

# WESTビル

郵政大臣官房建築部設計課

東京建築研究所



川田 公裕



長田 勝幸



山口 昭一



木村 充一



中澤 俊幸

## 1. はじめに

WESTビルは、世界最大の床面積を持つ免震ビルである。建物概要を表-1に、建物全景図を図-1に、断面図を図-2に、免震部材配置図を図-3に示す。ここでは、WESTビルの設計の考え方と積層ゴムアイソレータ（以下[積層ゴム]と略称）の試験方法と試験結果について紹介する。試験方法を紹介する理由は、本建物に使用する積層ゴムの数が120個と多く、納入時期との関係から複数メーカーから提供を受けたために、各メーカーの試験方法を統一する必要があったからである。

まず、前半に設計の考え方を、後半に積層ゴムの試験について紹介する。



図-1 建物全景図

表-1 建物概要

用途	事務所	施工期間	1992.12～1994.11（24ヶ月）
一般設計	郵政大臣官房建築部設計課		
構造設計	郵政大臣官房建築部設計課・(株)東京建築研究所・(株)構造計画研究所		
施工	竹中・住友・奥村・ナカノ・三菱 共同企業体		
階数	地上6階・塔屋2階	最高高さ	38.35 (m)
建築面積	8,563.16 (m <sup>2</sup> )	延べ面積	46,823.09 (m <sup>2</sup> )
基礎	直接基礎（独立フーチング基礎）	地盤種別	第1種地盤
上部構造	鉄骨鉄筋コンクリート造（梁はS造・一部SRC造）、鉄骨ブレース、鉄筋コンクリート耐震壁を併用		
設計層せん断力係数	X方向：0.15（1F）～0.30（6F）		Y方向：0.15（1F）～0.30（6F）
レベル2地震時固有周期	X方向：T1=3.3 (s)		Y方向：T1=3.3 (s)
レベル2地震時免震層層間変位	X方向：17.6 (cm)		Y方向：17.6 (cm)
免震部材	天然ゴム系積層ゴムアイソレータ	800φ～1000φ	66個
	鉛プラグ入り積層ゴムアイソレータ	1200φ	54個
	ループ状鋼棒ダンパー	4-70φ	44個
ダンパー群の降伏せん断力係数	α s=0.03	アイソレータ群の最大せん断力係数	α f=0.05
積層ゴムの長期面圧	平均93 (kg/cm <sup>2</sup> ) [最大110 (kg/cm <sup>2</sup> )]		
構造上の特徴	ラーメン構造であるが、剛性を確保するために各階の要所にブレースを配置し、建物の基部として1, 2階外周に鉄筋コンクリート造耐震壁を配置して、免震システムの性能をより生かせる構造計画としている。		

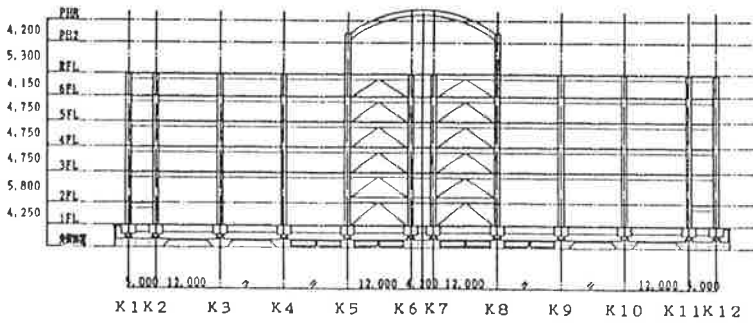


図-2 断面図

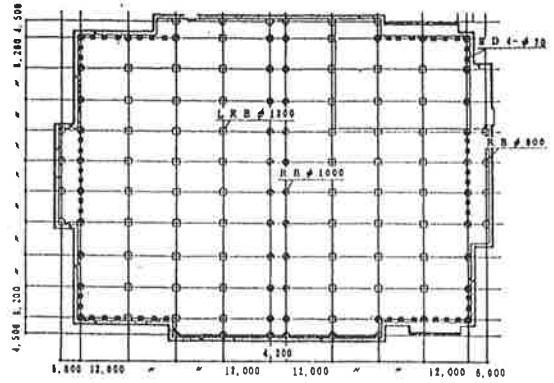


図-3 免震部材配置図

## 2. 設計方法

### 2. 1 入力地震動レベルの設定

どのような外乱に対して、どのような耐震性を持たせるかは、耐震設計の原点であり、これを定量化する事は現状では容易ではないが、入力地震動レベルに関しては、以下の点を考慮して設定した。

1. 想定再現期間
2. 建設地の地域の地震活動性および地形・地盤の状態
3. 社会的に慣用されている値

1と2については、統計的手法と震源断層を考慮した工学的手法の2種類で検討した。

- ・統計的手法は、地震危険度解析のグラフィック・システムERISA-G<sup>\*1</sup>を使用した。ERISA-Gは、東京大学生産技術研究所の片山恒雄教授と西松建設(株)の戸松征雄氏により開発されたシステムであり、全国の各種地盤で観測された300~400成分の地震動加速度記録を基本データとして、統計解析手法「数量化理論I」により加速度応答スペクトルと各種要因(地盤種別、Magnitude、震央距離)との最適重み関数を求め、これに基づいて加速度スペクトルを予測する手法である。
- ・震源断層を考慮した工学的手法は、小林・翠川<sup>\*2</sup>の理論を基にして求める。この手法における基本的な考え方は、①地表の地震動の強さを地震基盤に入射する地震波の強さと地震基盤の上の地盤による地震波の増幅度とに分離して考える。②入射波の強さを計算する際には、震源断層の広がりとその破壊伝播の効果を考慮する。③対象地点での地盤の増幅度を求め、これを入射波の強さに乗じて地表での地震動強さを得る。

以上の検討と社会的に慣用されている値を参考に入力地震動レベルを以下のように設定した。

- レベル1:当該建築物の敷地において当該建築物の耐用年数中に一度以上受ける可能性が大きい地震動 (最大速度20cm/s)
- レベル2:当該建築物の敷地において過去に受けたことのある地震動のうち最強と考えられるもの、および将来において受けることが考えられる最強の地震動 (最大速度40cm/s)
- レベル3:当該建築物の安全余裕度を評価するための地震動 (最大速度60cm/s)

なお、地震動波形は標準的な2波(EL CENTRO NS, TAFT EW)、建設地と同様な第1種地盤で観測されたKAIHOKUBASHI、および震源断層を考慮した地震動スペクトルの推定法(小林・翠川)をもとに作成した模擬地震動波形の計4波とした。ただし、模擬地震動波形は現波形のまま使用し、レベル2相当とした。

### 2. 2 耐震性能目標

上部構造は、レベル2で全ての部材が許容応力度以内、レベル3で弾性限以内とした。また、床応答は事務室で200gal以内とした。

基礎構造は、上部構造を上回る強度を持つように、目標値を定めた。

免震装置の変位量は、積層ゴムの性能を考慮して設定した。積層ゴムのゴムの直径は、φ1200(鉛プラグ入り)、φ1000及びφ800の3種類で、ゴムの総厚は24cm~16cmである。2次形状係数(積層ゴムの直径/ゴムの総厚)は、安定性を考慮して5とした。レベル2に対応する変位量25cmはせん断歪度(水平変位量/ゴム総厚)で105%~156%に相当する。レベル3に対応する変位量40cmはせん断歪度で167%~250%に相

表一 2 耐震性能目標値

地震動レベル (最大速度)	免震装置		上部構造			基礎構造
	相対変位 (cm)	層せん断力係数	躯体の状態	層せん断力係数*1	加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	躯体の状態
レベル1 (20cm/s)	≤15	≤0.08	許容応力度以内	≤0.15 ≤0.08	≤150	許容応力度以内
レベル2 (40cm/s)	≤25	≤0.12	許容応力度以内	≤0.25 ≤0.12	≤200	許容応力度以内
レベル3 (60cm/s)	≤40	≤0.15	弾性限以内	≤0.30 ≤0.15	≤300	許容応力度以内

\*1 上段：最上階(6階), 下段：最下階(1階)を示す  
\*2 事務室(3~6階床)の値を示す

当する。耐震設計目標値を表一2に示す。

## 2. 3 設計方針

### 1) 上部構造の設計

#### a) 長期の応力に対する設計

通常の常時荷重による設計とする。ただし、骨組みの応力解析には、積層ゴムの鉛直バネを考慮する。

#### b) 地震荷重時の設計

地震時の動的挙動も考慮して下記のようにする。設計地震力は、地震地域係数 $Z=1.0$ 、振動特性係数 $R_t=0.75$ 、せん断力係数の分布係数は $1.0\sim 2.0$ を採用し、せん断力係数を $C_i=0.15$ (1階)~ $0.30$ (6階)として許容応力度設計を行う。

#### c) 耐風設計

耐風設計用風荷重は、「建築基準法施行令第87条」による値とする。

#### d) その他

免震装置交換時のジャッキ反力は短期荷重として扱う。

### 2) 免震装置の検討

#### a) 積層ゴムの長期面圧

鉛直荷重時の軸力による積層ゴム面圧(柱直圧/積層ゴムの断面積)を確認する。

#### b) 積層ゴムの短期面圧

地震時せん断力と転倒モーメントによる付加軸力に対して積層ゴムに過度の引抜き力が、発生しないことを確認する。

#### c) 免震装置の配置

上部構造の重心と免震装置の剛心に偏りが無いことを確認する。

#### d) 地震荷重時に対する検討

せん断力、転倒モーメントによる付加軸力に対して積層ゴムおよび取り付け部の安全を確認する。

#### e) 風荷重に対する検討

設計用風荷重によるせん断力が、鋼棒ダンパーの降伏耐力を十分に下回ることを確認する。

### 3) 下部構造の設計

#### a) 設計用応力に対する設計

鉛直軸力、水平力を地盤に安全に伝達できるよう強固な地盤に接地させ、地震時の変位(回転)に対しても十分留意した設計を行う。

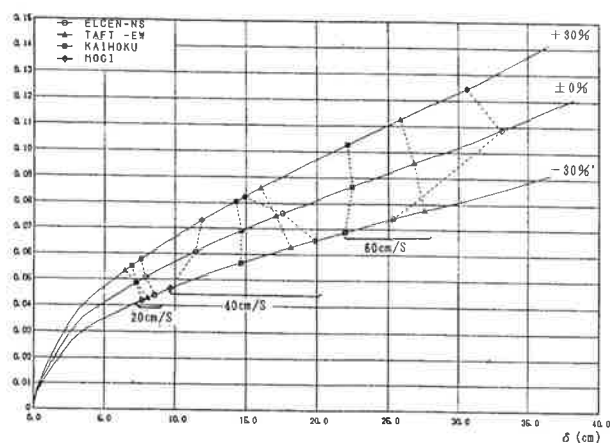
## 2. 4 部材の断面設計

a) 部材の断面設計は、日本建築学会「鋼構造設計規準」、「鉄骨鉄筋コンクリート構造設計規準」により許容応力度設計を行う。

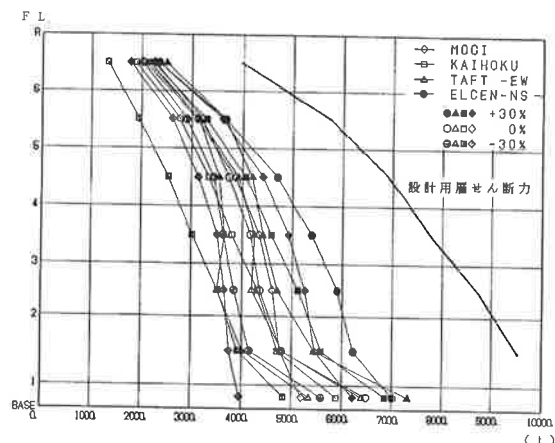
b) 鉄骨梁の取り付く鉄骨鉄筋コンクリート柱の鉄骨曲げ耐力を設計曲げモーメントの80%以上となるように配慮する。

c) 外周耐震壁の分担が大きい1、2階は、ラーメン部材を3、4階と同一断面とすることで、水平力に対して余裕のある設計とする。

d) 1階大梁は組立H形鋼を用いた鉄骨鉄筋コンクリ



図一 免震装置部の相対変位とせん断力係数（長辺方向）



図一 最大応答層せん断力 レベル2（長辺方向）

ート造とし、ジャッキアップ時に対応できるようにする。

e) 12mスパンの鉄骨梁は上下振動にも配慮して、長期撓みが1/1200程度となるようにする。

f) 外周の耐震壁および鉄骨ブレースに集中するせん断力に対し、各階床版(特に3階と1階)による伝達が安全に行われるようにする。

## 2. 5 応答解析

鉛プラグ入り積層ゴムは修正バイリニアークに、積層ゴムはハードニングを考慮したバイリニアーク（逆行型）に、鋼棒ダンパーはバイリニアーク（標準型）にモデル化した。また、減衰は内部粘性系を仮定し、歪エネルギー比例型減衰とし、減衰定数は上部構造を2%、免震装置部を0%とした。応答解析時には、免震部材の設計値に対するバラツキ、温度変化および経年変化等による剛性の変化を考慮して、±30%の剛性の変化を含めた解析を行った。

応答解析結果を図一4、図一5に示す。免震装置の応答変位量は設計目標値を下回っている。余裕度を見るために行ったレベル3応答時にもφ800の積層ゴムのせん断歪度が、207%でハードニング領域に達する程度に納まっている。上部構造はレベル3応答時の層せん断力係数が各階とも設計用層せん断力係数を下回り、建物は弾性限以内にある。

## 3. 性能確認試験

### 3. 1 積層ゴムアイソレータの仕様

本建物では、複数のメーカーから積層ゴムの提供を受けるといふあまり例のないケースである。このため、従来各メーカーによって異なっていた特性値

に対する考え方、寸法の許容誤差等について統一した。

統一した内容は、以下の通りである。

- ①せん断弾性率(G)の定義
- ②ゴム材料の基本物性値
- ③装置寸法の制作許容誤差
- ④装置特性値の定義と検査条件

### 3. 2 性能確認試験

使用製品について、定められた性能特性検査に加えて設計で用いられた特性のうち、水平剛性の「せん断歪依存性」、「鉛直荷重依存性」、「繰り返し変形時の特性変化の有無」、「大変形時の特性」等について試験を行った。これら、性能確認試験に関しては、既往の手法を基に、米国の「1991 UNIFORM BUILDING CODE」\*3を参考にして試験条件をまとめた。試験条件をa)に、データの評価をb)に示す。また、各メーカーの積層ゴムの特性検査用試験機は、それぞれの形態が異なっているので、当所機差等についての確認が行われていなかったこともあり、今回は機差を無くすため、各メーカーでバラバラに検査することを避け、試験機をあるメーカーの1台に限定して検査を行った。

また、各メーカーの試験機の測定値の妥当性、誤差を確認するため各メーカー間の試験機の機差等についても調査した。機差は数パーセントであることが確認できた。

#### a) 試験方法

以下の順番で検査を行う。

- ①鉛直荷重として性能検査時荷重(100kg/cm<sup>2</sup>)を載荷し、その状態で各積層ゴムのせん断歪50%→100%→150%に相当する水平変形の正負繰り返し試験を

各3サイクル順次行う。

- ②各積層ゴムのせん断歪100%相当の水平変形の正負繰り返し試験を鉛直荷重20kg/cm<sup>2</sup>→75kg/cm<sup>2</sup>→100kg/cm<sup>2</sup>→150kg/cm<sup>2</sup> (φ1200は110kg/cm<sup>2</sup>)下で各3サイクル順次行う。
- ③鉛直荷重100kg/cm<sup>2</sup>、せん断歪100%相当の水平変形の正負繰り返し試験を12サイクル行う。
- ④鉛直荷重100kg/cm<sup>2</sup>、水平変形40cmの正負繰り返し試験を1サイクル行う。

なお、鉛プラグ入りの積層ゴムに対しては、鉛プラグのない状態で上記試験を行い、鉛プラグを入れた状態で①、③の試験を行う。

### b) データの評価

- ・全ての試験で、各サイクルで極端な耐力低下がないこと。
- ・各3サイクルの試験において、各サイクルの等価剛性が3サイクル平均値に対して±10%以内の差であること。
- ・12サイクルの試験後の等価剛性が、初期値に対して±20%の範囲内にあり、また、鉛プラグ入り積層ゴムの等価粘性減衰が初期値に対して20%以上減少しないこと。
- ・性能検査として要求されている鉛直および水平バネ定数と変形能力については、性能検査の判定基準に従う。

### 2. 3 試験結果

細かい試験結果は割愛するが、今回の試験により以下の知見を得た。

今回の一連の確認試験では、かなり大型のφ800～φ1200の積層ゴムで設計値通りの性能を発揮することがあらためて確認され、過去数少ない大型積層ゴムの特性試験に今回の結果を重ねることにより、φ800～φ1200の積層ゴムが、十分に実用に耐え得るものであることが確認できた。また、メーカーが共同で本試験を実施することにより、積層ゴムの歪・面圧依存をはじめとする諸特性が同様の傾向を示すものであることが確認された。よって一つの建物に対して、複数メーカーの積層ゴムを使用することは、その仕様を明確にすることで十分対応できることを確認した。

### 4. まとめ

WESTビルにおける設計の考え方と積層ゴムの試験

について紹介した。

設計を行う上で、どの程度の外力に対してどの程度の損傷を許容するかが大事なことである。免震システムは積極的に外力と耐震性の関係をコントロール出来る構造である。この考え方は、建物毎に違って当然であり、今回の設計の考え方は、その1例に過ぎない。

また、積層ゴムについて、仕様をしっかりと決めれば、各メーカー毎の製品のバラツキが少ないことが確認出来たことは、今回の成果の一つであると考えている。

### 参考文献

- \* 1 戸松、片山:地震危険度解析のグラフィックシステム  
ERISA-Gの開発とその機能  
土木学会論文集 第362/I-4 1985年10月
- \* 2 翠川、小林:地震断層を考慮した地震動スペクトルの推定  
日本建築学会論文報告集、第282号 1979
- \* 3 The Appendix Division III Required Tests of Isolation System, Uniform Building Code 1991