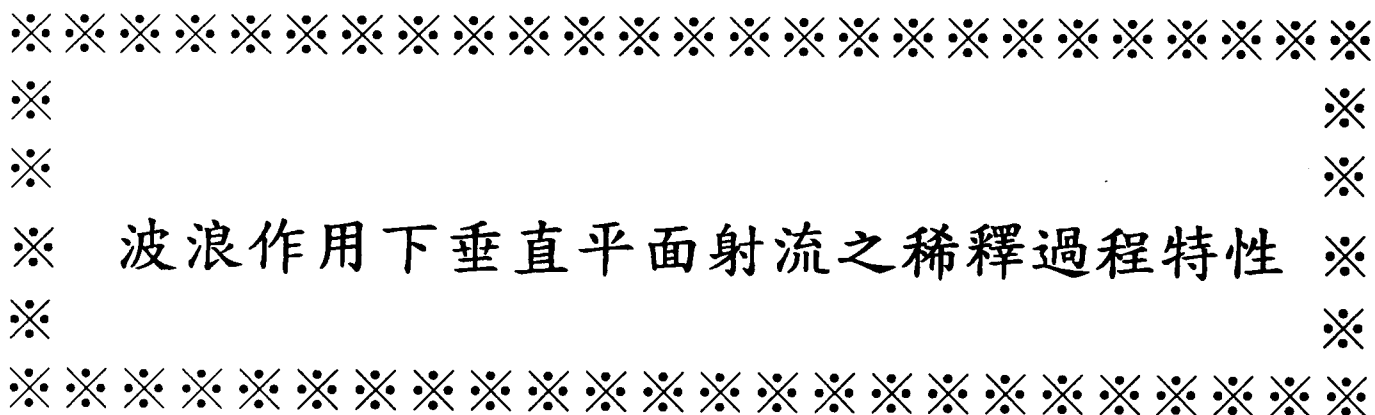


行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告



※ 波浪作用下垂直平面射流之稀釋過程特性 ※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2211-E-041-008

執行期間：88年8月1日至89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

中華民國八十九年十月三十一日

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。

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) 所自行開發可同時量測呈直線排列之 35 測點濃度資料之一維陣列濃度量測系統 (array detection system of concentration) 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完全發展區及射流於自由水面所形成之表面衝擊區內之濃度場分布、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、流場控制參數分析

由於本計畫主要以實驗法歸納研究平面射流表面流場之濃度分佈、稀釋特性、區域特性參考厚度及其他參數與環境參數之間函數關係, 此類研究方法首要確立流場內欲討論現象之控制特性參數群, 由 Chyan and Hwung(1993)之研究可知, 波浪作用下射流之動量及質量傳輸之守恆式可表為:

$$\int_{A(z)} (\overline{w^2}) dx = m \quad (1)$$

$$\int_{A(z)} (\overline{w \bar{c}} + \overline{w \tilde{c}}) dx = qC_0 \quad (2)$$

式中 w 、 z 及 c 分別為射流流場之垂直向上之軸向速度、距離及追蹤劑濃度, 符號上之橫線及波折線表示參數之平均量及週期變動量, 而 m 、 q 及 C_0 則為平面射流之單位寬度起始動量、單位寬度

體積流率及追蹤劑濃度。以上之平均軸向動量及濃度之守恆式經斷面積分及代入平均速度及濃度之相似性函數, 則可得平面射流受波浪運動作用後, 其平均速度場及濃度場之控制特性函數;

$$\frac{S_c q}{U_w Z_w} = C_t \left(\frac{Z}{Z_w} \right)^2 \quad (3)$$

式中 $S_c (=C_d/C_m)$ 表示射流平均中軸上之稀釋率, U_w 及 Z_w 為本文所選用之無因次化特性尺度, U_w 為波浪之特性速度尺度, 其定義為波浪水粒子水平速度極值之水深平均值, 而 $Z_w = (m^{1/2}/U_w)^2$ 則為用以表示射流起始動量主宰區域之參考長度尺度。另 C_t 為其相對應之比例係數, 此係數主要與波浪之影響因素及流場之相似分布函數積分常數有關, 惟此積分常數僅為一定值, 故此係數仍為波浪特性所主宰且須由實驗定之, 本計畫之重點即探討 C_t 與波浪重要之特性參數; 水深、波長及波高間關係。

四、實驗佈置

本計畫之實驗可分為兩部分; 即流場可視化與表層濃度場之量測, 前者主要對流場進行定性之探討, 於實驗時, 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 μ m)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, 藉由專業用精密單眼相機即可紀錄之, 並觀察平面射流之定性流場特性。

至於濃度場之定性量測則是藉計畫主持人於貴會補助之專案計劃中所自行組裝之一維陣列濃度量測系統進行呈線性排列 35 測點之濃度量測實驗, 其量測精度約藉於 0.07ppb 至 0.16ppb 間, 實驗細節可參考 Hwung and Chyan(1999), 實驗時, 平面射流開口狹縫寬度(D)為 2mm, 長 12cm, 水深(H)約為 20cm 至 30cm。

五、結果與討論

由流場可視化實驗可知射流水由狹縫進入實驗水槽後，由照片可發現平面射流於啟動過程中，首先將形成對稱之渦流 (vortex)，隨渦流之逐漸成長，渦流之不對稱結構亦顯現，最後，平面射流則漸次發展完成，流場中存有各種不同尺寸之渦流，同時，亦可發現射流之蜿蜒現象，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，Chyan & Hwung (1993)於研究波浪場中圓管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，至於前者所提另一種增加稀釋效果之流場結構；即尾跡渦流，則未曾發現。

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十分良好之高斯分佈，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 $b=0.185$ ，與 Fischer et.al(1977)之 0.176 結果十分相近， $b_c=0.195$ ，由此可知本計畫之研究系統中之射流製造與量測系統功能皆屬正常。

射流受波浪作用後，其中軸稀釋率之變化如圖 3 所示，由其結果可知，波浪之作用確可增進射流之稀釋率，當波浪條件近於深水波時，其中軸稀釋率即可大幅提昇，且已非線性遞增趨勢，而變化趨勢將由純平面射流之線性遞增變為

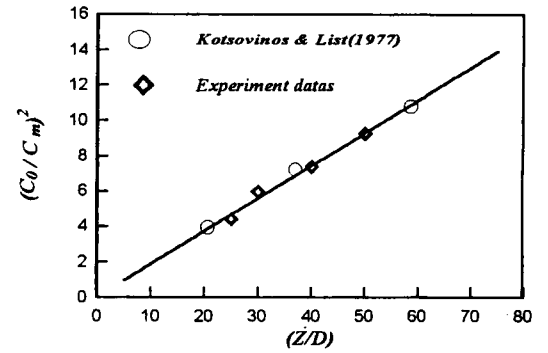


圖 1 平面射流中軸稀釋率之空間分佈

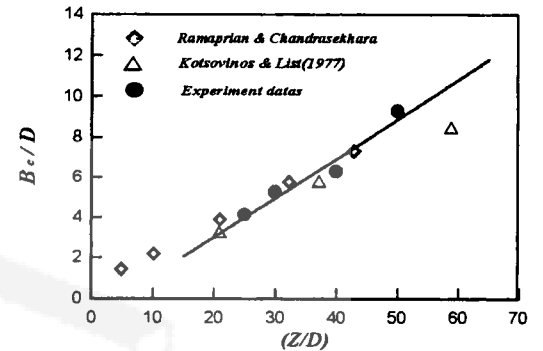


圖 2 平面射流相對邊界之特性變化

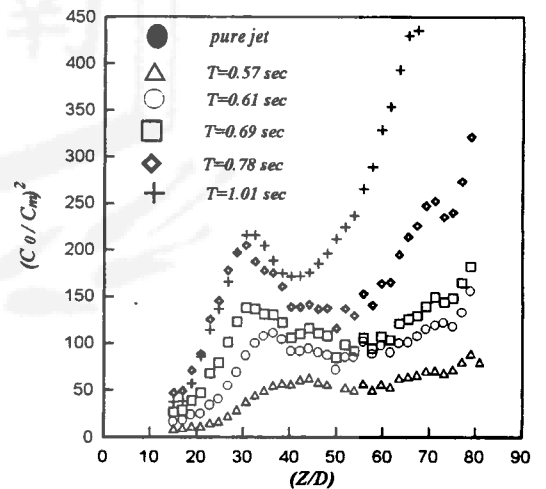


圖 3 波浪作用下平面射流中軸稀釋之率特性變化

快速增加、遞減及線性增加等三階段式之變化，此現象 Chyan & Hwung(1993)於研究圓管射流進入波浪場後之特性變化時亦曾發現相同變化趨勢，第一段之增加趨勢主要係射流受波浪作用後產生左右搖擺現象所致，在此階段中，射流流速快速遞減，稀釋率快速增加，於漸變段時，稀釋率將略為下降，射流水團會產生分離，其後再結合形成另一射流水體，稀釋率復呈線性遞增趨勢，將此區之數據帶入(3)中即可求得 C_i ，其結果

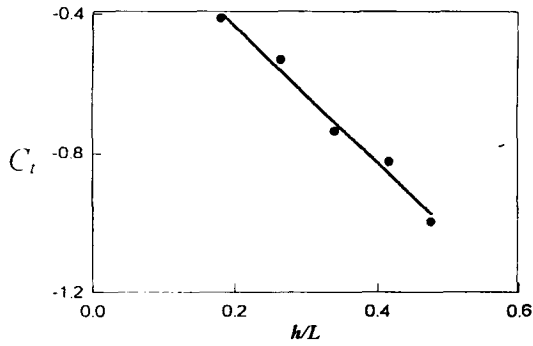


圖 4 平面射流中軸無因次濃度擾動強度之特性變化

如圖 4 所示，由圖中可知 C_t 係隨相對水深(h/L)呈線性遞減趨勢變化，經迴歸後可以下式表示之；

$$C_t = -0.04 - 1.96 \frac{h}{L} \quad (6)$$

式中 L 表波浪之波長，上式之結果與 Chyan & Hwung(1993)之變化特性函數明顯不同，然建立此關係即可估算平面射流受波浪作用後之表面稀釋率。

六、計畫成果自評

由本計畫之成果顯示，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，受波浪作用後，中軸稀釋率將大幅增加，且其變化趨勢則呈快速增加、遞減及線性增加等三階段式之變化，由第三段之線性區數據亦迴歸出稀釋率估算式之經驗係數 C_t 係隨波浪之相對水深呈線性遞減，由本計畫所歸納之經驗公式即可推算平面射流受波浪作用後射流成熟區之中軸稀釋率變化，更可供流場模擬或實際工程設計之用。

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 turbulent plane 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.