

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 堰塞湖蓄水溢頂之流場及輸砂實驗研究（一） Experimental Study on Flow Field and Sediment Transport due to Overtopping of Barrier Lake

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 009 - 098

執行期間：89年08月01日至90年07月31日

計畫主持人：葉克家

共同主持人：

計畫參與人員：毛健平、楊昇學

成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學

中華民國九十年十月三十日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫編號：NSC 89-2218-E-009-098

執行期限：89年08月01日至90年07月31日

主持人：葉克家 國立交通大學土木工程學系

計畫參與人員：毛健平、楊昇學 國立交通大學土木所研究生

## 一.中文摘要

本研究利用交換色彩影像測速法 (alternating color particle image velocimetry, 簡稱 ACPIV) 係結合 PIV 及 PTV 之優點, 以量測具自由水面流場之紊流結構。此法利用雷射及光學儀器產生光頁, 經由高速彩色攝影機擷取影像, 做數位化影像處理, 及利用影像程式求得質點窗內之質點平均速度, 再以繪圖軟體繪出該流場速度向量圖。

本實驗之精度是利用定速轉盤來進行校正工作, 由 CCD 擷取影像、數位化影像處理及影像程式計算所得之平均速度與已知定速轉盤之切線速度做分析比較其誤差值。進而再利用長 100 公分、高及寬各為 20 公分之玻璃水槽, 架設堰體模型來進行流場量測, 對將堰流之紊流流場作初步可視化之呈現。

關鍵詞：交換色彩影像測速法 (ACPIV)、質點影像測速法 (PIV)、質點軌跡測速法 (PTV)、紊流

### Abstract

The study utilizes the alternating color particle image velocimetry (ACPIV) method, which combines the advantages of the particle image velocimetry (PIV) and particle tracking velocimetry (PTV), to measure the turbulent structure of free surface flow. Through the ACPIV method, we generate the light sheet using a laser guided by a polychromatic acousto-optic modulator, record the flow image by a three-chip, color CCD camera, digitize the flow image, calculate the average velocities field. The accuracy of the facility is calibrated by a rotating disk with constant angular velocity. The measured error can be estimated in comparison with the known tangential velocity of the rotating disk. Furthermore, through the measurements of the flow passing a weir installed in a glass flume with 100 cm in length and 20 cm in depth and in width, the preliminary visualization of the turbulent structures can be obtained.

Keywords : ACPIV、PIV、PTV、Turbulence

## 二. 緣由與目的

本文為國科會整合型計畫「集集地震對水文現象影響之研究」中之子計畫「堰塞湖蓄水溢頂之流場及輸砂實驗研究」之第一年成果。本子計畫之目的在發展一套實驗方法, 探討因921地震崩塌而形成之草嶺潭, 在洪水溢頂情況下壩體切蝕破壞之物理機制。第一年之工作為實驗設備之組立及透過定速轉盤之精度測試, 並就簡單之堰流流場進行量測與分析

本研究旨在利用交替色彩影像測速法 (ACPIV) 有效進行非入侵式全域流場之量測, 以及探討流場之結構特性。並藉由此技術, 將流場之運動行為, 經由影像可視化及程式計算所得之流場圖及速度向量值, 來進行其物理特性之分析, 因此, 本計畫第一年度藉由轉盤轉速擷取影像, 並運用程式計算所得之速度向量分析其精確性, 再應用至實驗水槽量測其流場結構。在實驗水槽中架設一簡單之堰, 在已知流量條件下, 藉由高速攝影機進行流場之數位影像擷取, 並就堰流下游所產生之渦流結構做可視化研究, 及觀測其渦流運動之形成、成長及消散過程, 並藉由程式及繪圖軟體, 將其流體運動過程可視化, 並可將其瞬間運動過程逐一呈現。

## 三. 研究方式

ACPIV 主要是利用高速數位攝影機 (CCD), 將具有時序性之影像, 快速將影像擷取, 如 (圖一、二時間間隔 1/30 秒), 將所擷取之影像各存成一般高階之數位影像檔 (.tif 檔), 該數位影像檔為 640\*480 之畫素格式 (如圖三所示影像某一部份), 再將此影像檔經由程式轉換為一般影幕之亮度值 (0-255), 如此即可得知該影像檔之每個畫素之亮度值, 如圖四所示; 得到每一個畫素亮度值之訊號後, 分析其訊號之來源, 要將其雜訊 (noise) 濾除, 使影像之原始信號可以

呈現，故需設一門檻值將其值雜訊給予濾除，如圖五所示，將低於門檻值轉設為零，高於門檻值則給予保留，再將所保留之亮度值進行分析計算。

其計算過程利用數位相關法分析式 (1) 「1,2,3,4」，將具有時序性之影像一與二都經過門檻值之濾除後，利用影像一與二進行分析比對得知其影像之相關位移量如(圖六)所示，此相關位移量為最大可能之位移量 (pixels)。

$$W_{fg}(m, n) = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} f(k, l) g(k+m, l+n) \quad (1)$$

$f(k, l)$ ,  $g(k+m, l+n)$  為輸入訊號及輸出訊號，其為影像一與影像二之互相關，其  $f_g(m, n)$  互相關函數 (cross correlation) 中最大的期望值即表示質問窗中質點顆粒群最有可能移動的位置。其互相關函數  $W_{fg}$  是利用統計學之期望值對兩張具有時序性之起始位置與位移後之相關位置，利用空間訊號之亮度值 (圖五) 做褶積運算如下式 (2)

$$W_{fg} = E[f(m, n), f(m, n) * s(m, n)] \quad (2)$$

其中上式又可轉換成：

$$f_g = f_f * s(m, n) \quad (3)$$

其中  $W_{ff}(m, n)$  為空間輸入函數  $f(m, n)$  的自相關函數 (auto correlation)，定義如下：

$$W_{ff}(m, n) = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} f(k, l) f(k+m, l+n) \quad (4)$$

因為  $W_{ff}$  是輸入函數  $f(m, n)$  本身做自相關運算，其目的是利用本身之亮度值做計算，在每個質問窗內可得到  $f_f$  所得之最大值為影像每一質問窗之形心位置，因此，由式 (4) 所求出自相關函數的最大值應落在相關區域中的原點。這個原點就是質問窗內所有質點

顆粒的起始位置。再由式 (2)  $W_{fg}(m, n)$  為自相關函數  $W_{ff}$  與位移函數  $s(m, n)$  之旋積。此運算使得自相關函數在原點的高點 (Peak) 被  $s(m, n)$  移開。 $W_{fg}$  值是由具時序性以兩張影像計算而得到。只要  $W_{fg}$  之最大值在質問窗內確定，介於原點與  $W_{fg}$  最大值間之距離  $s(m, n)$  即可以量測得到，再除上兩張影像的時間間距之後，質問窗內的速度向量即可求得。全域流場之速度量測，即利用此種程序進行重覆的運算，直到整個流場影像都被掃描過「1,2,4,6」。

### 影像分析

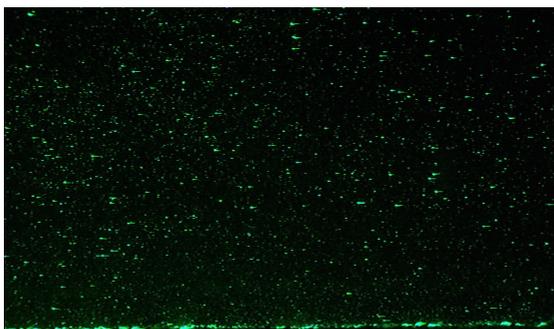
影像經過濾除雜訊後所留下之亮度值再進行其分割「2,3,5,8」，分割成數個質問窗 (interrogation windows)，其質問窗之大小應大於該流速之質點位移，方便於質問窗在進行比對時之互相關之計算有效得到其正確值，得知其方向性及該質問窗內質點之平均速度。

### 子畫素修正

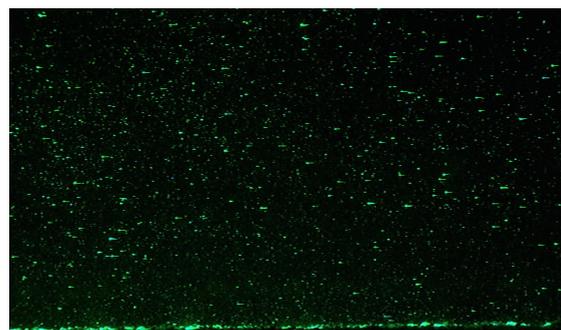
由於影像經由雷射光將質點散射而開，其周圍之亮度值相似於質點中心如圖三所示，故影像之精準度仍有一些誤差值存在，因此需給予修正，因而使用 Whittaker 法「2,3,7」，此法是再將先前所分割之質問窗畫素值，再次分為子畫素 (subpixels)，相當於 5\*5 pixels 值，如圖七所示其演算式為：

$$H(x, y) = \sum_{k=-2}^{+2} \sum_{l=-2}^{+2} H(k_x, l_y) \frac{\sin\left[\frac{\pi}{5}(x-k_x)\right] \sin\left[\frac{\pi}{5}(y-l_y)\right]}{\frac{\pi}{5}(x-k_x) \frac{\pi}{5}(y-l_y)} \quad (5)$$

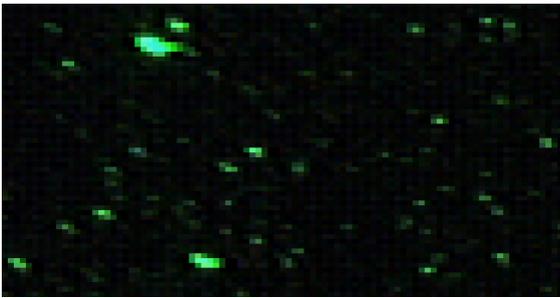
其中  $H(x, y)$  為峰度值之位移函數，相當於下



圖一 數位影像檔



圖二 圖一與圖二時間間隔為 1/30 秒



圖三 為影像某一部份之畫素格式



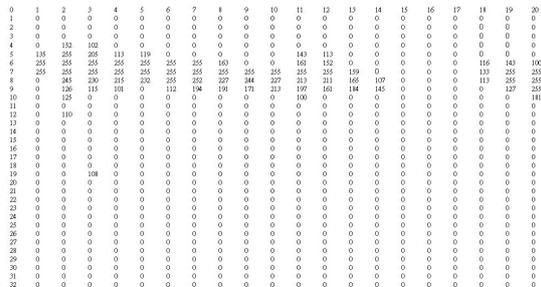
圖四 為影像中某一部分之輸出亮度值 (0-255) 之訊號

一個子畫素之中心點， $\lambda_x$  與  $\lambda_y$  為 x 軸與 y 軸之取樣間距 (sampling intervals) 其單位為 (pixel);  $k$  和  $l$  為子畫素之基底，為矩陣中 5\*5 之位置指標;  $H(k\lambda_x, l\lambda_y)$  為相關函數;  $x$  和  $y$  是欲求之子畫素的位置。如圖七所示。圖上點 1 至 8 點為第一次次網格 (Sub-grid), 然後求出 1 點至 8 點所應有之自相關或互相關的值, 找出中心點與點 1 至點 8 的最大值者為子畫素位置, 再以第一次次網格上最大值為中心計算第二次網格上的九個點, 如此繼續計算下去。在第一次計算後便可得  $1/2$  個畫素的精度, 第二次便有  $(1/2)^2$  個畫素的精度。因此, 當計算 N 次之後, 會得到  $(1/2)^N$  個畫素的精確度, 如此可更精確求出速度變化。

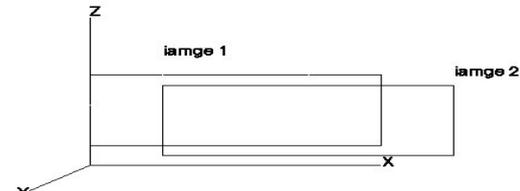
#### 四. 結果與討論

初步結果利用 ACPIV 法於轉盤及堰流 (圖八、十) 之運用, 其轉盤之量測, 利用在轉盤上均勻分佈其質點顆粒, 再將轉盤給予定速旋轉, 固定其轉數, 如此可得知轉盤之切線速度, 其優點如下

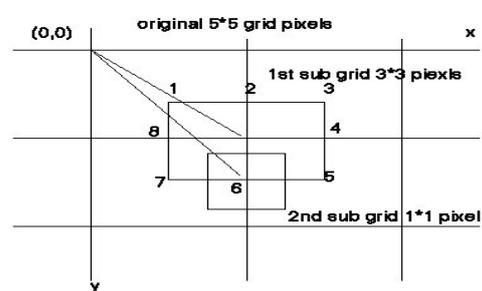
1. 質點為二維運動, 質點不會輕易流失或進入轉盤上。
  2. 由於定速, 所以可確認其計算所得之速度與實際之誤差值
  3. 已知轉動方向, 可以確認其計算所得之方向性。
- 其堰流部分乃利用水槽, 其長 100cm, 寬



圖五 影像中某一部分經過門檻值輸出之亮度值



圖六 影像之相關位移量

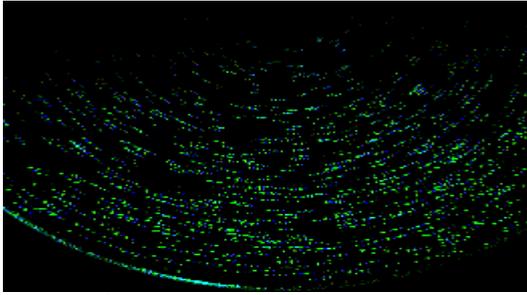


圖七 Whittaker 法之子畫素修正法示意圖

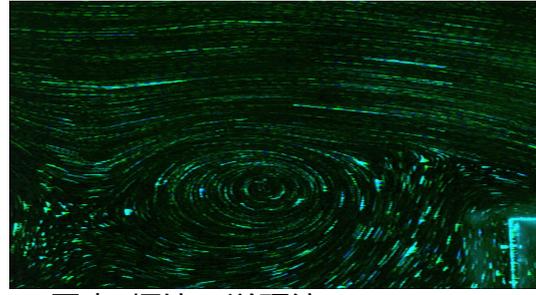
20cm 高 20cm 之玻璃水槽進行。選擇質點材料為粉末之塑膠顆粒(共聚胺 CO PA)密度為  $1.1 \text{ g/cm}^3$ 、質點顆粒小於  $75 \mu\text{m}$ 。為使質點顆粒能均勻注入水體中, 須設置一循環水槽使質點顆粒不破壞水流結構, 均勻分布在水槽中。其本實驗之儀器設定如下:

- } 影像解析度:  $640\text{pixel(H)} \times 480\text{pixel(V)}$
- } 矮堰尺寸:  $200(\text{mm}) \times 10(\text{mm}) \times 50(\text{mm})$
- } 實際取像範圍:  $8.5(\text{cm}) \times 6.5(\text{cm})$
- } 曝光次數: 4 次
- } 旋轉多面鏡轉速: 125 轉/秒
- } 旋轉多面鏡鏡面數: 八面
- } 攝影機快門(shutter speed):  $1/250 \text{ sec}$

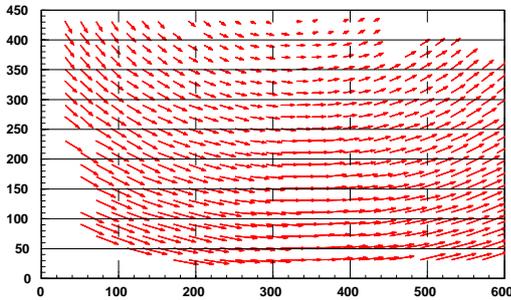
流體運動每個畫素相對於實際大小  $85\text{mm}/640\text{pixel} = 0.13\text{mm}/\text{pix}$ ; 其經由影像計算過程及繪圖軟體, 繪出其速度向量圖, 如圖九、十一所示, 因此, 在速度及方向上得到一初步確認, 進而將分析其所得之物理量,



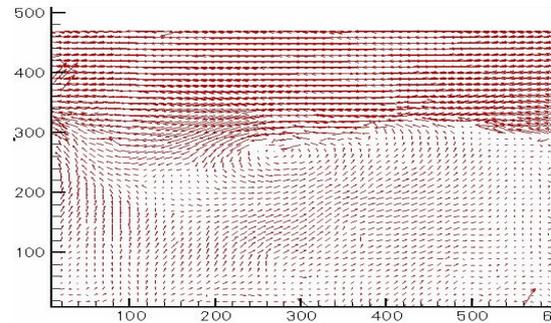
圖八 定速旋轉



圖十 堰流 (溢頂流)



圖九 定速旋轉之向量圖



圖十一 堰流之向量圖

將於第二年度計畫中，與瞬間潰壩試驗進行比對工作及流場之差異性，並做出初步結果討論。

### 五.成果自評

第一年計畫目的在於 ACPIV 之系統建立、原理之引介與評估、精確度測試及後續水槽準備。茲將成果摘述如下：

- 1.系統建立方面：已可量測到慢速流下之流速場，目前正積極往高速流流場研究，使第二年瞬間潰壩之試驗能夠順利進行。
- 2.原理之引介與評估：經由資料之蒐集，已初步完成其原理推導，並根據文獻上理論，而後將於影像計算程式上作增加及修正工作，並根據程式所設計之物理參數經由驗證後加以分析其物理量。
- 3.精確度測試：利用定速轉盤驗證其程式所演算出之速度值及方向性，目前已測試完成並驗證其精準度並在程式上設定其誤差值為 1% 以下設為有效之速度向量值。
- 4.後續水槽準備：目前在試驗水槽中設立一堰流試驗，試推算其堰流流場之結構，將與第二年度瞬間潰壩計畫之模擬過程銜接，並經由數位影像、程式計算及繪圖軟體得其速度向量圖，而後將藉由繪圖軟體製作其流場動畫過程，以瞭解其流場變化過程。

### 參考文獻

1. Willert, C.E. and Gharib, M. (1991), "Digital particle image velocimetry" *Exp. Fluids*, 191-193.
2. Jaw, S.Y. and Wu, J.L. (2000) "Alternating color image anemometry and its application" *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, 7, 189-205.
3. Jaw, S.Y. and Chen, J.P. (2000), "Development of color particle image velocimetry and its application in rotating flow" 9<sup>th</sup> inter. Symp. on Flow Visualization, 152, 1-10.
4. Keshavarzy, A. and JE, B. (1999) "An application of image processing in the study of sediment motion", *J. Hydraulic Research*, 37 (4) 559-576.
5. Meinhart, C.D., Wereley, S.T. and Santiago, J.G. (2000), "A PIV algorithm for estimating time-average velocity fluids" *Journal of Fluids Engineering*, 122, 285-289.
6. Scarano, F. and Riethmuller, M.L. (1999) "Iterative multigrid approach in PIV image processing with discrete window effect" *Exp. Fluids*, 26, 513-523
7. Rehm, J.E., Clemens N.T. (1999) "An improved method for enhancing the resolution of conventional double-exposure single frame particle velocimetry" *Exp. Fluids*, 26, 497-504.
8. Gui, L. and Merzkirch, W. (1998) "Generating arbitrarily sized interrogation windows for correlation-based analysis of particle image velocimetry recordings" *Exp. Fluids*, 24, 66-69.