

搭配磁力彈簧之精密機台線性滑軌隔震器性能研究

姚昭智*、黃文駿

國立成功大學規劃與設計學院建築學系

gcyao@mail.ncku.edu.tw

Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.38 No.2: pp. 181-203 (2009) (SCI)

地震所引起的建築物中非結構物或貴重設備的損壞，往往造成了高科技工廠重大的損失，且精密機台的易損性，更是被高科技公司視為機密而鮮少有其詳細之震損資料可供參考，僅能大略估計其損失金額。例如在1999年台灣921地震中，新竹科學園區之工廠之設備及半導體成品之損失估計約在四億美金之譜。儘管當時在新竹相關地震測站測得之地表加速度僅有120gal，仍然造成了此一巨額之損失。這顯示了在高科技廠房中，對震動極為敏感之精密機台具有極高之易損性，亦使各界意識到對非結構物設施提供適當耐震保護，以降低震損風險之重要性。



本研究旨在開發一精密機台之隔震保護器，除了降低在地震中反應加速之外，並限制精密設備在震動中所造成之位移。與建築結構物之隔震器不同的地方在於，精密機台之隔震保護器必須在微震時即能發揮隔震效果，使反應加速度限制在極低的範圍，避免造成精密設備的破壞。因此，本研究開發之隔震器乃使用摩擦係數極低(低於0.01)之線性滑軌作為隔震界面來降低反應加速度，並採用非線性之磁斥力彈簧來限制位移。隨著位移增加，磁力彈簧之勁度亦隨之增加，以此非線性行為，來降低隔震系統在地震中與樓板震波共振之可能性。本研究第一部分將以抗壓試驗來測試磁斥力彈簧之力學特性，第二部份則規劃足尺寸之振動台試驗來驗證搭配磁力彈簧之線性滑軌隔震器的耐震性能，並以動立方程式來分析隔震系統之動力行為。

線性滑軌系統特性

本研究採用之線性滑軌為上銀科技股份有限公司所生產，其利用滾珠具有極低滾動摩擦之特性，使線性滑軌可以產生極順暢之線性滑動。線性滑軌系統如圖一所示，滑塊與滑軌間因具有上下及左右之束制，使此滑軌系統能承受一定程度之側向力及傾倒力矩。根據上銀科技所提供之資料，線性滑軌系統之動摩擦係數約為0.007，而根據實驗場實際測試結果，其靜態摩擦係數約為0.009，測試裝置如圖二所示，圖中試體之質量約為三噸。



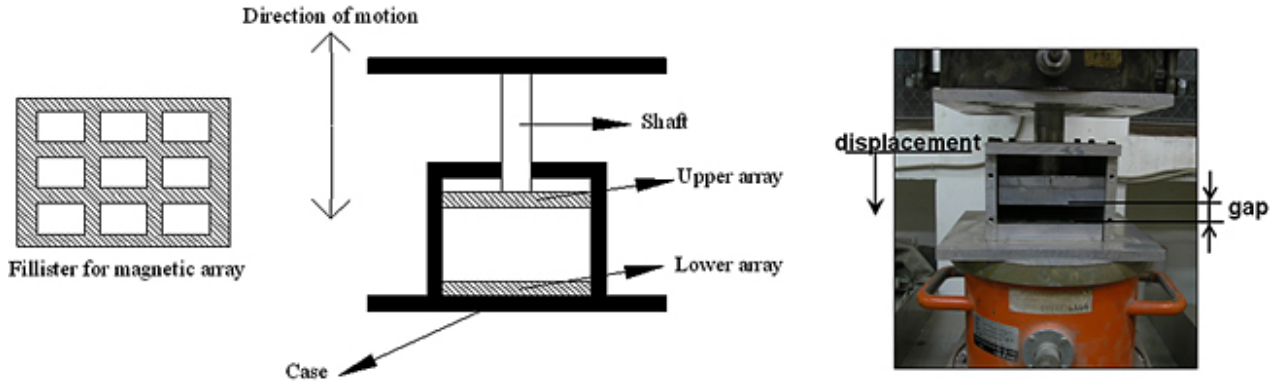
圖一、線性滑軌系統



圖二、線性滑軌系統靜摩擦係數測試裝置

磁斥力彈簧

磁斥力彈簧之設計概念如圖三所示，將若干稀土族磁鐵置放於以鋁合金所製成之凹槽中，每九個磁鐵構成一個磁鐵陣列。將兩個陣列上下相疊，並使兩陣列中之磁鐵以異極相對，則可使兩陣列之間產生磁斥力。在抗壓試驗過程中，位移垂直向下，則兩陣列之間距縮小而使磁斥力越來越大。當間距閉合時，磁力彈簧產生最大之磁斥力。



圖三、磁斥力彈簧裝置及抗壓測試

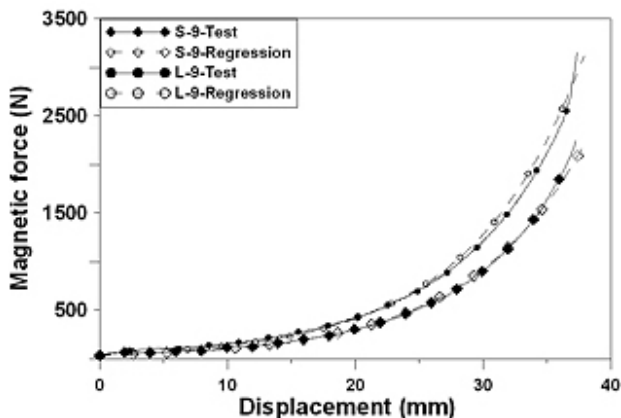
試驗結果發現此磁斥力彈簧之力與位移關係可藉由對數公式來回歸，此公式如下：

$$F = C_1 \cdot \exp(C_2 \cdot x) \quad (1)$$

其中F表示磁斥力，x表示磁力彈簧之軸向位移，而C1及C2則表示兩迴歸參數。圖四顯示迴歸結果與試驗結果吻合度高。

足尺寸之振動台試驗

為驗證線性滑軌隔震器搭配磁力彈簧之耐震性能，本研究乃進行足尺寸之振動台試驗。試驗裝置如圖五所示，以一質量22噸之鋼價試體模擬精密機台，在5.1m × 5.1m 之振動台上進行試驗。測試項目中採用了兩種磁力彈簧：Mag_A及Mag_B。



圖四、磁斥力彈簧之力與位移曲線(測試與回歸)

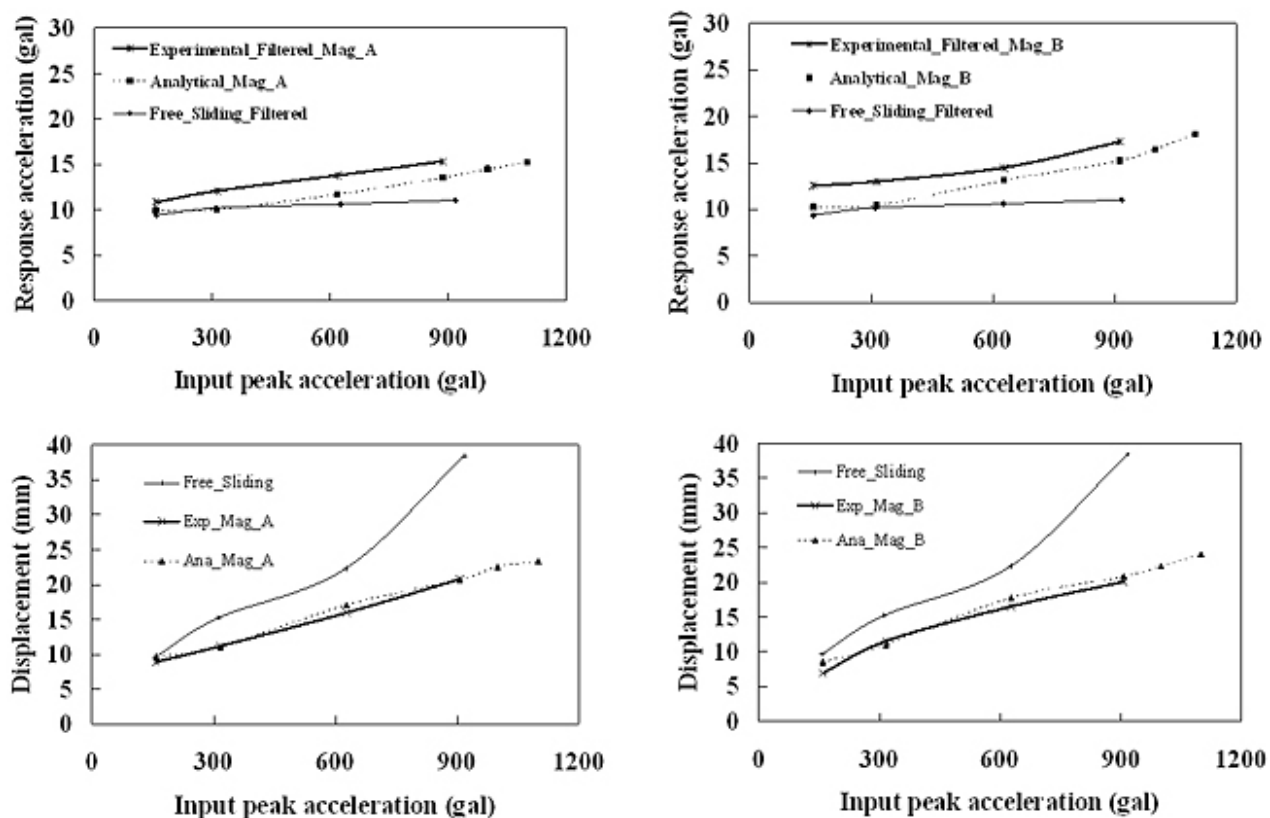


圖五、足尺寸振動台試驗裝置

足尺寸振動台試驗裝置系統之動力方程式可表示如公式(2)：

$$m\ddot{x}_m + c(\dot{x}_m - \dot{x}_f) + f_{mag} = \begin{cases} m\ddot{x}_f & \text{for } |\ddot{x}_f| \leq \mu_s g \quad \& \quad \dot{x}_m - \dot{x}_f = 0 \\ -\text{sign}(\dot{x}_m - \dot{x}_f)m\mu_d g & \text{for } \dot{x}_m - \dot{x}_f \neq 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中 x_m 表示機台(試體)之各項絕對運動物理量, x_f 表示樓板之各項絕對運動物理量, 而 f_{mag} 則表示磁力彈簧所提供之力, 試驗與分析結果之比較如圖六所示。圖中顯示試體在各種不同大小之樓板震波輸入下所反應的絕對加速度及相對位移。各組試驗結果之反應加速度均控制在100gal以下, 隨著輸入加速度由小至大, 加速度傳遞率則約在30%~10%之間。其中沒有採用磁力彈簧來限制位移之自由滑移系統, 其反應加速度最低。系統加入磁力彈簧後, 反應加速度則略為增加。由於Mag_B磁力彈簧含有較強之磁斥力, 故系統含Mag_B磁力彈簧之反應加速度大於系統含Mag_A磁力彈簧之值。但相對的, 在小震中, Mag_B磁力彈簧亦能較有效來限制相對位移。由結果可看出, 隔震系統含磁力彈簧, 反應相對位移最多可由自由滑移之38mm降低至20mm左右, 約降了50%, 分析的結果趨勢亦與實驗結果相近。



圖六、不同線性滑軌隔震系統搭配磁力彈簧之反應加速度及相對位移比較圖

藉由足尺寸之振動台試驗, 本研究所開發之線性滑軌隔震器之耐震效能獲得驗證。採用低摩擦之線性滑軌來保護精密機台, 可使其在樓板震波作用下, 反應加速度低於100gal, 加速度傳遞率控制在30%以下。系統加上磁斥力彈簧, 則可進一步限制位移, 使反應相對位移控制在20mm以內, 較自由滑移系統降低25%~50%, 且增加磁力作用後並不會使反應加速度劇烈增加。在實際應用時, 則可藉由動立方程式先加以分析, 以設計適當之磁力彈簧並預測可能之反應加速度以及反應相對位移。