

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030508

岸與浪－探討波浪對海岸地形的影響

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者： 國二 邵文柔	指導老師： 侯依伶 鄭 偉
-------------------	-----------------------------

關鍵詞：波浪、海岸地形、突堤

摘要

本實驗以模擬實驗的方法探討海浪對沙岸造成的影響，並了解離岸堤與突堤的設置對海岸造成的影響。實驗過程分別製作最大安定角(約 33 度)、20 度與 10 度的海岸坡度，並以改變打水深度來控制波浪的強弱，以進行兩者交互作用的探討。每一次實驗約持續進行 9 節課(約 405 分鐘)的時間，每一節下課進行測量。研究結果發現：1) 33 度及 20 度的沙灘在波浪較大時，會明顯後退，而 10 度的沙岸卻不太容易改變；2) 波浪強度弱時，對海岸的影響也就比較小；3) 離岸堤的設置確實可以使沙灘較不易被侵蝕，且離岸堤的長度和設置位置也會影響海岸防護的效果；4) 突堤的設置並不會減少波浪對海岸的侵蝕作用，而且突堤後方會發生嚴重的侵蝕，形成陡峭的海崖。

壹、 研究動機

國一時，地理老師跟我們介紹過許多台灣擁有的特殊海岸地形，例如台灣北部的岬灣地形、花蓮的斷崖海岸、墾丁的裙礁海岸以及西南沿海的沙岸地形，讓我都非常嚮往。這一次在尋找科展題目時，又發現前年學長利用遙測資料分析不同時期高雄西子灣和旗津海岸海岸線的變化，瞭解高雄海岸正不斷被侵蝕消失。我才很驚訝的發現原來以堆積作用為主形成的沙岸地形也會隨著波浪的拍打而逐漸後退。在進一步找尋了相關的報導與資料後，我更想以模擬實驗來觀察波浪長期拍打沙岸後，對地形產生的各種影響。也希望能在實驗室的水槽中設置離岸堤和突堤來瞭解保護海岸的工程，在波浪的長期作用下，對海岸地形產生的影響。

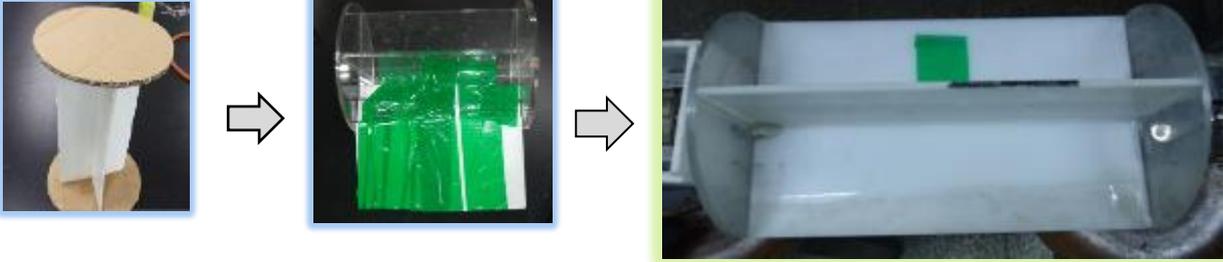
貳、 研究問題

基於上述的研究動機，我們擬定了以下三個研究問題：

- 一、海浪對不同坡度海岸的影響有何差異？
- 二、不同海浪強度對海岸地形影響的差異情形為何？
- 三、離岸堤的設置對海岸地形的影響為何？
- 四、突堤的設置對海岸地形的影響為何？

參、 研究工具

一、 研究器材：

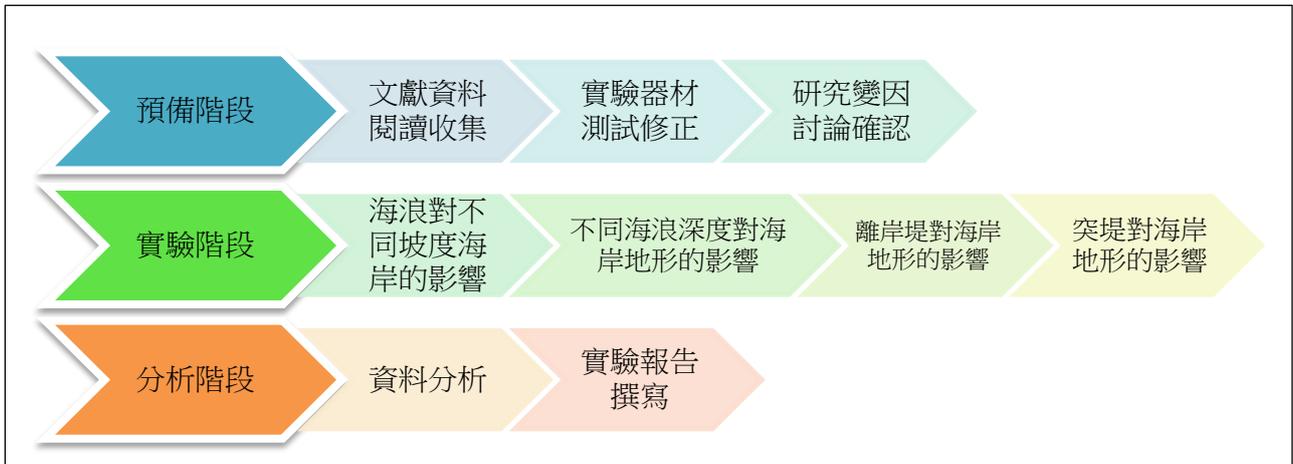
<p>(一) 水槽:由壓克力製成，長:148.6 公分、寬:90 公分、高:20.6 公分</p> 	<p>(二) 馬達組：馬達本體、馬達控制器。在本次實驗中，馬達控制器都固定在「4」，相當於每分鐘約轉動 31 次。</p> 
<p>(三) 起波器:由壓克力製成，長:36.1 公分、圓的直徑 20.2 公分、扇葉：9.3 公分</p> 	
<p>(四) 設置完成的起波器組：馬達和起波器間用一根螺絲鎖住，使起波器不會脫落，起波器的另一端也有一根螺絲，螺絲下方以木頭支撐；實驗時，馬達兩側和木頭上方都有磚塊壓住，讓他們不會移動。</p> 	<p>(五) 沙子：建築用的黑色細砂</p> 

二、 研究器材設置：



肆、 研究過程與研究方法

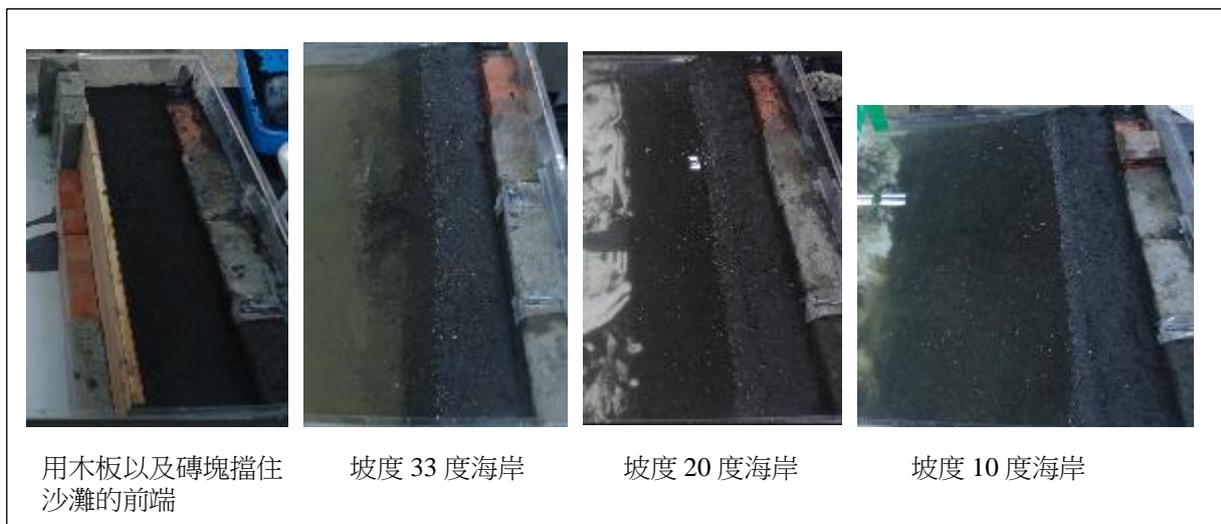
本研究進行的過程，可以整理如下圖所示：



一、 實驗數設計說明如下：

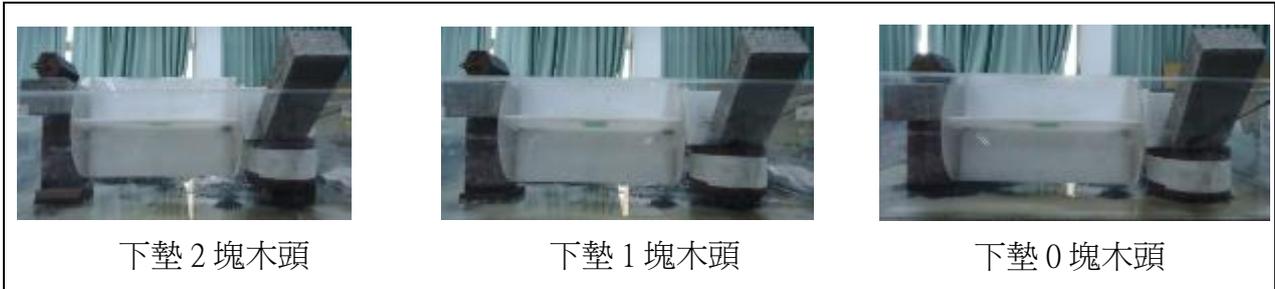
(一) 海岸地形的設置：

1. 將沙灘堆成高九公分，從起點到沙灘末端長度三十三公分的長方體，並且用木板以及磚塊擋住沙灘的前端，幫助沙灘定型。
2. 開始在水槽內放水，當水面達 8 公分時停止，並拿走木板和磚塊，沙灘最先接觸水的那一面會崩塌，形成最大的安定角，測量結果約為 33 度。
3. 第一組實驗完畢後，重複上述方法，並用簡單工具和手，使分別成為 20 度、10 度與 25 度海岸。



(二) 起波器下墊木頭的設置說明：

1. 為了讓起波器的轉軸高於水面並改變起波器打水的深度，實驗進行時在起波器與馬達的支撐架下方分別放置 0~2 塊木頭，每一塊木頭的高度是 2.3 公分。
2. 每一組實驗的進行(改變海岸坡度)，皆分別改變支撐架下墊木頭的數量，藉以改變起波起打水深度。



(三) 離岸堤設置說明

1. 在馬達前設置與起波器裝置平行的磚塊(每塊長邊 19.9 公分)作為離岸堤，並以改變磚塊數量(2 塊、1 塊)以及磚塊距離沙灘的位置(遠 77.5 公分、中 60.2 公分、近 41.7 公分)，以探討離岸堤設置的因素對海岸地形變化的影響。



2. 在水槽底部鋪 1 公分的沙，觀察沙灘的侵蝕狀況。

(四) 突堤設置說明

1. 在沙灘中央插入每塊長邊 19.9 公分的磚塊作為突堤，並以改變磚塊數量(2 塊、1 塊) 探討突堤的長度對海岸的影響。突堤前端與沙灘後面的水槽邊緣分別距離 60.5 公分、40.6 公分。
2. 在水槽底部鋪 1 公分的沙，以便觀察沙灘的侵蝕狀況。



(五) 整體實驗設置說明

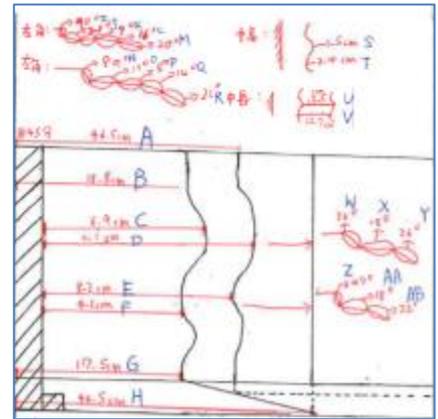
1. 每次實驗開始前，都先將前一次實驗的水利用虹吸管原理倒掉，再用抹布把底部的泥擦乾淨，避免造成放水後，水槽內的水過於混濁，不利於測量。
2. 用工具和手微調海岸坡度，使其角度一致，讓水面上的轉折點更明顯，以利觀察。
3. 支撐架下墊木頭，並使馬達裝置的兩邊維持等高，且使整個起波器對準沙灘中央。
4. 啟動起波器同時計時，馬達轉到 4 的刻度，並在馬達裝置的兩側以磚塊固定，避免受波

浪影響而移動。每隔一節課(約 45 分)來觀察、記錄沙岸坡度、角度以及長度的變化，並拍照記錄。接著再度打開起波器，繼續打水，重複實驗與測量，直到完成第 10 次為止。

二、 資料分析階段

(一) **資料的紀錄**：每一組實驗設置完成後，量取各點的距離和角度，包括基準點到沙岸轉折點距離、基準點到海岸線、沙岸角度。在每一次打水結束，除了紀錄前述的資料外，還會觀察波浪作用在沙岸後，沙岸地形產生的變化，共同討論要增加量取的距離和角度等。

1. **畫圖**：在每一組實驗完成後，將所有記錄的距離和角度畫成一份較清晰的圖。
2. **資料的登錄**：將手繪圖中的每一個距離及角度編號，並登錄到 Excel 的表格上，用於後續的比較分析。
3. **資料的比較分析**：根據研究問題進行實驗結果的比較與分析，以瞭解實驗的結果。



伍、 文獻探討

一、 **海浪的性質**：海浪一般是指在海岸邊所看到之波浪運動，波長從數十公分至數百公尺，週期為數秒至數十秒不等。起始運動為受風吹影響，主要之回復力為重力，故亦可稱為重力波。海面波浪的速度會受到波長和水深的影響，波速的變化一般可用以下兩個公式表示：**淺水波速度**： $v = \sqrt{gH}$ ；**深水波速度**： $v = \sqrt{gL/2\pi}$ （ v 為波速， L 為波長， H 為水深， g 為重力加速度）。由此可知，當波浪傳至海岸邊時，由於水變淺，波速與水深的關係較密切，水深愈淺、波速愈慢。

二、 **離岸堤**：為了保護旗津海岸，在旗津沿岸興建了一連串的離岸堤工程。其中一座出水的離岸堤位在旗津海邊，離海水浴場岸邊約 300 公尺處、長約 180 公尺。所有到海水域場遊玩的人很難不注意到這一座巨大的建築物。離岸堤減少了海水浴場的波浪，幾年來，離岸



堤的後方也堆積了大量的沙子。我們要進一步藉由模擬實驗來了解離岸堤的位置和長度對減少侵蝕、保護海岸的影響。

三、突堤：突堤的興建可以降低港區內的風浪，

也是最常用來保護港口不被沿岸流所帶來的泥沙淤積的方式。許多海灣也藉由突堤的興建，保護沙灘不受侵蝕。但突堤畢竟是堅硬的水堤建築物，與海浪產生的交互作用，是



否對附近的地形產生影響呢？我們想藉由實驗來進行觀察。

四、歷屆科展回顧

(一) 「當海浪遇上陸地-各式堤防對海岸流沙量的影響」

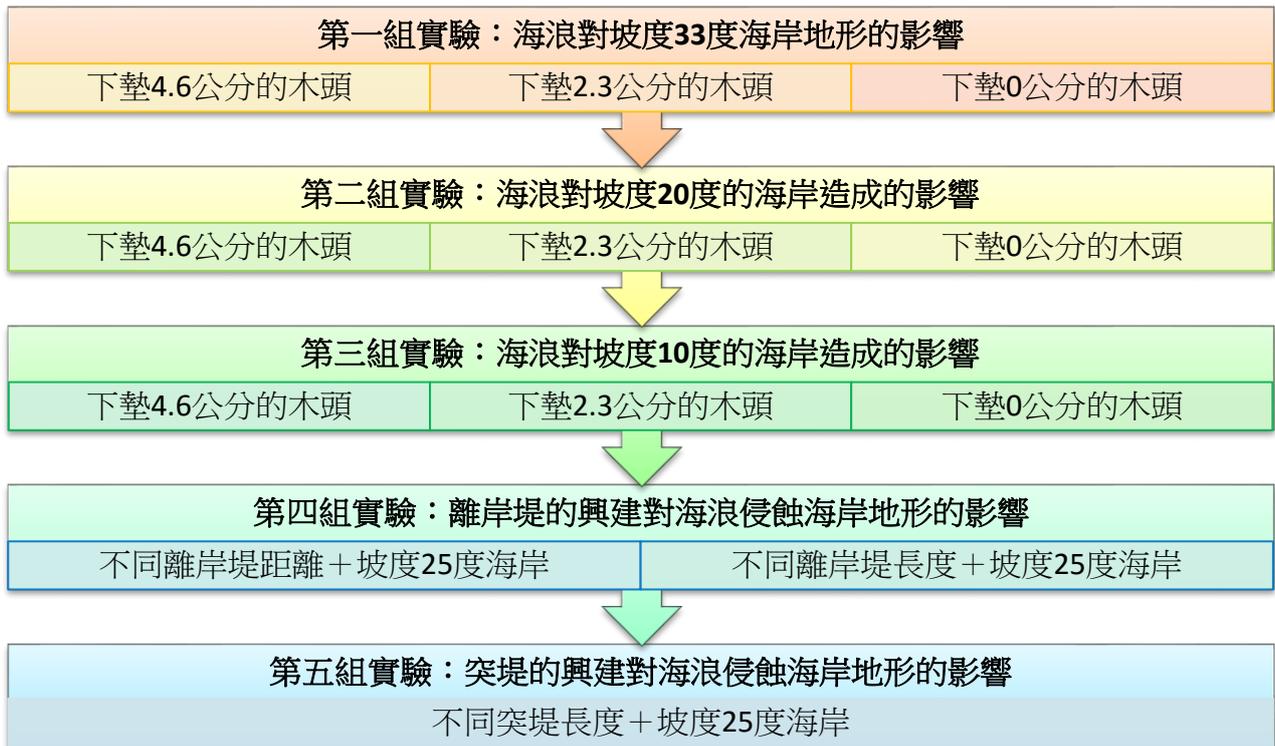
這份報告研究的主題雖然和我們的有所差異。但是他們所製作的起波器不僅打水穩定，而簡單明瞭的外型也給了我們一個製作起波器的方針。他們是使用拉胚機來做為起波器裝置，而它們淺顯易懂的打水示意圖也成為了我們之後重要的參考資料之一。他們先把網格狀投影片插入旁邊，再將沙子放入木箱後，然後放水至水面高度為 8 公分，並分別將不同種類的堤防，放入實驗裝置中，進行實驗。

(二) 在「風過水無痕，水過沙有痕」

這份科展資料中是利用不同顆粒大小的沙子作為變因，來觀察波浪作用後的結果。他們使用了震盪篩選器來做為起波器，並以木板進行打水。我們將打水裝置改成壓克力板，比較耐久，不會有腐爛的問題。學校也沒有震盪篩選器，所以我們最後選擇買了一個馬達。

陸、 實驗研究結果

根據前置實驗的結果，我們決定針對不同直線海岸的坡度，以及打水器的吃水深度對海岸地形的變化進行探討。我們也將探討離岸堤和突堤的設置對波浪侵蝕海岸的影響。因此，我們擬定了五組實驗內容，共計進行 17 次實驗，每次實驗約打水 10 節課。利用每一節的下課時間，返回實驗室進行數據的測量記錄和拍照。在每一次實驗，水槽的水位高度皆固定 8 公分，馬達的轉速也固定在「4」（相當於一秒轉 2 次）。17 次實驗的變因設計如下圖所示：

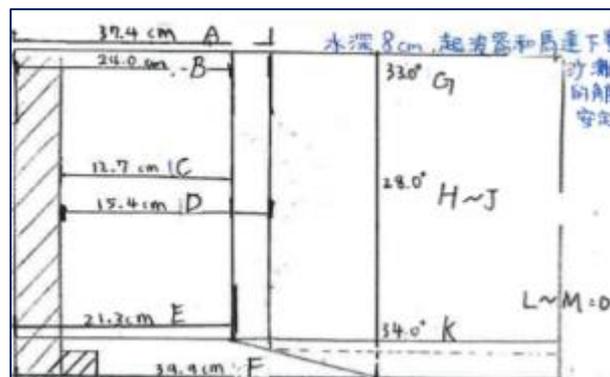


一、第一組實驗～第三組實驗結果紀錄

我們先進行將沙灘堆成高九公分高的長方體，用木板擋住後開始在水槽內放水。當水面達 8 公分時拿走木板讓沙灘崩塌，形成最大的安定角，測量結果約為 33 度。接著進行**第一組實驗**。我發現在下墊 4.6 公分(2 塊)木頭時：

(一) 打水經過一節課後發現，原本一開始鋪的沙灘轉折處，已經因為侵蝕作用而有波浪的形狀，但兩側的沙灘因為侵蝕力道弱，所以沒有麼改變

(二) 持續觀察的結果發現，隨著時間的推移，沙灘上的波浪狀彎曲形狀會愈加明顯。



① 33 度 2 塊木頭開始的照片

(三) 依照海岸隨時間的

變化趨勢，我們選擇了 A~F 以及 L~M 各位置測量距離，G~K 各點測量角度。實驗結果紀錄如附錄一。

在下墊 2.3 公分(1 塊)木頭時，因為起波器吃水較深，製造出來的水波也較大。也因此，此次實驗過程可以發現沙灘後退的變化比上一次明顯，也由於海岸地形的變化也較多，因此必須測量更多的數據，測量位置代號與實驗結果紀錄如附錄二。在下墊 0 公分(0 塊)木頭，沙灘的後退速度就又更明顯了，實驗終了時的海岸後退情形如右圖所示，本次實驗的測量位置代號與實驗結果紀錄如附錄三。



①33 度 0 塊木頭 結束

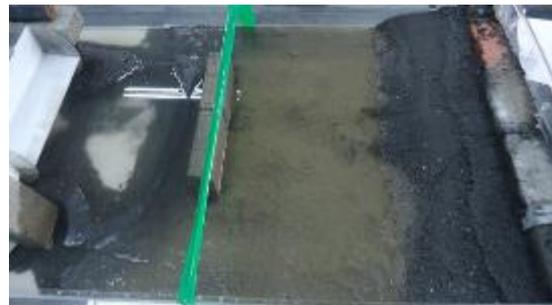
接下來，第二組實驗與第三組實驗改變了海岸的坡度，續進行不同強度的海浪對坡度 20 度海岸地形的影響(附錄四~附錄六)及不同強度的海浪對坡度 10 度海岸地形的影響(附錄七~附錄九)，希望藉以了解波浪強度與海岸坡度地形的交互作用。

二、第四組實驗：離岸堤對海岸地形的影響

為了瞭解離岸堤的設置對波浪侵蝕沙岸的影響，我們在起波器前設置兩塊與起波器裝置平行的磚塊當作離岸堤(共長 39.8 公分)。為了瞭解離岸堤附近的海底變化，我們也在水槽底部鋪上厚 1 公分的沙子。一切設置完成後，啟動馬達進行實驗。在實驗過程中，我們發現因為離岸堤的阻擋，所以到達沙岸的波浪變弱許多。此外，也發現離岸堤下方的泥沙數量並沒有逐漸增加或變少(實驗記錄如附錄十)。

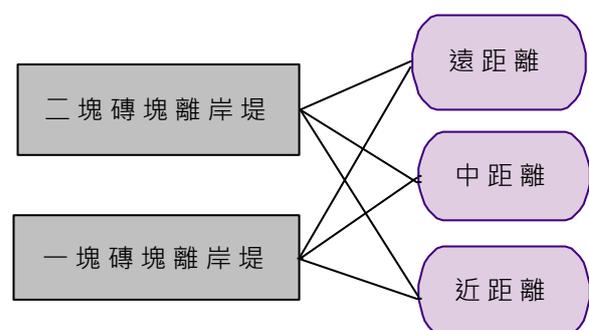


①實驗開始前照片



①實驗終了的照片

為更了解離岸堤的設置方式對保護海岸的效果差異。我們決定改變離岸堤的長度和與海岸位置的距離，實驗變因的設計與控制如右圖所示，實驗結果收集後分析離岸堤長度與距離對保護海岸地形的影響。

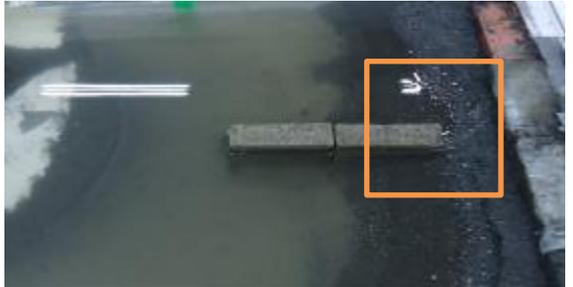


三、第五組實驗：突堤對海岸地形的影響

為了瞭解突堤的設置對波浪侵蝕沙岸的影響，沙灘中央插入兩塊磚塊(總長 39.8 公分)，作為突堤，其前端與沙灘後面的水槽邊緣距離 20.7 公分。我們也在水槽底部鋪上厚 1 公分的沙子，以便觀察水槽底部的影響。一切設置完成後，啟動馬達進行實驗。

在實驗進行的過程中我們發現在接近突堤與突堤正後方的沙子有逐漸被侵蝕掉的現象。這一點讓我們非常驚訝，開始擔心突堤的存在對海岸安全的影響。完整的實驗記錄參見附錄十一。

為了更了解突堤設置的長度，對海岸地形的影響。本實驗接著拿掉了一塊磚塊，將突堤的長度縮減成一半，並重作一次實驗，收集資料進行比較。

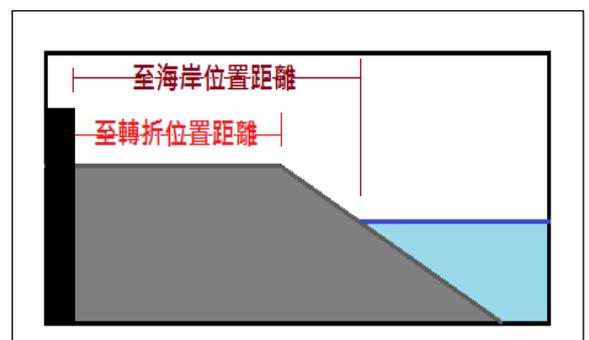


柒、 研究結果分析與討論

一、 波浪對不同坡度海岸影響的差異情形

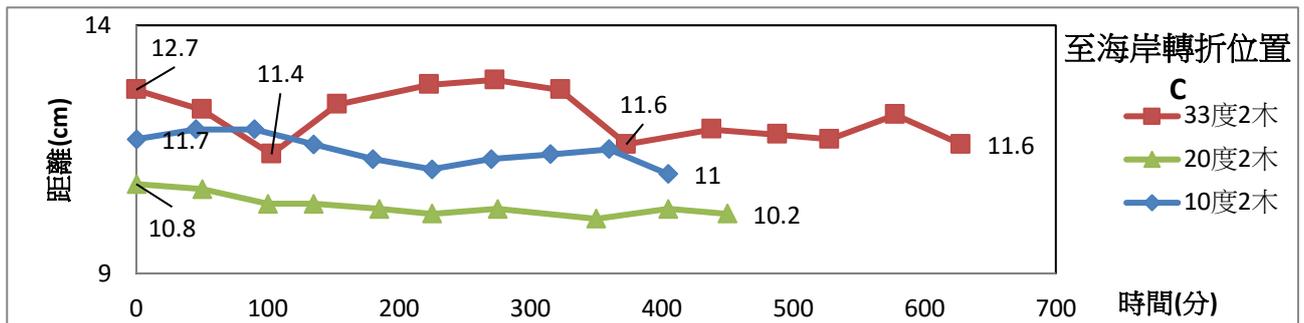
為了瞭解波浪拍打不同坡度海岸時，對海岸地形影響的差異。我們將分別分析討論同樣打水深度情況下，不同坡度海岸變化趨勢的差異。雖然我們測量了許多不同位置的變化量，但在本研究中，由於時間的因素，我們僅選取最受到影響的中間部分進行討論。

在中間部分的距離測量上，我們每一次皆分別測量了基準點至海岸轉折處的距離，以及基準點至水面的距離。



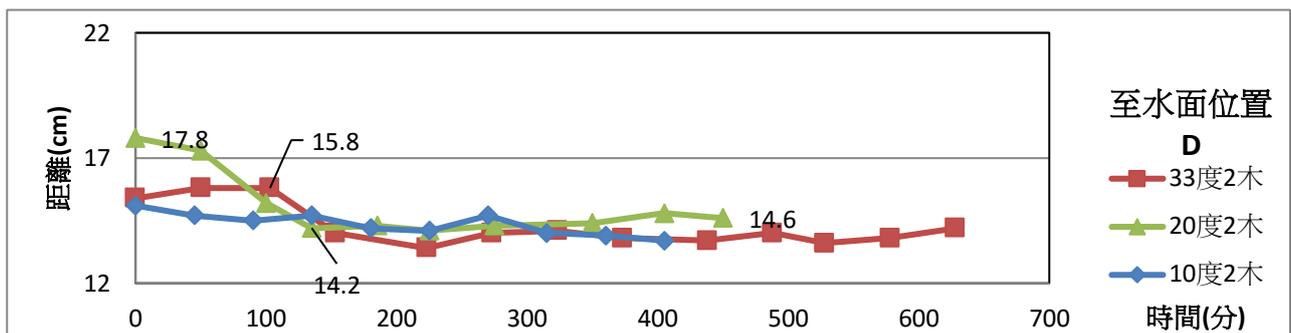
(一)下墊 2 塊木頭時的差異

1. 至海岸轉折位置 C

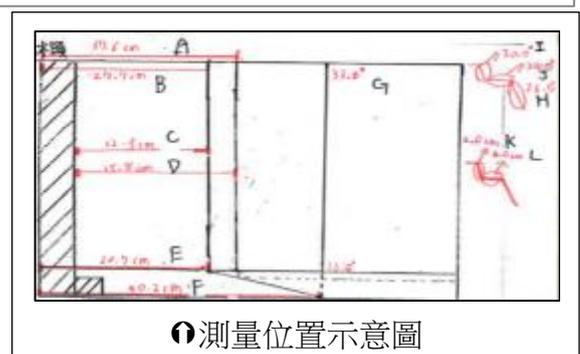


資料分析的結果發現，坡度 33 度的沙岸一開始會持續的前進、後退變化，最後的結果比原先開始位置後退了一些(12.7→11.6)。20 度的沙岸則是持續的慢慢後退，最後的結果也比原先開始位置後退一些(10.8→10.2)。10 度的沙灘則也是以小幅度而緩慢的變動著，最後的位置也比原先開始位置後退一些(11.7→11)。

2. 至水面位置 D

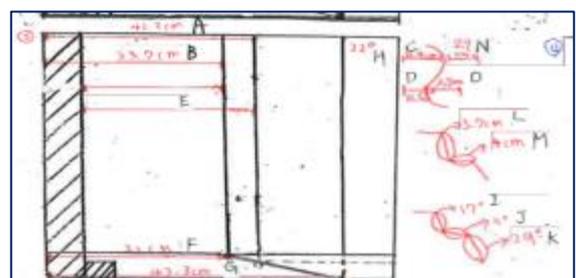


從上圖的分析，我們發現雖然沙岸坡度不同、起始距離不同，但在波浪長時間的拍打後，沙岸中間的測量基準點到水面位置的距離都是相同的。而過程中，以原本距離最長的 20 度沙岸變化最快，在開始打水後的 3 節課，已經減少了 3.6 公分(17.8→14.2)。

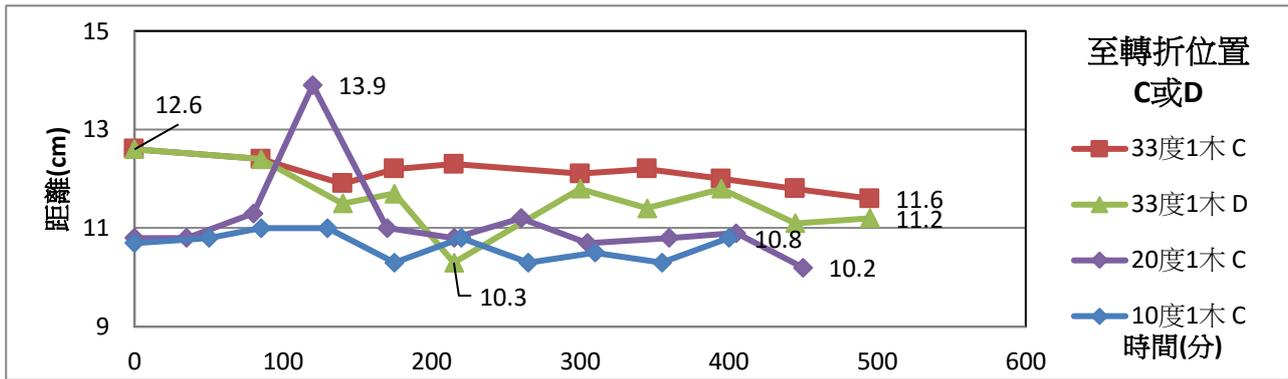


(二)下墊 1 塊木頭時的差異

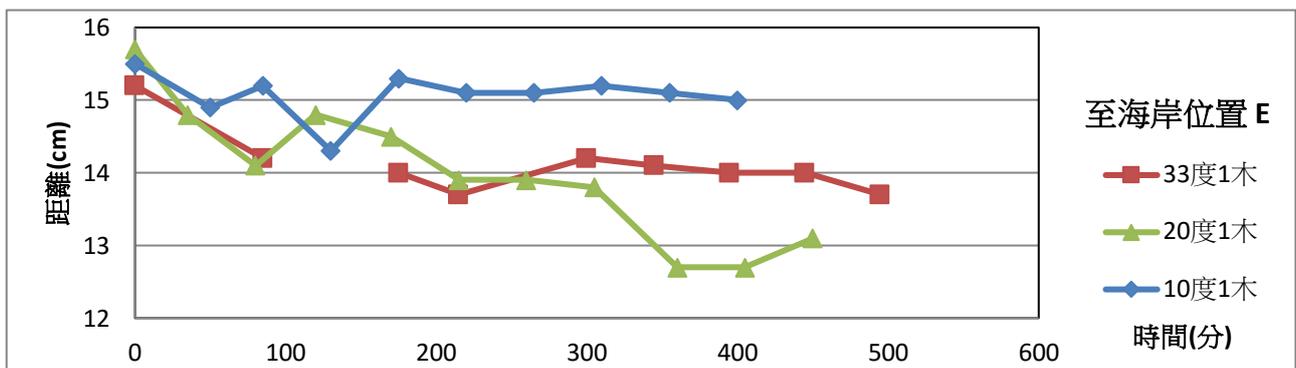
坡度 33 度的海岸，在只下墊一塊木頭的情況下，波浪對海岸的衝擊力量大，而使沙岸呈現明顯的波浪狀彎曲。因此我們分別測量較像海凸出的 C



位置距離，與較向陸地凹入的 D 位置距離，一起呈現在下圖中。



我們發現 33 度沙岸外凸的 C 位置呈現一致的緩慢後退趨勢(12.6→11.6)，但是內凹的 D 位置先迅速的後退至 10.3 的位置後，又前進到 11.8 的位置，可以看出凹岸在 215 分鐘之後的沉積作用。20 度沙岸在第三次測量時，大幅增加到 13.9 公分，之後又快速退回 11 公分。比起 33 度和 20 度沙岸，10 度沙岸的變化量相當的不明顯。



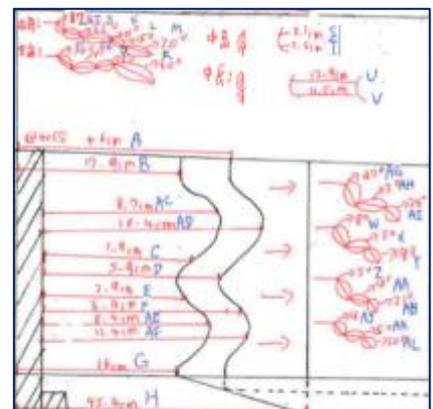
由上圖分析看出，基準點至海岸位置的距離 E 在 33 度沙岸、20 度和 10 度沙岸都隨著時間有緩慢退後的趨勢，其中以 20 度沙岸的後退幅度較為明顯。

(三)下墊 0 塊木頭時的差異

在馬達下方完全沒有下墊木頭的情況下，坡度 33 度、20 度與 10 度的海岸，都呈現了明顯的波浪狀彎曲。因此我們分別測量較像海凸出的 C 位置距離，與較向陸地凹入的 E 位置距離，分別比較如下。

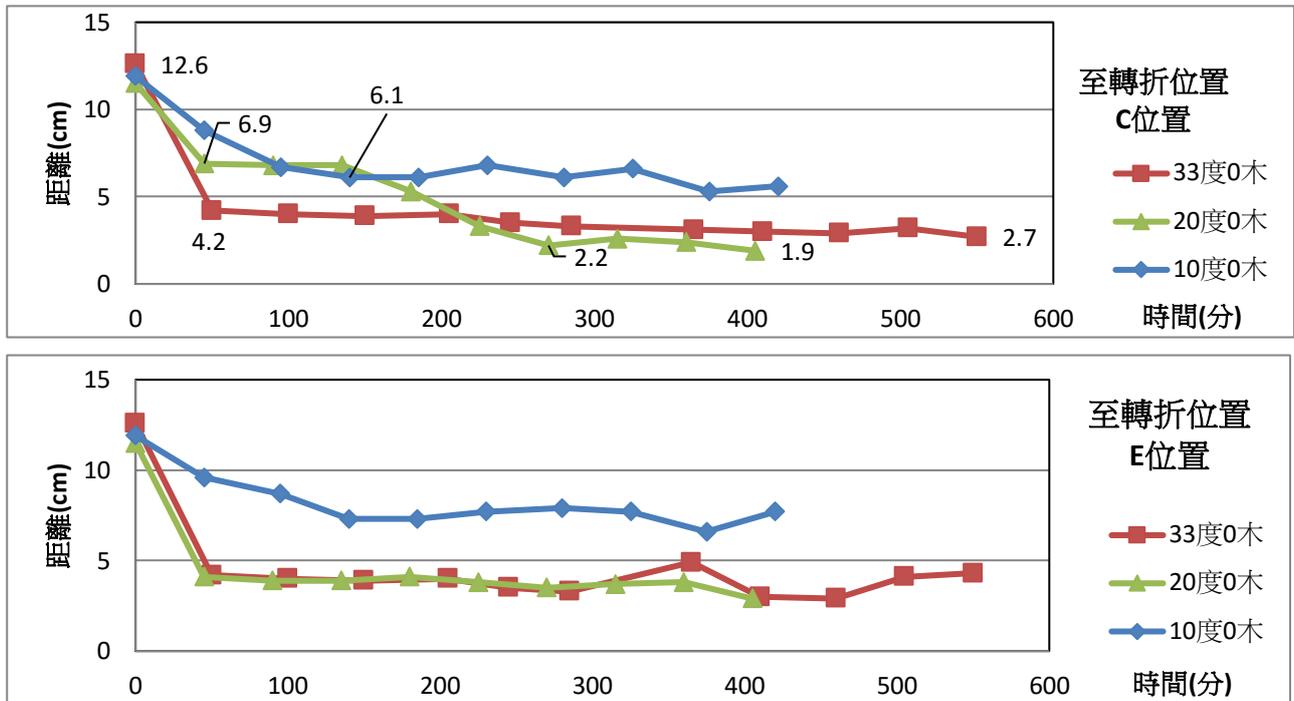
從 C 位置的變化，我們發現 33 度沙岸在經過一節課的波浪作用後，急速的後退了 8.4 公分(12.6→4.2)，接著幾乎不動

了。坡度 20 度的沙岸則是在第一節課迅速的從 11.5 後退到 6.9 公分，維持了二節課後，又開始逐漸下降到 2.2 公分，然後就沒有大變化了，侵蝕後退的過程在圖上呈現階梯狀變化。坡度



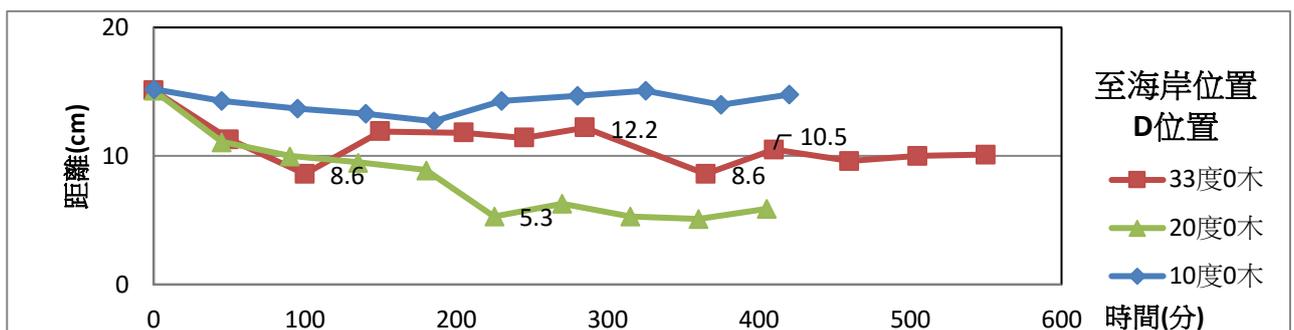
10 度的沙岸在前三節課的時間後退的較快，然後就趨於穩定了。整體而言，33 度和 20 度的沙岸的後退情形相當，但 33 度沙岸後退的速度最快。

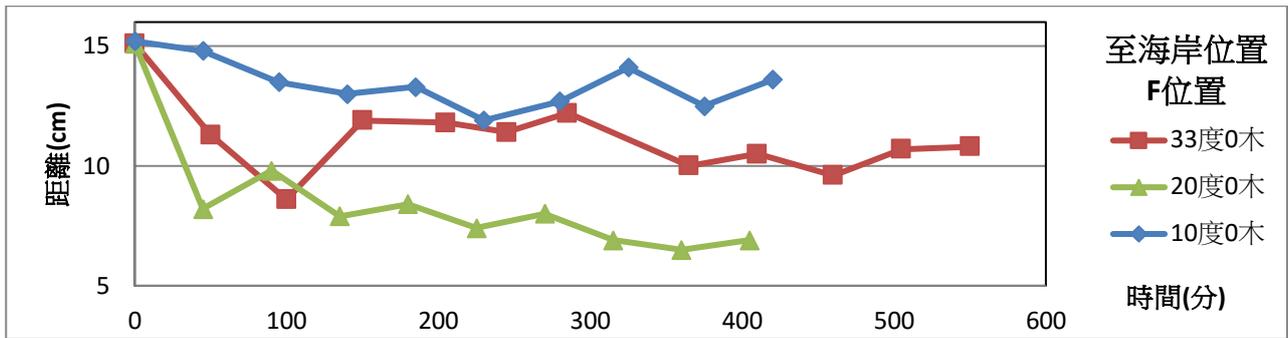
下圖比較三種坡度海岸從基準點測量 E 位置的距離，可以發現 33 度和 20 度的沙岸的後退情形十分相似，兩條折線幾乎重疊，都是在第一節課後的測量就已經後退到平衡位置。10 度海岸的後退速度則是較為緩慢。



再從基準點到海岸位置來討論，由於沙岸受波浪作用後呈現向外凸和內凹的彎曲狀地形。因此我們同樣分別討論向外凸的 D 位置和向內凹的 F 位置來討論。

下圖顯示海岸位置向外凸的 D 位置變化情況，10 度的沙岸變化不大，而 20 度的沙岸快速退到 5.3 公分處後，呈現平衡狀態。33 度的海岸後退至 8.6 公分後，卻又再度沉積前進至 12.2 公分處，隨後再度反覆後退、前進。海岸位置向內凹的 F 位置變化情況與 D 位置相似：10 度的沙岸變化不大，20 度的沙岸快速後退，之後呈現小幅度變化。33 度海岸則變動較大，先後退再前進，如此往復變動。





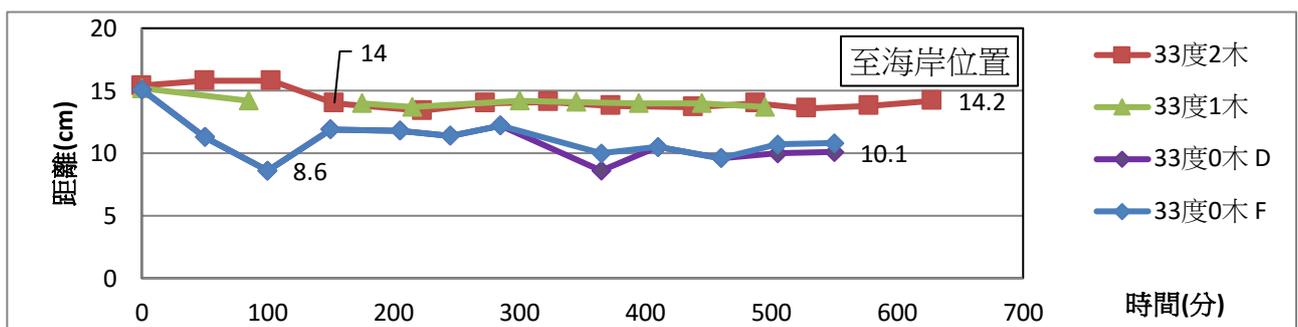
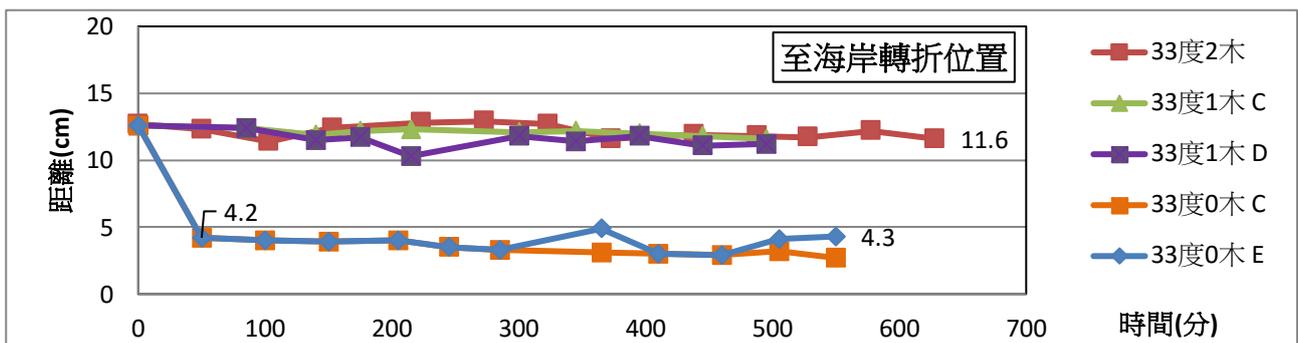
小結：我們的實驗發現，當起波器的吃水深度不深時，波浪力量較小，各種坡度的沙岸受波浪作用的海岸地形變化都不明顯。當波浪力量較大時，坡度較小的 10 度沙岸還是變化不明顯。然而，20 度和 33 度沙岸的變化情形確有部分雷同。

二、 不同波浪力量對海岸地形的影響差異

我們以改變起波器下墊的木頭數量，來改變起波器的吃水深度，發現會改變波浪拍打在海岸上的作用力。因此，我們以此為變因，討論不同波浪力量對海岸地形變化的影響。

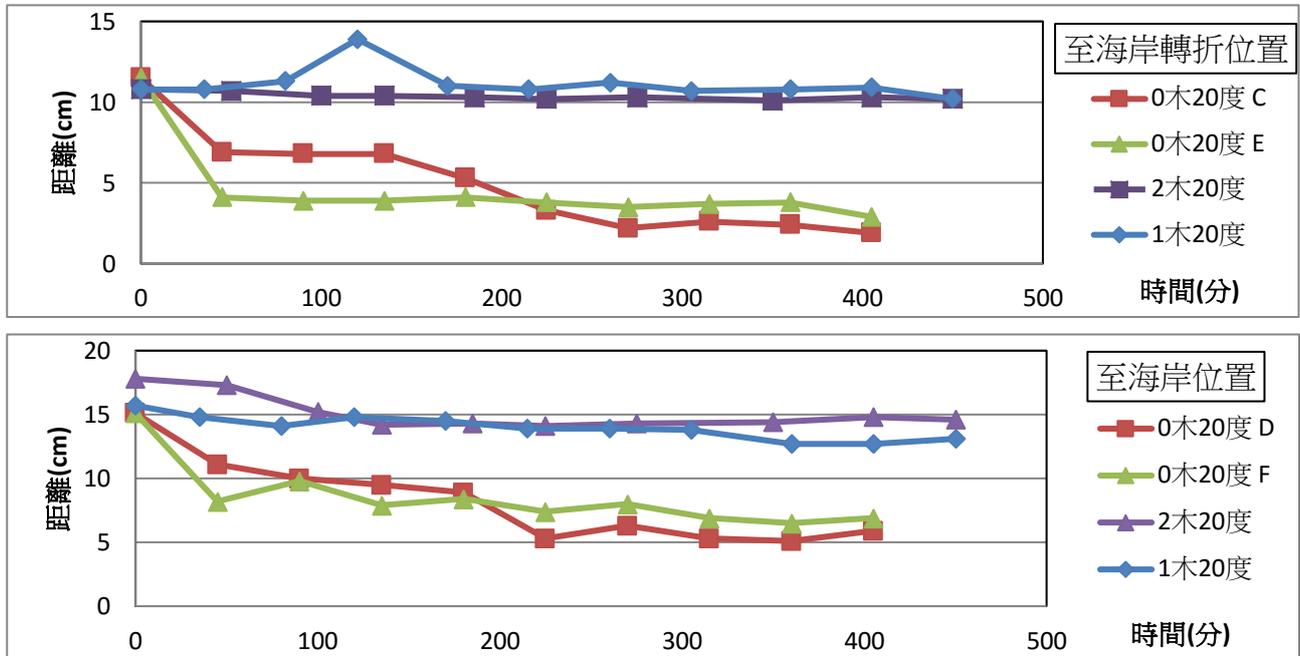
(一)33 度海岸

分析結果發現，當下墊一塊或兩塊木頭時，坡度 33 度海岸退後情形較不明顯。從基準點在海岸位置會在剛開始打水的時候發生後退，之後就幾乎不變了。但是，當下墊木頭數是 0 的時候，海岸後退的情況就很明顯了：從基準點到海岸轉折位置會很快的後退到 4.2 公分處，而至海岸邊的位置則是很快的退到 8.6 公分處後，又開始前進、後退的反覆變動。



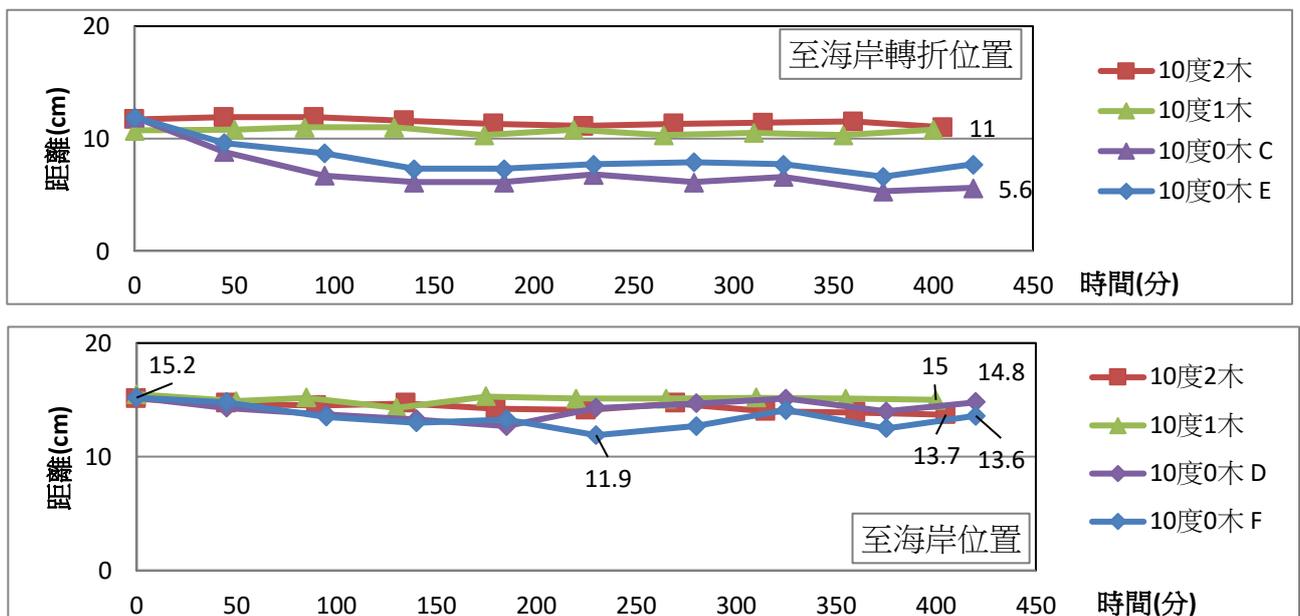
(二)20 度海岸

坡度 20 度的海岸，在有無下墊木頭的差異情況與 33 度海岸相似。只是 20 度海岸在下墊 0 塊木頭時，海岸會出現較明顯的波浪狀彎曲，所以外凸和內凹的距離差異較大。但是整體來看，下墊 0 塊木頭時，海岸的後退情形比有下墊木頭的情況來的明顯。



(三)10 度海岸

10 度海岸在有無下墊木頭的影響變因中，是差異最小的。雖然如此，由分析圖還是可以看出，沒有下墊木頭的情況下，海岸後退較多。但與下墊 2 塊木頭相比，兩者最後到海岸轉折出的差異只有 5.4 公分(11-5.6)。若測量至海岸位置，有無下墊木頭就幾乎沒有差異了。

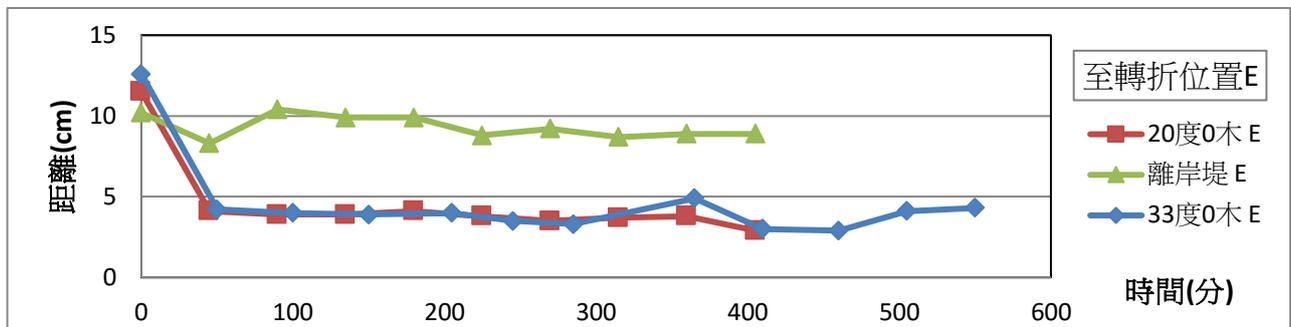
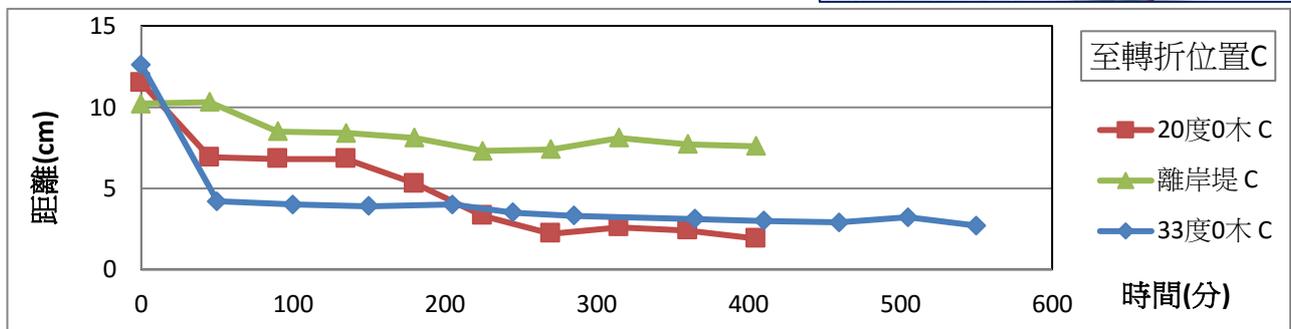
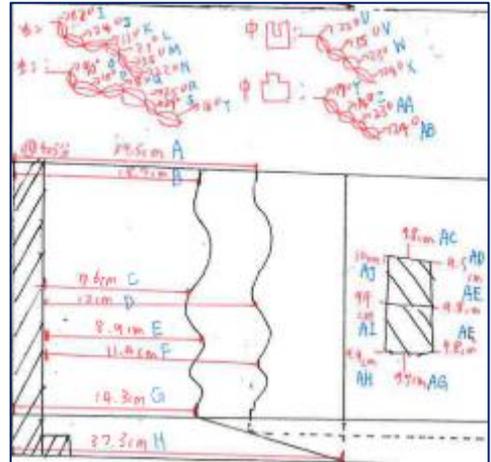


小結：我們的實驗發現，當坡度只有 10 度時，波浪力量的大小對海岸地形變化的影響不大。20 度海岸與 33 度的海岸會在波浪力量較大時，產生較明顯的海岸後退現象。

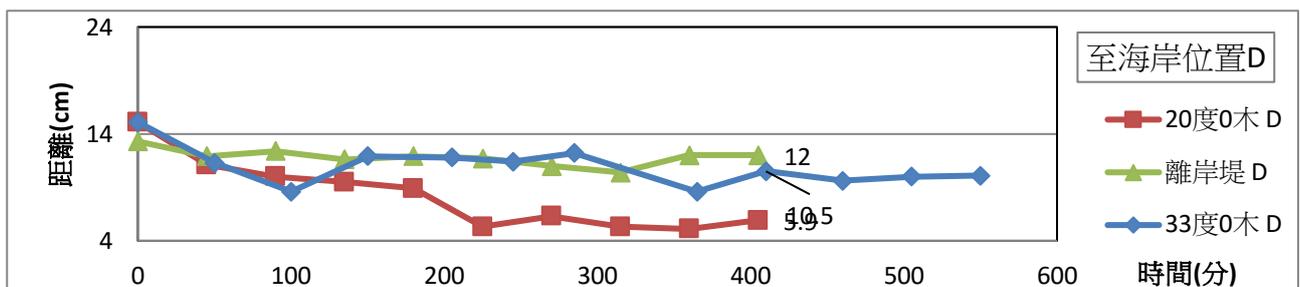
三、離岸堤設置對波浪影響海岸地形的差異

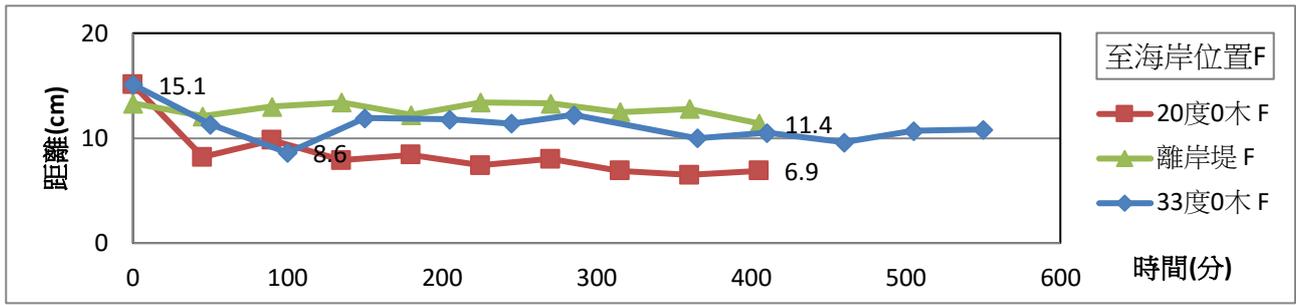
我們進行離岸堤實驗時，設置的海岸是坡度 25 度。因此，我們選擇 20 度和 33 度的海岸來跟這個實驗結果比較，以了解離岸堤的設置對海岸地形的影響。

下圖比較從基準點測量至海岸轉折位置的距離變化。可以發現離岸堤的興建可以減少海岸後退的速度與數量

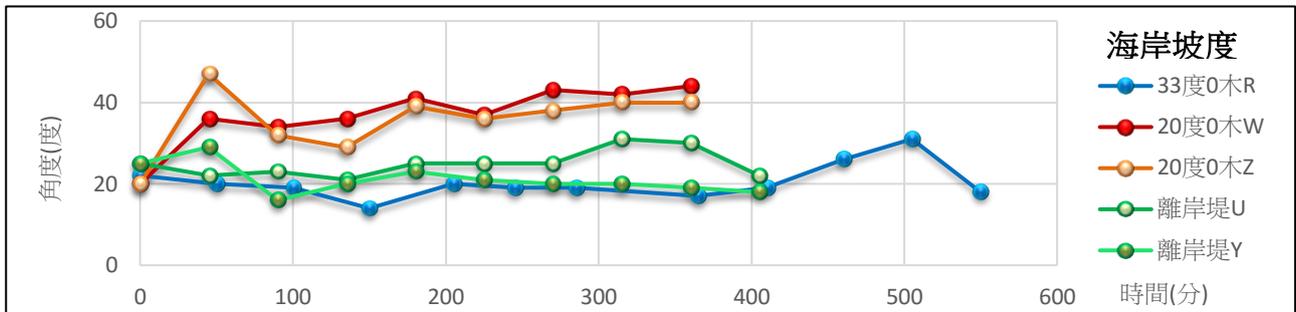


再比較基準點到海岸的距離，我們同樣發現興建離岸堤的海岸，退後的幅度和速度都比較慢，顯示離岸堤的存在確實減少波浪對海岸的直接作用。實驗結果也顯示，跟坡度 33 度的海岸相比，有興建離岸堤的 25 度海岸的後退情形有稍微改善一些。

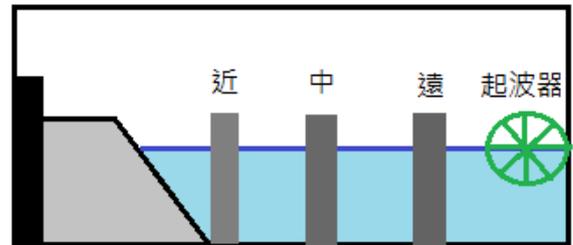




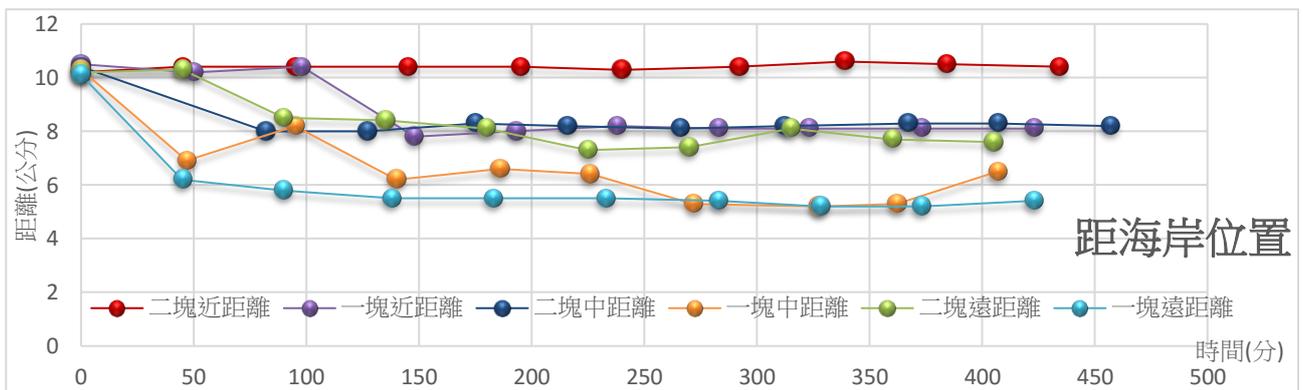
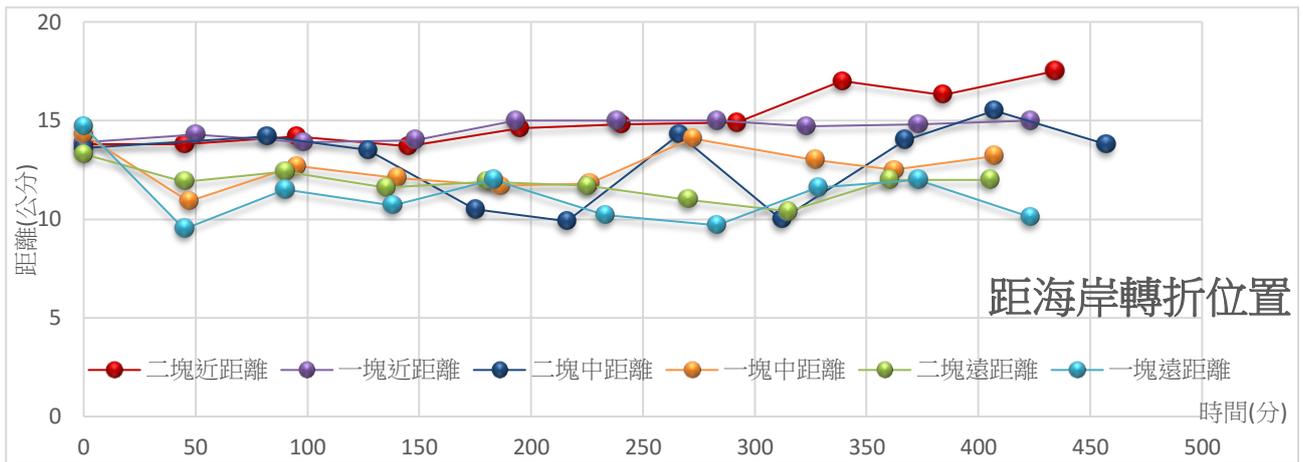
進一步比較離岸堤的存在對海岸坡度的影響，結果發現與 20 度沒有離岸堤的海岸相比，有離岸堤的海岸坡度會穩定維持在較低的角度，變化幅度也不大。這樣的情形，與 33 度的海岸角度變化相近。從我們的研究可以得知，有離岸堤會降低波浪拍打海岸的力量，因此海岸後退的速度和幅度會比較小，而且海岸也會較穩定的維持原來的坡度。



本研究擬定了改變離岸堤長度與離岸堤和海岸的距離等二項變因，進行深入探討。由分析結果得知，設置二塊磚塊，且放置在較近位置的離岸堤，不僅能減少海岸被侵蝕的速率，甚至在開始打水 300 分鐘後，還觀測到海岸的轉折位置有明顯的前進；而設置在遠距離的一塊磚塊離岸堤對海岸的防護效果則最差。



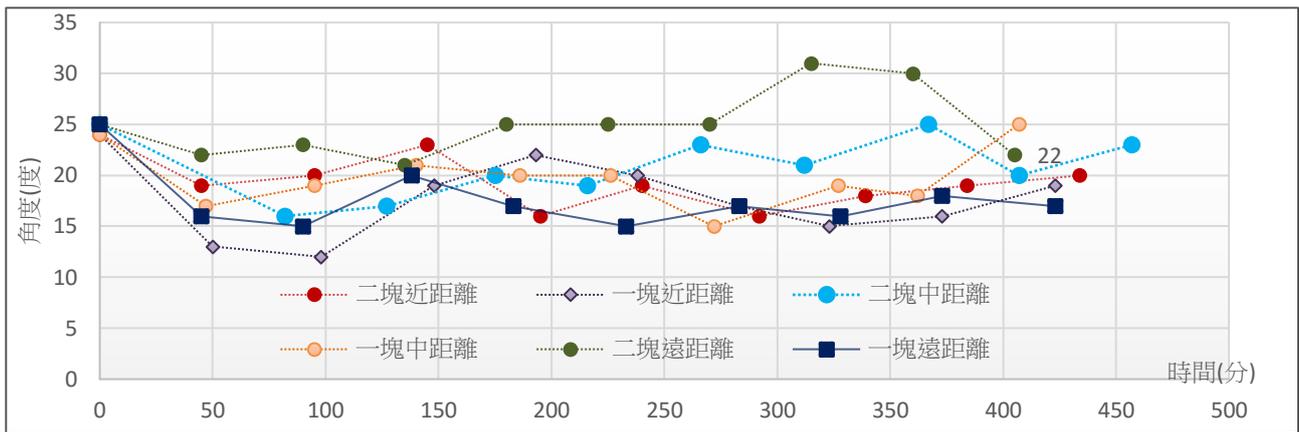
❶ 遠距離一塊磚塊離岸堤結束 ❷ 近距離二塊磚塊離岸堤結束 ❸ 中距離一塊磚塊離岸堤結束



綜合比較離岸堤長度和設置位置二項因素，可以知道較長且較近的離岸堤，對海岸的防護效果愈好。但值得注意的是，一塊或二塊磚塊離岸堤放置在中距離和遠距離的防護效果是大致相同的，海岸受侵蝕的程度也都比沒有放置離岸堤的情況減緩。

以基準點距海岸轉折位置的變化來看，距離的因素影響比離岸堤的長度因素大，由實驗結果可以看出，無論離岸堤的長度，近距離的保護效果 > 中距離 > 遠距離。但若以基準點到海岸位置來看，雖然二塊近距離的保護效果仍然最好，但二塊中距離、二塊長距離和一塊近距離的防護效果相當，一塊中距離和一塊遠距離的保護效果則幾乎一樣差。

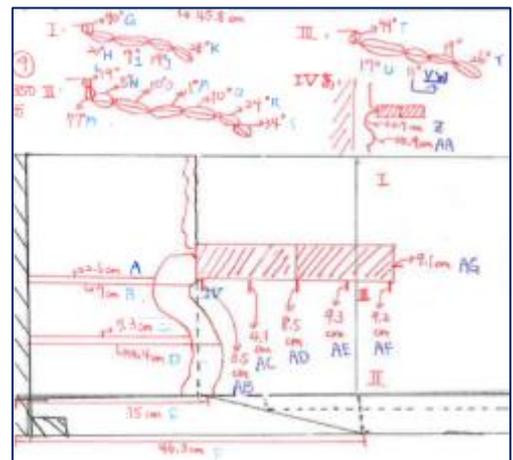
我們也比較離岸堤的設置對海岸坡度的影響，結果發現：在離岸堤剛設置時，海岸的坡度都會變得較平緩，但是隨著打水的時間增加，海岸坡度也會發生變化。其中設置有較遠且較長的離岸堤的海岸，在打水後 300 分鐘~350 分鐘之間，海岸的坡度出現大於原本坡度的狀況，但之後又退回 22 度。



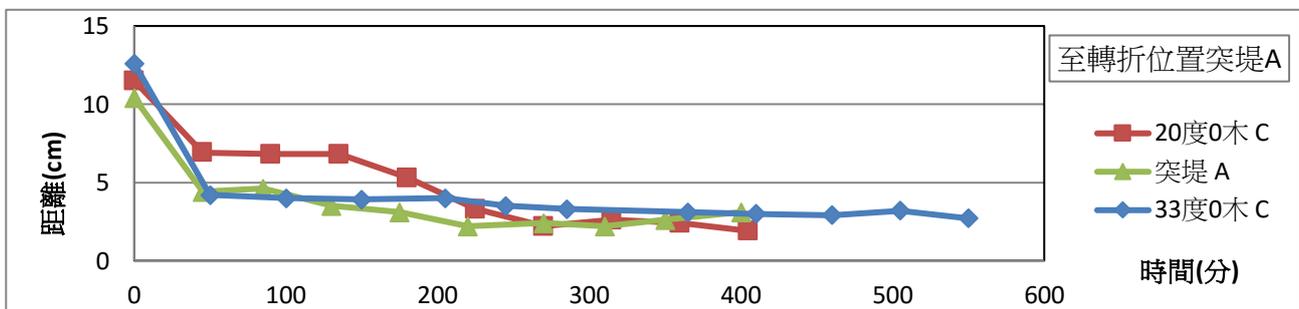
小結：高雄市旗津海域已經興建了離岸堤來保護海岸，避免海岸的持續後退。由本研究的結果可知離岸堤的確可以有效保護海岸，減少海岸後退的速度。愈長、愈近的離岸堤保護海岸的效果愈好。但因為設置離岸堤時，除了考慮防護效果外，仍需考慮海岸的景觀，所以研究結果也支持稍遠一些的離岸堤，對海岸也有一定的保護作用。

四、 突堤設置對波浪影響海岸地形的差異

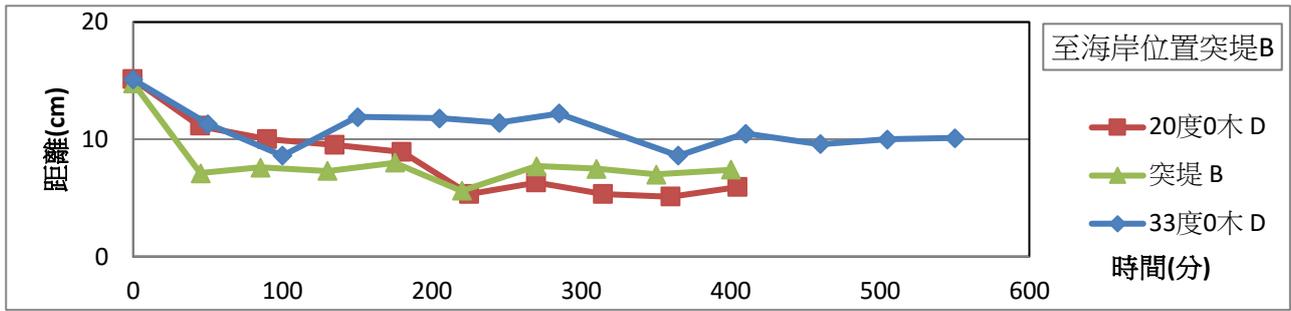
我們同樣選取 20 度和 33 度海岸的實驗結果來與突堤的實驗結果進行比較。從實驗的過程，觀察發現突堤的存在不僅改變了波浪拍打在海岸上的力量分布，突堤本身也和回流的水波發生交互作用。因此，海岸地形與之前的實驗結果很不相同。但分析結果，我們意外發現，在一開始時，A 點測量位置的後退情況居然與 33 度海岸的退後情況相同，大於 20 度的海岸變化。而在實驗過半後，海岸線的後退情形就穩定了。



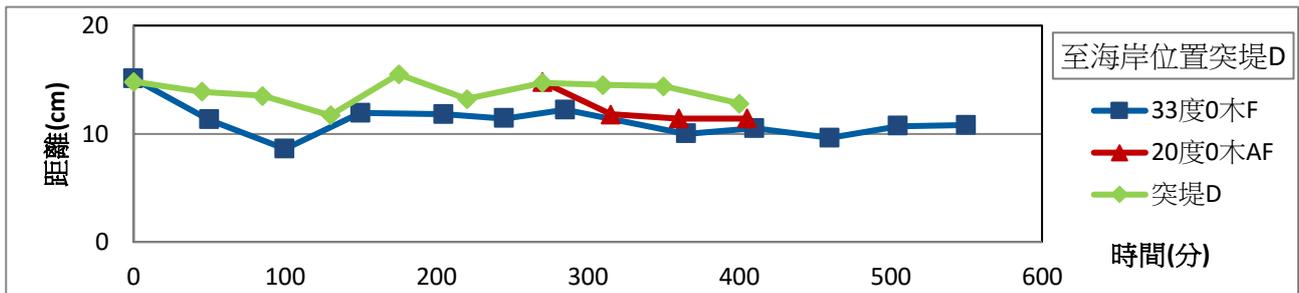
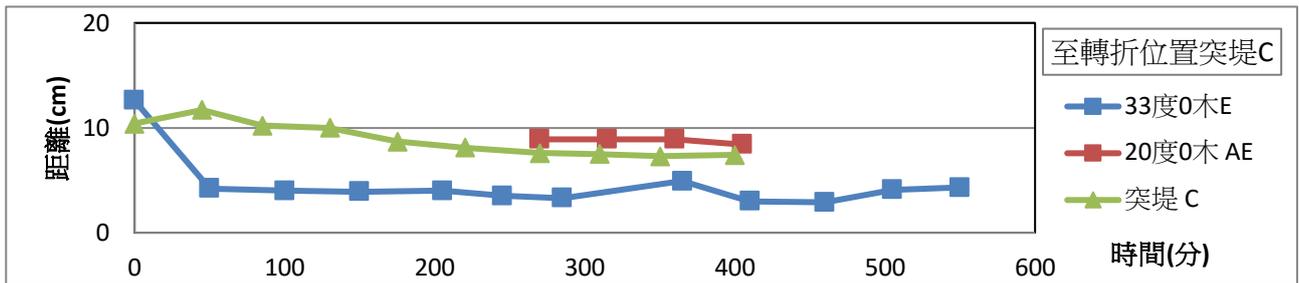
在測量由基準點到海岸位置時，我們也發現有突堤的海岸一開始的後退情況也很明顯，而在實驗後半時間，又稍微發生沉積。從最後的結果來看，有無突堤的設置，對基準點至海岸位置距離的影響並不大。



在測量由基準點到海岸位置時，我們也發現有突堤的海岸一開始的後退情況也很明顯，而在實驗後半時間，又稍微發生沉積。從最後的結果來看，有無突堤的設置，對基準點至海岸位置距離的影響並不大。



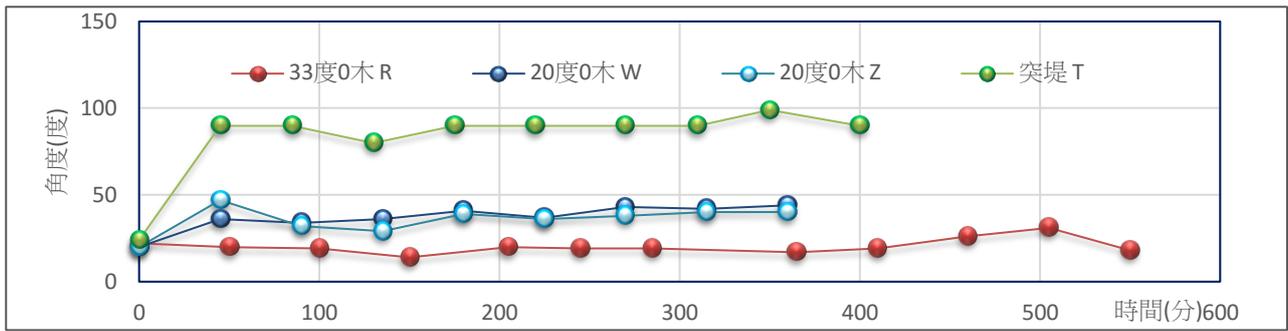
觀察突堤實驗過程發現，在突堤位置與水槽邊緣間逐漸形成了凸向起波器的外凸海岸。持續測量此部分的海岸地形變化，並與 20 度和 33 度海岸產生的外凸地形相比。結果如下：



分析結果發現，在突堤附近形成的外凸地形，是受波浪作用較小而後退較少的地方。比起 20 度和 33 度沙岸，此處測量至海岸轉折處的距離長度介於兩者之間。但若測量至海岸的位置，則明顯可發現在突堤附近形成的外凸位置較長於 20 度和 33 度沙岸，且幾乎與起始點相等，沒有劇烈的改變。可以見得突堤的設置可以改善海岸附近沙岸的受侵蝕狀況。

再比較緊鄰突堤旁的沙岸角度和其他坡度的沙岸角度的變化，發現突堤旁的海岸變得相當陡峭，原來是因為這裡已經完全被波浪淘空了。讓人不禁想，這樣的情形萬一發生在真實環境中，對安全的危害會相當大。





為了進一步瞭解突堤的長度對波浪侵蝕海岸造成的影響，本研究將突堤長度減少（拿掉一塊磚塊），重複進行一次實驗。實驗結果發現，將突堤長度減為一半時，波浪仍然在第一節課時，就將突堤附近的海岸侵蝕成 90 度的陡崖。由下方的分析圖也可發現，與長突堤相較，

短突堤後方，從基準點量到海岸轉折位置的後退幅度較少(右圖紅色線段距離)；但比較基準點到海岸的距離



短突堤實驗設置完成



短突堤實驗結束



短突堤實驗結束近照

(右圖黃色線段距離)，不同長度的突堤則無差別。

我們還發現一塊突堤的兩側有一些有趣的變化：當起波器作用一節課後，突堤的兩側因波浪的淘選作用，帶走了細沙，留下了小石子；但在第四次觀察時時，小石子又被海浪帶來的沙子完全覆蓋，在第八次時，小石子上的細沙再次被帶走，在最後一次觀察時，表面又被細沙覆蓋了。由此可見，海岸的微小地形隨著時間不斷的發生各種交互變化，相當的有趣。這也為我開啟了未來深入研究的方向。



第二次



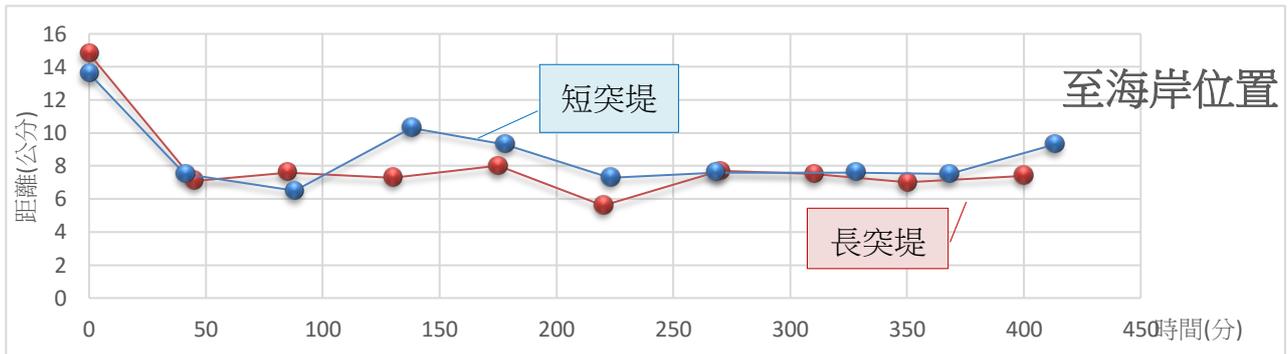
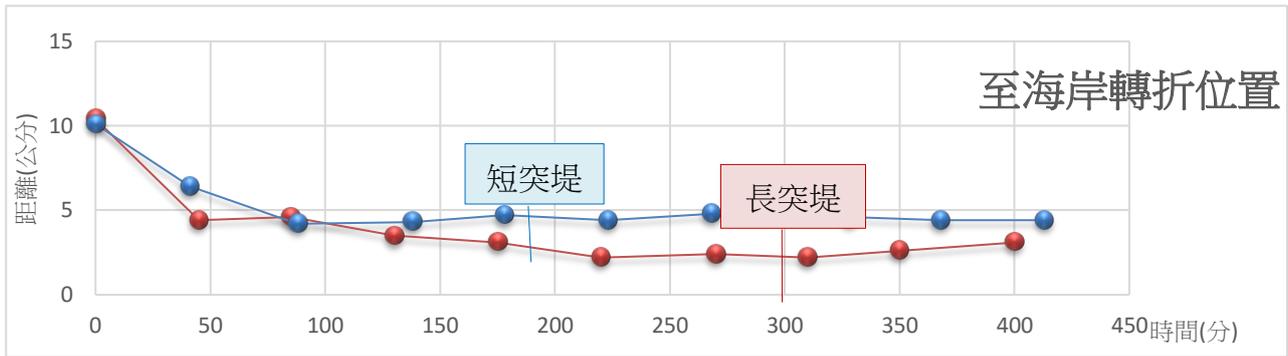
第四次



第八次



第十次



小結：由這個實驗可以知道，突堤的興建能減少附近的海岸線位置的侵蝕狀況，但並不會明顯減少基準點到海岸轉折位置的距離。然而，值得注意的是，緊鄰突堤的附近會產生快速的侵蝕後退地形，且海岸坡度會變得相當陡峭，甚至會影響整體區域的海水流動狀況。

捌、 研究結論

根據本研究目前的分析結果，我們可以整理出以下的結論：

一、 海浪對不同坡度海岸的影響：

當波浪的力量較小時，10 度、20 度及 33 度各種坡度的沙岸受波浪作用的海岸地形變化都不明顯；但是當波浪力量加大時，坡度較大的海岸產生的地形變化會比較明顯，而且 20 度和 33 度海岸在海岸轉折點有類似的距離改變量，而在海岸位置則有類似的前進、後退的往復變化。換言之，相同強度的波浪，對不同坡度的海岸會有不同的影響效果。

二、 不同波浪力量對海岸地形的影響：

當海岸地形坡度只有 10 度時，改變不同的波浪力量，對地形變化的影響差異不大。但是當海岸坡度較大時，波浪的力量大小很明顯地造成海岸後退速度與後退幅度上的差異。實驗結果支持，當海岸地形變化平緩時，海浪的侵蝕力量對地形變化影響較小，所以沒有因波浪

大小而產生差異。而當海岸的地形陡峭時，海浪對沙岸的侵蝕力量明顯，故波浪的強弱就對地形變化產生了差異的影響。

三、離岸堤的存在對海岸地形的影響

興建離岸堤會降低波浪拍打海岸的力量，因此海岸後退的速度和幅度會比較小，而且海岸也會較穩定的維持原來的坡度。實驗結果也支持，較長、較近的離岸堤對海岸的保護效果愈好，除了免於侵蝕之外，甚至會讓堤後的海岸面積增加。

四、突堤的存在對海岸地形的影響

突堤的興建雖能減少阻擋沿岸流帶來的漂砂，也能降低波浪進入海灣的速度，減少海灣的侵蝕。但在緊鄰突堤興建位置的附近，海岸會因為突堤與海浪的交互作用產生的侵蝕力量而後退，並使得突堤附近的海岸坡度變得相當陡峭而不安全。因此在討論突堤興建問題時，除了關注突堤效應的影響外，也應注意波浪在突堤後方所造成的巨大侵蝕效果。

玖、 研究省思

經過這次的科展，我覺得獲益良多，不管是做實驗的方法、報告的整理、分析資料的能力，還是待人處事。一開始做實驗時，我們從起波器到實驗方法不斷地改良，有時辛苦完成的實驗，因為結果不如預期而重做，感覺很難受。但我知道唯有如此，才能讓實驗更加完整。

我們一開始進行實驗時，由於不知道哪一個資料是重要的，所以在測量時，就抱持著「一網打盡」的心態，盡可能測量所有數據。有些變化很微小，雖然很難測量也容易測量不精準，但每一節下課衝到實驗室，觀察著沙岸地形的各種細微變化，讓我發現原來看似平凡的現象有著規律可循的變化。可惜的是，這個研究還有很多數據可以提供更細部分析。未來，我希望可以慢慢的完成。原本規劃的不同形式的沙岸變化、不同顆粒大小海岸的差異，改變波浪進入的方向等等都是後續可以繼續努力的目標。

壹拾、 重要參考文獻

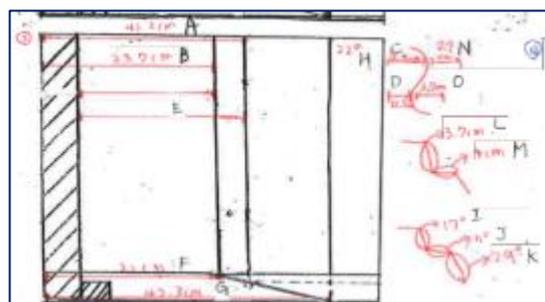
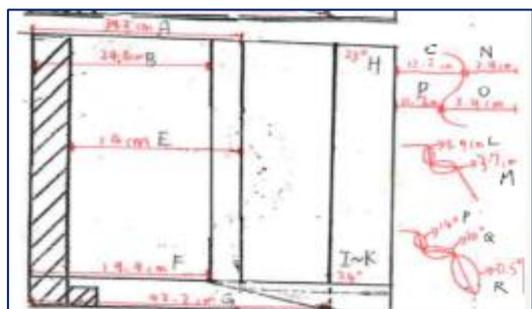
1. 「當海浪遇上陸地-各式堤防對海岸流沙量的影響」／第 54 屆全國中小學科展作品
2. 在「風過水無痕，水過沙有痕」／第 53 屆全國中小學科展作品

附錄

附錄一：下墊 2 塊木頭+33 度海岸

	A	B	C	D						E	F	G	H	I	J	K	L	M
初始	37.4	24	12.7	15.4						21.3	39.9	33	28	28	28	34	0	0
50 分鐘	37.6	27.7	12.3	15.8						20.7	40.2	33	26	30	24	26	2	3
103 分鐘	38	26.5		11.4	15.8	20.6	44.5	31	26	28	20	26	3	4.5				
153 分鐘	39.8	22.4		12.4	14	20.6	40.5	28	22	32	21.5	30.5	1.8	3.3				
223 分鐘	21.8	37.4		12.8	13.4	20.5	40.4	31	23	30.5	16	26						
273 分鐘	38.4	22.1		12.9	14	20.5	40.6	32	25	37	19	29	2	3.8				
323 分鐘	39.6	23.5		12.7	14.1	40.8	20.5	33	24	31	20	28	1.5	3.5				
373 分鐘	23.3	38.5		11.6	13.8	40.9	20.6	31	21	35	20	26	1.7	3.1				
438 分鐘	38.7	23.5		11.9	13.7	20.6	40.9	31.5	24	34	20	26	2	3.4				
488 分鐘	38.5	23.6		11.8	14	20.5	40.9	31	22.5	38	21	31	2.7	3.8				
528 分鐘	38.7	23.6		11.7	13.6	20.6	40.9	33	21	34	27	18.5	2.1	3.7				
578 分鐘	38.4	23.6		12.2	13.8	20.5	40.9	31	22.5	35	16	27	2.8	3.8				
628 分鐘	39.2	24		11.6	14.2	40.9	20.4	31	22	36	15	25	2.6	3.4				

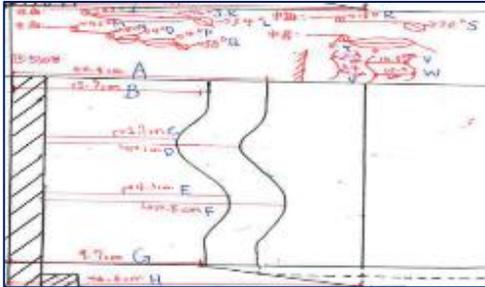
附錄二：下墊 1 塊木頭+33 度海岸



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
初始	39.2	22.2	12.6	15.1	12.6	15.1	21.6	42.2	25	25	25	
50 分鐘	42.6	21.4	4.2	11.3	4.2	11.3	12.2		86	12	0	
100 分鐘	40.6	20.5	4	8.6	4	8.6	9.8	42	73	14	6	
150 分鐘	39.6	20.9	3.9	11.9	3.9	11.9	9.2	41.9	70	14	0	
205 分鐘	41.1	22	4	11.8	4	11.8	9.8	41.8	72	12	0	
245 分鐘	39.2	18.4	3.5	11.4	3.5	11.4	9.7	42.1	81	20	0	
285 分鐘	39.1	17	3.3	12.2	3.3	12.2	9.6	42.3	88	13	0	
365 分鐘	39.7	17.6	3.1	8.6	4.9	10	9.6	42.3	87	15	0	
410 分鐘	40.1	16.2	3	10.5	3	10.5	9.6	42.1	87	12	1	
460 分鐘	40.2	17.9	2.9	9.6	2.9	9.6	9.5	42.9	88	11	2	
505 分鐘	41	17.5	3.2	10	4.1	10.7	9.8	43.9	88	9	5	
550 分鐘	40.9	15.7	2.7	10.1	4.3	10.8	9.7	44.6	85	60	60	
	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
初始	25	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	22	22	0	0	0	0
50 分鐘	39	86	0	12	0	39	20	28.5	1.6	1.6	13.6	13.6
100 分鐘	24	70	0	14	0	28	19	24	1.5	1.6	9.3	6.6
150 分鐘	35	49	0	12	5	24	14	23	2.2	2.2	11.9	11.9
205 分鐘	40	44	0	10	4	26	20	28	2.3	2.3	7.4	7.4
245 分鐘	36	87	0	12	2	28	19	59	2.2	2.2	8.7	8.9
285 分鐘	36	48	0	6	10	26	19/16	26	3.1	3.5	14.7	12.9

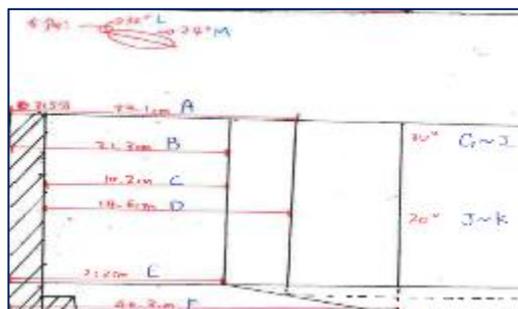
365 分鐘	37	44	8	24	7/5	28	17	32	3.5	3.5	11.8	11.8
410 分鐘	21	42	7	20	5	27	19	26	3	3	12.3	12.3
460 分鐘	35	56	0	10	7	31	26	23	3.8	3.8	14.6	14.6
505 分鐘	37	38	0	7	7	30	31	24	3.3	3.5	12.7	11.6
550 分鐘	34	45	18	9	4	30	18	20	2.3	3.4	14.3	10.9

附錄三：下墊 0 塊木頭+33 度海岸



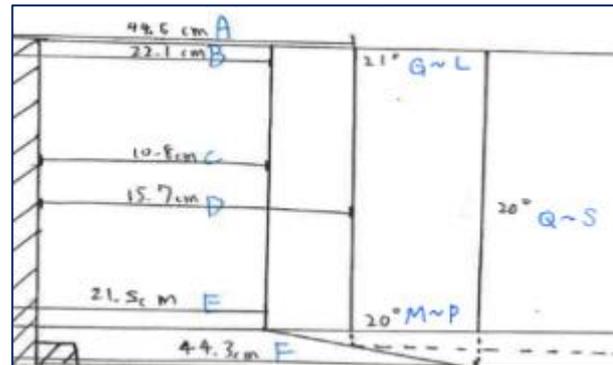
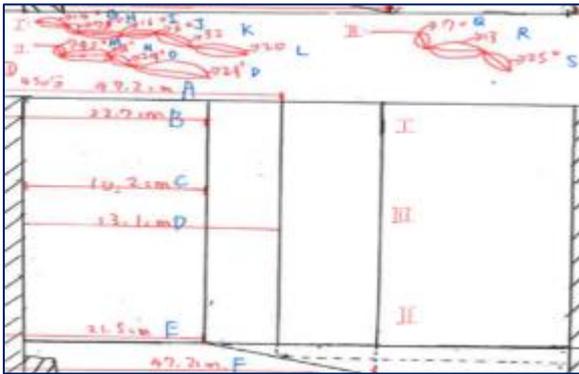
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
初始	39.3	23.4	12.6	12.6	15.2	26	42.3	29	25.5
85 分鐘	39	24.2	12.4	12.4	14.2	2	42.3	22	16
140 分鐘	41.2	23.7	11.9	11.5		21	42.3	22	17
175 分鐘	39.2	24	12.2	11.7	14	19.9	42.2	23	24
215 分鐘	42	23.5	12.3	10.3	13.7	19.5	42.5	21	21.5
300 分鐘	42.6	23.8	12.1	11.8	14.2	18.7	42.2	19.5	20
345 分鐘	41	23.7	12.2	11.4	14.1	18.7	42.2	18	17.6
395 分鐘	41.5	23.6	12	11.8	14	19	42.2	17	20
445 分鐘	42.5	24	11.8	11.1	14	19.3	42.2	17	20
495 分鐘	42	24	11.6	11.2	13.7	18.9	42.2	18	20
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
初始	25.5	25.5	0	0	0	0			
85 分鐘	13	31.5	2	4.6	0	0			
140 分鐘	11	29	3.7	4	2.7	3.7			
175 分鐘	24	24	3.9	3.7	2.9	3.9	14	10	31.5
215 分鐘	21.5	21.5	3.2	5	2.2	3.2	15.5	10.5	30
300 分鐘	20	20	3	4.3	2.4	3	14	10	30
345 分鐘	17.6	17.6	2.9	4.8	2.5	2.9	15	13	31.5
395 分鐘	20	20	3.3	4.3	2.7	3.3	19	13	30
445 分鐘	20	20	3.5	4.8	2.7	3.5	14	13	33
495 分鐘	20	20	3.5	5.2	3.2	3.5	12.5	12	30

附錄四：下墊 2 塊木頭+20 度海岸



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
初始	44.5	22.7	10.8	17.8	22	45.5	20	20	20	20	20	20	20
50 分鐘	44	22.5	10.7	17.3	21.5	45	20	20	20	20.5	20.5	21	21
100 分鐘	44.8	21.5	10.4	15.2	21.3	47	21	17	22	25	20	28	28
135 分鐘	45.3	20.9	10.4	14.2	21.2	46.8	24	25	25	21.5	21.5	29	29
185 分鐘	45.5	20.8	10.3	14.3	21.2	47.2	28	28	28	20.5	20.5	30	24
225 分鐘	43.4	21	10.2	14.1	21.3	47	30	30	30	19.5	19.5	32	26
275 分鐘	46.3	21.6	10.3	14.3	21.2	46.9	31	31	31	21	21	34	25
350 分鐘	45.3	21.3	10.1	14.4	21.1	46.5	31	31	31	19.5	19.5	38	25
405 分鐘	44.9	21.3	10.3	14.8	21.2	46.6	30	30	30	20.5	20.5	35	25
450 分鐘	44.1	21.3	10.2	14.6	21.2	46.3	30	30	30	20	20	36	24

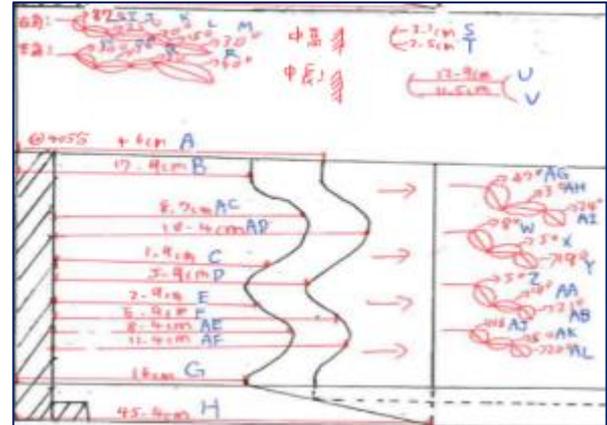
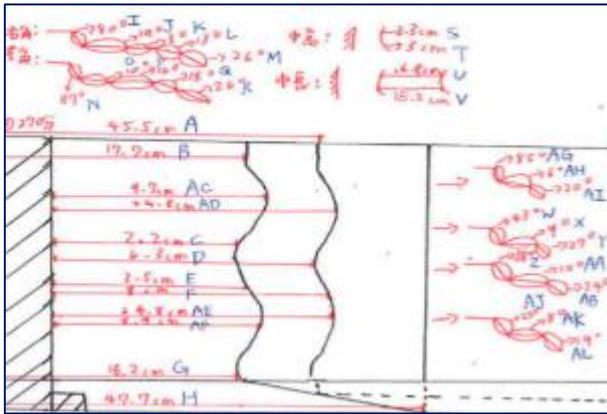
附錄五：下墊 1 塊木頭+20 度海岸



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
初始	44.5	22.1	10.8	15.7	21.5	44.3	21	21	21
35 分鐘	45.6	20	10.8	14.8	21.3	45.7	0	25	11
80 分鐘	45.7	22	11.3	14.1	21.2	46.1	15	89	16.5
120 分鐘	46.2	21.7	13.9	14.8	21.5	45.1	23	89	12
170 分鐘	46	22.5	11	14.5	21	46.4	0	70	12
215 分鐘	46.9	23.2	10.8	13.9	21.2	46.2	0	84	22
260 分鐘	47.1	23.3	11.2	13.9	21.5	47	0	80	9
305 分鐘	46.5	23	10.7	13.8	21.7	47	0	20/82	17
360 分鐘			10.8	12.7	22.7	47.5	17	82	21
405 分鐘	47.2	22.7	10.9	12.7	21.7	47	18	87	17
450 分鐘	47.2	22.7	10.2	13.1	21.5	47.2	14	75	16

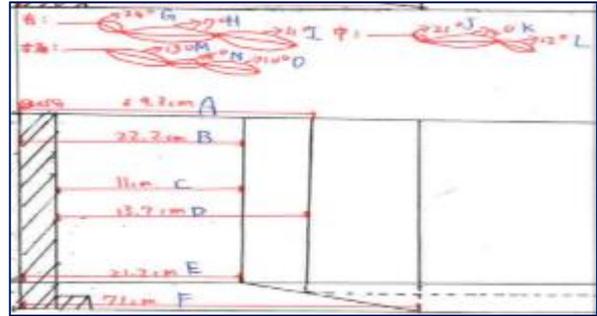
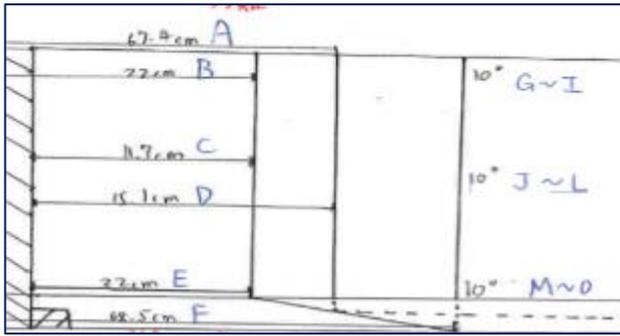
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
初始	21	21	21	20	20	20	20	20	20	20
35 分鐘	11	19	19	32	10	21	21	25	13	20
80 分鐘	16.5	19	19	36.5	12	44.5	22	15	9	21
120 分鐘	12	19	19	69	13	40	23	20	15	24
170 分鐘	12	31	20	79	13	41	21	15	13	24
215 分鐘	22	34	20	86	23	33	22.5	16	10	22
260 分鐘	9	21	21	75	10	21.5	21.5	17	15	26
305 分鐘	10	37	19.5	81	11	31	21	17	15	26
360 分鐘	13	8	20	83	11/9	38.5	38	19	11	20
405 分鐘	17	31	20	79	12	34	21.5	16	11	25
450 分鐘	6	32	20	85	15	29	21	17	13	25

附錄六：下墊 0 塊木頭+20 度海岸



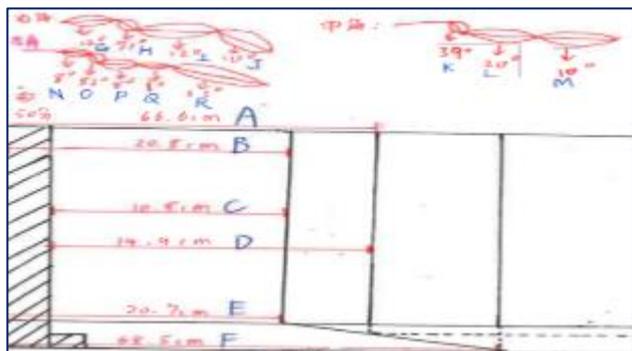
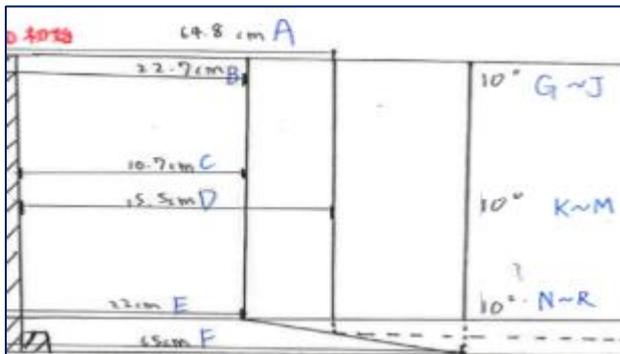
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L		
初始	44.5	22.5	11.5	15.1	15.1	11.5	21.6	46.6	20	20	20	20		
45 分鐘	46.5	18.8	6.9	11.1	8.2	4.1	17.5	46.5	90	21	7	16		
90 分鐘	45.5	17.9	6.8	10	9.8	3.9	16	47.5	90	13	4	17		
135 分鐘		18.8	6.8	9.5	7.9	3.9	16	47.4	84	10	15	23		
180 分鐘	46.5	17.5	5.3	8.9	8.4	4.1	16	46.6	80	24	13	17		
225 分鐘	45.5	17.5	3.3	5.3	7.4	3.8	16	46.4	88	10	7	25		
270 分鐘	45.5	17.7	2.2	6.3	8	3.5	16.2	47.7	80	19	3	13		
315 分鐘	46.5	18	2.6	5.3	6.9	3.7	15.7	48.5	88	20	11	8		
360 分鐘	46	17.5	2.4	5.1	6.5	3.8	15.5	45	9	10	10	15		
405 分鐘	46	17.9	1.9	5.9	6.9	2.9	16	45.4	87	25	0	15		
	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
初始	20	20	20	20	20	20	0	0	0	0	20	20	20	
45 分鐘	20	89	11	5	14	21	1.5	2.4	12.5	12.7	36	18	26	
90 分鐘	20	89	17	7	22	22	1.7	2	4.8	3.5	34	17	21	
135 分鐘	25	45	15	12	17	17	2.9	2.4	14.9	14.4	36	14	22	
180 分鐘	23	90	30	12	10	21	2.6	2.7	13.7	14.5	41	10	20	
225 分鐘	22	16	10	5	13	20	3	2.9	18.5	15.5	37	11	20	
270 分鐘	26	87	10	16	18	26	3.3	3	16.8	15.3	43	9	27	
315 分鐘	30	25	10	8	13	30	3.5	3.6	3.5	3.6	42	9	20	
360 分鐘	30	28	10	10	9	36.5	3.7	3.5	16.3	15.4	44	4	22	
405 分鐘	30	30	12	30	40	40	3.1	2.5	12.9	11.5	8	5	19	
	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	
初始	20	20	20											
45 分鐘	47	18	22											
90 分鐘	32	13	20											
135 分鐘	29	10	24											
180 分鐘	39	8	16											
225 分鐘	36	9	20											
270 分鐘	38	10	24	9.7	24.8	24.8	8.9	85	6	20	23	8	19	
315 分鐘	40	5	22	10.3	15.4	11.8	8.9	47	10	21	20	3	21	
360 分鐘	40	0	2	9.9	13.6	8.9	11.4	36	8	20	10	2	25	
405 分鐘	5	10	21	8.7	10.4	8.4	11.4	47	3	24	16	5	20	

附錄七：下墊 2 塊木頭+10 度海岸



	A	B	C	D	E	F	G		
初始	67.4	22	11.7	15.1	22	68.5	10		
45 分鐘	67.3	22.2	11.9	14.7	22.5	69.2	10		
90 分鐘	67.2	22.1	11.9	14.5	22.4	69.4	26		
135 分鐘	64.4	22.6	11.6	14.7	22	64.4	27		
180 分鐘	67.6	22.8	11.3	14.2	22.2	69.2	26		
225 分鐘	67	21.9	11.1	14.1	22.5	70.2	22		
270 分鐘	66.4	23.2	11.3	14.7	22	70.9	11		
315 分鐘	68.1	21.9	11.4	14	21.6	70.5	25		
360 分鐘	68	21.6	11.5	13.9	21.5	70.9	23		
405 分鐘	69.3	22.2	11	13.7	21.2	71	24		
	H	I	J	K	L	M	N	O	
初始	10	10	10	10	10	10	10	10	10
45 分鐘	10	10	30	12	10	10	10	10	10
90 分鐘	11	11	28	11	10.5	11	11	11	11
135 分鐘	12	12	26	9	11	10	10	10	10
180 分鐘	12	12	21	8	10	19	7	10	10
225 分鐘	10	10	28	7	11.5	12	12	12	12
270 分鐘	11	11	33	9	12.5	24	8.5	11	11
315 分鐘	7	10	20	9	13	22	6	3	3
360 分鐘	6	10	21	4	12	25	9	11	11
405 分鐘	7	11	21	4	12	13	8	10	10

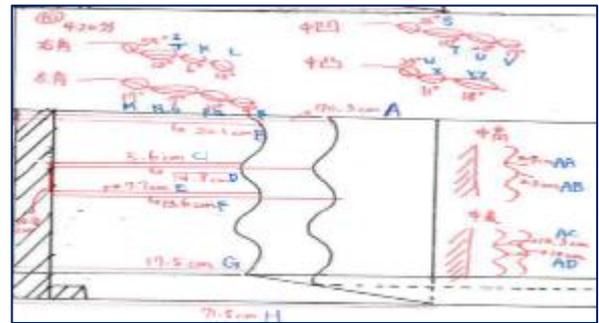
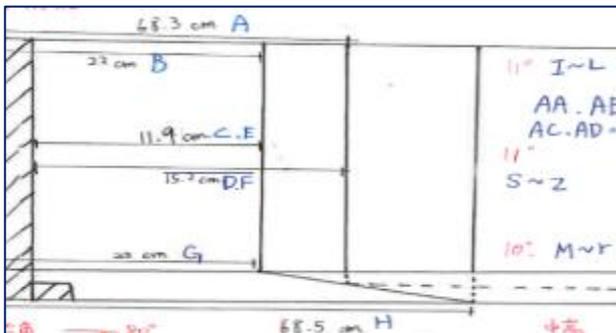
附錄八：下墊 1 塊木頭+10 度海岸



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
初始	64.8	22.7	10.7	15.5	22	65	10	10	10
50 分鐘	66.6	20.8	10.8	14.9	20.7	68.5	12	71	12
85 分鐘	69.2	22.5	11	15.2	21.2	68.4	0	82	21/13.5
130 分鐘	70	21.5	11	14.3	21.7	70.2	0	89	21
175 分鐘	71	21.6	10.3	15.3	20.5	71.6	21	83	16
220 分鐘	69.2	20	10.8	15.1	21.1	71.7	0	90	20

265 分鐘	68.7	21	10.3	15.1	20.8	70.5	0	90	13/8
310 分鐘	67.5	19	10.5	15.2	20.9	72.5	22	90	8
355 分鐘	68	20.7	10.3	15.1	21	72.2	0	90	16
400 分鐘	68.5	21.2	10.8	15	20.8	72.1	0	90	21/8
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
初始	10	10	10	10	10	10	10	10	10
50 分鐘	10	39	20	10	8	82	8	1	11
85 分鐘	9.5	30	21	9.5	0	25	8	8	11
130 分鐘	17/10	28	8	10	0	23	7	7	12
175 分鐘	11	27	8	10.5	0	45	6	6	12
220 分鐘	8/10	27	7	10	0	35	9	9	11.5
265 分鐘	10	32	8	12	0	38	8	8	13
310 分鐘	10	31	7	11.5	0	35	9	9	11
355 分鐘	9	27	7	12	0	32	8	8	10
400 分鐘	11	31	8	11	0	31	8	8	11

附錄九：下墊 0 塊木頭+10 度海岸



	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
初始	68.3	22	11.9	15.2	11.9	15.2	22	68.5	11		
45 分鐘	69.7	21.2	8.8	14.3	9.6	14.8	20.6	68.2	89		
95 分鐘	70.6	21.1	6.7	13.7	8.7	13.5	18.5	68.7	80		
140 分鐘	67.4	20.8	6.1	13.3	7.3	13	17.2	68.9	99		
185 分鐘	69.9	20.1	6.1	12.7	7.3	13.3	17.4	70.8	107		
230 分鐘	70.5	20.5	6.8	14.3	7.7	11.9	16.7	70.8	103		
280 分鐘	70.3	20.7	6.1	14.7	7.9	12.7	16.8	70.4	101		
325 分鐘	69.5	20.6	6.6	15.1	7.7	14.1	17.5	70.1	102		
375 分鐘	69.1	20.7	5.3	14	6.6	12.5	17.1	70.8	99		
420 分鐘	70.3	20.1	5.6	14.8	7.7	13.6	17.5	71.8	54		
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
初始	11	11	11	10	10	10	10	10	10	11	
45 分鐘	8	16	16	17	9	9	10	10	10	12	
95 分鐘	18	10	13	28	11	8	22	22	12	31	
140 分鐘	8	13	13	55	12	8	19	19	9	26	
185 分鐘	9	8	7	17	7	7	15	15	9		
230 分鐘	8	10	10	27	7	15	10	17	11	23	
280 分鐘	7	14	14	24	7	7	20	20	11	27	
325 分鐘	9	12	9	20	6	6	23	23	10	27	
375 分鐘	7	18	11	18	8	8	20	20	13	17	
420 分鐘	13	6	12	17	7	7	21	21	9	25	
	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
初始	11	11	11	11	11	11	11	0	0	0	0
45 分鐘	9	11	11	14	9	11	11	6.2	6.8	4.2	3.1
95 分鐘	8	18	18	25	8	13	13	3.7	2.8	10.3	5.2
140 分鐘	10	11	11	21	11	15	15	2.7	3.9	8.2	8.1

185 分鐘								3.6	3.3	9	8.9
230 分鐘	10	20	12	31	13	20	15	3.9	4.5	13.5	9.1
280 分鐘	10	19	14	33	8	18	14	3.6	3.6	11.6	9
325 分鐘	12	14	15	30	8	15	15	3.9	3.5	9.9	9.2
375 分鐘	10	19	15	25	10	19	15	4.5	3.4	11.9	11.1
420 分鐘	10	20	17	23	11	18	18	2.7	3.5	10.3	10

附錄十

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
初始	42.4	21.4	10.2	13.3	10.2	13.3	21.6	39.4	24	24	24	24
45 分鐘	40.5	19.1	10.3	11.9	8.3	12.1	18.3	38	0	23	8	20
90 分鐘	41	19.3	8.5	12.4	10.4	13	18.3	38.4	0	7	59	16
135 分鐘	42	19.5	8.4	11.6	9.9	13.4	18.1	37.5	54	5	20	32
180 分鐘	41.8	19.5	11.6	8.4	9.9	13.4	18.1	37.5	71	31	5	21
225 分鐘	40.6	19.3	7.3	11.7	8.8	13.4	18.1	37.4	0	26	7	12
270 分鐘	40.3	19.4	7.4	11	9.2	13.3	15.6	37.4	78	9	9	34
315 分鐘	41.2	18.6	8.1	10.4	9.2	13.3	15.9	42.3	78	7	7	14
360 分鐘	39.3	18.5	7.7	12	8.9	12.8	14.8	37.5	76	26	8	14
405 分鐘	39.5	18.7	7.6	12	8.9	11.4	14.3	37.3	82	24	11	21
	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
初始	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
45 分鐘	33	21	87	21	21	30	30	21	22	22	22	22
90 分鐘	29	30	70	9	7	35	35	18	23	13	24	23
135 分鐘	32	22	78	8	18	40	15	15	21	15	24	19
180 分鐘	32	22	0	20	10	17	39	19	25	15	23	24
225 分鐘	21	39	0	47	6	18	38	23	25	14	21	22
270 分鐘	34	22	90	58	12	19	35	19	25	15	21	23
315 分鐘	40	24	26	23	9	18	35	18	31	16	23	22
360 分鐘	31	16	13	9	10	27	35	13	30	12	18	21
405 分鐘	35	22	90	10	8	25	39	16	22	15	23	24
	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
初始	25	25	25	25	9.9	9.7	9.6	9.6	9.4	9.1	9.1	9.1
45 分鐘	29	29	25	25	9.8	9.5	9.3	9.6	9.6	9.9	9.8	9.9
90 分鐘	16	17	28	23	9.5	9.7	9.7	9.8		9.9	10	10
135 分鐘	20	15	23	31	9.9	9.6	9.8	9.7	9.7	9.9	9.8	10.1
180 分鐘	23	9	28	25	9.9	9.6	9.7	9.6	9.7	10	10.2	9.9
225 分鐘	21	10	25	25	9.9	9.6	9.7	9.7	9.7	9.9	10.1	9.9
270 分鐘	20	15	24	27	9.9	9.6	9.8	9.7	9.7	9.8	9.9	10.1
315 分鐘	20	15	24	25	9.8	9.6	9.8	9.7	9.9	9.9	10.1	10
360 分鐘	19	15	20	19	9.9	9.6	9.8	9.7	9.9	9.9	9.9	10
405 分鐘	18	14	23	24	9.8	9.5	9.8	9.8	9.7	9.9	9.9	10

附錄十一

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
初始	10.4	14.8	10.4	14.8	21.4	45.7	24	24	24	24	24
45 分鐘	4.4	7.1	11.7	13.9	19.6	44.3	23	15	10	17	26
85 分鐘	4.6	7.6	10.2	13.5	18.7	42.8	90	9	9	15	25
130 分鐘	3.5	7.3	10	11.7	18	42	90	10	13	18	24
175 分鐘	3.1	8	8.7	15.5	16.5	45	90	15	8	30	30
220 分鐘	2.2	5.6	8.1	13.2	15	45.1	90	21	11	16	21
270 分鐘	2.4	7.7	7.6	14.7	14.8	45.8	90	16	13	15	24
310 分鐘	2.2	7.5	7.5	14.5	14.9	45.9	90	18	11	24	30
350 分鐘	2.6	7	7.3	14.4	15	46.3	90	20	9	19	28
400 分鐘	3.1	7.4	7.4	12.8	14.9	47.2	90	18	8	16	29
	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
初始	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
45 分鐘	90	90	30	9	9	13	21	32	90	15	15
85 分鐘	68	68	19	10	5	18	28	37	90	25	12
130 分鐘	90	90	21	12	12	12	32	32	80	24	7
175 分鐘	79	79	27	9	3	3	33	33	90	20	14
220 分鐘	25	90	33	9	5	5	25	25	90	25	15
270 分鐘	90	90	29	9	9	0	20	36	90	17	12
310 分鐘	26	90	13	0	16	16	23	43	90	15	13
350 分鐘	19	77	5	10	1	10	24	34	99	17	11
400 分鐘	90	90	5	56	6	0	17	29	90	18	12
	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
初始	24	24	24	0	0						
45 分鐘	15	33	23	1.3	1.1	3.1	3.9	8.7	9.2	9.3	8.9
85 分鐘	12	36	29	0.9	0.7	3.2	4.1	8.9	10.3	10.2	10.1
130 分鐘	5	26	24	0.5	0.5	3.1	4.1	8.9	9.3	9.2	9.3
175 分鐘	14	17	30			3.5	3.7	8.9	9.3	9.2	9.2
220 分鐘	15	20	24			3.3	4	8.9	9.4	9.3	9.1
270 分鐘	12	18	27	0.6	0.5	3.4	4	9	9.3	9.3	9
310 分鐘	13	16	27	0.8	0.9	3.6	4	9.1	9.4	9.3	9.1
350 分鐘	11	19	26	0.7	0.9	3.5	4.1	8.5	9.3	9.2	9.1
400 分鐘	12	18	28	0.9	1.1	3.5	4	8.5	9.3	9.3	9.1

【評語】 030508

本作品的文獻探討完整，針對構思及實驗內容具體，透過具體的實驗設計及數據分析，詳細說明不同參數對實驗成果之影響，本作品之實驗報告整理完整，作者臨場表現沉穩，思路清楚，未來對本實驗持續深入探討，將可以獲得更具體的成果。