

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫十：潛艦覆蓋材水中吸音特性之試驗(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2611-E-002-016-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所

計畫主持人：謝傳璋

計畫參與人員：吳江凱，簡志宇

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 8 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫十：潛艦覆蓋材水中吸音特性之試驗(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2611 - E - 002 - 016

執行期間：92 年 08 月 01 日 至 93 年 07 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所

計畫主持人：謝傳璋

計畫參與人：吳江凱，簡志宇

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 31 日

前言

用於空氣中的吸音材，其對聲波的吸音效能，相關研究甚多。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。這些材料的水下聲學特性，會隨水壓及溫度的變化而異。本研究的目的，是擬從實測方面進行：自行設計一可調控水壓及水溫之駐波管，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。實驗結果，將與另一子計畫的理論（採用 Biot 理論進行多孔介質中之波傳分析）計算結果比較。最終目標，是希望能針對某特定聲波頻率，設計出符合特定聲學阻抗要求的三文治複合式的水下吸音覆蓋材。

本計畫分三年進行：

第一年

設計及製作駐波管，實測（利用雙麥克風所測得聲壓之轉換函數原理）及分析吸音材在不同厚度及背基材時之吸音係數。並與另一子計畫之理論驗證。

第二年

於駐波管內加裝可調控靜水壓及水溫之裝置，測量及分析水下吸音材之吸音係數與靜水壓及水溫之關係。並以實驗結果作另一子計畫之理論修正依據。

第三年

測量並分析三文治式複合材在不同水壓及水溫時之吸音係數（實部與虛部）之關係。作為設計特定材料之聲學阻抗之理論依據。

上述實驗之設計條件如下：

水壓：0 50 m (water)

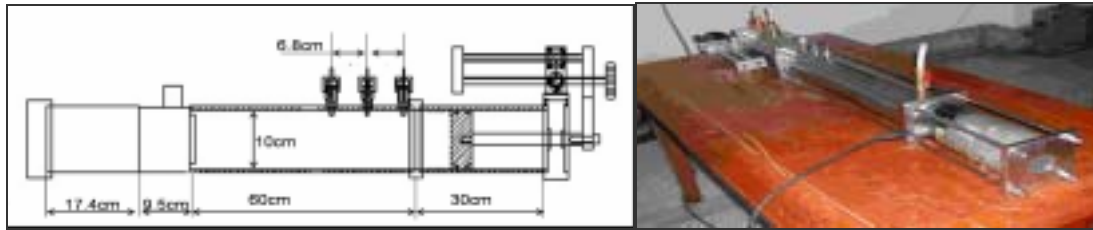
溫度：攝氏 10 30 度

平面聲波頻率：1.0 KHz 10 KHz

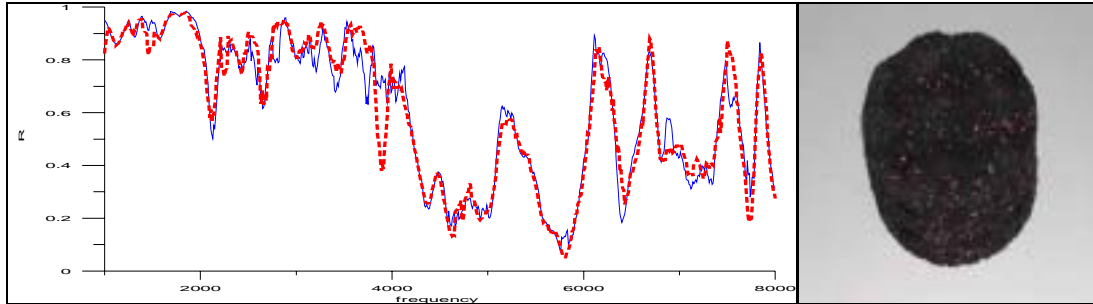
第一年度成果：

該年度成果之論文，「雙麥克風阻抗管法測量材料水中吸音持性之研究」，已發表於中華民國音響學會第 16 屆學術研討會。其重要結論如下：

1. 本研究以相位平移的理論，重新推導吸音係數的計算公式，推導的過程與往昔文獻中所使用之方法比較，雖結果相同，但理念較簡潔，清晰。
2. 在往昔文獻中有關麥克風對調前後的轉換函數計算，未顧及正負號的取捨，導致計算結果會出現 $|R| > 1$ 的情況，不符物理原則。本文對此作了詳細的分析，修正此缺點。
3. 本文所設計之駐波管，經多次測試後，發現若在駐波管之內壁加裝一層 PVC 內襯材料時，可有效地減少測量誤差。對於材料的反射係數量測，不論聲源訊號採用“窄頻”或“寬頻”，量測結果較具一致性。推測可能導因於阻抗管的不銹鋼管壁的彈性波，因 PVC 管的加裝具有阻尼的效果，減低管壁彈性波對水的影響。
4. 本次實驗，因水下材料無“標準”試樣，故測得反射係數的精確度，無法比較。唯其測試結果，已可達高度的重覆性。至於材料吸音係數的“標準”值為何，仍有待在下一年度的計畫中予以探討。



駐波管設計尺寸 (左) 及其成品外形圖 (右)

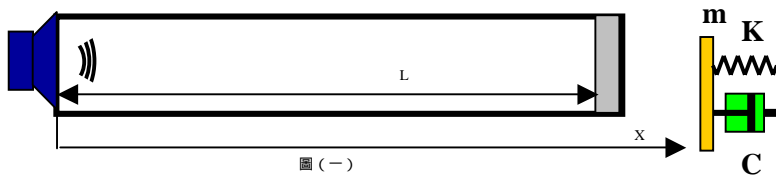


加裝 PVC 之阻抗管量測吸音材之反射係數圖 (左) 吸音材圖 (右)

第二年度成果：

(一) 理論部份的修正

往昔文獻及本計畫第一年度所採用有關駐波管的聲波理論中，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。然而，若要探討吸音材之聲學阻抗(Acoustics impedance)，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。次外，更重要的是，管長 L 直接影響管內的所謂「共振頻率」(Resonate frequency) 的發生與否。如果能在實驗之前預知管內的共振頻率，則可大幅減少測量的誤差。故本年度計畫中，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」。此線性彈簧的數學模式如下：



圖(二)

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：

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

$$p(0,t) = \hat{p}_0 e^{i\omega t} \text{-----(2)}$$

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

其中 a 為聲波之波速， ω ， \hat{p}_o 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， $\xi = \xi(t)$ 為管右端流體質點的位移量且 $\xi = \frac{d\xi}{dt}$ ， m, C, K 分別為吸音材之「質量」，「彈簧係數」及「阻尼係數」。

若設(1)(2)(3)之解為

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

可解得：

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

其中

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

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

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

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

(5)之解，為兩組移動波（分別向+x 及 -x 方向傳播）的表示法。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：

$$\hat{p}(x) = \hat{p}_o \frac{Z_L \cos k(L-x) + i\rho c \sin k(L-x)}{Z_L \cos kL + i\rho c \sin kL} \text{ -----(9)}$$

又由(4)可知，在 $x = L$ 處之反射係數 R_L 為：

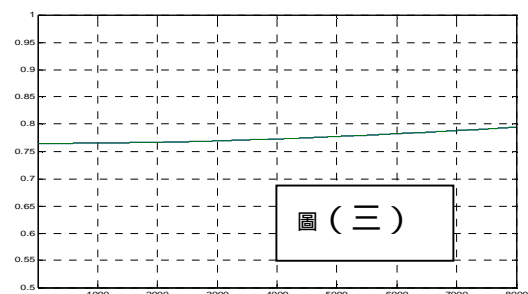
$$R_L = \frac{B}{A} = \frac{-1 + \frac{Z_L}{\rho c}}{1 + \frac{Z_L}{\rho c}} \text{ -----(10)}$$

而在 x 處之反射係數 R_x 與 R_L 之關係為：

$$R_x = R_L e^{-2ik(L-x)} \text{ -----(11)}$$

因此，若能測得 R_x （即 x 處之反射係數），則可由(11)算得 $x = L$ 處之反射係數，繼而可由(10)算得材料之阻抗，得到材料在不同頻率（即 kL ）下之阻抗時，則可由(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 。

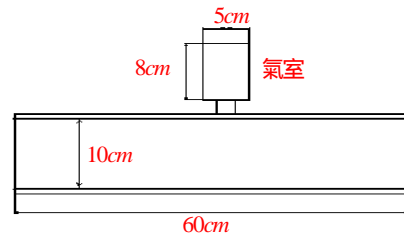
圖（三）為給定 m, K, C 時，管內 $x = 0.5L$ 處之反射係數之數值模擬結果，以此結果反算材料之 m, K, C 時，可得完全一致的結果，證明比法可行。詳細之實驗驗證，目前仍在進行中。



圖（三）

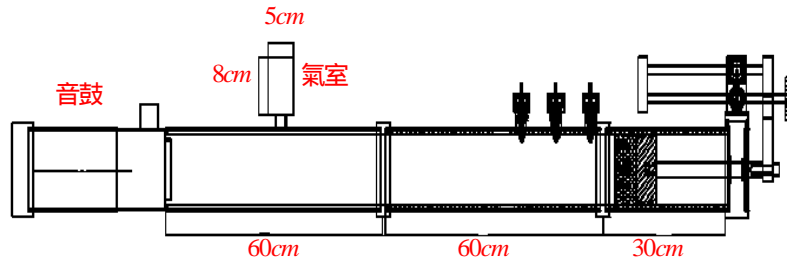
(二) 阻抗管內水壓調控設計

為調控阻抗管內之水壓，本計畫是在增長之阻抗管管外加裝一密封氣室，與阻抗管相通。藉由管右端之搖桿。可迫使管內液體進入氣室內，使氣室內之氣壓增加，即可調變阻抗管內之氣壓。氣室大小如圖（四）所示。搖桿旋轉五圈，即可將管內之水壓增加至五大氣力。



圖（四）

圖（五）為其設計圖，實物仍在加工製作中。

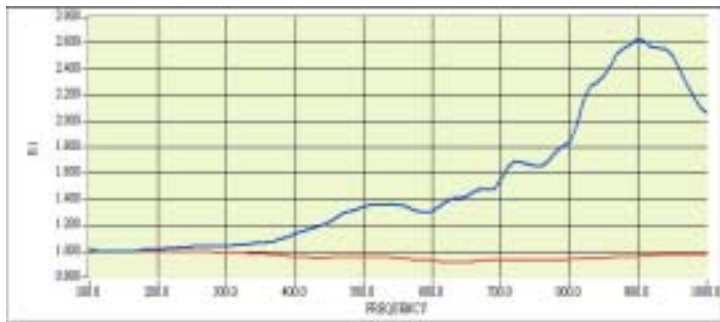


圖（五）阻抗管加裝氣室之示意圖

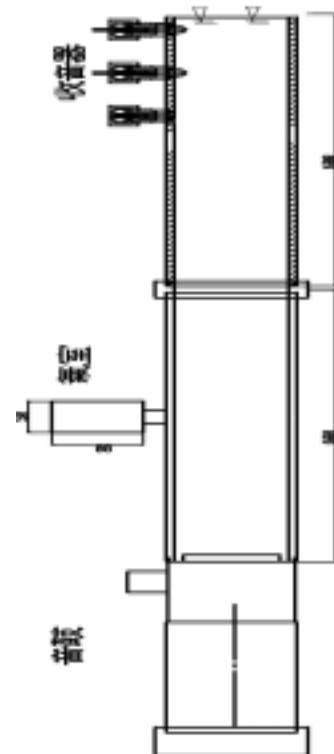
(三) 自由液面之反射係數之測量

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。為驗證本計畫所作之測量之正確性。特設計「自由液面」反射係數測量，以作為日後實驗之參考。其方法如下：

將阻抗管背板轉動軸拆卸，並將阻抗管直立，注入水後，使水面直接與空氣接觸，裝置如圖（六）所示，可測得自由表面之反射係數，其結果如圖（七）所示，與理論值($R=-1$)比較，相當允合。



圖（七）



圖（六）阻抗直立量測示意圖