

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

方形管道聲音傳輸主動控制的物理性洞查

A Physical Insight on the Active Control of the Acoustic Transmission in Rectangular Duct

計畫編號：NSC 88-2611-E-002-005

執行期限：87年08月01日至88年07月31日

主持人：陳國在 國立台灣大學造船及海洋工程學系

一、中文摘要

本計畫探討無回傳開放端 (anechoic outlet) 方形管道中聲音傳輸的主動控制,其物理機制洞查。故其研究內容將包括方形管道中平面波理論下之主動控制前後之聲場理論推導(包括其音響阻抗與輻射聲功率之變化情況)與最佳控制情況各聲源阻抗變遷機制。

研究結果顯示,不管有無主動控制情況,兩聲源間之強度比及其音響阻抗之變動與頻率及主要聲源表面反射率,均有甚密切關係。其次利用轉換函數所預估之聲源阻抗與利用 Helmholtz 氏方法所測者甚為吻合,另外對主要音源,第二聲源則扮演一反射器或吸收器(absorber)。

關鍵詞：1. 物理性洞察 2. 方形管道
3. 轉換函數 4. 主動控制

二、英文摘要(ABSTRACT)

This study is to examine the influence produced by the secondary source on the primary source by measuring the related source impedance when a stable active control process is making in progress. So this study predicts and also measures both the reflection coefficient and acoustic impedance of sources using transfer function and Helmholtz resonator techniques. Meanwhile comparing the calculated results with that of measurements, can demonstrate the feasibility of the measurement method adopted.

件設計並未引進主動控制於聲場衰減之物理機制的聲學訊息。本研究旨在以物理聲學之觀

The result of this study clearly shows that both the strength ratio between two sources and the variation on their impedance regardless of active control or not are very dependent on both of the reflection coefficient of the primary source and the frequency involved. A fair agreement of the predicted impedance using transfer function with that of measurement using Helmholtz's method for either primary or secondary sources is also found. Meanwhile, this study is clearly to show the secondary source plays a role of either a absorber or a reflector to the power produced by the primary source.

Keywords: 1. physical insight 2. Square duct
3. Transfer function 4. Active control

三、計畫緣由及目的

由於過去學者或聲學應用研究者對聲場之主動控制(不論是一或二甚至三維者)研究重點均以控制器(controller)對聲場之主動衰減性能為設計之依歸,對主動控制在聲場所扮演之物理機制卻毫不理會,導致所設計之控制元件對略具差異之聲場的衰減效果,存在炯然而異之巨大差異。究其原因,乃由於控制元件反射率。根據 Chung 與 Blaser 之共同研究吾人可利用轉換函數配合圖三之

點針對方形管道中之主要音源與其下游之第二音源,兩者所衍生聲場存在最大破壞主動控制衰減時,其輸出聲功率與音響阻抗的演變進行物理性之探討。

論及管道聲場之主動控制,在適應性控制器之設計及其對聲場衰減性能之問題探討,自一九八零年代以後在國外可謂掀起一片蔚然之風。國內則自 1990 年後,對此管道聲學主動控制問題之研究,亦逐漸形成一片熱潮。然而對上述問題之物理機制,國內外之相關研究仍相當鮮少。鑑於此,本研究乃著手於方形管道音響傳輸之主動控制物理洞查研究。相關參考文獻詳述於後

四、結果與討論

(一)、理論解析

圖一為本研究所採用之方形管到道適用之座標系統。當其內之第一聲源僅以平面波傳播時,可藉由 Green 氏函數求取其內之傳播聲場為: $P(z,t) = \frac{\rho c Q}{2S} e^{j(\omega t - kz)}$ 。如圖二當於主要聲源後(L-D)處存在一第二聲源時,若考慮其衍生聲場亦受主要聲源表面反射影響,則由鏡像反射疊加原理可求得最適控制條件下(第二聲源下游之整體聲場為零),兩聲源之強度關係應滿足: $q_s = -\frac{q_p(1+R)}{(e^{jkL} + \text{Re}^{-jkL})}$ 。其次利用相同之鏡像

反射疊加原理亦可求得兩聲源在非主動控制條件下以及主要音源在主動控制下之音響阻抗,分別為:

$$Z_{1,on} = \frac{\rho c}{2S} (1+R) \left[1 - \frac{(1+R)}{e^{j2kL} + R} \right]$$

$$Z_{1,off} = \frac{\rho c}{S} \frac{2J_1(ka)}{ka}, \quad Z_{2,off} = \frac{\rho c}{S} [1 + \text{Re}^{-j2kL}]$$

(二)、實驗測定: 如圖四所示,吾人可參照劉雲輝君之研究,可利用 Helmholtz 氏諧振器求得管道中

聲源之音響阻抗,其計算式可表為: $Z_a = j \frac{\rho c^2}{V\omega} \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$ 。

由於聲源阻抗之理論計算公式中含主要聲源之表面

Helmholtz 諧振器測定法可精準被用於聲源音響阻抗之量測。至於圖十四至十七之結果則清楚地說明當主要聲源有效被第二聲源控制時,其輻射聲功率將大幅減少,而此時之第

實驗佈置求得相關聲源之反射係數與音響阻抗。至於本實驗方法之計算式

可表為: $R(f) = \frac{H_{12}(f) - H_1(f)}{H_r(f) - H_{12}(f)}$, 其

中: $H_i(f) = e^{-jks}$, $H_r(f) = e^{jks}$ 分

別為單位入射聲波與其反射波之轉換函數。有關主要聲源表面反射係數實部與頻率關係曲線,詳見圖五。

圖六為本研究之主動控制實驗相關儀器設備配置圖。根據上圖之配置,當進行主動控制實驗之聲源輻射聲功率與音響阻抗測定時其控制效果均維持在第二聲源後方殘餘聲壓衰減約 40~50 dB 之水準,如圖七所示。圖八、九分別為兩聲源於主動控制前之音響阻抗,而圖十、十一則為其於主動控制時之結果。至於圖十二與十三則分別為利用 Helmholtz 與聲音強度法對兩聲源所做之聲功率量測之比較

。另外圖十四至十七則分別為主動控制時,兩聲源強度比值之大小與向位角,以及兩聲源主動控制前後之阻抗。

(三) 結果討論與結論

根據圖四之聲源表面反射係

數測定結果,顯然其對頻率甚具相關性,而其數值均維持於 0.6~0.8 之範圍。圖九之第二聲源音響阻抗理論預

估與實驗測定結果甚為吻合,顯示

本研究之理論推導配合轉換函數法求取聲源表面反射係數甚據可靠性。

圖十二與十三之聲源聲功率測定

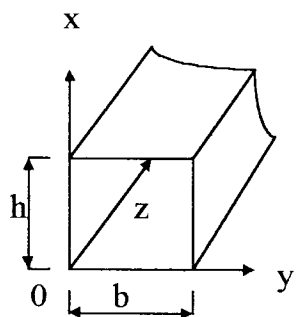
結果,顯示兩種方法甚為吻合。故

二聲源將對主要聲源所衍生之聲場扮演能量吸收器或反射器之腳色。

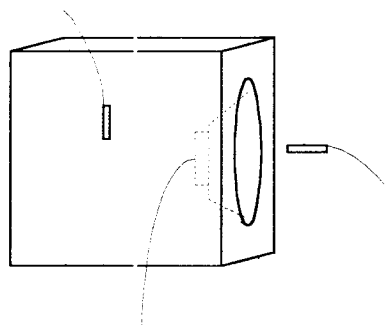
五、參考文獻

1. P. A. NELSON and S. J. ELLIOTT, *Active Control of Sound*, Academic Press, London (1992)
2. K.T. CHEN and Y.H. LIU, The Study of an Adaptive Active Control on the Acoustic Field in a Circular Duct, *Applied Acoustics*, 1997, pp.
3. K. T. CHEN and Y.H. LIU, A Physical Insight on the Active Control of the Acoustic Field in a Circular Duct, Accepted by *Applied Acoustics*, 1999
4. L.L. BERANEK, *Noise and Vibration Control*, INCE, Washington D C (1991)
5. P. LUEG, Process of Silencing Sound Oscillation, U.S. Patent No. 2043416 (1936)
6. M. JESSEL and G. A. MANGIANTE, Active Sound Absorbers in an Air Duct, *J. Sound & Vibration*, 23(3), 1972, pp. 383-390
7. M. A. SWINBANKS, Active Control of Sound Propagation in Long Ducts, *J. Sound & Vibration*, 27(3), 1973, pp. 411-436
8. J. H. B. POOL and H. G. LEVENTHALL, An Experimental Study of SWINBANKS' method of Active Attenuation of Sound in Ducts, *J. Sound and Vibration*, 49, 1976, pp. 257-266
9. J. Y. CHUNG and D. A. BLASTER, Transfer Function Method of Measuring in-Duct Acoustic Properties, I. Theory, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 68(3), 1980, pp. 907-913
10. J. Y. CHUNG and D. A. BLASTER, Transfer Function Method of Measuring in-Duct Acoustic Properties, II. Experiment, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 68(3), 1980, pp. 914-921
11. J. C. BURGESS, Active Adaptive Sound Control in a Duct: A Computer Simulation, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 70, 1981, pp. 715-726
12. F. ROSS, An Algorithm for Designing a Broadband Active Sound Control System, *J. Sound and Vibration*, 80(3), 1982, pp. 373-380
13. R. F. LA FONTAINE, Active Control of Plane Wave Noise in Ducts, *Acoustic Australia*, 19(3), 1991, pp. 79-81
14. S. D. SNYDER and C. H. HANSEN, Design Considerations for Active Noise Control system Implementing the Multiple Input-Multiple Output LMS Algorithm, *J. Sound and Vibration*, 159(1), 1992, pp. 157-174
15. J. D. STELL and R. J. BERNHARD, Active Control of Sound in Acoustic Wave-Guides, Part 1: Theory, *J. Sound & Vibration*, 173(2), 1994, pp. 179-196
16. J. D. STELL and R. J. BERNHARD, Active Control of Sound in Acoustic Wave-Guides, Part 2: Considerations for Implementation in Ducts, *J. Sound & Vibration* 173(2), 1994, pp. 197-215
17. S. LASZLO, Active Noise Control-Simulation in Matlab, *Electrical Engineering* 40(1), 1996, pp. 11-24
18. S. W. KANG, Active Intensity Control for the Reduction of Radiated Duct Noise, *J. Sound & Vibration*, 201(5), 1997, pp. 595-611
19. LEVENTHALL, GEOFF, Active Control Attenuation in Ducts, *Indoor Air Quality and Energy Conservation*, *Acoustic Bulletin* 22(1), 1997, pp. 8-10
20. SHANKAR SASTRY, MARC BODSON, *Adaptive Control, Stability, Convergence, and Robustness*, Prentice Hall (1989)

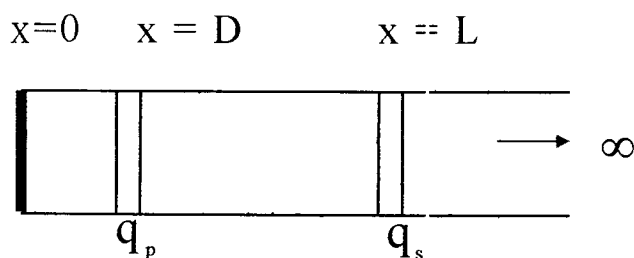
21. L. E. KINSLER, A. R. FREY, A. B. COPPENS and J. V. SANDERS, *Fundamentals of Acoustics*, John Wiley & Sons, third edition (1982)
22. ZU-IN LIN, *A Physical Interpretation to Active Control of Acoustic Field in a Rectangular Duct*, Master Dissertation Thesis, Dept. N.A.O.E., NTU, Taipei, Taiwan, R.O.C.(1998)
23. Y. H. LIU, *The Study of Adaptive Active Control of Sound Fields in a Circular Duct*, Dissertation Thesis of Doctoral Degree, Dept. NAOE, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C. (1997)



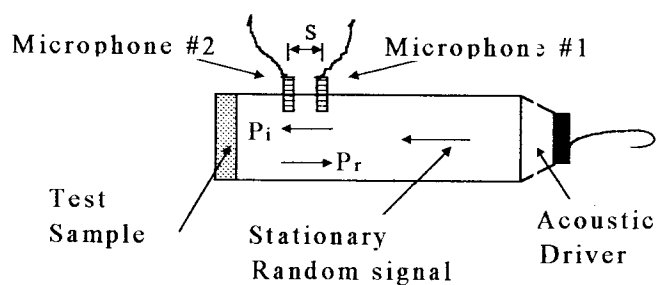
圖一 方形管道之座標系統



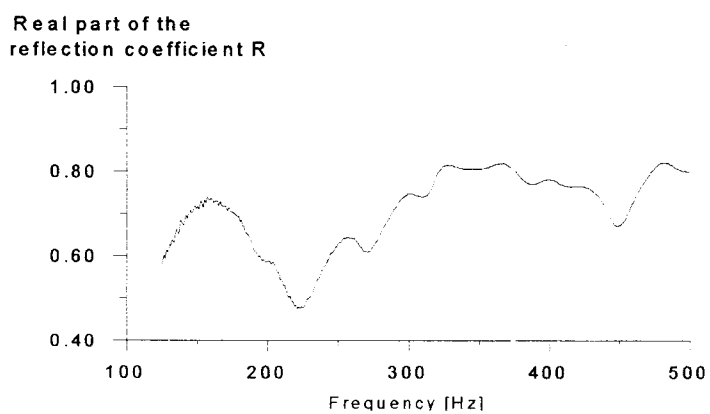
圖四 聲源阻抗量測之 Helmholtz 諧振器



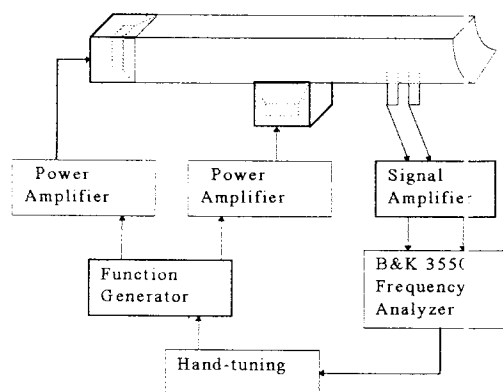
圖二 主動控制之聲緣佈置



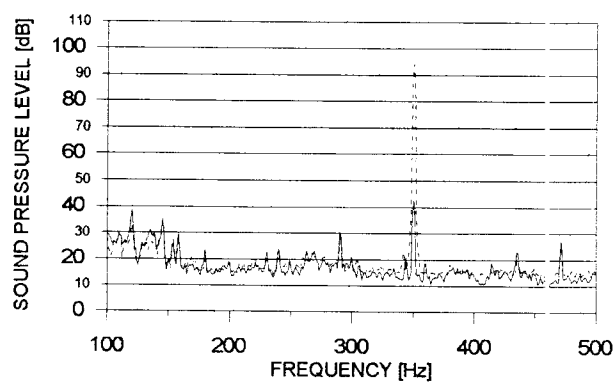
圖三 聲源表面反射係數之轉換函數測定實驗佈置



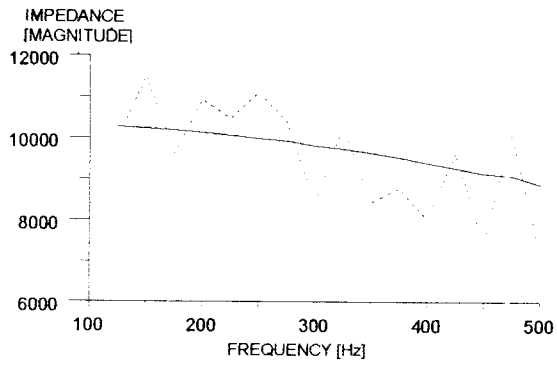
圖五 聲源表面反射係數實部與頻率關係曲線



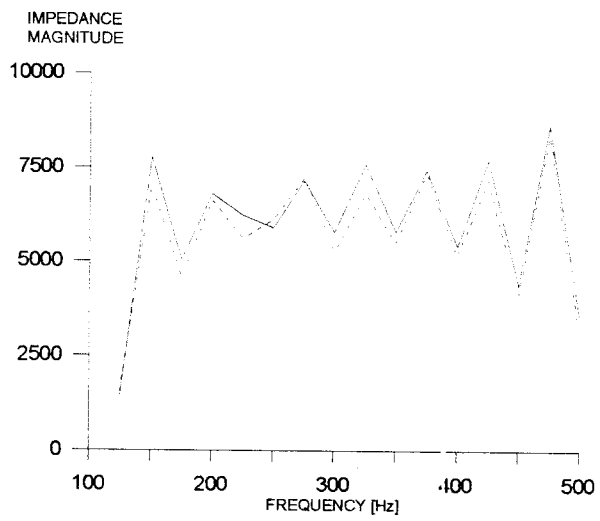
圖六 主動控制實驗相關儀器設備佈置



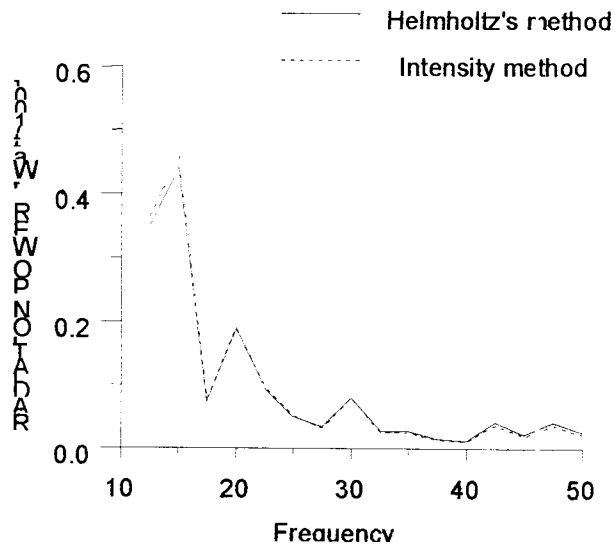
圖七 聲源頻率 350 Hz 之主動控制前後第二聲源後方之殘餘聲壓



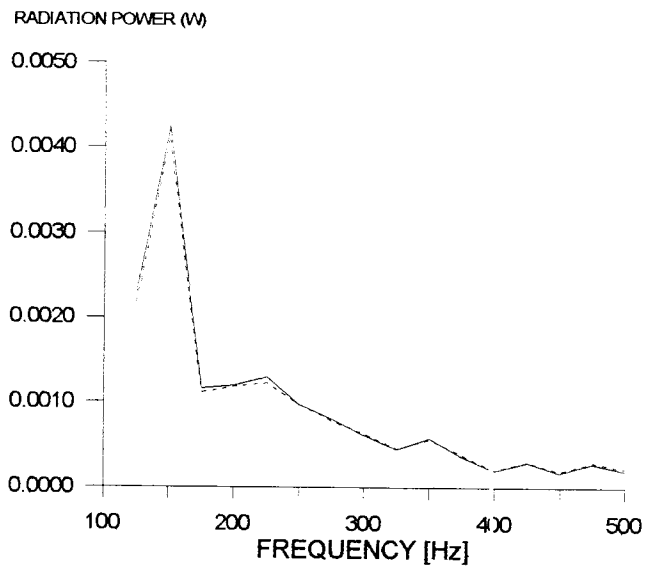
圖八 主要聲源之音響阻抗大小與頻率之變化趨勢(非主動控制時)



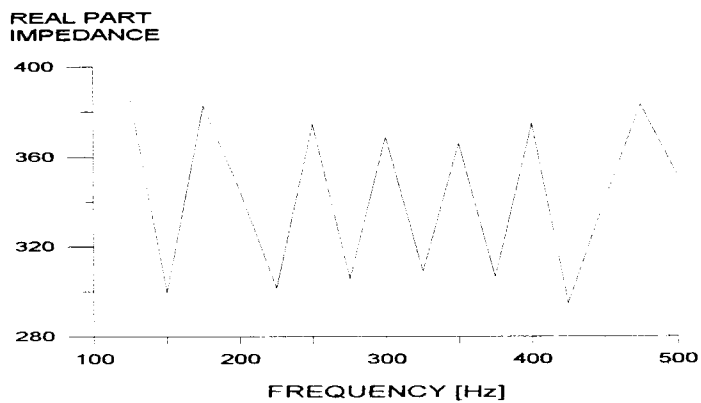
圖九第二聲源之音響阻抗大小與頻率之變化趨勢(非主動控制時)



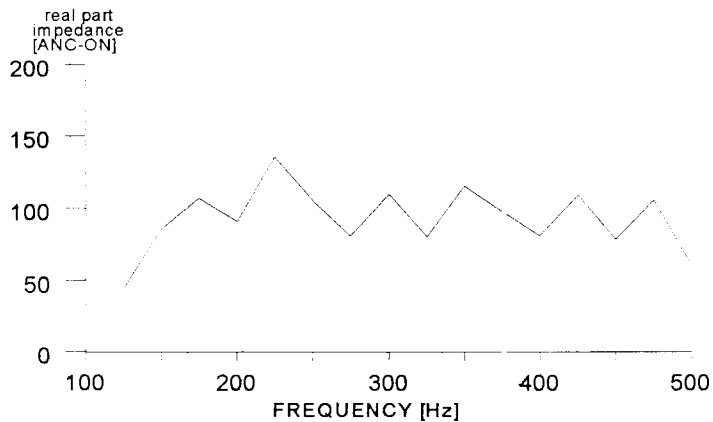
圖十二 利用聲音強度與 Helmholtz 諧振器法各別測定主要聲源之輻射聲功率(非主動控制時)



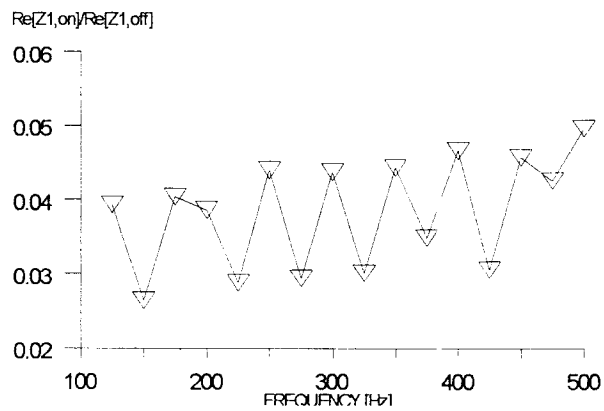
圖十三 利用聲音強度與 Helmholtz 諧振器法各別測定第二聲源之輻射聲功率(非主動控制時)



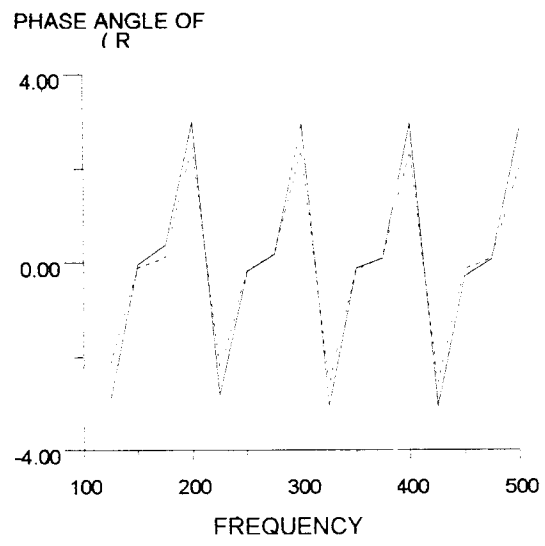
圖十 主要聲源之音響阻抗大小與頻率之變化趨勢(主動控制時)



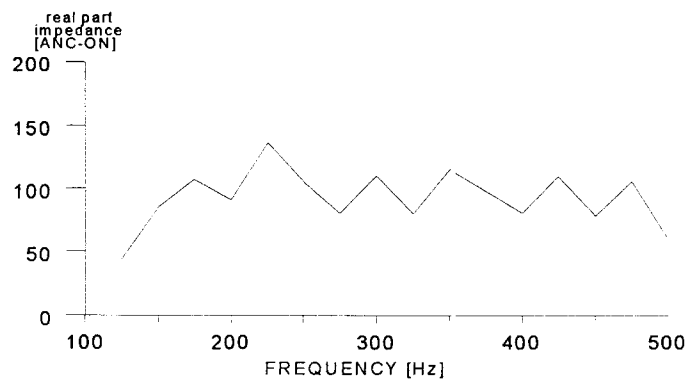
圖十一 第二聲源之音響阻抗大小與頻率之變化趨勢(主動控制時)



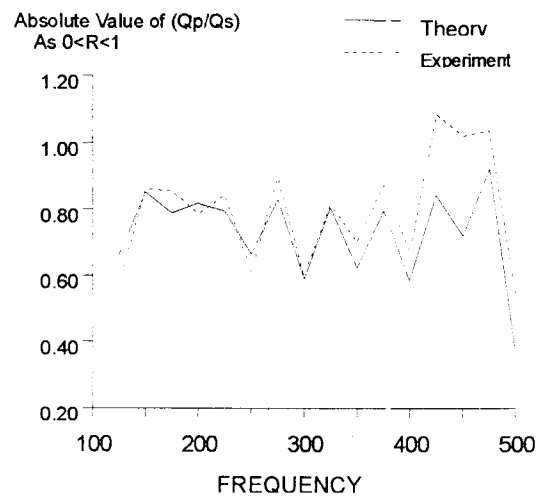
圖十四主動控制前後之主要音源輻射阻抗比語頻率關係



圖十七 主動控制時兩聲源強度比之相位與頻率關係 (.....量測;—:計算, $0 < R < 1$).



圖十五 主動控制前後之第二音源輻射阻抗比語頻率關係



圖十六主動控制時兩聲源強度比之大小與頻率關係 (.....量測;—計算, $0 < R < 1$).