

日本大学工学部駿河台校舎5号館の 免震レトロフィット

日本大学：石丸辰治

清水建設株式会社：湯山康樹、広瀬景一、山岸俊之、横藤田弘

ハイブリッド免震構法

3階柱頭免震

+

1~3階制震

+

1~2階耐震

歴史ある外観の継承と地震時の建物頂部変形を15cm以下に抑えるといった高度な改修条件を複合構法で克服



本郷通り側外観（撮影：小島純司）

概要

東京都千代田区に建つ日本大学工学部駿河台校舎5号館は1959年に竣工したわが国ニュー・ブルーリズムの代表建築である。その歴史的外観の継承と耐震性能の向上の両立を実現させる為に道路境界まで130mmと言う制約条件の中で免震化に挑戦した。慣性質量効果を併せ持つ粘性ダンパー「減衰こま」により大きな減衰力を付加した3階柱頭免震と免震層下部の複層トグルダンパーによる制震補強と併せて耐震・制震・免震を巧妙に組み合わせる事で、免震構造でありながら地震時の建物頂部変形を15cmに納める事に成功し、敷地境界までの距離が非常に小さい都市型の建物に対しても免震層を形成して、建物を保存・再生出来る事を実証した。

選評

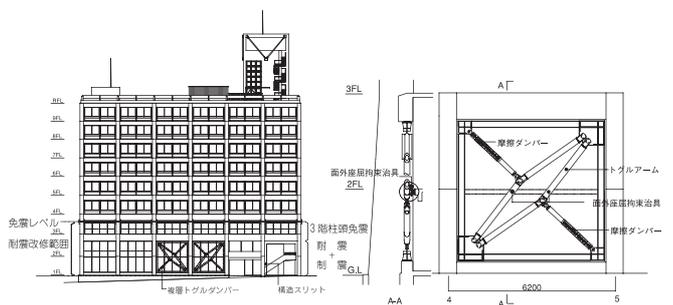
本技術は、石丸辰治教授が提唱されてきた耐震・制震・免震構造を結合するハイブリッド免震構法の理念を実現するもので、1959年竣工の宮川英二設計の日本大学工学部駿河台校舎5号館に適用されている。本郷通りに面した地上9階地下1階の質実剛健な鉄骨鉄筋コンクリート造の建物で、北側エントランスの1,2階吹き抜け部には、打ち放しコンクリート壁版画が配されている。外壁から道路境界まで13cmと余裕が無く、かつエントランスの版画と建物外観を維持することが求められている。3階柱頭に免震層を設けた中間層免震構造を採用し、鉛プラグ入り積層ゴムと慣性質量効果を併せ持つ粘性ダンパー「減衰こま」の大きなエネルギー吸収能力により、加速度低減効果を維持しながら免震層変位を15cm以下に抑えている。下部構造も耐震補強とトグルダンパー機構による制震補強を行い、建物を弾性に留め、所期の変形制限が満たされることを確認している。

免震層変位を抑制しながら、加速度低減効果を損なうことなく、建物全体を弾性に留める本技術は、建物の再生・保存の可能性を大幅に広げるものであり、技術賞に値する技術である。なお、免震層は25cmまで変位可能であり、想定外の地震動に対する余裕度も確保されていることを付言しておく。

(北村春幸)

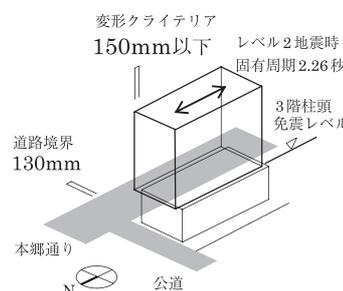
システム及び特記事項

敷地境界に接して建つ本建物の改修は地震時の頂部水平変形を15cm以下に納める事と歴史的外観を保存するという高度な改修条件の中で計画された。3階免震層には600角~650角の鉛プラグ入り積層ゴムを全て柱寸法内に納め、免震層上部構造を耐震補強する事なく弾性限に留める事にも配慮して固有周期を2.2秒に設定した。4階梁下と反力壁の間には粘性ダンパー「減衰こま」10台（長手方向6台、短手方向4台）を設置し、大きな減衰力を付加した。地震入力エネルギーの25%が鉛プラグ入り積層ゴムによって吸収され、60%が「減衰こま」によって吸収されている。減衰こまには高速回転する内筒に補助質量を付加する事によって慣性質量を創成し、これにより地震入力そのものを低減させる副次的な効果を併せ持っている。今回、この慣性質量効果により、約6%の地震時水平変形の低減効果を確認している。免震層下部には「てこの原理」と「力の分散機構」を応用したトグルダンパーを1~2階に跨る形で合計4台設置し、地震入力エネルギーの10%を吸収している。トグルダンパーのダンパー部分には摩擦ダンパーを採用する事で免震層下部の剛性を確保し、また大型化に伴う構面外座屈の問題を中間床レベルに設けた3軸のボールベアリング治具で緊結する事で解決した。地震時の変形を小さく抑える事で免震装置廻りのディテールを非常にコンパクトに納めることに成功している。また、既存エレベーターの改修が容易になる他、免震層の柱の補強も最小限に留めている。



耐震改修計画概要

複層トグルダンパー

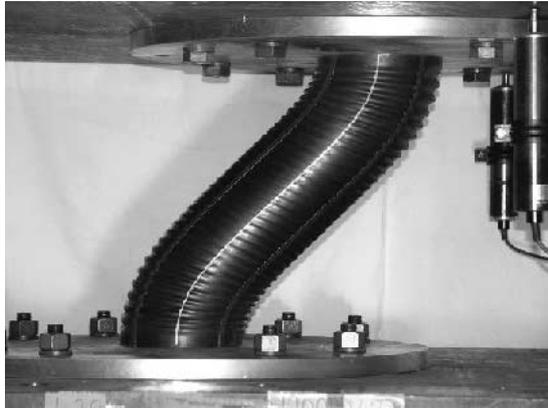


3階免震層内観（撮影：小島純司）

技術賞
(特別賞)

高い座屈安定性を有する 積層ゴム支承の力学挙動解明と実用化

東京都市大学 研究開発チーム 西村 功、杉野 潔、安田 隆
佐々木頼孝、中村 貴



座屈安定性に優れた積層ゴム支承（撮影：西村研究室）

概要

受賞対象である研究開発は、免震構造を構成する主要な部材である積層ゴム支承について、その座屈安定性を微小変形から大変形に至るまで解析的かつ実験的に検討した研究である。この研究によって、積層ゴム支承の座屈安定性を飛躍的に向上させることが可能となった。また、研究の成果は実大の免震家屋による振動台実験での検証を経て、戸建住宅用の積層ゴム支承として実用化されている。

選評

本技術提案は木造住宅建築に適用しうる積層ゴム支承による免震構造の開発と、それを可能とする座屈挙動の解明ならびに座屈性能の向上に関するものである。

従来、細長い積層ゴム支承が大変形状態で鉛直荷重を支持することは不可能と考えられ、したがって戸建免震はこれまで様々な発想による転がり支承で実現されてきた。これに対して本提案は、幾何学的非線形を考慮した非線形微分方程式による座屈問題の定式化と実験結果を丹念に説明しようとする地道な努力により、「プロポーシオンが細長い積層ゴム支承の方が幾何学的非線形の影響により大変形領域の変形能力は高い」など従来の常識を覆す結論を導き、これに基づき戸建免震に適した積層ゴム支承の開発・実用化を実現したものである。この技術開発の基本となった一連の研究成果は日本建築学会論文集等に発表され、またこの原理を応用した中空断面を有する戸建免震用積層ゴム支承は国土交通大臣認定を受け適用事例も数例見られる。

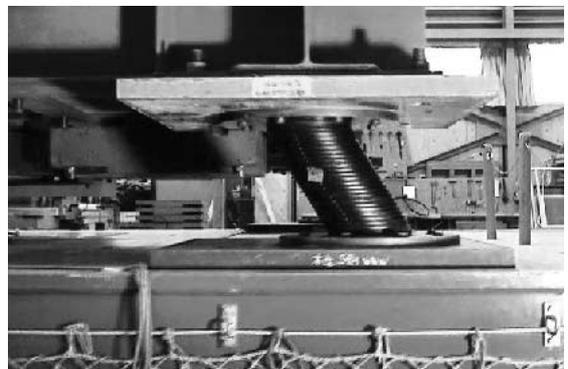
その適用事例の蓄積や転がり支承に対する優位性の検証など、今後も継続的に検討すべき事項もあると思われるが、今後の更なる発展が大いに期待されることから本技術提案に特別賞を授与するものである。

(中埜良昭)

システム及び特記事項

免震構造は積層ゴム支承の実用化によって本格的な普及が始まった。木造住宅など小型軽量構造物の免震構造も積層ゴム支承によって鉛直荷重を支持することができれば、本格的な普及に弾みがつくものと思われる。本研究の成果は、従来、全く不可能と考えられてきた住宅免震構造を積層ゴム支承で実現するために不可欠の座屈安定問題を解決した点にある。

また、単に理論的な研究成果に留まらず、静的な加力実験と振動台による加振実験によって、理論の妥当性と実用性が検証されている。さらに、一連の研究成果を基に、高減衰系ゴムを用いた戸建免震構造用積層ゴム支承が開発されており、日本免震構造協会において部材評定を行い、大臣認定を取得している。さらに、この積層ゴム支承を用いた木造住宅も既に数棟が建設されている。



振動台実験中の積層ゴム支承の変形状態（撮影：東急建設）



実大免震家屋の振動台実験による検証（撮影：東急建設）

設計者・施工者：株式会社竹中工務店 西崎隆氏、村上陸太、熊野豪人
 芹澤好徳、石原 哲



建物外観1 (撮影：竹中工務店)

建築概要

建設地：兵庫県神戸市西区
 建築主：シスメック株式会社
 設計：株式会社竹中工務店
 施工：株式会社竹中工務店
 竣工：2008年5月
 建築面積：2,727㎡ 延床面積：24,401㎡
 階数：地上10階、地下1階 高さ：50.49m
 構造種別：S造およびRC造（一部SRC造）

選評

研究開発施設に求められる種々なニーズに対し免震構造採用を基本とした構造システム構築によって応え、新しい時代の研究環境創出に成功している。

本建物の白眉はコラボアトリウムと称するスペースである。何層にも渡って斜めに視線が抜けるボイドは研究員相互のコミュニケーションを誘発する気持ちのよい空間となっており「知の創造と継承」というこの研究施設全体のコンセプトがよく具現化されている。

構造計画としては、免震構造の効果を最大限発揮させるべく、東西の両サイドコアに集約されたRC耐震壁とその耐震壁を屋上頂部でつないだメガフレームにより上部構造の剛性を高めている。南北面は6.4m、4.8mの跳ね出し架構として透明性のあるファサードデザインを可能としている。又、中央部分は大スパン純ラーメン鉄骨造とし、研究開発エリアのフレキシビリティを確保している。

免震技術の進歩、普及により、免震構造はもはや特殊解ではなくなりつつあるが、免震構造それ自体は手段であり、それを採用した結果の建築が設備も含めてしなやかにインテグレート出来ていることが重要である。本建物はそれが高いレベルで達成出来ており、免震構造協会賞にふさわしい作品である。

(江本正和)

免震化した経緯及び企画設計等

シスメックステクノパーク計画は、医療用検査機器や試薬の製造・販売で事業拡大中のシスメック株式会社が、「知の創造と継承」をコンセプトに、グローバル企業にふさわしい研究環境の構築をめざしたプロジェクトである。

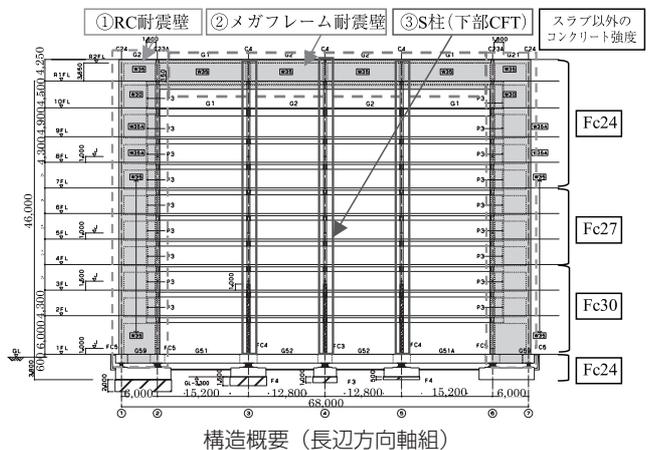
中でもこのR&Dタワーは、その中枢をなす研究施設であり、免震構造を採用することで、下記要求を実現することができた。

- ・建物・研究者の人命・研究成果を守るための高い耐震性能
- ・平面レイアウトのフレキシビリティ
- ・上下階のコミュニケーションを誘発する魅せる空間の構築

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

建物は39.2m×68.0mの方形な平面形状を有する。その両サイドのコア部をRC耐震壁で構成し、さらに塔屋階で両コアを耐震壁により繋ぐことで、上部架構に高剛性・高耐力を確保した。その結果、レベル2地震時加速度は最上階でも140galとなり、免震効果を最大限発揮している。

また、耐震要素を両サイドのRC耐震壁コアに集約させ、建物中央部を鉄骨造とすることで、フレキシビリティの高い大スパン架構と、吹抜と組み合わせられた透明感のある跳ね出し空間（コラボスペース）を構築することができた。



コラボスペース
 (撮影：竹中工務店)



建物外観2
 (撮影：村井修)

建築主：学校法人高宮学園 高宮行男
 設計者：大成建設株式会社 輿石秀人、藤山淳司、欄木龍大
 施工者：大成建設株式会社 岩田 丈



建物全景 南東
 (撮影：ナカサアンド
 パートナース)

建築概要

建設地：東京都渋谷区代々木2丁目25-1
 建築主：学校法人高宮学園 理事長 高宮行男
 設計：大成建設株式会社一級建築士事務所
 施工：大成建設株式会社東京支店
 竣工：2008年2月
 建築面積：1,160.71㎡ 延床面積：27,175.10㎡
 階数：地上26階、地下3階 高さ：134m
 構造種別：鉄筋コンクリート造、鉄骨造、免震構造（セミアクティブ）

選評

この建物を特徴付けているのは、大きな空中キャンパスと、シャープなRC壁に縁取られたガラスファサードの外観である。空中キャンパスは、高層住居部と低層教室部の間に位置し、学生の様々な活動に積極的に利用されている。高層部の荷重をメガトラスによって妻面へ伝達することで、外気に触れることのできる開放感のある空間が生み出されただけでなく、住宅と教室といった異なる要素を上下に重ねる構成が可能になっている。高層住宅階の重量は妻面の大架構に伝達されている。大架構は2枚の連層耐震壁とそれをつなぐブレースでできていて、建物の水平剛性を高めるとともに、ブレースダンパーにより地震エネルギーの吸収が図られている。連層耐震壁の厚みはそのままファサードに表現され、繊細なフレームとして透明感をさらに強調する効果をもたらしている。

免震構造としては可変減衰型のオイルダンパーなどを用いたセミアクティブシステムが採用されている。免震構造の効果は、空中キャンパスや、軽快感あふれるファサードのほか、自由度の高い内部空間にも明らかであり、全体として建築デザインと構造が効果的に融合した、免震構造協会賞にふさわしい作品に仕上がっている。

(小堀 徹)

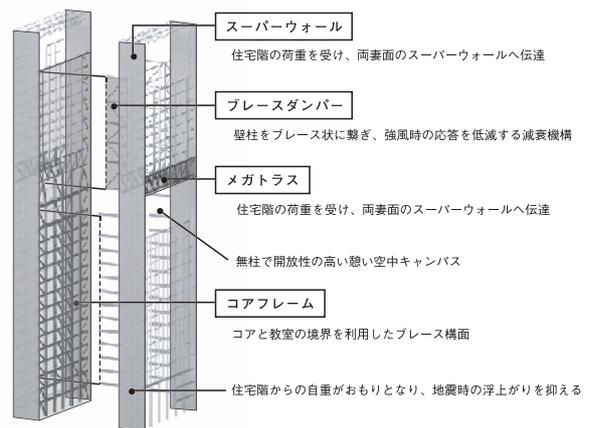
免震化した経緯及び企画設計等

本建物は、計画地周辺に分散していた機能を1棟に集約するため計画された地上26階建ての超高層タワー校舎である。教室、学生用共同住宅、事務室などの多要素のプログラムを快適かつ安全な最先端施設として整備することが求められた。

これに対し、両妻面の連層耐震壁を主体としたメガストラクチャーと免震構造との組み合わせによって、高い耐震安全性を確保するとともに内部空間の自由度を最大限に高め、中間階の大きな吹抜け空中庭園や上下階で柱位置が異なるプランなどフレキシブルな建築計画を可能とした。さらに、最先端技術であるセミアクティブ免震を超高層建物に採用し、更なる加速度低減を実現した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

免震構造の採用によって130mの連層耐震壁柱の壁厚を670mmに抑えることが可能となり、建築デザインと構造システムが融合したファサードを実現した。また、地震力が耐震壁に集中することによる転倒に対しては、中間階上部のメガトラス架構によって高層階の自重を連層壁に集めることでおもりとして機能させ、支承部に引抜きが生じない計画としている。免震システムは超高層建物で初めてセミアクティブ免震を採用し、従来のパッシブ免震に比べて2割以上の加速度低減効果を得た。また、高層部において連層耐震壁をブレース状に粘弾性ダンパーで連結することで風応答を低減し、住宅階の居住性改善を図った。



構造概要図



空中庭園 (撮影：ハットリスタジオ)

建築主：木津川市 河合規子
 設計者：株式会社日建設計 多賀謙蔵、田代靖彦、小松慎二
 施工者：三井住友建設株式会社 永野輝和



1階エントランス (撮影：伸和)

建築概要

建設地：京都府木津川市木津南垣外110-9
 建築主：木津川市
 設計：株式会社日建設計
 施工：三井住友建設株式会社
 竣工：2008年9月(本体)
 建築面積：2256.43㎡ 延床面積：9856.53㎡
 階数：地上7階 高さ：28.088m
 構造種別：鉄筋コンクリート造

選評

北側の低層住宅地への圧迫感を軽減するために、北下がり階段状のヴォリューム形状が必要とされ、構造的にバランスの悪い建物とならざるを得ないところを、フィーレンデルのメガフレームと免震構造とによって、無理なくフレキシブルな執務空間を成立させている。また、同様の理由から建物高さを抑えることが求められたが、執務空間の床スラブにプレキャスト床を採用しスラブ底を表しとすることで、建物高さを抑えつつも圧迫感のない執務空間を実現している。奇をてらうことなく、丁寧に予条件を解いていく設計者の姿勢に共感を覚えた。

一方で、メガフレームの大胆さがもう少し空間表現に表れていればとも思ったが、所定のヴォリューム形状の中では望みすぎか。また、東西の端部の扱いには疑問が残り、両サイドを堅いコアで固めつつオーバーハングした形としているのは、免震ならではの回答とはいえ違和感があった。

最後に、発注者である市側の担当者が、建物の性状をよく把握し、積極的に運用しているさまが窺えたことに触れておきたい。免震技術というハードな側面を評価する作品賞の審査ではあるが、建物の総合評価という点で特筆された。

(小泉雅生)

免震化した経緯及び企画設計等

本建物は2007年3月に周辺3町が合併して新しく発足した木津川市の新庁舎である。周辺状況(日影等)の制約から建物が階段形状となっているが、新庁舎への要求として「地域防災拠点としての高い耐震性」、「フレキシビリティのある執務空間」、「階段状建物への対応」等が求められた。

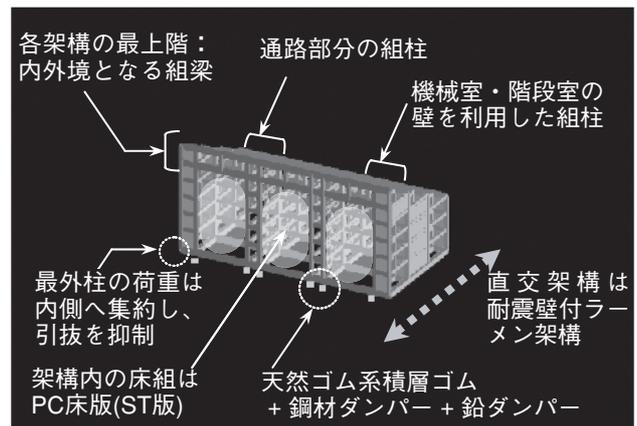
これらの要求に対し、免震構造を採用することで高い耐震性を確保しつつ、執務空間上部に大梁がない架構計画の実現を目指した。また同時に、免震層を利用した冷暖房負荷低減を行うなど環境面への配慮も行った。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

上部構造はRC造で、階段状の耐震壁付キラーメン架構と、その直交方向の大架構により構成した。大架構は、最外スパンの機械室・階段室の壁ならびに内側の通路部分を利用した組柱と、各通り最上階の内外境部分を利用した1層分の組梁により形成している。また、架構内の床組にはPC版(ST版)を用い、リブを露出させることで有効階高を確保している。階段状建物の場合、通常は偏心が問題となるが、免震構造の採用により自由度の高い架構計画が可能となっている。上記の構造計画に加え、免震層を利用した外気の予熱・予冷、井水を利用した冷暖房、階段室を利用した自然換気など、様々な環境負荷低減対策を行っている。



建物外観 (撮影：日建設計)



部分架構モデル

各架構の最上階：内外境となる組梁
 通路部分の組柱
 機械室・階段室の壁を利用した組柱
 最外柱の荷重は内側へ集約し、引抜を抑制
 架構内の床組はPC床版(ST版)
 天然ゴム系積層ゴム + 鋼材ダンパー + 鉛ダンパー
 直交架構は耐震壁付ラーメン架構

建築主：学校法人慶應義塾 清家 篤
 設計者：株式会社環境デザイン研究所 仙田 満
 株式会社三菱地所設計 新居 仁、塚谷秀範
 金箱構造設計事務所 金箱温春



陸上競技場側外観（撮影：アド・グラフィック）

建築概要

建設地：神奈川県横浜市港北区日吉4丁目1番1号
 建築主：学校法人慶應義塾
 設計：環境デザイン研究所・三菱地所設計設計監理共同体
 施工：東急建設株式会社、東光電気工事株式会社
 竣工：2008年7月
 建築面積：7,363.10㎡ 延床面積：38,207.37㎡
 階数：地上7階、地下2階 高さ：30.279m
 構造種別：地上 鉄骨造、地下 鉄骨鉄筋コンクリート造

選評

本建物は、「学術・研究施設」の他に、「社会・地域連携／貢献施設」、「文化・芸術施設」、「運動施設」と種々の用途の施設を複合した計画であり、平面的に約120m×60m、地上7階、地下2階の規模を有する複合用途の巨大な建物であるが、免震効果を活用して各機能を区分する空間配置の自由度を実現している点は、建築計画として明快である。「知のパサージュ」と呼ばれる吹き抜け空間を各機能の区分位置に配置し、構造的な地震時安定性に対する課題に対し免震効果を利用することにより解決している点は、免震構造の新たな方向性を示していると考えられる。また、前面道路沿いに長い立面に対しても、シースルーエレベータで分割する等壁面の割付けに変化を付けて対応している点、地下1階プールの上に配置された構造体をY字型トラス架構で支持している点も、設計上の工夫が見られた。免震構造に関しても、セミアクティブダンパーを活用して「長周期地震動」に対し積極的に取り組んでいた。一方、省エネルギーにも積極的に取り組み「CASBEE横浜認証制度」のSランクを取得し、環境に配慮していた。

以上より、本作品は免震効果を活用した建物として、免震構造協会賞に相応しい作品であると評価できる。

（木林長仁）

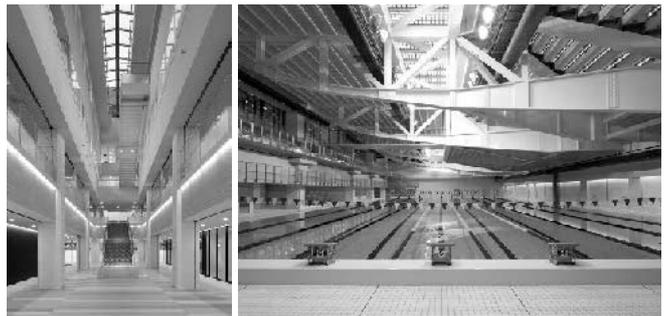
免震化した経緯及び企画設計等

本計画は、慶應義塾創立150年記念事業の一環として、3つの大学院・講堂・水泳場など様々な用途で構成され、地域にも開放された複合施設である。教育研究施設としての安全性、継続性の確保と、吹抜けを含む複雑なボリューム構成を免震構造により実現した。綱島街道側の高層部分から陸上競技場に向けた階段状の断面構成により、陸上競技場との一体感を持たせた。内部は、地下からつながる吹抜け空間を設けることにより、自然光を取り入れた明るい内部空間とし、利用者相互のコミュニケーションを誘発すると共に、視認性の良い、大学が掲げる「環境・安全・健康キャンパス」を具現化した。

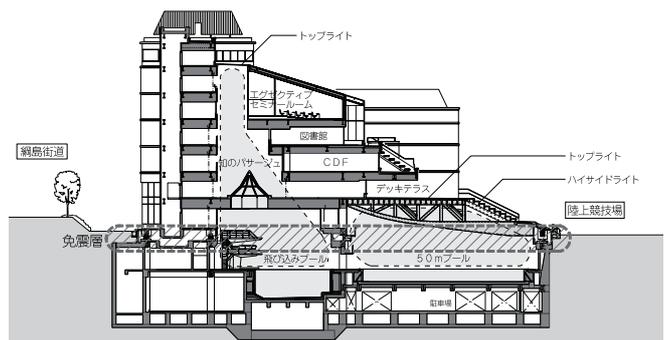
技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

複雑な構成の建物に対し、免震構造を採用することにより、地震力を低減し、大空間と多くの吹抜けを有する開放性の高い空間を実現した。建物中央50mプールの大空間には、鉄骨造変形トラス架構を採用した。陸上競技場側をローラー支持（滑り支承）、建物側をピン支持とすることで、純ラーメン構造の建物本体と合理的に接続した。

免震支承は、天然ゴム系積層ゴム支承と低摩擦系の弾性滑り支承とし、減衰装置にはオイルダンパーを用いた。ダンパーの半数を可変減衰ダンパーとしたセミアクティブ免震システムにより、安全性、居住性の向上を図っている。本システムは、慶應義塾、故吉田常任理事、西村教授の発案、設計である。



内観 共用部吹抜け「知のパサージュ」(左)、地下1階大学水泳場(右)
 (撮影：アド・グラフィック)



東一西断面図



建物外観 (撮影：奥村組)

建築概要

建設地：奈良県奈良市春日野町4番地
建築主：株式会社奥村組
設計：株式会社奥村組 西日本支社 建築設計部
施工：株式会社奥村組
竣工：2007年4月
建築面積：395.33㎡ 延床面積：549.90㎡
階数：地上2階
構造種別：鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）

選評

表彰委員会の審議のなかで、「一般に対する免震技術の啓発・普及に多大の貢献をしている点を評価したい」との声が多数の委員から上がり、この点を特に評価した当該の賞を贈ることが決定された。

建物は、奥村組ゆかりの地、奈良に創業100周年を記念して建設されたものである。企画段階から、建物全体を同社の売りである免震技術の展示ケースにしたいという狙いがあった。奈良公園内に位置するため、免震構造を採用して、街並みと調和する繊細な上部構造を実現している。地下免震ピットが外から見学でき、館内には免震体験装置や免震模型が用意されている。

この建物が県の観光案内所の機能を併せ持つという点を差し引いても、オープン後2年で、入館者が22万人にも達したのは驚きである。現地審査中も、若いカップルが免震体験装置に座って、兵庫県南部地震と新潟県中越地震の実震動と免震効果を体験していた。入館者へのアンケートからは、施設が強烈な印象を与え、免震技術の理解に役立っていることがうかがえる。

阪神淡路大震災以降、特に関西地区では地震に対する関心度が高い。そうしたなかで、免震技術の一般への啓発・普及を意図して企画された本建物が、顕著な実績をあげていることは特筆に値するものであり、作品賞（啓発普及功績賞）の受賞となった。

(平島 寛)

免震化した経緯及び企画設計等

奥村組の創業100周年を記念して建設した建物であり、内部には観光案内所と無料休憩スペースを設置している。「春日山歴史的風土特別保存地区」という立地条件を十分に考慮し、街並みとしての一体感に配慮した。特徴は次の3点である。

- ①上部構造を繊細にみせるというデザイン上の効果を狙って免震を採用した。
- ②免震装置の設置状況を通行人からも良く見えるように、設置する内外空間をデザインした。
- ③免震装置模型、免震体験装置を設置し、免震の効果を実体験できるようにした。

免震について、デザイン面での効果、免震装置の実物見学、免震の実体験を備えることで、一般の人に免震を理解いただくことを意図している。

啓発普及活動等

東大寺に程近く奈良公園内という立地も幸いして、開館から2年で来館者が22万人を超えた。来館者へのアンケートでは、日本人・外国人共に、免震体験装置や地下免震ピット及び免震模型への印象が高く、次いでデザインや雰囲気という結果が得られている。記念館には専属のスタッフが常駐しており、来館者の質問に対応しているが、質問の内容が専門的な場合は設計者や施工者が対応し、来館者の免震に対する疑問に的確に答えている。



免震ピット見学スペース



免震ピット見学スペース



免震模型



免震体験装置 (撮影4点共：奥村組)