

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

波浪作用下垂直平面射流側邊界流場 之濃度場稀釋過程特性

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2211-E-041-022

執行期間：89年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：錢紀銘

共同主持人：黃煌輝

米孝萱

本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：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

中華民國九十年十月三十一日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

波浪作用下垂直平面射流側邊界流場之濃度場稀釋特性

The dilution processes on the side boundary of vertical plane jet under wave action

計畫編號：NSC 90-2211-E-041-022

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：錢紀銘 嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

一、中文摘要

本計畫應用雷射誘發螢光原理開發影像處理系統並用於平面射流側邊界濃度場之實驗研究，經量測可知，未受側邊界流場影響之平面射流之中軸稀釋率於靜止水域中係隨無因次距離呈線性成長，其側邊界濃度場則向外擴增，型態呈雙曲線分布，受波浪作用後，追蹤劑因尾跡渦流之作用，其濃度分布快速向外擴張，稀釋率亦隨之大幅增加，相對邊界於純射流時係呈線性向內側遞增，受波浪作用下，其側邊界之相對邊界仍呈線性遞增，唯其邊界擴展率大幅增加，其稀釋效率可大幅提昇。

關鍵詞：平面射流、波浪作用、濃度

Abstract

An image process system based on the theory of laser-induced fluorescence was developed and employed on the investigation of the scalar field of the plane jet under wave action. According to the experimental results, the dilution in the mean axis of plane jet without the side effect increases linearly with the dimensionless distance. In the side field, the relative boundary show a characteristic of linear growth, which still remains under the action of wave motion, however, the boundary growth rate is larger than that of the pure plane jet.

Keywords: plane jet, wave action, concentration,

二、緣由與目的

近年來，海洋放流被視為解決濱水城市水污染問題主要方法之一，一般於建造前需作稀釋倍率估算，以瞭解廢污水與承受水體混攪後其濃度稀釋降低之程度，其稀釋倍率之估算，除考量射流之排放水深 (discharge depth)、起始動量 (initial momentum)、浮昇效應 (buoyant effect)、排放角度等因素外，其他環境因素之影響亦不可忽略，諸如橫流 (cross flow)、水體垂直結構、層化現象 (stratification)、波浪運動 (wave motion) 等，以往由於射流之應用性頗為廣泛，故相關研究數量亦相當龐大，其中有關波浪運動對射流側邊界流場及稀釋過程影響之研究則僅始於二十餘年前，且數量亦少，因而對此現象之瞭解迄今尚嫌不足，故本計畫擬以此課題為研究探討之重心。為使研究與實際應用較為相近，故本計畫乃選定垂直平面射流為波流交互作用之研究模擬對象，以期能瞭解平面射流側邊界流場受波浪作用後其濃度場之特性變化及稀釋過程之變遷，而相關結果則可供實際工程設計時應用，提昇對稀釋率估算之準確度，節省工程經費及減少對承受水體造成危害之可能性。

而平面射流之相關研究則可分表面射流及潛置射流二方面探討，Hwung et.al.(1981)、Hwung(1981)、Hwung and Chen(1981)將波浪幅射應力(radiation stress)以外力形式導入運動方程式中，並配合中軸動量交互作用輔助方程式解得反向或斜向波作用下，表面平面純射流之中軸平均速度及溫度之減衰函數，同時由實驗之結果亦得知溫度差之剖面分布經波浪作用後仍呈高斯分布特性，此外，Ismail(1980)及 Ismail and Wiegel(1983)應用尺度分析(scale analysis)解得反向波浪作用下表面平面射流邊界擴展率之變化，由其理論推演結果發現，平面射流受反向波作用後其邊界擴展率將因波浪折射(wave refraction)所衍生之動量通

率而有所增加，而其所進行之實驗亦證實此一理論結果。至於，潛置式平面射流之研究僅 Koole and Swan (1995)曾以雷射測速儀量測水平射流於波浪場中之紊流強度及雷諾剪應力之變化。許(1995)則建立垂直浮昇射流之數值模式以模擬潛置射流運動軌跡、邊界擴展、平均速度等特性變化。綜上述，對於平面射流側邊界流場受波浪作用後，其稀釋特性之變化尚未進行探討，為增進對稀釋效率之推估精確度，本計劃乃以此為主要研究重點。

本計畫係藉計畫主持人 (Hwung and Chyan, 1999) 基於雷射誘發螢光原理 (LIF: laser-induced fluorescence) 發展影像處理量測系統進行本計畫之實驗研究，期以瞭解波浪作用後，垂直潛置式平面射流之射流口附近流場之濃度場分布、稀釋率變化、射流相對邊界等特性變化，並歸納稀釋率估算經驗式，期能對未來工程應用有所貢獻。

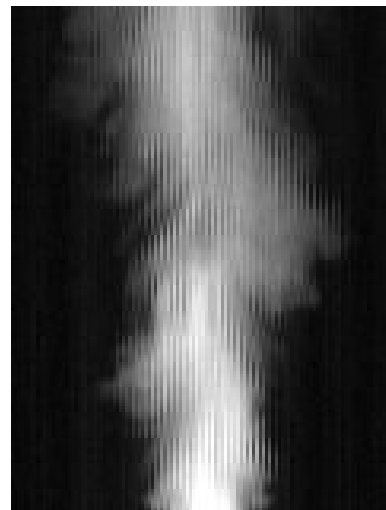
三、實驗佈置

本計劃之實驗研究可分為兩部分；即影像處理量測系統之研發與平面射流側邊界濃度場之量測，前者之硬體部分主要包括光學濾鏡、CCD 攝影機、數位影像卡等元件所組成，軟體部分則有影像處理軟體(Matrix Inspector II)及自行開發之資料處理軟體。於實驗時，將雷射光束經光學鏡組調製後可形成一雷射光切面(厚約為 100 μm)並經鏡面反射由水槽上方垂直向下射入，當含染料 (Rhodamine 6G) 溶液之射流水經此切面時則會立即因雷射光之激發而釋出螢光，藉此即可清楚地顯現出射流(螢光液體)與承受水體(非螢光體)間交互作用之二維運動畫面，藉由攝影機將畫面予以錄影存檔，以供後續分析。

濃度場之定量量測之空間解析度為 160×120，灰度解析度為 256，各測點之率定關係之相關係數皆大於 0.999 以上，量測精度則約藉於 0.07ppb 至 0.16ppb 間。實驗水槽長度為 15m，寬 30cm，高 0.7m，中段部分鋪設射流模型，射流開口狹縫寬度(D)為 2mm，長 12cm，水深(H)約為 16.5cm，射流口雷諾數為 2050，另水槽兩端分置造波機及消波設備，相關實驗細節可參考 Hwung and Chyan(1999)。

四、結果與討論

由流場可視化實驗可知射流水由狹縫進入實照片



1 純平面射流濃度場之數位影像

驗水槽後，由照片 1 可發現平面射流之蜿蜒現象，此類流場結構將邊界外水體捲入射流流域中並與之相互混攪，進而達到射流水稀釋之效果，此即捲增效應(entrainment)。當射流受波浪作用時，其運動軌跡將產生偏折，黃 (2001)於研究波浪場中平面射流之稀釋特性時亦曾發現相同現象，此一特性可增加射流周界外之流體進入射流水體之機會，進而增加其稀釋率。

另為檢視本計畫平面射流流場之正確性，計畫進行時首先對靜止水域之射流場進行定量量測，由橫斷面濃度之量測結果顯示濃度場之斷面分布特性與高斯分佈頗為類似，此與往昔之研究相同，由此亦可決定該斷面之射流中軸平均濃度 (C_m)及相對邊界寬度式(B_c ; 射流中軸至濃度值為中軸值一半時位置之距離)，各斷面之量測結果點繪於圖 1 及圖 2 中，由往昔之相關研究可知，中軸稀釋率及相對邊界與縱軸無因次距離間之關係可表示如下；

$$\left(\frac{C_o}{C_m}\right)^2 = a + b\frac{Z}{D} \quad (4)$$

$$\frac{B_c}{D} = a_c + b_c\frac{Z}{D} \quad (5)$$

式中 a 、 b 、 a_c 、 b_c 為對應之經驗常數，須由實驗定之，其中 $b=0.172$ ，與 Fischer et.al(1977)0.176、Kotsovinos & List(1977)0.195 及黃(2001)0.189 等結果皆十分相近，另相對邊界之擴展率 $b_c=0.137$ 亦近於 Ramaprain & Chandrasekhara(1985)0.136、Kotsovinos & List(1977)0.157 及黃(2001)0.148 等

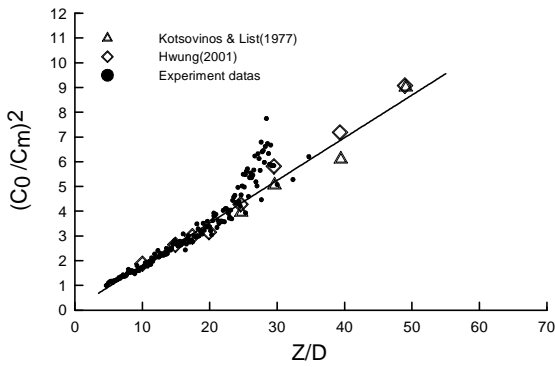


圖 1 平面射流中軸稀釋率之空間分佈

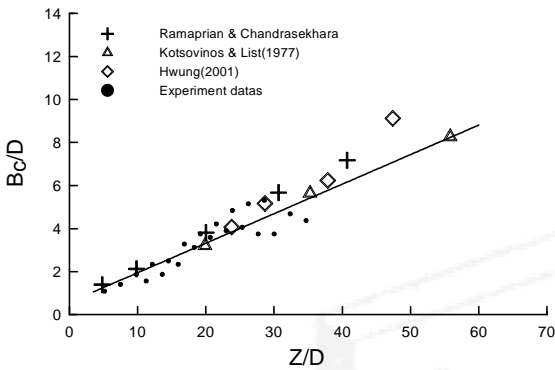


圖 2 平面射流縱剖面相對邊界之特性變化

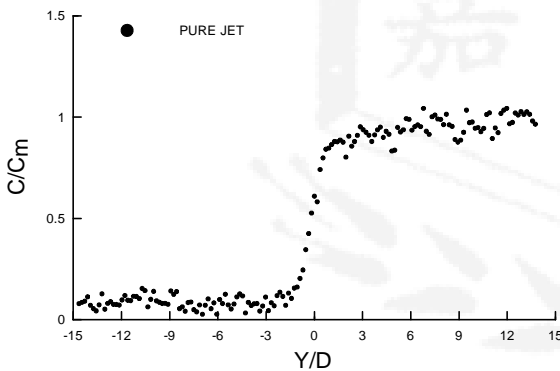


圖 3 平面射流側邊界無因次濃度分布($Z/D=15$)

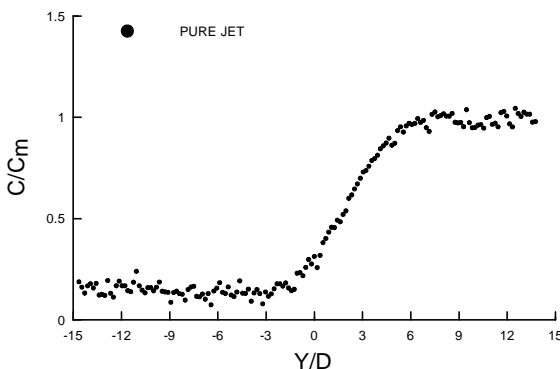


圖 4 平面射流側邊界無因次濃度分布($Z/D=35$)

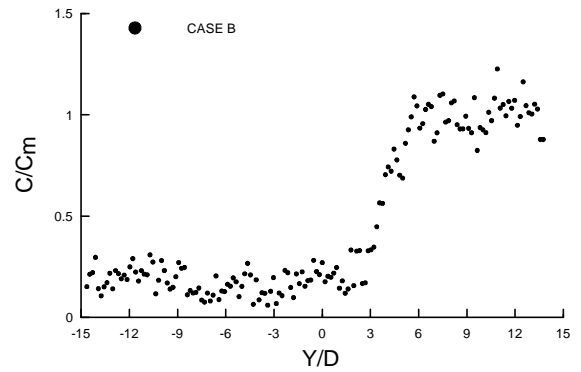


圖 5 波浪作用下平面射流側邊界無因次濃度分布($Z/D=15$)

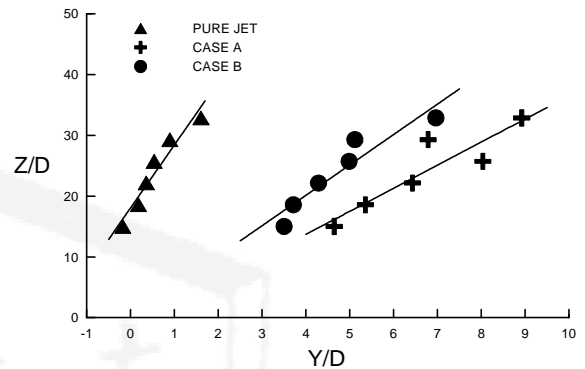


圖 6 波浪作用下平面射流側邊界之相對邊界分布場之分布，由量測結果可知，平面射流於橫向之分布頗為均勻，然由於受渦流捲增作用之影響，於側邊界可發現濃度分布向外擴增，其分布呈雙曲線分布，隨高程之漸增，受影響之區域亦漸增，如圖 4($Z/D=35$)所示，濃度場原為均勻分布漸產生遞減，其濃度分布較為平緩。

射流受波浪作用後，於射流口側邊界區域將產生尾跡渦流(wake vortex)，致使濃度之擴散較率大增，如圖 5 為 $Z/D=15$ 時，波浪作用下平面射流之側邊界濃度場之分布，與圖 2 相較，可知濃度分布迅速向平面射流側內一，且其橫向分布較為離散，及至高程增為 $Z/D=35$ ，側向邊界更向內側縮減。為能使側向邊界之特性變化更為量化，本文定義側邊界濃度場中，追蹤劑濃度為均勻分布區濃度(C_m)一半時，該處為平面射流側邊界濃度場之相對邊界，圖 6 即為純平面射流及受波浪作用下射流相對邊界之空間分布，由其結果可知，純射流之相對邊界係呈線性向內側遞增，受波浪作用下，其側邊界之相對邊界仍呈線性遞增，唯其邊界擴展率大幅增加，由此可知，其稀釋效率可大幅提昇。

人之結果，由此可知本計劃之研究系統中之射流製造與量測系統功能皆屬正常。

圖 3 係 $Z/D=15$ 時，平面射流之側邊界濃度

六、計畫成果自評

由本計畫之成果顯示，影像處理技術可成功地應用於平面射流側邊界濃度場之實驗研究，經量測可知，為受側邊界流場影響之平面射流之中軸稀釋率於靜止水域中係隨無因次距離呈線性成長，其側邊界濃度場則向外擴增，型態呈雙曲線分布，受波浪作用後，追蹤劑因尾跡渦流之作用，其濃度分布快速向外擴張，稀釋率亦隨之大幅增加，相對邊界於純射流時係呈線性向內側遞增，受波浪作用下，其側邊界之相對邊界仍呈線性遞增，唯其邊界擴展率大幅增加，其稀釋效率可大幅提昇。

七、參考文獻

1. Chyan, J. M., Hwung, H. H., and Chang, Y. H. (1991) Wave effects on the mean flow characteristics of turbulent round jets, *Proc. of the Intl. Symp. on Envir. Hydraulics*, A. A. Balkema., Rotterdam, Vol. 1, pp. 109-114.
2. Chyan, J. M. and Hwung, H. H. (1993) On the interaction of a turbulent jet with waves, *J. of Hydraulic Research*, Vol. 31. No. 6, pp.791-810.
3. Hsu, C. T. and Chen, X. (1995) Dispersion in turbulent jets interacting with standing water waves, *Proc. of 4th Asian Sym. on Visualization*, May 15-18, Beijing, China, pp.123-128.
4. Hwung, H.H.(1981) Velocity and temperature distributions of turbulent plane jet interacting with small amplitude wave, Dissertation of Ph.D., National Cheng Kung Univ., ROC.
5. Hwung, H.H. and Chen, Y.Y.(1981) The development of the velocity distribution on turbulent plane jet interacting with obliquely waves, *Proc. 5th Conf. On Ocean Eng. In ROC.*, pp.219-235.
6. Hwung, H.H., Tang, F.L.W. and Chen, Y.Y. (1981) Theoretic study of trubulent plame jet interacting with small amplitude wave, *J. of the Chinese Inst. Of Eng.*, Vol.4, No.2, pp.113-118.
7. Hwung, H. H. and Chyan, J. M. (1990) The vortex structures of round jets in water waves, *Proc. Intl. Conf. Physical Modeling of Transport and Dispersion in conjunction with the HARBIS H. KEULEGAN Centennial Symp.*, IAHR, pp. 10A.19-10A.24.
8. Hwung, H. H. and Chyan, J. M. (1999) Development of array detection system for concentration measurements, *Proc. of the National Science Council, ROC, Part A: Physical Science and Engineering*, (to be published on Mar. 1999)
9. Ismail, N.M. (1980) Wave-current interaction, *Tech. Rep. HEL27-7, Hydraulic Eng. Lab., Univ. of California, USA.*
10. Ismail, N.M. and Wiegel, R.L.(1991) Opposing wave effect on momentum jets spreading rate, *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, Vol.109, No.4, pp.465-483.
11. Koole, R. and Swan, C. (1994) Measurements of a 2-D non-buoyant jet in a wave environment, *Coastal Engineering*, Vol.24, pp.151-169.
12. Kotsovinos, N.E. (1976), A note on the spreading rate and virtual origin of a plane jet, *J. Fluid Mech.*, Vol.77, part 2, pp.305-311.
13. Kotsovinos N.E. & E.J.List, (1977), "Plane turbulent buoyant jets 1.: Integral properties", *J. Fluid Mech.*, Vol. 81, part 1. pp. 25-44
14. Browne, L.W.B., R.A. Antonia & A.J. Chambers, (1984), "The interaction region of a turbulent plane jet", *J. Fluid Mech.*, Vol. 149, pp. 355-373.