

## 近岸碎波噪音之量測分析

### Measurement and analysis of surf noise near shore

湛翔智<sup>1</sup>、魏瑞昌<sup>2</sup>、許智翔<sup>3</sup>、吳建逸<sup>4</sup>

#### 摘要

碎波噪音是近岸海洋環境噪音的主要來源之一，其產生噪音的機制為波浪發生碎波時所衍生的氣泡及氣泡團之共振，因此噪音的頻率範圍約為 0.5 至 25 kHz 之間。本研究在西子灣水域佈放一組水下陣列聽音系統來量測碎波噪音，陣列共有 16 支水下麥克風，其間距為 0.15 公尺，系統的取樣頻率設定為 50 kHz。由分析結果發現，觀測到的碎波屬於捲波型，在最接近碎波潰散點的水下麥克風所獲得的三維時頻譜圖上之表現特徵為：先出現低頻的噪音，此乃碎波氣泡團所造成的聲音，之後因氣泡團隨波浪運動而分散在水團中，因此個別氣泡發出的共振噪音則會持續數百毫秒。其次，藉由空間方向性的計算，也可以觀測到 5 kHz 以下的噪音空間分佈情況，在 1 kHz 的結果中看到碎波噪音由峰值衰減 10 dB 的時間約 0.8 秒且其噪音分佈在靠近岸上，顯示碎波點是在波浪跨越陣列之後；而 2 kHz 以上的噪音分步則是含蓋大部分水層，2-3 kHz 的衰減時間同樣約是 0.8 秒，4 kHz 以上則是 1.2 秒以上。

**關鍵字：**碎波、環境噪音、空間方向性

#### Abstract

The surf noise is one of ambient noise sources near shore, which's generated mechanism is the resonance of bubble clouds and individual bubbles during surface waves breaking and frequency bands are between 0.5 to 25 kHz. The underwater acoustic line array was deployed in the Sizih Bay to measure the surf noise. The array is consisting of 16 hydrophones with 0.15 m spacing, and the DAQ sampling frequency is 50 kHz. The results represent the plunging breaking waves firstly generate low frequency noise from bubble clouds, and then produce high frequency noise from individual bubbles. The bubble clouds appear after the sea surface breaks and the follow situation is the individual bubbles distribute in the water volume with the wave motion for few hundred mini-seconds. Moreover, the spatial directionality calculation indicates the characteristics of noise level peaks decreasing 10 dB down in the frequency bands of 1-5 kHz. The noise directionality in 1 kHz displays the decreasing duration is about 0.8 seconds and noise energy collects in the shoreward side, which means the wave propagated over the line array and then broke. The noise directionality above 2 kHz shows the whole water volume filling bubbles, and the noise level decreasing duration becomes from 0.8 to 1.2 seconds.

**Keywords:** breaking waves, ambient noise, spatial directionality

<sup>1</sup>國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系博士後研究員

<sup>2</sup>國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所助理教授

<sup>3</sup>國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士班生

<sup>4</sup>國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所碩士班生

## 一、前言

碎波(breaking waves)是產生海洋環境噪音(ocean ambient noise)的重要機制之一，在近岸發生碎波的過程是由於波浪傳遞到岸邊時，因海床深度淺化使得波形不穩定而出現變形情況。由於海床坡度、波浪週期(波長)和高度等因素所構成的碎波可歸納為「崩波型(spilling)」、「捲波型(plunging)」及「湧波型(Surging)」[1]，在本研究所量測到的碎波屬於捲波型，其波浪運動和水下聲學特徵可由圖 1 表示：碎波出現時(圖 1(a)的 5-6)，海水會像羽狀(plume)般捲入空氣到海水表層中，此刻的噪音能量多出現在低頻段，這是由於大量的氣泡團(cloud)產生共振的聲音，隨後氣泡團隨水流運動而擴散後，大量氣泡的單一共振則會產生較高頻的噪音，而影響噪音頻率的重要因素則是氣泡的半徑大小[2-3]。在本研究中，在高雄港外西子灣沙灘置放一組水下陣列聽音系統來量測碎波噪音，並以線性波束形成法取得噪音能量分布的方向性，瞭解噪音聲場的改變過程和分布情況。

## 二、實驗及儀器

碎波噪音量測實驗之地點在高雄港外西子灣(圖 2 影像)，在實驗當時(98 年 1 月 8 日上午 10-12 時)的氣溫為 25-26°C，海水溫度約 22-22.5°C，海面風速約 4-5 m/s，中央氣象局預估的波高約 0.5 m，海水聲速約 1,523 m/s。在水深約 0.5 公尺處佈放一組 16 個水下麥克風的聽音陣列，陣列間距為 0.15 公尺，如圖 2 所示：水下麥克風 No. 1 為靠近岸上，No. 16 為靠近海上，此陣列以直線方式排列並與海岸線成 45 度夾角。陣列上的每個水下麥克風裝有前置放大器，每組水下麥克風經校正後得到的靈敏度(sensitivity)約為 -170 dB re. 1V/ $\mu$ Pa；聲音訊號在進入類比數位轉換器前，裝有一台訊號放大器，設定的放大值(gain)為 20 dB，聲音訊號的取樣頻率設為 50k Hz。實驗蒐集到的聲音資料共有 1.5 小時，在記錄系統的設定中將檔案以每 120 秒切割一筆，並依照水下麥克風的編號為存檔檔名；實驗後發現第 16 個水下麥克風訊號異常，經校驗查證後發現是訊號放大器在此頻道發生故障，因此後續的分析僅能使用 15 組訊號。

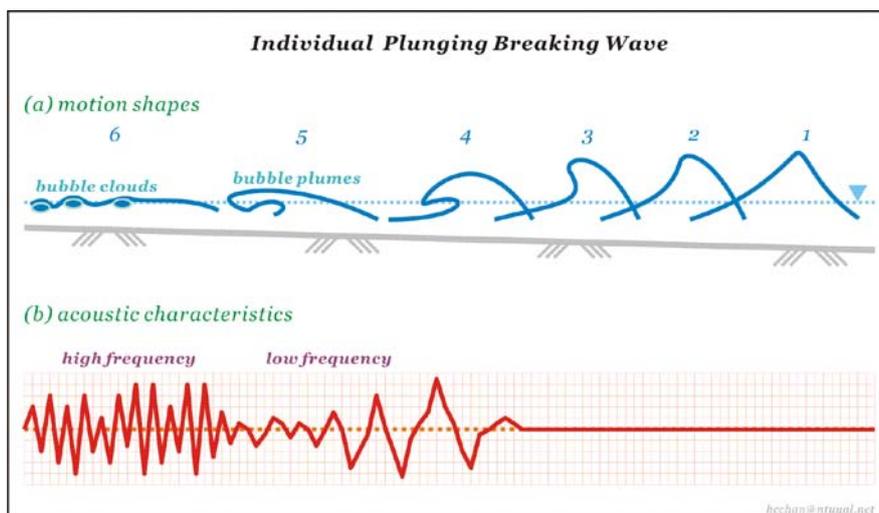


圖 1 捲波形碎波之(a)運動過程及(b)聲學特徵

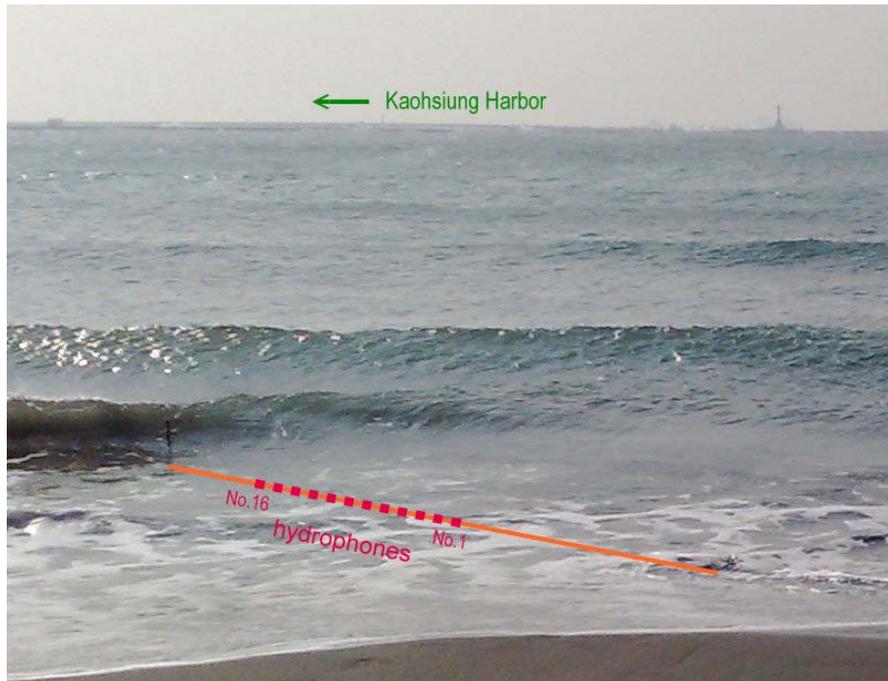


圖 2 在高雄港西子灣實驗所佈放的水下麥克風陣列

### 三、分析方法與數據計算

在本文探討碎波噪音的分析方法和數據計算有(1)三維時頻譜圖的特徵、(2)電壓值的時序變化、(3)噪音方向性的能量空間分布，藉此說明捲波型碎波噪音的重要特性。

#### 3.1 三維時頻譜圖的特徵

使用 MATLAB®的內建程式 SPECTROGRAM.M 可得到訊號的三維時頻譜圖 (spectrogram)，設定的視窗長度為 0.1 秒(5,000 筆資料點)，FFT 的資料點數為 5,000，資料覆蓋(overlap)為 0；圖 3(a)為靠岸水下麥克風 No. 1 的時頻譜圖，圖 3(b)為靠海的 No. 15，紀錄時間為 11 時 19 分左右。在此時發生的碎波狀態，類似圖 1(a)的情況，碎波產生氣泡團是在波浪經過陣列之後，因此在圖 3(a)可以看到低頻的聲音能量(紅色區塊代表噪音聲壓值高於 110 dB)集中在 0.7-1.5 秒之間，而(b)圖僅有極短的時間量到低頻能量。同時氣泡團隨波浪運動而分散在水團中，因此個別氣泡發出的共振噪音則會持續數百毫秒；而在高頻噪音的差異則是在出現時間長度與發生時間差。

#### 3.2 電壓值的時序變化

在時頻譜圖中已經可以發現各頻段噪音能量在時序上會有差異，在本節中使用有限脈衝響應(finite impulse response)數位濾波器來得到 1k Hz 的訊號，使用的濾波器型態為帶通(bandpass)，頻寬設定為 50 Hz，在 MATLAB®中可以使用 FIR1.M 的程式，將濾波器的階數設定為 600。圖 4 為 15 個水下麥克風量到的 1k Hz 聲學訊號，在此看到類似同前一節描述的情況，在低頻(1k Hz)量到高能量噪音的水下麥克風有 No. 1-3，因此貢獻此噪音量的位置應在靠近岸邊。而電壓值的數據在經過濾波後，也將使用在下一節的方向性計算。

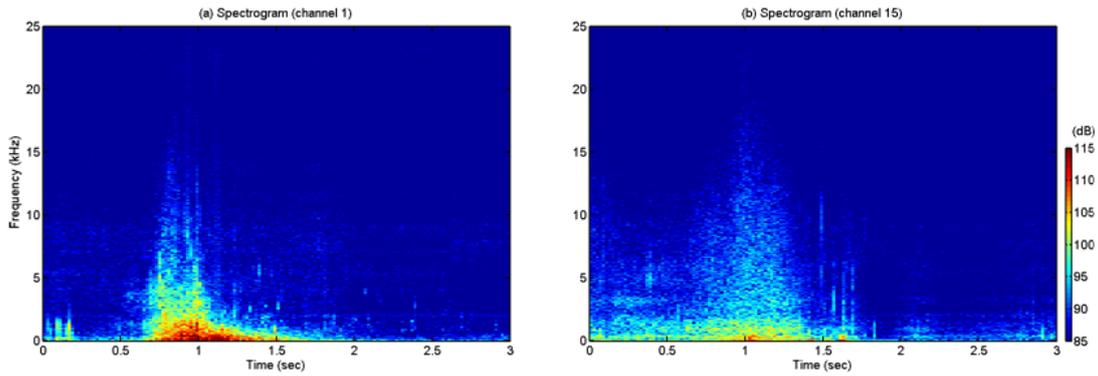


圖 3 聲音時頻譜圖(a)聲道 No. 1(靠岸)，(b)聲道 No. 15(靠海)

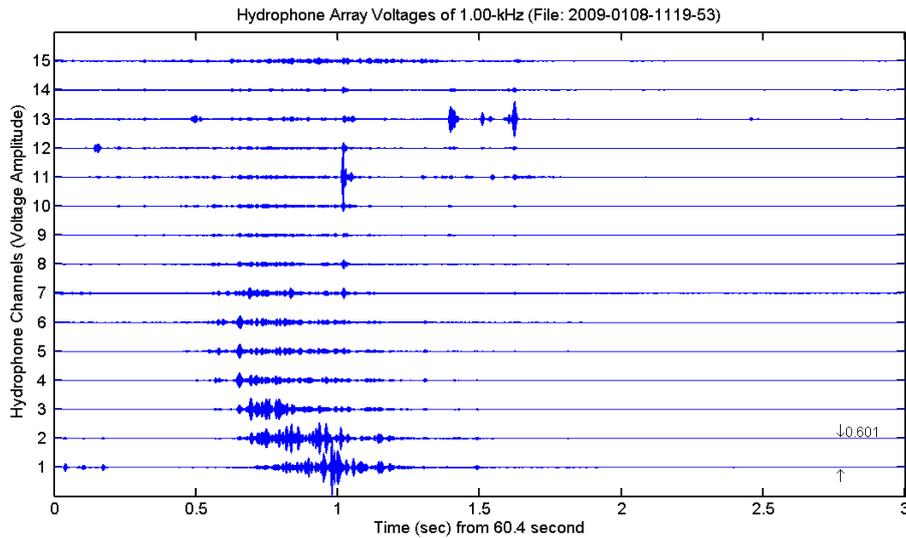


圖 4 各聲道的電壓值之時序變化

### 3.3 噪音方向性的能量空間分布

使用陣列量測聲音時可利用波束形成法找出陣列的波束，在本研究中乃運用線性波束形成法(linear beamforming)作為依據，而噪音方向性計算乃使用陣列操縱(steering)技術以得到空間角度入射平面波的聲音能量值，在實際的數值計算中，需要陣列間距(0.15 m)、海水聲速(1,523 m/s)和視窗長度(0.1 s)等參數，才能運用在方向性計算的相位延遲並取得各角度的聲音能量加總值[4-5]。圖 5 為 1k Hz 的噪音方向性計算結果，在縱軸上的正角度為靠岸方向，負角度為靠海方向，顏色變化歸一為-10 至 0 dB，而實際的最大聲壓值為 32.8 dB；結果顯示此低頻碎波噪音多集中在靠岸的方向，噪音由峰值衰減 10 dB 的時間約 0.8 秒。

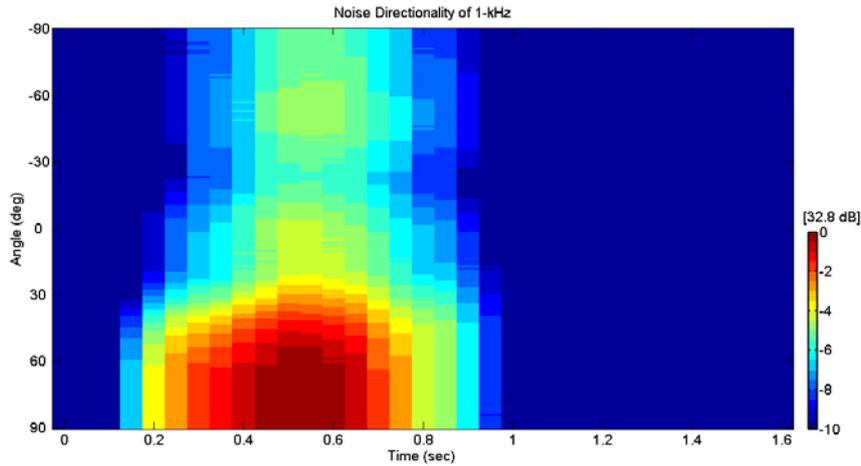


圖 5 頻率為 1 kHz 的噪音方向性變化

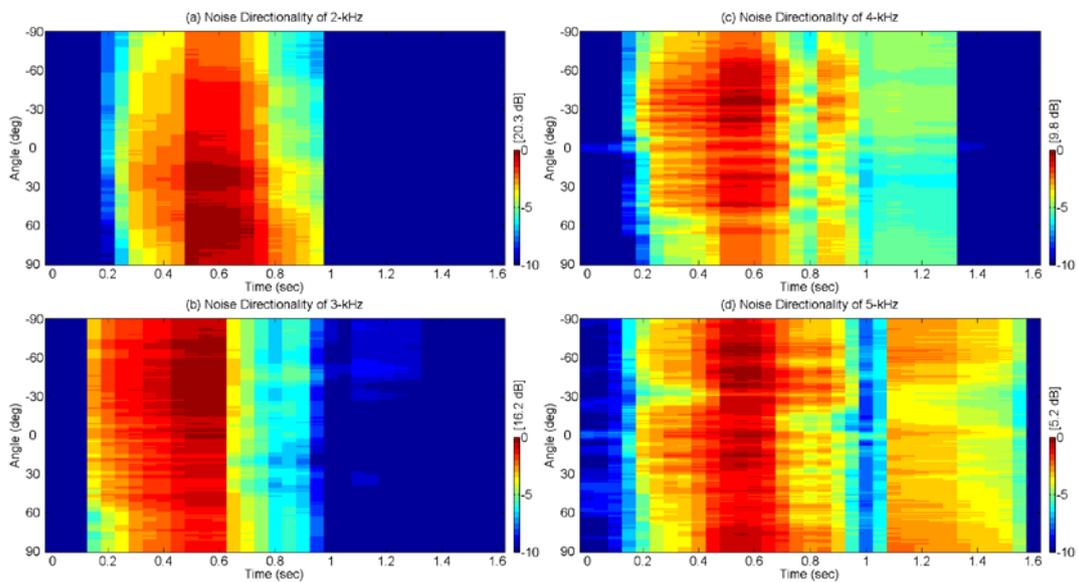


圖 6 頻率為 2-5 kHz 的噪音方向性變化

圖 6 則分別是 2、3、4、5 kHz 的噪音方向性之計算結果，與圖 5 的噪音能量之空間分布差異可以看到：2 kHz 以上的噪音則是含蓋大部分水層，而噪音衰減時間在 2-3 kHz 約是 0.8 秒，4 kHz 以上則是 1.2 秒以上，顯示大量微小氣泡會不斷地產生並充斥在水層中。

#### 四、結論與建議

在本研究中探討捲波型碎波噪音的聲學特性：包括三維時頻譜圖的特徵可以看出碎波噪音在空間中具有強烈的不均勻特性，因此藉由陣列訊號所計算出的噪音能量方向性結果可說明，由氣泡產生的各頻率碎波噪音隨著波浪和水體運動將明顯呈現能量變化差異，尤其是在衰減時間上的變化情況。而有一些能量不均勻分布現象尚無法在實驗數據中解釋，未來將透過數值模式進行研究。

#### 五、參考文獻

1. 郭金棟，*海岸工程*，第二版，中國土木及水利工程學會，1995。

2. T. G. Leighton, *The Acoustic Bubble*, Academic Press, 1994.
3. 湛翔智，*活塞式造波機模擬近岸碎波氣泡之聲學分析*，國立中山大學海下技術研究所碩士論文，2002。
4. F. B. Jensen, W. A. Kuperman, M. B. Porter, and H. Schmidt, *Computational Ocean Acoustics*, Springer-Verlag, 2000.
5. 湛翔智，*臺灣鄰近海域環境噪音之資料分析及數值模擬*，國立臺灣大學工程科學及海洋工程學研究所博士論文，2007。