

NAR Labs 國家實驗研究院

國家地震工程研究中心

隔減震試驗技術

林旺春

張國鎮 台灣大學教授，國家地震工程研究中心顧問

黃震興 台灣科技大學教授，國家地震工程研究中心組長

汪向榮 國家地震工程研究中心研究員

楊卓諺 國家地震工程研究中心助理研究員

游忠翰 國家地震工程研究中心專案助理研究員

曾建創 國家地震工程研究中心助理技術師

林德宏 國家地震工程研究中心助理研究員

關慎佑 國家地震工程研究中心助理技術師

林晉承 國家地震工程研究中心助理技術師

www.narlabs.org.tw

大綱

- 我國建築隔減震設計規範沿革
- NCREE試驗能量與隔減震元件測試服務介紹
- 我國現行隔震元件實體試驗與性能保證試驗說明
- 我國現行消能元件實體試驗與性能保證試驗說明

- **我國建築隔減震設計規範沿革**

- **NCREE試驗能量與隔減震元件測試服務介紹**
- **我國現行隔震元件實體試驗與性能保證試驗說明**
- **我國現行消能元件實體試驗與性能保證試驗說明**

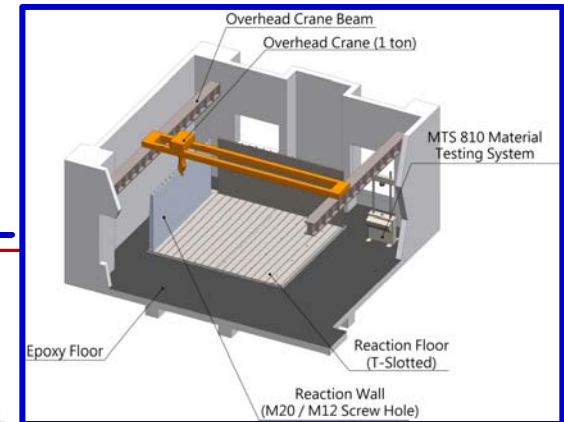
我國建築隔減震設計規範沿革

- 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)
 - 第九章 隔震建築物設計 (修訂)
 - 第十章 含被動消能系統建築物之設計 (同2005版)
- 建築物耐震設計規範及解說 (預計2017)
 - 第九章 隔震建築物設計 (同2011版)
 - 第十章 含被動消能系統建築物之設計 (修訂)

- 我國建築隔減震設計規範沿革
- **NCREE試驗能量與隔減震
元件測試服務介紹**
- 我國現行隔震元件實體試驗與性能保證試驗說明
- 我國現行消能元件實體試驗與性能保證試驗說明

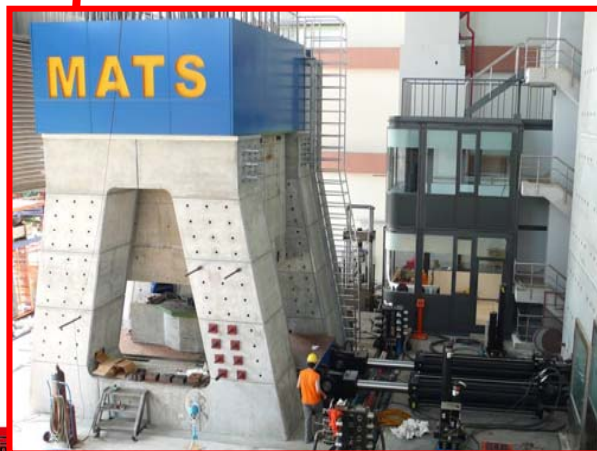
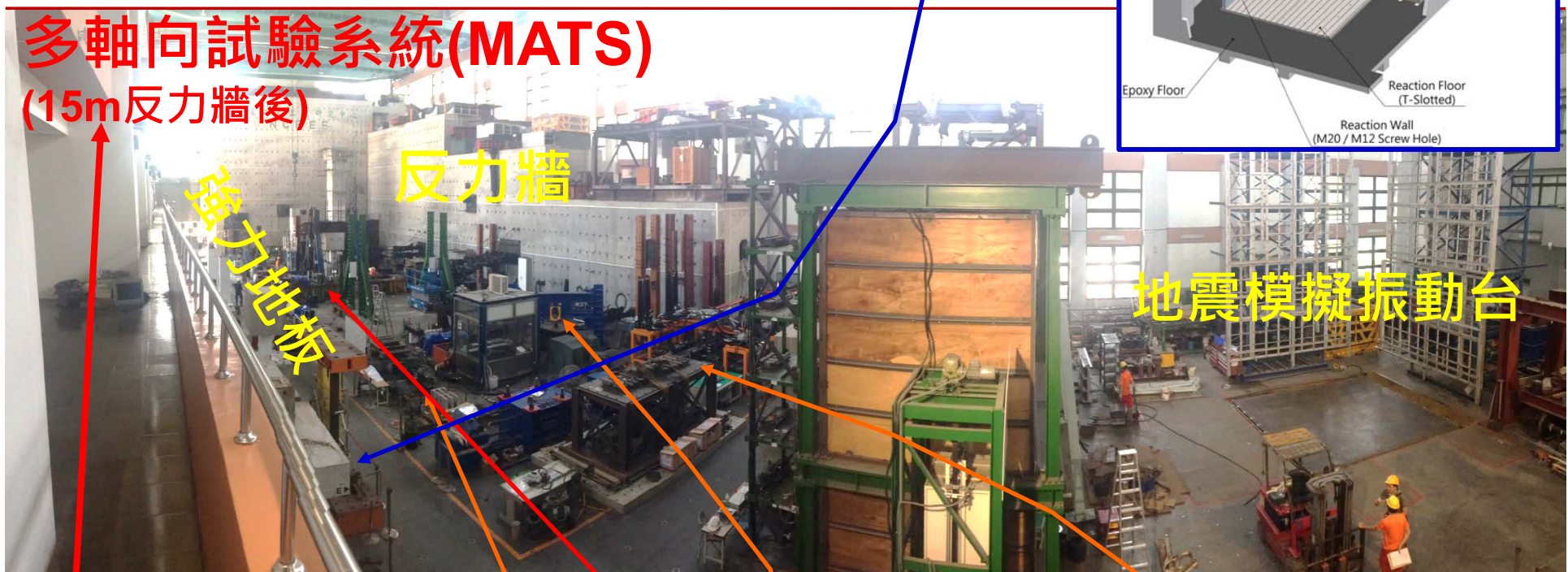
NCREE北部實驗室

小型實驗室



多軸向試驗系統(MATS)

(15m反力牆後)



三軸向縮尺試驗設施 高性能消能元件測試系統

減震消能元件測試系統



小型多振動台

NCREE臺南實驗室



多軸向測試系統 (MATS)



提供不同型式隔減震元件 測試服務



連梁式鋼板剪力牆



隔震支承墊



壁式黏彈性阻尼器



挫屈束制支撐



低降伏鋼剪力鋼板

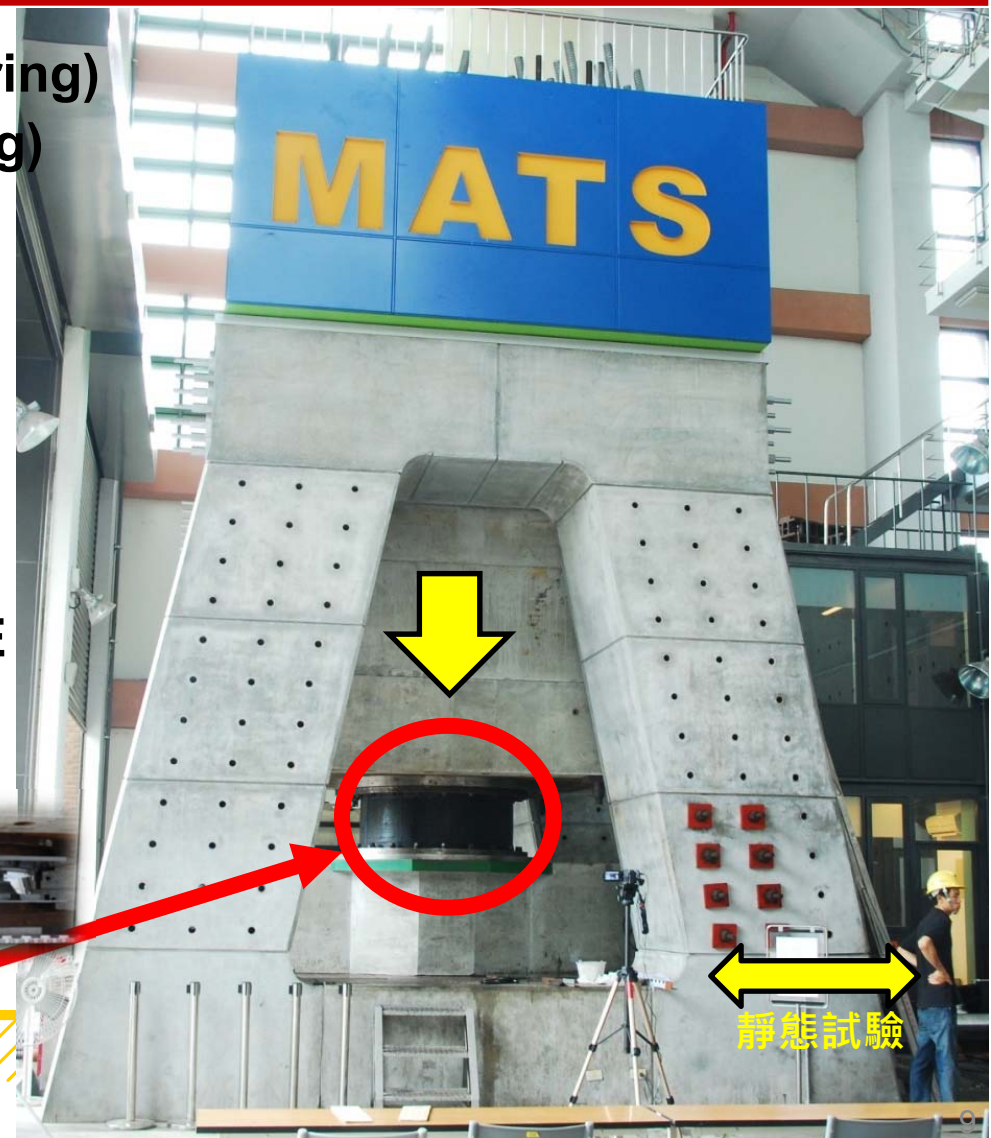
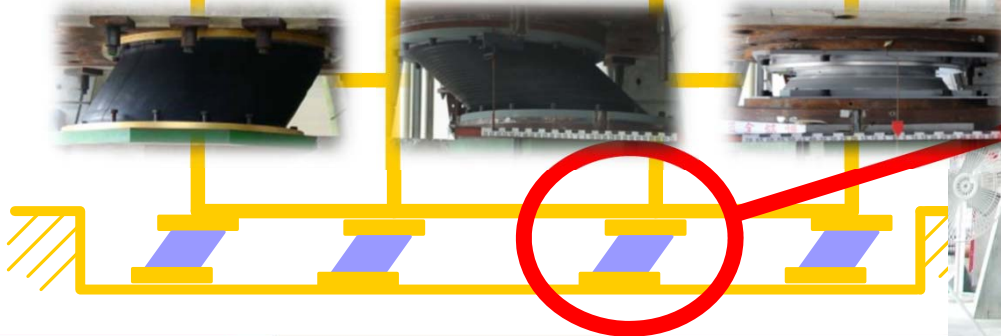


RC柱、梁柱接頭

隔震支承墊

- 天然橡膠支承墊(Natural rubber bearing)
- 鉛心橡膠支承墊(Lead-rubber bearing)
- 高阻尼橡膠支承墊(High-damping rubber bearing)
- 摩擦單擺支承墊(Friction pendulum bearing)
- 滾動類支承墊(Rolling-type bearing)
- ...

測試依循規範包含：台灣、美國(ASCE 7-10)、歐洲(EN 15129)



- 外包橡膠膨脹突出
- 積層橡膠與鋼片間之界面產生脫離



- 外包橡膠膨脹破裂



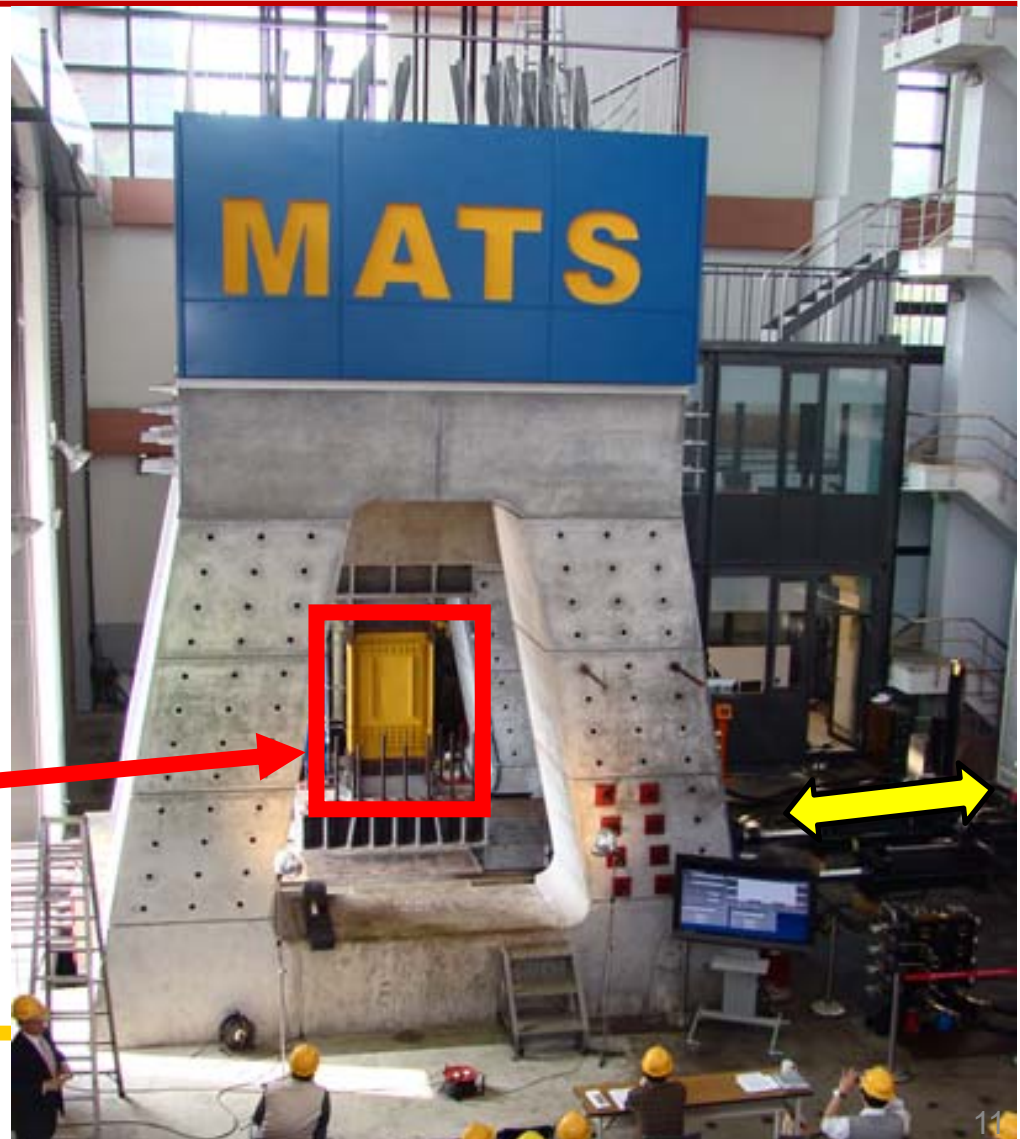
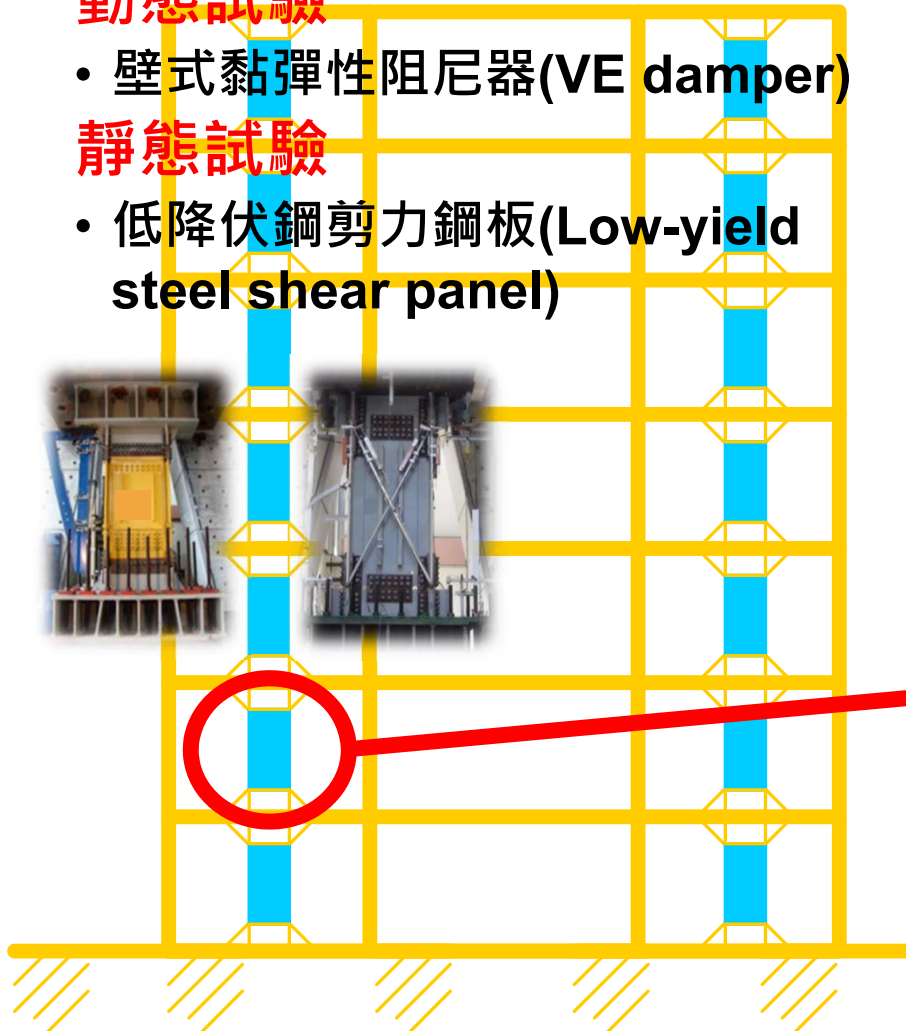
壁式阻尼器

動態試驗

- 壁式黏彈性阻尼器(VE damper)

靜態試驗

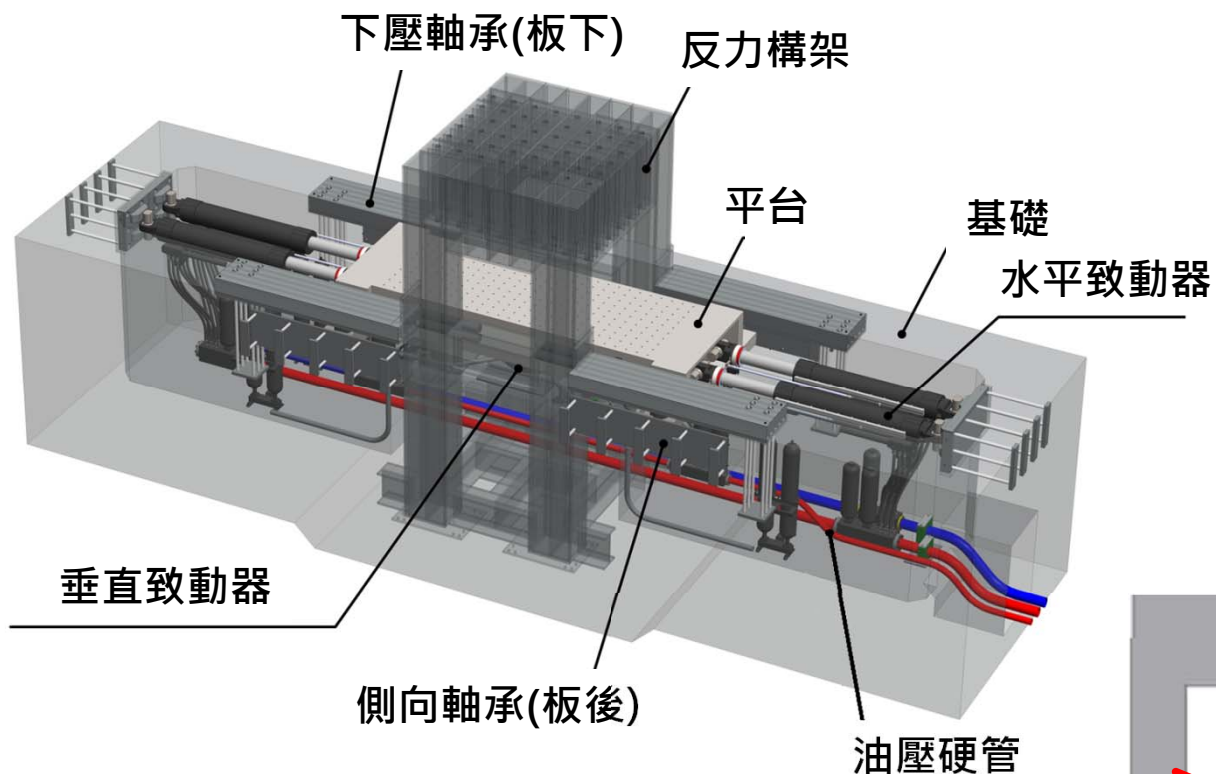
- 低降伏鋼剪力鋼板(Low-yield steel shear panel)



雙軸向動態試驗系統

NARLabs

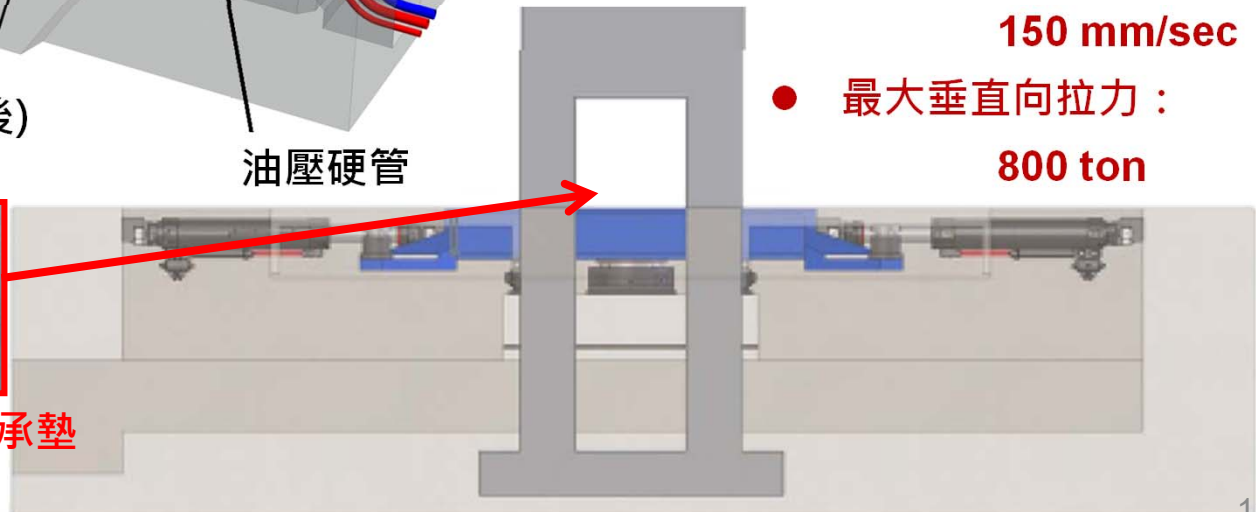
Bi-Axial dynamic Testing System (BATS)

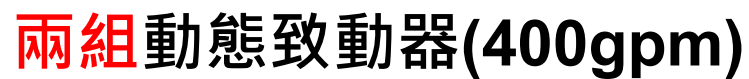


- 最大水平向衝程：
 $\pm 1200 \text{ mm}$
- 最大水平向出力：
 $\pm 400 \text{ ton}$
- 最大水平向速度：
 $\pm 1000 \text{ mm/sec}$
- 最大垂直向壓力：
 6000 ton
- 最大垂直向速度：
 150 mm/sec
- 最大垂直向拉力：
 800 ton



例如：摩擦單擺支承墊

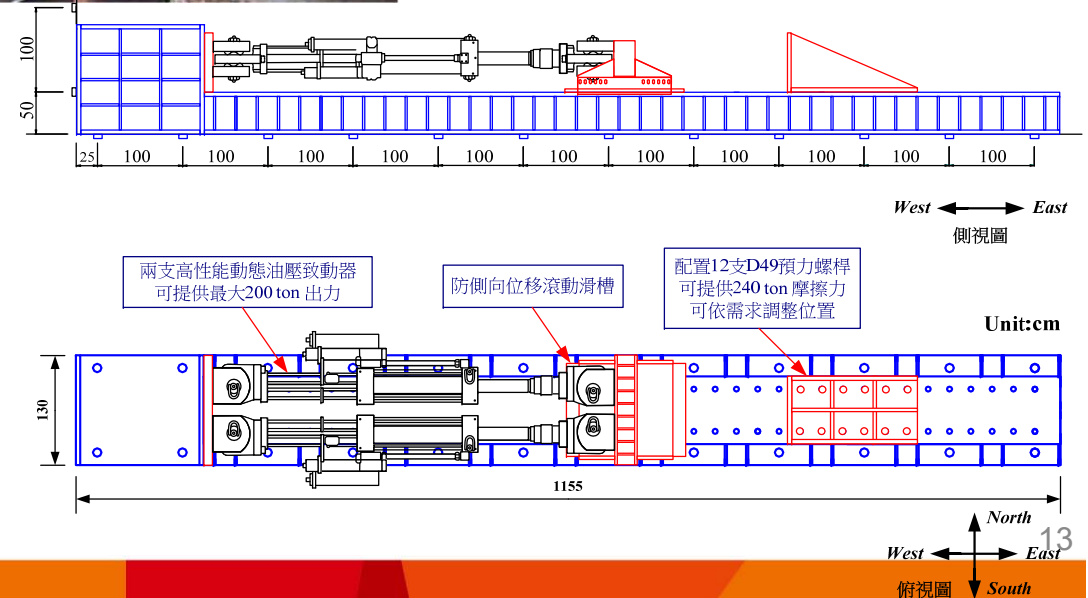




最大出力: **±170ton**

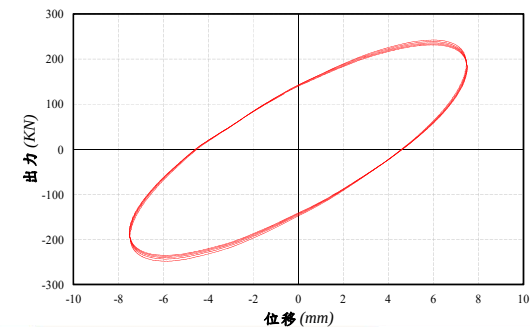
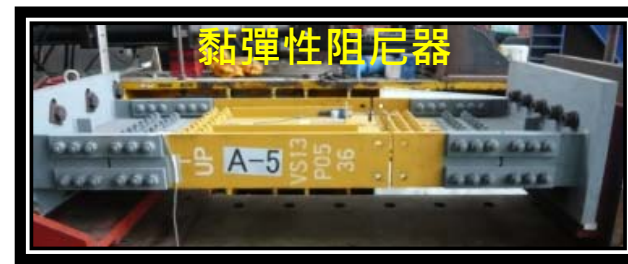
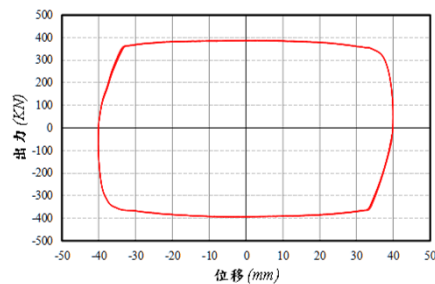
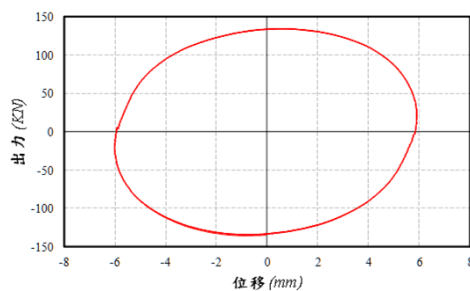
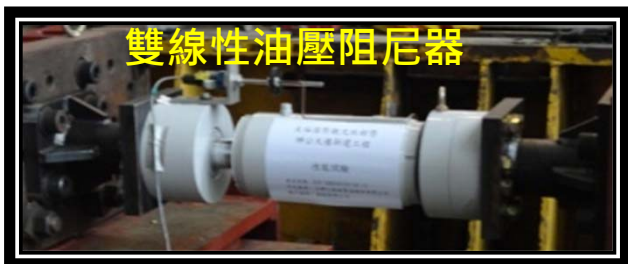
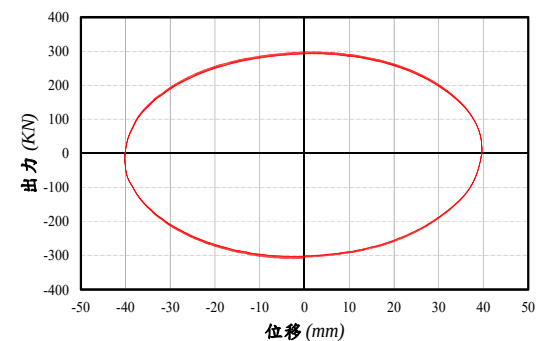
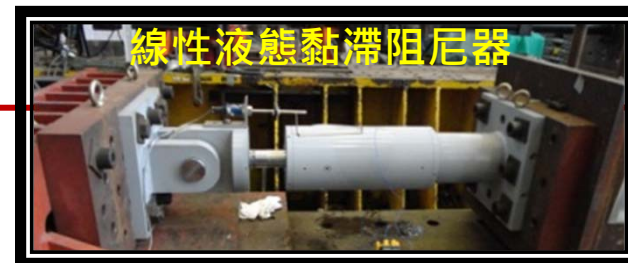
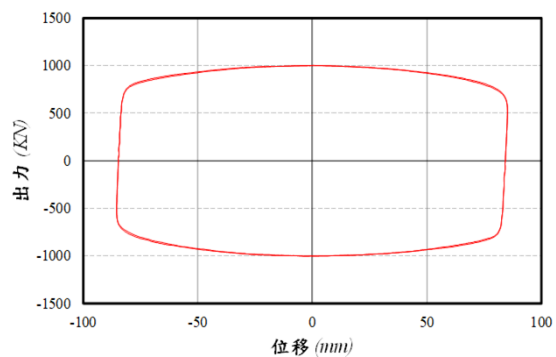
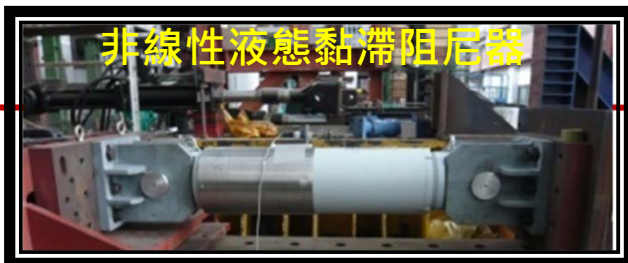
最大衝程: **±400mm**

最大速度: 240mm/sec



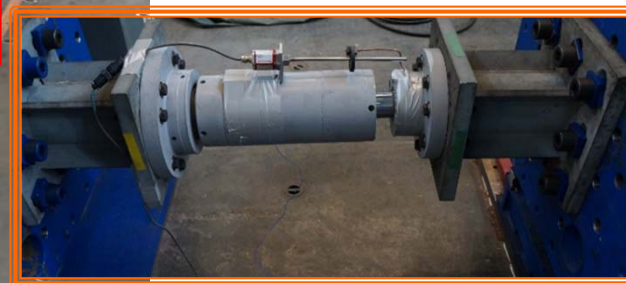
不同型式減震元件測試

NAR Labs



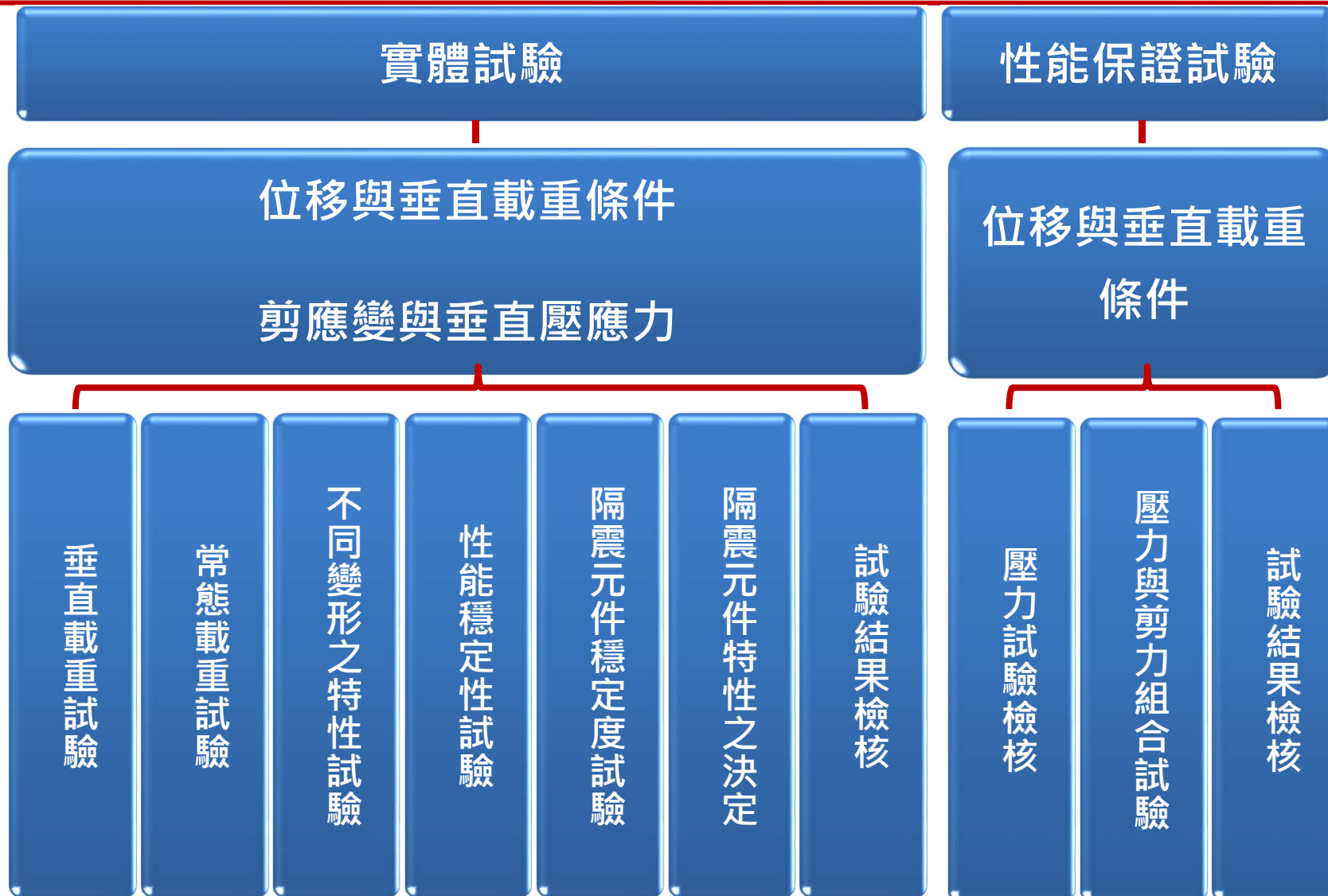
高性能消能元件測試系統

- Max. Disp.: $\pm 600\text{mm}$
- Max. Vel.: $\pm 1.0\text{m/s}$
- Max. Force: $\pm 2.0\text{MN}$



- 我國建築隔減震設計規範沿革
- NCREE試驗能量與隔減震元件測試服務介紹
- **我國現行隔震元件實體試驗與性能保證試驗說明**
- 我國現行消能元件實體試驗與性能保證試驗說明

實體與性能保證試驗



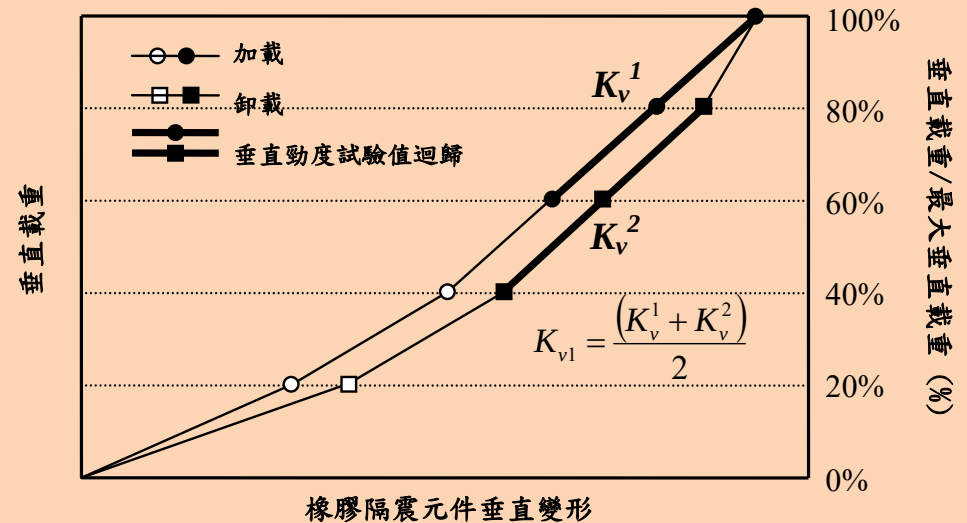
實體試驗

- 至少須使用二個與原設計相同型式與尺寸的隔震元件進行試驗
- 實體試驗所用的試體不得再使用於建築物結構上
- 實體試驗宜由國內具公信力之隔震元件試驗機構辦理
- 實體試驗可使用剪應變與垂直壓應力條件
 - 橡膠隔震元件
 - $Q_D + 1/2 Q_L + Q_E$ 不大於 200 kgf/cm^2
 - D_{TM} 對應隔震元件橡膠總厚度之剪應變不大於 250%

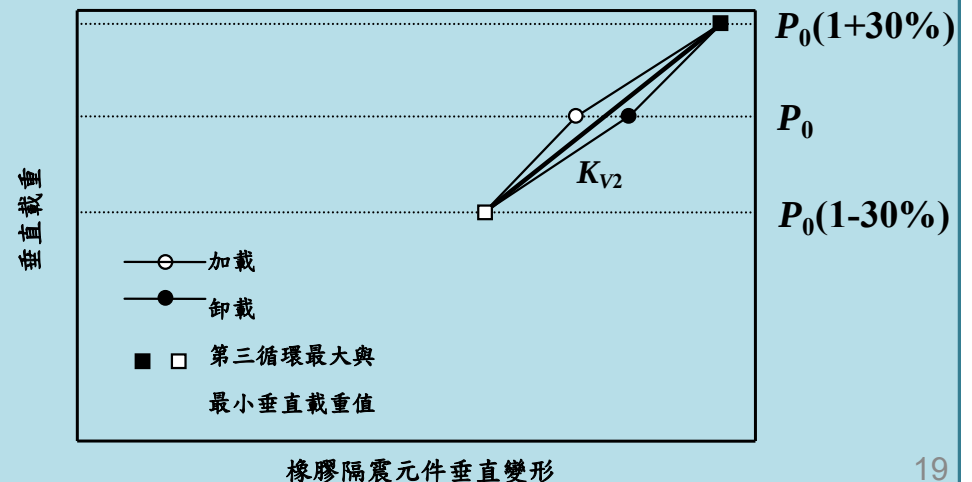
垂直載重試驗

- 垂直載重 (壓應力) 由零加載至 $Q_D + 1/2 Q_L + Q_E$ (200 kgf/cm^2)，並卸載回復為零

- 試體必須保持穩定且不得有明顯之破壞
- 試驗所得之垂直勁度值不宜小於設計值之80%



- 先將垂直載重加載至 P_0 ，然後在 $P_0(1 \pm 30\%)$ 之間進行連續三次加卸載循環
- 第三循環最大與最小垂直載重下之出力與位移關係計算垂直勁度

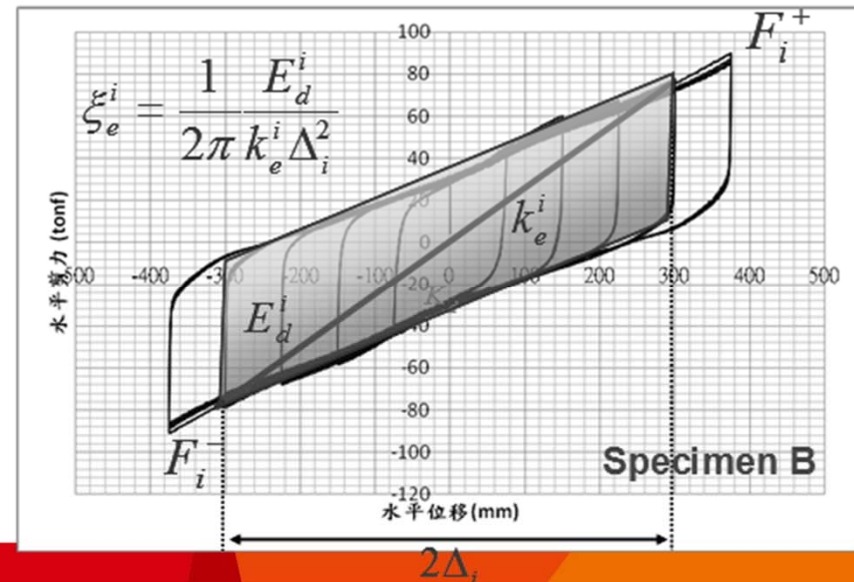
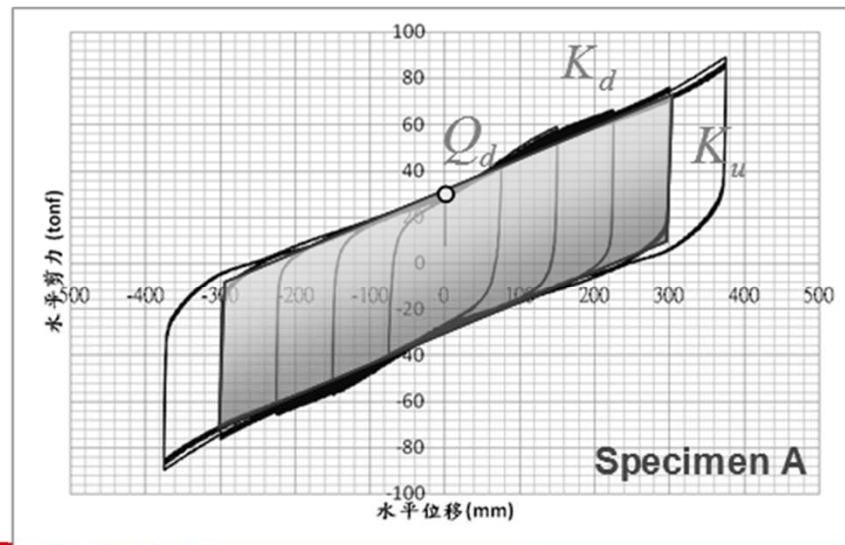


常態載重試驗

- 在垂直壓應力(壓力)下進行二十個循環試驗，每個循環試驗之最大力量或水平位移為隔震元件所承受之常態載重(風力、溫度變化等)或其所對應之位移
- 國內專業技師提供之試驗條件，通常為在一垂直載重下進行二十個循環試驗，每個循環之最大力量為一定值，以反映所承受之常態載重，並依試驗結果檢核其水平變位須於專業技師所訂定之範圍內

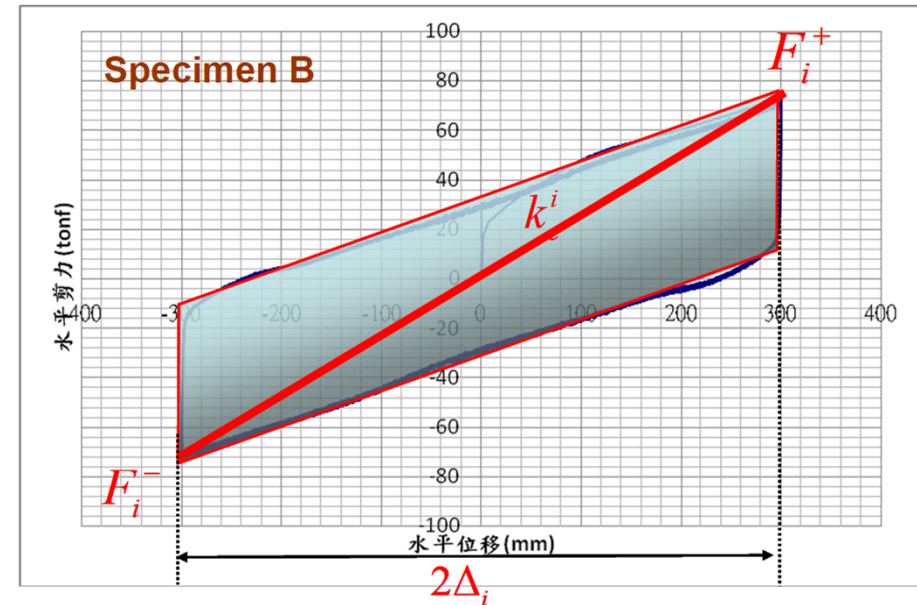
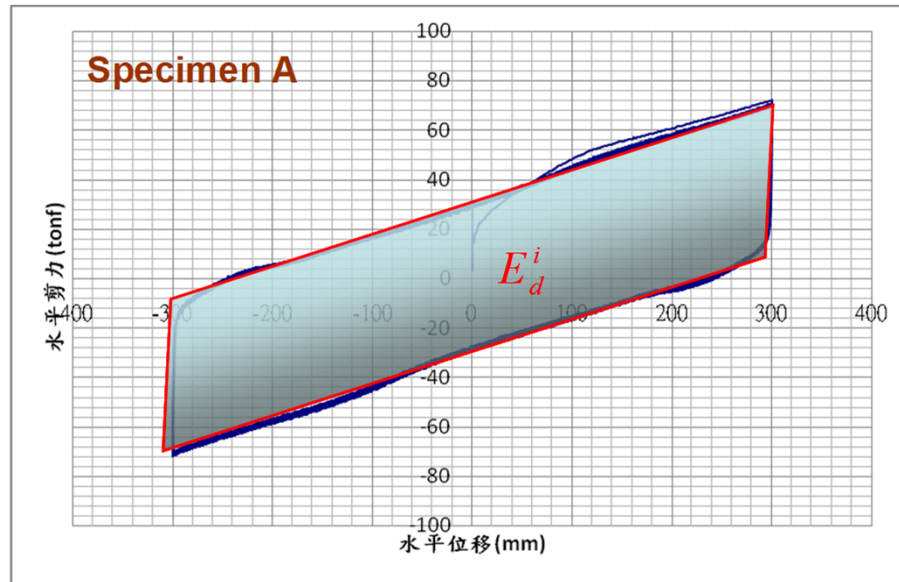
不同變形之特性試驗

- 在垂直載重 (壓應力) 為 Q_D (100kgf/cm^2) 下，進行循環試驗，每個循環之位移 (隔震元件橡膠總厚度之剪應變) 依序為 $0.25D_D$ (50%)、 $0.5D_D$ (100%)、 $0.75D_D$ (150%)、 $1.0D_D$ (200%)、 $1.25D_D$ (250%) 及 $1.0D_D$ (200%)，每一種位移進行三個循環試驗
 - 試驗之受力 - 變形關係圖的切線勁度必須為正值
 - 一種試驗位移下任一循環的有效勁度與其三個循環的平均有效勁度差異須在 $\pm 10\%$ 以內
 - 最後一組試驗之三個循環，各試體之平均有效勁度值與設計之有效勁度值差值不得超過 15%，各試體平均等效阻尼比及消能能量不得小於設計值之等效阻尼比及消能能量的 85%
 - 所有兩個試體的平均有效勁度值之差不得大於 10%



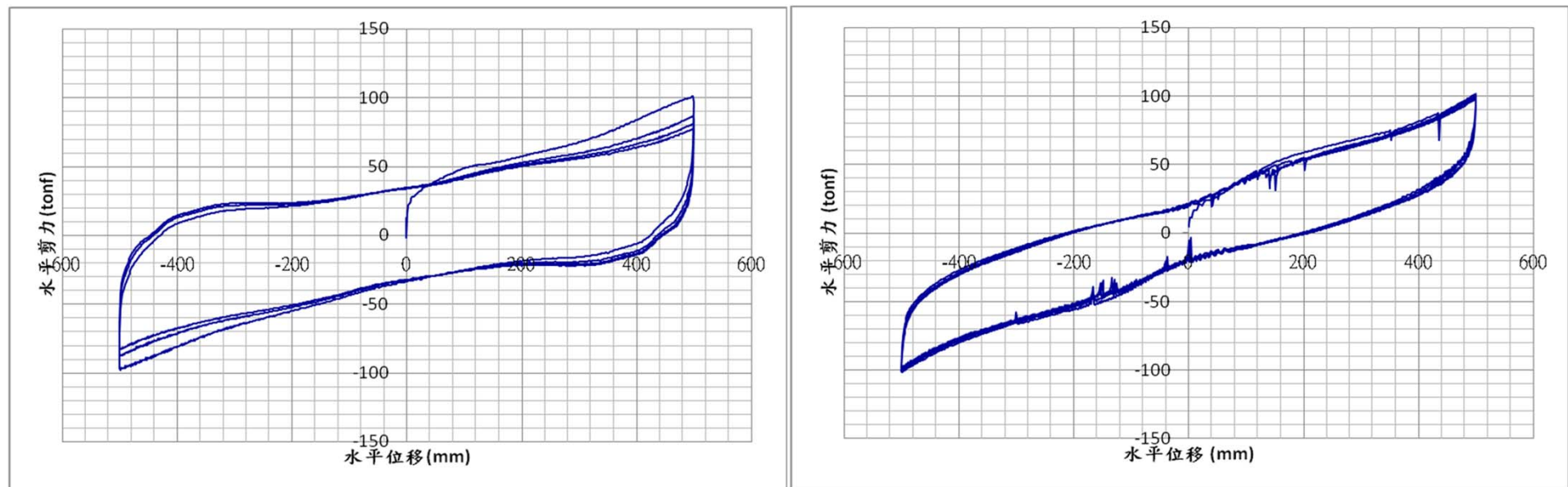
性能穩定性試驗

- 在垂直載重 (壓應力) 為 Q_D (100kgf/cm^2)，進行十個循環試驗，每個循環之最大側向位移為 D_D (隔震元件橡膠總厚度之剪應變200%)
 - 任一循環之有效勁度與第一循環之差值不得大於20%，任一循環之消能能量不得小於第一循環之70%



隔震元件穩定度試驗

- 在垂直載重 (壓應力) 各為 $Q_D + 1/2 Q_L + Q_E$ (200kgf/cm²以上) 與 $Q_D - Q_E$ (20kgf/cm²以下) 時，分別進行三個循環試驗，每個循環之側向位移為 D_{TM} (不小於隔震元件橡膠總厚度之剪應變250%)
 - 試體必須保持穩定且不得有明顯之破壞



性能保證試驗

- 安裝前，**每個隔震元件**皆須進行試驗，評定力學特性是否與設計值相同或容許誤差範圍內
- 壓力試驗
 - 每個隔震元件應在承受 $1.5(Q_D + Q_L)$ 之壓力下**五分鐘**後，在卸載前後觀察其變化
 - 橡膠隔震元件須觀察橡膠的膨脹突出，鋼片和橡膠層墊間不能有接合不良的情形，在橡膠層表面不能產生裂縫
 - 滑動式或滾動式隔震元件若發現塗層剝離、不鏽鋼板刮傷或產生永久變形及塗層內涵外洩等情形時，則不予通過
- 壓力及剪力組合試驗
 - 每個隔震元件應在垂直載重為 Q_D 載重下進行**三個**循環試驗，每個循環之最大位移應為 D_D
 - 每個試體的**平均**有效勁度和**設計**值差異不超過 **$\pm 15\%$**
 - 每個試體的**平均**消能能力或等效阻尼比不得小於**設計**值之**85%**

- 我國建築隔減震設計規範沿革
- NCREE試驗能量與隔減震元件測試服務介紹
- 我國現行隔震元件實體試驗與性能保證試驗說明-含NCREE過去試驗經驗
- **我國現行消能元件實體試驗與性能保證試驗說明**

實體試驗與性能保證試驗

- **實體試驗**在確認最大考量地震作用下消能元件之**消能性質及穩定性**，針對消能元件**完成設計且未量產前**，針對風力、地震力及不同外力型式(如溫度等環境之變異性)等加以試驗，亦考慮建築物基本特性(如基本振頻變異性等)
- **性能保證試驗**在證實設計中所使用消能元件之**力學性質**，消能元件**生產安裝前**，消能元件根據專業技師設計時所訂的性能加以**抽樣試驗**，以確保消能元件的力-速度-位移等特性是否符合要求，並確保品質穩定，其較著重於**品管檢核**
- **實體試驗與性能保證試驗**所採用的試體非經該專業技師審查核可，**不可重覆使用**

實體試驗項目

- 進行**五個**完整循環試驗，每個循環試驗對應之軸向位移為**最大考量地震**作用下之反應，對應之頻率為 $f_1(1/T_1)$ ，其中 $f_1(T_1)$ 為建築物基本頻率(週期)-----**頻率試驗/基本性能試驗**
- 進行**2000個**完整循環試驗，每個循環試驗對應之軸向位移為設計風暴所預期之振幅，對應之頻率為 $f_1(1/T_1)$ -----**風力試驗**
- 若消能元件的特性會因當時溫度的不同而有差異，則須在至少**三種操作溫度(最小、週遭、最大)**下進行**五個**完整循環試驗，每個循環試驗對應之軸向位移為**最大考量地震**作用下之反應，對應之頻率為 $f_1(1/T_1)$
-----**溫度試驗**
- 確定消能元件扮演之關鍵角色，應盡量進行**二十個**完整循環試驗，每個循環試驗對應之軸向位移為**最大考量地震**作用下之反應，其試驗頻率應取代表**最大考量地震**下建築物之頻率特徵-----**耐久性試驗**

實體試驗檢核

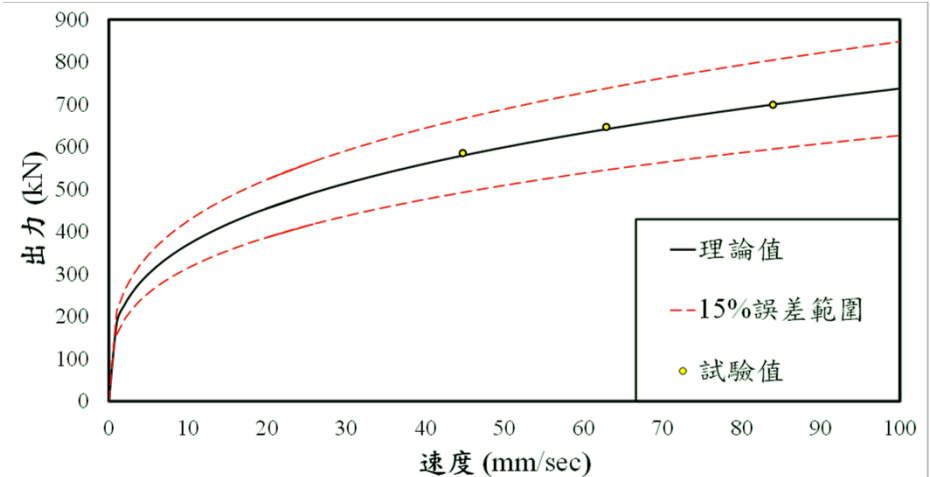
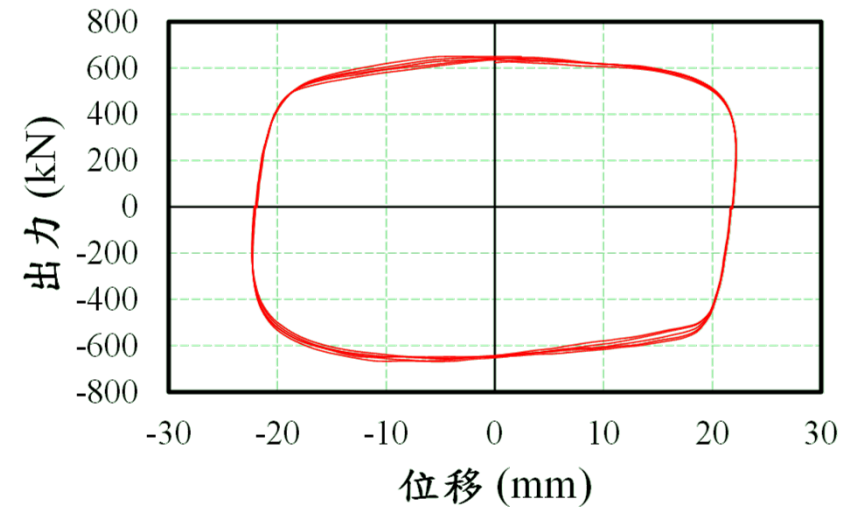
- 實體試驗結果之檢核需滿足以下條件，其中對於15%之限制，若可透過分析顯示更大的差異值對於消能建築反應並無有害的影響，則可以提高
 - 任一循環中之有效勁度(如黏彈性元件)與平均有效勁度之差異在 $\pm 15\%$ 內。
 - 任一循環中於零位移所對應之最大、最小力與所有循環之最大、最小力平均值之差異在 $\pm 15\%$ 內。
 - 任一循環中之遲滯圈面積與平均遲滯曲線面積之差異在 $\pm 15\%$ 內。
 - 計算所得之在零位移之平均最大、最小力、有效勁度(如黏彈性元件)及遲滯迴圈之平均面積均應落在設計值之內。
 - 液態黏滯元件之力與速度性質的變化量不應超過其設計理論值之 $\pm 15\%$ 。

頻率試驗/基本性能試驗(I)

- 液態黏性阻尼器
- 同一振幅、不同頻率下進行測試

正弦波加載參數			試驗最大速度 (mm/sec)	測試時間 (sec)
頻率 (Hz)	振幅 (mm)	循環數		
0.30	22.0	5+1	41.47	20.0
0.45	22.0	5+1	62.20	13.3
0.60	22.0	5+1	82.94	10.0

迴圈數	零位移所對應之 最大出力 (kN)	差異 (%)	零位移所對應之 最小出力 (kN)	差異 (%)	迴圈遲滯面積 (kN-mm)	差異 (%)
頻率0.45 Hz · 振幅22 mm						
1	382.87	-0.50	-386.32	-0.45	50395.09	-2.13
2	384.38	-0.11	-391.27	0.82	51251.16	-0.47
3	380.96	-1.00	-387.86	-0.06	51362.75	-0.25
4	385.84	0.27	-385.82	-0.58	51344.90	-0.29
5	389.91	1.33	-389.11	0.27	53114.05	3.15
avg.	384.79		-388.08		51493.59	

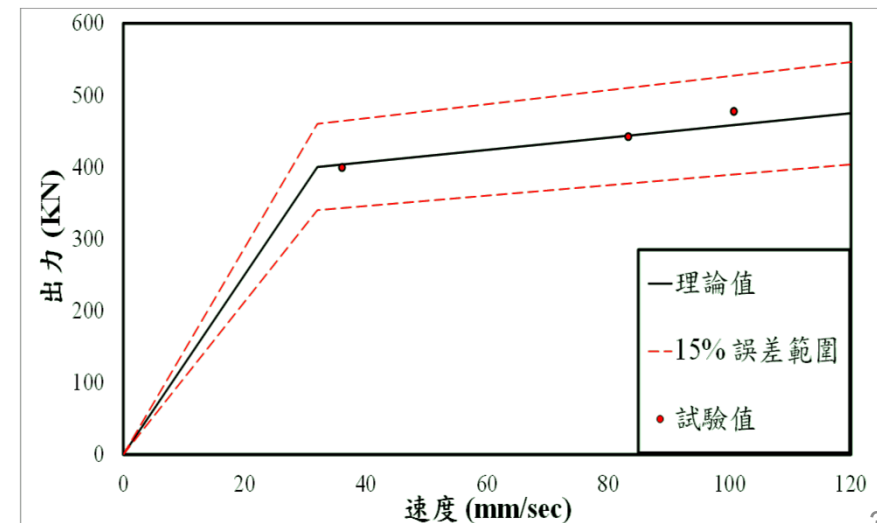
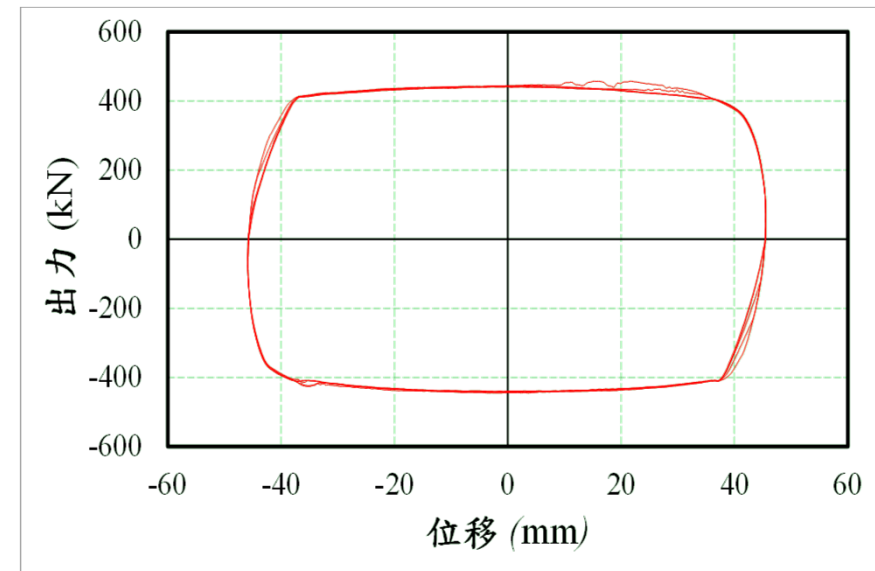


頻率試驗/基本性能試驗(II)

- 油壓阻尼器
- 同一頻率、不同振幅下進行測試

正弦波加載參數			試驗最大速度 (mm/sec)	測試時間 (sec)
頻率 (Hz)	振幅 (mm)	循環數		
0.30	20	5+1	37.70	20.0
0.30	45	5+1	84.82	20.0
0.30	55	5+1	103.67	20.0

迴圈數	零位移所對應之 最大出力 (kN)	差異 (%)	零位移所對應之 最小出力 (kN)	差異 (%)	迴圈遲滯面積 (kN-mm)	差異 (%)
頻率0.3 Hz · 振幅45 mm						
1	444.00	0.29	-444.79	0.66	74390.20	-0.16
2	442.77	0.01	-442.61	0.17	74035.15	-0.64
3	441.93	-0.18	-441.80	-0.01	74206.25	-0.41
4	440.54	-0.49	-440.56	-0.29	74587.71	0.10
5	444.32	0.36	-439.52	-0.53	75328.09	1.10
avg.	442.71		-441.86		74509.48	

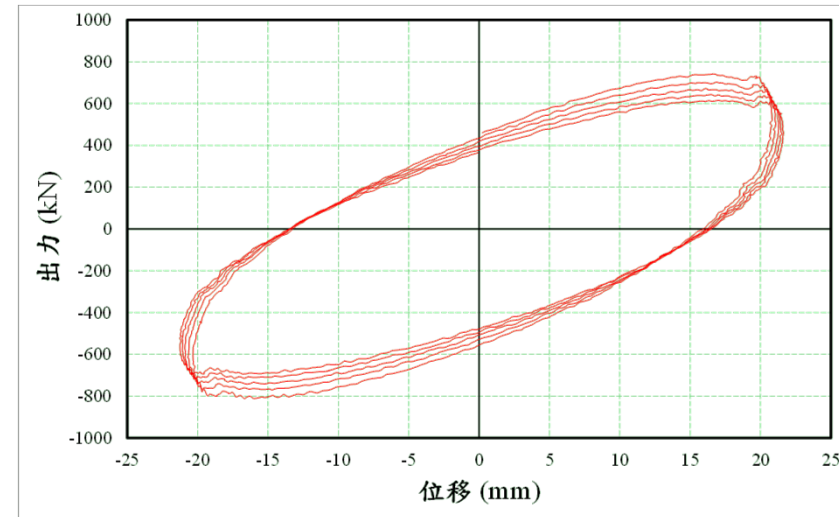


頻率試驗/基本性能試驗(III)

- 黏彈性阻尼器
- 同一頻率、不同振幅下進行測試

正弦波加載參數			試驗最大速度 (mm/sec)	測試時間 (sec)
頻率 (Hz)	振幅 (mm)	循環數		
0.4	10.0	5+1	25.13	15
0.4	20.0	5+1	50.26	15
0.4	30.0	5+1	75.39	15

迴圈數	零位移所對應之 最大出力 (kN)	差異 (%)	零位移所對應之 最小出力 (kN)	差異 (%)	迴圈遲滯面積 (kN-mm)	差異 (%)
頻率0.4 Hz · 振幅20 mm						
1	741.69	9.88	-811.85	8.68	33882.34	6.43
2	702.50	4.07	-770.46	3.14	32932.64	3.45
3	672.47	-0.38	-742.12	-0.66	31782.27	-0.16
4	643.18	-4.72	-715.61	-4.21	30699.23	-3.57
5	615.27	-8.85	-695.15	-6.95	29874.50	-6.16
avg.	675.02		-747.04		31834.20	

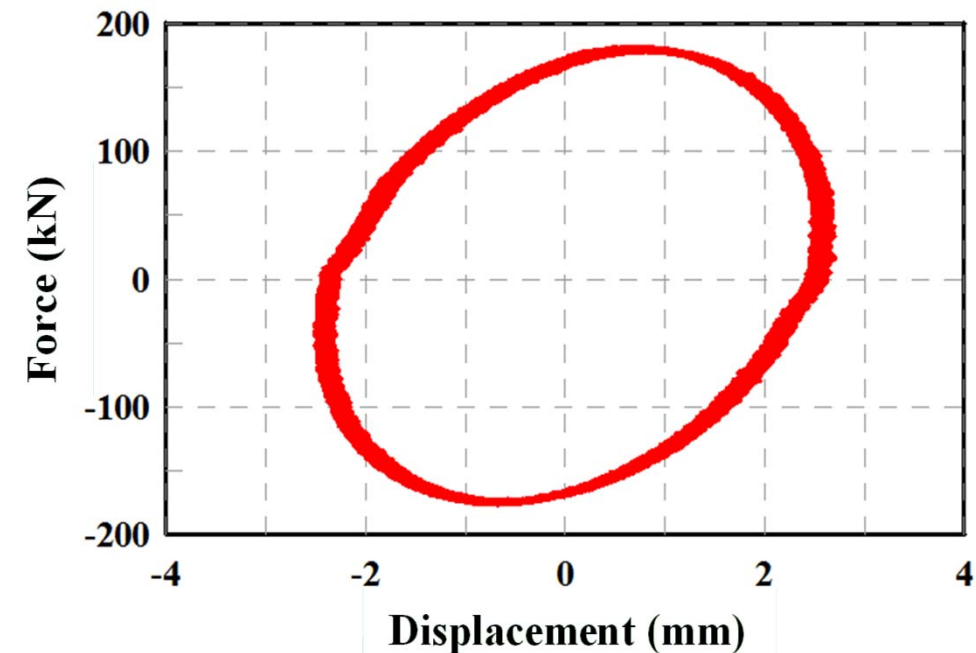
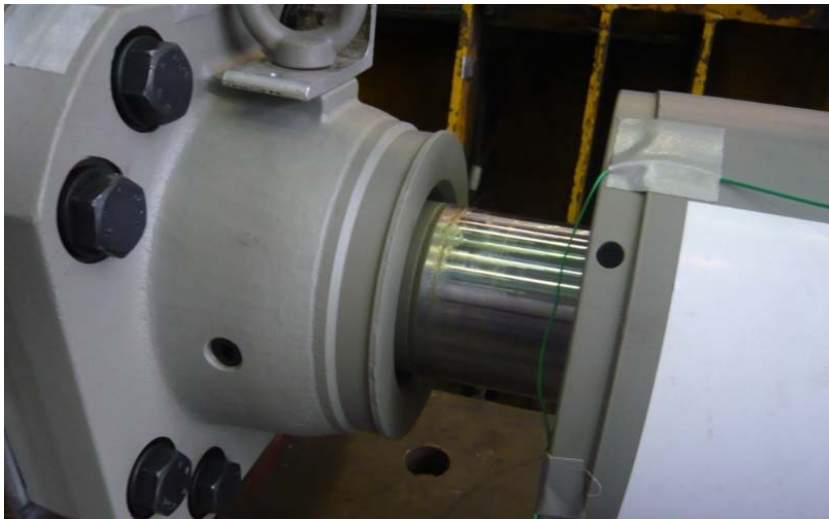


$$k_{eff_1}^i = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad \xi_1^i = \frac{W_D}{2\pi \cdot k_{eff_1}^i \cdot \Delta_{avg}^2} \times 2 \quad \eta_1^i = 2\xi_1^i$$

迴圈數	最大最小位移點所對應之有效勁度 (kN/mm)	差異 (%)	耗損因子	差異 (%)
頻率0.4 Hz · 振幅20 mm				
1	29.56	9.87	0.95	1.26
2	28.75	6.84	0.92	-1.74
3	26.70	-0.77	0.93	0.13
4	24.88	-7.54	0.95	1.68
5	24.65	-8.41	0.92	-1.33
avg.	26.91		0.93	

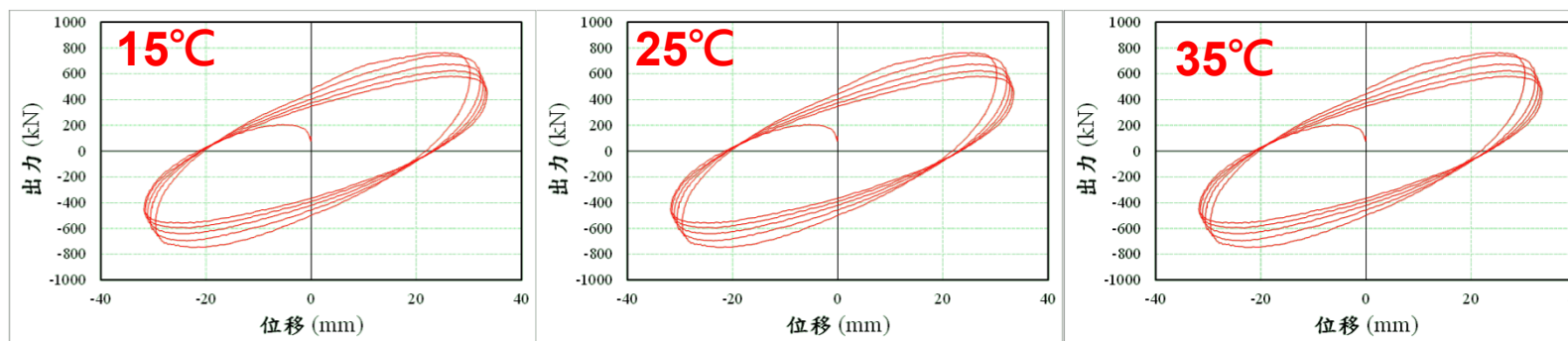
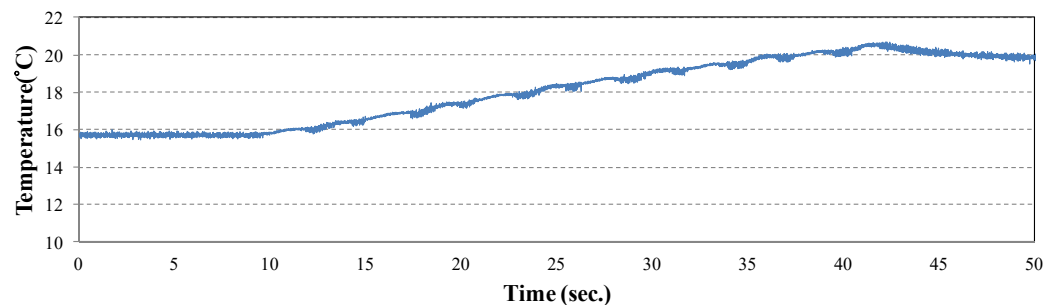
風力試驗

- 油壓阻尼器
- 加載頻率為0.3 Hz、振幅為2.5 mm之正弦波，進行2000次完整循環
- 檢核原則為評估位移與出力關係
- 試驗後以目視觀察其油封處與外觀是否發生異狀



溫度試驗

- 試驗方式：
消能元件置於密閉恆溫箱之方式進行升、降溫作用，於MATS進行試驗
- 黏彈性阻尼器
- 35°C、25°C與15°C條件下，利用MATS進行反覆載重試驗



溫度控制試驗 -密閉恆溫箱



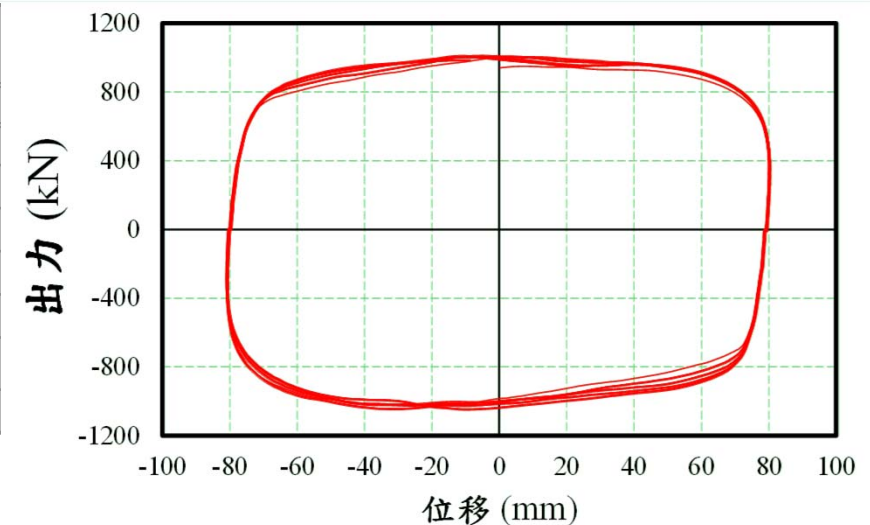
溫度控制試驗 -密閉恆溫箱



耐久性試驗

- 液態黏性阻尼器
- 加載正弦波，進行二十個循環，每個循環之振幅與頻率分別為80 mm與0.2 Hz，試驗最大速度達100.53 mm/sec。

迴圈數	零位移所對應之最大出力 (kN)	差異 (%)	零位移所對應之最小出力 (kN)	差異 (%)
頻率0.2 Hz，振幅80 mm				
1	1001.07	0.71	-984.64	-2.70
2	1005.82	1.19	-1008.60	-0.33
3	997.85	0.39	-998.91	-1.29
4	987.40	-0.66	-1014.73	0.28
5	982.54	-1.15	-1037.52	2.53
⋮				
avg.	982.47		-1009.66	



疲勞試驗(I)

□ 液態黏性阻尼器

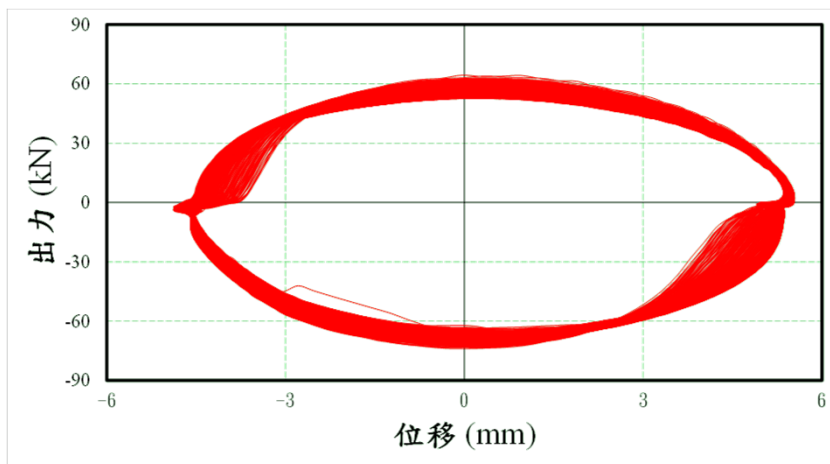
(1)透過試驗量化破壞或性能衰減情形

(2)於試驗前後配合執行基本性能試驗，評估與檢討基本性能試驗之結果

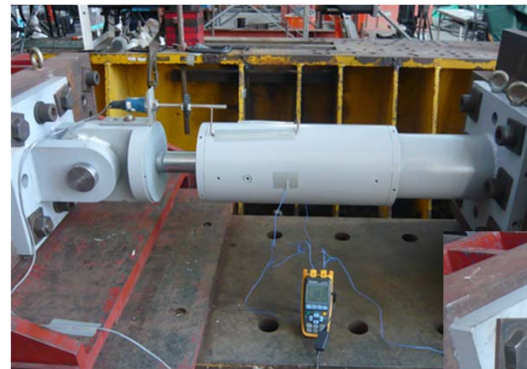
□ 正弦波加載，進行10,000個完整循環，每個循環振幅與頻率分別為5 mm與0.1 Hz

□ 總試驗時間為27.78小時，考量試驗時間以及消能元件溫度之影響，可將試驗分段進行

□ 試驗後觀察測試件外觀，比較試驗前後有無任何差異



(以1~2800個循環為例)



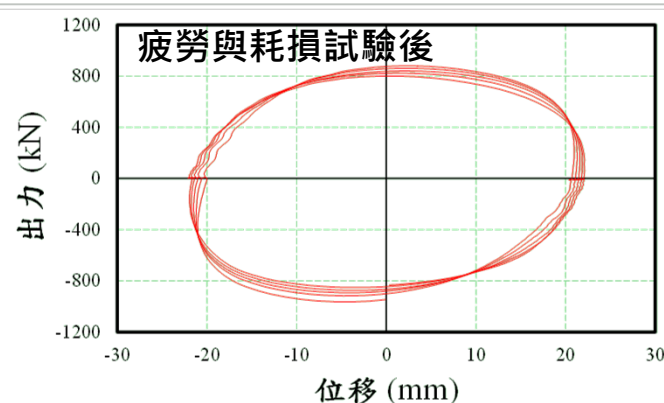
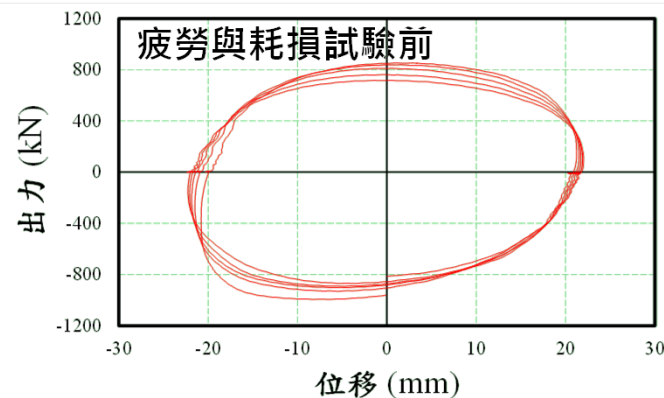
疲勞試驗(II)

□ 液態黏性阻尼器

(1)透過試驗量化破壞或性能衰減情形

(2)於試驗前後配合執行基本性能試驗，評估與檢討基本性能試驗之結果

□ 執行基本性能試驗，正弦波加載，振幅與頻率分別為20 mm與0.8 Hz



迴圈數	零位移所對應之 最大出力 (kN)	差異 (%)	零位移所對應之 最小出力 (kN)	差異 (%)	迴圈遲滯面積 (kN-mm)	差異 (%)
疲勞與耗損試驗前						
1	849.34	6.87	-960.86	7.28	61359.84	4.37
2	838.03	5.44	-905.75	1.13	60447.18	2.82
3	809.43	1.85	-883.34	-1.37	59400.27	1.04
4	761.00	-4.25	-872.45	-2.59	57591.14	-2.04
5	716.01	-9.91	-855.73	-4.45	55159.90	-6.18
avg.	794.76					
疲勞與耗損試驗後						
1	875.58	4.42	-946.04	6.62	60639.58	1.09
2	857.97	2.32	-900.24	1.45	60496.85	0.85
3	837.40	-0.13	-879.97	-0.83	60225.51	0.40
4	821.48	-2.03	-865.69	-2.44	59799.53	-0.31
5	800.11	-4.58	-844.74	-4.80	58764.21	-2.04
avg.	838.51		-887.34		59985.14	38

NAR Labs 國家實驗研究院

國家地震工程研究中心

簡報結束
謝謝聆聽

wclin@narlabs.org.tw

承諾 · 熱情 · 創新

www.narlabs.org.tw