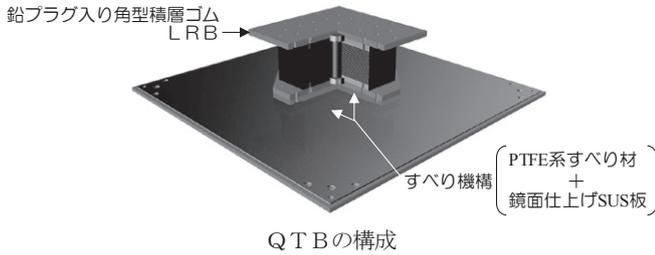


巨大地震に対するフェイルセーフ機構を有する アイソレータ「QTB」の開発

株式会社竹中工務店 濱口弘樹、山本俊司
 オイレス工業株式会社 和氣知貴
 北海道大学 石井 建、菊地 優



概要

近年、日本各地で巨大地震が頻発しており、近い将来には南海トラフ地震の発生も危惧されている。免震構造が非常に高い耐震安全性を有することは言うまでもないが、設計レベルを上回る巨大地震動を受けた場合はこの限りではない。上部建物の擁壁への衝突、免震部材の損傷、上部建物の過大応答などの極限事象が危惧される。これらの弱点を克服した免震構造システムを実現することができれば、巨大地震直後も建物機能を維持しなければならない病院、行政庁舎などの重要建物の耐震安全性をより一層高めることが可能となる。

今回開発した「QTB (Quake-Thru Bearing)」は、巨大地震時も損傷することなく上部建物への過大地震力の伝達を防止する高性能免震アイソレータである。十分に広い免震層水平クリアランスを確保することで、上記3つの極限事象を全て回避することが可能となる。本技術は神戸市の竹中工務店社員寮に初適用された。震災時には最高の安全性を備えた避難所として近隣住民に開放し、地域の復興に活用されることとなる。

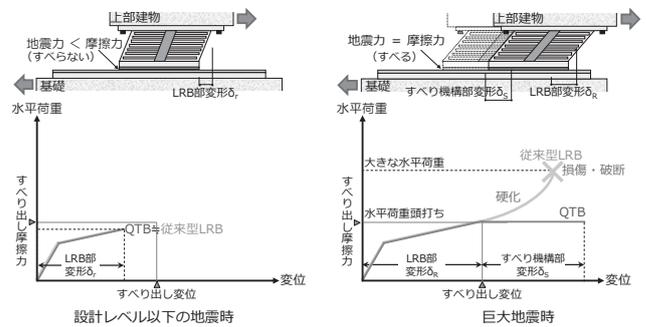
選評

南海トラフ等の巨大地震に対し免震構造をどのように設計するかは構造設計者にとって頭の痛い問題である。通常の告示レベル2(極稀)の地震入力に対しては、アイソレータのみの固有周期を4秒程度とし適切な量のダンパーを配すれば、概ね応答ベースシア係数を0.1~0.15、免震層の応答変形を30~40cm程度に抑えることができる。しかし同様の設計で南海トラフ等の巨大地震入力を検討した場合、免震層応答が過大となり、積層ゴム支承に座屈・ハードニング・せん断破断を生じたり、建物が免震ピット擁壁に衝突したりする等の危険性が生じることが多い。そこで同入力に対し短周期化、ダンパー容量増加により最大変形を抑え込むと、今度は免震効果が失われてしまう。本応募はこのような課題に対し真正面から取り組み、積層ゴム支承とすべり材を組合せて一定以上の応答変形に対しすべり材が滑動し、積層ゴム部のせん断変形やせん断力を抑制する技術を実用化したものである。開発の過程では12種以上のすべり材を比較して安定した動摩擦特性・耐候性を有する素材を抽出し、10年近く忍耐強く各種試験を積み重ねて実物件への適用にこぎ着けた努力は敬服に値する。(竹内 徹)

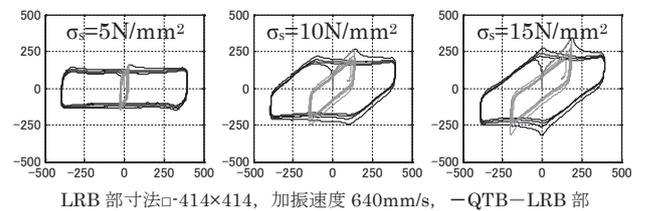
システム及び特記事項

QTBは上下端部のいずれかをボルト接合、他端を摩擦接合するLRBとみなすことができる。摩擦接合が機能する限り、従来型LRBと変わらない性能を発揮する。入力レベル増大により摩擦が切れるとすべり機構部が撓動し、LRB部にはすべり摩擦力を上回るせん断力が作用しなくなる。このためLRB部は過度のハードニングやせん断破断を免れ、上部建物の応答せん断力は摩擦力を大きく上回ることがない。従って、QTBのみを用い、十分な水平クリアランスを有する免震層とすることで、擁壁の損傷、免震部材の損傷、上部建物の損傷の全てを回避可能な、フェイルセーフ機構を備える免震構造システムが実現する。

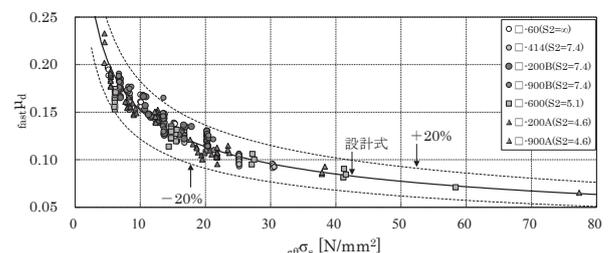
本技術の開発に当たっては、所期目標を達成可能なすべり材の選定と耐候性評価、多様な寸法形状の試験体の加振実験、設計用解析モデルの構築などを実施した。また、既往すべり支承の摩擦係数の評価に一般的に用いられる平均面圧に代わり、アイソレータの形状係数より推定する「実効面圧」を用いた摩擦係数の高精度評価手法を確立した。



QTBのしくみ



履歴特性



動摩擦係数の実効面圧依存性



建物外観（撮影：古川泰造）

建築主：大塚製薬株式会社 仲井正広
 設計者：株式会社竹中工務店 佐々木淳一、吉本一規、櫻川典男
 施工者：株式会社竹中工務店 串田淳哉

免震化した経緯及び企画設計等

本工場は、大地震時においても事業の継続性が求められる先端医薬品製造工場という用途から、免震構造を採用した。中央構造線断層帯地震や南海トラフ巨大地震を考慮した設計を行い、高い安全性を確保している。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

医薬品の世界的な市場変化に素早く対応するため、他の製造ラインを止めることなく4つの製造ラインの入替を独立して行える平面計画とした。製造ラインを空中に持ち上げ、斜面地という悪条件を逆手に取った合理的な断面計画を、複合免震構造（基礎免震+中間階柱頭免震）の採用により実現した。

建物両翼の柱頭免震は弾性すべり支承（低摩擦タイプ）を採用し、高さ約7.5mの独立RC柱で支持した。すべり支承部の長期軸力を均一化できる支承・柱配置の工夫を行った上で、すべり支承を逆さ使いすることにより下部RC柱の負担応力を最小化した。必要最小限の柱断面と本数により、有効空間が広く搬出入しやすいトラックバースを実現した。

上部架構は純ラーメン構造として製造ラインの自由度を確保しつつ、生産室の大地震時の応答加速度を200cm/s²以下とする目標を実現している。

建築概要

建設地：徳島県美馬市美馬町
 建築主：大塚製薬株式会社
 設計：株式会社竹中工務店
 施工：株式会社竹中工務店
 建築面積：6,447.86m² 延床面積：20,310.48m²
 階数：地上6階、塔屋1階 高さ：28.5m
 構造種別：鉄骨造、一部鉄筋コンクリート造

選評

斜面地という立地をうまく生かして建築計画を練り上げた免震工場である。

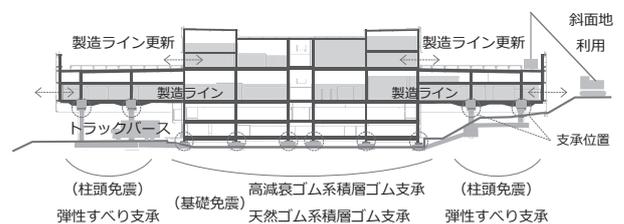
大きなスペースが必要になる製造ラインを上階に配し、基礎免震と中間階柱頭免震を組み合わせた複合免震とすることで、斜面地の造成を抑制するとともに、搬出入用のトラックが免震エキスパンション・ジョイントをまたがない動線を実現した。

さらに、事業主の求めに応じて製造ラインを柔軟に改修できる計画を提案し、建築計画に落とし込んでいる点が秀逸である。個々の製造ラインの入れ替えを、ほかの製造ラインの稼働を止めることなく進められるように、人・モノの動線や設備ルートが製造ライン同士で交錯しないよう配置した。製造ラインのレイアウトの自由度を高めるのに、免震構造が一役買っている。

中間階柱頭免震では、低摩擦タイプの弾性すべり支承を採用したうえでそれを逆さ使いにするというユニークな工夫を加えて、柱の断面を小さくしてトラックバースの使い勝手を高めている。そうした細部にまで配慮が行き届いた免震建築となっている。（畠中 克弘）



トラックバース（撮影：古川泰造）



製造ライン更新概要・免震材料配置概要

建築主：長崎県

設計者：株式会社日建設計

長瀬悟、林博之、染谷朝幸

施工者：鹿島建設株式会社

大須賀太一



建物外観（撮影：SS九州）

建築概要

建設地：長崎県長崎市尾上町 3-1

建築主：長崎県

設計：日建設計・松林・池田特定建設関連業務委託
共同企業体

施工：鹿島・上滝・堀内特定建設工事共同企業体

建築面積：12,532m² 延床面積 53,416m²

階数：地上 8 階、地下なし

高さ：SGL+39.60m

構造種別：RC造

（一部プレストレストコンクリート造、木造）

選評

「県民とともに新しい時代を切り拓く庁舎づくり」を基本理念として、県の防災拠点施設にふさわしい災害に対する安全性確保と機能維持に加え、低く構えて風景と緑が立体的につながった、県民が親しみを感じる庁舎を目指して計画された。当初、高層とする長崎県の基本構想案に対して、徹底して低層化することで、周辺環境との調和が目指された。低層化したことで、水平方向に広い、県民に開かれた心地よい空間が実現された。特に剛強な構造体を現わしにした玄関ホールは、行政各部門を見渡すことが可能で、勾配の緩やかな大きな階段に自然と訪問者が促されている。

上部構造は RC 造の均等スパン純ラーメン架構を基本とし、一部の長スパン梁にはプレストレスを導入している。免震層から立ち上がる行政棟と議会棟との棟間には粘性ダンパーを配置して、両棟の重量差による地震時の応答の不均等を低減する配慮もされている。

通路側にたくさん配置された打ち合わせスペースは、夕方から夜間にかけて地域の子供たちに勉強スペースとして開放されて、いつもにぎわっている。免震としたことで可能となったこうした広々として開放感のある親しみやすい空間は、新しい県庁の在り方として高く評価された。

（三田 彰）

免震化した経緯及び企画設計等

「丘のような庁舎」、「県民に開かれたシティーホール」をコンセプトに、県の防災拠点施設に相応しい耐震性確保に加え、大きなワンプレート平面から成る使いやすい行政棟、大空間エントランス、別棟の議会棟を並列して整備する必要があった。これに対し「免震構造+低層 RC 造」を採用し、均等スパンから成る純ラーメンの基本骨格に、一部でのプレストレス導入梁等を組み合わせて計画し、より免震効果を高めた安全でフレキシビリティを有する開放的な新しい県庁舎を合理的に実現した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

低層 RC 造の採用によって上部構造の剛性を効率よく確保し、等価固有周期 4 秒台の高性能免震構造とすることで防災拠点施設の耐震安全性を高め、災害時の機能継続が容易な建物としている。

均等スパンの RC 造ラーメン架構を基本として壁の配置箇所は限定し、大空間エリアにはプレストレス構造の長スパン梁を設け、使い易さとフレキシビリティの確保に加えて、高い床振動居住性や海浜部における構造体の耐久性にも配慮した。

その中で、仕上げによる過剰な装飾性を省いて敢えて剛強な構造体を現わしにし、安心感を与えつつ素材感をデザインとして積極的に活用している。

なお、免震層から立ち上がる行政棟と議会棟の棟間の要所に粘性ダンパーを配置し、地震時応答の不均等を低減した。更に、かつて埋立地であった敷地には地盤改良による液状化対策を施し、地震動の長周期成分の卓越を防ぐとともにインフラや護岸の過大な損傷も回避し、安心安全が確保され長くご活用頂ける県民に開かれた新県庁舎を実現できた。



シティーホール内観（撮影：SS九州）



建物外観 (提供: 大成建設(株))

建築概要

建設地: 札幌市北区北7条西2丁目
 建築主: 株式会社 YRE マネジメント
 設計: 大成建設株式会社一級建築士事務所
 施工: 大成建設株式会社札幌支店
 建築面積: 606m² 延床面積: 6,175m²
 階数: 地上13階、地下1階 高さ: 43.6m
 構造種別: RC造

選評

柱・梁型のない部屋を設計したいという願望は建築家なら誰もが抱く永遠のテーマであろう。なぜ建築家は柱・梁型を嫌うのか考えてみると、コンパクトな部屋では人間の振る舞いを基にした身体的な寸法体系とは別の論理で現れる架構スケールと折り合いをつけるのが難しく、概して柱梁は邪魔物扱われる。しかも、高層建物で柱・梁型を排除するのは非常に難しい。それを本作品は基礎免震を採用することで、壁と床による明快な構造体を用いて実現した。免震構造の採用は安全な都市づくりへの意識が高いクライアントの要望であり、正確には免震構造の特性を活かして成立させた架構デザインという説明の方が適切であり、まさしく本作品賞にふさわしいプロジェクトである。

スレンダーな構造体はそのままインテリアに現れ、透明感溢れる軽快なファサードにも反映されている。コーナーを開放的にするために300φのPca超高強度細柱の採用や、細やかに積雪対策を施した端正なディテールなど隅々まで設計者のこだわりが貫かれている。この構造形式は汎用性が高いことや事務所や住宅など将来的な用途転用も見据えて計画しているという説明にも説得力があった。審査員全員から高い評価を得て受賞に至った作品である。
 (下吹越武人)

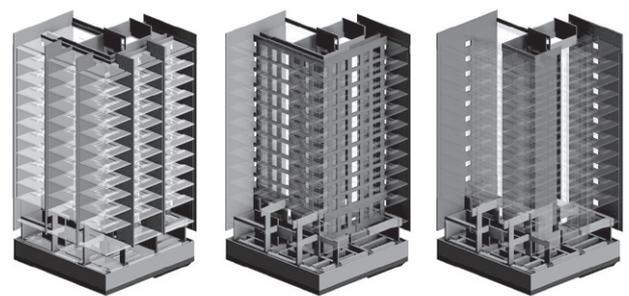
建築主: 株式会社YREマネジメント 高宮敏郎
 設計者: 大成建設株式会社 中藤泰昭、藤山淳司
 施工者: 大成建設株式会社 島津幸二
 材料開発者: 大成建設株式会社 山本佳城

免震・制振化した経緯及び企画設計等

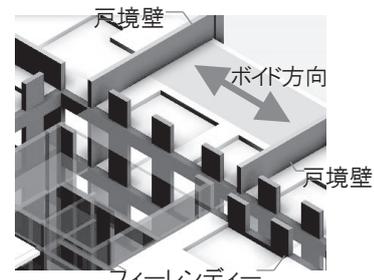
剛な上部構造と柔らかい免震構造の組み合わせは、上部構造の揺れを最小限に抑えることができる最も理想的な構造システムの一つである。建築計画上必要となる間仕切り壁や外壁を壁柱構造として有効に利用することで極めて剛性の高い上部構造とし、L2地震時に層間変形角を1/1000以下、応答加速度を100gal程度に抑える計画とした。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

基準階の客室レイアウトに合わせて井桁状に壁柱を配置し、客室内に柱型梁型の出ないプランを実現した。壁柱は①客室間の戸境壁、②客室と廊下の境界を利用したフィレンディール架構、③コアを利用したコア壁、④妻面の外壁からなり、機能と構造の融合により豊富な壁量を確保した。また、客室エリアについては戸境壁(スパン9m)と客室廊下間の境界壁で支持される3辺固定スラブ(300mm厚の中空スラブ)によって外周に梁型の無い開放性の高い空間とし、建物コーナー部には300N級の超高強度コンによる細柱(φ300mm)を採用し、浮遊感のあるファサードとした。以上の工夫により、フラットな構造体そのままファサード・インテリアとなる、開放性の高い新しいホテルデザインを実現した。



①戸境 ②フィレンディール架 ③コア壁、④妻壁
壁柱構造パース



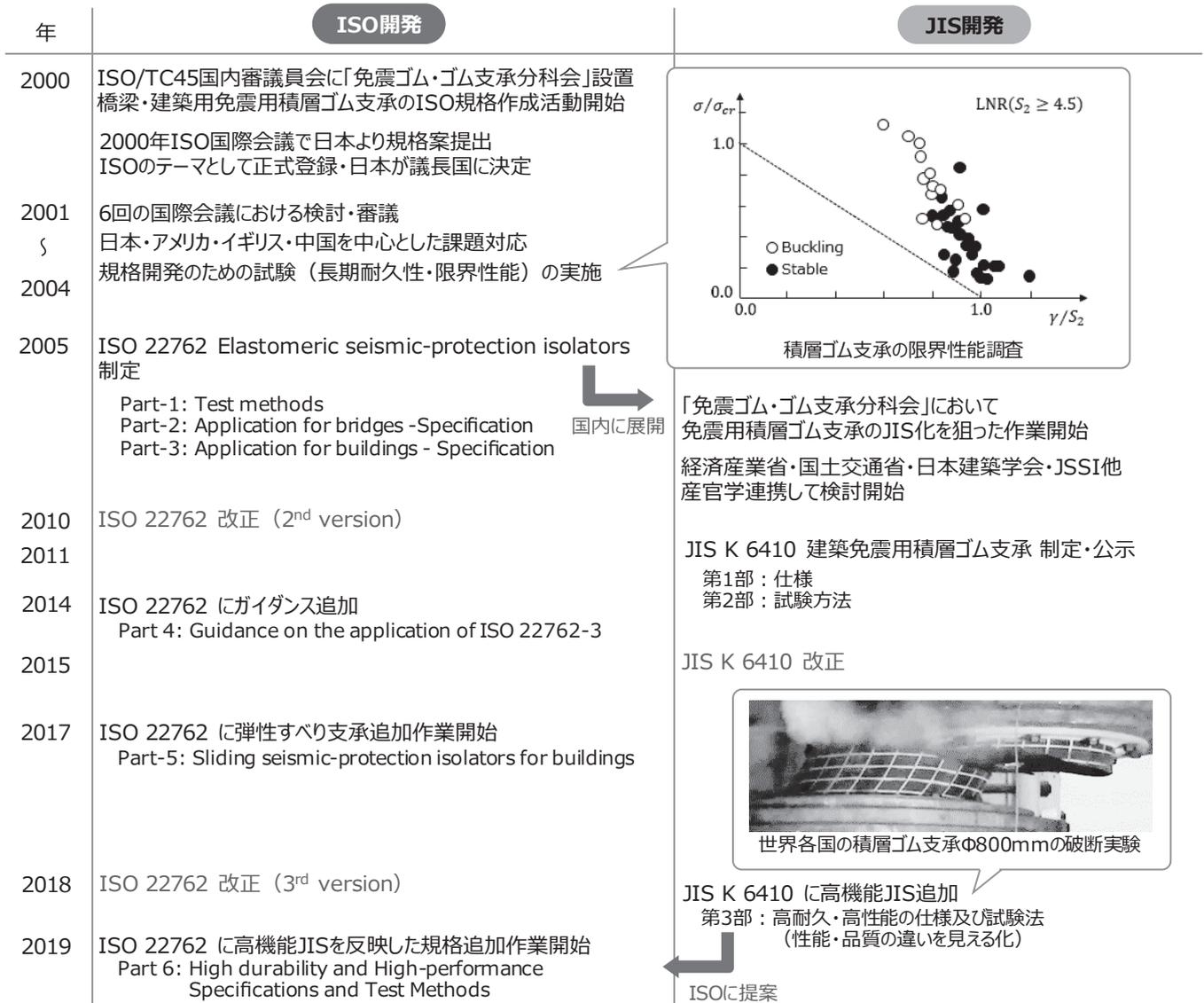
客室の3辺固定スラブ

免震用積層ゴム支承に関する国際標準化 (国際規格整備)

一般社団法人日本ゴム工業会：青木正己
 東京大学・東京工業大学：西 敏夫
 株式会社ブリヂストン：鈴木重信
 オイレス工業株式会社：澤田 毅
 昭和電線ケーブルシステム株式会社：福田滋夫

選評

ISOはスイスのジュネーブに本部を置く非政府機関 International Organization for Standardization (国際標準化機構)である。ここで制定された規格 (ISO規格)はヨーロッパを中心とした技術規格であるが、世界的に最も参照されているものである。申請者はゴム工業会、学術関係者、建設関係者、及びメーカー各社をリードし、免震用積層ゴムの仕様、試験方法、及び高耐久性化について規格案をまとめた。引き続きISOに働きかけ、上記技術規格案を2005年にISO22762として発行にこぎつけた。日本は免震構造の技術レベルとその普及で世界をリードしている。本活動は我が国の免震構造技術の世界的な展開と、健全な普及に大きく貢献するものである。更に、この内容とほぼ同じものを日本においてもJIS化する活動を推進し、2011年にJIS K 6410として発行にこぎつけ、日本における免震構造の更なる普及発展を加速するのに貢献した。以上の功績により本活動を本年度の免震構造協会賞普及賞に選定した。(東野雅彦)



(一社) 日本ゴム工業会 ISO/TC45 国内審議委員会「免震ゴム・ゴム支承分科会」における規格開発活動概要