六本木三丁目東地区第一種市街地再開発事業 住友不動産六本木グランドタワー



小板橋 裕一 日建設計



朝川剛



中溝 大機

1 はじめに

六本木三丁目東地区再開発事業は、敷地の東側に 先行開発された「泉ガーデン」と共に、首都高速道 建設により分断された市街地の一体性を回復する計 画である。本計画は、申請上は一棟建築物であるが、 業務棟及び住宅棟の超高層免震建築二棟等複数棟で 構成されている。本稿では、規模も大きく敷地の中 央に位置する業務棟の計画について紹介する。業務 棟は超高層中間層免震構造物であり、高さ約230mと、 免震構造物としては非常に大きな規模となっている。 以降に超高層建築物を中間層部分で免震化する場合 の計画・構造上の問題点と本計画における解決手法 について詳述する。

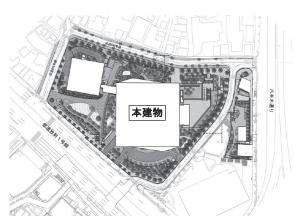


図1 周辺配置図

2 建物概要

建築場所:東京都港区六本木三丁目12番41、他 用 途:事務所・共同住宅・貸会議室・店舗・

変電所・自動車車庫

建 築 主:六本木三丁目東地区市街地再開発組合

設計・監理:株式会社日建設計

施 工 者:大成・大林建設共同企業体

敷 地 面 積:17,371.73m² 建 築 面 積:9,934.40m²

延べ面積:178,554.59m²<業務棟>

207,746.51m²<全 体>

基準階面積:4,967.19m²<15階>

階 数:地上40階,地下5階,塔屋2階

建物高さ: SGL+230.76m

基準階階高: 4.60m(12~24階, 29~39階)

基礎底深さ:SGL-36.0m 基 礎 構 造:直接基礎

構 造 形 式:中間層免震構造(26階床下)

構造種別・骨組形式:

地 上 部:構造種別 S造

骨組形式 耐震ブレース付ラーメン架構

(1階は耐力壁付ラーメン架構)

地 下 部:構造種別 SRC造、RC造(1階床以下)

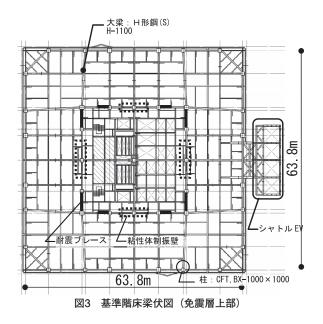
骨組形式 耐力壁付ラーメン架構

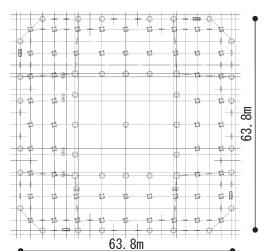


図2 建物全景

3 建築計画概要

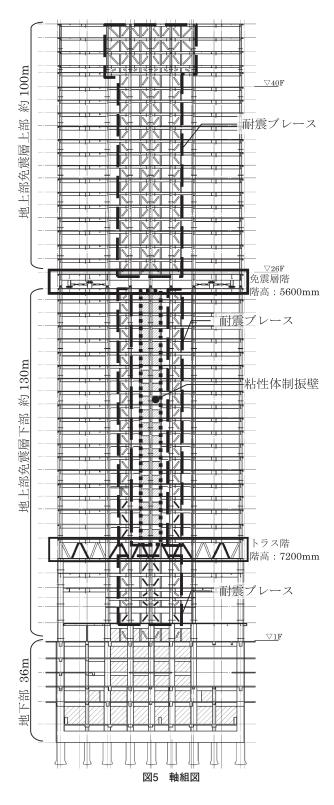
本計画の平面形状は、約65m角の正方形の口の字型プランとなっている。低層部には大きな吹抜けを有するため途中階にトランスファートラスを設け、1800 ф など大断面の柱から一般階の柱への乗換えを行っている。正方形平面から外れた位置にシャトルエレベータを配置し、B3階及び1階から免震層上部26階に位置するスカイロビーに直行することができる。免震層上部下部でローカルエレベータは完全に分断し、非常用エレベータのみ免震層を通過する。





免震部	免震部材凡例						
	表示	種別	個 数	備考			
	天然ゴム系積層ゴム アイソレータ	1300 φ	33 基				
		1400 ø	4 基				
		1500 ¢	4 基				
	### 鋼材ダンパー	NSUD55×8	56 基				
	オイルダンパー	1000kN タイプ ストローク 1200	60 基				
	オイルダンパー	1000kN タイプ ストローク 1200	4 基	ロック機構付			

図4 免震部材配置図



4 超高層中間層 (又は階) 免震構造の検討

超高層免震においては、高さが高いほど一般に免 震の効果は少なくなるが、本建物は超高層ビルの中 間層免震構造を適用することへの新たな可能性を提 案するものである。本建物は当初約230mの制振構造 として計画を行っていたが、2011年東北地方太平洋 沖地震を経て社会的な要請もあり、中間層免震構造 を採用することになった。ここではその際の免震層 の位置をどのように設定したかのプロセスを述べる。

検討においては次の4つの要因、すなわち、1.免 震層上部床面積の最大化、2.地震時・風荷重時水平 力に対するアイソレータの引抜耐力の確保、3.鉛直 支持力の確保、4.建築計画との整合があった。

まず1の免震層上部床面積の最大化とは、免震層より上部の層をなるべく多くし、加速度が低減できるフロア数を増やしたいという条件があった。これはエンドユーザーにとって居住性の高いフロアが多い方が建物に対して高い付加価値を与えることができるためである。この要因からは免震層はより下層に設ける方が良いということとなる。

2の引抜耐力については、特に引抜の生じやすい建物外周部のアイソレータにおいて、短期許容引張面圧1.0N/mm²以下とする必要がある。使用できる円形積層ゴムアイソレータの最大径は1500 φ であり、この場合の許容引張力は1,800kN程度となる。地震時の層せん断力は免震化することにより小さくなるが、風荷重によるせん断力は建物形状によるため、風荷重時の引抜力に対して引抜抵抗力を付与する必要がある。カウンターウェイトを含む長期圧縮軸力から免震層上部の転倒モーメントと上下動による引抜力を指し引いたときに許容引張力を超えないことが必要になる。この要因においては免震層の限界として20F程度以上に設ける必要があった。

3の鉛直支持力については最大径1500 ϕ を使用した場合、長期許容圧縮面圧が15.0 N/mm²であることから27,000kN程度となる。本建物は65m×65mの平面に対して柱41本と、柱1本あたりの負担面積約100m²と比較的大きいが、上層30層程度までであれば1柱1支承で支持することが可能となり、コスト的にもスペース的にも合理的な免震層の設計が可能となる。この場合の免震層の限界の位置は2の要因と同様に20F程度となった。

最後の4の建築計画の要因としては、免震層上部と下部でそれぞれローカルエレベータを計画することを条件にすると、エレベータの輸送計画上26階部分にスカイロビーを設ける必要があった。そのため、免震層下部と一体化されるシャトルエレベータは、スカイロビー部分など免震層上部では相互に独立して生じる変形を追従できるようにエキスパンションジョイント(以下EXP.Jと表記)を設けることが必要になる。B3階(地下鉄接続階)および1階から26Fまでアクセスするため、躯体同士を一体とした

まま免震層の数十cmの変形に追従させることは極めて困難である。これより免震層より上の各着床階をEXP.Jにする必要があり、免震層より上部では、水平力に対してエレベータのフレームを片持ちで自立させる必要がある。エレベータのフレームのみでは平面が小さいため、自立する層が多くなることはフレームの設計上の限界があると考えられる。

以上の要因を考慮し、シャトルエレベータの着床 最上階となる26Fの吹き抜け空間の直下に免震層を 設けるものとした。業務棟本体とシャトルエレベー タの間は26F部分でEXP.Jを設け、シャトルエレベー タは上4層分のみ自立片持ちフレームとした。

5 免震構造計画概要

以上から免震層設計の要点として以下が挙げられる。

・免震下層階における応答加速度の低減

一般的に中間層免震構造の直下階では床応答加速 度が大きくなる傾向がある。免震層下中層部に粘性 体制振壁(2,000kNタイプ合計152台)を設置し、加 速度応答の低減を図った。図6に本建物を非免震、 免震(非制振)、免震+制振とした場合の応答加速度 を示す。入力地震動はART WAVE(振動特性係数 R_tにフィッティングし、長周期側の最大Sv=1.0m/s) であり、極めて稀に発生する地震動相当の地震動で ある。床応答加速度は免震層上部で概ね200gal以下 を実現している。

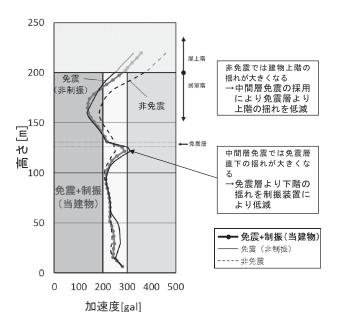


図6 免震化の有無による加速度低減効果の比較

表1 固有周期

	積層ゴムアイソレータ +鋼材ダンパー			免震層上部	免震層下部
	鋼材ダンパーなし	鋼材ダンパー 弾性	極稀相当変形時	のみ	のみ
T_1	7.03 秒	5.61 秒	6.21 秒	2.50 秒	3.19 秒
	(X 方向)	(X 方向)	(X 方向)	(X 方向)	(X 方向)
m	6.65 秒	5.05 秒	5.74 秒	2.49 秒	2.83 秒
T_2	(Y 方向)	(R 方向)	(Y 方向)	(Y 方向)	(R 方向)
T ₃	6.57 秒	4.94 秒	5.67 秒	2.37 秒	2.68 秒
	(R 方向)	(Y 方向)	(R 方向)	(R 方向)	(Y 方向)

なお本建物の固有周期は表1の通りとなっている。

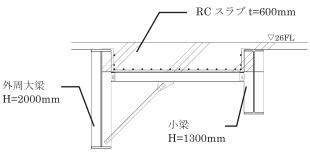


図7 引抜抵抗用カウンターウェイト詳細図

・免震層の引抜耐力の確保

地震荷重時、風荷重時の引抜力に抵抗するため、 図7のように免震層階外周部のスラブを増厚したカウンターウェイトを計画し、免震全体の引抜耐力の向 上を図った。 ・十分な鉛直支持力を持つ積層ゴムアイソレータ $1300\sim1500\phi$ を採用し、柱1か所につきアイソレー 91台とした。

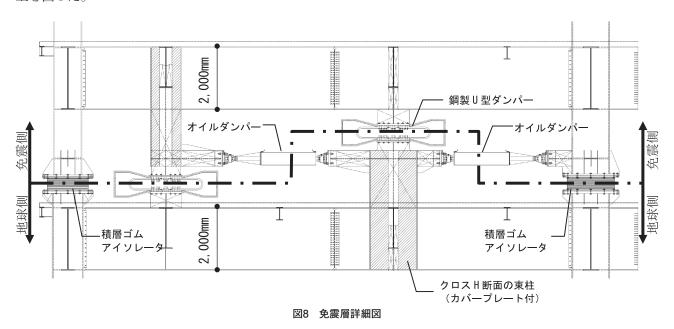
・均質な免震部材配置

正方形プランを生かし、前々頁の図4の通り、免震 部材は点対称配置とし、ねじれの無い計画とした。

・効率的なダンパー配置計画

免震建築物の耐風設計指針におけるランクBとして計画した。風荷重に対する抵抗力は鋼材ダンパー56台とロック機構付オイルダンパー4台(XY各方向へ作用するのは2台分)のロック荷重の合計値とした。極稀地震荷重時の免震層の最大変形を40cmと設定し、応答解析により必要ダンパー量を計画した。

柱配置と外装位置の関係上、アイソレーター体型のU型ダンパーは使用できないため、別置き型を採用した。各ダンパーに対して東柱を設けると鋼材量が増大するため、図8の通り、オイルダンパーを支持する東柱の上部・下部に鋼材ダンパーを設置する互い違いのダンパー配置を採用した。この際の東柱の設計ではオイルダンパーと鋼材ダンパーの2つのダンパーに作用する力を考慮し、クロスHとして設計した。また免震層変形時にはオイルダンパーの軸力は東柱芯に対して偏心するため、この偏心モーメントを伝達する目的で、東柱にカバープレートによる補強を行っている。



免震建築紹介

6 各種クリアランスの設定

本再開発は、ここまでに述べた業務棟以外にも地 下1階柱頭免震としている住宅棟等も含め複数の棟で 構成される。業務棟と住宅棟は地上約20mの高さで ブリッジにより接続されている。また、業務棟では 免震層上に設けられたスカイロビー(免震層上部と して地震時に変形する) に直結するシャトルエレベー タ (免震層下部として地震時に変形する)を設けて おり、免震層を通過し免震層の変形に追従するエレ ベータは非常用エレベータに限定している。そこで、 地震時の変形が異なる構造体を計画上結び付けてい るため、それぞれを結ぶ部分において躯体のクリア ランス、金物・設備などの非構造部材の変形追従性 能を適切に設定する必要があった。各構造体の大地 震時の層間変形を図9に示す。また、業務棟及び住宅 棟の大地震時における免震層の水平変位は400mm及 び430mmとなる。躯体及び落下のリスクがある金物 (EXP.J) と床の金物はこの水平変位の1.5倍の変形に おいても衝突、落下がないように設計した。一方、 落下のリスクのない壁・天井の金物と設備はこの水 平変位(1.0倍)に対して設計を行っている。表2に 主な水平クリアランスを示す。また、鉛直クリアラ ンスにおいては30~50mmの値を部位に応じて設定し ている。

フ おわりに

本建物は2016年3月現在、外構・内装などの一部工事を除き完成し、2016年4月より部分的に仮使用を開始する予定である。ここに、建築主である六本木三丁目東地区市街地再開発組合、施工者である大成大林建設共同企業体をはじめ関係者の皆様に多大なご協力、ご理解をいただいていることを心より感謝申し上げます。

参考文献

1) 渡部邦弥: 泉ガーデン×六本木3 丁目東地区再開発事業ー街をつなぐ、 時をつなぐ、都市計画、第307号、pp.78-80、2014.2

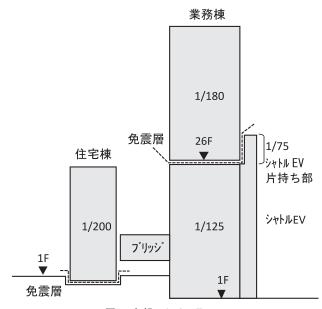


図9 各部のクリアランス

表2 各部のクリアランスの設定値

項目	棟	階数	部位	変位 (mm)
	業務棟	29F	シャトルEV機械室外壁と 業務棟外壁のクリアランス	1100
		26F スカイロビー	シャトルEVロビーと スカイロビーのクリアランス	900
躯体		25階上部 (免震層)	EV(H1.2号機、非1,2号機) 支持架構の変形対応	650
	業務棟 住宅棟	ブリッジ部	住宅棟接続ブリッジ のクリアランス	1000
	住宅棟	B1F	免震躯体の クリアランス	700
	業務棟	26F スカイロビー	EXPJカバー (屋外床、壁、屋根、屋内床)	850
			EXPJカバー (屋内壁、天井)	650
金物	業務棟 住宅棟	ブリッジ部	EXPJカバー (屋外床、壁、屋根、屋内床)	950
立物		7997 an	EXPJカバー (屋内壁、天井)	730
	住宅棟	1F、地下	EXPJカバー (床)	650
			EXPJカバー (壁、天井)	430
	業400 住430			