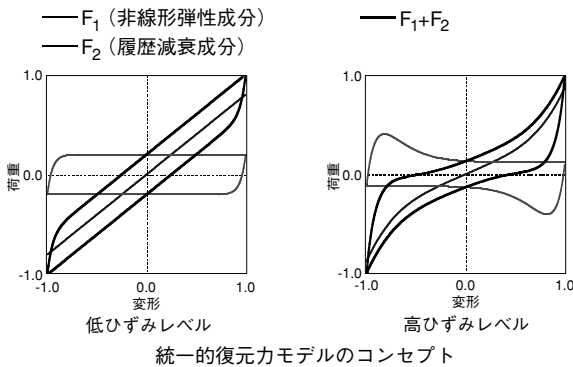


北海道大学：菊地 優、山本祥江
清水建設株式会社：北村佳久、猿田正明、田村和夫



統一的復元力モデルのコンセプト

概要

本技術は、履歴減衰を有する様々な免震部材の復元力特性を高精度に、かつ統一的に表現できる復元力モデルである。拡張性の高い数学的表現方法を用いたことにより、現在では高減衰積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、免震鋼棒ダンパー、免震U型ダンパーなど、国内で用いられている履歴減衰型免震部材の大半を網羅するに至る。種類の異なる免震部材の復元力特性を統一的に表現できることは、免震部材の選択における復元力モデルの使い分けという煩雑な手順を不要とし、新たに開発された免震部材の性能をタイムリーに設計実務に反映できる。本技術を適用して設計された免震建物は現時点で52棟に達する。

選評

免震構造は、免震部材の履歴特性により減衰効果を適切に評価することが構造設計上きわめて大切であり、特に非線形の復元力特性の数学的表現は工夫を必要とするところであった。

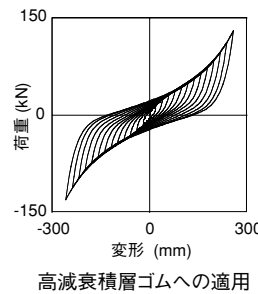
本開発技術は、多種多様な免震部材に対して、統一的な復元力モデルを与えることの意義を認識した上で、適切なパラメータを導入し、非線形弾性成分と履歴成分に分離する形の数学的モデルによる表現に成功しているものである。基本的な構成については、実験的実証も含めて10年前に完成しているものであり、学術的にも評価を得ているが、その後の拡張性、適用性を、低ひずみレベルから高ひずみレベルまでにわたり、多くの具体的な部材について検証している。

高減衰積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、免震鋼棒ダンパー、免震U型ダンパーなどに対し、いずれも従来のバイリニアモデルに比べて高精度な適用性を示している。さらには多質点系の地震応答解析においても当モデルの優位性を示しており、実際の数多くの免震建物の設計に用いられている。汎用性あるモデルの開発とその後の実務における適用は、教育的な側面を有し技術開発の普及・向上と言う点からも高く評価でき、技術賞に値すると判断された。(神田 順)

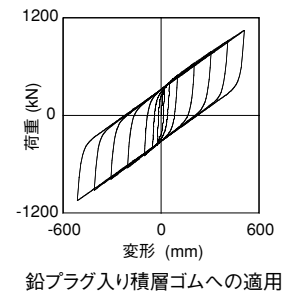
特記事項

履歴減衰型免震部材は、大容量の減衰が安価に得られる利点を有し、非常に多くの免震システムに採用されている。いずれも非線形の復元力特性がもたらす履歴吸収エネルギーによって減衰性能を発揮させるものであり、これを力学モデルで表現するには、復元力特性を適切に評価する履歴則が必要となる。現状では免震部材に応じた力学的特性の評価ならびに力学モデルの適用が行われているが、本技術はこれらを統一的に表現することができる。これを可能としたのは、拡張性に富む復元力の数学的表現方法を見出したこと、および免震部材の復元力指標の共通化を行ったことである。

本技術は現在様々な振動解析システムで稼動しており、地盤-杭-建物系の非線形相互作用、立体フレーム弾塑性などを考慮した免震建物の高度な地震応答解析が可能である。著名な免震建築の設計にも数多く適用され、研究開発、設計実務、教育現場において活用されている。本技術が多種多様な免震部材への適用実績を重ね熟成できたことは、モデルの構築のみならず免震部材メーカーからの多大なご協力を頂いたことにあります。ここに、ご協力頂いた方々に厚くお礼申し上げます。



高減衰積層ゴムへの適用



鉛プラグ入り積層ゴムへの適用



静岡銀行草薙ビル
(撮影：エスエス名古屋)



大阪市中央公会堂
(撮影：Ian D. Aiken)



慶應義塾大学日吉来往舎
(撮影：松岡満男)



テブコ豊洲ビル
(撮影：中西啓二)

フリープラン・長寿命・高耐久を実現した日本初の超高層PCaPC免震建物

鹿島建設株式会社：上野 薫、堀内一文、丸山 東
 荒木修治
 小田急建設株式会社：武菱邦夫



小田急海老名分譲マンションB・C街区 (撮影：川澄建築写真事務所)

建築概要

建設地：神奈川県海老名市中央1丁目
 建築主：小田急電鉄株式会社
 用途：共同住宅
 設計：鹿島建設株式会社、小田急建設株式会社
 施工：鹿島・小田急・東急建設共同企業体
 竣工：2004年7月
 建築面積：C街区 1,031.21㎡ B街区 1,423.07㎡
 延床面積：C街区 15,148.99㎡ B街区 20,932.24㎡
 階数：C街区 地下1階 地上23階 塔屋1階
 B街区 地下1階 地上22階 塔屋1階
 軒高：C街区 76.6m B街区 74.5m
 最高高さ：C街区 89.0m B街区 86.9m
 構造種別：プレキャストプレストレストコンクリート(PCaPC)造+免震構造
 免震装置：鉛プラグ入り積層ゴム(一部滑り支承)

選評

近年、都心居住の人気の高まりと共に高層集合住宅が急増している。そうした中で居住者の安心安全や長寿命化建物を求める意識は益々高まっている。本建物は、全住戸南向きを重視し敷地の制約から板状の平面形状であるが、スパンを飛ばしフリープランへの対応や高耐久・高品質を確保する観点からPCaPC圧着工法を採用した免震構造である。建設業の課題でもある地球温暖化への積極的対応策として、構造部材のPC化はベニヤ型枠削減による森林保護や現場廃棄物の削減として有効な手段でもある。

元来プレストレスを導入したPCaPC構造は、弾性域が広く地震時のひび割れが発生しにくく残留変形も残りにくい構造といえる。非常に優れた復元力特性を持つが、一般のRC造に比べ躯体での履歴減衰が少ないという性質も合わせ持つ。従って建物の高層化にはなかなか活用されてこなかった。本建物は、PC構造の残留変形が小さい点や剛性が低下しにくいことを積極的に利用し、履歴消費エネルギーが小さい欠点の改善策として、地震時に高い安全性が見込める免震構造を組み込んで高層化を実現させている。施工面でも「セルフクレンジング天井クレーンシステム」を開発し、施工合理化と安全で効率的な揚重・建方により工期短縮の工夫が図られ、PC化対応の施工技術も確立させている。日本初の「PCaPC構造+免震構造」超高層集合住宅の事例となる複合構工法技術として技術賞として評価された。(村井 義則)

システム及び特記事項

超高層板状である本建物にPCaPC造+免震構造のシステムを採用することで、「ロングスパン梁によるフリープラン対応」、「部材工場生産による高品質」、「高耐久躯体と免震耐震性による長寿命」、「ベニヤ型枠不使用による環境配慮」、「現場作業・工種の減少による省力化・工期短縮」など多くのメリットを生み出すことができた。これらを実現できた技術的要因は以下の通り。

1. PCaPC造+免震構造による複合メリット

PCaPC造は、高い復元性を持つ一方でエネルギー吸収能力が少ないという弱点があったが、それを免震と組み合わせることで減衰性を付加し、超高層建物への適用を可能とした。

2. 弾塑性設計による部材のスリム化

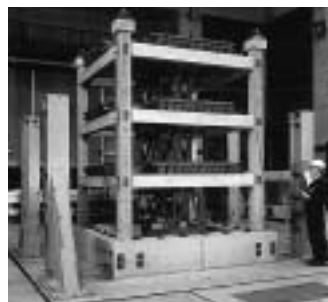
一般のPCaPC造は、弾性解析に基づく応力を係数倍したものに対して設計がなされており、高層化に対しては構造断面が過大となる傾向にあった。今回、弾塑性を考慮する設計により、プランの枷とならない経済的な断面が設定できた。

3. 上部非線形弾性モデルと免震層HDモデルによる振動解析

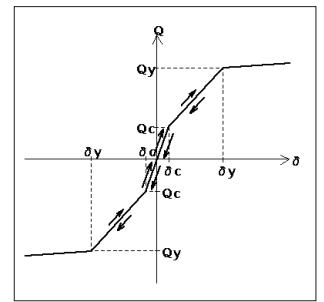
上部PCaPC造の履歴特性は、高復元性とエネルギー吸収の少ない特性を考慮した非線形弾性モデルを設定。LRBのモデル化には実際の履歴ループ形状と合致度が高く、鉛降伏折れ点付近の剛性急変による実際以上の高次モード励起を抑える曲線型履歴モデル(修正Hardin-Drnevichモデル)を適用し応答解析精度を高めた。

4. 振動実験によるPCaPC造建物性状の把握

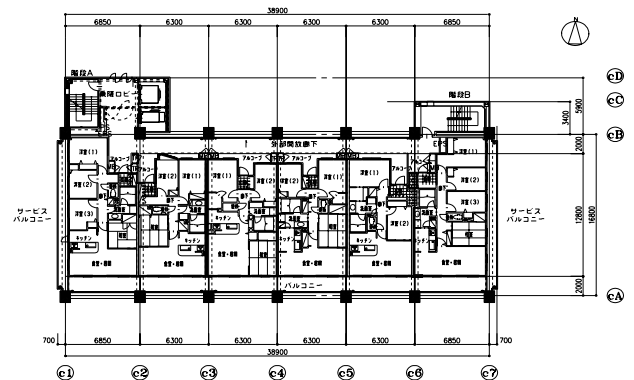
PCaPC造建物をモデルとした振動台実験を行い、高復元性と履歴エネルギー吸収能力などを確認、今回実施の設計モデルの妥当性を検証した。



PCaPC 振動台実験



PCaPC 非線形弾性モデル



基準階平面図 (C街区)

建築主：マブチモーター株式会社 亀井慎二
 設計者：日本アイ・ピー・エム株式会社 関 幸治
 株式会社日本設計 三町直志、大坪 泰
 施工者：清水建設株式会社 早川 修



建物外観（南側・エントランス）

建築概要

建設地：千葉県松戸市松飛台430番地
 建築主：マブチモーター株式会社
 設計：日本アイ・ピー・エム株式会社／株式会社日本設計
 施工：清水建設株式会社
 竣工：2004年9月
 建築面積：4,782㎡ 延床面積：19,169㎡
 階数：地上4階、地下1階、高さ：19.81m
 構造種別：SRC、S、PC造

選評

本建物は、1,500㎡の無柱・執務室間を東西に4層重ね、その中央にアトリウムを配した計画となっている。1,500㎡の無柱空間は33.6m×1.6mをユニットとするジョイント形式プレキャストによるプレストコンクリート造の床構造と外周部に配置されたCFT柱で構成されている。床を見上げると、このリブ付きジョイントプレキャスト梁がそのまま天井面となっており、ストランドケーブルに沿った穏やかな曲面とそれを囲むリブが間接照明の反射面と相保って、広々としているが、構造体そのものが温かく柔らかな空間を創出している。又、床には設備ダクトが埋設され、躯体蓄熱を行うシステムとしている。

本建物は免震構造とすることで、意匠、構造、設備システムを効果的に融合させ、フレキシビリティのある大空間と同時に、高い耐震安全性を実現している。

更に構造躯体兼仕上げ材となる大型プレキャスト部材を見事に一体化させた施工技術が、より品質を高めている。

従来の免震建物では、耐震性能に注力した建築計画が多々みられるが、本建物は地震荷重から解放された建物の建築空間の可能性を示唆した1つの好例である。建築空間の創出においても免震構造の有効性を示し、免震構造の適用拡大に貢献すること大と認め、評価するものである。（小幡 学）

免震化した経緯及び企画設計等

マブチモーター本社棟に求められたものは、創造（Creation）と協業（Collaboration）の最大化であり、その実践には組織だけでなく物理的にも空間的にも一体化していることが望まれた。その思いを、超大空間・立体型ワンオフィスという形で実現させるため、本建物を免震化することを建築主に提案し、採用されるに至った。

結果として、①本社ビルとしての安全性・信頼性 ②PC床版による33.6mの大スパン執務空間 ③中央部に大きな吹き抜けアトリウムのある平面計画とエキスパンション無しの一休空間 これらすべてを実現するに至った。

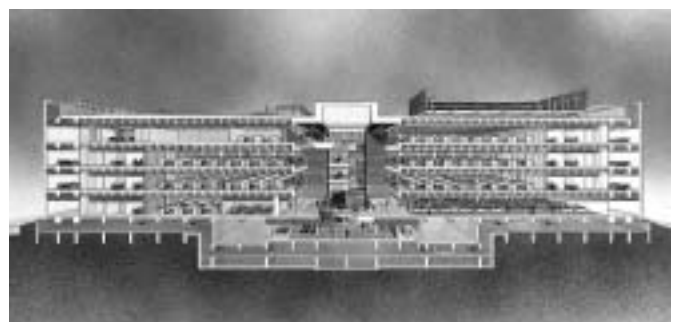
技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

本建物は、免震構造を採用し建物を地震力から開放することで、執務空間の床を33.6m大スパンのプレキャスト・プレストレストコンクリート構造、さらにその緊張力で床構造（PC床版）と建物外周に配置した鉄骨柱（CFT柱）を一体化したハイブリッド構造としている。大スパンPC床版は、そのストランドケーブルに沿った穏やかな曲面形状を建築天井のデザイン表現として、また設備の床躯体蓄熱として機能している。

執務空間は、前例のない大スパン床構造（1,500㎡）となっているため、床振動に対する執務環境の確保さらには直下型地震（上下地震動）に対する安全性の確保を目的として、着脱・移動可能なダンパーを開発、これを設置している。



執務室内観（PC構造の天井と間接照明）



建築断面パース（東西断面）



建物外観 (撮影：新建築社)

建築概要

建設地：東京都江東区越中島3丁目4番17号
 建築主：清水建設株式会社
 設計：清水建設株式会社
 施工：清水建設株式会社
 竣工：2003年10月
 建築面積：1,919㎡ 延床面積：9,634㎡
 階数：地上6階、高さ：27.8m
 構造種別：鉄骨造、一部鉄筋コンクリート造

選評

清水建設技術研究所棟はスーパーストラクチャーとも言える架構を6本の柱によって支えられ、柱頭部に免震装置を搭載している。地下構造物が展開する日本の都市における〈基礎梁なしの独立柱と上部巨大架構の提案〉として、この建物のコンセプトがつけられており、それは十分に説得力がある。柱スパンは32m飛んでおり、それが広々とした1階ピロティ空間を形成している。ケージ状の上部架構は20m×80mの無柱空間を実現しており、中央にある巨大な吹き抜けによって研究所各スペースは緩やかに結合されている。免震装置のおさまりを含め、ディテール的にはシャープな造形をつくり出している。本施設のような建築のさまざまな実験や研究が行われる施設は、小学校、中学校、あるいは地域の総合学習の見学施設として十分に役割を果たすことが期待される。その点から言えばディテールとして、こどもに対する視点が少し欠けていることは残念に思える。しかしながら総合的に見れば今年の免震構造協会賞としてふさわしい作品であることは疑いもない。

(仙田 満)

免震化した経緯及び企画設計等

老朽化した旧本館の機能移転、今後の敷地構内の再整備計画の端緒となる建設計画である。当研究所は狭隘ながらも都心敷地に立地しており、都心立地を有効に生かすべく、社会・顧客との「知」の交流と創造の場を志向した。

建設にあたり、狭隘な都心敷地が抱える課題、敷地の有効・高度利用、既設インフラへの対処等を同一視し、「都市再生」をテーマに計画を行った。ケージ状ストラクチャーと柱頭免震による「大架構柱頭免震構造」の採用により、大地の開放、すなわち都心敷地での既存インフラを「跨ぐ」ことによる上部空間の有効利用と20m×80mの無柱空間を実現した。

技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

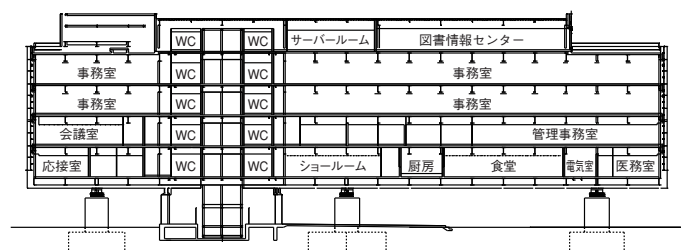
本建物の建設地は軟弱地盤であることから、免震効果を最大限に発揮するために、免震装置の台数を最小限にして長期面圧を大きくし、固有周期を長くした。

コンセプトである「都市再生」に合わせて、下部空間の使用範囲を最小限とするため、免震装置を支える柱は独立基礎として地中梁を無くした。更に、施工段階においても鉄骨の地組みによる建方を行う等、ピロティ部分に既存インフラがあることを想定した。

上部のメガトラス架構については、免震により水平力を小さくしたこと及び鉛直力に抵抗する主要部材を限定することにより、火災時に建物が崩壊しないことを建物全体で評価し、主要部材以外の部材を無耐火被覆とした。更に一部免震装置も耐火被覆を無くしている。構造部材や免震ゴムには加速度計、変位計等が設置され、地震時の状況をモニタリングしている。より多くのデータを収集することで、今後適用される免震建物への技術展開を行っている。



ピロティ (撮影：新建築社)



断面図

設計者：株式会社菊竹清訓建築設計事務所 松里征男
 株式会社久米設計 千馬一哉、油田憲二
 施工者：鹿島建設株式会社 大野隆久
 大成建設株式会社 加藤幸信



建物全景 (撮影：大神設計工務)

建築概要

建設地：福岡県太宰府市石坂
 建築主：文化庁(文部科学省)、福岡県、(財)九州国立博物館設置促進財団
 設計：菊竹・久米設計共同体
 施工：1工区 鹿島・間・高松JV
 2工区 大成・西松・松尾JV 他 空調・衛生・電気・昇降機 各JV
 竣工：2004年3月
 建築面積：15,205㎡ 延床面積：28,798㎡
 階数：地上5階、地下2階、高さ：36.1m
 構造種別：上部架構：鉄骨造、下部架構：鉄骨鉄筋コンクリート造
 屋根架構：鉄骨造

選評

東京、京都、奈良に続く4番目の国立博物館として計画された九州国立博物館における建築計画上の課題は、大地震や台風などに対して、人命、展示物、収蔵物を安全に守りつつ、同時に全体を一体のシェルターのような大空間を内包する形態でまとめることだったという。

この課題に対して、雲とも山とも捉えられるような大架構の大屋根と、地盤と一体化した第一層で囲われた、いわば外殻を耐震構造とした上で、そのシェルターの中に包み込むように、展示・収蔵を中心とした博物館の中核部分全体を免震構造として納めるという、「入れ子」の手法が採用された。これはロケーション、傾斜する地形とスキップ状の断面構成、デザイン意図、構造的合理性、コスト等を総合的に考えた上で採用された独創的な構造形式である。

多種多様な木材の組合せで独特の暖かさと特異な面白さが醸し出された巨大空間のロビー、免震構造の上部架構を貫通して屋根の大架構を支える二本の耐震構造の白い中央支柱とそのクリアランス処理、南北面のダブルスキン・カーテンウォール部分の免震クリアランス利用、反射ガラスの風景映りこみによるスケール感の緩和など見所の多い建築である。

この建物は、免震構造を含む合理的な構造計画によってはじめて可能となった、きわめて独創的な建築作品と考えられる。(六鹿 正治)

免震化した経緯及び企画設計等

本建物は、福岡県太宰府の地に四番目の国立博物館として、「日本文化の形成をアジア史的観点から捉える」というコンセプトで計画された。

発注者からの設計と条件、「大地震時の人命の保護に加え、展示資料や収蔵資料の転倒による破損防御、収蔵庫の機能保持」。建築計画としての、「地形の勾配を利用したスキップ状の断面構成と、建物全体を曲面形状シルエットの外殻で覆う形体の実現」。これら二点の要件を実現することが、本件の構造計画の骨子であった。要件を満たす形態を求めて試行錯誤を繰り返し、博物館機能の部分を免震構造とし、地盤と一体となった第一層と屋根架構で覆われた耐震構造のシェルターの中に納めてしまう構造システムに辿りついた。

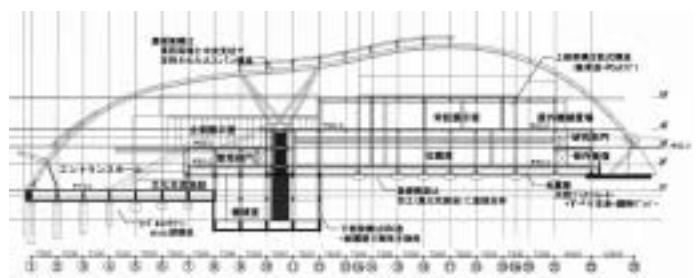
技術の創意工夫、新規性及び強調すべき内容等

博物館機能(免震構造部分)の構造種別を、コンクリートから発生するアンモニア成分の収蔵物への悪影響を極力排除するために鉄骨造とし、床スラブにはPCa版、最小限に止めた現場打ちコンクリートには低発熱ポルトランドセメントを採用した。

比較的、軽量柔構造の範疇の博物館機能部分においての地震時応答加速度抑制のために、天然ゴム積層ゴム、弾性すべり支承、鋼棒ダンパーにより構成される免震システムを採用した。構造物としてだけでなく、生きた建築物としての免震構造を目指し、ダブルスキンの緩衝空間の免震クリアランスとしての有効利用、利用者導線に相対する免震EXP.Jの箇所数の限定などを実施した。



建物内観 (撮影：大神設計工務)



断面構成図