

國立交通大學

土木工程學系研究所

碩士論文

黏彈性阻尼器之性能驗證與工程應用

Performance Verification and Industrial Application  
of Visco-elastic Dampers

研究生：羅開

指導老師：王彥博 博士

中華民國九十七年七月

黏彈性阻尼器之性能驗證與工程應用

Performance Verification and Industrial Application of  
Visco-elastic Dampers

研究生：羅 開

Student : KAI LUO

指導教授：王彥博 博士

Advisor: Dr. Yen-Po Wang

國立交通大學

土木工程學系碩士班

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

Nation Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Resquirements

For the Degree of

Master of Science

In

Civil Engineering

July 2008

HsinChu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年七月

# 黏彈性阻尼器之性能驗證與工程應用

研究生：羅開

指導教授：王彥博 博士

國立交通大學土木工程研究所

## 摘要

本研究主要探討以日本 BC Tech 發展之高分子橡膠作為 VE 制震壁核心構材的可行性，以及未來工程應用所須完備之相關驗證工作，包括材料性能測試、實尺寸制震壁元件測試以及耐震性能試驗等。此外，為評估 VE 制震壁應用於高樓抗風減振之可行性，本研究亦選擇一規劃設計中之 31 層樓、細長比約 8:1 之建物為標的進行探討。實尺寸 VE 制震壁之元件測試結果顯示，剪力模數隨應變量增大而趨緩，且其消能特性隨振幅增加而增大，但與所考慮之測試頻率無關。耐震性能試驗結果顯示，裝設 VE 斜撐與制震壁可降低各樓層加速度反應達 40%~70%，並將第一振態之等效阻尼比大幅提升，其他振態之阻尼比亦有顯著增加。高樓抗風減振分析之結果顯示，當 VE 制震系統阻尼項之非線性次冪越高時，其抗風減振效益越佳。由於風力與結構有互制關係，當結構系統之阻尼比愈大時，引致之風力反而會減小。對風高度敏感之高層建築若裝設 VE 制震壁，不僅可直接將風力振動反應降低，又因等效阻尼比之增加而可進一步減少設計風力，形成良性之循環，有助於降低結構設計之難度。

**關鍵字：**黏彈性阻尼器、高樓抗風減振、VE 制震壁

# Performance Verification and Industrial Application of Visco-elastic Dampers

Student: KAI LUO

Advisor: Dr. Yen-Po Wang

Institute of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

## Abstract

This study explores the feasibility of using the high polymer rubber developed by BC Tech, Japan, as the main dissipation material for Viscoelastic (VE) seismic wall, and a series of verification tests has been conducted, including the performance tests of the polymer material, component tests of the full scale seismic wall and seismic performance tests (shaking table tests). Moreover, to evaluate the feasibility of using the VE seismic wall to control the wind-induced vibration of high-rise buildings, a 31-story building structure with aspect ratio of 8 is considered as the object for numerical simulation. The experimental results of the full scale VE seismic wall indicate that the shear modulus tends to slowly increase with the shear strain, and the capability of energy dissipation increases with the amplitude, regardless of the driving frequency. The results of the seismic performance tests

demonstrate that the equivalent modal damping ratios are greatly enhanced, especially for the first mode, and 40% to 70% reduction of structural responses can be achieved as the structure installed with VE braces or VE seismic walls. The simulation results of wind-induced vibration control of high-rise building show that the control effectiveness increases with the power of the nonlinear damping term. Due to the interaction between the wind force and the structure, the larger the damping ratio of the structure, the less the wind force applied to the structure. As the wind-sensitive high-rise buildings installed with VE seismic walls, the wind-induced vibration will be reduced and the design wind force can be further reduced due to the increase of the equivalent damping ratio. As a result, the difficulty of structural design can be diminished.

**Key words:** Viscoelastic damper 、 High-rise Buildings 、  
wind-resisting and vibration control 、 VE seismic wall

## 誌謝

光陰飛逝、時光如梭，兩年來學習研究的生活即將告一個段落。在這段日子裡承蒙恩師 王彥博教授給予機會接觸不同領域的研究，雖然結果不如預期所想，但也讓我對於奈米技術的高科技領域有所的體悟，使我學習過程中如同一道彩虹般多采多姿。感謝老師這段時間的諄諄教誨，在我研究有所迷失時，給予適時的支援，引導我走到正確的方向，並教導我們在做人與做事方面要用適當的態度去面對。老師的名言錦句學生必會牢記在心中，他日生活或工作遇到瓶頸時，必能以此錦囊妙計作為解決問題之道。

論文口試期間，感謝口試委員 吳重成教授、林其璋教授、黃銘智博士、陳誠直教授、趙文成教授給予我指導與寶貴的意見，讓我這本論文能夠更加完整。並感謝建良、嘉賞、逸軒學長在論文上的指導與協助，解決我許多的問題。以及同門的各位在研究上的互相幫忙，能讓我在撰寫論文期間更加順利。另外還有一起生活、人生中最要好的摯友宗穎和銘浩，有你們的陪伴讓我在這段期間不孤單，感激之心難以言喻，期盼這份美好的友誼能夠長久延續。

最後特別感謝我親愛的父母、哥哥、親戚以及曾經陪伴我的女友，在我學習成長中遭遇挫折時照顧我與鼓勵我，讓我就讀碩士班期間更加順利。

# 目 錄

摘要 .....	i
Abstract.....	ii
誌謝 .....	iv
目 錄 .....	v
表目錄 .....	vii
圖目錄 .....	ix
第一章 緒論 .....	1
1.1 前言 .....	1
1.2 文獻回顧 .....	2
1.3 本文內容 .....	4
第二章 黏彈性消能材料之性能試驗與分析 .....	7
2.1 前言 .....	7
2.2 剪力模數(G)及耗損因子之識別 .....	8
2.3 由消能面積識別損耗因子流程 .....	11
第三章 VE 制震系統之元件測試 .....	13
3.1 元件測試 .....	13
3.1.1 測試目的與設備 .....	13
3.1.2 試驗模型設計與規劃 .....	15
3.1.3 試驗結果與討論 .....	15
3.2 應力-應變遲滯迴圈之曲線擬合—背骨曲線 .....	19
3.2.1 梅新準則(Masing rule) .....	19
3.2.2 背骨曲線擬合分析流程 .....	19
3.2.3 擬合 VE 遲滯迴圈分析案例 .....	23
3.3 實尺寸 VE 制震壁之試驗與分析 .....	25
3.3.1 試驗設備 .....	25
3.3.2 試驗模型設計與規劃 .....	25
3.3.3 試驗結果與討論 .....	26
第四章 五層樓鋼構裝設 VE 制震系統之耐震性能試驗與耐震分析 .....	27
4.1 試驗規劃 .....	28
4.2 VE 斜撐設計與耐震性能測試 .....	29

4.3	VE damper 之設計與測試 .....	33
第五章	VE 制震壁於抗風減震之應用-以御盟建設 20 代建案為例 .....	37
5.1	前言 .....	37
5.2	VE 制震壁之設計 .....	38
5.3	風力作用模式 .....	40
5.4	非線性黏性阻尼系統之簡介 .....	43
5.5	SAP2000 超高層建築物建立及風力擾動模擬 .....	44
5.5.1	SAP2000 簡介 .....	44
5.5.2	高層建築之分析模型 .....	44
5.5.2	系統識別 .....	46
5.6	分析結果 .....	48
第六章	結論與建議 .....	51
參考文獻	.....	53



## 表目錄

表 2.1	兩種不同方式識別耗損因子之結果比較 .....	58
表 3.1	元件測試項目 .....	59
表 3.2	剪力模數與耗損因子識別結果 .....	59
表 3.2	剪力模數與耗損因子識別結果(續) .....	60
表 3.3	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.1\text{Hz}$ ) .....	60
表 3.4	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.2\text{Hz}$ ) .....	61
表 3.5	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.3\text{Hz}$ ) .....	61
表 3.6	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.4\text{Hz}$ ) .....	61
表 3.7	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.5\text{Hz}$ ) .....	62
表 3.8	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.6\text{Hz}$ ) .....	62
表 3.9	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.7\text{Hz}$ ) .....	62
表 3.10	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.8\text{Hz}$ ) .....	63
表 3.11	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=0.9\text{Hz}$ ) .....	63
表 3.12	VE 材料之背骨曲線擬合參數 $A_i$ ( $f=1.0\text{Hz}$ ) .....	63
表 3.13	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.1\text{Hz}$ ) .....	64
表 3.14	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.2\text{Hz}$ ) .....	64
表 3.15	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.3\text{Hz}$ ) .....	64
表 3.16	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.4\text{Hz}$ ) .....	64
表 3.17	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.5\text{Hz}$ ) .....	65
表 3.18	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.6\text{Hz}$ ) .....	65
表 3.19	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.7\text{Hz}$ ) .....	65
表 3.20	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.8\text{Hz}$ ) .....	65
表 3.21	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=0.9\text{Hz}$ ) .....	66
表 3.22	VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數 ( $f=1.0\text{Hz}$ ) .....	66
表 3.23	元件測試項目 .....	66
表 3.24	剪力模數識別結果 .....	66
表 4.1	五層樓模型結構細部尺寸 .....	67
表 4.2	五層樓模型結構動力特性 .....	67
表 4.3	加速度峰值反應比較(El Centro Earthquake) .....	68
表 4.4	樓層加速度均方根值比較(El Centro Earthquake) .....	69

表 4.5	裝設阻尼器模型結構之等效頻率與等效阻尼比 .....	69
表 4.6	加速度峰值反應比較( Kobe Earthquake) .....	70
表 4.7	樓層加速度均方根值比較( Kobe Earthquake) .....	71
表 4.8	裝設阻尼器模型結構之等效頻率與阻尼比 .....	71
表 4.9	加速度峰值反應比較( El Centro Earthquake) .....	72
表 4.10	樓層加速度均方根值比較( El Centro Earthquake) .....	73
表 4.11	裝設阻尼器模型結構之等效頻率與阻尼比 ( El Centro) .....	73
表 4.12	加速度峰值反應比較( Kobe Earthquake) .....	74
表 4.13	樓層加速度均方根值比較(Kobe Earthquake) .....	75
表 4.14	裝設阻尼器模型結構之等效頻率與阻尼比 ( Kobe) .....	75
表 5.1	Type A 制震壁抗風減振系統單元規格數量表 .....	76
表 5.2	Type B 制震壁抗風減振系統單元規格數量表 .....	76
表 5.3	Type C 制震壁抗風減振系統單元規格數量表 .....	77
表 5.4	各種地況種類之 $\bar{\alpha}$ .....	77
表 5.5	風力擾動下之樓層位移(單位:cm ; $\alpha=0.5$ ) .....	77
表 5.6	風力擾動下之樓層位移(單位:cm ; $\alpha=0.8$ ) .....	78
表 5.7	風力擾動下之樓層位移(單位:cm ; $\alpha=1.0$ ) .....	79
表 5.8	風力擾動下之樓層位移(單位:cm ; $\alpha=1.2$ ) .....	80
表 5.9	風力擾動下之樓層位移(單位:cm ; $\alpha=1.5$ ) .....	81
表 5.10	風力擾動下之平均樓層位移(單位:cm) .....	81
表 5.11	風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ; $\alpha=0.5$ ) .....	82
表 5.12	風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ; $\alpha=0.8$ ) .....	83
表 5.13	風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ; $\alpha=1.0$ ) .....	84
表 5.14	風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ; $\alpha=1.2$ ) .....	85
表 5.15	風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ; $\alpha=1.5$ ) .....	86
表 5.16	風力擾動下之平均相對位移(單位:cm) .....	86
表 5.17	風力擾動下之基底剪力(單位:tf) .....	87
表 5.18	風力擾動下之等效頻率與阻尼比 .....	87

## 圖目錄

圖 2.1	橡膠墊測試試體示意圖	88
圖 2.2	橡膠墊遲滯迴圈示意圖	88
圖 2.3	諧和載重下黏彈性材料剪應力與剪應變	88
圖 2.4	黏彈性材料每單位體積消散能量	89
圖 3.1	高分子聚合橡膠減振墊元件測試	90
圖 3.2	測試構架底座設計詳圖 (單位: mm)	90
圖 3.3	測試構架反力座尺寸詳圖	91
圖 3.4	1.5t 致動器以鋼框架加固	91
圖 3.5	高分子聚合橡膠減振墊	92
圖 3.6	高分子聚合橡膠減振墊與鋼片接合	92
圖 3.7	1.5 噸油壓制動器	92
圖 3.8	MTS 407 控制器	93
圖 3.9	荷重元 Load Cell	93
圖 3.10	IMC 資料擷取系統	93
圖 3.11	訊號擷取系統	94
圖 3.12	元件測試夾具	94
圖 3.13	元件測試組裝圖	95
圖 3.14	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.1\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	95
圖 3.15	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	96
圖 3.16	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.33\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	96
圖 3.17	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.5\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	97
圖 3.18	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.8\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	97
圖 3.19	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.0\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	98
圖 3.20	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.5\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	98

.....	98
圖 3.21 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=2.0\text{Hz}$ , $u_0=1、5、10、15、20\text{mm}$ )	99
.....	99
圖 3.22 VE 橡膠墊識別所得之剪力模數	100
圖 3.23 VE 橡膠墊識別所得之損耗因子	100
圖 3.24 VE 橡膠墊穩定性測試 ( $f=0.33\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	101
圖 3.25 VE 橡膠墊穩定性測試 ( $f=0.33\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	101
圖 3.26 VE 橡膠墊穩定性測試 ( $f=0.33\text{Hz}$ , $u_0=15\text{mm}$ )	102
圖 3.27 VE 橡膠墊穩定性測試 ( $f=0.33\text{Hz}$ , $u_0=20\text{mm}$ )	102
圖 3.28 背骨曲線示意圖	103
圖 3.29 背骨曲線擬合分析流程圖	104
圖 3.30 座標修正平移示意圖	104
圖 3.31 背骨曲線方程式示意圖	105
圖 3.32 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.1\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	105
圖 3.33 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.1\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	106
圖 3.34 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.1\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	106
圖 3.35 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.1\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	107
圖 3.36 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.2\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	107
圖 3.37 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.2\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	108
圖 3.38 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.2\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	108
圖 3.39 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.2\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	109
圖 3.40 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	109
圖 3.41 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	110
圖 3.42 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	110
圖 3.43 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	111
圖 3.44 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.4\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	111
圖 3.45 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.4\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	112
圖 3.46 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.4\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	112
圖 3.47 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.4\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	113
圖 3.48 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.5\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	113
圖 3.49 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.5\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	114
圖 3.50 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.5\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	114

圖 3.51	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.5\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	114
圖 3.52	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.6\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	115
圖 3.53	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.6\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	115
圖 3.54	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.6\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	116
圖 3.55	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.6\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	116
圖 3.56	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.7\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	117
圖 3.57	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.7\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	117
圖 3.58	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.7\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	118
圖 3.59	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.7\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	118
圖 3.60	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.8\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	119
圖 3.61	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.8\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	119
圖 3.62	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.8\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	120
圖 3.63	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.8\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	120
圖 3.64	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.9\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	121
圖 3.65	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.9\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	121
圖 3.66	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.9\text{Hz}$ , $u_0=8\text{mm}$ )	122
圖 3.67	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.9\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	122
圖 3.68	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.0\text{Hz}$ , $u_0=3\text{mm}$ )	123
圖 3.69	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.0\text{Hz}$ , $u_0=5\text{mm}$ )	123
圖 3.71	VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.0\text{Hz}$ , $u_0=10\text{mm}$ )	124
圖 3.72	VE 之位移速度與回彈速度示意圖	125
圖 3.73	實尺寸制震壁測試構架	125
圖 3.74	100 噸油壓制動器	126
圖 3.75	MTS 控制系統	126
圖 3.76(a)	實尺寸測試模型正視圖與俯視圖	127
圖 3.76(b)	H Beam-A	128
圖 3.76(c)	夾板 A_R	129
圖 3.76(d)	夾板 B_R	130
圖 3.76(e)	夾板 C_R	131
圖 3.76(f)	H Beam- B_R	132
圖 3.76(g)	基座	133
圖 3.76(h)	角鋼 A_R	134

圖 3.76(i) 角鋼 B_R .....	135
圖 3.76(j) 墊片 A_R .....	136
圖 3.76(k) 墊片 B_R .....	136
圖 3.77 實尺寸 VE 制震壁測試穩定性測試 ( $f=0.3\sim 1.0\text{Hz}$ , $u=5\text{mm}$ ) .....	137
圖 3.78 實尺寸 VE 制震壁測試穩定性測試 ( $f=0.3\sim 1.0\text{Hz}$ , $u=10\text{mm}$ ) .....	137
圖 3.79 實尺寸 VE 制震壁測試穩定性測試 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u=5\sim 20\text{mm}$ ) .....	138
圖 3.80 剪應力-剪應變遲滯迴圈 ( $f=0.3\text{Hz}$ , $u=5\sim 20\text{mm}$ ) .....	138
圖 3.81 實尺寸 VE 制震壁測試識別所得之剪力模數 .....	139
圖 4.1 五層樓模型結構之立面圖 .....	140
圖 4.2 振動台 .....	140
圖 4.3 MTS407 控制器 .....	141
圖 4.4 斜撐型阻尼器 1F 組裝圖 .....	142
圖 4.5 A-A 剖面圖 .....	143
圖 4.6 B-B 剖面圖 .....	143
圖 4.7 1F H Beam H 100x50 .....	144
圖 4.8 接頭-槽鋼、示意圖 .....	145
圖 4.9 2~5F 組裝圖 .....	146
圖 4.10 裝設阻尼器之五層樓模型結構於振動台上 .....	147
圖 4.11 斜撐型阻尼器 .....	147
圖 4.12 各樓層加速度反應比較 (El Centro ; $\text{PGA} = 0.367\text{g}$ ) .....	148
圖 4.13 各樓層加速度反應比較 (Kobe ; $\text{PGA} = 0.445\text{g}$ ) .....	149
圖 4.14 制震壁元件 .....	150
圖 4.15 改良式斜撐型阻尼器 .....	150
圖 4.16 裝設混合式制震系統於五層樓模型結構 .....	150
圖 4.17 各樓層加速度反應比較 (El Centro ; $\text{PGA} = 0.277\text{g}$ ) .....	151
圖 4.18 各樓層加速度反應比較 (Kobe ; $\text{PGA} = 0.368\text{g}$ ) .....	152
圖 5.1 31 層建築之 SAP2000 模型 .....	153
圖 5.2 31 層建築案之樓平面圖 .....	153
圖 5.3 Type A VE 制震壁系統組裝圖 .....	154
圖 5.4 Type A VE 制震壁一夾板 A 細部設計圖 (單位:cm) .....	155
圖 5.5 Type A VE 制震壁一夾板 B 細部設計圖 (單位:cm) .....	156
圖 5.6 Type A VE 制震壁一夾板 C 細部設計圖 (單位:cm) .....	157

圖 5.7	Type A VE 制震壁—角鋼 A、B 細部設計圖 (單位:cm)	158
圖 5.8	Type A VE 制震壁—墊片 A、B 細部設計圖 (單位:cm)	159
圖 5.9	Type A VE 制震壁—H-Beam 細部設計圖 (單位:cm)	160
圖 5.10	Type B VE 制震壁組裝圖	161
圖 5.11	Type B VE 制震壁—夾板 A 細部設計圖 (單位:cm)	162
圖 5.12	Type B VE 制震壁—夾板 B 細部設計圖 (單位:cm)	163
圖 5.13	Type B VE 制震壁—夾板 C 細部設計圖 (單位:cm)	164
圖 5.14	Type B VE 制震壁—角鋼 A、B 細部設計圖 (單位:cm)	165
圖 5.15	Type B VE 制震壁—墊片 A、B 細部設計圖 (單位:cm)	166
圖 5.16	Type B VE 制震壁—H-Beam 細部設計圖 (單位:cm)	167
圖 5.17	Type C VE 制震壁組裝圖	168
圖 5.18	Type C VE 制震壁—H-Beam 細部設計圖 (單位:cm)	169
圖 5.19	順向風風力歷時	170
圖 5.20	線性與非線性阻尼器之力-位移關係	170
圖 5.21	一樓結構平面圖	171
圖 5.22	風力受力面示意圖	171
圖 5.23	VE 制震壁裝設位置示意圖	172
圖 5.24	不同 $\alpha$ 值之各樓層樓層位移比較	173
圖 5.25	不同 $\alpha$ 值之各樓層層間位移量比較	173
圖 5.26	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.5, 1F$ )	174
圖 5.27	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.5, 31F$ )	174
圖 5.28	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.8, 1F$ )	175
圖 5.29	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.8, 31F$ )	175
圖 5.30	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.0, 1F$ )	176
圖 5.31	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.0, 31F$ )	176
圖 5.32	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.2, 1F$ )	177
圖 5.33	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.2, 31F$ )	177
圖 5.34	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.5, 1F$ )	178
圖 5.35	風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.5, 31F$ )	178



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

目前工程界進行建築物耐震設計時，多採用韌性設計的概念，考慮「強柱弱梁」，且將結構視為韌性抗彎構架。就結構構件對整體結構耐震能力影響程度的考量，「強柱弱梁」的設計概念立意甚佳，梁柱接頭試驗也顯示 RC 或鋼構經由適當的設計可以發揮很好的韌性。惟真實結構因樓板的加勁作用，使得梁與樓版結合後的整體勁度大幅提昇，不僅使得梁在地震中的撓曲變形曲率( $M/EI$ )很小，以致 RC 梁之主筋無法降伏而未能在梁端形成塑鉸，反而導致塑鉸提前在柱端產生，或發生柱剪力破壞—此一現象在九二一地震倒塌的建築結構中已表露無遺。此由九二一地震災後調查中，從未發現有 RC 結構於梁端產生塑鉸者足以為證。

近年來，建築隔減震技術越來越成熟，在建築物上裝設制震系統已經是台灣建築的趨勢，其中包括調諧質塊阻尼器(Tuned Mass Damper, TMD)、制震壁...等。比較有名的案例有台北 101 裝設單擺式調諧阻尼器(TMD)來控制風力對於超高型建築物的影響；高雄市地標東帝士大樓則是採用「主動質塊阻尼器」(Active-Mass-Damper, AMD)來抗風，該系統係裝置在第 85 層。由於該系統是運用電力驅動，可以用 80 噸的質塊發揮相當於被動式系統 800 噸的功能。台北市高級豪宅宏盛帝寶裝設壁式黏彈性阻尼裝置，該類阻尼器裝設所需之空間

較小，且容易組裝與維護，因此業主及建築師之接受度相對較高。

## 1.2 文獻回顧

一般而言，要降低結構之動力反應不外乎增加結構的阻尼及改變結構的自然頻率等方法，此即結構控制的主要目標。若依控制系統之運作需要額外提供能量與否，可將其劃分為被動控制(Passive Control)與主動控制(Active Control)兩大類[1]，茲分述如下：

被動控制系統毋須提供能量即可運作。利用金屬材料之大幅度變形使其承受之應力超過該材料之屈伏強度，而進入塑性變形，繼而在往復運動中遲滯迴圈進而產生吸能之作用者。由於其阻力之大小與構件之位移變形有關，一般稱之為「位移型消能元件」。如金屬降伏阻尼器 (metallic yielding damper)、韌性斜撐(Ductile brace)及挫屈束制斜撐(Buckling Restrained Braces, BRB)等。「位移型消能元件」除了提供消能機制，對結構也有加勁之作用。此外，被動式控制系統還包括基礎隔震(Base Isolation)[2-5]、各式消能器[6-7]，及調諧質塊阻尼器(Tuned Mass Damper, TMD)[7-9]或調諧水柱消能系統(Tuned Liquid Column Damper, TLCD)[37-38]。基礎隔震裝置適用於低矮的結構，主要是利用基礎與地表間之柔性或曲面滑動支承延長結構周期，以隔絕地震能量輸入上部結構，並提供阻尼以降低隔震層之位移一如鉛心橡膠支承(Lead Rubber Bearing, 簡稱 LRB)與摩擦單擺支承(Friction Pendulum System, 簡稱 FPS)[10-18]。消能器藉由高阻尼材料或易降伏之鋼材，在反覆受力變形狀況下增加結構之消能能力，如黏

彈性阻尼器(Visco-elastic Damper)、加勁阻尼器(added damping and stiffness,簡稱 ADAS)及消能制震板[19]等。

此外，亦有利用阻尼裝置組成構件間之相對運動，間接驅動其內含流質或半固態材料之流動而產生阻力，或材料本身之黏滯性而產生對於振動之抵抗力者。由於其阻力之大小與流體之流動速度有關，一般稱之為「速度型消能元件」，如黏滯性液流阻尼器(viscous fluid damper)。

有些高分子橡膠(polymer rubber)材料兼具彈-塑性變形與黏滯性，可在往復運動中產生消能作用；其抵抗特性與「速度型消能元件」類似，但因對結構也有加勁作用，又與「位移型消能元件」相似。此類消能器的代表為黏彈阻尼器(visco-elastic damper)，過去以美國3M公司所發展的VE材料最負盛名。

主動控制包括主動鋼鍵系統(Active Tendon System)、主動斜撐系統(Active Bracing System)，以及質塊致動器(Active Mass Damper,AMD)[20-27]。其中質塊制動器係由被動式的調諧質塊阻尼器演化而來。這些控制系統的目的在於改變結構之動力特性，特別是提高其阻尼。此外尚有能量需求較小之半主動控制系統(Semi-active control systems)[28]，如調閥式阻尼器(Variable Orifice Dampers)及電流變異阻尼器(Electro-rheological Dampers)等。

近年來，應用各式阻尼系統於建築結構之隔減震研究及實際應用已逐漸普遍，其中包括應用黏彈性(VE)阻尼器於結構抗震之實際案例

[29-34]。有關 VE 阻尼器之研究中，包括 Chang 等人將阻尼器裝設於一 2/5 縮尺五層樓鋼結構進行測試[32]，及 Lai 等人利用 1/3 縮尺 RC 構架及 2/5 縮尺三層樓鋼結構 [34,35]進行振動台試驗，其結果皆顯示結構可藉由 VE 阻尼器大幅增加其阻尼來降低結構之地震反應，並降低結構之韌性需求。簡單之設計方法亦已被發展出來 [36]。

近年來，有關黏彈性橡膠墊的研究相當普遍，並應用此種材料製成 VE 制震壁。其中日本廠商 BC Tech 研發出的減震橡膠墊具有極佳的吸能作用，本研究將以該材料為核心設計 VE 制震壁。

### 1.3 本文內容

國內目前針對以黏彈性阻尼作為建築防震控制之相關研究並不多，值得吾人深入探討。本研究以日本 BC Tech 公司的 VE 材料為核心發展黏彈性阻尼裝置，經由元件測試掌握其力學行為以及穩定性，並利用振動台試驗進行結構耐震性能試驗，確認其應用於提升結構抗震能力之可行性。

本研究之內容歸納如下：

1. 針對 VE 材料之穩定性及材料力學特性—包括剪力模數、耗損因子等，規劃一系列之元件測試，以探討其遲滯迴圈消能行為。
2. 利用梅新準則建立加載、卸載背骨曲線方程式以擬合 VE 材料之遲滯迴圈，掌握該材料之特性與基本參數。
3. 進行 VE 實尺寸材料實際運用實尺寸制震壁之元件測試。
4. 進行 VE 斜撐之耐震性能測試，安裝於一座五層樓鋼結構模型進行

振動台試驗。

5. 運用 SAP2000 軟體進行一棟 31 層樓細長建築結構裝設 VE 制振壁之風力分析，由側向位移、基底剪力的折減及結構等效阻尼比之提升，評估其抗風效益。





## 第二章 黏彈性消能材料之性能試驗與分析

### 2.1 前言

高分子聚合橡膠墊係近來工業界所研發介於固態與膠態、力學特性屬於黏彈性(viscous-elastic ,以下簡稱 VE) 的自黏性高分子橡膠材料。VE 材料無毒、可耐 1,100°C 高溫、受力解壓後可迅速復原並重複使用，具相當程度之耐久性。而黏彈性之力學特性使其在動態變形過程中展現優異的吸能作用，可用於吸收設備或結構因地震、風力或其他外來擾動所引起之振動能量，適合做為結構消能制震元件之核心材料。本研究利用此 VE 材料發展出制震壁及消能斜撐，並完成一系列之振動台試驗。測試結果顯示，不論是制震壁或消能斜撐，均有相當優異的減震效能。茲為掌握高分子聚合橡膠減振墊的穩定性及材料力學特性，如剪力模數 (shear modulus) 及耗損因子 (loss factor) 等，規劃進行了一系列的元件測試工作，以識別前述之材料特性參數。試驗結果顯示，高分子聚合橡膠墊具有相當穩定的消能行為，其剪力模數與耗損因子與頻率及應變量相關。

## 2.2 剪力模數(G)及耗損因子之識別

剪力模數(G)為橡膠材料之基本特性參數之一，本節將探討其材料特性參數之試驗與識別方法：

橡膠墊之材料性質測試構架如圖 2.1 所示，測試時以位移控制模式驅動致動器，其波形為

$$u(t) = u_0 \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

則由荷重元所量測得之剪力為：

$$P(t) = P_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2.2)$$

其中  $\omega$  為簡諧荷載頻率； $\delta$  為橡膠黏滯性所導致之相位差。由位移與荷重反力所形成之遲滯迴圈如圖 2.2 所示。遲滯迴圈所圍成之面積  $E_D$  代表消散能量，計算如下：

$$\begin{aligned} E_D &= 2 \int P du = \int 2P_0 \sin(\omega t + \delta) \frac{d}{du} (u_0 \sin \omega t) dt \\ &= 2\pi P_0 u_0 \sin \delta \end{aligned} \quad (2.3)$$

因此，吾人可求出相位差

$$\delta = \sin^{-1} \left[ \frac{E_D}{2\pi P_0 u_0} \right] \quad (2.4)$$

$$\text{橡膠墊所受之剪應力 } \tau = \frac{P}{A} = \frac{2P}{2BL} = \frac{P}{BL} = \frac{p_0 \sin(\omega t + \delta)}{BL} \quad (2.5)$$

其中： $B$  為減震墊片的寬度、 $L$  為減震墊片的長度

$$\text{令剪應力為 } \tau = \tau_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2.6)$$

$$\text{比較式(2.5)及(2.6)兩式可得 } \tau_0 = \frac{P_0}{BW} \quad (2.7)$$

同理,橡膠墊之剪應變( $\gamma$ )可表示如下：

$$\gamma = \frac{u}{t} = \frac{u_0 \sin(\omega t)}{t} \quad (2.8)$$

$$\text{令剪應變為 } \gamma = \gamma_0 \sin(\omega t) \quad (2.9)$$

$$\text{比較式 (2.8)(2.9) 可得 } \gamma_0 = \frac{u_0}{t} \quad (2.10)$$

上式如圖 2.3 所示。對於一給定之  $\gamma_0$ ， $\tau_0$ ， $\delta$  兩者皆為  $\omega$  的函數。

利用式 (2.5) (2.6) 進一步分解可得：

$$\begin{aligned} \tau &= \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta\right) \gamma_0 \sin \omega t + \left(\frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta\right) \gamma_0 \cos \omega t \\ &= G_1 \gamma_0 \sin \omega t + G_2 \gamma_0 \cos \omega t \end{aligned} \quad (2.11)$$

其中：

$$G_1 = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta \quad \text{稱為儲存剪力模數}$$

$$G_2 = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta \quad \text{稱為損失剪力模數}$$

剪力模數  $G$  定義為：

$$G = \sqrt{G_1^2 + G_2^2} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \quad (2.14)$$

當剪應變達到最大值 ( $\sin(\omega t)=1, \cos(\omega t)=0$ ) 時，可求得損失剪力模數  $G_2$ ；反之，當剪應變為 0 ( $\sin(\omega t)=0, \cos(\omega t)=1$ ) 時，可求得儲存剪力模數  $G_1$ 。其中  $G_1$  為量測每一週期儲存與恢復的準則，顯示黏彈性材料的勁度； $G_2$  為量測每一週期之能量消散，表示黏彈性材料消散能量的能力由於橡膠墊之遲滯迴圈近似橢圓形，且其軌跡穩定，因此吾人可根據試驗所得之遲滯迴圈資料求取  $G_1$  及  $G_2$ 。

耗損因子(loss factor)  $\eta$ 的定義為：

$$\eta = \frac{G_2(\omega)}{G_1(\omega)} = \tan \delta \quad (2.15)$$

$\eta$ 其最常用於判斷黏彈性材料能量消散之能力。而由(2.15)式，阻尼比可改寫為：

$$\zeta = \frac{\eta}{2} = \frac{\tan \delta}{2} \quad (2.16)$$

另一項有用的應力-應變關係表示式，可寫成複數形式，由式(2.6)(2.9)：

$$\gamma(t) = \gamma_0 e^{i\omega t}, \quad \tau(t) = \tau_0 e^{i(\omega t + \delta)} \quad (2.17)$$

$$\tau(t) = G^*(\omega)\gamma(t) \quad (2.18)$$

其中， $G^*(\omega)$ 為黏彈性材料複數模數(complex modulus)：

$$G^*(\omega) = \frac{\tau(t)}{\gamma(t)} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} e^{i\delta} = G_1(\omega) + iG_2(\omega) = G_1(\omega)(1 + i\eta) \quad (2.19)$$

$$|G^*(\omega)| = \frac{\tau_0}{\gamma_0} = [G_1^2(\omega) + G_2^2(\omega)]^{1/2} \quad (2.20)$$

由此可見，兩模數  $G_1(\omega)$ ， $G_2(\omega)$ ，或  $G_1(\omega)$ ， $\eta$  決定了線性黏彈性材料在諧和擾動下的剪力動力行為。這些模數不只是擾動頻率的函數，也是環境溫度、剪應變的函數。因此，建立一基本的黏彈性材料模性，包含了  $\tau(t)$ 、 $\gamma(t)$  和其他與時間項有關的參數。

## 2.3 由消能面積識別損耗因子流程

a. 根據 Green 定理求得遲滯迴圈之面積  $E_D$

b. 由  $E_D$  求  $G_2(\omega)$ ，如下：

$$E_D = \pi \gamma_0 G_2(\omega) \Rightarrow G_2(\omega) = \frac{E_D}{\pi \gamma_0}$$

其中， $\gamma_0$  為已知 ( $\gamma_0 = \frac{u_0}{t}$ ； $u_0$  為測試最大振幅； $t$  為墊片厚度)

c. 由  $G_2(\omega)$  求相位差  $\delta$  如下：

$$\tau_0 = \frac{F}{A} ; F \text{ 為試驗量測力量值、} A \text{ 為 VE 墊片受力面積}$$

$$G_2(\omega) = \frac{E_D}{\pi \gamma_0} = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \sin \delta$$

$$\therefore \delta = \sin^{-1} \left( \frac{E_D}{\pi \tau_0} \right)$$

其中  $\tau_0$  係取 Load Cell 於測試過程中所量測到之力量  $F$  最大值及最小值取平均後，除以 VE 墊片受力面積即可得之。

d. 由相位差  $\delta$  求 loss factor 如下：

$$\text{loss factor } \eta = \frac{G_2(\omega)}{G_1(\omega)} = \tan \delta ,$$

其中  $G_1$  為識別所得之儲存剪力模數  $G_1 = \frac{\tau_0}{\gamma_0} \cos \delta$

茲以測試頻率為 0.1Hz 振幅 20mm 之試驗結果為例進行說明：

直接由  $G_1(\omega)$  及  $G_2(\omega)$  識別所得之 loss factor = 0.326

由遲滯迴圈面積識別得之 loss factor = 0.3185

兩者誤差為： $\frac{0.326 - 0.3185}{0.326} \times 100\% = 2.3\%$

## 識別結果比較

表 2.1 為儲存剪力模數  $G_1$  及損失剪力模數  $G_2$  識別耗損因子，以及由遲滯消能面積識別耗損因子之結果比較。其結果顯示，兩者識別所得之耗損因子均相當接近（誤差值  $\leq 5\%$ ）。



## 第三章 VE 制震系統之元件測試

### 3.1 元件測試

#### 3.1.1 測試目的與設備

為掌握高分子聚合橡膠減振墊的穩定性及材料力學特性如剪力模數 (shear modulus)、耗損因子 (loss factor)、耐久性等，乃進行了一系列的元件測試工作以識別前述之材料特性參數。

高分子聚合橡膠減振墊之元件測試係於本系大型結構實驗室進行，測試構架如圖 3.1 所示。利用實驗室既有的 H 型鋼為之基礎底座，如圖 3.2 所示，與既有之反力座，如圖 3.3 所示，將油壓致動器安裝於 H 型鋼上，並利用鋼框架將 1.5 t 油壓致動器固定於基礎底座，如圖 3.4 所示，並於 H 型鋼翼版上開兩道平行槽，使反力座能依需要調整距離。

試驗時係將厚度為 5mm 的高分子聚合橡膠減振墊裁切成 2 塊長、寬為 4cm×10cm 之長方形試片，如圖 3.5 所示，將其黏貼內夾於三片鋼板之間，似三明治狀，並利用 C 型夾施加側向力使鋼板與高分子聚合橡膠減振墊得以緊密接合，如圖 3.6 所示。預壓後橡膠墊之有效厚度為 3.5mm。

本試驗主要紀錄 VE 墊片之位移及力量，其驅動力為 1.5 t 油壓致動器，如圖 3.7 所示，透過 MTS 407 控制器，如圖 3.8 所示，可將不同頻率及不同位移振幅之控制命令訊號輸入伺服控制器。本系列輸入訊

號為正弦波之位移擾動。實際位移量可以由1.5 t 致動器內建之位移 (LVDT) 直接讀到，而出力則是以荷重元Load Cell，如圖3.9所示，進行量測。

元件測試所使用之設備及其規格列舉如下：

**(A)1.5 噸致動器：用以提供水平剪力，如圖 3.7 所示**

Model Number: 244.11

Serial Number: 0293736

Assembly Number:367712-01

Maximum Force: 3.3 kips (150 kN)

Static Stroke: 7.2 in (182.88 mm)

Dynamic Stroke: 6.0 in (152.4 mm)

**(B)5.0 噸荷重元：用以量測剪力讀數，如圖 3.9 所示**

Type: JIHSENSE S- type Load Cell S-5000

Rated Capacity: 5000kg

Excitation Voltage : 12V

**(C)訊號擷取系統：IMC(SPARTAN-L)，如圖 3.10 所示**

Analog input : 16 differential channels

Sum sampling rate : 20kHz

Max. sampling rate per channel : 10kHz

Noise : input shorted, 9.0mV rms

A/D converter resolution : 16-bit

(D)筆記型電腦：供資料儲存與頻譜分析之用，如圖 3.11 所示

COMPAQ (Mobile Intel(R) Pentium(R))

4-M CPU 1.80GHz 265MB RAM

### 3.1.2 試驗模型設計與規劃

本研究根據 VE 制震壁之受力行為設計一組測試元件，其夾具如圖 3.12 所示，將兩片 VE 測試墊片夾於鋼板夾具當中，並利用 C 型夾固定 VE 測試墊片區域，如圖 3.13 所示。墊片面積為 4cm×10cm。

本研究規劃進行一系列之元件測試，測試項目包含不同測試頻率及位移等變數，共計考慮八種不同測試頻率（0.1Hz、0.3Hz、0.33Hz、0.5Hz、0.8Hz、1.0Hz、1.5Hz 及 2.0Hz），而每一測試頻率均包含九種不同振幅（1mm、2mm、3mm、4mm、5mm、8mm、10mm、15mm、20mm），相關測試項目以矩陣形式對應如表 3.1 所示。

### 3.1.3 試驗結果與討論

高分子聚合橡膠墊元件測試結果將由消能遲滯迴圈、材料之剪力模數及耗損因子，及穩定性的影響等四方面進行討論。

#### 消能遲滯迴圈

圖 3.14 為測試頻率 0.1Hz 時，變化不同位移所得之消能遲滯迴圈。其結果顯示，遲滯迴圈隨位移增加而變大，亦即位移越大其消能效果越顯著。此外，消能墊的平均勁度隨著位移增大而略減，主要是剪應變量  $\gamma$  較大時（註： $\gamma = \tan^{-1} \frac{u}{t}$ ；為位移量， $t = 3.5\text{mm}$  為消能墊之有效厚度），橡膠墊周邊與鋼板有局部剝離現象，導致整體勁度略為下

滑；剪應變量愈大時，剝離的情況也愈顯著，當位移量達到 20mm，剪應變量約為  $80^\circ$  時，其勁度最小。儘管如此，由於橡膠墊受到 C 型夾之預壓而有良好的圍束，其消能能力並未受影響。

圖 3.15~圖 3.21 分別為不同測試頻率試驗所得之遲滯迴圈，除測試頻率 0.5Hz 及 0.8Hz 外，其餘測試頻率所得之遲滯迴圈圖的變化趨勢均與測試頻率為 0.1Hz 時相似，即消能墊的遲滯消能面積隨位移(變形量)增大而變大，平均勁度亦隨著位移增大而略減。觀察圖 3.15~3.21 的橡膠墊遲滯迴圈大小(消能面積)可發現，當測試頻率由 0.1Hz 增加至 0.5Hz 時，所得之遲滯消能面積有隨頻率增加而逐漸變小的趨勢，而當測試頻率繼續往上提升時到 2.0Hz 時，所得之遲滯迴圈面積則又隨頻率增加而逐漸變大，此現象亦反映在消能墊之耗損因子上。由此可知，消能墊之消能特性與測試頻率及振幅(變形量)有關。

### 剪力模數(G)

表 3.2 及圖 3.22 為元件測試所識別出之剪力模數，由圖 3.22 可看出剪力模數具有以下兩點趨勢：

1. 在相同振幅(剪應變)且測試頻率  $\leq 1.0\text{Hz}$  時，橡膠墊之剪力模數隨頻率之增加而有增加的趨勢，爾後則漸趨於穩定。
2. 在相同的測試頻率下，位移(剪應變)越小，其剪力模數越大。

綜上所述，高分子聚合橡膠墊之剪力模數為一與頻率及剪應變有關之參數，並非常數。

## 耗損因子 (Loss Factor) $\eta$

材料的耗損因子所代表的是該材料的遲滯消散特性，由理論公式可知，其與儲存剪力模數  $G_1$  及損失剪力模數  $G_2$  兩項參數及消能面積有關。表 3.2 及圖 3.23 為識別所得之耗損因子，其結果顯示，在固定測試頻率、變換振幅（變形量）的條件下，耗損因子隨著振幅（變形量）的增大而變小，此乃因變形量增大時，消能墊的平均勁度遞減所致；而在振幅（變形量）固定測試頻率改變時，損耗因子則有先變小再變大的趨勢，亦即當振幅固定時，測試頻率由 0.1 增加至 0.5Hz 時，耗損因子有逐漸降低的趨勢，當測試頻率繼續往上提升時到 2.0Hz 時，所得之耗損因子則又隨頻率增加而逐漸變大，此現象與先前之遲滯消能面積有相同的趨勢。



## 穩定性試驗

為進一步瞭解橡膠墊遲滯行為之穩定性，進行測試頻率為 0.33Hz（週期 = 3 秒）、振幅為 5mm、10mm、15mm 及 20mm 的往復載重試驗，每組測試時間均為 30 分鐘，測試循環次數達 600 次。

圖 3.24 為頻率 0.33Hz、振幅 5mm 穩定性測試之結果，600 個迴圈幾乎重疊，顯示該高分子橡膠墊具有相當高的穩定性，其性能並不隨溫度升高而劣化。圖 3.25~3.26 為頻率 0.33Hz、振幅 10mm 及 15mm 穩定性測試之結果，由於測試振幅為 10mm 及 15mm 時，橡膠墊周邊與圍束之鋼板會有局部剝離的情況，導致有效面積減少，故其遲滯迴圈雖不若振幅 5mm 的測試結果般穩定，但整體而言穩定性仍相當不

錯的。圖 3.27 為頻率 0.33Hz、振幅 20mm 穩定性測試之結果（取測試過程中第 1、5、10、15、20、25 及第 30 分鐘之測試資料繪製），因測試振幅為 20mm 時，橡膠墊與圍束之鋼板會產生較嚴重的剝離與皺摺變形，故隨著測試時間的增長其勁度有明顯衰減。



## 3.2 應力-應變遲滯迴圈之曲線擬合—背骨曲線

### 3.2.1 梅新準則(Masing rule)

梅新(Masing, G., 1926)[40]在第二屆國際應用力學會議中，提出一套描述金屬單向度反覆荷重作用下材料應力-應變行為規則如下：

1. 由試驗先決定材料在單調加載(monotonic loading)之應力-應變曲線，如圖 3.28 所示，將其定義為背骨曲線(backbone curve)及材料開始加載至第一次載重轉向時所遵循之應力-應變曲線。
2. 當荷載開始轉向加載(reloading)或卸載(unloading)時假設荷重轉向發生在 A 點，其座標為  $(\tilde{\alpha}_A, \hat{\sigma}_A)$ ，則轉向後之應力-應變曲線為：

$$\frac{\tau \pm \tau_A}{2} = f\left(\frac{\gamma \pm \gamma_A}{2}\right) \quad (3.1)$$

轉向曲線是把背骨曲線放大兩倍，以轉向點 A 為新起始點，依反轉之方向連結在轉向點上所形成。

### 3.2.2 背骨曲線擬合分析流程

依據 VE 材料之往復載重試驗結果，將力與位移繪成遲滯迴圈圖，可發現其圖形接近橢圓形。茲將其轉換成剪應力-剪應變遲滯迴圈，則該迴圈於應變較大區域會出現應變硬化效應，因此，乃以背骨曲線進行擬合，希望能定義其特性參數與頻率及應變之關係。

分析流程分為兩部份，如圖 3.29 所示。Part I 為資料建立與轉換，主要是將 VE 元件測試資料之力與位移，轉換成剪應力-剪應變之關係，並套用前節背骨曲線定義，找尋加載、卸載曲線方程式參數，完成第一階段之資料處理。Part II 為資料處理與擬合分析，建立一位

移數列，以位移為已知數據，再利用 Part I 找尋的相關參數，以應力為未知數建立應力與應變之關係式。依此可將第一部份的參數建立一個資料庫，由此參數在經由 Part II 的資料處理與分析擬合後，即完成剪應力-剪應變遲滯迴圈之擬合分析。分析步驟如下：

## Part I 量測建立與轉換

### (a) 量測資料：以力-位移為輸入資料

經過多次測試後發現，當頻率較高時會將致動器的動力特性反映進來，故在此僅取 1Hz 以下的結果；此外，當位移過大時，VE 墊片外緣之黏著力無法抵抗位移導致外緣被帶起，使 VE 有效受力面積折損，因此僅考慮 10mm 以下之振幅進行作為參數的擬合。

### (b) 座標平移修正

試驗中由於資料讀取未歸零造成遲滯迴圈偏移 (off-set)，故經調整位移、力量之最大值，使迴圈中心點平移至原點，以減少誤差，如圖 3.30 所示。由試驗量測數據之力量取其最大正值與最小負值相加取平均，將力量之原始數據扣除此平均值；位移同前方法即可使迴圈之中心座落於原點。

### (c) 試驗量測力量與位移遲滯迴圈轉換剪應力-剪應變遲滯迴圈

此分析資料係取用 VE 元件測試(3.1.3 節)的試驗數據，試片之面積包含兩片 40 cm<sup>2</sup> 之 VE 墊片，將量測力量除以測試面積即為平均剪應力(3.2) 式；另外，VE 試片厚度為 3.5mm，可由(3.3) 式得剪應變。

力-位移原始橢圓形曲線經轉換可得剪應力、應變兩條獨立曲線結合之遲滯迴圈，因此可在背骨曲線擬合中將使用兩組多項式曲線進行模擬。

$$\text{剪應力} \quad \tau_0 = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$

$$\text{剪應變} \quad \gamma = \tan^{-1}\left(\frac{u}{t}\right) \quad (3.3)$$

其中：

F：致動器出力

A：VE 試片之總面積

u：位移大小

t：VE 試片之厚度



#### (d) 背骨曲線之轉換(Masing rule)

梅新準則中提到，將應力應變分別代入加載曲線(3.4) 式與卸載曲線(3.5) 式即可求得加載路徑之背骨曲線方程式與卸載路徑之曲線方程式。如下：

$$\frac{\tau + \tau_A}{2} = f\left(\frac{\gamma + \gamma_A}{2}\right) \quad \text{背骨曲線加載轉換式} \quad (3.4)$$

$$\frac{\tau - \tau_A}{2} = f\left(\frac{\gamma - \gamma_A}{2}\right) \quad \text{背骨曲線卸載轉換式} \quad (3.5)$$

其中  $\tau$ 、 $\gamma$  代表為試驗數據經轉換後之剪應力與剪應變， $\tau_A$  及  $\gamma_A$  即為背骨曲線由加載轉為卸載曲線轉折點，如圖 3.31。

#### (e) 求取曲線方程式之係數

為擬合背骨曲線方程式，須建立兩條三次曲線方程式來擬合剪應

力-剪應變遲滯迴圈，經由曲線擬合分析得到係數  $A_0^\pm$ 、 $A_1^\pm \sim A_3^\pm$ 。

$$\tau^+(x) = A_3^+ \gamma^3 + A_2^+ \gamma^2 + A_1^+ \gamma + A_0^+ \quad \text{剪應力剪應變加載曲線} \quad (3.6)$$

$$\tau^-(x) = A_3^- \gamma^3 + A_2^- \gamma^2 + A_1^- \gamma + A_0^- \quad \text{剪應力剪應變卸載曲線} \quad (3.7)$$

#### (f) 依位移量迴歸係數 $A_i$

為了避開小位移時將油壓致動器的特性反映到試驗結果中，以及位移過大時 VE 在邊緣處剝離導致受力面積減少，造成受力降低而無法確切描述 VE 墊片之實際消能軌跡，因此本系列試驗僅取頻率 0.1Hz~1Hz 及位移 3mm~10mm 之結果進行分析。將位移分別以 3mm ~ 10mm 背骨曲線方程式係數  $A_i$  分別進行迴歸。可從：

$$A_i = C_{ij} u^j + C_{ij} u^2 + C_{ij} u + C_{ij} ; \quad i=1 \sim n, j=1 \sim m \quad (3.8)$$

其中： $C_{ij}$  為迴歸參數； $u$  為位移； $n$ 、 $m$  為方程式之最高次冪。

#### (g) 建立 $C_{ij}$ 之資料庫

由式(2.22)可個別求出  $A_i^+$  與  $A_i^-$  方程式中之  $C_{ij}$  係數，吾人可將該係數依據不同位移及頻率建立一組位移與  $C_{ij}$  之資料庫，其優點為可以快速依照不同位移及頻率找到其對應之參數，再經由 Part II 步驟之進行處理後，即可求得欲擬合之遲滯迴圈參數。

## Part II 資料處理與分析擬合

#### (h) 建立位移增量

依測試位移  $u$  之大小，分別取  $+u \sim 0$  及  $0 \sim -u$ ，間隔 0.01mm 之數列。

### (i) 剪應變轉換

將  $+u \sim 0$  及  $0 \sim -u$  兩條數列建立完成之模擬位移值代入(3.2)式，即可得剪應變之數列。

### (j) 依參數 $C_{ij}$ 資料庫搜尋對應之背骨曲線方程式

依照欲擬合迴圈的試驗頻率與對應之振幅，可從先前建立完成之參數  $C_{ij}$  資料庫，代入 (3.8) 式即可得到加、卸載曲線代表式的  $A_0$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  參數，完成背骨曲線的擬合。

### (k) 背骨曲線方程式逆轉換成剪應力-剪應變之遲滯迴圈

利用梅新準則(masing rule)反推如下：

$$\frac{\gamma + \gamma_A}{2} = \bar{\gamma} \Rightarrow \gamma = 2\bar{\gamma} - \gamma_A \quad \frac{\gamma - \gamma_A}{2} = \bar{\gamma} \Rightarrow \gamma = 2\bar{\gamma} + \gamma_A \quad (3.9)$$

$$\frac{\tau + \tau_A}{2} = \bar{\tau} \Rightarrow \tau = 2\bar{\tau} - \tau_A \quad \frac{\tau - \tau_A}{2} = \bar{\tau} \Rightarrow \tau = 2\bar{\tau} + \tau_A \quad (3.10)$$

此外即可將加、卸載背骨曲線方程式轉換成剪應力-剪應變遲滯迴圈，完成擬合分析。

## 3.2.3 擬合 VE 遲滯迴圈分析案例

經試驗結果得知，力-位移遲滯迴圈轉換成剪應力-剪應變遲滯迴圈，在最大位移區域會有應變硬化之現象。本節針對頻率 0.1Hz~1.0Hz、振幅 3、5、8、10mm 進行模擬分析，依據 3.2.2 節分析流程逐步模擬剪應力-剪應變遲滯迴圈。相關參數於表 3.3~表 3.22、圖 3.32~圖 3.71 所示。

先前的試驗中發現 VE 墊片在較大位移時會有應變硬化的現象，為了要完整模擬出其力學行為，利用背骨曲線方程式進行多組實驗參數之擬合。就小變形而言，位移 3mm、頻率 0.1Hz~0.6Hz 時，消能面積形狀飽滿，呈橢圓形。當頻率提高到 0.7Hz~1.0Hz 時，消能面積變得異常狹小，尤其在頻率 0.9Hz 時，幾乎成一曲線，但在大變形 (5mm~10mm) 時此現象則有所趨緩。其推估可能的原因如下：

由於 VE 本身為黏彈性材料具有一定的回彈速度，假設該回彈速度為定值，輸入頻率為正負向往復運動，又 VE 材料在試驗中施加位移的速度為正向（以下簡稱位移速度），則回彈的方向與位移的方向相反，且 VE 材料產生位移速度與回彈速度非等值。當輸入擾動頻率為 0.1Hz~0.6Hz 時，VE 材料回彈速度趕不上位移速度時，即產生相位差。如同液態阻尼器的消能時液體會往反方向回流之消能模式，因此，該迴圈圖形會較為飽滿；當頻率為 0.7Hz~1.0Hz，尤其在 0.9Hz 時，VE 之位移速度與回彈速度為接近且為同一方向，如圖 3.72 所示，則導致 VE 材料無法有效產生消能效果。而就大變形而言，考慮到應變硬化效應，即使位移量較大仍具有消能作用。

### 3.3 實尺寸 VE 制震壁之試驗與分析

實尺寸 VE 制震壁元件測試之測試構架如圖 3.73 所示。為了平衡測試構架左右兩側的受力，故裝設兩組 VE 制震壁系統與 100tf 致動器連結。每組制震壁抗風減振系統共用  $16000 \text{ cm}^2$  之高分子聚合橡膠減振墊，橡膠墊壓縮後之有效厚度為 3.5 mm。

#### 3.3.1 試驗設備

##### 1. 100 噸油壓制動器，如圖 3.74 所示

應用結構大樓大型實驗室之 100 噸油壓制動器，係模擬地震擾動對實尺寸致振壁產生輸入之側向位移。

##### 2. MTS 控制系統，如圖 3.75 所示

配合 MTS 控制系統進行實尺寸制振壁試驗，該制動器係為該制振壁系統模擬地震擾動產生側向位移所進行之一系列試驗。

#### 3.3.2 試驗模型設計與規劃

為瞭解 VE 制震壁的消能遲滯行為，乃以實尺寸制震壁進行測試，如圖 3.76 所示，該制震壁每組使用 10 片  $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$  ( $1.6 \text{ m}^2$ ) 之 VE 墊片。

本研究規劃進行一系列之元件測試，測試項目包含不同測試頻率及位移，共考慮四種不同測試頻率 (0.3Hz、0.5Hz、0.8Hz 及 1.0Hz)，而每一測試頻率均包含五種不同振幅 (5mm、10mm、15mm、20mm 及 25mm)，相關測試項目歸納如表 3.23。

### 3.3.3 試驗結果與討論

VE 制震壁系統元件測試結果將以消能遲滯迴圈及材料之剪力模數呈現。

#### 消能遲滯迴圈

圖 3.77 及圖 3.78 分別為固定測試振幅 5mm 及 10mm 下，變換不同測試頻率（0.3Hz~1.0Hz）所得之遲滯迴圈圖。其結果顯示，VE 制震壁的遲滯行為並不受擾動頻率的影響。圖 3.79 為固定測試頻率為 0.3Hz，變化不同測試振幅下所得之遲滯迴圈圖，其結果顯示，VE 制震壁的遲滯行為隨著振幅的增大而越趨飽滿；將其轉換成剪應力-剪應變遲滯迴圈則會發現應變最大區會有應變硬化的現象產生，如圖 3.80 所示。綜合上述，VE 制震壁之遲滯消能行為受變形量的影響較大，與頻率關係不大。

#### 剪力模數(G)

如前所述，由實驗所得之遲滯迴圈結果顯示，制震壁抗風減振系統並不受頻率的影響，故後續之剪力模數的識別則選取測試頻率為 0.3Hz~1.0Hz、不同振幅所得之實驗數據進行識別分析。剪力模數之識別結果如表 3.24 及圖 3.81 所示，由識別結果可得以下結論：

1. 剪力模數隨應變量而改變，但受振頻之影響不大。
2. 振幅（剪應變）愈大，剪力模數愈大(i.e.愈硬)。

此與先前之材料試驗結果不同，可能的原因是材料試驗受到油壓致動器的特性影響極大，未來設計時將以實尺寸之測試結果為準。

## 第四章 五層樓鋼構裝設 VE 制震系統之耐震性能

### 試驗與耐震分析

為了解該 VE 制震系統裝設在結構物實際耐震性能，故將該阻尼器元件安裝於一座 1/2 縮尺五層樓鋼結構模型上進行耐震性能試驗。耐震性能試驗 ( seismic performance test ) 係利用振動台模擬真實地震條件下驗證防震裝置之減震效能。在試驗中分別輸入 PGA=0.11g、0.156g、0.207g、0.54g、0.31g 及 0.367g 的 El Centro 地震與 Kobe 地震，探討五層樓鋼結構有無裝設 VE 制震系統於各樓層加速度峰值反應、加速度均方根值、等效頻率及等效阻尼比...等動力特性實際折減效益及 VE 制震系統遲滯消能行為，進一步評估該系統應用在實際建築物案例之可行性。

該鋼結構模型之平面  $2 \times 2 m^2$ ，樓高 6.7m，重約 4.1tf，如圖 4.1 所示，相關之結構參數如表 4.1 所示。根據系統識別結果，空構架 ( 未裝阻尼器 ) 結構之基本振頻為 1.45 Hz，第 1 個模態等效阻尼比為 0.29 %。各振態之頻率及阻尼比歸納於表 4.2。

## 4.1 試驗規劃

VE 斜撐裝設於五層樓鋼構測試係於交通大學土木結構實驗室進行，主要利用單軸向地震模擬振動台完成。茲將試驗時使用之相關儀器設備及其規格說明如下：

### 1. 地震模擬振動台

結構動力試驗方法中，以振動台，如圖 4.2 所示，最能模擬真實之地動環境，在振動台試驗中結構之動力特性可以表露無疑，因此也最適合於教學及研究成果之示範與檢驗。交通大學地震模擬振動台之台面尺寸為 3m 見方，振動台之質量為 5tf，試驗結構之最大可達 10tf。振動台係由一支油壓制動器來驅動，其最大行程為 $\pm 12.5\text{cm}$ ，最大加速度為 1g。



### 2. 控制系統與資料擷取系統

控制系統為振動台之中樞所在，吾人使用 MTS407 控制器(圖 4.3)之位移控制模式操控振動台，因此，輸入之訊號為經基線修正積分之地震位移歷時記錄。407 控制器內部波型產生器可提供矩形波、三角波及正弦波等類比訊號輸出，若配合數位訊號輸入模組即可模擬隨機訊號及任意形式之地表擾動。振動台系統的資料擷取係採用德國 IMC 公司所開發之  $\mu$ -Musyocs 系統，其可同時量測 32 個頻道。測試資料的儲存可透過個人電腦工具與網路介面將其快速的轉換到其他的電腦進行後期處理。

## 4.2 VE 斜撐設計與耐震性能測試

為瞭解 VE 斜撐運用於五層樓鋼構架的消能遲滯行為及其材料之力學特性，係由本研究室博士班學長張簡嘉賞所設計 VE 斜撐模型進行測試(圖 4.4~圖 4.9)。

「VE 斜撐制震系統」之耐震性能測試。斜撐型制震系統係於結構系統 1-5F 中裝設 10 組 VE 斜撐。由耐震性能試驗結果顯示，在不同地震擾動輸入下，含斜撐型制震系統之測試構架模型具有優異的減震效益，且增設阻尼器結構之等效阻尼比皆有顯著的提升，顯示其可有效的降低構架受震反應。

### VE 斜撐之配置



耐震性能測試係考慮將阻尼器裝設於結構模型兩側平行於地震運動方向之構架各樓層間，共計 10 組阻尼器，如圖 4.10 所示。阻尼器試件係將高分子黏彈性材料配置於中心主體的 H 型鋼與兩端接合之槽鋼中間所製作完成，阻尼器總長度為 2075 mm (1F) 及 2000mm(2~5F)，極限位移為 40mm，高分子黏彈性材料有效接觸面積為 640cm<sup>2</sup>，最大出力為 1.9ton，共計使用 10 組阻尼器。

斜撐型阻尼器如圖 4.11 所示，每支斜撐於 H 型兩端鋼腹版及翼版黏貼高分子黏彈性材料，每支阻尼器所採用的高分子黏材共計 640cm<sup>2</sup>，最大出力約為 1.9tf。

## 試驗架構(Experimental Set-up)：

### 振動感應器之配置

振動感應計之安排以加速規為主，共安裝 7 個加速規 (CROSSBOW $\pm$ 4g)，裝設位置包括振動臺面上、基座以及各樓板中央，用以量測各樓層之加速度反應。

### 耐震性能評估

耐震性能試驗分別以 El Centro 與 Kobe 地震作為地表擾動，並調整其最大地表加速度以進行一系列之耐震試驗。為了避免無阻尼器保護之空構架結構於試驗中受損，空構架試驗時僅採用最小的地震強度 (PGA=0.1g) 進行測試，其餘地震強度之空構架試驗結果係依照地震強度之比例放大。加裝阻尼器時之不同強度地震模擬試驗結果則為實際量測值。



### El Centro 地震

在不同地震強度下，各樓層加速度反應峰值歸納於表 4.3，結果顯示在不同地震強度下，裝設阻尼器的結構其所有樓層加速度反應皆有明顯的折減，毫無例外。五樓加速度峰值在 PGA=0.11g 時減震效益約 37%，當地震強度增加時其減震效益仍然不錯，甚至更加提升—當 PGA=0.367g 時，5F 之減震效益則提高至 42%。而一樓加速度峰值在 PGA=0.11g 時其減震效益約為 55%，而隨著地震強的提升其減震效益仍維持在 55% 左右。PGA=0.367g 時各樓層之加速度反應比較如圖 4.12 所示，結果顯示加裝阻尼器有顯著的減震效果。加速度反應均

方根值 (root-mean-squares, RMS) 的比較結果歸納於表 4.4, 其減震效益更為顯著, 當  $PGA=0.11g$  時, 頂樓均方根值之加速度折減高達 49%; 當地震強度提升時, 其減震效益則有向上提升的趨勢, 當  $PGA=0.367g$  時, 減震效益提升至 66%; 其他樓層之減震效益亦有相同趨勢。

系統識別分析所得之結構自然頻率與阻尼比歸納於表 4.5, 其結果顯示, 結構物加裝阻尼器後, 其自然頻率均有提高, 顯示消能器結構之勁度有提升作用; 另一方面, 當地震強度增加時, 結構之自然頻率與等效阻尼比 (除  $PGA=0.11g$ ) 並無太大變化。當地震強度  $PGA=0.156g$  時, 構架第 1 模態之等效阻尼比由 0.29% (空構架) 大幅提升至 3.86% (裝設阻尼器), 而當地震強度提升至  $PGA=0.367g$  時, 阻尼比亦維持在 3.8% 左右。其他振態的變化亦有相似之結果。

### **Kobe 地震**

在不同地震強度下, 各樓層加速度反應峰值歸納於表 4.6, 結果顯示在不同地震強度下, 裝設阻尼器的結構其所有樓層加速度反應皆有明顯的折減, 毫無例外。五樓加速度峰值在  $PGA=0.165g$  時減震效益約 47%, 而當地震強度增加時其減震效益仍然不錯, 且有上升的趨勢。一樓加速度峰值在  $PGA=0.165g$  時其減震效益約為 51% 當地震強度提升到  $PGA=0.445g$  時, 其減震效益則提升至 63%。 $PGA=0.445g$  時各樓層之加速度反應比較如圖 4.13 所示, 結果顯示加裝阻尼器有顯著的減震效果。加速度反應均方根值 (root-mean-squares, RMS) 的比

較結果歸納於表 4.7，其減震效益更為顯著，當  $PGA=0.165g$  時，頂樓均方根值之加速度折減高達 71%；當地震強度提升時，其減震效益仍達 70% 以上，且隨地震強度的增加減震效益亦有上升的趨勢。

系統識別分析所得之結構自然頻率與阻尼比歸納於表 4.8，其結果顯示，結構物加裝阻尼器後，其自然頻率均有提高，顯示消能器對結構之勁度均有提升作用。當地震強度增加時，結構之自然頻率與等效阻尼比（除  $PGA=0.445g$ ）並無太大變化。當地震強度  $PGA=0.165g$  時，構架第 1 模態之等效阻尼比由 0.29%（空構架）大幅提升至 4.40%（裝設阻尼器），而當地震強度提升至  $PGA=0.445g$  時，阻尼比亦維持在 4.0% 以上。其他振態的變化亦有相似之結果。



### 4.3 VE damper 之設計與測試

由上節所測試之斜撐型 VE damper 測試可知其減振效果相當優異。本研究室團隊近一步改變測試模型，主要利用 VE 制震壁裝設於五層樓鋼構架，但因 VE 材料不夠，因此配合 VE 斜撐進行測試。

VE 制震壁元件（圖 4.14）係安裝於五層樓鋼結構的 1-3F，共計 6 組。每組 VE 制震壁元件採用接觸面積為  $800\text{cm}^2$  的高分子黏彈性材料，最大出力為 2.4tf；VE 斜撐（圖 4.15）安裝於五層樓鋼結構的 4-5F，共計 4 組。每組 VE 斜撐元件採用總面積為  $640\text{cm}^2$  的高分子黏彈性材料，最大出力為 1.9tf，與上節同。

#### 試驗架構(Experimental Set-up)

##### 振動感應器之配置

振動感應計之安排以加速規為主，共安裝 7 個加速規 (CROSSBOW $\pm 4\text{g}$ )，裝設位置包括振動臺面上、基座以及各樓板中央，用以量測各樓層之加速度反應。

##### 耐震性能評估

耐震性能試驗分別以 El Centro 與 Kobe 地震作為地表擾動，並調整其最大地表加速度以進行一系列之耐震試驗。為了避免無阻尼器保護之空構架結構於試驗中受損，空構架試驗時僅採用最小的地震強度 (PGA=0.1g) 進行測試，其餘地震強度之空構架試驗結果係依照地震強度之比例放大。加裝阻尼器時之不同強度地震模擬試驗結果則為實際量測值。

## El Centro 地震

在不同地震強度下，各樓層加速度反應峰值歸納於表 4.9，結果顯示在不同地震強度下，裝設阻尼器的結構其所有樓層加速度反應皆有明顯折減，毫無例外。五樓加速度峰值在  $PGA=0.115g$  時減震效益約 32%，而當地震強度增加時減震效益仍維持於 22~31%。而一樓加速度峰值在  $PGA=0.115g$  時其減震效益約為 45%，而隨著地震強的提升其減震效益仍維持在 50% 左右。 $PGA=0.277g$  時各樓層之加速度反應比較如圖 4.17 所示，結果顯示，加裝阻尼器有顯著之減震效果。加速度反應均方根值 (root-mean-squares, RMS) 的比較結果歸納於表 4.10，其減震效益更為顯著，當  $PGA=0.115g$  時，頂樓均方根值之加速度折減高達 66%；當地震強度提升時，其減震效益則有向上提升的趨勢，當  $PGA=0.277g$  時，減震效益提升至 70%；其他樓層之減震效益亦有相同趨勢。

系統識別分析所得之結構自然頻率與阻尼比歸納於表 4.11，其結果顯示，結構物加裝阻尼器後，其自然頻率均有提高，顯示消能器對結構之勁度有提升作用。當地震強度增加時，結構之自然頻率與等效阻尼比呈遞減之勢。當地震強度  $PGA=0.115g$  時，構架第 1 模態之等效阻尼比由 0.29% (空構架) 大幅提升至 6.19% (裝設阻尼器)，而當地震強度提升至  $PGA=0.277g$  時，阻尼比亦維持在 6% 左右。其他振態的變化亦有相似之結果。

## Kobe 地震

在不同地震強度下，各樓層加速度反應峰值歸納於表 4.12。結果顯示，在不同地震強度下，裝設阻尼器的結構其所有樓層之加速度反應皆有明顯的折減，毫無例外。五樓加速度峰值在  $PGA=0.107g$  時減震效益約 49%，而當地震強度增加時其減震效益則維持在 46~51%。一樓加速度峰值在  $PGA=0.107g$  時其減震效益約為 53%，當地震強度提升到  $PGA=0.368g$  時，其減震效益仍維持在 50% 左右。 $PGA=0.368g$  時各樓層之加速度反應比較如圖 4.18 所示，結果顯示加裝阻尼器有顯著的減震效果。加速度反應均方根值 (root-mean-squares, RMS) 的比較結果歸納於表 4.13，其減震效益更為顯著，當  $PGA=0.107g$  時，頂樓均方根值之加速度折減高達 76%；當地震強度提升時，其減震效益亦維持在 77% 左右，而其他樓層之減震效益亦有相同趨勢。

系統識別分析所得之結構自然頻率與阻尼比歸納於表 4.14，其結果顯示，結構物加裝阻尼器後，其自然頻率均有提高，顯示結構物之勁度均有提高，而當地震強度增加時，結構之自然頻率與等效阻尼比呈遞減之勢。當地震強度  $PGA=0.107g$  時，構架第 1 模態之等效阻尼比由 0.29% (空構架) 大幅提升至 8.6% (裝設阻尼器)，而當地震強度提升至  $PGA=0.368g$  時，阻尼比亦維持在 8% 左右。其他振態的變化亦有相似之結果。

耐震性能試驗結果顯示，在不同地震擾動輸入下，此制震系統均

優異的減震效益，且結構之等效阻尼比皆有顯著提升。測試係考慮將阻尼器裝設於結構模型兩側平行於地震運動方向之構架各樓層間，共計 2 種不同型式、10 組阻尼器，如圖 4.16 所示。



## 第五章 VE 制震壁於抗風減震之應用

-以御盟建設 20 代建案為例

### 5.1 前言

隨著科技之進步，土木結構愈趨細長，建築物高度日增、橋樑跨度日趨加大，如此一來，結構之強度應達安全之需求，結構之變位及振動量應予以檢核，以免嚴重變形及振動量過大而喪失其可用性。由於超高層建築物之結構週期較長，地震力之影響不及風力明顯，因此其結構設計通常由風力所控制。風力雖不至使結構產生太大的應力或位移，但所引起的振動加速度卻會導致住戶或使用者的不舒適。早期高樓結構物設計主要以位移做為設計檢核之標準，惟舒適性與加速度反應較為相關，因此我國規範亦規定半年回歸期之風力作用下，頂樓加速度不得大於 5gal 之上限值；而 10 年回歸期之風力作用下，頂樓加速度不得大於 10gal。一般而言，超高大樓設計之層間位移角上限值為千分之五，以不危害次要結構為準則；依設計用風力求得之結構體層間位移角不得大於千分之二.五。本章節將以一棟高寬比 8:1 之三十一層超高層結構(圖 5.1 及圖 5.2)為對象進行 VE 制震壁之抗風效益評估。分析時將簡化為單自由度結構，其第一振態週期為 3.27 sec(頻率為 0.31 Hz)，以半年回歸期之風力歷時作為擾動下進行分析。

## 5.2 VE 制震壁之設計

御盟建設 20 代之建物如圖 5.1 所示。本設計規劃於 1F~20F 每層裝設兩組 40 ton 級的 VE 制震壁作為抗風減振系統，21F~RF 每層裝設兩組 20 ton 級的 VE 制震壁，共計 62 組。因應不同的組合方式及樓層高度，本案之 VE 制震壁共有三種型式，分別為：

**Type A**：總高度為 410cm，採兩組 20 ton 級制震壁合併安裝於同一基座，安裝於建物之 1F。

**Type B**：總高度為 310cm，單組 20 ton 級制震壁，安裝於建物之 2F~20F。

**Type C**：總高度為 310cm，採兩組 20 ton 級制震壁，組裝於同一基座。安裝於建物之 21F~RF。



### **Type A VE 制震壁**

Type A VE 制震壁組裝如圖 5.3 所示，系統總高度為 410 cm，主要由兩組 20 ton 制震抗風減振系統所組合成，每組制震抗風減振系統均以夾板 A、B 三塊鋼板與高分子聚合橡膠減振墊連結（每組於夾板 B 兩側共黏貼 10 片，兩組合計 20 片），並搭配其餘夾板 C、角鋼及墊片等單元所搭配組合而成，再將兩組制震抗風減振系統共同安裝到 H 型鋼上組成 Type A 制震抗風減振系統，各單元之細部設計如圖 5.4~5.9 所示。表 5.1 為 Type A VE 制震壁各零組件之總數量統計表。

## Type B VE 制震壁

Type B VE 制震壁組裝如圖 5.10 所示，系統總高度為 310 cm，主要由兩組 20 ton VE 制震壁所組合成，每組 VE 制震壁均以夾板 A、B 三塊鋼板與高分子聚合橡膠減振墊連結（每組於夾板 B 兩側共黏貼 10 片，兩組合計 20 片），並搭配其餘夾板 C、角鋼及墊片等單元所搭配組合而成，再將兩組 VE 制震壁併排安裝到 H 型鋼上組成 Type B VE 制震壁，各單元之細部設計如圖 5.11~5.16 所示。表 5.2 為 Type B VE 制震壁各零組件之總數量統計表。

## Type C VE 制震壁

Type C VE 制震壁組裝如圖 5.17 所示，系統總高度為 310 cm，為單一組 20 ton VE 制震壁。Type C 與 Type B VE 制震壁僅差異在 Type B 為兩組 20 ton VE 制震壁合併組裝完成，而 Type C 則為單一組 20 ton 制震抗風減振系統，故 Type C 除基座之 H-Beam 外，所有的單元零件均與 Type B 相同。Type C 之 H-Beam 單元細部設計如圖 5.18 所示。表 5.3 為 Type C VE 制震壁各零組件之總數量統計表。

### 5.3 風力作用模式

高層建築受風力作用時，其振動分為順風向(along-wind response)與橫風向反應(across-wind response)兩種形式。順風向反應為紊流風場逼近流(approach flow)於結構物迎風面形成之正壓力與背風面之負壓力，共同合成拖曳力而產生結構振動的現象。橫風向反應的成因分別為渦流逸散(vortex shedding)與氣動力效應(aerodynamic effect)，當風流經高層建築時，會在其左右兩側形成分離剪力層，並產生漩渦交互作用於結構物之側面，此現象即為渦流逸散。渦流逸散會造成週期性之振動，當其共振頻率與結構自然頻率接近時，渦流逸散頻率不再隨平均風速的增加而遞增，而會固定在結構自然頻率，此現象稱為鎖定(lock-in)。鎖定會產生共振效應而使結構振動加劇。本分析案例主要採用順風向風力進行分析。

#### 順風向風力公式[38]

順風向風力由紊流風場逼近流所形成，Davenport[41]提出如下所示之高層建築第  $i$ 、 $j$  層順風向單邊(one-sided)風力交互頻譜(cross specturm)如下所示：

$$S_{w_{ij}}(\omega) = \frac{8\bar{\omega}_i\bar{\omega}_j K_0 V_r^2}{\bar{V}_i \bar{V}_j |\omega|} \frac{(600\omega/\pi V_r)^2}{\left[1 + (600\omega/\pi V_r)^2\right]^{4/3}} \exp\left[-\frac{C_z |\omega| |h_i - h_j|}{\pi (V_i + V_j)}\right] \quad (5.1)$$

$S_{w_{ij}}(\omega)$ ：Davenport 風力頻譜

$\bar{V}_i = \left(\frac{h}{10}\right)^{0.36} \times V_r =$  第  $i$  樓層之平均風速

$h_i$  = 第  $i$  層樓之高程

$\bar{w}_i$  = 第  $i$  層樓之平均風力

$V_r = 30 \text{ m/sec}$  = 距地 10m 處平均風速

$k_0 = 0.025$  = 地表粗糙係數

$C_z$  = 指數衰減係數

上式中指數項乃描述兩層樓間風力之相關性函數 (coherence function)。假設平均風速為幂律分布 (power law distribution)，亦即：

$$\frac{\bar{V}_i}{V_r} = \left(\frac{h_i}{10}\right)^{\bar{\alpha}} \quad ; \quad 0 \leq h \leq h_g \quad (5.2)$$

其中，

$\bar{\alpha}$ ：與地況種類有關之常數

$h_g$ ：梯度高(m)，與地況種類有關(表 5.4)。



依照建築物風力規範條文，解說及示範例之研訂內容可知，地況種類與建築物所在位置及其附近之地表特性有關，可分為以下四種：

1. 地況 A：大城市市中心，至少有 50% 之建築物高度大於 20 公尺者。建築物迎風向之前方至少 800 公尺或建築物高度 10 倍的範圍(兩者取大值)係屬此種條件下，才可使用地況 A。
2. 地況 B：大城市市郊，小市鎮或許多像民舍高度，或較民舍為高之障礙物分佈期間之地區者。建築物迎風向之前方至少 500 公尺或建築物高度 10 倍的範圍(兩者取大值)係屬此種條

件下，才可使用地況 B。

3. 地況 C：平坦開闊之地面或草原，其分散之障礙物高度小於 10 公尺者。
4. 地況 D：平坦無障礙物之海岸或湖岸地區，風向係經由水面吹過來者才適用。距海岸線 500 公尺或建築物高度 10 倍的範圍(兩者取大值)才適用此地況。

因順風向氣動力效應甚小，可予以忽略，故第  $i$  層樓順風向平均風力可以下是表示：

$$\bar{\omega} = 0.5 \rho_a A_i C_D \bar{V}_i^2 \quad (5.3)$$

其中， $\rho_a$  為空氣密度； $A_i$  為第  $i$  層樓之迎風面面積； $C_D$  則為阻力係數 (drag coefficient)。



## 5.4 非線性黏性阻尼系統之簡介

在郭世民的碩士論文[39]中提到，液態黏性阻尼器理想的力學行為是阻尼力與相對速度相關且同向，且不具儲存勁度，其關係式如下式所示：

$$F_D = C |\dot{v}|^\alpha \text{sgn}(\dot{v}) \quad (5.4)$$

其中， $F_D$ ：阻尼器產生之阻尼力

$C$ ：阻尼器之阻尼常數

$\dot{v}$ ：活塞運動速度

$\alpha$ ：非線性係數

$$\begin{aligned} \text{sgn}(\dot{v}) &= +1, \dot{v} \geq 0 \\ &= -1, \dot{v} < 0 \end{aligned}$$

以耐震性能的特性而言，當 $\alpha=1.0$ 時阻尼器為線性黏性之行為；而 $\alpha \neq 1$ 則為非線性黏性之行為。由圖 5.20 可發現在小的擾動速度時， $\alpha < 1.0$  之非線性黏性阻尼器即可發揮較大之控制力以抵抗擾動，但 $\alpha > 1.0$  非線性黏性阻尼器所提供之阻尼力非常小；反之在較大之振動速度時， $\alpha < 1.0$  之非線性阻尼器其出力增量有限， $\alpha > 1.0$  之非線性黏性阻尼器出力急速增加，而線性黏性阻尼器則不論速度大小皆維持固定之比例增加。當速度超過某一定值，線性黏性阻尼器之阻尼力反而會大於 $\alpha < 1.0$  非線性阻尼器出力，而 $\alpha > 1.0$  之非線性黏性阻尼器其出力則成為三者中之最大者。

因此，本分析案例主要是將此特性應用在抗風減振狀況下，利用順向風力作為輸入擾動，以不同的非線性阻尼係數 $\alpha$ 分別在 0.5、0.8、

1.0、1.2 及 1.5 的參數中，分析 VE 制震系統運用於抗風之較佳參數。進一步思考在往後 VE 墊片的需要依照何種非線性阻尼係數進行選擇。

## 5.5 SAP2000 超高層建築物建立及風力擾動模擬

### 5.5.1 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界面結構分析軟體。使用者可在三維空間建立幾何形狀的基本分析模型，桿件元素、薄殼元素的斷面幾合性質，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 視窗界面中快速、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的了解結構模型的力學行為。此外，強大的輸出系統結合 EXCEL、ACCESS、AUTO CAD 等軟體及標準化之文字格式輸出結果，可供使用者更為快速從事後處理工作。

### 5.5.2 高層建築之分析模型

本研究係採用御盟建設二十代規劃設計中之建築結構體做為數值模擬分析對象，並針對針對此案進行 VE 制震壁之抗風減振效益評估。依結構平面圖、立面圖、各細部設計圖建立一結構分析模型。其

中，圖 5.1 為模型透視圖，樓高 146.2 m，為一高寬比為 8:1 之結構，圖 5.21 為結構一樓平面尺寸圖，長 48.6 m、寬 24.4 m。於各樓層分別加裝單組或雙組 VE 制震壁，在順向風力擾動下探討非線性阻尼係數  $\alpha$  分別為 0.5、0.8、1.0、1.2 及 1.5 等五種情況，由各樓層之層間位移、側位移(相對於地表)及整體結構基底剪力等折減率評估減振效益。

為探討有代表性之高層結構物受風力振動的擺動行為及裝設 VE 制震壁之抗風減振效果，本研究僅探討結構物短向受順向風力作用下產生之各項擾動，如圖 5.22 所示。

### VE 制震壁裝設

利用 SAP2000 中非線性阻尼器的模擬，於結構物建築線 Y-Z plane(圖 5.23)結構之 1F 及 21~RF 各裝設單組，2F~20F 各裝設兩組制震系統，在此僅考慮 Y 向之風力控制，因以阻尼器之模擬僅設定 U3 受力方向之勁度與阻尼。

### 分析案例說明

本分析主要採用順向風力歷時作為輸入歷時擾動，於立面圖中各樓層之對稱節點位置當作風力輸入位置，依樓層平面圖型式不同可分別擷取 2、4 個輸入點。由軟體分析後可得到該結構物在順向風力擾動下各種動力特性，利用其中結點位移、樓層位移歷時圖、基底剪力之輸出作為分析結果之判斷。

## 5.5.2 系統識別

本節主要介紹結構系統識別的方法，俾便進行結構系統識別試驗，以求得分析模型之振動頻率與阻尼比等動力特性參數。

線性結構動力系統之等效離散時間模式，若以單一輸入-單一輸出 (Single Input Single Output ,SISO) 的情況為例，可以線性差分方程表示為：

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_{n_a} y(k-n_a) = b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_{n_b} u(k-n_b) \quad (5.11)$$

其中，

$y(\cdot)$  代表系統之輸出， $a_i$ 's 為輸出訊號係數， $n_a$  為其維度

$u(\cdot)$  代表系統之輸入， $b_i$ 's 為輸入訊號係數， $n_b$  為其維度

根據 ARX 模型可進一步表示為：

$$y(k) = \Psi^T(k)\theta + e(k) \quad (5.12)$$

$$\Psi^T(k) = [-y(k-1) \dots -y(k-n_a), u(k) \dots u(k-n_b)] \quad (5.13)$$

$$\theta = [a_1 \dots a_{n_a}, b_0 \dots b_{n_b}]^T \quad (5.14)$$

其中， $e(k)$  代表雜訊，通常假設其為零均值 (zero mean) 之白雜訊 (white noise)。

利用遞迴預測誤差法 (Recursive Prediction Error Method)，經運算整理後可得系統參數遞迴型式解如下：

$$\theta(k) = \theta(k-1) + L(k)[y(k) - \Psi^T(k)\theta(k-1)] \quad (5.15)$$

其中，

$$L(k) = \frac{P(k-1)\Psi(k)}{\kappa(k) + \Psi^T(k)P(k-1)\Psi(k)} \quad (5.16)$$

$$P(k) = \frac{P(k-1)}{\kappa(k) + \Psi^T(k)P(k-1)\Psi(k)} \quad (5.17)$$

$$\kappa(k) = \kappa_0 \kappa(k-1) + 1 - \kappa_0 \quad (5.18)$$

$\kappa$  稱為遺忘因子 (forgetting factor)，通常採用  $\kappa_0 = 0.99$ ， $\kappa(0) = 0.95$ ； $P(0) = 10^8 \sim 10^{10}$ ，以加速其收斂速度。

由於結構系統的振動特性與係數  $a_i s$  有關，識別出系統的最佳係數  $a_i s$  後，即可計算結構之振動頻率與阻尼比如下：

$$f_j = \frac{1}{2\pi\Delta t} \sqrt{(\ln r_j)^2 + \phi_j^2} \quad (5.19)$$

$$\zeta_j = -\frac{\ln(r_j)}{\sqrt{(\ln r_j)^2 + \phi_j^2}} \quad (5.20)$$

其中， $\Delta t$  為取樣周期；

$$r_j^2 = P_j \bar{P}_j, \phi_j = \tan^{-1} \left[ \frac{I(P_j)}{R(P_j)} \right] \quad (5.21)$$

其中  $P_j$  為以  $a_i s$  作為多項式係數所得之第  $j$  個複數根。



## 5.6 分析結果

### 各樓層層間位移

由於分析過程中 SAP2000 無顯示各樓層層間位移量，如需計算必須由結構物模型中，於平面圖選擇一固定點，在依據該點在各樓層不同的節點編號進行計算，即可得到各樓層層間位移量。

在不同非線性阻尼係數  $\alpha$  下，各樓層層間位移如圖 5.24 所示並歸納於表 5.5~表 5.9，結果顯示在不同  $\alpha$  下，結構其所有樓層層間位移反應皆有明顯的折減，毫無例外。結構物之層間位移是隨著高度呈線性關係增加，及最大之位移量為結構物之頂樓樓層。因此，吾人可利用頂樓位移量進行初步的判斷分析。頂樓位移在  $\alpha=0.5$  時折減效益約 20%，各樓層在此條件下皆有 17%~21% 的折減效果； $\alpha=0.8$  時折減效益約 31%，各樓層在此條件下皆有 27%~32% 的折減效果； $\alpha=1.0$  時折減效益約 38%，各樓層在此條件下皆有 35%~38% 的折減效果； $\alpha=1.2$  時折減效益約 40%，各樓層在此條件下皆有 38%~40% 的折減效果； $\alpha=1.5$  時折減效益則達到 48%，各樓層在此條件下皆有 46%~48% 的極佳的折減效果。

平均折減率之比較歸納於表 5.10，其結果顯示，當非線性阻尼係數  $\alpha$  越大時，折減效果有越來越好的趨勢，該結構物無裝設 VE 阻尼器之頂樓樓層位移為 70.34cm，裝設阻尼器後最大可將位移量降為 36.45cm； $\alpha=1.5$  的折減效果達到 47.54%。由此可知在本例中，當  $\alpha$  越大，VE 制震壁對位移量折減效果越好。

## 各樓層相對位移

利用各樓層位移歷時圖，計算出各樓層之相對位移量。將該層位移歷時減掉下層之位移歷時，在擷取其最大位移量即為該樓層之相對位移量。頂樓層間位移在  $\alpha=0.5$  時折減效益約 10%，各樓層在此條件下皆有 6%~10% 的折減效果； $\alpha=0.8$  時折減效益約 16%，各樓層在此條件下皆有 13%~16% 的折減效果； $\alpha=1.0$  時折減效益約 20%，各樓層在此條件下皆有 20%~23% 的折減效果； $\alpha=1.2$  時折減效益約 26%，各樓層在此條件下皆有 26%~29% 的折減效果； $\alpha=1.5$  時折減效益則達到 31%，各樓層在此條件下皆有 30%~33% 的折減效果，尤其在 2F 的折減效益更達到 47%。計算結果如圖 5.25 所示，並歸納於表 5.11~表 5.15，結果顯示在不同  $\alpha$  下，其平均折減效率歸納如表 5.16。結果顯示，當  $\alpha$  越大，各樓層相對位移之折減效果越好。

## 基底剪力

在不同非線性阻尼係數  $\alpha$  下，基底剪力歸納於表 5.17。由無裝設阻尼器分析得出基底剪力為 2030.43tf。裝設阻尼器之分析結果顯示在不同  $\alpha$  下，對於基底剪力有大幅度的折減，尤其在  $\alpha=1.5$  之條件下基底剪力為 1127.51，達到 44% 的折減效果。此分析結果顯示，基底剪力之折減效率亦隨  $\alpha$  增大而提升。

## 阻尼器遲滯迴圈

在不同非線性阻尼係數  $\alpha_c$  下，阻尼器遲滯迴圈如圖 5.26~圖 5.35。由圖的結果可發現，阻尼器之遲滯行為不會因非線性阻尼係數不同有

明顯的不同。圖 5.24 為  $\alpha=0.5$ ，1 樓之持滯迴圈，阻尼位移量約為 2mm，而圖 5.25 為  $\alpha=0.5$ ，31 樓之持滯迴圈，阻尼位移量約為 12mm。比較兩者，雖然 1F 位移量較 31F 小，但整體阻尼出力差異不大，且遲滯迴圈的形狀相當飽滿，最大受力接近 10tf，由此可知該阻尼在較小位移時，就可提供足夠的阻尼力產生消能作用，非常適合用於小位移的風力擾動。

### 等效頻率與阻尼比

系統識別分析所得之結構自然頻率與阻尼比歸納於表 5.18，其結果顯示，結構物加裝阻尼器後，在不同的  $\alpha$  值的自然頻率均有大幅度的提高，而在  $\alpha=1.5$  時，則是以高振態作為控制。



## 第六章 結論與建議

本研究主要探討以日本 BCTech 發展之高分子橡膠作為 VE 制震壁核心構材的可行性，以及未來工程應用所須完備之相關驗證工作，包括材料性能測試、實尺寸制震壁元件測試以及耐震性能試驗等。針對 VE 材料性能試驗之結果，本研究嘗試以背骨曲線為基準進行曲線擬合，以掌握高分子橡膠在變形較大時之應變硬化行為。此外，為評估 VE 制震壁應用於高樓抗風減振之可行性，本研究亦選擇一規劃設計中之 31 層樓、高寬比約 8:1 之建物為標的進行探討。有關 VE 制震壁之特性參數係根據實尺寸元件之相關測試結果定義，但針對非線性 VE 制震系統進行一系列之參數研究。茲歸納結論與建議如下：

1. VE 減振墊之材料性能測試顯示，其剪力模數及消能特性與振動頻率及應變量有關，剪力模數隨應變量增大而趨緩；VE 減振墊之消能能力（遲滯迴圈之飽滿程度或材料耗損係數）隨頻率而改變，但無一定之趨勢。
2. 實尺寸 VE 制震壁之元件測試結果顯示，剪力模數隨應變量之增加而有增大之趨勢，即應變硬化現象，且其消能特性隨振幅增加而增大，但與所考慮之測試頻率(0.33Hz, 0.5Hz 及 1.0 Hz)無關，此與材料性能測試之結果不同。由於材料性能測試中，所使用之 VE 減振墊面積有限，其出力不大，故試驗中受到油壓制動器本身之阻尼特性影響相對較為顯著，因此其結果未必客觀。應以實尺寸 VE 制震

壁之元件測試結果較具參考價值。

3. VE 制震壁之耐震性能試驗結果顯示，以 El Centro 與 Kobe 地震作為輸入擾動，裝設 VE 斜撐與制震壁可降低 40%~50% 之頂樓加速度，其他各樓層加速度反應之折減率更達 50%~70%。系統識別結果顯示，VE 制震壁可將第一振態之等效阻尼比由 1.45% 大幅提升至 8.72%，其他振態之阻尼比亦有顯著增加。
4. 高樓抗風減振分析之結果顯示，當 VE 制震系統阻尼項之非線性次冪越高時 ( $\alpha=1.5$ )，其抗風減振效益越佳，對結構第一振態等效阻尼比之提升程度亦然，此與過去速度相依型阻尼器應用於建築抗震時之結論相反。上述結果顯示，具速度相依特性之阻尼器在抗震與抗風之不同用途時，其最佳設計參數不盡相同，應該視狀況而定。



## 參考文獻

1. G.W.Housner, et. al., "Special Issue, Structural Control: Past, Present, and Future." , Eng. Mech., Vol.123, No. 9, 1997.
2. Farzad Naeim and James M. Kelly, "Design of Seismic Isolated Structure From Theory to Practice" , John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
3. Buckle, I. G., and Mayes, R. L., "Seismic isolation: history, application and performance—a world review," Earthquake Spectra , Vol. 6, pp.161-201, 1990.
4. Martelli, A., Parducci, A., and Forni, M., "State-of-the-art on development and application of seismic isolation and innovative seismic design techniques in Italy," ATC-17-1 Technical Papers on Seismic Isolation, pp. 401-402, 1993.
5. Kelly, J.M., "A seismic base isolation: review and bibliography," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 5, pp. 202-216, 1986.
6. Soong, T.T. and Spencer Jr B.F., "Supplemental Energy Dissipation: State-of-the-Art and State-of-the-Practice," Eng. Struct., Vol. 24, pp. 243-259, 2002.
7. Soong, T.T. and Dargush, G.F. "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering" , John Wiley and Sons Inc., New York, 1997.
8. Frahm, H., "Device for Damping Vibration of Bodies," U.S. Patent No. 958-989, 1911.
9. Rana, Rahul., and Soong, T. T., "Parametric Study and Simplified Design of Tuned Mass Dampers," Engineering Structures, Vol.20, No.3, pp193-204, 1998.
10. Zayas, V.A., Low, S.S., and Main, S.A., "The FPS earthquake resisting system, experimental report," Report No. UCB/EERC-87/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California , 1987.

11. Mokha, A.S., Constantinou, M.C., and Reinhorn, A.M., "Experimental study and analytical prediction of Earthquake response of a sliding isolation system with a Spherical surface," Report No. NCEER-90-0020, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, N.Y. 1990.
12. Mokha, A.S., Constantinou, M.C., Reinhorn, A.M., and Zayas, V.A., "Experimental study of friction pendulum isolation system," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 4, pp.1201-1217, 1991.
13. Constantinou, M.C., Tsopeles, P., Kim, Y.S., and Okamoto, S., "NCEER-Taisei coporation research program on sliding seismic isolation system for bridges and analytical study of a friction pendulum system (FPS)," Report No NCEER-93-0020, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, NY, 1993.
14. Wang, Yen-Po, Chung, Lap-Loi and Liao, ei-Hsin, "Seismic Response Analysis of Bridges Isolated with Friction Pendulum Bearings," Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 1069-1093, 1998.
15. Wang, Y.P., Chung. L.L, Teng, M.C, Lee, C.L., "Experimental Study of Seismic Structural Isolation using Sliding Bearings," 2WCSC, Kyoto, Japan, pp.83-92, 1998.
16. Wang, Yen-Po, and Wei-Hsin Liao, "Dynamic Analysis of Sliding Structures with Unsynchronized Support Motions", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29, pp. 297-313, 2000.
17. Yen-Po Wang, Min-C. Teng and Chien-Liang Lee, "ynamic Analysis and Shaking Table Tests of Structures Isolated by Friction Pendulum Bearings", Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, Vol.12, No.2, pp.301-310 (in Chinese), 2000.

18. Wang, Y.P., Teng, M.C. and Chung, W., "Seismic Isolation of Rigid Cylindrical Tanks Using Friction Pendulum Bearings," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 30, Issue 7, July, pp. 1083-1099, 2001.
19. 王彥博, 「降伏式金屬制震板之建築防震應用」, 海峽兩岸結構抗風減震工程實務研討會, 台灣新竹, 第 120~146 頁, 2004.
20. Soong, T.T. "Active Structural Control: Theory and Practice", John Wiley and Sons Inc., New York, 1990.
21. Soong, T.T., Masri, S.F. and Housner, G.W., "An Overview of Active Structural Control under Seismic Loads," *Earthquake Spectra*, Vol. 7, No. 3, pp. 483-505, 1991.
22. Soong, T.T., "State-of-the-art-review: Active Structural Control on Civil Engineering," *Eng. Struct.*, Vol. 10, April, pp. 74-84, 1988.
23. Reinhorn, A.M., Soong, T.T., Lin, R.C., Riley, M.A. Wang, Y.P., Aizawa, S. and Higashino, M., "Active Bracing System : A Full Scale Implementation of Active Control," Technical Report, NCEER-92-0020, NCEER/SUNY/Buffalo, 1992.
24. Reinhorn, A.M., Soong, T.T., Lin, R.C., Wang, Y.P., Fukao, Y., Abe, H. and Nakai, M., "1:4 Scaled Model Studies of Active Tendon Systems and Active Mass Dampers for Aseismic Protection," Technical Report, NCEER-89-0026, NCEER/SUNY/Buffalo, 1989.
25. Kobori, T., Koshika, N., Yamada, K., and Ikeda Y., "Seismic-Response-Controlled Structure with Active Mass Driver System. Part 1: Design," *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, Vol. 20, pp. 133-149, 1991.
26. Kobori, T., Koshika, N., Yamada, K., and Ikeda Y., "Seismic-Response-Controlled Structure with Active Mass Driver System. Part 2: Verification," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 20, pp. 151-166, 1991.

27. Chien-Liang Lee and Wang, Yen-Po, "Seismic Structural Control Using an Electric Servomotor Active Mass Driver System," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 33 (6), pp. 737-754, 2004.
28. Michael D. Symans and Michael C. Constantinou, "Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the-art review," *Engineering Structures*, Vol. 21, pp. 469-487, 1999.
29. Wu. Jianping and Hanson, R.D., "Study of Inelastic Spectra with High Damping " *J. Struc, Engrn. DIV., ASCE*, 116(6), pp, 1412-1431, 1989.
30. Zhang, R. H., Soong, T.T. and Mahmoodi, P. "Seismic Response of Steel Frame Structures with Added Viscoelastic Dampers," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 18. pp. 389-396, 1989.
31. Lin, R. C., Liang, Z., Soong, T. T. and Zhang, R. H.. "An Experimental Study on Seismic Behavior of Viscoelastically Damped Structures," *Engineering Structure*, Vol. 12, pp, 75-84, 1991
32. Chang, K. C., Soong, T. T. Oh, S. T. and Lai, M. L. "Seismic Behavior of a Viscoelastically Damped Frame with Added Viscoelastic Dampers," *Journal of Structural Engineering*, 計劃編號 : NSC 81-0410-E-002-540, 1995.
33. Lai, M. L., Chang, K. C., Soong, T. T. and Hau, D. S. "Dynamic Behavior of Full-Scale Structure with Added Viscoelastic Dampers," *Journal of Structural Engineering*, 計劃編號 : NSC 83-0414-P-002-006-B, 1995.
34. 張國鎮，陳金生，許昌軍，周芳萍， "加黏彈性阻尼器極限狀態之研究"，第二屆中華民國結構工程研討會，日月潭，計劃編號 : NSC-820410-E-002-419, 1994。
35. Chang, K. C., Chen, S. S. and Lai, M. L. "Inelastic Behavior of Steel Frames with Added Viscoelastic Dampers,"

- , *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 計劃編號：NSC 82-0410-E-002-419, NSC 830414-P-002-006-B, 1996.
36. Chang, K. C. , Lin, Y. Y. , Hsu, C. C. , “Earthquake Resistant Design of Structure with Viscoelastic Damper,” NCREE-96 001, 1996.
37. 沈瑛璋，「受風下調頻液柱阻尼器之最佳參數設計」，淡江大學土木工程學系碩士班碩士論文，2004。
38. 張恩杰，「變斷面 TLCD 抗風減震系統之試驗與分析」，國立交通大學土木工程研究所碩士論文，2005。
39. 郭世民，「黏性阻尼器於結構隔震設計之應用分析」，國立台灣科技大學營建工程研究所碩士論文，2006。
40. Masing, G. “Eigenspannungen and Verfestigung beim Messing.” Proceedings of the 2nd international Congress Of Applied Mechanics, Zurich, pp. 332-335, 1926.
41. Davenport, A. G., “Vibration of Structure Induced by Wind” , Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill, Inc., New York, USA, 1976.

表 2.1 兩種不同方式識別耗損因子之結果比較

<b>Displacement</b>	1 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	---	0.12	0.1	---	0.17	0.28	0.63	1.07
<b>Loss Factor (Area)</b>	---	0.12	0.09	---	0.16	0.26	0.56	0.95
<b>Displacement</b>	2 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.23	0.13	0.11	0.02	0.15	0.26	0.58	1.03
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.22	0.13	0.1	0.02	0.15	0.25	0.55	0.95
<b>Displacement</b>	3 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.24	0.15	0.12	0.03	0.14	0.24	0.57	1
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.23	0.15	0.12	0.03	0.14	0.24	0.56	0.96
<b>Displacement</b>	4 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.26	0.16	0.14	0.05	0.13	0.23	0.55	0.96
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.25	0.16	0.14	0.05	0.12	0.22	0.54	0.94
<b>Displacement</b>	5 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.27	0.18	0.15	0.07	0.11	0.21	0.54	0.91
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.25	0.17	0.15	0.07	0.11	0.21	0.53	0.9
<b>Displacement</b>	8 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.29	0.2	0.19	0.1	0.07	0.17	0.49	0.85
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.27	0.2	0.18	0.1	0.07	0.17	0.48	0.85
<b>Displacement</b>	10 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.29	0.22	0.19	0.11	0.06	0.16	0.47	0.83
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.28	0.21	0.19	0.11	0.06	0.16	0.46	0.81
<b>Displacement</b>	15mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.3	0.26	0.21	0.16	---	0.12	0.42	0.78
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.28	0.25	0.21	0.16	---	0.12	0.41	0.74
<b>Displacement</b>	20 mm							
<b>Frequency</b>	<b>0.1Hz</b>	<b>0.3Hz</b>	<b>0.33Hz</b>	<b>0.5Hz</b>	<b>0.8Hz</b>	<b>1.0Hz</b>	<b>1.5Hz</b>	<b>2.0Hz</b>
<b>Loss Factor (G1、G2)</b>	0.33	0.27	0.26	0.19	0.04	---	0.3	0.59
<b>Loss Factor (Area)</b>	0.32	0.26	0.25	0.18	0.04	---	0.3	0.57

表 3.1 元件測試項目

		測試頻率							
		0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
測試位移	1mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	2mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	3mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	4mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	5mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	8mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	10mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	15mm	○	○	○	○	○	○	○	○
	20mm	○	○	○	○	○	○	○	○

表 3.2 剪力模數與耗損因子識別結果

Displacement	1mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	—	0.49	0.51	—	0.59	0.57	0.56	0.56
Loss Factor	—	0.12	0.10	—	0.17	0.28	0.63	1.07
Displacement	2mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.39	0.48	0.50	0.52	0.57	0.55	0.54	0.54
Loss Factor	0.23	0.13	0.11	0.02	0.15	0.26	0.58	1.03
Displacement	3mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.37	0.45	0.47	0.49	0.53	0.57	0.52	0.51
Loss Factor	0.24	0.15	0.12	0.03	0.14	0.24	0.57	1.00
Displacement	4mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.35	0.42	0.44	0.46	0.50	0.53	0.49	0.48
Loss Factor	0.26	0.16	0.14	0.05	0.13	0.23	0.55	0.96
Displacement	5mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.33	0.40	0.41	0.43	0.46	0.49	0.45	0.44
Loss Factor	0.27	0.18	0.15	0.07	0.11	0.21	0.54	0.91

表 3.2 剪力模數與耗損因子識別結果(續)

Displacement	8mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.29	0.33	0.34	0.36	0.38	0.40	0.37	0.36
Loss Factor	0.29	0.20	0.19	0.10	0.07	0.17	0.49	0.85
Displacement	10mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.27	0.30	0.32	0.32	0.34	0.34	0.33	0.32
Loss Factor	0.29	0.22	0.19	0.11	0.06	0.16	0.47	0.83
Displacement	15mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.23	0.25	0.26	0.25	—	0.25	0.24	0.22
Loss Factor	0.30	0.26	0.21	0.16	—	0.12	0.42	0.78
Displacement	20mm							
Frequency	0.1Hz	0.3Hz	0.33Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz	1.5Hz	2.0Hz
Shear Modulus	0.17	0.18	0.20	0.17	0.16	—	0.13	0.11
Loss Factor	0.33	0.27	0.26	0.19	0.04	—	0.30	0.59

表 3.3 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.1\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.1Hz	3mm	+	-6.1005	9.6242	-5.622	1.9494	0.0484
		-	6.3764	10.003	5.7867	2.0196	-0.0115
	5mm	+	-3.6053	7.9447	-6.2381	2.5094	0.0999
		-	2.8936	6.5755	5.3416	2.3056	-0.0781
	8mm	+	-2.6769	7.4317	-7.0704	3.0684	0.2379
		-	2.6332	7.6012	7.4984	3.3472	-0.1412
	10mm	+	-2.2757	7.1494	-7.5725	3.4442	0.2917
		-	2.8347	8.8324	9.2695	4.1272	-0.1509

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.4 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.2\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.2Hz	3mm	+	-7.2281	11.116	-6.3947	2.303	0.0461
		-	6.8159	10.497	6.0165	2.2291	-0.0294
	5mm	+	-3.4592	8.0057	-6.6372	2.85	0.1037
		-	3.6862	8.2896	6.6735	2.8415	-0.0592
	8mm	+	-3.2413	9.2723	-9.111	3.9815	0.1479
		-	3.0985	8.9102	8.7968	3.055	-0.0864
10mm	+	-3.79	11.537	-11.829	4.9953	0.1025	
	-	2.6196	8.3646	8.9822	4.0938	-0.1329	

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.5 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.3\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.3Hz	3mm	+	-7.0585	11.369	-6.8207	5.2676	0.0334
		-	6.2008	9.563	5.5205	2.2325	-0.0381
	5mm	+	-4.0183	9.2192	-7.541	3.2123	0.089
		-	4.0295	9.0671	7.2636	3.1138	-0.0489
	8mm	+	-3.2349	9.3766	-9.3393	4.2036	0.1563
		-	2.8533	8.4573	8.5849	3.9943	-0.1207
10mm	+	-2.5971	8.3111	-8.9698	4.1641	0.2377	
	-	2.6363	8.5517	9.3234	4.3662	-0.1326	

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.6 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.4\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.4Hz	3mm	+	-5.7197	9.6201	-6.0379	2.5023	0.0551
		-	5.417	9.198	5.4438	2.3054	-0.0288
	5mm	+	-3.8643	9.1423	-7.6668	3.3755	0.0725
		-	3.6214	8.4134	6.9219	3.1234	-0.0636
	8mm	+	-2.919	8.7355	-8.941	4.1737	0.1687
		-	2.4397	7.5102	7.8592	3.839	-0.1581
10mm	+	-2.9613	9.5517	-10.38	4.8085	0.1488	
	-	2.7674	9.0842	10.001	4.7241	-0.0748	

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.7 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.5\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.5Hz	3mm	+	-6.0345	10.203	-6.3452	2.6404	0.0144
		-	6.4057	10.366	6.0309	2.4709	0.0071
	5mm	+	-3.5991	8.7625	-7.5102	3.4227	0.0542
		-	3.0933	7.5619	6.4669	3.0899	-0.0515
	8mm	+	-3.2199	9.7225	-9.9981	4.6555	0.079
		-	2.9566	9.0149	9.3033	4.4123	-0.0388
	10mm	+	-2.8243	9.3418	-10.367	4.9338	0.1023
		-	2.2324	7.7385	8.88	4.4307	-0.1017

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.8 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.6\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.6Hz	3mm	+	-5.4143	9.4625	-6.0073	2.6284	0.0114
		-	4.7112	8.1123	4.9715	2.3254	-0.0209
	5mm	+	-3.0534	7.8151	-6.9523	3.347	0.0376
		-	3.9136	9.4784	7.9083	3.5226	0.0019
	8mm	+	-2.706	8.5193	-9.0476	4.3894	0.0729
		-	2.3013	7.4404	8.0289	4.0334	-0.0605
	10mm	+	-2.524	8.6192	-9.7788	4.7926	0.0926
		-	1.8924	6.9235	8.2277	4.2855	-0.0849

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.9 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.7\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.7Hz	3mm	+	-2.7562	5.7954	-4.2823	2.3718	0.0048
		-	2.4509	5.0314	3.5181	2.1019	-0.0037
	5mm	+	-2.3885	6.6581	-6.2741	3.2348	0.0171
		-	2.024	5.6982	5.3356	2.8952	-0.0009
	8mm	+	-2.1296	7.2538	-8.1182	4.2034	0.0752
		-	1.7308	6.1941	7.0856	3.8207	-0.0469
	10mm	+	-2.2037	7.8693	-9.2074	4.6732	0.0489
		-	1.5822	6.1636	7.5847	4.0916	-0.0519

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.10 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.8\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.8Hz	3mm	+	-0.6106	2.7866	-2.786	2.1042	-0.0009
		-	0.3474	2.2082	2.1477	1.8467	-0.0093
	5mm	+	-1.4563	4.8734	-5.0852	2.9552	0.011
		-	1.4989	4.6903	4.6087	2.6952	-0.0126
	8mm	+	-1.7672	6.3991	-7.4248	3.9975	0.0108
		-	1.5285	5.7663	6.7801	3.7353	0.0144
10mm	+	-1.7377	6.6831	-8.1803	4.3505	0.0212	
	-	1.4302	5.8348	7.3351	4.024	0.0092	

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.11 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=0.9\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
0.9Hz	3mm	+	0.7692	0.9668	-1.77	1.852	0.0207
		-	0.3515	2.2608	2.0838	1.8173	0.0088
	5mm	+	-0.6655	3.337	-4.0317	2.6961	0.0051
		-	0.6177	3.109	3.6061	2.4559	0.0255
	8mm	+	-1.1868	4.9985	-6.2585	3.6233	-0.0049
		-	0.9047	4.224	5.4445	3.2765	0.0201
10mm	+	-1.3182	5.5508	-7.1163	3.9713	0.0109	
	-	0.8188	4.2436	5.9188	3.5443	-0.0006	

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.12 VE 材料之背骨曲線擬合參數  $A_i$  ( $f=1.0\text{Hz}$ )

頻率	振幅	加卸載*	$A_4$	$A_3$	$A_2$	$A_1$	$A_0$
1.0Hz	3mm	+	3.2143	-2.6648	0.0088	1.5608	-0.0066
		-	-1.2235	-0.0198	0.8124	1.5222	0.0114
	5mm	+	0.3917	1.3067	-2.6647	2.3465	-0.0245
		-	-0.3012	1.3739	2.4403	2.1445	0.0357
	8mm	+	-0.513	3.3575	-4.871	3.1627	-0.0122
		-	0.3345	2.8891	4.3474	2.9139	0.0088
10mm	+	-0.8689	4.3966	-6.0709	3.5948	0.0074	
	-	0.3558	3.0691	4.8741	3.182	0.0044	

\* +代表加載；- 代表卸載

表 3.13 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.1Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	0.0237	-0.0419	-0.0183	-0.0509	-0.0001	-0.0221	0.0027	-0.0046	-0.0011	0.0053
<b>u<sup>2</sup></b>	-0.567	1.0016	0.4258	1.2257	0.0081	0.5425	-0.062	0.1146	0.022	-0.109
<b>u<sup>1</sup></b>	4.6204	-7.7001	-3.3518	-9.0249	-0.3666	-3.4779	0.6448	-0.548	-0.0955	0.6536
<b>u<sup>0</sup></b>	-15.5	21.594	16.34	27.421	-4.592	11.935	0.5019	2.7566	0.1668	-1.138

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.14 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.2Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	0.0419	-0.0404	-0.036	-0.051	0.0048	-0.028	0.0007	-0.009	-0.0007	-0.0006
<b>u<sup>2</sup></b>	-1.032	0.9195	0.9748	1.0805	-0.218	0.5304	0.0088	0.1502	0.0079	0.0103
<b>u<sup>1</sup></b>	8.0897	-6.9434	-7.579	-7.241	1.3855	-2.523	0.1665	-0.469	-0.001	-0.069
<b>u<sup>0</sup></b>	-23.34	20.46	26.058	23.878	-8.72	9.5779	1.7041	2.5153	-0.002	0.1014

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.15 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.3Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	0.0376	-0.0117	-0.049	0.0059	0.0292	0.0103	-0.01	0.0011	-0.002	0.0025
<b>u<sup>2</sup></b>	-0.854	0.3262	1.0084	-0.085	-0.516	-0.251	0.1654	-0.048	0.0346	-0.043
<b>u<sup>1</sup></b>	6.5065	-3.1208	-6.744	0.145	2.3328	2.3738	-0.499	0.7655	-0.176	0.2021
<b>u<sup>0</sup></b>	-19.91	12.944	23.848	9.7354	-9.967	0.3784	2.8531	0.3333	0.3233	-0.318

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.16 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.4Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	0.0079	-0.0031	0.0126	0.0285	-0.02	0.0339	0.0063	0.0107	-0.002	0.0025
<b>u<sup>2</sup></b>	-0.249	0.1828	-0.181	-0.437	0.3908	-0.627	-0.136	-0.205	0.0346	-0.043
<b>u<sup>1</sup></b>	2.5316	-2.371	0.5899	1.7117	-2.983	4.0965	1.2102	1.527	-0.176	0.2021
<b>u<sup>0</sup></b>	-11.29	11.293	9.1368	7.2309	-0.079	-2.116	-0.08	-0.717	0.3233	-0.318

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.17 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.5Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	0.0332	-0.0551	-0.044	-0.086	0.0255	-0.054	-0.008	-0.016	0.0004	-0.002
<b>u<sup>2</sup></b>	-0.75	1.2031	0.9169	1.7528	-0.457	1.007	0.1372	0.2836	-0.009	0.0337
<b>u<sup>1</sup></b>	5.5882	-8.5831	-5.885	-11.21	1.825	-5.2	-0.299	-1.171	0.0724	-0.205
<b>u<sup>0</sup></b>	-16.95	22.814	20.801	30.548	-8.395	14.021	2.526	3.8667	-0.132	0.3518

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.18 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.6Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	0.0297	0.0135	-0.036	0.051	0.016	0.0425	-0.004	0.011	-7E-04	-6E-04
<b>u<sup>2</sup></b>	-0.688	-0.243	0.78	-1.088	-0.301	-0.966	0.0589	-0.261	0.0079	0.0103
<b>u<sup>1</sup></b>	5.231	0.8875	-5.323	6.888	1.1502	7.1108	0.0755	2.1509	-0.001	-0.069
<b>u<sup>0</sup></b>	-15.72	3.8747	19.371	-4.138	-7.183	-8.818	1.9751	-2.072	-0.002	0.1014

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.19 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.7Hz)

	*C <sub>4+</sub>	*C <sub>4-</sub>	C <sub>3+</sub>	C <sub>3-</sub>	C <sub>2+</sub>	C <sub>2-</sub>	C <sub>1+</sub>	C <sub>1-</sub>	C <sub>0+</sub>	C <sub>0-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	-0.0007	-0.0026	0.0098	-4E-04	-0.009	-2E-04	0.0006	-0.002	-0.001	0.0008
<b>u<sup>2</sup></b>	-0.008	0.0653	-0.203	-0.028	0.2185	-0.061	-0.031	0.0212	0.0235	-0.017
<b>u<sup>1</sup></b>	0.2817	-0.6069	1.5757	0.5743	-2.308	1.4105	0.652	0.3461	-0.118	0.0949
<b>u<sup>0</sup></b>	-3.512	3.7548	2.6305	3.5696	0.9156	-0.156	0.6805	0.9386	0.1828	-0.16

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.20 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.8Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
<b>u<sup>3</sup></b>	-0.0057	0.0145	0.0048	0.0159	0.0009	0.0017	-0.003	-0.004	0.0003	-6E-04
<b>u<sup>2</sup></b>	0.1557	-0.345	-0.184	-0.432	0.0591	-0.129	0.0268	0.0415	-0.006	0.0123
<b>u<sup>1</sup></b>	-1.3869	2.6252	2.2789	3.9123	-1.668	2.1776	0.3408	0.2666	0.041	-0.069
<b>u<sup>0</sup></b>	2.3042	-4.815	-2.525	-6.075	1.661	-3.271	0.9119	0.7692	-0.076	0.1039

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.21 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=0.9Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
u <sup>3</sup>	-0.0124	-0.0029	0.0101	-0.009	-0.002	-0.007	-6E-04	-0.003	0.0002	-0.006
u <sup>2</sup>	0.3078	0.0388	-0.288	0.131	0.1121	0.0742	-0.013	0.0338	-0.002	0.1058
u <sup>1</sup>	-2.5701	-0.0354	2.9932	-0.19	-1.922	0.4855	0.553	0.1807	0.0003	-0.545
u <sup>0</sup>	6.0452	0.1868	-5.695	1.8921	3.0462	0.1346	0.3226	1.0439	0.0343	0.8523

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.22 VE 材料之背骨曲線擬合 C 參數(f=1.0Hz)

	*C <sub>4j+</sub>	*C <sub>4j-</sub>	C <sub>3j+</sub>	C <sub>3j-</sub>	C <sub>2j+</sub>	C <sub>2j-</sub>	C <sub>1j+</sub>	C <sub>1j-</sub>	C <sub>0j+</sub>	C <sub>0j-</sub>
u <sup>3</sup>	-0.0282	0.0014	0.0325	-0.006	-0.013	-0.006	0.0019	-0.002	-2E-04	0.0008
u <sup>2</sup>	0.6727	-0.072	-0.781	0.0637	0.3332	0.0531	-0.054	0.02	0.006	-0.017
u <sup>1</sup>	-5.4127	0.9683	6.6383	0.4997	-3.35	0.661	0.7323	0.2458	-0.046	0.1089
u <sup>0</sup>	14.158	-3.519	-16.43	-1.92	7.4201	-1.499	-0.202	0.6569	0.0846	-0.184

\* : +代表加載曲線方程式參數 - 代表卸載曲線方程式參數

表 3.23 元件測試項目

		測試頻率			
		0.3Hz	0.5Hz	0.8Hz	1.0Hz
測試位移	5mm	○	○	○	○
	10mm	○	○	○	○
	15mm	○	○	○	○
	20mm	○	○	○	○

表 3.24 剪力模數識別結果

頻率：0.3Hz~1.0Hz		
位移	剪應變	平均剪應力(kg/cm <sup>2</sup> )
5mm	55.00	0.13
10mm	70.70	0.30
15mm	76.87	0.45
20mm	80.07	0.62

表 4.1 五層樓模型結構細部尺寸

Length ( $m$ )	2
Width ( $m$ )	2
Height of 2~5 floors ( $m$ )	1.3
Height of 1 <sup>st</sup> floor ( $m$ )	1.5
$m_5$ ( $kg - sec^2/m$ )	82.28
$m_4$ ( $kg - sec^2/m$ )	84.75
$m_3$ ( $kg - sec^2/m$ )	84.75
$m_2$ ( $kg - sec^2/m$ )	84.75
$m_1$ ( $kg - sec^2/m$ )	85.13
Cross section of the column ( $m m$ )	100×50×5×7
Cross section of the beam ( $m m$ )	100×50×5×7
Cross-sectional area of the column ( $m^2$ )	0.0011
Cross-sectional area of the beam ( $m^2$ )	0.0011

表 4.2 五層樓模型結構動力特性

Mode	1	2	3	4
Frequency (Hz)	1.45	4.53	7.59	10.12
Damping Ratio (%)	0.29	0.33	0.25	0.32

表 4.3 加速度峰值反應比較( El Centro Earthquake)

<i>Input = El Centro Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.11 g</i>			<i>PGA= 0.156 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.31	0.20	37	0.44	0.32	28
<i>4F</i>	0.23	0.16	30	0.32	0.23	30
<i>3F</i>	0.27	0.16	40	0.38	0.22	43
<i>2F</i>	0.22	0.17	23	0.31	0.21	31
<i>1F</i>	0.21	0.1	55	0.30	0.15	51
	<i>PGA= 0.207 g</i>			<i>PGA= 0.254 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.59	0.38	36	0.72	0.50	31
<i>4F</i>	0.43	0.27	37	0.53	0.34	35
<i>3F</i>	0.51	0.26	48	0.62	0.33	46
<i>2F</i>	0.41	0.25	38	0.50	0.33	33
<i>1F</i>	0.40	0.19	53	0.50	0.23	54
	<i>PGA= 0.310 g</i>			<i>PGA=0.367 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.88	0.56	36	1.04	0.60	42
<i>4F</i>	0.64	0.39	40	0.76	0.47	38
<i>3F</i>	0.76	0.39	48	0.90	0.50	44
<i>2F</i>	0.61	0.39	36	0.72	0.51	30
<i>1F</i>	0.61	0.26	57	0.72	0.33	54

表 4.4 樓層加速度均方根值比較( El Centro Earthquake)

<i>Input = El Centro Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.11 g</i>			<i>PGA= 0.156 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.11	0.05	49	0.15	0.08	47
<i>4F</i>	0.09	0.05	47	0.12	0.07	44
<i>3F</i>	0.08	0.04	52	0.12	0.06	50
<i>2F</i>	0.07	0.04	50	0.10	0.05	48
<i>1F</i>	0.06	0.02	61	0.09	0.04	59
	<i>PGA= 0.207 g</i>			<i>PGA= 0.254 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.20	0.10	52	0.25	0.12	50
<i>4F</i>	0.16	0.08	49	0.20	0.10	47
<i>3F</i>	0.16	0.07	55	0.20	0.09	53
<i>2F</i>	0.13	0.06	53	0.16	0.08	51
<i>1F</i>	0.12	0.04	63	0.15	0.06	61
	<i>PGA= 0.310 g</i>			<i>PGA=0.367 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.30	0.14	54	0.36	0.15	59
<i>4F</i>	0.24	0.12	51	0.29	0.12	57
<i>3F</i>	0.24	0.10	57	0.28	0.11	62
<i>2F</i>	0.20	0.09	54	0.24	0.10	60
<i>1F</i>	0.18	0.07	63	0.21	0.07	66

表 4.5 裝設阻尼器模型結構之等效頻率與等效阻尼比

<i>El Centro Earthquake Record</i>						
<i>Mode</i>	<i>uncontrolled</i>		<i>PGA=0.156g</i>		<i>PGA=0.207g</i>	
	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>
<i>1</i>	1.45	0.29	1.57	3.86	1.57	3.80
<i>2</i>	4.53	0.33	4.99	4.95	4.97	4.76
<i>3</i>	7.59	0.25	8.25	5.29	8.27	4.34
<i>Mode</i>	<i>PGA=0.254g</i>		<i>PGA=0.310g</i>		<i>PGA=0.367g</i>	
	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio(%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>
<i>1</i>	1.56	3.72	1.55	3.91	1.55	3.79
<i>2</i>	4.97	4.69	4.96	4.82	4.93	4.76
<i>3</i>	8.27	5.62	8.26	4.68	8.26	4.54

表 4.6 加速度峰值反應比較( Kobe Earthquake)

<i>Input = Kobe Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.165 g</i>			<i>PGA= 0.211 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.73	0.39	47	0.93	0.48	49
<i>4F</i>	0.51	0.29	43	0.66	0.35	46
<i>3F</i>	0.49	0.27	45	0.63	0.34	47
<i>2F</i>	0.58	0.30	48	0.74	0.37	50
<i>1F</i>	0.43	0.21	51	0.55	0.25	54
	<i>PGA=0.263 g</i>			<i>PGA= 0.30g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	1.16	0.51	56	1.33	0.68	49
<i>4F</i>	0.82	0.38	53	0.93	0.50	46
<i>3F</i>	0.78	0.35	55	0.90	0.45	50
<i>2F</i>	0.92	0.38	58	1.05	0.51	52
<i>1F</i>	0.68	0.27	60	0.48	0.35	56
	<i>PGA= 0.377 g</i>			<i>PGA=0.445 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	1.67	0.52	69	1.97	0.89	54
<i>4F</i>	1.17	0.38	67	1.38	0.64	54
<i>3F</i>	1.13	0.34	70	1.33	0.60	55
<i>2F</i>	1.32	0.38	71	1.56	0.62	60
<i>1F</i>	0.98	0.27	73	1.16	0.43	63

表 4.7 樓層加速度均方根值比較( Kobe Earthquake)

<b>Input = Kobe Earthquake</b>						
	<b>PGA= 0.165 g</b>			<b>PGA= 0.211 g</b>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>
<b>5F</b>	0.21	0.06	71	0.27	0.08	72
<b>4F</b>	0.17	0.05	69	0.22	0.07	70
<b>3F</b>	0.16	0.05	70	0.20	0.06	71
<b>2F</b>	0.16	0.04	74	0.20	0.05	75
<b>1F</b>	0.12	0.03	77	0.15	0.03	78
	<b>PGA=0.263 g</b>			<b>PGA= 0.30g</b>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>
<b>5F</b>	0.34	0.08	76	0.39	0.11	73
<b>4F</b>	0.28	0.07	75	0.32	0.09	71
<b>3F</b>	0.25	0.06	75	0.28	0.08	72
<b>2F</b>	0.25	0.05	79	0.29	0.07	76
<b>1F</b>	0.19	0.04	81	0.22	0.05	78
	<b>PGA= 0.377 g</b>			<b>PGA=0.445 g</b>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>
<b>5F</b>	0.49	0.08	84	0.58	0.14	76
<b>4F</b>	0.40	0.07	83	0.47	0.12	75
<b>3F</b>	0.36	0.06	83	0.42	0.10	75
<b>2F</b>	0.36	0.05	85	0.43	0.09	79
<b>1F</b>	0.27	0.04	87	0.32	0.06	81

表 4.8 裝設阻尼器模型結構之等效頻率與阻尼比

<b>Kobe Earthquake Record</b>						
<b>Mode</b>	<b>uncontrolled</b>		<b>PGA=0.211g</b>		<b>PGA=0.263g</b>	
	<b>Fre. (Hz)</b>	<b>Damping Ratio (%)</b>	<b>Fre. (Hz)</b>	<b>Damping Ratio (%)</b>	<b>Fre. (Hz)</b>	<b>Damping Ratio (%)</b>
<b>1</b>	1.45	0.29	1.57	4.13	1.56	4.33
<b>2</b>	4.53	0.33	5.02	5.52	5.01	5.24
<b>3</b>	7.59	0.25	9.46	8.09	9.47	8.21
<b>Mode</b>	<b>PGA=0.30g</b>		<b>PGA=0.377g</b>		<b>PGA=0.445g</b>	
	<b>Fre. (Hz)</b>	<b>Damping Ratio (%)</b>	<b>Fre. (Hz)</b>	<b>Damping Ratio (%)</b>	<b>Fre. (Hz)</b>	<b>Damping Ratio (%)</b>
<b>1</b>	1.55	4.16	1.56	4.23	1.53	4.13
<b>2</b>	4.98	5.38	5.04	5.14	4.95	5.43
<b>3</b>	9.11	7.70	9.46	9.02	8.83	7.07

表 4.9 加速度峰值反應比較( El Centro Earthquake)

<i>Input = El Centro Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.115 g</i>			<i>PGA= 0.150 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.40	0.27	32	0.53	0.39	27
<i>4F</i>	0.30	0.22	26	0.39	0.31	19
<i>3F</i>	0.31	0.20	37	0.41	0.28	33
<i>2F</i>	0.29	0.18	37	0.37	0.23	38
<i>1F</i>	0.29	0.16	45	0.37	0.19	50
	<i>PGA= 0.196 g</i>			<i>PGA= 0.221 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.69	0.51	26	0.78	0.61	22
<i>4F</i>	0.50	0.38	25	0.57	0.47	17
<i>3F</i>	0.53	0.32	40	0.60	0.42	30
<i>2F</i>	0.48	0.27	44	0.55	0.34	38
<i>1F</i>	0.49	0.27	46	0.56	0.30	47
	<i>PGA= 0.277 g</i>					
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>			
<i>5F</i>	0.97	0.67	31			
<i>4F</i>	0.71	0.53	25			
<i>3F</i>	0.75	0.47	38			
<i>2F</i>	0.68	0.39	43			
<i>1F</i>	0.69	0.34	52			

表 4.10 樓層加速度均方根值比較( El Centro Earthquake)

<i>Input = El Centro Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.115 g</i>			<i>PGA= 0.150 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.16	0.05	66	0.21	0.07	66
<i>4F</i>	0.13	0.04	68	0.18	0.06	67
<i>3F</i>	0.12	0.04	70	0.16	0.05	69
<i>2F</i>	0.11	0.03	69	0.14	0.05	68
<i>1F</i>	0.08	0.02	69	0.10	0.03	66
	<i>PGA= 0.196 g</i>			<i>PGA= 0.221 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.27	0.09	67	0.30	0.10	67
<i>4F</i>	0.23	0.07	69	0.26	0.08	68
<i>3F</i>	0.21	0.06	71	0.23	0.07	70
<i>2F</i>	0.18	0.06	70	0.21	0.07	68
<i>1F</i>	0.13	0.04	66	0.15	0.05	66
	<i>PGA= 0.277 g</i>					
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>			
<i>5F</i>	0.38	0.12	70			
<i>4F</i>	0.32	0.09	71			
<i>3F</i>	0.29	0.08	73			
<i>2F</i>	0.26	0.07	71			
<i>1F</i>	0.18	0.06	69			

表 4.11 裝設阻尼器模型結構之等效頻率與阻尼比 ( El Centro )

<i>El Centro Earthquake Record</i>						
<i>Mode</i>	<i>System ID</i>		<i>PGA=0.115g</i>		<i>PGA=0.150g</i>	
	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>
<i>1</i>	1.45	0.29	1.80	6.19	1.75	6.79
<i>2</i>	4.53	0.33	5.26	6.64	5.04	4.12
<i>Mode</i>	<i>PGA=0.196g</i>		<i>PGA=0.221g</i>		<i>PGA=0.277g</i>	
	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>
<i>1</i>	1.73	6.66	1.71	6.69	1.69	6.52
<i>2</i>	4.99	2.97	4.94	2.89	4.88	3.07

表 4.12 加速度峰值反應比較( Kobe Earthquake)

<i>Input = Kobe Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.107 g</i>			<i>PGA= 0.144 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.47	0.24	49	0.64	0.31	52
<i>4F</i>	0.33	0.18	45	0.45	0.25	45
<i>3F</i>	0.32	0.20	37	0.43	0.25	41
<i>2F</i>	0.38	0.18	52	0.50	0.23	55
<i>1F</i>	0.28	0.13	53	0.37	0.18	53
	<i>PGA= 0.206 g</i>			<i>PGA= 0.290 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.91	0.46	49	1.28	0.69	46
<i>4F</i>	0.64	0.36	44	0.90	0.52	43
<i>3F</i>	0.62	0.36	41	0.87	0.45	48
<i>2F</i>	0.72	0.35	51	1.01	0.48	52
<i>1F</i>	0.54	0.27	50	0.75	0.40	47
	<i>PGA= 0.368 g</i>			<i>PGA=0.377 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	1.63	0.80	51			
<i>4F</i>	1.14	0.57	51			
<i>3F</i>	1.10	0.54	51			
<i>2F</i>	1.29	0.59	54			
<i>1F</i>	0.96	0.51	47			

表 4.13 樓層加速度均方根值比較(Kobe Earthquake)

<i>Input = Kobe Earthquake</i>						
	<i>PGA= 0.107 g</i>			<i>PGA= 0.144 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.14	0.03	76	0.19	0.04	77
<i>4F</i>	0.11	0.02	78	0.15	0.03	79
<i>3F</i>	0.10	0.02	78	0.14	0.03	79
<i>2F</i>	0.10	0.02	79	0.14	0.03	80
<i>1F</i>	0.08	0.02	80	0.10	0.02	80
	<i>PGA= 0.206 g</i>			<i>PGA= 0.290 g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.27	0.06	77	0.38	0.09	76
<i>4F</i>	0.22	0.05	77	0.31	0.07	76
<i>3F</i>	0.19	0.04	78	0.27	0.06	77
<i>2F</i>	0.20	0.04	79	0.28	0.06	78
<i>1F</i>	0.15	0.03	78	0.21	0.05	77
	<i>PGA= 0.368 g</i>			<i>PGA= g</i>		
<i>Floor</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>	<i>w/o damper (g)</i>	<i>w/ damper (g)</i>	<i>Reduction (%)</i>
<i>5F</i>	0.48	0.11	77			
<i>4F</i>	0.39	0.09	77			
<i>3F</i>	0.35	0.08	78			
<i>2F</i>	0.36	0.07	79			
<i>1F</i>	0.26	0.06	79			

表 4.14 裝設阻尼器模型結構之等效頻率與阻尼比 (Kobe)

<i>Kobe Earthquake Record</i>						
<i>Mode</i>	<i>uncontrolled</i>		<i>PGA=0.107g</i>		<i>PGA=0.144g</i>	
	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>
<i>1</i>	1.45	0.29	1.78	8.60	1.74	8.72
<i>2</i>	4.53	0.33	5.23	5.29	5.12	4.04
<i>3</i>	7.59	0.25	10.04	6.85	9.60	5.26
<i>Mode</i>	<i>PGA=0.206g</i>		<i>PGA=0.290g</i>		<i>PGA=0.368g</i>	
	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>	<i>Fre. (Hz)</i>	<i>Damping Ratio (%)</i>
<i>1</i>	1.72	8.80	1.68	8.17	1.67	8.00
<i>2</i>	5.08	3.35	5.03	2.96	5.02	3.17
<i>3</i>	9.29	3.69	9.11	3.68	9.19	4.52

表 5.1 Type A 制震壁抗風減振系統單元規格數量表

單元名稱	型 號	數 量	備註
夾板 A	257.5×110×1.0 <sup>t</sup>	2	圖 5.3
夾板 B	228.5×100×1.1 <sup>t</sup>	1	圖 5.4
夾板 C	58.3×110×1.1 <sup>t</sup>	2	圖 5.5
角鋼 A	L 150×100×9×9 ( 110 cm )	2	圖 5.6
角鋼 B	L 150×100×9×9 ( 110 cm )	2	圖 5.6
墊片 A	76.5×110×1.8 <sup>t</sup>	1	圖 5.7
墊片 B	44.5×110×0.35 <sup>t</sup>	2	圖 5.7
H-Beam	H 400×400×13×21 ( 120 cm )	2	圖 5.8
VE 黏材	40×40×0.5	10	

表 5.2 Type B 制震壁抗風減振系統單元規格數量表

單元名稱	型 號	數 量	備註
夾板 A	212.5×90×1.0 <sup>t</sup>	2	圖 5.11
夾板 B	199.5×80×1.1 <sup>t</sup>	1	圖 5.12
夾板 C	43.3×90×1.1 <sup>t</sup>	2	圖 5.13
角鋼 A	L 150×100×9×9 ( 90 cm )	2	圖 5.14
角鋼 B	L 150×100×9×9 ( 90 cm )	2	圖 5.14
墊片 A	29.5×90×1.8 <sup>t</sup>	1	圖 5.15
墊片 B	29.5×90×0.35 <sup>t</sup>	2	圖 5.15
H-Beam	H 400×400×13×21 ( 100cm )	2	圖 5.16
VE 黏材	40×40×0.5	10	

表 5.3 Type C 制震壁抗風減振系統單元規格數量表

單元名稱	型號	數量	備註
夾板 A	212.5×90×1.0 <sup>t</sup>	2	圖 5.11
夾板 B	199.5×80×1.1 <sup>t</sup>	1	圖 5.12
夾板 C	43.3×90×1.1 <sup>t</sup>	2	圖 5.13
角鋼 A	L 150×100×9×9 (90 cm)	2	圖 5.14
角鋼 B	L 150×100×9×9 (90 cm)	2	圖 5.14
墊片 A	29.5×90×1.8 <sup>t</sup>	1	圖 5.15
墊片 B	29.5×90×0.35 <sup>t</sup>	2	圖 5.15
H-Beam	H 200×200×8×12 (100cm)	2	圖 5.18
VE 黏材	40×40×0.5	10	

表 5.4 各種地況種類之  $\bar{\alpha}$

地況種類	A	B	C	D
$\bar{\alpha}$	0.36	0.25	0.15	0.11

表 5.5 風力擾動下之樓層位移(單位:cm ;  $\alpha=0.5$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	70.3	56.0	20.3	19F	28.9	23.1	20.2
P3F	67.7	53.8	20.5	18F	26.8	21.4	20.1
P2F	64.9	51.5	20.6	17F	24.6	19.7	20.0
P1F	62.3	49.4	20.8	16F	22.5	18.1	19.9
R3F	60.7	48.0	20.8	15F	20.5	16.4	19.8
R2F	59.1	46.8	20.8	14F	18.5	14.9	19.6
R1F	57.4	45.5	20.9	13F	16.5	13.3	19.5
31F	55.8	44.1	20.8	12F	14.6	11.8	19.3
30F	53.5	42.4	20.8	11F	12.8	10.3	19.2
29F	51.3	40.6	20.8	10F	11.1	9.0	19.0
28F	49.0	38.9	20.8	9F	9.4	7.6	18.9
27F	46.8	37.1	20.7	8F	7.8	6.3	18.7
26F	44.5	35.3	20.7	7F	6.3	5.2	18.5
25F	42.3	33.6	20.6	6F	4.9	4.0	18.2
24F	40.0	31.8	20.6	5F	3.7	3.0	18.2
23F	37.8	30.0	20.5	4F	2.6	2.1	18.3
22F	35.6	28.3	20.4	3F	1.6	1.3	17.5
21F	33.3	26.5	20.3	2F	0.8	0.7	17.5
20F	31.1	24.8	20.3				

表 5.6 風力擾動下之樓層位移(單位:cm ;  $\alpha=0.8$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	70.3	48.4	31.2
P3F	67.7	46.5	31.2
P2F	64.9	44.6	31.3
P1F	62.3	42.8	31.4
R3F	60.7	41.6	31.4
R2F	59.1	40.5	31.5
R1F	57.4	39.4	31.5
31F	55.8	38.2	31.4
30F	53.5	36.7	31.4
29F	51.3	35.2	31.4
28F	49.0	33.7	31.3
27F	46.8	32.2	31.3
26F	44.5	30.6	31.2
25F	42.3	29.1	31.1
24F	40.0	27.6	31.1
23F	37.8	26.1	31.0
22F	35.6	24.6	30.9
21F	33.3	23.1	30.8
20F	31.1	21.6	30.7

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
19F	28.9	20.1	30.6
18F	26.8	18.6	30.4
17F	24.6	17.2	30.3
16F	22.5	15.7	30.2
15F	20.5	14.3	30.0
14F	18.5	13.0	29.9
13F	16.5	11.6	29.7
12F	14.6	10.3	29.6
11F	12.8	9.0	29.4
10F	11.1	7.8	29.2
9F	9.4	6.7	29.1
8F	7.8	5.5	29.0
7F	6.3	4.5	28.8
6F	4.9	3.5	28.5
5F	3.7	2.7	28.2
4F	2.6	1.8	28.4
3F	1.6	1.2	28.1
2F	0.8	0.6	27.5

表 5.7 風力擾動下之樓層位移(單位:cm ;  $\alpha=1.0$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	70.3	43.9	37.6	19F	28.9	18.2	37.3
P3F	67.7	42.2	37.6	18F	26.8	16.8	37.2
P2F	64.9	40.5	37.7	17F	24.6	15.5	37.1
P1F	62.3	38.8	37.8	16F	22.5	14.2	37.0
R3F	60.7	37.7	37.8	15F	20.5	12.9	36.9
R2F	59.1	36.7	37.8	14F	18.5	11.7	36.8
R1F	57.4	35.7	37.8	13F	16.5	10.5	36.7
31F	55.8	34.7	37.8	12F	14.6	9.3	36.6
30F	53.5	33.3	37.8	11F	12.8	8.1	36.5
29F	51.3	31.9	37.8	10F	11.1	7.0	36.4
28F	49.0	30.5	37.7	9F	9.4	6.0	36.2
27F	46.8	29.2	37.7	8F	7.8	5.0	36.2
26F	44.5	27.8	37.7	7F	6.3	4.0	36.1
25F	42.3	26.4	37.6	6F	4.9	3.2	35.8
24F	40.0	25.0	37.6	5F	3.7	2.4	35.8
23F	37.8	23.6	37.5	4F	2.6	1.7	35.8
22F	35.6	22.2	37.4	3F	1.6	1.0	35.6
21F	33.3	20.9	37.4	2F	0.8	0.5	35.0
20F	31.1	19.5	37.3				

表 5.8 風力擾動下之樓層位移(單位:cm ;  $\alpha=1.2$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	70.3	41.9	40.5	19F	28.9	17.3	40.1
P3F	67.7	40.2	40.5	18F	26.8	16.1	40.0
P2F	64.9	38.6	40.6	17F	24.6	14.8	39.9
P1F	62.3	37.0	40.6	16F	22.5	13.6	39.8
R3F	60.7	36.0	40.6	15F	20.5	12.4	39.7
R2F	59.1	35.0	40.7	14F	18.5	11.2	39.6
R1F	57.4	34.1	40.7	13F	16.5	10.0	39.5
31F	55.8	33.1	40.7	12F	14.6	8.9	39.4
30F	53.5	31.8	40.6	11F	12.8	7.8	39.3
29F	51.3	30.4	40.6	10F	11.1	6.7	39.2
28F	49.0	29.1	40.6	9F	9.4	5.7	39.0
27F	46.8	27.8	40.6	8F	7.8	4.8	39.0
26F	44.5	26.5	40.5	7F	6.3	3.9	38.8
25F	42.3	25.2	40.5	6F	4.9	3.0	38.7
24F	40.0	23.9	40.4	5F	3.7	2.3	38.5
23F	37.8	22.5	40.4	4F	2.6	1.6	38.5
22F	35.6	21.2	40.3	3F	1.6	1.0	38.1
21F	33.3	19.9	40.2	2F	0.8	0.5	37.5
20F	31.1	18.6	40.1				

表 5.9 風力擾動下之樓層位移(單位:cm ;  $\alpha=1.5$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	70.3	36.5	48.2	19F	28.9	15.1	47.7
P3F	67.7	35.1	48.2	18F	26.8	14.0	47.7
P2F	64.9	33.6	48.2	17F	24.6	12.9	47.6
P1F	62.3	32.3	48.2	16F	22.5	11.8	47.5
R3F	60.7	31.4	48.2	15F	20.5	10.8	47.4
R2F	59.1	30.6	48.2	14F	18.5	9.7	47.3
R1F	57.4	29.7	48.2	13F	16.5	8.7	47.2
31F	55.8	28.9	48.2	12F	14.6	7.7	47.1
30F	53.5	27.7	48.2	11F	12.8	6.8	47.0
29F	51.3	26.6	48.2	10F	11.1	5.9	46.9
28F	49.0	25.4	48.1	9F	9.4	5.0	46.8
27F	46.8	24.3	48.1	8F	7.8	4.2	46.7
26F	44.5	23.1	48.1	7F	6.3	3.4	46.5
25F	42.3	22.0	48.0	6F	4.9	2.7	46.4
24F	40.0	20.8	48.0	5F	3.7	2.0	46.3
23F	37.8	19.7	48.0	4F	2.6	1.4	46.3
22F	35.6	18.5	47.9	3F	1.6	0.9	46.3
21F	33.3	17.4	47.9	2F	0.8	0.4	46.3
20F	31.1	16.2	47.8				

表 5.10 風力擾動下之平均樓層位移(單位:cm)

$\alpha$	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5
Reduction(%)	19.85	30.27	37.04	39.84	47.54

表 5.11 風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ;  $\alpha=0.5$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	15.1	13.6	9.6	19F	9.7	9.1	6.5
P3F	15.7	14.2	9.9	18F	9.5	8.9	6.6
P2F	16.0	14.5	9.6	17F	9.3	8.6	6.8
P1F	10.9	9.8	9.6	16F	9.1	8.4	6.9
R3F	10.7	9.7	9.5	15F	8.7	8.1	7.1
R2F	10.1	9.2	9.0	14F	8.5	7.9	7.3
R1F	9.2	8.5	8.0	13F	8.1	7.5	7.6
31F	11.0	10.2	6.7	12F	7.8	7.2	7.7
30F	10.9	10.2	6.4	11F	7.4	6.8	8.0
29F	10.8	10.1	6.4	10F	7.1	6.5	8.1
28F	10.8	10.1	6.3	9F	6.5	6.0	7.0
27F	10.7	10.0	6.4	8F	6.2	5.6	8.6
26F	10.6	10.0	6.3	7F	5.6	5.1	9.0
25F	10.6	9.9	6.4	6F	5.1	4.6	9.0
24F	10.5	9.8	6.3	5F	4.4	4.0	9.3
23F	10.4	9.7	6.3	4F	3.8	3.5	9.7
22F	10.3	9.6	6.3	3F	3.0	2.7	10.1
21F	10.1	9.4	6.4	2F	2.6	2.3	10.1
20F	9.9	9.3	6.5				

表 5.12 風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ;  $\alpha=0.8$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	15.1	12.7	15.8	19F	9.7	8.4	13.1
P3F	15.7	13.3	15.6	18F	9.5	8.3	13.2
P2F	16.0	13.5	15.6	17F	9.3	8.0	13.4
P1F	10.9	9.1	16.3	16F	9.1	7.8	13.4
R3F	10.7	8.9	16.2	15F	8.7	7.5	13.6
R2F	10.1	8.6	15.7	14F	8.5	7.3	13.8
R1F	9.2	7.9	14.7	13F	8.1	7.0	14.1
31F	11.0	9.5	13.3	12F	7.8	6.7	14.2
30F	10.9	9.4	13.1	11F	7.4	6.4	14.4
29F	10.8	9.4	13.0	10F	7.1	6.1	14.4
28F	10.8	9.4	12.9	9F	6.5	5.6	13.4
27F	10.7	9.3	13.0	8F	6.2	5.3	14.9
26F	10.6	9.3	12.9	7F	5.6	4.7	15.2
25F	10.6	9.2	12.9	6F	5.1	4.3	15.3
24F	10.5	9.1	12.9	5F	4.4	3.7	15.5
23F	10.4	9.0	12.9	4F	3.8	3.2	15.7
22F	10.3	8.9	13.0	3F	3.0	2.5	16.2
21F	10.1	8.8	12.9	2F	2.6	2.2	16.3
20F	9.9	8.6	13.0				

表 5.13 風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ;  $\alpha=1.0$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
PF	15.1	12.1	19.9
P3F	15.7	12.6	19.8
P2F	16.0	12.9	19.7
P1F	10.9	8.7	20.3
R3F	10.7	8.4	21.3
R2F	10.1	7.9	22.4
R1F	9.2	7.2	22.1
31F	11.0	8.7	20.8
30F	10.9	8.6	20.6
29F	10.8	8.6	20.5
28F	10.8	8.6	20.5
27F	10.7	8.5	20.6
26F	10.6	8.5	20.6
25F	10.6	8.4	20.5
24F	10.5	8.3	20.5
23F	10.4	8.2	20.6
22F	10.3	8.1	20.6
21F	10.1	8.0	20.6
20F	9.9	7.9	20.7

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
19F	9.7	7.7	20.6
18F	9.5	7.6	20.8
17F	9.3	7.3	20.9
16F	9.1	7.2	20.9
15F	8.7	6.9	21.1
14F	8.5	6.7	21.5
13F	8.1	6.4	21.5
12F	7.8	6.2	21.6
11F	7.4	5.8	21.8
10F	7.1	5.5	21.8
9F	6.5	5.1	20.9
8F	6.2	4.8	22.2
7F	5.6	4.3	22.4
6F	5.1	4.0	22.5
5F	4.4	3.4	22.8
4F	3.8	2.9	23.0
3F	3.0	2.3	23.3
2F	2.6	2.0	23.3

表 5.14 風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ;  $\alpha=1.2$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
P1F	15.1	11.2	26.0	19F	9.7	7.0	27.6
P3F	15.7	11.6	26.0	18F	9.5	6.9	27.6
P2F	16.0	11.9	25.9	17F	9.3	6.7	27.7
P1F	10.9	8.0	26.4	16F	9.1	6.6	27.6
R3F	10.7	7.8	27.2	15F	8.7	6.3	27.7
R2F	10.1	7.3	28.1	14F	8.5	6.1	27.7
R1F	9.2	6.6	28.8	13F	8.1	5.9	28.0
31F	11.0	7.8	28.7	12F	7.8	5.7	27.9
30F	10.9	7.6	30.3	11F	7.4	5.3	28.2
29F	10.8	7.7	28.5	10F	7.1	5.1	28.2
28F	10.8	7.7	28.4	9F	6.5	4.7	27.2
27F	10.7	7.7	28.2	8F	6.2	4.4	28.5
26F	10.6	7.6	28.2	7F	5.6	4.0	28.7
25F	10.6	7.6	28.1	6F	5.1	3.6	28.6
24F	10.5	7.6	28.0	5F	4.4	3.1	28.5
23F	10.4	7.5	27.9	4F	3.8	2.7	28.5
22F	10.3	7.4	27.8	3F	3.0	2.1	28.4
21F	10.1	7.3	27.6	2F	2.6	1.9	27.9
20F	9.9	7.2	27.6				

表 5.15 風力擾動下之樓層相對位移(單位:mm ;  $\alpha=1.5$ )

Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)	Floor	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
PFF	15.1	10.4	30.9	19F	9.7	6.6	31.6
P3F	15.7	10.9	30.9	18F	9.5	6.5	31.8
P2F	16.0	11.1	30.9	17F	9.3	6.3	31.9
P1F	10.9	7.5	30.7	16F	9.1	6.2	32.0
R3F	10.7	7.4	30.7	15F	8.7	5.9	32.2
R2F	10.1	7.0	30.6	14F	8.5	5.7	32.3
R1F	9.2	6.4	30.8	13F	8.1	5.5	32.6
31F	11.0	7.5	31.3	12F	7.8	5.3	32.5
30F	10.9	7.5	31.3	11F	7.4	5.0	32.5
29F	10.8	7.4	31.4	10F	7.1	4.8	32.4
28F	10.8	7.4	31.3	9F	6.5	4.5	31.2
27F	10.7	7.3	31.4	8F	6.2	4.2	32.3
26F	10.6	7.3	31.4	7F	5.6	3.8	32.1
25F	10.6	7.2	31.5	6F	5.1	3.5	32.0
24F	10.5	7.2	31.5	5F	4.4	3.0	31.9
23F	10.4	7.1	31.5	4F	3.8	2.6	31.7
22F	10.3	7.0	31.5	3F	3.0	2.0	31.8
21F	10.1	6.9	31.5	2F	2.6	1.4	46.5
20F	9.9	6.8	31.7				

表 5.16 風力擾動下之平均相對位移(單位:cm)

$\alpha$	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5
Reduction (%)	7.76	14.21	21.23	27.89	31.99

表 5.17 風力擾動下之基底剪力(單位:tf)

$\alpha$	w/o VE Wall	w/ VE Wall	Red.(%)
0.5	2030.4	1568.6	22.7
0.8		1403.5	30.9
1		1270.8	37.4
1.2		1236.9	40.5
1.5		1127.5	44.5

表 5.18 風力擾動下之等效頻率與阻尼比

Mode	uncontrolled		$a=0.5$		$a=0.8$	
	Fre.(Hz)	Damping Ratio(%)	Fre.(Hz)	Damping Ratio(%)	Fre.(Hz)	Damping Ratio(%)
1	0.32	1.50	0.32	2.88	0.33	4.49
5	1.44	1.50	1.44	1.24	1.44	2.16
6	1.78	1.50	1.79	3.34	1.79	3.43
Mode	$a=1.0$		$a=1.2$		$a=1.5$	
	Fre.(Hz)	Damping Ratio(%)	Fre.(Hz)	Damping Ratio(%)	Fre.(Hz)	Damping Ratio(%)
1	0.32	5.33	0.32	6.3	0.32	2.38
5	1.44	2.67	1.43	4.1	1.44	4.7
6	1.78	4.0	1.75	4.38	1.78	8.96

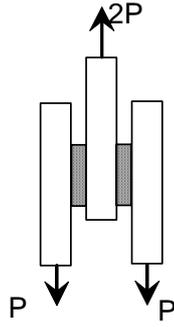


圖 2.1 橡膠墊測試試體示意圖

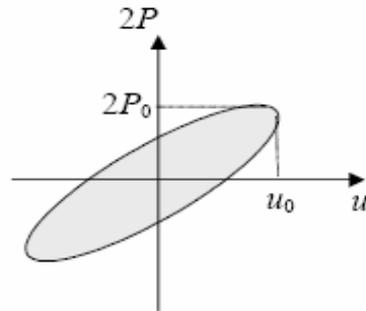


圖 2.2 橡膠墊遲滯迴圈示意圖

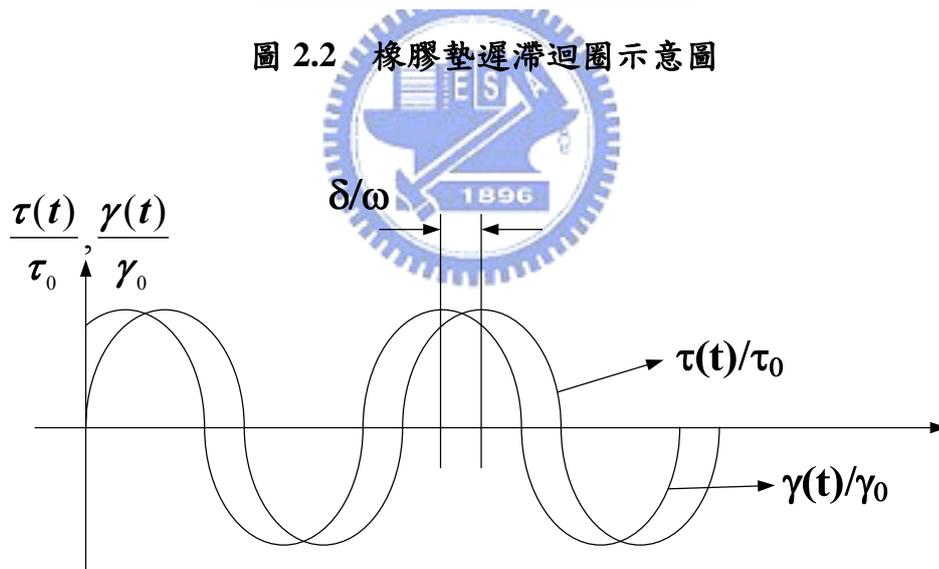


圖 2.3 諧和載重下黏彈性材料剪應力與剪應變

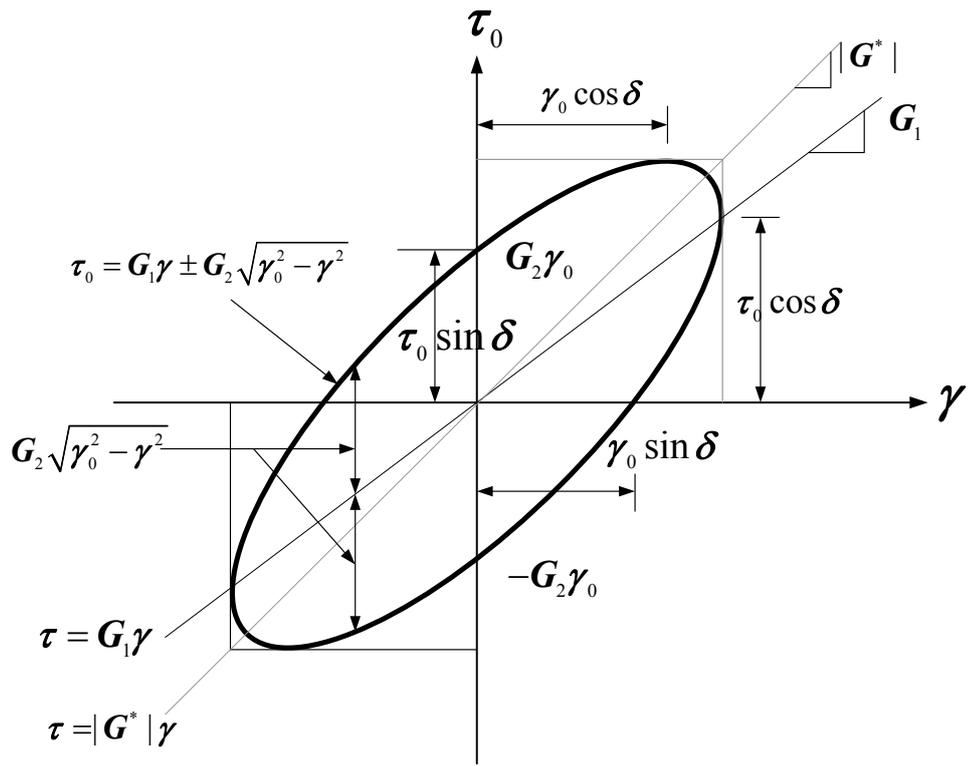


圖 2.4 黏彈性材料每單位體積消散能量



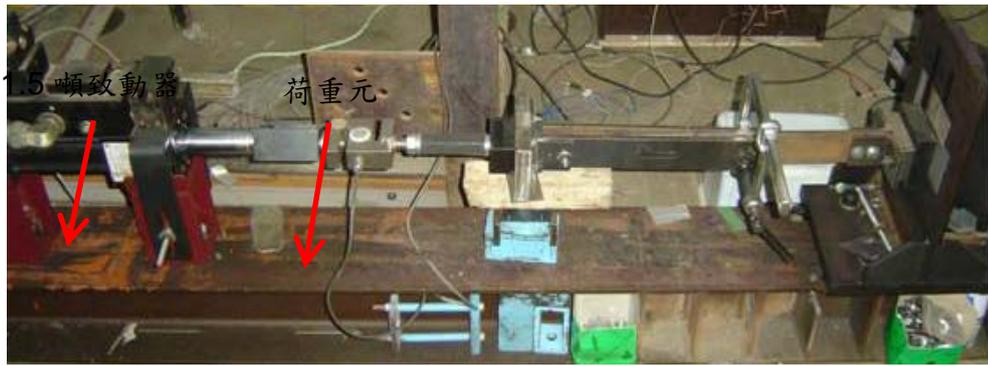


圖 3.1 高分子聚合橡膠減振墊元件測試

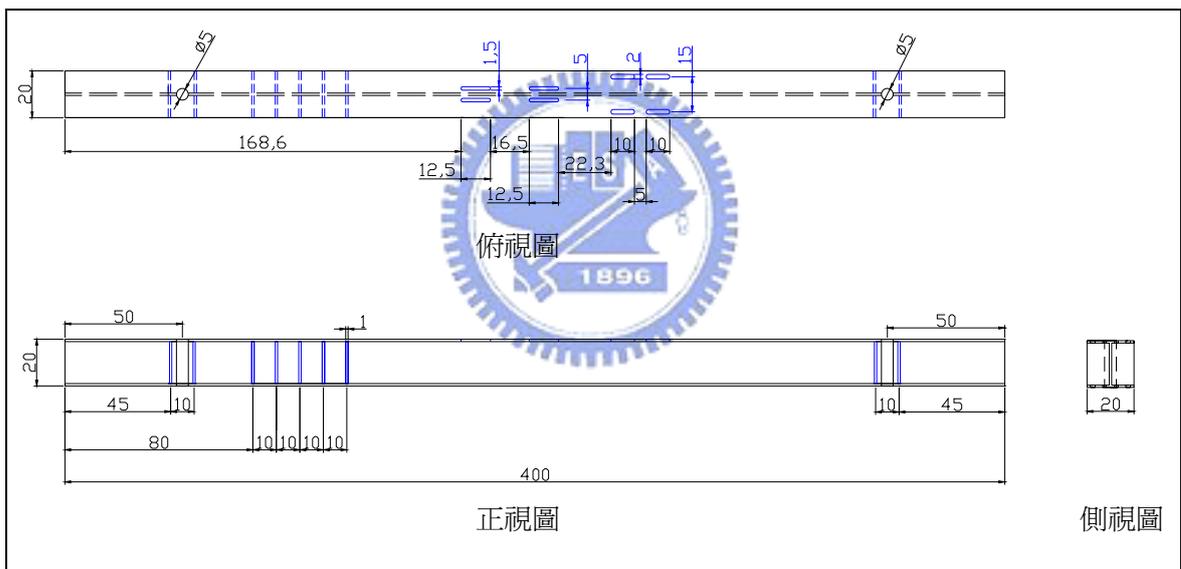


圖 3.2 測試構架底座設計詳圖 (單位：mm)

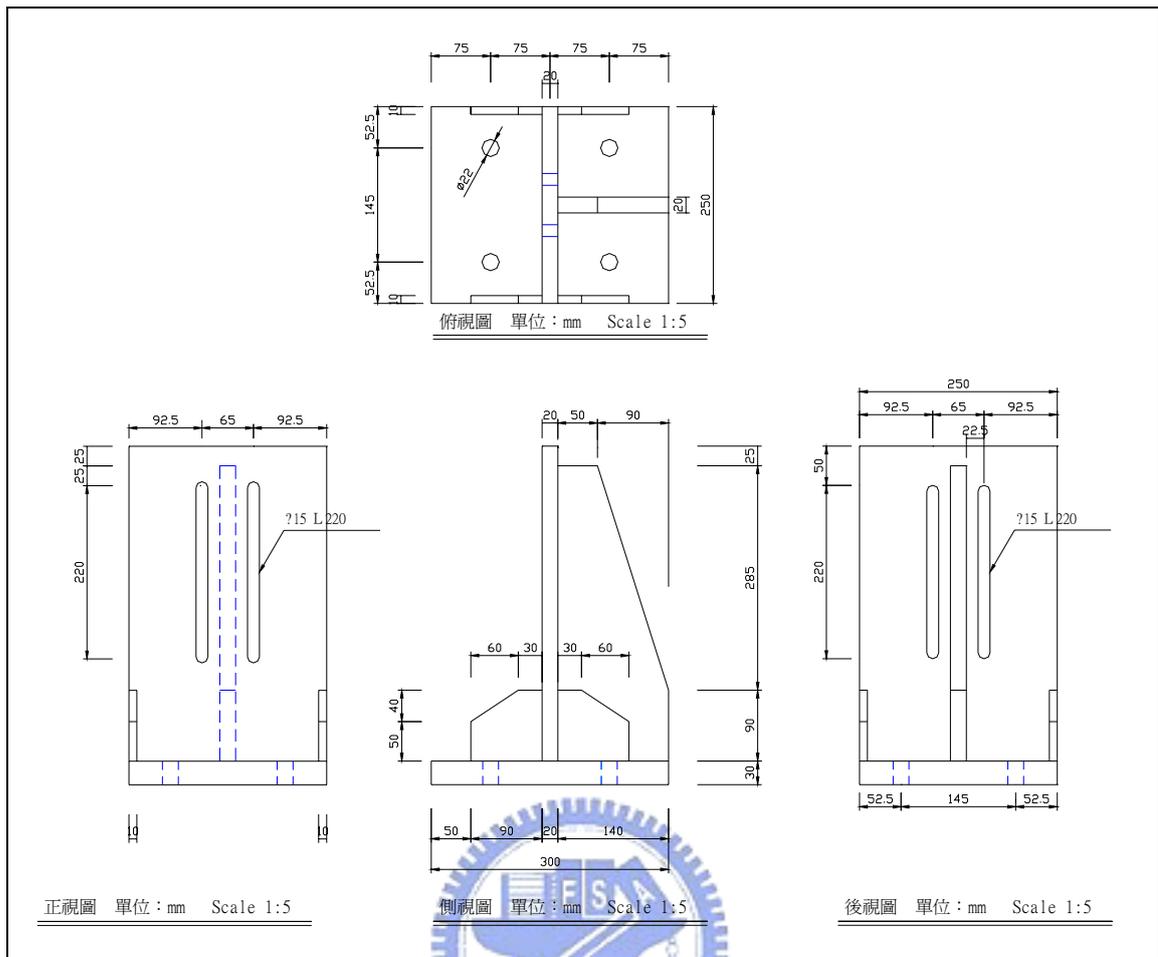


圖 3.3 測試構架反力座尺寸詳圖



圖 3.4 1.5t 致動器以鋼框架加固

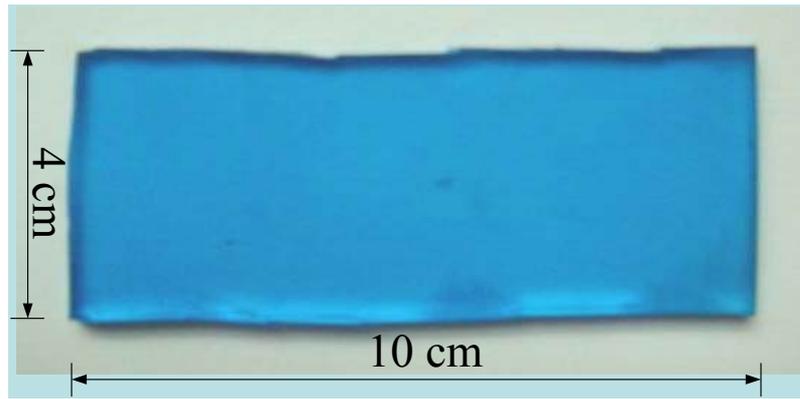


圖 3.5 高分子聚合橡膠減振墊



圖 3.6 高分子聚合橡膠減振墊與鋼片接合

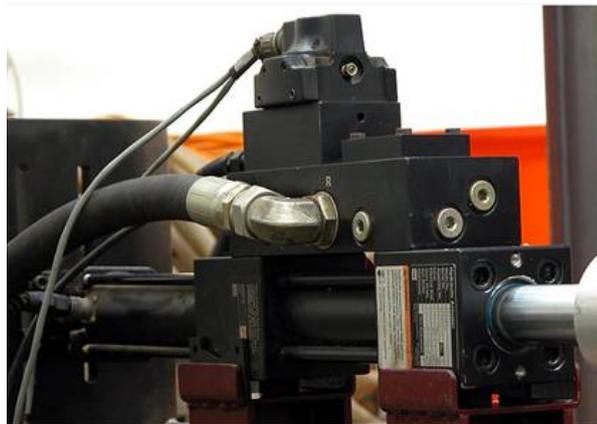


圖 3.7 1.5 噸油壓制動器



圖 3.8 MTS 407 控制器



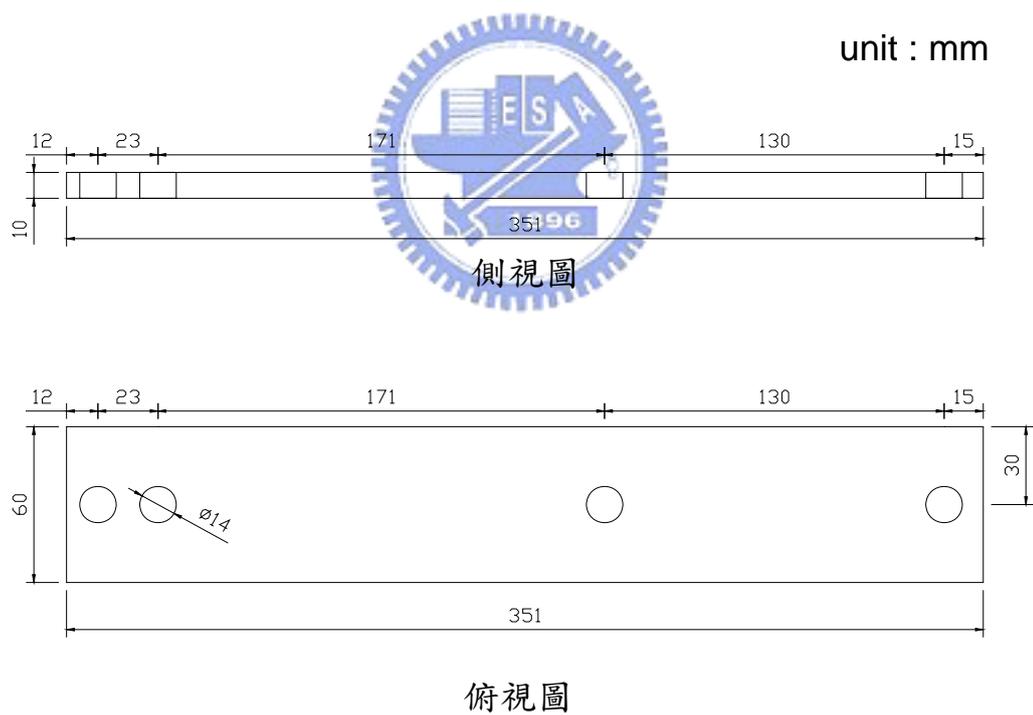
圖 3.9 荷重元 Load Cell



圖 3.10 IMC 資料擷取系統

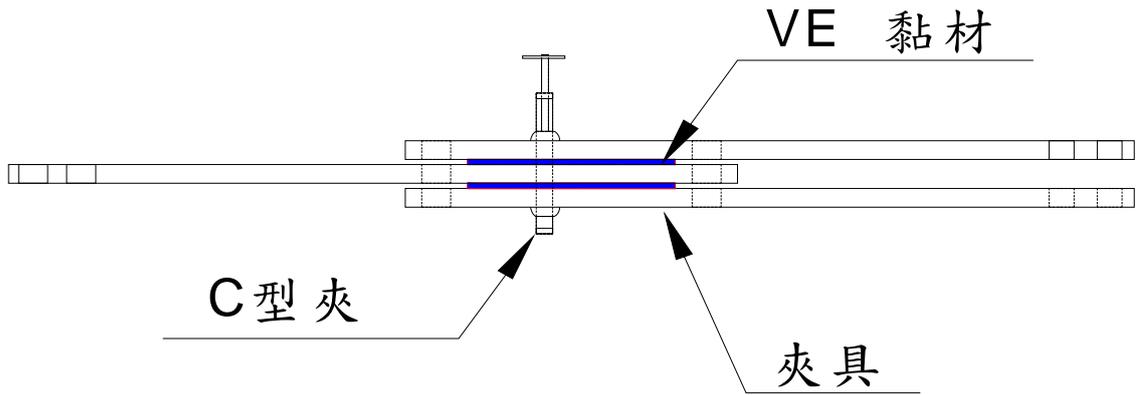


圖 3.11 訊號擷取系統



### 元件測試夾具

圖 3.12 元件測試夾具



## 組裝圖

圖 3.13 元件測試組裝圖

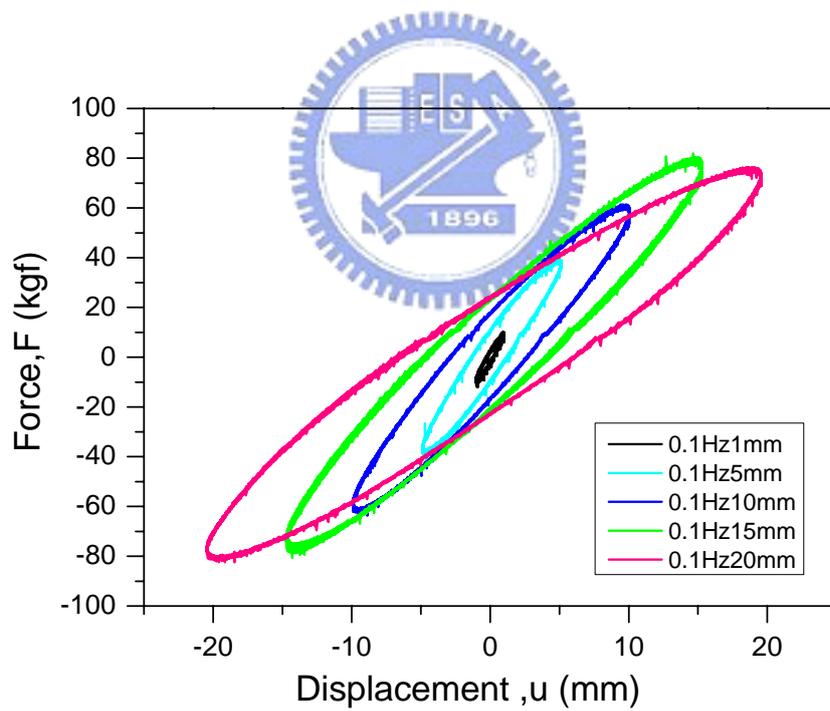


圖 3.14 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.1\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

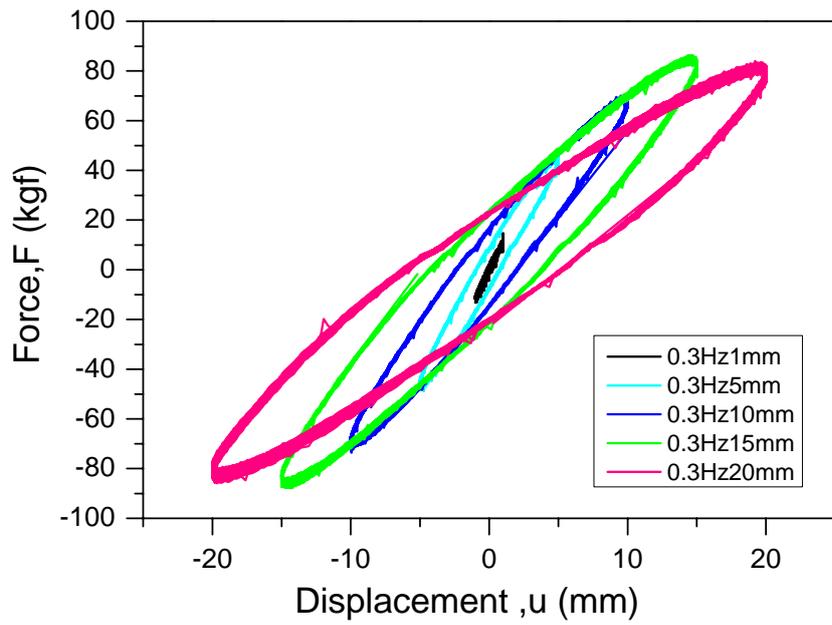


圖 3.15 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

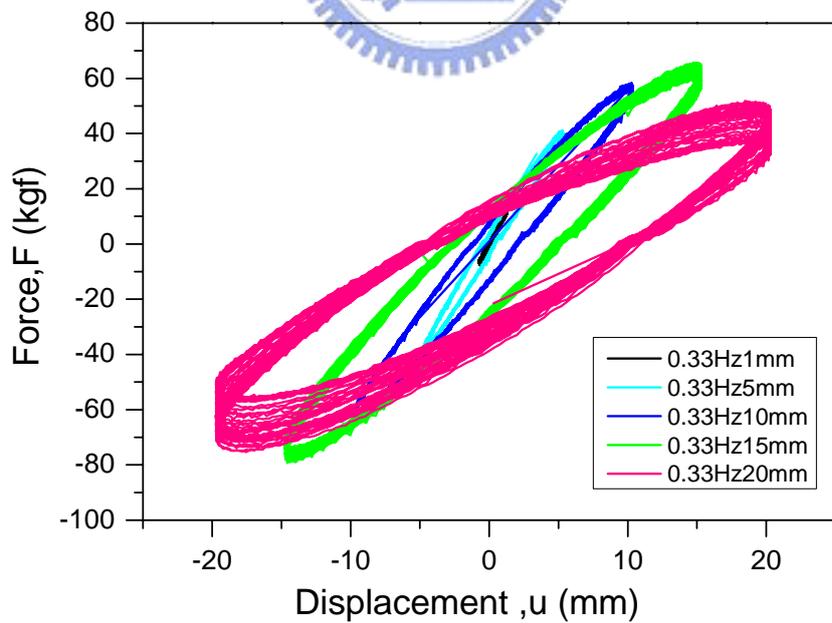


圖 3.16 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.33\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

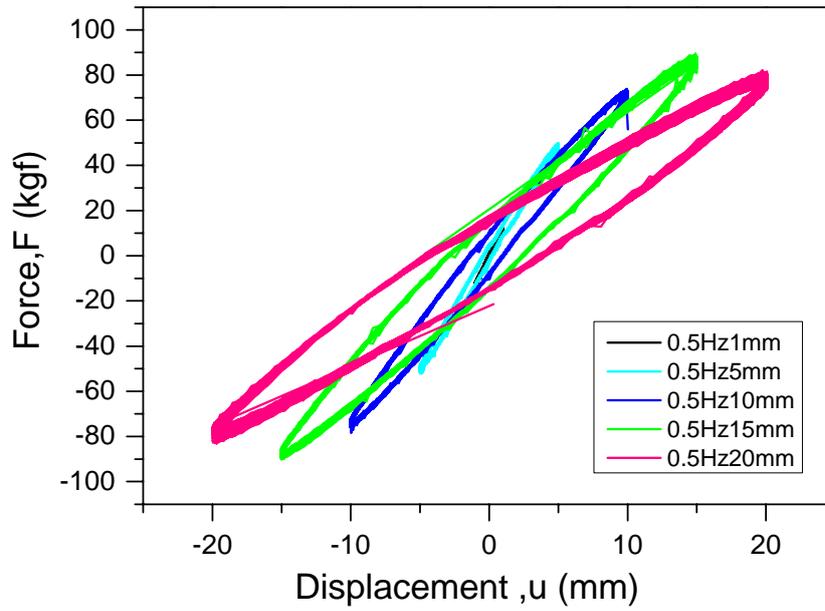


圖 3.17 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.5\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

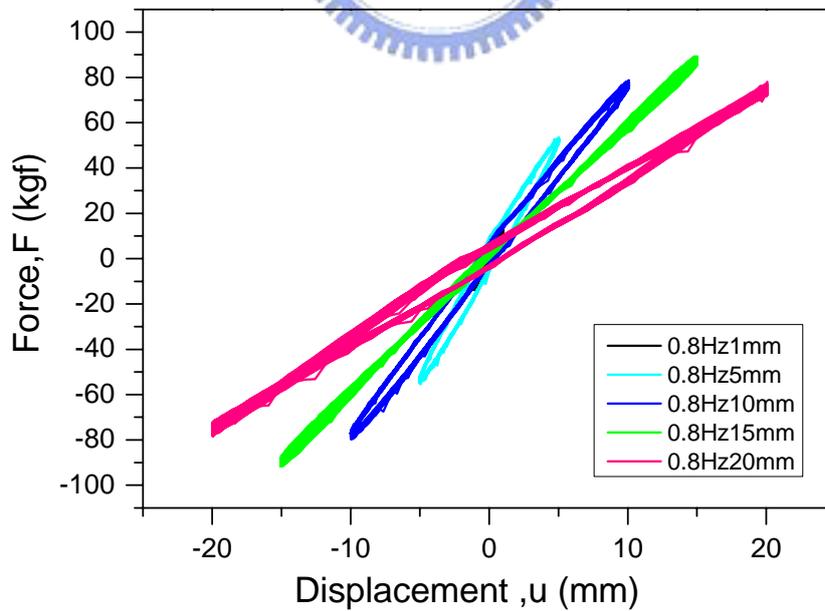


圖 3.18 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=0.8\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

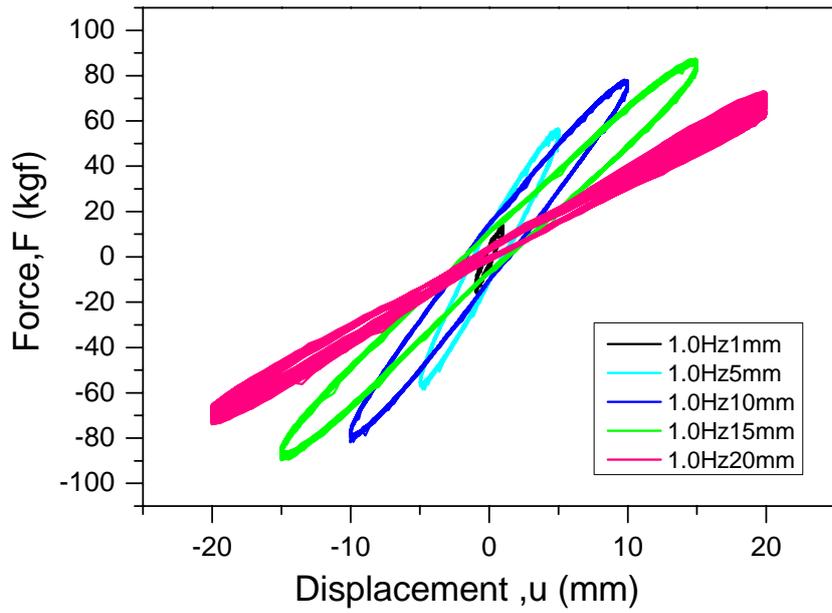


圖 3.19 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.0\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

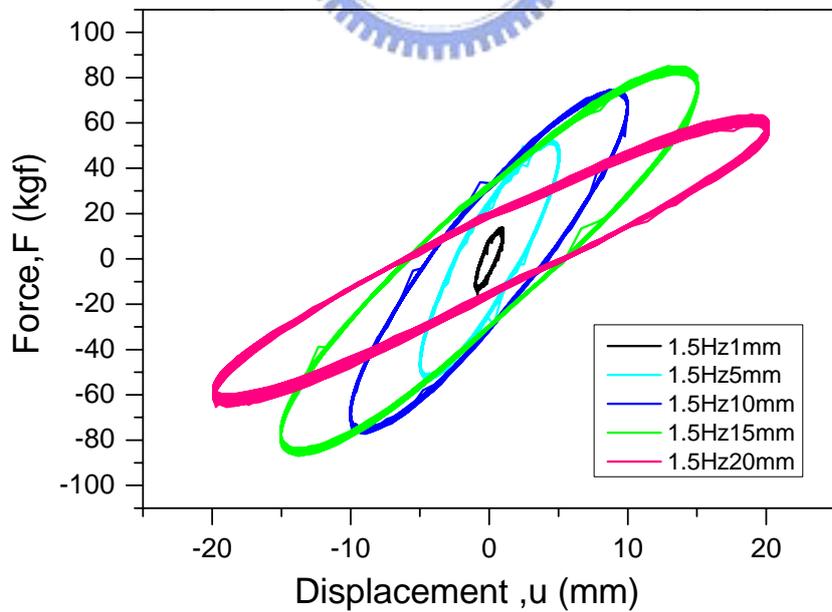


圖 3.20 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=1.5\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

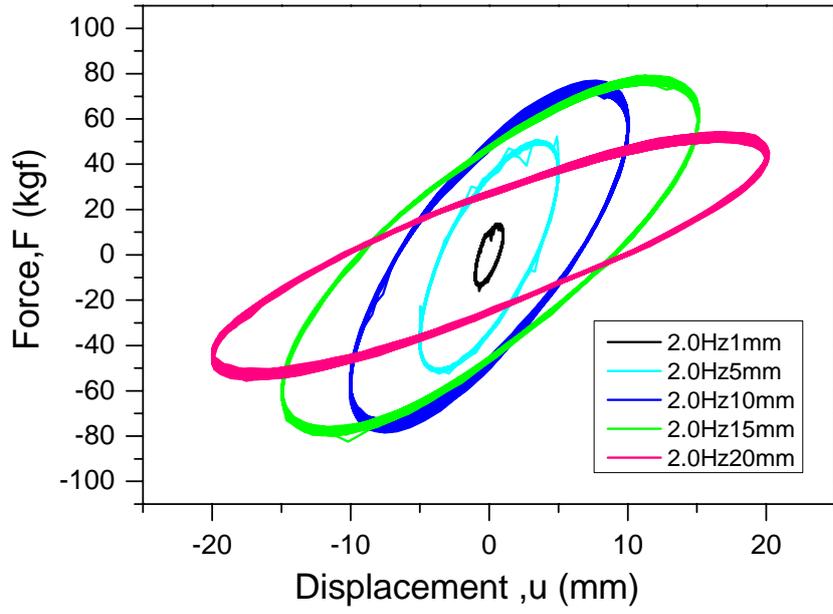


圖 3.21 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較 ( $f=2.0\text{Hz}$ ,  $u_0 = 1、5、10、15、20\text{mm}$ )

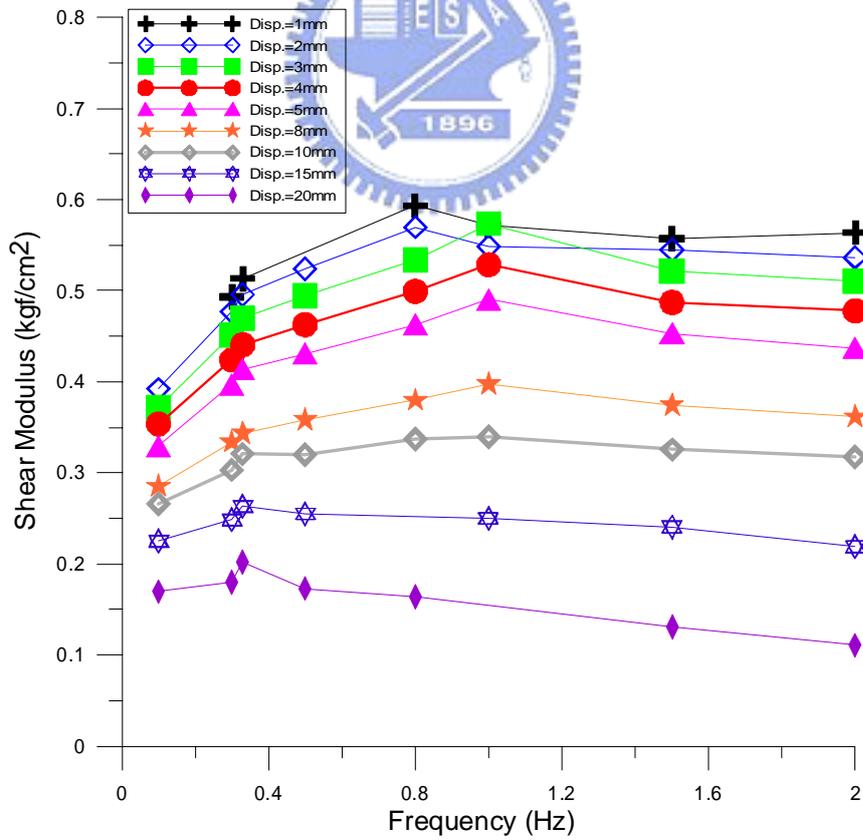


圖 3.22 VE 橡膠墊識別所得之剪力模數

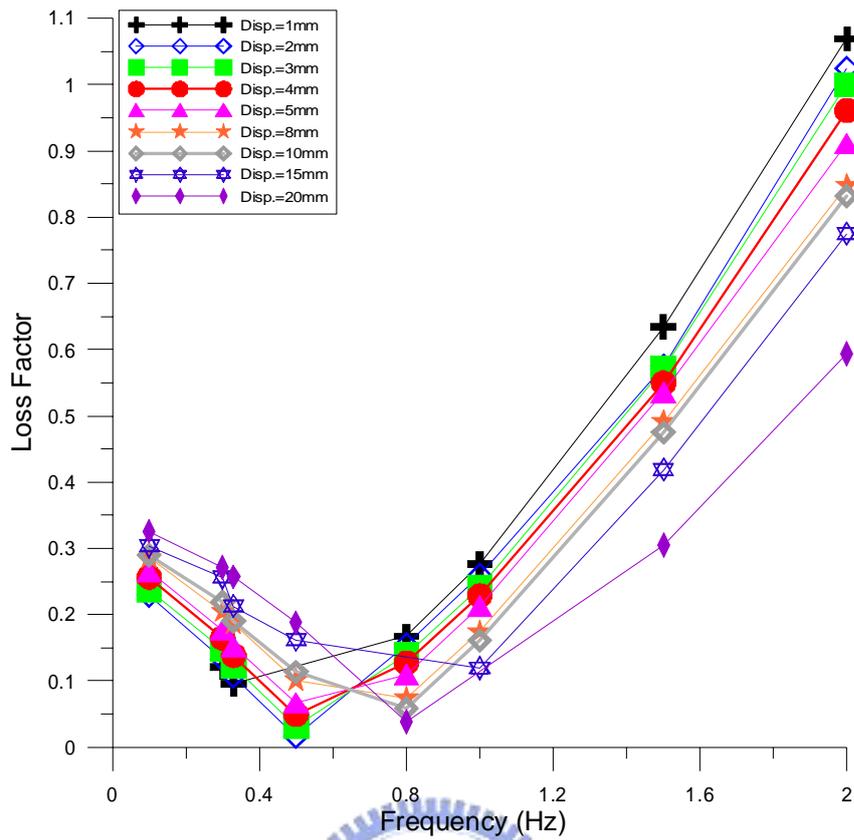


圖 3.23 VE 橡膠墊識別所得之損耗因子

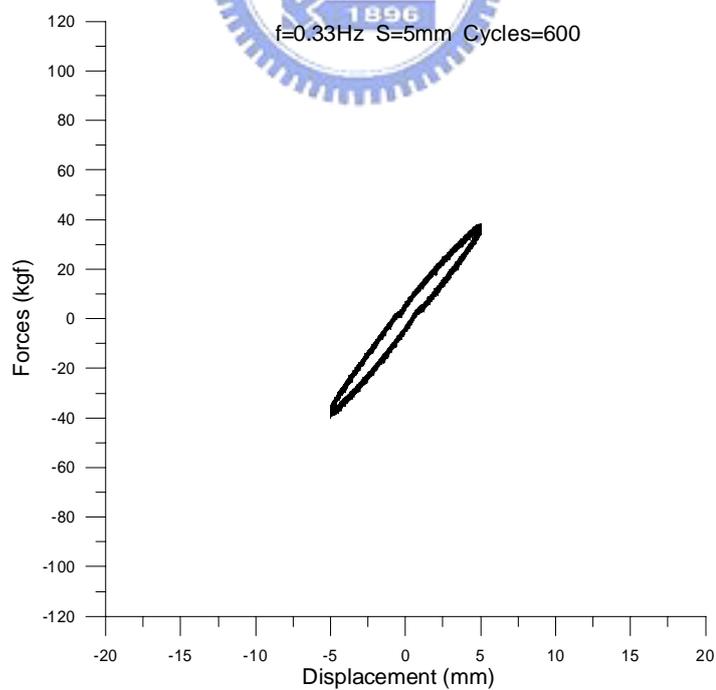


圖 3.24 VE 橡膠墊穩定性測試(f=0.33Hz,  $u_0=5\text{mm}$ )

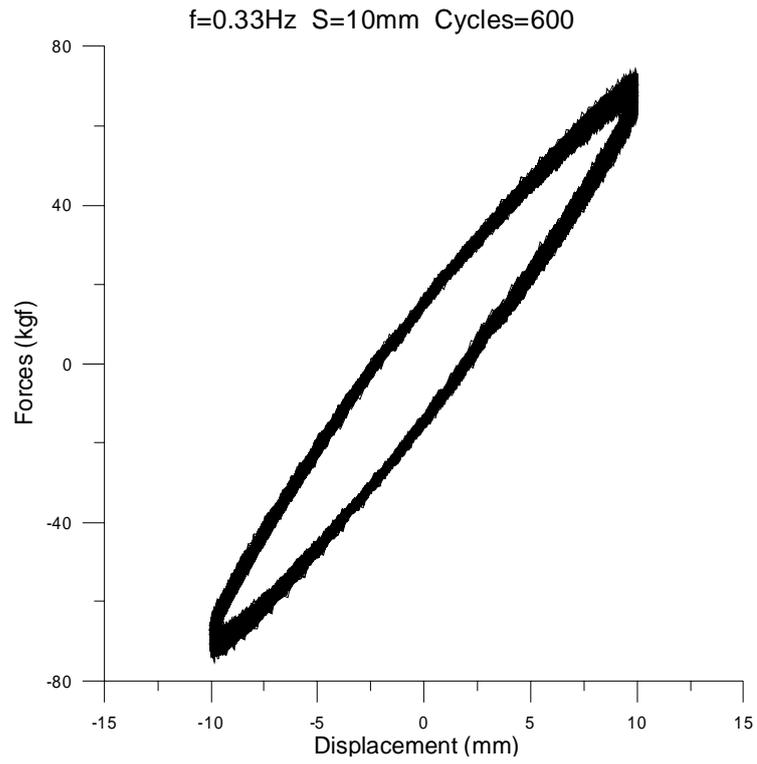


圖 3.25 VE 橡膠墊穩定性測試( $f=0.33\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

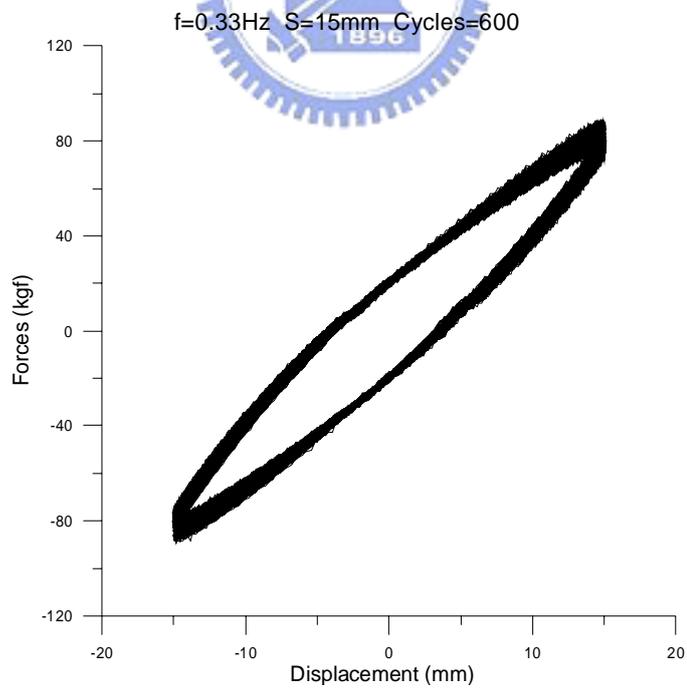


圖 3.26 VE 橡膠墊穩定性測試( $f=0.33\text{Hz}$ ,  $u_0=15\text{mm}$ )

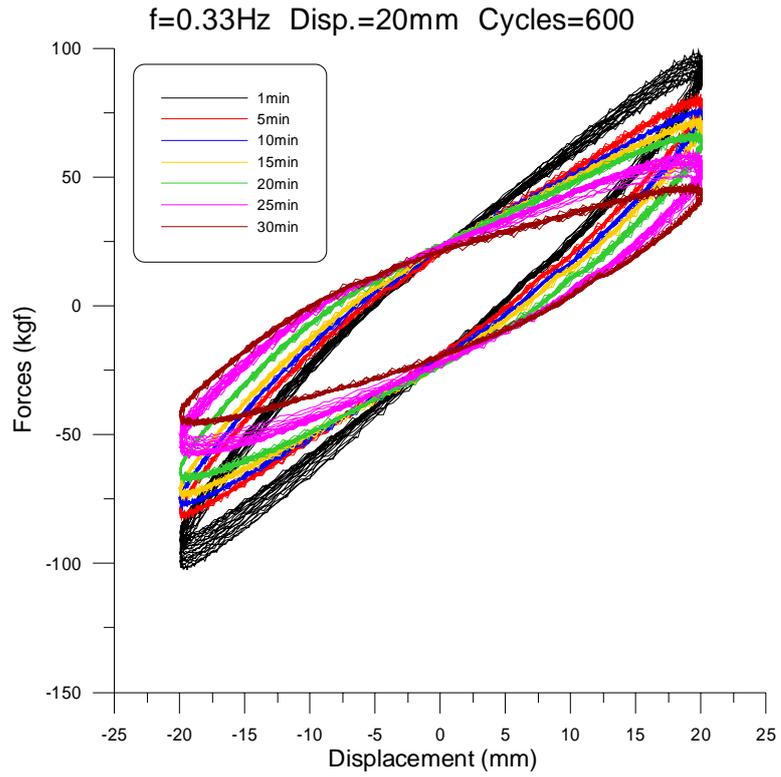


圖 3.27 VE 橡膠墊穩定性測試(f=0.33Hz,  $u_0=20\text{mm}$ )

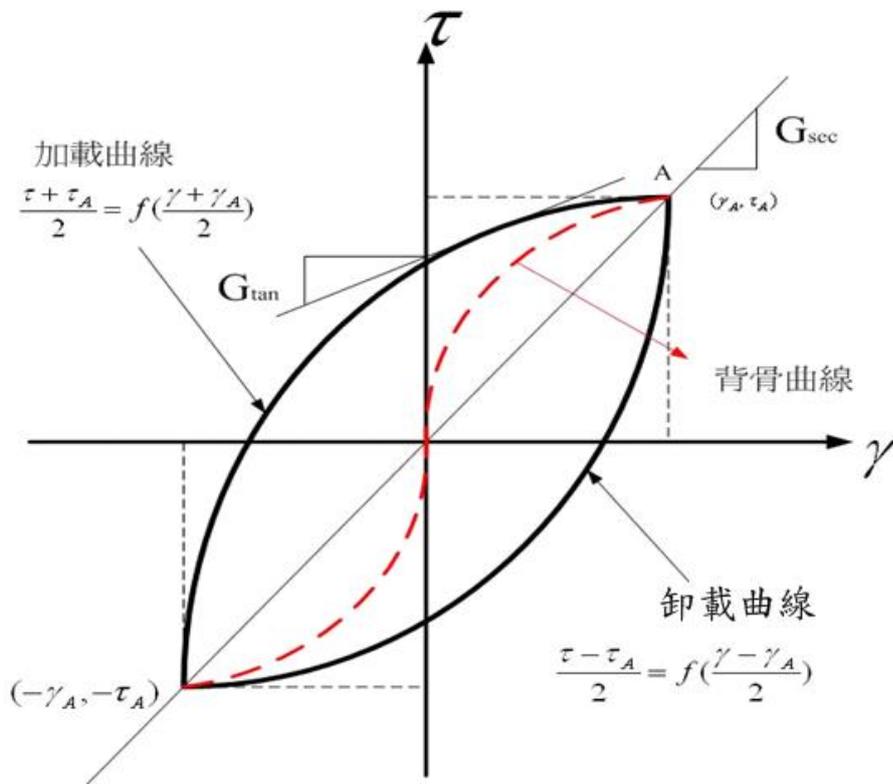


圖 3.28 背骨曲線示意圖

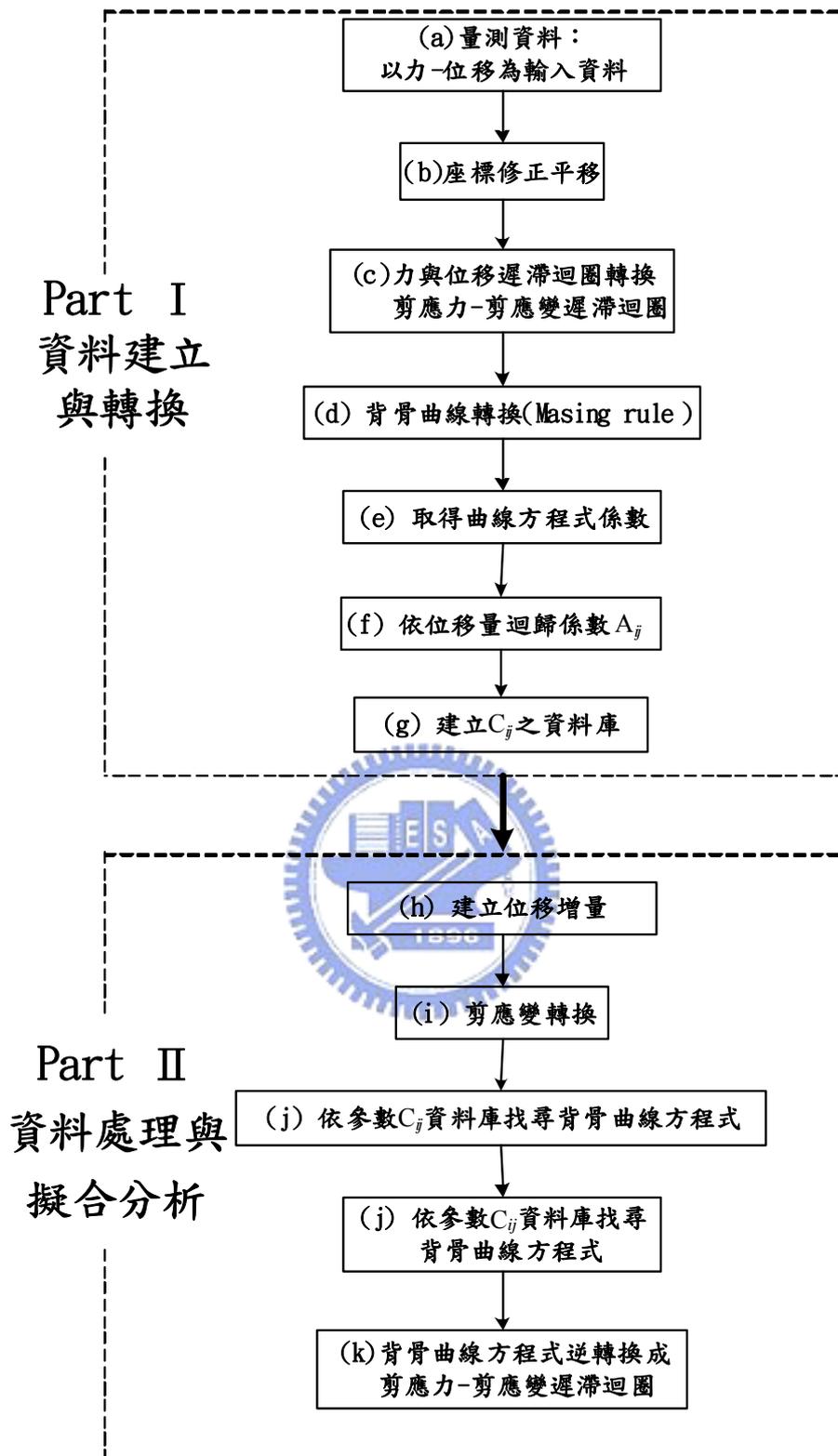


圖 3.29 背骨曲線擬合分析流程圖

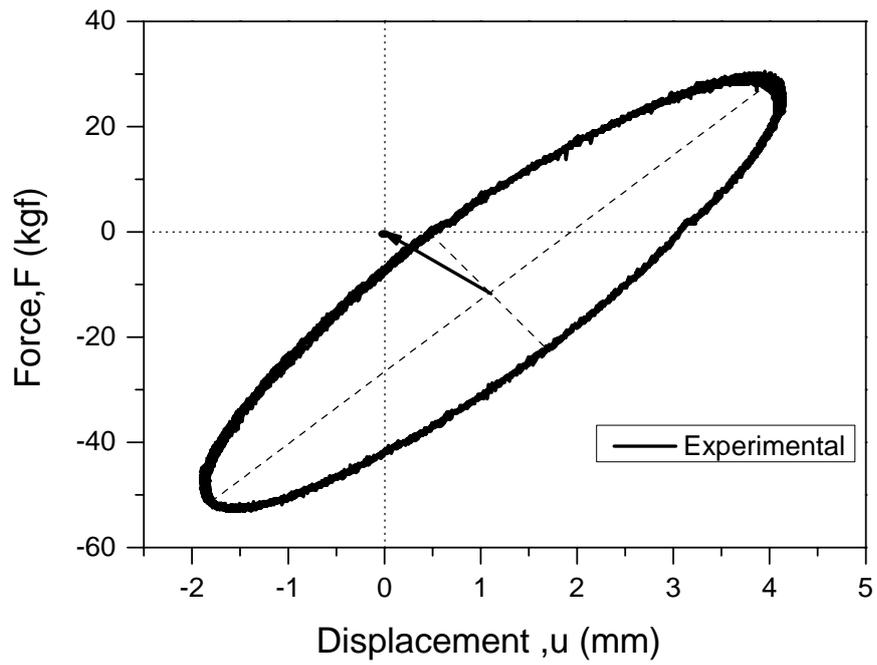


圖 3.30 座標修正平移示意圖

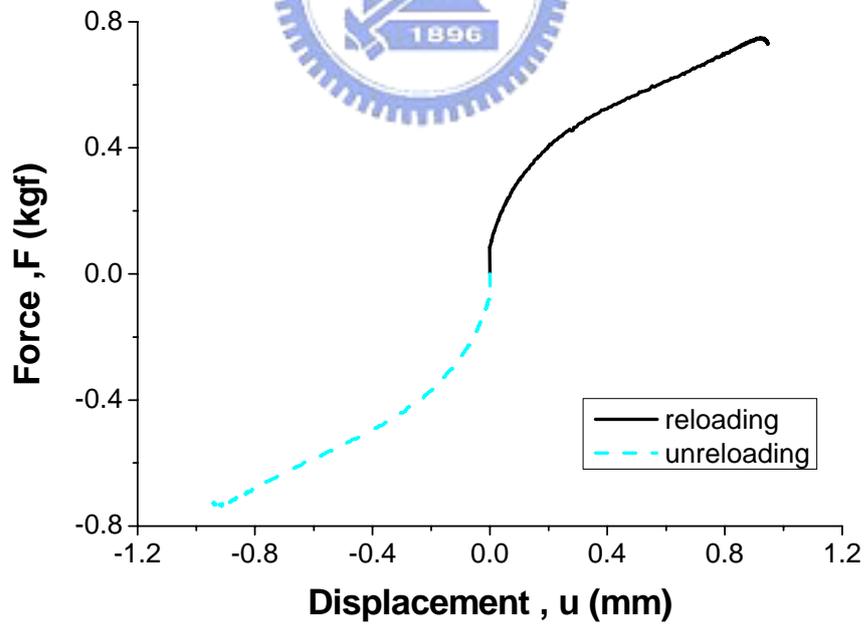


圖 3.31 背骨曲線方程式示意圖

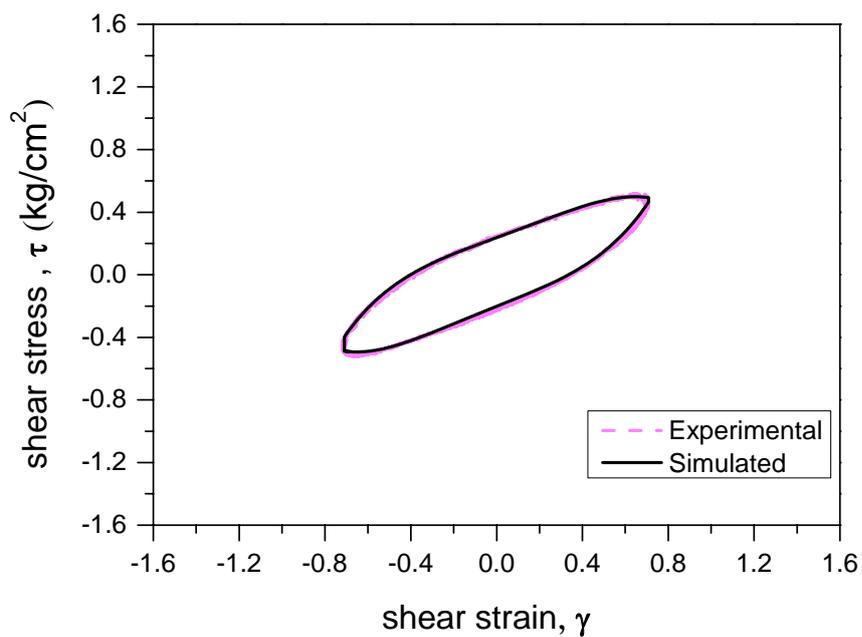


圖 3.32 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.1\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

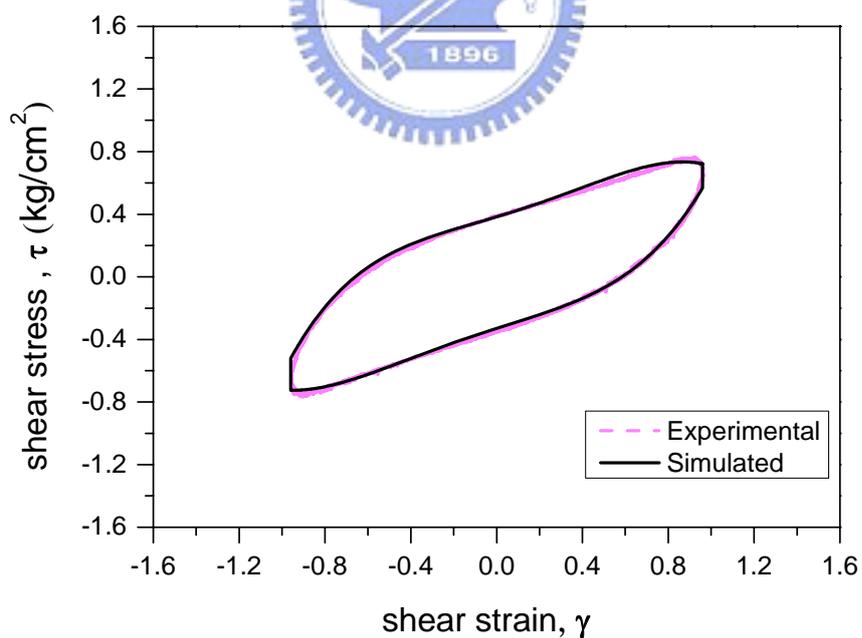


圖 3.33 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.1\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

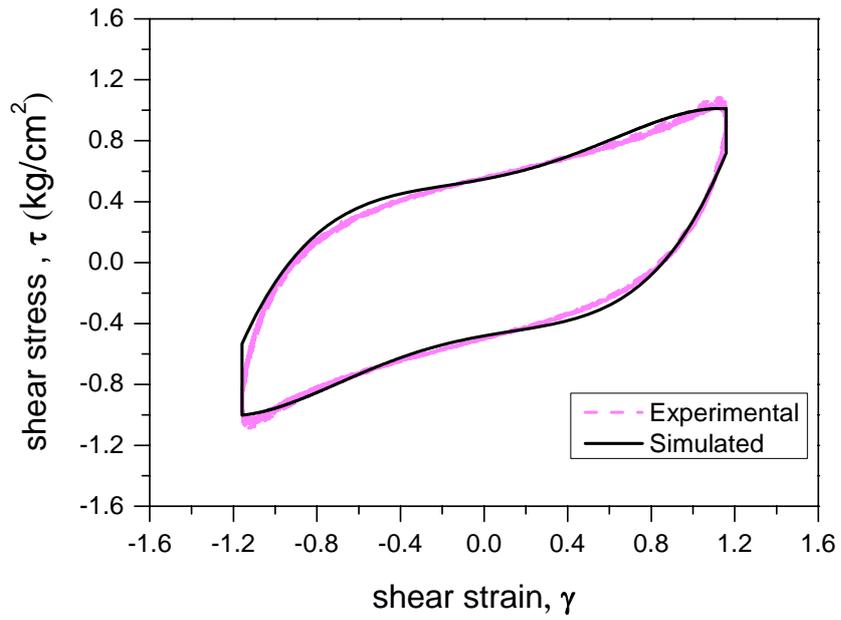


圖 3.34 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.1\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

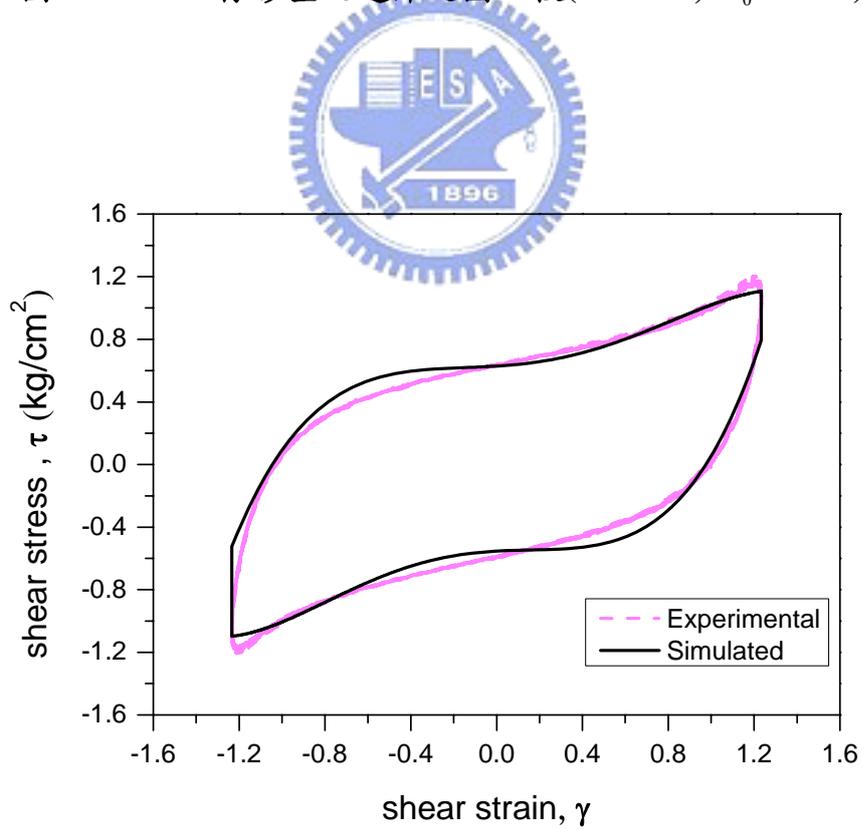


圖 3.35 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.1\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

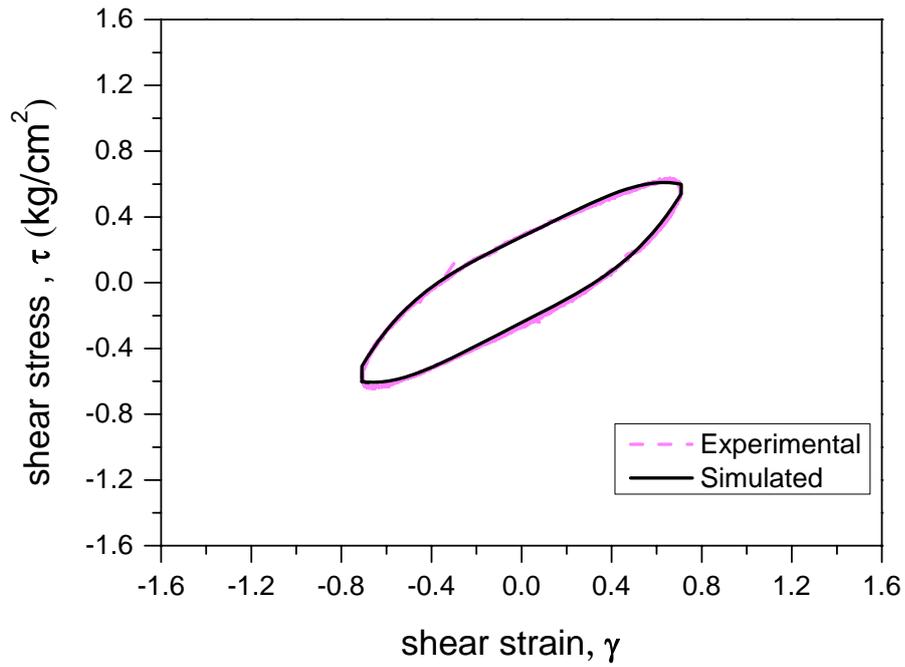


圖 3.36 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.2\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

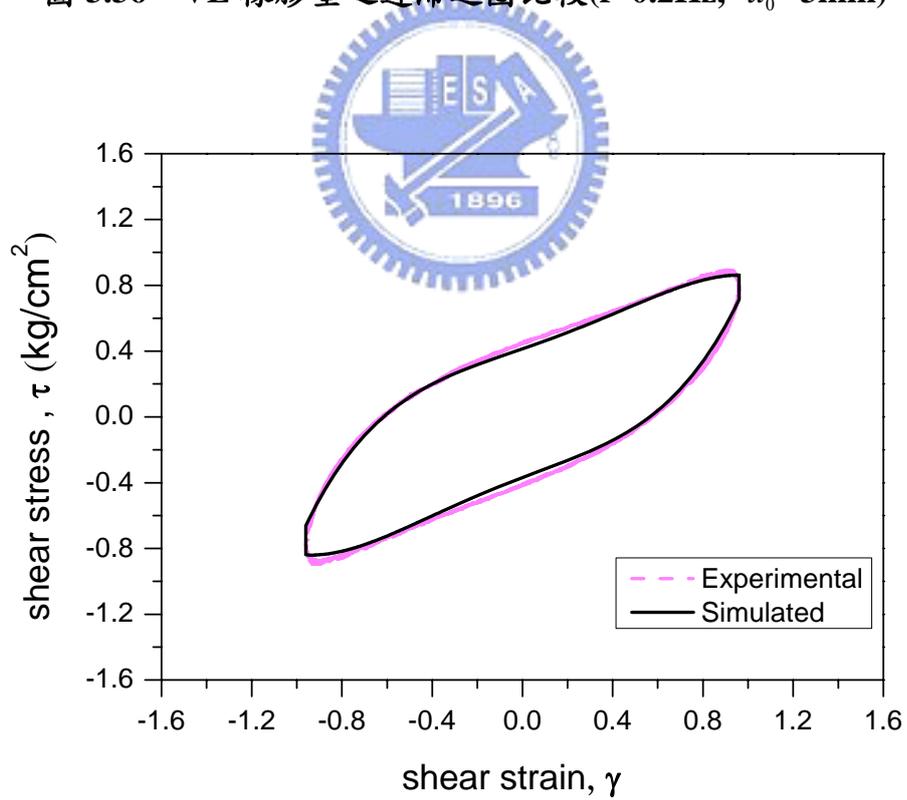


圖 3.37 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.2\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

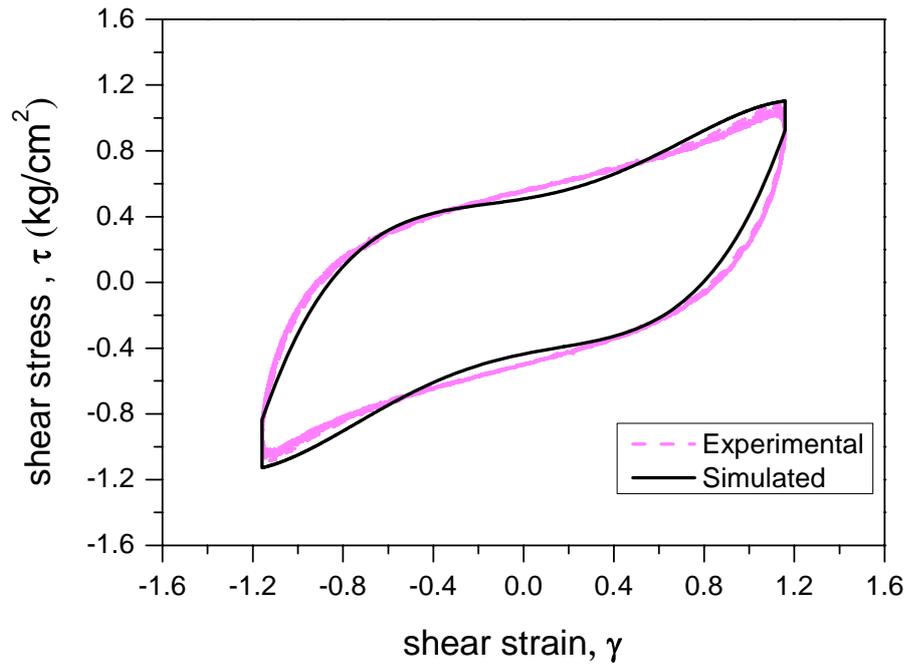


圖 3.38 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.2\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

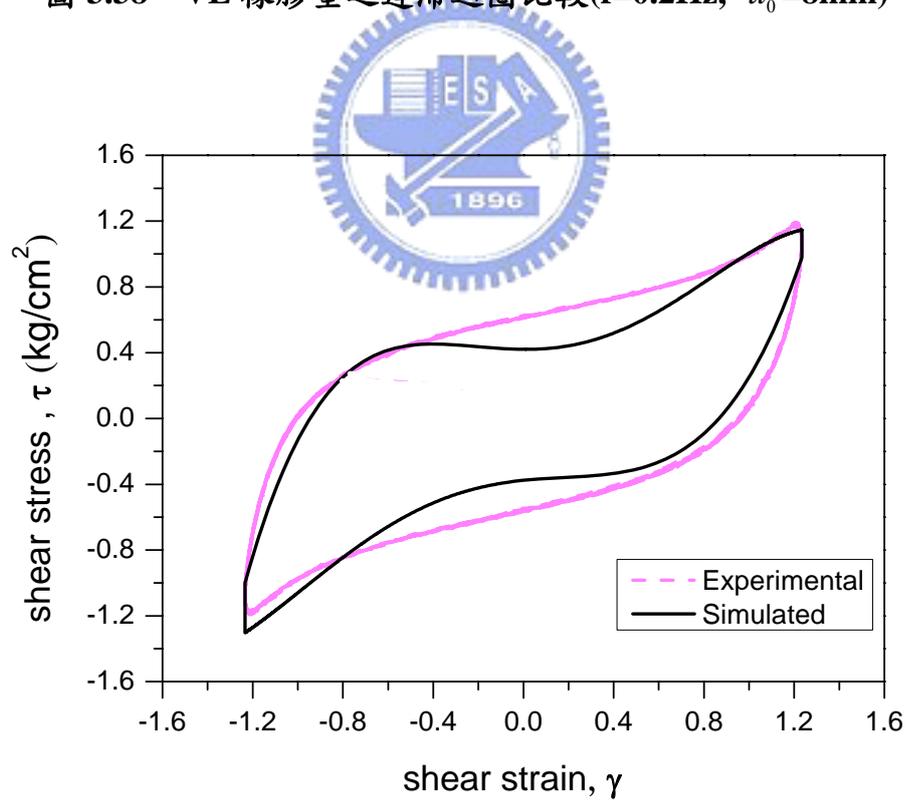


圖 3.39 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.2\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

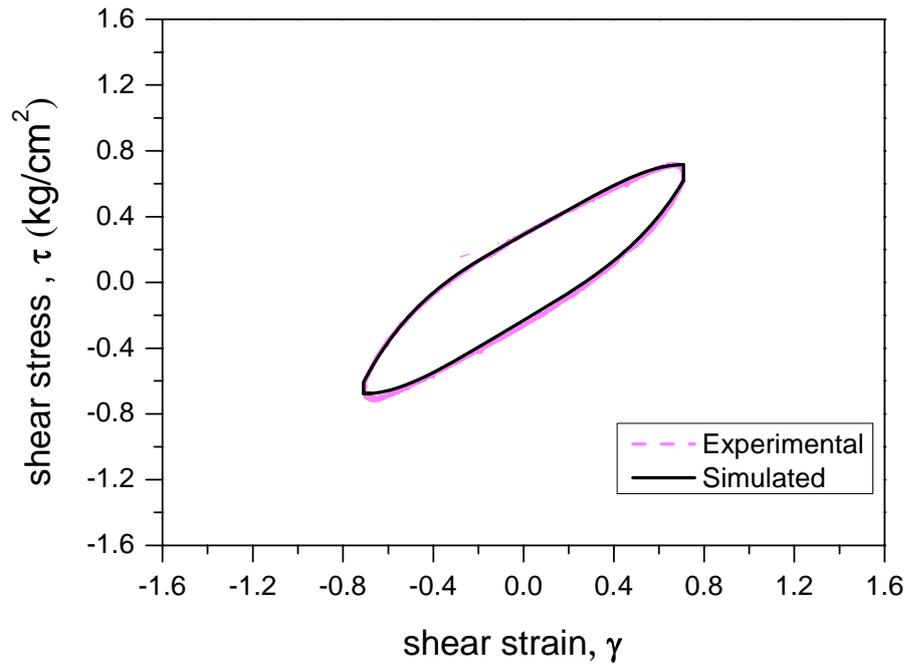


圖 3.40 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

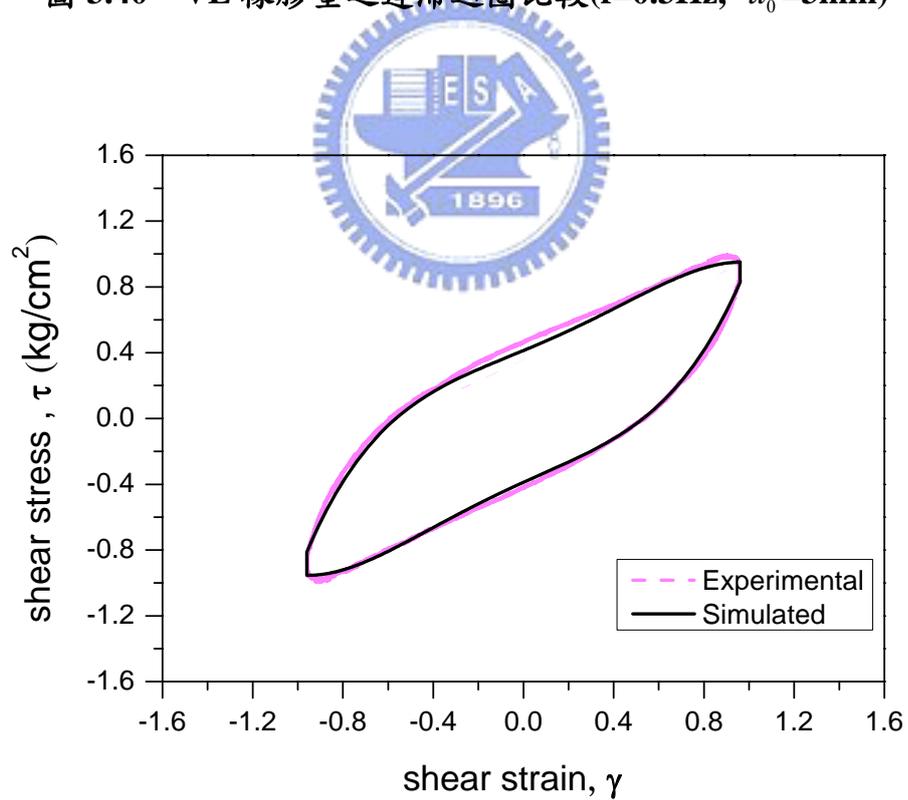


圖 3.41 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

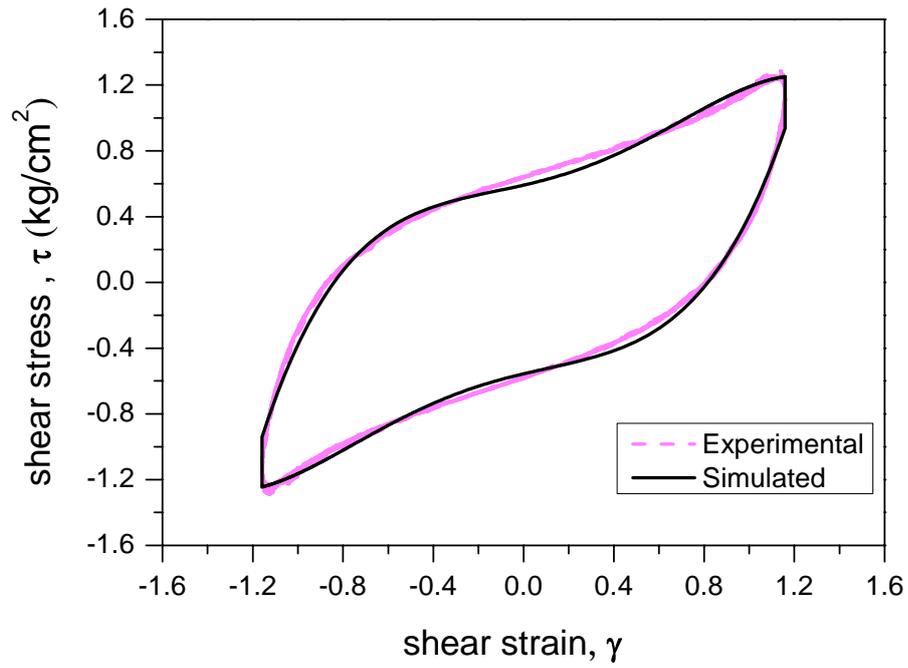


圖 3.42 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

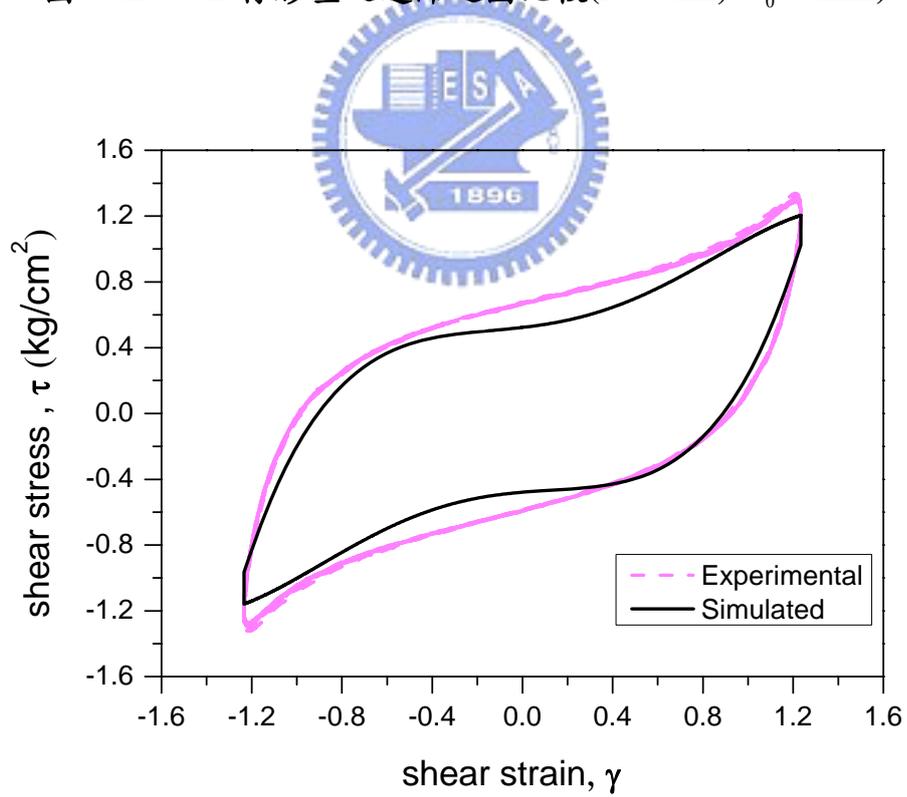


圖 3.43 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

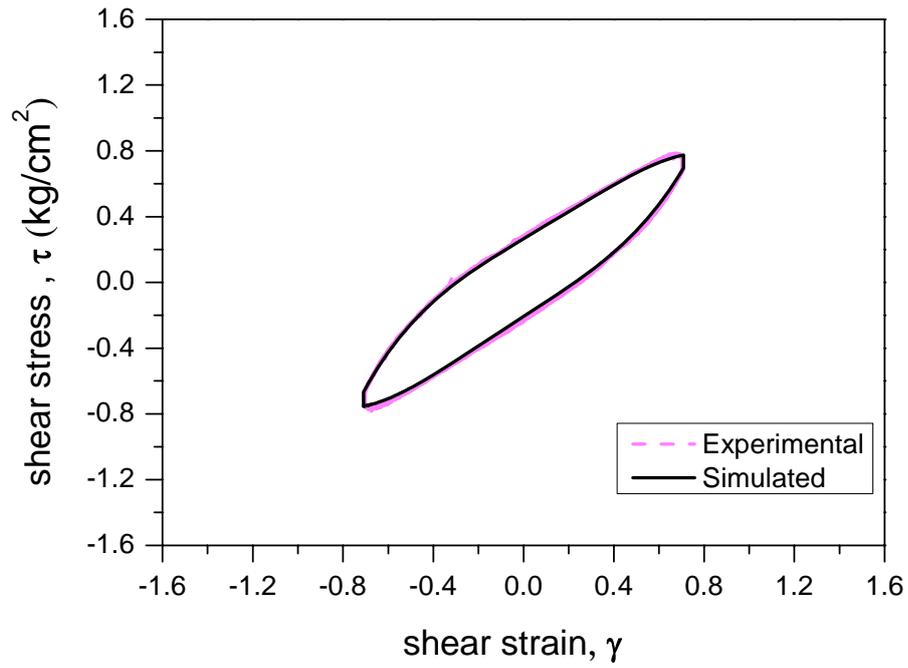


圖 3.44 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.4\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

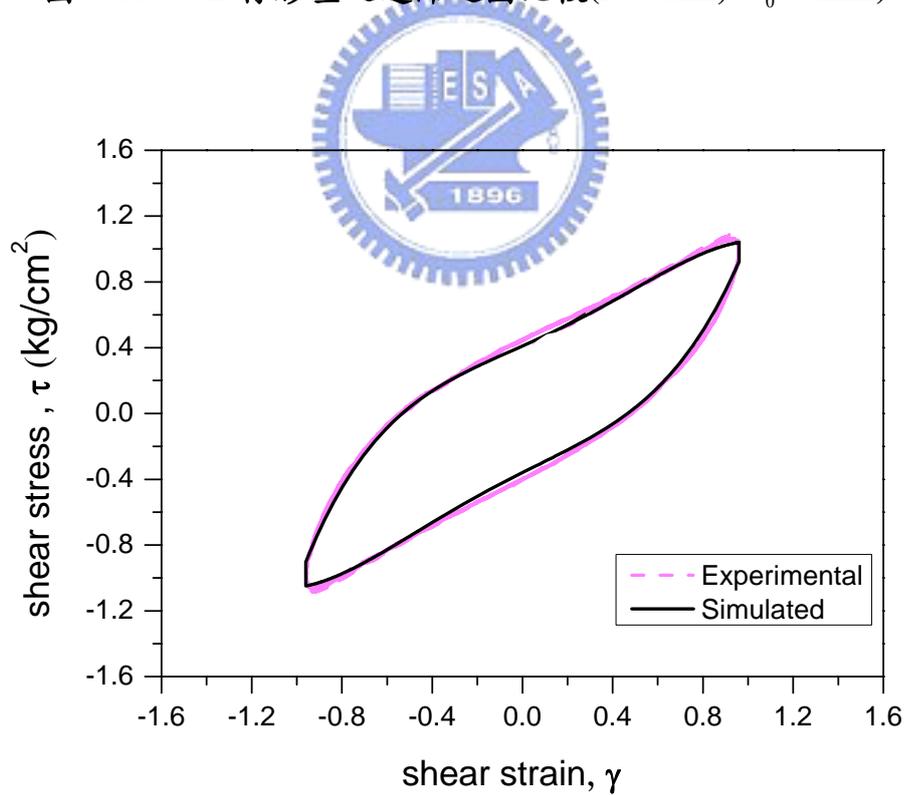


圖 3.45 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.4\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

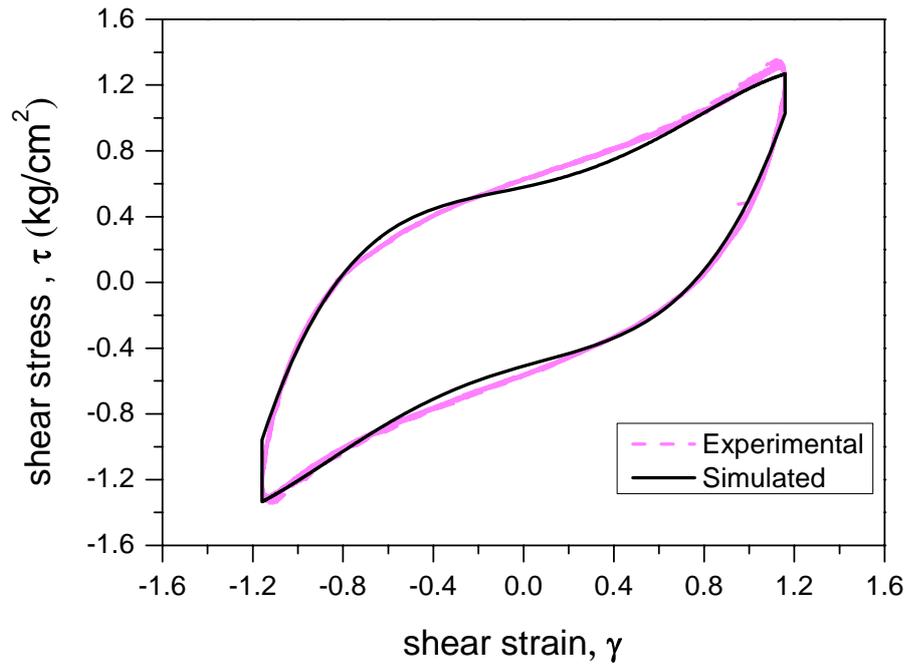


圖 3.46 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.4\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

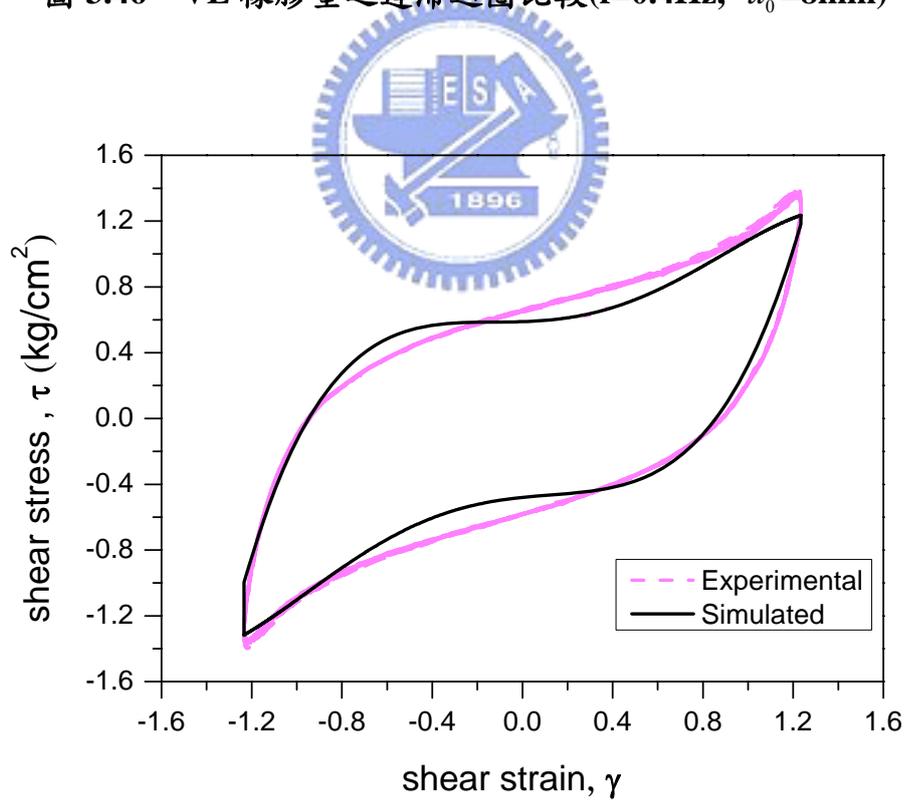


圖 3.47 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.4\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

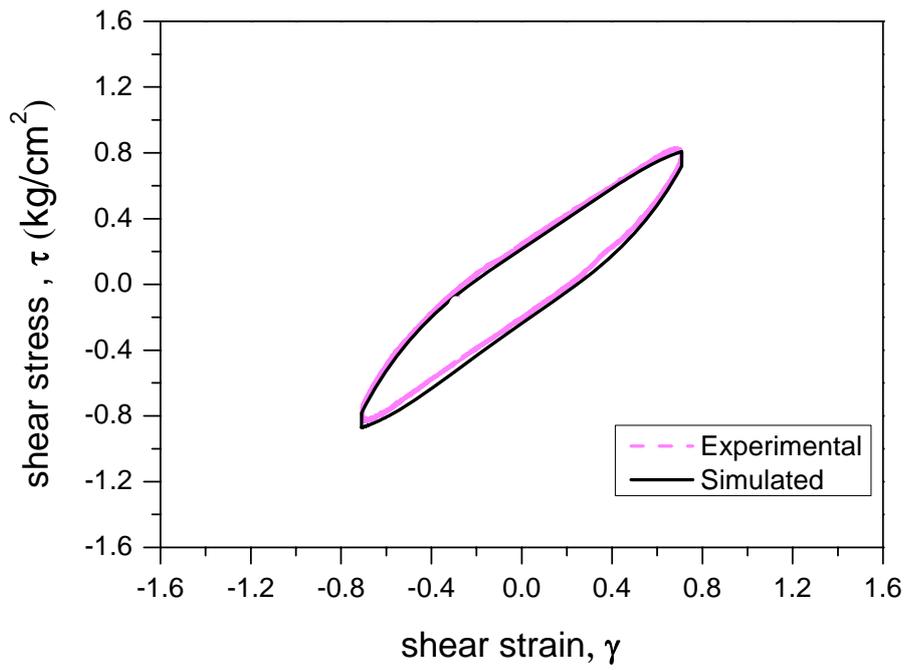


圖 3.48 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.5\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

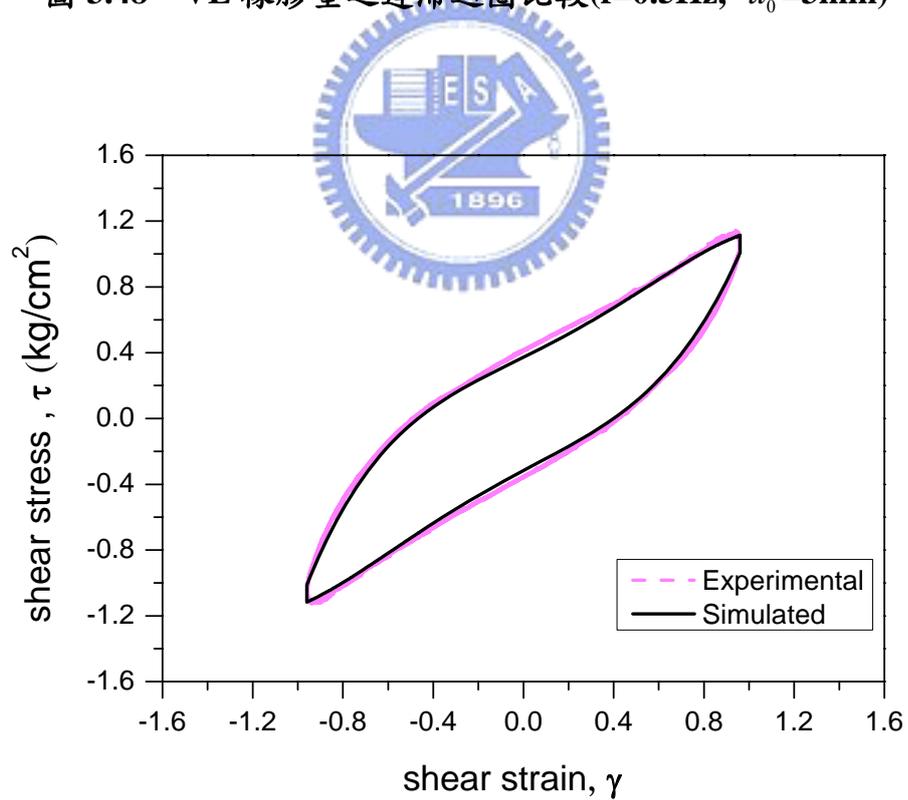


圖 3.49 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.5\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

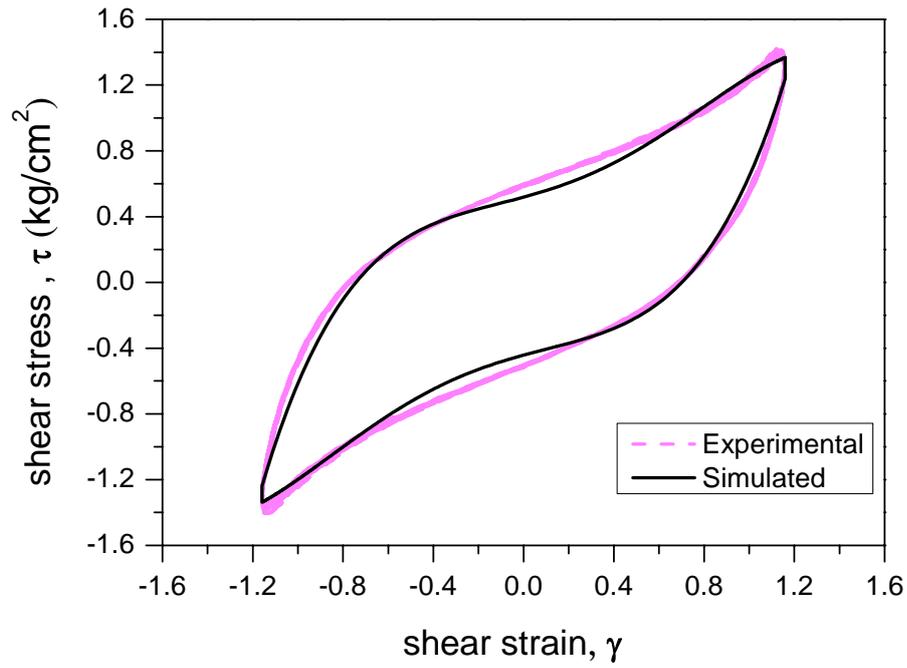


圖 3.50 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.5\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

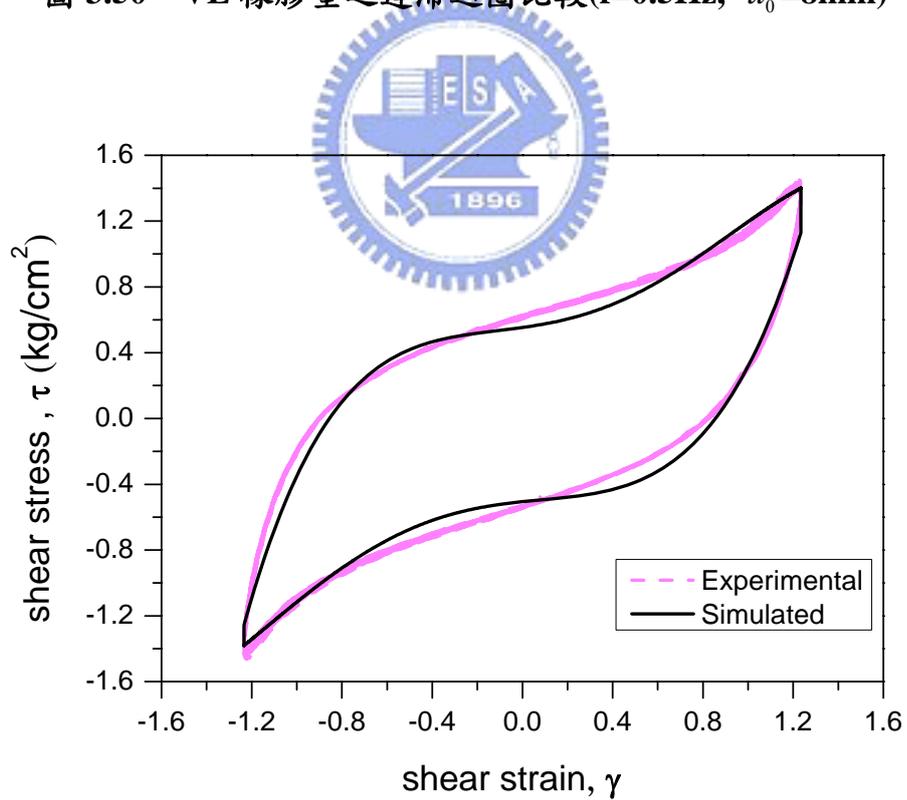


圖 3.51 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.5\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

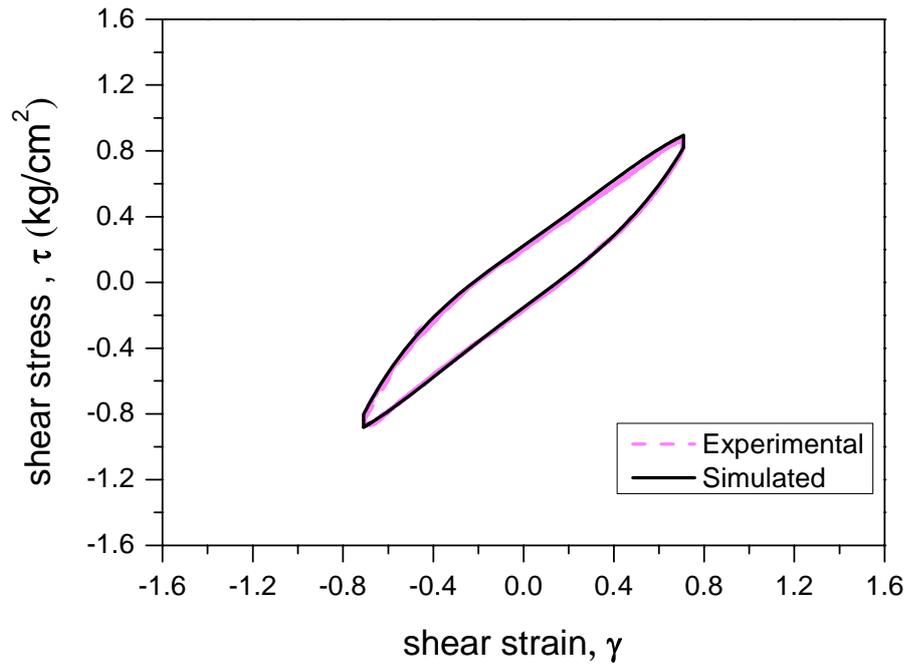


圖 3.52 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.6\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

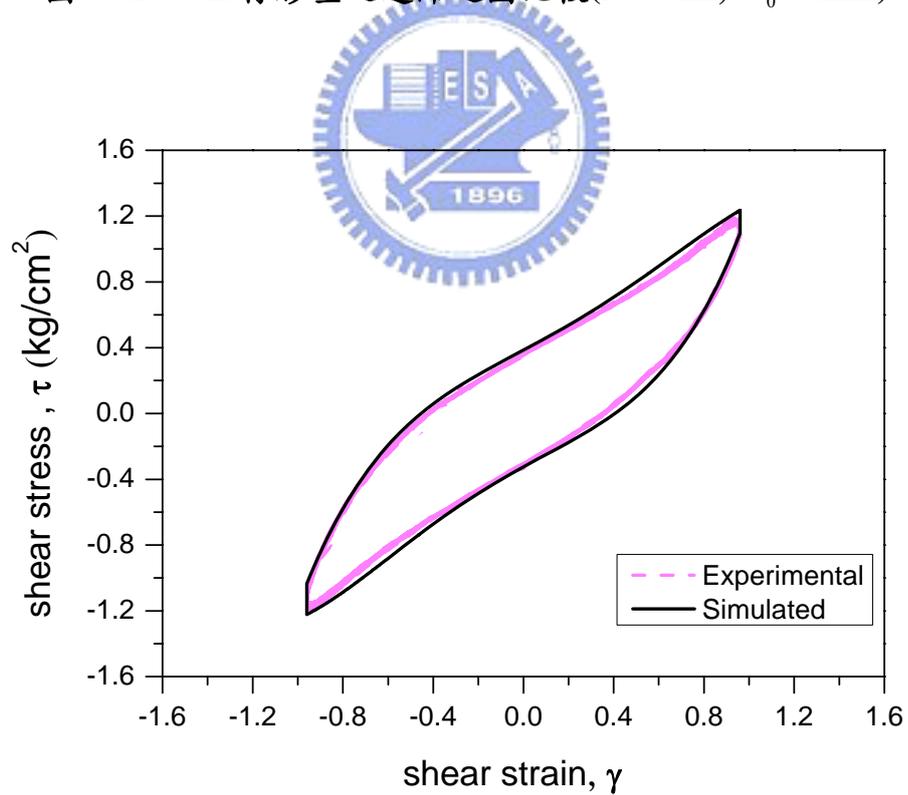


圖 3.53 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.6\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

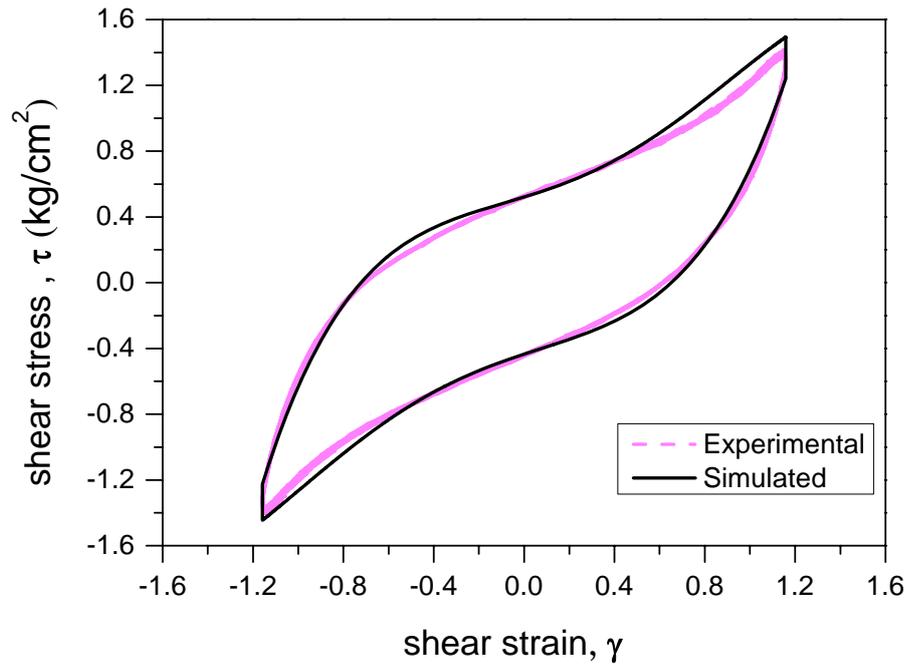


圖 3.54 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.6\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

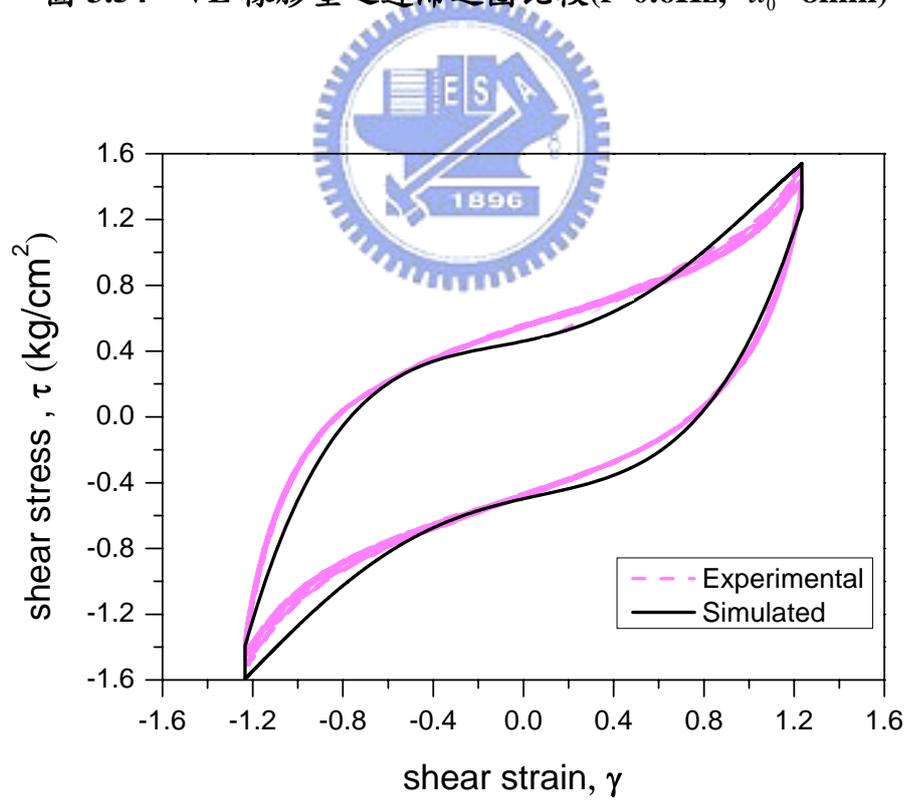


圖 3.55 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.6\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

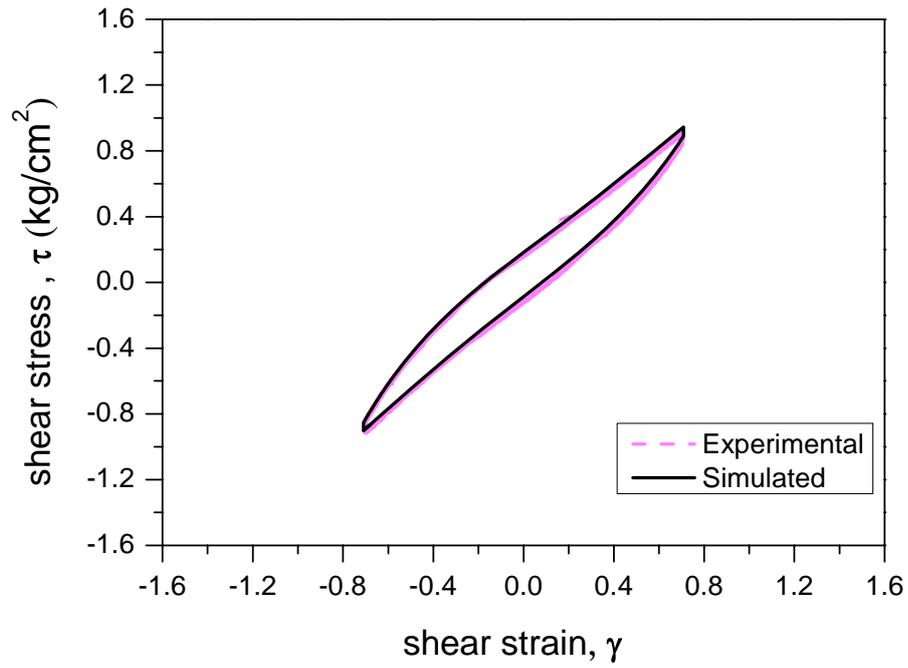


圖 3.56 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.7\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

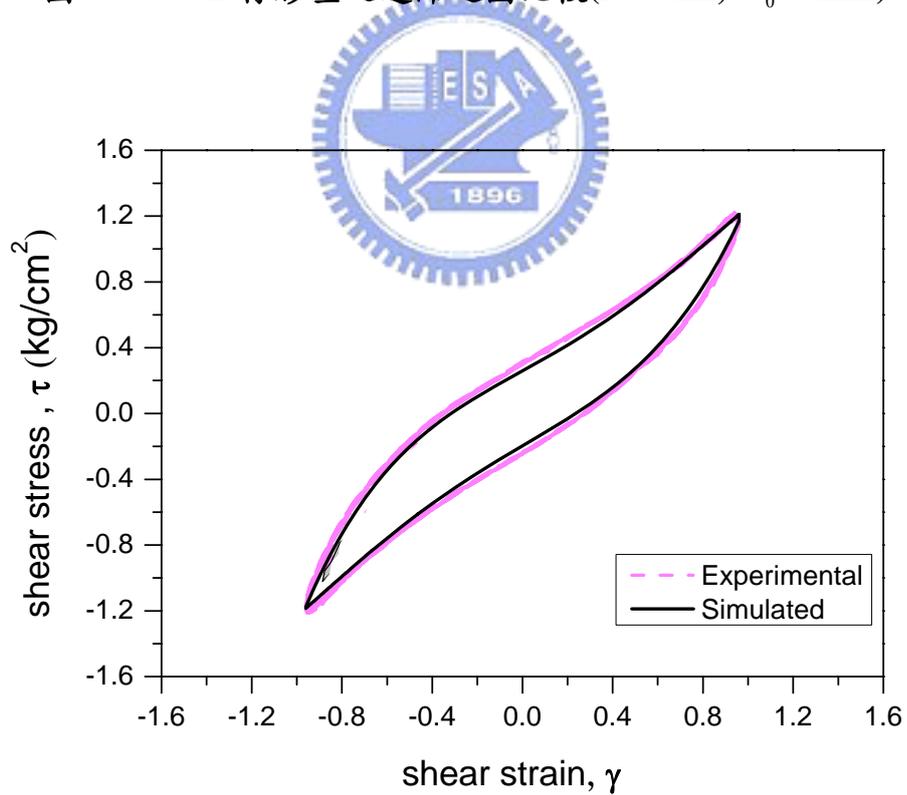


圖 3.57 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.7\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

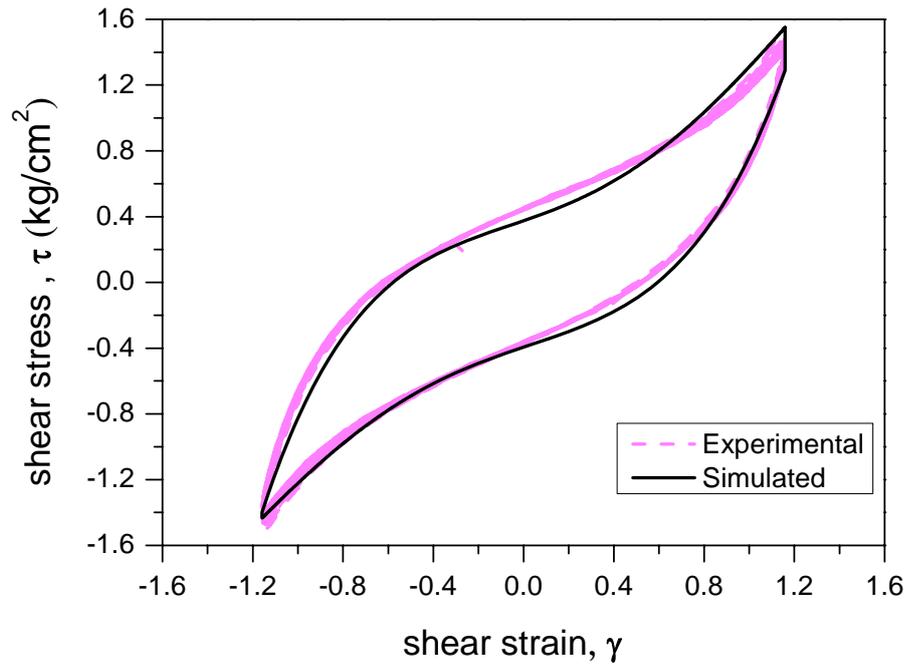


圖 3.58 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.7\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

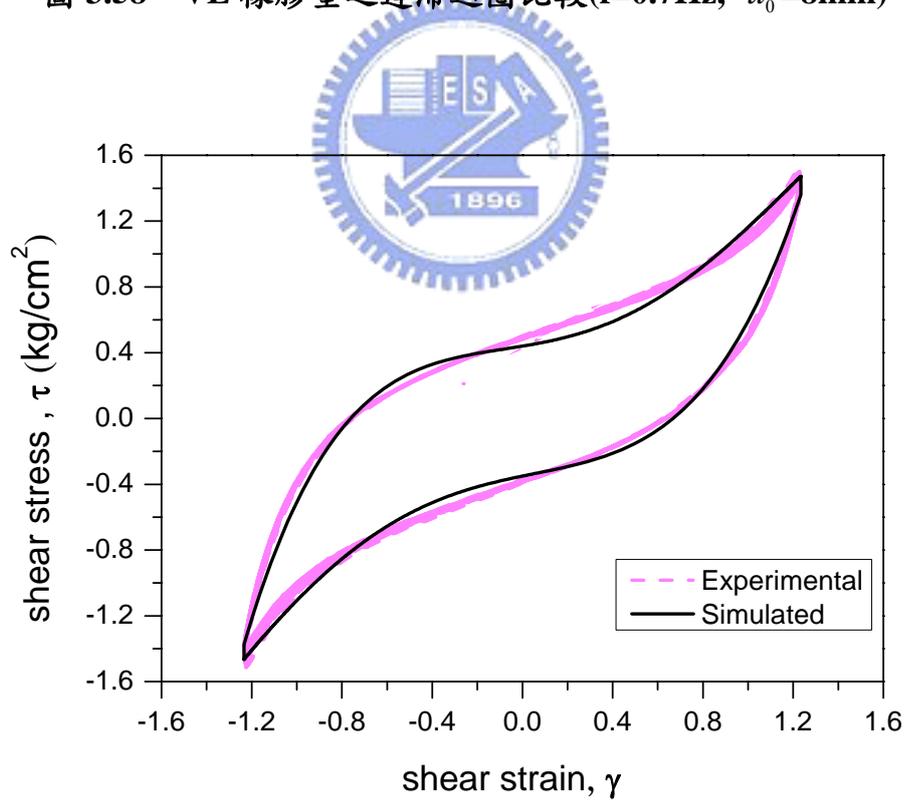


圖 3.59 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.7\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

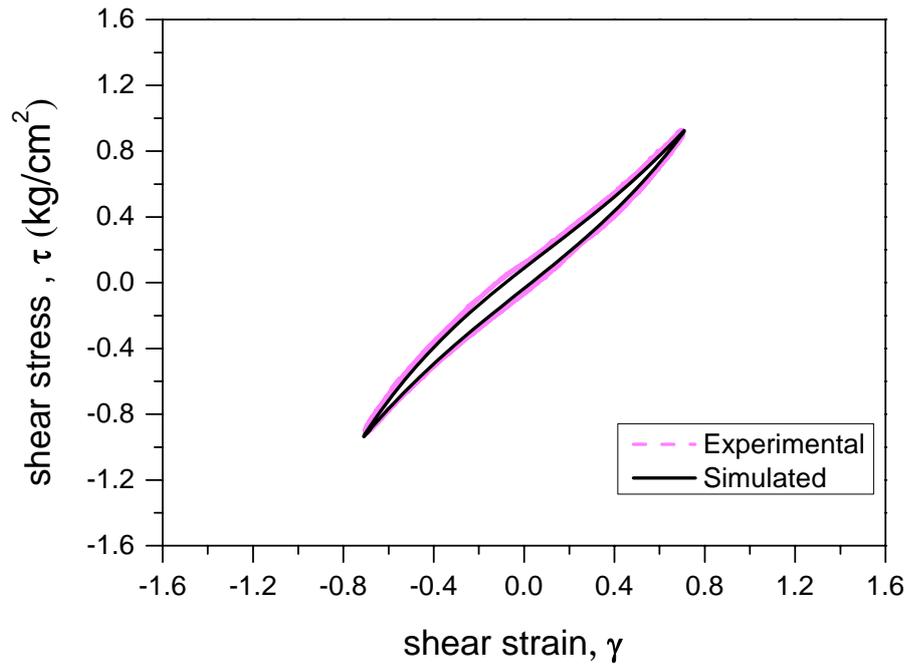


圖 3.60 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.8\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

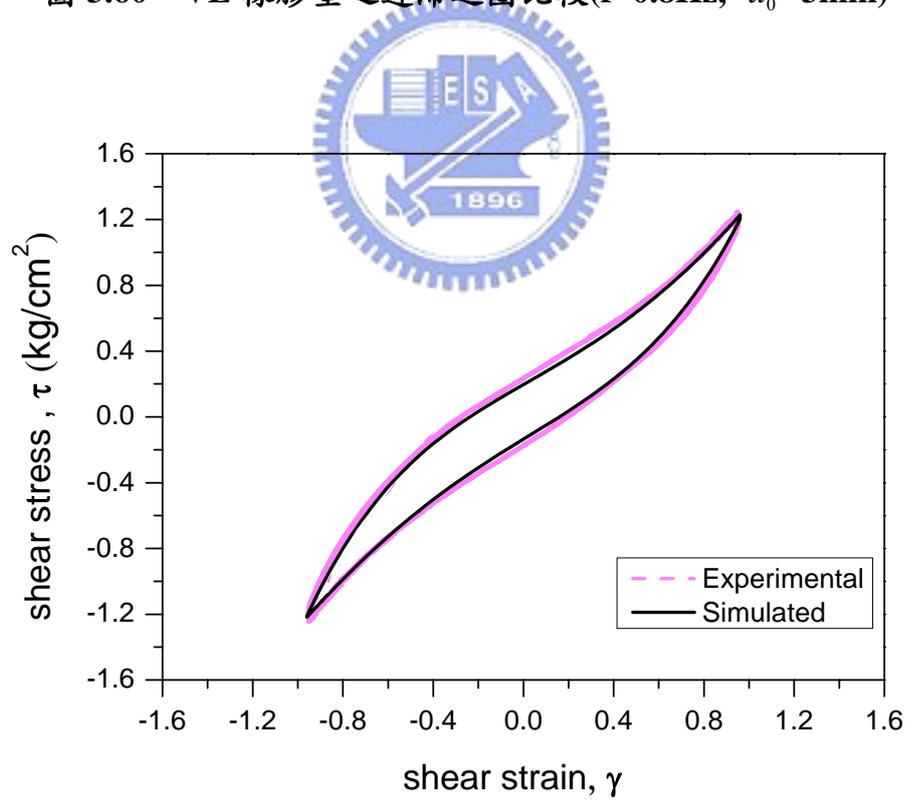


圖 3.61 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.8\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

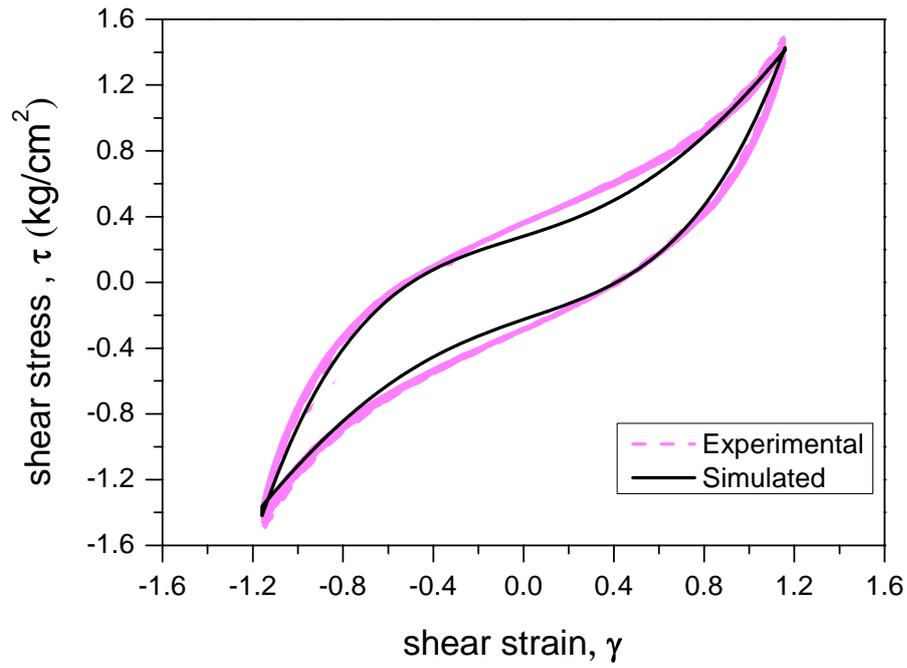


圖 3.62 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.8\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

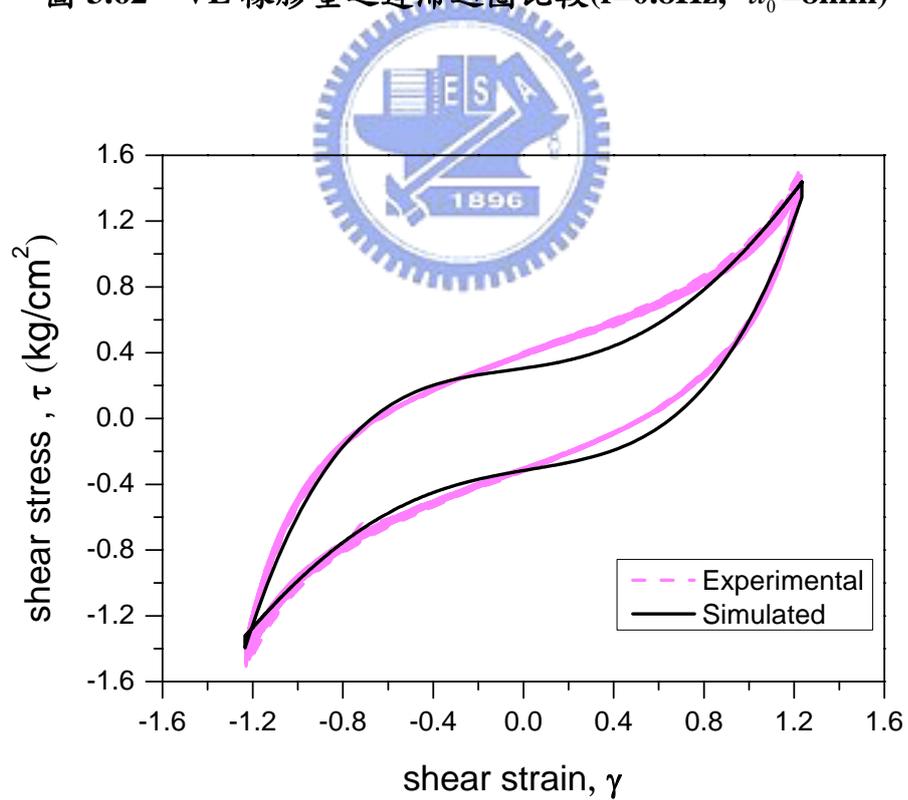


圖 3.63 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.8\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

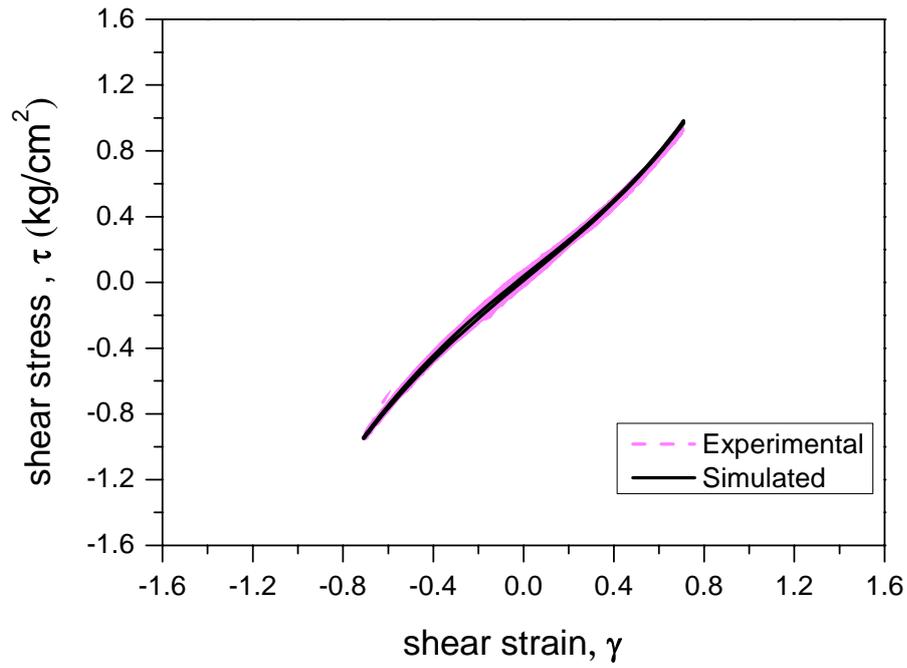


圖 3.64 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.9\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

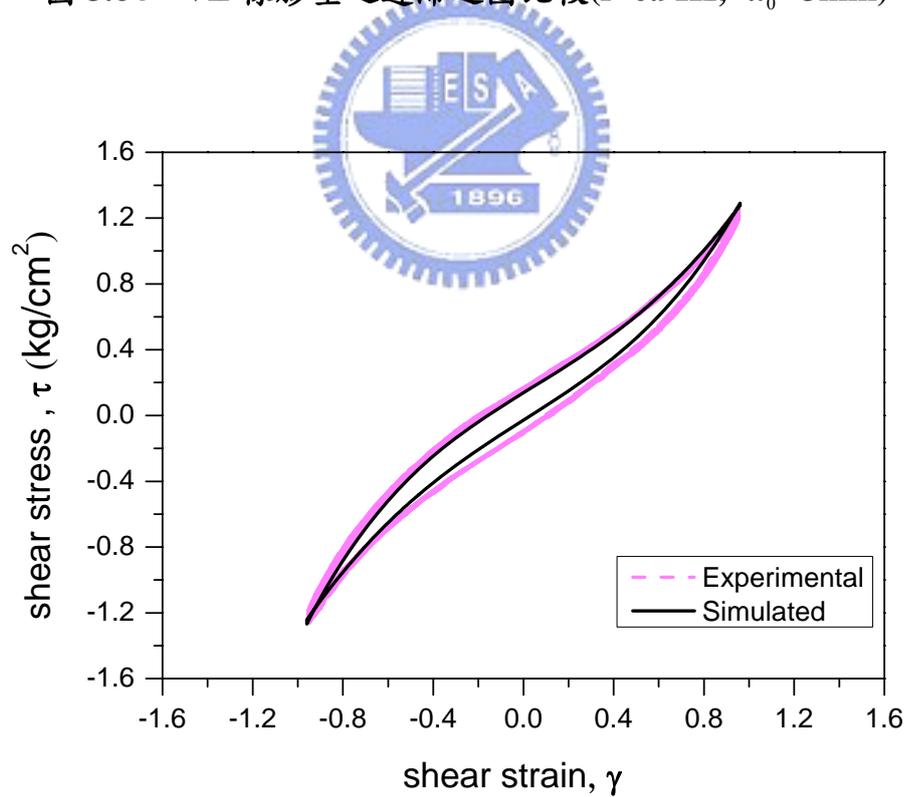


圖 3.65 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.9\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

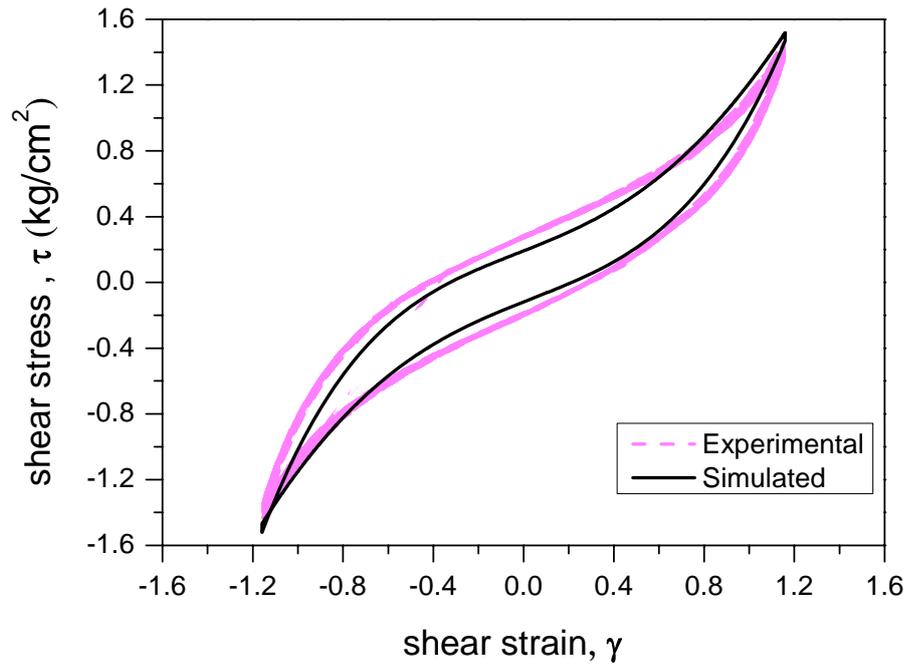


圖 3.66 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.9\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

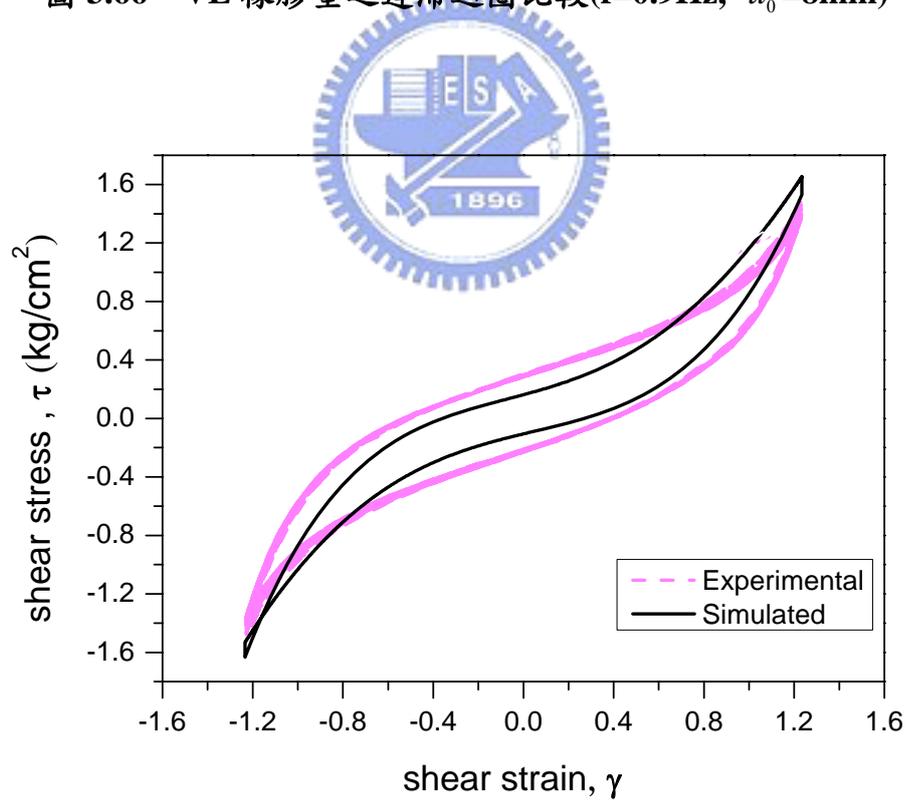


圖 3.67 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=0.9\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

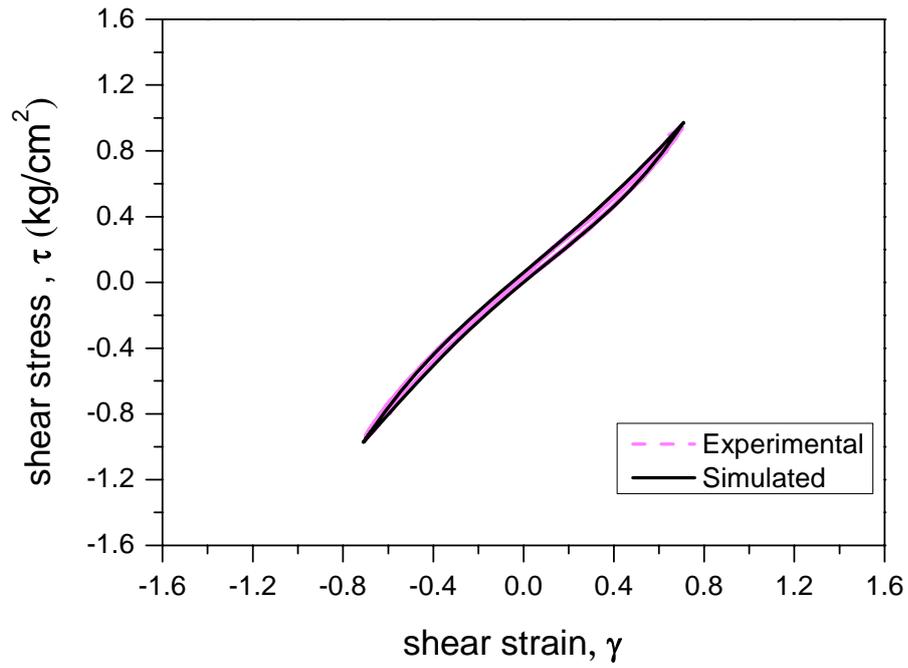


圖 3.68 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=1.0\text{Hz}$ ,  $u_0=3\text{mm}$ )

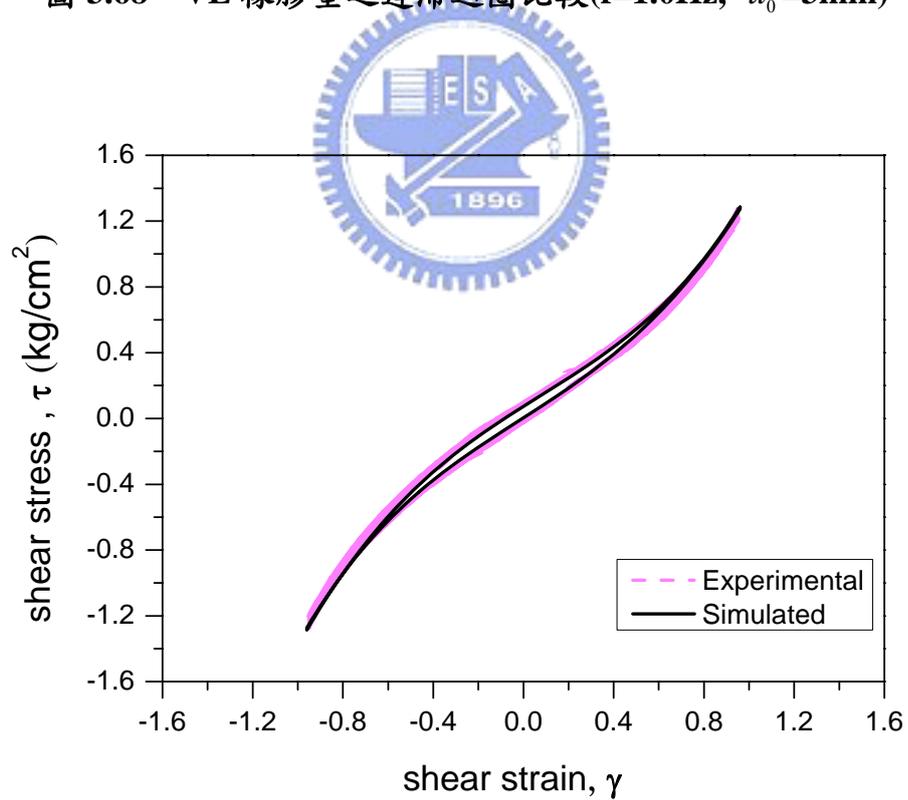


圖 3.69 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=1.0\text{Hz}$ ,  $u_0=5\text{mm}$ )

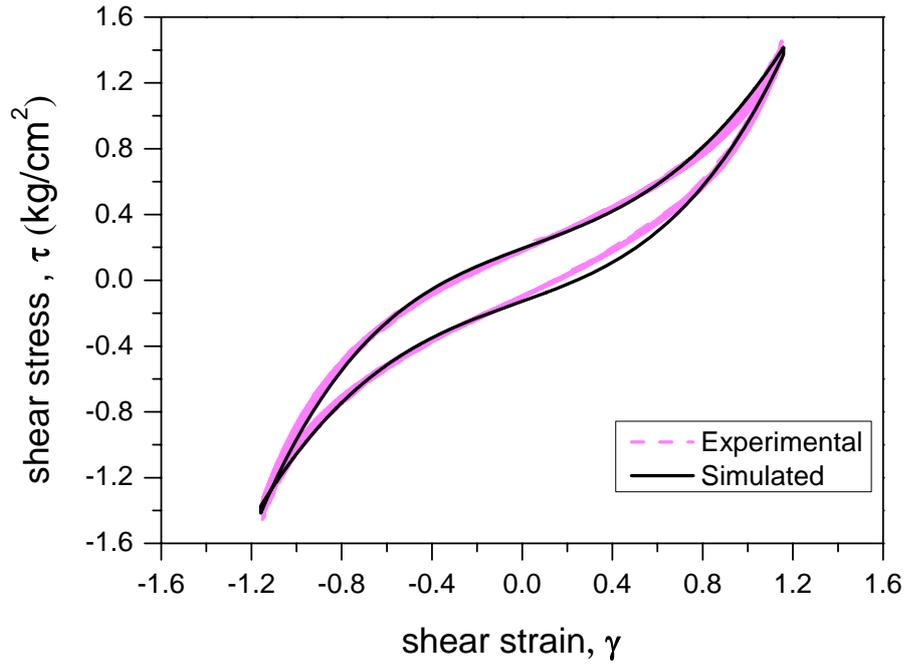


圖 3.70 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=1.0\text{Hz}$ ,  $u_0=8\text{mm}$ )

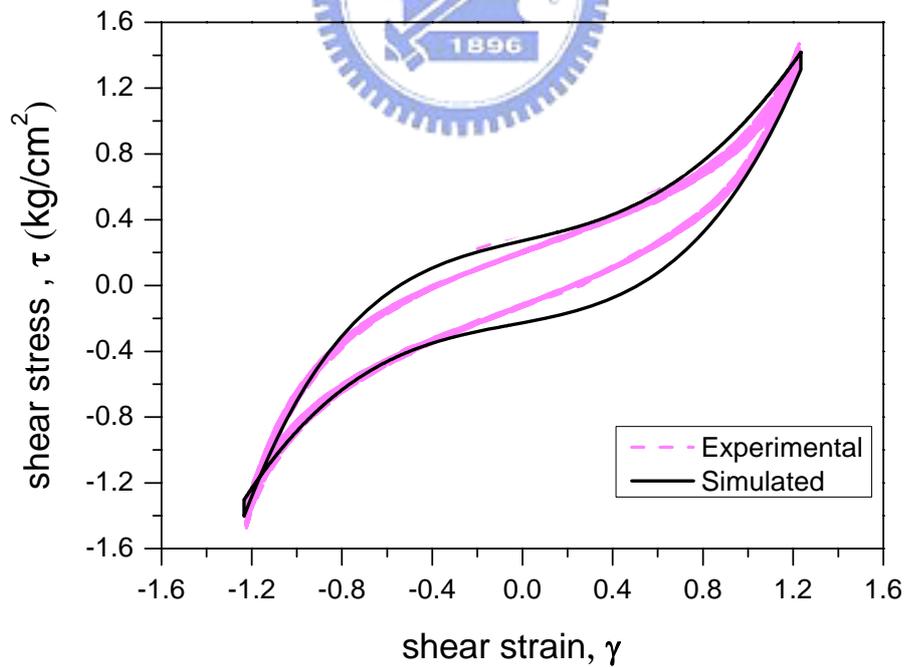


圖 3.71 VE 橡膠墊之遲滯迴圈比較( $f=1.0\text{Hz}$ ,  $u_0=10\text{mm}$ )

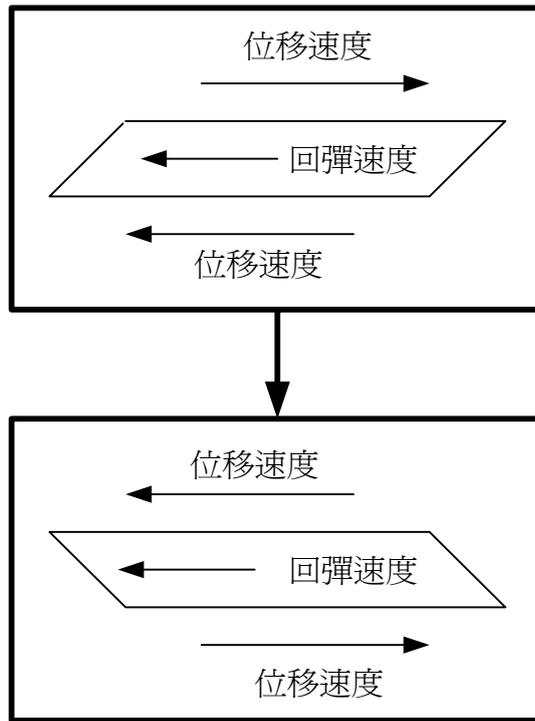


圖 3.72 VE 之位移速度與回彈速度示意圖



圖 3.73 實尺寸制震壁測試構架



圖 3.74 100 噸油壓制動器



圖 3.75 MTS 控制系統

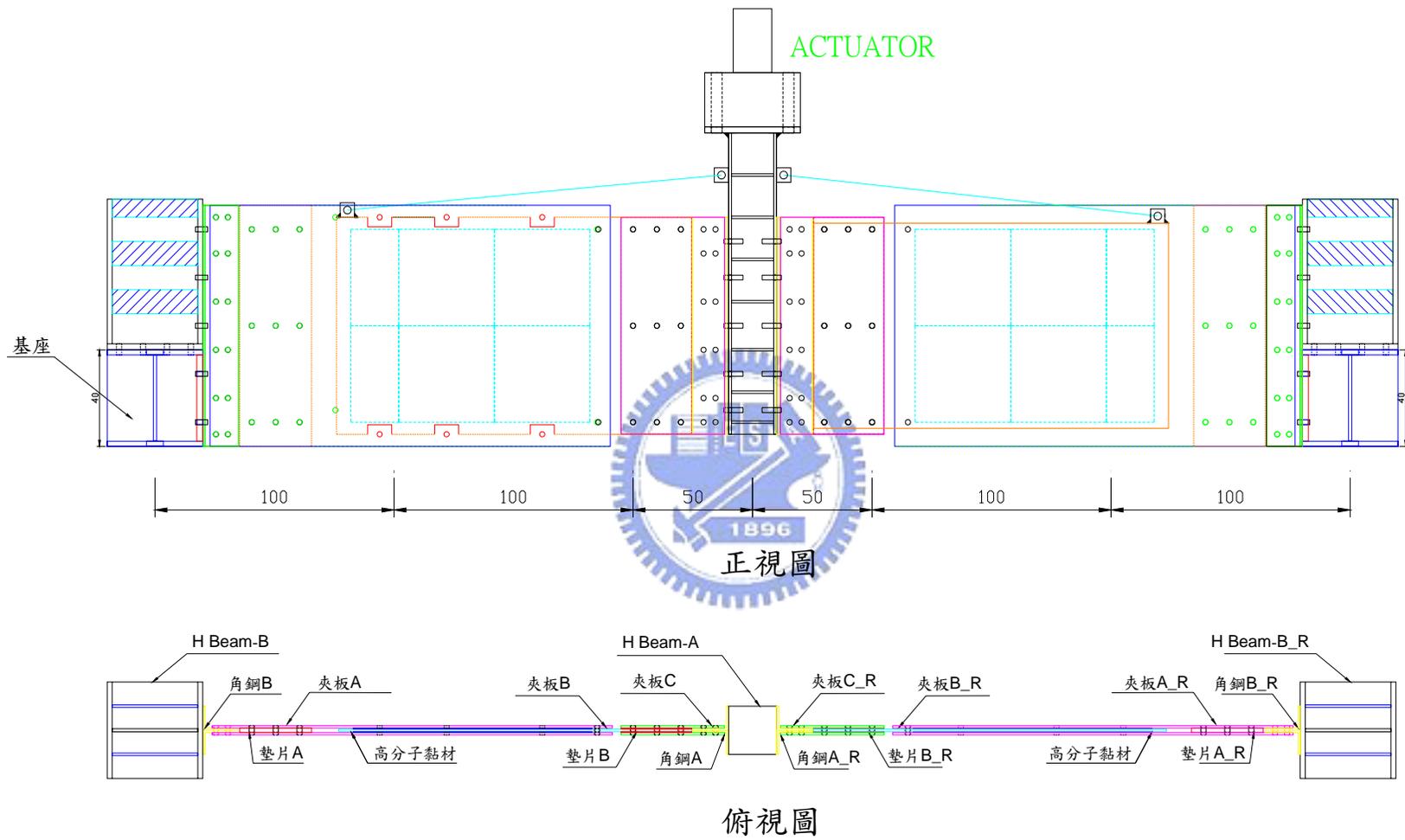
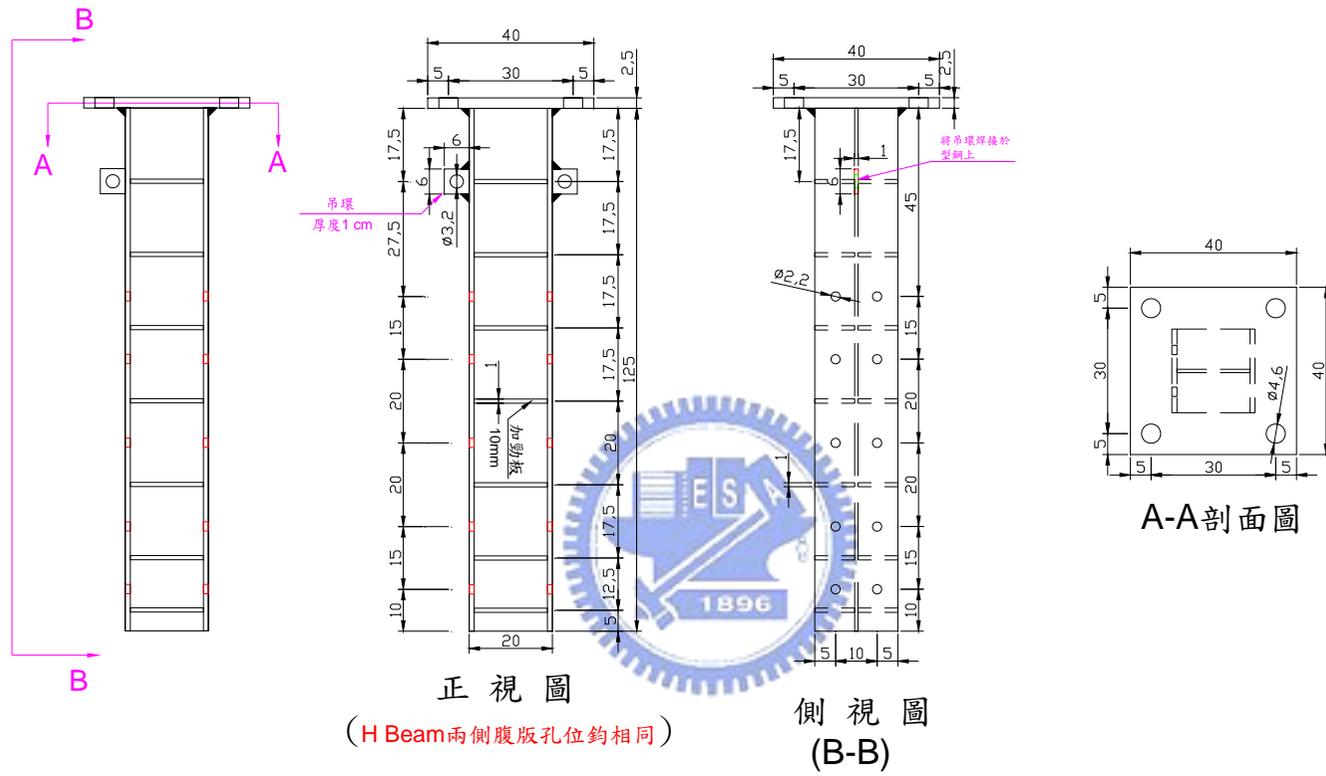


圖 3.76(a) 實尺寸測試模型正視圖與俯視圖

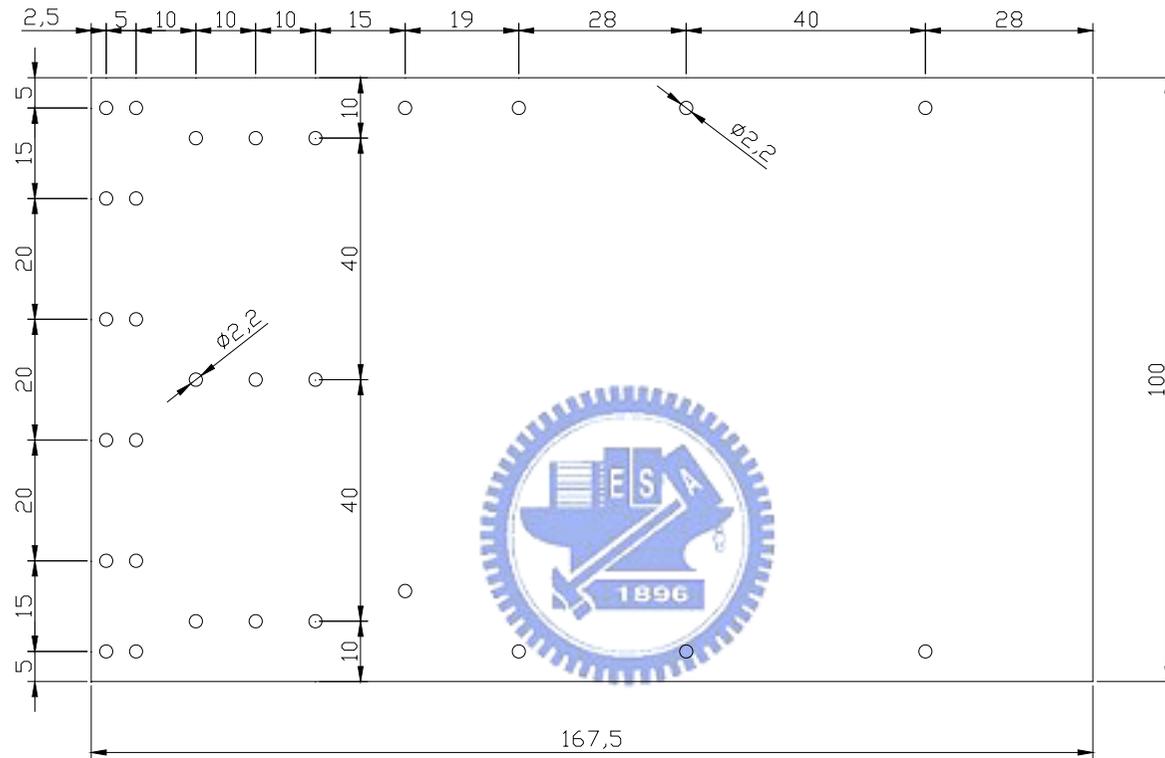


## H Beam-A

型鋼：H200×200×8×12

單位：cm 數量：1

圖 3.76(b) H Beam-A

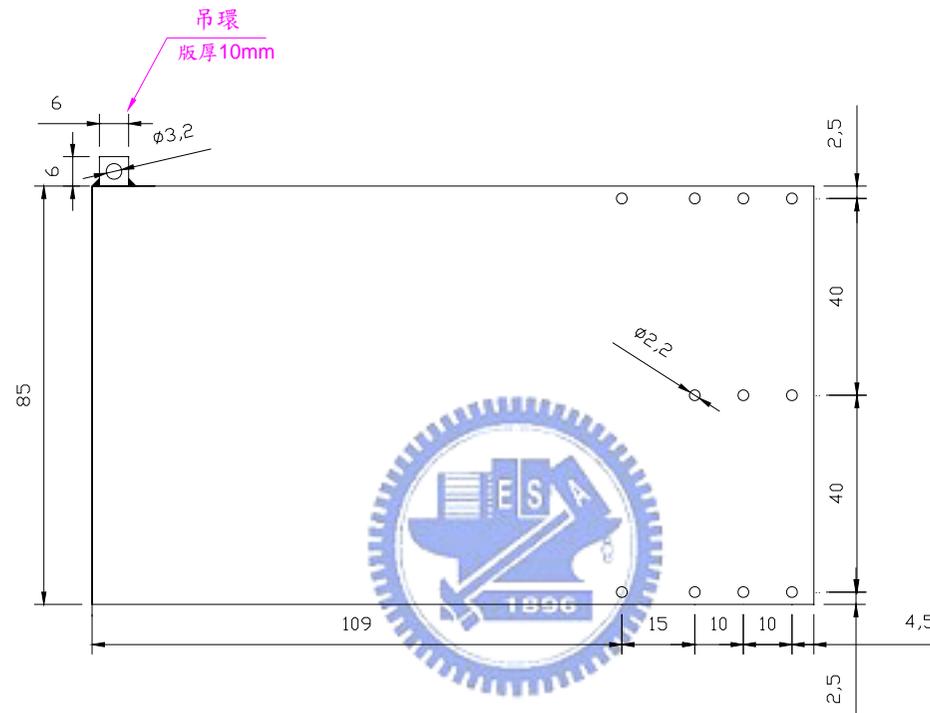


### 夾板 A\_R

版厚：1cm

單位：cm

圖 3.76(c) 夾板 A\_R



夾板 B\_R

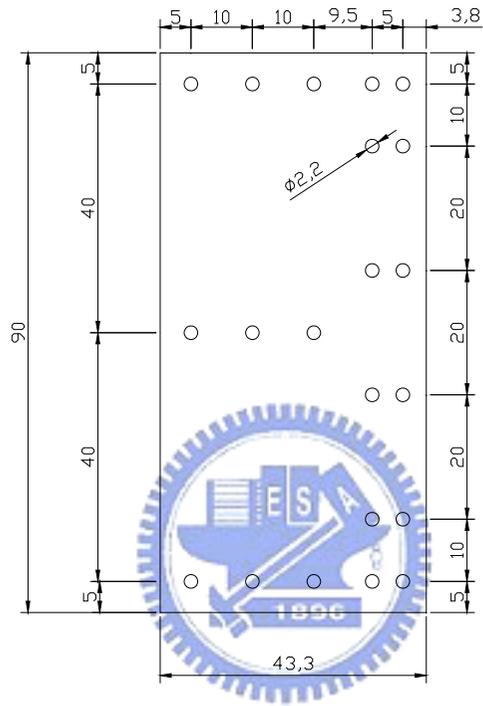
版厚：1cm

單位：cm

數量：1

吊環厚度亦為1cm

圖 3.76(d) 夾板 B\_R



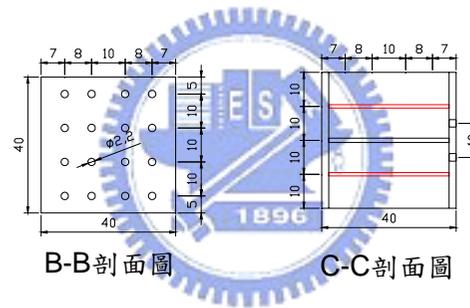
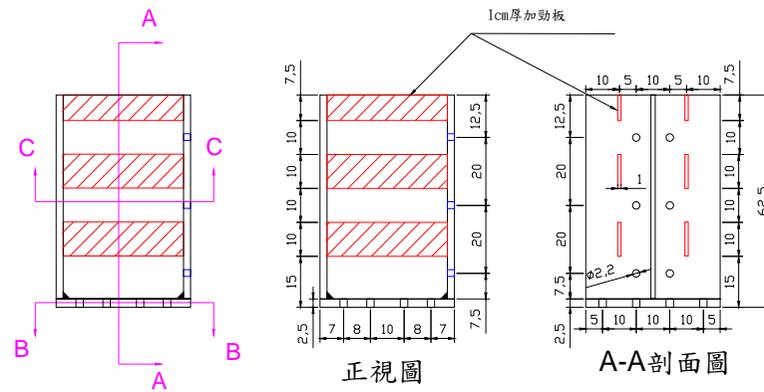
## 夾板 C\_R

版厚：1cm

單位：cm

數量：2

圖 3.76(e) 夾板 C\_R



### H Beam-B\_R

型鋼：H400x400x13x21

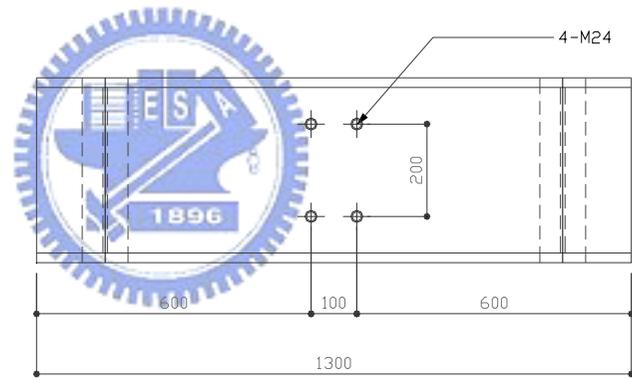
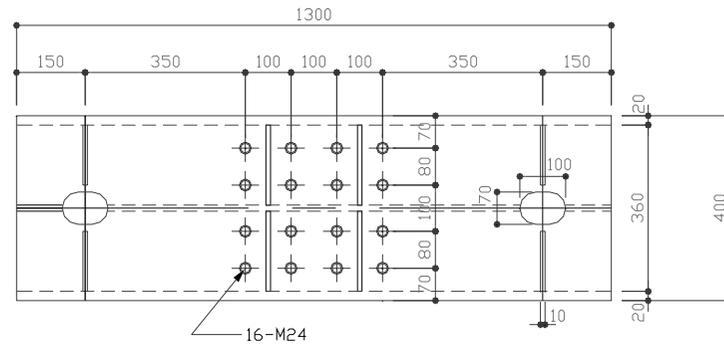
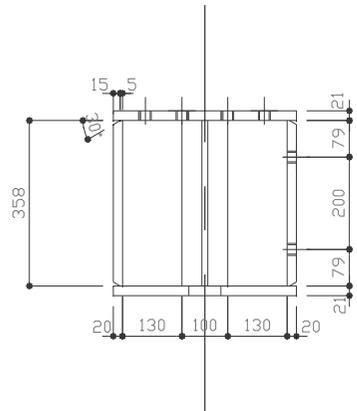
單位：cm 數量：1

於型鋼左側焊接一厚2.5cm實心鋼板

於中間焊接10mm加勁板

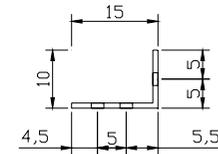
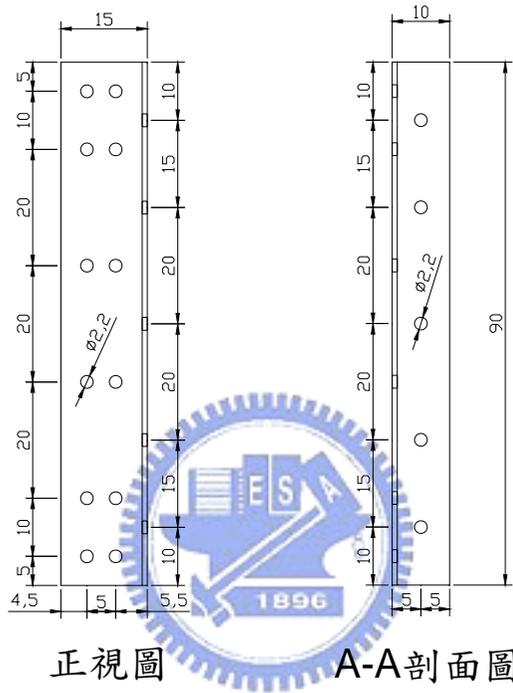
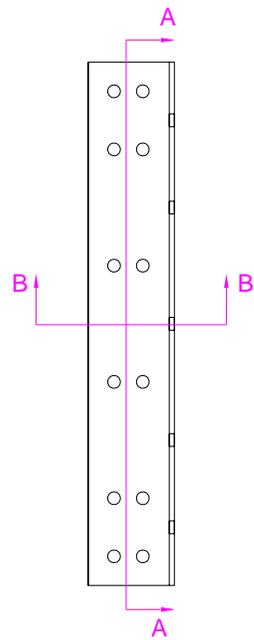
(焊接方向與一般不同，請注意加勁板的焊接方向)

圖 3.76(f) H Beam- B\_R



基座(mm)

圖 3.76(g) 基座



B-B剖面圖

正視圖

A-A剖面圖

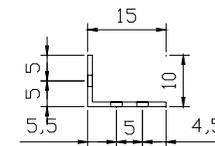
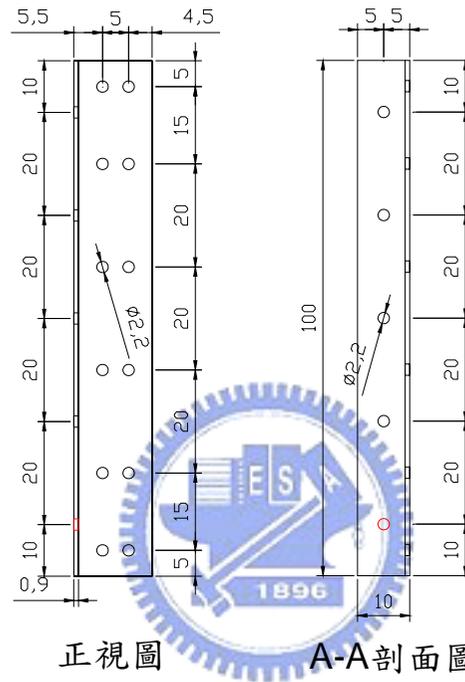
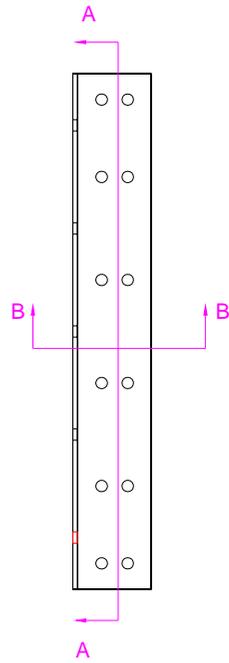
### 角鋼A\_R

角鋼型號：L150×100×9×9

單位：cm

數量：2

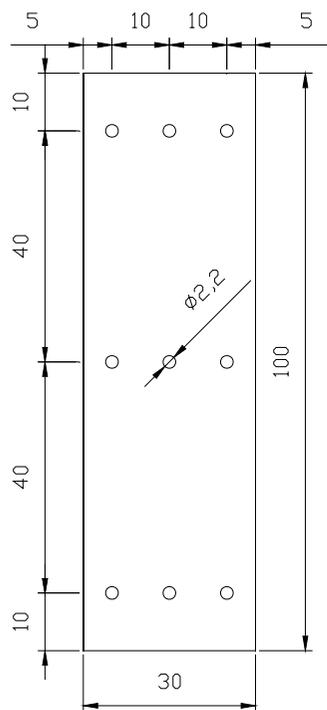
圖 3.76(h) 角鋼 A\_R



B-B剖面圖

角鋼B\_R  
 角鋼型號：L150×100×9×9  
 單位：cm  
 數量：2

圖 3.76(i) 角鋼 B\_R



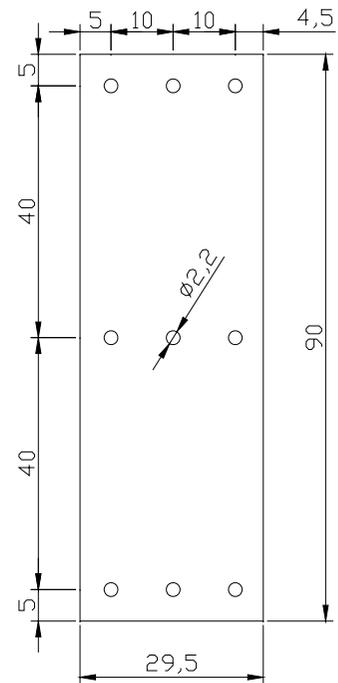
墊片 A\_R

版厚：1.8 cm

單位：cm

數量：1

圖 3.76(j) 墊片 A\_R



墊片 B\_R

版厚：0.4cm

單位：cm

數量：2

圖 3.76(k) 墊片 B\_R

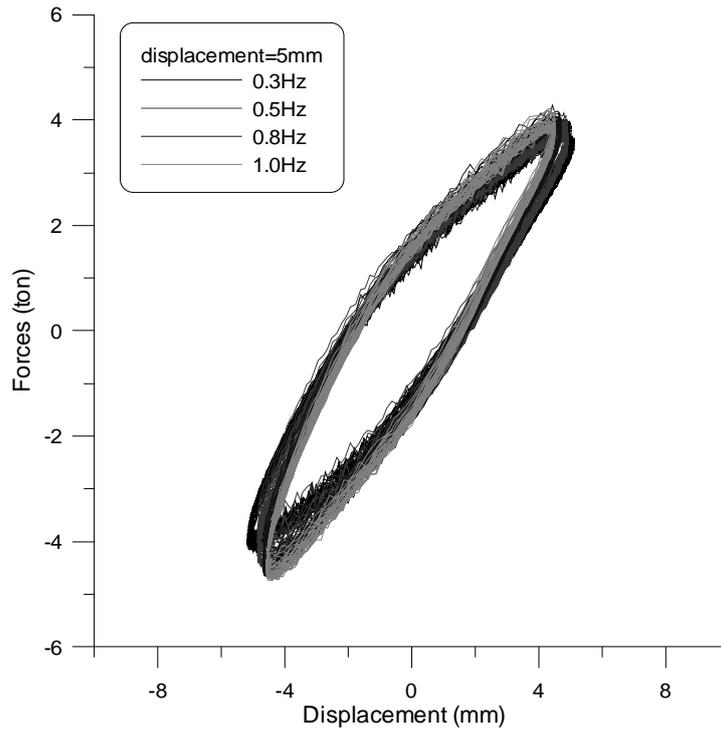


圖 3.77 實尺寸 VE 制震壁測試穩定性測試( $f=0.3\sim 1.0\text{Hz}$ ,  $u=5\text{mm}$ )

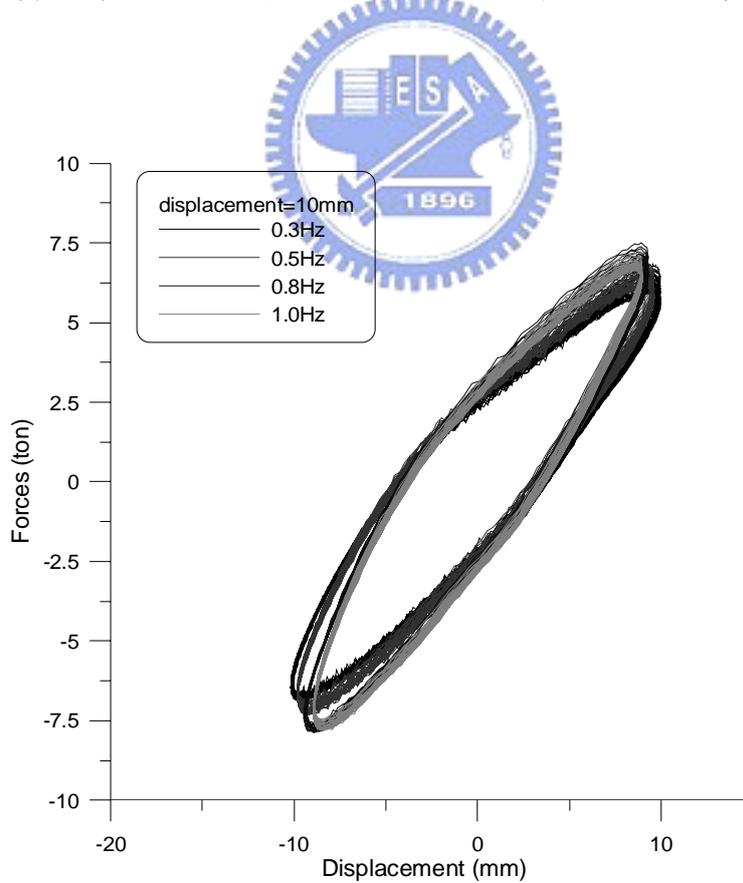


圖 3.78 實尺寸 VE 制震壁測試穩定性測試( $f=0.3\sim 1.0\text{Hz}$ ,  $u=10\text{mm}$ )

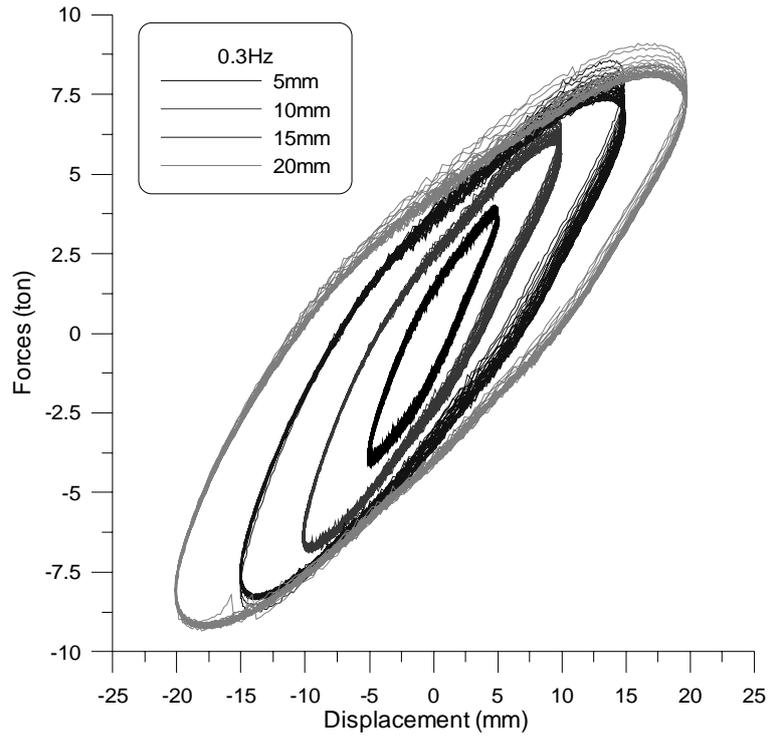


圖 3.79 實尺寸 VE 制震壁測試穩定性測試( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u=5\sim 20\text{mm}$ )

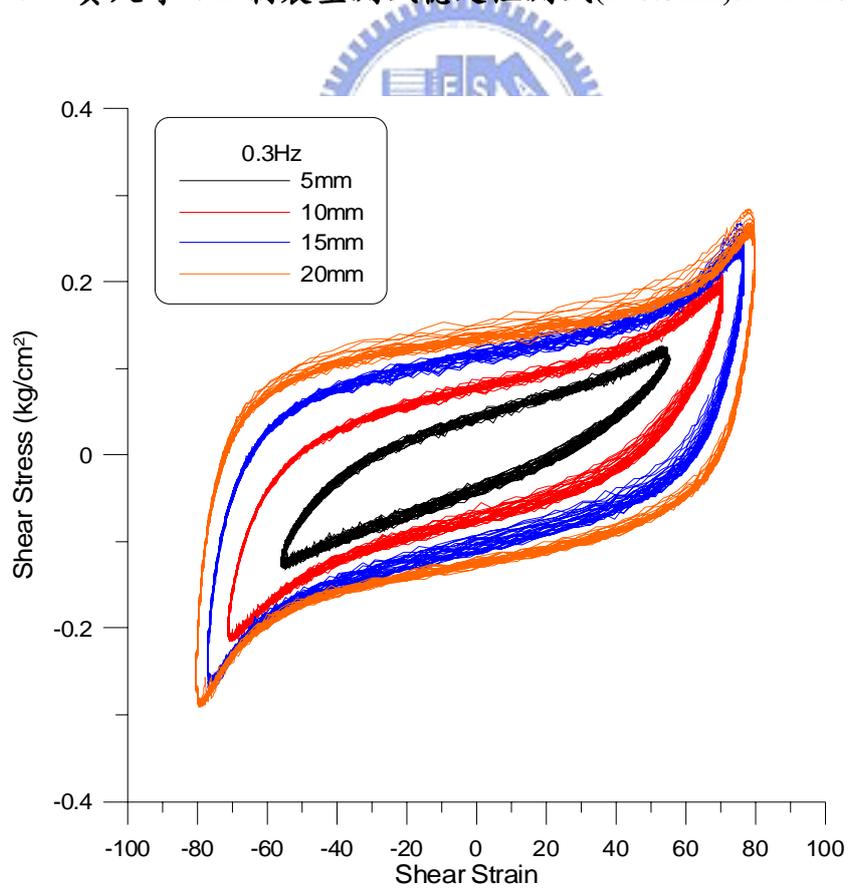


圖 3.80 剪應力-剪應變遲滯迴圈( $f=0.3\text{Hz}$ ,  $u=5\sim 20\text{mm}$ )

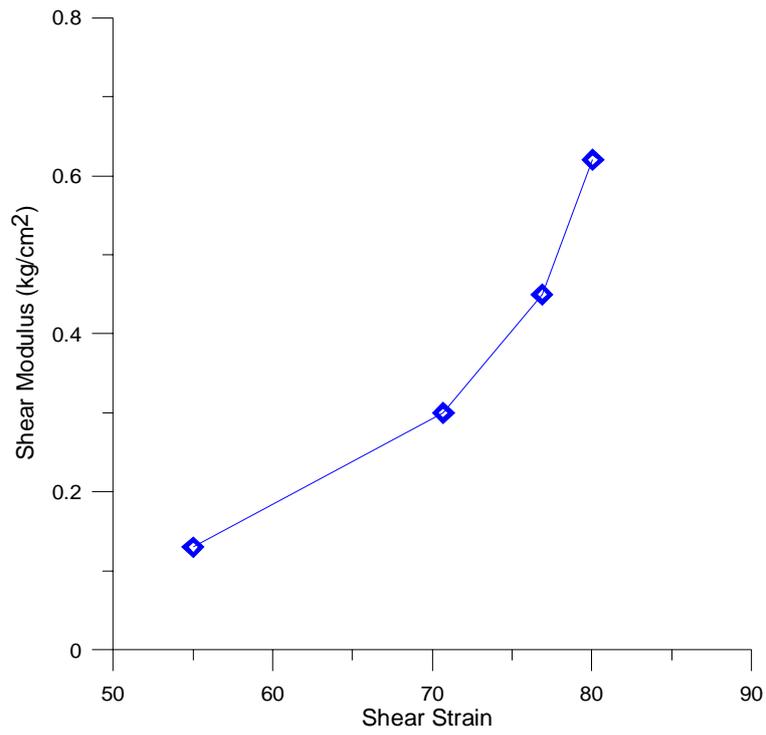


圖 3.81 實尺寸 VE 制震壁測試識別所得之剪力模數



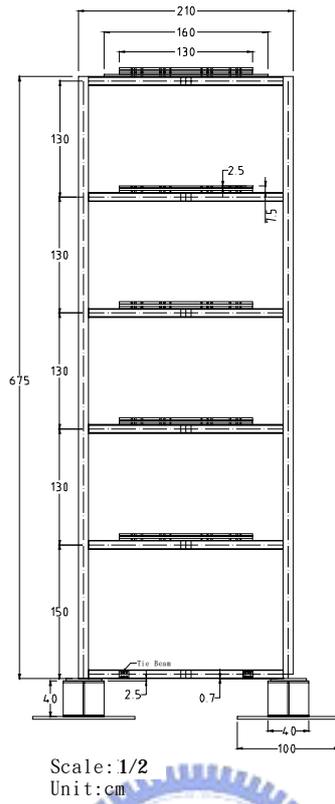


圖 4.1 五層樓模型結構之立面圖

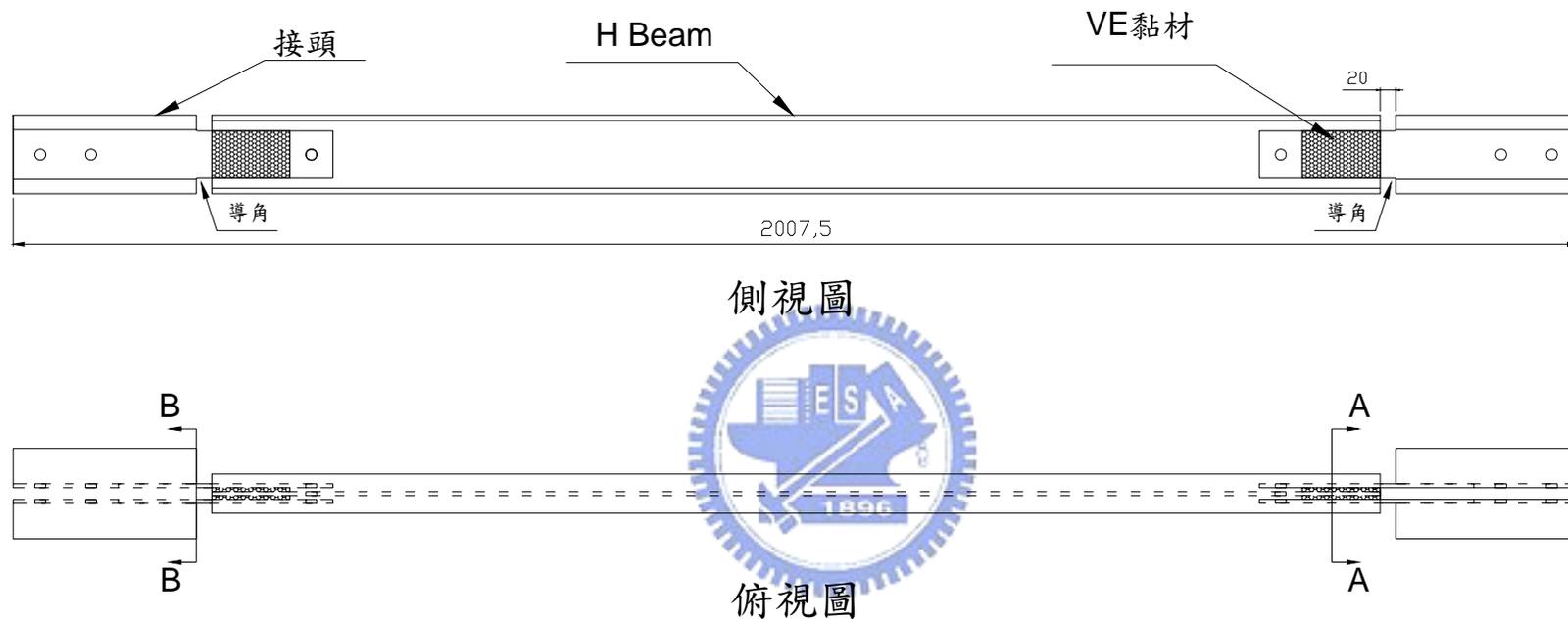


圖 4.2 振動台



圖 4.3 MTS407 控制器





1F 組裝圖

圖 4.4 斜撐型阻尼器 1F 組裝圖

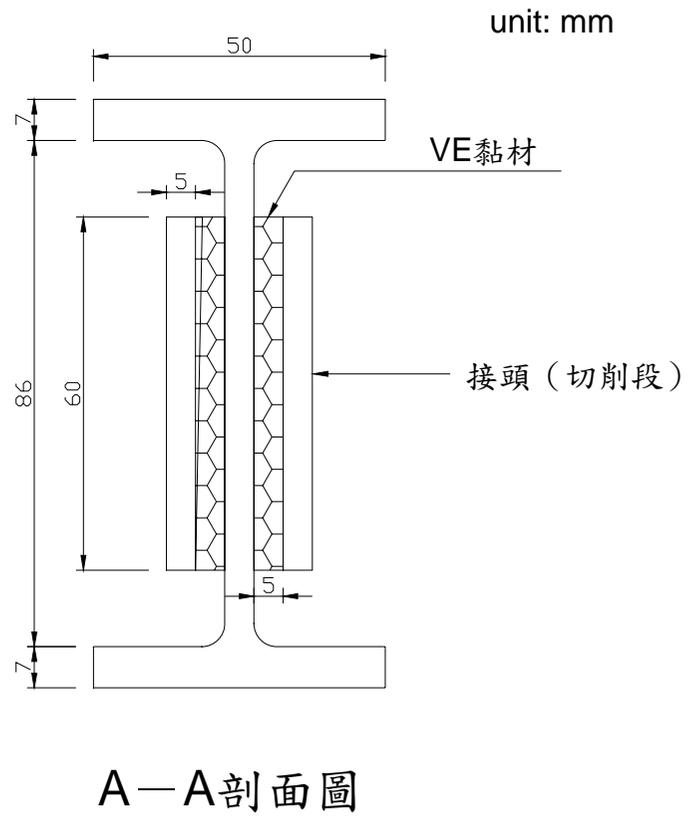


圖 4.5 A-A 剖面圖

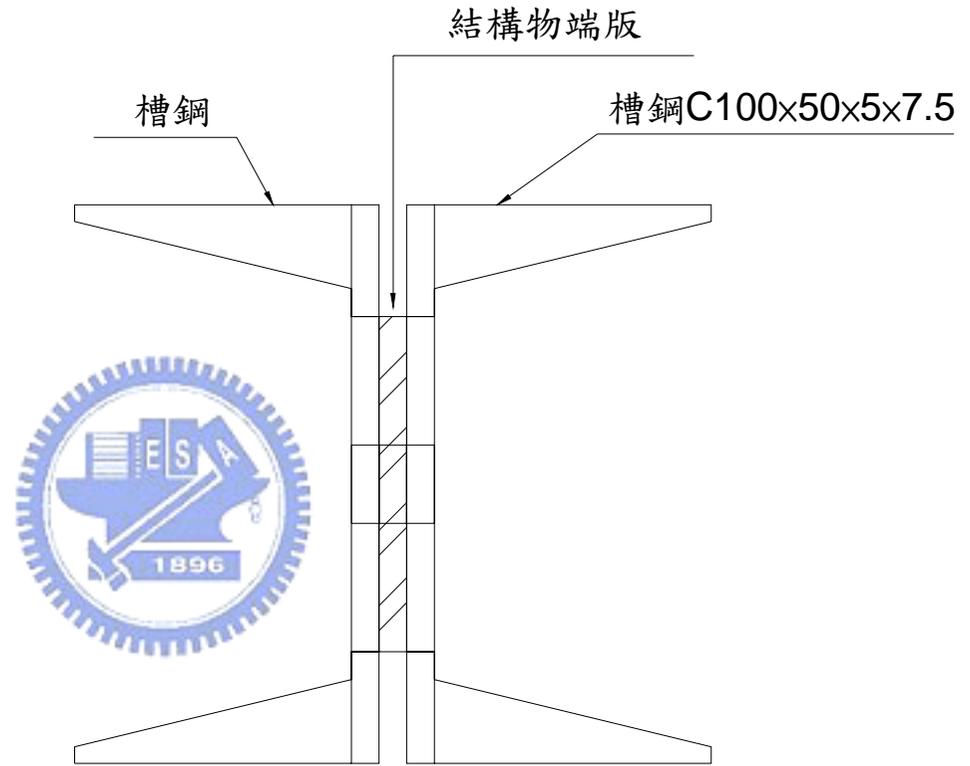
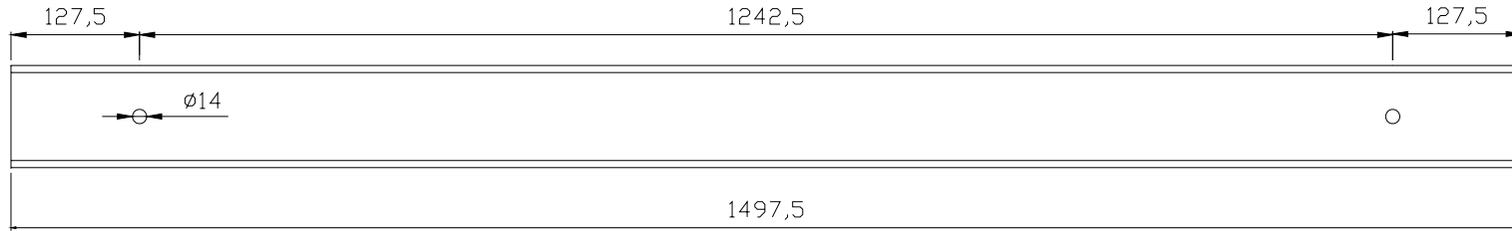


圖 4.6 B-B 剖面圖

H100x50

unit: mm



側視圖

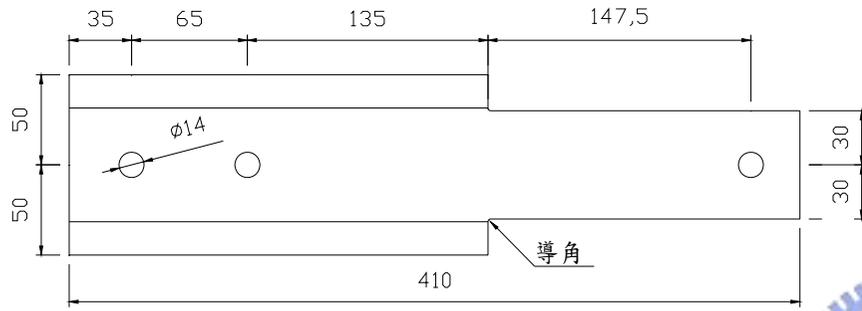


俯視圖

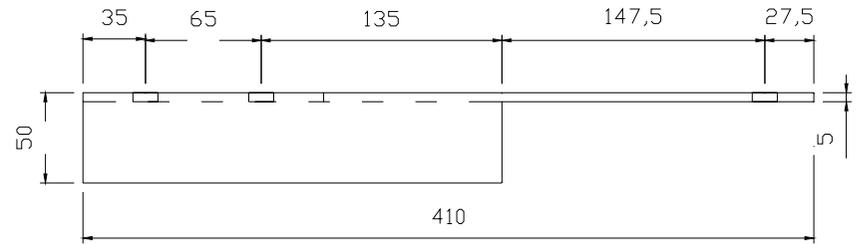
1F H Beam H100x50

圖 4.7 1F H Beam H 100x50

# 槽鋼 100x50



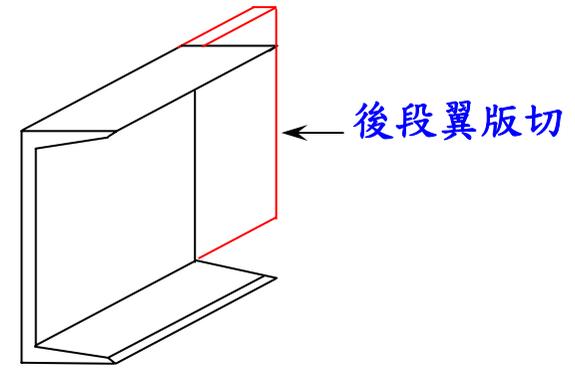
側視圖



俯視圖

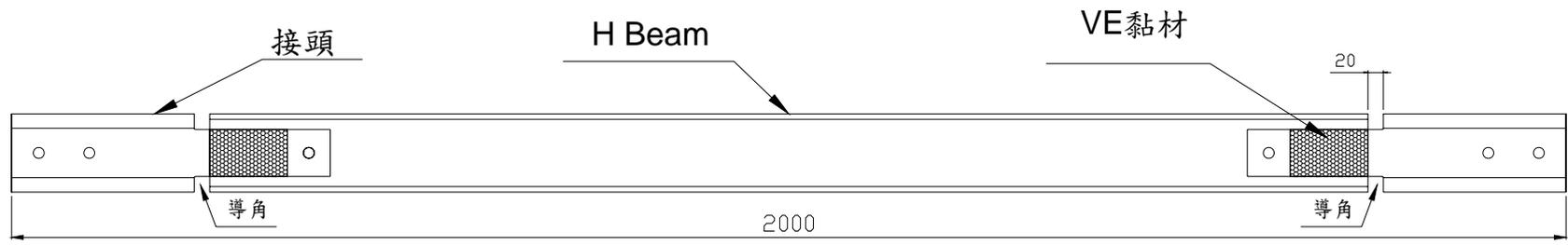


接頭-槽鋼



示意圖

圖 4.8 接頭-槽鋼、示意圖



側視圖



俯視圖

2~5F 組裝圖

圖 4.9 2~5F 組裝圖



圖 4.10 裝設阻尼器之五層樓模型結構於振動台上



圖 4.11 斜撐型阻尼器

### El Centro Earthquake PGA=0.367g

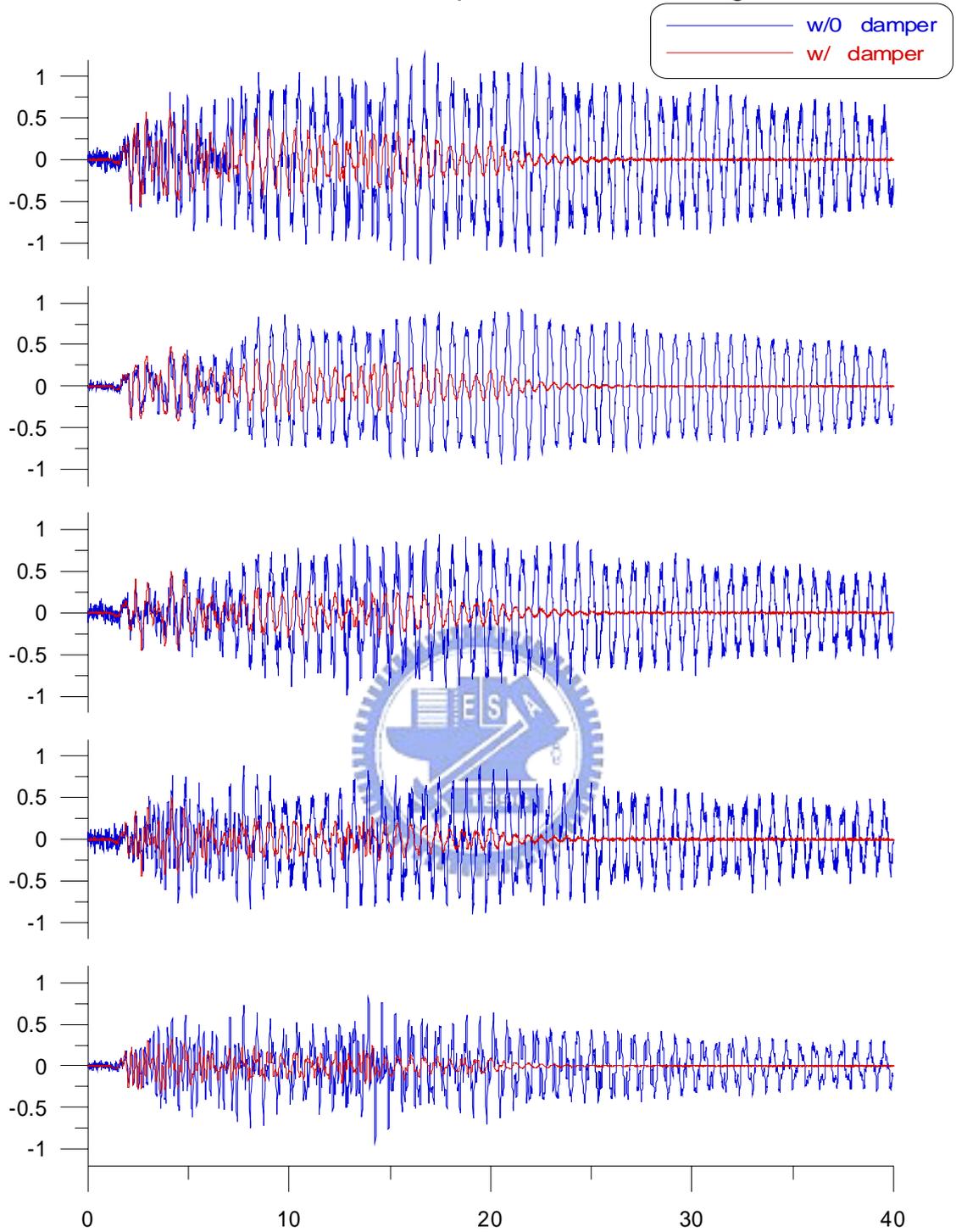


圖 4.12 各樓層加速度反應比較 (El Centro ; PGA = 0.367g)

### Kobe Earthquake PGA=0.445g

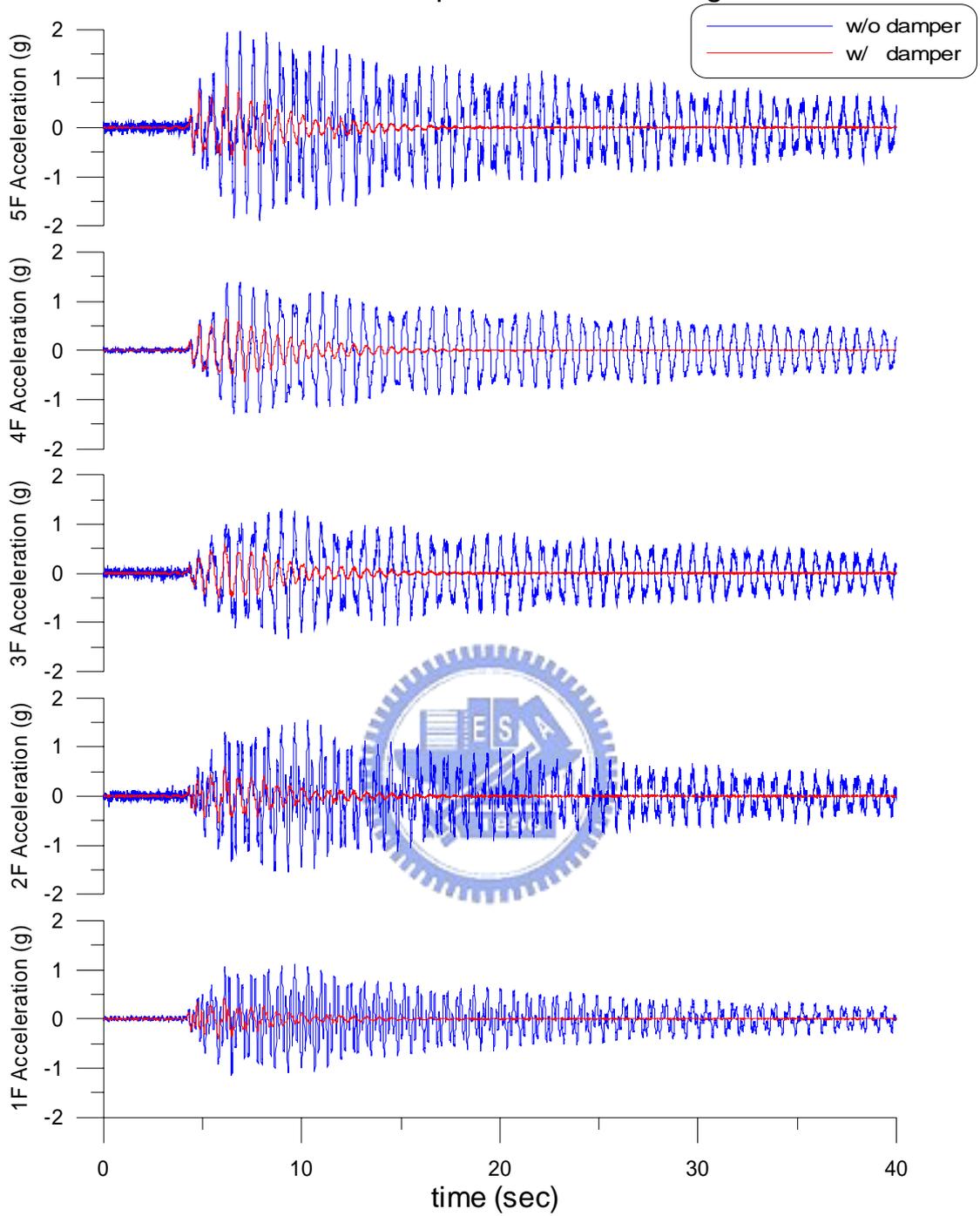


圖 4.13 各樓層加速度反應比較 (Kobe ; PGA = 0.445g)



圖 4.14 制震壁元件



圖 4.15 改良式斜撐型阻尼器



圖 4.16 裝設混合式制震系統於五層樓模型結構

### El Centro Earthquake PGA=0.277g

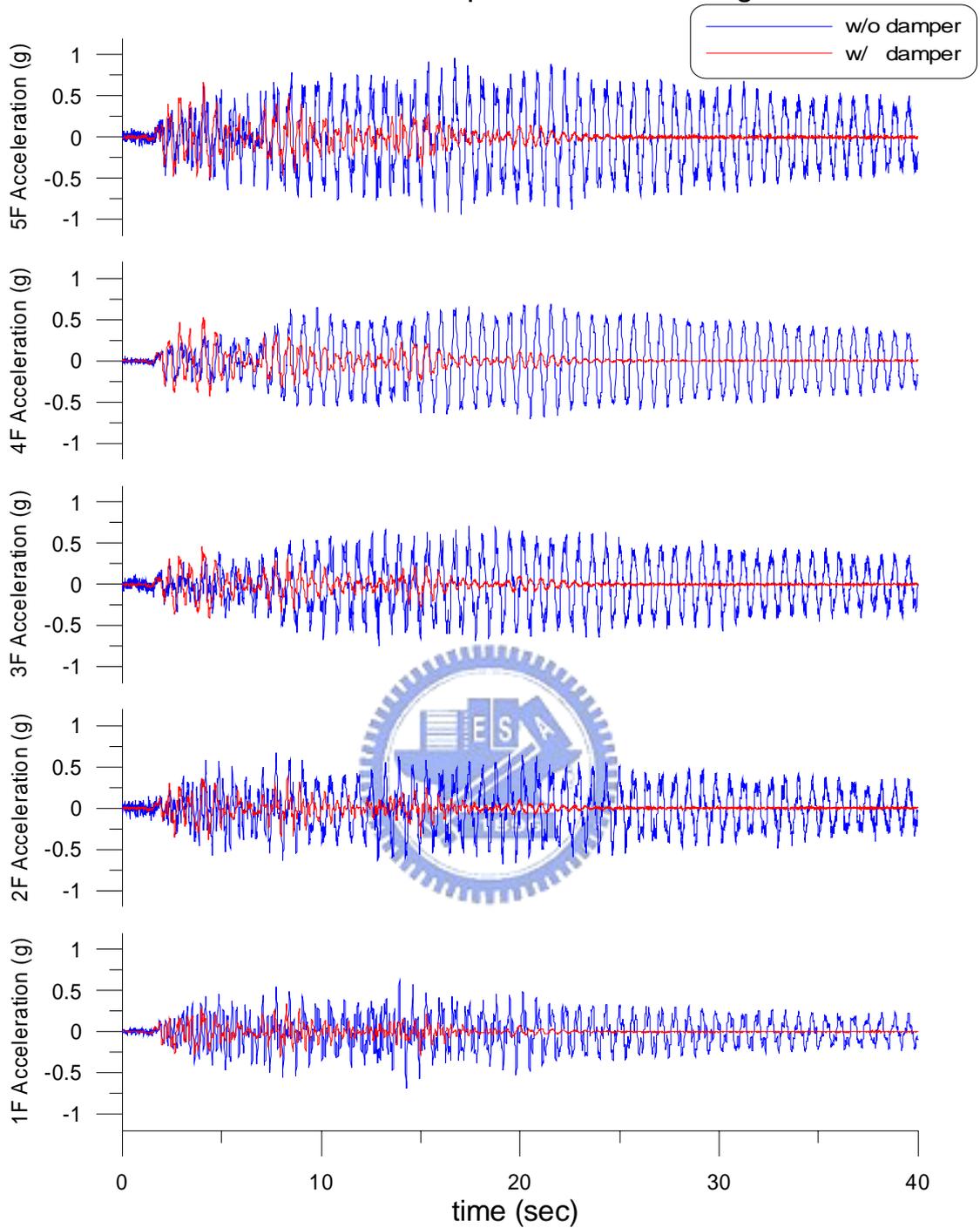


圖 4.17 各樓層加速度反應比較 (El Centro ; PGA = 0.277g)

### Kobe Earthquake PGA=0.368g

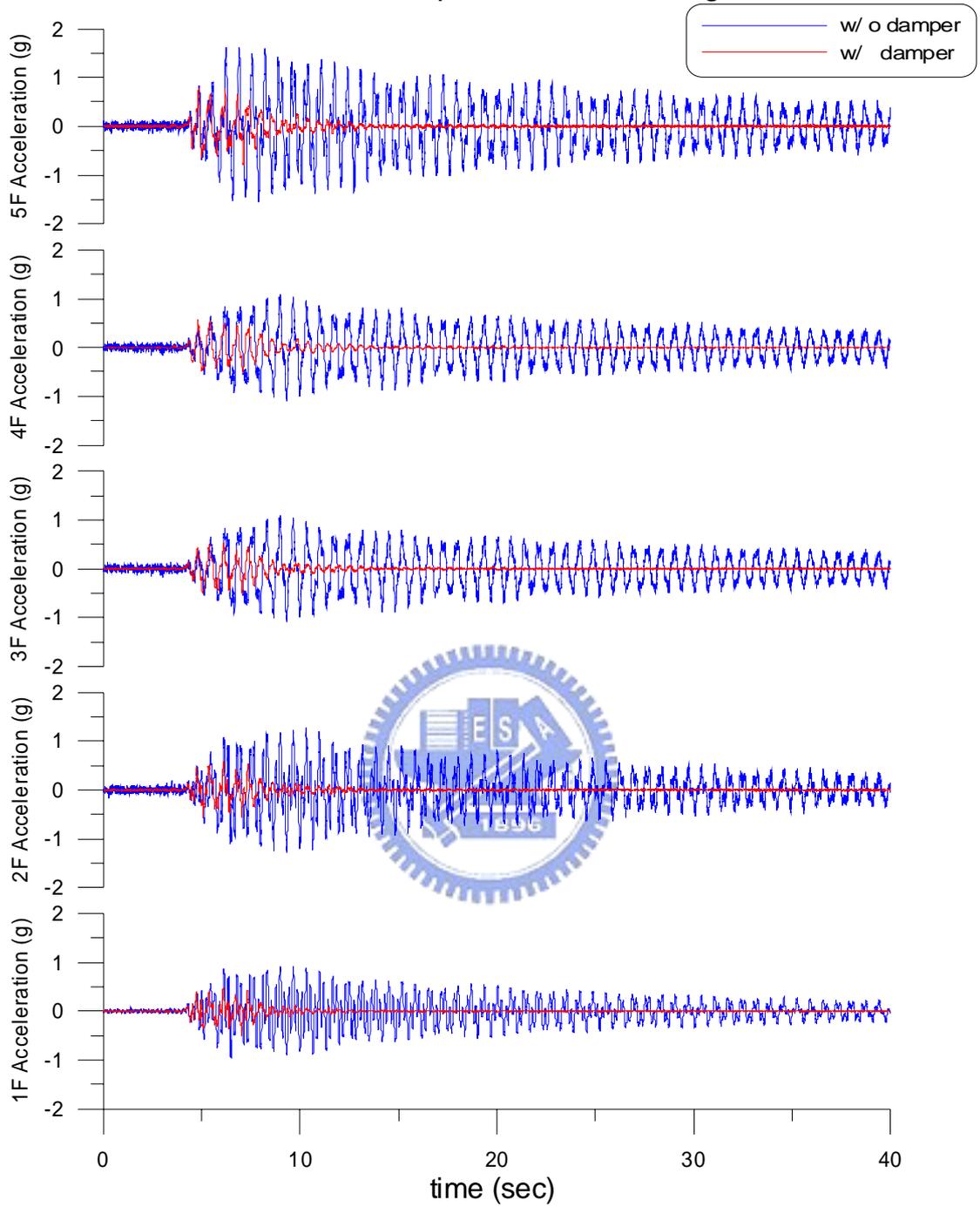


圖 4.18 各樓層加速度反應比較 (Kobe ; PGA = 0.368g)

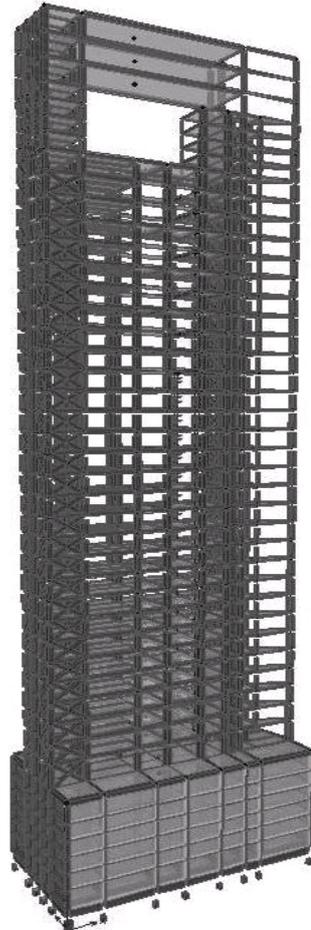


圖 5.1 31 層建築之 SAP2000 模型

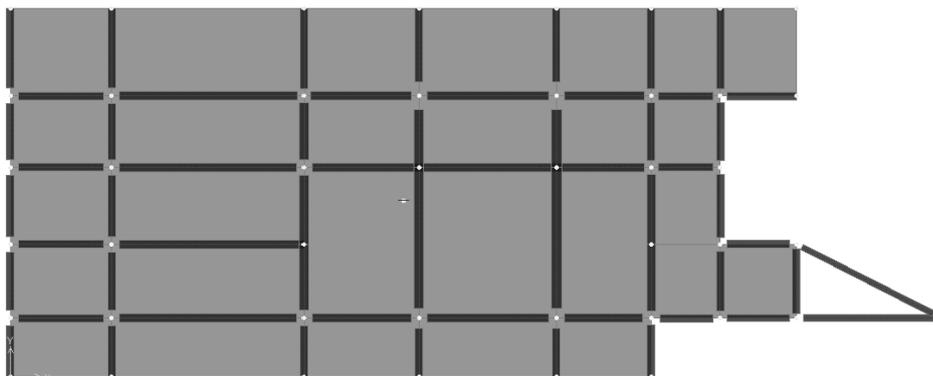
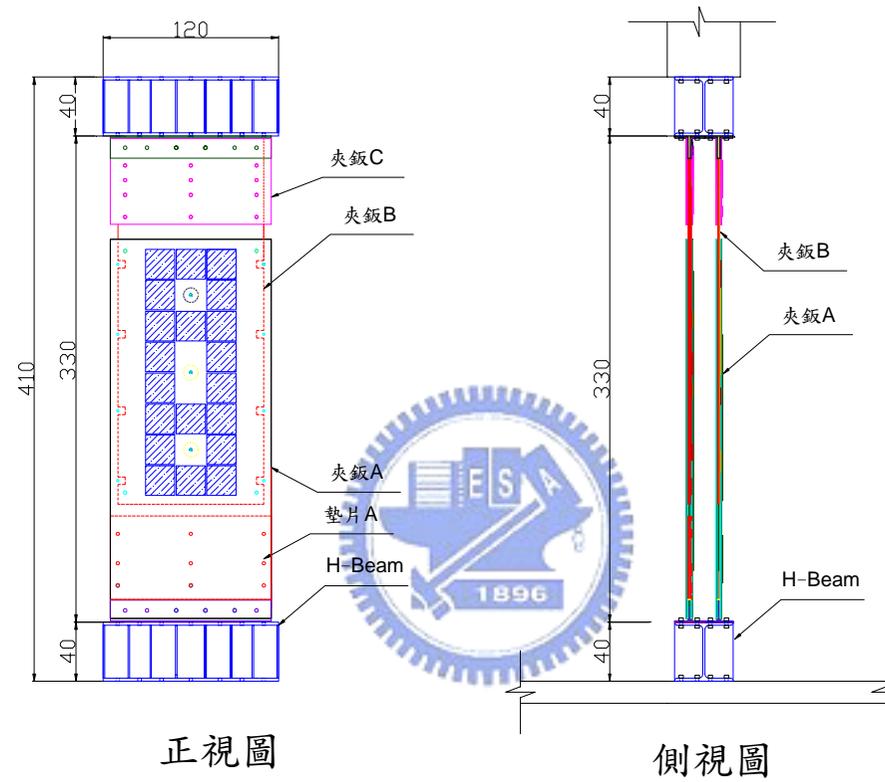
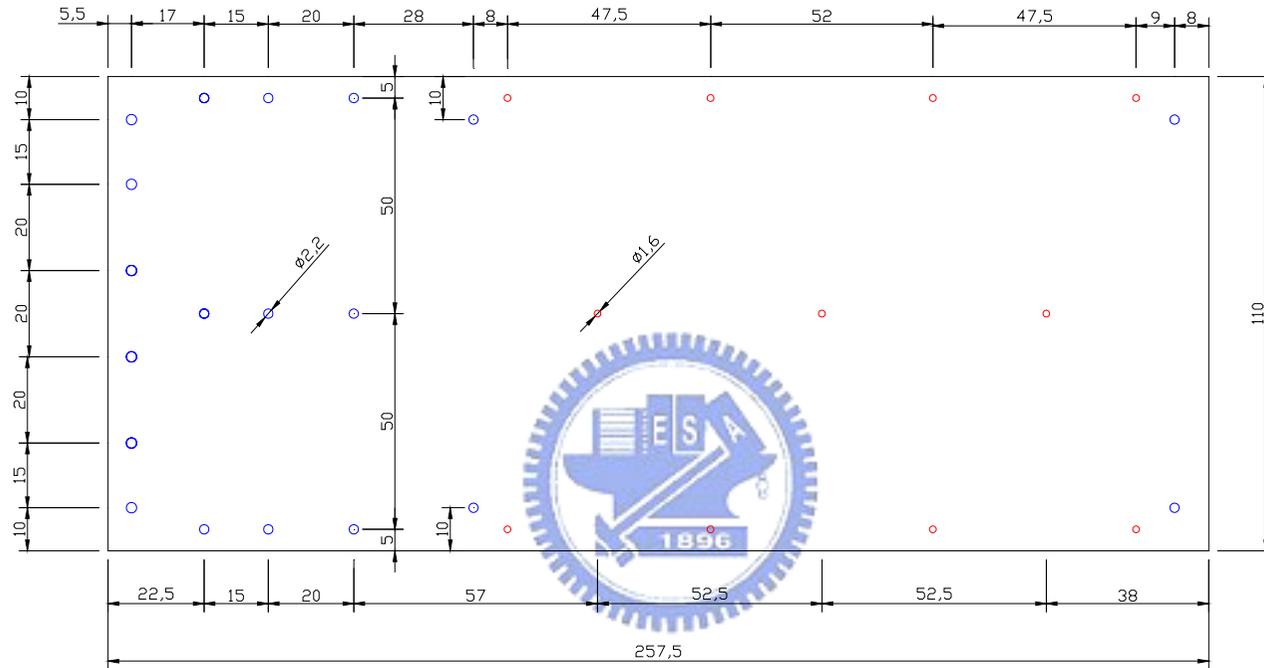


圖 5.2 31 層建築案之樓平面圖



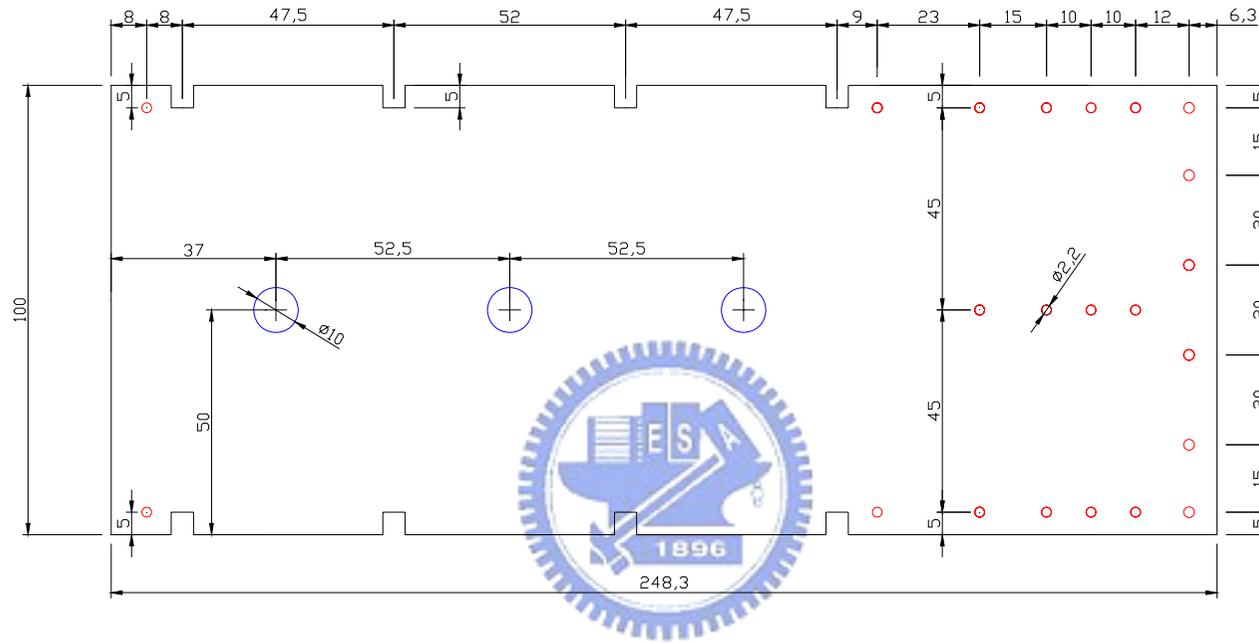
## 組裝圖

圖 5.3 Type A VE 制震壁系統組裝圖



夾 鉸 A  
 版厚1.0cm  
 單位：cm

圖 5.4 Type A VE 制震壁—夾鉸 A 細部設計圖 (單位:cm)

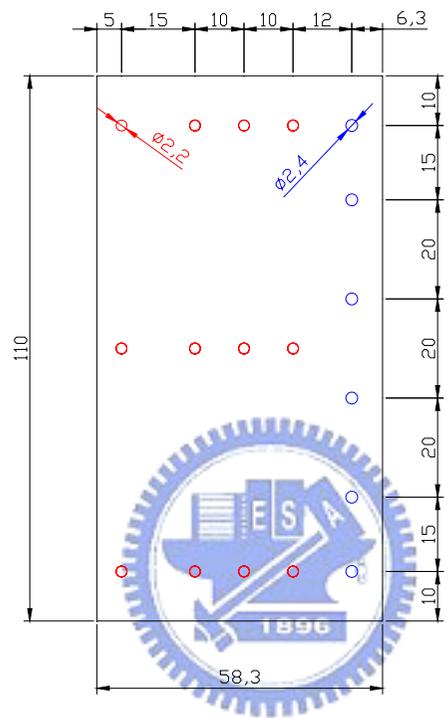


## 夾板B

板厚：1.1cm

單位：cm

圖 5.5 Type A VE 制震壁—夾板 B 細部設計圖 (單位:cm)

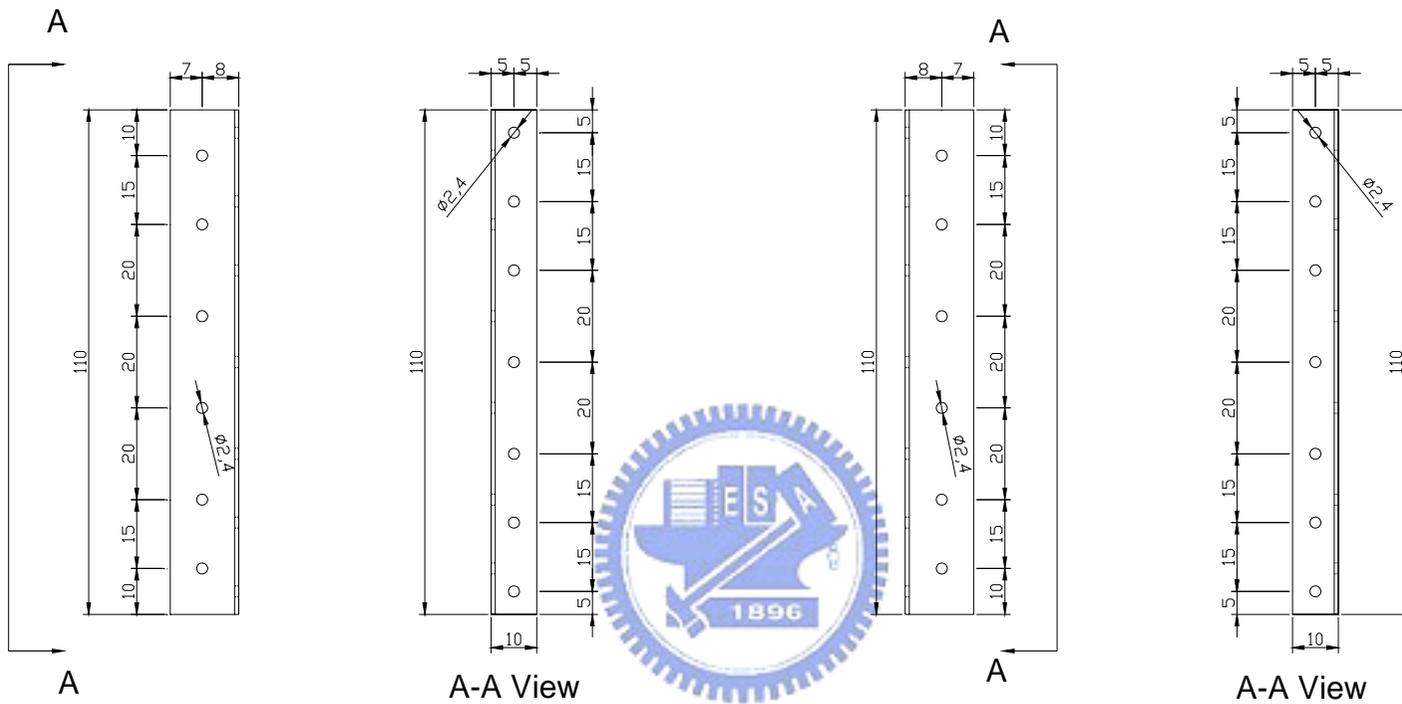


## 夾板C

板厚：1.1cm

單位：cm

圖 5.6 Type A VE 制震壁—夾板 C 細部設計圖 (單位:cm)



### 角鋼 A

型號：L150×100×9(mm)

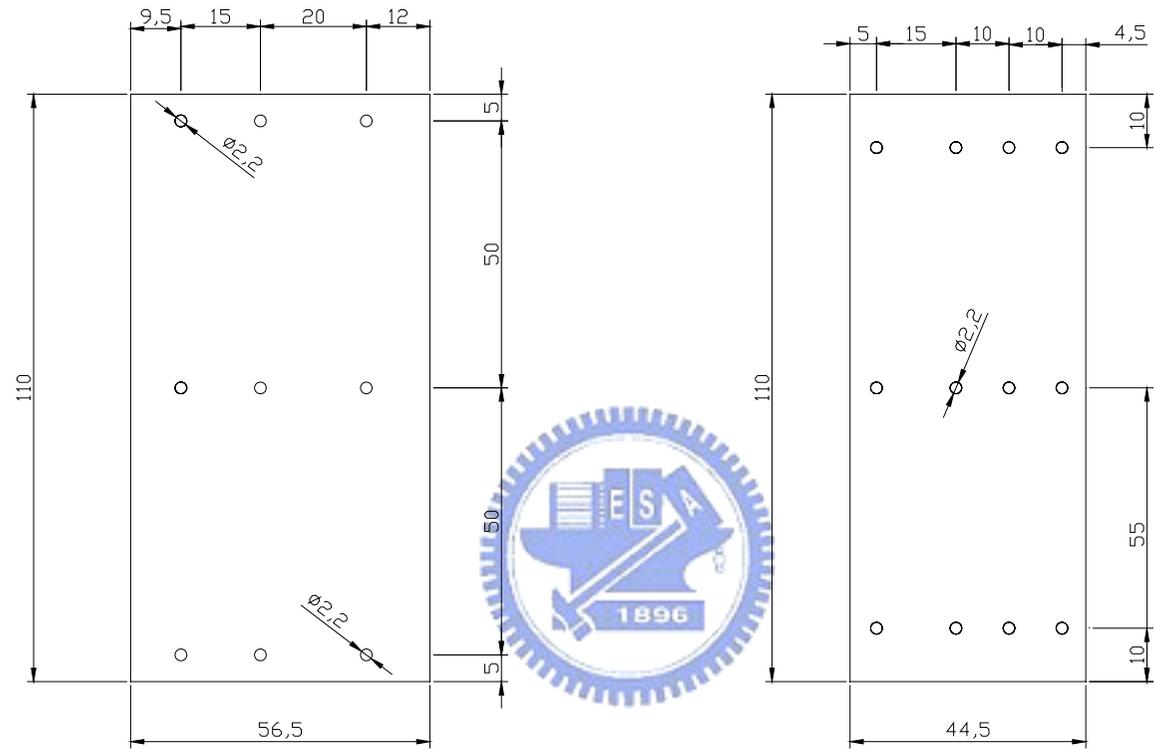
單位：cm

### 角鋼 B

型號：L150×100×9 (mm)

單位：cm

圖 5.7 Type A VE 制震壁一角鋼 A、B 細部設計圖 (單位:cm)



### 墊片A

鈑厚：1.8cm

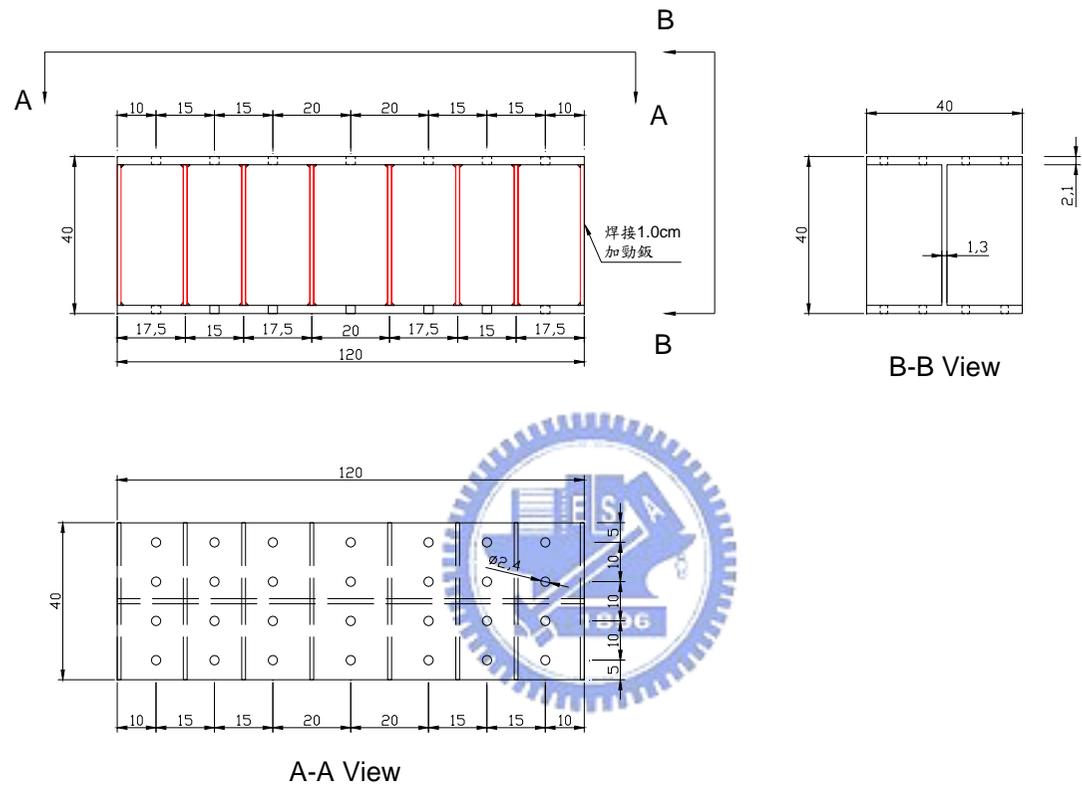
單位：cm

### 墊片B

鈑厚：0.35cm

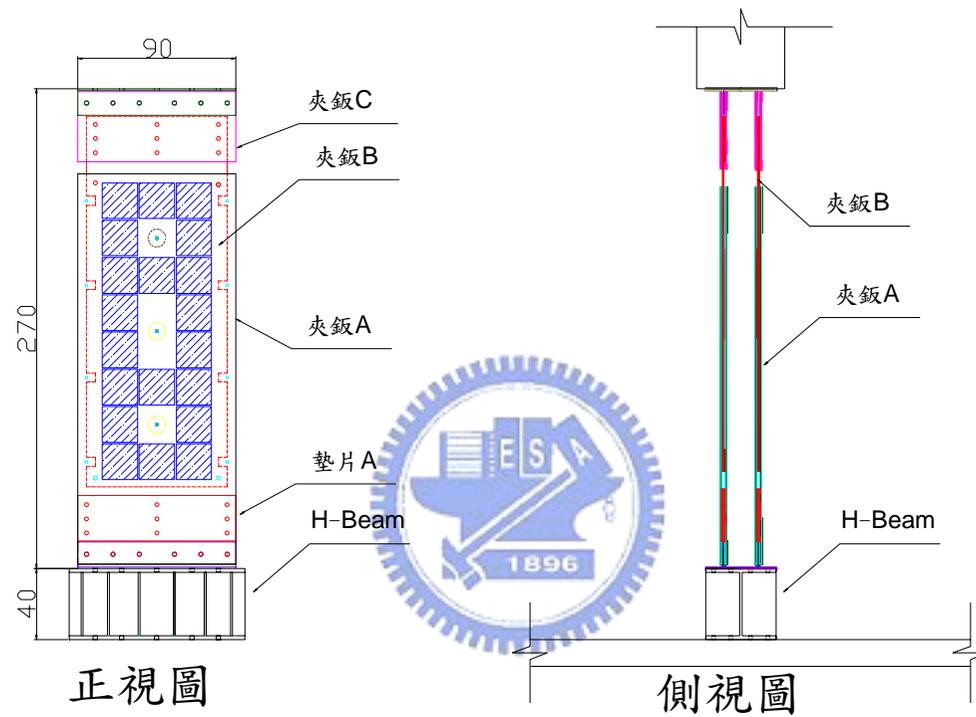
單位：cm

圖 5.8 Type A VE 制震壁—墊片 A、B 細部設計圖 (單位:cm)



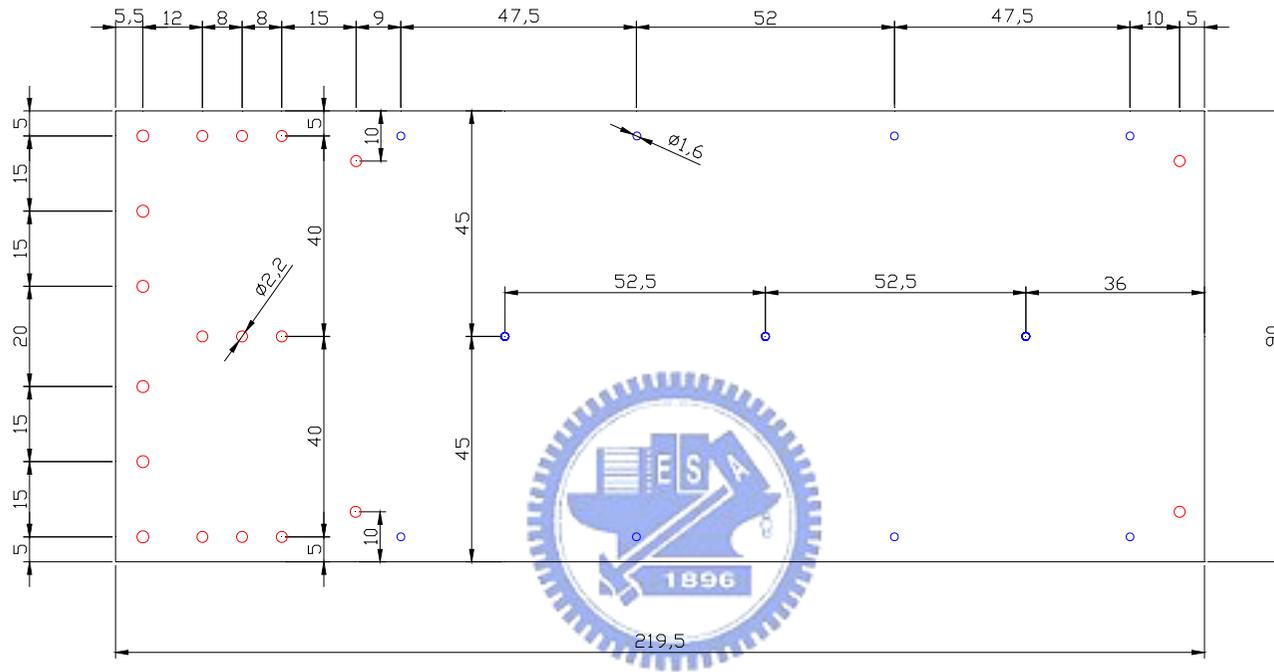
**H-Beam**  
 型號：H400×400×13×21 (mm)  
 單位：cm

圖 5.9 Type A VE 制震壁—H-Beam 細部設計圖 (單位:cm)



## 組裝圖

圖 5.10 Type B VE 制震壁組裝圖

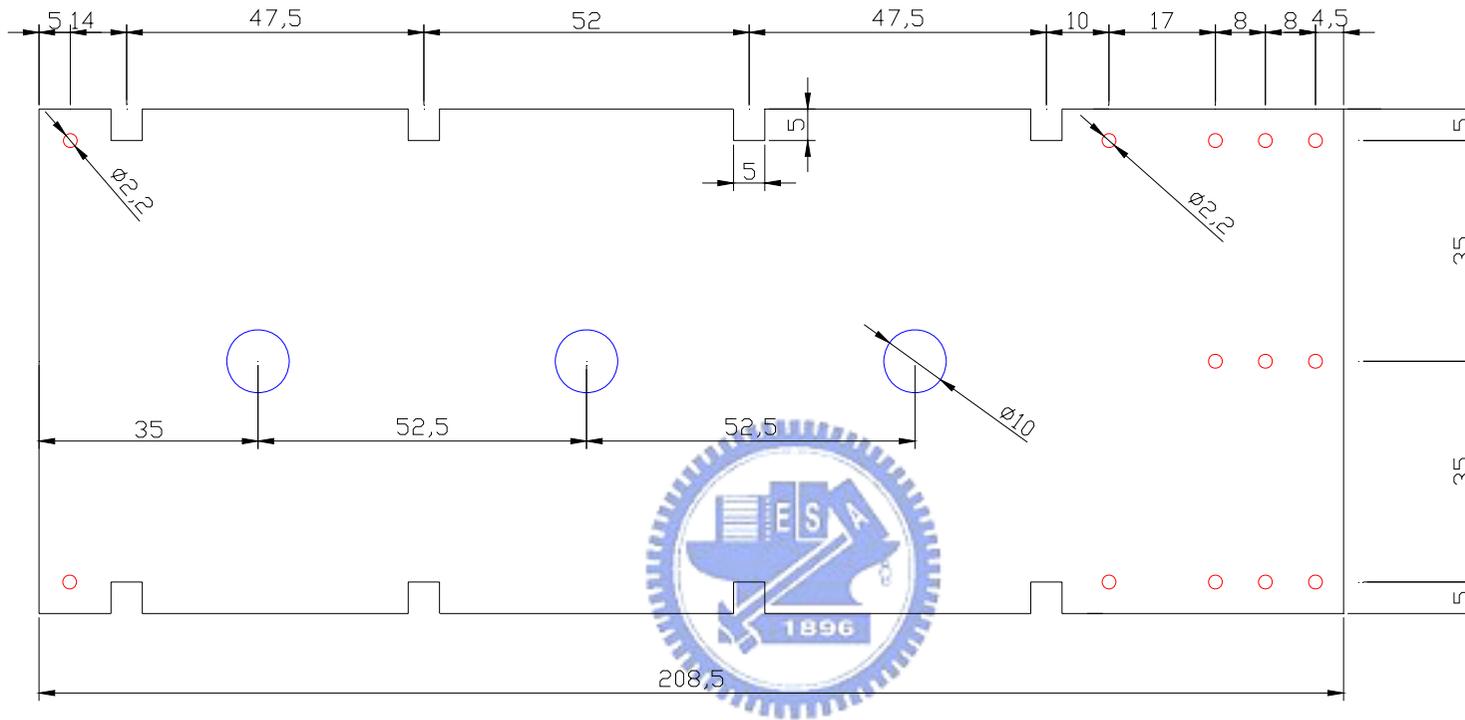


## 夾板 A

版厚：1.0cm

單位：cm

圖 5.11 Type B VE 制震壁—夾板 A 細部設計圖 (單位:cm)

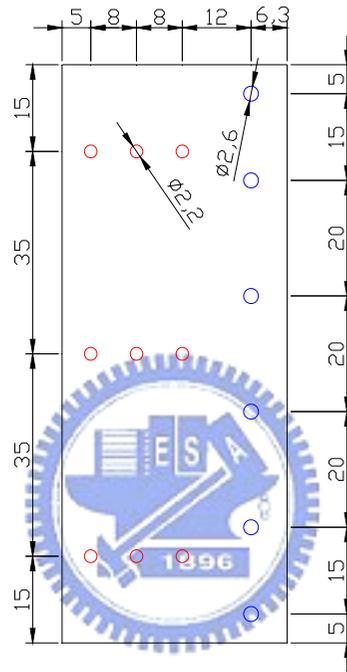


## 夾鉸B

鉸厚：1.1cm

單位：cm

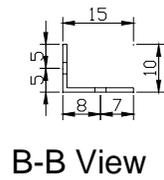
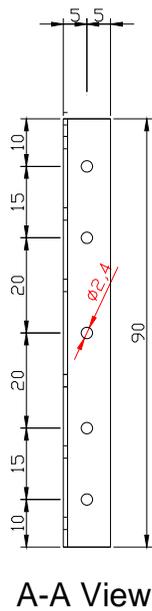
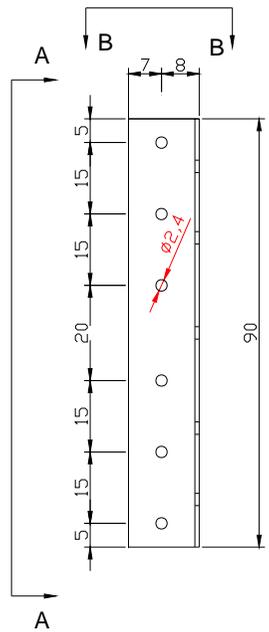
圖 5.12 Type B VE 制震壁—夾鉸 B 細部設計圖 (單位:cm)



## 夾 鈹 C

鈹厚：1.0cm 單位：cm

圖 5.13 Type B VE 制震壁—夾鈹 C 細部設計圖 (單位:cm)

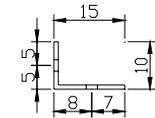
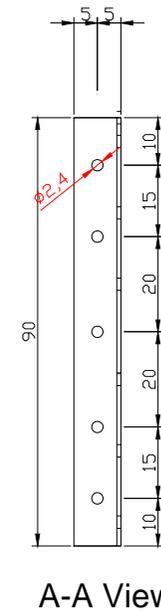
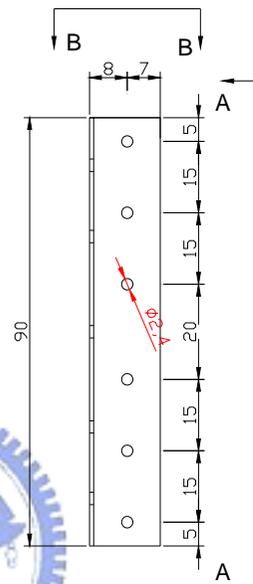
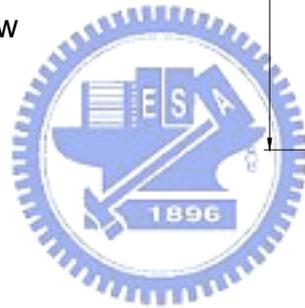


B-B View

### 角鋼 A

型號：L150×150×9×9 (mm)

單位：cm



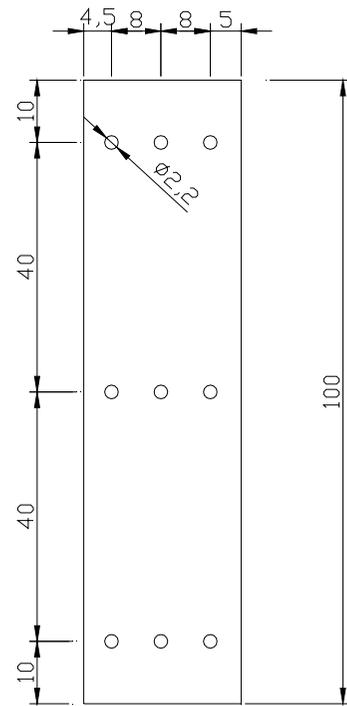
B-B View

### 角鋼 B

型號：L150×150×9×9 (mm)

單位：cm

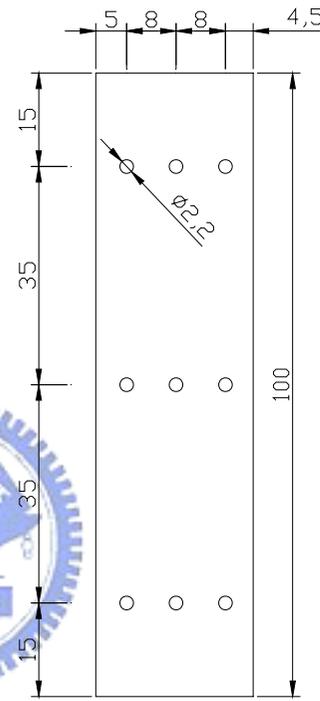
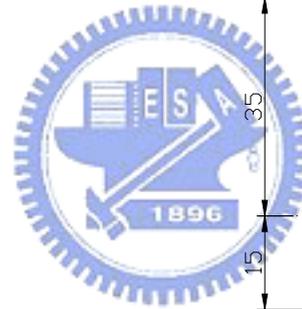
圖 5.14 Type B VE 制震壁—角鋼 A、B 細部設計圖 (單位:cm)



### 墊片A

鈹厚：1.8cm

單位：cm

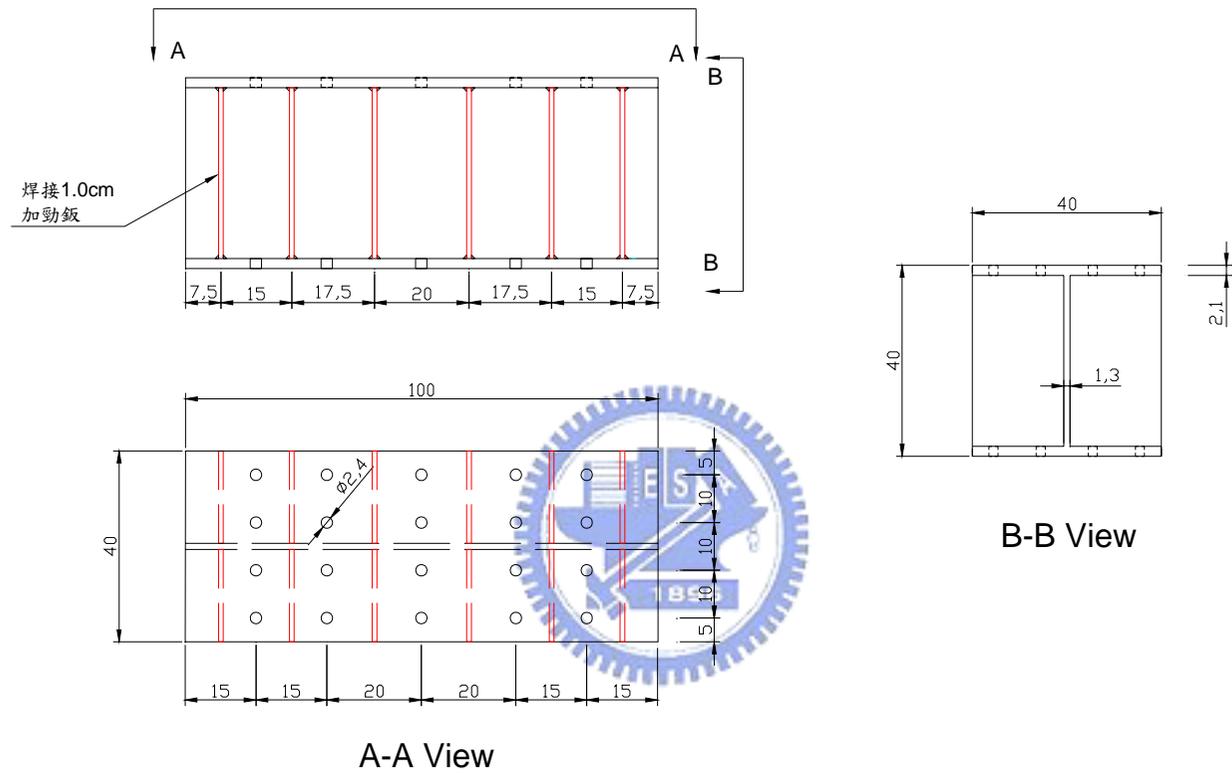


### 墊片B

鈹厚：0.35cm

單位：cm

圖 5.15 Type B VE 制震壁—墊片 A、B 細部設計圖 (單位:cm)

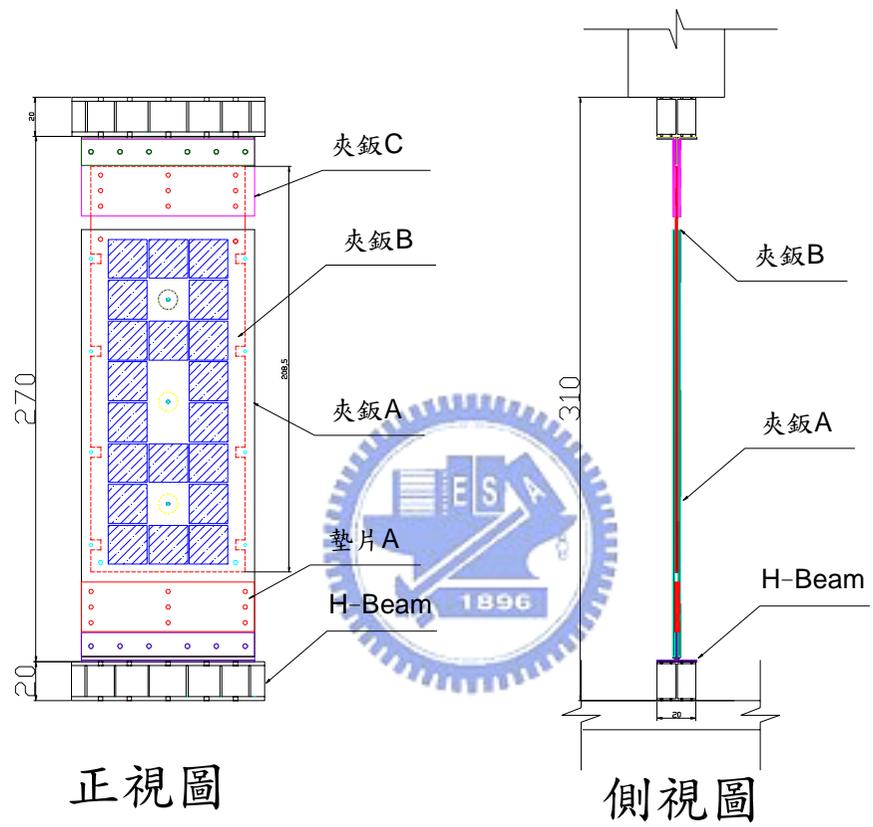


# H-Beam

型號：H400×400×13×21 (mm)

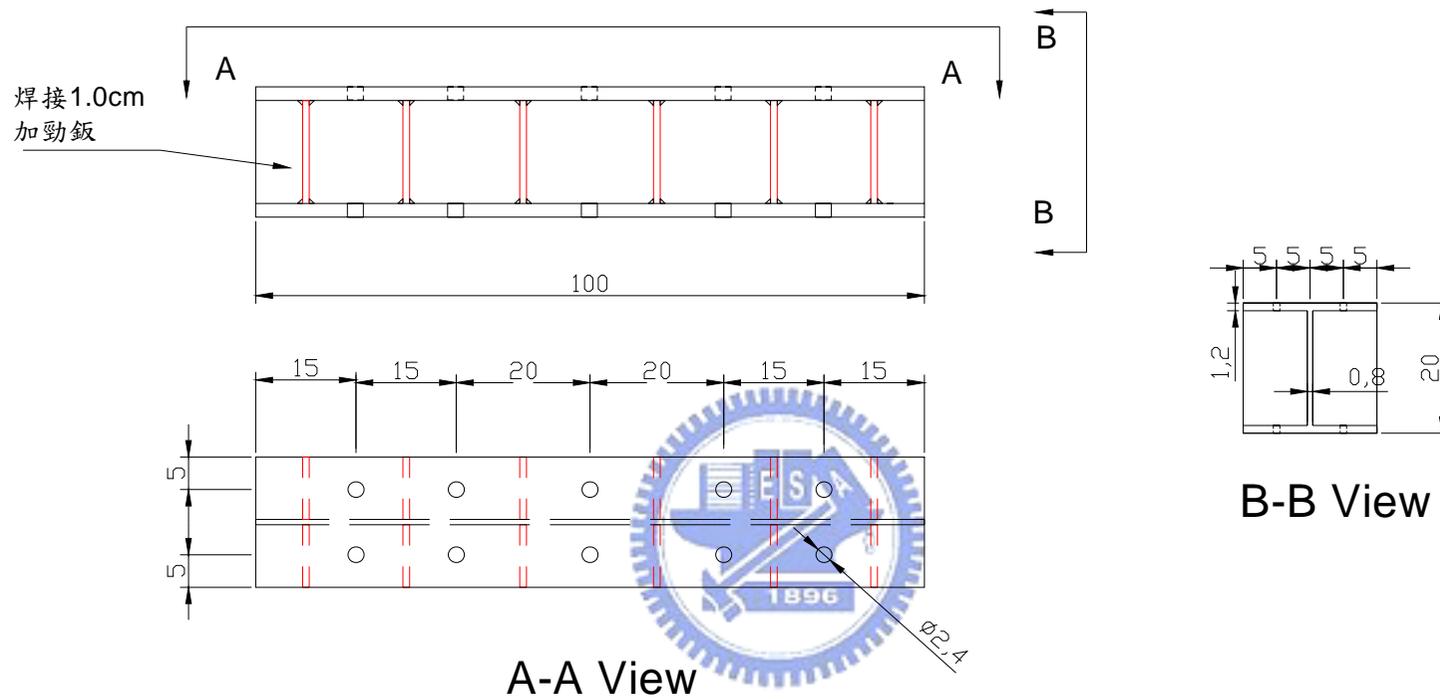
單位：cm

圖 5.16 Type B VE 制震壁—H-Beam 細部設計圖 (單位:cm)



# 組裝圖

圖 5.17 Type C VE 制震壁組裝圖



## H-Beam

型號：H200×200×8×12 (mm)

單位：cm

圖 5.18 Type C VE 制震壁—H-Beam 細部設計圖 (單位:cm)

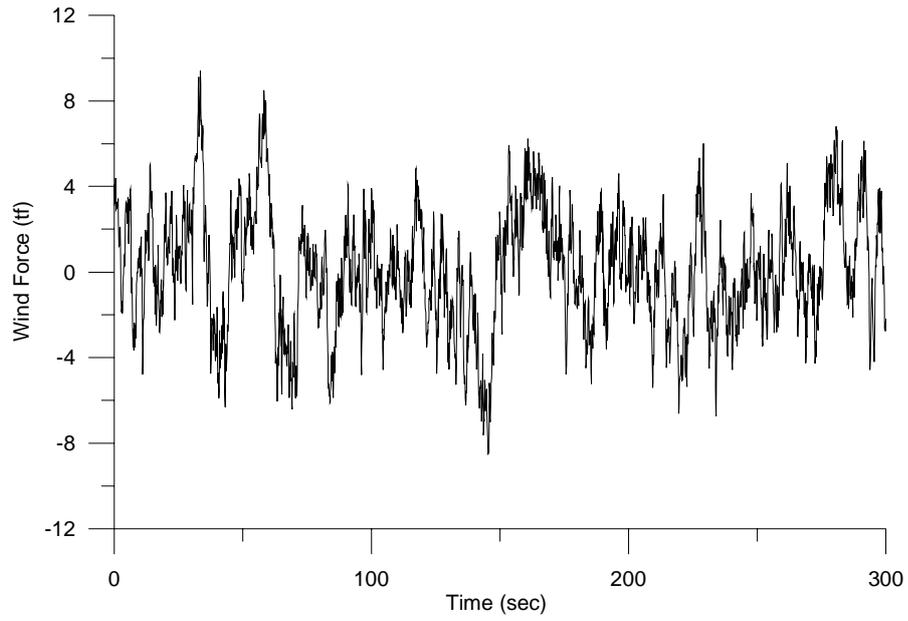


圖 5.19 順向風風力歷時

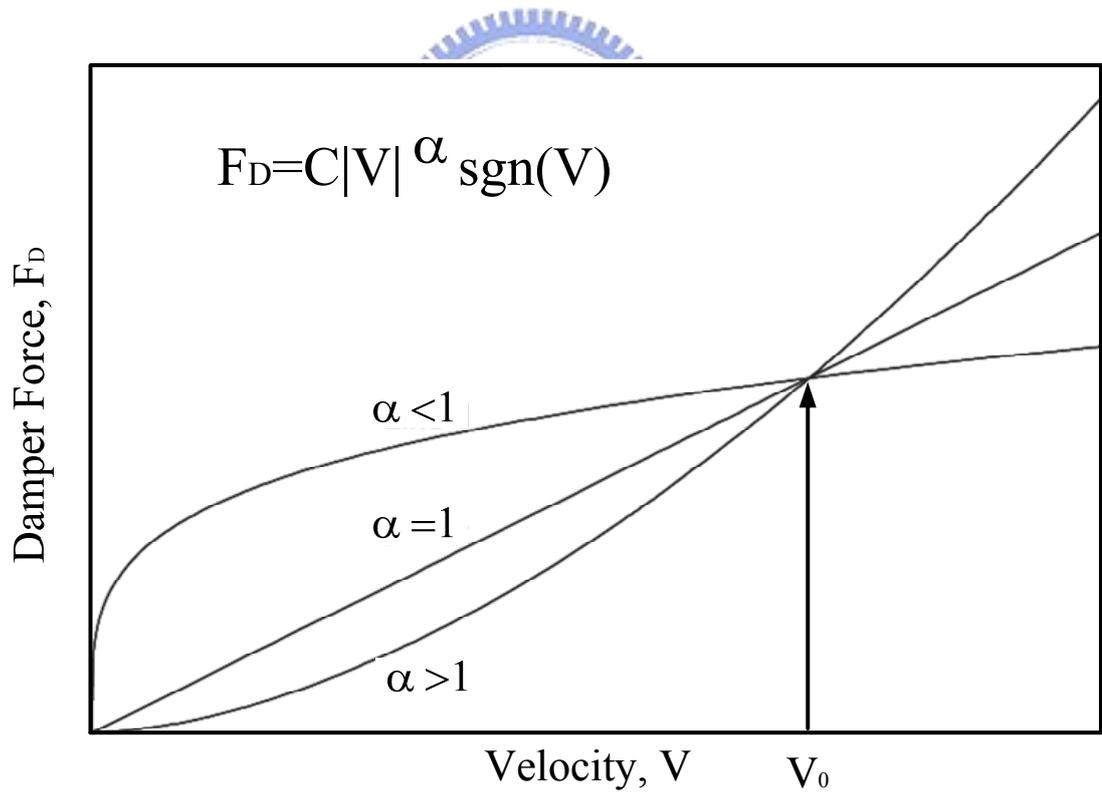


圖 5.20 線性與非線性阻尼器之力-位移關係

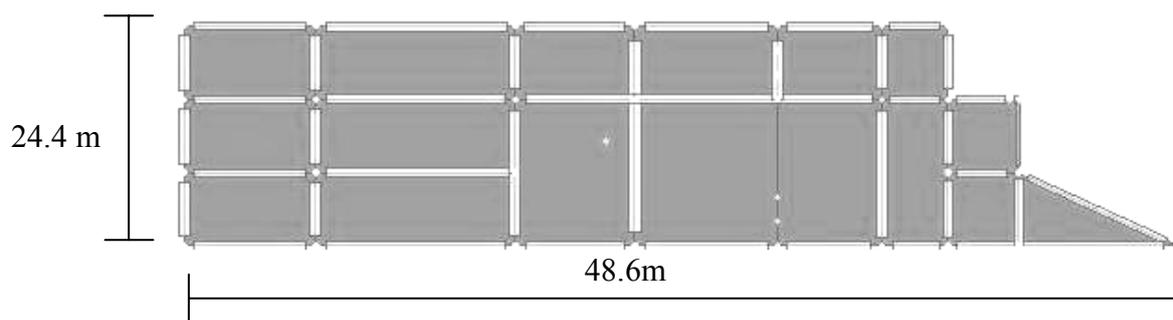


圖 5.21 一樓結構平面圖

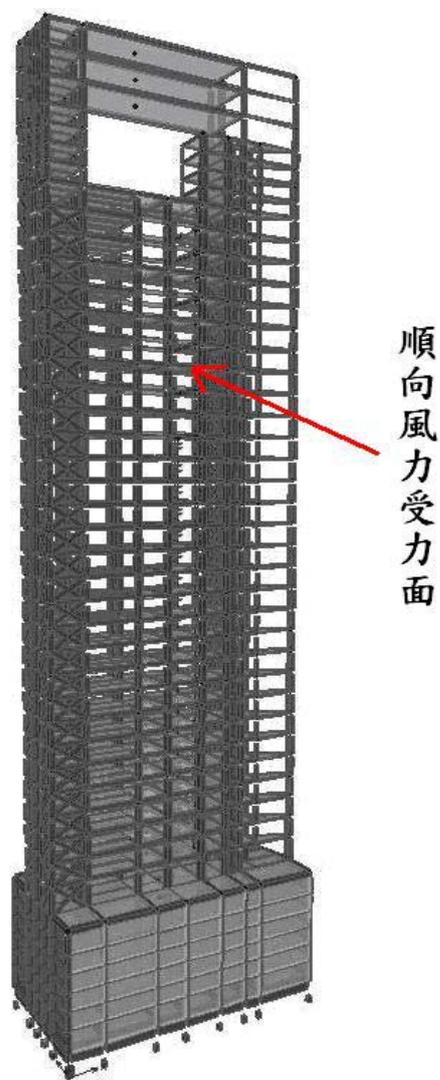


圖 5.22 風力受力面示意圖

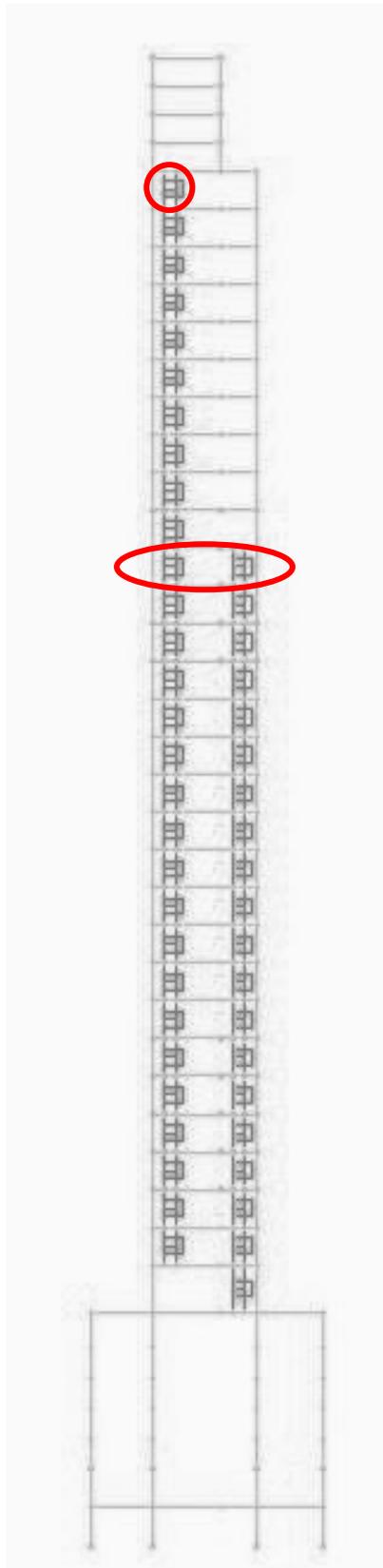


圖 5.23 VE 制震壁裝設位置示意圖

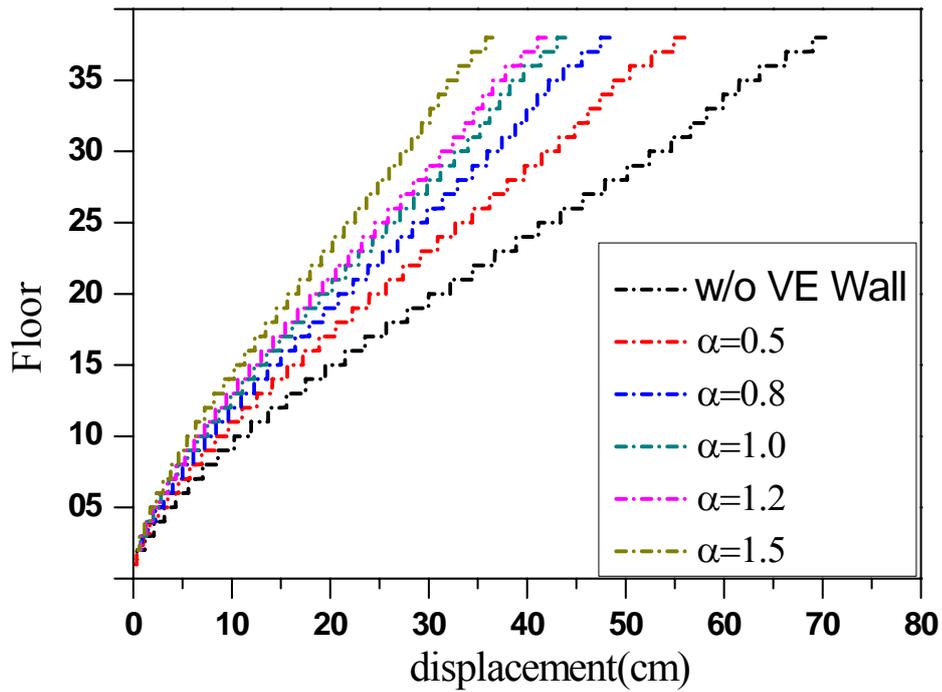


圖 5.24 不同 $\alpha$ 值之各樓層樓層位移比較

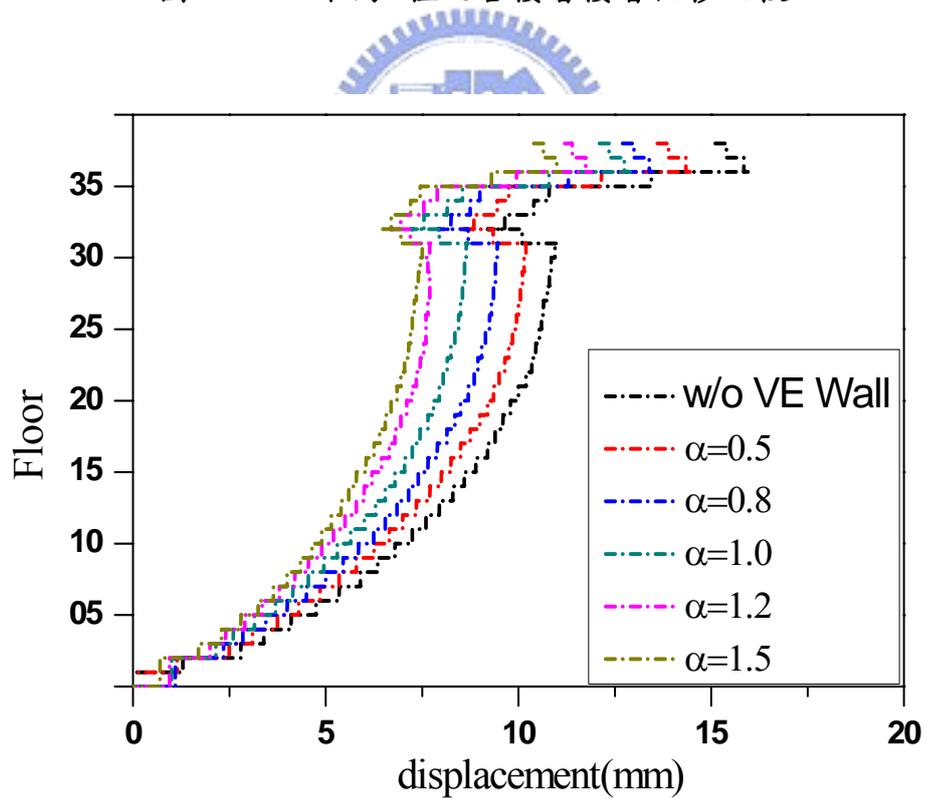


圖 5.25 不同 $\alpha$ 值之各樓層層間位移量比較

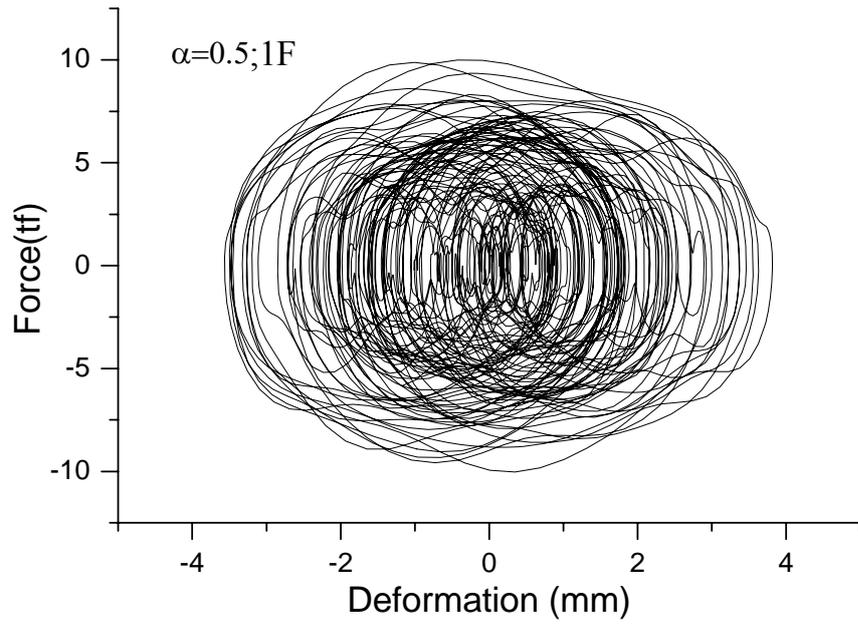


圖 5.26 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.5, 1F$ )

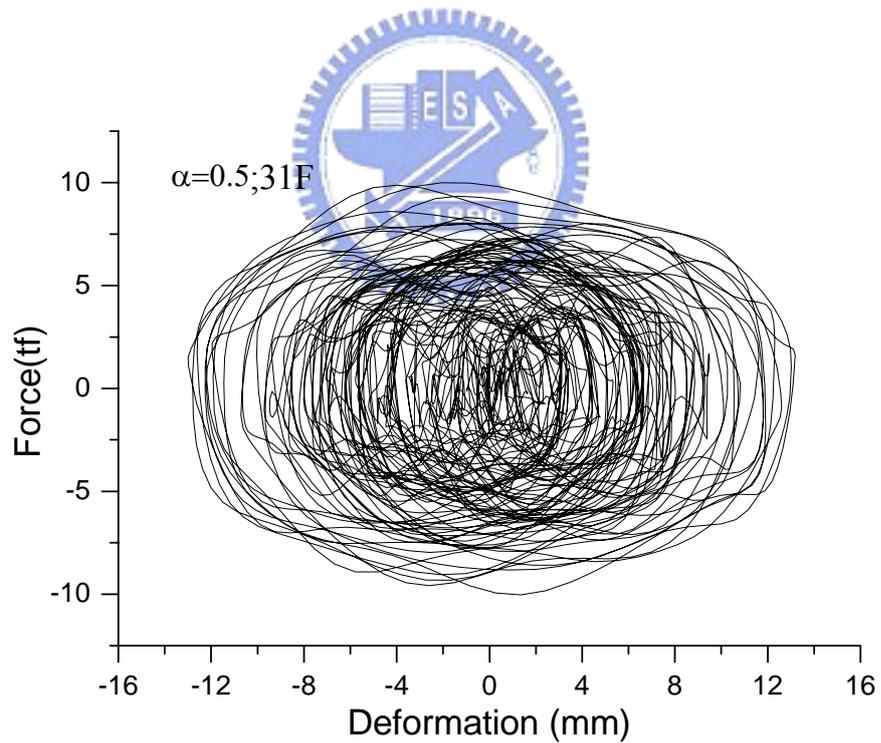


圖 5.27 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.5, 31F$ )

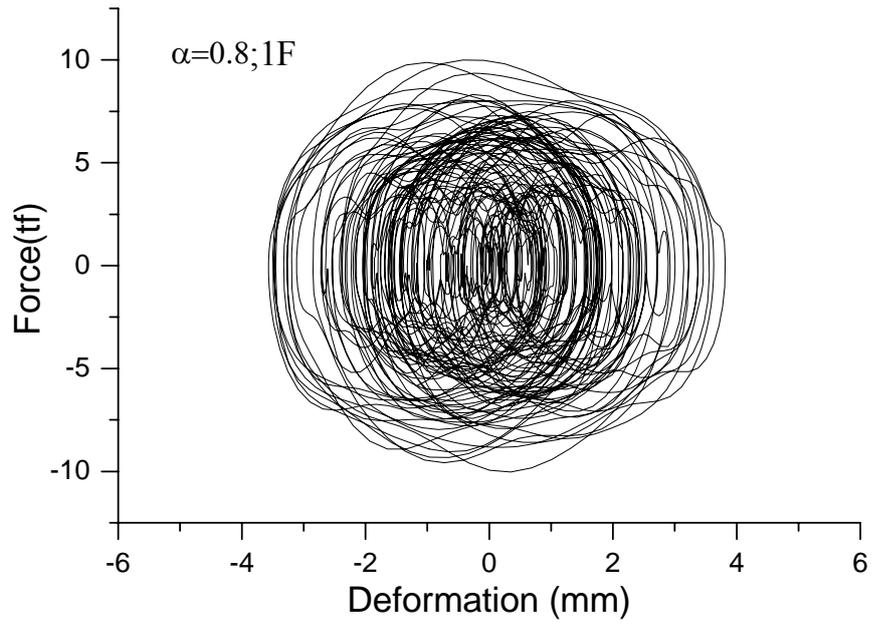


圖 5.28 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.8, 1F$ )

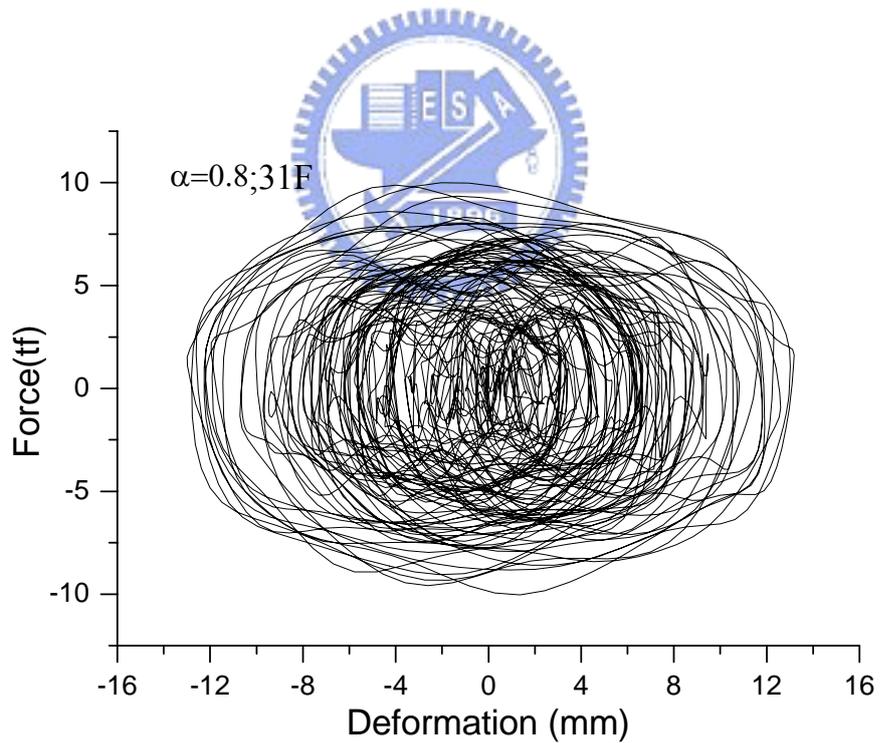


圖 5.29 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=0.8, 31F$ )

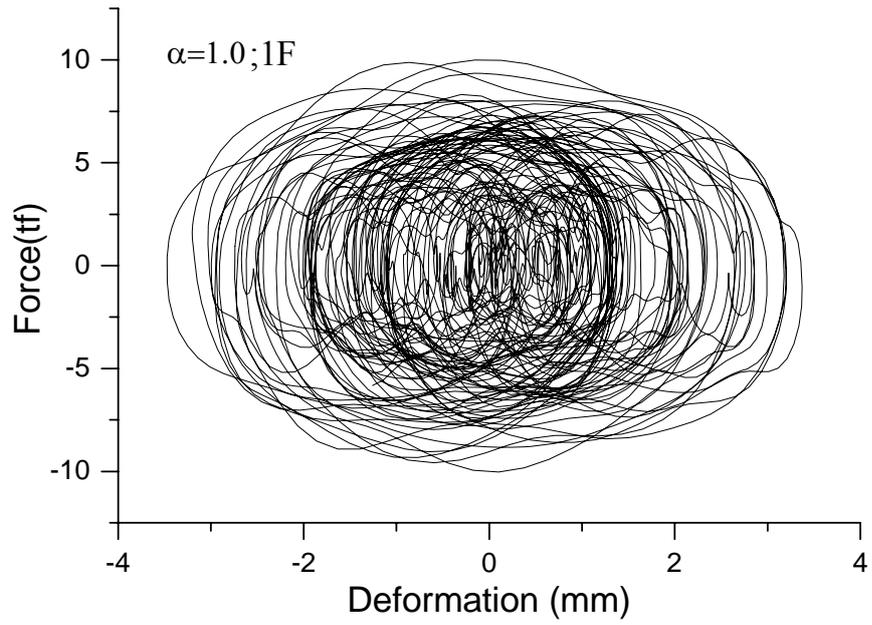


圖 5.30 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.0, 1F$ )

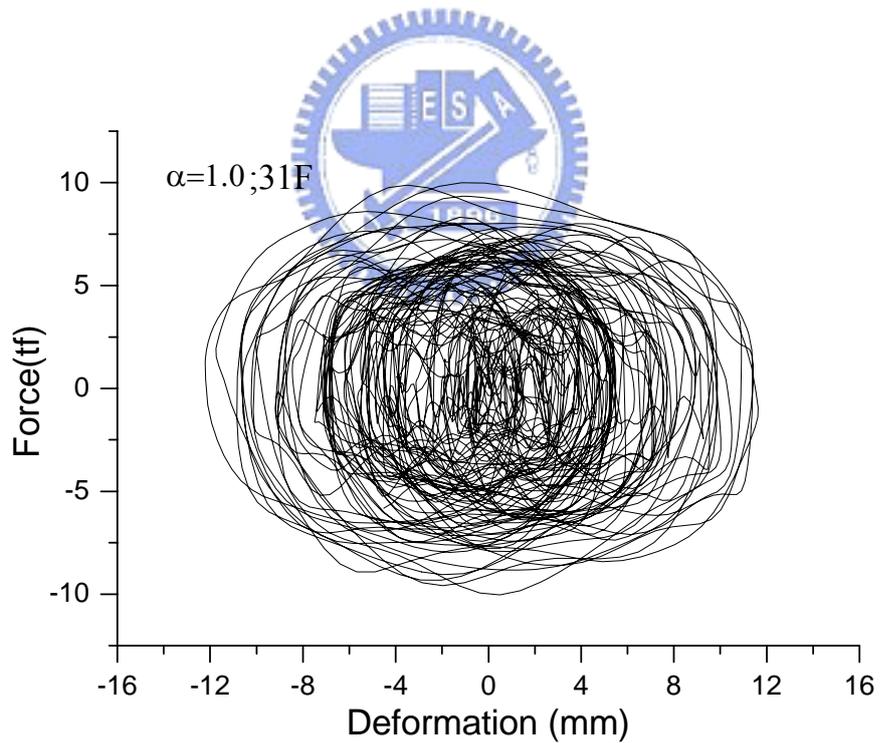


圖 5.31 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.0, 31F$ )

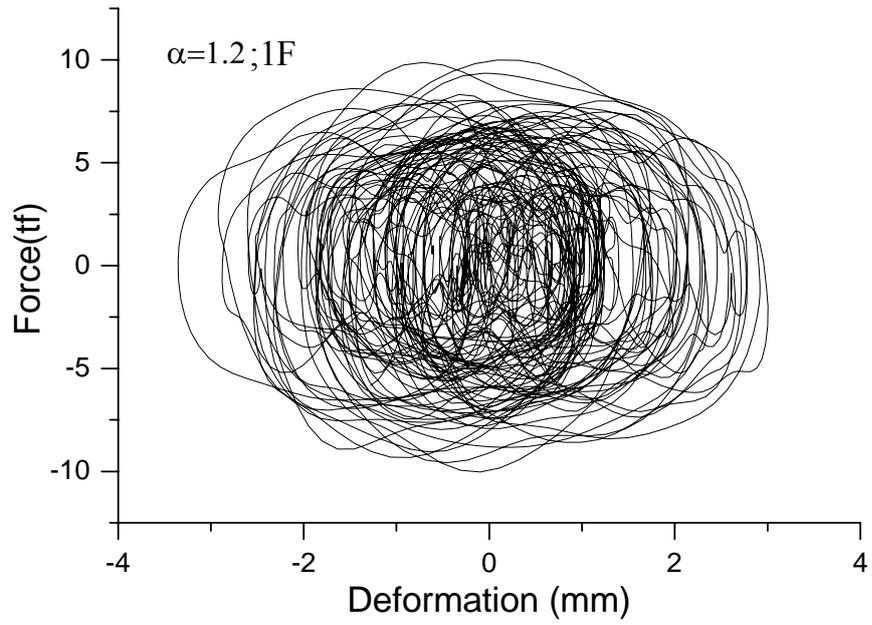


圖 5.32 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.2, 1F$ )

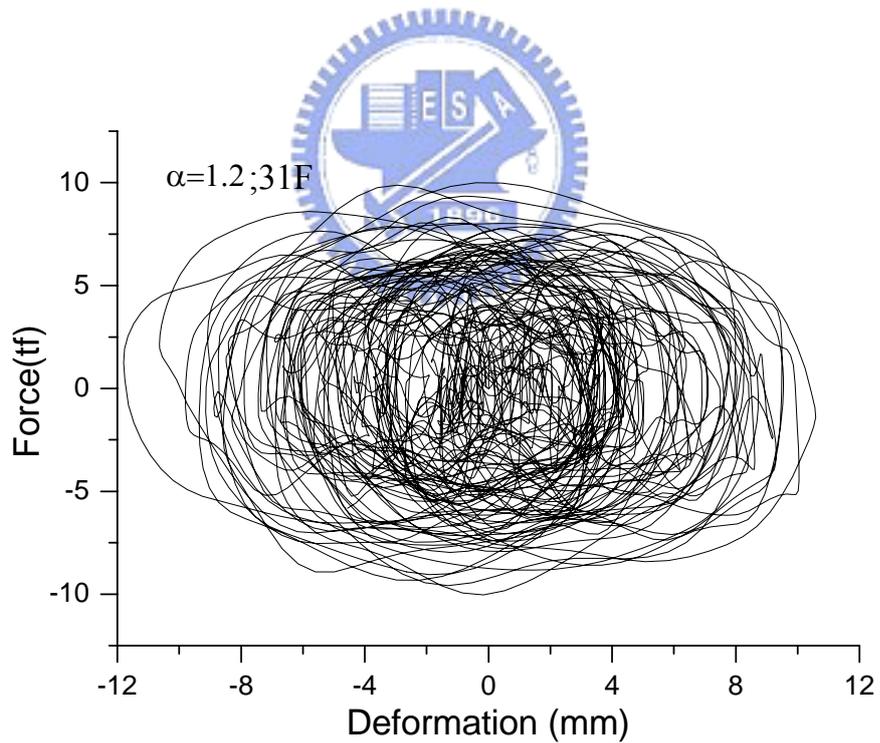


圖 5.33 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.2, 31F$ )

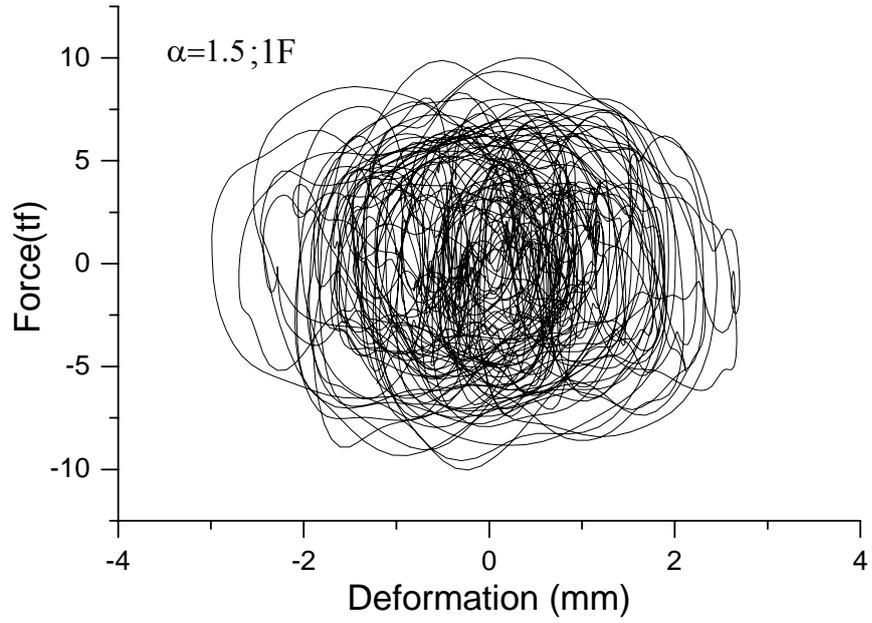


圖 5.34 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.5, 1F$ )

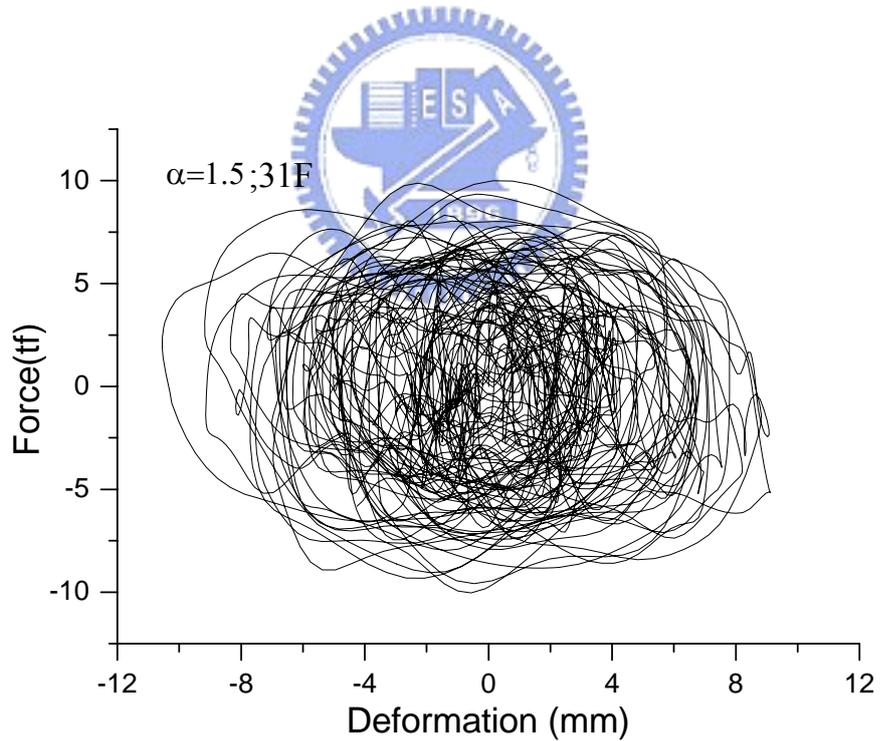


圖 5.35 風力擾動下之 VE 制震壁遲滯迴圈( $\alpha=1.5, 31F$ )