

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030105

波中「針」意－電阻測量法應用於水波傳遞的探討

學校名稱： 新竹市立光武國民中學

作者： 國二 黃睿楷 國二 黃鈞路 國二 王峻禾	指導老師： 林春秀 劉曉華
---	-----------------------------

關鍵詞： 波浪、波速、波群

摘要

傳統水波干涉現象一般使用光學方法進行觀測，本實驗透過自製研發水波的電阻測量儀進行水波波速測量、水波干涉的波群現象及水波峰值衰減模式探討。水波週期差約 10ms 以下時，水波干涉使水位電阻產生波群現象，波群週期約為 3.5 秒。GGB 模擬結果，波長差會影響波群的形成。振幅變化不會直接影響波群出現，波長差越大或太小，波群越不明顯。糖水濃度低於 28%，不同波長的糖水波群週期、峰值衰減不隨糖水濃度改變，推測液體衰減性質與液體本身(水)的性質有關。透過水道內 2 組水位電阻測量儀，追蹤水波波峰或波谷經過探針時間，能準確有效的測量水波波速，結果顯示水位越深波速越快，與理論公式趨勢吻合。

壹、研究動機

國二理化課學到波動主題談到海浪傳播過程，水波通常會因為不同波長的波疊加干涉出現成群向外傳播，對於水波干涉現象觀察一般使用光學的方式，本實驗嘗試利用電學的方法發展可觀測水波干涉現象的測量工具並作進一步的探究。

貳、文獻探討

一、波浪運動

波浪運動依相對水深($\frac{h}{L}$ ，h：深度，L：波長)分為：

1.淺水(Shallow Water)： $\frac{h}{L} < \frac{1}{20}$

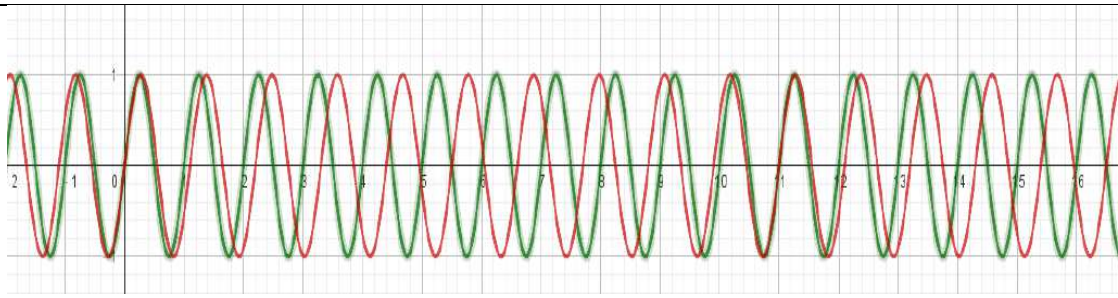
2.中間水深(Intermediate depth)： $\frac{1}{20} < \frac{h}{L} < \frac{1}{2}$

3.深水(Deep Water)： $\frac{h}{L} > \frac{1}{2}$

二、波群(Wave group)

水波在傳遞的過程當中，當兩個波長不一樣或是頻率相近的波互相疊加時，容易產生的現象稱為波群，每一波群內可能含括了很多個外觀波形，這一群波有時又統稱為一個波包(Wave packet)，如 p 0-2 所示。

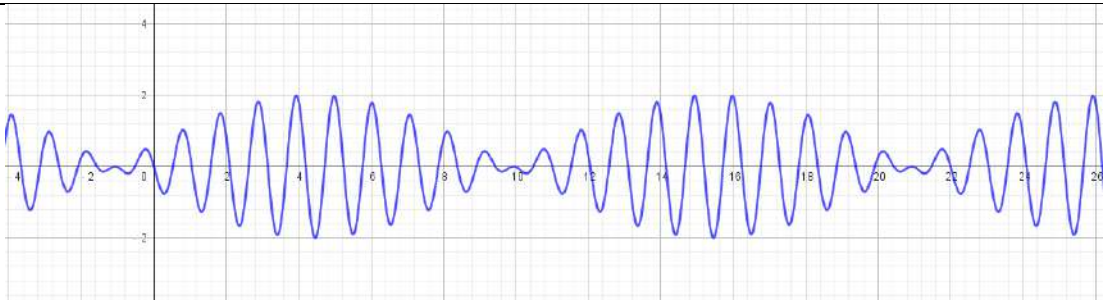
利用 GGB 模擬兩個波長稍微不同的波疊加的圖形(p0-1)以及疊加後形成波群的情形(p0-2)，與 Keith Stowe 在 1987 年所著 "Essentials of Ocean Science" 書中第 91 頁所繪製的波群圖形相同。



P0-1 GGB 模擬兩個波長稍微不同的波疊加的圖形

紅色波：波長 1.1cm、頻率 1Hz、振幅 1cm

綠色波：波長 1cm、頻率 1Hz、振幅 1cm



P0-2 GGB 模擬紅色波與綠色波相向運動疊加後形成波群的圖形

三、全國科展 46 屆高中組 物理科 第三名 被困住的水波？

由理論推導出水波波速 $C = \sqrt{\frac{\lambda g}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{\lambda}}$ ， λ ：波長、 h ：深度

淺水時， $\lambda \gg h \Rightarrow \tanh \frac{2\pi h}{\lambda} \rightarrow \frac{2\pi h}{\lambda}$

$$C = \sqrt{gh}$$

參、實驗目的

(一) 測量工具的研發

實驗一-1 數位水波電阻測量儀的研發

實驗一-2 探針的設置方式對水位電阻的影響

實驗一-3 起波器的實驗裝置設計

實驗一-4 起浪板啟動方式對水波產生的影響

(二) 水波頻率對波群影響的探討

實驗二-1 水位電阻測量儀對於水波波群測量評估

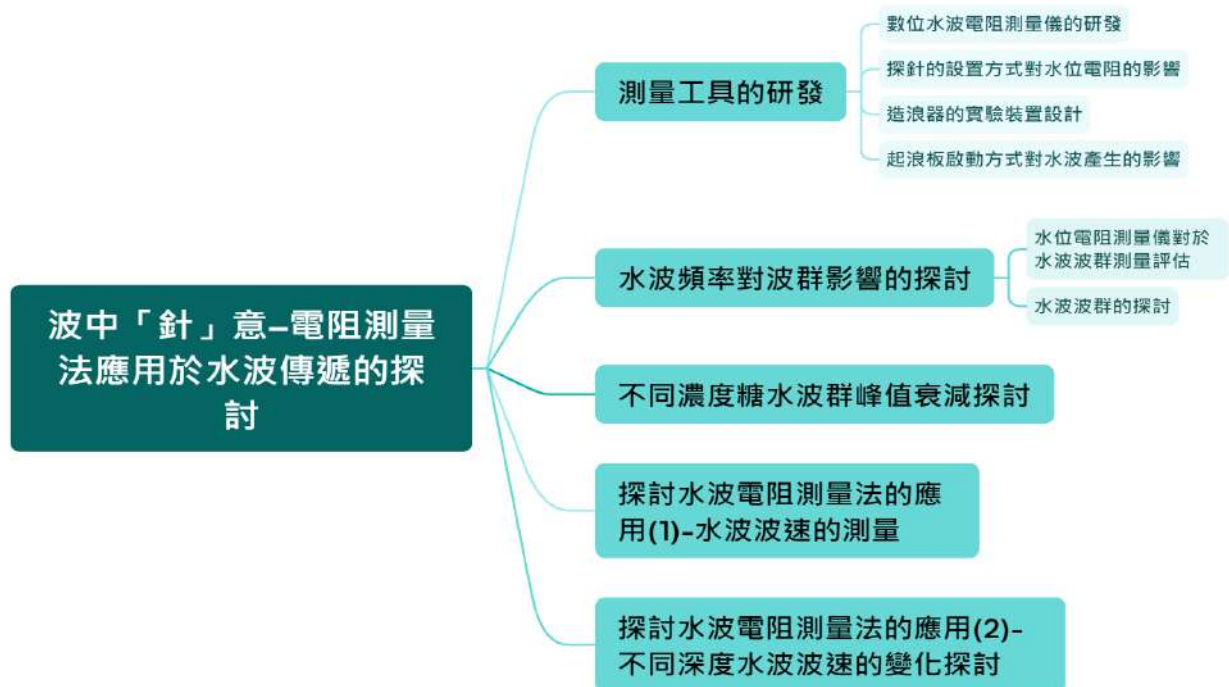
實驗二-2 水波波群的探討

(三) 不同濃度糖水波群峰值衰減探討

(四) 探討水波電阻測量法的應用(1)-水波波速的測量

(五) 探討水波電阻測量法的應用(2)-不同深度水波波速的變化探討

實驗概念圖：

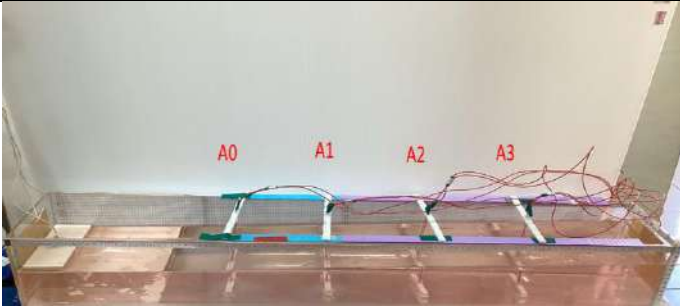
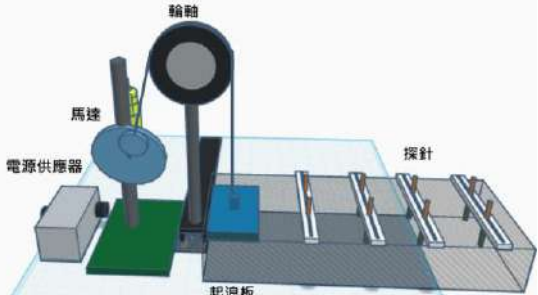
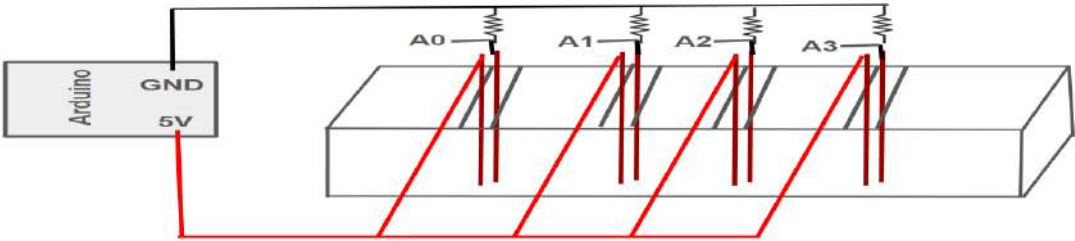


肆、研究設備及器材

一、實驗器材

Arduino 板	鱷魚夾	1 : 220 馬達	壓克力盒(長*寬*高) (20cm*1.5cm*12cm)	單心線	棉線	木板
電源供應器	延長線	熱熔膠槍	水波盒(長*寬*高) (100cm*20cm*15cm)	杜邦線	銅線	滑輪
塑膠瓦楞板	大頭針	光敏電阻	起浪(15cm*6cm*1cm)	麵包板	捲尺	抹布
吸水器	延長線	3D 列印	方格紙	雙面膠	支架	膠帶

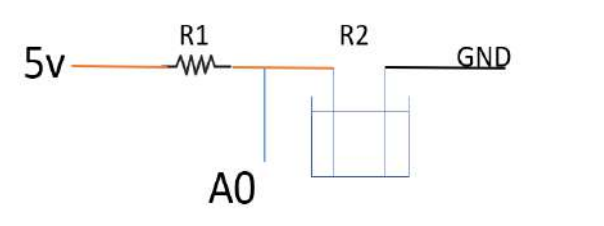
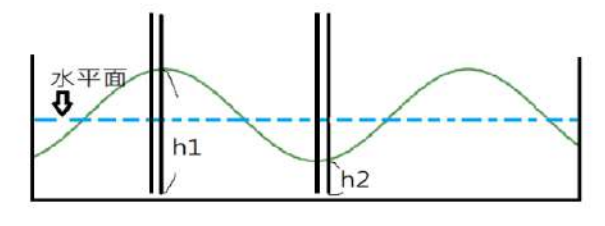
二、實驗裝置

	
P1 水波電阻測量實驗裝置圖	P2 實驗裝置示意圖
	
P3 水波電阻測量實驗裝置電路圖	

探針設置位置(水槽起波的位置座標為 0cm)

探針位置	31 cm	47cm	63cm	79cm
探針編號	A0	A1	A2	A3

水波電阻測量實驗原理：

	
P4 水波電阻測量儀電路圖	P5 水波不同位置與探針接觸的長度示意圖

說明一：

實驗透過固定電阻 R_1 與沒入液體內探針串聯(實驗電路圖如 P4)，實驗裝置透過 Arduino 程式讀取的 R_2 電位值 A_0 ，固定電阻 R_1 接至 Arduino 5V 腳位，沒入液體探針連接 GND，實驗裝置透過 Arduino 程式讀取 A_0 類比式訊號，讀值將迴路電壓 5V 以 0 到 1023 數值顯示，透過 A_0 電壓讀值，可得水波經過探針時，因探針沒入水中長度不同的 R_2 (探針與水接觸長度不同所造成平均電阻)值。

當水波經過探針時，探針沒入水中長度示意圖(P5)，波峰經過探針，探針沒入水中長度 h_1 ，波谷經過探針，探針沒入水中長度 $h_2(h_1 > h_2)$ ，水波電阻測量儀電路圖(P3)中迴路電壓 $V = V_1 + V_2$ (V_1 為固定電阻 R_1 之電位差， R_2 為探針沒不同深度水深之電阻， V_2 為 R_2 電位差)

$$V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 \quad \dots\dots ①$$

$$\Rightarrow I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

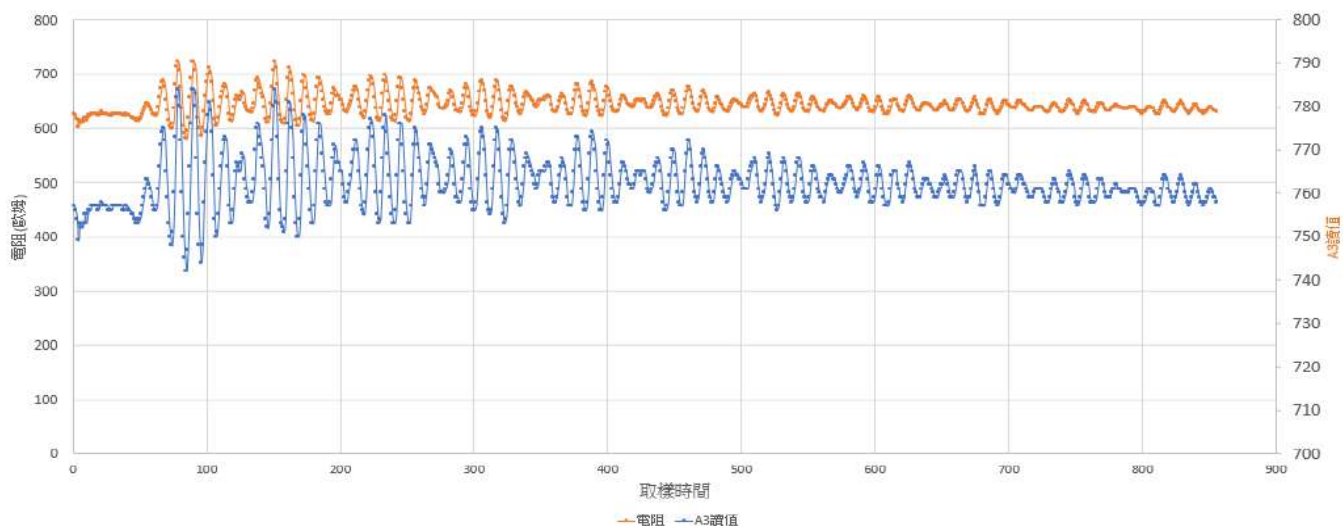
$$V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \quad \dots\dots ②$$

$$V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \quad \dots\dots ③$$

探針沒入深度較大(P4 探針液面下深度 h_1)電阻 R_2 較小，由式③可知 V_2 變小，探針沒入深度較小(P4 探針液面下深度 h_2)電阻 R_2 較大，由式③可知 V_2 變大，當水波波峰經過探針時，探針沒入水中深度較大，探針電阻 R_2 較小， A_0 讀值較小，當水波波谷經過探針時，探針沒入水中深度較小，探針電阻 R_2 較大， A_0 讀值較大。透過 P3 的電路，當探針沒入水面下深度不同時，因電阻 R_2 電阻改變導致 A_0 讀值變化，透過 A_0 讀值變化可用於判斷水波波浪的變化情形。

說明二：(本文的實驗曲線作圖說明)

以水位 10cm 高的實驗結果為例，不同波長水波重疊干涉經 A3 探針(P1 裝置圖)所記錄的探針電位值隨時間變化(橘色曲線)，水位電阻隨時間變化(藍色曲線)



P6 探針電位值隨時間變化曲線(橘色)，水位電阻隨時間變化曲線(藍色)

(A)水波電阻測量儀電路圖(P4)，藉由固定電阻 R_1 與水道內的探針(R_2)串聯，當不同水位高低水波經探針時因接觸水的區域變化，電路圖中 Arduino A3 腳位回傳的探針的電位讀值能記錄水槽內水面下探針電位隨時間變化，經由(4)式轉換可得探針接觸水產生的平均電阻 R_2 。

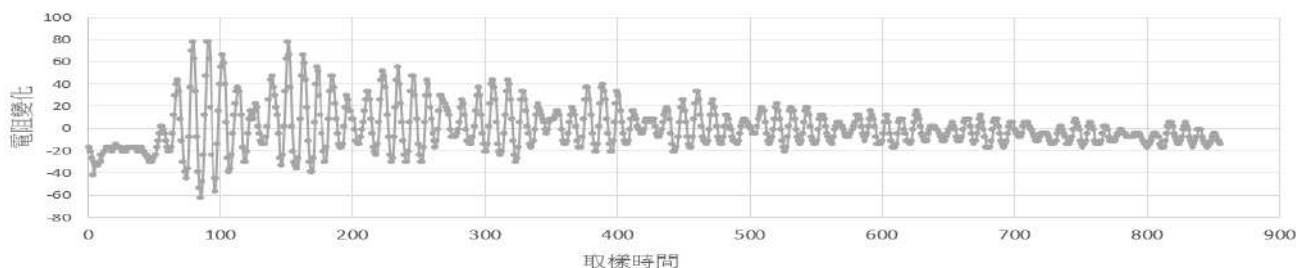
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_1(R_1 \text{ 電壓})}{V_2(\text{探針電壓})} = \frac{1023 - A_3 \text{ 讀值}}{A_3 \text{ 讀值}} \dots\dots\dots(4)$$

(B)取樣時間：本實驗探針電位讀值取樣時間間隔為 50ms，因此曲線作標軸上取樣時間 100 表示為第 100 個取樣點，每相鄰取樣點時間差為 50ms

$$t_n - t_{n-1} = 50\text{ms}$$

(C)實驗二、實驗三 水位電阻變化對取樣實驗關係圖作圖說明：

(例：P6 藍色曲線轉繪成電阻變化對取樣時間關係圖 P7) 電阻變化 $\Delta R = R - \bar{R}$ (電阻平均值)



P7 水位電阻變化對取樣時間關係圖

本實驗主要透過 P3 裝置圖中，水波經水道不同位置探針的電位記錄(A0~A3)，將電位讀值轉換成水位電阻變化對取樣時間關係，進行水波波群及波速測量的研究。

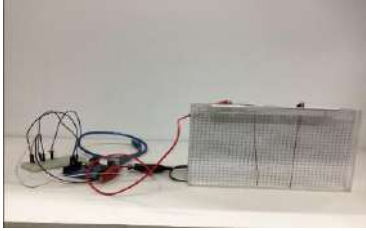

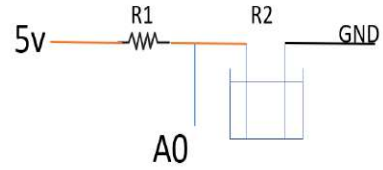
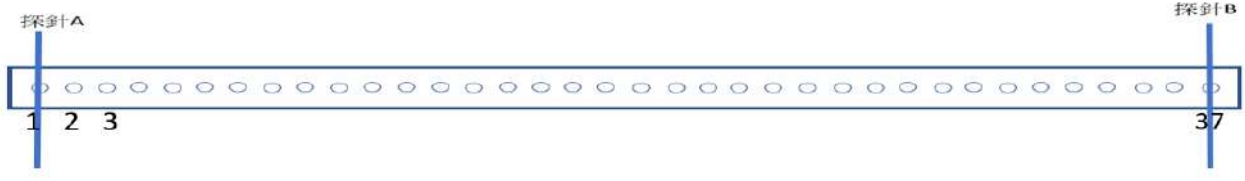
伍、研究過程或方法

實驗一、測量工具的研發

實驗一-1 數位水波電阻測量儀的研發

實驗透過固定電阻 R_1 與液體內探針串聯，實驗裝置透過 Arduino 程式讀取液體電阻的電位值 A_0 ，因固定電阻 R_1 的大小會影響水波經過探針時 A_0 讀值的變化，本實驗將透過固定電阻 R_1 的電阻調整，找到合適應用於水波經過探針時透過水位電阻變化區辨別水波水位高低變化的水波電阻測量儀器。

實驗裝置：

		
P1-1 水波電阻測量儀裝置圖	P1-2 液體電阻測量裝置圖	P1-3 水波電阻測量儀電路圖
		
P1-4 探針定位模組示意圖(孔心到孔心 0.4cm)		

實驗步驟：

- (1)將方形壓克力盒長寬高(20cm*1.5cm*12cm)，再將 3D 列印模組(共 37 個定位點)裝上如 P1-4
- (2)將方形壓克力盒加入 10cm(水位高度 20 格方格紙)高的水如 P1-2
- (3)將固定電阻 $R_1(220\ \Omega)$ 與液體電阻測量裝置串聯，水波電阻測量儀電路圖如 P1-3，利用 Arduino 提供迴路 5V 的電源
- (4)將探針 A 置於定位模組位置 1，探針 B 至於定位模組位置 2
- (5)啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電位 A_0
- (6)重複步驟(3)~(5)，改變探針 B 於定位模組位置，每次向右移動一格，直到探針 B 位於定位模組位置最右邊一格(編號 37)
- (7)改變 R_1 電阻($1k\Omega$ 、 $2.2k\Omega$ 、 $5.1k\Omega$)，重複步驟(3)~(6)
- (8)實驗結果記錄於 1-9

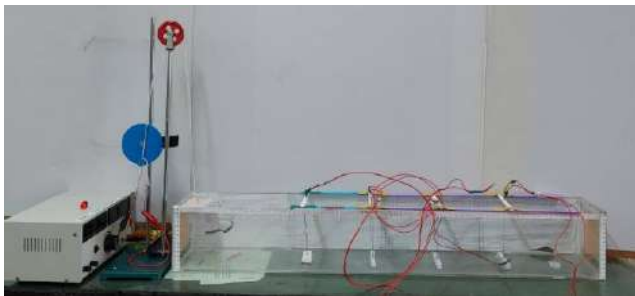
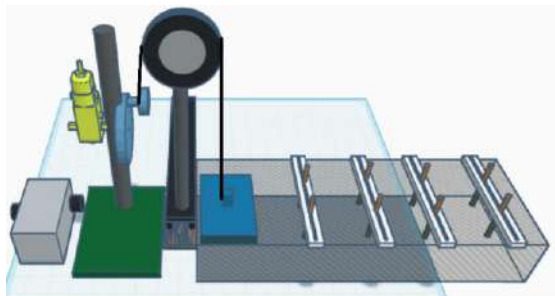
實驗一-2 探針的設置方式對水位電阻的影響

實驗步驟：

- (1)實驗裝置圖如 P1-1
- (2)將方形壓克力盒(長寬高)(20cm*1.5cm*12cm)，再將 3D 列印模組(共 37 個定位點)裝上如 P1-4
- (3)將方形壓克力盒加入 10cm(水位高度 20 格方格紙)高的水如 P1-2
- (4)將固定電阻 R1(220 Ω)與液體電阻測量裝置串聯，水波電阻測量儀電路圖如 P1-3，利用 Arduino 提供迴路 5V 的電源
- (5)將探針 A 置於定位模組位置 17，探針 B 至於定位模組位置 19，A、B 探針沒入液面下長度 10cm
- (6)啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電阻電位 A0
- (7)重複步驟(4)~(6)，改變探針沒入液面下長度，每次抬高 0.5cm(1 個方格)
- (8)實驗結果記錄於 P1-10
- (9)改變步驟(5) B 探針沒入液面下長度，每次抬高 0.5cm(1 個方格)
- (10)重複步驟(6) 將實驗結果記錄於 P1-11

實驗一-3 起波器的實驗裝置設計

起波器實驗裝置圖：

	
P1-5 起波器裝置圖	P1-6 起波器裝置示意圖

一、起波器實驗裝置說明

1. 起波器裝置圖如 P1-5 及 P1-6 所示，取一個長寬高分別為 100cm、20cm、15cm 的透明壓克力盒作為產生波浪的水道
2. 將最小刻度 1mm 的尺規貼紙黏貼於水道側邊
3. 利用 3D 列印製作起浪板(長：15cm、寬：6cm、高：1cm)及圓盤
4. 用棉線連接起浪板後跨過滑輪接在圓盤上
5. 電源供應器驅動馬達(1：220)，馬達帶動圓盤轉動，使起浪板能上下運動撞擊水面產生水波

二、起波器的頻率測量

1.原理

起波器頻率測量裝置如圖 P1-7 所示，利用光敏電阻被照光與不被照光，電阻值會有不同之特性作為感測物體是否經過之依據，並利用程式控制進行偵測及取得微處理器(如：Arduino 開發板)之計時器的時間，記錄連接圓盤的遮板連續 2 次遮住照射光敏電阻的雷射光的時間間隔，以達成計時的目的。

起波器頻率測量裝置電路圖如圖 P1-8 所示，迴路電壓 $V=V_1+V_2$

(V_1 為光敏電阻之電位差、 V_2 為電阻之電位差、 R_1 為光敏電阻的電阻值、 R_2 為 4.7K 歐姆的固定電阻)

$$V=V_1+V_2=IR_1+IR_2.....①$$

$$\Rightarrow I = \frac{V}{R_1+R_2}$$

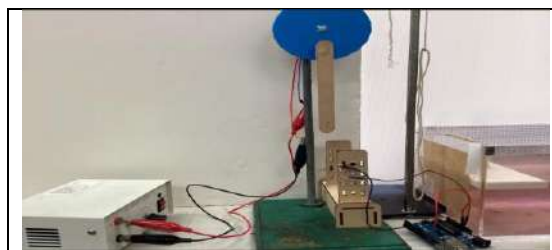
$$V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1+R_2} V \quad \dots\dots②$$

$$V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1+R_2} V \quad \dots\dots③$$

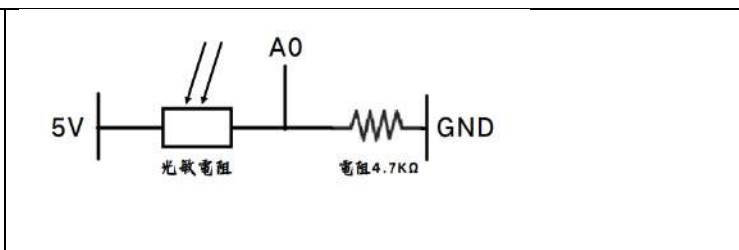
當光敏電阻受到光照時， R_1 變小，由式②可知 V_1 變小，當光敏電阻受到阻擋時， R_1 變大，由式②可知 V_1 變大，因為迴路電壓 V 固定，透過起波器頻率測量裝置電路(P1-7)，光敏電阻由照光轉為遮光時， A_0 讀值會由高轉低，經程式判斷後即可測量到起波器的頻率。

2.測量過程

- (1)電源供應器提供馬達 12 伏特電壓驅動馬達帶動圓盤轉動，讓起浪板能上下運動撞擊水面產生水波
- (2)利用起波器頻率測量裝置(P1-7)，記錄連續 2 次起浪板撞擊水面時間，換算成起波器產生的水波頻率



P1-7 起波器頻率測量裝置圖



P1-8 起波器頻率測量裝置電路圖

三、產生頻率不同的水波

實驗步驟

- (1)將水加到水道刻度 10 公分處，起浪板起始位置距水面 2 公分
- (2)依序調整直流電源供應器的電壓成 13.5V、9.7V 驅動馬達(1：220)，使起浪板撞擊水面產生水波，利用起波器頻率測量裝置得到水波的頻率
- (3)依序調整直流電源供應器的電壓成 11.5V、11.1V 驅動馬達(1：220)，使起浪板撞擊水面產生水波，利用起波器頻率測量裝置得到水波的頻率
- (4)依序調整直流電源供應器的電壓成 11.5V、11.4V 驅動馬達(1：220)，使起浪板撞擊水面產生水波，利用起波器頻率測量裝置得到水波的頻率

實驗一-4 起浪板啟動方式對水波產生的影響

藉由實驗所得探針電阻值加上影片分析來確認起波的方式對水波有何種影響

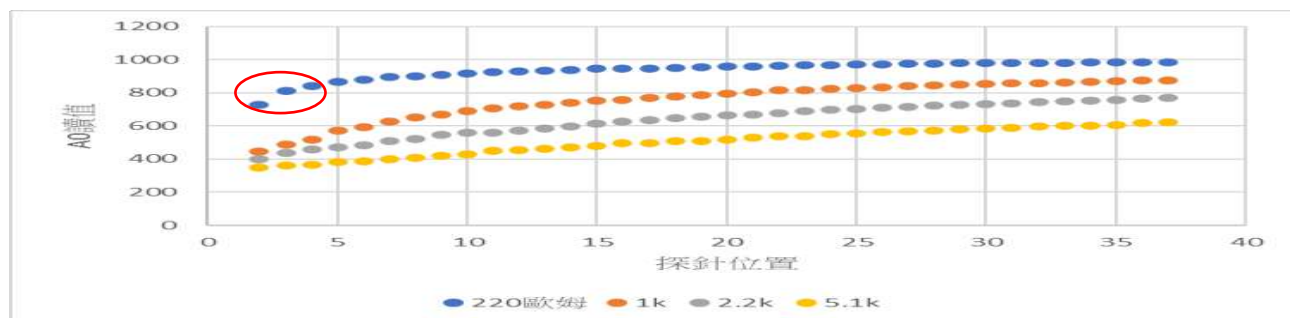
實驗步驟：

- (1)實驗裝置圖及裝置示意圖如 P1-5、P1-6 所示
- (2)電阻測量儀的探針位置設置示意圖如 P1，將探針置於水道 31cm 的位置
- (3)水道加入 10cm 高的水
- (4)將固定電阻 R1(220 Ω)與液體電阻測量裝置串聯，電路圖如 P3，利用 Arduino 提供迴路 5v 的電源，啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電阻電位 A0
- (5)將起浪板置於空中，等待水面平靜，並啟動錄影裝置
- (6)啟動起波器使起浪板打水
- (7)結束錄影
- (8)將起浪板震動水面方式改由水中拉起
- (9)重複步驟(4)~(7)
- (10)將實驗結果紀錄於 P1-14、P1-17

實驗結果與討論分析：

實驗一-1 數位電阻測量儀實驗結果

P1-9 不同 AB 探針間隔及不同固定電阻 R_1 對 A0 讀值的影響



討論：

- (1) 本實驗水波浪高相較於水平面約為 $\pm 1\text{cm}$ ，P1-9 實驗結果顯示固定電阻 $R_1=220$ 、 1k 、 2.2k 、 5.1k 歐姆，並且 AB 探針間距設定為 2 個定位模組間隔時，固定電阻 $R_1=220$ 歐姆，B 探針在位置 2~3 的 A0 讀值，在間距變化時較為靈敏。
- (2) 實驗一-4 將探針 A 置於定位模組位置 17，探針 B 至於定位模組位置 19，進一步分析水道內電阻測量儀對於區辨水波水位的電位與水波峰值的關係。

實驗一-2 探針的設置方式對水位電阻的影響

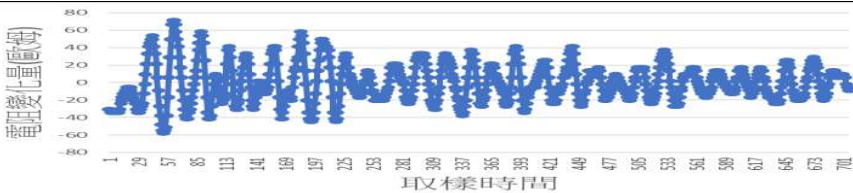
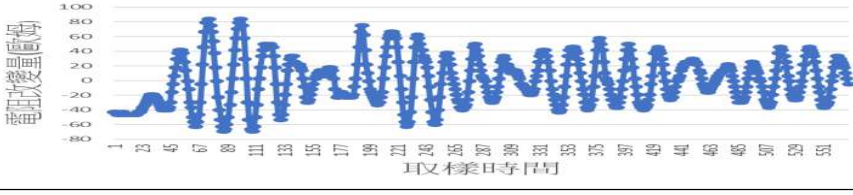
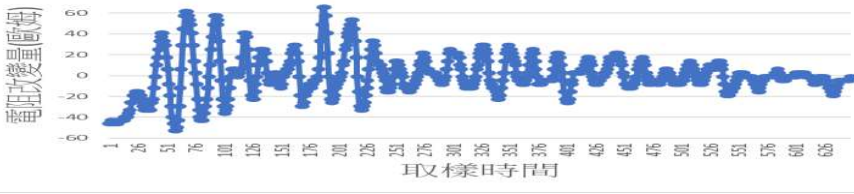
<p>A scatter plot showing the relationship between the submerged length of probe A (x-axis, 0 to 12 cm) and the A0 reading (y-axis, 0 to 1200). The A0 reading starts around 1000 at 0 cm and decreases slightly to around 800 at 12 cm.</p>	<p>A scatter plot showing the relationship between the submerged length of probe B (x-axis, 0 to 12 cm) and the A0 reading (y-axis, 0 to 1200). The A0 reading starts around 1000 at 0 cm and decreases slightly to around 850 at 12 cm.</p>
P1-10 探針沒入水面下長度對 A0 讀值的變化	P1-11 B 探針沒入水面下長度對 A0 讀值的變化

討論：

- (1) P1-10、P1-11，水位電阻測量儀於固定電阻 $R_1=220$ 歐姆，AB 探針同時或單一探針沒入水中長度產生變化皆能有效反應探針電位(A0 讀值)變化，且探針沒入水面下長度越長探針電位讀值越小。

實驗一-3 起波器的實驗裝置設計

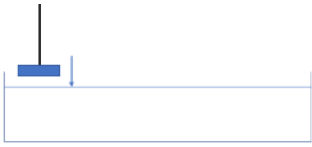
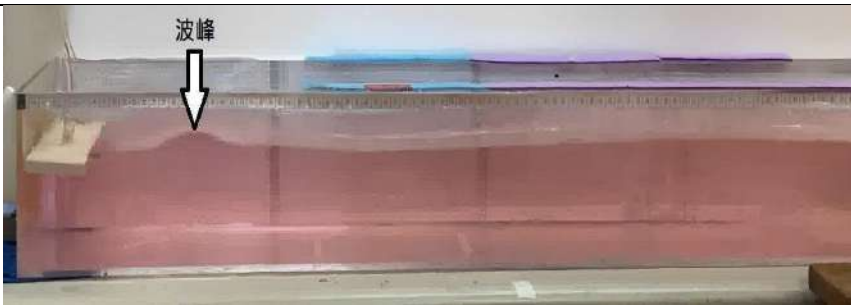
1. 實驗結果<表 1-1>

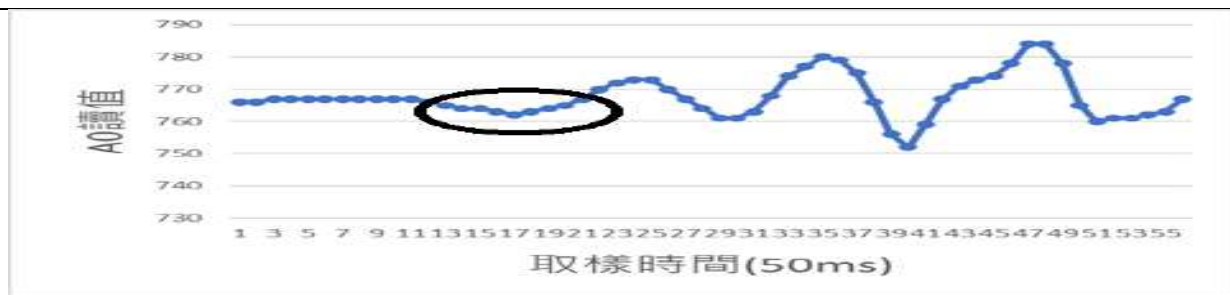
電壓差 (伏特)	測量結果	波群判斷
3.8		無明顯波群的 圖形
0.4		明顯有波群的 圖形樣貌
0.1		無明顯波群的 圖形

討論：

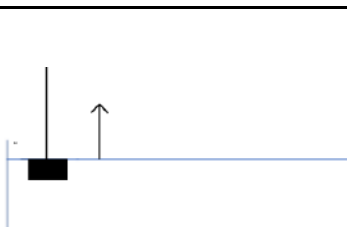
- (1) 可利用改變電源供應器的電壓去改變起浪板的頻率，進而改變產生的水波頻率。
- (2) 當連續兩個波的頻率有微小變化時，會有波群的現象產生。若頻率相差太大或是太微小，都不會有波群的現象。

實驗一-4 起浪板啟動方式對水波產生的影響

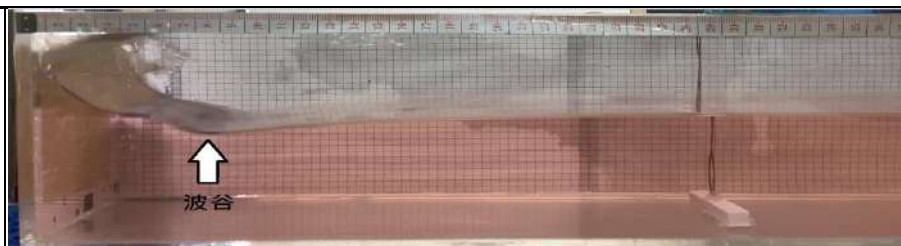
	
P1-12 起浪板振動方式	P1-13 水波移動照片



P1-14 水波電阻測量儀 A0 讀值隨時間變化圖



P1-15 起浪板振動方式



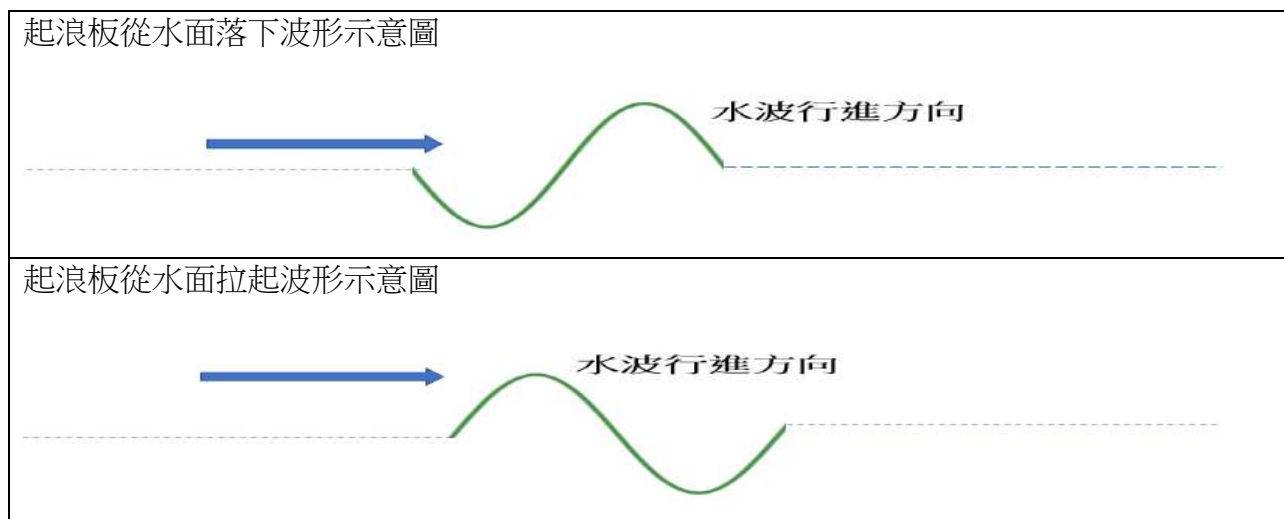
P1-16 水波移動圖



P1-17 水波電阻測量儀 A0 讀值隨時間變化曲線圖

討論：

- (1) 經過影片截圖的照片，實驗顯示起浪板從空氣打入水中會先產生波峰(起浪板振動方式 P1-12，產生水波情形 P1-13)，探針 A0 讀值隨時間變化如圖 P1-14 波峰經過探針 A0 讀值會先下降(P1-14 黑色圈標記位置)。
- (2) 起浪板從水面拉起時會先產生波谷(起浪板振動方式 P1-15，產生水波情形(P1-16)，探針 A0 讀值隨時間變化如圖(P1-16)，波谷經過探針時 A0 讀值會先升高(P1-17)紅色圈標記位置)，顯示起浪板啟動方式不同，產生水波形式不同。
- (3) 起浪板振動方式與產生水波的情況如下表所示：



<表 1-2>

(4)後續實驗起波模式將固定從空氣入水來製造水波。

實驗二、水波波群影響因素的探討

實驗二將透過改變起波器起波頻率產生不同波長的水波，觀察水道內不同位置波疊加後水位電阻變化探討水波波群現象。

實驗二-1 水位電阻測量儀對於對於水波波群測量評估

實驗步驟：

- (1)水道加入 10cm 高的水，將起浪板置於空中，等待水面平靜
- (2)將固定電阻 $R1(220\ \Omega)$ 與液體探針測量裝置串聯，電路圖如 P3，利用 Arduino 提供迴路 5v 的電源，啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針 A3 電位讀值
- (3)啟動起波器使其打水一次，實驗結果紀錄 P2-1
- (4)重複步驟(2)起波器打水兩次，同步測量起波器起波頻率，實驗結果紀錄於表 2-1

實驗二-2 水波波群的探討

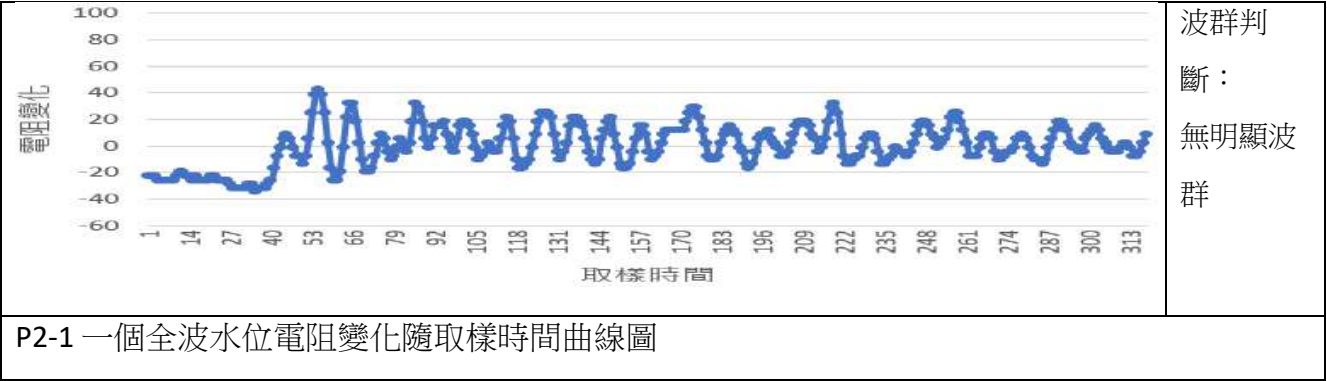
實驗步驟：

- (1)將壓克力盒(長寬高)(100cm*20cm*15cm)裝上測量儀器，實驗裝置圖及裝置示意圖如(P1、P3)所示
- (2)並加入水直到右邊水高至 10cm，啟動起波器打出四個波
- (3)將固定電阻 $R1(220\ \Omega)$ 與液體電阻測量裝置串聯，電路圖如 P3 所示，利用 Arduino 提供迴路 5v 的電源，啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電阻電位 A0、A1、A2、A3
- (4)將實驗結果紀錄於表 2-2

實驗結果討論與分析：

實驗二-1

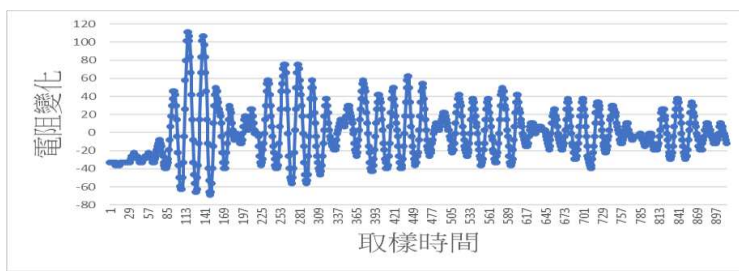
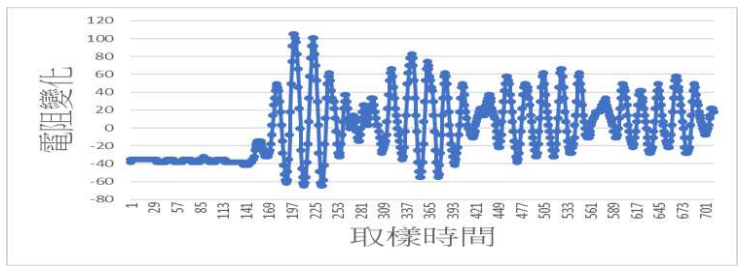
(1)利用起波器打水一次在水道內產生一個全波(一個波峰及波谷)，A3 探針水位電阻變化隨取樣時間曲線圖如 P2-1。

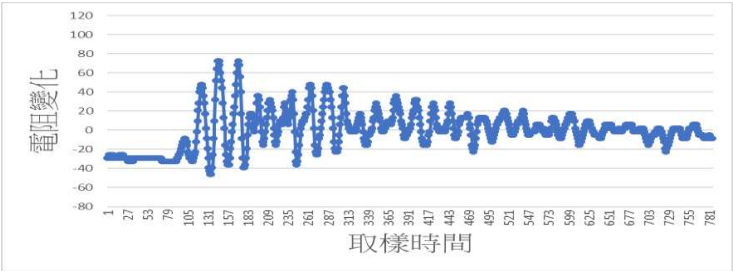
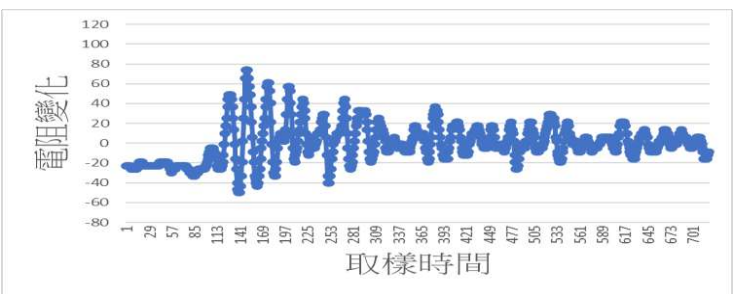


實驗結果：在水道內只產生一個頻率的水波，水波經 A3 探針的水位電阻變化隨取樣時間隨時間衰減但無明顯規律。

(2) 起波器打水 2 次在水道內產生 2 個全波，並記錄 2 次水波的週期並將實驗結果記錄於表 2-1。

表 2-1 不同頻率的 2 個水波於 A3 探針的水位電阻隨取樣時間關係圖：

T1 (ms)	T2 (ms)	週期差 (ms)	A3 探針實驗結果	波群判斷
575	581	6		有明顯波群
596	585	11		有明顯波群

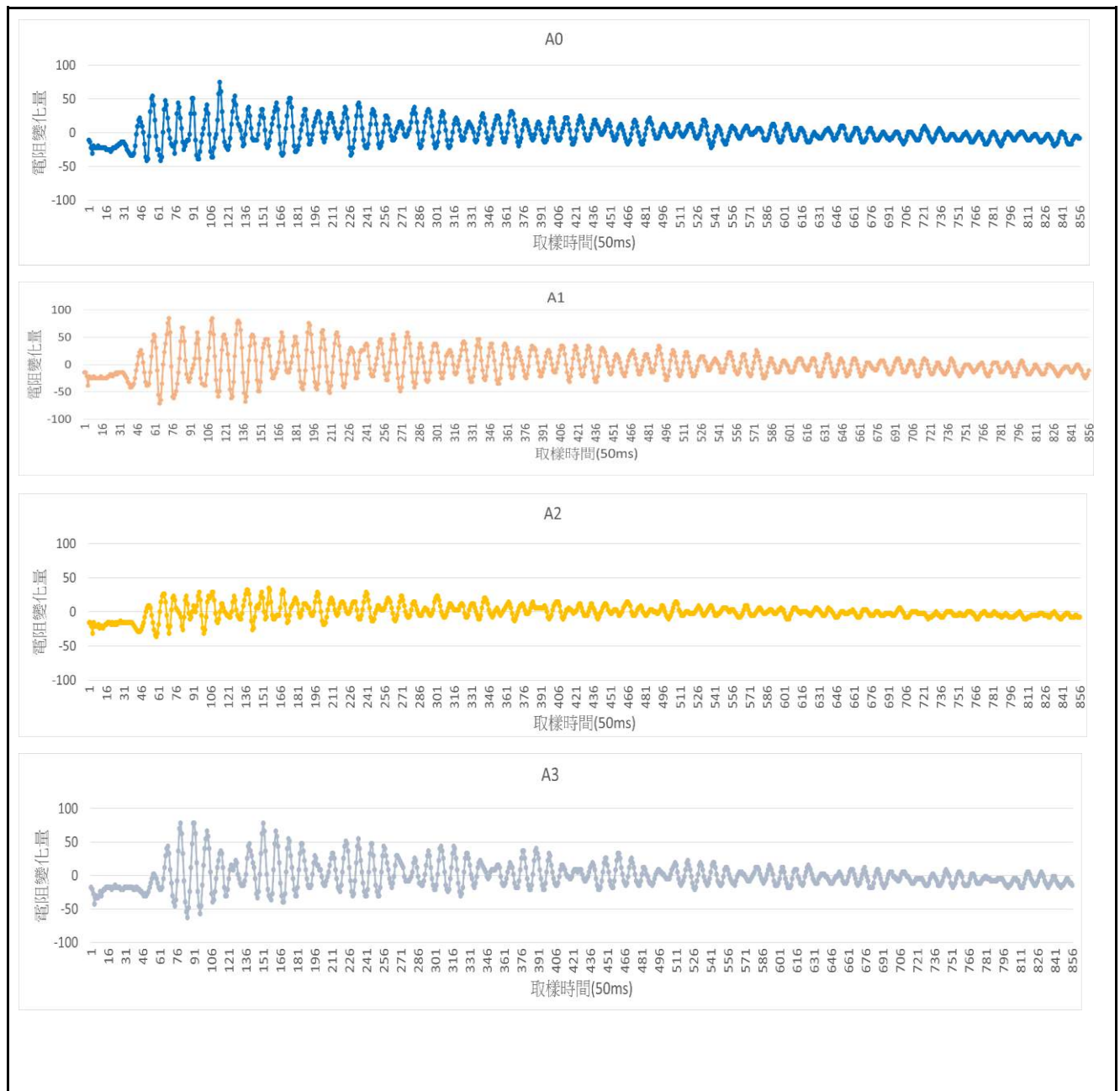
644	664	20		無明顯波群
637	667	30		無明顯波群

討論：

- (1)同一個水道內 2 個不同頻率的波重疊，隨 2 個波的週期差約 10ms，水位電阻隨取樣時間變化能出現波群的週期變化，隨著 2 個波的週期差變大，波重疊的波群現象逐漸不明顯。
- (2)比較實驗結果 P2-1 與表 2-1，結果顯示起波器產生一個波，水波電阻測量儀並不會測出波群，產生兩個不同頻率的水波於水道產生疊加時可發現明顯的波群變化。實驗證實不同頻率水波重疊干涉的水位隨時間變化能由水波電阻測量儀的探針讀值紀錄分析，相近頻率的水波疊加的波群現象能透過水位電阻變化觀測，其結果會受起波頻率影響。

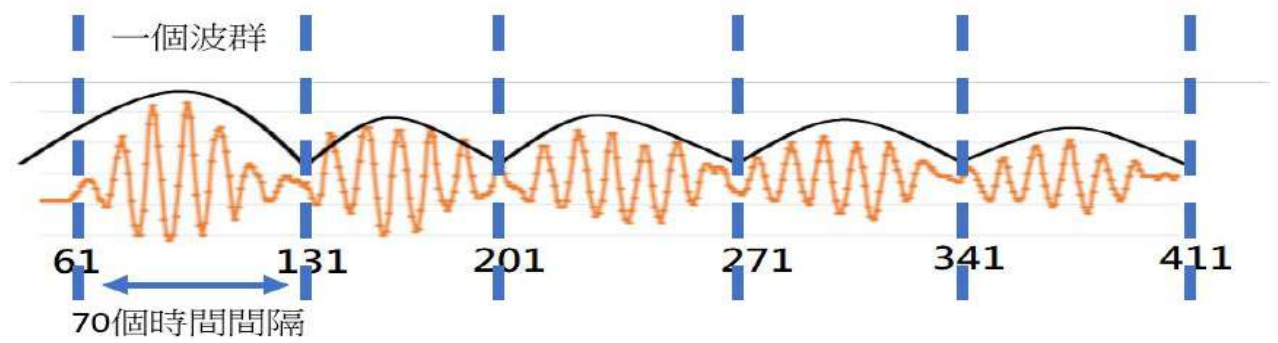
實驗二-2：實驗結果與討論分析：

<表 2-2>橫軸為取樣時間(每個時間數據點間格為 50 毫秒)，縱軸為探針所在位置的電阻變化量。



討論：

- (1) 比較實驗<表 2-2>A0~A3 探針實驗結果發現 A3 探針(水道位置 79cm)讀值隨時間變化，波群的現象較為明顯。
- (2) P2-2 為 A3 探針實驗結果的放大圖，圖上黑線為不同波群的標示，平均 70 個時間間隔 (約 3.5sec)會出現一個波群，實驗結果顯示水波行進過程中水位的電阻變化每 3.5 秒出現週期性的變化。



(P2-2) A3 探針實驗結果的放大圖

(3)比較實驗 A，A0 與 A3 的實驗數據(P2-3、P2-4)，可以發現 A3 讀值所測得的第一個波群較早出現，而 A0 讀值所測得的第一個波群較晚出現，推測應為 A3 探針在水道後方，較 A0 探針快偵測到反射後的水波，偵測到的反射波與起波器所打出的波較快重疊(A0、A3 的入射波與反射波路徑圖表 2-3 所示)，因此 A3 讀值的波群較快出現，而 A0 讀值的波群較晚出現。

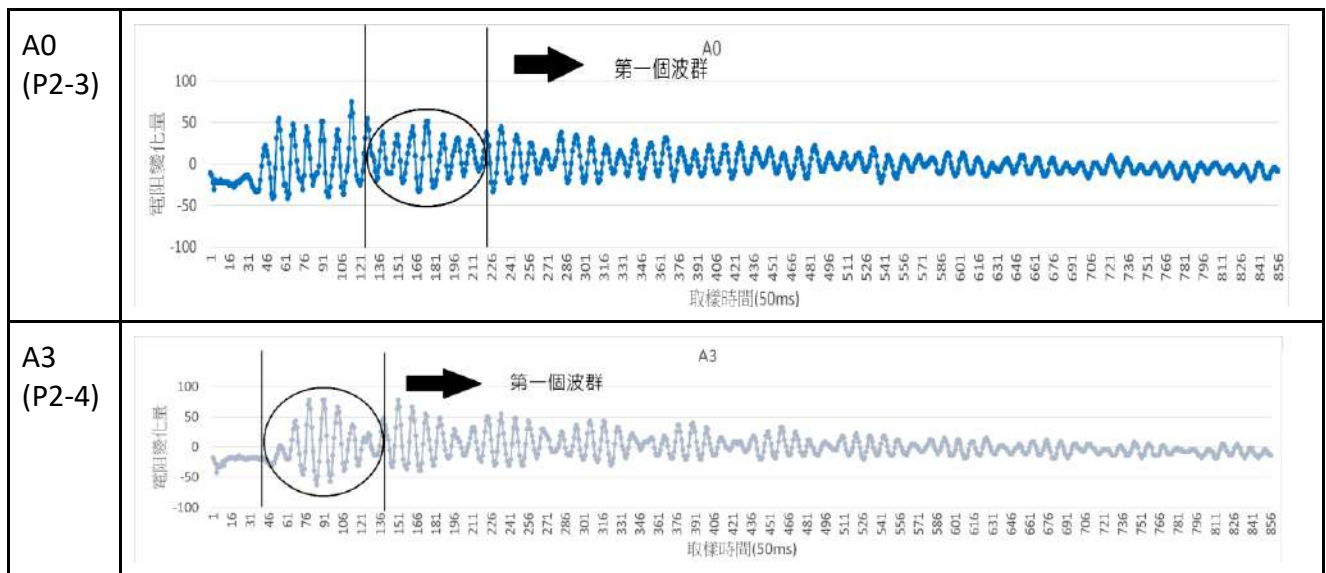
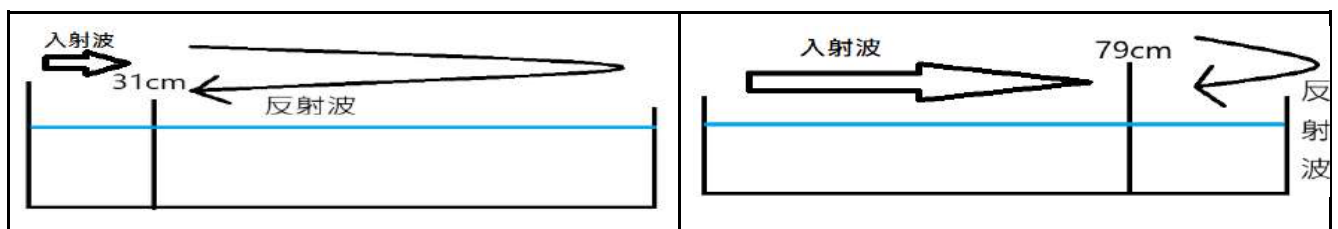


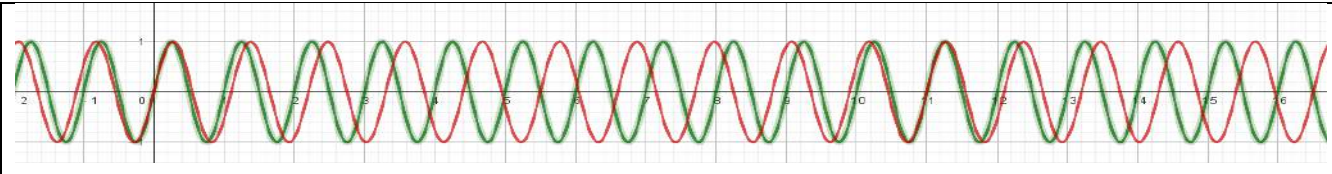
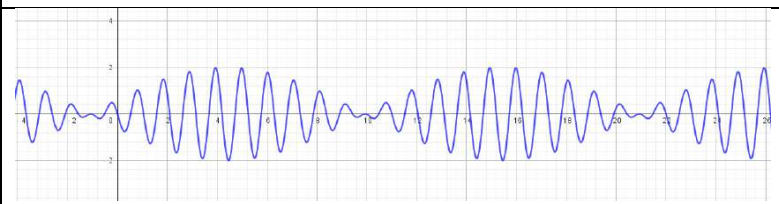
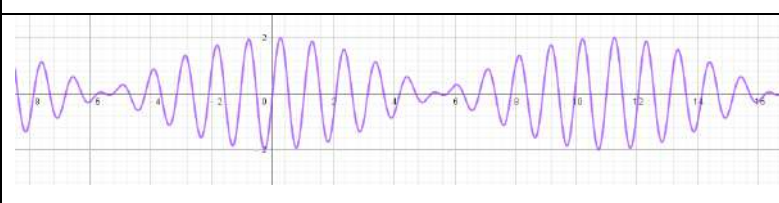
表 2-3(反射波示意圖)



為了驗證水波波群現象所造成的原因，我們使用 GGB 模擬兩同向及相向行進波產生波包的可能情況：

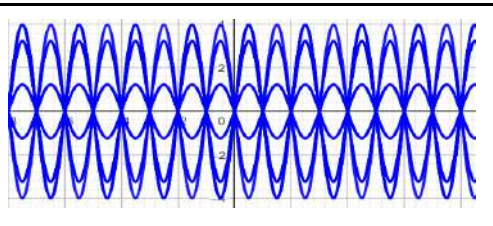
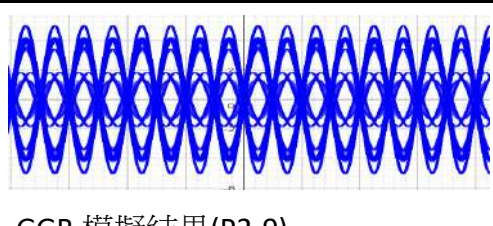
GGB 模擬與實驗結果比較

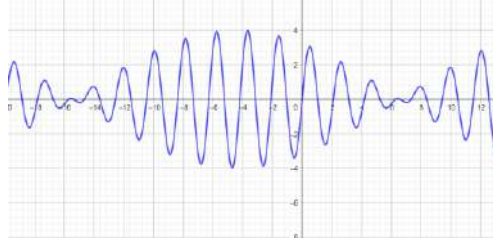
(一)波的運疊加方向對波群產生的影響：

	
<p>(P2-5)紅色波：波長 1.1cm 頻率 1Hz，振幅 1cm 綠色波：波長 1cm 頻率 1Hz，振幅 1cm</p>	
	<p>紅色波與綠射波相向運動的合成波可發現明顯波群</p>
<p>(P2-6)紅色波與綠射波相向運動的合成波 GGB 模擬</p>	
	<p>紅色波與綠射波同向運動的合成波可發現明顯波群</p>
<p>(P2-7)紅色波與綠射波同向運動的合成波 GGB 模擬</p>	

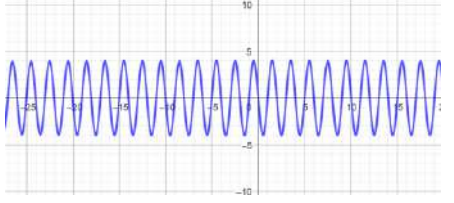
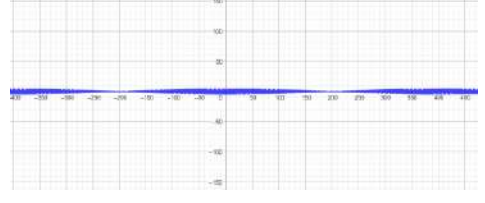
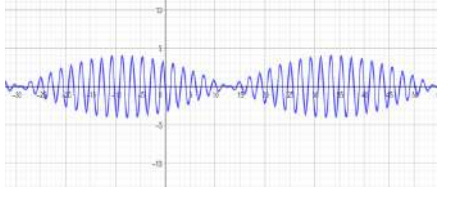
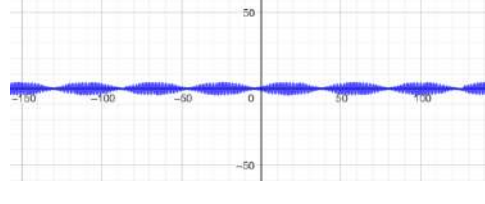
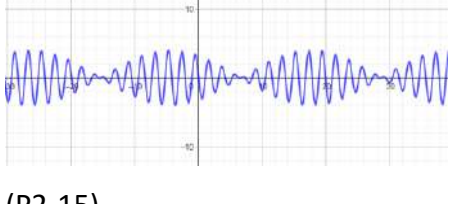
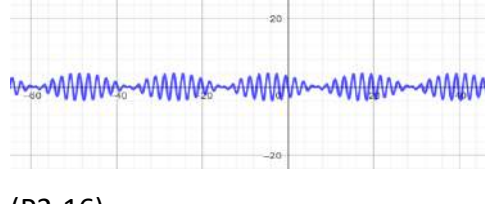
模擬結果：由 GGB 模擬(P2-5、2-6、2-7)可發現，波長相差 0.1cm 的行進波重疊，重疊波都能發現波群的現象，但兩波相向運動的行進波，波群的移動速度較兩波同向運動的重疊波群快。

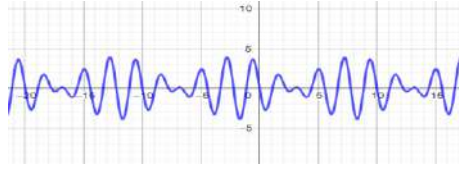
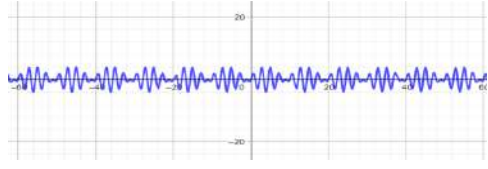
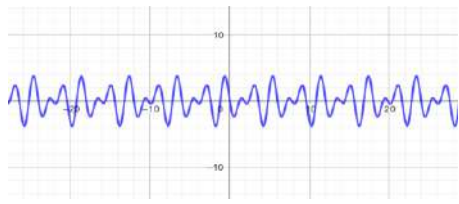
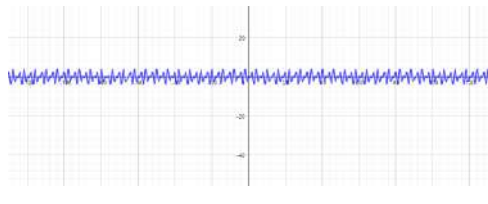
(二)振幅對波群產生的影響：

<p>兩波振幅相同</p> <p>兩波波長相同=2cm</p> <p>兩波相向運動疊加</p>	 <p>GGB 模擬結果(P2-8)</p>	<p>模擬結果：</p> <p>出現共振波圖形，不會出現波群</p>
<p>兩波振幅相差 1cm</p> <p>兩波波長相同=2cm</p> <p>兩波相向運動疊加</p>	 <p>GGB 模擬結果(P2-9)</p>	<p>模擬結果：</p> <p>出現共振波圖形，不會出現波群</p>

<p>兩波振幅相同</p> <p>$\lambda_1=2.2$ $\lambda_2=2$</p> <p>兩波波長相差 0.2cm</p> <p>兩波相向運動疊加</p>	 <p>GGB 模擬結果(P2-10)</p>	<p>模擬結果：波疊加產生波群</p>
--	---	---------------------

(三)波長差對波群的影響：

<p>波長相差 0.01 的兩波 相向疊加會出現不明顯的波群</p>	 <p>(P2-11)</p>	 <p>(P2-12)</p>
<p>兩波波長相差 0.01cm 相向疊加 $\lambda_1=2.01$ $\lambda_2=2$</p>		
<p>波長相差 0.1 的兩波 相向疊加會出現較明顯的波群</p>	 <p>(P2-13)</p>	 <p>(P2-14)</p>
<p>兩波波長相差 0.1cm 相向疊加 $\lambda_1=2.1$ $\lambda_2=2$</p>		
<p>波長相差 0.2 的兩波 相向疊加會出現明顯的波群</p>	 <p>(P2-15)</p>	 <p>(P2-16)</p>
<p>兩波波長相差 0.2cm 相向疊加 $\lambda_1=2.2$ $\lambda_2=2$</p>		

<p>波長相差 0.5 的兩波 相向疊加會出現波群</p>	 <p>(P2-17)</p>	 <p>(P2-18)</p>
<p>兩波波長相差 0.5cm 相向疊加 $\lambda_1=2.5$ $\lambda_2=2$</p>		
<p>波長相差 1 的兩波相 向疊加會出現波群</p>	 <p>(P2-19)</p>	 <p>(P2-20)</p>
<p>兩波波長相差 1cm 相向疊加 $\lambda_1=3$ $\lambda_2=2$</p>		

模擬結果：由 GGB 的模擬(P2-8)到(P2-20)

- (1) 振幅的改變並不會直接體現在波包的出現上，只有振幅的差距太大時，才會讓波包不明顯。
- (2) 波長差距較小時，波群的長度長，而當差距變大時波群的長度變短，且波包逐漸變不明顯。
波長差距愈大，波群長度愈短。
- (3) 波群的長度與波長差有關。這是因為波長差影響了波包的包絡形狀。波長差越大，波包的包絡越窄，波群長度越短。
- (4) GGB 模擬與實驗結果吻合。實驗結果顯示波長的改變與波包產生有直接的影響。

結論：波群長度：由波長差決定。波長差越大，波群長度越短。

實驗三、不同濃度糖水波群峰值衰減探討

實驗步驟：

(一)不同濃度不同探針長度探針讀值變化

- (1)實驗裝置圖如 P1-1
- (2)將方形壓克力盒(長寬高)(20cm*1.5cm*12cm)，再將 3D 列印模組(共 37 個定位點)裝上如 P1-4
- (3)將方形壓克力盒加入 10cm(水位高度 20 格方格紙)高的水如 P1-2
- (4)將固定電阻 R1(220 Ω)與液體電阻測量裝置串聯，水波電阻測量儀電路圖如 P1-3，利用 Arduino 提供迴路 5V 的電源
- (5)將探針 A 置於定位模組位置 17，探針 B 至於定位模組位置 19，A、B 探針沒入液面下長度 10cm
- (6)啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電阻電位 A0
- (7)重複步驟(4)~(6)，改變探針沒入液面下長度，每次抬高 0.5cm(1 個方格)
- (8)重複步驟(4)~(7)改變方形壓克力盒內液體為 10%及 28%糖水
- (8)實驗結果記錄於 P3-1

(二)不同濃度糖水的水波重疊波群探討

- (1)實驗裝置圖如 P1 所示，水槽內朝內置入 10cm 高 10%糖水
- (2)啟動起波器打出四個波
- (3)將固定電阻 R1(220 Ω)與液體電阻測量裝置串聯，電路圖如 3，利用 Arduino 提供迴路 5v 的電源，啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電位讀值 A3
- (4)將水槽內的液體改為 28%糖水
- (5)重複(2)~(4)，實驗結果記錄於表 3-2

實驗結果與討論分析：

水面下探針長度 (cm)	探針讀值		
	28%	10%	水
10	918.1	856.8	775
9.5	921.3	869.5	780
9	924.6	880.6	781.1
8.5	931.5	885.7	795.8
8	937.4	892.9	795

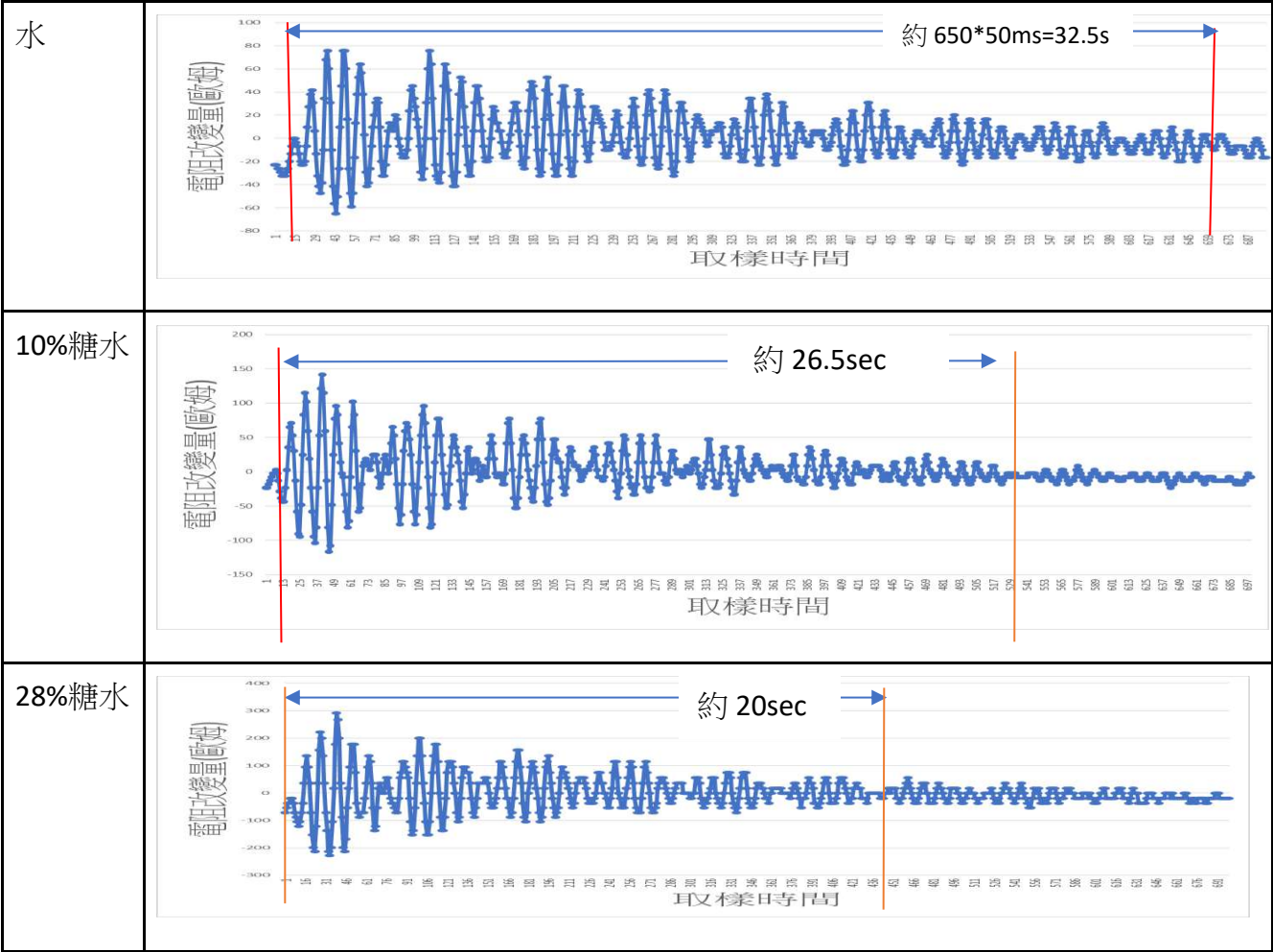
圖 P3-1 不同濃度不同探針長度與探針讀值關係圖

表 3-1 不同濃度不同探針長度探針讀值

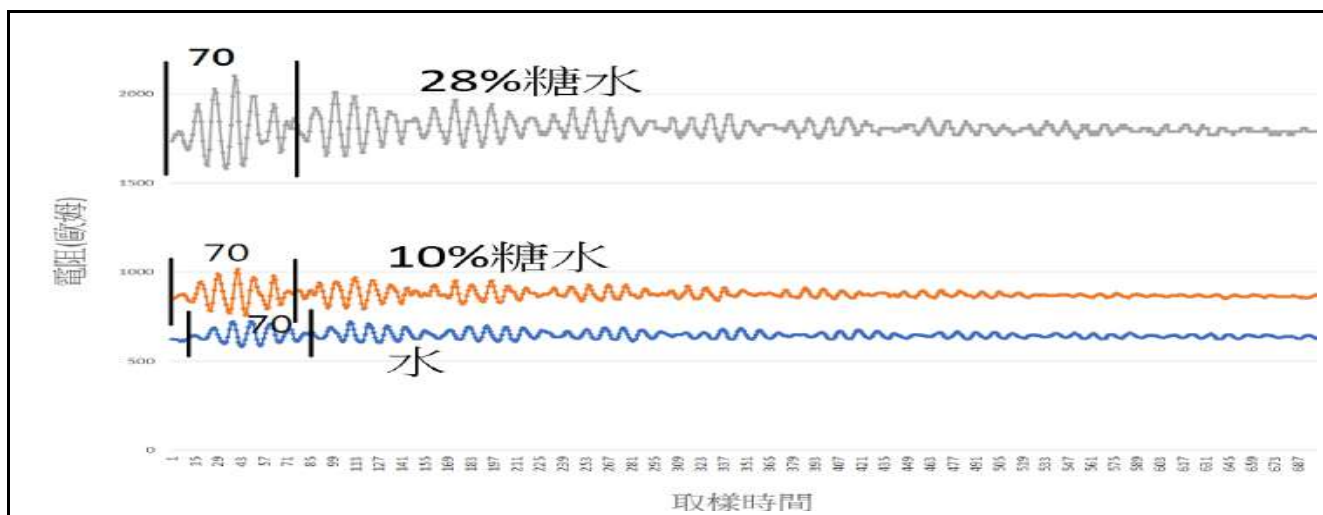
P3-1 不同濃度不同探針長度與探針讀值關係圖

討論：不同濃度不同探針長度與探針讀值關係圖如表 3-1 及 P3-1 不同濃度糖水，沒入水中探針長於 $10\text{cm}\pm 1\text{cm}$ 的探針讀值變化趨勢類似，透過比對表 3-1 與實驗探針讀值，能估算水位高低。

<表 3-2 水波經不同濃度糖水探針電阻值隨取樣時間變化曲線圖>



討論：比較不同液體 A3 探針電阻隨時間變化，如表 3-2，實驗結果顯示隨著波動經過探針，不同液體於 A3 探針電阻隨時間變化，因入射波與反射波於 A3 探針位置產生疊加，產生明顯波群，且波群隨時間衰減，水波群出現時間超過 30 秒，28%糖水測到波群現象約 20 秒，實驗結果顯示較低的黏滯性使得能量損耗較小，波動能夠持續較久的趨勢。(明顯的波群，能反應振幅衰減的趨勢)

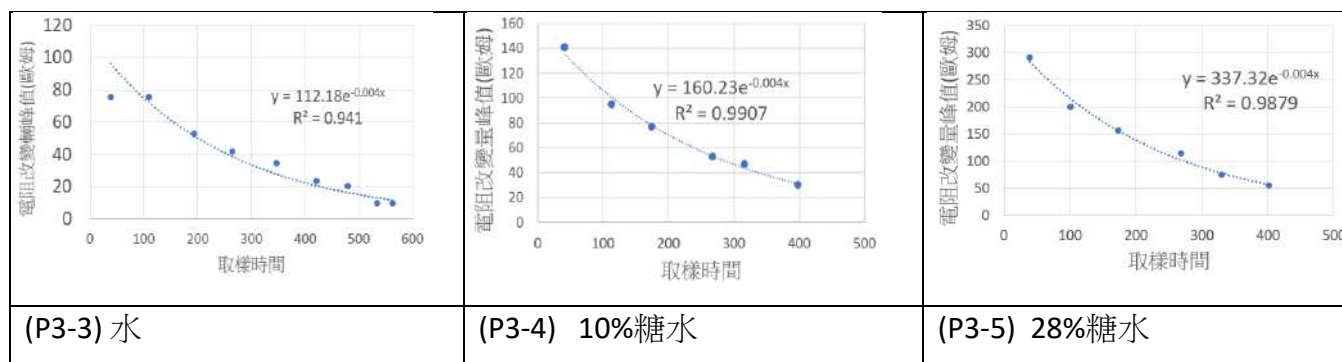


P3-2 不同液體探針水位電阻隨時間變化 (取樣週期為 50 毫秒)

討論：

- (1) 比較不同液體於 A3 探針位置波群長度變化，實驗結果(P3-2)不同液體平均 70 個時間間隔 (約 3.5sec) 會出現一個波群，水波水位的電阻變化每 3.5 秒出現週期性的變化，波群週期不隨水溶液黏滯性變大而改變
- (2) 表 3-3 比較不同液體(水、10%糖水、28%糖水)於 A3 探針水波波群峰隨時間值衰減情形，將表 3-2 所得實驗結果轉繪成波群電阻峰值隨時間變化曲線(波群峰值為每個波群最大值與波平均值的差)

表 3-3 不同濃度糖水波群峰值隨時間變化曲線



討論：

- (1) 比較不同濃度糖水波群電阻峰值隨時間變化趨勢方程式皆為 $R_0 e^{-0.004x}$ ， R_0 值隨糖的濃度不同而改變，但波群峰值衰減模式皆為 $e^{-0.004x}$ ，我們推測雖然實驗製備不同濃度糖水改變水的黏滯性，但水波傳遞方式依然受水的原先性值影響較大，導致水波波群峰值衰減模式類似。
- (2) 波群峰值隨時間變化曲線呈現指數衰減，原因為水波傳遞過程由於流體阻力、摩擦力等因素引起的振動幅度逐漸下降的現象為一種阻尼震動，阻尼振動會緩慢的經由多次振動

逐漸把振幅減小，最後回到平衡位置。

(3) 水波傳遞過程，水的振動受阻力影響的受力與振動關係如式(1)

$$F = m \frac{dx^2}{dt^2} = -kx - m\lambda \frac{dx}{dt} \quad (\lambda : \text{阻尼係數}) \dots\dots(1)$$

$$m \frac{dx^2}{dt^2} + kx + m\lambda \frac{dx}{dt} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{dx^2}{dt^2} + \lambda \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \dots\dots\dots(3)$$

(3)式方程式的解：

$$x(t) = x_0 e^{-\frac{\lambda t}{2}} \cos(\omega_d t + \delta) \dots\dots\dots(4)$$

若只考慮 X 峰值的衰減(4)可簡化成 $x(t) = x_0 e^{-\frac{\lambda t}{2}} \dots\dots\dots(5)$

比對表 3-3 不同濃度糖水波群峰值隨時間變化(5)式可改成 $R(t) = R_0 e^{-\frac{\lambda t}{2}}$

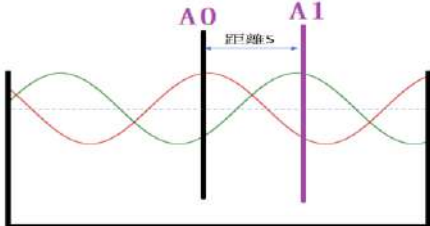
不同濃度糖水峰值衰減趨勢線為 $R=R_0 e^{-\frac{\lambda x}{2}}$ ，不同濃度糖水 R_0 值不同，但造成衰減的阻尼係數應該相同，我們推測水波傳遞方式主要受水的原先性值影響較大，導致水波波群峰值衰減模式類似。

實驗四、探討水波電阻測量法的應用(1)-水波波速的測量

我們將嘗試將 2 個電阻測量儀並聯，架設於水道不同位置，透過兩組測量儀追蹤同一個波峰或波谷到達探針的時間差，發展可利用水位電阻變化作為測量波速的測量工具。

實驗原理：

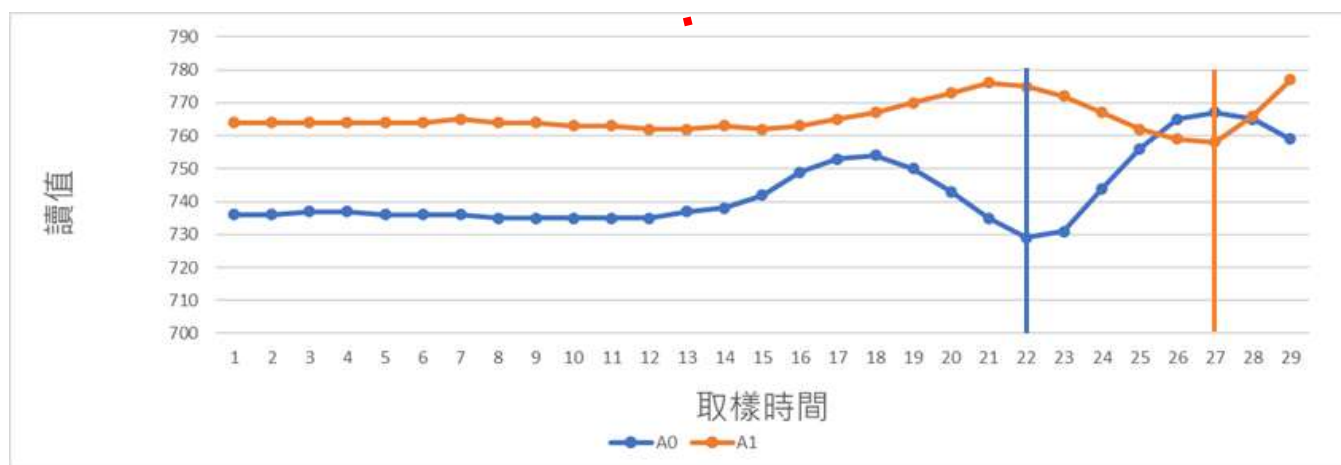
實驗一-2，我們得知水位高，電阻值會變低，水位低，電阻值會變高，所以當第一個波峰經過 A0 探針時，電阻值先變低，接著第一個波峰會經過 A1 探針，電阻值變低，藉由波經過探針所測得的探針讀值隨時間變化曲線掌握 A0 探針到 A1 探針的距離及同一波峰由 A0 到 A1 時間可得波速

 <p>P4-1(波峰移動示意圖)</p>	<p>(1) 若波行進方向向右</p> <p>(2) 紅色波經 Δt 時間移動到綠色波位置</p> <p>(3) 波由 A0 行進到 A1 費時 Δt</p> <p>(4) 波速 $v = \frac{\text{距離}}{\text{時間}} = \frac{S}{\Delta t}$</p>
--	---

實驗步驟：

- (1)實驗裝置圖及裝置示意圖如 P1、P2 所示
- (2)電阻測量儀的探針位置設置示意圖如 P3，將 2 組探針至於水道 31cm 及 47cm 的位置
- (3)水道加入 10cm 高的水
- (4)將固定電阻 R1(220 Ω)與液體電阻測量裝置串聯，電路圖如 P3，利用 Arduino 提供迴路 5V 的電源
- (5)將起浪板置於空中
- (6)等待水面平靜
- (7)啟動起波器使其打水 4 次
- (8)啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電阻電位 A0
- (9)將實驗結果記錄於 P4-2

實驗結果：



(P4-2)水道水位高度 10cm 水波電阻測量儀電阻隨時間變化

實驗討論：

- (1)水道水位高度為 10cm，水波傳遞過程電阻測量儀電位讀值隨時間變化結果如圖 P4-2，藍色曲線為水道上 31cm 位置電阻測量儀的電位變化記錄，透過追蹤同一個波峰或波谷經過 A0，A1 電阻儀的時間(圖 P4-5 兩虛線間的時間)，可得知水波波速。
- (2)實驗水道長度為 100cm，以水道探針 31cm 位置為例，第一個水波經探針後約 1.5 秒後，探針會受到水道末端反射波訊號的干擾，因實驗過程探針測量週期為 50ms，因此對於波速測量實驗，我們只針對第一波到達探針後約 30 個數據點內資料進行分析。

(3)實驗的取樣時間間格為 50ms，發現 A0(藍色曲線)、A1(橘色曲線)的讀值低點位在第 22、第 27 個取值點，A0 與 A1 在水道相隔距離為 16cm，同一個波峰經過 A0，A1 電阻儀的時間(圖 P4-5 兩虛線間的時間)為 250ms(5 個時間間隔)

$$v = \frac{\text{距離}}{\text{時間間隔}} = \frac{16\text{cm}}{250\text{ms}} = 64 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

(4)透過水波水位高低所產生的水位電阻變化能有效應用於水波波速測量，實驗五我們將使用實驗四所發展的波速測量法探討不同深度的水波波速。

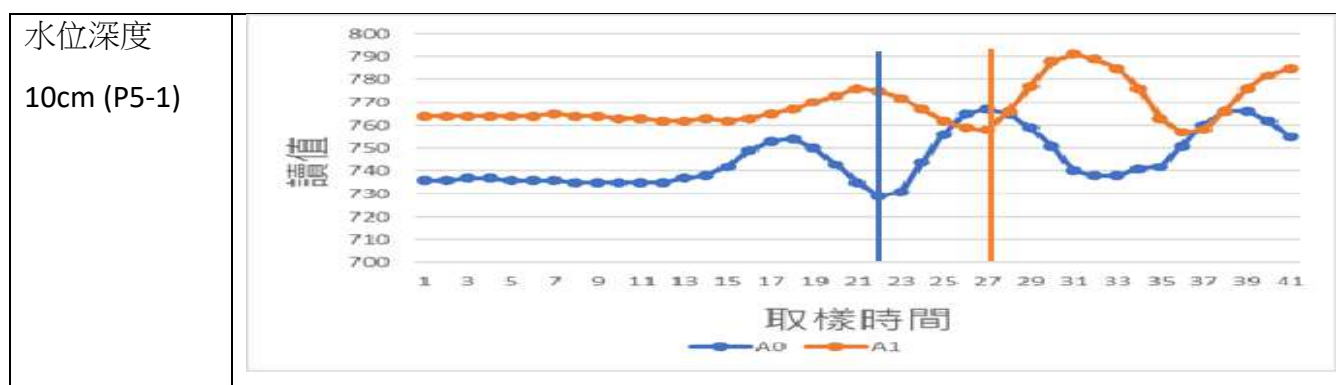
實驗五、探討不同深度水波波速的變化

我們調整水槽深度，透過水槽內探針隨水波的電阻變化，探討不同深度水波波速

實驗步驟：

- (1)實驗裝置圖及裝置示意圖如 P1、P2 所示
- (2)將 2 組探針至於水道 31cm 及 47cm 的位置
- (3)水道加入 10cm 高的水
- (4)將固定電阻 R1(220Ω)與液體電阻測量裝置串聯，電路圖如 P3，利用 Arduino 提供迴路 5V 的電源
- (5)將起浪板置於空中，等待水面平靜
- (6)啟動起波器使其打水 4 次
- (7)啟動程式，50 毫秒記錄一次液體內探針電阻電位 A0，記錄實驗結果
- (8)將水位降低 4 公分
- (9)重複步驟(5~7)兩次

實驗結果與討論：



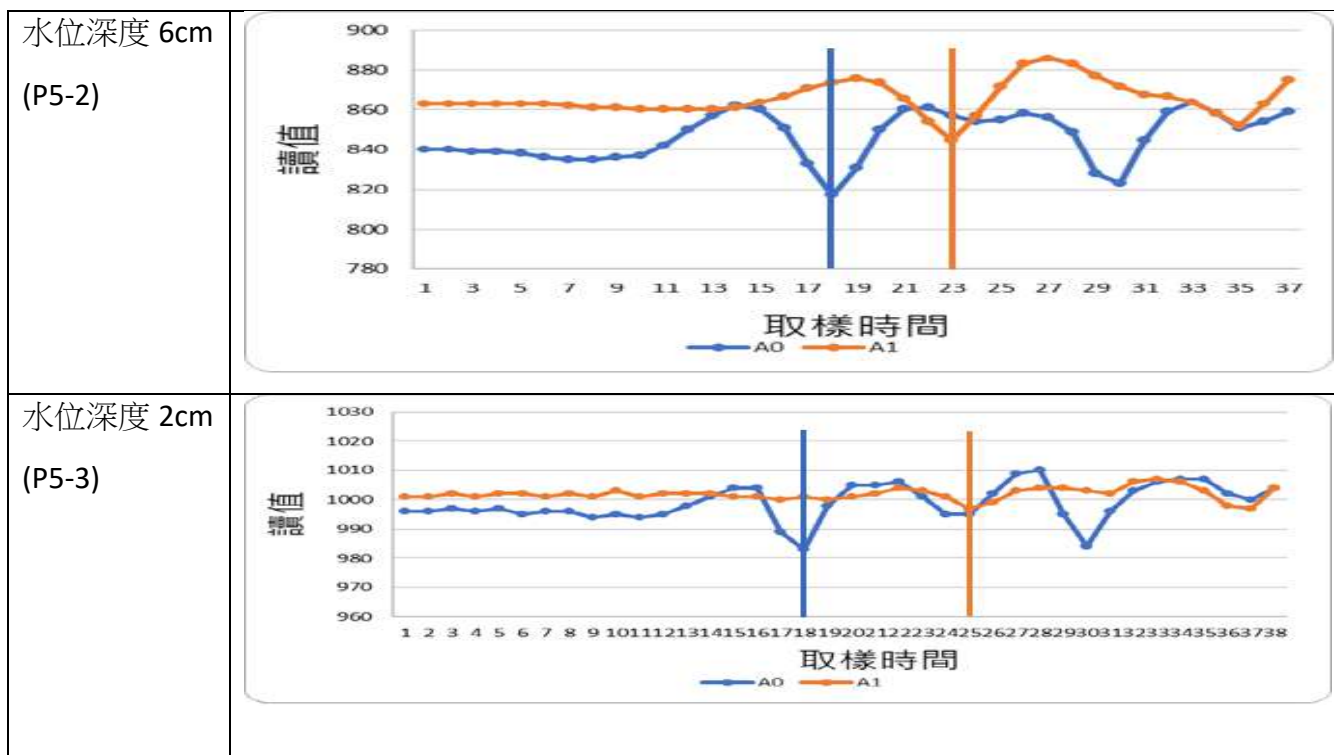
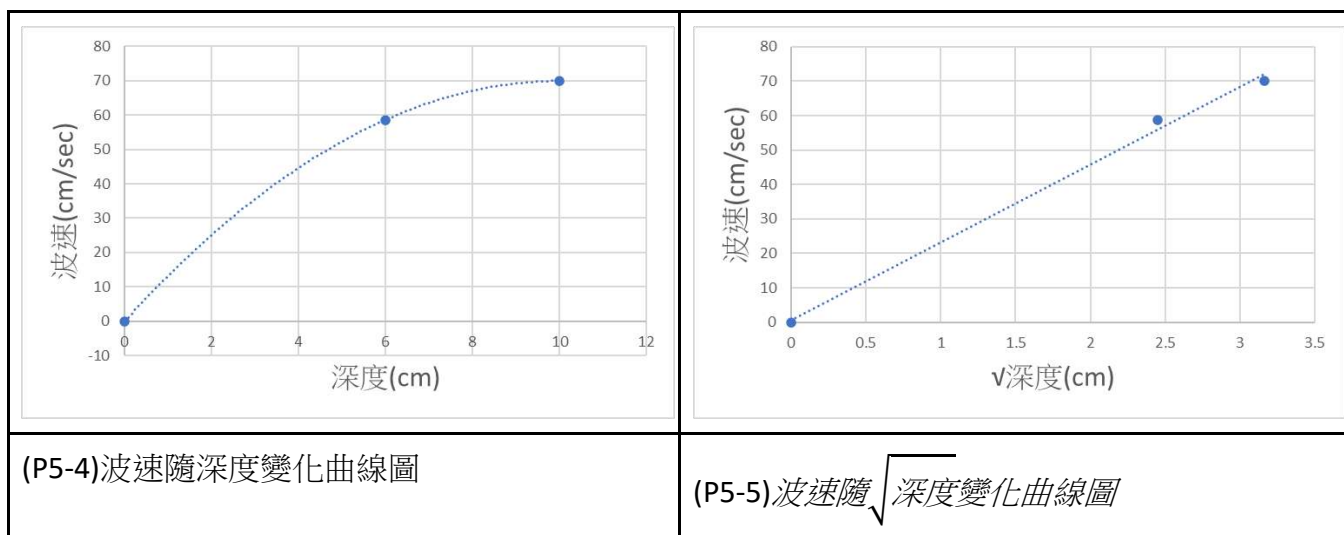


圖 5-1~5-3 不同水位深度的探針讀值對時間關係圖(曲線縱軸為探針讀值，橫軸為時間，每間格為 50ms)(藍色線為 A0 取值時間、橘色線為 A1 取值時間)

<表 5-1>不同水深波速的波速測量結果：

10cm				6cm				2cm			
	A0	A1	波速		A0	A1	波速		A0	A1	波速
1	76	81	64	1	36	41	64	1	51	58	45.7
2	72	76	80	2	44	49	64	2	58	66	40
3	67	71	80	3	55	61	53.3	3	66	71	64
4	38	43	64	4	64	69	64	4	33	40	45.7
5	45	50	64	5	71	77	53.3	5	40	46	53.3
6	51	55	80	6	82	88	53.3	6	46	51	64
7	89	94	64	7	64	69	64	平均			52.1
8	95	100	64	8	71	77	53.3				
平均			70	平均			58.6				



討論與分析：

- (1)探針會受到水道末端反射波訊號的干擾，因實驗過程探針測量週期為 50ms，因此對於波速測量實驗，我們只針對第一波到達探針後約 30 個數據點內資料進行分析。
- (2)實驗結果顯示，波速會隨著水深的增加而上升，且與 $\sqrt{\text{深度}}$ 呈現正比關係。實驗結果也與與理論趨勢相似
- (3)水深 2cm、6cm 和 10cm 的平均波速分別為 52.1、58.6 與 70 cm/sec。但由於 2cm 的水位太低受水波槽底部，與固定探針的底座影響太大，導致數值偏移

陸、結論

- (一)實驗一：自製電阻測量儀在固定電阻 $R_1=220$ 歐姆，探針間距 2~3，在深度變化時較為靈敏，且探針沒入水面下長度越長探針電位讀值越小。透過影片追蹤水波，顯示起浪板從空氣入水會先產生波峰，探針 A0 讀值會先下降，起浪板從水中拉起會先產生波谷，探針 A0 讀值會上升。
- (二)可利用改變電源供應器的電壓去改變起浪板的頻率，進而改變產生的水波頻率。當連續兩個波的頻率有微小變化時，會有波群的現象產生。若頻率相差太大或是太微小，都不會有波群的現象。
- (三)利用起浪器產生 1 個全波，水波經 A3 探針的水位電阻變化隨取樣時間衰減但無明顯規律。
- (四)同一個水道內 2 個不同頻率的波重疊，隨 2 個波的週期差約 10ms，水位電阻隨取樣時間變化能出現波群的週期變化，隨著 2 個波的週期差變大，波重疊的波群現象逐漸不明顯，顯示波群受造浪頻率影響。

- (五) GGB 模擬顯示，振幅的改變並不會直接體現在波包的出現上，只有振幅的差距太大時，才會讓波包不明顯。波長差距較小時，波群的長度長，而當差距變大時波群的長度變短，且波包逐漸變不明顯。波長差距愈大，波群長度愈短。波群的長度與波長差有關。這是因為波長差影響了波包的包絡形狀。波長差越大，波包的包絡越窄，波群長度越短。
- (六) 濃度低於 28% 糖水，水波水位的電阻變化每 3.5 秒出現週期性的變化，波群週期不隨水溶液黏滯性變大而改變。不同濃度糖波群電阻峰值隨時間變化趨勢方程式皆為 $R_0 e^{-0.004x}$ ， R_0 值隨糖濃度改變，但波群峰值衰減模式皆為 $e^{-0.004x}$ ，我們推測雖然實驗製備不同濃度糖水改變水的黏滯性，但水波傳遞方式依然受水的原先性值影響較大，導致水波波群峰值衰減模式類似
- (七) 實驗四透過水波水位高低所產生的水位電阻變化能有效應用於水波波速測量。
- (八) 實驗五波速會隨著水深的增加而上升，且與 $\sqrt{\text{深度}}$ 呈現正比關係
- (九) 通常一般都是利用光學進行水波干涉實驗來觀測水波，但我們利用自製的水波電阻測量儀測量電阻，提供另外一種新的探測波傳遞的方式。

柒、未來展望

水波干涉實驗一般使用光學實驗方法，本實驗過程所研發的電阻測量儀，利用電學方式觀測不同水波的干涉現象，提供另一種水波干涉觀察法。實驗未來可嘗試運用於(一)研究不同介質，水波疊加的減浪效果(二)研究地形影響波浪衰減的影響(三)將水道拓展，探討波浪以不同角度疊加。

捌、參考文獻資料

- 一、(2021 年 6 月 23 日) · 認識海洋－海浪是怎麼形成的 · 取自 <https://reurl.cc/86Er6d>
- 二、物理海洋學 ABC · 二、波浪運動 · 取自 <https://reurl.cc/dQ58r6>
- 三、(2024 年 6 月 10 日) · 群速度 · 維基百科 · 取自 <https://reurl.cc/xN0XZ4>
- 四、(2024 年 7 月 4 日) · 波包 · 維基百科 · 取自 <https://reurl.cc/W0LWL7>
- 五、Keith Stowe (1987) · Essentials of Ocean Science
- 六、中華民國第四十六屆中小學科學展覽會 · 被困住的水波

本作品【波中「針」意-電阻測量法應用於水波傳遞的探討】內所有圖片、照片、圖表皆由作者自行拍攝繪製

【評語】 030105

本作品透過液體高度變化與電阻值之間的關聯性，提出以電阻量測來觀測水波波形與波動現象的可能性，為傳統光學觀測之外，提供了替代方法。建議未來在進行主要實驗前，可先進行一些標準化的測量，例如不同水深、不同濃度糖水在靜止狀態下的電阻變化，將有助於提升數據的可解釋性與研究的完整度。整體而言，展現出作者對科學觀察與實作的高度熱忱！

作品海報

波中「針」意-電阻測量法 應用於水波傳遞的探討

研究動機

在國二的理化課當中，我們學到波動主題，談到了海浪傳播的過程，波通常會成群向外傳播，波群移動的速度為群速度，也就是波浪能量傳播的速度。對於水波的干涉現象觀察一般都是使用光學實驗的方式來進行，而本實驗嘗試利用電學的方法，發展可以觀測水波干涉現象的測量工具。我們好奇是否有機會在實驗室中，真的觀察到波重疊之後的波群現象，並對其產生的原因做進一步探究。

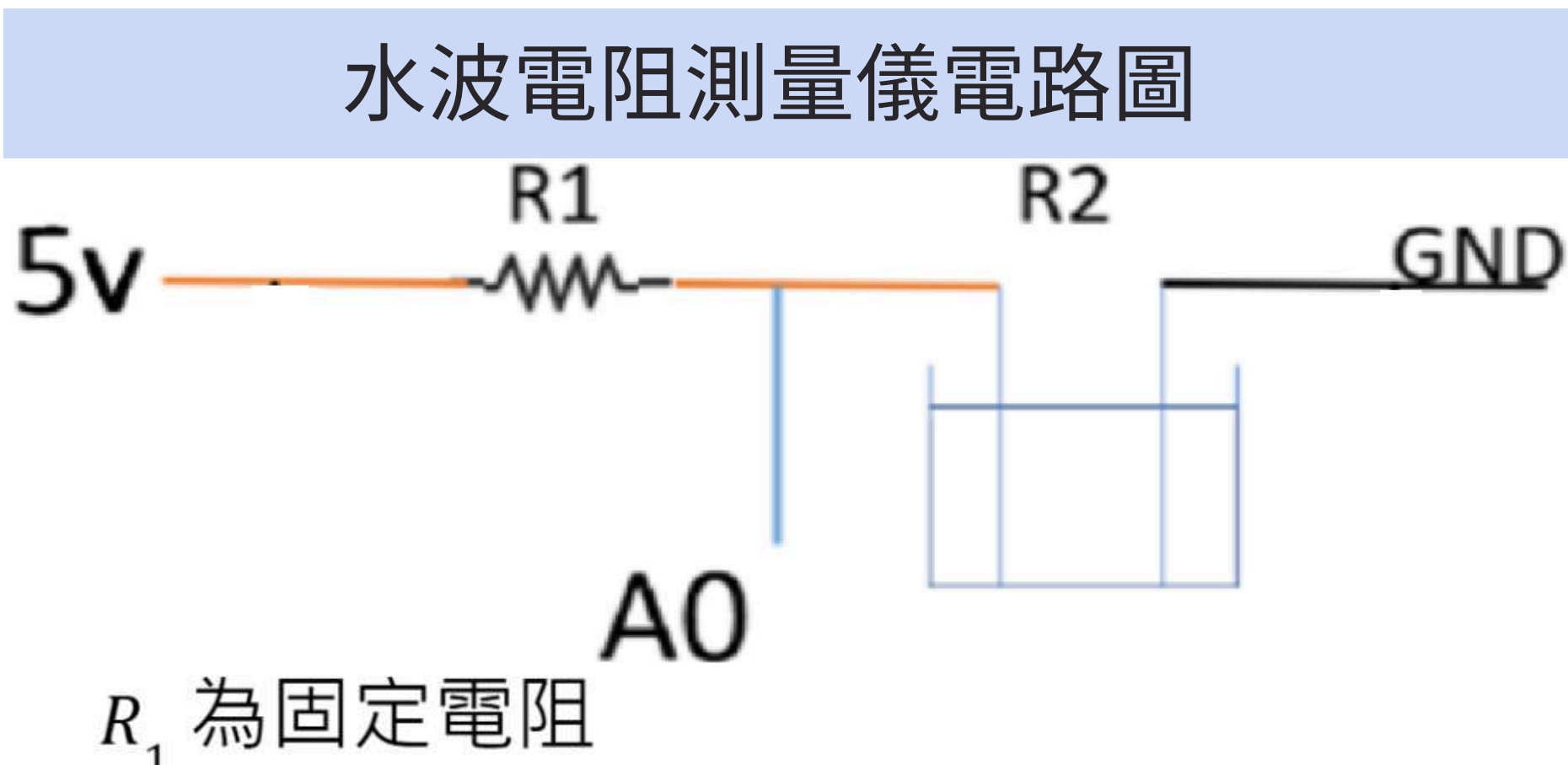
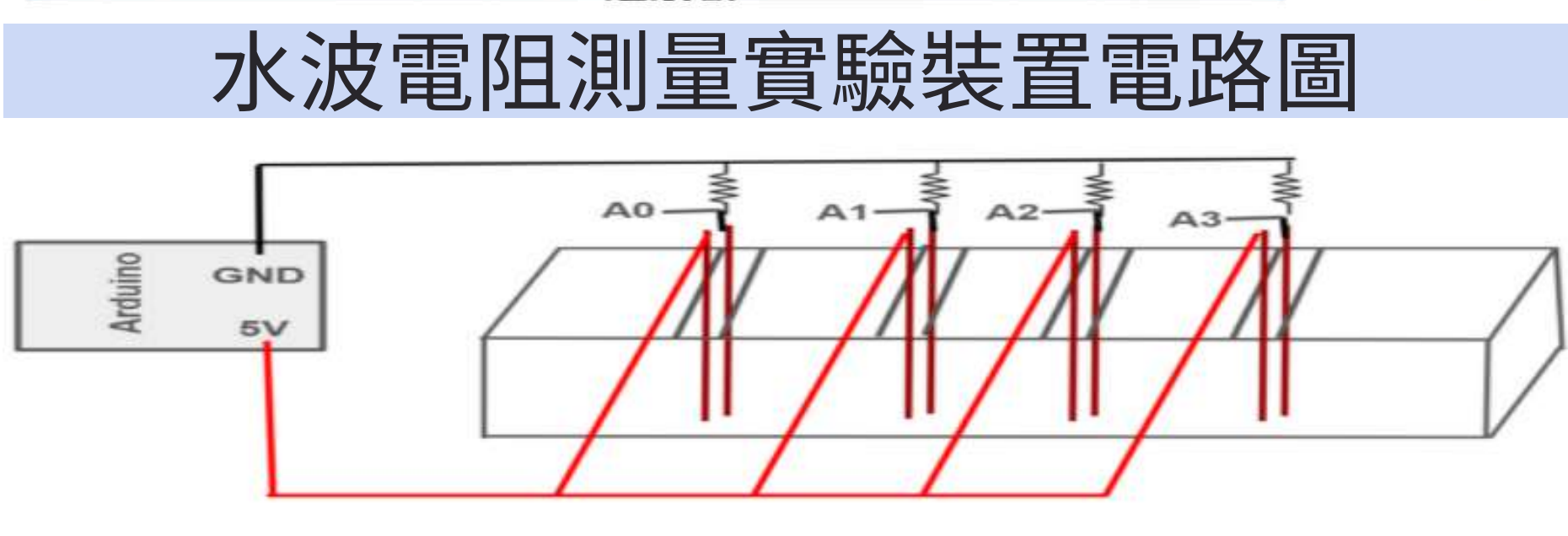
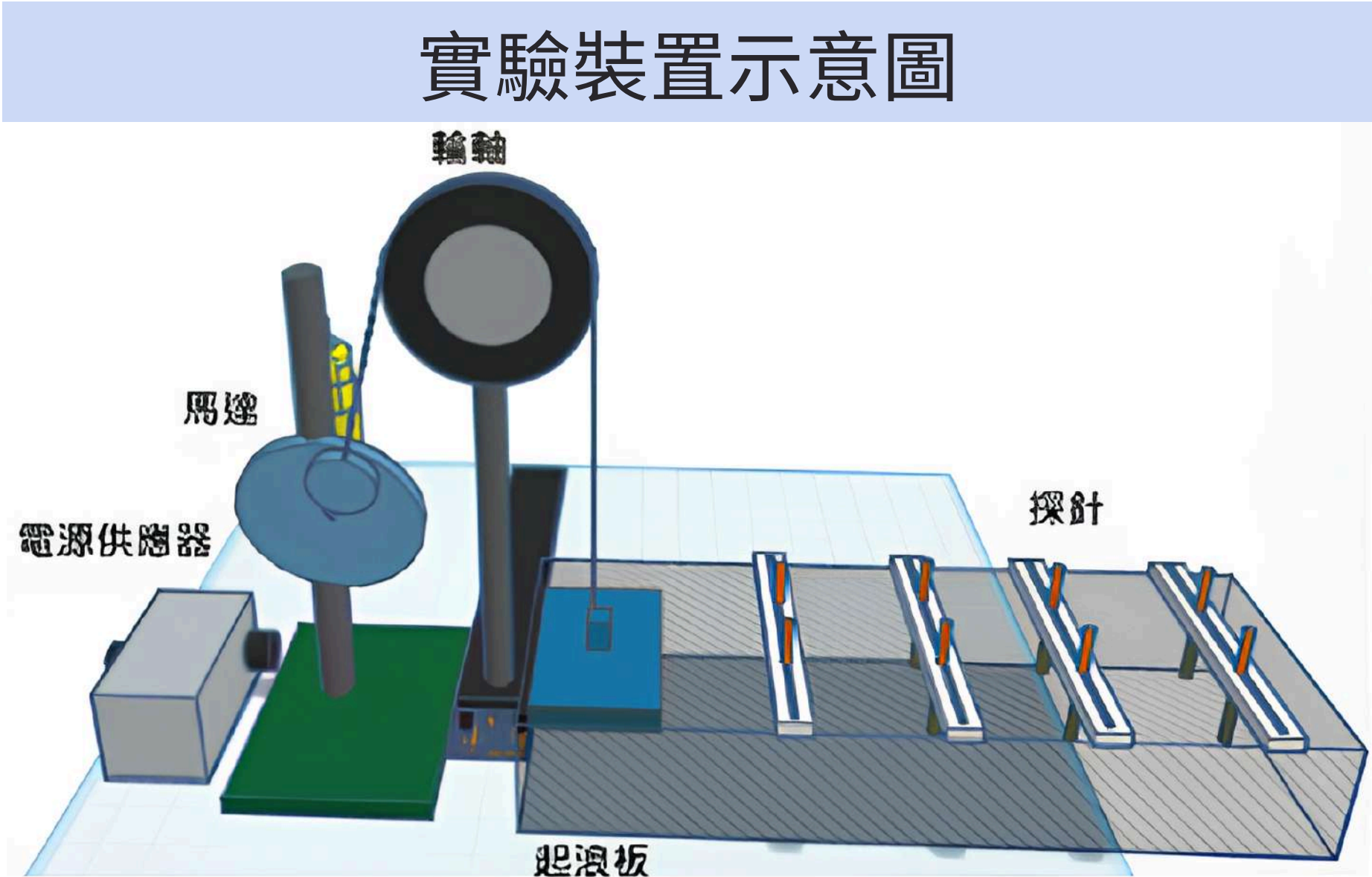
研究目的

- <一>測量工具的研發
- 1 數位水波電阻測量儀的研發

2 探針的設置方式對水位電阻的影響

3 造浪器的實驗裝置設計、起浪板啟動方式對水波產生的影響
- <二>水波波群影響因素的探討
- <三>波群峰值衰減與液體關係
- <四>探討水波電阻測量法的應用(1)-水波波速的測量
- <五>探討水波電阻測量法的應用(2)-不同深度水波波速的變化探討

研究設備與器材



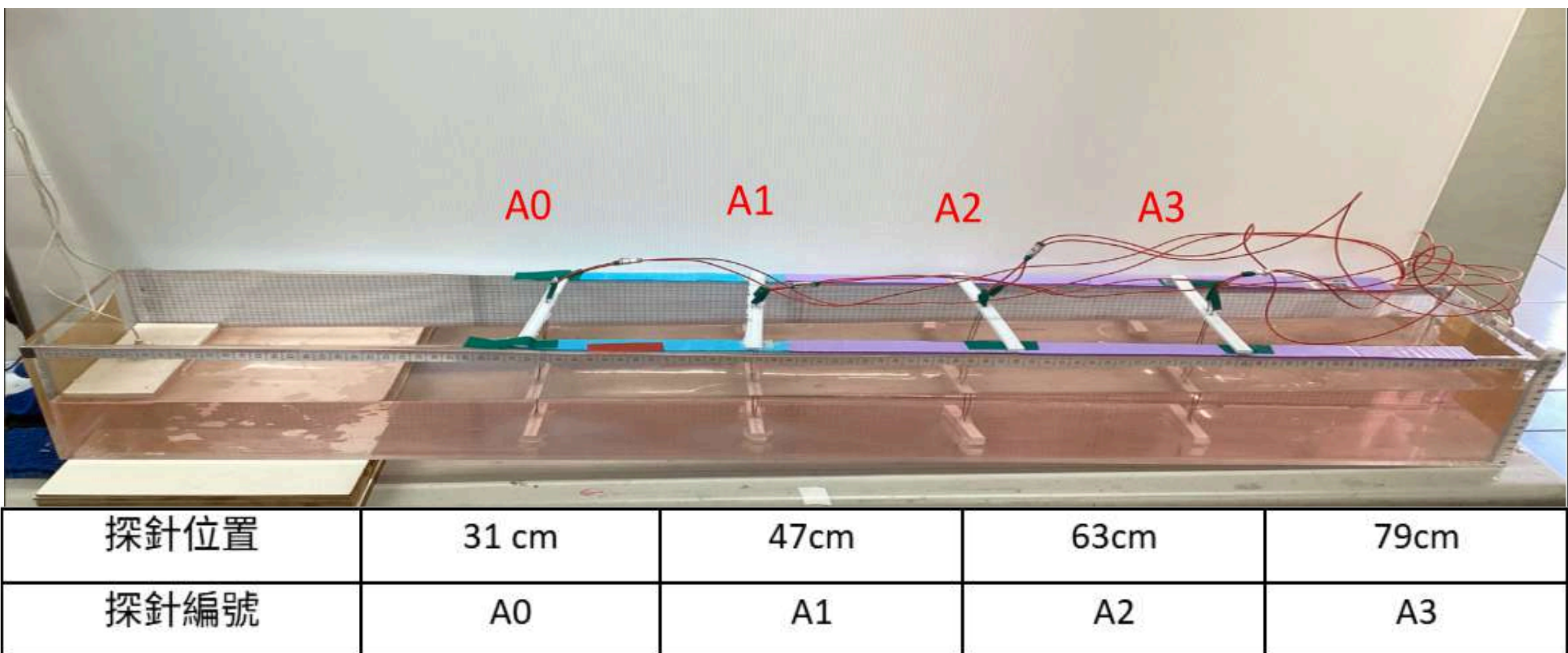
R_1 為固定電阻

$$V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 \dots\dots \textcircled{1}$$

$$V_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V \dots\dots \textcircled{2}$$

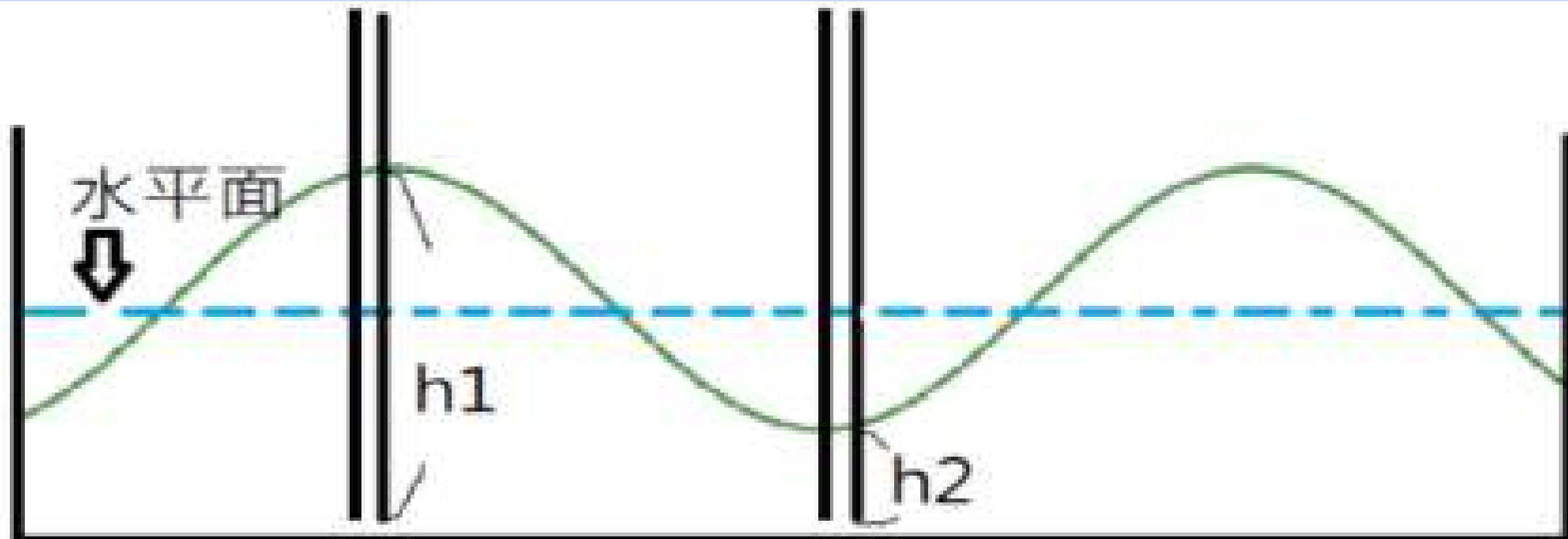
$$V_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V \dots\dots \textcircled{3}$$

水波電阻測量實驗裝置圖

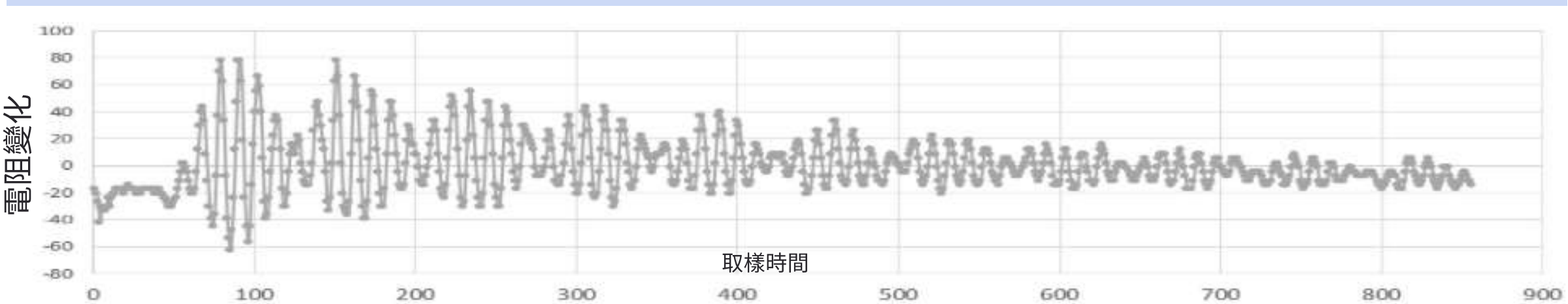


探針位置	31 cm	47cm	63cm	79cm
探針編號	A0	A1	A2	A3

水波在不同位置與探針接觸長度示意圖



水位電阻變化對取樣時間關係圖



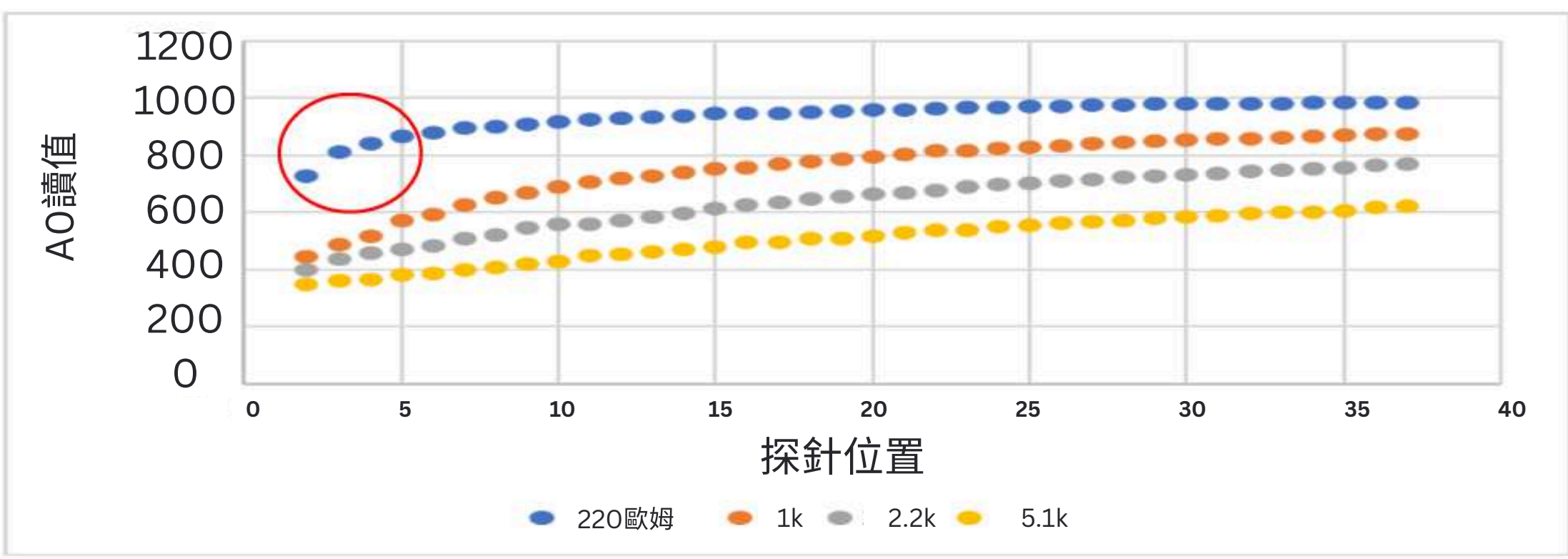
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_1(R_1 \text{ 電壓})}{V_2(R_2 \text{ 探針電壓})} = \frac{1023 - A_3 \text{ 讀值}}{A_3 \text{ 讀值}}$$

電阻變化 $\Delta R = R - R'$ (電阻平均值)

研究過程、方法及結果

實驗一、測量工具的研發

探針間隔及不同固定電阻R1對A0讀值的影響



改變起浪板的頻率觀察水波

電壓差 (伏特)	測量結果	波群 判斷
3.8		無明顯波群的 圖形
0.4		明顯有波群的 圖形樣貌
0.1		無明顯波群的 圖形

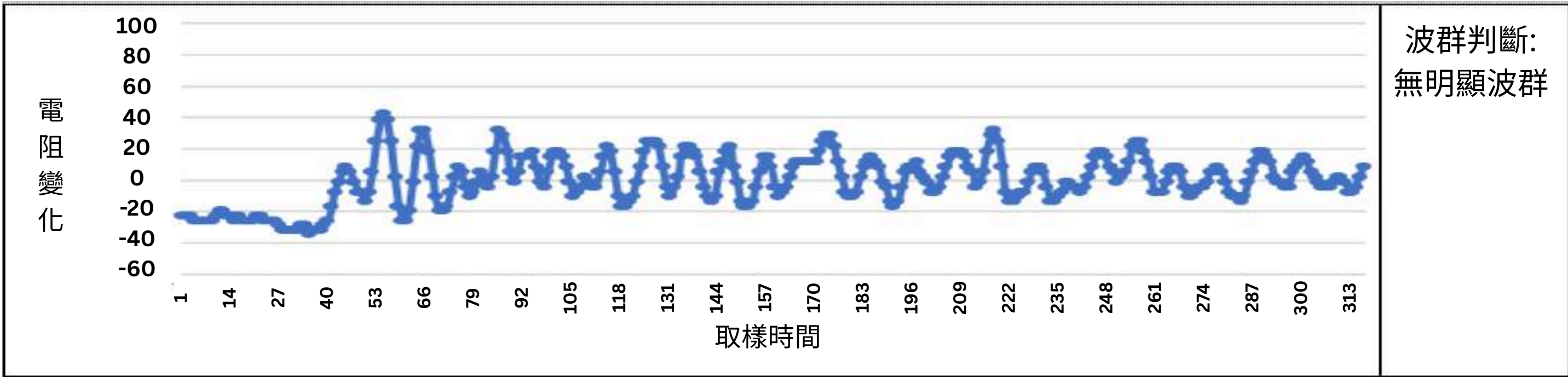
討論：

自製電阻測量儀在固定電阻 $R_1=220$ 歐姆，較為靈敏，探針沒入水面下長度越長探針電位讀值越小。起浪板從空氣入水先產生波峰，探針讀值下降，反之，會先產生波谷。連續兩個波的頻率有微小變化時，會有波群產生。若頻率相差太大或是太微小，都不會有波群。

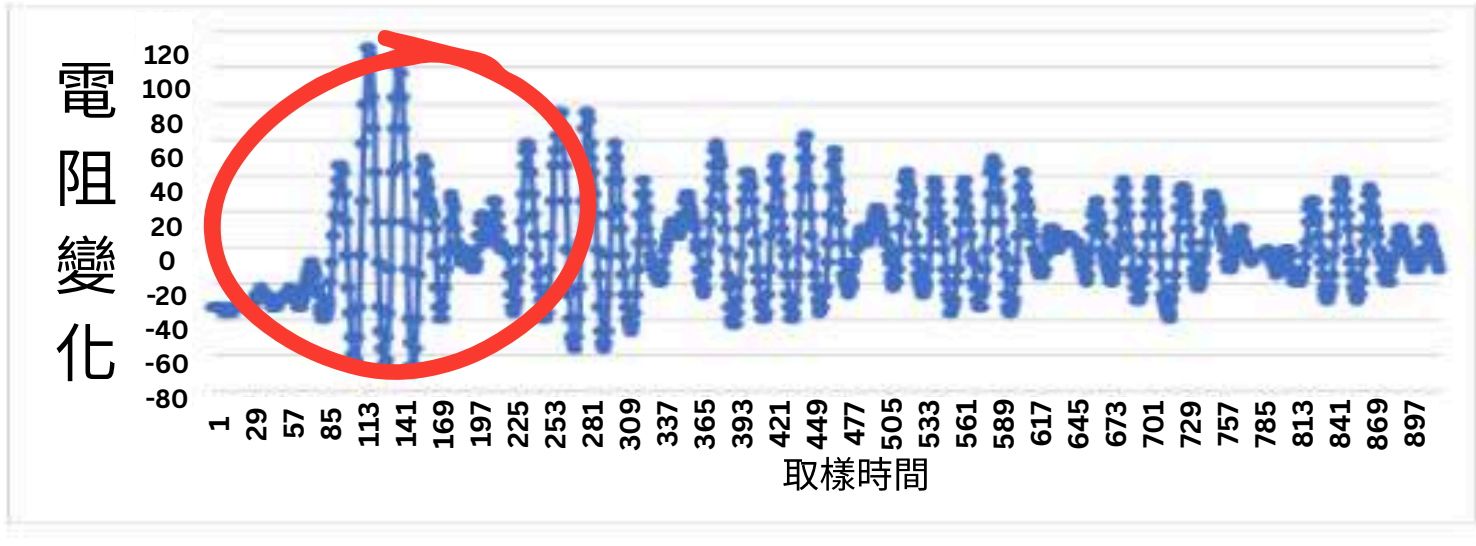
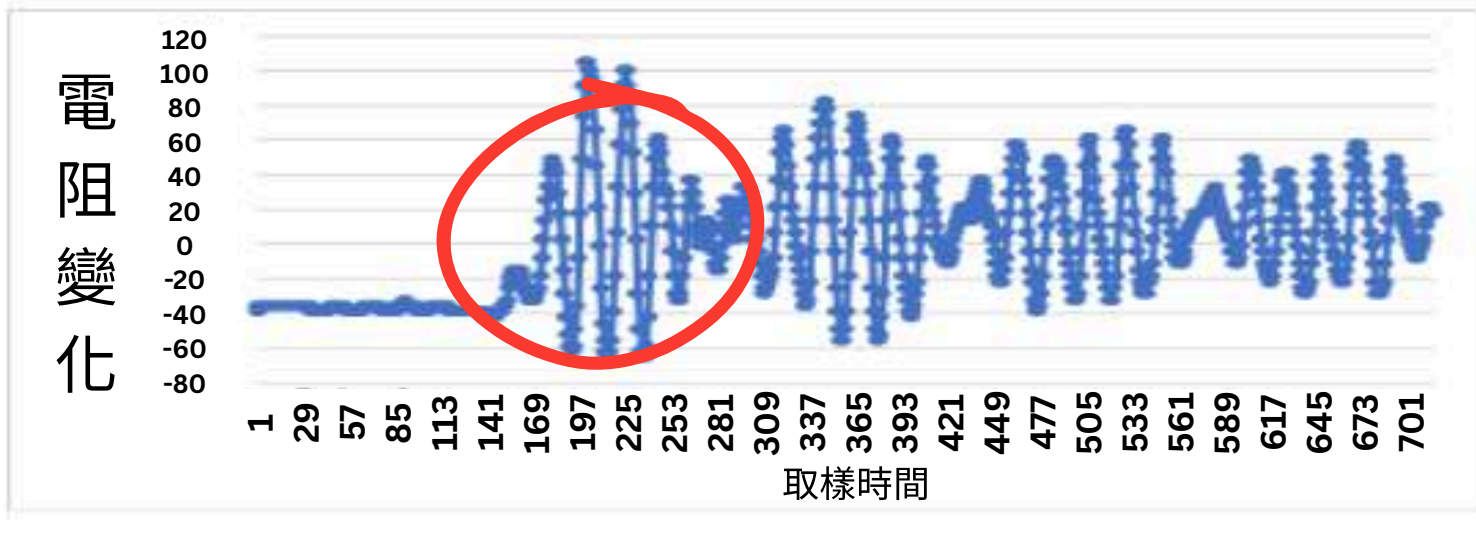
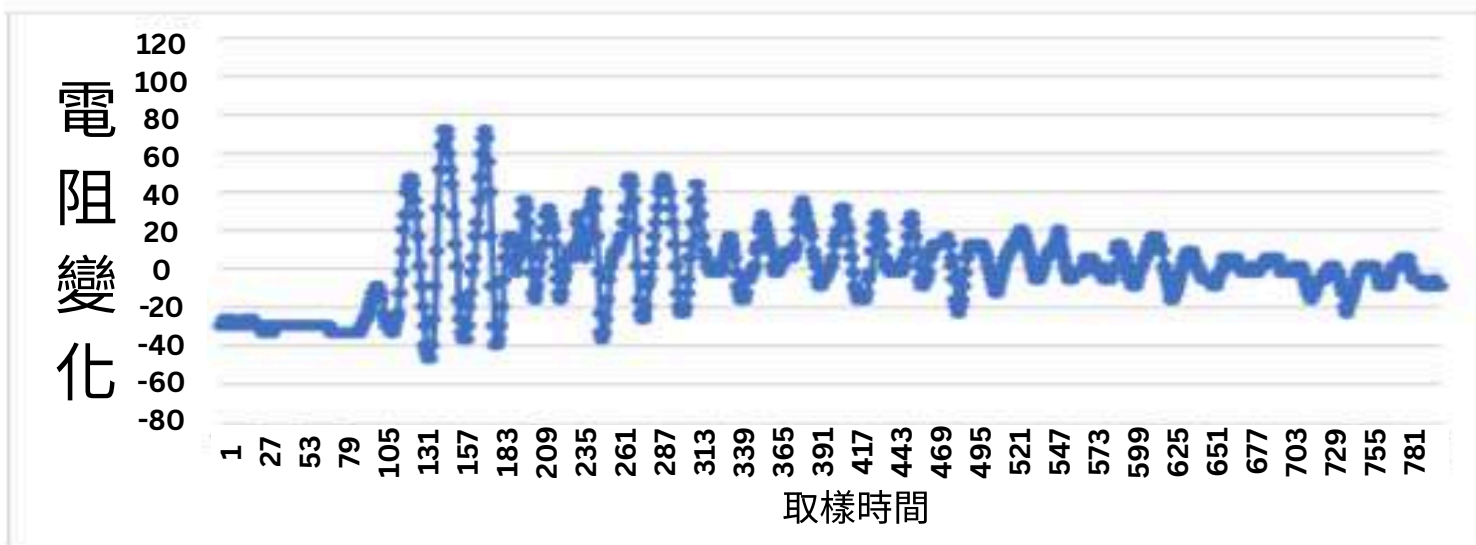
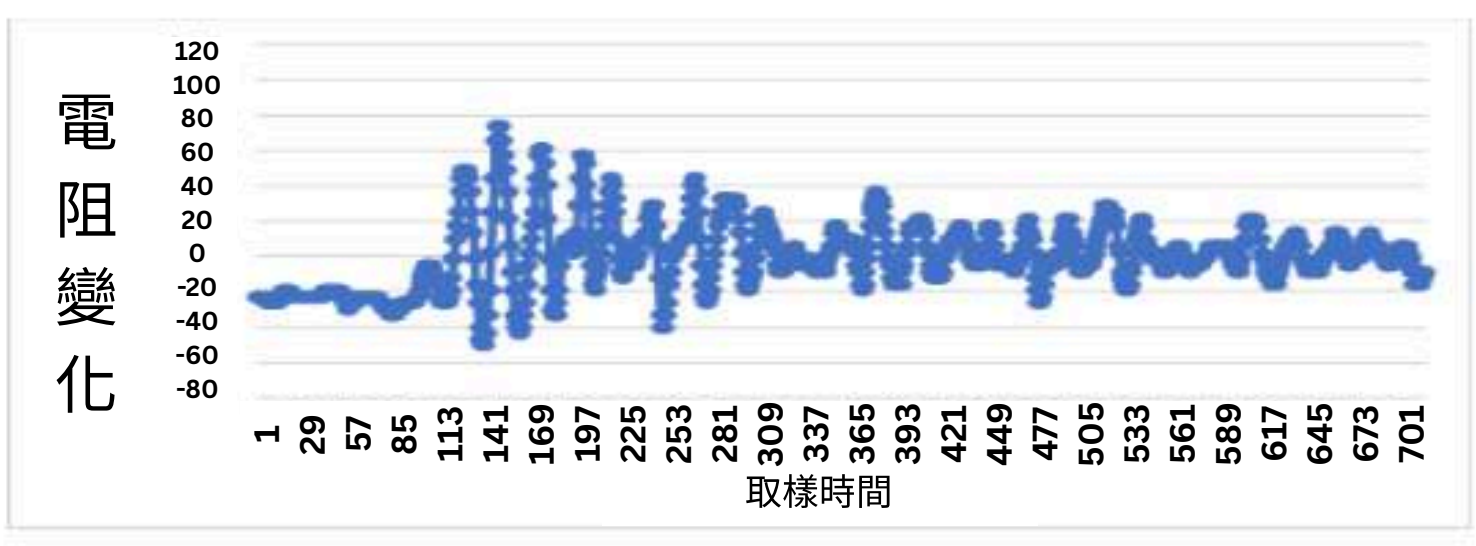
起浪板啟動方式	水波移動圖
水波電阻測量儀A0讀值隨時間變化曲線圖	
起浪板啟動方式	水波移動圖
水波電阻測量儀A0讀值隨時間變化曲線圖	

實驗二、水波頻率對波群影響的探討

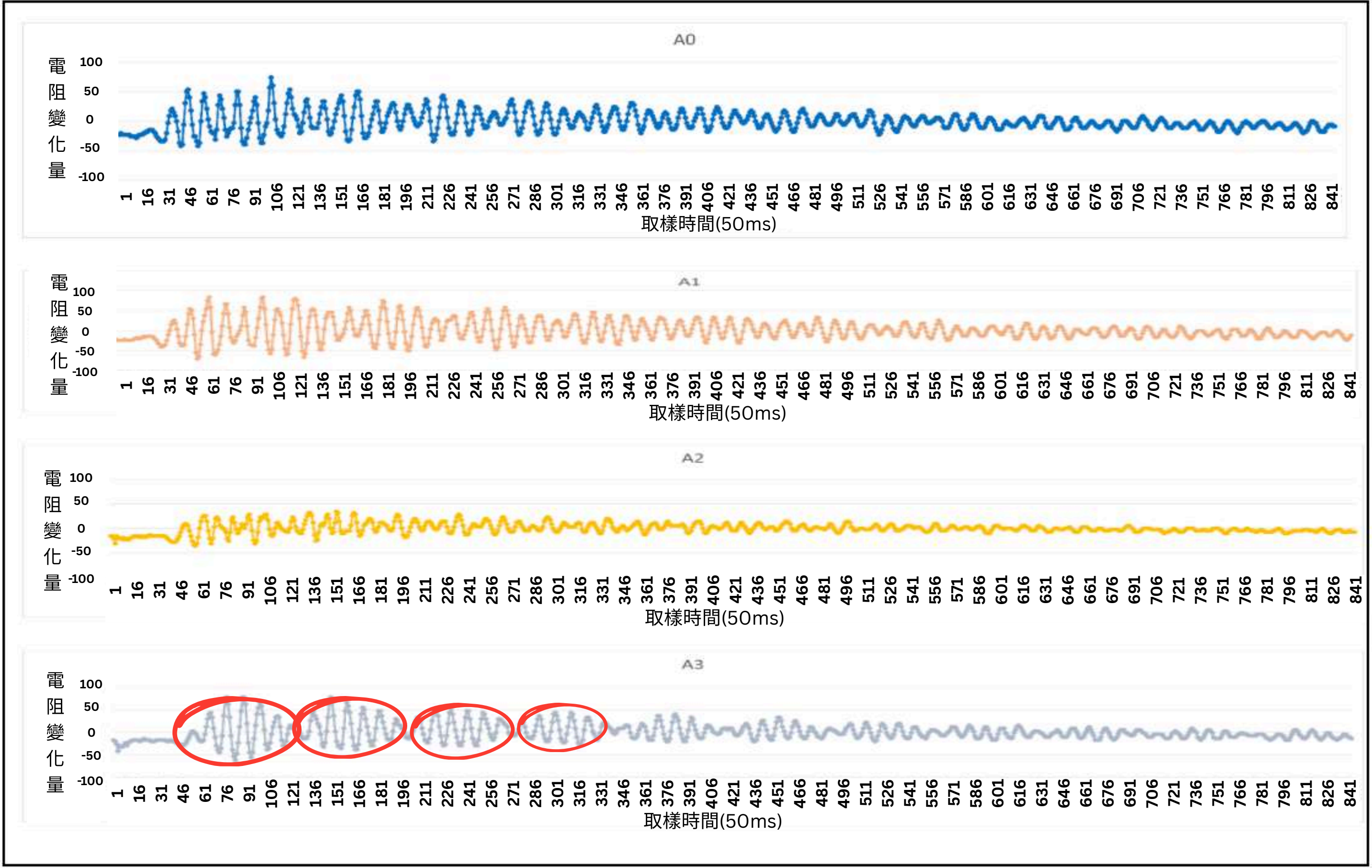
一個全波水位電阻變化與取樣時間曲線圖



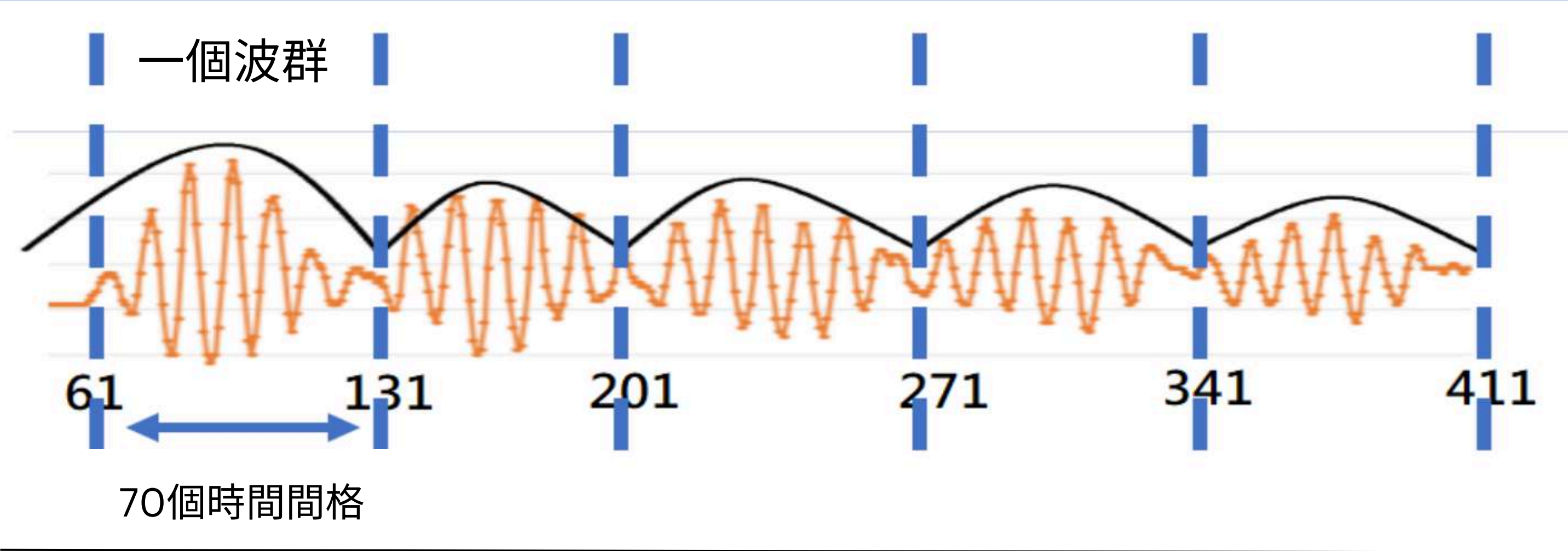
不同頻率的2個水波於A3探針的水位電阻隨取樣時間關係圖

T1 (ms)	T2 (ms)	週期差 (ms)	A3探針實驗結果	波群判斷
575	581	6		有明顯波群
596	585	11		有明顯波群
644	664	20		無明顯波群
637	667	30		無明顯波群

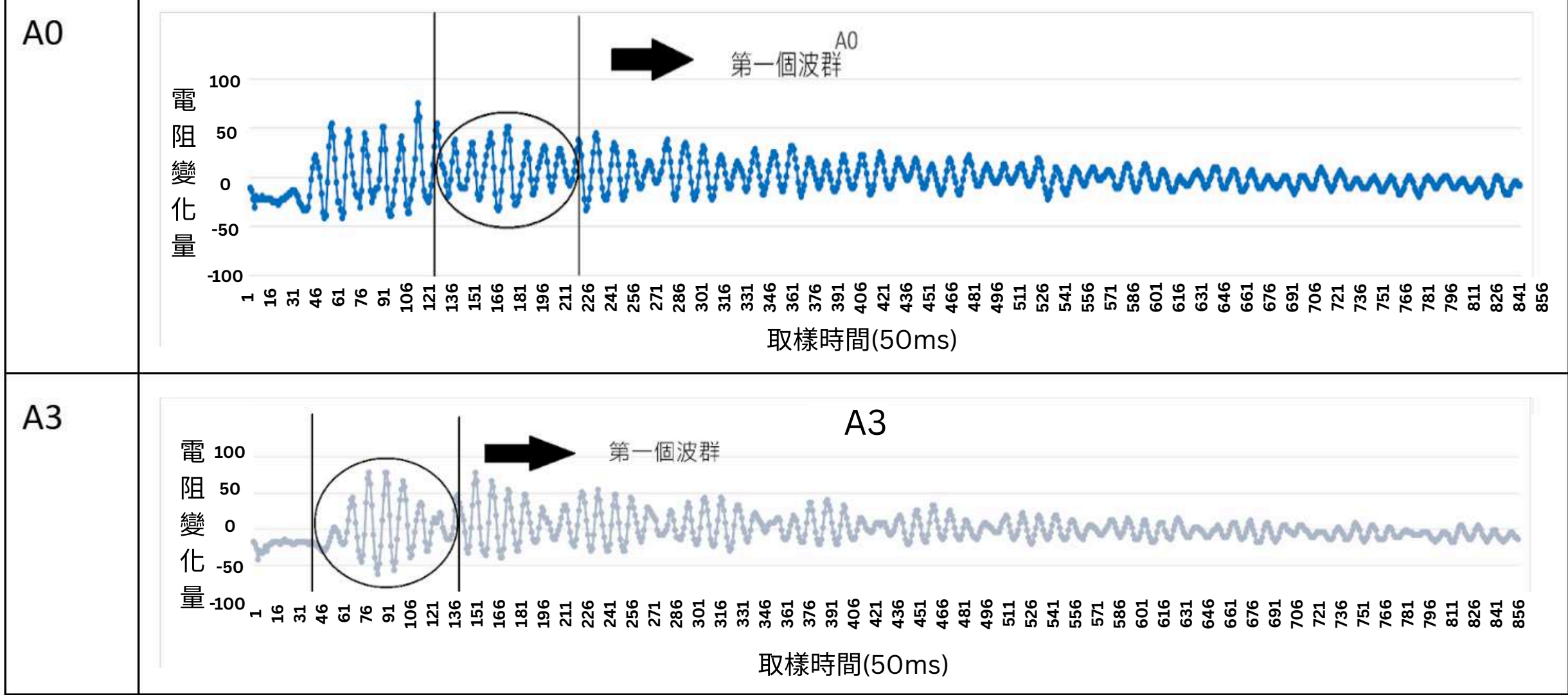
AO~A3探針實驗結果



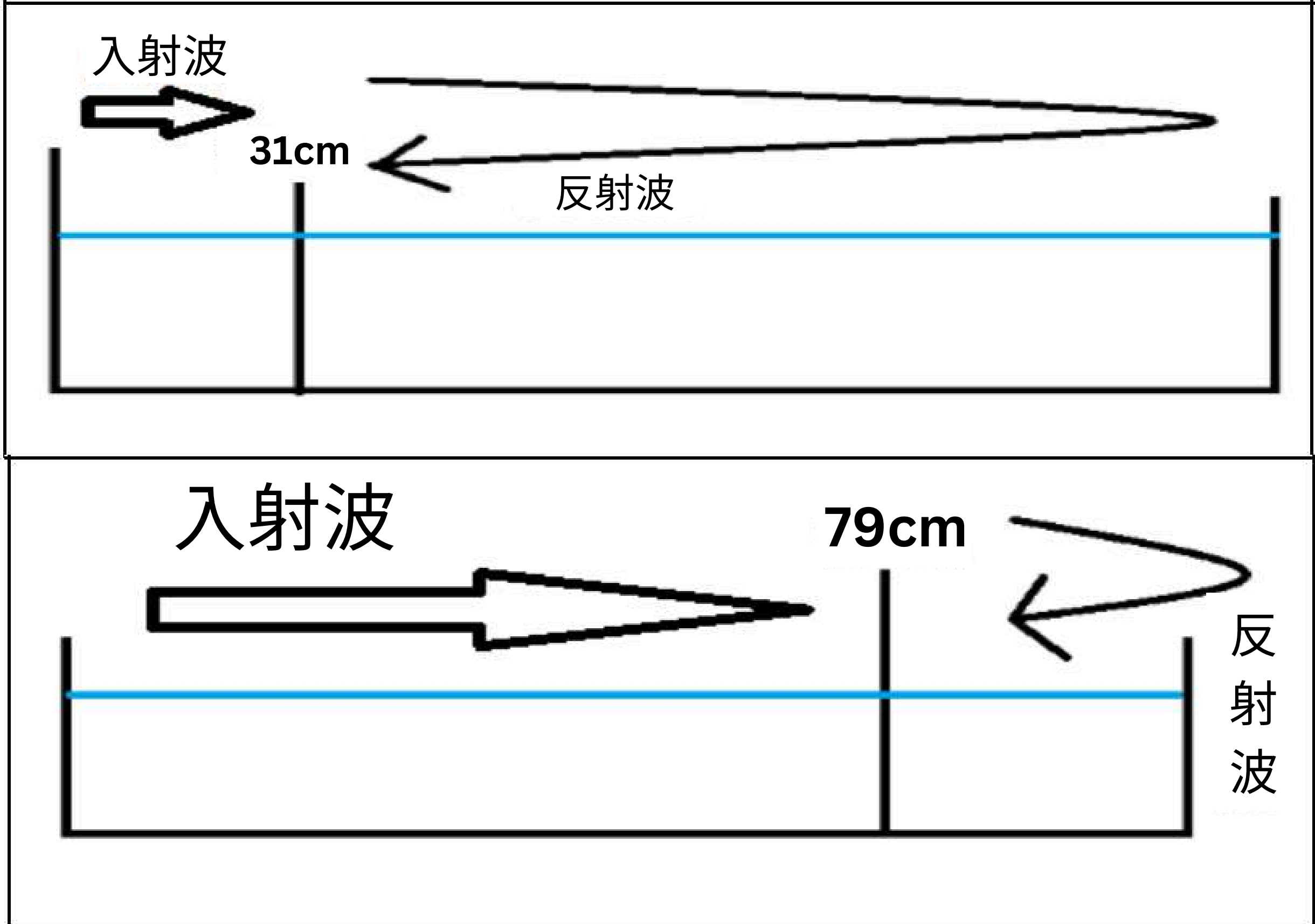
A3探針實驗結果的放大圖



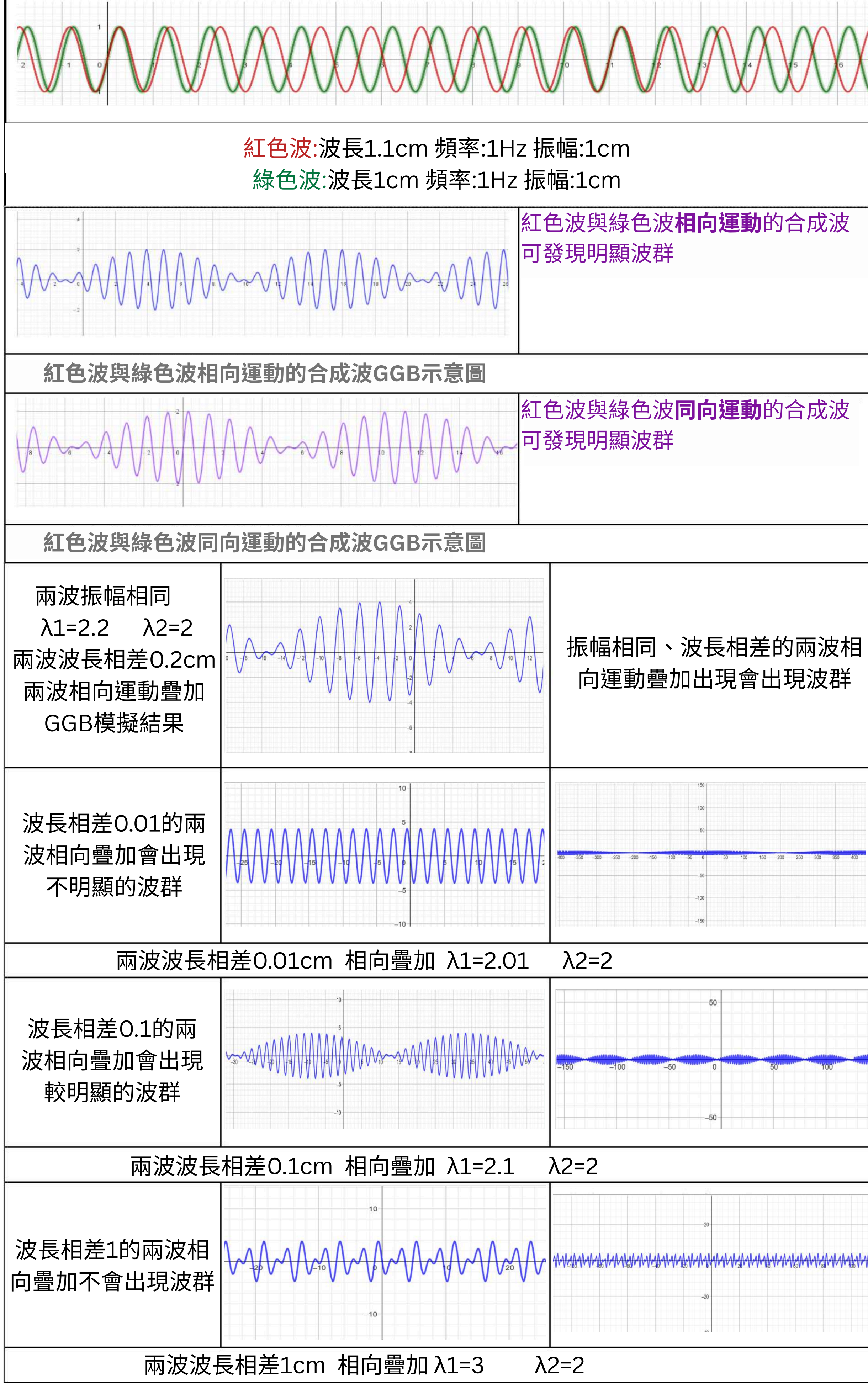
A0、A3的探針水位電阻比較



不同探針入射波與反射波示意圖



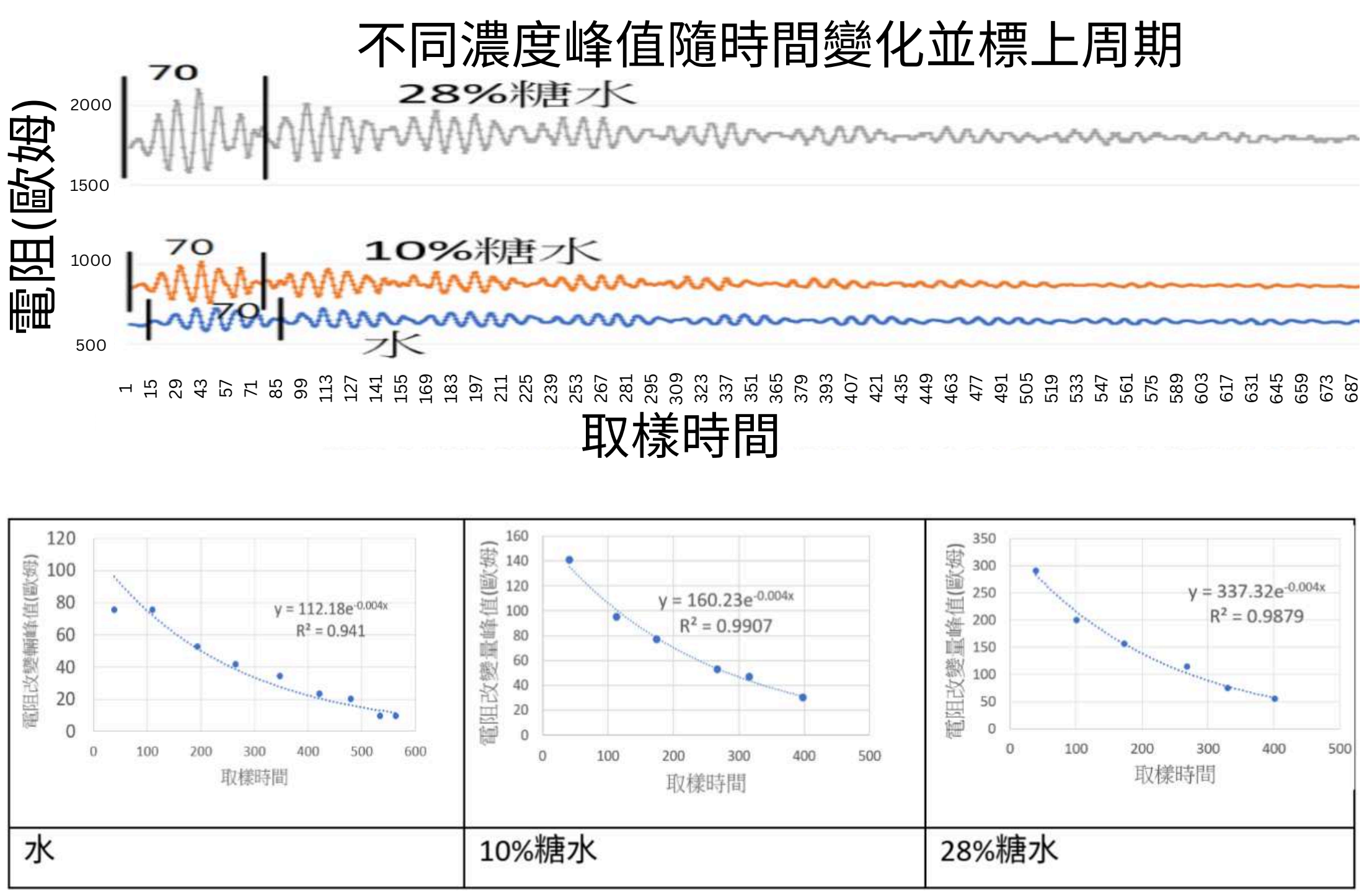
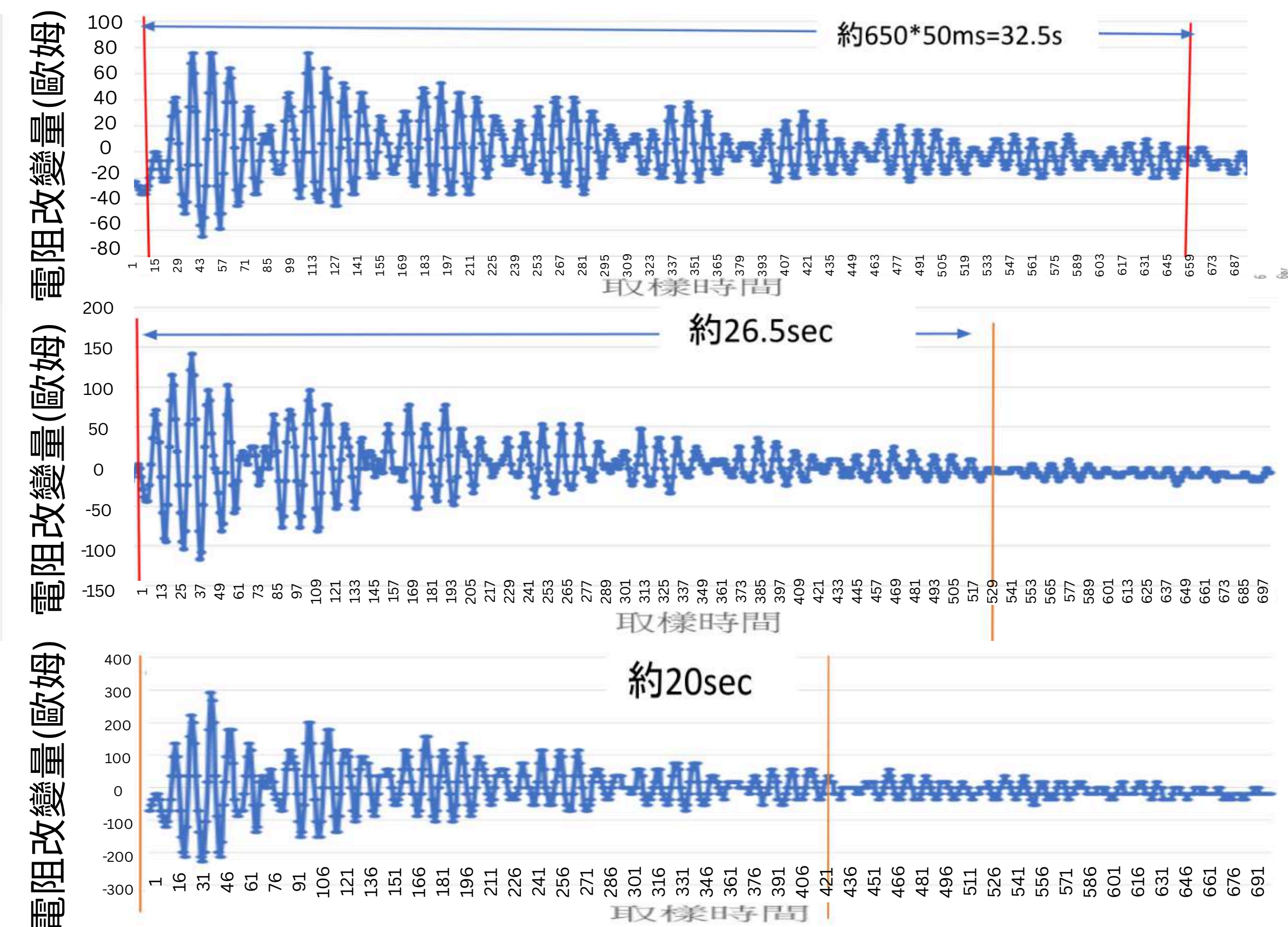
GGB模擬



討論:

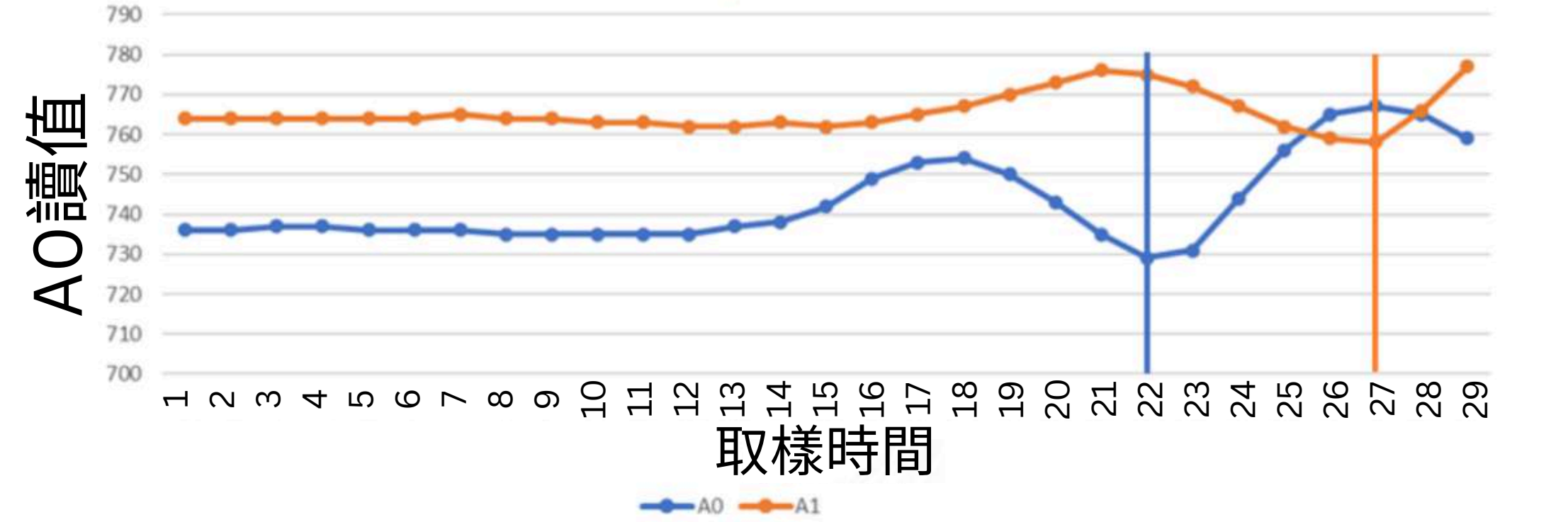
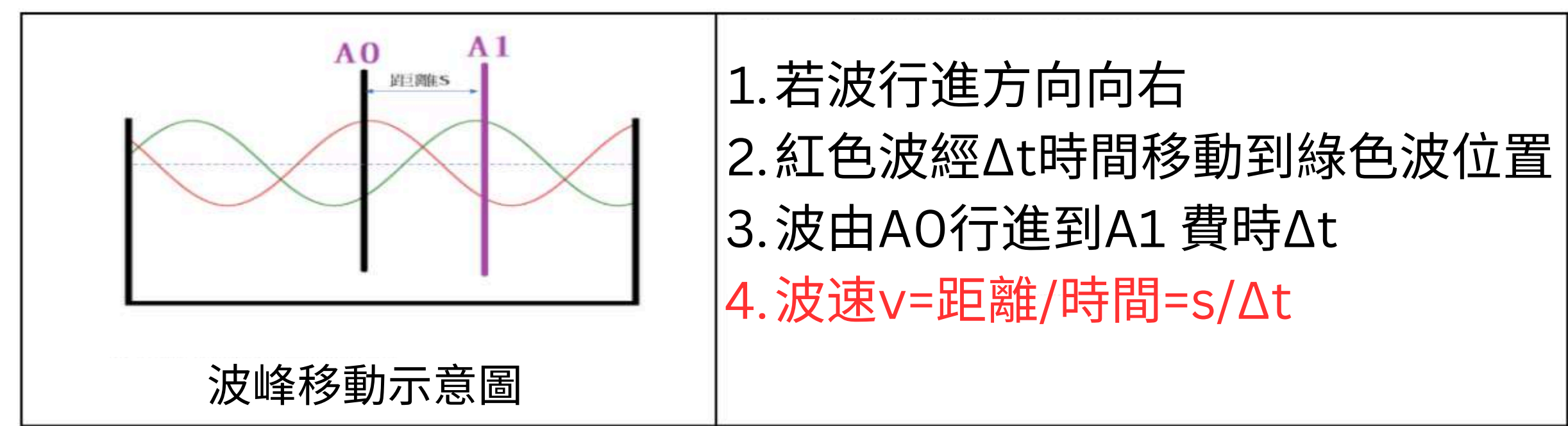
- 起浪器產生1個全波，水波經A3探針的水位電阻變化隨取樣時間衰減，但無明顯規律。
- 2個不同頻率的波重疊，2個波的週期差約10ms，能出現波群週期變化，隨著2個波的週期差變大，波群逐漸不明顯，顯示波群受造浪頻率影響。
- GGB模擬顯示，振幅的改變不會直接影響波包的形狀，只有振幅差距太大時，才會讓波包不明顯。波群的長度與波長差有關，波長差較小時，波群的長度較長，當差距變大時波群長度變短，這是因為波長差影響了波包的包絡形狀；波長差越大，波包的包絡越窄，使得波群長度越短。

實驗三、不同濃度糖水波群峰值衰減探討



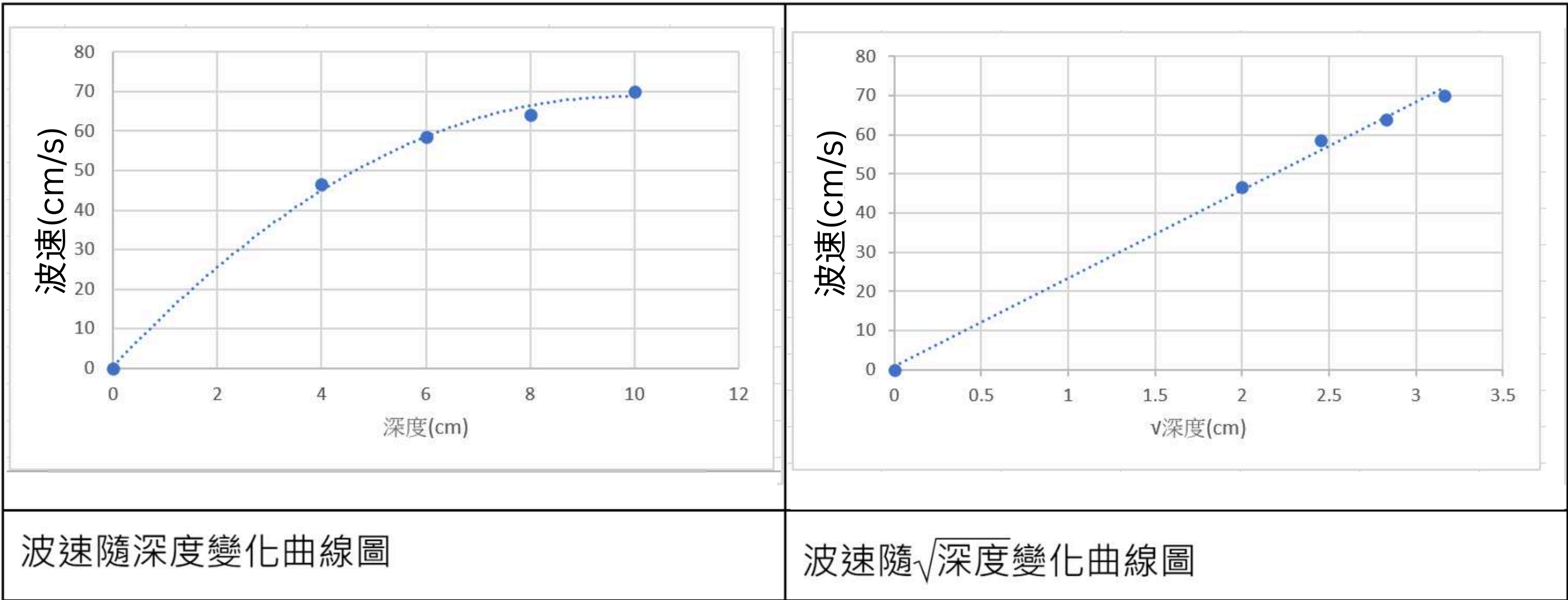
討論:利用起浪器產生1個全波,水波經A3探針的水位電阻變化隨取樣時間衰減，但無明顯規律，但波群數衰減可以看出濃度與峰值衰減的趨勢，**波群週期不隨水溶液黏滯性變大而改變。**

實驗四、探討水波電阻測量法的應用(1)-水波波速的測量



討論: 透過水波水位高低所產生的水位電阻變化能有效應用於水波波速測量，實驗五我們將使用實驗四所發展的波速測量法探討不同深度的水波波速。探針之間**間距16cm**，比對**同一個波經過的時間**，算出時間差，就可以算出波的**波速**，比對不同波速即可探討實驗五。

實驗五、探討水波電阻測量法的應用(2)-不同深度水波波速的變化探討



討論:
實驗五**波速**會隨著**水深度**的增加而**上升**且與**深度開根號**呈現**正比**關係，利用實驗四的方式，測量水位，得出左圖，並把水深開根號，得出右圖，並且結論吻合文獻，也驗證工具可應用於測量波速。

結論

- (一)實驗一自製電阻測量儀在固定電阻**R1=220歐姆**，探針間距0.8公分，在深度變化時較為靈敏，且探針沒入水面下長度越長探針電位讀值越小。影片追蹤水波，起浪板從**空氣入水**先產生**波峰**，探針**A0讀值先下降**，起浪板從水中拉起先產生波谷，A0讀值會上升。
- (二)改變電源供應器的電壓去改變起浪板頻率，進而改變產生的水波頻率。當連續兩個波的**頻率**有微小**變化**時，會有**波群**的現象產生。若頻率相差太大或太微小，都不會有波群的現象。
- (三)起浪器產生1個全波，水波經A3探針的水位電阻變化**隨取樣時間衰減**，但無明顯規律。
- (四)同一水道內2個不同頻率的波重疊，隨2個波的週期差約10ms，水位電阻隨取樣時間變化能出現波群的週期變化，隨著2個波的週期差變大，波重疊的波群現象逐漸不明顯，顯示波群受造浪頻率影響。
- (五)GGB模擬顯示，**振幅**的改變**不會**直接**影響波包**的形狀，只有振幅差距太大時，才會讓波包不明顯。波群的長度與波長差有關，波長差較小時，波群的長度較長，當差距變大時波群長度變短，這是因為波長差影響了波包的包絡形狀；**波長差越大，波包的包絡越窄，使得波群長度越短。**
- (六)濃度低於28%糖水，水波水位電阻每3.5秒出現週期變化，**波群週期不隨黏滯性變大而改變**。不同濃度糖水峰值隨時間變化趨勢方程式皆為 $R0e^{-0.004x}$ ，R0值隨糖水濃度改變，但波群峰值衰減模式皆為 $e^{-0.004x}$ ，我們推測雖然實驗製備不同濃度糖水改變黏滯性，但水波傳遞仍受水原先性質影響較大，導致水波波群峰值**衰減模式類似**。
- (七)實驗四透過水波水位高低所產生的**水位電阻變化**能有效應用於水波**波速測量**。
- (八)實驗五**波速**會隨著**水深度**的增加而**上升**且與**深度開根號**呈現**正比**關係。
- (九)一般利用光學進行水波干涉實驗觀測水波，但我們自製**水波電阻測量儀**，提供另一種探測水波傳遞的方式。

參考資料

- 一、(2021年6月23日)・認識海洋－海浪是怎麼形成的・
- 二、物理海洋學ABC・波浪運動・
- 三、(2024年6月10日)・群速度・維基百科・
- 四、(2024年7月4日)・波包・維基百科・
- 五、Keith Stowe (1987) ・Essentials of Ocean Science
- 六、中華民國第四十六屆中小學科學展覽會・被困住的水波