

浮式地板緩衝材對樓板衝擊音隔音性能影響之研究

The Influence of Insulation Performance of Floor Impact Sound by the Resilient Material in the Floating Floor

林芳銘、馮俊豪*、方裕鈞、王栢村、林招焯、余易璋

¹林芳銘，國立屏東科技大學木設系 教授

²馮俊豪，國立成功大學建築系 博士候選人

³方裕鈞，國立屏東科技大學木設系 碩士生

⁴王栢村，國立屏東科技大學機械系 教授

⁵林招焯，內政部建築研究所環控組 副研究員

⁶余易璋，國立屏東科技大學機械系 碩士生

摘要

營建署於105年7月1日公告實施建築技術規則建築設計施工編防音新制條文，增修訂分戶牆、分間牆空氣音隔音性能基準及分戶樓板衝擊音隔音性能基準，確保建築室內音環境品質。針對樓板衝擊音隔音規定，除採隔音性能基準外，並列舉式隔音構造，要求使用材料之規格，如表面材厚度、玻璃棉緩衝材之密度、橡膠緩衝材動態剛性等。因此，本研究為因應建築法規隔音規定之推行，針對浮式地板構造之緩衝材，依ISO 9052進行動態剛性量測，及依CNS 15160-8以小尺寸試體進行樓板衝擊音降低量實驗，並探討其兩者之相關性。研究結果顯示，當樓板緩衝材動態剛性降低時，可提升整體樓板隔音性能，且衝擊音降低量數值隨動態剛性數值降低而提升。

關鍵字：樓板衝擊音、緩衝材、動態剛性

Abstract

In Taiwan, appeals of the problems causing by the floor impact sound in apartments are increasing in decades. The structure of floating floor is a efficacious means for ameliorating the floor impact sound. Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior followed with the experience of amending regulation of others counties to revise the building regulation. This study conformed to the announcement of the new building regulation and preceded the experiment of dynamic stiffness and floor impact sound reduction on resilience material. The result showed the trend that the reduction of floor impact sound increasing with the dynamic stiffness of resilient materials decreasing by testing pieces of resilient material in miniature.

Keyword : floor impact sound、resilience material、dynamic stiffness

一、前言

因應國人對居住音環境品質之要求，營建署參酌國外性能法規之經驗，於建築技術規則建築設計施工編防音規定，增修訂分戶牆、分間牆空氣音隔音性能基準及分戶樓板衝擊音隔音性能基準，防音修正條文於 105 年 6 月 7 日發布，除第 46 條之 6 分戶樓板衝擊音隔音基準自 108 年 7 月 1 日施行外，其餘修正條文自 105 年 7 月 1 日施行。目前新制防音條文為便於建照審查階段之查核管理，訂定兼具隔音性能基準及列舉式隔音構造之規定，其中列舉式構造以規定使用材料之規格為主，空氣音列舉隔音構造包括牆構造之鋼筋混凝土、紅磚或輕隔間構造之板材、填充材等材料密度之要求，而衝擊音列舉隔音構造包括混凝土壓層以及木質地板壓層之浮式構造，並要求表面材厚度、橡膠緩衝材動態剛性，以及玻璃棉、岩棉緩衝材密度之要求。

因此，本研究因應新制建築防音規定推動，以探討浮式地板緩衝材衝擊音隔音性能為主，針對木質地板與緩衝材之浮式構造，選定玻璃棉及橡膠類緩衝材，依 CNS 15160-8 進行樓板衝擊音隔音與減低量量測，比較其改善效果，並依 ISO 9056 進行緩衝材動態剛性實驗量測分析，分析緩衝材衝擊音隔音性能與動態剛性兩者之相關性，作為國內建築相關產業防音技術之參考依據。

二、文獻回顧

目前浮式地板構造為住宅樓板衝擊音改善方法之一，常見之緩衝材料為岩棉、玻璃棉、聚苯乙烯 (Polystyrene, PS) 等材料。相關研究指出，當鋼筋混凝土造樓板上之浮式地板，使用聚苯乙烯及聚胺脂 (Polyurethane, PU) 來作為緩衝材料來降低樓板衝擊音時，因發泡材料為多孔性材料且具有彈性之特性，並同時達到吸音及降低振動傳遞的效果，故對於降低樓板衝擊音有明顯的改善效果 (H. Robin, 1999)。針對緩衝材特性對樓板衝擊音之影響，樓板緩衝材之動態特性與重量衝擊源樓板衝擊音降低量兩者存在一定的關聯性，J. H. Kim 等人 (2010) 經由實驗結果發現，輕量衝擊音所造成的高頻噪音若使用緩衝隔振材能有效抑制及降低，而重量衝擊音所造成的低頻噪音則需使用具阻尼特性的材料才達到有效抑制及降低的效果。此外，緩衝材料的厚度與衝擊音的衰減量呈現正相關性，當緩衝材料的動態剛性越低，對於樓板衝擊音的改善效果越佳。

K.Woo Kim 等人 (2009) 針對浮式地板下所使用的緩衝材料，如發泡類緩衝材等，進行動態剛性 (Dynamic Stiffness) 實驗量測，並藉由重量衝擊源樓板衝擊音量測，討論緩衝材材料特性與樓板衝擊音衰減特性兩者之相關性。結果顯示，隨著浮式樓板緩衝材之動態剛性增加較不利於浮式樓板重量衝擊源樓板衝擊音之隔音性能。因此，低動態剛性之緩衝材可有效降低樓板衝擊音。若相同樓板緩衝材在增加厚度條件下，其動態剛性性能會降低，減少樓板衝擊音降低量，顯示較低的樓板緩衝材動態剛性有利於提高浮式樓板整體隔音性能。

三、研究方法

3-1 浮式地板緩衝材樓板衝擊音隔音性能量測方法

(一) 緩衝材衝擊音隔音性能量測規定

本研究針對木質地板與緩衝材之浮式構造，參照 CNS 15160-8 量測標準，進行樓板表面材衝擊音降低量量測 ΔL ，並依 CNS 8465-2 進行單一數值之評定。實驗室採垂直緊鄰之兩室空，上室為聲源室，下室為受音室，其室容積為 56.8 m³。聲源室與受音室之間以 150 mm 之鋼筋混凝土樓板隔開，如圖 1 所示。

本研究於面積 10.5 m²之鋼筋混凝土基準樓板上，採小尺寸之樓板表面材試體進行量測，長為 60 cm，寬為 60 cm，面積為 0.36 m²，量測時表面材分布於基準樓板上 5 處位置，受音室採 5 點麥克風記錄衝擊聲壓位準。當輕量衝擊源敲擊時，於受音室接收穩定聲源之後，由麥克風記錄，而分析儀顯示受音室之聲壓位準。量測頻率以 1/3 倍頻帶為主，中心頻率涵蓋範圍為 100 ~ 5000 Hz，結果計算頻率為 100 ~ 3150 Hz。

量測儀器包括符合 CNS 7129 及 CNS 13583 規定之多頻道分析儀，符合 CNS 13331 規定之聲壓校正器，符合 IEC 61260 規定之功率擴大器及配屬之無指向性聲源功率放大器。輕量衝擊源依規定須 5 個錘處於同一線上。相鄰錘頭之中線間隔距離應為 100 ± 3 mm。錘頭具有 500 g 有效質量，由 40 mm 高度自由落下。量測相關規定如表 1 所示。

表 1 樓板緩衝材衝擊音隔音性能量測規定

		CNS 15160-8
量測標準		聲學-建築物及建築構件之隔音量測-重質標準樓板表面材之衝擊音降低量實驗室量測
年份		2009
量測對象		安裝於標準樓板上單層或多層表面材料
受音室 室容積		不小於 50 m ³ 之密閉空間
量測試體		需安裝測試表面材之 RC 樓板厚度為 120 mm± ₂₀ ⁴⁰ ，可視面積至少 10 m ² 試體分為 3 類，第 I 類 (小試體)需安裝 3 個試體樣本，大小需可放至輕量衝擊源，距樓板邊界至少 0.5 m 第 II 類 (大試體)及第 III 類(伸展材)試體需覆蓋牆壁與牆壁間之整個樓板表面，或面積至少 10 m ²
測定 頻率		100~3150 Hz
測定 方法	衝擊源 位置	輕量衝擊源應置於測試樓板 4 個隨機分布之不同位置上，與樓板邊界距離至少 0.5 m
	接受點 位置	均勻分布於 4 點；兩微音器間最小距離 0.7 m；距邊界及擴散體 0.7 m；與試體間最小距離 1 m
評定標準		依 CNS 8465-2 進行評定以 ΔL_w 表示表面材衝擊音降低量評定結果

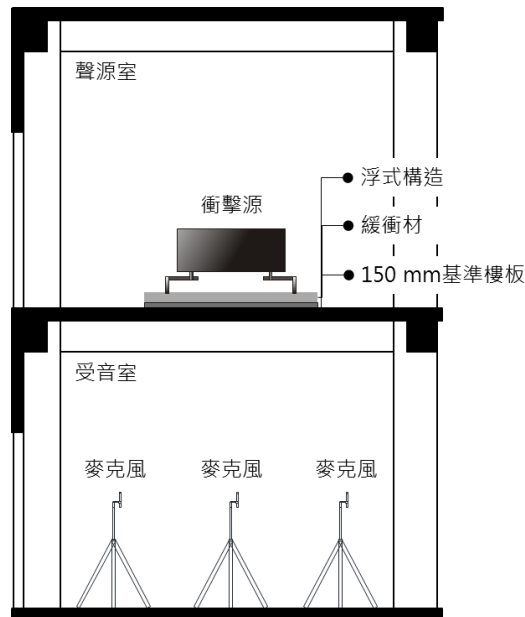


圖 1 本研究浮式地板樓板衝擊音隔音性能量測示意圖

(二) 緩衝材衝擊音隔音性能計算

樓板衝擊音隔音性能包括依公式 (2) 計算正規化衝擊聲壓位準，以及依公式 (3) ~ (6) 計算加權衝擊聲壓位準減低量，兩者數值皆依 CNS 8465-2 評定以獲得之單一數值參量。

室內平均衝擊聲壓位準

$$L_i = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \text{ dB} \quad (1)$$

式中， L_j 為室內 n 個不同位置之聲壓位準，單位為 dB。

正規化衝擊聲壓位準

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (2)$$

式中， L_i 為衝擊聲壓位準，單位 dB。

A 為受音室等價吸音面積，單位為 m^2 。

A_0 為參考基準吸音面積 10 m^2 。

加權衝擊聲壓位準減低量

ΔL_w 計算如以下，其中， $L_{n,r}$ 之值，依據 CNS 8465-2 規範平移不利偏差以

求得 $L_{n,r,w}$ 。

$$L_{n,0} - L_n = \Delta L \quad (3)$$

$$L_{n,r,0} - \Delta L = L_{n,r} \quad (4)$$

$$\Delta L_w = L_{n,r,0,w} - L_{n,r,w} \quad (5)$$

$$= 78 \text{ dB} - L_{n,r,w} \quad (6)$$

式中， $L_{n,0}$ 為依 CNS 15160-6，裸樓板測試所得之正規化衝擊聲壓位準。

L_n 為依 CNS 15160-6，有表面材之樓板測試所得正規化衝擊聲壓位準。

$L_{n,r}$ 為基準樓板表面材測試後，所計算之正規化衝擊聲壓位準。

$L_{n,r,0}$ 為基準樓板正規化衝擊聲壓位準。

ΔL 為依 CNS 15160-8，測試之衝擊聲壓位準降低量。

$L_{n,r,w}$ 為基準樓板表面材測試，所計算之加權正規化衝擊聲壓位準。

$L_{n,r,0,w}$ 為依 CNS 8465-2 計算之 $L_{n,r,0}$ 值，為 78 dB。

3-2 浮式地板緩衝材動態剛性量測方法

(一) 緩衝材動態剛性量測規定

本研究針對浮式地板緩衝材參照 ISO 9052-1 「Acoustics - Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials Used in floating floors in dwellings」進行動態剛性實驗分析，相關量測規定如表 2 所示。

表 2 樓板緩衝材衝擊音動態剛性量測規定

量測標準	ISO 9052-1 Acoustics – Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials Used in floating floors in dwellings
年份	1989
量測對象	安裝於浮動樓板下之緩衝材料。
固定盤與載重板	試體須放置固定盤上進行測試，量測時於試體上方放置載重板。 載重板須為鐵製之正方形(200 ±3) mm × (200 ±3)mm。固定盤和載重板剖面不規則面須於 0.5 mm 以下。 固定盤與載重板須具足夠之硬度，避免測試頻率範圍內彎曲波的影響。
量測試體	試體尺寸為 200 mm × 200 mm(長 × 寬)試體表面須為平滑面，若試體表面為不規則凹凸狀，須於 3 mm 以下。試體應使用約為 0.02 mm 厚的防水箔覆蓋，並於上層塗以至少 5 mm 厚之稀釋糊狀熟石膏覆蓋，以填平

任何的凹凸。

測定方法	觸發條件	以衝擊錘產生激振源訊號，其須為垂直振源。
	測定頻率	0~5000 Hz。
	量測位置	以衝擊錘固定加速規於載重板上，敲擊載重板(試體上方)3 個以上量測點，且每點量測 3 次。

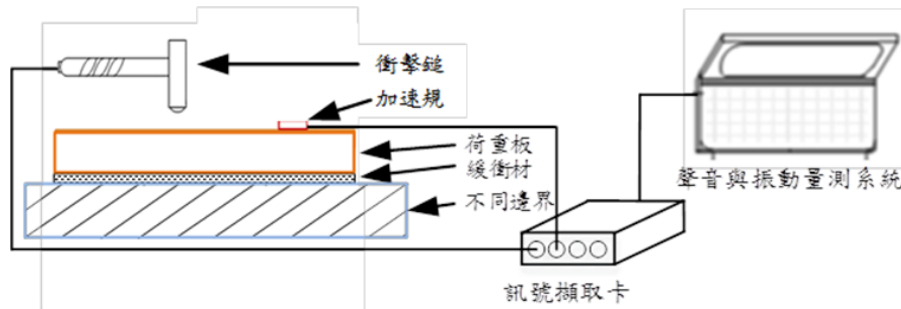


圖 2 浮式地板緩衝材動態剛性量測示意圖 (王栢村等人, 2015)

(二) 緩衝材動態剛性計算

緩衝材動態剛性為動態力與動態位移的比，每單位面積動態剛性，以 N/m^3 為單位。

$$s' = \frac{F/S}{\Delta d} \quad N/m^3 \quad (7)$$

式中： S 為待測試片之面積，以 m^2 為單位。

F 為垂直作用於試體之動態力，以 N 為單位。

Δd 為彈性材料厚度因動態力作用之變化量。

3-3 浮式地板緩衝材類型與變因

本研究探討木質地板與緩衝材之浮式構造對樓板衝擊音隔音性能之影響，各類緩衝材皆搭配厚度 15 mm 之木質地板進行衝擊音隔音測試，本研究選定之緩衝材包括 80K 玻璃棉（厚度分別為 8 mm、16 mm、24 mm）、平面型丁苯橡膠緩衝材（橡膠顆粒膠合）（厚度分別為 8 mm、16 mm、24 mm）、以及平面型橡膠顆粒膠合緩衝材（厚度分別為 4 mm、8 mm、12 mm）。

此外，本研究為探討緩衝材動態剛性與樓板衝擊音隔音性能之相關性，針對選定之三種類緩衝材，以不同厚度進行測試動態剛性與衝擊音隔音測試。

四、結果與討論

4-1 木質地板浮式地板緩衝材衝擊音隔音性能之比較

量測結果如表 3 所示，本研究實驗室之裸樓板加權正規化衝擊聲壓位準 L_n, w 為 76

dB，在平鋪厚度 15 mm 之木質地板後， $L_{n,w}$ 降低至 62 dB，加權衝擊聲壓位準減低量 ΔL_w 為 14 dB。在木質地板表面材條件下，隨著緩衝材厚度增加，對浮式地板衝擊音隔音性能皆有提升之效果，WG01-1~ WG01-3 加權正規化衝擊聲壓位準 $L_{n,w}$ 由 56 dB 降低至 52 dB，加權衝擊聲壓位準減低量 ΔL_w 由 20 dB 提升至 23dB；WP1-1~ WP1-3 加權正規化衝擊聲壓位準 $L_{n,w}$ 由 54 dB 降低至 47 dB，加權衝擊聲壓位準減低量 ΔL_w 由 22 dB 提升至 29dB；WP2-1~ WP2-3 加權正規化衝擊聲壓位準 $L_{n,w}$ 由 56 dB 降低至 51 dB，加權衝擊聲壓位準減低量 ΔL_w 由 20 dB 提升至 24dB。

此外，裸樓板在鋪設木質地板後，對 250 Hz~3150 Hz 之樓板衝擊音隔音性能有明顯之提升效果。在木質地板表面材條件下，緩衝材可提供較佳之隔音性能，且橡膠緩衝材之低頻隔音數值較玻璃棉緩衝材佳，且橡膠緩衝材在增加厚度條件下，可有效提升 100 Hz ~250 Hz 之樓板衝擊音隔音性能，如圖 4 所示。

本研究參考目前新制建築技術規則防音規定，分戶樓板衝擊音隔音 ΔL_w 須符合 17 dB，其中列舉式構造要求橡膠緩衝材厚度須大於 0.5 cm，動態剛性須小於 55 MN/m³，其上再鋪設木質地板厚度合計大於 1.2 cm。因此，本研究橡膠緩衝材在厚度 8 mm 以上之條件，其動態剛性皆小於 55 MN/m³，搭配 15 mm 之木質地板獲得之 ΔL_w 也符合法規 17 dB 之要求。

表 3 本研究樓板緩衝材之衝擊音隔音性能與動態剛性

編號	表面材	緩衝材	衝擊音評估指標 (dB)		動態剛性 (MN/m ³)	
			$L_{n,w}$	ΔL_w^*		
Naked_Floor	-	-	76	-	-	
W01	-	-	62	14	-	
WG01-1	木質地 板厚 15 mm	玻璃棉緩衝材 80K	厚 8 mm	56	20	42.4
WG01-2			厚 16 mm	55	21	16.6
WG01-3			厚 24 mm	52	23	11.6
WP1-1		平面型丁苯橡 膠緩衝材 (橡 膠顆粒膠合)	厚 8 mm	54	22	28.2
WP1-2			厚 16 mm	49	27	14.1
WP1-3			厚 24 mm	47	29	10.4
WP2-1		平面型橡膠顆 粒膠合緩衝材	厚 4 mm	56	20	70.2
WP2-2			厚 8 mm	53	22	44.2
WP2-3			厚 12 mm	51	24	31.4

*本研究採用小尺寸試體，其 ΔL_w 與規定之標準試體（面積 10 m²）可能存在差異。

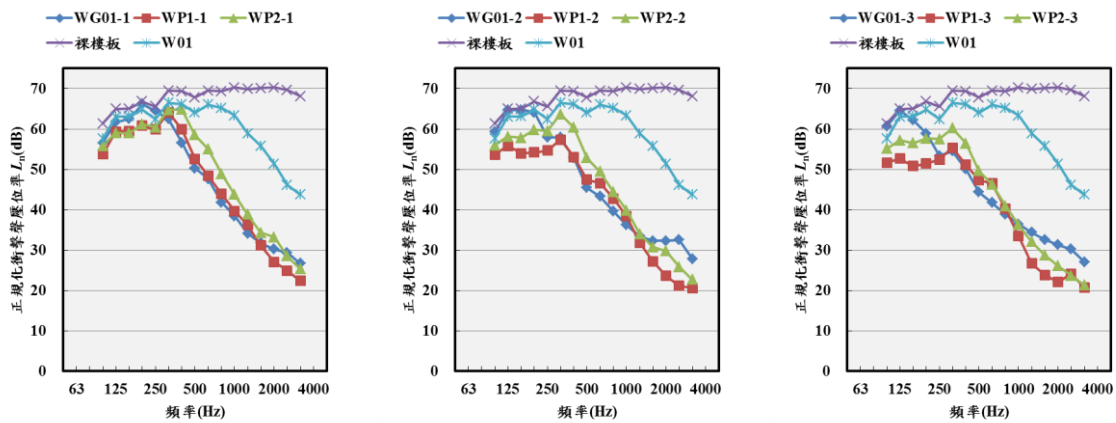


圖 3 木質地板與不同厚度緩衝材之浮式構造樓板正規化衝擊聲壓位準 L_n

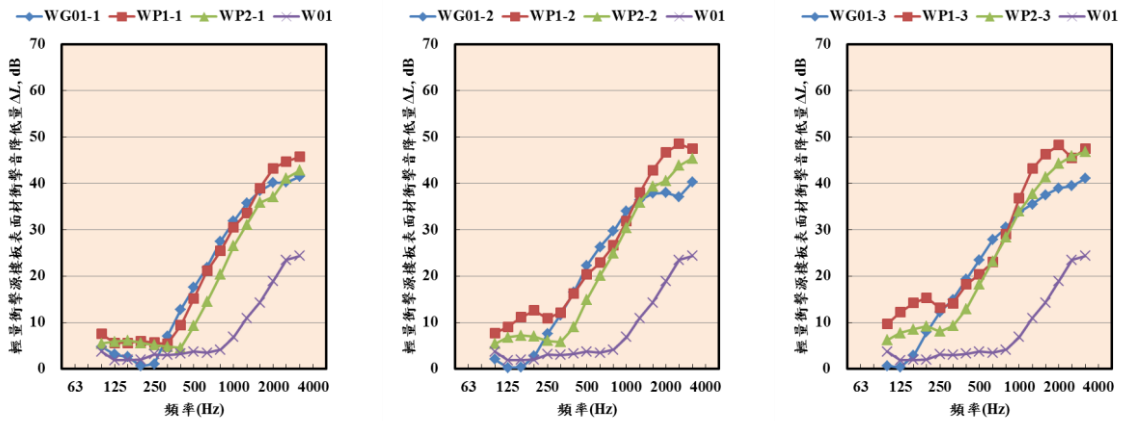


圖 4 木質地板與不同厚度緩衝材之浮式構造樓板衝擊聲壓位準減低量 ΔL

4-2 緩衝材衝擊音隔音性能與動態剛性相關性之探討

量測結果如表 3 所示，整體而言，本研究選定之緩衝材動態剛性量測結果顯示，橡膠緩衝材在厚度 8 mm 以上之動態剛性數值皆低於 50 MN/m³。當 80K 玻璃棉緩衝材 (WG01-1~ WG01-3) 厚度由 8 mm 增加至 24 mm，動態剛性 s' 由 42.4 MN/m³ 降低至 11.6 MN/m³；當平面型丁苯橡膠緩衝材 (橡膠顆粒膠合) (WP1-1~WP1-3) 厚度由 8 mm 增加至 24 mm，動態剛性 s' 由 28.2 MN/m³ 降低至 10.4 MN/m³；當平面型橡膠顆粒膠合 (WP2-1~WP2-3) 厚度由 4 mm 增加至 12 mm，動態剛性 s' 由 70.2 MN/m³ 降低至 31.4 MN/m³，顯示厚度之增加可降低材料動態剛性之數值。

本研究針對木質地板厚 15 mm 與不同緩衝材進行小試體之樓板衝擊音隔音性能及衝擊音降低量之量測，並與動態剛性進行相關性探討。結果顯示，緩衝材動態剛性隨著厚度增加減小，而樓板衝擊音減低量量隨厚度增加提升，且橡膠緩衝材衝擊音隔音指標與降低量與動態剛性之相關性 R^2 達 0.9 以上，如圖 5 所示。

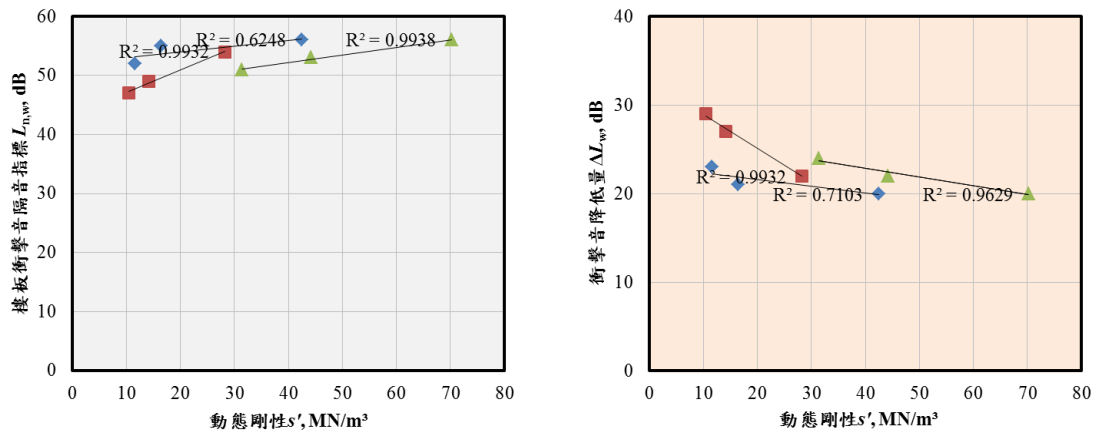


圖 5 動態剛性與樓板衝擊音隔音及降低量之相關性

五、結論

本研究為因應新制建築防音規定推行，以小尺寸試體探討木質浮式地板緩衝材衝擊音隔音性能為主，並針對緩衝材進行動態剛性量測。結果顯示，裸樓板在鋪設木質地板後有 14 dB 之改善效果，對於 500 Hz 以上之頻率有明顯之改善，而增設橡膠緩衝材有助於提升低頻之樓板衝擊音聲壓位準。此外，依本研究緩衝材動態剛性量測結果，當緩衝材動態剛性降低時，有助於提升整體樓板隔音性能，而橡膠緩衝材之動態剛性與樓板衝擊音隔音相關性達 0.9 以上，本研究採用之橡膠類緩衝材厚度在 8 mm 以上，動態剛性 s' 數值皆小於 50 MN/m³，與混凝土板及面磚構成之浮式樓板構造，衝擊音降低量 ΔLW 數值於 17 dB 以上，皆符合「建築技術規則」設計施工編第 46 條新制防音條文之規定。

六、謝誌

感謝內政部建築研究所對本研究提供之協助。

七、參考文獻

1. 中華民國國家標準，2008，CNS 15160-6 聲學—建築物及建築構件之隔音量測—樓板衝擊音隔音之實驗室量測，經濟部標準檢驗局。
2. 中華民國國家標準，2009，CNS 15160-8 聲學—建築物及建築構件之隔音量測—重質標準樓板表面材之衝擊音降低量實驗室量測，經濟部標準檢驗局。
3. 中華民國國家標準，2009，CNS 8465-2 聲學—建築物及建築構件之隔音量評定—衝擊音隔音，經濟部標準檢驗局。
4. 王栢村、余易璋、吳盈輝、王文志、林芳銘，2015，浮式樓板緩衝材之動態剛性測定與分析，第二十三屆中華民國振動與噪音工程學術研討會。
5. 廖慧燕、林芳銘、王栢村、馮俊豪、余易璋，2015，浮式樓板緩衝材之動態剛性量測方法與衝擊音降低效果研究，內政部建築研究所委託研究報告。

6. H. Robin, 1999, Impact Sound Insulation of Flooring Systems with Polyurethane Foam on Concrete Floors, Doctoral Theses, Sheffield Hallam University, UK.
7. International Organization for Standardization, 1989, ISO 9052-1, Acoustics – Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials Used in floating floors in dwellings.
8. J. H. Kim, S. Y. Yoo and J. Y. Jeon, 2010, Dynamic Properties of Damping Materials for Reducing Heavyweight Floor Impact Sounds,” Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, Sydney, Australia, pp. 1156-1159.
9. K. W. Kim, G. C. Jeong, K. S. Yang, J. Y. Sohn, 2009, Correlation between Dynamic Stiffness of Resilient Materials and Heavyweight Impact Sound Reduction Level, Building and Environment, Vol. 44, pp. 1589-1600.