

# 大星八重洲ビル



山中 昌之  
大林組



岸 浩行  
同



堂地 利弘  
同



貞弘 雅晴  
同



齋藤 元嗣  
同



小野 佳之  
同

## 1 はじめに

大星八重洲ビルは、地震に対する高い安全性の事務所ビルを建てたいという建築主の要望に基づき、オフィス街の角地となる敷地をいっばいに利用した塔状比の大きな免震建物として計画された。

以前から、塔状比の大きな免震建物の免震層に風外力が及ぼす影響は、十分な設計配慮が必要であると指摘されており、その設計判断に必要な指針等が最近整ってきている。<sup>1)・2)</sup>

本建物は、免震層の耐風安全性を検証することで、免震性能と耐風性能をバランスよく両立させた四本柱免震建物である。

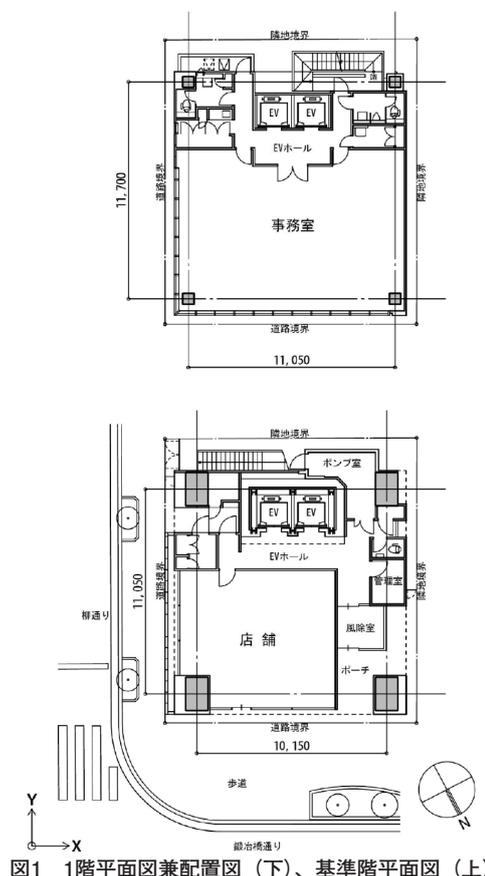
本稿では、風応答解析に基づいた免震層の耐風設計を中心に紹介する。



写真1 建物全景写真

## 2 建築概要

- 建設地：東京都中央区八重洲2丁目8番
- 建築主：大星ビル管理株式会社
- 設計監理：株式会社大林組一級建築士事務所
- 施工：株式会社大林組
- 建築用途：事務所、店舗
- 階数：地上11階 建物高さ：45.52m
- 延べ面積：1652.84m<sup>2</sup> 建築面積：171.27m<sup>2</sup>
- 構造：上部鉄骨造（CFT）、下部RC造
- 基礎形式：場所打ち鋼管コンクリート拡底杭



### 3 構造概要

本建物は、1階と2階の間に免震層を設けた中間層免震建物である。

上部構造はCFT柱と鉄骨梁による純ラーメン架構、下部構造はRC造の純ラーメン架構、基礎構造は1FL-24.7mを支持層とする場所打ち鋼管コンクリート拡底杭である。

上部構造の平面形状は11.05m×11.7m、上部構造のみの塔状比は約3.5、免震層設計クリアランスは450mmである。

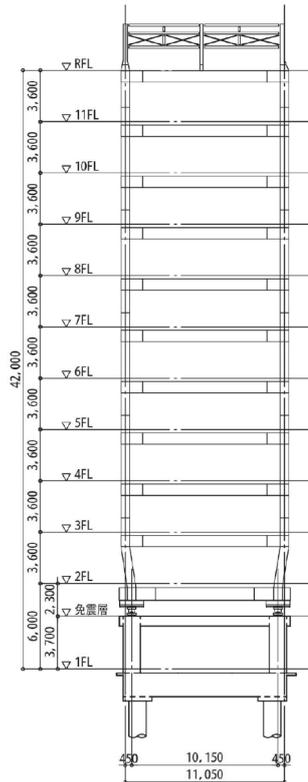


図2 軸組図

### 4 免震部材配置

支承材として柱直下の4箇所に直動転がり支承（以下、CLB）を配置し、復元材及び減衰材として鉛プラグ挿入型積層ゴム（以下、LRB）を面圧が作用しない状態で建物四隅に配置した。LRBの4基配置により免震層の回転剛性を上げ、捩れ成分を含む風荷重に対する耐風性能の向上を図った。また、2次形状係数=3.5、ゴム層厚200mmのLRBを採用し、復元力が過大になることを抑えることで、免震周期 $T_f=4.1$ 秒の高い免震性能を確保した。

LRBの鉛プラグ径は、等価荷重振幅による簡易評価<sup>3)</sup>により、継続時間の長い暴風時でも鉛の温度上昇を伴わず、安定挙動する為に必要な減衰量により決定した。免震層の降伏せん断力係数 $\alpha_s$ は、0.035である。

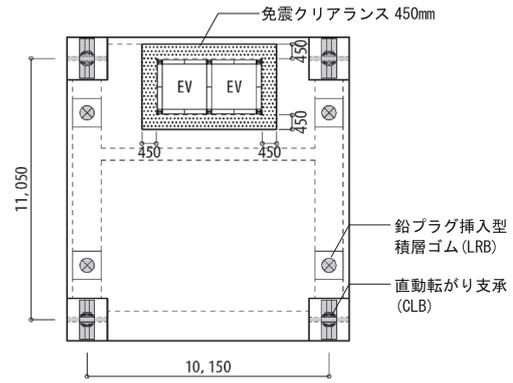


図3 免震部材配置図

### 5 免震層の耐風設計方針

本建物は、L1風荷重に対しても免震層の降伏を許容する設計とする。免震層の復元力特性と風荷重の関係を図4に示す。ここでの風荷重は、H12建告1461第三号イのL1風圧力と同第三号ロのL2風圧力とする。

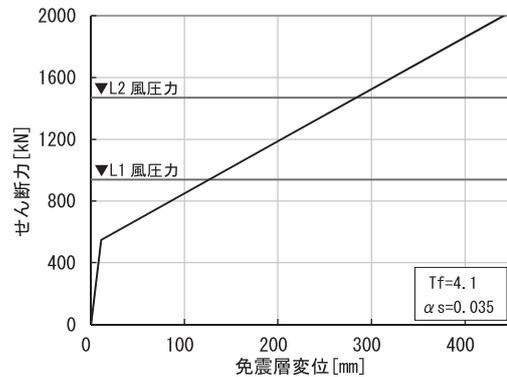


図4 免震層復元力特性と風荷重

免震層降伏荷重とL2風圧力変動成分の関係を図5に示す。変動成分に対して免震層が弾塑性挙動する為、耐風設計指針<sup>1)</sup>におけるランクCに分類される。

ランクCとなる免震層の耐風設計として風応答解析の結果をもとに以下の項目を確認した。

- ・風荷重時の最大応答値
- ・風荷重時の免震層エネルギー吸収
- ・免震部材の耐風安全性評価
- ・免震部材の累積疲労損傷評価

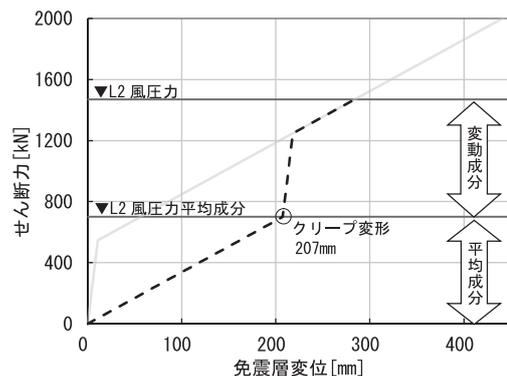


図5 免震層降伏荷重とL2風圧力変動成分

## 6 風荷重時の最大応答値

風荷重変動成分に対する免震層最大応答は、風応答解析にて確認する。採用する層風力波形は、周辺建物を除いた単独状態の風洞実験にて測定した値から算出した。

中間階（6階）の層風力波形を図6に示す。波形の時間間隔を $\Delta t=0.0421$ 秒、合計約750秒とし、そのうち100秒から700秒までの600秒間（10分間）を解析対象とする。

なお、渦励振及び空力不安定振動は、荷重指針<sup>4)</sup>に従って検討し、発生しないことを確認している。

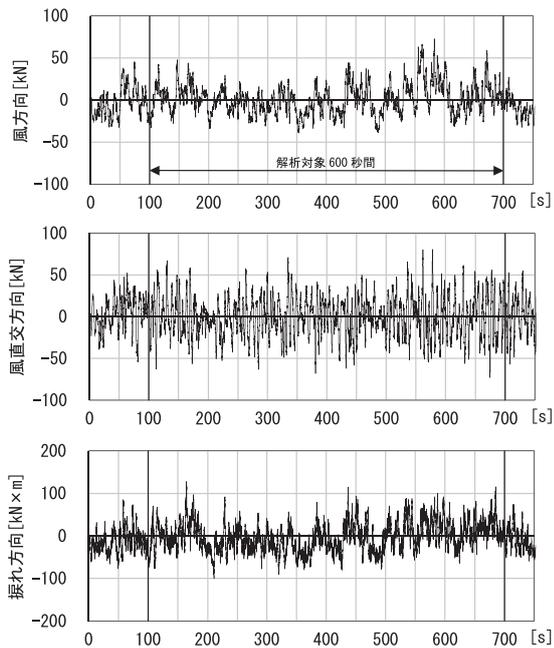


図6 中間階（6階）の層風力波形

風応答解析に用いた解析モデルを図7に示す。構造上主要な部材を線材に置換した立体モデルとする。柱、はりの材端をMSモデル、免震部材をMSSモデルとする。減衰は、上部構造のみに $h=2\%$ の剛性比例型減衰を考慮する。

受風面積が大きいX方向を風方向、Y方向を風直交方向とし、風荷重の入力は、振り方向を含めた3方向同時入力とする。

L2風圧力変動成分と免震層応答せん断力の関係を図8に示す。

L2風圧力変動成分770kNに対し、免震層の最大応答せん断力は、風方向789kN、風直交方向889kN、及び任意方向912kNとであり、風応答解析の応答値が告示の値をそれぞれの方向で上回っている。

風応答解析による免震層の軌跡を図9に示す。最大応答変位は、風方向で86mm、風直交方向で88mmとほぼ同程度である。風方向の86mmと風荷重の平

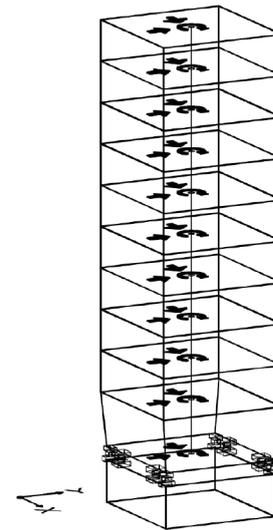


図7 解析モデル図

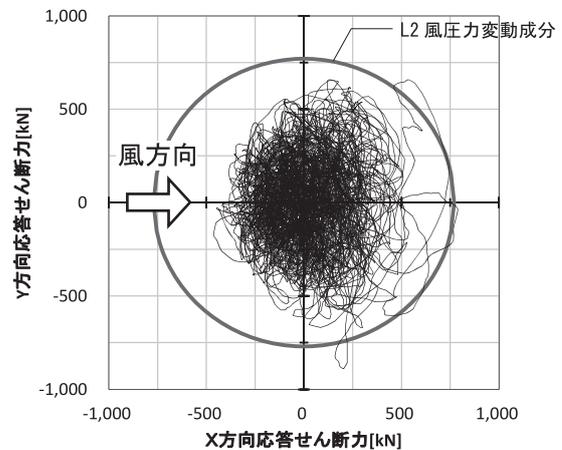


図8 L2風圧力変動成分と免震層応答せん断力

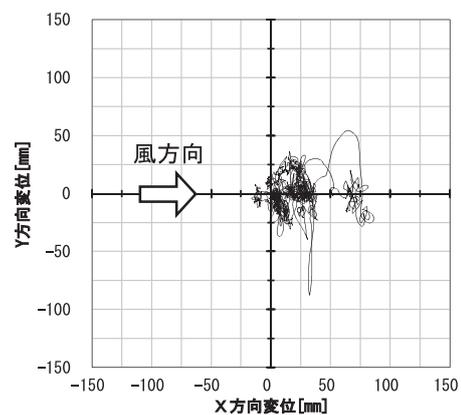


図9 免震層の軌跡

均成分によるクリープ変形207mmを足して、免震層重心位置の最大変形量は293mmとなる。これに、免震層のねじれを考慮した建物最外縁の最大変形量は318mmとなり、設計免震クリアランス450mm以下に収まる。このとき、LRBの歪み度は、 $\gamma=160\%$ で、LRB設計クライテリア $\gamma=200\%$ 以下となる。

また、免震層の水平応答回転角は、 $\theta=0.005\text{rad}$ で、CLB設計クライテリア $\theta=0.014$ 以下となる。

## 7 風荷重時の免震層エネルギー吸収

10分間を対象とした風荷重による免震層の入力エネルギーと各吸収エネルギーの収支を図10に示す。LRBで58%、CLBで35%を負担し、免震層で合計93%を吸収する。

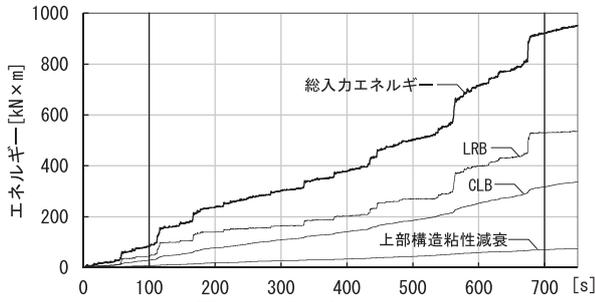


図10 エネルギー収支

LRBとCLBそれぞれ4基合計の荷重-変位関係を風方向、風直交方向別に図11に示す。

風直交方向の方が、大きな履歴ループを描き、吸収エネルギーが大きいことを確認出来る。

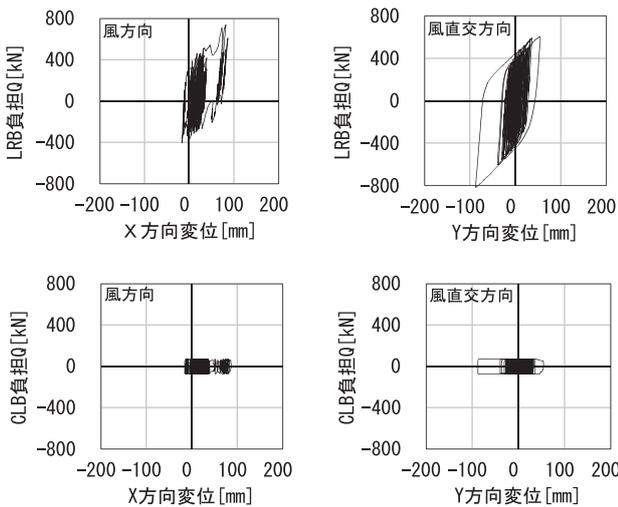


図11 荷重-変位関係 (LRB、CLB)

## 8 免震部材の耐風安全性評価

LRBは、長時間の多数繰り返し変形により温度上昇し、応答特性が変化することが知られている。

ここでは、「仕事率による健全性評価基準」<sup>3)</sup>に基づいて、LRBの耐風安全性評価を行う。

風応答解析結果より、600秒間でのLRB吸収エネルギーは、1基あたり121 [kN×m] である。これを鉛プラグ体積で除して、1秒あたりの仕事率に換算すると0.07 [N/mm<sup>2</sup>/s] となる。これは、判定値0.40 [N/mm<sup>2</sup>/s] より十分に小さい為、本建物では、LRBが風荷重時に温度上昇を伴わないと判断する。

## 9 免震部材の累積疲労損傷評価

建物供用期間50年における免震部材の健全性を確認する。ここでは、LRBの許容吸収エネルギーが、吸収エネルギーを上回ることを確認する。

まず、許容吸収エネルギーは、鉛プラグ単位体積あたりの許容吸収エネルギー6.6 [N×m/mm<sup>3</sup>]<sup>6)</sup> から算定し、LRB4基で80,000 [kN×m]と設定する。

一方、吸収エネルギーは、下記①~④の事象による吸収エネルギーの合計とする。

- ①L2地震動により、3,810 [kN×m]
- ②長周期地震動<sup>9)</sup>により、406 [kN×m]
- ③L2の風外力による吸収エネルギーは、本件での風応答解析対象10分間における結果をそのまま4.5時間継続換算して、20,871 [kN×m]
- ④建物供用期間50年における風荷重による累積吸収エネルギーは、免震層が降伏する風速24m/s以上の1m/sごとに吸収エネルギーと継続時間<sup>7)</sup>を掛け合わせてから合算し、33,268 [kN×m]

①~④の合計は、58,355 [kN×m]となる。比較すると約3割の余力があることが確認出来た。(ここでは、CLB負担分もLRBが全て負担する安全側の評価としている。) 図12に供用期間50年における風速1m/sごとの継続時間、風荷重による10分間の吸収エネルギー、及びその累積吸収エネルギーを示す。

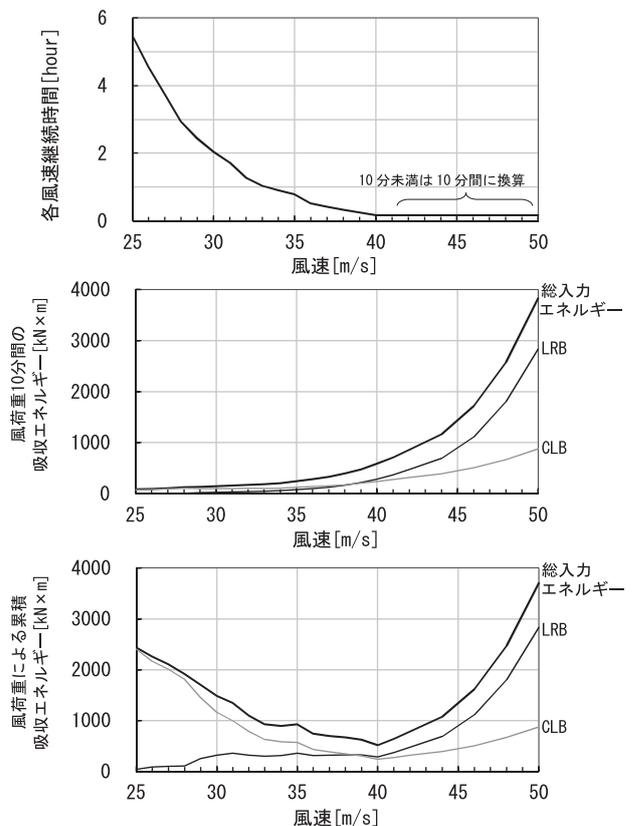


図12 風速1m/sごとの継続時間と吸収エネルギー

## 10 風荷重評価における周辺建物の影響

風応答解析の層風力波形は、建物単独時における風洞実験の結果を採用している。

ここでは、周辺建物の影響を考慮して数値解析で算定した風荷重が、風洞実験に基づく建物単独時の風荷重を上回らないことを確認する。

数値解析には、自社開発の数値風洞プログラム「エアロダイナ®」を使用した。

変動転倒モーメント係数のパワースペクトルを図13に示す。比較の為、単独風洞実験の結果もプロットする。周辺建物の影響により風直交方向特有の変動風力のパワーが低減されていることがわかる。

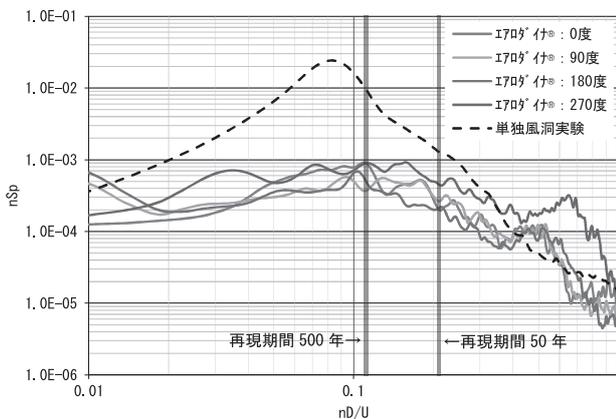


図13 変動転倒モーメント係数のパワースペクトル

比較の結果、X方向で単独時の80%程度、Y方向で40%程度といずれも単独時を下回る結果を確認した。

一方、再現期間が短い高周波数域では、270度方向解析時にパワースペクトルが増幅する傾向がみられた。図14に示す270度方向の瞬間速度ベクトル図にて、道路反対側の建物からはね返る風が大きく増幅していることが確認出来る。

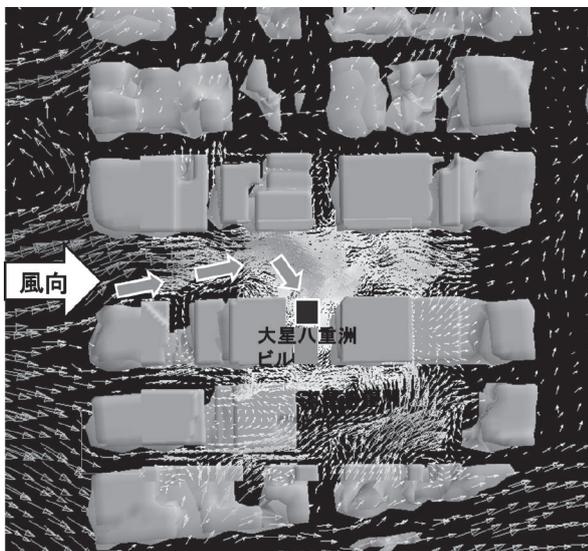


図14 瞬間速度ベクトル図 (270度方向)

## 11 日常風対策

「エアロダイナ®」の数値解析から、周辺建物の影響により、日常風の増幅が確認された。そこで、日常風による建物の振動を低減し、居住性を向上させる目的で、TMDを設置した。

マス重量5トンのTMD2基をねじれ振動に対しても効果を発揮できるように屋上に対角配置した。

設置後の現地性能確認試験で、X方向・Y方向とも3%以上の付加減衰を確認している。



写真2 屋上に設置したTMD

## 12 免震層の残留変形

LRBは、クリープ特性によって、ゆっくりと原点にもどる性質をもつが、残留変形50mm以上が確認された場合には、原点復帰作業を行う。

本建物では、上部構造重量が比較的軽い為、上部構造と下部構造をチェーンブロックで連結し、互いに引き寄せることで原点復帰が可能な機構を備える。チェーンブロックを建物の各辺に2箇所、計8箇所を設置出来る。写真3にて、チェーンブロックを設置する原点復帰機構を確認出来る。

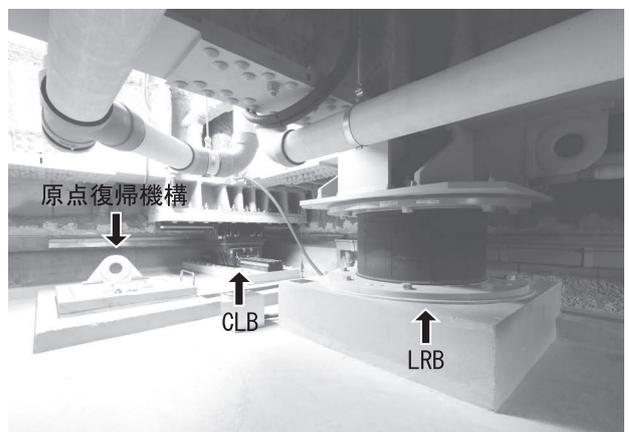


写真3 原点復帰機構と免震部材

### 13 免震層のフェールセーフ機構

本建物は、中間層免震建物であり、基礎免震建物のように擁壁が存在しない。そこで、設計地震動を大きく上回る地震が発生した場合、上部構造から吊り下げているEVシャフトを下部構造に衝突させることで免震層の過大変形を防ぐフェールセーフ機構（X方向変形時はEVシャフトと振れ止めの組み合わせ、Y方向変形時はEVシャフトのみ）を設けた。

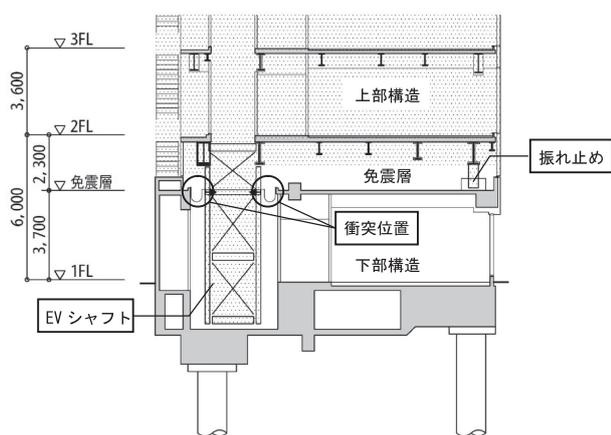


図15 フェールセーフ機構

万が一の衝突時に、上部構造の応答せん断力が増加することがわかっている。<sup>8)</sup> 四本柱架構の本建物では、冗長性を確保する為、フェールセーフ機構の衝突から降伏に至るまで、上部架構及び下部架構を弾性限範囲に留め、崩壊形に至らない設計とする。

ここでは、フェールセーフ機構の履歴特性を免震層の復元力特性に加算し、設計地震動の入力を漸増して、建物の挙動を確認した。

図16に免震層の復元力特性を示す。フェールセーフ機構が機能することで、免震層の応答せん断力は、衝突以降、約1.8倍に上昇するが、免震層の変形は、十分に抑えられる。

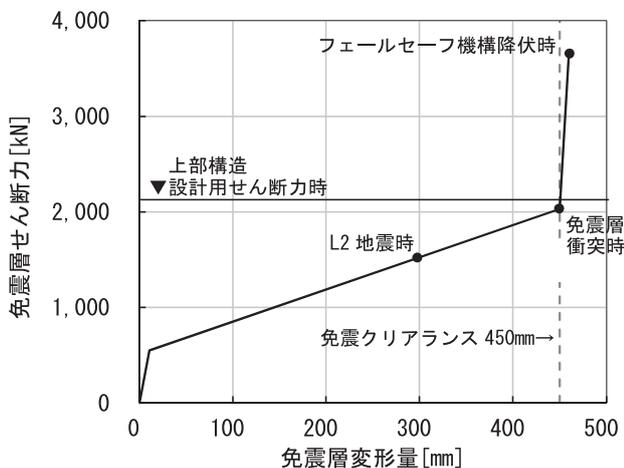


図16 免震層の復元力特性

一方、上部構造の最下層応答せん断力は、衝突以降、約1.5倍となるが、層間変形角は1/150未満であり、弾性挙動範囲内であることが図17に示す上部構造の復元力特性にて確認出来る。

この層間変形角1/150時点で建物に塑性ヒンジ発生がないことを静的増分解析にて確認しており、フェールセーフ機構が十分に機能する間、建物は健全に挙動し、四本柱免震建物の冗長性を確保出来た。

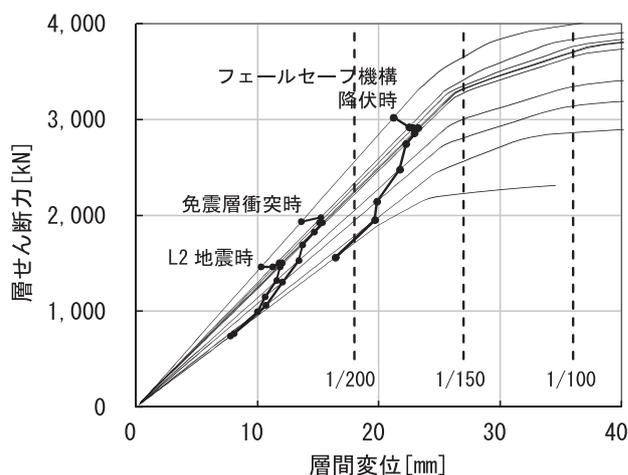


図17 上部構造の復元力特性

### 14 おわりに

免震層の耐風安全性を検証することで、免震性能と耐風性能をバランスよく両立させた塔状比の大きな四本柱免震建物を実現した。

最後に、設計する機会を与えて頂いた建築主、構造的な評価審査を担当して頂いた大熊武司氏（神奈川大学名誉教授）、北村春幸氏（東京理科大学教授）、日本建築センター担当者、設計初期段階から免震部材に関する技術資料を提供頂いたオイレス工業（株）、（株）免制震デバイス、その他関係者にこの場を借りて心よりお礼申し述べたい。

#### 参考文献

- 1) 「免震建築物の耐風設計指針」(JSSI:2012)
- 2) 「免震構造設計指針」(AIJ:2013)
- 3) 「高層免震建物における強風時のLRBの挙動」(オイレス工業(株):技術資料No.K-99-H-026)
- 4) 「建築物荷重指針・同解説」(AIJ:2004)
- 5) 「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案について」(国土交通省:H22/12/21)
- 6) 「応答制御建築物調査委員会報告書」(JSSI:2012)
- 7) 「地形効果を考慮した台風シミュレーション手法の開発」(大林組技術研究所報No.70:2006)
- 8) 「過大地震動下における免震建物の応答特性」AIJ九州支部研究報告(高山峯夫ら:2007)