

# 免震建築物に関する研究開発（その3）

—免震棟、非免震棟の応答比較シミュレーション—

磯貝 哲也 三藤 正明

## 要 旨

技術研究所の免震建築物は、設計、施工に関する実績および技術開発力の向上を図ることを目的として建設された。この免震建築物の隣にはツインで非免震建築物が建設され、両建築物とも建築物内に地震計を配置して観測を行っている。本報告は地震観測に先立ち数値シミュレーションによって免震建築物、非免震建築物地震時の応答性状を比較したものである。数値シミュレーション結果から、免震建築物は非免震建築物に比べ加速度で最大1/5程度にまで低減することがわかった。

### 1. まえがき

現在までに国内で既に70棟以上の免震建築物が建設され、今後も免震建築物に対する社会的な需要は増大するものと判断される。今回、免震建築物の設計、施工に関する実績および技術開発力の向上を図ることを目的として、免震建築物と非免震建築物の2棟をツインで建設した。本報告はそれらの免震建築物、非免震建築物の応答比較を地震観測結果に先立ち実施した数値シミュレーション結果を報告するものである。

### 2. 免震棟および非免震棟の概要

#### 2.1 建物概要

本建物は図-1に示すように研究本館右側の一方を免震建築物（以下免震棟という）、もう一方を非免震建築物（以下非免震棟という）としてツインで建設された。両建築物とも階数は地上5階、地下無しで、構造は桁行方向（X方向）、はり間方向（Y方向）とも純ラーメン構造のプレキャスト構造である。図-2のように免震棟、非免震棟ともに上部構造の柱、はり部材の断面寸法を同じとしている。

#### 2.2 設計概要

非免震棟は、従来の耐震設計がなされているので設計用ベースシヤール係数を0.2とし、層せん断力係数分布をAi分布としている。それに対して免震棟は設計用ベースシヤール係数及び層せん断力係数分布を予備応答解析にもとづいて定めており、結果としてベースシヤール係数を0.12とし、層せん断力係数分布は予備応答解析より得ら

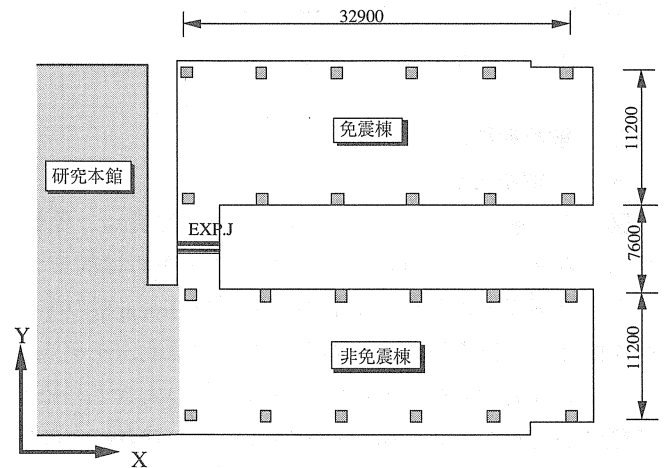


図-1 研究棟建物平面

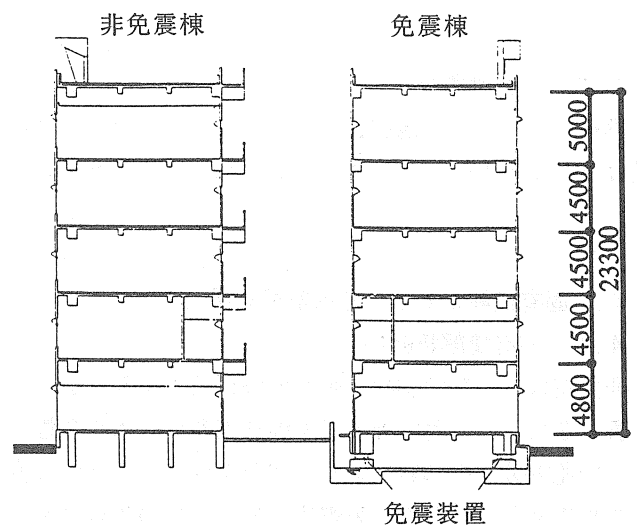


図-2 免震棟、非免震棟断面図

れる層せん断力分布係数を包絡する形で定めた。ただし、免震棟、非免震棟とも部材の断面寸法を同じとしているので図-3に示すように主筋量、およびスタラップともに非免震棟に比べ免震棟は少ない。なお、建設地盤の概要については参考文献1)に示している。

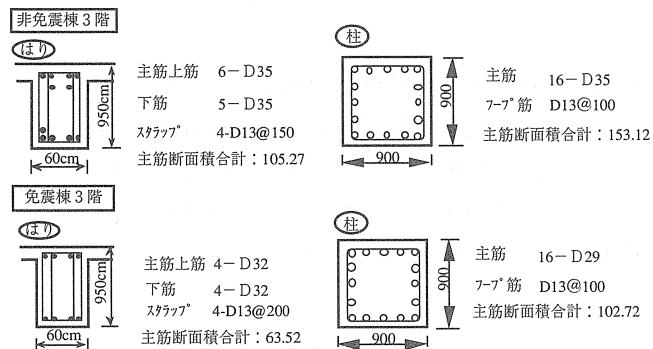


図-3 免震棟および非免震棟の断面比較

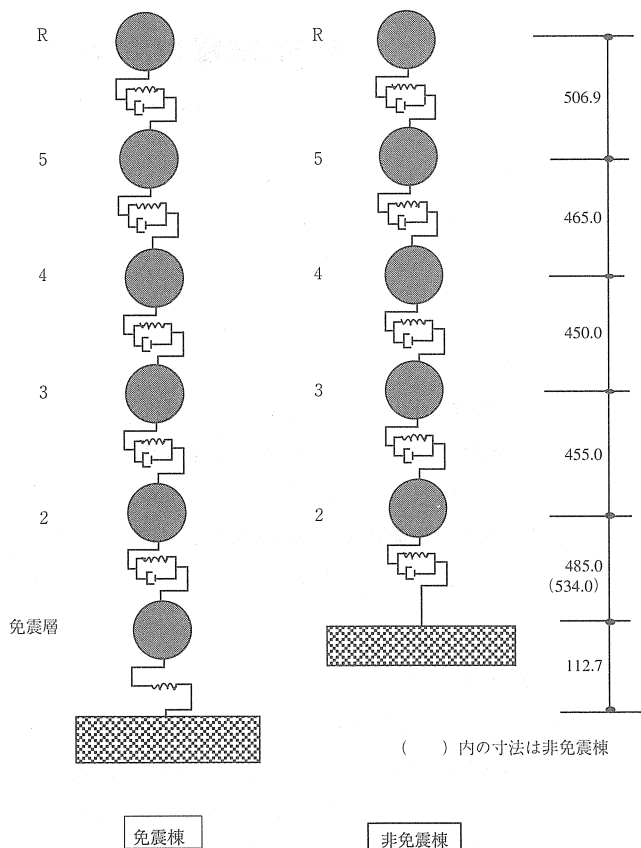


図-4 免震棟、非免震棟の解析モデル

表-1 解析に用いた入力地震動

地震動波形名	記録		解析地震動		解析時間 秒	備考
	最大加速度 (cm/sec)	最大速度 cm/sec	最大加速度(cm/sec <sup>2</sup> ) 25cm/sec	50cm/sec		
EL CRNTRO 1940 NS	314.7	33.5	225.4	510.8	30.0	標準的な地震動
HACHINOHE 1968 NS	176.0	17.7	248.3	496.8	30.0	長周期成分を含む地震動
TAFT 1952 EW	225.0	34.1	165.1	330.1	30.0	標準的な地震動
SENDAI 501 1962 NS	57.5	3.46	415.5	830.9	14.0	地域地震動

表-2 非免震棟の固有周期 (X:方向)

項目	次数			
	1次	2次	3次	4次
固有周期	0.48	0.19	0.12	0.09
刺激係数	1.34	0.48	0.31	0.21

表-3 免震棟の固有周期 (X:方向)

項目	次数			
	1次	2次	3次	4次
固有周期	1.52	0.29	0.16	0.11
刺激係数	1.06	0.08	0.02	0.01

### 3. 解析概要

#### 3.1 解析モデル

図-4に解析モデルを示す。非免震棟は5質点、免震棟は免震層を含む6質点にモデル化した。解析は両モデルとも上部構造の荷重と変形の間をTri-linear型の等価せん断ばねに置き換えた。その復元力特性は武田モデルとした。免震装置の復元力特性は各ひずみの大きさに応じて剛性が変化する修正Bi-Linear型とした。減衰は上部構造のみ内部粘性系を仮定した瞬間剛性比例型とし、減衰定数は上部構造のみの1次振動に対し2%とした。免震層部分の減衰は履歴減衰のみ考慮し、内部粘性減衰は考慮しなかった。

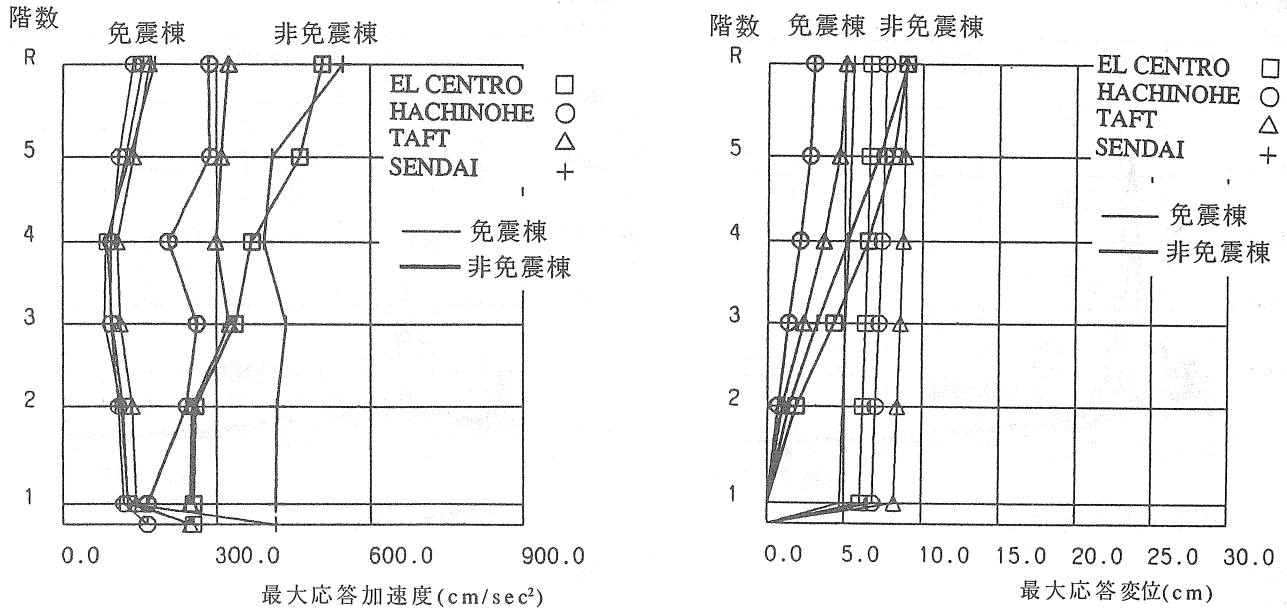
#### 3.2 入力地震動

解析に用いた入力地震動を表-1に示す。なお、地震動はすべて日本建築センター保有の地震動波形を用いた。

### 4. 固有値解析および応答解析結果

#### 4.1 固有値解析結果

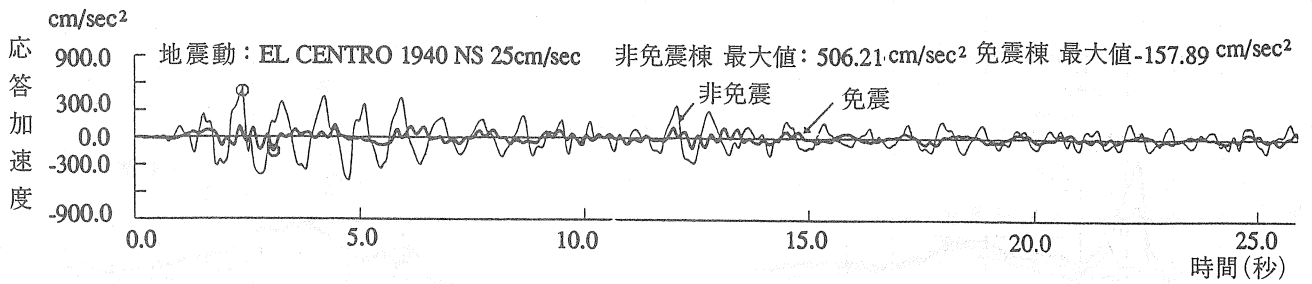
非免震棟および免震棟の固有値解析結果を表-2および表-3に示す。免震棟の1次固有周期は、水平剛性の小さい免震装置の影響により、非免震棟に比べ3倍程度まで長周期化しており、免震建築物としての免震効果が十分に発揮されることが予想される。



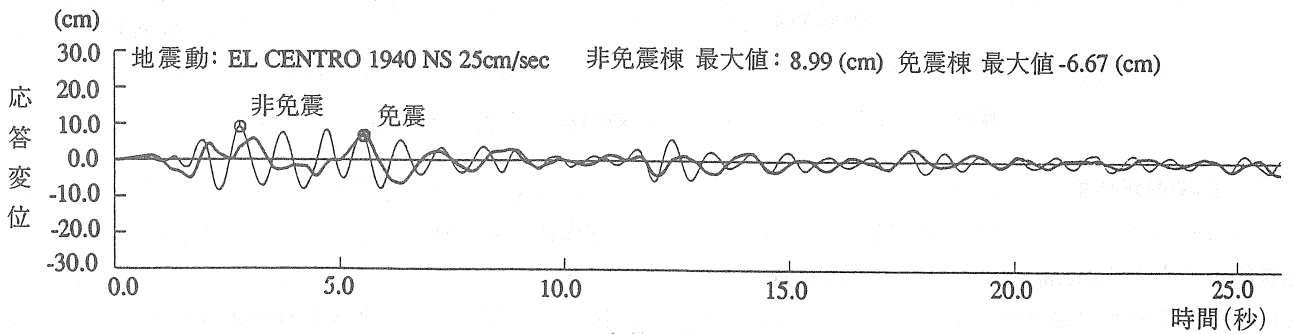
(a)最大応答加速度

(b)最大応答変位

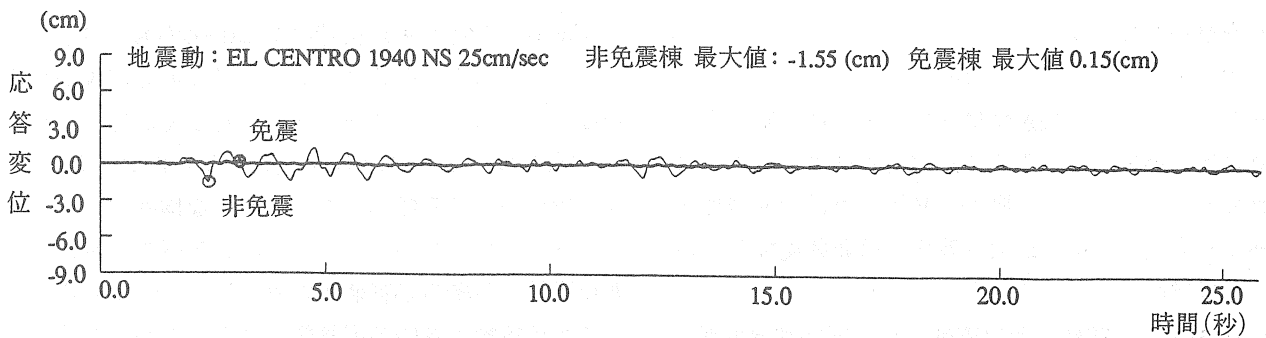
図一5 最大応答値



(a)応答加速度

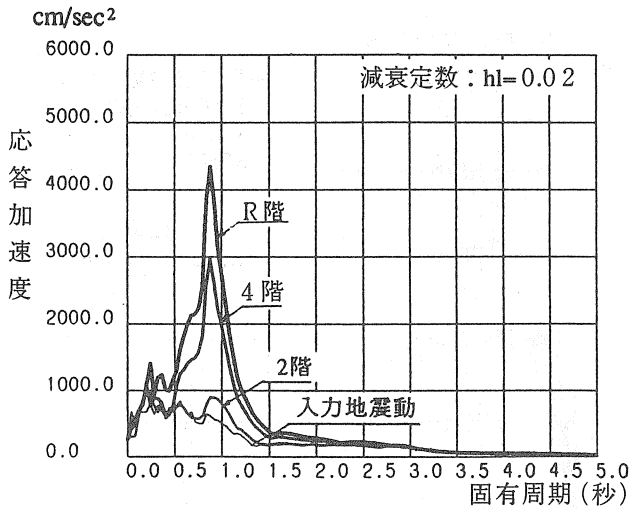


(b)応答変位

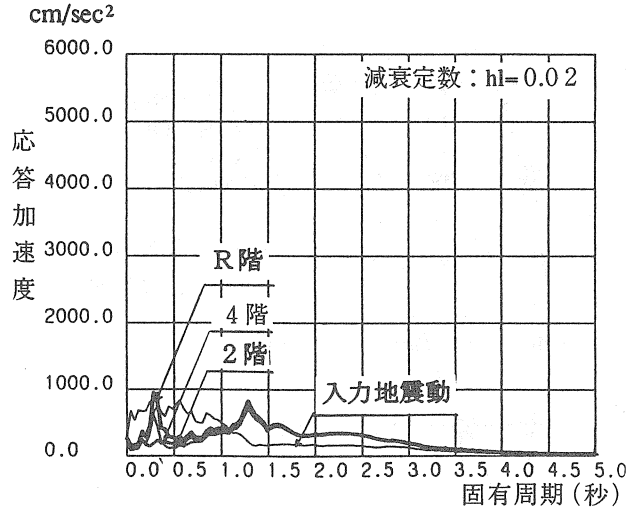


(c)応答層間変位

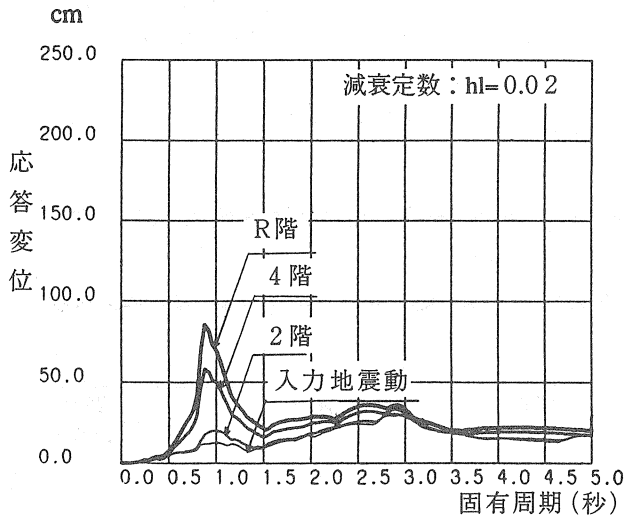
図一6 応答時刻歴波形 (最上階)



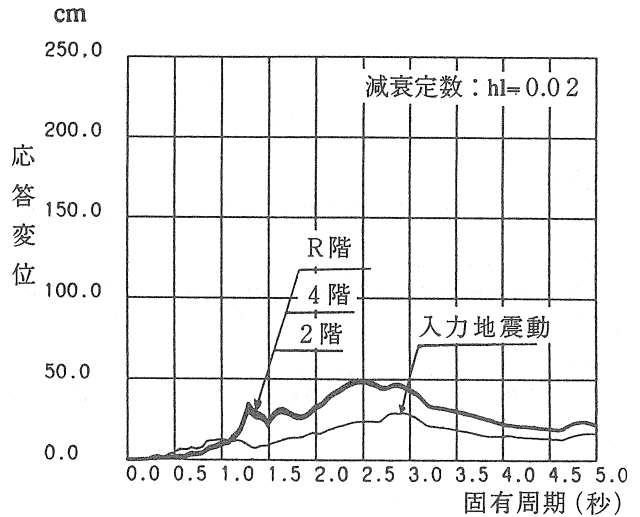
(a)非免震棟加速度応答スペクトル



(b)免震棟加速度応答スペクトル



(c)非免震棟変位応答スペクトル



(d)免震棟変位応答スペクトル

図一七 応答スペクトル (地震動の最大速度を25cm/secとした場合)

#### 4.2 応答解析結果

##### (1) 最大速度を25cm/secとした時の応答解析結果

地震動の大きさを25cm/secとした時の非免震棟および免震棟の最大応答値を図一5に示す。また、応答時刻歴波形を図一6、応答スペクトルを図一7、フーリエスペクトルを図一8に示す。

これらの図より以下のことがわかった。

①図一5より最大応答加速度は非免震棟が最上階で入力地震動に比べ増幅しているのに比べ免震棟は1階で入力地震動の低減が図られ、1階からR階まで最大応答加速度はあまり変化しない。最大応答変位は非免震棟と違い各階ともほぼ同じとなっている。

②図一6(a)より免震棟は非免震棟に比べ応答加速度がかなり低減し、振幅もほぼ一定していることがわかる。

③図一6(b),(c)より免震棟は、最下層の免震装置が大

きく変形するために建築物全体の変形は大きくなるが、上部構造のみの層間変形で比べれば免震棟の方が非免震棟に比べてかなり小さくなっている。

④図一7、図一8より非免震棟の加速度応答スペクトルおよびフーリエスペクトルは0.8秒程度のところにピークがあるのに対し免震構造物では0.3秒程度および1.3秒程度にある。変位応答スペクトルでは非免震棟が0.8秒程度のところにピークがあるのに対し免震棟では1.3秒と2.5秒程度にピークがある。免震にすることによって固有周期がのびる傾向にある。同様な傾向はフーリエスペクトルも現れている。また、応答スペクトルについて非免震棟は各階の応答値が階毎にばらついているのに対して、免震棟は各階の応答値のばらつきが少なく、ほぼ剛体的な動きをしているのがわかる。免震棟の応答値は非免震棟にくらべほぼ1/3程度になっている。

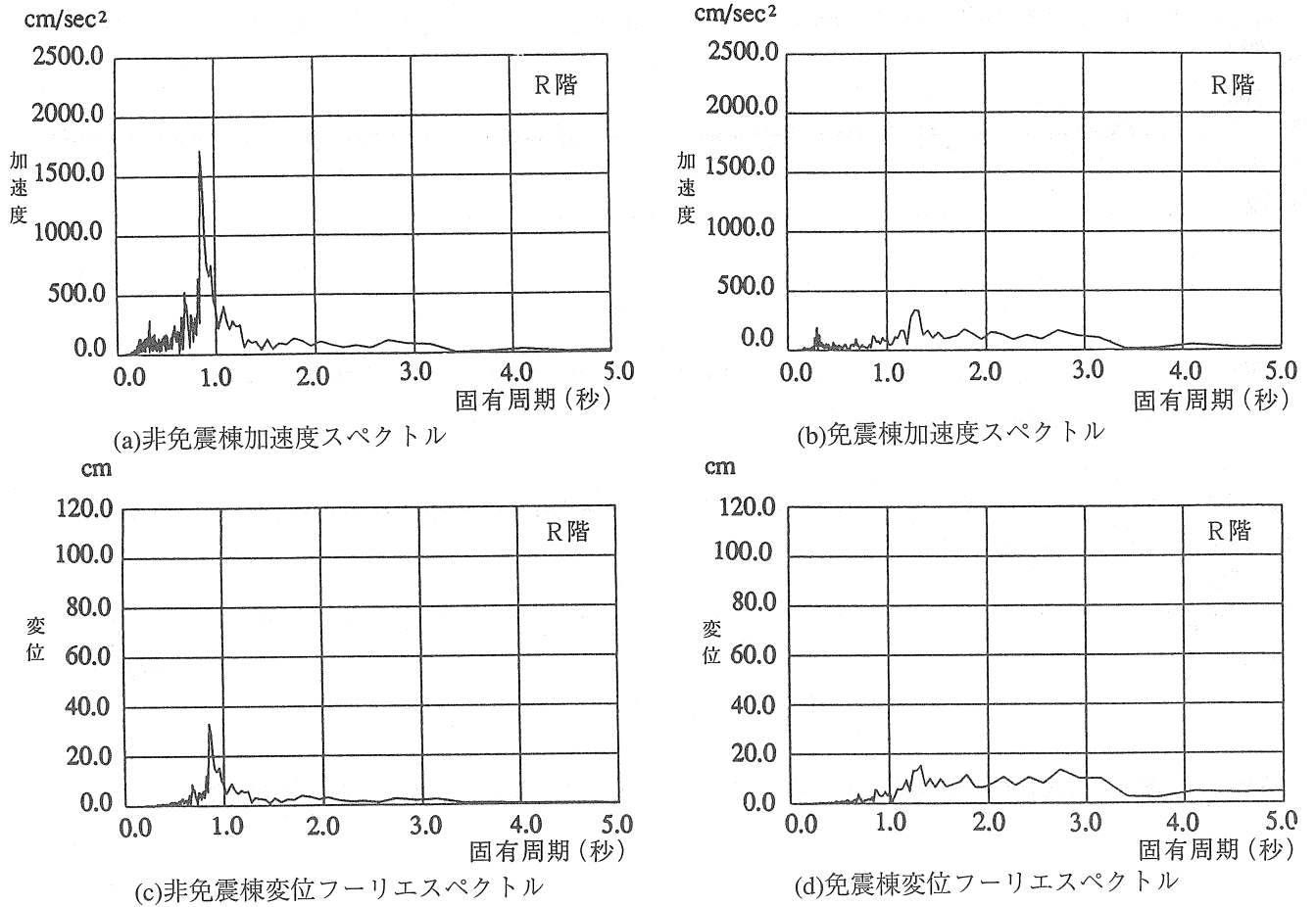


図-8 フーリエスペクトル (最上階)

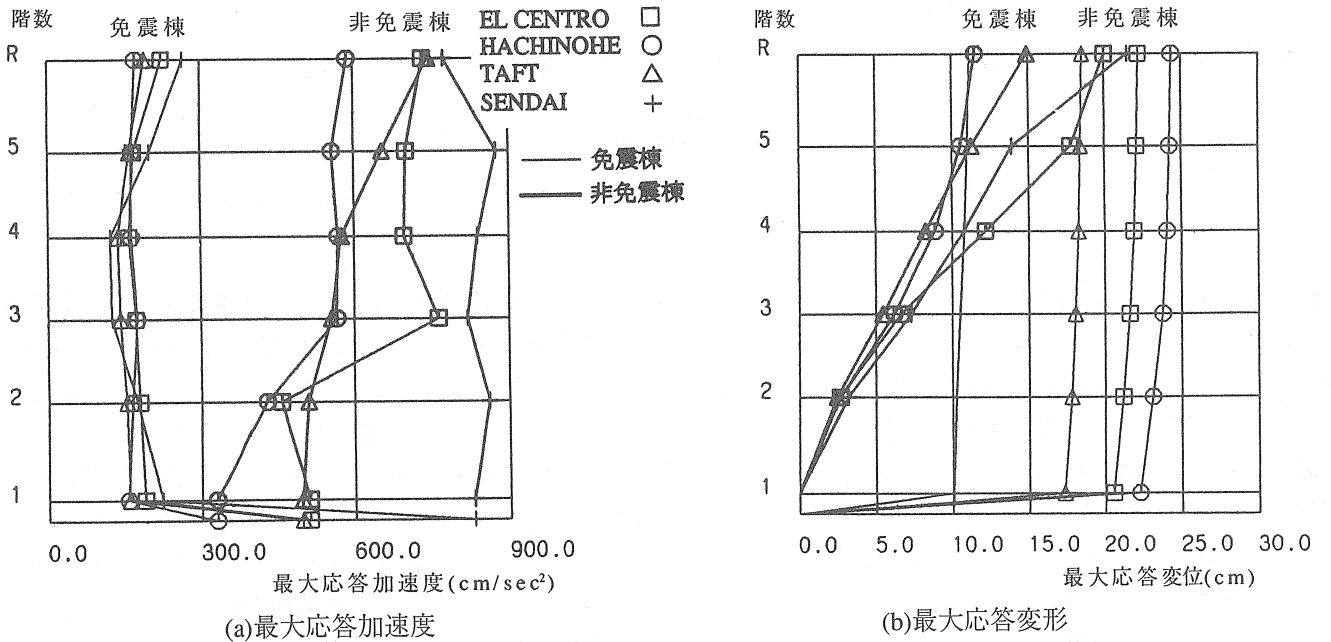


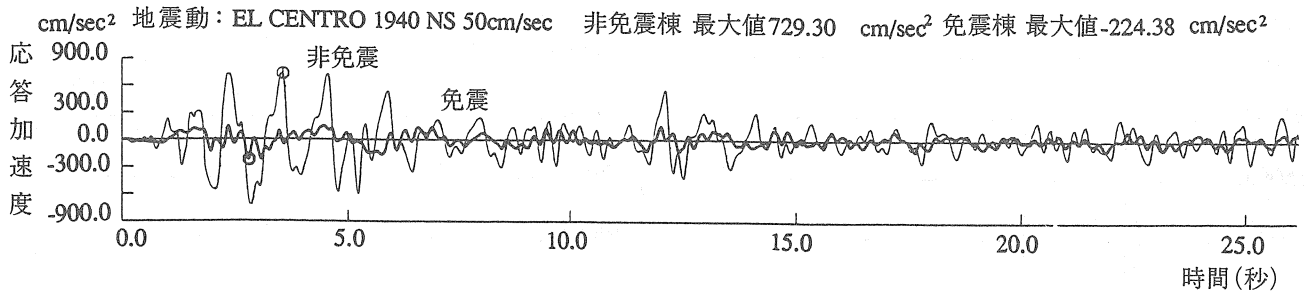
図-9 最大応答値 (地震動の最大速度を50cm/secとした場合)

(2) 最大速度を50cm/secとした時の応答解析結果

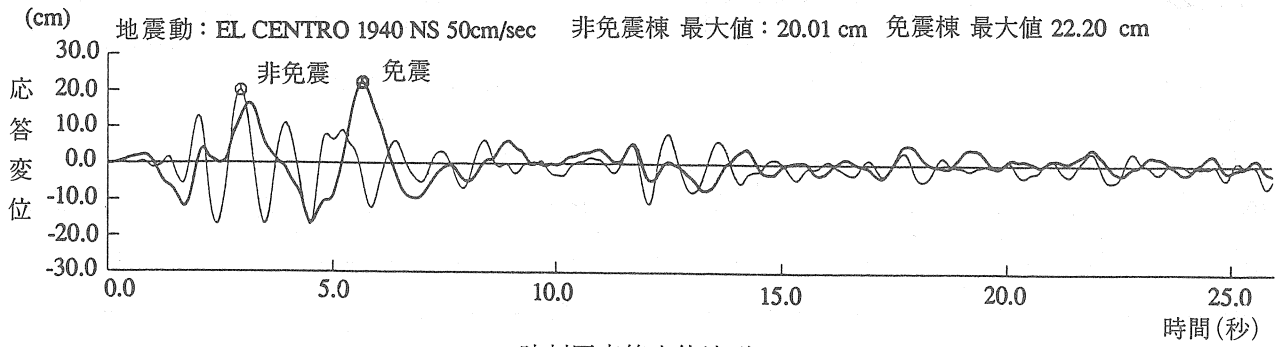
地震動の大きさを50cm/secとした時の非免震棟、免震棟の最大応答値を図-9に示す。地震動をEL CENTRO 1940 NSとした時の応答時刻歴波形を図-10に示す。

それらの加速度および変位波形を用いた応答スペクトルおよびフーリエスペクトルを図-11および図-12に示す。

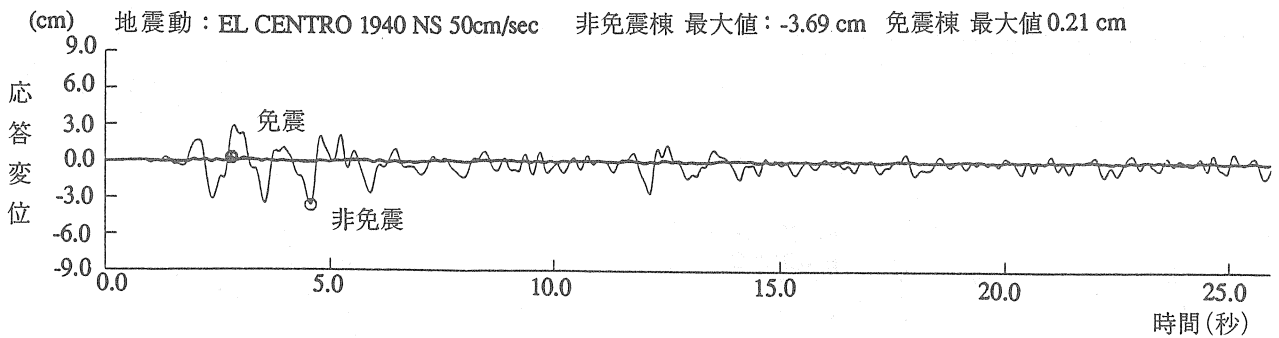
これらの結果より以下のことがわかった。



(a)時刻歴応答加速度波形



(b)時刻歴応答変位波形



(c)時刻歴応答層間変位波形

図一 10 応答時刻歴波形 (地震動の大きさを50cm/secとした時、地震動EL CENTRO 1940 NS)

①図一 9より最大応答加速度、最大応答変位は図一 5とほぼ同様の傾向がより強く現れている。これは地震動が大きくなるにつれて免震装置の剛性が低下し、より顕著に免震効果が発揮された為と判断される。

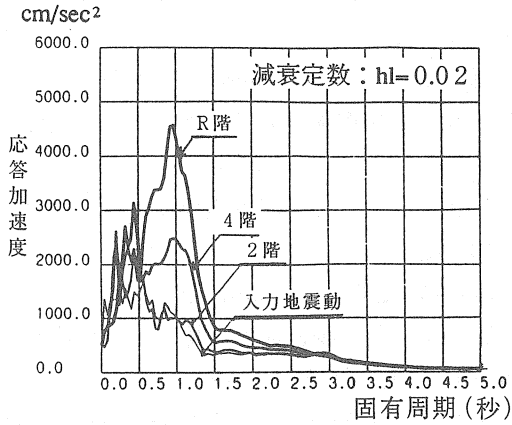
②図一 10より地震動の最大速度を25cm/secとした時と同様に加速度については非免震棟の応答振幅がはげしく変化するのに対し、免震棟はほぼ一定の応答振幅で振動しているのがわかる。変位については非免震棟に比べゆったりとした大きな波となっているが、ほとんどが免震装置の動きであり、層間変形をみると上部構造の応答は小さい。

③図一 11および図一 12より加速度応答スペクトルは非免震棟が1.0~1.2秒程度にピークがあるのに対して免震棟では0.3秒、1.3秒、2.5秒程度にある。変位スペクトル

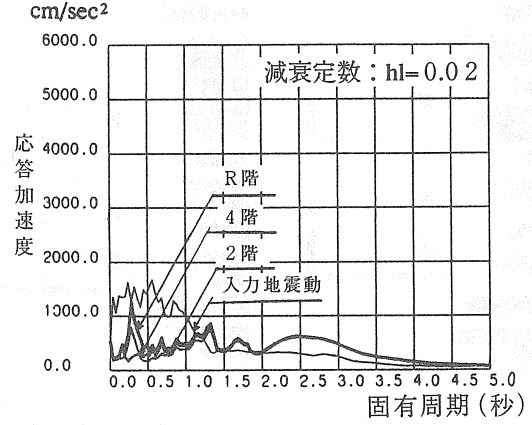
は非免震棟が1.2秒程度にピークがあるのに対し免震棟は2.7秒程度にある。これは地震動の最大速度を25cm/secとした時と比べさらに周期が伸びる傾向にある。非免震棟の応答スペクトルは各階毎にばらついているのに対し、免震棟の各階毎の応答スペクトルは各階毎にばらつきが少なくほぼ各階とも同じ動きとなっている傾向があり、上部構造がほぼ剛体的な動きとなっている傾向が伺える。フーリエスペクトルも同様な傾向がでている。

最大応答加速度を非免震棟の最大応答加速度で除した値をここでは加速度応答倍率と定義する。

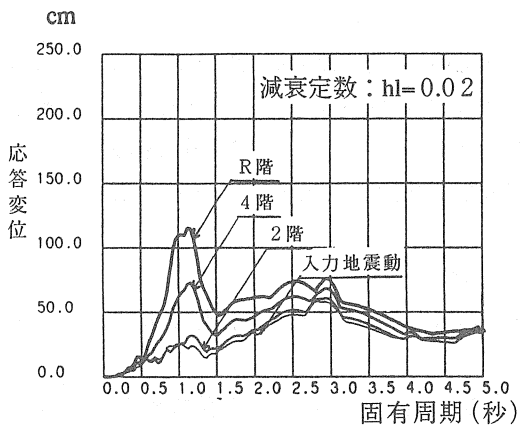
図一 13に地震動の最大速度を25cm/secおよび50cm/secとした時の免震棟、非免震棟の加速度応答倍率を示す。図一 14に地震動の最大速度を50cm/secとした時の免震棟、非免震棟の最大応答層塑性率を示す。図一 15に最



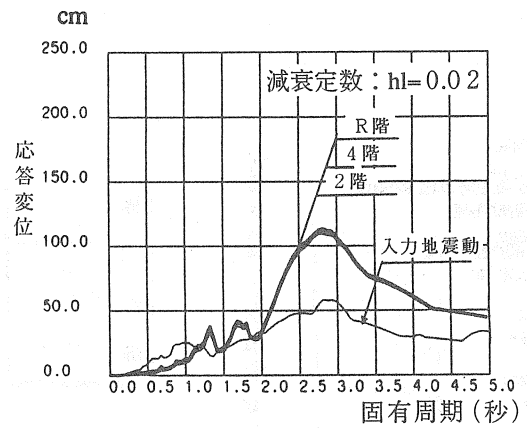
(a)非免震棟加速度応答スペクトル



(b)免震棟加速度応答スペクトル

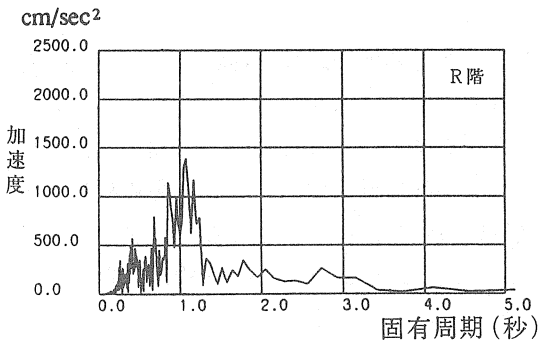


(c)非免震棟変位応答スペクトル

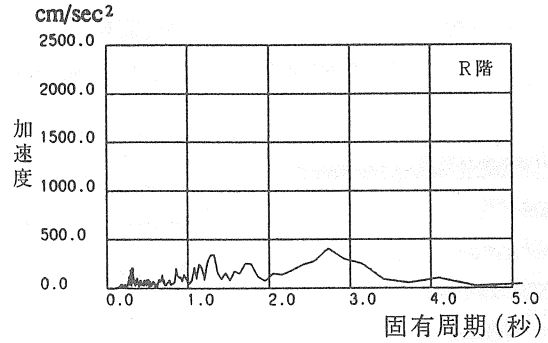


(d)免震棟変位応答スペクトル

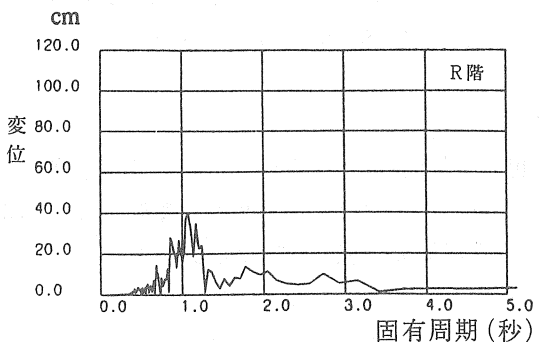
図一 11 応答スペクトル (地震動の大きさを50cm/secとしたとき、地震動:EL CENTRO 1940 NS)



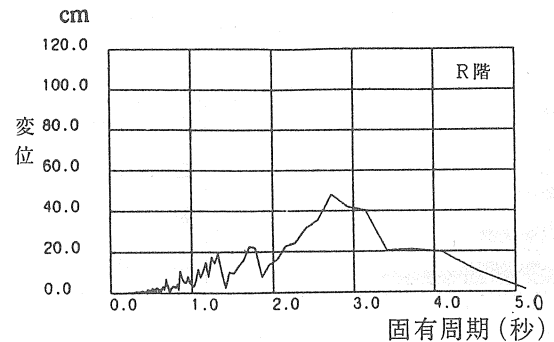
(a)非免震棟加速度フーリエスペクトル



(b)免震棟加速度フーリエスペクトル



(c)非免震棟変位フーリエスペクトル



(d)免震棟変位フーリエスペクトル

図一 12 フーリエスペクトル(地震動の大きさを50cm/secとした時、地震動:EL CENTRO 1940 NS)

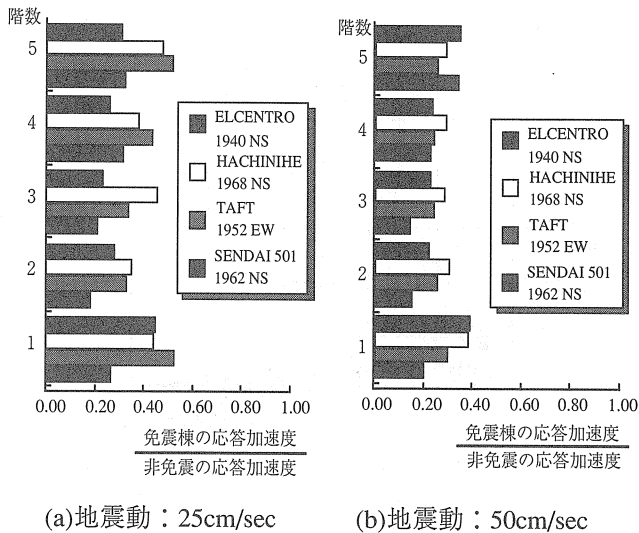


図-1 3 加速度応答倍率

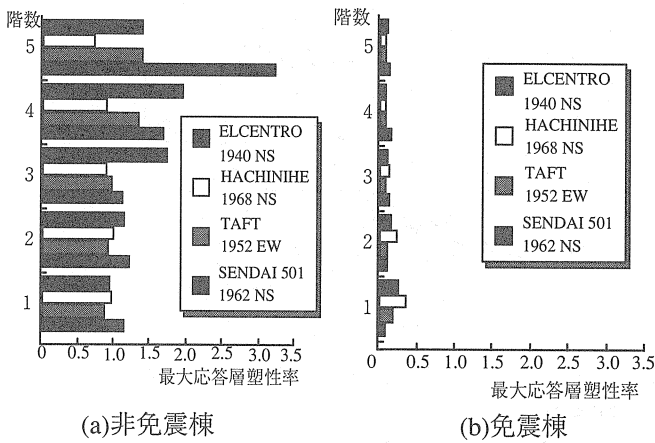
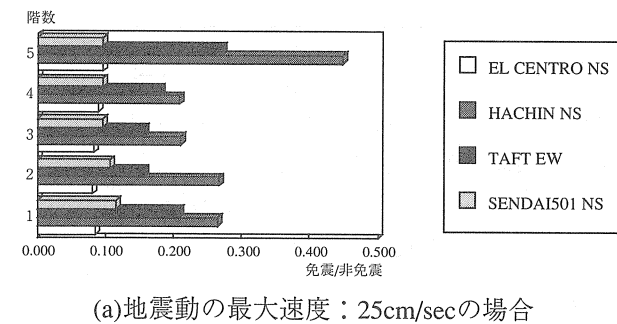
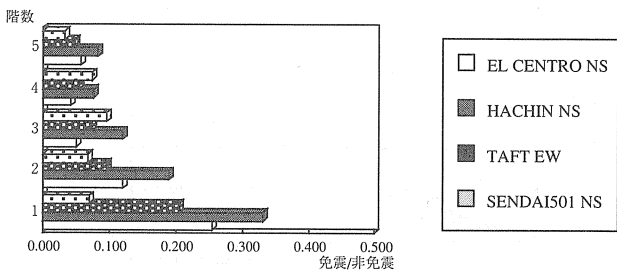


図-1 4 最大応答層塑性率(地震動の最大速度:50cm/sec)



(a)地震動の最大速度：25cm/secの場合



(b)地震動の最大速度：50cm/secの場合

図-1 5 最大応答層間変形角比率

大応答層間変形角の比較を表わす。これらの図より以下のことがわかった。

(1) 地震動の最大速度を25cm/secとした時

①図-1 3 (a)より免震棟は非免震棟に比べ加速度応答倍率が1/2~1/5に低減している。

②図-1 5 (a)より免震棟は非免震棟に比べ層間変形角が1/2から1/10程度になっている。

(2) 地震動の最大速度を50cm/secとした時

①図-1 3 (b)より免震棟は非免震棟に比べ加速度応答倍率が1/3から1/5程度に低減している。

②図-1 4 より非免震棟の最大応答層塑性率が最大で3.2程度となっているのに対して免震棟では最大でも0.16程度である。

③図-1 5 (b)より免震棟の最大応答層間変形角は非免震棟に比べ1/3から1/10程度以下になっている。地震動の最大速度を25cm/secとした時よりも50cm/secとした時の方が最大層間変形角比率が大きくなっている。

5. まとめ

免震棟、非免震棟の応答性能比較より以下のことがわかった。

①最大応答加速度は、免震棟と非免震棟を比べると約1/2から1/5程度、免震棟の方が低減している。また、この低減傾向は地震力が大きくなるほど応答加速度が低減する傾向にある。

②上部構造は、非免震棟が最大応答層塑性率で1.0を越えても免震棟は0.2程度とかなり小さい値となっている。

③非免震棟を免震棟とすることによって建物の固有周期が長周期化し、応答は低減する。また、免震棟は、上部構造の加速度応答振幅がほぼ一定となる。また、上部の層間変形は非免震に比べ、1/2から1/10程度に低減し、ほぼ剛体的な動きとなっている。

今後は地震観測を継続的に行い、観測値と数値シミュレーション結果との対応関係を検討する予定である。

参考文献

1) 磯貝哲也、三藤正明、五十嵐信一、清水欽也、免震建築物に関する研究開発(その1) 免震建築物の設計および解析、五洋建設研究年報、VOL.23,1993