

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組地球科學科

040506

高雄市立左營高級中學

指導老師姓名

林明良

黃琦雯

作者姓名

簡伶縈

蔡淑君

浪碎何方

壹、摘要

本研究的目的是在探索孤立大浪的運動與其靠近岸邊的行爲。實驗在長 1.8 公尺、寬 75 公分、高 30 公分的透明大水槽進行，結果發現孤立大浪由深水進入淺水，當波高小於水深時，波速會變慢，當波高大於水深時，波速會隨水深越來越淺而越來越快，波高也變高，而且速度快到一定程度以後，前方的水面變成垂直的水牆，接著浪頭就會打下，浪就碎了。如果坡度較緩，產生水牆的位置會離水陸交界點較遠，水牆維持的時間也較長。實驗結果顯示孤立波浪的移動會像毛毛蟲的爬行，有伸縮現象，浪高會高低起伏，波速也會些微地忽快忽慢。

貳、研究動機：

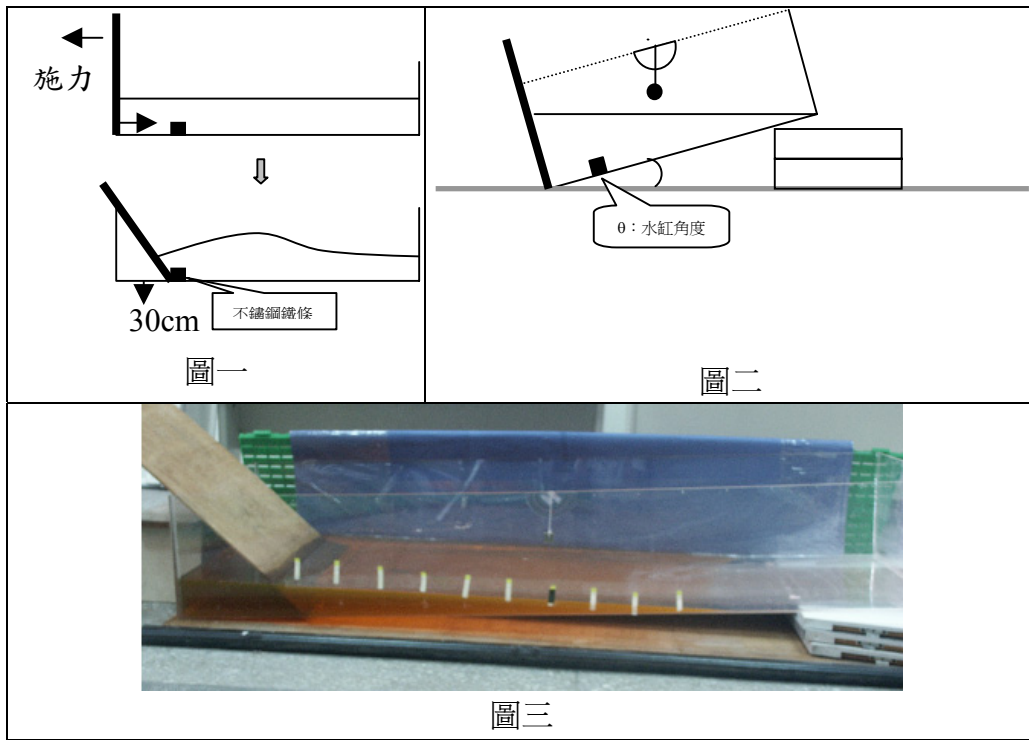
有一次和爸爸看 Discovery 頻道，正好播放海嘯的節目，發現波浪裡深藏著玄機奧秘，加上地球科學談到海水運動時，也提到湧浪和瘋狗浪，而本身對自然界的災害很感興趣，因此想深入了解是什麼機制造成一些無法彌補的悲劇！更期許能一步步推演大波浪的詳細過程，找出大波浪的特性，了解大波浪發生時的種種變化。

參、研究目的：

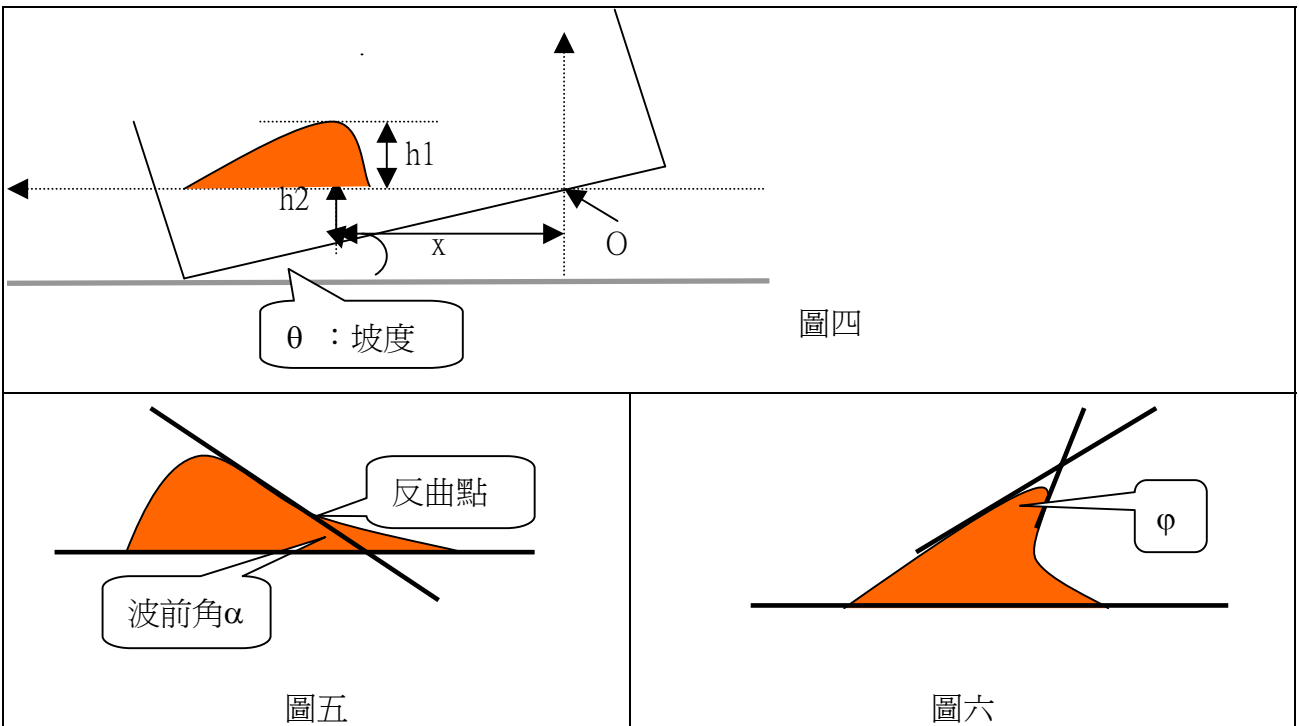
- 一、想知道一個波浪在岸邊從深水進入淺水區：
 - (一) 波速的變化
 - (二) 波高的變化
 - (三) 波形的變化。
- 二、找出波速、波高、波形與水深的相互關係。
- 三、探討影響浪碎位置與水牆產生的因素。

肆、研究過程與方法：

- 一、我們在長 180cm、寬 75cm、高 30cm 的壓克力水缸內裝入高 4cm 的水，故水的體積是 1620000ml。
- 二、在距離水缸側面（寬x高）30cm 處的缸底上，黏上一個不鏽鋼鐵條。
- 三、以長 90cm 寬 60cm 的木板當推水的工具，推的方法如圖。
- 四、爲了方便觀察，我們在水中加入紅墨水，把水染成紅色。
- 五、在水缸外貼上一個透明量角器（與水缸平行），並在量角器基準點黏上綁著小鐵塊的棉線。
- 六、在施力處的對測，墊上相同的木板，並用量角器計算角度移動多少。簡圖如圖二。
- 七、在水缸外標明刻度，貼在水平面上（以方便算比例）（利用 DV 確定剛好在水平面上，避免視差問題。）
- 八、最後用 DV 錄下一個波浪的行進過程，再轉錄成 DVD。
- 九、利用會聲會影 6 的軟體，將一段影片擷取成許多張，所取的每一組影片中都有一張靜止的水平面，用單槍投影在牆壁，並把波形畫在方格紙上，再加以分析，我們取波的最高點來算波速、波高。
- 十、實際照片如圖三。



十一、定義：



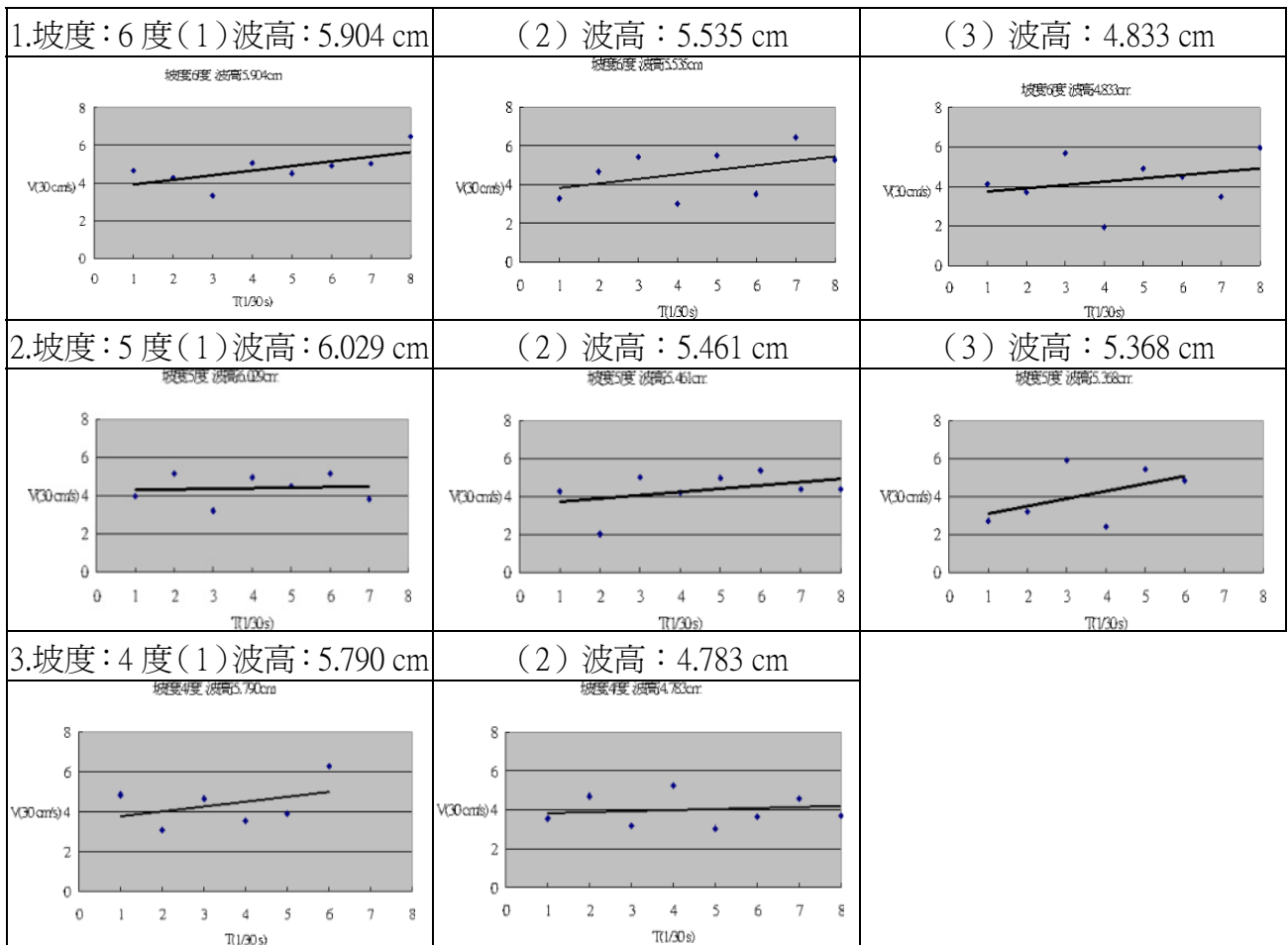
爲了討論的方便，我們作了下面的定義：

1. 波高 h_1 ：波的最高點到靜止水平面的垂直距離。
2. 水深 h_2 ：波的最高點對應水平面到水缸的垂直距離。
3. 大波浪： $h_1 \geq h_2$ 的波。
4. 小波浪： $h_1 < h_2$ 的波。
5. 波前角 α ：反曲點之後的曲線延伸與水平面的夾角。
6. 水牆：波前角 α 爲 90° 時。
7. 碎浪：波前角大於 90° 時的波浪。
8. O 點：水平面與陸地的交界點，也是座標的參考點。
9. 波浪位置 (x)：最高點到 O 點的水平距離。
10. 坡度 (θ)：水缸底部與地面的夾角。
11. 波尖銳度 ($1/\varphi$)： φ 越小，波尖銳度越大。

伍. 研究結果：

一. 大波浪從深水進入淺水區之間波速的變化

[以下各圖的橫座標代表時間 $T(1/30\text{ s})$ ，縱座標代表波速 $V(30\text{ cm/s})$]



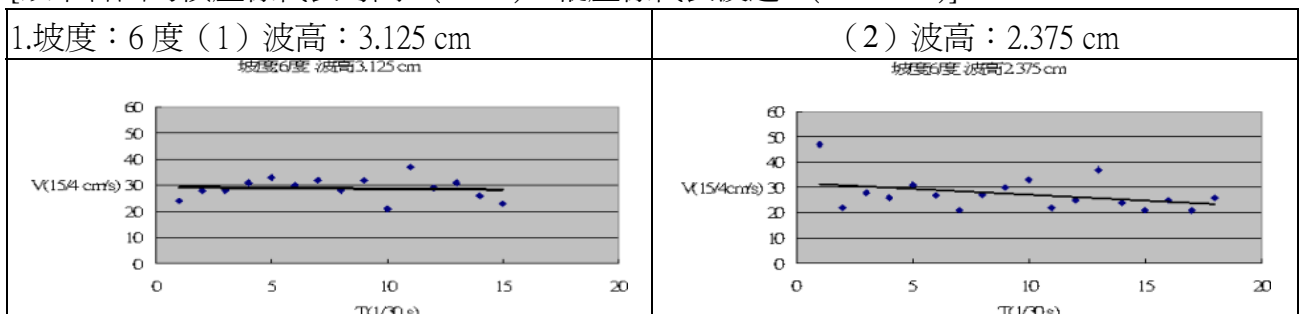
結果：

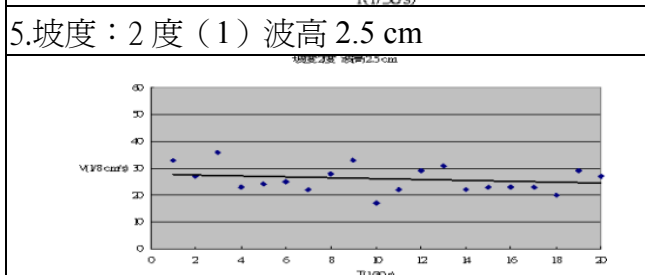
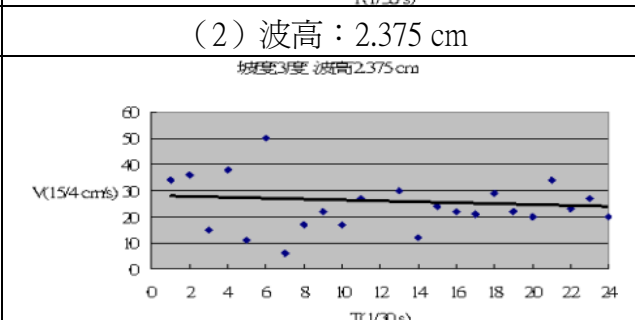
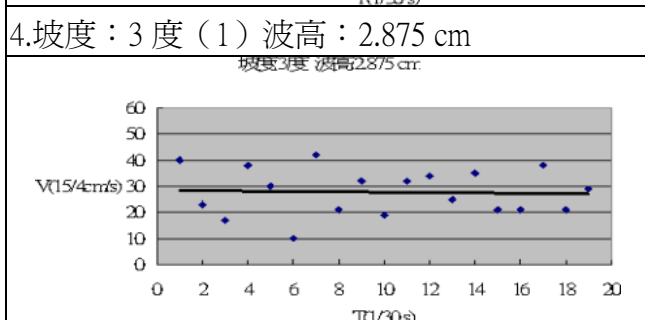
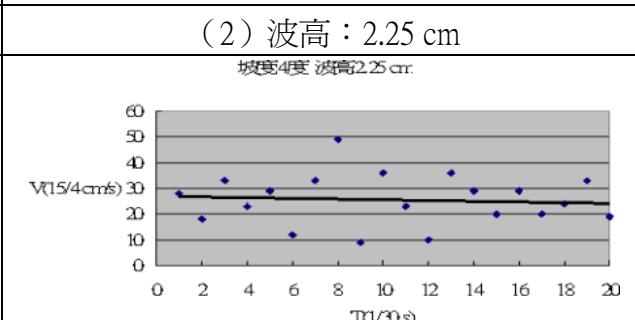
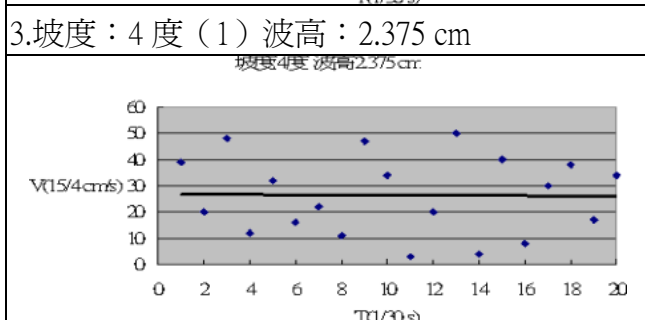
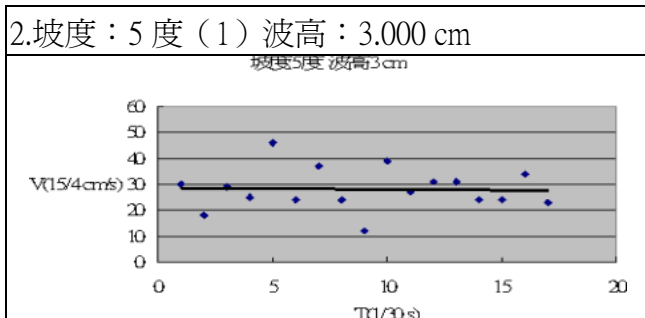
由以上的關係圖顯示，無論施予能量的多寡，以及坡度的緩與陡，波浪由深水進入淺水區時，速度皆有增快的趨勢。

但是老師認為波速應該要變慢才對，因此我們就想找出變快的因素，結果發現我們實驗做出的波與一般的波，最大的不同處在一般的波高遠小於水深，而我們的波高大部分都超過水深。所以我們又做了波高小於水深的實驗，實驗方法一樣，只是施與的能量比較小，而且這次的數據更加精密，是把截取出的圖放在 PhotoImpact 8 裡，用它的單位點來處理。

二. 小波浪從深水進入淺水區之間波速的變化

[以下各圖的橫座標代表時間 $T(1/30\text{ s})$ ，縱座標代表波速 $V(15/4\text{ cm/s})$]



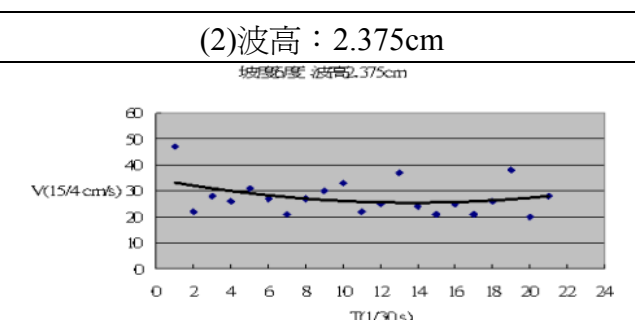
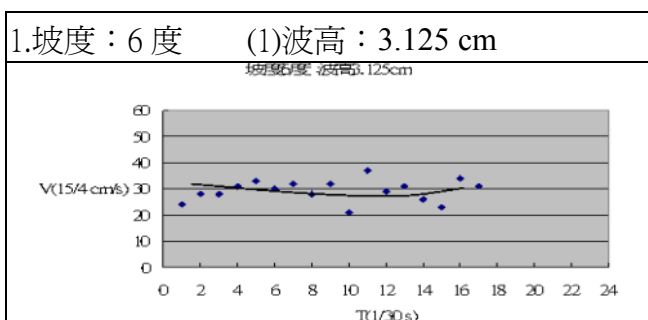


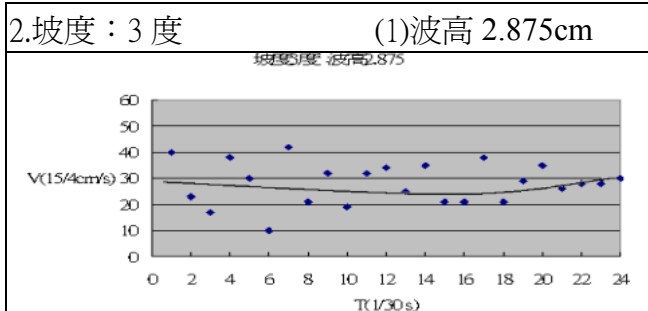
結果:

波高在還未超過水深時，波速有漸慢的趨勢，而且波高越小這個趨勢越明顯。

因此我們推測當波高比水深小時，脈衝的波速隨水深減少而變慢；當波高比水深大時，脈衝的波速反而隨水深的變淺而增加。

我們有幾組可分析到 $h_1 > h_2$ 的數據點，加上這幾點來作圖，波速的趨勢反而是漸慢再漸快，可作為佐證。如下圖：





因此我們把第一次實驗做的連續波形圖拿出來分析，找出恰開始變快的點，以及第二次實驗恰開始變快的點，結果發現這些點的共通性皆在 h_1/h_2 約為 1。

小結：

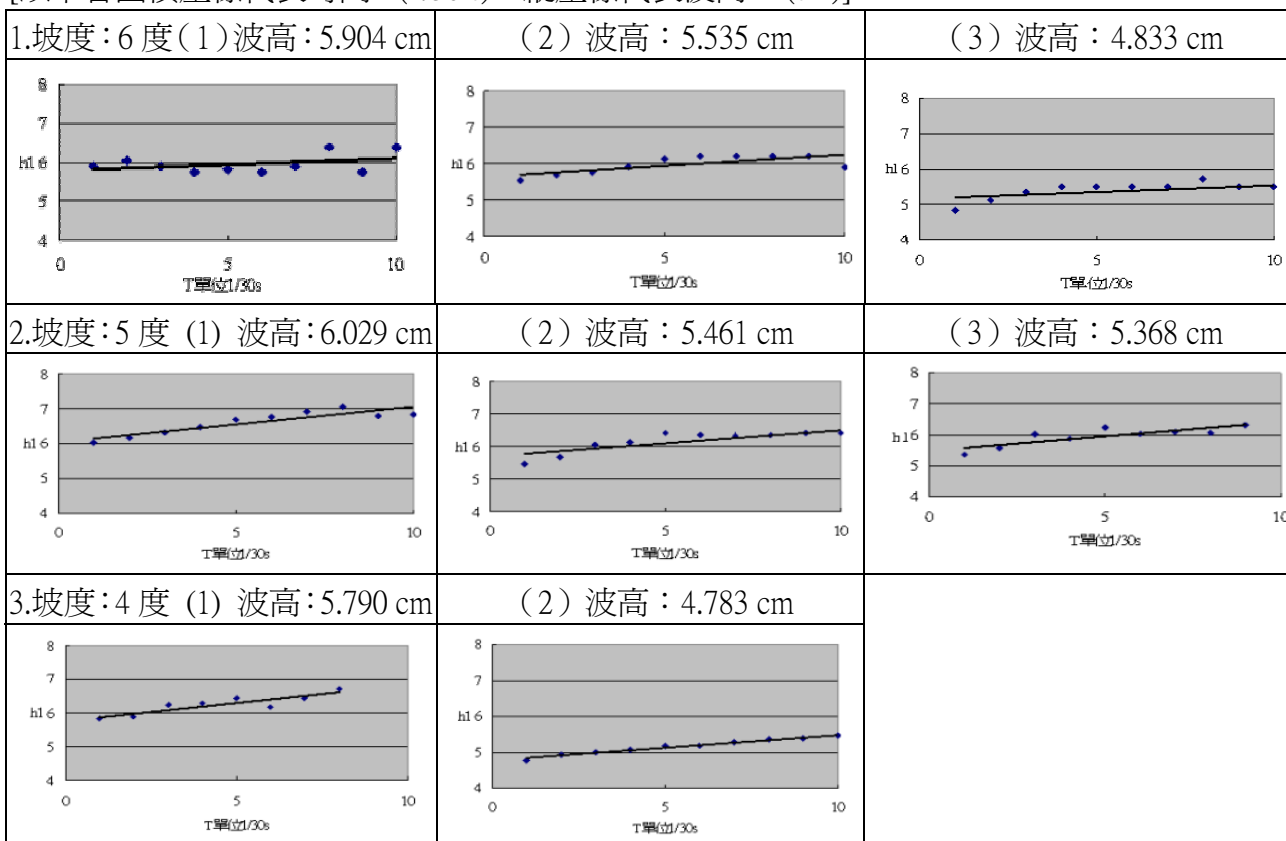
由這以上的實驗可知，一個波浪由深水進入淺水，一開始 h_1 未超過 h_2 時，它的速度有漸慢的趨勢，到這裡符合一般的認知、以及文獻上的記載，但是後來 $h_1/h_2 \geq 1$ 時，它的速度有漸快的趨勢，直到它破碎。所以說，波浪由深水進入淺水，波速是漸慢再漸快的。

波速受 h_1/h_2 影響。

在小波浪的趨勢圖可看出，當 $h_1 < h_2$ 時，在同一坡度下，施予的能量越大，波速變化率越小。

三. 大波浪從深水進入淺水區之間波高的變化

[以下各圖橫座標代表時間 $T(1/30 s)$ ，縱座標代表波高 $h_1(\text{cm})$]

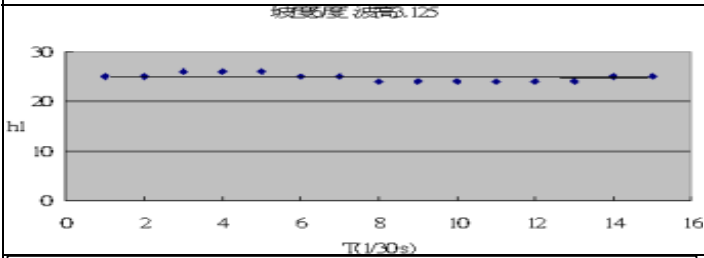


結果：

大波浪從深水區進入淺水區時，波高呈線性增加，而且坡度越小越明顯。

四. 小波浪從深水進入淺水區之間波高的變化

1. 坡度：6 度 (1) 波高 3.125 cm



註:由於所有波高的趨勢皆為水平線，所以我們只放一個進來。

施與能量大	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{4}{4}$	
	相差值	$\frac{60}{840}$	$\frac{80}{840}$	$\frac{112}{840}$	$\frac{168}{840}$		
施與能量小	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{3}$
	相差值	$\frac{45}{840}$	$\frac{60}{840}$	$\frac{84}{840}$	$\frac{126}{840}$	$\frac{210}{840}$	

結果：

1. 波浪由深水進入淺水，一開始波高的趨勢沒有變化（小波浪實驗得知），後來會越來越高（大波浪實驗得知）。
2. 當 $h_1 \geq h_2$ 時，坡度越緩，波高變化率越大。
3. 綜合以上波速與波高的結果：
 - a. 波速受 h_1/h_2 影響
 - b. 在 $h_1 < h_2$ 之前，波高不變，波速變慢。

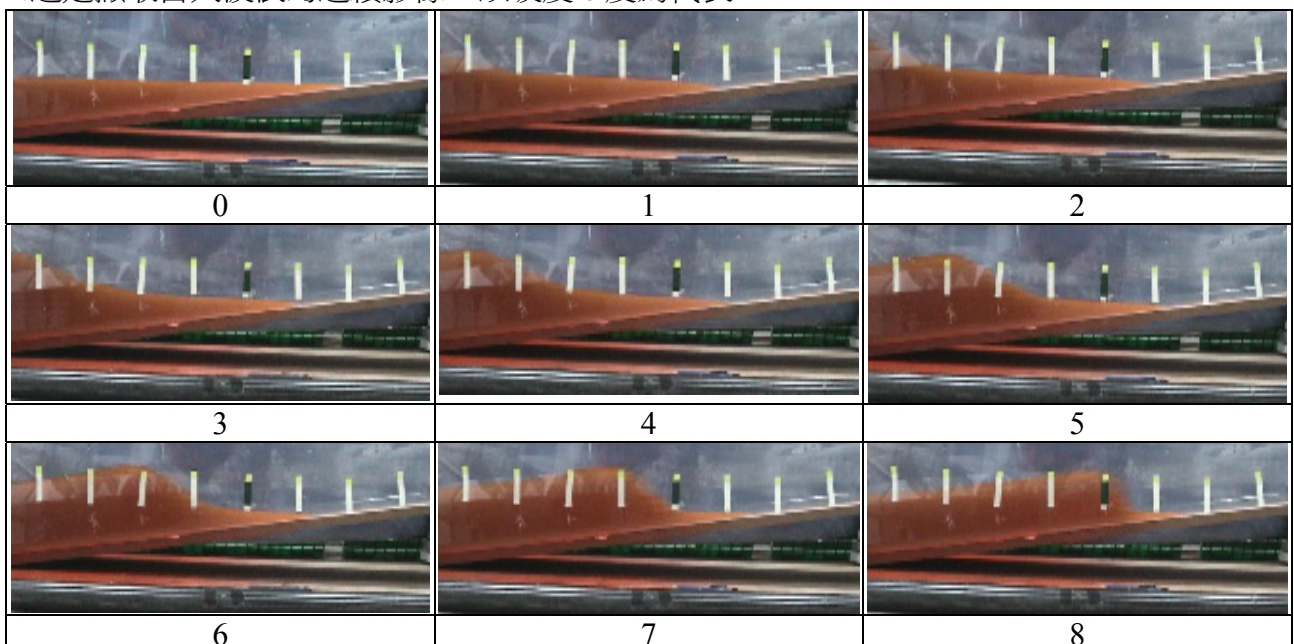
我們可以用數學推理來解釋為什麼在同一坡度下，施與的能量越大，波速變化越小？

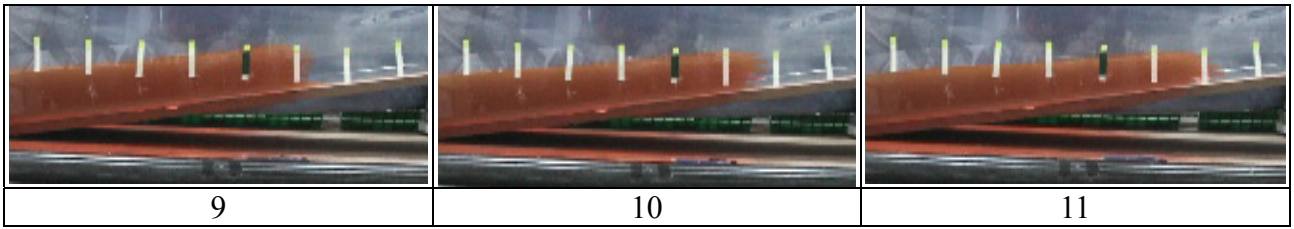
如圖七。水深由 8 到 4，施與能量大者，波高設為為 4；施與能量小者，波高設為 3：

- (1) 施與能量大者由 60 到 112，故速度變化小；施與能量小者由 45 到 126，故速度變化大。
- (2) 又可知兩者若在相同時間內，能量大者速度較快。

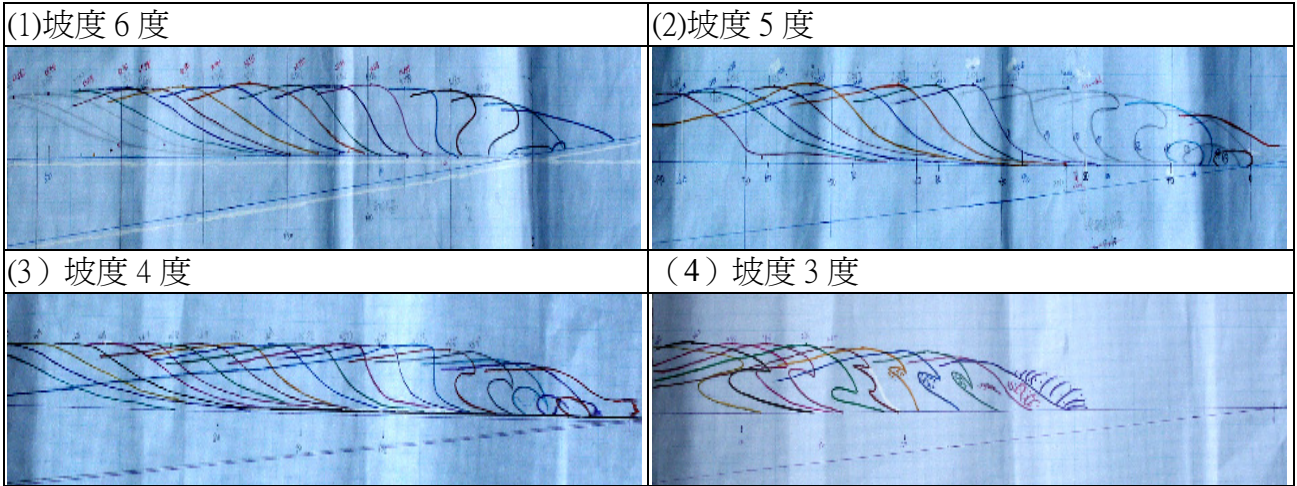
五. 大波浪從深水進入淺水區之間波形的變化

1. 這是擷取自大波浪的連續影像，以坡度 6 度為代表：





2. 我們把這些擷取的圖片畫在方格紙上



結果：

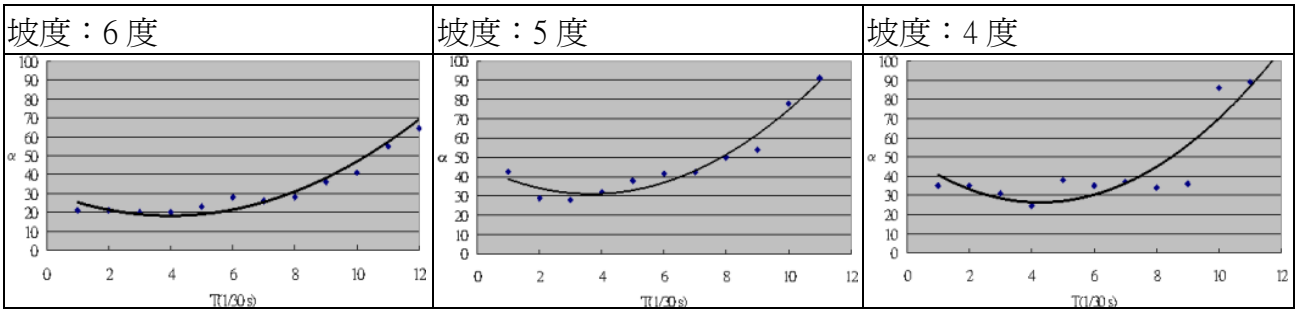
由以上的圖可看出：

(1)前面的波很密集，後面很疏鬆，這表示波速變快，更證實 $h_1 \geq h_2$ 時，波速會變快的說法。

(2)坡度越緩：

- a. 波變形後的尖銳度越大
- b. 水牆維持較久
- c. 浪碎的位置距離岸邊越遠。

3. 波前角 α 的變化：



結果：

由趨勢圖我們可以發現，坡度較陡時，波前角會慢慢變成 90° ，而坡度較緩，波前角會突然變成 90° ，也就是突然就形成了水牆。

綜合第(2)點，我們可以知道坡度較緩的地區，大波浪在進入淺水區時，會在離岸邊較遠就碎掉，但是它會突然就變成水牆，而且維持很久。

六. 產生水牆時的位置、波速及 h_1/h_2

水牆	6°	6°	6°	5°	5°	5°	4°	4°
瞬時速度 (cm/s)	4.9998	4.814	4.748	4.5585	4.3015	4.3175	4.6835	4.268
h_1/h_2	2.9734	2.9590	3.515	1.955	2.7352	2.966	1.9997	2.7856
h_2 (cm)	1.919	1.784	1.648	3.235	2.500	2.140	3.358	2.029
X(cm)	18.376	15.539	14.342	31.471	28.284	22.066	40.324	25.906

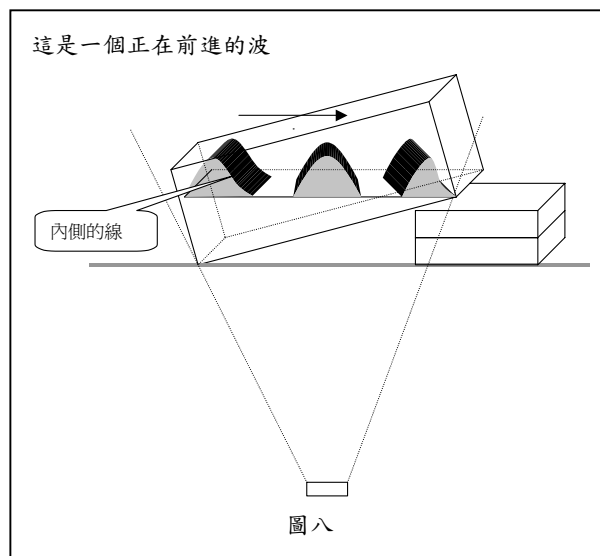
結果:

由以上 6 度、5 度、4 度的 h_2 顯示,坡度越緩(水深變化率越小),水牆高度越高。坡度相同時,水牆越高,浪碎位置距離水陸交界點越遠。

陸.結論：

在本研究中，一個波浪由深水進入淺水區：

- 一、開始 $h_1 < h_2$ 時，它的波速有漸慢的趨勢；後來 $h_1/h_2 \geq 1$ 時，它的波速轉為漸快的趨勢，直到它成為碎浪。
- 二、波速受 h_1/h_2 影響， $h_1/h_2 = 1$ 時，恰變快。
- 三、在同一坡度下，施與的能量越大，波速變化率越小。
- 四、在相同時間內，能量大者速度較快。
- 五、在波高還未大於水深之前，波高幾乎不變，後來會漸漸增高。
- 六、坡度越緩，波高變化率越大。
- 七、坡度越緩，波變形後的尖銳度越大。
- 八、坡度越緩，水牆維持較久。
- 九、坡度越陡，波前角會慢慢變成 90 度，而坡度較緩，波前角會突然變成 90 度，也就是突然就形成了水牆。
- 十、坡度越緩，浪碎的位置距離岸邊越遠。
- 十一、我們曾經觀察到大波浪在還未變成水牆之前，就已在岸邊產生退潮現象。



柒.討論：

一、為什麼趨勢圖的點會跳的那麼離譜？

因為我們在一些擷取的圖中，看見波底較短的波由深水進入淺水，並不是很平滑的移動，而波底會有內縮及外擴的現象(如上圖)快忽慢的變化。波底分布較廣者變化較不明顯。



二、為什麼不錄波浪全程的影像，只錄後半部分及前半部分？

一開始我們是將 DV 擺在遠一點的地方錄，因為這樣就可以錄到全部，但是畫面越遠就越小，在電腦上放大，整個畫面就顯得模糊不清，最重要的是，我們發現有角度上的問題，以圖八說明。擷取的畫面不易辨識內側的線，波看起來就不切實際，所以沒辦法錄全程。

捌.參考資料:

- 許明光 (1996)：台灣及其鄰近地區之海嘯研究，台灣海洋學刊，35 期 1 號，1-16
- 蔡政翰 (1999)：北海岸的瘋狗浪(<http://sun4.coe.ntou.edu.tw/research/lgswell/papero4/>)
- 莊姿君 (1997)：「瘋狗浪」科學月刊，326 期
- 許明光、曾俊超、高家俊 (1993)：台灣地區「瘋狗浪」之調查及成因初探(中華民國 6(<http://sun4.coe.ntou.edu.tw/research/lgswell/papero3/>))
- 蔡政翰 (1996)：什麼是瘋狗浪及如何避其害，台灣釣魚，126 期，33-35

評語

040506 高中組地球科學科 第一名、最佳團隊合作獎

浪碎何方

從實驗目的、實驗設計、實驗過程以及變因解釋、結果分析、討論及結論一氣呵成，極富科學性，表達流暢，兩位合作無間，默契絕佳，是難得一見的高品質作品。