



# 2018 臺灣建築傑出案例 及建築耐震安全

臺灣建築學會常務理事 / 姚昭智

2018年臺灣建築界有許多精采的案例完工，以下挑選具有代表性的臺北信義區住宅「陶朱隱園」結構系統，以及於去年10月盛大開幕的高雄「衛武營國家藝術文化中心」音響系統來作介紹，最後再介紹全台正在進行的老舊建築物耐震力普查計畫，介紹政府如何為提升國人住宅的抗震能力之努力。

## 一、陶朱隱園結構系統

- 地點：臺北市信義區
- 建築設計：Mr. Vincent Callebaut
- 結構設計：傑聯國際工程顧問
- 土地使用分區：住宅區（信義計畫特定專用區）
- 結構系統：鋼構造
- 基地面積：8,160 m<sup>2</sup>（2,468.4坪）
- 總樓地板面積：42,850.16 m<sup>2</sup>（12,962.17坪）
- 層數高度：地上21層、地下4層

該案外型猶如一棵大樹，因其旋轉變化的立面，在國內外皆獲得非常大的知名度。

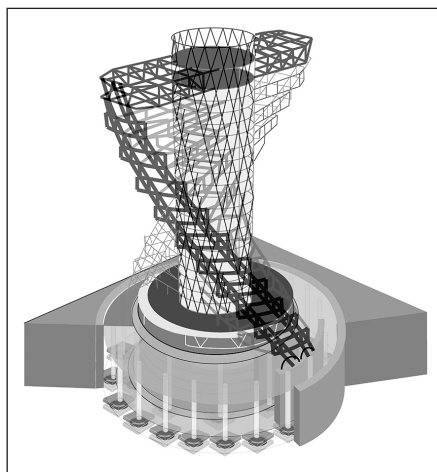


圖 1 主要結構系統。圖 / 作者繪製

建築中每一層樓以相差4.5度的方式從2樓順時鐘旋轉直到屋頂。為了解決旋轉幾何並且達到室內無柱的需求，結構設計由數個主要單元構成，包含中央鋼核心筒（Steel Core）、水平向屋頂外伸穩定桁架（Roof Out-rigger Truss）、每兩層樓一組的空腹桁架（Vierendeel Truss）及從兩側旋轉至屋頂的組合柱（Mega Column），如圖1所示。此外，



為符合高標準的耐震需求，基礎層設置了48組摩擦單擺隔震墊 (Friction Pendulum Bearing) [1]，以下逐一介紹上述單元：

### (一) 鋼核心筒

在結構系統上，核心系統 (Core System) 為高層建築常應用的建築結構系統之一，而核心的大小及位置更是影響建築物抵抗水平力的重要因子。由於該案的核心筒直徑達20.6 m，有很高的抗扭能力，主要做為抗側力 (風力及地震力) 和垂直力的角色，同時亦提供抑制扭轉效應的功能。

### (二) 屋頂外伸穩定桁架 (Roof Outrigger Truss) 及空腹桁架 (Vierendeel Truss)

外伸穩定架主要用來抑制核心傾斜轉動，因此應儘量配置於核心頂端。此案採用以連結中央核心與外側兩緣組合柱的桁架，深度達5 m，具有足夠的剛度將兩者做連結以降低扭轉效應。此外，為了解決建築體因旋轉產生空間使用上的問題，在結構外圍每兩層樓設置一組空腹桁架，又稱范倫第桁架 (Vierendeel Truss)。本案的桁架深度達一層樓高，可視為一根深梁，將核心與端部外緣柱連接，以實現室內空間除了最外緣組合柱外，室內無其他立柱之目的。

### (三) 組合柱 (Mega Column)

為減緩中央核心傳遞垂直力的負擔，同時配合旋轉的樓板，在結構外緣的兩端設置由連續構架系統而成的巨型柱，並且與空腹桁架結合，成為一個完整座落於外緣的組合

柱系統。由於該柱列系統位於結構體最外側，可做為整體結構抵抗側向力的力臂，提高穩定性。

### (四) 基礎隔震系統

除了滿足臺灣耐震規範的要求，業主同時希望提高抗震等級，要求當設計地表加速度達0.4 g時仍需使結構構件保持彈性，不可產生塑鉸的要求。因此為符合此標準，該建築物在基礎層使用了48個摩擦單擺隔震墊，利用曲面半徑來控制隔震週期。地震作用時整體結構可保持近似剛體的運動特性，來降低建築物的反應加速度，提高結構的安全性。

## 二、「衛武營國家藝術文化中心」音響品質控制

位於高雄市中心的衛武營國家藝術文化中心，長230公尺，寬170公尺，高38公尺，是一棟呈扁平、流動感的水平建築，如圖2所示。建築底座相當於5.5個足球場，建築體從零水平線升高至36公尺落差的大型曲



圖2 衛武營國家藝術文化中心。圖 / 官方網站



面波浪皮層，形成了連續性自由曲面的三度空間，成為世界上最具指標性的音質廳堂。推動這個聲學設計的靈魂之手就是徐亞英的設計團隊，在有限造價的前提下，除了必須提供高規格的聲學質量，與建築、結構、空調等各種技術不同工種的協調結合，更要達到隔音、隔振、高音質的廳堂聲學標準。

由於基地位於交通繁忙的區域，前方120公尺即是高雄捷運橘線，為減少營造成本，建築物沒有裝設隔減振裝置。所幸經現地量測振動，顯示捷運所在地屬沖積土層，阻尼衰減效果較好，與建築間距可達到振動波削減的長度距離，無須進行額外的隔振處理。

當建築完工啟用之後，本身各種日常機械振動如維修、停車、貨物裝卸等運作，必然會產生固體傳導的結構噪音，其引致的振動傳聲將導致地板持續振動，產生連續低頻噪音和撞擊聲，這些噪音源對建築結構影響涵蓋範圍從屋頂、牆面、地面、到建築基地。衛武營主要的四個廳堂（樂廳、歌劇院、戲劇院、表演廳）以及樂團排練廳，皆需要嚴格控制背景噪音，因此建築結構隔音設計便十分重要。建築物旁的戶外公園環境噪音可達95分貝，進入至建築內部人為噪音則在75至85分貝，但進入廳堂後的空調噪音則需控制在23至28分貝以下，因此本案於配置、工法、構造、材料的選擇也特別格外謹慎。

音樂廳屋頂最外層為多層夾心金屬屋頂，空氣載隔音設計值需達 $R_w$  45分貝，設計採用由12層材質集成的版片，依「mass +



圖3 複層屋頂。圖 / 徐亞英提供

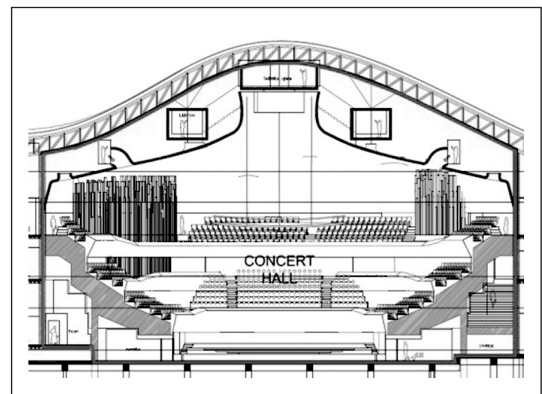


圖4 音樂廳 15 公分 RC 隔音層與內牆。圖 / 徐亞英提供

spring + mass」的複雜工序製作而成，總厚度達1公尺，如圖3所示。屋頂板片於國內進行風雨測試，確保結構性設計符合需求；而暴雨衝擊音測試，則送至國外符合ISO140-18的實驗室進行測試，結果顯示暴雨時音量低於 $L_i$  37分貝，暴雨噪音的隔音效果相當良好。另外，金屬屋頂下弦也以15 cm的RC隔音天花內層佐以空氣層加以隔音，如圖4所示。並以不同厚度的RC牆、磚牆、雙道門

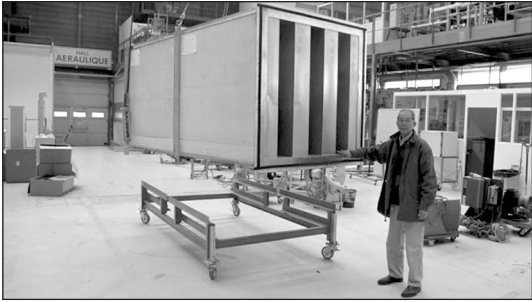


圖5 消音箱及測試實驗室。圖 / 徐亞英提供

組成的「聲鎖」、多層直立矽酸鈣板內外牆等，形成完全密封的隔音結構，全面阻斷外界噪音的侵入，以上總隔音量可大於70至80分貝。

機械設備的隔振，則以隔振慣性基座、軟管接頭、彈性支架和懸吊等方法，降低對鋼結構的激振能量；中央空調系統在劇院內部採裝設恆溫恆濕低風速、低噪音的系統，主機則是移到主建築之外。然而強大的鼓風機，以每秒七公尺的高風速經過管道、轉彎頭等，皆會引發高音量噪音，解決方法是加裝消音器，讓管道中的噪音衰減。但越是低風速、低噪音的系統，消音器與管道的尺寸就越需按比例加大加長；有鑒於此係國家級的演奏廳堂，故配置達五百多個大小消音器。特別是用於敏感廳堂的大型消音器，均需經過合乎國際標準的實驗室測試，但在臺灣和亞洲都沒有合適的實驗場所，因此長達三公尺的大型消音器都送至法國里昂的CRTIAT實驗室進行測試，如圖5所示。

在廳堂聲學的設計，則如同製造一座大型的樂器，本著體積、形狀、材料以及工法四項廳堂聲學設計要素，面對音樂廳、歌劇



圖6 音樂廳 1:10 聲學縮尺模型。圖 / 徐亞英提供

院、戲劇院、表演廳、樂隊排練廳等伍座不同演出型態、不同席位數與聲響需求，徐亞英構思著不同的聲學設計，因此量身打造了臺灣首座葡萄園式音樂廳。音樂廳觀眾席如同數塊葡萄園錯落分布，圍繞著樂團及演奏者，由於無挑臺樓座與舞台上大反射板的設計，可讓每位觀眾接收到來自天花以及側牆的一次反射，幾乎讓每個位置聽到的聲音都是平均的。此外為保證演出中樂團各個聲部能聽到其他樂器的聲音，演奏臺的側牆與大天花反射板也做了特殊的設計。而除了進行嚴謹的計算模擬，還針對音樂廳製作了1:10的聲學縮尺模型試驗（圖6），讓完工後的音樂廳，能接近設計時預期的各項聲學品質。

本家中進行了許多高難度的聲學測試，如滿場聲學試驗（圖7），因在聲學團隊以及營建廠商的高配合度及時間、預算下，從材質、設計，以及在興建過程中進行了各式各樣的聲學測試，已取得高品質的聲學水準[2]。徐亞英先生從2007年設計初始就參與本案直到完工，其過程中所投注的心血，對於



圖 7 2018 年 9 月音樂廳滿場聲學試驗。圖 / 徐亞英提供

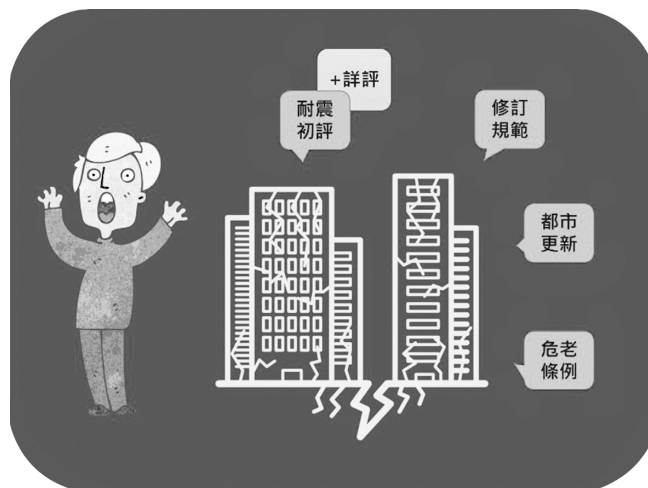


圖 8 結構快篩。圖 / 作者自行繪製

臺灣未來的聲學設計與施工發展，提供了莫大貢獻。

### 三、國內建築結構耐震力提升計畫介紹

臺灣地區地震頻繁，921及0206地震曾造成建築物倒塌及重大的人命傷亡。為了找出臺灣潛在的維冠大樓以確保未來地震中，不致再造成如此重大的災難，因此內政部啟

動了「安家固園計畫」，主動並積極辦理私有建築物結構快篩、耐震能力評估及補強等措施，如圖8。為配合「安家固園計畫」之推動，下列各項工作亦已同步進行：

#### (一) 建築物結構快篩

內政部營建署針對民國88年12月31日以前興建，9層以上的私有住宅大樓（樓層數亦



可由各縣市自訂)主動進行全面的結構快篩工作。結構快篩因子係參考921及0206地震建築物倒塌之鑑定報告及法院判決書,其中包含地面層建築設計(挑高、夾層或騎樓、大面積空間)、結構設計(載重、組構係數)及構架系統(未具連續完整構架、單跨構架)等九項因子,將建築物進行量化並做危險度的分級[3]。

結構快篩工作係委託建築師、技師以「二圖一書」方式(建照圖、結構圖及結構計算書)進行比對,目前辦理的建築物件數在106年為9,315棟,107年為7,500棟,本工作未來仍會持續的進行。

## (二) 耐震能力初步評估及詳細評估

私有住宅辦理耐震能力初步評估時,政府採全額補助每件約8,000元,如初步評估結果有安全疑慮者,則可補助辦理耐震能力詳細評估,但政府每件以補助評估費用之45%且不超過30萬元為限。耐震能力初步評估或詳細評估之結果,係做為未來建築物實施補強、階段性補強或都更、危老條例拆除重建之參考依據。

## (三) 修訂耐震規範

配合全臺灣土壤液化現象及建築物補強、階段性補強作業之實施,耐震規範亦同步做修訂,同時將近斷層帶的區域及相關參數做調整。

## (四) 都更及危老條例

老舊建築物使用多年後,幾乎已達建築物生命週期之使用年限,如仍強制辦理補強亦不符經濟效益,若實施階段性補強亦有其侷限性。因此應鼓勵人民辦理都市更新或危老條例,將建築物拆除重建,如此除可完全保障人民生命財產之外,對於增進都市景觀亦有所助益。

### 參考文獻

1. 張敬禮,葉秀信,「臺北陶朱隱園住宅大樓結構工程設計」,建築鋼結構進展,第18卷第1期,105年,P.55-P.65。
2. 徐亞英先生口述。
3. 陳啟中建築師。高雄市建築師公會前理事長、陳啟中建築師事務所主持人。