

連續內波之水粒子速度剖面分佈量測

郭哲成¹ 曾若玄²

1 國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士班

2 國立中山大學海洋生物科技暨資源學系教授

摘要

內波是發生在密度分層流體中一種波動現象,本研究爲了更了解連續內波傳遞的特性,在內波水槽中做了一系列的兩層流體系統實驗,上層爲淡水,下層爲鹽水,利用 Micro ADV 量測連續內波之整層剖面流速分佈。且利用超音波波高計、表面波波高計、密度剖面計分別偵測內波、表面波的波型以及密度垂直分佈。研究結果顯示,在密度分層介面的上方和下方流速方向相反,在介面附近的 U 和 W 流速分量最大,離開介面越遠則流速越小。我們也將實測資料以 EMD 方法分析,將雜訊濾除,並與一階和二階的理論計算結果比較相當吻合。

關鍵字:連續內波、EMD、實驗

Vertical distributions of water particle velocities in continuous internal waves

Che-Cheng Kuo Ruo-Shan Tseng*

* Professor, Department of Marine Biotechnology and Resources, National Sun Yat-sen University

ABSTRACT

Internal waves occur in the interface between two layers of fluids with density stratification. In order to better understand the characteristics of internal waves, a series of experiments were conducted in a laboratory tank with two-layer system. The upper and lower layers are fresh water and salt water, respectively. A micro-ADV is used to measure velocity profiles. Wave profiles at the density interface and the free surface are monitored respectively by an ultrasonic and capacitance wave gauges. Our results indicate that particle velocities (u and w) above and below the density interface have opposite directions. The speed is peaked near the density interface and it becomes weaker further away from the interface. Empirical Mode Decomposition is used to remove noise from the observed particle velocities. The filtered signal compares favorably with those.

Key word : continuous internal waves、EMD、experiment

一、前言

在分層的海洋裡,內波是發生在不同密度變化之間,內波的產生對許多課題均有影響,例如…海軍潛艇偵測及鑽油平台干擾等,故研究內波的物理現象爲海洋物理中一個重要的課題,前人 Umeyama(2002,2009)利用長兩個大小不同的水槽槽並利用 PIV 技術等實驗儀器來探討高階理論公式解的適用性。國立中山大學王瑋宏(2007)也做了內波

水槽實驗,利用塌陷式造波方。國立中山大學王瑋宏(2007)也做了內波水槽實驗,利用塌陷式造波方式,然後再分別調配上下比例厚度不同的淡鹽水,可造出上舉型和下沉型的孤立內波。本研究爲了更了解連續內波之流速剖面特性,利用 MICRO ADV 來量測連續內波之水粒子流速變化,和波型變化,進而探討內波的物理現象。

二、實驗設計

本文爲了更瞭解連續內波之流速剖面特性,在兩層流體系統進行水槽實驗,上層爲淡水,厚度爲 10cm,下層密度爲 1030kg/m³ 的鹽水,厚度爲 35cm,實驗水槽長 12m,寬 0.5m,高 0.7m,如圖 1 所示,實驗採分層注入染液方式可視化觀察。利用 Micro ADV 量測三維流速,超音波波高計測內波波型,電容式波高計量測表面波波型,密度剖面計量測密度剖面分佈。Micro ADV (圖 2) 是 SonTek 所製造的,由於 Micro ADV 是一種聲學儀器,故需要在實驗水體中加入粒子,以增強回聲強度並提高信雜比。Micro ADV 所量測到的流速爲一單點,此一單點爲 x y z 三軸所交集而成的一點,離音鼓約 5 cm, Micro ADV 的垂直測量位置可由儀器架做調整,從連續內波上方到下方均有涵蓋,以獲得整層流速剖面。所有儀器之取樣頻率均爲 25Hz,資料長度爲五分鐘。造波方式是以馬達帶動 D 型槳,利用馬達之不同轉速,可搭配出不同週期。本實驗設定馬達轉速 R=60、50、40,所得到的資料分別代入 HHT 計算可得出主要內波週期分別爲 3S,3.5S,4S。

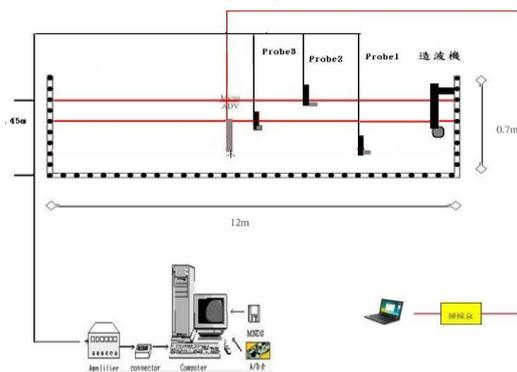


圖 1 實驗設計圖

由超音波波高計、表面波波高計、密度剖面計所量測出來的波型和 Micro ADV 所量測的流速比較後可得知內波的物理現象。



圖 2 MICRO ADV

三、內波理論公式

由於波峰波谷的粒子流速是很上下均勻對稱,故計算出來的平均流零,Umeyama(2002,2009)推導出實驗水槽內波理論公式,分別可計算出上下層任何一點 U 方向和 W 方向的流速,本研究也比較出類似的結果。因爲 Micro ADV 是一個高頻儀器,故所量測出的流速很有可能受到雜訊影響,除了主要週期之外還會受到其它副週期所影響,本文將 Micro ADV 所量測到的流速資料經由 EMD 處理,將雜訊濾除,進而比較實驗和理論兩者的差異。

$$U_{1i} = -nk[A\cosh(nkz)+B\sinh(nkz)]\cos(nqt)$$

(1)

$$W_{1i} = -nk[A\sinh(nkz)+B\cosh(nkz)]\sin(nqt)$$

(2)

$$U_{2i} = -nk[D\cosh(nk(z+h_n))]\cos(nqt)$$

(3)

$$W_{2i} = -nk[D\sinh(nk(z+h_n))]\sin(nqt)$$

(4)

U_{1i} :上層水平流速、 W_{1i} :上層垂直流速、 U_{2i} :下層水平流速、 W_{2i} :下層垂直流速、 n :階數、 K :波數、 Z :離交界面的距離、 q :常數 t :時間、 h_n :下層厚度、 A :常數、 B :常數、 D :常數

四、實驗結果

4.1 內波特性

根據量測結果顯示,若轉速調大,連續內波的週期會比較短,內波振幅會比較大,粒子流速就會比較大,在靠近淡水層和鹽水層交接處,所得到的流速最大,越接近底層,流速也就會最小,在轉速 R60 實驗中最大流速可達到 $U=3.8\text{cm/s}$, $W=1.2\text{cm/s}$,最大振幅可達到 2cm 左右,若轉速調小,週期較長,所得到的流速、振幅就會比較小。在波峰處,內波上方會呈現和波向相反的流速,在內波下方會呈現和波同向之移動流速,垂直方向流速也會比較大,反之在波谷處,內波上層會呈現和波同向移動的流速,在內波下層會呈現和波反向之移動流速(如圖 3 所示)。圖 3 是來自國立中山大學王瑋宏的碩士論文,他們是利用 PIV 系統來觀測孤立內波之粒子運動軌跡,如圖所示也是呈現上下粒子運動相反之現象。

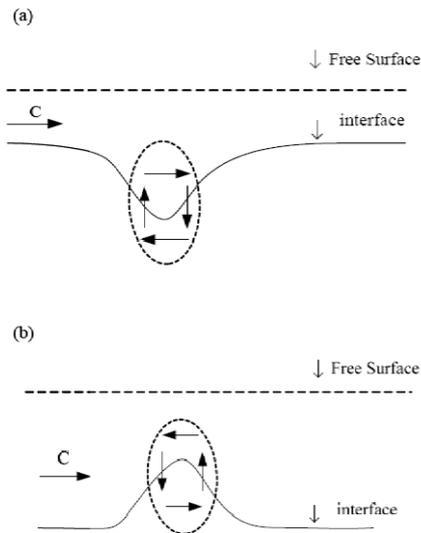


圖3 (a)在波谷,上層流速和波方向相同
(b)在波峰,上層流速和波方向相同(2007.王瑋宏)

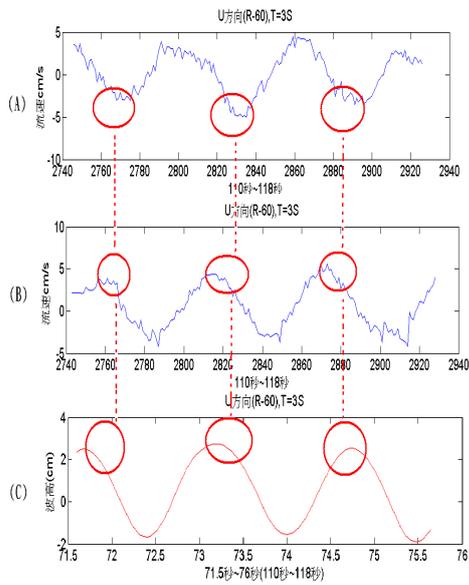


圖4 上下層流速和波形比較

圖4為本實驗量測的結果,A圖為內波上方的點和波的方向相反,B圖為內波下方的點和波的方向相同,比較後可得知上下流速相反。

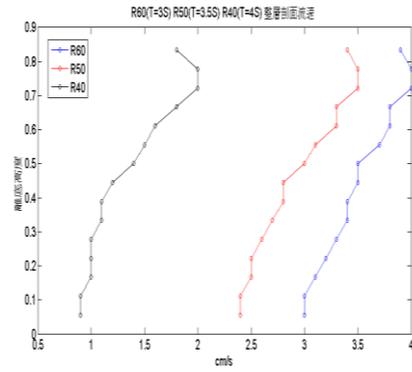


圖5 U方向整層流速垂直分佈圖

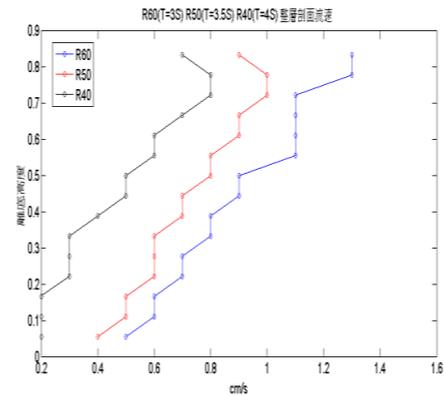


圖6 W方向整層流速垂直分佈圖

圖5、6為R60(T=3S) R50(T=3.5S) R40(T=3S)U方向和W方向的流速,藍色為R60的流速值,紅色為R50的流速值,黑色為R40的流速值,在內波交接處W方向流速會比較大,是因為粒子在交接處呈現橢圓方式上下運動。

4.2 實驗理論比對

以下的圖型都是以R60(T=3S)來分析的,圖7、圖8為U方向流速的原始資料帶入EMD(Empirical Mode Decomposition method),經由EMD處理後,會跑出n個分量(以資料筆數為幾筆,以 2^n 來限定),先目測原始資料,然後再取出EMD裡適合的分量。

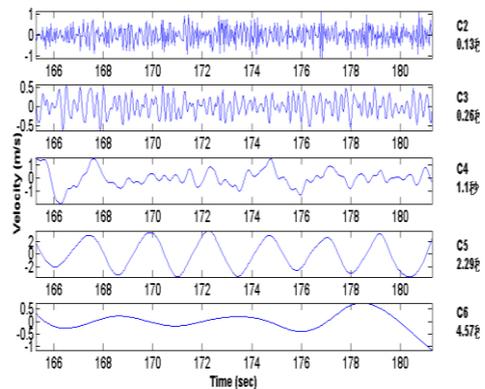


圖7 原始資料經EMD處理

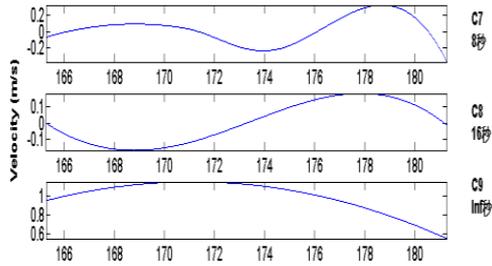


圖 8 原始資料經 EMD 處理

圖 9、10、11 為 R60(T=3S)U 方向的流速,分別為一階二階三階,藍色為 Micro ADV 經由 EMD 處理過後的流速,紅色部分為理論公式計算,經由實驗理論比較出兩者的差異性。

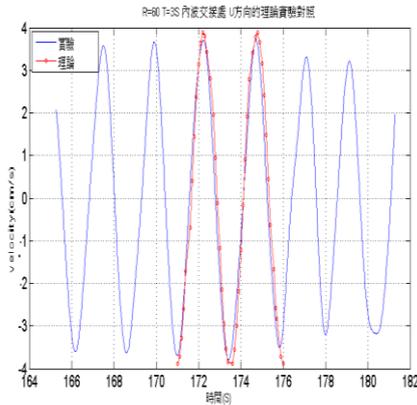


圖 9 U 方向實測流速-一階理論比較

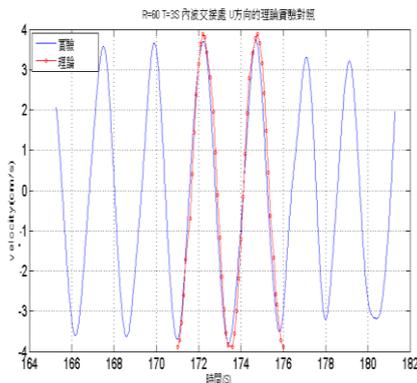


圖 10 U 方向實測流速-二階理論比較

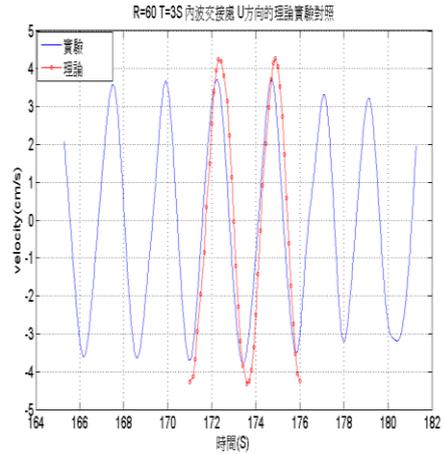


圖 11 U 方向實測流速-三階理論比較

結果可從這幾張圖型看出,一階二階的實驗理論差異性較小,三階的實驗理論差異性較大。在 W 方向的流速也是得到相同的情形。

五、結論

在這一系列的水槽實驗中 R60、R50、R40 造出的波型比較穩定,不會像其它轉速生較大的副週期,內波在傳遞時交接面會產生些物理現象(1)在波峰處,內波上方會呈現和波向相反的流速, (2)在內波下方會呈現和波向之流速, (3)反之在波谷處,內波上層會呈現和波同向移動的流速, (4)在內波下層會呈現和波反方向之移動流速,由於波峰波谷的粒子流速是很上下均勻對稱,故計算出來的平均流速約零,從這 15 點垂直移動結果,因為在內波交接處水粒子會呈現橢圓的方式的移動,故在交接層 W 流速是最大的(因粒子上下移動),越往上或越往下流速會越小。Umeyama(2000)在水槽實驗中,因自由表面所產生的流場也會受到內波的流場所影響,因而互相牽引,本文實驗所量測出來的自由表面波波高約為 0.7cm,內波波高約為 3.8cm,與理論實際比較結果,理論值在一階二階的差異性並不大,在三階時差異性較大。

謝誌

承蒙國科會經費編號 NSC99-2611-M-110-013 之補助使本研究得以順利完成,謹致謝忱。

參考文獻

1. 王瑋宏(2007)實驗室觀測孤立內波傳遞之粒子運動軌跡,國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士論文
2. Umeyama, M. (2002). Experimental and Theoretical Analyses of Internal Waves of Finite Amplitude JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING Vol. 128 ,pp133 - 141,
3. Umeyama, M. (2009):Particle image velocimetry measurements for Stokes progressive internal waves , JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING, vol 134,pp 286 - 298.
4. Walker, S. A., A. J. Martin, W. J. Easson, and W. A. B. Evans (2003),Comparison of laboratory and theoretical solitary wave kinematics,JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING,vol 129, pp210 - 218.
5. Shimizu, R., T. Shintani, and M. Umeyama (2006), Instantaneous and Lagrangian velocity fields of internal waves on a slope by PIV measurement and numerical simulation, JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING, vol 52, pp1 - 5.