

# 新竹市第四十二屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別： 物理科

組 別： 國中組

作品名稱： 隨波逐流-垂直振盪波的頻率與振幅對表面水流的運動現象探討與應用

關 鍵 詞： 垂直振盪波、法拉第波

# 隨波逐流-垂直振盪波的頻率與振幅對表面水流的

## 運動現象探討與應用

### 摘要

本研究主要探討是否能利用垂直振盪波產生表面水流的運動來遠端取物，藉由不同的頻率與振幅產生的垂直振盪波與表面水流觀察的實驗，找出其中的關聯性。透過實驗我們發現在一定的頻率與振幅以上的垂直振盪波，可以讓遠端的漂浮物從推向遠端變成拉回波源產生處。另外，我們也藉由改變水的深度和震動體的大小來觀察在一定的頻率與振幅下的水流變化，探討對表面水流的影響。最後，我們加入干擾源，希望可以模擬真實應用下的情形，來觀察干擾源對於表面水流的影響。

### 壹、前言

#### 一、研究動機

去年九月的時候，我們看見了一個關於牽引波的實驗影片，這讓我們覺得很不可思議，因為按常理來說球應該是被波推著走的，但影片中的球竟然沒有被推走，反而被拉回到震源。加上理化課上了波的傳播課程，所以我們對這個現象很感興趣，好奇到底是在什麼樣的條件下才能出現實驗中的現象，於是設計了這些實驗來嘗試達成影片中的效果，並了解其波動特性及在不同環境下的變化。最後，我們異想天開地認為可以利用這個現象來回收海洋的垃圾，但是考慮到實際狀況會有海浪的干擾，於是我們又設計了干擾波源來模擬海浪，並觀察它的影響。

#### 二、研究目的

目的一：不同的頻率與振幅對表面水流方向影響之現象探討

實驗一：頻率 40Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

實驗二：頻率 30Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

實驗三：頻率 20Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

實驗四：頻率 10Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

目的二：在頻率 30Hz 下，不同的水深度造成水流差異之探討

實驗五：1.4cm 的水深度對表面水流的狀況差異

實驗六：1.7cm 的水深度對表面水流的狀況差異

實驗七：2.1cm 的水深度對表面水流的狀況差異

實驗八：2.5cm 的水深度對表面水流的狀況差異

目的三：在頻率 30Hz 下，不同的振動體大小造成水流差異之探討

實驗九：5\*2\*2cm 的振動體對表面水流的狀況差異

實驗十：15\*2\*2cm 的振動體對表面水流的狀況差異

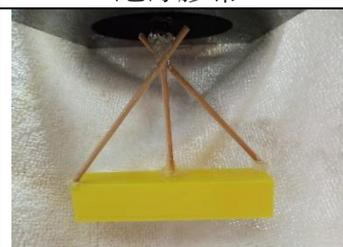
目的四：在頻率 30Hz 下的額外的低頻率的干擾波是否影響水流的形成

實驗十一：頻率接近 0.5Hz 的非固定頻律干擾波對表面水流的影響

實驗十二：頻率接近 1Hz 的非固定頻律干擾波對表面水流的影響

## 貳、研究設備器材與軟體

### (一) 研究設備器材

		
振盪器與信號產生器	支架	水波槽(55.2*55.2*5cm)
		
攝影機	海綿	絕緣膠帶
		
熱熔膠	保麗龍球 (壓克力顏料上色)	3D 列印震動體 (以 10*2*2 為主)
		
棉線	保麗龍塊 (9.5cm*9.5cm*8.5cm)	

(二) 分析軟體

			
Tracker	Google 試算表	HandBrake	Solidworks 3D 軟體

參、研究過程與方法

一、研究架構

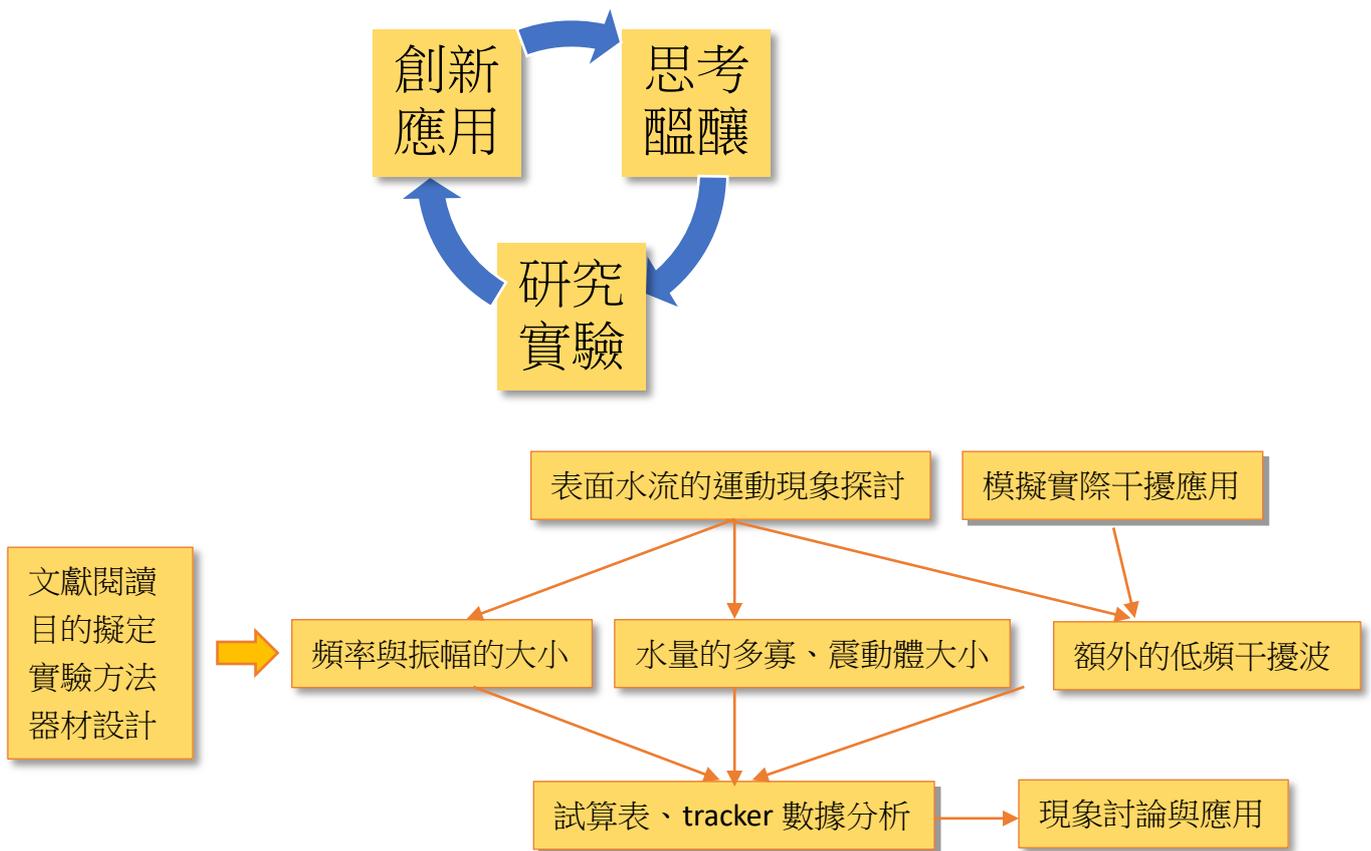


圖 3-1 研究架構說明

## 二、研究原理

一般來說，水面上的漂浮物會隨著水波的傳遞方向而前進，這並不是因為水的表面的水分子也跟著往前進，而是表面的水分子會像行星軌道一樣旋轉，旋轉方向與波前進的方向相同，而且越靠近水的表面旋轉半徑越大。(如右圖 3-2)

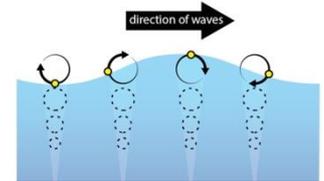


圖 3-2，水分子旋轉與波前進方向相同(取自網路圖片)

當我們在液體表面上施加垂直振動的力時，根據法拉第效應，會產生波動，稱為法拉第波。當頻率適當時，這些波可以形成類似靜止的狀態，即波的節點和波的腹部交替出現，但整體上看起來似乎是靜止的。這樣的波動稱為類駐波，因為它們只在特定條件下才顯示出這種行為，而不是真正的靜止。(如右圖 3-3) 而當振動的頻率或是振幅超過一定的界限的時候，因為產生的調變不穩定，所以原本二維的波轉變成三維的波(如右圖 3-4)，在波的表面產生旋渦，而這個旋渦會把表面的漂浮物帶回到產生振動的波源處。



圖 3-3 類駐波 (取自網路圖片)

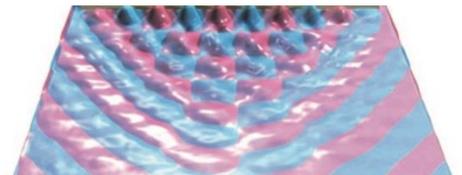


圖 3-4 三維的波 (取自網路圖片)

## 三、名詞定義

- (一) 類駐波(Quasi-standing wave) : Quasi 是指類似的意思，類駐波指的是看起來類似駐波的外觀的波
- (二) 調變不穩定 (Modulation Instability) : 水的調變不穩定性是指在水面波傳播過程中的一種現象。當水波傳播時，如果存在一些外部因素，比如表面張力的微小擾動或者非線性效應，就會導致波的振幅和相位發生週期性的變化，這種現象就稱為調變。如果這種調變導致波的振幅或者相位的某些部分增長，而其他部分減小，那麼就會出現調制不穩定性。
- (三) 法拉第波 : 是一種振盪容器中液面的非線性駐波，當其振盪頻率超過臨界值時，平靜液面就會開始不穩，這現象稱之為法拉第不穩性。
- (四) 頻率響應 : 當向電子儀器系統輸入一個振幅不變，頻率變化的信號時，測量系統相對輸出端的響應。
- (五) 小振幅波(small amplitude wave) : 指的是波動中，相對於平衡或平均位置，波浪的偏離程度相對較小的情況。換句話說，與系統整體尺度或同一系統中其他波浪相比，該波的最大偏移量相對較小。
- (六) 震源 : 振盪器連接 3D 列印震源，接觸水面的位置。在座標軸中的座標 (0, 20)(單位: cm)。

(七) 非固定干擾波震源：以手動操作保麗龍塊製造接近 1Hz、0.5Hz 的干擾波。

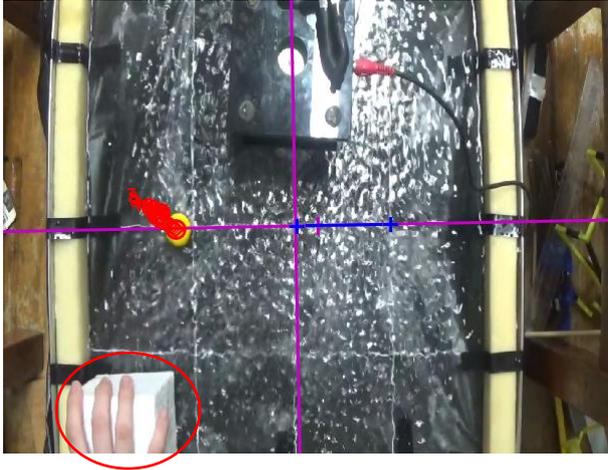


圖 3-5 左下為非固定干擾波波源

(八) 坐標軸：粉紫色之兩線段交點為(0,0)，震源在 y 軸上。

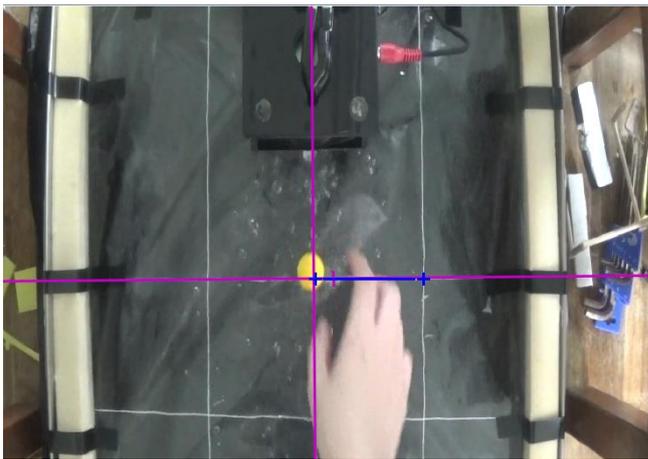


圖 3-6

(九) 推出的水流：為離開震源、使球遠離震源之水流。以圖 3-7 之左邊為例，白色箭頭是一個逆時針之水流。

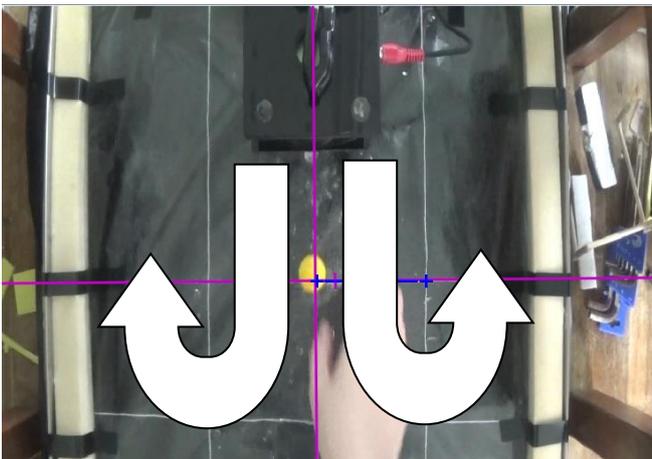


圖 3-7

(十) 拉回的水流：為流向震源、使球靠近震源之水流。以圖 3-8 之左邊為例，白色箭頭是一個順時針之水流。

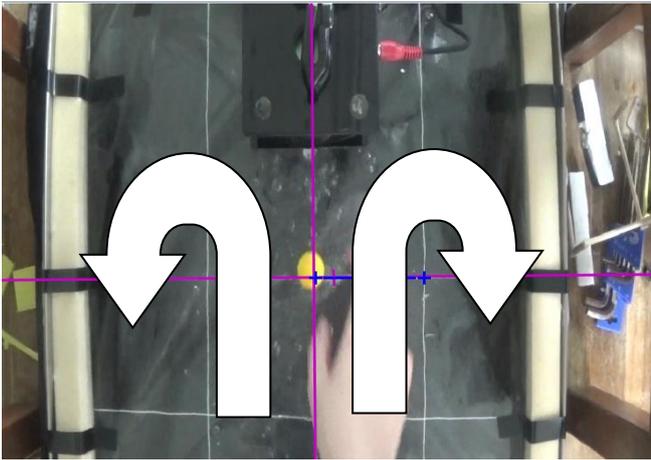


圖 3-8

(十一) 振幅定義：由於振幅是由轉扭控制，又無法測量振幅大小，所以將轉扭之角度分成 50 格以方便精準控制振幅(如圖 3-9)。

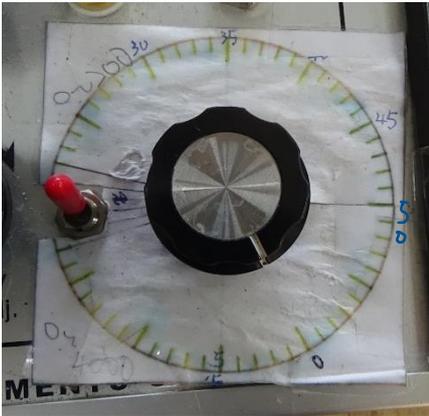
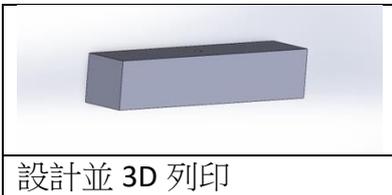


圖 3-9

### 三、實驗方法

(一) 3D 列印製造震動體。



設計並 3D 列印

表 3-1

(二) 架設實驗裝置。

1. 架設攝影機於水槽正上方 70cm 處。
2. 水槽注入水。
3. 3D 列印震動體接上振盪器。
4. 調整振盪器擺放位置，座標為(0,20)。
5. 調整振幅、頻率。

(三) 攝影後，匯入電腦，轉檔後進行分析。

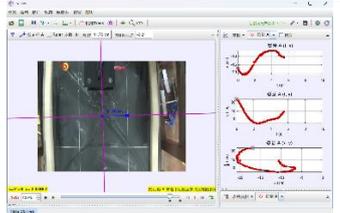
		
攝影機攝影	匯入電腦並轉檔	匯入 tracker 進行分析

表 3-2

## 肆、研究結果與討論

【研究目的一：頻率與振幅對水流方向影響之現象探討】

實驗一：頻率 40Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，震源沒入水中 1.3cm，用振盪器以 40Hz 的頻率，振幅從 5 到 50，以每振幅 5 為間隔，共做出十組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

### 二、實驗結果

振幅	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
40Hz	X	X	X	X	X	X	X	V	V	V

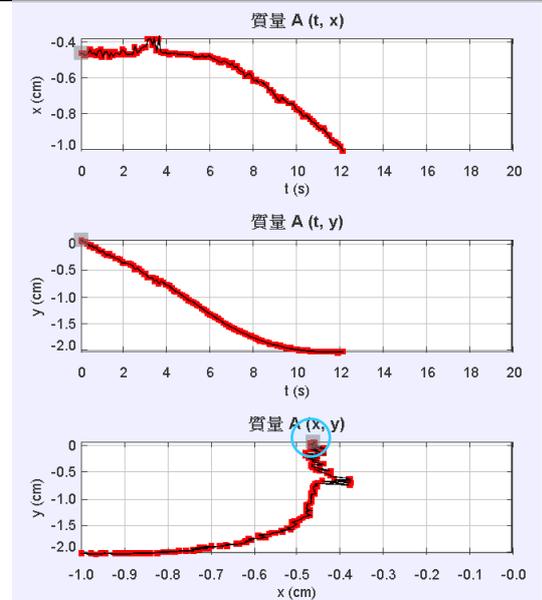
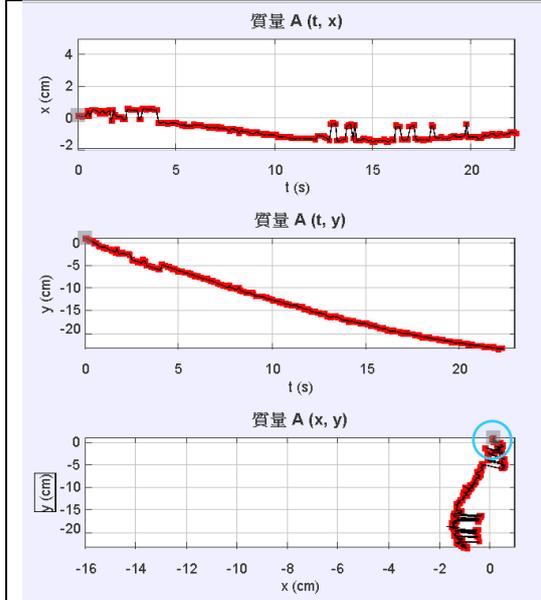
表 4-1 (X: 沒有拉回，V: 有拉回)

固定頻率 40Hz  
 振幅不同  
 (40Hz 振幅數值)

(上)縱軸為 x 軸，橫軸為 t(時間)  
 (中)縱軸為 y 軸，橫軸為 t(時間)  
 (下)縱軸為 y 軸，橫軸為 x 軸

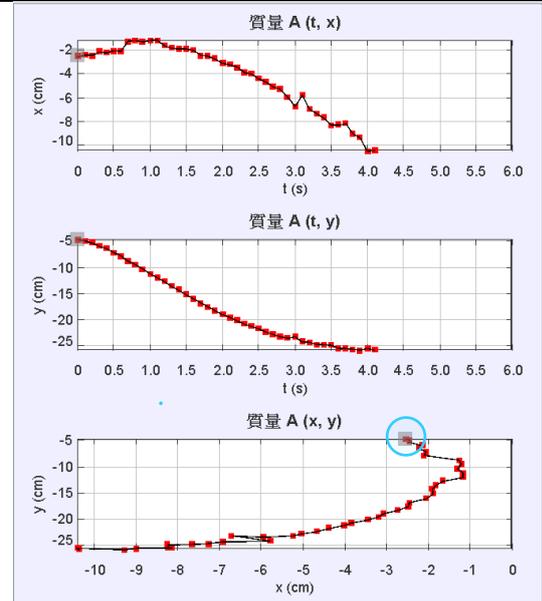
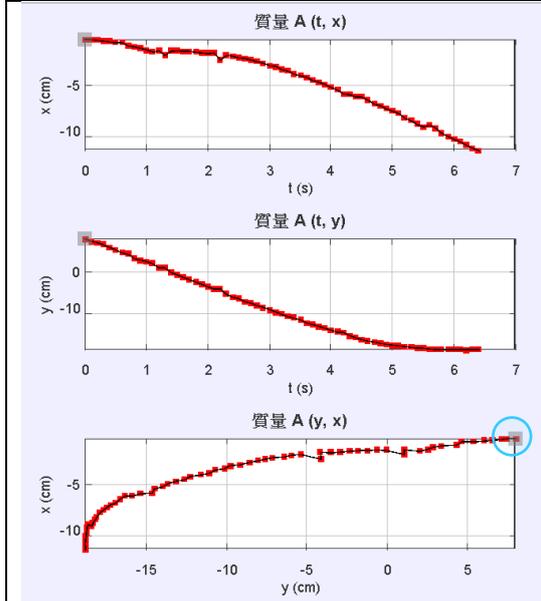
40Hz 5 球之運動軌跡

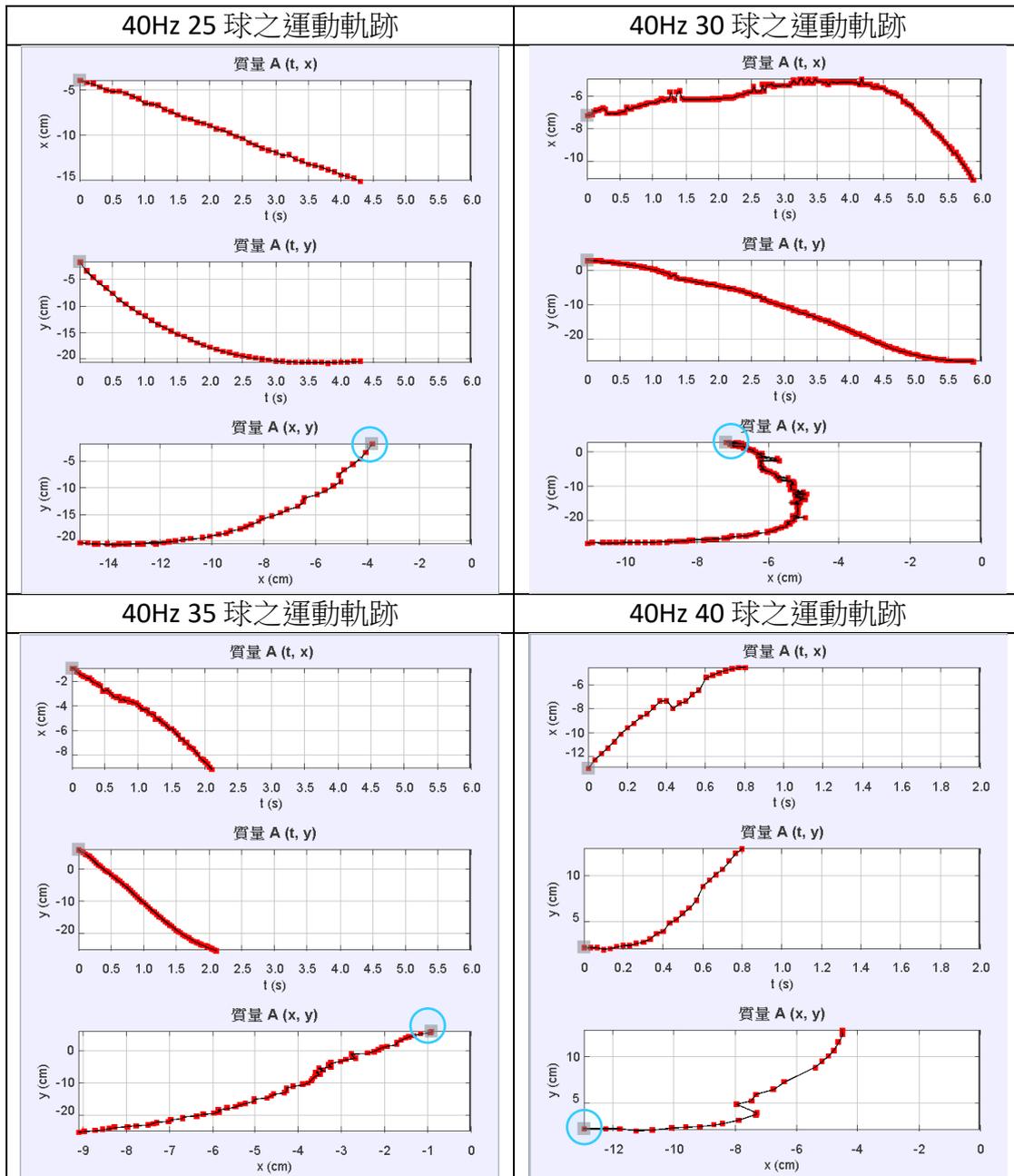
40Hz 10 球之運動軌跡



40Hz 15 球之運動軌跡

40Hz 20 球之運動軌跡





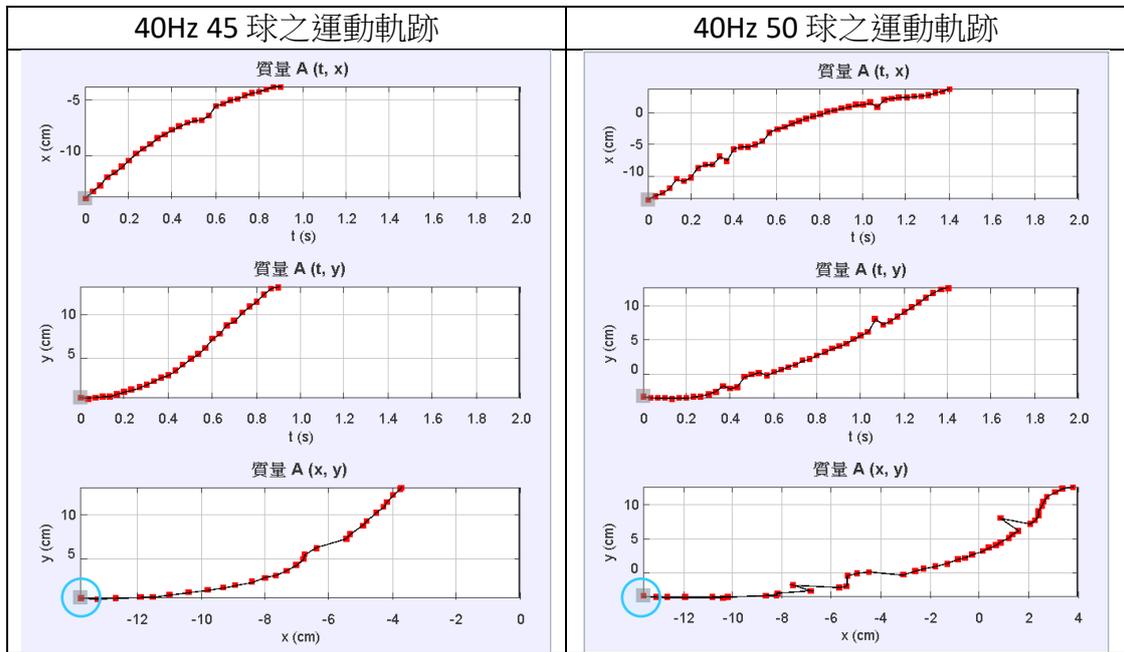


表 4-2(○處為起點)

### 三、分析討論

- (一) 頻率之影響：40Hz 是可產生拉回水流的頻率，但是振幅大小不同會決定水流的方向改變
- (二) 振幅之影響：振幅 40 是一個臨界值，當振幅在 40 以上時便會造成拉回水流，振幅小於 40 時還是產生推出水流，所以可得知振幅會影響其水流方向。

### 實驗二：頻率 30Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

#### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽中注入 4000 毫升之水量，震源沒入水中 1.3cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，振幅從 5 至 50，以每振幅 5 為間隔，共做出十組實驗
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋

#### 二、實驗結果

振幅	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
30Hz	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V

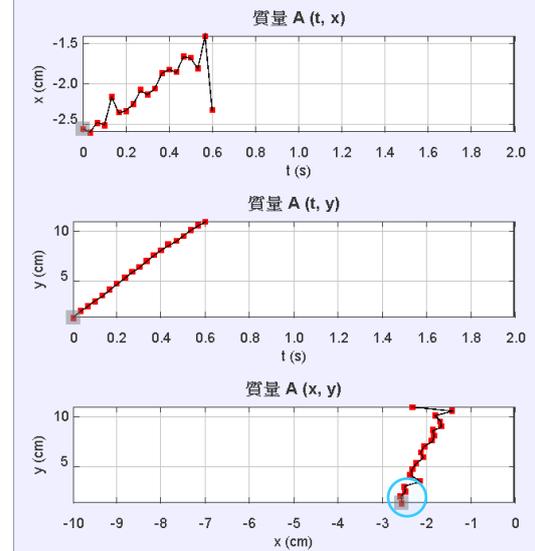
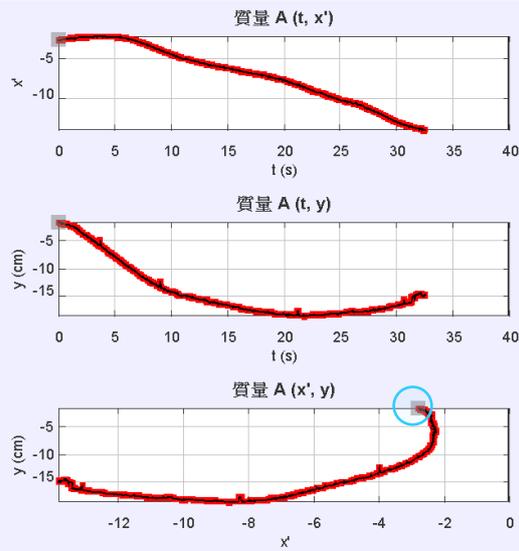
表 4-3(X: 沒有拉回, V: 有拉回)

固定頻率 30Hz  
 振幅不同  
 (30Hz 振幅數值)

(上)縱軸為 x 軸，橫軸為 t(時間)  
 (中)縱軸為 y 軸，橫軸為 t(時間)  
 (下)縱軸為 y 軸，橫軸為 x 軸

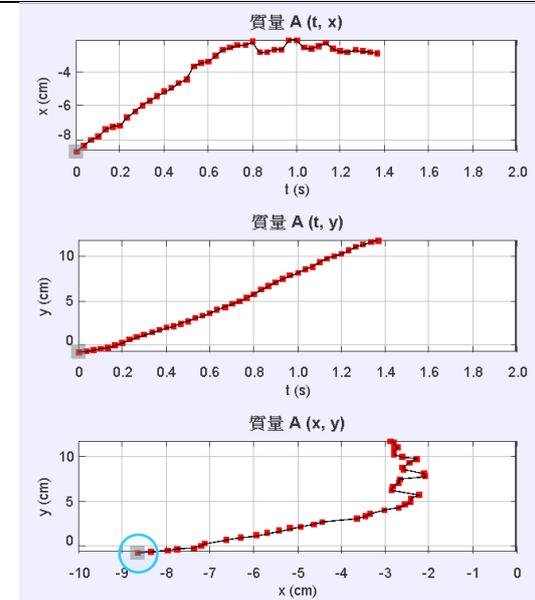
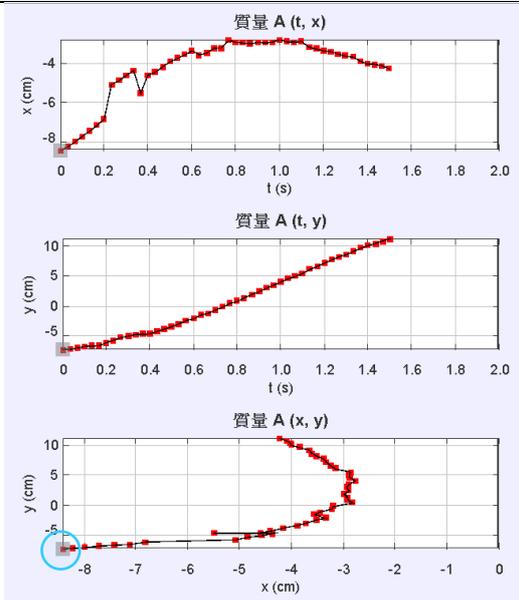
30Hz 5 球之運動軌跡

30Hz 10 球之運動軌跡

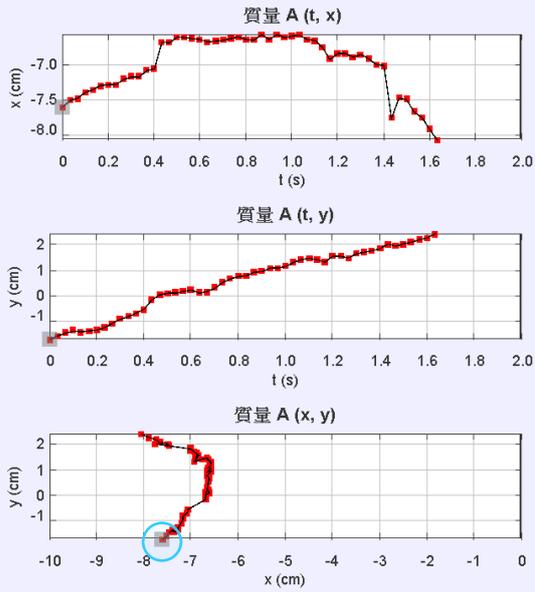


30Hz 15 球之運動軌跡

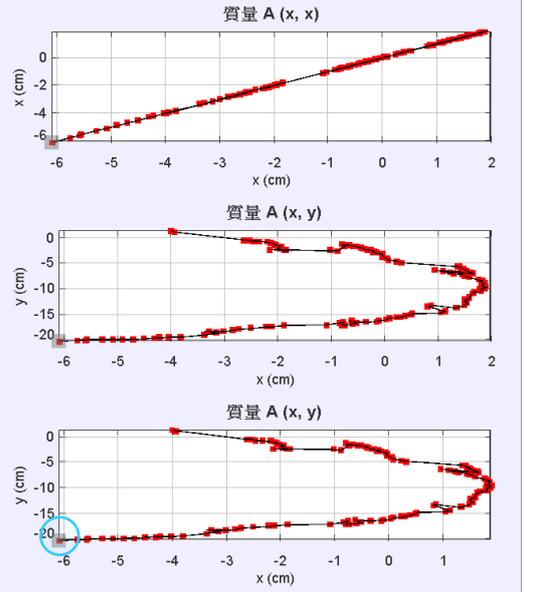
30Hz 20 球之運動軌跡



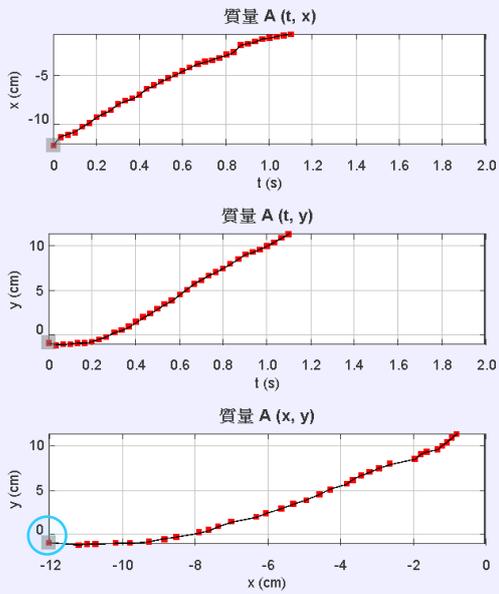
30Hz 25 球之運動軌跡



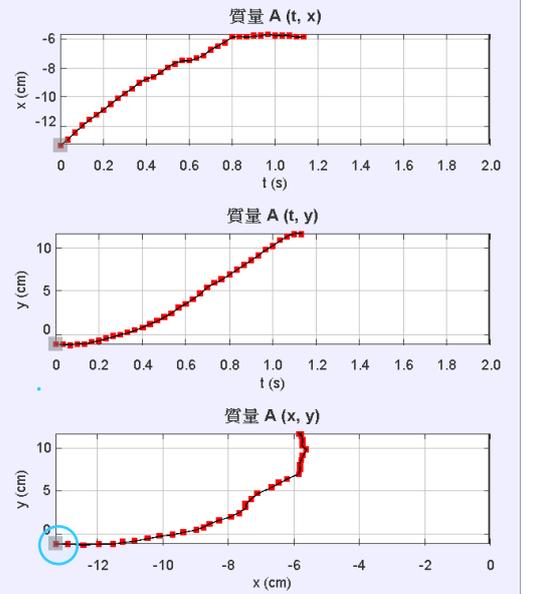
30Hz 30 球之運動軌跡



30Hz 35 球之運動軌跡



30Hz 40 球之運動軌跡



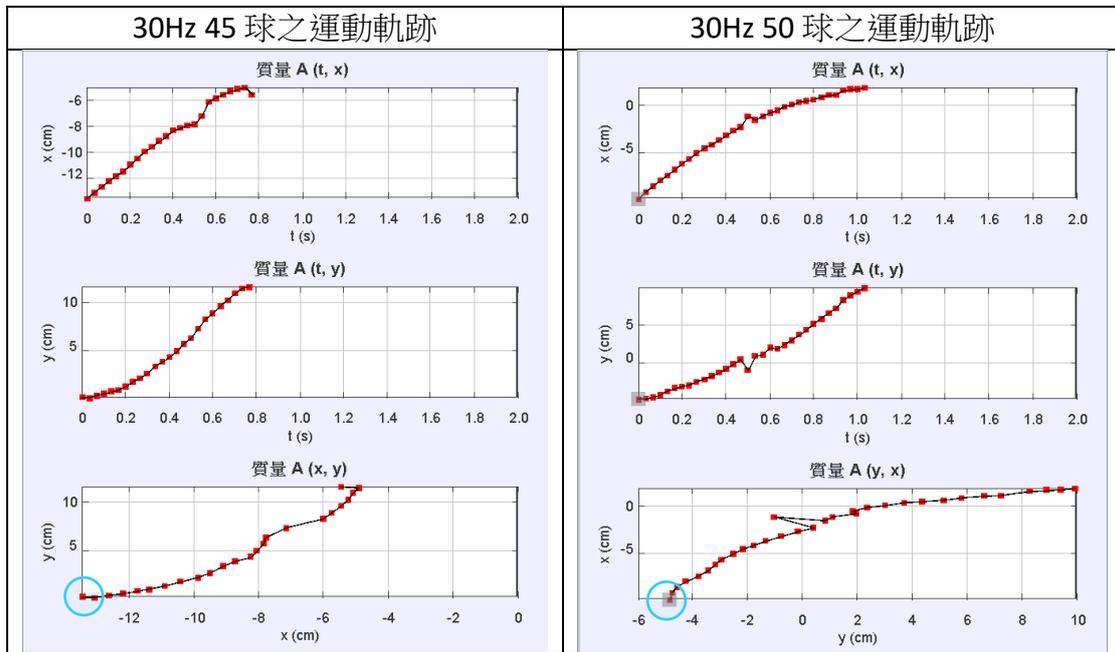


表 4-4(○處為起點)

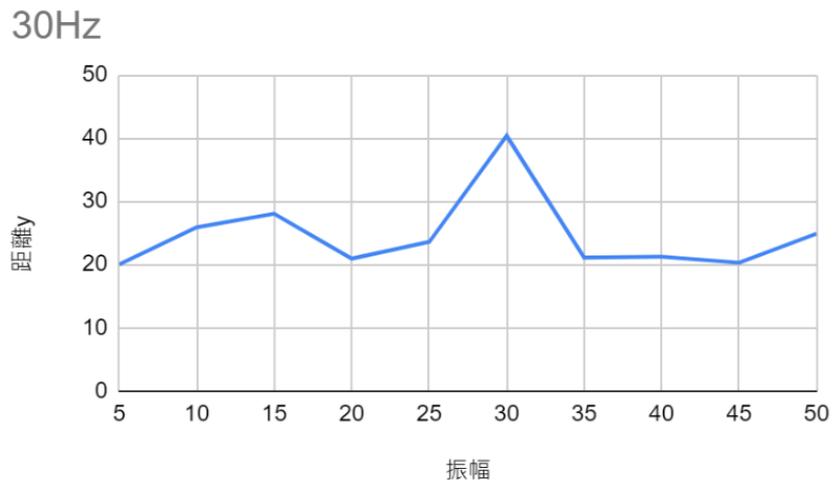


表 4-5 振幅及球距震源距離最遠可拉回

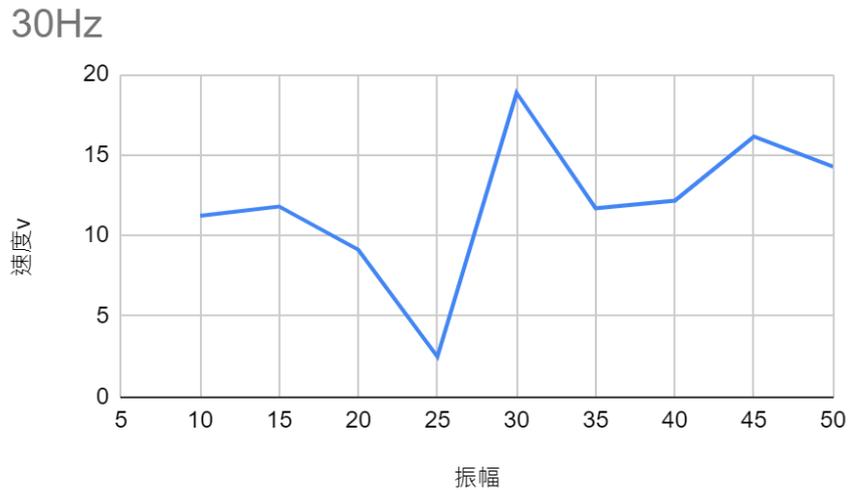


表 4-6 振幅及球之運動平均速率

### 三、分析討論

- (一) 頻率之影響：30Hz 是可產生拉回水流的頻率，但是振幅大小不同決定水流的方向的改變
- (二) 振幅之影響：振幅 10 是一個臨界值，當振幅在 10 以上時便會造成拉回水流，振幅小於 10 時還是產生推出水流，所以可得知振幅會影響其水流方向。另外，發現振幅在 30 時的拉回距離最長，拉回速度也是最快。

### 實驗三：頻率 20Hz 與不同振幅對表面水流的狀況差異

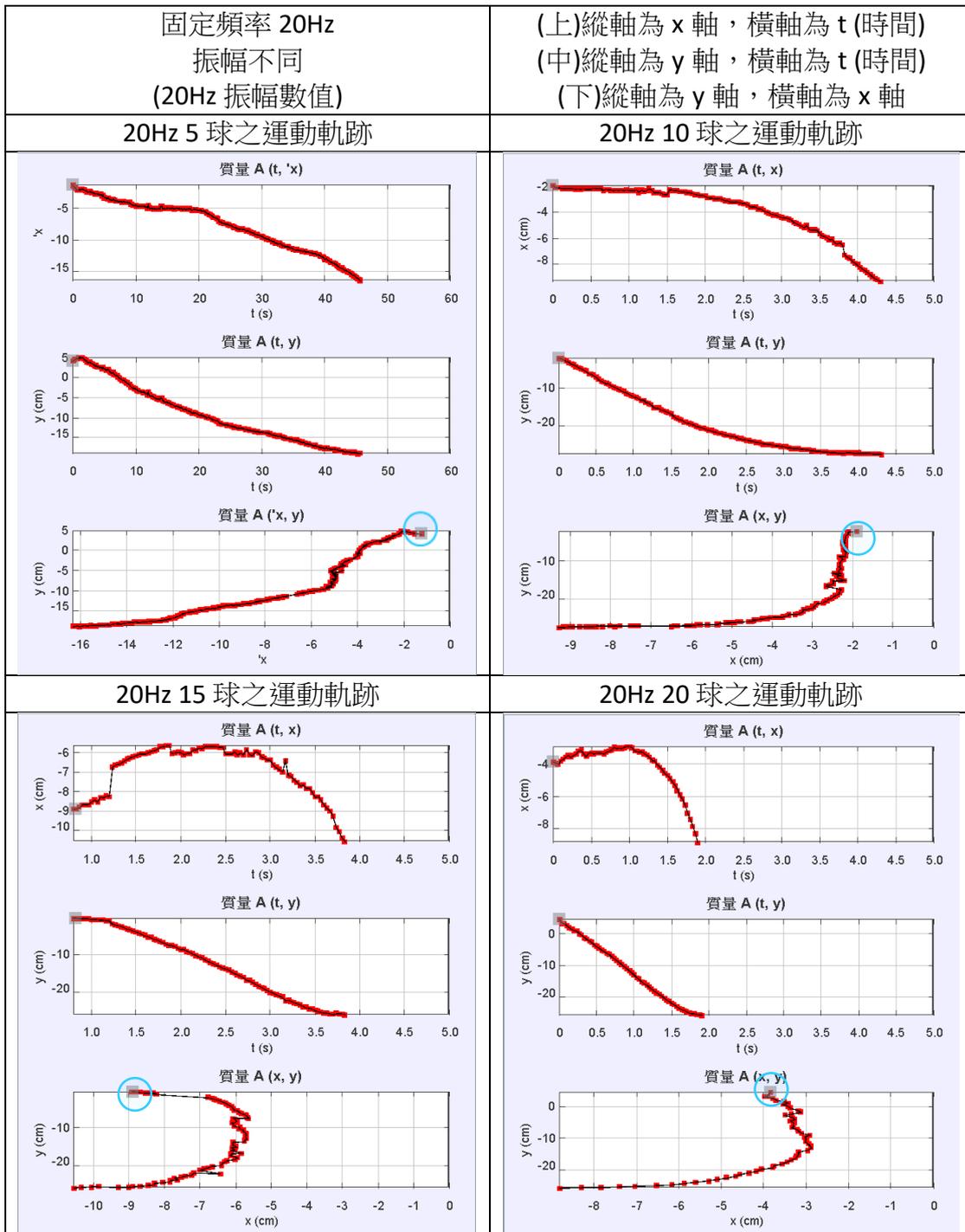
#### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，震源沒入水中 1.3cm，用振盪器以 20Hz 的頻率，振幅從 5 到 50，以每振幅 5 為間隔，共做出十組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

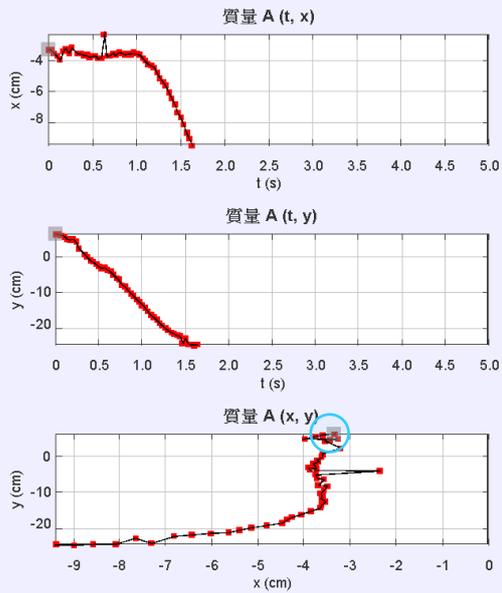
#### 二、實驗結果

振幅	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
20Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

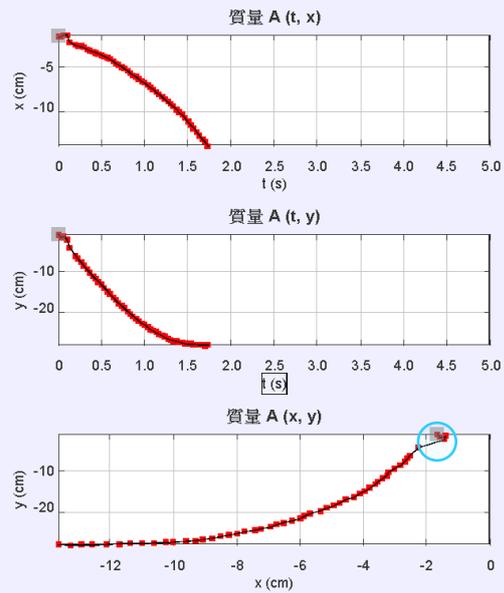
表 4-7(X: 沒有拉回，V: 有拉回)



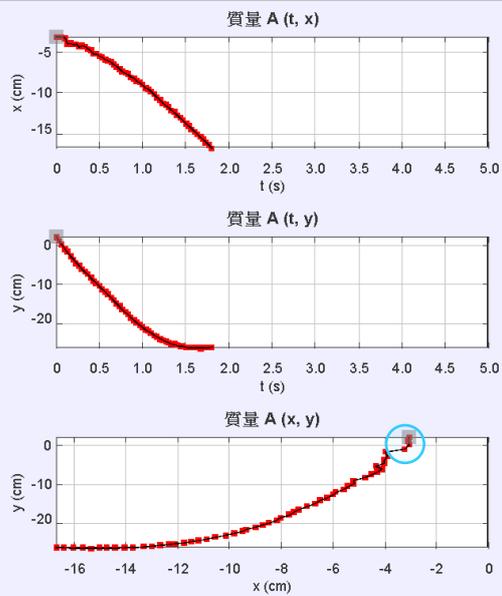
20Hz 25 球之運動軌跡



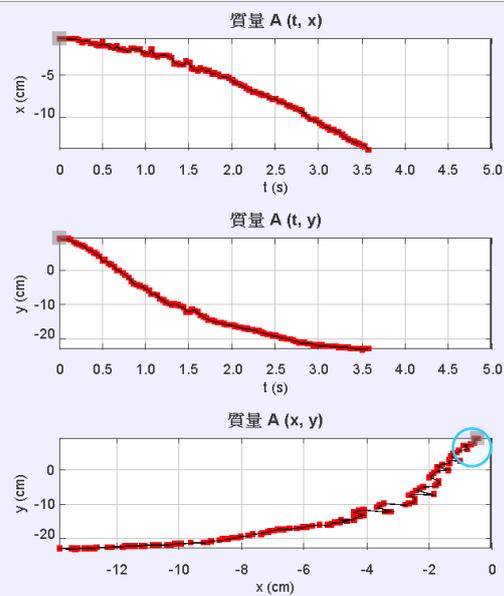
20Hz 30 球之運動軌跡



20Hz 35 球之運動軌跡



20Hz 40 球之運動軌跡



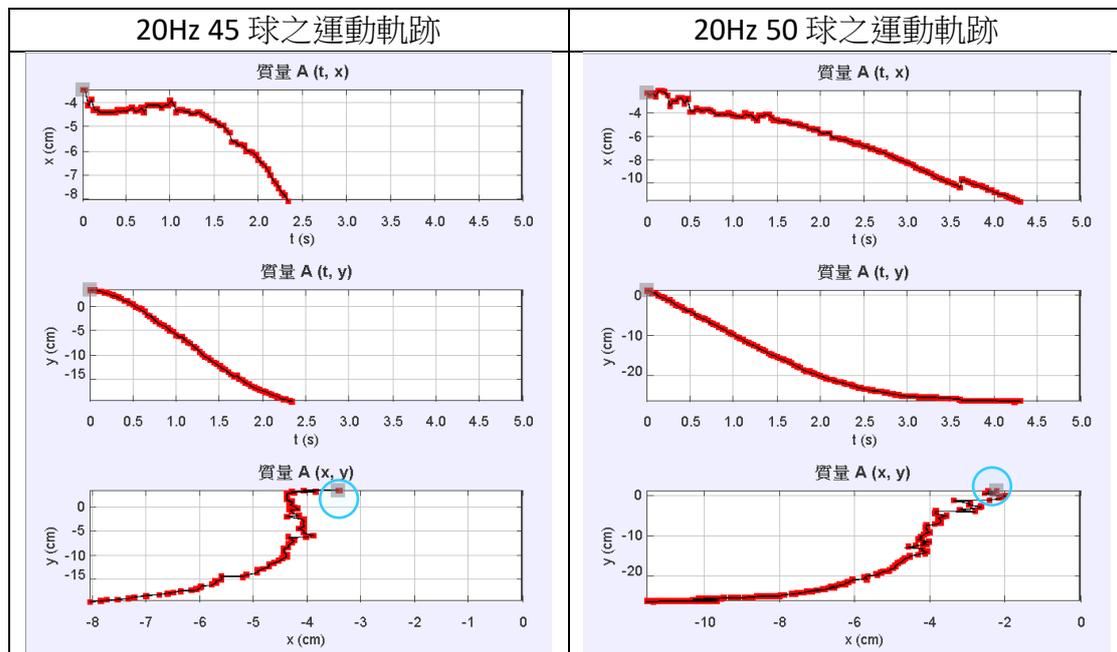


表 4-8(○處為起點)

### 三、分析討論

- (一) 頻率之影響：20Hz 都是產生推出水流
- (二) 振幅之影響：不同振幅都不會產生拉回水流

### 實驗四：

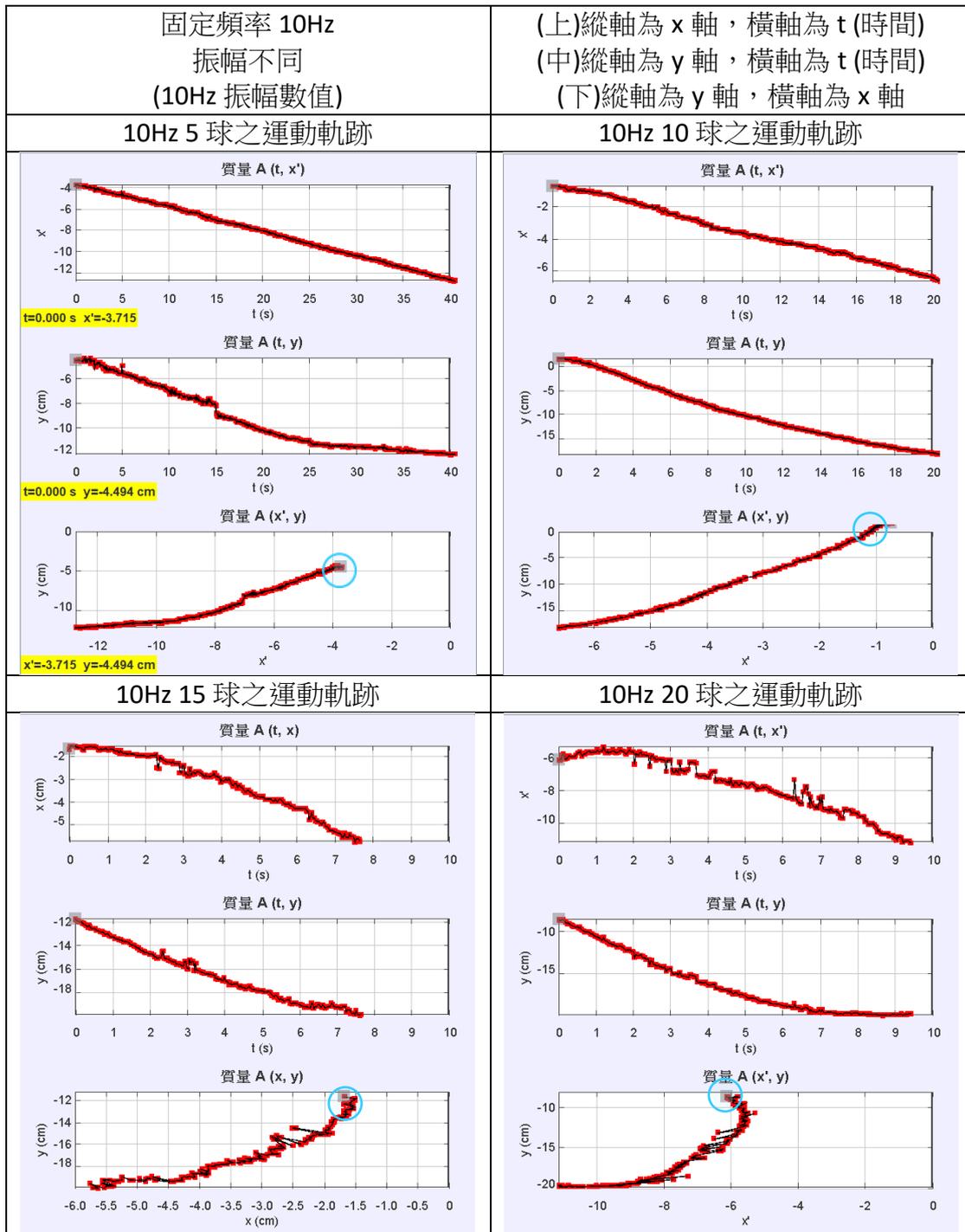
#### 一、實驗步驟

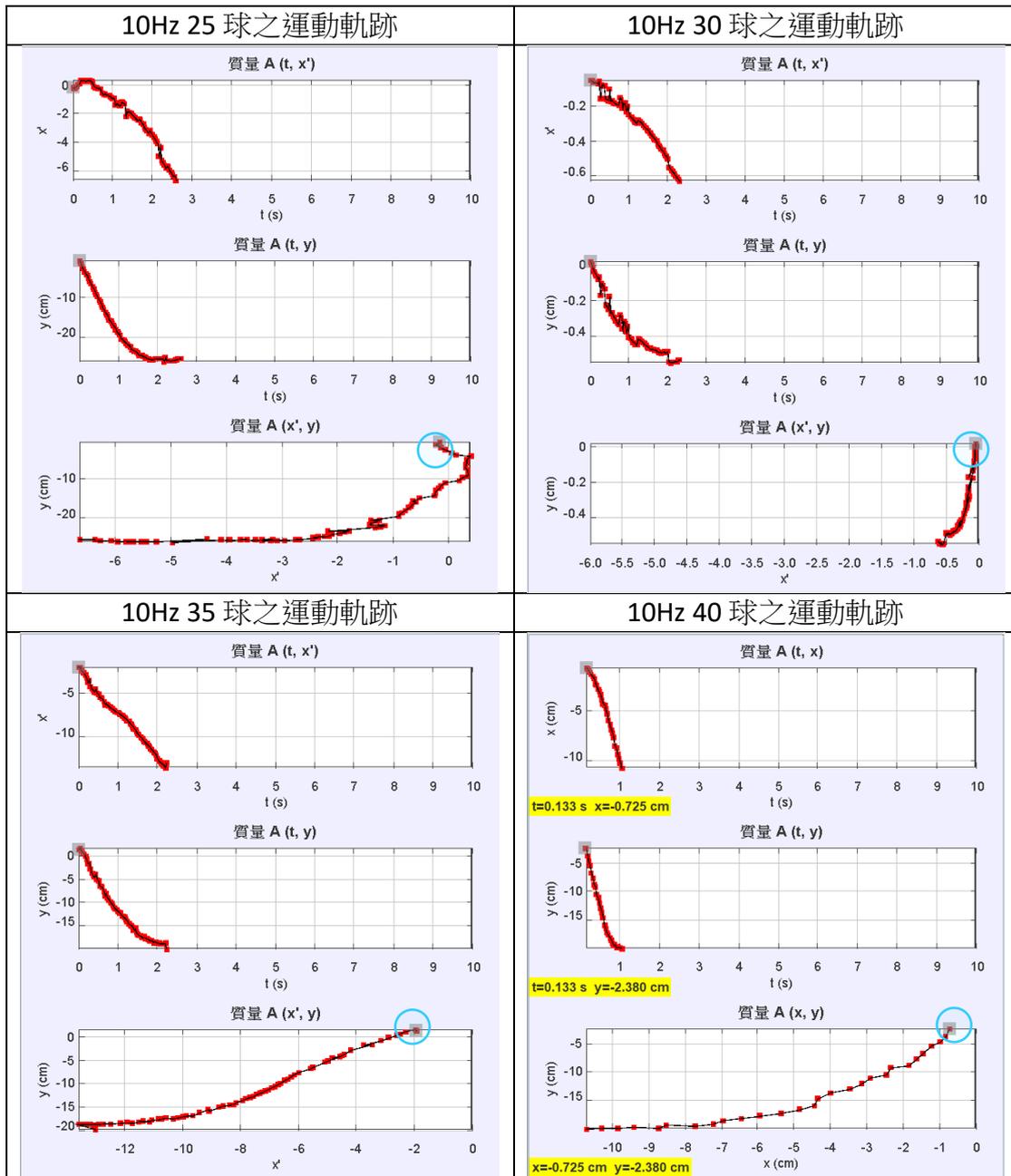
- (一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，用振盪器以 10Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，振幅從 5 到 50，以每振幅 5 為間隔，共做出十組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

#### 二、實驗結果

振幅	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
10Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

表 4-9(X：沒有拉回，V：有拉回)





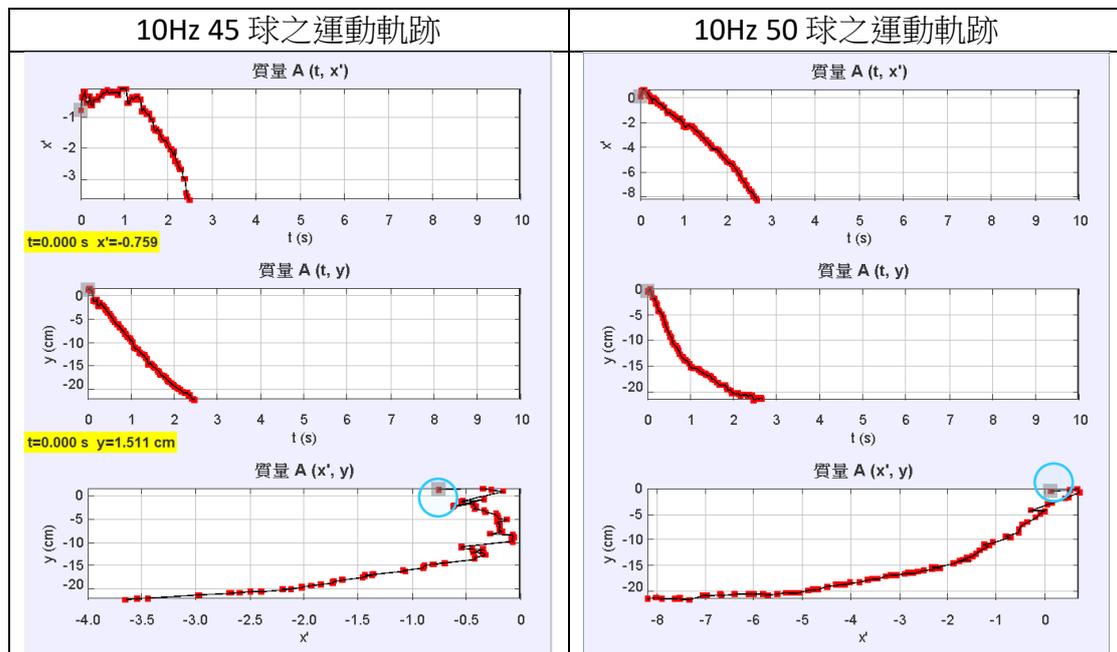


表 4-10(○ 處為起點)

### 三、分析討論

- (一) 頻率之影響：10Hz 都是產生推出水流
- (二) 振幅之影響：不同振幅都不會產生拉回水流

【研究目的二：在頻率 30Hz 下，不同的水深度造成水流差異之探討】

### 實驗五：1.4cm 的水深度對表面水流的狀況差異

#### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 3000 毫升之水量、水深 1.4cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，振幅以 30，共做出一組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

二、實驗結果: 結果並無產生拉回水流，反而水波完全破碎。

三、分析討論: 水深太淺導致振盪波的能量被水吸收後造成水面的水波破碎。

## 實驗六：1.7cm 的水深度對表面水流的狀況差異

### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量、水深 1.7cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，振幅以 30，共做出一組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

### 二、實驗結果

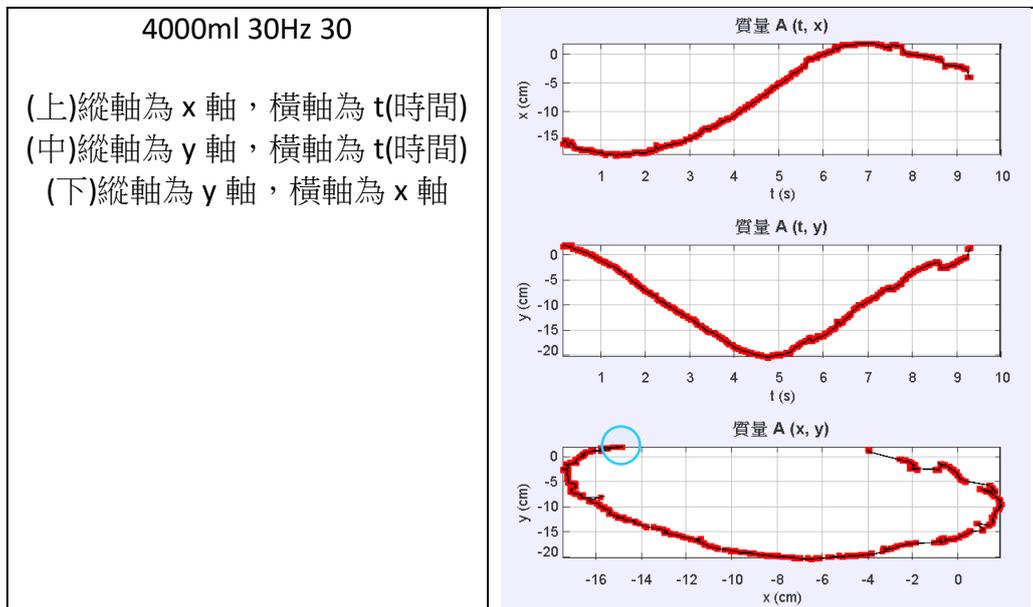


表 4-11(○處為起點)

### 三、分析討論

- (一) 同實驗二相同，會產生拉回水流，故不做分析。

## 實驗七：2.1cm 的水深度對表面水流的狀況差異

### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 5000 毫升之水量、水深 2.1cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，振幅以 30，共做出一組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

### 二、實驗結果

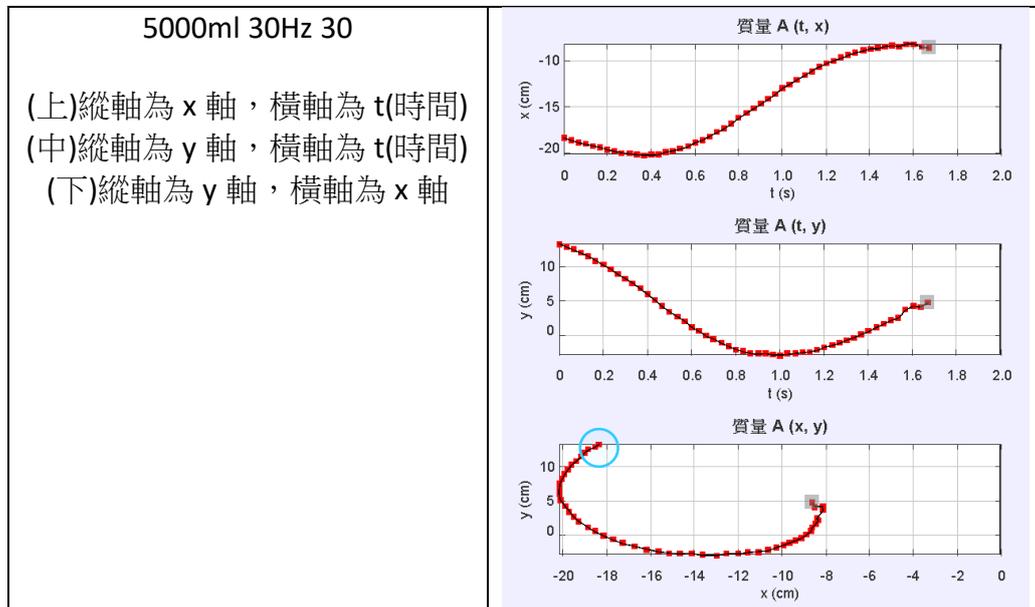


表 4-12(○處為起點)

### 三、分析討論

- (一) 頻率：30Hz 仍可產生拉回水流。
- (二) 振幅：30Hz 30 仍可產生拉回水流。
- (三) 拉回水流之軌跡迴圈較水深 1.7cm 時小，所花時間也較少。

## 實驗八：2.5cm 的水深度對表面水流的狀況差異

### 一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 6000 毫升之水量、水深 2.5cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，振幅以 30、40，共做出二組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

## 二、實驗結果

(一) 6000ml 30Hz 30 並無產生拉回水流，而是產生推出水流。

(二) 振幅 40 才有產生拉回水流。

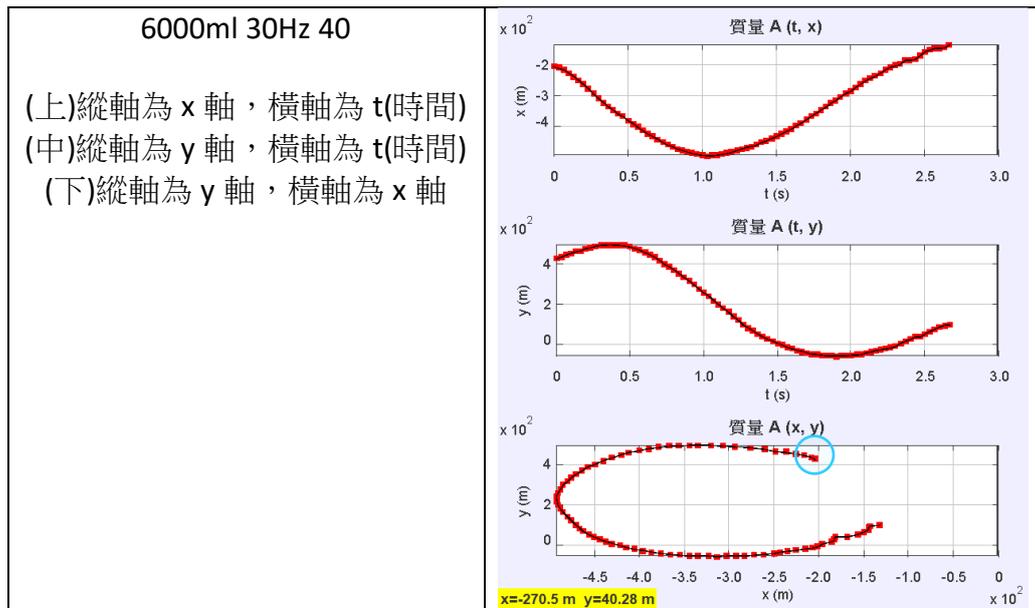


表 4-13(○處為起點)

## 三、分析討論

(一) 頻率: 30Hz 仍可使水深 2.5cm 產生拉回水流。

(二) 振幅: 在水深增至 2.5cm 時，須將振幅從 30 調升至 40 才可產生拉回水流。

【研究目的三：在頻率 30Hz 下，不同的振動體大小造成水流差異之探討】

實驗九：5\*2\*2cm 的振動體對表面水流的狀況差異

### 一、實驗步驟

(一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，震源為 5cm 沒入水中 1.3cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，振幅以 20、30、40，共做出三組實驗。

(二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

二、實驗結果

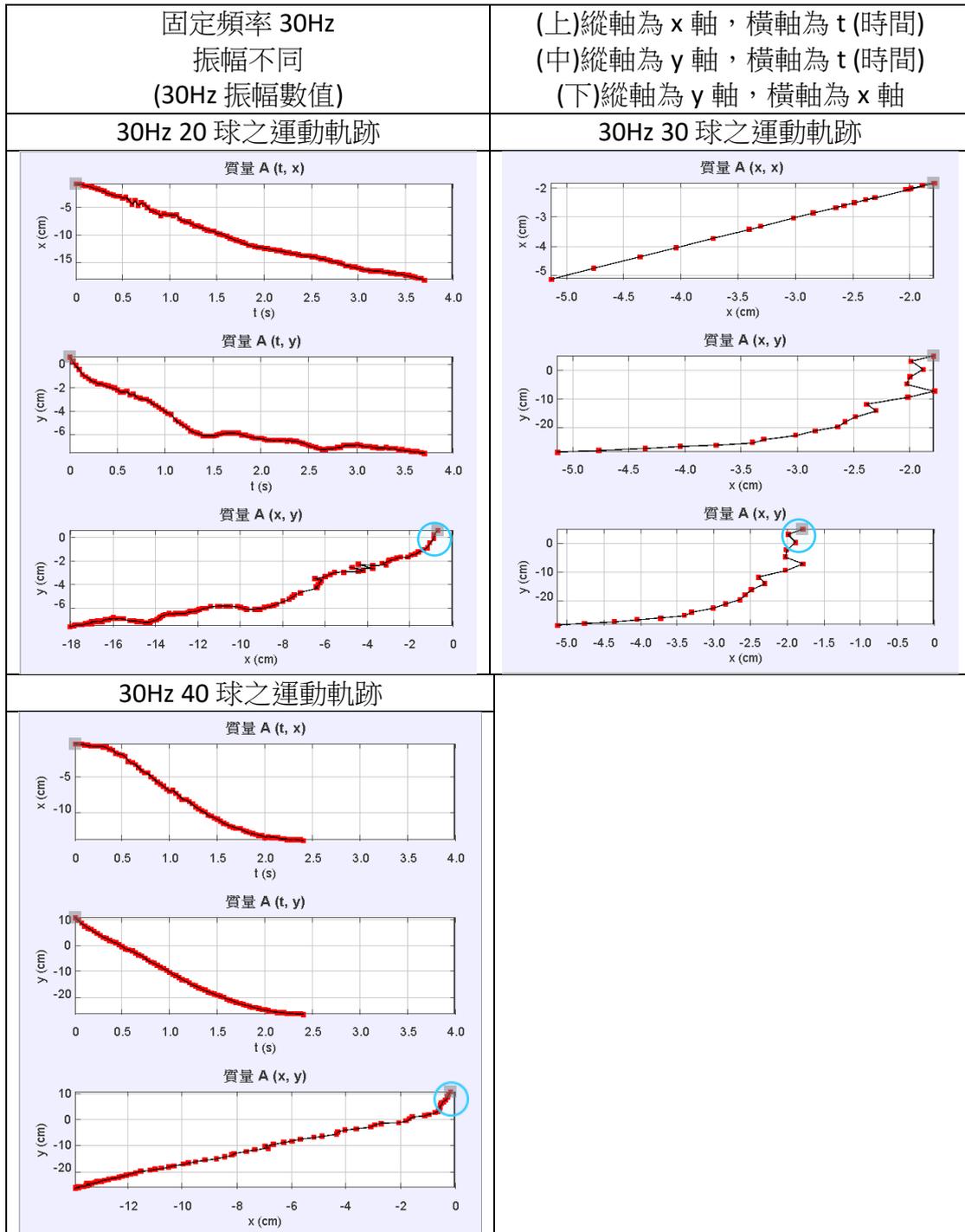


表 4-14(○處為起點)

### 三、分析討論

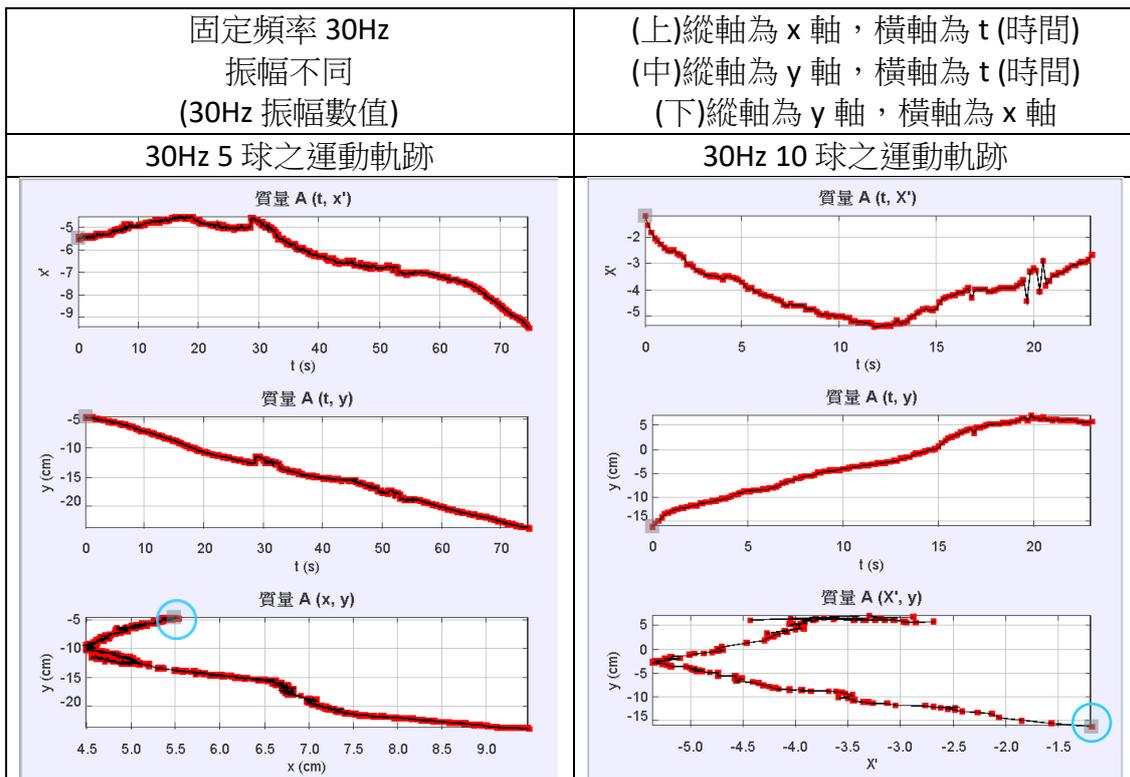
- (一) 頻率之影響：30Hz 無法拉回水流
- (二) 振幅之影響：振幅加大仍無法產生拉回水流

### 實驗十：15\*2\*2cm 的振動體對表面水流的狀況差異

#### 一、實驗步驟

- (三) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，震源為 15cm 沒入水中 1.3cm，用振盪器以 30Hz 的頻率，振幅以 5、10、20、30、40，共做出五組實驗。
- (四) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

#### 二、實驗結果



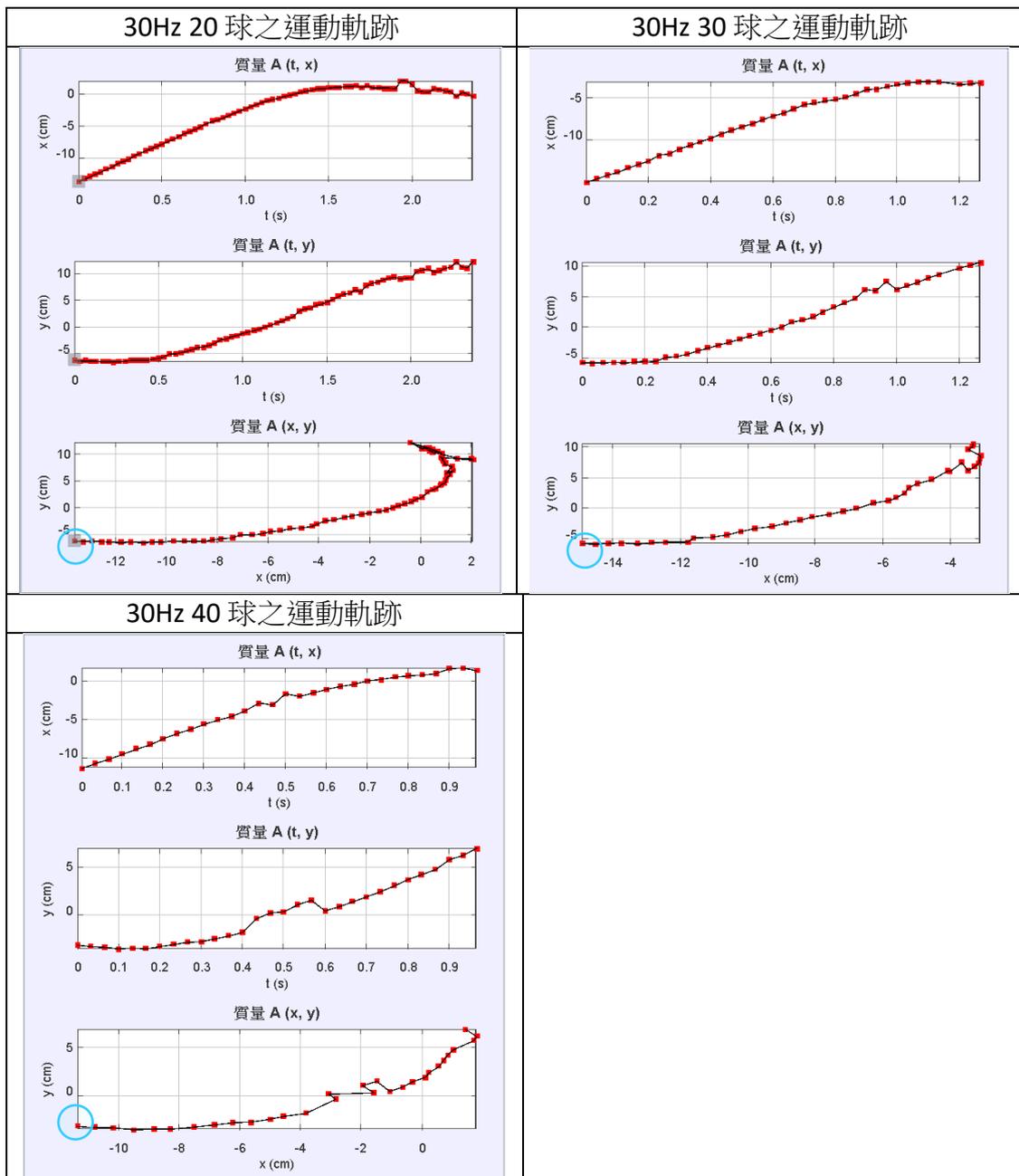


表 4-15(○處為起點)

### 三、分析討論

(一) 頻率之影響：30Hz 可產生拉回水流

(二) 振幅之影響：和實驗三之結果相同，振幅為 5 仍無法產生拉回水流，振幅大於 10 後就可產生

【研究目的四：在頻率 30Hz 下的額外的低頻率的干擾波是否影響水流的形成】

實驗十一：頻率接近 0.5Hz 的非固定頻率干擾波對表面水流的影響

一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，用振盪器以 30Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，振幅以 30，另一波源以約為 0.5Hz 之非固定頻率干擾波做干擾，共做出一組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

二、實驗結果

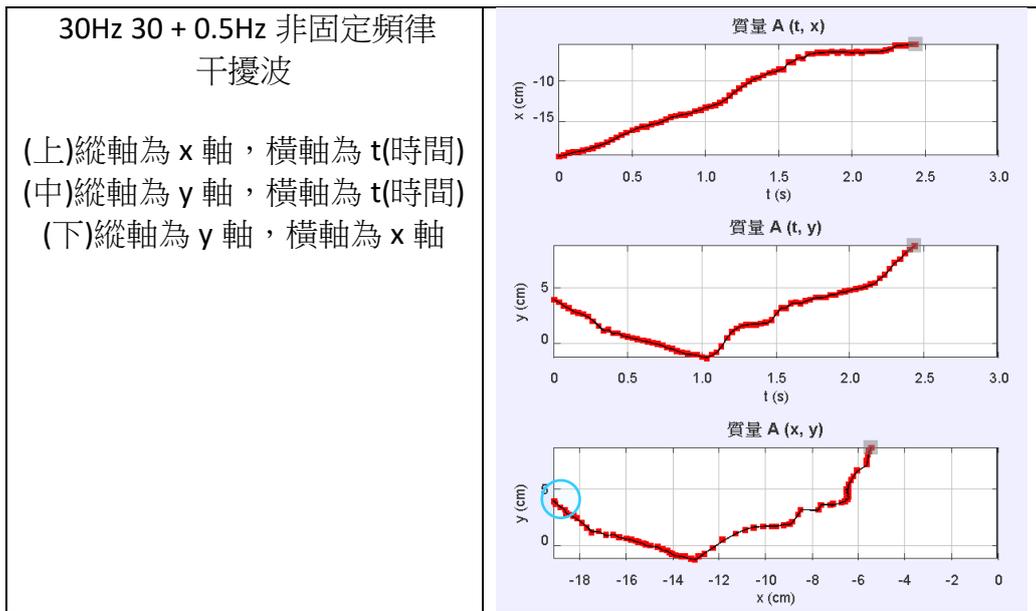


表 4-16(○處為起點)

三、分析討論

- (一) 頻率、振幅：30Hz 30 仍可產生拉回的水波，不受干擾波影響。
- (二) 軌跡：球之軌跡應受干擾波影響而有些曲折，不過最終仍可回到波源附近。

實驗十二：頻率接近 1Hz 的非固定頻律干擾波對表面水流的影響

一、實驗步驟

- (一) 在水波槽注入 4000 毫升之水量，用振盪器以 30Hz 的頻率，震源沒入水中 1.3cm，以 30 振幅，另一波源以約為 1Hz 之非固定頻率干擾波做干擾，共做出一組實驗。
- (二) 由攝影機錄製影片，並將影片匯入電腦，把 MTS 檔案轉成 mp4，以 tracker 分析解釋。

## 二、實驗結果

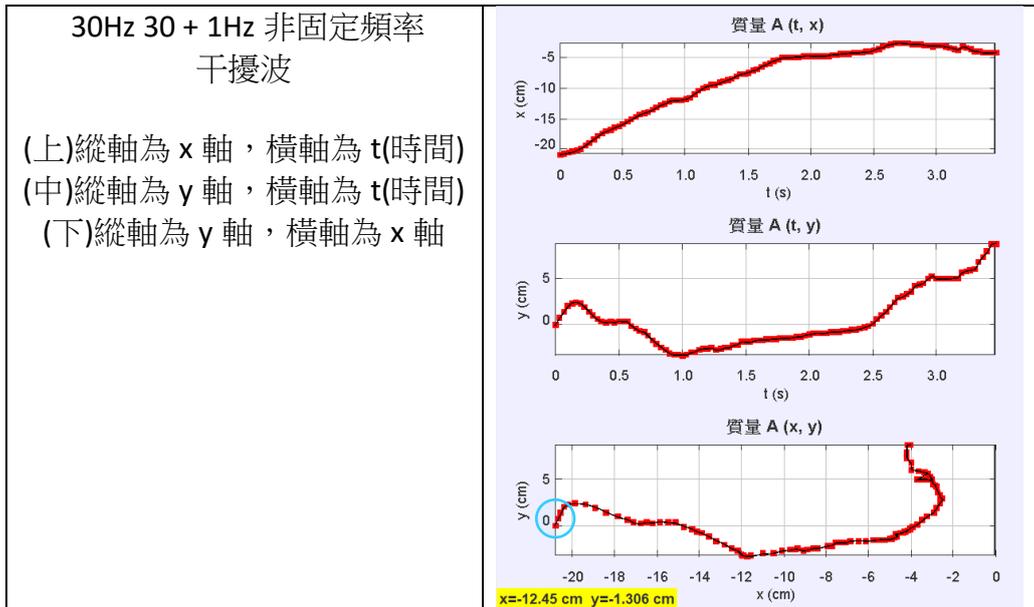


表 4-17(○處為起點)

## 三、分析討論

- (一) 頻率、振幅：30Hz 30 仍可產生拉回的水波，不受干擾波影響。
- (二) 軌跡：球之軌跡應受干擾波影響而有些曲折，不過最終仍可回到波源附近。

## 伍、研究綜合討論

### 一、探討頻率對表面水流的影響

- (一) 從實驗一到實驗四的結果來看，振盪頻率要到 30Hz 以上，才回產生拉回水流。低於 30Hz 的振盪頻率不論振幅多少，都不會產生拉回的水流，如表 5-1。

頻率	10Hz	20Hz	30Hz	40Hz
是否產生 拉回水流	X	X	V	V

表 5-1 (x: 沒有, v: 有)

- (二) 從實驗一與實驗二來看，都只有產生小振幅波，所以漂浮物體只會順著水波的傳遞方向前進，沒有看到產生任何的法拉第波。
- (三) 從實驗三與實驗四來看，在會產生拉回的水流的情況下，會先看到產生法拉第波後，然後才看見產生回流的水流，如圖 5-1。



圖 5-1 法拉第波

## 二、探討振幅對表面水流的影響

- (一) 從實驗一到四的結果來看，10Hz 與 20Hz 不管振幅多大，都不會產生回流的水流。
- (二) 從 30Hz 到 40Hz 的實驗來看，振幅要達到一定的程度，才會產生回流的水流。振幅與頻率的關係如表格 5-2。
- (三) 另外，從實驗二來看，振幅 30 的拉回距離最長，拉回速度也是最快，這是最佳的振幅設定，代表回流的速度與距離是跟振幅相關，也不是振幅越大就距離越長或速度越快的。

頻率\振幅	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
10Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20Hz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
30Hz	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V
40Hz	X	X	X	X	X	X	X	V	V	V

表 5-1 (X: 沒有, V: 有)

推論為何振幅的界限會跟頻率有關，而且頻率越高，振幅的設定越高才會產生回流的，應該跟垂直振盪器的頻率響應有關。雖然信號產生器產生的正弦波的頻率與振幅大小是可以準確調整的，但是振盪器的最大位移頻率是 1Hz，振幅為 8mm。隨著頻率增高，最大位移會遞減，如表格 5-3。我們也觀察到振盪器頻率越高時，最大振幅的確會縮小，所以頻率到達 60Hz 以上，振幅太小，無法進行實驗。

<b>Maximum Peak to Peak Displacement</b>	8mm at 1Hz decreasing with increase in frequency
--	---

表 5-2 振盪器的頻率響應說明 (取自網路圖片)

## 三、探討水深對表面水流的影響

- (一) 實驗五的水深 1.3cm 的實驗，在頻率 30Hz 及振幅 30 下，可以觀察到水槽表面已經呈現不穩定的狀態，有的波已經破碎，如右圖 5-4。
- (二) 這樣子的不穩定水面狀況與水深及振盪的頻率與振幅有關。水深越淺，水分子在水的表面會從圓型的軌道旋轉變成橢圓形的旋轉或甚至不旋轉。波是一種能量的傳遞，水深越淺的話，能傳的能量越少，當振盪太激烈時，表面穩定性更容易被破壞，如實驗五的結果，波已經呈破碎狀態。
- (三) 實驗六與七的結果說明水深 1.7cm 與 2.1cm 的時候，在頻率 30Hz 與振幅 30 的情況下，仍然會形成拉回水流，水面並未如同實驗五一樣被破壞。



圖 5-2 不穩定的水面

(四) 實驗八的水槽的水深為 2.5cm，一開始在頻率 30Hz 與振幅 30 的情況下只有看見法拉第波的產生，並未看見形成逆時針的水流，所以臨時調整振盪器的振幅到 40，果然就看見拉回的水流。這說明水深越深的情況下，需要更大的能量才能讓水槽的水產生拉回的水流，與實驗五得到結論是一致的。

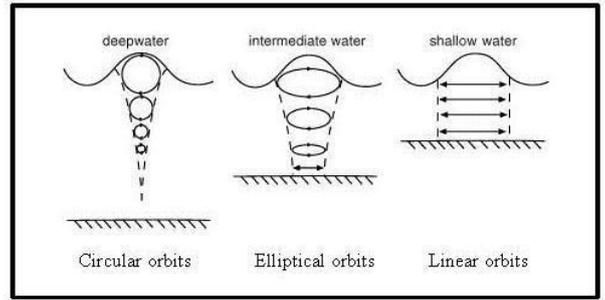


圖 5-3 在不同深淺的水分子軌道 (取自網路圖片)

#### 四、探討震動體大小對表面水流的影響

- (一) 從實驗九與十結果來看，振動體的大小會影響回流的產生，5cm 之振動體加大振幅還是產生不了回流，15cm 振動體與原來的振動體一樣，都能產生回流。
- (二) 分析此影響之原因可能跟振動體與水面的接觸面積有關，也有可能跟能量的傳遞有關。小振動體的接觸水面積小，傳遞能量有限，無法讓水面產生法拉第波，進而無法產生回流。

#### 五、探討干擾源對表面水流的影響

- (一) 在實驗十一與十二 結果可以看的出來對原本的拉回水流是有影響的，這些干擾波頻率只有 0.5Hz 與 1Hz 左右，而且故意用手操作，使它不是一個很準確的頻率波源，這是用來模擬實際環境中的干擾源，例如海浪。
- (二) 干擾源是小振幅波(**small amplitude wave**)，所以漂浮物會隨著波前進的方向前進，它會干擾原本拉回的水流，但是因為干擾源是在震源前方，會幫助漂浮物的回流。

## 陸、研究結論、建議與展望

### 一、研究結論

- (一) 水波呈現的方式非常複雜，因為各種不同的作用力、各種不同的地形而呈現不同的形態。我們藉由在水面施以一個垂直於水面的振盪力時，根據法拉第效應，應會產生波動，稱之為法拉第波。而當超過一定的頻率與振幅時，便會發展成三維的波，進而在水面產生二維的旋渦，把漂浮物帶回波源的位置。
- (二) 我們證明了水深也會影響表面水流的產生，水深太淺會破壞水的表面，使原本的法拉第波支離破碎，也無法產生拉回的水流。水深太深則會需要更大的能量，也就是更大的振幅才能產生拉回的水流。
- (三) 我們還研究了震動體大小的改變對表面水流的影響，振動體太小，傳遞能量有限，無法產生法拉第波及拉回水流，振動體較大則無明顯改變，可產生拉回水流。

(四) 另外，我們加入了干擾源來觀察它對原本產生的拉回水流之影響，此干擾源是低頻但非固定頻率，因為我們想模擬真實世界的干擾源，例如海浪等。要抵制這個干擾，很可能需要更大的振幅來產生更大的拉回水流。

(五) 最後，我們發現不同的頻率或是振幅的大小產生的回流漩渦大小與形狀也會不同，所以在實驗中的保麗球的路徑會不同，用 **Tracker** 追蹤的路徑結果也不盡相同，這代表不同的頻率或振幅造成的回流路徑是不同的。而改變振動體的大小，也會影響回流的產生。

## 二、建議

由於振盪器有點老舊與破損，花了不少時間在修復它。另外，這個振盪器的頻率響應並不好，最大的振幅會隨著頻率增加而減少，而且也無法量測，所以實驗無法定量的去描述真正的振幅，只能用信號產生器的數據來代表振幅。

## 三、展望

希望能持續在這方面的研究發展，有更深入的了解，未來能夠發展成實際的應用，例如回收海洋中的垃圾。回收海洋的垃圾是我們一開始準備這個科展的初心，希望這個夢未來能夠成真！

## 柒、參考資料

1. 飛碟的牽引波成真！？不過是水中版的拉～

<https://pansci.asia/archives/65047>

2. ANU Scientists create a Tractor Beam on water

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

3. 反常識的神奇的牽引波束

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

4. Physicists create water tractor beam

<https://phys.org/news/2014-08-physicists-tractor.html>

5. Generation and reversal of surface flows by propagating waves

<https://www.nature.com/articles/nphys3041>

6. 頻率響應-維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%A2%91%E7%8E%87%E5%93%8D%E5%BA%94>

7. 法拉第波-維基百科，自由的百科全書

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B3%95%E6%8B%89%E7%AC%AC%E6%B3%A2>

8. Tractor Beam Waves (Waves That Pull You In)

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