

港灣海岸水工模型實驗量測方法

水槽測波，傳統使用波高計進行直接量測，亦可使用 CCD 遙測分析進行間接量測。

1. 波高計

水槽波高計分成抵抗式及容量式 2 種，抵抗式每次量測均需進行率定，即使設置條件不變，只要重新開機就要重新率定，目前除特殊需求外幾無使用。

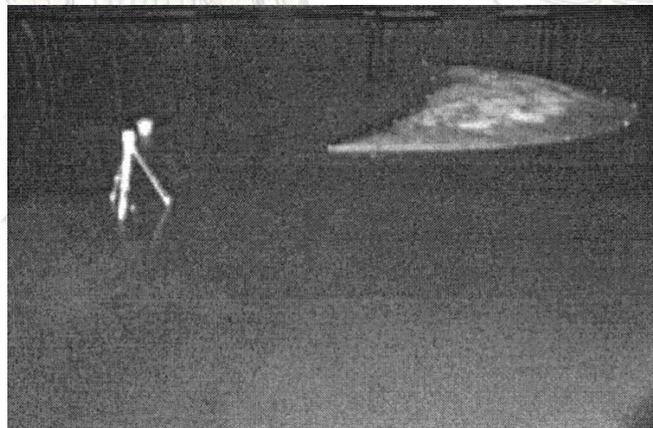
實施港池遮蔽實驗，為提高效率，必要將數 10 根波高計架設於格子觀測架上，逐次依序移動量測，非常辛苦耗時且會破壞地形。

測波分析是將容量式波高計取得類比訊號，透過 A/D 訊號轉換器轉換成數位訊號，再利用分析軟體求出有義波高、平均波高等，市販有各種附隨分析軟體的轉換器，例如 Instrunet 的 PCMCIA 卡，亦可自行開發分析軟體。

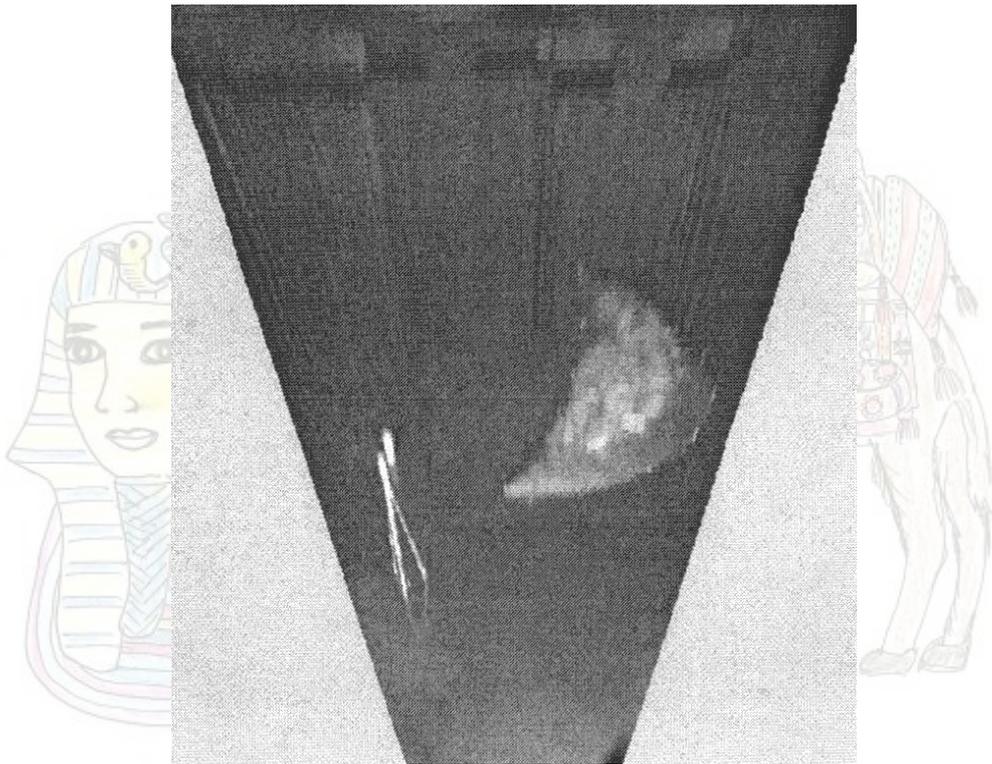
2. CCD 遙測

CCD 遙測是將電荷耦合元件影像攝影機(CCD, Charge-coupled Device)攝得影像，利用灰階將之數位化。連續拍攝可取得時間連續變化，可用於波高、波向、碎波位置等觀測。定格時可作為地形量測，適用於進行移動床漂砂實驗的地形變化，因數位化可直接了解灘線的前進、後退，並可估算堆積或侵蝕量。

CCD 遙測優點是可以同時取得大範圍數據，為達此目的，攝影機必要架設於高處，以傾斜角度攝影。如(a)圖，乍看之下一切正常，但是因係由傾斜視角攝影，實際位置發生偏移，必要將之作下述「正射化處理」，轉換成如(b)圖所示正上方垂直視角的影像。



(a) 未正射化處理影像



(b) 正射化處理後影像

1) 影像處理

2011 埃及尼羅河之旅

影像座標系統原點位於影像左上角，橫軸座標向右為正，縱軸座標向下為正，單位為像素(pixel)。相片座標系統原點設於相片中心，橫軸向右方向為相片座標的 x 軸，縱軸向上方向為相片座標的 y 軸，將單位從 pixel 轉換成 cm，就訂出數位相機的相片座標系統。攝影機的像素隨機型及設定而異，縱軸方向像素為 Y pixel，橫軸方向像素為 X pixel，攝影機相幅高為 y cm，寬為 x cm 時，因 x 方向像素尺寸與 y 方向像素尺寸相同，像素尺寸可依 y/Y 或 x/X cm 決定。

2) 正射化處理

正射化處理是將傾斜視角攝得相片轉換成垂直視角相片，影像正射化可分成光線追蹤模式及逆轉換模式 2 種，因其轉換過程繁雜，本法採用下列步驟加以轉換。

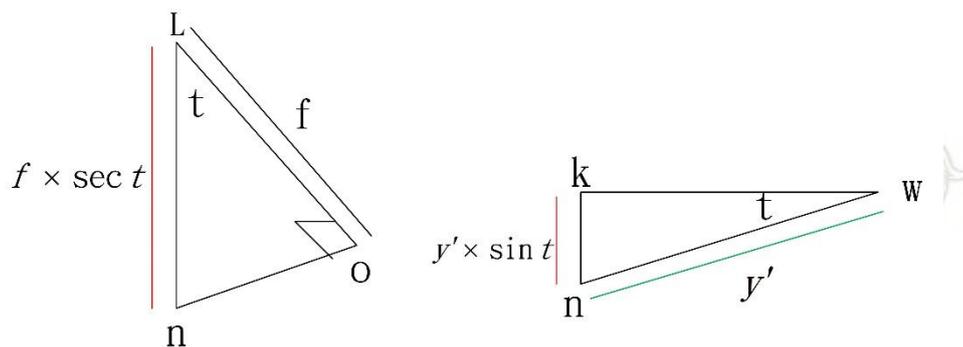
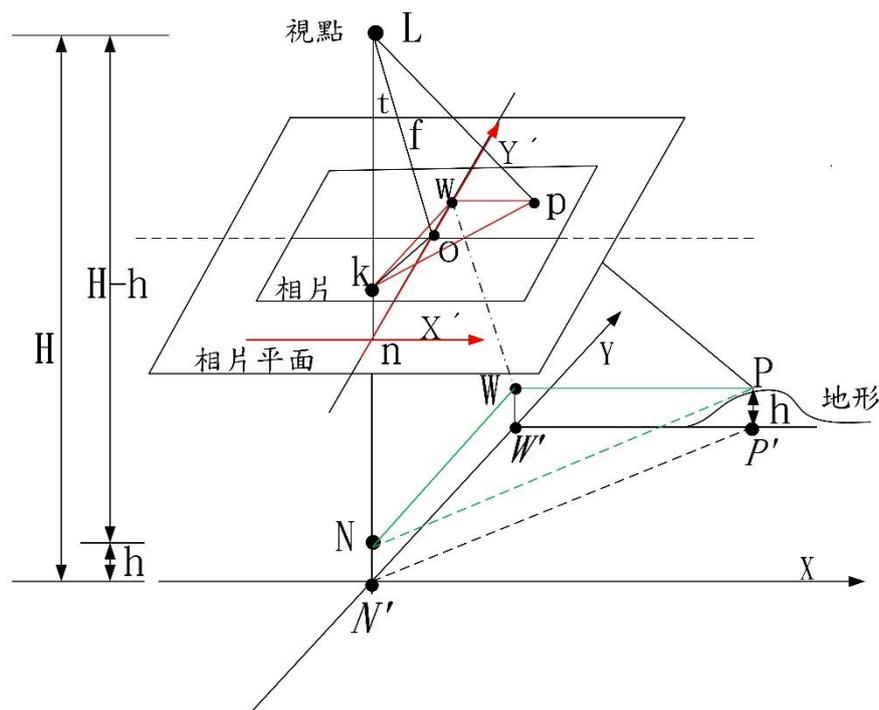
- ① 相片座標點轉換成實際地面座標點。
- ② 將轉換後座標點所代表的灰階值繪製於圖面上。

在轉換座標時必要確認相機畫面是否水平，傾斜時必要利用下式將相片旋

轉成水平。

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (1)$$

θ 為旋轉角，利用相機視角、相機高程、地面高程及相機像距，可計算傾斜相片比例尺。



載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈

視點為 L 、 f 為相機像距、 t 為傾斜角、 p 為待測物的相片座標、 P 為待測物的地面座標，因相片原點不在相片中心點，應在相機鉛垂線與相片平面的交點上，可利用(1)式將相片旋轉成水平，再將座標平移至相片平面的底點 n ，即轉換成下式。

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta + f \tan t \end{aligned} \quad (2)$$

將相片座標原點平移至相片平面 n 點，由 p 點作 Y' 軸的垂直線交 Y' 軸於 w，wp 為水平線，由 w 點作垂直線交 Ln 於 k，wk 亦為水平線，連接 kp，平面 kwp 為水平面。平面 kwp(紅線)與平面 NWP(綠線)間的比例可依相似三角形，如下述求得。

$$Lk = Ln - kn = f \times \sec t - y' \sin t$$

$$\frac{kp}{NP} = \frac{f \times \sec t - y' \times \sin t}{H - h}$$

因

$$\frac{kp}{NP} = \frac{Lk}{LN}$$

p 點在平面 kwp 上，即 P 點的比例關係如下

$$St = \frac{f \times \sec t - y' \times \sin t}{H - h} \quad (3)$$

St：傾斜相片比例

f：相機像距

y'：座標軸移至 n 點的 Y 座標

t：視角

H：相機高程

h：地形高程

令 wp=x、WP=x'，依(3)式得平面 kwp(紅線)與平面 NWP(綠線)間的比例關係，P 點的地面 X 軸座標為

$$\frac{wp}{WP} = \frac{x'}{X} = \frac{f \times \sec t - y' \times \sin t}{H - h}$$

即

$$X = \frac{H - h}{f \times \sec t - y' \times \sin t} \times x' = \frac{x'}{St} \quad (4)$$

同理可得 P 點的 Y 軸座標為

$$\frac{kw}{NW} = \frac{kw}{Y} = \frac{nw \cos t}{Y} = \frac{f \times \sec t - y' \times \sin t}{H - h}$$

即

$$Y = \frac{H - h}{f \times \sec t - y' \times \sin t} \times y' \times \cos t = \frac{y' \times \cos t}{S} \quad (5)$$

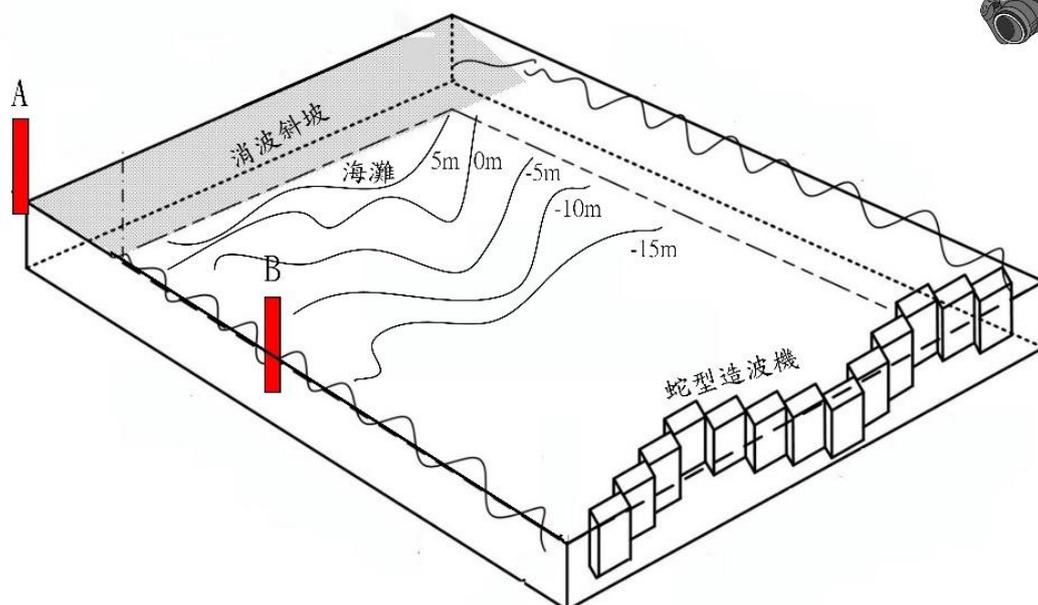
3) 地形量測

地形量測採用下列 4 種座標系統，依序進行轉換

① 影像座標系統階段

本階段作業為：

- i. 確認相機視線與水槽呈垂直，若偏離時必要增加一道座標轉換程序，實驗進行中，相機必要保持固定不變。
- ii. 確認視點高度(相機至水槽底面) L 、相機像距 f 、相機視角(傾斜角) t 等參數。
- iii. 如下圖，在水槽周邊架設 2 根測棒，A 架設於水槽左下角，無法入鏡時可架設於鄰近(沿水槽邊)，作為下述「水槽座標系統」的原點，B 架設於沿水槽邊面任意位置。量測其間距離作為相片座標系統換算成水槽座標系統時的換算比尺。
- iv. 將水槽灌水至 0 水位以上實驗必要深度，例如 +5m，攝取 +5m 等深線。
- v. 依序將水排放攝取 0m、-5m、-1m、... 等深線。



② 相片座標系統階段

本階段作業為：

- i. 將第 1 階段攝得各等深線斜射影像，利用上述正射化處理轉換成正射影像。
- ii. 對各等深線正射影像，利用數位板或「Grapher」等軟體，點選各等深線的座標，繪製成高深線，並記錄其位置座標，以為判定海岸前進後退，計算其堆積或侵蝕量。
- iii. 將各等高線重疊，得相片座標系統地形圖

③ 水槽座標系統階段

本階段作業為，讀取相片座標系統 A、B 測棒間的距離 y ，量測 A、B 測棒間的實際距離 Y ， Y/y 為水槽座標與相片座標間的比尺，將相片座標系統的地形圖乘以比尺，得水槽座標系統地形圖。

④ 實際地形座標系統階段

將水槽座標系統地形圖(模型)乘以與原型間的縮尺，得實際地形圖。

4) 波高量測

利用 CCD 影像分析波浪特性程序如下：

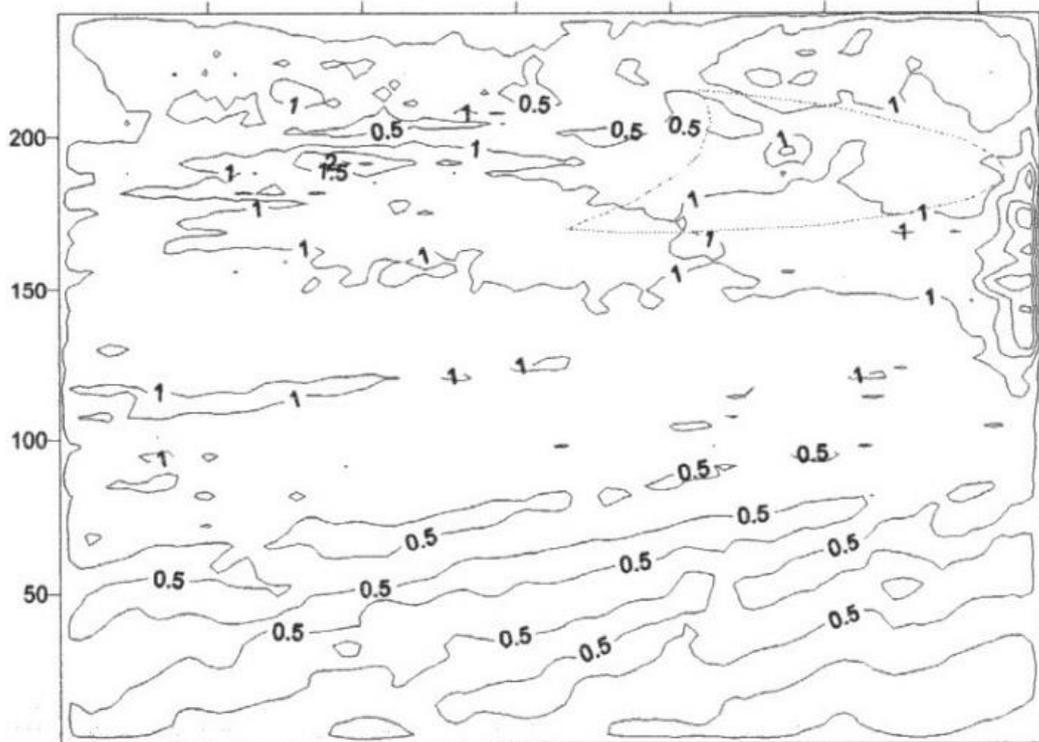
① 量測及正射化處理

- i. 確認相機視線與水槽邊界呈垂直(x 或 y 方向擇一，依相機架設位置)，否則偏離時必要增加一道座標轉換程序，實驗進行中，相機必要保持固定不變。
- ii. 確認視點高度(相機至水槽底面) L 、相機像距 f 、相機視角(傾斜角) t 等參數。
- iii. 在量測區域內適當位置架設 2 或 3 根波高計，作為率定用及量測入射波高用。

② 波高影像攝取及正射化處理

- i. 在未造波水面呈靜止時，定格攝取量測區域傾斜影像，利用上述正射化處理取得正射影像，確定正確實座標。

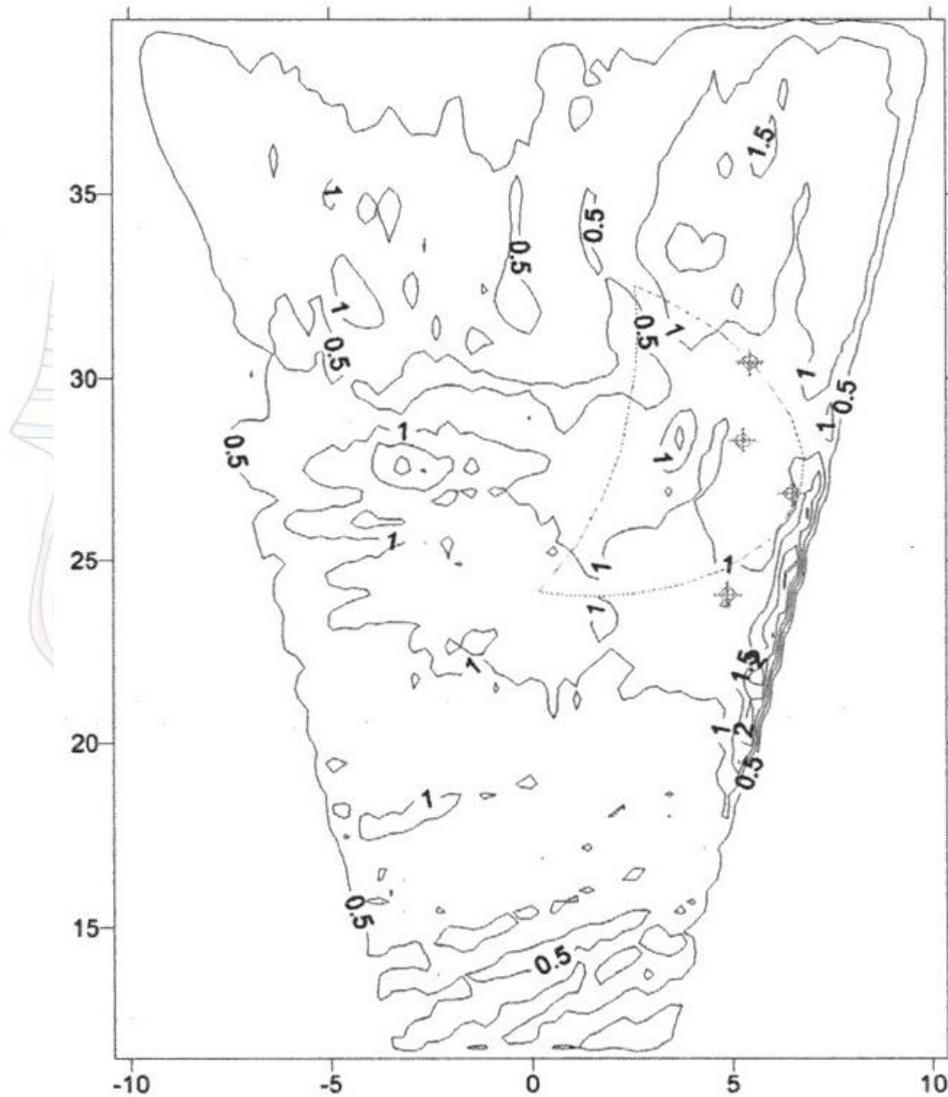
- ii. 利用 CCD 連續攝取波高變化影像，以 AVI 檔儲存，利用 MathLab 軟體將影像時間序列轉換成灰階值時間序列。
 - iii. 欲求量測區域內波高分佈時，對量測區域內全部像素灰階變化時間序列進行平滑化工作，並扣除平均值，得各像素(測點)的灰階波高值時間序列。
 - iv. 利用零上切法求出灰階波高值的 $G_{1/3}$ 、 G_{mean} 等灰階波高值特性
- ③ 將架設波高計取得波高時間序列，利用零上切法求出實際波高值的 $H_{1/3}$ 、 H_{mean} 等。
 - ④ 利用迴歸分析，推估實際波高 H 與灰階波高 G 間的轉換公式。
 - ⑤ 將灰階波高分佈圖乘以轉換係數，再除以實際入射波波高值，可得下列無因次波高分佈圖。



未正射化處理無因次波高分佈圖

載滿貨品的驢子

阿拉丁神燈



正射化處理無因次波高分佈圖

5) 船跡量測

利用 CCD 影像追蹤船跡程序如下：

- i. 確認相機視線與水槽呈垂直，否則偏離時必要增加一道座標轉換程序，實驗進行中，相機必要保持固定不變。
- ii. 確認視點高度(相機至水槽底面) L 、相機像距 f 、相機視角(傾斜角) t 等參數。
- iii. 連續拍攝船體運動。
- iv. 間隔適當間隔(例如 24 格)擷取定格影像，將各影像作上述正射化處理。
- v. 將各正射影像重疊，得相片座標系統船跡，並利用數位板或 Grapher 軟體記錄船跡。

- vi. 量測正射影像船長 l 及模型船長 L ， L/l 為水槽座標與相片座標的比尺，將相片座標系統船跡圖乘以比尺，得水槽座標系統船跡圖。

6) 正射化處理 [MathLab 程式](#)



2011 埃及尼羅河之旅

