

42階建超高層RC免震住宅－くずはタワーシティー

竹中工務店
岸本光平



同
山下靖彦



同
濱口弘樹



同
長瀬 正



1. はじめに

兵庫県南部地震以降、構造的な安全性だけではなく、居住者やその財産に「安心・快適」をプラスする免震住宅が増えてきています。本報では建物高さが136.8mと竣工時点の2003年末で、免震建物として日本一の高さとなる「京阪くずはタワーシティーT棟」を紹介します。

2. 建物概要

本建物（T棟）は京阪電鉄くずは駅前に計画された免震集合住宅街区のシンボルタワーとなる42階建ての超高層マンションであり、2003年春にはこのT棟を除く11,13,24階建の3棟がすでに竣工を迎えている。以下にT棟の建物概要を示す。



写真-1 建物全景
(2003年9月撮影・手前がT棟)

建設地：大阪府枚方市樟葉並木2丁目

建築主：京阪電気鉄道株式会社

設計監理：株式会社竹中工務店

施工：竹中工務店・京阪建設共同企業体

用途：共同住宅

敷地面積：14,402㎡（街区全体）

建築面積：7,103㎡（街区全体）

延べ床面積：32,719㎡

階数：地下1階 地上42階 塔屋1階

軒高：133.3m

建物高さ：136.8m

基準階階高：3.15m

基礎形式：場所打ちコンクリート拡底杭

架構形式：RCブレースと耐震壁を有するラーメン架構の免震構造

3. 構造概要

本建物は、凸型板状の両端に翼を加えたような平面形状を有し、高さ方向には34階以上がツインタワーとなっている。図-1に基準階伏図を、図-3に軸組図を示す。以下に構造計画の特徴を列挙する。

<上部構造>

- ・地震時の免震性能を向上させるためと暴風時の居住性を高めるために、地下1階から24階までに連層耐震壁を配置し建物短辺方向の剛性を高めている。
- ・超高層免震建物やアスペクト比の大きな免震建物の設計に際して問題となる積層ゴムに生じる引張力の対策として、建物荷重を隅柱に集めて地震時の積

層ゴムに加わる引張力を小さくするため、地下1階から2階（部分的に3階）の間にRCブレースを配置している。

- ・上記のRCブレースにより長期で発生するスラスト力に対処するために、該当部分地下1階大梁にプレストレスを導入している。
- ・建物外周の柱梁には工場製作のPCa部材を用いて無足場工法を採用し、床は空洞プレストレス合成床やハーフPCa合成床により構成している。
- ・構造材料として、最大Fc80N/mm²の高強度コンクリートを用いており、鉄筋は最大でSD490のD41を柱梁主筋として使用している。

<免震層>

地下1階床下の基礎部分に免震層を設けた基礎免震構造である。図-2に免震部材配置を示す。

- ・最大で2,500tonfの荷重を負担して免震周期を長くするために、支承材として柱直下に天然ゴム系積層ゴム (G0.39 S₂=5) を計29基 (径は1,500、1,400、1,300mmの3種類) 配置している。
- ・減衰材として、また風荷重に対して居住性を損なわないように免震層の初期剛性を確保するために、鉛ダンパー (U180) を113基、鋼棒ダンパー (90φ R450) を7基配置している。
- ・主に建物短辺方向の転倒モーメント応答の低減を図るために、オイルダンパーを14基配置している。
- ・免震層のクリアランスは750mmである。

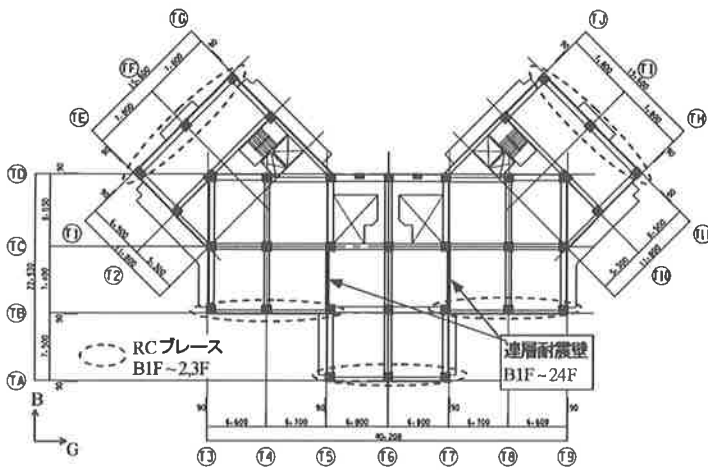


図-1 基準階伏図

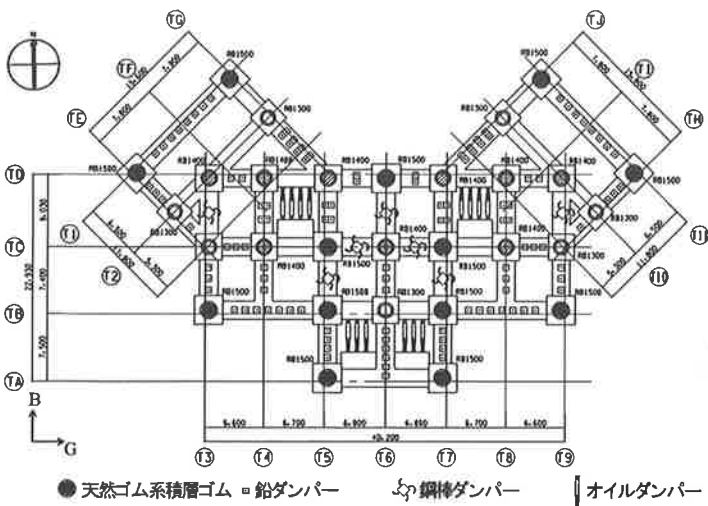


図-2 免震層伏図

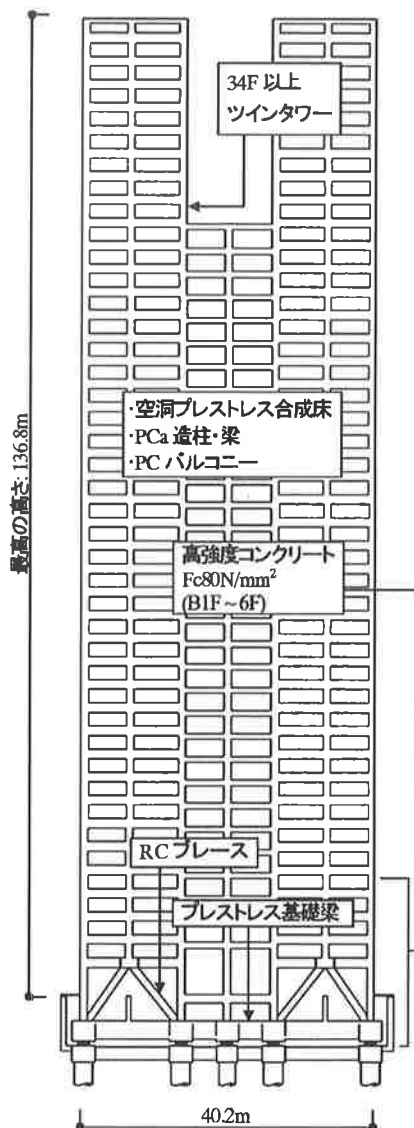


図-3 TB通軸組図

<解析結果>

構造物の動的特性を把握するために、水平動に対する弾塑性時刻歴応答解析モデル、上下動に対する弾性時刻歴応答解析モデル、およびねじれの影響を評価するための弾性固有値解析モデルを作成した。

本建物の1次固有周期を表-1に示す。また地震応答解析結果の一例を図-4に示す。

・レベル2応答における最大層間変形角はG方向で約1/500、B方向で約1/333とクライテリアとして設定した1/200を満足している。免震層変形量はG方向で約35cm、B方向で27cmである。

表-1 1次固有周期

	G方向(s.)	B方向(s.)
免震層固定時	2.51	3.11
免震層初期剛性時	2.74	3.29
レベル1相当時	3.72	4.10
レベル2相当時	5.16	5.41

・上部構造の部材応力は、レベル1において短期許容応力度以下、レベル2において弾性限耐力以下という目標を満足している。

・基礎構造はレベル2において短期許容応力度以下という目標を満足している。

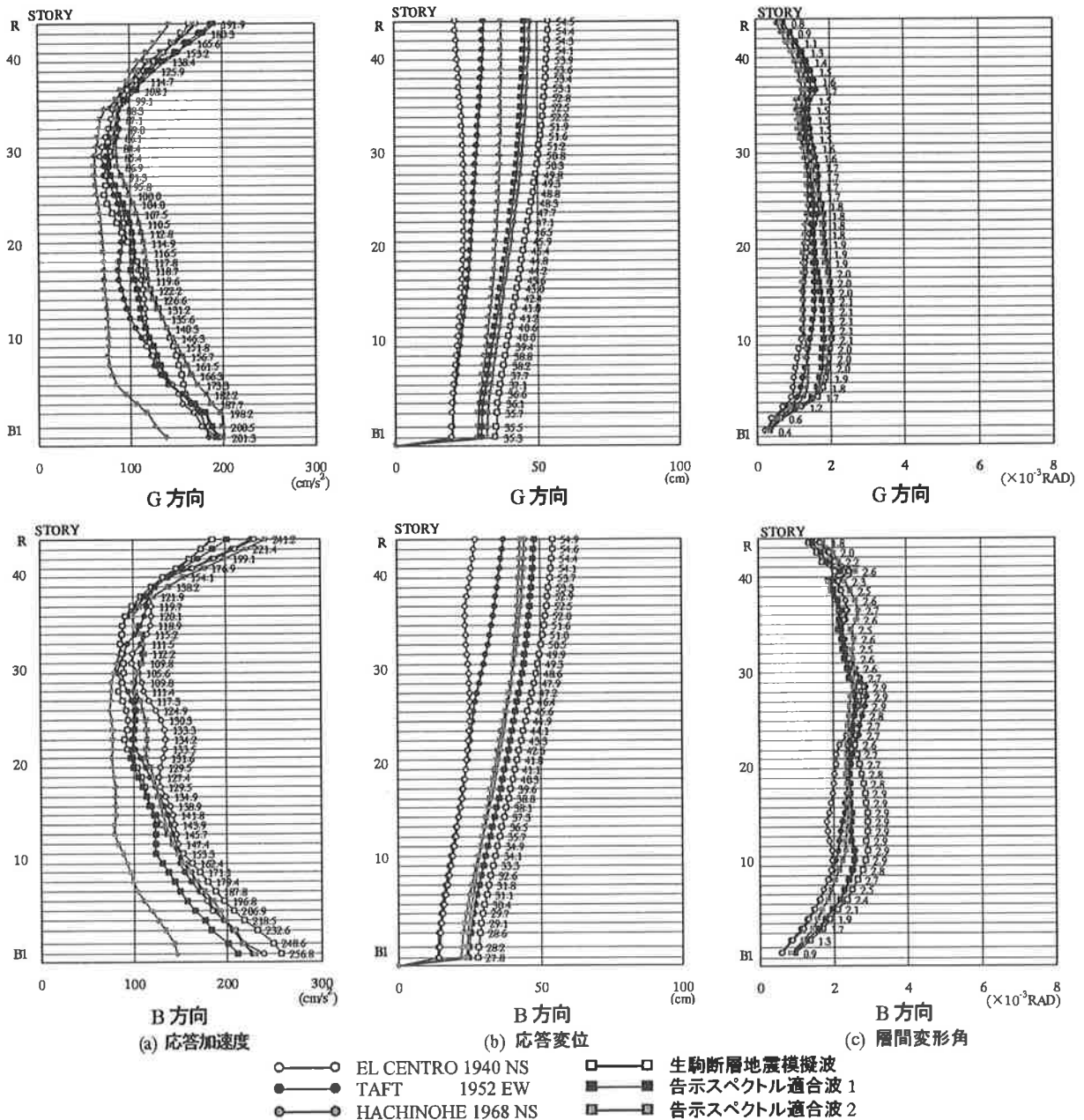


図-4 最大応答値 (レベル2)

4. 積層ゴムの実大引張実験とモデル化

積層ゴムに発生する引張力に対する安全性を検証するため、本建物に使用している大口径天然ゴム系積層ゴムと同じものを用いて実大引張実験を行った。

<実験概要>

- ・ $\phi 1,500$ および $\phi 1,300$ の天然ゴム系積層ゴムを用いて、基本特性（せん断、圧縮剛性）計測、単純引張またはオフセットせん断引張実験、および引張せん断実験（一定の引張歪みを与えた状態でのせん断実験）を設計時の重要度が高いと思われる最大引張歪み $\epsilon_{max}=5\%$ 以下の低歪み領域で重点的に行い、最後に $\epsilon_{max}=25\%$ の大変形を与えた。

- ・ 水平-鉛直方向の荷重-変位に加え、中心から直径方向の計5カ所での面盤とフランジとの離間量（図-7参照）等を計測した。

<実験結果>

- ・ $\epsilon_{max}=25\%$ の大きな引張歪みを受けた後でもせん断剛性や圧縮剛性は大きく変化することはなかった。

- ・ $\epsilon_{max}=25\%$ 、オフセットせん断歪み $\gamma_{const}=300\%$ の引張実験結果を図-5に示す。引張剛性は連続的に低下していき、ゴムの降伏と思われるやや顕著な折れ点が $1.2\text{N}/\text{mm}^2$ 付近に現れた。また2回目以降の载荷では $0.8\text{N}/\text{mm}^2$ 付近に折れ点が見られる。これはゴム内部にボイドが生じたためと思われる。

- ・ 低引張歪み領域を詳細に調査した $\epsilon_{max}=3\%$ 、 $\gamma_{const}=0,100,200\%$ の実験結果を図-6に示す。繰り返し载荷による剛性や耐力の低下はなく、 $\phi 1,300$ 試験体で約 $0.3\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $\phi 1,500$ 試験体で約 $0.4\text{N}/\text{mm}^2$ に顕著な折れ点が見られる。これはフランジ外周部の面盤からの離間が始まる点であると考えられる。また両試験体の応力-歪み関係における勾配の差はフランジ厚（面外剛性）が異なることの影響が大きいと考えられる。

- ・ 図-7に $\epsilon_{max}=3\%$ 、 $\gamma_{const}=0\%$ の引張実験時におけるフランジの面盤からの離間量と試験体の引張応力の関係を示す。フランジ中心部(②~④)では引張载荷直後から離間が始まり、応力-離間量関係はなだらかな非線形形状を示すのに対し、取付ボルト位置に近いフランジ外周部(①、⑤)では図-3における折れ点に対応する応力に至って初めて離間が始まる剛塑性に近い性状を示していることが分かる。

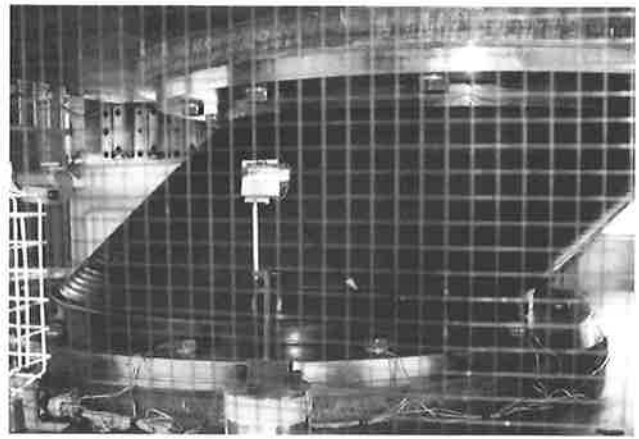


写真-2 実大引張特性実験

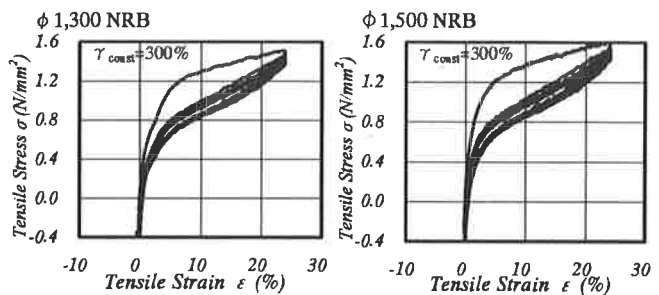


図-5 引張方向の応力-歪み関係 ($\epsilon_{max}=25\%$)

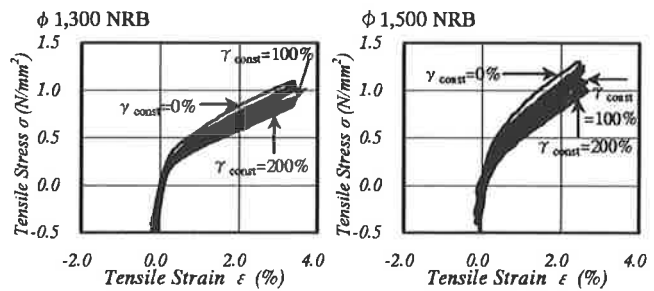


図-6 引張方向の応力-歪み関係 ($\epsilon_{max}=3\%$)

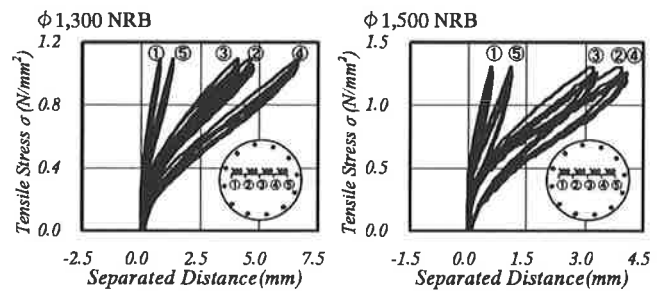


図-7 フランジの面盤からの離間量

<設計の妥当性の確認>

本建物の免震設計において最も留意したことは、積層ゴムの鉛直引張特性をどのように評価するかという点である。ここでは、主に余裕度レベルの検討に対する① $2\text{N}/\text{mm}^2$ までの面圧を想定した線形モデル、②積層ゴムの歪み量に着目したバイリニアモデル、および③実大引張特性実験結果に基づき性能確

認のために用いたトリリニアモデルによる解析比較を以下に示す。

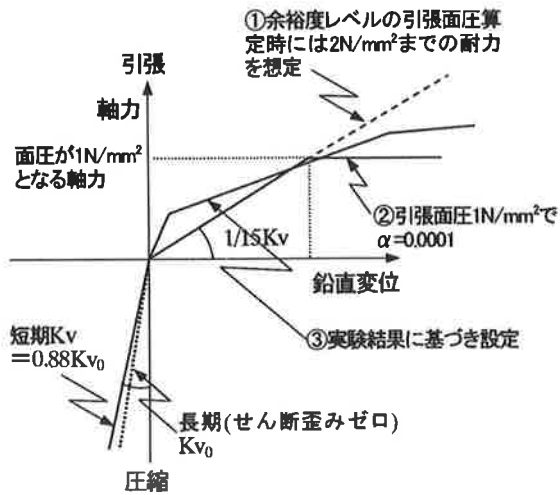


図-8 積層ゴムの鉛直方向特性

表-2 φ1500天然ゴム系積層ゴムの鉛直方向特性

	①線形モデル	②バイリニアモデル	③トリリニアモデル
長期鉛直圧縮剛性 K_{v0} (kN/cm)	59,700	同左	同左
短期鉛直圧縮剛性 K_v (kN/cm)	52,500	同左	同左
引張側初期剛性	$1/17K_{v0}$ ($1/15K_v$)	同左	$1/5.3K_{v0}$ ($1/4.7K_v$)
第1折点強度 (N/mm ²)	-	1.0	0.37
第2折点強度 (N/mm ²)	-	-	1.2
第2分枝剛性比	-	1/10,000	1/23.5
第3分枝剛性比	-	-	1/431

・積層ゴムの引張検討の初期段階では、引張側耐力が 2N/mm^2 までであるもの(①モデル)として、余裕度レベルの応答がそれ以下であることを確認していた。しかし免震材料の部材認定で引張限界強度が 1N/mm^2 と規定されたことや積層ゴムの引張については荷重(面圧)ではなく変形量(歪み度)で評価すべきであるということを考慮して、②モデルにより詳細設計を完了した。

・さらに実大引張実験結果をもとに作成した③モデルによる検討を加えて、設計の妥当性を再確認した。②、③モデルを用いた比較解析による応答値を図-9に示す。余裕度レベルの最大引張面圧は②モデル： 1N/mm^2 、③モデル： 0.96N/mm^2 、歪み度は②モデル： 1.80% 、③モデル： 1.82% とほとんど差がない結果が得られており、積層ゴム引張領域での安全性を

確認している。

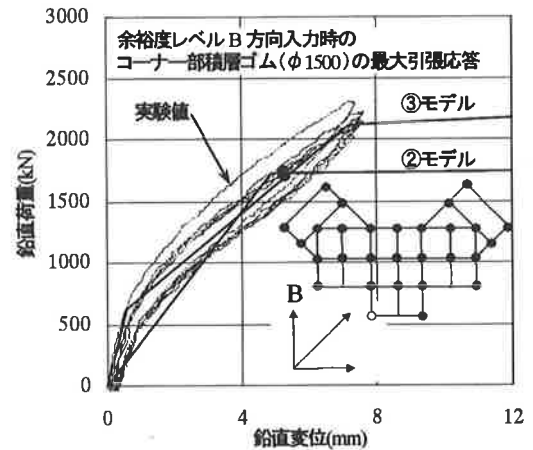


図-9 モデル化による比較解析結果

なお上下動応答や免震層のばらつきを考慮した本解析において、レベル1地震時では免震支承に引き抜きは発生しておらず、レベル2地震時では免震支承に引き抜きは発生するものの、どのケースにおいても引張面圧が 1N/mm^2 以下となっていることを付記しておく。

5. 免震部施工概要

免震部材施工にあたり免震部材上部の基礎梁配筋と免震部材のアンカーの納まりが複雑になる部分の施工性を向上させるために免震部材上部基礎をサイトPCa造とした。写真-3にその状況を示す。

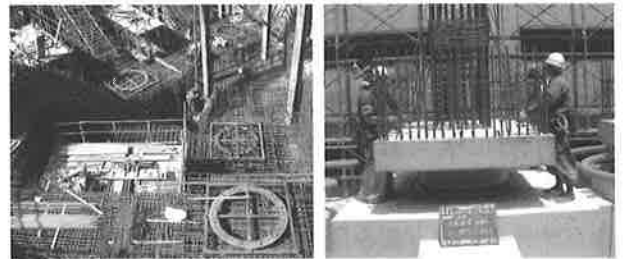


写真-3 免震部材取付状況

6. おわりに

1999年8月の設計コンペ、建築基準法改正直後の2000年夏からの詳細設計と超高層建築物性能評価委員会、そして2001年春の着工を経て2004年春の2期竣工という約4年にわたる当プロジェクトにおいて、高さ136.8mの免震住宅を実現することができました。

最後に、本建物の計画・設計・施工にあたり御協力頂きました関係者の方々にこの場をかりて御礼申し上げます。