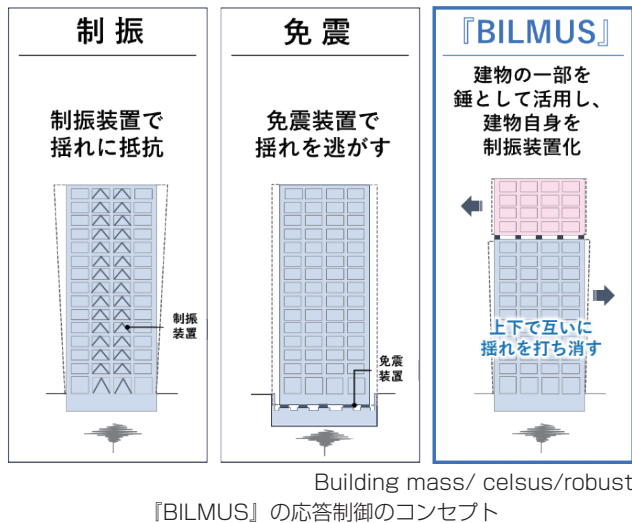


建物自体を制振装置化し超高層の課題を解決 『BILMUS』

清水建設株式会社 青木 貴、今井克彦、小槻祥江、吉田直人



概要

超高層建物は人口と社会機能が集中する都市の社会インフラであり、巨大地震に対する安全・安心と機能継続の確保は喫緊の課題である。これを解消すべく開発した『BILMUS』は、建物自体の質量を制振効果として活用する制振システムである。上下層が互いに揺れを打ち消すことで、従来は制御が困難であった建物頂部の揺れを抑えながら、建物全体の耐震性を向上する。本技術はこの原理を具現化する上での課題を制御設計法の構築と連結部変形制御技術の開発によって解消し、実用的なシステムとして完成させたものである。

選評

本技術『BILMUS』は、建物自体の質量を制振装置（TMD）として活用する画期的な制振システムであり、超高層建築が抱える地震・長周期地震動への課題を根本から解決した点を高く評価する。

従来のTMDは設置可能な錘の質量に限界があったが、本技術は上層階と下層階を構造的に分離し、上層階の建物質量を活用することで大きな制振効果を実現している。特に、強風時の変位を抑える「ウインドロック」や極大地震用のストッパー「e クッション」の開発により、建物機能を維持しつつ実用化に至った技術的成果は極めて大きい。

「BLUE FRONT SHIBAURA」での実装では、地震時の揺れを最大50%低減させつつ、18mスパンの柱の少ない開放的な大空間を創出しており、安全性と建築的自由度の両立を実証している。巨大地震へのレジリエンス向上に加え、資材削減による環境配慮をも両立させた本技術は、次世代の都市インフラを支える汎用性の高い新技術として、技術賞に極めて相応しい。

(齊藤 大樹)

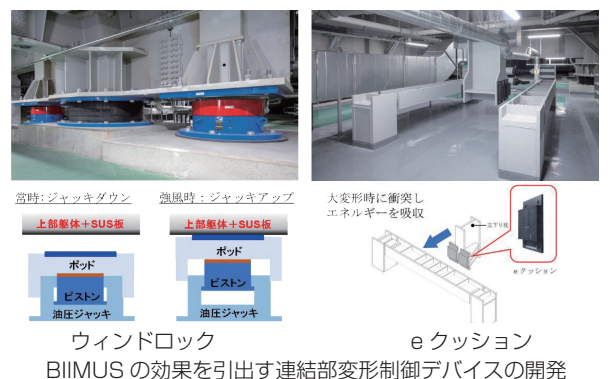
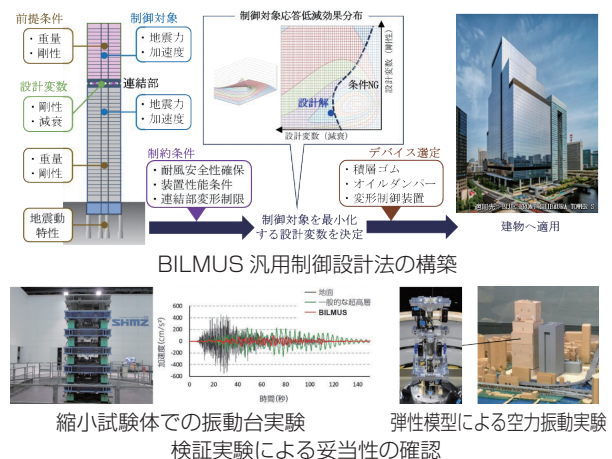
システム及び特記事項

建物自身をマスダンパーとして活用する考え方は、TMD理論に則る形でこれまでも提案されている。一方、上部構造が単なる錘ではなく建物であるため、本来の効果を発揮するにはTMDとは異なり上部構造の応答を含む様々な条件を勘案した設計が必要となる。

本技術では、質量比の確保に伴う上層階の振動モードの影響等を考慮した、このシステムに対応する汎用的な制御設計手法を構築した。また、実証実験を含む様々な検証によって当該手法の妥当性を確認した。これにより、本技術が制振効果を発揮するための最適解を建物特性に応じて導出し、同時にどのような建物に有効かの適用範囲を提示することを可能としている。

さらに、制振効果を引き出し実用性を高める変形制御デバイスとして、耐風ロック機構「ウインドロック」、安全装置「e クッション」を開発した。これらによって、暴風時等に連結部を貫通するELV等の変形を抑え建築機能を保持しながら、地震時には連結部を適切に稼働させる制御を実現した。

本技術を超高層複合建物に実装し、その実用性を示すとともに自由度の高い空間を提供した。長周期地震動等の更なる甚大化が予想される中、近年の超高層建物はますます多様化・大規模化し、求められる性能も一層高まっている。本技術はこうした状況に対する新たな選択肢の提示である。





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：福岡県福岡市博多区博多駅前 3 丁目
 建築主：中央日本土地建物株式会社
 設計：株式会社竹中工務店
 大阪一級建築士事務所・九州一級建築士事務所
 施工：株式会社竹中工務店 九州支店
 建築面積：1,052.52m² 延床面積 13,041.12m²
 階数：地上 13 階、地下 2 階 高さ：59.2m
 構造種別：S・RC・SRC 造

選評

中央日土地博多駅前ビルの最大の評価点は、中間免震技術を核とした、サーキュラー建築の先駆的なモデルを提示したことにある。通常、築年の経過したビルは耐震性能の不足などから解体・新築する道を選ぶことが多いが、このプロジェクトでは地下部分に加え、低層部の躯体をあえて残し、その上に免震層を設けて新築部分を積層させた。築 40 年の既存建物は 10 階建てだったが、13 階まで増築。上部構造の軽量化、エレベーター配置の工夫などで既存建物よりも床面積を増大させ、事業性を担保しながら安全性を向上させた。

免震技術による課題解決が、脱炭素への貢献と都市の魅力向上にも直結している。解体・基礎工事を最小限に抑え、建設時の CO₂ 排出量を大幅に削減した点は、脱炭素時代の建築を先取りしたものと言えるだろう。制振ダンパーの採用によって既存躯体の補強を最小限にすることで、1 階に開放的なピロティ空間も実現している。

審査過程では意匠面の評価などで異論も出たが、既存躯体の活用を単なる再利用にとどめず、高付加価値な資産へとアップサイクルした取り組みは意欲的であり、作品賞にふさわしいと評価した。（佐々木 大輔）

建築主：中央日本土地建物株式会社

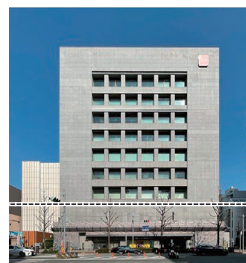
設計者：株式会社竹中工務店 高山一斗、須賀定邦、柳澤信行、
奥野雄一郎、東佑哉

施工者：株式会社竹中工務店 原野茂

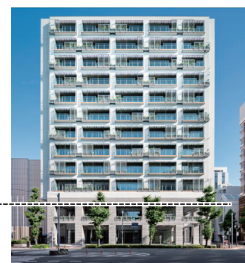
免震・制振化した経緯及び企画設計等

本建物は JR 博多駅から徒歩 5 分の市街地に位置するオフィスビルである。建築コンセプトとして「まちに魅力を与える」「安全安心で快適な労働環境を提供できるオフィス」「CO₂ 排出量を最小限に抑える環境配慮型の建物」を掲げた。

免震・制振技術を用いて 2F 柱頭以下の既存躯体を積極的に活用する計画により、これらのコンセプトを実現することができている。



既存建物



新築建物

既存建物と新築建物の比較（撮影：ナカサアンドパートナーズ）

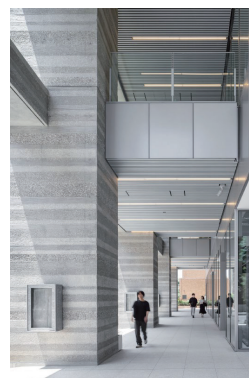
技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

10 階建の既存建物に対して、都市計画による容積率・高さ制限緩和を受けて新築建物は 13 階建としている。新築部の構造種別を RC 造→S+RC とすることで建物軽量化を図っている一方で、最高高さを上げること等により既存躯体の地震荷重の負担が大きくなるが、2 階と 3 階の間に設けた免震層および 1、2 階（既存躯体利用部）に設置した制振ダンパーの応答低減効果によってこの課題を解決している。

また、耐震壁付ラーメン構造であった 1、2 階は、耐震壁を撤去し純ラーメン構造に変更することで改修後にピロティとし、低層共用部分の魅力も向上させている。



（解体工事中）



（竣工時）

1 階ピロティ部分（撮影：ナカサアンドパートナーズ）



建物外観（撮影：株式会社エスエス 島尾 望）

建築概要

建設地：東京都品川区西大井 1-5-20
 建築主：株式会社ニコン
 設計：株式会社三菱地所設計
 施工：株式会社 安藤・間
 建築面積：11,369.96m² 延床面積 42,423.98m²
 階数：地上 6 階、高さ：33.16m
 構造種別：鉄骨造 一部鉄筋コンクリート造

選評

低層住宅が立ち並び周辺環境の中で、延べ床面積約 4 万 m² の大規模建築がどのように佇むのかは注目されたが、本建築は存在感を抑制しつつ、新たな低層オフィスのあり方を示す優れた成果となっている。長手方向には PC 合成スラブによる均質なオフィス空間が広がり、短手方向には多様な活動が交錯する場が展開されるなど、異なる性質が無理なく共存している。その背景には、免震構造の採用により実現した透過性の高いコアの存在があり、その効果が空間構成に的確に活かされている点は高く評価できる。

その他、敷地の高低差を活かした大階段やミュージアムの配置など、個別の条件や課題への対応が常に全体性の中で統合され、構造・意匠・機能性・周辺環境への配慮が高い水準で調和している。なお、免震スカートの意匠的处理（石畳）や最小限に抑えた免震ピットの高さなどの試みに関しては、長期的な検証を通じて、免震構造の発展に寄与することを期待したい。（小林 恵吾）

建築主：株式会社ニコン

設計者：株式会社三菱地所設計 中村俊介、岸澤竜之介、永田敦

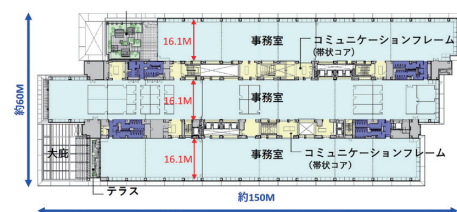
施工者：株式会社 安藤・間

免震・制振化した経緯及び企画設計等

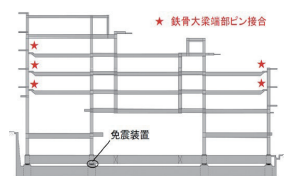
ニコンゆかりの地である品川区西大井の敷地にて、本社機能や R&D 機能を集約するプロジェクトである。地震時の安全確保はもちろん、地震後の事業継続性の確保に加え、企業ミュージアムの展示品の転倒防止など、多くの強み、利点があるため、免震構造を採用した。また、免震として地震力を低減することで、窓廻りとコアの両方の開放性を確保し、デザインと機能の統合を実現した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

オフィスフロアは、150m × 60m の広大な平面を積層しつつ、平面的な遠さや階による分断を解消し、部門を超えた交流を促すため、執務空間で帯状のコアを挟む計画とした。窓から取込んだ外光を内部で攪拌させる仕掛けとして、リブ付き PCaPC と鋼による合成スラブを新規に考案し、工期短縮も図った。スラブの窓側端部は折上げ、隣接する鉄骨大梁も同様に端部でテーパ形状として、均質な天井の空間構成とした。多くの大梁片端をピン接合にする場合、耐震建物ではコアにブレースを入れる等の耐震要素の確保が必要であるが、閉塞的なブレースはオフィス全体をつなぐ本建物の帯状コアには親和しない。地震力を低減できる免震構造だからこそ、コアの開放性は損なわずにテーパ大梁が採用可能となり、PC- 鋼合成スラブと調和して外部へ折り上がっていくオフィス空間を実現することができた。



建物平面図（4 階）



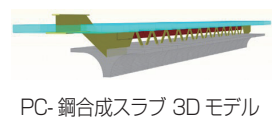
短辺方向 軸組図



鉄骨大梁と PC- 鋼合成スラブ端部



窓面のオフィス空間

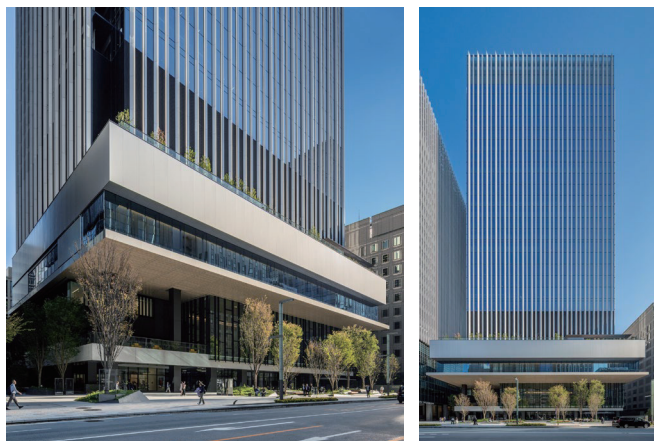


PC- 鋼合成スラブ 3D モデル



企業ミュージアム

（撮影：crossover digital imaging 御園生 大地）



建物外観（撮影：川澄・小林研二写真事務所）

建築概要

建設地：東京都中央区京橋 1-7-1
 建築主：戸田建設株式会社
 設計：戸田建設株式会社
 施工：戸田建設株式会社
 建築面積：4,679.32m² 延床面積：94,912.79m²
 階数：地上 28 階、地下 3 階 高さ：165.21m
 構造種別：RC 造、S 造

選評

地上 165m の超高層建築物での免震化を実現するため、心棒となる RC コアウォールとアウトリガー架構を組み合わせた新たな構造形式を採用するとともに、新規に開発した機構を含む複数種のダンパーを併用し、幅広い変位抑制性能を確保したプロジェクトである。

計画地は「アートと文化が誰にも近い街」を掲げる京橋彩区に位置し、周辺施設と連携したアートイベントの開催や憩いの場となる広大な前庭を創出するなど、新たな魅力を備えた街区形成が成されている。これら前庭のほぼ全域を免震上部に設定した点も本計画の大きな特徴であり、地震時の床 EXP.J の挙動に対する安全性確保など、今後検討すべき側面はあるものの、都心の密集地において超高層ビルをセットバックして配置し、免震構造を活かした足元廻りの開放性と街区レベルでの免震という、今後の都心防災の在り方に示唆を与える計画と言える。

免震構造と RC コアウォールの組合せにより低層部の高い自由度を確保するとともに、高層部においてはスレンダーな構造架構と設備フィンがリズムカルに調和した外装デザインを形成しており、高度な技術力と意匠・構造・設備が融合した総合的に極めて優れた建築作品として高く評価される。

（大西 宏治）

建築主：戸田建設株式会社

設計者：戸田建設株式会社 川又哲也、太田行孝、得能将紀、中川康弘

施工者：戸田建設株式会社 庄司大輔

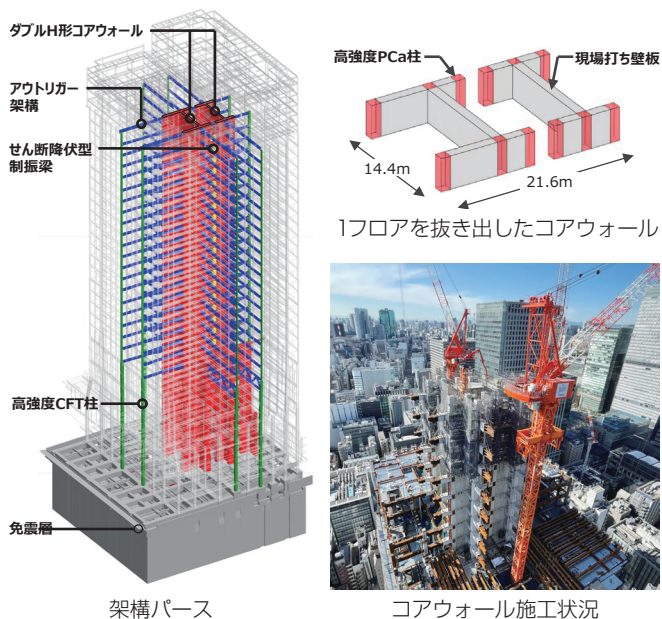
免震・制振化した経緯及び企画設計等

地域の防災活動拠点としての「想定外を起こさない」強靱な耐震性能に加えて、地域のブランド力を向上させ、イノベーションが起きる場所として人と街、街とビル、芸術文化の新旧をつなぐ建築が求められた。165m の超高層建築物にコアウォール免震構造を採用し、最高クラスの BCP 性能と低層部の重層する吹き抜けや広場を象徴する大庇など開放的な自由な空間を計画し、事業コンセプトを実現した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

平面形状がダブル H 形の RC コアウォールを心棒として配置し、アウトリガー架構を併用して水平剛性と耐力を確保している。その結果、免震層で約 90% のエネルギーを吸収し、L2 および、L2 の 1.5 倍の地震時に応答加速度を 200gal 以下として事業継続性能を確保している。また、RC コアウォールが地震力の大半を負担するため、低層部の大梁が少ない吹き抜け空間や外周部柱の存在感が希薄なオフィス空間を実現している。

免震材料には、入力レベルに応じた幅広い性能向上を狙って、2 種類のオイルダンパーを開発し適用した。セミアクティブオイルダンパーは、レベル 2 地震時の応答値を増大させることなく中小地震での応答加速度を低減させ、自己復元型トリガー機構付きオイルダンパーは、レベル 2 を上回る巨大地震時の免震層変位の抑制を図るものである。





建物外観（撮影：有限会社久礼写真事務所 小川 伸夫）

建築概要

建設地：東京都千代田区神田駿河台 3-11-5
 建築主：学校法人中央大学
 設計：株式会社日建設計
 施工：大成建設株式会社
 建築面積：約 980m² 延床面積 約 15,640m²
 階数：地上 20 階、地下 1 階 高さ：90.9m
 構造種別：鉄骨造（地上）、鉄筋コンクリート造（地下）

選評

都心部のキャンパス計画は、敷地条件の様々な制約から単なる事務所計画との差異をどのように与え、キャンパスとしての特徴を成立させるかが、建築作品としての大きな課題になるのではないかと期待を込めた。法科大学院やビジネススクールという独特の教育形態も学生の動線や、学舎としての社会との関わりを建築の計画要素として、単に教室を詰め込むだけの建物づくりではなく、免震構造を採用したメリットをどのように魅力的に展開しているかを常々評価対象としたいと考えている。

最近特に免震構造の EXP. J の安全性について、当作品賞審査委員会においても議論の機会が増えたが、敷地の勾配を生かして空間的に植栽とピロティ及びエントランスホールを連続させながら、街に開かれた空間としてブリッジを渡り集約した入口とすることで、建物の入口としての通過儀礼がキャンパスだけではなく、セキュリティを保ち、安全な EXP. J を成立させた良き事例になるのではないかと感じた。また、大パンによる教室のフレキシビリティは当然としても、積層する教室間の移動はエレベーターや味気ない避難階段の移動とはせず、眺望の良いファサードの大梁を抜いて吹き抜けを作り、大教室からの大人数の退出、自習室への移動を円滑にしながら、免震のメリットを生かして移動空間に魅力を与えている努力を評価したい。（小林 仁）

建築主：学校法人中央大学 井上英明
 設計者：株式会社日建設計 大場彬史、小野潤一郎、山本裕
 施工者：大成建設株式会社 市川直樹

免震・制振化した経緯及び企画設計等

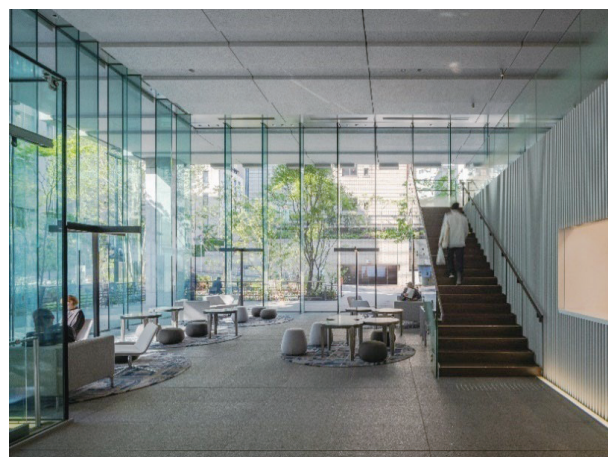
中央大学駿河台キャンパスは、長らく教育の場及び卒業生の活動の拠点であり、かつ近隣住民との共生も育んできた。その歴史を踏まえて都心型の超高層キャンパスを整備するにあたり、多岐に亘る室形状の用途を積層する建築計画、および地域の利便性や環境の向上を図る低層部の公開空地・エントランス空間と調和した構造計画が求められた。それに対し、免震構造の採用で高い耐震性を確保しつつ、合理的な架構計画により転倒抵抗を高めることで免震の弱点である引抜力の発生を抑制し、かつ主架構部材の塑性化に伴う平面・高さ方向の剛性の変動が生じにくい特長を活かした構造計画により、魅力的な機能と空間を有する建物を実現した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

短周期領域のスペクトルが卓越する地盤特性を鑑みて免震構造を採用し、地下 1 階柱頭免震とすることで既存地下躯体の解体および掘削を最小限とし、コストを抑制した。

建物の平面形が約 32m × 22m と比較的コンパクトであり、かつ各階で間仕切り位置が大きく異なる建築計画において、免震により建物に作用する地震力を低減したことを活かし、H-1000 の大梁を井桁状に設けることで約 22m × 22m の無柱空間を実現した。同時に、この井桁梁で建物の外周構面に常時の鉛直力を集約することで、建物の転倒抵抗を高めた。

また、エントランス直上の 3 階の外周構面に、上下弦材と斜材からなる 1 層使いの軸力乗換架構を設け、低層階の柱および免震支承を建物隅部に集約することで、免震支承に引抜力が生じることを抑制しつつ、低層部の公開空地およびエントランスを開放的な空間とした。



エントランス内観（撮影：高栄 智史）

建物の耐震性と微振動性能を両立する マルチステップ免震®



概要

生産施設においても、発災後の事業継続の重要性が認識されるようになり免震構造の採用が増加している。半導体をはじめとする超精密機器製造施設では、地震時の耐震性に加え、常時の微振動を制御する高い性能が要求される。これは、水平方向に揺れやすい免震構造の基本的性質と相反する要求であり、両者の両立が求められていた。

「マルチステップ免震®」は、通常の積層ゴムに加え、剛すべり、弾性すべりの既存の3種類の免震デバイスを最適に組み合わせることで、多段階の復元力特性を持つ免震システムである。常時や微小地震時には耐震構造と同等の挙動で微振動性能を維持し、中小地震以降では免震効果を発揮するとともに、免震層の滑り出し時の過大な加速度入力を抑制する独自のメカニズムを確立した。

選評

「建物の耐震性と微振動性能を両立させるマルチステップ免震」は、地震国日本において長年両立が困難とされてきた耐震性能と微振動性能という相反する要求に対し、技術的に極めて完成度の高い解決策を提示した点で高く評価できる。積層ゴム、剛すべり支承、弾性すべり支承という複数の免震デバイスを最適に組み合わせ、揺れの大きさに応じて段階的に応答特性を変化させる独自の仕組みにより、常時の微振動抑制と地震時の確実な免震効果を両立している。加振試験やFEM解析、実建物での検証を通じて性能を実証し、約20年にわたり国内外14棟、延床100万㎡超の実績を積み重ねてきた点は、技術の信頼性と汎用性を明確に示すものである。近年、日本政府は2040年に国内半導体売上高を40兆円規模へ拡大する目標を掲げており、超精密生産を支える建築技術の重要性は一層高まっている。本技術は、半導体関連施設の安定操業と事業継続性を支える基盤技術として、社会的意義も極めて大きく、業績賞に相応しい成果がある。

(城所 竜太)

清水建設株式会社 杉山友也、福喜多輝、片山浩一

システム及び特記事項

「マルチステップ免震®」は、地震時の耐震性能と日常の微振動性能という相反する要求を両立させる免震システムである。一般的な積層ゴムで構成される免震システムでは、風などの微振動により生産装置にエラーを引き起こしていた。本免震システムは、この課題を解決するため、通常の「積層ゴム」、微小な揺れを抑制する「剛すべり」、免震層の動き出しを滑らかにする「弾性すべり」の既存の3種類の免震デバイスを適切に組み合わせた免震システムである。

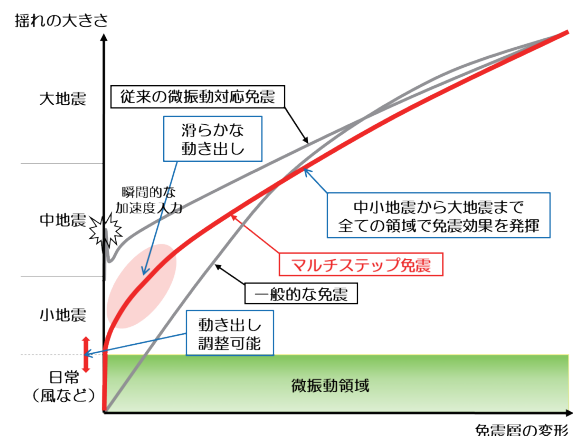
日常の風荷重などの微振動領域では、免震層の動き出しを止め、耐震構造と同等の挙動をすることで微振動性能を確保し、生産装置を微小な揺れから守る。中小地震時から、剛すべりが滑り出し、免震効果を発揮して建屋内の製造装置の損傷を防ぐ。

積層ゴムと剛すべりで構成される従来の微振動対応免震では、地震時に剛すべりが急激に滑り出し、その瞬間にパルス的な加速度入力を発生させる課題があった。本免震システムは、剛すべりと弾性すべりが段階的に滑り出すことで、免震層の滑らかな動き出しを実現し、パルス的な加速度入力を低減して、建屋内の生産装置を守ることができる。

開発にあたり、加振試験によりその有用性を確認し、微振動対応免震システムとして、清水建設技術研究所内のクリーンルーム棟での初適用を皮切りに、2006年の開発以来20年間で全14棟、100万㎡を超える実績を積み重ね、その効果を実証している。

	積層ゴム	剛すべり支承	弾性すべり支承
免震装置			
特性	水平力を受けると積層ゴムが変形する	摩擦抵抗力を超えるまでは水平力を受けても水平方向には変形しない	水平力を受けると積層ゴムが変形し、摩擦抵抗力を超える水平力ですべり出す

3種類の免震装置の特性



揺れの大きさに対する免震層の変形イメージ