

CCD 遙測波浪適用於現場觀測研究(量測區域正射化處理)

石瑞祥¹ 翁文凱² 官昭純³ 周宗仁⁴

¹ 東南科技大學營建科技系副教授

² 國立台灣海洋大學河海工程學系副教授

³ 國立台灣海洋大學河海工程學系碩士

⁴ 國立台灣海洋大學河海工程學系教授

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：高解析度相機、現場觀測、正射化、等水深分佈、CCD 遙測技術

Feasibility Study of CCD Image Processing on Laboratory Sedimentation Measurement

Ruey-Syan Shih^{*} Wen-Kai Weng Chao-Chun Kuan Chung-Ren Chou

^{*} Associate Professor, Department of Construction Technology, Tunghan University

ABSTRACT

This study presents a remote sensing technique by using a high resolution CCD and camera to accomplish the bathymetric contour measurements. The experiments would be carry out in the multidirectional wave basin with multidirectional random waves, anticipating the advantage of a CCD and camera acquiring the information of the whole wave field in one instant, which may decrease the cost of manpower and material resources quite substantially. This research may be the pioneer of CCD telemetering measurement technology and anticipate the consequences as consultation in the academia.

Keywords: High resolution camera; Field observation; Orthographic projection; Bathymetric contour; CCD telemetering technique.

一、前言

台灣四週環海，擁有豐富的海洋資源，為了對沿海地區海岸地形的變遷有較充分的了解，沿海岸地形變化之監測便成了必須研究與發展項目之一。隨著科技日益進步，測量的方式也越來越多，一般可分為直接與間接觀測，直接觀測如波高計，

波壓計、潮流儀等；間接觀測如人造衛星、照相機、攝影機、雷達、超音波等遙測技術，攝影測量具經濟性與方便性之優勢，並且不易因風浪因素產生儀器耗損，故近年來許多測量方式漸漸朝照相機及攝影機等遙測技術來發展，如蔡等(2008、2009)。

陳等(2006)的高解析衛星影像真實正射改正及遮蔽區域補償，利用衛星方位以及數值地形模型進

行傳統正射改正，配合數值房屋模型對房屋之高差位移進行校正；劉等(2005)的多航帶推掃式衛星方位平差及影像正射化，研究 STOP5 衛星提供的資料配合地面控制點，進行多航道之區域平差與影像正射化。王(2002)以近景攝影測量進行建物模型重建，以航空攝影測量技術來重建三維建築物模型，運用近景攝影測量對建築物各方面取像，以此重建細緻的三維建物模型。

影像在海工試驗之測量上已有許多的應用，如黃(1996)利用影像處理觀察了流場，周等(2002, 2003)利用高感度 CCD(charge-coupled device)遙測攝影機系統觀察實驗水槽波浪特性、的 CCD 遙測波浪系統之開發研究與葉(2006)利用 CCD 影像應用於船舶定位等，都認為影像利用於各方面的測量應是可行的，然而在實驗水槽內，光源的影響非常重要，故在實驗室水槽的上方與側邊裝設了黑色布幕來減少光源的影響。在上述的研究中，葉(2006)利用 CCD 影像應用於船舶定位中曾引用到英國的研究報告 (Investigating shallow water wave breaking using remote video observations) 利用到影像正規化來抓取船舶座標，以此來繪製船舶的運動軌跡。

在一般的水工實驗室，平面水槽進行的水工模型試驗均必須使用大量波高計排列分區經多次重複實驗後始能獲得測試區域的平均波高資料，在地形量測上運用經緯儀隨著靜水面與陸地交界線以人工插點方式進行，在時間、財力及人力上均需耗費相當大的資源。

漂砂試驗一般是運用兩台經緯儀以前方交會法計算各個點的座標位置，再以人工到地形上插點的方式隨著水位的升降來繪製各個不同水深的等水深線，但運用經緯儀測量需要耗費大量的時間、人力與金錢，在測量時可能造成砂質地地形破壞。故本試驗利用照相機隨著水位的變化來拍攝各個水深線的圖片，將圖片正射化轉成正視圖並利用人工選點的方式繪出各個平面水與陸地的交線，再利用座標轉換將兩種不同座標轉換繪出在同一個座標軸上，來評估正射化後圖片繪製等水深線的可行性評估。

本研究是參考何(1995)所撰寫的航空攝影測量學，將傾斜的照片利用座標轉換程序將影像座標轉換為相片座標後再計算實際的地面座標位置來達到正射化的效果，判斷不同高程的水深線並與經緯儀

繪測的等水深線做比較，來評估照相機運用正射化程序所繪得的等水深線是否可行。為了減少影像的偏差，在試驗中加入變形量較小的定焦鏡來減少相機內部所可能產生的誤差，在影像處理上則不再做影像失真的調整。

二、正射化原理

1. 影像處理

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，單位為像元(pixel)。令相片中心為相片座標的原點，橫軸向右的方向為相片座標的 x 軸，縱軸往上的方向為相片座標的 y 軸，將單位由 pixel 轉換成 cm，可訂出數位相機的相片座標系統。試驗的照片縱軸方向的畫素為 764pixel、橫軸方向的畫素為 1148pixel，數位相機的相幅長為 1.56cm、寬為 2.34cm，可求出每個像素的尺寸。 x 方向像素尺寸約等於 y 方向像素尺寸，故本研究以(2.34cm/1148)來進行計算。

2. 正射化

正射化是將原來傾斜視角的照片轉換成垂直視角的照片。影像正射化可分為光線追蹤模式及逆轉換模式，但是上述轉換較為繁複，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。在轉換座標之前我們必須先確定相機的畫面是否水平，如果有傾斜的話，就必須利用公式(1)，將照片旋轉成水平。式中 x 、 y 為原本相片的座標， x' 、 y' 為旋轉成水平後的圖片座標， θ 為旋角。利用相片的傾角、相機的高程、地面的高程和相片的像距後，就可以開始計算傾斜相片的比例尺。

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

由圖 1 可知， L 為攝影站、 f 為像距、 t 為相機傾角、 p 為待測物之相片座標、 P 為待測物之地面座標，由於相片的原點並不在相片的中心點，應在相機的鉛錘線與相片平面的交點上，可由相片旋轉至水平的公式(1)，部分在加上將座標平移到相片平面的底點 n ，轉為式(2)。

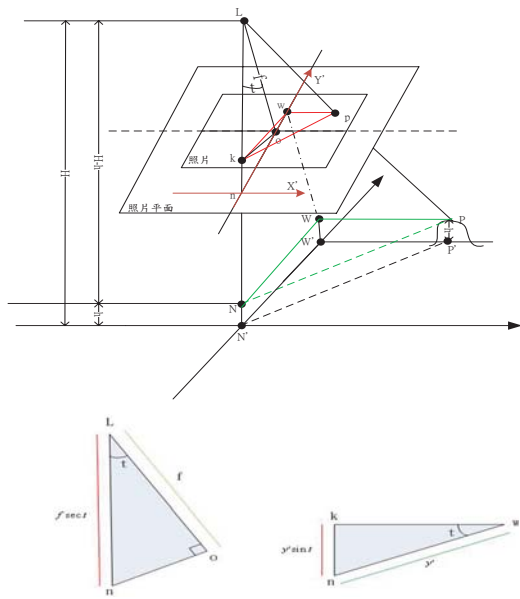


圖 1 傾斜像片求地面座標

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

圖中將相片座標原點平移到 n 點後，由 p 點作 Y' 軸的垂直線，交 Y' 軸於 w，故 wp 為水平線；再由 w 作鉛垂線交 Ln 於 k，故 wk 亦為水平線，連接 kp 則平面 kwp 為一個水平面。平面 kwp(紅線)與 NWP(綠線)間的比例關係可由相似三角形求得：

$$Lk = Ln - kn = f \sec t - y' \sin t \quad (3)$$

且

$$\frac{K_p}{N_p} = \frac{f \sec t - y' \sin t}{H - h} \quad (4)$$

由於 kp/NP 的比值等於 Lk/LN 的比值，因 p 點在平面 kwp 內，故 P 點的比例關係為：

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

式中，St、f、y'、t、H 與 h 分別為傾斜相片比例尺、像距、座標軸移置 n 點後的 Y 座標、相片傾角、相機高程與地形高程。

圖 1 中，設 wp=x、WP=x'，平面 kwp 與 NWP 之比例關係已由公式(5)中得知，此時 P 點的地面 X 軸座標為：

$$\begin{aligned} \frac{wp}{WP} &= \frac{x'}{X} = \frac{f \times \sec t - y' \times \sin t}{H - h} \\ X &= \frac{H - h}{f \times \sec t - y' \times \sin t} \times x' = \frac{x'}{St} \end{aligned} \quad (6)$$

同理，得 P 點的地面 Y 軸座標為：

$$\begin{aligned} \frac{kw}{NW} &= \frac{kw}{Y} = \frac{nw \times \cos t}{Y} = \frac{f \times \sec t - y' \times \sin t}{H - h} \\ Y &= \frac{H - h}{f \times \sec t - y' \times \sin t} \times y' \times \cos t = \frac{y' \times \cos t}{St} \end{aligned} \quad (7)$$

三、設備環境及測量方法

1. 平面造波水槽

本實驗在國立台灣海洋大學海洋工程綜合實驗館進行，試驗水槽長 50 公尺、寬 50 公尺、深 1.5 公尺，內有七組由日本本田工業株式會社所生產的蛇形造波機，每組造波有八塊造波板，每塊造波板寬度為 0.5 公尺，造波裝置總寬度達 28 公尺，可造單方向與多方向之規則與不規則波，如圖 2 所示。

2. 攝影測量儀器

試驗相機部分是利用 SONY 所生產的單眼數位相機 DLSR-A550，鏡頭部分是選用變形量較小焦距為 28 公釐的數位單眼相機鏡頭。

3. 實驗配置

本試驗配置可分為經緯儀測量部分和攝影機測量部分。試驗所使用到的經緯儀共有 2 台以前方交會法進行座標點計算，一台置於水槽左下角的角點上，由於另一台經緯儀無法架設在水槽的邊界上，故經緯儀 B 置於距經緯儀 A 23.135 公尺處，兩台經緯儀地面座標位置相連的直線和水槽的差角為 1 度 29 分 10 秒，換算角度為 1.486 度，示意圖如圖 3。照相機設置的位置如圖 4，設置在能照出大範圍的待測地形，照相機與水槽底部的距離為 7.936 公尺。



圖 2 平面水槽及造波設備

四、結果與討論

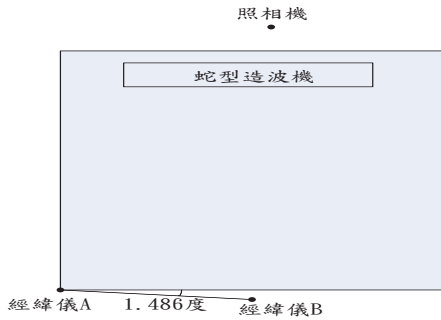


圖 3 試驗配置平面示意圖

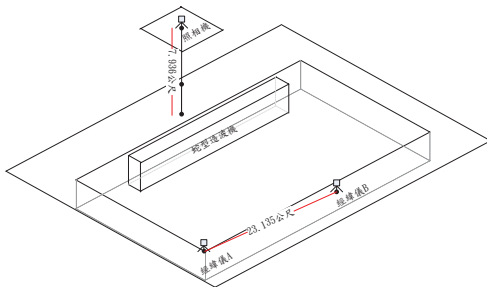


圖 4 試驗配置立體示意圖

本研究採用四種座標轉換，分別為影像座標系統、相機的座標系統、經緯儀測量的座標系統與現場地形座標系統，將所有座標都轉換成現場地形座標系統，以便比對其差異性。將經緯儀的座標原點設在經緯儀 A 處，經緯儀 A 和經緯儀 B 的連線為 x_L 軸，在平面水槽中垂直 x_L 軸並且通過經緯儀 A 點為 y_L 軸，將此兩軸利用二維座標轉換公式(8)旋轉以便和水槽的邊界相契合。

$$\begin{aligned} x'_L &= x_L \cos \theta + y_L \sin \theta \\ y'_L &= -x_L \sin \theta + y_L \cos \theta \end{aligned} \quad (8)$$

將不同水深之照片利用正射化程式將各條水深線繪出，再將影像座標轉換成實際上的經緯儀座標。由於相機地面座標位置和經緯儀座標有差一個角度，故長度需轉成和相機座標系統所對應的長度再進行座標平移，轉換後需移動的長度。以經緯儀座標系統量出的相機中心線的一點和相機地面座標位置算出和經緯儀座標系統的夾角為 176.332 度。平移到經緯儀座標系統的原點後再利用座標旋轉公式，將坐標轉換到經緯儀座標，經緯儀測量結果與照相機測量結果均帶入下式轉換成實際地形座標，其中實驗室模型與實際地形的縮尺為 1:600，實驗水槽與實際經緯線夾角為 -29 度，X 軸平移量為 $=167536$ 公尺，Y 軸平移量為 $=2630855$ 公尺。

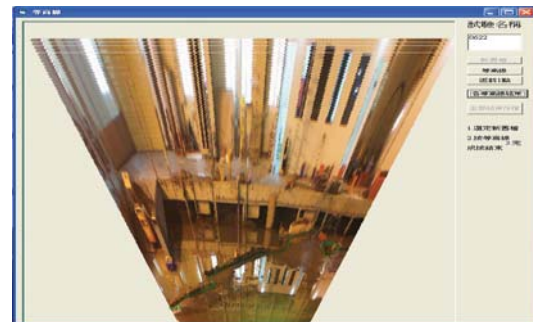


圖 5 實驗用照片

將照相機所獲得圖片(圖 5)執行正射化。將圖片並繪製等高線，依次將各個不同地形高程的水深線繪製出來。如圖 6 為繪製定床之過程，以程式執行依序繪出 0m、-5m、-10m、-15m、-20m 及-25m 之等水深線分佈圖，再利用相機繪圖座標轉換以 MATLAB 轉換座標至實際地形座標，再將座標軸的設定設置跟經緯儀設置的相同，結果如圖 7 所示。取固定海岸線及港池當作驗證是否正確。



(a)



(b)

圖 6 繪製定床過程圖

繪圖時，先繪製出由經緯儀所測量出代表實際地形點的固定海岸線，固定繪圖座標軸與位置，無

論是由經緯儀測量出的座標或由照相機測量出的座標，皆以此座標軸為標準進行繪圖。在固定海岸線的測量比對部分，可以由圖 7 中看見其利用照相機繪出的結果相當接近於利用經緯儀測量出的結果，其中照相機固定海岸線地形高程設定為 35 公分，皆以實際地形座標繪出，其中有一小段未繪出其原因是由於導流板遮住了地形。另外，對港池比對的部分，其結果也和利用經緯儀測量出的結果相當接近，其中照相機對內港地形高程設定為 35 公分外港地形設定為 42 公分，由此可見利用木板建立出來港型其的高程較為固定，而使得測量結果更為精準，故可發現其地表高程亦為影響整個實驗準確度的一項因素，如圖 8 所示。

由相片繪得的等水深地形與利用經緯儀測量的結果做比對，分別以有港型及無港型的測量比對，最後再分別利用經緯儀測出的原始地形和造波後地形比對與照相機測出的原始地形與造波後地形比對，來觀察其地形變化是否一致。

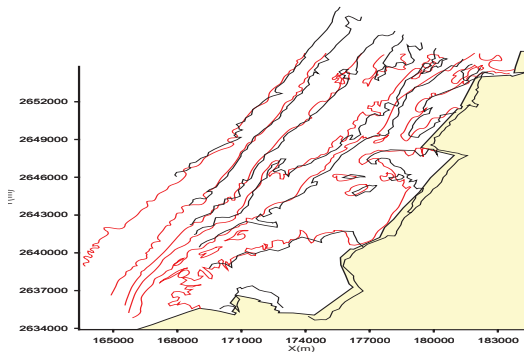


圖 7 造波一年後的等水深線比較圖

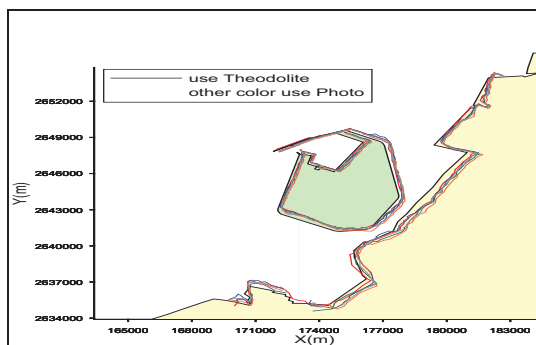


圖 8 利用所有有港池照片所繪出的定床和港池比對

1. 無港型的地型水深線比對

無港型的漂砂試驗中之原始地形的等水深線比較如圖 9 所示，造波五年後及十年後的等水深線比較如

圖 10 及圖 11 所示，結果發現其趨勢相當穩合。

2. 有港型的地型水深線比對

在有港型的漂砂試驗之分析結果，在原始地形的等水深線如圖 12 所示，而造波五年後及十年後的等水深線比較則如圖 13 及圖 14 所以示，圖中黑色虛線為利用經緯儀所測量出的隔離水道，其結果亦相當穩合。

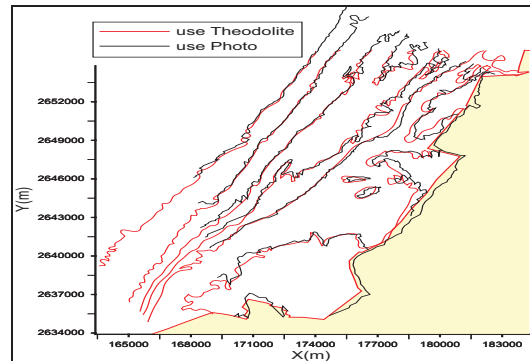


圖 9 原始地形等水深線比較圖

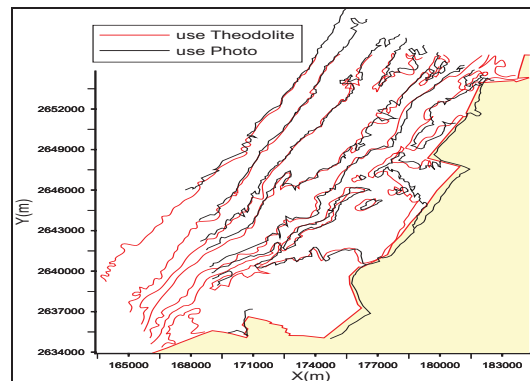


圖 10 造波五年後等水深線比較圖

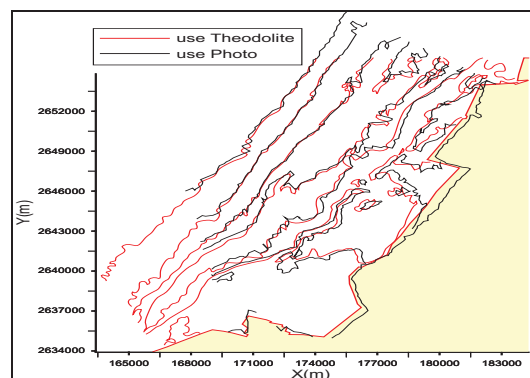


圖 11 造波十年後等水深線比較圖

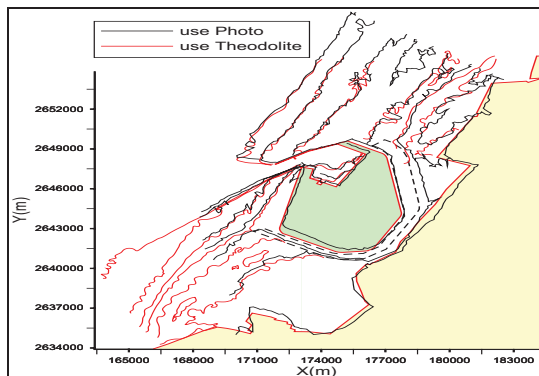


圖 12 原始地形等水深線比較圖

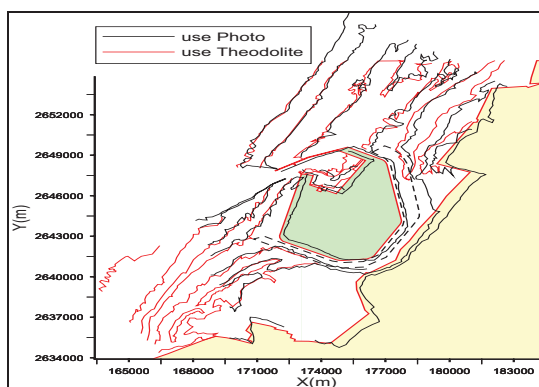


圖 13 造波五年後等水深線比較圖

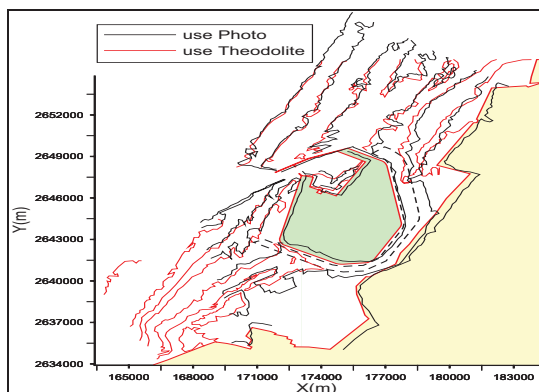


圖 14 造波十年後等水深線比較圖

五、結論

本研究是探討 CCD 影像應用於漂砂試驗地形量測之可行性，期能將 CCD 影像運用在實驗室的漂砂實驗地形量測上，改善過去利用人力測量所需要的時間與金錢。從實驗中結果可知，CCD 影像應用於漂砂實驗地型的量測應是可行的，我們可以運用 CCD 經過正射化的程序來得到各個高程平面的

座標位置再利用人工選點的方式繪出各等水深線位置，結果與經緯儀測量的結果雖有偏差，但相機內部誤差我們利用了定焦鏡來減低相機內部變形的誤差，因此在此實驗中並未加入對相機內部誤差進行改正，此外人為誤差主要有相機分次架設時所產生相機位置的偏差與繪圖時光源與色差的影響所產生選點的誤差，由照相機繪圖所得的趨勢結果，地型的改變與利用經緯儀所測量的結果大致相同。

謝誌

本論文係國科會專題研究計畫「CCD 遙測波浪適用於現場觀測研究」(編號 NSC98-2221-E019-061)之研究成果，承蒙國科會經費之補助，謹致謝忱。

參考文獻

1. 何維信(1995)「航空攝影測量學」，國立編譯館。
2. 黃富辰(1996) 利用影像處理觀察了流場，碩士論文，國立台灣海洋大學。
3. 王正忠(2002) 以近景攝影測量進行模型式建物重建，碩士論文，國立成功大學。
4. 周宗仁、尹彰、黃偉柏、林家群(2002)，「CCD 遙測規則波浪之研究」，第二十四屆海洋工程研討會論文集，第 57-62 頁。
5. 周宗仁、林騰威、尹彰、石瑞祥(2003)，「CCD 遙測波浪系統之開發與研究」，第二十五屆海洋工程研討會論文集，第 7-13 頁。
6. 劉建良，張智安，饒見有，陳建良(2005) 「多航帶資源衛星系統校正影像之區域平差」，第二十四屆測量學術及應用研討會論文集，第 159-166 頁。
7. 陳良建，溫仁佑(2006)「高解析力衛星影像真實正射改正及遮蔽區域補償」，航測及遙測學刊，第 11 卷，第三期，第 249-260 頁。
8. 葉佐元(2006) 利用 CCD 影像應用於船舶定位等，碩士論文，國立台灣海洋大學。
9. 蔡政翰、黃世任、董東璟(2008) 「自動化三維立體影像岸基海象觀測技術開發(1/3)」，交通部中央氣象局研究計畫，國立台灣海洋大學。
10. 蔡政翰、黃世任、董東璟(2009) 「自動化三維立體影像岸基海象觀測技術開發(2/3)」，交通部中央氣象局研究計畫，國立台灣海洋大學。