

【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

海洋科學組 成果報告表單

題目名稱：放浪不羈-討論深水波與淺水波的傳遞波速

一、摘要：

本篇主要討論海浪的波速問題。在淺水波實驗中，我們除了改變水深以外，也嘗試改變水底接觸面性質，我們兩個壓克力水槽中對照組只放清水實驗組則在底部放置細沙，以塑膠板一次擾動水面產生水波，測量水波來回壓克力水槽的時間，再轉換成波速。

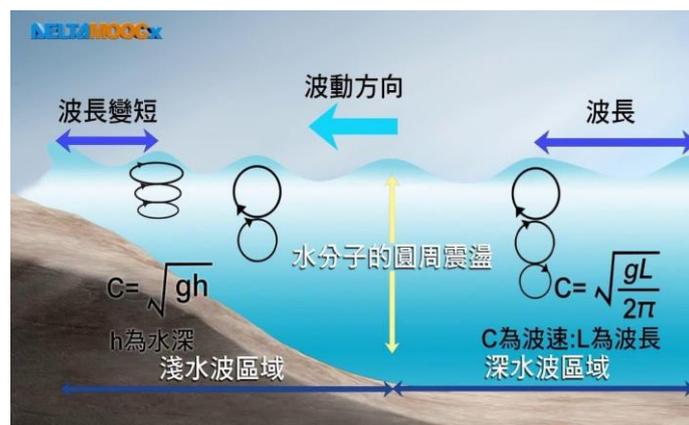
深水波的實驗中，我們利用水波槽實驗組，上方放置透明容器裝水模擬深水波環境，改變頻率，以尺測量投影波長，再以相似三角形的概念換算出實際波長，測量其波速變化。

實驗結果發現：淺水波波速會和地形有關，水深越淺，水面越接近沙地，波速越慢。深水波波速則是波長在 1.5 公分以內，水的表面張力影響大於重力。波長愈小波速愈快。波長大於 1.5 公分以上，重力影響會大於表面張力，此時波長愈大，波速越快。

高一地科課本淺水波公式是忽略地形影響結果，深水波公式則是在波長 1.5 公分以上有近似結果。

二、探究題目與動機

高一再上地科課時，在地科課本上面看到了水面上水波震盪的方式為圓形波，水面下水分子也會震盪，但震盪幅度會隨著深度遞減，因此水到一定深度，水分子便不再震盪維持靜止。於是我們就想說「若在淺水區，由於深度較淺，與海底接觸的水分子有可能仍然保持震盪，海面下沙地是否會與上面水分子產生摩擦而影響波速？」另外課本上亦標示出深水波的波速與波長有關，淺水波波速則與深度有關，是否真的是如此？這兩個疑問讓我們好奇地去做了實驗。



圖一：水波深水與淺水傳遞示意圖

三、探究目的與假設

1. 水波震盪方式為圓形波，愈靠近淺水區，越趨向於橢圓震盪，其中水平方向震盪大於鉛直方向，因此水平方向的摩擦力也相對明顯，因此我們推測沙地摩擦力較大，應該會讓水波速度變慢。

2. 我們在科學 Online 看到水面波的波速公式

$$v^2 = \left(\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi T}{\rho\lambda} \right) \tanh \frac{2\pi H}{\lambda}$$

其中

g :重力場強度 T :水表面張力

ρ :海水密度 H :海水深度

λ :海水波長

深水波：

當 H (水深)大於波長一半時 $\tanh \frac{2\pi H}{\lambda}$ 約等於 1

$$v \cong \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi T}{\rho\lambda}}$$

將上述公式帶入函數作圖，我們得到右圖。

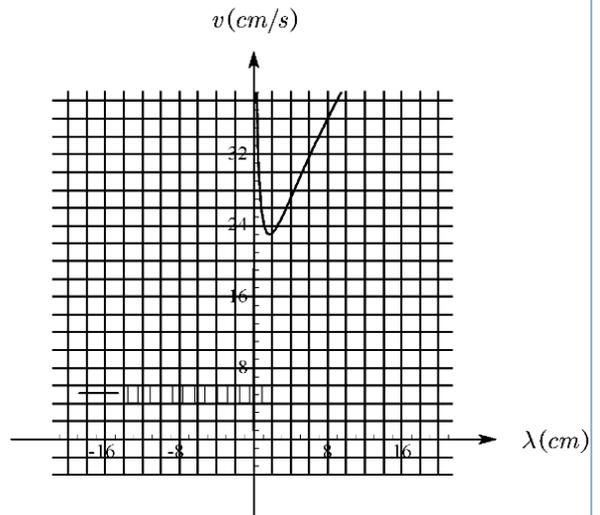
其中波長 1.7cm 時有最小波速約 23cm/s

我們假設「波長大於或小於 1.7cm 時，波速都會大於 23cm/s」

淺水波：

當 H (水深)小於波長 20 倍時 $\tanh \frac{2\pi H}{\lambda}$ 約等於 $\frac{2\pi H}{\lambda}$

$$v \cong \sqrt{gH}$$



圖二:深水波函數作圖

四、探究方法與驗證步驟

A. 淺水波波速與接觸面性質實驗

(一) 實驗器材:

塑膠透明水槽	塑膠片	細沙	文具	手機計時器

(二) 實驗步驟:

1. 準備兩個相同的水槽，測量水槽的長度($L=105\text{cm}$)，並在其中一個在水底倒入一層約 1mm 細沙。

- 2.將無沙水槽加入 2 公分的水，有沙水槽加入 2.1 公分的水。
- 3.以接近水槽寬度塑膠板撥動水面一次，待水波在水槽來回 5、6 次後，震幅變小到接近水面高度時，紀錄水波來回水槽一次的時間。
- 4.改變兩個水槽水的深度為 2.5、3、3.5、4 公分，重複步驟 3 測量其時間。

(三)實驗數據與分析:

1.實驗數據:



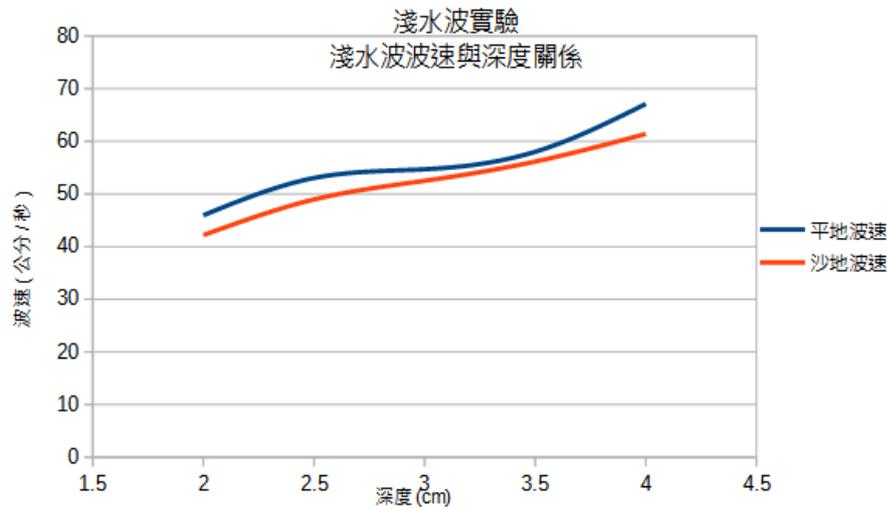
水高 2 公分 水高 2.5 公分 水高 3 公分 水高 3.5 公分 水高 4 公分

表 1: 不同水深下，水波在沙地與光滑壓克力來回一次所需要的時間與波速(L=105cm)

	第一次(秒)	第二次(秒)	第三次(秒)	平均(秒)	波速(公分/秒)
沙地(2cm)	5.06	4.86	5.02	4.98	42.17
平地(2cm)	4.42	4.62	4.67	4.57	45.95
沙地(2.5cm)	4.25	4.38	4.23	4.29	48.95
平地(2.5cm)	3.85	4.22	3.80	3.96	53.03
沙地(3cm)	3.72	4.02	4.25	4.00	52.5
平地(3cm)	3.52	4.04	3.95	3.84	54.69
沙地(3.5cm)	3.95	3.55	3.73	3.74	56.15
平地(3.5cm)	3.97	3.67	3.21	3.62	58.01
沙地(4cm)	3.29	3.50	3.48	3.42	61.40
平地(4cm)	2.91	3.25	3.22	3.13	67.09

2.實驗分析:

- (1)由實驗可以看出，淺水波速度與深度有關，水深越深波速越快。
- (2)在相同深度下，沙地波速的確小於無沙水槽的對照組。證明水分子與海底接觸面的摩擦的確會影響傳遞速度。



圖三:淺水波沙地與光滑地面波速比較

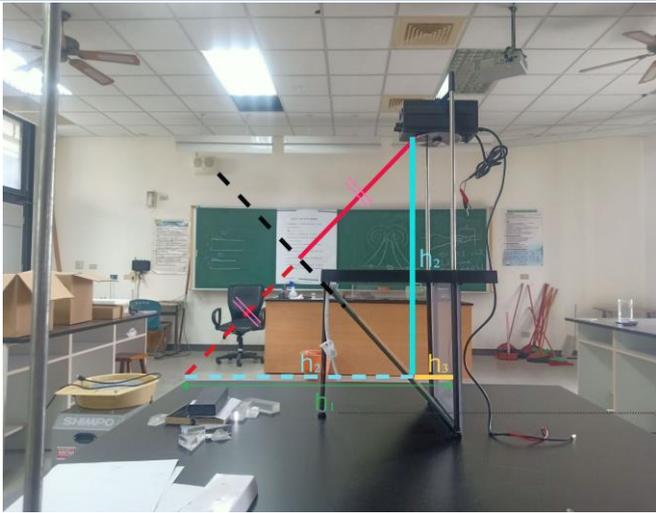
B.深水波波長與波速關係實驗

(一)實驗器材:

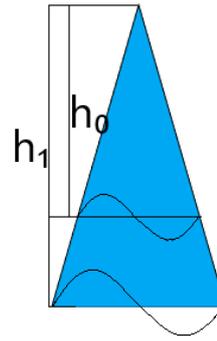
水波槽及塑膠透明水槽	波源產生器、阻波器及書	閃頻及訊號產生器	起波器	直尺及捲尺	點滴
					

(二)實驗步驟:

- 1.在塑膠透明水波槽中裝水至水深 5cm，再以捲尺測量光源離水面的距離($h_0=27.5\text{cm}$)、光源離 45 度傾斜面鏡的距離($h_2=33\text{cm}$)、45 度傾斜面鏡離頻幕的距離($h_3=30\text{cm}$)。如圖四所示。
- 2.調整頻率為 55、22、12，以波源產生器產生線型波，再以尺測量屏幕上的波長。
- 3.依相似三角形等比例放大關係，將 h_2+h_3 相加($=h_1$)， $(h_0)/(h_1)=$ 實際的波長(λ_0)/頻幕上的波長(λ_1)，計算出實際波速。如圖五所示。
- 4.我們發現當頻率低於 10 以下，起波器頻率不易控制，於是我們改變測量的方式。我們將波源產生器改成點滴移，以滾輪改變管線的鬆緊，藉以調整頻率產生波。
- 5.重新計算閃頻到水面的距離($h_0=27\text{cm}$)，閃頻到屏幕的距離($h_1=66\text{cm}$)
- 6.用手機計時器測量水滴滴下水面 20 滴的時間，測量多次取平均時間，計算出頻率。
- 7.以尺測量屏幕上的波長，依相似三角形等比例放大關係， $(h_0)/(h_1)=$ 實際的波長(λ_0)/ 屏幕上的波長(λ_1)，計算出實際波速。



圖四、水波槽相對位置關係



圖五、利用相似三角形求出水波真實波長

(三)實驗數據與分析:

1.實驗數據

波源產生器線型波實驗數據

表二:不同頻率下，屏幕上的波長變化以及換算成實際波長和波速

$h_0=27.5\text{cm}$ $h_1=63\text{cm}$ f 為頻率 v 為波速

f (赫茲)	λ_1 (公分)	實際波長(公分) $\lambda_0=\lambda_1*h_0/h_1$	V (公分/秒)= $f*\lambda_0$
55	1.15	$1.15 * 27.5 / 63 \cong 0.502$	$\cong 27.610$
22	2.3	$2.3 * 27.5 / 63 \cong 1.004$	$\cong 22.087$
12	3.45	$3.45 * 27.5 / 63 \cong 1.506$	$\cong 18.071$

以點滴產生波的實驗數據

表三:不同頻率下，屏幕上的波長變化以及換算成實際波長和波速

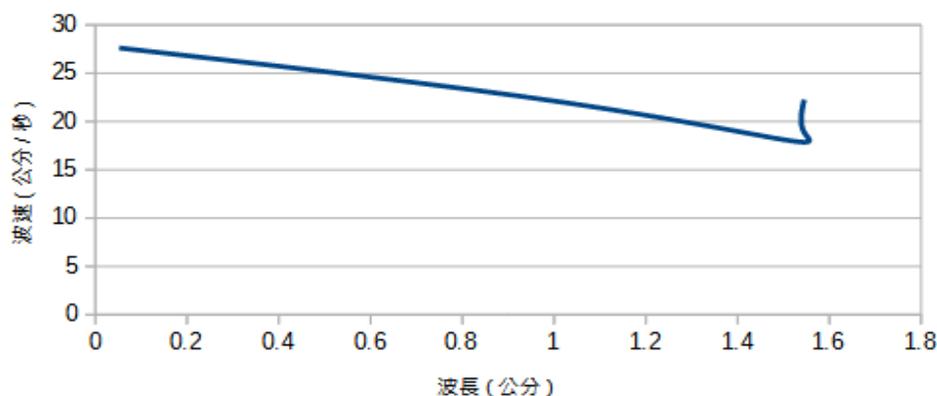
$h_0=27\text{cm}$ $h_1=66\text{cm}$ f 為頻率 v 為波速

f (赫茲)	λ_1 (公分)	實際波長(公分) $\lambda_0=\lambda_1*h_0/h_1$	V (公分/秒)= $f*\lambda_0$
2.9	16	$27 * 16 / 66 \cong 1.545$	$\cong 18.982$
3.4	16	$27 * 16 / 66 \cong 1.545$	$\cong 22.255$

2.實驗分析

(1) 由圖六，我們發現水波在波長 1.5 公分時波速最慢與圖二理論值 1.7 公分相當接近。

深水波實驗
波長與波速的關係



圖六:深水波波速與波長關係

(2) 波長在 1.5 公分以內，波速會隨著波長增加而遞減。這部分在地科課本並未敘述，推測在

波長較小的情況下，水的表面張力影響大於重力。數學式 $v \cong \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi T}{\rho\lambda}}$ 根號內第二項的影響大於第一項。因此波長愈小波速愈快。

(3) 波長大於 1.5 公分以上，重力影響會大於表面張力，數學式 $v \cong \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi T}{\rho\lambda}}$ 根號內第一

項的影響大於第二項，若將第二項忽略，就會得到地科課本上的公式 $v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$ ，此時波長愈大，波速越快。

五、結論與生活應用

1. 淺水波傳遞速度與深度有關，深度愈大速度愈快。
2. 淺水波速度會受到海底地形影響，摩擦力愈大速度愈慢。
3. 深水波在波長小於 1.5 公分以下，波長愈大波速愈慢。
4. 深水波在波長大於 1.5 公分以上，波長愈大波速愈快。
5. 生活應用方面在淺水波若能增加海底摩擦力，當波速減慢波長變會變小，因能量守恆便可以增加振幅。而達到利用海浪來發電。

參考資料

[高中地球科學 基礎地球科學 海水的運動 3. 波浪 曾世佑](#)

[水波的波速-科學 online 李文堂老師/洪連輝教授](#)

[地理教室 無國界-高一第一冊海岸地形](#)

[海浪發電 靠 50 公分浪高就可行 - 民視新聞](#)