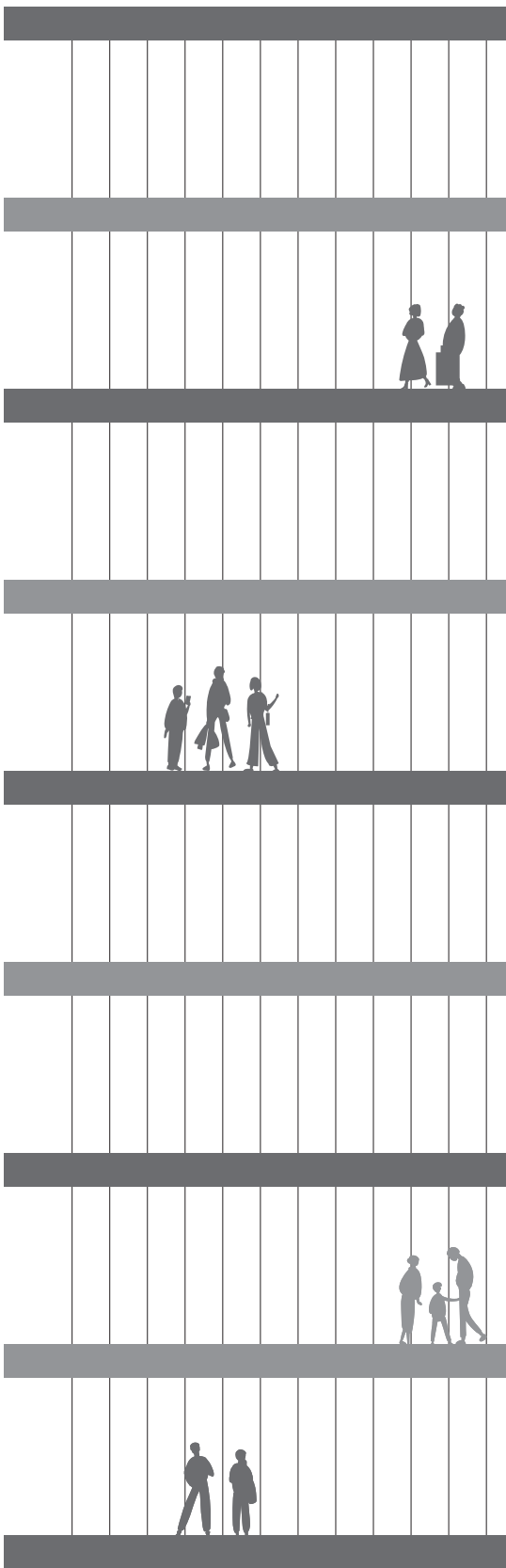


第1章

什麼是隔震建築



1-1 隔震建築是什麼樣的建築？

日本是世界上地震最活躍的地區之一，自 1923 年的關東地震（關東大震災）至 2022 年 3 月的福島縣外海地震為止，在日本國內及其近海已發生了 35 次以上被一般稱為大地震、規模達芮氏 7.0 以上的地震。表 1 列出了地震規模較大，且人員傷亡與住宅損害也相對較大的主要地震。從此表中可以看出，日本全國各地皆有可能發生大地震。

每當遭遇嚴重地震災害時，必定有人會想：「如果有那種不會感受到地震搖晃的建築，就不會遭遇這樣的災害了吧。」

理想上，在感知到地面搖晃的瞬間，若能讓建築物本身騰空浮起，地面的搖晃便不會傳遞至建築物，也就不會遭受地震災害。然而，要讓重量龐大的建築物在瞬間浮起，是個相當困難的課題。

於是，建築技術人員開始研究，是否能在地面（基礎）與建築物之間夾入柔軟的材料或具滑動性的材料，使地震的搖晃盡可能不被傳遞，進而達成能免於地震晃動的建築物（隔震建築）。

在這樣的背景下，與隔震建築相關的各種構想陸續誕生，並以各種形式持續發展。最終，作為隔震建築的基本形式所實現的，就是所謂的「基礎隔震」（base isolation system，圖 1），即將建築物的基礎（地面側）與上部結構分離，在兩者之間設置隔震層，並在該層安裝隔震器（夾入）的構造形式。此一形式在現今的隔震建築中仍佔絕大多數。

安裝於隔震層的隔震器，一般包含以下兩類：一是能支撐上部結構，並減少地面橫向搖晃傳遞的支承材（如積層橡膠支承、滑動支承、滾動支承等），另一是能適度減少橫向搖晃幅度的阻尼材（如鋼材阻尼器、油壓阻尼器等）。此外，也存在同時具備這兩項功能的隔震器。



在地震時採用基礎隔震建築的搖晃模式如下：建築物的基礎（地面側）會與地面一同劇烈且快速搖晃，但由於隔震層中夾有柔軟的材料，因此可在該層吸收並消解劇烈且快速的搖動，傳至上部結構的水平方向搖晃將變成與地面不同的、緩慢的搖晃。

另外，針對地面上下方向的震動，前述支承材在垂直方向具有高剛性，可隨時穩定支撐上部結構，因此與一般耐震建築具有相同等級的性能。

如上所述，由於隔震建築能使地震晃動的搖晃不易傳至建築物本體，因此最終可使建築物內的物品、裝修材，甚至設備機器等不受地震搖晃影響，確保整棟建築物的安全性。這正是隔震建築的最大特徵。

如今，隨著隔震器的開發以及設計與施工技術的提升，不僅僅是上述的基礎隔震建築，也有將隔震層設置於建築物中間樓層的「中間層隔震」建築，或是在具有歷史價值的既有建築物上安裝隔震器進行隔震化的「隔震改修（Retrofit）」等建築也已出現。

表1 關東大震災以來的主要地震災害¹⁾

發生年份	地震名稱（災害名稱）	規模（M）	人員損害（人）	住宅損害（棟）
1923 年	關東地震（關東大地震）	M7.9	約 105,000 人	576,262 棟
1948 年	福井地震	M7.1	3,769 人	40,035 棟
1964 年	新潟地震	M7.5	26 人	2,250 棟
1968 年	十勝外海地震	M7.9	52 人	691 棟
1978 年	宮城縣外海地震	M7.4	28 人	1,383 棟
1995 年	兵庫縣南部地震（阪神・淡路大震災）	M7.3	6,437 人	111,942 棟
2000 年	鳥取縣西部地震	M7.3	—	435 棟
2003 年	十勝外海地震	M8.0	2 人	116 棟
2004 年	新潟縣中越地震	M6.8	68 人	3,175 棟
2005 年	福岡縣西方外海地震	M7.0	1 人	144 棟
2007 年	能登半島地震	M6.9	1 人	686 棟
2007 年	新潟縣中越外海地震	M6.8	15 人	1,331 棟

發生年份	地震名稱（災害名稱）	規模（M）	人員損害（人）	住宅損害（棟）
2008 年	岩手・宮城內陸地震	M7.2	23 人	30 棟
2011 年	東北地方太平洋外海地震（東日本大震災）	M9.0	20,960 人	129,391 棟
2016 年	熊本地震	M7.3	3,039 人	205,549 棟
2018 年	北海道膽振東部地震	M6.7	825 人	15,978 棟
2022 年	福島縣外海地震	M7.4	250 人	49,624 棟

- 註 1：表格中的「M」代表地震的**芮氏規模（Magnitude）**。
- 註 2：地震名稱包含常用的簡稱與通稱。
- 註 3：關於「人員傷害」與「住宅損害」的統計說明如下：
 - **人員傷害：**
 - 2011 年以前為死亡人數與失蹤人數總和。
 - 2014 年以後為死亡、重傷、輕傷者的總數。
 - **住宅損害：**
 - 2011 年以前為「全倒、全毀、遭沖走」的合計。
 - 2014 年以後為「全倒、半倒、部分損壞」的合計。

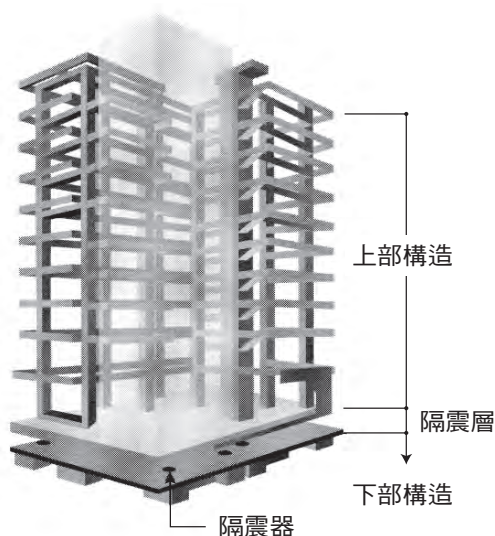


圖 1 基礎隔震建築的概念圖²⁾



＊ 補充說明 1：

地震名稱的命名，是由氣象廳在地震發生時，依據某些標準判定其為大規模地震後命名而來。命名原則為「年號＋地震資訊所用地區名＋地震」。例如 2011 年發生的地震命名為「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋近海地震」。由於氣象廳命名的名稱較長，因此常省略年號，使用簡稱。另外，若氣象廳未命名（如判定規模未達標準），則會由媒體或學術界等命名。災害名稱是指當地震等引發之災害規模較大時，由政府所命名。至今政府僅為表 1 所列的三次地震災害命名。

＊ 補充說明 2：

基礎隔震的英文表記中，“isolation”是名詞，意指「絕緣、隔離」，“isolate”是動詞，意指「切離、分離、區隔”。“isolator”則是名詞，意為「絕緣器、隔離裝置」。由此可知，在將建築物的基礎（地面側）與上部結構分離，並設置於隔震層內的隔震器中，用於支撐上部結構並降低地面橫向震動傳遞的支承材，也可稱作「isolator（隔震器）」。

＊ 補充說明 3：

在某些指定建築材料中稱作「隔震材料」，但本書中統一稱為「隔震器」。

參考文獻

- 1) 氣象庁 HP, 各種データ・資料, 日本付近で発生した主な被害地震：平成 24 年版、平成 27 年版、平成 29 年版、令和元年版、令和 3 年版的消防白書
- 2) 震災の国への処方箋, 2020, JSSI



1-11 隔震建築有什麼優點？

隔震建築的優點可歸納為下列幾點。由此可提升建築物作為資產的價值。

（1）防止建築物結構損害（安全性提升）

採用隔震構造後，可降低作用於建築物的地震力，因此能減少結構損害。由於於大地震時預期的損害較少，在「住宅性能表示制度」（依據《住宅品質確保促進等相關法律》的制度）中若是隔震等級的住宅，地震保險費用可能享有折扣等優勢。

（2）防止建築裝修材料及設備機器的損害（機能性的維持）

由於採用隔震構造後，包含裝修材料與設備機器在內的建物本體損害極為減少，若電力、自來水等基礎設施仍在運作，便可與地震前同樣使用建物，維持建築機能。

（3）防止家具類傾倒防止等、收容物損害（財產的保全）

隔震構造下，建築內的晃動（加速度）變小，因此家具等收容物因傾倒而受損的情況較少，得以保全財產。

（4）透過晃動體感減低而除去心理性不安、不適感，提升安心感、居住性（安心・居住性提升）

於東日本大震災中，有地區曾持續震度 4 以上的晃動超過 3 分鐘。採用隔震構造的話，建築物內的震度可減少一定程度，不會受到令人產生恐懼感的搖晃。更重要的是，即便發生大地震，也不需擔心建築物損害或家具傾倒傷及人命，這種安心感正是隔震建築的價值之一。

（5）隨著設計自由度的提升，提升新建築形態的可能性（設計自由度的提升）

由於隔震構造下，地震時作用於建築物的水平方向力變小，因此有如地震災害較少之區域的建築物般，可設計出不受地震力破壞限制的新型態建築。

（6）延長建物壽命並降低環境負荷（長壽命化、環境負荷低減）

雖然隔震構造通常使初期建設成本（建設成本）因隔震層而提高，但於大地震時所需的修復費用較少，因此生命周期成本較低。整體使用材料可減少，建物壽命可延長，因此對降低環境負荷亦具貢獻（參見第2章8節）。此外，若採用隔震改修（第2章4節參照）亦可讓重要文化財等貴重建築物在保持現狀姿態下延長壽命保存。

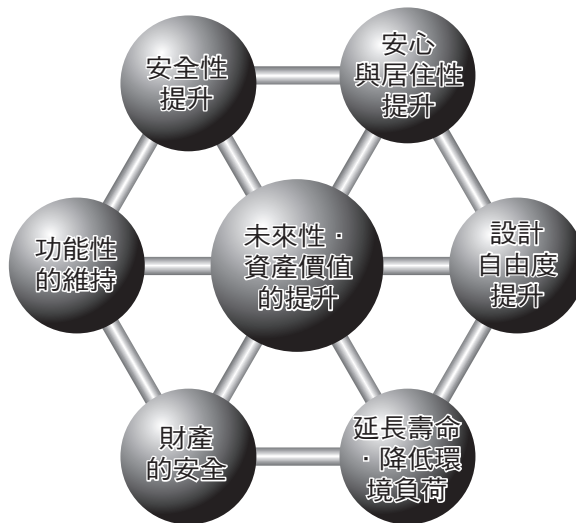


圖 1 隔震建築的優點（之一）¹⁾

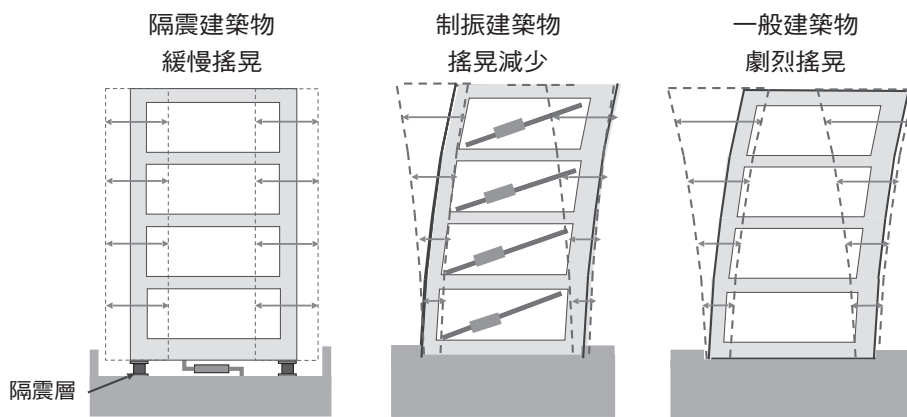


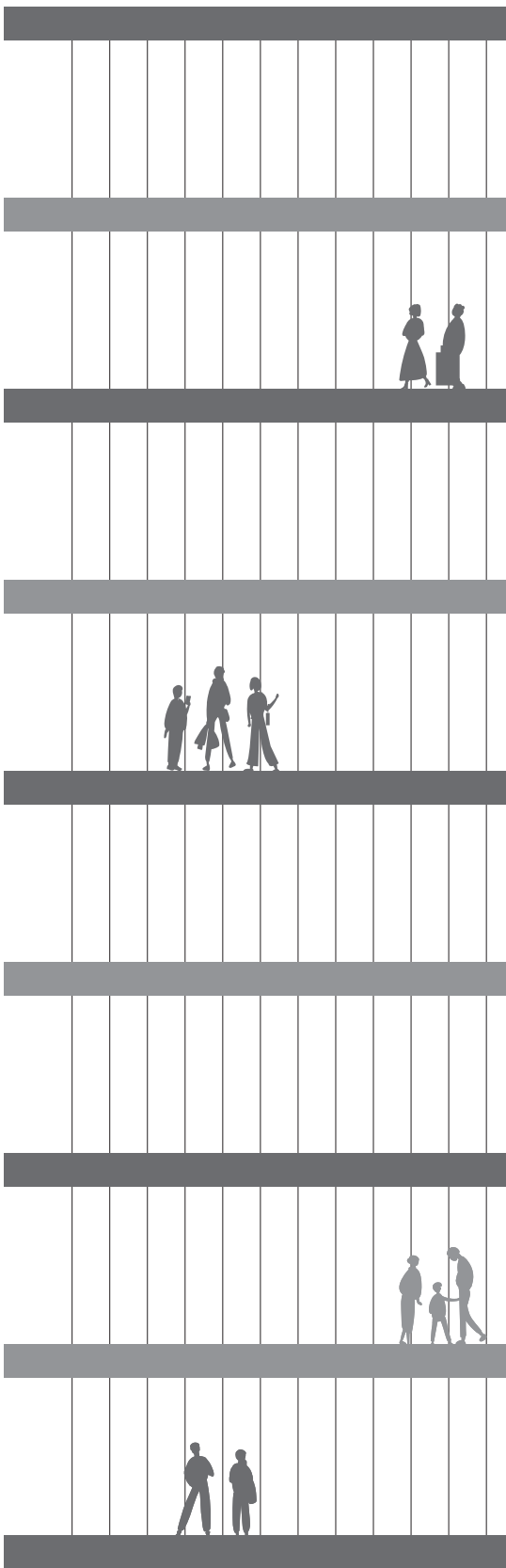
圖 2 隔震建築的優點（之二）²⁾

參考文獻

- 1) 日本隔震構造協會 小冊子《隔震建築的推薦》
- 2) JSSI 小冊子

第6章

依用途分類之案例





6-3 體育場館

木之花體育館（このはなアリーナ）



照片 1 外觀



照片 2 內部景觀

大跨距屋頂以鋼構桁架構成，兼具合理與經濟性。靠近觀眾席的牆面（下屋頂部分）配置以杉木集成材製成的柱，並以細密的間距呈橢圓狀排列，由這些杉木集成柱支撐形成山牆形（gable-type）屋頂架構。為了在面對大地震力時也能安心使用木材，採用了隔震結構；同時考量成本與伸縮縫設置的便利性，採用柱頭隔震（屋頂隔震）系統。

在隔震裝置上方設置稱為「水平環（Horizontal Ring）」的鋼筋混凝土（RC）版，作為上部構造的基座，並引入後拉預力（Post-tension）技術以抵抗屋頂推力。水平環同時具有防止火焰波及木材的防火功能。

為避免水平環發生扭轉變形，在 32 根 RC 柱上各配置 2 座隔震裝置，共計 64 座。隔震裝置的防火被覆以外露方式呈現，積極表現出建築為隔震構造的特性。內側隔震裝置採用直徑 $\phi 600$ 的天然橡膠系積層橡膠支承，外側隔震裝置則為提高觸發荷重而使用含錫心的高降伏強度積層橡膠支承，尺寸為 $\phi 800$ （錫心 $\phi 160$ ）。在風荷重設計上，即使遇到極為罕見的強風情況，也確保錫心不會發生降伏。

（出處：內藤廣建築設計事務所）

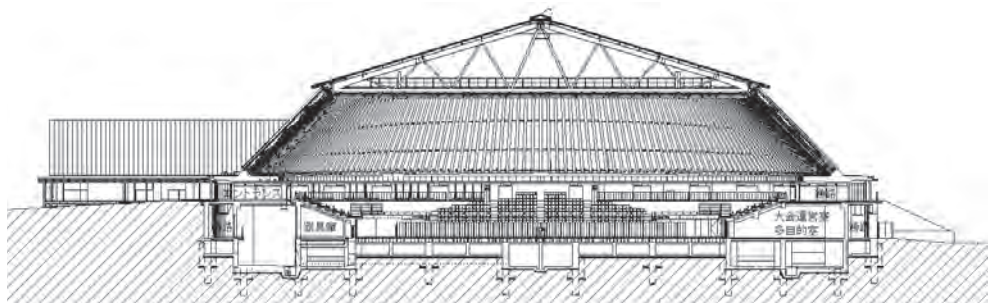


圖 1 短邊剖面圖

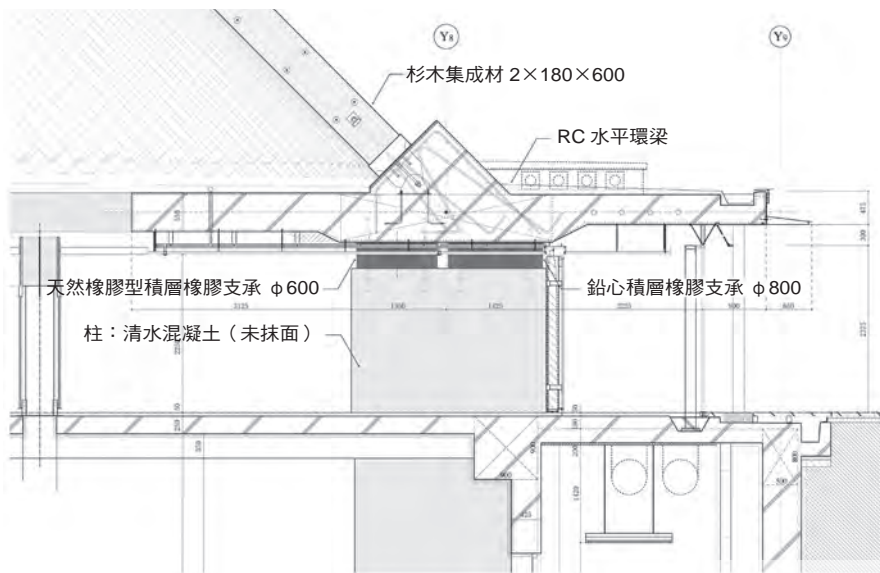


圖 2 剖面詳圖

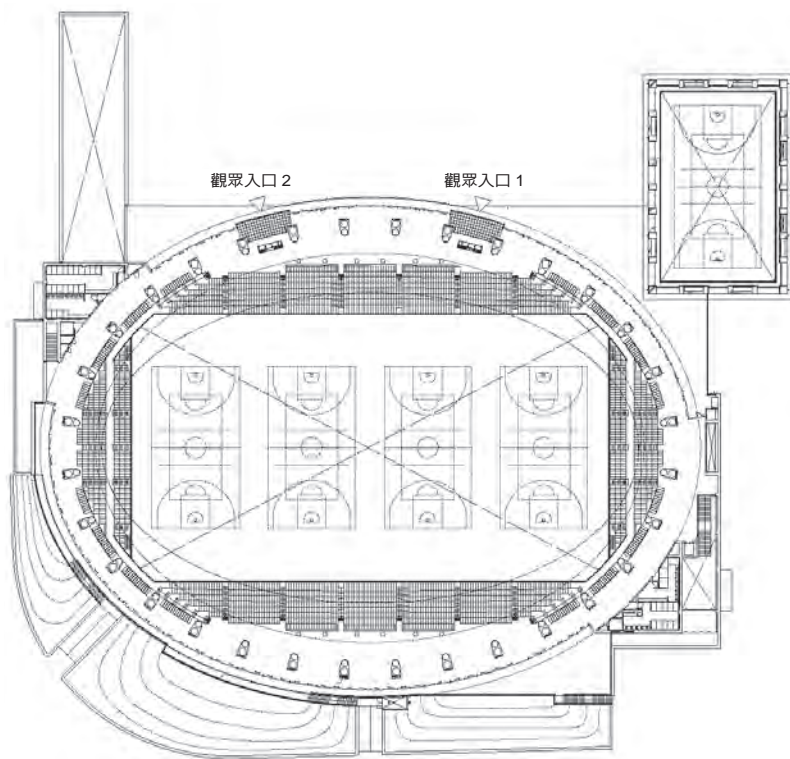
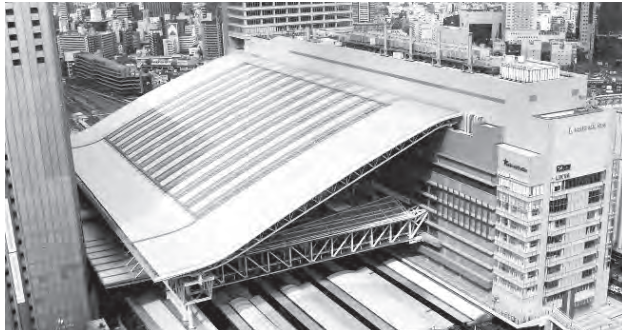


圖 3 二樓平面圖

6-4 交通設施

大阪車站大屋頂



照片 1 建築外觀（攝影：宮原俊文）

建築概要

- 所在地：日本大阪府大阪市
- 設計單位：西日本旅客鐵道株式會社（JR West）
ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社（JR West Consultants）
- 設計協力：株式会社 大林組（Obayashi Corporation）
- 施工單位：大阪車站改良工程特定建設工事共同企業體
- 總樓地板面積：224,135.94 m²（含北口大樓 North Gate Building）
- 樓層數：地上 28 層、地下 3 層
- 建築高度：153.05 m（大屋頂最高點：66.42 m）
- 結構型式：鋼構造（Steel Structure）

採用隔震的背景與設計企劃

本案的大屋頂設計極具挑戰性——其北側由超高層大樓支撐，南側則以位於月台上方的單列懸臂柱列支撐，形成橫跨不同結構系統的大跨度空間構造。



由於兩側支撐架構的振動特性差異極大，且大屋頂下方為重要的鐵路車站設施，為了降低地震力對支撐架構與大屋頂的影響，設計團隊採用了隔震結構系統。

隔震化後，不僅成功減小了大屋頂構件的斷面尺寸，也營造出明亮而開放的空間氛圍，使建築兼具結構合理性與城市公共性的美學。

技術創意與新穎性

由於大屋頂兩側在剛性、耐力及高度上差異極大，隔震裝置的選型成為設計的關鍵。設計採取以下對應策略：南側懸臂柱列（剛性較低一側）採用低摩擦型滑動支承（Low-Friction Sliding Bearing），以降低地震時的水平反力。北側大樓側（剛性較高一側）採用內嵌鋼棒阻尼器（Steel Rod Damper）的一體式積層橡膠支承（Laminated Rubber Bearing），使地震力主要由大樓側承擔。

此外，為了抑制由支承剛性差異造成的扭轉變形，於南側架構配置油壓阻尼器（Oil Damper），提供足夠的阻尼力以穩定整體結構。

由於下方為營運中的車站設施，施工階段必須確保使用安全與不中斷營運。大屋頂的結構採用單向鋼構桁架梁（Truss Girder）共 17 列，並以中央工作平台（構台）為起點，採取「滑移工法（Sliding Method）」，自中央向兩側推進施工。每完成一跨滑移後，隨即進行頂升放降（Jack-down）作業，使隔震裝置進入有效運作狀態，進而在施工過程中即能發揮隔震效果，確保施工安全與穩定性。此設計成功融合大跨度鋼構工程技術與隔震構造理念，在兼顧結構安全、施工合理性與都市景觀的同時，亦成為大阪車站的象徵性地標建築。

（出典：大林組 Obayashi Corporation）

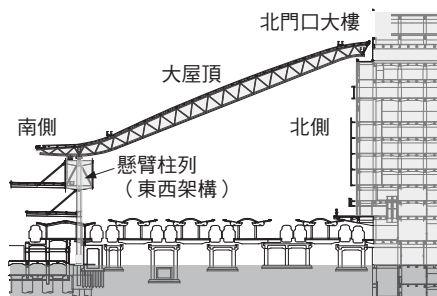


圖 1 剖面圖¹⁾

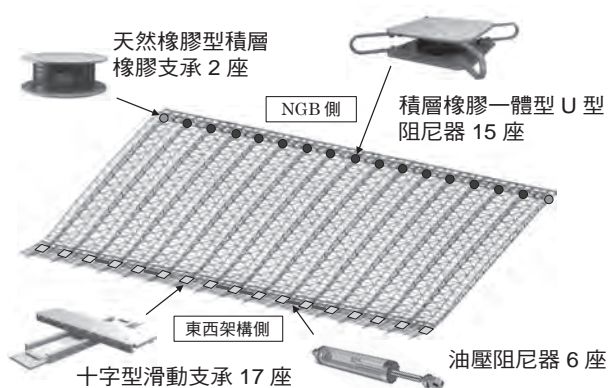


圖 2 裝置配置圖²⁾

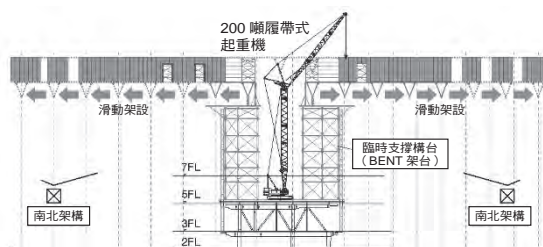


圖 3 施工步驟²⁾

參考文獻

- 1) 第 17 屆日本隔震構造協會獎宣傳手冊 p.5，
2016，日本隔震構造協會 (JSSI)
- 2) 大林組



6-5 神社與宗教設施

水天宮御造替



照片 1 建築外觀

建築概要

- 所在地：日本東京都中央區
- 設計與監理：株式会社 竹中工務店（Takenaka Corporation）
- 施工單位：株式会社 竹中工務店
- 基地面積：約 2,400 m²
- 建築面積：約 2,000 m²
- 總樓地板面積：約 5,000 m²
- 樓層數：地下 1 層、地上 6 層
- 結構形式：鋼筋混凝土造（RC）＋ 基礎隔震結構

在都市區域的重建工程中，隨著近年來防災意識的提升，運用最新隔震技術以提升建築安全性的需求日益增加。然而，當多棟建築分散於狹小基地內時，受限於隔震間隙（clearance）的確保及其他條件，逐棟採用隔震結構往往困難重重。為此，開發出一種將基地全域的低層部分整合為一體、於其下方設置隔震層，並在該層上統一配置所有建築物的整體隔震技術。

本建築為位於東京都市中心的神社。於地下 1 層樓板下方設置隔震層，並將擴展至地下 1 層及地上 1 層的立體停車場，以及建於其上的三棟獨立建築——兩層的大殿、兩層的迎賓棟與五層的參集殿——統一為一體隔震結構。

結構設計上的課題主要有二：其一，是在低矮且輕量的上部結構中仍能充分發揮隔震效果；其二，是要抑制因平面上重量與剛性分布不均所導致的隔震層偏心。對此，設計採取將上部結構設為鋼筋混凝土造，並適當配置耐震牆，以增加上部結構之重量與剛性，進而提升隔震性能。同時，於隔震層外周配置高水平剛性的鉛心積層橡膠支承，以提高抗扭剛性，並藉由調整鉛心阻尼器的配置數量，使剛心與重心接近，降低扭轉反應；在中央部分則配置低摩擦型彈性滑動支承，以延長建築搖擺週期，進一步強化隔震效果。

（出處：竹中工務店）

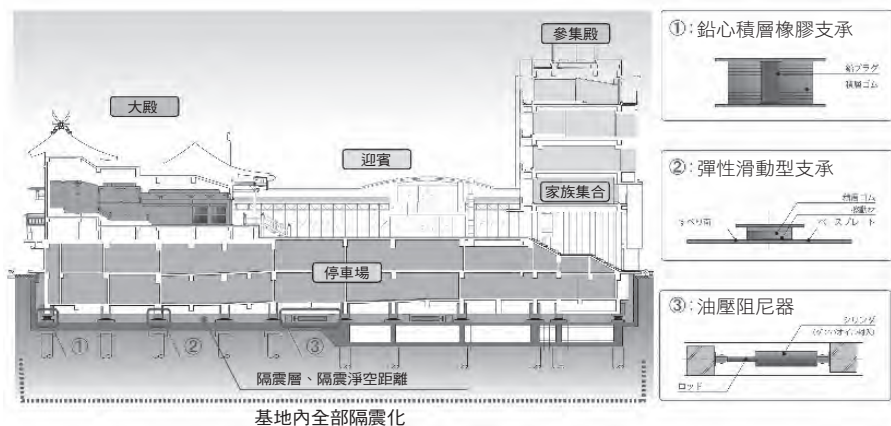


圖 1 構造剖面圖¹⁾

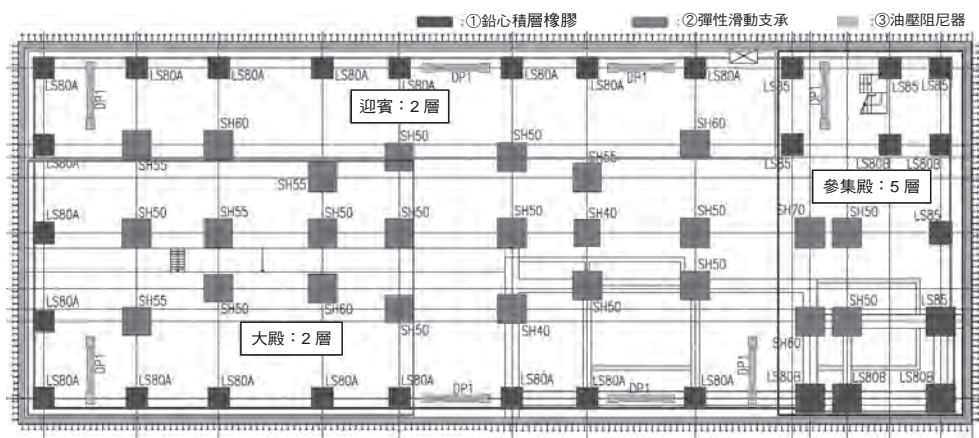


圖 2 隔震裝置配置圖²⁾

參考文獻

- 1) 會誌《MENSIN》94 號 p16, 2016, JSSI
- 2) 會誌《MENSIN》94 號 p17, 2016, JSSI