

三越本店本館バリアフリー工事 ～「都市型免震レトロフィット」～の実現

株式会社三越：石塚邦雄

株式会社横河建築設計事務所：西村嗣久、古宮謙二

清水建設株式会社：武藤 光、村井義則



中央通り側 建物外観（撮影：清水建設株式会社）

概要

東京都日本橋に建つ三越本店本館は日本最初の大規模百貨店として大正3年に建設され、以降昭和39年にかけて6期に渡り増改築が行われ現在の姿になっている。今回実施された地下階での免震レトロフィットによる耐震改修工事では「①都市型免震レトロフィットとして敷地一杯に建てられた建物の免震化。②店舗の大部分を閉鎖する事なく営業をしながらの施工。③5万人/日に及ぶお客様の安全を確保した施工。④外観や機能を損うことのない耐震改修。⑤既存建物の増築時期の違いによって生じていた地下1階売り場の床段差の解消。」という多くの課題を解決した。「都市型免震レトロフィット」技術による新たな免震改修を実現させ、次の時代に向けて歴史的価値のある本建物の永続性が図られた。

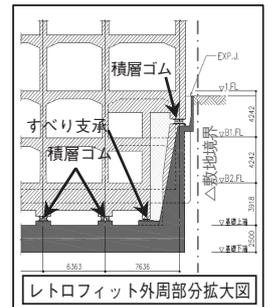
選評

本件は築後95年の百貨店建物の免震改修である。免震レトロフィット工事ではそれぞれに個別の困難な事情があり、設計者、施工者の創意工夫が求められるが、それだけでは技術賞に値するかどうか判断に迷う。本件では申請者のいう「都市型のレトロフィット」技術が技術賞に評価された。ここでいう都市型の課題とは、1.建物が敷地いっぱい建てられている、2.店舗を営業しながらの施工をする、3.地下1階の床段差を解消しバリアフリー化するなどである。これらに対して、以下のような解決をしている。1.既存の地下外壁を切り離してこれを擁壁化、建物の地下外周部は半スパン内側に解体、セットバックさせて免震クリアランスを確保。2.正月1日を3回、計3日の休業日にインフラの盛り替えを行い890日で工事を完成。3.建設時期により異なる地下階数、基礎形式に応じて免震位置を使い分け、既存建物の地下1階床にあった約1mの段差を解消。こうした技術は今後の同種の取り組みを目指すものにとって、大いに参考になるであろう。このような歴史的価値をもつ建築物が地震に対して安全になり、バリアフリー化し、生きた建物として永く使い続けられることを願うものである。

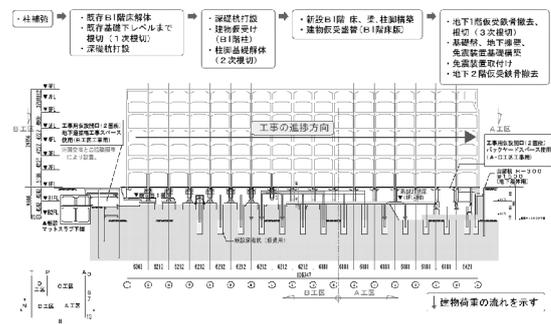
(古橋 剛)

システム及び特記事項

本建物は、建物総重量約13万tonfを鉛プラグ入り積層ゴム258台と弾性すべり支承56台の合計314台で支持している。免震周期3.2秒(100%歪時)、免震層の躯体クリアランス400mm、免震層ベースシア係数0.14となっている。本改修計画は耐震改修促進法に基づく認定を取得している。「都市型免震レトロフィット」として敷地一杯の建物の免震化を実現するために、建物外周部



1/2スパンで既存躯体を一部削って免震ピットを構築し、最外周柱下の積層ゴムは1階床下レベルに設置し、クリアランスを極力敷地境界に寄せる工夫をした(右図参照)。1/2スパン入った部分の最下層には弾性すべり支承を配置した。免震化工事中の店舗閉鎖部分を最小限に分割し、営業をしながら施工した。地上部分は店舗内リニューアルに合わせた補強工事を一部行い、地下部分に関しては工区を南北に分け、免震層の上部フラットスラブを先行施工し地下1階の店舗をオープンした後に免震ゴムの設置を行った。免震化に併せて既存建物の地下1階売り場に生じていた床段差(約1m)を解消するために地下部分の柱を、鉄骨フレームで仮受けした上で柱を下方に延長し、地下1階部分の床段差を解消(バリアフリー化)した。従来にない既存柱を支持する仮受け方法である。これら施工時の安全性確保と建物の仮受方法の妥当性を検証するため、清水建設技術研究所での性能確認実験や現地での載荷試験を行った。また建物仮受施工時には水盛沈下計を設置し、ウェブ上で常時沈下を監視できる環境を整え綿密な管理を行った。工事期間中の営業休日3日、昼夜交代890日に及ぶ免震化の挑戦は、平成20年5月に無事竣工を迎えることによって完遂された。



地下1階床下基礎免震工区の施工手順概要図



施工写真(鉄骨フレームによる建物仮受) 竣工写真(基礎免震部分LRB)

(撮影：清水建設株式会社)

既存超高層建築の長周期・長時間地震動対策の技術開発とその実施

大成建設株式会社：細澤 治、木村雄一、須田健二、吉村智昭
 明治安田生命保険相互会社：松尾憲治



新宿センタービル外観と制振ダンパー(撮影：大成建設株式会社)

概要

大都市圏には数多くの超高層建築が建設されているが、既存超高層建築の中には長周期・長時間地震動を考慮せずに設計されたものもある。それらが長周期地震動を受けた場合、大きな揺れが長時間続き、構造体が被害を受け、二次部材や設備等が損傷することが危惧されている。近い将来、東海・東南海・南海地震などの巨大地震の発生が予想されており、2006年11月には日本建築学会と土木学会から「海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性向上に関する共同提言」が発表されるなど、既存超高層建築に対する長周期・長時間地震動対策技術の確立が求められていた。このような問題に対し、変位依存型オイルダンパーを用いた長周期・長時間地震動対策技術を開発し、国内で初めて、高さ150m以上の既存超高層ビルに適用した。

選評

本技術は、1979年に竣工した地上54階、地下5階の既存超高層建物を対象に、大都市部で今後懸念される長周期・長時間地震動に対する技術開発および実施を内容としている。

制振ダンパーを用いた耐震補強の構造計画は、応答制御目標を満足しつつ制振ダンパーから既存柱への付加軸力を制御するために、変位依存型制振ダンパーを初めて開発・適用するとともに、合理的な配置計画を行っており、制振ダンパー取付け部の接合ディテールも既存改修用に改良した等、先進性とともに関心が見られた。

また、耐震補強施工法として、現場における溶接接合を避けて緊張材締付け接合法を採用し、騒音発生作業を夜間工事とする等、建物機能を維持しつつ執務空間への影響を最小限に留めるように配慮していた。

本技術は、長周期・長時間地震動対策として、制振ダンパーを利用した既存超高層建築の耐震補強方法、事業継続性を考慮した耐震補強の推進方法等、実務レベルでは先駆的なものであり、新たな方向性を示していると考えられる。

以上より、本技術は制振効果を活用した建物として、免震構造協会賞・技術賞に相応しい技術開発および実施であると評価できる。

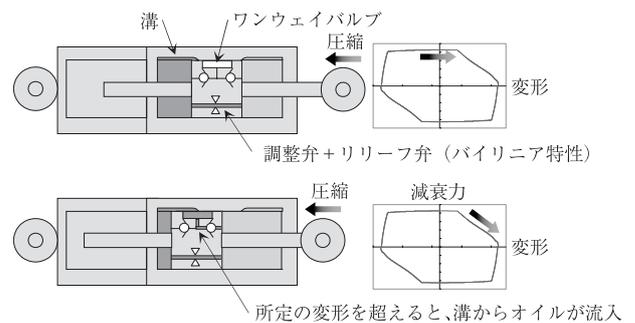
(木林長仁)

システム及び特記事項

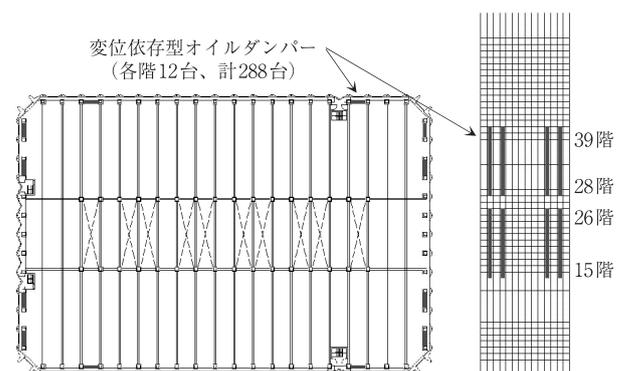
既存超高層建築の長周期・長時間地震動の対策としては、制振ダンパーを設置して、建物に減衰を付加し、建物の最大変形や後揺れを低減することが有効である。しかし、制振ダンパーを既存建物に設置すると、制振ダンパーの反力が既存架構（柱、梁、基礎など）に作用し、既存架構を補強する必要があるという問題点があった。また、架構への制振ダンパーの設置は、溶接を用いることが一般的で、既存の床を取り除く必要があり、建物を使いながらの工事は困難であった。

このような問題に対し、変位依存型オイルダンパーを用いた制振補強構法を開発した。変位依存型オイルダンパーは、変位によって機能するワンウェイのバイパス経路を設けており、所定の変形に達すると、オイルが流れ、減衰力が小さくなる。そのため、建物の最大変形付近でオイルダンパーの減衰力を低減することができ、既存架構を補強することなく、制振ダンパーを設置可能なことが特徴である。

また、制振ダンパーの設置は、床と梁を上下のベースプレートで挟み、PC鋼棒で締め付ける圧着工法を開発することにより、建物を使いながらの工事を可能とした。また、実大実験を行い、制振ダンパーの反力をPC鋼棒の圧着による摩擦力で伝える応力伝達機構に問題がないことを確認した。



変位依存型オイルダンパーの原理



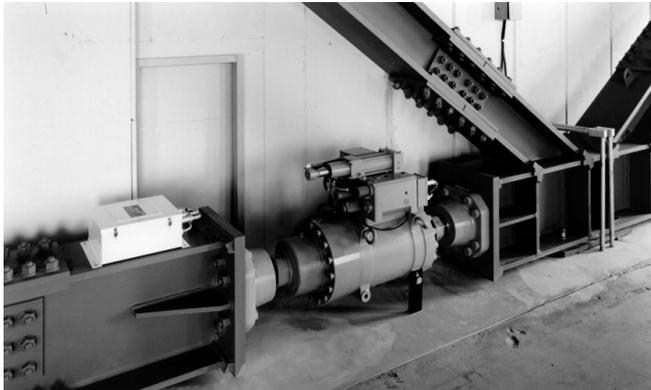
基準階伏図

軸組図

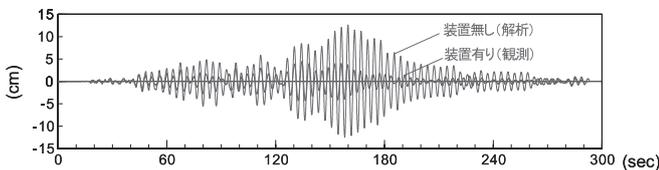
変位依存型オイルダンパーの設置位置

エネルギー吸収効率を最大化する ON/OFF制御型オイルダンパの開発と実用化

鹿島建設株式会社：栗野治彦、山田俊一、田上 淳
清水 幹、松永義憲



セミアクティブ型装置の設置状況（撮影：佐藤翠陽）



30階建て超高層建物の建物頂部変位の例

概要

本技術は、1990年代に入って普及が進んだ建築構造用オイルダンパ技術をベースにしなが、ON/OFF作動のための単純な機構をダンパに付与するだけで応答低減性能の飛躍的向上を実現した、画期的な制震オイルダンパである。実質的なブレース剛性の不足に陥りやすいスレンダーな超高層建物において従来型ダンパを大きく上回る減衰効果を実証的に見込めるほか、建物周期に応じた減衰特性調整などが不要で適用範囲も広く、地震から風揺れまで広い範囲の振動に対する高い制震性能と優れた実用性・汎用性を両立させている。

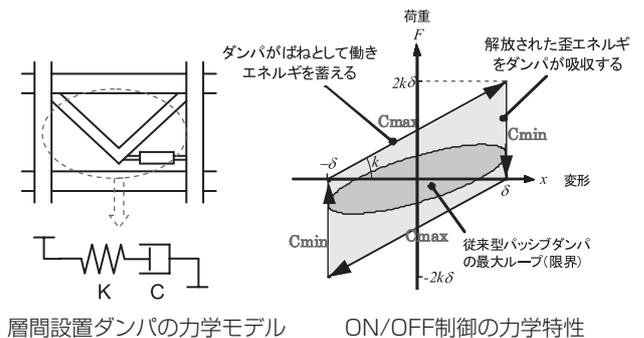
選評

一般的にパッシブ型のオイルダンパの減衰係数には理論的に最適値が存在し、その効果は取付け部の剛性の影響を受ける。これに対し本技術は、減衰係数を最大/最小の2段階に切り替えるだけで吸収エネルギー量が最大となる制御が可能であることに着目したものである。具体的にはダンパ左右の油圧室を連結する流路に設けた電磁弁を開閉し、歪エネルギーの蓄積および熱としての吸収を繰り返すことで、振動数依存性がなく設置条件に応じて自動的に最大のエネルギー吸収性能を発揮する。こうして開発されたセミアクティブ型のダンパは、性能確認実験による検証を経て多くの建物に採用され効果が確認されている。さらにチームは継続して改良に着手し、バッファ部の圧力をセンサと制御弁駆動力両方に利用することにより、電力を用いることなく前例と同等の効果をもたらすダンパの製品化に成功している。減衰係数を制御することでエネルギー吸収限界を乗り越えるというアイデアによって理論を現実の部材として具体化し、検証実験を経て多くの建物に応用したほか、さらに研鑽を重ねて改良型の開発にも成功している。このあくなきチャレンジ精神とそれによって生み出されたダンパの独創性は技術賞にふさわしいと考える。

(小堀 徹)

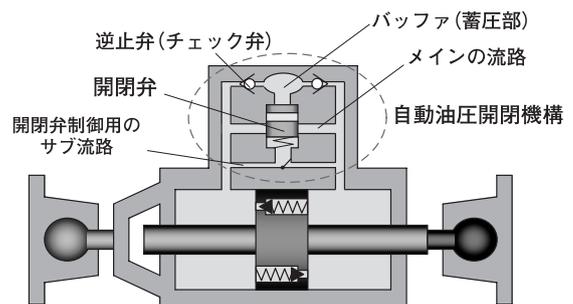
システム及び特記事項

オイルダンパを建物の層間にブレース等を介して設置する場合、その力学特性は減衰要素Cとばね要素Kを直列結合した、Maxwell型モデルで表わされる。この系の減衰性能はCとKの関係から上限付けられ、特にKの実効値を大きく設定し難い超高層建物などでは、十分な減衰性能が得られず、ダンパ付建物の制震設計を苦しめてきた。この限界を打破することが本技術の開発命題であったが、その決め手になったのが、建物の振動状況に応じて減衰係数を最大/最小に切り替える新考案の「ON/OFF制御」である。本手法では、装置は振動中は弁を閉じて減衰係数を最大に保持し、振動エネルギーをばね要素に蓄えておく。そして、振動の向きが反転した瞬間に弁を一時的に開いて減衰係数を最小にする。すると、これまでばね要素に蓄えられていた歪エネルギーが急速に開放・除荷され、効率よく熱として吸収・消散される。このプロセスを半周期ごとに繰り返すと、その系が発揮し得る履歴ループの面積は、従来型ダンパの減衰係数を最適に調整した時（＝従来型の上限性能）の2倍以上となり、減衰性能の飛躍的向上が図られる。この動作を実現する具体的な装置として、セミアクティブ型およびパッシブ型の2種類を実用化し、超高層建物を中心に既に多くの建物に適用した。また、適用建物の一部では、大規模な強制加振実験や地震・風観測もっており、当技術の有効性と優れた性能は、多面的に時間をかけて検証されている。



層間設置ダンパの力学モデル

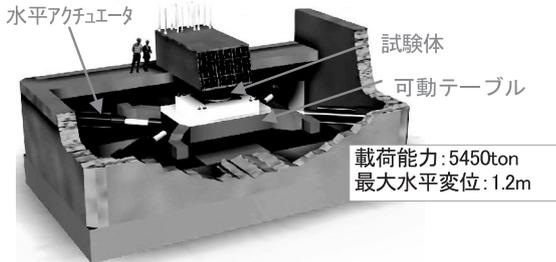
ON/OFF制御の力学特性



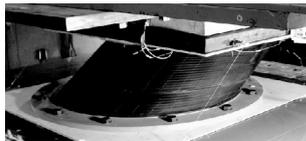
パッシブ型装置の内部機構概念図

超高層免震建物用大型免震支承部材の実大性能試験の実施

株式会社竹中工務店：嶺脇重雄、山本雅史、東野雅彦、濱口弘樹
東京工業大学：和田 章



米国UCSD校の試験装置
(イラスト：竹中工務店)



φ1300 積層ゴム変形状態
(撮影：麦プロダクション)

概要

超高層免震建物に用いられる大型免震支承部材については、試験機性能の制約から、小サイズ試験体の試験結果を組み合わせることなどで安全性が検討されてきた。応募者らは、長周期地震動など巨大地震に対する超高層免震建物の安全性、信頼性をユーザーにわかりやすく説明するために大型免震支承部材の実大性能確認試験が不可欠であるという問題意識から、米国UCSD校が所有する大型動的試験装置を用いて試験を実施した。試験は、2007年から2008年にかけて行われ、その内容は、支持荷重依存性、速度依存性、多数回繰返し特性など広範囲にわたる。特に、水平2方向加力特性については、部材の高減衰特性に起因する新知見が見出された。これらの成果は、学術論文、日本免震構造協会機関誌、委員会活動への情報提供を通じて一般に公開されている。

選評

本技術成果の特徴は、超高層免震建物などに用いられる大型免震支承部材を対象に、従来試験機性能の制限などから実施が困難であったその高面圧、大変形時の性能確認試験を米国カリフォルニア大学サンディエゴ校の大型動的試験装置を用いて実現しその知見を広く公開したところにある。

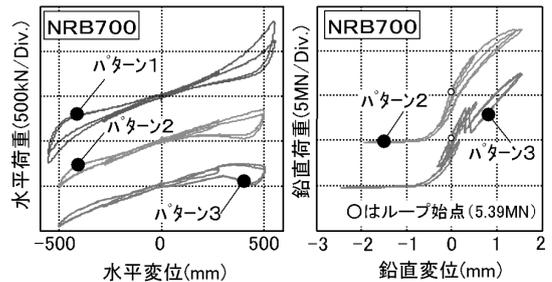
試験は積層ゴム支承3種類、すべり支承1種類を対象とし、その面圧依存性、速度依存性、多数回繰返し特性、水平2方向加力特性など、性能限界に近い加力条件下における大型免震支承部材の性能変動を広範囲にわたり検討している。現在、超高層建物への免震工法の適用が増えつつあり、免震建物の安全性、免震部材の性能評価に関してより慎重な姿勢が求められているが、これに対して、厳しい加力条件下においても鉛直荷重支持性能の頑強さが確認される一方で、水平2方向加力下では特に高減衰積層ゴム支承で水平1方向加力を前提とした限界値に比較して破断ひずみが低下するという新たな知見を報告している。

世界的にも貴重なこれら一連の成果は、免震部材の設計クライテリアの設定や評価手法の整備に供されるなど、基礎的ではあるが堅実な努力により免震建物の適切な技術発展に大きく寄与していることから、ここに特別賞を授与するものである。

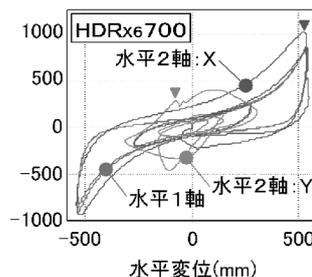
(中埜良昭)

システム及び特記事項

着実に件数を増している超高層免震建物は、1) 免震周期がより長周期化されている、2) 大径の免震支承部材が用いられる、3) 地震時に鉛直荷重が大きく変動する、などの構造的特徴を有する。一方、海溝型巨大地震に伴って発生すると言われる長周期地震動には、超高層免震建物の免震周期領域で既往の設計用地震動をやや上回る強さとなる可能性が考えられ、継続時間が長いことから免震建物に比較的大きな変形が多数回生じる可能性もある。試験内容には、これらの構造的特徴と想定される応答状態を反映させた。積層ゴム支承の大変形面圧変動試験では、水平剛性が面圧変動の影響を敏感に受ける一方で、水平剛性が著しく低下する領域でも、鉛直荷重支持性能は維持されることを確認した。多サイクル繰返し試験では、温度上昇の様子が熱伝導解析により模擬できることを確認した。実速度試験では製品試験に用いられる速度換算式の大変形領域における適用性について明らかにした。水平二軸変位試験では高減衰特性を有する支承材に二次的なねじれ変形が発生し、破断限界ひずみに影響を与える可能性を初めて見出した。また、その特徴的な荷重変形関係を模擬する復元力モデルを提案した。すべり支承については、既往設計式の適用性を確認した。今後の追加検討で得られる知見についても逐次公開を行ってゆく所存である。



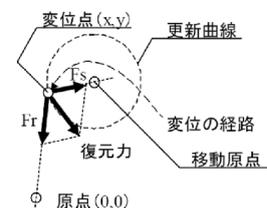
大変形面圧変動試験結果 (NRB φ 700)



水平二軸変位試験荷重変形関係 (HDRx6 φ 700)



加力中のねじれ発生状況
(撮影：竹中工務店)



二軸モデル構築における復元力の分離

建築主：近畿労働金庫 永田憲一

設計者：株式会社日建設計 多賀謙蔵、嘉村武浩、加登美喜子

施工者：株式会社銭高組 下土井節男



北面ファサード見上げ（撮影：東出清彦）

建築概要

建設地：大阪府大阪市西区

建築主：近畿労働金庫

設計：株式会社日建設計

施工：株式会社銭高組

建築面積：1,213.98㎡ 延床面積：13,515.67㎡

階数：地上13階、地下1階 高さ：58.75m

構造種別：鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造

選評

この建物を特徴づけているのは、なんといっても南北面のラチスウォールである。マリオン状の細い柱材とテンションロッドとで編むようにラチスウォールが構成されている。この外装によって、高層建築でありながらも繊細なイメージを作り出すことに成功している。街の風景の中で威圧的にそびえるのではなく、柔らかに周囲と接する建築である。

さらに、この繊細な架構を、ダブルスキンとして自然換気を行い、さらに架構越しの採光面として利用して3方向からの採光を実現するなど、設備・環境計画上も有効に機能させている。免震を利用することで実現した構造計画を、さまざまなレベルで生かしているさまがうかがえる。ともすると免震技術は、付加的に取り扱われることが多く、時には過剰な提案と映ることもある。ここでは免震技術が、無理なくまた無駄なく生かされている。その点を高く評価したい。

一方、この繊細なラチスウォールが室内から見えな（見えづらい）ことは疑問であった。光環境以外にも、執務室の空間にも寄与できればと思う。自由度の高い執務空間を獲得しているがゆえに、惜しまれる点だった。

（小泉雅生）

免震化した経緯及び企画設計等

本建物は金融機関の本部ビルであり、大地震時における防災拠点としての耐震性が求められた。これに対し、免震構造を採用することで、高い耐震性の確保に加え下記特徴を有する建物を実現している。

- ・ 上部架構の耐震要素を偏心配置させ、前面道路側の架構をロングスパン架構として開放感のある眺望を確保していること。
- ・ 上部架構が弾性設計とできることを利用して南北面の架構をテンションロッドにより構成されるフレームとし、3方向から採光が得られる快適な執務空間を実現していること。

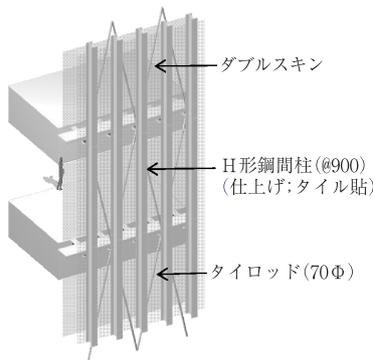
技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

テンションロッドにより構成される南北面架構は設備計画・自然喚起が可能なダブルスキンとなっており、建築デザインと構造計画、設備計画が一体となったシステムが南北面ファサードとして表現されている。

テンション材をブレースとして用いる場合座屈に対する配慮が必要となるが、若干のプレテンションを導入するとともに端部のピンディテールに工夫を行うことでこの問題に対処し、テンションロッドにより構成される架構を実現している。



前面道路側のロングスパン架構（撮影：野口兼史）



南北面ファサード構成図



建物全景（撮影：東出清彦）

建築主：株式会社前川設計一級建築士事務所 松本敏勝
 設計者・施工者：大成建設株式会社 小林治男、渡辺岳彦、田中 勉
 船原英樹



建物外観 (撮影：阿野太一)

建築概要

建設地：東京都江東区牡丹
 建築主：株式会社前川製作所
 設計：大成建設株式会社
 施工：大成建設株式会社
 建築面積：1,257㎡ 延床面積：9,309㎡
 階数：地上8階 高さ：31.35m
 構造種別：鉄骨造(柱CFT造)

選評

純粋な民間企業のオフィスビルだが、災害時に地域住民の一時避難施設として機能を果たすように綿密に計画されている点が評価できる。免震化も避難施設としての耐震性を高める手段として選択された結果で、72時間電源供給可能な発電機や防災備蓄倉庫も備える。災害状況によってはオフィスフロアも地域住民の避難スペースとして提供する用意があるという。

地域貢献性を高めて、周辺の住民と共存共栄していくことは、同社の企業ポリシーになっており、通常時においても地域住民が文化活動などに使える交流スペースを2階と8階などに用意している。このため、普段でもエントランスホールは同社社員と住民が自然に行き交う、少し不思議な場となっている。

構造計画としては、弾性すべり支承と積層ゴム支承を1階床下に設置した基礎免震を採用している。吹き抜け空間の導入で、地震時にねじれやすい上部構造になったものの、その欠点を免震支承の配置の工夫でカバーする設計だ。

(増田 剛)

免震化した経緯及び企画設計等

株式会社前川製作所は大正13年の創業以来、門前仲町に本社を構え、創業当初から地域に根ざした企業として、深川地域の発展とともに大きく成長を遂げた企業である。

本社ビル建替えにあたり、地域への恩返しとして、以下のコンセプトを基に計画された。

- ・地域住民が活用できる「地域交流施設」の設置
- ・敷地内における「オープンスペース」の提供
- ・災害時の一時避難施設としての機能確保

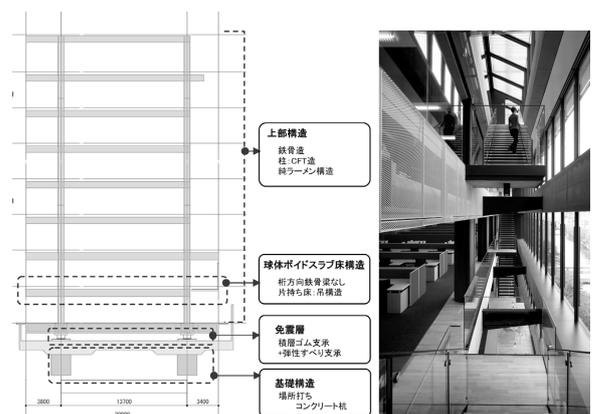
これらのコンセプトに対して、免震構造を採用することにより、限られた建物規模の中に「地域交流施設」や「災害時の発電機設置スペース」等を配し、災害時の一時避難施設としての地震時安全性の確保を実現している。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

本建物では、道路斜線などにより約31mの高さ制限が設けられている。限られた建物高さにおいて、通常よりも1階多い階数を確保するため、免震構造採用による免震効果を有効に利用し、部分的(2階床)に桁方向大梁を設けないことや大梁成の低減を図り、最小限の階高を実現している。

また、液状化に対する安全性能の確保のため、弾性すべり支承と積層ゴム支承を併用した免震システムを採用し、液状化を考慮した有効応力地盤建物連成解析によるパラメトリックスタディを行い、必要な免震周期の検討により、免震装置の仕様を決定している。

本社ビルという企業の顔としての建築デザインに対しては、免震効果を最大限利用し、部材のスリム化やファサードへのガラスの多用を可能とすることで、優れた建築デザインを実現している。



構造概要

開かれた内部空間 (撮影：阿野太一)