

# T計画の構造設計

(株)久米設計 千馬一哉

同 内田富久

(株)松田平田 藤森 智



## 1. はじめに

T計画は地上7階、塔屋2階の事務センターの建設計画である。

将来起こる可能性のある大地震によって事務センターとしての機能が停止しないように、さらに建物内の事務、設備機器の保全を目的として、1階梁と基礎梁間に鉛入り積層ゴムを配置した免震構造を採用した。

本誌面では、本計画に採用した免震構造の概要、設計方針、解析結果、実大試験結果、施工概要について説明する。

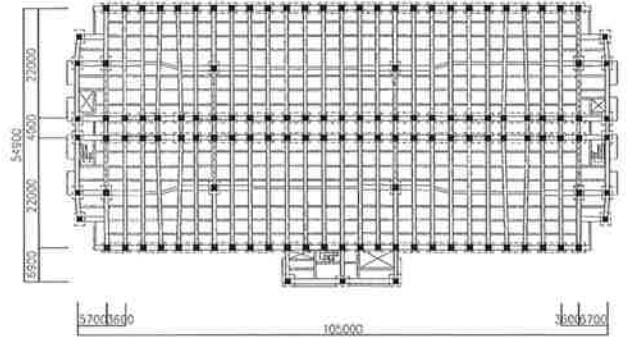


図-1 1階床伏図

## 2. 建築概要

建築概要を以下に示す。1階の床伏図を図-1に、短辺方向の代表的な軸組図を図-2に示す。

建築場所	東京都多摩市
敷地面積	12,555m <sup>2</sup>
建築面積	5,480m <sup>2</sup>
延床面積	37,050m <sup>2</sup>
階数	地上7階 塔屋2階
軒高	36.05m
最高部の高さ	48.05m
基準階高	4.7m
構造種別	鉄骨鉄筋コンクリート造(免震構造)
基礎形式	直接基礎
工期	26ヶ月

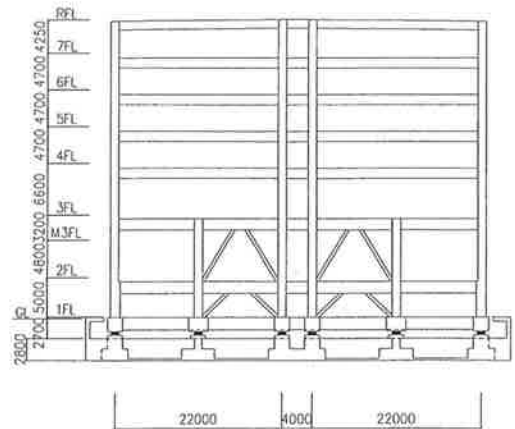


図-2 短辺方向軸組図

## 3. 地盤概要

地層構成は地表より盛土・稲城砂層・固結シルト・連光寺上部層砂質土・礫質土および下部層砂質土となっている。支持層はN値50以上の固結シルトとし、長期支持力度を現場での平板載荷試験結果を基に75 (tonf/m<sup>2</sup>)とした。なお、支持地盤のS波速度は430 (m/sec)で第1種地盤相当である。地盤の物理検層総合柱状図を図-3に、平板載荷試験結果を図-4に示す。

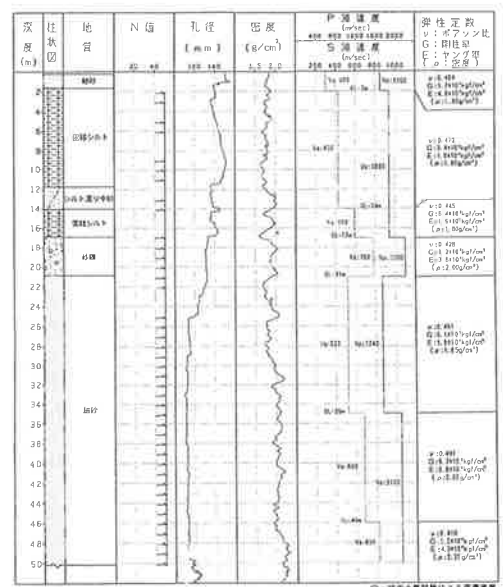


図-3 地盤の物理検層柱状図

## 4. 構造計画概要

本建物の主体構造は、柱と1階梁を鉄骨鉄筋コンクリート造、2階以上の梁を鉄骨造とした。短辺方向の

構造形式は、22,4,22 (m) スパンのフレームを3.6 (m) 間隔に配置した鉄骨ブレース付きラーメン構造とした。長辺方向は標準スパン3.6 (m) の鉄骨ブレース付きラーメン構造とした。本建物の基礎底位置はGL-5.3 (m) (TP+93.2m) で、基礎形式は直接基礎とした。

基礎の上端レベル、各柱位置に免震装置 (鉛入り積層ゴム) を、基礎外周部に土圧を受けるため擁壁を配置した。擁壁と上部構造物との間に50cmのクリアランスを設けた。

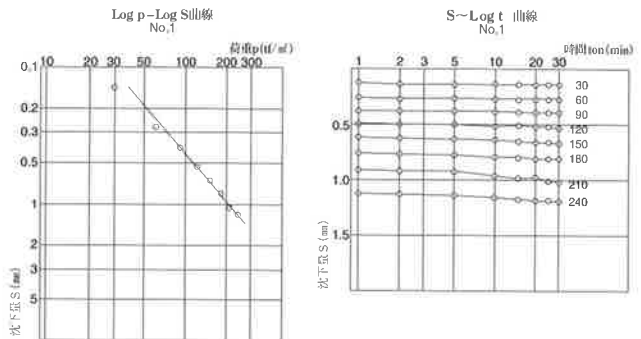


図-4 地盤の平板載荷試験結果

5. 構造設計概要

構造設計の流れ、設計方針を図-5にフローチャートで示す。

5.1 免震建物の要求性能

本建物には、大地震において、建物が健全であることのみならず、事務センターとしての機能が停止しない構造性能が要求されている。さらには、建物内部の事務、設備機器の保全も必要とされている。大地震の大きさを入力エネルギースペクトルで $V_E=150$  (cm/sec) とし、建物を短期許容応力度以下に設計した。さらに免震装置は $V_E=150$  (cm/sec) の1.5倍の地震に対して余裕をもつように設計した。なお $V_E=150$  (cm/sec) の地震は、地表面の最大速度で50 (cm/sec) に基準化した地震波 (レベル2地震) と設計上同等と考えた。

また、建物内の機器が正常に作動するための床の使用性能目標は、機器メーカーからのヒアリングにより応答加速度で $300$  (cm/sec<sup>2</sup>) 以下とした。

5.2 免震装置の設計

本建物では免震装置として鉛入り積層ゴムを採用した。使用する円形積層ゴムの直径は、長期面圧 $80$  (kgf/cm<sup>2</sup>) を目安にして柱下に1台ずつ配置することで決定し、合計131台設置した。図-6に免震装置の配置図を示す。

アイソレーターの固有周期は応答せん断力の低下を目的に、できる限り長周期化をめざした。ただし、今回設計の免震装置は、現在までに施工実績や実験データが十分にあり、耐震安全性が確保可能な範囲で設計することを前提にした。免震層 (ダンパー) の降伏耐

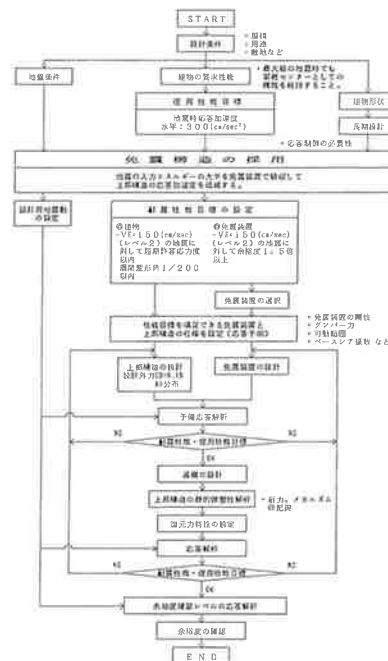


図-5 設計のフローチャート

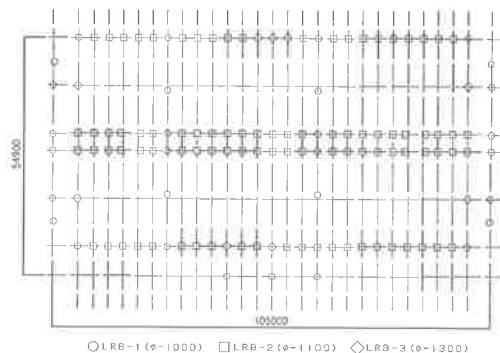


図-6 免震装置配置図

力は、「免震構造設計指針（日本建築学会）」に示されている応答予測法で応答せん断力が最小となる値とし、ベースシア換算で5%を目安に設定した。以上より設計した免震装置の特性値を表-1に示す。

表-1 免震装置の特性

項目	単位	免震装置タイプ (G=6 kg <sup>1</sup> /cm <sup>2</sup> )		
		LRB1	LRB2	LRB3
ゴム直径	mm	1000	1100	1300
鉛プラグ直径	mm	170	190	220
フランジ外形	mm	1400	1500	1700
ゴム厚×層数	mm	8.0×32層	8.0×32層	8.0×32層
ゴム層総厚	mm	256	256	256
1次形状係数	mm	31.2	34.4	40.6
2次形状係数	mm	3.9	4.3	5.1
内部鋼板厚さ×枚数	mm	3.1×31枚	3.1×31枚	3.1×31枚
連結鋼板厚さ	mm	40	40	40
取り付けプレート厚さ	mm	32	32	32
LRB高さ	mm	432	432	432
初期水平剛性	kg <sup>1</sup> /cm	14386	17501	24275
降伏後水平剛性 (50%歪み)	kg <sup>1</sup> /cm	2213	2693	3735
降伏荷重 (50%歪み)	kgf	22800	28483	38186
等価剛性 (50%歪み)	kg <sup>1</sup> /cm	3720	4575	6259
鉛直剛性	ton <sup>1</sup> /cm	3496	4549	7109

### 5. 3 地震応答解析

性能の確認のため、各階を質点とし、免震層と上部構造の復元力特性を折れ点置換した8質点系等価せん断型モデルで応答解析を行った。免震層は修正バイリニアで、上部構造は剛性逓減型トリリニアで復元力特性をモデル化した。減衰は、剛性比例型とし上部構造はh=0.02、免震層はh=0とした。表-2に免震層のせん断歪み毎の固有周期を示す。用いた地震波は、観測波5波と「免震構造設計指針（日本建築学会）」で提案されている「設計用エネルギースペクトルに適合した模擬地震波」4波である。

表-2 固有周期

	単位 (sec)								
	柱脚ピン支持			せん断歪み50%			せん断歪み100%		
	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次
長辺方向	0.82	0.29	0.18	2.47	0.50	0.25	2.99	0.51	0.25
短辺方向	0.85	0.30	0.19	2.48	0.51	0.26	3.00	0.52	0.26

レベル2地震時と余裕度確認レベル（レベル2地震の1.5倍）の観測波の応答結果を表-3に示す。応答結果として、各波の最大応答値と総入力エネルギーの速度換算値V<sub>E</sub>の値を載せている。いずれの場合も耐震性能目標を満足することを確認した。

表-3 応答解析結果

レベル2地震時					
	El Centro NS	Taft EW	Tokyo101NS	Hatinohe NS	Th030 EW
入力速度 (cm/sec)	50	50	50	50	50
等価速度V <sub>E</sub> (総入力) (cm/sec)	111.5	110.2	59.2	164.3	149.3
等価速度V <sub>E</sub> ,B(免震層) (cm/sec)	108.9	107.6	58.0	162.8	145.7
免震層/総入力エネルギー(%)	95.4	95.3	95.9	98.2	95.3
最大変形量(免震層) (cm)	17.1	18.6	10.0	20.1	19.5
最大せん断歪み(%)	66.8	72.7	39.1	78.5	76.2
最大せん断力係数(免震層)	0.103	0.106	0.081	0.110	0.108

余裕度確認レベル地震時					
	El Centro NS	Taft EW	Tokyo101NS	Hatinohe NS	Th030 EW
入力速度 (cm/sec)	75	75	75	75	75
等価速度V <sub>E</sub> (総入力) (cm/sec)	162.8	146.5	88.3	220.8	205.9
等価速度V <sub>E</sub> ,B(免震層) (cm/sec)	159.9	143.6	86.2	218.2	202.4
免震層/総入力エネルギー(%)	96.4	96.0	95.4	97.6	96.6
最大変形量(免震層) (cm)	39.2	30.9	18.1	33.8	31.9
最大せん断歪み(%)	153.1	120.7	70.7	132.0	124.6
最大せん断力係数(免震層)	0.114	0.130	0.105	0.135	0.133

### 5. 4 地震時の上下動対策

本建物の設計用上下方向地震動の大きさは敷地近傍の活断層と過去の地震より、地動加速度の最大値で海洋性地震の場合250 (cm/sec<sup>2</sup>)、直下型地震の場合400 (cm/sec<sup>2</sup>)とした。地震波は、海洋性地震としてEL CENTRO 1940 UD, TAFT 1952 UDの2波、直下型地震としてROMA PRIETA 1989 UD (Ucsc/Lick)を用いた。なお、ROMA PRIETA 波には敷地の表層地盤の影響を考慮している。

地震時の上下方向の応答に対し、建物内の事務、設備機器の正常可動のため、TMD形式の制振装置を22mスパンの梁中央に設置した。機器の上下地震時応答加速度の使用性能目標は、メーカーからのヒアリングより1000 (cm/sec<sup>2</sup>)以下である。制振装置が、梁の応答加速度を2割程度低減することが解析で確認され、機器の使用性能目標を満たす値となっている。今後、現場で性能の確認を行う予定である。

## 6. 免震装置の実大試験と製品管理

### 6.1 鉛入り積層ゴムの復元力特性

免震装置の製作は、積層ゴム製作工程と、鉛詰め行程を別会社で行った。製品の量産に先立ち、最多数である直径φ1100の鉛入り積層ゴムで実大試験を行った。油圧式2軸載荷試験装置により、試験体の鉛直方向に長期荷重相当の一定軸力(750tonf)を加力し、水平方向に一定振幅の交番繰り返し載荷を最大振幅せん断歪みで最大200%まで行った。加振速度は試験装置の制限により1.47 (cm/sec)とした。

鉛入り積層ゴムの復元力特性を実験結果と設計値と比較して図-7に示す。歪み50%の復元力特性は設計値と実験値がほぼ一致しているのに対し、歪みが増大すれば差異が大きくなる結果となった。そこで、実験結果をバイリニアで折れ線置換したモデルで再度振動解析を行い、耐震性能目標を満足していることを確認した。

### 6.2 免震装置の品質管理

免震装置の製品性能の検査項目と判定基準を表-4に示す。製品検査は、寸法、積層ゴムの剛性(50%歪み)について全数検査とした。鉛入り積層ゴムの剛性、減衰(50%歪み)については、約30%の抜き取り検査

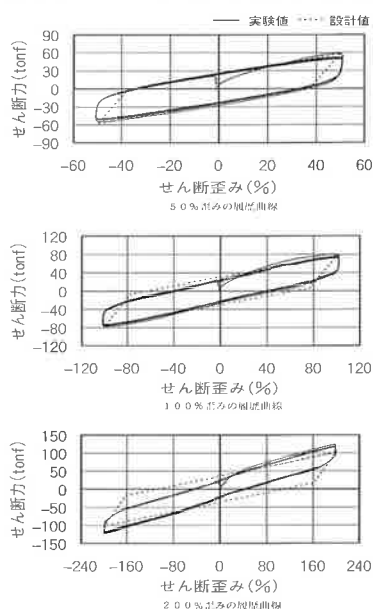


図-7 鉛入り積層ゴムの復元力特性

とした。φ1100の場合の検査結果をヒストグラムで図-8に示す。積層ゴムについては、水平せん断剛性の許容値を一般の製作標準より厳しい範囲に定め、これを達成した。

表-4 免震装置の検査項目と判定基準

RBの性能検査の項目、測定方法、判定基準		
項目	測定方法	判定基準
圧縮剛性	圧縮載荷試験 長期鉛直荷重を与えた状態から、その±25%の荷重振幅を5サイクル与え、4サイクル目の履歴特性の変位最大値と最大荷重の交点およびその最小値を結び、ばね定数を求める。	設計値±20%以内
せん断剛性	水平載荷試験 長期鉛直荷重を与えた状態で±50%の水平せん断歪を5サイクル与え、4サイクル目の履歴特性の変位最大値と最大荷重の交点およびその最小値を結び、ばね定数を求める。	設計値の -20~+10%以内 (目標値) -10~0%
LRBの性能検査の項目、測定方法、判定基準		
項目	測定方法	判定基準
等価せん断剛性	水平載荷試験 長期鉛直荷重を与えた状態で±50%の水平せん断歪を5サイクル与え、4サイクル目の履歴特性の変位最大値と最大荷重の交点およびその最小値を結び、ばね定数を求める。	設計値の -20~+10%以内
等価粘性減衰	水平載荷試験 長期鉛直荷重を与えた状態で±50%の水平せん断歪を5サイクル与え、4サイクル目の履歴特性の履歴面積から等価粘性減衰を求める。	設計値±20%以内

免震装置の寸法精度

項目	精度	検査数
側面被覆層厚さ	± 4.0 mm	全数
積層部有効ゴム厚	± 4.0 mm	
平面寸法	± 4.0 mm	
全体高さ	± 4.0 mm	
平行度	傾斜 1/500以下	

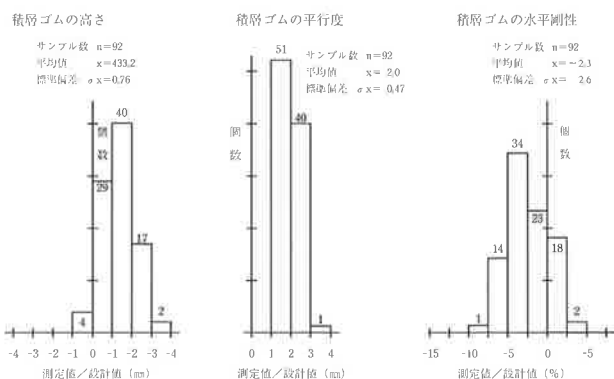


図-8 製品性能のばらつき

## 7. 免震装置の設置工事

各免震装置は、全数寸法と水平剛性を検査し、それらの検査結果を設置工事にフィードバックした。水平剛性の検査結果を用いてバランスの良い配置計画を行い、免震層の剛心、重心を求め、偏心しないことを確かめた。その後、免震装置の高さ寸法の測定結果をもとにして、装置の天端を設計値 $\pm 1\text{mm}$ 以内にそろえるようにアンカーフレームをレベル調整した。

設置工事の状況を写真-1、2に示す。免震装置のRC造基壇部分には、充填性と施工性の向上のため、ハイパフォーマンス（超高性能AE減水剤入り）コンクリートを採用した。

## 8. おわりに

本計画に携わって約2年になる。建築センターの研究委員会を経ずに、直接個別評定に持ち込むことが決まり、大車輪で、計画、解析、設計を進めた時期を懐かしく思う。設計を終わり、施工が順調に進む今、免震構造が現在のところもっとも明確に、耐震性能を示すことができる構造システムであることをますます確信している。

### 謝辞

設計、施工を通じてご協力いただいた関係者一同に感謝の意を表します。

### 「参考文献」

「大規模免震構造の設計例（その1～3）」建築学会  
大会学術講演梗概要（構造Ⅱ）,P573～578,1995年8月



写真-1 免震装置の取り付け



写真-2 免震装置の基壇コンクリート打設