

2017年結構抗震與健康監測新技術研討會(台南場)

半主動質量阻尼器之研發與實驗測試

主講人：朱世禹副教授

共同講員：盧煉元教授

國立成功大學 土木工程學系

國家地震工程研究中心 台南實驗室

中華民國 106年8月11日



感恩與懷念



許茂雄教授 (1939~2008)

國立成功大學建築系



邱耀正教授(1955~2011)

國立成功大學土木工程系

感謝兩位教授對於國家地震工程研究中心台南
實驗室籌建過程付出的心力與貢獻



簡報大綱

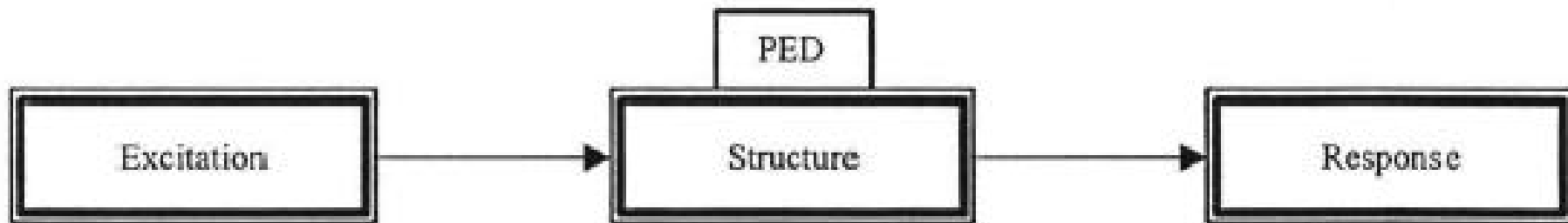
1. 結構減振系統基本原理與分類
2. 多功能半主動可變參數減振系統介紹
 - ◆ 槓桿式勁度可控質量阻尼器(LSCMD)
 - ◆ 壓電式摩擦可控質量阻尼器(PFCMD)
3. LSCMD之振動台實驗與控制效能驗證
4. PFCMD之振動台實驗與控制效能驗證
5. 應用即時複合實驗技術進行效能驗證
6. 未來應用與展望



結構減振系統基本原理與分類(1/5)



一般結構系統



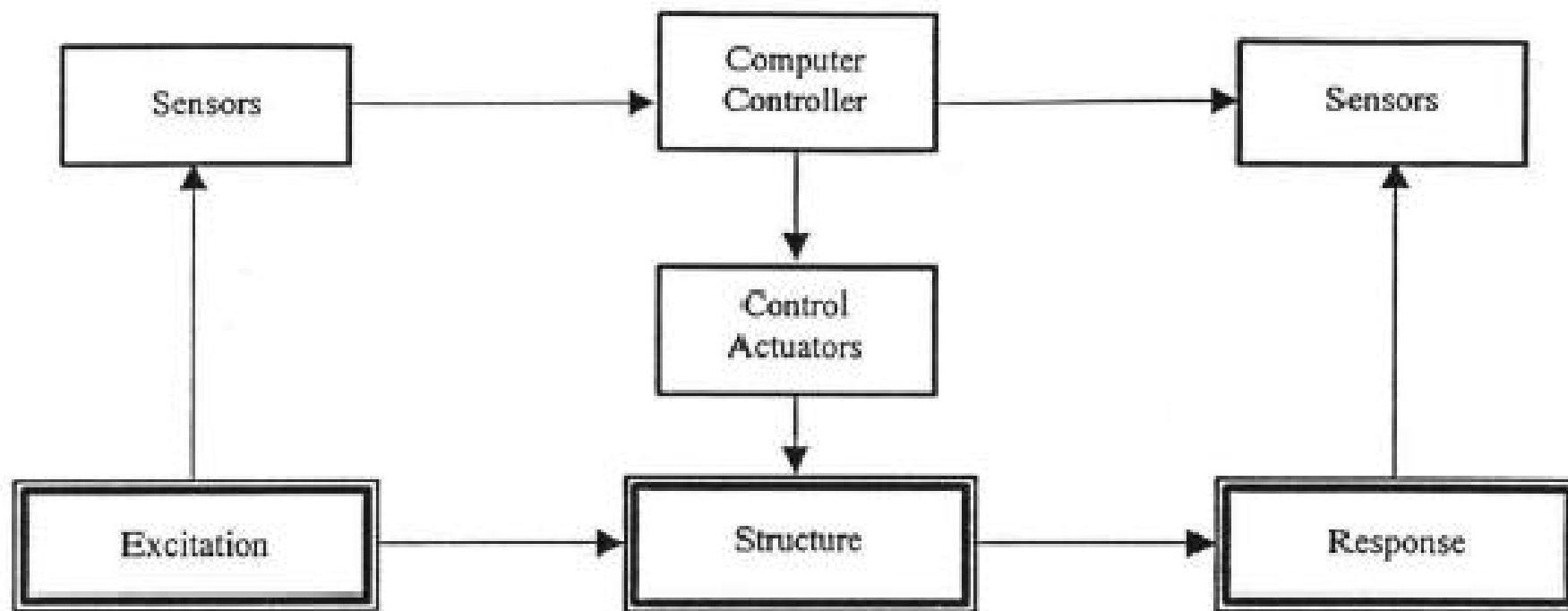
裝有被動消能裝置(PED)之結構系統

Passive Energy Dissipation System

S.Y. Chu, T.T. Soong and A.M. Reinhorn (2005), *Active, Hybrid and Semi-Active Structural Control – A Design and Implementation Handbook*, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK. (ISBN 0-470-01352-4)



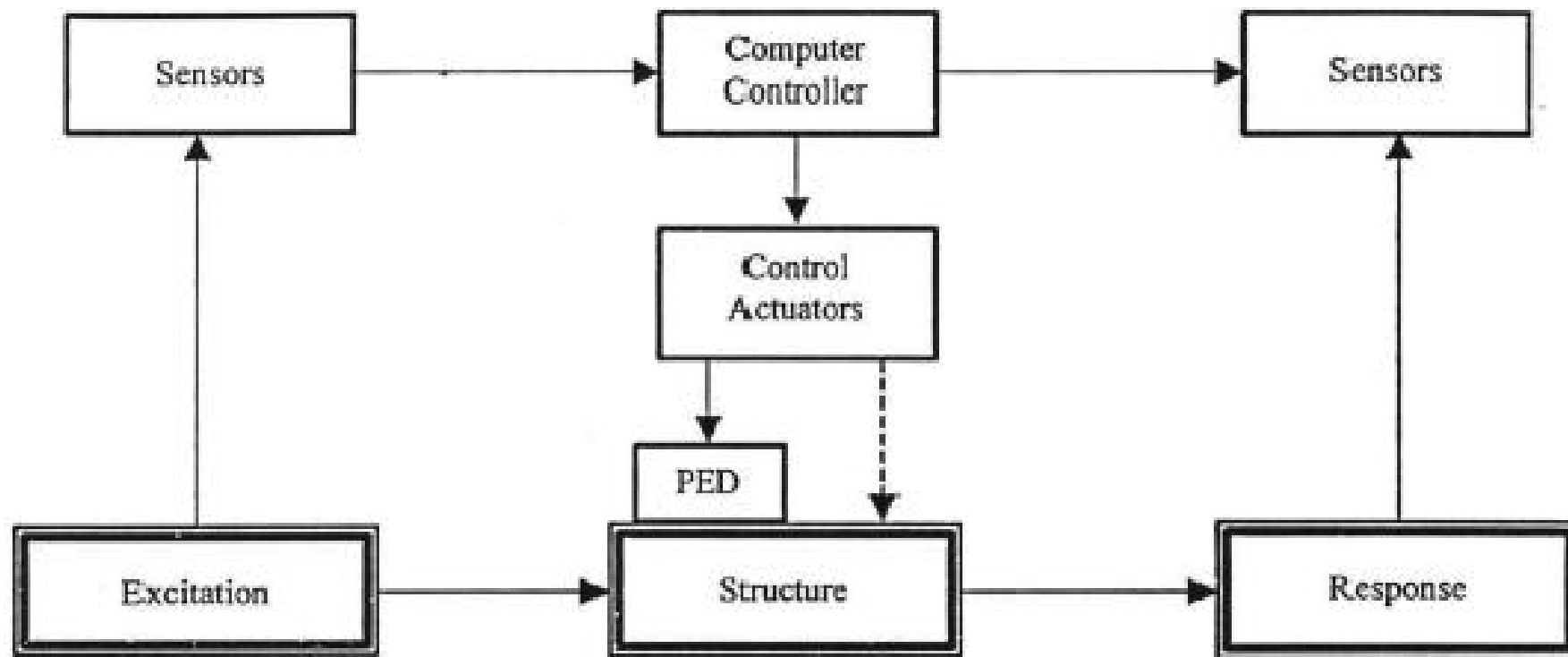
結構減振系統基本原理與分類(2/5)



裝有主動振動控制裝置之結構系統
Active Control System



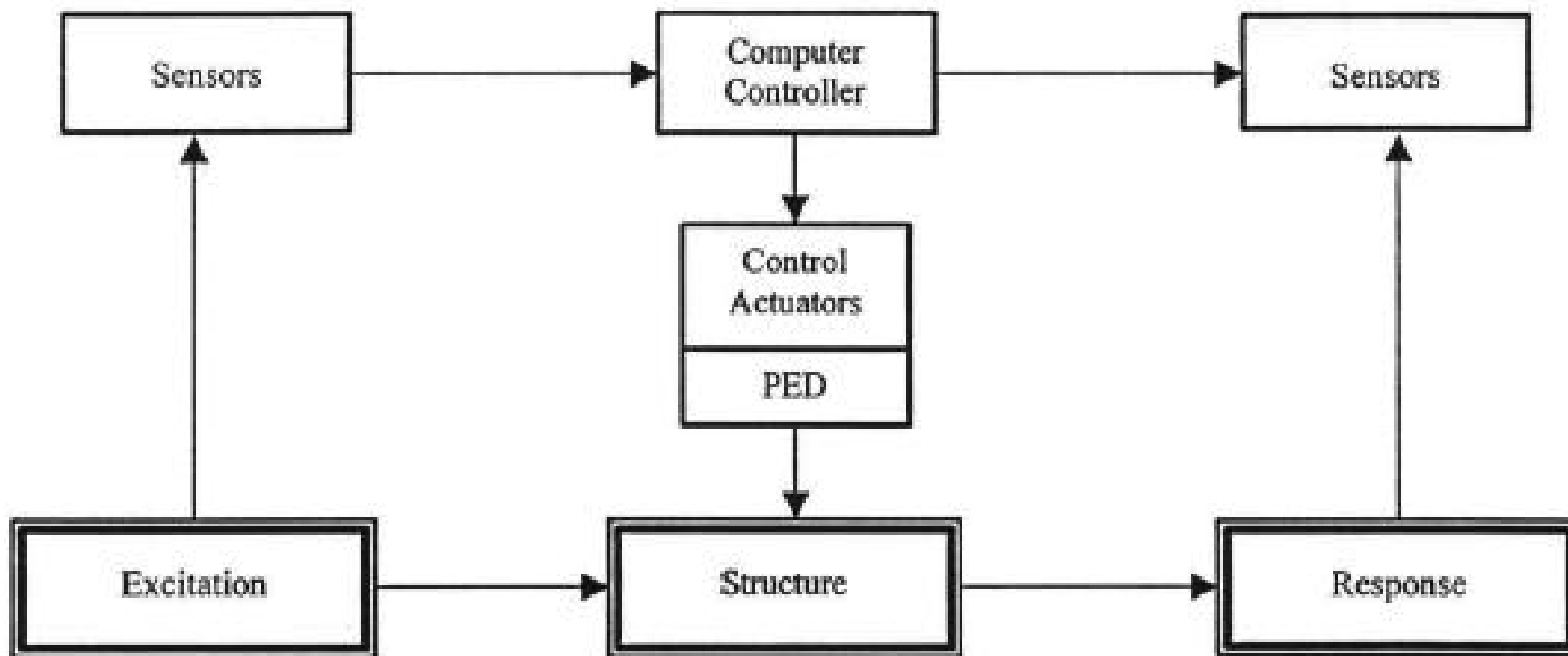
結構減振系統基本原理與分類(3/5)



裝有複合型振動控制裝置之結構系統
Hybrid Control System



結構減振系統基本原理與分類(4/5)



裝有半主動振動控制裝置之結構系統
Semi-active Control System



結構減振系統基本原理與分類(5/5)

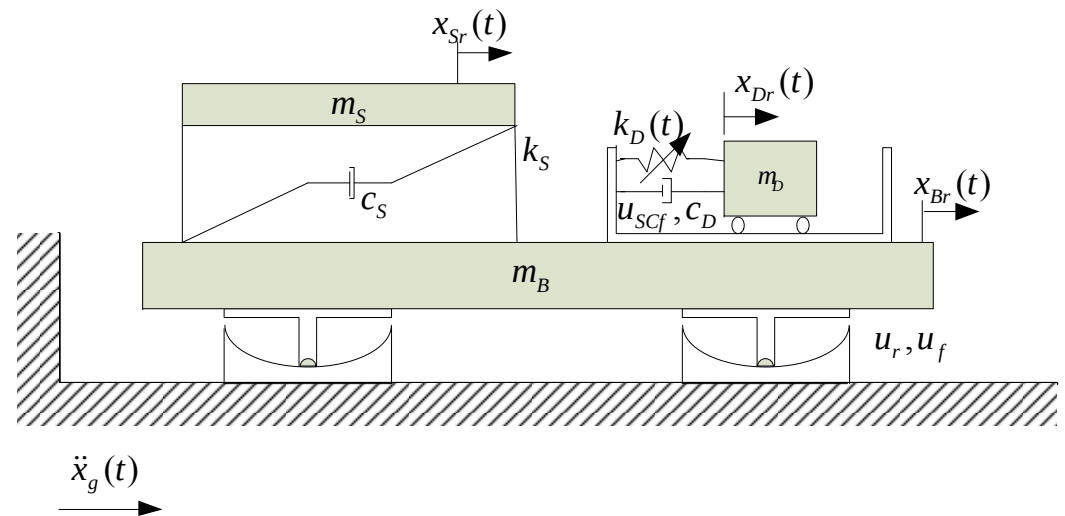
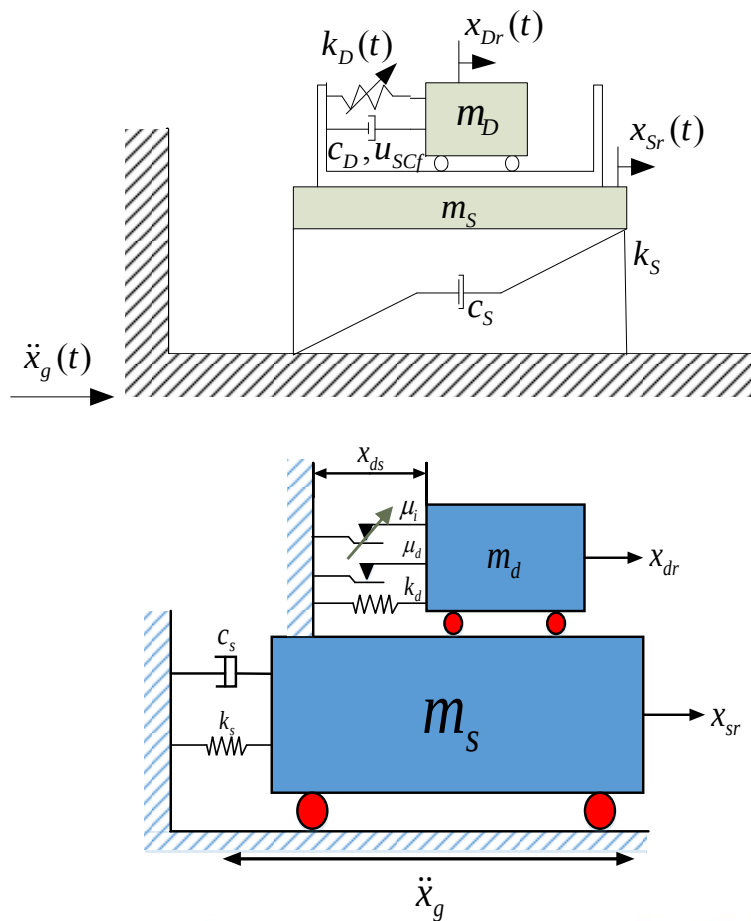


第十屆林田先生提供

Tuned Mass Damper (被動調諧質量阻尼器)
(Taipei 101)



多功能半主動可變參數減振系統介紹



科技部補助整合型計畫

總計畫主持人：國立中興大學林其璋特聘教授

子計畫主持人：國立成功大學盧煉元教授

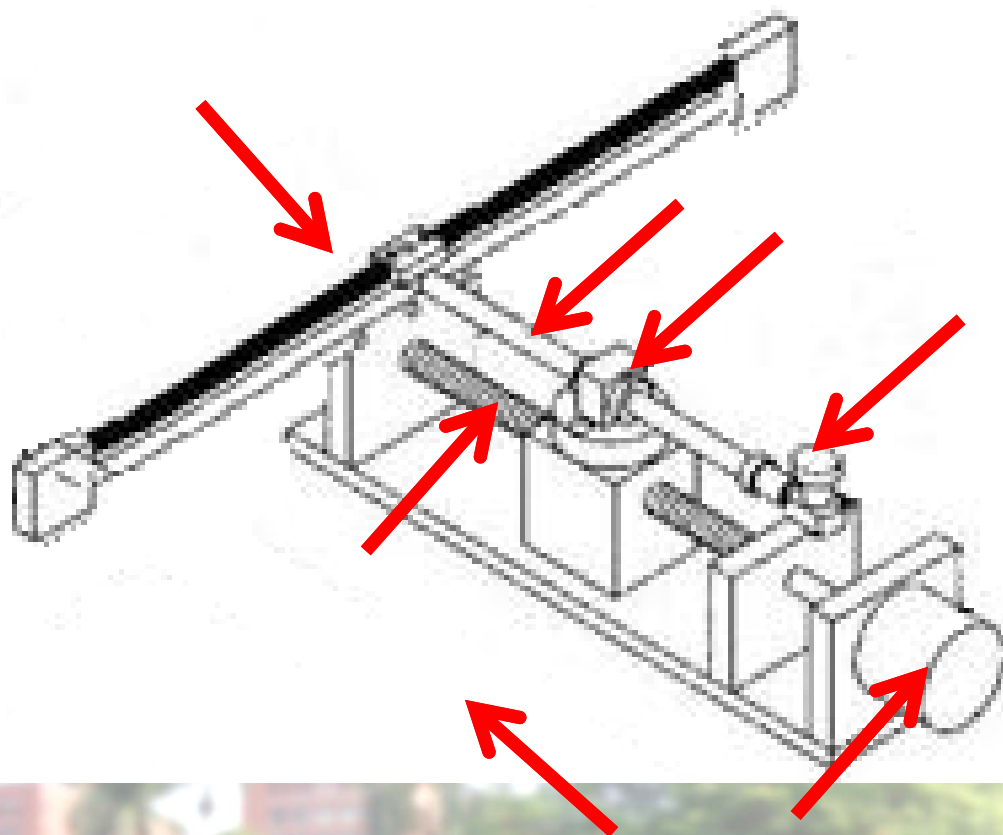
子計畫主持人：國立成功大學朱世禹副教授



槓桿式勁度可控質量阻尼器(LSCMD 1/3)

- LSCMD

組成構件介紹

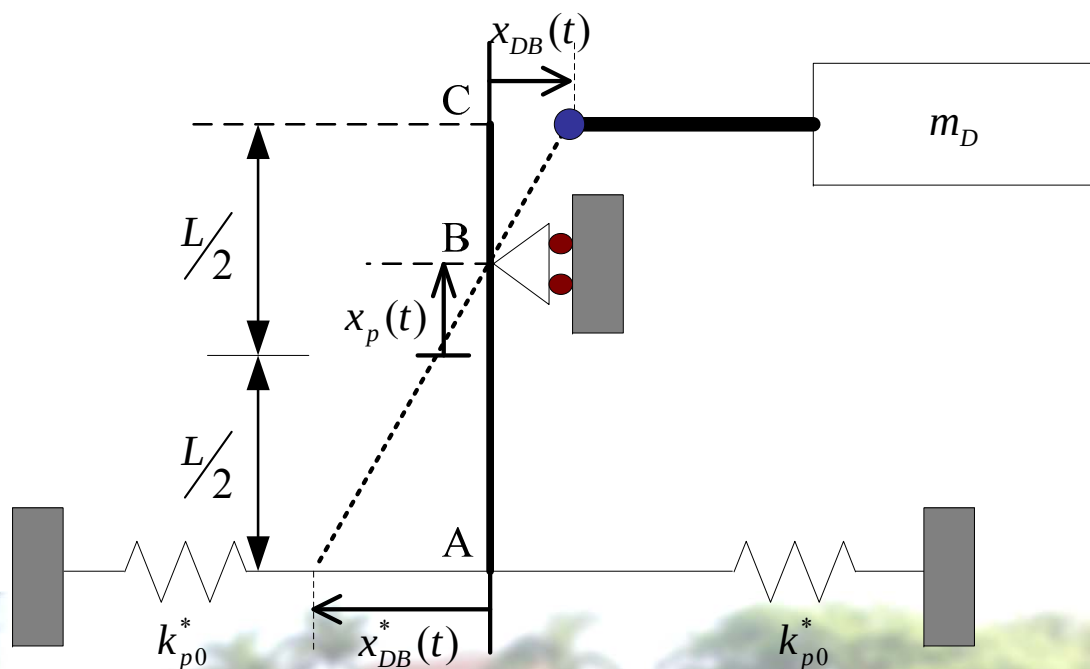


- 承載台車
- 滾輪滑軌
- 預拉彈簧
- 可伸縮槓桿臂
- 承載平台接點
- 槓桿支點
- 伺服馬達
- 螺桿



槓桿式勁度可控質量阻尼器(LSCMD 2/3)

- LSCMD利用槓桿原理來達到改變原始彈簧勁度之效果



LSCMD物理模型圖

$$k_D(t) = \left[\frac{0.5L + x_p(t)}{0.5L - x_p(t)} \right]^2 k_{p0}$$

k_D 為LSCMD勁度

x_{DB} 為LSCMD衝程或稱行程

x_{DB}^* 為LSCMD右側彈簧伸長量

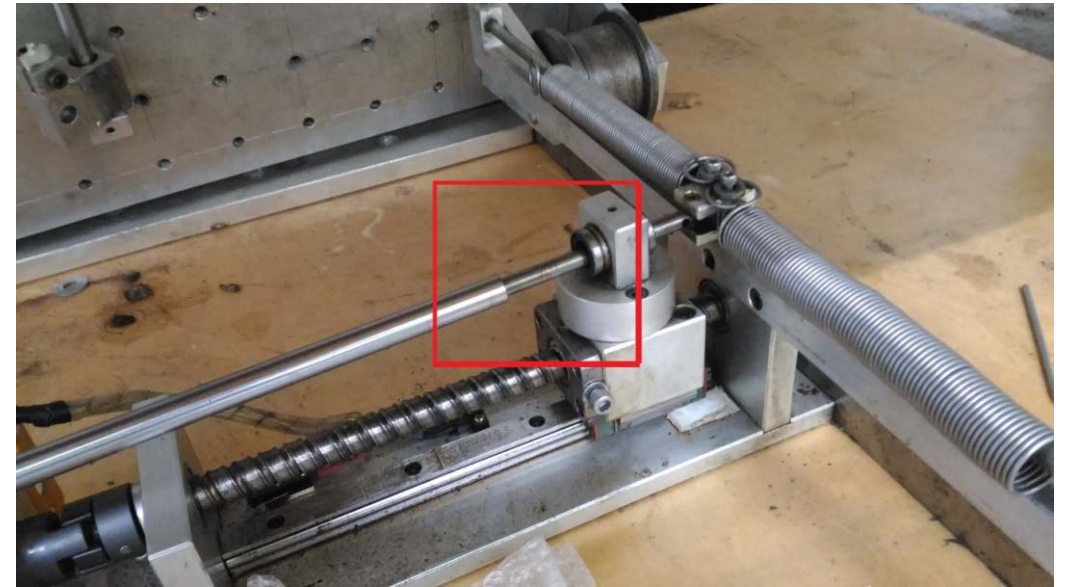
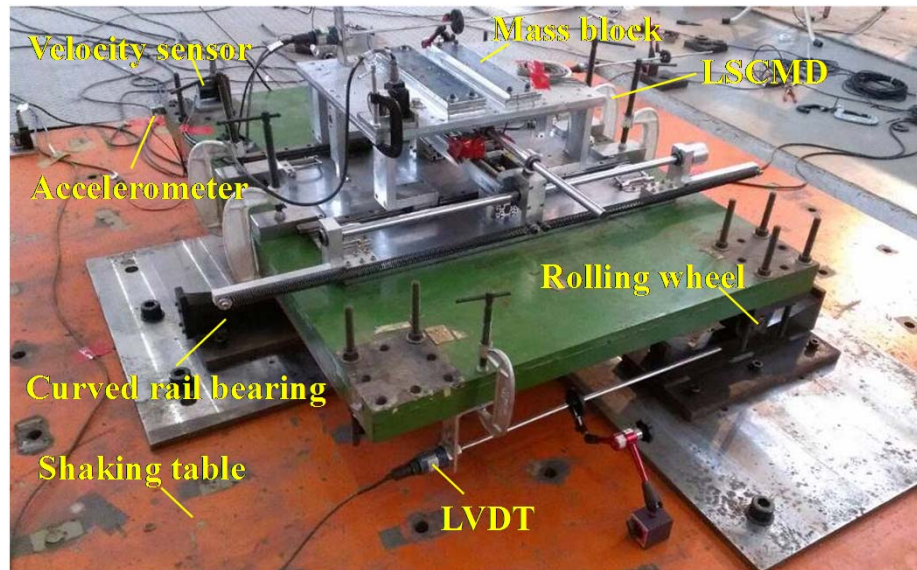
L 為LSCMD槓桿長度

x_p 為LSCMD支點位移

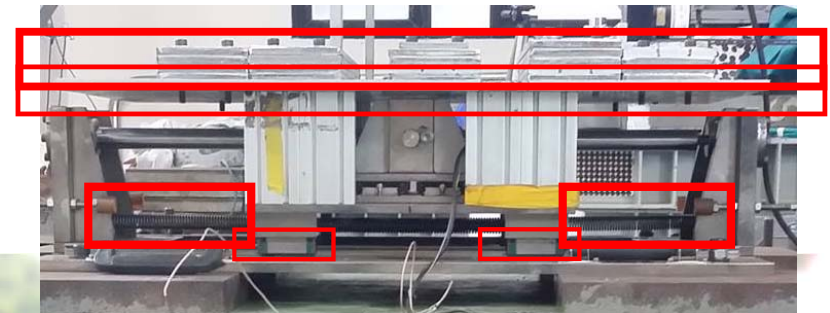
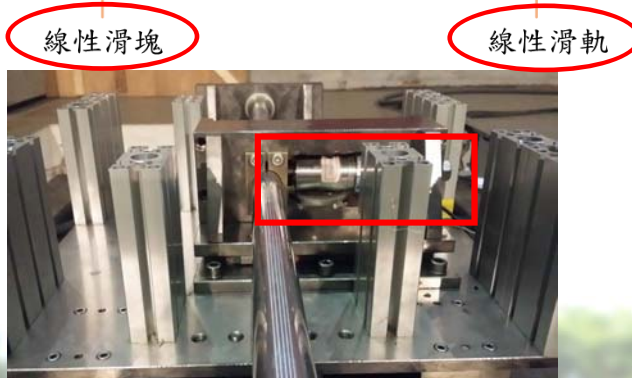
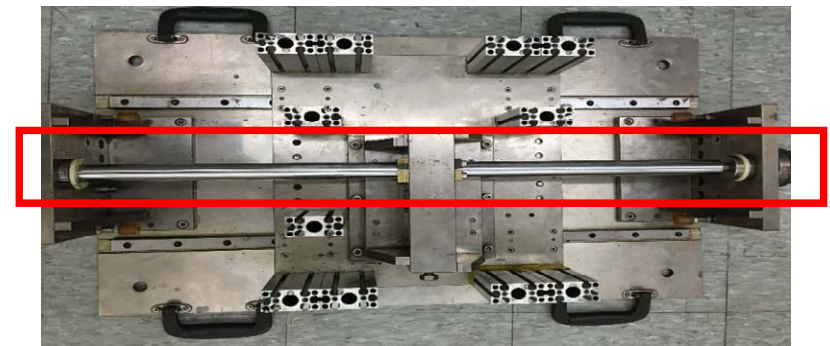
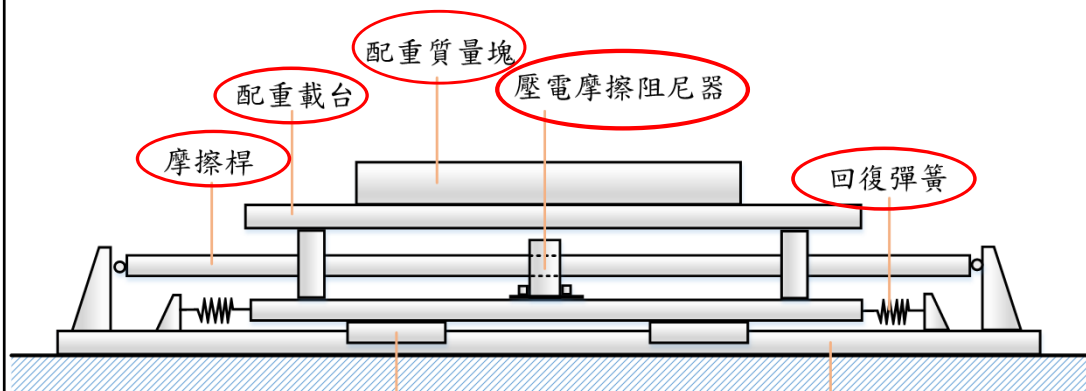
$k_{p0} = 2k_{p0}^*$ 為LSCMD等效彈簧勁度



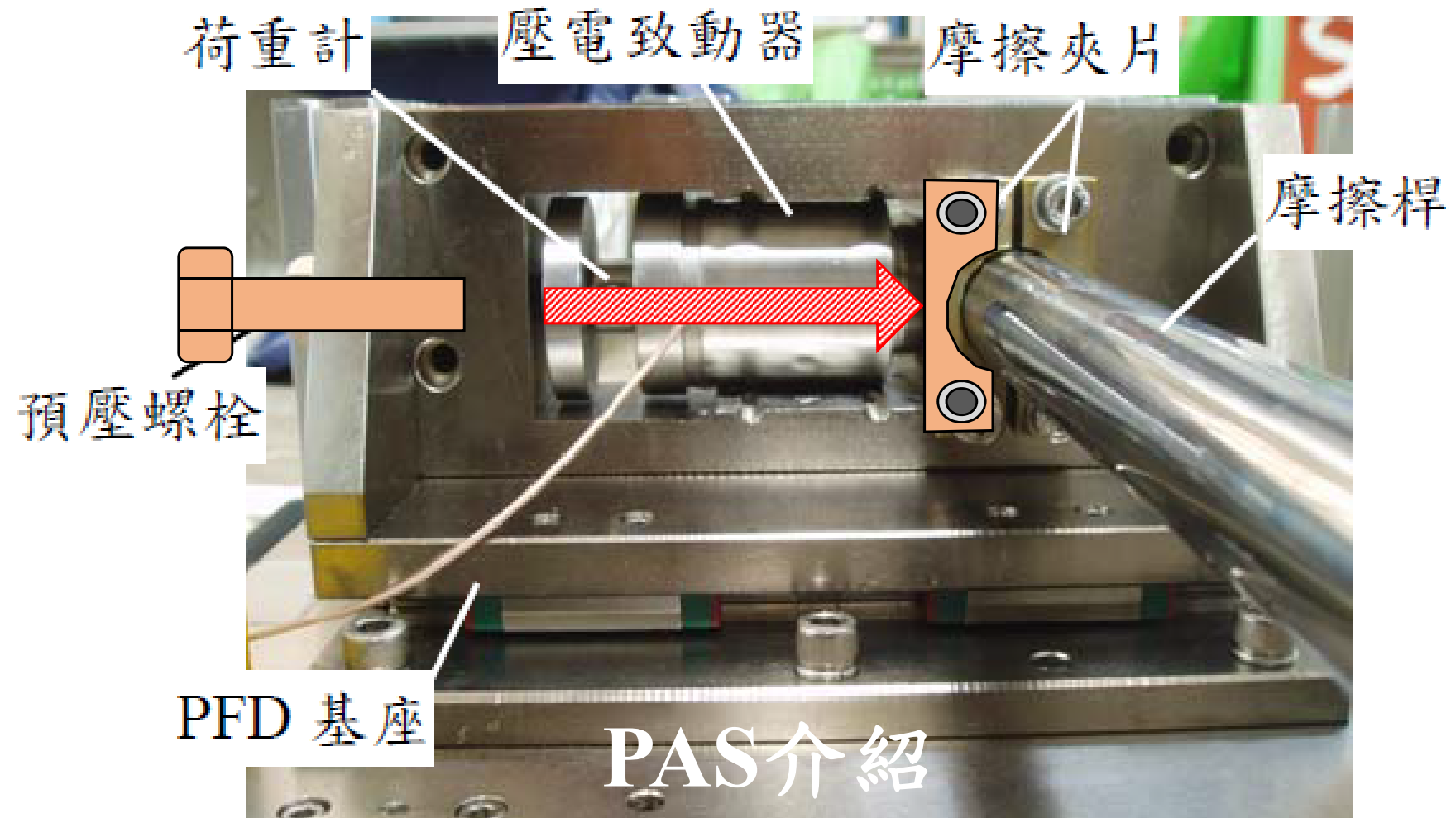
槓桿式勁度可控質量阻尼器(LSCMD 3/3)



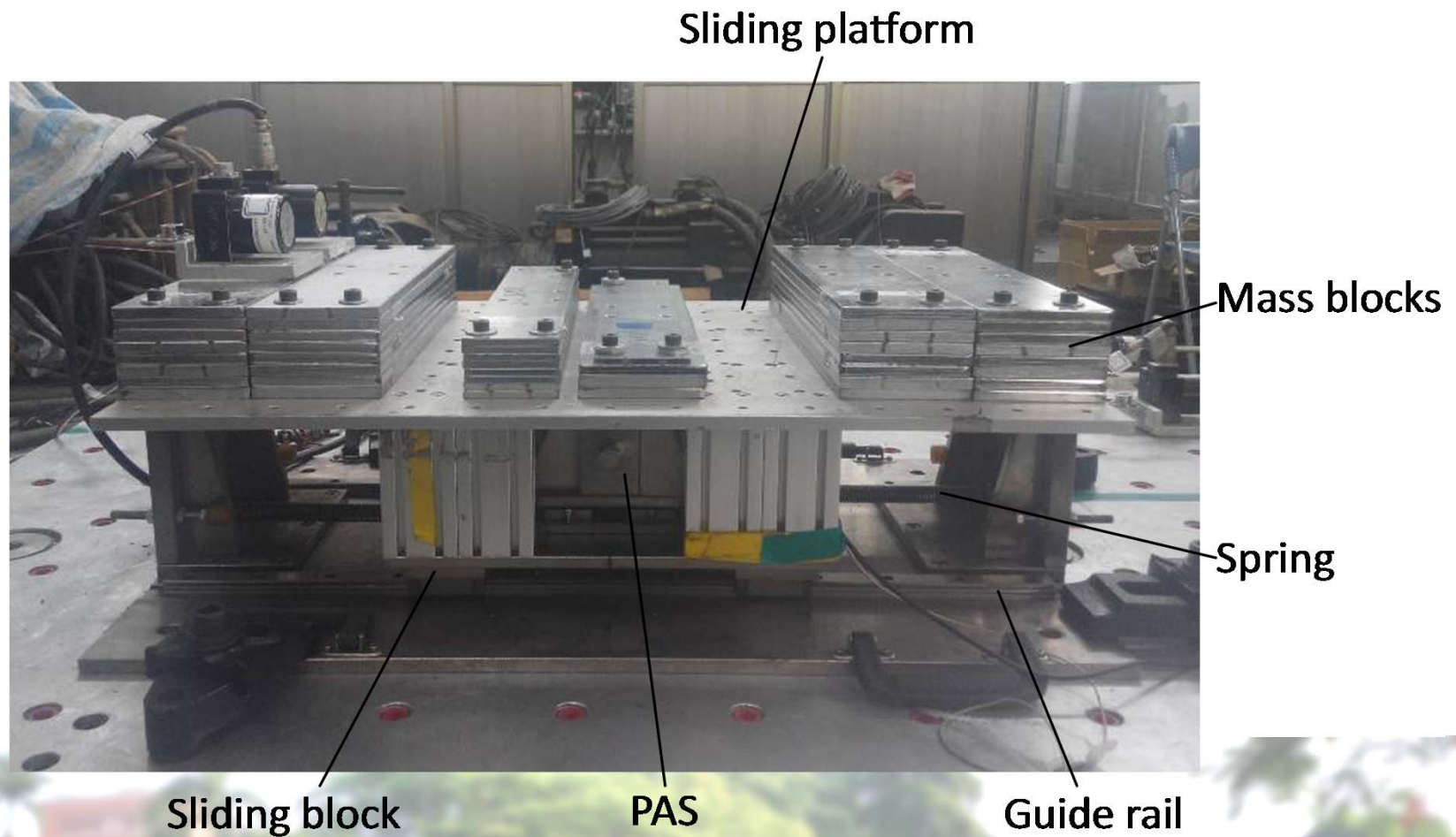
壓電式摩擦可控質量阻尼器(PFCMD 1/3)



壓電式摩擦可控質量阻尼器(PFCMD 2/3)

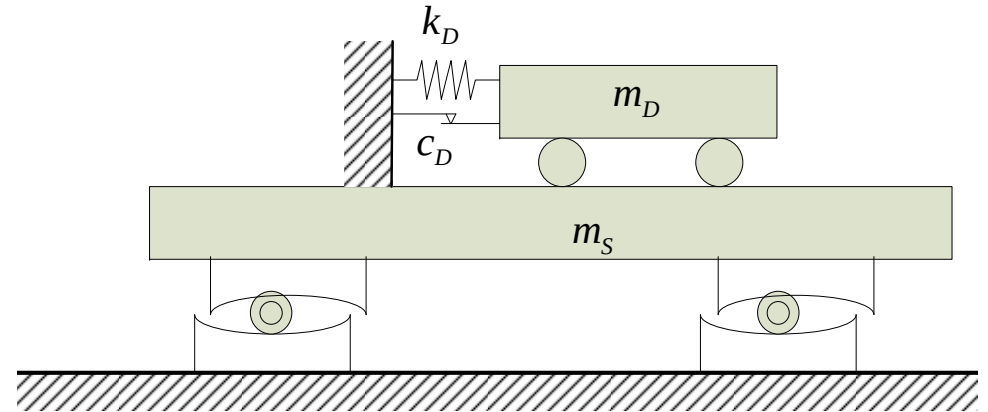
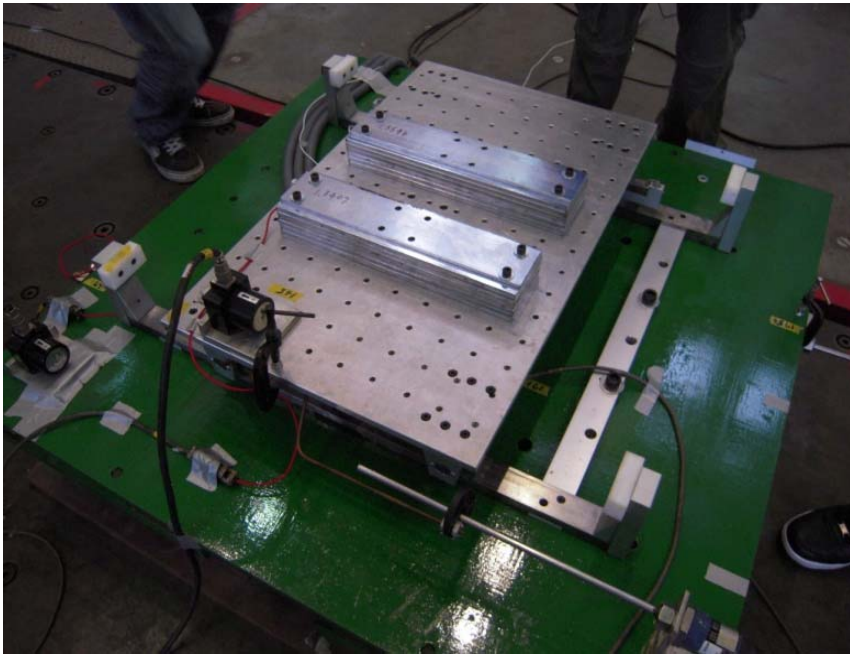


壓電式摩擦可控質量阻尼器(PFCMD 3/3)



LSCMD之振動台實驗與控制效能驗證(1/4)

- 實驗地點：國家地震工程研究中心(台北)
- 實驗名稱：LSCMD應用於高樓減振之效能測試
- 測試者：彭致華



單自由度主結構使用LSCMD之實驗試體示意圖

單自由度主結構使用LSCMD之實驗試體圖



LSCMD之振動台實驗與控制效能驗證(2/4)

系統代號	系統型式說明
S _E	單自由度主結構 自然頻率0.37Hz、阻尼比2%
SSp _E	主結構使用LSCMD被動控制模式 (LSCMD支點固定) LSCMD質量比0.1、頻率比0.87、LSCMD阻尼比17%
SSa _E	主結構使用LSCMD半主動控制模式 LSCMD質量比0.1、初始頻率比0.87、LSCMD阻尼比17% LSCMD支點移動範圍 -1.37 ~ 1.37cm
SSa1 _E	主結構使用LSCMD半主動控制模式 LSCMD質量比0.1、初始頻率比0.87、LSCMD阻尼比17% LSCMD支點移動範圍 -2.74 ~ 2.74cm



LSCMD之振動台實驗與控制效能驗證(3/4)

Case		Peak-Response						
		A_E	X_{1r}	$R_{x_{1r}}$	A_{1a}	$R_{A_{1a}}$	X_{Db}	$R_{x_{Db}}$
		gal	cm		gal		cm	
S _E _WN_120gal	Exp.	129.93	10.05		58.29			
	Sim.		10.55		57.1			
SSp _E _WN_120gal	Exp.	120.69	3.86	-62%	26.55	-54%	8.98	
	Sim.		4.38	-58%	22.64	-60%	10.51	
SSa _E _WN_120gal	Exp.	124.59	3.87	-61%	28.08	-52%	7.66	-15%
	Sim.		4.50	-57%	23.28	-59%	9.72	-8%
SSa1 _E _WN_120gal	Exp.	130.88	4.28	-57%	28.38	-51%	6.53	-27%
	Sim.		4.13	-61%	20.72	-64%	8.66	-18%
S _E _TCU076_120gal	Exp.	124.37	4.24		25.03			
	Sim.		4.13		22.40			
SSp _E _TCU076_120gal	Exp.	108.92	3.33	-21%	21.67	-13%	6.58	
	Sim.		3.38	-18%	17.95	-20%	6.64	
SSa _E _TCU076_120gal	Exp.	119.21	3.96	-7%	23.19	-7%	4.18	-36%
	Sim.		3.66	-11%	19.32	-14%	6.50	-2%
SSa1 _E _TCU076_120gal	Exp.	115.73	3.62	-15%	23.80	-5%	5.64	-14%
	Sim.		3.67	-11%	19.40	-13%	6.43	-3%



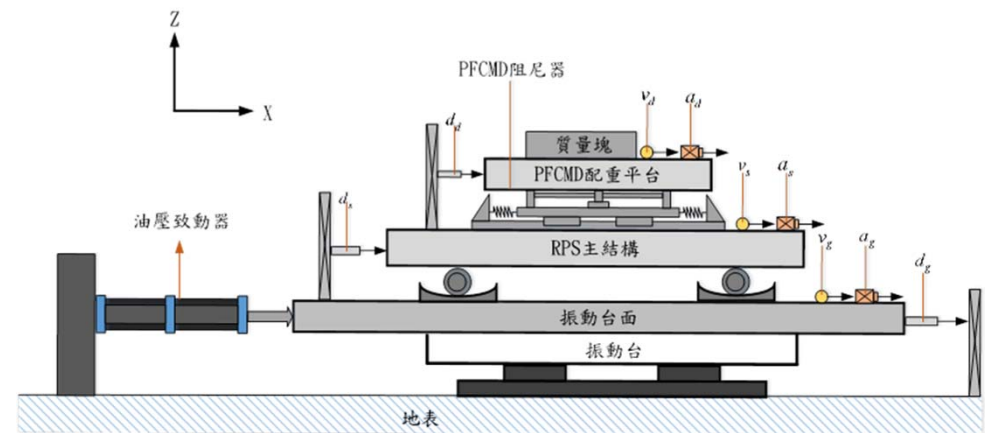
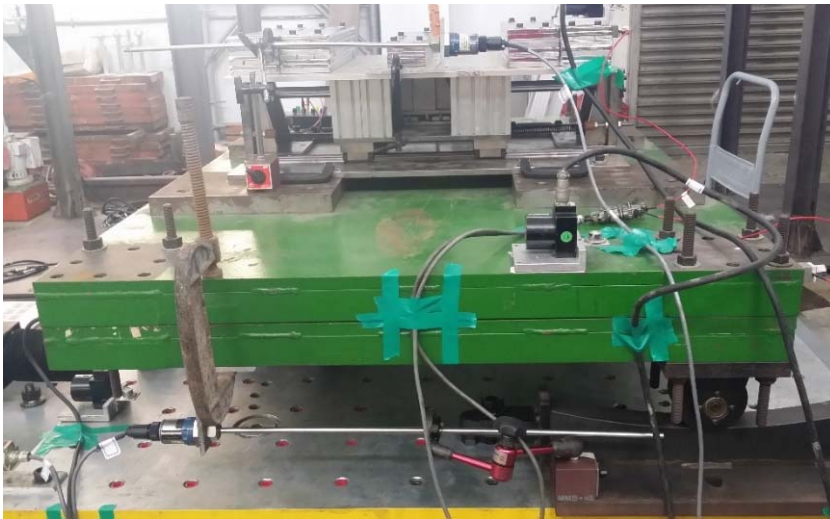
LSCMD之振動台實驗與控制效能驗證(4/4)

- 由數值模擬與實驗結果之觀察，目前高樓結構使用LSCMD進行減振控制的確具有可行性與減振效果。
- 由實驗驗證LSCMD可使用於高樓結構之減振控制，並且與數值模擬之情況相似。
- LSCMD並不需要額外裝設油壓制動器，即可提供類似主動控制力的等值控制力。



PFCMD之振動台實驗與控制效能驗證(1/5)

- 實驗地點：國立成功大學工程技術暨材料實驗室
- 實驗名稱：PFCMD應用於RPS之效能測試實驗
- 測試者：呂仲岳



RPS隔震結構使用LSCMD之實驗試體示意圖



PFCMD之振動台實驗與控制效能驗證(2/5)

識別項目	數值大小	單位
主結構質量	912	Kg
主結構頻率	0.54	Hz
主結構勁度	10499	N/m
主結構阻尼比	0.031	--

識別項目	參數	單位
PFCMD質量	90.7	Kg
PFCMD勁度	1028.1	N/m
PFCMD滑軌摩擦係數	0.0143	--
黃銅片摩擦係數	0.35	--
黃銅片初始正向力	42.6	N
質量比(m_d / m_s)	0.1	--
頻率比(ω_d / ω_s)	1.0	--



PFCMD之振動台實驗與控制效能驗證(3/5)

- 為觀察PFCMD減振效能，訂立出以下指標：

最大位移：
$$R_1 = \frac{\text{Max}(|x_s(t)|)}{\text{Max}(|x_{s_w/o}(t)|)}$$

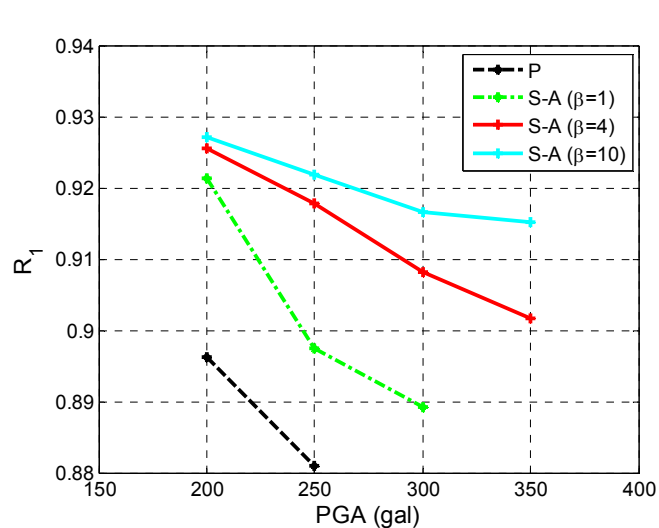
均方位移：
$$R_2 = \frac{\text{RMS}(x_s(t))}{\text{RMS}(x_{s_w/o}(t))}$$

最大加速度：
$$R_3 = \frac{\text{Max}(|\ddot{x}_s(t)|)}{\text{Max}(|\ddot{x}_{s_w/o}(t)|)}$$

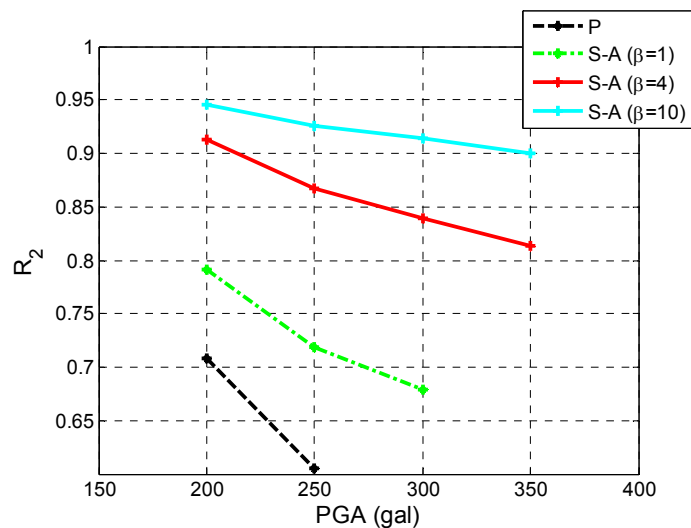
均方加速度：
$$R_4 = \frac{\text{RMS}(\ddot{x}_s(t))}{\text{RMS}(\ddot{x}_{s_w/o}(t))}$$



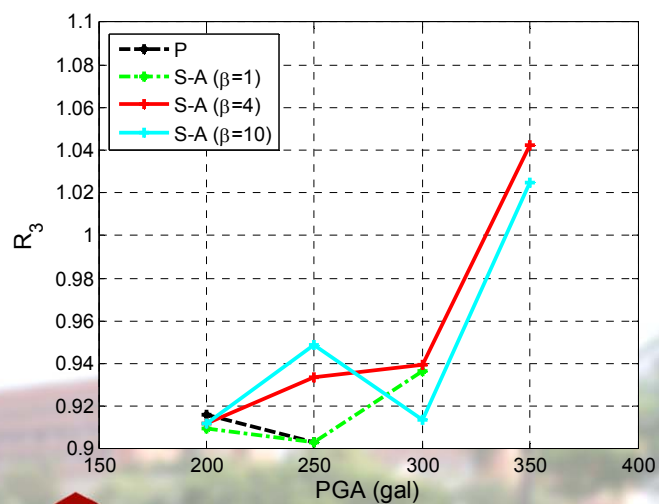
PFCMD之振動台實驗與控制效能驗證(4/5)



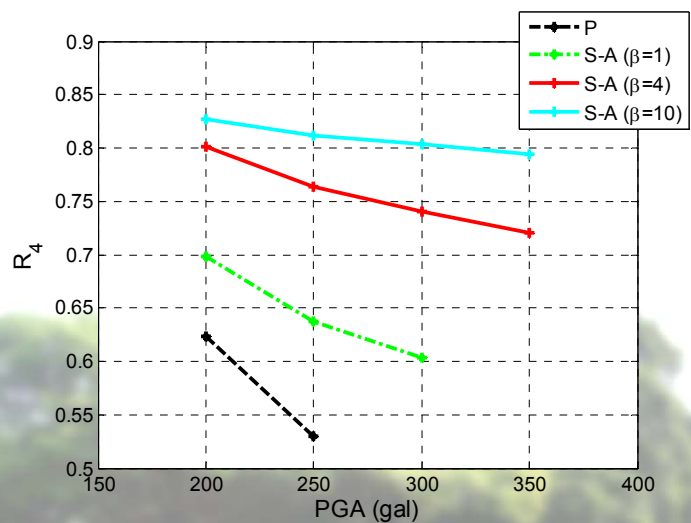
(a)主結構位移減振成效(Peak)



(b)主結構位移減振成效(RMS)

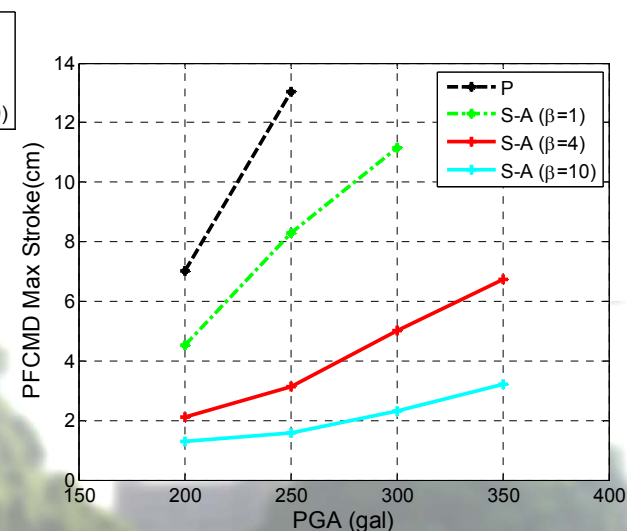


(c)主結構加速度減振成效(Peak)



(d)主結構加速度減振成效(RMS)

震波:Kobe



(e)PFCMD 最大衝程

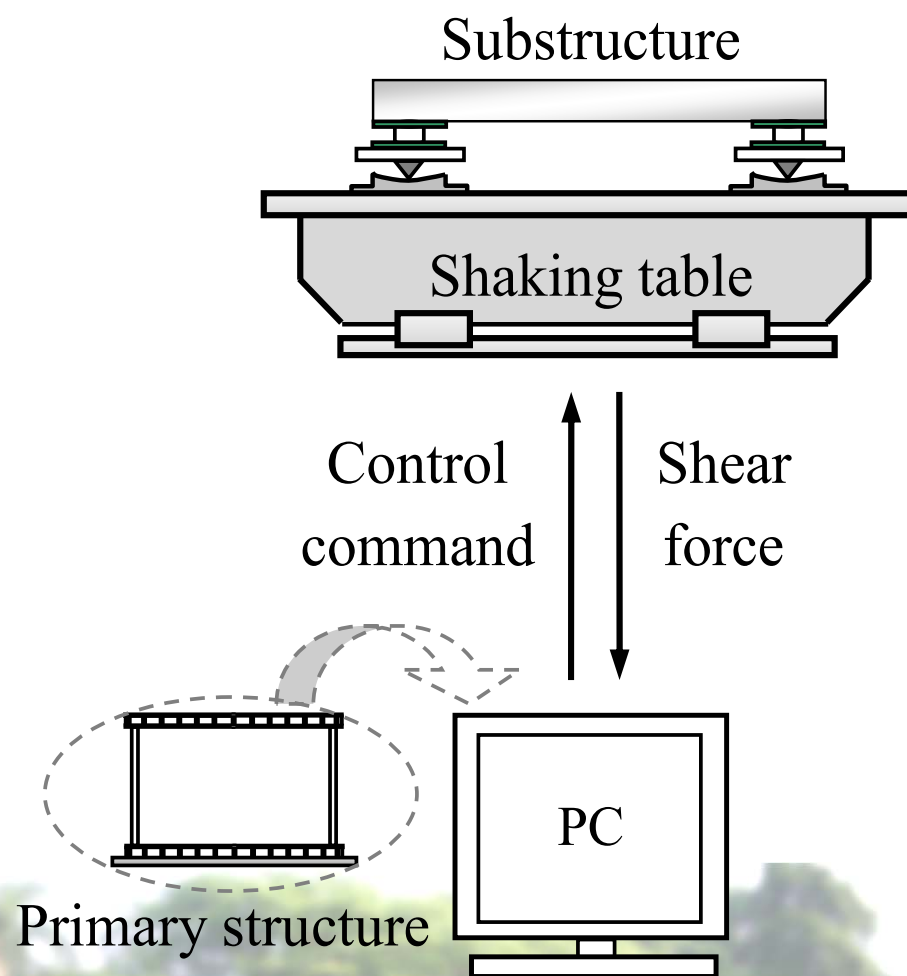


PFCMD之振動台實驗與控制效能驗證(5/5)

- 實驗結果顯示被動模式之PFCMD，可發揮其對主結構的減振效果，而半主動控制PFCMD則呈現 $NSF-\beta$ 值越低對主結構之減振成效越佳，但衝程也伴隨著放大。
- 如欲控制PFCMD於半主動狀態下之衝程，可採用較大之 $NSF-\beta$ 值。

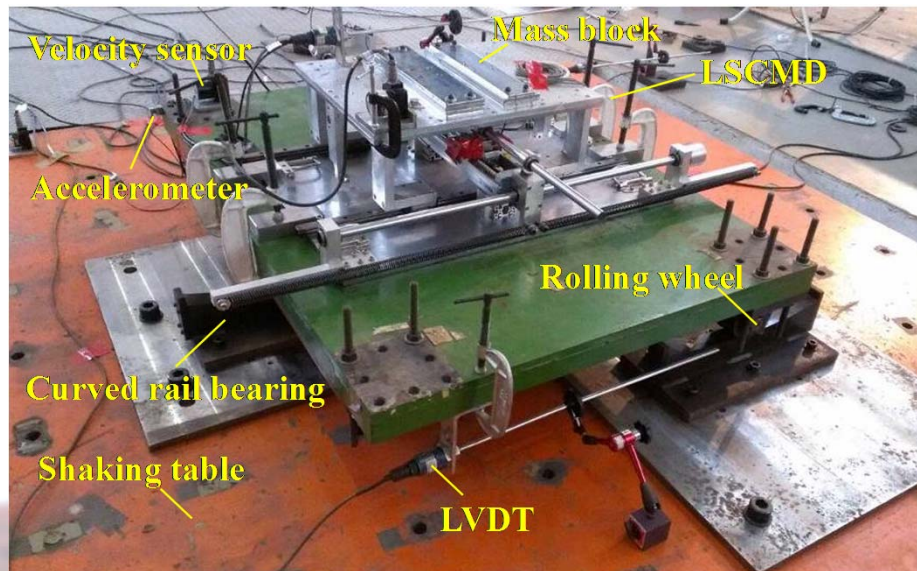


應用即時複合實驗技術(RTHT-ST)進行效能驗證

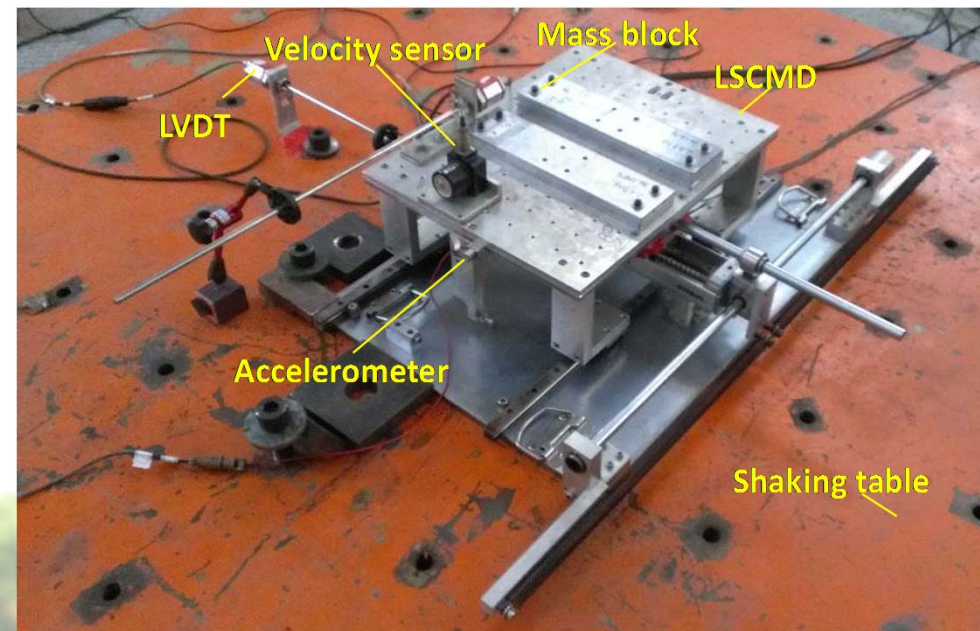


Leverage-type Stiffness Controllable Mass Damper (LSCMD)

- 實驗地點：國立高雄第一科技大學憲章館
- 實驗名稱：應用RTHT-ST進行LSCMD之效能測試實驗
- 測試者：葉士瑋、陳祈丞



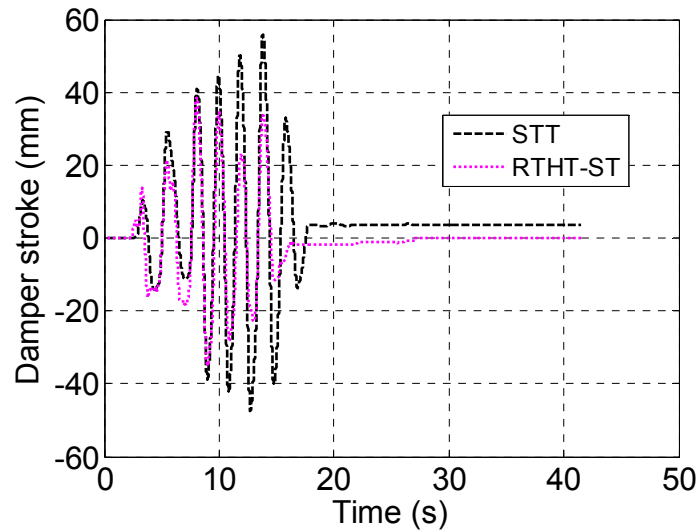
(a) STT



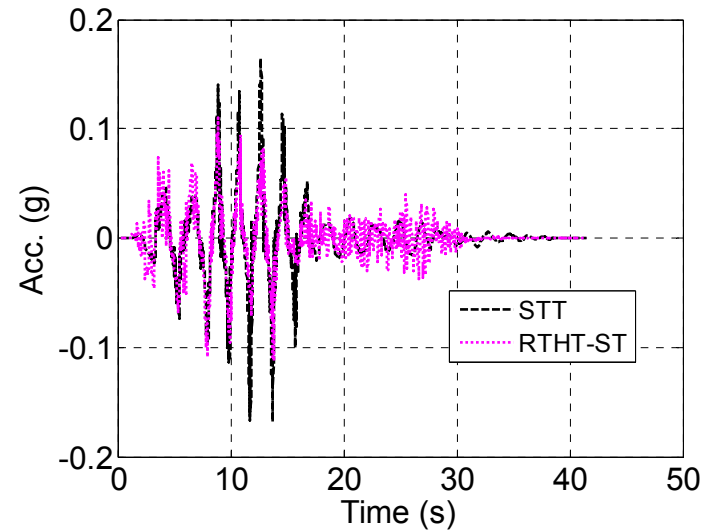
(b) RTHT-ST



Comparison of STT and RHTT-ST of LSCMD



(a) Damper stroke

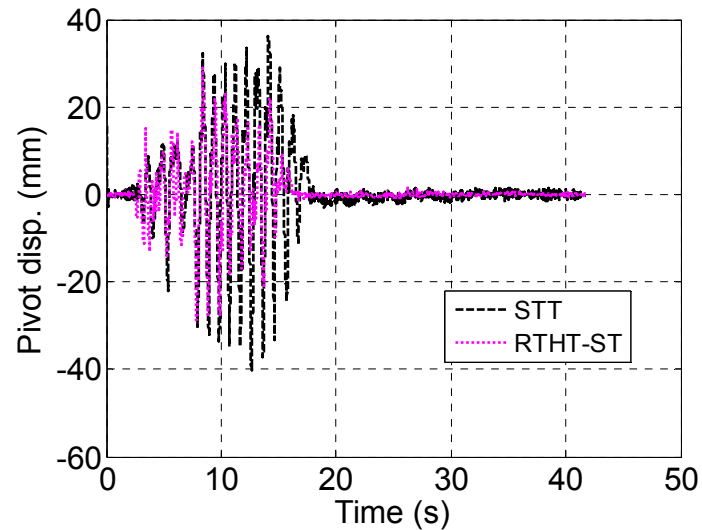


(b) TMD acceleration

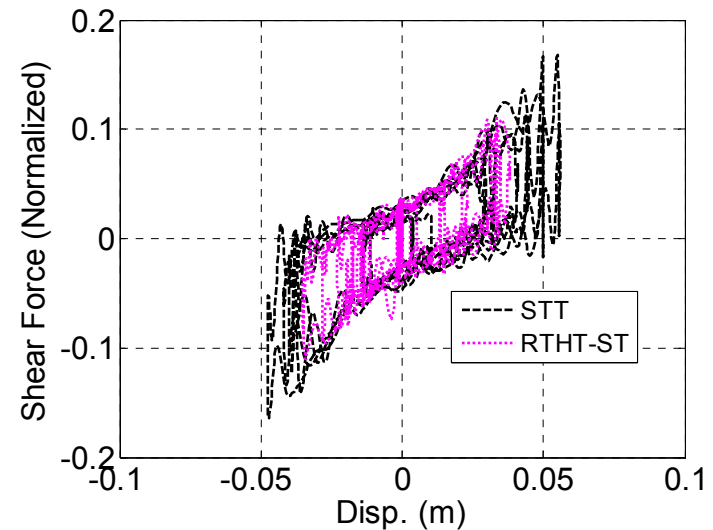
El Centro earthquake



Comparison of STT and RHTT-ST of LSCMD



(c) Pivot displacement



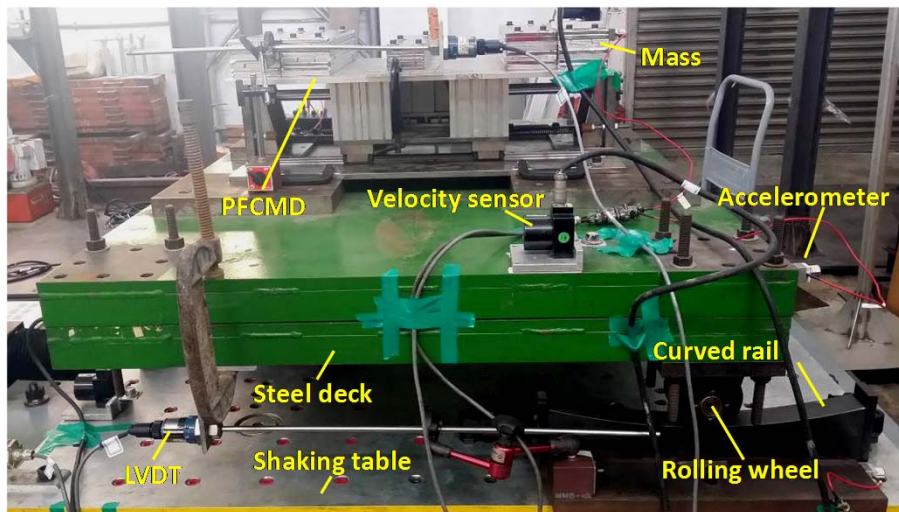
(d) Hysteresis loop

El Centro earthquake

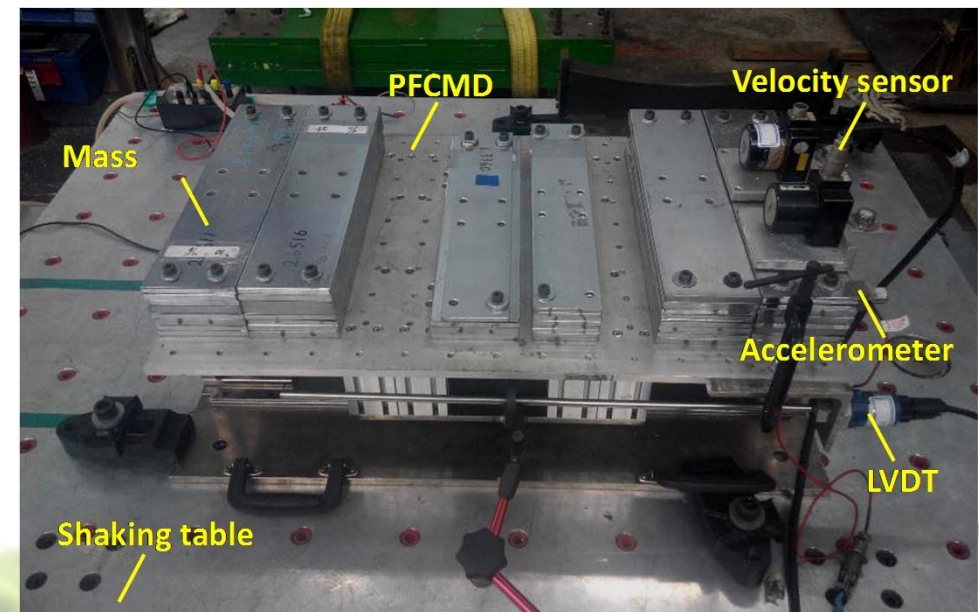


Piezoelectric friction Controllable Mass Damper (PFCMD)

- 實驗地點：國立成功大學工程技術暨材料實驗室
- 實驗名稱：應用RTHT-ST進行PFCMD之效能測試實驗
- 測試者：葉士瑋、呂仲岳



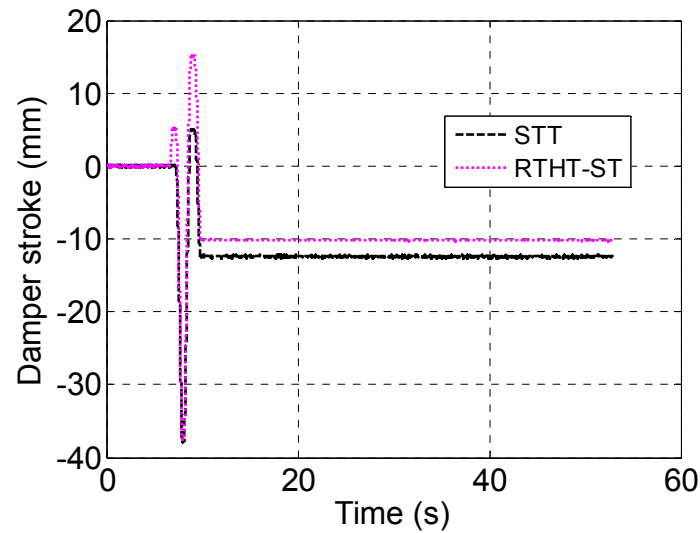
(a) STT



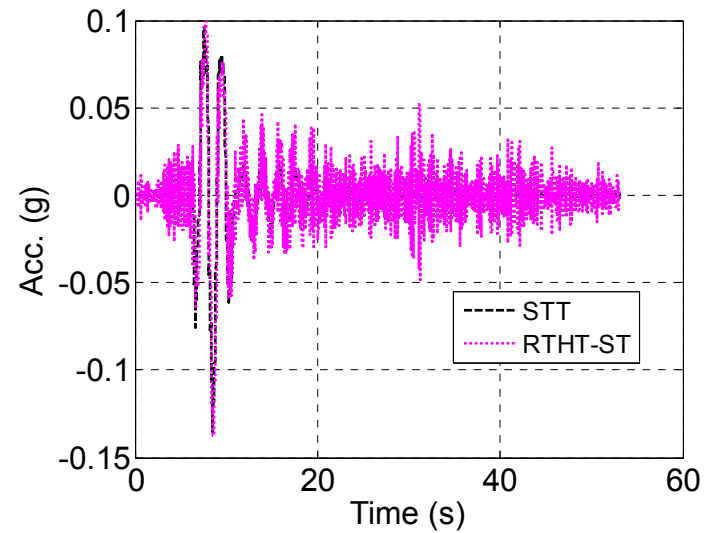
(b) RTHT-ST



Comparison of STT and RTHT-ST of PFCMD



(a) Damper stroke

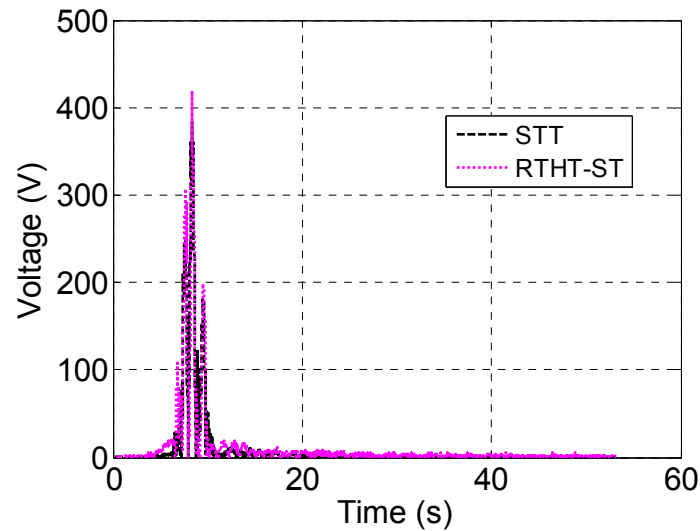


(b) TMD acceleration

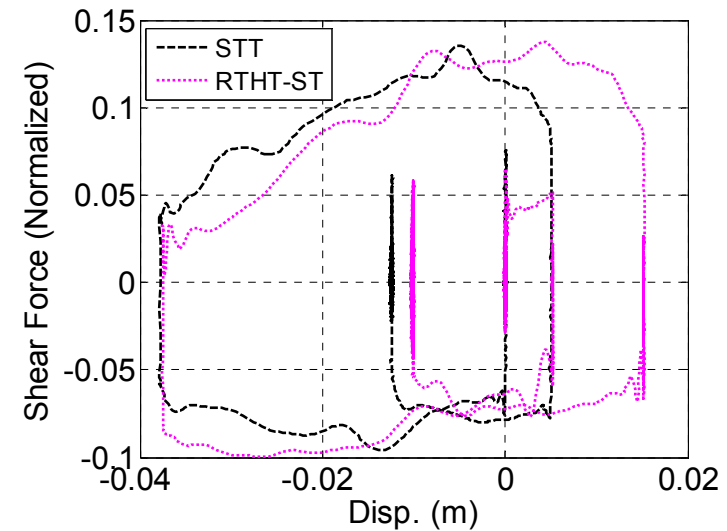
Northridge earthquake



Comparison of STT and RTHT-ST of PFCMD



(c) Driving voltage of PFCMD



(d) Hysteresis loop

Northridge earthquake



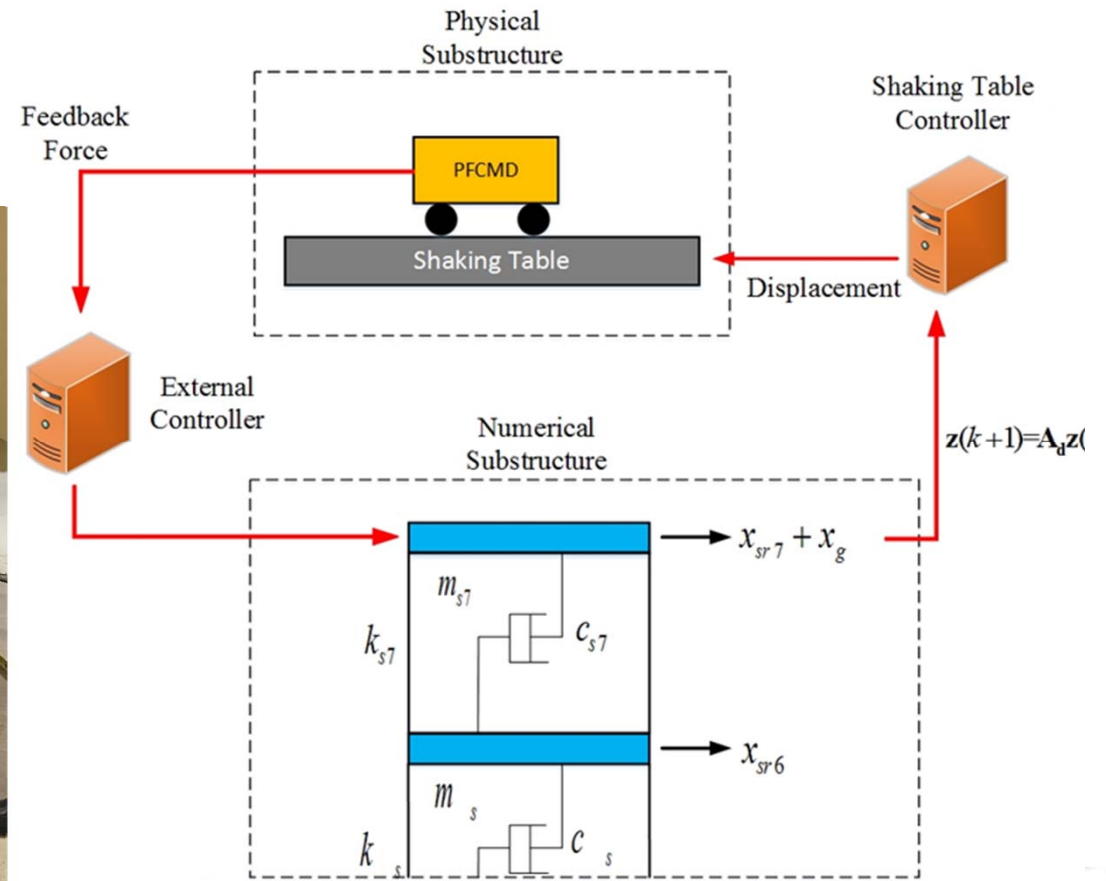
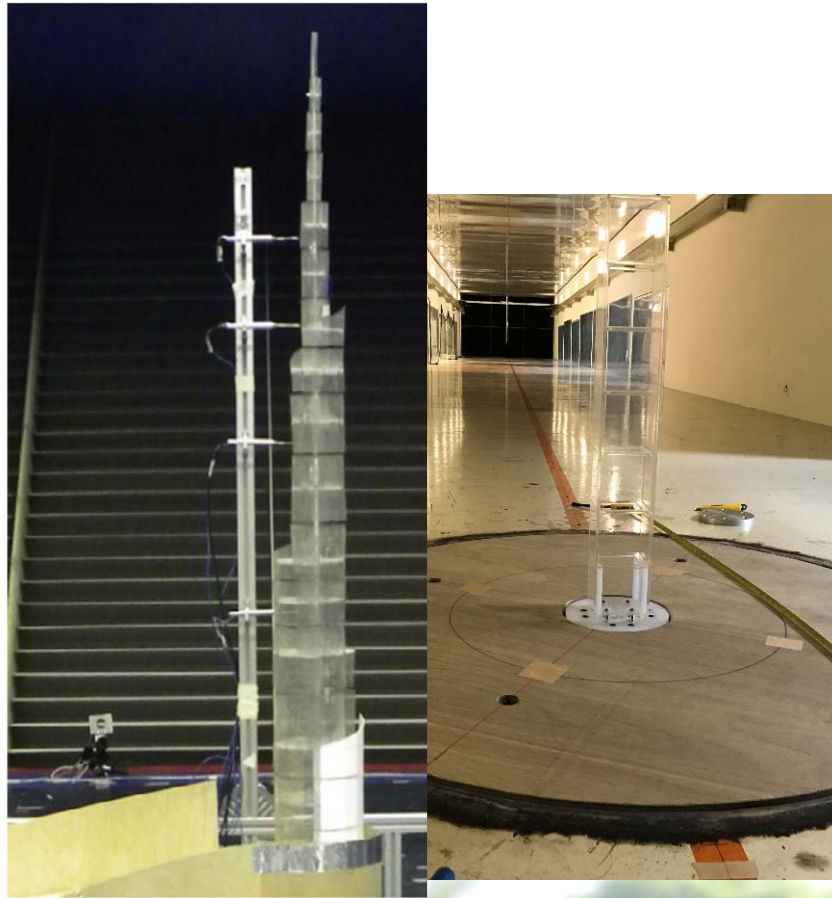
未來應用與展望



成功大學歸仁校區 = 複合型災害實驗園區



Potential Application to Wing-Induced Vibrations



內政部建築研究所補助計畫

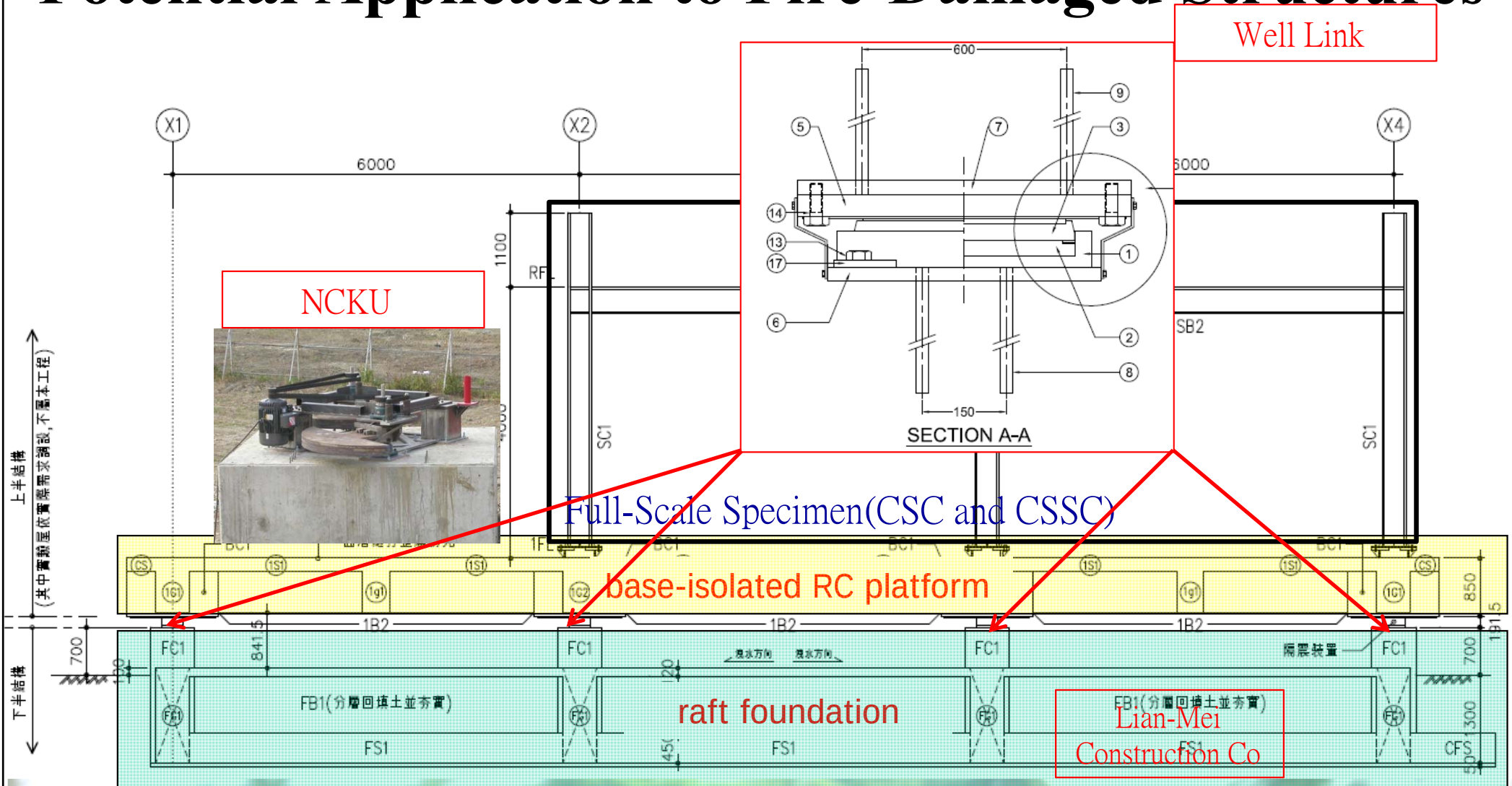
計畫主持人：國立成功大學方 中教授

共同主持人：國立成功大學朱世禹教授



內政部建築研究所
Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Potential Application to Fire-Damaged Structures



內政部建築研究所補助計畫

計畫主持人：國立成功大學朱聖浩教授

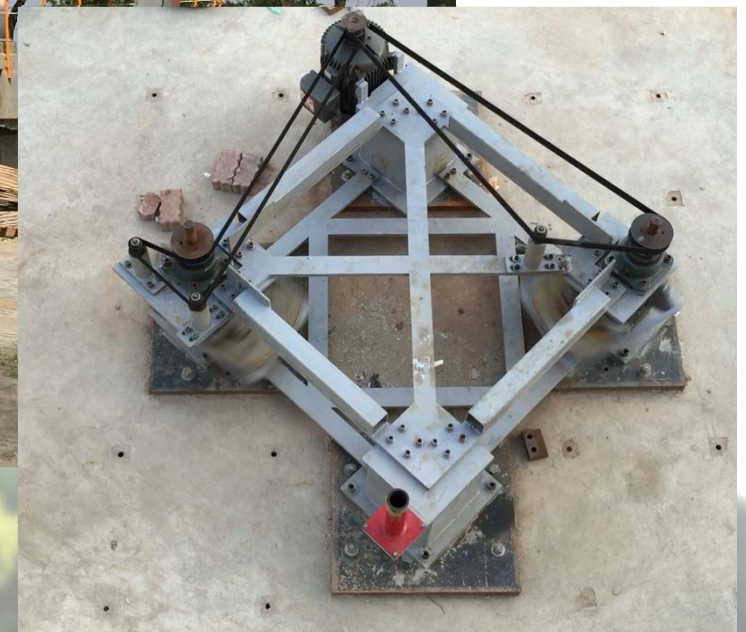
共同主持人：國立成功大學朱世禹副教授

共同主持人：國立成功大學鍾興陽副教授

共同主持人：施健泰技師



內政部建築研究所
Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior





誌謝

感謝科技部自然科學及永續發展司防災科技學門整合型研究計畫經費補助與國家地震工程研究中心及高雄第一科技大學於振動台及量測設備之協助，同時感謝葉士瑋博士、彭致華技師、陳祈丞先生、呂仲岳先生協助實驗之執行。



感謝聆聽
歡迎指教

