

無響室之建材吸音係數互相關檢測法研究

A Study of Test Method for Absorption Coefficient of Material through Cross-Correlation in
an Anechoic Chamber

陳炯堯* 張奕瑞**

* 朝陽科技大學建築系助理教授

** 朝陽科技大學研究生

摘要

本研究以開發無響室 (anechoic chamber) 中, 互函數 (cross-correlation) 吸音係數 (absorption coefficient) 檢測法標準作為最終目的。其研究之方法是以新技術-M-序列 (M-sequence) 製造白色噪音 (white noise) 來進行實驗測試, 且作為相關函數 (correlation function) 計算理論之基礎。此法藉由測量記錄得到之音波間能量關係, 以求得直達音 (direct sound) 與反射音 (reflection sound) 之能量比率來導出受測材料之吸音能力 (即係數) 並在無響室實驗環境中調查聲音入射角度與吸音係數的關係, 再將各方向聲音之結果統合後以更為確立互函數全域脈衝延遲法之標準與實際適用之範圍。

關鍵詞：互函數、M 序列訊號、無響室、吸音係數

Abstract

The purpose of this study is to research a new correlation technology which has been developed and applied to the measurement of an architectural material. The method of this study employ the broad band frequency range signal - white noise produced by M- sequence technology as the measuring source. The shapes of the cross - correlation curves are easy to detect correlation peaks derived from the sound intensity of direct or reflective traces came from material. And they will be proportioned to the ratio of reflective as absorption ability. Furthermore, we can measured the sound intensity and absorption coefficient within the anechoic chamber, then we can debate about their relation. And the board band frequency range, multi- directions of each sound - ray can be surveyed independently for establishing a new measure standard of absorption coefficient.

keyword : cross-correlation、M-sequence、anechoic chamber、absorption coefficient

一、前言

在國內生活水準意識的提昇下吸音材料已受到廣大之應用，針對材料之吸音係數測試方式目前國內主要分為餘響室法[1]與駐波管法[2]，而兩種方式中以餘響室法為主要的測試方法。但在中華民國國家標準(Chinese National Standard, CNS) 規範中其餘響室(reverberation room)吸音係數(CNS 9056)檢定須在 150m^3 以上之餘響室內才可進行，若非如此則低音部分(小於 160Hz)將不符規定；且室內須加裝擴散板在 $0.8 \sim 3.0 \text{m}^2$ 之間，以及餘響時間(reverberation time)於 500Hz 以上之頻域(frequency range)均須在 5 秒以上。

此種檢測空間及方式固然可得到多方向之入射條件，但須嚴格的標準空間與儀器要求，否則將造成檢驗結果出現普遍性的誤差。在諸多餘響室吸音係數檢定法之檢討中發現，餘響室測定結果含頗多的不確定性。如子安勝[3]等(1968)在多個不同餘響室中檢定同一樣本，發現其結果均非相同。其中他們的結論是：

- (1) ISO R-354 所制立檢定標準在實用上誤差大。
- (2) 在餘響室中樣本放置角度，即垂直、水平方向入射比例一致時，其誤差才能降至 10% 以下。
- (3) 在高音部分，吸音係數接近 1.0 之樣本，檢定空間之擴散板面積須在總樓板面積 80% 左右。

還有坂本慎一[4]等(2000)也曾討論餘響室之室形與吸音係數測試之關係，結果發現在長方形空間所測得之吸音係數比不等五邊形之空間在數據上較為分散(deviation)。並發現在 1kHz 附近的結果最為顯著。另外，兩室擴散板之數量也直接影響著吸音係數之大小，特別在長方形空間中對於擴散板之依賴大於五邊形空間。

由此可知，現行的餘響室檢討之方式受空間條件影響甚鉅。反觀無響室應有較不易受空間之邊界條件影響之趨勢，可否提升其檢定之可信度，製定無響室之吸音係數檢定標準乃本研究之最大目的。

二、吸音基礎理論

一般材料之吸音能力大小即由吸音係數(absorption coefficient, 即吸音率)來表示，其簡單說就是當聲音入射於材料時一部分被吸收，一部分透過材料，另一部分被反射；而反射係數即是反射聲能與入射聲能之比。在由反射係數求得材料之吸音係數，其表示如下：

- P_R ：入射音之聲能
- P_D ：反射音之聲能
- P_I ：材料吸收之聲能
- P_E ：透射音之聲能

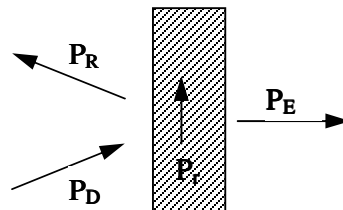


圖 1 聲音入射於材料之吸收、反射、透射

由聲音強度得知能量與振幅之平方成正比，且須考慮距離衰減之必要，因此可將反射

係數與吸音率表示如下：

$$R = \frac{A_R}{A_D} \times \frac{d_R}{d_D} \quad \alpha = 1 - |R|^2$$

A_R ：反射音之振幅 d_R ：反射音之距離
 A_D ：入射音之振幅 d_D ：入射音之距離

另外，材料對不同頻率之聲波有不同之吸音係數，實際應用上常取 250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz 四個頻率計算噪音衰減係數 NRC(Noise Reduction Coefficient)值來代表此材料之吸音能力。

三、研究方法

本研究方法於國外行之以久，雖未列入正式之檢驗標準，但在 ASTM 中已將其檢驗用之於超音波探測材料內部結構方式之一(ASTM C1331-01) [5]。而本研究是以新技術—M-序列 (M-sequence) 來製造白色噪音與在無響室進行實驗。此法有著設備簡化及理論檢討簡便之優點，故以電腦設備加上簡易之音響週邊便可進行。其依據應用之需要來敘述相關法此技術。

(1) M-序列 (M-sequence, Maximum period null sequence) 之定義與測量系統

M-序列是一個 n 個數值加算總和恆等於 0 之出力信號。且具有信號最大週期之意義，而不受互函數在應用上之基礎。此處 n 即成為 M-序列之 n 個次數，n 個次數便具有 $2^n - 1$ 之週期。若將時間分成單位 h 來分割，各區間必定有一 0 與 1 之序列來對應，可考慮成 0→+1、0→-1，這就是 M-序列產生之原理。其 M-序列函數波形信號例與自函數如下 2、圖 3，

而測量系統如圖 4 所示：

(2) 無響室中之實驗操作

無響室中材料之吸音係數量測為本研究主要實驗部分，其方法與使用之儀器軟體依下 (實驗配置如圖 6) 所示：

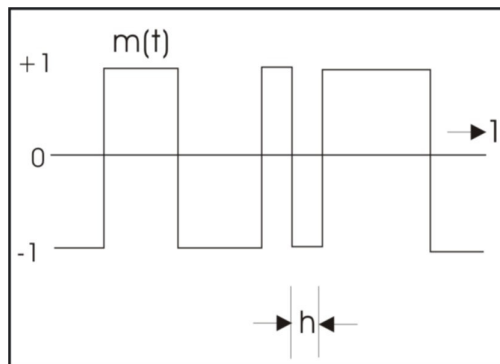


圖 2 M-序列函數 m(t) 波形信號例

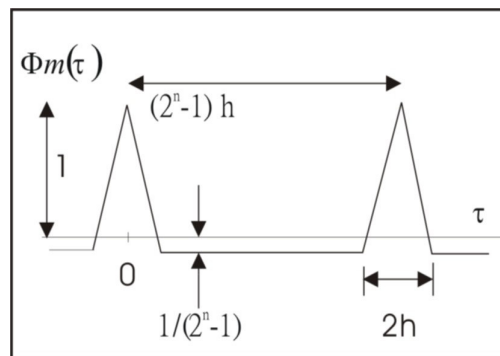


圖 3 M-序列信號之自函數

量

圖

研

表 1

表 1 實驗操作項目與實驗使用之儀器軟體表

實驗操作項目	實驗使用之設備軟體
聲源為 1/3 八度音程，125Hz~4kHz 之各中心頻率噪音(M-series)	擴大機 (SANAUI AU-2607 MRX)
入射角 $0 < \theta_i < 90^\circ$	01dB 麥克風 (Sony ECM-23F3)
材料樣本及面積	12 面體喇叭
測試距離與各頻率(250Hz、500Hz、1000Hz、2000 Hz)之關係	Realtime Analyzing System for Sound Fields(軟體)

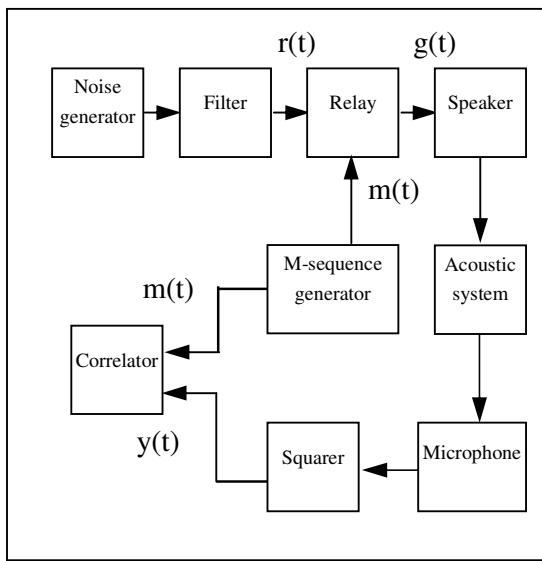


圖 4 M-序列測量系統圖

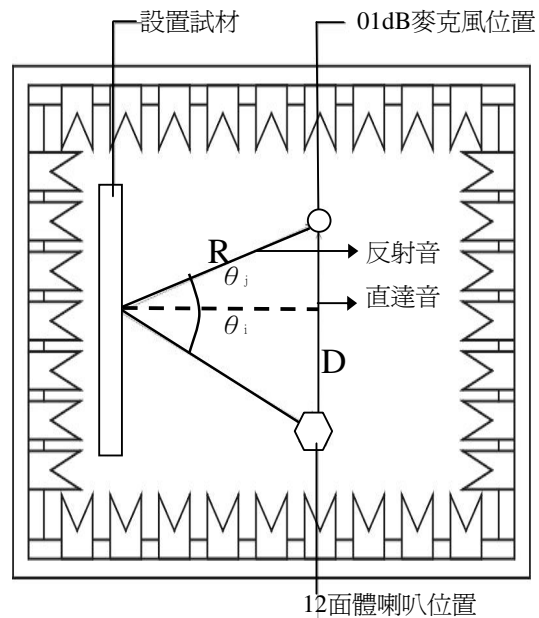


圖5 無響室吸音測試配置圖

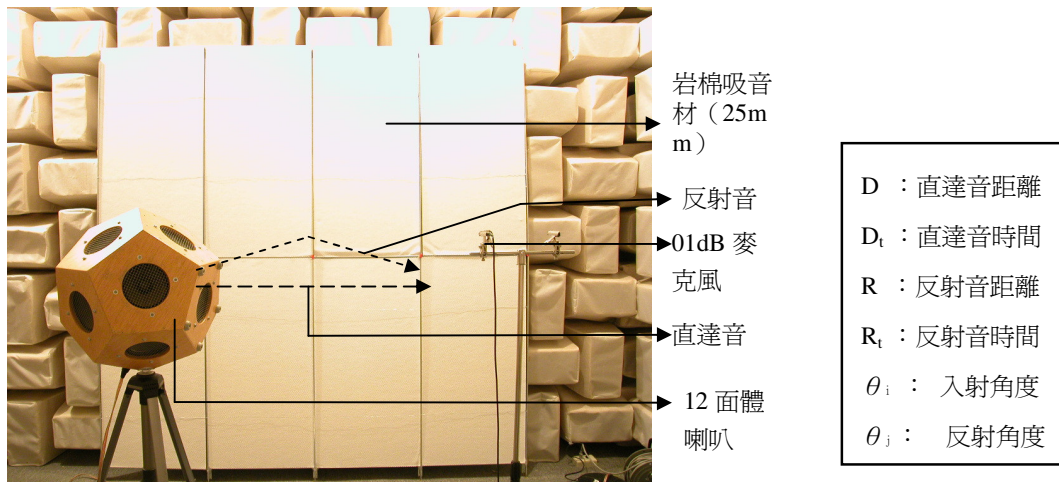


圖 6 實驗測試配置圖

四、實驗結果與分析

本實驗操作之項目如表 1 所示，其試驗材料為 25mm 之岩棉吸音板，樣本單塊面積大小為 600mm*1200mm，總計 8 塊面積為 5.76 m²。入射角為 15°、30°、45°（如圖 5）；測試距離為 1m、1.5m、2m、3m。在測試頻率上以計算 NRC 之各頻率（250Hz、500 Hz、1000Hz、2000Hz）為主，且以國外 (Rockfon) 製造商所附之測試報告書為比較的資料；此報告書之 NRC 值測量依 ASTM C423 為依據。其實驗結果為（參考圖 7、圖 8、圖 9、圖 10）：

1. 測試中發現各頻率並非為一固定之距離即可測得，原因是各頻率間波長不同之關係，而使各頻率有著不同的測試距離。
2. 如上述所言，由實驗後得之各頻率測試之距離與角度為：
 - a. 250Hz 測距 3m 角度 15° 測得之吸音率為 0.75（製造商報告書為 0.81）。
 - b. 500Hz 測距 2m 角度 15° 測得之吸音率為 0.93（製造商報告書為 0.93）。
 - c. 1000Hz 測距 1.5m 角度 15° 測得之吸音率為 0.75（製造商報告書為 0.83）。
 - d. 2000Hz 測距 1m 角度 15° 測得之吸音率為 0.91（製造商報告書為 0.99）。
3. 其結果顯示出測試角度以入射角 15° 為較佳之測試角度。
4. 如圖 11 所示 500Hz、1000Hz、2000Hz 之間測試距離皆以 0.5m 的一倍在縮減；而 250Hz 以 0.5m 的二倍在縮減。如圖 11 所示。

5. 測試之結果與製造商報告書之差異上可能是因材料製造產地為丹（報告書亦在丹麥測試）此氣候條件不同而有影響（溫濕度的影響）。測試與製造商報告書比較如圖 12 所示。

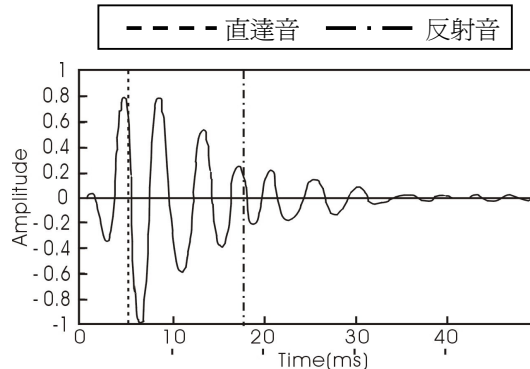


圖 7 250Hz 量測之脈衝圖

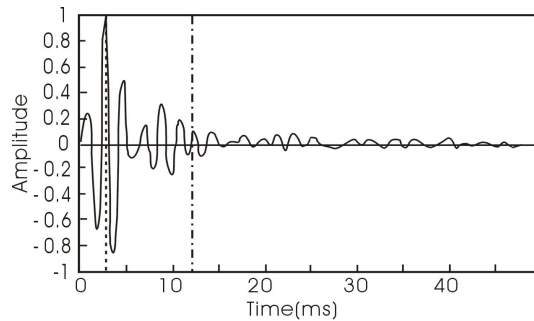


圖 8 500Hz 量測之脈衝圖

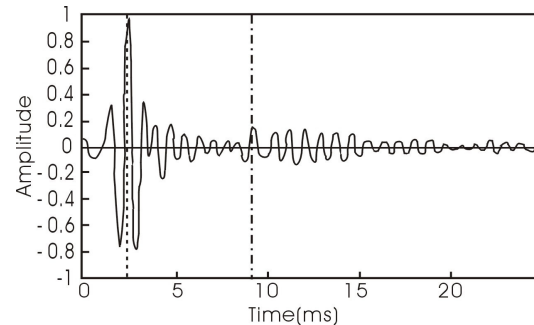


圖 9 1000Hz 量測之脈衝圖

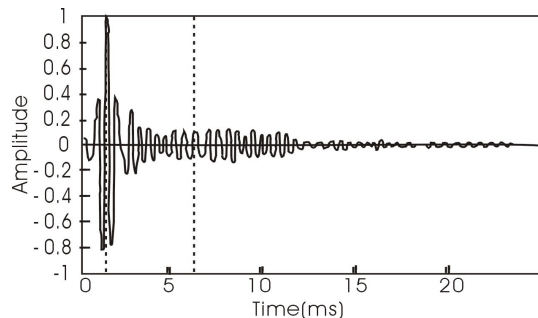


圖 10 2000Hz 量測之脈衝圖

由結果中得知頻率(f)與測試距離(m)之間存有一定的關係性，亦即測試之頻率越高其測試距離越短，換言之即在低頻的測試上距離則會加大；而以入射音落在材料位置上為 $1/4\lambda$ 與 $3/4\lambda$ 處會有最大之吸音率而言，發現各頻率之測試距離皆與這樣的關係是相符合的。

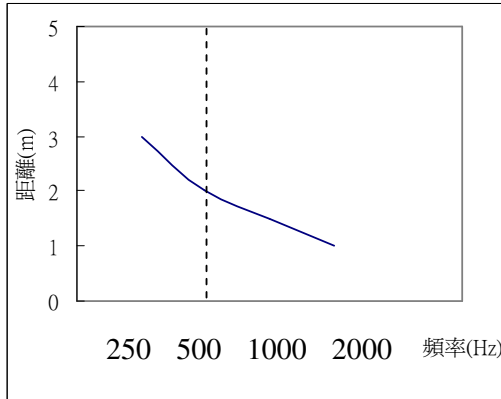


圖 11 各頻率之測試距離關係圖

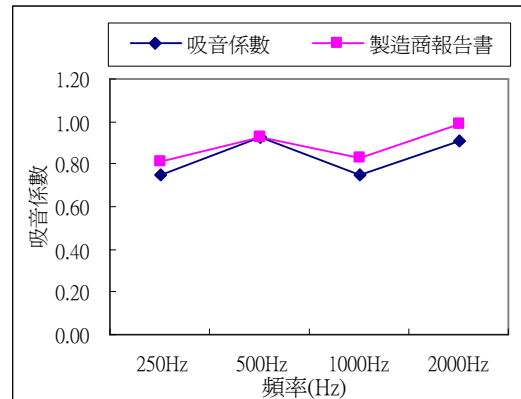


圖 12 測試結果與製造商報告書比較圖

圖 12 為測試結果與製造商所附吸音係數報告書之比較，其差異值在 1000Hz 以上為 0.08、500Hz 以下為 0.06；且各頻率之吸音特性與報告書是很接近的。

五、結論

本研究以開發無響室 (anechoic chamber) 中，互函數 (cross-correlation) 吸音係數 (absorption coefficient) 檢測法標準作為主要目的。本文藉由岩棉吸音材之樣本進行實驗測試，其結果顯示出此法在無響室中之操作有想當高的可行性；但本法目前僅只對單一材料進行測試，尚未能提出更具體之適用範圍與數據，此點將是後續研究之重點。

【參考文獻】

- 1.CNS 9056 餘響室法吸音率測定法
- 2.CNS 13208 管法建築材料垂直入射吸音率測定法
- 3.子安勝等、殘響室法吸音率の測定精度に関する研究 (1)、日本音響学会誌、NO24-6、1968
- 4.坂本慎一等、殘響室法吸音率の測定結果に対する室形状の影響、電子情報通信学会誌、p p 45-52、1968
- 5.ASTM C1331-01 Standard Test Method for Measuring Ultrasonic Velocity in Advanced Ceramics with Broad-band Pulse-Echo Cross-Correlation Method
- 6.ASTM C423-01 Standard Test Method for Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method
- 7.子安勝、吸音率に対する殘響室のちがいの影響、日本音響学会誌、NO13-4、1957
- 8.子安勝、殘響室法と垂直入射吸音率の対応について、日本音響学会誌論考、1961