

三田ベルジュビル



若林 博
竹中工務店



岩間 和博
同

1 はじめに

JR 田町駅に近接する三田自動車練習場跡地に建設された三田ベルジュビルは、最高高さ 163.95m の超高層建物で、低層部に店舗・事務所、高層部に共同住宅を配置した重層型複合施設である。

地上 114m に位置する建物機能の切替え部分に免震層を配置することで、建物全体の制振構造化を計画した構造設計の概要について紹介する。

2 建物概要

本建物は、江戸時代から交通の要所として知られる札の辻の交差点に位置し、地域のランドマークというコンセプトのもと、事務所・住宅・店舗の複合施設として計画した。事務室は、39.0m × 39.0m の整形な平面形状で、外周部に柱を @3.6m で配置した無柱空間とした。外観上の特徴である外装縦横ルーバーは日射制御を主な目的とし、環境に配慮したデザインとした。住宅は高層部に配置し、南側をセットバックさせて大きなバルコニーを設け、眺望を最大限享受することを可能とした。

建物名称：三田ベルジュビル

建設地：東京都港区芝5丁目36-7

建築主：株式会社ベルジュ

総合企画：メソッド株式会社

設計者：株式会社竹中工務店

施工者：株式会社竹中工務店

主要用途：事務所、共同住宅、店舗

建物規模：地下4階 地上33階 塔屋2階

最高高さ：163.95m

建築面積：2,657.81m²

延床面積：55,811.83m²

工事期間：2009.10.13 ~ 2012.5.31

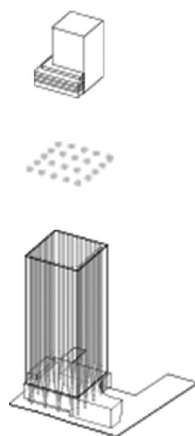


図1 建物の構成図



写真1 建物外観

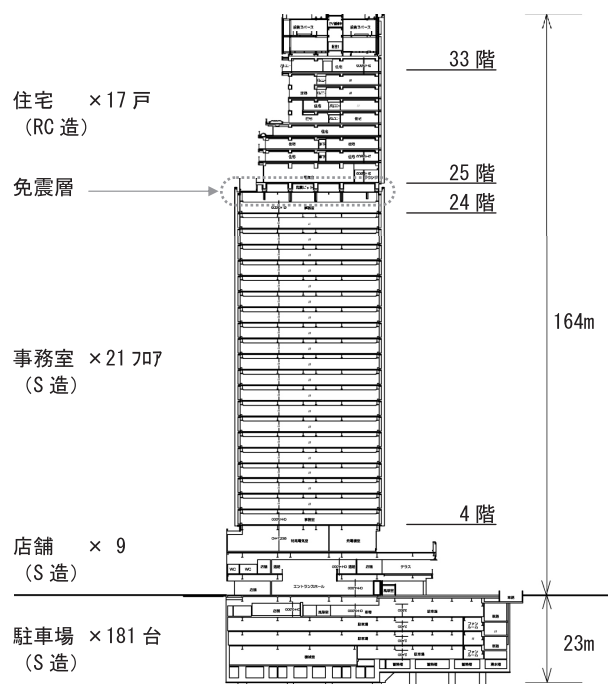


図2 断面図

3 構造計画概要

建築計画より設定した課題は以下の通りである。

- ① 異なる機能の重層化
→ 最適な構造種別と柱スパン
- ② 高層部の不整形な形状
→ 偏心の影響(ねじれ振動)
- ③ 1グレードUPの耐震安全性の確保

これら課題に対する構造ソリューションとして、事務所と住宅の境界部分に免震層を配置することによる建物全体の制振構造化を計画した。不整形な高層部分を免震化することで下部構造への偏心の影響を緩和する。それと同時に、免震特性の調整によるTMD効果で建物全体の高減衰化を図り、高い耐震安全性を確保した。更に、大空間が要求される事務所にはS造、快適な居住性が要求される住宅にはRC造を採用し、免震層で構造種別と柱スパンの切り替えを行った。

事務所S造部分は、最頂部にメガ梁を配置した外殻架構とコア架構のダブルチューブ構造とすることで、免震層に悪影響を与える建物全体の曲げ変形を抑制した。建物外周部の柱は550□のCFT柱を@3.6mの外装縦ルーバーと合わせた配置とすること

で、開放的な事務所空間を形成した。ただし、1階エントランスの空間の広がり地下駐車場の効率配置を考慮して、2～3階の2層分で柱3本を1本に集約した分岐形CFT柱を採用し、外周柱スパンを@10.8mに切り替えた。

高層住宅RC造部分は、基準スパン@7.2mの純ラーメン架構とした。コンクリート強度($F_c = 30 \sim 54 \text{ N/mm}^2$)を使い分けることで全層同一断面(柱800□、大梁700×900)とし、生産性の向上(一部PCa化)を図った。

地下階(駐車場)は、外周をRC地下外壁架構、内部をS造とし、地下施工法として逆打ち工法を採用することにより、大幅な工期短縮を図った。

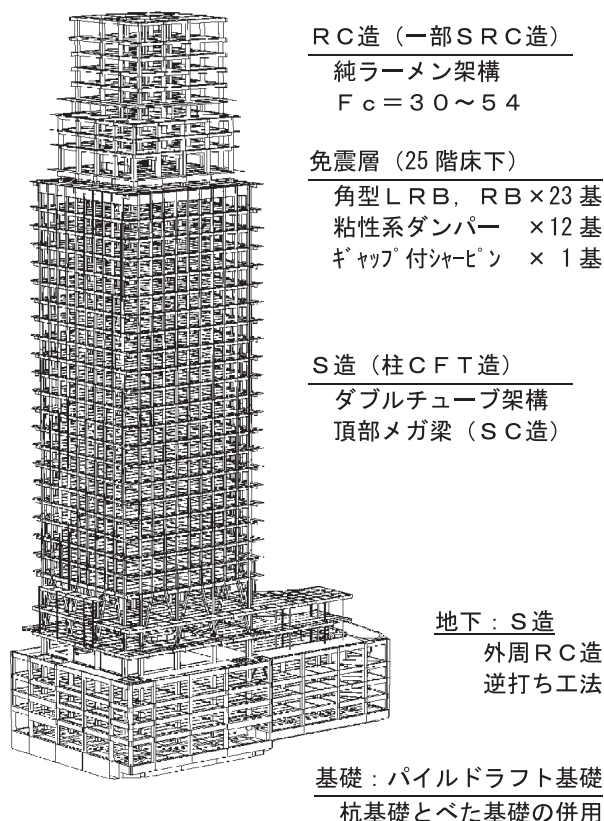


図3 構造概要図

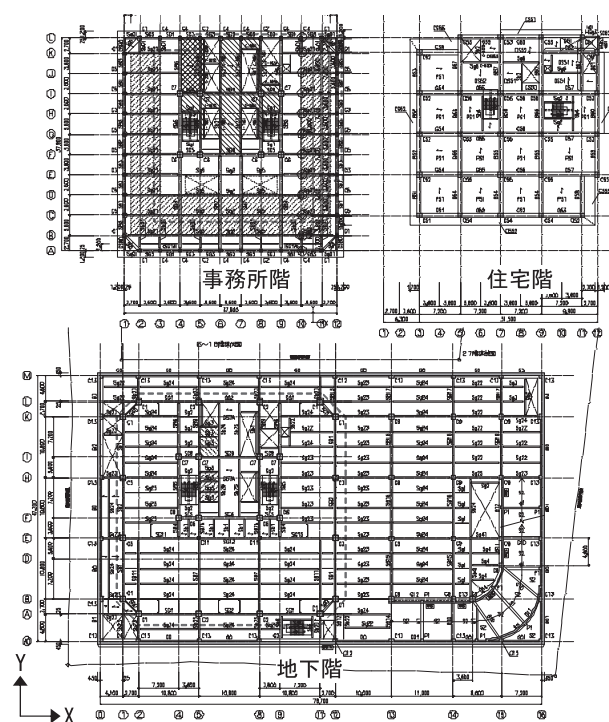


図4 各階床伏図

4 免震計画概要

免震特性の設定に当たっては、建物全体の高減衰化を目的として、TMDの検討に用いるダイナミック防振理論を採用した。免震層の上部・下部構造の質量と固有周期より、目標とする免震特性を免震周期4.0秒、減衰定数23%と設定した。

$m_2 = 15,000 \text{ t}$
 T_{iso} : 免震周期
 $m_1 = 40,200 \text{ t}$
 $T_1 = 2.9 \text{ sec}$

質量比 $\mu = m_2/m_1 = 0.374$
 $T_{iso} = (1+\mu) \times T_1 = 4.0 \text{ sec}$
 $h_{iso} = [3\mu / \{8(1+\mu)\}]^{0.5} = 23.3 \%$

図5 免震特性の最適化(ダイナミック防振理論)

免震支承の配置においては、免震層の剛心と上部構造の重心をできる限り一致させるように計画し、免震層外周部にLRB、内部にRBを配置した。

免震層の減衰要素の選定では、強風による小振幅領域から地震による大振幅領域までの全ての振動領域で有効となるように配慮した。LRBの履歴減衰に加えて、小振幅(低速度)領域で減衰係数の大きい減衰こま(変位増幅機構あり)と、減衰容量の大きいオイルダンパーを組み合わせた。

また、オイルダンパーの半数(4基)には、ジャッキ機能を有する多機能型オイルダンパー(汎用型ロック機構付きオイルダンパーを改良)を採用することで、免震層の残留変位を早期に復元することを可能とし、大地震や強風の後の建物機能の持続性を確保した。



写真2 多機能型オイルダンパー

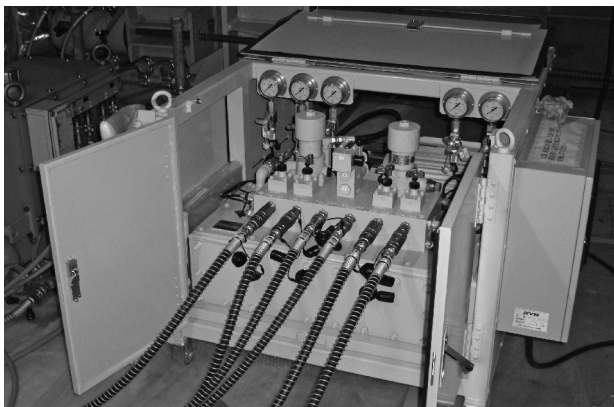


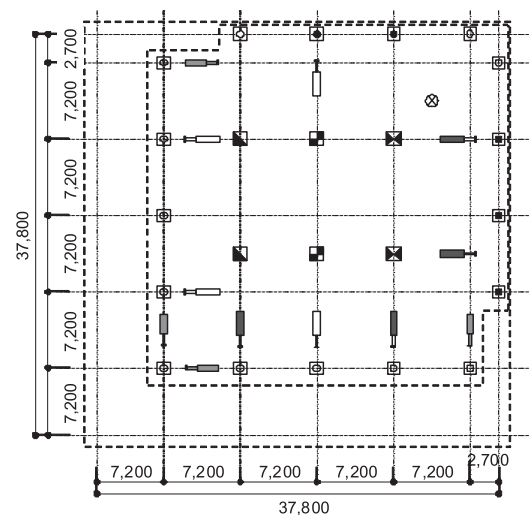
写真3 ジャッキ用油圧ユニット

これらの免震部材配置計画により、レベル2地震時(積層ゴムせん断ひずみ200%時)の等価免震周期は3.84秒、等価減衰定数は25.2%となり、理論的な最適特性を実現していることを確認した。次に、建物全体への制振効果を確認するために、この免震特性を用いた質点系3自由度モデルによる複素固有値解析を実施した。その結果、並進方向の1次モードに対する建物全体の等価減衰定数は8.5%程度まで向上し、十分な制振効果(高減衰化)が期待できることを確認した。

更に、通常時の建物機能(特に中間階免震用エレベーターの運行制御)に免震変位が過度に影響を与えないように、免震変位20mmまでの変位制御を行うギャップ付シャーピンを配置した。

表1 免震特性一覧

入力レベル		レベル1地震動時	レベル2地震動時
ゴムの歪み		100%	200%
等価水平剛性 K_{130} (kN/cm)		526	435
等価免震周期 T_{130} (sec)		3.49	3.84
等価減衰定数 heq (%)	鉛プラグ挿入型積層ゴム	21.9	13.7
	オイルダンパー	11.8	9.0
	減衰こま	3.6	2.5
	合計	37.3	25.2



記号	種別	ゴム径(mm)	個数	計
□	LRB	800□	12	23
■	(G4、角型)	900□	5	
■	RB	950□	2	
■	(G4、角型)	1,000□	2	
■		1,100□	2	

記号	種別	個数	計
—	オイルダンパー	4	12
—	オイルダンパー(多機能型ダンパー)	4	
—	減衰こま	4	
⊗	ギャップ付シャーピン		1

図6 免震部材配置

また、想定を上回る過大な外乱に対する余裕度設計については、レベル2入力地震動の1.2倍の免震クリアランスを確保することに加え、フェールセーフ機構を設けた。免震層シアキーとして、エレベーター機械室支持架構に十分な強度と剛性を持たせることで、レベル2の1.4倍の余裕度を確保していることを衝突解析により確認した。

5 応答解析概要

本建物の耐震性能目標は、一般的な超高層建物の1グレードアップを設定した(表2)。

固有値解析結果として、レベル2地震時の等価固

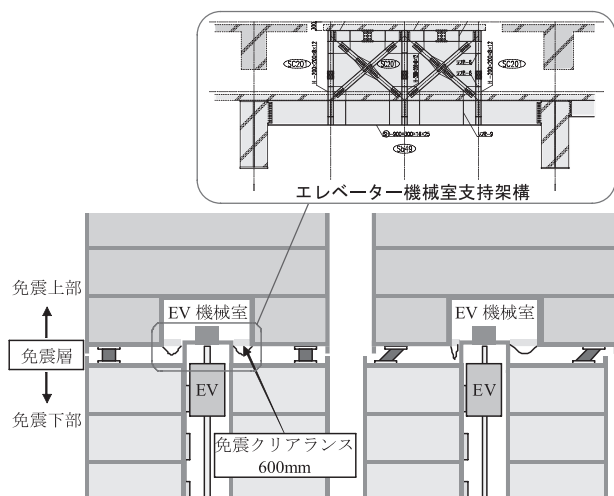


図7 免震層のフェールセーフ機構

有周期を表3に示す。

応答解析結果として、レベル2地震動に対する代表的な最大応答値を図8に示す。最大応答の高さ方向の分布は、中間階に配置した免震層の上部と下部で大きな違いは見られず、建物全体に対する制振効果が十分に発揮されていることがわかる。

表2 耐震性能目標

	レベル1 (稀に発生する地震動)	レベル2 (極めて稀に発生する地震動)
地上構造	短期許容応力度以内 層間変形角 1/300 以下	層の塑性率 1.2 以下 層間変形角 1/125 以下
免震部材	積層ゴムせん断歪 100% かつ引張りが生じない	積層ゴムせん断歪 275% かつ引張応力度 1N/mm ² 以内
基礎構造	短期許容応力度以内	弾性限界耐力以下

表3 等価固有周期 (L2地震時)

次数	X 方向		Y 方向	
	固有周期	有効質量比	固有周期	有効質量比
1	5.21 sec	0.58	5.24 sec	0.58
2	2.22 sec	0.22	2.24 sec	0.22
3	1.00 sec	0.08	1.01 sec	0.08

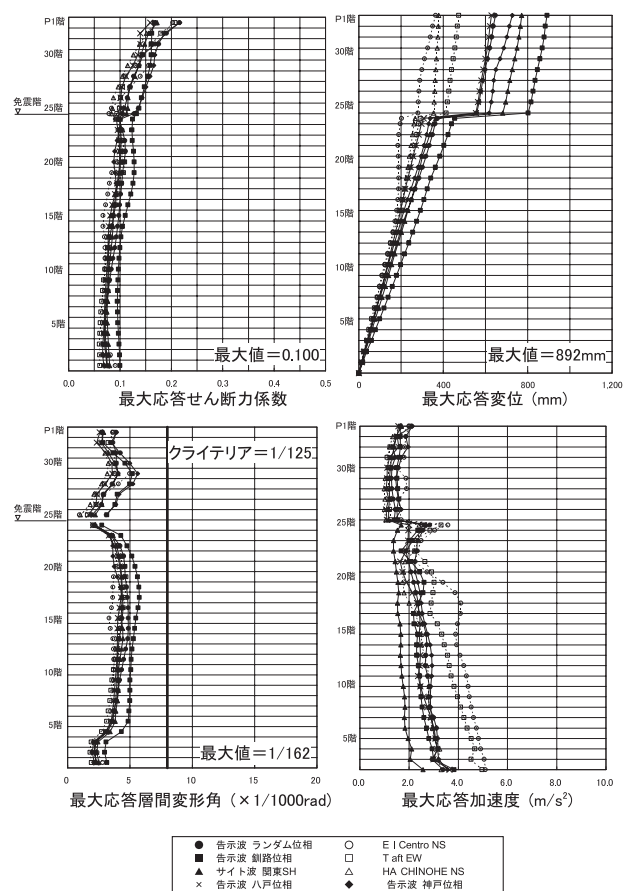


図8 地震応答解析結果 (レベル2, X方向)

6 おわりに

都心部の超高層建物において、高さ方向に異なる機能を重層化する複合施設は、地域の活性化を高めるために、今後も増えていくと考えられる。

本建物では、そのような建築計画の特徴を最大限に活かした構造計画の一つの解決策を示せたと考えている。