珊瑚礁淺灘之紊流觀測

劉冠成¹、曾若玄²、黄志誠³

1國立中山大學海洋生物科技暨資源學系碩士生 2國立中山大學海洋生物科技暨資源學系教授 3國立中央大學水文與海洋科學研究所助理教授

摘要

本研究利用底碇式鐵架掛載 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)與溫壓計,於屏東後壁湖分 析底邊界層紊流消散之潮內變化。觀測期間,此研究地點所計算的紊流消散率變化範圍分別為 1.2×10⁻⁴~1.7×10⁻³ W/kg,表明此地區底邊界層內存在著很強的能量消散。消散率具有明顯 的二分之一周日變化,平均值為4.9×10⁻⁴ W/kg。在近岸地區,流較小,但碎波所產生的能量 消散會轉成紊流的消散,以致其值遠大於深海值。

關鍵詞:紊流、消散率

Turbulence observation in shallow coral reef

Kuan-Cheng Liu Ruo-Shan Tseng Zhi-Cheng Huang

ABSTRACT

Bottom-mounted Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) and T/P were deployed to measure near-bed turbulence dissipation in the coastal waters off Pingtung. During the observation period, the strong energy dissipation in the bottom boundary layer were observed. The estimated turbulence dissipations are $1.2 \times 10^{-4} \sim 1.7 \times 10^{-3}$ W/kg in the area. Turbulence dissipation rate has the variation of semi-diurnal period, and the mean value is 4.9×10^{-4} W/kg. In the shallow waters, the energy dissipation by breaking waves is transformed to the turbulent kinetic energy and dissipation. Thus the value in the shallow waters is greater than in the deep sea.

Keyword : turbulence \ dissipation

一、 前言

海洋中由於黏性流體遇到大氣或是海底摩擦力 的作用,在水流表面和底部發展成表面邊界層和底 部邊界層。前者為密度和動量完全混合的一層,具 有顯著的垂向剪切;而海底邊界層(bottom boundary layer)是指水中結構受到底邊界影響的水層。它是由 底部非均匀水流與不規則底床之間的多種相互作用 而形成的,具有強剪切的特性。在淺海中,底床的 摩擦應力和底邊界層內的紊流消散,在海洋能量平 衡上扮演著重要角色,影響整個海域的環流結構, 並控制沉積物的侵蝕、懸浮、沉積過程(Kim et al., 2000)。 紊流主要從平均流取得能量,平均流的耗能與 水流結構有相互的影響,如紊流強度,紊流消散特 性等。底床紊流的產生除了和地形有關係外,也會 受到波流的影響。(Liu et al.,2009)在大陸珠江口利用 上述三種方法討論底床紊流特性,如:剪應力、曳力 係數與紊流的能量守恆。文章指出,在流速過大的 上游河道次區間比低流速河道還要窄,觀察各流速 値,得出結論,當流速太大或太小,次區間的寬度 都很窄並不適合做慣性消散法。

此實驗環境屬於珊瑚礁地形,陡峭且不規則的 珊瑚礁,創造了一個水動力場。近幾年來,在陡峭 前礁及外礁地形上,投入相當多有關波浪變形和波 浪能量消散之研究。研究結果指出,波的能量消散 主要來自珊瑚礁邊緣所產生的碎波影響(Huang et al., 2012)。

本研究把實驗重點放在流與波浪的交互作用對 消散率以及剪應力的影響,因為海流具有很強的傳 輸能力,而波浪則有很強的擾動水體能力,若兩者 交互作用下,海域所造成的變化,是值得我們研究 探討的。

二、實驗設計

本研究於 2012 年 2 月 18 日在底深約 2m 處進行 40 小時現場觀測,實驗地點位於屏東的後壁湖海洋 資源保護區附近海域 21°93' 77.1" N, 120°74' 54.5" E,其地理位置如圖 1,



本研究所使用的 ADV 為 Nortek As 所生產的 Vector 是利用聲學杜普勒原理來運作的流速計,它 是一種有高取樣頻率流速計,儀器本身有著羅盤系 統和壓力計,探針包含了一個 transmitter 和三個 receivers 圖 2,可精確的量測到三維速度。



ADV 內含有壓力探針,量測到的壓力可經由轉

換獲得波高值;將 ADV 及濁度計設置在底碇式三角 裝置上圖3;再利用壓力式波高計,測得實驗地點 的水位及波高。ADV 取樣頻率為32Hz,採連續方式 記錄,壓力式波高計取樣頻率為4Hz,採取 Burst 記 錄方式測量29分鐘休息1分鐘。



圖 3. 三角裝置掛載 ADV 示意圖

三、分析方法

3.1 ADV 原始資料處理

ADV 原始資料是採樣體積內的流速在地球座標 系下的三個分量(u,v,w),分別為東向分量,北向 分量和垂直流速(向上為正)。對於原始數據,首先要 進行如下處理:

(1) 座標轉換:ADV 現場觀測時採 ENU 座標系, 而紊流的理論假設是在平均流的意義上得來,因此 我們將 ENU 座標系旋轉為主流向座標系統。ENU 座 標系下的流速為 Us=(us, vs, ws),則座標旋轉後的 流速為 U=[R]Us。

	Γ cosθcos β	cosθsinβ	sinθŢ
式中:[R]=	—sinβ	cosβ	0
	-sinθcosβ	—sinθsinβ	cosθ

其中,β為水平旋轉角,θ為垂直旋轉角(Kim et al., 2000)。

(2) Despike:對流速分量進行 Despike,本文採用 Goring 等提出的 Phase-Space Thresholding Method 進 行數據處理。 (3) 濾波:由於考慮紊流頻率較高,波浪頻率較低, 故對三個流速分量進行高通濾波。

由於本文的底床剪應力與紊流消散率的計算以 垂向能譜為主(Stapleton and Huntley,1995),在符合斜 率-5/3 的慣性區間內,並不會被低頻訊號以及 Spike 所影響,所以在進行慣性消散法時無須做以上前置 處理。

3.2 紊流消散率的計算

根據 Kolmogorov 的-5/3 定律,紊流能譜為以下形式:

 $\mathcal{E}_{\rm ii}(k) = \alpha_i \varepsilon^{2/3} k^{-5/3}$

其中 $E_{ii}(k)$ 為第 i 個流速分量在波數 k 的能譜密 度(i=1,2,3), ϵ 為紊流消散率, α i 為 Kolmogorov 常 數, i=1 對應於平均流方向, i=2,3 對應於與平均流垂 直的另外兩個流速分量。 α i=0.51, α 2= α 3=4/3, α 3≈0.68。

由於為單點流速時間序列,無法直接求得波數 譜,因此需將波數轉化為頻率,故利用 Taylor 的

"frozen turbulence" ,取波數為 k=2π f/U,將上式 改成:

$$\frac{2\pi}{U} E_{ii} \left(\frac{2\pi f}{U}\right) = S_{ii}(f)$$

由上式可以得到紊流消散率表示式為:

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{U} \alpha^{-3/2} \overline{f^{\frac{5}{2}} S_{ii}^{\frac{3}{2}}(f)}$$

其中,S_{ii}(f)為對應頻率f的能譜密度,上橫線表示 在慣性區間內取平均值。

由於在底邊界層內,垂直流速受到波動影響比 水平流速要小,垂直流速w主要由紊流產生,因此 只用垂直流速計算紊流消散率。

四、結果與討論

4.1 觀測期間的天氣及水文狀況

圖4 為風速風向、流速流向以及潮位的時序圖, 風向為東北,最大風速約 10 公尺/秒,流向為東南走 向,因此隨著漲退潮呈東南的往復流,此地區流速 與風速較無絕對關係,與潮位關係較爲密切,但漲 退潮流速不對襯,漲潮時流速小於退潮流速。這與 圖 5 用 ADV 數據以 5 分鐘為平均求得的水平旋轉角結果一致,很好驗證求得的水平旋轉角。



圖 4. 實驗地點自 2 月 18 日至 2 月 20 日所觀測之速 風向、流速流向與潮位隨時間序列變化。



圖 5. 平均流的水平旋轉角分布:正值流速為退潮,負 值流速為漲潮。

4.2 消散率

圖 6 為紊流消散率與南北向流速 v 對時間序列 作圖,紊流消散其值大小在潮內雖無明顯的變化, 變化範圍為:1.2×10⁻⁴~1.7×10⁻³ W/kg,但可以發 現,紊流消散率與流速 v,兩者有很好的相關性。這 表明此地區受潮汐影響的南北向流速 v 對紊流的消 散很有關係,觀察其趨勢,紊流消散率有明顯的二 分之一周日規律變化。

6×10⁻²~2.27 N/m²、5.9×10⁻⁴~4.1×10⁻³ m/s。 由於紊流主要是海底流速剪切生成,雖然底床剪應 力與摩擦速度有很好的對應關係,但是因為摩擦速 度太小導致雷諾數值也偏小。波高的趨勢亦與消散 率和底床剪應力相似,於是可推論波浪主導了此地 區的能量消散與海底流速剪切。

研究地點為近岸的淺灘地區,流速較為深海來的小,但是從外推進內的碎波,會使此地區有較大的波浪消散,碎波所產生的能量消散,會轉成紊流的消散(Huang et al., 2012),以致其值遠大於深值。



圖 6 紊流消散率與南北向流速隨時間序列作圖。



圖 7 紊流消散率極大與極小時的能量譜。綠色實線 代表斜率-5/3。



圖 8 底床剪應力、摩擦速度與波高隨時間序列變 化。

五、結論

本研究利用 ADV、溫壓計觀測後壁湖淺灘海域 的底床紊流特性。得出以下結論:

- 此地區的風對流的影響較小,觀測期間風速最 大為10.1 m/s 時,此時流速為0.025 m/s;而風速 最小為0 m/s 時,流速為0.028 m/s,兩者並無太 大差異,因此可以說此區域,風對流的影響較 小,且此地區的流速隨著退潮變大隨著漲潮而 減小。
- 紊流主要由海底剪切生成,此地區的紊流 消散主要由南北向流速的能量消耗,觀察 其紊流消散率則具有明顯的二分之一周日 變化。
- 觀察紊流消散率極大與極小時的能譜,慣 性區間範圍並無明顯差異,而摩擦速度非 常小導致兩者的雷諾數並不大,藉由波高 與底床剪應力相似趨勢,可研判此地區以 波浪主導能量的耗散。

參考文獻

- Goring, D. G., Nikora, V. I. (2002) "Despiking acoustic Doppler velocimeter data," *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 128(1),pp. 117-126.
- Huang, Z –C., L. Lenain, W. K. Melville, J. H. Middleton, B. Reineman, N. Statom, and R. M. McCabe. (2012) "Dissipation of wave energy and turbulence in a shallow coral reef lagoon" *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, C03015.
- Huang, Z –C., B. D. Reineman, L. Lenain, W. K. Melville, J. H. Middleton. (2012) "Airborne lidar measurements of wave energy dissipation

in a coral reef lagoon system" Journal of Geophysical Research, Vol. 117, C03016.

- Kim, S. C., Friedrichs, C. T, Maa, J. P.-Y., Wright, L. D. (2000) "Estimating bottom stress in tidal boundary layer from acoustic Doppler velocimeter data," *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 126,pp. 399-406.
- Liu, H. , Wu, C., Xu W., Wu, J.(2009) "Contrasts between estuarine and river systems in near-bed turbulent flows," *Estuarine, Coastal* and Shelf Science, Vol. 83, pp. 591-601.
- Stapleton, K. R., Huntley, D. A.(1995) "Seabed stress determinations using the inertial dissipation method and the turbulent kinetic energy method," *Earth surface processes and landforms*, Vol.20, pp. 807-815.