

# 雙室空間輕型鋼隔間牆對樓板衝擊音影響之預測與評估 Predicting the Influence of the Double Rooms with Light Steel-Gauge Partition Concerning Floor Impact Sound

江哲銘<sup>1</sup>、鍾啟民<sup>2</sup>、曾品杰<sup>3</sup>、鍾松晉<sup>4</sup>、林芳銘<sup>5</sup>、陳柏蓉<sup>6</sup>

<sup>1</sup>成功大學建築學系暨研究所教授

<sup>2</sup>成功大學建築研究所博士候選人

<sup>3</sup>成功大學建築研究所博士

<sup>4</sup>雲林科技大學創意生活設計系助理教授

<sup>5</sup>屏東科技大學木材科學與設計系副教授

<sup>6</sup>成功大學建築研究所碩士生

## 摘要

國內建築物因市場大眾化及商業性導向，在設計初往往忽略使用者之個體差異性與需求，導致在建築物使用階段不斷發生「二次設計」之現象。目前台灣「新建建築」與「既有建築」比例達3%：97%，在節能與環保理念抬頭下，舊建築再利用比例逐漸增高，於既有建築之主結構體難以改變，且上室空間所有權通常非下室空間所有人持有之條件下，因應室內樓板衝擊音環境改善課題，選擇適當裝修方式已成為較佳且普遍使用之手法。現今無論新建或增建建築物，輕型鋼隔間牆已為最常採用之隔間牆系統，本研究期建立數值模式以預測雙室空間輕型鋼隔間牆之樓板衝擊音特性。本研究於足尺實驗室進行輕量衝擊源樓板衝擊音實驗與評估，透過有限元素法數值解析理論、方法與流程之整理與操作，建立樓板衝擊音數值解析平台操作模式；嗣將足尺實驗室之實驗結果與數值模擬結果進行比對，於確立以數值模擬預測雙室空間輕型鋼隔間牆樓板衝擊音之有效性後，以本研究建立之數值解析模式，針對輕型鋼隔間牆之厚度、位置及材料吸音率等變因進行模擬，並透過統計迴歸分析方法，歸納不同因子對樓板衝擊音之影響，進而建立一預測與評估模式。

**關鍵字：**雙室空間、輕型鋼隔間牆、樓板衝擊音、有限元素法

## Abstract

Due to popular and commercial marketing, many buildings aren't originally designed by the users' individual diversity and requirements. Nowadays, the proportion of "newly-built buildings" to "existing buildings" in Taiwan has already been 3 to 97. In view of environmental protection and energy conservation issues, the amount of reuse of old buildings is increasing. The existing building structure is difficult to be altered, and for the case of multi-story apartments, the residence owner usually has not the ownership of his upper space, then the interior decoration would be a good solution for improvements of the acoustic environments. As the light steel-gauge partition walls are constantly used for the interior decoration of buildings, this study attempts to build a numerical analysis model to predict the influence of the double rooms with light steel-gauge partition concerning floor impact sound. The experiments and the assessments by use of light floor impact sound in full-scale chamber have proceeded. A FEM model is built through a series of theory analysis and practical examination, and is demonstrated the effectiveness after

comparison with the test data obtained from full-scale chamber experiments. On the basis of the effective FEM model, the different component factors including the partition thickness, the room volume and the absorption coefficients of interior decoration materials upon the influence of floor impact sound are examined by regression. Finally, a prediction model for the influence of the double rooms upon floor impact sound has been set up.

**Keywords** : Double Rooms, Light Steel-Gauge Partition, Floor Impact Sound, Finite Element Method (FEM)

## 壹、前言

國內建築物在設計初期往往忽略使用者之個體差異性與需求，導致在建築物使用階段不斷發生「二次設計」現象；又目前台灣舊建築再利用比例逐漸增高，於既有建築之主結構體難以改變且上室空間所有權通常非下室空間所有人持有之條件下，因應室內樓板衝擊音音環境改善課題，選擇適當裝修方式已成為較佳且普遍使用之手法。現今無論新建或增建建築物，輕型鋼隔間牆已為最常採用之隔間牆系統，本研究建立有限元素法樓板衝擊音數值解析平台操作模式，歸納雙室空間不同因子對樓板衝擊音衰減特性之影響，俾提供建築設計者與使用者參考。

## 貳、樓板衝擊音相關理論與實驗操作

本研究探討之樓板衝擊音，係指透過人員步行或家具移動等對樓板造成之衝擊（衝擊源），該衝擊藉由樓板振動產生固體音，嗣傳播至下室空間造成音響放射之特性。

### 一、雙室空間輕型鋼隔間牆樓板衝擊音隔音性能實驗方法

本研究實驗場所為足尺實驗室：音源室尺寸 7.0m(L)×3.4m(W)，受音室室內淨尺寸為 6.6m(L)×3.0m(W)×3.2m(H)，裝設 c-65 型輕型鋼隔間牆後將受音室分割為小室 2.5m(L)×3.0m(W)×3.2m(H)及大室 4.0m(L)×3.0m(W)×3.2m(H)二間受音室，樓板為鋼架與混凝土複合構造型式。

本研究現場量測儀器系統、裝置及測定方法：1.衝擊源：輕量衝擊源；2.受音裝置：聲壓量測儀器、麥克風五組、濾波器 2ch 三組；3.測定頻率：中心頻率 100-3150Hz 之 1/3 OCT. 共 16 組；4.試體與施工方法：輕型鋼隔間牆尺寸 300cm(L)×320cm(H)×9cm(D)，12mm 石膏面板，心材為厚度 65mm 空氣層及 65 型冷軋型鋼，四週封邊確保氣密性；5.測定方法：固定測點法，5 點測試點，距地面高度 1.2m，距離試驗樓板 1.0m 以上，距間壁 0.5m，麥克風間距 0.7m 以上，量測時間為 90 秒；6.樓板衝擊音與背景噪音差值：差值 40dB 以上。

### 二、以有限元素法數值解析樓板衝擊音

本研究使用有限元素法模擬樓板衝擊引致之室內聲響放射特性，聲場模擬運用流體及波動理論方程式計算，包括無損失波動方程式離散化、音場矩陣微分方程式、邊界條件阻尼緩衝作用、聲場流體與結構體耦合作用等。

#### (一) 數值模型建立

1. 模型元素設定：結構體之樓板使用實體元素(Solid)，牆體及隔間牆面板使用殼元素(Shell)，鋼樑、鋼柱與冷軋型鋼為柱元素(Beam)，室內聲場則以流體元素(Fluid)作為數值模擬元素；元素單元之邊長以該頻率二分之一波長為原則。

2. 聲場與結構耦合關係：將室內空間聲場與結構體交界之流體元素視為耦合且具有阻抗特性，藉由元素傳遞 X 向、Y 向、Z 向之力學行為與壓力，作為結構體與流體間傳遞元素。

(二) 衝擊源設定

標準輕量衝擊源擊鎚有效質量為 500(±12.5)公克，五個擊鎚連續產生衝擊之時間間隔為 100(±5)ms，各擊鎚依序自距樓板上高度 4(±0.1)公分處垂直自由落下。

(三) 數值解析

1. 解析頻率與取樣間隔：參照 ISO 140-7 規範規定，以三分之一八度音(1/3 OCT.)作為評估聲程標準，測定頻率包括 100~3150Hz 共 16 組。
2. 聲壓頻譜輸出設定：依據實際測點位置，擷取測點之聲壓頻譜資料。輸出單位採用聲壓輸出，單位為分貝(dB)，以數值與圖形模式輸出。
3. 聲壓分布圖輸出設定：聲壓分布圖可顯示室內空間之音壓分布情形，以 ISO 140-7 規範規定 1/3 OCT.共 16 組頻率作為輸出頻率，分頻率輸出室內聲壓分佈情形。

參、數值模型建立與預測成果分析

一、室內增設輕型鋼隔間牆之樓板衝擊音實驗結果

本實驗分別測試室內餘響時間、裸樓板與設置輕型鋼隔間牆後之衝擊音聲壓級，作為計算樓板衝擊音之依據。實驗之輕型鋼隔間牆試體為一般市售輕型鋼隔間牆：面板石膏板厚度 12mm，c-65 型冷軋型鋼，板間空氣層厚度 65mm；依 ISO 140-7 規範計算式得出無裝設隔間牆之全空間聲壓 AP 值為 75.3dB，小室空間之 AP 值為 68.1dB，大室空間之 AP 值為 70.8dB，各音程之衝擊音聲壓值  $L_n$  值如圖 1。實驗結果顯示：1.室內裝設輕型鋼隔間牆將會影響室內聲壓值；2.輕量衝擊源隔音效果，各頻率均具隔音效果。

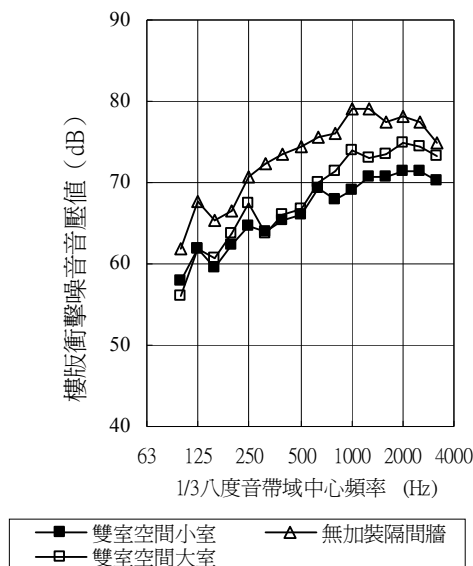


圖 1 各音程之衝擊音壓值  $L_n$

二、數值模擬結果

依據實測測點位置進行數值模擬解析。依數值模擬裸樓板及設置輕型鋼隔間牆之樓板衝

擊音結果，分析不同頻率之室內空間垂直向聲壓衰減分布（如圖 2）；結果顯示，設置輕型鋼隔間牆會直接影響樓板對於輕量衝擊源之隔音值，且中高頻率隔音較低頻率隔音顯著。

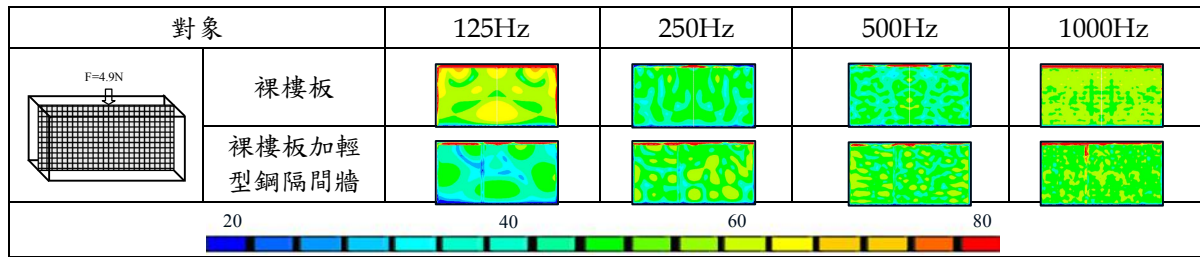


圖 2 室內空間垂直向聲壓衰減分布圖

### 三、數值模擬與實測結果之比對

1. 聲壓波形趨勢比對：比對裸樓板與裸樓板設置輕型鋼隔間牆之 1/3 OCT. 聲壓圖，由圖 3 所示，模擬與實測結果於不同頻率之聲壓值趨勢甚為接近。
2. 聲壓級數值比對：於裸樓板與裸樓板設置輕型鋼隔間牆之樓板上各取五點，分別比對實測與模擬之 1/3 OCT. 聲壓值。依 ISO 140-7 規範比對頻率 100~3150Hz，計 240 組資料作迴歸分析，於 95% 信賴度下，迴歸結果如圖 4，實測與模擬數值 R 與 R<sup>2</sup> 分別為 0.8675 與 0.75 p 值 < 0.05 顯示以有限元素法模擬輕型鋼隔間牆樓板衝擊音之有效性。

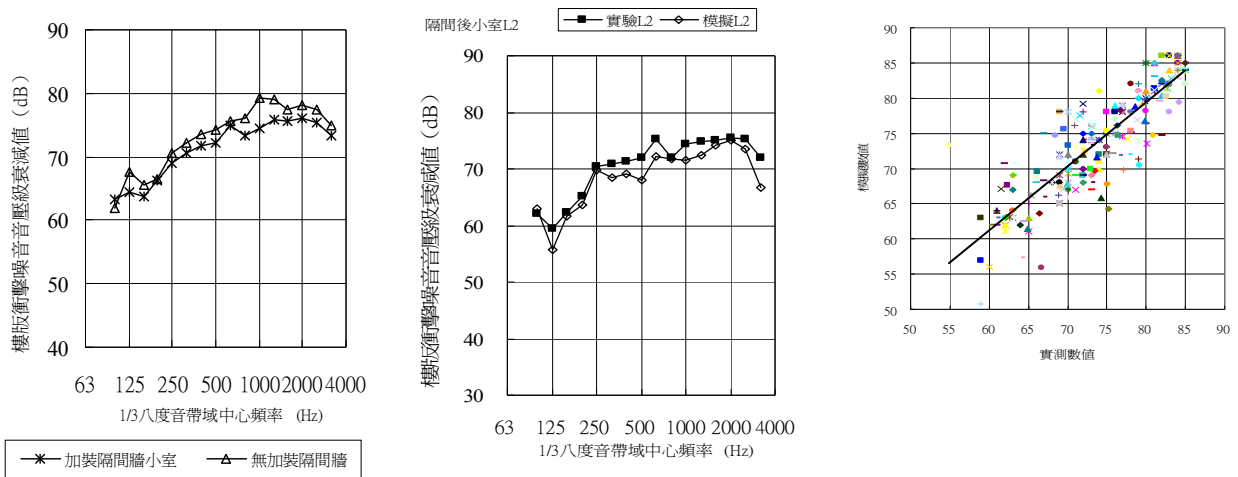


圖 3 模擬與實測各音程之衝擊音壓值趨勢比對

圖 4 有限元素法模擬數值與實測數值之迴歸分析圖

### 四、變因模擬

本研究針對輕型鋼隔間牆構造形式如下變因進行電腦模擬，並對輕型鋼隔間牆對樓板衝擊音之影響為可視化呈現：1. 牆面板厚度（依市售輕型鋼隔間牆面板厚度 6mm~12mm 範圍，選取三組不同厚度變因）、2. 牆內空氣層厚度（市售輕型鋼隔間牆冷軋型鋼具尺寸調整幅度約在 65mm~105mm 間，本研究選擇三種常用冷軋型鋼厚度）、3. 隔間牆位置（取足尺實驗室為原室容積，固定室寬 3 公尺(W)、室高 3.2 公尺(H)；調變雙室空間輕型鋼隔間牆位置於室長向 6.6 公尺(L)間）、4. 受音室裝修材質吸音率（依市面常用室內裝修材質之吸音率，於吸音率 0.09~0.80 範圍中，選取五組不同吸音率變因）。

表 1 模擬結果之衝擊音聲壓 AP 值綜合比對

隔間牆厚度	裸樓板	65mm 空氣層	75mm 空氣層	100mm 空氣層	65mm 空氣層	65mm 玻璃棉	6mm 石膏板	9mm 石膏板	12mm 石膏板
AP (dB)	77.42	71.09	71.29	71.72	71.09	70.80	71.49	71.62	71.09
△AP (dB)	-	6.33	6.13	5.7	6.33	6.62	5.93	5.8	6.33
△APmax-△APmin	0.63				0.29		0.51		
隔間牆位置	裸樓板	2.0M	2.5M	3.0M	3.5M	4.0M	4.5M		
AP (dB)	77.42	71.51	71.09	71.9	71.73	72.05	71.84		
△AP (dB)	-	5.91	6.33	5.52	5.69	5.37	5.58		
△APmax-△APmin	0.96								
吸音率	裸樓板	0.09	0.22	0.43	0.67	0.80			
AP (dB)	77.42	71.09	69.81	67.47	66.83	66.56			
△AP (dB)	-	6.33	8.06	9.55	10.59	10.86			
△APmax-△APmin	4.53								

模擬結果顯示如表 1：1.改變空氣層厚度因子與無設置輕型鋼隔間牆（裸樓板）之 AP 值差值為 5.7~6.3dB；2.改變牆面板厚度因子與無設置輕型鋼隔間牆之 AP 值差值為 5.8~6.3dB；3.改變輕型鋼隔間牆位置與無設置輕型鋼隔間牆之 AP 值差值為 5.4~6.3dB；4.改變室內裝修材質吸音率與無設置輕型鋼隔間牆之 AP 值差值為 6.3~10.9dB。

## 肆、 結論

### 一、 輕型鋼隔間牆對樓板衝擊音衰減之影響

本研究依 ISO 140-7 規範樓板衝擊音現場量測法進行設置輕型鋼隔間牆之樓板衝擊音實驗，於一層樓高之鋼構混凝土複合造足尺實驗室內設置 9cm 厚輕型鋼隔間牆，以裝設輕型鋼隔間牆前後之 1/3Oct.聲壓級比較，對樓板衝擊音之阻隔於低、中、高頻都有衰減。

### 二、 以數值模擬預測雙室空間輕型鋼隔間牆樓板衝擊音之有效性

以有限元素法模擬樓板衝擊引致之音響放射，將設置輕型鋼隔間牆前後之模擬與實驗結果相互比對：1.經分析顯示 1/3Oct.之聲壓級趨勢相當接近；2.迴歸分析得二者相關係數  $R=0.87$ ， $p$  值  $<0.05$ 。

### 三、 數值模擬室內裝修材料吸音率對樓板衝擊音之影響

改變有限元素法數值模型中室內裝修材質吸音率變因（吸音率 0.09~0.80 五組變因），室內裝修材料之吸音力對數值提高與室內聲壓衰減值成正比。

### 四、 輕型鋼隔間牆牆板厚度和位置對樓板衝擊音之影響

改變輕型鋼隔間牆面板厚度、牆內空氣層厚度、輕型鋼隔間牆位置變因之數值模型，其各組  $L_0$  值大致相同，調整前後並無顯著差異。

## 伍、 參考文獻

1. C.M. Chiang, F.M. Lin, S.C. Chung, and C.M. Chung, Prediction of Reduction of Impact Vibration in Raised Access Floor, *Journal of Building Acoustics*, Vol. 8, No. 3, pp207-220 (2001)
2. F. M. Lin, C. M. Chiang, and S.F. Chen, Prediction and Reduction Evaluation of Floor Vibration Induced by Foot Steps, *Building Acoustics* Vol. 8, No. 2. (2001)
3. P.C. TZENG, C.M. CHIANG, F.M. LIN, S.C. CHUNG, Y.J. HUANG, The Influence of Impact Vibration by Varying Factors of Composite Steel Deck Floors, *The Eighth Western Pacific Acoustics Conference*, MD33, Melbourne, Australia (2003)