

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫：應用晃動式隔震系統於近斷層結構防震設計之研究

( )

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2625-Z-009-003-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系

計畫主持人：王彥博

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 11 月 21 日

# 應用晃動式隔震系統於近斷層結構防震設計之研究

## A Study on the Aseismic Design of Near-Fault Structures Using Rocking-type Isolation Systems

計畫編號：NSC91-2625-Z-009-003

執行期限：91年8月1日至92年7月31日

主持人：王彥博 國立交通大學土木系 教授

E-mail address: [ypwang@mail.nctu.edu.tw](mailto:ypwang@mail.nctu.edu.tw)

### 一、中文摘要(關鍵詞：隔震、近斷層地震、晃動機制)

近斷層地表運動含有長週期速度脈衝特性，使得一般隔震系統之地震需求大幅增加，造成過大的支承位移。一般而言，在近斷層區域採用隔震技術，往往必須提供隔震系統額外的能量消散機制，如增加被動型式阻尼器。晃動式隔震系統提供了另外一種不同的結構防震概念。晃動隔震系統係藉由結構基層與基礎之不連續介面使結構在地震力大到一定程度時發生晃動，改變柱底邊界條件進而截斷地震力之傳遞，防止過度之撓曲變形，降低柱底剪力與彎矩，以達到減震之目的。

本計畫主要探討應用晃動式隔震系統於結構減震之可行性研究。晃動系統的非線性數值模擬分析將建立於四階的Runge-Kutta-Nystrom方法。結果顯示採用晃動式隔震結構在樓層位移與基底剪力可大幅折減。應用晃動式隔震可有效地提昇近斷層結構之耐震性能。

### 英文摘要 (Keywords: Near-Fault Earthquake, seismic isolation, Rocking mechanism)

Earthquake ground motions in the near fault situations are often characterized by high velocity pulses, which place extreme seismic

demand on the isolation systems, resulting in large bearing displacement. The technique used in such near fault situations is to provide additional damping—in addition to the energy dissipation capacity in the isolators—in the form of passive dampers. An alternative technique in such cases is to use rocking-type isolation systems that provide different concept for earthquake protection of structures. With a discontinuous interface between the structural base and the foundation, a rocking-type isolation system can cut off the transferring path of earthquake force through rocking behaviors that instantly change the boundary condition at the base once the earthquake force is large enough. This prevents the column from over-bending which in turn reduces the base shear and base moment effectively.

In this scheme, the feasibility of application of rocking-type isolation systems in seismic damage mitigation on structure is investigated. A numerical procedure for the nonlinear analysis of the rocking system is developed in this study based on the fourth-order Runge-Kutta-Nystrom method. Simulation results indicate that significant reduction of the floor displacements, base

shear of the isolated structure can be obtained. Effectiveness of rocking-type isolation systems on earthquake protection of near-fault structures has been assured.

## 二、計畫緣由與目的

近年來蒐集到的地震紀錄中—包括美國北嶺地震(1994)、日本阪神地震(1995)及國內的集集大地震(1999)，皆顯示近斷層地表運動含有長週期速度脈衝，其對結構所造成之傷害更甚於地表加速度的影響。近斷層結構之地震危害度原本就高於其他地區<sup>[1-4]</sup>，其耐震設計要求也更為嚴格，傳統之韌性設計無法確保結構安全。

基礎隔震為結構抗震的有效方式之一，其設計係以低水平勁度之隔震系統延長結構週期以降低結構承受之地震力，不但可應用於新建之結構，亦能用於老舊房屋、橋梁之耐震補強。隔震建築歷經北嶺地震與阪神地震之考驗，證明其優異之耐震表現，在先進國家隔震建築結構已逐漸普及<sup>[5-6]</sup>，相關設計條文並已納入建築規範中。然而由於近斷層震波具長週期速度脈衝之特性，建築結構無法藉由基礎隔震系統得到有效減震，甚至可能產生反效果，習用隔震設計毫無用武之地，近斷層建築結構之防震問題簡直無計可施。「晃動機制」提供了另類的抗震模式，藉由結構基層與基礎間之不連續介面，使結構在地震大到一定程度時產生晃動而改變其邊界條件，瞬間釋放柱基的抗彎力矩，進而截斷地震力之傳輸，防止結構產生過度之撓曲變形，並除去基礎抵抗拉拔力之負擔，廣義而言，亦可歸類為隔震系統。搖晃運動本身具消能特性，且晃動系統之振動頻率隨晃動角度大小而改變，因此並無固定之自然頻率，故不會被地震波之特定擾動頻率「鎖定」而產生共振，或許有助於強化近斷層建築結構之防震能力。

由於結構之搖晃行為十分複雜，在實際

應用前，對於相關理論及其動力特性需有更充分之掌握，俾能作最經濟而有效的設計。本計畫將建立晃動結構之動力分析模式，並分別以長週期脈衝及實際收錄到之近斷層地震記錄作為地表擾動，進行數值模擬，驗證「晃動式隔震系統」之可行性，作為未來近斷層結構防震設計之參考。

## 三、研究方法與成果

晃動行為具高度非線性，在地震過程中，由於整體結構之行為交替變換於晃動與非晃動階段間而益增其複雜性。為深入了解結構應用晃動機制之特性，吾人首先將針對單自由度之房屋結構的自由晃動與地震反應進行分析以掌握其動力特性，進而建立多自由度晃動隔震之房屋結構的理論分析模式，並評估其減震效益。有別於以往剛性質塊的分析<sup>[7]</sup>，由於房屋結構本身具柔性，因此分析時須考慮柱的撓曲變形，如圖 1 所示。

晃動機制藉由改變支承端之邊界條件以釋放因地震所引致之過大彎曲應力，進而達到減震之目的。其動力行為將不斷的在黏貼與晃動階段進行交替變換，因此其控制方程式亦隨座標變換而轉換。此外假設在每一次碰撞為完全非彈性碰撞<sup>[7]</sup>且碰撞後在界面不發生彈跳(bouncing)，透過角動量守恆可得動能恢復係數以作為下一時刻之初始速度的折減依據。非線性方程式之數值解析係根據四階的朗吉卡特(Runge-Kutta-Nyström)法進行。此外因各運動階段轉換之瞬時可能發生於分析時間步幅內，透過牛頓-拉弗生(Newton-Raphson)<sup>[8]</sup>法可解出運動狀態轉換之真正時刻以減少數值誤差。

由於近斷層之震波具長週期速度脈衝、尖峰地表加速度大、以及垂直向與水平向地震強度之比值較大等特性，因此，結構之防震設計難度將更高，在實務設計上須作特殊之考量。本研究嘗試提出「晃動式隔震系統」，利

用「晃動機制」之設計作為結構防震系統；惟為確保晃動結構因地震過大而翻覆，設計上仍須考慮防止翻覆之措施。

### 參數研究

參數研究將針對剛性質塊晃動特性以及單自由度受長周期脈衝進行分析探討。圖 2 為剛性質塊之等效阻尼比與高寬比之關係，可清楚發現晃動機制本身猶如一阻尼系統，其隨高寬比的增加而減小。圖 3(a)與 3(b)分別為單自由度結構受長周期之脈衝震波(TAPE B)<sup>[9]</sup>之加速度反應與位移反應，結果顯示在外力周期與結構頻率愈接近時減震效益最佳，以高寬比 10 為例，其減震效益分別為 91%與 87%。此外，亦發現隨高寬比的增加其減震效益愈明顯。

### 減震效益評估

考慮一五層樓結構受近斷層地震波 ARRAY06 在最大加速度峰值(PGA)為 0.33g 及 0.5g 作用下，比較晃動隔震系統與固定基礎型式之受震反應(表 1)可清楚的發現其優越之減震效益。

分析結果顯示，當結構物利用晃動隔震之機制時，其在頂樓之位移歷時明顯的小於未隔震結構之反應(圖 4(a))，其減震幅度可達約 60%左右(PGA=0.5 時)，顯示晃動機制成功的將地震能量阻隔在結構外而未傳入結構體內。而比較結構之基底剪力反應如圖 4(b)，結果顯示晃動隔震系統之受震反應明顯的小於未隔震結構，其在地震強度 PGA=0.33g 與 0.5g 下分別有 34%與 48%之減震幅度，同時亦可發現地震強度愈大時其減震效益愈佳。

### 四、結論

1. 高寬比愈大的結構(結構愈細長)愈容易發生晃動行為，且減震效果愈佳；反之，高寬比愈小之結構不但不容易產生晃動

行為，甚至產生晃動行為後反而會放大結構的反應。

2. 當結構與震波發生共振時會有最佳的減震效益，且減震效益隨高寬比的增加而愈加顯著。
3. 由多自由度房屋結構受外力擾動之研究可發現，在位移與結構基底剪力方面均有折減，而在加速方面則有放大現象。
4. 多自由度房屋結構之晃動機制會引發較高頻的結構反應，引現象極可能為引致加速度放大的原因所在。
5. 根據減震效益評估結果顯示，晃動隔震有助於近斷層結構之減震。
6. 晃動隔震系統在受震後，其抬升柱將釋放軸向束制，而支撐柱則僅承受軸壓力，此特點將有助於減輕基礎負擔。

### 五、參考文獻

1. Anderson, J. C. and V. Bertero, (1986). "Uncertainties in Establishing Design Earthquakes," *Journal of Struct. Eng.*, ASCE, Vol. 113, pp. 1709-1724.
2. Hall, J. F., T.H. Heaton, M.W. Halling, and D. J. Wald, (1995). "Near-source ground motions and its effects on flexible buildings," *Earthquake Spectra* Vol. 11, pp. 569-605.
3. Iemura, H., T. Mikami and Y. Takahashi, (2000). "Strength and ductility demand of near-field earthquake motions," *International Workshop on Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake*, Taipei, Taiwan, September 18-20, PP. 501-507.
4. 黃慶東，「近斷層地震地動特性與震譜特性之探討」，*結構工程*，第 15 卷，第 91-113 頁，民國 89 年 6 月。
5. Kelly, J. M. (1998). "Seismic Isolation of Civil Buildings in USA," *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol. 1, No. 3, pp. 279-285
6. Martelli, A. and M. Forni, (1998). "Seismic Isolation of Civil Building in Europe," *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol. 1, No. 3, pp. 286-294.
7. Housner, G.W. (1963). "The Behavior of

Inverted Pendulum Structures During Earthquake,” Bulletin of the seismological Society of America, Vol. 53, No.2, 403-417.

8. Makris, N., S. P. Chang, (2000). “Effect of viscous, Viscoplastic and Friction Damping on the Response of Seismic Isolated Structures.” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.29, pp.85-107.
9. Makris, N. and Y. Roussos, 1998, “Rocking response and overturning of equipment under horizontal pulse-type motion,” *Report No. PEER-98/05*, University of California, Berkeley, CA.

表 1 晃動隔震系統減震評估

近斷層地震波 ARRAY06_X			
頂樓位移 Roof Displacement(m)			
PGA	Rocking	Fixed	Reduction
0.33g	0.02	0.04	50.00
0.5g	0.02	0.06	58.87
基底剪力 Base Shear(V/W)			
	Rocking	Fixed	Reduction
0.33g	0.25	0.38	33.81
0.5g	0.30	0.58	48.48

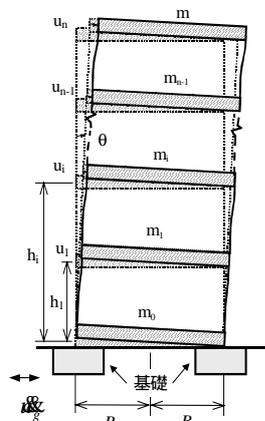


圖 1 晃動橋柱模型

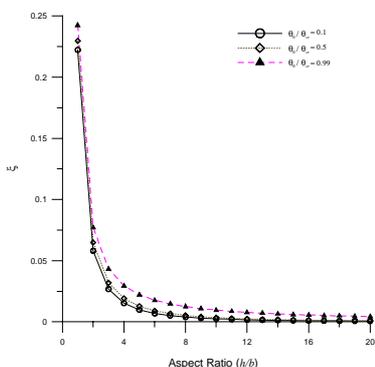


圖 2 剛性質塊之等效阻尼比與高寬比之關係

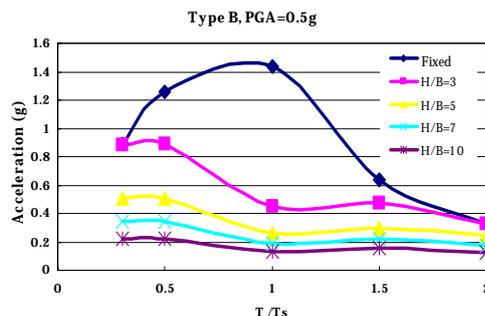


圖 3(a)單自由度晃動結構之加速度反應

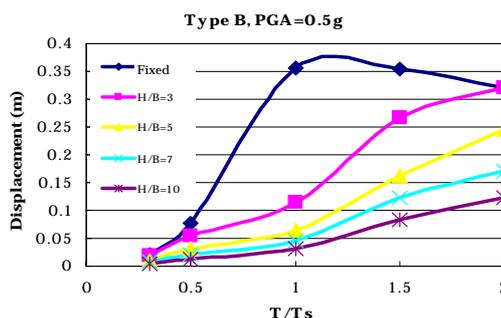


圖 3(b) 單自由度晃動結構之位移反應

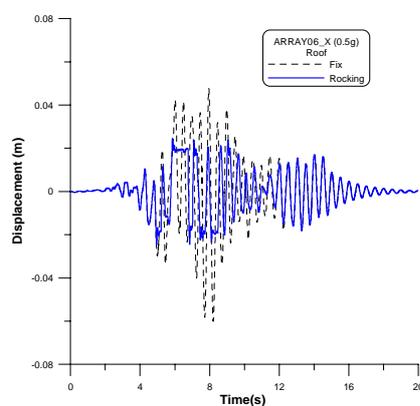


圖 4(a)五層樓結構物之位移反應(PGA=0.5g)

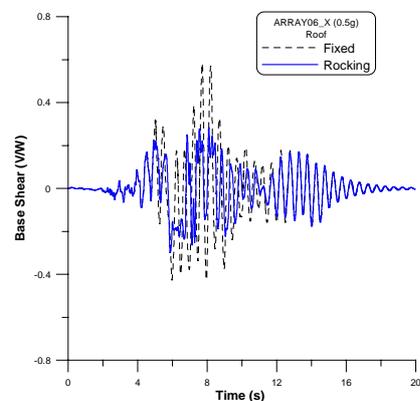


圖 4(b)五層樓結構物之基底剪力(PGA=0.5g)