

出國報告（出國類別：其他）

義大利Pavia大學歐盟實驗室
隔震器性能保證試驗會驗
及製造工廠參訪

服務機關:內政部國土管理署南區都市基礎工程分署

姓名職稱:吳瑞安 簡任正工程司

黃承傑 工務所主任

派赴國家:義大利、土耳其

出國期間:112 年9 月3 日至12 日

報告日期:112 年 11 月 08 日

摘要

本報告包含拜訪義大利Pavia大學歐盟實驗室EUCENTRE（以下簡稱EUCENTRE）進行的隔震器性能保證試驗及台義隔震設備有限公司(HIRUN)土耳其工廠的隔震器製造過程參訪經歷及相關收穫。

本次參訪EUCENTRE的主要目標是了解隔震器在製造出廠後，100%的出廠測試結果是否與設計有效勁度值在15%的允許誤差內，本案故宮國寶文修復展示館建置計畫規定147顆隔震器出廠前必須要百分之百全部通過性能保證試驗，考慮到公平性問題，本案隔震器製造商委託第三方公正實驗室，義大利Pavia大學歐盟實驗室EUCENTRE進行147顆隔震器性能保證測試。

參訪台義隔震設備有限公司(HIRUN)土耳其生產工廠其主要目的是了解整個隔震器的製造過程，也了解同為地震帶國家的土耳其及台灣在這個產業中有何不同的發展及政策。

目次

一、 行程.....	4
二、 目的.....	5
三、 實驗室及隔震器製造工廠參訪.....	9
四、 心得及建議	22

一、行程

9月3日	台北飛伊斯坦堡轉米蘭 Taipei to Milan via Istanbul	
9月4日	到達義大利米蘭 Arrive Milan	入住米蘭飯店
9月5日	歐盟實驗室 Witness test in EUCENTRE	測試隔震器型號 T1
9月6日	歐盟實驗室 Witness test in EUCENTRE	測試隔震器型號 T2,T3
9月7日	歐盟實驗室 Witness test in EUCENTRE	測試隔震器型號 T4
9月8日	歐盟實驗室 Witness test in EUCENTRE	測試隔震器型號 T5
9月9日	米蘭飛伊斯坦堡 Milan to Istanbul	
9月9日	伊斯坦堡飛安卡拉 Istanbul to Ankara	住安卡拉 飯店
9月10日	驗廠 Visit factory	住安卡拉 飯店
9月11日	安卡拉飛伊斯坦堡 Ankara to Istanbul	住伊斯坦堡 飯店
9月12日	伊斯坦堡飛台北 Istanbul to Taipei	

二、目的

1.隔震器性能保證測試

- (1).在故宮國寶文物修復展示館建置計畫中，與故宮南院一館同樣採用曲面滑動型摩擦單擺隔震系統(Friction Pendulum System,FPS)，將地上層與地下層結構分離，當地震來臨時，地上結構藉由隔震墊滑移設置，可大幅減少地震搖晃程度，確保人員及財產安全。利用隔震消能，可減少地震力傳遞，除使建築物受力大幅減小、混凝土結構也不易產生裂縫，也可縮小梁柱設計尺寸、放大建築使用空間，整體視覺更美觀。
- (2)隔震器工程圖說中規定，在隔震器的原型件於通過實體試驗極限位移測試 $\pm 500\text{mm}$ 後，在進行量產製作；並在製造出廠前必須出具性能保證測試報告，隔震器製造商考慮到產品試驗公平性，選擇了第三方公正實驗室，也就是歐洲最大最著名的義大利Pavia大學歐盟實驗室EUCENTRE。
- (3)本案故宮國寶文物修復展示館建置計畫，147顆隔震器全部在這個實驗室進行性能保證測試，驗證隔震器的壓力、壓力及剪力組合試驗（測試其是否符合設計有效勁度，測試水平位移量是 $\pm 300\text{mm}$ ，最小尖峰速度為 $>55\text{cm/sec}$ ）(如下圖)，在各型號對應軸重下，分別進3個循環測試，每個循環測試之側向位移為隔震器之設計位移量。即可測試應證每顆隔震器有效勁度是否皆符合設計圖說規定。本次非常榮幸能會同各單位進行抽樣及實驗室的會驗與參訪。

隔震器性能保證試驗圖說規定

(2) 性能保證試驗

本工程隔震器於實際產品出廠前，每組隔震器廠商應提供性能保證試驗報告，以確保性能符合規定，試驗中試體不得有任何損壞，且試驗完成後，試體需復位為初始之零位移條件。業主或監造單位每種類型隔震器後中抽驗一組，提送至國內進行性能保證試驗。

每組隔震器均需出具性能保證試驗成果報告予主辦機關及設計監造廠商審核。

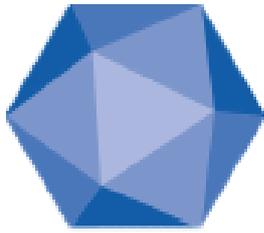
隔震元件性能保證試驗細則如下：

試驗項目	隔震墊型號	垂直載重 (tonf)	水平位移 (mm)	試驗最小尖峰速度 (cm/sec)	循環次數	試驗結果檢核標準
壓力試驗	T1	310	—	—	垂直載重持續五分鐘後，觀察卸載前後其變化	隔震墊不得有塗層剝離、不鏽鋼板刮傷或產生永久變形，以及塗層內涵外洩等情形。
	T2	570				
	T3	920				
	T4	1320				
	T5	1770				
壓力及剪力組合試驗	T1	120	±300	>55	進行三個循環試驗	每個試體的平均有效勁度 k_{eff} 和設計值差異不超過±15%，每個試體的平均消能能力或等效阻尼 β_{eff} 不得小於設計值的85%。
	T2	250				
	T3	350				
	T4	550				
	T5	800				

隔震器各項設計數值

項目 \ 型號	T1	T2	T3	T4	T5
數量	40	32	30	29	16
滑動面等效曲率半徑 (單位:mm)	5000	5000	5000	5000	5000
標稱摩擦係數	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
有效勁度 k_{eff} (水平位移290mm下) (單位:tonf/m)	38.7 (垂直載重120 tonf條件下)	81.5 (垂直載重250 tonf條件下)	114.2 (垂直載重350 tonf條件下)	179.4 (垂直載重550 tonf條件下)	262.0 (垂直載重800 tonf條件下)
等效阻尼比 β_{eff} (水平位移290mm下)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
隔震元件最小位移容量 (單位:mm)	500	500	500	500	500
隔震元件設計位移量 (單位:mm)	280	280	280	280	280
常態垂直載重(DL+0.5LL) (單位:ton)	120	250	350	550	800
短期垂直載重(DL+LL+EQM) (單位:tonf)	251	548	761	848	1018
水平剪力容量 (單位:tonf) (常態垂直載重及水平位移500mm下)	17	34	48	74	110
隔震元件最小旋轉角容量 (單位:deg)	2	2	2	2	2

2.義大利Pavia大學歐盟實驗室EUCENTRE參訪



EUCENTRE

FOR YOUR SAFETY.



- (1).藉由參訪歐盟實驗室時，了解義大利位處於地震活躍之地震帶，並看見義大利豐富地震研究成果及各種抗震試驗之設備。
- (2).另外本次會同設計結構技師及工程各級品質作業管控人員辦理海外檢測，除落實機關實質二級品質管控外，且藉由性能保證試驗會驗實地了解整體實驗過程，更進一步與實驗室人員探討了解隔震器動態測試驗證是否符合設計性能之重要性，也在參訪過程中目睹該實驗室，對於各種結構物測試其抗震效果(砌磚牆…等)測試不同結構形式之抗震效果。
- (3).基於上述原因，此次參訪與專家的交流能夠了解隔震器性能保證試驗的過程及必要性，並驗證所使用的避震器是否符合國際規範和標準。

3.隔震器製造工廠參訪

(1).此次隔震器製造商為台義隔震設備有限公司(HIRUN),該公司為義大利商與台灣合資設立的公司,生產基地有義大利、印度、土耳其等工廠,本次驗廠主要目的是參訪故宮國寶文物修復館建置計畫隔震器位於土耳其安卡拉實際製造工廠(tis),了解隔震器製造流程。

(2).本案所採用為曲面滑動型單擺摩擦隔震器,對於整體隔震器鋼板需要進行精準加工,以確保各隔震器承受水平位移時能有一致的起始點及對應的垂直位移量,故經由參訪隔震器製程及設備參訪,鋼板透過特定儀器,如何加工製成隔震器。



三、實驗室及隔震器製造工廠參訪

1.實驗室參訪及性能保證測試

EUCENTRE實驗室參訪前的名單登記

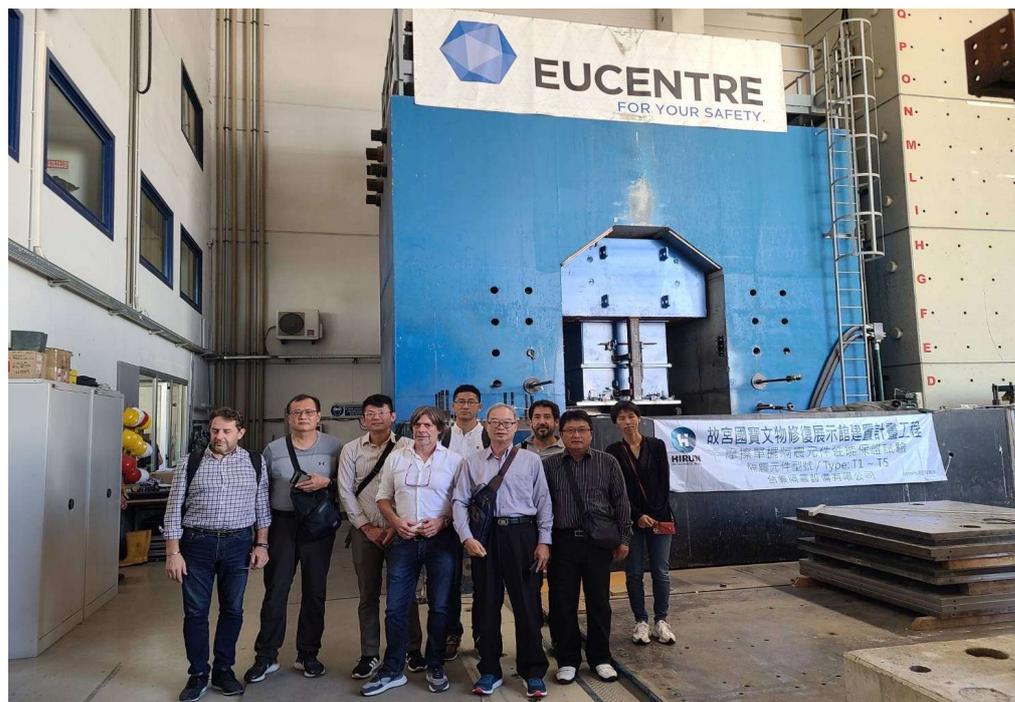
Registro Visitatori Data: 08-09-2023 M.LAB 10/2
Pagina: 1

BADGE	NOME NAME	SOCIETA' COMPANY	REFERENTE EUCENTRE REF. PERSON IN EUCENTRE	INFORMAZIONE SUI RISCHI SPECIFICI (*) INFORMATION ON SPECIFIC RISKS	MOTIVO VISITA VISIT REASON	ORA / h		FIRMA SIGNATURE
						ENTRATA ENTRANCE	USCITA EXIT	
/	ROBERTO DAZPEDI	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			
/	GIN LUCA MANTONI	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST	9:30		Giuliano Mantoni
/	HUANG PIN MING	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Huang Pinming
/	MEI O HSIEH	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			MEI O. HSIEH
/	WANG CHIH CHONG	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Wang Chih Chong
/	HUANG WU ZUNG	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Huang Wu Zung
/	HUANG ZHENG CHIEH	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Huang Cheng Chieh
/	LU JUNG-LIN	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Lu Jung Lin
/	SZU CHIAO WANG	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Szu Chiao Wang
/	MARCO BANTI	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Marco Banti
/	ENZO LU	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Enzo Lu
/	WU JUNLI	HIRUN	ROBERTO FRANZOLIN	<input type="checkbox"/> SI - YES <input checked="" type="checkbox"/> NO - NOT	TEST			Wu Junli

• SI = da fare solo alla prima visita / NO = non necessaria (es. fattori) o già fatta
 • YES = to do only the first time/NOT = Not necessary or already done



參訪Eucentre實驗室與試驗室主任Paveze (左4)合影



隔震器在實驗室卸貨



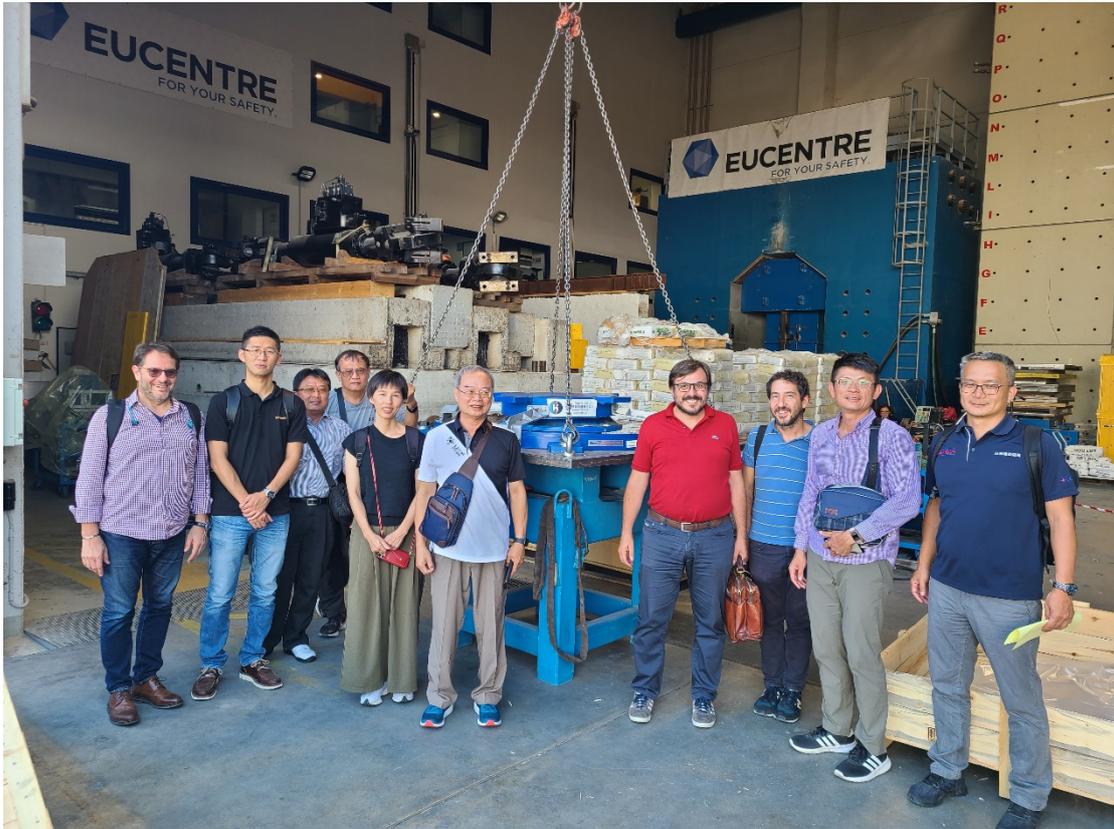
隔震器拆箱



隔震器安裝裝置測試機連接板



隔震器與測試機連接



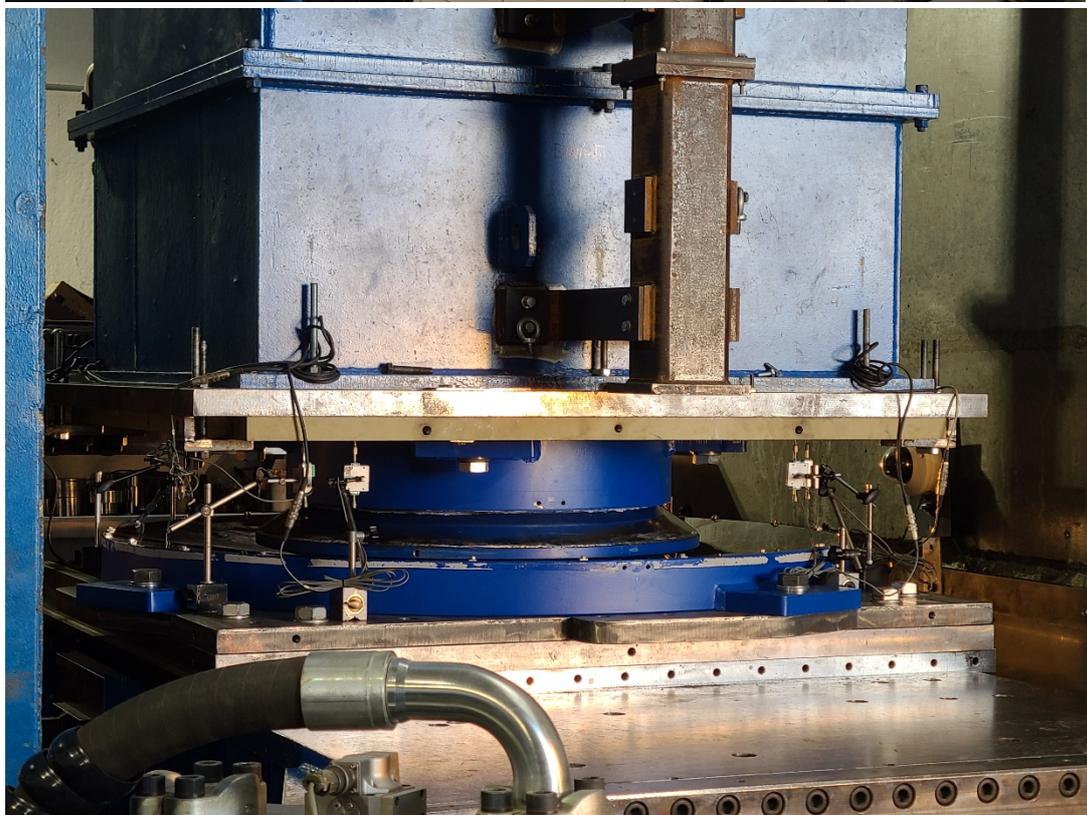
隔震器與測試機連接



隔震器測試前控制室設定



開始測試 (載重測試及有效勁度動態測試)



抽樣本案所需五種隔震器型號



- (1).在實際實驗過程中我們觀察到實際的隔震器試驗。實驗人員將隔震器安裝在試驗台上，然後施加軸立後模擬地震力造成的位移，觀察隔震器的反應和性能，以及能實際了解到地震來臨時，建築物如何透過隔震器作用下能夠減少結構物的位移和應力，保護結構物免受破壞。
- (2).數據收集和分析：試驗過程中，數據收集系統記錄了隔震器和結構物的各種參數，包括位移、加速度和應力等。試驗時向我們解說了各項數據的收集和分析過程，解釋了如何評估隔震器的性能和安全性。
- (3).在試驗前實驗室人員說明，曾在試驗過程中，發生油壓管損壞噴濺液壓油情形，故為了保障人員安全，在試驗過程中所有人員必須淨空，相關人員即於控制室中，透過近距離攝影方式來觀察整個隔震器滑動試驗過程，整體實驗室管理方式亦可作為國內其他試驗參考。

單擺摩擦隔震器滑動示意圖



2. 隔震器製造工廠參訪

抵達製造工廠門口及合影



鋼板原料切割



機械打磨加工



半成品



各組件噴砂



塗裝



組裝生產線



包裝存放準備出貨



- (1).在參訪過程中了解到隔震器製造工廠係一家大型鋼構場另外所設置的生產線，其加工設備與一般鋼構所用之尺度小很多，且需要更精準的加工，故另闢一條生產線專門產製隔震器。
- (2).在隔震器製造廠人員說明整體的製造流程，由鋼板切割－鋼板打磨加工－配件焊接－組件噴砂－進行塗裝－構件組裝成隔震器－包裝存放，透過整體製程說明及並了解各構件組合成隔震器前之型態，能更加明白透過隔震器如何滑動去抵消地震力，以及滑動後回歸至原始位置的機制。

四、心得及建議

心得：

- 1.在歐盟實驗室EUCENTRE 的參訪過程中，我們有幸與該實驗室主任Paveze教授進行了隔震器深入的討論和知識交流,我們也從EUCENTRE的震動台測試紀錄影片中，看到許多制震、隔震產品的動態測試，其中有些制震產品在地震動態測試中損壞了，可見使用在建築上的隔制震產品一定要先在實驗室做動態測試驗證其地震動態性能後，才能安裝在建築物上，以確保其效能是否達到設計之要求。
- 2.Paveze教授也跟我們解釋為何地震動態測試非常重要，尤其是針對摩擦單擺隔震器，Paveze教授說明強地震來時的地表加速度是很快的，以台灣的7級地震為例,其地表加速度是可以到達8公尺/秒，在這麼快的速度下，建築物被甩動的速度是很快的，且柱子非常容易被甩斷，而隔震器要發揮減震消能的作用，則必須要把高速的地震力或地震能量轉化成熱能，讓地震能量消散掉，而不傳遞到建築物上或降低地震力作用在建築物上。
- 3.隔震器必須要經得起高速地震的考驗，隔震器的作用就譬如要將在高速行進中的車子煞車降速，而這個煞車片就必需要經過動態測試，才知道煞車片合不合格，這個煞車片的比喻就讓我們非常明瞭隔震器的功能，也了解到越重的車子(大卡車)其煞車片越重要，何況我們的建築物上則幾千噸載重，要利用隔震器將地震加速度給降低下來，在材料科學上要有非常深度技術

的研發及設計，所以隔震器100%的出廠性能保證測試是非常重要的。

- 4.參訪土耳其的隔震器製造工廠，此工廠是由台義隔震公司與當地鋼構工廠合作的公司，隔震器生產線規模並不大，但是 100%在當地製造，平均約每個月可製造 100 顆隔震器，隔震器製造廠廠長表示土耳其政府規定所有救災單位的建築物都必須要做隔震設計，例如醫院、消防隊、警察局…等等。
- 5.也因政策影響土耳其的建築隔減震產業近幾年來也很發達，反觀台灣在這個產業上，受制於市場條件台灣業者不願意做大量投資在產品研發上，絕大部分都是由代理商代理進口，對於技術方面都掌握在日本或歐美原廠手上，造成台灣長期在這個產業上無自有品牌與國外競爭。
- 6.參予此次隔震器性能保證試驗及隔震器生產工廠製程是一次寶貴的學習和經驗分享的機會。讓我們對隔震技術的應用及產製過程有更加深的認識及瞭解，讓專業理論知識和實踐經驗互相應用交流，台灣現階段於建築物設置相關隔震設備之觀念，仍有賴各方推廣及應用。

建議

1. 持續透過實地參訪隔震器性能保證試驗等動態實驗過程應證隔震器之效能及了解整體動態實驗得過程，予持續深化推動隔震技術的發展和應用。
2. 建議後續能與同屬地震帶國家多做隔震技術研討交流，及應用於相關建築之樣態，以利推廣隔震技術。