

應用 ISO 9052-1 於建築樓板緩衝材動態剛性之測定

王栢村¹ 黃崇閔¹ 沈泰宏¹ 吳盈輝² 余易璋¹

¹ 國立屏東科技大學 機械工程系

² 國立內埔高級農工職業學校 機械科

wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

建築樓板緩衝材具有防音功能，可作為建築樓板鋪層之一，並有效抑制樓板衝擊音之效果，而建築樓板緩衝材之動態剛性可做為隔音效果之參考指標。本文參照 ISO 9052-1 規範建立建築樓板緩衝材動態剛性測定方法，並針對一緩衝材進行動態剛性測定，其中參考規範建構量測系統架構，並進行對應的實驗模態分析，以衝擊錘及加速度計量測系統的頻率響應函數，透過曲線嵌合可以求得系統的模態參數，特別是取得垂直平移剛體模態之自然頻率，以單自由度振動系統之假設，可推算緩衝材試件之動態剛性。本文也採用有限元素分析建構量測系統的等效有限元素模型，求得理論模態參數並與實驗結果相比較驗證，可以求得緩衝材的等效楊氏係數及推算等效靜態剛性。另外，應用有限元素模型進行靜力分析，以線性彈簧理念，推導彈性靜態剛性。最後，將等效靜態剛性及彈性靜態剛性與動態剛性做比較有合理的對應。本文探討了 ISO 9052-1 規範之應用可行性，未來可作為建築樓板緩衝材動態剛性測定之參考依據。

關鍵詞：建築樓板緩衝材、ISO 9052-1、動態剛性、實驗模態分析

1. 前言

於 60 年代開始，臺灣經濟快速起飛，人們累積之財富逐漸高於生活所須的基本需求，因此對於生活品質要求開始不斷的提升，對於聲音環境品質更為注重，噪音之容忍程度不斷的降低，甚至因噪音影響而飽受睡眠障礙及精神疾病之困擾，而建築物樓板衝擊之低頻噪音為主要噪音來源之一，因此如何改善樓板衝擊音之產生是一大重要議題，根據內政部建築研究所指出，樓板衝擊音除了受到樓板結構剛性影響外，亦可鋪設緩衝材使得樓板衝擊音達到降低的效果[1]，因此須透過實驗量測手法作為緩衝材防音性能之依據；以下針對建築樓板緩衝材動態剛性之相關文獻作一系列回顧。

首先針對建築樓板緩衝材之動態剛性實驗方法、測量架設、材料選擇，進行回顧，王等人[2]欲選擇緩衝材動態剛性量測實驗架構之最佳量測邊界，參考 ISO 9052-1 之緩衝材動態剛性實驗量測規範，建立量測程序及其對應之單自由度系統模型假設之理論模態分析，且選定適當之量測系統架構，其包含訂定一套緩衝材動態剛性的測量標準作業程序；本文欲參考此量測標準程序及其訂定之最佳實驗量測邊界，並搭配 ISO 9052-1 「Acoustics-Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials

Used in floating floors in dwellings」之規範[3]作為本研究之實驗量測架構。Baron *et al.*[4]探討動態剛性與衝擊音之關聯性，以及不同測試方法之比較，其測試架構參考 EN29052-1，使用衝擊錘產生激振，並將加速度計放置於板材中央，來避免彎曲振動模態對結果的影響。此外，因白噪音準確度較低，且利用正弦訊號的測試方法較繁複，故於實驗中，改採較容易控制的衝擊錘激振方式來進行。Schiavi *et al.*[5]針對 ISO 9052-1 的建議調整，主要為彈性材料參數設定建議，材料可分為：礦物和玻璃棉、合成纖維、聚苯乙烯、聚氨酯或聚乙烯或其它高分子化合物及各種回收料如輪胎刨花、軟木和天然羊毛，另外材料適合表面光滑，表面起伏不超過 3mm，多孔性材料需額外考慮氣流阻抗效應。Bettarello *et al.*[6]以正弦訊號及脈衝訊號做量測動態剛性實驗，提到動態剛性與共振頻率及力之振幅有一定的關連性，共振頻率為測量動態剛性基礎。

建築樓板緩衝材之動態剛性，可藉由實驗模態分析及有限元素分析的模型驗證技術，來求得材料參數，以下針對模型驗證的相關文獻做一簡單介紹，王等人[7]對迴轉式壓縮機之儲液瓶進行模型驗證，將儲液瓶之幾何模型匯入 ANSYS 軟體進行有限元素分析，假設自由邊界方式進行模態分析，求得理論之模態參數，其包含自然頻率及模態振型。陳等人[8]為了解不同工具機結構之動態特性，利用有限元素分析針對簡化之實體模型進行模態分析，再對主軸刀位置施一單位力作簡諧響應分析，並成功模擬不同工具機結構於切削受力時之動態行為。邱等人[9]為了解手動鑽床之振動特性，使用 SigLab 軟體作結構模態資料之擷取，並將獲得之頻率響應函數資料匯入 ME'scope 軟體作曲線嵌合，求得實際之結構模態參數，其包含自然頻率、阻尼比及模態振型。馮[10]探討工具機接合面之振動特性，利用 impaq Elite 軟體進行頻譜分析獲得結構之頻率響應函數，經由 ME'scope 軟體作模態參數估測得實際之結構自然頻率、阻尼比及模態振型。王等人[11]為了解端銼刀之強度與振動特性，針對一端銼刀進行實驗模態分析及有限元素分析，求得實際及理論之模態參數，藉由比較理論與實際之自然頻率誤差及模態振型之對應性，確認有限元素模型等效於實際結構。王等人[12]為建立工具機螺絲接合位置之理論分析手法，針對其結構進行有限元素分析及實驗模態分析，藉由實際之模態參數作為參考依據進行有限元素模型校正，並成功建立等效於實際結構之模型。

本文目的引用 ISO 9052-1 之建築樓板緩衝材動態剛性實驗量測規範，進行一緩衝材之動態剛性測定，其中包含實驗模態分析及動態剛性之推導，而建築樓板緩



衝材可由實驗模態分析及有限元素分析求得模態參數互相比對驗證，獲得建築樓板緩衝材之楊氏係數，再由等效勁度之理念，推導其等效靜態剛性，此外利用有限元素模型進行靜力分析，求得彈性靜力勁度之靜態剛性，最後與動態剛性進行比對，確認 ISO 9052-1 規範的簡化單自由度系統模型為基礎之動態剛性量測合理性，未來可應用此量測程序於各種緩衝材動態剛性量測之參考依據。

2. 緩衝材之簡介與研究方法

建築樓板緩衝材一般常用於各樓層間的樓板鋪層之一，其材質多以泡棉、橡膠顆粒及軟木碎屑所製成，主要功能為降低樓板之衝擊音產生，圖 1 為本研究之建築樓板緩衝材實物。

圖 2 為根據 ISO 9052-1 規範，所規劃之建築樓板緩衝材動態剛性測定的實驗架構示意圖，建築樓板緩衝材須置於基座與載重板塊之間，並以厚度 5mm 以上之石膏作為緩衝材與載重板間夾層，其接觸面以一層厚度約為 0.02mm 的防水薄膜作為間隔；緩衝材與載重板面積為 200mm×200mm，表面起伏應低於 0.5mm，邊界起伏應低於 3mm；載重板必須由鋼材製成，具足夠之剛性抵抗彎曲振動，其重量須於 8±0.5kg，接著基座重量須於 100kg 以上，以提高量測穩定性；並針對正向振動做響應量測。本文參照 ISO 9052-1 規範，針對建築樓板緩衝材進行動態剛性量測之實驗，依照單自由度系統假設質量塊與緩衝材之數學模型如圖 3 所示，利用衝擊錘產生垂直激振訊號，量測自然頻率對應之加速度值作評估。

本文目標確認 ISO 9052-1 規範之簡化單自由度系統模型為基礎之動態剛性量測合理性，故將研究目標分為兩個目標層次，(1)動態剛性測定(2)靜態剛性比較，以下將針對兩大項目作一簡述：

1. 動態剛性測定：為求得建築樓板緩衝材之動態剛性 (s')，須藉由實驗模態分析獲得之實驗模態參數進行推導，實驗架構參照 ISO 9052-1 規範，如圖 4(a) 由載重板對緩衝材施加負重，其石膏為建築樓板緩衝材均勻受力之媒介，並置於花崗岩搭與衝擊平台之基座，進行實驗模態分析，圖 4(b) 為實驗模態分析之佈點位置圖，共 9 個量測點，由實驗模態分析取得垂直平移剛體模態之自然頻率，以單自由度振動系統之假設，推算建築樓板緩衝材試件之動態剛性。
2. 靜態剛性比較：本文採用有限元素分析建構量測系統的等效有限元素模型，求得理論模態參數並與實驗結果互相比較驗證，可以求得建築樓板緩衝材的等效楊氏係數，並據以推算等效靜態剛性，此外將等效有限元素模型進行靜力分析，了解建築樓板緩衝材「垂直位移變形量」與「受力」之關係，並藉由運算方程式推導得彈性靜態剛性，藉由「等效勁度(equivalent stiffness)」與「彈性靜力勁度(elastic static stiffness)」之理念推導及分析建築樓板緩衝材之靜態剛性，確認 ISO 9052-1 規範之簡化單自由度系統模型為基礎之動態剛性量測合理性。

由上述之說明，以圖 5 策略系統方塊圖將研究方法作一完整統合，以 ISO 9052-1 規範之簡化單自由度系統模型為基礎進行實驗模態分析，將測定之動態剛性 (s') 做為參考指標，並藉由建立等效有限元素模型運算推導及分析等效靜態剛性、彈性靜態剛性，與動態剛性 (s') 相互比較，探討 ISO 9052-1 規範之簡化單自由度系統模型為基礎之動態剛性量測合理性。

3. 建築樓板緩衝材之動態剛性測定

為求得建築樓板緩衝材之動態剛性 (s')，將過程分為「實驗模態分析」及「動態剛性推導」兩個階段；於實驗模態分析部分，首先規劃量測方式，包含感應器選用、量測點規劃，接著量測頻率響應函數，進行曲線嵌合以擷取實驗模態參數；在動態剛性推導部分，將實驗模態參數之垂直平移模態之自然頻率，以單自由度振動系統作假設，並進行動態剛性推算，獲得建築樓板緩衝材之動態剛性。

3.1 實驗模態分析

本文實驗參照 ISO 9052-1 標準，測量樣本之幾何為 200mm×200mm×4mm 之建築樓板緩衝材，圖 4(a) 實驗結構示意圖，由上而下依序為載重板、石膏、防水薄膜、建築樓板緩衝材及基座，共規劃 9 個量測點如圖 4(b) 所示，實驗架構說明如圖 6 所示，進行實驗模態分析 (Experimental Modal Analysis, EMA) 以衝擊錘 (PCB-086C03) 作為驅動器，施加正向垂直力於載重板上產生結構激振，加速度計則為感測器置於載重板正中央位置，透過加速度計 (27AM1-10) 測量系統結構的響應，再經由訊號擷取卡 (NI-9234) 將擷取之訊號傳輸至振動與噪音量測軟體，進行快速傅立葉轉換 (FFT analyzer) 求得系統結構之頻率響應函數 (FRF)，將頻率響應函數代入 ME'scope 軟體，再由曲線嵌合技術，擷取出自然頻率、模態振型及模態阻尼比。

3.2 動態剛性推導

欲獲得建築樓板緩衝材之動態剛性，首先藉由實驗模態分析取得載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之自然頻率 (f_z) 與模態阻尼比 (ξ_z)，接著以 Z 方向單自由度系統作為基礎進行推導，求得建築樓板緩衝材之阻尼係數 (c_z) 及動態剛性 (s'_z)，藉由上述的說明，可進一步將實際的問題改採以單自由度的數學模型來進行分析，其理論方程式如下：

$$m\ddot{z} + c_z\dot{z} + k_z z = F_z(t) \quad (1)$$

其中 $F_z(t)$ 為輸入於載重板之激振力、 m 為建築樓板緩衝材總載重質量、 c_z 為阻尼係數、 k_z 為彈簧常數。透過模態分析取得自然頻率 (f_z)、模態阻尼比 (ξ_z) 如下：

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_z}{m}} \quad (2)$$

$$\xi_z = \frac{c_z}{c_{c,z}} \quad (3)$$

其中 f_z 為 Z 方向之自然頻率、 π 為圓周率、 ξ_z 為 Z 方向模態阻尼比，而模態阻尼比(ξ_z)需藉由阻尼係數(c_z)及臨界阻尼係數($c_{c,z}$)進行推導；其臨界阻尼係數($c_{c,z}$)推導過程如下：

$$c_{c,z} = 2\sqrt{mk_z} = 4\pi mf_z \quad (3)$$

建築樓板緩衝材之阻尼係數(c_z)，藉由式(2)及式(3)進行推導，如下：

$$c_z = \xi_z 4\pi mf_z \quad (4)$$

為求得每單位面積建築樓板緩衝材之動態剛性(s'_i)，需藉由式(2)推導彈簧常數(k_z)或由自然頻率(f_z)進行推導，其相對關係如下：

$$s'_i = \frac{k_z}{S} = 4\pi^2 m'_i (f_z)^2, m'_i = \frac{m}{S} \quad (5)$$

其中 m'_i 為每單位面積作用於建築樓板緩衝材之總質量、 S 為載重板接觸表面積；此外，需考慮建築樓板緩衝材內部空氣的影響，並依 ISO 9052-1 規範要求，視需求進行空氣流阻抗(airflow resistivity)測量來修正結果，本文忽略空氣流阻抗效應之修正，故藉由上述之方法動態剛性宣告值(s')等於動態剛性實驗量測值(s'_i)，其相對關係為

$$s' = s'_i \quad (6)$$

3.3 結果與討論

於實驗模態分析獲得 Z 方向之頻率響應函數，並藉由曲線嵌合(Curve Fitting)取得模態參數之自然頻率(f_z)、模態阻尼比(ξ_z)及模態振型(ϕ_z)，圖 7 為載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之頻率響應函數($H_{5,5}$)，將實驗與合成之頻率響應函數重疊比較，結果顯示兩者相當吻合；圖 8 為建築樓板緩衝材之頻率響應函數($H_{5,1-9}$)及曲線嵌合擷取實驗模態參數之自然頻率(f_z)、模態振型(ϕ_z)，其中圖示中間為建築樓板緩衝材之頻率響應函數圖，上為頻寬 200Hz 之頻率響應函數圖-虛數部，中為頻寬 200Hz 之頻率響應函數圖，下為頻寬 5000Hz 之頻率響應函數圖，並以虛線作為判讀之輔助；圖示左右兩側為建築樓板緩衝材量測得之自然頻率及模態振型，紅色虛線框為 Z 方向-平移剛體模態(E01-46.50Hz)，根據此自然頻率推算出建築樓板緩衝材試體之彈簧常數、動態剛性宣告值及阻尼係數，而模態 E02、E03、E04 為旋轉模態，模態 E05、E06、E07 為載重板模態。利用 Z 方向-平移剛體模態(E01)之自然頻率(46.50Hz)及模態阻尼比(3.1841%)，由式(2)、式(4)、式(5)分別推導彈簧常數、阻尼係數、動態剛性，表 1 為建築樓板緩衝材之量測結果，動態剛性(s')為 17.2403 MN/m³、阻尼係數(c_z)為 150.32 N·s/m。

4. 建築樓板緩衝材之等效模型建立

藉由實驗模態分析(EMA)與有限元素分析(Finite Element Analysis, FEA)之模態參數相互比較，獲得等效於實際結構之有限元素模型，即可針對建築樓板緩衝材之靜態剛性進行推導及分析，並作其之剛性比較。圖 9

為建立等效於實際結構之有限元素模型流程說明，藉由有限元素分析取得理論模態參數之自然頻率(f_z)、模態振型(ϕ_z)，並與實驗模態參數比較，重複修正材料參數直到吻合，取得等效於實際結構之有限元素模型。實驗模態分析已於第 3.1 節完整說明，本節將針對有限元素分析及等效有限元素模型建立的過程來進行說明。

根據實際結構定義幾何參數、材料參數、邊界條件、接觸型式，建立有限元素模型，表 2 為實際結構之參數，圖 10 為有限元素模型示意圖；本文採用 ANSYS 軟體進行有限元素分析，以 Solid45 元素建立一體之有限元素模型，元素分割型式為 mapped mesh，其分割尺寸為 0.01m，共 2646 個節點、2000 個元素，並將建築樓板緩衝材底部設定為固定邊界，此外採用以預應力(pre-stress)效應模擬自重的方式作為負荷的輸入條件，來進行模態分析。

表 3 為載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之自然頻率總表，表中顯示實驗模態 E01、E05 對應理論模態 F04、F07，其模態物理意義為 Z-平移、(X,Y)=(2,2)，另外實驗模態 E06、E07 對應理論模態 F08、F09，其模態物理意義依表中示意圖所示，其中以 E01 模態為主要動態剛性量測頻率，誤差於 1% 內，其餘皆於 5% 內。圖 8 為建築樓板緩衝材之頻率響應函數($H_{5,1-9}$)及曲線嵌合擷取之實驗模態參數並與理論對應之自然頻率(f_z)、模態振型(ϕ_z)，左側為建築樓板緩衝材模態，實驗模態 E01 對應理論模態 F04 為主要動態剛性量測頻率；右側為載重板模態，實驗模態 E05、E06、E07 分別對應理論模態 F07、F08、F09。因本文參照 ISO 9052-1 規範針對建築樓板緩衝材做動態剛性量測，僅須取得 Z 方向-平移剛體模態之模態參進行單自由度分析，因此僅規劃 9 個量測點做振動響應量測以進行模態分析，故部分實驗模態振型無法明確呈現，以至部分模態振型無良好對應，包含實驗模態 E02、E03、E04。

最後，建立載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統等效有限元素模型之結果顯示，Z-平移之模態及載重板模態振型比對吻合，自然頻率(f_z)誤差分別於 1% 及 5% 內；利用等效有限元素模型進行靜態剛性推導及分析，以確認本文利用 ISO 9052-1 規範之簡化單自由度系統模型為基礎之動態剛性量測合理性。

5. 緩衝材之靜態剛性比較

本節以第 4 節建立等效於實際結構之有限元素模型，進行分析及推導建築樓板緩衝材之靜態剛性，包含「等效勁度(equivalent stiffness)」及「彈性靜力勁度(elastic static stiffness)」兩種概念；首先藉由校正後楊氏係數推導等效靜態剛性，接著利用有限元素模型進行靜力分析取得彈性靜態剛性，最後比較兩靜態剛性與動態剛性是否吻合，探討 ISO 9052-1 規範之簡化單自由度系統模型為基礎之動態剛性量測合理性。

5.1 等效靜態剛性推導

圖 11 為等效勁度系統示意圖，視載重板與石膏為一體，其重量為 m ，僅考慮建築樓板緩衝材之彈簧常數

進行等效靜態剛性推導；由第4節實驗與理論之模態參數相互比對驗證，獲得校正後的建築樓板緩衝材楊氏係數，並以等效勁度(equivalent stiffness)之理念推導靜態剛性，如下：

$$k_{eq} = \frac{SE}{L} \quad (7)$$

其中 E 為校正後建築樓板緩衝材之楊氏係數、 L 為建築樓板緩衝材之厚度，並將其導入運算方程式進行等效靜態剛性(s'_E)推導，如下：

$$s'_E = \frac{k_{eq}}{S} = \frac{S \cdot E / L}{S} = \frac{E}{L} \quad (8)$$

5.2 彈性靜態剛性分析

透過第4節所建立之載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之有限元素模型進行靜力分析，圖12為靜力分析之有限元素模型示意圖，設定垂直方向之外力，分析其外力與垂直位移變形量之關係，如圖13為外力(F_z)與垂直位移變形量關係曲線圖，利用外力與垂直位移變形量之關係，求解建築樓板緩衝材之彈性靜態剛性，如下：

$$s'_s = \frac{F_z / S}{\Delta d} \quad (9)$$

其中 s'_s 為彈性靜態剛性、 F_z 為外力、 Δd 為垂直位移變形量，圖中斜率之倒數除以載重板之表面積即為靜態剛性，載重板於外力與垂直位移變形量之曲線圖呈現線性關係，原因為垂直方向具有重力對應之初始位移關係，如在自重增加時，初始位移量就越大，且各外力值與其對應之垂直位移變形量之比值相同。

5.3 動態剛性與靜態剛性之比較

表4為動態剛性與靜態剛性比較表，其中 s' 為動態剛性由式(5)所得、 s'_E 為等效靜態剛性由式(7)導入式(8)所得、 s'_s 為彈性靜態剛性由式(9)所得，其中為確認動態剛性，選用實驗模態 E01 之自然頻率進行動態剛性推導，並預期兩靜態剛性與動態剛性會相符；於(A)動態剛性與(B)等效靜態剛性比較，剛性誤差為-23.00%，接著以(A)動態剛性與(C)彈性靜態剛性比較，Z方向剛性誤差為-3.52%，主要顯現理論與實驗結果之誤差皆合理。

6. 結論

本文應用 ISO 9052-1 規範進行建築樓板緩衝材之動態剛性測定，以簡化單自由度系統模型為基礎，作為建築樓板緩衝材之動態剛性量測方法，利用實驗模態分析與單自由度分析，求解建築樓板緩衝材之動態剛性及阻尼係數，完成一建築樓板緩衝材之動態剛性測定，並運用等效勁度(equivalent stiffness)及彈性靜力勁度(elastic static stiffness)兩種概念，以等效於實際結構之有限元素模型進行推導及分析兩種靜態剛性，與動態剛性比較後，結果顯示實驗與理論之 Z 方向剛性有合理之對應，探討 ISO 9052-1 之建築樓板緩衝材動態剛性量測方法為合理的作法。透過本文之說明，未來可作為建築

樓板緩衝材動態剛性測定之參考依據。

7. 參考文獻

- [1] 何明錦，綠建築評估手冊-基本型，內政部建築研究所，2015。
- [2] 王栢村，余易璋，吳盈輝，王文志，林芳銘，「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，台北，論文編號：C-6，2015。
- [3] ISO 9052-1, Acoustics – Determination of Dynamic Stiffness. Part 1: Materials Used in floating floors in dwellings, 1989.
- [4] N. Baron, P. Bonfiglio, P. Fausti, “Dynamic Stiffness Of Materials Used For Reduction In Impact Noise: Comparison Between Different Measurement Techniques,” *Acoustics 2004 HELINA's 2nd National conference* September, Guimaraes, 066, 2004.
- [5] A. Schiavi, A. Pavoni Belli, F. Russo, M. Corallo, “Dynamic stiffness of resilient materials: some consideration on the proposed revision of ISO 9052-1 Standard,” *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics*, Sydney, Australia, 2010.
- [6] F. Bettarello, P. Fausti and A. Schiavi, “On the Dynamic Stiffness of Materials used under Floating Floors: Analysis of the Resonance Frequency Dependence by Excitation Force Amplitude using Different Measurement Technique,” *Proceedings of 19th International Congress on Acoustics*, Madrid, Spain, RBA-07-008, 2007.
- [7] 王栢村，林建敦，吳秉修，周建中，陳金龍，「迴轉式壓縮機儲液瓶之模型驗證」，第37屆力學會議暨第一屆國際力學會議，新竹，論文編號：234，2013。
- [8] 陳泳潤，羅佐良，洪瑞斌，「工具機結構型式對刀具切削穩定性之影響」，2012 全國精密製造研討會論文集，第213-217頁，2012。
- [9] 邱武耀，吳柏毅，馮昶欽，陳彥伊，邱柏欽，「手動鑽床之振動特性與模態分析」，第十七屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，新北市，第56-62頁，2009。
- [10] 馮治中，「工具機接合面動剛度對切削性能的影響」，第二十二屆中華民國振動與噪音工程學術研討會，彰化，第284-290頁，2014。
- [11] 王栢村，林鴻裕，陳仲正，「端銑刀之實驗模態分析與模型驗證」，台灣區 ANSYS 用戶大會暨論文發表會，台中，第94-100頁，2004。
- [12] 王栢村，謝宗廷，陳正陽，周芳俊，「工具機螺絲接合面之模型驗證」，中華民國振動與噪音工程學會第十九屆學術研討會，彰化，論文編號：D-09，2011。



圖 1 建築樓板緩衝材實物圖

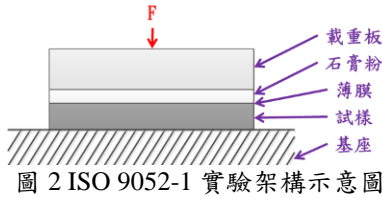


圖 2 ISO 9052-1 實驗架構示意圖

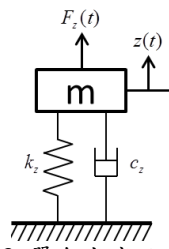
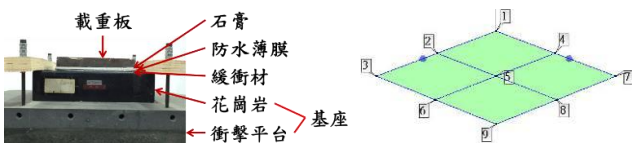


圖 3 單自由度示意圖



(a) 實驗架構圖

(b) 佈點位置

圖 4 建築樓板緩衝材動態剛性測定之實驗架構及佈點位置示意圖

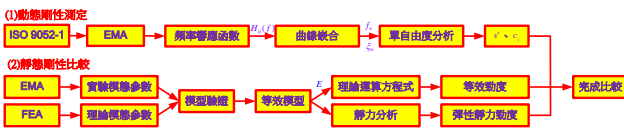


圖 5 研究系統方塊圖

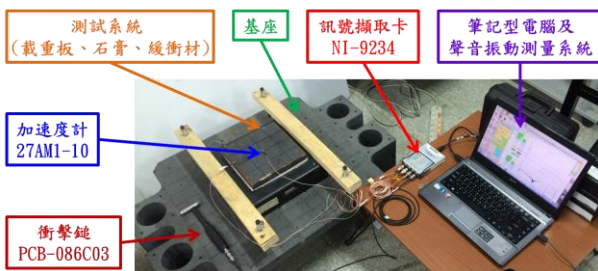


圖 6 建築樓板緩衝材動態剛性測定之實驗量測示意圖

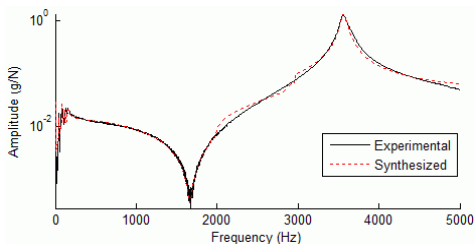


圖 7 載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統實驗與合成之頻率響應函數

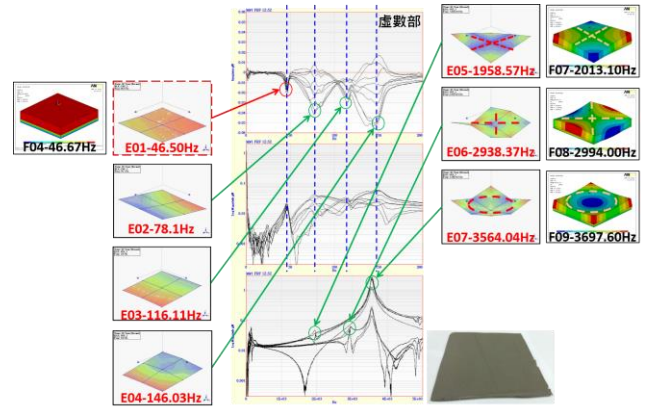


圖 8 載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之頻率響應函數($H_{5,1-9}$)曲線嵌合擷取之模態參數之自然頻率(f_z)及模態振型(ϕ_z)對應圖

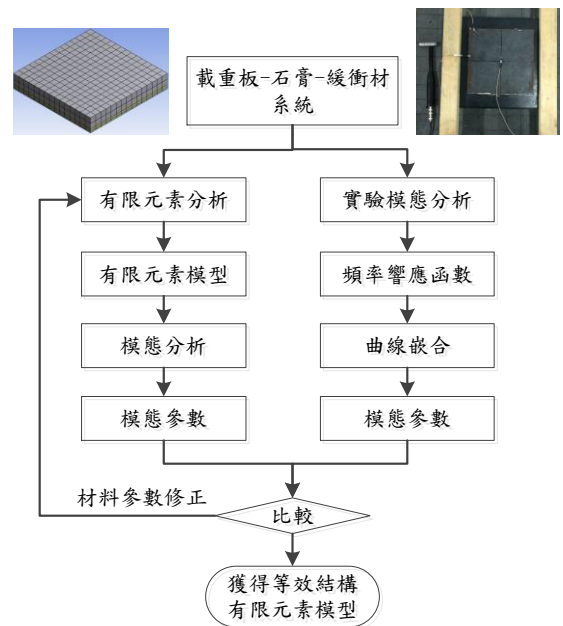


圖 9 建立等效有限元素模型之流程圖

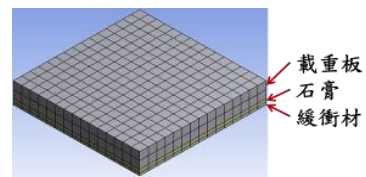


圖 10 載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之有限元素模型

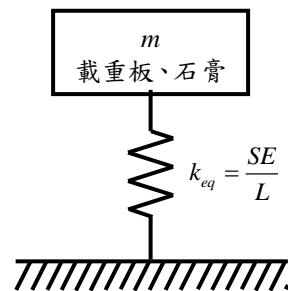


圖 11 等效勁度系統示意圖

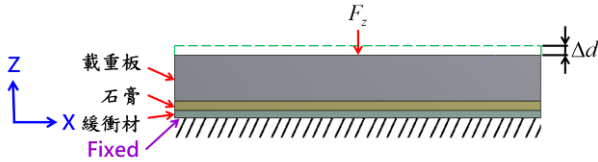


圖 12 靜力分析之有限元素模型示意圖

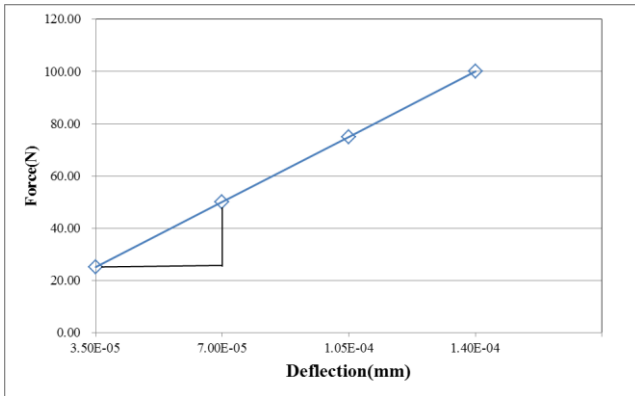


圖 13 Z 方向位移變形量與受力之關係圖

表 1 動態剛性與阻尼係數總表

模態數	自然頻率(Hz)	阻尼比 ζ (%)	動態剛性 s' (MN/m ³)	阻尼係數 c_z (N·s/m)
E01	46.50	3.1841	17.2403	150.32

表 2 材料參數總表

名稱	緩衝材	石膏	載重板
材料	泡棉	石膏粉	鋼材
尺寸 (長 x 寬 x 高) (mm)	200×200×4	200×200×5	200×200×25
重量(kg)	0.01285	0.2793	7.8
密度 (kg/m ³)	80.3125	1396.50	7800
楊氏係數	53.1 KPa	29.4 GPa	206 GPa
蒲松比	0.30	0.34	0.30

表 3 載重板、石膏、建築樓板緩衝材系統之自然頻率總表

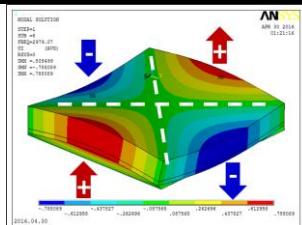
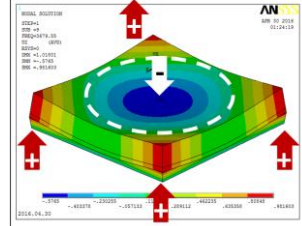
模態	FEA(Hz)	模態	EMA(Hz)	誤差(%)	阻尼比(%)	物理意義
F01	23.58	--	--	--	--	X-平移
F02	23.58	--	--	--	--	Y-平移
F03	24.039	--	--	--	--	Z-旋轉模態
F04	46.67	E01	46.50	0.36	3.05	Z-平移
--	--	E02	78.12	--	5.99	旋轉模態
--	--	E03	116.11	--	2.6	旋轉模態
--	--	E04	146.03	--	4.49	旋轉模態
F05	47.15	--	--	--	--	旋轉模態
F06	47.15	--	--	--	--	旋轉模態
F07	2013.10	E05	1958.57	2.78	2.37	(X,Y)=(2,2)
F08	2994.00	E06	2938.37	1.89	1.48	
F09	3697.60	E07	3564.04	3.75	0.972	

表 4 動態剛性與靜態剛性比較表

量測方向	(A)		(B)		(C)	A、B 誤差 (%)	A、C 誤差 (%)
	模態 E01 自然頻率 (Hz)	動態剛性 s' (MN/m ³)	校正後楊氏係數 E (KPa)	等效靜態剛性 s'_E (MN/m ³)	彈性靜態剛性 s'_S (MN/m ³)		
Z	46.50	17.2403	53.1	13.2750	17.8701	-23.00	-3.52

Application of ISO 9052-1 to Determine Dynamic Stiffness of Resilient Material Used in Floating Floor

**Bor-Tsuen Wang¹, Chung-Min Huang¹,
Tai-Hung Shen¹, Ying-Hui Wu², Yi-Zhang Yu¹**

**¹Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and
Technology**

**²Machinery Division National Nei-Pu Senior
Agricultural-Industrial Vocational School**

ABSTRACT

Resilient materials can be used in floating floor, and the dynamic stiffness of resilient material is one of the parameters to evaluate the effectiveness of sound insulation. This work refers to ISO 9052-1 and develops the measurement procedure to determine the dynamic stiffness of a resilient material specimen. The testing procedure includes experimental modal analysis (EMA) on the test apparatus according to ISO 9052-1. The test setup is arranged and described accordingly. The system frequency response functions (FRF) will be measured by applying the impact hammer and accelerometer, respectively. The system modal parameters can then be extracted via curve-fitting process. In particular, the natural frequency of vertical translation rigid body mode can be identified. Base on the SDOF vibration system assumption, the specimen's dynamic stiffness can be obtained and specified accordingly. Finite element analysis (FEA) is also adopted in this work to construct the equivalent FE model so as to obtain theoretical modal parameters that can be comparable to the experimental ones. The equivalent Young's modulus of resilient material specimen can be updated and used to obtain the equivalent static stiffness. In addition, by using the FE model and performing static analysis, the elastic static stiffness like the linear spring effect can also be obtained. Finally, both the static stiffness can be compared with the dynamic stiffness value, respectively, and agree to each other reasonably. This work lays out the application procedure of ISO 9052-1 that can be adopted for the determination of dynamic stiffness for the resilient materials.

Keywords: resilient material, ISO 9052-1, dynamic stiffness, experimental modal analysis (EMA).