

大成建設湯河原研修センター耐震改修工事の概要

大成建設 小倉桂治



同 前澤澄夫



同 辻田 修



1. はじめに

平成7年12月末に施行された既存建物の耐震診断補強を促す「建築物の耐震改修の促進に関する法律」により、既存建物の耐震改修技術に対する関心が高まっている。

計画建物(写真-1)は、静岡県熱海市に昭和39年竣工された研修センターで、予想される東海沖地震などで大きな影響を受ける可能性の高い地域に位置すること及び旧耐震基準で設計された本建物の耐震性に若干の不安があることから、「レトロフィット免震」による改修を行うことにした。以下にその概要を紹介する。



写真-1 レトロフィット免震を行う研修センター

敷地面積	10,595m ²
建築面積	2,235m ²
延床面積	15,658m ²
軒 高	44.53m
最高高さ	49.03m

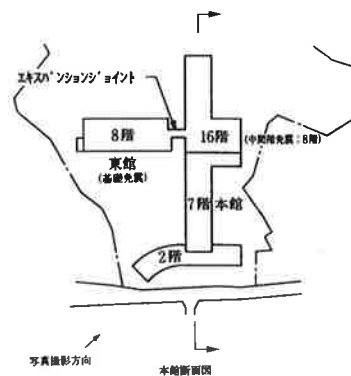


図-1 平面図

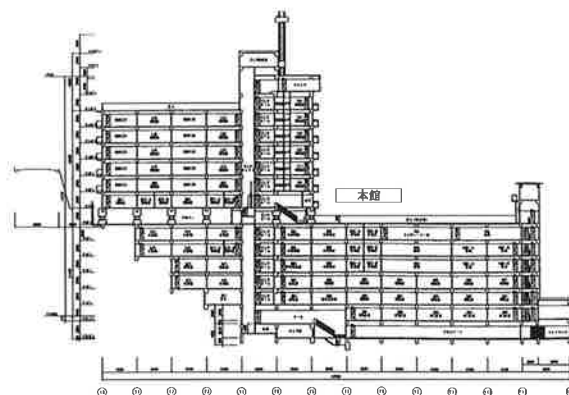


図-2 本館断面図

2. 建物概要

本建物は、本館と東館が直角に交わるような形状をしており、両建物はエキスパンションジョイントによって接続されている(図-1)。本館は背後に山がせまる傾斜地に建つ建築物で、広く広がる低層階からタワー状に建ちあがる高層階を有している(図-2)。

建築場所 静岡県熱海市泉町

竣工年度 昭和39年

構造及び階数

「本館」地上16階建 塔屋2階

鉄骨鉄筋コンクリート造一部鉄筋コンクリート造

「東館」地上8階建

鉄筋コンクリート造

3. 改修計画概要

3. 1 免震構法採用の経緯

耐震性向上技術には、建物の変形性能と耐力で抵抗する耐震補強と、地震入力を小さくする免震構法が考えられる。本計画で免震構法による耐震改修を採用するに至った理由は、以下の通りである。

- ・免震層に工事を集約させるため、建物を使用しながら補強が可能である。
- ・補強費用とライフサイクルコストの試算結果は、免震構法の方が安価であった。
- ・建物機能の制約、外観の変更が免震構法の方が少ない。

3. 2 全体計画概要

本計画では、本館においては8階の全柱22本に鉛プラグ入り積層ゴムを挿入した中間階免震構法によるレトロフィットを行っている。図-3の応答解析結果例からもわかるように、中間階免震により免震層より上部の応答が減少することはもちろん、免震層下部にも免震の効果がある。そのため、免震層上部では耐震補強することなく、免震層下部においても若干の耐震補強にて、建物の設定した耐震性を満足させることが可能となった。

なお、建物に中間階免震を採用した場合、構造計画以外に建築計画や設備計画にも特別な配慮が必要となる。本計画でも、免震層の変形に対応する「免震対応エレベータ」を開発するとともに、設備配管においては船舶分野で使われるスィベルジョイントを配管継ぎ手を用いることにより、地震時の免震装置の変形に追従できる仕様としている。

東館には、基礎下に「ハイブリットTASS構法」による基礎免震を採用している(図-4)。これにより、東館も耐震補強することなく、建物の耐震性が満足されている。

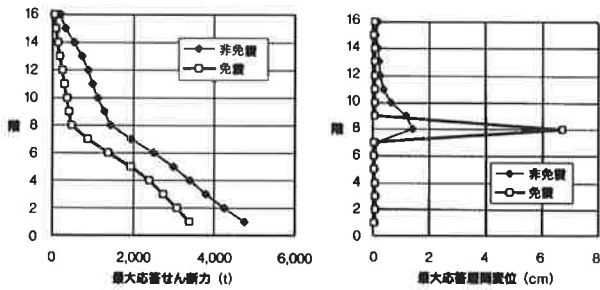


図-3 応答解析結果例(本館)

3. 3 免震層の計画

本館の中間階免震には、高い減衰性能を有する鉛プラグ入り積層ゴム(支承径 $\phi 700$ 及び $\phi 800$)を用い、柱及び上下階の梁の曲げ応力が過大にならないように、積層ゴムは柱内法中央に設置した(写真-2)。免震層は初期剛性時の周期が約1.15秒、降伏後剛性時の周期が約3.0秒、降伏せん断力係数が約0.06~0.07程度になるように設計した。

中間階に免震装置を設置する場合、防災上免震装置に耐火被覆等を施さなくてはならない。一方、積層ゴムなどの免震装置は、維持管理上半年に1回程度の点検が必要となり、耐火被覆が点検の妨げになる。そこで本計画では、「点検機能付き耐火被覆」を開発、設置する予定である。

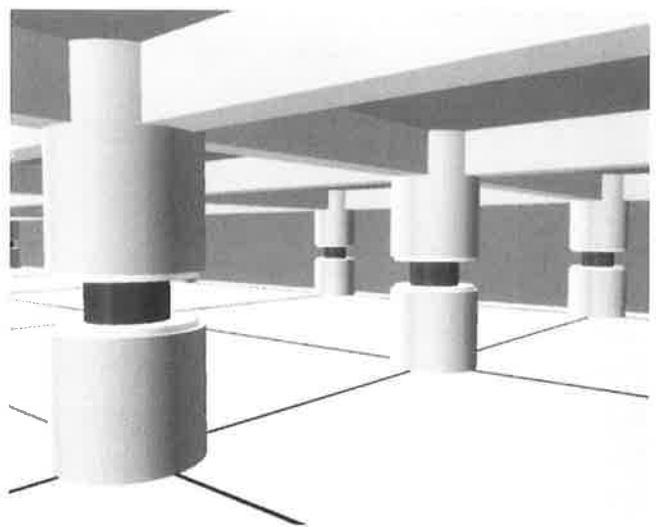


写真-2 中間階免震構法イメージ

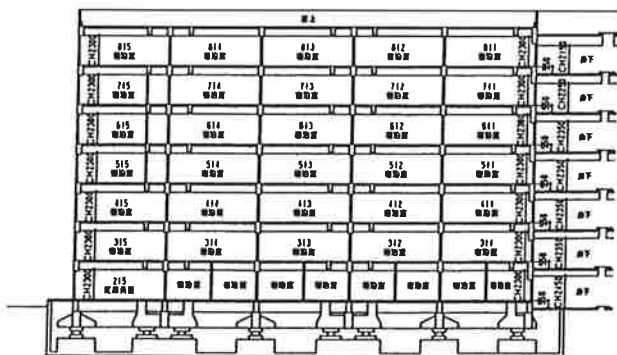


図-4 東館断面図

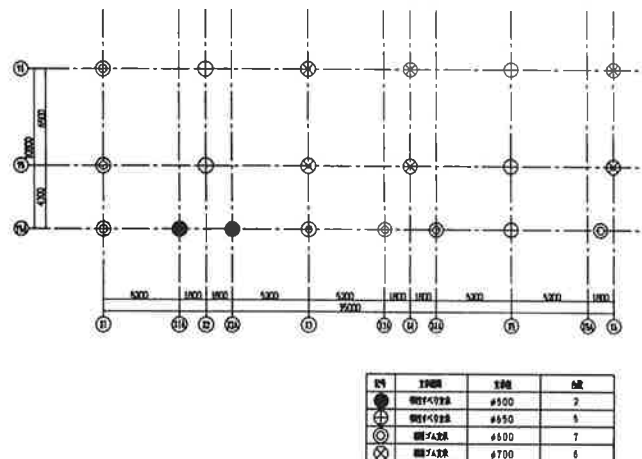


図-5 東館基礎免震支承配置図

東館の基礎免震に採用した「ハイブリットTASS構法」は、弾性すべり支承と天然ゴム系積層ゴム支承を併用したもので、以下のような特徴がある。

- ・弾性すべり支承は地震時にすべりを生じ、その時のすべり摩擦はダンパーとしての役割を果たす。
- ・すべり支承の重量負担率を下げることにより、免震層の降伏せん断力(すべり発生せん断力)を小さくできる。
- ・すべり発生後の免震周期を約4秒程度と長周期にすることが容易である。

免震層はすべり発生前の周期が約1.4秒、すべり発生後の周期が約4.0秒、降伏せん断力係数が約0.04程度になるように設計した。また、剛性の大きく異なる弾性すべり支承と積層ゴム支承を併用するにあたり、免震層の偏心が極力小さくなるように配置を定めている。図-5に東館基礎免震の支承配置を示す。

4. 地震応答解析

設計検証に用いる入力地震動及び解析モデルは以下とした。

設計用入力地震動として著名な観測地震波の他に、建設地で将来発生する可能性のある地震動としてM8クラスのプレート境界型巨大地震である仮想東海及び仮想南関東、M7クラスの内陸直下地震である仮想神奈川県西部の3つの震源を想定し検討対象とした。表-1に示す模擬地震波は、最大加速度及び応答スペクトルの検討により、本建物の応答が最も大きくなると考えられる仮想神奈川県西部地震に対して2種類の方法により作成した時刻歴波形の値である。

基本解析モデルは、基礎免震とする東館では上部構造7層に免震層を加えた8質点系等価せん断型モデルとし、傾斜地に立地し中間階免震とする本館では床変形が考慮された3次元擬似立体モデルとした。

図-6、図-7にレベル2での最大応答変位、最大応答せん断力係数を示す。免震層の最大層間変位は、東館においては約20cmであり積層ゴム支承のせん断歪みとして160%、本館においては約17cmでありせん断歪みとして約85%となっている。これらの歪み量は積層ゴム支承の変形に対して十分な安全余裕度を有している。免震層の最大せん断力係数は、東館で0.09、本館で0.12であり、上部構造並びにP- δ 効果により付加曲げの生じる免震層上下の大梁が構造補強を要しない範囲内である。また、本館の解析により、免震層でのねじれが小さいこと、下部構造の安全性が免震構造の採用による上部構造の応答低減効果により設定した補強で十分であることも確認された。

表-1 設計用入力地震動(レベル2)

地震波名	最大加速度 (gal)	最大速度 (kine)	継続時間 (sec)
模擬波A NS	532.2	29.7	41.0
EW	485.2	30.3	41.0
UD	371.5	12.3	41.0
模擬波B 水平	699.5	25.5	41.0
EL CENTRO 40NS	510.8	50.0	53.7
TAFT 52EW	496.6	50.0	54.4
HACHINOHE 68NS	330.2	50.0	36.0

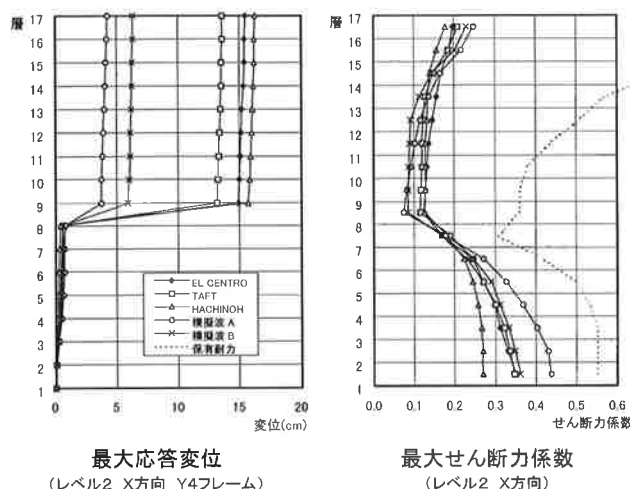


図-6 本館中間階免震

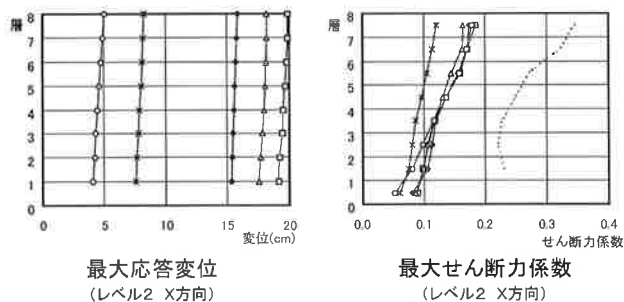


図-7 東館基礎免震

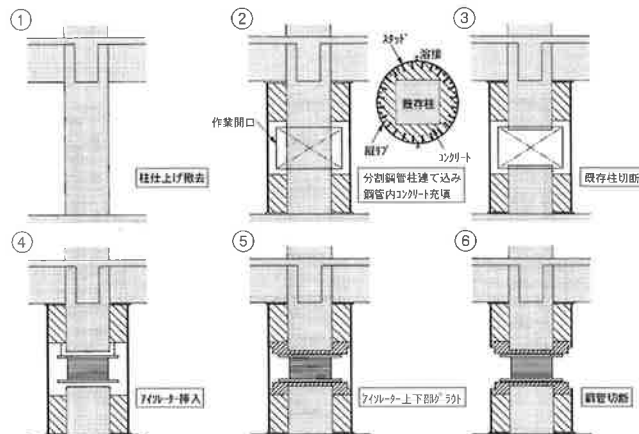


図-8 本館中間階免震化工法施工手順

5. 免震装置の設置方法

建物使用状態で施工を指向するレトロフィット免震では、新築とは異なり柱が既に上階の重量を支えている状態に対して、免震装置の安全かつ確実な挿入方法がキーポイントとなる。本工事では、1.施工時の安全性、2.短工期、3.仮設材及び仮設残材の縮小の3項目を必須条件と考え、図-8に示すジャッキを必要とせず、各柱で同一フェーズ・同時施工を可能とする中間階免震の施工方法を考案し採用した。東館の基礎免震も同様のコンセプトで施工しており、ここでは中間階免震の施工法について説明する。

作業手順は、まず①柱仕上げ材撤去後、②二つ割にした鋼管を建て込み溶接で一体化し、上下部にコンクリートを打設する。鋼管には予め作業開口、リブ補強、スタッドが施されている。コンクリート強度発現後③作業開口よりワイヤーソーによって既存柱を切断し、④除去した位置へアイソレーターをセットして、⑤アイソレーター上下部のベースプレート部分をグラウトすることにより各部を一体化させる。全柱がここまでの工程を終了後に、ほぼ同時に⑥鋼管の切断を行い建物の免震化が完了する。

鋼管開口部での断面耐力の確保と全鋼管の同時切断により、いずれの施工フェーズにおいても現況以上の耐震安全性が実現されている。また、使用部材を分割して一個当たりの重量が軽減できるので大型の機械を必要としないこと、施工範囲が免震層のみであることなどから汎用性の広い工法と考えている。

本工法では、③作業開口からの既存柱切断時と⑥鋼管切断時の2回において軸力移行に伴う柱の軸縮みを生じる。そこで、軸縮みの発生する施工フェーズ毎に切断順序を考慮した各施工状況での静的解析を立体モデルにて行い、各部にひび割れなどの支障が生じない解析結果を得た。尚、施工に先立ち、この解析に用いる縮み量の推定やディテールを含めた構工法に関する改良点の抽出を目的としたサイトにおけるモックアップでの施工実験を実施し、妥当性の確認を行っている。

6. おわりに

既存建物の耐震補強を促す「耐震改修促進法」が施行されたこと等により、公共施設、ショッピングセンター、病院にとどまらず、民間の事務所ビルや集合住宅で、建物を使用しながら耐震性を向上させる動きが顕在化した。既存建物の耐震改修に免震構法を用いることは、その効果が際だっていることの他にも、免震層だけに工事が集約されるため使用しながらの工事が可能であり、改修後も建物機能の制約が少ないなどのメリットがある。

新築にあっても、図-9に示すように、

- a) 建物と敷地境界のクリアランスが十分でない場合、
- b) 斜面に建設され基礎がセットバックする場合、
- c) 床面積の大きな低層部に床面積の小さな高層部がある場合

などは、免震層を建物の中間階に設ける中間階免震が有力となる場合があると考えられる。今後、基礎免震と中間階免震のいずれを選択するかは、建物の用途、免震による地震力の低減効果、コスト等を総合的に判断して決定されるものと考えている。

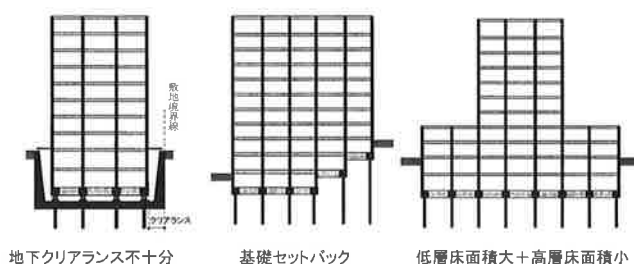


図-9 中間階免震が適する場合

謝辞

ここまでに至るには各方面から多くのご指導、ご指摘を戴きました。ここに深く感謝の意を表します。

鹿島技術研究所西調布音響実験棟

久米設計 小幡 学

三菱地所 加藤晋平



1. はじめに

訪問した建物は1986年7月に竣工しており、丁度10年経過したことになります。当建物は免震建物の初期の段階にもかかわらず、免震建物の適用領域の拡大を狙い、「免震」と「防振」との両立を図った「免震防振構法」の開発の一環として鹿島建設技術研究所の音響実験棟に初めて適用されたものです。又、鹿島建設では使用後10年経たことにより、積層ゴムの経年変化の調査を行ったと聞き、その調査結果も興味深く、鹿島建設の三浦部長の紹介によって、須賀川広報委員長及び広報委員の小幡、加藤の4名で当建物を訪問いたしました。



写真-1 音響実験棟の外観

2. 建物概要

◆免震防振構造の採用理由

本建物では微振動に対して敏感な実験・計測が行われるため、免震防振構造が採用された。

◆免震防振構造の概要

建築場所：調布市多摩川1丁目36番1号

建築面積：379.10㎡

延べ面積：655.99㎡

階数：地上2階

軒高：10.20m

構造：鉄筋コンクリート造

総重量：2,000t

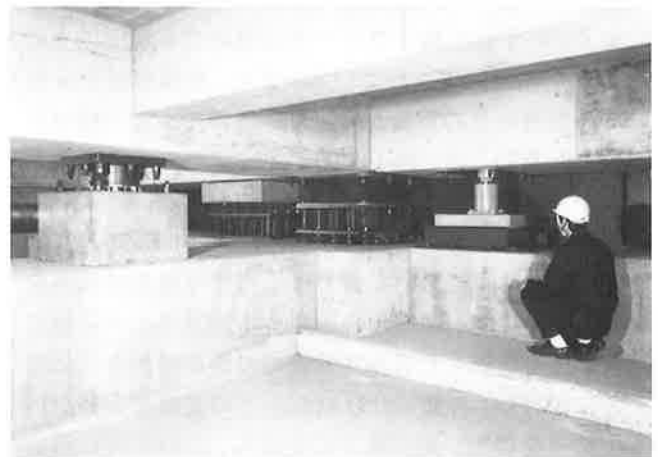


写真-2 免震装置設置状況

実験棟の外観を写真-1に、免震装置設置状況を写真-2に示します。また、平面図、立断面図、免震装置の配置を図-1～図-3に示します。

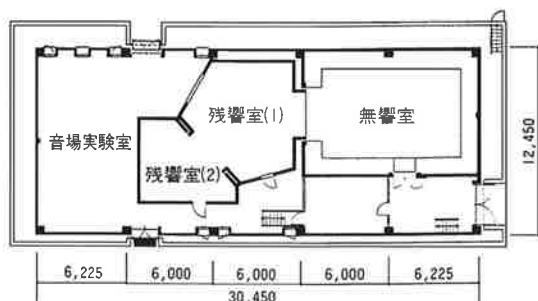


図-1 1階平面図

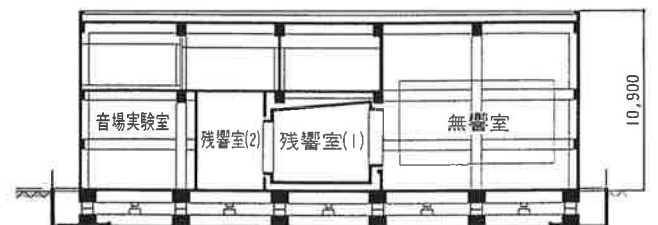


図-2 立断面図

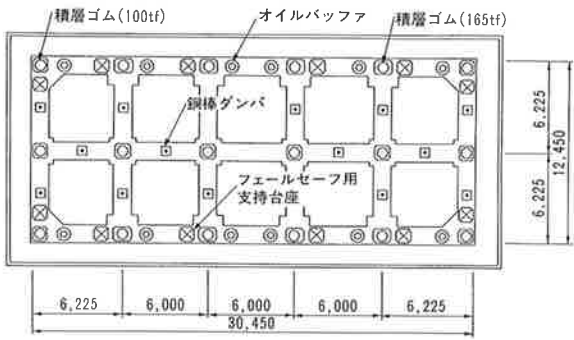


図-3 免震装置の配置

2-1. 積層ゴム

支持荷重100ton用(直径:76cm)と165ton用(直径:98cm)の2種類の天然ゴム系積層ゴム支承を18個使用している。

積層ゴムは、63Hzバンドで30dB以上、12.5Hzバンドで20dB以上の振動低減効果を得るため、鉛直固有振動を5Hzと定めている。また、水平剛性は建物の水平固有周期を2秒となるように定めている。

免震防振積層ゴムでは鉛直剛性を低くするために、通常の免震用積層ゴムに比べて一層のゴム厚が厚くなっている。(図-4参照)

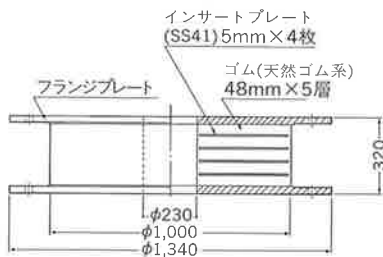


図-4 積層ゴム

2-2. 鋼棒ダンパー

ダンパーの容量(降伏荷重レベル)は、50cm/sの地震入力に対して十分な免震効果が得られることを目標に定めている。

図-5に鋼棒ダンパーの詳細図を示す。ディテールは後に、中小地震にも十分な免震効果が得られるように二重円筒間のギャップを広げて高減衰ゴムのブッシュを挿入したもので、小変形域の剛性を低くし、適度の減衰も付与できるように改造している。

2-3. オイルバッファ

バッファを図-6に示す。この装置は建物が下方へ動くとき中のオイルがバルブを通過し、この時の抵抗力が減衰力として働くが、上方への運動に対してはリターン springs がピストンロッドを押し上げる機構となっているため片効きである。上下応答を約半分にする。

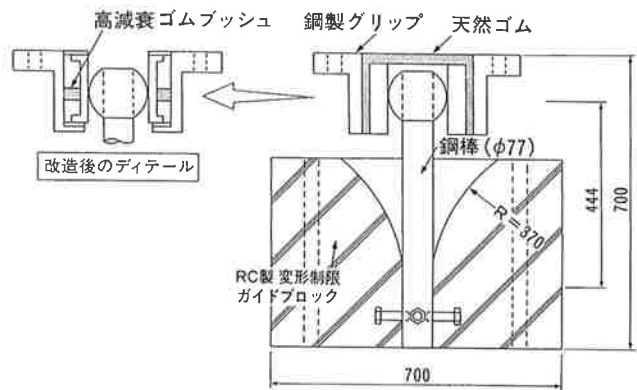


図-5 鋼棒ダンパー

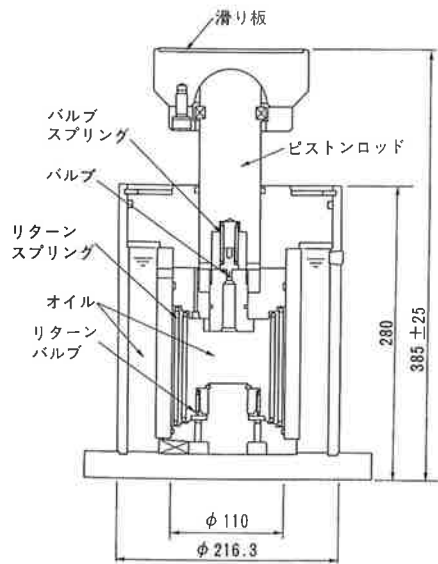


図-6 オイルバッファ

2-4. 免震防振効果

(1) 免震効果(大地震時)

実地震記録波を用いた解析結果によると、屋上階にて加速度は約1/4~1/5に低減される。(図-7参照)

入力波:EL CENTRO 1940 NS

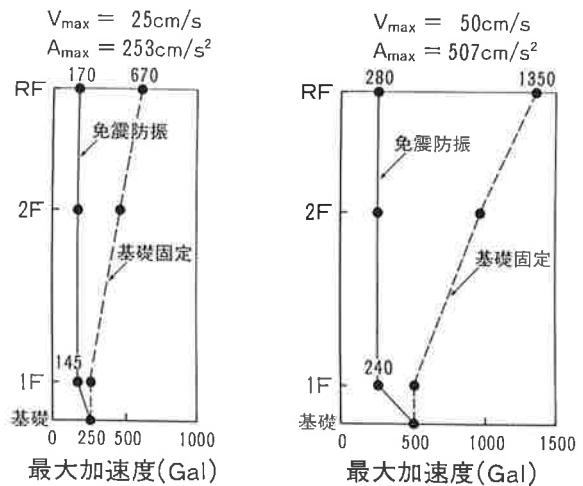


図-7 大地震時の免震効果(解析結果)

(2) 免震効果(小地震波)

音響実験棟及び隣棟(基礎固定)では竣工以来地震観測を行っている。加速度応答が約1/2~1/4に低減しており、ダンパー改造後のデータは優れた免震効果を示している。(図-8参照)

(3) 防振効果

10Hz以上の振動数領域で20dB以上の低減を示している。(図-9参照)

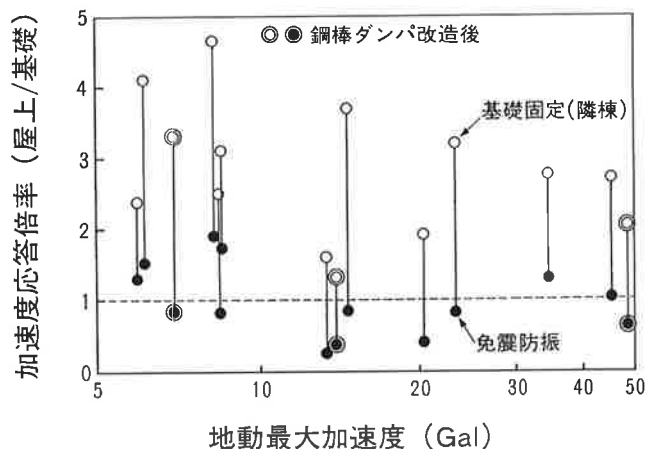


図-8 小地震の免震効果(地震観測結果)

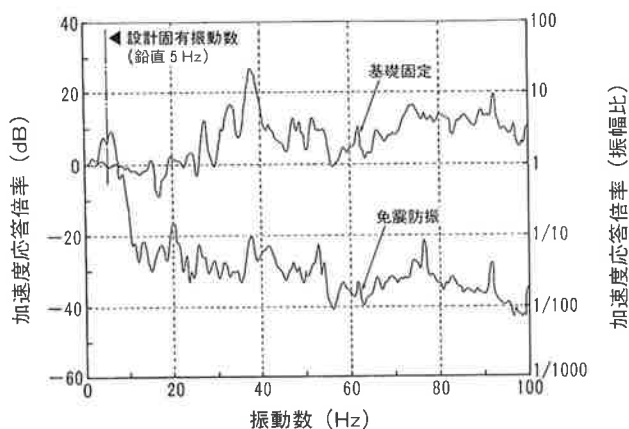


図-9 防振効果(微振動測定結果)

3. 免震積層ゴムの10年後の特性調査

今回調査に使用した積層ゴムは、1986年7月に竣工した音響実験棟の使用後10年経ったもので、これをジャッキアップして1個抜き取り、積層ゴムの経年変化(剛性とクリープ変形)を調査している。

(1) 水平剛性

10年前の製品検査と同じ方法で水平加力実験を行った結果、10年前の水平剛性と現時点での結果が一致しており、水平剛性はほとんど変化していないことを確認している。(図-10参照)

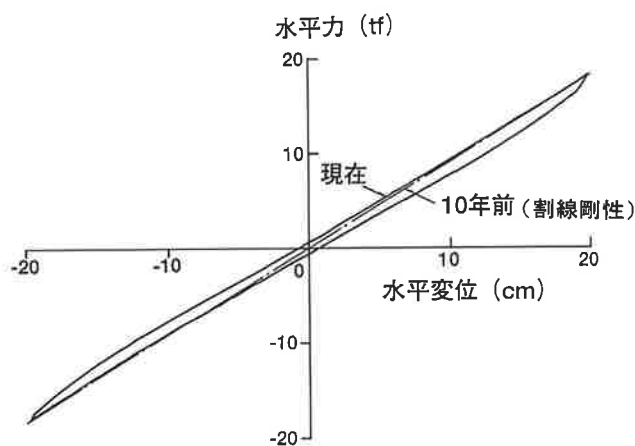


図-10 積層ゴムの履歴曲線

(2) クリープ変形

過去における測定結果(表-1参照)として、クリープ変形は0~1mmの範囲でばらついている。この原因としては、温度伸縮がクリープ変形に対して相対的に大きく、同時期に測定しても温度による影響が完全には排除できないためと思われる。

測定時の温度の影響を考慮して、現時点でのクリープ変形を過大に見積もった場合、1.5mm程度である。これは、積層ゴムの総ゴム厚の約0.4%と極めて小さい値になっている。

表-1 クリープ測定結果一覧

番号	測定年月日	免震層気温(°C)	竣工日からの経過年月	下方への変位(mm)	1年目同時期からの変位差(mm)
1	1986. 7.26	不明	(竣工日)	0.0	—
2	9. 1	不明	0年1ヶ月	0.2	—
3	10. 1	不明	0年2ヶ月	0.9	—
4	11. 1	不明	0年3ヶ月	2.4	—
5	12. 3	不明	0年4ヶ月	3.0	—
6	1987. 1. 6	不明	0年5ヶ月	3.8	—
7	2. 3	5	0年6ヶ月	3.8	—
8	3. 5	9	0年7ヶ月	3.0	—
9	4. 9	13	0年8ヶ月	2.1	—
10	5. 9	17	0年9ヶ月	3.5	—
11	6.12	22	0年10ヶ月	1.0	—
12	7. 8	23	0年11ヶ月	0.9	—
13	8. 1	24	1年0ヶ月	0.3	0.3
14	10.31	17	1年3ヶ月	1.9	-0.5
15	1988. 1. 6	8	1年5ヶ月	3.3	-0.5
16	3. 4	8	1年7ヶ月	3.7	0.7
17	5.31	20	1年10ヶ月	1.5	0.5
18	9. 6	22	2年1ヶ月	0.8	0.6
19	11.10	17	2年3ヶ月	2.3	-0.1
20	1990. 1.24	5	3年6ヶ月	4.3	0.5
21	7.27	27	4年0ヶ月	1.0	1.0
22	1991.12.17	9	5年4ヶ月	3.7	0.7
23	1994. 8.31	26	8年1ヶ月	0.5	0.3
24	1996. 7.31	26	10年0ヶ月	1.0	1.0

4. 訪問談議

始めに、設計に携わった飯塚主管研究員と音響実験棟を実際に利用している安藤主管研究員にお話を伺いました。

音響実験棟は微震動に対して敏感な実験、計測が行われるため「免震防振構法」が採用されたとのことでした。

「積層ゴムの鉛直剛性は振動レベルの目標値から鉛直固有振動数が5Hzとなるよう定めています。微震動については観測結果から目標値を満足していることを確認していますが、その後の周辺建物の建設工事における振動発生に対しても、支障なく測定が続けられる状態になっています」と安藤さんは話されていました。「水平剛性は建物の水平固有周期が2秒となるよう定め、ダンパーは、鹿島建設で新規に開発した鋼棒ダンパーを用いています。しかし、この種の鋼棒ダンパーは小変形領域で高い初期剛性をもつため、中小地震には十分な免震効果が期待できにくい欠点が生じます。そこで中小地震にも十分な免震効果が得られる様に高減衰ゴムのブッシュを挿入したディテールの改良を施し、その改良鋼棒ダンパーに後ほど取り替えました」と飯塚さんは説明してくれました。この結果、小地震でも免震効果が十分表れている観測結果になっているとのことでした。

この後、実際の建物を見学し、半地下になっているメンテ用の空間から免震層を見学しました。飯塚さんが10年後の特性調査した積層ゴムや先程の説明してくれたダンパーを指し示しながら案内してくれました。

又、フェイルセーフ用の支持台座について質問すると、初期段階であったので、万が一を考え、フェイルセーフを考えたが、今では必要がないと思いますとのことでした。

5. あとがき

免震防振構法は、その後幹線道路沿いに建つ音響実験施設、市の中心地やJR線に隣接したオフィスビルそして火力発電所の情報管理棟等に採用され、その効果を発揮しているということです。

加熱促進実験によって、積層ゴムの耐久性は60年以上と予測し、その妥当性の確認として今回、10年後の積層ゴムをジャッキアップして抜き取り、予測値よりも変化の度合いが少ないという調査結果を発表していますが、今後も同様の調査を続けていく方針とのことでした。

今回の訪問を通じて、鹿島建設の技術研究所は、免震建物に積極的な姿勢を示し、創意工夫への意欲的な取り組みをしていると感じました。

最後に、多忙な年末に貴重なお時間を割いていただいた鹿島建設(株)技術研究所のみなさんに改めてお礼申し上げます。



写真-3 免震層内見学