

CCD 遙測波浪適用於現場觀測研究(II)

周宗仁¹ 石瑞祥² 翁文凱³ 黃恩得⁴

¹ 國立台灣海洋大學河海工程學系名譽教授

² 東南科技大學營建科技系副教授

³ 國立台灣海洋大學河海工程學系副教授

⁴ 國立台灣海洋大學河海工程學系碩士

摘要

本研究擬在實驗水槽利用 CCD 攝影機及高解析度相機隨著水深之變化拍攝各階段靜水面水深線之照片，運用所撰寫的正射化程式繪出各個平面之等深線，再利用座標轉換將兩種不同座標之數據繪在同一個座標軸上，以此探討利用正射化後之圖片來繪製地形等深線之可行性評估，俾使能實際應用於水工模型漂沙試驗之地形量測，可節省大量的人力及時間，研究成果將可作為未來持續發展 CCD 遙測技術應用在現場觀測的參考。

關鍵詞：CCD 遙測技術、現場觀測、波浪遙測、正射化、波向

Wave Measurement in Site by CCD Image Processing II

Chung-Ren Chou Ruey-Syan Shih* Wen-Kai Weng En-Te Huang

* Associate Professor, Department of Construction Technology, Tungnan University

ABSTRACT

The purpose of this thesis is wave measurement in site by using CCD image camera (Charge-coupled Device). The wave motion was recorded by adopting the CCD located at Taiwan Ocean University in Taiwan's northeast cape. All the image data are analyzed by computer to determine the real-time wave amplitudes from the image sequences, which are obtained from the gray scale values of the images. We thereby obtain a transfer function using regression by comparing the gray values and the observed significant wave height measure reality by gauges. Moreover, the estimated wave heights are acquired by CCD image, which are transferred into related wave heights by the usage of transfer function. The transfer results are verified with the observed data measured in Longdong bay, which shows favorable results. Specially, the direction of wave are rudimentary investigated by describing the trend of wave-crest lines using the least squares method.

Keywords: CCD telemetering technique; Field observation; Wave remote sensing; Orthographic projection; Wave directions.

一、前言

隨著遙感測量技術的發展，其具有即時性、全面性以及機動性等許多優點。一般波浪觀測有直接觀測與間接觀測，前者以儀器直接與水接觸，以點的方式獲得物理量，如波高計、浮標觀測、海流儀、壓力式與超音波式水位計等；後者則以遙測方式測得結果須經轉換才可得其物理量，如照相機、攝影

機與雷達、衛星影像等。因精度問題，目前仍以直接量測為主，但需架設數根不等的波高計並不斷移動測點位置，既耗時又費力，增加波高計碰撞的風險，而實驗中波浪可能受波高計的支架影響，導致波場發生變化。雖然現場量測也常受到船隻干擾、氣候因素等使儀器損壞，但相對於傳統觀測波浪方式，遙感測量的特點是可一次截取大範圍資料，以

面的方式來描述波場變化，在岸上即可執行，亦無需不斷移動，減少人力。解決精度上的問題，未來遙感測量應能在波浪觀測上被廣泛的應用。

應用遙測影像觀測海象，早期 Cox 和 Munk (1954)在航空器上以空中攝影方式拍攝海面太陽反光，利用光學觀點分析海面波浪。Horikawa 等(1988)用影像、相片觀測海面，以兩部相機分別於不同航空器上同步拍攝，製成立體相片分析能譜，計算波長及波向。Wanek 和 Wu(2006)以三台攝影機建構出立體海況，精確的獲得波場資訊。蕭等(2009)利用可轉式攝影機觀察台灣西子灣海域，經正射處理、重疊得岸線變化與波浪資訊。官(2010)對模擬漂砂試驗，在實驗室內利用 CCD 量測岸線變化的系統。

黃(2002)、林(2003)與林(2005)於實驗室內使用 CCD 攝影機拍攝，對規則波、單方向不規則波、多方向不規則波以固定點、小範圍方式分析，做一系列研究，在實驗室內平面水槽做 CCD 的量測較能控制、了解及改善其外在的因素，即對結果有影響的各種變量去做修正，例如加裝黑色布幕防止屋頂反射及加載投射燈使畫面更明亮，如圖 1。



圖 1 水槽上方及左側方配置黑幕

確定影像灰階變化經轉換後，可用來推估波高，翁等(2010)更直接對整個畫面做大範圍分析，以便瞭解波場的變化，雖用黑色布幕使畫面背景更為單調，減少屋頂反射，但對光源的均一性仍不足，本文移到光源均勻分佈的室外做現場觀測，以高感度 CCD 拍攝波浪，分析影像與水面變化的關係，以相同方法得到波浪各種資訊，檢討可能誤差來源。

二、理論基礎

1. 平滑處理

為濾除小波或減少 CCD 攝影過程中灰階可能出現的奇異值，將影像畫面的數位訊號加入空間平滑處理，得到較柔和的畫面，並利用時間平滑修正波形。空間平滑方式如高通濾波與低通濾波，可將雜訊濾除，利用濾波器在畫面中取任意點，將取樣點與鄰近點乘以一權重值後併入。本研究空間平滑使用 3x3 濾波器平滑 20 次，權重分配如下：

1/9 (x-1,y-1)	1/9 (x,y-1)	1/9 (x+1,y+1)
1/9 (x-1,y)	1/9 (x,y)	1/9 (x+1,y)
1/9 (x-1,y+1)	1/9 (x,y+1)	1/9 (x+1,y+1)

圖 2 像素座標和平滑加權係數示意圖

時間平滑是用來適度修正紊亂的波形，如圖 3，藍色為原始灰階變化，紅色為 4 次平滑後。五點平滑修正的次數越多，波形越是平順，但平滑次數過多會使資料失真。

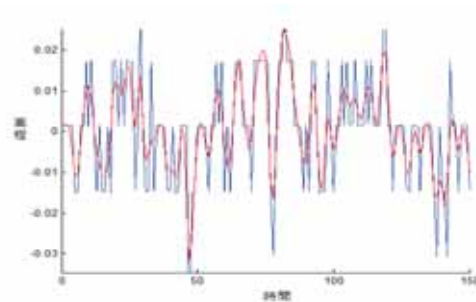


圖 3 時間平滑前後比較圖

本研究採用五點平滑法，公式如下：

$$\eta'_t = (-\eta_{t+2} + 4 \cdot \eta_{t+1} + 10 \cdot \eta_t + 4 \cdot \eta_{t-1} - \eta_{t-2}) / 16 \quad (1)$$

2. 零上切法

實際海面是各方向的波與波相互重疊，波形呈現不規則形狀，故以統計方法探討，常見的有波別分析法與波頻分析法。波別分析法視波浪的水位變化為一維波形變化，有零上切法、零下切法及峰至峰法，本文採用零上切法。如圖 4，藍色線條即為波浪在固定點時間的變化量，紅色切點為零上切法的切點，用來定義各別振幅。

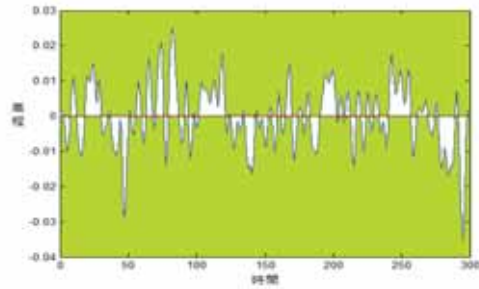


圖 4 零上切法示意圖

3. 正射化

影像正射化可分為光線追蹤模式及逆轉換模式，但均較繁複，故本研究選擇了一個由相片座標點轉換成為實際地面座標點的程序，再將轉換後的座標點所代表的灰階值繪製於圖面上。

計算像素在感光元件的真實長度，已知感光元件寬尺寸為 d_{ccd} ，圖片尺寸寬為 d_{pixel} ，每個像素點真實長度應為 $d = d_{\text{ccd}}/d_{\text{pixel}}$ 。如圖 5，利用下式先求透鏡中心線與各像素點之夾角。

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{d}{q}\right) \quad (2)$$

式中 θ_n 、 d 及 q 分別表示透鏡中心線與各像素點之夾角、像素點真實長度(橘色及像距(粉紅色))。

將攝影機高程與攝影機的傾斜角(仰角)減去夾角代入下式，計算像素點對應到的真實位置，以攝影機為原點。圖 5 中，船的真实長度為 $y_{n1}-y_{n2}$

$$y_n = H \tan(\theta_N - \theta_n) \quad (3)$$

式中：

y_n = 像素點對應到的真實位置。

H = 攝影機高程(咖啡色)。

θ_N = 攝影機仰角。

θ_n = 步驟三算得像距與各像素點之夾角。

利用相同原理計算 x ，如圖 5，先求得兩條黑虛線的所對應的 x ，其次用 $y=ax+b$ ，得 a 、 b ，代入不同 y 值得對應的所有 x 。

計算所有 x 與 y 座標後將所有像素灰階值投射至理論區間範圍內，並把待測區域給擷取出來，如圖 6，左邊為正射前，右邊為正射後的擷取區域。

三、實驗設備環境及測量方法

3-1 觀測設備

電耦合元件影像攝影機 (charge coupled device, CCD)

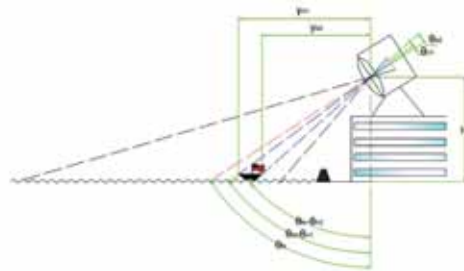


圖 5 正射化計算示意圖

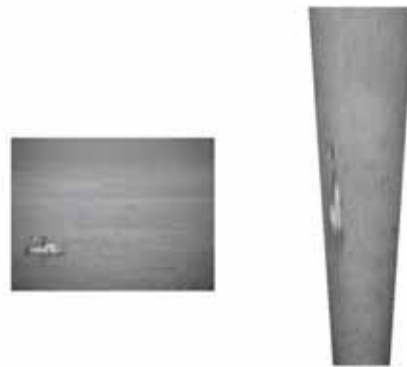


圖 6 正射化前後差異

攝影機為高感度 CCD 攝影機，可拍攝的光譜波長除了一般可見光外，可感應到 750 毫微米以上的紅外光，如圖 7。

2. 現場遙測系統工作站

如圖 8，攝影機所錄製的即時影像為 avi 檔，利用 Matlab 來分析灰階振幅之 H_{max} 、 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、平均波高、灰階平均值、波數平均值與波向等。

3-2 觀測配置

本研究攝影機架設於台灣海洋大學河海工程系館頂樓，相關地理位置參考如圖 9，紅色區域為 CCD 測站，綠色區域為龍洞測站，藍色為基隆港測站。觀測資料樣本為 2011 年 3 月、4 月，與龍洞測站之資料作比對，本研究之測站地理位置則介於基隆與龍洞之間，故比較龍洞與基隆港波浪之相關性來驗證。如圖 10，結果顯示雖然龍洞與基隆港地理位置相隔 19 公里，但其波高特性仍有一關係存在。



圖 7 CCD 攝影機

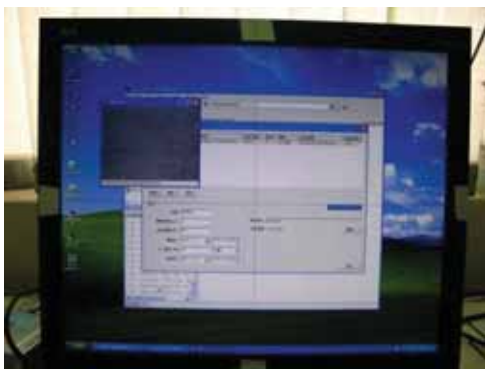


圖 8 CCD 工作站



圖 9 各測站的地理位置

3-3 觀測方法

1. 決定攝影機仰角、焦距及攝影方向，將攝影機橫向位置調整水平。
2. 正射化結果，本研究在海堤架設一長竿來驗證，竿子頂部可達攝影機畫面下緣，移動竿子測量水平距離為 18.6m，而正射化理論值為 18.77m。另將影像上緣緊貼地平線，概估地平線至攝影機的距離，地球半徑約 6800km，攝影機高程 23.908m，則地平線距離可利用三角形之關係得到 18032m，理論正射值為 17767m。
3. 以零上切法計算各像素點的灰階示性波高，篩選

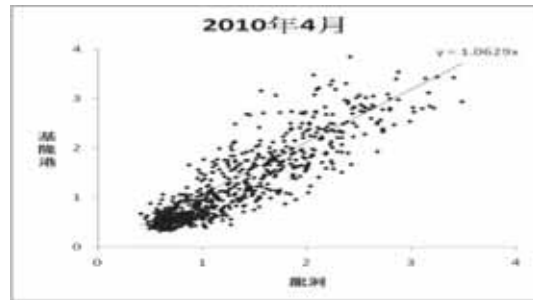


圖 10 龍洞與基隆港波高關係圖

能用的資料出來與龍洞波高做比對，找到一轉換函數將灰階示性波高轉成實際波高。分析波向部分，首先取影像中 50 張圖片做空間平滑 20 次。

3. 強化對比，剩下較大的波浪後，利用灰階梯度來畫輪廓，如圖 11~12。做正射化處理，使用最小二乘法來概估波鋒線走向。

4. 影像經空間平滑後濾除雜訊與小波，過多的平滑會使畫面失真，故平滑 20 次來分析波向。利用空間平滑保留波浪較大的樣本，刪去小波及雜訊，故若實際波高太小，無明顯灰階變化時則無法分析。

四、結果與討論

4-1 灰階示性波高原始迴歸結果

首先不對影像做任何的平滑處理，經比較後得到相當散亂的結果，如圖 13，當灰階振幅在某個定值時，會對應到多個實際波高，若直接用迴歸將灰階波高轉換成實際波高，會產生很大的誤差。

4-2 影像檔歸類及平滑後之迴歸

探討灰階波高與實際波高的初始關係，上述不正常的影像必須在電腦分析後，將計算結果再用人為方式來分析處理，歸納可能影響結果的各種因素，將檔案分成可用與不可用，畫面清晰為可用，而畫面閃爍、船隻及漂流物問題、氣候及鏡片髒汙的影響則視為不可用。

1. 閃爍問題

影像閃爍會是造成灰階示性波高異常增大的主因，電壓不穩定或者攝影機本身內部零件損壞等因素將會造成影像閃爍的問題。

2. 船隻及漂流物問題

漁港附近船隻出入相當頻繁，在攝影作業同時很可能受到干擾，對結果會造成影響。

3. 氣候及鏡片髒汙的影響

氣候較不穩定時，下雨、起霧會造成視線不佳，儀器受潮之情況，殼內鏡片甚至會產生水蒸氣，冬天更受到沙塵暴影響，鏡片常有髒汙，這些狀況都嚴

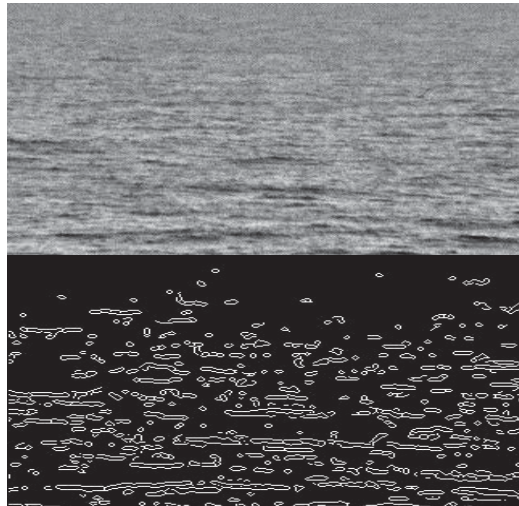


圖 11 空間平滑 0 次結果圖

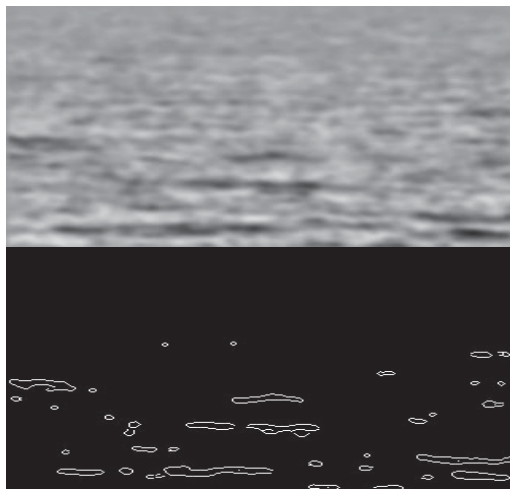


圖 12 空間平滑 10 次結果圖

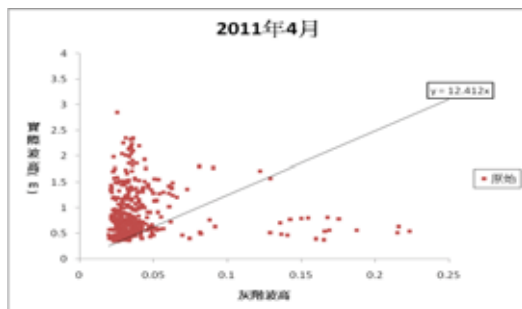


圖 13 原始灰階波高與實際波高關係

重影響 CCD 攝影機的作業，使畫面被模糊，下雨雨滴打擊鏡面也會有很大程度的影響。

將上述各現象歸類與比較，綠色三角標示為影片的閃爍，主要分佈在三個區塊，最右側是較嚴重的部份，左側則是較輕微的部份。紫色圓形標示為船隻及漂流物的影響，由於灰階波高是對畫面取平均，故影響不大。藍綠色米字形標示主要是氣候、鏡片髒汙等問題，使畫面模糊，灰階振幅被低估。

由上灰階波高與實際波高關係圖可知，對影像空間平滑 3 次與時間平滑 6 次後，灰階波高與實際波高關係如圖 14。

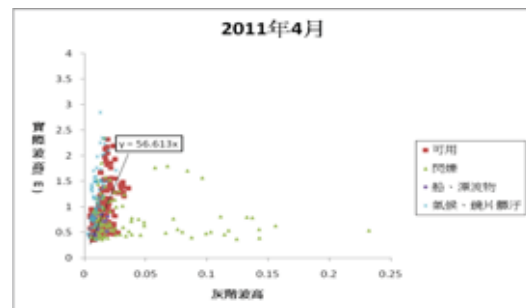


圖 14 空間 3 次時間 6 次灰階波高與實際波高關係

4-3 灰階波高轉換結果

將各類灰階波高乘上可用資料的迴歸係數，得到轉換波高，本研究以空間平滑 3 次及時間平滑 6 次作探討。結果如圖 15，與龍洞大致符合。閃爍問題會造成灰階被高估，畫面反覆黑白變化使像素點隨波浪變化的顏色被干擾，故閃爍較大之影響應予以排除，閃爍小的資料則可保留。另外，氣候及鏡片髒汙問題因畫面模糊的關係低估了灰階的振幅，故此類的結果應予以排除。



圖 15 波高轉換結果

4-4 最小二乘法概估波高

概估波向則對影像另作處理，對 50 張連續影像用做空間平滑 20 次，濾掉較小的波浪與雜訊，只保留黑色區塊較大、形狀較明顯的波浪。其次強化對比突顯出較大的波浪，再用正射化將波浪輪廓投射到真實位置，用最小二乘法來概估波峰線的方向。最後將上述同一時刻之 50 張波峰線的趨勢，取平均後轉 90 度加上方位角，即為所概估的波向。

將上述資料轉換後與龍洞波向比較，如圖 16。概估波向的方法，因無實際驗證，僅與龍洞資料站比較，結果差異較大。本研究分析範圍為寬 100、長 200 公尺之矩形區域，此區域中點離岸僅約 200 公尺，而龍洞浮標則為 1 公里，且因水深與地形均不同，故結果比較僅供參考。

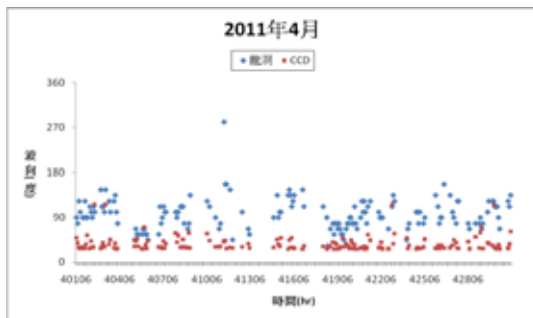


圖 16 CCD 計算波向與龍洞結果比較圖

五、結論

本文主要探討 CCD 攝影機在現場測波的可行性，使用最小二乘法來判斷波浪的方向。本文將影像歸類成可用與不可用兩個部份，船隻及漂流物對灰階振幅影響較小，資料可予以保留。大的閃爍會使灰階振幅被高估，氣候及鏡片髒汙的影響會造成灰階振幅被低估，所對應之資料應予以排除。

影像於現場分析所得灰階波高值，經篩選並轉換函數轉換後，與龍洞資料站所得結果比較，發現趨勢相近但質方面有待未來繼續積極改善，若能得非常精準的轉換函數，未來利用經濟實惠影像分析取代昂貴的波高計等設備來量測波浪，則指日可待。

初步利用影像分析波向，現階段只能處理近海部分，波浪因而受地形影響改變方向，波浪較小且無明顯波紋的時候，會影響其結果。另外，由於現

場海面波浪瞬息萬變，故使用最小二乘法來概估波峰線趨勢時，會受到其他小波的干擾產生些微偏差，故波向分析方面仍有很大的空間去克服。

謝誌

本論文係國科會專題計畫「CCD 遙測波浪適用於現場觀測研究(II)」(編號 NSC99-2221-E019-046)之研究成果，承蒙國科會經費之補助，謹致謝忱。

參考文獻

1. 黃偉柏 (2002) 「離岸堤對波場特性影響之研究」，*國立臺灣海洋大學博士論文*。
2. 林家群 (2003) 「利用高感度 CCD 遙測攝影系統觀察試驗水槽波浪特性可行性之再檢討」，*國立臺灣海洋大學碩士論文*。
3. 林騰威(2005) 「CCD 遙測波浪系統之開發與研究」，*國立臺灣海洋大學碩士論文*。
4. 蕭毓宏、陳雪子、莊舜欽、黃明志 (2009) 「可轉向控制攝影機在海岸影像研究」，*第 31 屆海洋工程研討會論文集*，第 745 頁-750 頁。
5. 翁文凱、周宗仁、石瑞祥、黃恩得 (2010) 「CCD 遙測波浪適用於現場觀測研究」，*第 32 屆海洋工程研討會論文集*，第 695-700 頁。
6. 官昭純(2010) 「CCD 影像應用於漂砂試驗地形量測之可行性研究」，*國立臺灣海洋大學碩士論文*。
7. Chou, C.R., Yim, J.Z., Huang, W.P. (2004) "Determining the hydrographic parameters of the water surface from image sequences of CCD camera", *Experiments in fluid*, Vol. 36, pp. 515-527.
8. Cox, C.S., Munk, W.H. (1954) "Statistics of the sea surface derived from sun glitter", *J.Mar.Res.*, Vol. 13, pp. 198-227.
9. Horikawa, K. (1988) *Nearshore dynamics and coastal processes*, University of Tokyo press, pp. 399-401.
10. Wanek, J.M. and Wu, C.H. (2006) "Automated trinocular stereo imaging system for three-dimensional surface wave measurements", *Ocean Engineering*, Vol. 33, No.5-6, pp. 723-747.