

# 國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩士論文

自動化載具運行引致之廠房樓版微振動分析

AGV/RGV Induced Floor Microvibration Analysis of

High-tech Fabs

研究生：蔡尚諺

指導教授：王彥博 博士

李建良 博士

中華民國九十五年六月

自動化載具運行引致之廠房樓版微振動分析  
AGV/RGV Induced Floor Microvibration Analysis of  
High-tech Fabs

研究生：蔡尚諺

Student : Shang-Yen Tsai

指導教授：王彥博 博士

Advisor : Dr. Yen-Po Wang

李建良 博士

Dr. Chien-Liang Lee



A Thesis  
Submitted to Institute of Civil Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
In Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of  
Master of Science  
In  
Civil Engineering  
June 2006  
HsinChu , Taiwan , Republic of China

中華民國九十五年六月

# 自動化載具運行引致之廠房樓版微振動分析

研究生：蔡尚諺

指導教授：王彥博 博士  
李建良 博士

國立交通大學土木工程研究所

## 摘要

本文主要之內容包括：(1) 無塵室 AGV 行止所引發之樓版振動特性研究；(2) 樓版之剛性補強與減振效益評估；及(3)樓版動態剛度之評估。研究結果顯示，AGV 之車速（等速、煞車）、車重及結構之跨徑均會影響樓版振動反應。當 AGV 以等速前進，車速慢時（1m/s、1.5m/s）樓版之第一、三振頻的反應較大，車速快時（3m/s、6m/s）會引起較高頻之樓版振動反應；煞車對樓版之振動反應在部分頻寬有放大現象，其影響主要在低頻範圍；此外，車重及跨徑增加，均會造成振動反應的放大。針對樓版振動過大的問題，本文提出三種鋁桁架局部補強方式，補強之範圍愈大者效果愈顯著。惟局部補強對於低頻（ $<10\text{Hz}$ ）振動之減振效果有限，高頻範圍之減振效果較佳。另一方面，樓版之動態剛度隨位置不同而改變，靠近中央之區塊動態剛度較小；設備重量對樓版剛度影響主要在低頻範圍，中央區塊之樓版剛性隨著設備重量增加而降低，周邊區域(近支撐柱)樓版剛性受設備重量之影響較不顯著；以鋁桁架補強後，確能提升樓版之剛性。

關鍵字：無塵室、動態剛度、AGV、樓版剛性補強

# **AGV/RGV Induced Floor Microvibration Analysis of High-tech Fabs**

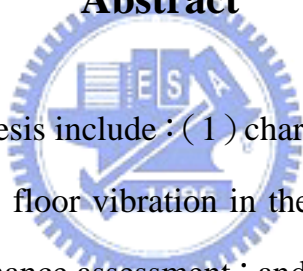
**Student : Shang-Yen Tsai**

**Advisor : Dr. Yen-Po Wang**

**Dr. Chien-Liang Lee**

**Institute of Civil Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University**

## **Abstract**



The main contents of this thesis include : ( 1 ) characterization of AGV induced, either in motion or braking, floor vibration in the clean room; ( 2 ) retrofit of floor rigidity and its performance assessment ; and ( 3 ) assessment of the floor dynamic stiffness. Simulation results indicate that, vehicle speed (constant velocity/ brake), car loading and structural span are all influential to floor vibration response. When AGV advances at a constant but lower speed (1m/s or 1.5m/s ), the floor vibration are more pronounced in the first and third modes, while at a higher speed (3m/s or 6m/s), responses of high frequency modes are excited. Braking may amplify floor vibration in a certain bandwidth, mainly in the low frequency range. Moreover, increase of both car loading and structural span cause further vibration amplification to the floor. To resolve the problem of excessive floor vibration, this study proposes three retrofit strategies of local floor reinforcement using aluminum truss. It is seen that the

broader area of the floor is reinforced the better performance is achieved. However, with such local reinforcement of the floor, the effect of vibration suppression is quite limited in the low frequency range ( $<10\text{Hz}$ ), it is more effective to high frequency responses. On the other hand, the floor dynamic stiffness changes with location, it is smaller near the central area of the floor. Weight of facilities may affect the dynamic rigidity of the floor mainly in the low frequency range, the dynamic rigidity of the floor near the central area reduced as the facility weight increases, while the effect of facility weight to floor rigidity is not evident in the peripheral area near the support columns. The floor dynamic rigidity can really be improved with local floor reinforcement of aluminum truss.

Keywords: clean room 、 dynamic stiffness 、 AGV 、 structural reinforcement



## 誌謝

感謝吾師 王彥博教授與李建良博士兩年來的悉心指導，在交大研究期間，讓學生體會到學術研究之真理所在且對研究鍥而不捨的精神以及求知的熱忱，對於老師之諄諄教誨，在此致上最誠摯的謝意。

論文口試期間，承蒙國立高雄第一科技大學 盧煉元教授、淡江大學 吳重成教授、崑山科技大學 黃武龍教授、國立交通大學 洪士林教授、國立交通大學 陳誠直教授撥冗指正，並提供寶貴意見，使得論文疏漏之處以獲改進得，特別在此表示感激之意。

在交大求學的生活中，感謝研究室的學長廖偉信博士、李建良博士、嘉賞學長、逸軒學長、鈺文學長，在此特別感謝建良學長實驗上的協助與學業上提供的寶貴意見讓我可以順利完成論文；畢業學長明坤、連杰、銘峰；同學恩杰、怡婷、科良；學弟欣晏、俊成、志軒。大家為了實驗而一起做到天亮的日子、大家一起烤肉與玩飛盤的日子、在學業上互相切磋的日子、還有一起出去玩的日子，對我而言我會珍惜與你們享處的時光。

最後，衷心感謝我的家人，給我的鼓勵、關懷、溫馨、奉獻與支持，讓我可以順利完成論文。

謹以本文獻給所有關心我的人，謝謝你（妳）們。

謹誌於交大工程二館 2006 年 7 月

# 目 錄

摘要	i
Abstract	ii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 文獻回顧	2
1.3 本文內容	4
第二章 自動導引車 (AGV) 系統與微振動標準	5
2.1 自動導引系統 (AGV)	5
2.2 廠房振動規格	6
2.3 振動量之規格(三分之一倍頻)	8
2.3.1 頻域振動規格	9
第三章 AGV 行止導致之無塵室樓板振動反應分析	11
3.1 前 言	11
3.2 廠房樓版之 SAP2000 模型建立	11
3.2.1 SAP2000 簡介	11
3.2.2 廠房模型建立	12
3.2.3 定義設備尺寸	12
3.2.4 定義構件斷面(Defining Frame Section)	13

3.2.5	AGV 行車路徑之模擬	14
3.3	AGV 行車載重之模擬	14
3.4	參數分析	15
3.4.1	不同車速對樓版振動之影響	16
3.4.2	不同車重對樓版振動之影響	20
3.4.3	不同柱跨距對樓版振動之影響	21
3.5	鋁桁架補強樓版評估	22
3.5.1	鋁桁架之相關參數設定	23
3.5.2	補強效益評估（等速方面）	23
3.5.3	補強效益評估（煞車方面）	26
第四章	無塵室樓版動態剛性之評估	29
4.1	前言	29
4.2	設備動態反應目標	29
4.3	SAP2000 廠房樓版建立及衝擊力模擬	31
4.3.1	廠房樓版	31
4.3.2	衝擊力模擬	31
4.4	樓版動態剛度分析	32
4.5	參數分析	33
4.5.1	設備重量之影響	34
4.5.2	Retrofit-B 補強結構之影響	35
第五章	結論與建議	36
	參考文獻	39



## 表 目 錄

表 2.1 為無人搬運車基本資料(Max load=100kg).....	41
表 2.2 為無人搬運車基本資料 (Max load=300kg) .....	42
表 2.3 倍頻及三分之一倍頻之下界頻率、中心頻率及上界 (ANSI-SI.6).....	43
表 2.4 通用振動標準之規格及應用說明.....	44
表 3.1 不同車速條件下之參數設定 (span=9.6m; AGV 荷重為 1ton) ...	45
表 3.2 不同車速條件下之參數設定 (span=9.6m; AGV 荷重為 2ton) ...	45
表 3.3 不同車速條件下之參數設定 (span=9.6m; AGV 荷重為 3ton) ...	46
表 3.4 不同車速條件下之參數設定 (span=14.4m; AGV 荷重為 1ton) ...	46
表 3.5 不同車速條件下之參數設定 (span=14.4m; AGV 荷重為 2ton) ...	47
表 3.6 不同車速條件下之參數設定 (span=14.4m; AGV 荷重為 3ton) ...	47
表 3.7 不同車速條件下之參數設定 (span=19.2m; AGV 荷重為 1ton) ...	48
表 3.8 不同車速條件下之參數設定 (span=19.2m; AGV 荷重為 2ton) ...	48
表 3.9 不同車速條件下之參數設定 (span=19.2m; AGV 荷重為 3ton) ...	49
表 3.10 結構樓版採用局部鋁桁架補強下之參數設定(包跨車速 1m/s、 1.5m/s、3m/s、6m/s) (Retrofit-A、Retrofit-B、Retrofit-C) (span=14.4m) .....	49
表 3.11 結構樓版採用局部鋁桁架補強下之參數設定(包跨車速 1m/s、 1.5m/s、3m/s、6m/s)(Retrofit-A、Retrofit-B、Retrofit-C) (span=19.2m) .....	50
表 4.1 衝擊載重試驗之頻域反應函數與其反函數.....	50
表 4.2 探討結構樓版剛度之參數設定.....	50
表 4.3 探討設備重量對結構樓版動態剛度之參數設定.....	51
表 4.4 Retrofit-B 補強結構對樓版剛度之參數設定.....	51

## 圖 目 錄

圖1.1 半導體加工技術發展趨勢與振動規格	52
圖2.1 不同無人搬運車種類 (左圖最大速度60 m/min) (右圖最大速度40 m/min)	52
圖2.2 CANON微影設備動態剛度規格要求	53
圖2.3 投影定位機之振動敏感性曲線	53
圖2.4 通用振動標準(Generic Vibration Criteria)	54
圖 3.1 高科技廠房局部結構平面尺寸	54
圖3.2 高科技廠房局部結構之SAP2000分析模型	55
圖3.3 SAP2000設備尺寸設定	55
圖3.4 定義桿件斷面	56
圖3.5 SAP2000柱尺寸設定範例	56
圖3.6 SAP2000小梁尺寸設定範例	57
圖3.7 鋁桁架尺寸設定範例	57
圖3.8 車輛軌道之建立及設備擺放位置示意圖	58
圖3.9(a) 不同車速四筆衝擊載重之第一筆歷時資料	59
圖3.9(b) 不同車速四筆衝擊載重之連續載重歷時資料	60
圖 3.10 不同車速下連續性衝擊載重資料之快速傅立葉轉換頻譜	61
圖3.11 載重延時不同時之收斂情形比較	62
圖3.12 不同車速對樓板振動影響 (span=9.6m)	63
圖3.13 不同車速對樓板振動影響 (span=14.4m)	64
圖3.14 不同車速對樓板振動影響 (span=19.2m)	65
圖 3.15 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=9.6m velocity=1m/s)	66

圖3.16 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=9.6m velocity=1.5m/s) .....	67
圖3.17 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=9.6m velocity=3m/s) .....	68
圖3.18 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=9.6m velocity=6m/s) .....	69
圖3.19 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=14.4m velocity=1m/s) .....	70
圖3.20 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=14.4m velocity=1.5m/s) .....	71
圖3.21 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=14.4m velocity=3m/s) .....	72
圖3.22 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=14.4m velocity=6m/s) .....	73
圖3.23 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=19.2m velocity=1m/s) .....	74
圖3.24 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=19.2m velocity=1.5m/s) .....	75
圖3.25 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=19.2m velocity=3m/s) .....	76
圖3.26 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響 (span=19.2m velocity=6m/s) .....	77
圖3.27 不同車重對樓板振動影響 (span=9.6m) .....	78
圖3.28 不同車重對樓板振動影響 (span=14.4m) .....	79
圖3.29 不同車重對樓板振動影響 (span=19.2m) .....	80
圖3.30 不同跨徑高科技廠房結構之SAP2000模型 .....	81

圖3.31	不同跨徑對廠房樓版振動影響之比較 (weight=1ton) .....	82
圖 3.32	不同跨徑對廠房樓版振動影響之比較 (weight=2ton) .....	83
圖 3.33	不同跨徑對廠房樓版振動影響之比較 (weight=3ton) .....	84
圖3.34	補強模式Retrofit-A之結構分析模型 .....	85
圖3.35	補強模式Retrofit-B之結構分析模型 .....	86
圖3.36	補強模式Retrofit-C之結構分析模型 .....	87
圖3.37	Retrofit-A結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (等速方面) (span=14.4m weight=3ton) .....	88
圖3.38	Retrofit-A結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (等速方面) (span=19.2m weight=3ton) .....	89
圖3.39	Retrofit-B結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (等速方面) (span=14.4m weight=3ton) .....	90
圖3.40	Retrofit-B結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (等速方面) (span=19.2m weight=3ton) .....	91
圖3.41	Retrofit-C結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (等速方面) (span=14.4m weight=3ton) .....	92
圖3.42	Retrofit-C結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (等速方面) (span=19.2m weight=3ton) .....	93
圖3.43	Retrofit-A結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (煞車方面) (span=14.4m weight=3ton) .....	94
圖3.44	Retrofit-A結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (煞車方面) (span=19.2m weight=3ton) .....	95
圖3.45	Retrofit-B結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (煞車方面) (span=14.4m weight=3ton) .....	96
圖3.46	Retrofit-B結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較 (煞車方面) (span=19.2m weight=3ton) .....	97

圖3.47 Retrofit-C結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較（煞車方面）（span=14.4m weight=3ton）	98
圖3.48 Retrofit-C結構補強架構下不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較（煞車方面）（span=19.2m weight=3ton）	99
圖4.1 高科技廠房平面結構尺寸	100
圖4.2 高科技廠房局部Sap2000模型	100
圖4.3 結構樓版畫分區域位置圖	101
圖4.4 模擬衝擊力	101
圖4.5 Nikon掃描機之Accelerance反應規格	102
圖4.6 Nikon掃描機之動態剛度規格	102
圖4.7 Floor1 加速度歷時圖	103
圖4.8 Floor2 加速度歷時圖	103
圖4.9 Floor4 加速度歷時圖	104
圖4.10 Floor5 加速度歷時圖	104
圖4.11 區域Floor1樓版Accelerance反應	105
圖4.12 區域Floor2樓版Accelerance反應	105
圖4.13 區域Floor4樓版Accelerance反應	106
圖4.14 區域Floor5樓版 Accelerance反應	106
圖4.15 區域Floor1樓版動態剛度反應	107
圖4.16 區域Floor2樓版動態剛度反應	107
圖4.17 區域Floor4樓版動態剛度反應	107
圖4.18 區域Floor5樓版動態剛度反應	108
圖4.19 區域 Floor1 設備重量對樓版動態剛度影響	108
圖4.20 區域 Floor2 設備重量對樓版動態剛度影響	109
圖4.21 區域 Floor4 設備重量對樓版動態剛度影響	109
圖4.22 區域 Floor5 設備重量對樓版動態剛度影響	110

圖 4.23 區域 Floor1 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較.....110

圖 4.24 區域 Floor2 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較.....111

圖 4.25 區域 Floor4 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較.....111

圖 4.26 區域 Floor5 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較.....112





# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

近幾年來液晶薄膜顯示器(TFT-LCD 產業)成為市場上的新寵兒。由於液晶薄膜顯示器在生產上有許多與半導體晶圓製程相似之處，因此台灣應用過去半導體晶圓製造經驗在液晶薄膜顯示器產業上，也有相當之競爭力，相關之學術探討更如雨後春筍般出現。液晶薄膜顯示器 (TFT-LCD) 之生產製程均在無塵室中進行，無塵室除了潔淨度要求極高之外，對微振動之要求亦甚為嚴苛。圖 1.1 為半導體加工技術發展趨勢與所對應之振動規格要求，其結果顯示半導體加工技術從 1995 年的 0.35 微米製程進展到 2001 年的 0.18 微米製程，對應之振動規格的要求足足提高了一倍。以目前台積電已量產之 65 奈米製程，其對應之生產環境振動規格比 0.18 微米製程更提高了 1.5 倍以上，生產作業環境之要求較以往更為嚴苛。高科技產業固然耽心地震所帶來的經濟傷害，惟致災性地震偶而才發生，微振動的影響卻與每日之生產良率息息相關，因此科技廠房振動問題之防治技術亟待發展。

雖然液晶薄膜顯示器的製程與半導體晶圓有許多相似之處，但液晶薄膜顯示器因尺度更大，在製造上不易搬運的特性不容忽略。茲下說明如：

1. 就材質而言，顯示器的基板為易碎玻璃，在搬運過程中需小心處理，否則易造成不可修復之傷害。
2. 玻璃基板面積較 8 吋、12 吋晶圓的面積大上數倍，因此不論在載具或是機台設計都會受此影響。

3. 重量問題。當玻璃基板經過切割後，會一批批放入載具或一卡匣中搬運，而每一批的玻璃基板加上卡匣總重量已超過人力可以搬運的程度。

基於上述原因，液晶薄膜顯示器廠中多改以無人搬運車(Automatic Guided Vehicle, AGV)來替代人工做搬運動作。無人搬運車搬運切割完成的面版至下一階段進行加工，其載運過程產生之振動及煞車時產生之振動是否會影響振動敏感性(vibration-sensitive)製程設備，降低生產良率，甚至造成傷害，乃目前業者最為重視的問題之一。目前尚無相關文獻探討有關AGV行走於樓版而產生之振動對製程設備生產良率的影響，亦無探討柱間距過大、AGV車速對樓版振動影響之相關研究。

在半導體業，基於經濟效益之考量，晶圓代工業者從早期四吋廠、六吋廠、八吋廠，逐漸將重心移往十二吋廠，以增加每片晶圓所能生產之晶片數量。將既有之六吋廠、八吋廠廠房改建成十二吋廠，更換規格及重量更大的製程設備。然而業者基於成本考量，往往僅將廠房內的生產設備汰舊更新，但仍沿用原先八吋甚至是前幾代的廠房，致使對微振動更為敏感的十二吋機台所生產之晶圓良率不佳。結構補強若未完善，則無法符合環境振動標準，製程設備過重將造成樓版負擔，降低樓版剛度，或無人搬運車行止所產生之振動，都將影響生產良率。因此，如何透過樓版剛性補強以提升其勁度，亦為本研究之另一重點。

## 1.2 文獻回顧

振動源基本上可依擾動發生位置，區分為內部振源及外部振源兩大類。有關外部振源方面之研究，郭珍祥【1】曾以波動理論分析探討外在交通所導致土壤與結構體之振動效應，並簡化Rockwood所提之典型微電子廠房結構模型，進行建築物內部振動分析。陳勇次【2】以結構動力學、



平版理論、疲勞理論、亂振及破壞力學去檢討微電子廠房樓版之振動問題。楊永斌與陳永祥等人【3】以波動理論方式發展一套適合分析土壤結構互制系統的程式，藉此研究對廠房周圍之各種振動源對結構的影響。渡邊桃子【4】以數值模擬，預測下層機械室之機械運轉振動上傳到無塵室樓版之振動特性。另外，林義祥【5】以快速釋放與強迫振動實驗，求取台積電晶圓六廠之自然週期及阻尼等動力特性，並說明外部振動傳入廠房之衰減率。鍾慶樺【6】以高鐵列車行經高鐵軌道基樁所產生的振動為擾動源，運用 SAP2000 進行台積電晶圓六廠的微振動分析。在內部振動源方面，木村翔與井上勝夫等人【7~9】曾藉由實驗的方式探討樓版在人員步行下之衝擊力特性乃其振動反應，其中對於人員步行產生之衝擊力的歷時波形有詳細探討，同時明確說明不同速度、頻率及體重對步行衝擊特性之影響。蔡耀顯【10】模擬人員步行於樓版產生之振動量，建立一預測模擬方法，提供設計、使用者在規劃設計階段能預先測知建築物內架高地板振動量值及研擬不同減振方案。林芳銘【11】在建築環境中由於室內人員活動引發的衝擊振動，藉由數值以模擬人員之步行作為振動源，探討樓版振動及微振動特性在某些特定的環境例如微電子廠房中需控制其樓版環境之微小振動，以確保產品製程之良率。

本研究將進行探討無塵室內部之 AGV 於行止間產生之振動反應，並設定 AGV 車速（等速與煞車）、AGV 車重、柱跨徑等不同條件進行樓版振動反應之參數研究。

### 1.3 本文內容

本文共分五章，第一章為緒論，介紹研究動機與目的及文獻回顧。第二章將介紹自動導引車及頻域振動量之規格，第三章利用商用軟體 SAP2000 建立高科技廠房樓版模型，模擬 AGV 等速行走及煞車時對樓版產生之振動反應，並進一步探討採用鋁桁架補強樓版剛性對降低振動量之可行性。第四章將介紹動態反應目標及探討無塵室樓版動態剛度分析。第五章為結論與建議。



## 第二章 自動導引車 (AGV) 系統與微振動標準

### 2.1 自動導引系統 (AGV)

隨著日益競爭的時代來臨，每個工廠都在找尋適合自己的生產模式，以期在客戶手中拿到更多的訂單。多年以來，自動化的生產模式一直不斷在改善，並朝著無人工廠的目標持續在努力著。而無人搬運車系統即是自動化工廠中一個重要的環節。近年來半導體產業的發達帶動了相當多學術上的研究。而半導體產業在生產環境潔淨度的嚴苛要求，正表示了工廠需要朝向全廠無人化目標邁進。無人搬運車又稱自動導引車(Automatic Guided Vehicle，簡稱 AGV)，依照美國物料管理協會(MHI)對無人搬運車之定義，無人搬運車係利用電磁或光學自動導引的搬運車輛，按照程式的設定循導引路線前進、轉彎或停止，並能整合其他搬運系統之應用。其主要用途為：

1. 半導體後段工程間搬運。
2. TFT-LCD 產業後段工程間搬運。
3. 電子廠或裝配廠現場零件搬運。
4. 辦公室文件傳遞。

新興的 TFT-LCD 產業，其廠房規模較諸半導體或微電子廠房猶有過之，製程設備的體積與重量也遠大於晶圓廠，因結構跨徑加大、設備加重而潛藏微振動量過大的問題。

如圖 2.1 所示為目前使用在半導體廠裡的無人搬運車種類，表格 2.1~2.2 為無人搬運車基本資料，一般而言，面板廠裡的無人搬運車車速為 1m/s。

## 2.2 廠房振動規格【13、14】

隨著半導體及光電製程技術的進步，半導體元件特徵尺寸細微化之程度已邁入奈米的新紀元，使得晶圓生產作業環境之要求較以往更為嚴苛，特別是微振動問題。

微振動干擾幾乎存在於任何地方，其來源包含：廠房外之交通影響、廠房內之人員走動、搬運車之運動、各種機械設備之運轉等，這些現象隨時都在發生，其振幅尺度比起地震反應要小好幾個位階（order）。當振幅達到  $100 \mu \text{ in./sec}$  或  $0.1 \text{ gal}$  以上時，對於振動敏感的光學量測或製程設備即可能造成影響。隨著高科技產業製程之微小化與超精密化，其加工與量測設備之振動敏感度亦隨之提高，生產環境之允許振動量也越趨嚴苛。Colin G. Gordon 在 1991 年依據 ISO 標準訂定提出半導體製程設備之微振動標準，半導體製程設備以及廠房環境之微振動要求大抵都依照此一準則。該準則分為 A、B、C、D、E 五項，以  $1/3$  八度音程頻帶（one-third octave bands）為橫軸，均方根速度為縱軸，其適用範圍分別敘述如下：

1. VC-A(66dB)( $2000 \mu \text{-in/sec}$ )等級適用於 400 倍以內之光學顯微鏡以及相關的  $8 \mu \text{ m}$  以下之微影製程。
2. VC-B(60dB)( $1000 \mu \text{-in/sec}$ )等級適用於 1000 倍以內之光學顯微鏡以及相關的  $3 \mu \text{ m}$  以下之微影製程。
3. VC-C(52dB)( $500 \mu \text{-in/sec}$ )適用於  $1 \mu \text{ m}$  以下之微影製程以及電子顯微鏡等檢測設備。
4. VC-D(48dB)( $250 \mu \text{-in/sec}$ )適用於  $0.3 \mu \text{ m}$  以下之微影製程、E-Beam 設備以及電子顯微鏡等檢測設備。

5. VC-E(42dB)(125  $\mu$ -in/sec)則通常是針對一些以雷射為主，行程較長，聚焦點較小的設備或系統才會要求到如此的振動規格。

次世代微奈米製程所遭遇之挑戰包括下列幾項：

1. 製程精度越來越高：目前半導體的製程之線寬已經由 0.25  $\mu$ m 至 0.18  $\mu$ m 再演進至 90nm，未來可能朝向 65nm 以下之製程邁進。依此發展趨勢，製程對於微振動的要求勢必越來越嚴苛。
2. 設備重量越來越重：半導體製程的設備發展由早期的 6 吋晶圓的設備至成熟期的 8 吋晶圓的設備，當成熟的技術逐漸移出海外後，未來台灣的製程將會以 12 吋的晶圓技術為主流，而 12 吋的微影設備重量接近 20 噸重；此外，TFT-LCD 的製程設備也由 13 吋演進至 15 吋，目前面板製程為 17 吋，甚至會因應電視機顯示器的生產，未來將會有更大更重的製程設備出現，造成廠房結構的嚴重負擔，並進一步導致微振動環境的劣化。
3. 產能要求越來越高：目前微影製程設備掃描曝光的動作加快，因此設備的載台設計不只是考慮承載重量而已，需要更好的結構設計及動態特性，以減少振動量。

科技廠房的微振動主要是由環境擾動或機具運轉所致。其振動量比起結構之地震反應要好幾各位階 (order)，對設備或製程之影響範圍則屬寬頻 (wideband)，其上限可達 80Hz 甚至更高；結構體在環境微動下的行為主要反應於結構之局部振態 (local modes)，如樓版或格子梁之振態，其振動頻率較整體結構之振動頻率高，一般在 20Hz 以上。由於廠房擾動源甚多，且擾動函數及位置很難清楚定義，因此廠房樓版的微振動反應可以經由實驗數據與數值模擬分析得到之結果去作為較為可靠的預測【15】。精密製程設備常以樓版動態剛度等定性規格目標作為對樓版微振動的要

求，如 CANON 微影設備 (scanner) 之動態剛度規格要求 (如圖 2.2 所示)。因此，高科技廠房的樓版設計，定性考量及設計經驗的重要性超過定量分析的結果。

### 2.3 振動量之規格(三分之一倍頻)【13、14】

在工程應用上，某些物理量 (如振動) 的頻率分佈相當寬廣，為便於訊號分析結果之解讀，工程師便將此一寬廣的頻率尺度轉換成若干個易於使用的頻帶 (bands)，例如八度音程頻帶 (octave bands) 及 1/3 八度音程頻帶 (one-third octave bands) 等。八度音程之名稱源自樂理，例如低音 Do 之頻率為 261.63Hz，而高八度 Do 之頻率則為 523.25Hz，即每隔八個音程 (即八度)，其振動頻率正好相差一倍，故以此命名。

振動量之規格依其內涵之不同，可分為時域振動規格 (time-domain vibration specification)、頻域振動規格 (frequency-domain vibration specification) 與設備動態反應目標 (facility dynamic response target)，且一般均包括水平向及垂直向之規格。由於製程設備對於水平向之微振動更為敏感，水平向之振動規格通常較垂直向嚴格。本節僅介紹頻域振動規格，設備動態反應目標將於第四章介紹。



### 2.3.1 頻域振動規格【13、14】

頻域振動規格是針對樓板振動之頻譜能量進行評估，頻寬基礎大多採用1/3 八度音程頻寬，計算各中心頻率之均方根振幅、峰值振幅、或波峰至波谷振幅等。1991 年Gordon【16】等人根據其多年的振動測試經驗，參考ISO 有關人類對工作環境之振動敏感評估指南，並綜合其他設備廠商較為可靠的測試結果發現—(1) 設備之運作表現主要是受到寬頻 (broadband) 擾動能量的影響，而非特定之週期性振動源；(2) 雖然不同的儀器設備內部元件的共振頻率不同，對於擾動的敏感程度也不一致，然而無論由設備之位移或加速度均方根反應譜所反推得到的速度反應譜，均顯示在有效量測的振動頻寬範圍 (frequency range) 內，存在一固定的速度底線，如圖2.3所示；(3) 振動敏感設備的基本共振頻率一般均高於8Hz，故4至8Hz 頻區之振動標準可再放寬，因而訂出現行之BBN 振動規格，如圖2.4所示。此一規格與結構耐震設計所習用之加速度頻譜或位移頻譜完全不同。

BBN 振動標準為一均方根速度頻譜 (root-mean-square velocity spectrum)，頻域分析採用1/3 八度倍頻寬 (one-third octave band frequency)，振動量的表示則採無因次之分貝值 (decibels)。八度倍頻寬 (octave bands) 之名稱源自樂理，例如低音Do 之頻率為261.63 Hz，而高八度Do 之頻率則為523.25 Hz，兩者之頻率為倍頻關係，即每隔八個音程 (即八度)，頻率正好相差一倍，故以此命名。在八度音程 (倍頻) 之頻譜上，各頻寬之中心頻率 (center frequency) 依序為1 Hz、2 Hz、4 Hz、等類推，即1Hz、 $1 \times 2$ Hz、 $1 \times 2^2$  Hz等類推 (表2.3)。在1/3 八度音程 (三分之一倍頻) 之頻譜上，將八度音程之每一倍頻寬帶再細分為三個寬帶，

相鄰兩中心頻率之比值為 $2^{1/3}$ 倍。例如，1Hz與2Hz之間，中心頻率依序為1 Hz、1.26 Hz、1.59 Hz，即 $1\text{ Hz}$ 、 $1 \times 2^{1/3}\text{ Hz}$ 、 $1 \times 2^{2/3}\text{ Hz}$ （表2.3）。 $1/3$ 倍頻速度均方根振動量 $\sigma_{\dot{x}}(f_{ic})$ 之分貝值 $\sigma_{\dot{x},dB}(f_{ic})$ 可根據下式換算：

$$\sigma_{\dot{x},dB}(f_{ic}) = 20 \log_{10} \frac{\sigma_{\dot{x}}(f_{ic})}{\sigma_{\dot{x},ref}} \quad (1)$$

其中 $\sigma_{\dot{x},ref} = 1 \mu\text{ in/sec} = 1 \times 10^{-6} \text{ in/sec} = 2.54 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ ，為速度均方根之參考值。針對不同製程、設備之精密度要求，BBN 規格將樓板的容許振動量分為五個等級（VC-A 至VC-E），其規格與適用對象如表2.4 所示。





## 第三章 AGV 行止導致之無塵室樓板振動反應分析

### 3.1 前言

隨著高科技產業的進步，目前各高科技產品的加工製造均已進入細微化與超精密化，而其製程對於環境振動之要求益趨嚴苛。半導體製程技術從1995年0.35微米製程進展到目前（2006年）的90奈米及65奈米製程，其對環境振動規格的要求足足提高了三倍。本章將利用SAP2000有限元素分析軟體建構無塵室局部樓版之結構分析模型，並藉由參數分析探討無人搬運車(AGV)行走在廠房樓板時所產生之振動反應以及煞車之影響。此外，亦針對跨距過長或車輛過重導致樓版振動量過大之情況，利用鋁桁架結構質輕、空間穿透性佳及施工快速等特性，探討將其應用於樓版剛性補強的可行性。

### 3.2 廠房樓版之 SAP2000 模型建立

#### 3.2.1 SAP2000 簡介

SAP2000 歷經多次的修改與改版後，成為一功能強大之全視窗介面結構分析軟體。使用者可在三維空間中建立幾何形狀的基本分析模型，桿件元素、薄殼元素的斷面幾何性質，鋼筋混凝土材料、鋼構材、非線性元素力學性質、或是一新定義材料之材料特性，以至於靜力分析、模態分析、

反應譜分析、歷時分析、推進分析及結構分析等，皆可輕易地於 SAP2000 視窗介面中快速、準確的完成。

SAP2000 之分析結果可完全以圖形介面顯示，如靜力載重變形、動力振形、軸力、剪力、彎矩圖、應力分佈圖及歷時結果分析等。視窗圖形化的呈現，可讓使用者能夠清楚地了解結構模型的力學行為。此外，標準化之文字格式輸出結果，可供使用者從事後處理工作。

### 3.2.2 廠房模型建立

為求準確模擬無人搬運車(AGV)行走在高科技廠房無塵室樓板之振動行為，本研究採用真實之廠房結構設計資料作為數值模擬分析的對象。由於 TFT-LCD 廠房平面之長、寬尺寸動則上百米，若整體納入分析勢必得耗費大量的電腦計算時間。由於結構體在環境微動下的樓板振動行為，主要係屬結構之局部振態反應，因此本研究僅選取結構之局部區域進行有限元素模型分析，在不影響結構樓版振動行為之真實性下，減少電腦計算時間，增加時效性。圖 3.1 為模擬分析之結構平面尺寸圖，該模擬結構為長 28.8m(3@9.6m)、寬 14.4m(2@7.2m)子結構系統；最外側兩旁為結構主柱(800×800×35×35mm)，中間部分為小柱(400×400×25×25mm)；結構四周外圍及柱與柱之間採用的小梁尺寸為(500×304×15×24mm)；廠房樓層高 5m。圖 3.2 為局部廠房結構之 SAP2000 結構分析模型。

### 3.2.3 定義設備尺寸

以 Area Section 模擬放置於無塵室中的設備。假設設備重量為 2 噸，並視其為剛體，擺放在樓版中央。SAP 軟體之模型建構輸入版面如圖 3.3 所示，其中：

Section Name：斷面名稱

Material Name：材料性質

Membrane：薄膜厚度

Bending：承受彎矩厚度

Type：面積型式

材料性質設定為「Steel」，薄膜厚度與承受彎矩厚度（設備體積與自重皆是以此參數作計算）在大多數情況，兩者數值相同，面積型式勾選「Shell」。



#### 3.2.4 定義構件斷面(Defining Frame Section)

已知實際廠房結構的大柱、小柱、梁等尺寸及後續對樓版補強所使用的鋁桁架尺寸，可於 Frame Section 自行定義桿件斷面，如圖 3.4 所示，其中：

Import：匯入斷面定義檔

Add：加入一斷面

分別選擇 Add/wide Flange、Add Box/Tube 或 Add/Pipe，依照實際尺寸進行設定。

如圖 3.5~3.7 所示，斷面對話方塊隨定義不同之斷面幾何形狀而

有所不同。圖中左側視窗各項參數鍵入完畢後，右側視窗會顯示該斷面之幾何形狀。

### 3.2.5 AGV 行車路徑之模擬

高科技廠房裡的無人搬運車是由電磁或光導引方式行駛於固定的路線軌跡，因此本研究在距離設備 60cm 處（垂直距離）考慮一總長度為 9.6m 之軌跡進行分析，如圖 3.8 所示。

### 3.3 AGV 行車載重之模擬

高科技廠房中之無人搬運車運行車速一般為 1m/s，本節擬探討車速（包括等速運動與煞車）分別為 1m/s、1.5m/s、3m/s 及 6m/s 四種不同車速下對樓版振動的影響。針對不同車速條件在固定之路徑長度下，分別調整其通過時間以反映出不同之車速。移動載重歷時資料之建立，係以自行製作之三角波模擬衝擊載重，在固定軌道長度下，不同車速所需要之通過時間均為不同，將所需通過時間除以每筆衝擊載重之作用時間，即得到導軌上加載點之總節點數。將 n 個衝擊載重歷時串連，但作用位置平移，以模擬連續性衝擊載重之行為，將此離線（off-line）模擬的移動載重歷時資料存檔供進一步 SAP2000 歷時分析之用。連續載重歷時以數學模型可表示為

$$P(x, y, t) = \begin{cases} \frac{2y}{t_d} t, & mt_d \leq t \leq \left(\frac{2m+1}{2}\right)t_d, m = 0, 1, 2, 3, \dots \\ -\frac{2y}{t_d} + 2y, & \left(\frac{2m-1}{2}\right)t_d \leq t \leq mt_d, m = 1, 2, 3, \dots \end{cases} \quad (2)$$

$x$ ：第幾個加載點區間， $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ；

$y$ ：AGV 車載重； $t_d$ ：載重延時； $t$ ：載重延時內之時間

AGV 車載重、載重延時及加載點區間均為已知，載重延時內之時間間隔 ( $\Delta t$ ) 在所有車速均設定為 0.001sec 其不同車速表示法為改變載重延時求得，因此連續載重歷時即可求得。圖 3.9 (a) 分別為不同車速之第一筆衝擊載重歷時資料，圖 3.9 (b) 分別為不同車速之連續載重歷時資料 (前十筆)，圖 3.10 分別為其對應之快速傅立葉轉換頻譜圖，各車速連續性載重之傅立葉頻譜圖(車速 1m/s、車速 1.5m/s、車速 3m/s、車速 6m/s)主要尖峰頻率為 20Hz、34Hz、64Hz 及 130Hz。

衝擊載重所考慮之延時 ( $t_d$ ) 對樓版振動分析結果會有影響收斂性，其之探討如圖 3.11 之結果所示，為相同車速在不同載重延時下從 0.05sec 到 0.0083sec 之分析結果比較，結果顯示曲線有重疊現象除了高頻部分稍微不重疊，其各車速之載重延時收斂特性大致相同，故本研究採取此範圍當作不同車速之載重延時，選擇這些載重延時範圍是為了縮短電腦計算時間增加時效性，因此本文將以 0.05sec、0.03sec、0.017sec 及 0.0083sec 分別作為車速 1m/s、1.5 m/s、3 m/s 及 6 m/s 的載重延時。其中，本文所述之「等速」係指無人搬運車(AGV)以等速度行駛經過設備而不停止，即固定軌道上之總加載點數均有車載重；而「煞車」係指無人搬運車(AGV)以等速度行駛至設備旁時即煞車停止，即固定軌道上之總加載點數的一半有車載重。

### 3.4 參數分析

本節將針對 AGV 行走在廠房樓版時產生之振動進行參數分析，評估分

析結果的位置為設備底下之樓版垂直向加速度歷時，並取加速度歷時反應進行頻譜分析，計算其三分之一倍頻均方根速度振動量。本研究考慮之參數包括車速（含等速與煞車）、車重及柱跨距（柱與柱之中心距）等三項。

### 3.4.1 不同車速對樓版振動之影響

本節將探討 AGV 車速對廠房樓版之振動特性的影響。本節所設定之 AGV 車速分別為 1m/s、1.5m/s、3m/s 及 6m/s 等四種車速。表 3.1~3.3 為柱跨距 9.6m，不同車速及 AGV 載重之參數設定值，表 3.4~3.6 則為柱跨距 14.4m，不同車速及 AGV 載重條件下之參數設定值，表 3.7~3.9 為柱跨距 19.2m，不同車速及 AGV 載重條件下之參數設定值。



#### A. 等速運動之 AGV 對樓版振動之影響

圖 3.12 為跨徑 9.6m 之廠房結構，以不同車速等速前進時對廠房無塵室樓版造成之振動反應比較。車重為 1ton，頻率區間在 0~16Hz 範圍內，車速對樓版之振動並無太大差異；頻率區間在 16~25Hz 範圍內，振動分貝值最大者為車速 1m/s 之情況，其原因為載重之主要頻率乃 20Hz；頻率區間在 25~38Hz 範圍內，振動分貝值最大者為車速 1.5m/s，其原因為載重之主要頻率為 34Hz；頻率區間在 38~80Hz 範圍內，振動分貝（dB）值最大者為車速 3m/s，因為載重之主要頻率在 64Hz；頻率在 80Hz 以後，振動分貝（dB）值最大者為車速 6m/s 之情況，因為載重之主要頻率為 130Hz。整體振動量最大值發生在頻率 20Hz，其振動量為 56dB；車重為 2ton 時，車速之影響



趨勢與車重 1ton 時相同，整體振動量最大值亦發生在頻率 20Hz，其振動量為 58 dB；車重為 3ton 時，車速之影響特性亦與前兩者相同，整體振動量最大值發生在頻率 20Hz，其振動量為 61 dB。

圖 3.13 為跨徑 14.4m 之廠房結構，以不同車速等速前進時對廠房無塵室樓版造成之振動反應比較。車重為 1ton，頻率區間在 0~10Hz 範圍內，車速對樓版振動並無太大差異；頻率區間在 10~27Hz 範圍內，振動分貝值最大者為車速 1m/s 之情況，主要因為載重之主要頻率為 20Hz；頻率區間在 27~40Hz 範圍內，振動分貝值最大者為車速 1.5m/s，其因為載重之主要頻率為 34Hz；頻率區間在 40~80Hz 範圍內，振動分貝 (dB) 值最大者為車速 3m/s，因為載重之主要頻率為 64Hz；頻率在 80Hz 以後，振動分貝 (dB) 值最大者為車速 6m/s 之情況，原因為載重之主要頻率為 130Hz。整體而言振動量最大值發生在頻率 8Hz 及 20Hz，其振動量為 56dB；車重為 2ton 時，車速之影響特性與車重 1ton 時相同，整體而言最大值振動量發生在頻率 8Hz 及 20Hz，其振動量為 61 dB；車重為 3ton 時，車速之影響趨勢亦與前兩者相同，整體而言，最大值振動量發生在頻率 8Hz 及 20Hz，其振動量為 64 dB。

圖 3.14 為跨徑 19.2m，以不同車速等速前進時對廠房樓版造成之振動反應比較。車重為 1ton，頻率區間在 0~13Hz 範圍內，車速對樓版振動並無太大差異；頻率區間在 13~25Hz 範圍內，振動分貝 (dB) 值最大者為車速 1m/s 之情況，其因為載重之主要頻率為 20Hz；頻率區間在 25~40Hz 範圍內，振動分貝 (dB) 值最大者為車速 1.5m/s，其因為載重之主要頻率為 34Hz；頻率區間在 40~80Hz 範圍內，振動分貝 (dB) 值最大者為車速 3m/s，因為載重之主要頻率為 64Hz；頻率在 80Hz 以後，振動分貝 (dB) 值最大者為車速 6m/s 之情況，原因為載重之主要頻率為 130Hz。整體最大值振動量發生在頻率 5Hz，其振動量為 61 dB；車重為 2ton 時，車速之影

響趨勢與車重 1ton 時相同，整體振動量最大值發生在頻率 5Hz，其振動量為 66 dB；車重為 3ton 時，車速之影響特性亦與前兩者相同，整體振動量最大值發生在頻率 5Hz，其振動量為 70 dB。

綜合上述不同車速等速前進時對樓版振動的影響分析，可歸納結論如下：

1. 當跨徑為 9.6m 時，AGV 行車載重對於樓版振動的影響主要在 20Hz 附近，無論所考慮之車速為何。主要之原因應與樓版之第一振態頻率有關。
2. 樓版之自然振頻會隨著跨徑增加而降低。例如，跨徑放大為 14.4m 時，樓版之第一振頻降至 8Hz；跨徑放大為 19.2m 時，樓版之第一振頻降至 5Hz。
3. 車速慢（1m/s、1.5m/s）時對樓版第一、三振頻反應的影響大過車速快（3m/s、6m/s）時。
4. 車速快時，擾動頻率也會升高，因此一般而言會激發較高頻之樓版振動反應。
5. 跨徑越大，樓版的振動反應也越大，無論 AGV 的車速為何。
6. AGV 載重 1ton 時，可以滿足 VC-B 的要求；AGV 載重 2~3ton 時，無法滿足 VC-A 的要求。

## B. 煞車對樓版所造成之振動影響

圖 3.15~3.18 為跨徑 9.6m 條件下，煞車對廠房樓版振動之影響評估結果。當車速為 1m/s 時，頻率範圍在 0~64Hz 內之振動反應會因煞車而放大，頻率大於 64Hz 後振動反應則無明顯之放大現象；車速為 1.5m/s 時，在 100Hz 以下振動反應都會因煞車而放大；車速為 3m/s 時，煞車產生之放大效應主要在 16Hz 以下之低頻範圍，高頻區則不受影響，甚至反應還有下



降的情形；車速為 6m/s 時，煞車產生之放大效應主要在 12Hz 以下之低頻範圍。

圖 3.19~3.22 為跨徑 14.4m 條件下，煞車對廠房樓版振動之影響評估結果。當車速為 1m/s 時，頻率範圍在 0~40Hz 內之振動反應會因煞車而放大，頻率在 40Hz 後振動反應則無明顯之放大現象；車速為 1.5m/s 時，煞車產生之放大效應主要在 16Hz 以下之低頻範圍及頻率範圍在 64~100Hz 內之振動反應，頻率範圍在 20~64 Hz 內之振動反應則無明顯之放大現象；車速為 3m/s 時，頻率範圍在 0~10Hz 內之振動反應無明顯之放大現象，頻率在大於 10Hz 後，煞車產生之振動效應有下降的情形；車速為 6m/s 時，頻率範圍在 0~8Hz 內之振動反應無明顯之放大現象，而頻率範圍在 8Hz 後煞車產生之振動效應有下降的情形。



圖 3.23~3.26 為跨徑 19.2m 條件下，煞車對廠房樓版振動之影響評估結果。當車速為 1m/s 時，在 100 Hz 以下振動反應無明顯之放大現象；車速為 1.5m/s 時，頻率範圍在 25Hz 後振動反應會因煞車而放大，而頻率範圍在 0~25Hz 內之振動反應則無明顯之放大現象；車速為 3m/s 時，煞車產生之放大效應在 100Hz 以下不受影響甚至反應還有下降的情形；車速為 6m/s 時，頻率範圍在 63Hz 後振動反應無明顯之放大現象，而頻率範圍在 0~63Hz 內之振動反應則有下降的情形。

綜合上述分析，可歸納結論如下：

1. 跨徑為 9.6m 時，煞車對樓版之振動反應有放大現象，其影響範圍以低頻（20Hz 以下）較為顯著；車速低（1m/s、1.5m/s）時，煞車對樓版振動反應放大的影響頻寬範圍較大；車速高（3m/s、6m/s）時，煞車之放大效應主要集中在低頻區。

2. 跨徑增為 14.4m 及 19.2m 時，低速行駛 (1m/s、1.5m/s) 下，煞車之振動反應放大較為顯著，其影響範圍主要在 10Hz 以下 (19.2m 時更低)；較高速時 (3m/s、6m/s)，煞車之負面影響並不顯著。
3. 低速 (1m/s、1.5m/s)，AGV 載重 2ton 以上，AGV 煞車時將無法滿足 VC-A 之標準。其餘條件下，最佳情況也只能滿足 VC-A 之要求。

### 3.4.2 不同車重對樓版振動之影響

本節將探討 AGV 車重對廠房樓版振動之影響。車重分別設定為 1ton、2ton 及 3ton 共三種情況，其參數設定如表 3.1~3.9。

圖 3.27 為跨徑 9.6m，在不同車重下對樓版所產生之振動分析比較。分析結果顯示，車重越重對樓版造成之振動反應越大；車速為 1m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-B 之間；車速為 1.5m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-C 之間；車速為 3m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-B~VC-C 之間；車速為 6m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-B~VC-C 之間。

圖 3.28 為跨徑 14.4m，在不同車重下對樓版所產生之振動反應比較。結果顯示，車重越重對樓版造成之振動反應越大；車速為 1m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-B 之間；車速為 1.5m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-B 之間；車速為 3m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-C 之間；車速為 6m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-C 之間。

圖 3.29 為跨徑 19.2m，在不同車重下對樓版所產生之振動反應比較。結果顯示，車重越重對樓版造成之振動反應越大；車速為 1m/s 時，

不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 70dB~VC-B 之間；車速為 1.5m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-B 之間；車速為 3m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 VC-A~VC-B 之間；車速為 6m/s 時，不同車重所造成之尖峰振動分貝值介於 70dB~VC-B 之間。

綜合上述分析，可歸納結論如下：

1. 車重越重對樓版造成之振動反應會越大。
2. 所有跨徑下，AGV 載重 1ton 時，可以滿足 VC-B 的要求；AGV 載重 2~3ton 時，則無法滿足 VC-A 的要求。



### 3.4.3 不同柱跨距對樓版振動之影響

本節將探討結構柱跨距(span)對無人搬運車(AGV)行走在高科技廠房無塵室樓版之振動影響。原始廠房結構跨徑為 9.6m(3×2bay)，本節參數設定為跨徑 9.6m(取 3×2bay 進行模擬)、跨徑 14.4m(取 3×2bay 進行模擬)、跨徑 19.2m(取 3×2bay 進行模擬)共三種情況，圖 3.30 為不同跨徑廠房結構之 SAP2000 模型。各跨徑參數設定如表 3.1~3.9。

圖 3.31 為車重 1ton，車速 (1m/s、1.5m/s、3m/s、6m/s) 分別在不同跨徑下的廠房無塵室樓版振動反應比較。結果顯示，結構在主要頻率 span=9.6 (16Hz)、span=14.4m (8Hz)、span=19.2m (5Hz) 之振動分貝 (dB) 值，依照著跨徑越長則振動分貝 (dB) 值就越大之情況越為顯著。在車速不同方面對樓版振動影響說明：

當車速為 1m/s 時，頻率範圍在 13~20Hz 三種不同 span 振動反應幾

乎無任何明顯放大，頻率範圍在 20Hz 以後最大振動分貝值為跨徑 14.4m，最小振動分貝值為跨徑 19.2m；車速為 1.5m/s 時，頻率範圍在 16~32Hz 三種不同 span 振動反應幾乎無任何明顯放大，頻率範圍在 32~60Hz 最大振動分貝值為跨徑 14.4m，最小振動分貝值為跨徑 19.2m，頻率範圍在 60Hz 後最大振動分貝值為跨徑 9.6m、最小振動分貝值為跨徑 19.2m；車速為 3m/s 時，頻率區間在 40~70Hz 最大振動分貝值為跨徑 14.4m，最小振動分貝值為 span=19.2m，頻率範圍在 70Hz 後最大振動分貝值為跨徑 9.6m、最小振動分貝值為跨徑 19.2m；車速為 6m/s 時，頻率範圍在 38Hz 後最大振動分貝值為跨徑 9.6m，最小振動分貝值為跨徑 19.2m。

圖 3.32~3.33 為車重 2ton、車重 3ton，車速（1m/s、1.5m/s、3m/s、6m/s）在不同 span 下的廠房無塵室樓版振動反應比較。在不同車速對樓版振動影響趨勢與車重 1ton 時相同。



綜合上述分析，可歸納結論如下：

1. 樓版第一振頻隨跨徑增大而降低，跨徑 9.6m 時為 16Hz，跨徑 14.4m 時為 8Hz、跨徑 19.2m 時為 5Hz，樓版低頻（10Hz 以下）振動反應隨著跨徑增大而放大。
2. 一般而言，跨徑越長者，低頻反應越大，高頻反應則越小；低頻反應隨著車速增快而降低，高頻反應隨著車速增快而增大。

### 3.5 鋁桁架補強樓版之可行性評估

鋁桁架具有質輕、空間穿透性佳等特性，有助於補強工程之實務應用，本節將探討利用鋁桁架來進行廠房樓版剛性補強的可行性。本研究將

考慮局部樓版之補強，針對須補強的區域下方（如敏感設備）加裝鋁桁架提升剛性。無塵室內之空間受到限制，若補強之桁架高度過大時可能會影響設備擺放或無法施工，故本研究考慮將補強桁架的深度設定為 1m。

### 3.5.1 鋁桁架之設計參數設定

本研究考慮之鋁桁架進行局部樓版補強，共有三種模式。分別為：(1) 於擺放設備的樓版下方加裝結構平面面積為 3.6m×3.6m 的鋁桁架 (Retrofit-A) (2) 以十字形平面之鋁桁架加裝於設備底下樓版面並延伸至結構主梁，其 X 向、Y 向面積大小為 2.4m×14.4m (SPAN=14.4m) 及 2.4m×19.2m (SPAN=19.2m) (Retrofit-B) (3) 於 AGV 經過的跨徑下加裝鋁桁架結構，其平面面積為 9.6m×1.2m (Retrofit-C)。此外，依桁架尺寸之不同區分為：Truss-A，為不加桁架的原始結構；Truss-B，為由 216.3×8mm (直徑×管厚) 鋁管構成之桁架；Truss-C，為由 355.6×12mm 鋁管構成之桁架；Truss-D 則為由 457.2×19mm 鋁管構成之桁架。圖 3.34~3.36 為結構樓版局部加裝鋁桁架補強之 SAP2000 結構分析模型。各鋁桁架補強結構系統之參數設定如表 3.10~3.11 所示。

### 3.5.2 樓版補強效益評估（等速方面）

參數設定為車速 (1m/s、1.5m/s、3m/s、6m/s) 為等速、AGV 車重 3ton 及跨徑 (14.4m 及 19.2m) 進行結構剛性補強分析。



## A. Retrofit-A 補強架構

圖 3.37 為設備正下方樓版加裝不同尺寸之鋁桁架（詳圖 3.34），結構跨徑 14.4m，AGV 車重 3 ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，無論採用 Truss-B、Truss-C 或 Truss-D 的構件尺寸進行樓版補強，低頻（ $<13\text{Hz}$ ）振動反應均無任何降低改善，減振較明顯的頻率在 20~50Hz 內，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較為明顯。

圖 3.38 為設備正下方樓版加裝不同尺寸之鋁桁架（詳圖 3.34），結構跨徑 19.2m，AGV 車重 3ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，低頻（ $<10\text{Hz}$ ）振動反應沒有任何明顯改善，減振較明顯的頻率在 50Hz 後，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較為明顯。



## B. Retrofit-B 補強架構

圖 3.39 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-B 型鋁桁架（詳圖 3.35），結構跨徑 14.4m，AGV 車重 3 ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，採用 Truss-B、Truss-C、Truss-D 方式進行樓版補強，頻率在低頻範圍（10Hz 以下）樓版振動反應略微降低約 1 分貝，減振效果有限，無論車速為何；頻率在大於 16Hz 後則有明顯改善，振動量最多折減達 17 分貝，其減振程度隨鋁桁架構件尺寸而增加，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯，而在頻率為 16Hz 處改善幅度達到 17 分貝。

圖 3.40 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-B 型鋁桁架（詳圖 3.35），結構跨徑 19.2m，AGV 車重 3 ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，低頻（ $<10\text{Hz}$ ）振動反應略微降低，減振效果有

限，無論車速為何。頻率在大於 20Hz 後則有明顯改善，其減振程度隨鋁桁架構件尺寸而增加，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯。

### C. Retrofit-C 補強架構

圖 3.41 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-C 型鋁桁架（詳圖 3.36），結構跨徑 14.4m，AGV 車重 3 ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，採用 Truss-B、Truss-C、Truss-D 方式進行樓版補強，低頻（<10Hz）振動反應均無任何降低改善，減振較明顯的頻率在 25~63Hz 範圍內折減約 5 分貝，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯。

圖 3.42 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-C 型鋁桁架（詳圖 3.36），結構跨徑 19.2m，AGV 車重 3 ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，低頻（<10Hz）振動反應幾乎沒有任何明顯改善，頻率在大於 20Hz 後則有明顯改善，其減振程度隨鋁桁架構件尺寸而增加，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯，而在頻率範圍 80Hz 後振動量改善幅度達到約 10 分貝。

綜合上述分析，可歸納結論如下：

1. 局部樓版剛性補強對於高頻範圍的振動有較明顯的減振效果，低頻（10Hz 以下）振動則效果有限。
2. 本研究提出的三種局部補強方法中以 Retrofit-B 之架構效果較佳，因其涵蓋之範圍較大。
3. 鋁桁架構件尺寸越大，減振效果越顯著。

### 3.5.3 樓版補強效益評估（煞車方面）

參數設定為車速（1m/s、1.5m/s、3m/s、6m/s）為煞車情形、AGV 車重 3ton 及跨徑（14.4m 及 19.2m）進行結構剛性補強分析。

#### A. Retrofit-A 補強架構

圖 3.43 為設備正下方樓版加裝不同尺寸之鋁桁架（詳圖 3.34），結構跨徑 14.4m，AGV 車重 3 ton 在不同車速煞車情形下之樓版振動反應比較。結果顯示，無論採用 Truss-B、Truss-C 或 Truss-D 的構件尺寸進行樓版補強，低頻（ $<10\text{Hz}$ ）振動反應下降量有限且車速增加後減振效果越少，減振較明顯的頻率在 30Hz 後，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較為顯著。

圖 3.44 為設備正下方樓版加裝不同尺寸之鋁桁架（詳圖 3.34），結構跨徑 19.2m，AGV 車重 3ton 在不同車速煞車情形下之樓版振動反應比較。結果顯示，低頻（ $<10\text{Hz}$ ）振動反應無任何明顯改善，減振較明顯的頻率在 30Hz 後，最多折減約 4 分貝，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較為明顯。

#### B. Retrofit-B 補強架構

圖 3.45 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-B 型鋁桁架（詳圖 3.35），結構跨徑 14.4m，AGV 車重 3 ton 在不同車速煞車情形下之樓版振



動反應比較。結果顯示，採用 Truss-B、Truss-C、Truss-D 方式進行樓版補強，頻率在低頻範圍（10Hz 以下）樓版振動量降低有限且增加車速後減振效果越少；頻率在大於 20Hz 後有明顯改善，振動量最多折減達 7 分貝，其減振程度隨鋁桁架構件尺寸而增加，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯，而在頻率為 16Hz 處改善幅度達到 10 分貝。

圖 3.46 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-B 型鋁桁架（詳圖 3.35），結構跨徑 19.2m，AGV 車重 3 ton 在不同車速煞車情形下之樓版振動反應比較。結果顯示，低頻（ $<8\text{Hz}$ ）振動反應略微降低且增加車速後減振效果越少，減振效果有限。頻率在大於 20Hz 後則有明顯改善，其減振程度隨鋁桁架構件尺寸而增加，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯，以 Retrofit-B 補強架構最多折減 6 分貝。



### C. Retrofit-C 補強架構

圖 3.47 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-C 型鋁桁架（詳圖 3.36），結構跨徑 14.4m，AGV 車重 3 ton 在不同車速煞車情形下之樓版振動反應比較。結果顯示，採用 Truss-B、Truss-C、Truss-D 方式進行樓版補強，低頻（ $<10\text{Hz}$ ）振動反應均沒有任何改善且增加車速後減振效果越少，頻率在大於 20Hz 後則有明顯改善，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較佳。

圖 3.48 分別為結構樓版加裝不同尺寸之 Retrofit-C 型鋁桁架（詳圖 3.36），結構跨徑 19.2m，AGV 車重 3 ton 在不同車速等速行進下之樓版振動反應比較。結果顯示，低頻（ $<8\text{Hz}$ ）振動反應無任何明顯改善且車速增加後減振效果越少，頻率在大於 20Hz 後則有明顯下降趨勢，其減振程

度隨鋁桁架構件尺寸而增加，其中以 Truss-D 加裝的減振效果較明顯，以 Retrofit- C 補強架構最多折減 4 分貝。

綜合上述分析，可歸納結論如下：

1. 局部樓版剛性補強對於高頻範圍的振動有較明顯的減振效果，低頻（10Hz 以下）振動則效果有限。
2. 本研究提出的三種局部補強方法中以 Retrofit-B 之架構效果較佳，因其涵蓋之範圍較大。
3. 鋁桁架構件尺寸越大，減振效果越顯著。



## 第四章 無塵室樓版動態剛性之評估

### 4.1 前言

目前高科技廠房有關生產晶圓、液晶薄膜顯示器廠 (TFT-LCD) 等製程設備常以樓版動態剛度 (dynamic stiffness) 作為檢核標準。惟目前樓版動態剛度並未從學理上作明確之定義，在工程實務上多以衝擊載重 (impact loading) 試驗求取樓版振動特性，進而評估設備之動態反應。為利用衝擊載重試驗求取樓版剛性須在建廠完成後方得為之，萬一剛性不足其補救非常困難，即使做得到，業主也要付出更高之代價。因此，發展一套分析方法，於設計階段即先行評估樓版之剛度有工程實務價值。有鑑於此，本章將發展一套方法，結合 SAP2000 建立廠房結構模型，模擬真實衝擊載重之特性以求出樓版動態剛度。

### 4.2 設備動態反應目標【13~15】

設備動態反應目標常以樓版的動態剛度作為評估標準。衝擊載重試驗，乃利用衝擊錘敲擊樓版，並量取樓版垂直向振動反應 (輸出) 與衝擊力擾動函數 (輸入)，以便建立輸入與輸出關係之頻域反應函數 (frequency

response) 或其反函數 (inverse function)。設備動態反應目標視其所採用振動反應物理量之不同，可分為 receptance(位移/衝擊力)、mobility (速度/衝擊力) 或是 accelerance (加速度/衝擊力)，分別代表一單位衝擊力作用下，該作用點所引起之樓版位移、速度及加速度頻域反應函數，各頻域反應函數與其所對應之反函數與量測物理量之關係歸納於表 4.1。其中 receptance 的倒數即為動態剛度，可表示為

$$D_s(\omega) = \frac{P(\omega)}{\Delta(\omega)} \quad (3)$$

其中

$D_s(\omega)$  為動態剛度；

$P(\omega)$  為衝擊力頻域函數；

$\Delta(\omega)$  為敲擊點振動位移頻域函數；

若廠房樓版剛度不足時，機台運作將引起過大的振動反應，進而影響生產良率之穩定性。

衝擊載重試驗通常採用速度規或加速度規進行樓版垂直向振動反應之量測因此在進行動態剛度分析時，須將其反應頻域函數轉換至位移頻域函數。在穩態 (Stationary) 條件下，若量測為速度反應，其位移頻域函數可表示為

$$\Delta(\omega) = \frac{\dot{\Delta}(\omega)}{\omega} \quad (4)$$

其中

$\dot{\Delta}(\omega)$  為敲擊點振動速度頻域函數；

若量測為加速度反應，則位移頻域函數可表示為

$$\Delta(\omega) = \frac{\ddot{\Delta}(\omega)}{\omega^2} \quad (5)$$

其中

$\ddot{\Delta}(\omega)$  為敲擊點振動加速度頻域函數。

### 4.3 SAP2000 廠房樓版建立及衝擊力模擬

#### 4.3.1 廠房樓版

為求準確模擬無塵室樓板的振動行為，吾人採用園區內之真實廠房（光電廠）結構尺寸作為數值模擬分析的對象。由於 TFT-LCD 廠房平面長、寬尺寸動則上百米，勢必得耗費大量的時間進行電腦計算。結構體在環境微動下的樓板振動行為主要於結構之局部振態反應，放在研究上僅選取結構局部區域進行有限元素模型分析，以減少電腦計算時間，增加時效性。圖 4.1 為模擬結構平面尺寸圖，模擬結構為長 28.8m(3@9.6m)、寬 14.4m(2@7.2m)；最外側兩旁為結構主柱(800×800×35×35mm)，中間部分為小柱尺寸(400×400×25×25mm)；結構四周外圍及柱與柱之間採用的小梁尺寸為(500×304×15×24mm)；廠房樓層高達 5m，圖 4.2 為廠房局部結構 SAP2000 建立完成之模型。吾人進一步以結構跨度為 9.6m 之結構局部模型將樓版劃分為九塊區域（區域 Floor1~Floor9），由於結構樓版平面具有對稱性，因此本文僅探討區域 Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個區域中心點的特性，如圖 4.3 所示。

本研究採用 SAP2000 商用軟體進行廠房結構有限元素動力分析，各構件參數設定如圖 2.5~2.9 所示。

### 4.3.2 衝擊力模擬

分析所用的衝擊載重歷時，理想上應為瞬間之衝擊力，以便得到一白噪音頻譜，才能均勻激發出結構所有的振動頻率，但現實情況下並無法製造出如此完美的衝擊載重，故吾人根據實際衝擊載重試驗所得之衝擊力歷時反應記錄，作為衝擊載重歷時資料，如圖 4.4 所示，其衝擊力峰值為 70kgf 且作用時間為 0.01sec 的三角波型。結構阻尼比設定為 5%。

衝擊載重分析時，為求能有較佳的頻率解析度，故資料長度(N)取 1000 筆（敲擊開始後），衝擊載重歷時離散區間 ( $\Delta t$ ) 為 0.001sec。本研究將以微影掃描機之 Accelerance 反應及動態剛度規格作為高科技廠房樓版之設計目標。圖 4.5 為掃描機之 Accelerance 反應規格要求，圖 4.6 為掃描機之動態剛度規格要求。表 4.2 結構樓版動態剛度參數設定。



### 4.4 樓版動態剛度分析

本節主要進行無塵室樓版之動態剛度模擬分析，利用 SAP2000 有限元素分析軟體建立無塵室局部樓版之理論分析模型，隨後於樓版上施加一衝擊力，最後藉由 SAP2000 分析所得之樓版加速度(再轉換為位移)及衝擊力等物理量即可求得動態剛度。

圖 4.7~4.10 分別為 Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓板區域之中心點分別在衝擊載重下的加速度歷時反應。結果顯示，樓板之加速度峰值反應低於 11gal，對於振動敏感的光學量測或製程設備即可能造成影響。觀察樓板振動衰減行為可發現，其加速度反應在 0.4sec 內接近停止



狀態，而區域 Floor5 為四個區域中衰減速度最慢的地方。

圖 4.11~4.14 分別為 Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓板區域 Accelerance 反應（加速度頻譜/衝擊力頻譜）比較。結果顯示，在 Nikon 微影掃描機之設計目標方面，區域 Floor1 在任何頻率下都在標準之內；區域 Floor2 僅在 12Hz 左右稍微超過設計目標值，其餘皆在設計目標值內；區域 Floor4 則在 13Hz 之前超出設計目標值，其他頻率都在設計目標值內；區域 Floor5 之 Accelerance 在 25Hz 前無法滿足設計目標值，其餘頻率皆低於標準值內。在 Nikon 微影掃描機之最大容許規格方面，區域 Floor1、區域 Floor2、區域 Floor4 之 Accelerance 反應皆可達到 Nikon 微影掃描機之最大容許規格；區域 Floor5 之 Accelerance 在 12Hz 前無法滿足最大容許規格值，其他頻率則符合掃描機最大容許規格值。



圖 4.15~4.18 分別為 Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓板區域之動態剛度反應（衝擊力大小/位移頻譜），由圖可觀察出此四個區域的靜態剛度介於  $1.84 \times 10^5 N/m$  與  $1.85 \times 10^7 N/m$  之間，其中靜態剛度最大的是區域 Floor2，而靜態剛度最小的區域是 Floor5。Nikon 微影掃描機之動態剛度規格是 10Hz 至 100Hz。由區域 Floor1 之動態剛度反應，樓板在頻率 4Hz 後的動態剛度反應可符合 Nikon 微影掃描機之規格；區域 Floor2 之動態剛度反應，樓板在頻率 3Hz 後的動態剛度反應可符合 Nikon 微影掃描機之規格；區域 Floor4 之動態剛度反應，樓板在頻率 13Hz 後的動態剛度反應可符合 Nikon 微影掃描機之規格；區域 Floor5 之動態剛度反應，樓板在頻率 34Hz 後的動態剛度反應可符合 Nikon 微影掃描機之規格。

#### 4.5 參數分析

本節將針對前一節所採用之廠房結構進行參數分析，分析參數包括設備重量及 Retrofit-B 補強結構(跨徑為 9.6m)條件下對樓版剛性影響探討，仍以 Nikon 微影掃描機動態剛度規格作為樓版設計的目標。

#### 4.5.1 設備重量之影響

本節將探討設備重量對於樓版動力特性的影響。設備重量參數設定分別為 1ton (Weight-1)、2ton (Weight-2)、3ton (Weight-3) 三種重量進行分析，無擺放設備 (Weight-0)，設定參數如表 4.3。

圖 4.19~4.22 分別為 Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓版區域在不同設備重量下之動態剛度比較。結果顯示，區域 Floor1，在低頻 (< 10Hz) 範圍重量 1ton 動態剛度下降，其餘上升但不多，在頻率範圍 10Hz 後動態剛度無明顯改變；區域 Floor2，在低頻 (<10Hz) 範圍車重越重動態剛度隨之下降，但 3ton 除外，在頻率範圍 10Hz 後動態剛度無明顯改變；區域 Floor4，在低頻 (<10Hz) 範圍動態剛度明顯提高，在頻率範圍 10Hz 後動態剛度無明顯改變；區域 Floor5，在任何頻率下設備越重將造成動態剛度降低。中央樓版及其餘區域動態剛度都可符合 Nikon 微影掃描機之規格，樓版頻率會比原先稍微提高。綜合上述分析，在低頻範圍 (<10Hz)，周圍樓版剛性未必設備越重而降低，其中央樓版剛性有設備越重則動態剛度降低的趨勢；在超過 10Hz 後，設備重量對動態剛度無明顯影響。

### 4.5.2 Retrofit-B 補強結構之影響

本節將探討以 Retrofit-B 補強結構對於樓版動力特性的影響。參數設定為結構模型跨徑 9.6m 以 Retrofit-B 補強結構方式 (Retrofit-B) 及原始結構 (Retrofit-0) 進行樓版剛性分析比較，設定參數如表 4.4。

圖 4.23~4.26 分別為 Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓版區域在 Retrofit-B 補強結構下之動態剛度比較。結果顯示，區域 Floor2，在低頻範圍動態剛度無明顯增加，在 5~9Hz 有降低趨勢；在 10Hz 後動態剛度普遍提高；區域 Floor1、Floor4、Floor5，整體動態剛度皆有提高且頻率超過 7Hz 後可符合 Nikon 微影掃描機之規格，樓版頻率會比原先稍微降低。綜合上述分析，以 Retrofit-B 補強結構對樓版剛性確實有提升趨勢。

## 第五章 結論與建議

本文利用 SAP2000 模擬 AGV 於高科技廠房行進時，所引發之無塵室樓版的振動特性及樓版減振補強，另外針對無塵室樓版之動態剛度進行探討。

在 AGV 行進所造成之振動分析方面可歸納出下列幾點結論：

1. 車速為等速方面：車速慢時，對樓版第一、三振頻反應的影響大過車速快時；車速快時，擾動頻率也會升高，因此一般而言會激發較高頻之樓版振動反應。
2. 車速為煞車方面：跨徑為 9.6m、14.4m 及 19.2m，煞車對樓版之振動反應皆有放大現象，其影響範圍主要在 20Hz 以下（14.4m 及 19.2m 時更低）。低速行駛（1m/s、1.5m/s）下，煞車之振動反應放大較為顯著，較高速時（3m/s、6m/s），煞車之負面影響並不顯著。
3. AGV 車重對無塵室樓版振動的影響探討中，三種不同車重對模擬出的樓版振動反應以車重 3ton 時對樓版造成之振動最大，因此 AGV 車輛所攜帶之卡匣越多對樓版而言是一負擔。
4. 跨徑方面：樓版第一振頻隨跨徑增大而降低，跨徑 9.6m 時為 16Hz，跨徑 14.4m 時為 8Hz、跨徑 19.2m 時為 5Hz，樓版低頻（10Hz 以下）振動反應隨著跨徑增大而放大。一般而言，跨徑越長者，低頻反應越大，高頻反應則越小；低頻反應隨著車速增快而降低，高頻反應隨著車速增快而增大。

5. 在改善樓振動量補強方面：不管車速為等速或煞車，在低頻範圍（ $< 10\text{Hz}$ ）減振效果有限且車速越快減振效果越少而高頻範圍（ $> 10\text{Hz}$ ）減振效果較佳。本研究使用三種補強方式來改善樓版振動量，分析顯示，以 Retrofit-B 之架構效果較佳，因其涵蓋之範圍較大。鋁桁架尺寸越大改善振動量較多。整體而言局部補強方式確實能夠降低樓版振動。

無塵室樓版之剛性方面：本研究採用商用軟體 SAP2000 模擬廠房局部樓版，探討樓版動態反應之趨勢。茲根據本研究之模擬分析可歸納結論如下：

1. Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓版區域之中心點分別在衝擊載重下的加速度歷時反應，研究顯示區域 Floor5 為四個樓版區域中衰減速度最慢的地方。



2. Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓版區域 Accelerance 反應以 Nikon 微影掃描機之設計目標作為評估。研究發現，整體四個區域之樓版頻率超過  $25\text{Hz}$  後皆能夠達到標準值。以 Nikon 微影掃描機之最大容許規格作為評估，研究發現，除了區域 Floor5 之 Accelerance 在  $12\text{Hz}$  前無法滿足規定值外，其餘 Floor1、Floor2、Floor4 三個區域及區域 Floor5 在  $12\text{Hz}$  後都能符合掃描機最大容許規格值。

3. Floor1、Floor2、Floor4、Floor5 四個樓版區域動態剛性反應以 Nikon 微影掃描機之規格作為判斷。研究發現，整體四個樓版區域之動態剛度反應，樓版在頻率超過  $34\text{Hz}$  以上可符合 Nikon 微影掃描機之規格。

4. 在低頻範圍（ $< 10\text{Hz}$ ），靠近樓版周圍剛性未必設備越重而降低，其中中央樓版剛性皆呈現設備越重則動態剛度降低的趨勢；在超過  $10\text{Hz}$  後，

設備重量對動態剛度無明顯影響；中央樓版及其餘區域動態剛度都可符合 Nikon 微影掃描機之規格，樓版頻率會比原先稍微提高。以 Retrofit-B 補強結構對樓版剛性確實有提升趨勢但剛性提升是否為車子的擾動頻率有影響則需再做探討，頻率超過 7Hz 後可符合 Nikon 微影掃描機之規格，樓版頻率會比原先稍微降低。

針對本研究仍有未盡之處，提供建議如下：

1. 本文對 AGV 運行於無塵室樓版一系列振動研究，此後研究可著眼於真實 AGV 運行於無塵室樓版之振動與 SAP2000 模擬結果的差異性。
2. 後續研究可朝向真實光電廠無塵室樓版動態反應與 SAP2000 模擬結果的比較。





## 參 考 文 獻

- 【1】郭珍祥（1996），“機械或車輛引致結構及土壤之振動效應”，台灣大學土木工程研究所碩士論文。
- 【2】陳勇次（2000），“電廠廠房樓板振動之分析”，中興工程顧問社。
- 【3】楊永斌、郭世榮等著（1996），“廠房受周圍車輛振動之分析”，中興工程顧問社。
- 【4】渡邊桃子、久野雅祥等著（1997），“微振動予測解析化範影響”，日本建築大術演講集 40136。
- 【5】林義祥（1999），“微電子廠房之動力特性與振動衰減”，成功大學建築研究所碩士論文。
- 【6】鍾慶樺（2001），“微電子廠之振動分析”，國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文。
- 【7】井上勝夫、木村翔等著（1995），“床行走時各部衝力特性”，日本建築系計集 NO. 477。
- 【8】井上勝夫、木村翔等著（1995），“床特性衝源試作住宅床振動特性”，日本建築系計集 NO. 483。
- 【9】井上勝夫、木村翔等著（1998），“行感見住宅床感覺評研究”，日本建築系計集 NO. 504。
- 【10】蔡耀顯（1999），“步行引致架高地版之振動之預測與評估”，國立成功大學建築研究所碩士論文。
- 【11】林芳名（2000），“建築樓版步行衝擊振動預測模式之研究” 成功大學建築研究所博士論文。
- 【12】C. Q. Howard, C. H. Hansen（2003），“Vibration analysis of waffle floors”, Computers and Structures 15-26.
- 【13】王彥博、鍾立來、李建良（2003），“高科技廠房之微振動量測技

- 術”，結構工程，第十八卷，第四期，p. 49~p. 74。
- 【14】鍾立來、王彥博、李建良（2003），“高科技廠房微振量測之理論與分析”，結構工程，第十八卷，第二期，p. 49~p. 72。
- 【15】王彥博（2004），“高科技廠房之震害分析與對策”，高科技廠房震害防治與微振量測研討會論文集，p. 1~p. 7。
- 【16】Gordon, C. G (1991), “Generic criteria for vibration sensitive equipment”, *Vibration Control in Microelectronics, Optics and Metrology*, SPIE Proceedings, Vol. 1619, pp. 71-85.
- 【17】Ungar, E. E. , Sturz, D. H. and Amick, C. H., “Vibration Control Design of High Technology Facilities ” ,*Sound and Vibration*, July 1990, pp. 20-27.
- 【18】鍾立來、王彥博、李建良（2003），“高科技廠房之微振動量測技術與理論分析”，高科技廠房震害防治研討會論文集，第 25-77 頁。
- 【19】鍾立來、王彥博、李建良（2004），“高科技廠房微振量測之理論與分析”，高科技廠房震害防治與微振量測研討會論文集，p. 69~p. 95。
- 【20】王彥博（2002），“高科技廠房之地震防災與微震控制”，高科技廠房新工法與微振害防治研討會論文集，1-17 頁。
- 【21】Keith W. Leung, Chris A. Papadimos, “Micro-Vibration Criteria for 300nm and Beyond” ,*Semiconductor Fabtech-10<sup>th</sup> Edition*.
- 【 22 】 K. JohnJ. Kim, Hal Amick, “ Active Vibration Control in Fabs” ,*Semiconductor International* July 1997.
- 【23】Zant, P. V. (2000) ,” *Microchip Fabrication-A Practical Guide to Semiconductor processing*” , 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, Inc.
- 【24】黃柏監（2003），“液晶面板廠機台與無人搬運車指派機制之設計”  
國立交通大學工業工程與管理研究所。

表 2.1 無人搬運車基本資料 (Max load=100kg)

最大載重	100 kg (含輸送機重量，有輸送機時需扣除輸送機重量)		
自重	62 kg	65 kg	73 kg
車體尺寸	885L x 550W x 260H		1090L x 640W x 260H
	搬運面高 160H		搬運面高 160H
驅動方式	前輪驅動		
導引方式	光帶導引 / 磁帶導引 (選購)		
最大速度	60 m/min (可在 6~60 m/min 任意設定高、中、低速)		
走行方式	前輪轉向；前進	前輪轉向；前進、原地迴轉、橫移	
定位精度	±10 mm (地面水平時量測)		
最小迴轉半徑	400 mm	600 mm	
電池	鉛電池 (24V 17Ah)		
安全裝置	近接檢出裝置 (對人、對物檢出用)		
	近接檢出裝置 (合流時對 AGV 檢出用)		
	障礙物接觸保險桿		
	緊急停止按鈕		
	警報裝置 (走行時有音樂聲；警告時有警告聲)		
	行進方向指示燈		
程序控制機能	輸入：16 點；輸出：12 點		
	程式：階梯程式語言		
	記憶方式：RAM (Battery Backup)		
通訊方式	定點，紅外線通訊		
使用環境	0~40°C (室內、不結露)；地面傾斜 1° 以內；段差 5 mm 以內		

表 2.2 無人搬運車基本資料 (Max load=300kg)

最大載重	300 kg (台車 4 輪接地牽引時)
自重	85 kg
車體尺寸	1100L x 400W x 195H
驅動方式	前後輪 4 輪驅動
導引方式	光帶導引 / 磁帶導引 (選購)
最大速度	40 m/min ; 牽引時 28 m/min
走行方式	前進、後退
定位精度	±10 mm (無負荷時) ; ±20 mm (牽引時) 地面 水平時
最小迴轉半 徑	400 mm
電池	鉛電池 (24V 28Ah)
安全裝置	近接檢出裝置 (對人、對物檢出用)
	障礙物接觸保險桿
	緊急停止按鈕
	警報裝置 (走行時有音樂聲 ; 警告時有警告 聲)
	行進方向指示燈
通訊方式	定點，紅外線通訊
使用環境	0~40°C (室內、不結露) ; 地面傾斜 1° 以內 ; 段差 5 mm 以內

表 2.3 倍頻及三分之一倍頻之下界頻率、中心頻率及上界頻率  
(ANSI-SI. 6)

Octave				One-third Octave		
Band No.	Lower Band Limit (Hz)	Center Frequency (Hz)	Upper Band Limit (Hz)	Lower Band Limit (Hz)	Center Frequency (Hz)	Upper Band Limit (Hz)
1	0.71	1	1.41	0.71	0.8	0.89
				0.89	1	1.12
				1.12	1.25	1.41
2	1.41	2	2.82	1.41	1.6	1.78
				1.78	2	2.24
				2.24	2.5	2.82
3	2.82	4	5.62	2.82	3.15	3.55
				3.55	4	4.47
				4.47	5	5.62
4	5.62	8	11	5.62	6.3	7.08
				7.08	8	8.91
				8.91	10	11.22
5	11	16	22	11.22	12.5	14.1
				14.1	16	17.8
				17.8	20	22.4
6	22	31.5	44	22.4	25	28.2
				28.2	31.5	35.5
				35.5	40	44.7
7	44	63	88	44.7	50	56.2
				56.2	63	70.8
				70.8	80	89.1
8	88	125	177	89.1	100	112
				112	125	141
				141	160	178
9	177	250	354	178	200	224
				224	250	282
				282	315	354
10	354	500	707	354	400	447
				447	500	562
				562	630	707

表 2.4 通用振動標準之規格及應用說明

Criterion Curve	Max Level(1) micro-inches/sec (Db)	Detail Size(2) microns	A.description of use
Workshop	32000(90)	N/A	Distinctly feelable vibration.Appropriate to workshops and nonsensitive areas.
Office	16000(84)	N/A	Feelable vibration.Appropriate to offices and nonsensitive areas.
Residential Day	8000(78)	75	Barely feelable vibration.Appropriate to sleep areas in most instances.Probably adequate for computer equipment,probe test equipment and low-power(to 20X)microscopes.
Op.Theatre	4000(72)	25	Vibration not feelable.Suitable for sensitive sleep areas.Suitable in most instances for microscopes to 100X and for other equipment of low sensitivity.
VC-A	2000(66)	8	Adequate in most instances for optical microscopes to 400X,microbalances,optical balances,proximity and projection aligners,etc.
VC-B	1000(60)	3	An appropriate standard for optical microscopes to 1000X,inspection and lithography equipment(including steppers)to 3 micron line widths.
VC-C	500(52)	1	A good standard for most lithography and inspection equipment to 1 micron detail size.
VC-D	250(48)	0.3	Suitable in most instances for the most demanding equipment including electron microscopes(TEMs and SEMs) and E-Beam systems,operating to the limits of their capability.
VC-E	125(42)	0.1	Adifficult criterion to achieve in most instances.Assumed to be adequate for the most demanding of sensitive systems including long path.laser-based,small target systems and other systems requiring extraordinary dynamic stability.



表 3.1 不同車速條件下之參數設定 (span=9.6m ; AGV 荷重為 1ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	1000	1000	1000	1000
結構跨距(m)	9.6	9.6	9.6	9.6

表 3.2 不同車速條件下之參數設定 (span=9.6m ; AGV 荷重為 2ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	2000	2000	2000	2000
結構跨距(m)	9.6	9.6	9.6	9.6

表 3.3 不同車速條件下之參數設定 (span=9.6m ; AGV 荷重為 3ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	3000	3000	3000	3000
結構跨距(m)	9.6	9.6	9.6	9.6

表 3.4 不同車速條件下之參數設定 (span=14.4m ; AGV 荷重為 1ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	1000	1000	1000	1000
結構跨距(m)	14.4	14.4	14.4	14.4

表 3.5 不同車速條件下之參數設定 (span=14.4m ; AGV 荷重為 2ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	2000	2000	2000	2000
結構跨距(m)	14.4	14.4	14.4	14.4

表 3.6 不同車速條件下之參數設定 (span=14.4m ; AGV 荷重為 3ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	3000	3000	3000	3000
結構跨距(m)	14.4	14.4	14.4	14.4

表 3.7 不同車速條件下之參數設定 (span=19.2m ; AGV 荷重為 1ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	1000	1000	1000	1000
結構跨距(m)	19.2	19.2	19.2	19.2

表 3.8 不同車速條件下之參數設定 (span=19.2m ; AGV 荷重為 2ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	2000	2000	2000	2000
結構跨距(m)	19.2	19.2	19.2	19.2

表 3.9 不同車速條件下之參數設定 (span=19.2m ; AGV 荷重為 3ton)

	1(m/s)	1.5(m/s)	3(m/s)	6(m/s)
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	3000	3000	3000	3000
結構跨距(m)	19.2	19.2	19.2	19.2

表 3.10 結構樓版採用局部鋁桁架補強下之參數設定  
(包跨車速 1m/s、1.5m/s、3m/s、6m/s)  
(Retrofit-A、Retrofit-B、Retrofit-C) (span=14.4m)

	Truss-A	Truss-B	Truss-C	Truss-D
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
桁架-直徑*管厚(mm)	w/o	216.3*8	355.6*12	457.2*19
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	3000	3000	3000	3000
結構跨距(m)	14.4	14.4	14.4	14.4

表 3.11 結構樓版採用局部鋁桁架補強下之參數設定  
 (包跨車速 1m/s、1.5m/s、3m/s、6m/s)  
 (Retrofit-A、Retrofit-B、Retrofit-C) (span=19.2m)

	Truss-A	Truss-B	Truss-C	Truss-D
樓版厚度(mm)	20	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400	400*400
桁架-直徑*管厚(mm)	w/o	216.3*8	355.6*12	457.2*19
結構跨數	3	3	3	3
考慮模態數	50	50	50	50
衝擊載重峰值(kgf)	3000	3000	3000	3000
結構跨距(m)	19.2	19.2	19.2	19.2

表 4.1 衝擊載重試驗之頻域反應函數與其反函數

振動反應物理量	頻域反應函數	頻域反應反函數
位移	Receptance/Compliance	Dynamic Stiffness
速度	Mobility	Mechanical Impedance
加速度	Inertance/Acceleration	Apparent Mass

表 4.2 探討結構樓版剛度之參數設定

樓版厚度(mm)	20
樓層高(mm)	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400
結構跨數	3
考慮模態數	220
衝擊載重峰值(kgf)	70
結構跨距(m)	9.6

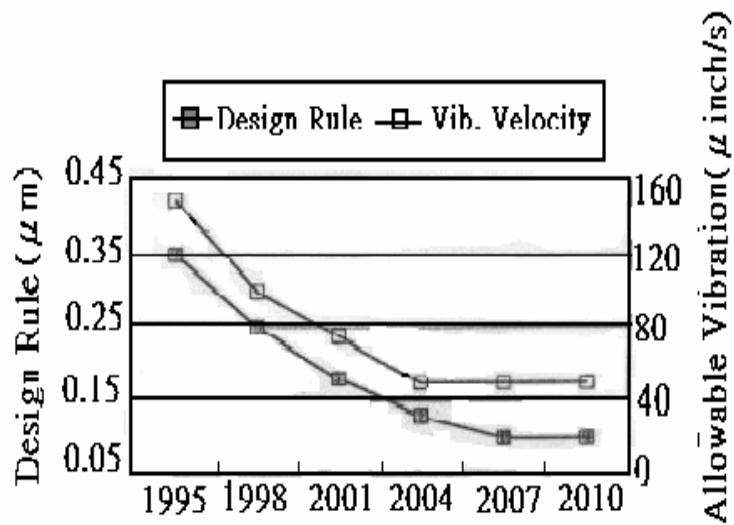


表4.3 探討設備重量對結構樓版動態剛度之參數設定

設備重量(ton)	1	2	3
樓版厚度(mm)	20	20	20
樓層高(mm)	5000	5000	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500	304*500	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800	800*800	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400	400*400	400*400
結構跨數	3	3	3
考慮模態數	220	220	220
衝擊載重峰值(kgf)	70	70	70
結構跨距(m)	9.6	9.6	9.6

表4.4 Retrofit-B補強結構對樓版剛度之參數設定

樓版厚度(mm)	20
樓層高(mm)	5000
大梁尺寸-寬*高(mm)	304*500
小梁尺寸-寬*高(mm)	304*500
大柱尺寸-寬*高(mm)	800*800
小柱尺寸-寬*高(mm)	400*400
結構跨數	3
考慮模態數	220
衝擊載重峰值(kgf)	70
結構跨距(m)	9.6
Retrofit-B 鋁桁架(m)	X向:14.4, Y向:9.6



Design Rule(μm)	0.35	0.25	0.18	0.13	0.1	0.1
Allowable Vibration(μinch/s)	150	100	75	50	50	50
(μm/s)	3.81	2.54	1.91	1.27	1.27	1.27

資料來源：SIA('95),National Technology Roadmap for Semiconductors by SIA

圖1.1 半導體加工技術發展趨勢與振動規格



圖2.1 不同無人搬運車種類  
(左圖最大速度60 m/min)(右圖最大速度40 m/min)

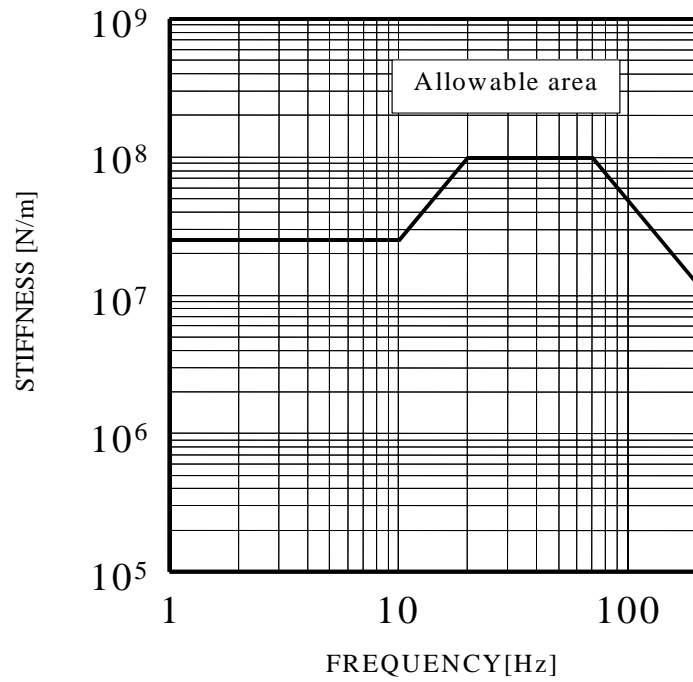


圖2.2 CANON微影設備動態剛度規格要求

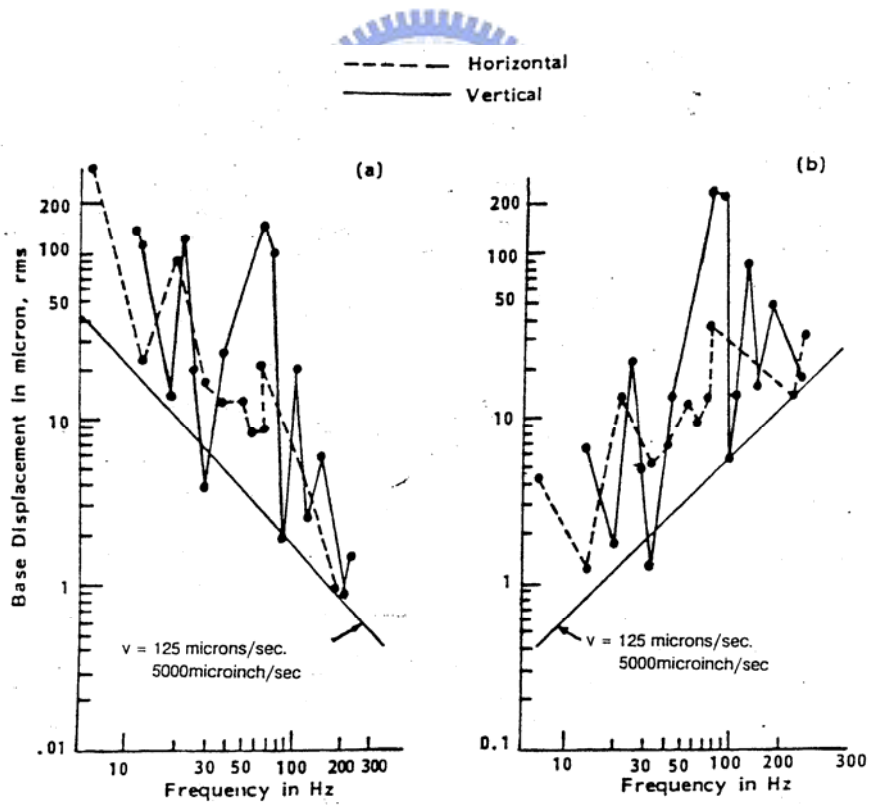


圖2.3 投影定位機之振動敏感性曲線

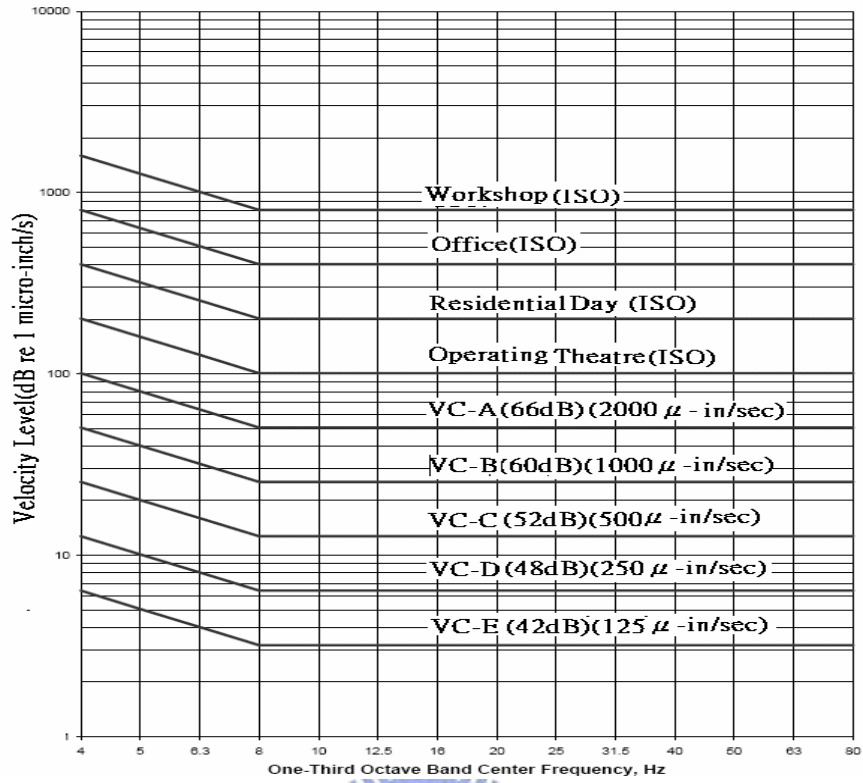


圖2.4 通用振動標準(Generic Vibration Criteria)

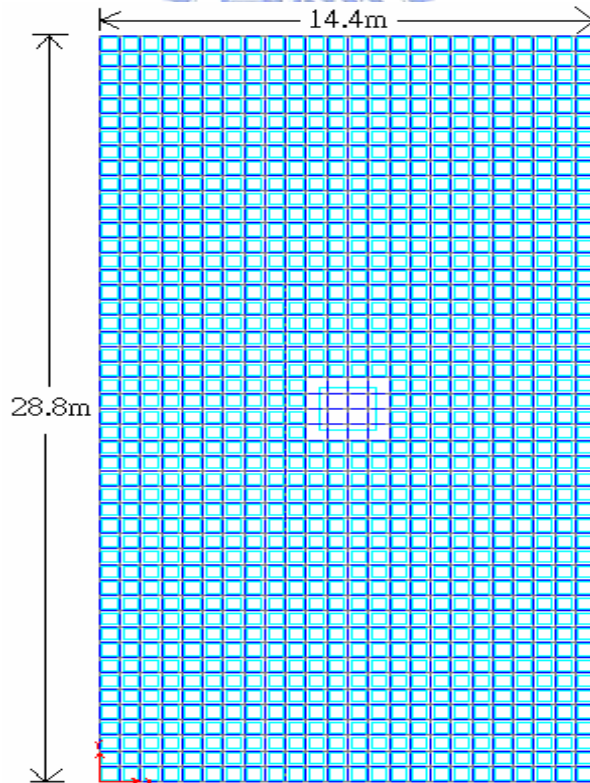


圖3.1 高科技廠房局部結構平面尺寸

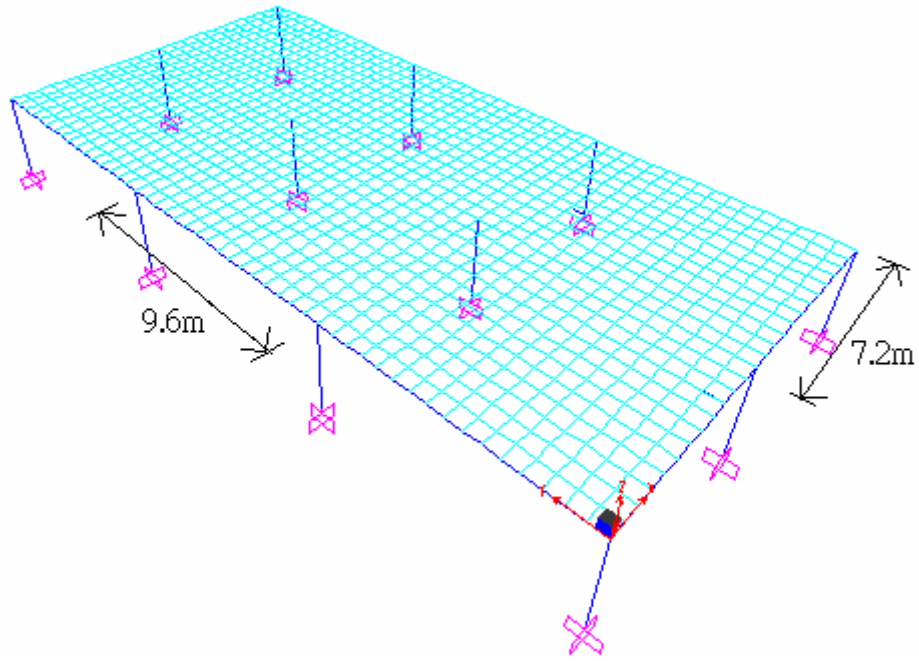


圖3.2 高科技廠房局部結構之SAP2000分析模型

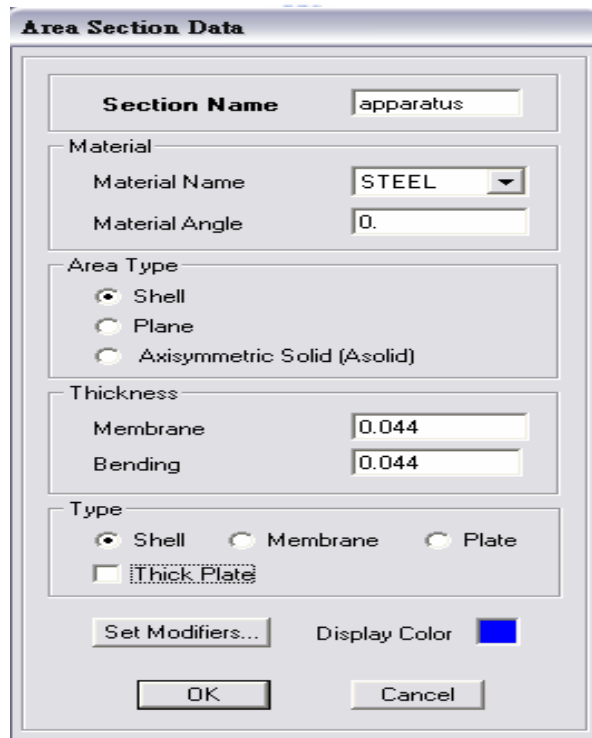


圖3.3 SAP2000設備尺寸設定

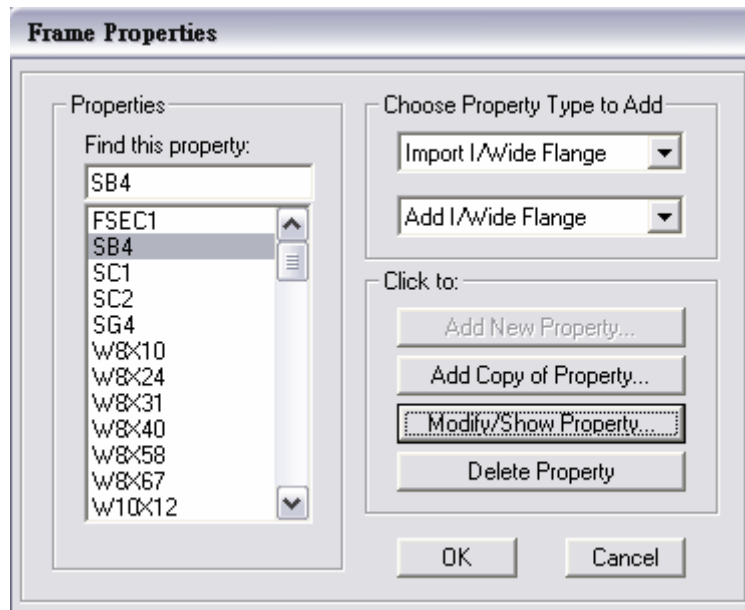


圖3.4 定義桿件斷面

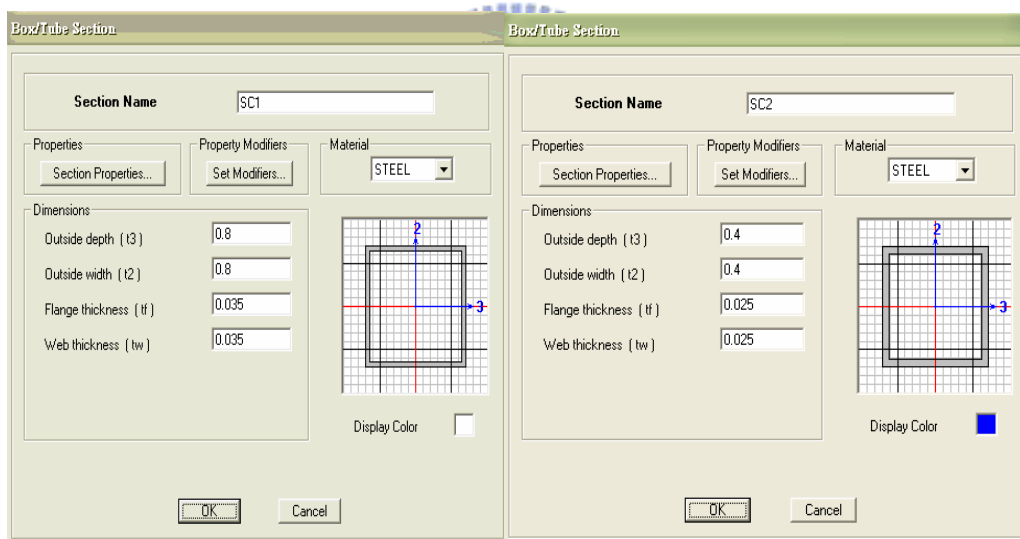


圖3.5 SAP2000柱尺寸設定範例



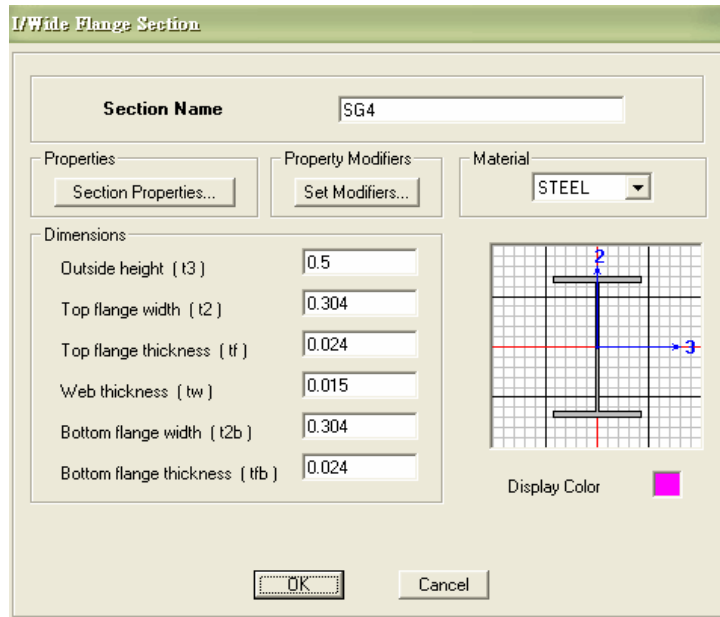


圖3.6 SAP2000小梁尺寸設定範例

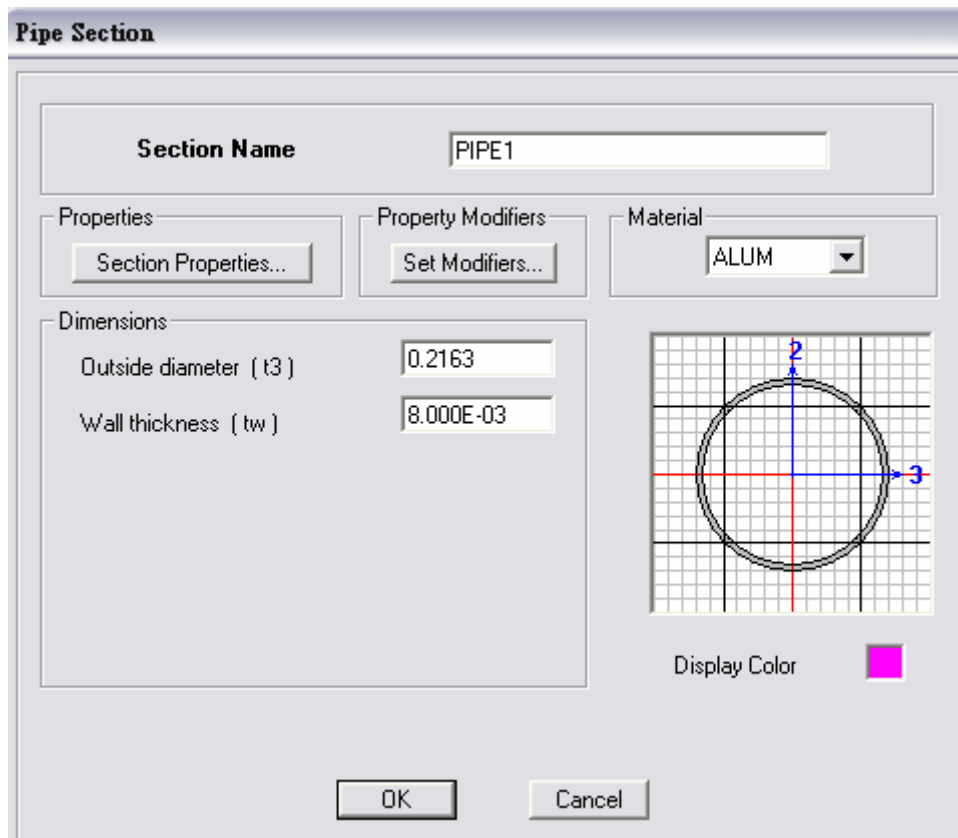


圖3.7 鋁桁架尺寸設定範例

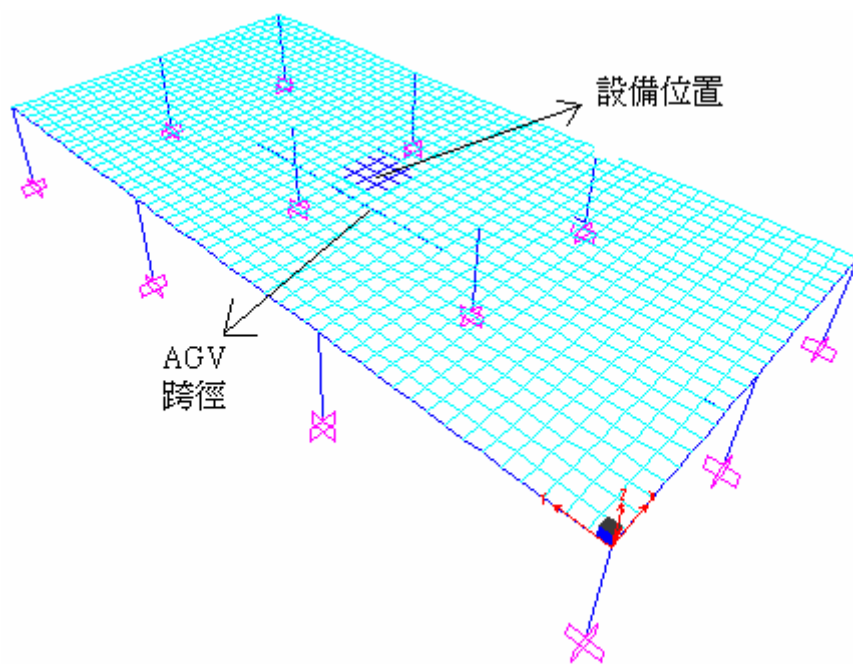


圖3.8 車輛跨徑之建立及設備擺放位置示意圖

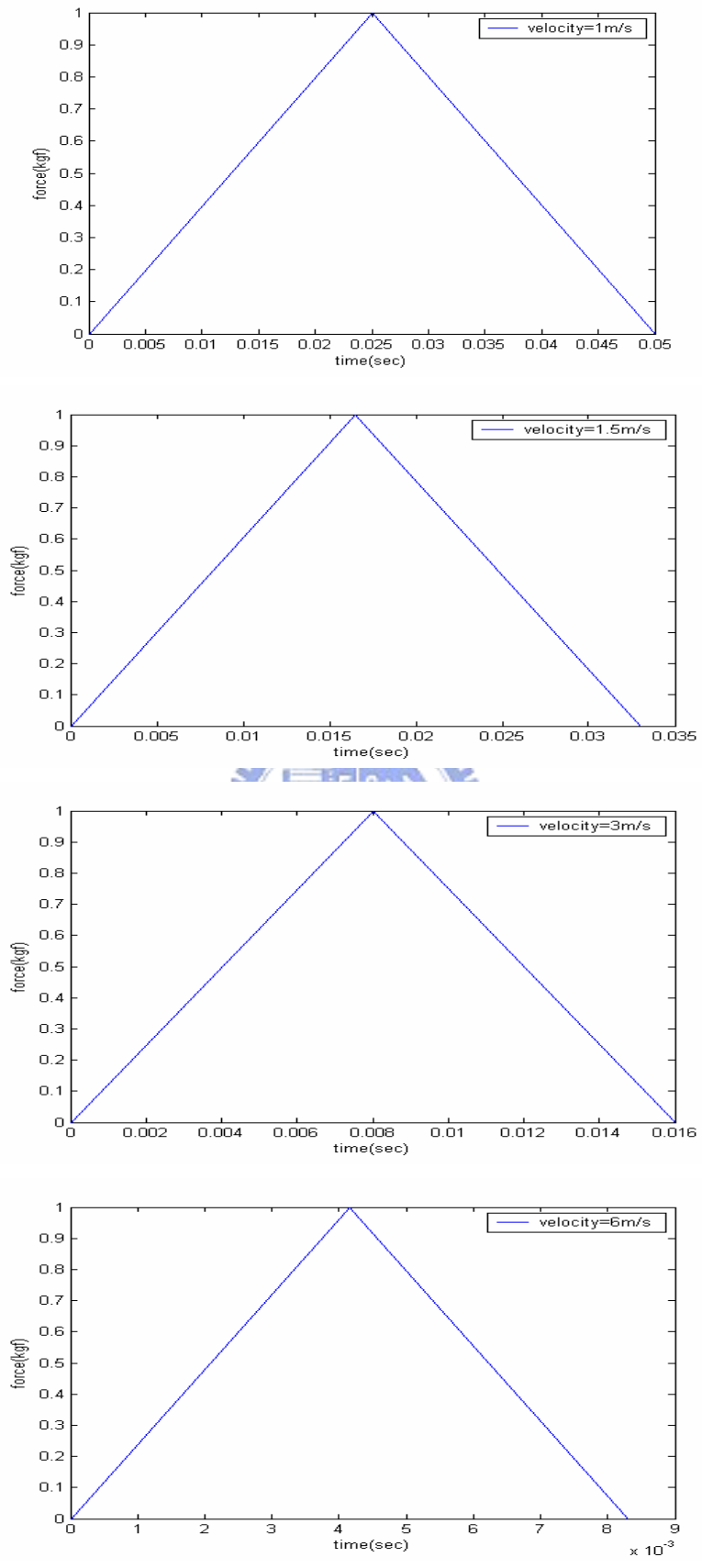


圖3.9 (a) 不同車速四筆衝擊載重之第一筆歷時資料

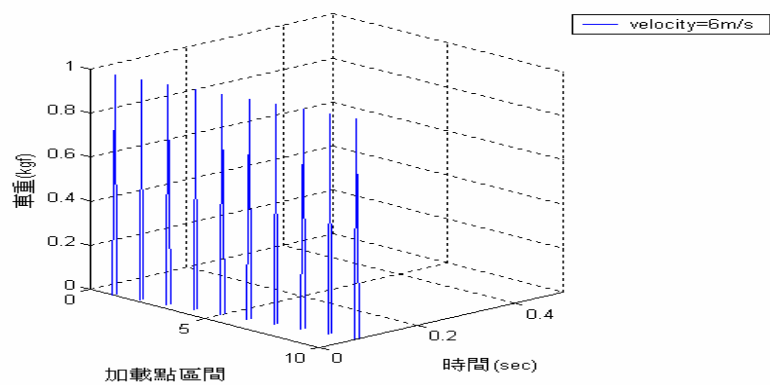
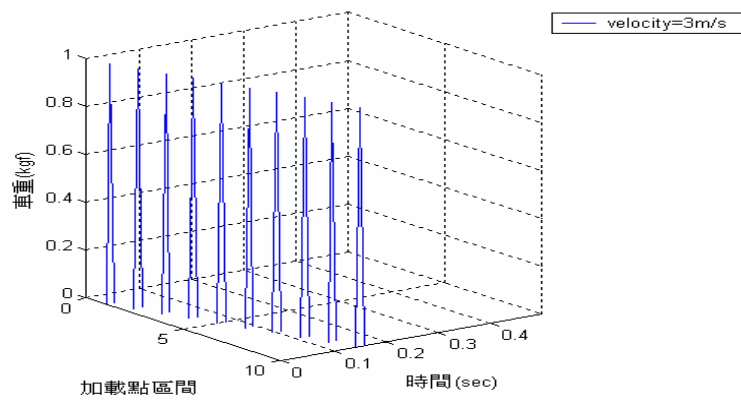
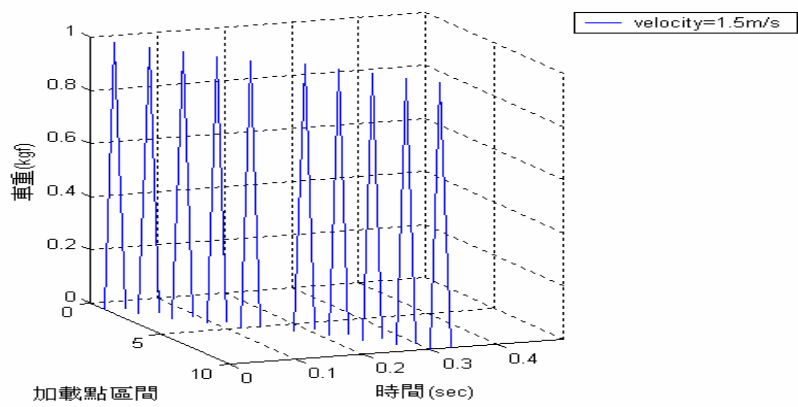
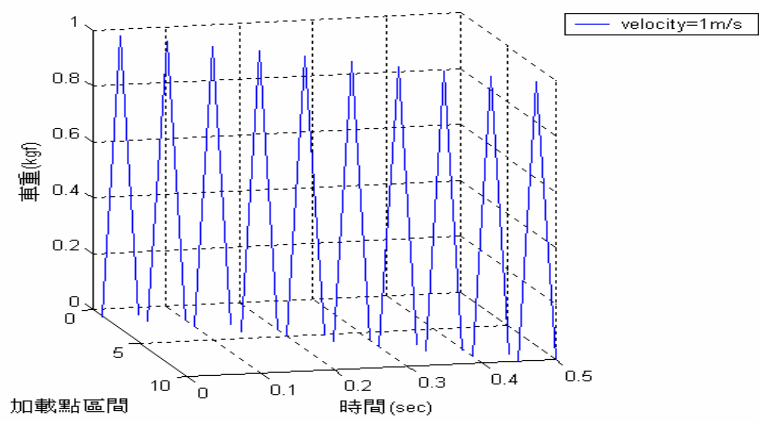


圖3.9 (b) 不同車速四筆衝擊載重之連續載重歷時資料 (前十筆)

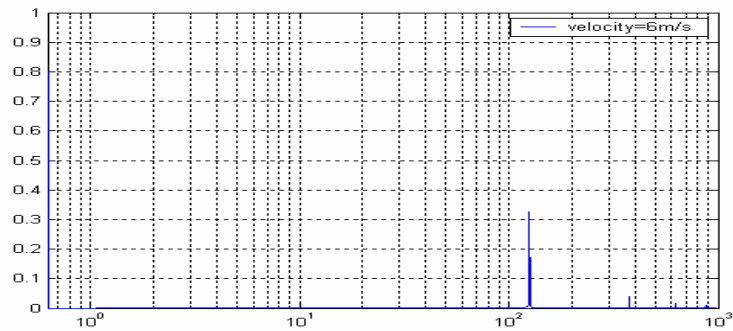
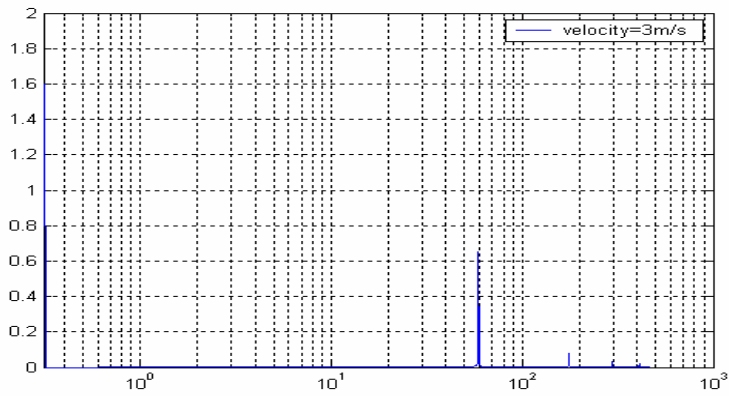
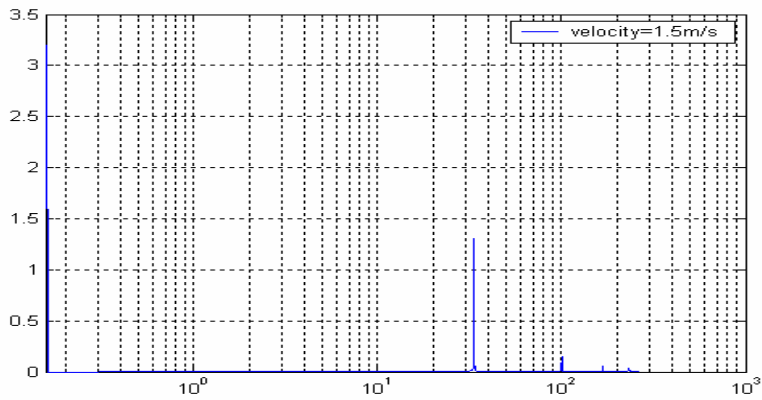
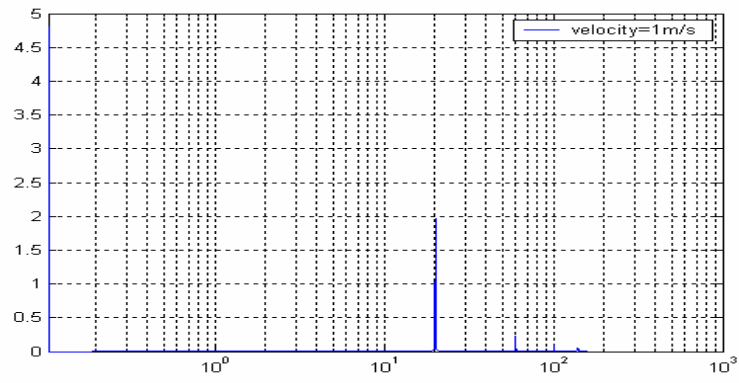
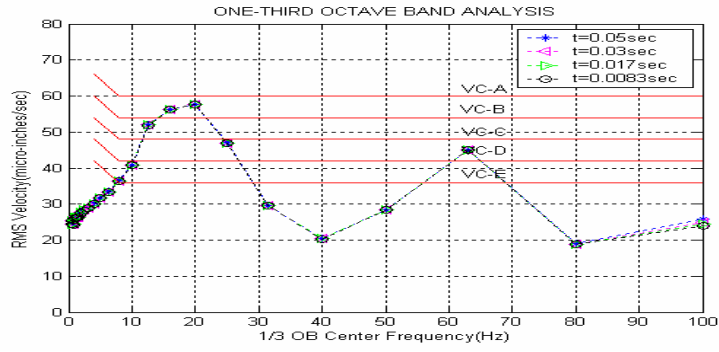
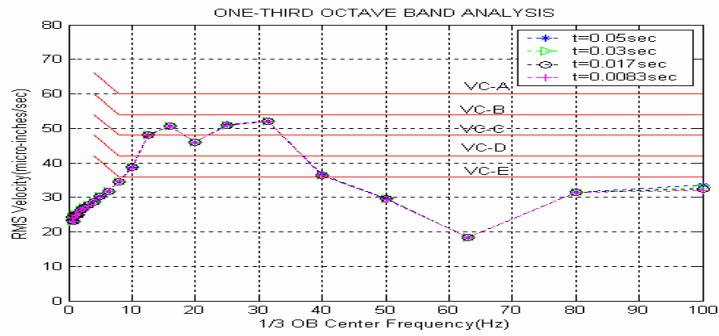


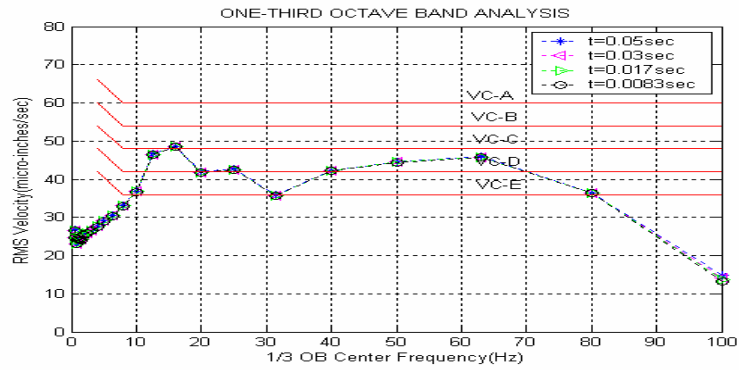
圖3.10 不同車速下連續性衝擊載重資料之快速傅立葉轉換頻譜



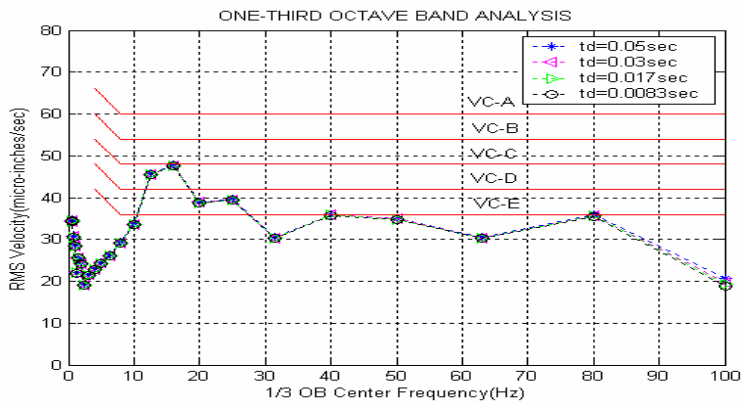
(a) 車速為1m/s



(b) 車速為1.5m/s



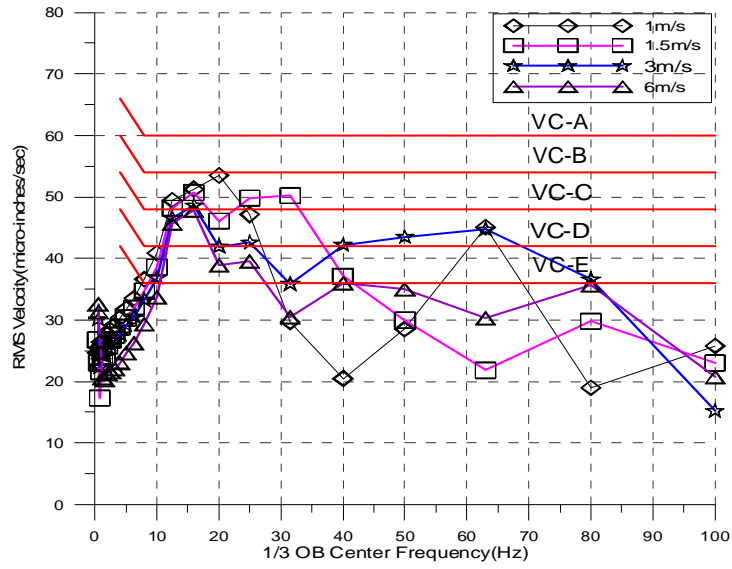
(c) 車速為3m/s



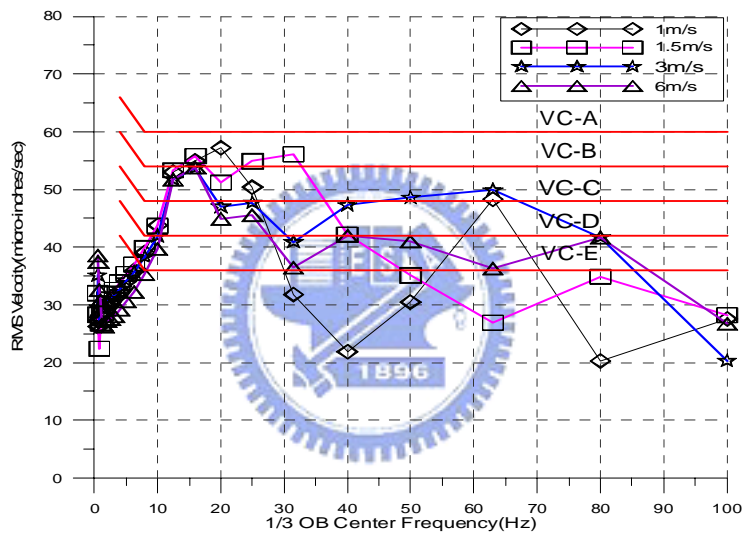
(d) 車速為6m/s

圖3.11 載重延時不同時之收斂情形比較

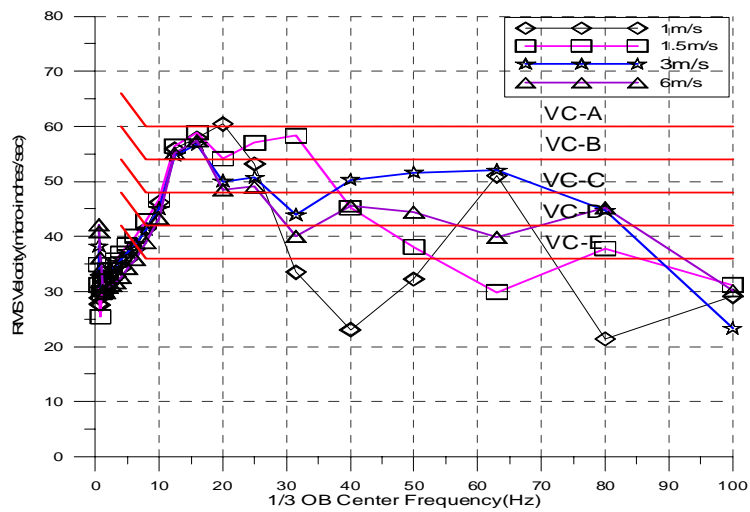




(a) AGV荷載為1ton

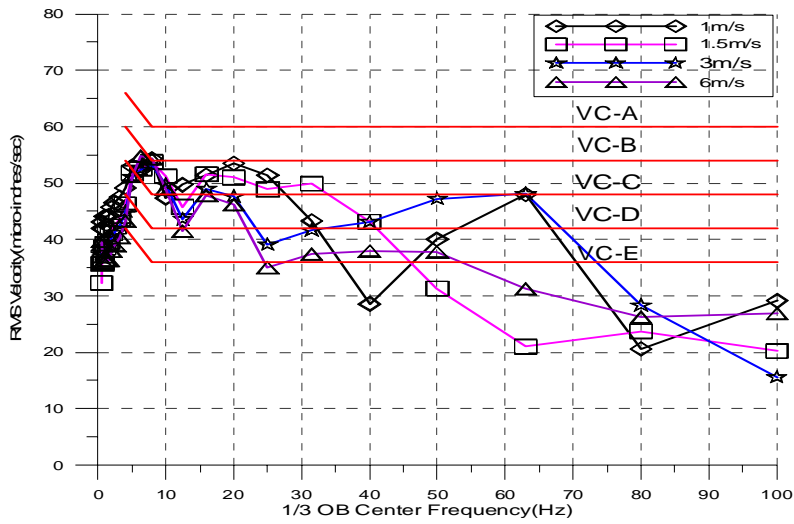


(b) AGV荷載為2ton

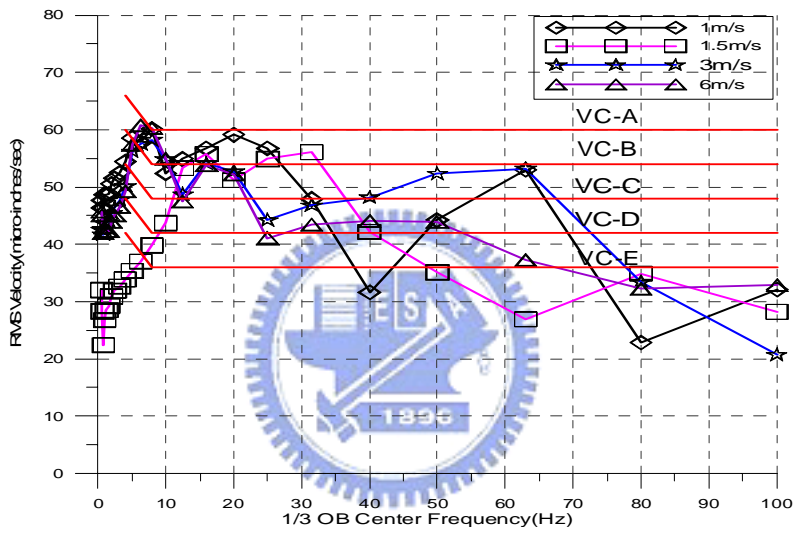


(c) AGV荷載為3ton

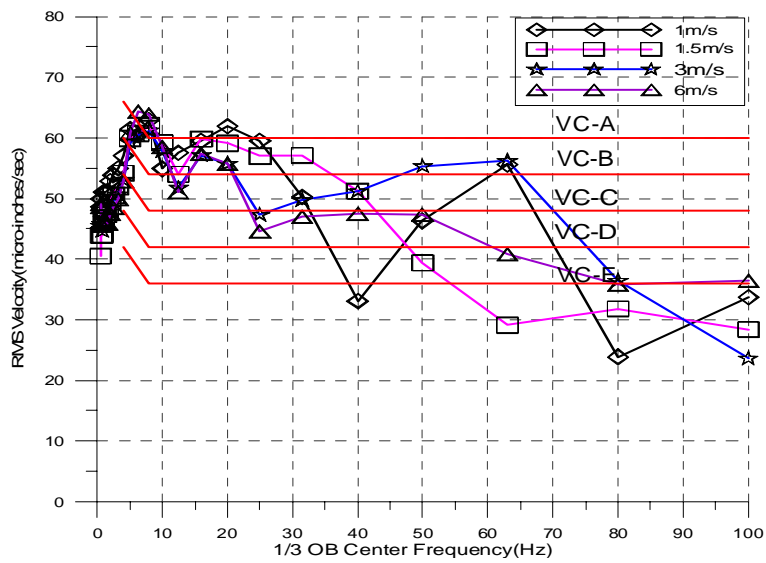
圖3.12不同車速對樓板振動影響 (span=9.6m)



(a) AGV荷載為1ton

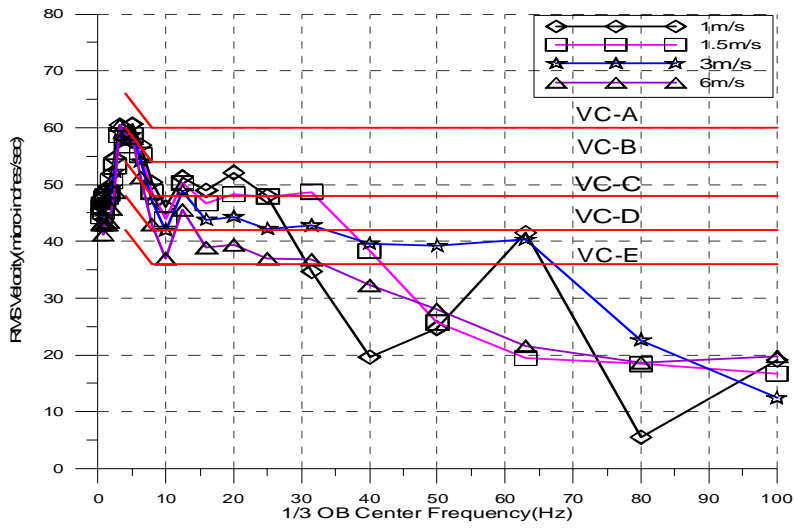


(b) AGV荷載為2ton

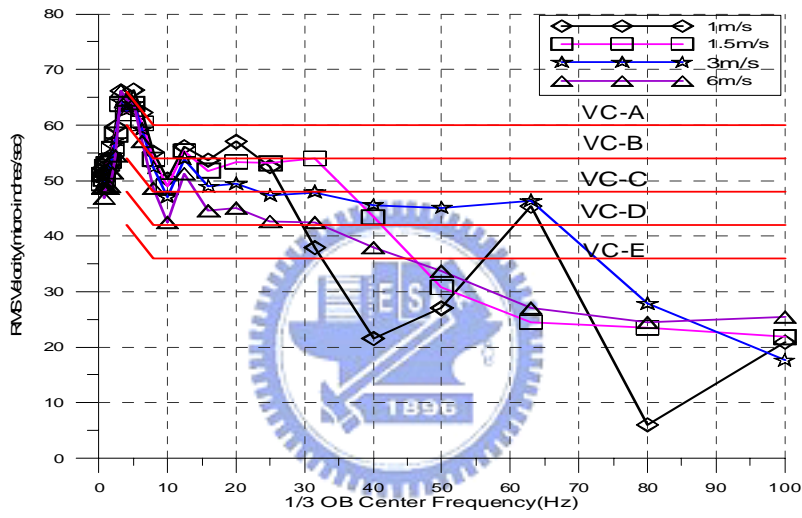


(c) AGV荷載為3ton

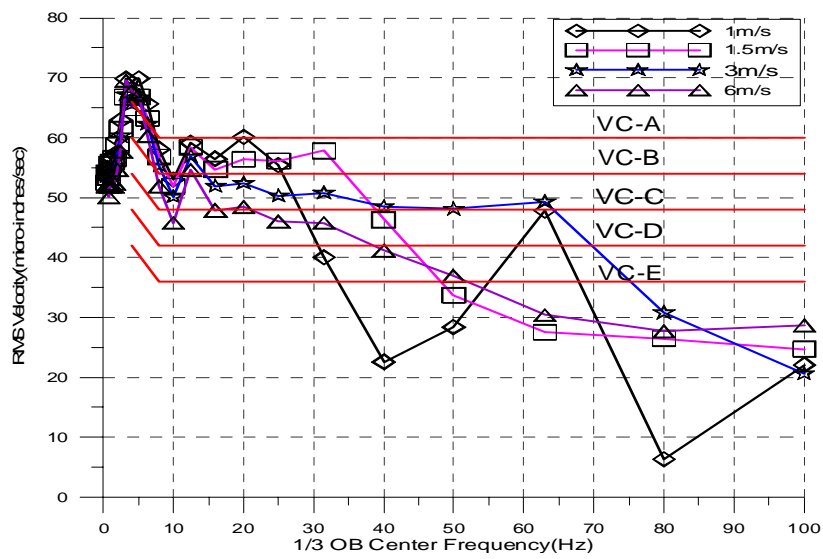
圖3.13不同車速對樓板振動影響 (span=14.4m)



(a) AGV 荷載為 1ton

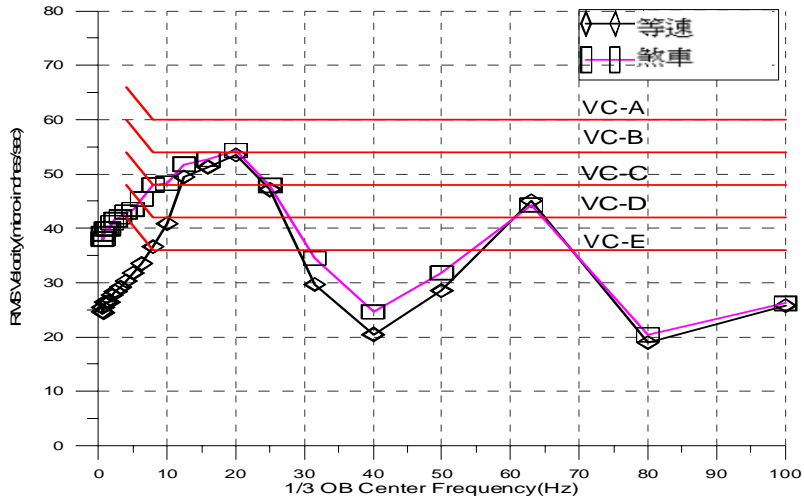


(b) AGV 荷載為 2ton

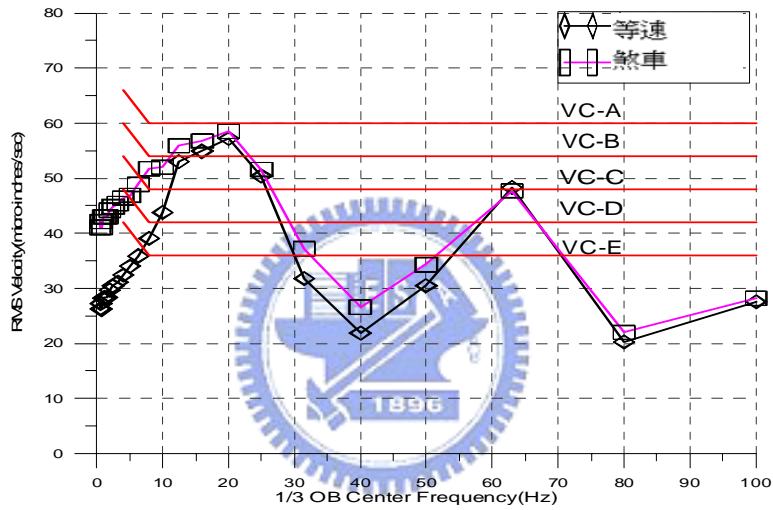


(c) AGV 荷載為 3ton

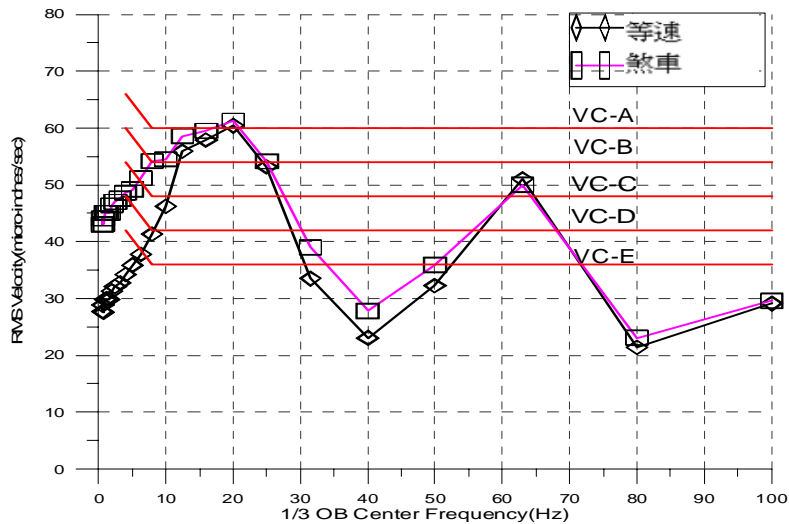
圖 3.14 不同車速對樓板振動影響 (span=19.2m)



(a) AGV 荷載為 1ton ; AGV 車速為 1m/s

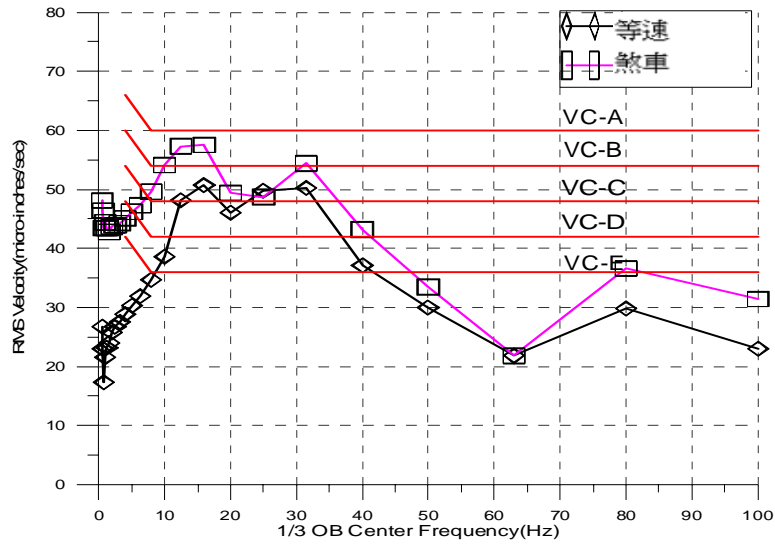


(b) AGV 荷載為 2ton ; AGV 車速為 1m/s

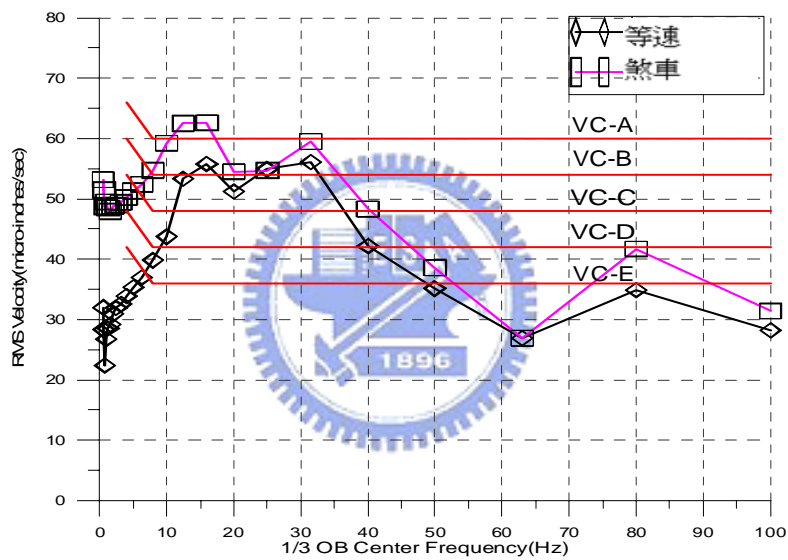


(c) AGV 荷載為 3ton ; AGV 車速為 1m/s

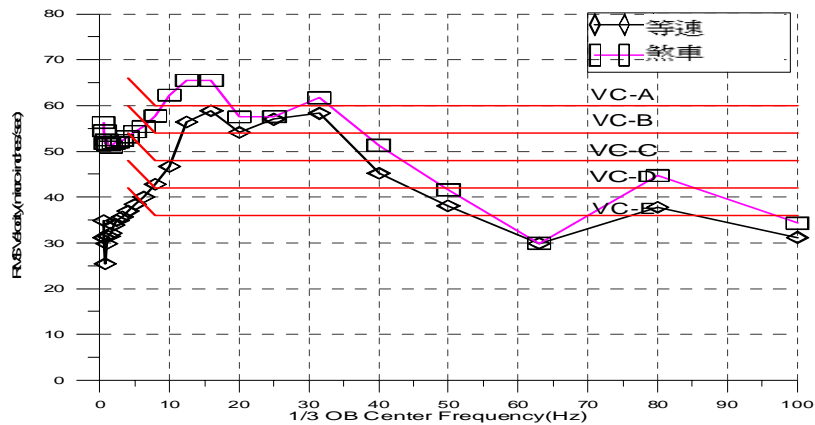
圖 3.15 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=9.6m velocity=1m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton ; AGV 車速為 1.5m/s

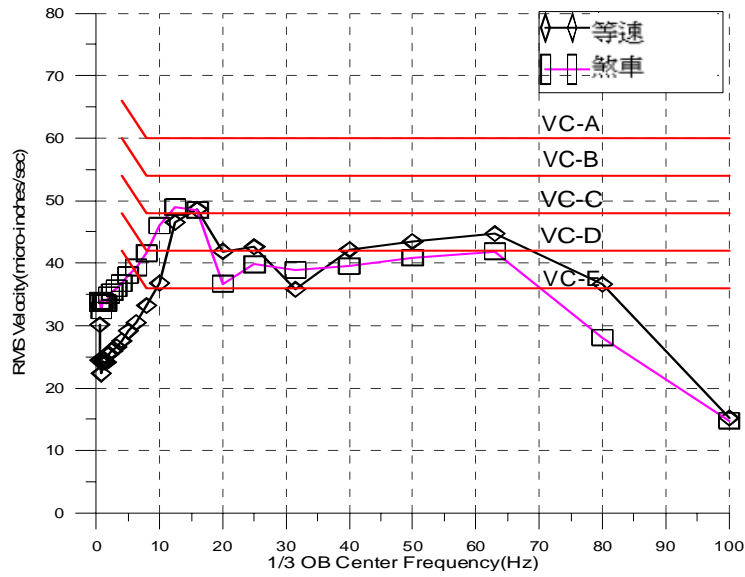


(b) AGV 荷載為 2ton ; AGV 車速為 1.5m/s

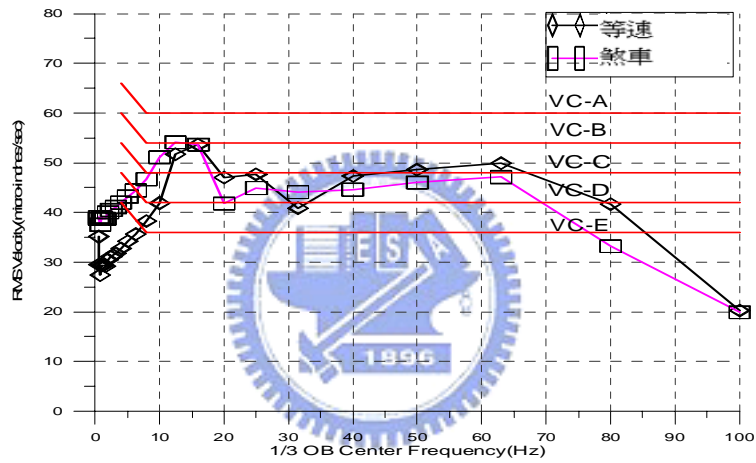


(c) AGV 荷載為 3ton ; AGV 車速為 1.5m/s

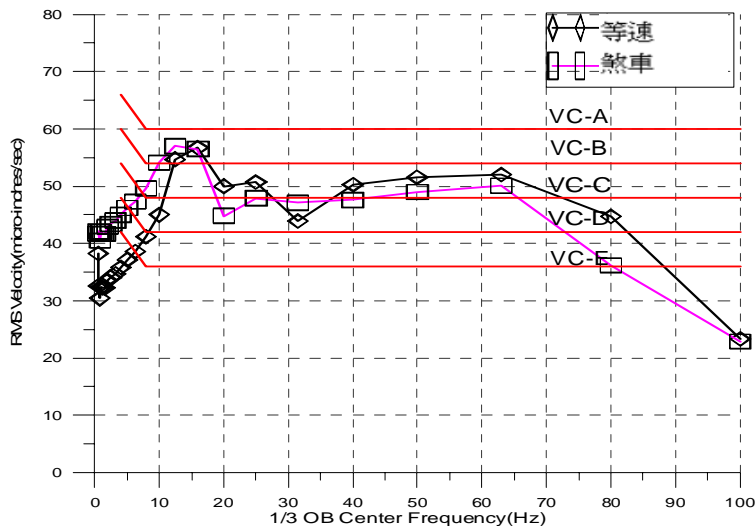
圖 3.16 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=9.6m velocity=1.5m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton；AGV 車速為 3m/s



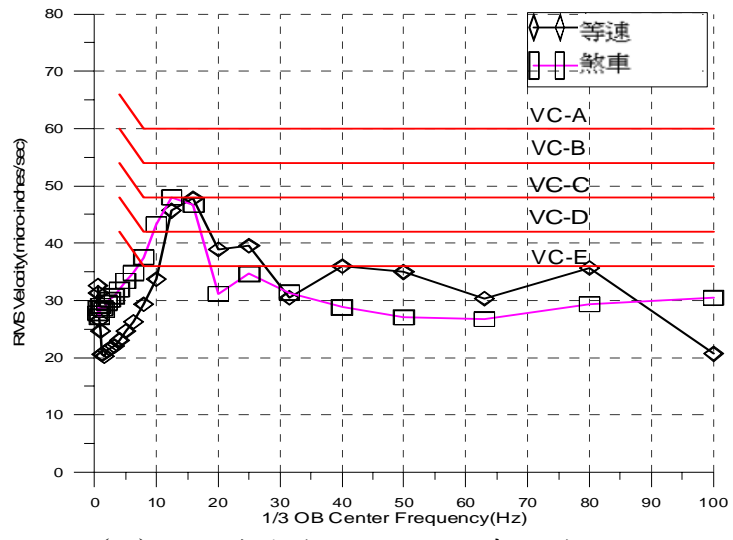
(b) AGV 荷載為 2ton；AGV 車速為 3m/s



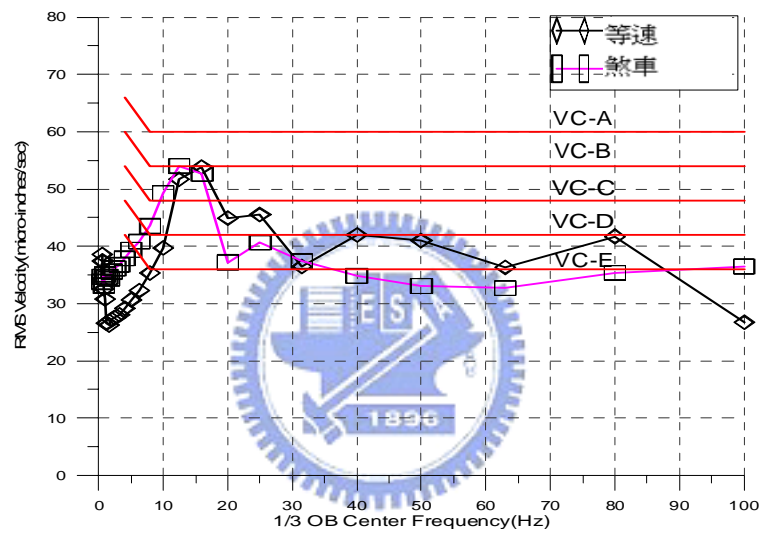
(c) AGV 荷載為 3ton；AGV 車速為 3m/s

圖 3.17 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=9.6m velocity=3m/s)

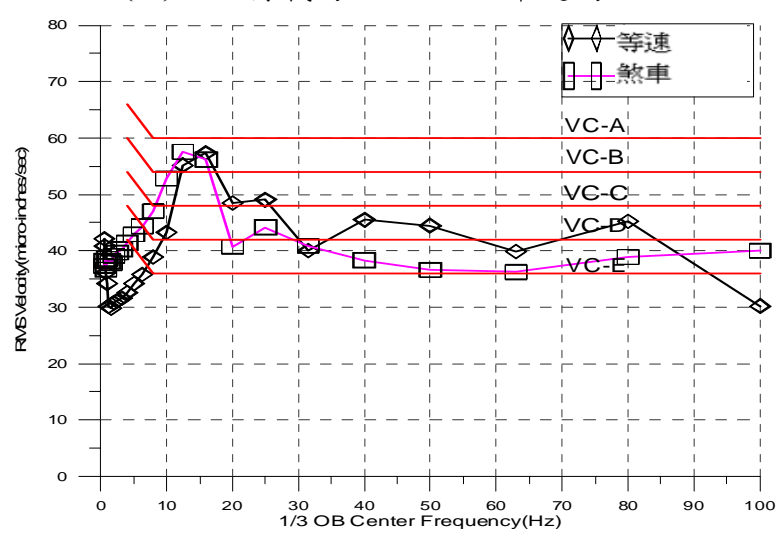




(a) AGV 荷載為1ton；AGV 車速為6m/s

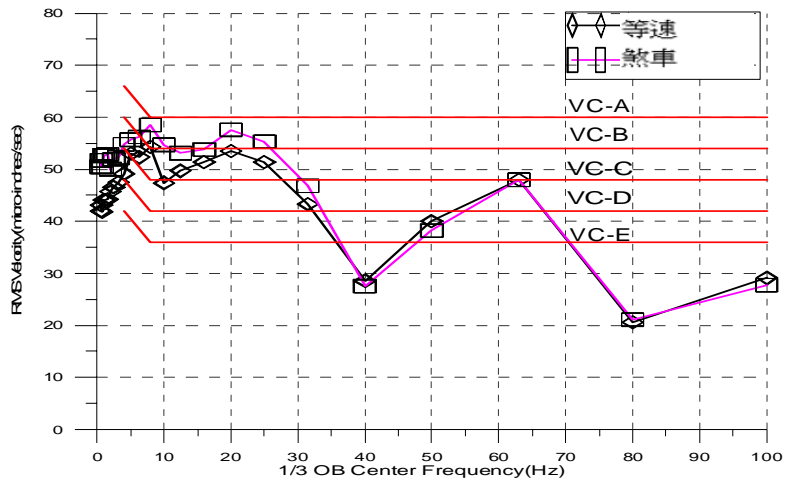


(b) AGV 荷載為2ton；AGV 車速為6m/s

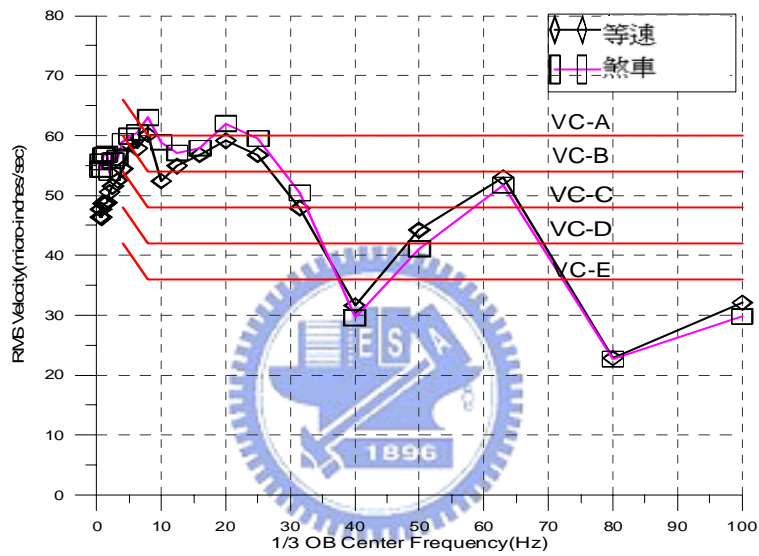


(c) AGV 荷載為3ton；AGV 車速為6m/s

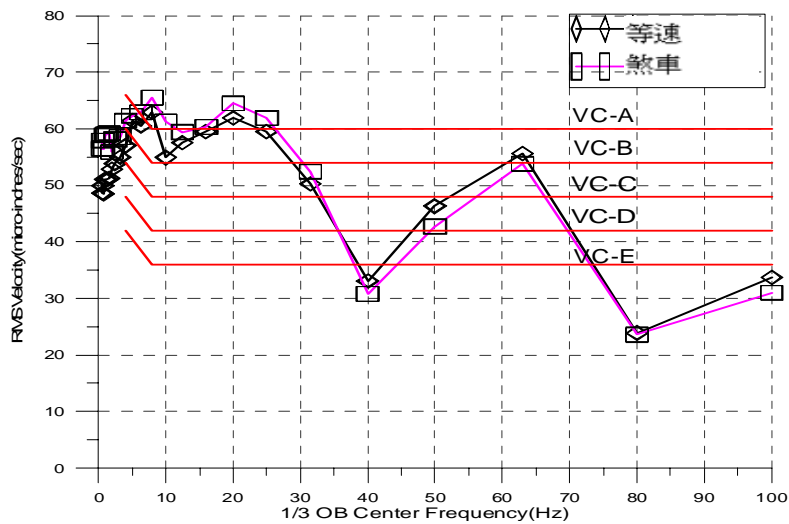
圖3.18 不同AGV載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=9.6m velocity=6m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton；AGV 車速為 1m/s

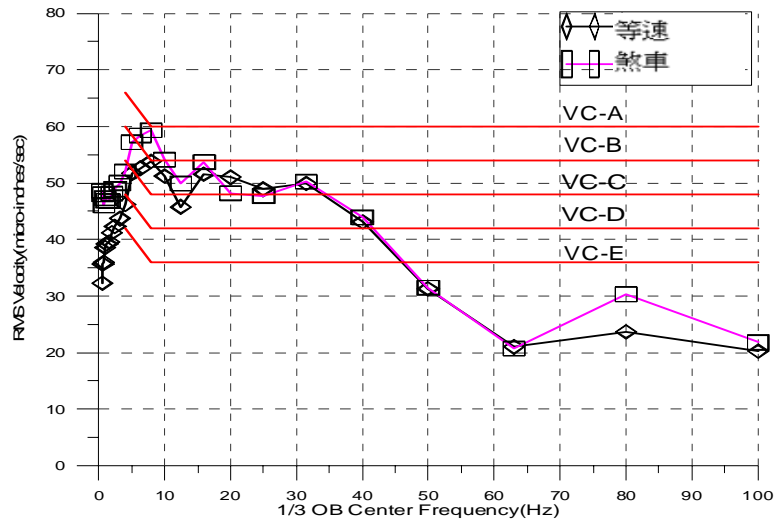


(b) AGV 荷載為 2ton；AGV 車速為 1m/s

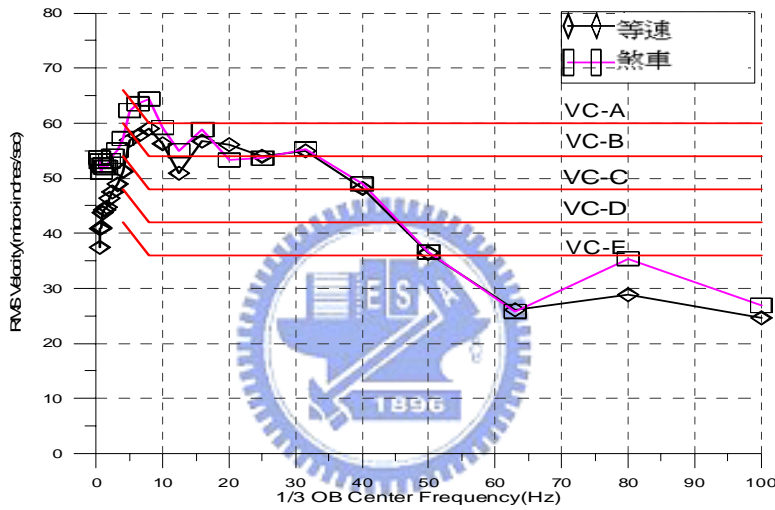


(c) AGV 荷載為 3ton；AGV 車速為 1m/s

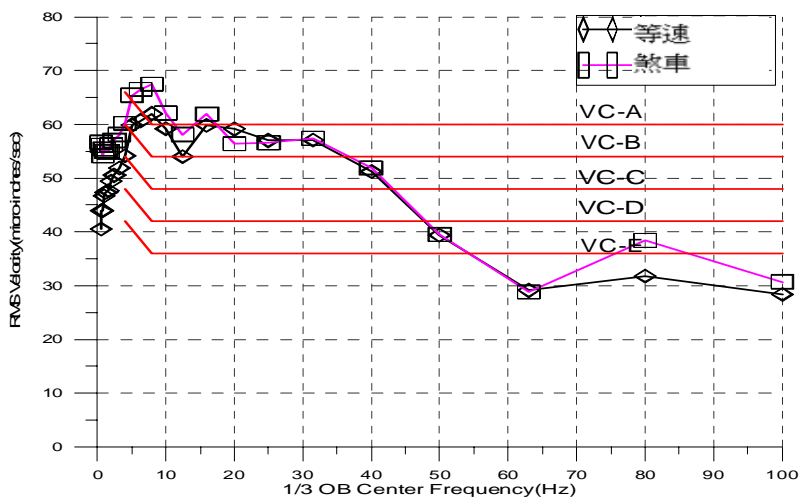
圖 3.19 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=14.4m velocity=1m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton ; AGV 車速為 1.5m/s

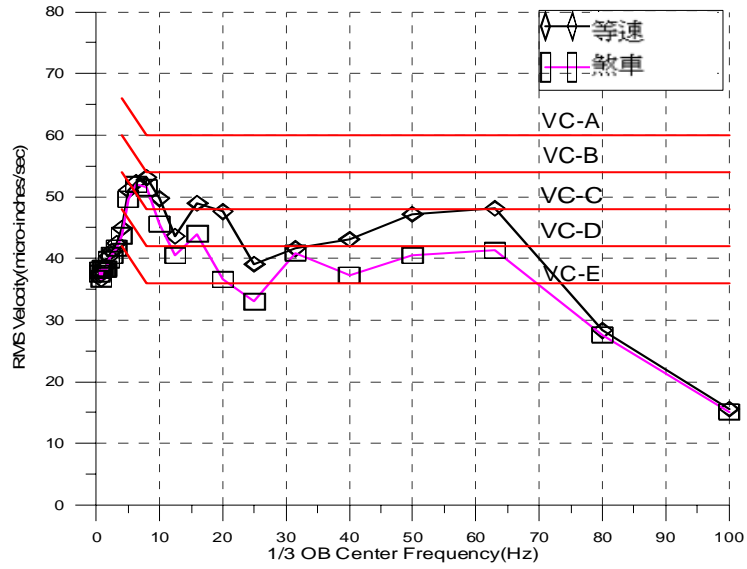


(b) AGV 荷載為 2ton ; AGV 車速為 1.5m/s

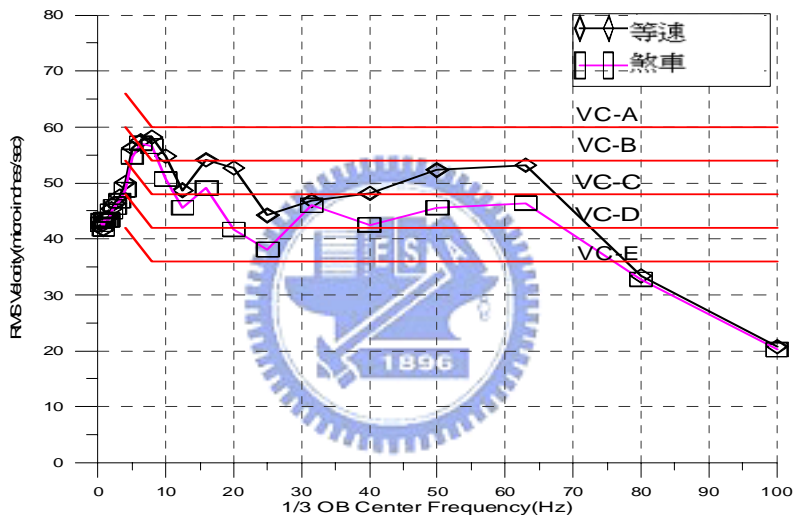


(c) AGV 荷載為 3ton ; AGV 車速為 1.5m/s

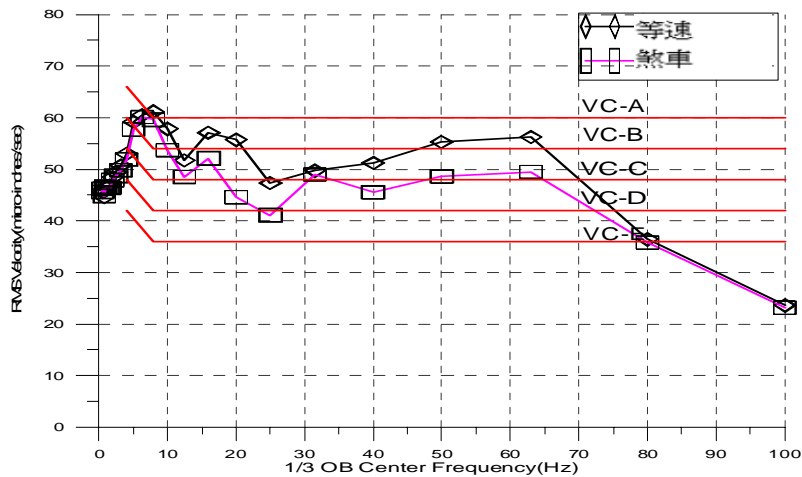
圖 3.20 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=14.4m velocity=1.5m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton；AGV 車速為 3m/s

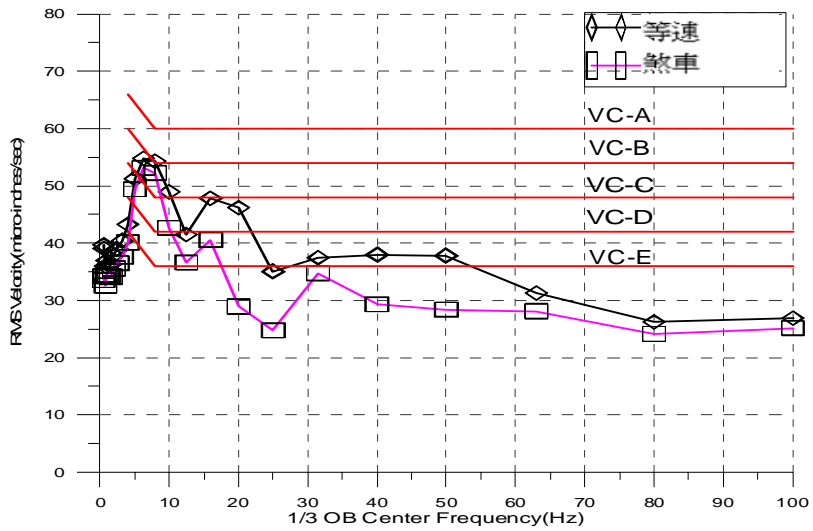


(b) AGV 荷載為 2ton；AGV 車速為 3m/s

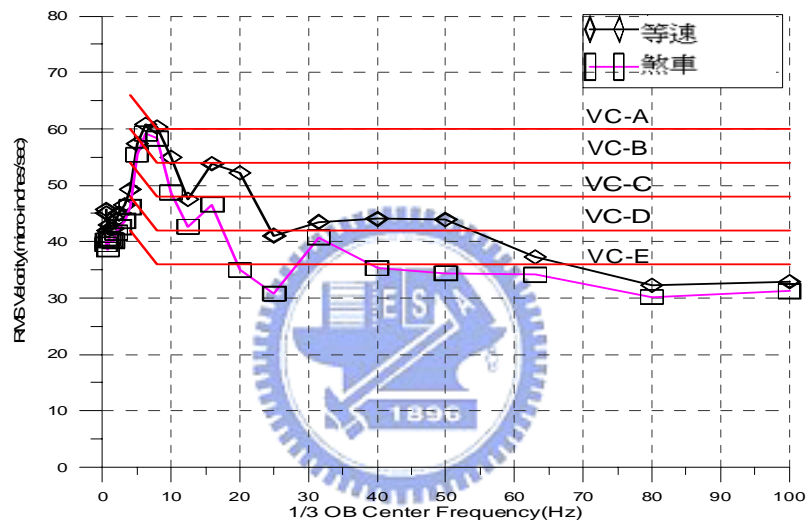


(c) AGV 荷載為 3ton；AGV 車速為 3m/s

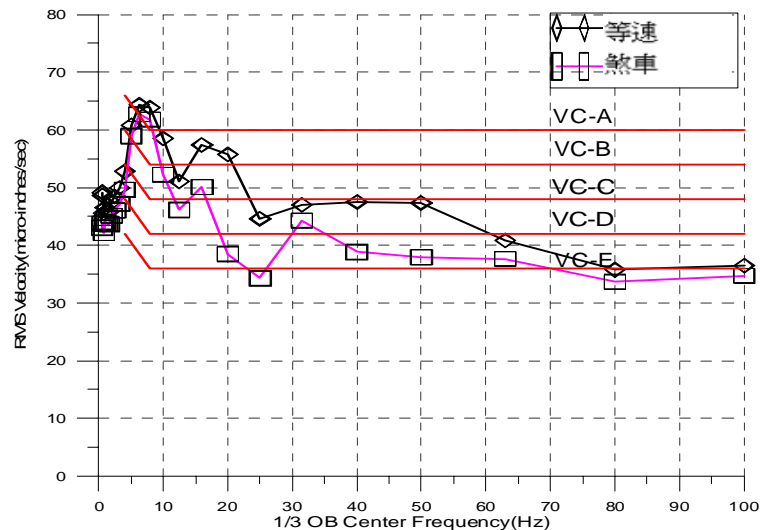
圖 3.21 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=14.4m velocity=3m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton；AGV 車速為 6m/s

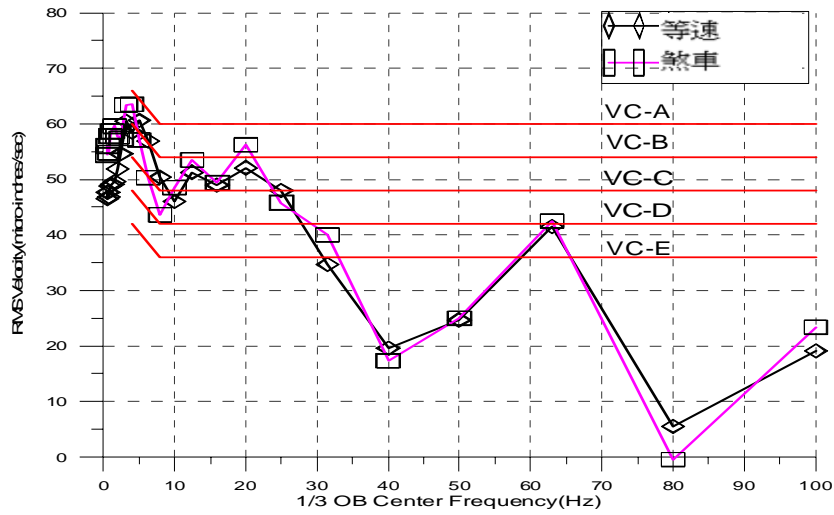


(b) AGV 荷載為 2ton；AGV 車速為 6m/s

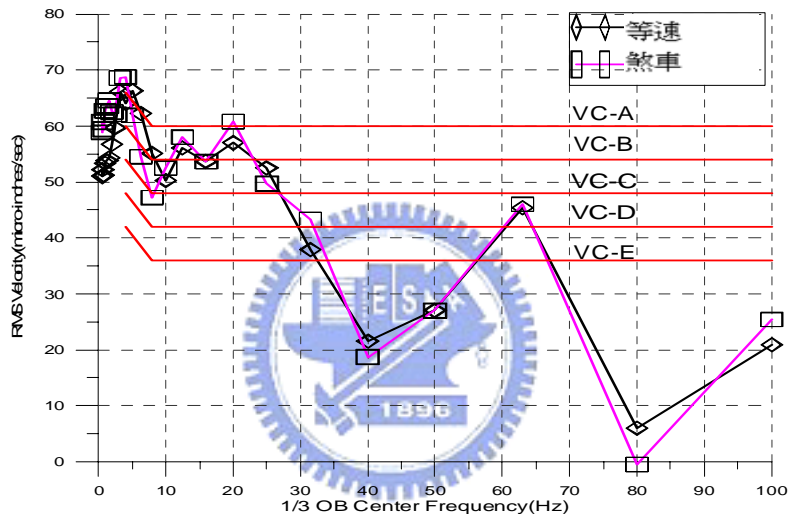


(c) AGV 荷載為 3ton；AGV 車速為 6m/s

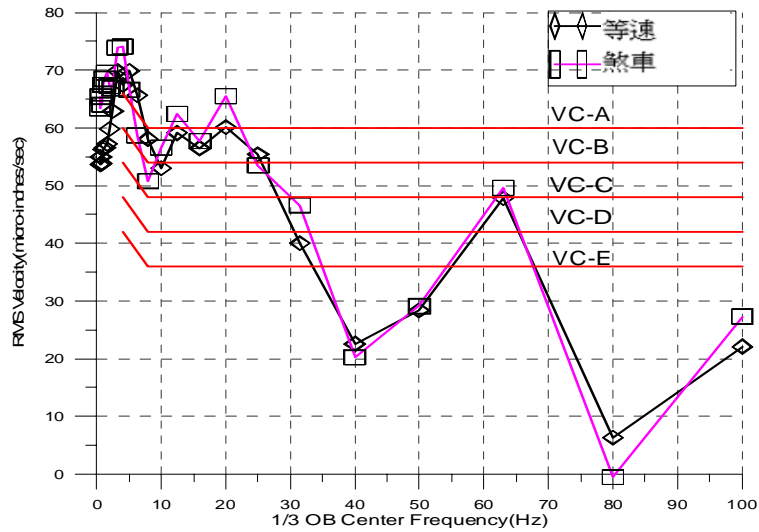
圖 3.22 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=14.4m velocity=6m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton；AGV 車速為 1m/s



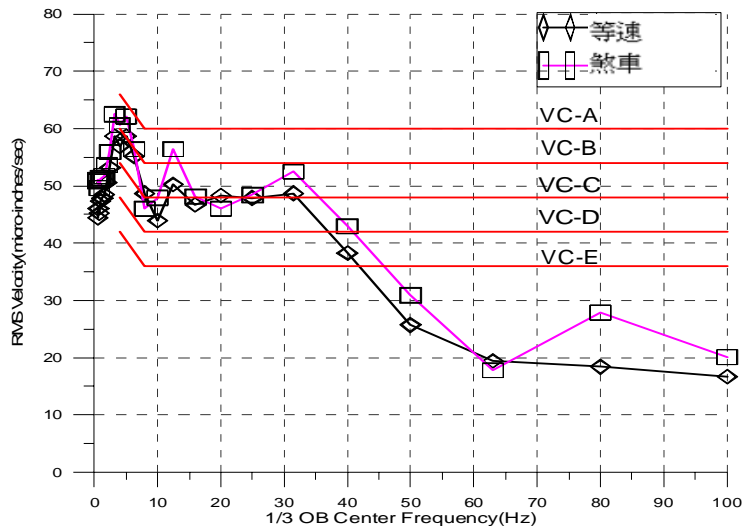
(b) AGV 荷載為 2ton；AGV 車速為 1m/s



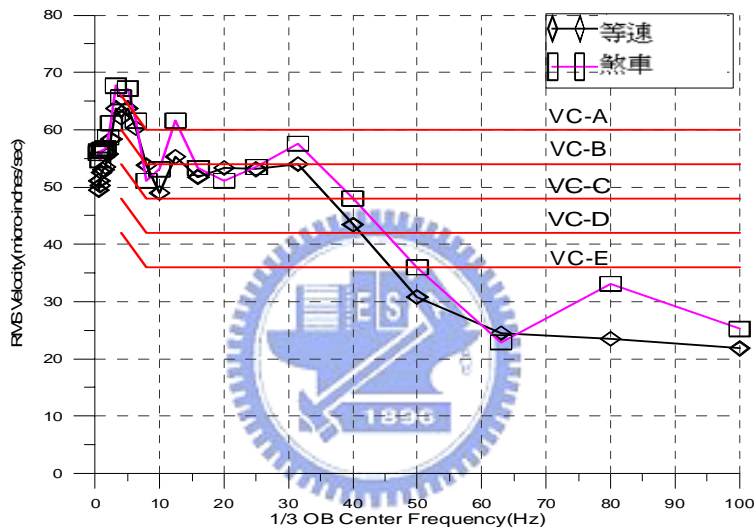
(c) AGV 荷載為 3ton；AGV 車速為 1m/s

圖 3.23 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=19.2m velocity=1m/s)

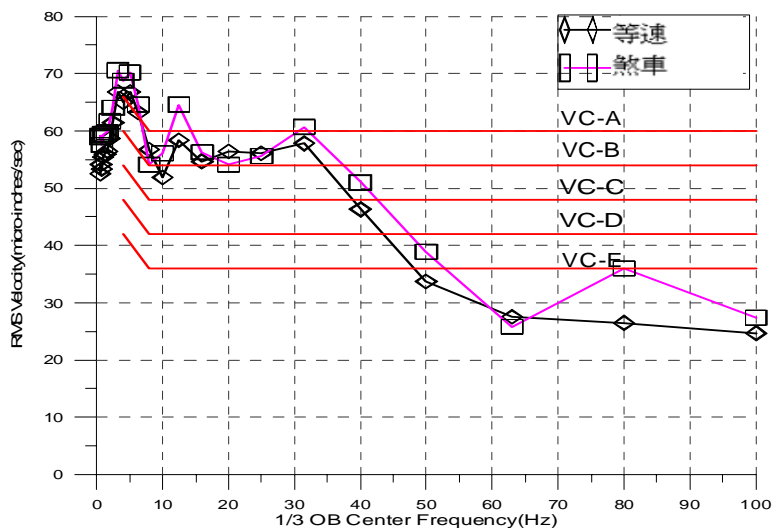




(a) AGV 荷載為 1ton ; AGV 車速為 1.5m/s

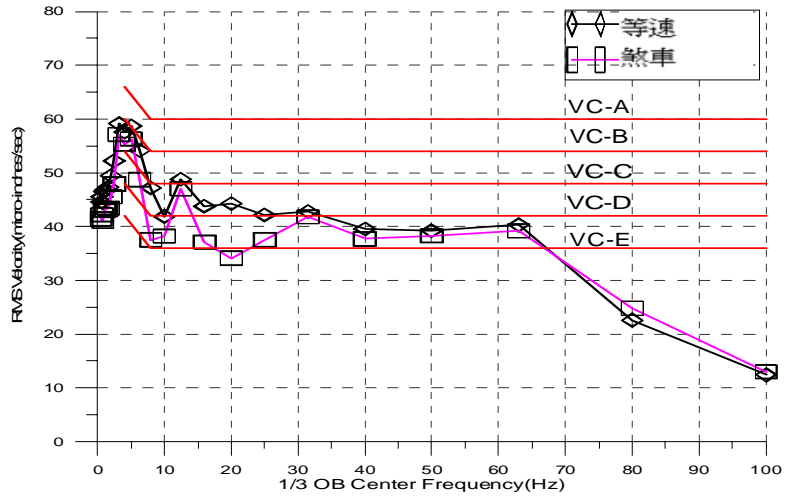


(b) AGV 荷載為 2ton ; AGV 車速為 1.5m/s

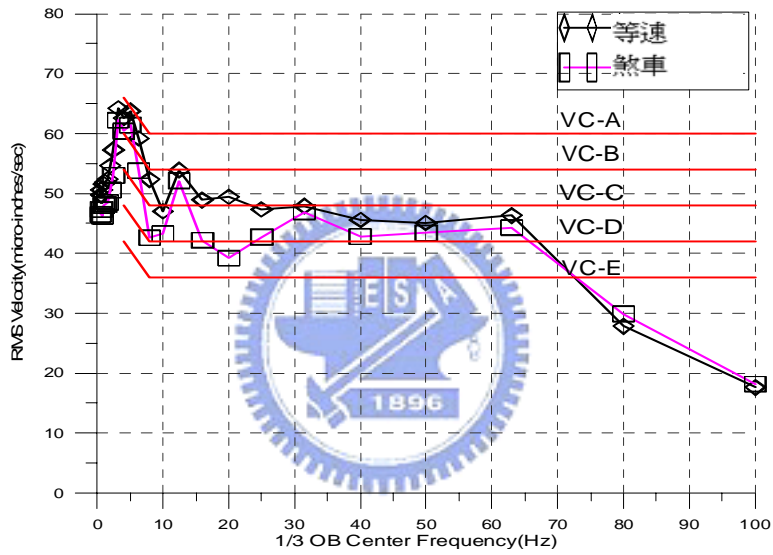


(c) AGV 荷載為 3ton ; AGV 車速為 1.5m/s

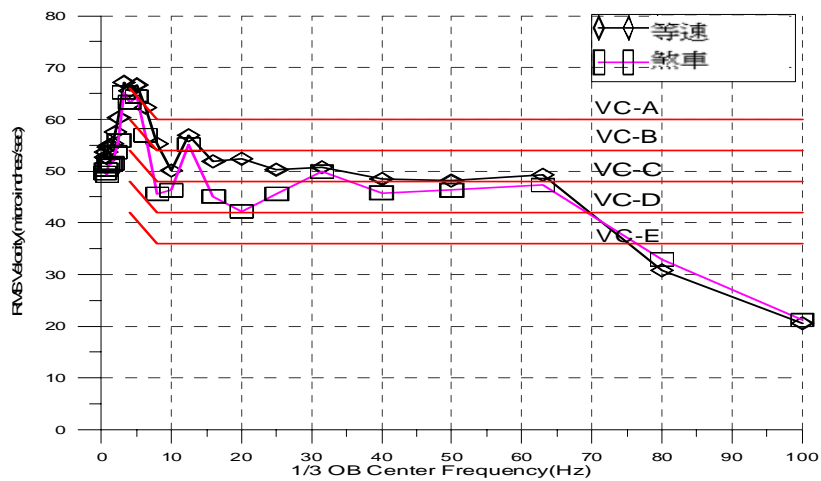
圖 3.24 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=19.2m velocity=1.5m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton ; AGV 車速為 3m/s

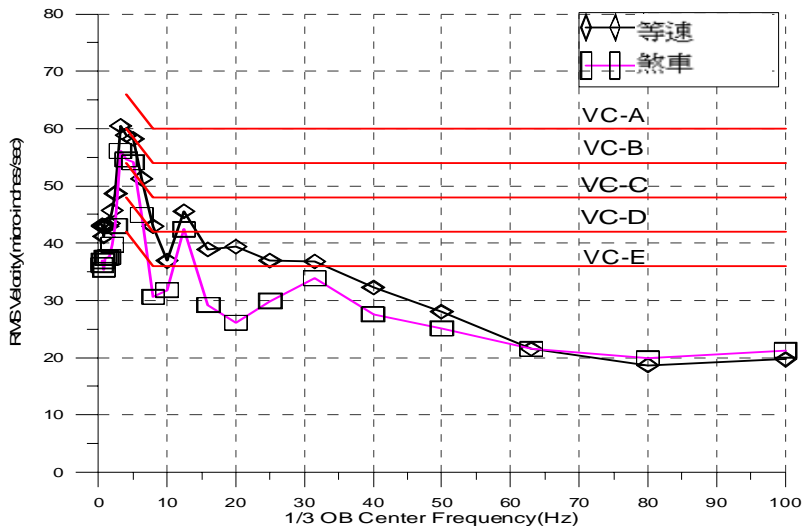


(b) AGV 荷載為 2ton ; AGV 車速為 3m/s

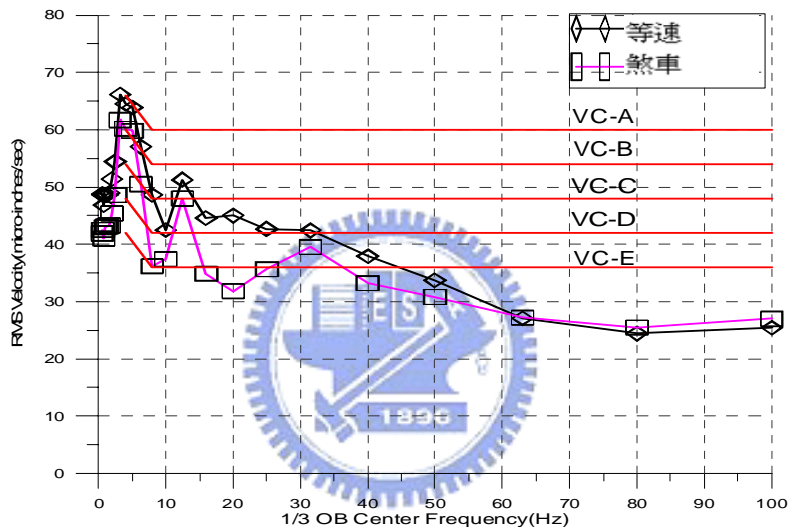


(c) AGV 荷載為 3ton ; AGV 車速為 3m/s

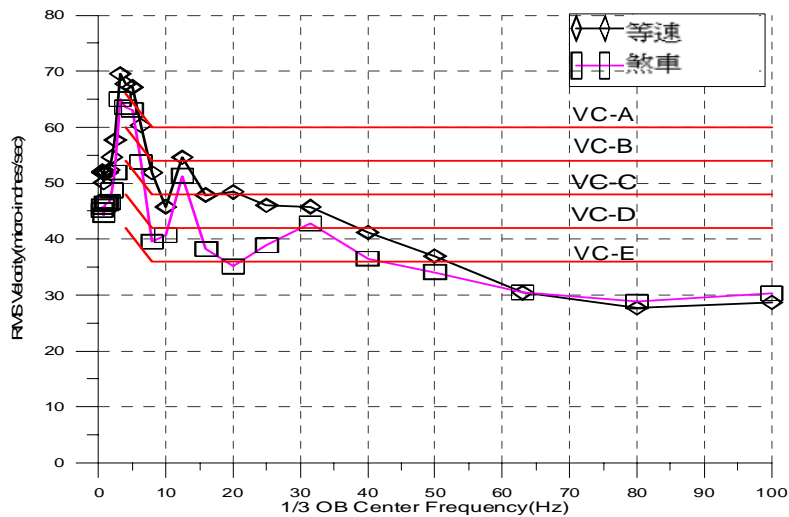
圖 3.25 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=19.2m velocity=3m/s)



(a) AGV 荷載為 1ton；AGV 車速為 6m/s

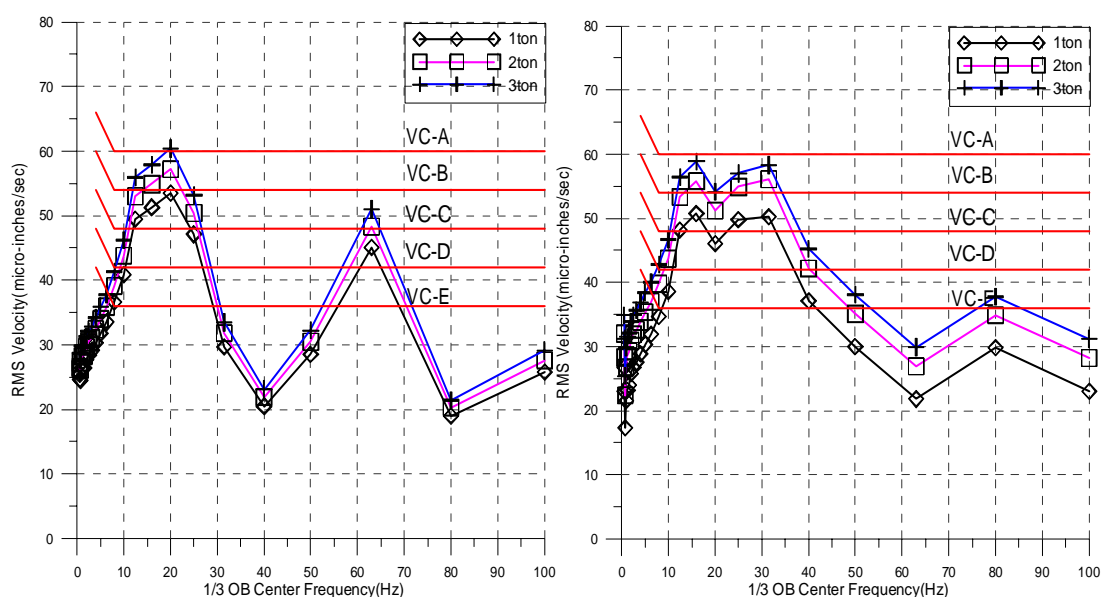


(b) AGV 荷載為 2ton；AGV 車速為 6m/s



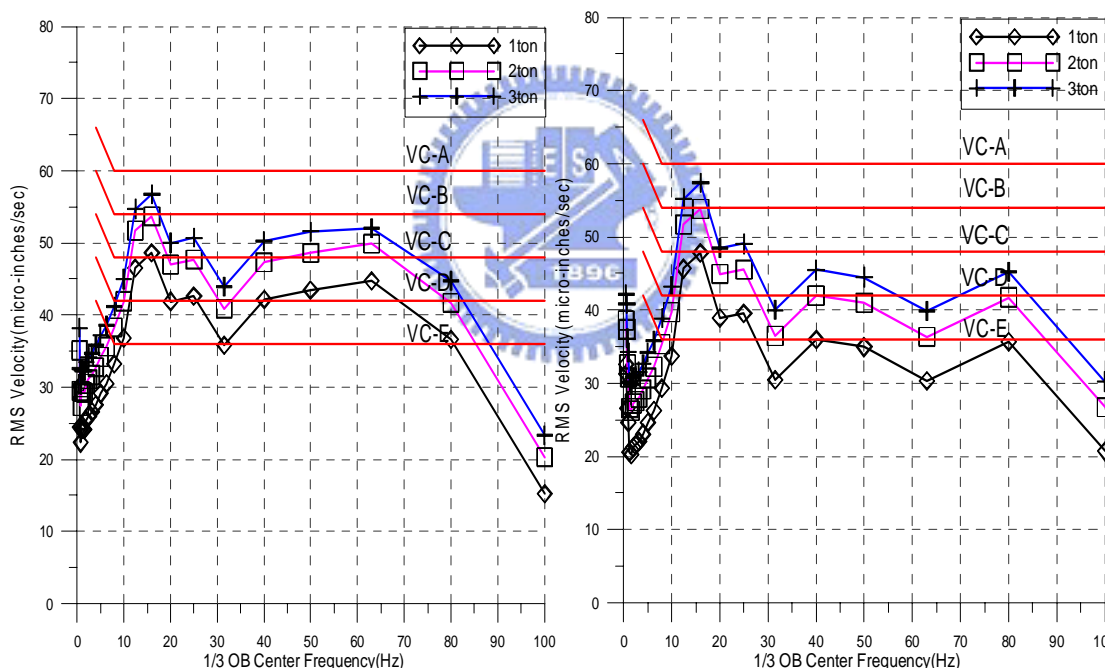
(c) AGV 荷載為 3ton；AGV 車速為 6m/s

圖 3.26 不同 AGV 載重下煞車對樓板振動之影響  
(span=19.2m velocity=6m/s)



(a) AGV車速為1m/s

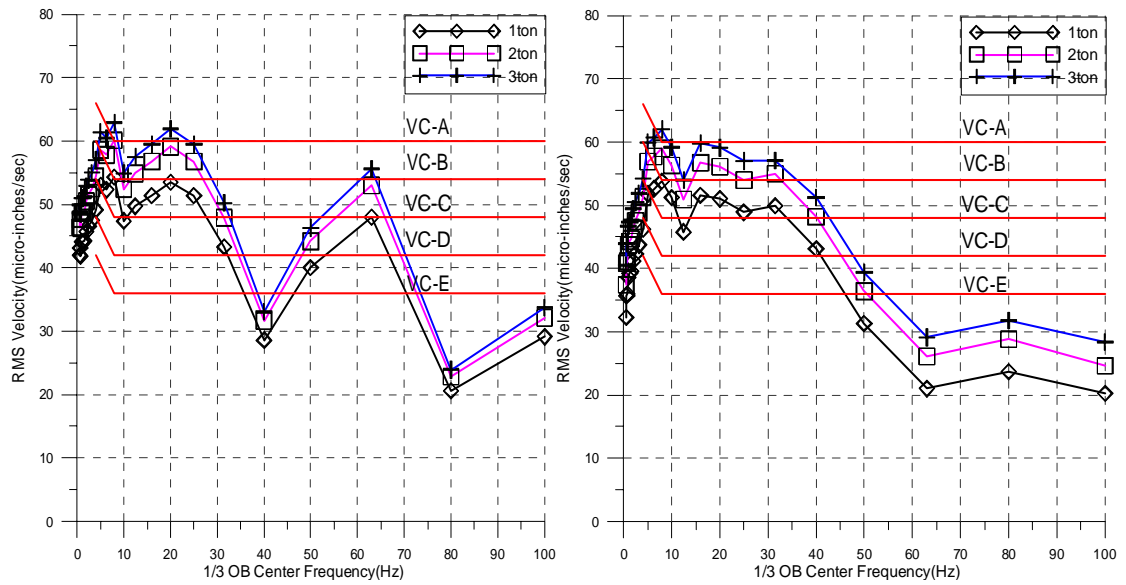
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

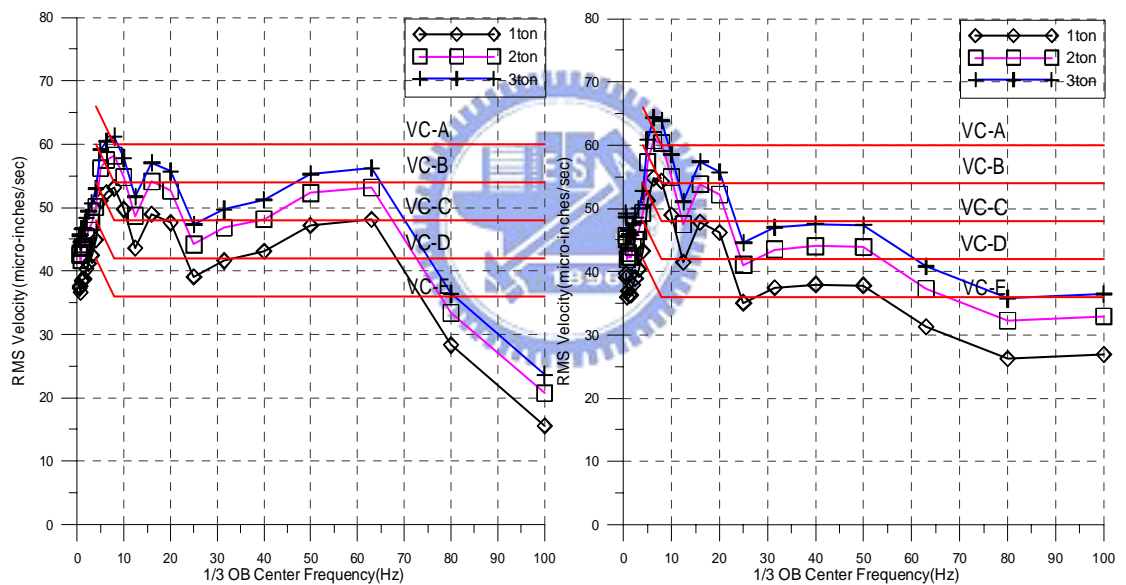
(d) AGV車速為6m/s

圖3.27 不同車重對樓板振動影響 (span=9.6m)



(a) AGV車速為1m/s

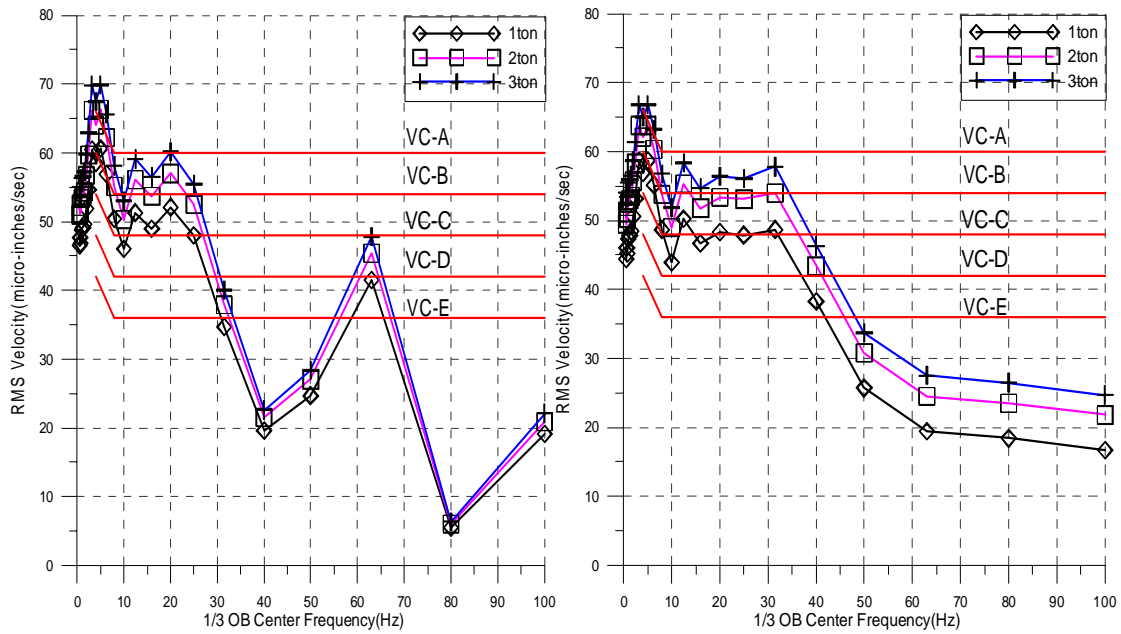
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

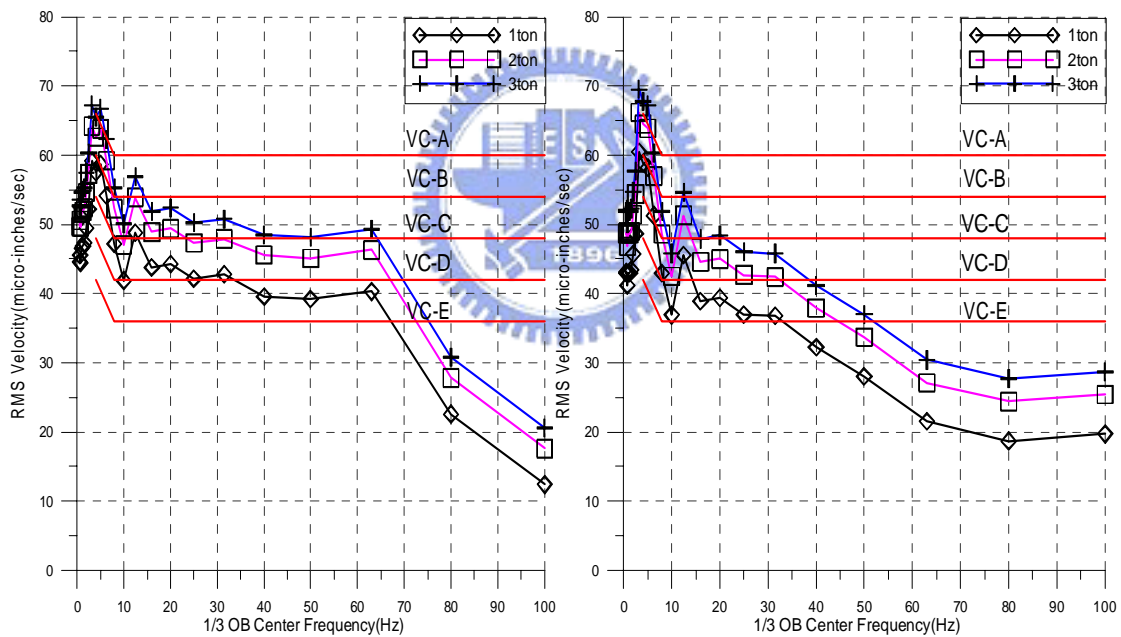
(d) AGV車速為6m/s

圖3.28不同車重對樓板振動影響 (span=14.4m)



(a) AGV車速為1m/s

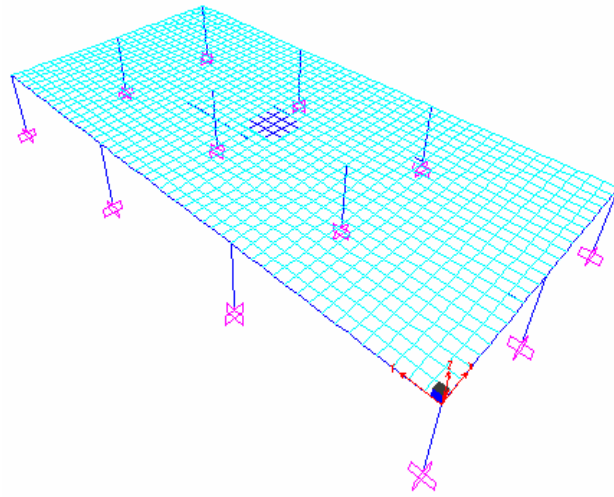
(b) AGV車速為1.5m/s



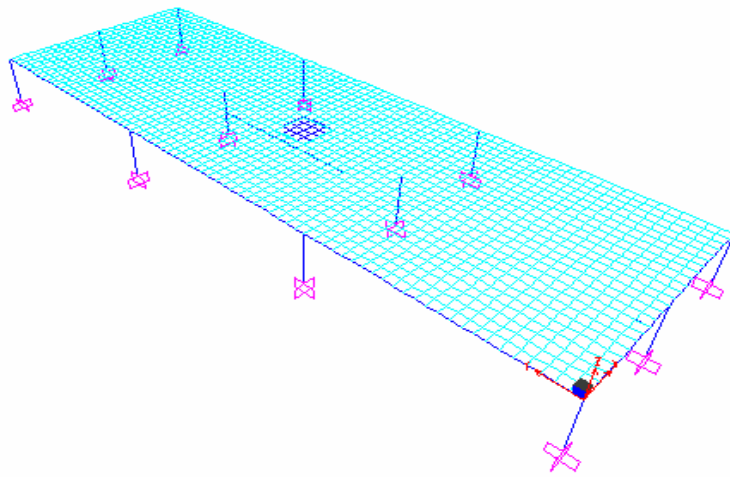
(c) AGV車速為3m/s

(d) AGV車速為6m/s

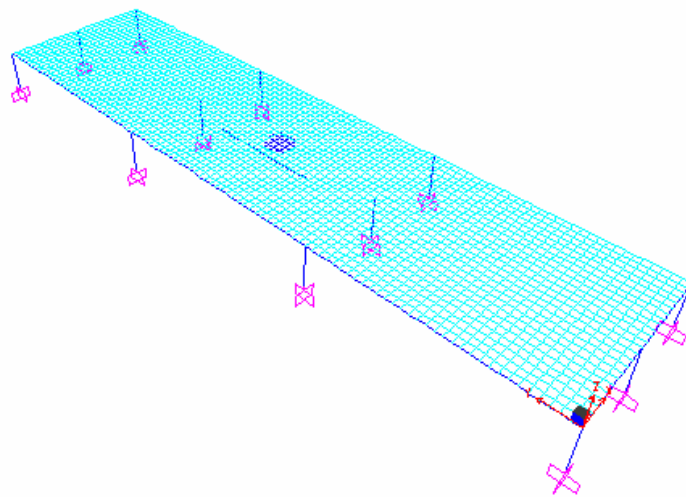
圖3.29 不同車重對樓板振動影響 (span=19.2m)



Span=9.6m



Span=14.4m



Span=19.2m

圖3.30 不同跨徑高科技廠房結構之SAP2000模型



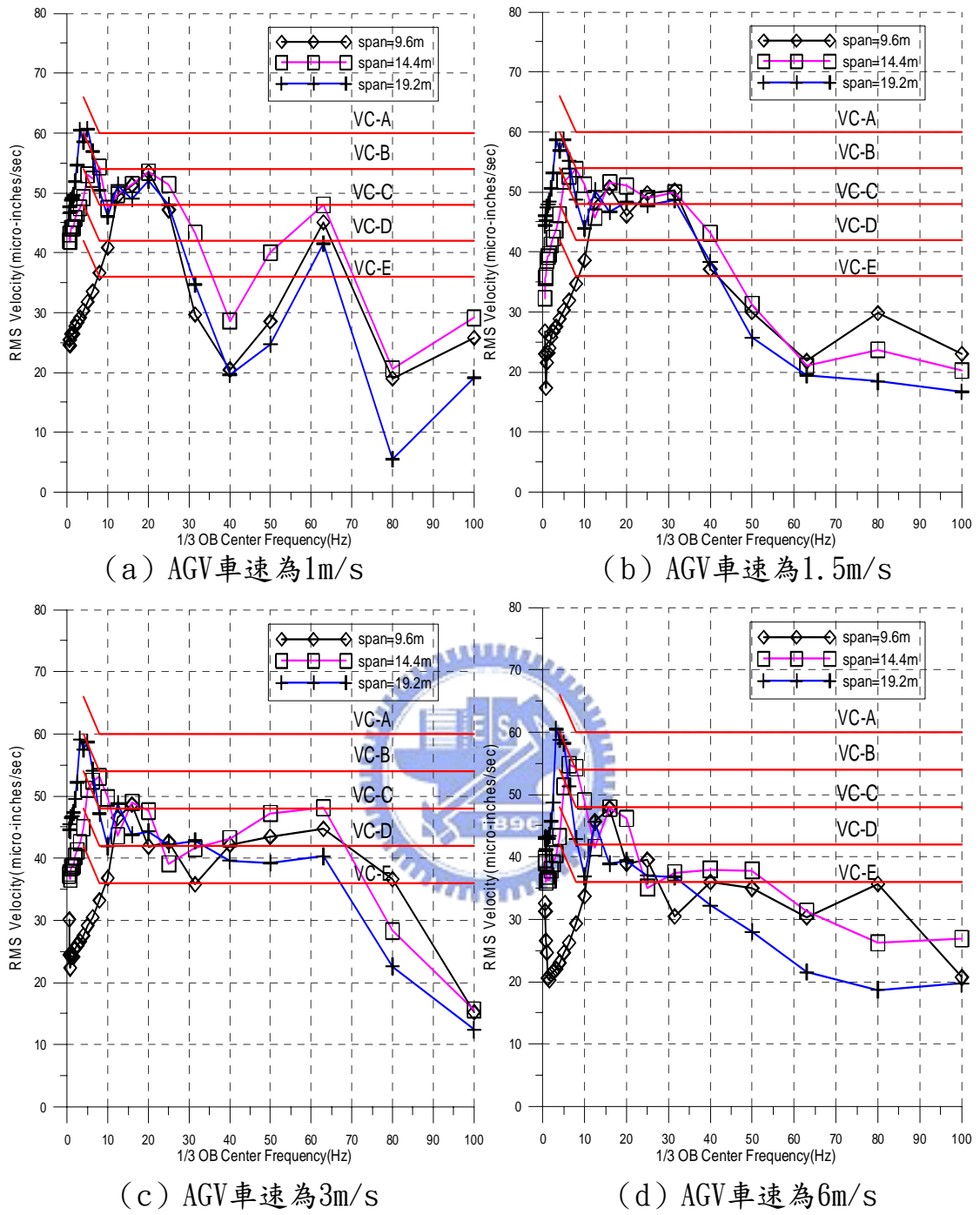
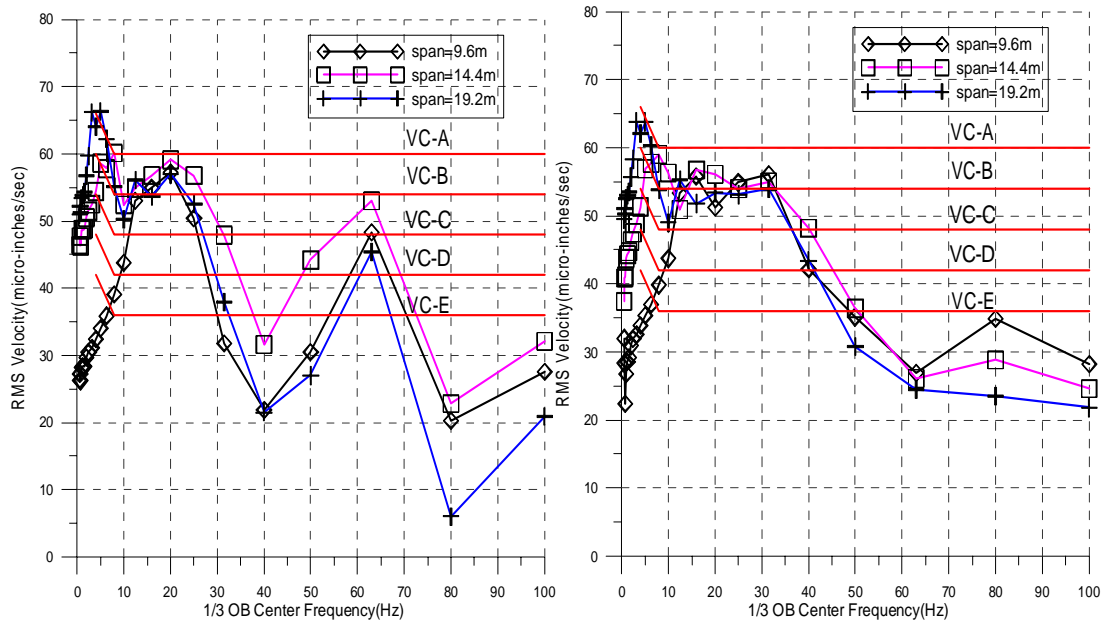
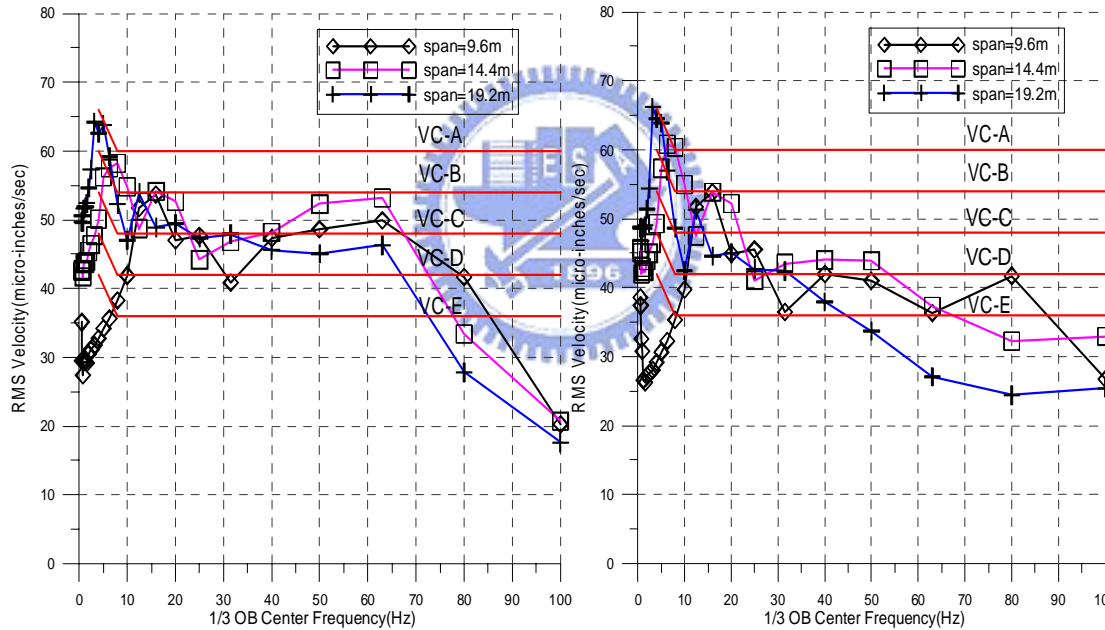


圖3.31 不同跨徑對廠房樓版振動之影響比較 (weight=1ton)



(a) AGV車速為1m/s

(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

(d) AGV車速為6m/s

圖3.32 不同跨徑對廠房樓版振動之影響比較 (weight=2ton)

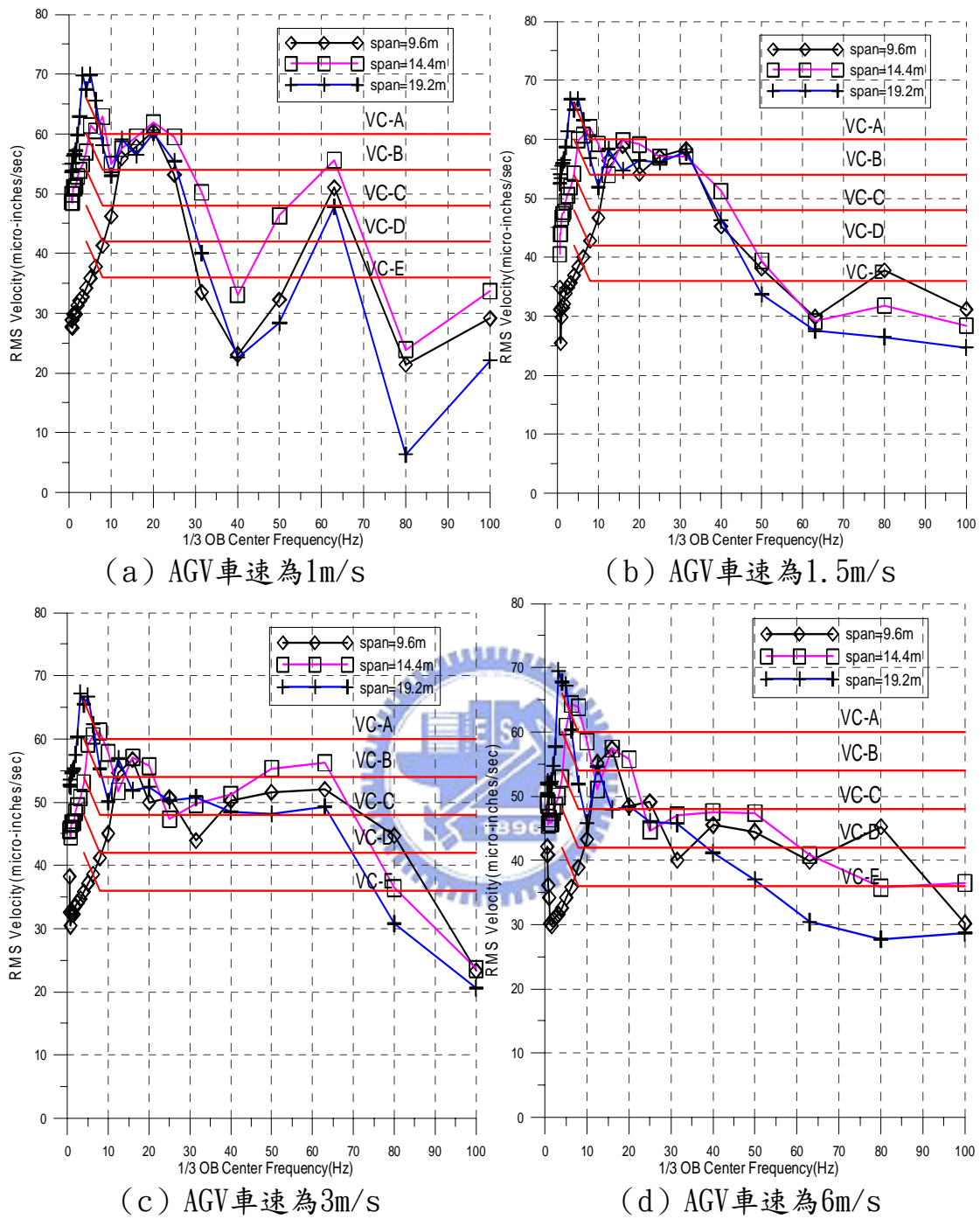
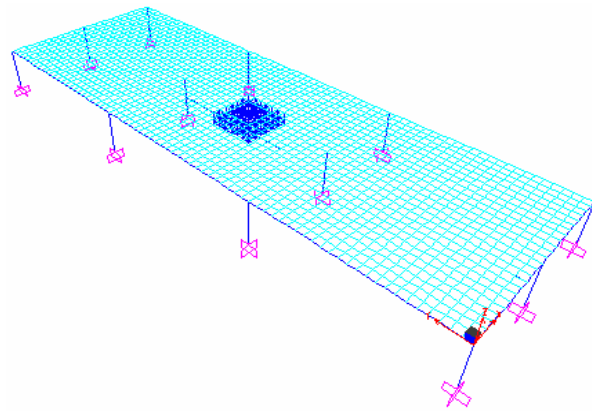
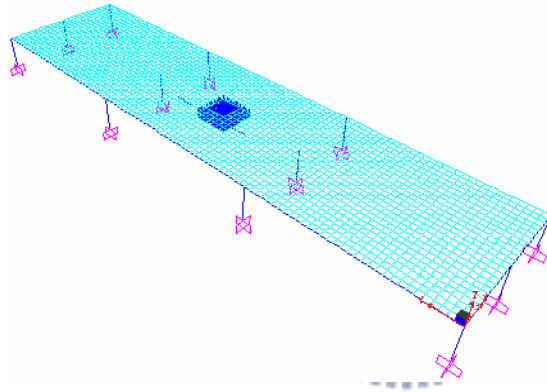


圖3.33 不同跨徑對廠房樓版振動之影響比較 (weight=3ton)

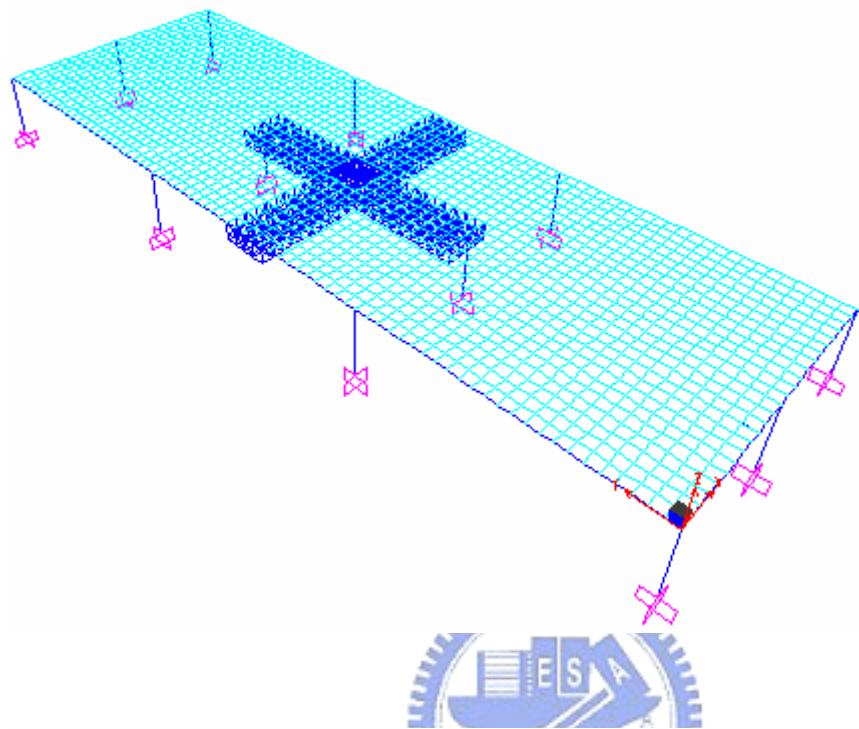


(a) Span=14.4m

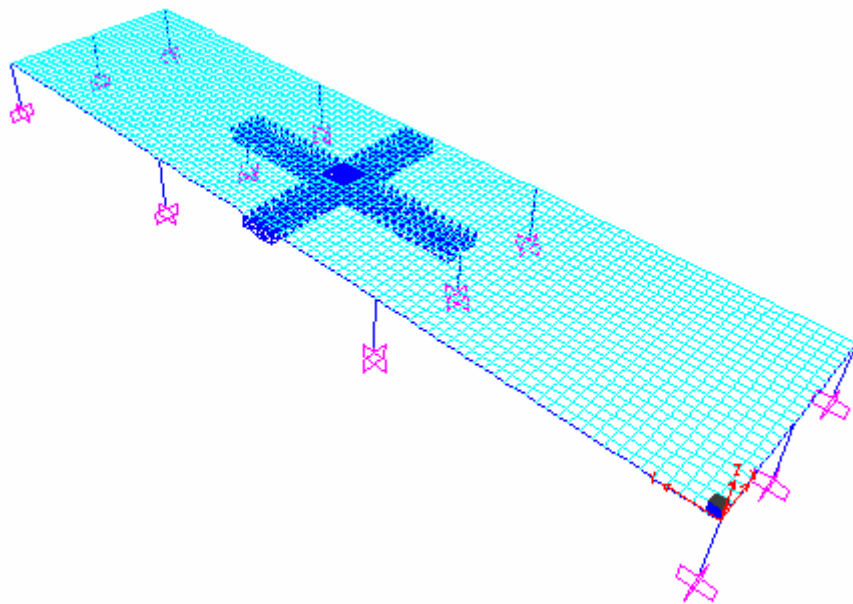


(b) Span=19.2m

圖3.34 補強模式Retrofit-A之結構分析模型

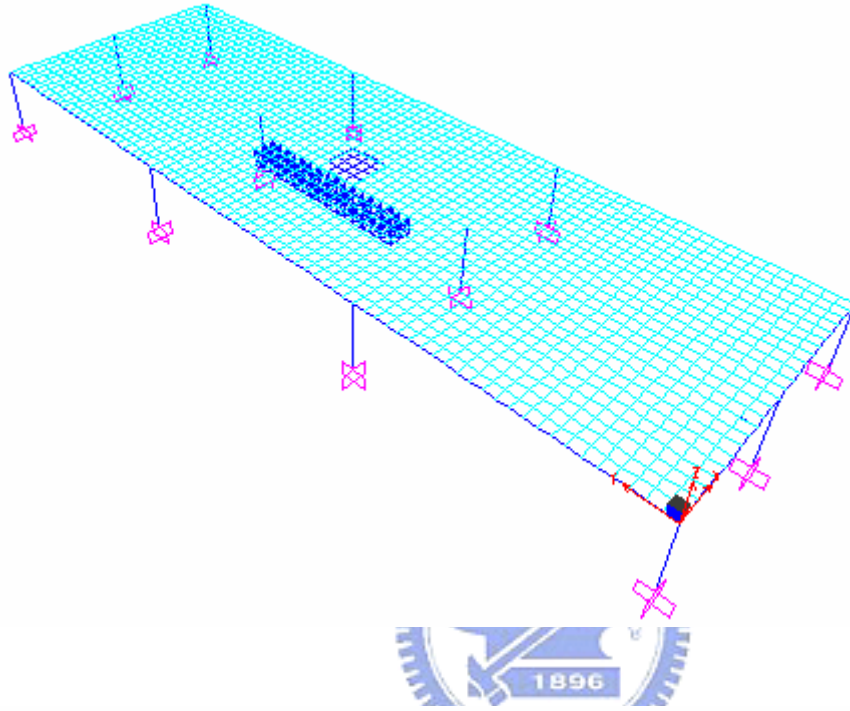


(a) Span=14.4m

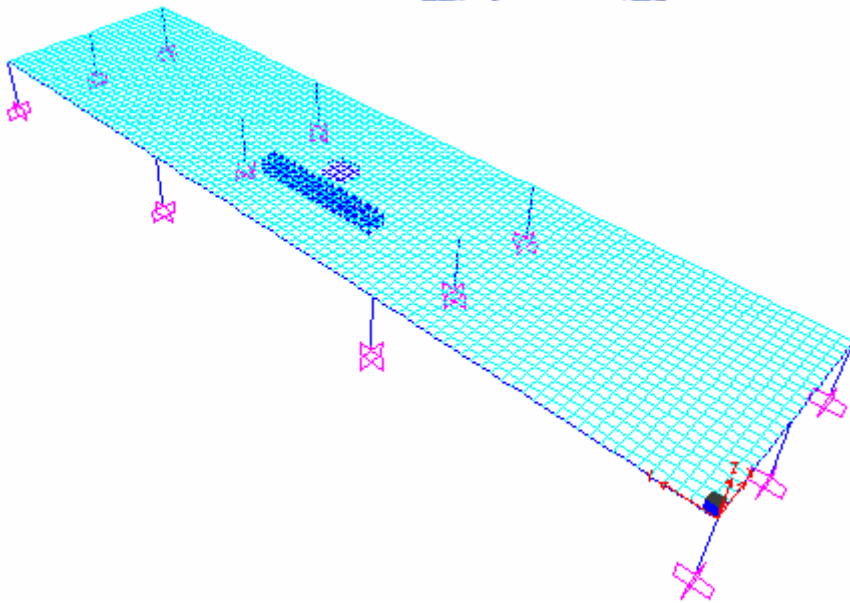


(b) Span=19.2m

圖3.35 補強模式Retrofit-B之結構分析模型



(a) Span=14.4m



(b) Span=19.2m

圖3.36 補強模式Retrofit-C之結構分析模型

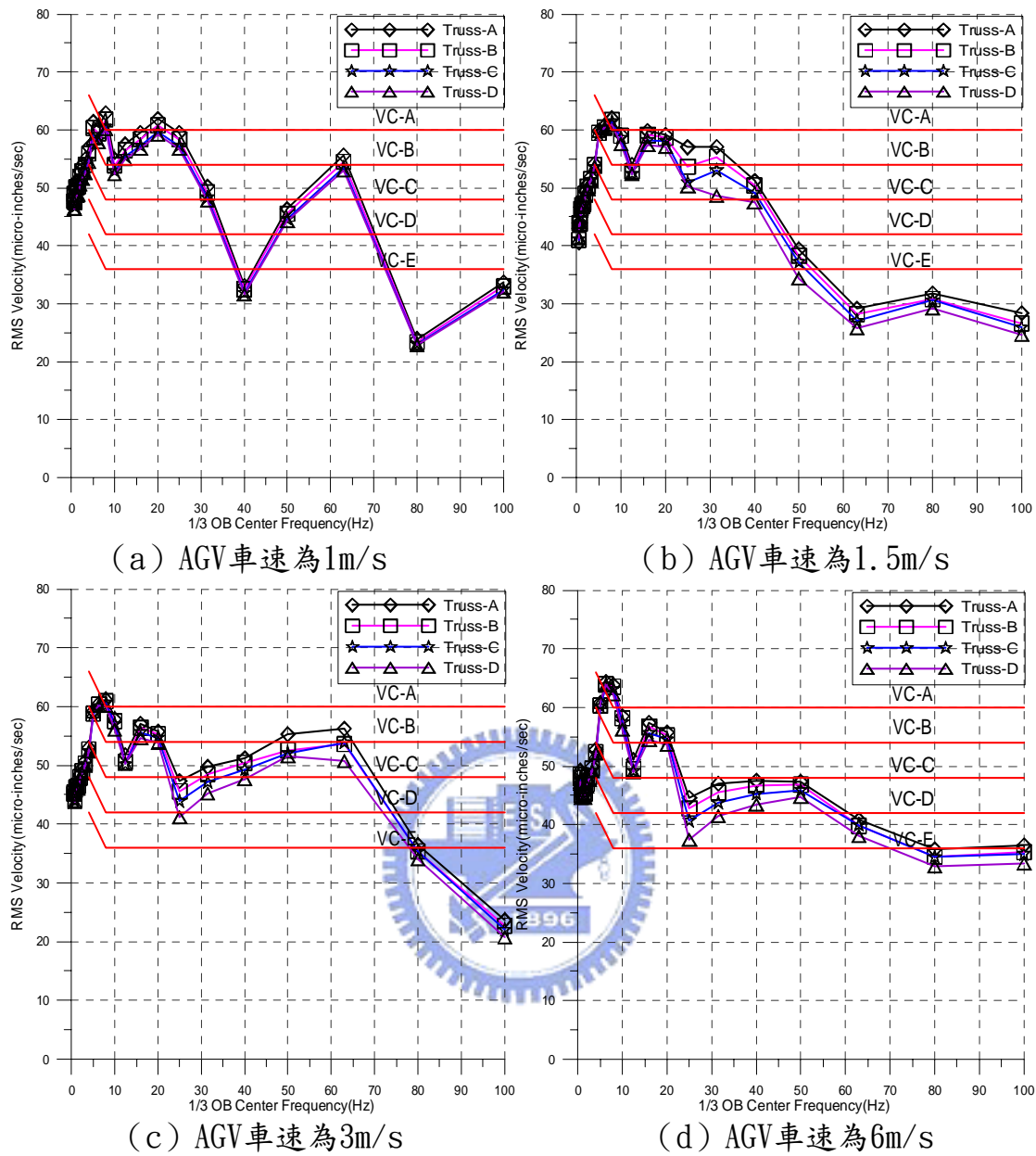
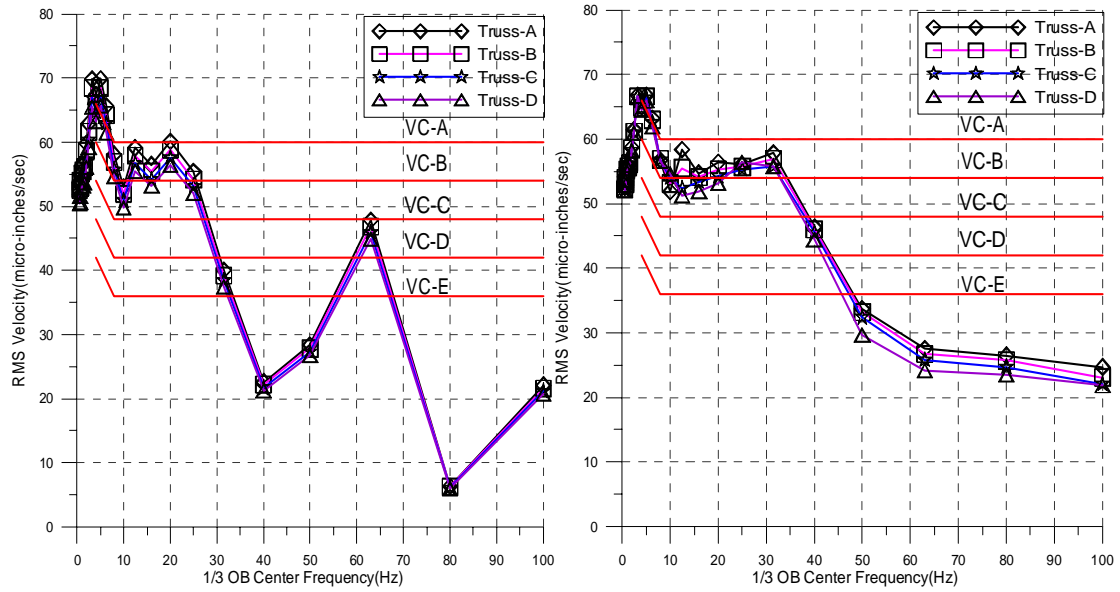


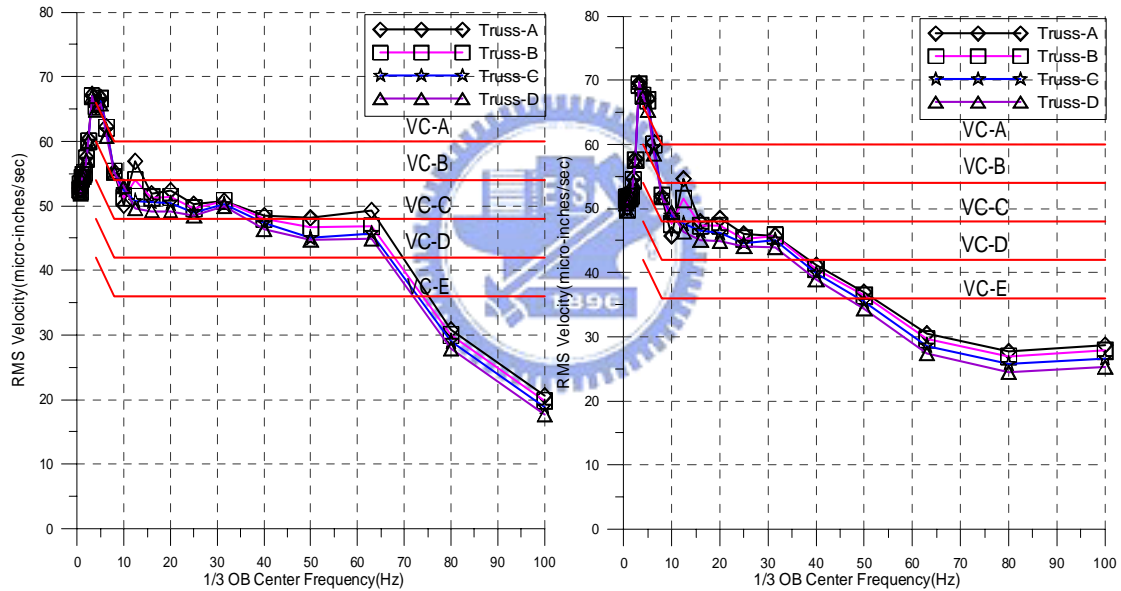
圖3.37 Retrofit-A結構補強架構下  
 不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
 (等速方面)(span=14.4m weight=3ton)





(a) AGV車速為1m/s

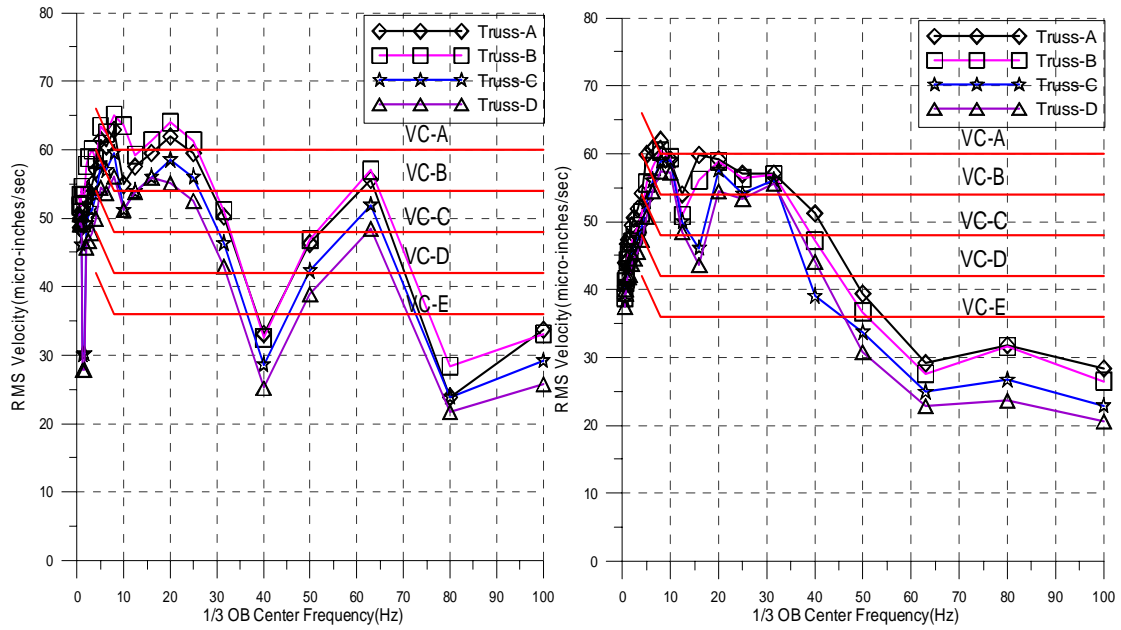
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

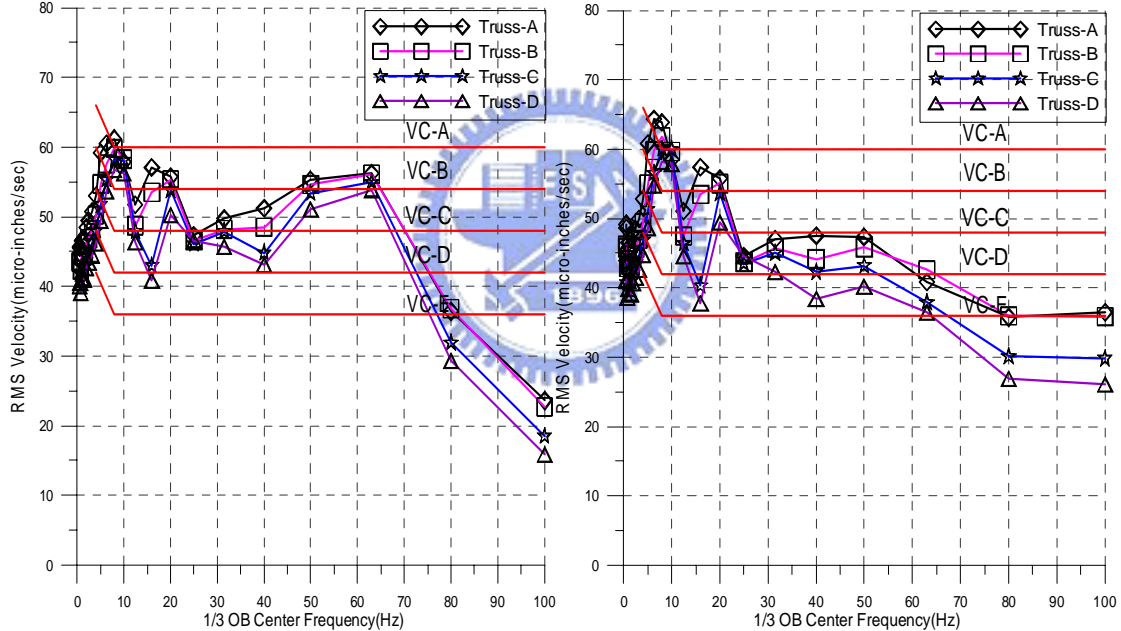
(d) AGV車速為6m/s

圖3.38 Retrofit-A結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(等速方面)(span=19.2m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

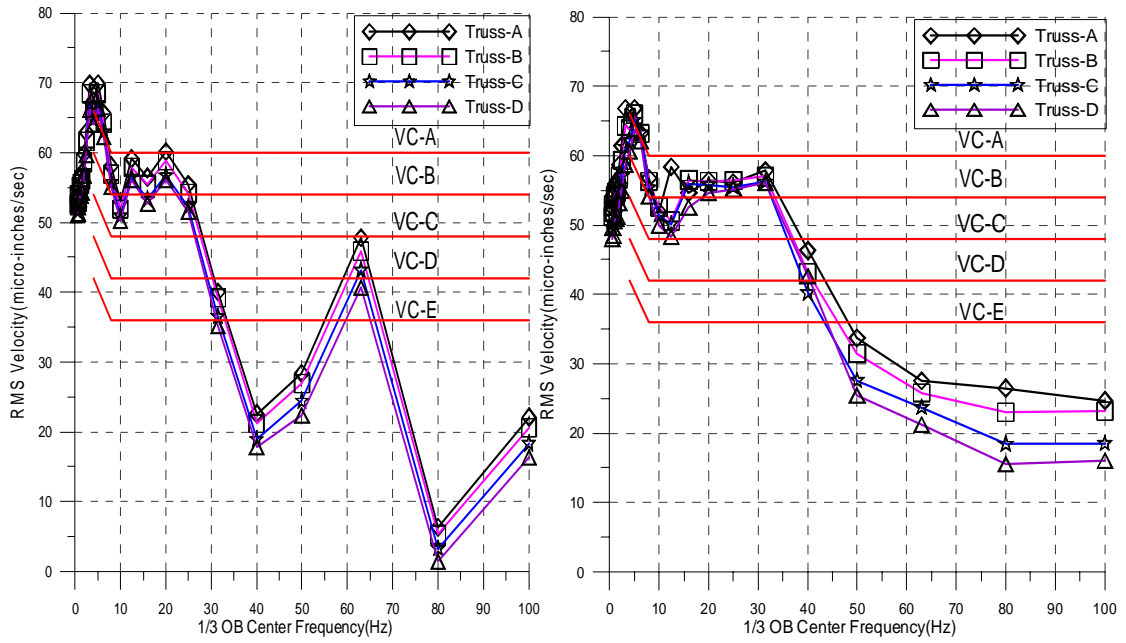
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

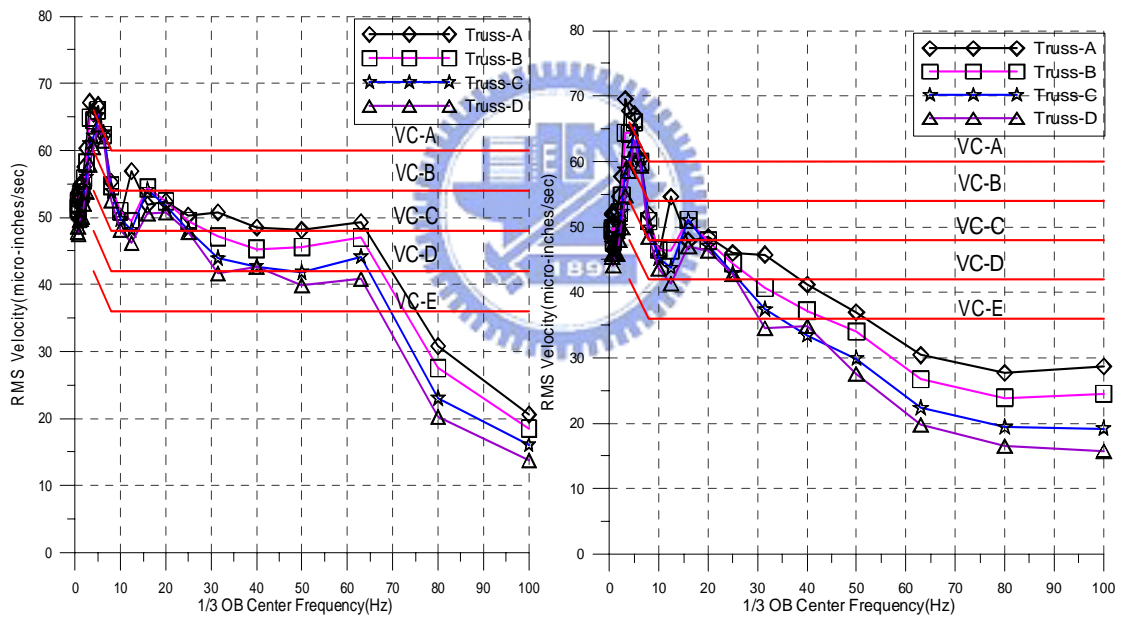
(d) AGV車速為6m/s

圖3.39 Retrofit-B結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(等速方面) (span=14.4m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

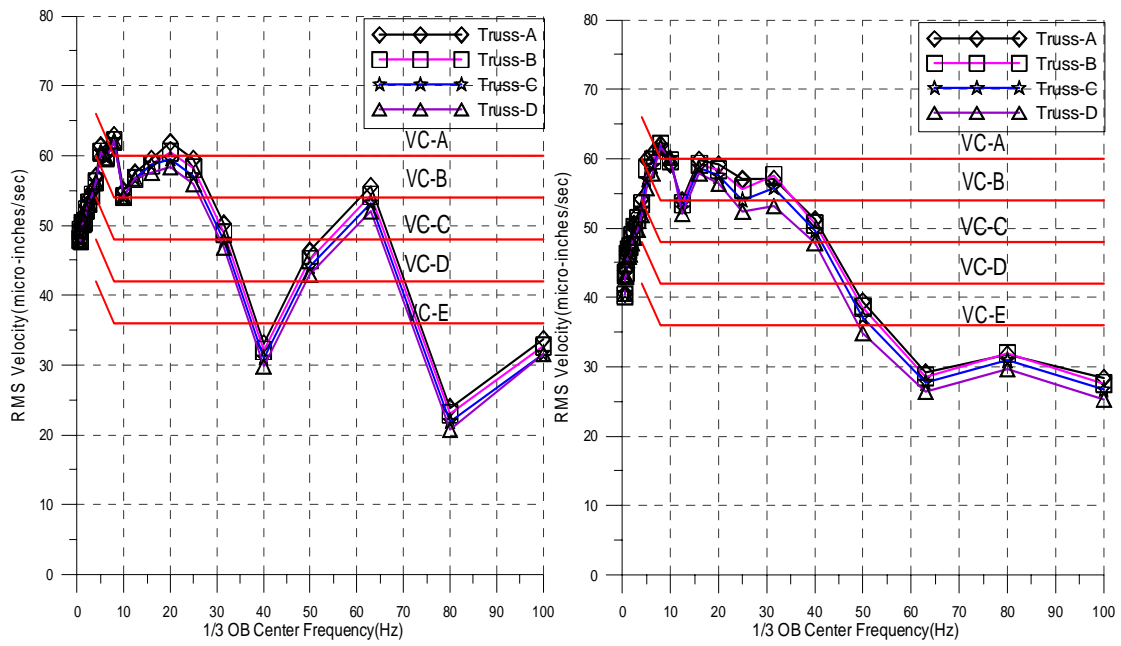
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

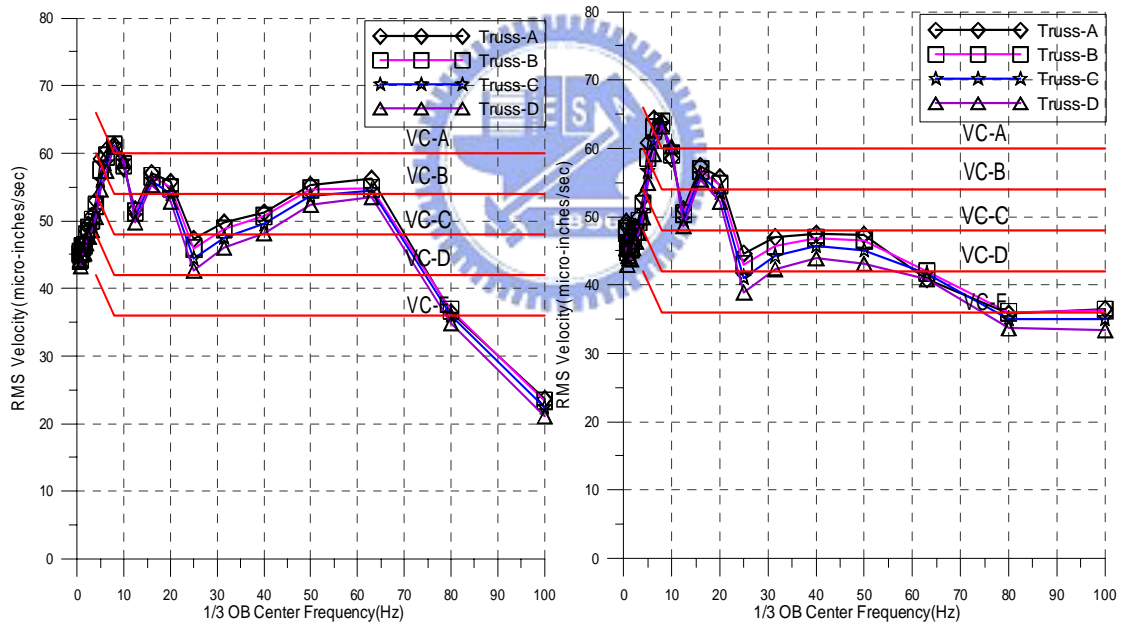
(d) AGV車速為6m/s

圖3.40 Retrofit-B結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(等速方面) (span=19.2m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

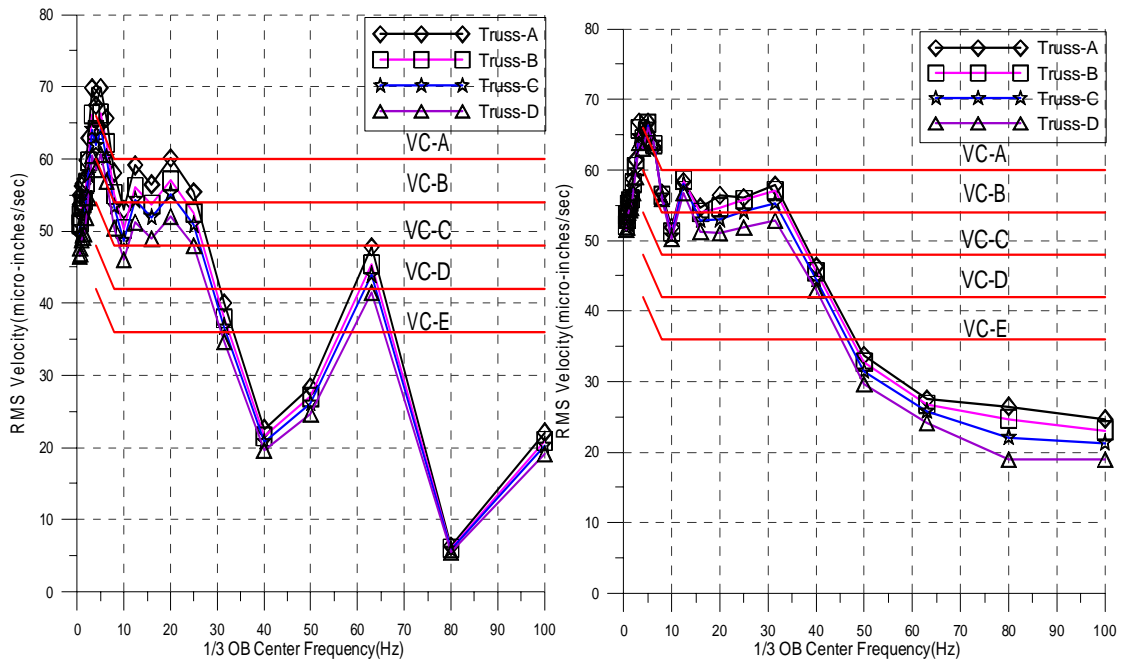
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

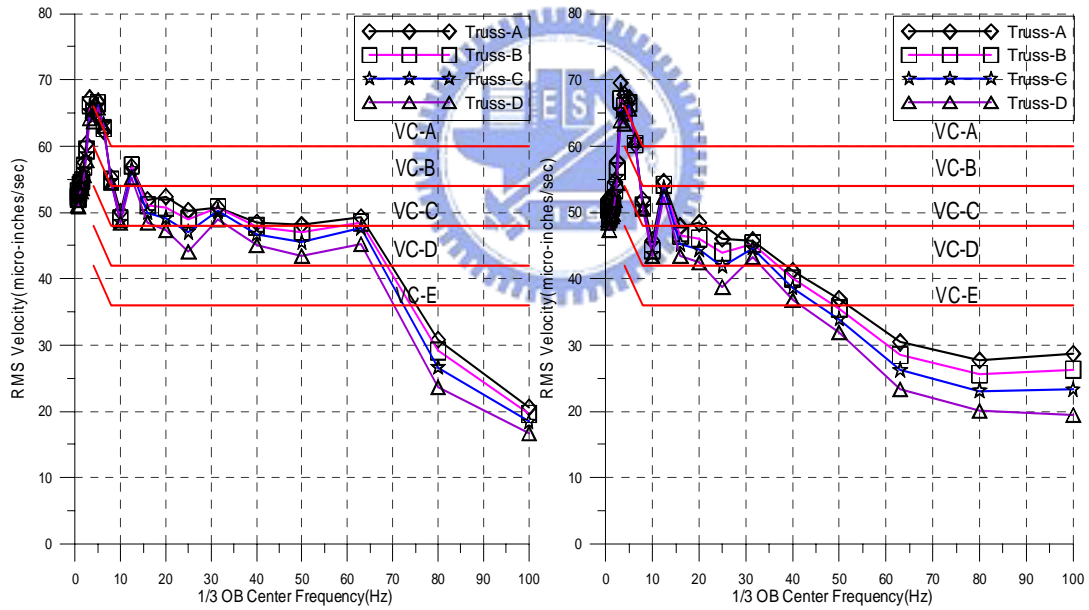
(d) AGV車速為6m/s

圖3.41 Retrofit-C結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(等速方面) (span=14.4m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

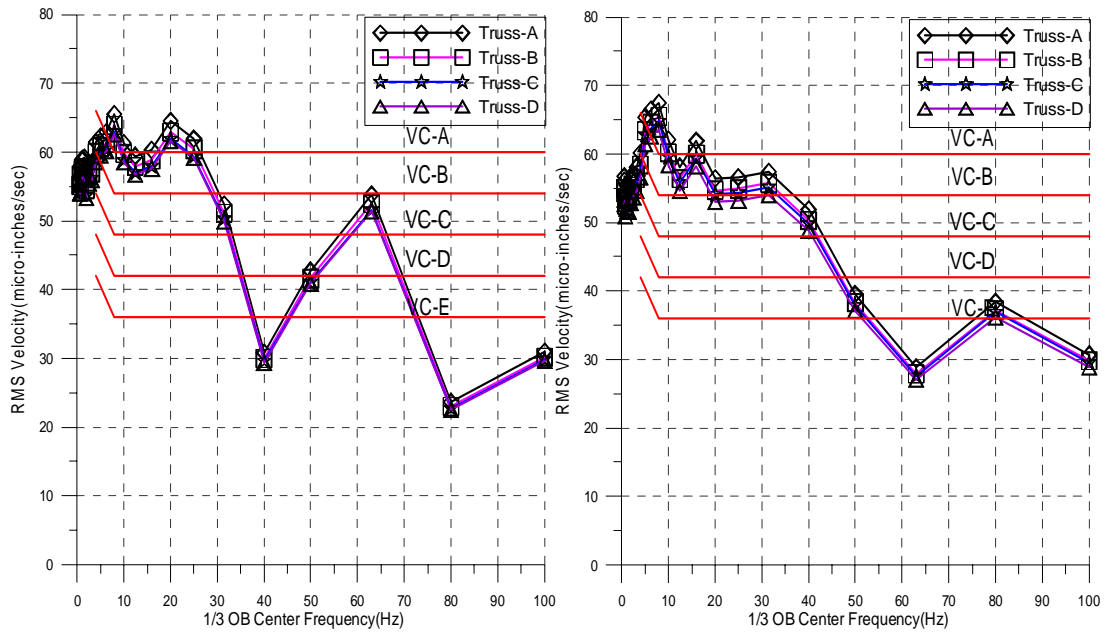
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

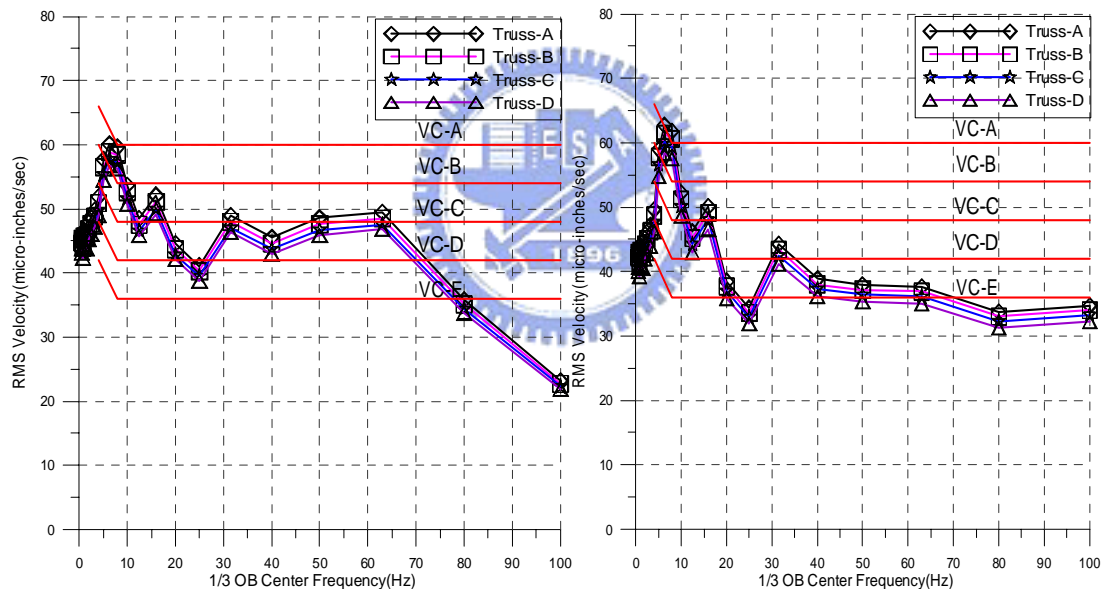
(d) AGV車速為6m/s

圖3.42 Retrofit-C結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(等速方面)(span=19.2m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

(d) AGV車速為6m/s

圖3.43 Retrofit-A結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(煞車方面) (span=14.4m weight=3ton)

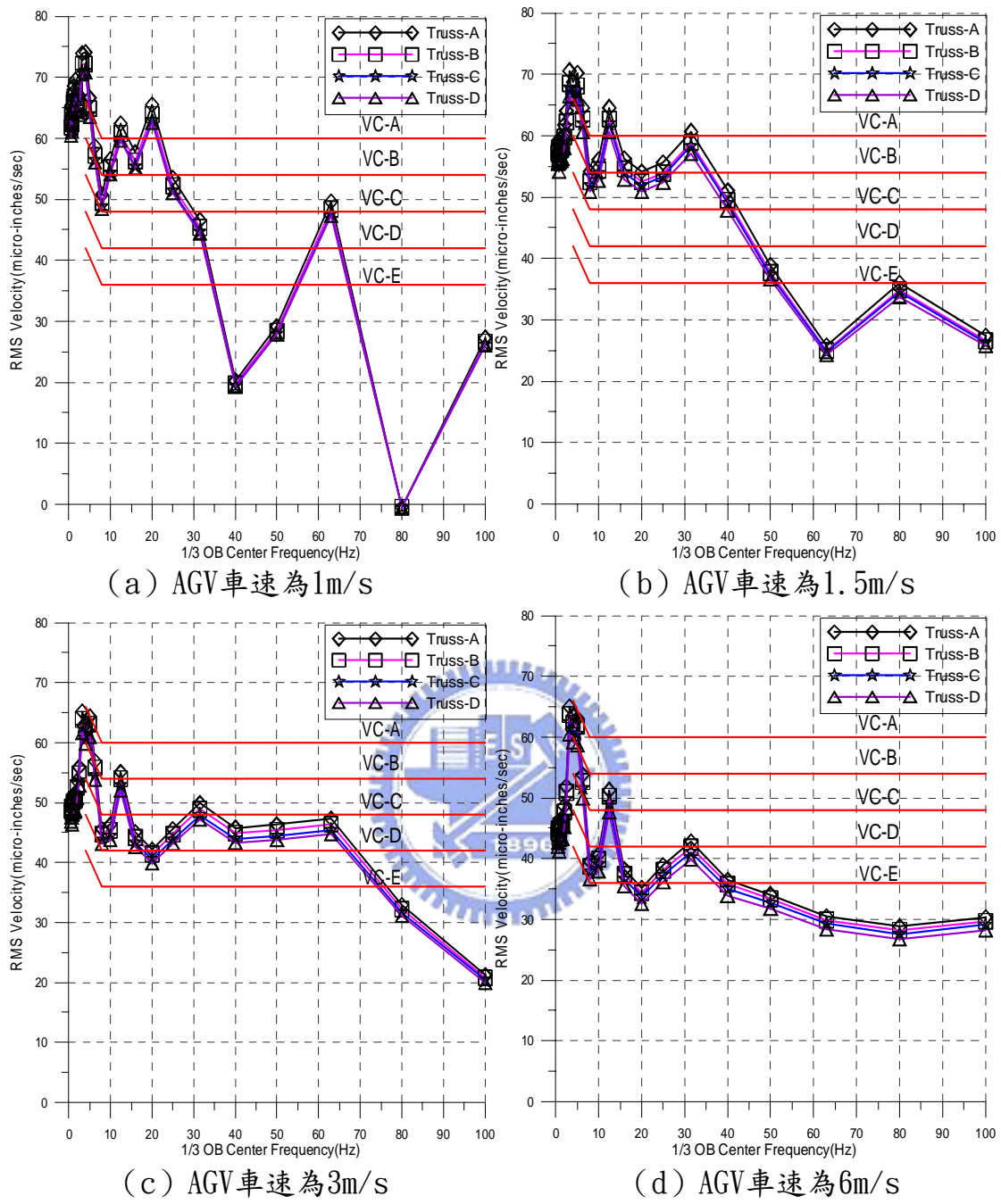


圖3.44 Retrofit-A結構補強架構下  
 不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
 (煞車方面) (span=19.2m weight=3ton)



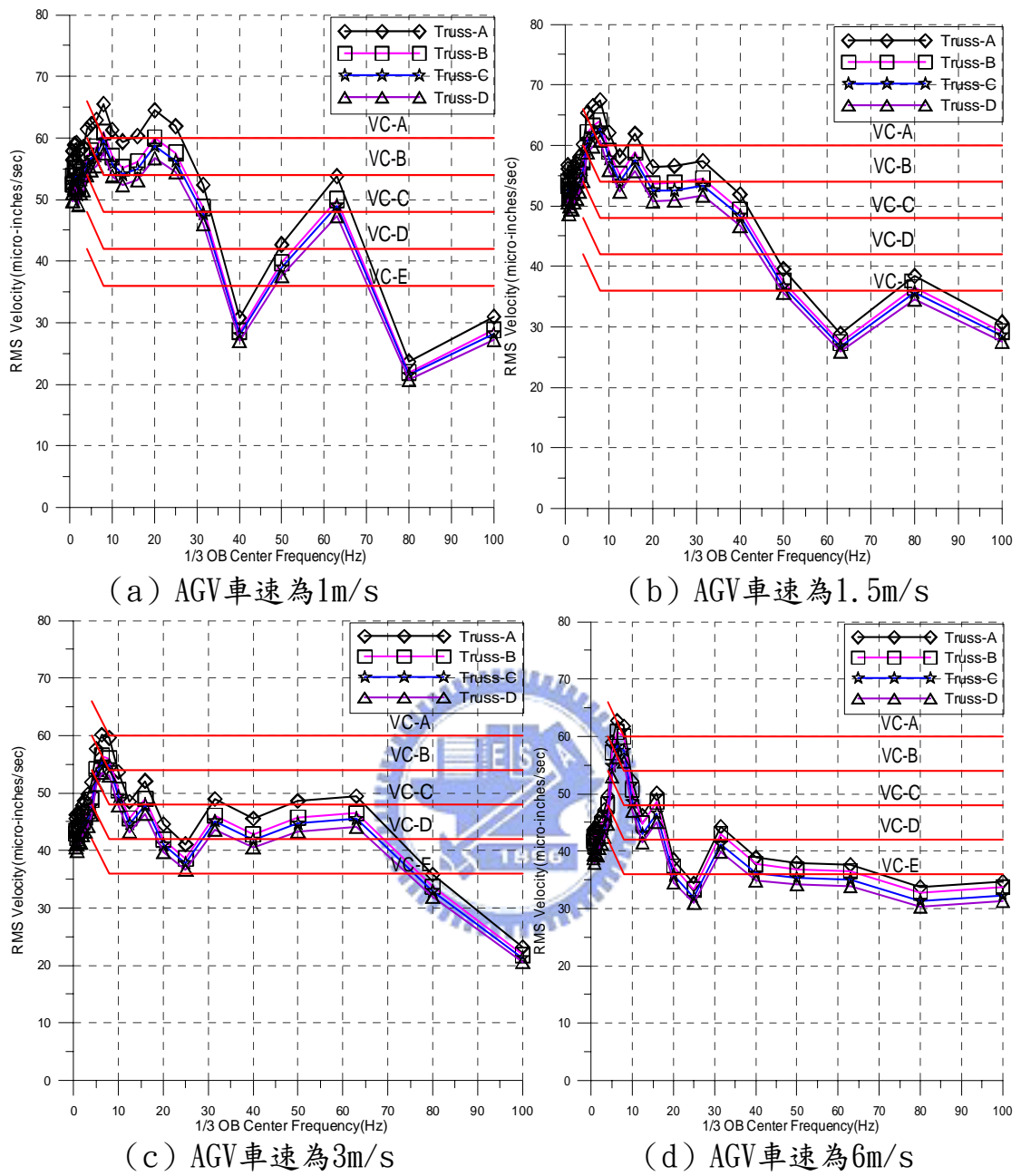
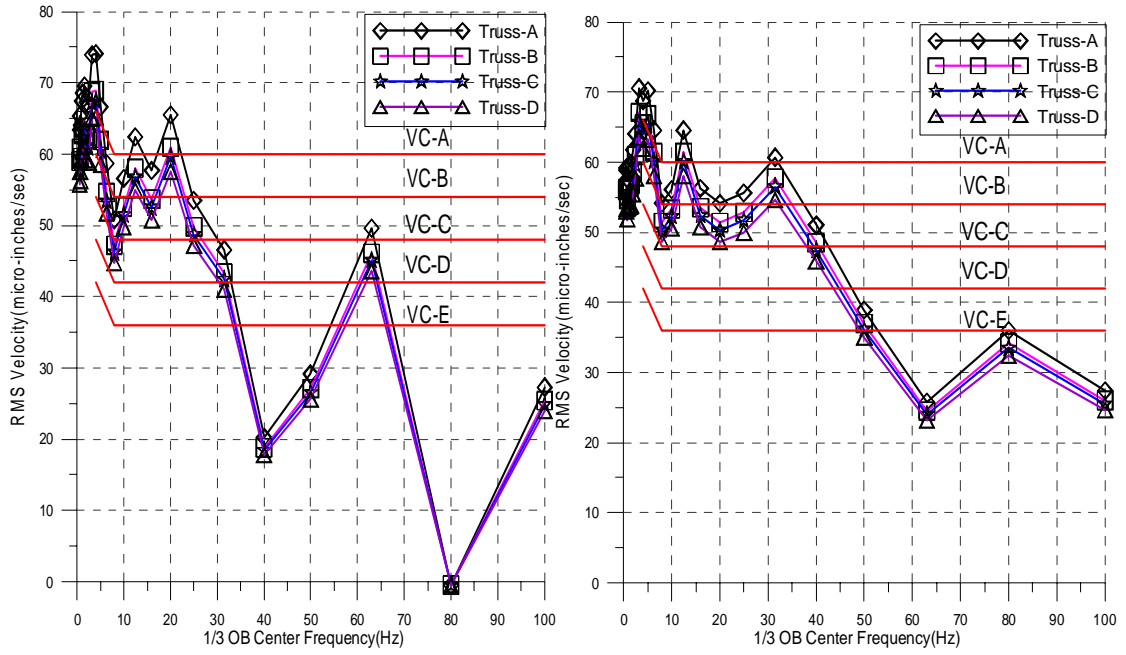
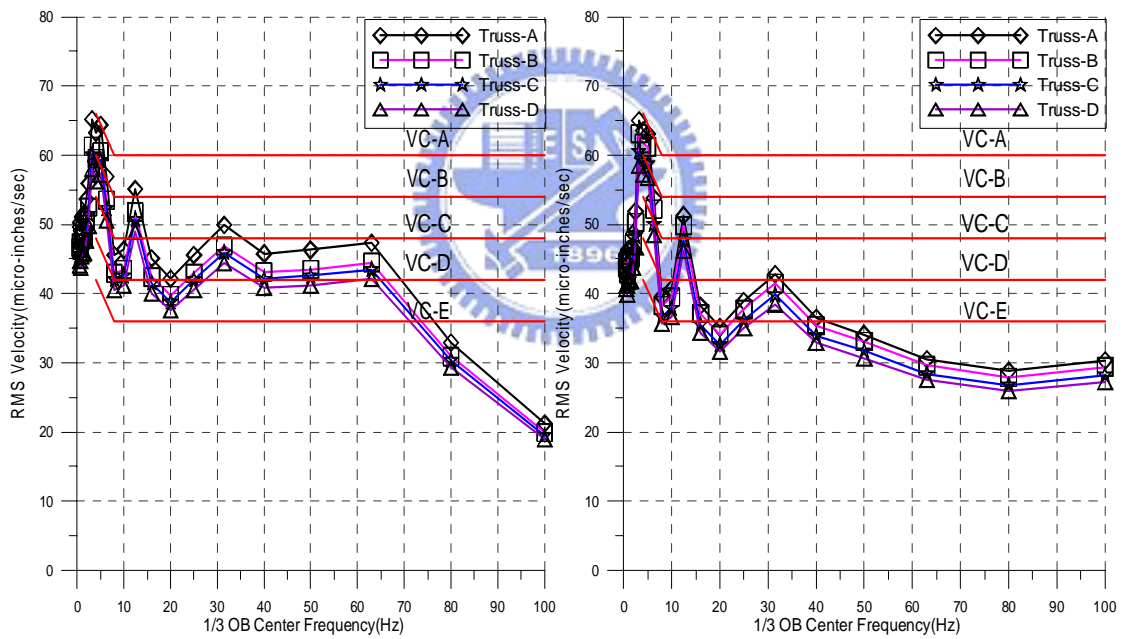


圖3.45 Retrofit-B結構補強架構下  
 不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
 (煞車方面) (span=14.4m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

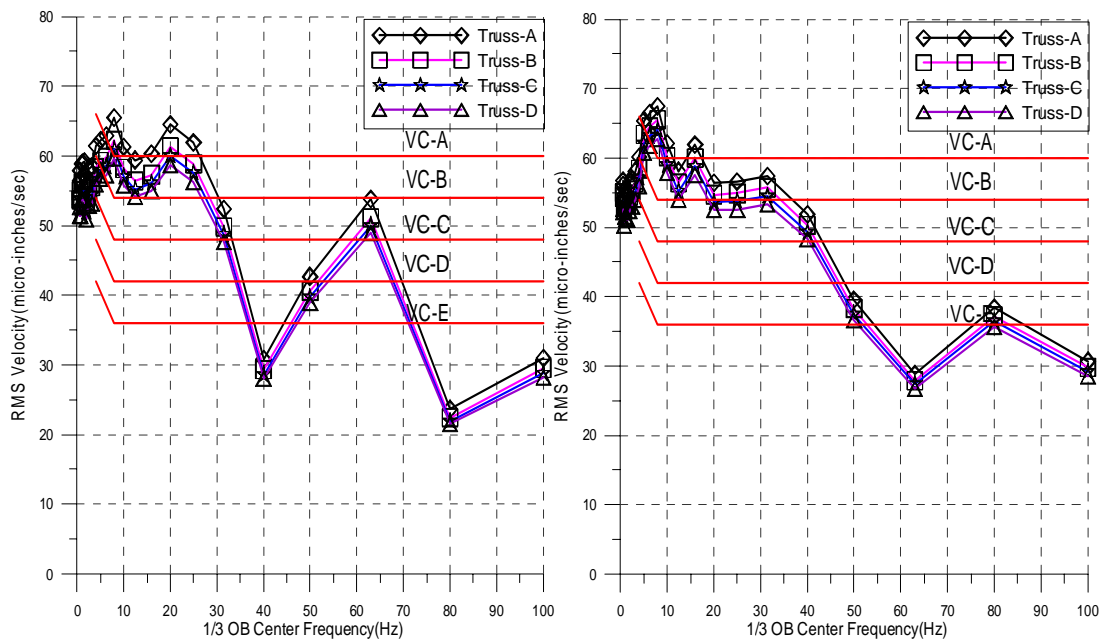
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

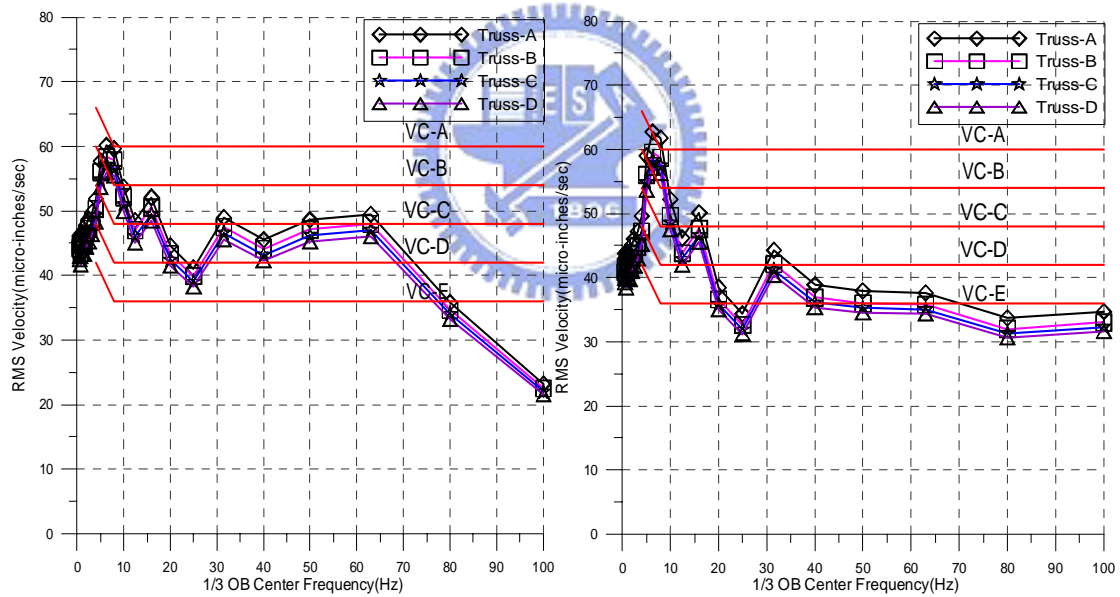
(d) AGV車速為6m/s

圖3.46 Retrofit-B結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(煞車方面) (span=19.2m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

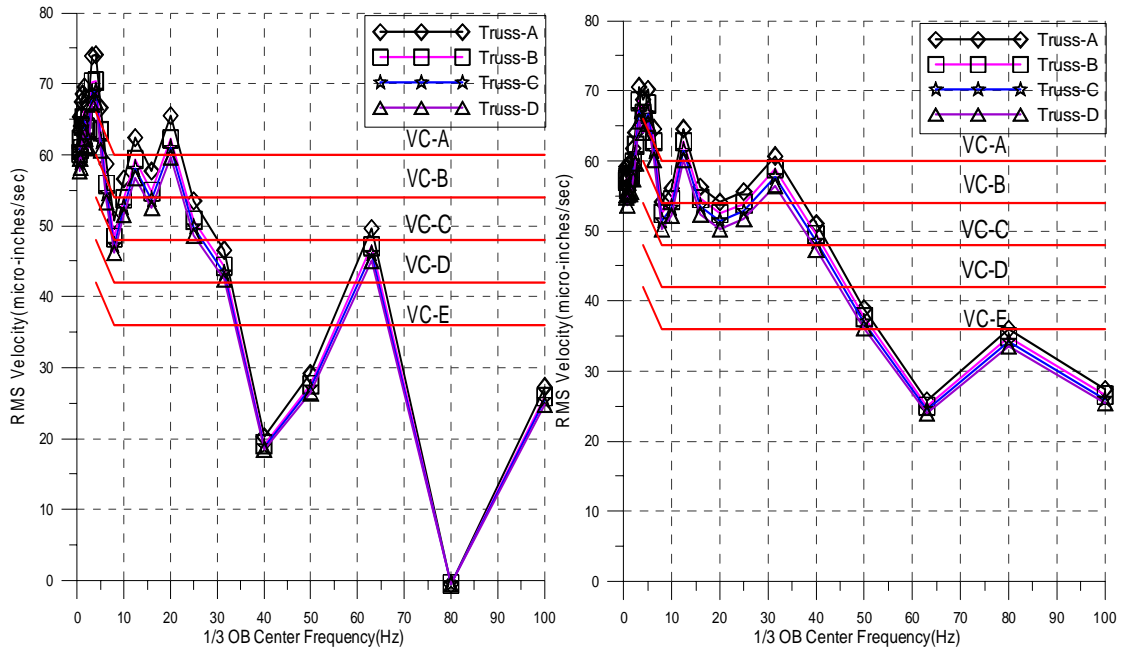
(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

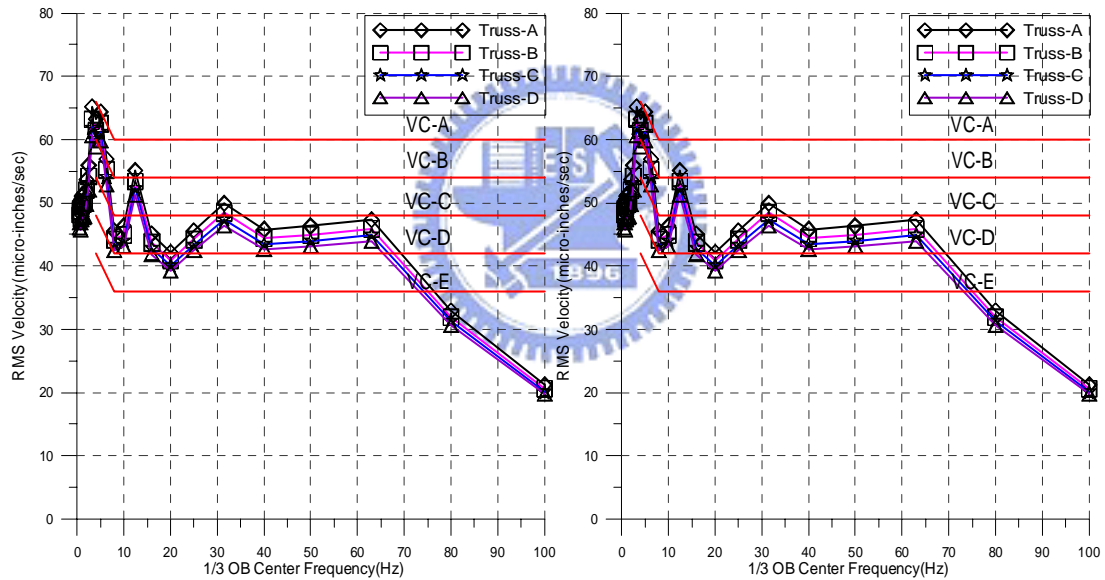
(d) AGV車速為6m/s

圖3.47 Retrofit-C結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(煞車方面) (span=14.4m weight=3ton)



(a) AGV車速為1m/s

(b) AGV車速為1.5m/s



(c) AGV車速為3m/s

(d) AGV車速為6m/s

圖3.48 Retrofit-C結構補強架構下  
不同鋁桁架尺寸局部補強分析結果比較  
(煞車方面) (span=19.2m weight=3ton)

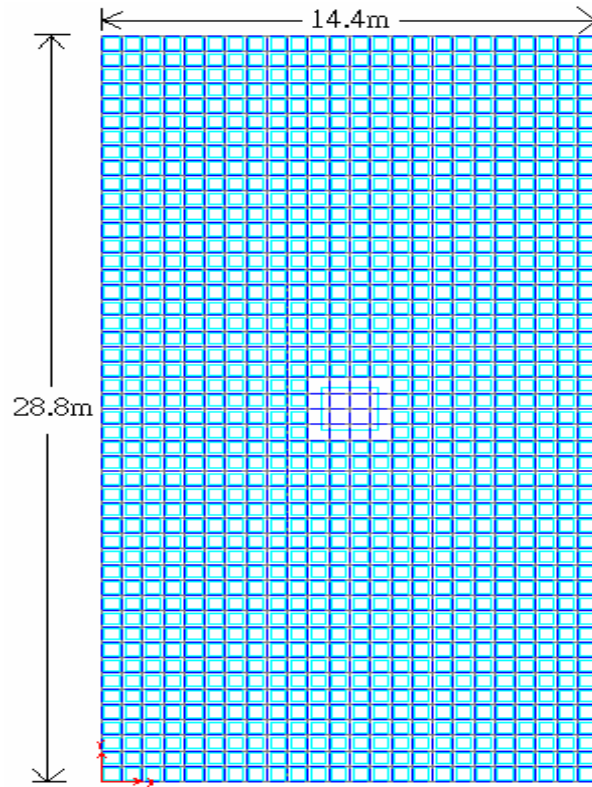


圖4.1 高科技廠房平面結構尺寸

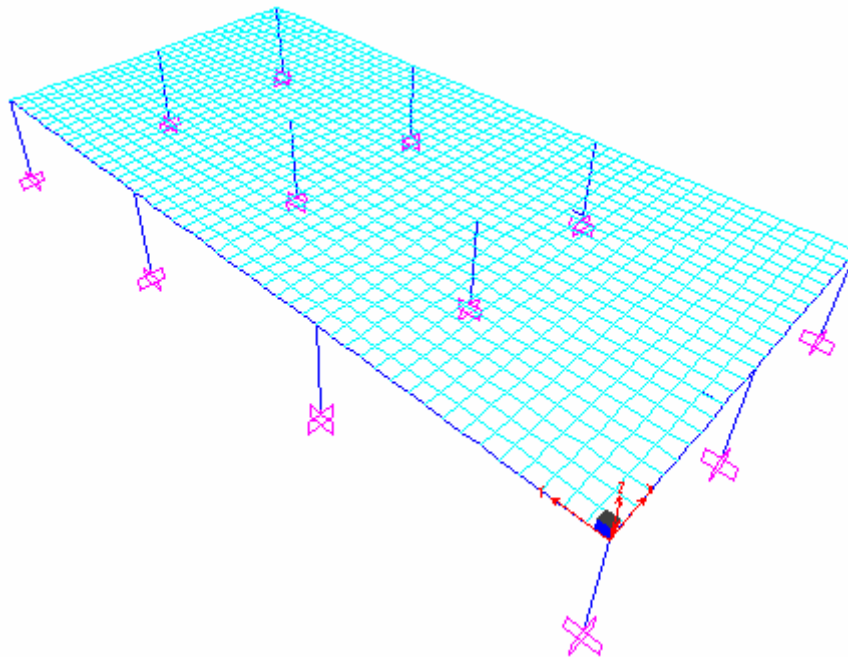


圖4.2 高科技廠房局部Sap2000模型

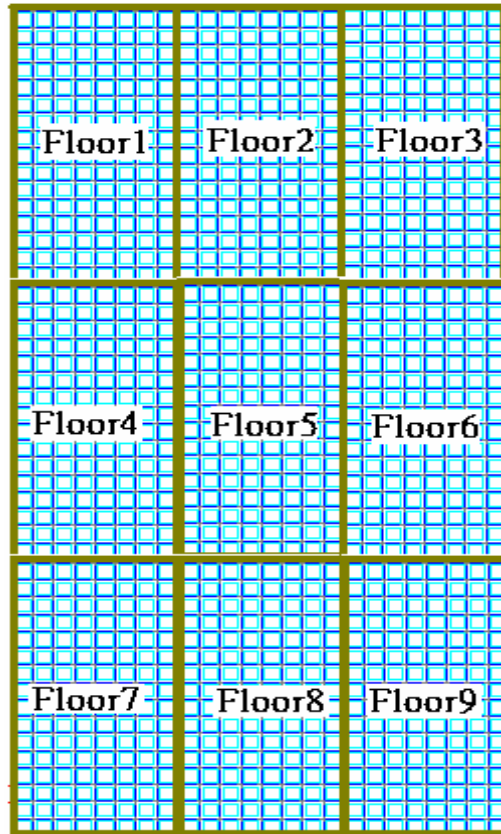


圖4.3 結構樓版畫分區域位置圖

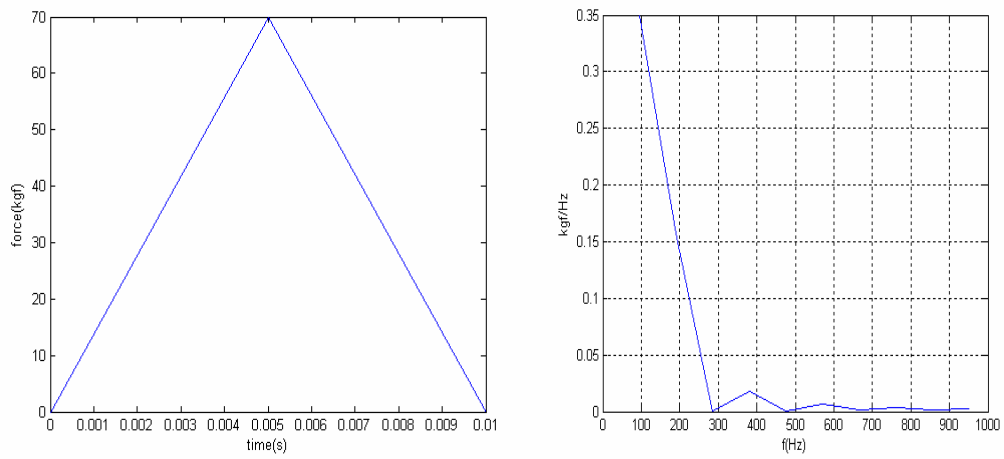


圖4.4 模擬衝擊力

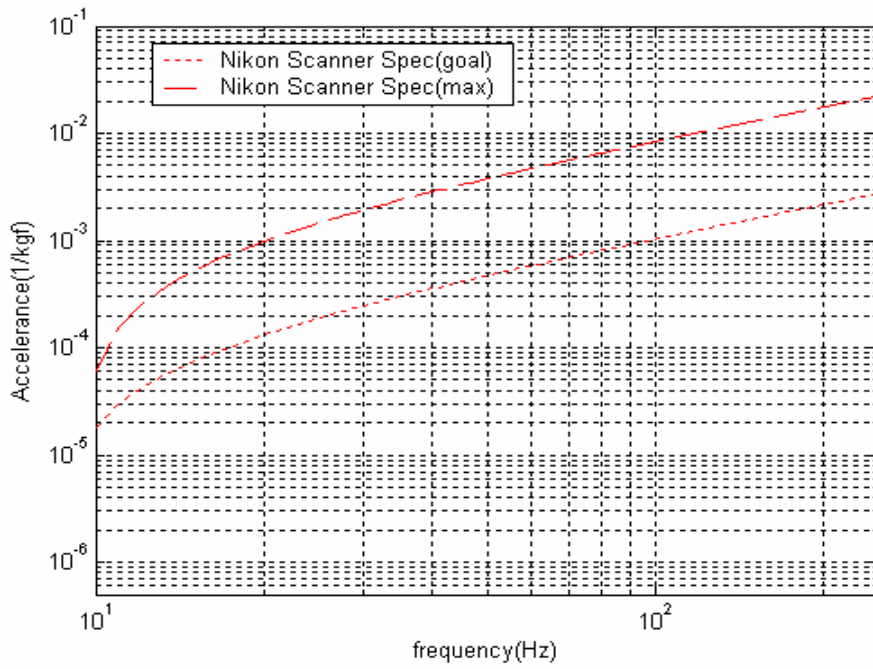


圖4.5 Nikon掃描機之Accelerance反應規格

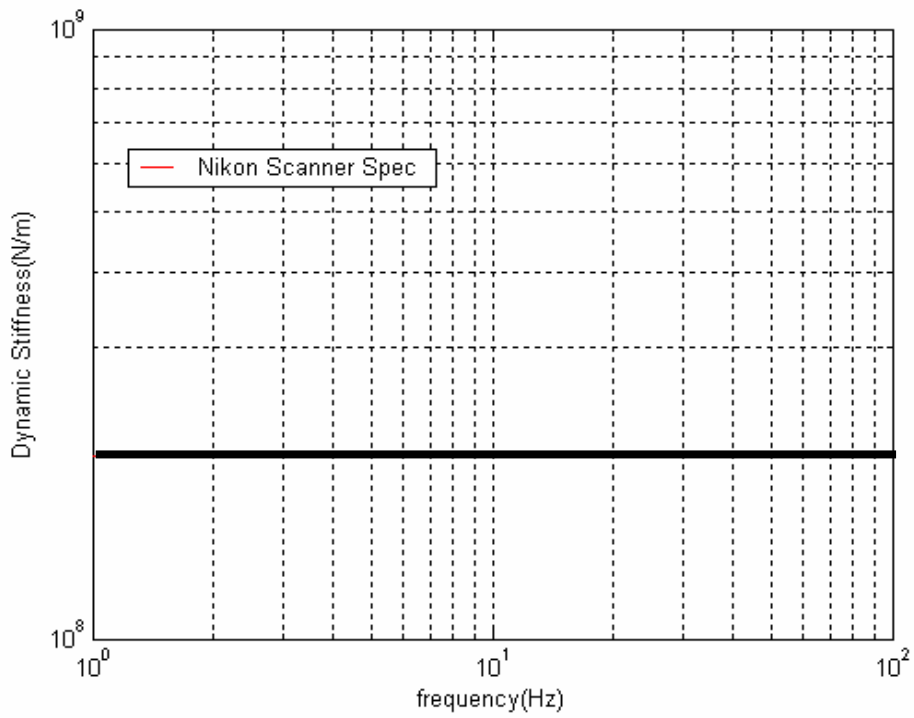


圖4.6 Nikon掃描機之動態剛度規格



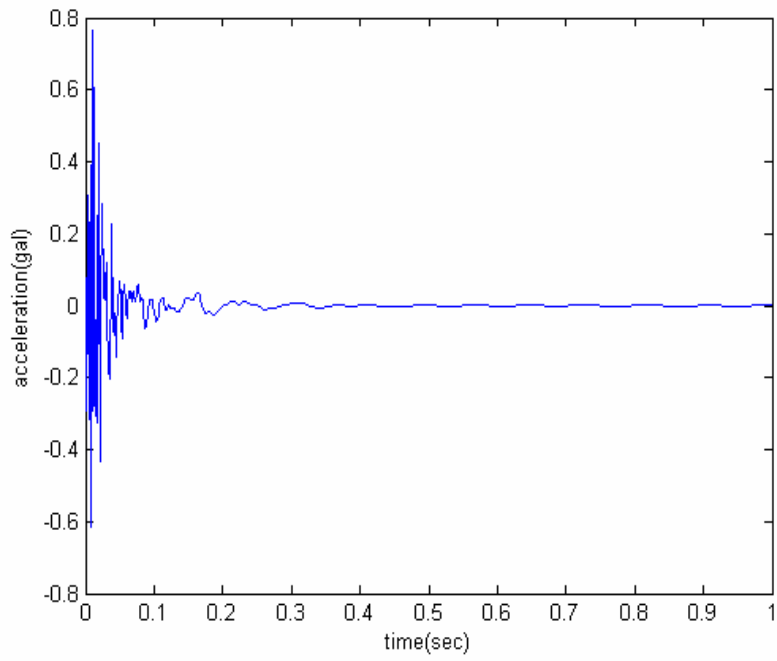


圖4.7 Floor1加速度歷時圖

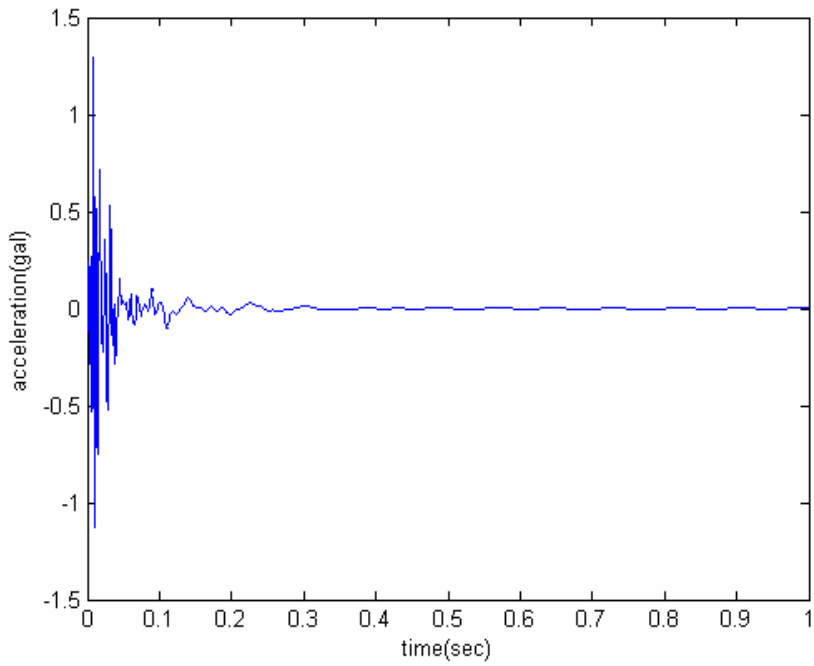


圖4.8 Floor2加速度歷時圖

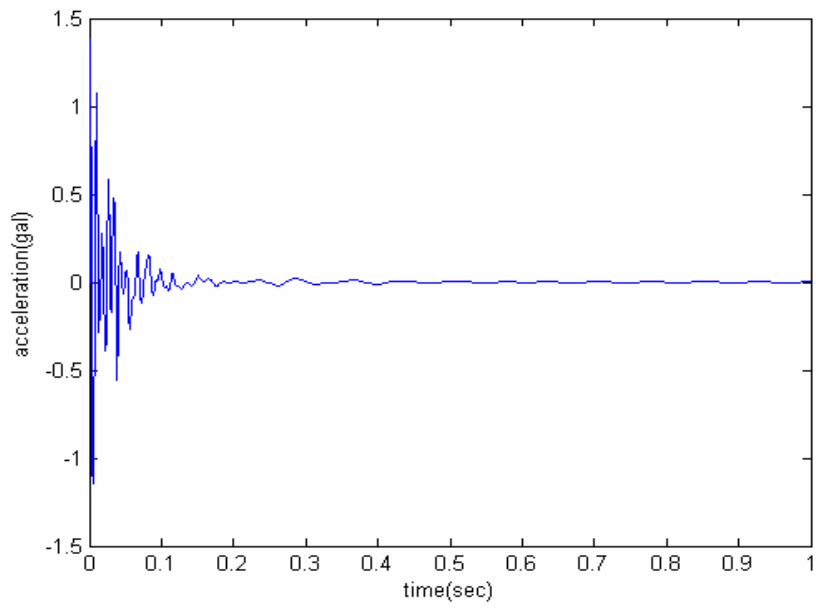


圖4.9 Floor4加速度歷時圖

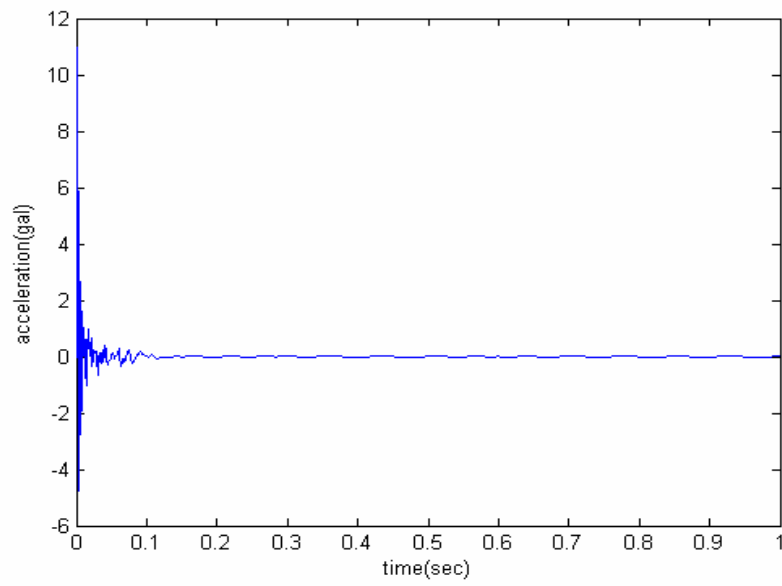


圖4.10 Floor5加速度歷時圖

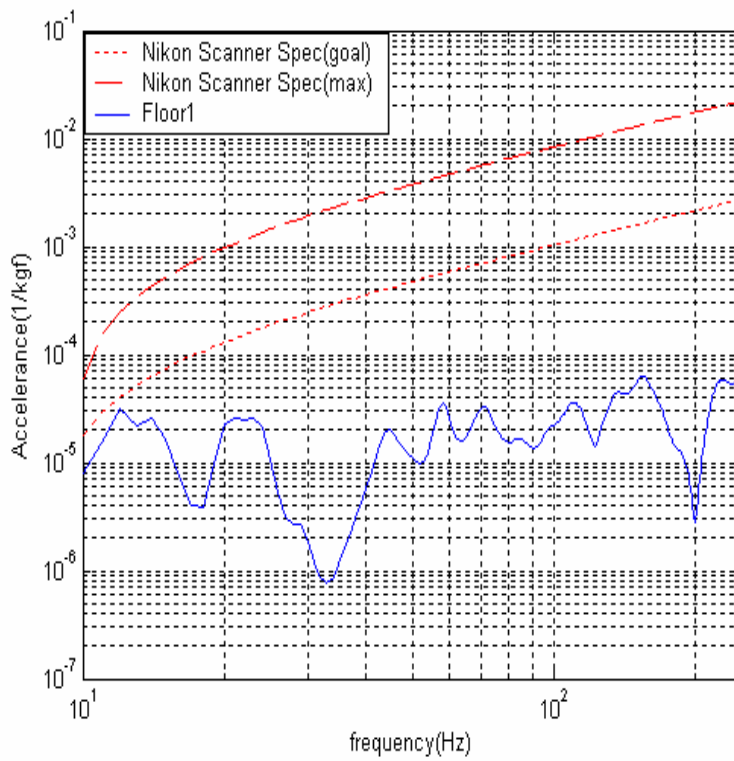


圖4.11 區域Floor1樓版Accelerance反應

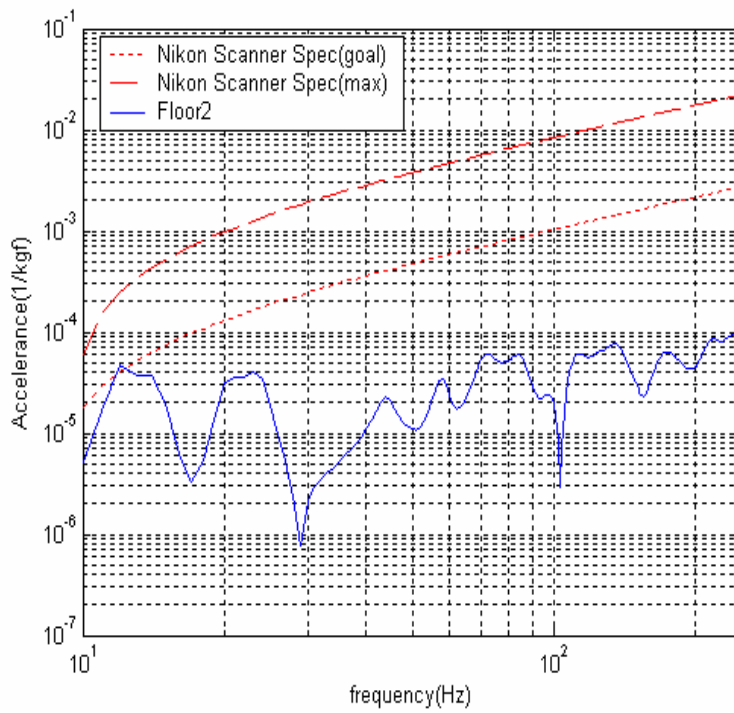


圖4.12 區域Floor2樓版Accelerance反應

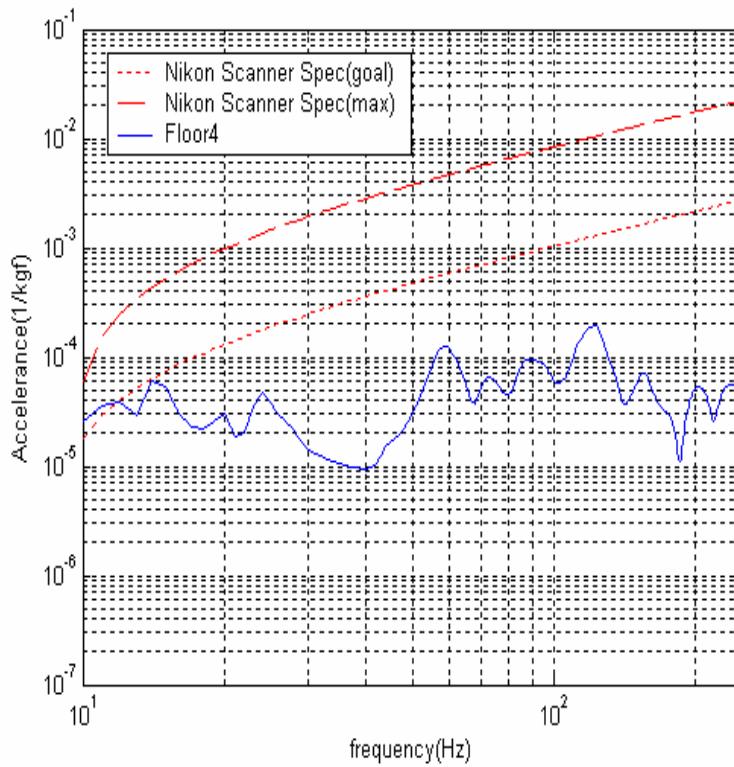


圖4.13 區域Floor4樓版Accelerance反應

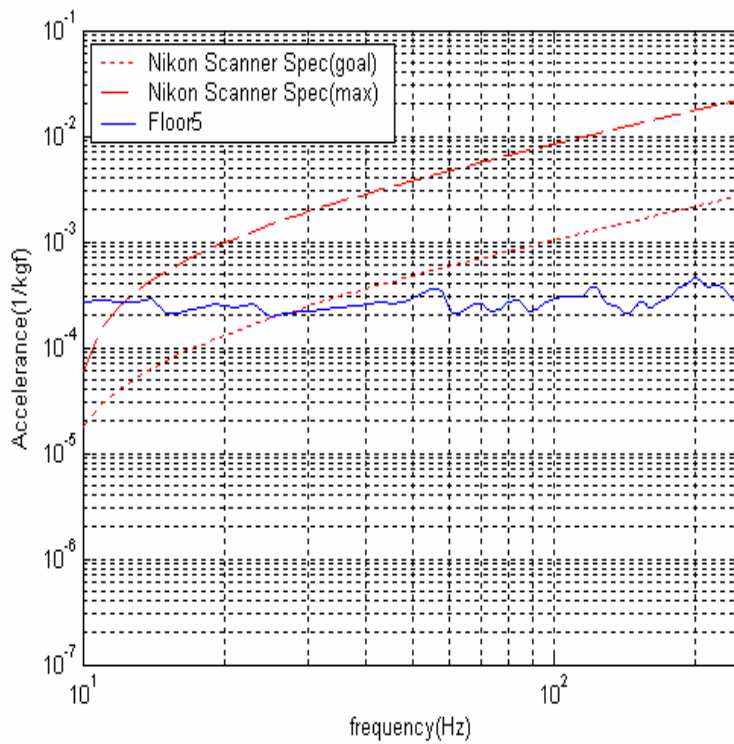


圖4.14 區域Floor5樓版 Accelerance反應

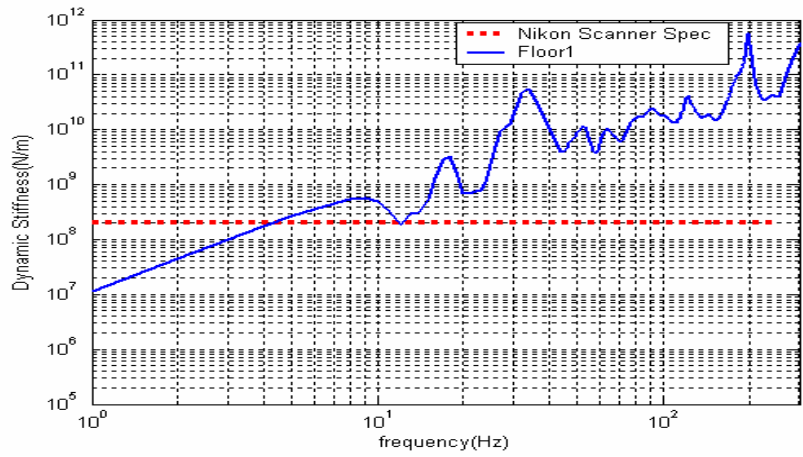


圖4.15 區域Floor1樓版動態剛度反應

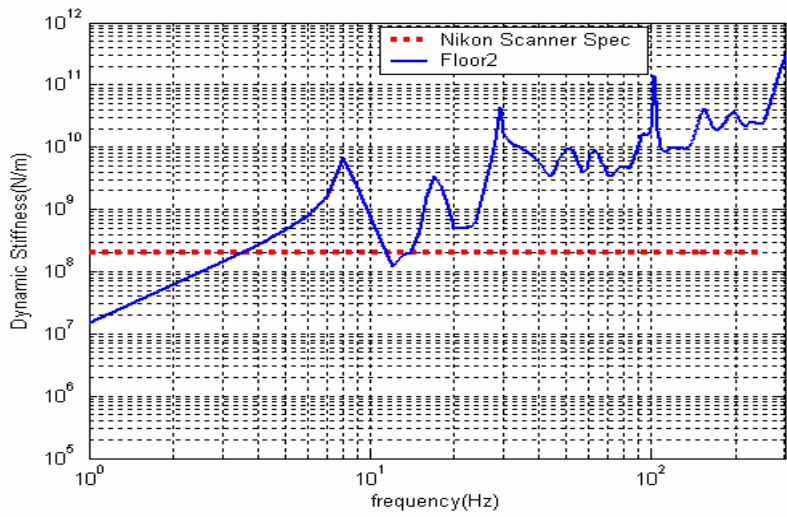


圖4.16 區域Floor2樓版動態剛度反應

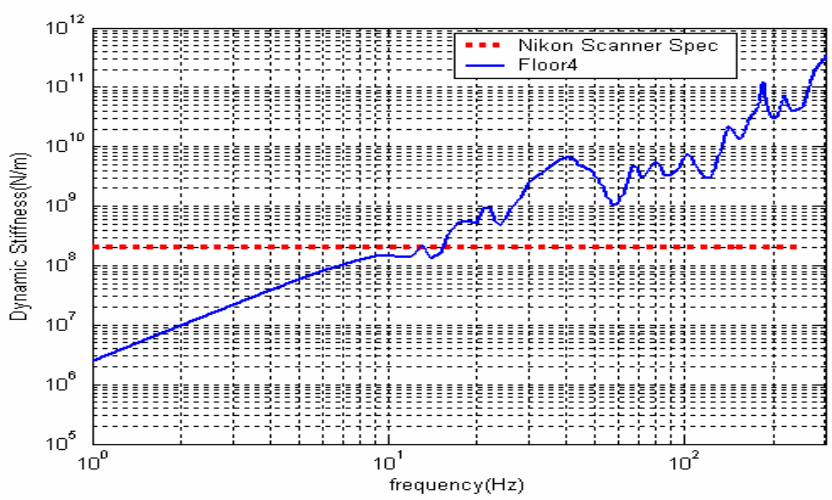


圖4.17 區域Floor4樓版動態剛度反應

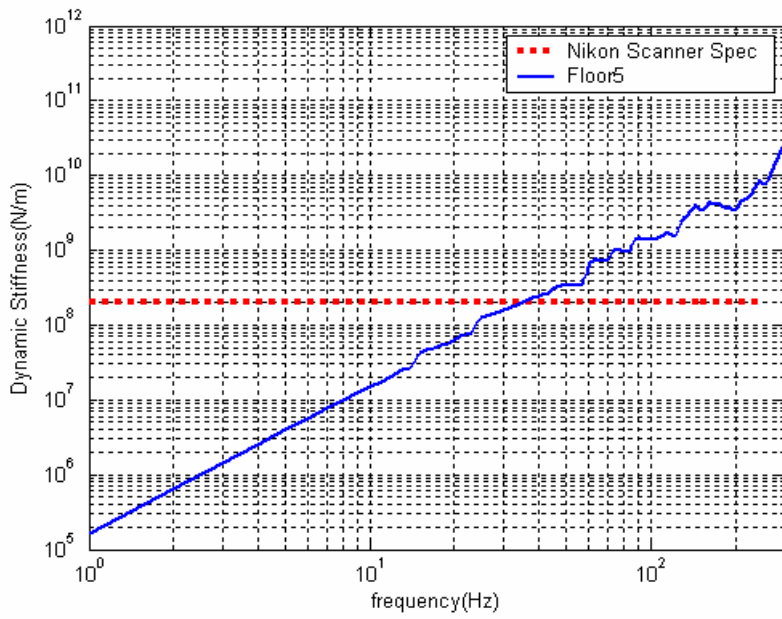


圖4.18 區域Floor5樓版動態剛度反應

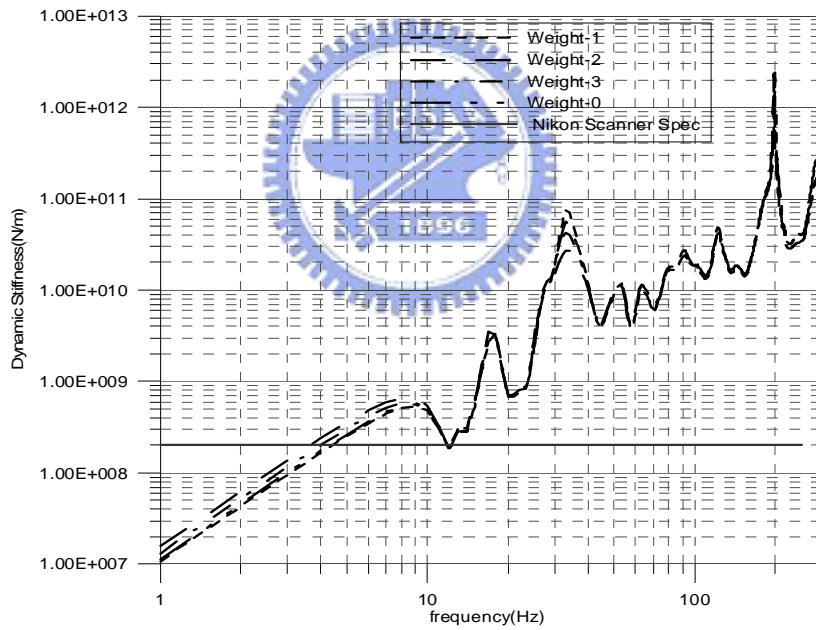


圖 4.19 區域 Floor1 設備重量對樓版動態剛度影響

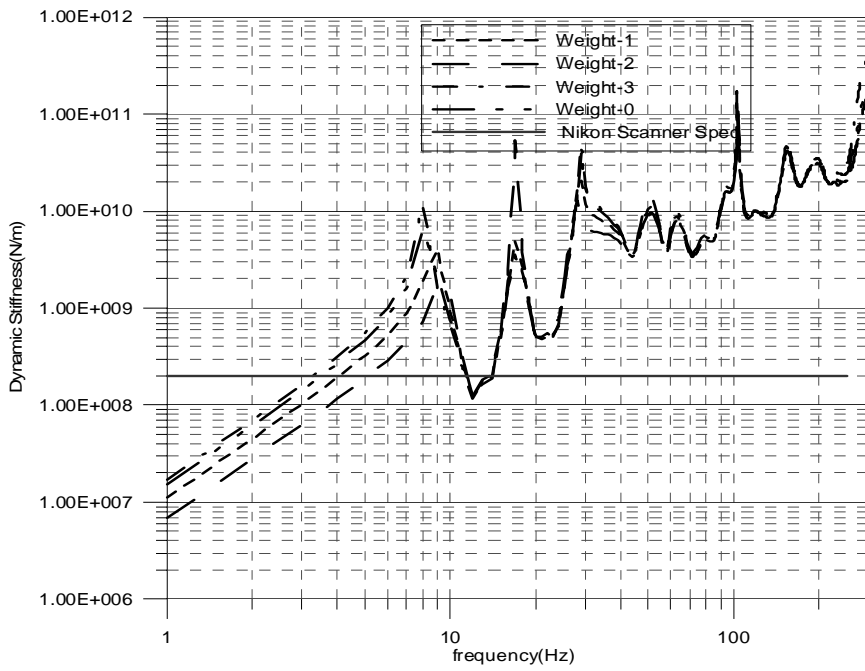


圖 4.20 區域 Floor2 設備重量對樓版動態剛度影響

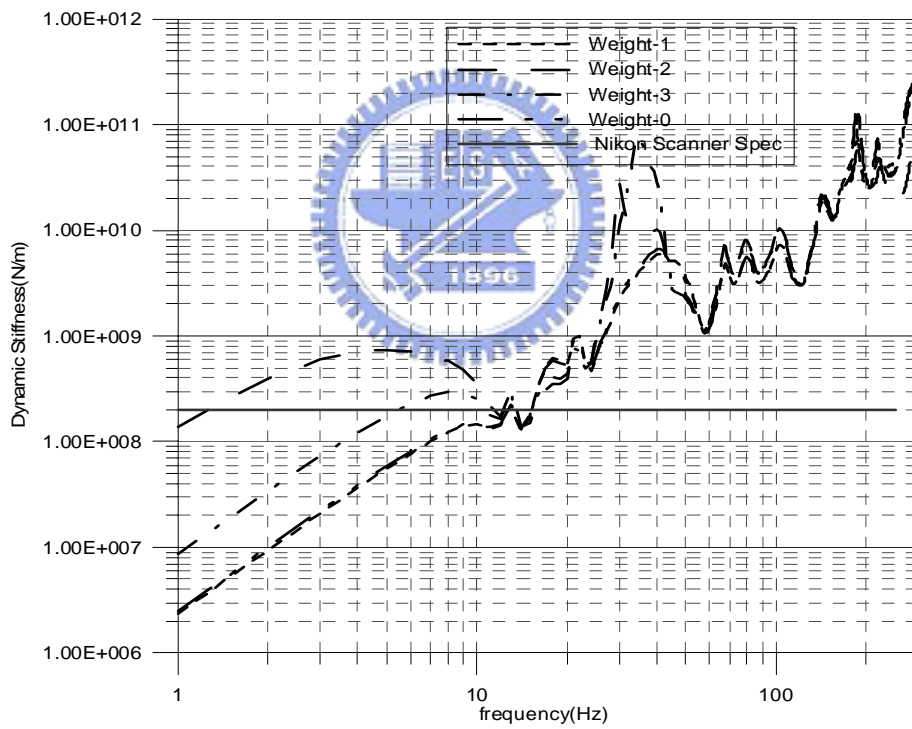


圖 4.21 區域 Floor4 設備重量對樓版動態剛度影響



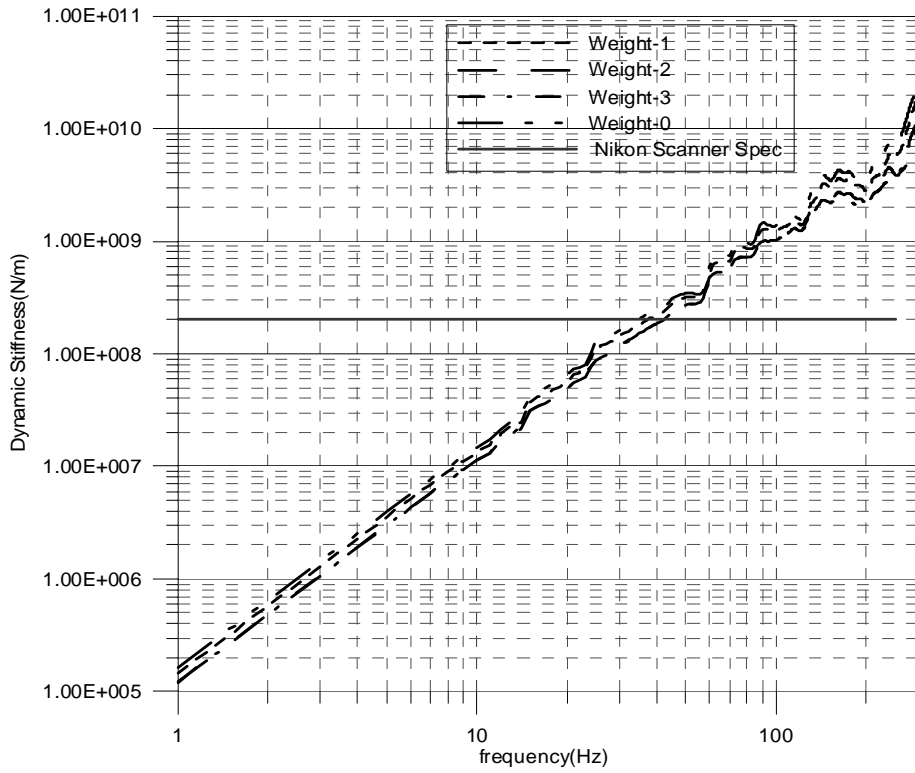


圖 4.22 區域 Floor5 設備重量對樓版動態剛度影響

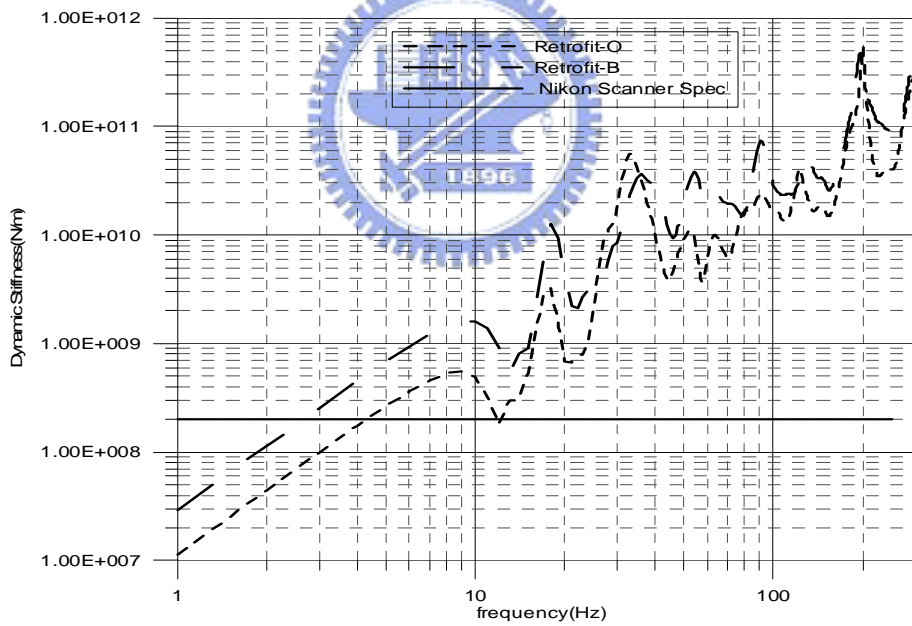


圖 4.23 區域 Floor1 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較

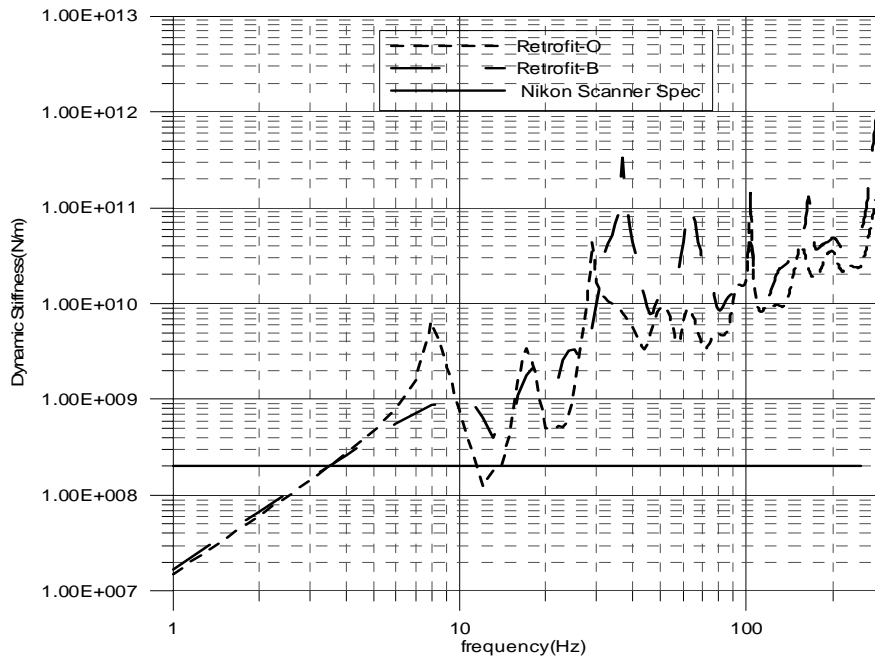


圖 4.24 區域 Floor2 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較

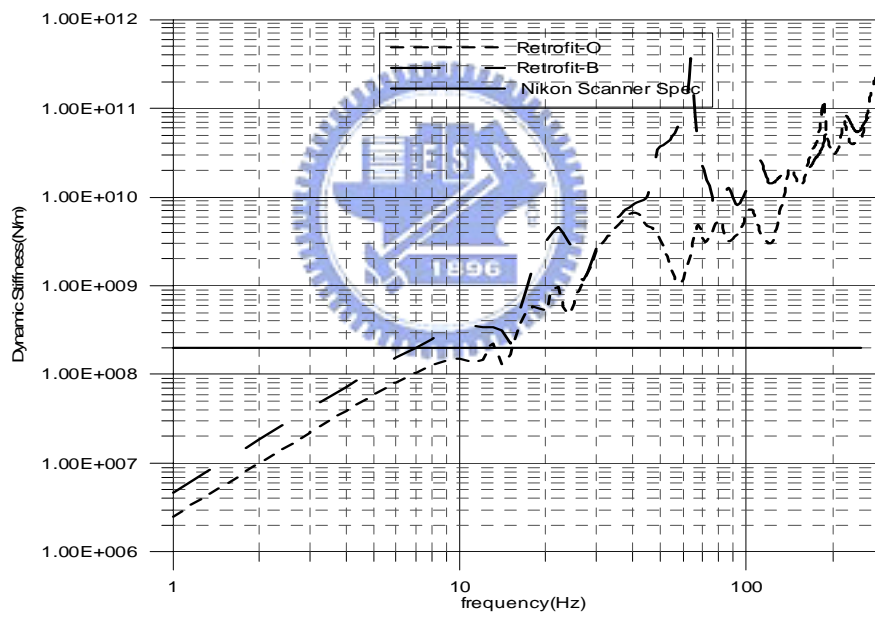


圖 4.25 區域 Floor4 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較

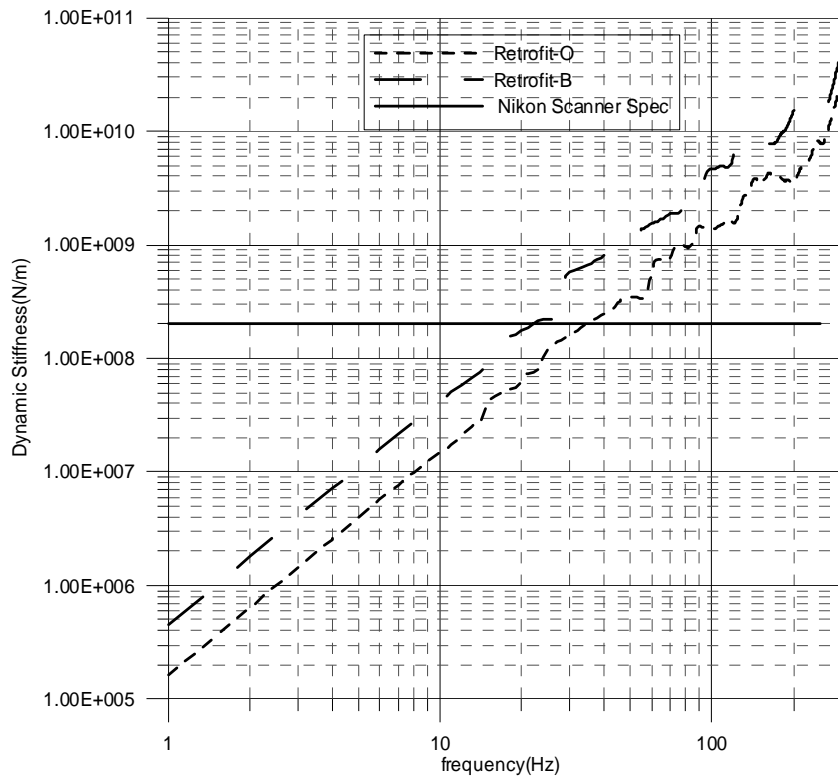


圖 4.26 區域 Floor5 之 Retrofit-B 補強結構與原始結構動態剛度比較

