

## 以標準重量軟質衝擊源評估樓板衝擊音之適用性評估

鍾松晉\* 蔡耀賢\*\* 江哲銘\*\*\* 賴榮平\*\*\* 林芳銘\*\*\*\* 蔡香源\*\*\*\*\*

**關鍵字：**標準重量衝擊源，樓板衝擊音

### 摘 要

近年，在居住環境品質要求提升下，國人對於建築構造抵抗樓板衝擊音的性能需求逐漸受到重視。而內政部建築研究所的新建住宅性能評估制度中，雖已將樓板輕量衝擊音列入住宅音環境性能的評估指標中，但屬於較低頻的樓板重量衝擊音則尚未納入。我國自 1982 年至今以國家標準 CNS8464 所規定之汽車輪胎為標準重量衝擊源，但目前不但因規範中之汽車輪胎難以取得而造成執行評估之障礙，ISO140-11 國際標準亦已於 2005 年開始採用橡膠球於建築樓板衝擊音的測定。本研究同時採用汽車輪胎與橡膠球，針對國內常用之鋼骨、鋼筋混凝土與木造樓板進行現場實測，探討兩者所產生樓板衝擊音之相關性，以提供未來國內樓板重量衝擊音評估基準之參考，使樓板衝擊音之評估手法能更為普遍、評估機制更為完整。

### Study on the Applicability of Using Rubber Ball for Standardized Heavy/Soft Floor Impact Sources in Taiwan

S.-C. Chung\* Y.-S. Tsay\*\* C.-M. Chiang\*\*\* R.-P. Lai\*\*\* F.-M. Lin\*\*\*\* H.-Y. Tsai\*\*\*\*\*

**KEYWORDS:** Standardized Heavy and Soft Floor Impact Source, Floor Impact Sound

### ABSTRACT

The performance of impact sound insulation of floors becomes more and more importance in recent years. The soft floor impact source has been applied to the system proposed by ABRI for evaluating the acoustical performance of new building. However, the mobile tire used as the standardized heavy floor impact source in CNS8464 since 1982 is hardly available. In this paper, both methods of CNS8464 and ISO140-11 were carried out for studying the correlation between mobile tire and rubber ball, and verified the applicability of using rubber ball for standardized heavy/soft floor impact source.

\*國立雲林科技大學創意生活設計系助理教授 (通訊作者 Email:chungsc@yuntech.edu.tw)  
Assistant Professor, Dpt. Creative Design, National Yunlin University of Science & Technology, Taiwan

\*\*國立雲林科技大學創意生活設計系助理教授  
Assistant Professor, Dpt. Creative Design, National Yunlin University of Science & Technology, Taiwan

\*\*\*國立成功大學建築系教授  
Professor, Dpt. Architecture, National Cheng-Kung University, Taiwan

\*\*\*\*國立屏東科技大學木材科學及設計系副教授  
Associate Professor, Dpt. Wood Science & Design, National Pingtung University of Science & Technology, Taiwan

\*\*\*\*\*國立雲林科技大學創意生活設計系碩士班研究生  
Master Student, Dpt. Creative Design, National Yunlin University of Science & Technology, Taiwan

## 一、前言

台灣環保署的噪音管制法於民國 72 年 5 月 13 日制定公布以來,噪音陳情案件一直高居第一,而屬於建築室內的樓板衝擊音一直是集合住宅噪音困擾問題的來源之一。目前樓板衝擊音之嚴重性,較一般內外牆之隔音需求殷切,主要原因係內外牆之隔音較易達成,而樓板衝擊音因浮動地板成本較高造成建商怯步,消費者亦未警覺,造成交屋後的埋怨比例提升(陳金文, 2003)。

近年,在居住環境品質要求提升下,國人對於建築構造抵抗樓板衝擊音的性能需求逐漸受到重視。樓板衝擊音的量測方法分為使用輕量衝擊源(Tapping Machine)與重量衝擊源(Tire)。輕量衝擊源廣受各國標準採用,而重量衝擊源則是日本工業規格 JIS A1418 於 1974 年首先提出(JIS, 1974),以圖 1 所示的汽車輪胎作為衝擊源。台灣於 1982 年建立建築樓板衝擊音測定國家標準 CNS 8464 A3142 時(CNS, 1982),亦採用此汽車輪胎為標準重量衝擊源。在內政部建築研究所(2006)的新建住宅性能評估制度中,雖已將樓板輕量衝擊音列入住宅音環境性能的評估指標中,但屬於較低頻的樓板重量衝擊音則尚未納入。

然而,近年日本研究發現輪胎衝擊機對於木造與鋼骨建築樓板的衝擊音量測時有衝擊力過大、會造成表面裝修材毀損、出現非衝擊音的噪音與再現性值不穩定等問題(子安勝, 1990)。加上為因應國際標準,日本即進行標準重量衝擊源的檢討,選擇許多不同種類與重量的衝擊源進行各種高度落下測試。於 2000 年實施的日本工業規格 JIS A1418-2 中,規定標準重量衝擊源除了如圖 2 所示的輪胎衝擊機(Bang Machine)(平光厚雄, 2007)外,更新增橡膠球(圖 3)衝擊源,且在日本市場已商品化。2005 年國際標準 ISO 140-11 亦把以橡膠球作為重量/軟質衝擊源之量測方法列在附錄中。近年, CNS 國家標準也因應國際化正研擬採用此重量軟質衝擊源(陳瑞鈴等, 2007)。

國內的樓板衝擊音相關研究,因 CNS 8464 A3142 規定的汽車輪胎已無車輛使用,近年實測多依據 ISO140-11 (ISO, 2005) 與 JIS A1418-2 (日本工業規格, 2000) 使用橡膠球作為標準重量衝擊源。以橡膠球為標準重量衝擊源在今日已成為國際趨勢,但汽車輪胎與橡膠球的形狀、重量、與衝擊力等明顯不同,所產生的樓板衝擊聲壓位準差異,國內尚無相關研究。為瞭解兩者的樓板衝擊音異同處與使聲壓位準值可互相參考運用,本研究透過實驗測定與統計迴歸分析,探討兩者產生的樓板衝擊音相關性,供未來建築樓板重量衝擊音評估基準建立參考。



圖 1 汽車輪胎衝擊源

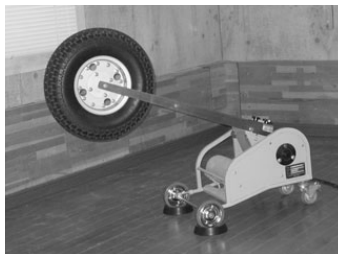


圖 2 輪胎衝擊機衝擊源



圖 3 橡膠球衝擊源

## 二、標準重量衝擊源基本特性比較

國家標準 CNS8464 的標準重量衝擊源（汽車輪胎），與國際標準 ISO140-11 的重量/軟質衝擊源（橡膠球）的基本特性對照如下：表 1 為兩種標準重量衝擊源規範標準的比較，圖 4 與圖 5 為兩者衝擊力波形（JIS A1418-2，2000），圖 6 與圖 7 是兩種衝擊源衝擊力頻譜特性（JIS A1418-2，2000），表 2 是衝擊力暴露位準比較。衝擊力暴露位準（impact force exposure level）計算如式 1（村上剛士等，2004）。

表 1 標準重量衝擊源的規範比較

項目	種類	汽車輪胎 (CNS 8464 A3142)	橡膠球 (ISO 140-11)
質量		7.3 ±0.4 kg	2.5 ±0.1 kg
形狀		約符合 5.20-10-4PR 汽車輪胎	中空球體
尺寸		胎寬 140 mm 胎外徑 500 mm	直徑 180 mm，厚度 30 mm
空氣壓		1.5 ±0.1 × 10 <sup>5</sup> Pa	—
反彈（恢復）係數		0.8 ±0.1	0.8 ±0.1
落下高度		90 cm（底部至受測樓板表面）	100 cm（底部至受測樓板表面）
衝擊力最大值		約 4200 N	約 1500 N
衝擊時間		20 ±2 ms	20 ±2 ms

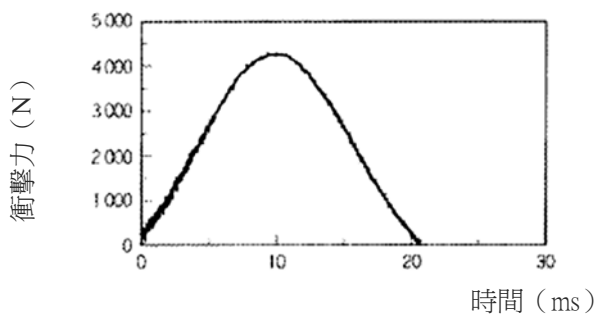


圖 4 汽車輪胎衝擊源衝擊力波形

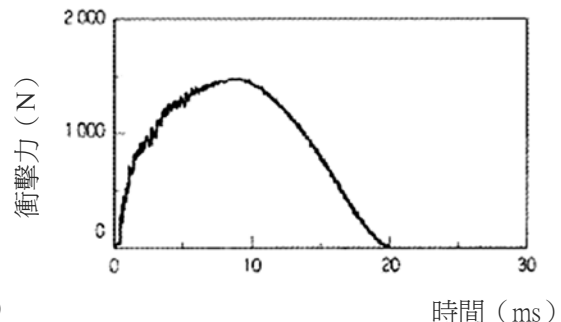


圖 5 橡膠球衝擊源衝擊力波形

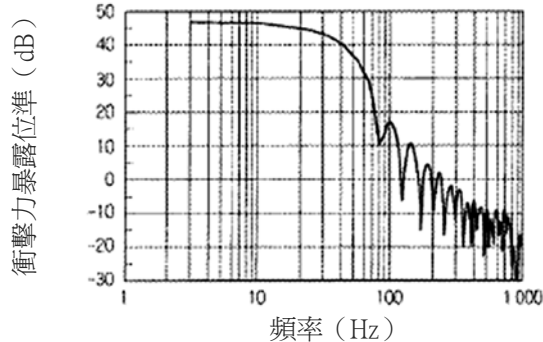


圖 6 汽車輪胎衝擊力頻譜特性

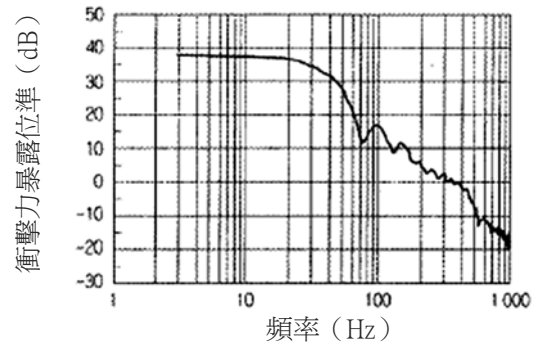
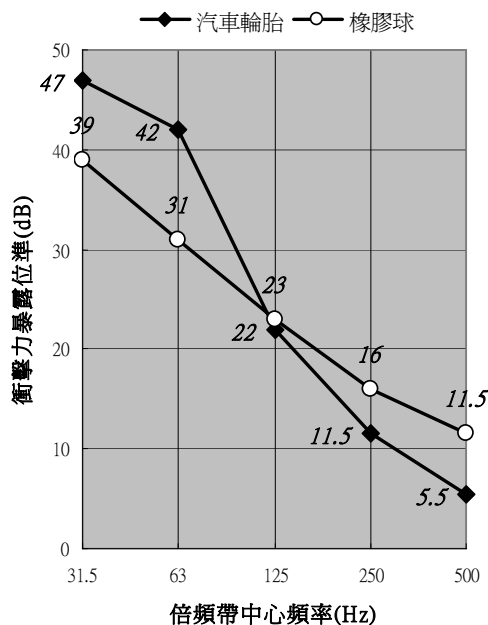


圖 7 橡膠球衝擊力頻譜特性

表 2 兩種標準重量衝擊源於倍頻帶之衝擊力暴露位準

倍頻帶 中心頻率	衝擊力暴露位準 (dB)	
	汽車輪胎	橡膠球
31.5 Hz	47.0 ±1.0	39.0 ±1.0
63 Hz	40.0 ±1.5	31.0 ±1.5
125 Hz	22.0 ±1.5	23.0 ±1.5
250 Hz	11.5 ±2.0	16.0 ±2.0
500 Hz	5.5 ±2.0	11.5 ±2.0



$$L_{FE} = 10 \log \left[ \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{F^2(t)}{F_0^2} dt \right] \text{ dB} \quad (1)$$

式中代數定義：

$L_{FE}$ ：衝擊力暴露位準 (dB)       $F(t)$ ：衝擊力 (N)       $t_2-t_1$ ：衝擊力持續時間 (s)  
 $F_0$ ：基準力 (=1N)       $T_0$ ：基準時間間隔 (=1 s)

進行樓板衝擊音量測實驗時，汽車輪胎與橡膠球，兩種標準重量衝擊源是不施加任何作用力，依規定高度受重力作用垂直落下，與測試樓板接觸後即分離。屬於物理現象中，自由落體重力位能與線動量彈性碰撞的課題，因這種接觸力的作用時距相當短，所以被稱為「衝力」。標準重量衝擊源作用於樓板的平均力等於標準重量衝擊源的質量與加速度的乘積，如式 2，作用力波形如圖 8。標準重量衝擊源與樓板的碰撞介於完全彈性與非完全彈性之間，可以式 3 說明這種情形，此式是表示兩個碰撞物體相對分離速度與相對接近速度的比值。以線動量守恆，兩物體碰撞前的能量總和等於碰撞後的能量總和，如式 5 (Harris Benson, 2004)。

將標準重量衝擊源，汽車輪胎與橡膠球的垂直落下高度 ( $h$ )，0.9m 與 1.0m 代入式 4，得落地瞬間速度 ( $v$ )，分別是 4.200 m/sec 與 4.427 m/sec。兩者的質量 ( $m_1$ ) 分別是 7.3 Kg 與 2.5 Kg，恢復係數皆是 0.8 ±0.1，以 0.8 計算代入式 7 與式 8 (安岡正人, 1977)，得力積 ( $Y$ ) 與最大衝擊力 ( $F_{max}$ )，將力積除以衝擊時間 20ms，得平均衝擊力 ( $\bar{F}$ )，代入式 2 得平均加速度 ( $\bar{a}$ )。由式 3 可得兩種衝擊源從規定高度落下至接觸樓板時間皆為 11.1ms。以上兩種衝擊源計算值比較如表 3。

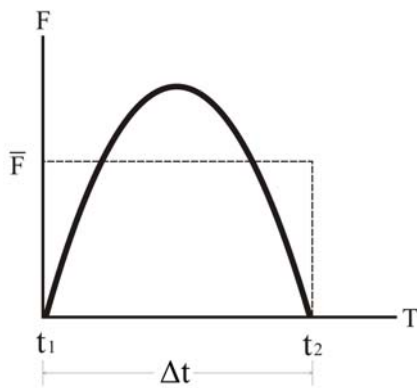


圖 8 衝擊力與衝擊時間關係

$$\bar{F} = m_1 \bar{a} \quad (2)$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (3)$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

$$\mu = \frac{-(v_{1+} - v_{2+})}{(v_{1-} - v_{2-})} \quad (5)$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1-}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2-}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1+}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2+}^2 \quad (6)$$

$$Y = m_1 v(1 + \mu) \quad (7)$$

$$F_{\max} = Y \left( \frac{\pi}{2\Delta t} \right) = m_1 v(1 + \mu) \frac{\pi}{2\Delta t} \quad (8)$$

$$L = (20 \log F + 10 \log n) + (10 \log k T_{60} - 10 \log \rho^2 r^3) - (10 \log A - 96) \quad (9)$$

式中代數定義：

$\bar{F}$ ：平均衝擊作用力 (N)	$h$ ：衝擊源垂直落下高度 (m)	$L$ ：樓板衝擊音級 (dB)
$m_1$ ：衝擊源質量 (kg)	$v_{1+}$ ：衝擊源衝擊後瞬間速度 (m/s)	$F$ ：衝擊力 (N)
$\bar{a}$ ：平均加速度 (m/s <sup>2</sup> )	$v_{2+}$ ：樓板衝擊後瞬間速度 (m/s)	$n$ ：每秒鐘衝擊次數
$\Delta v$ ：衝擊前與衝擊瞬間速度差 (m/s)	$v_{1-}$ ：衝擊源衝擊前瞬間速度 (m/s)	$k$ ：音響放射係數 (-)
$\Delta t$ ：衝擊前與衝擊瞬間速度差 (s)	$v_{2-}$ ：樓板衝擊前瞬間速度 (m/s)	$T_{60}$ ：樓板振動衰減時間 (s)
$v$ ：自由落體落地瞬間速度 (m/s)	$m_2$ ：樓板質量 (kg)	$\rho$ ：樓板密度 (kg/m <sup>3</sup> )
$g$ ：重力加速度 (=9.8m/s <sup>2</sup> )	$Y$ ：衝擊力之力積 (N·s)	$r$ ：樓板厚度 (m)
$\mu$ ：反彈係數 (-)	$F_{\max}$ ：最大衝擊力 (N)	$A$ ：吸音力 (m <sup>2</sup> )

表 3 標準重量衝擊源的特性計算值比較

項目	種類	汽車輪胎 (CNS 8464 A3142)	橡膠球 (ISO 140-11)
力積 (Y)		55.188	19.922
最大衝擊力 ( $F_{\max}$ )		4332.258 (N)	1563.838 (N)
平均衝擊力 ( $\bar{F}$ )		2759.400 (N)	996.075 (N)
落地瞬間速度 (v)		4.200 (m/s)	4.427 (m/s)
平均加速度 ( $\bar{a}$ )		378.00 (m/s <sup>2</sup> )	398.43 (m/s <sup>2</sup> )
規定高度落下至接觸樓板時間		11.1 (ms)	11.1 (ms)

以樓板衝擊音發生機構式 9 (鍾松晉, 1999), 評估兩種標準重量衝擊源衝擊相同樓板之衝擊音差異, 以樓板衝擊源特性 ( $20 \log F + 10 \log n$ ) 可計算得出汽車輪胎大於橡膠球約 8.85 (dB); 分析樓板振動反應特性與室內音響放射特性, 發現除了樓板振動衰減時間 ( $T_{60}$ ) 不同外, 其他條件皆一樣。故影響兩種衝擊源的衝擊音差異, 主要是衝擊源特性與受衝擊樓板的材料特性。

### 三、實驗測定方法

本實驗避免量測的衝擊音壓值過度集中與瞭解兩衝擊源對不同建築構造的衝擊音壓值差異。故選擇鋼骨、鋼筋混凝土與木構造建築物並運用小試體實驗法進行現場樓板衝擊音測定。實驗場所與量測方法是依據國家標準 CNS 8464、15160-6 與國際規範 ISO 140-7 (ISO, 1998)、140-8 (ISO, 1997) 與 140-11 等相關規定所擬訂, 如受音室背景環境符合 CNS 8464 與 ISO 140-7 之現場測定條件; 測定頻率選擇 50~5000 Hz, 1/3Oct, 其包含 CNS 8464 (63~4000Hz, 1/1Oct.) 與 ISO140-11 (50~630Hz, 1/3Oct.) 的頻率範圍<sup>1</sup>; 小試體為 ISO 140-8 試體分類 I 之規範, 國內相關文獻已證明其可行性 (鍾松晉, 1999)。實驗測定內容、方法與量測儀器系統, 如表 4 所示。選擇的建築樓板樣式、試體材料與組構方式, 如表 5~表 7 所示。

表 4 本研究實驗測定內容

項目		內容	測定架構示意圖
儀器	音源	標準重量衝擊源： 橡膠球 (RION YI-01) 汽車輪胎 (5.20-10-4PR)	
	頻譜分析	Sound Level Meter. 01dB/symphonic/1890	
	音位校正	calibrator : cal21 signal : 1.000e+00Pa, 94dB (Reference 2.000e-05Pa)	
	收音	麥克風與前級擴大器	
背景環境	背景噪音	符合現場測定與衝擊音差值 6dB 以上修正與差值 10dB 以上不需修正之規定	
	溫度	18 至 25°C	
測定頻率		50~5000 Hz, 1/3 Oct.	
測定方法		固定測點, 衝擊源依規定高度垂直落下打擊試驗樓板之測點位置一次	
衝擊點位置		4 處以上, 均佈於音源室樓板上	
試體位置		試體置於衝擊點位置正上方	
小試體與安裝方法		60cm (L) × 60cm (W) × d cm (D), 為 ISO140-8 試體分類 I, 螺栓鎖定與黏著安裝樓板上	
麥克風位置		至少 4 處, 均佈於收音室空間中, 距室樓板 1.2~1.5m。彼此間距 0.7 m 以上; 距室邊界 0.7 m 以上, 距試驗樓版 1.0 m 以上	

表 5 建築樓板樣式


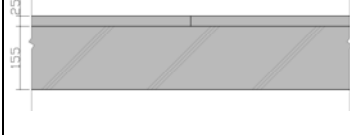

建築構造類型	受音室尺寸	樓板樣式	樓板剖面圖	編號
鋼骨	7.0m (L) × 3.4m (W) × 3.0m (H)	鋼構複合 (140±20mm)		S
鋼筋混凝土	7.6m (L) × 5.6m (W) × 4.6m (H)	鋼筋混凝土 + 磨石子地磚 (180±20mm)		R
木造	3.4m (L) × 2.4m (W) × 2.3m (H)	木質結構 (220±20mm)		W

表 6 試體材料種類

	類別	材料名稱	規格概要	編號
表面材 (A)	毯類	方塊地毯	t = 5mm	A1
		方塊地毯	t = 18mm	A2
	塑膠	塑膠地板	t = 3mm	A3
	實木地板	柚木地板	4 分 (t = 12mm) + 12mm 底板 (夾板)	A4
	實木地板	花梨木地板	4 分 (t = 12mm) + 12mm 底板 (夾板)	A5
	鋼筋混凝土	鋼筋混凝土板	鋼筋為 #4，單層雙向間距 30cm， 混凝土為 3000psi，t = 70mm	A6
構架材 (B)	鋪面結構	夾板	t = 18mm	B1
	支撐結構	角材	1×1 吋 (1 吋 = 3.03mm)	B2
填充材 (C)	吸音板材	石膏板	t = 9mm	C1
	纖維材料	岩棉	110K (kg/m <sup>3</sup> )，t = 50mm	C2
減振材 (D)	減振墊材	橡膠減振墊	50×50×25mm；17.2kgf/mm	D1
		橡膠減振墊	50×50×50mm；17.2kgf/mm	D2
	減振板材	發泡橡膠板	硬度 30°；t = 20mm	D3
	複合材料	減振毯	t = 10mm	D4
其他 (E)	中介材料	防水膜	t = 0.3mm	E1

實驗操作依照來源會產生系統誤差與隨機誤差，故本實驗為降低系統誤差，於開始樓板衝擊音量測前，進行設備儀器校正、背景環境測定與控制與使用標準重量衝擊源落下高度固定腳架等。以兩標準重量衝擊源對三種對象建築之裸樓板量測，由所得正規化衝擊聲壓位準進行重複性值與再現性值驗證。數據檢驗結果均符合 ISO 140-2 規範重複性與再現性參考值。

表 7 試體組構類型與安裝示意圖

編號	組構材料 (上至下)	編號	組構材料 (上至下)	組構示意圖
01	A1.	07	A5.B2. D3.	<p>洗孔(螺栓鎖定) (A) 表面材變換 (B) 構架材變換一 (B) 構架材變換二 (C) 填充材變換 (D) 減振材變換 減振材四邊角以雙面布膠帶與構架材和結構樓板黏著</p>
02	A2.	08	A5.B2. B1. D2.	
03	A3.	09	A4. C1. B1. C2. D2	
04	A4.	10	A2. B1. B2. B1. C2. D2. D4	
05	A5.B2	11	A6. E1. B1. D2.	
06	A5.B2. D2.	12	A1. A6. E1. B1. D1. B1. D2.	

#### 四、實驗結果分析

##### 4-1 聲壓位準的關係

CNS 8464 建築物現場樓板衝擊音測定標準中，無吸音力修正；ISO 140-7 規範經吸音力與餘響時間修正的樓板衝擊音分別稱為「正規化衝擊聲壓位準」與「標準化衝擊聲壓位準」。考量過去國內研究樓板重量衝擊音是依據 CNS 8464 規範與未來國際接軌趨勢，故分別以兩種標準重量衝擊源之「衝擊聲壓位準， $L_i$ 」、「正規化衝擊聲壓位準， $L'_n$ 」與「標準化衝擊聲壓位準， $L_nT$ 」，進行迴歸相關性比較分析，結果詳表 8~表 12。

表 8 衝擊聲壓位準相關迴歸分析

中心頻率	$X = L_i\text{-tire}, Y = L_i\text{-ball}$	相關係數 R	判定係數 $R^2$	顯著值
63	$Y = 1.2511X - 17.3119$	0.92374	0.85330	5.33E-17
125	$Y = 1.3873X - 25.9946$	0.88626	0.78545	6.27E-14
250	$Y = 1.4476X - 27.5168$	0.93472	0.87369	3.30E-18
500	$Y = 1.3550X - 21.8273$	0.95094	0.90428	1.92E-20
1K	$Y = 1.2242X - 14.9456$	0.96418	0.92965	6.38E-23
2K	$Y = 1.2737X - 16.9481$	0.97403	0.94874	1.81E-25
4K	$Y = 1.2232X - 14.0145$	0.97346	0.94762	2.70E-25

表 9 正規化衝擊聲壓位準相關迴歸分析

中心頻率	$X = L'_n\text{-tire}, Y = L'_n\text{-ball}$	相關係數 R	判定係數 $R^2$	顯著值
63	$Y = 1.2872X - 19.3846$	0.81744	0.66820	2.15E-10
125	$Y = 1.2794X - 19.3169$	0.92981	0.86454	1.21E-17
250	$Y = 1.3460X - 21.5169$	0.95456	0.91118	4.81E-21
500	$Y = 1.3105X - 19.1852$	0.96413	0.92955	6.54E-23
1K	$Y = 1.2038X - 13.6898$	0.97459	0.94982	1.22E-25
2K	$Y = 1.2238X - 14.6898$	0.98134	0.96303	4.25E-28
4K	$Y = 1.1868X - 12.7607$	0.97948	0.95937	2.43E-27



表 10 標準化衝擊聲壓位準相關迴歸分析

中心頻率	X= L'nT-tire , Y= L'nT-ball	相關係數 R	判定係數 R <sup>2</sup>	顯著值
63	Y=1.2290X-14.9191	0.94037	0.88430	6.49E-19
125	Y=1.2789X-18.2366	0.92952	0.86400	1.30E-17
250	Y=1.3444 X-20.1951	0.95468	0.91141	4.58E-21
500	Y=1.3104X-18.0471	0.96398	0.92925	7.08E-23
1K	Y=1.2038X-12.9467	0.97462	0.94989	1.19E-25
2K	Y=1.2252X-13.9063	0.98115	0.96265	5.13E-28
4K	Y=1.1874X-12.0866	0.97939	0.95921	2.62E-27

表 11 衝擊聲壓位準與正規化衝擊聲壓位準相關迴歸分析

中心頻率	X= Li-tire , Y= L'n-ball	相關係數 R	判定係數 R <sup>2</sup>	顯著值
63	Y=0.7326X-14.6160	0.76799	0.58980	1.15E-08
125	Y=1.7801X-50.2860	0.91028	0.82861	9.60E-16
250	Y=1.7215 X-43.7642	0.93674	0.87748	1.88E-18
500	Y=1.5270X-31.7716	0.94472	0.89249	1.66E-19
1K	Y=1.3878X-23.9531	0.95444	0.91096	5.03E-21
2K	Y=1.4980X-27.0866	0.97716	0.95485	1.72E-26
4K	Y=1.4052X-20.3125	0.97954	0.95950	2.30E-27

表 12 衝擊聲壓位準與標準化衝擊聲壓位準相關迴歸分析

中心頻率	X= Li-tire , Y= L'nT-ball	相關係數 R	判定係數 R <sup>2</sup>	顯著值
63	Y=1.3966X-30.8483	0.92724	0.85978	2.30E-17
125	Y=1.7783X-53.9442	0.91036	0.82876	9.45E-16
250	Y=1.7297 X-47.7993	0.93917	0.88205	9.28E-19
500	Y=1.5265X-35.4072	0.94548	0.89393	1.29E-19
1K	Y=1.3885X-27.6130	0.95435	0.91078	5.22E-21
2K	Y=1.4907X-30.5088	0.97721	0.95494	1.66E-26
4K	Y=1.4017X-23.9137	0.97945	0.95932	2.50E-27

以上迴歸分析之 P 值皆小於 0.01，均達顯著。兩標準重量衝擊源的聲壓位準最佳迴歸方程式，以判定係數高者為選定條件，其中表 9 正規化衝擊聲壓位準之 500 Hz、2000Hz、4000Hz 與表 10 標準化衝擊聲壓位準之 63 Hz、125 Hz、250Hz、500 Hz、1000 Hz 為最佳。再以相關係數分析，表 9 正規化衝擊聲壓位準之 500 Hz 為 0.96413，大於表 10 標準化衝擊聲壓位準之 500 Hz 的 0.96398。故兩標準重量衝擊源的聲壓位準換算迴歸方程式，頻率為 63Hz、125 Hz、250Hz、1000 Hz 以表 10 標準化衝擊聲壓位準為主，500Hz、2000 Hz、4000Hz 以表 9 正規化衝擊聲壓位準為主。但 2005 年前國內是依據 CNS 8464 規範量測樓板重量衝擊音，文獻測定數據是無吸音力與餘響時間修正的樓板衝擊音值，為將當時使用的汽車輪胎樓板衝擊音數據與現今國際採用的橡膠球樓板衝擊音數值進行對照，故建議以表 12 為兩者換算迴歸方程式，其相關係數皆大於 0.9，預測解釋力仍高。

#### 4-2 衝擊聲壓位準平均值差異

圖 9 為兩個衝擊源在不同樓板與試體下產生的衝擊聲壓位準平均值，從圖中可知，除了木造建築樓板於 50Hz、63 Hz、160 Hz、250 Hz、315 Hz 與 400 Hz 等頻率，橡膠球衝擊聲壓位準平均值

大於汽車輪胎衝擊聲壓位準平均值外，鋼骨建築與鋼筋混凝土建築樓板試體的汽車輪胎衝擊聲壓位準平均值皆高於橡膠球衝擊聲壓位準平均值。

圖 10 為兩衝擊源對建築之樓板衝擊音平均值差異量比較，於鋼構複合樓板之中高頻差異量大於低頻，其低頻差異均值為 2.01dB，中頻差異均值為 4.99 dB，高頻差異均值達 7.51 dB。鋼筋混凝土樓板差異量為三種樓板最大者，低頻差異均值為 3.90dB，中頻差異均值為 6.04 dB，高頻差異均值為 8.46 dB。木樓板兩衝擊源差異量於中低頻較小，低頻差異均值為 0.92dB，中頻差異均值為 0.79 dB，高頻漸大，最大的 5k Hz 為 3.54 dB，但仍低於鋼筋混凝土樓板差距最小的低頻差異均值。故兩衝擊源在鋼筋混凝土樓板平均衝擊音差異量最大，鋼構複合樓板次之，木質構造樓板最小。

	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
R	0.4	2.16	2.49	2.26	1.93	2.79	2.69	2.73	3.27	3.71	4.76	5.64	6.35	6.52	6.77	7.24	7.2	7.02	7.63	7.94	7.76
S	1.32	2.33	5.45	5.66	4.99	3.63	4.74	5.51	5.13	5.58	6.28	6.47	6.42	6.18	6.77	7.35	8.36	8.88	8.37	8.33	8.38
W	-0.29	-0.34	1.87	0.69	1.49	-0.81	0.1	-0.15	-0.25	-0.43	0.16	0.6	0.85	1.33	1.76	2.28	2.56	2.83	3.18	3.36	3.54

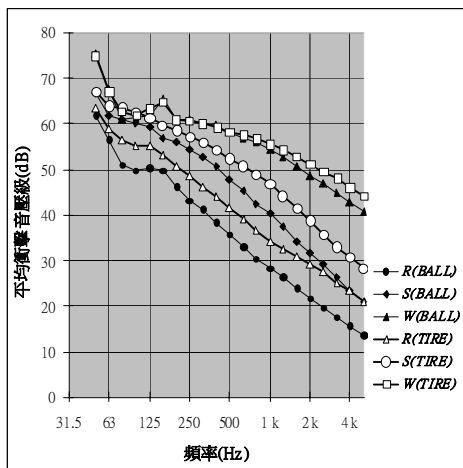


圖 9 衝擊音測定之平均值比較

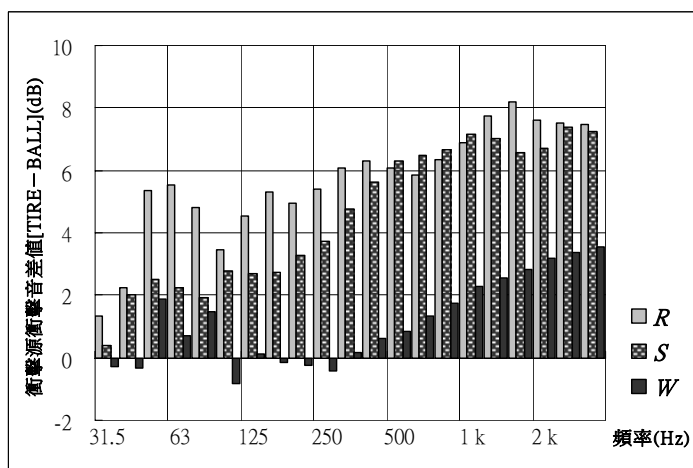


圖 10 兩衝擊源之樓板衝擊音平均值差

#### 4-3 試體材料之聲壓位準低減比對

從兩衝擊源在各試體對結構裸樓板聲壓位準低減量與聲壓位準評價低減值比較發現，除編號 11 試體組構於鋼構複合與鋼筋混凝土結構樓板上，受兩衝擊源碰撞產生之衝擊音減低量為正值；與編號 08、09 試體組構於鋼構複合與鋼筋混凝土結構樓板之衝擊音評價低減值皆為負（但 09 試體於木質構造樓板之評價低減值卻成正值）；其他試體之聲壓位準低減量與聲壓位準評價低減值受基準樓板樣式與試體材料組構影響，數值正負差異不一。

故兩標準重量衝擊源產生之樓板衝擊音與樓板樣式和表面裝修材料有關，本研究以線性關係分析，進行試體材料與兩標準重量衝擊源產生之樓板衝擊音低減關係探討。首先將試體組構的各種材料轉換成虛擬變項，與各基準樓板之聲壓位準低減量與聲壓位準評價低減值，進行相關性檢驗；接

下來區分材料(如剔除不顯著相關材料、特性相近材料與材料間相關性高者,選定顯著相關的材料)進行線性關係分析。

表 13 與表 14 可知鋼骨建築之鋼構複合樓板上顯著影響裝修材料與受兩標準重量衝擊源所產生的衝擊聲壓位準減低量的關係,表 15 與表 16 可知鋼筋混凝土建築樓板上顯著影響裝修材料與受兩標準重量衝擊源所產生的衝擊聲壓位準減低量的關係,表 17 與表 18 可知木造建築樓板上顯著影響裝修材料與受兩標準重量衝擊源所產生的衝擊聲壓位準減低量的關係。其中兩衝擊源對三種基準樓板的共同顯著影響裝修材料為 A05 與 B02,此兩種裝修構材由橡膠球衝擊源所產生之衝擊聲壓位準低減關係較汽車輪胎衝擊源之衝擊聲壓位準低減關係,呈現之負相關程度大,故表示基準樓板上裝置材料 A05 與 B02,其受橡膠球衝擊源碰撞較汽車輪胎衝擊源碰撞,有較多噪音量產生。鋼構複合樓板與鋼筋混凝土樓板之共同顯著影響裝修材料還有材料 A06,其受橡膠球衝擊源所產生之衝擊聲壓位準低減關係較汽車輪胎衝擊源之衝擊聲壓位準低減關係,呈現之正相關程度大,故表示於鋼構複合樓板與鋼筋混凝土樓板之基準樓板上裝置材料 A06,其受橡膠球衝擊源碰撞較汽車輪胎衝擊源碰撞,具有較多隔音改善量。材料 D02 於鋼構複合樓板與鋼筋混凝土樓板,以橡膠球衝擊源所產生之衝擊聲壓位準低減具有顯著正相關,以汽車輪胎衝擊源則無顯著相關。但此材料在木造樓板上,兩衝擊源所產生之衝擊聲壓位準低減比較,皆呈現中度正相關。在木造樓板上,材料 A02、C02、D02、D04 與兩衝擊源之衝擊聲壓位準低減量的關係為中度正相關,裝置於鋼構複合樓板或鋼筋混凝土樓板的相關程度為不顯著或低度相關。

故兩衝擊源產生的樓板衝擊音關係受基準樓板特性影響,裝設構材也會因不同基準樓板樣式而使同一衝擊源之衝擊音低減量不同。在本實驗的試體材料中,不論基準樓板樣式,皆會使兩標準重量衝擊源的樓板衝擊音增加者為表面材之實木地板與構架材之支撐角材;皆有隔音改善者為表面材之鋼筋混凝土板。填充材與減振材之隔音性能則因不同基準樓板特性而呈現差異。

表 13 試體材料與聲壓位準低減之相關性 (S-TIRE)

	A03	A05	A06	B02	C01	C02
低減值						
Pearson 相關	.236	-.377	.465	-.362	-.142	-.170
顯著性	.000	.000	.000	.000	.012	.004

表 14 試體材料與聲壓位準低減之相關性 (S-BALL)

	A02	A05	A06	B02	D02
低減值					
Pearson 相關	.184	-.621	.597	-.448	.312
顯著性	.002	.000	.000	.000	.000

表 15 試體材料與聲壓位準低減之相關性 (R-TIRE)

	A02	A05	A06	B02	C01
低減值					
Pearson 相關	.383	-.563	.426	-.495	-.141
顯著性	.000	.000	.000	.000	.013

表 16 試體材料與聲壓位準低減之相關性 (R-BALL)

	A05	A06	B02	D02	D03
低減值					
Pearson 相關	-.626	.811	-.592	.409	-.162
顯著性	.000	.000	.000	.012	.007

表 17 試體材料與聲壓位準低減之相關性 (W-TIRE)

	A02	A05	B01	B02	C01	C02	D02	D03	D04
低減值									
Pearson 相關	.430	-.593	.442	-.461	.282	.473	.442	-.795	.328
顯著性	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

表 18 試體材料與聲壓位準低減之相關性 (W-BALL)

	A02	A05	B01	B02	C01	C02	D02	D03	D04
低減值									
Pearson 相關	.492	-.650	.411	-.467	.284	.525	.411	-.650	.395
顯著性	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000

#### 4-4 聲壓位準平均低減值差異

以兩種標準重量衝擊源對試體與裸樓板衝擊音的平均衰減值，進行比較。圖 11 為兩標準重量衝擊源對試體於鋼構複合樓板的低減平均值，汽車輪胎的低減平均值於 63Hz~1000Hz 時，大於橡膠球的低減平均值約 1.0dB，1000Hz 以上頻率因橡膠球的低減平均值漸增大使差距改變，兩者相交於 2500Hz，2500Hz 以上頻率橡膠球的低減平均值則大於汽車輪胎的低減平均值。圖 12 為兩衝擊源對試體於鋼筋混凝土樓板的低減平均值在各頻率皆不同，63Hz~250Hz 時兩者差距小；250Hz 以上頻率差距增大，汽車輪胎於 63~1000Hz 約 0.5dB 的低減平均量，1000Hz 以上頻率低減平均量增大；橡膠球於 63Hz~200Hz 約 0.2~0.7dB 的低減平均量，200Hz 以上頻率卻增大衝擊音量使低減平均量為負值。圖 13 是兩衝擊源對試體於木質樓板的平均衰減值，於 63Hz~1000Hz 約有 2.5~3.5dB 差距，橡膠球衝擊源在各頻率的平均低減量約 1.5~2.0dB，汽車輪胎卻無低減量，不同與試體在鋼筋混凝土和鋼構複合樓板皆有低減量之情形。

#### 4-5 評價值的關係

樓板衝擊音評價有 dB (A)、 $L_{in}$ 、 $L$  值、 $L$  等級、 $L_{n,w}$  與 IIC 值，以下針對兩種標準重量衝擊源之各種衝擊音評價進行相關性分析，再依其結果進行迴歸探討，以求達顯著解釋力之迴歸方程式。表 19 為衝擊音評價相關係數 (R) 矩陣分析。由表中可知以汽車輪胎之  $L$  值與橡膠球之 dB (A) 相關係數為最佳；與橡膠球之  $L$  值的相關係數為次佳。

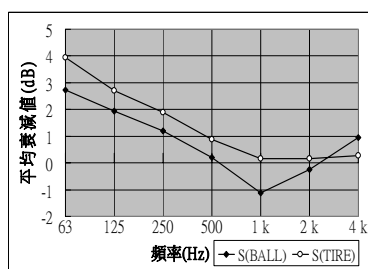


圖 11 衝擊源衰減值比較 (S)

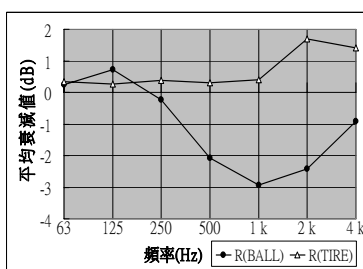


圖 12 衝擊源衰減值比較 (R)

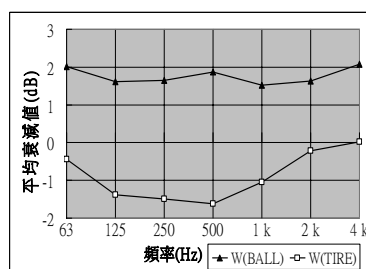


圖 13 衝擊源衰減值比較 (W)

表 19 衝擊音評價相關係數 (R) 矩陣分析

BALL \ TIRE	dB (A)	Lin	L 值	L 等級	$L_{n,w}$	IIC
dB (A)	0.963	0.747	0.968	0.957	0.940	-0.921
Lin	0.901	0.943	0.901	0.887	0.900	-0.903
L 值	0.960	0.741	0.967	0.954	0.934	-0.914
L 等級	0.941	0.714	0.950	0.943	0.914	-0.892
$L_{n,w}$	0.956	0.769	0.958	0.952	0.956	-0.943
IIC	-0.944	-0.768	-0.946	-0.942	-0.946	0.937

註.以上顯著值皆 $<0.01$

經由相關性檢驗後，以強迫進入法迴歸分析的依變項為汽車輪胎之 L 值，預測變項為橡膠球之 dB (A) 與 L 值，分析結果如表 20。

表 20 衝擊音評價之複迴歸分析摘要

預測變項	B	標準誤差	Beta ( $\beta$ )	t 值
截距	12.353	3.817		3.236***
dB (A) -BALL	0.749	0.623	0.937	1.201*
L 值-BALL	2.397E-02	0.597	0.031	0.040**

$R=0.968$   $R^2=0.938$  調整後  $R^2=0.934$   $F=248.251****$

\* $p>0.5$  \*\* $p<0.5$  \*\*\*  $p<0.1$  \*\*\*\* $p<0.01$

預測變項中，除橡膠球 dB (A) 值之顯著值小於 0.5 外，橡膠球的 L 值大於 0.5，故橡膠球 dB (A) 值之預測變項對汽車輪胎之 L 值變項有顯著的解釋力。因此兩衝擊源所產生的衝擊音評價之關係式為  $Y=0.774X+12.217$ ，Y 為汽車輪胎之 L 值，X 為橡膠球 dB (A) 值，其相關係數為 0.968，判定係數為 0.938。

## 五、結論

本研究針對樓板衝擊音與標準重量衝擊源之理論規範進行彙整探討，並依據 ISO 國際標準與 CNS 國家標準之實驗辦法，對於鋼骨、鋼筋混凝土與木造建築進行現場樓板衝擊音之測定。之後針對兩種標準重量衝擊源之樓板衝擊聲壓位準、正規化衝擊聲壓位準與標準化衝擊聲壓位準、衝擊音低減量與樓板衝擊音評價等進行差異性比較與相關迴歸分析。研究結果如下：

- (1) 衝擊聲壓位準平均值差異，於鋼筋混凝土樓板平均衝擊音差異量最大，鋼構複合樓板次之，木造樓板最小。兩種標準重量衝擊源對試體與裸樓板的衝擊音低減平均量，以木造樓板之低減平均差異量最穩定，於 63Hz~1250Hz 約有 2.5~3.5dB，1250Hz 以上頻率約 2 dB。鋼構複合樓板於 63Hz~1000Hz 約有 1.0dB 差異量，鋼筋混凝土樓板低減平均值差異量於各頻率變化大，無規律。
- (2) 兩衝擊源的標準化衝擊聲壓位準於 63Hz、125 Hz、250Hz、1000 Hz 之相關係數最大，兩者的正規化衝擊聲壓位準於 500Hz、2000 Hz、4000Hz 之相關性最佳，故兩者各頻率聲壓位準可以其各迴歸方程式進行換算。
- (3) 各種衝擊音評價中，橡膠球 dB(A)值與汽車輪胎 L 值之判定係數 =0.938 為最佳，其迴歸方程式  $Y = 0.774X + 12.217$  (Y：汽車輪胎 L 值，X：橡膠球 dB(A)值)，可為兩種標準重量衝擊源之衝擊音評價比對換算式，如圖 14 所示。

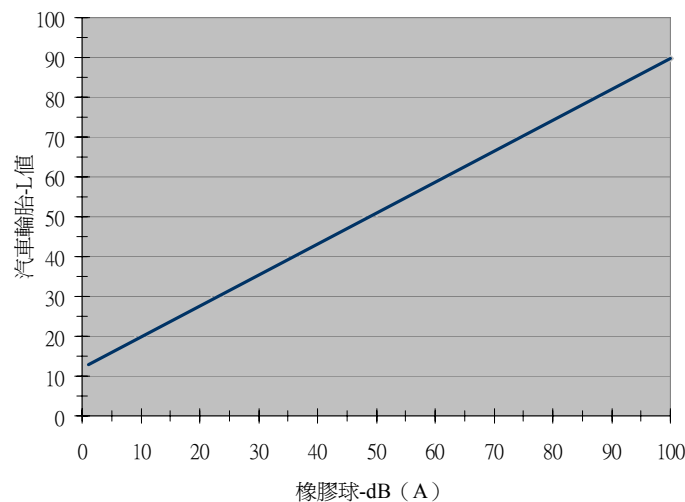


圖 14 兩種標準重量衝擊源之衝擊音評價換算

## 誌謝

本研究由衷感謝趙以諾建築師給予本次研究提供建議。

## 參考文獻

- 子安勝 (1990) 〈床衝擊音測定方法の問題点と関連規格〉《日本騒音制御工学会誌》14：166-169。
- 內政部建築研究所 (2006) 《新建住宅性能評估制度消費者宣導手冊》，內政部建築研究所，台北。
- 日本工業規格 (2000) 〈JIS A1418-2：建築物の床衝擊音遮断性能の測定方法—第 2 部：標準重量衝擊源による方法〉，日本規格協會，東京。

平光厚雄(2007)〈床衝擊音の測定評価方法〉,BRI-H18 講演会:105,独立行政法人建築研究所,日本。

安岡正人(1977)〈床衝擊音防止設計法〉《音響技術》Vol.6:267-293。

村上剛士,田中學(2004)〈ゴムボールを用いた重量床衝擊音レベル測定法 および測定結果に対する検討〉《GBRC》14期:25-33。

陳金文(2003)《建築音響學及其應用》,科技圖書,台北。

陳瑞鈴,江哲銘,林芳銘(2007)《CNS 建築音響量測標準研訂之研究》,內政部建築研究所協同研究報告。

鍾松晉(1999)《台灣地區樓版衝擊音影響因子預測模式之研究》,成功大學建築研究所博士論文。

CNS(1982)〈CNS 8464:建築物現場樓板衝擊音級測定法〉,經濟部標準檢驗局。

Harris Benson(2004)《普通物理學》University Physics,朱達勇等譯,學銘圖書,台北。

ISO(1997)ISO140-8: Acoustics--Measurement of sound insulation in buildings and of building elements--Part8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor, International Organization for Standardization, Swiss.

ISO(1998)ISO140-7: Acoustics--Measurement of sound insulation in buildings and of building elements--Part7: Field measurements of impact sound insulation of floors, International Organization for Standardization, Swiss.

ISO(2005)ISO140-11: Acoustics--Measurement of sound insulation in buildings and of building elements--Part 11: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact sound by floor coverings on lightweight reference floors, International Organization for Standardization, Swiss.

## 註釋

---

<sup>1</sup>本測試之收音設備,符合JIS A1418 附件3之2.1所規定,可量測之最低頻率為1.0Hz。表4中的測定頻率50~5000Hz,是依據規範中之最低頻帶所設定。