

樓板橡膠緩衝材動態剛性性能分析 之研究

內政部建築研究所自行研究期末報告

中華民國 109 年 11 月

樓板橡膠緩衝材動態剛性性能分析 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 109 年 11 月

目次

表次.....	II
圖次.....	III
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
第三節 研究方法及步驟.....	2
第二章 文獻回顧與研究背景.....	5
第一節 國內音環境樓板衝擊音隔音.....	5
第二節 樓板衝擊音隔音技術與緩衝材.....	11
第三節 緩衝材之特性、動態剛性之基本介紹與其影響因子.....	20
第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法.....	22
第一節 樓板衝擊音檢測原理.....	22
第二節 樓板緩衝材動態剛性之實驗規範.....	23
第三節 量測設備介紹.....	25
第四節 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測原理簡介.....	28
第四章 動態剛性實驗量測分析.....	31
第一節 樓板衝擊音橡膠緩衝材材料特性.....	31
第二節 橡膠緩衝材動態剛性性能實驗量測.....	33
第五章 結論與建議.....	95
附錄一.....	97
附錄二.....	99
參考書目.....	102

表次

表 2- 2 建築技術規則防音規定「列舉式構造」表.....	15
表 3- 1 橡膠緩衝材動態剛性實驗檢測標準.....	24
表 4- 1 橡膠材料之種類與特性	31
表 4- 2 橡膠材料之種類與特性	34
表 4- 3 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 1).....	44
表 4- 4 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 2).....	49
表 4- 5 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 3).....	55
表 4- 6 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 4).....	60
表 4- 7 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 5).....	66
表 4- 8 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 6).....	71
表 4- 9 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 7).....	77
表 4- 10 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(乾燥-試件 1).....	83
表 4- 11 不同樓板緩衝材阻尼係數對樓板衝擊音降低量估算參數值	85

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 性能實驗中心 R2/R3 樓板衝擊音實驗艙及試驗開口	9
圖 2- 3 樓板衝擊音隔音測試實驗室配置	10
圖 2- 4 樓板衝擊音影響因子	12
圖 2- 5 室內聲波傳播路徑	12
圖 2- 6 樓板衝擊音於建築兩相鄰空間之傳播路徑圖	13
圖 2- 7 硬質表面材+緩衝材類型構造衝擊音特性圖	14
圖 2- 8 軟質表面材+緩衝材類型構造衝擊音特性圖	15
圖 2- 9 適用防音規定隔音基準樓板構造-表面材分類統計圖	18
圖 2- 10 適用防音規定隔音基準樓板構造-表面材分類統計圖	18
圖 2- 11 適用防音規定隔音基準樓板構造-緩衝材分類統計圖	19
圖 2- 12 適用防音規定隔音基準樓板構造-緩衝材分類統計圖	20
圖 3- 1 橡膠緩衝材實驗分析之單自由度振動模式	23
圖 3- 2 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測流程圖	25
圖 4- 1 EVA 材料、玻璃棉、PE 及 SPE 等樓板緩衝材之應力-應變曲線圖	33
圖 4- 2 緩衝材動態剛性試驗試體準備及製作	36
圖 4- 3 B&K TYPE 4294 加速規校正器	36
圖 4- 4 加速規校正完成後畫面	37
圖 4- 5 加速規量測點位配置方式	37
圖 4- 6 實驗量測之 FRF 曲線圖	38
圖 4- 7 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1)	39
圖 4- 8 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2)	39

圖 4- 9 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3)	40
圖 4- 10 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1)	40
圖 4- 11 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2)	41
圖 4- 12 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3)	41
圖 4- 13 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1)	42
圖 4- 14 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2)	42
圖 4- 15 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3)	43
圖 4- 16 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1)	45
圖 4- 17 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2)	46
圖 4- 18 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3)	46
圖 4- 19 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1)	47
圖 4- 20 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2)	47
圖 4- 21 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3)	48
圖 4- 22 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1)	48
圖 4- 23 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2)	49
圖 4- 24 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3)	49
圖 4- 25 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1)	51
圖 4- 26 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2)	51
圖 4- 27 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3)	52
圖 4- 28 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1)	52
圖 4- 29 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2)	53
圖 4- 30 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3)	53
圖 4- 31 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1)	54
圖 4- 32 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2)	54
圖 4- 33 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3)	55
圖 4- 34 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1)	57

圖 4- 35 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2)	57
圖 4- 36 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3)	57
圖 4- 37 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1)	58
圖 4- 38 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2)	58
圖 4- 39 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3)	59
圖 4- 40 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1)	59
圖 4- 41 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2)	60
圖 4- 42 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3)	60
圖 4- 43 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1)	62
圖 4- 44 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2)	62
圖 4- 45 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3)	63
圖 4- 46 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1)	63
圖 4- 47 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2)	64
圖 4- 48 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3)	64
圖 4- 49 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1)	65
圖 4- 50 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2)	65
圖 4- 51 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3)	66
圖 4- 52 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1)	68
圖 4- 53 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2)	68
圖 4- 54 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3)	68
圖 4- 55 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1)	69
圖 4- 56 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2)	69
圖 4- 57 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3)	70
圖 4- 58 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1)	70
圖 4- 59 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2)	71
圖 4- 60 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3)	71

圖 4- 61 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB1).....	73
圖 4- 62 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB2).....	73
圖 4- 63 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK1-VIB3).....	74
圖 4- 64 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB1).....	74
圖 4- 65 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB2).....	75
圖 4- 66 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK2-VIB3).....	75
圖 4- 67 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB1).....	76
圖 4- 68 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB2).....	76
圖 4- 69 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:MARK3-VIB3).....	77
圖 4- 70 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK1-VIB1).....	79
圖 4- 71 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK1-VIB2).....	79
圖 4- 72 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK1-VIB3).....	80
圖 4- 73 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK2-VIB1).....	80
圖 4- 74 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK2-VIB2).....	81
圖 4- 75 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK2-VIB3).....	81
圖 4- 76 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK3-VIB1).....	82
圖 4- 77 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK3-VIB2).....	82
圖 4- 78 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:MARK3-VIB3).....	83
圖 4- 79 試件 1 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	87
圖 4- 80 試件 2 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	88
圖 4- 81 試件 3 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	89
圖 4- 82 試件 4 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	90
圖 4- 83 試件 5 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	91
圖 4- 84 試件 6 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	92
圖 4- 85 試件 7 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖.....	93

摘要

關鍵詞: 樓板橡膠緩衝材、建築聲學、動態剛性

一、研究緣起

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。因應業界對樓板緩衝材性能驗證及創新材料技術研發需求，去(108)年 11 月底本所已完成「樓板緩衝材動態剛性試驗設備」建置及性能驗證。鑑於防音條文之修訂，樓板衝擊音緩衝材相關研究為近年室內音環境重要研究領域，本年度擬進行樓板橡膠緩衝材動態剛性性能研究，藉由調查與實驗分析樓板橡膠緩衝材動態剛性性能及橡膠緩衝材與樓板衝擊音降低量關係，成果可供業界橡膠緩衝材選用及樓板衝擊音隔音設計應用。

二、研究方法及過程

本研究蒐集緩衝材動態剛性與樓板衝擊音隔音性能之相關文獻、分析之原理機制，緩衝材動態剛性檢測原理、相關試驗規範等資料與進行分析，並就本所歷年之衝擊音試驗資料進行統計分析，完成國內常用之樓板緩衝材分類及材料類型統計，並於實際之 R2/R3 樓版衝擊音實驗室之案件，選取橡膠緩衝材樣本來進行動態剛性性能之實測，選取緩衝材試片(包含 PU 膠結橡膠顆粒、PU 膠結橡膠纖維、膠結橡膠顆粒及聚氨酯、橡膠捲材及發泡墊等材料)，於實驗室量測平台依照 CNS 16022 規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析。

三、重要發現

經進行動態剛性試驗結果之頻率反應函數解析後，依照 CNS 16022 規範初步得到國內使用之不同材質類型樓板緩衝材之動態剛性性能 S' ，且由實驗結果發現試體乾燥時間對動態剛性試驗結果之影響，另選用不同材質之緩衝材進行動態剛性實測，及搭配 CNS 15160 規範衝擊音之試驗結果進行分析比對，進行樓板衝擊音與橡膠緩衝材動態剛性間關係之研究解析，相關成果供研擬樓板橡膠緩衝材構造之衝擊音隔音性能推估方式參考。

四、主要建議事項

立即可行建議-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

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有相關橡膠緩衝材動態剛性性能規定，有鑒於法規之施行往後國內建築樓板衝擊音隔音構造將逐漸普遍，其中橡膠緩衝材之動態剛性性能對於建築樓板衝擊音降噪具有重要性，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，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。

中長期建議-國內樓板衝擊音隔音構造組合性能研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

因應國內住宅密集且都市中具大量集合住宅居住特性，樓板衝擊音之防治與研究相當重要且具實務應用性。因應國內建築技術規則防音規定預計110年1月1日施行，國內建築產業界對於樓板衝擊音防治之緩衝材開發亦多所投入，但除積極精進緩衝材之材料性能外，樓板構造不同表面材與緩衝材搭配與組合亦為影響最後衝擊音整體隔音性能重要因素之一，目前本所性能實驗中心已建置完成樓板緩衝材動態剛性試驗設備及能量，後續可規劃配合動態剛性(材料性質)及衝擊音隔音試驗(整體衝擊音性能)整合性研究，藉由累積本土材料與整體構造之實驗性能數據，及探討不同搭配設計之隔音性能，可供國內業界提升產品性能研發參考，提升國內建築樓板衝擊音防制技術。

ABSTRACT

Keywords: Resilient floor materials, building acoustics, dynamic stiffness

The Ministry of the Interior issued an order in June 105 to amend the sound-proof regulations for building design and construction. Building soundproof regulations. In the floor slab impact sound insulation specification type structure, the rubber buffer material must be issued with a dynamic rigidity test report, and the architect must verify that it meets the legal specifications. In response to the industry's demand for performance verification of floor slab cushioning materials and the research and development of innovative material technology, the firm has completed the construction and performance verification of the "Dynamic Rigidity Test Equipment for Floor Buffering Materials" at the end of November (108). In view of the revision of the soundproof provisions, the research on floor impact sound buffers has been an important research field in the indoor sound environment in recent years. This year, it is planned to conduct research on the dynamic rigidity of floor rubber buffers, and analyze the dynamic rigidity of floor rubber buffers and rubber buffers through investigation and experiments. The relationship between material and floor impact sound reduction, the results can be used in the industry to select rubber buffer materials and floor impact sound insulation design applications.

This research has collected relevant literature on the dynamic rigidity of cushioning materials and the impact sound insulation performance of floor slabs, the principle mechanism of analysis, the principle of dynamic rigidity detection of cushioning materials, relevant test specifications and other data and analysis, and carried out the impact sound test data of our institute over the years Statistical analysis, complete the classification and material type statistics of commonly used floor slab cushioning materials in China, and conduct on-site sampling on the actual R2/R3 floor impact sound laboratory cases, with the permission of the commissioning unit, on the commissioned test cases of rubber cushioning materials For the actual measurement of dynamic rigidity, currently selected buffer material test pieces (including PU cemented rubber particles, PU cemented rubber fibers, cemented rubber particles and materials such as polyurethane, rubber coils and foam pads) are used in the laboratory measurement platform according to CNS The 16022 specification uses impact

hammer, accelerometer, and accelerometer corrector to measure the dynamic rigidity of the buffer material of the test piece and analyze the experimental results. After analyzing the frequency response function of the dynamic rigidity test results, the dynamic rigidity performance S^A of different types of floor slab cushion materials used in China is initially obtained according to the CNS 16022 specification, and it is found from the experimental results that the drying time of the specimen has an effect on the dynamic rigidity test results. Based on the current research results, we will continue to select cushion materials of different materials for dynamic rigidity measurement, and analyze and compare the test results of impact sound to study the relationship between floor impact sound and rubber cushion material dynamic rigidity. Analyze, and provide reference for research on the estimation method of impact sound insulation performance of floor slab rubber buffer material structure.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

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，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。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。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。因應業界對樓板緩衝材性能驗證及創新材料技術研發需求，去(108)年 11 月底本所已完成「樓板緩衝材動態剛性試驗設備」建置及性能驗證。

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，本所 108 年度完成樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究，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。本年度擬進行樓板橡膠緩衝材動態剛性性能研究，藉由調查與實驗分析樓板橡膠緩衝材動態剛性性能及橡膠緩衝材與樓板衝擊音降低量關係，成果可供業界橡膠緩衝材選用及樓板衝擊音隔音設計應用。

第二節 研究目的

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，108 年度藉由樓板緩衝材動態剛性實驗量測技術之研究，建立本所實驗室樓板緩衝材動態剛性量測實驗設備系統與作業程序，本年度擬接續上年度之研究成果，利用建置完成之實驗設施進行樓板緩衝材之相關實驗研究。

本年度擬進行樓板橡膠緩衝材動態剛性性能研究，藉由調查與實驗分析樓板橡膠緩衝材動態剛性性能及橡膠緩衝材與樓板衝擊音降低量關係，成果可供業界橡膠緩衝材選用及樓板衝擊音隔音設計應用。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)選用橡膠緩衝材進行動態剛性值 S' 值之實際量測，以瞭解國內橡膠緩衝材之性能；另搭配進行 CNS 15160-6 樓板衝擊音隔音性能試驗，分析探討國內樓板橡膠緩衝材動態剛性值 S' 與樓板衝擊音隔音性能指標 $L(n,w)$ 之關聯性。(3)由緩衝材動態剛性實驗結果，建立初步之本土樓板緩衝材之性能資料，以初步探知於目前法規施行階段，國內現有緩衝材之動態剛性性能參數。(4)由理論與試驗結果，研擬樓板橡膠緩衝材構造之衝擊音隔音性能推估方式

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材料分類、材料性能、動態剛性關聯之國內外實驗規範、檢測技術及標準等文獻。
2. 實驗分析：選用橡膠緩衝材進行動態剛性值 S' 值之實際量測，以瞭解國內橡膠緩衝材之性能，供研究與實驗檢測應用。搭配進行 CNS 15160-6 樓板衝擊音隔音性能試驗，分析探討國內樓板橡膠緩衝材動態剛性值 S' 與樓板衝擊音隔音性能指標 $L(n,w)$ 之關聯性。
3. 結果分析：由緩衝材動態剛性實驗結果，建立初步之本土樓板緩衝材之性能資料，供研究與實驗檢測應用。

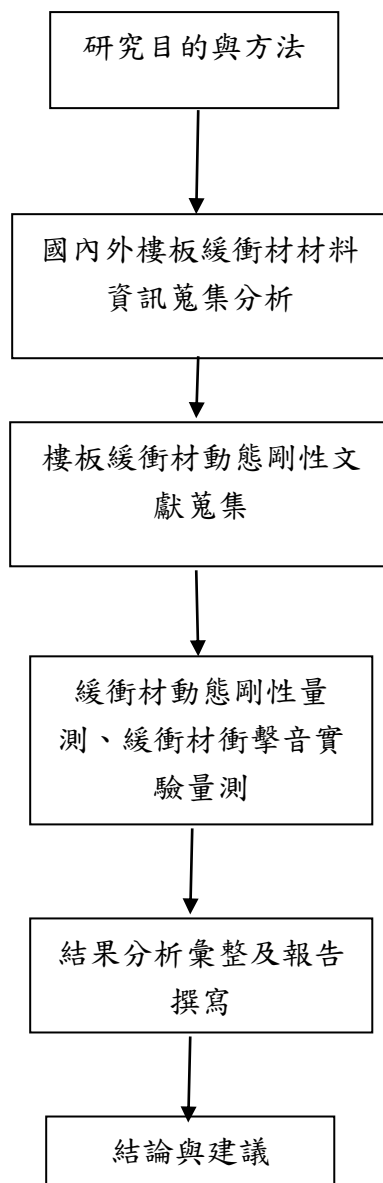


圖1- 1 研究流程圖

(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
樓板緩衝材動態剛性文獻蒐集	████████████████										
國內外樓板緩衝材材料資訊蒐集分析		████████████████████									
緩衝材動態剛性量測			████████████████████								
緩衝材衝擊音實驗量測					████████████████████						
期中報告撰寫		████████████████████									
實驗結果分析					████████						
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%	100%	

(資料來源: 本研究整理)

第二章 文獻回顧與研究背景

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 國內音環境樓板衝擊音隔音

由於台灣人口主要集中居住於西部之平原，人口集中多屬於密集之都市化居住環境。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、國內住宅音環境與樓板衝擊音隔音

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，實驗室可進行建築物門、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

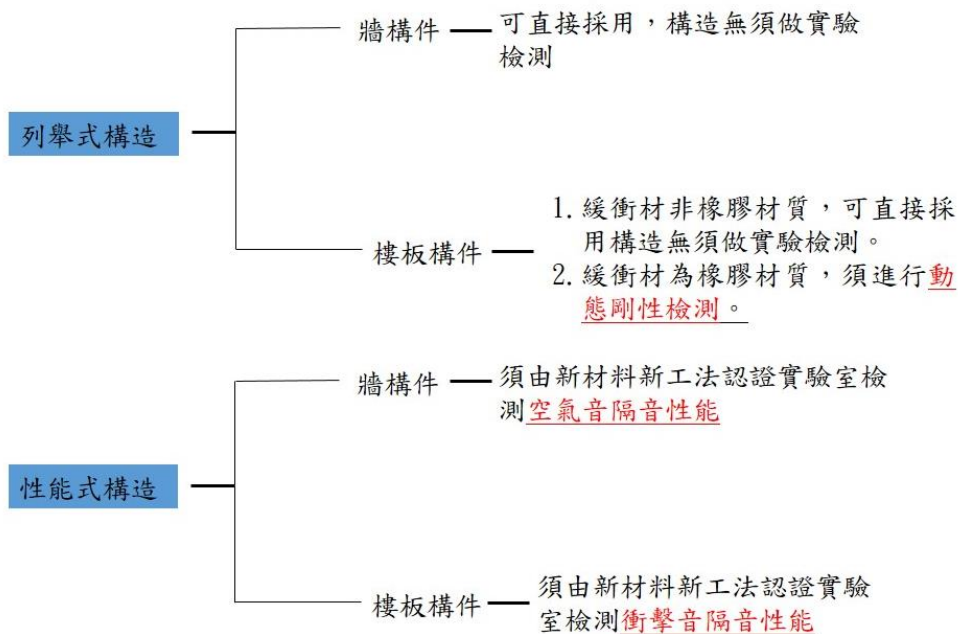


圖 2- 1 建築技術規則設計施工編防音條文隔音基準

(資料來源: 本研究整理)

二、國內建築音環境相關法規與隔音性能驗證方法

目前國內有關建築音環境之相關法規、實驗設施、性能驗證方法等在政府與學界或業界歷年的通力合作下，業逐年完備，以下就國內建築音環境相關之內容作介紹

(一)國內建築技術規則防音規定之修訂

本所於民國98~99年間進行「住宅音環境現況調查與診斷機制研究」，建立住宅音環境現場調查與量測標準作業程序，對連棟及集合住宅進行音環境問卷調查及案例現場量測，研究結果顯示住宅整體音環境滿意度為「尚可」，但集合住宅住戶以樓板衝擊音最為困擾。此外由住宅構造隔音現場量測結果發現，常見之RC分戶牆(含水泥砂漿粉刷厚15 cm)空氣音現場加權視隔音指標 R'_w 約為51 dB，對於住戶間之一般生活噪音隔音效果佳。然而住宅分戶樓板現場衝擊音量測結果發現國內常見厚度15 cm之RC樓板其表面貼地磚或石材，統計分析其加權正規化衝擊聲壓位準 $L'_{n,w}$ 數值約為75 dB，顯示未設置緩衝材之樓板，其衝擊音隔音性能普遍不佳。

為強化建築隔音構造，減少住宅相鄰及上下樓住戶間之噪音干擾，以提升居家安寧及音環境品質，本所於民國100年度委託國立屏東科技大學辦理「建築隔音性能基準及法制化研究」，經參考美國、英國、澳洲、歐盟及日本等國之建築隔音法規，研訂完成建築隔音性能基準及增修訂條文(草案)，並函請本部營建署辦理法制化作業。歷經本部營建署召開多次專案會議，邀請相關產官學界共同研商，本所亦積極參與並提供建議，於104年完成建築技術審議，並經內政部於105年6月7日以台內營字第1050807000號令修正「建築技術規則」建築設計施工編防音條文，除建築設計施工編第46條之6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。新建或增建建築物的分戶牆、分間牆、分戶樓板及昇降機道、機房與居室相鄰的牆及樓板，均應依建築技術規則新規定進行隔音設計。

鑑於建築技術規則防音規定大幅修正，除增訂隔音性能基準外，並輔以列舉我國常用構造型態之隔音構造規定。為使建築師及建築業者瞭解防音規定內容及提升建築產業防音技術；本所於105年度委託國立屏東科技大學辦理「建築防音法規解說及設計技術手冊之研究」，研訂防音規定解說指引草案，並於106年邀集相關專家學者召開2次審查會議，完成建築防音法規解說指引之編輯出版作業。相關解說指引出版後，搭配技術規則防音規定施行，可使產業界瞭解防音規定修

訂之內容，提升國內建築音環境技術水準。

(二)建築物牆面、樓板構造之隔音性能檢測方法

我國因經濟發展形成高度都市化與密集居住環境，住宅密集造成住戶間常因生活噪音影響感到困擾，因應社會需求提升國內居住音環境品質，建構國內完整音環境管理機制，本所除推動綠建築及綠建材標章制度音環境基準外，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」等研究計畫，提出17項CNS聲學性能量測與評定標準草案，通過經濟部標準檢驗局審議完成CNS 15160系列國家準法制化，透過上揭各項性能試驗國家標準的建立，促使我國建築聲學國家標準與ISO國際標準接軌，並作為後續之隔音法規基準之性能驗證之引用標準。

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

有關橡膠緩衝材動態剛性部分，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。因應業界對樓板緩衝材性能驗證及創新材料技術研發需求，去(108)年11月底本所已完成「樓板緩衝材動態剛性試驗設備」建置及性能驗證。

(三)建築物構造之實驗試驗設施簡介

1. 本所性能實驗中心建築音響實驗室

本所建築音響實驗室係國內首座符合ISO國際標準之實驗室，於民國93年建置啟用，其量測並可符合ISO、ASTM、JIS及CNS等標準之規定。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

第二章

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之認證、內政部綠建材性能試驗機構試驗項目認可、及建築新技術新工法新設備及新材料隔音性能試驗機構認可，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。

於本所音響實驗室中，有關樓板衝擊音之試驗檢測設施為R2/R3樓板衝擊音實驗室，本實驗室是依據ISO1014/CNS 15160系列標準所設計，由由上、下樓層之兩迴響室組成，內容積分別為220 m³與250 m³，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10m²。本項設備如圖2-2及圖2-3之斷面圖所示



圖 2- 2 性能實驗中心 R2/R3 樓板衝擊音實驗艙及試驗開口

(資料來源: 本研究整理)

本項試驗目前取得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。本實驗設施搭配前節之試驗方法國家標準，構成了國內完整的建築防音性能檢測試驗能量，提供國內建築產業符合國際標準之性能試驗與驗證場所。

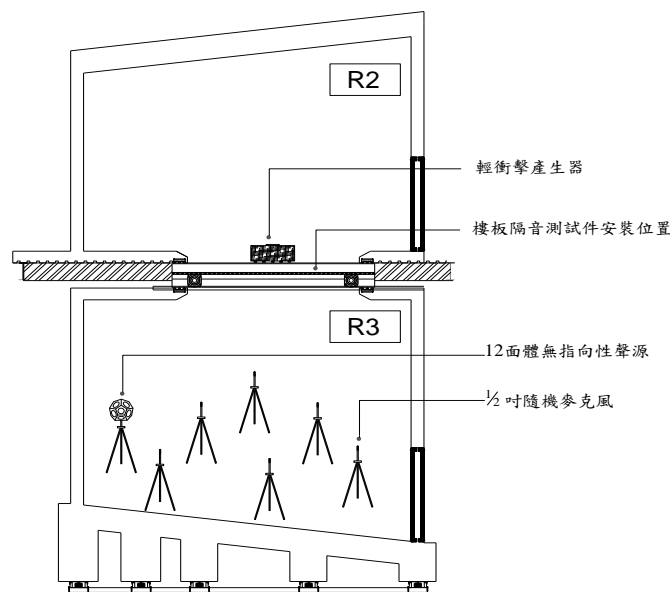


圖 2- 3 樓板衝擊音隔音測試實驗室配置

(資料來源: 本研究整理)

2. 本所實驗室之動態剛性試驗建置與國內動態剛性相關實驗室

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。因應業界對樓板緩衝材性能驗證及創新材料技術研發需求，去(108)年11月底本所已完成「樓板緩衝材動態剛性試驗設備」建置及性能驗證。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，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，相關儀器設備包含加速規(Accelerometer)、加速規校正器、載重板及固定盤及訊號分析儀等項目。目前國內除本所外，另有中興大學精密工程研究所及屏東科技大學振動噪音產學技術聯盟等2單位可提供緩衝材動態剛性試驗檢測服務。

第二節 樓板衝擊音隔音技術與緩衝材

樓板衝擊音為生活燥音，其主要形成因素為生活中人員，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。鑒於上述之音源特性，樓板緩衝材設計主要考慮之性能需能阻絕衝擊音於建築結構中之固體傳播，消散衝擊震動之能量。

一、樓板衝擊音隔音技術

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)衝擊聲源類型與音源特性

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)樓板衝擊音於建築物中之傳播特性

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

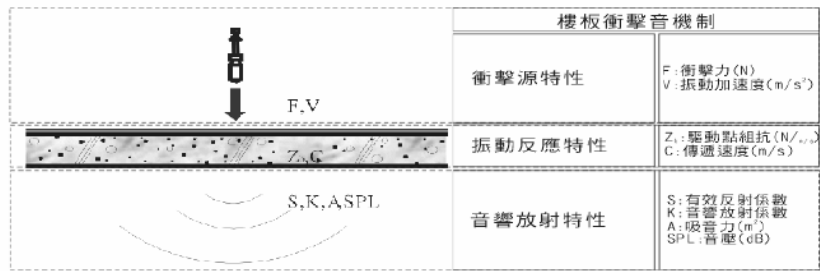


圖 2- 4 樓板衝擊音影響因子

(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

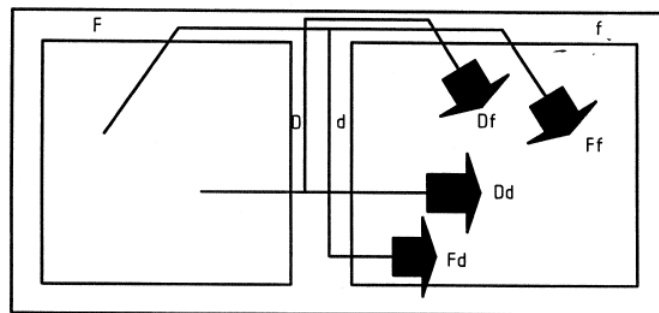


圖 2- 5 室內聲波傳播路徑

(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、圖2-6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

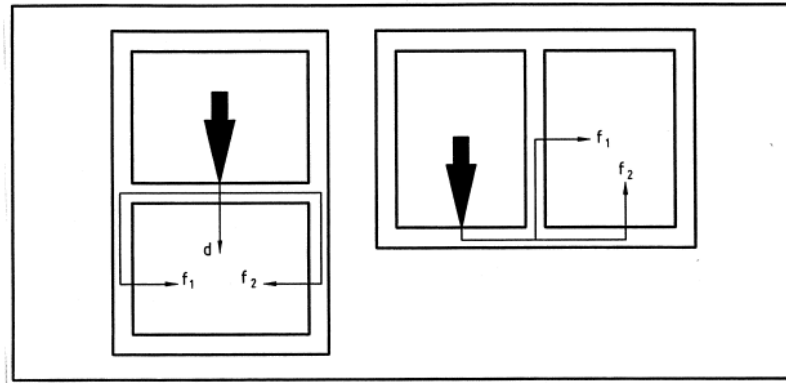


圖 2- 6 樓板衝擊音於建築兩相鄰空間之傳播路徑圖

(資料來源: ISO15712-1)

(三) 樓板構造類型與衝擊音之特性

樓板衝擊音之影響因素及特性，包含衝擊源(搬動物品、走路或物品掉落)之特性，依據國外相關研究，樓板之構造組合隔音構造類型約可分為硬質表面材+緩衝材類型構造、軟質表面材+緩衝材類型構造等2大類型，其衝擊音隔音特性亦有所不同。

(1) 硬質表面材+緩衝材類型構造

此類之表面材為如混凝土、磁磚、石英磚、磁磚等，搭配下方之緩衝材設計阻絕衝擊音之傳播，據Warnock等人之研究，此類之樓板構造衝擊音傳播特性為主要之能量傳播為高頻區域，亦即1k Hz以上之區域能量傳播是最大，故此類樓板衝擊音下方居室所聽到衝擊音為較尖銳之衝擊聲，相關衝擊音能量特性如圖 2-7 所示。依據Warnock等人之研究指出此類樓板特性為高頻之聲音能量穿透比率為較高，跟圖中之ASTM標準曲線比較之下，高頻區域穿透之能量形成不利偏差，故降低了此類樓板之評定性能。前述之研究內容雖採ASTM衝擊音測試方法，但因其試驗原理與國內常用之ISO/CNS方法相同，故具直接參考應用價值。

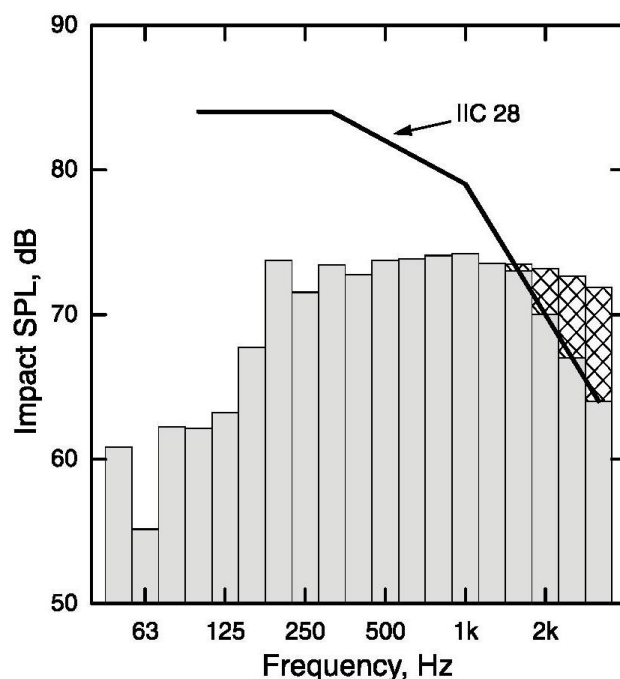


Figure 1: IIC contour fitted to impact sound pressure levels for 150-mm thick concrete slab. The cross-hatched areas at high frequencies show where the levels lie above the contour and determine IIC.

圖 2- 7 硬質表面材+緩衝材類型構造衝擊音特性圖

(資料來源: A. C. C. Warnock *et. al.*)

(2)軟質表面材+緩衝材類型構造

此類之樓板構造為採用如木質地板、硬木面材、等接合式表面材，其下鋪設緩衝材料之樓板構造，此類型之樓板構造其衝擊音特性為主要傳播能量在低頻區域(約略在250 Hz以下)，其構造之衝擊音特性如圖2-8 所示，因此如果要提升此類構造之隔音性能，除了於下方填充纖維狀材料以削減高頻衝擊能量外，需另行考量如何針對250 Hz以下低頻之能量削減。如前述之圖形衝擊音能量分布所示，與ASTM標準曲線比較下可知，於63~250 Hz區域內之衝擊音傳播能量為主要影響此類樓板隔音性能之主因。

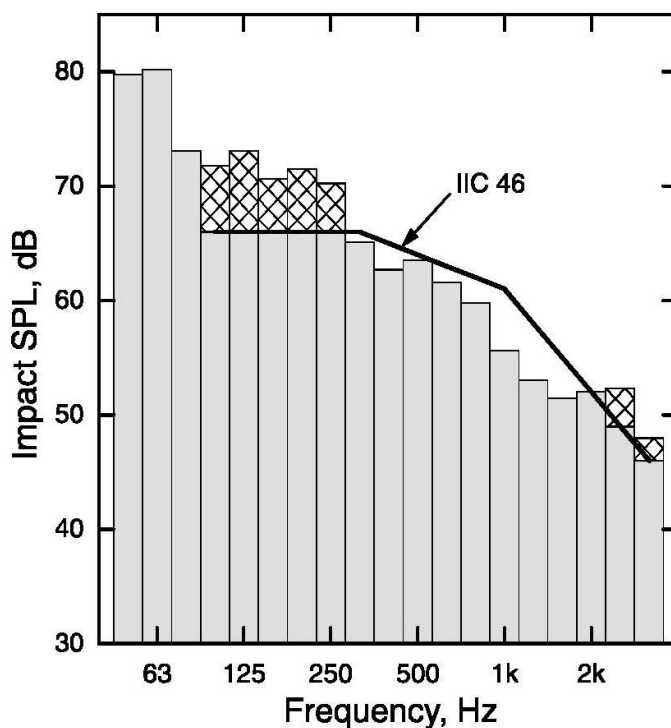


Figure 2: IIC contour fitted to impact sound pressure levels for the basic wood joist floor. The crosshatched areas at low and high frequencies determine IIC.

圖 2- 8 軟質表面材+緩衝材類型構造衝擊音特性圖

(資料來源: A. C. C. Warnock *et. al.*)

(3)建築技術規則設計施工編第46條之樓板衝擊音隔音構造

國內建築技術規則於105年修正後，針對建築樓板衝擊音之防治提出新的規定，法規設計上除性能式的規範外，另外亦參酌國內業界常用之材料於法規第46-6條列舉6項之列舉式構造以供業界可以直接選用，本研究將構造其整理如表2-2 所示

表 2- 1 建築技術規則防音規定「列舉式構造」表

法規編號	表面材	壓層	緩衝材	裸樓板
46-6 (一)	不受限	混凝土造地板 (厚度 ≥ 5 cm， 以鋼筋或鋼絲 網補強)	A	RC 樓板 15 cm/鋼 承板式 RC 樓板 19 cm
46-6	水泥砂漿含地磚(厚度 ≥ 6 cm)		A	同上

(二)			
46-6 (三)	木質地板 ≥ 1.2 cm	B	同上
46-6 (四)	木質地板 ≥ 1.2 cm	C	同上
46-6 (五)	木質地板厚度 ≥ 2 cm (架高角材內填玻璃棉、岩棉、陶瓷棉，密度 ≥ 60 kg/m ³ ，厚度 ≥ 5 cm)	D	同上
46-6 (六)	不受限	混凝土造地板 (厚度 ≥ 5 cm，以鋼筋或鋼絲網補強)	E
備註	1. A (橡膠緩衝材，厚度 ≥ 0.8 cm，動態剛性 ≤ 50 MN/m ³) 2. B (橡膠緩衝材，厚度 ≥ 0.5 cm，動態剛性 ≤ 55 MN/m ³) 3. C (玻璃棉緩衝材，厚度 ≥ 0.8 cm，密度 96~120kg/m ³) 4. D (架高角材或基座與樓板間須鋪設橡膠緩衝材厚度 ≥ 0.5 cm，或玻璃棉緩衝材厚度 ≥ 0.8 cm) 5. E (玻璃棉緩衝材 96~120kg/m ³ ，或岩棉緩衝材 100~150 kg/m ³ ，厚度 ≥ 2.5 cm)		

(資料來源:本研究整理)

由上表之構造內容分析，可知表面材/壓層構造主要為磁磚、木質地板內填玻璃棉或岩眠、水泥砂漿含地磚及混凝土造樓板等類型；另外緩衝材部分採用型式分別為橡膠緩衝材、玻璃棉緩衝材、岩綿緩衝材等3大類。法規中之構造物類型也涵蓋了硬質表面材+緩衝材類型構造、及軟質表面材+緩衝材類型構造等2類型。

二、國內樓板緩衝材使用現況與衝擊音隔音性能分析

本所於103年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，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3 dB左右，此可供實務應用上之參考。

另本研究統計自國內建築技術規則於105年修正後，由106年以來實驗室樓板衝擊音之檢測案件構造案例，截至109年5月已通過測試之樓板「衝擊音隔音性能」，適用防音規定隔音基準($\Delta L_w \geq 17$ dB)之案例，合計共177件(測試業者共107家)，經分析前面案例之構造類型，案例使用之表面材分別表面材包括水泥砂漿、混凝土、架高木地板及木質地板等類型，另緩衝材包括橡膠、玻璃棉及岩棉等類型。經分析前述之測試案件後，表面材共包含木地板、塑膠磚、地磚或石英磚等12類，如圖2-9所示，另分析表面材之使用比率如圖2-10，其中以使用水泥砂漿及木地板類為大宗，分別佔28%及29%，第二多之類型為SPC石塑地板及磁磚或石

英磚，其佔比分別為14%及12%

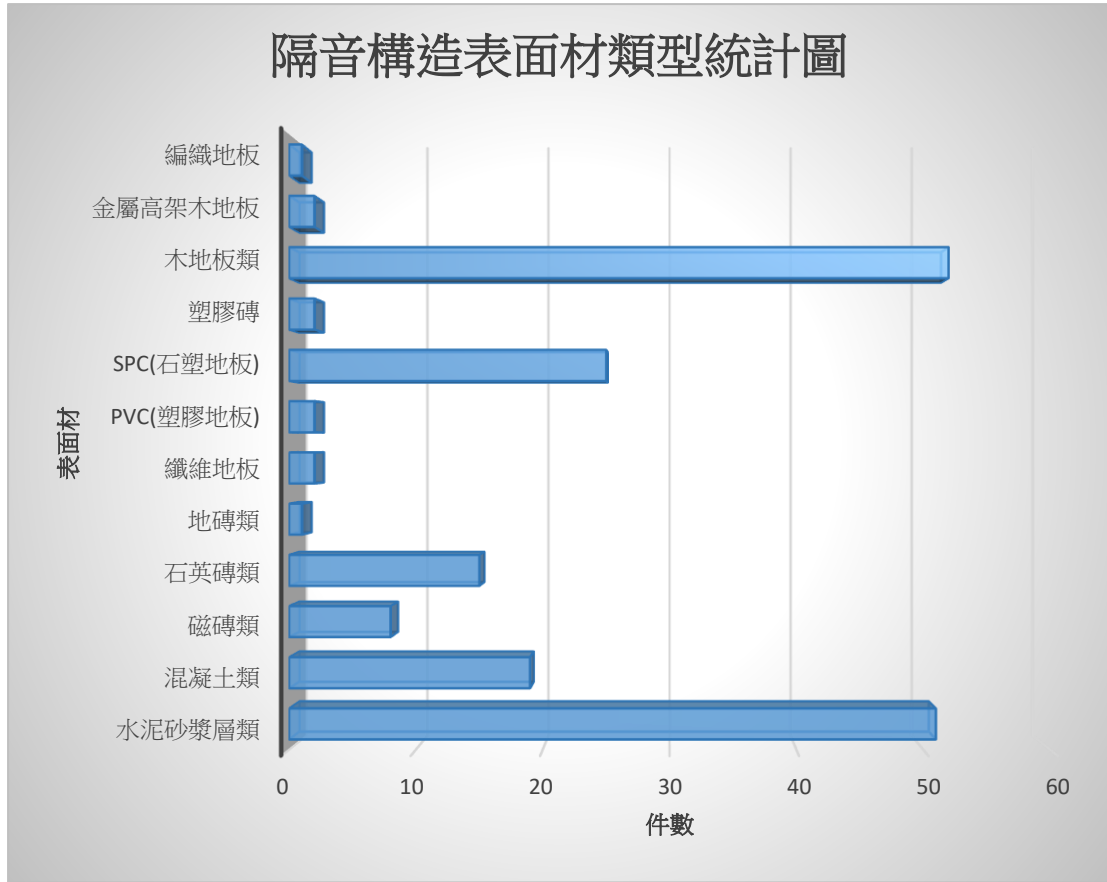


圖 2- 9 適用防音規定隔音基準樓板構造-表面材分類統計圖

(資料來源:本研究整理)

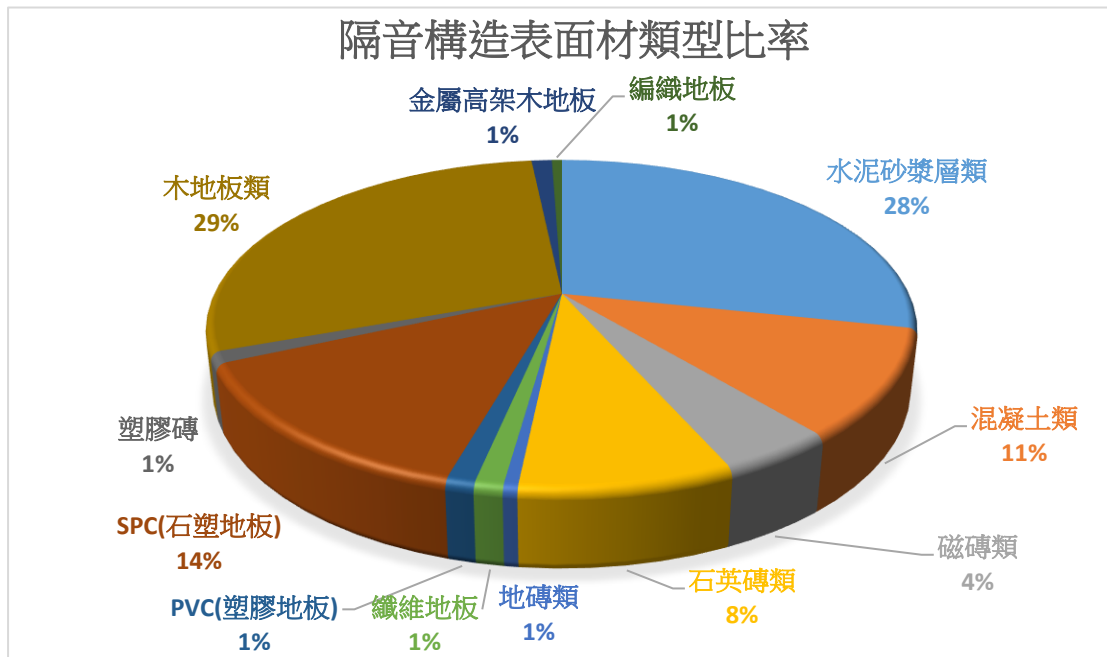


圖 2- 10 適用防音規定隔音基準樓板構造-表面材分類統計圖

(資料來源:本研究整理)

另除表面材外，本研究亦就攸關衝擊音隔音性能之緩衝材部分做分析，目前於個案中緩衝材之使用類型經統計為共10類，如圖2-11 所示，

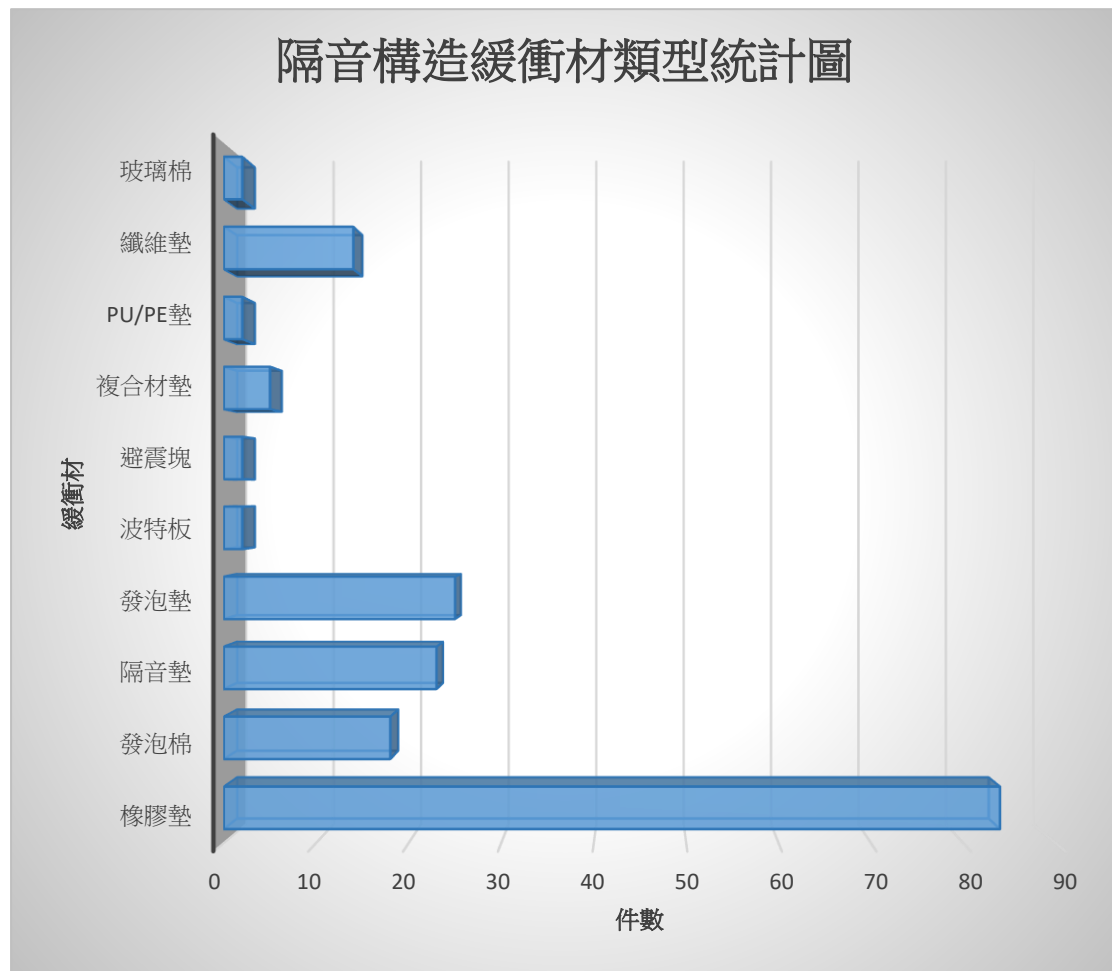


圖 2- 11 適用防音規定隔音基準樓板構造-緩衝材分類統計圖

(資料來源:本研究整理)

其中以採用橡膠緩衝材為最多，發泡墊及纖維類則次之，另就使用比率分析如圖 2-12 所示，由前圖可知道緩衝材使用比率分別為橡膠墊佔48%，發泡墊佔14%，隔音墊佔13%，發泡棉佔10%，纖維墊佔8%等，其他還有諸如PE/PU墊、複合材墊等則佔較少之比率。由統計分析結果除橡膠墊使用比率占48%外，發泡墊、隔音墊共計27%，可知自105年防音規定施行後，國內業界針對新規定亦投入相關研發能量，研究產製多元類型之樓板緩衝材以因應法規及未來樓板隔音需求，帶動國內建築產業之發展。

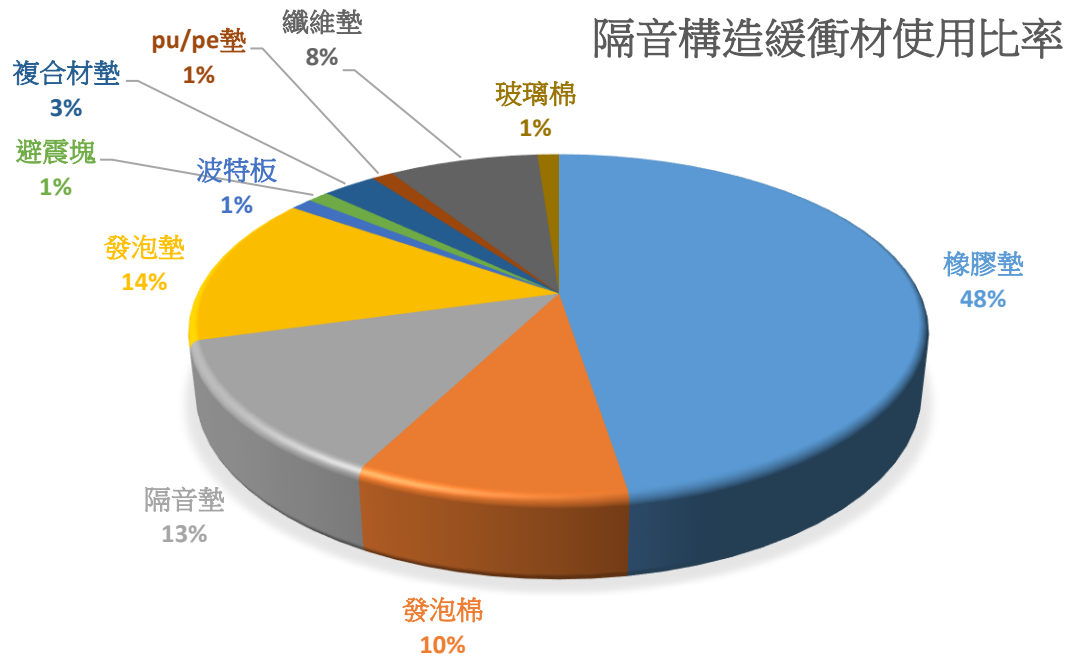


圖 2- 12 適用防音規定隔音基準樓板構造-緩衝材分類統計圖

(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、樓板緩衝材動態剛性與其性能因子

有關橡膠緩衝材之性能影響因子主要為材料之剛性(勁度)，由於樓板衝擊音為固體傳音，衝擊震波之能量在房屋建築結構體中傳播，當衝擊源衝擊於RC裸樓板時，其即可視為一點聲源，而此振源由於其傳播介質為固體，依據彈性波傳理論將會生成固體波而其包含P波疏密波與S波剪力波等2種形式，由於這些震波所攜帶之能量雖會隨著介質傳播衰減、或經過建築結構尺寸變化衰減，但多數之能量仍會傳播至下方而形成樓板衝擊音。

而於樓板構造層中加入緩衝材之作用即為用來吸收此固體波之能量。緩衝材功能係為吸收波傳能量，於簡化分析模式下即屬彈簧之行為，依據彈簧之特性，其吸收能量值為 $\frac{1}{2}kx^2$ ，其中參數 k 為彈簧之彈性係數(勁度)， x 為位移，當承受垂直外力加載時如緩衝層能變形而吸收能量，則可形成一吸收能量系統而將震動所形成之外加能量降低，進而減少由震動轉換為聲音之能量，而形成緩衝材阻絕樓

板衝擊音之機制。

二、樓板緩衝材對樓板衝擊音隔音性能之影響

於樓板緩衝材動態剛性性能對樓板衝擊音隔音之影響部分，樓板衝擊音目前國內外均有不少之相關研究，A. C. C. Warnock *et. al.*等人針對硬質表面材+緩衝材類型構造做實際量測之性能研究，發現與此類地板構造之主要性能影響因子為(1)表面材如石膏面板等之質量(2)構造之空腔深度(3)填充之吸音材料等，增加前述因子之數值可提升樓板性能較為優越，另針對軟質表面材+緩衝材類型構造類，研究探討採用不同之構造類型，包含木桁架構造、I型搭接、實接、鋼材搭接等發現各類構造類型性能差距不大可用單一通用構造類型代表，且於此類構造隔音性能之影響因子主要為構造整體之質量，且由前所述此類軟質表面材+緩衝材類型構造，由於能量之傳遞以低頻為主，故實務上雖此類構造之性能符合需求，但由於低頻能量之傳遞常會造成下方之居住者仍可能被低頻衝擊聲所困擾，此時須藉由增加一層表面砂漿或混凝土層之方式，增加構造物之整體質量以消除低頻能量及噪音。而依據L. K. Zuchetto等人對不同密度與動態剛性之緩衝材與硬質、軟質面材做相關研究，研究指出當樓板構造屬於具硬質表面材(如磁磚)等，下方緩衝材之密度對樓板整體之性能影響不大，反之若屬軟質表面材則具有一定之性能影響量，另外於緩衝材動態剛性部分，採用不同動態剛性緩衝材對軟質表面構造之樓板性能影響具一致性，亦即緩衝材動態剛性對軟質表面材構造性能影響較為明顯。

第三章 緩衝材動態剛性實驗檢測方法

由前章之討論可知樓板衝擊音之影響因子眾，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。

第一節 樓板衝擊音檢測原理

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，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。

第二節 樓板緩衝材動態剛性之實驗規範

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

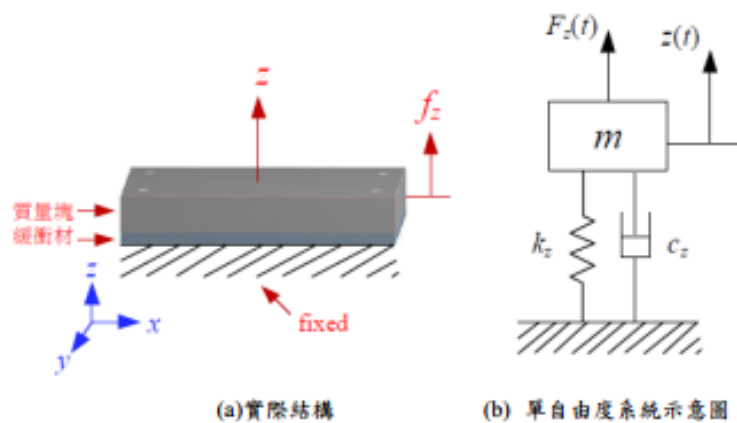


圖 3- 1 橡膠緩衝材實驗分析之單自由度振動模式

(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、緩衝材動態剛性之試驗規範

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 floors	動態剛性列為檢測項目
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)

第三節 量測設備介紹

為配合防音規定之實施及後市場查驗可能需求，本所性能實驗中心於108年6月完成緩衝材動態剛性設備購置，及完成實驗標準操作程序(SOP)、不確定度分析等工作，本節將就本所音響實驗室現有儀器設施與相關量測系統作介紹。

一、量測系統

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3-2所示

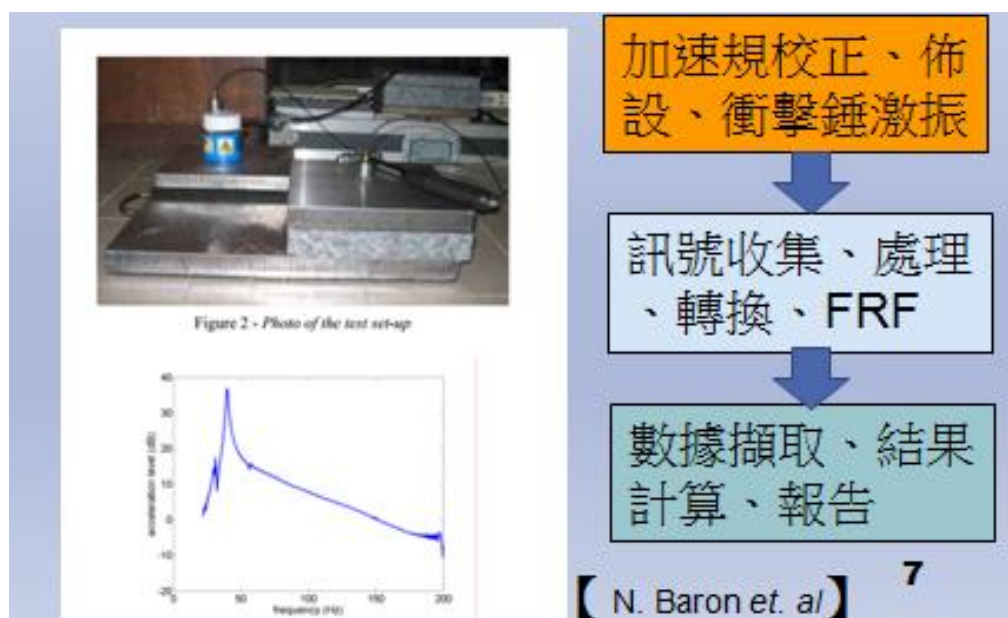


圖 3- 2 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測流程圖

(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。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、加速規較正器、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，故須配置加速規較正器以供量測前作加速規較正，以確保量測數據之正確性。

二、量測設備規格之介紹

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，實驗室相關動態剛性量測儀器規格如下

(一) 隨機音場麥克風

1. 音場特性：隨機音場(Diffuse-field)。
2. 型式：1/2" 電容式。
3. 極化電壓：200 V。
4. 感度：50 mV/Pa。
5. 頻率範圍：10~10K Hz。
6. 動態範圍：20~145 dB。

(二) 麥克風前置放大器

1. 頻率範圍：10~200K Hz或更寬。
2. 自噪聲(Noise)：小於等於2 (A weighted)。

3. 接頭型式：7 PIN麥克風轉接頭。

(三) 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

(四) 衝擊錘(Impact hammers)合力轉換器

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)： $5\text{V}\pm 10\%$

(五) 加速規校正器

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

(六) 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) $\leq \pm 0.5$ 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(Flatness) $\leq \pm 0.5$ mm。長寬尺寸需大於200 x 200 mm。

以上就新增之儀器所需規格內容。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。

第四節 橡膠緩衝材動態剛性實驗量測原理簡介

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H1，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H2為

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

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H1與H2可供作為檢核參考，當函數H1與H2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H1與H2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。

第四章 動態剛性實驗量測分析

本章就橡膠類緩衝材之材料、對其衝擊音阻隔效果影響主要因子之材料應力-應變之機械特性等，及本研究選取實驗室衝擊音實測案例之橡膠緩衝材，進行動態剛性實驗量測之結果與討論等內容做說明。

第一節 樓板衝擊音橡膠緩衝材材料特性

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。

由於橡膠常被使用於工業產品中，為了符合工作需求，經過長久之研發其種類與材料性質亦相當多樣，橡膠之分類與特性整理如表4-1 所示

表 4- 1 橡膠材料之種類與特性

橡膠種類(ASTM簡稱)	主要特徵	主要用途	化學構造/耐溫範圍
丁睛膠 Nitrile Rubber NBR	耐油、耐水、耐磨、耐高油壓、耐極性溶劑	燃油箱、液壓油、矽油、矽潤滑脂、水等密封件	丁二烯、丙烯睛的共聚物(一般材質溫度範圍:-40~100°C)
氫化丁睛膠 Hydrogenate Nitrile Rubber HNBR	耐磨、抗蝕、抗張、抗撕、抗氧和壓縮變形的特性，適用於洗衣，洗碗的清洗劑中。	用於環保冷煤 R1340A 系統中的密封圈、空調及汽車發動機用	為丁睛膠中經氫化後去除部份雙鍵(一般材質溫度範圍:-20~150°C)
矽橡膠 Silicone Rubber SI, VMQ 氫化丁睛膠	耐熱、寒，且無毒，具良好的電絕緣性能，不耐油、臭氣及溶劑。	家用電器、電子業、醫療、食品等密封件。	矽膠主鏈由硅(-si-o-si)結合而成(一般材質溫度範圍:-50~220°C)

丁苯膠 Styrene Butadiene Rubber SBR	耐磨、耐老化、抗水，價格低廉，高硬度時不易變形，不耐強酸、臭氧、油類、油脂和脂肪及碳氫化合物。	汽車輪胎、鞋、膠布、運動用品、地板瓦、膠布、輸送帶。	丁二烯與苯乙烯的共聚物(一般材質溫度範圍:-30~100°C)
天然橡膠 Natural Rubber NR	彈性佳且耐磨、水，不耐強酸、老化。	膠帶、膠管、膠鞋、輪胎、減震零件等。	聚異戊二烷(一般材質溫度範圍:-20~100°C)
聚氨酯橡膠 Urethane Rubber PU	耐磨、耐高壓，但不耐高溫，機械強度特別優越	U型迫緊O環、滾輪連軸器、刮刀、墊片用。	聚胺脂(一般材質溫度範圍:-30~75°C)

(資料來源: <https://www.cnl.com.tw/> 及本研究整理)

使用於樓板隔音緩衝材之材料除了橡膠材料外，在各先進國家亦使用多樣化之材質，於實驗方法上CNS 16022亦無限制僅檢測橡膠材料，依據J. Y. Lee等人之研究，與台灣同為亞洲國家之韓國常用之緩衝材包含由橡膠原料製成之EPS(Ethylene Polystyrene)、及EVA(Ethylene Vinyl Acetate)材料、玻璃棉、PE(Polystyrene)及SPE(Soft Polystyrene)等。另目前於實務上常見到緩衝材設計時表面採用波紋或高低起伏之不同紋路，依據其研究指出具有表面波紋之緩衝材，於實驗結果之應力-應變曲線呈現2階段變化，材料於初始受壓階段因僅突出部份接觸，故初始之變形量增量較大即斜率大，但當變形量到一個階段則此時因全體緩衝材皆接觸於樓板面上，故於此階段應力-應變曲線斜率變小(如圖4-1)，故觀察整體之應力應變曲線斜率呈現2階段，因緩衝材係以材料之變形來吸收衝擊能量，故此有關應力-應變曲線之研究對於緩衝材性能具有相當之參考價值。

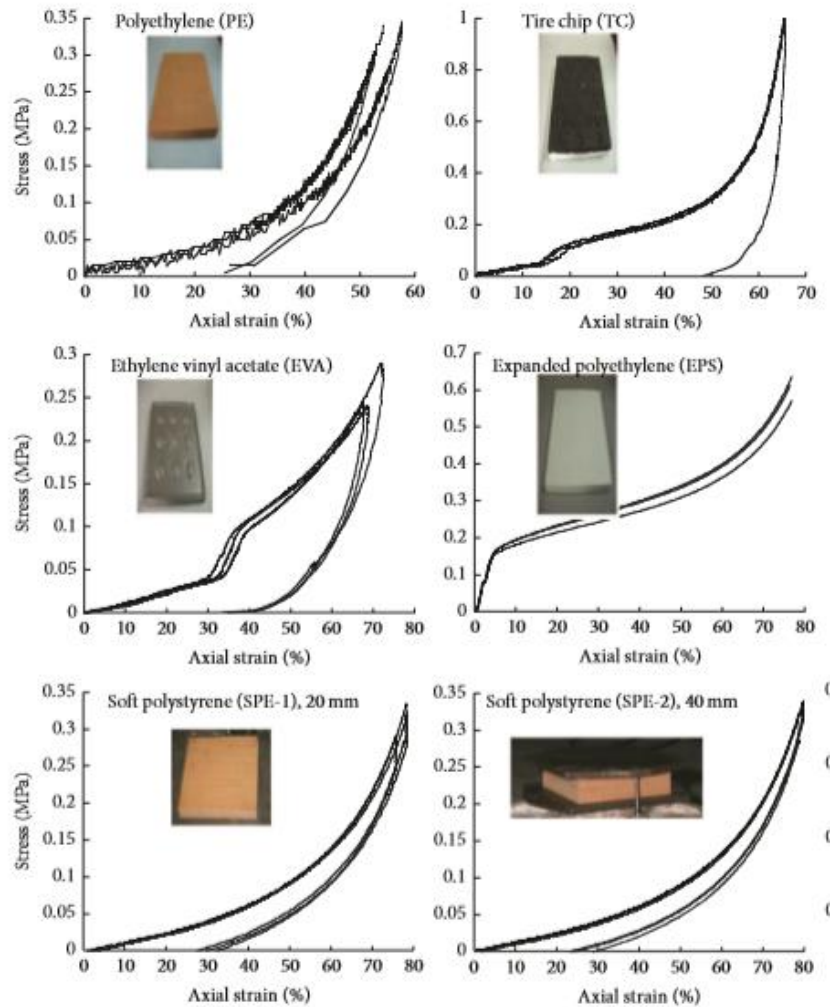


圖 4- 1 EVA 材料、玻璃棉、PE 及 SPE 等樓板緩衝材之應力-應變曲線圖
(資料來源: J. Y. Lee *et.al.*)

第二節 橡膠緩衝材動態剛性性能實驗量測






由前可知樓板緩衝材之材料材質多樣，且其材料性質(動態剛性值)對樓板衝擊音之隔音性能影響甚大，本研究為貼近國內建築業界材料實際現況，故優先選用於音響實驗室進行樓板衝擊音實測試體，取用進行緩衝材進行實驗研究。試片之材質、動態剛性量測資料、結果、與其對應之衝擊音量測結果作相關之說明

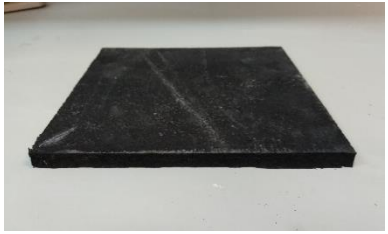
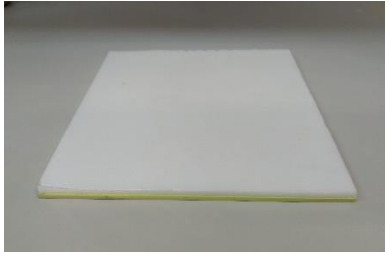
一、動態剛性試體說明

研究選取於實驗室進行樓板衝擊音之國內業界使用之緩衝材為研究試體，目前共選取7組樣品，包含顆粒橡膠墊、纖維橡膠墊、均質橡膠墊及複合隔音墊等

類型。取樣之測試試片類型若與前面之統計結果相比對，亦可得到印證國內目前使用之材料以橡膠墊、複合隔音墊2類為最主要之類型。本研究目前實驗選取之試片與其特性如表4-2 所示

表 4- 2 橡膠材料之種類與特性

試件編號	試件材料描述	厚度 (mm)	單位面積重 (kg/m^2)	試件外觀
1	PU膠結橡膠顆粒，波浪狀表面	8	4.85	
2	PU膠結橡膠纖維，波浪狀表面	8	3.7	
3	膠結橡膠顆粒及聚氨酯製成，波浪狀表面	17	2.5	
4	PU膠結細粒聚氨酯顆粒	4-5	2.5	
5	PU彈性體膠結橡膠顆粒	2-3	3.8	

6	橡膠捲材	10	7.5	
7	隔音墊(PU發泡)	9	0.55	

(資料來源:本研究整理)

二、動態剛性性能量測結果

(一)動態剛性試驗流程

以下就前述之試體進行動態剛性試驗，試驗方法依照 CNS 16022 方式準備 20X20 cm 平面尺寸之試體，並依試驗規範之規定於試片上方設置防水膜層後，打設石膏整平，乾燥後將試體置於待測平台上，如圖 4-2 所示



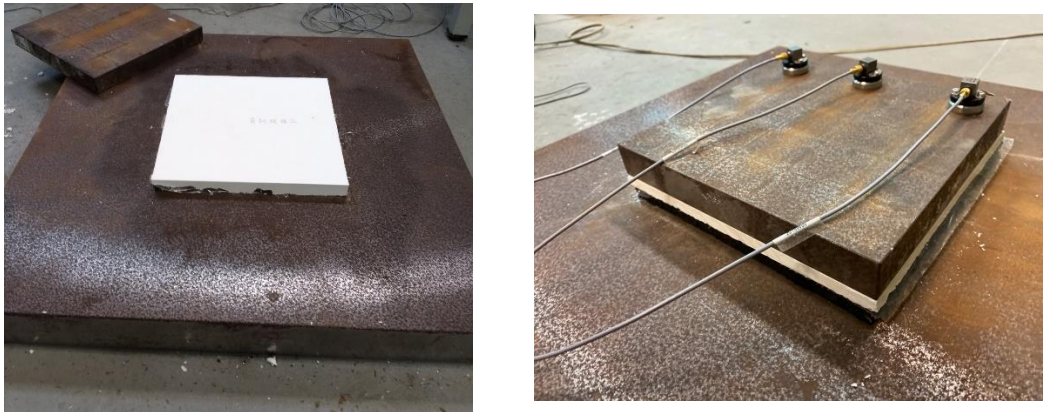


圖 4- 2 緩衝材動態剛性試驗試體準備及製作

(資料來源:本研究整理)

當於實驗量測前須以 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 4-3 所示



圖 4- 3b&k type 4294 加速規校正器

(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，開啟校正功能，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，如圖 4-4 所示，此時即完成加速規之校正。後續各量測用加速規依相同程序皆完成校正。

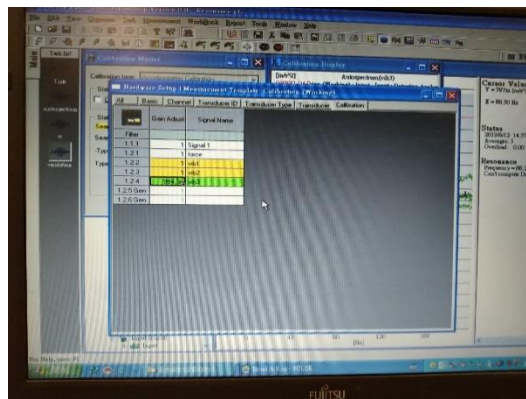


圖 4- 4 加速規校正完成後畫面

(資料來源:本研究整理)

完成校正後，接續進行試體之動態剛性量測，首先依照試驗 SOP 規劃 9 個加速規量測點位，各點位需均勻分布於量測面(如圖 4-5 所示)，本實驗共進行 3 次量測，每次量測 3 點，共 9 點。量測方式為選擇 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，待完成此次訊號量測後，移動 3 個加速規至下一個量測點，重複上述方式

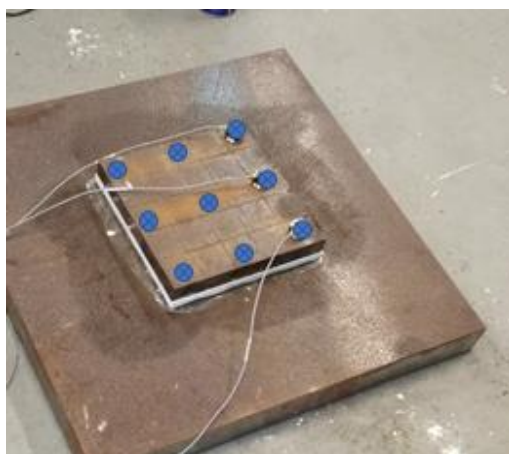


圖 4- 5 加速規量測點位配置方式

(資料來源:本研究整理)

進行衝擊及振動反應量測，即可完成整個動態反應量測。

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

4-6 所示。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。

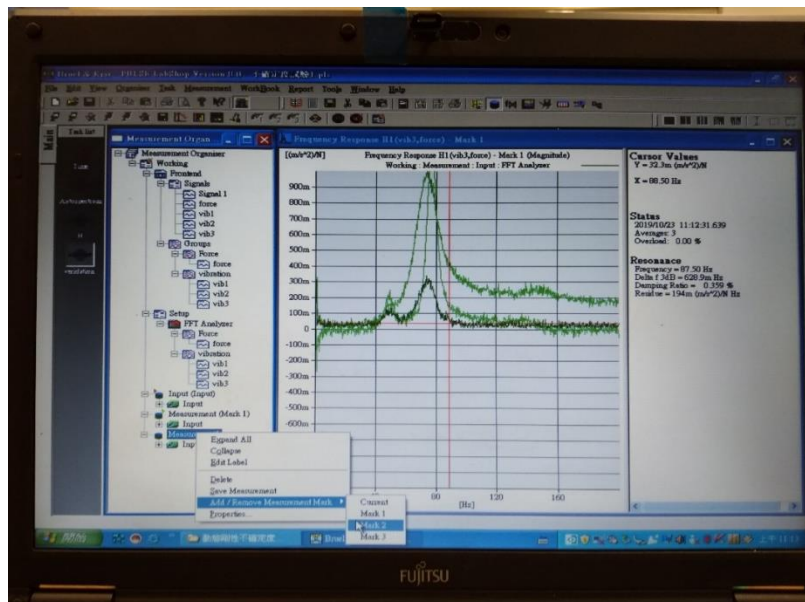


圖 4- 6 實驗量測之 FRF 曲線圖

(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振動模態為直上直下之低階模態也就是低頻率之簡單摩態，故判斷上採以各 FRF 虛部曲線為同方向(相同象限)為所要之共振頻率值。同時亦以此準則方式來進行結果驗證。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P. 50)，量測點位以佈設於中央最佳，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值，最後，由所得之共振頻率代入式(4-1)中，即可得到此橡膠緩衝材之動態剛性值。

$$s'_t = \frac{k_z}{s} = 4\pi^2 m'_t (f_z)^2 \quad (4-1)$$

(二)動態剛性試驗結果

本研究就國內實際使用之樓板橡膠緩衝材取樣試件 1 至試件 7 共 7 組試件，進行

實際之動態剛性試驗量測，材料類型包含 PU 膠結橡膠顆粒、PU 膠結橡膠纖維、及橡膠顆粒膠結聚氨酯材料等多種類型，各試件之量測結果分別如下

1. 試件 1-PU 膠結橡膠顆粒

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-7 至圖 4-15 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-3 所示

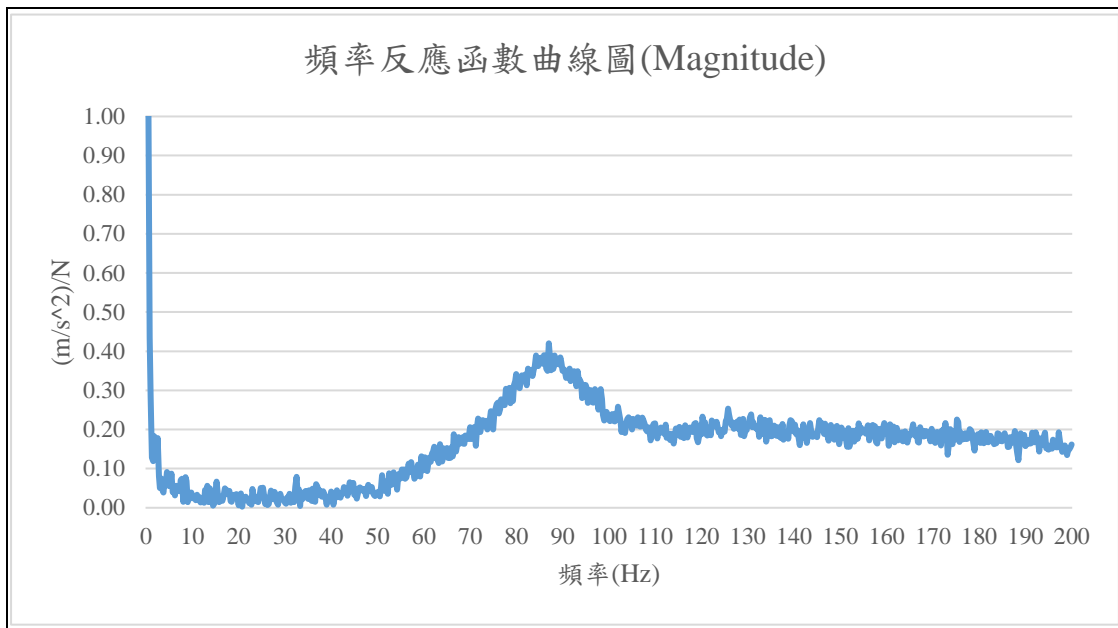


圖 4- 7 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

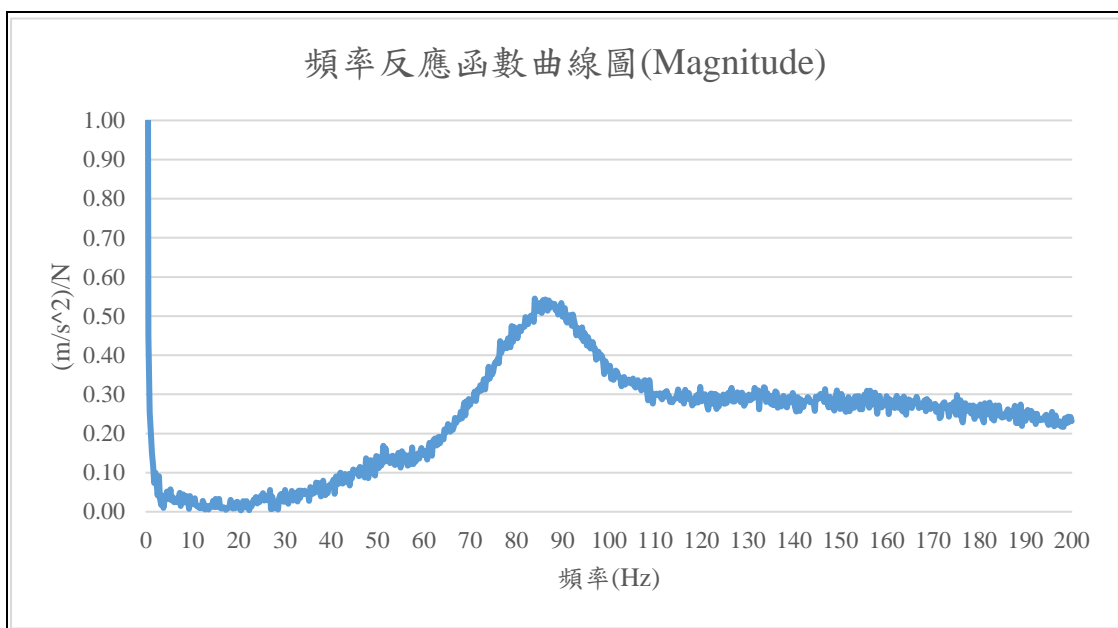


圖 4- 8 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

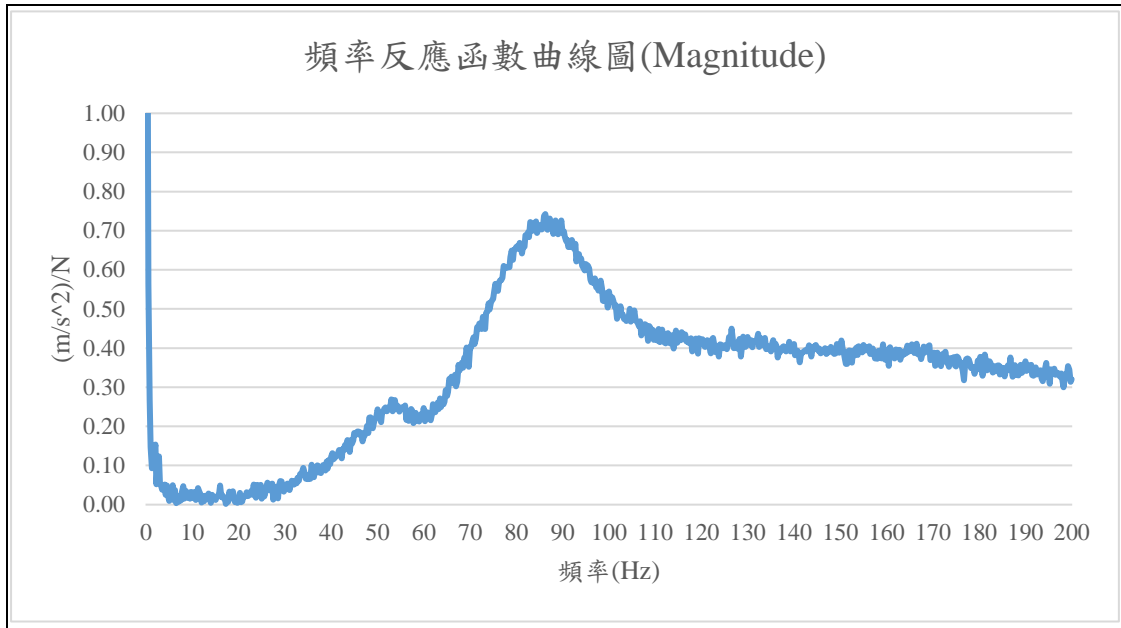


圖 4- 9 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

第四章

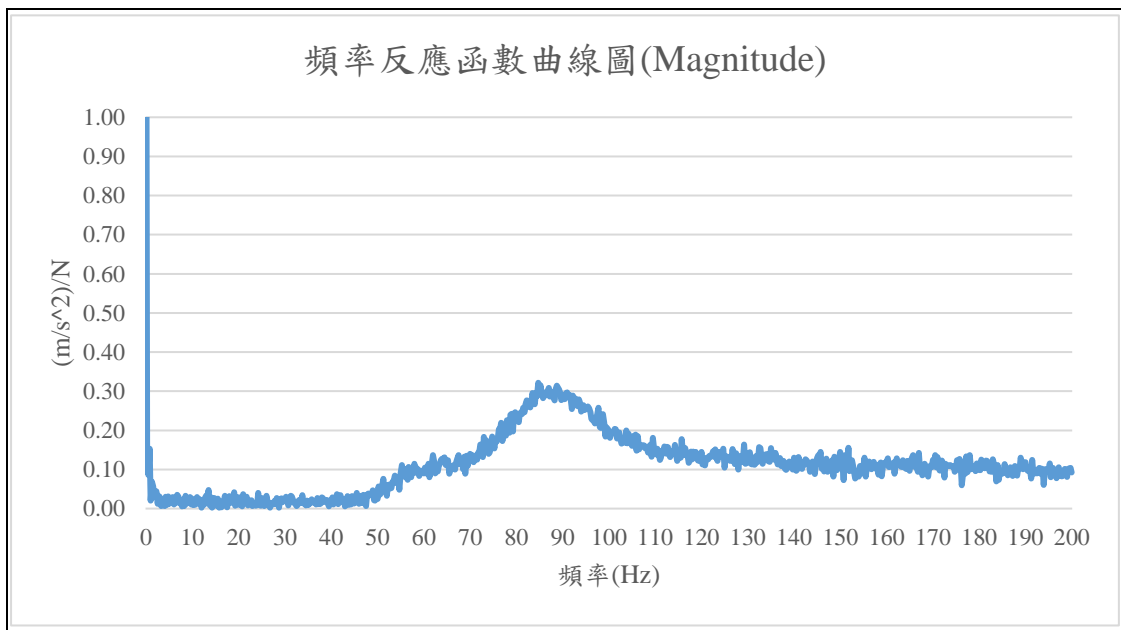


圖 4- 10 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

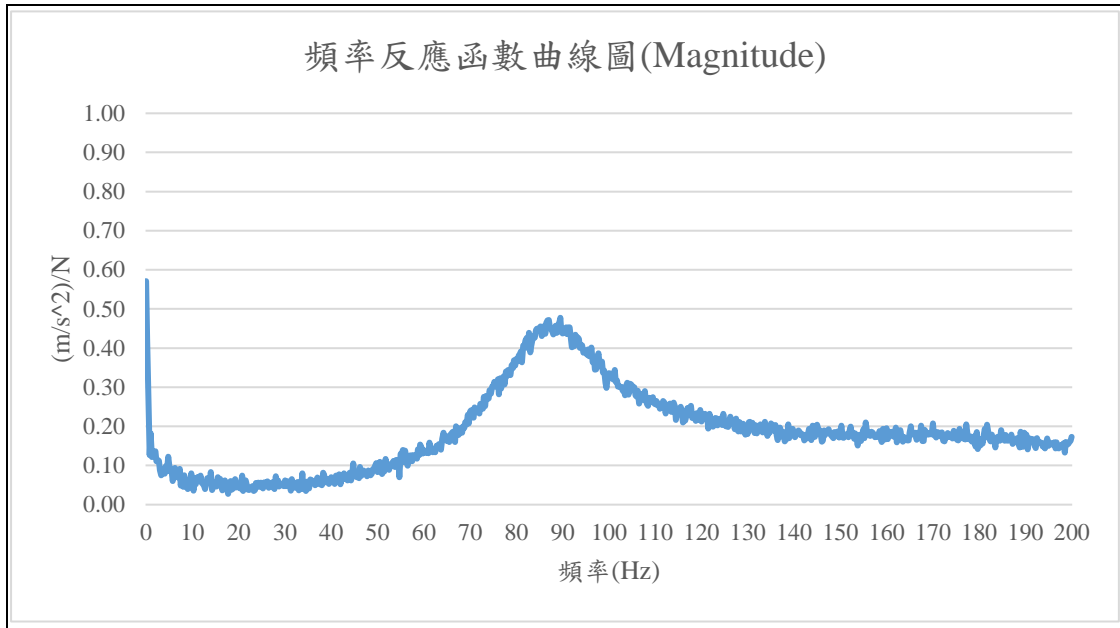


圖 4- 11 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

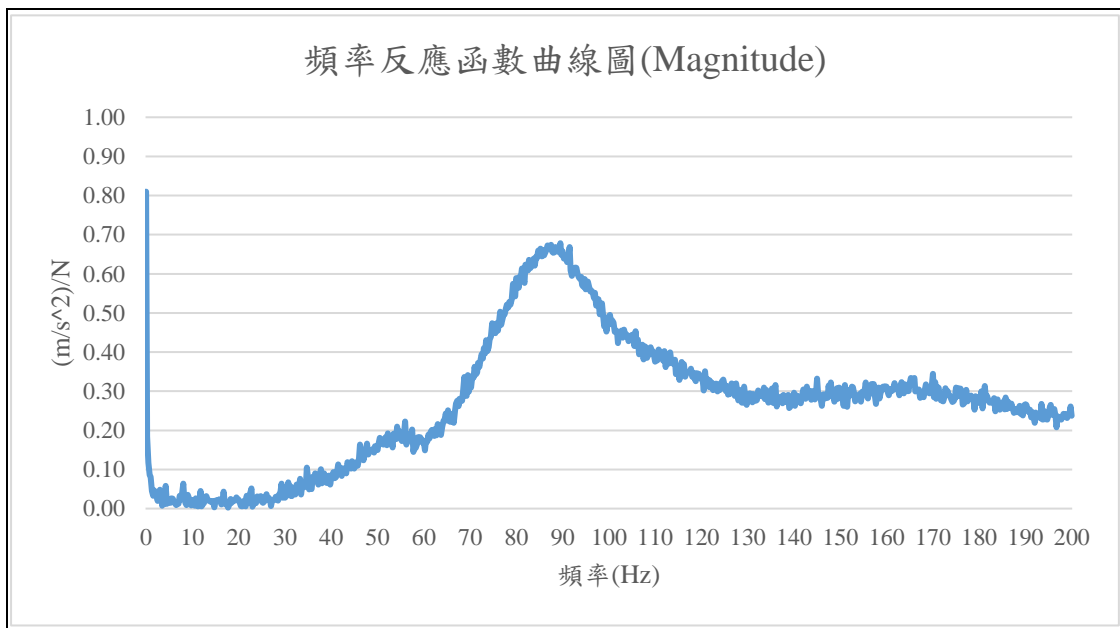


圖 4- 12 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

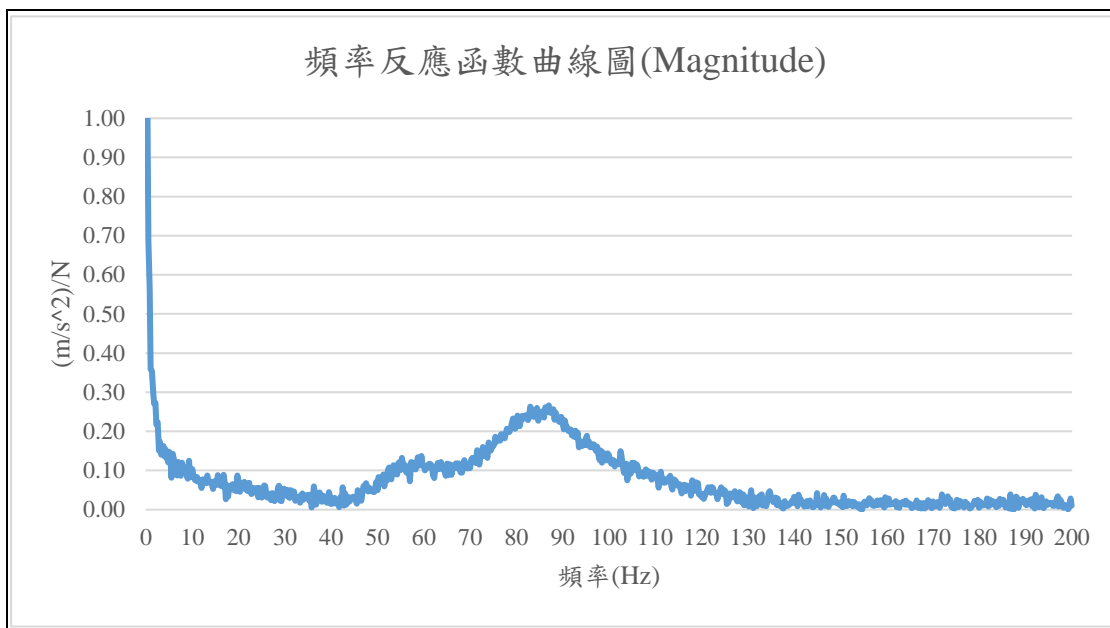


圖 4- 13 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

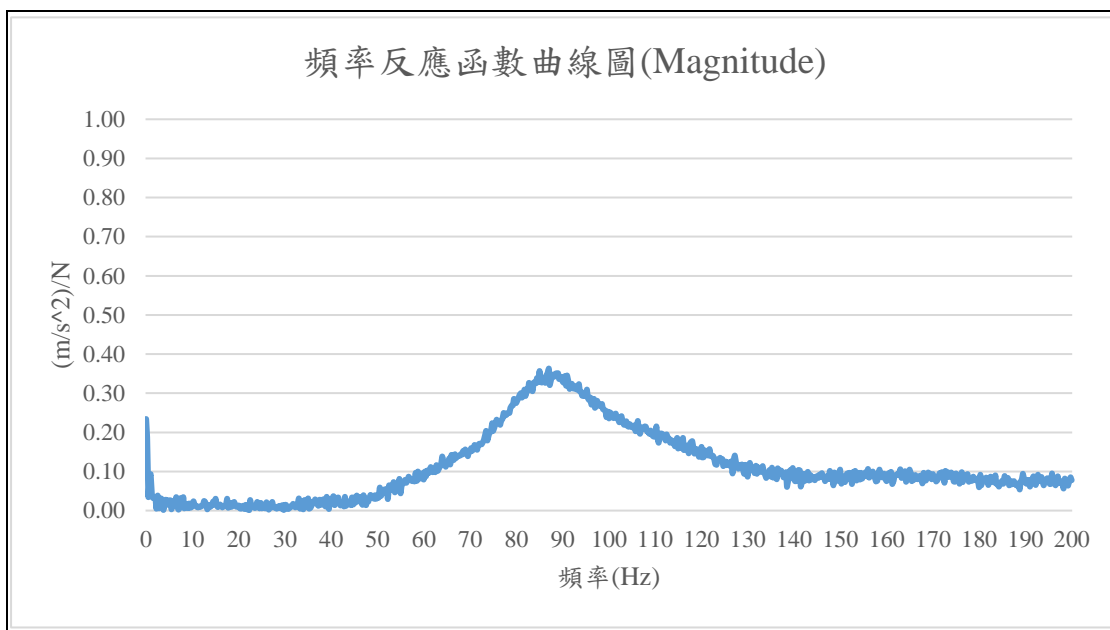


圖 4- 14 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

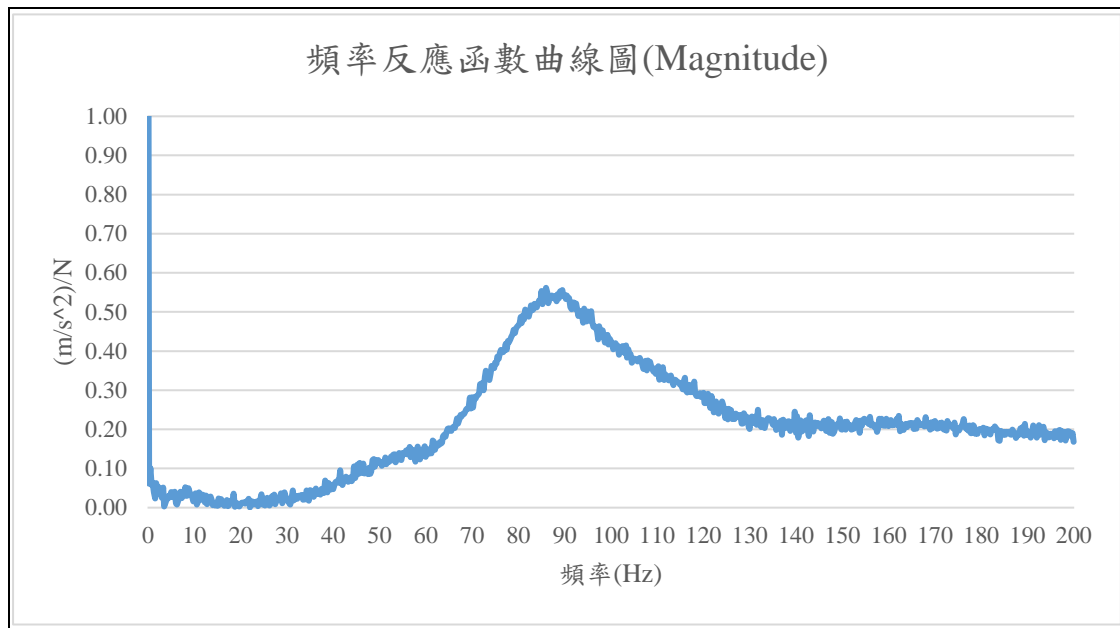


圖 4- 15 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 3 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 1)

編號	共振頻率 (Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s'_t (MN/m ³)
Mark1-vib1	30.5	0.492	7.2
Mark1-vib2	30、84	0.56、13.4	6.96、54.59
Mark1-vib3	86.25	13.8	57.56
Mark2-vib1	64.5	2.27	32.19
Mark2-vib2	44.75、41.75	0.94、1.44	15.49、13.49
Mark2-vib3	89.5	12.3	61.98
Mark3-vib1	47.5	1.22	17.46
Mark3-vib2	87、44	11.7、0.77	58.56、14.98
Mark3-vib3	86	14.9	57.23
環境溫度:29.7°C 濕度:71.4%			

(資料來源:本研究整理)

試片 1 材料為 PU 膠結橡膠顆粒，由實驗量測所得之 9 個點頻率反應函數結果分析後，由量測軟體計算 FRF 函數奇異點後歸納結果得到共振頻率 Peak 具有 3 個峰值，分別在 30-30.5 Hz、41.75-47.5 Hz 區間及 84 至 89.5 Hz 區間，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，FRF 曲線圖之峰值顯示為於 84-89.5 Hz 之範圍，其他 30-30.5 Hz、41.75-47.5 Hz 區間等之共振頻率於 FRF 圖形上並不明顯，依據單自由度震動理論可判別其應非主要之振動頻率；另由所測得之阻尼比結果觀察後，共振頻率 30 Hz 之阻尼比約為 0.5%、41.75-47.5 Hz 區間之峰值所測得之阻尼比約為 1.44-1.22 %，而 84-89.5 Hz 共振頻率之阻尼比則為 13.4-12.3 %，由於阻尼為緩衝材消滅振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 80-90 Hz 共振頻率區間之峰值應為正確之共振峰值。如依實驗中編號 mark2-vib2 之結果(位置為試體中央)，取中央點位共振頻率之 FRF 量測所得之共振頻率值 $f=44.75$ Hz 進行分析，表示方式

則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「...所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，求得動態剛性值為 $47 MN/m^3$ 。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，但此次實驗之共振頻率結果呈現較為分散，推斷可能為試體乾燥時間不足，為求審慎及探討影響因素，後續進行乾燥後重新檢測。

2. 試件 2-PU 膠結橡膠纖維

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-16 至圖 4-24 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-4 所示

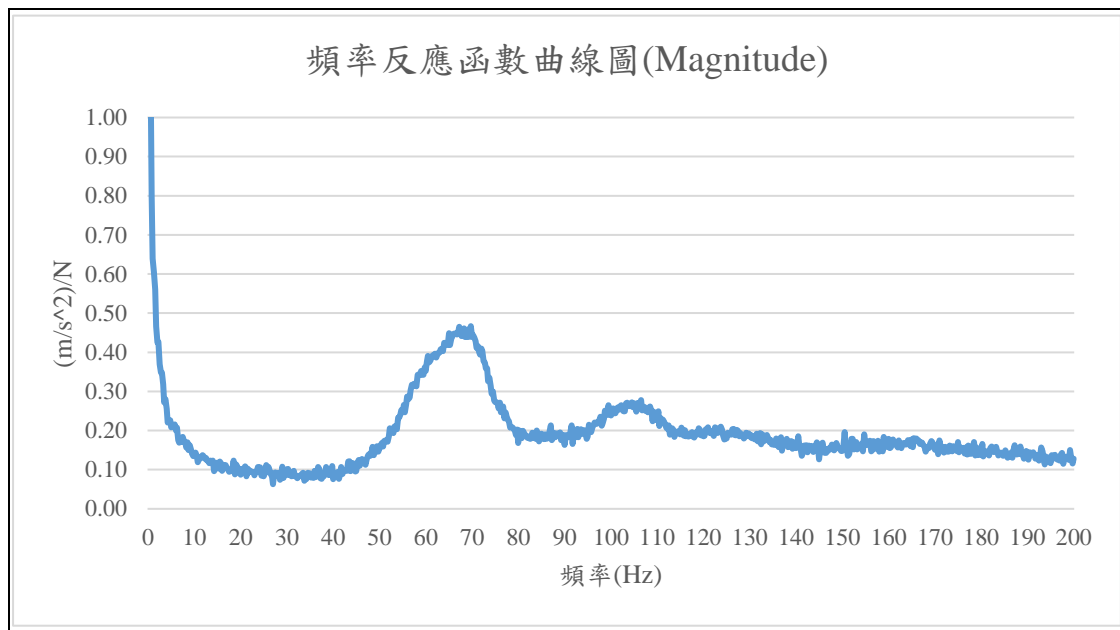


圖 4- 16 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

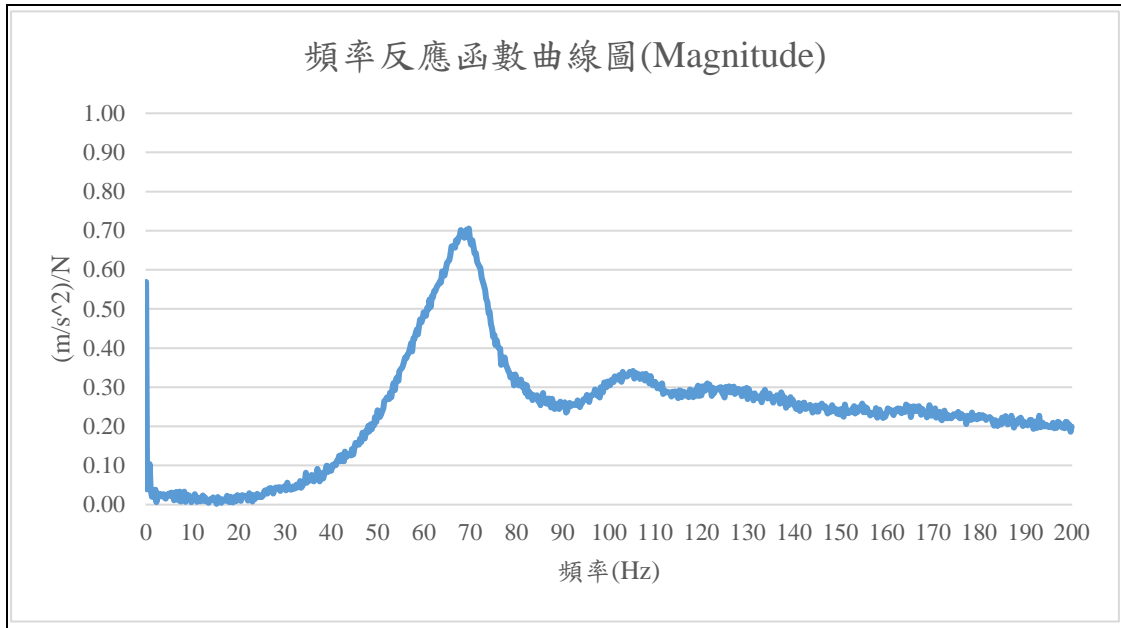


圖 4- 17 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

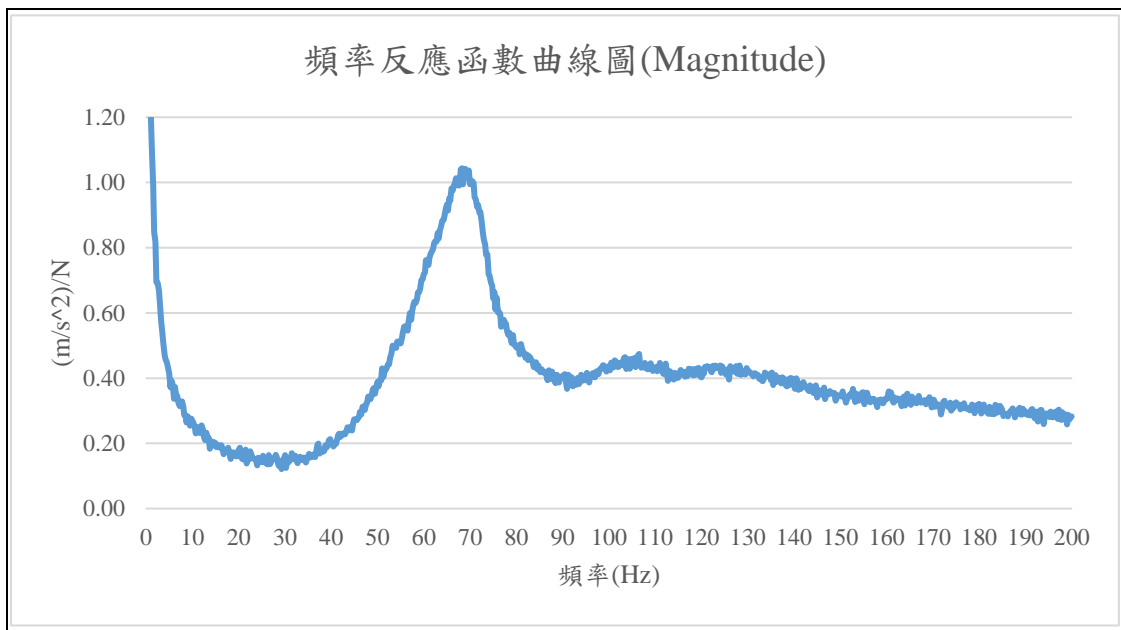


圖 4- 18 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

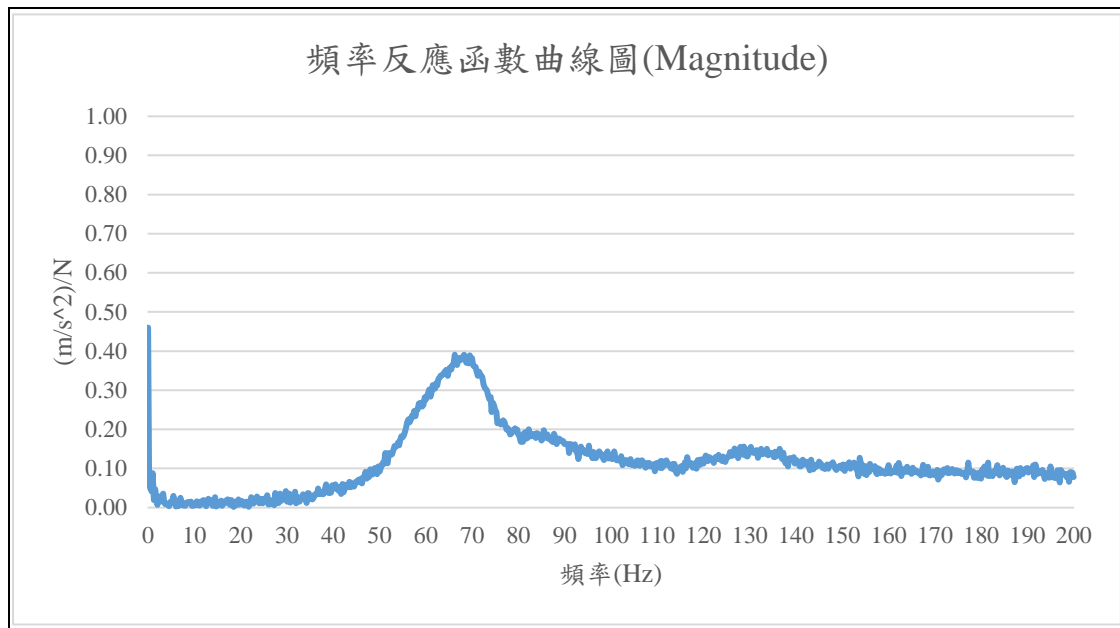


圖 4- 19 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

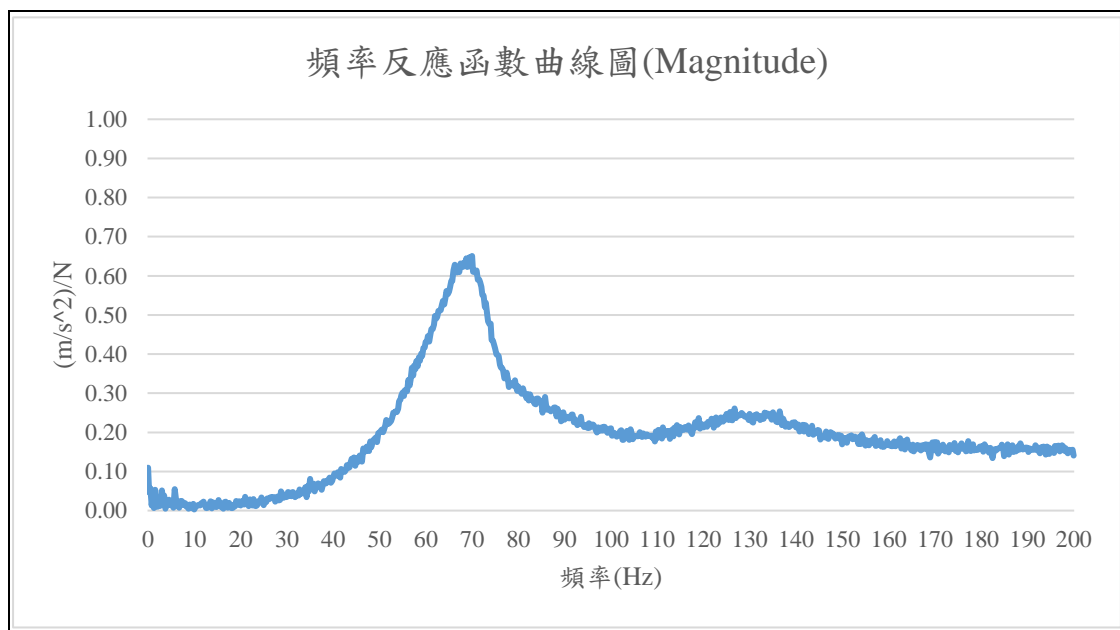


圖 4- 20 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

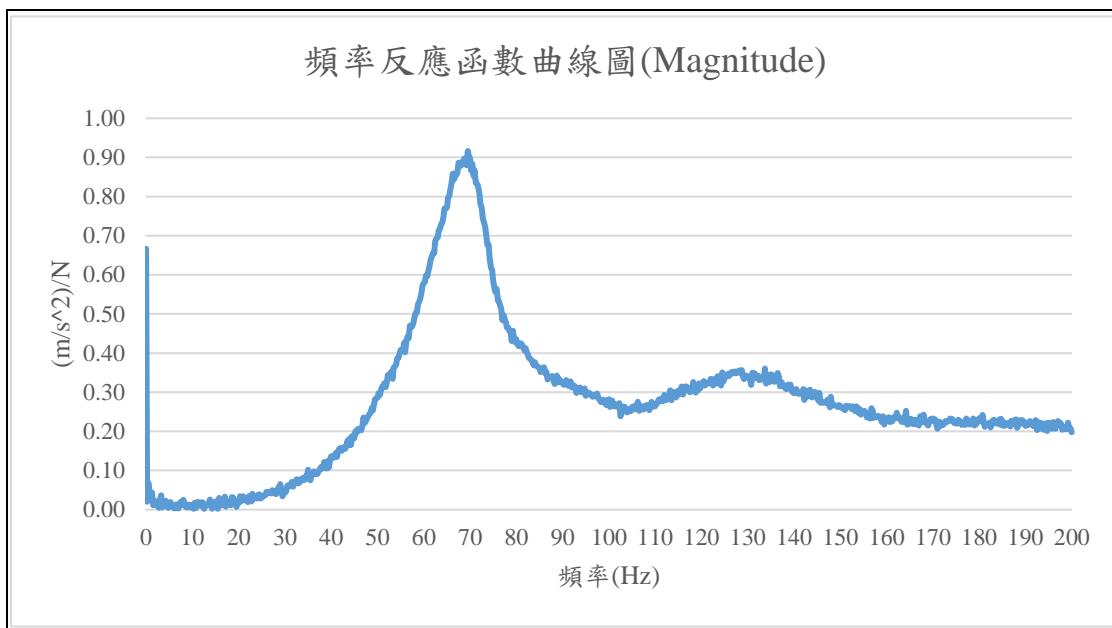


圖 4- 21 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

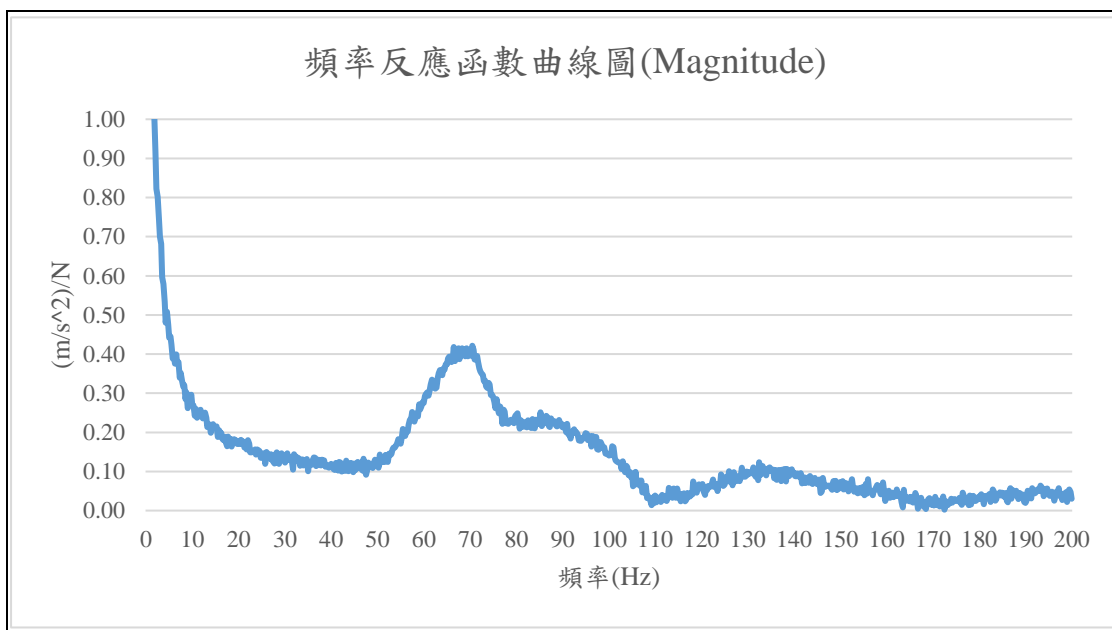


圖 4- 22 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

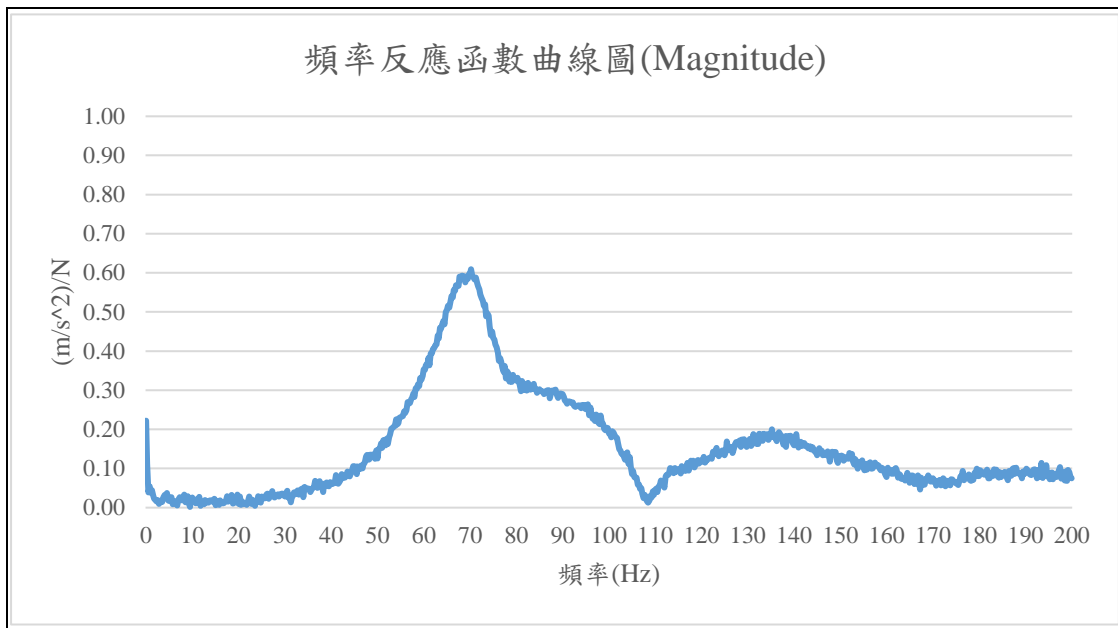


圖 4- 23 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

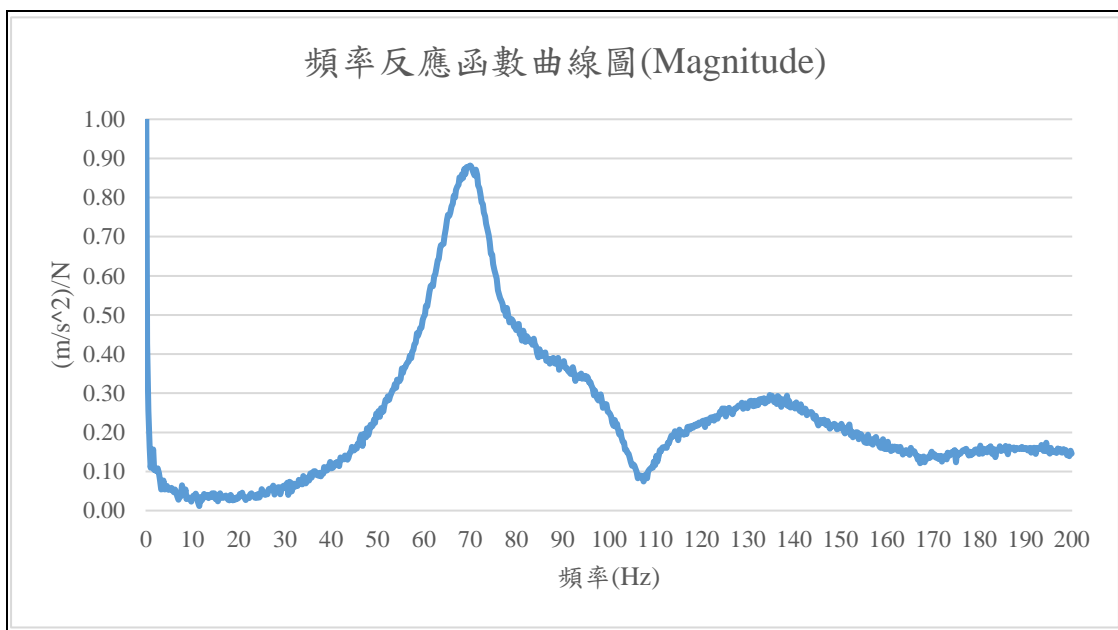


圖 4- 24 試件 2 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 4 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 2)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s_t' (MN/m ³)
Mark1-vib1	69.75	11	37.64
Mark1-vib2	69.75、20.75	9.47、2.85	37.64、3.33

Mark1-vib3	68.25	9.95	36.04
Mark2-vib1	66.25	10.6	33.96
Mark2-vib2	70、26	9.24、3.62	37.91、5.23
Mark2-vib3	69.5、29	8.97、1.65	37.37、6.51
Mark3-vib1	70.5	9.49	38.46
Mark3-vib2	70.25、26.25	8.72、1.37	38.18、5.33
Mark3-vib3	70、31	8.8、1.01	37.91、7.44
環境溫度:30.8 °C 濕度:69.3 %			

(資料來源:本研究整理)

試片 2 材料為 PU 膠結橡膠纖維，由實驗量測所得到之 9 個點頻率反應函數(FRF)圖形可觀察到其共振頻率 Peak 相當一致，皆分布在 65~70 Hz 區間，另於編號 Mark1-vib2、Mark2-vib2、vib3、Mark3-vib2 等次之量測結果原始資料顯示除 65~70 Hz 區間外另於頻率 25 Hz 左右有一共振頻率，表示 FRF 函數於此頻率亦為奇異點，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，相較於原 65~70 Hz 區間之峰值，此 25 Hz 左右有一共振頻率於 FRF 圖形上並不明顯，依據單自由度震動理論可判別其並非主要之振動頻率；另由所測得之阻尼比結果觀察後，共振頻率 65~70 Hz 區間之峰值所測得之阻尼比約為 9~11%，而 25 Hz 左右共振頻率之阻尼比則為 3~6%，由於阻尼為緩衝材消滅振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 65~70 Hz 區間之峰值為正確之共振峰值。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P. 50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值，另表示方式則依據

CNS 16022 第 9 節之規定，「...所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $38 MN/m^3$ 。

3. 試件 3-橡膠顆粒膠結聚氨酯材料

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-25 至圖 4-33 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-5 所示

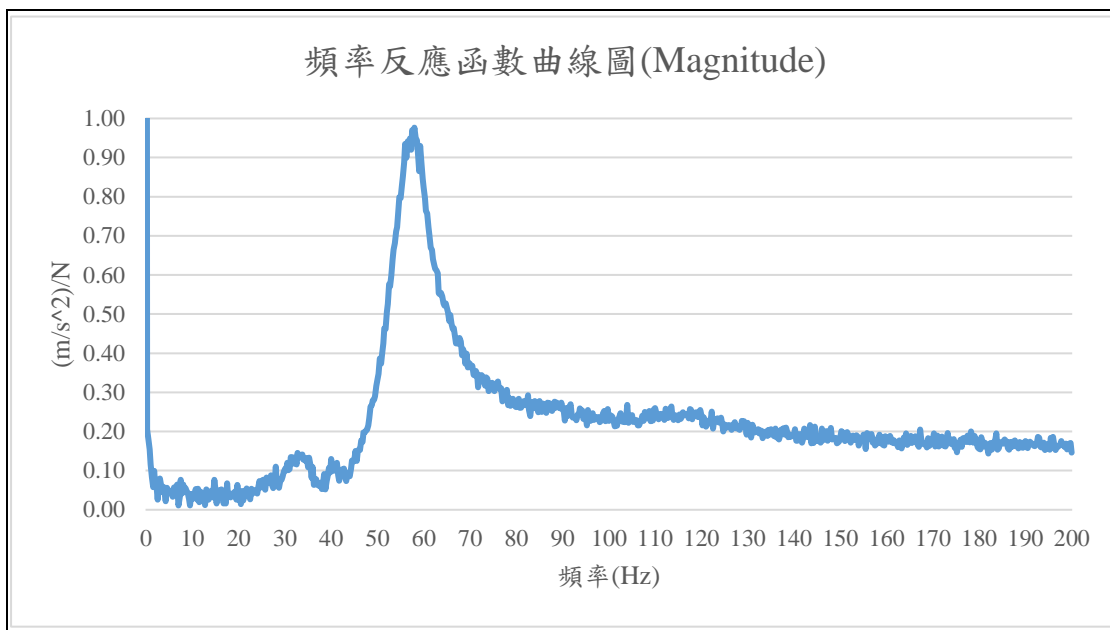


圖 4- 25 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

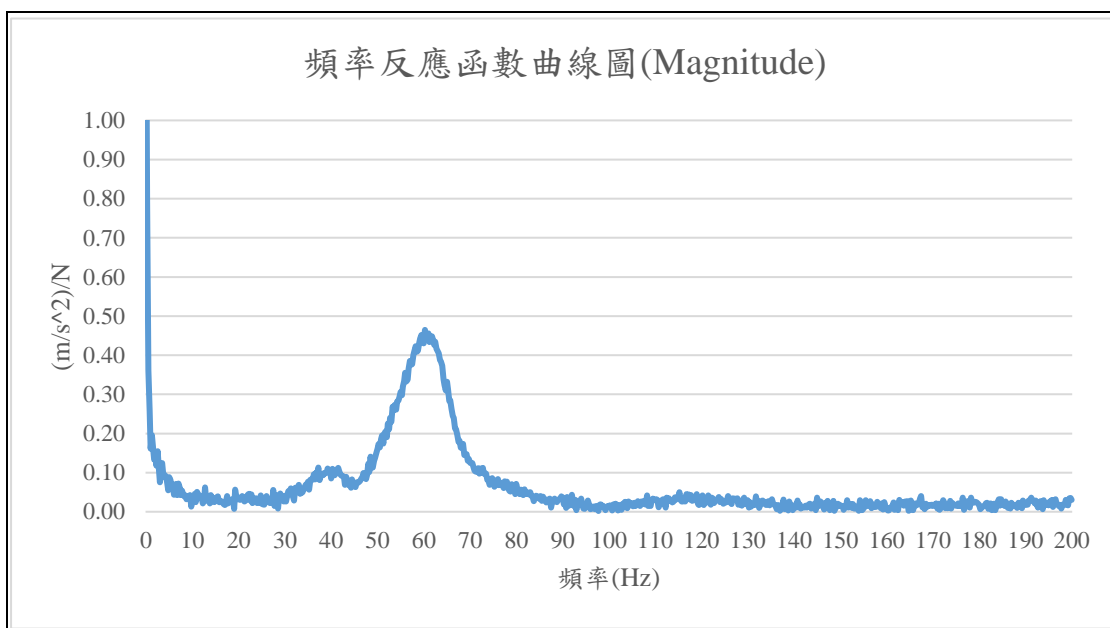


圖 4- 26 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

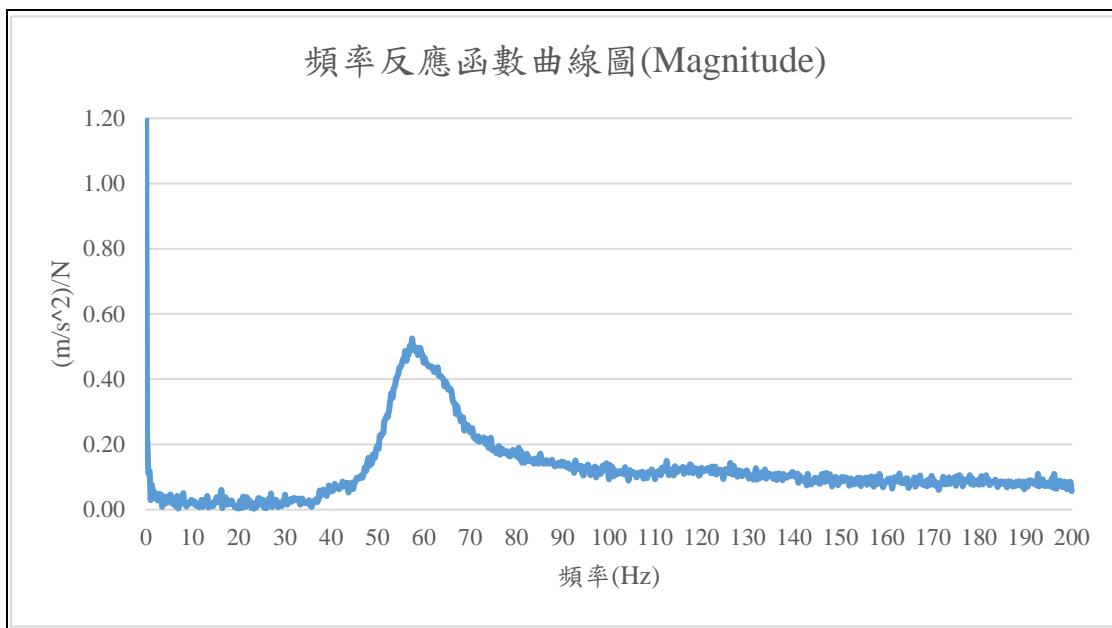


圖 4- 27 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

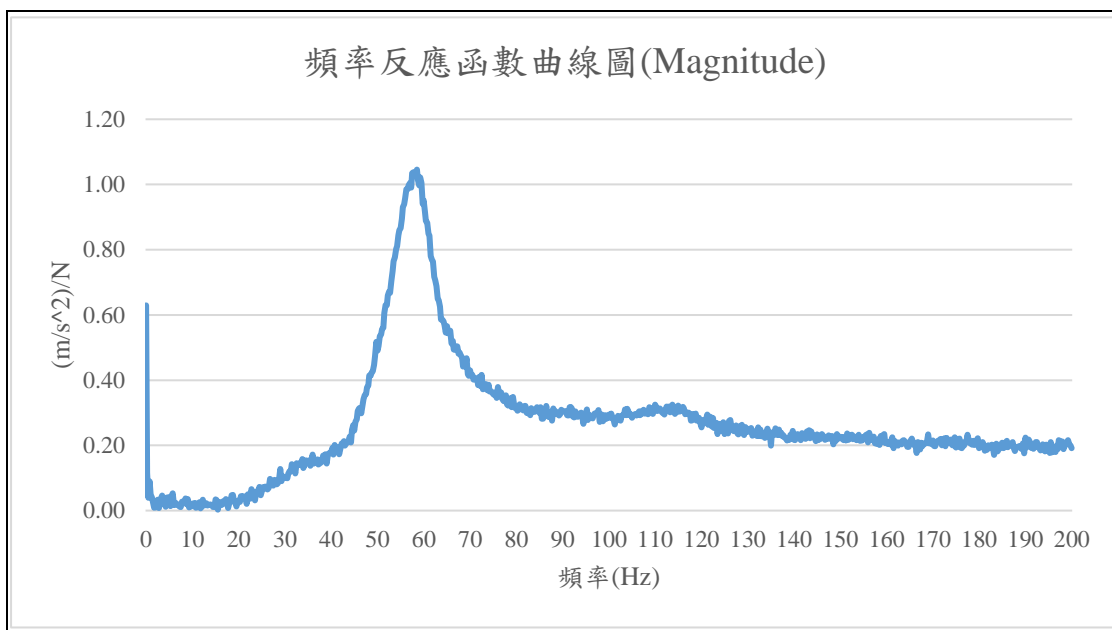


圖 4- 28 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

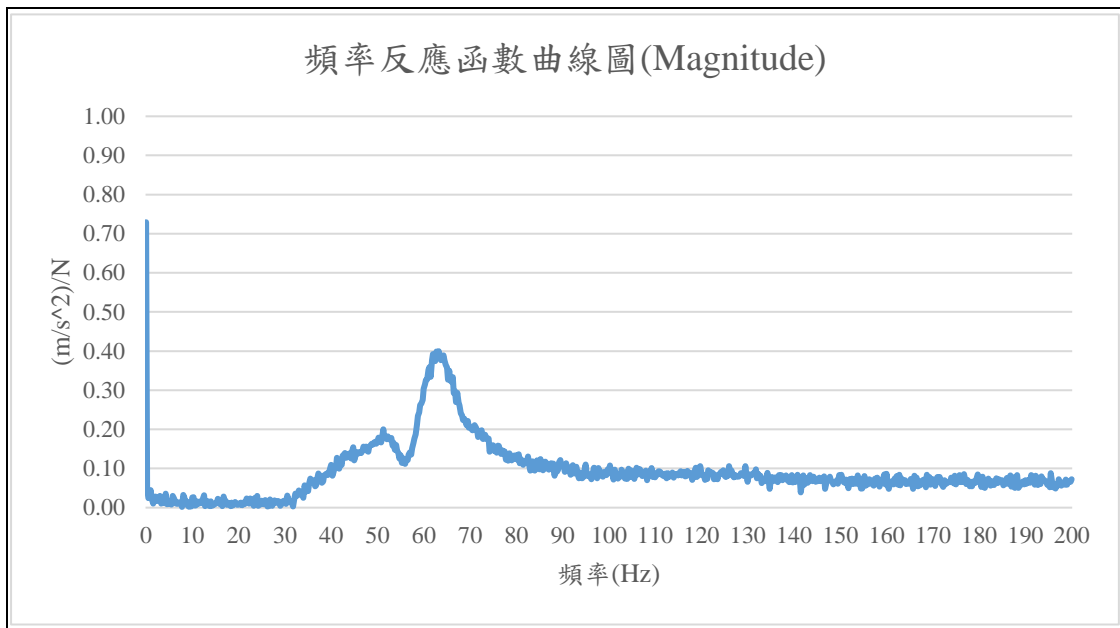


圖 4- 29 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

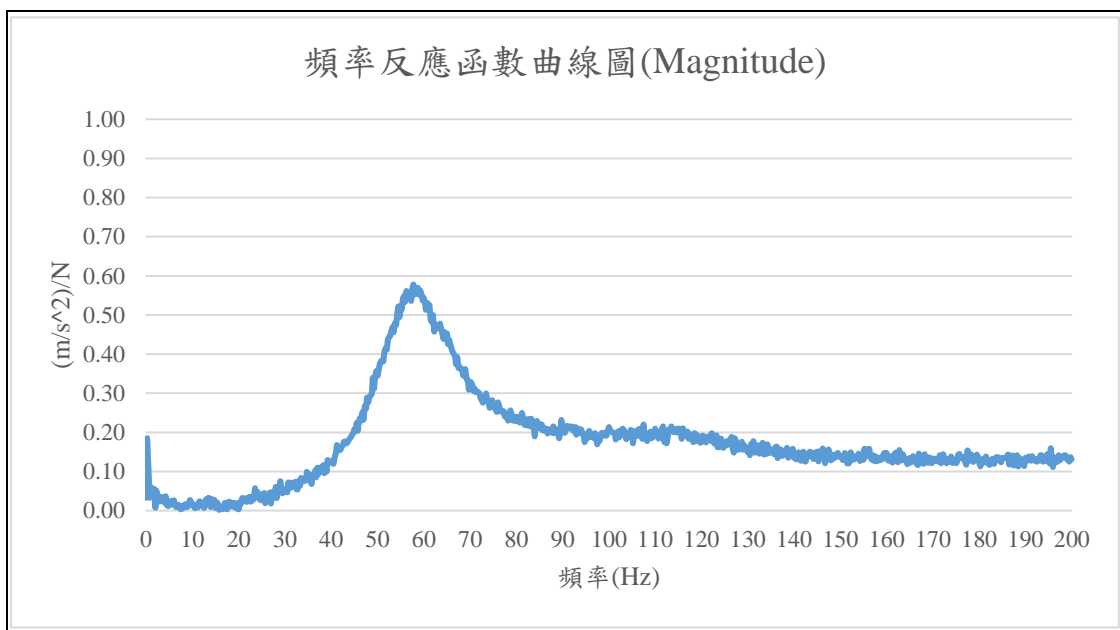


圖 4- 30 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

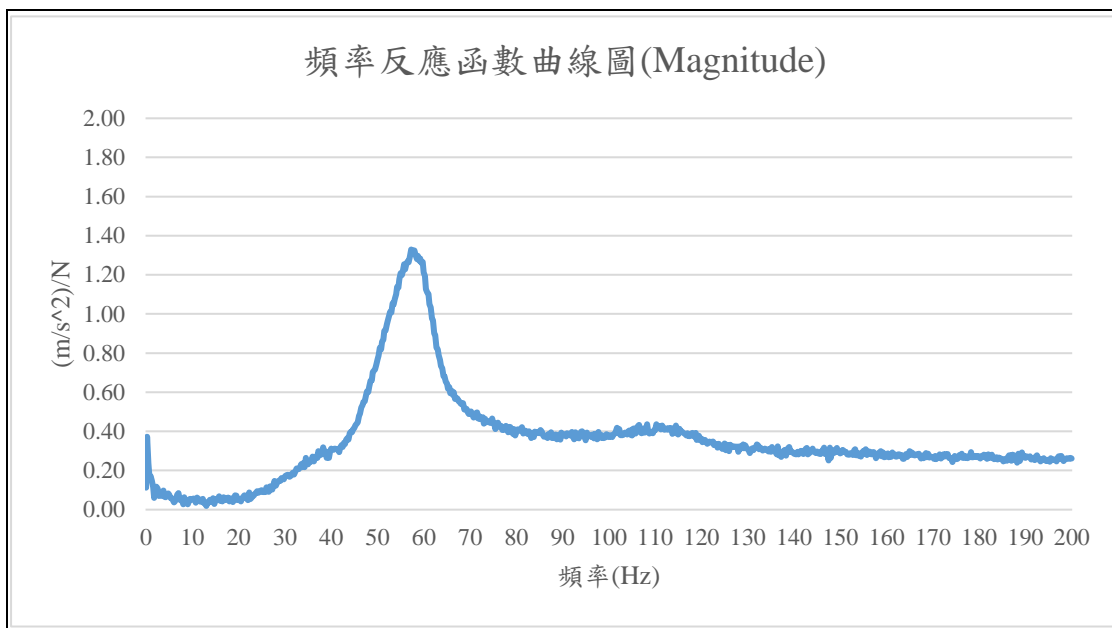


圖 4- 31 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

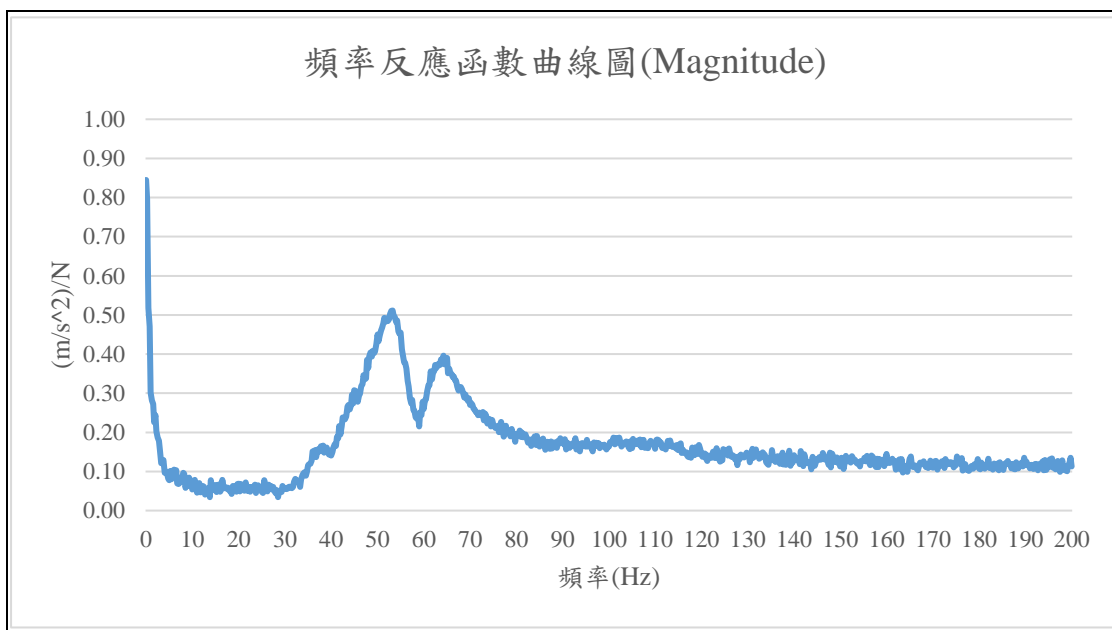


圖 4- 32 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

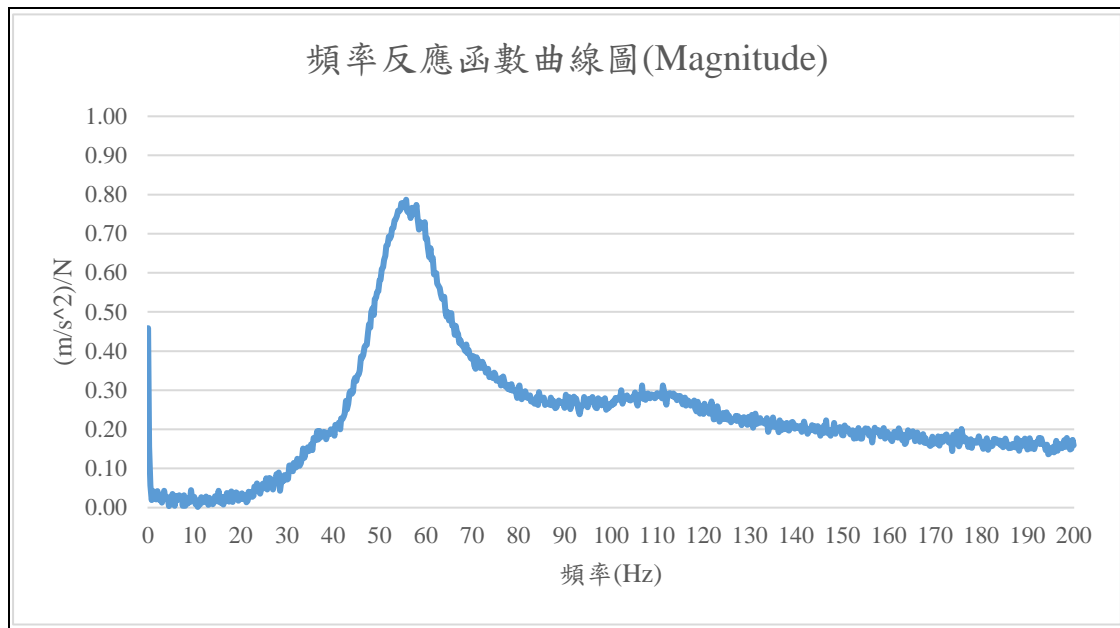


圖 4- 33 試件 3 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 5 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 3)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s_t' (MN/m ³)
Mark1-vib1	58、21.75	6.47、1.84	26.03、3.66
Mark1-vib2	60.25、31.25	7.28、1.79	28.09、7.56
Mark1-vib3	57.5、24.25	10.02、1.32	25.58、4.55
Mark2-vib1	58.5、24.5	7.55、2	26.48、4.64
Mark2-vib2	63.25、51.25	5.58、7.63	30.95、20.32
Mark2-vib3	57.75、34.75	12.6、3.38	25.8、9.34
Mark3-vib1	57.25、19.25	8.86、2.15	25.36、2.87
Mark3-vib2	64.25、53.25	7.5、8.12	31.94、21.94
Mark3-vib3	55.75、26.25	11.9、2.03	24.05、5.33
環境溫度:25.3 °C 濕度:65.8 %			

(資料來源:本研究整理)

試片 3 材料為膠結橡膠顆粒及聚氨酯製成,由實驗量測所得到之 9 個點頻率反應

函數結果分析後共振頻率 Peak 具有 2 個峰值，分別在 51~65 Hz 區間及 19 至 35 Hz，表示 FRF 函數於此兩頻率為奇異點，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，相較於 51~65 Hz 區間之峰值，19 至 35 Hz 之共振頻率於 FRF 圖形上並不明顯，依據單自由度震動理論可判別其並非主要之振動頻率；另進一步由表 4-5 所測得之結果觀察後，51~65 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比約為 12.6~5.58%，而 19 至 35 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比則為 2~1.79%，由於阻尼為緩衝材消滅振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 51~65 Hz 區間之峰值為正確之共振峰值。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P.50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值($f=51.25$ Hz，阻尼比=7.63%)，另動態剛性值表示方式則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「...所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $20 MN/m^3$ 。

4. 試件 4-PU 膠結細粒聚氨酯顆粒

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-34 至圖 4-42 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-6 所示

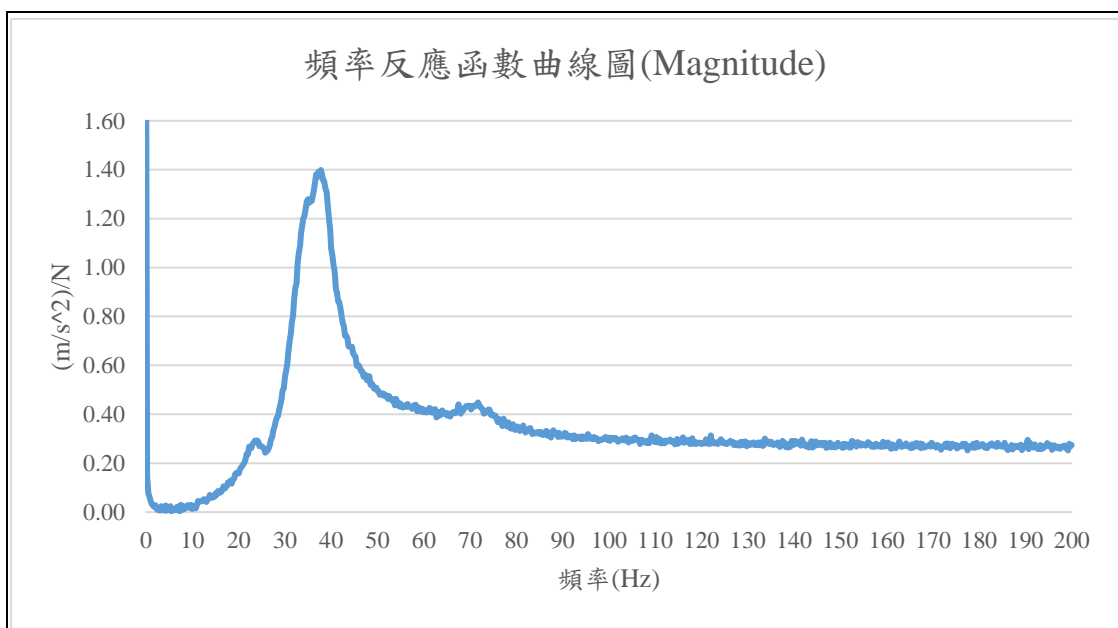


圖 4- 34 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)
 (資料來源:本研究整理)

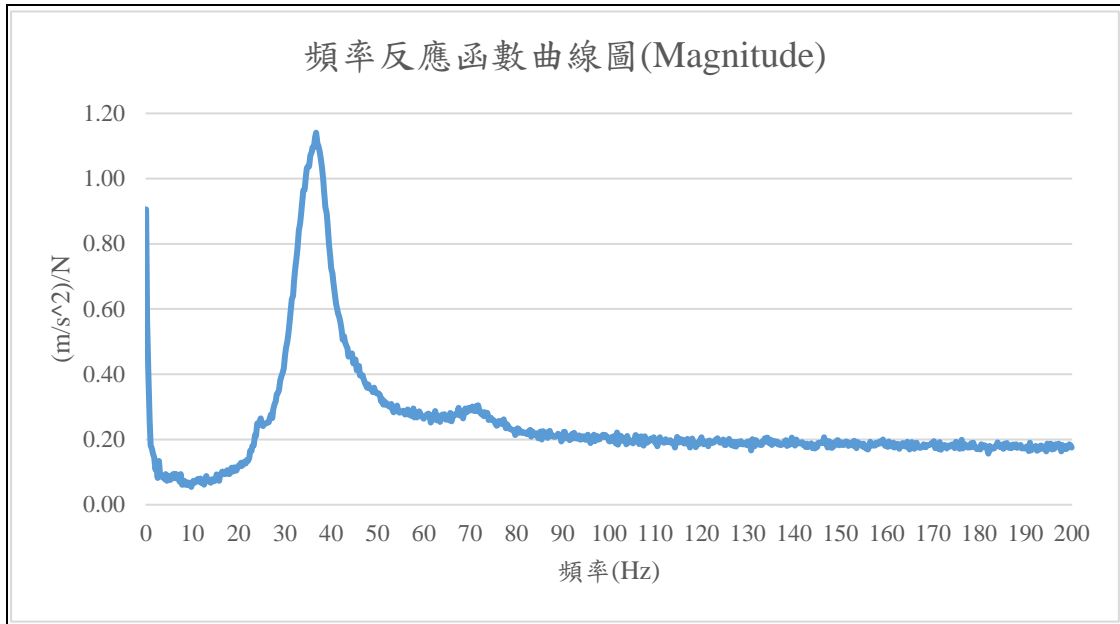


圖 4- 35 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)
 (資料來源:本研究整理)

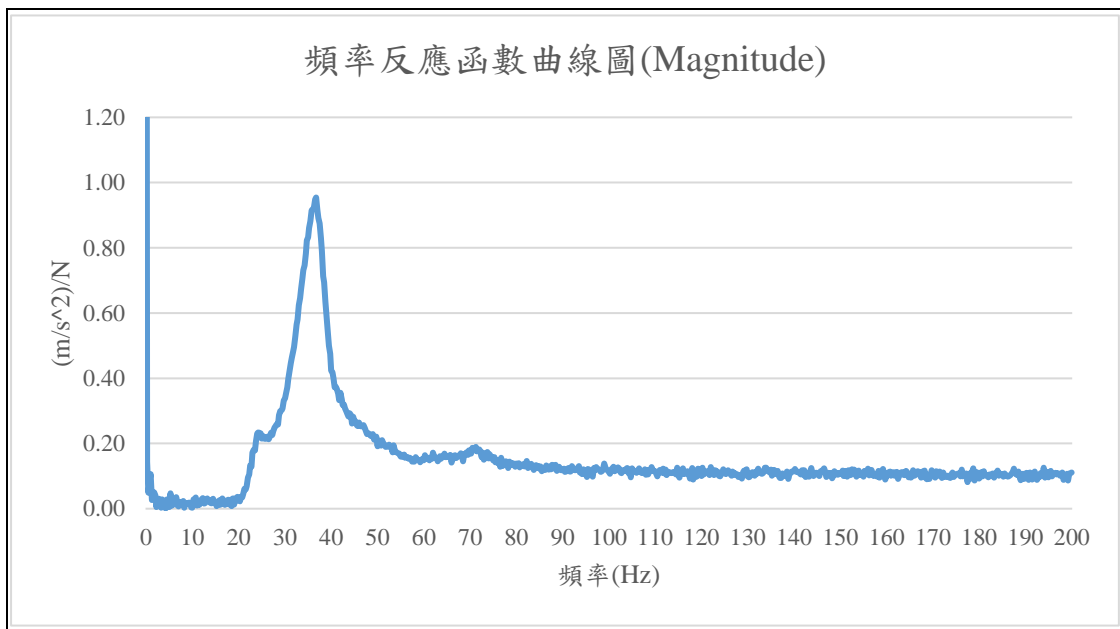


圖 4- 36 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)
 (資料來源:本研究整理)

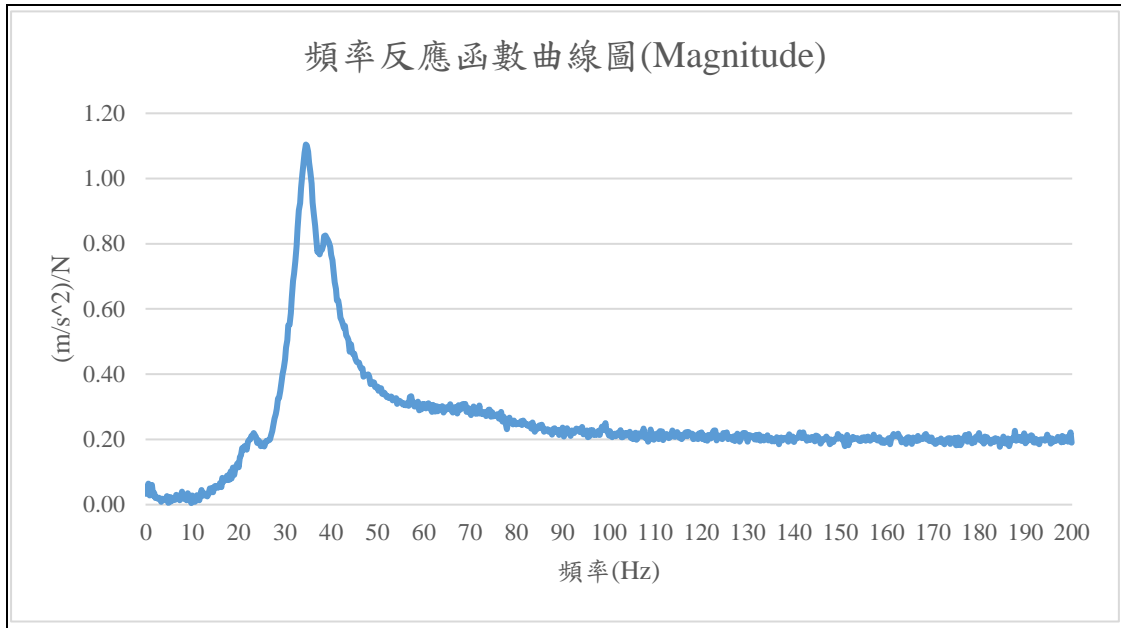


圖 4- 37 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

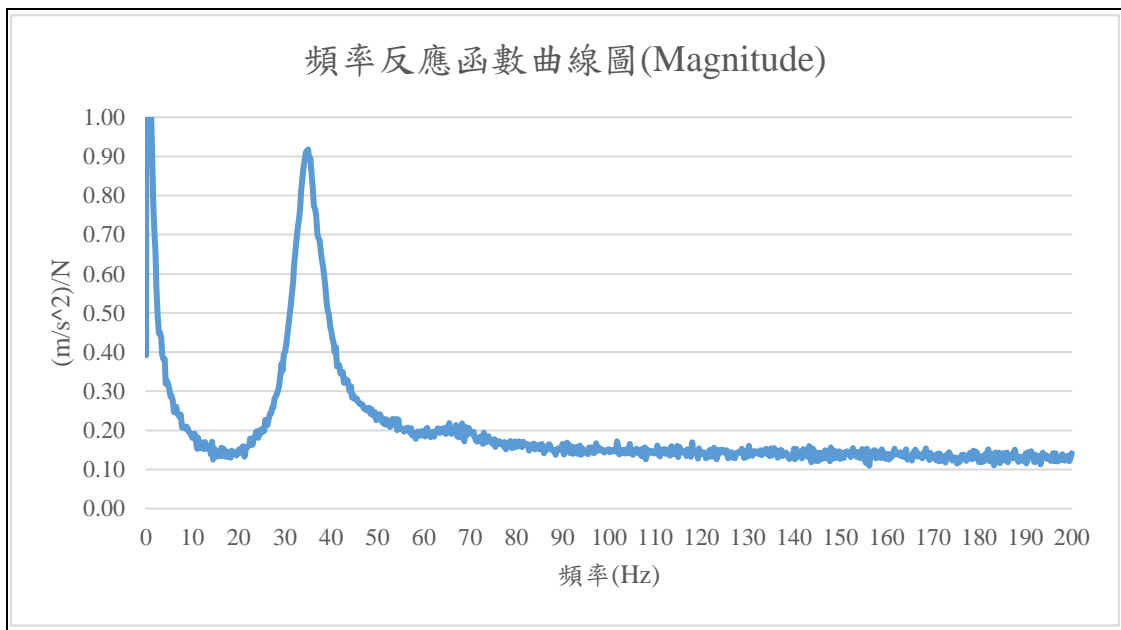


圖 4- 38 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

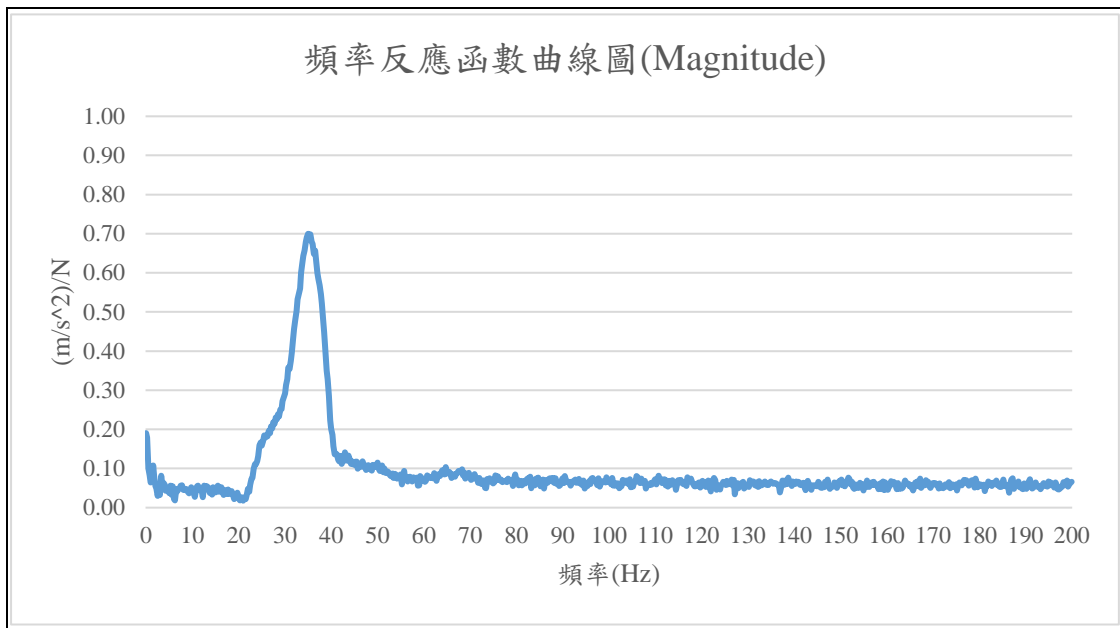


圖 4- 39 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

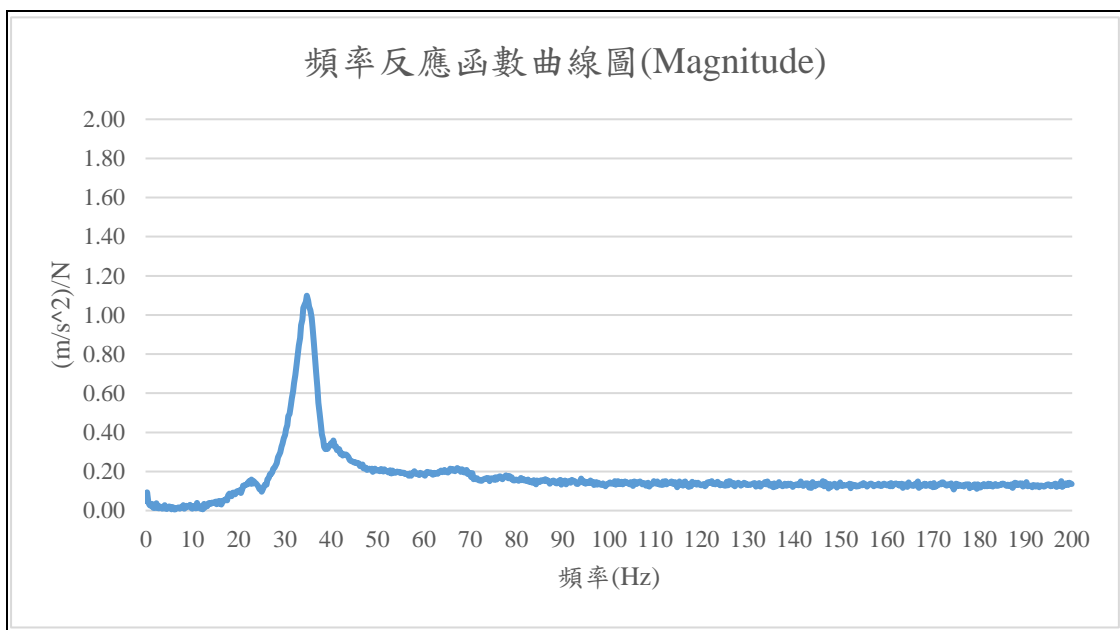


圖 4- 40 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

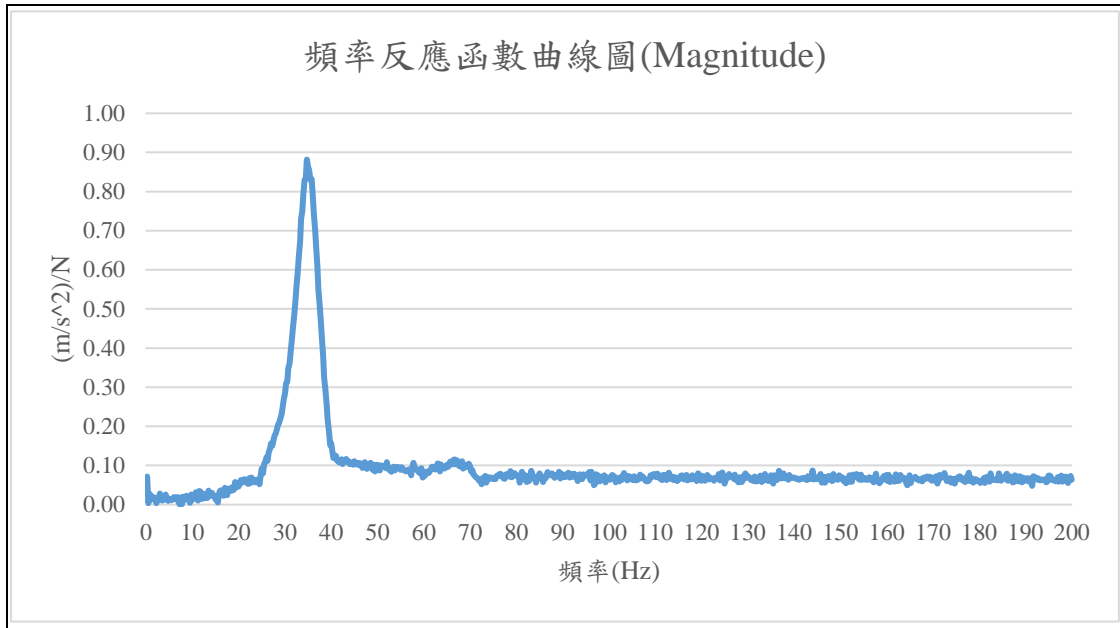


圖 4- 41 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

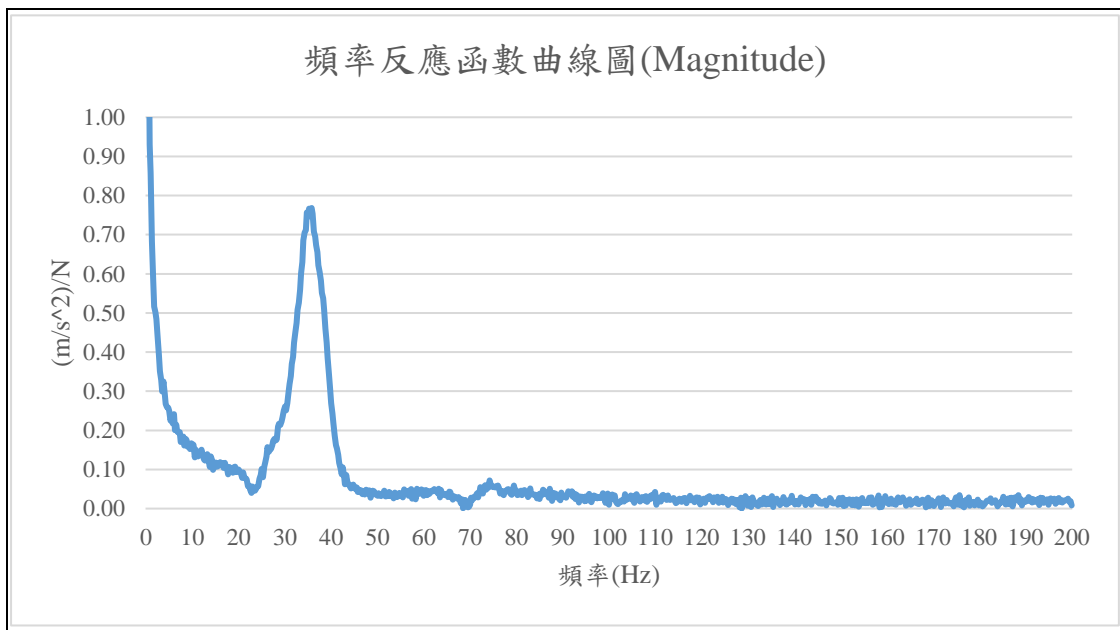


圖 4- 42 試件 4 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 6 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 4)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s_t' (MN/m ³)
Mark1-vib1	37.75	10.6	11.03
Mark1-vib2	36.75	9.03	10.45

Mark1-vib3	36.7	6.9	10.42
Mark2-vib1	34.5	6.57	9.21
Mark2-vib2	35	8	9.48
Mark2-vib3	35	8.21	9.48
Mark3-vib1	34.75	5.48	9.34
Mark3-vib2	34.75	5.73	9.34
Mark3-vib3	35.75	7.01	9.89
環境溫度:27.5 °C 濕度:68.2 %			

(資料來源:本研究整理)

試片 4 材料由實驗量測所得到之 9 個點頻率反應函數結果分析後共振頻率 Peak 峰值在 34.5~37.75 Hz 區間，表示 FRF 函數於此頻率為奇異點，搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，於 34.5~37.75 Hz 區間之峰值亦與前述結果相符合；另進一步由表 4-6 所測得之結果觀察後，51~65 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比約為 12.6~5.58%，而 19 至 35 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比則為 2-1.79%，依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P.50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值($f=35$ Hz，阻尼比=8%)，另動態剛性值表示方式則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「……所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $9 MN/m^3$ 。

5. 試件 5- PU 彈性體膠結橡膠顆粒

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-43 至圖 4-51 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-7 所示

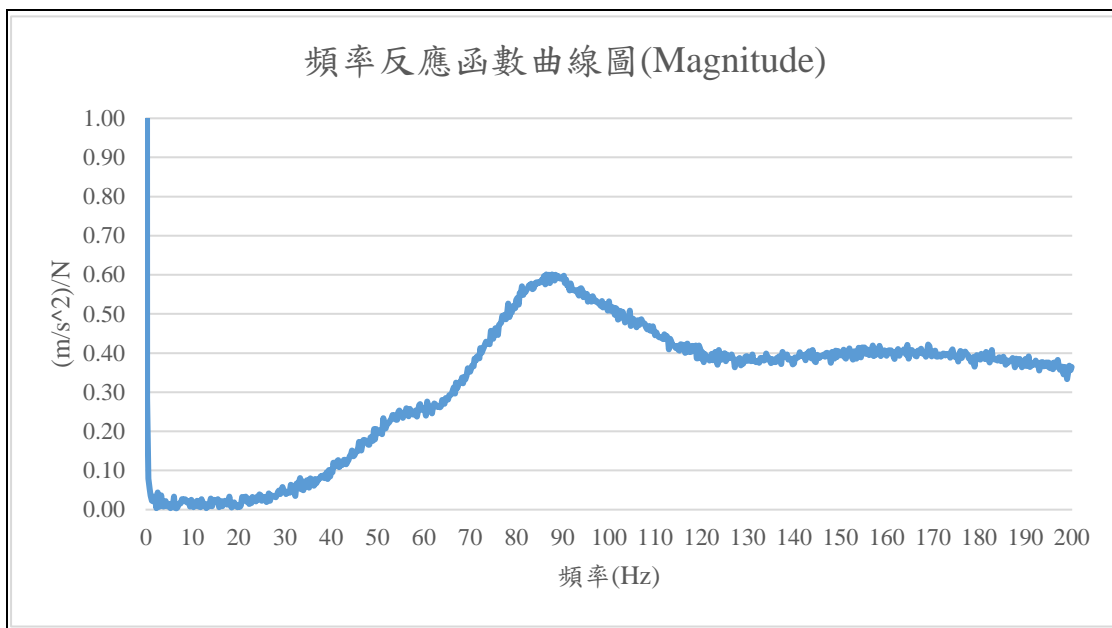


圖 4- 43 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

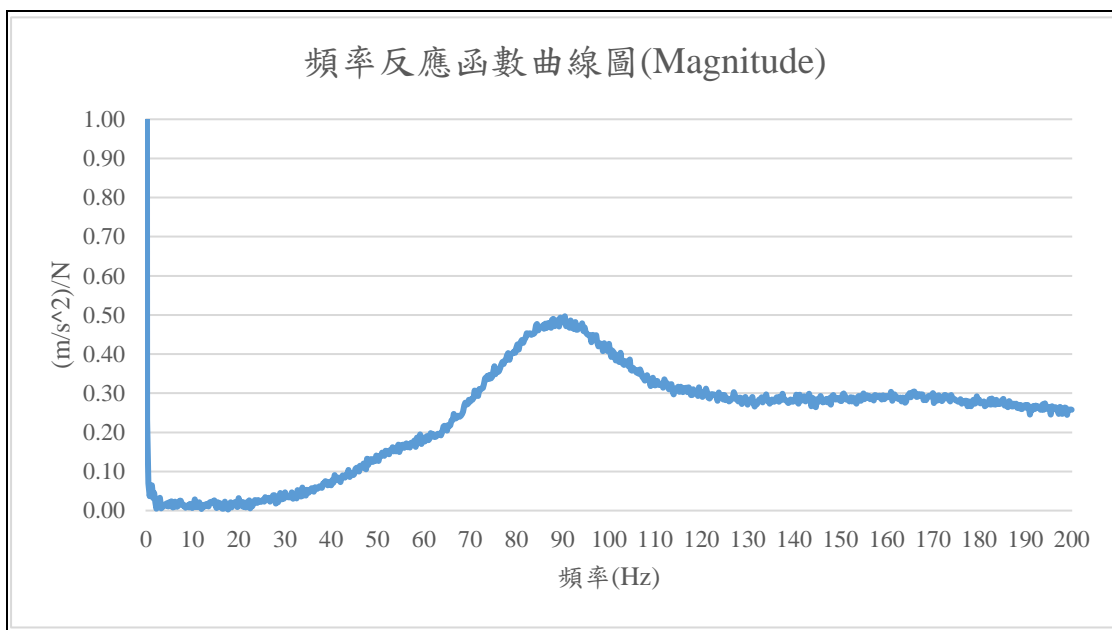


圖 4- 44 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

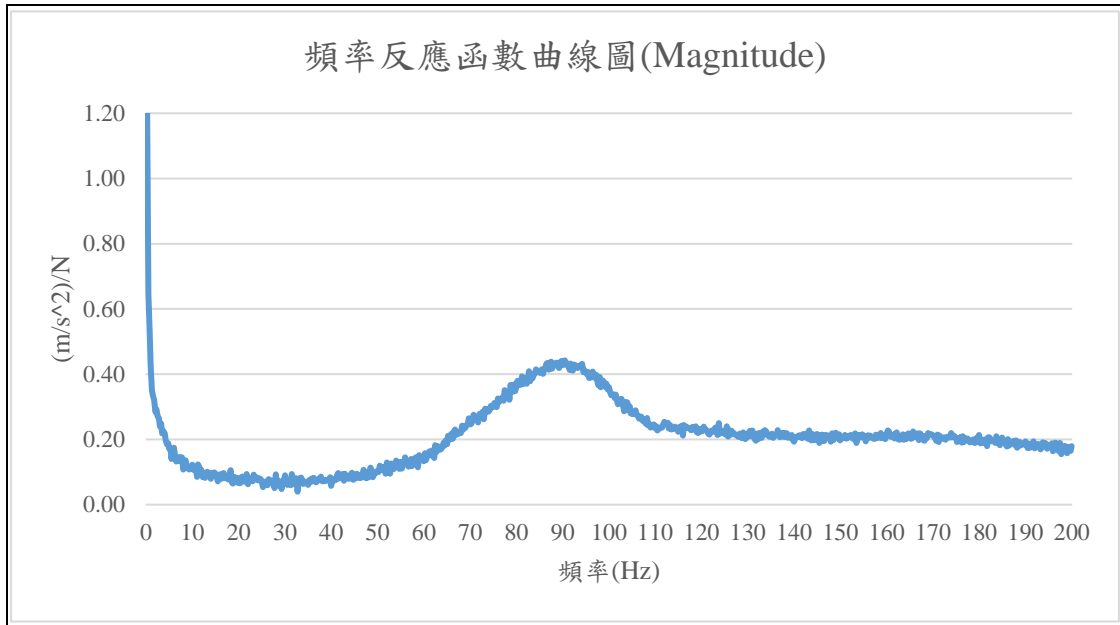


圖 4-45 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

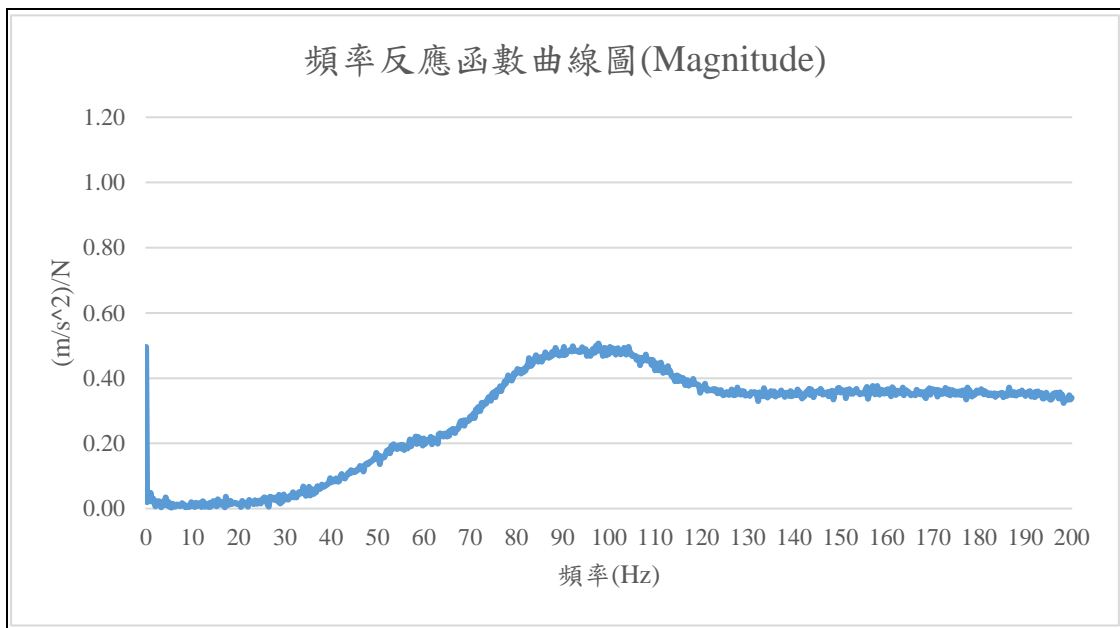


圖 4-46 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

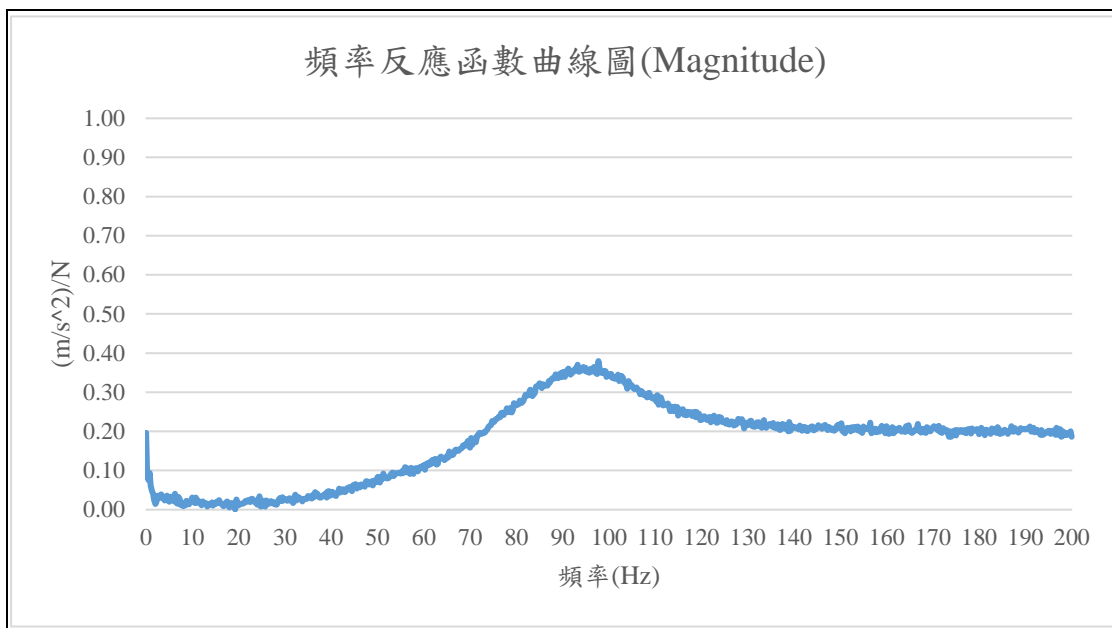


圖 4- 47 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

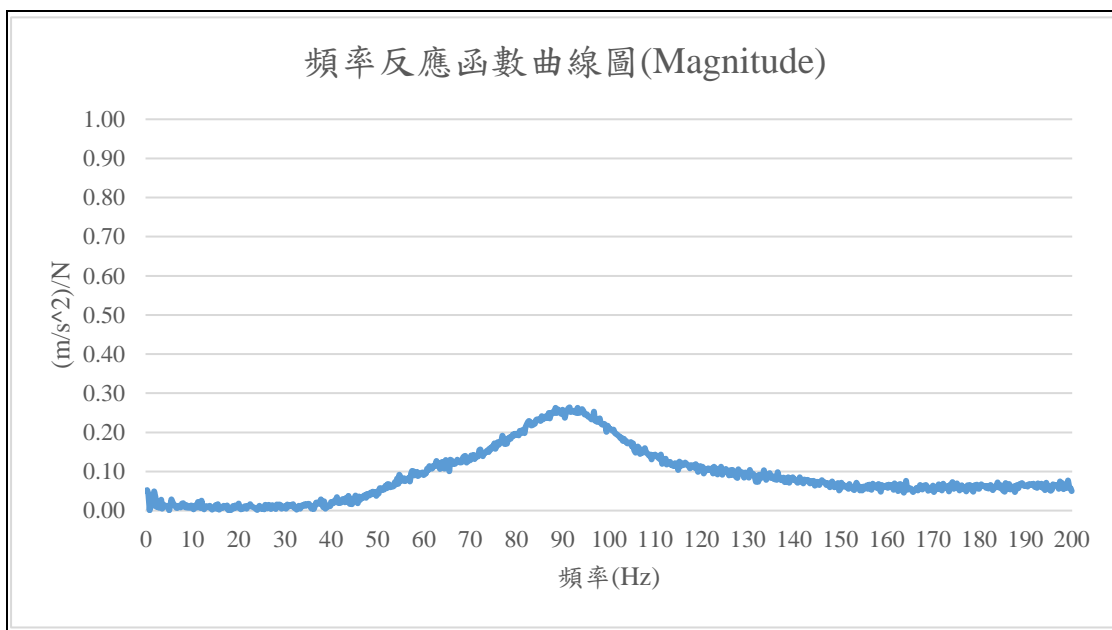


圖 4- 48 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

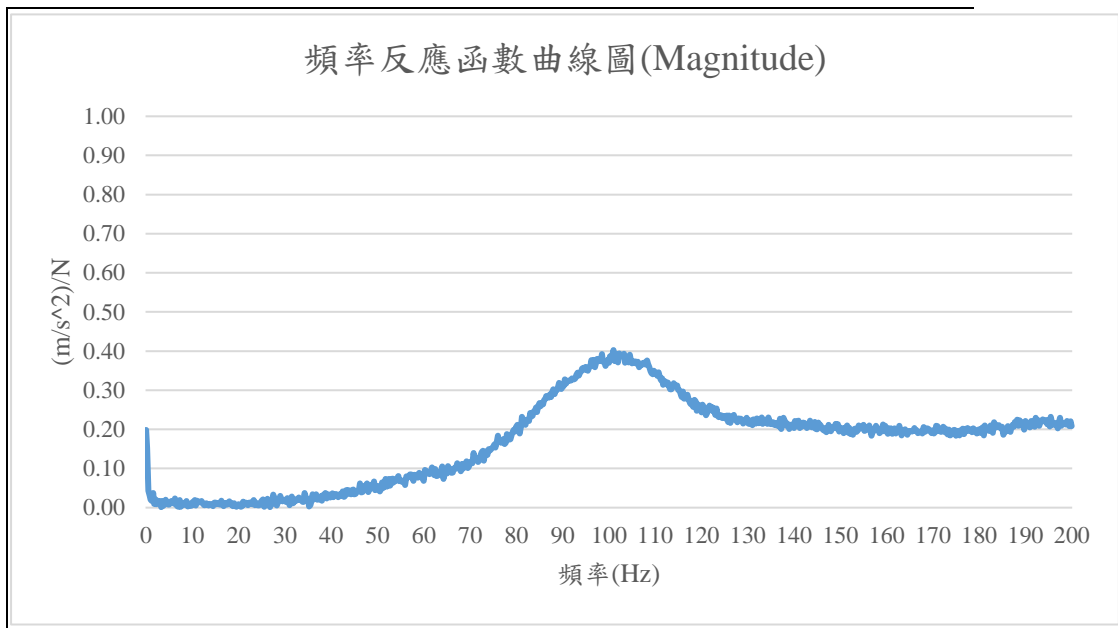


圖 4- 49 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

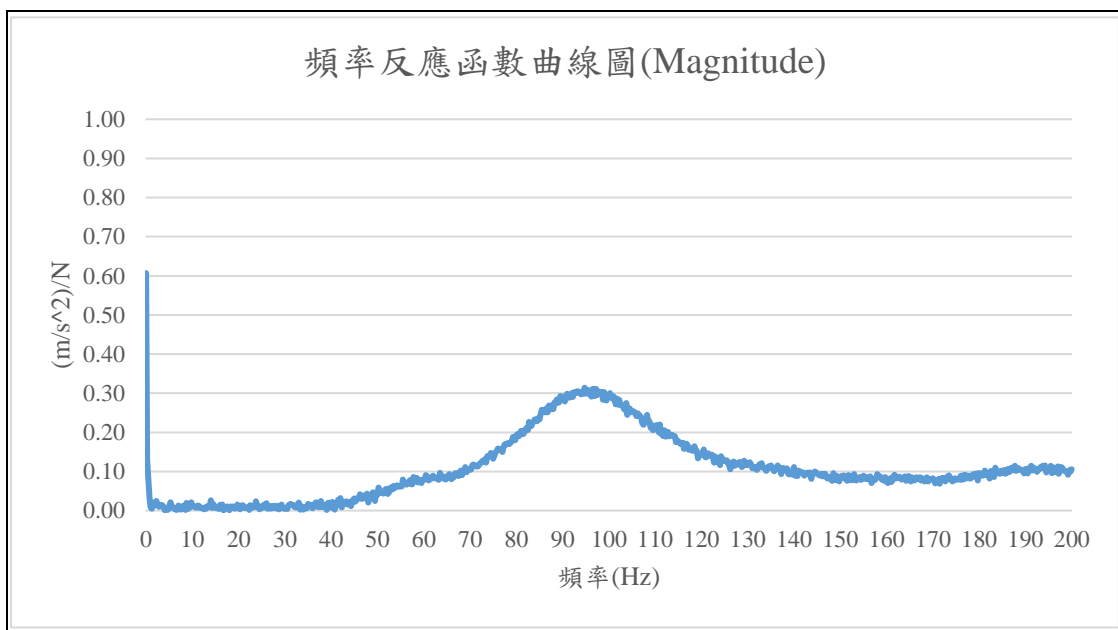


圖 4- 50 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

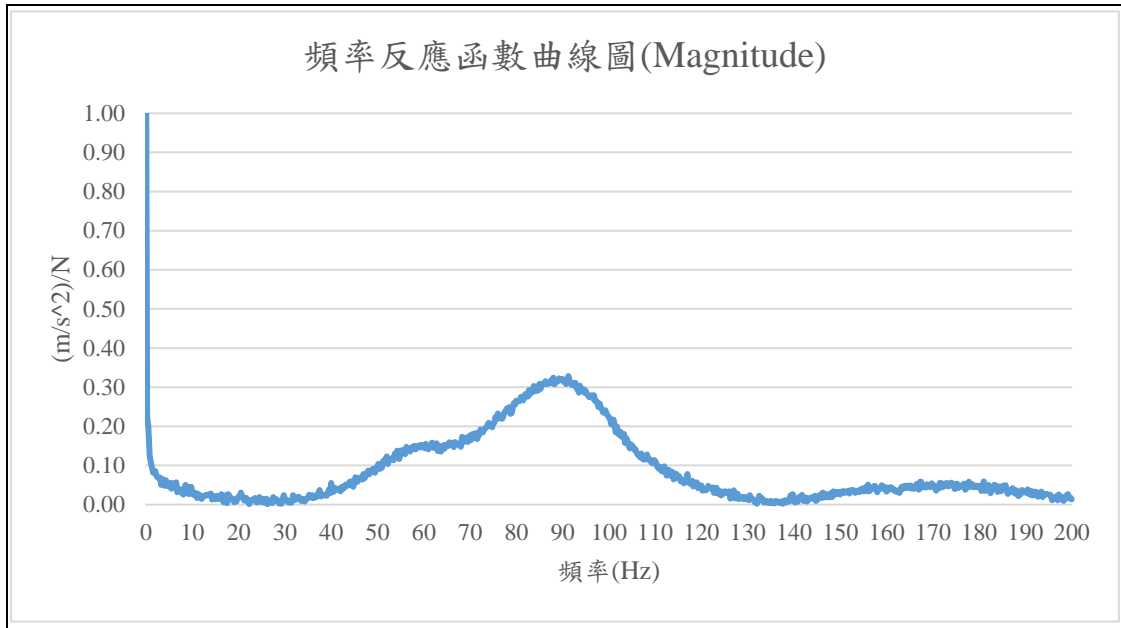


圖 4- 51 試件 5 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 7 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 5)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s_t' (MN/m ³)
Mark1-vib1	86.5	22.3	57.89
Mark1-vib2	90.5	17.1	63.37
Mark1-vib3	90	14.4	62.67
Mark2-vib1	97.5、34	22.5、1.32	73.55、8.94
Mark2-vib2	97.7、32.25	15.6、0.77	73.85、8.05
Mark2-vib3	91.5、42.35	12.9、0.5	64.78、13.88
Mark3-vib1	101	13.9	78.93
Mark3-vib2	94.75	12.6	69.46
Mark3-vib3	91.25	11.3	64.43
環境溫度:29.5 °C 濕度:65.6 %			

(資料來源:本研究整理)

試片 5 材料由實驗量測所得到之 9 個點頻率反應函數結果分析後共振頻率 Peak

具有 2 個峰值，分別在 86.5~101 Hz 區間及 34 至 42.35 Hz，表示 FRF 函數於此兩頻率為奇異點，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，相較於 86.5~101 Hz 區間之峰值，34 至 42.35 Hz 之共振頻率於 FRF 圖形上並不明顯，依據單自由度震動理論可判別其並非主要之振動頻率；另進一步由表 4-7 所測得之結果觀察後，86.5~101 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比約為 22.3~13.9%，而 34 至 42.35 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比則為 1.32~0.5%，由於阻尼為緩衝材消滅振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 86.5~101 Hz 區間之峰值為正確之共振峰值。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P.50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值($f=97.7$ Hz，阻尼比=15.6%)，另動態剛性值表示方式則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「……所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $73 MN/m^3$ 。

6. 試件 6-橡膠顆粒膠結聚氨酯材料

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-52 至圖 4-60 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-8 所示

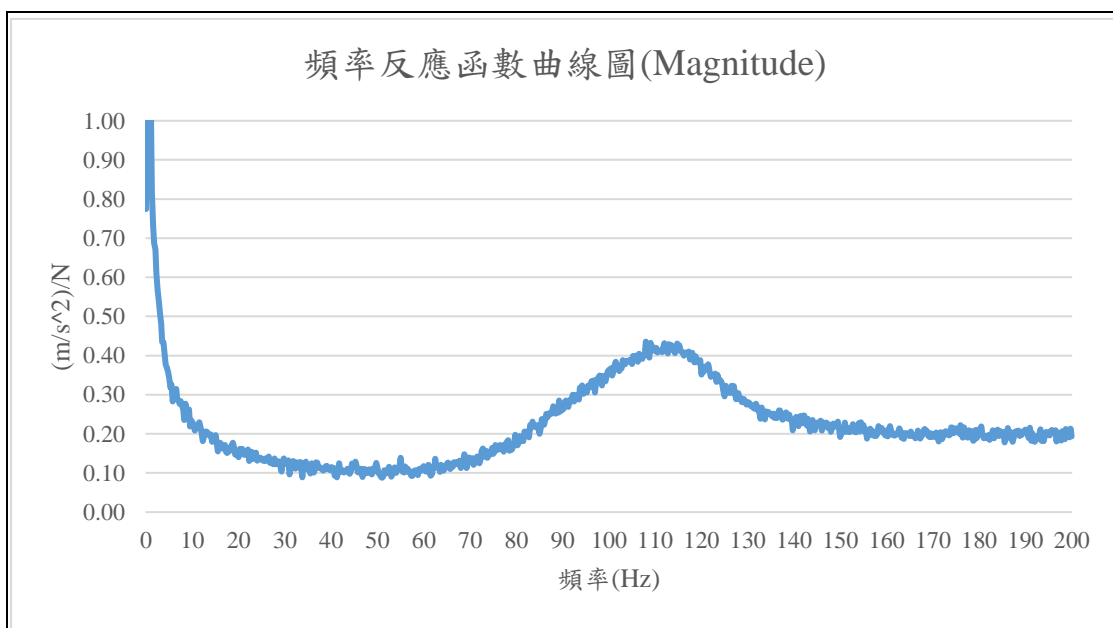


圖 4- 52 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

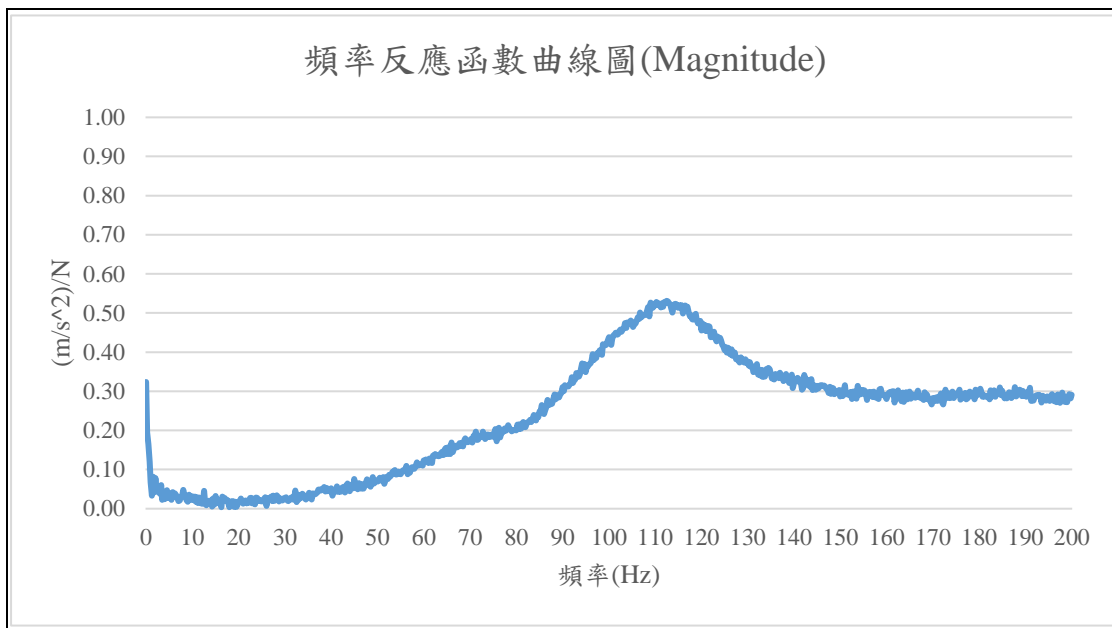


圖 4- 53 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

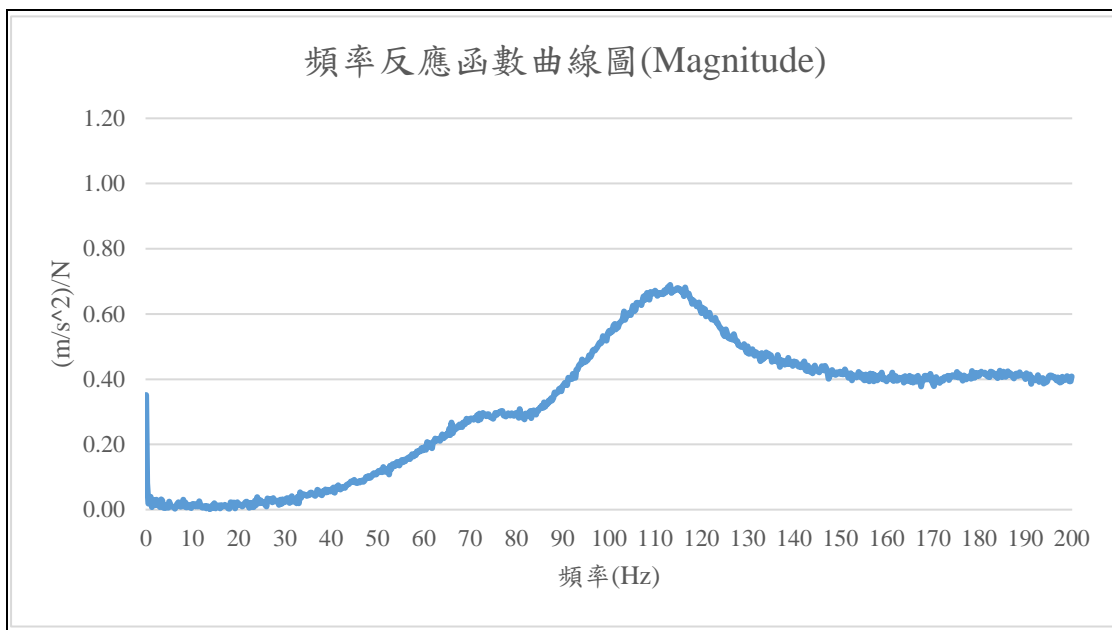


圖 4- 54 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

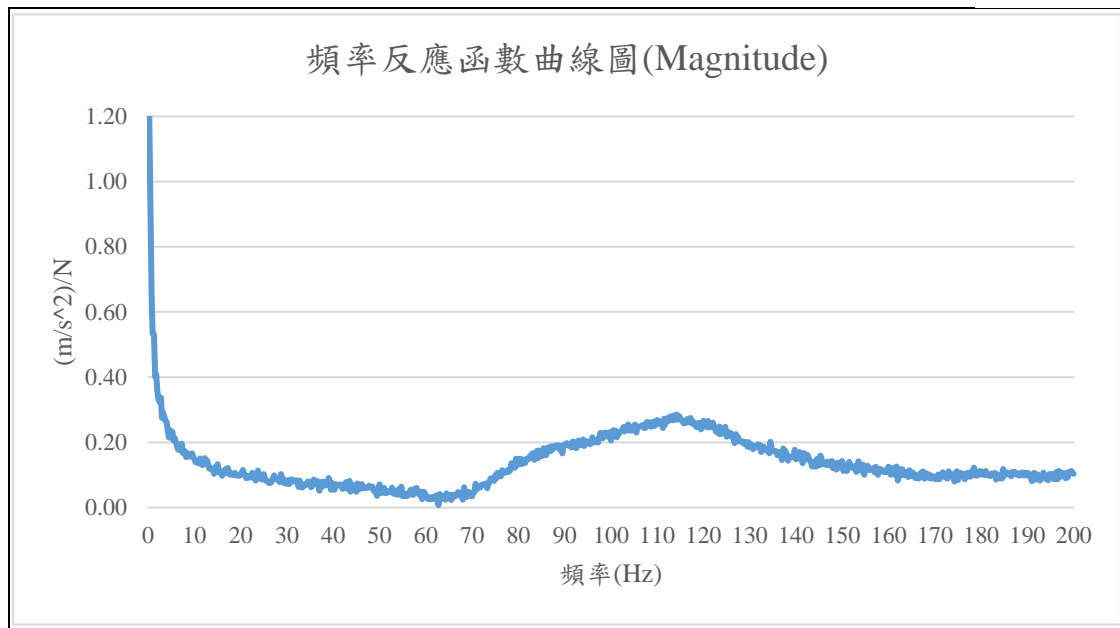


圖 4- 55 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

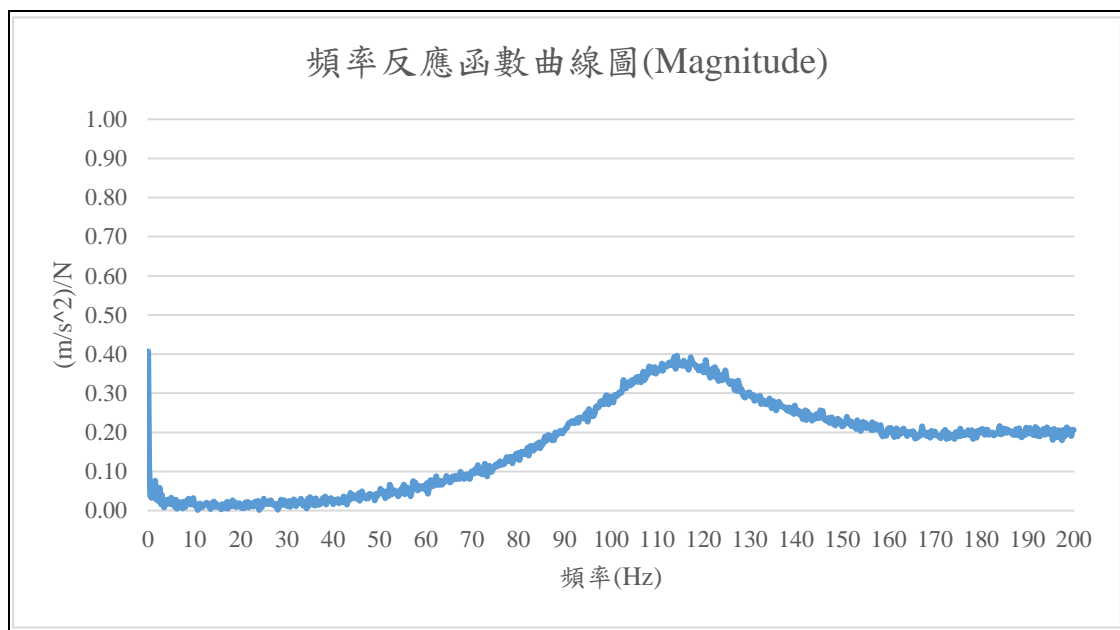


圖 4- 56 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

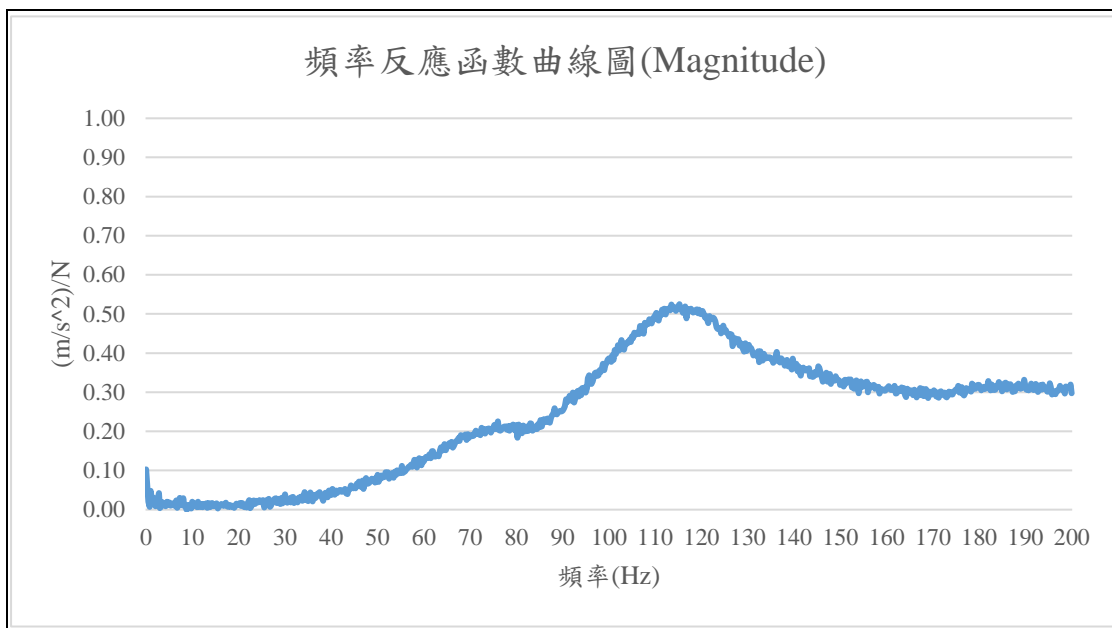


圖 4- 57 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

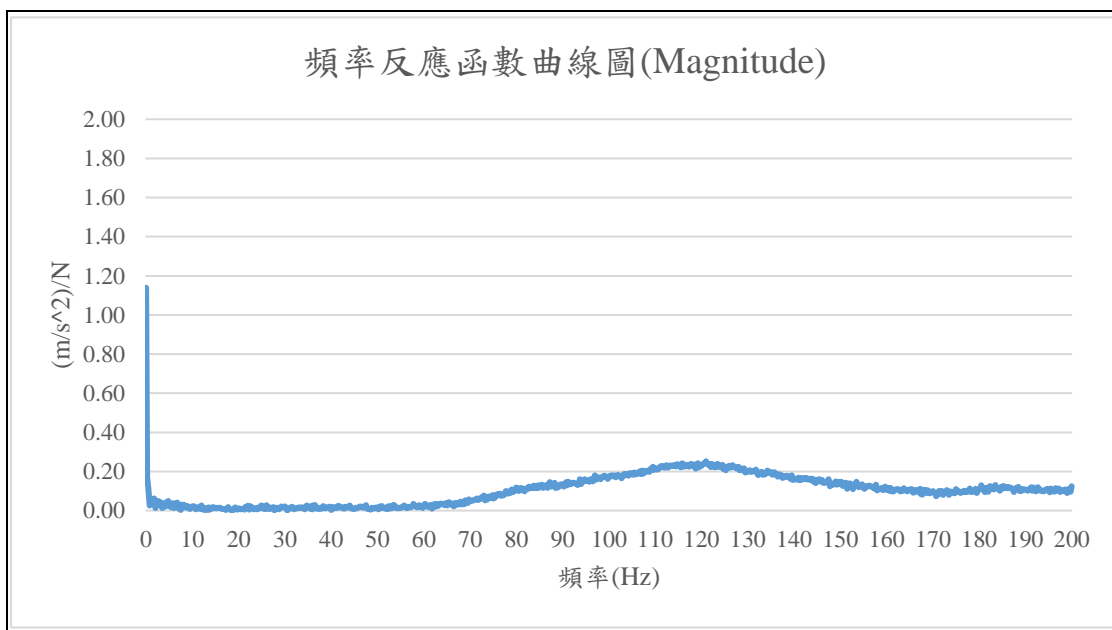


圖 4- 58 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

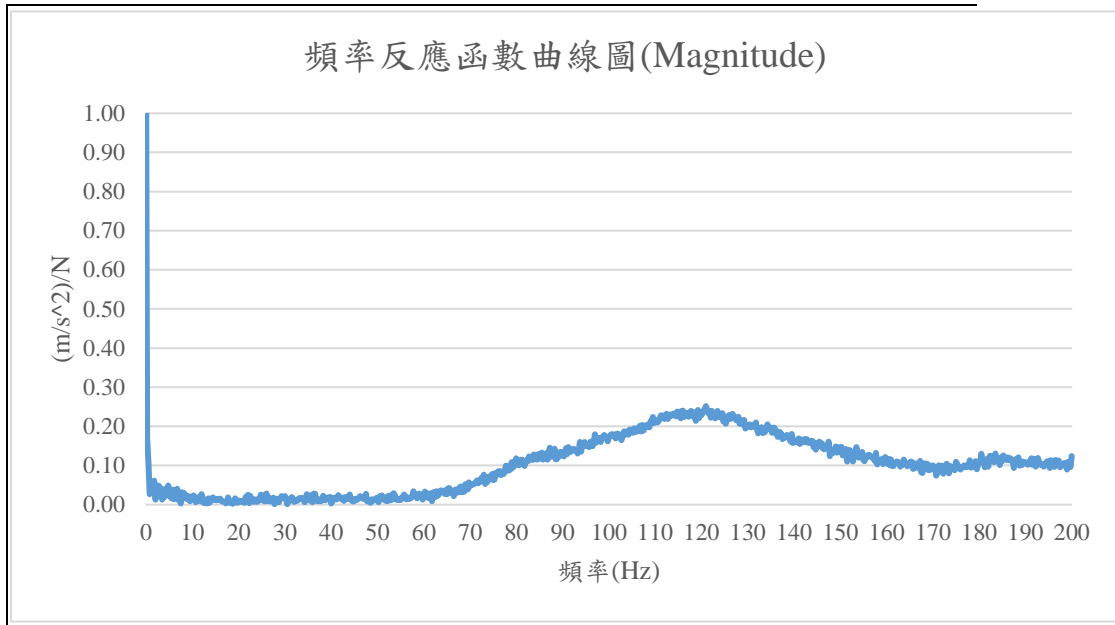


圖 4- 59 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

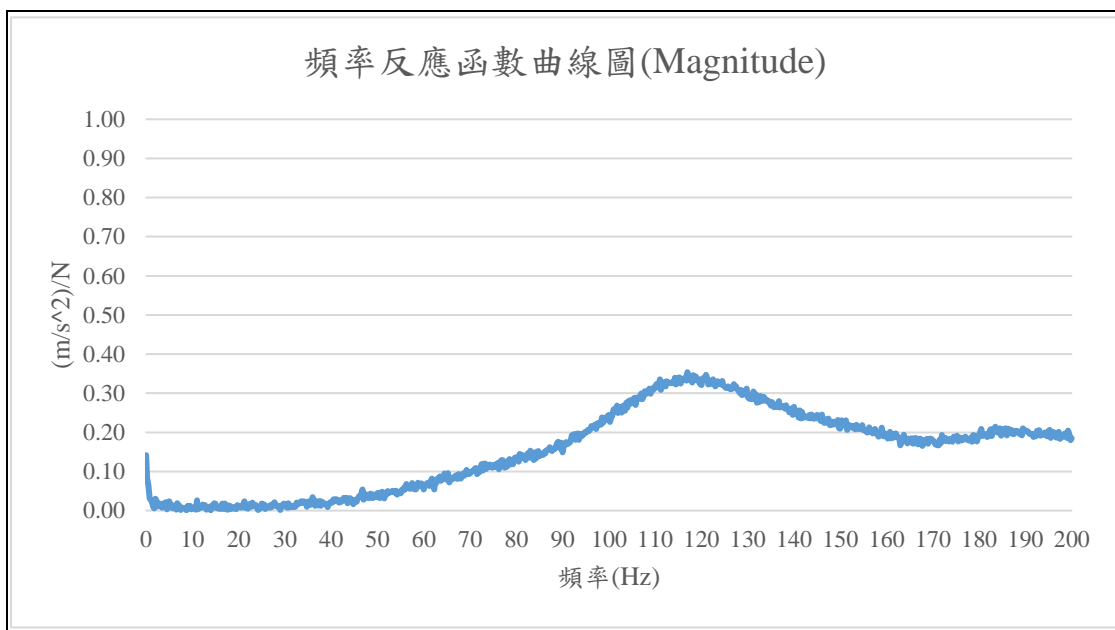


圖 4- 60 試件 6 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 8 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 6)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s_t' (MN/m ³)
Mark1-vib1	108	12.9	90.25
Mark1-vib2	112.5、43.5	14.2、1.05	97.93、14.64

Mark1-vib3	113.3、27.5	14.6、2.23	99.32、5.85
Mark2-vib1	114.3、59.5	12.9、0.54	101.08、27.39
Mark2-vib2	114.3、55.25	13.9、0.96	101.08、23.62
Mark2-vib3	115.3、33.5	16.8、1.33	102.86、8.68
Mark3-vib1	74.5、65.75	0.74、0.96	42.94、33.45
Mark3-vib2	46.25、38.25	1.32、0.63	16.55、11.32
Mark3-vib3	117、61.75	16.1、1.7	105.92、29.5
環境溫度:26.1 °C 濕度:59 %			

(資料來源:本研究整理)

試片 6 由實驗量測所得到之 9 個點頻率反應函數結果分析後共振頻率 Peak 具有 2 個峰值，分別在 108~117 Hz 區間及 33.5 至 43.5 Hz，表示 FRF 函數於此兩頻率為奇異點，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，相較於 108~117 Hz 區間之峰值，33.5 至 43.5 Hz 之共振頻率於 FRF 圖形上並不明顯，依據單自由度震動理論可判別其並非主要之振動頻率；另外 74.5、65.75 Hz 之共振頻率之阻尼過小，判定並非材料實際共振頻率，另進一步由表 4-8 所測得之結果觀察後，108~117 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比約為 12.9~16.1%，而 33.5 至 43.5 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比則為 1.33~1.05%，由於阻尼為緩衝材消滅振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 108~117 Hz 區間之峰值為正確之共振峰值。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P.50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值($f=114.3$ Hz，阻尼比=13.9%)，另動態剛性值表示方式則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「...所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $101 MN/m^3$ 。

7. 試件 7-隔音墊(PU 發泡)

本緩衝材試件之動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-61 至圖 4-69 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-9 所示

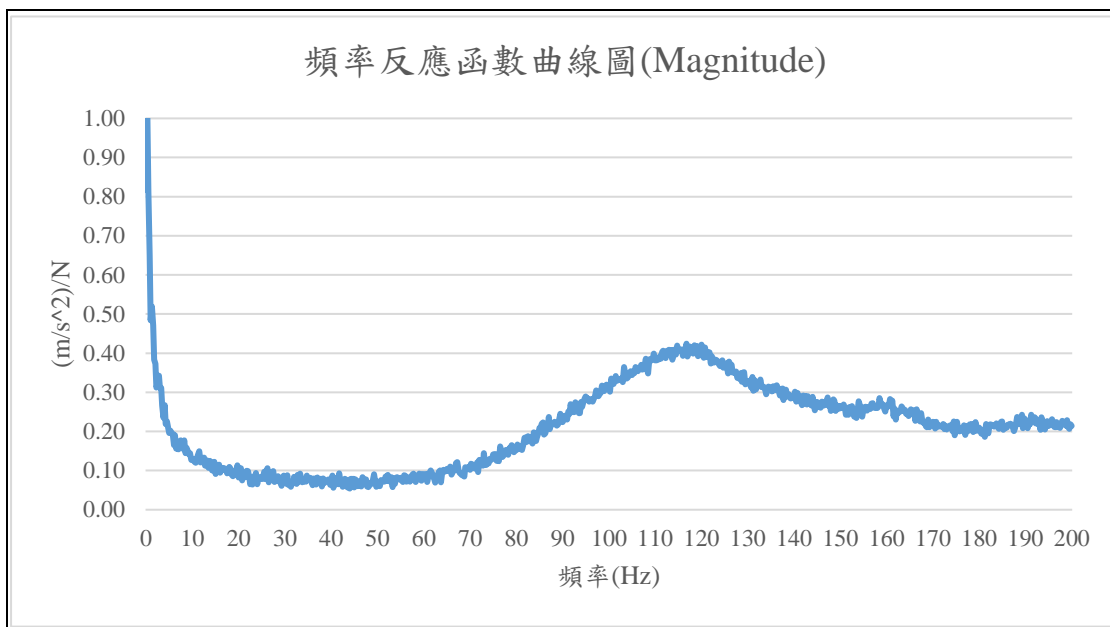


圖 4- 61 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

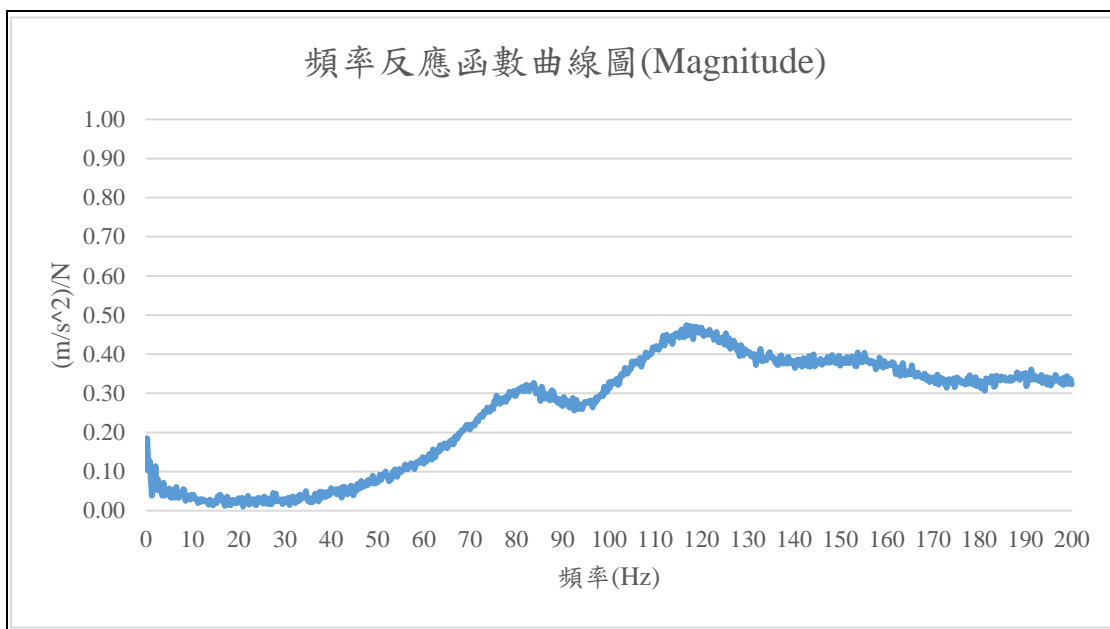


圖 4- 62 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

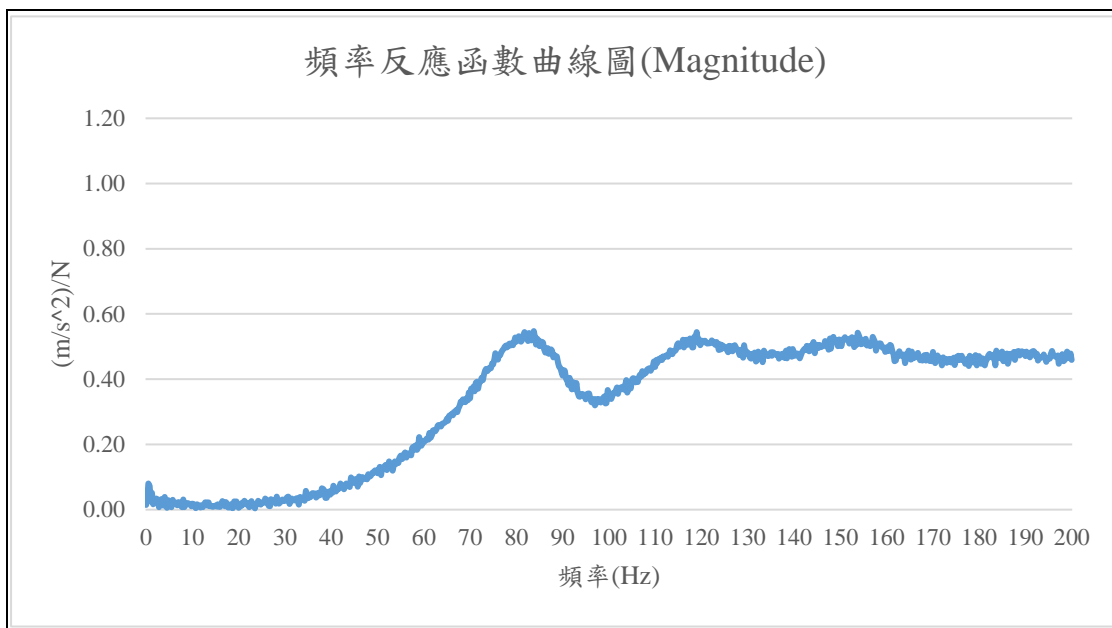


圖 4- 63 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

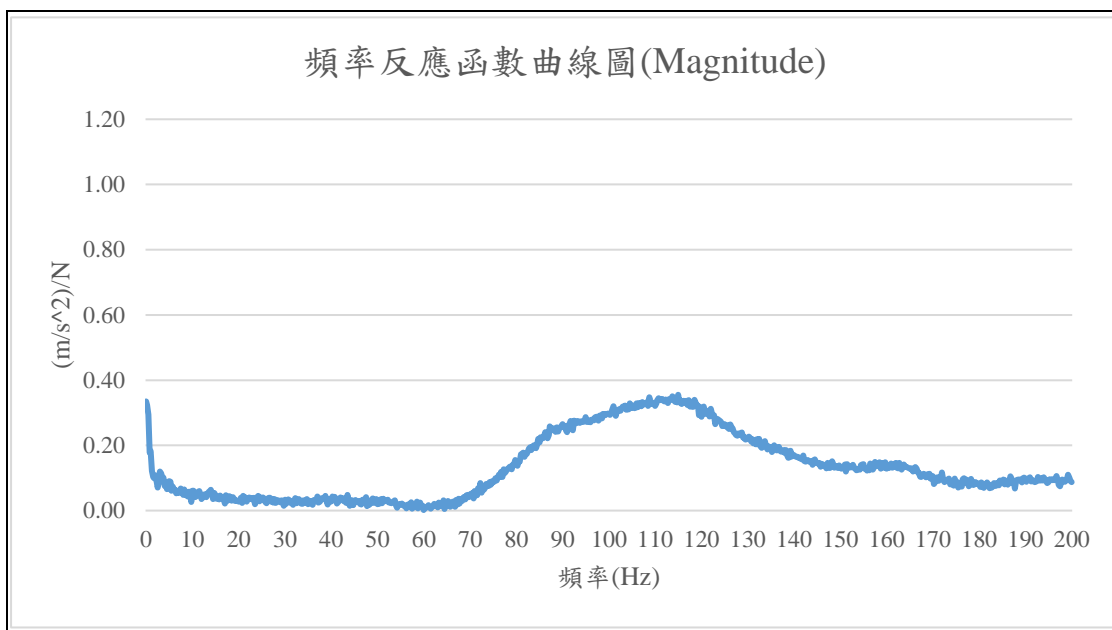


圖 4- 64 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

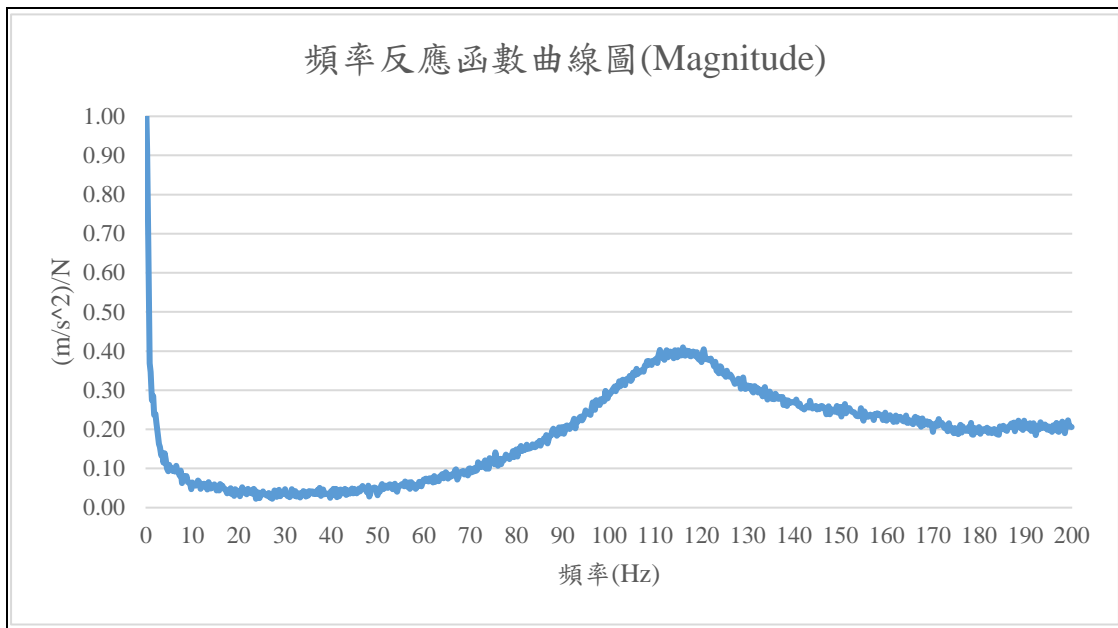


圖 4- 65 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

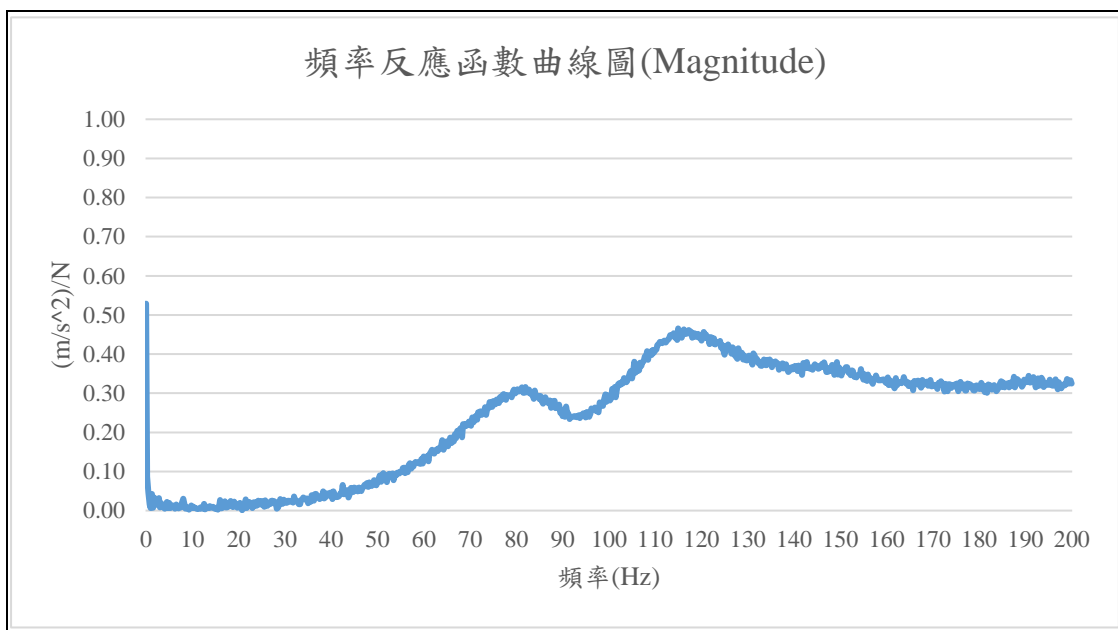


圖 4- 66 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

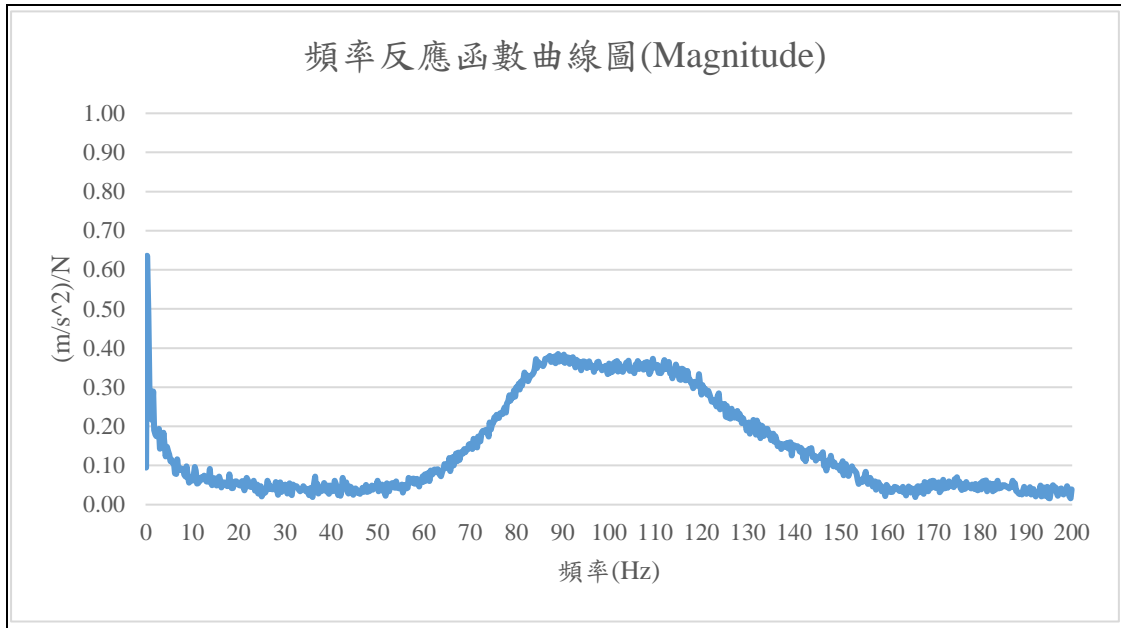


圖 4- 67 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

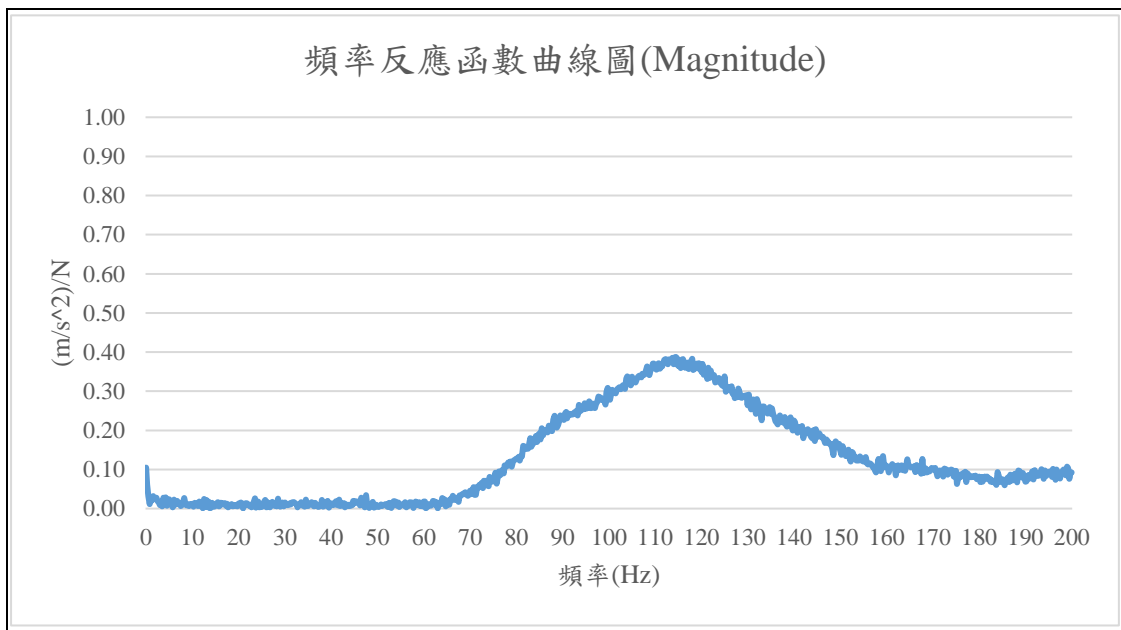


圖 4- 68 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

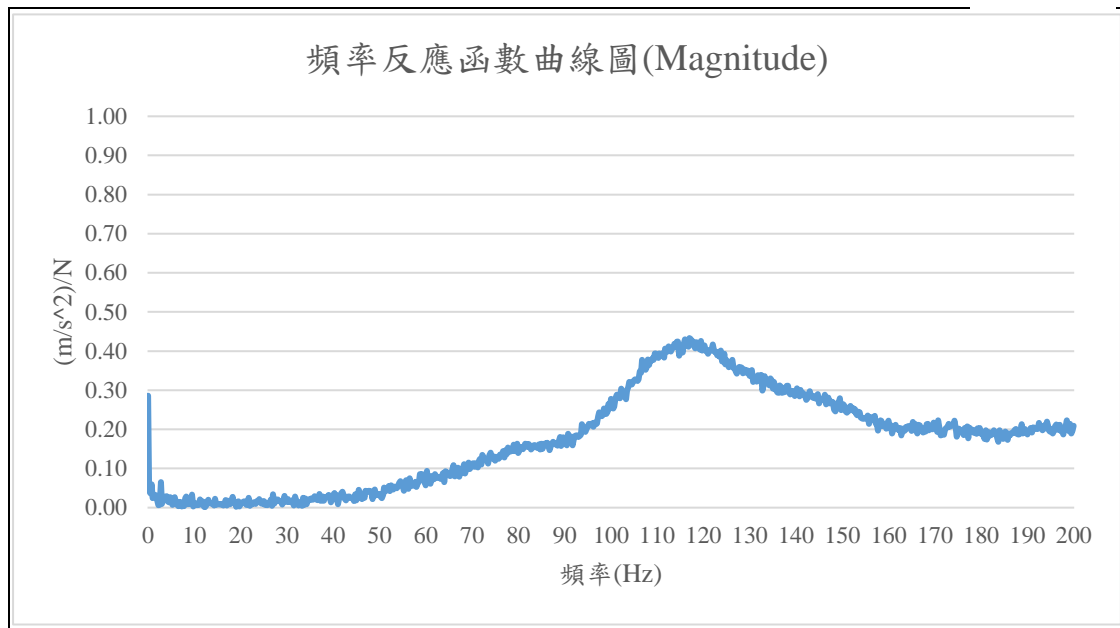


圖 4- 69 試件 7 之動態剛性量測 FRF 圖(量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 9 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(試件 7)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s_t' (MN/ m^3)
Mark1-vib1	116.8、49.25	15.3、1.34	105.55、18.77
Mark1-vib2	116.2、17.5	28.4、0.97	104.47、2.37
Mark1-vib3	83.75、33.25	11.5、1.67	54.27、8.55
Mark2-vib1	115、66.25	14.6、0.41	102.33、33.96
Mark2-vib2	116	14.3	104.11
Mark2-vib3	115、32	23、0.65	102.33、7.92
Mark3-vib1	155.5、42.5	0.32、0.43	187.09、13.98
Mark3-vib2	114.5、66.25	13.4、0.49	101.44、33.96
Mark3-vib3	117、49	12.4、0.6	105.92、18.58
環境溫度:29.9 °C 濕度:57 %			

(資料來源:本研究整理)

試片 7 材料為膠結橡膠顆粒及聚氨酯製成,由實驗量測所得到之 9 個點頻率反應

函數結果分析後共振頻率 Peak 具有 2 個峰值，主要在 114.5~117 Hz 區間及 49 至 66.25 Hz，表示 FRF 函數於此兩頻率為奇異點，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，相較於 114.5~117 Hz 區間之峰值，49 至 66.25 Hz，之共振頻率於 FRF 圖形上並不明顯，依據單自由度震動理論可判別其並非主要之振動頻率；另進一步由表 4-9 所測得之結果觀察後，114.5~117 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比約為 13.4~12.4%，而 49 至 66.25 Hz 範圍之各共振頻率其所測得之阻尼比則為 0.6~0.49%，由於阻尼為緩衝材消滅振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 51~65 Hz 區間之峰值為正確之共振峰值。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P. 50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值($f=116$ Hz，阻尼比=14.3%)，另動態剛性值表示方式則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「... 所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $104 MN/m^3$ 。

三、乾燥時間對緩衝材動態剛性性能影響

為探討試片乾燥時間對緩衝材動態剛性性能之影響，本研究採用試片 1 經自然乾燥 3 天後，取出進行相同之動態剛性試驗，以瞭解緩衝材乾燥時間對其動態剛性性能之影響。

本研究依照 CNS 16022 規定之方式，加速規與衝擊錘之配置與原實驗佈設相同進行樓板緩衝材動態剛性量測，動態剛性各點頻率反應函數量測結果如圖 4-70 至圖 4-78 所示，共振頻率與阻尼比結果如表 4-10 所示

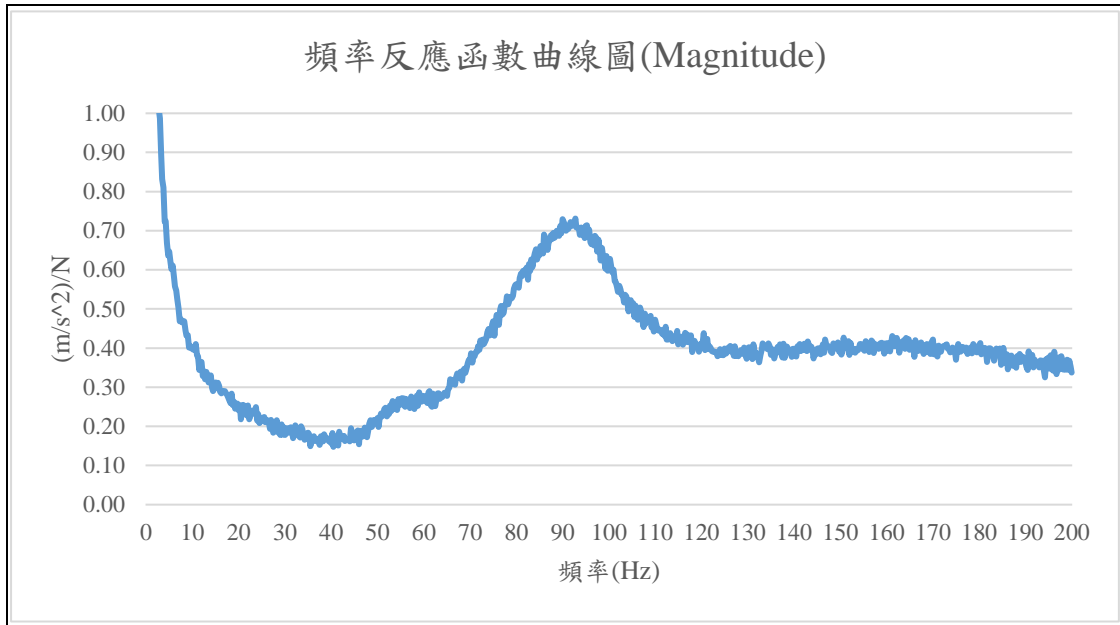


圖 4- 70 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark1-vib1)

(資料來源:本研究整理)

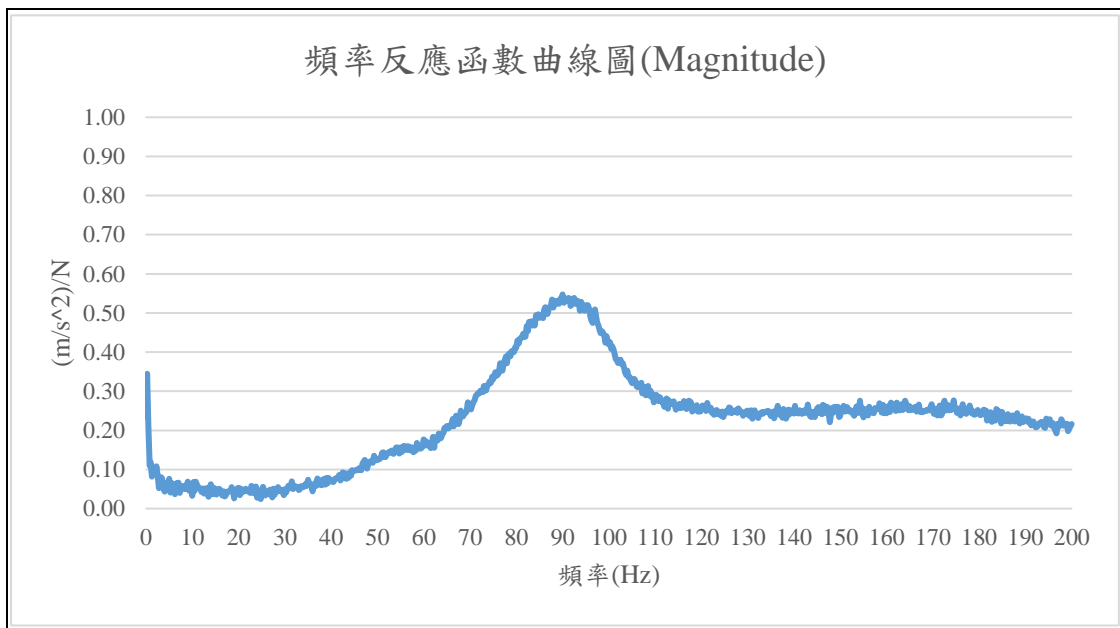


圖 4- 71 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark1-vib2)

(資料來源:本研究整理)

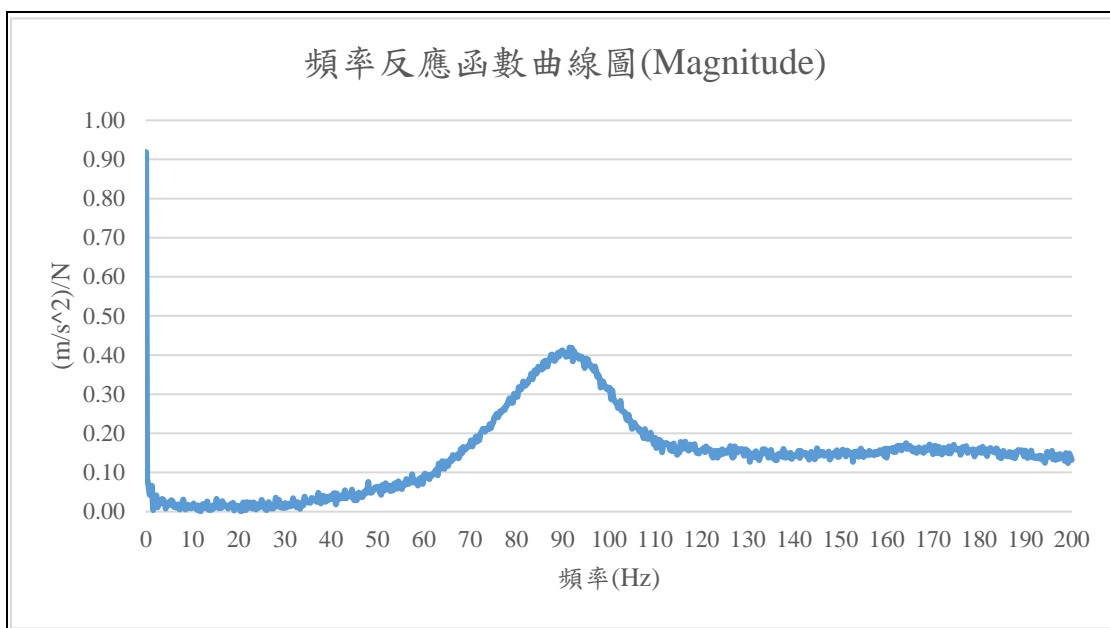


圖 4- 72 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark1-vib3)

(資料來源:本研究整理)

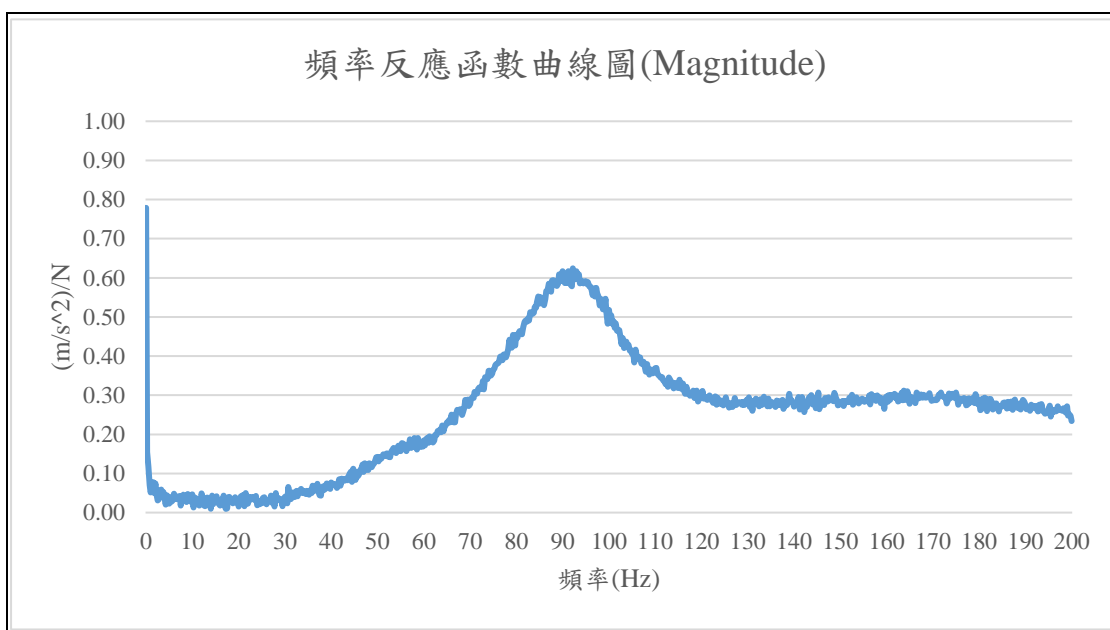


圖 4- 73 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark2-vib1)

(資料來源:本研究整理)

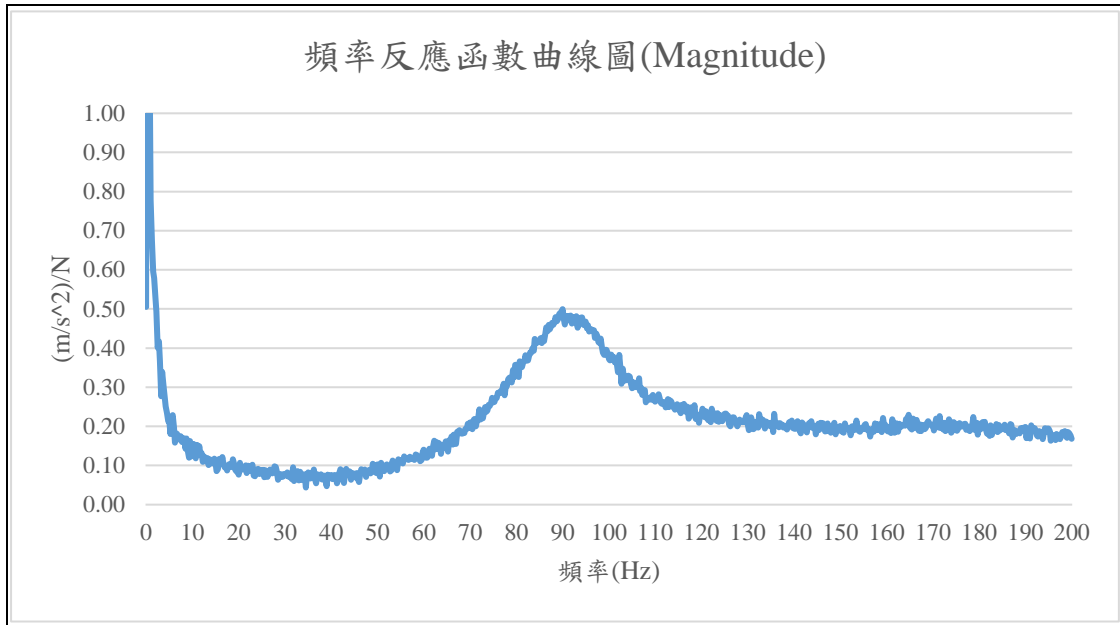


圖 4- 74 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark2-vib2)

(資料來源:本研究整理)

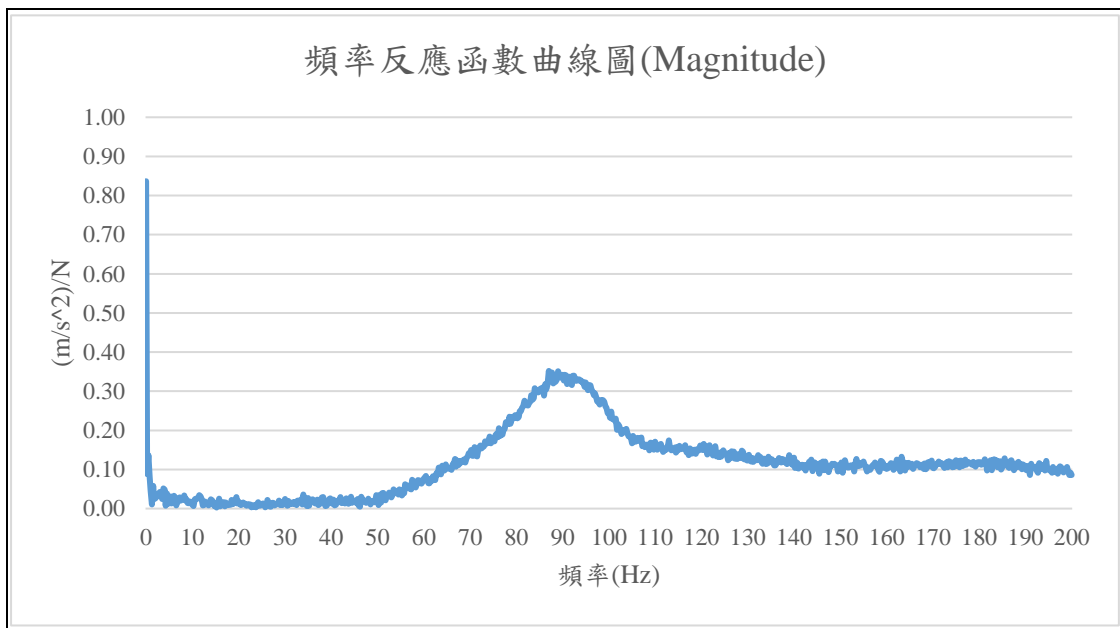


圖 4- 75 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark2-vib3)

(資料來源:本研究整理)

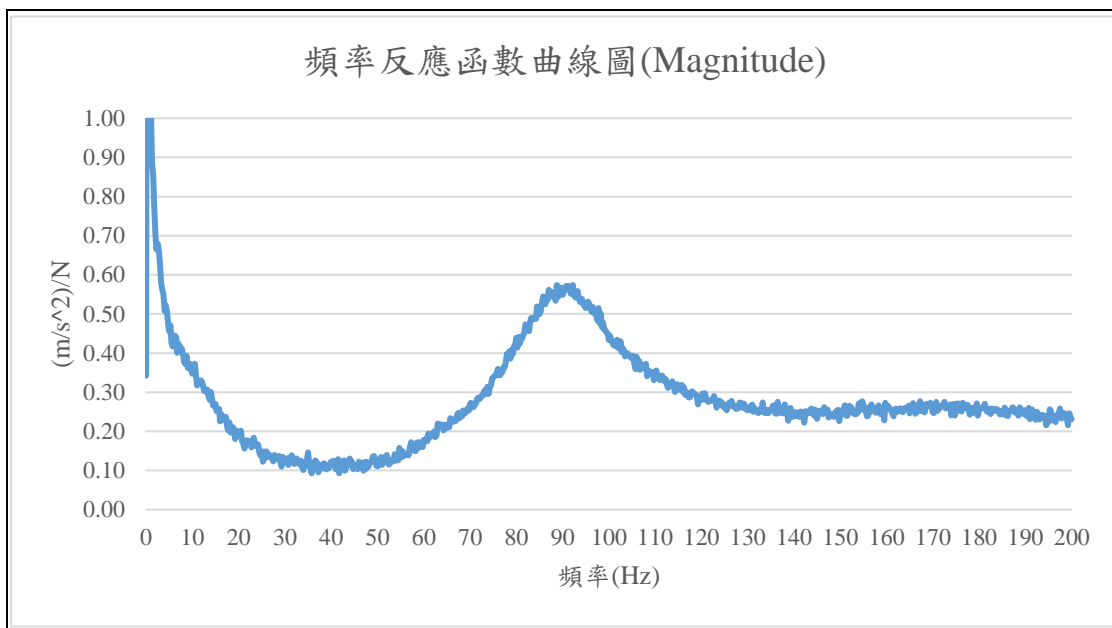


圖 4- 76 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark3-vib1)

(資料來源:本研究整理)

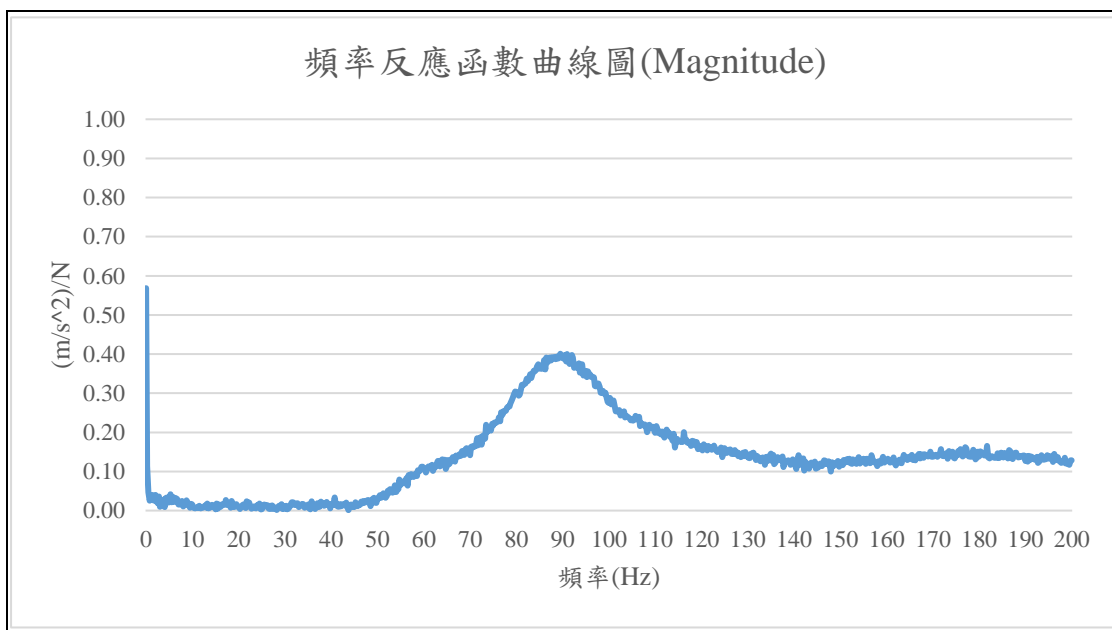


圖 4- 77 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark3-vib2)

(資料來源:本研究整理)

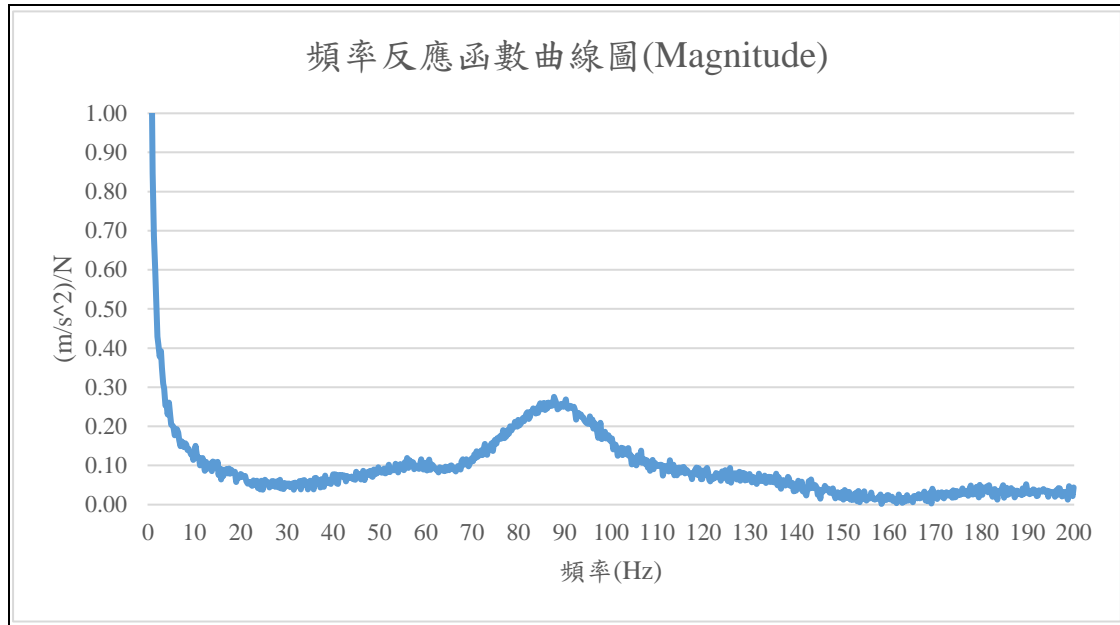


圖 4- 78 試件 1 之動態剛性量測 FRF 圖(乾燥-量測編號:Mark3-vib3)

(資料來源:本研究整理)

表 4- 10 緩衝材動態剛性量測結果原始資料(乾燥-試件 1)

編號	共振頻率(Hz)	阻尼比(%)	動態剛性 s'_t (MN/m ³)
Mark1-vib1	92.75	13.4	66.56
Mark1-vib2	90、35	12.9、3.59	62.67、9.48
Mark1-vib3	91.5	11	64.78
Mark2-vib1	92.5	12.3	66.2
Mark2-vib2	90、42	11.4、1.35	62.67、13.65
Mark2-vib3	87、52	10.8、1.09	58.56、20.92
Mark3-vib1	88.75、35	13.2、2.2	60.94、9.48
Mark3-vib2	89.5	11.5	61.98
Mark3-vib3	87.75	10	59.58

(資料來源:本研究整理)

試片 3 經乾燥 3 天候，採 CNS 規範由相同方式進行實驗量測所得到之 9 個點頻率反應函數結果分析後共振頻率 Peak 具有 2 個峰值，分別在 87~92 Hz 區間及較低頻的 35 至 42Hz，但搭配試驗量測之 FRF 圖形觀察後可知，相較於 87~92 Hz 區

間之峰值，35 至 42Hz 之共振頻率於 FRF 圖形上並無明顯之峰值，依據單自由度震動理論可判別其並非主要之振動頻率；另由所測得之阻尼比結果觀察後，共振頻率 87~92 Hz 區間之峰值所測得之阻尼比約為 11~13 %，而 35 至 42Hz 共振頻率之阻尼比則為 1-3 %，由於阻尼為緩衝材消減振動能量之主要機制，阻尼最大之數值才是合理之材料特性，依此結果也可判別 FRF 於 87~92 Hz 區間之峰值為正確之共振峰值。因本試驗之振動系統為簡單之單自由度(SDOF)，且依據 104 年本所「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」研究成果(報告 P.50)，量測點位以佈設於中央最佳，在本次實驗中為編號 mark2-vib2 之結果，故系統共振頻率取中央點位之 FRF 量測所得之共振頻率值，另表示方式則依據 CNS 16022 第 9 節之規定，「...所有單位面積動態剛性，均修整至整數以 MN/m^3 表示」，故動態剛性值為 $63 MN/m^3$ 。

比較試件1之原測試結果與自然乾燥3天後之實驗結果，可明顯看出於自然乾燥3天後之試驗結果之各試驗結果一致性提升許多，原本試件1之頻率反應函數(FRF)量測分析結果共振頻率Peak具有3個峰值，分別在30Hz、40-47 Hz區間及86至89 Hz區間，但搭配試驗量測之FRF圖形觀察後可知，FRF曲線圖之峰值顯示為於80-90 Hz之範圍，其他30Hz、40-47 Hz區間等之共振頻率於FRF圖形上並不明顯，相關結果呈現分析之共振頻率與圖形峰值歧異之情況。經將試體乾燥3日後再行進行重複之試驗，經由分析，分別在87~92 Hz區間及較低頻的35至42Hz，但搭配試驗量測之FRF圖形觀察後可知，相較於87~92 Hz區間之峰值，35至42Hz之共振頻率於FRF圖形上並無明顯之峰值，最後依據判別準則獲得FRF於87~92 Hz區間之峰值為正確之共振峰值。比較兩者之結果可明顯知道乾燥之時間對試驗結果有明顯影響，因本試驗依據CNS 16022實驗方法須於試件上打設石膏層後，再設置上方壓重板，因石膏層係於實驗室澆置，石膏之乾燥程度會對衝擊錘衝擊後之試體振動反應造成影響，故依此試驗研究結果可供未來試驗檢測時參考應用。

另該試片第一次試驗求得之動態剛性值為 $47 MN/m^3$ ，而乾燥3天後之同試片所得動態剛性值則為 $63 MN/m^3$ ，足見乾燥時間對量測結果具備相當影響。

四、樓板衝擊音隔音性能之理論預測與實測結果比較

有關樓板衝擊音隔音性能之研究，除就緩衝材之材料性質及動態剛性作性能進行相關研究外，因緩衝材的目的為吸收樓板衝擊音之主要元素，為樓板構造之性能主要影響因子，透過緩衝材動態剛性、阻尼比等實驗所得之結果，亦可運用於實際之樓板衝擊音隔音性能之預測上。

A. Schiavi 等人採用實測之動態剛性與阻尼比進行樓板衝擊音隔音性能之預測與推估，並提出相關之推估模型。其研究將具緩衝層之樓板視為振動系統進行解析，提出之方法為藉由實驗得到動態剛性值 s' (MN/m^3)，及由計算可得到樓板之單位面積重量 m' ，由結構振動理論可得到於構造(實驗室)之共振頻率為

$$f_{lab} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s' \cdot 10^6}{m_{lab}}} \approx 160 \sqrt{\frac{s'}{m_{lab}}} \quad (4-1)$$

其依據相關經驗與理論結果，得到樓板衝擊音降低量之估算式

$$\Delta L_{pred.} = 30 \log \frac{f}{f_{lab}} \quad (4-2)$$

另該研究中亦提出考量緩衝材阻尼對緩衝係能為主要影響因子，需將阻尼數值納入考量，提出依據不同緩衝材阻尼範圍，採用不同預測參數量之樓板衝擊音降低量之估算式，如下所示

$$\Delta L_{pred} = [dB/dec] \cdot \log \frac{f}{f_{loaded,lab}} \text{ dB} \quad (4-3)$$

上式中 $[dB/dec]$ 為依據不同之阻尼數值，採用不同之參量，如表 4-11 所示

表 4-11 不同樓板緩衝材阻尼係數對樓板衝擊音降低量估算參數值

項次	阻尼值(%)	dB/decade
1	>25%	29
2	25%-16%	30
3	16%-12.5%	31
4	12.5%-8%	32-33
5	8%-7%	34-35

6	<7%	35
---	-----	----

(資料來源: A. Schiavi *et. al.*)

本研究續將依照上述理論，搭配實驗所求得之阻尼數值及緩衝材試件之衝擊音試驗結果，進行衝擊音結果比對研討。

為利比較分析，本研究搭配前面之緩衝材動態剛性量測、緩衝材阻尼比等結果，及採用前面試件1-7之R2/R3樓板衝擊音隔音實驗室量測結果進行衝擊音隔音量預測推估。研究分別採試件1-7之緩衝材動態剛性及阻尼比量測結果為輸入參數，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，並搭配各試件之CNS 15160-8實測結果樓板緩衝材降低量 ΔL 、及樓板緩衝材動態剛性值與樓板隔音指標 L_{nw} 之關係進行分析比較。

1. 試件1- PU膠結橡膠顆粒

本緩衝材試件為PU膠結橡膠顆粒材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 16022規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性= 63 MN/m^3 、 $f=90 \text{ Hz}$ 、阻尼比=11.4%，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-79所示

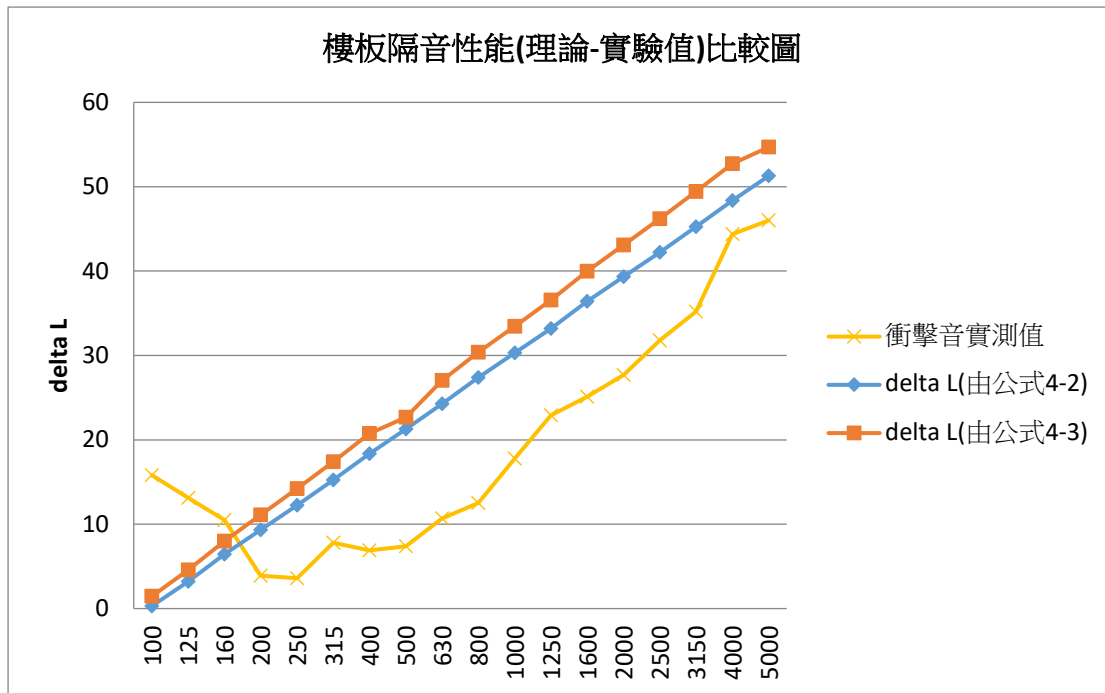


圖 4- 79 試件 1 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖

(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於200 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值高，但於低頻區域(100~160 Hz)則呈現理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值低之情形，但整體來看理論值與實測結果仍有一定差距。但兩理論預測之結果(有、無考量材料動態剛性結果)仍相當接近，由此同時也可看出理論公式數值曲線，於低頻部分(頻帶200~250 Hz)區域並無如同實測之隔音量變化曲線般呈現曲線轉折特徵。本試件之樓板衝擊音隔音指標 $L_{nw}=60$ dB。本試件之試驗結果於160-315 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之情形。此隔音量降低之現象明顯推論是樓板之構造物產生共振效應所造成，因樓板-緩衝材系統形成一個振動系統，採用此緩衝材試體之實驗所得動態剛性 $k=63$ MN/m^3 ，及實際樓板試件單位重量 $m=150$ kg/m^2 ，帶入共振頻率之公式 $\omega = \sqrt{k/m}$ 中，可得到樓板試體之共振頻率估算結果 $\omega = 207$ Hz，與上圖之於160-250 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之結果相符

2. 試件2- PU膠結橡膠纖維

本緩衝材試件為PU膠結橡膠纖維材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 16022規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性= 63 MN/m^3 、 $f=90 \text{ Hz}$ 、阻尼比=11.4%，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-80所示

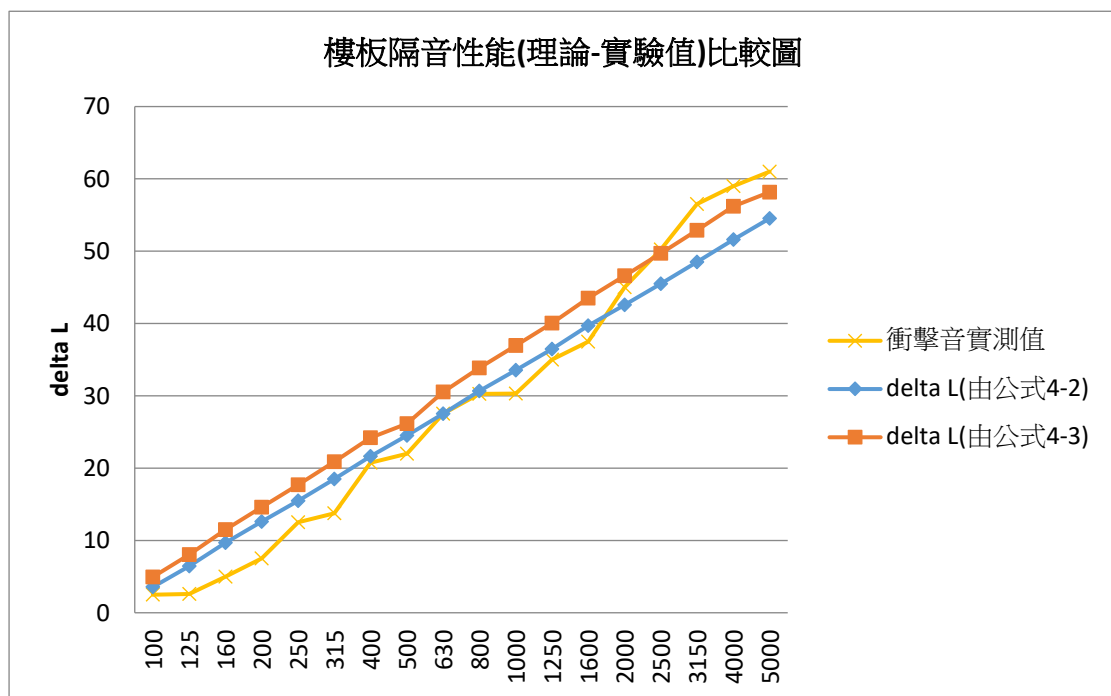


圖 4- 80 試件 2 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖

(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於100 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值雖較實測值略高，但於各頻帶區域內理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值與實測值相當接近，另不同理論式預測結果間(有、無考量材料動態剛性結果)差距亦不大。本試件之樓板衝擊音隔音指標 $L_{nw}=54 \text{ dB}$ 。 第四章

3. 試件3-橡膠顆粒膠結聚氨酯材料

本緩衝材試件為PU膠結橡膠顆粒材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 10044規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性=63 MN/m^3 、 $f=90$ Hz、阻尼比=11.4%，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-81所示

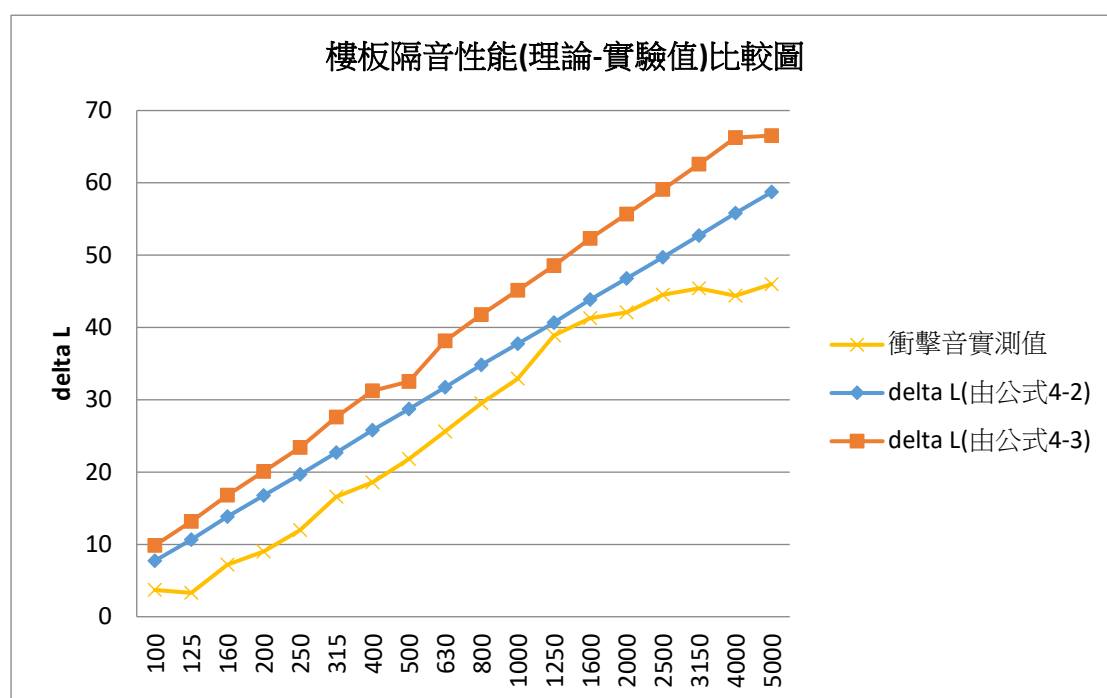


圖 4- 81 試件 3 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖

(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於100 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值高，但整體來看理論值與實測結果差距不大。理論預測之結果與實測結果仍相當接近，另於1600 Hz以上頻率理論式所推估之隔音量結果與實驗值比較開始呈現偏差擴大之情形。本試件之樓板衝擊音隔音指標

· 樓板橡膠緩衝材動態剛性性能分析之研究

4. 試件4- PU膠結細粒聚氨基酯顆粒

樓板橡膠緩衝材動態剛性性能分析之研究

本緩衝材試件為PU膠結橡膠顆粒材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 16022規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性=63 MN/m^3 、 $f=90$ Hz、阻尼比=11.4%，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-82所示

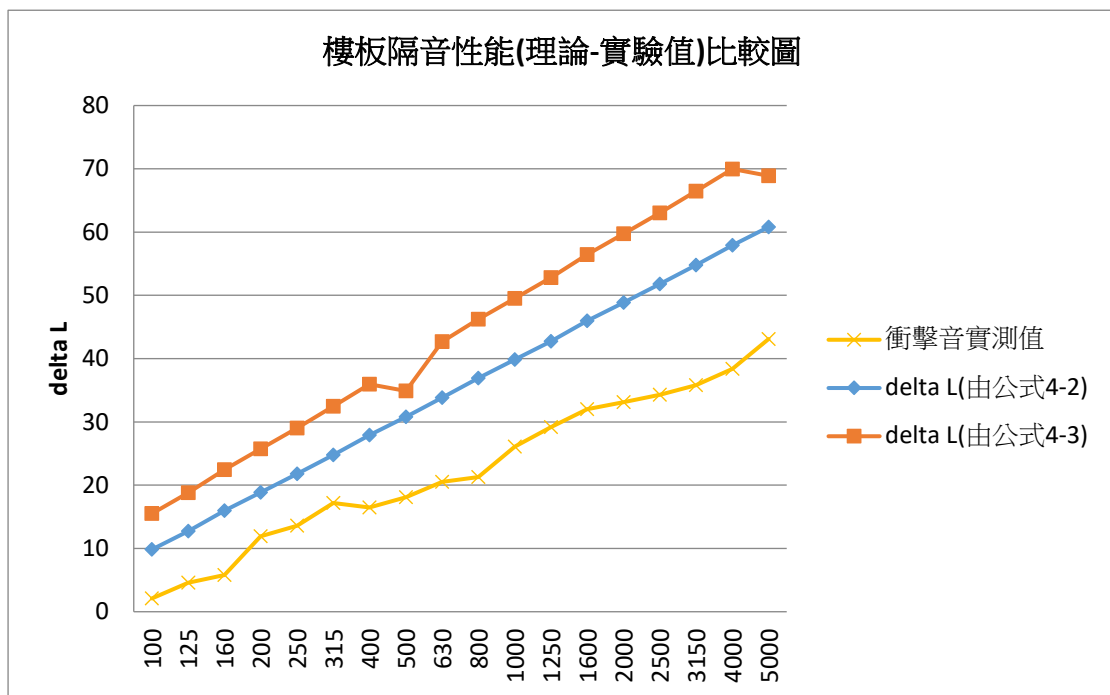


圖 4- 82 試件 4 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖
(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於100 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值高，且整體來看理論值與實測其數值結果差距較大。理論預測之結果較實測隔音量性能為高。本試件之樓板衝擊音隔音指標 $L_{nw}=53$ dB。

5. 試件5- PU彈性體膠結橡膠顆粒

本緩衝材試件為PU膠結橡膠顆粒材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 16022

規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性 $=63 \text{ MN/m}^3$ 、 $f=90 \text{ Hz}$ 、阻尼比 $=11.4\%$ ，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-83所示

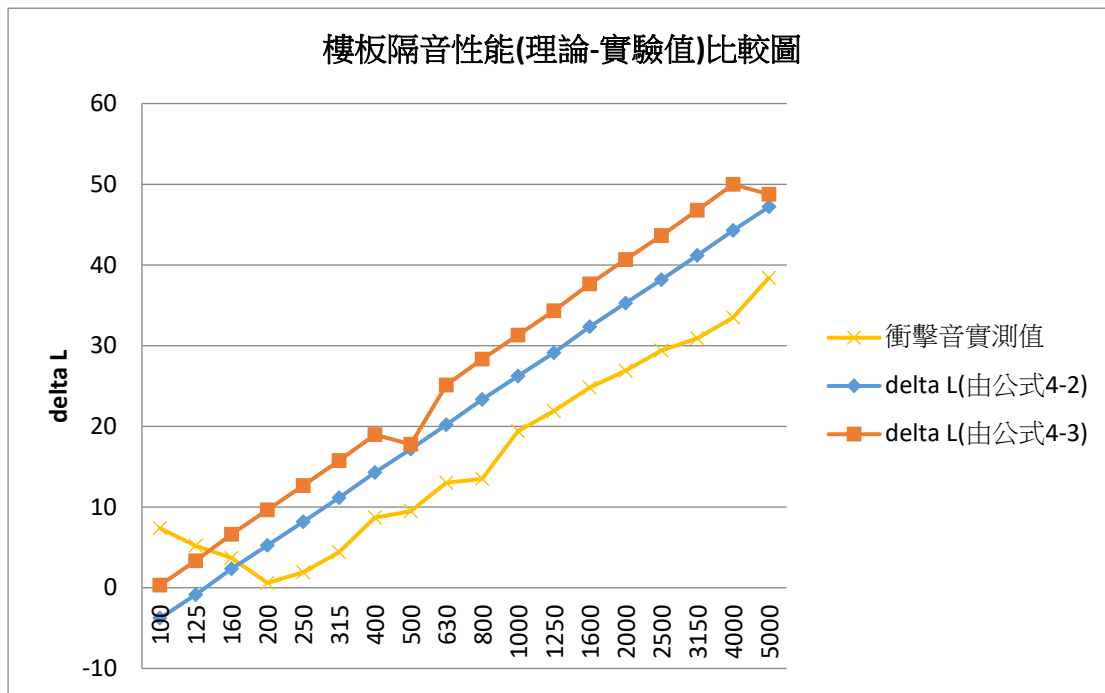


圖 4- 83 試件 5 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖

(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於100 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值高，但整體差距較小且隔音量曲線趨勢接近，本試件之樓板衝擊音隔音指標 $L_{nw}=59 \text{ dB}$ 。惟本試件之試驗結果於160-315 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之情形，綜合前面之數個案例結果可知此降低點為目前理論式無法預估模擬之處。此隔音量降低之現象明顯推論是樓板之構造物產生共振效應所造成，因樓板-緩衝材系統形成一個振動系統，採用此緩衝材試體之實驗所得動態剛性 $k=73 \text{ MN/m}^3$ ，及實際樓板試件單位重量 $m=106 \text{ kg/m}^2$ ，帶入共振頻率之

公式 $\omega = \sqrt{k/m}$ 中，可得到樓板試體之共振頻率估算結果 $\omega = 266 \text{ Hz}$ ，與上圖之於160-315 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之結果相符。

6. 試件6-橡膠顆粒膠結聚氨酯材料

本緩衝材試件為PU膠結橡膠顆粒材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 16022規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性 $=63 \text{ MN/m}^3$ 、 $f=90 \text{ Hz}$ 、阻尼比 $=11.4\%$ ，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-84所示

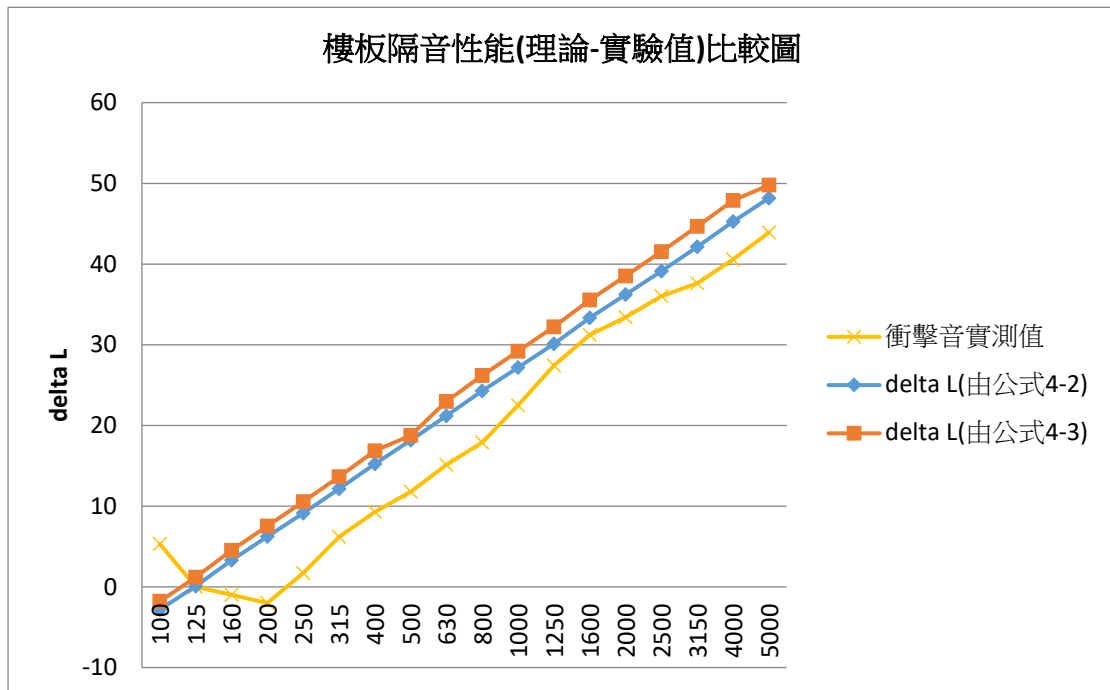


圖 4- 84 試件 6 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖

(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於100 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值高，但整體差距較小且隔音量曲線趨勢接近，本試件之樓板衝擊音隔音指標 $L_{nw}=60 \text{ dB}$ 。本試件之試驗結果於160-250 Hz頻帶處呈現隔

音量明顯降低之情形。此隔音量降低之現象明顯推論是樓板之構造物產生共振效應所造成，因樓板-緩衝材系統形成一個振動系統，採用此緩衝材試體之實驗所得動態剛性 $k=101 \text{ MN/m}^3$ ，及實際樓板試件單位重量 $m=168 \text{ kg/m}^2$ ，帶入共振頻率之公式 $\omega = \sqrt{k/m}$ 中，可得到樓板試體之共振頻率估算結果 $\omega = 247 \text{ Hz}$ ，與上圖之於160-250 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之結果相符，顯示樓板系統之自然頻率在低頻主控其衝擊音隔音性能。

7. 試件7-隔音墊(PU發泡)

本緩衝材試件為PU膠結橡膠顆粒材質，由前面之實驗室量測平台依照CNS 16022規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析可得到其材料參數為動態剛性 $=104 \text{ MN/m}^3$ 、 $f=116 \text{ Hz}$ 、阻尼比 $=14.3\%$ ，以公式(4-2)及(4-3)進行樓板隔音量 ΔL 值之推估，將相關參數帶入後可得到此緩衝材料各頻帶之樓板緩衝材降低量 ΔL 之理論推估值。本研究亦蒐集該緩衝材試件之CNS 15160-8之衝擊音實測數據，經比較後如圖4-85所示

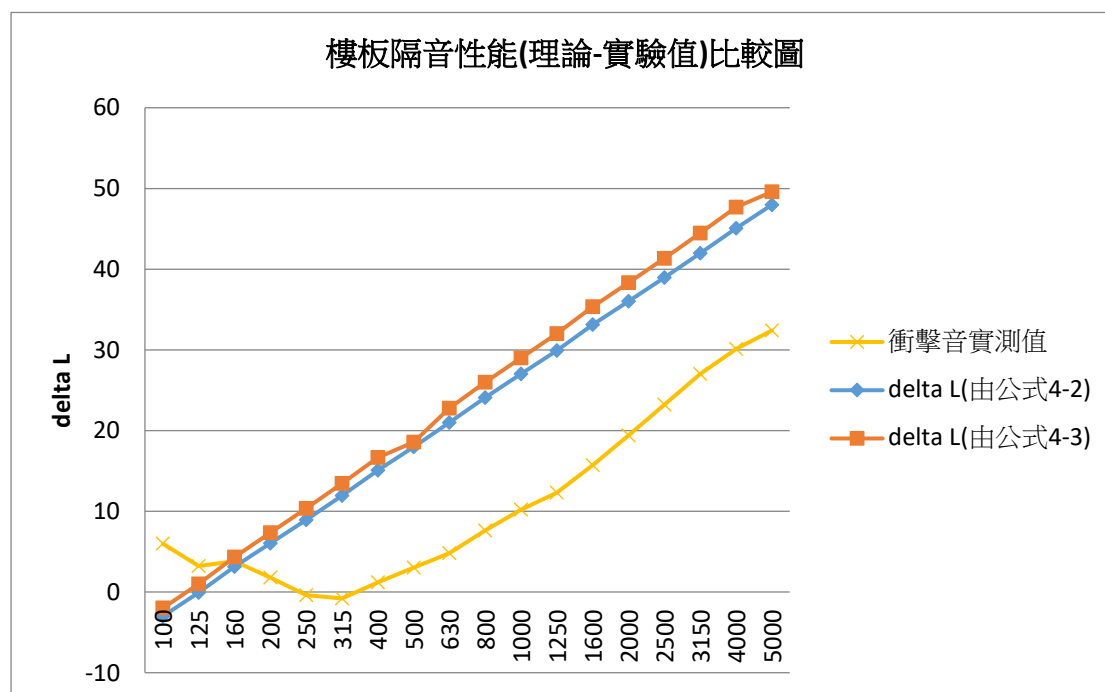


圖 4- 85 試件 7 之樓板衝擊音降低量 ΔL 之理論推估值與實測值比較圖

(資料來源:本研究整理)

上圖分別繪出本試件之CNS 15160-8衝擊音降低量之實測值、及依據理論式(4-2)

及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，由上圖可看出於100 Hz至5k Hz區間內，2個理論公式所得之各頻帶衝擊音降低量 ΔL 數值皆較實測值高，且與實測值之差距較大，本試件之樓板衝擊音隔音指標 $L_{nw}=64$ dB。本試件之試驗結果於200-400 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之情形。此隔音量降低之現象明顯推論是樓板之構造物產生共振效應所造成，因樓板-緩衝材系統形成一個振動系統，採用此緩衝材試體之實驗所得動態剛性 $k=104$ MN/m^3 ，及實際樓板試件單位重量 $m=172$ kg/m^2 ，帶入共振頻率之公式 $\omega = \sqrt{k/m}$ 中，可得到樓板試體之共振頻率估算結果 $\omega = 248$ Hz，與上圖之於200-250 Hz頻帶處呈現隔音量明顯降低之結果相符，顯示樓板系統之自然頻率在低頻主控其衝擊音隔音性能。

綜合上述各案例分析結果可發現目前理論式(4-2)、及納入緩衝材材料參數後之衝擊音降低量式(4-3)所得到之衝擊音降低量 ΔL 結果，雖較CNS 15160之實測隔音性能結果皆有偏高之情況，但仍有一定之參考價值，探究主要原因為理論公式未考慮樓板樓板構造之結構自然共振造成隔音性能降低效應，由各實測結果曲線可觀察出此共振頻率主要位於於160-315 Hz區間。因在樓板橡膠緩衝構造中，橡膠緩衝材扮演振動系統中彈簧之吸收能量效應，而樓板表面材部分則為集中質量(Lumped mass)，故本研究藉由採橡膠緩衝材實驗所得之動態剛性為彈簧參數，帶入共振頻率之公式 $\omega = \sqrt{k/m}$ 中，可得到樓板試體之共振頻率估算結果，未來可將此共振頻率納入理論預測中，提升理論預測準確度。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究目前已蒐集緩衝材動態剛性與樓板衝擊音隔音性能之相關文獻、分析之原理機制，緩衝材動態剛性檢測原理、相關試驗規範等資料與進行分析，並就本所歷年之衝擊音試驗資料進行統計分析，完成國內常用之樓板緩衝材分類及材料類型統計，並於實際之R2/R3樓版衝擊音實驗室之案件，實地取樣擷取樓板衝擊音委測案件之橡膠緩衝材材料於動態剛性實驗室進行動態剛性之實測，選取緩衝材試片(包含PU膠結橡膠顆粒、PU膠結橡膠纖維、膠結橡膠顆粒及聚氨酯、橡膠捲材及發泡墊等材料)，於實驗室量測平台依照CNS 16022規範以衝擊錘、加速規、加速規校正器，進行試片之緩衝材動態剛性量測與實驗結果分析。本研究經進行動態剛性試驗結果之頻率反應函數解析後，依照CNS 16022規範得到國內使用之不同類型材質樓板緩衝材之動態剛性性能 S' ，且由實驗結果發現試體乾燥時間對動態剛性試驗結果之影響，在乾燥時間上以3天以上為佳。

研究選用7類國內使用之不同材質橡膠緩衝材進行動態剛性實測，並採動態剛性實測參數以理論公式進行樓板整體隔音性能估算，相關結果並搭配各緩衝材樓板之樓板緩衝材降低量 ΔL 、及樓板衝擊音隔音指標 L_{nw} 實測數據進行比較分析，相關結果供國內本土樓板橡膠緩衝材之衝擊音隔音構造之隔音性能推估方式參考。

第二節 建議

建議一

(國內樓板橡膠緩衝材本土實驗數據累積與實驗研究)：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

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有相關橡膠緩

樓板橡膠緩衝材動態剛性性能分析之研究

衝材動態剛性性能規定，有鑒於法規之施行往後國內建築樓板衝擊音隔音構造將逐漸普遍，其中橡膠緩衝材之動態剛性性能對於建築樓板衝擊音降噪具有重要性，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，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。

建議二

(國內樓板衝擊音隔音構造組合性能研究)：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

因應國內住宅密集且都市中具大量集合住宅居住特性，樓板衝擊音之防治與研究相當重要且具實務應用性。因應國內建築技術規則防音規定預計110年1月1日施行，國內建築產業界對於樓板衝擊音防治之緩衝材開發亦多所投入，但除積極精進緩衝材之材料性能外，樓板構造不同表面材與緩衝材搭配與組合亦為影響最後衝擊音整體隔音性能重要因素之一，目前本所性能實驗中心已建置完成樓板緩衝材動態剛性試驗設備及能量，後續可規劃配合動態剛性(材料性質)及衝擊音隔音試驗(整體衝擊音性能)整合性研究，藉由累積本土材料與整體構造之實驗性能數據，及探討不同搭配設計之隔音性能，可供國內業界提升產品性能研發參考，提升國內建築樓板衝擊音防制技術。

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



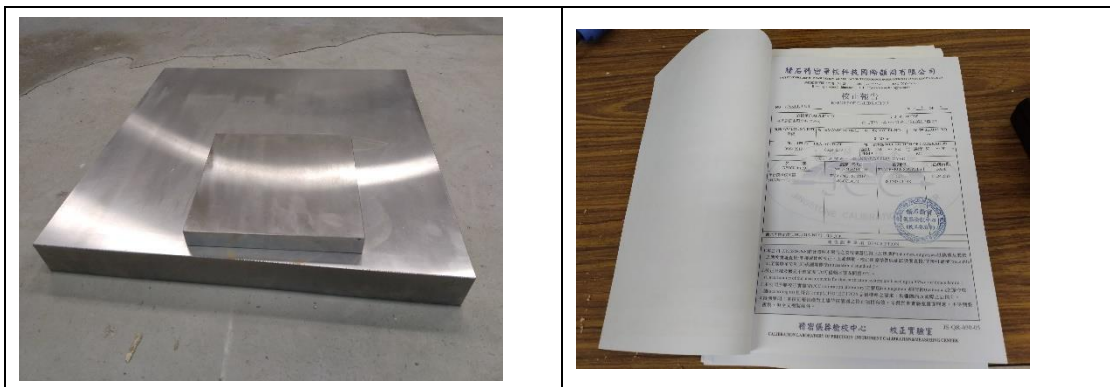
4. 加速規連接線



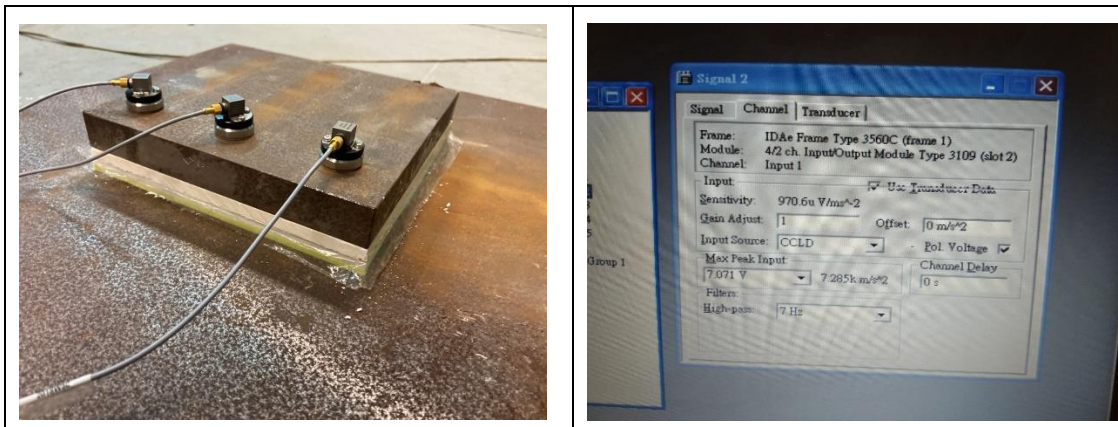
5. 加速規固定座及磁石



6. 量測平台



7. 既有量測分析儀系統



附錄二

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	報告書 P. 22 中動態剛性s/之單位有誤，請修正為MN/m ³ 。	感謝委員意見，已修正單位
		報告書 P. 36、37 中有關加速規之連接線方式原則上以不互相纏繞為宜，請參考。另圖 4-16 至圖 4-24 之圖名誤植，應為試件 2 之量測內容請修正。	感謝委員意見，已做修正如報告 P. 36-37、P. 45-49
		報告書 P. 63 之本研究後續工作中，將採 Schiavi 等人提出之理論公式(4-1)、(4-2)進行樓板衝擊音降低量之估算，建議可針對本土材料做實測值並與上述理論值做比對分析，以利提出適用於我國之樓板衝擊材動態剛性性能之預測與應用。	感謝委員意見，相關案例研究成果如報告 P. 85-94
2	李教授孟杰	衝擊音影響建築內使用者舒適度，本研究對隔音條文施行後之相關產品隔音性能檢定有相當助益。	感謝委員肯定。
		目前樓板隔音構造採浮動式安裝，建議試驗時注意不同材料夾合處之共振頻率與阻尼特性。	感謝委員意見，試驗操作流程中除依照試驗規範規定辦理外，將注意材料夾合緊密
		應標示進行試驗時之背景環境參數，另不同試件材料含水率亦須考量儘量相同。	感謝委員意見，已補充背景環境參數於報告中
		目前僅針對緩衝材進行探討，未來建議考量探討乘載材設定(例如架高地板 音箱效	感謝委員意見，將納入未來研究規劃

		應)對樓板衝擊音隔音之影響。	
3	黃副教授國倉	國內外文獻之評析完整內容豐富符合期中預期成果。	感謝委員肯定
4	溫經理俊清	有關研究進度,已進行相關文獻蒐集、緩衝材材料資訊蒐集分析、及部分試件之實驗量測,進度符合預定工作進度。	感謝委員肯定
		報告書 P.4 表 1-1 預定工作項目進度表,第 5 個月與第 6 個月之間的空白欄位之進度標示應為誤植,請修正。	感謝委員意見,已完成修正
5	陳委員瑞鈴	試件 1 試驗結果,加強乾燥後測得之共振峰值、阻尼比及 st /數值前後變化極大,顯示試件之乾燥程度會對振動反應有明顯之影響。若 CNS 16022 對試件乾燥未有明確規定,則試驗結果易因此產生偏差誤判。請再詳查標準規定、或另作其他乾燥前/後比對實驗,以利提出相關建議供參。	感謝委員意見,已研討試驗規範及做相關比對試驗,目前乾燥時間建議至少 3 天較為妥適。
		報告書各 FRF 圖之共振頻率峰值不明顯(如:圖 4-38、39、40),或對應性不佳(如:圖 4-25、26),建議查明或補充說明。另表 4-3、4-5 所列數值與圖示或文字說明未盡相符情形,請再修正。	感謝委員意見,已就各試驗結果整體檢討修正,請參閱報告第 4 章
6	台灣省建築材料商業同業公會聯合會	本研究已就橡膠緩衝材動態剛性性能、衝擊音隔音及相關檢測技術等文獻調查分析,資料蒐集齊全具參考價值。	感謝委員肯定
		有關不同材質緩衝材之性能,建議未來就不同材料元素分類探討能有更深入之研究解析。	感謝委員意見,將納入未來研究規劃中

7	財團法人台灣 建築中心	本研究內容豐富，整理完善值得肯定。	感謝委員肯定
		報告書 P.12 第一段最後一句不完整，建議修正。	感謝委員意見，已做相關修正
		報告書 P.22 動態剛性s/之定義說明不完整，建議修正。	感謝委員意見，已做相關修正
8	主席	本研究對動態剛性試驗背景內容，例如於建築技術規則防音規定中橡膠緩衝材料性能檢測之目的與緣由、國內緩衝材動態剛性實驗室檢測服務現況、及本所實驗室試驗整備情形等，請加強說明論述以利委員瞭解。	感謝主席意見，已於 P.8-10 補充相關內容
		研究內容中提及有關聚氨酯橡膠較不耐高溫特性，是否其它類型材料亦具有類似之特性，請補充說明。	感謝主席意見，已補充於 P.31-32

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. 陳啟中,建築設備概論,詹氏書局,2000年12月。
6. EN 29052-1 Acoustics. Method for the determination of dynamic stiffness. Materials used under floating floors in dwellings。
7. Carl Hopkins, Sound insulation, Butterworth-Heinemann, 2007
8. 「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。
9. 建築防音法規解說指引,內政部建築研究所,106年。
10. 陳金文,建築音響學及其應用,科技圖書,2003年7月。
11. 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。
12. 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。
13. 「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。
14. 「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報告,108年。

15. I. Schiavi, A. P. Belli, F. Russo, “Estimation of acoustical performance of floating floors from dynamic stiffness of resilient layers”, *Building acoustics*, 12, 99-113, 2005.
16. 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 and Environment Engineering*, 8, No.5, 2014.
17. A. C. C. Warnock, “Controlling the transmission of impact sound through floors”, *Construction technology update*, No. 35, National research council of Canada, 1999.