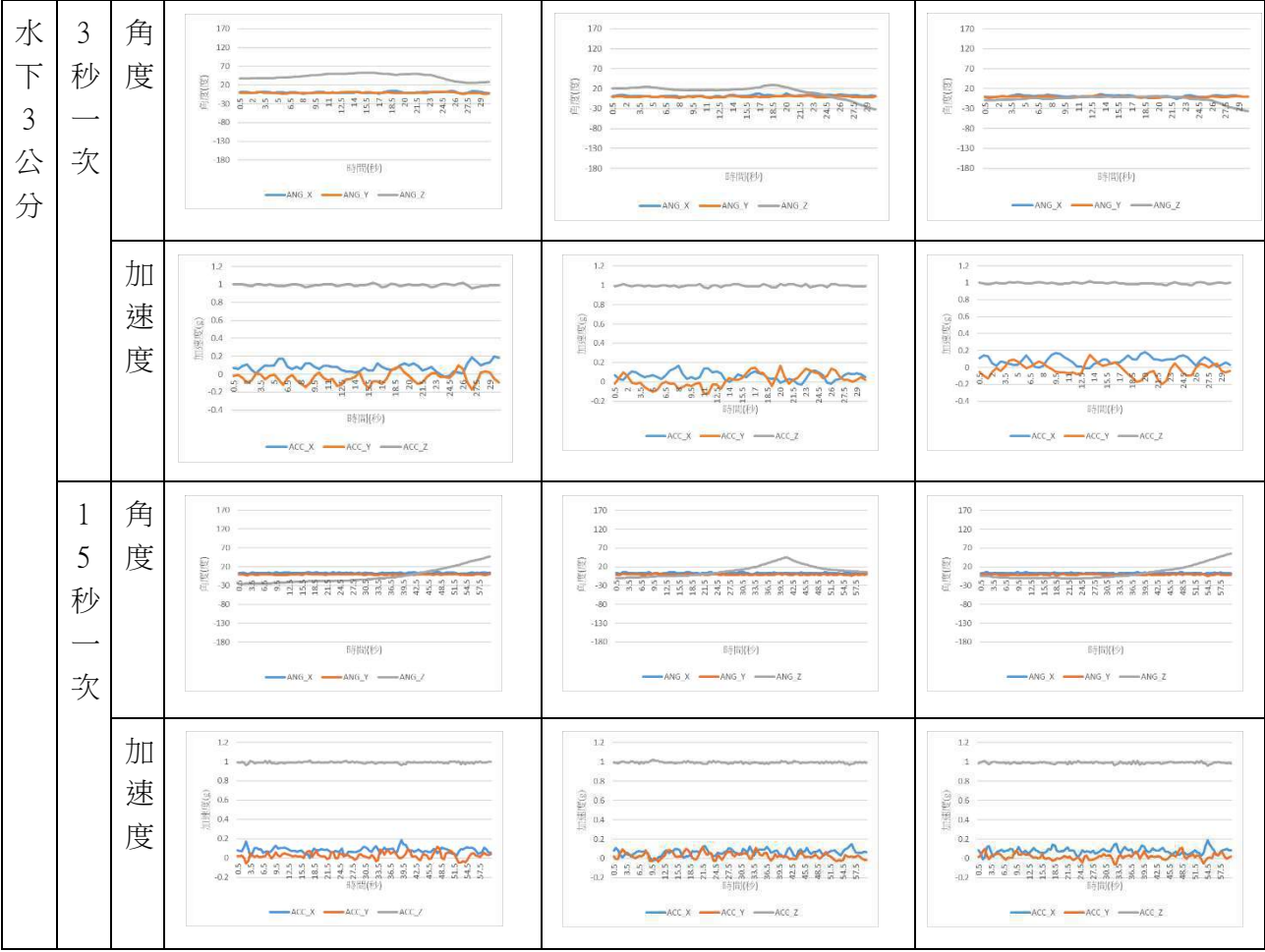


二、沙崙海水浴場塑膠墊模型水流流場監測

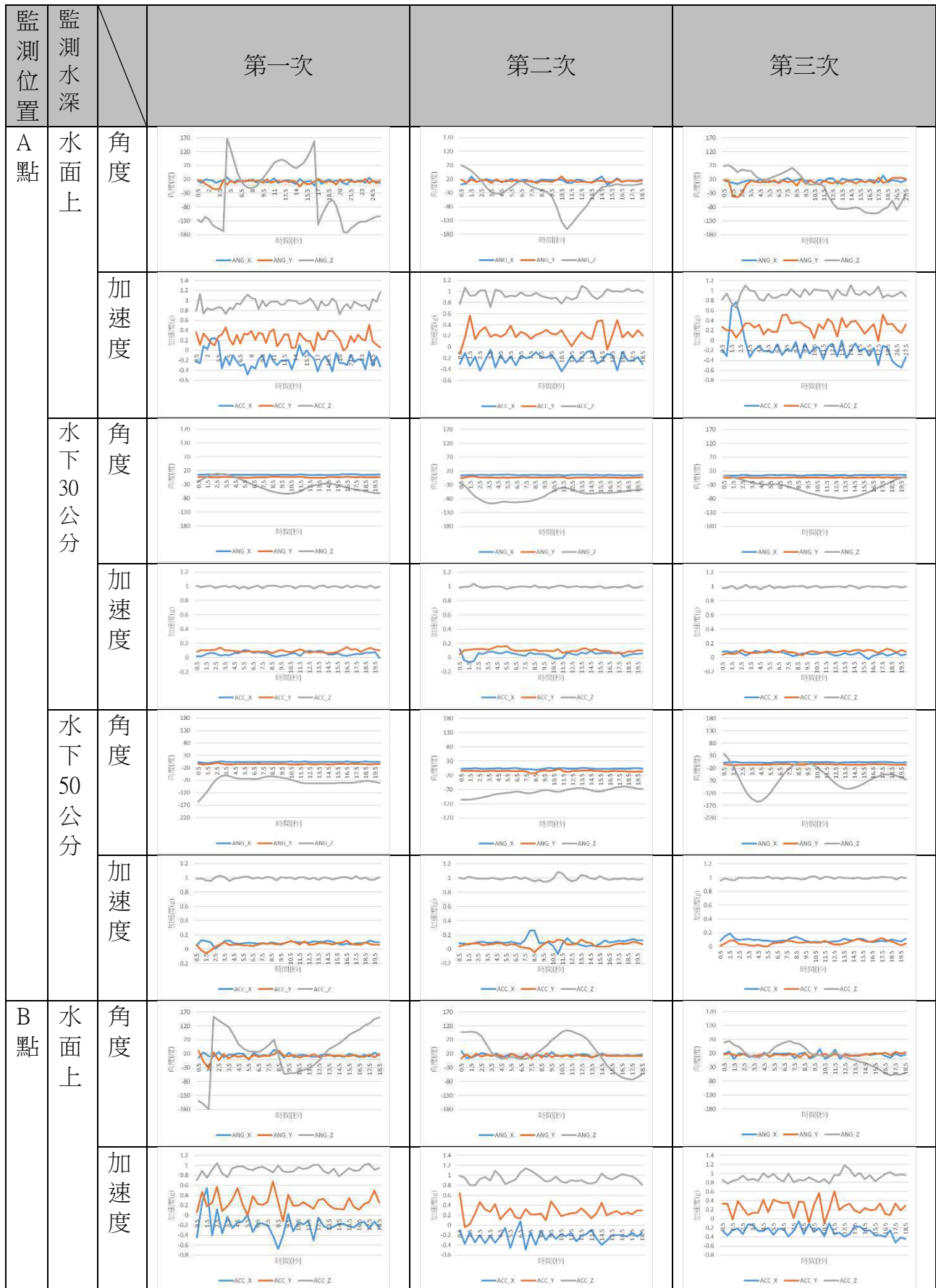
監測位置	監測水深	起波頻率		第一次	第二次	第三次
鳥喙地形	水面上	3 秒一次	角度			
			加速度			
		1 5 秒一次	角度			
			加速度			
	水下 3 公分	3 秒一次	角度			
			加速度			

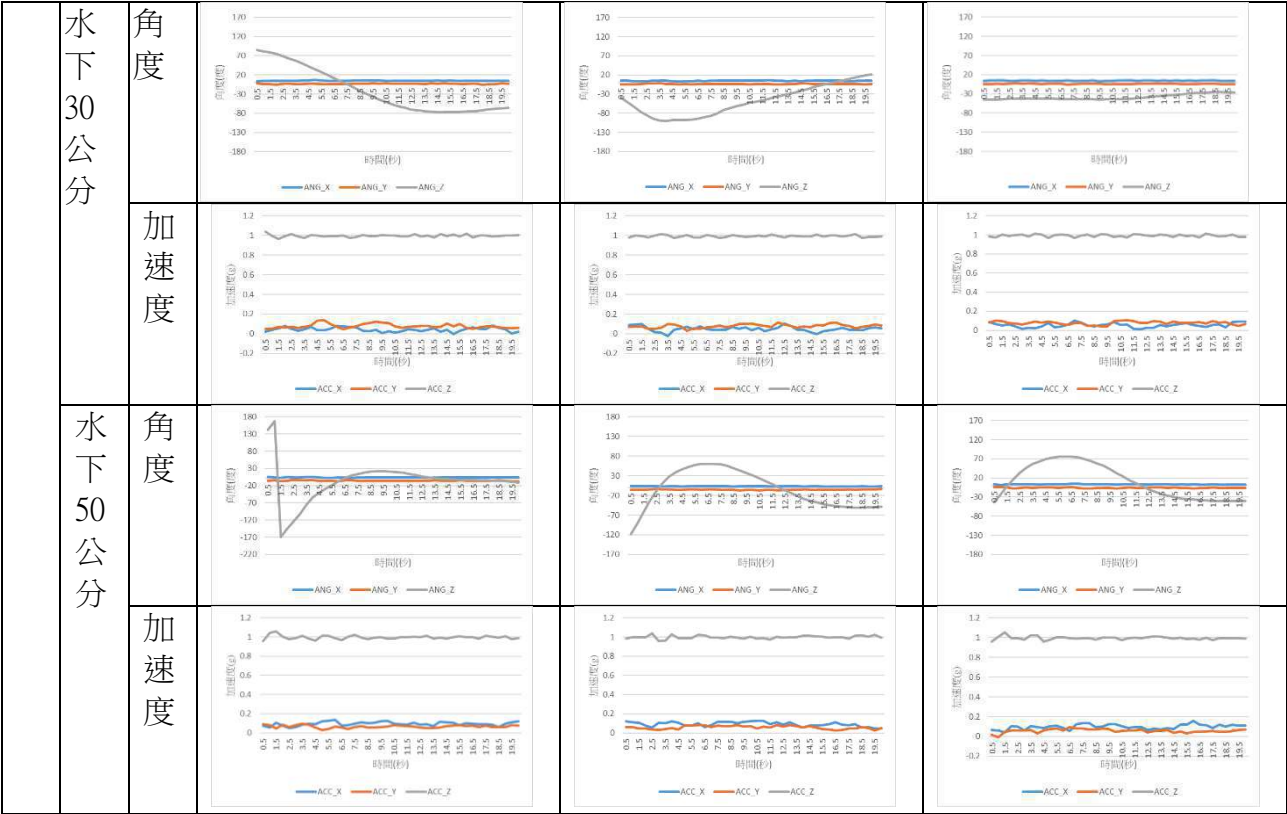
海岸線中間	水面上	1 5 秒 一次	角度			
			加速度			
		3 秒 一次	角度			
			加速度			
		1 5 秒 一次	角度			
			加速度			
	水下 3 公分	3 秒 一次	角度			
			加速度			





三、 青山瀑布未知水流流場監測





【評語】100031

1. 此一作品嘗試建立區域水流流場之 3D 模型，主要發展與整合多項技術包含感測器、浮球、unity 軟體等，有一定挑戰度。
2. 有關資料之處理與量測建議針對各不同裝置特性與誤差有所了解與律定以利後續分析之應用。另可以參考流體力學之理論結合三維模型進行分析。再者，是否有考慮風之影響？
3. 本作品延續第 64 屆中小學科學展覽會「浮踪浪跡——簡易水流流場監測模組的建立與探討」的工作，主要增加了 GPS 模組用於青山瀑布。或許因時間有限，大部分的結果均與先前科展相同。若能利用此新設計的浮標，重複先前的工作並做比較，本作品將更加完整。
4. IMU 本身積分誤差非常大（1 秒有時累計誤差就很搭大），如何在 15 秒的時間長度可以收到有效數據，請進一步確認。
5. 水下定高度的數據收集倚賴水面有一個浮球，則水面和水下之間即產生約束，流場無法任意生成，請討論此約束所多產生的影響。