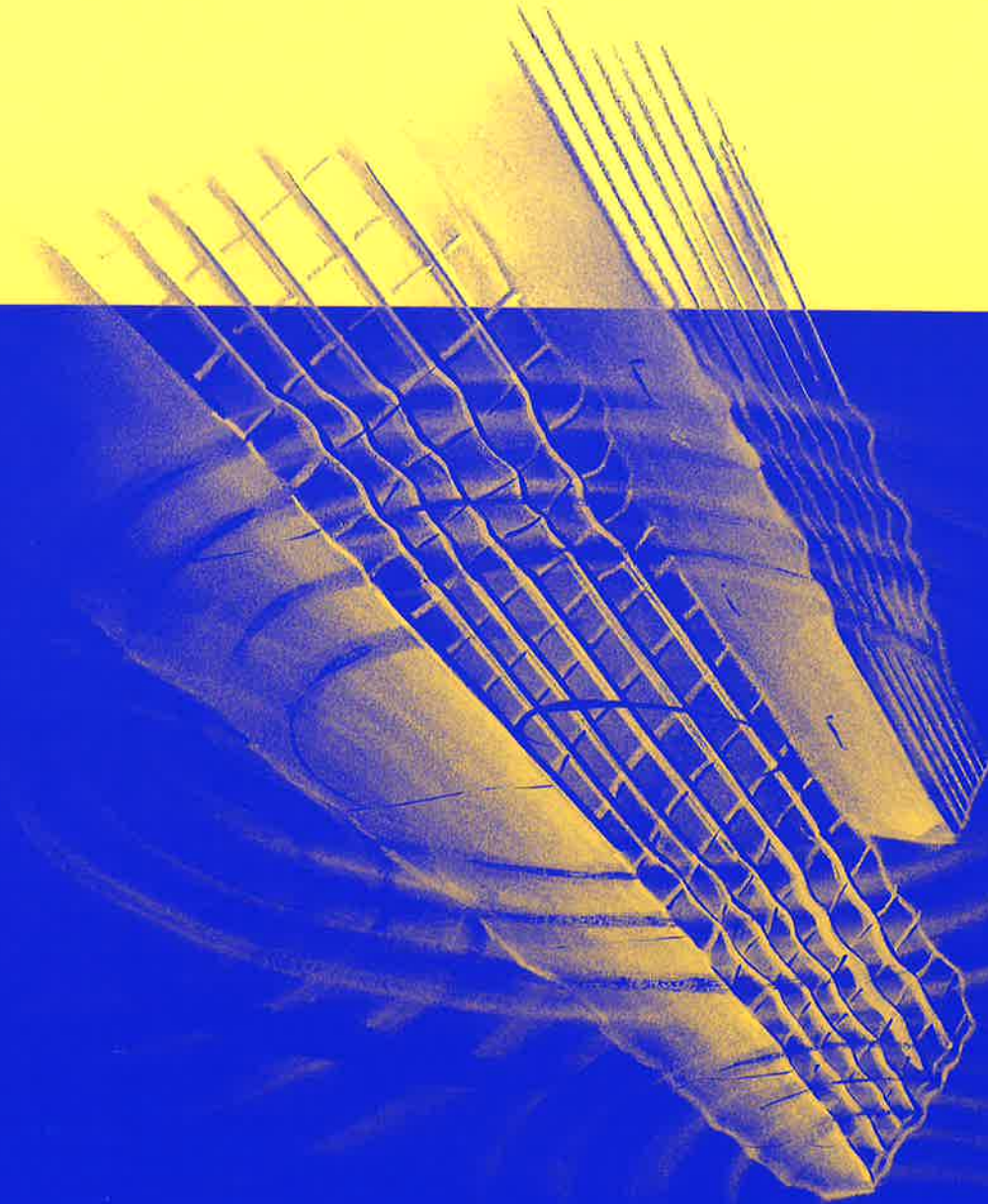


# MENSHIN

1995 No.8 春号



**JSSI**

Japan Society of Seismic Isolation

日本免震構造協会

# CONTENTS

<b>Preface</b>	To Realize "Seismically Isolated Hospitals"--in Vain ? .....	3
	Minoru YAMADA	Professor, Kansai Univ. Prof.em., Kobe Univ.
<b>Highlight</b>	Shizugin Kusanagi Building .....	5
	Masami ASAKAWA Yasukazu NAKAMURA Shigeru MIYASHITA	Shimizu Corp.
<b>Report 7</b>	Sendai Computer Center .....	11
	The Nissan Fire & Marine Insurance Co., Ltd.	
	Yoshihisa ATOBE Susumu NAKAGAWA Tsuguo TORII	Dainihondoboku Corp. Nihon Sekkei Inc. Fujita Corp.
<b>Series-Laminated Rubber Bearing 7</b> .....		15
	The Dynamic Characteristics Of The High Dumping Rubber Bearing	
	Toshikazu YOSHIZAWA	Bridgestone
<b>Earthquake Disaster and Seismic Isolated Building</b> .....		18
	Matsumuragumi Institute of Technology	
	Seiji IZAWA	Matsumuragumi Corp.
	South Hyogo Earthquake Observation Record at WEST Building	
	Toshiyuki NAKAZAWA	Tokyo-Kenchiku Structural Engineers
<b>List of Seismic Isolated Buildings in Japan</b> .....		25
	Kouki ARITA	Bridgestone
<b>Special Contribution</b> .....		27
	Real-scale Experiment of The Laminated Natural Rubber Isolator under High Pressure	
	Real-scale Experiment of The Limited Defomation Supposed Lead Dumper	
	Mineo TAKAYAMA Hideyuki TADA Mitsuru URIU	Fukuoka Univ. Fukuoka Univ. Power Reactor & Nuclear Fuel Development Corporation
<b>Committee</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Technology</li> <li>•Public Information</li> <li>•Collaborative Housing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Standardization .....</li> <li>•Steering+Office Letter</li> </ul>
<b>New Member</b> .....		40
<b>Application Guide</b> .....		41
<b>Application Sheet</b> .....		42
<b>Information · Postscript</b> .....		43

# 目次

巻頭言	「病院を免震構造に」の願い空しく……………	3	
	関西大学教授・神戸大学名誉教授	山田 稔	
最近の免震構造紹介	静銀草薙ビル……………	5	
	清水建設	浅川 雅巳 中村 康一 宮下 茂	
免震建築訪問記-⑦	「日産火災海上保険(株)仙台コンピュータセンター」……………	11	
	大日本土木	跡部 義久	
	日本設計	中川 進	
	フジタ	鳥居 次夫	
シリーズ	高減衰積層ゴムの力学的特性……………	15	
「積層ゴムのおはなし」-⑦	ブリヂストン	芳沢 利和	
大震災と免震建築	○松村組技術研究所研究棟……………	18	
	松村組技術研究所	伊澤 清治	
	○兵庫県南部地震観測記録結果(WESTビル)		
	(株)東京建築研究所	中澤 俊幸	
国内の免震建物一覧表	ブリヂストン	有田 興紀……………	25
特別寄稿	○高面圧下での天然ゴム系積層ゴムアイソレータの実大実験……………	27	
	福岡大学工学部	高山 峯夫 多田 英之	
	動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所	瓜生 満	
	○限界変形を想定した鉛ダンパーの実大実験		
	福岡大学工学部	高山 峯夫 多田 英之	
	動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所	瓜生 満	
委員会の動き	○技術委員会 ○規格化・標準化委員会……………	38	
	○広報委員会 ○運営委員会・事務局		
	○共同住宅特別委員会		
新入会員	……………	40	
入会のご案内	……………	41	
入会申込書	……………	42	
編集後記	……………	43	

# 「病院を免震構造に」の願い空しく

関西大学教授 神戸大学名誉教授 山田 稔



「病院を免震構造に」という願いは、この構法が我が国でようやく実用化されはじめた当初よりの、私の切なる願いでした。

と申しますのも二十数年前の鉄筋コンクリート短柱のせん断爆裂の危険性の警告が、二年後の1968年十勝沖地震で現実のものとなり、近畿地区の学校建築技術者の会の皆様方から、鉄筋コンクリート校舎が危ないから早く補強を、と訴える私に、ではどの様に補強したらいいのでしょうか、との御相談にはじまります。とりあえず桁行方向に並ぶ窓の三つか四つにひとつを、鉄筋コンクリート壁でふさいで補強されては、と申し上げたところ、教室が暗くなる、それでは電灯で、先生、小中学校には、電灯がないんですよ！

これではいかん、とさっそく当時の県知事をお願いして兵庫県防災会議をスタートさせていただいたのが二十数年前でした。サンフェルナンド地震で、ガレージの屋根の下敷きになったオリーブ・ビュー病院の救急車のスライドをみせて、こうなってはどうにもなりませんから、せめて消防署と、学校と、病院の補強を、と訴えたものでした。ところが、これらは、市の営繕の所管なので、ここではないのですよ、と言われ、御出席の市の代表者をお願いした次第です。度重なるお願いに、市役所に入った卒業生が、消防署の補強の検討をして居る様です、と風の便りに聞き及び、ニュータウンに格好いい消防署の新築ならともかくも、老朽消防署の補強では予算もつかず、苦勞しているのだろうなど、胸の痛む思いが致しました。

病院建築はしかし、地震で崩れない様に補強はできても、ゆれに伴う落下物等で設備機器が損なわれては、入院患者の生死にかかわるわけで、その対策をどうすべきか、と悩んでいたわけです。その頃、多田さんが福岡大学に移られるや否や、さっそく免震構造実現のための具体的な研究にとり組まれ、当時の冷たい建築界にあってよく頑張られると、全く頭の下がる思いが致しました。多田さんや山口さんをはじめ、当協会の皆様方の血のじむような御努力がみのって、ようやく免震構造が実用化にこぎつけたとき、これで病院建築が名実ともに地震のとき機能できるようになった

と、ほっとして、朝日カルチャーセンター等、頼まれるまま、「病院建築を免震に」と、機会あるごとに私なりに私の切なる願いを訴え続けたものでした。

機会あるごとに、病院は地震をうけたとき、患者さんが安心してベッドに寝ていられてこそで、地震のときに患者さんを避難させるなど、本末転倒、わずかの看護婦さんの手で避難など、とんでもない話、たとえ激震といえども患者さんが安心してベッドに寝ていられてはじめて病院の機能は発揮されましょ。これを、はじめて可能にしたのが免震なのです、と説いてまわりました。

そして病院建築には、医療法によって建築基準法のほかに、さまざまな制約が課せられているのも皆様良く御存知の通りです。さすればです。この医療法に、病院建築に免震構造の適用を法的に義務づけることによって、病院の質的向上をはかる位の事も、地震国日本には、十分にあっていいのではないのでしょうか。かつて1924年(大正13年)世界に魁けて法律に耐震規定をとり入れた(これに倣ってロスアンジェルズ市耐震規定が定められたのが約10年後の1933年)程の地震工学技術の先進国なのですから、と、こんな青臭い議論を、病院建築協会の理事さんに、御検討をお願いしたこともありました。

せめて、国公立病院には、地震時の救急センターとして免震構造を、義務づけるようなこともあってよいのではなからうか、と考へ厚生省あたりに働きかけをすべき、と思

数年前、ドイツ、ブラウンシュバイク工科大学の客員教授をしていた頃、ハノーバーの大学病院の屋上に、救急ヘリが常備されているのを見て、日本なら、さしずめ国、公立病院の建物には、基礎に免震、屋上に救急ヘリポートとヘリの常備が必要なのだ、と会う人会う人に吹聴したものでした。

こんな時、思いもかけず、講演の依頼が参りました。それは、私が三十年余勤めた神戸大学の、医学部外科第二講座の岡田教授からで、講座開設50周年記念の催しを1994年8月27日、神戸ポートピアホテルで催します。については「地震と病院建築」というテーマで記

念講演をやっていただけませんか、との御依頼でした。岡田先生は私と同じく、かつてドイツに留学された方で、その昔、私が1980年10月23日、シェール元大統領臨席のもと、ベルリンの国際会議センター（ICC）で開催されたドイツ鋼構造協会、創立75周年記念ベルリン総会に、「鋼構造物の耐震設計」というテーマを依頼され、記念講演を行ったことをたまたま、神戸の日独のパーティーでお聞きになり、ぜひに、との御懇望になったのでした。

かねがね、お医者さん方に、機会あればぜひ直接免震構造の御紹介を、と想っていた私にとっては、将に、渡りに舟、さっそく、昨1994年1月17日のノースリッジ地震の際の、南カリフォルニア大学（USC）免震病棟の資料を宮崎さんをお願いして拝借、本誌第4号に生々しく御紹介された内容を一今日では、このようにして、ノースリッジ地震のゆれがおさまるのを待ってエマージェンシーの手術が何事もなく行われたという、すばらしい実例が報告されているのですよ、と拝借した写真のスライドを使って御紹介申し上げた次第です。

外科医の先生方ですから病院を自ら御経営の先生方も多く、講演後、質問をお受けすると、さっそく熱心な御質問、予想通りどれ位のコストがかかりますか、物によりけりでしょうけれど一数パーセントアップと聞いておりますが、ああ、そんな程度のことだったら、このお話、もっと早く聞いておけばよかった、うちの病院は昨年、新築したばかりなんです、残念ですと壮年の先生。

ところが、病院建築協会の理事をおつとめの老院長さんも見えていて、岡田先生から、あの先生からはきっと何か御意見がありますよ、との事、案のじょう、数年前の尼崎のデパート火災で二十数名が亡くなられたのがきっかけで、消防法が厳しく改正され、病院でもここ一両年中にスプリンクラーを増設する事を迫られているがスプリンクラーの増設資金さえ銀行は融資してくれないので困っているのですよ、まして、免震構造なんてとんでもない。と権もほろろのご意見。

こんなやりとりの5日後、9月1日、その防災の日の翌2日、例によって例のごとく朝日新聞の天声人語子が、地震防災をとり上げ、「メディカル朝日」9月号が、「災害医療」を特集していると、指摘していました。さっそく購入して一読したのですが、災害時の米国の救急活動システムの話はあっても、肝心、ノースリッジ地震の際の南カリフォルニア大学免震病棟のすばらしい効果の話はどこにも見当たらず、全く、がっかりした次第です。「メディカル朝日」の「災害医療特集」が、

こんな大切な話をおとしていたのでは何にもなりませんので、宮崎さんから頂戴した資料に、本誌4号のコピーを添え、二十年ばかり前、鉄筋コンクリート建物の耐震問題で訪ねてみえた、旧知の医療に詳しい朝日新聞の編集委員の方に送っておきました。こういう方面への免震構造の紹介、周知が、もっともっと必要なのだと痛感されました。この方からは、二十年前訪ねてみえた折、応急処置を聞かれて、鉄筋コンクリートの柱に鉄板を巻いてコンクリートを打て、と私が言ったのをよく覚えて居られ今度新幹線の補強に使うようですね、二十数年前のお話し、と聞いて、こちらがびっくり致しました。

そうこうするうちに12月28日夜の三陸はるか沖地震で、八戸市民病院の看護婦さんが、あんなおそろしい地震はもうこりごり、とテレビで言われていましたが、まずは無事だった様で、正月にさっそく八戸を訪れ、ほっと胸をなでおろしたのも束の間、1月17日午前5時46分を迎えたわけです。

余りの悲惨さに、一JR攝津本山駅近くの国道2号線北側、鉄筋コンクリート5階建ての宮地病院は1階が潰れて看護婦さんたちが圧死。二十数年前、兵庫県防災会議の設立当初から、せめて、消防署、学校、病院の補強をと、くり返し、くり返し、訴えたのも空しく、テレビは、7階建て既存不適格神戸市立西市民病院の5階の圧潰、余震の襲うさなかレンジャー隊員の息をのむ救出作業を映し出していたのは、皆様もよく御記憶の事と存じます。

余りの口惜しさ、空しさと腹立たしさに、くれつつも、3月4日、6年ぶりに召集された兵庫県防災会議の冒頭、5千4百有余の方々、今回の震災でそれと知らずに既存不適格の家屋の下敷きとなって圧死されたことに対し、建築の専門委員としてこれらの方々の命を守り得なかったことに痛切に責任を感じ、心よりおわびを申し上げた次第です。辛く、悲しい日でした。

岡田先生からは、お聞きした地震の話が本当にやって参りました。丁度よい時にお話しを聞いておりましたが、なすすべもありませんでした、とのお便り。そして二十数年ぶりに私の自宅まで捜し出して訪ねてくれた地元神戸新聞の記者には、景観も大切だが防災という町の健康が末期症状でボロボロでは何にもならない、神戸の町が美しく健康な町によみがえる日を心より待って居ります、と申しておきました。その日にこそ免震構造は町の健康の中核として活きるでしょう。その日の来ることを切望し。

# 静銀草薙ビル

清水建設株式会社



浅川雅巳

中村康一

宮下 茂

## はじめに

静銀草薙ビルは、三種の神器のひとつ草薙の剣で知られる、静岡県清水市草薙に現在建設中の事務所及びコンピューターセンターの機能を有する施設である。銀行の既存電算センターのスペース不足解消と今後の高度情報化に伴う情報処理量の拡大に対応するため計画された建物である。

建設地は東海地震等の大地震が想定される地域のため、“大地震時の建物の安全性と内部情報処理機器の機能保持を図る”目的から、建屋免震構造を採用した。また、地震時の上下動を低減しコンピューターの地震時の機能保持を目的とし、コンピューター設置ゾーンの床スラブ下には、TMD形式の上下方向制振装置を配置している。

本建物は、平成6年7月、日本建築センターの評定及び建設大臣の認定を取得し、11月から着工して現在にいたっている。ここでは、静銀草薙ビルの構造設計概要を中心とした、免震（水平）+制振（上下）構造の技術紹介を行っていく。

## 1. 建築概要

建物名称	（仮称）静銀草薙ビル
建設地	静岡県清水市草薙北1-10
主要用途	電算センター
敷地面積	36,695.224m <sup>2</sup>
建築面積	4,936.649m <sup>2</sup>
延床面積	22,986.849m <sup>2</sup>
階 数	地上6階・塔屋1階
最高高さ	36.65m
構 造	両方向共、耐震壁を主体とした鉄骨鉄筋コンクリート造
基 礎	GL-25mの砂礫層を支持層とした場所打コンクリート杭
免震装置	高減衰積層ゴムを使用 ゴム径1400φ～600φ （合計 84台）
制振装置	TMD制振装置63台設置
施 主	（株）静岡銀行

設計監修	三菱地所(株)一級建築士事務所
設 計	清水建設(株)一級建築士事務所
監 理	三菱地所(株)
施 工	清水建設(株)
工 期	平成6年11月～平成8年6月



写真—1 建物模型写真

## 2. 構造設計概要

### 2.1 敷地地盤及び基礎構造の概要

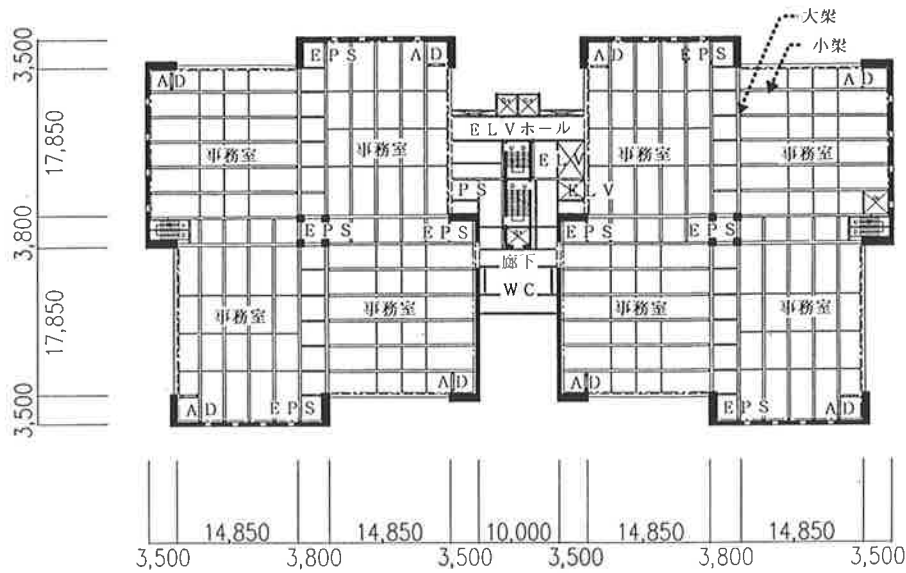
建設地は図—3に示すように静岡平野と清水平野の中間付近で、安倍川の度重なる氾濫により埋設された砂・泥礫互層から構成され、変化に富んだ地層構成となっている。地下水位は、GL-1～2m付近と比較的浅い位置にある。また、地盤の液状化については、GL-7～8m付近で可能性があるため、杭の設計に際しては、地盤定数の低減により耐震安全性の確保を図っている。

常時微動の測定結果によると、地盤の卓越周期は0.36秒程度であり地盤種別としては第2種となる。また、PS検層の結果によると、Vs値は、GL-0～10m付近で125～210m/sec、GL-10m以深で290～680m/secとなっている。

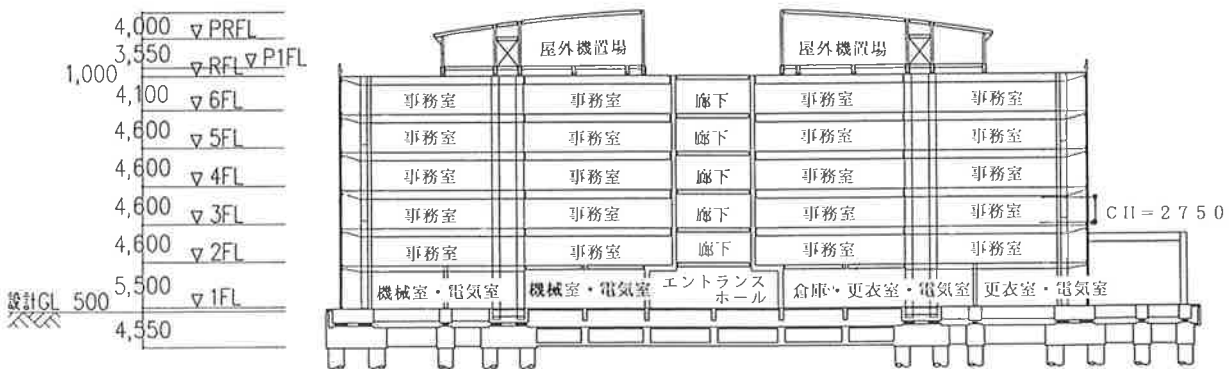
### 2.2 免震構法の概要

本建物は、内部に設置予定の電算機器及び設備機器を含め、電算センターとしてトータルの安全性を確保するため建屋全体免震構造を採用している。免震装置としては、諸特性・施工性・メンテナンスの容易さ等を総合的に判断した結果、高減衰積層ゴムを採用している。

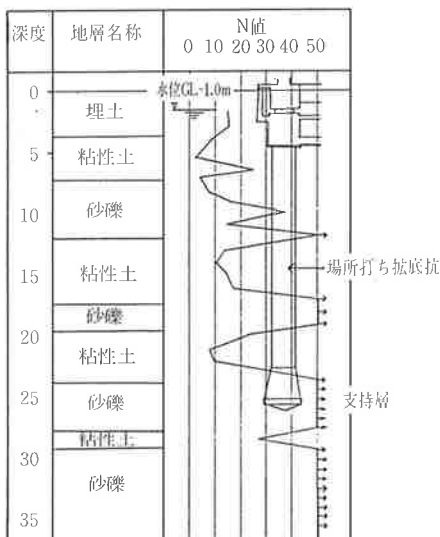




図一1 基準階平面図



図一2 断面図 (長手方向)



図一3 地盤柱状図

(1) 積層ゴムの径・配置

図一4に示すように、ゴム径600mmφ~1400mmφの84台の積層ゴムをバランスよく配置している。装置部の減衰材としては、高減衰積層ゴムの減衰性のみを用いており、他のダンパーは付加していないため施工性・メンテナンスも容易な設計となっている。

(2) 積層ゴムの履歴復元力特性

今回振動解析にあたっては、免震装置のより精度の高い応答予測を行なうため当社独自で作成した菊地モデル(修正Rateモデル、詳細は日本建築学会・構造工学論文集Vol.40B・1994.3参照)を採用した。本モデルは、論文集における実験結果と解析結果の比較からわかるように、大変形時に見られるハードニング特性、初期繰り返し時の剛性低下等を考慮しており実験結果をよく再現している。

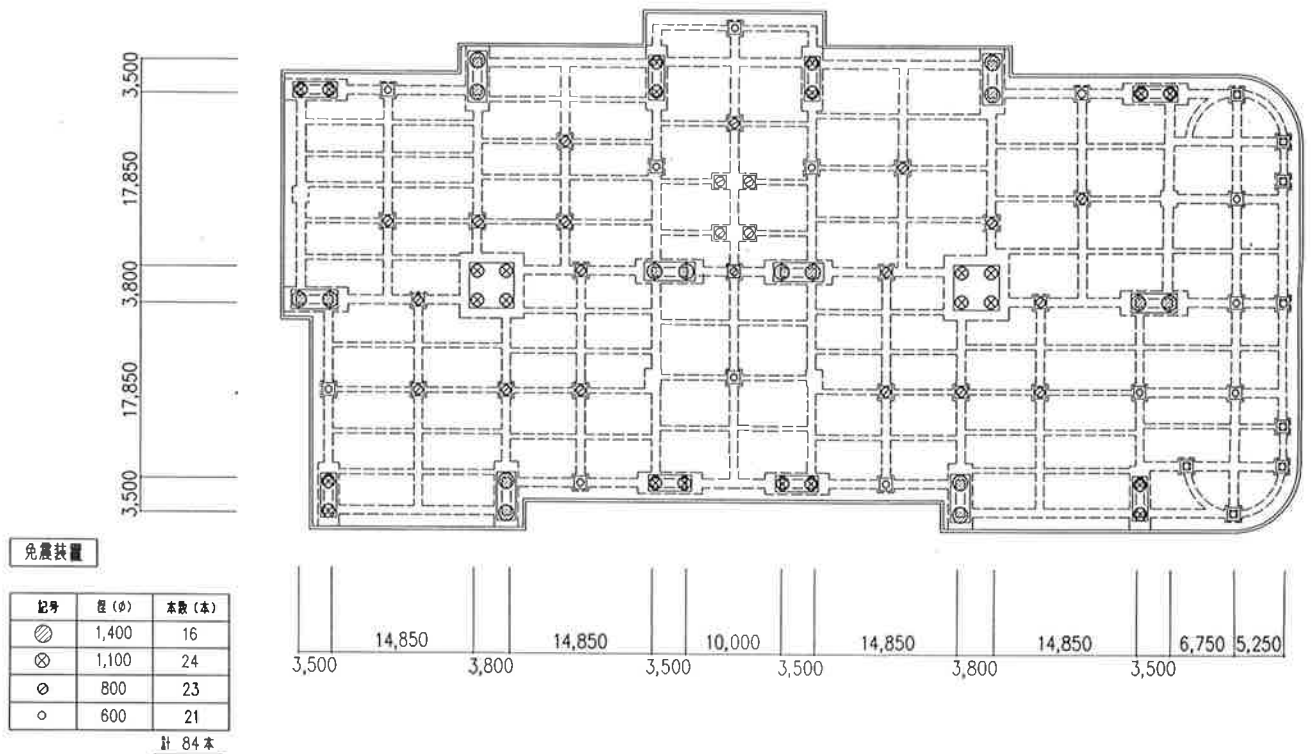


図-4 免震装置の配置

2. 3 構造設計の概要

(1) 耐震設計方針

地震動のレベルとして、最大地表面速度25cm/sec、50cm/secの2段階を設定し、各種観測地震動に対し表-1に示す耐震性能を設定した。入力地震動の一覧を表-2に示す。\*

表-1 耐震設計のクライテリア

レベル (入力最大速度)	上部構造	免震装置	設備配管 電気配線
レベル1 (25cm/s)	全部材が許容応力度以内とする。	—	無被害
レベル2 (50cm/s) 想定東海地震	全部材が弾性限界耐力以内とする。但し、耐震壁の一部にせん断クラックの発生を許容する。	相対水平変位30cm以下。積層ゴムに引抜きが生じない。	雑排水など重要度の低い配管では被害を認める。但し、給排水管等重要度の高い配管は無被害とする。

表-2 入力地震動一覧

波名	観測波 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	*A/V比	入力最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		継続時間 (秒)
			25cm/s	50cm/s	
EL CENTRO 1940 NS	341.70	10.215	255.4	510.8	40.00
TAFT 1952 EW	175.95	9.933	248.3	496.7	40.00
HACHNOHE 1968 NS	225.00	6.602	165.1	330.1	36.00
SHIMIZU 1965 NS	88.9	9.559	239.0	478.0	25.00

\*A/V比とは、観測波の最大加速度とTriFunacの方法で算出した最大速度の比を示す。

波名	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	継続時間 (秒)
想定東海	589.3	40.00
安政東海	561.6	40.00

表-2に示すように、東海地震を意識し模擬波2波を作成し観測波と同様な耐震性能を設定した。さらに、本建物の崩壊形式を確認すると共に、地震波の不確実性も考慮して、最大速度75cm/sec (レベル3)の検討も行い安全性の確認も行っている。

(2) 上部構造の設計

上部構造の構造計画に際しては、建築計画・設備(空調・ワイヤリング)計画との連携により質の高いフレキシブルな空間を実現した。(図-5)

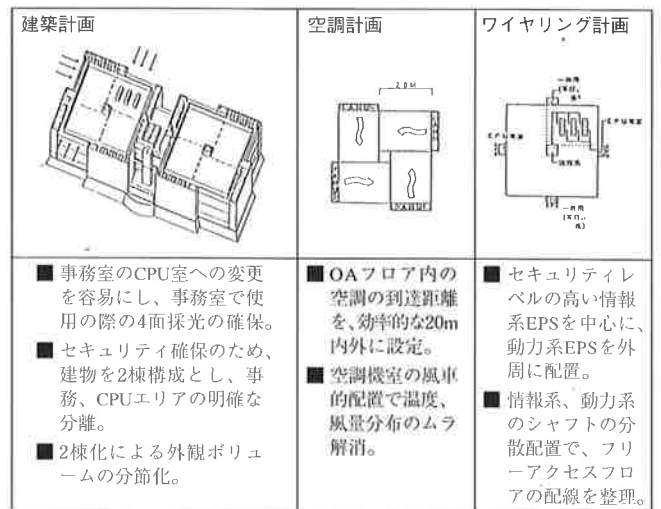


図-5 建築・設備計画との整合



免震構造の効果をより高めるため、建物の外周部を地震時の全水平力を負担する耐震壁と鉄骨鉄筋コンクリート造の壁梁でかため、高い剛性を確保している。また、内部は鉄骨造にて床を構成し内部の柱はインフォメーションシャフト廻りのセンターポスト(充填鋼管コンクリート構造)のみとした。(図-6)

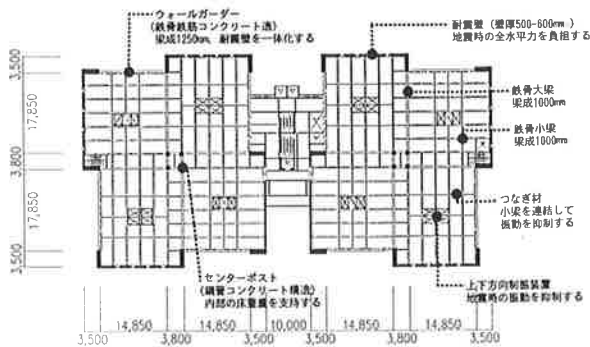


図-6 構造要素と機能

(3) 免震装置の設計

免震装置の変形性能としては、予備応答解析結果に安全性の余裕を考慮し、最大40cmまでの変形性能を確保するものとしている。また変形性能とも関係する高減衰積層ゴムに加わる鉛直方向面圧は、長期荷重時100kg/cm<sup>2</sup>程度になるようにゴム径を設定している。

免震装置の水平剛性は、地震荷重時の応答加速度等を考慮し、水平変形20cm時の等価剛性で建物全体の一次固有周期が2.5秒となるように設定している。また、上下方向の固有振動数は、12Hz以上を目標に鉛直剛性を設定している。

2.4 地震応答解析概要

(1) 振動解析モデル

本建物は、偏心の小さい構造であるため、振動解析モデルとしては、図-7に示す多質点系せん断バネモデルとした。上部構造の復元力特性は、静的荷重増分解析の結果から予備応答せん断力レベルでは、壁剛性の低下がほとんど認められない領域のため線形モデルとした。

(2) 解析モデル



図-7 振動解析モデル

図-7 振動解析モデル

(2) 応答解析結果

応答解析結果の一覧を表-3に示す。

また、上下動に対する建屋の安全性の検討も行っており、レベル2の水平・上下動同時入力時、免震装置に引き抜きが生じないことを確認している。

表-3 応答結果一覧

免震装置	最大せん断力係数	25cm/s応答		50cm/s応答	
		長辺方向	短辺方向	長辺方向	短辺方向
上部構造	最大絶対対加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	7.95 (cm)	(SHIMIZU)	23.29 (cm)	(EL CENTRO)
		7.95 (cm)	(SHIMIZU)	23.33 (cm)	(EL CENTRO)
		0.081	(SHIMIZU)	0.138	(EL CENTRO)
		0.081	(SHIMIZU)	0.138	(EL CENTRO)
	最下階最大せん断力係数	112 (cm/s <sup>2</sup> )	(SHIMIZU)	109 (cm/s <sup>2</sup> )	(EL CENTRO)
		189 (cm/s <sup>2</sup> )	(SHIMIZU)	174 (cm/s <sup>2</sup> )	(SHIMIZU)
		0.086	(SHIMIZU)	0.085	(SHIMIZU)
		0.145	(EL CENTRO)	0.145	(EL CENTRO)
	最大層間変形角	1/4680 (1階)	(SHIMIZU)	1/2973 (1階)	(EL CENTRO)
		1/4736 (1階)	(SHIMIZU)	1/2973 (1階)	(EL CENTRO)
		1/2973 (1階)	(SHIMIZU)	1/2973 (1階)	(EL CENTRO)
		1/2973 (1階)	(EL CENTRO)	1/2973 (1階)	(EL CENTRO)

また、レベル3 (75cm/sec) の検討結果としては上部構造の最大応答せん断力がほぼ弾性範囲内であること、免震層の最大変形が外周部とのクリアランス40cm以内に納まっていることを確認した。

2.5 上下制振構法の概要

本建物は、免震構法を採用しているため水平方向の地震時入力加速度は低減されるものの上下方向は在来構法とほぼ同等である。

したがって、コンピューターの機能保持の目的から、コンピューター設置部分の床スラブ下に、TMD形式の制振装置を設置して上下方向の入力加速度の低減を図った。

図-8および図-9に制振装置設置箇所と装置の概

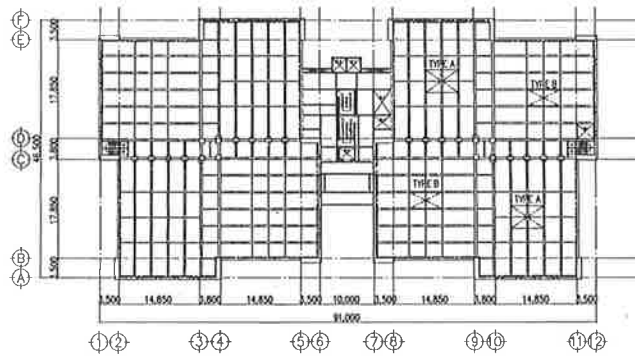


図-8 制振装置設置位置

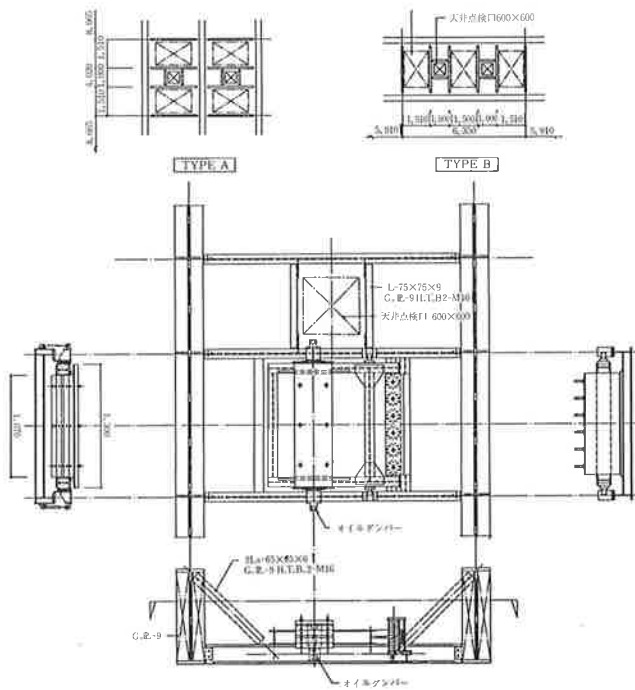


図-9 設置タイプと装置概要

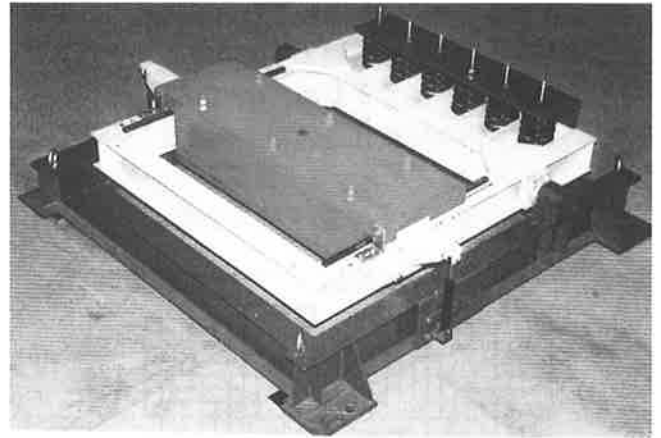


写真-2 制振装置 (床置き状態)

要を示す。

装置設置による効果としては、図-10に示すように20%~30%程度の低減が解析により確認された。今後、設置に際しては、建物に取り付けた後のチューニングを行い、振動実測を通じて効果の検証を行っていく予定である。

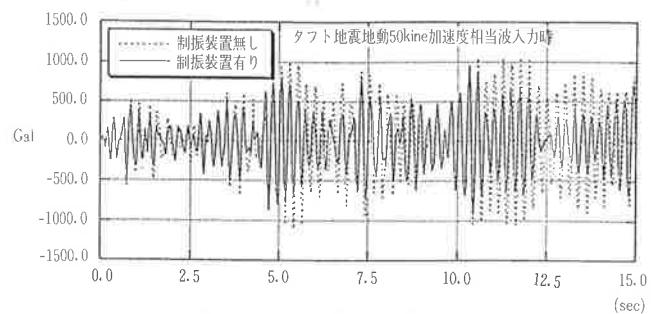


図-10 制振装置の効果

3. 施工概要

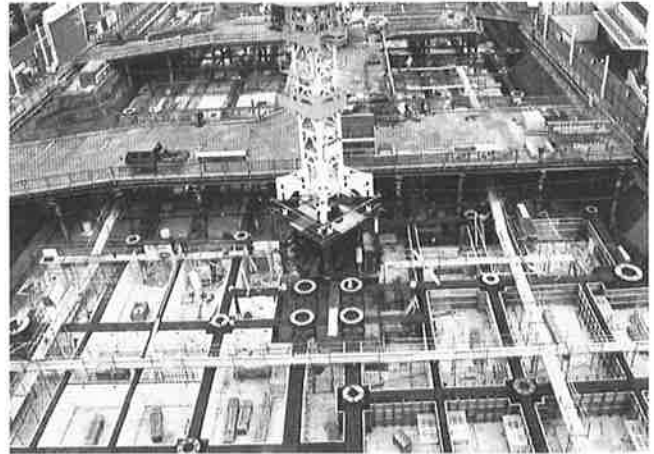
3.1 免震装置性能確認試験

各免震装置は、現場搬入前に全数性能試験を行ない、所定の性能が得られているか確認している。(写真-3) 検査項目としては、

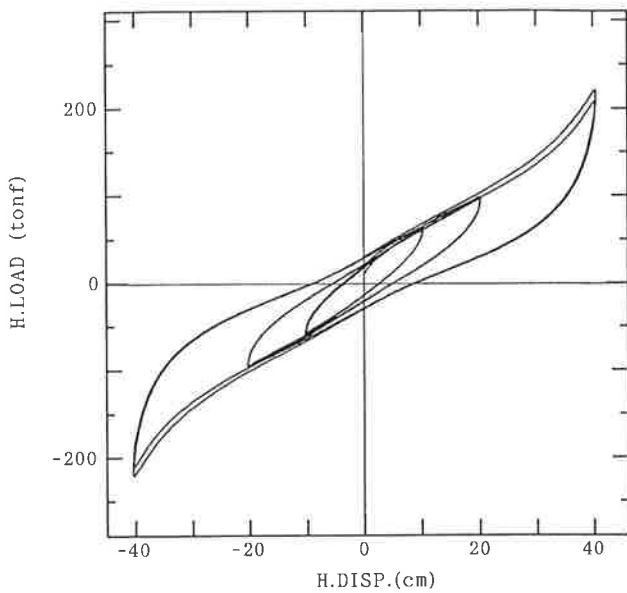
- (1) ゴム・鋼板の材質・形状・寸法
- (2) 製品の外観・形状・寸法・圧縮剛性・せん断履歴特性(等価剛性・等価減衰)・せん断変形性能(40cm変形)



写真一3 水平方向載荷試験状況



写真一4 基礎躯体工事状況 (H7. 3月末)



図一1 積層ゴムの履歴特性



写真一5 免震装置設置状況 (H7. 4月中)

### 3. 2 施工進捗状況

1995年4月初め現在、現場は杭工事及び基礎工事(蓄熱層部分)を完了し、免震装置を取り付けている状況である。装置の取り付けに際しても、レベル・傾斜等の取り付け精度の管理値を設定して施工している。年内の上部躯体完了、来年6月の竣工を目指し工事は順調に進んでいる。(写真一4,5)

### 4. おわりに

今回の計画に際し、従来の当社設計施工実績をベースに免震構造の計画を進めてきたが、設計段階から施工に入った現在まで、一貫して監修・監理していただいた三菱地所(株)の方々のご協力により工事は順調に進んでいる。この場を借りて感謝の意を表したい。

当社としても、設計・施工6件目の免震構造建物であり、今後ともこの実績をもとに免震構造の普及に努めていきたいと考えている。

## 「日産火災海上保険(株)仙台コンピュータセンター」

大日本土木 跡部義久 日本設計 中川 進 フジタ 鳥居次夫



本年1月17日午前5時46分、マグニチュード7.2の地震が阪神・淡路島を襲い、1948年の福井地震をしのぐ戦後最大の大震災となり、数多くの方々が犠牲となり、建物の被害も甚大であったことは記憶に新しいところです。この地震の犠牲者の多くは家屋や家具などの下敷きであったと報道されています。現在の耐震構造は「建物は倒壊せず、人命を守る」との考えであるが、今回の地震では多くの犠牲が払われたこともまた事実です。その意味において、免震構造は建物の倒壊のみでなく、建物内部の家具などの転倒をも防ぐことも可能な技術です。今回の兵庫県南部地震においても神戸市内に免震構造の建物が2棟建設されていました。これらの建物の観測記録でもはっきりと免震効果が検証され、しかも建物内の被害もなかったとさいております。これらのことから免震構造のますますの普及が期待されます。

地震の丁度2ヶ月後の3月17日に、今回の訪問先である「日産火災仙台コンピュータセンター」を訪ねることとなり、あらためて地震被害を思い起こした次第です。訪問にあたっては当センターのコンピュータの管理・運用を行っている(株)クエストの渋谷課長の案内で建物内を見せていただきました。

今回の訪問先は、JR東北線仙台駅の西北西6.5kmの近郊にあり、東北自動車道を眼下に見下ろす風光明媚な高台に位置した地上2階、地下1階のEDP棟および事務

厚生棟からなるコンピュータセンターです。写真一1に建物全景、図一1に建物配置、図一2に断面図をそれぞれ示します。

本電算センターは、「社会の多様化、高密度情報化の時代を迎え、情報の集積機能を受け持つ電算センターの社会的役割は大きく、地震災害時など非常事態においてもその機能を失うことは許されない」とのコンセプトで建設されたといいました。本センターは、同社の東北での新しい情報基地として、杜の都・仙台にその地を選んだ。東京にはすでに同社のコンピュータセンターがあり、新しい仙台でのコンピュータセンターとはバックアップ体制をとっています。仙台コンピュータセンターの建設にあたっては、情報の持つ重要性を考え、発注者みずからが免震構造の採用を決定され、1991年(平成3年3月)に計画どおり竣工した。なお、本センターはオール電化で計画されており、建物の電力は、地下1階にあるディーゼル発電機3台(うち1台は予備)によるコージェネレーション設備を供え建物全体の電力を供給するシステムとなっています。

事務厚生棟は在来構法の建物で、コアを含むEDP棟が免震建物です。事務厚生棟とコア部分の間でエキスパンションジョイントを設けています。

平面図は、43.2m×63.0mの長方形を基本とした単純な形としています。架構は、梁間方向14.4m、桁行



写真一1 建物全景

方向9.0mのSPAN長とし、大きい部分空間を確保するとともに、外周に耐力壁を配して水平剛性の向上を図っています。

使用した免震装置は、鉛入り積層ゴム (LRB) で、径は800~1300φです (図-3)。過去に例のない大口径のため、実大供試体によるせん断試験、大変形試験、疲労試験、鉛直特性試験等を実施しています。

また大SPAN (14.4m×9.0m) であることからLRBでは対応できない地震時の上下振動を低減する計25個の制振装置 (TMD) も電算機設置階である2階床で採用している (図-4、図-5、写真-2)。今回の兵庫県南部地震は、直下地震であり水平動のみでなく、上下動も水平動と同等の強さが記録されており、この意味において、本電算センターの設計は上下振動にも配慮しており、的を得た設計といえるのではないのでしょうか。

本建物に採用した免震構法は、建物の上部と基礎との間に設置した免震装置により、鉛直方向にはかたく、建物をしっかり支え、水平方向には柔らかく、建物全体系の長周期化および振動エネルギーの吸収能力を上げることにより地震時における建物の応答量の低減をはかっています。

大地震時における上部構造の設計目標は、耐震要素

である外周壁にひび割れも生じさせないことと、電算機類はもとより計器、備品にも大きな揺れを生じさせないよう考慮しています。

免震装置の設計は以下の方針によっています。

- ・長期圧縮応力度は60kg/cm<sup>2</sup>程度を目標とする。
- ・上下方向の振動数 (剛性) は15Hz程度を目標とする。
- ・鉛プラグは、総エネルギー入力から促えた速度換算値V<sub>E</sub>=150cm/secレベル相当の地震時に対して、ダ

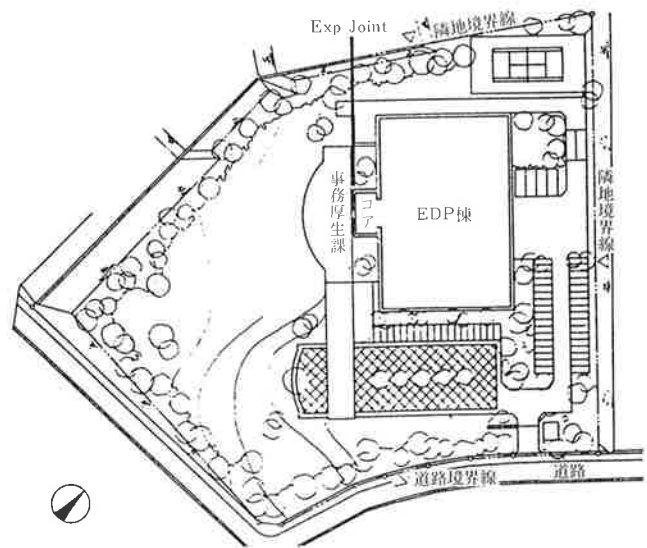


図-1 建物配置図

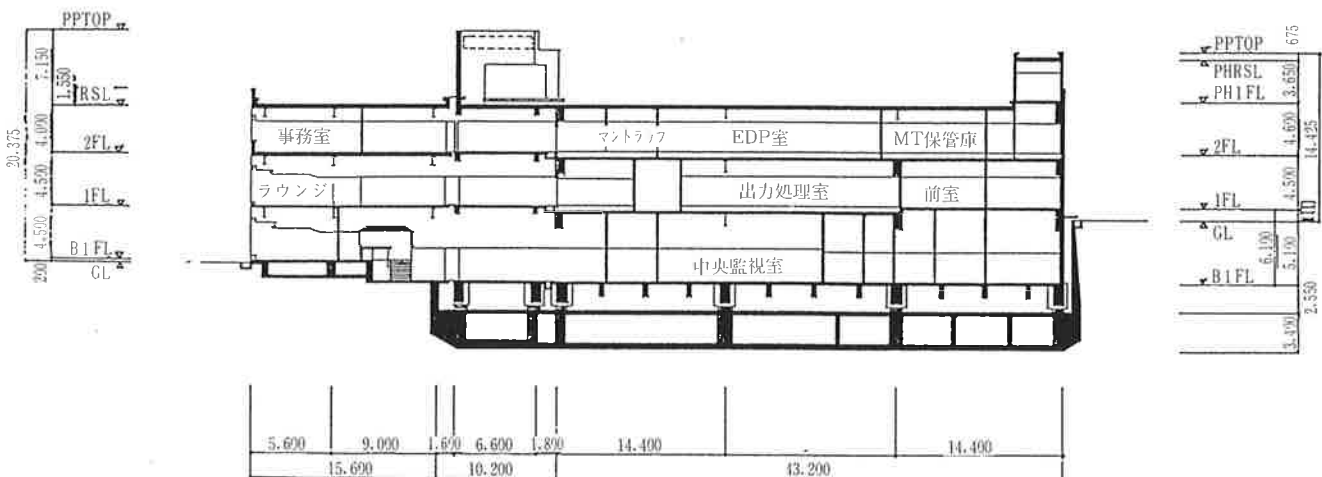


図-2 断面図

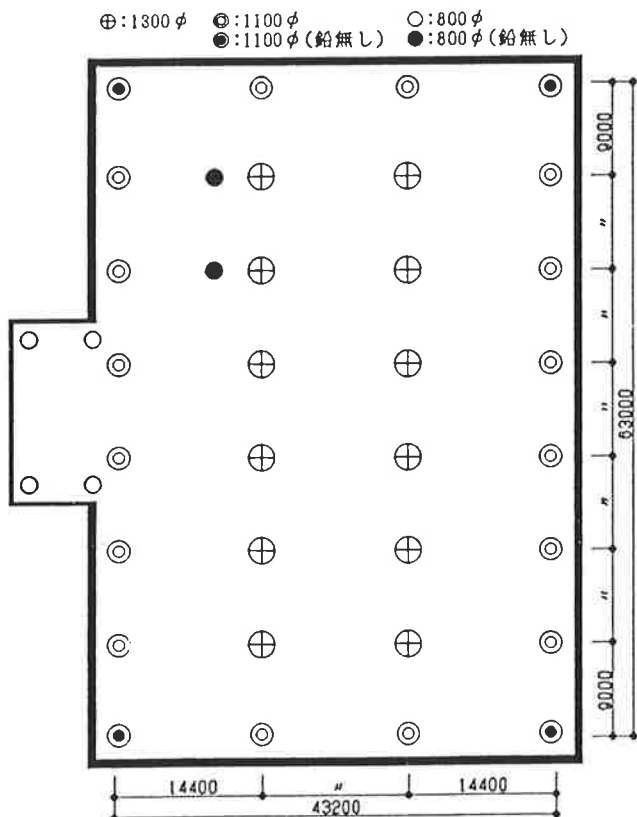


図-3 免震装置配置図

ンパーによる100%歪時3ループ分のエネルギー消費の65%が、入力エネルギーとほぼ同等となる様に設定する。

- ・等価固有周期は、大地震主要動の大振幅継続時間が概ね5~10sec程度であることから、100%歪レベルで2.5sec程度とする。
- ・頻繁に起こり得る中小地震動（震度Ⅲ程度）に対しても免震効果を発揮させるため、小歪レベルでの等価固有周期を地盤の卓越周期の2倍以上に設定している。

設計担当者の話によれば、当建物は日本建築センター免震構造評定を41番目に取得し、実施設計3ヶ月、評定2ヶ月、大臣認定1ヶ月で合計6ヶ月かかり、免震構造採用により3ヶ月通常より多くの期間を要したとのこと。また工期は1ヶ月程度伸びたとのこと。また地中100mをはじめ数箇所に加速度計を設置して地震

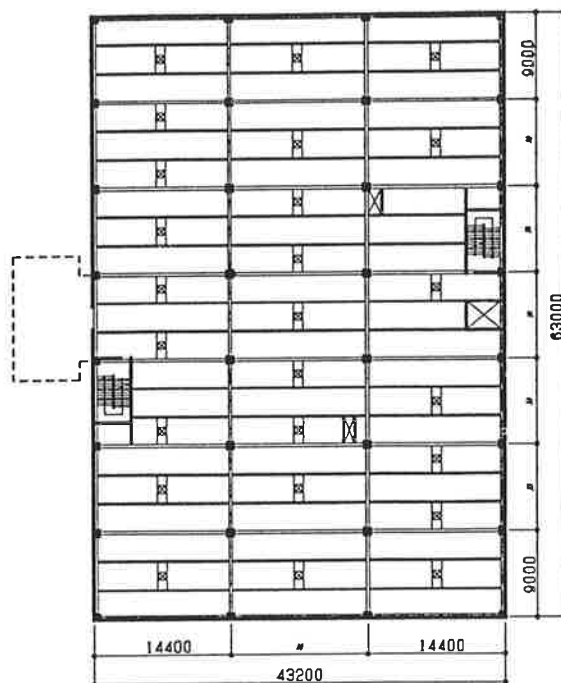


図-4 TMD配置図

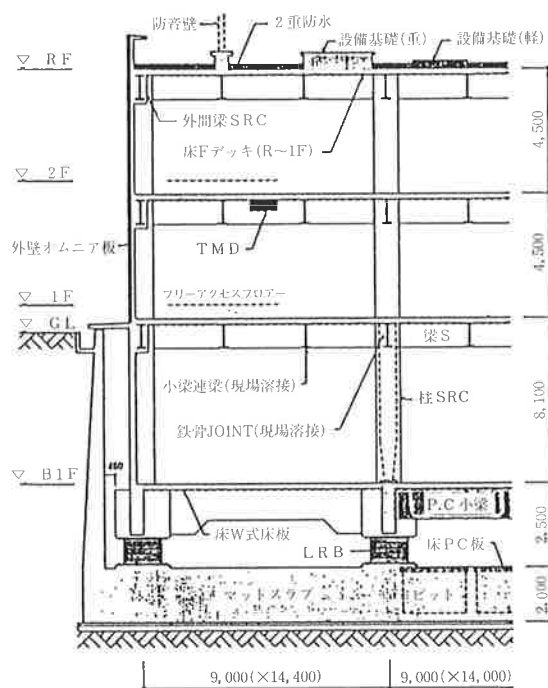


図-5 断面詳細図





写真—2 TMD設置状況



写真—3 給水管可撓継手



写真—4 電気配管

観測を行っており、建設省を中心に高密度地震観測地域としてきめ細かい地震観測を行なっているとのこと。

最後に、建物を案内していただいた本電算センターのコンピューター管理を行なっている(株)クエストの渋谷課長の話をもとめると以下のようです。

建物竣工後は、業界関係者の訪問が多く、業界関係者の免震に対する感心度が高いと感じられ、さらに今回の大震災後も見学者の申込が増えているとのこと。また、これまで地震時に本センター内にいたことはあまりないが、震度Ⅲ程度の地震では、あまり体感はなく揺れが長いような感覚だった。センター内で従事している方々は70名程度ですが、安心感があり、地震はあまり意識していないとのこと。

日常点検についてはビル管理会社が行っており、定期点検はフジタをお願いしているとのこと。お忙しいなか案内をして下さった渋谷課長に感謝の意を表します。



写真—5 記念撮影（右から2人目が渋谷課長）

# 高減衰積層ゴムの力学的特性

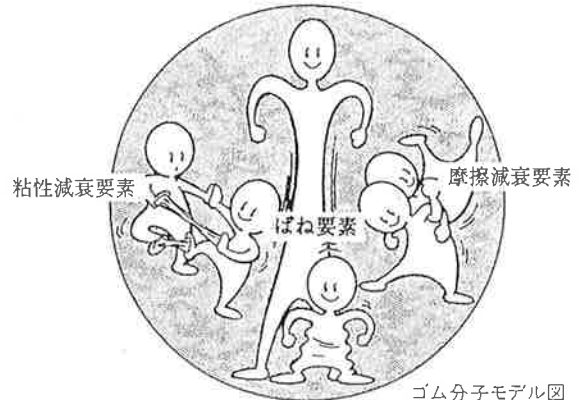
ブリヂストン 芳沢 利和



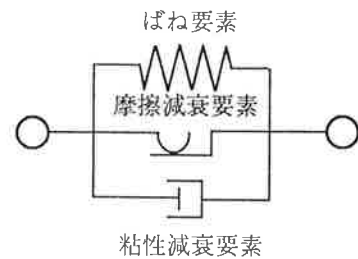
## 1. 高減衰積層ゴムとは

高減衰積層ゴムの特徴は、天然ゴム系積層ゴムとは異なり免震構造にとって必要なばね機能と減衰機能をゴム材料に保有させたもので、装置単独で免震建物の設計出来ることにあります。

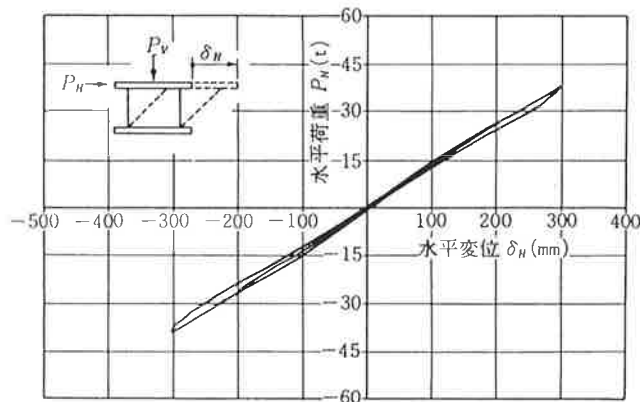
図一1に天然ゴム系と高減衰積層ゴムの履歴特性の比較を示します。天然ゴム系の履歴は線形的な履歴を示すが、その面積は小さい(吸収エネルギーが小さい)。これに対し、高減衰積層ゴムは面積を持った履歴特性を描きます。すなわちここに描かれた面積部分のエネルギーをゴムが吸収したことに相当します。実際にはこのエネルギーは熱に変換されるのですが。図一2に高減衰積層ゴムの減衰機構を示します。高減衰積層ゴムはそのゴム素材の中にゴム分子が持つばね要素と分子同士がこすれる摩擦要素、さらに



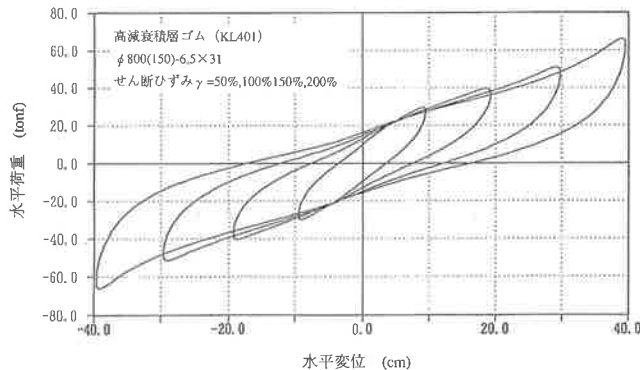
ゴム分子モデル図



図一2 高減衰ゴムの減衰機構



図一1 (a) 天然ゴム系積層ゴムの履歴特性



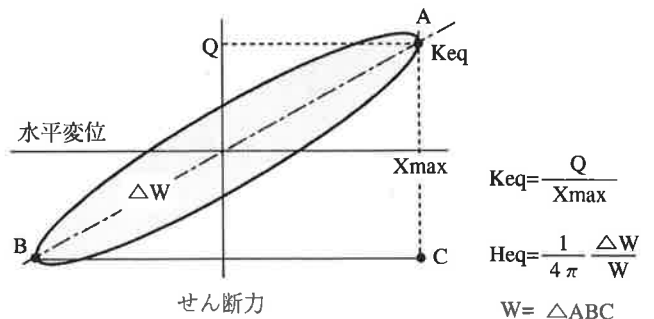
図一1 (b) 高減衰積層ゴムの履歴特性

特殊な素材を混入することで得られる粘性減衰要素が合わさり全体としてエネルギーを吸収するゴム配合設計がなされています。

## 2. 高減衰積層ゴムの力学的特性

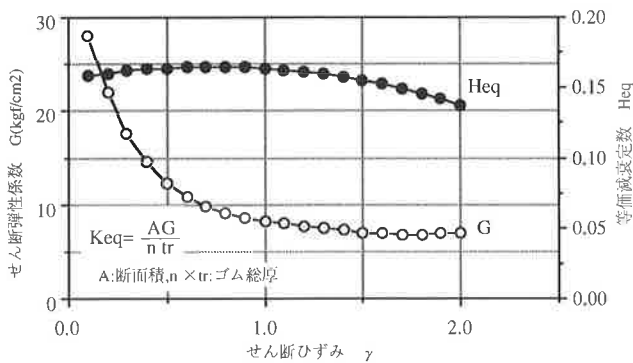
### (1) 剛性と減衰

高減衰積層ゴムの剛性 ( $Keq$ ) は各履歴ループの頂点を結んだ割線剛性で表され、また減衰 ( $Heq$ ) は履歴ループの面積と与えられた面積の比率によって表されます。(図一3)



図一3 高減衰積層ゴムの特性評価法

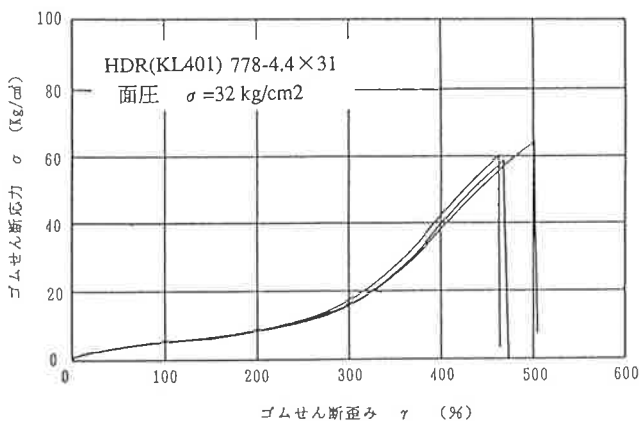
高減衰積層ゴムのもう一つの特徴は、微小変形では高い剛性を示し、小地震の変形領域では適度な剛性、さらに大地震の変形領域では小さな剛性と滑らかに変化する非線形性を有することです。これに対し減衰はほぼ一定の減衰量を示しているため、耐風性と小地震から大地震まで効果的な免震性能が得られる。図—4に高減衰積層ゴムの剛性と減衰の変化を示します。



図—4 高減衰積層ゴムのKeqとHeqのせん断歪依存性

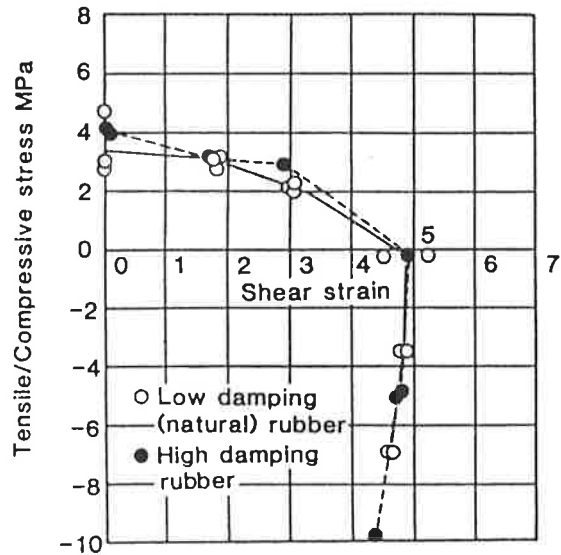
(2) 限界性能

高減衰積層ゴムはおおむねせん断ひずみ200~250%程度まで線形的に変化し、その後徐々にハードニング減少が現れ約450%で破断に至り、そのときの破断応力は約60kgf/cm<sup>2</sup>程度である。図—5に破断時のせん断



図—5 高減衰積層ゴムのせん断応力—ひずみ特性

断応力—ひずみ特性を示し、また図—6に積層ゴムの圧縮荷重を変化させた場合(圧縮及び引張り)の破断ひずみを示したインターラクションカーブを示す。



図—6 高減衰積層ゴムと天然ゴム系積層ゴムの破断インターラクション特性

(3) 温度依存性

高減衰積層ゴムはその配合に特殊なゴムを用いていることから特性に温度依存性を示す。図—7は天然ゴムと高減衰ゴムの弾性率の変化を示したもので、高減衰ゴムは常温領域では若干温度による特性変動は大きい、逆に低温領域では変化が小さい。これは高減衰ゴムが低温結晶化しにくい材料を用いているためである。

(4) 経年変化

ゴムの亀裂は特に酸素や、オゾンのゴムへのアタックによって起こるものである。高減衰ゴムは外気と接する部分に優れた耐候性を有する被覆ゴム材を本体と一体となるように製造段階で造られていることから、内部のゴムを長期的に環境因子から保護している。

したがって内部ゴムはゴムブロックと同様に考えられ、通常的环境下では装置特性に殆ど変化がない。

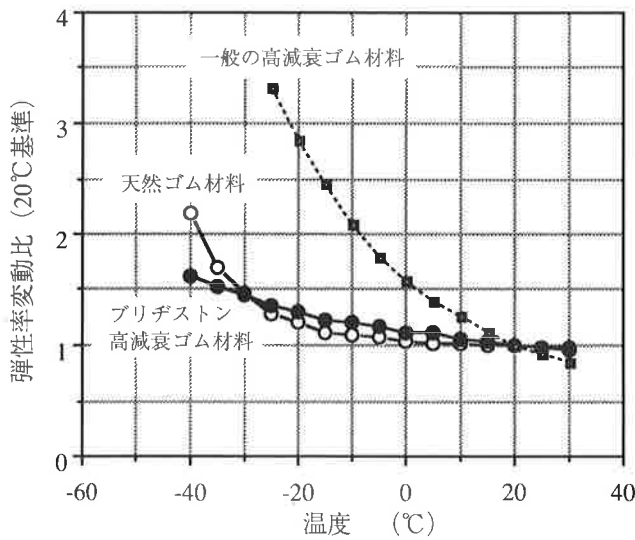


図-7 各材料の温度依存性

剛性の変動は60年相当で初期値の約+20%程度と考えてよい。また減衰については剛性が大きくなった分の等価減衰定数は約-10%程度の低下となる。また図-8に高減衰積層ゴムの限界特性における経年変化を示す。この結果せん断ひずみ200%を越えた領域からせん断応力の硬化が認められるものの、破断時のひずみ、応力とも大きな変化はなく少なくとも400%以上のせん断ひずみは確保されていることがわかる。

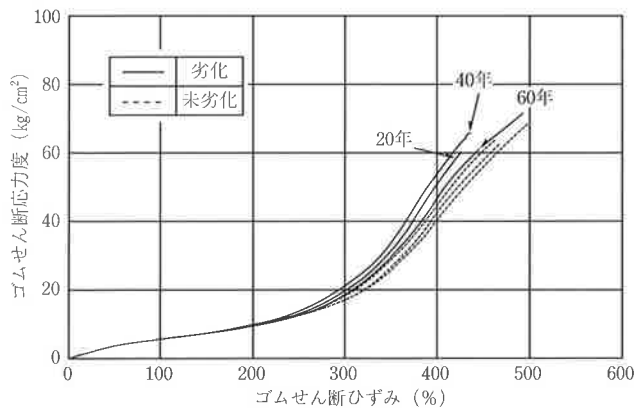


図-8 高減衰積層ゴムの限界性の経年変化

(5) クリープ特性

高減衰積層ゴムのクリープは積層ゴムに作用する軸力と置かれる環境温度、および積層ゴムの1次形状係数(S1)によって影響される。図-9はS1=20の積層ゴムに面圧50kgf/cm<sup>2</sup>を作用させて温度条件を変化させた場合のクリープ量の変化状態を示したものである。これらの結果より高減衰積層ゴムのクリープ量の変化は2つの変化状態が複合されたものであることがわかる。これは、初期の変化はゴムの物理的流動性に起因するもので、後半の変化はゴムの化学的

変化によるものであるとされている。この現象から約20°Cにおけるクリープ量を推定すると約1.69% (初期ゴム総厚さに対する比)程度と予測される。また図-10は代表的な高減衰積層ゴムの荷重とクリープ率の関係を示したものである。

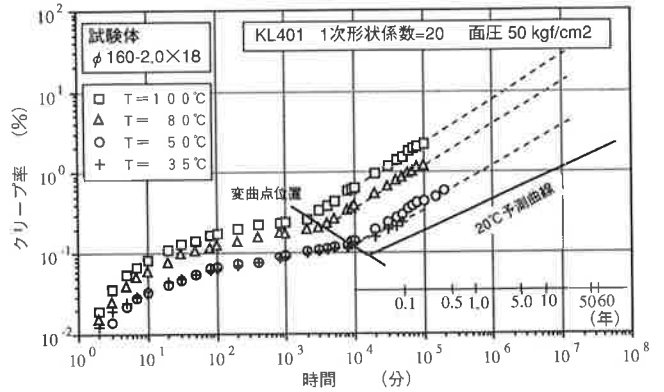


図-9 クリープ促進試験結果と長期予測

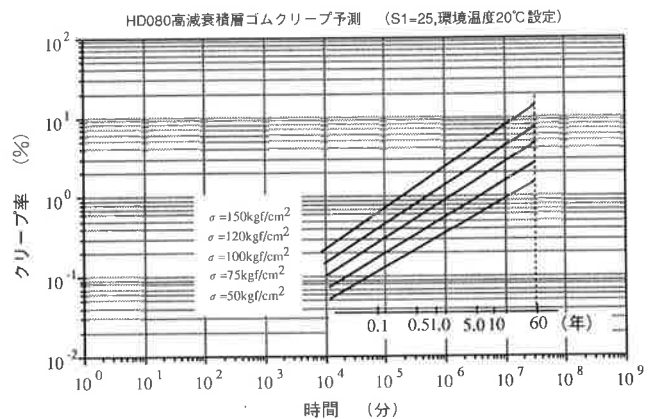
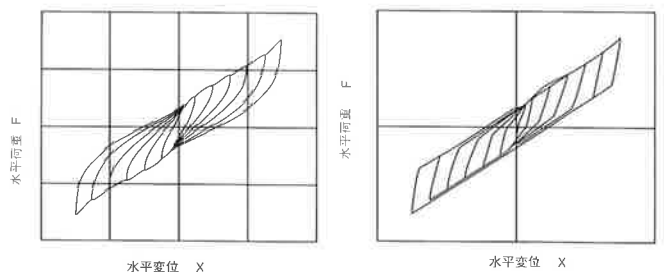


図-10 φ800高減衰積層ゴムのクリープ推定

(6) モデル化

積層ゴムを免震建物に应用する場合、動的解析に用いて建物の安全性を確認する必要がある。高減衰積層ゴムは一般に修正バイリニア型にモデル化を行います。図-11は高減衰積層ゴムの履歴特性と、その特性を修正バイリニアに置換した場合の比較を示したものである。この結果モデル化は比較的良い一致を示している。



(a) 履歴特性 (b) 修正バイリニアモデル

図-11 φ800高減衰積層ゴムのクリープ推定

# (株)松村組技術研究所・研究棟

松村組 技術研究所 伊澤清治



## 1. はじめに

平成7年1月17日午前5時46分淡路島北部を震源とする地震（兵庫県南部地震、M=7.2）が発生した。（株）松村組技術研究所・研究棟（免震構造）においても平成6年4月竣工後、継続的な地震観測を行なっているが、今回の地震について貴重な観測結果を得ることができたので研究棟の概要とともに紹介する。

## 2. 建築概要

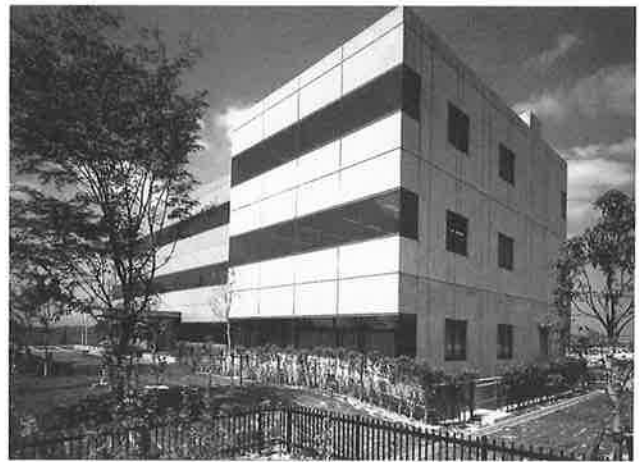
本建物は、（株）松村組の創業100周年記念事業の1つとして、関西地方に初の免震建物をスローガンに、建設された技術研究所・研究棟である。

建設地は、六甲山の北北西約10kmに位置し、敷地北側を中国自動車道が走っている。兵庫県南部地震の震央からは約35km離れた所に位置している。

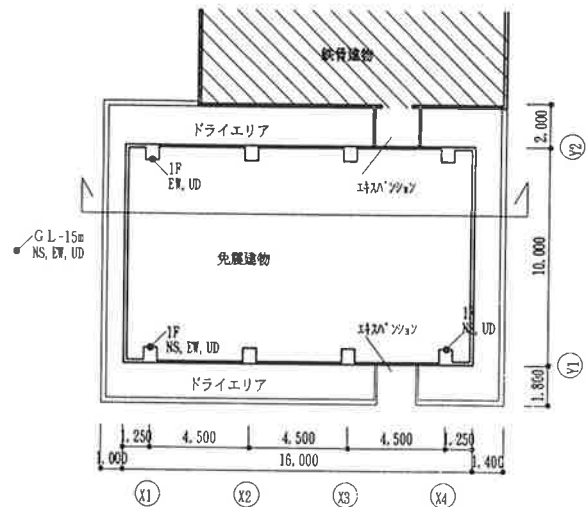
以下に、建築概要を示す。

- 建物名称 : (株)松村組技術研究所・研究棟
- 建設地 : 神戸市北区鹿の子台南町5-2-2
- 用途 : 事務所（研究所）
- 設計施工 : (株)松村組大阪本店
- 敷地面積 : 11005m<sup>2</sup>
- 建築面積 : 160m<sup>2</sup>
- 延べ面積 : 480m<sup>2</sup>
- 地上 : 3階
- 軒高さ : 12.0m
- 最高高さ : 12.5m
- 基準階階高 : 3.9m
- 基礎底 : 設計GL-2.8m
- 構造種別 : 鉄筋コンクリート造
- 架構形式 : 純ラーメン構造
- 免震装置 : 高減衰積層ゴム

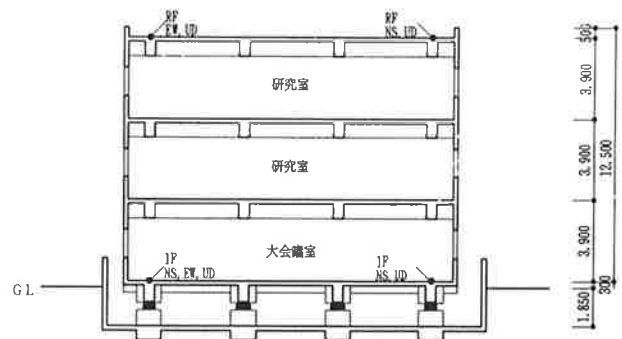
—2に断面図に示す。



写真—1 建物外観



図—1 1階平面図



図—2 断面図

## 3. 構造計画

### 3.1 上部構造

平面形状は図—1に示すように、X方向16m（3スパン）、Y方向10m（1スパン）である。隣接する管理棟（鉄骨造）とはEX.JOINTを介して接続されている。図

上部構造の設計に際しては、建築基準法通りの $A_i$ 分布を採用し、ベースシア係数 $C_0=0.2$ とし通常の耐震設計を行っている。

想定される建物の変形に対しては、建物内、周辺部に有害な損傷が生じないように計画している。

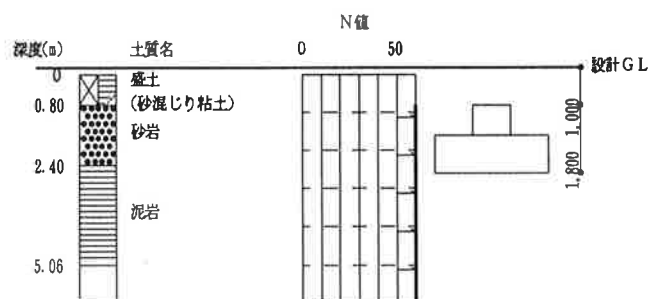


図-3 土質柱状図

### 3.2 基礎構造

本建物の基礎は、地盤調査結果(図-3)より、神戸層群(新第三紀層)の砂岩、泥岩を支持地盤(N値60以上)とする直接基礎とし、基礎の根入れ深さは2.8mとしている。長期許容地耐力は $50\text{tf}/\text{m}^2$ 、短期許容地耐力は $100\text{tf}/\text{m}^2$ としている。

### 3.3 免震装置

免震装置としては、施工法、メンテナンスの容易さを考慮して、高減衰積層ゴム(MRB-LHD)を用いており、直径600mm(LHD-060)直径700mm(LHD-700)をそれぞれ4個ずつ合計8個を図-4のように配置している。なお、表-1に高減衰積層ゴムの仕様を示す。

免震装置の設計にあたっては、設計用せん断歪み $\gamma=150\%$ 時の等価固有周期を $T_{eq}=2.4$ 秒、鉛直方向の固有振動数は13Hz以上に設定している。

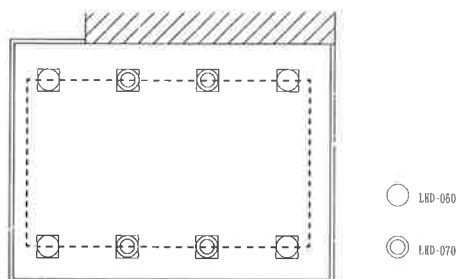


図-4 免震装置配置図

表-1 高減衰ゴムMRB-LHDの仕様

仕様	LHD-060	LHD-070
ゴム径 mm	600	700
ゴム厚×層数 mm×n	6.5×21	7.5×18
外部ゴム mm	8	8
内部鋼板 mm×n	2.2×20	2.2×17
外部鋼板 mm (センター、外側)	25, 20	25, 20
2次形状係数	4.4	5.2

## 4. 耐震設計概要

### 4.1 設計方針

設計に際しては、免震建物の耐震安全性を確保するために、3段階の入力地震動レベルを設定し、それぞれの入力レベルに対して上部構造、免震装置、基礎構造が耐震性能目標を満足することを確認する。

それぞれの入力地震動レベルの考え方を表-2に、それらに対応する上部構造、免震装置、基礎構造の耐震性能目標を表-3、4、5に示す。表中の括弧内は、地震応答解析結果に対する本建物の制限値である。

表-2 入力地震動レベルの考え方

レベル	考え方
1	耐用年数中に一度以上受ける可能性の大きい地震動
2	想定される最強クラスの地震動
3	耐震安全余裕度の検討用地震動

表-3 上部構造の耐震性能目標

レベル	耐震性能目標
1	部材の応力度は短期許容応力度以下 (層間変形角1/200以下)
2	一部の部材の曲げ降伏を許容するが、層として降伏しない (層間変形角1/100以下)
3	終局耐力に達しない (層間変形角1/75以下)

表-4 免震装置の耐震性能目標

レベル	耐震性能目標
1	免震装置の変形が安定変形内にあり引抜き力を生じさせない (せん断ひずみ150%以下)
2	免震装置の変形が性能保証変形内にあり、引抜き力を生じさせない (せん断ひずみ225%以下)
3	免震装置の変形が終局限界変形内にあり、座屈を生じさせない (せん断ひずみ300%以下)

表-5 基礎構造の耐震性能目標

レベル	耐震性能目標
1, 2, 3	部材の応力度は短期許容応力度以下、支持力は短期許容支持力以下



4.2 入力地震動

設計用入力地震動は、標準的な地震動 (EL CENTRO 1940 NS, TAFT 1952 EW)、比較的長周期成分が卓越する地震動 (HACHINOHE 1968 NS, EW)、地域特性を考慮して作成した模擬地震動 (RT-1SHU, ARTS1,2) としている。入力地震動の大きさは、記録地震動と RT-1SHU はレベル1、2、3 をそれぞれ最大速度 20cm/s、40cm/s、60cm/s としているが ARTS1 (レベル1用)、ARTS2 (レベル2用) については速度での基準化は行っていない。

4.3 解析モデル

振動解析モデルは、各階床位置に質量が集中した4質点系等価せん断型ロッキングスウェイモデルとする。

建物各階の復元力特性は、荷重増分解析で得られた層せん断力-層間変位関係から Degrading Tri-Linear 型とする。免震層のスウェイバネは免震装置の水平剛性から、歪み依存の修正 Bi-Linear 型の復元力特性とし、ロッキングバネは弾性とする。

なお、免震装置のスウェイバネの復元力特性は、

- ①製品精度
- ②環境温度
- ③経年劣化

などの変動要因を考慮し、標準剛性に対して剛性を高めた上限剛性、低下させた下限剛性についても検討している。

4.4 固有周期

表一六に免震建物の固有周期を示す。

表一六 免震建物の固有周期 (標準剛性、sec)

免震層の変形状態	1次	2次
$\delta = 1.4\text{cm}$ 時の等価剛性 ( $\gamma = 10\%$ )	1.208	0.239
$\delta = 10\text{cm}$ 時の等価剛性 ( $\gamma = 74\%$ )	1.903	0.243
$\delta = 20\text{cm}$ 時の等価剛性 ( $\gamma = 147\%$ )	2.335	0.243
柱脚固定時 (参考)	0.378	0.151

表一七 地震応答解析結果

応答値	X方向	Y方向
層せん断力係数 (1階)	0.107 (TAFT)	0.106 (TAFT)
	0.152 (HA EW)	0.144 (HA EW)
	0.260 (HA EW)	0.254 (HA EW)
層間変形角	1/1915 (TAFT)	1/1873 (TAFT)
	1/1407 (HA EW)	1/1146 (HA EW)
	1/279 (HA EW)	1/233 (HA EW)
免震層相対変位 (cm)	6.28 (HA EW)	6.28 (HA EW)
	15.37 (HA EW)	15.22 (HA EW)
	33.04 (HA EW)	33.13 (HA EW)

上段: 20cm/s入力時 (レベル1)  
中段: 40cm/s入力時 (レベル2)  
下段: 60cm/s入力時 (レベル3)

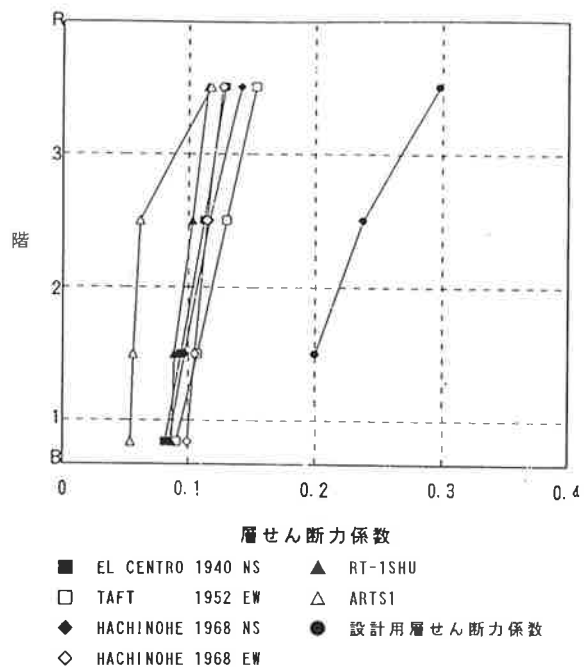
4.5 地震応答解析結果

図一五に各階の最大応答層せん断力係数 (X方向、レベル1) を示す。

表一七に地震応答解析結果のまとめを示す。

いずれの場合も耐震性能目標を満足している。

なお、上限剛性、下限剛性時についても耐震性能目標を満足している。



図一五 最大応答層せん断力係数

## 5. 施工概要

本建物は、免震装置の後付け工法を採用している。

本設の免震装置と同寸法、同形状の鋼製仮設ブロックを基礎上に設置し、その上に通常の工程で躯体工事を行い、仕上げ工事の完了後、建物全体をジャッキアップして本設の免震装置に取り替えている。

免震装置取り替え工事について紹介する。

柱1本につき2基、建物全体で16基の油圧ジャッキ(揚重能力:100tf/基)を使用し、建物全体を持ち上げ、1本ずつ免震装置に交換し、全部を取り替え後、建物全体をジャッキダウンしアンカーボルトを本締めして取り替え工事を完了した。

躯体には取り替えによるひび割れの発生もなく、取り替え所要時間は、1基あたり約25分とスムーズに終了した。

## 6. 周辺部との取り合いおよび設備概要

この建物は、EX.JOINTにより各階で隣接の管理棟と接続している。この渡り廊下部分の外壁は列車等に用いられているジャバラ構造のシート張りとし、水平方向については360°約40cmの変形に追随し、上下方向についてはスパン65±40cm間で約5cmの変形に追随できる構造としている。渡り廊下の床は管理棟の躯体に蝶番で取り付けられた鋼板を免震棟の床にのせかける構造とした。接触部には滑りを良くするためステンレス鋼板を張り付けている。

ドライエリア上の避難通路の手すりは約40cmの水平変位が生じても、人がドライエリアに落下しない構造としている。

なお、主な設備は隣接している管理棟に設けられている。免震建物に関連した設備としては次のものがある。

- ・電気引き込み設備
- ・幹線動力設備
- ・電話設備
- ・避雷針

免震建物対策としては、引き込み時にケーブルを曲げて十分な余長を取り、変位を吸収させている。

## 7. 維持・保全計画概要

この建物の管理者であり設計施工者である松村組は本建物が免震建物としての機能を十分発揮するよう下記の点検を行なう。

- ・通常点検 6カ月に1回程度実施
- ・定期点検 竣工後、1、3、5、10年以後10年毎に実施
- ・臨時点検 通常点検、定期点検で発見された重大な変形や破損が認められた場合に実施  
地震、火災、台風、集中豪雨、豪雪等の災害が発生した場合に実施

なお、上記点検時、予め設定している基準値を越えた場合はその都度対策を行い、維持・保全に努めている。

## 8. 地震観測結果

兵庫県南部地震観測結果について述べる。

図一6に地震観測位置を示す。

図一7a、b、cに加速度波形とフーリエスペクトルを、表一8にはその時の最大加速度値を示す。

基礎上部での最大加速度値NS272gal、EW265galに対して屋上ではNS198gal、EW273galとなっている。参考までに隣接している管理棟(鉄骨造)の屋上での最大加速度はNS965gal、EW677galであった。

なお、上下動については、基礎上で232gal、屋上で334galであり、少し増幅していることが認められる。

表一9、表一10はそれぞれ最大速度値、最大変位値を示す。基礎上の観測結果から建物へは、最大値NS20.5cm/s、EW32.2cm/s、UD8.7cm/sの地震入力が見られることがわかる。

図一8に基礎上部での観測波の速度応答スペクトルを示す。それによれば卓越周期はNS・EW共に0.8、1.5秒程度、UDは0.45、0.9秒に認められる。

兵庫県南部地震は大きな入力レベルで、やや長周期成分が卓越している入力地震動であり、免震建物にとっては厳しい地震であったことがわかる。

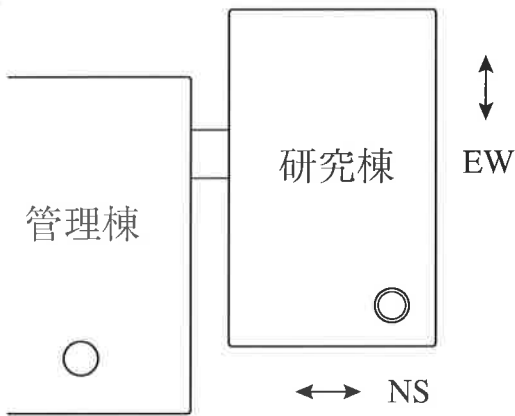


図-6 地震観測位置

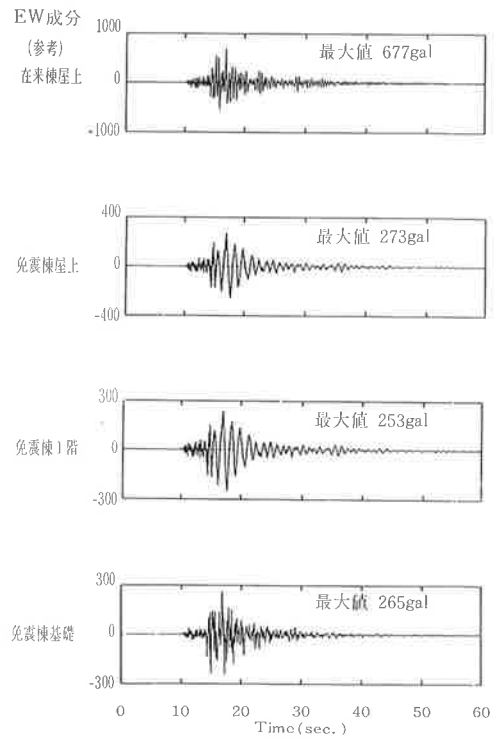


図-7b 加速度波形 (EW)

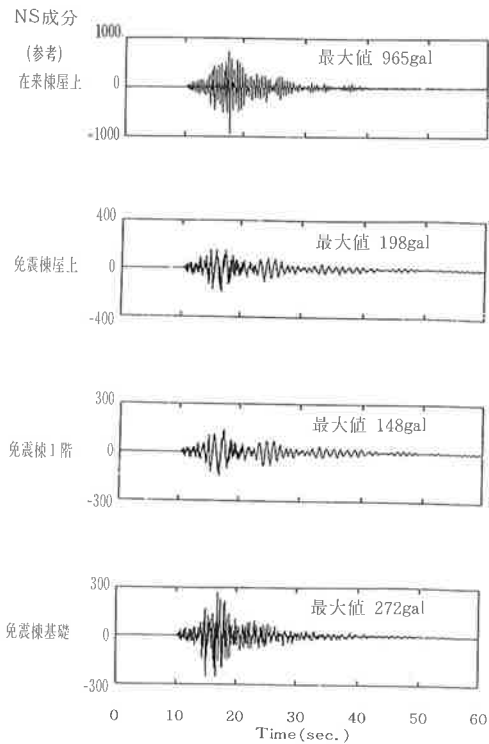


図-7a 加速度波形 (NS)

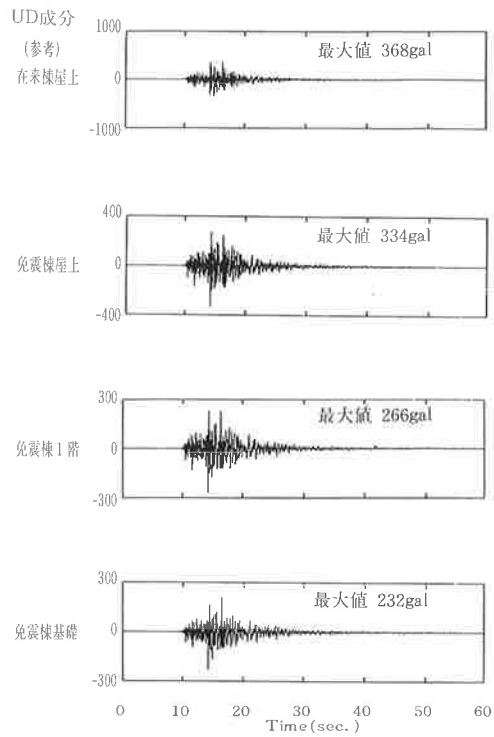
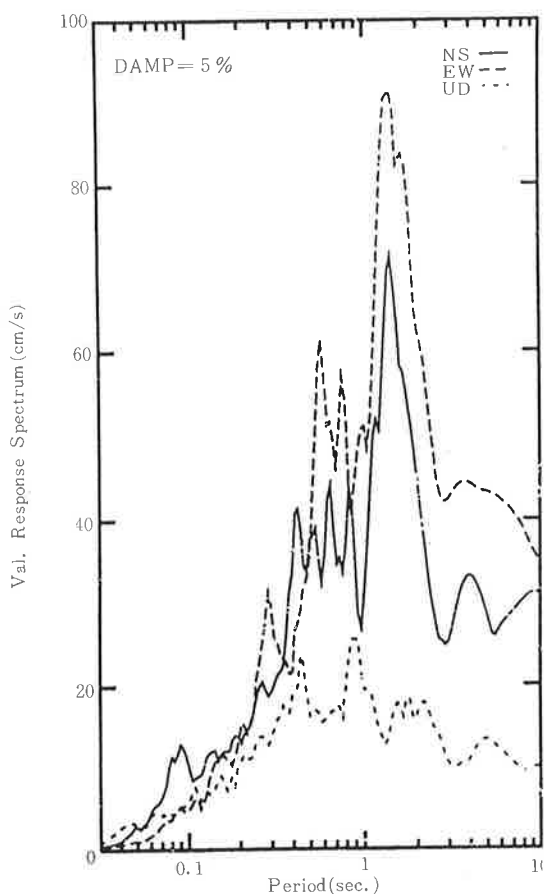


図-7c 加速度波形 (UD)



図一八 速度応答スペクトル (基礎上)

表一八 最大加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

		NS	EW	UD
研究棟	屋上	198	273	334
	1階	148	253	266
	基礎	272	265	232
管理棟	屋上	965	677	368

表一九 最大速度\* (cm/s)

		NS	EW	UD
基礎		20.5	32.2	8.7

表一〇 最大変位値\* (cm)

		NS	EW	UD
基礎		2.96	6.98	1.49

\* 観測加速度波形を数値積分して得られた値

### 9. まとめ

(株)松村組技術研究所・研究棟について構造設計・施工および兵庫県南部地震の観測記録の概要を述べた。研究棟への地震入力動(水平成分)は設計で想定しているレベル1以上の非常に大きなものであり、卓越周期1.5秒とやや長周期成分を含んだものであった。その厳しい地震動に対して免震建物は設計どおりの挙動を示した。

ノースリッジ地震、兵庫県南部地震と続けて大地震に対する免震構造の有効性が証明された。

今後、免震構造物が広く社会に受け入れられ、より多く建設されることを期待している。

# 兵庫県南部地震観測記録結果 (WESTビル)

(株)東京建築研究所 中澤俊幸



前報 (No7) で紹介したWESTビルで観測された加速度波形を報告します。WESTビルは、震源域から北北東に約30km離れた位置にあります。架構は、地上6階建てで柱をSRC造・梁をS造として、各階の要所にブレースを、1,2階外周に耐震壁を配置して剛性を高くした構造としています。図-1に断面図を図-2に免震部材配置図を示します。図中に地震計の設置位置を示しています。表-1に加速度波形の最大値を図-3に加速度波形を示します。

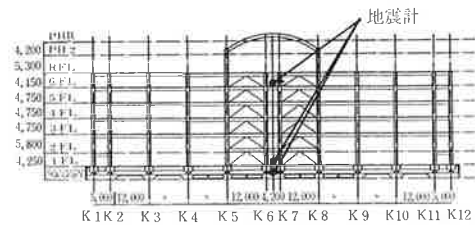


図-1 断面図

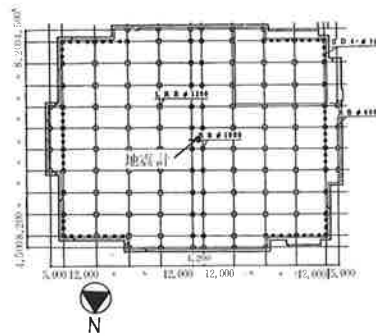


図-2 免震部材配置図

表-1 加速度波形の最大値

	NS	EW	UD
基礎スラブ	263	300	213
1 FL	57	106	193
6 FL	75	103	377

単位 (cm/s<sup>2</sup>)

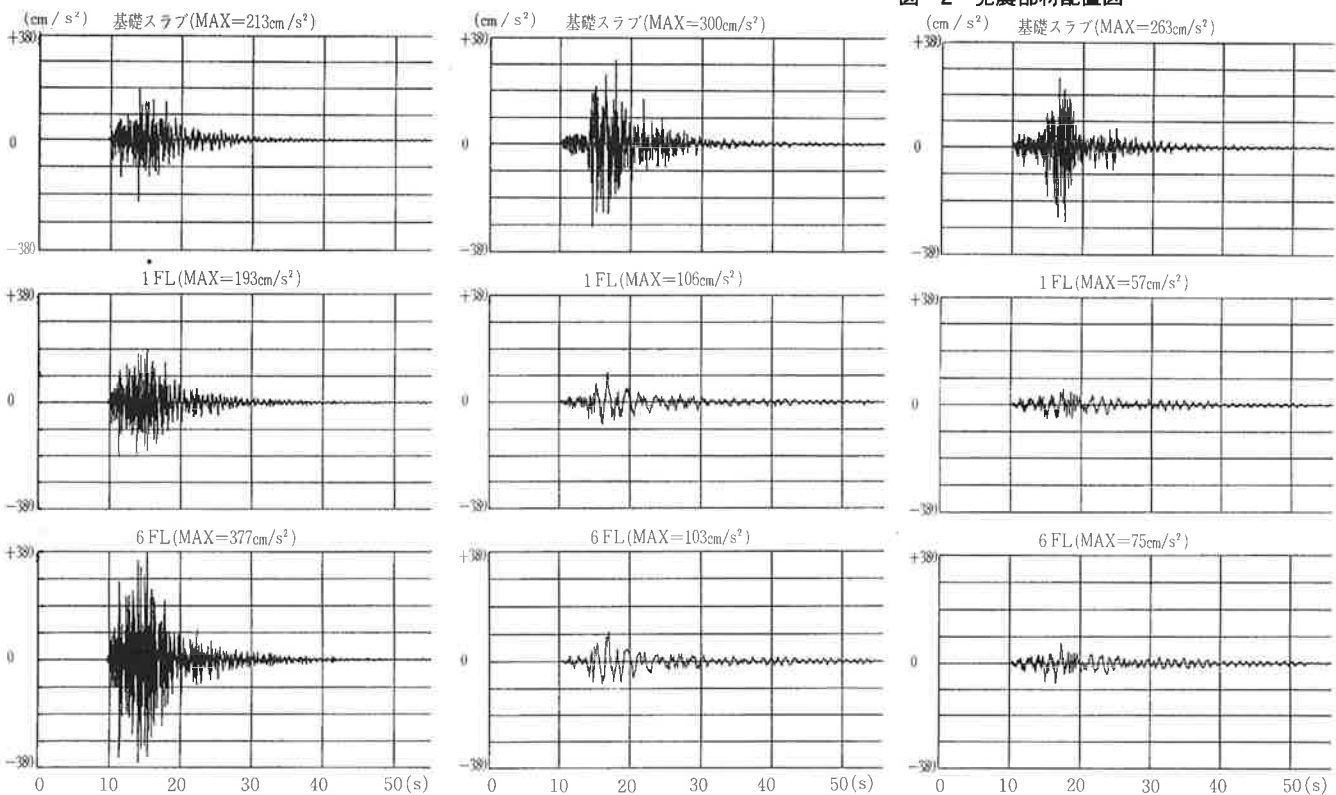


図-3 加速度波形

# 国内の免震建物一覽表

(日本免震建築センター評定終了の免震建物)

文責 (株)ブリヂストン・有田興紀

※尚、オイレス工業(株)、昭和電線電纜、(株)横浜ゴム(株)のご協力をいただいた。

No	評定 BIC 年月	物件名	設計者 (構造)	施工者	建物の概要			用途	建設地	免震装置	
					階	延べ床面積(㎡)	高さ(㎡)				
1	'83.3	八千代台住宅	東京建築研究所・ユニチカ		RC	2	115	住宅	千葉県八千代台	積層ゴム 摩擦ダンパー (PC板)	6基
2	-免1	キリシタン資料館	東京建築研究所・ユニチカ	計画変更	RC	2	547	資料館	神奈川県大磯町	積層ゴム 網棒ダンパー	32基 8組
3	-免2	'85.11 奥村組筑波研究所管理棟	東京建築研究所・奥村組	奥村組	RC	4	1,330	事務所	茨城県つくば市	積層ゴム 網棒ダンパー	25基 12組
4	-免3	'86.1 大林組技術研究所61実験棟	大林組	大林組	RC	5	1,624	実験室	東京都清瀬市	積層ゴム 網棒ダンパー	14基 96組
5	-免4	'86.3 オイレス工業藤沢事業場TC棟	住友建設	住友建設	RC	5	4,765	実験室・事務所	神奈川県藤沢市	鉛入り積層ゴム 積層ゴム	31基 4基
6	-免5	'86.4 船橋竹友寮	竹中工務店	竹中工務店	RC	3	1,530	寄宿舎	千葉県船橋市	積層ゴム 粘性ダンパー	14基 8組
7	-免6	'86.5 鹿島建設技術研究所 西調布音響実験棟	鹿島建設	鹿島建設	RC	2	655	実験室	東京都調布市	積層ゴム 網棒ダンパー	14基 8組
8	-免7	'86.6 キリシタン資料館(再申請)	東京建築研究所・ユニチカ	白石建設	RC	2	150	資料館	神奈川県大磯町	積層ゴム 網棒ダンパー	12基 6組
9	-免8	'86.12 グライムプレイス	東京建築研究所・奥村組	奥村組	RC	4	652	共同住宅	東京都中野区	積層ゴム 網棒ダンパー	12基 7組
10	-免9	'87.2 渋谷清水第1ビル	大林組	大林組・青木JV	RC	5	3,385	事務所	東京都渋谷区	積層ゴム 網棒ダンパー	20基 108組
11	-免10	'87.2 フジタ技術研究所第6実験棟	フジタ	フジタ	RC	3	395	実験室	横浜市	鉛入り積層ゴム	14基
12	-免11	'87.6 無機材研無振動棟	建設大臣官房官庁・大林組	大林組	RC	平屋	616	実験室	茨城県つくば市	積層ゴム 網棒ダンパー	32基 48組
13	-免12	'87.6 清水建設土浦営業所	清水建設	清水建設	RC	4	637	事務所・寄宿舎	茨城県土浦市	鉛入り積層ゴム	14基
14	-免13	'87.7 大成建設技術研究所J棟	大成建設	大成建設	RC	4	1,173	事務所	横浜市	すべり支承 復元バネ	8個 8個
15	-免14	'87.7 ラ・フォーラムペル石神井三番館	東京建築研究所・奥村組	奥村組	RC	3	476	共同住宅	東京都練馬区	積層ゴム 網棒ダンパー	10基 7組
16	-免15	'87.12 プリヂストン虎ノ門ビル	清水建設	清水・大林JV	RC	8	3,360	事務所	東京都港区	積層ゴム 網棒ダンパー	12基 25組
17	-免16	'88.2 南越谷マンション	住友建設	住友建設	RC	10	3,534	事務所・住宅	埼玉県越谷市	鉛入り積層ゴム	14基
18	-免17	'88.2 熊谷道路 一之江寮	熊谷組	熊谷組	RC	3	771	寄宿舎	東京都江戸川区	積層ゴム 網棒ダンパー	12基 14組
19	-免18	'88.6 (仮)14F-P R免震構造物	東京建築研究所・九段建築研究所	未建設	RC	14	16,395	共同住宅	神奈川県藤沢市	積層ゴム 網棒ダンパー	84基 164組
20	-免19	'88.6 竹中技術所クリーンルーム棟	竹中工務店	竹中工務店	S	2	406	実験室	東京都江東区	多段積層ゴム 粘性ダンパー	6基 6組
21	-免20	'88.6 日本原子力発電機 熱川保養所プール棟	大成建設	大成建設	RC	1	141	プール	静岡県東伊豆町	すべり支承 復元バネ	8個 4個
22	-免21	'88.6 小川マンション	熊谷組	熊谷組	RC	4	1,187	共同住宅	東京都八王子	高減衰積層ゴム	14基
23	-免22	'88.6 アサノビルディング	住友建設	住友建設	RC	7	3,141	事務所・店舗	名古屋市中区	鉛入り積層ゴム	10基
24	-免23	'88.8 楠田ビル	間組	間組	RC	4	1,048	事務所・店舗・住宅	東京都渋谷区	高減衰積層ゴム	8基
25	-免24	'88.12 鴻池組市川免震住宅	東京建築研究所・鴻池組	鴻池組	RC	2	149	共同住宅	千葉県市川市	積層ゴム 網棒+鉛ダンパー	14基 4組
26	-免25	'88.12 東北電力・泉電力ビル	東日本興業(株) 清水建設	清水・関三養・橋本・千田JV	RC	6	10,032	電算センター	宮城県仙台市	高減衰積層ゴム	40基
27	-免26	'88.12 東急建設相模原機材センター事務所棟	東急建設	東急建設	RC	3	256	事務所	神奈川県相模原市	高減衰積層ゴム	6基
28	-免27	'88.12 (財)東京都老人総合研究所	東京都・大林組	大林組	RC	2	1,113	実験室	東京都板橋区	積層ゴム 網棒ダンパー	20基 108組
29	-免28	'89.2 三井ホーム[M-300]オイレス工業保養所	三井ホーム	三井ホーム	2×4	2	310	保養所	静岡県伊東市	鉛入り積層ゴム	10基
30	-免29	'89.2 ハーベストビルズ	奥村組	奥村組	RC	6	2,066	共同住宅・店舗	静岡県浜松市	積層ゴム 網棒ダンパー	20基 22組
31	-免30	'89.2 鹿島建設技術研究所 西調布音響実験棟(改造)	鹿島建設		RC	2	656	実験室	東京都調布市	積層ゴム 網棒ダンパー	18基 14組
32	-免31	'89.4 東伸24大森ビル	鹿島建設	鹿島建設	SRC	9	7,574	事務所	東京都大田区	積層ゴム 網棒ダンパー	19基 12組
33	-免32	'89.4 長谷工住宅性能試験棟	長谷工コーポレーション 東京建築研究所	長谷工コーポレーション	RC	3	681	実験室	神奈川県厚木市	積層ゴム 網棒ダンパー	13基 9組
34	-免33	'89.4 南大塚2丁目共同ビル	住友建設	住友建設	RC	12	6,020	事務所	東京都豊島区	鉛入り積層ゴム	13基
35	-免34	'89.4 飛鳥建設技研 風洞実験棟	飛鳥建設	飛鳥建設	RC	3	478	実験室	千葉県東葛飾郡	高減衰積層ゴム (ラバーダンパー付)	6基
36	-免35	'89.6 C・P福住ビル	日建設計	戸田建設	RC	6	4,407	事務所	東京都江東区	積層ゴム 鉛ダンパー 摩擦ダンパー	27基 28組 12組
37	-免36	'89.6 前田建設社員施設	前田建設	前田建設	RC	4	653*2棟	共同住宅	千葉県船橋市	A棟:鉛入り積層ゴム B棟:高減衰積層ゴム	10基 10基
38	-免37	'89.7 東邦ガス四日市工場管理棟	大成建設	大成建設	RC	3	1,750	事務所	三重県四日市市	すべり支承 復元バネ	18個 12個
39	-免38	'89.7 戸田建設津田沼寮	戸田建設	戸田建設	RC	2	202	寄宿舎	千葉県船橋市	積層ゴム 網棒ダンパー	8基 30組
40	-免39	'89.10 三井ホーム[M-300]山田邸	三井ホーム	未建設	2×4	2	214	住宅	神奈川県秦野市	鉛入り積層ゴム	6基
41	-免40	'89.10 小金井住宅	フジタ	フジタ	RC	3	714	共同住宅	東京都小金井市	鉛入り積層ゴム 積層ゴム	16基 4基



No	評 定		物 件 名	設 計 者 ( 構 造 )	施 工 者	建 物 の 概 要			用 途	建 設 地	免 震 装 置		
	BIC	年月				階	延べ床面積(㎡)						
42	-免41	'89.10	日産火災オペレーションセンター	フジタ	フジタ	SRC	2	1	8,660	事務所	宮城県仙台市	鉛入り積層ゴム 積層ゴム	32基 6基
43	-免42	'89.12	浦和工業耐久喜工場(増築)	間組	間組	RC	5		1,525	工場	埼玉県久喜市	高減衰積層ゴム	12基
44	-免43	'90.2	日本国土開発技研管理棟	日本国土開発	日本国土開発	RC	3		955	事務所・研究所	神奈川県愛甲郡	積層ゴム 粘性ダンパー	10基 4組
45	-免44	'90.2	広島県農協情報センター	全国農協設計・東京建築研究所	大成・間JV	RC	3		5,424	電算センター	広島県東広島市	鉛入り積層ゴム	27基
46	-免45	'90.2	(仮称) C-1ビル	日本設計	清水・鹿島・フジタ・三井JV	SRC	7	1	45,419	電算センター	東京都府中市	鉛入り積層ゴム	68基
47	-免46	'90.2	計算流体力学研究所	竹中工務店	竹中工務店	RC	3		628	事務所・機械室	東京都目黒区	積層ゴム 粘性ダンパー	9基 4組
48	-免47	'90.4	三井機械部柏工場事務所棟	三井建設	未建設	RC	4		2,187	事務所	千葉県流山市	高減衰積層ゴム M型ダンパー	16基 8組
49	-免48	'90.4	筑波研究所音響実験棟	間組	間組	RC	2		908	研究施設	茨城県つくば市	積層ゴム 摩擦ダンパー	8基 8組
50	-免49	'90.6	西松建設大和寮	西松建設	西松建設	RC	8		1,922	家族寮	神奈川県大和市	積層ゴム 網リダンパー	18基
51	-免50	'90.6	川口家族寮	大末建設	大末建設	RC	4	1	659	家族寮	埼玉県川口市	鉛入り積層ゴム	8基
52	-免51	'90.6	動燃情報センター	日建設計	清水・大林JV	RC	4		3,310	電算センター	茨城県鹿島郡	積層ゴム 鉛ダンパー	32基 34組
53	-免52	'90.6	安藤建設技術研究所	安藤建設	安藤建設	RC	3		1,930	研究所	埼玉県入間市	鉛入り積層ゴム	8基
54	-免53	'90.8	東洋ゴム工業・柴又社宅	熊谷組	熊谷組	RC	7		3,520	社宅	東京都葛飾区	積層ゴム 網リダンパー オイルダンパー	22基 22組
55	-免54	'90.11	青木建設研究所・管理棟	青木建設・東京建築研究所	未建設	RC	4	1	9,335	研究所	茨城県つくば市	鉛入り積層ゴム	30基
56	-免55	'90.11	糸九ビル	鹿島建設	鹿島建設	RC	8	1	2,183	事務所・社宅	名古屋市	積層ゴム 網リダンパー	8基 6組
57	-免56	'90.11	大日本土木・市ヶ尾独身寮	大日本土木・日建設計	大日本土木	RC	4		1,186	寄宿舎	横浜市	積層ゴム 鉛ダンパー	15基 18組
58	-免57	'90.11	ENICONコンピュータセンター	新日鉄・東京建築研究所	新日鉄・奥村JV	RC	6		10,962	電算センター	東京都板橋区	積層ゴム 網リダンパー	56基(2基使い) 網リダンパー
59	-免58	'91.5	中部電力・火力センタービル(西棟)	清水建設	清水・フジタJV	SRC	6		6,805	事務所	名古屋市	高減衰積層ゴム	27基
60	-免58	'91.5	中部電力・火力センタービル(東棟)	鹿島建設	鹿島・東急JV	SRC	6		6,768	事務所	名古屋市	鉛入り積層ゴム	27基
61	-免59	'91.5	DOMANI武蔵野	西松建設	西松建設	RC	3		742	共同住宅	東京都武蔵野市	積層ゴム 鋼リダンパー	12基 4組
62	-免60	'91.7	オイレス・新井住宅	日本建設業経営協会	未建設	木造	2		100	住宅	東京都大田区	鉛入り積層ゴム	4基
63	-免61	'91.7	佐藤工業・浦和住宅	佐藤工業	佐藤工業	RC	6		2,607	共同住宅	埼玉県浦和市	積層ゴム 網リダンパー	6基 8組
64	-免62	'91.7	信越化学松井田工場守衛所	清水建設	清水建設	RC	2		142	守衛所	群馬県碓氷郡	シリコン積層ゴム	4基
65	-免63	'91.7	三井建設・柏大室社宅	三井建設	三井建設	RC	3		3,745	社宅	千葉県柏市	高減衰積層ゴム Mスリットダンパー	18基 8組
66	-免64	'91.7	三井海上工業ニュータウン本社ビルコンピュータセンター棟	日建設計	三井・清水・東急・大林JV	SRC	5	2	19,757	電算センター	千葉県印旛郡	積層ゴム 網リダンパー 鉛ダンパー	88基 網リダンパー
67	-免65	'91.10	フジタ第6実験棟(改築)	フジタ		RC	3		307	実験棟	横浜市	鉛入り積層ゴム (改良型)	4基
68	-免66	'92.5	オイス工業総研研習所	日本建設業経営協会・中央技術研究所	竹中工務店	S	2		281	事務所	栃木県足利市	鉛入り積層ゴム (人工地盤)	8基
69	-免67	'92.7	WESTビル	郵政大臣官房建築部・東京建築研究所	竹中・住友・奥村・ナカノ・三菱JV	SRC	6		55,254	事務所	神戸市	鉛入り積層ゴム 積層ゴム 網リダンパー	54基 66基
70	-免68	'92.10	府中マンション	竹中工務店	竹中工務店	RC	5	1	3,012	分譲マンション	東京都府中市	積層ゴム 粘性ダンパー	24基 16基
71	-免69	'93.3	(仮称)新学社 東京支店	住友建設	住友建設	RC	5	1	5,282	事務所	東京都多摩市	高減衰積層ゴム 鉛入り積層ゴム (バックアップ装置)	20基 4基
72	-免70	'93.3	柳田邸	日本建設業経営協会	常濃建設	木造	2		195	住宅	東京都町田市	鉛入り積層ゴム	6基
73	-免71	'93.3	五洋建設・技研・展示実験棟	五洋建設	五洋建設	RC	5		2,106	実験棟	栃木県那須郡	高減衰積層ゴム	12基
74	-免72	'93.11	松村組・技研新築工事	松村組	松村組	RC	3		480	事務所	神戸市	高減衰積層ゴム	8基
75	-免73	'93.11	東北シティ開発連坊ビル(仮称)	東北開発コンサルタント大林組	大林組	S	6	2	17,318	電算センター	仙台市	高減衰積層ゴム	64基
76	-免74	'94.5	ニッタ平城山新研究所	久米設計		RC	2		486	事務所	奈良県奈良市	鉛入り積層ゴム	12基
77	-免75	'94.5	(仮)富士銀行多摩電算センター1階新築工事	松田平田・久米設計	大成・竹中・飛鳥・五洋・西松・大林・東建・東宝・前田・松井JV	SRC	7		37,050	電算センター	東京都多摩市	鉛入り積層ゴム	131基
78	-免76	'94.7	(仮)東洋信託銀行千葉ニュータウン本部ビル新築工事	大林組	大林・清水・森高・東洋・長谷JV	SRC	8		12,880	電算センター	千葉県印旛郡	高減衰積層ゴム	35基
79	-免77	'94.7	(仮)Sビル新築工事	清水建設	清水建設	SRC	6		22,987	電算センター	静岡県清水市	高減衰積層ゴム	84基
80	-免78	'94.9	(仮)柳瀬川RSマンション(A棟B棟)	鹿島建設	鹿島建設	RC	14		12,120	分譲マンション	埼玉県志木市	高減衰積層ゴム	48基
81	-免79	'94.11	報徳二宮神社拝殿(修復工事)	竹中工務店	竹中工務店	木造	1		112	神社	神奈川県小田原市	積層ゴム 粘性ダンパー	5基

# 高面圧下での天然ゴム系積層ゴムアイソレータの実大実験

福岡大学工学部

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所



高山 峯夫



多田 英之



瓜生 満

## 1. はじめに

免震構造において、高い免震性能を発揮させるためには、積層ゴムアイソレータの面圧をある程度高くし、積層ゴムのみによる免震建物の周期を4秒程度以上とすることが有効である。そのためには積層ゴムアイソレータの常時面圧を150kg/cm<sup>2</sup>程度に設定することが必要となる。建物の形状・規模にもよるが、大地震時の面圧の変動を考慮すれば、積層ゴムの面圧は極限時には0~300kg/cm<sup>2</sup>程度になる可能性がある。

現在、一般に使用されている積層ゴムの面圧は大部分100kg/cm<sup>2</sup>程度以下であり、面圧200~300kg/cm<sup>2</sup>の軸荷重に対する実験結果は非常に少ない。従って、この面圧の範囲に対して積層ゴムの特性を検討しておくことは、今後の免震構造の発展を考えた場合、特に重要となる。本実験計画では、上記面圧の範囲に対して、要求性能を満足する積層ゴムの仕様を以下のように設定した。

- 形状：1次形状係数 $S_1=25\sim35$ 程度  
2次形状係数 $S_2=5$ 以上  
中心孔の大きさ(直径)は、  
積層ゴム直径の1/20以下

- ゴム材質：天然ゴム、硬度40程度、  
せん断弾性率 $G=4\text{kg/cm}^2$ 程度

本実験では、このような仕様に基づいた実施構造物用積層ゴムアイソレータ(直径800φ、ゴム厚6mm、26層)の1/1.6縮小モデルを用いて、広範囲な面圧に対する圧縮せん断特性の把握を行うことを主眼としている。加えて、1次形状係数が小さな積層ゴムアイソレータを用いて、1次形状係数の違いによる影響についても検討する。

## 2. 試験体

試験体は、表-2.1と図-2.1に示す2種類である。DS33試験体は、上記仕様に基づいて設計された積層ゴムの縮小試験体で、1次形状係数は33程度、2次形状係数は5程度とし、ゴム層数は26とした。試験体DS18は、1次形状係数が18程度の従来型の積層ゴムである。

ゴム材料は、天然ゴムを使用し、硬度40程度、せん断弾性率 $G=4.5\text{kg/cm}^2$ 程度である。両試験体DS33、DS18ともに中間鋼板露出型であり、中心孔にはゴムが充填されている。

表-2.1 試験体の形状

試験体名	直径 (mm)	ゴム厚 (mm)	層数	$S_1$	$S_2$	全ゴム厚 (mm)	中間鋼板厚	中心孔径	断面積 (cm <sup>2</sup> )
DS33	500	3.75	26	33.3	5.1	97.5	3.2mm	20mm	1963.5
DS18	500	7.00	14	17.9	5.1	98.0	3.2mm	20mm	1963.5

$S_1$ :1次形状係数  $S_2$ :2次形状係数

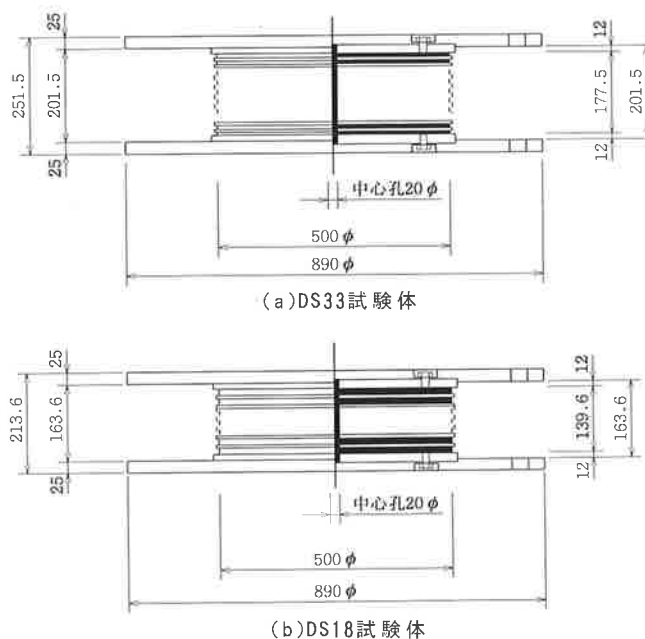


図-2.1 試験体の形状

## 3. 試験内容

実験は、下記に示すように鉛直方向試験と水平方向試験を各1体の試験体を用いて実施した後、面圧200と300kg/cm<sup>2</sup>で水平方向に破断させた。実験は、(財)電力中央研究所我孫子研究所の実験設備を用いて実施された。

- 試験内容
  - 鉛直方向基本特性試験 — 水平方向破断試験 ( $\sigma = 300\text{kg/cm}^2$ )
  - 水平方向基本特性試験 — 水平方向破断試験 ( $\sigma = 200\text{kg/cm}^2$ )

3.1 試験装置

試験装置の概略を図—3.1に示す。試験装置は、鉛直加振と水平加振のアクチュエータが上側の面盤にピン接合されている。このため、面盤の水平・鉛直移動に伴い、アクチュエータの加力方向が変化し、分力が発生する。この分力は幾何学的な条件で求めることが可能であり、データ処理の際に考慮され、試験体の真のせん断力等を求めている。また、上側の面盤を平行に保持するために静圧軸受けを利用した機構が設けられている。水平加振時には、この機構部分で発生する摩擦力を考慮する必要がある。試験体無しによる加振から、摩擦力は±1.5tonと計測されている。しかし、今回の実験のように大きな荷重と曲げモーメントが作用する場合には、摩擦力がどのように変化するかは不明である。復元力特性の中には、履歴曲線の形状が水平変位の正側と負側で異なっており、摩擦力が均一でないことを示唆するデータもある。この様なデータから、水平変位に伴い変化する摩擦力を求めて、これを補正することも可能ではある。しかし、ここでは実験データを正確に報告するという立場から、一律1.5tonの摩擦力を補正するだけにとどめている。なお、水平剛性を算出する際には、履歴曲線の往路と復路から別々に求めた水平剛性（せん断変形率±100%間の平均剛性）の平均を求めており、摩擦力が水平変位の正負側で不均一であっても、その影響は打ち消され、十分小さくなっていると考えられる。鉛直荷重、水平荷重はアクチュエータ内蔵のロードセルにより、水平変位は差動

トランス型変位計、鉛直変位は、試験体の周囲4ヶ所に設置したレーザー変位計及び面盤の外側に1ヶ所設置されたひずみ型変位計により計測した。

3.2 加力内容

鉛直・水平加力とも正弦波加振とし、加振振幅により加振振動数を0.0078Hz～0.002Hzと変化させている。なお、水平方向破断試験は、単調载荷であり、载荷スピードは、約0.5mm/secとしている。

①鉛直方向基本特性試験

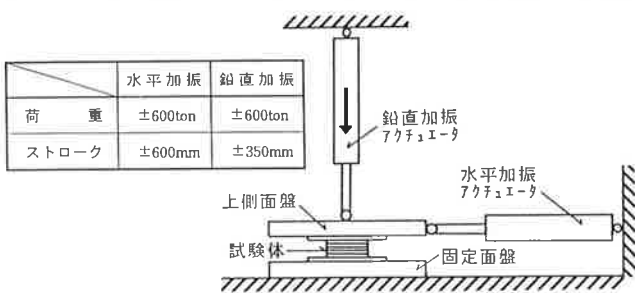
一定のせん断変形（オフセット変位）を与え、初期圧縮荷重294tonを载荷した後、一定振幅の正弦波（±294ton）による加力を行う。オフセット変位は、せん断変形率で0, 100, 200%の3段階とした。鉛直荷重の全振幅は0～588ton（ $\sigma = 0 \sim 300 \text{kg/cm}^2$ ）となる。繰返し回数は、5サイクルとした。

②水平方向破断試験

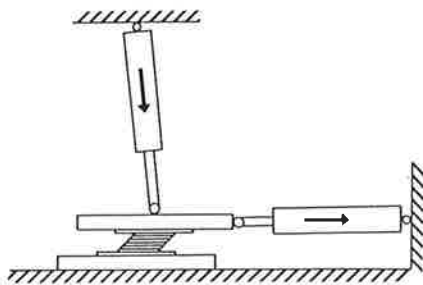
鉛直方向基本特性試験を行った後の試験体を用いて、破断試験を行う。まず一定圧縮荷重588ton（ $300 \text{kg/cm}^2$ ）を载荷後、せん断変形率±300%と±400%の加振を行う（繰返し回数5回）。この後、破断実験準備（レーザー変位計の取り外しなど）のため一度軸力を0にして、再度軸力588tonを载荷した後、単調载荷により破断に至らせる。

③水平方向基本特性試験

一定圧縮荷重を载荷後、水平方向に正弦波により加振する。加振パターンを表—3.1に示す。加力ケースは全17通りであり、○内の数値は、試験順序を示す。繰返し回数は、原則として5サイクルとする。試験No⑬の±400%の加振終了後、破断実験準備のために一度、軸荷重を0にした。破断は、再度軸力392tonを载荷後、単調载荷で行う。



a) 単純圧縮試験



b) 水平加力試験

図—3.1 試験装置概略図

表—3.1 水平方向試験ケース

圧縮荷重 (面圧)	加振振幅				破断まで
	±100%	±200%	±300%	±400%	
0.0ton (0kg/cm <sup>2</sup> )	①	②	③		
98.0ton (50kg/cm <sup>2</sup> )	④	⑤	⑥		
196.0ton (100kg/cm <sup>2</sup> )	⑦	⑧	⑨		
392.0ton (200kg/cm <sup>2</sup> )	⑩	⑪	⑫		
588.0ton (300kg/cm <sup>2</sup> )	⑬	⑭	⑮		
392.0ton (200kg/cm <sup>2</sup> )				⑯	⑰

4. 試験結果

4.1 鉛直方向基本試験

図-4.1と図-4.2にDS33試験体とDS18試験体の鉛直荷重-鉛直変位関係を示す。鉛直変位は、レーザー変位計4点の平均値である。両試験体ともにオフセット変位が大きくなるに従い、鉛直変形も大きくなっているが、DS18試験体の方が復元力特性に非線形性が強く現われている。荷重-変位関係の3サイクルと4サイクル目の負荷曲線より算出した面圧50kg/cm<sup>2</sup>毎の鉛直剛性(接線剛性)の平均値を、表-4.1と4.2に示す。表-4.1より、DS33試験体の単純圧縮載荷時の面圧100~200kg/cm<sup>2</sup>間の平均剛性は、2107t/cm、オフセット変位100%の時は1869t/cm、オフセット変位200%の時は1647t/cmである。理論式より求められる鉛直剛性は、2258t/cmとなる。材料定数には、せん断弾性率G=4.5kg/cm<sup>2</sup>、体積弾性率E<sub>b</sub>=20t/cm<sup>2</sup>、ゴム硬度による修正係数κ=0.85を用いた。面圧100~200kg/cm<sup>2</sup>間の平均剛性2107t/cmは、理論値の約93%であり、理論値と実験値は良い対応を示している。面圧200kg/cm<sup>2</sup>程度でオフセット変位200%の時の鉛直剛性は、単純圧縮時の約0.86倍である。面圧が100kg/cm<sup>2</sup>以下の場合には、鉛直剛性の低下が大きく、約0.6~0.7倍となっている。オフセット変位200%時の有効支持面積(積層ゴム最上下面の重複面積)は、原断面積の約0.5倍であり、オフセット変位時の鉛直剛性が有効支持面積に比例するとすれば、鉛直剛性は、単純圧縮時の0.5倍の剛性になると思われる。しかし、実験より得られた剛性は、面圧の範囲によっても異なるが、単純圧縮時の剛性の約0.6~0.7倍以上となっており、剛性の低下は予想よりも小さくなっている。

同様に、表-4.2よりDS18試験体の単純圧縮時の面圧100~200kg/cm<sup>2</sup>間の平均圧縮剛性は、1199t/cm、オフセット変位100%の時は1144t/cm、200%の時は

表-4.1 DS33試験体の鉛直剛性 (t/cm)

オフセット変位 (変形率)	加振振幅 0≧300kg/cm <sup>2</sup>					
	0→50	50→100	100→150	150→200	200→250	250→300
0.0mm (0%)	2019 (1.000)	2106 (1.000)	2108 (1.000)	2105 (1.000)	2135 (1.000)	2155 (1.000)
97.5mm (100%)	1602 (0.783)	1760 (0.836)	1824 (0.865)	1914 (0.909)	2038 (0.955)	2097 (0.973)
195.0mm (200%)	1197 (0.593)	1425 (0.677)	1573 (0.746)	1721 (0.818)	1919 (0.899)	1955 (0.907)

表-4.2 DS18試験体の鉛直剛性 (t/cm)

オフセット変位 (変形率)	加振振幅 0≧300kg/cm <sup>2</sup>					
	0→50	50→100	100→150	150→200	200→250	250→300
0.0mm (0%)	1248 (1.000)	1221 (1.000)	1177 (1.000)	1220 (1.000)	1330 (1.000)	1473 (1.000)
98.0mm (100%)	847 (0.679)	1001 (0.820)	1076 (0.914)	1212 (0.993)	1381 (1.038)	1494 (1.014)
196.0mm (200%)	664 (0.532)	851 (0.697)	1058 (0.899)	1272 (1.040)	1451 (1.091)	1550 (1.052)

1165t/cmである。面圧200kg/cm<sup>2</sup>程度でオフセット変位200%の時の鉛直剛性は、単純圧縮時の鉛直剛性とほぼ同じ値を示している。これは、この面圧の範囲ではゴム材料のひずみ硬化が顕著となっているためであると考えられる。一方、面圧が100kg/cm<sup>2</sup>以下の場合には、鉛直剛性の低下が大きく、約0.5~0.7倍となっている。荷重が低い領域ではオフセット変位の増大により荷重-変位関係はソフトニング傾向を強める。オフセット変位200%の時の有効支持面積は、原断面積の約0.5倍であり、これより求めた剛性はやや低めであるが、得られた剛性とほぼ比例関係があるようである。しかし、荷重がより高い領域では、ハードニング傾向が強まり、剛性の低下は見られなくなる。DS33試験体の場合と同様にして求めた鉛直剛性の理論値は、1075t/cmである。面圧100~200kg/cm<sup>2</sup>間の平均剛性1199t/cmは、理論値の約1.12倍であり、ほぼ対応していると言える。

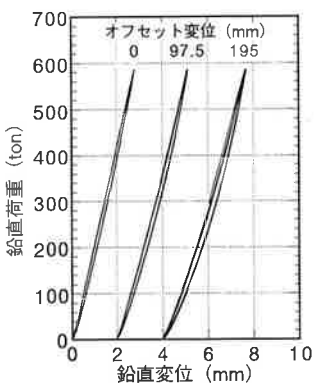


図-4.1 DS33試験体の圧縮試験

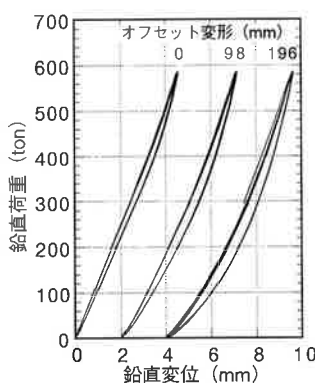


図-4.2 DS18試験体の圧縮試験

4.2 水平方向基本試験

図-4.3と図-4.4に、せん断変形率300%の水平荷重-水平変位関係及び鉛直変位-水平変位関係を示す。なお、鉛直変位は所定の圧縮荷重を載荷した時点をも0mmとしている。DS33試験体の履歴曲線は面圧が大きくなるに従い、履歴ループの面積は徐々に大きくなるが、履歴曲線の傾き(水平剛性)には殆ど変化が見られない。特に面圧200kg/cm<sup>2</sup>までは、履歴曲線に殆ど変化がない。鉛直変位は圧縮荷重が大きくなるに従い大きくなっているが、面圧300kg/cm<sup>2</sup>、せん断変形率300%の時でも鉛直変形量は約2mmと非常に小さい。圧

縮荷重0tの時、鉛直変位は浮き上がりを示している。

DS18試験体では、面圧100kg/cm<sup>2</sup>まではDS33試験体とほとんど同じ復元力特性を示すが、面圧200kg/cm<sup>2</sup>では、履歴面積の増大が顕著となり、更に面圧300kg/cm<sup>2</sup>では、水平剛性の低下が顕著となる。鉛直変位量

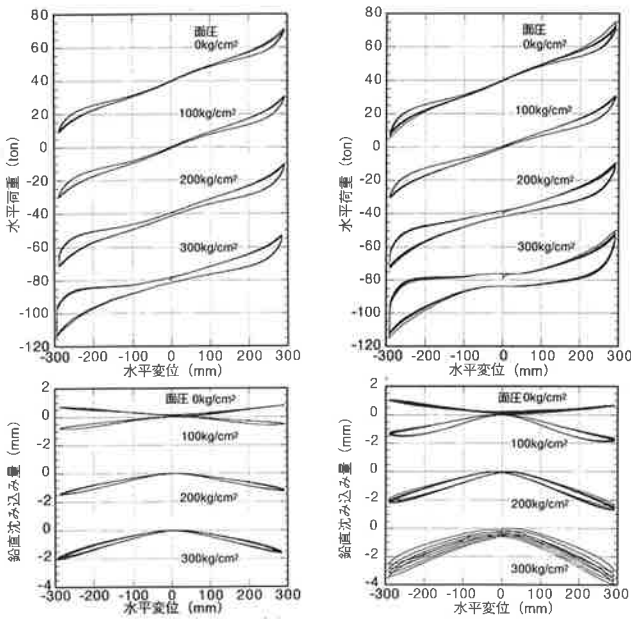
は、圧縮荷重が大きくなるに従い大きくなり、面圧300kg/cm<sup>2</sup>、せん断変形率300%の時の鉛直変位は約4mmとDS33試験体の2倍の値を示している。圧縮荷重0tの時の鉛直変位は、浮き上がりが生じており、300%変形時には約1mm程浮き上がっている。

図—4.5と図—4.6には、履歴曲線より得られた水平剛性と面圧の関係を示す。水平剛性は、せん断変形率-100%と+100%の点を結んだ剛性を、3サイクル目の履歴曲線の往路と復路で求め、これを平均して求めた。図中には、理論式より求めた水平剛性と面圧の関係も示されている。DS33試験体では、面圧が大きくなるに従い、水平剛性は低下するものの、その低下率は非常に小さいのに対して、DS18試験体では水平剛性の面圧依存性が大きくなっている。また、面圧が大きくなるほど、加振振幅の違いによる水平剛性の差が大きくなるが、理論と実験による水平剛性は両試験体ともに良い対応を示している。

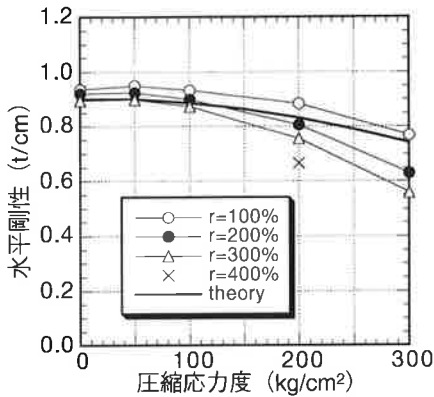
4. 3 水平方向破断試験

図—4.7に破断試験時の水平荷重—水平変位関係を示す。表—4.3と表—4.4に破断時のデータを示す。ここで、破断点は、最大荷重を示した点としている。写真—4.1には、DS33試験体の面圧200kg/cm<sup>2</sup>での破断試験の最終状態を示す。大変形時においても積層ゴムの変形状態は安定しており、荷重支持能力が保持されていることが判る。同様に写真—4.2は、DS18試験体の面圧200kg/cm<sup>2</sup>での破断実験の状態である。中間鋼板の曲げ変形が顕著に認められる。

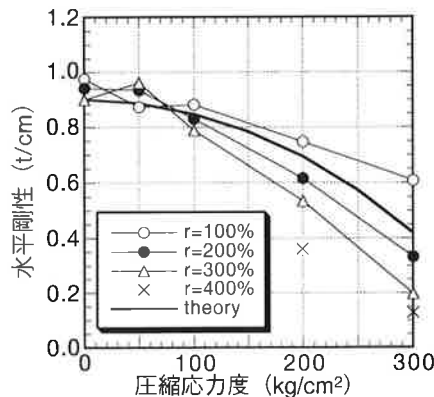
DS33試験体の面圧200kg/cm<sup>2</sup>での破断変位はせん断変形率で463%、DS18試験体では480%であった。面圧200kg/cm<sup>2</sup>下での変形能力は460%以上であることが分かる。一方、面圧300kg/cm<sup>2</sup>での破断は、DS33試験



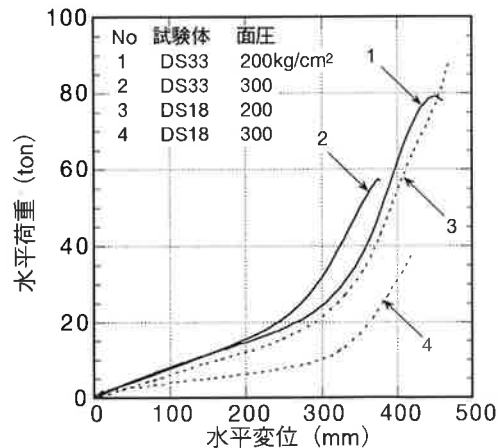
図—4.3 DS33試験体の圧縮せん断試験 図—4.4 DS18試験体の圧縮せん断試験



図—4.5 DS33試験体の水平剛性と面圧の関係



図—4.6 DS18試験体の水平剛性と面圧の関係



図—4.7 圧縮せん断破断試験

体がせん断変形率で387%、DS18試験体で430%であった。面圧300kg/cm<sup>2</sup>では若干破断変位が小さくなっているが、せん断変形率で400%程度の変形能力は有しているものと考えられる。DS18試験体は小振幅時から水平剛性の低下が見られるのに対して、DS33試験体ではせん断変形率200%まで、面圧の影響を受けおらず、同一の特性を示している。

表—4.3 DS33試験体の破断実験結果

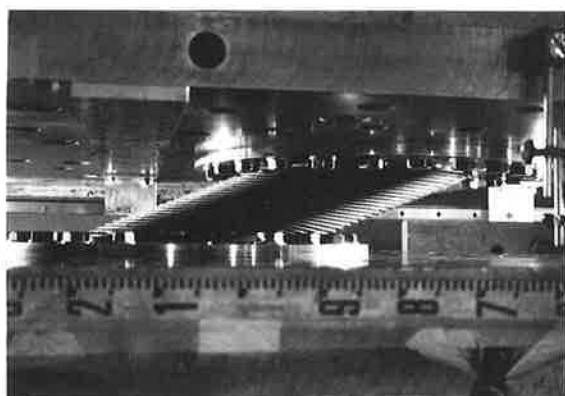
圧縮応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	水平剛性* (t/cm)	破断変位 (せん断変形率)	破断荷重 (せん断応力度)	破断時鉛直沈み込み量
200	0.803	451.3mm (463%)	79.2t (40.4kg/cm <sup>2</sup> )	14.84mm
300	0.916	376.8mm (387%)	58.5t (29.8kg/cm <sup>2</sup> )	5.17mm

\*水平剛性はせん断変形率100%における割線剛性。

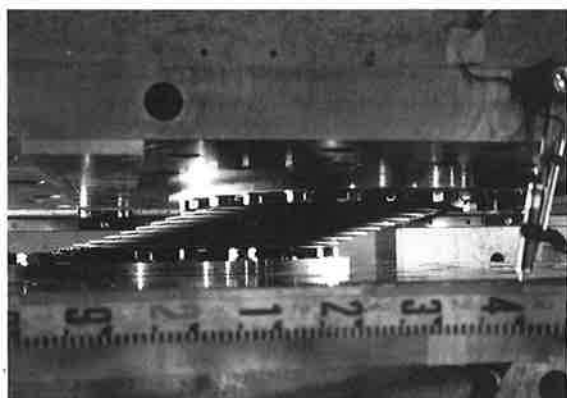
表—4.4 DS18試験体の破断実験結果

圧縮応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )	水平剛性* (t/cm)	破断変位 (せん断変形率)	破断荷重 (せん断応力度)	破断時鉛直沈み込み量
200	0.596	470.7mm (480%)	89.1t (45.4kg/cm <sup>2</sup> )	22.17mm
300	0.381	422.2mm (431%)	38.8t (19.8kg/cm <sup>2</sup> )	19.97mm

\*水平剛性はせん断変形率100%における割線剛性。



写真—4.1 DS33試験体の変形状態 (面圧200kg/cm<sup>2</sup>)



写真—4.2 DS18試験体の変形状態 (面圧200kg/cm<sup>2</sup>)

## 5. まとめ

1次形状係数が異なる2種類の天然ゴム系積層ゴムを

用いた圧縮試験と圧縮せん断試験から、高面圧下での積層ゴムアイソレータの性能に関する基礎的データを求めることができた。これらの実験から得られた知見を以下に示す。

○破断試験より、破断時のせん断変形率は、試験体や面圧の違いにかかわらず約400%以上となっており、面圧200kg/cm<sup>2</sup>以上での高面圧下でも十分な変形能力と荷重支持能力が発揮されることが確認された。特に、DS33試験体では、せん断変形率200%までの線形領域では全く面圧の影響を受けず安定した特性を発揮することが確認された。

○DS33試験体では、面圧の違いによる初期水平剛性の差は認められないのに対して、1次形状係数が小さなDS18試験体では、水平剛性は面圧の影響を受けて低下している。よって、1次形状係数を適切に設定することで、水平剛性の荷重依存性を非常に小さくすることができると言える。

○水平剛性の面圧に対する依存性は、理論値と非常に良く対応しており、積層ゴムの水平剛性計算式の妥当性が検証された。

○圧縮試験では、面圧300kg/cm<sup>2</sup>までの載荷を繰返し、オフセット変形を与えた状態での鉛直剛性を確認した。単純圧縮時の鉛直剛性は、従来の鉛直剛性算出式により算出可能である。オフセット変形を与えた時の鉛直剛性は、有効支持面積より求めた剛性よりやや大きめの評価となるが、その傾向は十分評価可能である。

以上より、DS33試験体のような仕様（形状とゴム材質）を満足する積層ゴムは、面圧200~300kg/cm<sup>2</sup>に対しても安定した変形能力と荷重支持能力を発揮することが確認された。

なお、現在、DS33試験体の面圧200kg/cm<sup>2</sup>におけるクリープ特性試験を実施中である。現在までの約6ヶ月間のデータから、クリープ変形量は非常に小さく、面圧100kg/cm<sup>2</sup>でのDS18試験体のクリープ変形量と同等以下であることが認められる。

## 謝辞

実験には(財)電力中央研究所所有の大型2軸試験機を使用させて頂いた。また、実験の実施に際しては、(財)電力中央研究所我孫子研究所の石田勝彦氏、大鳥靖樹氏、並びに昭和電線電纜(株)西川一郎氏、高山桂一氏のご協力を頂きました。ここに記し感謝の意を表します。



# 限界変形を想定した鉛ダンパーの実大実験

福岡大学工学部

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所



高山 峯夫



多田 英之



瓜生 満

## 1. はじめに

免震構造用履歴型ダンパーに求められる性能としては、

- 降伏耐力
- 変形能力
- エネルギー吸収能力

が挙げられる。ダンパーの限界性能を考える場合、降伏耐力と変形能力(累積塑性変形量)の積として表されるエネルギー吸収能力が重要な指標となる。

鉛素材は、優れた塑性変形能力(鍛錬効果)とエネルギー吸収能力を有している。鉛ダンパーは、この様に優れた鉛の特性を利用したダンパーであり、復元力特性は剛塑性型に近い形状を示す。U型鉛ダンパーの変形能力確認のために、可撓部軸径140mmの鉛ダンパー(U140型)を用いて、加振方向にオフセット変位220mm、さらに加振直交方向に200mmの予変形を与えた状態から、振幅±150mmでの正弦波加振実験(加振周期3秒)が実施されている<sup>1)</sup>。この実験では、約50回の繰り返し加振を行ったが、鉛軸部は破断には至っていない。この時、鉛ダンパーの累積塑性変形量は3000cm以上に達している。仮に、直径500φ積層ゴムの破断変形に近い振幅±37cmでの繰り返し加振が行われ、同等の塑性変形能力を発揮できるとすれば、繰り返し回数は約20回となる。この結果より、鉛ダンパーの変形能力とエネルギー吸収能力は免震構造用部材として十分な性能を持つと言える。

本実験計画ではU140型とほぼ相似形で大型のU180型鉛ダンパー(軸径180mm)の小変形域から設計用地震動に対応する変形域までの変形性能及び復元力特性を動的加振により確認するとともに、エネルギー論的な観点から鉛ダンパーのエネルギー吸収能力を評価するための基礎データを得る為に、3段階の振幅レベルによる繰り返し限界試験を実施する。更に、静的大変形試験により、鉛ダンパーの限界変形能力の確認も行う。

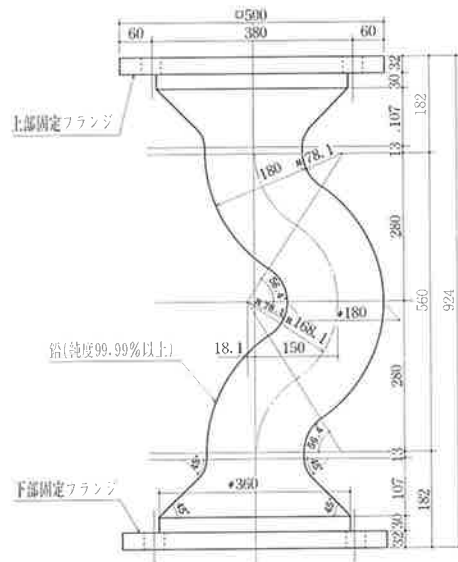
本報告では、これらの実験の結果について示すとともに、鉛ダンパーの変形能力をエネルギー吸収量に基づいて検討した結果についても述べる。

## 2. 試験体

試験体には、U180型鉛ダンパーを9体使用する。図—2.1に、U180型鉛ダンパーの形状を示す。鉛ダンパーは、U字型に湾曲した円形断面の可撓部と、この両端部に接続する大きな断面を持つ補強部から成り、この補強部が取り付け用の鋼板とホモゲン溶着されている。可撓部と補強部は、鋳型を用いて一体成形されている。鉛ダンパーは、可撓部の曲げ変形を卓越させることで剛塑性型の復元力特性と大変形能力を発揮することができる。

試験体の主な仕様を以下に示す。

可撓部直径	180mm	可撓部高さ	560mm
全高さ	924mm	可撓部長さ	660mm
鉛純度	99.99%以上		



図—2.1 U180型鉛ダンパー

## 3. 試験内容

実験は、福岡大学工学部の実験設備を使用して実施された。鉛ダンパーの実験は、P方向加力とO方向加力の2方向に対して実施する。ここで、P方向とは、湾曲している鉛軸部の円弧に対して平行(Parallel)な方向を表し、O方向とは直交(Orthogonal)する方向を表す。

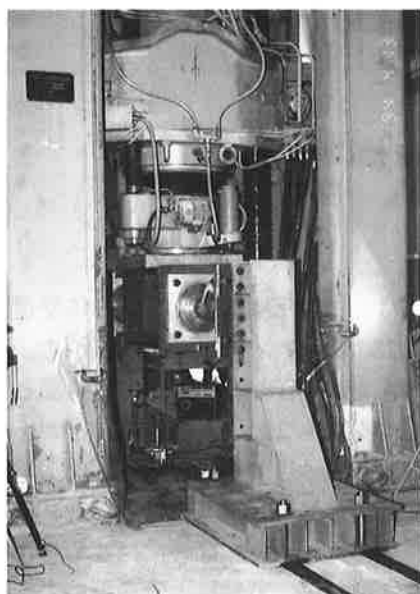


写真-3.1 静的試験状況

### 3.1 静的試験

静的試験は、圧縮試験機（最大荷重500ton）を利用して、変形能力の確認を行う。写真-3.1に試験状況を示す。試験は、直列に設置された試験体を水平にセットし、両端部を固定した状態で、中央部を圧縮試験機により加力する。加力は、試験機の構造上、一方向の単調加力となる。試験機のストロークは最大800mmで、加力スピードは、約1mm/secである。試験ケースは、試験体の向き（湾曲部の円弧の向き）を変えた2通りとした。

- ①静的P方向加力：2体の試験体とも円弧を上向きにセットした場合。
- ②静的O方向加力：円弧を水平にした場合。ただし、円弧の向きは互いに逆向きとした。

### 3.2 動的試験

動的試験は、写真-3.2に示すように、アクチュエータ（荷重±50ton、変位±150mm）により動的に試験体を加振する。加振波形は、正弦波とする。試験装置の可動H型鋼は、試験体からの鉛直方向の反力を受け、水平加振に伴い上下移動を繰り返すことになる。これを、抑えるために柱支持部分で圧縮力を導入する機構が組み込まれている。可動H型鋼は、両フランジ面に磨きステンレス板が接着されており、柱支柱部のテフロン板上を摺動する。この時発生する摩擦力は、計測された圧縮荷重と試験体なしの状態での測定された摩擦係数から計算し、計測されたせん断力の補正を行って

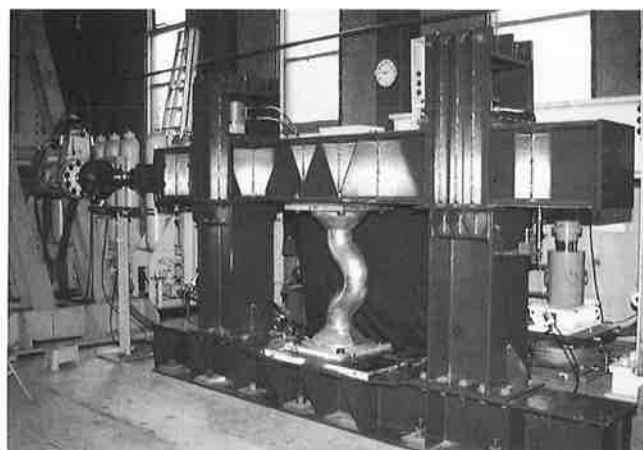


写真-3.2 動的試験状況

表-3.1 加振波形の振幅と振動数の組み合わせ

振 幅	振 動 数 (Hz)					
	0.13	0.20	0.33	0.40	0.50	1.00
±20mm			① (4.15)			② (12.6)
±50mm			③ (10.4)	④ (12.6)		⑤ (31.4)
±100mm		⑥ (12.6)	⑦ (20.7)		⑧ (31.4)	
±150mm	⑨ (12.3)		⑩ (31.1)			

※( )内は最大加振速度(cm/sec)、○内の数値は、加振順序を示す。

いる。加力内容は、試験体毎に以下のように設定した。

#### ①動的O方向加振

##### a) 基本加振

正弦波加振により、種々の振幅に対する履歴特性を把握する。加振波形の振幅と周期の組み合わせは表-3.1に示す10通りである。繰返し回数は、3サイクルとする。

##### b) 大変形加振

動的の基本加振終了後、24時間放置した同じ試験体を使って、加力方向にオフセット変位200mmを与えた状態から振幅±150mm（加振周期3秒）での繰返し加力を行い、破断に至らせる。

#### ②動的P方向加振

##### a) 基本加振

動的O方向加振と同じ加振内容とする。

##### b) 大変形加振

動的の基本加振終了後、24時間放置した同じ試験体を使って、オフセット変位400mmを与えた状態から、振幅±150mm（加振周期3秒）での繰返し加力を行い、破断に至らせる。

#### ③連続P方向加振

試験体3体を用い、それぞれ振幅±50mm、±100mm、±150mmの一定振幅の正弦波（加振周期3秒）により繰返し加振を行い、破断に至らせる。

#### 4. 試験結果

##### 4.1 静的試験の結果

図-4.1に、静的試験で最大700mmまで加力した時の荷重—変位関係を示す。荷重は、実際の計測値を1/2倍して、試験体1体分に換算している。P方向、O方向加力とも、荷重—変位関係に違いは見られない。荷重2～3tonで降伏した後、荷重は単調に増加しているが、変位650mmを超えたあたり、荷重40ton程度付近から、荷重の増加が止まり始め、耐力の低下が認められる。この変位量650mmと可撓部の高さ560mmから、試験体可撓部の伸びを計算すれば858mmとなる。これは、可撓部の長さ660mmに対して、約1.3倍である。これより、鉛ダンパー軸部の最大伸びは30%以上であると言える。このような変形状態は、鉛棒の一軸引張試験から得られる応力—ひずみ関係が、ひずみ度30%程度で最大応力を示し、その後応力度が低下し、ひずみ度40～60%で破断するという傾向と同じである。

静的加力試験より得られた荷重—変形関係は、全体的には動的加振の履歴曲線を包絡するような復元力特性を示しており、鉛ダンパーの履歴特性を十分表しているものと考えられる。写真-4.1にP方向加力時の試験体の状態を示す。変形400mmを越えたあたりから、試験体の軸部の湾曲が見えなくなり、ほぼ直線状態となる。この時の可撓部の長さは約688mmとなり、可撓部の長さに対応した変形であることが判る。この後、軸部の伸びが顕著となるが、最大変形700mmにおいても軸部破断には至っていない。

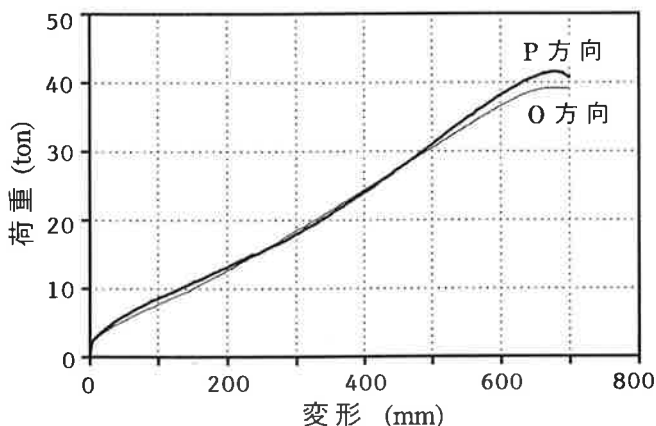


図-4.1 静的試験による荷重—変形関係



a) 初期状態



b) 約400mm変形時



c) 約700mm変形時

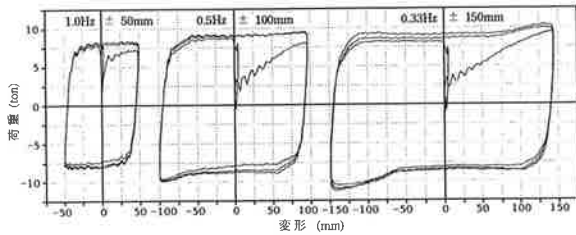
写真-4.1 静的P方向加力時の変形状態

##### 4.2 動的試験の結果

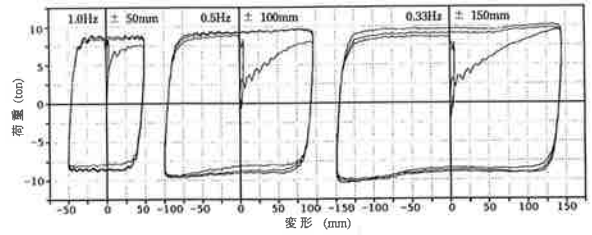
###### 4.2.1 動的O方向加振

O方向加力の基本特性試験より得られた履歴曲線を図-4.2に示す。同図には最大速度が約31cm/secの時の加振結果を示している。加振振幅が大きくなるに従い、最大耐力も多少大きくなる。加振振動数が大きい場合、若干最大耐力も大きくなる傾向を示すが、本実験における加振振動数の範囲ではその変化は小さい。基本特性試験終了後の試験体の表面温度は、曲げ変形が集中する可撓部両端において温度上昇が認められた。しかし、表面温度は35℃程度であった。

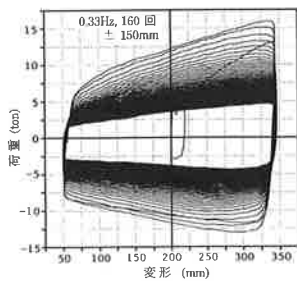
オフセット変位200mmを与えた状態からの繰返し試験より得られた履歴曲線を図-4.3に示す。加振は160回繰り返した。加振を繰り返すに従って、試験体軸部



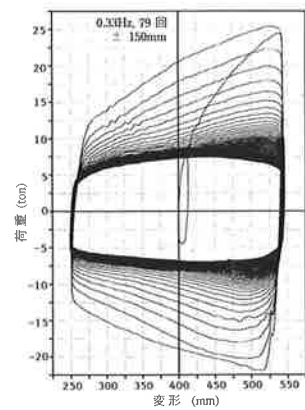
図一4.2 動的O方向基本加振



図一4.4 動的P方向基本加振



図一4.3 動的O方向加振（オフセット変位200mm）



図一4.5 動的P方向加振（オフセット変位400mm）

は鉛が溶融し始め、大きく変形する。しかし、軸部の完全破断には至っていない。履歴曲線は、最初顕著なハードニング型を示すが、繰り返しに伴い耐力は低下し、10サイクル目位ではハードニング現象も顕著ではなくなる。サーモグラフによる表面温度の測定により、最大の表面温度は上側の軸端部で発生しており、その温度は約140℃であった。

#### 4. 2. 2 動的P方向加振

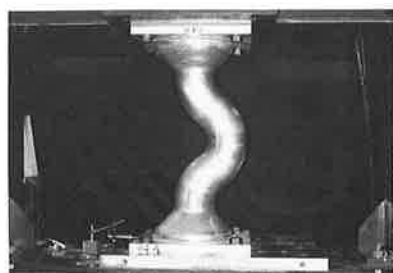
P方向加振の基本特性試験より得られた履歴曲線を図一4.4に示す。O方向加振に比べ、P方向加振の方が履歴ループは剛塑性型に近い状態を示すが、基本的特性は加振方向には依存していないことが判る。

オフセット変位400mmを与えた状態からの繰り返し試験より得られた履歴曲線を図一4.5に示す。加振は79回繰り返した。O方向加振の場合と同様に、加振を繰り返すに従って試験体軸部は鉛が溶融し始め、大きく変形するが、軸部の完全破断には至っていない。履歴曲線は、最初非常に顕著なハードニング型を示すが、繰り返しに伴い耐力は相当大きく低下し、10サイクル目位ではハードニング現象も顕著ではなくなる。サーモグラフ測定による表面の最大温度は約200℃で、可撓部中央と下端部で発生しており、内部では局部的に300℃程度の温度になっていると推測される。

#### 4. 2. 3 連続P方向加振

振幅±50mm、100mm、150mmでの繰り返し試験より得られた履歴曲線を図一4.6に示す。いずれの加振でも試験体の完全破断には至らせられなかった。±50mm加振では800回、±100mm加振では317回、±150mm加振では135回の繰り返しで打ち切った。±50mm加振では、繰り返しに伴い最大耐力は徐々に低下するが、その低下率は非常に小さい。実験終了時の表面温度の分布より、最大温度は下端部で発生しており、温度は約60℃である。±100mm加振では、最初の20サイクルとそれ以降では、履歴曲線に変化が認められる。これは、試験体の変形が大きくなり、抵抗のメカニズムが変化したためではないかと思われる。実験終了時の表面温度の分布より、最大温度は下端部で発生しており、温度は約100℃であった。±150mm加振では、最初の10サイクルまでは耐力が等差級数的に低下するが、それ以降の耐力の低下は非常に緩やかなものになっている。この時の試験体の変形状態を写真一4.2に示す。試験体の軸径に関しては、最初20サイクル程度まではほとんど変化がなく、30サイクル程度で端部に変化の兆候が現れる。最終段階では、両軸端部の変形が非常に大きくなるが、図一4.6に示されるように一定の履歴面積を

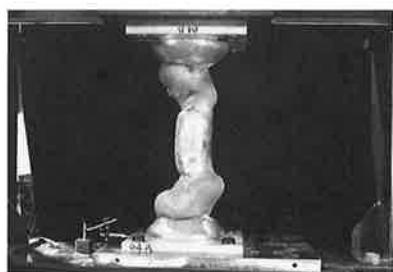
維持しており、完全に破断させるためには更に相当の繰返し加振が必要であろう。最大温度は下端部で発生しており、温度は120℃以上である。



(a) 初期状態

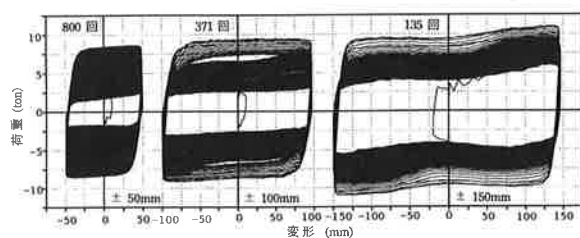


(b) 約30サイクル加振時



(c) 最終135サイクル時

写真—4.2 連続P方向加振時の変形状態 (±150mm加振)



図—4.6 連続P方向加振

## 5. まとめ

静的試験と動的加振試験より、鉛ダンパーの変形能力とエネルギー吸収能力の把握を行った。静的大変形試験より、鉛軸部は水平変形が大きくなるに従い、直線状に伸びてくるが、破断にも至らずに700mm以上の変形に追随可能であることが確認された。

動的繰返し試験の履歴曲線より求めたダンパーの吸収エネルギーの総和(履歴面積の総和)と累積塑性変形量の関係を、図—5.1に示す。ここで、累積塑性変形量は加振振幅の4倍に繰返し回数を乗じて求めた。オフセット変位を与えた状態からの加振の場合は、オフセット変位を無視し、振幅±150mmとして計算している。同図より、試験②⑤と他の試験とは異なる傾向を示している。これは、繰返し加振によって変化する試験体形状の違いによっても異なると思われるが、試験②⑤において耐力の低下が緩やかであるためと考えられる。鉛ダンパーのエネルギー吸収能力は、繰返し加力に伴い若干吸収量が低下するものの、エネルギー吸収量は単調に増加しており、大きなエネルギー吸収能力を示している。

地震による総エネルギー入力最終的には全てダンパーで吸収されなければならない。総エネルギー入力量 $E$ は等価速度 $V_E$ を用いて次式により表される。

$$E = \frac{MV_E^2}{2}$$

ここで、 $M$ : 総質量

$V_E$ : エネルギー入力の等価速度

一方、ダンパーの吸収エネルギー $W_p$ は、次式で与えられる。

$$W_p = \alpha_s Mg \delta_p$$

ここで、 $\alpha_s$ : ダンパーの降伏せん断力係数

$\delta_p$ : 累積塑性変形量

$g$ : 重力加速度

ここで、エネルギーの釣り合い条件 $E = W_p$ より、累積塑性変形量と入力エネルギーの関係が、次の様に求められる。

$$\delta_p = \frac{V_E^2}{2\alpha_s g}$$

上式に、標準的な数値として、 $V_E=150\text{cm/sec}$ 、 $\alpha_s=0.03$ を代入して計算すると、 $\delta_p$ は約400cmとなる。図—5.1より、実験による累積塑性変形量は5000~10000cm以上であり、鉛ダンパーの塑性変形能力は十分な能力を有していることが判る。

図—5.2には、破断(実験終了時)までの繰返し回数と加振振幅の関係を示す。ここでオフセット変位を与えた時の加振振幅には、片方向の最大変形(35cm, 55cm)を採用し、繰返し回数については、履歴吸収エネルギーの総和が等しくなるように、実際の加振振幅(15cm)との比率で低減している。即ち、実験終了時の繰

返し回数を15/35倍、あるいは15/55倍してプロットしている。片振り試験と両振り試験による結果は同様の傾向を示している。同図より、振幅50~60cmでの加力に対しても、20サイクル以上の繰り返し変形にも十分耐え得ることが推測される。

図—5.3には、全吸収エネルギー量（履歴面積の総和）を繰返し回数で除して求めた平均値と繰返し回数の関係を示す。繰返し回数と吸収エネルギーの平均値を乗じることで、破断までに吸収する総エネルギー入力量を得ることができる。ここで、繰返し回数が20回の時、吸収エネルギーの平均値は約1600t・cmで、全吸収エネルギー量は32000t・cmとなる。

一方、ダンパー1体が吸収しなければならないエネルギー量  $W_{p1}$  は、ダンパー1体当たりの負担重量を  $m$  として、次式で求められる。

$$W_{p1} = \frac{mV_E^2}{2}$$

ここで、 $m = Q_y / \alpha_s g$

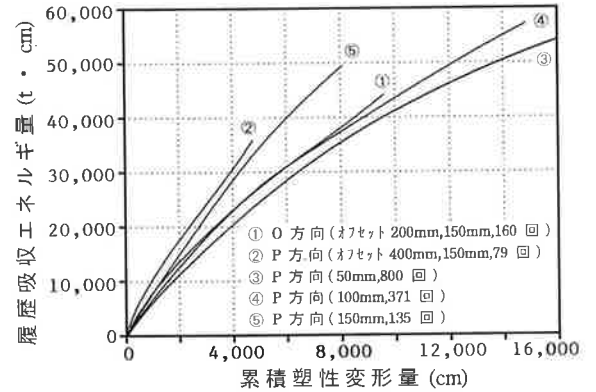
$Q_y$ ：ダンパー1体当りの降伏耐力

$Q_y$ は繰返しによる耐力低下を考慮して8t、 $\alpha_s = 0.03$ 、 $V_E = 150\text{cm/s}$ とすれば、 $W_{p1} = 3061\text{t}\cdot\text{cm}$ となる。この値は、32000t・cmの約1/10以下であり、 $V_E = 150\text{cm/s}$ 相当の地震入力の10杯分以上のエネルギー吸収能力があると言える。

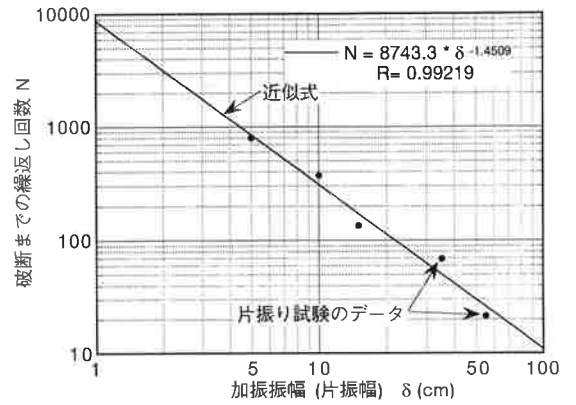
以上の実験結果とエネルギー論に基づく考察から、U180型鉛ダンパーの変形能力は60cm以上であり、エネルギー吸収能力も十分であることが確認された。

#### 参考文献

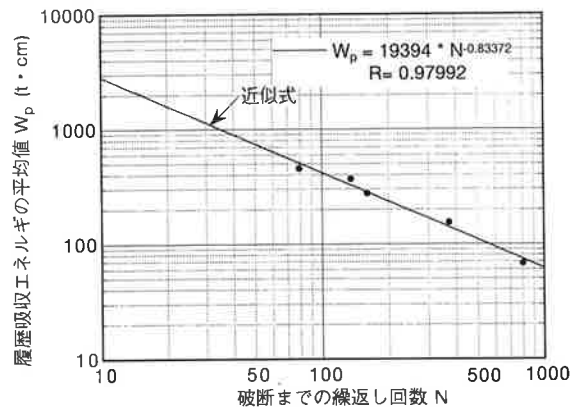
- 1) M.Takayama, H.Tada他” A Practical Study of Lead Damper for Base Isolation System (Part.2)”, 福岡大学工学集報、第45号、平成2年9月



図—5.1 エネルギー吸収量と累積塑性変形量の関係



図—5.2 破断までの繰返し回数と加振振幅の関係



図—5.3 履歴吸収エネルギーの平均値と繰返し回数の関係

## 技術委員会

委員長 和田章

技術委員会では昨年の八月に発行した「やさしい免震構造の設計」の内容を充実させ、本年七月に予定されている総会に焦点を合わせ、本のタイトルを「免震構造入門」に改め単行本として出版しようとしています。この出版に向けて各委員とも頑張っております。目次は次のようになっており、五月の連休前に出版社に原稿を渡しました。多くの皆様が購入して下さることを期待しています。

### 『免震構造入門』目次

1. 免震構造の概要
  - 1-1 免震構造の基本原理
  - 1-2 免震構造の特長
  - 1-3 免震構造の歴史
  - 1-4 免震構造に適した建物用途
  - 1-5 構造種別と規模
  - 1-6 設計の自由度
  - 1-7 免震構造のコスト
2. 免震構造の設計
  - 2-1 免震構造の基本計画
  - 2-2 設計用せん断力
  - 2-3 上部構造の設計
  - 2-4 基礎構造の設計
  - 2-5 免震部材廻りの設計
  - 2-6 免震層のディテール
3. 免震建物の施工と維持管理
  - 3-1 施工概要
  - 3-2 免震部材の施工管理
  - 3-3 免震層の施工
  - 3-4 上部構造の施工
  - 3-5 設備配管の施工
  - 3-6 工期
  - 3-7 維持管理
4. アイソレータ
  - 4-1 アイソレータの概要
  - 4-2 アイソレータの構造
  - 4-3 積層ゴムアイソレータの性能
  - 4-4 積層ゴムアイソレータの設計
  - 4-5 各アイソレータ製品の特徴
5. ダンパー
  - 5-1 ダンパーの概要
  - 5-2 ダンパーの性能

5-3 ダンパーの設計

5-4 ダンパーの免震構造の応答

## 6. 免震層の基本設計

- 6-1 基本方針および設計フロー
- 6-2 免震構造設計指針による設計法
- 6-3 変位スペクトルを用いた設計法
- 6-4 時刻歴応答解析
- 6-5 免震層の計算例

付録1 観測記録にみる免震効果

付録2 実施例

付録3 アイソレータの製品リスト

付録4 ダンパーの製品リスト

付録5 免震建物オーナーズマニュアル

付録6 JSSI規格 1-01 天然ゴム系積層ゴムアイソレータの規格(案)

## 規格化・標準化委員会

委員長 寺本隆幸

規格化WGでは、天然ゴム系積層ゴムに続いて高減衰積層ゴム、鉛入り積層ゴム、およびダンパーの規格作りに着手した。ダンパーに関しては、その形状・機構・材料を規格の対象とするのではなく、荷重～変位関係・エネルギー吸収性能・方向性など、免震用ダンパーの保有性能を評価する規格を作成し、新規にダンパーを開発する際にも有効に活用できるものとしたと考えている。

維持管理WGの委員会では、兵庫県南部地震後に行った臨時点検実施メンバーより、点検内容・方法についての所感・改善点が述べられた。大地震後に輸送・通信手段が乏しく、不都合な点が多かったなどの報告もあり、これらを反映して維持管理点検要領・マニュアルなどのまとめを行っている。

技術委員会が進められている「やさしい免震構造の設計」が近く出版予定となり、当委員会からも「天然ゴム系積層ゴムアイソレータの規格」「免震建物の維持管理」「免震建物オーナーズマニュアル」を盛り込むこととなった。出版後も多方面からの意見をいただき、より実践的な資料とすべく改訂を加えていきたい。

## 広報委員会

委員長 須賀川 勝

大型連休後の5月9日(火)に広報委員会が開催され、今年度の活動計画、会誌「MENSHEIN」の掲載記事の検討が行われました。会誌については事例紹介

の記事をもっと増やしていくことやメーカー側からの技術紹介等阪神・淡路大震災以後免震構造が一段と注目を集め始めている現在の様々な周辺の動きに適した内容の記事にしていくよう、次号に間に合うように見直しをしていく予定である。

その他にも協会発足以来3年目を迎えた今年度も普及活動に一段と貢献できる広報活動を昨年同様他の委員会と協力して積極的に展開していく計画なので皆様のご支援、ご協力をお願いします。

尚、今回の会誌8号の編集担当は中川、跡部、細川、杉沢の皆さんで頑張ってくださいました。

運営委員会・事務局

委員長 可児長英、佐藤友紀

○1994年度最終の運営委員会（通信）と理事会（通信）にて「免震構造の入門」の刊行が決まりました。また、同上の運営委員会（通信）で多田英之先生の退職記念講演会の開催も承認されました。運営基盤整備委員会がいよいよ活動を開始しました。

○兵庫県南部地震に関わる講習会、講演会などいずれも盛況に終わっていますが、今年のフォーラムは交通の便もよい新宿の高層ビル街の工学院大学の講堂に決まりました。ノースリッジ地震や今回の地震で免震構造の真価が発揮され、本年は免震構造の年になりそうです。

○会員各位のご協力を得て現在登録されている会員

名簿が整理されました。この情報はメモリに記録されていますのでもし中に住所・部署等の変更がありましたら速やかに事務所へお知らせくださればすぐに修正いたします。

○その他、事務所保管資料（例えば、米国免震構造調査時の写真集とか構造評定リスト）を皆様に貸出できるように整理しました。黄色のファイルに整理してあります。これに加え今年は免震構造関係論文、書籍などを充実して行く予定です。また、JSSIのパソコンネットも予定しています。

共同住宅特別委員会

委員長 山竹美尚

当委員会は、共同住宅に幅広く免震構造を採用していただけるような資料作りをするとともに、公団・公社等の公的機関に積極的に働きかけようとする主旨で、昨年11月に設置が決まり、その準備をしていた矢先に兵庫県南部地震が起きてしまいました。

震災後の慌ただしさが一段落した4月に、参加希望の各社に集合していただき担当委員を決め、当面の目標とするパンフレットの作成に向け作業に入りました。これは、社会の免震建築への関心の高まりの中で、共同住宅への免震構造の有用性、設計フロー、維持管理、コスト等を分かり易く簡潔に説明するもので、出来るだけ早く発行する予定です。

委員会等活動状況

(1994.2.8~1995.5.9)

月 日	委員会名	場所	出席者
2. 8	規格化・標準化委員会「維持管理」WG点検対象項目グループ	事務局	4名
2. 10	規格化・標準化委員会「維持管理」WG維持管理体制グループ	事務局	3名
2. 21	規格化・標準化委員会「規格化」WG第8回	事務局	9名
2. 23	技術委員会「施工」第3回	同	8名
2. 27	技術委員会「略設計法」第13回	同	9名
3. 1	規格化・標準化委員会「維持管理」WG第11回	同	12名
3. 2	技術委員会「アイソレータの性質及び接合法」第8回	同	7名
3. 3	技術委員会「上部構造・基礎構造の設計」第13回	同	6名
3. 7	技術委員会「ダンパーの性質及び接合法」第10回	同	7名
3. 8	事務局会議	同	8名
同	事業企画準備委員会	同	8名
3. 13	技術委員会「略設計法」第14回	同	6名
同	技術委員会「編集会議」	同	9名
3. 15	通信・運営委員会		22名
3. 16	通信 3月通信理事会		41名
3. 27	技術委員会第7回	鉄鋼会館	41名
同	技術委員会「ダンパーの性質及び接合法」第11回	事務局	6名
3. 28	事業企画委員会第1回	同	8名
4. 5	規格化・標準化委員会「維持管理」WG第12回	同	12名
4. 6	技術委員会「施工」第4回	同	8名
同	技術委員会「略設計法」第15回	同	7名
4. 10	技術委員会「上部構造・基礎構造の設計」第14回	同	4名



## 委員会の動き

### ■委員会等活動状況

(1994.2.8~1995.5.9)

月 日	委員会名	場所	出席者
4. 10	技術委員会「上部構造・基礎構造の設計」第14回	事務局	4名
4. 12	規格化・標準化委員会「規格化」WG第9回	同	12名
4. 14	技術委員会「アイソレータの性質及び接合法」第9回	同	5名
4. 17	技術委員会「略設計法」第16回	同	8名
4. 19	共同住宅特別委員会第1回	同	12名
同	通信・運営委員会		22名
4. 20	技術委員会「施工」第5回	事務局	7名
4. 24	技術委員会「上部構造・基礎構造の設計」第15回	同	8名
同	事務局会議「総会資料作成グループ」	同	6名
4. 28	技術委員会「編集会議」	同	14名
4. 29	技術委員会「編集会議」	同	14名
5. 2	共同住宅特別委員会第2回	同	9名
同	広報委員会	同	12名

## 新入会員

	社名	代表者	所属・役職
第1種正会員（法人）	アタカ工業 株式会社	橋本 晴夫	建設事業本部建築設計部部長
	三平建設 株式会社	多胡 文夫	取締役社長
	住友金属工業 株式会社	戸谷 靖隆	関西製造所副所長

	氏名	所属
第2種正会員（個人）	松田 泰治	九州大学 工学部 建設都市工学科 助教授

	社名	代表者	所属・役職
賛助会員（法人）	有限会社 海老名構造研究室	海老名雅之	代表取締役
	株式会社 神田建築設計事務所	神田 廣行	代表取締役
	日合商事 株式会社	桜井 信夫	常務取締役物資本部長

	氏名	社名
賛助会員（個人）	青山 信英	青山コンサルティング 株式会社
	宇田川達生	株式会社 茜設計
	大西 和彦	松井建設 株式会社
	草場 基成	株式会社 草場建築構造計画
	鈴木 哲夫	いしばし設計
	野村不二夫	株式会社 総合経営研究所

日本免震構造協会会員数 (95年5月15日現在)	第1種正会員（法人）	65社
	第2種正会員（個人）	49名
	特別会員	4団体
	賛助会員（法人）	50社
	賛助会員（個人）	49名

退去会員	梅村 魁
------	------

# 入会のご案内

入会ご希望の方は、右頁の申し込み書に所定事項をご記入の上、下記宛にご連絡下さい。

	入 会 金	年 会 費
第1種正会員(法人)	200,000円	1口 200,000円
第2種正会員(個人・学会員)	5,000円	5,000円
特別会員(団体・協会)	別 途	
賛助会員(個人・法人)	5,000円	5,000円

定款により、会員種別は下記の通りとなります。

- (1) 第1種正会員  
免震構造に関する事業を行うもので、本協会の目的に賛同して入会した法人
- (2) 第2種正会員  
免震構造に関する学識経験を有するもので、本協会の目的に賛同して入会した個人
- (3) 特別会員  
免震構造に関連する学会及び団体で、本協会の目的に賛同して入会したもの
- (4) 名誉会員  
免震構造に関し、特に功績のあったもの又は本協会に特に功労があったもので、総会において推薦されたもの
- (5) 賛助会員  
本協会の主旨に賛同して入会した個人又は法人

ご不明な点は、事務局までお問い合わせ下さい。

## 日本免震構造協会事務局

東京都新宿区信濃町20  
(株)東京建築研究所内  
事務局長 山口昭一  
Fax:03-3359-7173  
Tel:03-3359-6151

# 日 本 免 震 構 造 協 会 入 会 申 込 書

<b>会員コード*</b>		<b>申込日</b>	199 年	月	日
<b>会員種別</b> ○をつける	特別会員 第1種正会員(法人) 賛助会員(法人)		第2種正会員(個人) 賛助会員(個人)		
<b>入会者</b> (法人会員の 場合担当者)	フリガナ				印
	所属				
<b>勤務先</b>	( ☎ - )		☎ - -		
			FAX - -		
<b>自宅</b>	( ☎ - )		☎ - -		
↓ 以下は法人会員のみ記入ください。					
<b>法人名</b> (法人会員)	フリガナ	第1種正会員の場合のみ			
		口数			口
<b>入会代表者</b>	フリガナ				印
	役職				
<b>住所</b>	( ☎ - )		☎ - -		
			FAX - -		

\*本協会で記入いたします。



## インフォメーション

### \*第2回通常総会開催のお知らせ

日時 平成7年7月6日(木) 16:30~17:30  
場所 ホテルグランドパレス 東京九段

### \*「多田英之先生退職記念講演会と先生を囲む会」の開催のお知らせ

免震構造の普及に多大なご尽力されておられます福岡大学教授で在られた多田英之先生が本年3月末日をもって定年退職されました。先生には本会の発足やその後の本会の発展に大きく貢献されました。日本免震構造協会では、この機に多田英之先生をお招きして下記の通り記念講演会と先生を囲む会を開催することになりました。テーマは「21世紀の耐震設計を考える」です。

日時 平成7年6月6日(火) 午後4時~7時30分  
記念講演 16時00分~17時30分 (牡丹の間)  
先生を囲む会 17時40分~19時30分 (芙蓉の間)  
会場 ホテルグランドパレス 東京九段

### \*免震フォーラム開催のお知らせ

来る9月4日(月)に工学院大学講堂に於いて第2回免震フォーラム「阪神・淡路大震災の経験を経て免震構造をさらに考える」をテーマに開催(参加費無料)することになりました。

詳細は事務局までお問い合わせ下さい。尚、会員の皆様には、詳細が決まり次第別途ご案内申し上げます。

問い合わせ先：日本免震構造協会事務局(東京建築研究所内)

TEL：03-3359-6151 FAX：03-3359-7173

## 編集後記

大型連休も過ぎ去り、“MENSIN”春号の編集作業が終わった頃は「目に青葉、山ほととぎす・・・」の季節になってしまいました。

自然界の明るさとは対照的に我々の身の回りには社会・経済面で暗いニュースが続出し、あの未曾有の阪神・淡路大震災もどこかに行ってしまったかのようでした。起こる筈のないことが次々と起きてしまう昨今では無理もないことかもしれませんがあの大地震から得られた貴重な教訓をもとに研究者・技術

者だけでなく、地震列島に生活する者全員が参加して、幅広く今後の震災対策を早急に決定しておくべき時でもあります。社会全体が十分納得したかたちで新しい耐震建築のありかたが1日も早く出されることを期待したいものです。

免震構造も広範囲に採用され易い環境を整え、これからの中心的技術となっていけるよう十分な広報活動をしていきたいと考えている次第です。

広報委員会 須賀川 勝

1995 No.8号 平成7年5月27日発行

発行所 日本免震構造協会  
編集者 広報委員会  
協力 (株)経済選広

東京都新宿区信濃町20  
(株)東京建築研究所内  
日本免震構造協会事務局  
Tel:03-3359-6151  
Fax:03-3359-7173



**JSSI**

Japan Society of Seismic Isolation

日本免震構造協会

事務局 〒160 東京都新宿区信濃町20 株式会社 東京建築研究所内  
TEL.03-3359-6151 世 FAX.03-3359-7173