

小田急海老名分譲マンションB・C街区(VINA MARKS)

鹿島建設
丸山 東



はじめに

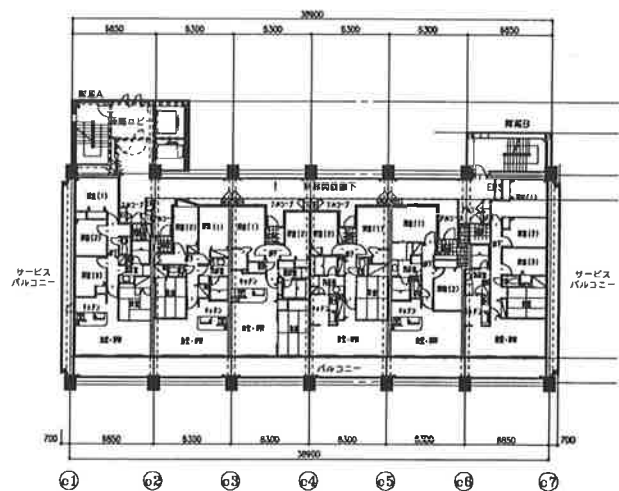
超高層による市場へのアピールと立地の地域性を考慮した南向き住戸の重視、敷地形状、そして高い安全性といった観点から、超高層板状免震マンションとなった本建物は、小田急線海老名駅前に22階と23階のツインタワーとして建築中である。C街区に建つ先行施工のEAST棟が129戸、B街区のWEST棟が184戸で全313戸が全て南面住戸となる分譲マンションである。



建物パース

建築物概要

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
設計・監理	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
建物用途	共同住宅
延床面積	C街区15,148.99㎡ B街区20,932.24㎡
建築面積	C街区 1,031.21㎡ B街区 1,423.07㎡
建物規模	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 74.50m
基準階階高	C・B街区共3.1m
工期	C街区 2002年4月～2004年2月 B街区 2002年6月～2004年7月
構造形式	2階～R階：プレキャスト(PCa)プレキャスト トコンクリート(PC)造 基礎～1階：鉄筋コンクリート造



図一 基準階平面図 (C街区EAST棟)

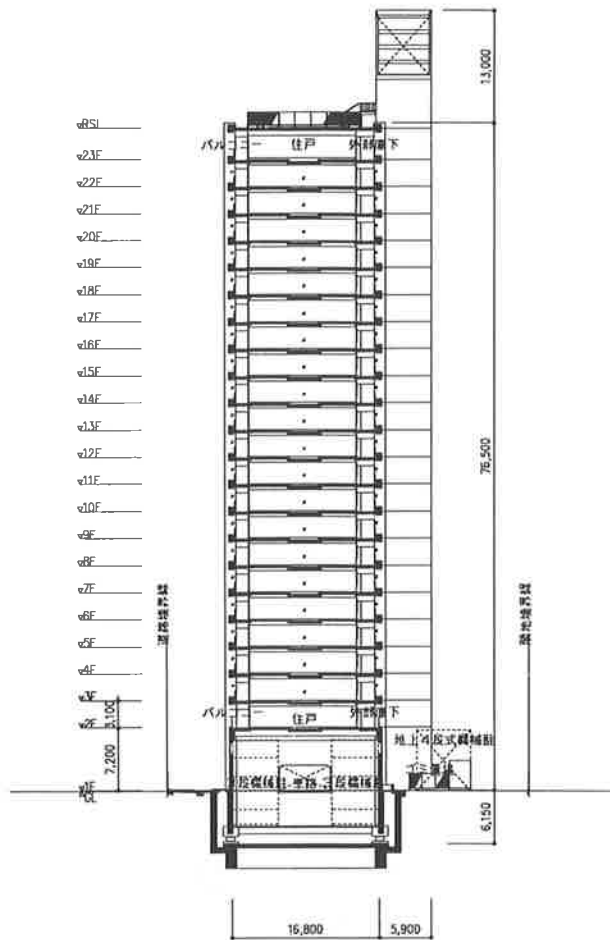


図-2 断面図 (C街区EAST棟)

2. 構造概要

今回の計画において、特徴として挙げられるのはPCaPC造と免震構法を組み合わせ採用したことである。今回2階より上の躯体に採用したPcaPC造は、予め工場で作成された柱、梁などのPca（プレキャスト）部材を現場に持ち込みPC鋼材で圧着接合し、躯体を構築していく工法であり、多くのメリットを持つ構造である（図-3参照）。工場生産の柱梁部材は高品質となり、高強度・高密度コンクリートを使用するため、耐久性に優れる。これらの部材を現場にてPC鋼材で圧着接合していくため、配筋・型枠作業、コンクリート打設作業を大幅に削減でき、工期短縮が可能となる。従って、高品質な建物を、短工期で実現出来る。

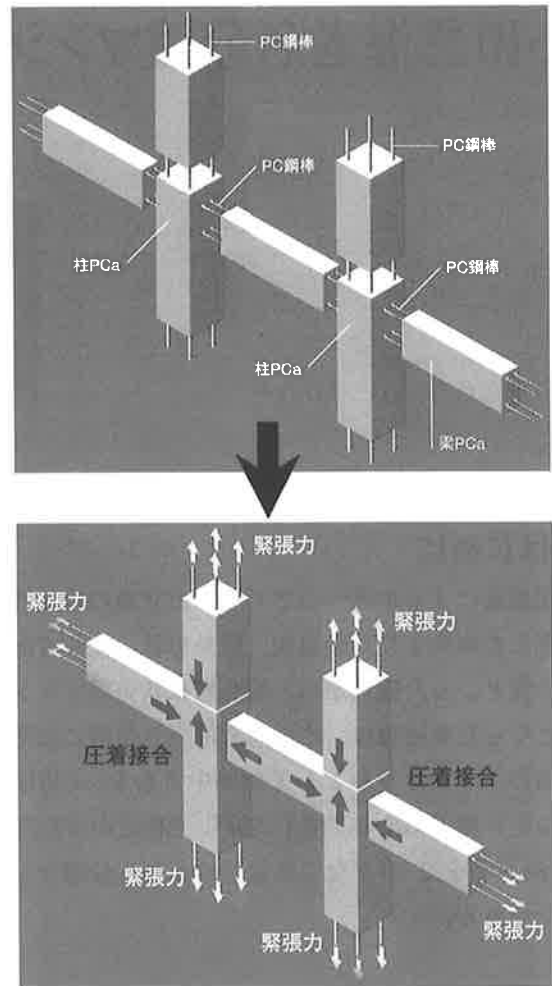


図-3 PCaPC造概念図

PCaPC造の建物はプレストレスにより弾性域が広く、地震時においてひび割れが発生しにくい。また、その部材履歴ループも進んだ行程の近くをなぞるように戻り、残留変形無く原点に戻る履歴面積の少ないループを描く（図-4参照）。これは、非常に優れた復元性を持つ一方、躯体でのエネルギー吸収が少ないことを示す。

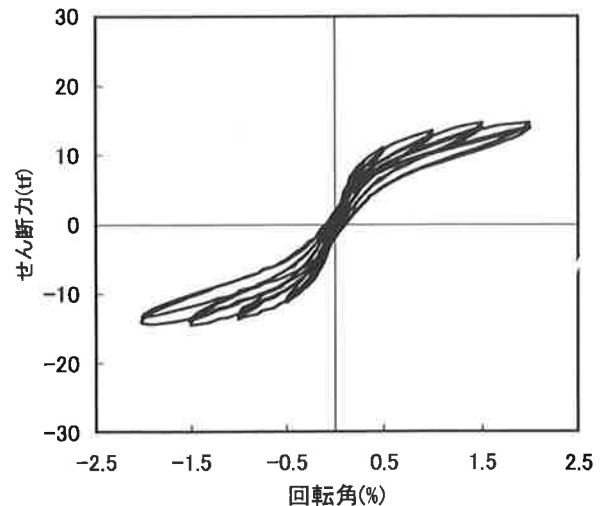


図-4 PCaPC部材履歴特性

このため高層の建物には適用が難しく、2~3階建ての倉庫、工場に採用されることが多かった。高層化には減衰性の確保が必要であり、今回、このエネルギー吸収能力の弱点を、免震技術と組み合わせることで克服させ、超高層建物に適用が可能となった。

今回の免震システムとしては本体各柱直下に設置した鉛プラグ入り積層ゴムと鉄骨階段室下に補助免震装置として滑り支承を使用している。鉛プラグ入り積層ゴムはすべて1400φで、2次形状係数を4.9のタイプ（ゴム総厚28.5cm）を採用、長周期化と変形性能を確保した。これにより28.5cm（ $\gamma=100\%$ ）変形時の等価免震周期を4.0秒とし、クリアランスも70cmを確保した。

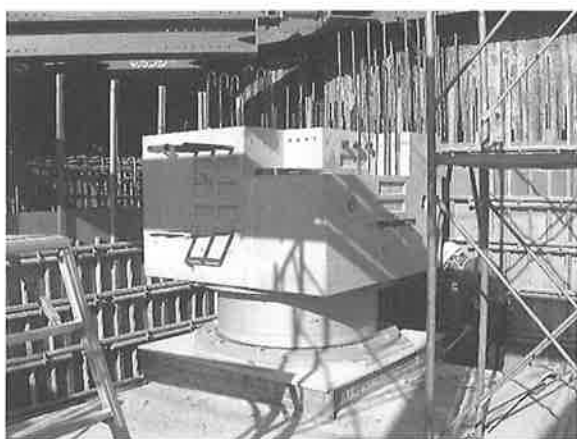


写真-1 免震装置とPCa免震フーチング

免震構造は大地震時に上部躯体に損傷を与えず、地震後の補修なく躯体が使用できることが設計クライテリアと共にニーズとして求められる。PCaPC造の建物に免震を組むことにより、PCaPC造の躯体には少ないエネルギー吸収能力（減衰性）を免震層に担わせることができると共に、免震により小さくなった上部建物の応答をPCaPC造の広い弾性域内に収めるのが容易となる。PCaPC造と免震構造は有効な複合化を成し、大地震時にも上部躯体はほとんどダメージを残さない構造的には理想に近い建物ができる。

超高層免震板状マンションである本計画は全戸南向きを確保する計画であることから、短辺方向がバルコニー、共用廊下を含む1住戸分の奥行きとなり17.05mのSPANである。これにより、免震層より上の塔状比は両棟共5に近い高塔状比免震となった（図-2参照）。まず、17mのロングSPAN梁をプレストレストコンクリート造梁とし、短辺方向を1スパン

構造とした（図-1参照）。これにより室内にまったく柱のない自由な空間が出来、フリープラン対応が可能となる。これは軸力を集約させ、免震装置を高軸力下で効果的に効かせるとともに、地震時引抜き発生を有効に抑えている。また、意匠設計の協力を得て、免震層上の駐車ピット・駐車場部を全て剛強な耐震壁で固めたことにより、建物重心を下げ地震時の引き抜き軸力の均等化配分が図れるよう計画することができた。また、免震層直上を剛とすることで免震効果を一層引き出すことができる。これらにより、この塔状比にして免震装置には上下地震動考慮、余裕度検討含め、全ての検討において引抜きは生じていない。また、高塔状比では柱に発生する引抜きによる柱の耐力・剛性低下に配慮しなければならない。短辺1スパン構造は地震時に短辺1構面あたり2本の柱となるため、1本が引抜きにより耐力・剛性低下すると、残り1本で全ての構面地震力を負担しなければならなくなる。PCaPC造であることから柱には有効なプレストレスが与えられているため、引張力による耐力・剛性低下は生じず、一般RC造柱に比べ有利となる。今回は免震技術と組み合わせることによりPCaPC造の利点を生かした安全性の高い建物が計画できた。以下構造全体概要を示す。

骨組形式別	2階~R階：柱梁共PCaPC造 （長辺短辺共純ラーメン構造） 基礎~1階：柱、梁、壁共鉄筋コンクリート造 （長辺短辺共耐震壁付ラーメン構造）	
柱・はり 断面・材料	柱（mm）：950×1200 大梁（mm）：600×1000（スパン方向）600×850（桁方向） PCa部材コンクリート：FC=63~80 N/mm ² RC部材コンクリート：FC=24~33 N/mm ² 鉄筋：SD295A~SD390 PC鋼材：PC鋼棒（柱）32φ、36φ（SBPR1080/1230） PC鋼線（梁）15.2φ（SWPR7B）	
柱・はり 接合部	2階~R階：PC圧着 基礎~1階：RC造	
床形式	ハーフPC合成床板	
鉛プラグ入り 積層ゴム	外径（cm）	140
	ゴム層tr（cm）×層数n=総厚h（cm）	0.95×30=28.5
	面圧（長期）	9.32~13.73（N/mm ² ）
滑り支承 材	滑り材	充填材入りPTFE
	直径（cm）	60、80
	設計面圧	7.65~7.75（N/mm ² ）
	摩擦係数	0.14（面圧10 N/mm ² 時）
変形限界	限界変形：70cm（クリアランス）、安定変形：57.0cm（積層ゴム $\gamma=200\%$ ）	
杭種別	現場造成杭（拡底アースドリル工法） 実径（拡底径）：2500φ（3400,3700）、1500φ（1500,1800） 杭先端：設計GL-32.0m	

3. 応答解析概要

今回の応答解析において特徴的なのは、上部構造に用いた非線形弾性と呼ばれるPCaPC造特有の履歴特性と免震層のモデル化としての修正HD (Hardin-Drnevich) モデルを採用したことである。まず、上部構造であるが、復元力特性の設定は非線形漸増荷解析による $Q-\delta$ 曲線よりTri-linearにモデル化した。今まで一般のPCaPC造は弾性解析に基づく応力を係数倍したのに対して設計が成されていた。これにより構造断面が大きくなる傾向にあったが、今回、部材非線形性を考慮することにより、実際に即した適正な断面が設定できた。履歴特性であるが、上述のようにPCaPC造特有の高い復元性とエネルギー吸収の少ない特性を考慮して、履歴エネルギーの消費を見込まない非線形弾性モデルを採用した(図-5)。

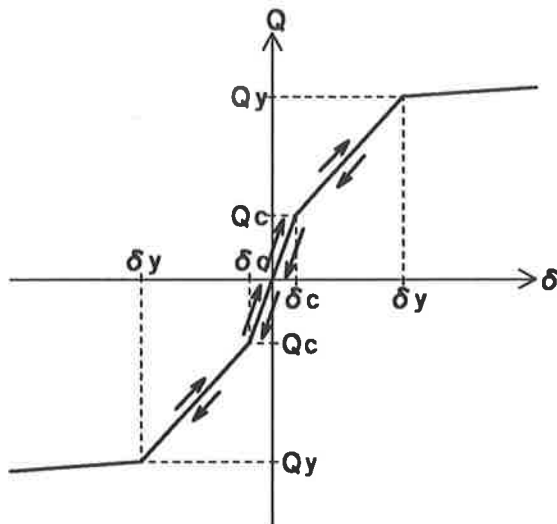
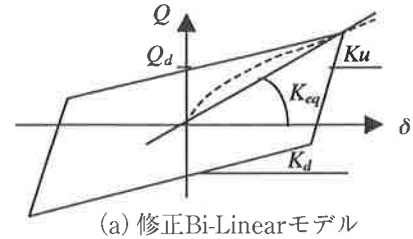
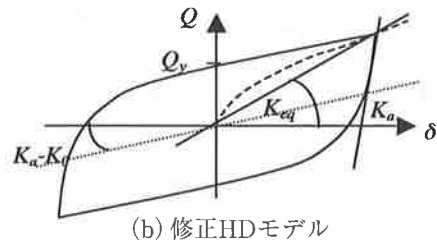


図-5 PCaPC非線形弾性モデル

次に免震層のモデル化に使用した修正Hardin-Drnevichモデル(以下HDモデル)は鉛入り積層ゴムの特長として一般的に用いられている修正Bi-Linearモデルを基本とする曲線モデルである。修正Bi-Linearモデルの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ことができる。また、履歴ループの基本形状は修正Bi-Linearモデルに不変としているため、パラメーターの数も少なく汎用性に富むモデルである。



(a) 修正Bi-Linearモデル



(b) 修正HDモデル

図-6 修正Bi-Linearモデルと修正HDモデル

上記の履歴モデルに地盤との相互作用を表すスウェィおよびロッキングの地盤ばねを考慮した、等価曲げせん断型SRモデルにて応答解析を行った。検討入力地震動は乱数位相、HACHINOHE_EW位相、RINKAI92H位相を用いた模擬地震動3波に既往波3波である。設計クライテリア及び $Q-\delta$ 曲線に上に応答値をプロットしたものを示す。

地震動レベル	上部構造	免震装置	下部構造	配管類・EXP.J
レベル1 (稀に発生する地震動)	CB=0.10以内 ^{*1} 層間変形角1/400 以下 層のひび割れ耐力以内 ^{*3}			
レベル2 (極めて稀に発生する地震動)	CB=0.12以内 ^{*1} 層間変形角1/200以下 部材塑性率1.0以下 ^{*2} 層の弾性限耐力以内 ^{*3}	・安定変形 57.0cm ($\gamma=200\%$) 以内 ・引拔力が生じない	許容応力度以内	無被害
余裕度検討	CB=0.12以内 ^{*1} 層間変形角1/100以下 部材塑性率1.0以下 ^{*2} 層の弾性限耐力以内 ^{*3}	・性能保証変形 85.5cm ($\gamma=300\%$) かつクリアランス 70.0cm以内	許容応力度以内	無被害

※1) CB=0.10は設計用せん断力、その1.5倍のCB=0.15を終局強度設計用せん断力、およびCB=0.12は終局強度設計用せん断力の80%とする。
 ※2) 塑性率: $\mu = \theta / \theta_y$ (θ :部材の曲げ回転角, θ_y :部材の曲げ降伏回転角)
 ※3) 非線形漸増荷解析による各層の第一折れ点を層のひび割れ耐力、或る1部材が最初に曲げ終局耐力に達した時点における抵抗せん断力を層の弾性限耐力とする。

図-7 設計クライテリア

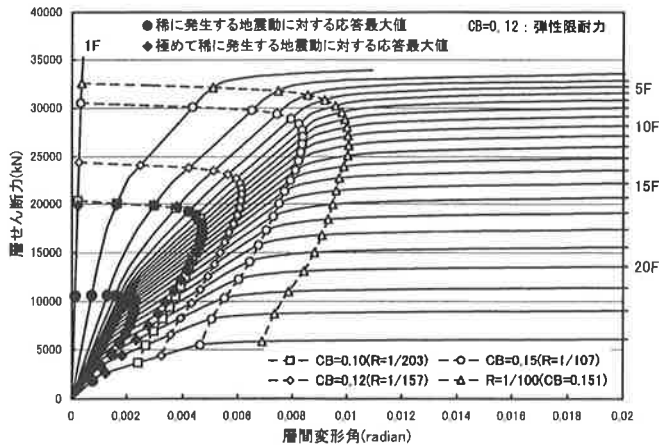


図-8 Q- δ 曲線上の応答値プロット (短辺方向)

Q- δ 曲線上で各階◇印で示されているのがCB=0.12のレベルである。このレベルの躯体の状態は部材塑性率が0.8以下であり、非線形領域ではあるがひび割れや残留変形の残らない完全な弾性領域である。応答結果◆はいずれもこの弾性領域内に充分収まっており、PCaPC造の弾性域の広さと免震による応答低減が有効に相まっている結果となっている。

4. 施工システム

PCaPC造+超高層免震建屋を狭い敷地条件のなかで合理的に建設するため、本建屋の躯体施工には新しい施工システムが必要となった。「セルフクライミング天井クレーンシステム」の開発である。

本システムは、狭隘な敷地で大型・重量PCa部材などの揚重・建方を安全かつ効率的に行う目的で開発されたもので、部材の垂直揚重用として、建物表側に設けたウインチで駆動する建設用リフトと、施工階での水平揚重用として、建物の本設柱に跨座したマスト及びランウェイ(梁)・ガーダー・移動式ホイストからなる天井クレーンで構成されている。また、本施工システムは「PC鋼より線ジャックタイプジャッキ」を採用したセルフクライミング機構を有しており、数台のジャッキを集中制御することにより、タワークレーン並みのクライミング時間で天井クレーンおよび建設用リフトの全システムをクライミングすることができる。天井クレーンの荷重は、建物の本設柱に設置したブラケットにより支えられており、建築構造物と全ての施工システムが免震機構の上に載ることとなる。よって免震装置、建方中の建物とクレーンを一体化して建設階数やクレーンの荷吊状態等をパラメーターとした地震応答解析を行った。また、風外力に対する構造解析も行ない、建設途中の地震や風に対しての安全性も確保している。

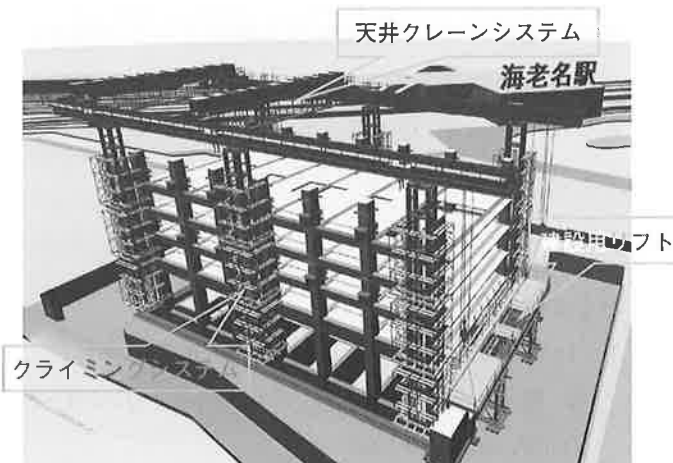


図-9 セルフクライミング天井クレーンシステム



写真-2 天井クレーン用ブラケットを設置したPCa柱



写真-3 柱設置状況

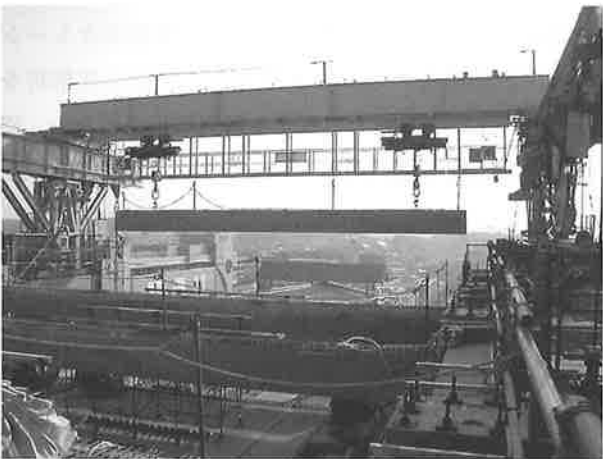


写真-4 17mスパン梁を揚重移送中



写真-5 天井クレーンシステムにて建設中の全景

おわりに

今回のPCaPC造+免震構造による超高層マンション建設によって、様々な展開と可能性が見えてきた。そして関係いただいた様々な分野の方々のご協力とご指導によりここまで来られたことに最上の謝意を表したい。来年7月の竣工を笑みをもって迎えられよう奮闘している最中である。

参考文献

- 1)「PC部材の履歴特性とPC造建物の地震応答性状」、林・岡本・小谷・加藤・傅、プレストレストコンクリート Vol.37, No.4, Jul.1995
- 2)「免震用積層ゴム支承の曲線型履歴復元力モデル：『修正HDモデル』」、竹中・吉川・山田、日本建築学会技術報告集第14号、2001.12