屏東縣第 65 屆國中小學科學展覽會
作品說明書

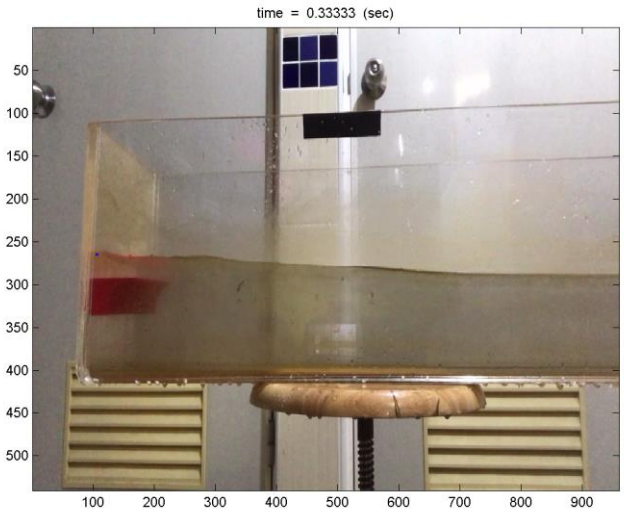
科　　別：地球科學

組　　別：國中組

作品名稱：消波~快！2.0

關 鍵 詞：消波塊、港池共振、影像分析

編號： B5001



摘要

延續去年的實驗做進一步的改善與測試，這次我們新增浮動式的消波塊觀測其消波的情形。由於消波塊與水流之間的交互作用力(流固耦合)極其複雜，目前無法由理論計算推演而得，而是利用水工模型試驗，於大型水槽中進行測試評判其結果。本研究目的在於發想簡單的消波塊結構物，並利用 3D 列印建模製作。另外，此實驗著重於港口內部的消波情形，使其在港口堤岸內部能做到快速消波、消波塊結構安定穩固與施工方便等三大目標，最終目的是降低港口內部停泊船隻遇到長波侵擾的風險，減少其受到潮汐、暴潮與海嘯等之影響。

首先，製作造波機推動淺水波於長型壓克力水槽內，並測量馬達電壓與波速之關係、及波高與波速之關係。再者，利用類似文式管(venturi tube)收窄的結構概念與圓弧的造型進行水體的引導與消波，並觀察在堤岸邊之水波高度變化。實驗過程中，在無精密儀器下觀察波速與波高，是一件令人感到棘手之事，所幸目前影像分析技術大行其道，因此本實驗的觀測資料均由電腦影像分析輸出並整理。最後，固定式消波塊的實驗結果蠻符合我們的預期，能以簡單的消波塊結構達到消波的功能，使我們心情為之一振，實驗數據顯示出原本岸邊的最大波高，可銳減至原有的三分之一左右，效果驚人，真的是消波~快！反之，浮動式消波塊的結果與預想有一段落差，最大原因是消波塊隨著液面升降，上方無足夠的水體產生足夠大的水壓，因此無法順利引導水流通過洩壓裝置，導致消波結果不如預期。

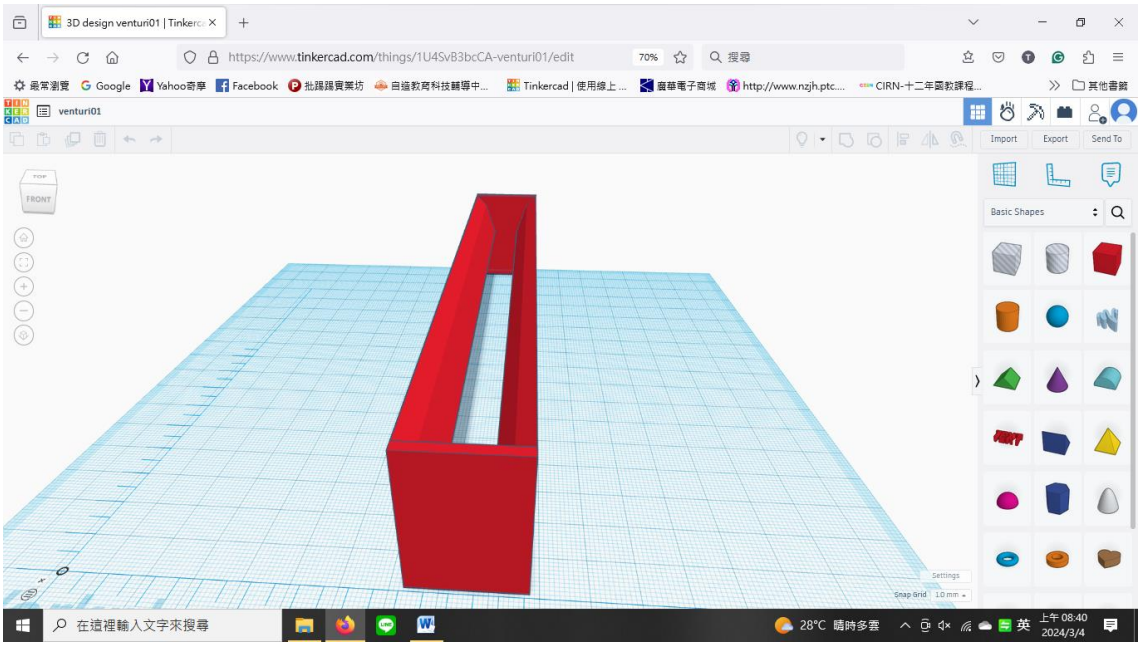
壹、前言(含研究動機、目的、文獻回顧)

2018 年 2 月 4 日自由時報報導，台灣花蓮港因早先設計不良，極易產生港池共振或稱港池盪漾。盪漾情形多半發生在半封閉、邊界受限制的水體（如港灣）內，因外圍強勁的波浪進入半封閉的水體後，會產生重覆反射，形成複雜的駐波型態，導致水體出現有節奏、頻率地上上下下或此上彼下；港池共振問題常會造成船舶繫泊困難，另外也危及提高人員登船、下船，更甚者會造成船隻斷纜碰撞風險，導致船損或沈船。(資料來源：國立台灣科學教育館，整理：記者王峻祺)

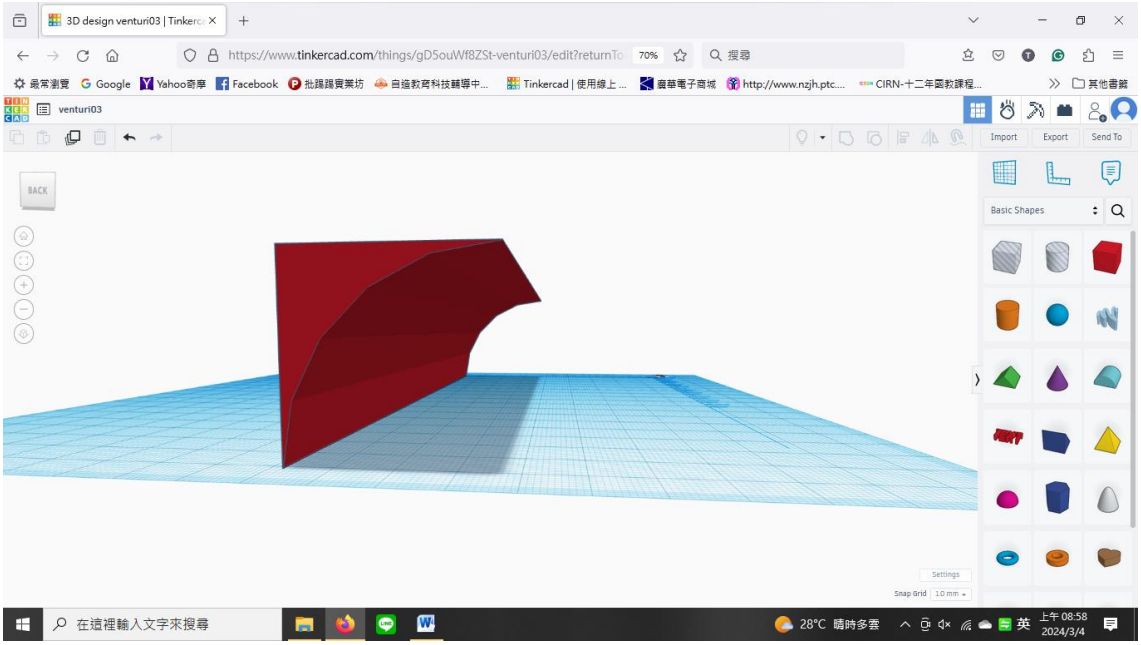
為此，我們觀察花蓮港港區平面圖(圖一、擷取自花蓮港務分公司)，發現其狹長水道係其港池共振的發生主因，類似我們水工模擬試驗的長型水道，因此實驗的相似性與可行性頗高，非常值得我們一試，並期待改善此一問題。

圖一、花蓮港港區平面圖

另一方面，消波塊結構機制，我們構想有別於傳統上的堵截消能方式，早前的消波塊破壞景觀，同時造成岸邊紊流，流況難以預測。因此我們反其道而行，堵截不如疏導，以降低水體的動水壓方式，利用類似文式管收窄的結構概念(圖二、venturi tube)與 1/4 圓弧的造型結構體進行水體的引導與消波。

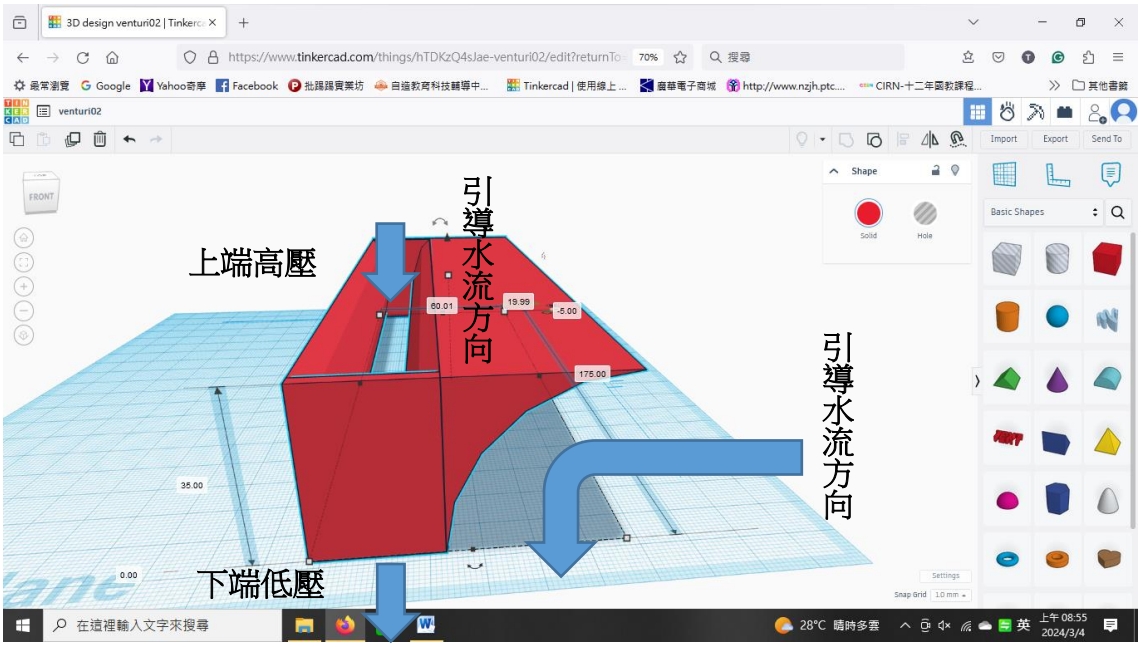


圖二、類似文式管收窄的結構體



圖三、1/4 圓弧結構體

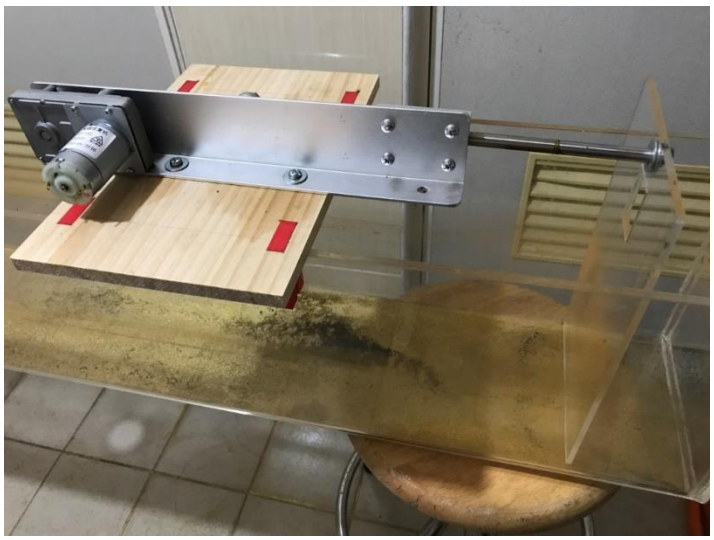
最後，將兩種消波塊結構體整合(圖四)，先利用 1/4 圓弧的結構體將水流向下導引至類文式管結構體之下方附近，使類文式管下方出口處的流速變快，動水壓變小；上方的水體變高靜水壓變大，令類文式管的上方與下方形成壓力差，讓類文式管內部水流快速向下流出，以降低類文式管上方累積的波高。



圖四、兩種消波塊結構體整合

貳、研究設備及器材

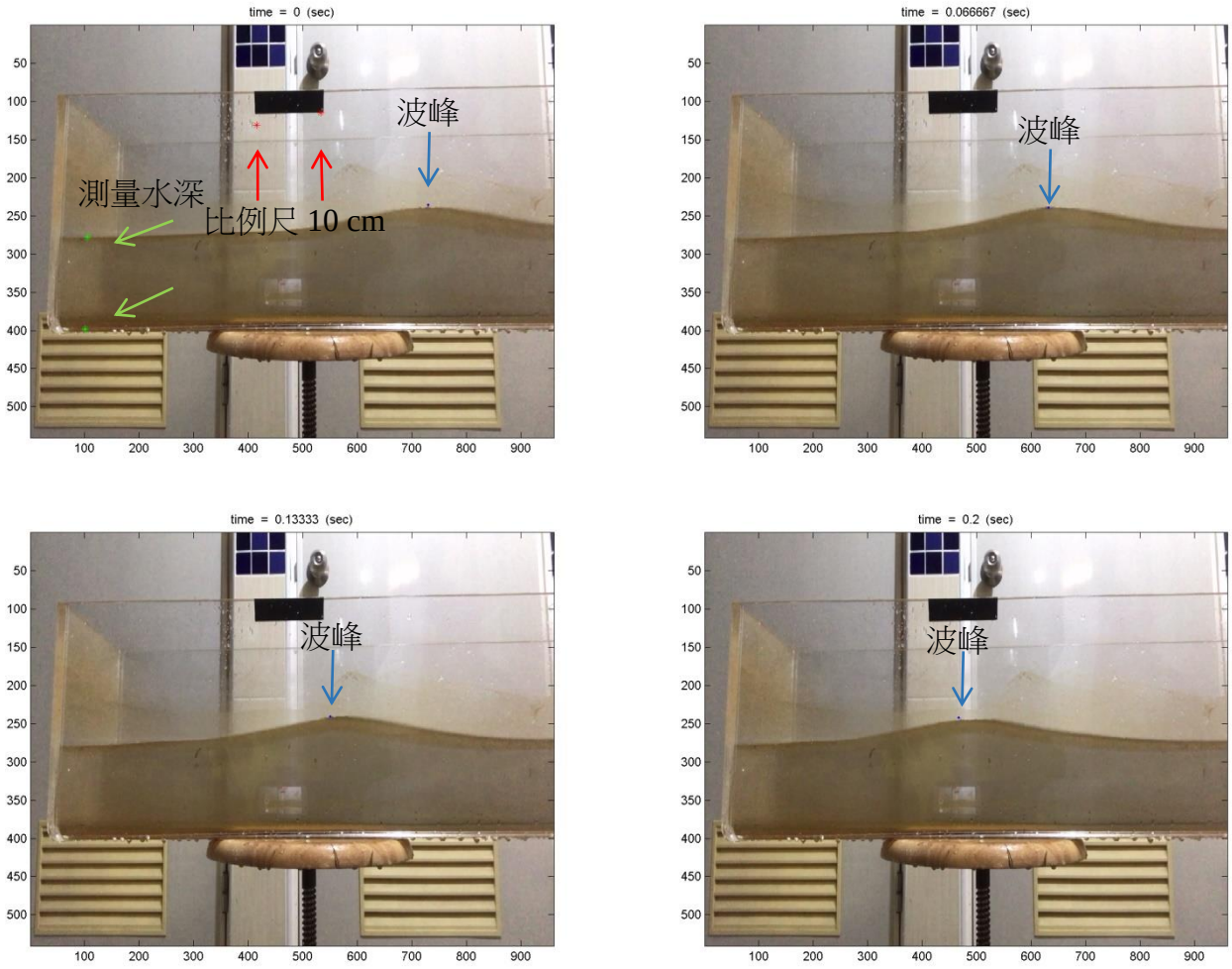
※造波機(圖五、步徑馬達、往復式結構、造波板、壓克力水槽)
※消波塊結構體共三種：類文式管、1/4 圓弧、類文式管+1/4 圓弧
※長形壓克力水槽(長 180cm、寬 20cm、高 25cm)
※三用電表
※筆電、手機


圖五、造波機

參、研究過程或方法

利用三用電表量測馬達輸出電壓，並架設手機拍攝水槽的波動傳遞過程。將拍好的影片切割成時間差 1/15 秒的照片。另外，進一步撰寫 MatLab 程式，使用影像分析讀取資料，先將相片的像素值水平方向的格數轉換成實際長度 10 cm；再依序測量水深與不同的時序照片之波峰位置，最後整理資料繪圖輸出。

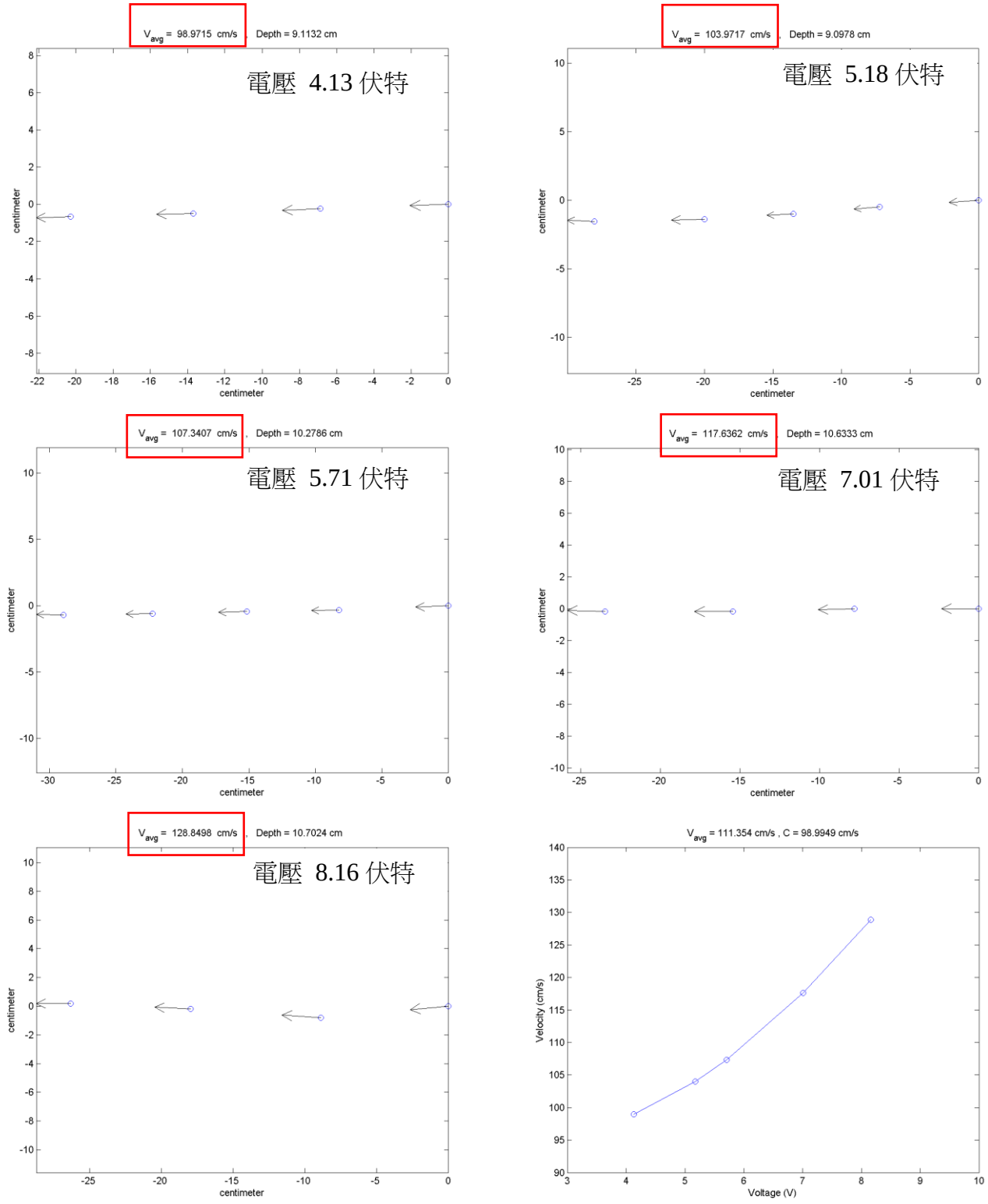
(一)、MatLab 程式擷取資料，如下圖六：



圖六、影像分析流程

將擷取到的波峰座標，以第一點為基準點，往後依序轉換成位移資料，再利用照片的時間差 1/15 秒，換算成速度資料，並繪圖整理輸出。

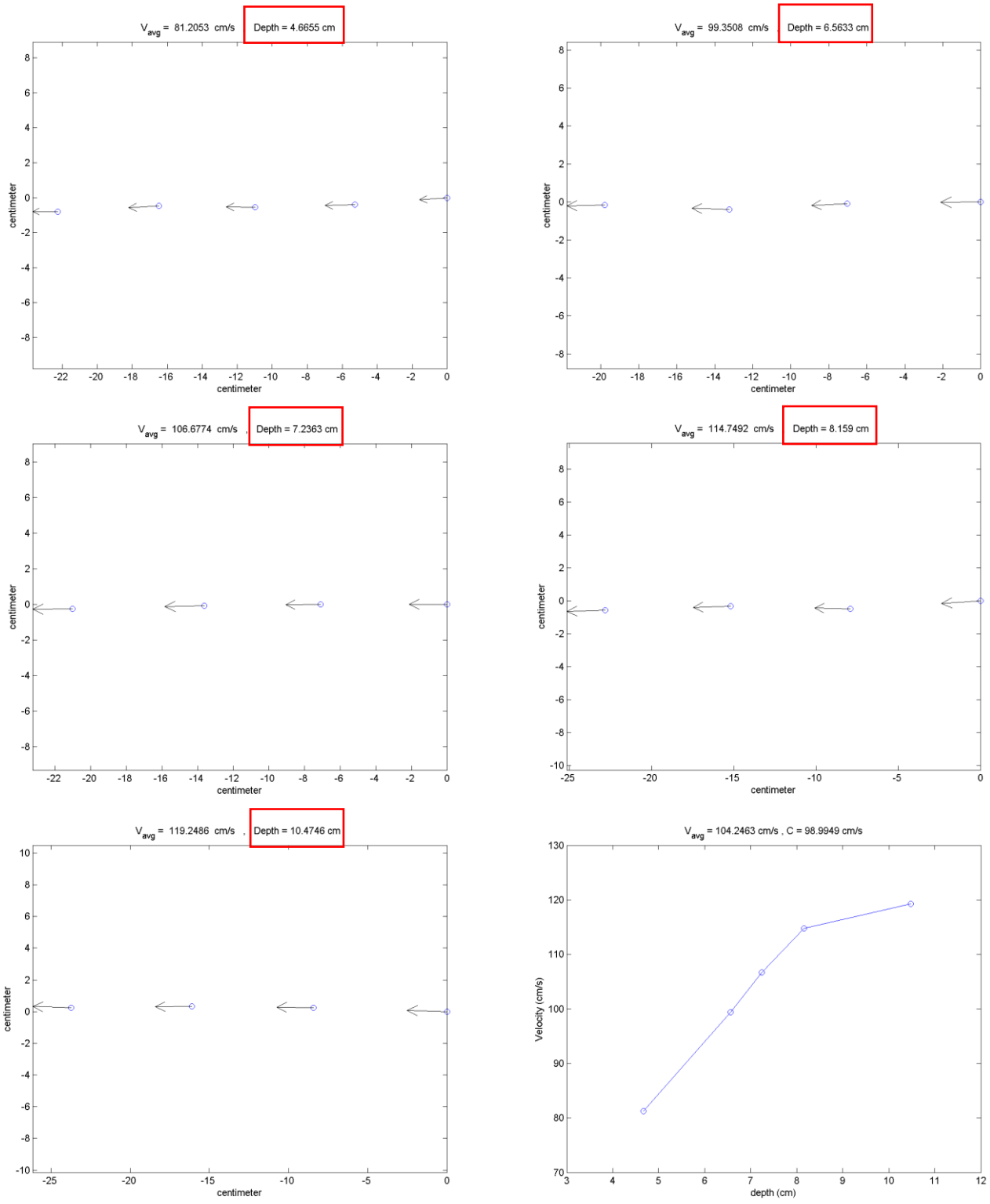
(二)、馬達電壓輸出與波速關係(固定水槽深度約 9~10 ㎝)，如下圖七：



圖七、五組不同電壓下的資料擷取與馬達電壓輸出 v.s.波速之關係

隨著馬達電壓變高，波速也隨之增加，最大原因是離波源太近，波速容易受造波板快速擾動影響所致，實驗結果與預期的穩定波速傳播並不相符。

(三)、水深與波速關係(固定電壓約 5 伏特)，如下圖八：

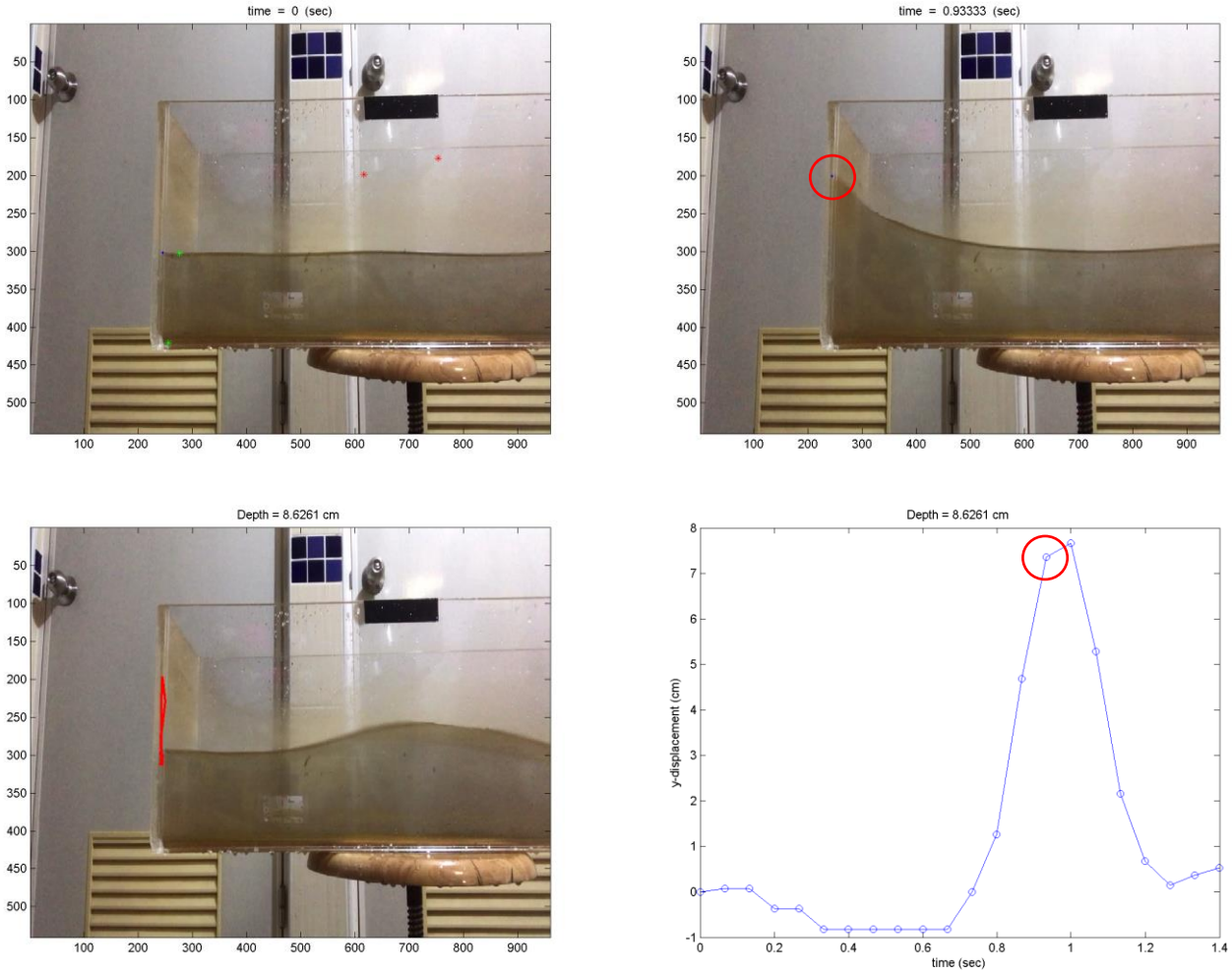


圖八、五組不同水深下的資料擷取與水深 v.s.波速之關係

水深越深，波速越高，但是比較理論值 $c = \sqrt{gh}$ ，還是稍有偏高，概因水深不夠深，有非線性效應因素影響。再者，觀察位置的波動區間離波源稍近，同時也受造波板的擾動影響所致。

(四)、消波塊結構物與波高之關係(固定波高約 9 cm，固定電壓約 5 伏特)

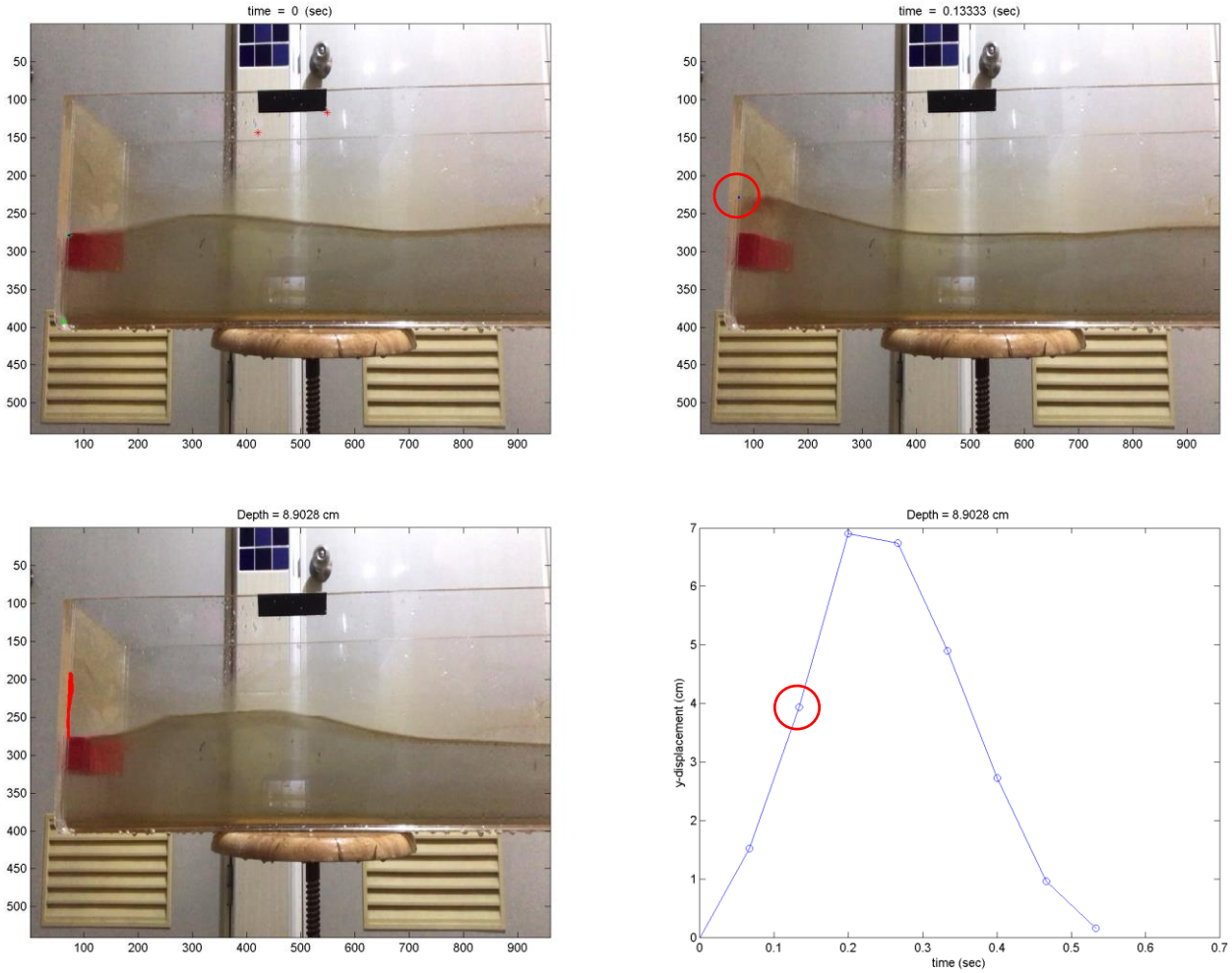
1. 對照組(無消波塊結構物)，如下圖九：



圖九、對照組波高資料擷取

小結：最大波高約 7.8 cm。

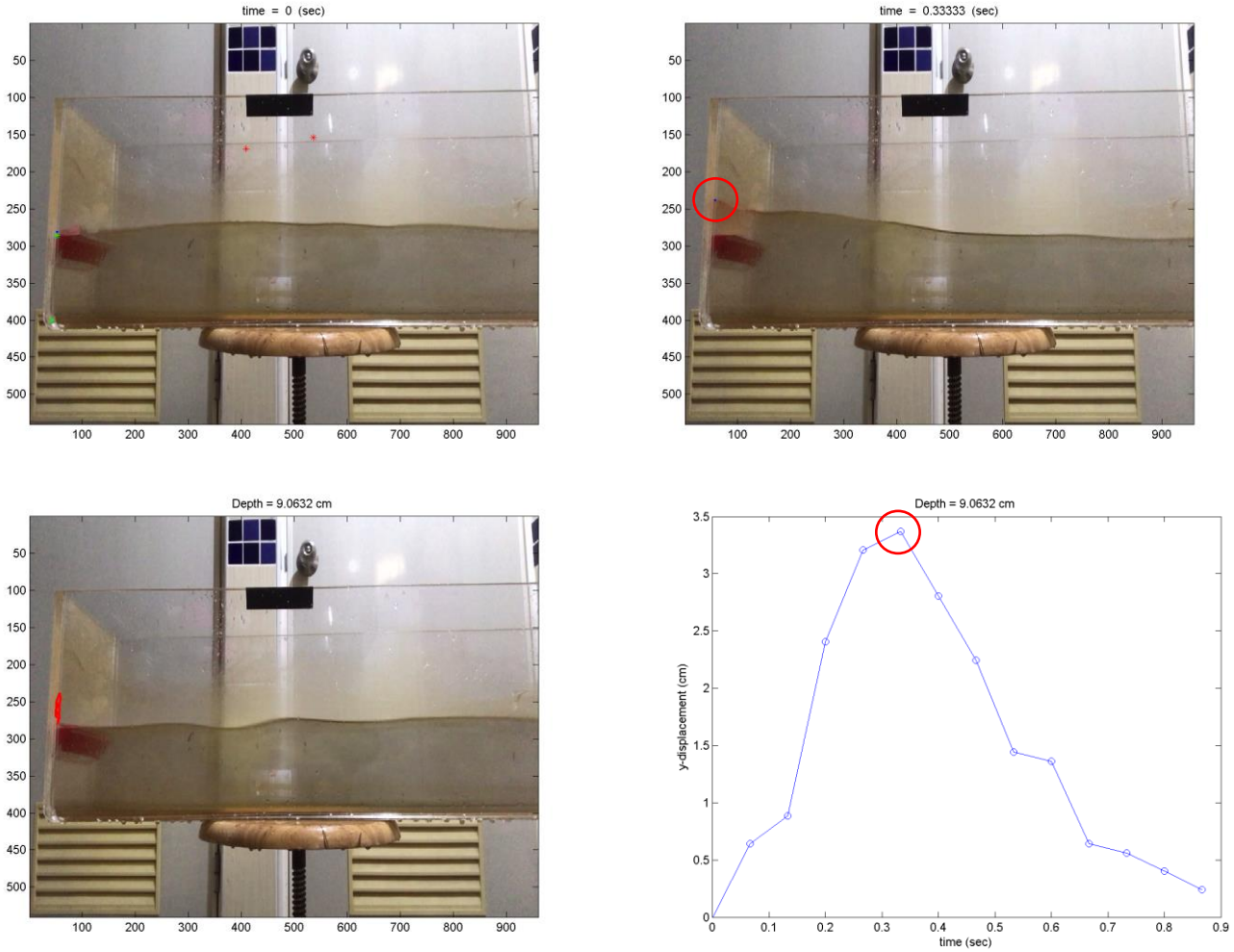
2. 類文式管(venturi tube)，如下圖十：



圖十、類文式管波高資料擷取

小結：最大波高約 6.9 cm。

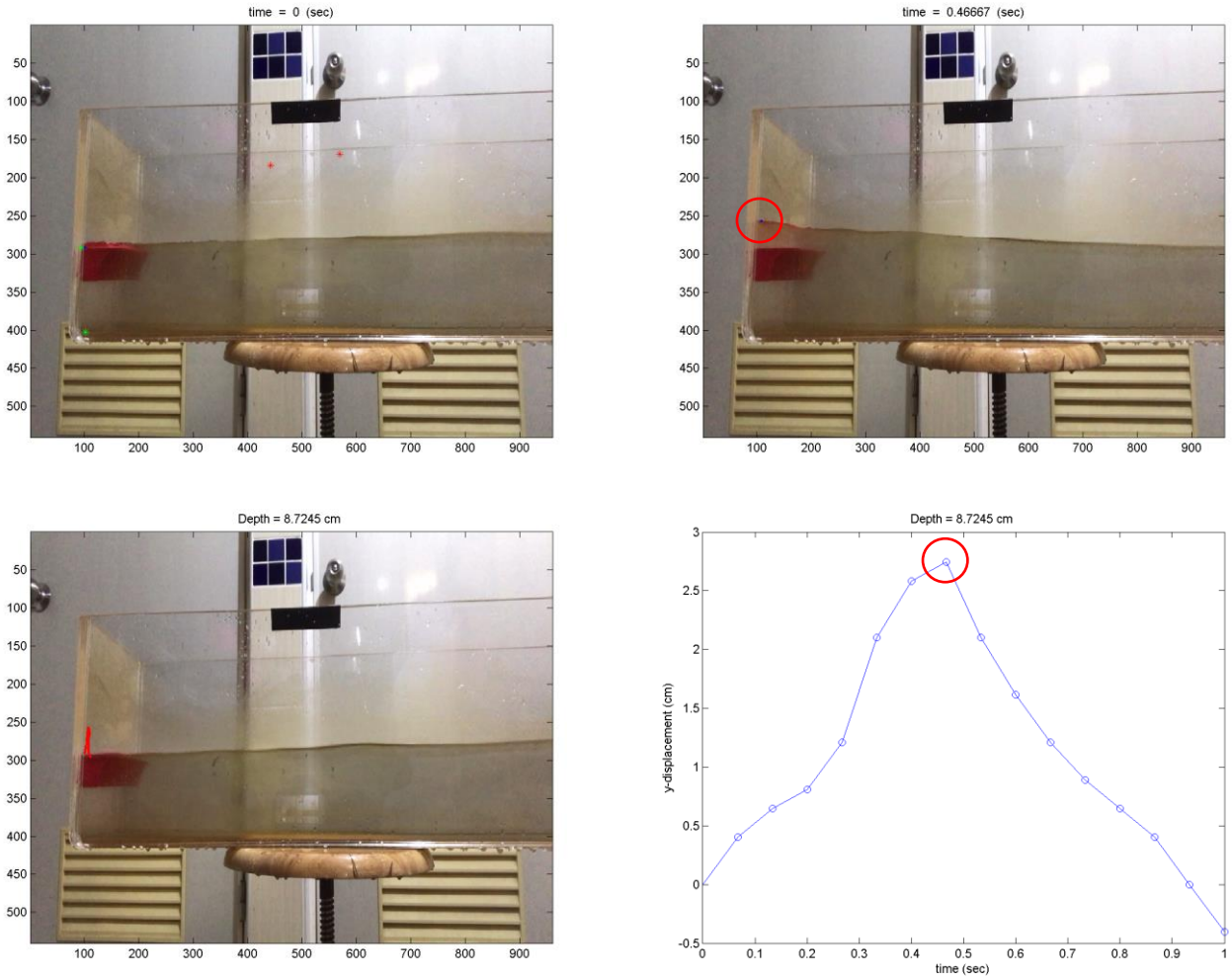
3. 1/4 圓弧的結構體，如下圖十一：



圖十一、對照組波高資料擷取

小結：最大波高約 3.4cm。

4. 類文式管+1/4 圓弧整合，如下圖十二：

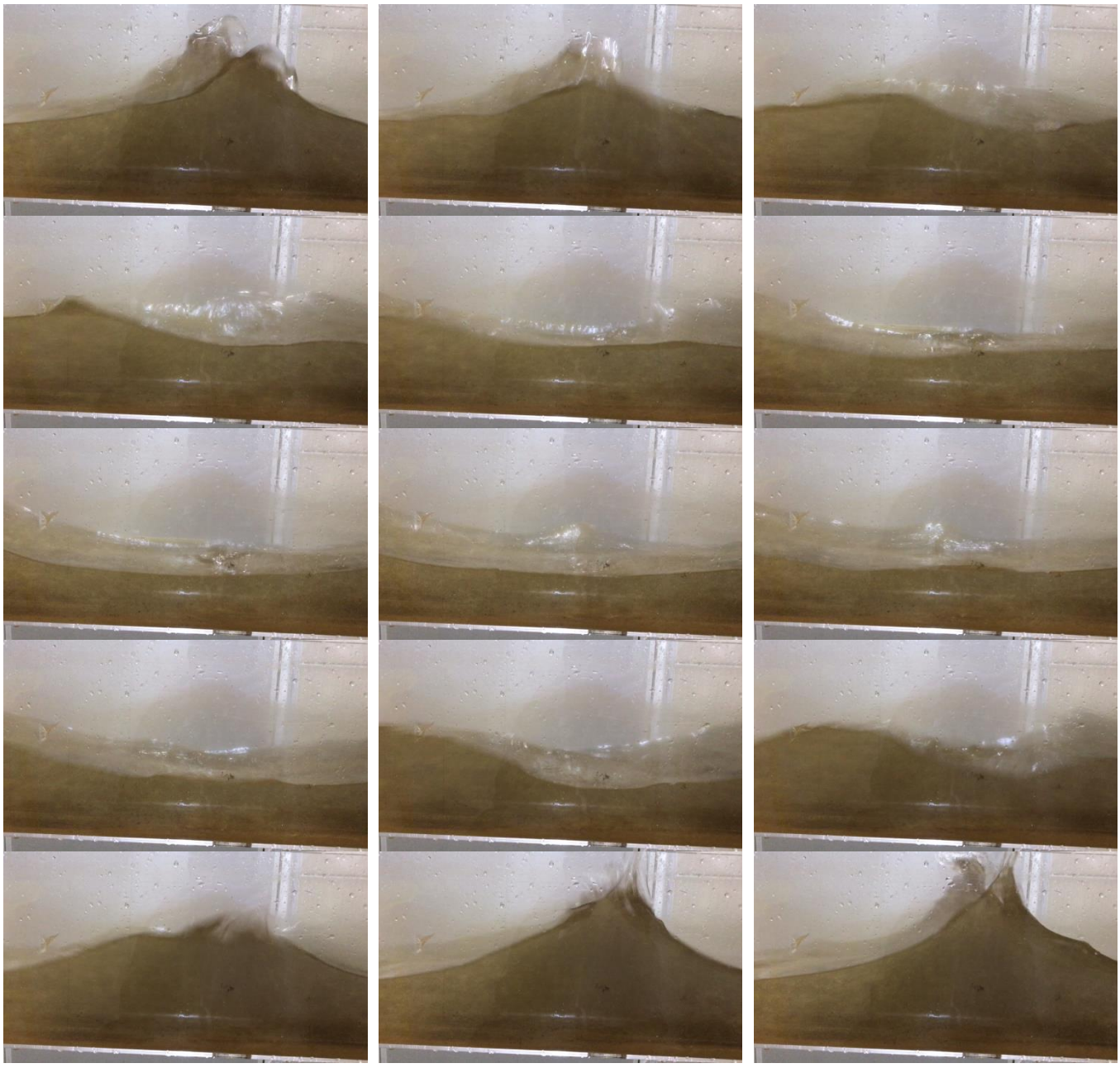


圖十二、對照組波高資料擷取

小結：最大波高約 2.7 cm。

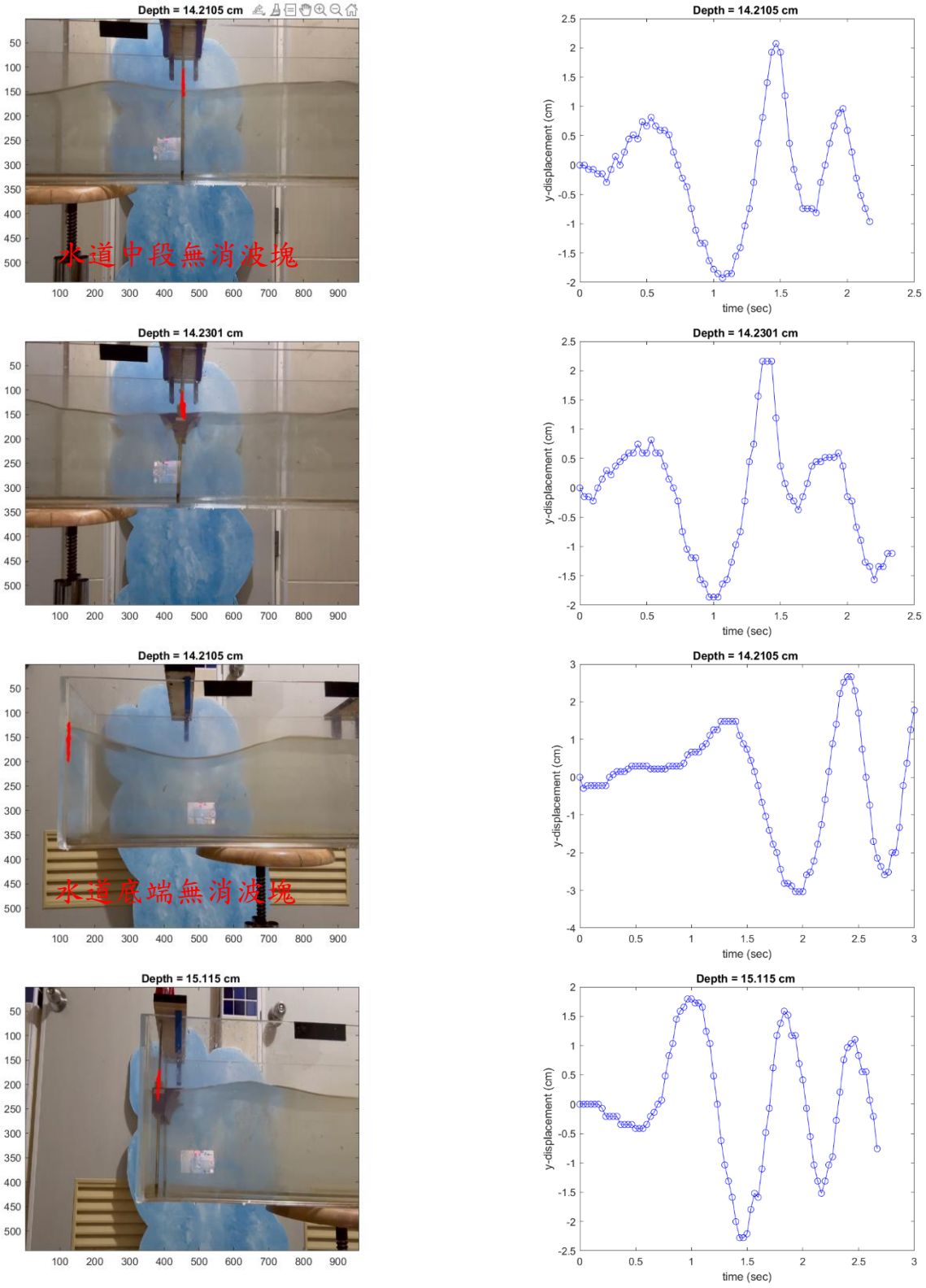
(五)、港池共振(Seich)，如下圖十三：

將電壓逐步調升，觀察波動變化，於長型水槽內可輕易觀測到駐波的出現，波傳能量被束縛在原地，波動起伏劇烈。另外，在不同的電壓控制下，駐波形成的位置與波長也會跟著調整改變。



圖十三、在同一波動區間可觀察到駐波的上下擾動

（六）、浮動式消波塊與波高的關係(利用墊片調整消波塊位置)，如下圖十四：

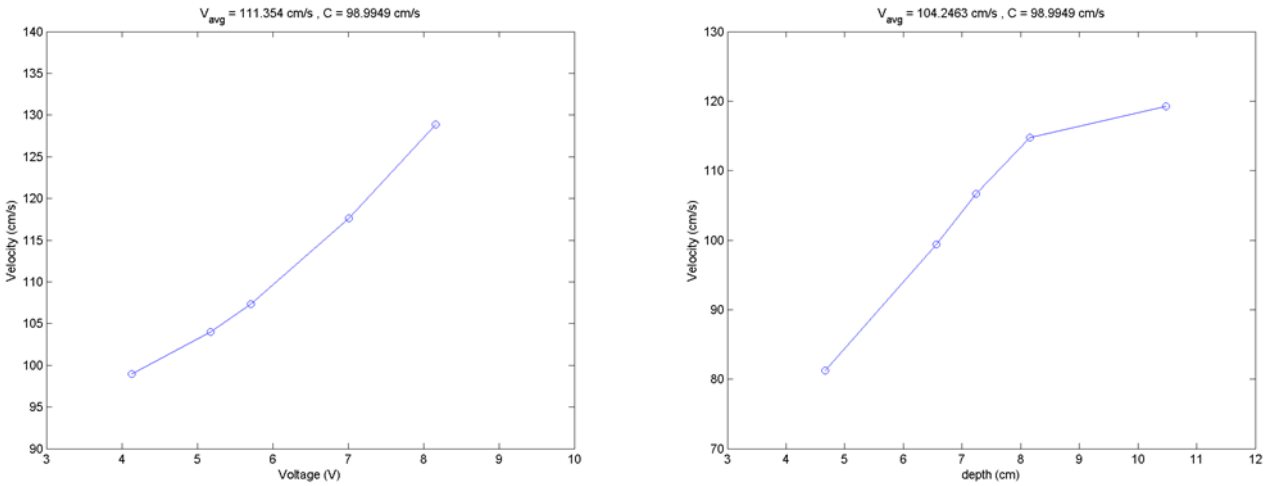


圖十四、浮動式消波塊 v.s.波高的關係

小結：很明顯，水道中段的波高幾乎沒有變化，無消波功能；而水道底端的波高變化約從 2.7 公分降至 1.8 公分，消波效果無固定式消波塊理想，概因消波塊隨著液面上升，上方無足夠的水體產生足夠大的水壓，因此無法引導水流通過洩壓裝置，導致消波結果不如預期。

肆、研究結果

(一)、實驗結果發現影響波速的主因為馬達電壓(左)與水深(右)，如下圖十五：

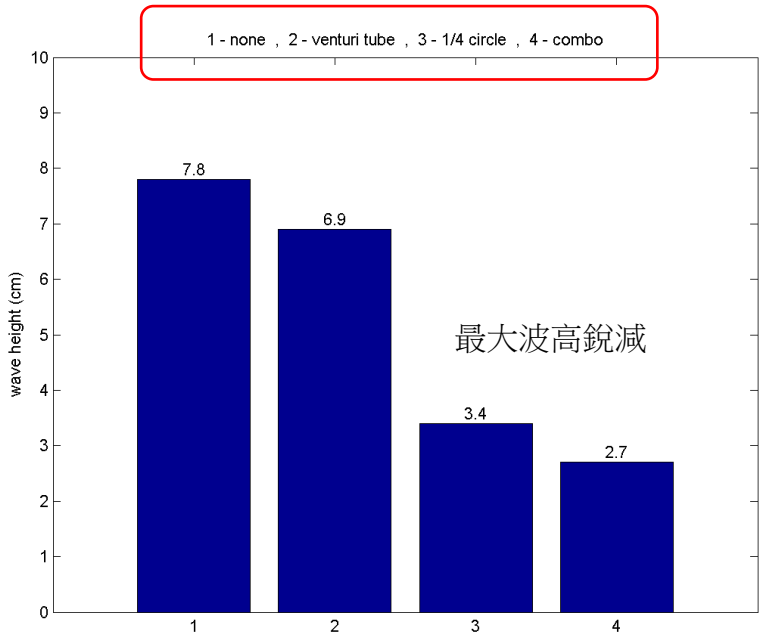


圖十五、影響波速的主因

本實驗證明，造波板的驅動力與水深均為影響波速的主要因素。雖然淺水波的特性是能量耗散較慢，傳播時間較久。一般大於 100 公尺的水深中，其非線性因素已經不明顯了，適用於理論值 $c = \sqrt{gh}$，但是在尺度規模稍小的水槽中，非線性效應不可忽略，以及離波源太近的流況過激，不完全是層流狀態，所以實驗尺度加大，才可以進一步改善測量的結果，但是作為小型造波機示範使用，我們覺得也有達到闡釋現象的效果了。

(二)、消波塊結構物的成效評估，如下圖十六：

1. 對照組　2. 類文式管　3. 1/4 圓弧　4. 類文式管+1/4 圓弧



圖十六、消波塊結構物的成效評估

從實驗結果發現，1/4 圓弧結構物的效果相當不錯，遠優於類文式管的結構，但是類文式管的長度或比例還有進一步變化的空間，或許類文式管的比例拿捏得宜，其效果可能不亞於 1/4 圓弧結構物，畢竟 1/4 圓弧結構物不是空心的造型，在經濟考量上比較不省錢且費工。但此次實驗礙於時間有限，只做了一種比例關係的類文式管，所以我們覺得類文式管的變化還大有可為，結果未定。最後，此次實驗的消波成效相當不錯，跟對照組資料比較結果，岸邊消波只剩原有最大波高的 1/3 左右，成效出乎預期的好，反而浮動式消波塊的效果不如預期，因此不建議使用，除非可控制浮動式消波塊，於液面下一段距離載浮載沉。

(三)、駐波現象

長形水槽製造駐波是一件不難的事情，困難的是要打出完美漂亮的波形，還有待努力，尺度太小邊界層效應特別明顯，或擾動太劇烈有碎波產生也是影響主因，如果進一步加大尺度，同時讓馬達驅動力可以更順暢的推動，相信打出漂亮的波形震盪指日不遠。

伍、討論

(一)、利用影像分析的方法擷取資料讓我們方便許多，但其致命傷就是影像會有景深問題，如果分析的影像完全在一平面上，擷取的資料點會更精準，而且用程式設計的概念抓取資料已經是一種趨勢，但是萬事起頭難，光是寫個影像分析的小程式已經花費我們不少心思，這次使用的軟體 MatLab 功能十分強大，可惜我們還在入門的階段，假以時日慢慢琢磨應該還有很大的進步空間。

(二)、消波塊結構物這次我們利用 3D 列印建模並輸出，成效相當不錯，原來 3D 列印也可以這麼簡單上手且實用，省了我們手工建模的時間，而且輸出的模型非常符合我們的需求，爾後可以再多加利用！

(三)、一開始的任務就是裝設一台簡易的造波機，雖然看似簡單實則關卡連連，很多小細節沒顧好，尤其是造波板的結構連結顯得不夠穩定。另外，造波的方法很多，這次只是用了最簡單的方法於長形水槽造出淺水波，未來希望還可以進一步研究環狀水槽的造波方式，觀察的波動才會更立體鮮明也多變。

(四)、原先預期浮動式消波塊可以達到更好的消波效果，但是消波塊隨著液面上下漂浮，上方水體不足，沒辦法產生足夠的壓力差洩壓，其結果與預想大相逕庭。

陸、結論

此次消波塊結構物的實驗成效相當不錯，類似的結構造型，有待我們再慢慢地去發想與測試，其中引導水流疏導減壓的方式，證明比堵截消波的方式還要更優良有效，是我們本次實驗中最重要的結論，當然消波塊美觀與省錢的施工方式，也是本次實驗的重點考量之一。最後，期待有一天能研究出更長久穩固便宜的消波塊結構體，能夠普遍適用於近海岸的工程應用上。

柒、MatLab 程式碼(以馬達電壓輸出與波速關係為例)

```
close all;clear all;clc;
% 初始設定
pic=46;% 照片起始數
ni=50; % 照片結束數
dt=1/15; %照片時間間隔(secend)
xmark=10; % 抓取記號寬度 (cm) 單位:公分
pxyco=[];
%--------------------------------------------------------------------------
pxy=zeros((ni-pic)+1,2); % 目標 抓點資料
ratio=[];



 for i=pic:ni
   clf
   A8=imread([ num2str(i,'%08d') '.png']);   %讀取檔案夾中的.jpg .png
   image(A8);hold on;
   if i==pic
       [pix,piy] = ginput(2);       %  pixel 水平參考寬度
       plot(pix(1),piy(1),'*red');
       hold on
       plot(pix(2),piy(2),'*red');
       coldist=sqrt((pix(2)-pix(1)).^2);
       ratio=xmark./coldist;
       hold on
   end
      if i==pic
       [pix,piy] = ginput(2);       %  pixel 垂直水深高度
       plot(pix(1),piy(1),'*g');
       hold on
       plot(pix(2),piy(2),'*g');
       depth=sqrt((piy(2)-piy(1)).^2);
       depthy=abs(depth*ratio);
       hold on
   end
```

```
        [col,row] = ginput(1);
    pxy(i-pic+1,1)=row;% y
    pxy(i-pic+1,2)=col;% x
    hold on
    plot(col,row,'.b','LineWidth',2)
    hold on
    t=[num2str((i-pic)*dt)];
    title (['time  =  ',  t  ,'  (sec)'])
    print('-dpng',['findp' num2str(i,'%08d')])
 end
    clf
    pxyco=[pxyco;pxy];
% 軌跡點
figure(1)
image(A8);hold on;
save('pxyco.txt','pxyco','-ascii')
hold on
plot(pxy(:,2),pxy(:,1),'.r')
text()
picc=num2str(pic);
nic=num2str(ni);
title(['Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
print('-dpng',['findpall',picc,'-',nic])
%取 Y (垂直)方向位移量對時間關係圖 y-t
figure(2)
time=[1:1:length(pxy(:,1))]*dt-dt;
plot(time,(pxy(:,1)-pxy(1,1))*-ratio,'b-o');
title(['Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('time (sec)')
ylabel('y-displacement (cm)')
print('-dpng','Y-T')
%取 X (水平)方向位移量時間關係圖 x-t
figure(3)
time=[1:1:length(pxy(:,2))]*dt-dt; % 時間筆數
plot(time,(pxy(:,2)-pxy(1,2))*ratio,'b-o');
title(['Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
```

```
xlabel('time (sec)')
ylabel('x-displacement (cm)')
print('-dpng','X-T')
% x-y 軌跡圖
figure(4)
plot((pxy(:,2)-pxy(1,2))*ratio,(pxy(:,1)-pxy(1,1))*-ratio,'b-o')
title(['Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('x-displacement (cm)')
ylabel('y-displacement (cm)')
axis equal
print('-dpng','X-Y')
% Vx - Vy 圖 Vx - t 圖 Vy - t 圖
Vy=[];Vx=[];
for f=1:length(pxy(:,1))-1; % 速度筆數
dy=(pxy(f+1,1)-pxy(f,1))*-ratio/dt;
Vy=[Vy;dy];
dx=(pxy(f+1,2)-pxy(f,2))*ratio/dt;
Vx=[Vx;dx];
end
figure(5)
Vc=150;
plot(Vx,Vy,'bo')
title(['Vx - Vy 分佈圖 , Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('Vx (cm/s)')
ylabel('Vy (cm/s)')
axis equal
print('-dpng','Vx-Vy')
% V-avg - t 圖 時間分佈
figure(6)
Vcx=150; % v scale
Vcy=50; % v scale
subplot(2,1,1)
plot(time(1:f),Vx,'bo-')
mvx=mean(Vx);
title(['Vx _a_v_g = ',num2str(mvx),' cm/s , Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
ylabel('Vx (cm/s)')
```

```
subplot(2,1,2)
plot(time(1:f),Vy,'bo-')
mvy=mean(Vy);
title(['Vy  _a_v_g =  ',num2str(mvy),'  cm/s   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('time (sec)')
ylabel('Vy (cm/s)')
print('-dpng','Vxy-T')
% V-avg - t 圖 空間分佈
figure(7)
fac=0.02; % arrows scale
div=2; % text location
pp=length(pxy);
Vavg=complex(Vx,Vy);
plot((pxy(1:pp-1,2)-pxy(1,2)).*ratio,(pxy(1:pp-1,1)-pxy(1,1)).*-ratio,'bo')
axis equal
arrows((pxy(1:pp-1,2)-pxy(1,2)).*ratio,(pxy(1:pp-1,1)-pxy(1,1)).*-ratio,Vavg,fac,'k')
distx=pxy(2,2)-pxy(1,2);
disty=pxy(2,1)-pxy(1,1);
for ii=1:pp-1
Vavg1=sqrt(Vx.^2+Vy.^2);
end
Vavgm=mean(Vavg1);
Vavgstr=num2str(Vavgm);
title(['V_a_v_g =  ',Vavgstr,'  cm/s   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('centimeter')
ylabel('centimeter')
print('-dpng','V-avg')
% a-avg - t 圖
figure(8)
acx=10; % a scale
acy=30;
ax=[];ay=[];
for i=1:length(Vx)-1
   dax=(Vx(i+1)-Vx(i))./dt;
   ax=[ax;dax];
   day=(Vy(i+1)-Vy(i))./dt;
```

```
   ay=[ay;day];
end
subplot(2,1,1)
plot(time(1:f-1),ax,'bo-')
meax=mean(ax);
title(['a_x  _a_v_g =  ',num2str(meax),'  cm/s^2   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
ylabel('a_x (cm/s^2)')
subplot(2,1,2)
plot(time(1:f-1),ay,'bo-')
meay=mean(ay);
title(['a_y  _a_v_g =  ',num2str(meay),'  cm/s^2   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('time (sec)')
ylabel('a_y (cm/s^2)')
print('-dpng','axy-T')
figure(9)
axyc=10;  % axy scale
plot(ax,ay,'bo')
title(['a_x - a_y  分佈圖   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('a_x (cm/s^2)')
ylabel('a_y (cm/s^2)')
axis equal
print('-dpng','a_x-a_y')
figure(10)
faca=0.3; % arrows scale
diva=1; % text location
pp=length(pxy);
aavg=complex(ax,ay);
plot((pxy(2:pp-1,2)-pxy(2,2)).*ratio,(pxy(2:pp-1,1)-pxy(2,1)).*-ratio,'bo')
axis equal
arrows((pxy(2:pp-1,2)-pxy(2,2)).*ratio,(pxy(2:pp-1,1)-pxy(2,1)).*-ratio,aavg,faca,'k')
distx=pxy(3,2)-pxy(2,2);
disty=pxy(3,1)-pxy(2,1);
for ii=2:pp-2
aavg1=sqrt(ax.^2+ay.^2);
end
aavgm=mean(aavg1);
```

```
aavgstr=num2str(aavgm);
title(['a_a_v_g =  ',aavgstr,'  cm/s^2   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('centimeter')
ylabel('centimeter')
print('-dpng','a-avg')
figure(11)
Vavg1c=2;
plot(time(1:f),Vavg1,'bo-')
Vavg=mean(Vavg1);
Vavgstr=num2str(Vavg);
title(['V_a_v_g =  ',Vavgstr,'  cm/s   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('time  ( sec )')
ylabel('V  cm/s')
print('-dpng','V-t')
figure(12)
aavg1c=2;
plot(time(1:f-1),aavg1,'bo-')
title(['a_a_v_g =  ',aavgstr,'  cm/s^2   ,   Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
xlabel('time  ( sec )')
ylabel('a  cm/s^2')
print('-dpng','a-t')
%---------------------------------------------
figure(13)
image(A8);hold on;
len=ni-pic+1;
plot(pxyco(1:len,2),pxyco(1:len,1),'r-','LineWidth',2)
title(['Depth = ',num2str(depthy),' cm '])
hold on
print('-dpng',['findpall',picc,'-',nic])
```