

阻抗管量測技術探討

謝傳璋^{*1} 簡志宇^{*2}

^{*1}教授

^{*2}碩士班研究生

台灣大學工程科學及海洋工程學研究所
106 台北市舟山路 73 號
電話：02-3366-5747 Fax：02-2365-4931
E-mail：cctse@ntu.edu.tw

摘要

本文以自行設計之駐波管，以雙麥克風法量測水下吸音材之反射係數。並提出一個線性彈簧數學模式，期能將實測之材料聲學阻抗值，迴歸成三個物理常數，即材料的「質量」，「彈性係數」及「阻尼」。並以「自由液面」之反射係數之測量結果，作為此數學模式之可行性之驗證。

關鍵字：阻抗管、聲學反射係數、自由液面

Abstract

By using the two-hydrophone method, the acoustic reflection coefficient of the underwater materials was measured in a water-filled impedance tube. In this paper, a linear spring mathematic model is proposed. It is expected that the measured complex material impedance can be equivalent to three physical parameters, say, the equivalent "mass", "spring stiffness" and the "damping coefficient". A "free-surface" reflection coefficient measurement was conducted, to verify the feasibility of the suggested model.

Keywords : impedance tube、reflection coefficients、free surface

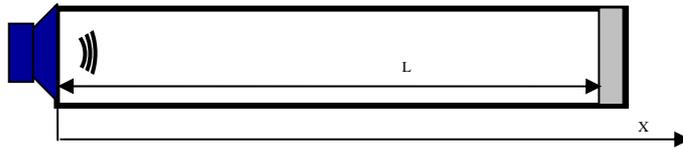
一、前言

對於空氣中的吸音材，其對聲波的吸音效能，相關實驗研究甚多從早期 chung 和 blaser[1]提及聲音特性理論，到後來由文獻[2-7]所提出之方法等。然而對水下潛體用作匿縱的覆蓋材及聲納頭的匹配材而言，相關研究的資料取得則非常困難。本研究的目的，是擬從實測方面進行：自行設計一駐波管，管的一端設置水中發聲器，另一端則覆蓋吸音材，管壁設置兩枚水中麥克風，利用此二麥克風所測得的聲壓，計算管端吸音材的聲波反射係數，以建立一套水下吸音材之吸音特性的量測機制。

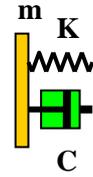
在計算吸音材的聲波反射係數時均不考慮駐波管本身的長度(L) 其原因是因為利用駐波管測量材料的吸音係數(R)值時，此複數 R 值之絕對值與管長無關。若要探討吸音材之聲學阻抗，則必須精準地測量 R 值之相位。此時管長 L 的影響則極為關鍵。此外，更重要的是，管長 L 直接影響管內的所謂「共振頻率」的發生與否。如果能在實驗之前預知管內的共振頻率，更可了解測量的誤差。因此我們嘗試提出一個線性彈簧的數學模式，結合回歸法，期能將目前有關研究中的材料聲學阻抗值，歸納成三個物理常數，即材料的「密度」，「彈性係數」及

「阻尼」。

二、線性彈簧數學模式



圖一 駐波管示意圖



圖二 材料模式

圖（一）為一長度為 L 之駐波管，左端為一穩定喇叭。右端為吸音材，今若將吸音材以圖（二）之線性彈簧系統予以摸模擬，則管內之聲壓分佈 $p = p(x, t)$ 之控制方程式及邊界條件可表示為：

$$p_{xx} - \frac{1}{a^2} p_{tt} = 0 \quad (1)$$

$$p(0, t) = \hat{p}_o e^{i\omega t} \quad (2)$$

$$m\ddot{\xi} + c\dot{\xi} + K\xi = p(L, t) \cdot S \quad (3)$$

其中 a 為聲波之波速， \hat{p}_o ， ω ，為左端喇叭發出聲波之振幅（複數）及角頻率， S 為管之截面積， $\xi = \xi(t)$ 為管右端吸音材位置上之流體質點的位移量， m, C, K 分別為吸音材之等價「質量」，「彈簧係數」及「阻尼係數」。

若設(1)(2)(3)之穩態解為

$$p(x, t) = \hat{p}(x) \cdot e^{i\omega t} \quad (4)$$

可解得：

$$\hat{p}(x) = Ae^{ik(L-x)} + Be^{-ik(L-x)} \quad (5)$$

其中

$$A = \frac{\hat{p}_o (1 + \frac{Z_L}{\rho c})}{D}; B = \frac{-\hat{p}_o (1 - \frac{Z_L}{\rho c})}{D} \quad (6)$$

$$D \equiv 2 \frac{Z_L}{\rho c} \cos kL + 2i \sin kL \quad (7)$$

$$Z_L \equiv \frac{c + i(m\omega - K/\omega)}{S} \quad (8)$$

$$k \equiv \frac{\omega}{a} \quad (9)$$

(5)之解，為兩組移動波（分別向 $+x$ 及 $-x$ 方向傳播）的表示法。換言之，此時在管內會形成「部分駐波」型式的聲壓分佈。亦即將(5)稍加整理，可得以下型式的「駐波」型式之解：

$$\hat{p}(x) = \hat{p}_o \frac{Z_L \cos k(L-x) + i\rho c \sin k(L-x)}{Z_L \cos kL + i\rho c \sin kL} \quad (10)$$

又由(5)可知，在 $x = L$ 處之反射係數 R_L 為：

$$R_L = \frac{B}{A} = \frac{-1 + \frac{Z_L}{\rho c}}{1 + \frac{Z_L}{\rho c}} \quad (11)$$

而在 x 處之反射係數 R_x 與 R_L 之關係為：

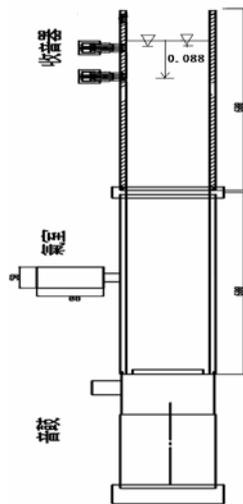
$$R_x = R_L e^{-2ik(L-x)} \quad (12)$$

而 R_x (即 x 處之反射係數) 可以雙麥克風法測得[8]，則可由(12)算得 $x=L$ 處之反射係數 R_L ，繼而可由(11)算得材料之阻抗，即材料在不同頻率 (即 kL) 下之阻抗時，並可由(8)以回歸法估算材料之等價之「質量」 m ，「彈簧係數」 K 及「阻尼係數」 C 。

三、量測結果

由於目前對水下吸音材之反射係數之測量，仍無一標準材料可茲比較。為驗證本模式之正確性。特針對「自由液面」作反射係數測量，作為驗證及進一步研究之參考。此測量過程如下：

將阻抗管直立，注入水後，使水面直接與空氣接觸，兩麥克風間距相差 0.068m，麥克風位置距離水面為 0.088m 裝置如圖 (三) 所示，實測之自由表面之反射係數，與理論值 (即 $R=-1$)，大致允合。



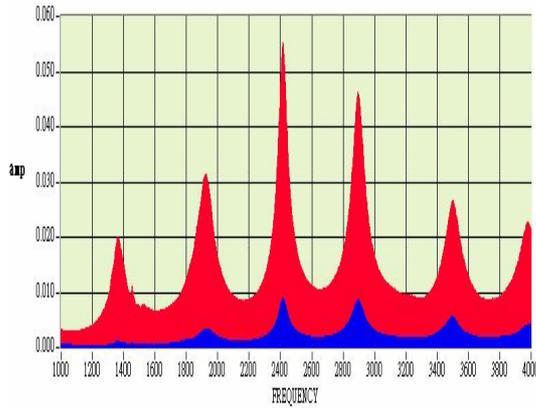
圖三 阻抗管直立量測示意圖

圖(四)為實測之壓力值(淡色為麥克風一之壓力，深色為麥克風二之壓力)

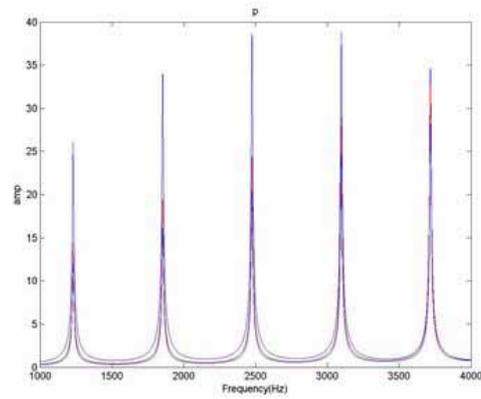
圖(五)為回歸估算自由液面等價之 m ， K ， C 值。

圖(六)是將上述等價 m ， K ， C 值經由(10)算得之之壓力振幅。

圖(七)是將等價 m ， K ， C 值反算得到之理論之反射係數值(實線)，與實測值(虛線)之比較。



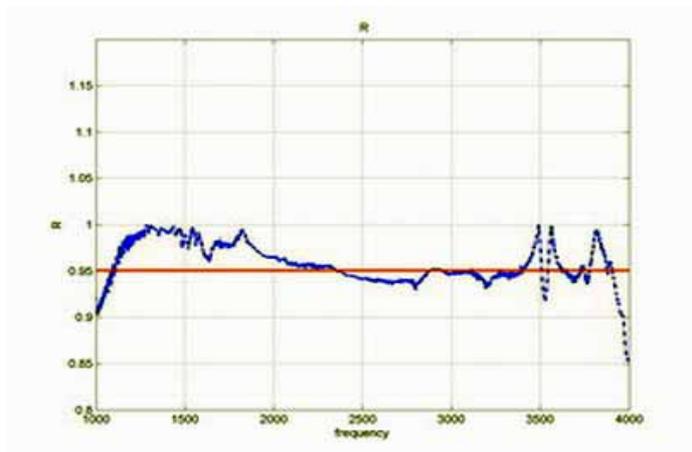
圖四 實際量測壓力值
淡為麥克風一
深色為麥克風二



圖六 理論計算壓力值不同線
段表示不同麥克風位置
之模擬結果

m	$2.50 \cdot 10^{-1} \text{ (kg)}$
c	$2.82 \cdot 10^2 \text{ (kg/sec)}$
K	$5.04 \cdot 10^7 \text{ (kg/sec}^2\text{)}$

圖五 自由液面估算之 m、c、k 值



圖七 反射係數值理論與實測結果
實線為回歸反算之反射係數值
虛線為實測計算之反射係數值

五、結論

1. 至目前為止，仍無標準材料試樣，可茲作為測量之參考值，本文特別針對自由液面實驗作為標準值當作日後量測比較，而結果顯示與理論之全反射($R=-1$)頗為允合。
2. 由線性彈簧數學模式算得材料等價之 m ， K ， C 後，以此結果反算得到理論之反射係數值，與實驗結果比較可得一致的結果，似顯視此模式可用。詳細之材料驗證，目前仍在進行中。

四、誌謝

本研究承蒙國科會
計劃編號(NSC 91-2611-E-002-029)

經費資助，持此致謝

六、參考文獻

- [1]. J.Y. Chung and D.A. Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties, I. Theory" J. Acoust. Soc. Am. 68(3), 907-913 Sept (1980).
- [2]. J.Y. Chung and D.A. Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. II. Experiment" J. Acoust. Soc. Am. 68(3), 914-921 Sept. (1980).
- [3]. "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Micorphones and a Digital Frequency Analysis System." ASTM Designation E 1050-98.
- [4]. A.F. Seybert and Benjamin Soenarko, "Error analysis of special estimates with application to the measurement of acoustic parameters using random sound fields in ducts" J. Acoust. Soc. Am. 69(4), 1190-1199 April (1981).
- [5]. Han Boden and Mats Abom. "Influence of errors on the two -microphones method for measuring acoustic properties in ducts" J. Acoust. Soc. Am. 79(2) 541-549 February (1986).
- [6]. A.F. Seybert and D.F. Ross. "Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random-excitation*" J. Acoust. Soc. Am. Vol. 61, No. 5, 1362-1370 May (1977).
- [7]. L.E. Kinsler, A.R. Frey, A.B. Coppens, and J.V. Sanders "Fundamentals of Acoustics" John Wiley & Sons, Third Edition (1982).
- [8]. 陳理邦,「阻抗管法測量材料水下吸音特性之研究」,(2003, 聲響學會論文集).