

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

國科會專題研究計畫成果報告撰寫格式說明

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 89-2611-E-002-055

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：林銘崇 台灣大學造船及海洋工程學系

共同主持人：丁肇隆 台灣大學造船及海洋工程學系

計畫參與人員：江允智 台灣大學造船及海洋工程學研究所

一、中文摘要

本研究主要觀測波浪作用下定床沙漣模型上方之邊界層流場。由於邊界層厚度微小觀測不易，因此利用不同倍率及間距之透鏡組合將水平與垂直方向作不等比例放大，以詳細觀測沙漣上方邊界層流場，並利用類神經網路數值化流場影像測速法(Artificial neural network tracking technique for PIV)量測沙漣上方之邊界層流場。觀測中使用高速攝影機針對沙漣上方流場在波浪作用下時間軸上詳細的分析，並一次量測整個觀測區中流場的空間變化。

關鍵詞：波浪、沙漣、邊界層

Abstract

The primary purpose of this research is to measure the wave boundary flow field over fixed sandy ripples bottom present. In order to obtain accurate investigation for boundary layer flow, the magnification only in depth with multi-lens and a new artificial neural network tracking technique for particle image velocimetry were employed. Detailed Boundary flow fields under a complete wave cycle were measured using these techniques.

Keywords: Waves, Ripples, Boundary Layer

二、緣由與目的

在近岸地區海灘上，我們常可發現有如波浪般峰谷交替，尺度約數公分至數十公分之沙漣或在較深的海床上有尺度更大的沙丘；而此種現象亦可在水工試驗水槽動床試驗底部發生，而沙漣的生成與波浪作用下底質的傳輸等有密切的關聯。

以往在觀測沙漣附近流場，前人多以U型水槽以振盪流進行試驗，亦有直接以波浪水槽進行試驗，而實驗中量測方法則多為利用雷射都卜勒儀等單點量測方式進行沙漣附近流場之量測，並利用實驗重現性或內插法量取整個流場，較少有一次量測整個邊界層流場空間上的分佈。本文乃利用不同倍率之透鏡組合對於水平垂直進行不等比例放大，以

求取對於微小尺度之邊界層進行更精確之觀測，並利用類神經網路數值化流場影像測速法(Artificial neural network tracking technique for PIV)數值化沙漣上方之邊界層流場，方法之優點除可利用高速攝影機針對整個邊界層流場在波浪作用下時間軸上詳細的分析，並能一次量測整個觀測區中邊界層流場的空間變化。文中定床沙漣模型主要利用黃(1995)所提出之沙漣生成經驗式製作。

近年來關於沙漣上方邊界層流場實驗觀測眾多，主要可分兩大類，分別是單點量測如雷射都卜勒儀觀測及數值化質點影像追蹤法(PIV)，其中利用單點量測如雷射都卜勒儀等對於邊界層流場進行觀測如 DuToit and Sleath (1981), Sawamoto et al. (1982), Sato et al. (1987), Horikawa and Ikeda (1990), Ranasoma and Sleath (1992), Horikawa and Mizutani (1992)等。而利用數值化影像流場追蹤法(PIV)觀測整個邊界層流場的如 Lin and Rockwell (1995), Eamshaw and Greated (1998)以及 Liu et al. (2000)等。

三、實驗佈置與方法

3.1 實驗水槽

本文實驗係於室內之二維斷面造波試驗水槽進行，水槽佈置如圖1所示，水槽長20公尺、寬0.8公尺、深0.6公尺，兩側壁為強化玻璃。水槽一端配備平推式(piston type)造波機，其油壓伺服系統可依輸入之電壓造出所需波浪並於水槽最前方設置消波球。為配合量測二維XZ平面之流速之便，另以壓克力板隔出長3.5公尺、寬25公分之水道，造波平板至水槽3.2公尺處水深20公分，3.2至4.2公尺處為1:25之緩衝坡；水槽6至6.6公尺為沙漣模型置換區。水槽一端配備平推式(piston type)造波機，其油壓伺服系統可依輸入之信號波形成造出所需要的波浪，水槽兩端均設置當 $\sigma^2 h/g$ 大於2時反射率0.2-0.3之消波球及穿孔懸浮水管，由於量測時間約1-2秒，故在反射波到達模型時量測已結束，因此無須考慮反射波之影響，消波設施旨在使水面迅速靜止，以減少實驗等待的時間。

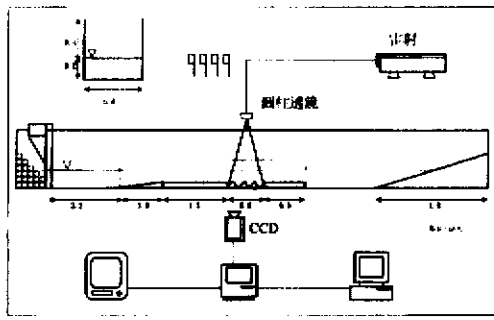


圖 1 實驗水槽佈置圖

3.2 流場觀測系統

本文流場觀測系統以可全域(whole field)取得流場質點軌跡且利用數位化影像追跡測速法(Digital Particle Image Velocimetry, PIV)可獲得流速分佈,利用一高感度(2Lux)黑白灰階數位高速像機與一高速影像處理卡及內建於電腦之影像處理軟體等進行試驗。量測系統使用之 CCD 攝影機具有(2Lux)之高感度與 16MHz 高輸出速率,使用軟體等進行試驗。量測系統使用之 CCD 攝影機具有(2Lux)之高感度與 16MHz 高輸出速率,使用 TURBOSENSOR™ 技術之平面感測器(Area Array Image Sensor),除了可在低照度下操作外,更可避免一般線型掃描感測器(Linear Image Sensor)相機,對較高速度運動物體所產生之不連續點與偏差。與傳統之高速攝影像機相較更有下述之優點:

1. 可利用其輸出信號之特性,輕易達到與其他量測訊號同步之目的。
2. 高感度、適用於低照度之場合。
3. 低價位、低耗材,影像資料數位化,可即時儲存與處理。
4. 適用於 PC 架構之模組設計,有利於擴充週邊因應各種不同需求使用。
5. 可進一步以流場質點攝影應用於觀測動態流場之流速分佈。

本文中觀測 CCD 解析度為 256x240 像素,取像速度間隔為 0.004 秒。

為求得以有限解析像素量測較高精度之微小尺度邊界層流場,勢必需要將水深垂直方向微小的邊界層厚度觀測區進行放大,然而又不希望再放大後水平波浪進行方向的觀測僅侷限於空間中一小部份而無法做一次全域的觀察。因此,最佳的邊界層流場觀察應僅將水深垂直方向放大而水平波浪進行方向維持等比例即可。因此可利用透鏡組在攝影鏡頭 CCD 前方及量測雷射光頁間利用適當透鏡與物距像距離及透鏡位置之擺設將 x 及 y 方向作不等比例之放大,本文中採取之透鏡組分別為 f:150mm 及 f:75mm,其中光頁與透鏡組間距為 31.7cm,透鏡組間距為 34.1cm,鏡頭與透鏡組間距為 9cm,對應實際可視範圍約為水平方向(波浪前進方向)約為 8.75cm,垂直方向(水深方向)約為 1.2cm,放大倍率約為 7.3,期以有限的解析度(256x240)準確並完整量取邊界層內之逐時全域之流場。相關流

場觀測系統如圖 2 所示。

3.3 數位化質點影像追跡法(PIV)

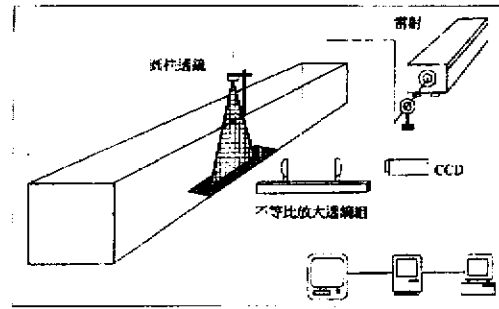


圖 2 流場觀測系統圖

本文中觀測的流場影像,經由數位化質點影像追跡法即可得到整個流場相關資料。傳統的質點影像追跡法主要是將流場影像二值化後疊加,以找出其相關性而推得流速,但並不適用於複雜的邊界層流場觀測。本文的質點影像追跡法主要依 Hassan and Phillips (1997)所提出之類神經網路之數位化質點影像追跡法(artificial neural network tracking technique for PIV),該演算法主要可應用於流速梯度大、有剪力效應、或有渦流之流場。

該演算法假設連續四張流場影像時間間隔微小,因此質點在四張影像中二維的移動的斜率應變化不大。因此,首先先將四張影像中的質點找出,並疊加到同一平面,將每一張影像的質點任意連結,並由理論或是實驗推得之最大流速先過濾不合理之連結後,利用 Hough Transform 使同一流線上的質點靠近聚集成串,如圖 3 所示。由圖中可看出聚集成串(cluster)的質點可以用橢圓來描述,定義如下:

$$\left(\frac{m-m_0}{m_r}\right)^2 + \left(\frac{b-b_0}{b_r}\right)^2 = 1.0 \quad (1)$$

其中 m_r 、 b_r 為猜值。若第一、二和第三、三及第三、四張影像質點函數移動 m 、 b 同時而且唯一被包含該橢圓函數中,則此一質點移動即可被定義出,即可求得該質點之流速值。而其中 m_r 、 b_r 猜值可利用 ART 2 類神經網路可獲得高效率高精度的計算,如下式所述:

$$w_j^{(new)} = \frac{X + W_j^{(old)} |cluster_j^{(old)}|}{|cluster_j^{(old)}| + 1} \quad (2)$$

3.4 沙連模型

本文中實驗定床沙連模型之製作係依前人所提出之相關經驗式如 Sato et al(1988)提出之實驗室成熟沙連經驗式:

$$\frac{\lambda_m}{2a} = 1.4 \left(\frac{2a}{D_{50} \sqrt{\psi}}\right)^{-0.146} \quad (3)$$

$$\frac{\eta_m}{\lambda_m} = 0.191(1 - (\frac{\psi}{0.6})^2)$$

(4)

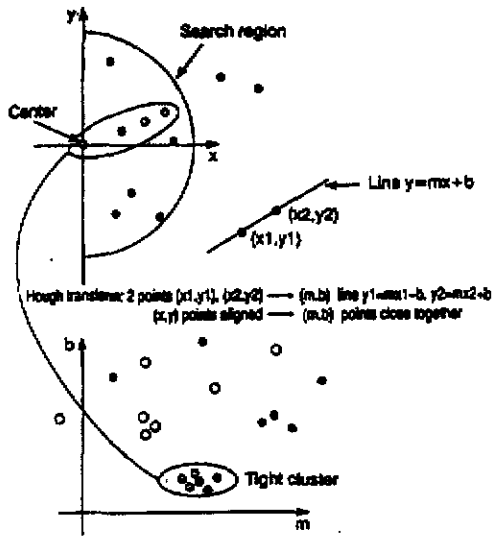


圖 3 Hough Transform 示意圖 (Hassan and Phillips, 1996)

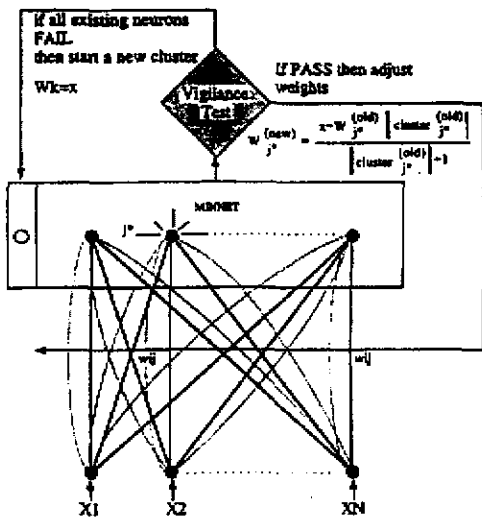


圖 4 ART 2 類神經網路計算示意圖 (Hassan and Phillips, 1996)

及黃(1996)所提出之實驗室沙澱生成之經驗式：

$$\frac{\eta}{\eta_m} = \frac{1}{2} \left[\tanh\left(8 \frac{t}{T_m} - 2\right) + 1 \right] \quad 0.05 < \frac{t}{T_m} \leq 1 \quad (5)$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_m} = 0.3 \left[\tanh\left(7 \frac{t}{T_m} - 1.75\right) + 1 \right] + 0.4$$

$$0.08 < \frac{t}{T_m} \leq 1 \quad (6)$$

其中 λ 、 λ_m 分別為成長中沙澱澱長及成熟沙澱澱長， η 、 η_m 分別為成長中沙澱澱高及成熟沙澱澱高， t 、 t_m 分別為沙澱成成長時間及成長至成熟沙

澱所須之時間， a 、 D_{50} 、 ψ 則分別為沙澱上方水粒子軌跡長、沙澱沙粒中值粒徑及西爾斯(Shields, 1936)可動無因次參數。為使邊界層流場更容易觀測，實驗中增加玻璃纖維沙澱模型表面粗糙度，故於沙澱模型表層噴上粒徑 0.2 釐米之染色玻璃砂。並利用本文實驗所輸入波浪資料值：波高 7.8 公分、周期 1.08 秒、波長 125 公分之波浪；故可得成熟沙澱之澱高與澱長分別為 0.76 公分及 4.11 公分。

3.5 實驗步驟

本文所流場觀測試驗中所採用之光源為 1.8w 之氬離子鐳射，經球面鏡聚焦後再透過圓柱透鏡產生光頁，光頁厚度約 0.1-0.2mm，在造波啟動水面波形尚未到達前利用針筒將與水混合均勻之感光粒子注入量測區，感光粒子選擇質地大小均勻之聚合物 (Polyamide-Nylon12, PA12)，粒徑約為 $2.5-3.0 \times 10^{-5}m$ ，比重約為 1.02，並於第六個成熟波零切上點(zero cross-up)到達時進行量測(整個量測過程中前端尚未成熟之波浪之反射波均尚未到達)，量測約七個波浪周期內之全域流場及水面變化。拍攝過程中之波浪相位及波形變化可由另一部高速攝影機同步拍得之水面變化加以求得。

3.6 實驗條件

3.6.1 模型尺度與量測位置

本研究測量之流場為波浪前進與水深方向之二維流場，為避免因水槽其他佈置使垂直波浪前進方向效應影響流場觀測，亦俾益感光粒子之佈放，選擇使用段面寬 25 公分之光滑壓克力隔離水道中放置沙澱模型。量測時，首先將雷射光頁打在距離水槽強化玻璃約 9cm 位置處，避免靠近邊界引起邊界層效應之誤差。若自造波機啟動起算約 12 秒左右，量測時間約 8.732 秒，此時反射效應尚未發生，故本實驗可忽略反射效應。

3.6.2 取像頻率

由勢流理論推算，沙澱附近邊界層外流場中最大流速約 25 公分/秒，而數位像機取像速度 8.732 秒共取 2184 個 frames，故每張間格 0.004 秒。當最大流速 25 公分/秒發生時，在兩張影像檔中粒子位移約 0.1 公分；而在試驗中波浪進行方向每個像素應對實際長度約為 0.03cm，而水深方向則為 0.005cm；而所用感光粒子直徑小於像素應對長度，因此傳統光學疊加法判斷是否為同一粒子在此並不適用。

四、實驗結果與討論

4.1 平坦底床

由於底床變動極小，尚未造成底部流場於空間上分佈不均，其結果與勢流理論之流函數相似，充分表現出層流的特性。圖 5、圖 6 為 PIV 處理前波峰通過時底部影像圖，圖 7 則為 PIV 處理後之流場圖。圖 8、圖 9 為 PIV 處理前波谷通過時底部影像

圖，圖 10 則為 PIV 處理後之流場圖。



圖 5 波峰通過平緩底床影像圖(1)



圖 8 波谷通過平緩底床影像圖(1)



圖 6 波峰通過平緩底床影像圖(2)



圖 9 波谷通過平緩底床影像圖(2)

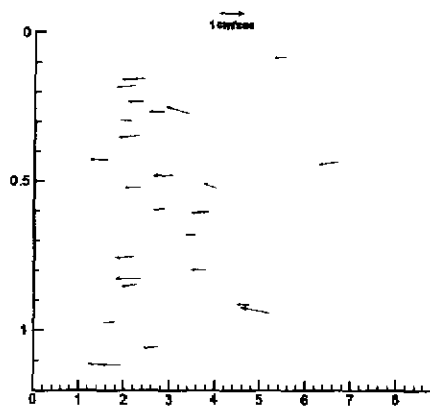


圖 7 圖 5、6 經過 PIV 處理後流場分布圖

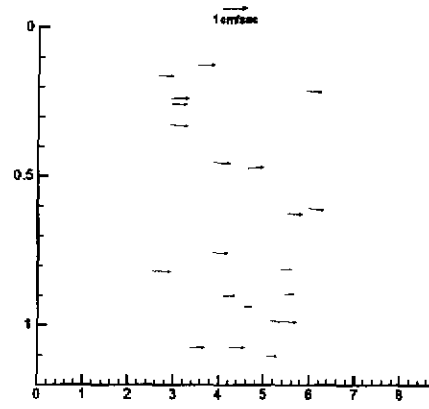


圖 10 圖 8、9 經過 PIV 處理後流場分布圖

4.2 成熟沙漣

成熟沙漣存在時底部流場乃受渦流之生成、消散所主導。由實驗結果來看，底部流場之水深方向速度由於沙漣漣高的增大亦伴隨增大，受底部邊界影響明顯，而且不論向岸或離岸渦流均由漣峰處分離而向下撞擊漣背及漣谷，使得漣背及漣谷處有負向垂直速度產生；而流在經由漣背至漣峰處之分離現象則十分明顯。

圖 11、12 為波峰通過成熟沙漣時影像圖，圖 13 為其 PIV 處理後之流場圖；圖 14、15 為波谷通過成熟沙漣時影像圖，圖 16 為其 PIV 處理後之流場圖。

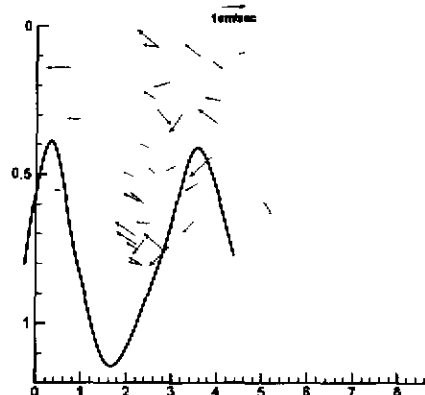


圖 13 圖 11、12 經過 PIV 處理後流場分布圖



圖 11 波峰通過成熟沙漣影像圖(1)

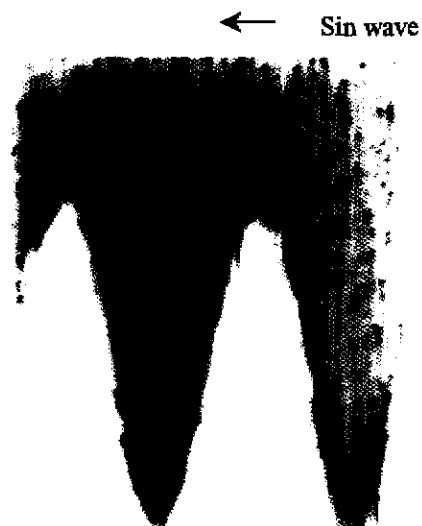


圖 14 波谷通過成熟沙漣影像圖(1)



圖 12 波峰通過成熟沙漣影像圖(2)



圖 15 波谷通過成熟沙漣影像圖(2)

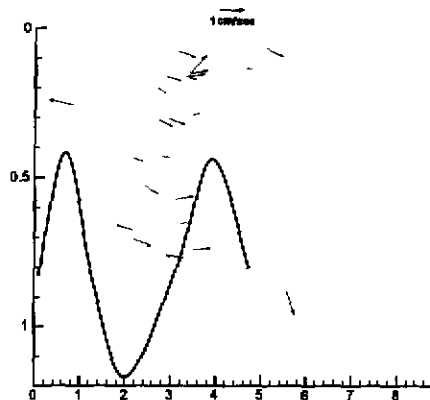


圖 16 圖 14、15 經過 PIV 處理後流場分布圖

五、計畫成果自評

參與人員經由理論研究與實驗觀測，將對於波浪作用下沙連附近邊界層流場之物理特性有初步了解，並且對於海洋工程設計與規劃重點得到更進一步的了解，同時對於理論方法的提升與數值技巧會有充份的訓練，有助於以後從事相關問題研究能力與創造性。與原先申請計劃之目的相符合，預估達到八成五之期望，此成果預定發表於第二十三屆海洋工程研討會。

六、參考文獻

- [1]. 黃國書 (1996) "波浪作用下沙連形成與流場運動"，國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
- [2]. DuToit, C. G. and J. F. A. Sleath (1981) "Velocity Measurements Close to Ripple Beds in Oscillatory Flow," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 112, pp.71-96.
- [3]. Eamshaw, H. C. and C. A. Greated (1998) "Dynamics of Ripple Bed Vortices," *Experiments in Fluids*, Vol. 25, pp.265-275.
- [4]. Hassan, Y. A. and, O. G. Phillips (1997) "A New Artificial Neural Network Tracking Technique for Particle Image Velocimetry," *Experiments in Fluids*, Vol. 23, pp.145-154.
- [5]. Horikawa, k. and S. Ikeda (1990) "Characteristics of Oscillatory Flow Over Ripple Models," *Proceedings, 22nd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp.661-674.
- [6]. Horikawa, K. and S. Mizutani (1992) "Oscillatory Flow Behavior in the Vicinity of Ripple Models," *Proceedings, 23rd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 2122-2135.
- [7]. Lin, J. C. and D. Rockwell (1995) "Evolution of a Quasi-Steady Breaking Wave," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 302, pp.29-44.
- [8]. Liu, P. L. F., E. A. Cowen and K.A. Al-Banaa (2000), "Experimental Measurement of the

Boundary Layer Velocity Field Induced by Water Waves Propagating Over a Ripple Bed," *First International Symposium*, Vol., pp. 437-442.

- [9]. Ranasoma, K. I. M. and J. F. A. Sleath (1992) "Velocity Measurements Close to Ripple Beds," *Proceedings, 23rd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp.2383-2396.
- [10]. Sato, S., K. Shimosako and A. Watanabe (1987) "Measurement of oscillatory boundary layer flows above ripples with a laser - Doppler velocimeter," *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 30, pp.89-98.
- [11]. Sawamoto, M., T. Yamashita and T. Kitamura (1982) "Measurements of turbulence over vortex ripple," *Coastal Engineering*, pp. 282-296.
- [12]. Shields, A. (1936) "Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung," *Mitt Preuss Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau*, No. 26, Berlin.