

非同調マスダンパー効果を持つ中間層免震構造の設計法の開発

株式会社日建設計 村上勝英、木原碩美、小崎 均
東京理科大学 北村春幸



建物外観 1 (写真撮影: SS 東京)

建築概要

住友不動産飯田橋ファーストビル・ファーストヒルズ飯田橋

所在地: 東京都文京区後楽 2-5-1

建築主: 後楽二丁目東地区市街地再開発組合

用途: 事務所・共同住宅・店舗

設計監理: 株式会社 日建設計

施工: 鴻池・東亜・浅沼・五洋建設共同企業体

建築面積: 5,405 m² 延床面積 62,947 m²

軒高: 59.00m 最高部高さ 63.20m

階数: 地下2階, 地上14階, 塔屋1階

構造形式: 鉄骨鉄筋コンクリート造(一部CFT柱)および鉄筋コンクリート造, 中間層免震構造

基礎形式: 直接基礎および場所打ちコンクリート杭基礎

選評

大空間執務スペースを確保した事務所機能を下層部に配し、居住性、経済性が要求される居住空間を上層部へ立体的に積み重ねた複合建築物を、構造計画上明快に処理することは従来の考え方ではかなりの無理があった。

「飯田橋ファーストビル・ファーストヒルズ飯田橋」はこの難しい命題を解決するため、CFT造9層の事務所上部に、RC造5層の集合住宅を、設備の配管スペースを利用した中間階の免震層を介して立体的に積み重ねることにより、住宅としての要求品質を十分確保すると共に、非同調マスダンパー効果を下層部の事務所部分に与えることで制震作用を発揮させ、建物全体として高い耐震性を確保した極めてユニークな構法である。

上層住居部分の短辺方向が16m強であるのに対し、下層部事務所部分は40m弱であり、この24mほどの屋上に生じる空間に緑の芝生と白樺の並木を持つ空中庭園を配し、快適な居住環境を創り出している。

また、中間層を免震としたことにより、地上部建物出入口付近の免震建物特有の煩わしいエキスパンションジョイントも不要となる等、建築デザインにも随所に洗練されたディテールが見られ、技術賞として高く評価するものである。
(五十殿侑弘)

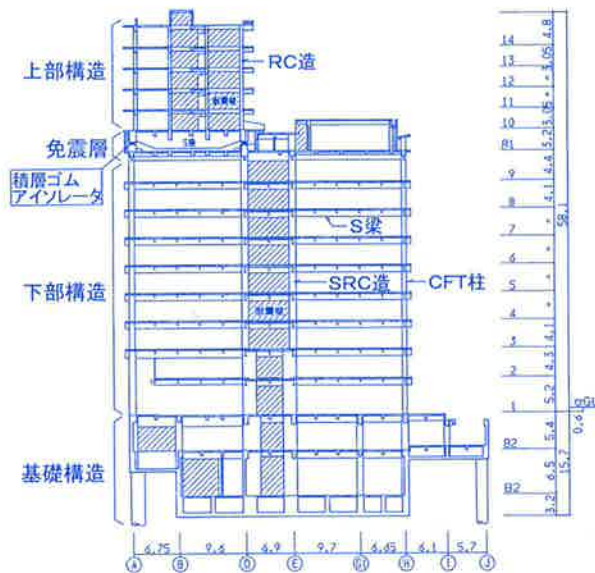
システム及び特記事項

通常の中高層建物の耐震設計では、建物全体の剛性・耐力・靱性を均等に確保して特定階に被害が集中しないようにすることが一般的である。しかし複合用途の建物では、高さ方向への最適な用途の配置計画と、用途に応じた最適な構造形式を整合させることは極めて難しい。そこで高い耐震性能を確保しながら、異なった用途の境界位置に免震層を設けて、建築計画と整合性を持った個々の用途に最適な構造形式をなし、高さ方向に積み上げることが可能な中間層免震構造の設計法の開発が、必要とされた。

このような中間層免震構造は、建物全体に対して非同調マスダンパーとしての制振効果が得られる構造形式である。そこで、全体質量に対する上部構造の質量比や免震層のダンパー量などが制振効果に与える影響を評価し、実際の建物に適用できる中間層免震構造の設計法として提案・実用化した。また、この構造形式が単に耐震性能を向上させるのみでなく、鉄骨構造オフィスの上に壁式鉄筋コンクリート構造集合住宅を積み重ねるなど、通常、困難な構造形式の組合せを可能にする新しい多様な建築計画の可能性を、実建物の設計監理を通して社会に示すとともに、建築的・構造的特性や設計法を建築関係雑誌や論文として公表し、本構造形式の有効な適用法や設計法を広める努力をした。



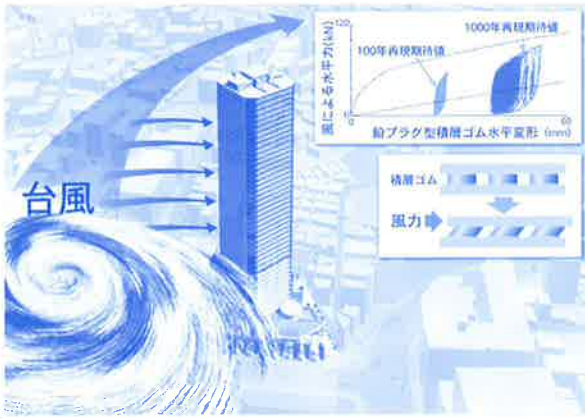
建物外観 2 (写真撮影: SS 東京)



軸組図

風による免震部材挙動と免震建物風応答評価法

鹿島建設株式会社 竹中康雄、鈴木雅靖、飯塚真巨、吉川和秀
株式会社ブリヂストン 鈴木重信



高層免震建物が大きな風力を長時間受けて

概要

最近の超高層免震建物や長周期免震システムの増加により、動的風外乱としての風荷重がこれまで以上に重要となりつつある。風外乱は継続時間が長く、10秒以上の長周期成分、特に風向方向では平均成分と称される静的成分を持つため、免震部材の繰返し変形による劣化・疲労とクリープ変形の影響が重要な問題となる。本研究開発ではクリープ性の強い免震部材（鉛プラグ型および高減衰ゴム系積層ゴム）について、高層免震建物近傍を台風が通過するとの想定の下に長時間動的加力実験を実施した。その結果クリープ変形の影響が大きいことが確かめられ、さらに一連の免震部材加力実験による強風時の免震部材履歴特性の分析、汎用曲線型履歴モデルの開発を行い、それらに基づく実用的な風応答評価法を開発した。

選評

最近、超高層建物を免震化する例が多くなりつつある。このような建物が暴風に遭遇した場合、長時間継続する平均成分を有する動的風外乱を受けることになる。一方、免震部材として、一般的な、純鉛や高減衰ゴム等は、クリープ性の強い材料といわれているが、これらの材料のクリープ特性、あるいはクリープ特性を考慮した風応答解析法等に関しては未解明な問題が多いのが現状である。

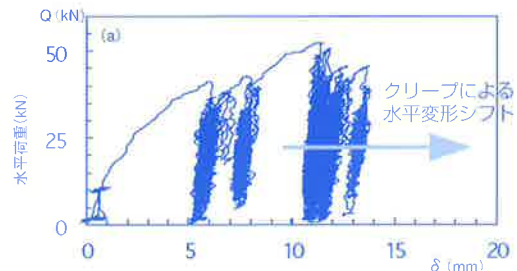
本研究は、超高層建物近傍を大型台風（100年及び1000年再現期待値相当）が通過する想定に基づき、5時間に渡る風力時刻歴波形を作成し、これを用いて、鉛プラグ型積層ゴム及び高減衰ゴムを対象として、動的加力実験を行うと共に、静的成分加力実験、一定水平力加力実験及び一定+正弦波加力実験を実施し、材料のクリープ性状が風応答に及ぼす基礎的な性状を明らかにした。これらの成果をもとに、微小振幅特性を表すことができる履歴特性モデル（修正 HD モデル）並びにクリープ特性を考慮できる風応答簡易評価法を提案し、動的実験を安全側に評価できることを明らかにした。

ここで提案された評価法は、実用性の高い簡便なものであり、今後、免震建物の耐風安全性、使用性の向上に寄与するところが極めて大きく、技術賞を贈る価値があると判断した。（岡本 伸）

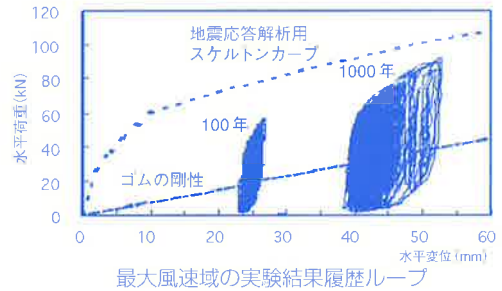
システム及び特記事項

地震外乱に比して長時間で長周期成分を多く含む風外乱下の免震部材の挙動は、特にクリープ変形の影響については基礎実験もなく殆ど未解明であった。そこで、純鉛や高減衰ゴムなどのクリープ性の強い材料が用いられている代表的な免震部材として鉛プラグ型積層ゴムおよび高減衰積層ゴムを選定して、台風通過時想定積層ゴムの動的加力実験を手始めとする研究開発を行い、下記の成果を得た。

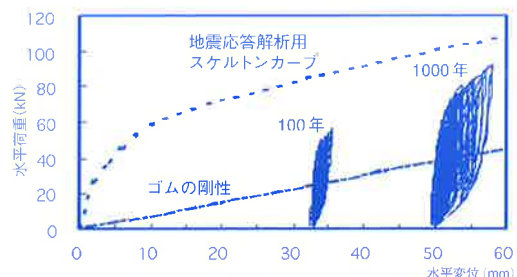
- ① 高層建物近傍を大型台風が通過する想定の下、長時間風力時刻歴波形を評価作成。
- ② ①に基づく積層ゴム5時間連続動的加力実験を実施し、クリープ変形の影響が大きく、これを考慮しない従来の応答評価法では免震部材水平変位を過小評価することが判明。
- ③ 静的成分加力実験、一定水平力、一定+正弦波加力実験により、クリープ変形の基本特性把握。
- ④ 免震部材の微小変位振幅特性も容易に表現できる汎用曲線型履歴モデル「修正 HD モデル」を開発。
- ⑤ 最大風速域の免震部材挙動をクリープ変形が十分進行した定常的な状態ととらえる風応答簡易評価法を提案し、実験結果のシミュレーション解析によって設計解析法としての適用性を確認。



クリープ変形が蓄積していく様子（加力開始直後）



最大風速域の実験結果履歴ループ



提案した実用的風応答評価法の適用結果

鉛プラグ型積層ゴムの台風通過時想定動的加力実験結果履歴ループと風応答評価法



建物外観 (撮影: 桑水建築写真工房)

建築概要

建設地: 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1
 建築主: 慶應義塾大学
 主用途: 学校
 設計: 大林・鹿島・フジタ・銭高共同企業体
 施工: 大林・鹿島・フジタ・銭高共同企業体
 竣工: 2000年2月
 建築面積: 2,978㎡ 延床面積: 21,286㎡
 階数: 地下2階、地上7階、塔屋1階 高さ: 31.0m
 構造: S造、SRC造

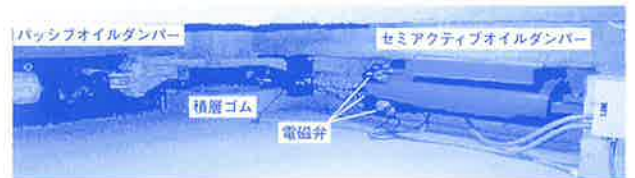
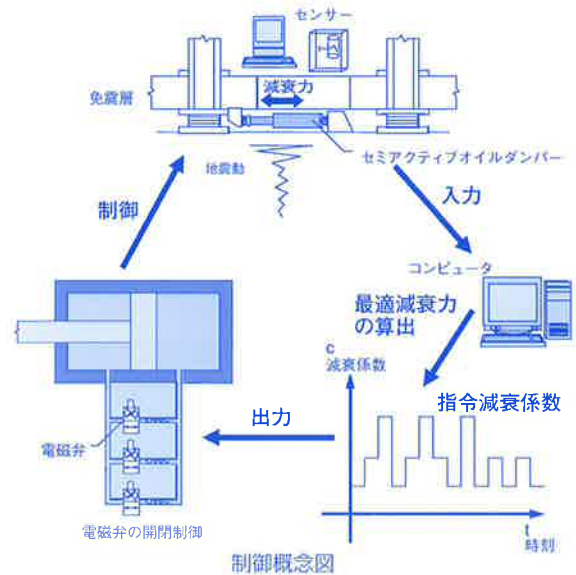
選評

ある対象を考察し行動するとき、それには保守的考えから進歩的考えまでいろいろな幅がある。地震国に建築を建てるとき、これを地盤に堅固に置く方が良いという考えと、積層ゴムなどで地盤と絶縁した方が良いとする考えがあり、後者が免震構造である。天然ゴム積層ゴムは非常に安定した線形性を持ち、減衰が小さいため、これだけでは免震構造は成立しない。これに適度の減衰を持たせることにより、応答せん断力は約50%、免震層の変形は約25%にまで低減できる。この方法により、この20年の免震構造は発展してきたが、中小地震動には、減衰はある程度小さい方が上部構造の居住性が高まり、大地震時の変形抑制のためには減衰は大きいほど良い。この減衰をコンピュータを使って制御することにより、地震動の大きさにかかわらず常に性能の高い免震構造をつくるのが技術者の夢であった。慶應義塾大学理工学部創想館に、この技術が世界で始めて使われた。これにも保守的な考えがあり、大地震に目標を合わせ、中小地震時の応答性状は犠牲にしても良いという技術者もいる。しかし、技術は挑戦することによって進歩するのであり、ここで実施されたセミアクティブ免震システムは技術賞(特別賞)の価値があると判断された。技術の評価とは独立に、この創想館は建築としても素晴らしい作品であることが評価されている。(和田 章)

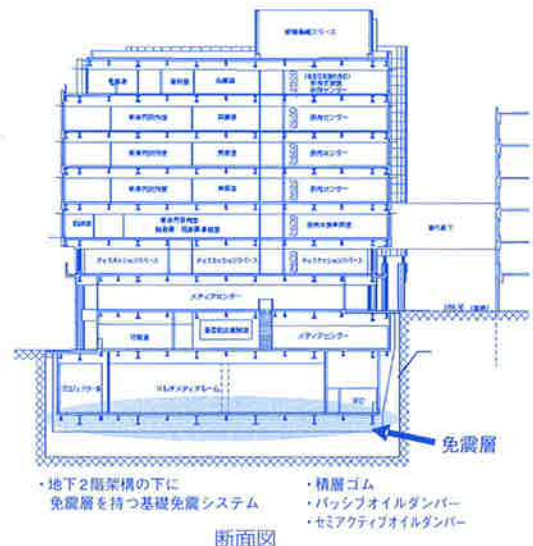
システム及び特記事項

本建物の免震装置は天然ゴム系積層ゴム+オイルダンパーから成り、オイルダンパーの減衰力を最適に制御できるセミアクティブ免震システムが採用されている。震度Ⅳ程度の中小地震時及び台風等の強風時には、建物の応答加速度をより小さくして居住性を高めることを目的としている。大きなパワー源を必要としないセミアクティブ振動制御が免震ビルに適用された例は他に無く、本建物が世界でも初めてである。

本システムは、免震階、B2階及び屋上に設置された加速度センサー3台と、免震階とB2階との相対変形を計るために設置された変位計2台により、建物の振動状況をモニターし、各時刻での最適減衰力をコンピューターにて演算し求め、セミアクティブオイルダンパーの電磁弁を開閉することにより最適減衰力を発揮するものである。



免震装置(中央:積層ゴム、左:パッシブオイルダンパー、右:セミアクティブオイルダンパー)



山口県立きららスポーツ交流公園 多目的ドーム(きらら元気ドーム)

建築主：山口県 町田明徳
設計者：株式会社日本設計 人見泰義、千鳥義典



建物外観 (撮影：ナカサアンドパートナーズ)

建築概要

建設地：山口県吉敷郡阿知須町きらら浜
建築主：山口県
設計：株式会社 日本設計 (技術指導：齋藤公男)
施工：大成建設・不動建設・洋林建設・宇部興産 共同企業体
竣工：2002年3月
建築面積：27,677㎡ 延床面積：22,500㎡
階数：地上2、地下1、高さ：53.50m
構造種別：RC造、鉄骨立体トラス骨組み膜屋根構造

選評

きららドームは博覧会のメイン会場としてプロポーザルコンペによって選定されたが、極めて優れた提案性のある多目的ドームとなっている。主用途は野球等が行われる機能を持つスポーツドームであり、かつ展示会、音楽会等のイベントにも使われる。平面形は8の字型をしており、また立面的には大きなドームに小さなドームが連なっている。全体のフォルムを決定しているのは大きな庇である。この庇は力学的にも有効に機能しているが、ドームの形態を優美なものに整え、さらに周辺の外部空間と内部空間の一体的な利用を図っている。特に雨の日、日差しが強い日には極めて心地良い休息の場を提供しているように思われる。海辺の環境にも調和し、優しい景観を作り出すことに成功している。屋根免震によりテフロン被膜を持つドーム屋根を支える柱は驚く程細く、軽快である。全体が美しく軽やかなプロポーションに構成されている。下部構造の納まりも十分に考えられている。屋根構造はテンセグリットラス+ばねストラット張力膜構造と呼ばれているが、4m四方の一重膜を中央のストラットで15cm突き上げることによって膜面の初期張力を導入し、膜面の安定性を獲得するアイデアで、仕上がりは美しい。屋根免震構築物としても新しい挑戦であり、機能的、造形的にも優れている作品である。
(仙田 満)

免震化した経緯及び企画設計等

本建物は、山口県におけるスポーツを通じた国際交流や、県民スポーツが行える多目的の施設として計画された直径150mのドームで、テンセグリットラスと膜構造により軽量化した屋根架構が特徴である。

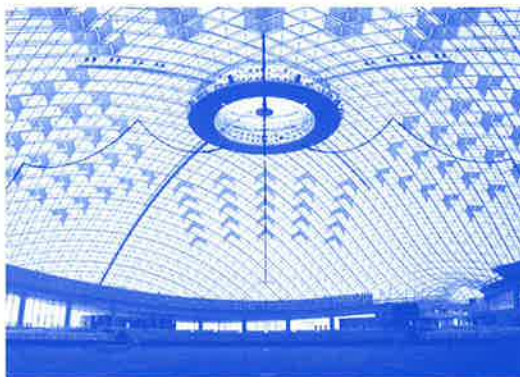
屋根形状は大ドームと小ドームが一体となった有機的な形状をしており、支える柱は5mから14mまで長さが変化する。在来の工法では地震時に短柱に応力集中を生じ、屋根にも大きな上下方向の揺れが発生する。また、温度応力も大きくなる。このため、屋根架構を鉄骨造の自己完結型の構造とし、38基の積層ゴム支承により支えた免震構造とすることで、これらの問題を解決した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

大スパンの構造物にはじめて免震構造の考え方を取り入れ、いままでにない透明感のある意匠を実現することができた。屋根を支える積層ゴム支承は、柱の柱頭に設置されており、耐火検証により耐火被覆を免除している。軽量化された屋根架構で積層ゴム支承が支える荷重が少ないため、風荷重による吹き上げにより積層ゴムに引抜き力が生じないことを、応答解析により動的に確認している。建方時に積層ゴム位置をジャッキアップ・ダウンすることにより、スラストによる残留変形を防止し、仮設の効率化を図った。



積層ゴム支承



建物内観 (撮影：ナカサアンドパートナーズ)

建築主：慶應義塾 安西祐一郎
 設計者：清水建設株式会社 北村佳久、中川健太郎、吉田郁夫
 施工者：清水建設株式会社 加藤喜久



外観写真（撮影：松岡満男）

建築概要

建設地：神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1
 建築主：学校法人慶應義塾
 設計：清水建設株式会社一級建築士事務所
 施工：清水建設株式会社建築事業本部
 竣工：2002年1月
 建築面積：4,286.04㎡ 延床面積：18,606.28㎡
 階数：地上7階、地下なし、高さ：30.95m
 構造種別：鉄骨造（柱CFT造）

選評

慶應義塾大学 日吉 来往舎は塾内外の多様な人材が参加連携し、活発な交流によって斬新な「知の創造」を行うことをコンセプトとし、建物は7層吹き抜けのアトリウムを中心に研究室などの諸室が取り囲み、ブリッジやピロティなどの仕組みを効果的に導入して、明るく、開放的な空間づくりを目指した施設です。

しかし、このような構成の建物は今までにも数多く作られてきましたが、構造的に偏心（ねじれ）が生じやすい架構であるため、架構が巨大化したり、構造壁が必要となったりと建物の足元を開放的にするためには大変困難を伴い、太い柱や動かない壁に甘んじてきました。その中で、本建物では免震構造を採用することにより、上部構造のねじれを約1/2程度に抑え、研究個室群を軽やかな柱で浮遊させ、構造壁のない見通しの利いた、開放的な空間を作り出すことに成功しています。

これは、免震構造の採用が安全性の確保という目的だけではなく、建築計画の手法として可能性をさらに拡大させたことを意味します。

この作品は、自然環境の利用から細部のディテールまできめ細かく配慮された質の高い出来栄であるとともに、建築作りの可能性をさらに発展させたことにより、作品賞に値する作品と評価したいと思います。

（石原 直次）

免震化した経緯及び企画設計等

来往舎は、教養研究の発信の基点となる研究センターであり、塾内外の多様な人材が主体的に参加・連携し、活発な交流によって斬新な「知の創造」を行うためのシンボル施設として構想された。「交際する空間」というコンセプトのもとに、アトリウムを中心とした開かれた空間づくりをめざし、免震構造の採用により細柱で建物を浮遊させ、外部と一体感ある開放的なピロティを実現した。また、本建物は日吉キャンパスの防災拠点となるべく、地震時の安全性と機能維持が求められた。

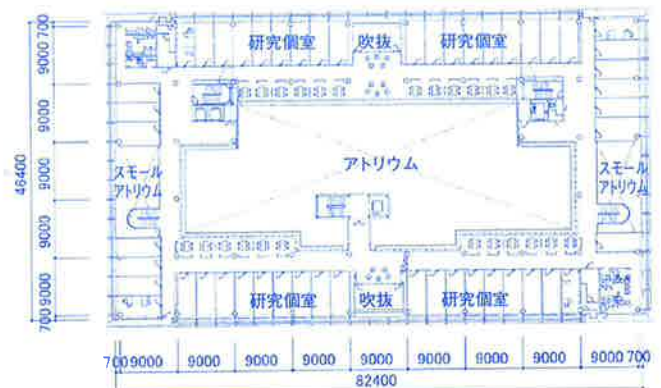
技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

建物中央部に大きなアトリウムをもち、下層の片側がピロティ形式となっている偏心の大きい開放的な建物にスリムな断面で高い耐震性を持たせることが設計上の課題であった。

免震構造は上部建物の偏心が大きくても、免震層に偏心がなければ大きなねじれ振動は生じないとされているが、本建物は免震構造の利点を最大限に活用し、すべり支承を効果的に用いることにより免震層の偏心を抑えるとともに、オイルダンパーの併用により建物の応答を小さくしている。上部構造には、耐力の大きいコンクリート充填鋼管柱を採用するとともにアンボンドブレースにより剛性を高めている。これにより、大地震後の機能維持を確保しつつ、開放的で魅力ある空間を実現することができた。



アトリウム全景（撮影：松岡満男）



基準階平面図

作品賞
(特別賞)

SBSスタジオ棟

建築主：静岡放送株式会社 松井 純
設計者：大成建設株式会社 田中 勉、勝田庄二、平尾明星
施工者：大成建設株式会社 安井正憲



SBSスタジオ棟

建築概要

建設地：静岡県静岡市登呂3丁目1番地1
建築主：静岡放送株式会社
設計：大成建設一級建築士事務所
施工：大成建設株式会社
竣工：2001年4月
建築面積：1351.92㎡ 延床面積4705.00㎡
階数：地上5階、地下無し
高さGL+25.5m 鉄塔高さGL+70m
構造種別：鉄筋コンクリート造(一部コンポジット梁)

選評

本建物は、JR静岡駅の南約2kmの位置に建つ鉄筋コンクリート造で、5階建の放送局である。

この地域は、近い将来に想定されている東海地震の震源域に当たり、既存建築物の耐震診断・補強が重点的に行われている。また新築の建築物に対しても、独自の地域係数が設定されている。

静岡新聞社・静岡放送グループは、この想定地震に対して社会的使命を果たすべく、中長期的な計画の一環として、この建物より先に隣接して建設された新聞制作センターに続き、このスタジオ棟にも免震構造を採用し、建設している。

同グループは、震災時にもメディアとしての機能を維持させるため、高い信頼性を求め、免震構造を採用することで、一ヶ所に重要な施設を集中させている。

免震構造の採用に当たっては、屋上に設置されたパラボアンテナ用のアンテナ塔があり、その指向性を確保するために、高減衰積層ゴムアイソレーターとバイフロータタイプのオイルダンパを用いている。

メディアの大震災時の機能維持のあり方として、初めて免震構造を採用し、解決している。本建物だけではなく、隣接する新聞制作センターと共に、作品賞(特別賞)に値するものである。(大越俊男)

免震化した経緯及び企画設計等

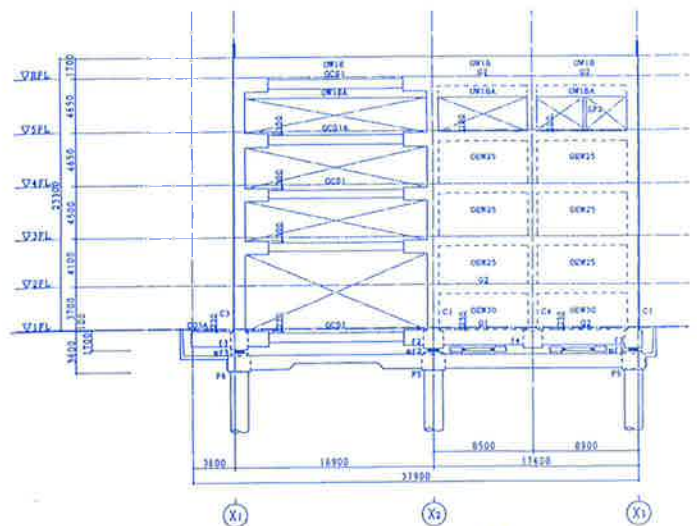
スタジオ建設の目的は大きく2つあり、1つは放送のデジタル化に対応するための新しい設備として、もう一つは将来想定されている東海地震の震災直後において放送継続可能な施設とすることである。後者の目的のために、建物全体を免震化する提案が受け入れられた。

建築のデザインは直方体のポリウムを巧みに分割し、グリーンを基調としたカーテンウォールを用い上層のプロフリットガラスと調和させたシンプルなデザインとしている。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

構造体は鉄筋コンクリート造を基本としており、事務所空間においてロングスパンが必要な梁はスパンの中央がH型鋼梁でできたコンポジット梁を用いることにより解決し、音や電磁シールドやRCの利点を生かしている。これは免震部材の集約の点からも効果的であった。

建家屋上の45m鉄塔の頂部にあるパラボアンテナが設けられている。このパラボアンテナは強い指向性が要求され、地震直後建物が平面的にねじれ等を生じ0.5度以上回転することが許容されないため免震部材としては履歴変形を残さないタイプの高減衰積層ゴムアイソレーターとオイルダンパを設け地震後は元の位置に復帰するようにしている。また災害時の機能確保の点から放送機能は、電気、水などライフラインが途絶した後も72時間維持し続けるように計画されている。



Y1 通り軸組図