

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術 之研究

內政部建築研究所自行研究期末報告

中華民國 108 年 11 月

108301070000G0044

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術 之研究

研 究 人 員：林招焯副研究員

內政部建築研究所自行研究期末報告

中華民國 108 年 11 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	VII
ABSTRACT.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	1
第二章 文獻回顧與樓板緩衝材技術探討	5
第一節 國內音環境相關法規現況	5
第二節 樓板衝擊音隔音背景介紹	8
第三節 緩衝材之特性、動態剛性之基本介紹與其影響因子	12
第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法與規範	16
第一節 樓板衝擊音檢測原理及標準方法	16
第二節 樓板緩衝材動態剛性之實驗檢測原理	18
第三節 量測設備建置與規劃	22
第四章 動態剛性實驗設備建置與量測	27

第一節 國內橡膠緩衝材動態剛性相關實驗室能量	27
第二節 緩衝材動態剛性量測技術	31
第三節 橡膠緩衝材動態剛性量測系統操作設定	33
第五章 動態剛性實驗操作標準流程與驗證	39
第六章 結論與建議	60
附錄一	62
附錄二	64
附錄三	70
參考書目	74

表次

表 1- 1 預定工作項目進度表.....	4
表 2- 1 國內外樓板衝擊音性能檢測相關實驗標準	12
表 3- 1 橡膠緩衝材動態剛性實驗檢測標準	17
表 3- 2 性能實驗中心橡膠緩衝材動態剛性設備建置規畫表	24
表 5- 1 橡膠緩衝材共振頻率 30 次量測結果.....	55
表 5- 2 動態剛性 K_z 誤差分析結果.....	56
表 5- 3 緩衝材動態剛性組合誤差	58
表 5- 4 實驗室能力比對-性能實驗中心量測結果.....	58

圖次

圖 1- 1 研究流程圖	3
圖 2- 1 建築技術規則設計施工編防音條文隔音基準	6
圖 2- 2 40 組不同性別與步行狀態之人之實際衝擊量測聲壓平均最大 值.....	9
圖 2- 3 樓板衝擊音影響因子	10
圖 2- 4 室內聲波傳播路徑	10
圖 2- 5 樓板衝擊音於建築兩相鄰空間之傳播路徑圖	11
圖 2- 6 樓板衝擊音隔音測試實驗室配置	15
圖 3- 1 橡膠緩衝材實驗分析之單自由度振動模式	18
圖 3- 2 橡膠緩衝材實驗分析之系統輸入與反應說明	19
圖 3- 3 橡膠緩衝材動態剛性量測理論示意圖	21
圖 3- 4 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測流程圖	22
圖 3- 5 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測系統建置項目	23
圖 4- 1 實驗室 A 動態剛性實驗相關儀器設備(1).....	28
圖 4- 2 實驗室 A 動態剛性實驗相關儀器設備(2).....	28
圖 4- 3 實驗室 A 動態剛性實驗相關儀器設備(3).....	29
圖 4- 4 實驗室 B 首頁	30
圖 4- 5 加速規設定	34

圖 4- 6 衝擊錘設定	34
圖 4- 7 感測器資訊設定寫入	35
圖 4- 8 感測器加速規校正作業	36
圖 4- 9 建立 FFT 分析模組	36
圖 4- 10 Cross spectrum 解析之訊號源設定	37
圖 4- 11 FFT 分析內容設定及訊號擷取 WINDOW 設定	37
圖 4- 12 結果分析內容設定	38
圖 4- 13 頻率反應函數之共振頻率分析設定	38
圖 5- 1 動態剛性試片尺寸	39
圖 5- 2 動態剛性試片鋪設膠膜及蓋平石膏	40
圖 5- 3 金屬底座	40
圖 5- 4 金屬載重板	41
圖 5- 5 動態剛性試驗頻譜分析儀(型號 b&k type 7533).....	42
圖 5- 6 衝擊錘(型號 b&k type 8206-003).....	42
圖 5- 7 加速規(型號 b&k type 4507-001)	42
圖 5- 8 加速規校正器(型號 b&k type 4294).....	43
圖 5- 9 加速規吸附磁石.....	43
圖 5- 10 加速規底座及組裝後外觀.....	44
圖 5- 11 衝擊錘與分析儀間 channel 1 連結方式	44

圖 5- 12 載重板表面之加速規點位佈設	45
圖 5- 13 載重板表面之衝擊激振點位佈設	46
圖 5- 14 加速規底座與加速規校正器連結	47
圖 5- 15 加速規校正器供電電池安裝	47
圖 5- 16 安裝加速規於校正器上	48
圖 5- 17 開啟 pulse 之校正功能	48
圖 5- 18 加速規配置方式(1)	49
圖 5- 19 衝擊錘敲擊方式(1)	50
圖 5- 20 第 1 次量測之資料儲存	50
圖 5- 21 加速規配置方式(2)	51
圖 5- 22 第 2 次量測之資料儲存	52
圖 5- 23 加速規配置方式(3)	52
圖 5- 24 共振頻率與阻尼比求解	53
圖 5- 25 共振頻率與阻尼比求解(虛部曲線判斷方式)	54

摘要

關鍵詞：樓板緩衝材、建築聲學、動態剛性

一、研究緣起

為提升居住環境音環境品質，本所研訂建築隔音性能基準及增修訂條文（草案），並經內政部於 105 年 6 月號令修正建築設計施工編防音條文。建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式，其中於樓板衝擊音隔音規格式構造中，橡膠緩衝材需出具動態剛性檢測實驗報告，由建築師簽證確認其符合法定規格。因應法規修訂業界對樓板緩衝材性能驗證及創新材料技術研發需求，本年度擬進行樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究，及建立本所樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備系統與實驗作業程序，以拓展本所建築音環境研究實驗技術及能量。

二、研究方法及過程

本研究為樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究，目的包含(1)彙整國內外樓板緩衝材動態剛性之相關實驗規範、檢測技術及標準文獻。(2)參考 CNS16022/ISO 9052-1 規範量測性能需求，整合實驗中心現有實驗儀器設施規格，規劃動態剛性相關實驗量測系統，建構本所樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備。(3)進行動態剛性量測系統驗證，供研究與實驗檢測應用(4)建立實驗標準操作程序，供研究與實驗檢測應用，與未來 TAF 認證參考。以拓展本所樓板緩衝材動態剛性研究實驗技術及能量。

三、重要發現

研究參考 CNS16022/ISO 9052-1 規範量測性能需求項目，參考規範規定方式，進行動態剛性實驗量測系統規劃與儀器建置工作，除進行進行樓板橡膠緩衝材相關研究文獻蒐集及檢測規範研究外；本研究完成量測系統規劃、儀器規格研擬、實驗儀器購置及相關實驗量測原理研究、並建置完成衝擊錘、加速規、加速規校正器，量測平台，及進行實際量測操作運轉及研擬完成實驗設定與操作模式等項目。在完成前段相關設備建置與操作流程後，續進行實際之橡膠緩衝材動態剛性實測，並進行不確定分析評估及與國內相關實驗室進行實驗室間比對，相關研究成果可供未來實驗檢測應用參考。

四、主要建議事項

立即可行建議-樓板緩衝材動態剛性試驗之TAF實驗室認證

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

本所音響實驗室目前共有聲壓法隔音、樓板衝擊音隔音、吸音材吸音等多項實驗項目通過 TAF 認證，另目前建築技術規則設計施工編防音條文中，樓板衝擊音列舉式構造亦具有相關動態剛性性能規定，動態剛性實驗檢測對於建築樓板衝擊音降噪具有重要性，在本次研究完成相關實驗設施建置及性能驗證後，相關成果將可納入後續之 TAF 延展認證參考應用，以建構本所建築音環境完整之檢測與研究設備能量。

中長期建議-國內樓板橡膠緩衝材本土實驗數據累積與實驗研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

因應國內密集之居住特性，對於樓板衝擊音之防治與研究相當重要，目前國內建築產業界對於樓板衝擊音防治之緩衝材之開發亦多所投入，但屬初步摸索階段，國內樓板緩衝材料相關動態剛性之性能仍缺乏系統性之實際實驗研究，本研究目前已建置相關樓板緩衝材動態剛性試驗設備及能量，後續可規劃進行國內相關緩衝材之動態剛性研究，累積本土橡膠緩衝材之實驗性能數據，進行相關實驗研究具有實務應用價值，未來可供國內業界應用與提升產業界產品研發參考，提升國內建築樓板衝擊音防治技術，創造優質之居住音環境。

ABSTRACT

Keywords: Resilient floor materials, architecture acoustic, dynamic stiffness

In order to improve the sound environment quality of the living environment, the Institute has developed the building sound insulation performance benchmark and the revised provisions (draft), and amended the building design and construction soundproof provisions by the Ministry of the Interior in June 105. The soundproofing standard for building soundproofing adopts the "standard" and "performance" parallel modes. In the structural soundproofing structure of the floor, the rubber cushioning material is required to issue a dynamic rigidity test report, which is confirmed by the architect visa to meet the legal specifications. . In response to the regulations to revise the industry's performance verification of floor cushioning materials and innovative materials technology research and development, this year, we intend to conduct research on the dynamic rigidity measurement technology of floor cushioning materials, and establish the dynamic rigid measuring experimental equipment system and experimental operation procedures of the floor cushioning materials. In order to expand the laboratory sound environment research technology and energy.

This study is the research on the dynamic rigidity measurement technology of floor cushioning materials. The purpose is to (1) the relevant experimental specifications, testing techniques and standard literatures for the dynamic rigidity of floor cushioning materials at home and abroad. (2) Refer to the CNS16022/ISO 9052-1 specification for measurement performance requirements, integrate the existing experimental instrument facility specifications of the experimental center, plan the dynamic rigid correlation experimental measurement system, and construct the dynamic rigidity measurement experimental equipment of the floor buffer material of the firm. (3) Perform dynamic rigid measurement system verification for research and experimental testing applications (4) Establish experimental standard operating procedures for research and experimental testing applications, and reference to future TAF certification. To expand the experimental technology and energy of the dynamic rigidity of the floor slab cushion material. The research refers to the CNS16022/ISO 9052-1 specification measurement performance requirements project, and the dynamic rigid experimental measurement system planning and instrument

construction work is carried out with reference to the specifications and regulations, in addition to conducting research on the literature collection and testing of slab rubber cushioning materials. At present, the measurement system planning, instrument specification development, experimental instrument purchase and related experimental measurement principle research are completed, and the impact hammer, acceleration gauge, acceleration gauge corrector, measurement platform, and actual measurement operation are completed. Run and develop projects such as experiment setup and operation mode. Subsequent work will be carried out on the actual dynamic measurement of the rubber cushioning material and the establishment of the standard operating procedures for the research and analysis of the relationship between the impact sound of the future floor and the dynamic rigidity of the rubber cushioning material.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

目前國內居住環境相當密集，在都市中住宅類型以公寓大廈及連棟式住宅為主，隨著居住環境都市化及密集化，集合住宅中居住環境形成上下住戶間樓板衝擊噪音干擾居家安寧，而為創造良好的居住空間聲音舒適性，樓板衝擊音之防治為相當重要之課題。為提升居住環境音環境品質，本所研訂建築隔音性能基準及增修訂條文（草案），並經內政部於 105 年 6 月號令修正建築設計施工編防音條文。建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式，其中於樓板衝擊音隔音規格式構造中，橡膠緩衝材需出具動態剛性檢測實驗報告，由建築師簽證確認其符合法定規格。

因應前述國內密集之居住特性，對於各類型生活噪音之防治與研究相當重要，除原有之外部噪音源(鐵公路交通、航空等:氣傳音隔音)，生活噪音源(如電器、跑跳走動等:固體音隔音)之影響與研究亦為不可或缺之部份，對應不同類型之噪音來源需採用相對應之措施來防護解決，才能對建築整體音環境有完整之改善防治手段。因應法規修訂業界對樓板緩衝材性能驗證及創新材料技術研發需求，本年度擬進行樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究，及建立本所樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備系統與實驗作業程序，以拓展本所建築音環境研究實驗技術及能量。

第二節 研究目的

針對樓板衝擊音實驗檢測部分，目前本所性能實驗中心音響實驗室為國內具有符合 ISO 10140 國際標準及 CNS 15160 之建築音響實驗室，相關實驗項目包含隔音(R4/R5)、吸音(R6)、樓板衝擊音(R2/R3)及消音箱等項目，各項目符合 TAF 認證可進行實驗測試，自啟用以來累積相當數量之符合 ISO/CNS 測試標準檢測成果，館內共有 9 間實驗室，分別為 6 間迴響室以及 3 間全(半)無響室，本實驗室所提供之樓板隔音性能檢測、門(窗)及牆類建材隔音性能檢測及吸音材吸音性能檢測等項目已取得多項 TAF 認證，可提供各項建築音響性能試驗，並配合我

國綠建材標章制度之推動，整合國內綠建材產品檢測技術服務，作為產學研合作研發平台。

於樓板衝擊音相關研究設施部分，實驗室設有上(R2)、下(R3)樓層之兩迴響室組成，內容積分別為 220 m^3 與 250 m^3 ，可供樓板及表面緩衝材衝擊音隔音性能檢測，實驗設施截止頻率均為 100 Hz，設計之操作頻寬為 100~5k Hz，背景噪音等級分別為 NR-10 以及 NR-5，可量測之最大隔音量 R'_{max} 為 78 dB，試件安裝處設計開口面積為 10 m^2 。目前取得 ISO 10140-3、CNS 15160-6、CNS 15160-8、ASTM E492、JIS A1418-1、JIS A1418-2 等項測試規範之 TAF 認證，及內政部建築新技術新工法新設備及新材料隔音性能試驗機構之樓板衝擊音試驗項目指定認可。近年來國內建築技術規則之修訂與法規之更新，於新修訂之技術規則 46-6 條中已列舉樓板橡膠緩衝材相關構造，與橡膠類緩衝材之動態剛性檢測內容，因應法規修訂業界對樓板緩衝材料性能驗證及創新材料技術研發需求，並考量擴充本所實驗研究能量，本年度擬進行樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究，及建立本所樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備系統與作業程序，以拓展本所建築音環境研究實驗技術及能量。

研究首先將進行樓板衝擊音相關理論及試驗規範之蒐集與研討，由探討緩衝材與衝擊音隔音間之關係與機制，研究包含(1)彙整國內外樓板緩衝材動態剛性之相關實驗規範、檢測技術及標準文獻。(2)參考 CNS16022/ISO 9052-1 規範量測性能需求，整合實驗中心現有實驗儀器設施規格，規劃動態剛性相關實驗量測系統，建構本所樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備。(3)進行動態剛性量測系統驗證，供研究與實驗檢測應用 (4)建立實驗標準操作程序，供研究與實驗檢測應用，與未來 TAF 認證參考。

第三節 研究方法及步驟

本研究首先進行樓板緩衝材動態剛性相關文獻蒐集探討與研究，後續進行量測項目調查分析，蒐集樓板緩衝材動態剛性相關性能試驗檢測設備規範，接下來進行量測設備建置，最後進行系統驗證與結果分析彙整及報告撰寫。

所採用之研究方法包括以下項目，研究流程如圖 1.1。

1. 文獻回顧：彙整國內外樓板緩衝材動態剛性之相關實驗規範、檢測技術及

標準文獻。

2. 實驗儀器建置：參考 CNS16022/ISO 9052-1 規範量測性能需求，整合實驗中心現有實驗儀器設施規格，規劃動態剛性相關實驗量測系統，建構本所樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備。
3. 實驗分析：進行動態剛性量測系統驗證，供研究與實驗檢測應用
4. 結果分析：建立實驗標準操作程序，供研究與實驗檢測應用，與未來 TAF 認證參考。

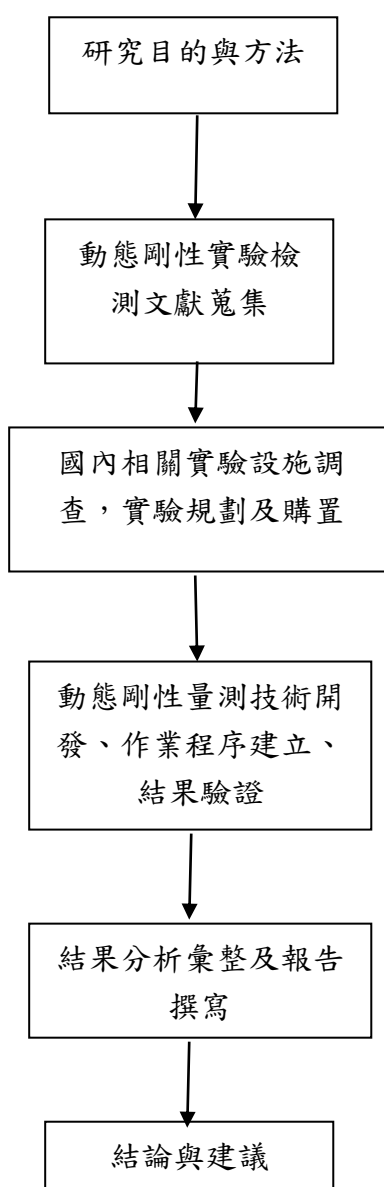


圖1- 1 研究流程圖

(資料來源:本研究整理)

表 1- 1 預定工作項目進度表

月 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	備 註
文獻蒐集及設 施調查	■	■	■								
實驗設備規劃 建置		■	■	■							
量測技術開發			■	■	■						
實驗技術建構 與設備整合			■	■	■						
設施採購建置		■	■	■	■						
期中報告撰寫					■	■					
量測系統驗證 及程序建立						■	■	■	■		
期末報告撰寫 及修正									■	■	
成果報告										■	
預 定 進 度 (累 積 數)	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	1 0 0 %	

(資料來源：本研究整理)

第二章 文獻回顧與樓板緩衝材技術探討

本章首先針對國內目前建築物音環境相關之法規、噪音管制基準等做一簡要的文獻蒐集與回顧探討，並對目前我國建築音環境相關之管制方式與內容作初步瞭解，後續對樓板衝擊音隔音及緩衝材之特性、動態剛性之基本介紹與其影響因子等做介紹說明。

第一節 國內音環境相關法規現況

由於台灣國土為島嶼，中央山脈分隔西部平原與東部，其中人口主要集中居住於西部之平原，屬於密集之居住環境。因前述之居住環境特性，國內之音環境降噪技術之發展相當重要，政府也陸續於近年內針對建築音環境之相關法規做修訂，以提升國內建築音環境之水準與國民居住品質。

一、建築音環境相關之法規

為因應我國居住都市化與密集化之環境，建築物密集常造成住戶間生活噪音相互干擾，影響生活作息、睡眠品質及工作效率。內政部建築研究所(以下簡稱本所)歷年來除推動綠建築及綠建材標章制度音環境基準外，並於民國93年建置國內首座符合ISO國際標準之建築音響實驗室，本所音響實驗室主要建置目的是進行建築物門、窗、牆壁等構件的隔音性能研究，隔音材與吸音材之性能檢定相關的實驗，樓板衝擊音隔音性能實驗研究，及建築設備機器噪音源聲功率與頻率特性研究。同時可針對建築相關防音法規、規範與標準，進行本土化實驗研究，提供相關主管機關研修法規、規範與標準之參據，並將實驗研究之具體數據，提供給建築業界、消費者，以提高建築及居住之品質。94~97年間辦理「建築音響性能測試ISO標準CNS化之可行性研究」等，提出17項CNS聲學性能量測與評定標準草案，送請經濟部標準檢驗局完成法制作業，並成為隔音法規基準之引用標準。相關之修訂CNS標準因採與ISO國際標準同步，大幅更新國內建築材料隔音、吸音、樓板衝擊音等實驗檢測與現場量測標準，使國內具備與國際接軌之實驗檢

測規範。

另於建築法規修訂部分，因國內建築技術規則關於防音部分之條文已相當久的時間未修訂，隔音基準與設計較為老舊無法跟上現況需求，本所98~99 年完成國內住宅音環境現況調查與診斷機制之研究，針對國內住宅案例進行音環境現場量測及診斷評估，初步累積國內基礎資料，並研訂診斷管理機制，該研究依據前期研究之成果基礎擴大調查對象，選定具代表性之住宅及學校案例進行音環境現況調查，並透過實測量化統計之彙整，作為建築隔音性能基準及法制化之依據，本部於105年6月7日修正「建築技術規則」建築設計施工編防音條文，防音法規隔音基準採「列舉式」及「性能式」並行方式，「列舉式」可供業界直接參考選用，「性能式」則需檢附經中央主管機關認可，具有「內政部建築新技術、新工法、新設備及新材料認可通知書」基準證明，法規規範內容與對應檢測項目如圖

2.1

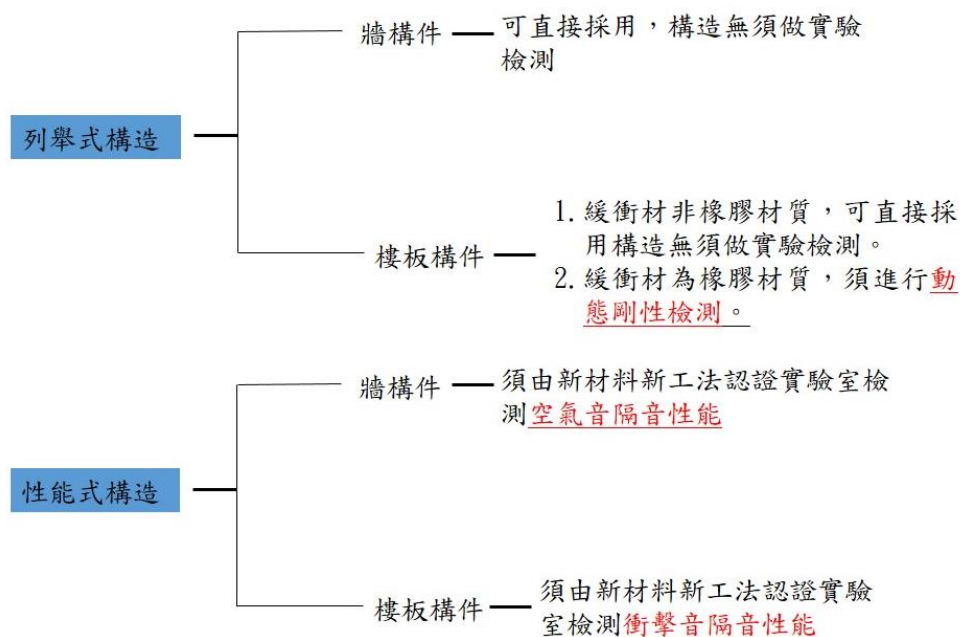


圖 2- 1 建築技術規則設計施工編防音條文隔音基準

(資料來源: 本研究整理)

二、環保署噪音管制法

目前國內環保署為維護環境安寧及生活品質，訂有噪音管制法，該法係針對

活動、機具、機動車輛、陸上運輸系統及航空器等對象做出一定的規範及噪音量限制，是以管制噪音來源為出發點。由於本法係國內針對噪音管制之法規，以下針對噪音管制法之內容作簡單之回顧與說明

(一)噪音管制區

在噪音管制法中，授權直轄市及各縣市主管機關依照轄區內情況劃設噪音管制區，並對工廠、娛樂場所、營業場所、營建工程、擴音設施等噪音源訂出噪音管制音量及測定標準，其中並包含風力發電機組噪音之管制，量測技術則以採現場量測為主，主要量測參數為均能音量 L_{eq} 值，頻率範圍主要採20~20k Hz之範圍，由於均能音量指特定時段內聲音能量之平均值，此參數係與量測之時間段相關。於此法規中，對於時間之管制值可分為日間(上午7:00至下午7:00)，晚間(下午7:00至晚上11:00)及夜間(晚上11:00至隔日上午7:00)等3個時段，依不同之時段於各類管制區(1至4類)訂出不同之噪音標準值，並對於量測之方式、距離、位置及背景噪音修正等有明確之規範。

(二)對於機動車輛及民用航空器之管制

於機動車輛及航空器部分，係採另訂機動車輛噪音管制標準方式，針對原地噪音、加速噪音等訂定噪音標準，並規定於新車時需辦理相關審驗，而使用中之車輛則採主管機關不定期於停車場(站)、路旁、柴油車動力計排煙檢測站或其他適當地點，對車輛噪音情形辦理檢驗

(三)對於陸上運輸系統之管制

於陸上運輸系統部分，目前環保署針對快速道路、高速公路、鐵路及大眾捷運系統等陸上運輸系統內，車輛行駛所發出之聲音進行管制，並訂有陸上運輸系統噪音管制標準，於道路、及軌道系統採用一小時所測得之均能音量 $L_{eq,1h}$ 平均值作為量測參數，並將管制時段區分為早(上午5~7時)、晚(晚上8~10時)及日間(上午7時~晚上8時)、夜間(晚上10時~翌日上午5時)等時段進行管制，音量單位採用dB(A)為單位，依不同之時段於各類管制區

(四)民用航空噪音

針對民用機場、塔台所轄軍民合用機場產生之航空噪音及其他交通噪音，採用環境音量標準為管制規定，並經直轄市、縣(市)主管機關監測，超過環境音量標準者，營運或管理單位應訂定噪音改善計畫，並據以改善該區域之噪音，如果無法改善達到標準則改採補助計畫。並規定於經中央主管機關公告之航空站，應設置自動監測設備，連續監測其所在機場周圍地區飛航噪音狀況。另直轄市、縣(市)主管機關應針對各級航空噪音防制區內之學校、圖書館及醫療機構之防音建材，有作相關之性能規定，其性能採新建完成後可使室內航空噪音日夜音量低於五十五分貝。

第二節 樓板衝擊音隔音背景介紹

本節將就目前樓板緩衝材之性能參數及國內外相關實驗檢測方法做簡要之介紹及回顧，樓板緩衝材設計主要考慮之性能為須能達到消除上下生活空間中，於上方生活空間之人員因搬動家具、人員行走等直接衝擊於樓板產生之噪音，其為經樓板構造物傳遞，傳遞路徑屬於固體傳音。

一、樓板衝擊音之機制

樓板衝擊音之音源由來主要為上方居住人員走動衝擊樓板所致，衝擊音於衝擊源直接衝擊於樓板表面或者試體面，其波動之傳遞透過固體介質進行傳播，同時造成樓板結構體之震動，藉由此震動而形成固體與空氣介質間之固體-空氣間之耦合而可視為新的振動噪音源，此新振源則會將衝擊音能量化為空氣音震動而傳播至下層住戶空間中而形成樓板衝擊音。

(一)衝擊聲源類型

實際之行走衝擊型態因每個人之走行方式、體重、步態、行走之速度快慢等而有所變化與不同，Vian and Drouin等人曾對40個不同性別與步行狀態的人，於14cm厚之混凝土樓板上進行實際之行走衝擊音量測，並求取其最大聲壓之時間($t=35\text{ ms}$)平均值，其量測結果如圖2-2所示

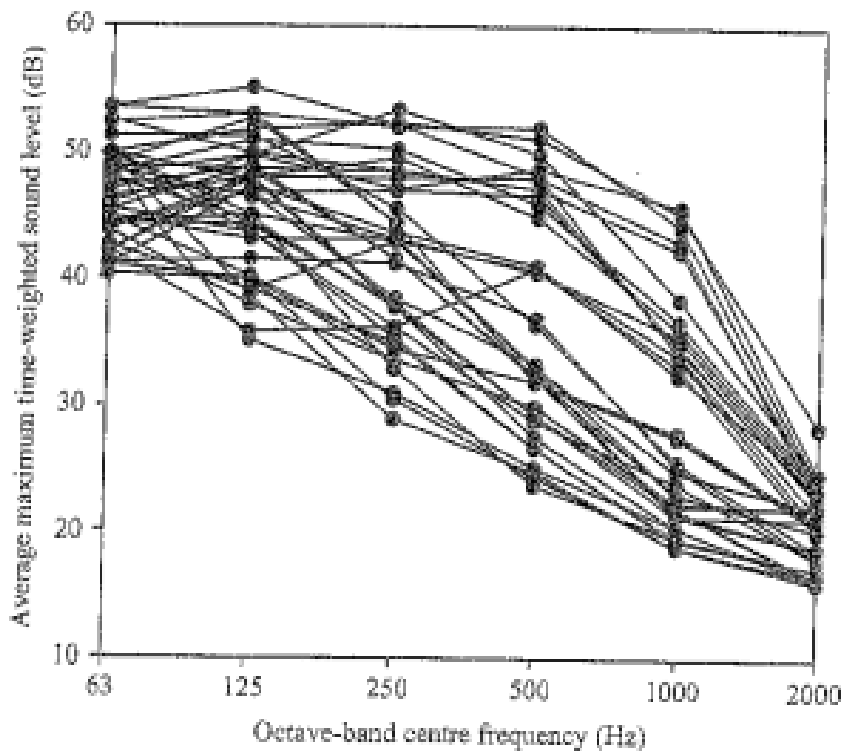


圖 2- 2 40 組不同性別與步行狀態的人之實際衝擊量測聲壓平均最大值
(資料來源: Carl Hopkins *et. al.*)

由圖2-2可之量測結果可看出不同之人員腳步造成之衝擊音雖然於各頻帶區域內具有類似的趨勢，但仍無一致之相關性，故無任何一種標準的步伐或行走方式可精準的代表樓板衝擊音音源，經研究包含性別、體重、步態、腳所穿的鞋子類型及腳部衝擊樓板時之速度等皆對衝擊音大小值有一定之影響。實驗上為了克服前述衝擊源不易標準化之問題，及為了容易鑑別與檢測樓板衝擊音，後續才由ISO組織建立ISO標準，並採用標準聲源(衝擊器Tamping machine)，對衝擊錘之速度、落下高度、打擊的頻率等作定量之規定，以作為量測之標準衝擊聲源。

(二)樓板衝擊音之特性與影響

關於衝擊音影響因子部分，依據呂奇穎等人相關研究指出樓板衝擊音之影響因子可分為衝擊源、震動反應特性及音響放射(輻射)特性等3大部分，如圖2.3所示，若以衝擊音阻絕之觀點來看，衝擊源特性實際上樣式變化頗大，主要可由震動反應特性與音響放射特性來進行防治，其中又以震動反應特性為較有效之方式

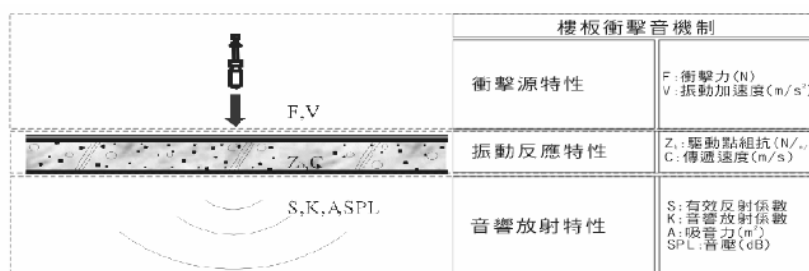


圖 2- 3 樓板衝擊音影響因子

(資料來源: 呂奇穎等)

由於室內之聲音傳播路徑主要在兩室內空間內傳播，而室內兩空間內除隔間牆之外，另外尚有地板及天花板兩者間影響，故依據ISO15712-1主要之聲音傳播路徑約可分為4大路徑，如圖2.4所示

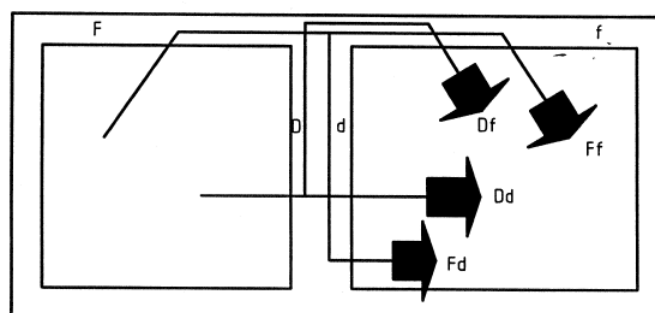


圖 2- 4 室內聲波傳播路徑

(資料來源: ISO15712-1)

傳播路徑可分為直接傳播路徑Dd、Fd及側向傳播路徑Df與Ff，其中直接傳播路徑Dd為聲音直接由左側之聲源所在空間直接透過分間牆向右側之房間傳播，另一種方式之直接傳播路徑Fd則聲音藉由左側之天花板為路徑，傳播至分間牆後再透過分間牆傳播至另外一室內，與前者之差別除聲波通過之區域不同外，Fd路徑並經過牆版構造物間接頭區域。

在衝擊音部分，由圖2-5所示依照構造物配置方式可分為兩類之建築構件，分別為左圖之上、下相鄰空間以及右圖所示之左、右相鄰空間2種形式，其中左圖中之路徑d為表示衝擊音直接透過樓板(分隔構件)傳播至下方接收室，此為直

接傳播路徑，另外上圖中路徑 f_1 、 f_2 等路徑則屬於側向傳播路徑，此時衝擊音並非透過兩室間分隔構件直接傳播，而是藉由側向之牆體或樓板間之第2個構造間接傳播到接收空間內，此時稱之為側向傳播路徑

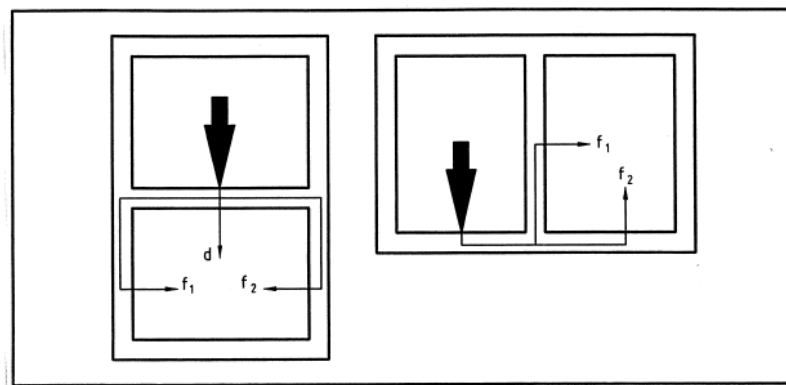


圖 2- 5 樓板衝擊音於建築兩相鄰空間之傳播路徑圖

(資料來源: ISO15712-1)

二、國內外之實驗檢測方法與規範

關於樓板衝擊音聲學性能影響因素相當複雜，包含樓板構件之類型、材料組成方式、各類構件之比率等，一般於工程上需要採用實地現場量測方式或者是採用有限元素或邊界元素法進行樓板固體震動分析，並由震動分析結果以流固耦合方式進行聲場模擬，導致實務應用上相當繁雜。為能於實務上對整體牆面或樓板衝擊音之隔音性能進行簡易且較快速評估，且利於工程上之應用，國外先進國家如歐美等國皆投入資源進行實驗量測方法之研究，最後並將相關方法化為國際標準評估方法。國際上最常引用之測試規範為ISO及ASTM兩系列，國內目前經濟部標檢局之CNS標準亦是採用ISO 140系列標準，以利與國際接軌，及國際之標準整理如表2-1。ISO測試標準原檢測方法為ISO140系列之規範，我國目前之新版測試規範亦引用此系列之標準，但ISO標準組織於2010年8月公布最新修訂之ISO10140系列測試標準，共包含ISO10140-1至ISO10140-5等5項標準，範圍包含該系列標準之應用規則、聲壓法隔音、樓板衝擊音實驗及量測程序與一般需求等

各項內容，其中聲壓法隔音、樓板衝擊音等項實驗標準分別為ISO10140-2及ISO10140-3

表 2- 1 國內外樓板衝擊音性能檢測相關實驗標準

項次	標準名稱	發行單位	備註
1	CNS 16022 聲學－動態剛性測定法-用於住宅浮式地板下之材料	經濟部標準檢驗局	由 ISO 9052-1 標準CNS化
2	ISO 9052-1(1989) Acoustics -- Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.	ISO 國際標準組織	
3	EN 29052-1 Acoustics. Method for the determination of dynamic stiffness. Materials used under floating floors in dwellings	EN 標準組織	
4	JIS A6322 Glass wool isolating material for floating floors	JIS	列為檢測項目
5	JIS A6321 Rock wool isolating material for floating floors	JIS	列為檢測項目
10	GB/T 35426.1-2017 聲學動剛度測定第1部分：普通浮築樓板下的彈性材料	中國大陸	

(資料來源:本研究整理)

第三節 緩衝材之特性、動態剛性之基本介紹與其影響因子

一、樓板衝擊音影響機制探討

樓板衝擊音目前國內外均有不少之相關研究，近期內如Berndt Zeitler等人針對比較不同樓板構造，構造之類型為為木構造地板(22cm厚)、樓板緩衝材採為吸音棉、上方表面層為打設10cm厚混凝土表面層（總厚度32cm）構造，及RC地板（厚15cm）兩者間之性能，發現與木質地板比較混凝土樓板於125Hz以下及2kHz以上之區域性能較為優越，但於其餘中頻區則木質樓板平均性能皆比混凝土樓板高10dB左右， Hikari Tanaka等人針對不同厚度與平面尺寸之混凝土樓板性能進

行實驗研究，國內部分本所於100年對國內學校及住宅音環境進行性能現況量測及調查，調查中包含相關建築物衝擊音之量測與調查，另於101年進行樓板衝擊音隔音構造設計指引之研究，對木質架高地板及RC面材浮式地板構造進行實驗量測分析，並對不同厚度與不同緩衝材類型作實測比較，及提出設計指引及3種構造範例。關於衝擊音影響因子部分，依據呂奇穎相關研究指出樓板衝擊音之影響因子可分為衝擊源、震動反應特性及音響放射(輻射)特性等3大部分，若以衝擊音阻絕之觀點來看，衝擊源特性實際上樣式變化頗大，主要可由震動反應特性與音響放射特性來進行防治，其中又以震動反應特性為較有效之方式。

於103年本所進行國內樓板緩衝材隔音性能應用之研究，針對本所性能實驗中心音響實驗室自啟用以來累積相當數量之符合ISO測試標準之國內樓板緩衝材檢測成果，進行歷年實驗成果分析整理，除整理提供國內實際樓板緩衝材構造之性能數據外，並對各項影響性能因子進行關聯探討與實驗驗證。於分析之案例中，發現國內本土建築所使用之緩衝構造，緩衝材構造分類上則主要以橡膠墊類、高分子類、多孔纖維類及橡膠隔震墊\隔震器等4種類，其中國內目前使用案例來看則以橡膠墊類緩衝材為最多。因子分析部分則由案例之實測結果中各頻帶隔音性能為資料庫，並選擇緩衝材厚度及表材厚度等2項主要影響緩衝隔音性能之因子，來進行統計分析後發現目前橡膠墊類之影響主要因子為緩衝材厚度，其次為表面材厚度；關於橡膠緩衝材性能曲線分析結果可知增厚橡膠墊主要可對中頻及高頻率區段（315~1000Hz、1000~4000Hz）有明顯之提升隔音性能效果，但對於低頻段315Hz以下區域則不顯著，而若配置方式以橡膠墊類為緩衝吸收層，面材部份與前類不同採用室內常用之木地板表面層，由分析結果發現木地板面材搭配橡膠隔音墊時，加厚緩衝材厚度僅部分提升2000Hz以上之隔音量，其他差異較小，而如採用較薄的緩衝材（3.55mm）搭配稍厚之木地板（10mm），觀察其隔音曲線發現低頻帶因緩衝材較薄性能不足，搭配上木地板面材而有放大噪音特性，但於其他頻帶隔音性能不錯，故橡膠墊之厚薄對低頻帶隔音性能有一定之影響不同之趨勢。而於橡膠墊類緩衝材-無表面材類，配置方式以橡膠墊類為緩衝吸收層，

面材部份則不配置而使衝擊外力直接與緩衝材接觸，各測試結果雖於中、高頻區域性能有變化，但對於315Hz以下之低頻區域此類配置緩衝性能不佳，另外各試件間緩衝材料雖材質不同，但測試出來隔音曲線之形狀具有相當類似之情形，此也可知相類似材料在同樣測試法下顯示出雷同之緩衝材行為，各製造廠商不同雖無法量化評估其材料特性，但最後之 ΔL_w 值相同厚度者差距約在3dB左右，此可供實務應用上設計之參考。

針對橡膠緩衝材材料與衝擊音隔音性能之相關研究，包含Alessandro等人探討由橡膠緩衝材之動態剛性值來預測整體樓板衝擊音之隔音性能，N. Baron等人則研究不同量測法於實驗室量測樓板緩衝材之方法優劣比較，另J. Y. Lee等人採實驗研究方式，對韓國建築物樓板緩衝材料探討其(壓重45天)耐久變形量與樓板隔音性能之結果，並分析其性能影響因子。

二、樓板衝擊音實驗室檢測設備

本所於94年5月完成建築音響實驗室設備建置，為國內首座符合ISO標準之建築音環境實驗室，於規劃設計階段即依據ISO國際標準設計，採購之相關測量儀器設備亦遵循ISO規範，並可與我國CNS、美國ASTM及日本JIS等標準相容。內容包括6間迴響室及3間全(半)無響室，分別可進行消音箱性能試驗、樓板隔音試驗、聲壓法隔音試驗、聲強法隔音試驗、吸音係數試驗以及聲功率(壓)位準試驗。本實驗室目前取得財團法人全國認證基金會(TAF)評鑑通過，取得「聲壓法隔音材隔音性能試驗」、「樓板衝擊音隔音性能試驗」及「吸音材吸音係數試驗」等4項實驗獲得TAF認證。本實驗室之實驗設備具半自動程序，執行各項委託試驗時可節省相當多操作人力，於試件安裝與拆卸過程皆十分便利。對於本實驗室內的各项設施規劃，設備操作使用者皆相當滿意，並廣受試驗委託廠商之好評，實驗室之配置如圖2-6

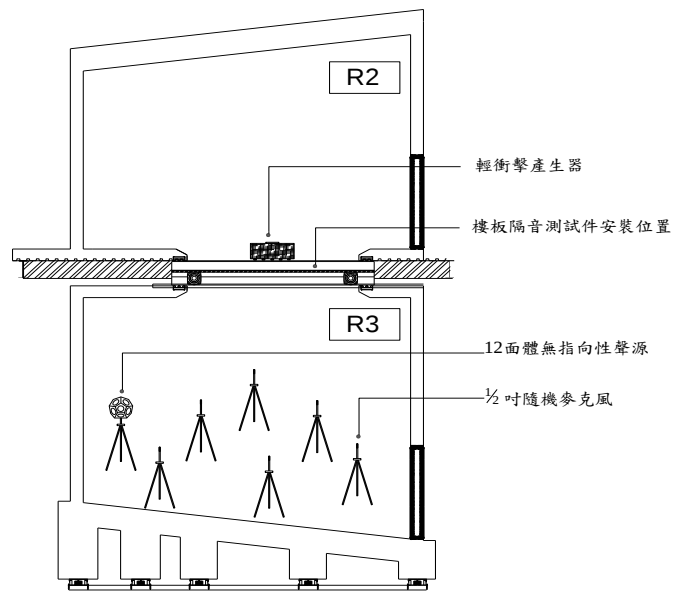


圖 2- 6 樓板衝擊音隔音測試實驗室配置

(資料來源: 本研究整理)

第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法與規範

由前章之討論可知樓板衝擊音之影響因子眾多，除本身緩衝材之構成材料特性因素外，亦包含須就衝擊音之標準實驗方法了解及探討，本節將就目前樓板衝擊音檢測原理及標準方法做介紹，包含相關之實驗設施簡介等；另本研究主要探討目標為橡膠緩衝材動態剛性部份，故續介紹樓板橡膠緩衝材動態剛性實驗檢測之原理。最後就動態剛性量測設備建置及相關規畫做介紹。

第一節 樓板衝擊音檢測原理及標準方法

動態剛性。以下就前揭之各區塊實驗項目內容進行說明

一、樓板橡膠緩衝材動態剛性檢測之緣由

建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式，「規格式」為考量國內建築常用之構造型態規定使用之材料規格，可供業界直接參考選用，「性能式」則依國內建築音環境現況需求及國外建築法規訂定隔音性能基準，需檢附經中央主管建築機關認可，取得「內政部建築新技術、新工法、新設備及新材料認可通知書」基準證明，惟目前內政部指定之「建築新技術新工法新設備及新材料隔音性能試驗機構」，僅本所性能實驗中心於去(106)年2月7日獲指定，現行防音規定內容在列舉式構造部份，緩衝材列舉材料有岩棉、玻璃棉類等，及橡膠類緩衝材，其中其中於樓板衝擊音隔音規格式構造中，橡膠緩衝材需出具橡膠動態剛性檢測實驗報告，由建築師簽證確認其符合法定規格。

二、橡膠緩衝材動態剛性之定義

由於樓板橡膠緩衝材係受到動態之衝擊力作用，其作用力為動態力，作用外力為具隨著時間變化改變其大小之特性，故與傳統之靜態作用力不同。其參數定義如下所示：

動態剛性 s' ：緩衝材受動態力時，其動態應力與動態變形量之比值，其單位為百萬牛頓/立方公尺 (MN/m^3)。

計算方式如下式

$$s' = \frac{F/S}{\Delta d}$$

上式中 S:待測試片之面積，以 m^2 為單位

F:垂直作用於試體之動態力，以N為單位

Δd :試片因動態力作用之變形量

當緩衝材之動態剛性數值越小，降低樓板衝擊音之性能越佳。

三、動態剛性實驗檢測規範

目前關於橡膠緩衝材動態剛性之檢測，國際上以ISO 9052-1為主要檢測方式，國內之CNS標準也依循ISO國際標準之方式，本所於104年進行「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」，將原ISO 9052-1的實驗檢測內容作中文翻譯並轉化為CNS標準草案，送請經濟部標準檢驗局進行法制化作業，標檢局完成法制化後於106年公佈CNS 16022 聲學－動態剛性測定法-用於住宅浮式地板下之材料之國家標準，除ISO與CNS標準外，目前於歐洲EN及日本JIS亦針對樓板緩衝材訂有相關檢測標準，整理如表3.1所示

表 3- 1 橡膠緩衝材動態剛性實驗檢測標準

項次	標準名稱	備註
1	CNS 16022 聲學－動態剛性測定法-用於住宅浮式地板下之材料	
2	ISO 9052-1(1989) Acoustics -- Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.	
3	EN 29052-1 Acoustics. Method for the determination of dynamic stiffness. Materials used under floating floors in dwellings。	
4	JIS A6322 Glass wool isolating material for floating	動態剛性列為

	floors	檢測項目
5	JIS A6321 Rock wool isolating material for floating floors	動態剛性列為 檢測項目

(資料來源:本研究整理)

第二節 樓板緩衝材動態剛性之實驗檢測原理

由於動態剛性之作用力為衝擊力，此外力為隨著時間而變化之動態力，故當橡膠緩衝材於此動態力作用下之反應與靜態力作用之靜態剛性值不同，如要於動態系統中進行實驗，需採用結構動力之共振系統概念來分析。

一、單自由度振動系統

在橡膠緩衝材動態剛性試驗中，其實驗佈置方式如圖3-1所示，其量測佈設係將整個量測系統視為單自由度之振動系統來分析

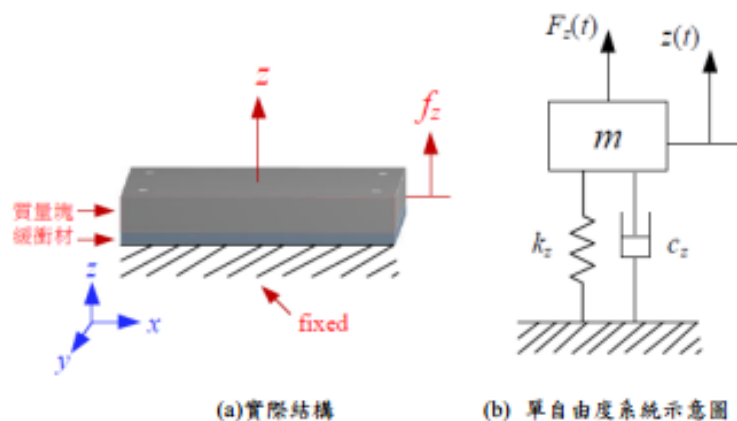


圖 3- 1 橡膠緩衝材實驗分析之單自由度振動模式

(資料來源：建築防音法規解說指引)

在上圖之(a)圖之實際構造中，橡膠緩衝材部分係相當於右邊圖(b)中之彈簧(k_z)與阻尼(c_z)部份，當外力作用於此橡膠緩衝材後，將於表面產生 $z(t)$ 之衝擊位移反應，當施加之外力為 $\delta(t)$ 函數時，亦即時間延遲極短趨近於0之瞬間衝擊力時，此單自由度系統將會進行自由振動，因外力之延時極短，且系統具有彈簧(k_z)與阻尼(c_z)會消耗外力施加之能量，故其振動位移反應將由大至小衰減，而由單自由度結構系統受力所得到的反應資料須先行將其轉化為頻率反應函數(FRF)才

可進一步的加以識別處理。本實驗需藉由求取單自由度振動系統頻率反應函數，而計算所需量測參數分別為輸入此系統之輸入外力數值，及此系統之位移振動反應。

當進行實驗時，外力部份將以衝擊錘方式施加衝擊力，且此衝擊錘上需配搭相應之力量感測器，以作為輸入之外力量測使用，另於橡膠緩衝材衝擊反應之位移量測部份，則須以佈設加速規方式進行實驗量測，並將輸入端外力之訊號與輸出端位移之訊號皆連結到訊號分析儀，以同步即時進行分析處理才可求取頻率反應函數(FRF)，由所得到之FRF函數後才可化算出結構之動態剛性值。

二、頻率反應函數(Frequency response function)之定義

今有一結構系統如圖3-2所示，若有一脈衝函數 $\delta(t)$ 作用於此結構上而產生一反應為 $h(t)$ ，則此 $h(t)$ 稱為單位衝力反應，而若作用外力為任意 $x(t)$ ，因此得到的反應為 $y(t)$ ，則其作用外力與結構反應間的關係為

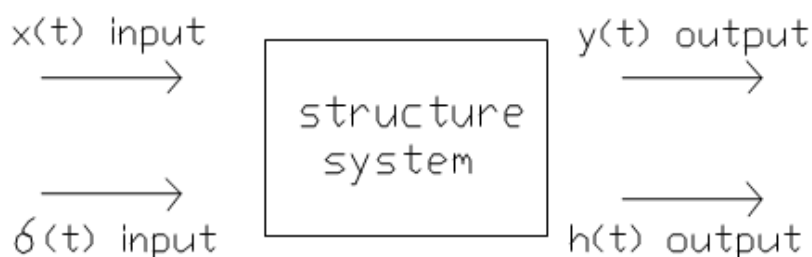


圖 3- 2 橡膠緩衝材實驗分析之系統輸入與反應說明

(資料來源：林招焯等)

由上圖之關係，可將外力與反應之關係表示為

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (2-1)$$

上式可另外改寫為

$$y(t) = h(t) * x(t) \quad (2-2)$$

上式為在時間域任意作用外力與結構反應間的關係，即在時間域外力 $x(t)$ 與脈

衝函數 $\delta(t)$ 作用於結構所造成的反應 $h(t)$ 間作捲積運算，可獲得結構的位移反應 $y(t)$ ，由於捲積在數學運算上較不方便，故我們可將式(2-2)作傅立葉轉換，由傅立葉轉換的定義如下

$$F[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt = F(\omega) \quad (2-3)$$

如將式(2-2)等號兩邊皆作傅立葉轉換，並令 $t = \tau + u$ 、 $dt = du$ 將變數符號作整理，可得到

$$Y(\omega) = \left[\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) e^{-j\omega \tau} d\tau \right] \cdot \left[\int_{-\infty}^{\infty} x(u) e^{-j\omega u} du \right] \quad (2-4)$$

故上式可寫成

$$Y(\omega) = H(\omega) X(\omega) \quad (2-5)$$

上式中 $Y(\omega)$ 為將結構位移反應 $y(t)$ 做傅立葉轉換的結果， $X(\omega)$ 為將輸入外力 $x(t)$ 作傅立葉轉換之結果，而 $H(\omega)$ 即為此構造系統之頻率反應函數 (Frequency response function)，上式可進一步整理為

$$H(\omega) = Y(\omega) / X(\omega) \quad (2-6)$$

由式(2-6)可知系統之頻率反應函數係由輸入與輸出訊號之比值所組成

三、單自由度系統之頻率反應函數 (Frequency response function)

由於橡膠緩衝材動態剛性之實驗配置方式，係將量測系統視為一個單自由度之振動系統來進行實驗分析，接下來有必要介紹單自由度之振動系統之頻率反應函數與其關係。

單自由度阻尼振動系統，其振動方程式可寫為

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = \quad \text{第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法與規範}$$

上式中 m 為此擔自由度系統之集中質量， c 為此系統之阻尼， k 為其系統勁度；而 x 為節點之位移， $f(t)$ 為作用於此系統之隨時間改變之外力，假設此方程式中作用於系統之外力 $F = Fe^{j\omega t}$ ，且位移 $x(t) = Xe^{j\omega t}$ ，將位移及外力代入式(2-7)中，並作傅立葉轉換至頻率域，則該式可改寫為

$$(-w^2m + jwc + k)Xe^{jwt} = Fe^{jwt} \quad (2-8)$$

將兩邊之 e^{jwt} 同時消去可得到

$$(-w^2m + jwc + k)X = F \quad (2-9)$$

故可得到單自由度系統之頻率反應函數為

$$H(w) = \frac{X}{F} = \frac{1}{(k - w^2m) + j(wc)} \quad (2-10)$$

由上式可知系統之頻率反應函數由該系統之材料參數，如系統之阻尼 c ，系統勁度 k 等所組成，故如可由實驗獲得系統之頻率反應函數，則可推求出系統之勁度或阻尼值。

四、由頻率反應函數求取單自由度系統之系統參數

由實驗量測之頻率反應函數(Frequency response function)後，當系統處於共振時(即 $f = f_r$)整個系統之位移反應物理上為無限大，由上節之式(2-10)可知單自由度系統之頻率反應函數 $H(w)$ 將有極大值，以數學上來說此情況下式(2-10)即須滿足分母中 $k - w^2m = 0$ ，而將當共振時頻率值 $w = 2\pi f_r$ 帶入後，可得到系統之勁度值為

$$k = 4\pi^2 m f_r^2 \quad (2-11)$$

利用此系統共振特性，搭配前述之頻率反應函數即建構出橡膠緩衝材動態剛性量測之理論基礎。相關整體量測系統概念可參考圖3-3所示

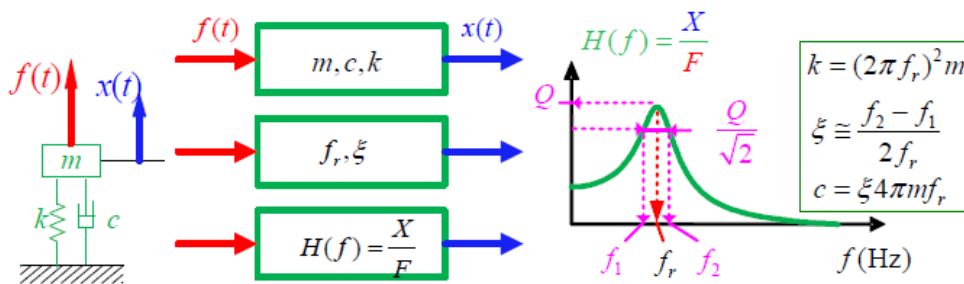


圖 3- 3 橡膠緩衝材動態剛性量測理論示意圖

其中關於系統共振頻率之決定則依訊號量測上之半功率帶寬(Half power bandwidth)法，由系統量測之頻率反應函數頻譜圖，來決定出系統之共振頻率值，

相關方式可參閱圖2.3。依據CNS16022/ISO 9052-1規範第8.2節之規定，本試驗法之結果限制與材料之流阻值有關，當材料為具高側向流阻，即流阻值 $r > 100 \text{kpa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 時，動態剛性實驗值無須修正 $s' = s'_t$ ，意即實驗所得結果無須做流阻修正；而當側向流阻值 $100 \text{kpa} \cdot \text{s}/\text{m}^2 > r > 10 \text{kpa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 時，須依據材料之側向流阻 r 來進行修正，此時動態剛性值修正為 $s' = s'_t + s'_a$ ， s'_a 為流阻修正項；而當流阻值 $r < 10 \text{kpa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 時，動態剛性實驗值無須修正 $s' = s'_t$ 。

第三節 量測設備建置與規劃

本節將就本所音響實驗室現有儀器設施，進行相關規劃及所須增購之相關量測設備整合內容，與相關量測系統作介紹，分為量測系統與各別儀器規格作說明介紹。

一、量測系統規劃

由前面之介紹可知，樓板緩衝材動態剛性量測方式為採單自由度系統，以衝擊力源輸入系統後，需同時量測輸入及輸出兩組訊號，以求得系統之頻率反應函數，實驗之流程整理如圖3-4所示

第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法與規範

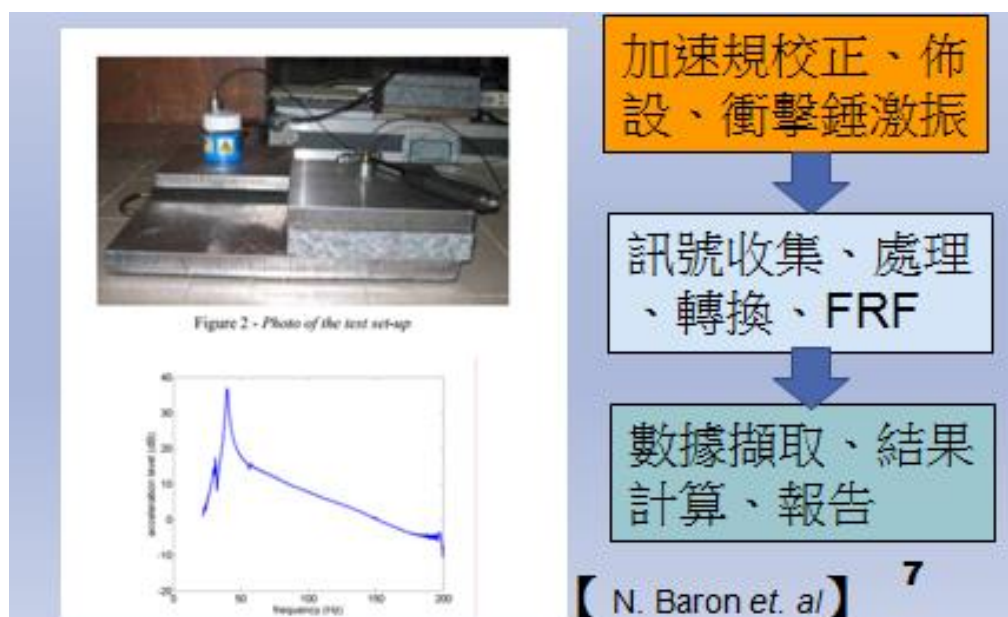


圖 3- 4 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測流程圖

(資料來源：N. Baron et. al. 及本研究整理)

由於本所性能實驗中心音響實驗室已購置有丹麥B&K 之訊號分析儀以供現有之聲壓法隔音、樓板衝擊音隔音及吸音材吸音係數實驗檢測等使用，該儀器並搭配原廠之PULSE訊號量測分析軟體，因原儀器設計架構為開放式，具有搭配不同感測器或量測器，即可提供不同之量測所須功能，經參考橡膠緩衝材動態剛性之實驗量測原理及相關方法後，本研究就量測系統作一整體規劃，相關規劃內容如圖3-15所示

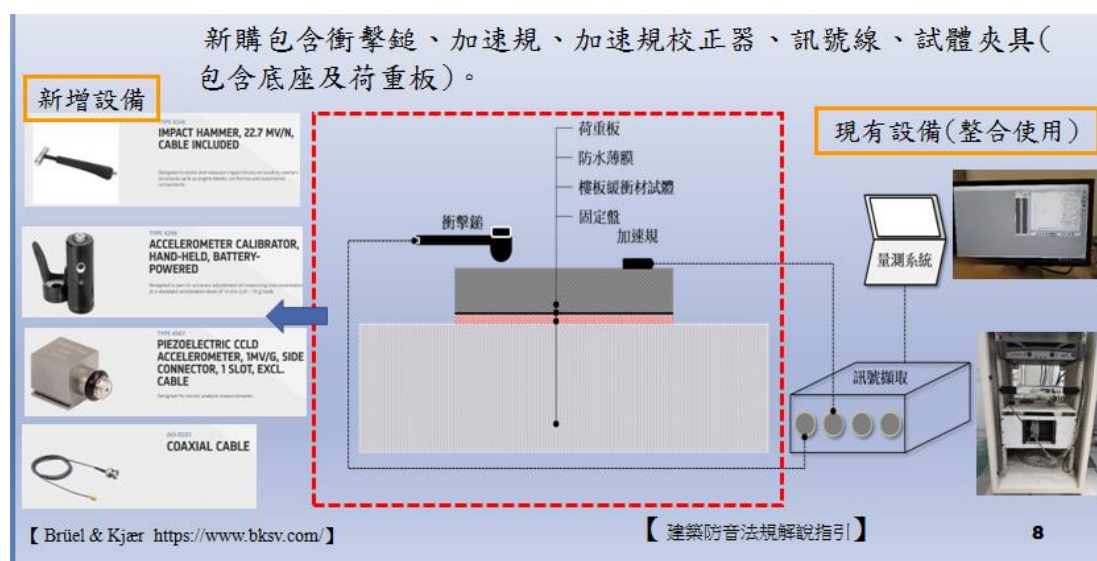


圖 3- 5 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測系統建置項目

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究

在實驗室現有設備中，以訊號擷取之分析儀與PULSE軟體可繼續延用，另為量測系統之頻率反應函數頻譜圖，需新增包含衝擊錘、加速規、加速規校正器、訊號線及試體平台等項目，其中衝擊錘用於產生系統之衝擊外力(亦即理論中之脈衝函數 $\delta(t)$ 外力)，由於推求反應函數須有輸入訊號，故衝擊錘上亦配有量測用加速規，另外於量測為系統位移反應之加速規亦須增購，加速規黏貼方式規劃上以磁石黏貼於量測試體上；另因加速規為主要量測感測器，故須配置加速規校正器以供量測前作加速規校正，以確保量測數據之正確性。

二、量測設備規格之擬定規劃

由前之討論內容，目前動態剛性量測設備可區分為新增類及現有設備沿用整合2大類，各項建構需求整理如表3-2所示

表 3- 2 性能實驗中心橡膠緩衝材動態剛性設備建置規畫表

項次	主要設備	功能及用途	新增	現有(整合使用)
1	頻譜分析儀	資料分析		√
2	分析軟體	數據擷取及轉換運算		√
3	衝擊錘	訊號激振及量測	√	
4	加速規及訊號線	訊號量測及接收	√	
5	加速規校正器	加速規量測校正	√	
6	試體固定盤與夾具	量測平台	√	

(資料來源:本研究整理)

上表中之紅色圈部分之設備，包含衝擊錘、加速規及訊號線、加速規校正器、試體固定盤與夾具，其中試體固定盤系供試體固定，須為金屬材質。

經考量現有設備後，增購之緩衝材動態剛性量測設備(加速規、衝擊錘含力轉換器、加速規校正器)需與本實驗室現有頻譜分析儀(廠牌型號:Brüel & Kjær TYPE 3160-A、3050-A、3032A、3109)及PULSE量測軟體系統相容，使用量測軟體連線進行實驗資料量測、擷取與分析，另參酌CNS16022/ISO 9052-1規範量測性能需求後，本研究就相關動態剛性量測儀

第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法與規範

(一) 加速規(Accelerometer)

1. 重量:小於5公克(gram)。
2. 感度:9~12 mV/g @159.2Hz
3. 頻率範圍:0.2 Hz至5800 Hz (Amplitude $\pm 10\%$) 或更寬
4. 最大運作加速度(Max operational continuous sinusoidal acceleration) :
 ± 650 g以上
5. 自噪聲(Noise):小於 $6.5\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ @100 Hz
6. 最大承受衝擊(Maximum non-destructive shock):不小於5000 g

(二) 衝擊錘(Impact hammers)含力轉換器

1. 感度:1~1.25 mV/N

2. 全標度受力範圍(Full scale force range compression)：大於4000 N
3. 最大受力(Maximum force compression)：大於8000 N
4. 全標度輸出電壓(Full scale output voltage)：5V±10 %

(三) 加速規校正器

1. 校正頻率：159.15 Hz±0.02 %
2. 校正加速度：10 ms⁻² ±3 % (RMS)
3. 校正速度：10 mms⁻¹ ±3 % (RMS)
4. 校正位移：10 μm ±3 % (RMS)
5. 失真度(Distortion)：小於7 %
6. 最大負載(Maximum load)：大於60 gram

(四) 載重板及固定盤

1. 載重板為正方形金屬板，長寬尺寸分別為(200±3) mm x (200±3) mm，平面度(Flatness)≤ ±0.5 mm。
2. 固定盤為實驗時供安置試體進行試驗使用，重量大於100 kg，平面度樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究 需大於200 x 200 mm。

以上就新增之儀器所需規格內容做研擬。另本所現有之訊號分析儀功能做簡單說明，其硬體包含網路通信模組Type7536及6通道輸入模組Type3032A，網路通信模組Type7536及4通道輸入/2通道輸出模組Type3109，分析頻率範圍>20 KHz，具備Antialiasing 濾波功能。分析模式可執行Real time(即時)1/1 Octave, 1/3 Octave, Overall (總量) 分析及FFT分析。此可搭配新購之衝擊錘、加速規等進行訊號量測及分析。

三、動態剛性實驗量測後之計算

前節已就動態剛性之實驗量測原理做完整之介紹，實驗設備亦參考CNS16022/ISO 9052-1規範量測性能需求，整合實驗中心現有實驗儀器設施規格，規劃動態剛性相關實驗量測系統規格與需求諸元，後面就實驗量測後，動態剛性之計算方式做介紹。

由單自由度震動系統之理論，由式(2-11)可利用測得之共振頻率值計算出系統之彈性係數，但於測試規範中所要求取之目標為單位面積之彈性係數，故需除以試體面積 s ，可將動態剛性 s'_t 公式寫為

$$s'_t = \frac{k_z}{s} = 4\pi^2 m'_t (f_z)^2 \quad (2-12)$$

上式中參數 m'_t 為單位面積作用於緩衝材之質量，其為

$$m'_t = \frac{m}{s} \quad (2-13)$$

在實驗中此作用於緩衝材質量即為實驗壓重塊，另於CNS16022/ISO 9052-1規範中，規定量測點位數量需至少3個點位。

第四章 動態剛性實驗設備建置與量測

本章首先就目前國內進行橡膠緩衝材相關實驗室做簡單之介紹，後續接著說明本所目前建置之緩衝材動態剛性量測各項之設備與量測系統、除硬體設施外，因本項實驗亦須對隨機(Random)訊號做量測分析，故對隨機訊號之量測技術訊號函數原理等做說明。

第一節 國內橡膠緩衝材動態剛性相關實驗室能量

目前國內之動態剛性相關研究，主要於機械或震動領域較多，由於機械領域之特性，經常需處理相關動態震動與噪音等議題，且機械之工作狀態係屬於動態之情況，故發展較早。由於橡膠材料於減震、緩衝等應用相當多，故橡膠類之材料動態剛性研究亦為主要之議題。而於土木建築領域裡，事實上相關之研究主要應用於結構動力與耐震之領域，橡膠材料可適用於減震塊等應用，而近期內由於建築技術規則法規之修訂，於樓板衝擊音防治上引入橡膠類緩衝材，故相關緩衝材之動態剛性研究亦於土木建築技術領域具有一定之需求。

國內具備橡膠緩衝材動態剛性實驗之相關實驗室目前為2家，分別採用代號為實驗室A及實驗室B分述如下

一、實驗室A

實驗室A隸屬於屏東科技大學機械工程學系，主要研究方向為智慧結構檢測，結構非破壞性檢測、主動結構噪音振動控制等方向，屬性為振動噪音領域，於橡膠緩衝材動態剛性檢測部分有提供ISO 9052-1之規範檢測服務，試件尺寸為20x20 cm，需提供3片之試件樣本供實驗，檢測方式採用衝擊錘衝擊試片，收集加速規及力轉換器輸出及輸入訊號後，於頻譜分析儀進行訊號擷取分析方式進行，採用之儀器設備為

(1)頻譜分析

頻譜分析功能採用B&K 頻譜分析儀硬體搭配外接式之放大器與訊號分析軟體，

相關之儀器配置如圖4-1

頻譜分析儀

名稱	型號	常用的設定值	備註
B&K頻譜分析儀 (B&K Frequency Analyzer)	Type 3550	包括 1.Type 2035訊號分析儀1部 2.Type3019輸入模組2部 3.Type3016取樣模組1部	
訊號博士		包含宏碁個人電腦(Acer Power PC-486DX/33W)、放大器(In-Line Charge Amplifier Model No : 422E11 Serial No : 7032 and 7033)、訊號產生器(FM-AM Signal Generator KSG 4100)	
SigLab 4input/2output頻譜分析儀	TYPE : SigLab Model20-42 Serial No : 11729	Number of Input : 4 Number of output : 2 Bandwidth : 20kHz Sample Rate : 51.2 kHz	

(Top)

圖 4- 1 實驗室 A 動態剛性實驗相關儀器設備(1)

(資料來源: <http://140.127.6.133/lab/>)

(2)衝擊源

於衝擊源部分，目前該實驗室採衝擊錘方式為激振源，另該實驗室除錘外另有購置激振器(Exciter)，其主要可適用於較大型之結構因量體大，需要以較大之能量激振用，相關儀器內容如圖4-2所示

名稱	型號	常用的設定值	備註
B&K衝擊錘 (B&K Impact Hammer)	Type 8202 Serial No : 1727618	Feature : Force range : 100-700N (Rubber tip) 300-1000N (Plastic tip) 500-5000N (Steel tip) Sensitivity : 1.01pC/N	
PCB衝擊錘 (PCB ICP Impulse Force Test Hammer)	Model No.086D80 Serial No. 13363	Range : 0-50 lb Linearity error : <20. % Discharge Time Constant : 100 s Tip-(1) steel (extender-none) : (2) vinyl (extender-steel) : (3) vinyl (extender-none) :	

圖 4- 2 實驗室 A 動態剛性實驗相關儀器設備(2)

(資料來源: <http://140.127.6.133/lab/>)

(3)量測感測器部分

於振動反應量測部分，實驗室採用加速規進行相關震動反應量測，採用之加速規內容詳如圖4-3所示

感應器（加速度計及位移計）

名稱	型號	常用的設定值	備註
B&K加速度計 (B&K Accelerometer)	Type 4370 Serial No : 1208112	Feature : Refer Sensitivity(at 50Hz,100m/,23°C) : Charge : 10.01 pC/ mor 98.3 pC/g Voltage : 8.68mV/ mor 85.2mV/g Capacitance : 1154 pF Max. Transverse Sensitivity : 2.4%	
	Type 4371 Serial No : 1730981	Feature : Refer Sensitivity(at 50Hz,100 m/,24°C) : Charge : 0.988 pC/ mor 9.69 mV/g Voltage : 0.871mV/mor 8.55 mV/g Capacitance : 1133 pF	

圖 4- 3 實驗室 A 動態剛性實驗相關儀器設備(3)

(資料來源: <http://140.127.6.133/lab/>)

實驗人員部分配置有助理2人，研究生2人與主持人1人，從事相關研究與檢測工作。目前實驗室動態剛性檢測實驗項目尚無取得TAF實驗認證。

實驗室之操作方式也採用衝擊錘激振方式，試體配置於花崗岩及鋼板組成之重質檢測底座上，如下所示



檢測操作方式則使用單點加速規固定位置進行加速度反應量測，實驗時移動衝擊

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究

錘激振點位置進行量測之操作方式，該實驗室有做過相關實驗驗證，本作業方式所得之結果與固定激振點位置，移動量測加速規位置之操作方法所得結果相同；另於實驗時準備試體之方式則於打設蓋平石膏後，需靜置24hr後始進行實驗。量測擷取之數據再由mescope軟體進行數據解析，抓取FRF反應函數之共振頻率值，藉由所得之共振頻率值再帶入試驗標準之動態剛性公式求得材料之動態剛性值。實驗時委託單位需提供符合測試規範尺寸(20X20cm)試片3片，相關檢測操作方式與測試規範相符。

二、實驗室B

實驗室B隸屬於中興大學精密工程研究所，主要研究方向為材料動態剛性、精密加工、微電鑄、奈米加工技術等，共設立動態剛性及微奈米加工兩實驗室，其中動態剛性實驗室除從事研究外，因應本次建築技術規則檢測依ISO標準來從事緩衝材動態剛性實驗量測分析，以協助後續法規之推動，其實驗室網頁如圖4-4



圖 4- 4 實驗室 B 首頁

(資料來源: <https://drlab621.wixsite.com/drlab>)

該實驗室於有提供符合ISO 9052-1之規範橡膠緩衝材動態剛性檢測服務，試件尺寸為20x20 cm，需提供2片之試件樣本供實驗，檢測方式採用衝擊錘衝擊試片，收集加速規及力轉換器輸出及輸入訊號後，於頻譜分析儀進行訊號擷取分析方式進行，實驗室可接受之試體條件限制為(1)本標準提供量測安裝於住宅浮動樓板之下，表面平滑之彈性材料每單位面積之動態剛性，但不提供載重低於

0.4kPa以下之材料，如牆壁裡的填充材料，或載重高於4kPa的材料，如機械固定盤的材料。(2) 試材標準= 20cm X 20cm，試材表面不規則凹凸狀不得超過0.3cm(需附上)，以及提供試材製造日期。目前實驗室除主持人外另配置2名檢測人員。兩實驗室之檢測規範、收費及試件規格等整理如表4-1

表 4- 1 實驗室 A 及實驗室 B 試驗收費規格比較表

項次	實驗室	檢測規範	收費	試體規格
1	實驗室A	ISO 9052-1	55,000/件	20cm X 20cm 正方形，試體厚度以施作厚度為原則(試驗需3片)
2	實驗室B	ISO 9052-1	20,000/片	20cm X 20cm 正方形(試驗需3片)

(資料來源:本研究整理)

第二節 緩衝材動態剛性量測技術

由於橡膠緩衝材動態剛性之量測原理，主要由量測之輸出振動反應與輸入之激振源訊號來求取頻率反應函數，藉由所得之頻率反應函數來推求橡膠材料之動態剛性數值，故訊號量測方式及原理具有一定重要性，續對隨機訊號之量測原理做簡單說明

一、相關函數

由於橡膠緩衝材動態剛性試驗中，採用衝擊錘激發脈衝力方式來激振待測物，並量測激振源與待測物之振動反應，此時之訊號型態不一定為週期性函數，不能

滿足進行傅立葉轉換之條件($\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dx$ 為有限值)，故此種情況下須採用相關函數

(Correlation function) 才能處理相關訊號。相關函數係由變異函數(Covariance function)而來，其物理意義是代表兩隨機訊號 $x(t)$ 及 $y(t)$ 間之線性相關性，定義為

$$C_{xy}(\tau) = E[(x(t) - \mu_x)(y(t + \tau) - \mu_y)] \quad (4-1)$$

上式中

$$\mu_x = E[x(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (4-2)$$

$$\mu_y = E[y(t)] = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt \quad (4-3)$$

經過進一步化簡後，式(4-1)可寫為

$$C_{xy}(\tau) = R_{xy}(\tau) - \mu_x \mu_y \quad (4-4)$$

$R_{xy}(\tau)$ 稱為隨機訊號 $x(t)$ 及 $y(t)$ 之互相關函數(Cross-correlation function)，可寫為

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) y(t + \tau) dt \quad (4-5)$$

而當訊號 $x(t) = y(t)$ 時，即可得到自相關函數(Auto-correlation function)為

$$R_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) x(t + \tau) dt \quad (4-6)$$

二、頻譜密度函數

頻譜密度函數可由前面之相關函數做傅立葉轉換後直接得到，但須先由取樣之訊號處理獲得相關函數後，再做傅立葉轉換才可得到所要結果，實際於實驗取樣時，則採用先將取樣之有限時間長度 T 之訊號 $x(t)$ 及 $y(t)$ ，分別做傅立葉轉換

$$X_k(f, T) = \int_0^T x_k(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4-7)$$

$$Y_k(f, T) = \int_0^T y_k(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (4-8)$$

由式(4-7)、(4-8)可求得訊號 $x(t)$ 及 $y(t)$ 之互相關頻譜密度函數(Cross-spectral density function) 如下

$$S_{xy}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[X_k^*(f, T) Y_k(f, T)] \quad (4-9)$$

三、頻譜密度函數與頻率反應函數

當有外力 $x(t)$ 輸入於某結構系統，其時間長度為 T ，此系統之單位脈衝反應為 $h(t)$ ，則輸出反應 $y(t)$ 為

$$y(t) = \int_0^T h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (4-10)$$

將上式兩邊同乘 $x(t)$ 後，再取期望值可化為

$$R_{xy}(\tau) = \int_0^T h(\zeta)E[x(t)x(t+\tau-\zeta)]d\zeta \quad (4-11)$$

上式做傅立葉轉換後

$$S_{xy} = H(f)S_{xx}(f) \quad (4-12)$$

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究

$$H(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)} \equiv H_1(f) \quad (4-13)$$

上式即為系統之頻率反應函數 H_1 ，另外把式(4-10)改表示為

$$y(t-\zeta) = \int_0^T h(\tau)x[(t-\zeta)-\tau]d\tau \quad (4-14)$$

可另外推導得到頻率反應函數 H_2 為

$$H(f) = \frac{S_{yy}(f)}{S_{yx}(f)} \equiv H_2(f) \quad (4-15)$$

由於實際之訊號擷取分析時不可能取樣點數為無限點數，故所得之系統頻率反映函數與真實之頻率反應函數勢必不可能相同而有誤差存在，但經由不同輸出與輸入關係所得之頻率反應函數 H_1 與 H_2 可供作為檢核參考，當函數 H_1 與 H_2 相當接近時，表示本次量測所得結果相當接近真實的頻率反應函數，若所得之函數 H_1 與 H_2 間有差異，則可將所得值兩者平均，此平均值將會接近於真實之系統頻率反應函數。

第三節 橡膠緩衝材動態剛性量測系統操作設定

本研究已完成實驗室動態剛性量測系統相關設備儀器之購置，本節介紹相關量測設定之內容與步驟，量測系統設定於 PULSE 軟體中約可分為(1)傳感器

(Transducer; 包含衝擊錘、加速規等)設定，(2)訊號分析參數設定，及(3)結果表示函數設定3大部分。以下作簡單之說明

一、傳感器之設定

將加速規與衝擊錘接於分析儀之輸入輸出埠後，首先需要於量測系統PULSE軟體建立這些傳感器之資料庫，加速規之步驟 第四章 動態剛性實驗設備建置與量測

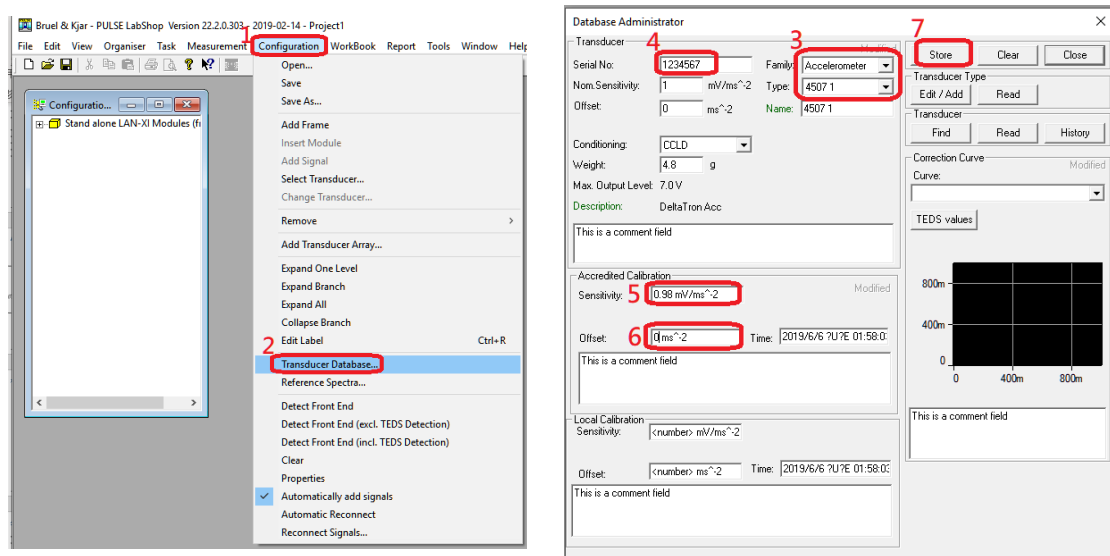


圖 4- 5 加速規設定

(資料來源：本研究整理及B&K)

設定項目內容包含加速規感度、型號、型式等，讓量測軟體建立相關感測器之資料庫，續進行衝擊錘之相關資料設定，如圖4-6所示

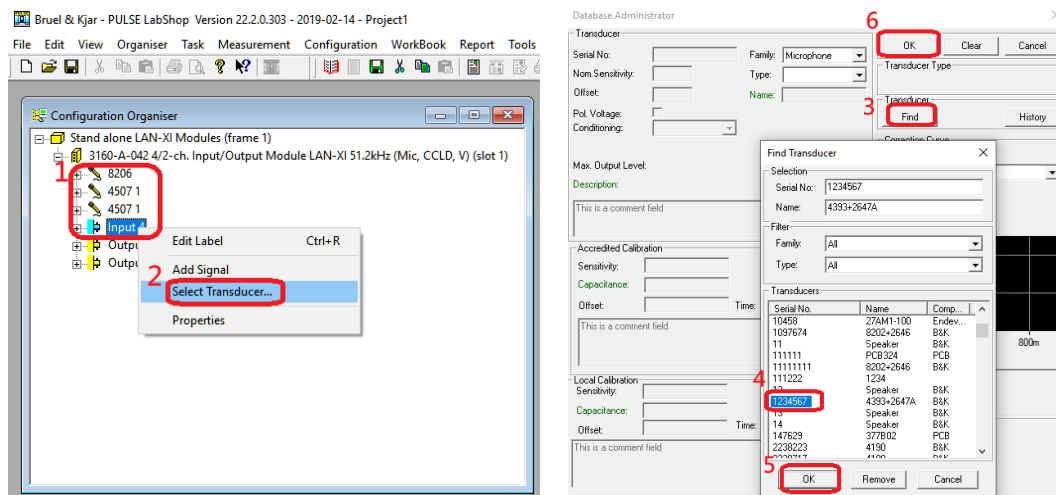


圖 4- 6 衝擊錘設定

(資料來源：本研究整理及B&K)

於PULSE軟體設定INPUT之訊號源採用衝擊錘設備，並設定其細部之諸元，取後完成設定後須將各設定值寫入PULSE量測軟體中，採用Get configuration功能如圖

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究

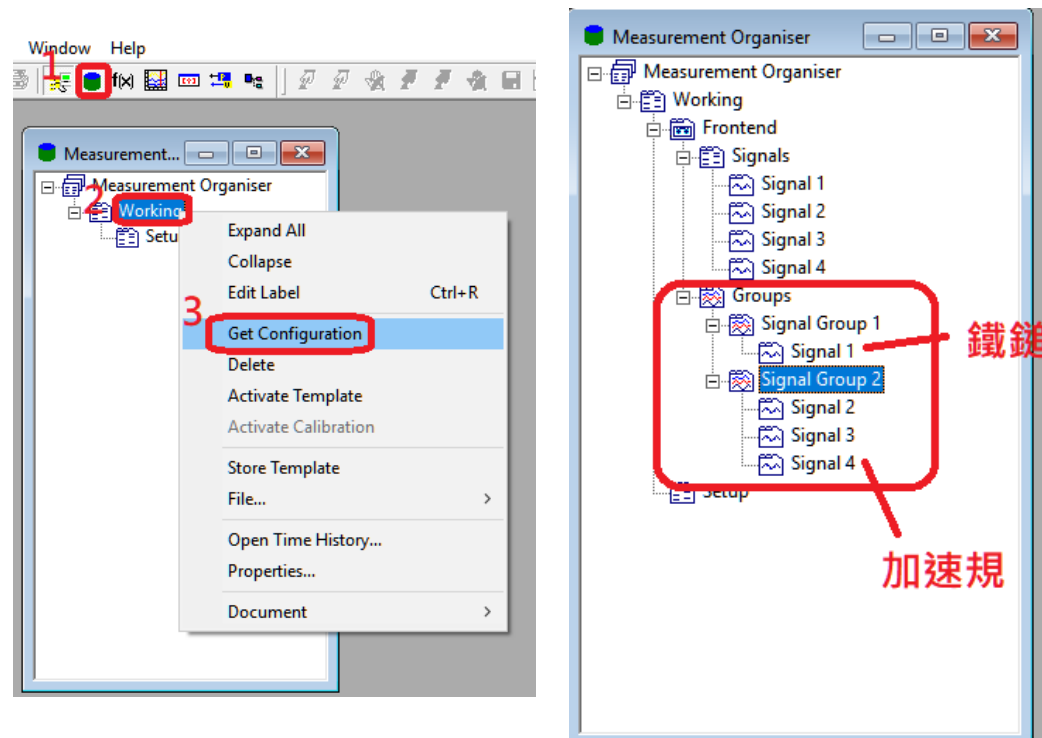


圖 4- 7 感測器資訊設定寫入

(資料來源：本研究整理及B&K)

完成相關設定後，最後進行感測加速規之校正工作，如圖4-8所示

Activate template & calibration

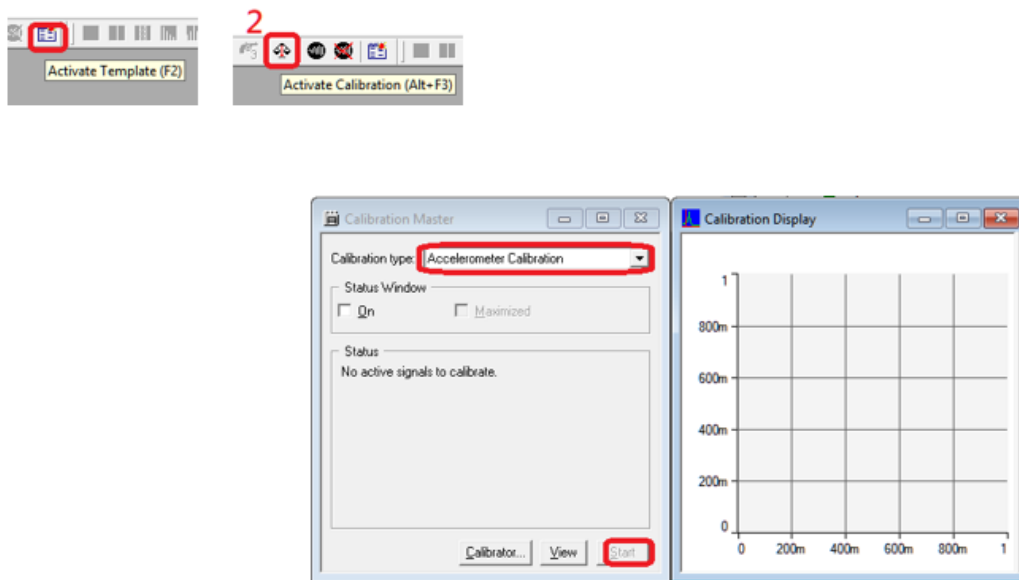


圖 4- 8 感測器加速規校正作業

(資料來源：本研究整理及B&K)

二、訊號分析參數設定

訊號分析部分首先須於PULSE中之SETUP模組中，將本實驗所需用於傅立葉轉換之FFT功能模組建置，如圖4-9所示

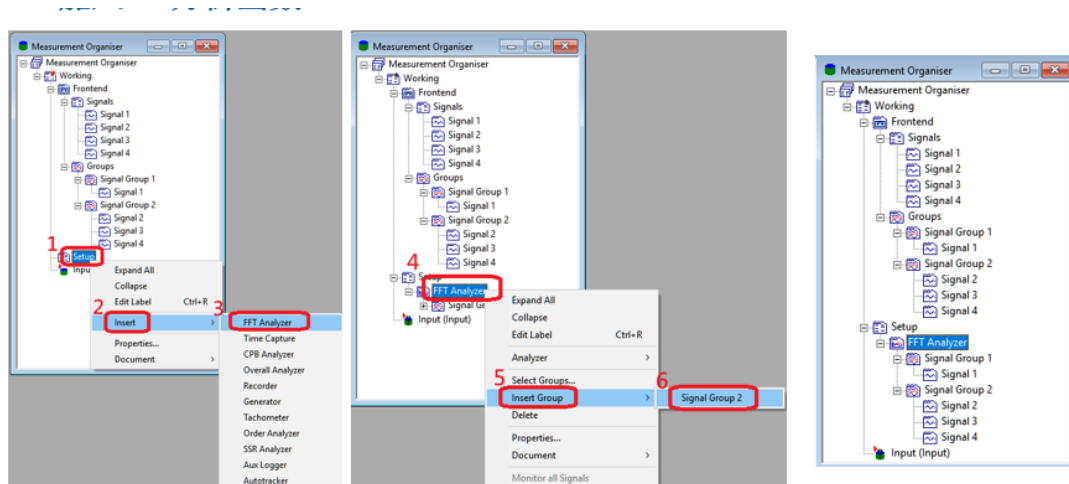


圖 4- 9 建立 FFT 分析模組

(資料來源：本研究整理及B&K)

於完成FFT分析模組後，因將來實驗訊號分析Cross spectrum需求，要於模組內設定用來供Cross spectrum解析之訊號源，如圖4-10所示

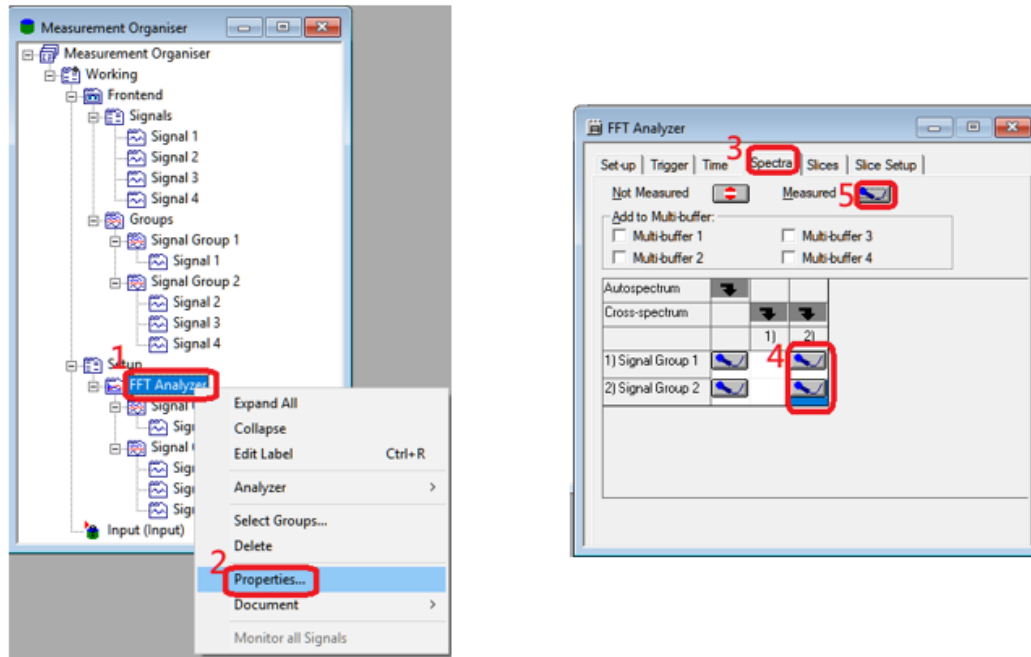


圖 4- 10 Cross spectrum 解析之訊號源設定

樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究

另除訊號源設定外，針對FFT之分析解析度、訊號擷取時之time weighting窗等條件，依照圖4-11方式設定

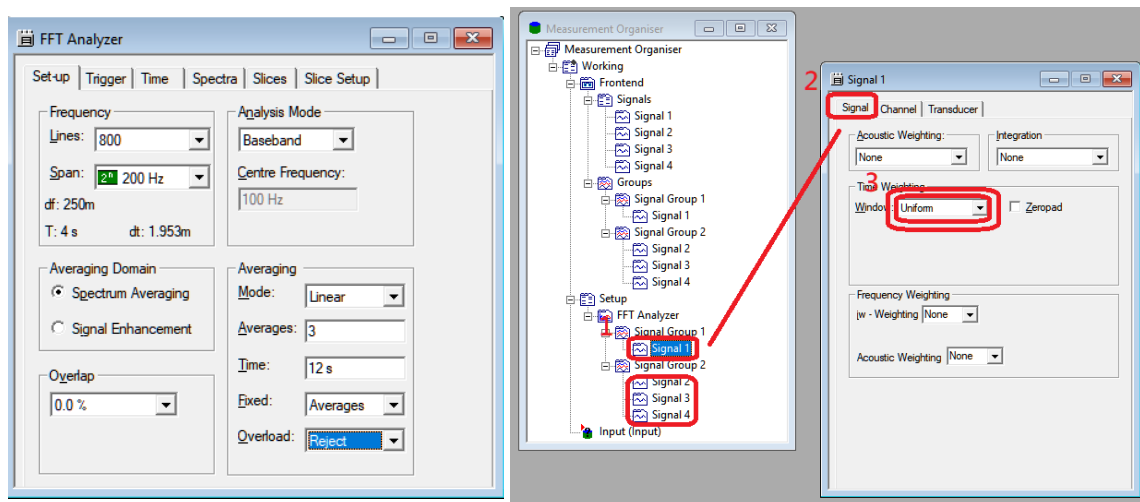


圖 4- 11 FFT 分析內容設定及訊號擷取 WINDOW 設定

(資料來源：本研究整理及B&K)

三、結果表示函數設定

完成前述相關設定後，需先就量測系統之訊號觸發接收設定為衝擊錘，後對結果表示函數部分選定為量測系統之頻率反應函數，如圖4-12所示

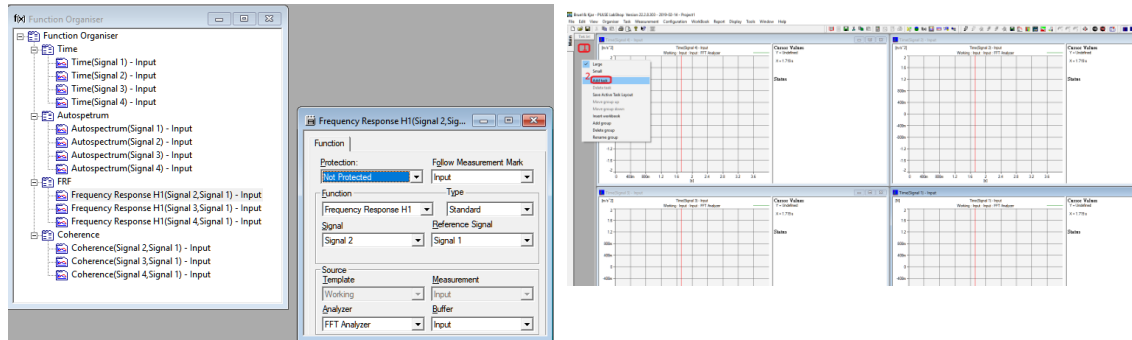


圖 4- 12 結果分析內容設定

(資料來源：本研究整理及B&K)

在結果表示之頻率反應函數中，PULSE量測軟體提供相關共振頻率量測功能，可直接於功能模組中勾選，如圖4-13所示

第四章 動態剛性實驗設備建置與量測

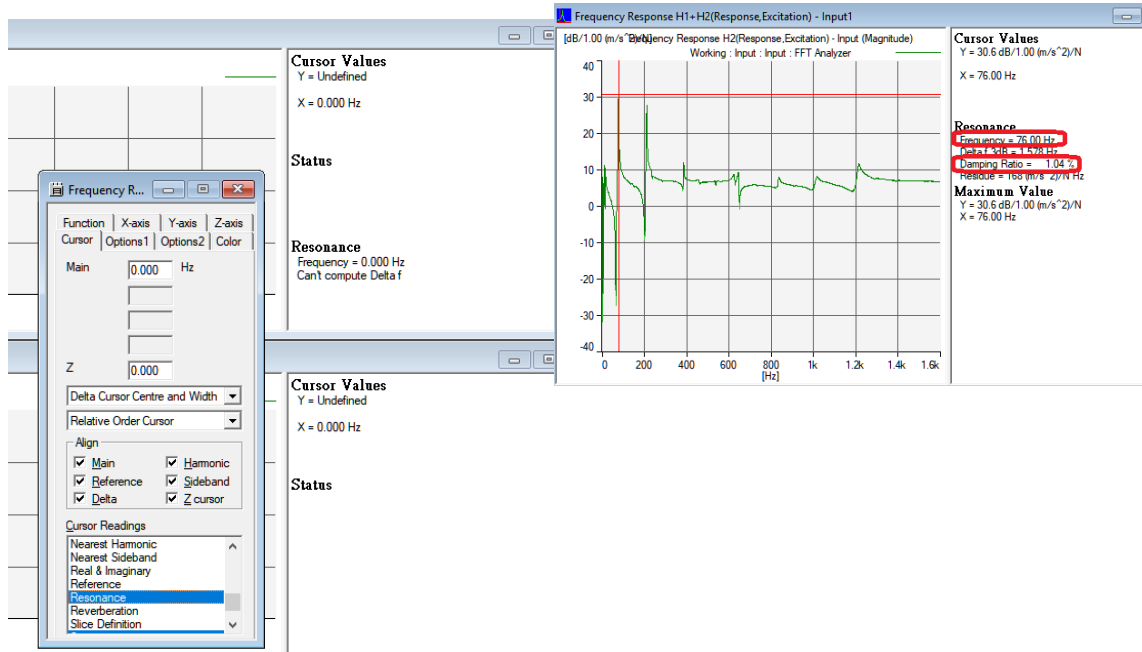


圖 4- 13 頻率反應函數之共振頻率分析設定

(資料來源：本研究整理及B&K)

由圖4-13，由量測之訊號進行分析後，可求取系統頻率反應函數，並解析出系統之共振頻率，將此共振頻率代入單自由度系統之振動反應(2-11)式，即可解析出材料之動態剛性(勁度)值，完成由試驗求取橡膠緩衝材動態剛性之工作。

第五章 動態剛性實驗操作標準流程與驗證

本章將就建置之動態剛性設備建立標準操作流程(SOP)、並於本所音響實驗室之樓板衝擊試體緩衝材進行取樣，就目前國內廠商常用之緩衝材進行動態剛性值實驗實測，另外最後就與國內動態剛性實驗室之檢測交流與驗證內容作說明。

第一節 實驗設備標準操作流程

本節將就目前本所實驗室之動態剛性量測設備進行實驗操作標準流程之建置，以利後續不同實驗人員之操作依循，並可藉由標準流程之建立統一操作方式，以減少操作之失誤，提升實驗之精準度，相關流程簡介如下

一、實驗前試件之準備

首先依據CNS16022標準，試件需準備一式三片，平面尺寸為200 mm x200 mm，如下圖所示



圖 5- 1 動態剛性試片尺寸

(資料來源：本研究整理)

依據規範，實驗前為了避免試體表面之平整度不佳，影響到後面動態剛性實驗檢測之結果，需先於試體表面鋪設一層防水塑膠膠膜，續於上面鋪設 5 mm 之蓋平石膏，如圖 5-2 所示



圖 5- 2 動態剛性試片鋪設膠膜及蓋平石膏

(資料來源:本研究整理)

待石膏乾燥後(2 天)，可進行後續實驗檢測。

依據 CNS16022/ISO 9052-1 規範，試件之安裝方式為將試體安置於如圖 5- 3 之金屬底座(重量 100 Kg)，以確保實驗時衝擊激振時，因下方金屬底座之重量與試體差距大，視為剛體，則可避免激振出其他實驗所不須要之振動模態，而干擾實驗結果；安置試體後，於上方之金屬載重板(如圖 5- 4)安置於試體上方，以完成整體之試件安裝過程。

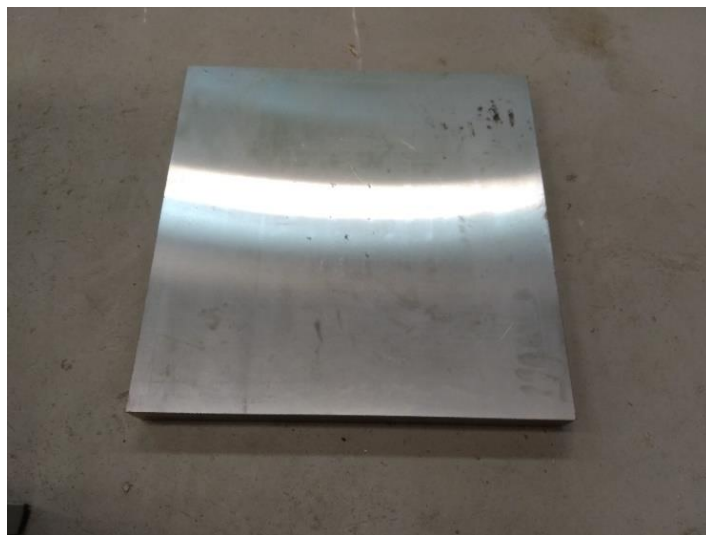


圖 5- 3 金屬底座

(資料來源:本研究整理)



圖 5- 4 金屬載重板

(資料來源:本研究整理)

本實驗上方之金屬載重板之物理意義為質量，緩衝材則視為彈簧系統，另下方金屬底座則視為剛體，如此形成一單自由度之振動系統，可應用相關之振動理論來進行後續實驗解析。

二、實驗前設備及儀器設定

(一)所需之儀器項目

本項實驗所需設備包含(1)頻譜分析儀(型號 b&k type 7533)、(2)衝擊錘 x1(型號 b&k type 8206-003)、(3)加速規 x3(型號 b&k type 4507-001; 序號: 31438、31439、31440)、(4)加速規校正器(型號 b&k type 4294)，分別如圖 5-5 至圖 5-8 所示

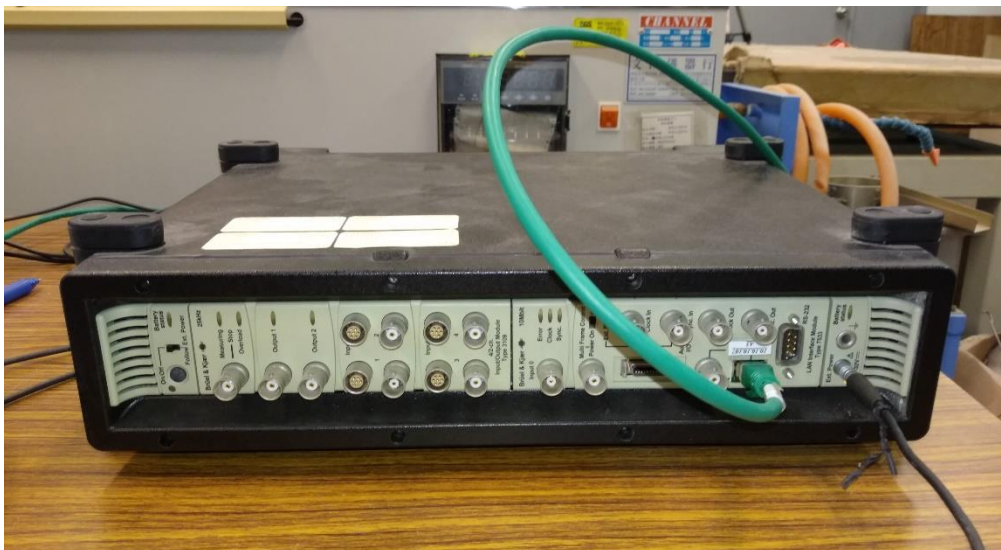


圖 5- 5 動態剛性試驗頻譜分析儀(型號 b&k type 7533)
(資料來源:本研究整理)



圖 5- 6 衝擊錘(型號 b&k type 8206-003)
(資料來源:本研究整理)



圖 5- 7 加速規(型號 b&k type 4507-001)
(資料來源:本研究整理)



圖 5- 8 加速規校正器(型號 b&k type 4294)

(資料來源:本研究整理)

另外因本項實驗之試體配置上方為金屬載板，於加速規固定方式採用制式之磁石吸附搭配加速規底座方式與試片連接，磁石與加速規底座分別如圖 5-9、5-10 所示



圖 5- 9 加速規吸附磁石

(資料來源:本研究整理)

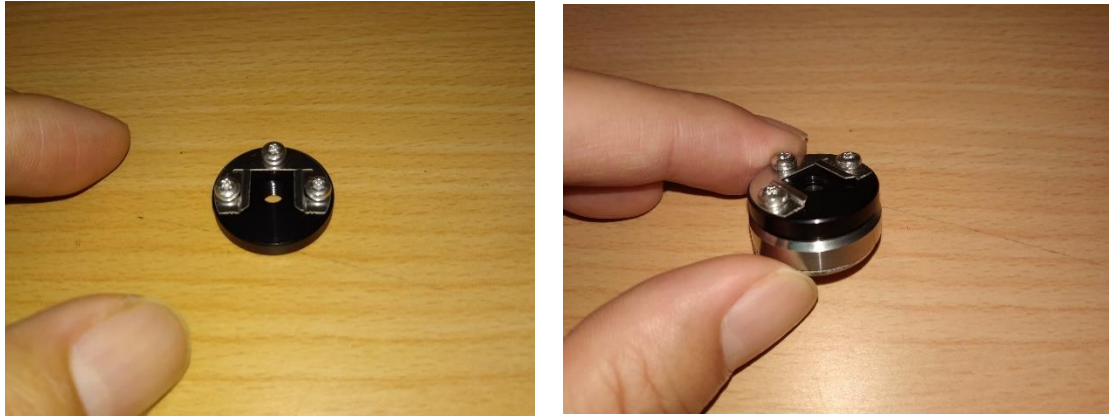


圖 5- 10 加速規底座及組裝後外觀

(資料來源:本研究整理)

(二)實驗設備與分析儀之連接

本實驗之目的為求取振動系統之頻率反應函數(Frequency response function)，輸入訊號源為衝擊錘，實驗前將衝擊錘以兩邊 BNC 接頭之訊號線，一端接於分析儀之 Input channel 1，如圖 5- 11 所示，



圖 5- 11 衝擊錘與分析儀間 channel 1 連結方式

(資料來源:本研究整理)

本實驗之試體激振後振動訊號之擷取，採用 3 個 b&k type 4507-001 加速規，因操作軟體中之硬體參數設定關係，需依照其加速規序號，分別依序接於頻譜分析儀之 Input channel 2、3、4；加速規序號與對應銜接 channel 如下(加速規序號:31348

接於 Input channel 2，加速規序號:31349 接於 Input channel 3，加速規序號:31350 接於 Input channel 3)，須注意前開之序號順序連結。(備註:加速規與衝擊錘連接訊號收集器及分析儀間線路，需注意訊號之噪訊干擾)

(三)加速規之佈設與衝擊錘點位標定

本項實驗採用 9 個加速規量測點，及 1 個衝擊錘激振點，於實驗之前須先使用簽字筆於金屬載重板上預先標示前述點位，加速規之點位佈設原則採均佈於載重板表面之方式，如圖 5- 12 所示，各點位採用畫小圓圈記號標示



圖 5- 12 載重板表面之加速規點位佈設

(資料來源:本研究整理)

而衝擊錘激振點位規畫上則需避開加速規之佈設點，並須於各次衝擊激振時於同一點激振，激振點之標示以打叉方式標示，如圖 5- 13 所示



圖 5- 13 載重板表面之衝擊激振點位佈設

(資料來源:本研究整理)

本項實驗進行時，共需進行 3 次量測，每次量測採用敲擊激振固定位置，移動加速規位置方式進行，每單次量測會測得 3 筆 FRF 資料，整體量測完成後共計 9 筆 FRF 資料。

(四)加速規之校正

於實驗量測前須以 b&k type 4294 加速規校正器進行加速規感度校正，以維持正確性，操作方式為首先取用一加速規底座與加速規校正器連結，如圖 5- 14 所示，



圖 5- 14 加速規底座與加速規校正器連結

(資料來源:本研究整理)

此加速規底座之功能為供校正時加速規安裝固定用(平時校正完成後如不使用，需拆除加速規底座始可將校正器，否則會無法收置於外皮套)，另由於校正器為使用電池供電，使用前須將電池由加速規底部安裝才可使用，如圖 5- 15 所示。



圖 5- 15 加速規校正器供電電池安裝

(資料來源:本研究整理)

校正時需先將加速規安裝於校正器固定座上，如圖 5- 16 所示



圖 5- 16 安裝加速規於校正器上

(資料來源:本研究整理)

完成整體安裝後，開啟電腦桌面之 resonance.pls 之 pulse 軟體捷徑，按下上方有天平符號之 icon(如圖 5- 17 所示)，開啟校正功能

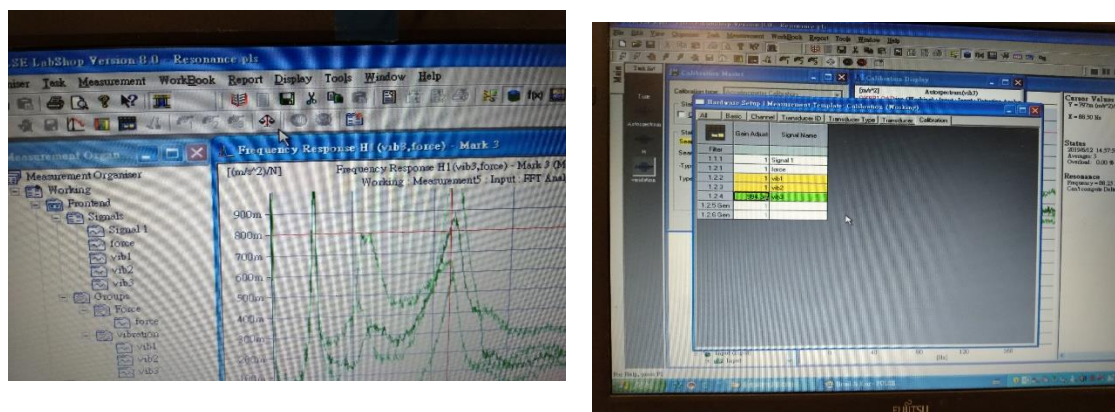


圖 5- 17 開啟 pulse 之校正功能

(資料來源:本研究整理)

此時軟體會自動偵測加速規，在尚未開始校正時，會顯示紅色，後續將加速規校正器之電源打開，系統會自動偵測進行校正，校正完成後會顯示綠色。

(五)動態剛性量測

依序將 3 個加速規依照上面程序校正後，將加速規安裝於加速規底座上，下方並接上連接試體用磁石，依序將加速規依照前面之預先規劃作記號之位置，吸附置於試體上，如圖 5- 18 所示



圖 5- 18 加速規配置方式(1)

(資料來源:本研究整理)

接下來選擇 resonance.pls 之 pulse 軟體中，上方之量測 icon，系統將處於等待衝擊激發試體之狀態，此時手拿衝擊錘，依照前面所規劃畫叉記號之衝擊點為位置，以衝擊錘敲擊後系統將會自動進行訊號之量測，如圖 5- 19 所示



圖 5- 19 衝擊錘敲擊方式(1)

(資料來源:本研究整理)

待經衝擊震動之數據接收後(至少需時 4 秒)，使完成第 1 次之數據量測，後將此次之量測數據儲存(按 Save measurement icon 鍵)，完成儲存數據後，將游標移至畫面之左下方，按右鍵新增此次之量測資料為 measurement 1，如圖 5- 20 所示

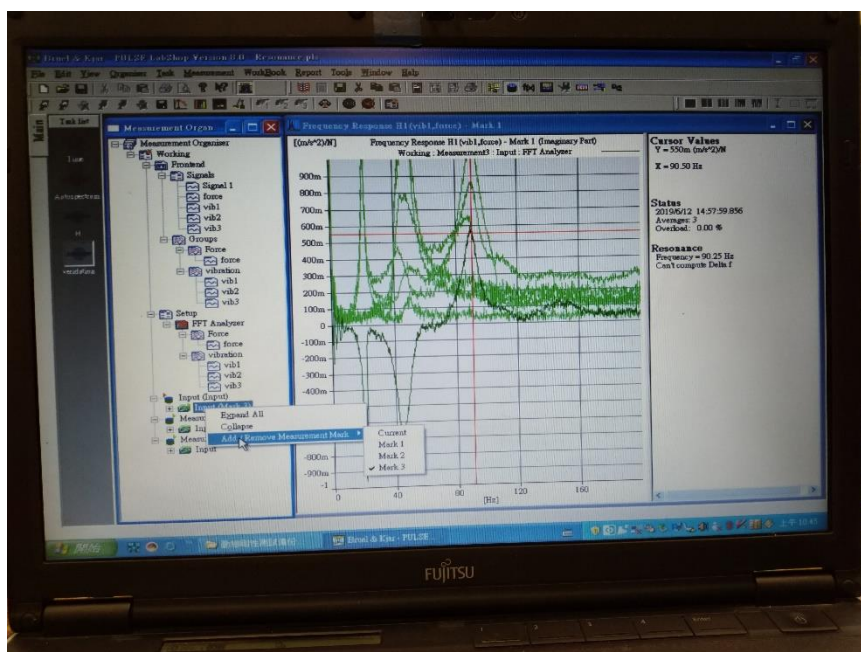


圖 5- 20 第 1 次量測之資料儲存

(資料來源:本研究整理)

完成此次之量測後，進行第 2 次量測前，需將加速規移至第 2 排量測位置，如圖 5- 21 所示



圖 5- 21 加速規配置方式(2)

(資料來源:本研究整理)

待加速規移至指定之量測位置後，依循前面相同之敲擊點位與操作方式進行試體激振，完成擊震動之數據接收後(至少需時 4 秒)，使完成第 2 次之數據量測，並將數據儲存為 measurement 2，如圖 5- 22 所示

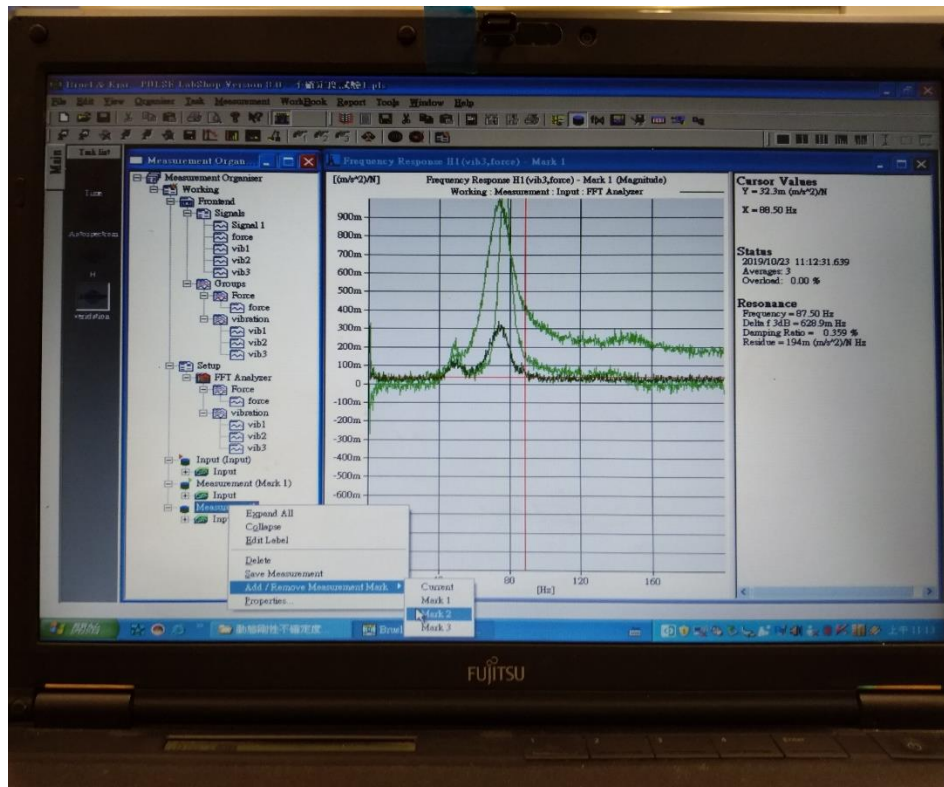


圖 5- 22 第 2 次量測之資料儲存

(資料來源:本研究整理)

重複相同操作模式，將加速規移至第 3 組量測位置後(如圖 5- 23 所示)，重複進行第 3 次量測，並依相同程序儲存第 3 次量測數據



圖 5- 23 加速規配置方式(3)

(資料來源:本研究整理)

(六)獲取共振頻率與阻尼係數

由前面量測之數據結果，可獲得 9 條頻率反應函數(FRF)之曲線，接下來點選 PULSE 之 EVAL 鍵，並將圖形之 Y 軸單位選取 Imaginary 顯示虛部，PULSE 軟體可由數線中抓出 FRF 峰值，並於右方顯示共振頻率、阻尼比等數值，如圖 5- 24 所示

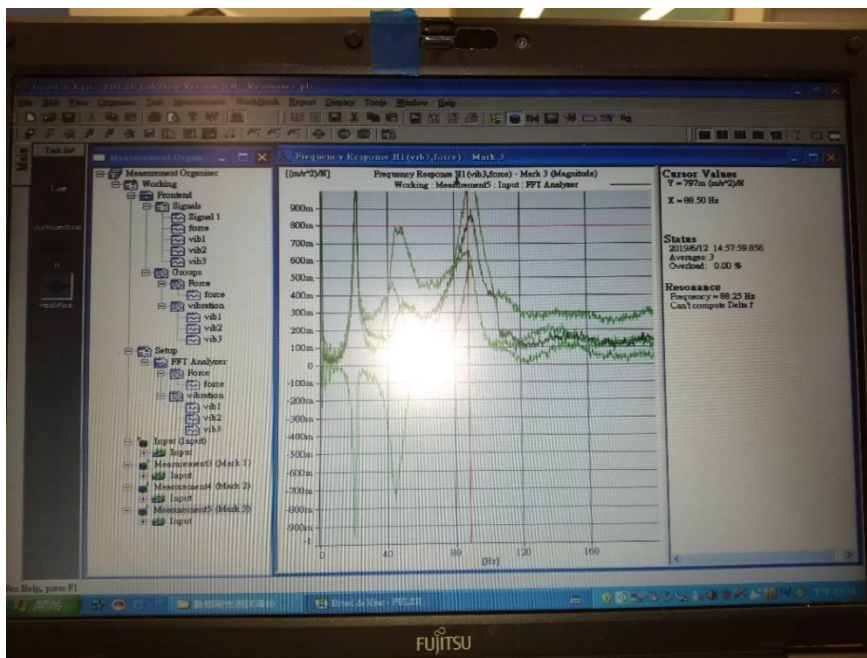


圖 5- 24 共振頻率與阻尼比求解

(資料來源:本研究整理)

由於實驗量測之 FRF 數據共有 9 筆，但在本實驗中所要取的震動模態為直上直下之低階模態，故判斷上需以各 FRF 虛部曲線為同方向(相同象限)為所要之共振頻率值，如圖 5- 25 所示

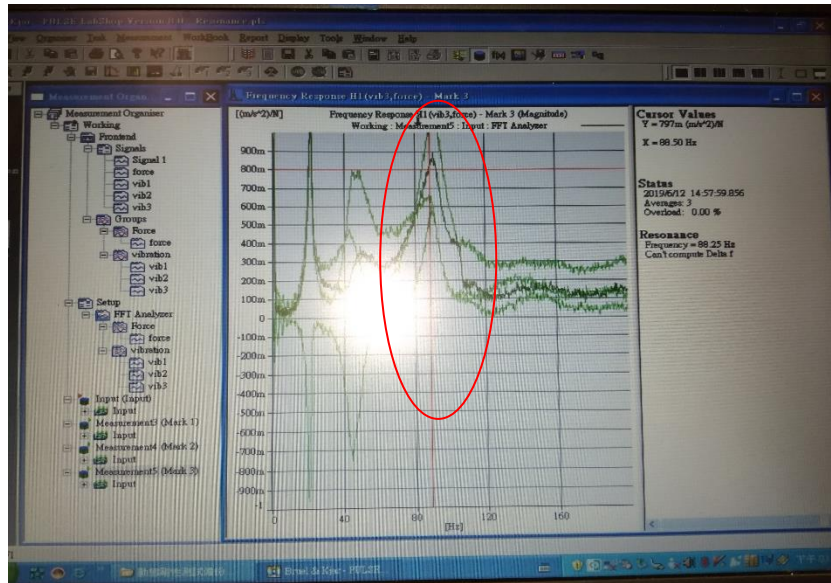


圖 5- 25 共振頻率與阻尼比求解(虛部曲線判斷方式)

(資料來源:本研究整理)

最後，由所得之共振頻率，代入式(2-13)中，即可得到此橡膠緩衝材之動態剛性值。

第二節 實驗性能驗證

為確認本項動態剛性實驗之精確度與性能，本研究規劃分別進行動態剛性實驗之不確定度分析及實驗室間比對等 2 項實驗驗證，藉由不確定度分析與實驗室間比對結果，以確保原先規劃之硬體設備、實驗操作方式與流程，及結果分析方式之正確性。

一、橡膠緩衝材動態剛性試驗不確定度分析

動態剛性實驗之試驗原理是藉由衝擊激振試件，量取激振後試體之加速度反應後，藉由輸入與輸出訊號求取試件之頻率反應函數，由獲得之頻率反應函數圖，分析出試體之共振頻率，本研究就實驗內容將作 A 類不確定度分析，並就分析結果完成組合不確定度。

(一) A 類標準不確定度分析

評估 A 類標準不確定度係根據重複量測所得之量測值頻率分布(Frequency Distribution)情形，再推導出機率密度函數(P.D.F.)來計算標準不確定度。A 類評估法主要是用來評估重複性及隨機性之觀測值所導致之可能變異，評估方式包括計算一組量測值之平均值、標準差或計算迴歸曲線之標準差、經由變異數分析計算標準差。本文選用實務上常用之分析方式，直接計算一組量測值之平均值、標準差，進行 A 類標準不確定度之評估。

評估步驟係針對在相同試驗環境及條件下的試件，進行 30 次的重複試驗，分析步驟如下：

(1)進行 30 次的重複試驗，並紀錄各項試驗數值

(2)計算量測結果之平均值及標準差

(3)計算平均值之標準差

對 n 次重複量測之量測值 來說，其平均值為

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (5-1)$$

而量測值之標準差為

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (5-2)$$

平均值之標準差為

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} \quad (5-3)$$

基於量測值為常態分佈之基本假設，根據機率原理，30 組樣本之抽樣已趨近於常態分布的結果，因此該量測值之計算結果可以用來表示量測值母體(population)之平均值及標準差。

表 5- 1 橡膠緩衝材共振頻率 30 次量測結果

實驗次數	量測之緩衝材共振頻率	量測之緩衝材阻尼比	共振頻率誤差平方值	阻尼誤差平方值
1	76.75	6.92	0.21	0.06
2	75.75	7.36	0.29	0.04
3	76.5	6.61	0.04	0.32

4	75.75	6.76	0.29	0.17
5	75.5	7.47	0.63	0.09
6	76	6.89	0.09	0.08
7	75.5	6.54	0.63	0.40
8	74.5	7.38	3.21	0.04
9	75.75	6.94	0.29	0.05
10	76.5	6.5	0.04	0.45
11	75.25	6.63	1.09	0.29
12	75.25	7.41	1.09	0.06
13	77.75	7.16	2.13	0.00
14	75	7.37	1.67	0.04
15	77	6.77	0.50	0.16
16	76	7.09	0.09	0.01
18	76	7.53	0.09	0.13
19	76.25	7.31	0.00	0.02
20	75	7.11	1.67	0.00
21	76.75	7.1	0.21	0.01
22	76.5	7.52	0.04	0.12
23	77.25	7.27	0.92	0.01
24	76.5	7.66	0.04	0.24
25	77.75	7.25	2.13	0.01
26	77	7.21	0.50	0.00
27	76	7.19	0.09	0.00
28	78	7.67	2.92	0.25
29	76	7.52	0.09	0.12
30	78.25	7.64	3.84	0.22
	標準偏差		0.93	0.34

(資料來源:本研究整理)

接下來接續進行動態剛性值 k_z 之標準差分析，由式(2-11)之計算方式，可得到 k_z

之誤差分析結果，如表 5-2

表 5- 2 動態剛性 K_z 誤差分析結果

實驗 次數	量測之緩衝材 共振頻率	材料動態剛性 值 $k_z (MN/m)$	材料動態剛性 值 $s'_t (MN/m^3)$	動態剛性值 k_z 誤差平方值
1	76.75	1.82	45.58	0.000460148
2	75.75	1.78	44.40	0.000662885
3	76.5	1.81	45.28	9.20376E-05

4	75.75	1.78	44.40	0.000662885
5	75.5	1.76	44.10	0.001402446
6	76	1.79	44.69	0.000196145
7	75.5	1.76	44.10	0.001402446
8	74.5	1.72	42.94	0.007034701
9	75.75	1.78	44.40	0.000662885
10	76.5	1.81	45.28	9.20376E-05
11	75.25	1.75	43.81	0.002412111
12	75.25	1.75	43.81	0.002412111
13	77.75	1.87	46.77	0.004798008
14	75	1.74	43.52	0.003689172
15	77	1.83	45.87	0.001112034
16	76	1.79	44.69	0.000196145
18	76	1.79	44.69	0.000196145
19	76.25	1.80	44.99	4.95117E-06
20	75	1.74	43.52	0.003689172
21	76.75	1.82	45.58	0.000460148
22	76.5	1.81	45.28	9.20376E-05
23	77.25	1.85	46.17	0.002050458
24	76.5	1.81	45.28	9.20376E-05
25	77.75	1.87	46.77	0.004798008
26	77	1.83	45.87	0.001112034
27	76	1.79	44.69	0.000196145
28	78	1.88	47.07	0.006612702
29	76	1.79	44.69	0.000196145
30	78.25	1.90	47.38	0.008725068
動態剛性值 k_z 標準偏差				0.043933098

(資料來源:本研究整理)

(二) 組合不確定度分析

接下來由動態剛性 s'_t 之計算公式，進行組合不確定度分析，由式(2-12)， $s'_t = \frac{k_z}{s}$ ，

依誤差傳播定理，先求取參數 k_z 、及試件面積 s 之誤差影響因子分別為 $\frac{\partial s'_t}{\partial k_z} = \frac{1}{s}$ ，

$\frac{\partial s'_t}{\partial s} = \frac{-k_z}{s^2}$ ，另外誤差值 m_{k_z} 可由上表 5-2 之中求得，誤差 m_s 則參照量測用捲尺

之年度校正報告之誤差值來進行計算(捲尺之校正誤差值為 0.002 mm)，將上述之誤差值依照誤差傳播理論代入下面之誤差傳播式中

$$m_{s'_t} = \sqrt{\left(\frac{\partial s'_t}{\partial s}\right)^2 m_{k_z}^2 + \left(\frac{\partial s'_t}{\partial s}\right)^2 m_s^2}$$

上式進一步寫為

$$m_{s'_t} = \sqrt{\left(\frac{1}{s}\right)^2 m_{k_z}^2 + \left(\frac{-k_z}{s^2}\right)^2 m_s^2}$$

將試體面積 s 與 k_z 、 m_{k_z} 、 m_s 等值代入上式中，可得到組合誤差如下

表 5- 3 緩衝材動態剛性組合誤差

k_z 之標準偏差 ($m_{k_z}^2$)	面積量測標準 偏差平方(m_s^2)	動態剛性 s'_t (kN/m^3) 組合不確定度($m_{s'_t}$)
0.0439	2.03e-5	1.05

(資料來源:本研究整理)

二、橡膠緩衝材動態剛性試驗實驗室比對

目前屏東科技大學(振動噪音產學技術聯盟)可進行動態剛性試驗試驗，檢測方法係依據本所 106 年 11 月協助經濟部標準檢驗局制定公布 CNS 16022「聲學-動態剛性測定法-用於住宅浮式地板下之材料」，本研究於 9 月 17 日至國立屏東科技大學動態剛性實驗室進行實驗技術交流，及洽商動態剛性實驗實驗室間性能比對事宜。經與國立屏東科技大學動態剛性實驗室研討後，採同一批橡膠緩衝材取樣後，分別由本所及該實驗室各取 3 片樣本，進行動態剛性試驗，本實驗室依照 CNS 規範遵循建立之操作流程，分別進行材料動態剛性實驗檢測後，相關結果如下

表 5- 4 實驗室能力比對-性能實驗中心量測結果

項次	共振頻率(Hz)	材料動態剛性值 k_z (MN/m)	材料動態剛性值 s'_t (MN/m^3)	備註
1	60.25	1123477.255	28.09	試體 1-Test1
2	61.5	1170578.151	29.26	試體 1-Test2

3	63.5	1247951.285	31.20	試體 1-Test3
4	60.75	1142201.554	28.56	試體 2-Test1
5	62	1189689.315	29.74	試體 2-Test2
6	65	1307605.972	32.69	試體 2-Test3
7	63.5	1247951.285	31.20	試體 3-Test1
8	64	1267681.435	31.69	試體 3-Test2
9	63.5	1247951.285	31.20	試體 3-Test3
材料動態剛性值 s'_t 平均值(MN/m^3)		30.4		

(資料來源:本研究整理)

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究目前已就緩衝材動態剛性實驗檢測之相關文獻、，緩衝材動態剛性檢測設備與相關測試規範做資料蒐集與分析，樓板橡膠緩衝材動態剛性分析之原理機制，並依據進行相關量測設備之系統規劃與儀器規格研擬，並採購建置完成本實驗室之動態剛性量測設備，包含衝擊錘、加速規、加速規校正器，量測平台等，另完成前述設備與現有之訊號分析儀連接整合作業，及研擬完成實驗分析儀硬體設定與軟體操作模式，與進行實際量測操作。

為擴增本所建築音環境實驗檢測技術及設施能量，本研究續以上述建置之量測設備為基礎，建置完成實驗標準作業程序(SOP)，並以實際之橡膠緩衝材試體進行量測系統不確定度分析，由進行30之分析結果得到量測系統之A類不確定度後，及由誤差傳播理論考慮量測因子中之其他誤差，獲得量測系統之整體誤差。另為能確保實驗精確性，本研究採同批試材取樣於不同實驗室檢測方式，與國內相關實驗室進行相關實驗室間動態剛性量測能力比對，本研究成果可供未來相關研究實驗檢測應用及實驗室TAF認證參考。

第二節 建議

建議一

(樓板緩衝材動態剛性試驗之TAF實驗室認證)：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

本所音響實驗室目前共有聲壓法隔音、樓板衝擊音隔音、吸音材吸音等多項實驗項目通過TAF認證，另目前建築技術規則設計施工編防音條文中，樓板衝擊音列舉式構造亦具有相關動態剛性性能規定，動態剛性實驗檢測對於建築樓板衝擊音降噪具有重要性，在本次研究完成相關實驗設施建置及性能驗證後，相關成果將

可納入後續之TAF延展認證參考應用，以建構本所建築音環境完整之檢測與研究設備能量。

建議二

(國內樓板橡膠緩衝材本土實驗數據累積與實驗研究)：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

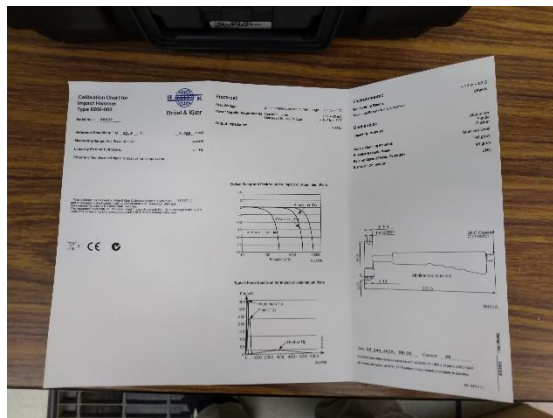
協辦機關：內政部建築研究所

因應國內密集之居住特性，對於樓板衝擊音之防治與研究相當重要，目前國內建築產業界對於樓板衝擊音防治之緩衝材之開發亦多所投入，但屬初步摸索階段，國內樓板緩衝材料相關動態剛性之性能仍缺乏系統性之實際實驗研究，本研究目前已建置相關樓板緩衝材動態剛性試驗設備及能量，後續可規劃進行國內相關緩衝材之動態剛性研究，累積本土橡膠緩衝材之實驗性能數據，進行相關實驗研究具有實務應用價值，未來可供國內業界應用與提升產業界產品研發參考，提升國內建築樓板衝擊音防治技術，創造優質之居住音環境。

附錄一

樓板緩衝材動態剛性實驗設備照片

1. 衝擊錘



2. 加速規



3. 加速規校正器



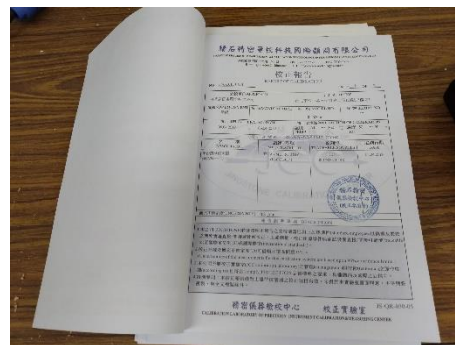
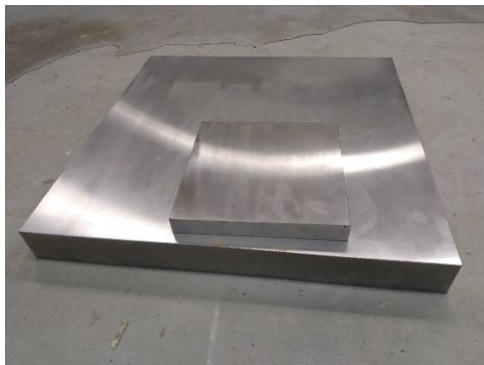
4. 加速規連接線



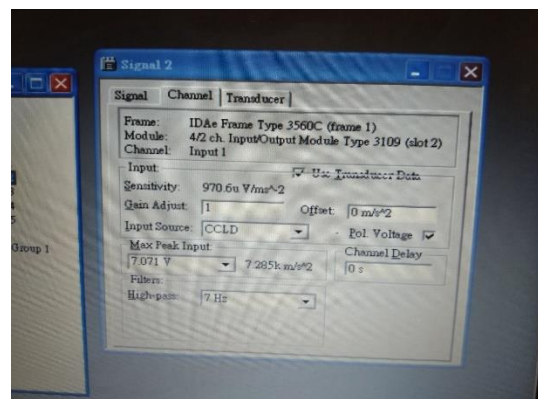
5. 加速規固定座及磁石



6. 量測平台



7. 既有量測分析儀系統

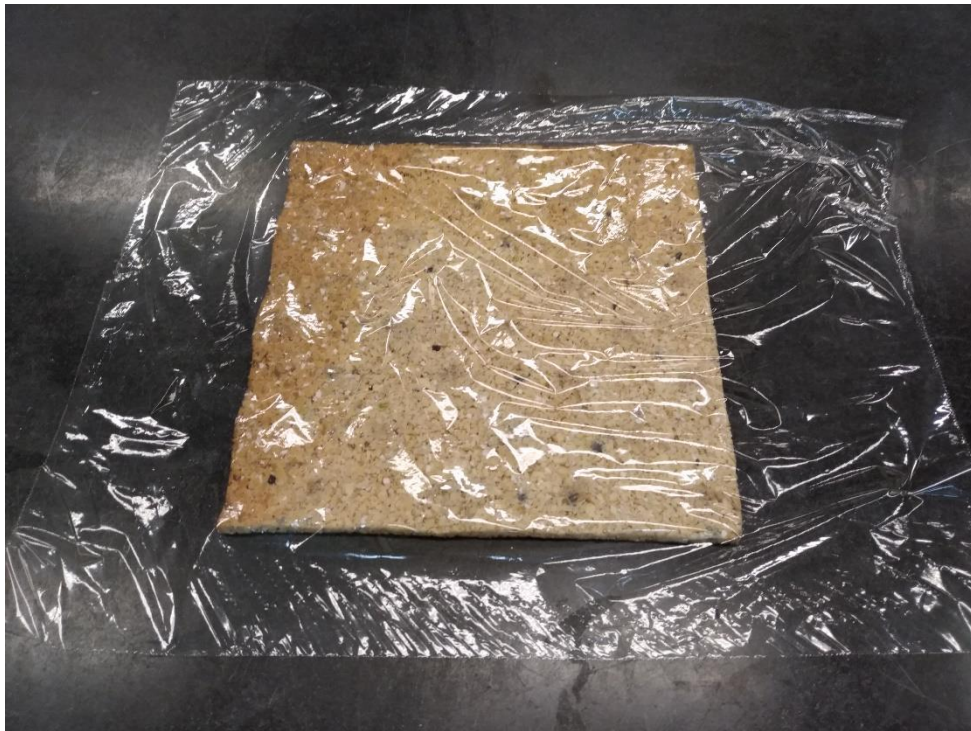


附錄二

樓板緩衝材動態剛性實驗試片準備流程：

緩衝材於試驗前，需依照測試規範裁切 20x20 cm 試片 3 片，於完成裁切後依照測試規範須將試片上鋪設石膏整平，置放乾燥 2 日後進行動態剛性檢測，石膏鋪設之方式如下

(1)鋪設防水塑膠薄膜



(2)使用美工刀將塑膠膜依照試件尺寸，將多餘部分裁切去除



(3)使用預先準備之木條模具 4 條，將試體置中後使用此 4 條木條模具圍設於試體周邊，設置完成後使用透明膠帶貼緊木條模具完成木模固定。於木模旁以筆畫上高度標示以供後續鋪設石膏時量測鋪設厚度



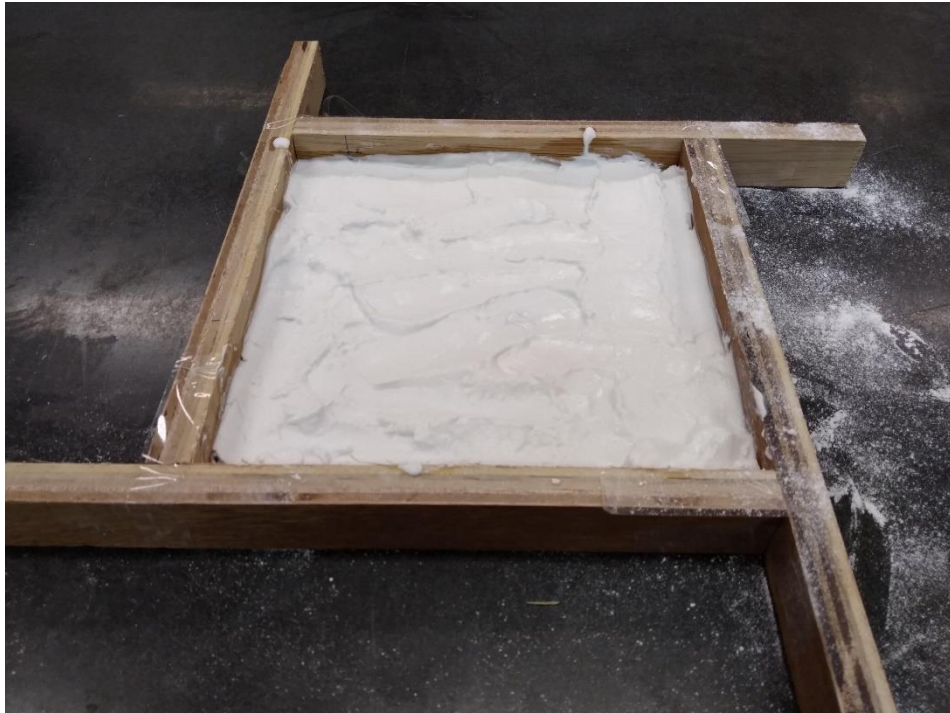
(4)接下來準備拌合石膏用之橡皮碗 x1，拌合棒 x1，蓋平用玻璃板 x1，及觀測試體完成面水平用之水準氣泡 x1，如下圖所示



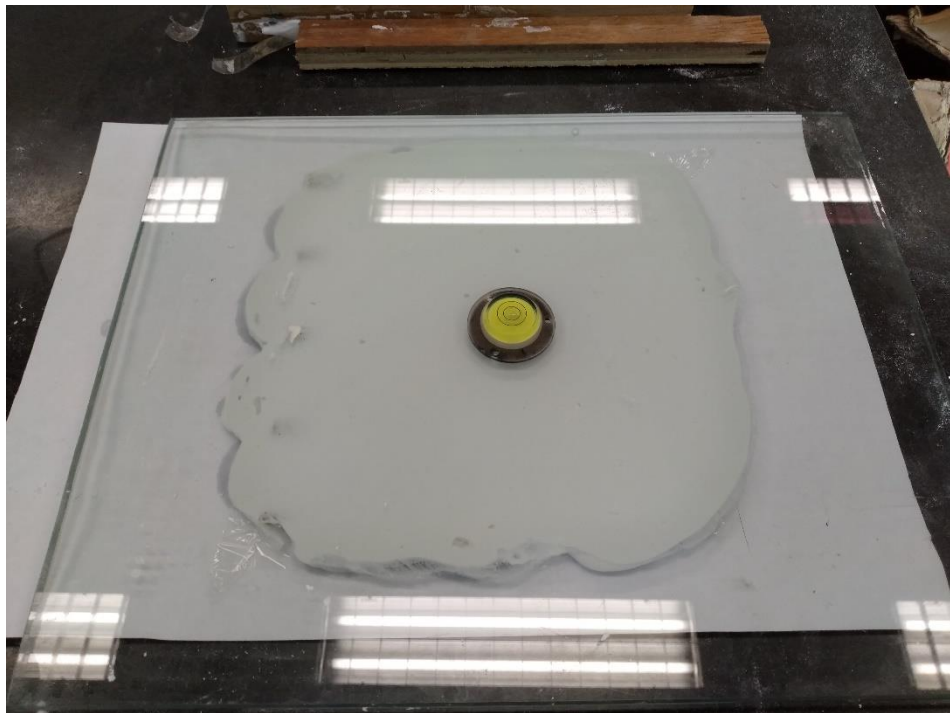
- (5)將蓋平用石膏粉加入橡皮碗中，並加入水後，使用拌合棒充分攪拌，拌合時應注意控制石膏之濃稠度不可過稀(注意水量不可一開始加多)，石膏以可些許流動為最佳



- (6)將石膏倒入試體木模中，施作前預先於木模旁以筆畫上高度標示，接著倒入石膏，石膏倒入量須高度超過高度標示 5 mm 之位置，建議以 6 mm 為佳。

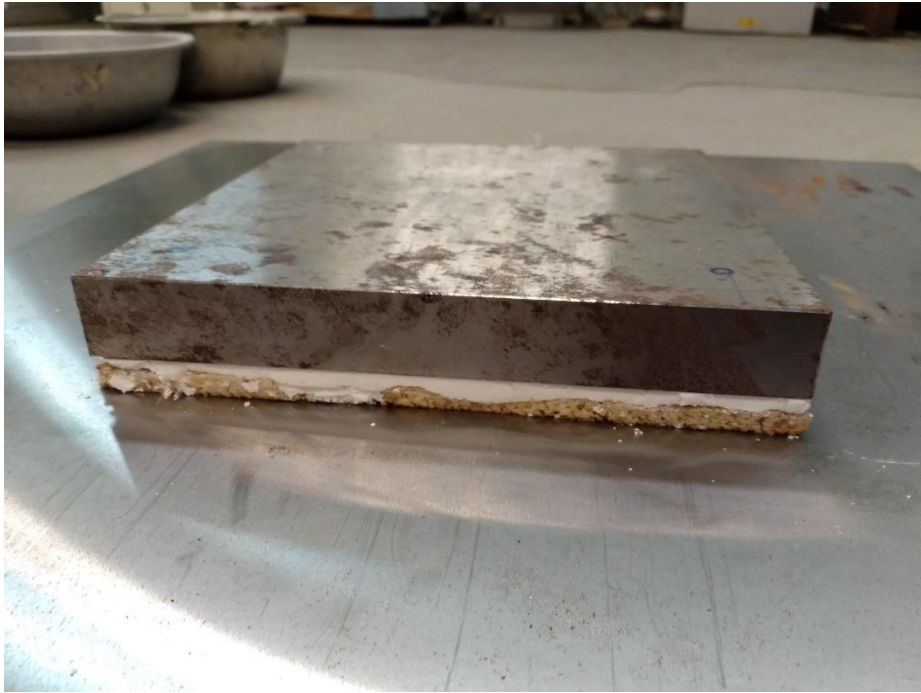


- (7)到入石膏後靜置約 30 sec，讓石膏有些許凝固成型後，先移除四周之 4 條木模，馬上將蓋平用玻璃板壓置於試體上，並將水準氣泡置於玻璃板中心，觀察水準氣泡之位置，如發現水準氣泡偏離，則以手動調整玻璃板水平度方式進行微調，直至水準氣泡指示於水平位置。

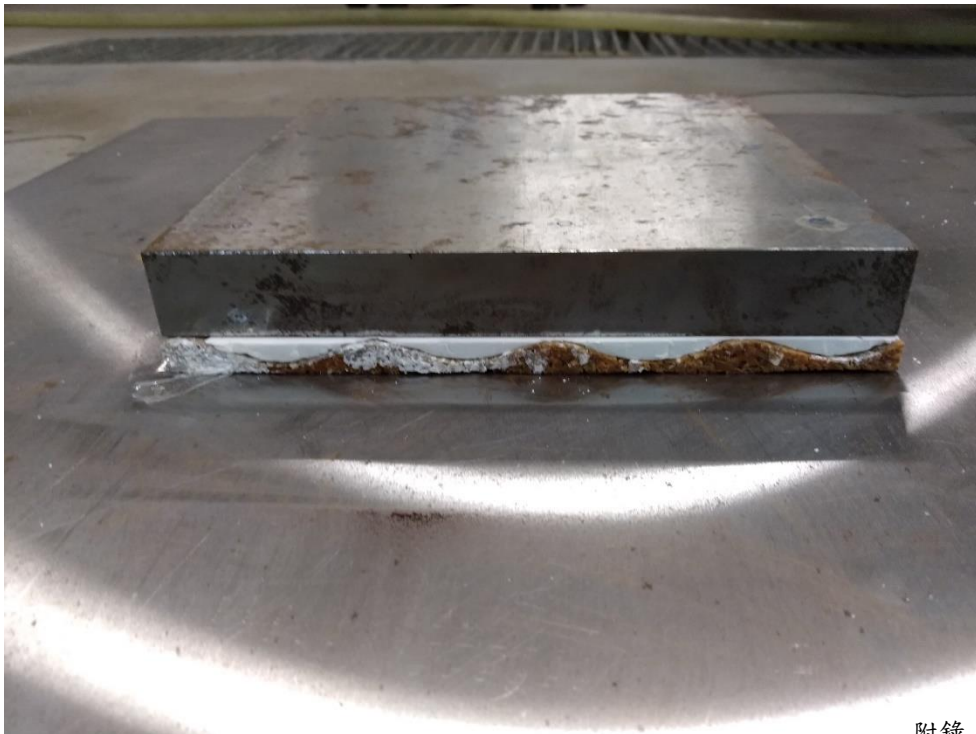


- (8)靜置至少 1 日，待石膏凝固具初步強度後，小心將蓋平玻璃板移除(可使用美工刀由邊緣隙縫插入，慢慢移動刀身可剝開石膏與玻璃板黏結)，移除時小心

不要破壞石膏層。完成後將試體周邊大於試體尺寸之多餘石膏以美工刀切除，並將壓重板置於石膏層上方並放置於測試平台上，即完成整個試體之製作

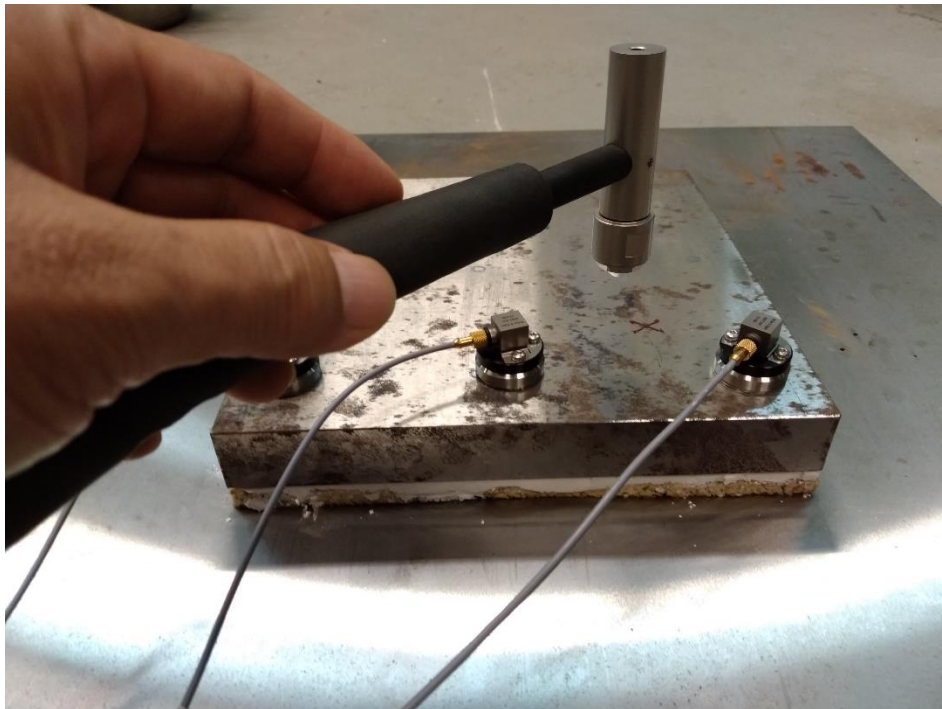


(9)備註:如緩衝材為具有波浪狀波紋或鋸齒狀紋路之面時，石膏需打設於此不平整面，才可完成後確保測試面之平整度



附錄 二

(10)完成試片整體設置後，即可依據操作 SOP 流程續進行動態剛性之試驗



附錄三

期中審查意見回應與辦理情形

項次	審查委員或出席代表	期中審查意見	意見回覆
1	江教授哲銘(書面意見)	本研究已完成樓板緩衝材動態剛性之實驗規範、檢測技術及標準文獻彙整，有助於本研究之完成。	感謝委員肯定
		報告書 P. 33 中之加速規與衝擊錘連接訊號收集器及分析儀間線路，需注意訊號之噪訊干擾(如線路彎曲或交叉，重疊等皆會產生噪訊)。	感謝委員意見，納入實驗操作時 SOP 中，注意線路之配置
		下階段建議可針對 Test Piece 試材之「動態剛性」與標準樓板測試單元測試結果之相似性(值)進行探討。	感謝委員意見，將納入下階段之研究規劃中
2	林教授芳銘	本研究依國際標準 ISO、EN、JIS 等建置動態剛性量測系統，符合國際建築聲學發展趨勢，值得肯定。	感謝委員肯定
		研究內容文獻蒐集、理論探討及量測設備建置階段成果值得肯定，擬建立之動態剛性量測 SOP，對緩衝材性能驗證有極大助益。	感謝委員肯定
		建議對試材量測適用之限制條件，進一步探討釐清。	感謝委員意見，已補充於第 2 章
3	陳教授炯堯	報告中文獻引用不夠詳細，請將文中文獻引用部分以人名(出版年份)方式表現，最後文獻引用列表請勿遺漏。	感謝委員意見，已做補充
		報告書 P. 12 中，倒數第 6 行文字「22 cm 厚木構造地板內…」等敘述很難讓讀者清楚整個構造內容，建議修正。	感謝委員意見已修正

		本研究以橡膠隔震墊為研究目標，但目前內容中僅 P. 12 談到橡膠隔震有關研究報導，建議後續補充相關內容以能吻合計畫目的。	感謝委員意見，已補充於第三章第二節
		報告 P. 14 中敘述樓板衝擊音檢測客戶滿意度內容無實際數據或訪問程序，建議補充。	感謝委員意見，本項結果係由歷年實驗室調查所得。
		報告書 P. 20，式(2-7)印刷跑位，其他頁數文章也有類似情形，請修正。	感謝委員意見，檢討修正
		報告書 P. 23 中，倒數第 6 行內容說明加速規以磁石方式接著，黏著力是否不足?建議考慮以加速規專用蠟黏貼，以避免槌擊時發生彈跳情形。	感謝委員意見，相關加速規連接座為 B&K 震動量測制式設備，無彈跳之疑慮。
		報告書 P. 24 中，關於 Diffuse field 文字常翻譯為擴散聲場，相關名詞翻譯請再檢討修正。	感謝委員意見，中譯係參照台灣聲學學會編印之聲學名詞彙編(104 年)
		報告中未提及衝擊測試時實驗室之環境條件，請再確認標準內容(如背景噪音等)之要求。	感謝委員意見，規範中僅規定標示實驗時之溫濕度。
4	蔡教授耀賢(陳教授振誠代理)	本研究議題極為重要，亦可增進實驗室檢測能力與產業技術，期中報告符合進度要求。	感謝委員肯定
		建研所購置動態剛性實驗新設施設備，且本研究已分析國內外相關實驗室資料，待實驗系統建置驗收完成後(建置完成 SOP)，建議可評估不同之實驗室比對，以利性能品質確認。	感謝委員肯定，本次已完成相關 SOP 及進行相關實驗比對
		不同緩衝材其動態剛性量測之單自由度振動略有差異，建議可進一步分析說明試樣類型及規格差異等因子對量測	感謝委員意見，將納入未來研究規劃

		結果之影響。	
5	內政部營建署	由於技術規則防音規定之施行，業界對橡膠緩衝材動態剛性檢測之需求及詢問日增，肯定建研所建置橡膠樓板緩衝材實驗檢測設備及進行相關研究，以擴增實驗能量。	感謝委員意見
		建議未來可就橡膠緩衝材料動態剛性之影響機制與因子等進行研究探討，以供業界參考應用提升國內建築產業技術。	感謝委員意見，將納入未來研究規劃
6	台灣省建築材料商業同業公會聯合會	本研究案符合預期進度。	感謝委員肯定
		本研究針對國內外之相關樓板緩衝材檢測應用蒐集資料相當完整，具參考應用價值。	感謝委員肯定
		樓板緩衝材之實驗檢測項目，建議後續可規劃申請取得TAF 實驗認證，未來可提供符合認證之檢測服務。	感謝委員建議，納入後續規劃中
7	財團法人台灣建築中心	本研究樓板橡膠緩衝材動態剛性相關研究期中成果具體，值得肯定。	感謝委員肯定
		報告書 P.2 第 7 行文字中，開口面積單位 10 m ² ，建議修正為 10 m ² ；另報告書 P.39 文中「樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究」文字字體較小，建議調整。	感謝委員意見，做相關修正
8	主席	建議針對國內各動態剛性相關實驗室之實驗檢測方法、操作方式等蒐集補充相關內容，以釐清可否與 CNS/ISO 相關規定相符，供後續法規執行面參考。	感謝主席意見，已於第 4 章補充
		於國內不同實驗室比較內容中，建議實驗室名稱採代號方	感謝主席意見，納入檢討修正及後續規劃

		式標示；另樓板橡膠緩衝材動態剛性實驗後續如有對外服務需求時，則須辦理 TAF 增項認證申請及修正技術服務收費標準。	
--	--	---	--

參考書目

1. ISO 9052-1(1989) Acoustics -- Determination of dynamic stiffness -- Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.
2. R. F. Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, Marcel Dekker, Inc., New York, Chap. 8, 330-405 (2003)
3. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chap. 10, 283-287 (1999)
4. ANSYS Inc., *ANSYS Mechanical APDL Acoustic Analysis Guide*, Released 14.0, November (2013)
5. EN 29052-1 Acoustics. Method for the determination of dynamic stiffness. Materials used under floating floors in dwellings °
6. Carl Hopkins, *Sound insulation*, Butterworth-Heinemann, (2007)
7. Vian, J. P., Drouin, C. Etude d'une nouvelle methode de mesure des bruits d'impact, CSTB Report No. 2.77.003, Centre Scientifique et Technique du Batiment, France(1977)
8. ISO 15712-1, Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms, 2005
9. Berndt Zeitler,Ivan Sabourin,and Stefan Schoenwald”Wood or concrete floor?A comparsion of direct sound insulation”, inter-noise , 2011
10. Hikari Tanaka”Relationship between floor impact sound by heavy impact source and concrete slab size”. inter-noise ,2011
11. S. Alessandro, P. B. Andrea, R. Francesco,”Estimation of acoustical performance of floating floors from dynamic stiffness of resilient layers”,

- Building Acoustics, Volume 12, No. 2, p.99-103, 2005
12. N. Baron, P. Bonfiglio, P. Fausti, “Dynamic stiffness of materials used for reduction in impact noise: Comparison between different measurement techniques”, *acustica*, 2004
 13. J. Y. Lee, J. Kim, H. J. Chang, J. M. Kim, “Long-term structural behavior of resilient materials for reduction of floor impact sound”, *International journal of civil engineering*, Vol.8, No. 5, 2014
 14. 「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」,內政部建築研究所協同研究報告,104年
 15. 建築防音法規解說指引,內政部建築研究所,106年
 16. 陳金文, 建築音響學及其應用, 科技圖書, 2003年7月
 17. CNS 16022 聲學—動態剛性測定法-用於住宅浮式地板下之材料, 106年
 18. 呂奇穎, 以有限原素法預測架高地板構造型式對樓板衝擊音衰減影響之研究, 成大建築研究所碩士論文, 96年6月
 19. 「住宅音環境現況調查與診斷機制之研究」,內政部建築研究所協同研究報告, 100年
 20. 「樓板衝擊音隔音構造設計指引之研究」,內政部建築研究所協同研究報告, 101年
 21. 「國內樓板緩衝材隔音性能應用之研究」,內政部建築研究所自行研究報告, 103年