

# 全懸吊結構

## 高雄市立圖書館總館結構設計與施工

張盈智／築遠工程顧問有限公司結構設計專案總負責人暨總工程師

周辰穎／築遠工程顧問有限公司結構設計專案經理

劉佳豪／築遠工程顧問有限公司結構設計專案副理

### 摘要

高雄市立圖書館，地上結構以座落於四角落之巨型柱與八樓巨型桁架層組成巨型構架作為主要抗側力及垂直力系統，並利用鋼材受拉最有效率之設計原則，採高張力鋼棒懸吊三樓至七樓之樓版，有效縮小柱斷面尺寸，創造最佳之空間使用，同時實現了地面層無柱之開放空間。地下層則以經濟性最佳之鋼筋混凝土梁柱構造為主。本工程於完工後亦針對整體結構及樓版作微震測量與分析，以驗證理論分析與實體建物之震動頻率差異，及樓版震動之舒適性。

### Abstract

Kaohsiung Pubic Library is supported by 4 mega columns and a one-story high mega truss at eighth floor, forming both vertical and lateral-resisting systems. The third to seventh floor plates were suspended by high-strength tension rod connecting to the truss system of eighth floor. The structure performs the most efficient way of steel structure by subjecting to tensile force transference, and creates a maximum open space. The basement structure is reinforced concrete frame. In addition, tests and analysis of micro-vibrations were adopted to verify the differences between analysis and reality, and to confirm the comfort due to floor vibrations.

### 具空間穿透性的高雄市立圖書館總館

高雄市立圖書館總館基地北側臨 80 米寬新光路，南側臨 20 米寬之林森路，西行直連通並貫穿國際會展中心之中央內街可直達水岸。業主為高雄市政府文化局；建築設計：劉培森建築師事務所。

本工程所為創造地面層之空間穿透性，實現一層平面上不落柱的結構特色；利用四角落之服務核，以鋼構箱型柱、圓管柱、挫屈束至斜撐（BRB）等構件組成巨型柱（Mega Column），配合八樓之桁架層組成三維立體巨型構架（Mega Frame），形成本工程之主要結構系統，並將三樓至七樓圖書館使用空間懸吊於主結構系統下方；此外，就「安全管理」及「空間使用性」層面，本工程亦利用鋼材受拉效率最高之材料特性，以直徑 6 公分 ~ 12 公分的鋼棒取代傳統的結構柱斷面（90 cm × 90 cm），大幅提升室內空間之之視覺通透性，有效增進了使用空間之管理便利性。

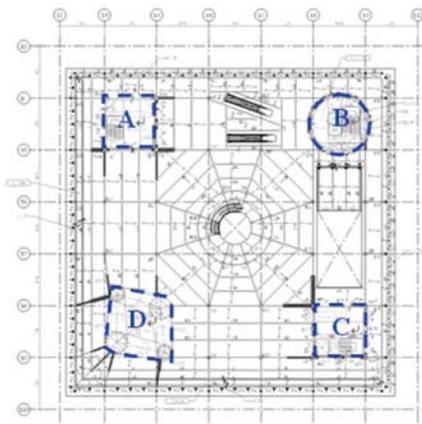
### 結構設計概要

#### 結構系統

本工程結構量體為地上八層，地下一層之鋼構造建物。圖 1(a) 為圖書館結構透視圖，主要結構系統可分為巨型柱、八樓巨型桁架層、鋼棒及格子梁系統，以懸吊系統之傳力方式，藉由高張力鋼棒將垂直載重向上傳遞至桁架層，再透過巨型柱將力量傳遞至基礎。巨型柱依平面配置（圖 1(b)）及使用情形可分為定義為四種型態（Core A-D），除作為整棟建築垂直方向之動線連結外，亦為本建物主要維生管線之配置空間；圖 2 為巨型柱與巨型構架 3D 示意圖，其亦為本工程主要之抗垂直力、側力之結構系統。八樓桁架層，空間使用需求為辦公室、會議室及演講廳等。於本層空間內配置有多組一層樓高之巨型桁架，以滿足吊掛 3F ~ 7F 樓板所需之強度需求，且各組桁架均跨於上述主要巨型柱上，組成完整之巨型構架，提供整體結構抗震及耐風之側向力設計需求。



(a) 結構透視圖



(b) 三樓結構平面圖

圖 1 高雄市立圖書館結構透視圖與平面圖

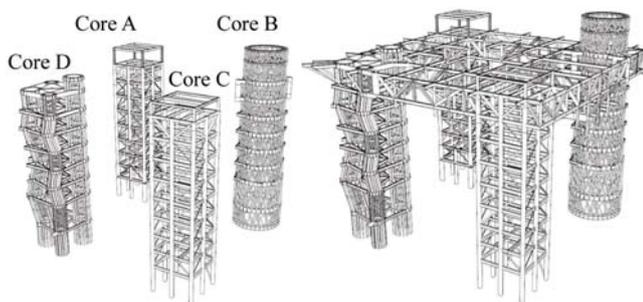


圖 2 巨型柱與巨型構架

## 構造材料

### ● 鋼筋與混凝土

本工程使用之混凝土，除 Core A、C 於 B1F ~ 2F 之柱內灌漿混凝土使用為  $420 \text{ kgf/cm}^2$ ，以及打底用混凝土使用為  $140 \text{ kgf/cm}^2$  外，其餘如主體結構、基礎... 等皆採用為  $280 \text{ kgf/cm}^2$  之混凝土；另因本案鄰近海邊，故於地下室（含一樓版）以下之混凝土採用 CNS 61 TYPE II 之卜作嵐水泥，其餘為 TYPE I。鋼筋依據尺寸區分材料規格，D13（4 號）及以上採用 CNS 560 SD420W  $f_y = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$ ，D10（3 號）及以下須符合 CNS 560 SD280W  $f_y = 2,800 \text{ kgf/cm}^2$ 。

### ● 鋼骨

本工程使用之鋼材依尺寸及使用用途作區分，如柱及其加勁板、接合板，以及桁架層之大梁，使用 SN490 B/YC 之鋼材，標準層大梁與斜撐（BRB）之鋼材則為 ASTM A572 Gr50，小梁以 ASTM A36 或 A572 Gr50 作為鋼材之選用，鋼棒部份則選用 SCM 440 ( $f_y = 8,500 \text{ kgf/cm}^2$ ) 之超高強度鋼材。

## 主樓構件概述

### ● 基礎結構及開挖工法

本工程開挖深度分別約為 5.7 m（超挖區），及 6.7、8.5 m（高樓區），由於基地面積廣大，在工期及地下室施工性之考量下，採用無內支撐工法。基地南北向因腹地較大，規劃採 1:1 斜坡明挖，可有效減少開挖費用及時間；東西向腹地較小，規劃採雙排型鋼配合橫版條作為懸臂擋土系統。

基礎型式採用高剛性之筏式基礎，地梁深度為 3.0 m。局部地梁依建築、機電需求，深度 4.8 m。筏基頂版與底版厚為 0.2 m 及 0.6 m；惟四核心柱底因結構需求高，因此規劃 3.0 m 厚之實心厚版。超挖區為抵抗地下水造成之上浮力，故回填低強度混凝土。

### ● 樓版

本工程一樓室內採用 25 cm RC 樓版，室外（超挖區）為抵抗浮力，因此使用 40 cm 之 RC 樓板壓重，其餘地上樓層以 12.5 cm 之鋼承版複合樓版為主，所有樓層均可符合 2 小時防火時效之要求而未噴覆防火批覆，並於樓版上方架設高架地版。

### ● 梁

本工程一樓以下採用場鑄鋼筋混凝土梁柱。二樓（含）以上主結構梁均為純鋼骨，柱、大梁與小梁之選用均為熱軋或組合 H 型鋼。

### ● 柱配置規劃

本工程主要結構柱為四個巨型柱，圖 3 為巨型構架立面圖。巨柱向下延伸至地下一樓，直接坐落於 3.0 m 實心基礎厚版上，依平面配置及使用情形可分別定義為 Core A-D。分別簡述如下：

1. Core A：由鋼構立面 BRB 斜撐構架組成立體之巨型柱。
2. Core B：各層交錯之圓形鋼管組成直徑 14.4 m（1F）~ 8.4 m（R2F）漸變筒狀結構。
3. Core C：由鋼構立面 BRB 斜撐構架組成立體之巨型柱。

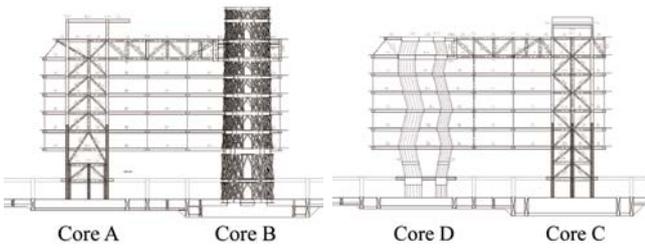


圖 3 巨型構架立面圖

4. Core D：由四支各自獨立之筒狀圓柱組成，直徑分別為 3 m 兩座與 4.4 m 兩座。

● 斜撐 (BRB)

本工程於 Core A 與 Core C 內配置 BRB 斜撐。

● 鋼棒配置及規劃

本工程之懸吊系統，採用高張力鋼棒，由八樓之巨型桁架層向下吊放，於室內標準區採 10.5 m × 10.5 m 之方形網狀配置；並配合中庭（天井區）作倒錐形環狀配置（圖 4(a)）。在各鋼棒接頭間，皆使用 H 型鋼作連接，組成 10.5 m × 10.5 m 之格子梁系統配置（圖 4(b)）。

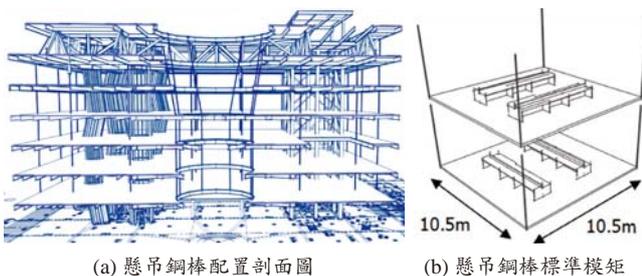
## 結構設計說明

### 動力特性

主樓地上層之結構體重量約為 18674 tf，考慮 P-D 效應下之結構體前 3 個自然震動週期分別為 1.052 秒（Y 向）、0.957 秒（X 向）及 0.750 秒（扭轉）。雖然主體結構中，四個巨柱（Core A ~ Core D）幾何配置上並不相同，為使動力行為良好，因此設計上針對各巨柱勁度作適度之調整，最終分析結果顯示，結構主模態（mode 1、2）以正向平移為主，且扭轉模態（mode 3）與平移模態有明顯之區隔。

### 耐震設計

由於台灣地區位處歐亞大陸板塊與菲律賓板塊之複雜交接地帶。在台灣的東北部，菲律賓海板塊由南向北



(a) 懸吊鋼棒配置剖面圖 (b) 懸吊鋼棒標準模矩  
圖 4 鋼棒配置圖（劉培森建築師事務所提供）

沿著琉球海溝向下嵌入歐亞大陸板塊下方，而在台灣東南部，歐亞板塊則又引沒入菲律賓板塊而一直向東延伸至馬尼拉海溝。因此不同規模的地震發生頻繁，本工程針對耐震設計與分析，採用以下兩種作法。

● 法規設計地震力

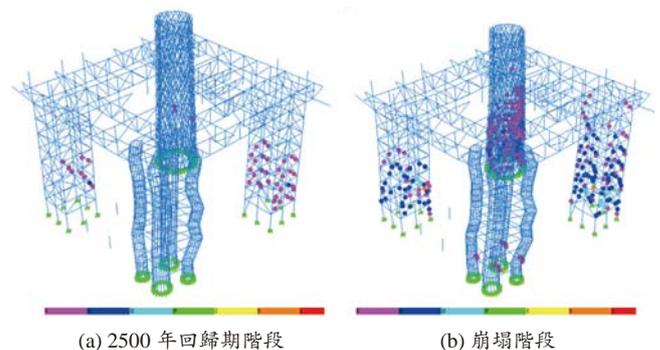
本工程設計法採用鋼構極限設計法（AISC LRFD），並依照內政部 100 年所頒布之耐震設計規範；計算得本工程之 X 向地震基底剪力為 0.1826W = 3410 tf，Y 向地震基底剪力為 0.1683W = 3143 tf 並將反應譜分析所得之地震力放大至前述之基底剪力，據以進行動力分析設計。

● 非線性側推分析

本工程除參考內政部所頒布的耐震設計規範外，並使用結構分析軟體 ETABS 進行非線性側推分析，整個分析架構參照 FEMA-273 所敘述的方式進行。並利用分析過程觀察到之塑鉸發生順序及分佈情形，對結構性能進行評估並檢核有無弱層的現象。圖 5(a) 對應 2500 年回歸期地震力時（屋頂位移 17.8 cm），主要消能機制由 BRB 提供，此時塑鉸主要分佈於 Core A、C 之 BRB 上，以及 Core B 桿件（模擬特殊同心斜撐（SCB）行為之鋼管）上。主因配合建築外觀之要求，Core B 及 Core D 之幾何較為複雜，結構行為相對較難掌握，因此希望 Core B 及 Core D 可採較保守之設計。圖 5(b) 對應崩塌前之階段（屋頂位移 34.22 cm），此時結構仍屬穩定。

### 柱配置及分析設計

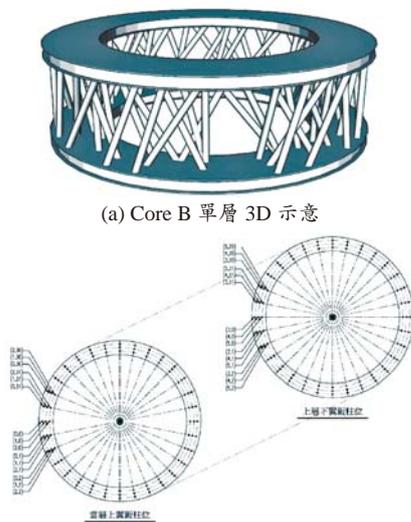
本工程抗側向力系統主要以四個巨型柱（Core A ~ Core D）組成，其中 Core A、C 為一般箱型柱與 BRB 斜撐所組成，Core B 為放射狀 SCB 鋼管所組成，Core D 由環狀陣列之組合方管串接而成。以下對 Core B 及 Core D 之鋼柱設計作介紹。



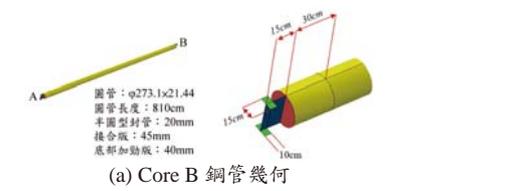
(a) 2500 年回歸期階段 (b) 崩塌階段  
圖 5 非線性側推分析塑鉸分佈圖

● Core B 鋼管

Core B 由放射狀鋼管與環狀鋼梁串接而成 (圖 6(a))，每層鋼管由 32 組 × 3 列之交錯連線配置而成 (圖 6(b))，標準層鋼管尺寸為  $\phi 219$ ，1F & B1F 則採用  $\phi 273$  之鋼管尺寸，由於接合型式較特別，因此鋼管及接合之設計，除了在設計地震力下保持彈性之外，亦需檢核其在極限應力狀態下，仍有足夠之銲道強度以避免脆性破壞之行為。極限應力之分析為藉由有限元素軟體建立之單一桿件之模型幾何，推估鋼管在極限應力狀態下，其接合端之應力值 (圖 7)，以確保任何單一圓管之破壞不發生於接頭端。



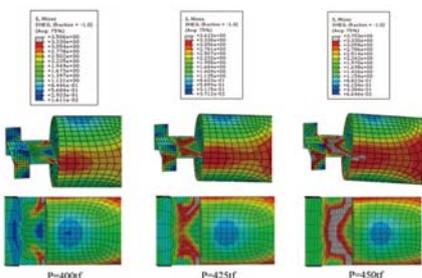
(a) Core B 單層 3D 示意  
(b) Core B 平面示意  
圖 6 Core B 細部圖示



(a) Core B 鋼管幾何



(b) Core B 鋼管挫屈應力分析



(c) Core B 鋼管接合處應力分佈

圖 7 Core B 桿件幾何及應力分析圖

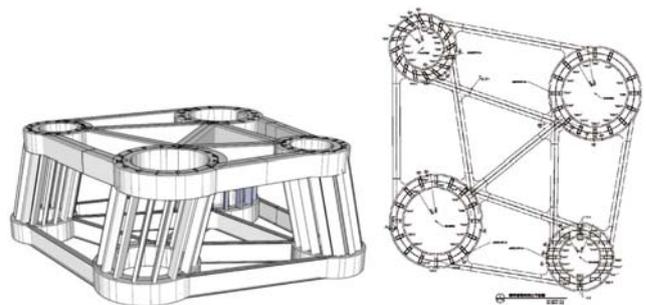
● Core D 組合方管

Core D 為配合建築立面造型，由四支各自獨立之筒狀圓柱，單一筒狀圓柱是由 16 支尺寸為 TUBE450 × 175 之組合方管，環狀排列而成 (圖 8(a)、8(b))。Core D 之組合方管除了要滿足在設計地震力下保持彈性外，由前述之側推分析可知，在最大考量地震力 (2500 年回歸期) 下，所有桿件均未降伏，因此可確認 Core D 同時具備高勁度及高強度之特性；此結果亦與原設計之目標一致。

BRB 分析設計

本工程之 BRB 參照可更換核心鈹之挫屈束制支撐 (周中哲及陳昇陽 2008,2010) 之內容作設計，圖 9(a) 為本工程所採用之 BRB 設計圖，如圖 Top View 所示為本工程 BRB 標準圖，核心單元皆由單一核心鈹構成，並於核心鈹端部銲接垂直加勁鈹，使其成十字形斷面 (SECTION C)，以提供端部穩定；圍束單元是由兩組獨立的圍束構件利用墊鈹及螺栓栓接組合而成 (SECTION A、B)，而任一組圍束構件是由鋼鈹與長槽形鋼構件銲接後，將內部澆置無收縮水泥砂漿組合而成，且圍束單元及螺栓強度設計如圖 9(b)、9(c) 所示。在高模態挫屈下，可求得核心與圍束構材之接觸力，並以此作為設計螺栓及圍束構材之需求；脫層單元採用 2 mm 之矽膠，主要目的為降低 BRB 極限軸壓及軸拉力強度上的差異。

另本工程 BRB 之接合型式為核心端鈹以水平方式插入雙片接合鈹 (圖 10(a))，並且事先於 BRB 端鈹銲上假固定用連接鈹，以螺栓假固定後，方可完成接合鈹與 BRB 間之銲接。由於此處接合鈹之設計需滿足斜撐發揮極限強度下仍保持彈性，因此以有限元素分析驗證其在此極限狀態下仍符合設計需求 (圖 10(b)、(c))。



(a) Core D 單層 3D 示意  
(b) Core D 平面示意

圖 8 Core D 細部圖示

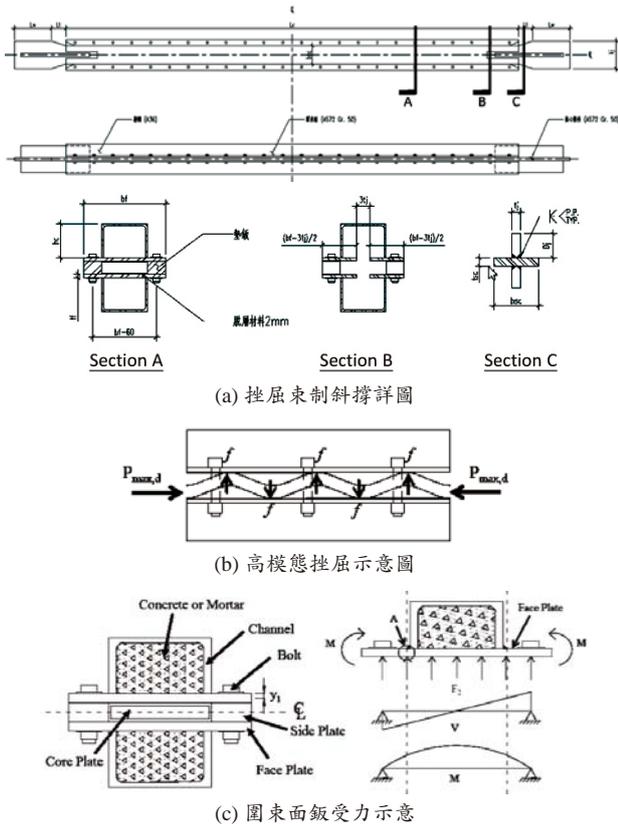


圖 9 挫屈束制支撐 (BRB) 設計原理

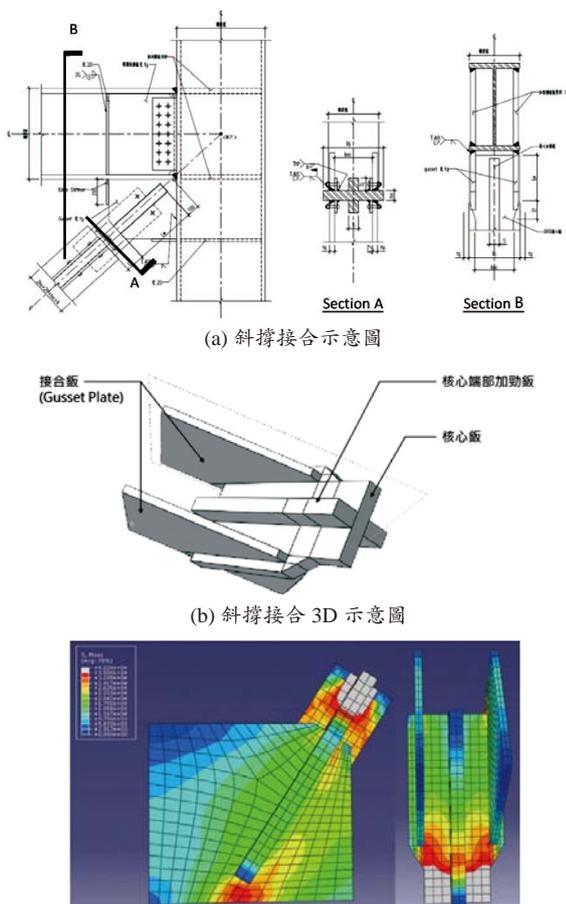


圖 10 BRB 端部接合設計

挫屈束制支撐為本工程之主要消能元件，因此於內政部營建署臺北實驗室進行實尺之 BRB 軸向試驗 (圖 11)，試驗之 BRB 噸數採 600 tf，加載歷時如圖 11(a)，試驗結果 (圖 11(b)) 可觀察出斜撐在非彈性狀態下，可發展出飽滿、穩定之遲滯行為。

### 鋼棒分析設計

懸吊系統為本案設計要點，本工程鋼棒標準模矩採 10.5 m × 10.5 m 之配置，上下層鋼棒採續接器 (圖 12(a)) 之方法作串接。配合正反向車牙，亦可於有限範圍內調整梁頂高程。續接器之材料與鋼棒相同，採用符合 CNS G3063 之 SCM 440 (同 JIS 4051 標準， $f_y = 8.5t/cm^2$ ) 以上進行設計。以直徑為 12 cm 之鋼棒為例，使用 M120 × 6 之螺紋，旋合長度 18 cm (1.5 倍鋼棒直徑配置)。鋼棒斷面積為 113.09 cm<sup>2</sup>，續接器尺寸設計 (圖 12(b)) 採用同材質外徑為 20 cm 之圓鋼棒車牙製造，其斷面積為 201.06 cm<sup>2</sup>，為鋼棒斷面積之 1.77 倍。

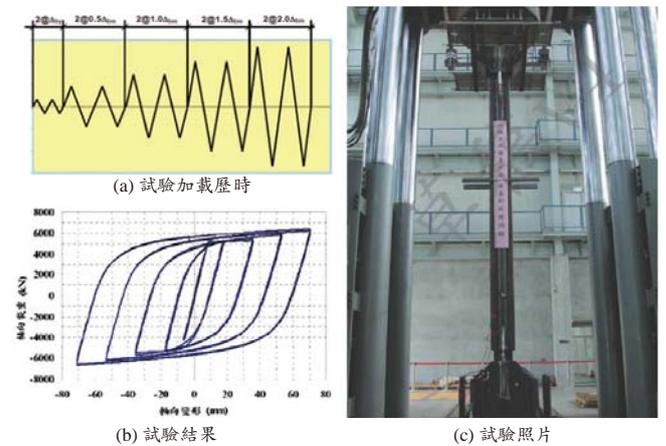


圖 11 挫屈束制支撐試驗 (內政部營建署)

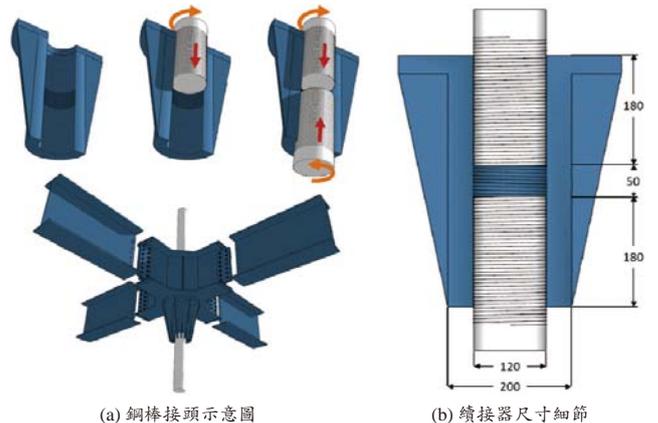


圖 12 鋼棒及接頭配置說明

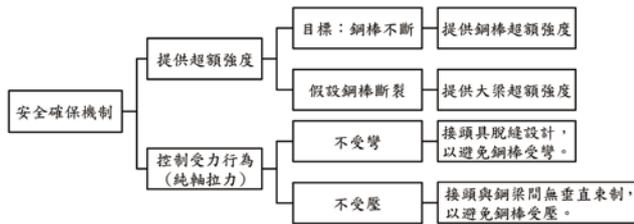
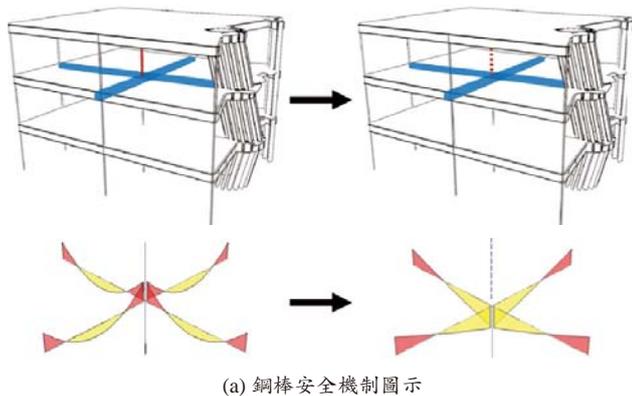
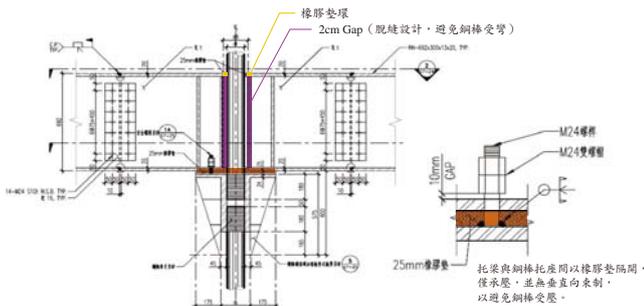


圖 13 鋼棒懸吊系統設計理念



(a) 鋼棒安全機制圖示



(b) 鋼棒接合詳圖

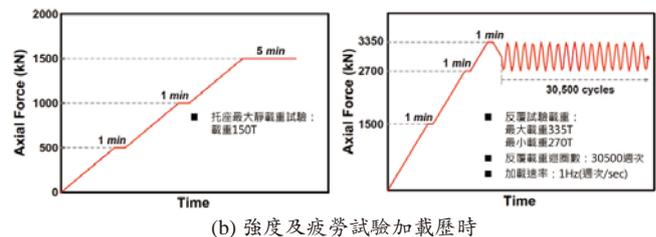
圖 14 鋼棒懸吊系統安全機制說明

本工程鋼棒之設計理念為使用受純軸拉力、具超額強度之鋼棒，搭配具超額強度之鋼梁組成網狀懸吊系統，設計上提供一安全機制（圖 13）。除鋼棒接頭本身具有超額強度外，亦考慮在任一樓層任一支鋼棒破壞之情況下，原本 10.5 m × 10.5 m 之連續梁行為改變成 21.0 m × 21.0 m 之十字梁（圖 14(a)），即使在此條件下，鋼梁仍能滿足設計之強度需求，結構安全無虞。另外在接頭細節（圖 14(b)）上，於鋼棒與十字托梁間採脫縫設計（避免鋼棒受彎）；且十字托梁與鋼棒托座間僅以橡膠墊隔開，無垂直向束制（避免鋼棒受壓）。

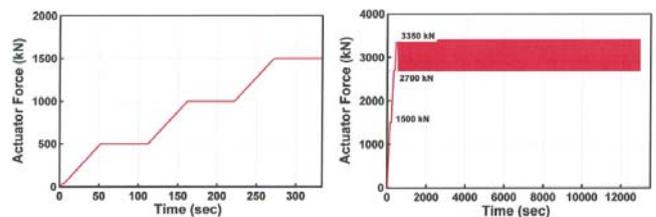
為證實本工程懸吊鋼棒及其接合之安全性及永續性，亦於財團法人國家地震中心進行實尺寸之鋼棒接頭試驗，含鋼棒、托座接頭及十字托梁（圖 15(a)），試驗之鋼棒直徑為 100 mm，加載歷時如圖 15(b)，試驗結果（圖 15(c)）皆滿足設計需求。



(a) 實尺寸鋼棒接頭組試驗照片



(b) 強度及疲勞試驗加載歷時



(c) 試驗結果

圖 15 鋼棒接頭試驗說明

### 施工流程說明

本工程招標採異質最有利標，得標施工廠商為春原營造（鋼構部份由春源鋼鐵負責）。一般建物構築方式，為由基礎循序而上，各層立柱施作完成後再施作當層梁、版結構；由於本工程採懸吊系統，故樓版之施作時機需待懸吊鋼棒完成後方能施作。在工序上概分為 (1) 四角落巨柱組立，(2) 巨型桁架層吊裝，(3) 鋼棒吊裝固定，(4) 吊裝各層梁版。

巨柱組立部分 Core A、Core C 為規則之單跨梁柱及斜撐構架，吊裝方式不予贅述，其中 Core B 由環梁與各鋼管在空間中交錯組成，考慮單元運送之困難度下，選擇採用以桿件單元現場組立之方式完成。工序上先由基礎層內埋置鋼環，並架設臨時支撐（詳圖 16-1），接著依編號安裝放射狀鋼管（詳圖 16-2），同時間地組各層環梁（詳圖 16-3），並以之作為下一層放射狀鋼管之放樣基準，以此施工順序由下而上完成 Core B 巨柱之施作（詳圖 16-4 ~ 圖 16-7）。



圖 16 Core B 施工流程說明 (春源鋼鐵提供)

Core D 則由四座在空間中扭轉之筒狀巨柱所組成，每座巨柱單元均在工廠內分別組立完成運送至現場，現場則依序吊裝各巨柱，為確保單一巨柱單元之穩定性，除架設臨時支架外，兩兩巨柱完成後均立刻以環梁連接 (詳圖 17-1)，再進行下一個巨柱吊裝，待當層四個巨柱完成後，再進行下一樓層吊裝 (詳圖 17-3 ~ 圖 17-6)，以此順序由下而上完成 Core D 巨柱之施作。Core B 及 Core D 之施工照片可詳圖 18、圖 19。

四角落巨柱完成後，為避免架設臨時構台影響日後之施工動線，桁架層採用類似鋼橋之懸臂施工方式，以巨柱作為支撐，大跨距桁架段均採地組後直接吊裝，並焊接於巨柱上 (詳圖 20)。

鋼棒吊裝之工法選擇上，施工單位為減少空中接合之次數，規劃鋼棒與接頭採地面組立後成串吊裝；而為避免成串吊裝時對鋼棒及接頭產生之額外彎矩，另外由施工單位 (春源鋼鐵) 設計了一組臨時支撐架 (詳圖 21)，將各層之鋼棒與接頭在支撐架上結合後再以吊車將整組支撐架吊起固定 (詳圖 22)，這樣的施工方式有效的將空中接合次數由 272 次降低為 50 次。此外為提高施工期間鋼棒串之穩定性，所有鋼棒串均以臨時鋼索束制於一樓地板上，如圖 23 為鋼棒吊裝完成全景。待鋼棒吊裝完成後，則分別由上至下組裝各層鋼梁及樓版。另外，於天井區鋼棒施工詳圖可另詳圖 24。

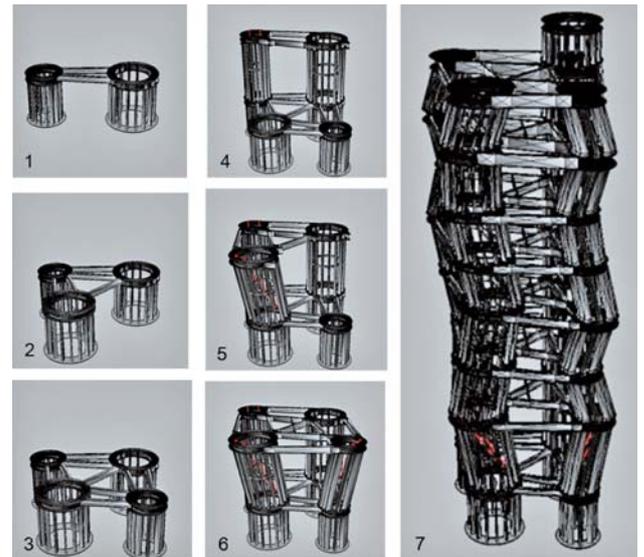


圖 17 Core D 施工流程說明 (春源鋼鐵提供)



圖 18 Core B 施工實景照片 (春源鋼鐵提供)

本工程整體之懸吊施工流程全景可詳圖 25，圖中顯示了巨柱、頂層桁架之組立順序，及鋼棒及各層樓版之吊裝、由下而上之施工特色。

### 微震試驗分析

本工程於完工後，為驗證理論分析與實務之差異性及樓版震動之舒適性，亦進行微震試驗及分析評



(1) 低板台實際運輸情況

(2) 環標立柱及吊裝



(3) 環標吊裝-1

(4) 環標吊裝-2



(5) 節次完成

(6) 末節環標僅能使用吊車本桿吊裝



(7) 末節環標吊裝實際情況-1

(8) 末節環標吊裝實際情況-2

圖 19 Core D 施工實景照片 (春源鋼鐵提供)



圖 20 屋頂桁架層吊裝施工照片 (春源鋼鐵提供)

估，實驗儀器採用日本 Tokyo Sokushin Co. Ltd. 製造，型號 VSE-15D 之微震感應器（為一速度計），歷時記錄系統則採用型號 SPC-51 之攜帶型記錄器（詳圖 26），以及 CV-374V 三軸速度規。

整體結構微震測量試驗以屋頂作為試驗區域，於屋頂配置三組三軸速度規同時測量，以便量測該結構物之 X 方向、Y 方向以及結構物本身的扭轉頻率。樓版微震測量試驗以三樓樓版作為試驗區域，因該層樓主要以鋼棒懸吊，故在四根鋼棒中間量測以了解該樓板之垂直震動頻率，相關佈置儀器點位如圖 27 所示。

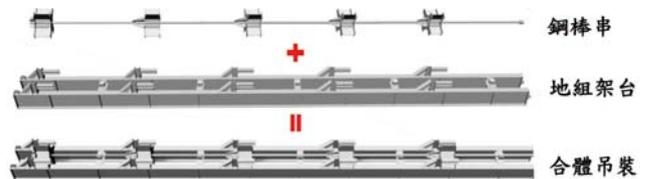


圖 21 鋼棒地組安裝說明 (春源鋼鐵提供)



圖 22 鋼棒地組及吊裝施工照片 (春源鋼鐵提供)



圖 23 鋼棒吊裝完成施工全景照片



圖 24 鋼棒於天井區施工照片



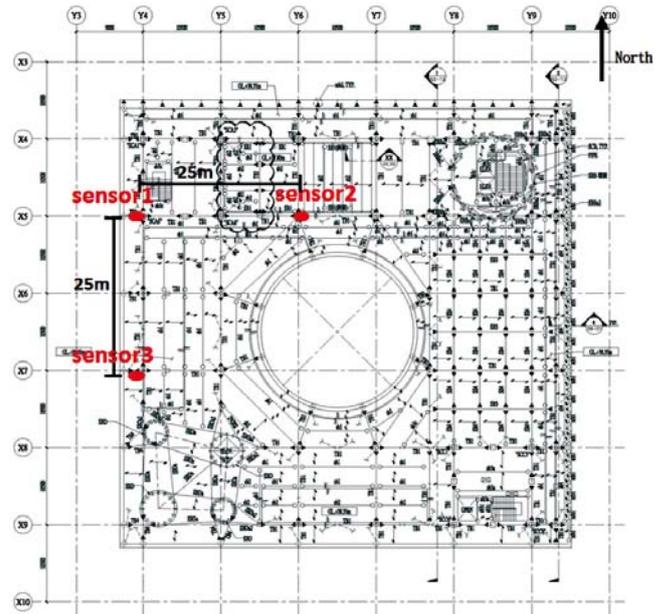
圖 25 施工流程說明照片



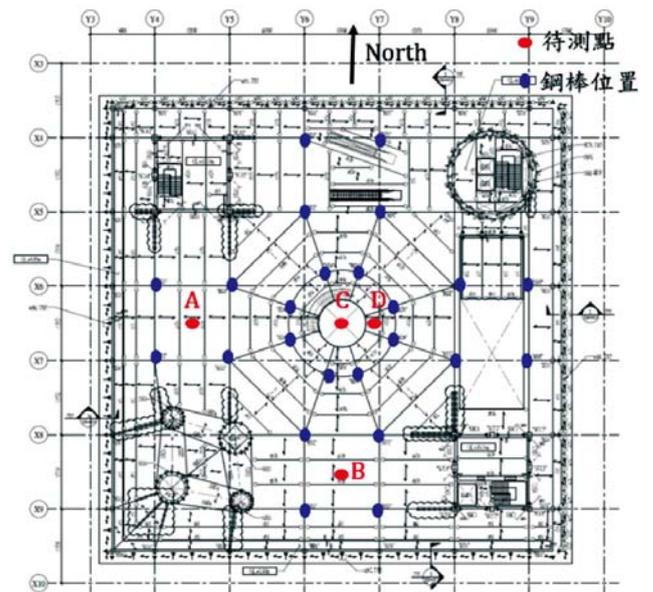
圖 26 微震試驗儀器

整體結構自然頻率之試驗結果，即屋頂各測點軸向震動 FFT 震幅圖如圖 28 所示，由圖可知 X 軸方向之三個感測器第一模態頻率為 1.053 Hz、1.053 Hz 以及 0.99 Hz，Y 軸方向三個感測器第一模態頻率皆為 1.057 Hz，且扭轉頻率 X 軸以及 Y 軸皆有兩個相同模態頻率 0.987 Hz 以及 1.307 Hz。

樓版垂直震動測量試驗結果，即三樓樓版各測點垂直向震動 FFT 震幅圖如下圖 29，由各震幅圖可以得到 A 點頻率為 6.167 Hz，B 點頻率為 6.082 Hz，C 點較不明顯，頻率值分別為 2.537 Hz、6.377 Hz 以及 10.27



(a) 屋頂層儀器佈置



(b) 三樓儀器佈置

圖 27 微震試驗儀器佈置

Hz，D 點頻率值為 2.563 Hz 以及 6.417 Hz。

各試驗比較結果如圖 30，比較歸納之結果後可觀察出，整體結構物頻率之試驗值可貼近模型分析值；另外，關於樓版震動之部份，由於國內目前尚無相關規範，因此引用中國國家標準（GB50010-2010- 混凝土結構設計規範），利用頻率限值之方式對建築物作自震頻率之驗算，即住宅 (> 5 Hz)、辦公大樓及旅館 (> 4 Hz)、大跨度公共建築 (> 3 Hz)，又本案樓版垂直震動頻率約 6.1 Hz 左右，因此可滿足舒適性之要求。

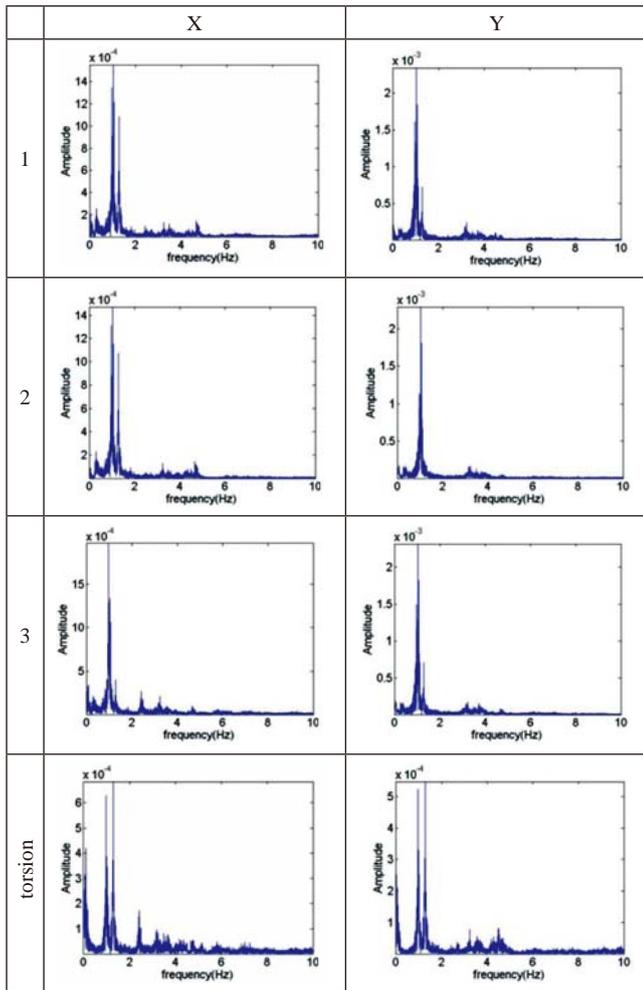


圖 28 屋頂自然頻率試驗結果

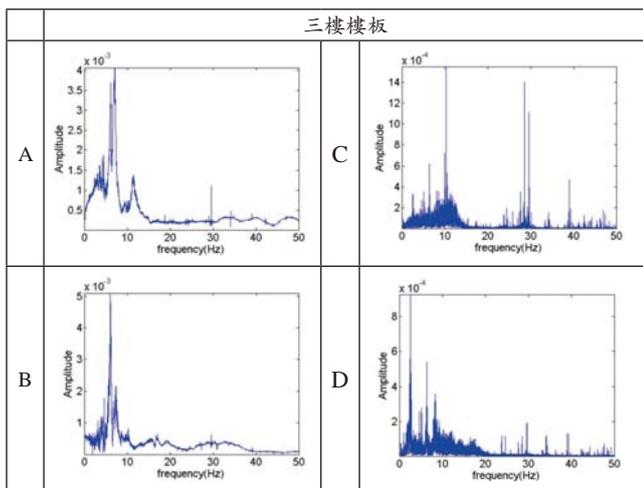


圖 29 三樓樓版垂直頻率試驗結果

### 結語

本工程以建造一棟創新觀念的圖書館為目標。結構設計當然也需以最嚴謹的態度為之，然而如何完成一棟兼具使用性及安全性的高效結構新地標，卻需要

	X-Dir.	Y-Dir.	Torsion
微震量測	1.053	1.057	1.307
Etabs Model	1.045	0.951	1.333

(a) 整體結構自然頻率比較 (Hz)

	A	B	C	D
微震量測	6.167	6.082	6.377	6.417

頻率限值要求：住宅及公寓 > 5 Hz 辦公室及旅館 > 4 Hz 大跨度公共建築 > 3 Hz (GB50010-2010)

(b) 局部樓版震動頻率比較 (Hz)

圖 30 微震試驗結果歸納

所有設計、監造單位與施工單位共同努力始可順利達成，創新的工法及學術研發單位所開發的新設計，亦成為本工程得以順利進展的幕後功臣。本文謹提出高雄市立圖書館結構的設計概念，及各施工階段之流程說明，以供工程界參考之用。

### 誌謝

本工程在前期規畫階段，首先感謝國立台灣大學蔡克銓教授提供許多寶貴的意見；於細設審查階段，亦承蒙台大地震中心之審查委員：周中哲教授、陳俊杉教授、洪宏基教授、羅俊雄教授、黃燦輝教授之指導；完工後亦感謝台灣大學土木系主任呂良正教授協助進行微震試驗及分析，最後對於所有提供協助的相關人員，致上最由衷的謝意。

### 參考文獻

1. 「建築技術規則」，內政部，99，3
2. 「結構混凝土設計規範」，內政部，100，7
3. 「建築物耐震設計規範及解說」，內政部，100，7
4. 「建築物耐風設計規範及解說」，內政部，96，1
5. 「建築物基礎構造設計規範」，內政部，90，10
6. 「鋼構造建築物鋼結構設計規範與解說」，內政部，96，9
7. Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI 318-05, by American Concrete Institute (ACI).
8. Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design, AISC.
9. Chou, C. C., Chen, S. Y. (2010). "Subassembly Tests and Finite Element Analyses of Sandwiched Buckling-restrained Braces." Engineering Structures, 32, pp. 2108-2121.
10. Chou, C. C., Liu, J. H., Pham D. H. (2012). "Steel Buckling-Restrained Braced 11. Frames with Single and Dual Corner Gusset Connections: Seismic Tests and Analyses." Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 7(41), pp. 1137-1156.
11. GB50010-2010，中華人民共和國國家標準 — 混凝土結構設計規範。