

# 府中 C-1ビル

(株)日本設計



中川 進



川村 満



人見泰義

## 1. はじめに

従来の耐震構造の建物は大地震時に倒れないとはいえ、地震後は仕上げはもちろん躯体もクラックだらけ等かなり損傷を受けることを予想している。これは構造的には受入れられても社会的に十分理解されているとは考えられない。これに対し免震構造の建物では内部の人・物・機能の保護を考えており、機能も含め建物は大地震後もそのままに使用できることを目指している。府中C-1ビルは、情報センターとしての機能の保護を優先して考えた建物である。免震構造を採用する事により、この社会的目的に則した建物があるコストの中で実現したものである。

## 2. 建築概要

- 所在地 東京都府中市日鋼町
- 主用途 情報センター
- 工期 1990年8月～1992年8月
- 敷地面積 19,615.26㎡
- 建築面積 7,225.25㎡ (免震部分4,796.81㎡)
- 延面積 45,379.10㎡ (免震部分37,845.62㎡)
- 階数 地上7階、地下1階、塔屋1階
- 建物高さ 37.5m
- 構造種別 鉄骨鉄筋コンクリート造
- 構造形式 耐震壁併用ラーメン構造
- 基礎 直接基礎 (布基礎及びマットスラブ)
- 建物総重量 約62,000トン
- 地震時グレード 用途種別2種 (重要度の高い建物)
- 免震装置 鉛プラグ入り積層ゴム
  - 直径1,500mm×18基
  - 直径1,300mm×22基
  - 直径1,200mm×16基
  - 直径1,100mm×12基
  - (鉛プラグ直径180mm～280mm)
- 仕上概要 外装：アルミカーテンウォール、花崗岩打込みPCカーテンウォール及び磁器タイル仕上  
床仕上：メラミン化粧板仕上フリースクセスフロア (H=600mm)

## 3. 構造概要

### (1)全体概要

この建物は、鉄骨鉄筋コンクリート造、地下1階・地

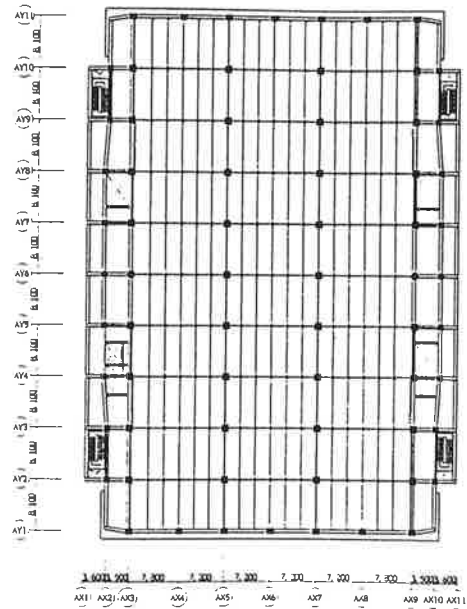


図-1 基準階伏図

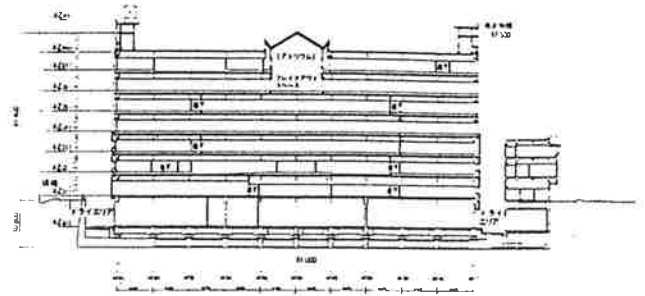


図-2 軸組図



写真-1 建物写真

上7階・塔屋1階の情報センターであり、地下1階床梁と基礎との間に鉛プラグ入り積層ゴム (LRB: Lead Rubber Bearing) を設置した免震構造となっている。(図-1, 2、写真-1)

(2)各部の構造

・上部構造

免震層により地盤と分離された上部構造は、耐震壁を有する鉄骨鉄筋コンクリート造とし、電算室の梁は鉄骨造としている。

・下部構造

免震層を介して上部構造を支える下部構造(基礎構造)は、安定した上総層群細砂層を支持層とし、マットスラブ及び布基礎で接地した直接基礎である。免震層に有害な変形が生じないように基礎構造は十分な剛性を持ち、外周部で地下1層分の土圧を受ける擁壁と一体化されている。

・免震層

上部構造と下部構造の間に位置する免震層は、4種類のLRB(積層ゴム直径:1,100/1,200/1,300/1,500)総数68基からなる。1基で支える重量は最小径のもので626t、最大径のもので1,671tであり、これらはゴム面圧にして各々68kg/cm<sup>2</sup>、98kg/cm<sup>2</sup>である。積層ゴム中心の鉛プラグにより地震エネルギーの吸収を図っている。(図-3, 4)

4. 免震構造の採用まで

(1)何故免震か

府中C-1ビルは、プロジェクト開始段階から、激しい情報化の流れの中で企業の一つの中枢である電算センターとなることが決まっていた。このため、容器としての建物の安全性のみならず、内容物である人や情報機器、またその機能保全を含めた1グレード上の安全性が求められていた。大地震時にこの機能保全を含めた安全性を確保するには免震構造の採用が適当と考え、その妥当性の検討を開始した。(図-5)

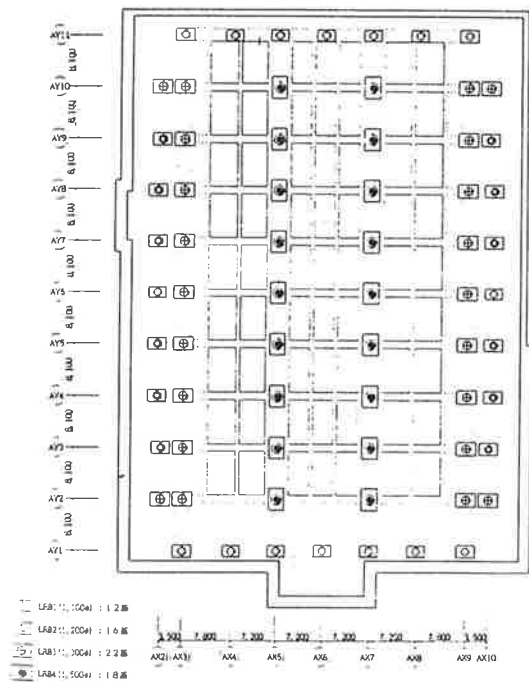


図-3 LRB配置図

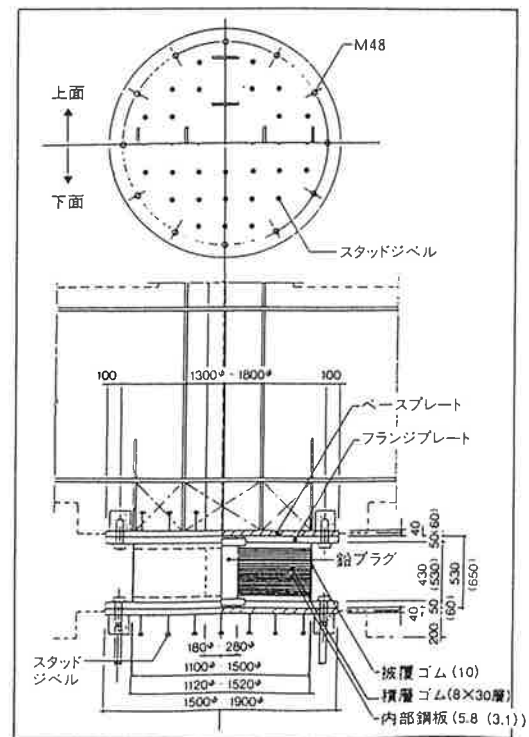


図-4 LRB取り付け詳細図

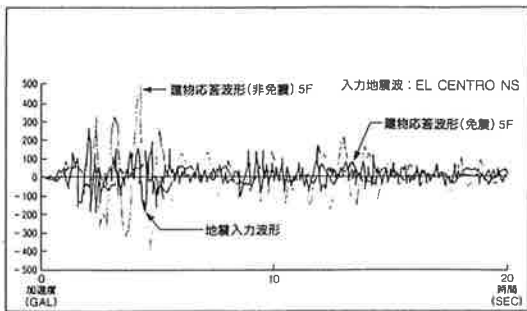


図-5 免震構造と従来構造の応答比較

(2)決断まで

検討においては、

- ・従来の耐震構造（基礎固定型）との地震時応答比較
- ・従来の耐震構造（基礎固定型）とのコスト比較
- ・設計及び施工スケジュールの検討
- ・免震装置の信頼性の検討
- ・期待値等による発生地震予測

などを行い、施主側と十分な議論を重ね、理解を得て、内容物の安全性と機能保全を重視した結果、免震構造の採用が決定した。

企画から維持管理までの免震構法の流れを図-6に示す。

(3)手続き

日本建築センター免震構造研究委員会での審査が約6ヶ月、その後免震構造評定の取得に約2ヶ月を要し、

38条大臣認定に約1ヶ月の期間を要した。1990年3月に許認可手続が完了した。

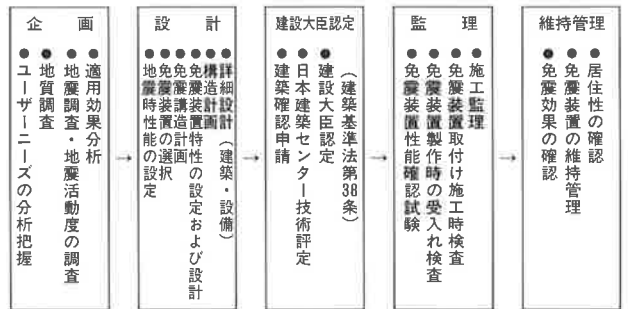


図-6 免震構法システムの流れ

5. 設計時の考察

(1)設計クライテリア

当社における『免震構造設計システム』では地震時性能をその建物の要求性能に応じ、用途種別1（一般の建物）、用途種別2（特に重要度の高い建物）を設けている。本建物では用途種別2として、表-1に示すように地震時の目標性能を地震レベルごとに、建築・設備各々に設け、これに沿って設計作業が進められた。今回の設計では非常時の機能保全を優先するため、中小地震よりも大地震時の性能を主体に設計性能が定められた。

(2)免震装置の選択

表-1 地震時性能目標

検討 レベル	入力地震動 地震動レベル 地震面速度	耐震設計目標			2次部材等の設計		設備耐震設計		C棟（非免震） の耐震設計目標
		上部構造の性能	免震装置の設計	下部構造の設計 (基礎・地盤)	外装材	非免震取合部	上部構造における 配管・機器	非免震取合部	
I	中地震 震度5の弱 建物の耐用年限中に 致度運送する可能性 のある地震動 10 cm/sec	最大加速度 120 cm/sec <sup>2</sup> 以下	—	—	一切の補修の 必要無しに継続 使用できる 限界 層間変形角 = ±1/500	—	—	—	基準法による一次設計  外装材 ±1/400
II	大地震 震度5の強 ～6の弱 建物の耐用年限中に 1度以上運送する可 能性のある地震動 25 cm/sec	短期許容応力度以下 設計せん断力 $\leq$ 以下 壁せん断力 $\leq$ Rc/10 最大層間変形角 1/450以下 最大加速度 250 cm/sec <sup>2</sup> 以下 350 cm/sec <sup>2</sup> (PH階)	許容水平変形量 15cm以下	—	CW部材に破 損、脱落残留 変形が起ころ ず不定形シー リング材の補 修のみで継続 使用できる 限界 ±1/400	±(免震層の許容 水平変形量15cm+ 取合部最大変位 量)で何ら損傷が 起ころないこと	—	—	—
III	強大地震 震度6の強～7 建物が将来運送する からしめない最大の 地震動 50 cm/sec	弾性耐耐力以下 最大層間変形角 1/300 以下 最大加速度 400 cm/sec <sup>2</sup> 以下 450 cm (PH階)	許容水平変形量 30cm以下 安全率 1.5以上 せん断歪 200%以下	$K_w=0.4$ に対して 弾性耐耐力以下	CW部材に破 損脱落を生じ ない限界 ±1/300	±(免震層の許容 水平変形量30cm+ 取合部最大変位 量)で機能的な問題 が起ころないこと 2次・3次部材に は軽微な破損を許 容する	PH階：0.6G 基準階：0.5G	±免震層の許容 水平変形量30cm で、全ての配管 は可動でき、何 ら損傷が起ころ ないこと	地上部 保有水平耐力の確認 (基準法に準じる) 地下部 $C_s=0.4, K=0.2$ に対 して弾性耐耐力以下 (補材ステージとは対応しない)
IV	終局状態検討用地震 動 強大地震を上回る大 きさの地震動 75 cm/sec	保有水平耐力の確認	限界水平変形量 50 cm以下 安全率 1.0 以下 せん断歪 300%以下	—	—	地盤固定部との取 合は免震層の限界 水平変形量50cmで 躯体が衝突しない こと	—	重要な配管は ±50cmで可動で きる	—

免震装置として、次の2種類が検討された。

・鉛プラグ入り積層ゴム

積層ゴムの特性にプラスして、積層ゴム中心部に挿入された鉛の弾塑性挙動によりエネルギー吸収能力を持たせ、建物への地震入力低減を図るもの。

・高減衰積層ゴム

積層ゴムの特性にプラスして、特殊配合によりそれ自体に減衰性を有するゴム材料を用いることにより、

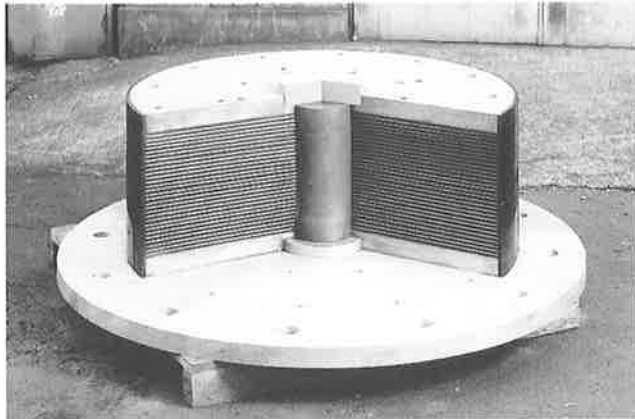


写真-2 LRBカットモデル

エネルギー吸収能力を持たせたもの。

この他に、積層ゴムと減衰装置を別々のユニットとして免震層に取り付ける方式もあるが、施工や取扱いの単純さから一体型の上記2種類からの選択とした。上記2種類は、荷重・変形曲線がやや異なるが、似かよった免震効果を示した。最終的には実績の多い鉛プラグ入り積層ゴムに決定された。(写真-2)

(3)地震応答解析

地震時の免震建物の挙動を確認するために、実地震波記録を用いた地震応答解析が次のように行われた。

i) 上部建物は、B 1階から、屋上階床まで9質点にモデル化され、水平剛性は応力解析における立体

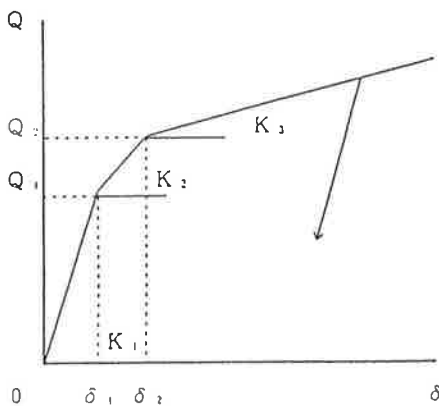


図-7 免震層の復元力特性

フレームモデルから得たものを用いる。免震層はその下部に水平バネとしてモデル化する。

ii) 免震層の水平剛性については各LRBのBi-linearカーブを合成したTri-linearカーブとしてモデル化する。(図-7)

iii) 地震波はEL CENTRO NS、TAFT EW、東京101NS、八戸港湾NS・EWを基準化したものを用いる。

この結果、応答結果は目標を満たすことを確認した。尚検討ステージIIIについては免震装置の剛性変化を考慮した検討も行っている。

(4)免震のためのディテール

免震構造では地盤と建物間で大きな変位が生じるた

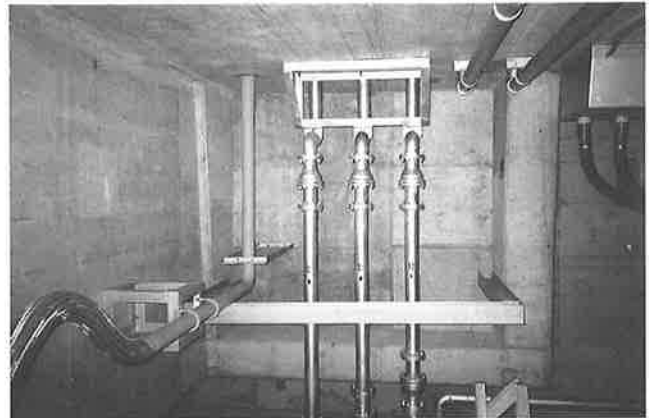


写真-3 設備配管免震継手

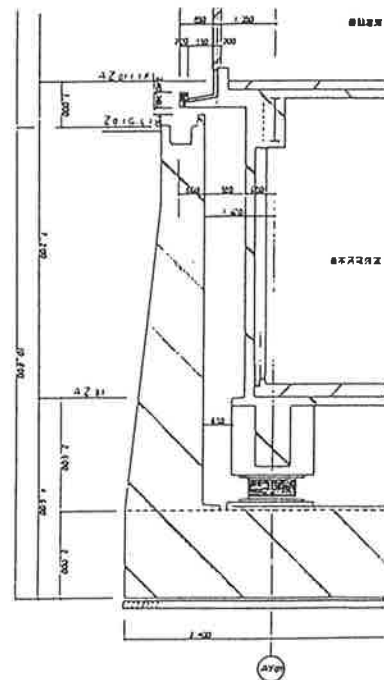


図-8 取合い部ディテール

め建築的、設備的にこのジョイント部分で特殊なディテールが必要となった。また逆に上部構造においては層間変位が通常よりも小さくなるためカーテンウォールやサッシュ等の取り付けディテールの簡略化が可能になった。(図-8、写真-3)

(5)地震時の電算機の転倒

免震に対する様々の検討のなかで、地震時の電算機器の転倒の検討を行ない、安全性を確認した。

(6)免震装置の耐久性

免震装置の採用により、構造材として馴染みのないゴムという材料が主要構造材として、鉄とコンクリートと共に建物に取り込まれるということで、その耐久性が検討された。耐久年数は建物の耐用年数として60年として設定され、ゴム素材(強度・剛性)やその接着性について熱老化促進試験により60年以上の耐久性が確認された。また科学薬品浸漬試験による耐薬品性や、耐湿度性・耐オゾン性も試験により確認されている。設計段階での建築主からの質問の一つに「ネズミにかじられたらどうしますか」というものがあり我々もやや困惑したが、「本体の積層ゴムは8mmのゴムと5.8mmの鋼板とが交互に積層になっており万一かじられたとしても10mmの被覆ゴム部分に止まり、内部のゴムに悪影響は無い、また早期発見のためにも点検を行うように」と回答した。建築主は様々な角度から心配をしていたようである。

(7)免震装置の耐火性

免震装置の耐火被覆については評定段階から論議され、結局、既評定物件にならない装置部分は基礎と判断され、また通常は人の出入りが無いとして耐火被覆は不要とされた。ところが確認申請段階で都指導課からまたもや「何故耐火被覆不要か」という質問があった。結局は評定時と同様の説明で事無きを得た。

6. 免震装置(LRB)製作と施工

(1)LRB製作

製作手順は、

- ・プレス用金型の図面及び製作(各径について約3カ月)
- ・積層ゴムの加硫成形(各径について約1.5カ月)
- ・製品の性能検査(約4ヶ月)

となっており、発注から納入まで約10カ月の期間が必要であった。

(2)製品試験と性能確認試験

LRB製品は全数について外観検査及び圧縮剛性・水平

履歴特性(等価剛性、等価減衰)を試験により確認した。またゴム径1,100及び1,500mmのLRB各2体については最大せん断歪み200%(水平変位48cm)までの

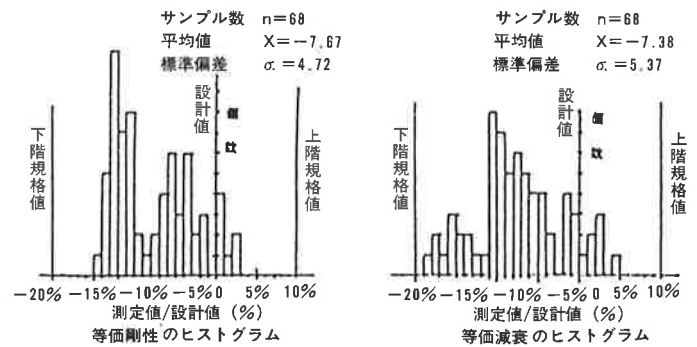


図-9 性能のばらつき

表-2 製品試験の内容

項目	製品	試験内容	検査数	許容差
圧縮剛性 Ky (ton/cm)	LRB 1	鉛直荷重 600ton ± 180ton間の剛性を測定	全数	設計値の±20%以内 但し、測定平均値との差は設計値の10%以内
	LRB 2	鉛直荷重 800ton ± 240ton間の剛性を測定	全数	
	LRB 3	鉛直荷重 1,100ton ± 330ton間の剛性を測定 鉛直荷重 1,000ton ± 700ton間の剛性を測定	3体抜取り	
	LRB 4	鉛直荷重 1,500ton ± 450ton間の剛性を測定 鉛直荷重 1,000ton ± 700ton間の剛性を測定	3体抜取り	
	LRB 3 LRB 4	鉛直荷重 1,000ton ± 700ton間の剛性を測定し、上記各3体から求めた補正値により設計鉛直荷重での剛性を算定	全数	
水平履歴特性 等価剛性 Keq (ton/cm) 等価減衰 Ha (%)	LRB 1 LRB 2 LRB 3 LRB 4	鉛直荷重 1,000ton を載荷し、100%せん断歪の履歴特性を測定	全数	設計値の-20% ~ +10%以内 ゴム割離等の異常のないこと

履歴特性を測定し、異常の無いことを確認している。(図-9、表-2)

(3)施工精度と施工法

免震装置は水平剛性が小さいため、これに作用する荷重の均一化への配慮が必要であった。前述の製品精度はもとより、免震層付近の施工精度には厳しい仕様を定め、施工監理を行った。この実現のために、施工側も様々の工夫により精度管理に努めたが、鋼板を含めた製作条件が厳しかったためか、現場での施工はともスムーズに進行していった。(表-3、写真-4)

表-3 施工時の検査

検査時期	検査項目	検査方法	頻度	取付け精度・合格判定基準	処置
下部基礎 施工時	アンカボルトの ・位置 ・長さ	レベル、 スケール	全放	・ $\leq 2\text{mm}$ ・所定長さ	修正
	アンカボルトの ・位置 ・高さ ・傾き	レベル、 スケール	全放	・ $\leq 2\text{mm}$ ・ $\leq 1\text{mm}$ ・ $1/1000$ 以下	修正
	グラウト材の 強度	強度試験	1回 /0.1	・所定強度以上	打ち直し
	アンカボルトの 表面状態	外観検査	全放	・錆の発生、下地の露出 がないこと	補修
横置ゴム 取付け時	・位置	レベル、 スケール	全放	・水平方向のずれ $\leq 2\text{mm}$ ・所定品番の確認	修正 取替え又は取 付け位置変更 記録
		目視			
	・高さ ・傾き	レベル、 スケール	全放	製品立合い検査に同じ (1-2(2))	修正
	取付けボルトの 固定度	トルク レンチ	全放	・所定トルク以上	締め付け
	・外部損傷	外観検査	全放	製品立合い検査に同じ	受入れ検査に 同じ
・鉄部の防 錆	外観検査	全放	製品立合い検査に同じ	受入れ検査に 同じ	
上部基礎 施工時	アンカボルトの ・位置 ・長さ	レベル、 スケール	全放	・ $\leq 2\text{mm}$ ・所定長さ	修正
	取付けボルトの ・位置 ・高さ ・傾き	レベル、 スケール	全放	・アンカボルトの $\text{offset} \leq 1\text{mm}$ ・ $\leq 1\text{mm}$ ・ $1/1000$ 以下	修正
	取付けボルトの 表面状態	外観検査	全放	・錆の発生、下地の露出 がないこと	補修

要である。この維持管理は竣工時のデータを以て開始されるため、竣工にあたり全てのLRBの状況が測定記録された。

(2)点検とメンテナンス契約

維持管理にあたっては、通常・定期・臨時的点検が設定されており、建物所有者と施工者および設計者間で維持管理（メンテナンス）契約を締結し、その実施にあたることになっている。（表-4）

表-4 保守点検の種類

種類	目的	時期	実施者
通常点検	外観、周辺調査による異常の早期発見	1回/8ヶ月	建物管理者
定期点検	通常点検で確認できない機能的異常の発見、及び耐久性に関する確認	竣工後 1年目 2年目 3年目 以降10年毎	設計者 立合い 指導 施工者
臨時的点検	通常点検で必要と判断された場合 建設地点で下記の災害があった場合 ・震度5（気象庁震度階）以上の地震 ・瞬間最大風速40m/sec以上の台風 ・集中豪雨等での積水の冠水 ・火災	不定期	設計者 立合い 指導 施工者

(3)別置き試験体

免震装置の耐久性・剛性変化などについて実際に近いもので検証していくために、今回は別置き試験体（実物を500mmφに縮小したモデル）3体を実情に則した面圧をかけた状態でピット内に設置し、定期的に試験を行うこととした。これは、今後免震装置の信頼性が向上するにつれ、不要になる可能性もある。

(4)地震観測

この建物では、免震構造としての機能が実際の地震時に設計通り発揮できるかどうかを検証するため、建屋内および地下部に地震計を設置し、その記録を測定する体制が整えられている。このシステム作動以来、また10gal程度の地震しか記録されていないが、いずれその性能が試されることになると思われる。

8. おわりに

超高層建築がそうであるように、免震建築も関東大震災クラス地震に遭ったことが幸いにして未だ無い。我々構造屋としては不謹慎ながらも、一抹の不安を感じつつ、一方で大地震の到来を期待しているのが本音ではなかろうか。特にこの免震構造のように大地震時の性能を構造的に制御するという目標を掲げている場合、その成果について責任もあり期待もしている。「地震来たれ」という所である。

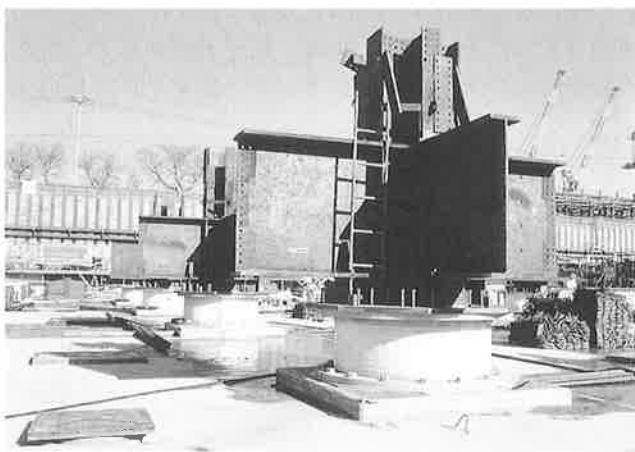


写真-4 LRB・0節鉄骨設置状況

7. 維持管理

(1)竣工時検査

免震構造は竣工後もその機能が維持されていくことが必要であり、そのためある程度の維持管理が最小限必