

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果精簡報告

結構控制技術與系統識別研究-子計畫

半主動控制調諧質塊阻尼器之研發

計畫編號：NSC 90-2625-Z-009-003

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

主持人：王彥博 教授 國立交通大學土木工程學系

E-mail Address：ypwang@mail.nctu.edu.tw

共同主持人：

計畫參與人員：

一、中文摘要

本文主要探討摩擦單擺支承用於房屋結構之耐震表現，以及以調諧質塊阻尼器及電動伺服馬達質塊制動系統作為房屋結構之減振控制。此外，並進行振動臺試驗，首先針對一棟 1/2 縮尺鋼結構模型以地震反應資料進行結構系統識別，最後並完成摩擦單擺支承隔震結構之振動臺試驗。根據本文研究結果顯示：(一)電動式伺服馬達質塊制動系統在適當設計之螺距範圍內，控制系統相當有效率，結構的峰值反應折減可達七成以上；(二)由結構加速度反應記錄應用單一輸入-多重輸出(SIMO)之 ARX 模式可識別鋼結構模型之動力特性，並可據以求取結構的系統參數。(三)摩擦單擺支承可有效應用於房屋隔震，地震強度愈大，隔震效益愈顯著。

關鍵詞：摩擦單擺支承、調諧質塊阻尼器、主動控制、電動伺服馬達、系統識別。

Abstract

In this paper, the seismic performance of structures using Friction Pendulum Bearings for isolation and vibration control using Tuned Mass Damper or electric servomotor Active Mass Damper are verified through numerical simulations. Moreover, shaking table tests are carried out to study the system identification of a half scale model structure from earthquake response records and shaking table tests of the model structure isolated by friction pendulum bearings are also conducted. It is concluded

that: (1)The electric servomotor AMD system proves to be effective and efficient within a certain range of the pitch. The reductions of the peak responses can reach as high as 70 per cent if properly designed; (2)The dynamic characteristics of a steel model can be identified by a single input multiple outputs (SIMO) ARX model and, in turn used to construct the system matrices of the model structure.; (5)FPB is effective for isolation of structures. The more intensity is the earthquake, the more pronounced is the isolation effect;

Keywords:Friction Pendulum Bearing, Tuned Mass Damper, active control, electric servomotor, system identification

二、緣由與目的

1999 年 9 月 21 日凌晨一點四十七分台灣南投發生了芮氏規模 7.3，震央震度 7 級之集集地震。在短短數十秒之劇烈振動及其餘震造成了二千多人死亡，上萬人受傷，房屋、校舍、橋梁傾倒毀壞者不計其數，財產損失更是難以數計。事隔一個月(10 月 22 日)，嘉義地區再發生芮氏地震規模 6.4 的地震，雪上加霜，又增加許多災情，突顯出台灣建築結構耐震能力嚴重不足的普遍現象，特別是高樓結構倒塌的問題仍令人心有餘悸。自此結構安全遂成為舉國上下最關切的話題之一，各種抗震結構、減震系統亦廣泛地被引進。

現代結構防震技術揚棄傳統之觀念而採

用「功能導向設計」，強調在強震下對結構安全性及功能完整性之保障。其實，地震工程研究近年來有突破性的發展，隨著材料科技的進步，各式隔、減震裝置相繼被發展出來且實際應用。這些耐震措施已被證實在抗震上有更佳的效果，而且符合經濟效益。本文即是研發相關隔、減震系統進行結構振動控制的研究。

三、結果與討論

圖 1 為 TMD 控制與未控制結構頂樓位移頻率響應函數之比較。由圖顯示，以 TMD 控制後，結構第一振頻之峰值可大幅被抑制下來，結構振動反應自然降低。

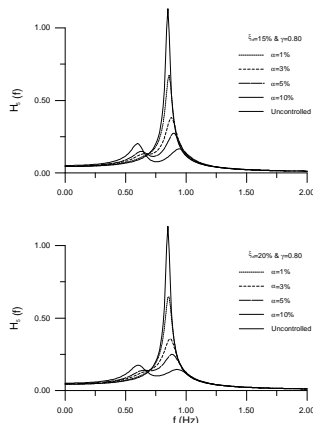


圖 1. TMD 控制與未控制結構頂樓位移頻率響應函數之比較。

圖 2 為自行研發之電動式伺服馬達主動質塊制動系統，主要由電動伺服馬達及滾珠螺桿構成，質塊衝程的放大可藉由滾珠螺桿的螺距加以調整，並進一步增進控制系統的效能。此外，電動式伺服馬達主動質塊制動系統更可改善油壓式主動質塊制動系統存在已久之噪音過大、易漏油及維修繁複等缺點。



圖 2 電動式伺服馬達主動質塊制動系統

圖 3 為結構反應指標折減率。由圖可知，當螺距為 $l_b = 1cm \sim l_b = 5cm$ 時，結構總能量的折減率最大可達 90%，控制效果相當良好。

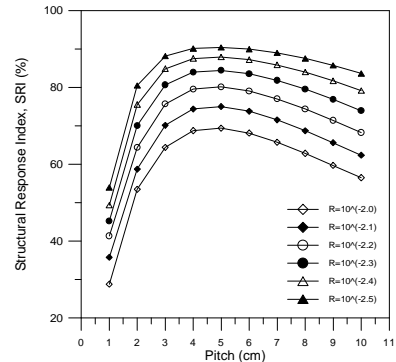


圖 3 結構反應指標之效能曲線

圖 4 為螺距對於控制力之影響。由於滾珠螺桿的螺距具有放大質塊衝程的效用，因此，控制效益可大幅提升，然而控制力的需求卻降低，可達到控制增效、出力節省的目的。

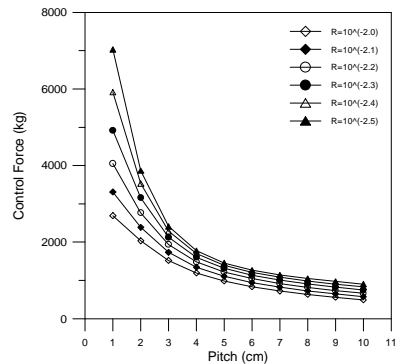


圖 4 螺距對於控制力的影響

適當設計螺距的大小，可使質塊制動系統有效降低結構之地震反應，頂樓加速度的峰值可達 70% 的折減，位移的峰值則可達 75% 的折減，分別如圖 5 及圖 6 所示。

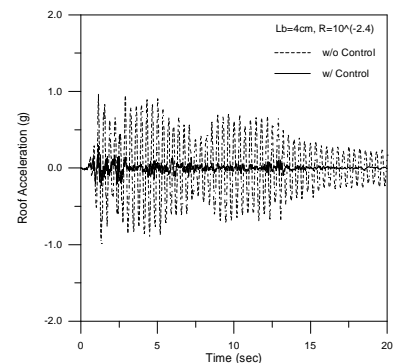


圖 5 頂樓加速度歷時

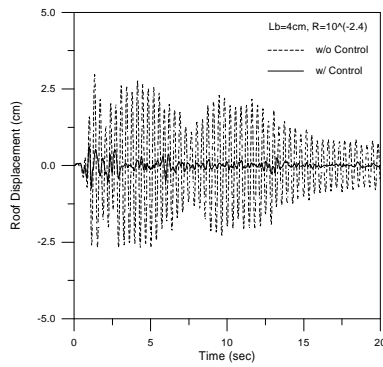


圖 6 頂樓位移歷時

系統識別試驗則是由振動臺模擬 El Centro 地震波(PGA=0.20g)作為輸入擾動，再根據各樓層量測到之加速度反應進行識別分析。吾人取基座所量測到之加速度訊號作為輸入資料，而以各樓層所量測到的訊號作為輸出資料，選擇單一輸入-多重輸出(SIMO)之 ARX 模型進行識別，期由多重輸出資料間的相關性提供更完整之識別基礎。

圖 7 為各樓層加速度歷時-試驗與識別分析之比較。由圖可知，預測結果與試驗結果相當一致，結構的振動特性可充分掌握。

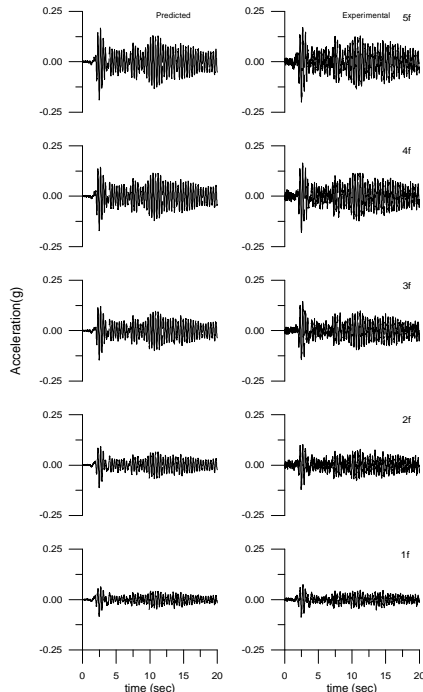


圖 7 各樓層加速度-試驗與識別分析之比較

系統識別所得之五層樓鋼構系統參數如表 1 所示。

表 1 五層樓鋼構系統參數

Mode	1	2	3	4	5
Frequency (Hz)	2.77	9.75	17.82	20.55	27.02
Damping Ratio(%)	0.35	0.73	1.80	5.0	5.0
<i>Mode Shapes</i>					
5f	0.574	-0.583	0.517	-0.244	0.154
4f	0.561	-0.160	-0.425	0.544	-0.423
3f	0.481	0.347	-0.457	-0.300	0.588
2f	0.324	0.589	0.303	-0.363	-0.566
1f	0.141	0.408	0.501	0.650	0.364
<i>System Matrices</i>					
<i>Mass matrix</i> ($kg \cdot s^2 / m$)	82.02	0	0	0	0
	0	84.32	0	0	0
	0	0	84.32	0	0
	0	0	0	84.32	0
	0	0	0	0	84.68
<i>Stiffness matrix</i> (kg/m)	513553.3	-525459	12804.06	-24463.4	112196
	-525459	1059683	-637327	141584.6	-121829
	12804.06	-637327	1231284	-733543	49065.2
	-24463.4	141584.6	-733543	1174386	-594433
	112196	-121829	49065.2	-594433	1247133
<i>Damping matrix</i> ($kg \cdot s / m$)	207.53	-293.99	112.21	1.1	-20.68
	-293.99	645.65	-468.21	78.35	88.75
	112.21	-468.21	674.68	-387.97	27.05
	1.1	78.35	-387.97	660.46	-482.53
	-20.68	88.75	27.05	-482.53	754.89

本研究進一步針對自行設計之摩擦單擺支承進行五層樓隔震結構之振動台試驗，共安裝四組摩擦單擺隔震支承於每根柱底與基座之間(圖 8)。



圖 8 摩擦單擺支承安裝位置近觀

圖 9 為隔震與未隔震結構頂樓之地震反應(加速度及位移)歷時,其中位移反應係由加速度反應經基線修正積分而得。結果顯示,隔震後結構頂樓的反應有更顯著之折減,加速度峰值折減率提升至 70%,位移峰值折減率更提升為 72%。

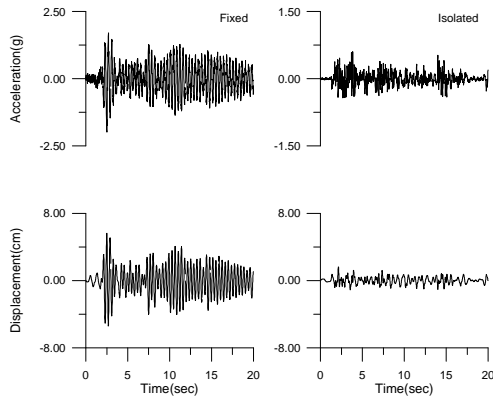


圖 9 隔震與未隔震結構頂樓反應之比較
(El Centro, PGA=1.0g)

圖 10 為隔震支承之滑動位移歷時以及基底剪力(包括回復力與摩擦力)之遲滯迴圈。由圖可知,數值模擬預測與試驗結果十分契合,對於結構基層不時交替滑動及停滯之高度非線性行為完全掌握。

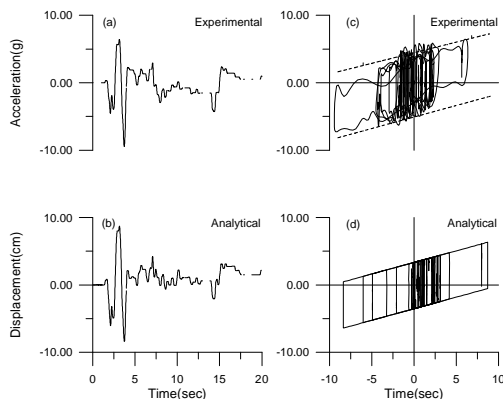


圖 10 摩擦單擺支承之滑動位移與
基底剪力遲滯迴圈
(El Centro, PGA=1.0g)

四、計畫成果

本研究利用自製之大型地震模擬振動臺,針對五層樓鋼結構 1/2 縮尺模型,完成隔震房屋之耐震試驗,並發展數值模擬分析模式以預測結構之動力行為。試驗結果顯示,自行研發之摩擦單擺支承有極佳之減震效果,地震強度愈大時隔震效益愈顯著。數

值模擬分析與試驗結果相當契合,充分驗證其合理性。此外,自行設計之主動質塊制動系統透過滑輪機制或調整滾珠螺桿的螺距可放大質塊的衝程,進而達到控制增效及耗電節省的功用。本文的研發成果將有助於防震工業的發展,並可達成隔、減震系統本土化之目的。

五、參考文獻

- [1]鍾立來、王彥博、陳永蒼(2002),「廣義調協質塊阻尼系統之最佳控制理論與應用」,結構工程,第十七卷,第二期,民國 91 年 6 月, pp63~77.
- [2]王彥博、鄧敏政、李建良(2000),「摩擦單擺隔震結構之動力分析與振動台試驗驗證」,中國土木水利工程學刊,第十二卷,第二期, pp.301-310.
- [3]Mostaghel, N. and Tanbakuchi, J.(1983), "Response of Sliding Structures to Earthquake Support Motion," *Earthquake Engrg. Struct. Dyn.*, Vol.11, pp.33-56.
- [4]Mokha, A. S. Constantinou, M. C. and Reinhorn, A. M.(1990), "Teflon Bearing in Base Isolation. I : Testing," *J. Struct. Engrg.*, ASCE, Vol.116, No.2, pp.438-454.
- [5]Wang, Yen-Po, and Wei-Hsin Liao (2000), 'Dynamic Analysis of Sliding Structures with Unsynchronized Support Motions', *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29**, pp. 297-313.
- [6]Wang, Yen-Po, Liao, Wei-Hsin and Lee Chien-Liang (2001), "A state-space approach for dynamic analysis of sliding structures," *Engineering Structures* **23**, pp. 790-801.
- [7]Chung, L.L., Wang, Y.P. and Tung, C.C. (1997), "Instantaneous Control of Structures with Time-delay Considerations," *Engineering Structures*, Vol.19, No.6, 465-475.
- [8]徐明清,「結構瞬時控制之直接輸出回饋控制」,國立台灣大學土木工程研究所碩士論文,台北市,民國八十七年。
- [9]Wang, Yen-Po, Chien-Liang Lee and Kwang-Ming Chen (2000), "Seismic Structural Control Using a Novel High-performance Active Mass Driver System," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **29** (11), pp. 1629-1646.