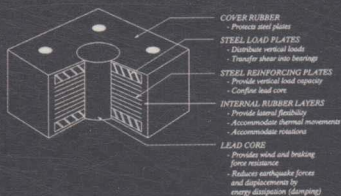
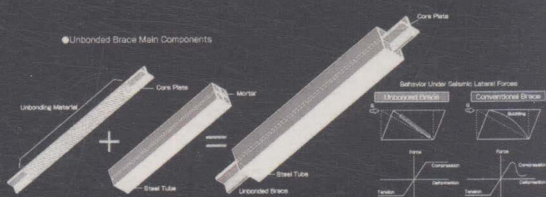
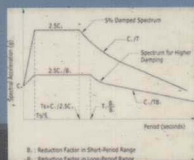


張國鎮 黃震興 蘇晴茂 李森枏 編著

張國鎮 黃震興 蘇晴茂 李森枏 編著



 全華科技圖書股份有限公司 印行

結構消能減震控制及隔震設計

張國鎮・黃震興・蘇晴茂・李森枏 編著

 全華科技圖書股份有限公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

結構消能減震控制及隔震設計 / 張國鎮、黃震興、蘇晴茂、李森枏編著。-- 初版。-- 臺北市：全華，民 93

面：公分

ISBN 957-21-4404-9(平裝)

1.建築物 - 防震 2.結構力學

441.571

93002675

結構消能減震控制及隔震設計

作者 張國鎮·黃震興·蘇晴茂·李森枏

執行編輯 王若瑋

封面設計 張瑞玲

發行人 詹儀正

出版者 全華科技圖書股份有限公司

地址 104 台北市龍江路 76 巷 20 號 2 樓

電話 (02) 2507-1300 (總機)

傳真 (02) 2506-2993

郵政帳號 0100836-1 號

印刷者 宏懋打字印刷股份有限公司

登記證 局版北市業第〇七〇一號

圖書編號 05331

初版一刷 93 年 4 月

定價 新台幣 350 元

I S B N 957-21-4404-9 (平裝)

有著作權·侵害必究

全華科技圖書

www.chwa.com.tw

book@ms1.chwa.com.tw

全華科技網 OpenTech

www.opentech.com.tw

他 序

傳統結構耐震設計之概念為小震不壞、中震可修以及大震不倒等三大基本要求。而這種設計邏輯乃基於生命無價之理念，為大多數結構物耐震設計之基本方針。然而，依上述基準設計之建築物往往在地震之後，雖未發生結構崩塌之嚴重破壞，但破壞的實際情況卻導致建築物原使用機能的中斷與喪失，甚或造成建築物之非結構元件、硬體設備與財物等之破壞，這往往比建築結構體本身之破壞造成更大之財產或機能損失，這種情形尤其經常在我國各科學園區之高科技廠房中發生。在現今重視高效率之產業需求與高水準的生活環境下，結構物之耐震性能及地震發生後之功能性回復，並已深受國人之重視，再加上近年來國際間發生數次重大震災後，結構隔減震防災技術之研究更是先進國家重要之課題。我國為已開發國家之一，亦為世界上地震工程研究之重鎮，近年來在國內研究學者與工程師之努力推廣下，運用隔減震技術於新建或補強工程之案例，不勝枚舉。

本書之架構主要分成兩大單元，減震構造與隔震構造。作者先從結構減震與隔震之原理介紹，再說明阻尼之數學模型以及能量消散之原理，搭配闡述各式常見隔減震元件之力學行為與特性，作一深入淺出之剖析，在各消能元件之介紹後，配合切題之實用範例加以講解，提供工程設計從業人員，一個入門的學習工具書；對於經驗豐富的工程師，亦是一本優良的參考書。

作者張國鎮教授與黃震興教授，分別任教於台灣大學土木工程系與台灣科技大學營建工程系，兩人於隔減震相關領域之研究與教學經驗豐富，並熱衷於結構隔減震技術之推廣與教育，成果深受各界肯定；作者蘇晴茂博士，為國內知名之聯邦工程顧問公司負責人，多年來致力於採用先進之耐震技術

運用在結構設計中，並多次率先使用創新的設計理念於構造物上，亦培養出許多優秀的工程師，實為同業之表率；作者李森枏先生目前服務於國家地震工程研究中心，對於隔減震結構元件之力學行為與試驗，有相當豐富的知識與經驗。簡言之，本書之作者群涵蓋學術研究與工程實務兩大領域之菁英，內容充實而深具教育意義，結合學術界與工程界多年來之研究成果，並集國內外隔減震研究之大成，本書之出版勢必產生熱烈迴響。

財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

主任 蔡克銓教授



過去十多年來，國際上發生許多重大的地震災害，造成人民生命財產重大損失。由於這些震災的發生，世界上許多地震頻繁的國家，如美國、日本及台灣都投入大量的人力與物力以求耐震技術之研發與落實。其中耐震技術方面，除了原有之韌性外，結構隔震及減震技術亦逐漸由研發進入實用階段。結構隔震的概念由來已超過百年，近年來，因隔震結構於歷次大地震中的優異表現已使學術界與工程界均認同隔震設計為大地震下保有結構設計功能之有效方法。消能減震系統也於多次大型地震中被證實具有良好的能量消散效果，國內外採用消能減震系統以保護結構物之實際工程案亦逐年增加。

書中對於消能減震系統分析數值模型與能量原理均有詳實說明與釋疑。位移型阻尼元件，如三角形消能鋼板、低降伏剪力鋼板、挫屈束制斜撐等均有章節解釋其工作原理與相應之工程設計例。工程中常用之液態黏滯性阻尼元件與黏彈性阻尼器等速度型元件於書中有詳盡說明與設計方式。另有章節介紹摩擦型消能元件與調諧質量阻尼器。書中對於隔震原理、隔震支承力學特性與隔震建築設計均作一簡單扼要的描述。

本書除深入探討隔、減震結構之基本理論外，並針對已研究開發成熟具廣泛應用之各類隔震、消能減震裝置進行有系統之介紹，同時配合 SAP2000 與 ETABS 程式輔以詳細之設計例，除可作為相當課程之教材外，亦可成為實際工程設計使用之重要參考資料。

張國鎮、黃震興、蘇晴茂、李森枏

編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

書中內容詳細介紹工程中廣泛使用之各類型結構隔震與消能減震控制系統，而且各類隔震與消能減震系統均含實際設計例，可直接應用於工程實務，並且還直接與常用結構分析設計軟體結合並配合最新建築物耐震設計規範。適用於科大、技術學院土木、建築科系選修「結構設計」、「結構隔震設計」課程使用。

若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。



第 1 章 減震結構基本概述

1-1	彈性結構	1-2
1-2	具恰當塑性鉸分佈之塑性結構	1-4
1-3	具不恰當塑性鉸分佈之塑性結構	1-6
1-4	高阻尼比之反應譜修正係數	1-8
1-5	阻尼器接合斜撐之影響	1-11
1-6	結構系統內之柱軸力	1-12
1-7	簡化的非線性分析法	1-13

第 2 章 阻尼數學模型

2-1	基本元素：彈簧與阻尼	2-2
2-2	麥斯威爾模型	2-4
2-3	凱文模型	2-7
2-4	The Fractional Derivative Viscoelastic Models	
	分數微分 (微分分數次方)	2-10
2-4-1	廣義型式-R. L. Bagley & P. J. Torvik 1983	2-10
2-4-2	黏彈性阻尼-Kasai et al. 1993	2-12
2-4-3	彈性體 (Elastomer) -Koh and Kelly 1990	2-13
2-4-2	流體阻尼-Makris and Constantinou 1990	2-13

2-4-5	Fractional Maxwell Model used in Viscous Fluid Damper-Makris and Constantinou 1990	2-14
2-4-6	時域數值分析	2-14

第 3 章 能量原理

3-1	單自由度結構系統能量方程式	3-6
3-2	絕對能量方程式	3-9
3-3	相對能量方程式	3-10
3-4	能量歷時	3-11

第 4 章 金屬阻尼器

4-1	金屬阻尼器介紹	4-2
4-2	鋼鈹消能器	4-11
4-2-1	三角形鋼鈹消能器之基本力學性質	4-11
4-2-2	加勁阻尼系統之力學行為	4-14
4-2-3	加勁阻尼結構設計	4-16
4-2-4	設計例	4-21
4-3	使用高韌性鋼結構元件-挫屈束制斜撐之耐震結構 設計	4-26
4-3-1	含低降強度剪力鋼鈹消能裝置構架非線性歷時 分析結果	4-38
4-3-2	含挫屈束制撐消能裝置構架非線性歷時分析 結果	4-41
4-4	挫屈束制斜撐耐震結構設計	4-54

第 5 章 黏彈性阻尼器

5-1 黏彈性阻尼器	5-2
5-1-1 基本理論	5-2
5-1-2 加黏彈性阻尼之結構分析	5-20
5-1-3 設計考量與成品推出	5-26
5-2 加黏彈性阻尼器結構設計例	5-32
5-2-1 主構架之設計力	5-32
5-2-2 加黏彈性阻尼器結構之設計流程	5-33
5-2-3 設計範例	5-36

第 6 章 液態黏性阻尼器

6-1 液態黏性阻尼器	6-2
6-2 加液態黏性阻尼器結構設計例	6-30
6-3 阻尼效能增進機制	6-40

第 7 章 隔震結構系統簡介

7-1 隔震原理	7-2
7-2 隔震支承介紹	7-4
7-3 隔震支承力學性質	7-15

第 8 章 隔震支承設計

8-1 高阻尼橡膠支承墊設計	8-2
----------------------	-----

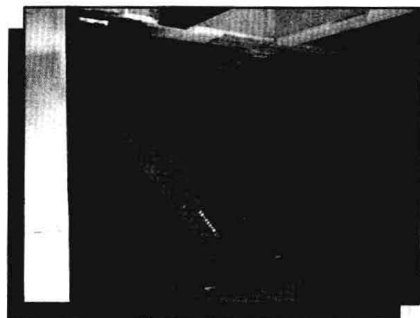
8-2	鉛心橡膠支承墊設計.....	8-9
-----	----------------	-----

第9章 隔震規範介紹

9-1	前 言	9-2
9-2	靜力分析法	9-3
9-2-1	設計位移.....	9-3
9-2-2	設計總位移.....	9-3
9-2-3	最大總位移.....	9-4
9-2-4	有效振動週期及阻尼比修正係數.....	9-4
9-2-5	最小設計水平總橫力.....	9-5
9-2-6	地震力之豎向分配.....	9-6
9-2-7	層間相對側向位移及建築物之間隔.....	9-6
9-2-8	極限層剪力強度之檢核與垂直地震效應.....	9-7
9-3	動力分析法	9-7
9-3-1	設計地表水平加速度係數與加速度反應譜.....	9-7
9-3-2	總橫力之調整.....	9-8
9-3-3	設計位移之調整.....	9-9
9-3-4	多振態反應譜疊加法.....	9-9
9-3-5	非線性動力分析.....	9-9
9-3-6	動態扭矩.....	9-10
9-3-7	層間相對側向位移與建築物之間隔.....	9-10
9-3-8	極限層剪力強度之檢核與垂直地震效應.....	9-11
9-4	結 論	9-11

第 10 章 隔震結構設計例

10-1	學校結構隔震補強範例·····	10-2
10-2	結構系統·····	10-9
10-3	隔震系統之非線性歷時分析·····	10-20



減震結構基本概述

- 1-1 彈性結構
- 1-2 具恰當塑性鉸分佈之塑性結構
- 1-3 具不恰當塑性鉸分佈之塑性結構
- 1-4 高阻尼比之反應譜修正係數
- 1-5 阻尼器接合斜撐之影響
- 1-6 結構系統內之柱軸力
- 1-7 簡化的非線性分析法

介紹被動消能減震系統基本類型與其基本力學行為。

1-1 彈性結構

圖 1-1 為於設計地震力下，結構各桿件仍維持於彈性範圍內之結構模型。於裝設消能裝置前，其承載能力曲線 (pushover curve) 基本上為一斜直線，意即彈性結構中，任一構件於彈性設計力範圍內無塑鉸產生 (有關 pushover、塑鉸可參考 FEMA, 1997, 或 SAP2000、ETABS 入門與工程上之應用二書)。另外，結構整體力對位移遲滯迴圈也趨近於線性關係，消能能力非常有限。

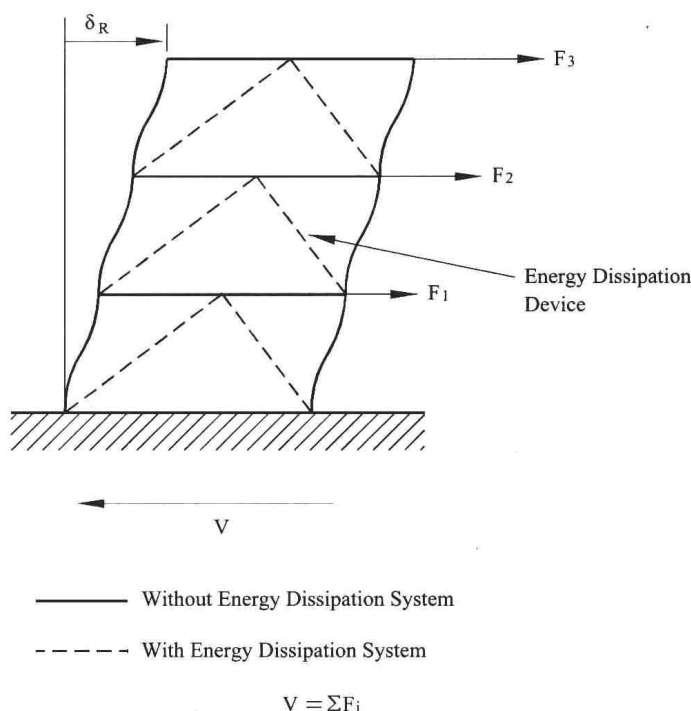


圖 1-1 於裝置消能系統前後之彈性結構承載能力曲線與相應之力對位移遲滯曲線。EDS 表示消能系統 (Energy Dissipation System)

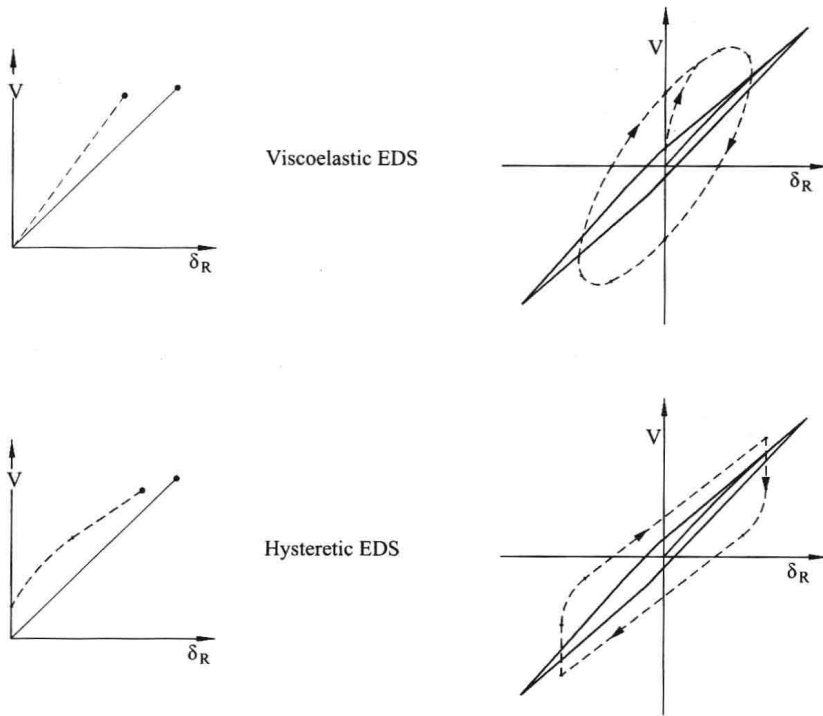


圖 1-1 於裝置消能系統前後之彈性結構承載能力曲線與相應之力對位移遲滯曲線。EDS 表示消能系統 (Energy Dissipation System) (續)

若將消能裝置置入圖 1-1 中結構系統內，假設在地震歷時擾動期間，消能裝置與結構接頭處無任何非線性行為或損壞發生，且消能裝置運作方式正確恰當，即可使整體結構系統的外加能量均勻消散。對於遲滯型阻尼器消能系統，上述假設尤為重要，不恰當的配置分佈方式，常會導致非線性行為集中發生於某一樓層內。

由圖 1-1 中力對位移遲滯迴圈可看出結構因阻尼器的置入而使其消散外加輸入能量之能力大幅增加。因此，阻尼構架之振動反應，如擺動振幅、加速度反應等皆較空構架者小。消能系統可有效且顯著的降低結構位移反應，亦可減低作用於結構物之總外力。對於某些消能系統，外加作用力的降低並不如位移減少來得明顯，其原因在於消能

系統會增加結構勁度或強度，但若所選擇之消能系統不增加結構勁度或強度時，結構位移反應與外加作用力均會明顯的減少。此外，部分消能系統可能使結構勁度過度增加，使其力量反應大增。目前大多數的消能系統皆由實驗證明可使結構桿件於設計地震力下維持於彈性範圍內。

1-2 具恰當塑性鉸分佈之塑性結構

考慮圖 1-2 中具韌性設計之結構模型與其承載能力曲線。結構於地震侵襲下，塑性鉸皆發生於梁端，整體結構之遲滯迴圈顯示出理想且飽滿的迴圈曲線。於最大設計地震力下，結構系統表現出非線性力學行為，圖中結構系統的韌性值約為 3。

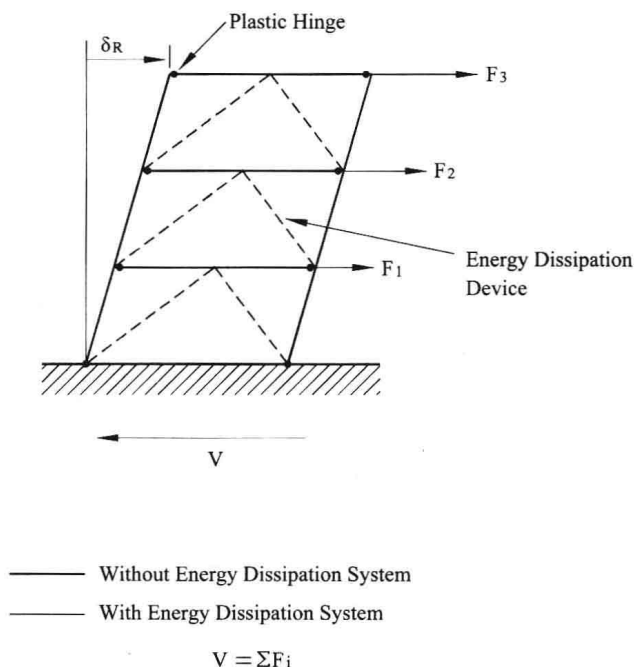


圖 1-2 於裝置消能系統前後之非彈性結構承載能力曲線與相應之力對位移遲滯曲線。EDS 表示消能系統 (Energy Dissipation System)

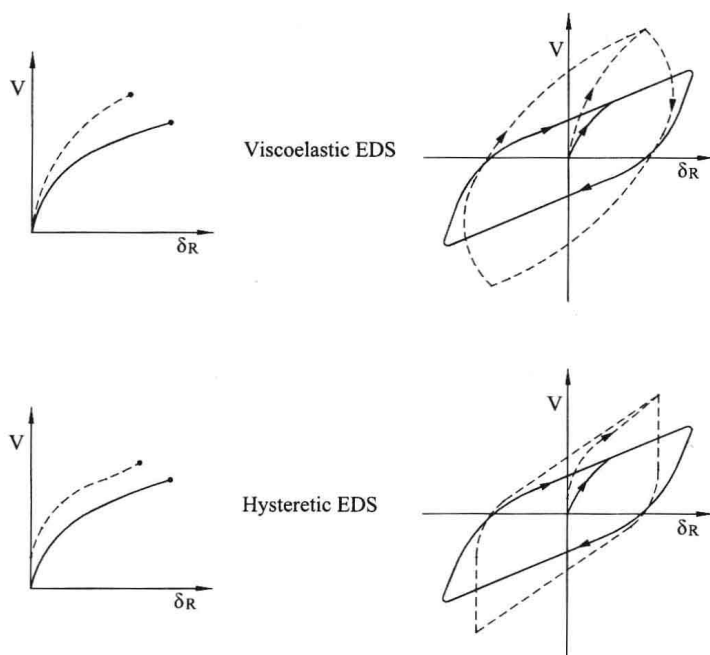


圖 1-2 於裝置消能系統前後之非彈性結構承載能力曲線與相應之力對位移遲滯曲線。EDS 表示消能系統 (Energy Dissipation System) (續)

圖 1-2 之塑性結構本身因非彈性變形的發生已具有充足的能量消散能力，對於圖中結構模型，可概略估計其有效臨界阻尼比最少為 30%，外加之消能裝置並不會有效的減低結構位移反應。

圖 1-3 取自於 1997FEMA，圖中顯示結構位移反應比率對無阻尼器結構阻尼比之關係，不同的曲線代表因外加消能系統所增加之臨界阻尼比，分別為 10%、20%與 30%，橫座標為無外加阻尼器之塑性結構臨界固有阻尼比，由 1%至 30%，縱座標表示結構位移反應的減少率，值越大表示位移反應越小。當結構固有阻尼比為分別為 1%與 3%時，因外加阻尼系統使得結構物臨界阻尼比提升至 20%與 30%，結構動力反應將會減少一半。與低阻尼結構相較，若結構本身之固有阻尼比已達 30%，額外增加之 20%至 30%之臨界阻尼比只會使結構動力反應多減少 15%。