

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球科學科

佳作

040506

風過水無痕，水過沙有痕

學校名稱：國立臺南第一高級中學

作者： 高二 林銘文 高二 鄭凱中 高三 謝品寬	指導老師： 施怡如
---	------------------

關鍵詞：波痕、水波、沉積學

摘要

本實驗主要是藉由控制三個變因，以探討大自然中影響波痕產生的情況。藉由改變水波的頻率、水槽中的水深、沙子的粒徑大小，將其所產生的波痕的波峰、波谷的高度以及各個波峰離起始點的距離記錄下來，並且製作圖表，希望能從中發現各變因對波痕的影響，並希望能藉由該發現來推斷出一個可以分析波痕與沉積環境的關係。

經由實驗，我們發現水波的頻率越高，波痕的波痕指數越小，且其高峰值離起始點的距離會越遠，而所形成的波痕振幅之臨界質不隨頻率改變。此外，我們也發現在較深的水中，形成完整的波痕的時間較久，而沙子粒徑分佈也會影響其產生的波痕。

壹、研究動機

從小，海洋的神祕一直是我們所嚮往的，不論是在課堂上還是日常生活裡，我們都常聽到海洋的奧妙。一年級的暑假，我們和班上同學相約一起到海邊出遊，我們觀察到岸上有一條條綿密看似有規律的波狀痕跡。回到學校後，我們便向教授地球科學的老師詢問關於該痕跡的知識，而課堂上又正好介紹到沉積構造，老師也解釋了關於波痕的基本成因。這是我們與”波痕”的初次邂逅。沒多久，我們又在學校的期刊室中無意間翻到了一本科學人雜誌。其中一篇論文敘述了科學家如何藉由在地表上發現的波痕判定火星曾被液態水覆蓋住大部分的表面，這篇論文藉由波紋來推斷出上古世紀的地貌。我們在驚豔之餘，看著一張張岩石上波痕的照片，我們不禁想到了更多的疑問，”明明波浪是一直在前進，波峰和波谷不停地交替著，為什麼可以產生形狀不變的波痕呢？還是波痕的形狀與位置其實是會隨著時間不停的改變，直到水波不再作用於其上，才形成我們今天所見到的波痕呢？而所產生的波痕，是否又和水波的頻率有關係呢？

貳、研究目的

- 一、 改變水波的頻率，並測量所產生的波痕的振幅以及波長。
- 二、 改變水深，並觀察在相同時間下，以相同頻率推波，所產生的波痕。

- 三、 同二，並將原本粒徑為0.250 mm的沙子置換成七股海域的海沙。
- 四、 以攝影器材紀錄實驗過程，觀察波痕是否會隨時間的進行而變動。
- 五、 觀察頻率、水槽水深、沙子的粒徑與波痕之關係。

參、研究設備及器材

- 一、震盪篩選機。
- 二、DS615數位伺服器。
- 三、透明壓克力箱（長120 cm 寬40 cm 高40 cm）。
- 四、塑膠板（長37 cm 寬19.5 cm）。
- 五、防水膠帶。
- 六、瞬間強力接著劑。
- 七、鋰電池（Turnigy 2.2）和1.5 V的乾電池。
- 八、木板（長38 cm 寬18 cm 高1.2 cm）。
- 九、粒徑介於0.250 mm~0.425 mm的中沙以及七股海域的海沙。
- 十、電子天平

震盪篩選機



圖3

藉由產生一個規律的震盪，使樣本中的粒子跳動，並通過篩網，藉此達到將樣本中的粒子按照粒徑區分開來的目的。

中沙：

沙，為顆粒物質的一種。沙為自然出現，被分割得很細小的岩石，其尺度為 0.0625 至 2 公釐。於此一尺度內的單一粒子稱為沙粒。地質學下一個更小的尺度分類為泥，其顆粒大小由 0.004 至 0.0625 公釐。下一個較大的尺度分類則為礫，其顆粒大小為 2 至 64 公釐

其中沙又依其顆粒粒徑細分為以下多種

- (一) 粉沙 (silt) 粒徑大小 0.004mm-0.062mm
- (二) 極細沙 (very-fine sand) 粒徑大小 0.062mm-0.125mm
- (三) 細沙 (fine sand) 粒徑大小 0.125mm-0.25mm
- (四) 中沙粒 (medium sand) 粒徑大小 0.25mm-0.50mm
- (五) 粗沙 (coarse sand) 粒徑大小 0.5mm-1mm
- (六) 極粗沙 (very- coarse sand) 粒徑大小 1mm-2mm。

波痕成因之背景知識和各型波痕介紹：

波痕是非黏性的砂質沉積物層面上特有的波狀起伏的層面構造。按形成的介質條件不同，可以分成流水波痕、浪成波痕和風成波痕。波痕要素包括波長(L)、波高(H)、波痕指數(RI)和波痕不對稱指數(RSI)。

波長(L) — 兩個相鄰波峰或波谷之間的水平距離。

波高(H) — 一波峰與波谷之間的高差。

波痕指數(RI) = L/H ，表示波痕相對高度及起伏程度。

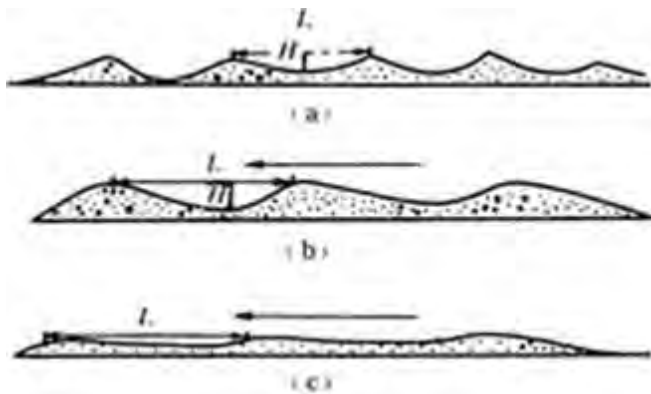


圖 4

(一) 浪成波痕 (wave ripple)

- 1.成因：由產生波浪的動盪水流形成，常見於海、湖等淺水地帶。
- 2.特點：波峰尖銳、波谷圓滑、形狀對稱， $RI=4\sim 13$ (多為 6~7)

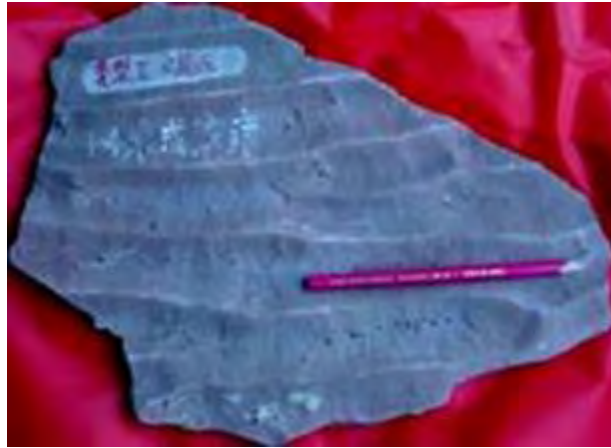


圖 5

(二) 流水波痕 (current ripple)

- 1.成因：由定向流動的水流形成，見於河流和存在有底流的海湖近岸地帶。
- 2.特點：波峰波谷均較圓滑，呈不對稱狀， $RI>5$ (8~15)，陡坡指示水流方向。

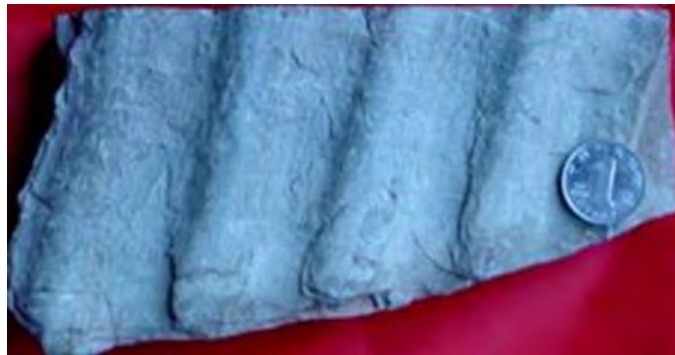


圖 6

(三) 風成波痕 (aeolian ripple)

- 1.成因：由定向風形成，常見於沙漠、海、湖濱岸的沙丘沉積中。
- 2.特點：呈不對稱狀，不對稱度比流水波痕更大， $RI=10\sim 70$ ，陡坡傾向與風向一致。

(四)

修飾波痕 (modified ripple) 和疊置波痕 (compound ripple) 由於水位，水流和波痕方向、浪基面的變化，而導致早先形成的波痕被修飾改造而形成修飾波痕，或在早先形成的大波痕的基礎上重疊小波痕，形成疊置波痕。

（五）波痕研究意義

1. 據波痕類型可以了解岩石形成條件。
2. 稱波痕可指示介質的流動方向。
3. 波痕的形態和分布，是識別沉積環境的重要依據。

肆、研究過程及方法

一、製造規律且穩定的水波

（一）開始我們以雙手來回擺動塑膠板，試圖保持一定的速度，但結果卻是差強人意。原因是：

- 1、我們無法精準控制雙手來回擺動的速度和力道。
- 2、波痕的產生需要一定的時間，而我們卻不能長時間的製造穩定的水波。
- 3、產生出來的波痕雜亂無章。

（二）為了尋找力道穩定以及可以持久的波源，我們詢問了老師和有相關知識的同學，最後決定以伺服器馬達 DS615 作為我們的動力來源，原因是因為

- 1、它的體積小巧，較為靈活。
- 2、它的反應靈敏，可以快速反轉、加速。
- 3、它的輸出功率大而穩定，有助於製造出明顯且持續的水波。

以下為我們製造全部器材的步驟(見圖 7~圖 1 3)

首先我們著手準備各種需要的器材，將塑膠板剪成合適的大小，將轉輪固定在鉛筆上，又將鉛筆緊黏於塑膠板，藉以推動塑膠板來回擺動。將壓克力板裁成細長條狀，固定於塑膠板背後，防止其在推波的過程中變形。將 DS615 伺服馬達固定於木頭支架上，提供馬達一個施力的支撐點。將壓克力板裁成細長條狀，固定於壓克力箱兩側，作為木板的支架。將以和塑膠板固定的轉輪和馬達連結，並完成了第一代起波器。



圖 7



圖 8



圖 9



圖 10



圖 11

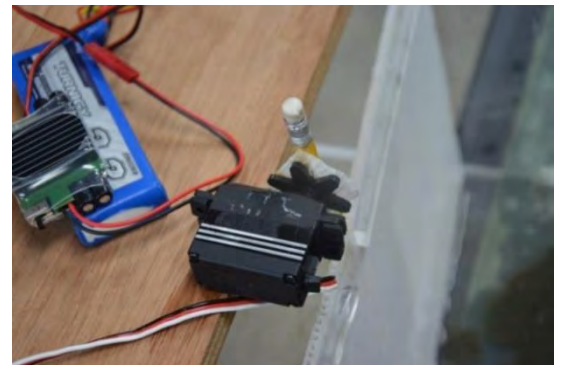


圖 12



圖 13

原本我們用塑膠板作為推波的介面，但我們發現

- (一) 其材質容易因為泡水而扭曲，產生不規律的水波。
- (二) 鋰電池需要常常充電十分不方便。
- (三) 未將電線黏妥在支撐的木板上，其有機率掉入水中造成線路短路。
- (四) 我們水波撞擊到另外一端的壓克力箱所產生的回波嚴重干擾我們產生波形，以至於產生的波痕形狀極為不規律。

為了解決以上的問題，我們便著手改良起波器（見圖 1 4～圖 1 6）。

首先我們改以較為堅硬的木板作為推波的介質，使其不易因為泡水而扭曲。我們改用四顆 1.5 V 的乾電池作為馬達的動力來源。我們將馬達、電池盒、和線路固定在木板上防止其脫落。為了解決回波的干擾，我們在壓克力箱的兩側填上大塊的海綿藉以吸收水波的能量，並且以吸管模擬了消音牆的構造，將他放置在海綿前(圖 1 7)，使其能使水波碎裂，能量分散更易吸收。

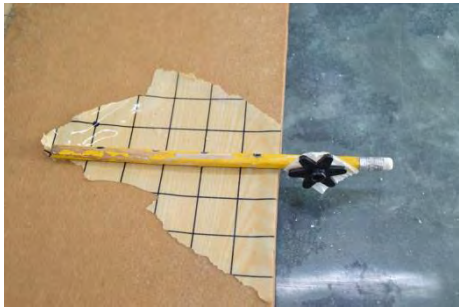


圖 1 4

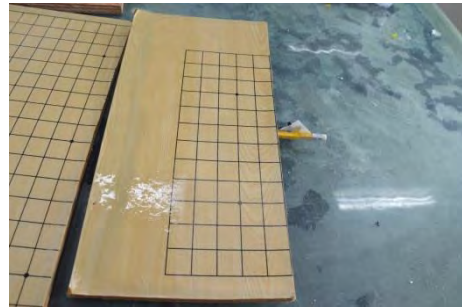


圖 1 5

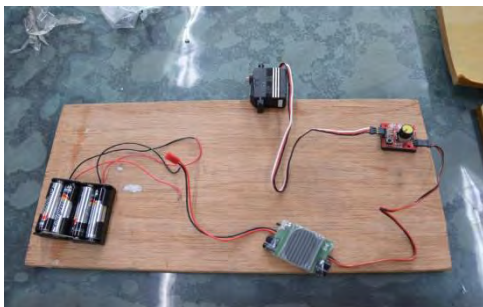


圖 1 6



圖 1 7



圖 1 8

二、設計實驗：

我們提供伺服馬達約 6 伏特,使其以大約 $0.07\text{sec}/60^\circ$ 的轉動速度來回擺動,產生穩定的波痕,並且

- (一) 以攝影機全程記錄實驗過程(圖 19)。
- (二) 於壓克力箱側面畫上比例尺,以便於在影片中做為長度的比照值(圖 18)。
- (三) 將裁過的長條壓克力黏於壓克力箱的中間(圖 20),為了
 - 1、固定每次實驗的沙子量。
 - 2、減少回波的干擾。
- (四) 以電腦改變數位伺服器的頻率,使其以 40 H Z、50 H Z、60 H Z 三種頻率運轉,並記錄每次所得之數據。
- (五) 改變水深,以 7 c m、8 c m、9 c m 三種水深以(四)之三種頻率運作,並記錄其結論。
- (六) 將篩過的沙子置換為海沙,重複(五)之步驟。



圖 19

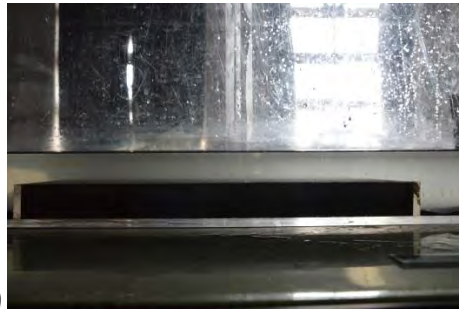
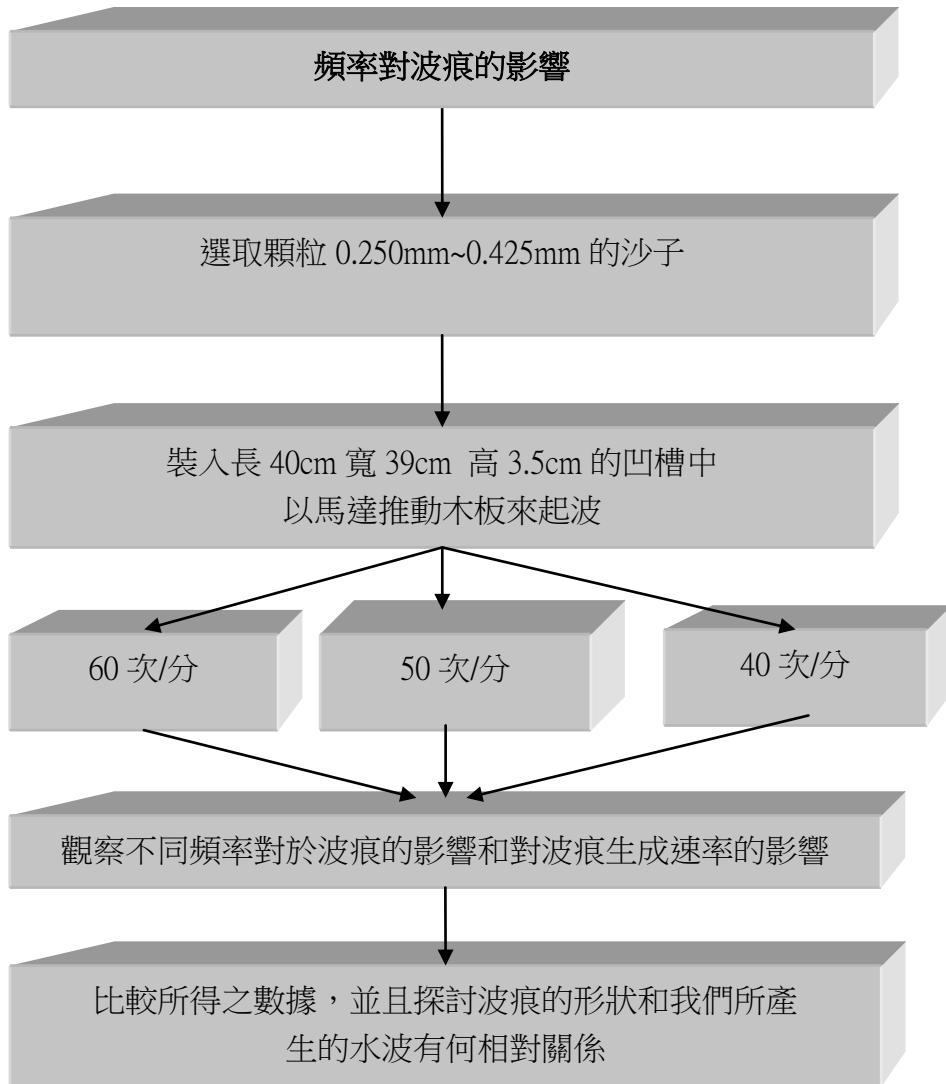
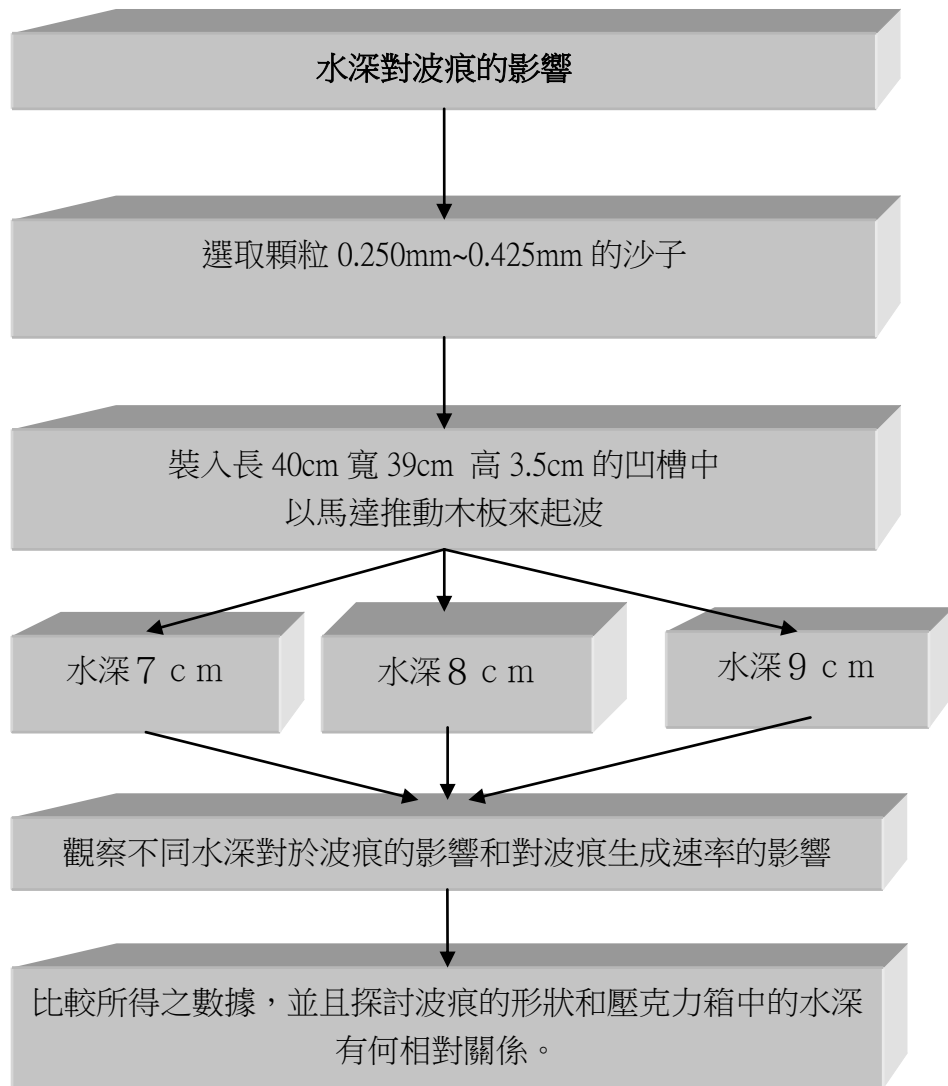
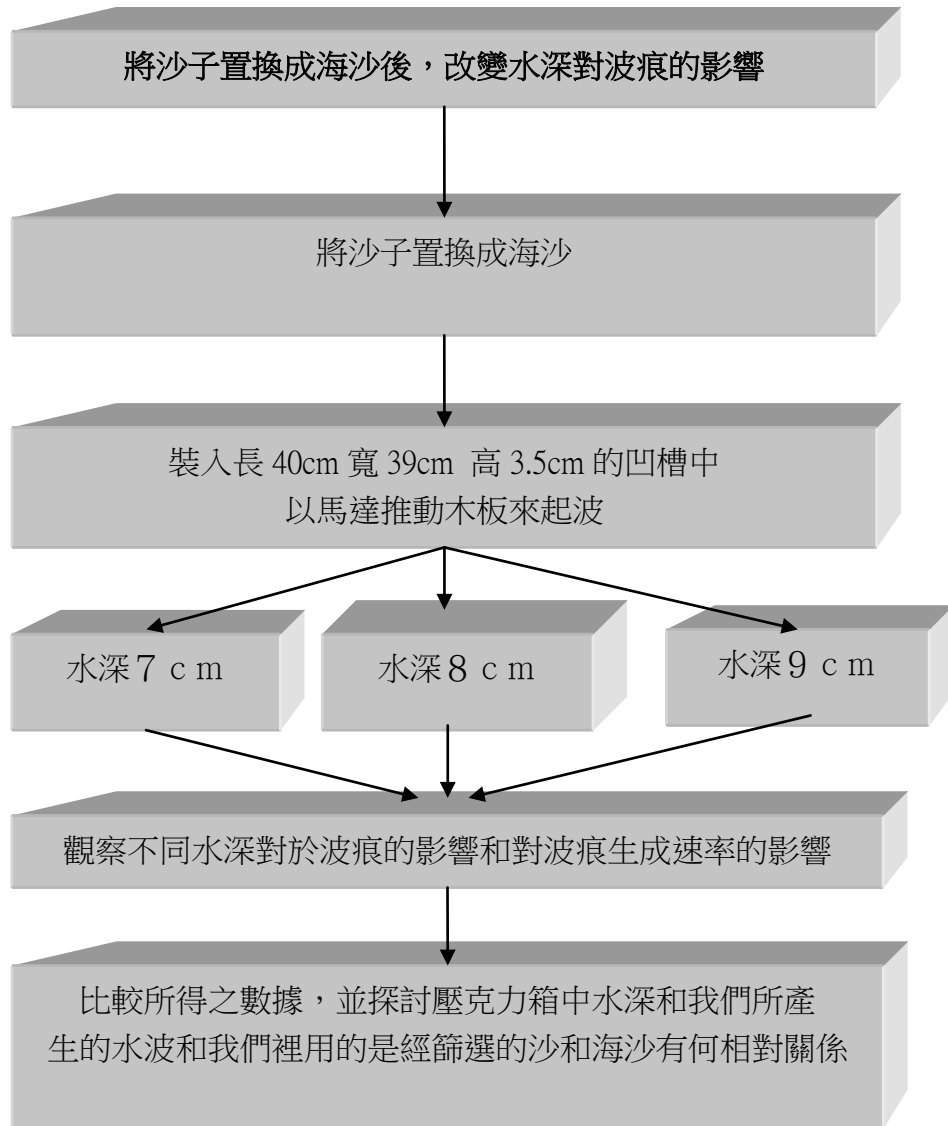


圖 20

實驗概念圖







三、製造實驗環境並且控制各項變因：

- (一) 將壓克力板裁成兩條長 39.5 cm，寬 0.8 cm，高 3.5 cm 的長條。
- (二) 將其橫向黏於壓克力箱的中間，在兩條壓克力條之間製造出一長 39.5 cm，寬 40 cm，高 3.5 cm 的長方體空間。
- (三) 將事先篩好的沙子倒入其中。
- (四) 以長鐵尺之底部架在壓克力條上，並緩緩移動至壓克力箱的另一端，藉以將沙子整平，固定每次實驗的沙總量。
- (五) 布置好沙子後，將壓克力箱內的水深加添到 7 cm 整，並隨著實驗調整至 8 或 9 cm
- (六) 我們以震盪篩選機將海沙中不同粒徑的粒子區分開來，並得到以下的結論。
425 μm 約佔 2.36%，250 μm 約佔 39.54%，180 μm 約佔 38.66%，125 μm 約佔 17.91%，53 μm 約佔 1.53%。



圖 21



圖 22

伍、研究結果

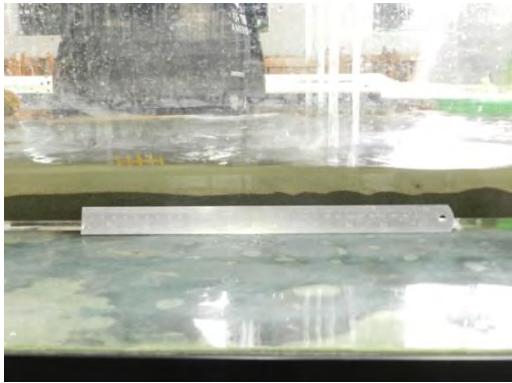


圖 23

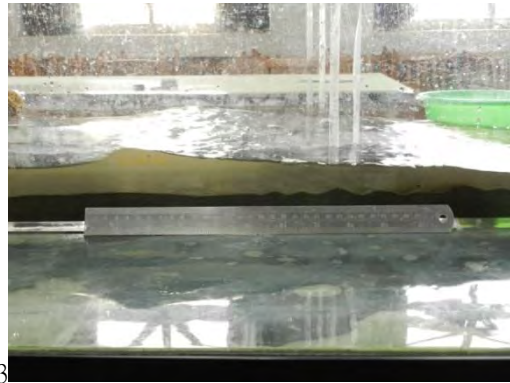


圖 24

我們觀測到，波痕會隨著時間，在高度穩定後，緩慢隨著水波的方向前進。

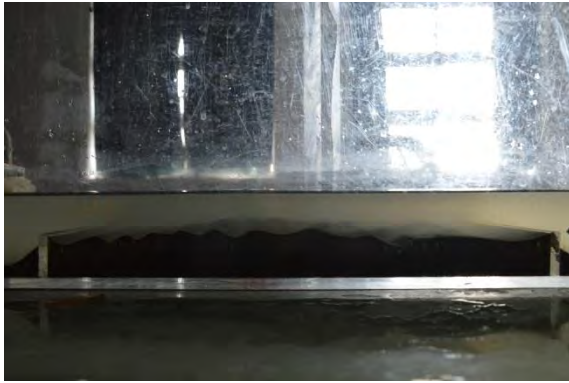


圖 25 壓克力箱側面紀錄



圖 26 壓克力箱上空紀錄

我們測量產生的波痕的波峰和波谷之高度，並且測量波和波間間距，並將結果記於下列表格之中

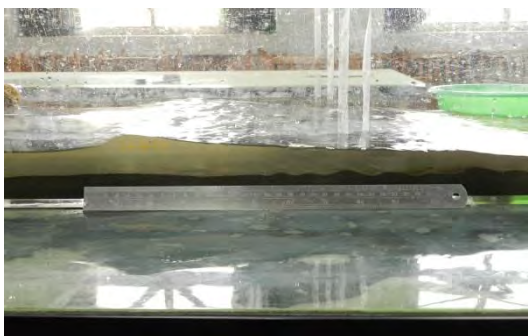


圖 27

水深 7cm、木板入水 5.5cm、波頻 1HZ、RI:7.77											
1.產生 10 個波，第一個波峰離起點 5.4cm，RI 平均:8.01											
2.波峰高 (cm)	2.8	2.9	3.1	3.5	3.9	4.0	3.6	3.4	3.1	3.2	
3.波谷高 (cm)	2.2	2.4	2.6	2.9	2.8	3.5	3.4	3.1	2.8	2.3	
4.波間距 (cm)	X	2.9	4.2	4.8	4.4	4.9	3.5	2.5	2.1	3.3	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	5.4	8.3	12.5	17.3	21.7	26.6	30.1	32.6	34.7	38.0	X
6.波痕指數	X	4.83	8.40	9.60	7.33	4.45	7.00	12.50	7.00	11.00	X
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 6.2cm，RI 平均:7.50											
2.波峰高 (cm)	2.9	3.5	3.6	3.5	3.7	3.8	3.9	3.6	3.4	X	
3.波谷高 (cm)	2.6	3.0	3.2	2.9	2.8	3.5	3.3	3.2	2.9	X	
4.波間距 (cm)		2.9	2.8	2.7	4.5	4.1	3.5	3.0	3.7	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	6.2	9.1	11.9	14.6	19.1	23.2	26.7	29.7	33.4	X	X
6.波痕指數	X	9.67	5.60	6.75	7.50	4.56	11.67	5.00	9.25	X	X
1.產生 10 個波，第一個波峰離起點 8.2cm，RI 平均:7.79											
2.波峰高(cm)	3.2	3.1	3.5	3.9	3.7	3.8	3.7	3.5	3.4	3.3	
3.波谷高(cm)	2.8	2.4	3.2	3.4	3.3	3.4	3.5	3.1	2.8	2.6	
4.波間距(cm)	X	2.9	3.5	4.2	4.7	3.7	2.9	2.4	2.0	2.7	X
5.波峰和起點 的距離(cm)	8.2	11.1	14.6	18.8	23.5	27.2	30.1	32.5	34.5	37.2	X
6.波痕指數	X	7.25	5.00	10.50	9.40	9.25	7.25	12.00	5.00	4.50	X

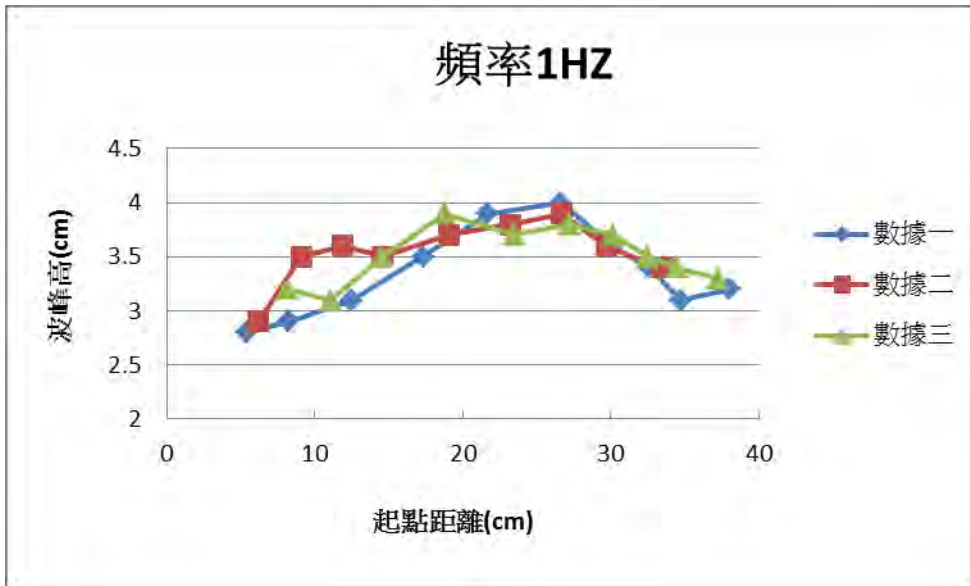
表一

水深 7cm、木板入水 5.5cm、波頻 5/6HZ、RI:8.54											
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 5.2cm，RI 平均:8.84											
2.波峰高 (cm)	3.5	3.9	3.8	4	3.9	3.5	3.4	3.6	3.5	X	
3.波谷高 (cm)	2.9	3.1	3.2	3.4	3.5	3.2	3.1	3.2	2.9	X	
4.波間距 (cm)	X	3.6	4.2	3.8	4.3	4.5	3.9	4.2	3.1	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	5.2	8.8	13	16.8	21.1	25.6	29.5	33.7	36.8	X	X
6.波痕指數	X	6.00	5.25	6.33	7.17	11.25	13	14	7.75	X	X
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 4.8cm，RI 平均:8.59											
2.波峰高 (cm)	3.1	3.4	3.3	3.7	3.9	3.5	3.1	3.3	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.7	2.8	2.7	3.3	3.1	2.9	2.8	3.2	X	X	
4.波間距 (cm)	X	3.9	5.1	5.9	5.1	4.0	2.6	3.0	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	4.8	8.7	13.8	19.7	24.8	28.8	31.4	34.4	X	X	X
6.波痕指數	X	9.75	8.50	9.83	12.75	5.00	4.33	10.00	X	X	X
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 cm，RI 平均:8.20											
2.波峰高 (cm)	3.2	3.7	3.6	4.1	3.8	3.6	3.5	3.6	3.4	X	
3.波谷高 (cm)	2.9	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	2.7	2.9	2.8	X	
4.波間距 (cm)	X	3.3	4.3	4.5	3.9	4.2	4.4	3.7	3.5	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	4.9	8.2	12.5	17	20.9	25.1	29.5	33.2	36.7	X	X
6.波痕指數	X	11.00	7.17	11.25	4.88	7.00	14.67	4.63	5.00	X	X

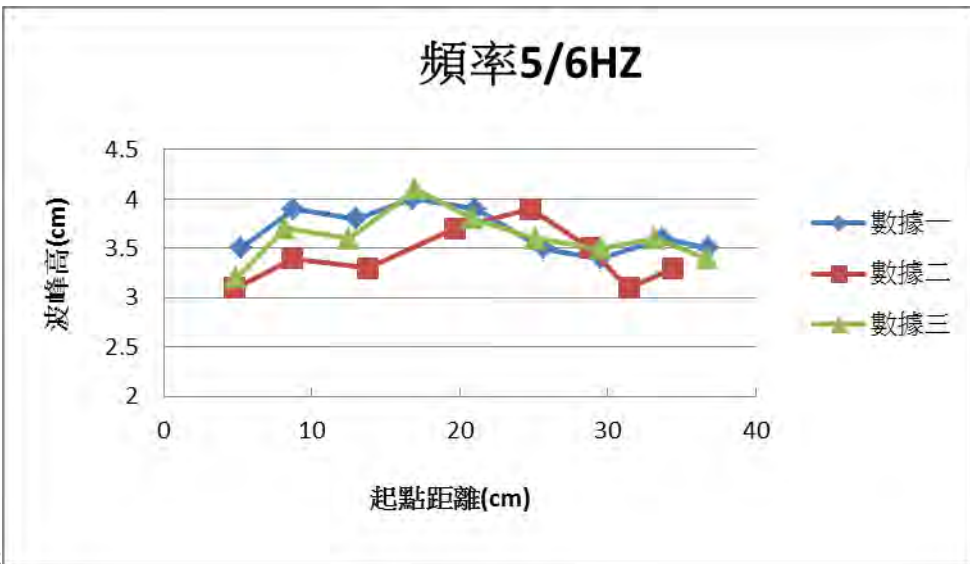
表二

水深 7cm、木板入水 5.5cm、波頻 2/3HZ、RI:11.47											
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 8.2cm，RI 平均:10.25											
2.波峰高 (cm)	3.6	3.5	3.9	3.5	3.4	3.3	3.5	3.9	X	X	
3.波谷高 (cm)	3.0	3.3	3.4	2.9	2.8	3.1	3.2	3.1	X	X	
4.波間距 (cm)	X	3.8	2.8	3.8	4.1	3.7	3.3	4.3	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	8.2	12.0	14.8	18.6	22.7	26.4	29.7	34.0	X	X	X
6.波痕指數	X	6.33	14.00	7.60	6.83	6.17	16.50	14.30	X	X	X
1.產生 7 個波，第一個波峰離起點 5.5cm，RI 平均:11.85											
2.波峰高 (cm)	3.0	3.8	3.7	3.7	3.5	3.2	3.4	X	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.7	3.3	3.4	3.3	3.0	2.8	2.9	X	X	X	
4.波間距 (cm)	X	4.2	4.8	4.7	4.9	4.2	4.5	X	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	5.5	9.7	14.5	19.2	24.1	28.3	32.8	X	X	X	X
6.波痕指數	X	14.00	9.60	15.60	12.25	8.40	11.25	X	X	X	X
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 6.1cm，RI 平均:12.30											
2.波峰高 (cm)	3.3	3.7	3.8	3.6	3.5	3.7	3.4	3.8	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.9	3.4	3.3	3.3	3.1	3.2	3.3	3.0	X	X	
4.波間距 (cm)		6.1	5.2	3.2	3.9	3.3	3.8	5.5	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	6.1	12.2	17.4	20.6	24.5	27.8	31.6	37.1	X	X	X
6.波痕指數	X	15.25	17.30	6.40	13.00	8.25	7.60	18.33	X	X	X

表三



圖



28

圖 29

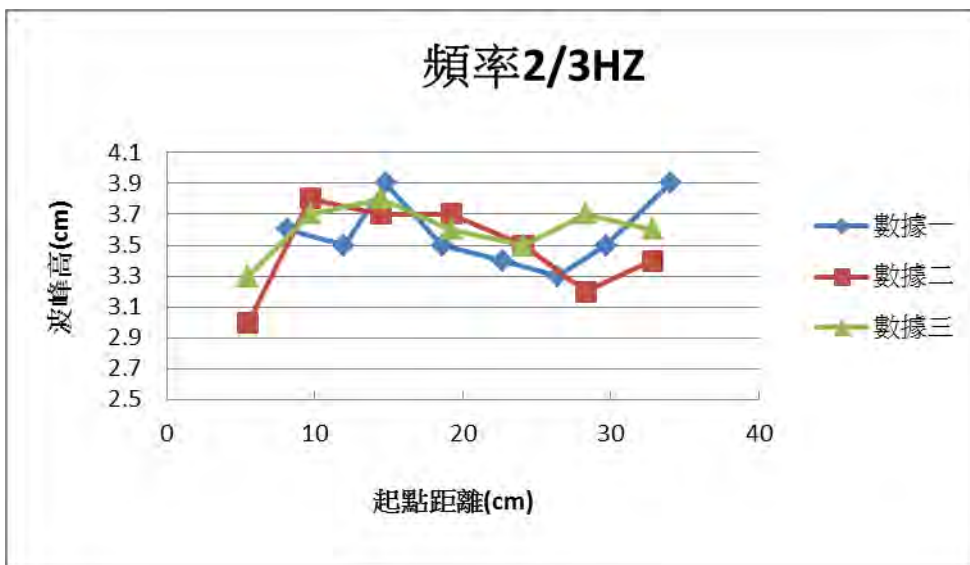


圖 30

水深 8cm、木板入水 5.5cm、波頻 1HZ、RI:7.62、平均波高:3.69											
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 3.4cm，RI 平均:7.63											
2.波峰高 (cm)	3.3	3.4	3.7	4	4.1	4	3.7	3.7	3.6	X	
3.波谷高 (cm)	2.7	3	3.4	3.5	3.3	3.4	3.4	3.3	3.5	X	
4.波間距 (cm)	X	2.7	3.8	4.6	4.2	3.7	3.4	2.4	2	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	3.4	6.1	9.9	14.5	18.7	22.4	25.8	28.2	30.2	X	X
6.波痕指數	X	4.5	9.5	15.33	8.4	4.6	5.67	8	5	X	X
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 4.8cm，RI 平均:8.63											
2.波峰高 (cm)	3.2	3.7	4	3.9	3.8	3.9	3.4	3.6	3.6	X	
3.波谷高 (cm)	2.8	3.3	3.5	3.3	3.2	3.3	3.2	3.2	3.4	X	
4.波間距 (cm)	X	3.6	4.3	4.7	4.1	3.5	3	3.2	2.5	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	4.8	8.4	12.7	17.4	21.5	25.0	28.0	31.2	33.7	X	X
6.波痕指數	X	9	10.75	9.4	6.83	5.83	5	16	6.25	X	X
1.產生 10 個波，第一個波峰離起點 3.8cm，RI 平均:6.61											
2.波峰高(cm)	3.2	3.5	3.6	4	4.1	4.2	3.7	3.6	3.5	3.4	
3.波谷高(cm)	2.8	3	3.2	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	
4.波間距(cm)	X	3.3	3.4	3.1	3.5	3	2.9	3	2.5	2.4	X
5.波峰和起點 的距離 (cm)	3.8	7.1	10.5	13.6	17.1	20.1	23.0	26.0	28.5	30.9	X
6.波痕指數	X	8.25	6.8	7.75	7	4.29	3.63	7.5	6.25	8	X

表四

水深 9cm、木板入水 5.5cm、波頻 1HZ、RI:7.47、平均波高:3.62											
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 3.8cm，RI 平均:7.33											
2.波峰高 (cm)	3	3.6	3.7	3.6	3.9	3.5	3.4	3.3	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.9	3.1	2.9	3	3.3	3.1	2.9	2.9	X	X	
4.波間距 (cm)	X	3.2	4.1	4.2	3.4	3.2	2.5	2.3	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	3.8	7	11.1	15.3	18.7	21.9	24.4	26.7	X	X	X
6.波痕指數	X	16	8.2	5.25	5.67	5.33	6.25	4.6	X	X	X
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 3.9cm，RI 平均:6.55											
2.波峰高 (cm)	3	3.8	3.9	4	3.6	3.7	3.6	3.5	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.8	3.1	3.2	3.1	3.1	3	3.2	3	X	X	
4.波間距 (cm)	X	2.7	4	4.2	3.6	3.9	2.7	2	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	3.9	7.6	11.6	15.8	19.4	23.3	26.0	28.0	X	X	X
6.波痕指數	X	13.5	5.71	6	4	7.8	3.86	5	X	X	X
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 5.2cm，RI 平均:8.53											
2.波峰高(cm)	3	3.7	3.8	3.9	3.8	4	3.8	3.7	X	X	
3.波谷高(cm)	2.9	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.4	3.4	X	X	
4.波間距(cm)	X	3.7	4	3.9	3	2.9	2.7	2.7	X	X	X
5.波峰和起點 的距離(cm)	5.2	8.9	12.9	16.8	19.8	22.7	25.4	28.1	X	X	X
6.波痕指數	X	18.5	8	7.8	6	7.25	5.4	6.75	X	X	X

表五

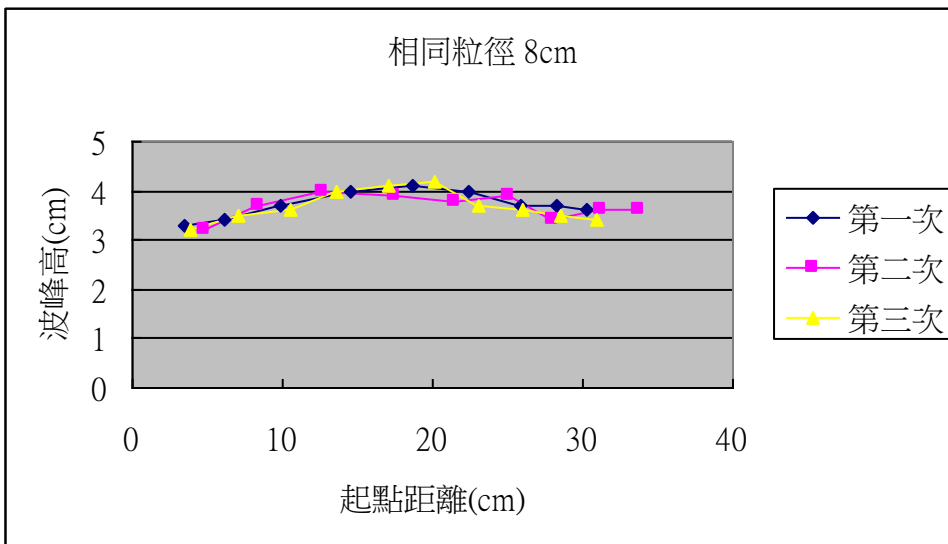


圖 31

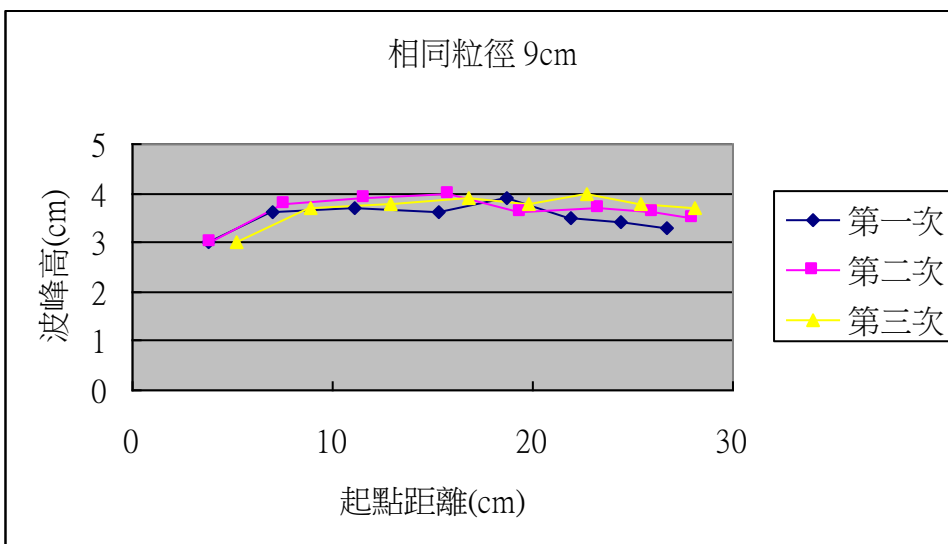


圖 32

海水、水深 7cm、木板入水 5.5cm、波頻 1HZ、RI:7.52、平均波高:3.55													
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 7.6cm，RI 平均:8.06													
2.波峰高 (cm)	3.2	3.1	3.3	3.8	3.7	3.5	3.7	3.6	3.6	X	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.6	2.7	2.8	3.2	3.3	3.3	3.4	3.2	3	X	X	X	
4.波間距 (cm)	X	3.4	4.2	4.4	3.5	2.6	3	2.3	1.8	X	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	7.6	11.0	15.2	19.6	23.1	25.7	28.7	31	32.8	X	X	X	
6.波痕指數	5.67	10.5	8.8	5.8	6.5	15	7.67	4.5	X	X	X	X	
1.產生 9 個波，第一個波峰離起點 8.5cm，RI 平均:6.91													
2.波峰高 (cm)	3.6	3.7	3.3	3.5	3.8	3.6	3.7	3.6	3.5	X	X	X	
3.波谷高 (cm)	3.2	3.2	3	2.9	3.1	3.1	3.3	3.2	2.9	X	X	X	
4.波間距 (cm)	X	3.2	4	3.2	3.6	3.4	3	2.5	2.2	X	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	8.5	11.7	15.7	18.9	22.5	25.9	28.9	31.4	33.6	X	X	X	
6.波痕指數	8	8	10.67	6	4.85	6	6.25	5.5	X	X	X	X	
1.產生 8 個波，第一個波峰離起點 10.2cm，RI 平均:7.60													
2.波峰高 (cm)	3.2	3.7	3.6	3.5	3.6	3.7	3.5	3.6	X	X	X	X	
3.波谷高 (cm)	2.9	3.2	3.1	3.3	3.2	3.1	3	2.7	X	X	X	X	
4.波間距 (cm)	X	5.6	5.5	6	1.8	2	2.7	3.5	X	X	X	X	X
5.波峰和起 點的距離 (cm)	10.2	15.8	21.3	27.3	29.1	31.1	33.8	37.3	X	X	X	X	
6.波痕指數	18.67	11	12	9	5	4.5	7	X	X	X	X	X	

表六

海水、水深 8cm、木板入水 5.5cm、波頻 1HZ、RI:8.32、平均波高:3.57													
1.產生 11 個波，第一個波峰離起點 4.4cm，RI 平均:9.2													
2.波峰高 (cm)	3.3	3.7	3.6	3.9	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	X	
3.波谷高 (cm)	3.1	3.2	3.3	3.2	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.2	X	
4.波間距 (cm)	X	3.2	3.8	4.5	3.9	3.4	2.7	3	2.3	2.5	2.7	X	X
5.波峰和起點的距離 (cm)	4.4	7.6	11.4	15.9	19.8	23.2	25.9	28.9	31.2	33.7	36.4	X	
6.波痕指數	16	7.6	15	5.57	4.85	5.4	10	5.75	8.33	13.5	X	X	
1.產生 12 個波，第一個波峰離起點 4.3cm，RI 平均:8.72													
2.波峰高 (cm)	3	3.4	3.1	3.6	4	3.6	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.5	
3.波谷高 (cm)	2.8	2.9	2.9	3.2	3.3	3.1	3.2	3.3	3.3	3.2	3.2	3.4	
4.波間距 (cm)	X	2.5	2	3.1	4.2	3.9	3.2	2.5	2.8	2.1	2	2	X
5.波峰和起點的距離 (cm)	4.3	6.8	8.8	11.9	16.1	20	23.2	25.7	28.5	30.6	32.6	34.6	
6.波痕指數	12.5	4	15.5	10.5	5.57	6.4	5	9.3	10.5	6.67	10	X	
1.產生 11 個波，第一個波峰離起點 5.3cm，RI 平均:7.05													
2.波峰高 (cm)	3.4	3.7	3.8	4	3.9	3.5	3.5	3.4	3.6	3.5	3.6	X	
3.波谷高 (cm)	3	3.2	3.5	3.4	3.2	3	3.1	3.1	3.2	3.3	3.5	X	
4.波間距 (cm)	X	3.4	2.5	3.8	3.1	2.7	2.9	2.5	2.5	2	2	X	X
5.波峰和起點的距離 (cm)	5.3	8.7	11.2	15	18.1	20.1	23	25.5	28	30	32	X	
6.波痕指數	8.5	5	12.67	5.16	3.85	5.8	6.25	8.3	5	10	X	X	

表七

海水、水深 9cm、木板入水 5.5cm、波頻 1HZ、RI:7.62、平均波高:3.52													
1.產生 12 個波，第一個波峰離起點 4.3cm，RI 平均:7.60													
2.波峰高 (cm)	3.3	3.3	3.4	3.7	3.8	3.6	3.6	3.7	3.6	3.6	3.5	3.2	
3.波谷高 (cm)	2.8	2.9	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	2.8	
4.波間距 (cm)	X	3	3.7	4	4	3.8	3.1	2.8	2.3	3	2.2	2	X
5.波峰和起點的距離 (cm)	4.3	7.3	11	15	19	22.8	25.9	28.7	31	34	36.2	38.2	
6.波痕指數	6	9.25	13.33	6.67	6.33	6.2	7	5.75	7.5	5.5	10	X	
1.產生 11 個波，第一個波峰離起點 5.7cm，RI 平均:7.62													
2.波峰高 (cm)	3.5	3.8	3.7	3.6	3.4	3.5	3.5	3.6	3.4	3.3	3.2	X	
3.波谷高 (cm)	3.1	3.4	3.1	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3	2.9	2.9	X	
4.波間距 (cm)	X	4.3	4.5	3.3	3.5	3	2.6	2.1	2	3.4	3	X	X
5.波峰和起點的距離 (cm)	5.7	10	14.5	17.8	21.3	24.3	26.9	29	31	34.4	37.4	X	
6.波痕指數	10.75	11.25	5.5	5	7.5	6.5	7	6.67	8.5	7.5	X	X	
1.產生 11 個波，第一個波峰離起點 5cm，RI 平均:7.65													
2.波峰高 (cm)	3.6	3.7	4	3.8	3.6	3.4	3.5	3.5	3.4	3.2	3.2	X	
3.波谷高 (cm)	3.1	3.3	3.3	3.2	3.1	2.9	3.1	3.2	3	2.9	2.7	X	
4.波間距 (cm)	X	3.8	3.5	4.1	3.2	3	2.4	2.3	3.4	3.5	3.7	X	X
5.波峰和起點的距離 (cm)	5	8.8	12.3	16.4	19.6	22.6	25	27.3	30.7	34.2	37.9	X	
6.波痕指數	7.6	8.75	5.85	5.33	6	4.8	5.75	11.3	8.75	12.33	X	X	

表八

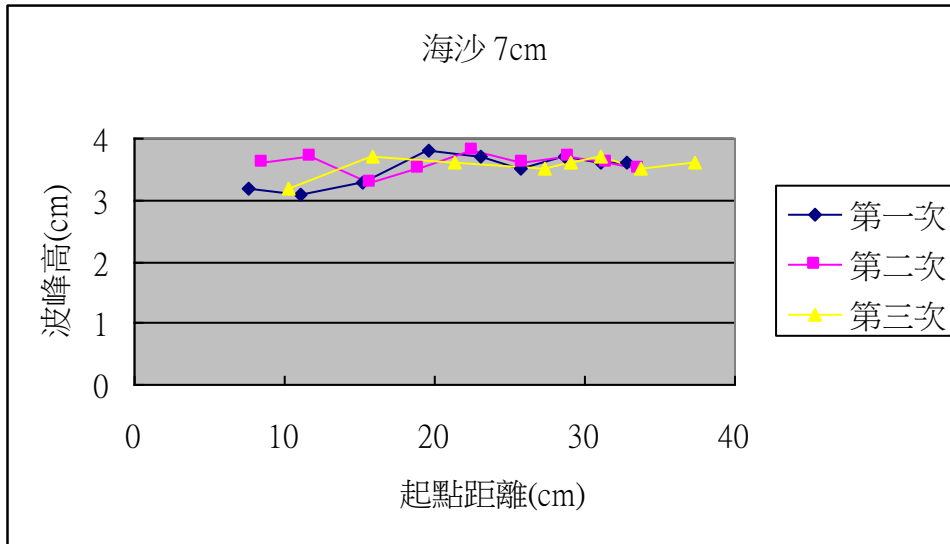


圖 33

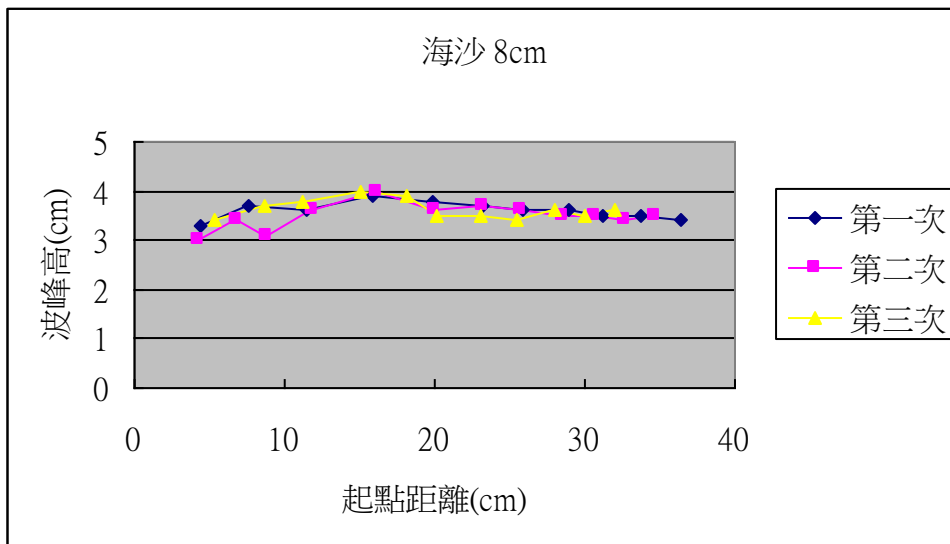


圖 34

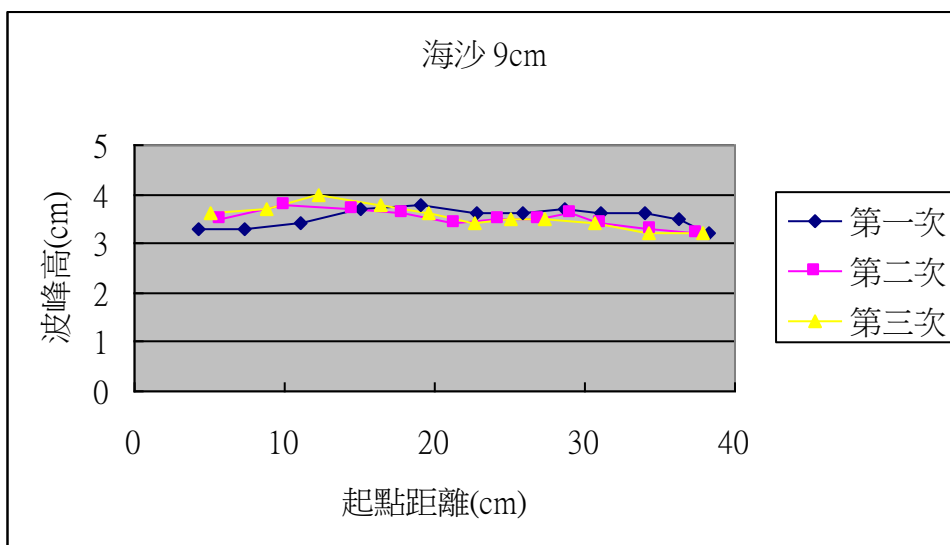


圖 35

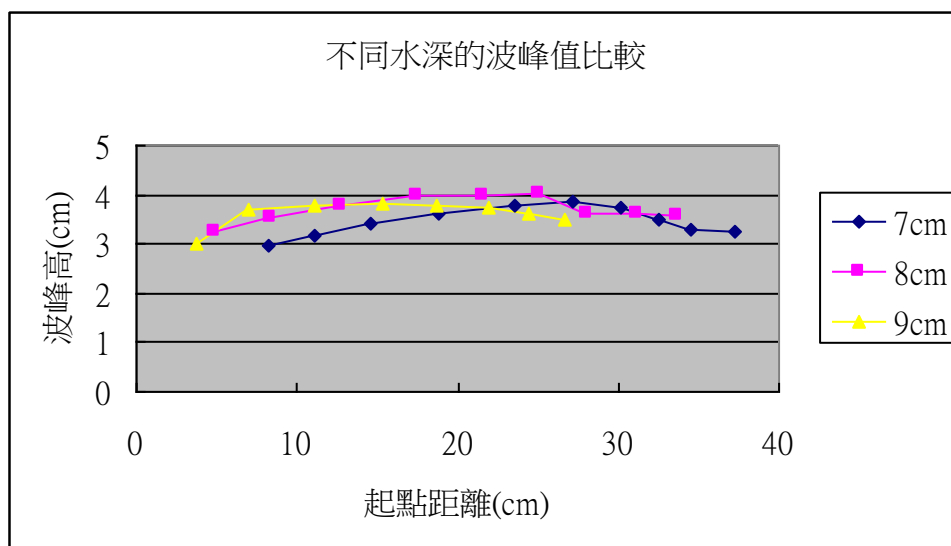


圖 36

陸、討論

一、我們發現波痕會隨著時間，在高度穩定後，緩慢隨著水波前進的方向前進，我們認為這是因為水波不停的帶動底下的沙子，緩慢形成一個小沙波，待沙波高度達到一臨界值時，高度便不會再增加，沙子開始往前跌落，形成沙波在往前移動的視覺效果。

二、我們發現，當我們改變水深時，在相同頻率的水波以及相同作用時間之下，水深越深，其所產生的最後一個波痕會離起始點越近(圖 36)，而要形成完整波痕的時間也越久，我們推論：

- 1、水越深，水波的能量越難傳達到水底。
- 2、能量越小，需要更久的時間來形成穩定之波痕。

三、當我們以海沙來做實驗時，我們發現相較於之前以粒徑分佈相近的沙子所形成的波痕，海沙波痕明顯較為紊亂，也沒有一定的規律(圖 33~35)，我們推論可能的原因如下：

- 1、越靠近起波源，由於能量較強，沙子所受到的擾動較強，較多沙子會被捲起來然後按照粒徑(重量)大小重新堆積，粗的在下，細的在上。而與起波源距離不同，沙子所受到的擾動程度也不一，能懸浮起來重新堆積成波痕的粒徑分佈不一樣，從文獻得知波痕的粒徑分佈會影響波痕的形狀，因此符合我們的實驗結果。

為了證實這個結論，我們以水高 7 cm，頻率 1 h z 所產生的波痕，並取第一個及最後一個波痕波峰上層的沙子，以震盪篩選機篩選後得到以下結果：

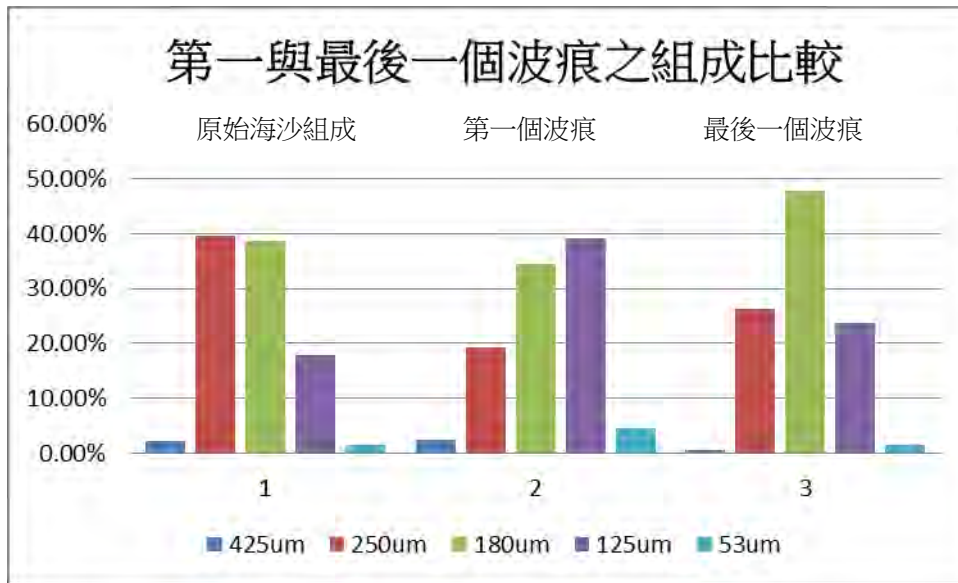


圖 37

由圖中可明顯發現：

- 1、 無論是第一個或是最後一個波痕，其波峰上端的沙子的粒徑分佈中，粗顆粒的比例明顯下降，故可證實沙子會被擾動然後重新依照粒徑大小堆積。
- 2、 相較於第一個波痕，最後一個波痕的粗顆粒比率較多，可以證明離起波源越遠，受到的擾動也越小，沙子重新排列的現象也較為不明顯。但由於較細且輕的沙子較容易被由前搬動至後端，故較細的粒徑比例仍會比原始海沙的組成還要高。

四、 我們發現，頻率越小的水波所產生的波痕，其波痕指數會越來大，但是到底頻率主要是

影響波長還是波高呢？我們將數據量化後得到以下結果：

- 1、 三種頻率所產生的波痕的波高值相近，但頻率變小其波長會明顯的變長。
- 2、 由於各個頻率產生的水波波速相近，當頻率減低時，其波長會變長。
- 3、 在波痕指數的公式 L/H 中，變化的值為其分子（波長），而分母（波高）則幾乎保持固定。

五、將各個頻率所產生的波峰的平均值和與起點的距離作圖表後，我們發現產生的波峰會有一個由低向高再轉為低的趨勢，而其高峯值又會隨著頻率的減低逐漸往起始點靠近，我們認為這種結果可能是因為以下幾種原因：

- 1、單位時間內，頻率越高的水波能產生更多的水波，而底下的沙層會受到更多水波的作用，換言之，更多能量的擾動，將沙子帶離起始點較遠的距離。
- 2、水波形成初步的波痕時，其波峰會越來越高，直至一個臨界值，而這較高的波峰會減弱經過它的水流，並減少其能量，使其後的沙子不再受到同等強度能量的衝擊，進而較難產生較高的波峰，故波峰會由低到高又轉變低。

六、為何不論我們用何種頻率去產生水波，其產生的波高都會有其臨界值，也就是最高值呢？

- 1、我們推論波痕的成因和沙丘的形成有可能有相近之處，即當期波峰不停堆疊至一定的高度時，底下的沙便無法再支持，使波峰停止繼續長高。

柒、結論

結論一、波痕會隨著時間，在高度穩定後，緩慢隨著水波的方向前進。

結論二、水深越深，能量越難傳達給水槽底部的沙子，故形成波痕及讓其穩定的時間需要更久。

結論三、在粒徑組成不一的沙子中，沙子受到波源的擾動而移動，與起波點距離不同，粒徑分佈會不一樣，導致其波痕形狀也不一樣。

結論四、水波的頻率主要是改變波痕的波長而非其波高。

結論五、頻率越高的水波，在一定的時間內能提供沙子更多的能量，使其被帶離起

始點更遠的距離，即波峰的高峰值會隨著頻率變大而離起始點越遠。

結論六、波痕的形成原因和沙丘有若干相近之處，即其波峰會有一個臨界值，當堆高到一定高度後便不會再變高。

捌、參考資料及其他

一、維基百科，粒徑

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B2%92%E5%BE%91>

二、維基百科，沙

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B2%99>

三、科學人雜誌，科學人 2007 年第 59 期 1 月號

四、維基百科，波痕

http://en.wikipedia.org/wiki/Ripple_marks

五、維基百科，馬達

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%8A%A8%E6%9C%BA>

六、江蘇省地質工程有限公司，看三億年前的”波痕”

<http://www.sugec.cn/html/html20112/169148947.html>

七、馮興雷、鄧宏文、馬立祥、林會喜，「利用砂岩中波痕的物理參數分析沉積環境」，SEDIMENTARY GEOLOGY AND TETHYAN GEOLOGY（2010年第3期）

http://d.wanfangdata.com.cn/periodical_yxgdl201003008.aspx

八、王慈惠，搬運營力與波痕的實驗研究

<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/33/pdf/33h/134.pdf>

九、維基百科，鋰電池

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%8B%B0%E9%9B%BB%E6%B1%A0>

十、曾云孚、夏文杰，沉積岩石學

【評語】 040506

這個題目很有創意，使用簡單的器材，設計沉積物在形成波痕的過程及機制，是傳統地質的基本議題。實驗的過程，能夠掌握波痕的一些基本特性。本課題在材料的選擇上較為單一，時間的控制也太均一，是未來可以改進的地方。報告的同學能交互表達，展現了非常好的團隊合作關係。

1. 對於實驗裝置設計用心，確實改進不穩定之處。對於篩選後的沙粒及海沙所形成的波峰波谷分析可再加強，並針對各波峰的高度變化及每一波痕的波高進行討論。
2. 針對的問題有趣、有創意。設計有思考及改進，唯受限於器材。結論欠完整，尚須對地球上的現象有所比對。