

中華民國音響學會
九十八年會員大會暨第二十二屆學術研討會
2009 Annual Meeting and 22th Symposium of
Acoustical Society of the Republic of China

隙縫於石膏板輕隔間隔音量之影響預估及驗證
The Prediction and Validation of Sound Insulation Influence by Slit Effect

陳金文/中山科學研究院

摘 要

乾式石膏板輕隔間之工法擁有多種優異之物理條件，廣泛為業界採用。其施工過程中之其一缺陷為填縫不實，將降低整體輕隔間系統之隔音量性能。本文整理解析數值法，除預估因隙縫尺寸參數所衍生之隔音降低量外，並以內政部建築研究所國家聲學實驗室之試件量測結果作為比對條件，驗證單層單面石膏板因隙縫效應，預估其隔音降低量之有效性。

關鍵字：穿透損失，隔音，輕隔間，吻合頻率，隙縫

A b s t r a c t

The gypsum boards of dry walls are the popular sound insulation material in the market by the industries because of advantages of their physical properties. The high sound transmission loss of such partitions will be reduced by the existing of the slits because the operation errors of the sealing procedures. The analytical solution for such reducing of sound insulation by single panel with different slits parameters will be studied, and compares with the testing results for demonstration the effectiveness of the prediction.

Keywords：Sound Transmission Loss, Sound Insulation, Partition, Coincidence Frequency, Slits.

一、前言

輕隔間一向為建材市場上之隔間應用主流，其輕量化、乾式作業、短期施工、具備一定承載量、符合隔熱/防火/隔音等物理環境性能，所以能為業主/設計/材料商樂於引用之工法。但由於施工中之不良所造成之隙縫效應，為造成輕隔間整體隔音性能降低之

主因，內政部建築研究所已實驗驗證此缺陷之定量效應[1]。本文擬藉由解析數值法預估此隙縫效應，除比較隙縫尺寸參數對隔音量降低之定量值外，並以前述內政部建築研究所國家聲學實驗室之試驗結果相互比較，以驗證其準確性。

二、研究目的

牆面開孔之繞射穿透理論分析於 1960 年代便有幾位學者分別理出解析解法[2-5]。其中以 Gomperts 所提出之狹長型隙縫數值解最為典型，有效解決隔音量降低量之準確預估。本文主要之目的以內政部建築研究所國家聲學實驗室之材料試驗結果，作為驗證上述部分理論隔音預估之準確性。研究步驟說明如次：

1. 蒐集及研讀相關隙縫效應研究之經驗與解析解。
2. 以 Matlab 程式撰寫該解析數值解，各窄頻及 1/3 倍頻帶聲壓位準之隔音降低量。
3. 以國外發表論文之實驗數據，驗證程式之正確性。
4. 以內政部建築研究所發表論文之實驗數據，依據 CNS 8465-1(即 ISO 717-1)計算單一數值參量之隔音宣告值，比較其準確性。

三、研究目的

Gomperts 於 1964 年以速度勢流方程式(Velocity Potential Equation)推導平面聲波於牆板孔管內傳播、並於出口端以球面波型態輻射之聲波繞射解析問題，其詳細推導過程可參考[3-4]。狹長型孔口(Slit Shape Aperture)之穿透係數及穿透損失以式 1 表示。總隔音量之計算以式 2 表示。

式中 TL, e, τ 分別代表穿透損失、終端修正值(End Correction)、穿透係數。 k_0, w, t 分別代表聲波波數、隙縫寬度、隙縫深度。 m 為入射波聲源側之聲場條件常數，擴散聲場下 $m = 8$ 、一般聲場條件 $m = 4$ 。 n 為接收側之點聲源之方向性常數，孔口位於試件端點角邊條件下 $n = 0.5$ 、孔口位於試件中心部分條件下 $n = 1$ 。 $TL_{total}, TL_{part}, TL_{slit}, S_{part}, S_{slit}$ 分別代表總穿透損失、試件穿透損失、隙縫穿透損失、試件面積、隙縫面積。

$$\tau = \frac{mK \cos^2(Ke)}{2n^2 \left\{ \left[\sin^2 K(L + 2e) \right] / \left[\cos^2(Ke) \right] + (K^2 / 2n^2) [1 + \cos K(L + 2e) \cos KL] \right\}}$$

$$e = \frac{1}{\pi} \left(\ln \frac{8}{K} - 0.577 \right) \quad K = k_0 w \quad L = t / w \quad \text{式 1}$$

$$TL = 10 \log(1 / \tau)$$

$$TL_{total} = 10 \log \left(\frac{S_{part} + S_{slit}}{S_{part} 10^{-TL_{part}/10} + S_{slit} 10^{-TL_{slit}/10}} \right) \quad \text{式 2}$$

四、隔音量預估

先以 Hongisto[6-7]分析隔音門隙縫效應之數據作為驗證程式之正確性之一，其使用隙縫寬度分別為 0.5mm, 1mm, 2mm, 3mm、深度為 45mm 尺度條件下，演算狹長型隙縫所衍生之隔音降低量。圖 1 顯示穿透損失於隙縫寬度愈小、隔音量愈高，反之亦然之基本物理現象。但也顯示隙縫寬度愈小，隙縫處之窄頻共振頻率點也愈強烈。

其次以 Antonio[8]分析雙層雙面輕隔間隙縫效應之數據作為驗證程式之正確性之二，其使用隙縫寬度為 1.5mm、深度分別為 75mm 及 100mm 尺度條件下，演算狹長型隙縫所衍生之隔音降低量。圖 2 顯示穿透損失於隙縫深度大小對隔音量之影響差異不顯著。但隙縫深度愈深，隙縫處之窄頻共振頻率點愈往低頻移動，1/3 倍頻之聲壓位準也是相同趨勢。

由於 Hongisto 及 Antonio 採用之 n 常數分別為 1.0 及 0.5。為瞭解該常數所衍生之差異量，將上述量測結果與不同隙縫面積之效應合併計算總隔音量。圖 3 及圖 4 顯示角落隙縫之隔音降低量相當明顯，大於中央邊際隙縫之效應；中央隙縫影響其隔音性能多發生於吻合頻率以上。隙縫面積愈大(即 Slits 數量愈多)，整體隔音性能效果愈差。

上述兩個案例驗證程式之正確性，並瞭解狹長型隙縫產生之共振波為降低系統隔音量之主要原因，同時也瞭解深度為影響共振頻率之主要參數，後續將進一步以內政部建築研究所國家聲學實驗室之材料測試結果，執行預估之驗證比較。

五、量測驗證

由上述驗證程式正確程式後，以內政部建築研究所國家聲學實驗室[1]執行厚度 15mm 單層石膏板為比對試件，試件開口面積為 3m*3.5m，採用 94mm*30mm*20ga 之 U 型上下槽、92mm*35mm*20ga 之 C 型立柱、38mm*12mm*20ga 之橫向加強槽鋼為該單層石膏板之支撐，立柱間距為 61cm、橫向加強槽鋼間距為 120cm，四周暫不以接縫膠泥填縫以執行隙縫漏音之測試，該填縫寬度為 3mm，其後再進一步執行填縫後之隔音量試驗。所有量測設備均可追校，且依據 CNS 15160-6(即 ISO 140-3)[9,10]標準執行測試、依據 CNS A1031-1 標準(即 ISO 717-1)[11,12]之單一數值參量宣告。

以深度 109mm/寬度 3mm、常數 $m=8$, $n=0.5/1.0$ 為驗證輸入值，單層石膏板隙縫效應之窄頻及倍頻隔音量預估詳如圖 5 及圖 6，單層石膏板之量測及預估結果比較詳如圖 7~圖 8，結果顯示當 $n=0.5$ 角落隙縫條件下之隔音量於 1k Hz 以上之趨勢吻合度較高，量測及預估隔音量之單一數值參量宣告分別為圖 9 之 $Rw-22(-1;-2)$ 及 $Rw-21(-1;0)$ ；當 $n=1.0$ 中央邊際隙縫條件下之隔音量於各倍頻均較實測值為高，量測及預估隔音量之單一數值參量宣告分別為圖 10 之 $Rw-22(-1;-2)$ 及 $Rw-25(-1;-1)$ ，因此，本案例以角落隙縫條件下常數預估結果較能獲得吻合性之解析解。

六、結論

藉由狹長型隙縫隔音量解析數值與隔音牆板之隔音量量測數值；兩者所合併計算之整體隔音量，可有效瞭解隙縫尺寸參數對降低整體隔音量之影響。因此，填補隙縫之施工程序務必謹慎小心，方能有效發揮原有設計之系統隔音功能。

七、誌謝

本文感謝李新欉博士之指導及修正。

八、參考文獻

1. 郭清香,陳瑞鈴,陳金文,“不同施工法之輕隔間隔音性能”,中華民國音響學會年會第20屆論文發表會,2007/11/23.
2. Y. Nomura, S. Inawashiro, “ On the Transmission of Acoustic Waves through a Circular Channel of a Thick Wall”, Science Report of Tohoku University, Vol. 12(B), pp.57-71, 1960.
3. Gomperts MC., “The Sound Insulation of Circular and Slit-Shaped Apertures”, Acustica, 14(1); pp.1-16, 1964.
4. Gomperts MC. Kihlman T., “The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-Shaped in Walls Apertures”, Acustica, 18(1); pp.144-150, 1967
5. G.P. Wilson, W. W. Soroka, “ Approximation to the Diffraction of Sound by a Circular Apture in a Rigid Wall of Finite Thickness”, J. Acoustical Society of America, Vol.37(2), pp.286-297, 1965.
6. Hongisto V., “ Sound Insulation of Doors-Part I: Prediction Models for Structural and Leak Transmission”, J. Sound and Vibration, Vol.230(1), pp.133-148, 2000.
7. Hongisto V., “ Sound Insulation of Doors-Part II: Comparison between Measurements Results and Predictions”, J. Sound and Vibration, Vol.230(1), pp.149-170, 2000.
8. Antonio Uris, Jose Bravo, Jaime Llinares, Hermelando Estelles, “The Influence of Slits on Sound Transmission through a Lightweight Partition”, Applied Acoustic, Vol.65, pp. 421-430, 2004.
9. CNS-15160-3, 聲學-建築物及建築構建之隔音量量測-建築構件空氣音隔音之實驗室量測, 97 年 1 月 14 日公布。
10. ISO 140-3, Acoustics-Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-part 3:Laboratory Measurements of Airborne Sound Insulation of Building Elements, 1995.
11. CNS 8465-1, 聲學-建築物及建築構建之隔音量評定-空氣音隔音, 96 年 5 月 14 日公布。
12. ISO 717-1, Acoustics-Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements-Part 1:Airborne Sound Insulation, 1996

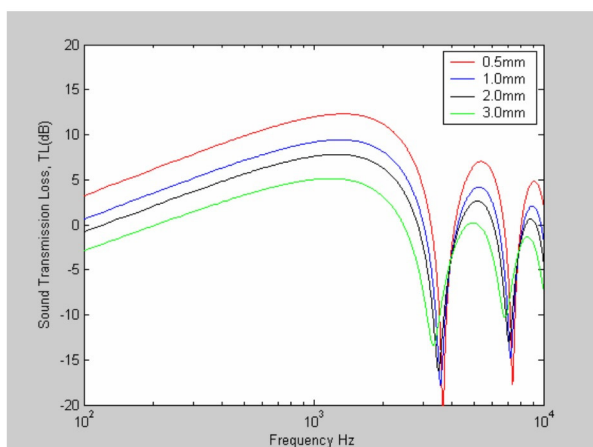


圖 1 不同隙縫寬度之隔音量預估

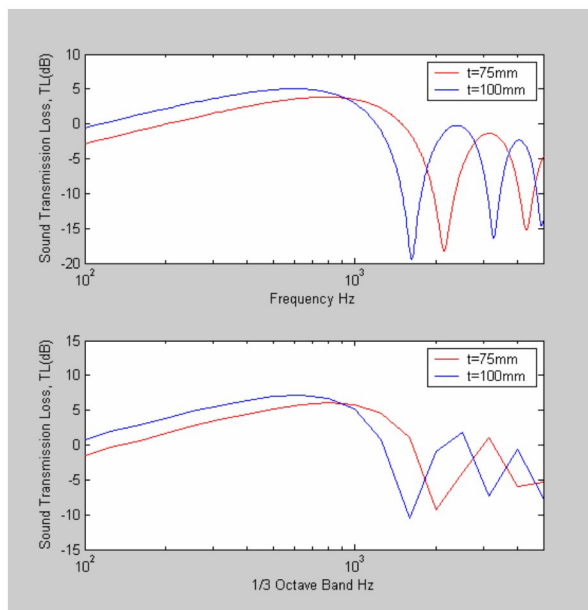


圖 2 不同隙縫深度之隔音量預估

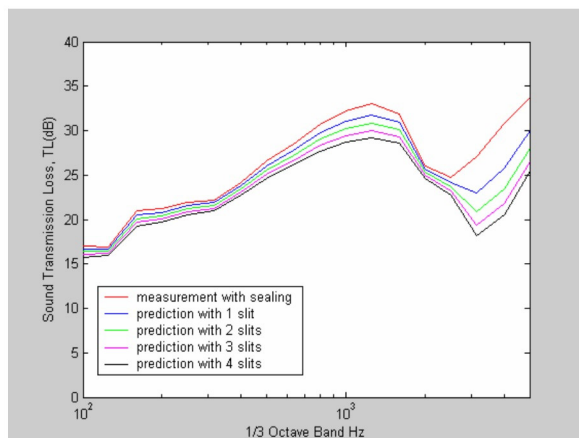


圖 3 不同隙縫面積之隔音量預估(n=0.5)

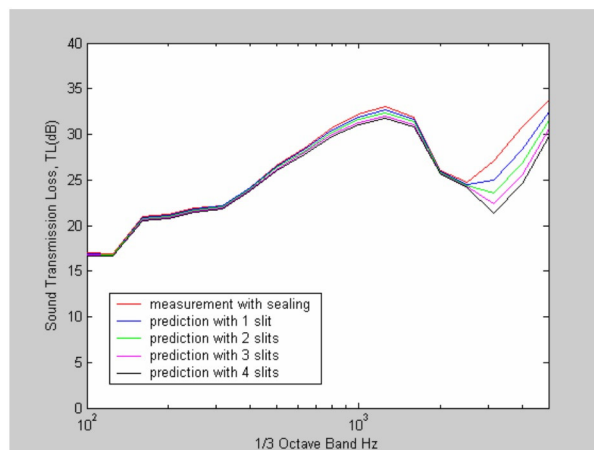


圖 4 不同隙縫面積之隔音量預估(n=1.0)

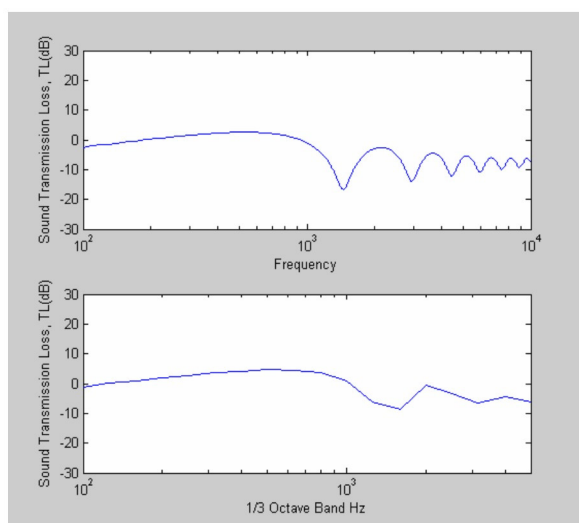


圖 5 隙縫效應之窄頻及倍頻隔音量預估
(n=0.5)

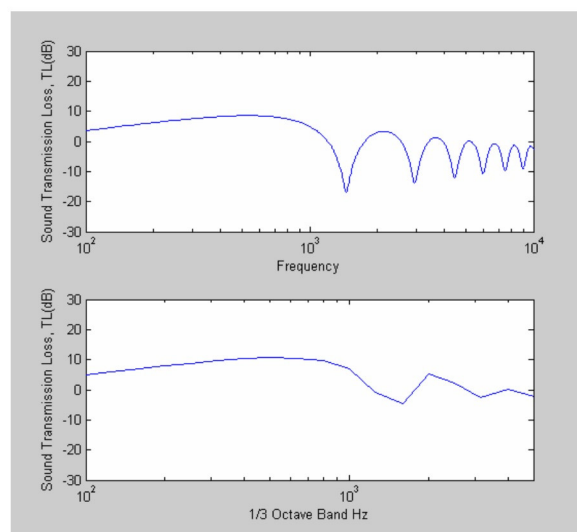


圖 6 隙縫效應之窄頻及倍頻隔音量預估
(n=1.0)

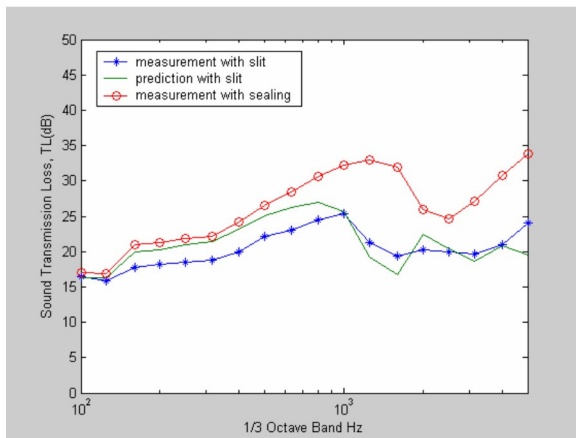


圖 7 隙縫效應之隔音量預估及量測比較
($n=0.5$)

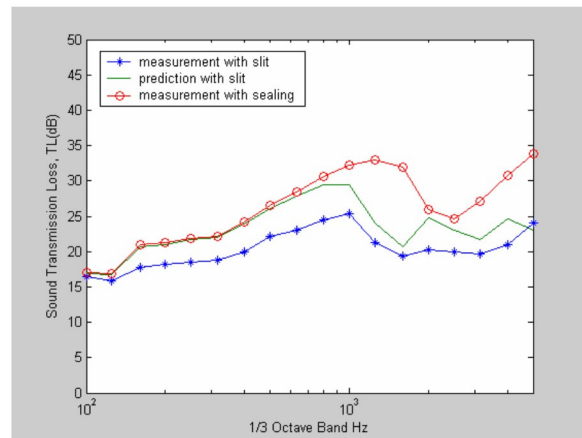


圖 8 隙縫效應之隔音量預估及量測比較
($n=1.0$)

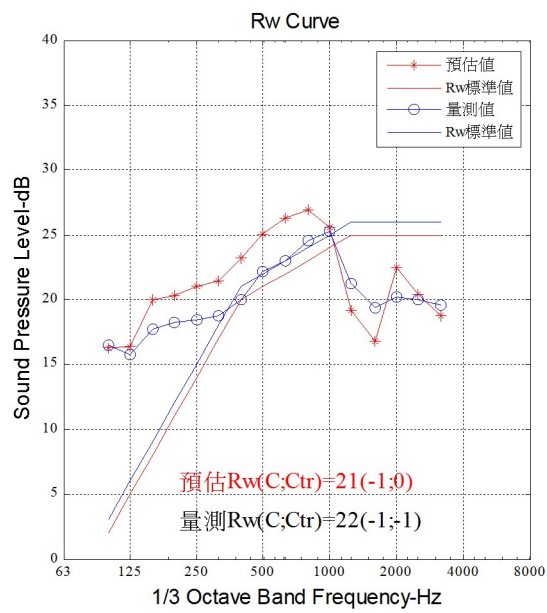


圖 9 隙縫效應之隔音量預估及量測宣告
($n=0.5$)

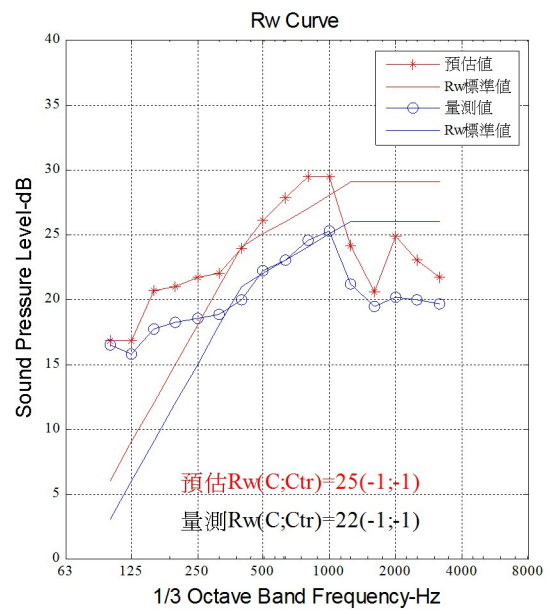


圖 10 隙縫效應之隔音量預估及量測宣告
($n=1.0$)