

NARLabs

國家實驗研究院

國內外隔制震發展新趨勢

張國鎮

國家實驗研究院地震工程研究中心(NCREE) 主任

國立台灣大學(NTU)土木工程系 特聘教授

2014/12/22



NARLabs

大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

大綱

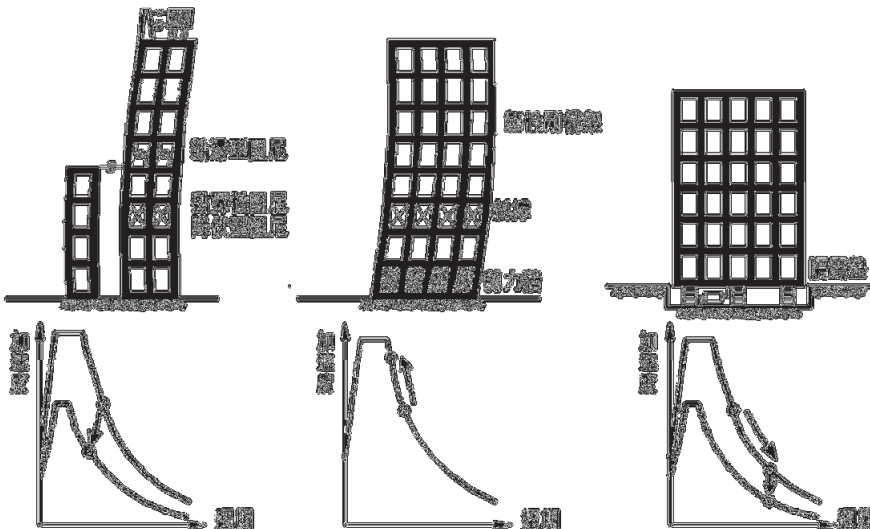
- 耐震設計
 - 隔、制震簡介
 - 常見隔、制震元件
 - 隔、制震建築設計案例
 - 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

建築結構抗震策略

制(減)震結構設計

傳統韌性結構設計

隔(免)震結構設計

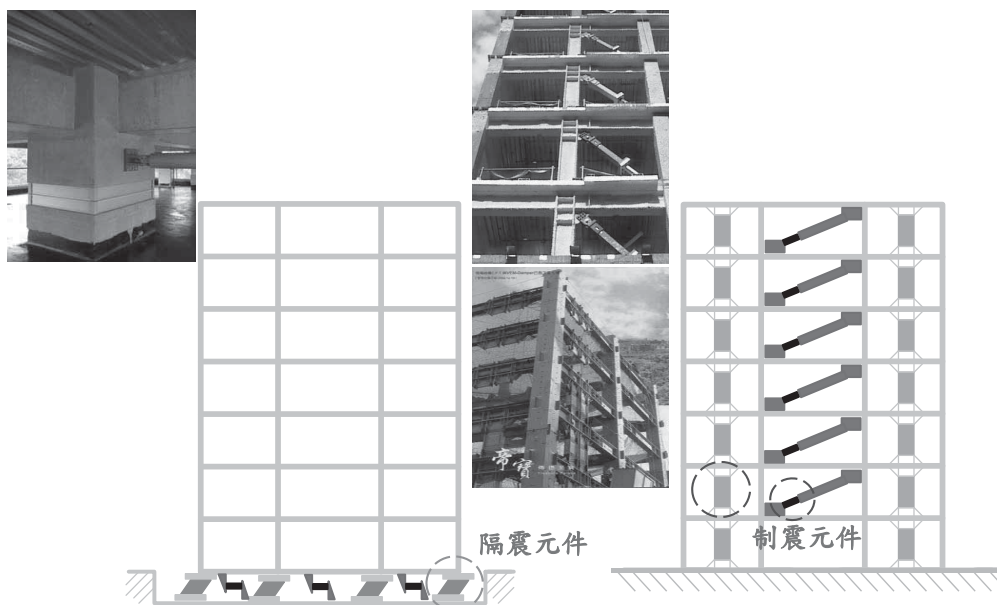


大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

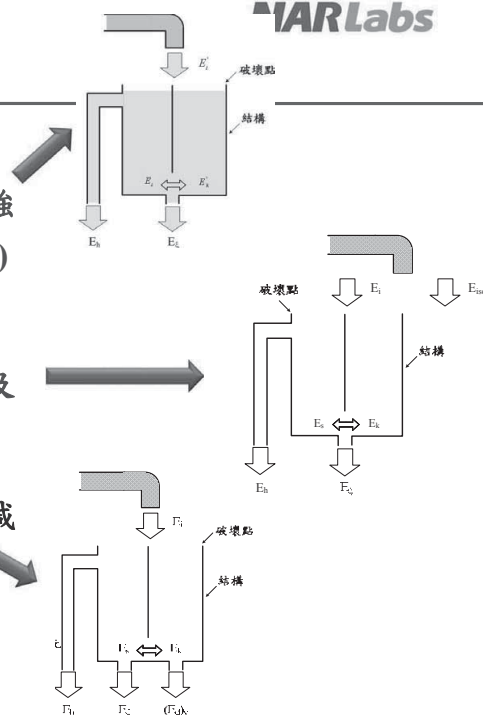


隔、制震建築結構示意



隔、制震基本概念

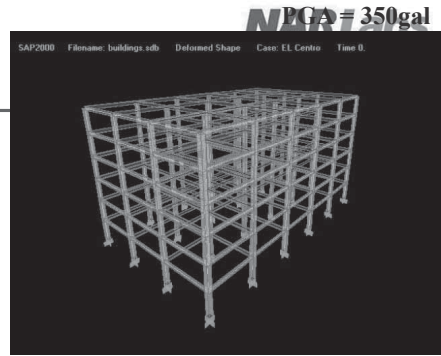
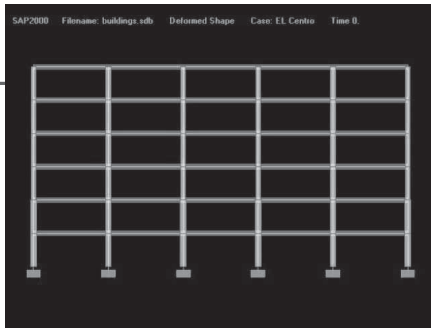
- 傳統結構耐震設計以建築本身強度(Strength)及延展性(Ductility)合稱韌性(Toughness)抵抗地震
- 隔震結構以隔震系統延長週期及增加阻尼減少結構受震反應
- 制震結構以消能系統增加阻尼減少結構受震反應



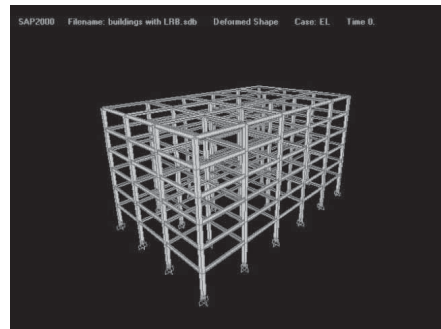
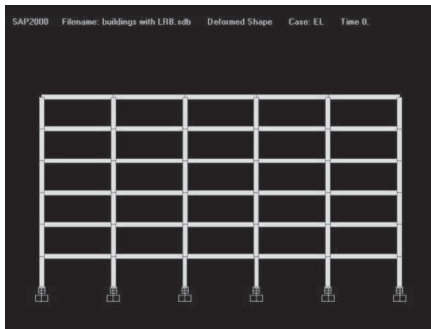
台灣隔、制震建築耐震設計規範沿革

- 建築物隔震消能系統設計規範條文、解說及示範例之研訂 (1997)
- 建築物隔震設計規範 (2002)
- 建築物耐震設計規範及解說 (2005)
 - 第九章 隔震建築物設計
 - 第十章 含被動消能系統建築物之設計
- 建築物耐震設計規範隔震設計及含被動消能系統設計專章研修與示範例研擬 (2006)
- 建築物速度型被動消能元件設計手冊之研擬(2007)
- 建築物耐震設計規範及解說 (2011.7)

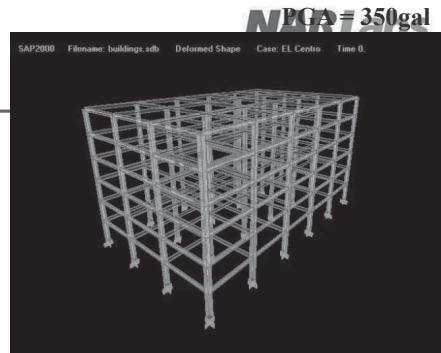
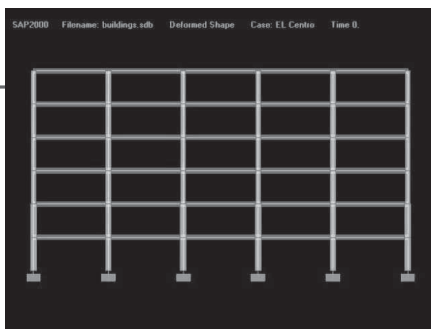
傳統建築



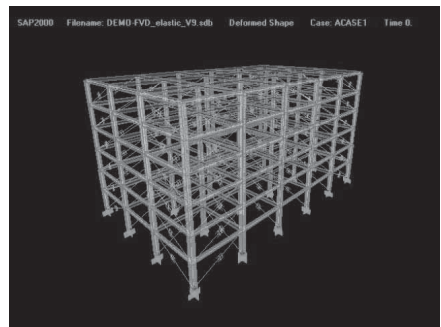
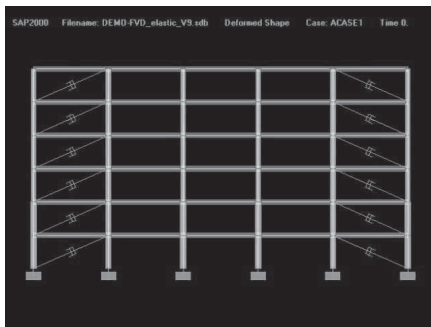
隔震建築



傳統建築



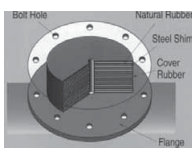
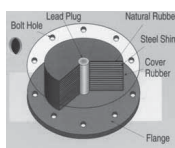
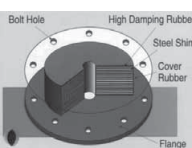
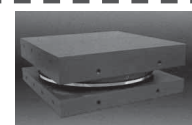




制震建築



大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

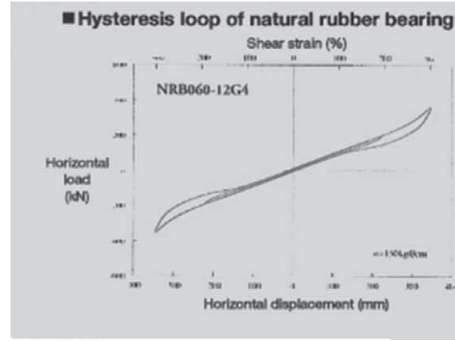
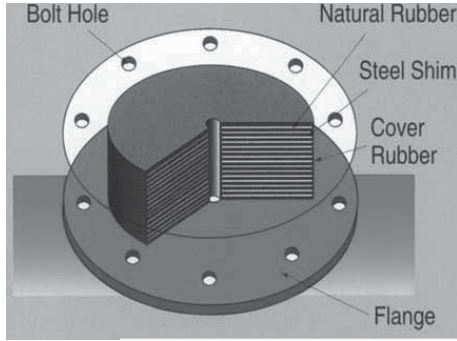
常見隔震元件

<p>橡膠類支承</p>	 <p>天然橡膠支承 (RB)</p>	 <p>鉛心橡膠支承 (LRB)</p>	 <p>高阻尼橡膠支承 (HDRB)</p>
<p>滑動類支承</p>	 <p>摩擦單擺支承</p>	 <p>彈性滑動支承</p>	
<p>滾動類支承</p>	 <p>曲面</p>	 <p>平面</p>	 <p>斜面滾動支承 (NCREE 研發)</p>

橡膠類支承 (1 of 3)

天然橡膠支承墊 (Natural Rubber Bearing, RB)

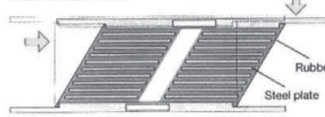
提供勁度，阻尼比約3~5%



Rubber sheet
Flexible in both vertical and horizontal directions

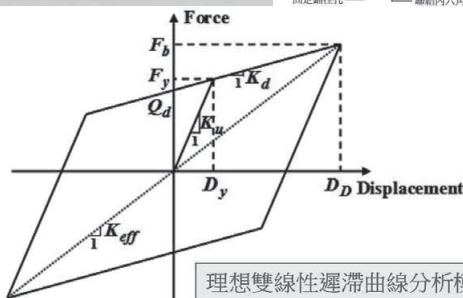
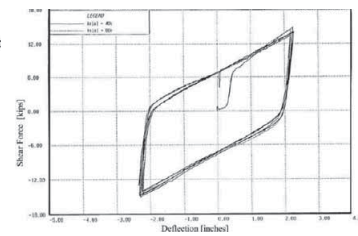
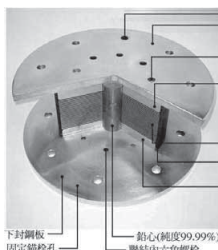
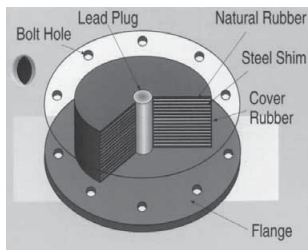


Laminated rubber
Flexible in the horizontal direction and rigid in the vertical direction



橡膠類支承 (2 of 3)

鉛心橡膠支承墊 (Lead-Rubber Bearing, LRB)



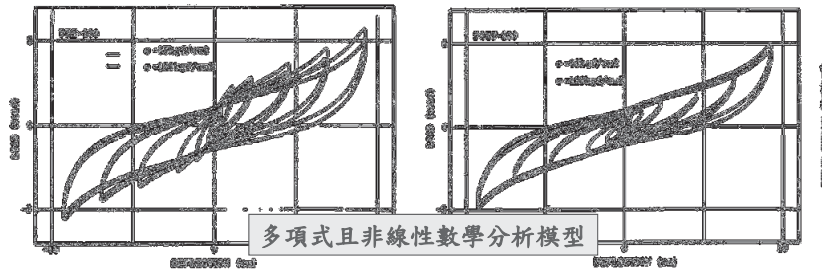
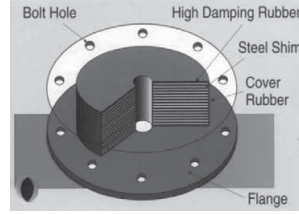
理想雙線性遲滯曲線分析模型

- F_y : 降伏力
- Q_d : 特徵強度 = $f_p A_p = (1 - \alpha) F_y$
- f_p : 鉛心的降伏應力
- A_p : 鉛心的斷面積
- α : 應變硬化比 · 即 $\alpha = K_d / K_u$
- K_d : 鉛心橡膠支承墊之降伏後勁度
- K_u : 鉛心橡膠支承墊之彈性勁度
- D_y : 降伏位移
- EDC : 能量消散能力 · 即 $EDC = 4Q_d(D_D - D_y)$
- K_{eff} : 有效勁度
- ξ_{eq} : 等效阻尼比 · 即 $\xi_{eq} = \frac{E_d}{2\pi E_s} = \frac{EDC}{2\pi E_s} = \frac{4Q_d(D_D - D_y)}{2\pi K_{eff} D_D^2}$

橡膠類支承 (3 of 3)

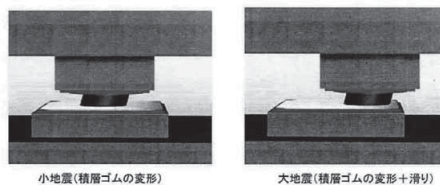
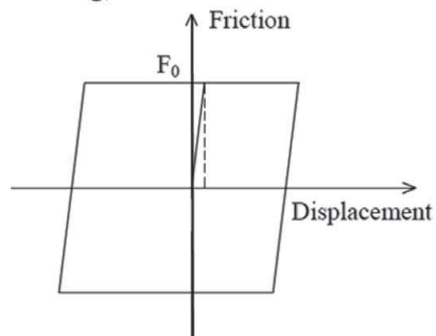
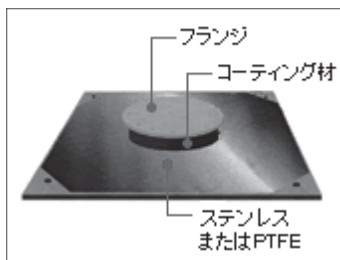
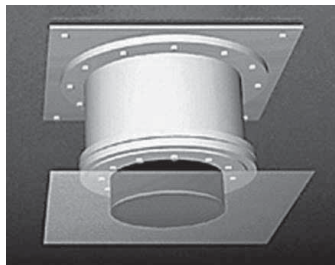
高阻尼橡膠支承墊 (High-Damping Rubber Bearing, HDRB)

- 阻尼比10~20%或更高
- 大應變時應變硬化
- 最大剪力應變、振動頻率、環境溫度、軸向力及Mullins(或Scragging)效應影響
- Mullins效應
 - 第一次變形應力-應變曲線是唯一曲線，往後變形若最大應變不大於第一次最大應變，應力-應變曲線顯現“軟化”
 - 相同應變下反覆載重，有效剪力模數隨迴圈數增加而遞減



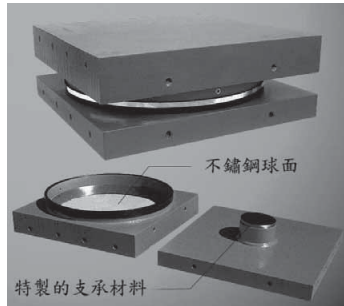
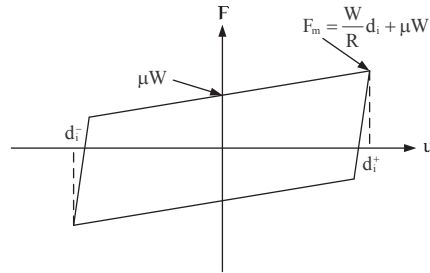
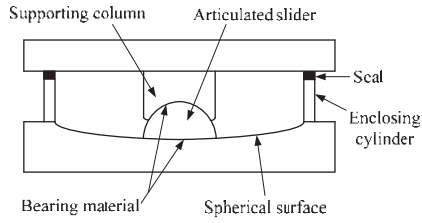
滑動類支承 (1 of 2)

彈性滑動支承 (Elastic-Sliding Bearing)



滑動類支承 (2 of 2)

滑動摩擦支承 (摩擦單擺支承)



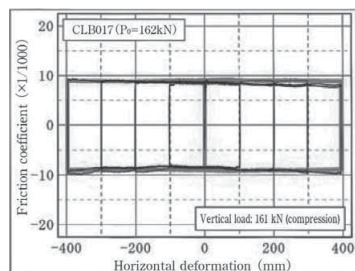
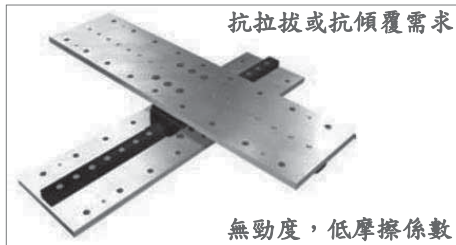
$$K_{eff} = \frac{F_m}{d_i} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{d_i} \quad \text{正比於重量，無偏心問題}$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK_{eff}}} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d_i}\right)}} \quad \text{週期與重量無關}$$

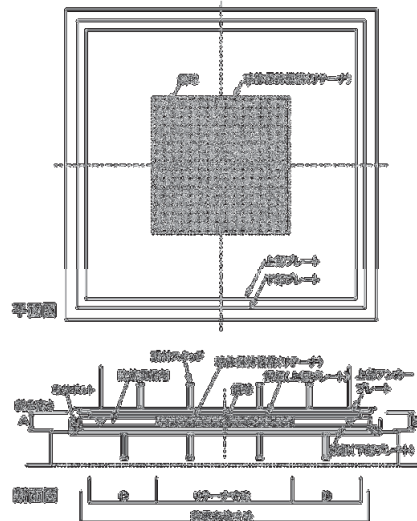
$$\xi_{eq} = \frac{E_d}{2\pi E_s} = \frac{2\mu}{\pi\left(\frac{d_i}{R} + \mu\right)}$$

滾動類支承

直線滾動支承 (Linear Roller Guide)



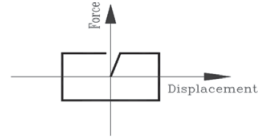
球體滾動支承 (Ball Roller Bearing)



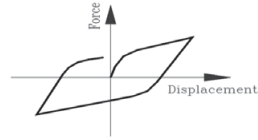
常見制震元件

位移型： 受力與變形關係
為位移函數

■ 摩擦型

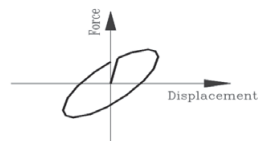


■ 金屬降伏型



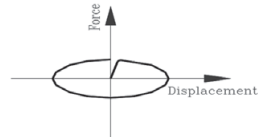
速度型： 受力與變形關係
為速度函數

■ 黏彈性(Viscoelastic)



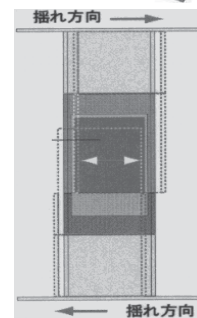
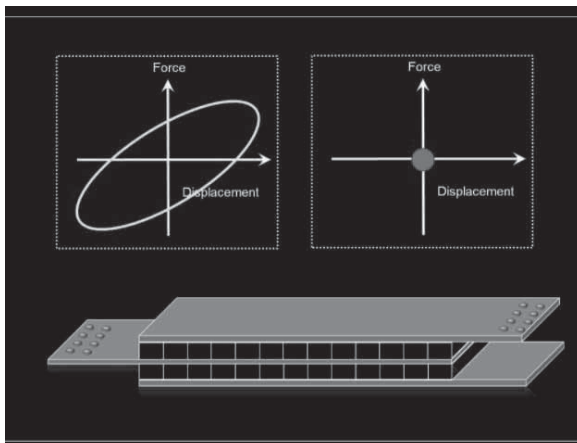
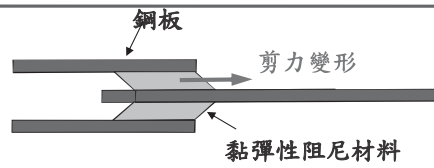
■ 黏性或黏滯性(Viscous)

單一阻尼係數： 出力與速度呈線性與非線性
不同阻尼係數： 出力與速度呈雙線性



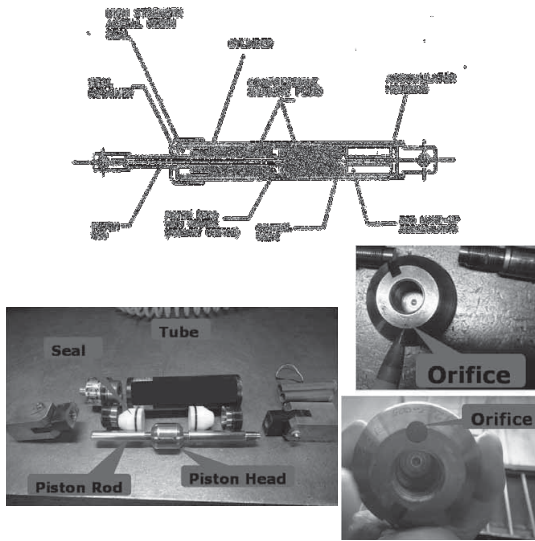
黏彈性制震元件

基本構造圖



黏性制震元件 – 單一阻尼係數

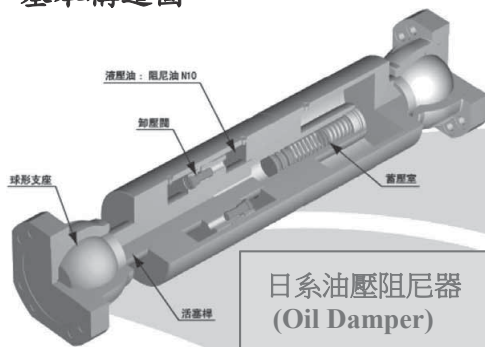
基本構造圖



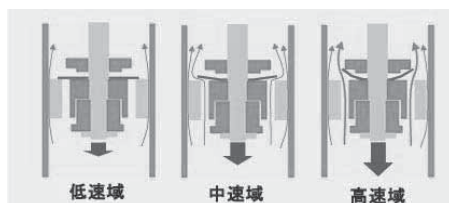
- 高強度的筒身、油封、活塞桿、有小孔的活塞頭，阻尼器內填滿黏性矽基脂液體
- 藉由活塞運動，流體由阻尼器一側經過活塞頭小孔流至另一側，阻尼力來自流體流經活塞頭時在活塞頭兩側產生的壓力差
- 校正室透過調整閥吸收或補充流體，避免彈性回復力的產生
- 將活塞桿穿過整個阻尼器中容納流體的部分，則筒身容納流體的空間將不因活塞運動而改變
- 改變活塞頭小孔的配置及內部機械構造，可改變流體的流動特性而產生不同的阻尼力性質
- 兩端插銷鉸接或魚眼接合

黏性制震元件 – 不同阻尼係數

基本構造圖



- 藉由不同的控制閥門產生阻尼力之油壓元件，具不同阻尼係數
- 第一組閥門於小擾動下使黏滯流體產生運動，第二組閥門待外力加大時接續啟動
- 兩端球座接合，或為無公差之萬向接合型式



黏性制震元件力學行為

$$F_D = C|\dot{u}|^\alpha \text{sgn}(\dot{u})$$

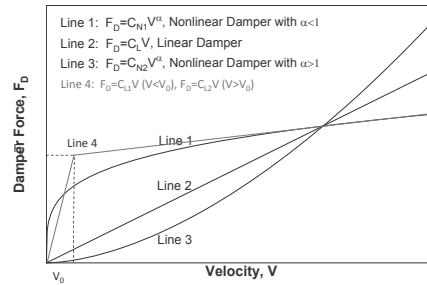
$\alpha = 1$

線性(Linear)黏性阻尼器

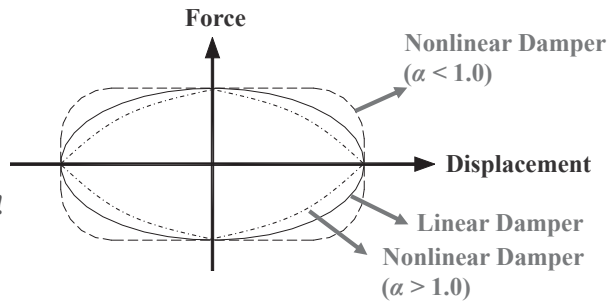
$\alpha \neq 1$

非線性(Nonlinear)黏性阻尼器

$\alpha = 0.3 \sim 1.0$



黏性阻尼器不具儲存勁度 (Storage Stiffness)，當結構系統裝設黏性阻尼器時，並不影響結構系統之自然頻率!!

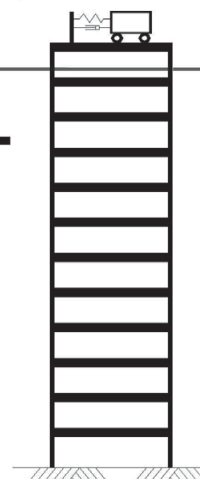


調諧質量阻尼TMD

Tuned Mass Damper (TMD)

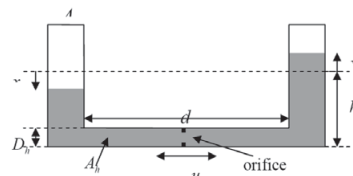
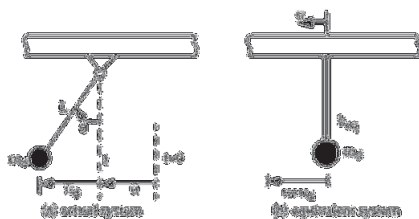
質量+彈簧+阻尼

自然頻率調整到接近主要系統的基本振動頻率，TMD與主要系統的反相位共振



最佳化目標函數

- 動力反應最佳化
最小穩態反應、曲線擬合
- 動力特性最佳化
兩個主要模態阻尼比最大且近乎相等



大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量



台灣隔震設計應用實績 (1 of 2)



台聯工程顧問公司 提供

台灣隔震設計應用實績 (2 of 2)



台聯工程顧問公司、潤弘精密工程事業股份有限公司 提供

台灣中間樓層隔震應用案例介紹



科建聯合結構技師事務所 提供





NAR Labs

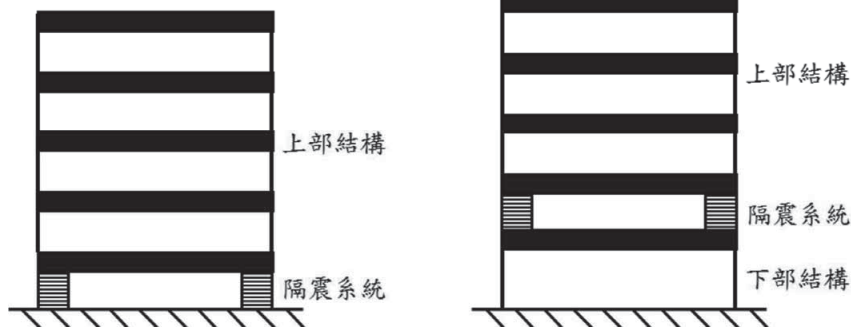
中間樓層隔震設計之優勢

- 滿足美學與功能特殊考量
- 適用於人口稠密與建築物緊密相鄰之地區
- 相較於基底隔震建築，基礎施工較易
- 有效利用空間
- 排水與通風效果良好，且容易進行例行性檢查與維護

中間樓層隔震建築設計注意事項

NAR Labs

- 下部結構柔性的影響(高模態效應)，隔震系統等效阻尼比高估
- 複雜且反相位的地震力豎向分佈
- 高模態耦合效應(隔震效益降低)



對於中間層隔震建築結構而言，下部結構之勁度增加了隔震設計之額外不確定性，非線性動力歷時分析為必要之設計檢核!!

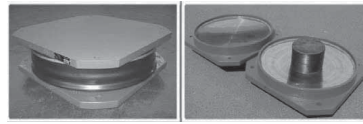
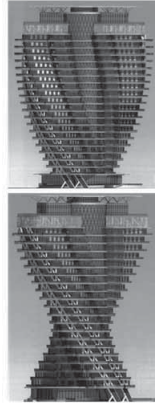
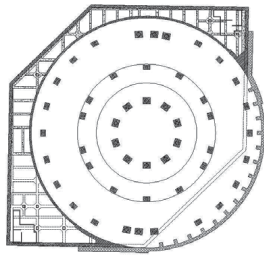
台灣摩擦單擺隔震支承應用案例 (1 of 2)

樓層數：B4F~21F

樓高：93.20m

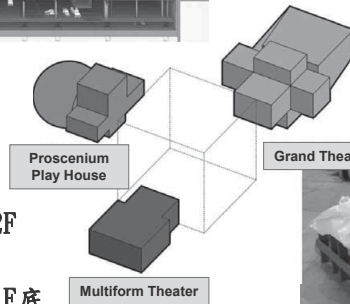
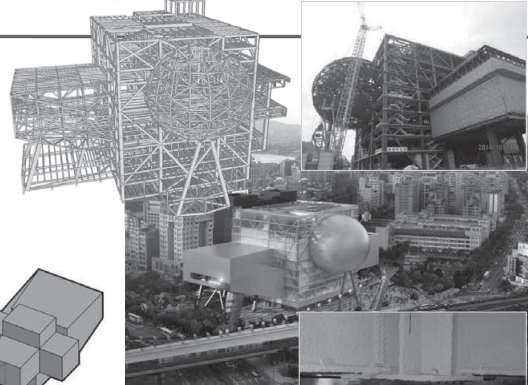
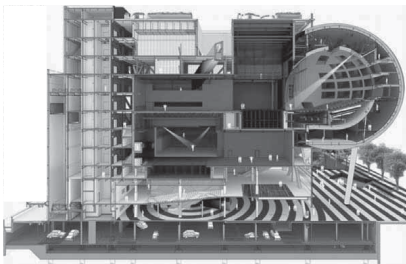
隔震器位置：B4F底

隔震器：摩擦單擺支承(48)



傑聯國際工程顧問有限公司 提供

台灣摩擦單擺隔震支承應用案例 (2 of 2)

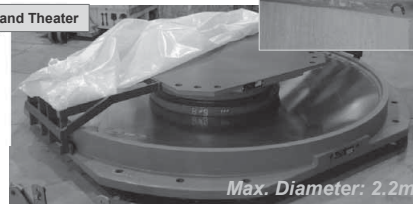


樓層數：B1F~12F

樓高：54.70m

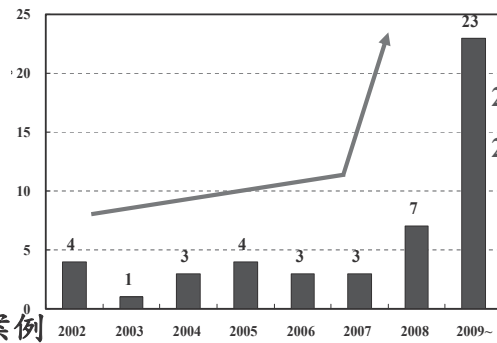
隔震器位置：B1F底

隔震器：摩擦單擺支承 (89)



永峻工程顧問公司 提供

台灣隔震建築發展



2009年全台約有50個隔震建築
2014年全台超過100個隔震建築

實際案例

- 重要性建築：醫院、災害應變中心
- 政府與公共建築
- 一般住宅

中間樓層隔震佔隔震建築物一半以上之比例

建築系統

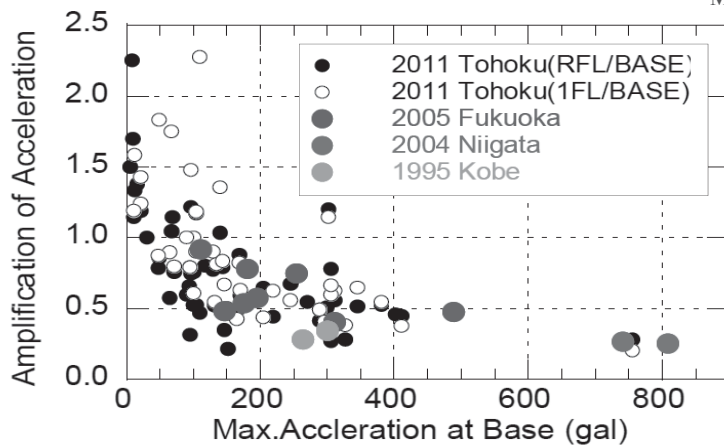
基底隔震 → 高樓層隔震 → 中間樓層隔震



日本隔震建築物於311地震之性能檢討

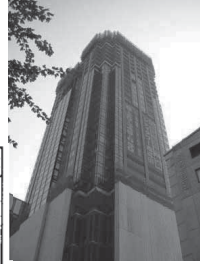
25%發生隔震伸縮縫與隔震層非結構構件損壞

Max.=41.5 cm



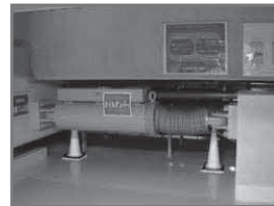
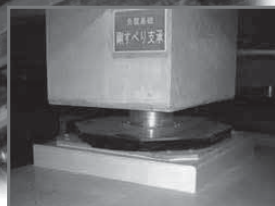
日本高樓隔震設計應用實績

樓層數：B1F~50F
 樓高：177.40m
 隔震器位置：B1F底
 最大高寬比：5.7



耐震性能目標	免震材料			上部構造	下部構造・枕
	積層ゴム		弾性すべり支承	部材応力状態	部材応力状態
	せん断ひずみ*1	引張面圧	水平移動量	層間変形角	
レベル1	300%以下	—	75cm以下	短期許容応力度以下 1/400以下	短期許容応力度以下
レベル2	300%以下	1N/mm ² 以下	75cm以下	降伏耐力以下 1/200以下	降伏耐力以下
耐震性能実績	長期許容耐力 (kN)	短期許容耐力 (kN)	Max	Min	標準
	長期許容耐力 (せん断)	20	40	20%	
	長期許容耐力 (引張)	4.20	6.22	7.27	
	短期許容耐力 (引張)	4.72	6.64	7.66	

日本高科技廠房隔震設計案例 (FUJITSU Mie Tourism Factory in Japan)



核能設施應用隔震技術發展簡介

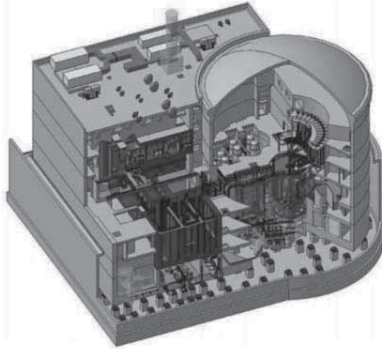
Light water reactor (GEN II) - stiff structures and rigid components

Completed

- 4 PWR at Cruas, France, 1978, 1983-1984, neoprene bearings (500x500x66mm)
- 2 PWR at Koeberg, South Africa, 1976, 1984-1985, neoprene bearings (700x700x130mm)

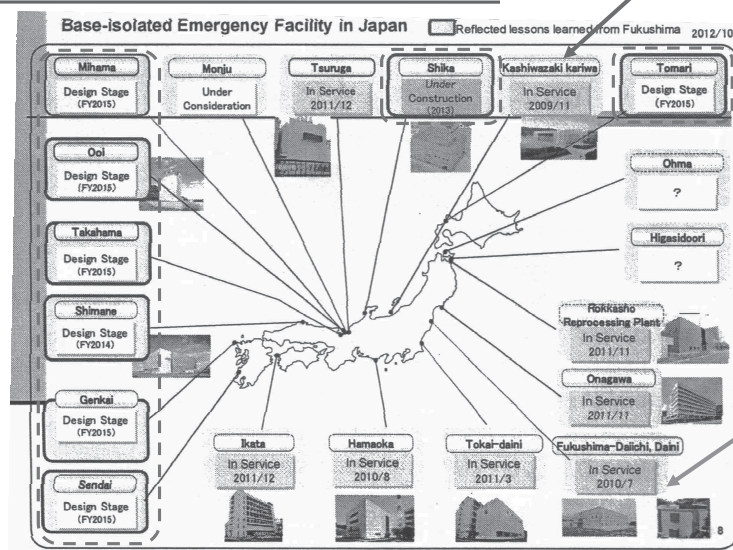
Under construction

- Jules Hotrowitz Reactor(JHR) at Cadarache, France, neoprene bearings (900x900x181mm)



日本核電電廠ERF 免震重要棟應用

2007年新潟縣中越沖地震(M6.8)，日本KK電廠(3倍傳統耐震設計)3號機組變壓器起火，技術支援中心TSC(ERF)耐震不足，建造第一棟免震重要棟(ERF隔震建築)



311地震後，

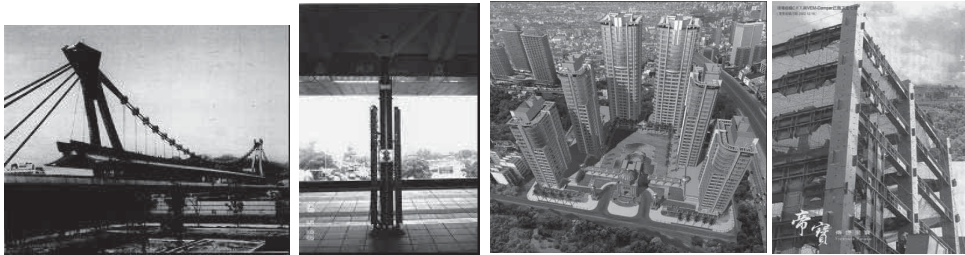
- 修訂JEAG 4601、4627、4614等
- 日本原子力安全保安院(NISA)要求核能電廠須興建免震重要棟，目前或未來繼續商轉



福島第一核能電廠
311地震(M9.0)監測

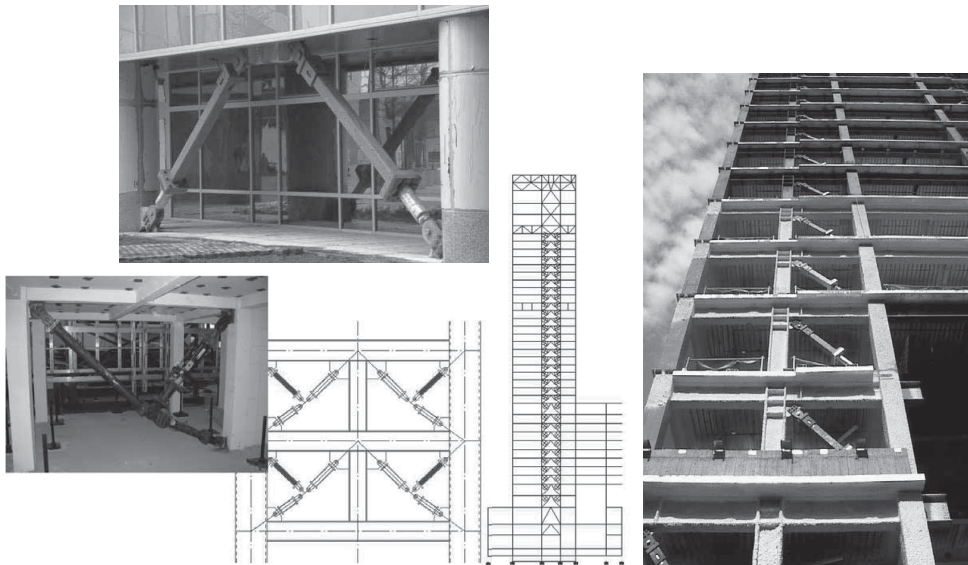
Building Area	1,815 m ²
Total Floor Area	3,600 m ²
Number of Floor	2 Floors
Building height	11.95 m
Structure Type	SRC with S

台灣黏彈性制震元件應用案例



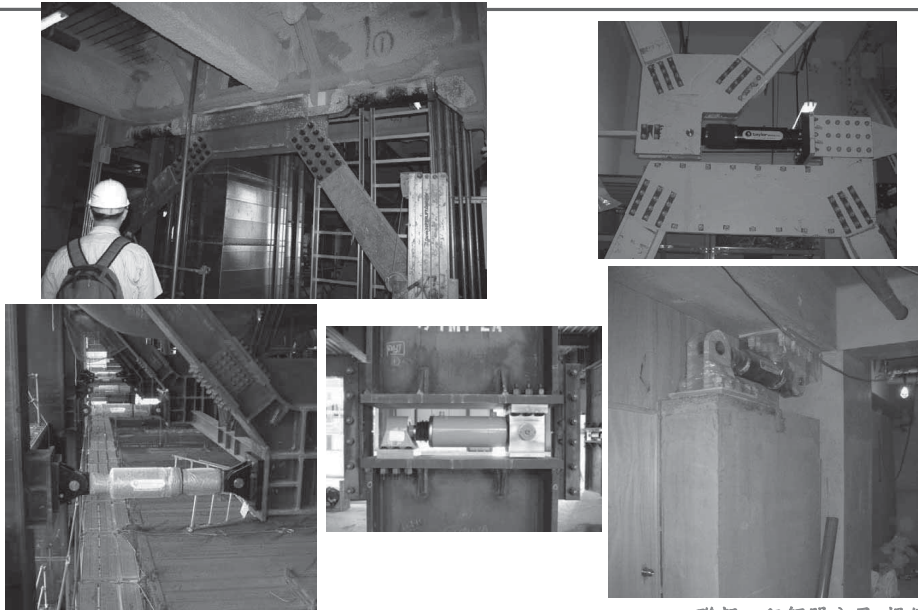
聯邦工程顧問公司 提供

台灣黏性制震元件應用案例 (1 of 2)



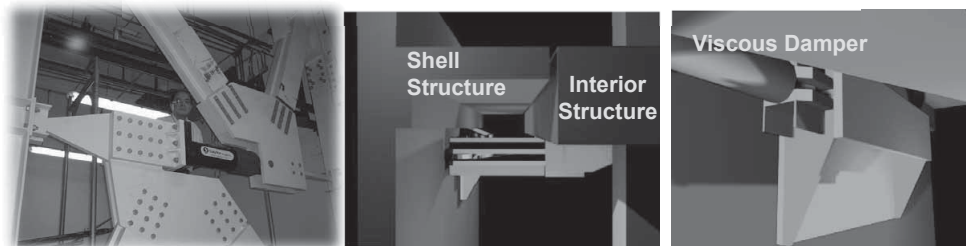
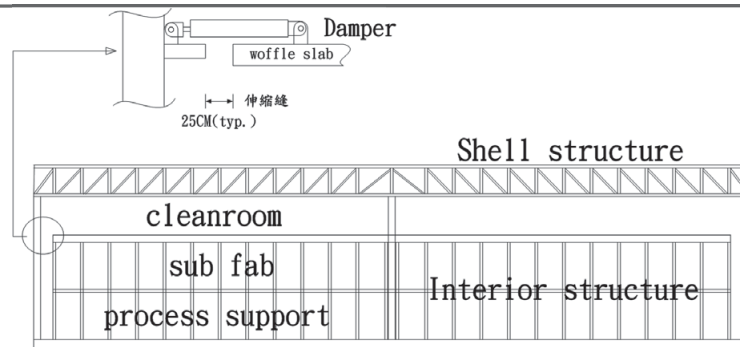
聯邦、永峻工程顧問公司 提供

台灣黏性制震元件應用案例 (2 of 2)



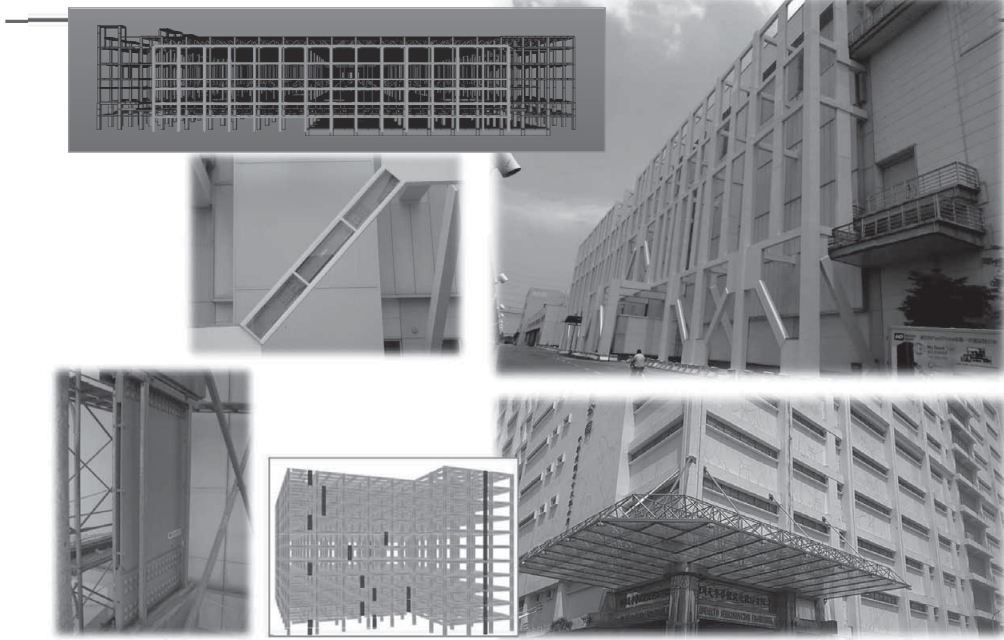
聯邦工程顧問公司 提供

台灣半導體廠房抗震措施 (1 of 2)



台灣半導體廠房抗震措施 (2 of 2)

NARlabs



台灣 TFT-LCD 廠房抗震措施

NARlabs



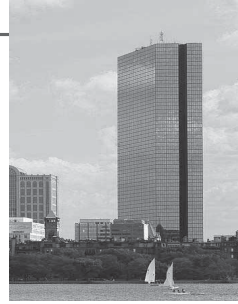
TMD應用案例

NARLabs

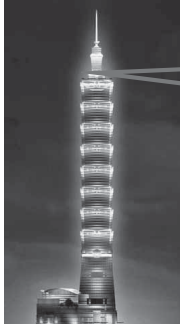
加拿大多倫多
CN Tower



美國波士頓 John
Hancock Tower

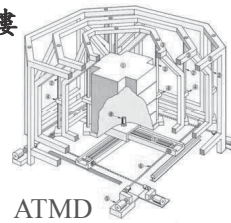


101 台北
金融大樓



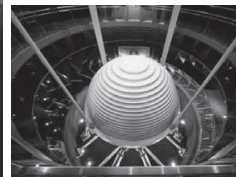
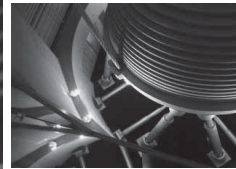
- 1組660噸鋼球
- 8組鋼纜
- 8組黏性阻尼器
- 8組緩衝減震器

高雄東帝士大樓



- ATMD
- 兩組懸吊鐘擺式質塊阻尼器分別裝於第78層樓版兩角落

NARLabs



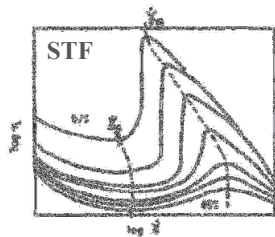
永峻工程顧問公司 提供

大綱

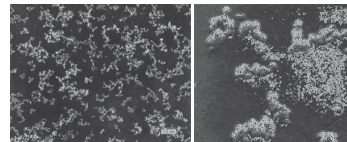
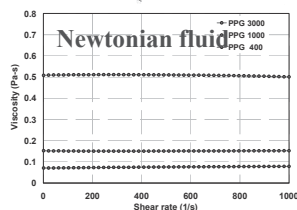
- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

智慧型被動阻尼器研發 (1 of 3)

- 利用摻入奈米粒子之高分子聚物流體取代傳統牛頓流體
- 物理特性隨著流體之剪應變率而改變
- STF : Shear Thickening/Thinning Fluid



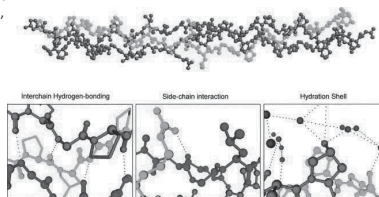
Journal of Rheology, 33(2), 329-366 (1989) John Wiley & Sons,



Cluster of nanoparticles



Interaction



Molecular structure of polymer-based fluid

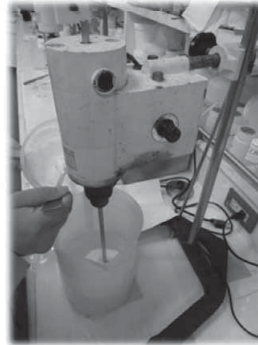
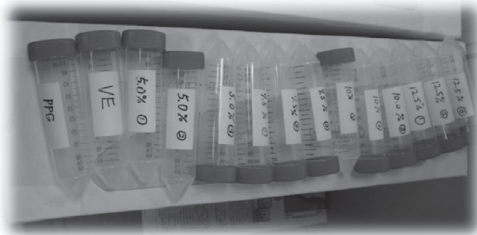
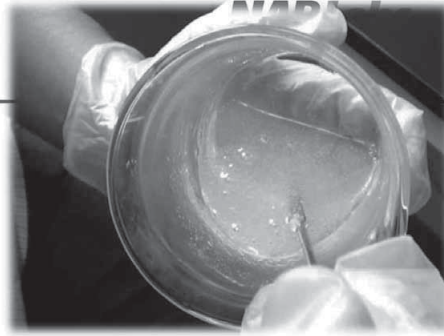
智慧型被動阻尼器研發 (2 of 3)



奈米矽粒子



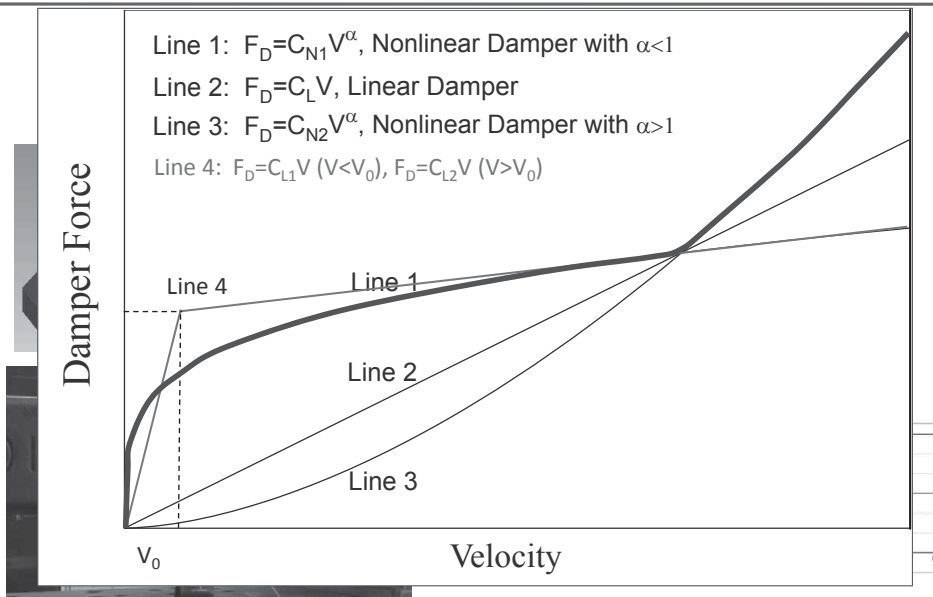
高分子聚合物



拌合

智慧型被動阻尼器研發 (3 of 3)

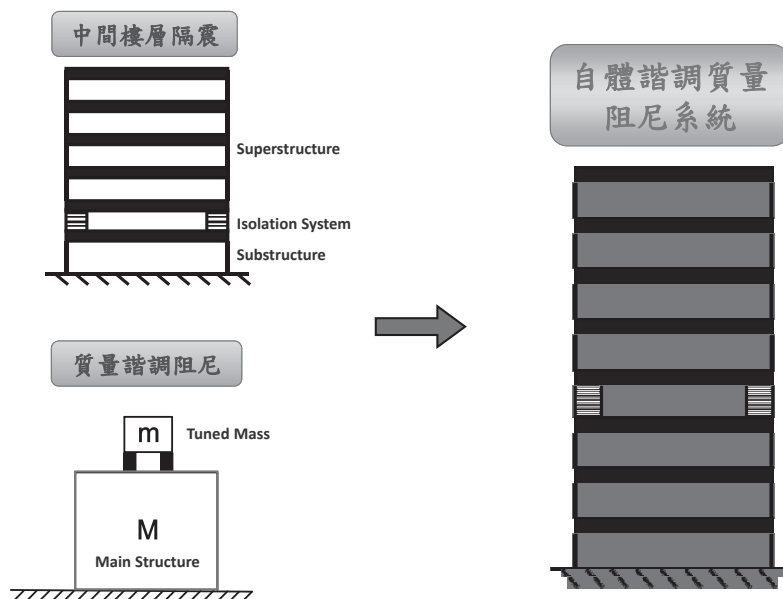
NARLabs



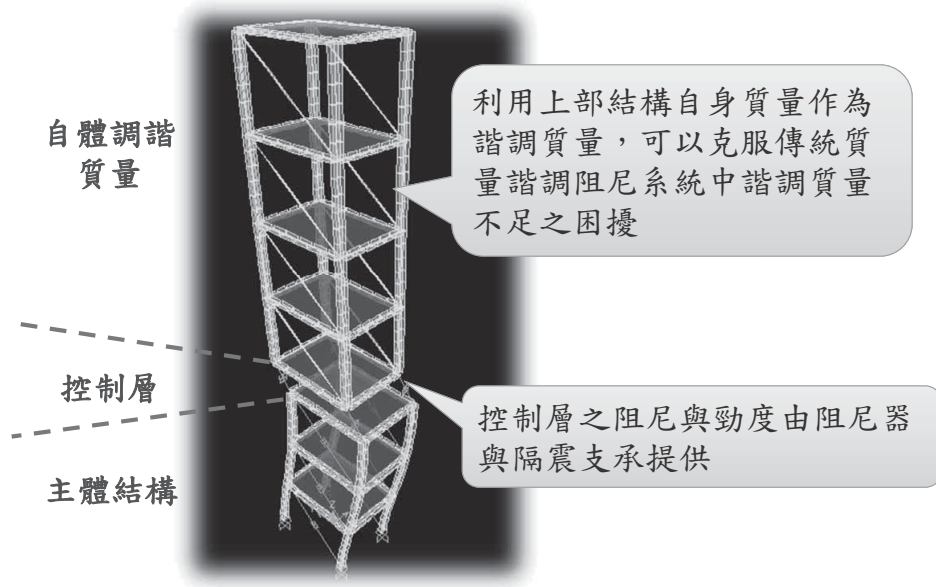
大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - **自體調諧質量阻尼系統**
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

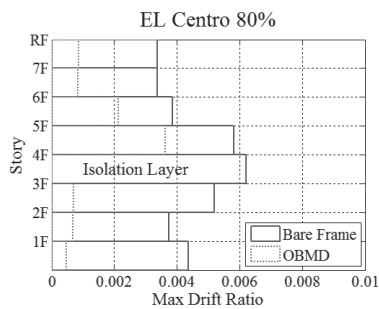
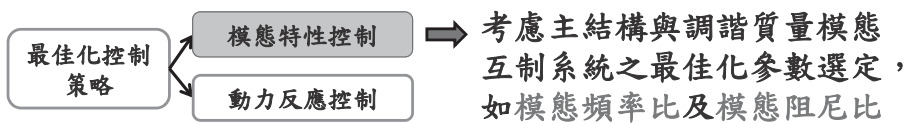
自體調諧質量阻尼系統(BMD)設計理念



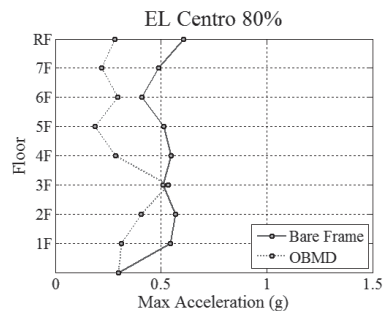
自體調諧質量阻尼系統(BMD)



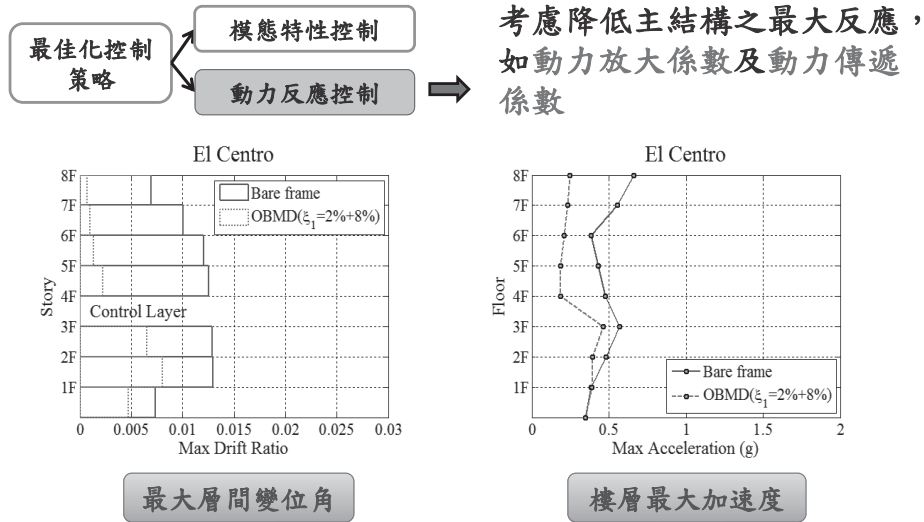
自體調諧質量阻尼系統(BMD)之最佳化設計策略 (1 of 2)



最大層間變位角



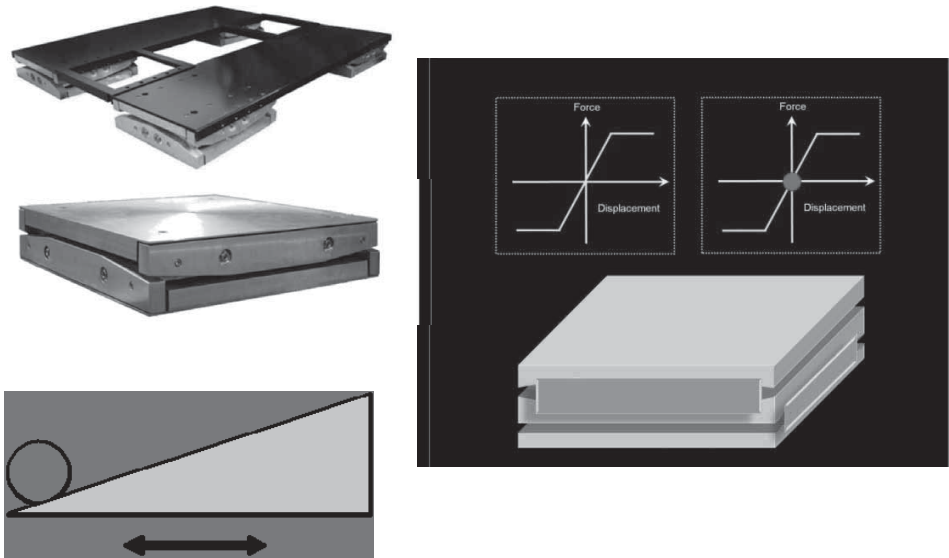
樓層最大加速度



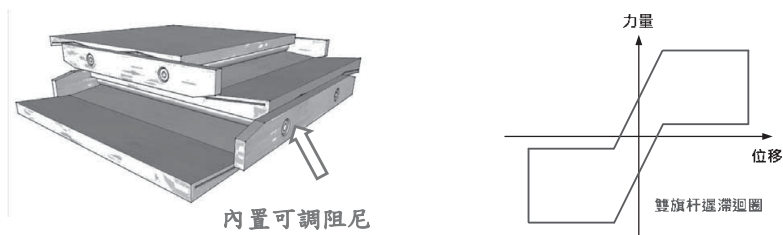
大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

滾動隔震支承 (1 of 2)



滾動隔震支承 (2 of 2)

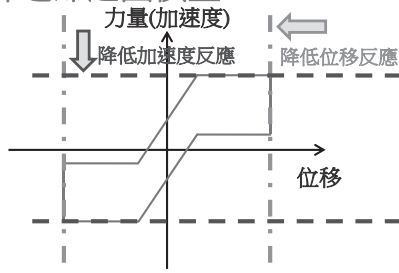


- ✓ 不易與擾動產生共振
- ✓ 大幅降低加速度反應為定值，滿足高性能設計要求
- ✓ 具阻尼消能
- ✓ 承載力佳
- ✓ 重力自動復位

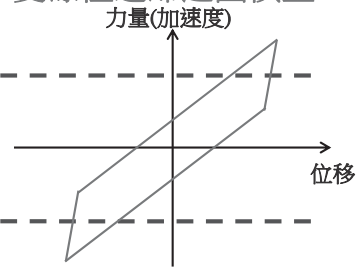
與其他設備物隔震技術比較

NARLabs

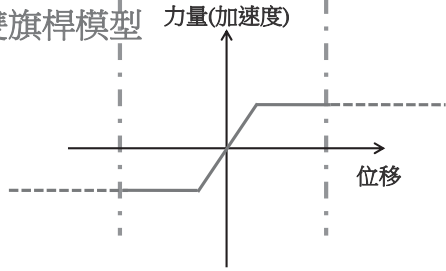
雙旗桿遲滯迴圈模型



雙線性遲滯迴圈模型

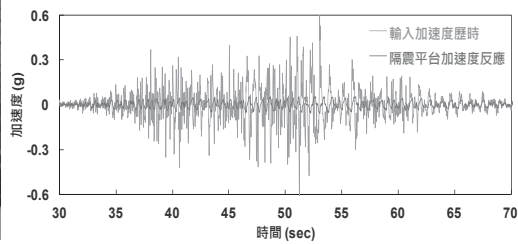
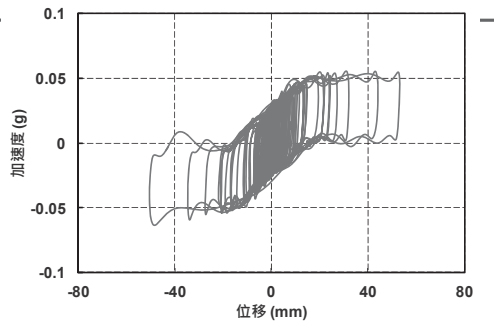
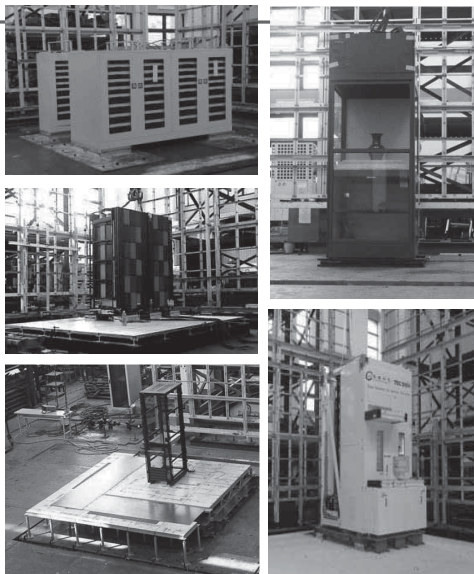


雙旗桿模型



振動台試驗驗證

NARLabs





保護資料儲存電腦、網路與通訊設備



數據機房，維繫防救災體系保護無價生命

大綱

- 耐震設計
 - 隔、制震簡介
 - 常見隔、制震元件
 - 隔、制震建築設計案例
 - 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
 - NCREE現有與未來試驗能量
-

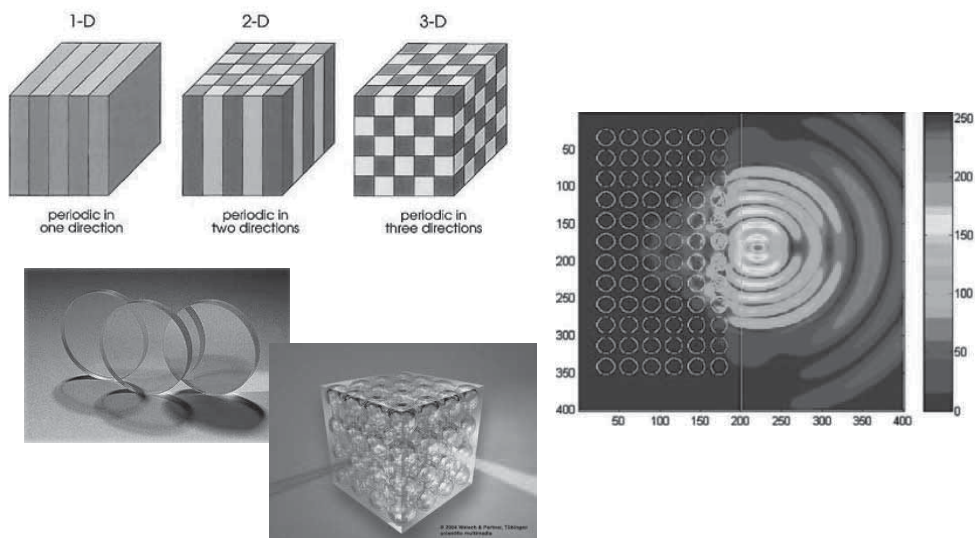
橡膠隔震元件極限性能



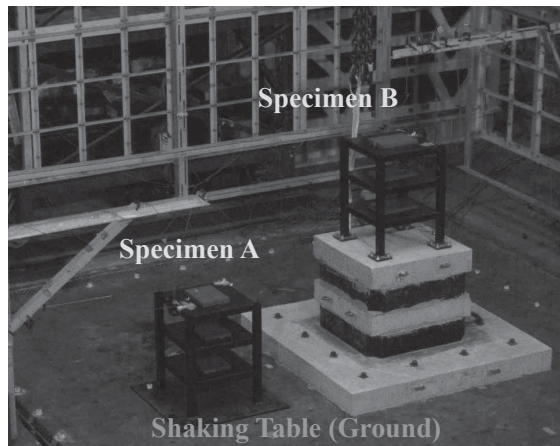
大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 目前與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- NCREE現有與未來試驗能量

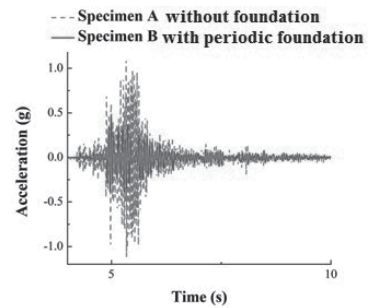
週期性材料應用於結構隔振 (1 of 2)



週期性材料應用於結構隔振 (2 of 2)



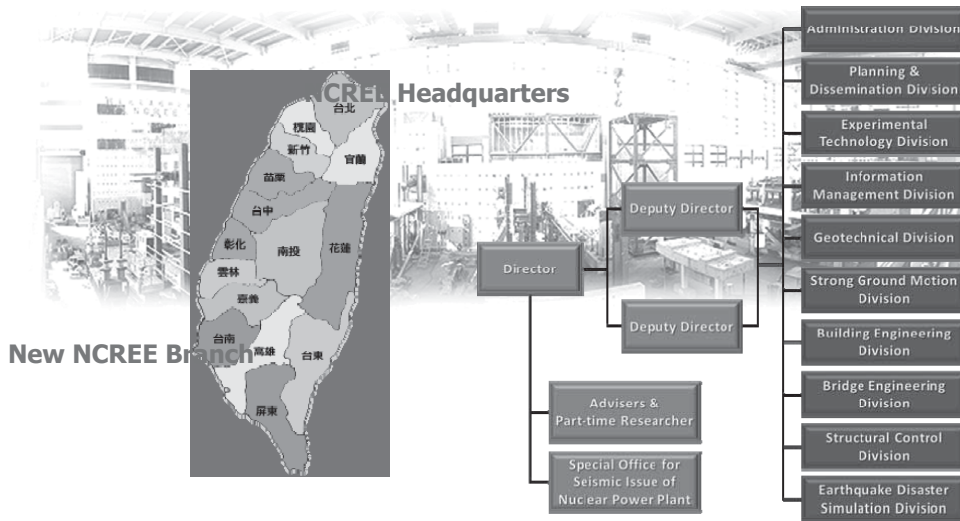
Test setup for 1-D periodic foundation



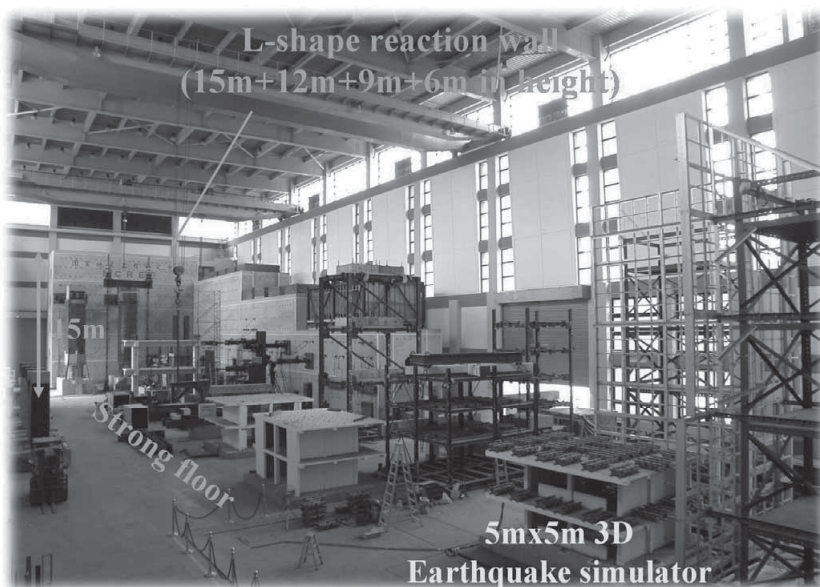
大綱

- 耐震設計
- 隔、制震簡介
- 常見隔、制震元件
- 隔、制震建築設計案例
- 現今與未來研究發展
 - 智慧型被動阻尼器
 - 自體調諧質量阻尼系統
 - 滾動隔震支承
 - 橡膠隔震元件極限性能
 - 週期性材料隔振設計
- **NCREE現有與未來試驗能量**

NCREE 現有與未來試驗能量

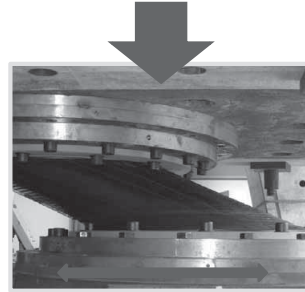


NCREE 現有試驗設施 (振動台、反力牆、強力地板)



NCREE 現有試驗設施
多軸向測試系統 (MATS)

NARlabs

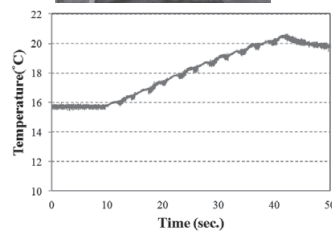


最大垂直向出力: 6000 ton
最大水平向衝程: ± 1200 mm

NCREE 現有試驗設施
多軸向測試系統 (MATS)

NARlabs

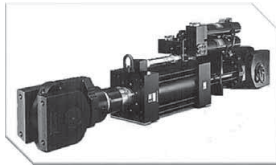
可進行溫度控制試驗



NCREE現有試驗設施

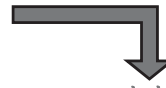
減震消能元件測試系統

NARLabs



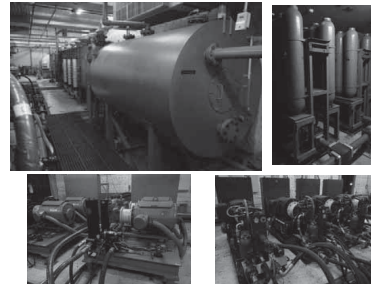
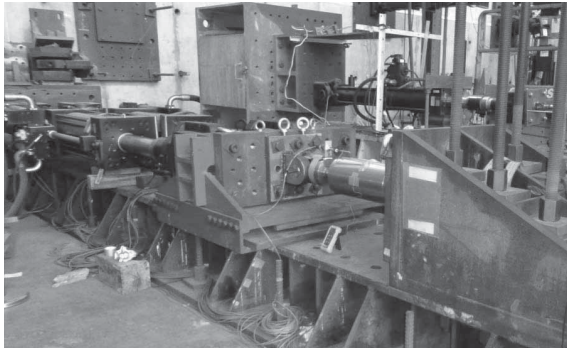
現有試驗容量

兩組動態致動器(400gpm)
 最大出力: ± 160 ton
 最大衝程: ± 400 mm
 最大速度: 200 mm/sec



未來

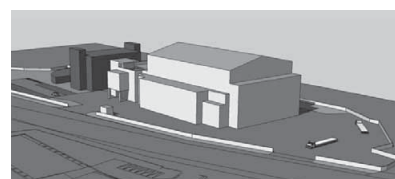
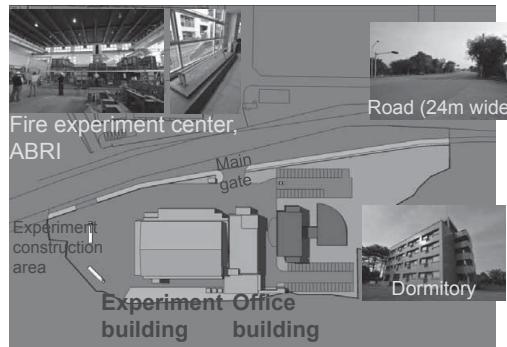
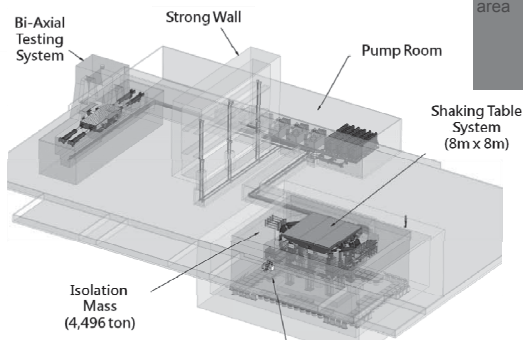
單組動態致動器 (1600 gpm)
 最大出力: ± 200 ton
 最大衝程: ± 600 mm
 最大速度: 1000 mm/sec



NCREE第二實驗設施

NARLabs

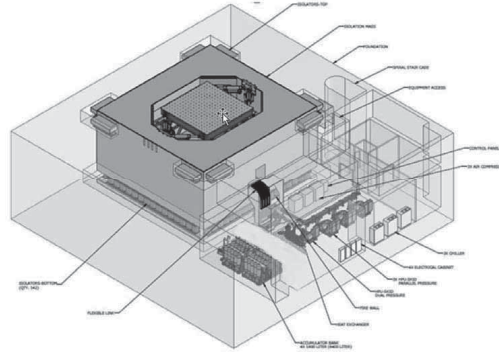
Facility Layout



NCREE 第二實驗設施 長衝程高速振動台

NARLabs

- ✓ 可模擬近斷層地震
- ✓ 可進行三向地震試驗
- ✓ 可模擬六個自由度運動

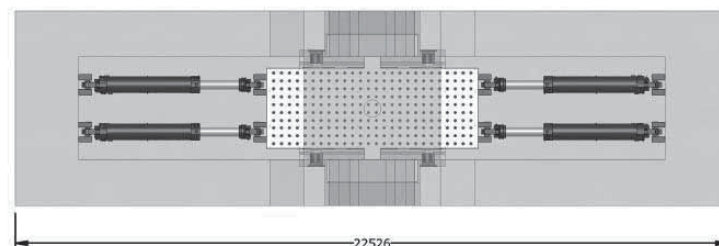
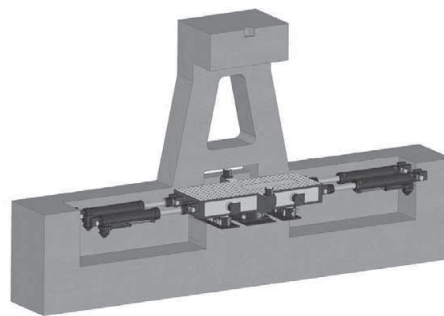


Location	Shaking Table Specification				
	Table size (m)	Max. Disp. (mm)	Max. Vel. (mm/sec)	Max. Acc. (g)	Max. payload (ton)
Taipei Headquarters	5 x 5	H±250 V±100	H±1000 V±500	H±1.0 V±1.0	50
Tainan Branch	8 x 8	H±1000 V±400	H±2000 V±1000	H±1.2 V±0.8	100

NCREE 第二實驗設施 雙向測試系統 (BATS)

NARLabs

1. 最大水平向衝程：±1200 mm
2. 最大水平向出力：± 400 ton
3. 最大水平向速度：± 1000 mm/sec
4. 最大垂直向壓力：6000 ton
5. 最大垂直向速度：150 mm/sec
6. 最大垂直向拉力：800 ton



NARLabs

承諾·熱情·創新

簡報完畢 敬請指教

kcchang@ncree.narl.org.tw
ciekuo@ntu.edu.tw
