（仮称）新東京武田ビル

土屋　博訓　日本設計
中村　伸　同
近藤　潤一　同

1　はじめに

計画地が立地する日本橋本町は、江戸時代から薬問屋が数多く集積し、日本を代表する「薬のまち」として発展し、現在においても医療・医薬品関連の企業が集約したオフィス街を形成している。製薬会社の本社ビルとして事業継続性等の観点から免震構造を採用し、環境負荷低減技術においてもベスト・イン・クラスを目指す計画としている（図1）。

2　建物概要

建　築　主：武田薬品不動産株式会社
建　設　地：東京都中央区
設計・監理：株式会社日本設計
施　　工：株式会社竹中工務店
用　　途：事務所、店舗
敷 地 面 積：2,741.31m²
建 築 面 積：2,215.01m²
延 床 面 積：45,057.43m²
階　　数：地上24階　地下4階　塔屋1階
軒　　高：設計GL+121.45m
構 造 種 別：地上　鉄骨造（柱：CFT、梁：鉄骨造）
　　免震層　鉄骨鉄筋コンクリート造
　　地下　鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造
架 構 形 式：地上　制振部材付ラーメン構造（南北方向）、純ラーメン構造（東西方向）
　　地下　耐震壁付ラーメン構造
免　震　層：中間層免震（地上3階床下）
基 礎 形 式：直接基礎（べた基礎）

3　構造計画概要

本建物は、地上24階、地下4階、塔屋1階の超高層建築物である。地上部の基準階の階高は4.25m、平

図1　概観パース

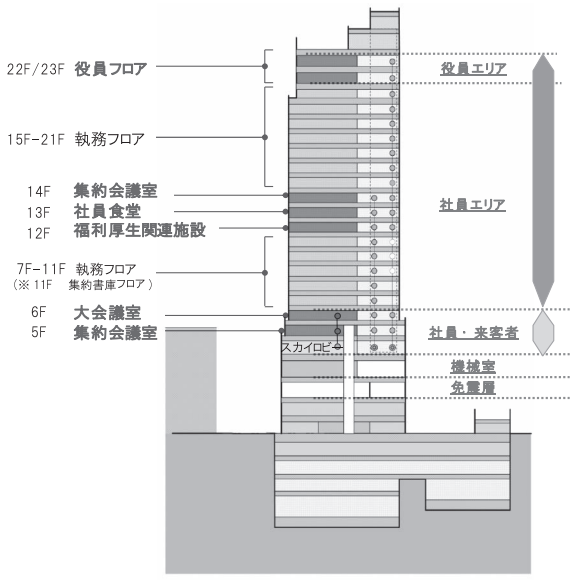

図2　断面構成図

面計画は片コア形式となっている。

免震層の位置は短辺（南北）方向のアスペクト比が4以下となるように3階床下を免震層とした。このアスペクト比を建築計画に活かすために、本社ビルという特性を生かして、1,2階にテナントエリア、4階以上をオフィスエリアとし、4階にスカイロビーを設けることで免震層を貫通するEVを最小限とした。これにより、中間層免震構造の課題であるオフィス有効率の向上を実現できている（図２）。

地上部の構造種別は鉄骨造（以下S造）とし、柱には剛性確保及び経済性への配慮からコンクリート充填鋼管柱（以下CFT柱）を採用した。ただし、免震層上下の梁は免震基礎としての十分な剛性及び耐火性能の確保から鉄骨鉄筋コンクリート造（以下SRC造）とした。また、地下の構造種別は地下外壁及び耐震壁の周辺フレームは鉄骨鉄筋コンクリート造（以下SRC造）もしくは鉄筋コンクリート造（以下RC造）とし、ラーメン部分は柱をSRC造、梁をS造とした。

地上部の架構形式は、スパンの短い東西方向は純ラーメン構造、19.75mのロングスパンを有する南北方向は応答層間変形角及び応答加速度の制御を目的にコア部に粘性系ダンパー（オイルダンパー）を配置した制振部材付きラーメン構造としている。

基礎形式はTP-21m程度以深に存在するN値50程度の細砂層からなる江戸川層を支持層とした直接基礎（べた基礎）としている。地下水位はGL-10m付近の東京層の砂質土とし、水圧の有無による検討を行い、基礎梁及び基礎スラブの安全性を確認している（図３）。

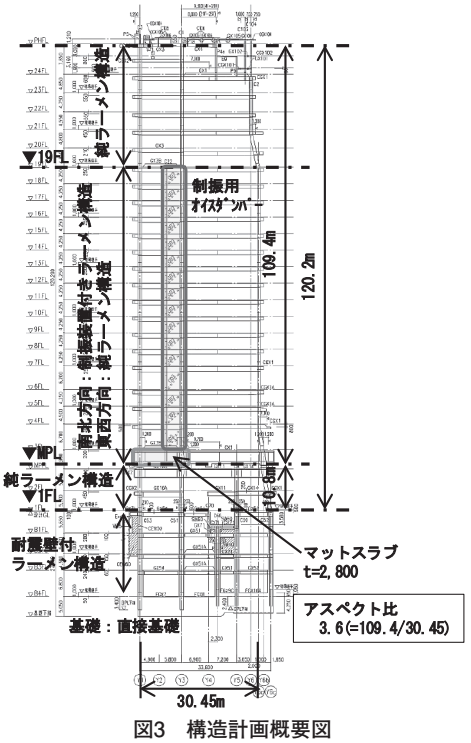

図3　構造計画概要図

４　免震設計概要

免震部材配置図を図４に示す。免震部材は高軸力の負担において断面効率の良い、角型積層ゴムを採用した。免震装置には地震時のエネルギー吸収を目的として、鉛プラグ入り積層ゴム（以下LR）を採用している。

超高層S造中間層免震建物の設計で、①免震層上部の転倒に対する十分な安全性の確保、②暴風時の免震層の残留変形（ダンパー量と免震層の二次剛性を意識した設計）に対して留意した設計を行った。転倒に対する余裕度に関しては、最も明解な方法として、免震装置の引抜き力の厳しいコア側の免震層直上3階床スラブをt=2,800のマットスラブとすることで、カウンターウェイトとして利用し安全性を確保した。さらに、コア側外周部の柱々間に直動転がり支承（以下CLB）を配置することで、終局時には当該CLBが引掛りとなって建物転倒に対して有効に作用するよう配置した。ただし、柱直下にはLRを配置することで免震層の捩れ剛性を確保するように配慮した。なお、暴風時の残留変形については次節で示す。

免震部材の設計性能目標を建物の耐震設計性能目標とあわせて次頁表３に示す。極めて稀に発生する地震動時（以下L2時）において、鉛プラグ入り積層ゴムが許容圧縮面圧以下であること、引張応力は限

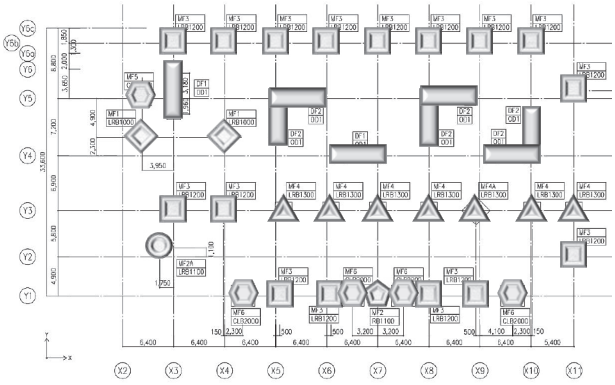
図4　免震部材配置図

表1　免震部材表

鉛プラグ入り積層ゴム		LR1000		LR1100
		LR1200		LR1300
天然ゴム系積層ゴム		R1100		
直動転がり支承		CLB		
オイルダンパー				

界引張応力1.0N/mm²以下であることを確認している。なお、L2時の面圧検討は、免震ゴムの引張剛性を圧縮剛性の1/10として検討を行い、限界引張応力以下であることを確認することで、積層ゴムの引張力を厳しく評価した。また、免震層上部の転倒に対する余裕度を十分に確保することを目的として、L2時の面圧算定に際し、上下方向地震動による軸力係数0.35の軸力を水平方向地震動による変動軸力に単純和して面圧の確認を行なった。

余裕度検証に用いた地震波（L2時の1.5倍の入力加速度）に対しては、軸力係数を0.35×1.5=0.525として、L2時の検討と同様、上下と水平方向地震動による変動軸力を単純和して面圧算定を行い、圧縮面圧が許容面圧以内、引張面圧による免震ゴムのひずみが破断に至らないことを確認した。なお、余裕度検証時は圧縮側積層ゴムの面圧を厳しく評価するために、積層ゴムの引張剛性を圧縮剛性の1/30とし、圧縮側の積層ゴムが終局時面圧歪曲線以下であること、前記した柱々間に設けたCLBに生じる引張力が引張耐力以下であることを確認した。なお、引張剛性を圧縮剛性の1/10とした場合には、積層ゴムの引張応力は1N/mm²を超えるものの、柱々間のCLBで抵抗し、その応力はCLBの引張限界耐力以下である。また、躯体クリアランスは余裕度検証時の最大変位522mmに対して700mmに設定した。

5　風応答解析

暴風時の残留変形は免震層の二次剛性と特に密接な関係であることから、手計算レベルで残留変形を確認しながら降伏後の剛性およびダンパー量を決定し、以下に示す風荷重の時刻歴応答解析にて詳細検討を行った。

時刻歴応答解析に用いた入力風荷重は風洞実験に基づき算定し、風荷重のばらつきを考慮するために、各風向に対して5波の応答解析を行なった。風荷重の大きさは、稀に発生する風荷重（荷重指針で定められる再現期間100年の風速による風荷重）、極めて稀に発生する風荷重（告示で定められる風速の1.25倍の風速）とした。なお、本設計では風荷重の変動成分による層せん断力が大きい順に5波の内、3波目となる応答せん断力を設計用風荷重と定義した。解析モデルは三次元立体骨組解析モデルとし、風応答解析では免震層のオイルダンパー及び制振用オイルダンパーは考慮せずに応答解析を行った。

設計用風荷重に対する免震層の残留変形は、10分後の鉛の降伏せん断応力度で検討した場合40mm程度であるが、10時間後では20mm程度と推定されるため、残留変形が事業継続性や建築外観上に影響を及ぼさないと判断した。

鉛プラグの単位体積仕事率と安定範囲の関係図を図５に示す。なお、同図で示す仕事率は極めて稀に

表2　耐風設計性能目標

荷重レベル			稀に発生する風荷重	極めて稀に発生する風荷重
地上部3階以上	層せん断力		短期許容応力度以下	短期許容応力度以下
	層間変形角		1/300 以下	1/200 以下
	地上部オイルダンパー		風応答では粘性ダンパーの減衰力は期待しない	
免震層	免震材料	鉛プラグ入り積層ゴム	安定範囲以下 せん断歪 80%以下 （変形 200mm 以下）	安定範囲以下 せん断歪 200%以下 （変形 500mm 以下）
		オイルダンパー	風応答では粘性ダンパーの減衰力は期待しない	
地上部2階以下	層せん断力		短期許容応力度以下	短期許容応力度以下
	層間変形角		1/500 以下	1/300 以下

表3　耐震設計性能目標

		稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
地上部免震層上部	層せん断力	短期許容応力度以下	
	層間変形角	1/300以下	1/200以下
免震層	鉛入り積層ゴム	せん断歪100%(0.25m)以下 引張面圧が生じない	せん断歪200%(0.50m)以下 限界引張強度(1.0N/mm2)未満
	直動転がり支承	許容耐力以下	
	オイルダンパー	限界速度に対する安全率 2.0以上(0.75m/s以下)	限界速度に対する安全率 1.5以上(1.0m/s以下)
地上部免震層下部	層せん断力	短期許容応力度以下	
	層間変形角	1/500以下	1/300以下
地下	層せん断力	短期許容応力度以下(K=0.35)	
	耐震壁	短期許容応力度以下(K=0.35)	
基礎	基礎梁	短期許容応力度以下(K=0.35)	

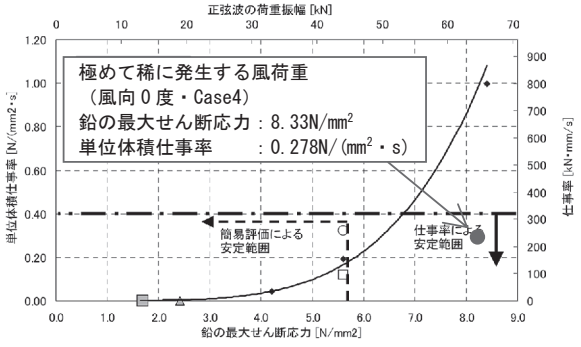

図5　鉛の最大せん断応力と単位体積仕事率の関係[1)]

1)「鉛プラグ型積層ゴムのクリープ特性を考慮した高層免震建物の風応答評価法」竹中ら、日本建築学会構造系論文集、第561号、PP89-94

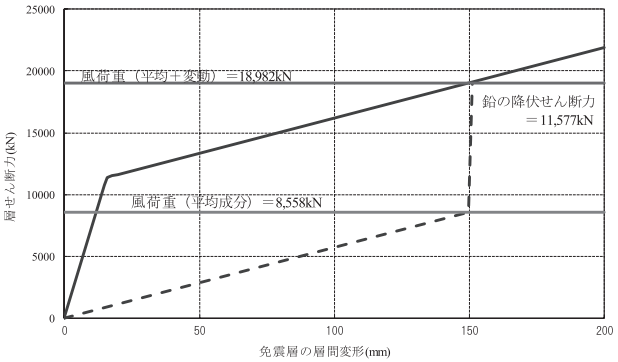

図6　設計用風荷重と免震層の復元力特性

発生する風荷重が1時間継続した場合を想定している。同図に示す通り、鉛プラグが安定変形以内であることを確認した。また、免震層が設計用風荷重によって降伏しないことを図６で確認した。（耐風安全性ランクB相当）

６　地震応答解析

入力地震動は告示波3波、観測波3波の他、余裕度検証用にサイト波を作成した。サイト波には元禄型関東地震、南海トラフ巨大地震を採用し、告示波は本建物が工学的基盤で支持していると判断できるため、浅部地盤増幅特性を考慮せずに、告示波原波を設計用模擬地震波とした。

解析モデルは基礎を固定し、各階を1質点に縮約した30質点系の捩れを考慮した曲げせん断捩れ棒モデルである。極めて稀に発生する地震動時の応答せん断力を包絡する設計せん断力時に各部材が短期許容応力度以下（余裕度検証時は弾性限耐力以下）であることを確認しているため、免震層以外の各階の復元力特性は弾性とした。

本建物の耐震設計性能目標を前頁表３に示したが、極めて稀に発生する地震動時に対しては、免震層上部の応答層間変形角は1/200、免震層下部の応答層間変形角は1/430、免震層の最大変形は265mm（γ=106%）で積層ゴムの性能保証変形以下であることを確認した。

各地震動レベルでの応答結果を図７に示す。同図最大層間変形角の結果より、外装材の脱落しない追従性は1/150以上、シールの補修のみでサッシュの破損等が生じない変形角は1/200に設定した。また、免震層上部の最大応答加速度は、L2時に253gal、余裕度検証時に289galとなっており、免震建物とすることで建物使用者の恐怖心の低減・安心感を確保することができた。

７　おわりに

免震構造とすることで建物への地震力の入力を軽減することが可能となるが、免震構造の設計では、常に終局状態をイメージして設計することが重要であると考えている。本計画では、免震層での建物の転倒に対する安全性を十分に確保することが肝要と考え、カウンターウェイトや柱々間のCLB設置による転倒対策を行うなど、不静定次数の低い免震構造の課題に応える設計ができたと自負している。

最後に、紙面をお借りしまして、武田薬品工業株式会社、武田薬品不動産株式会社、日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社、及び、株式会社竹中工務店の皆様に厚く御礼申し上げます。

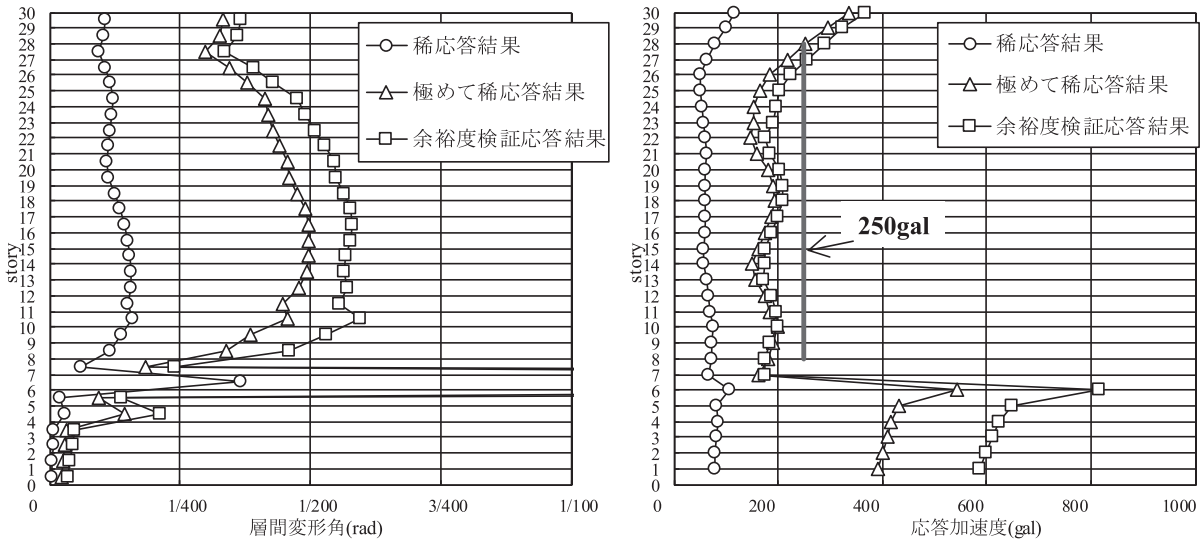

図7　地震応答解析結果（地震波：告示神戸位相）