

免震構法研究開発第二期共同研究（その3）
最終報告書
（研究報告）

1999年5月

核燃料サイクル開発機構
清水建設株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ
ください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松4-33

核燃料サイクル開発機構 東海事業所

運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Information Section,

Administration Division,

Tokai Works,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

免震構法研究開発第二期共同研究（その3）
最終報告書
（研究報告）

瓜生	満	*1	寺田	修司	*1
塩谷	功	*1	中山	一彦	*1
山崎	敏彦	*1	小畑	益彦	*2
古村	利幸	*2	新田	康男	*2
太田	和也	*2	小栗	慎祐	*2
近藤	俊成	*3	橋村	宏彦	*3
細谷	寿	*4			

要 旨

民間建設会社が開発した免震構法は、平成10年現在、国内で500棟あまりの建物に適用されており、地震観測等により上部構造物への地震入力低減効果が確認されている。

民間技術の有効性と限界を把握し、非常に厳しいクライテリアを要求される核燃料施設にこの免震構法を適用するために昭和63年から平成3年にかけて実施した共同研究（第一期）に引き続き、第二期共同研究では、免震構造物の限界設計に対する考え方を整理することを目的として極限振動台試験及び大洗工学センターにおける免震構造物、埋込み構造物と地盤の地震観測を行った。

さらに、免震用渡り配管を用いて、管内圧水圧、相対変位を加える静的変形性能確認試験を実施し、渡り配管の健全性及び設計の妥当性を確認した。

*1 核燃料サイクル開発機構
*2 清水建設(株)
*3 (株)ペスコ
*4 検査開発(株)

目 次

1. まえがき	1
2. 研究概要	2
2. 1 研究目的	2
2. 2 研究内容	2
(1) 免震構造体の振動台試験	2
(2) 免震構造物、埋め込み構造物と地盤の地震観測	3
2. 3 研究体制及び役割分担	3
3. 研究成果	5
3. 1 免震構造モデルの振動台試験概要	5
3. 2 Aシリーズ試験	10
(1) 目的	10
(2) 免震構造モデルの振動台試験	10
a. 試験概要 (全体)	10
b. 試験概要	10
a) 加振種別	10
① 正弦波加振	10
② 地震波加振	11
b) 加振システム	11
c) 計測方法	11
c. 正弦波加振試験結果	21
a) 正弦波掃引加振	21
b) 正弦波定常加振	21
d. 地震波加振試験結果	27
(3) まとめ	31
3. 3 Bシリーズ試験	32
(1) 目的	32
(2) 免震構造モデルの振動台試験	32
a. 試験概要	32

b. 加振種別	32
a) 正弦波加振	32
① 正弦波加振	32
② 地震波加振	33
b) 加振システム	33
c) 計測方法	33
c. 正弦波加振試験結果	38
a) 正弦波掃引加振	38
b) 正弦波定常加振	38
d. 地震波加振試験結果	44
(3) まとめ	49
3. 4 Cシリーズ試験	50
(1) 目的	50
(2) 免震構造モデルの振動台試験	50
a. 試験概要	50
b. 加振種別	52
1) 正弦波加振	52
2) 地震波加振	52
c. 加振システム	52
d. 計測方法	52
e. 加振試験結果	56
(3) まとめ	69
3. 5 免震構造物、埋め込み構造物と地盤の地震観測	70
(1) 目的	70
(2) 地震観測構造モデル	70
(3) 地震計設置位置	70
(4) 地震観測結果	70
(5) シミュレーション解析	71
a. 解析モデル	71
b. 解析結果	71

(6) まとめ	71
4. 免震用渡り配管の静的変形性能確認試験	77
4. 1 目的	77
4. 2 試験概要	77
4. 3 試験結果	80
4. 4 まとめ	86
5. あとがき	86

別 添

1. まえがき

免震構造物の限界時入力に対しての、免震層及び上部構造物の挙動を把握することは、非常に厳しいクライテリアを要求される核燃料施設に免震構法を採用する上で、大変重要である。本報告書は免震層及び上部構造物の動的特性について報告すると共に、渡り配管の静的変形性能確認試験の結果をも報告するものである。

原子力施設への免震構法導入のための研究開発の一環として動力炉・核燃料開発事業団（現 核燃料サイクル開発機構）と清水建設㈱は、高減衰積層ゴムを用いた免震構造の基本特性検討と限界時入力における建家防護の概念検討を中心に、ストッパータイプ防護装置の開発とその要素特性試験、縮小免震構造体の地震観測等について共同研究を実施してきた。これらの知見を反映して、第二期共同研究では、高減衰ゴムストッパータイプの防護装置を免震構造物に適用した場合の大変形領域での応答特性を把握することに主眼を置き、試験を実施した。本報告書はこれらの結果を報告するものである。

また、免震構造を採用する場合、建屋の上部構造と下部基礎版間には地震動による相対変位が生じるため、上部構造と下部基礎版間の渡り配管には、伸縮管継手などにより、この相対変位を吸収させる構造を採用している。今回は、渡り配管試験体を用いて、管内水圧を加えた状態で、相対変位を静的に加える変形性能確認試験を実施したので、その結果をも報告する。

2. 研究概要

2. 1 研究目的

原子力施設への免震構法導入のための研究開発の一環として、動力炉・核燃料開発事業団（現 核燃料サイクル開発機構）と清水建設株式会社は、昭和 63 年から平成 3 年までに実施した共同研究（第一期とする）の成果を踏まえて、主に免震構造物の限界設計に対する考え方を整理することを目的として、以下の項目について第二期共同研究を実施する。

- ①高減衰積層ゴムとストッパーを用いた免震構造体の極限振動台試験（A, B シリーズ）
- ②高面圧天然系積層ゴムとストッパーを用いた免震構造体の極限振動台試験（C シリーズ）
- ③免震構造物の限界時における設計思想の整備
- ④大洗工学センターにおける免震構造物、埋込み構造物と地盤の地震観測

2. 2 研究内容

(1) 免震構造体の振動台試験

第一期共研では、高減衰積層ゴムを用いた免震構造の基本特性検討と限界時入力における建屋防護の概念検討を中心に、ストッパータイプ防護装置の開発とその要素特性試験、縮小免震構造体の地震観測等を主な研究項目とした。第二期共研では、一期共研での知見を反映して、高減衰ゴムストッパータイプの防護装置を免震構造物に適用した場合の応答特性を把握することに主眼を置き、以下のシリーズの試験を行う。

A シリーズ：東海事業所構内において地震観測に供していた免震構造体をそのまま用いるもの。

B シリーズ：1991 年度に実施した免震設計ケーススタディに検討した実機建屋の相似則モデルを用いるもの。

また、上記検討に加えて免震システムの合理化要因として積層ゴムの長周期化を考慮し、これまで検討対象としてきた高減衰積層ゴムは、長周期化に伴う形状設定に限界があることから、高面圧とすることで長周期化させた天然系積層ゴムに別置きダンパー（鉛タンパー、鋼材タンパー等）を組み合わせたタイプの免震装置を新たに検討対象に加える。また、この免震システムに従来の高減衰ゴムストッパータイプの防護装置を適用した場合の大入力時の上部構造の応答特性を把握することに主眼を置き、以下のシリーズの試験を行う。

Cシリーズ：免震装置の合理化（長周期化）に伴い、上部構造断面が低減された場合を考慮し、長周期を想定した建屋の相似則モデルを用いるもの。

これらの振動台試験の結果を参考にして、免震構造物の限界時における設計思想の整備・検討を進めるものとする。

(2) 免震構造物、埋め込み構造物と地盤の地震観測

大洗工学センターにおいて別途設置した、免震構造体、埋め込み構造体、非埋め込み構造体と地盤の地震観測と解析を共同で実施する。大洗工学センターにおける地震観測現場の概略配置を図2-1に示す。

当該敷地地盤は第四紀層であり、将来の原子力施設の第四紀層免震構造物立地のための地震動特性研究を、埋め込み構造物の地震動特性との比較と並行して実施する。

2.3 研究体制及び研究分担

動燃事業団（現 核燃料サイクル開発機構）及び清水建設による研究体制及び研究の分担内容を別添に示す。

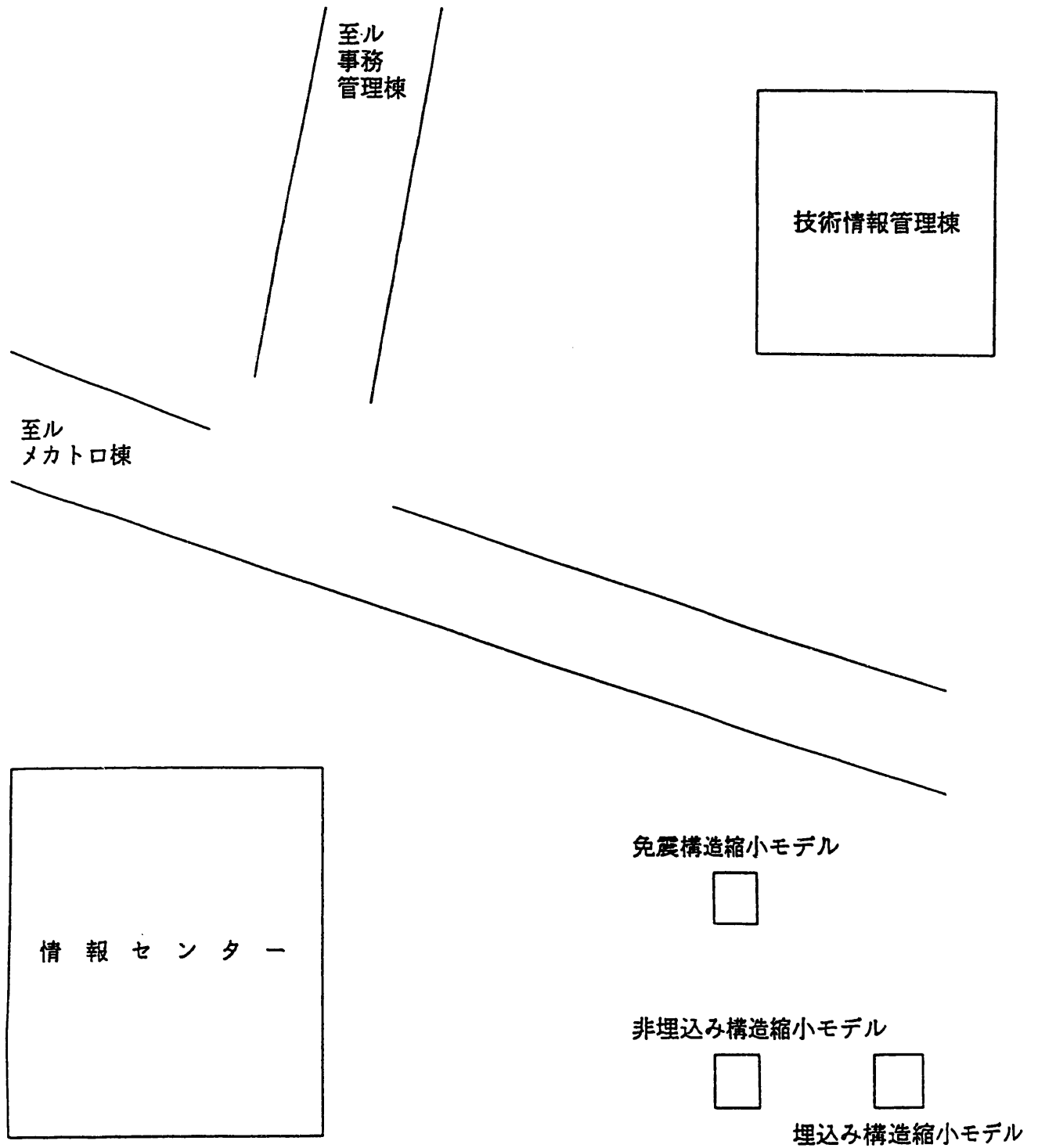


図2-1 大洗工学センター 既設地震観測現場概略配置図

3. 研究成果

3.1 免震構造モデルの振動台試験概要

共同研究全体の流れとして、第一期共同研究（昭和63年から平成3年、表3.1-1参照）は、高減衰積層ゴムを用いた免震構造の基本特性検討と限界時入力における建屋防護の概念検討を中心に、ストッパータイプ防護装置の開発とその要素特性試験、縮小免震構造体の地震観測等を主な研究項目とした。第二期共同研究では、一期共研での知見を反映して、高減衰ゴムストッパータイプの防護装置を免震構造物に通用した場合の大変形領域での応答特性を把握することに主眼を置き、以下のシリーズの試験を行った。

Aシリーズ：東海事業所構内において地震観測に供していた免震構造体をそのまま用いるもの。

Bシリーズ：1991年度に実施した免震設計ケーススタディに検討した実機建屋の相似則モデルを用いるもの。

Aシリーズの試験では、第一期共同研究での地震観測で得られなかった免震構造モデルの大変形領域での応答特性を把握し、Dシリーズの試験では、免震設計ケーススタディで設計した実機免震建屋の相似則モデルによる振動台加振試験を中心に、装置の作動特性や作動時の上部構造の応答特性を把握して、免震構造物の限界設計思想の整理に資するための基礎データを得ることを主な目的とした。

また、上記検討に加えて免震システムの合理化の検討を行い、その要因とストッパーによる防護の必要性についてそれぞれの位置づけを整理した。その結果、図3.1-1に示すように合理化要因として積層ゴムの長周期化（応答低減効果）と使用個数の低減（経済効果）が考えられ、これらの要因を満足するための手段として積層ゴム単体の面圧を高めることを検討した。その場合、大地震の際に変位応答が大きくなることや積層ゴム単体の損傷が系全体に与えるインパクトが大きくなることなどを勘案して、積層ゴムを破断させない思想からストッパーによる防護の必要性を改めて位置付けた。高面圧による長周期化を満足するための免震装置として、これまで検討対象としてきた高減衰積層ゴムは、高面圧化に伴うクリープの問題や長周期化に伴う形状設定に限界があることから、高面圧の天然系積層ゴムに別置きダンパー（鉛ダンパー、鋼材ダンパー等）を組み合わせたタイプの免震装置を新たに検討対象に加えた。また、積層ゴムの長周期化に伴う応答低減効果を勘案して、上部構造のベース

シャー係数が0.1程度で比較的長周期の構造特性を有する上部構造を新たに検討対象とした。この上部構造に前述の免震システムを考慮し、さらに高減衰ゴムストッパタイプの防護装置を適用した場合の過大入力時の応答特性を把握することに主眼を置き、以下のシリーズの試験を行った。

Cシリーズ：免震装置の合理化（長周期化）に伴い、上部構造断面が低減された場合を考慮し、比較的長周期の構造特性を有する建屋の相似則モデルを用いるもの。

Cシリーズの試験では、前述の条件を満足する相似則モデルによる極限振動台加振試験を行い、装置の作動特性や作動時の上部構造の応答特性を把握し、免震構造物の限界設計思想の整理に資するための基礎データを得ることを主な目的とした。。ただし、試験では、過大入力を想定していることから振動台の加振限界を考慮して、減衰機構となるダンパーを除いたシステムで試験を行った。

第一期共研の概要と、各試験シリーズの位置付けを図3.1-2に示す。

表3.1-1 第一期概略工程表

項目	昭和63年度 (1988年度)		平成元年度 (1989年度)		平成2年度 (1990年度)		平成3年度 (1991年度)		平成4年度 (1992年度)
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	上期	下期	
1. 免震構造モデルの振動台試験									第二期 共同研究 スタート
①免震構造モデルの設計・製作	■								
②フェイルセーフ機構の開発・試作	■								
③振動台試験		■							
2. 免震構造モデル地震観測 (東海)		■							
3. フェイルセーフ機構の開発研究									
①高減衰積層ゴムの設計製作			■						
②ハードニングストッパータイプ フェイルセーフ装置の設計製作			■						
③免震装置の特性試験				■					
④復元力モデルの開発、応答解析						■			
4. 免震設計ケーススタディ								■	
成果発表				△ 建築学会		△ 建築学会	▲ JEES	▲ SMIRT	△ 建築学会
(参考) 大洗地震観測					大洗地震観測モデル		設置工事1	設置工事2	
						情報センター	建屋地震観測		

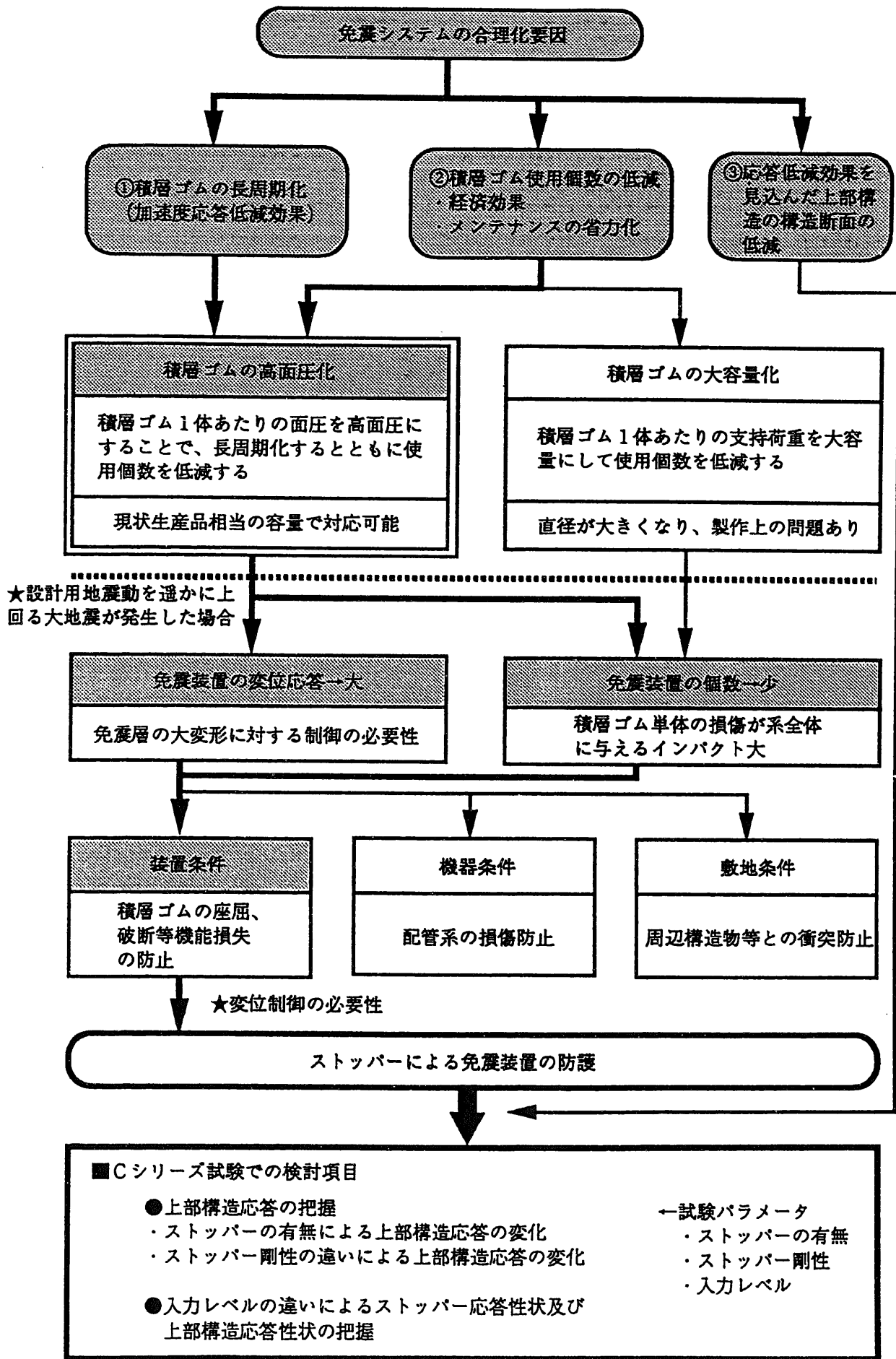


図3.1-1 免震システムの合理化要因と建屋防護の位置づけ

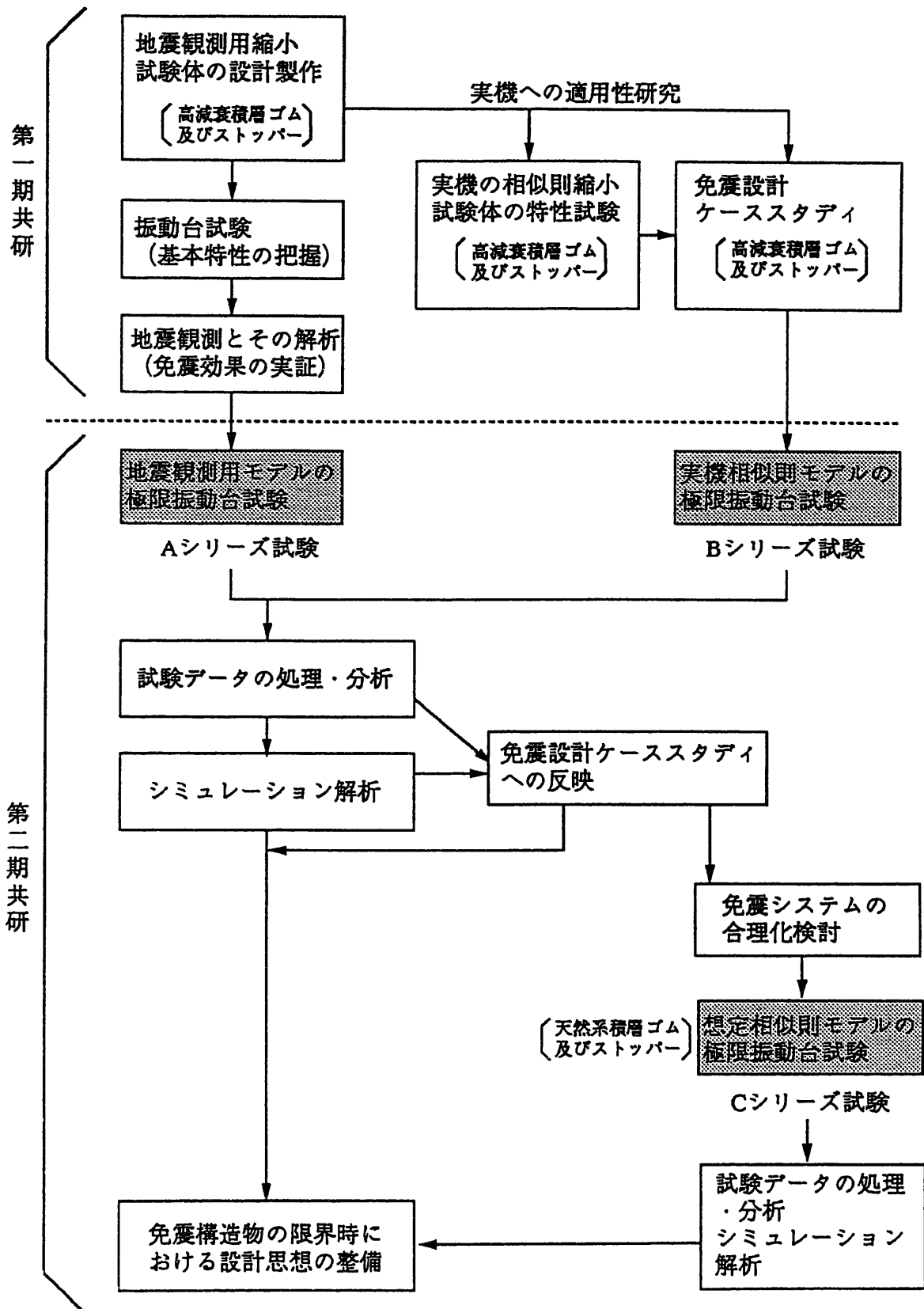


図3.1-2 第一期共研の概要とA,B,Cシリーズの位置付け

3.2 Aシリーズ試験

(1) 目的

1988年度に振動台試験を実施しているが、その時は地震観測用の地震構造体の基本振動性状を把握することが目的であったため、免震構造体が損傷を受けることがないよう大きな入力を加えなかった。今回は免震構造体に大入力を加えることによって、免震構造体の終局状態を把握し、また、ストッパーの有無による応答性状の変化を把握する。

(2) 免震構造モデルの振動台試験

a. 試験概要 (全体)

Aシリーズ免震構造モデルの終局状態までの振動特性を把握するために振動台試験を実施する。振動台試験のケース一覧を表3.2-1に示す。試験体はストッパーの有る場合と無い場合の2ケースで、それぞれ正弦波加振と地震波加振を行う。正弦波加振は比較的小さい振幅レベルでの基本特性を把握し、地震波加振は順次入力レベルを大きくしていき、免震構造モデルの終局状態を把握する。

表3.2-1 振動台試験ケース一覧 (Aシリーズ)

試験体				加振方法	
試験体名	上部構造	積層ゴム	ストッパー	正弦波加振	地震波加振
A1	Aシリーズ	Aタイプ	無	○	○
A2	Aシリーズ	Aタイプ	有	○	○

b. 試験概要

a) 加振種別

① 正弦波加振

正弦波加振ケースを表3.2-2に示す。加振は入力加速度10Gal一定で振動数を段階的に変化させるスイープ加振 ($f=0.5 \sim 15\text{Hz}$, $\Delta f=0.1\text{Hz}$) と、振動数1Hz一定で入力加速度を5, 10, 15, 20, 25, 30Galと変化させた定常加振を実施する。

② 地震波加振

地震波加振の加振ケースを表3. 2 - 3に示す。用いる入力波は以下の2波である。

- ・ EL CENTRO NS 1940 40.96 秒
- ・ HACHINOHE NS 1968 40.96 秒

まず、上記2波で70Gal入力加振を行い、積層ゴムの安定領域での振動特性を把握する。その後、HACHINOHE波の入力加速度を140, 200, 300, 400 Galと増大させていき、免震構造モデルの終局状態を把握する。入力波の波形及び応答スペクトルを図3. 2 - 1、図3. 2 - 2に示す。入力最大目標値を表3. 2 - 4に示す。

b) 加振 システム

図3. 2 - 3に試験体を振動台にセットした概要図を示す。試験体が終局状態に達しても振動台に大きな力が加わらないよう、振動台の外より振動台防護梁を渡し、そこに試験体が載るようにしている。

c) 計測方法

計測は以下の計測器によって行う。

- ・ 加速度計 19ch
- ・ 変位計 4ch
- ・ ひずみゲージ 16ch 計 39ch

各計測器の設置位置を図3. 2 - 6に示す。計測器のチャンネル対応表を表3. 2 - 6に示す。

表3.2-2 正弦波加振ケース (Aシリーズ)

加振No.	加振方法	振動数(Hz)	入力加速度 (Gal)	加振時間 (sec)	備考
A-01	スイープ加振	0.5~15.0 $\Delta f=0.1$	10		
A-02	定常加振	1.0	5	30	計測： $\Delta t=0.01\text{sec}$ N=4096
A-03	定常加振	1.0	10	30	計測： $\Delta t=0.01\text{sec}$ N=4096
A-04	定常加振	1.0	15	30	計測： $\Delta t=0.01\text{sec}$ N=4096
A-05	定常加振	1.0	20	30	計測： $\Delta t=0.01\text{sec}$ N=4096
A-06	定常加振	1.0	25	30	計測： $\Delta t=0.01\text{sec}$ N=4096
A-07	定常加振	1.0	30	30	計測： $\Delta t=0.01\text{sec}$ N=4096

表3.2-3 地震波加振ケース (Aシリーズ)

加振No.	入力波	入力 方向	入力加速度 (Gal)	時間刻み (sec)	データ数	継続時間 (sec)	備考
A-11	EL CENTRO 1940 NS	X	70	0.01	4096	40.96	
A-12	HACHINOHE 1968 NS	X	70	0.01	4096	40.96	
A-13	HACHINOHE 1968 NS	X	140	0.01	4096	40.96	
A-14	HACHINOHE 1968 NS	X	200	0.01	4096	40.96	
A-15	HACHINOHE 1968 NS	X	300	0.01	4096	40.96	
A-16	HACHINOHE 1968 NS	X	400	0.01	4096	40.96	

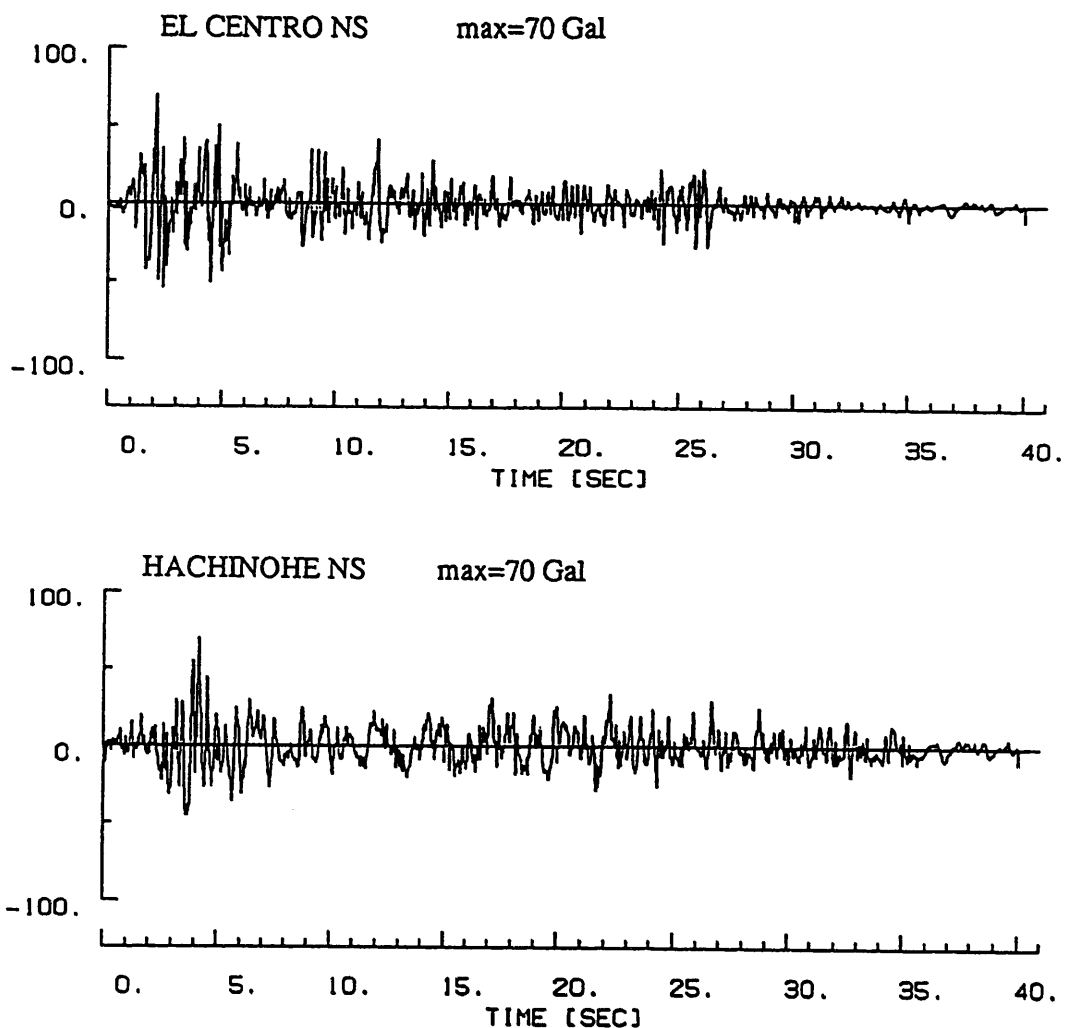


図3. 2 - 1 入力地震波の時刻歴波形

表3. 2 - 4 地震波加振の入力最大目標値 (Aシリーズ)

入力波	加振No.	加速度 (Gal)	速度 (kine)	変位 (cm)	備考
EL CENTRO NS		341.7	33.45	10.9	原波
	A-11	70	6.9	2.2	
HACHINOHE NS		225.0	34.08	10.5	原波
	A-12	70	10.6	3.3	
	A-13	140	21.2	6.5	
	A-14	200	30.3	9.3	
	A-15	300	45.4	14.0	
	A-16	400	60.6	18.7	

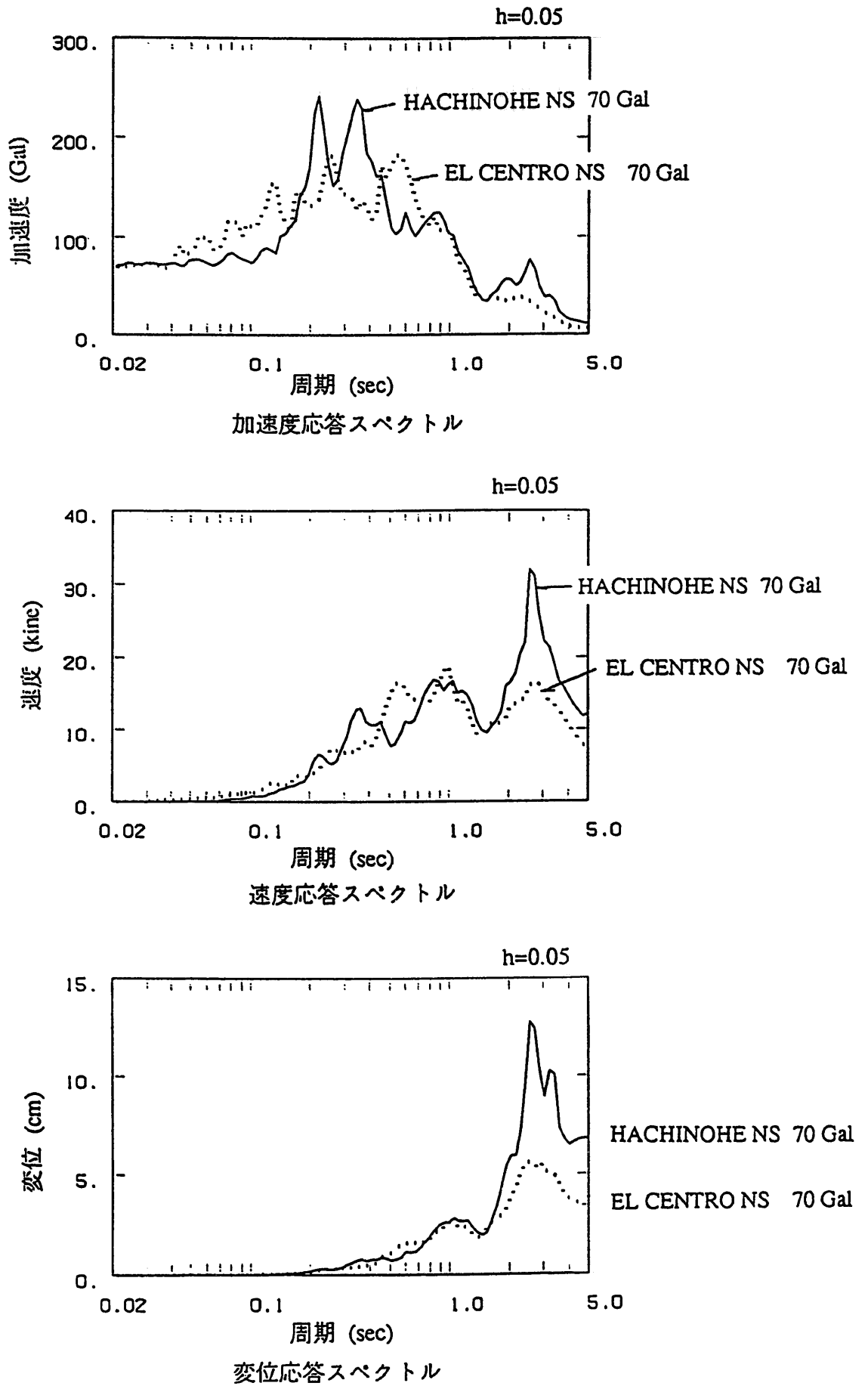


図3. 2 - 2 入力地震波の応答スペクトル

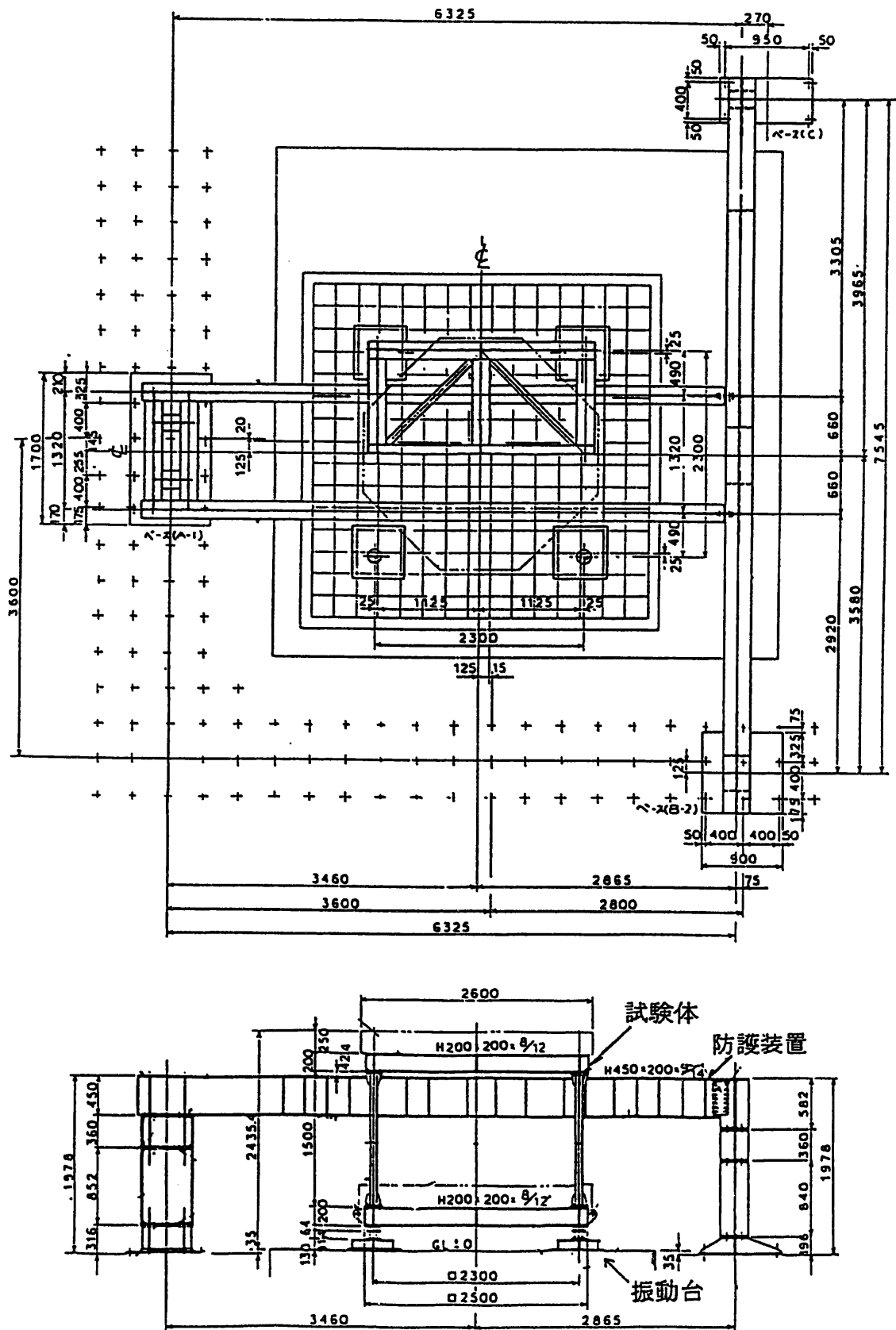


図3. 2 - 3 免震構造モデルの振動台試験概要図 (Aシリーズ)

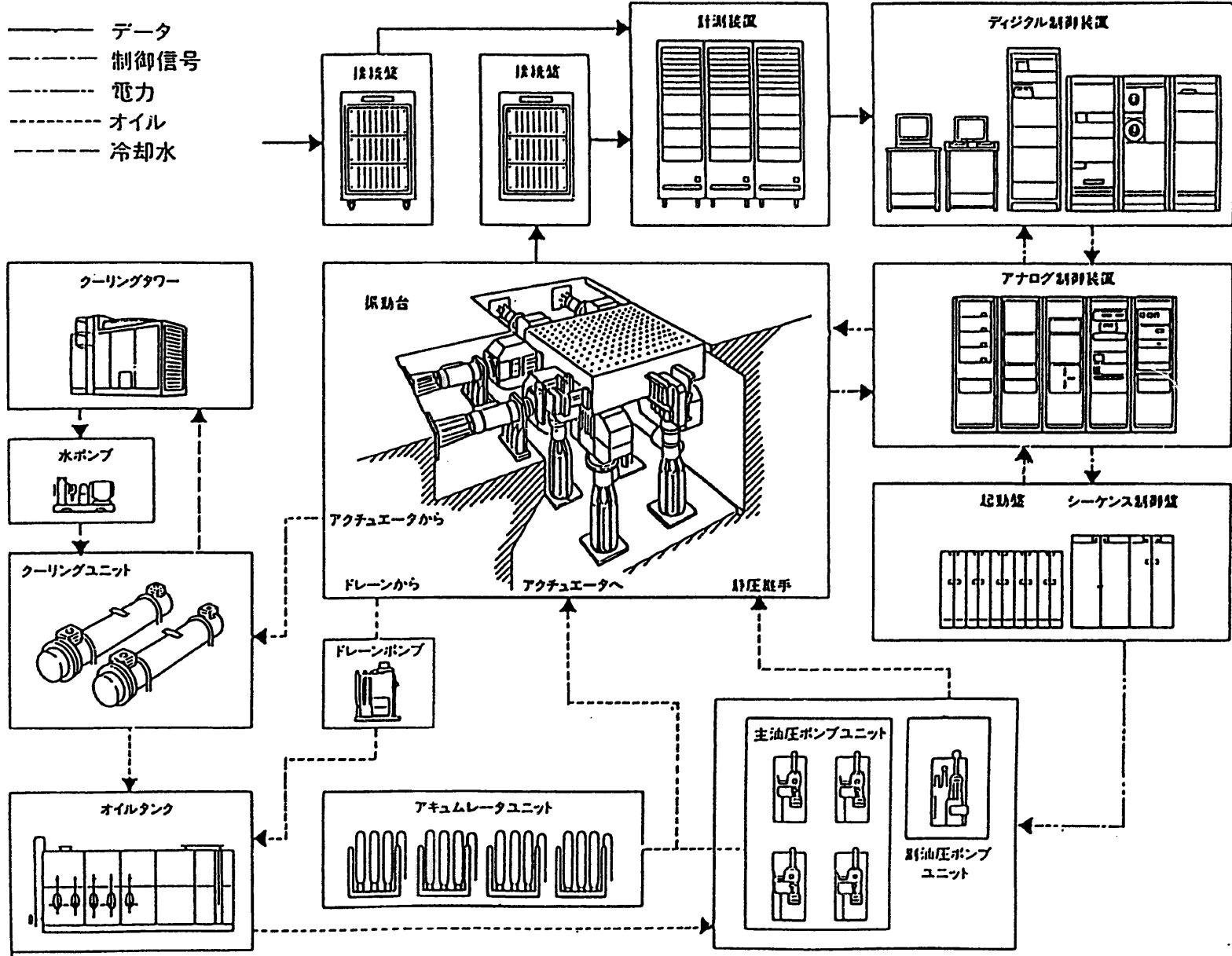


図3. 2 - 4 振動台システムの概要

表3. 2 - 5 振動台システムの主要諸元

項目	仕様	項目	仕様
振動台寸法	4m×4m	加速度	X ±0.8G (20ton時) ±1G (10ton時)
積載重量	20ton		Y ±0.8G (20ton時) ±1G (10ton時)
加振軸	水平2軸(X,Y) 上下(Z) 回転($\theta_x, \theta_y, \theta_z$) の単独及びすべての組み合わせの達成		Z ±0.8G (20ton時) ±1G (10ton時)
			X, Y, Z ±1.5G (無負荷時)
最大振幅	X ±200mm	加振周波数	DC~50Hz
	Y ±200mm	駆動方式	電気油圧サーボ方式
	Z ±100mm	制御方式	X, Y, Z 加速度制御、変位制御切替方式
	$\theta_x \pm 1^\circ$ (単独加振時)		$\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 加速度制御、変位制御切替方式
	$\theta_y \pm 1^\circ$ (単独加振時)		X, Y, Z 規則波、不規則波
$\theta_z \pm 1^\circ$ (単独加振時)	加振波形	$\theta_x, \theta_y, \theta_z$ 規則波、不規則波	
速度 (単独加振)	X ±100cm/s (連続)	転倒モーメント	50t-m, 150t-m (着座時)
	Y ±100cm/s (連続)	ヨーイングモーメント	50t-m
	Z ±50cm/s (連続)		
速度 (3軸同時加振)	X ±35cm/s (連続) ±45cm/s (20sec)		
	Y ±35cm/s (連続) ±45cm/s (20sec)		
	Z ±17.5cm/s (連続) ±22.5cm/s (20sec)		

水平加振限界線図

鉛直加振限界線図

JNC TY8400 99-003

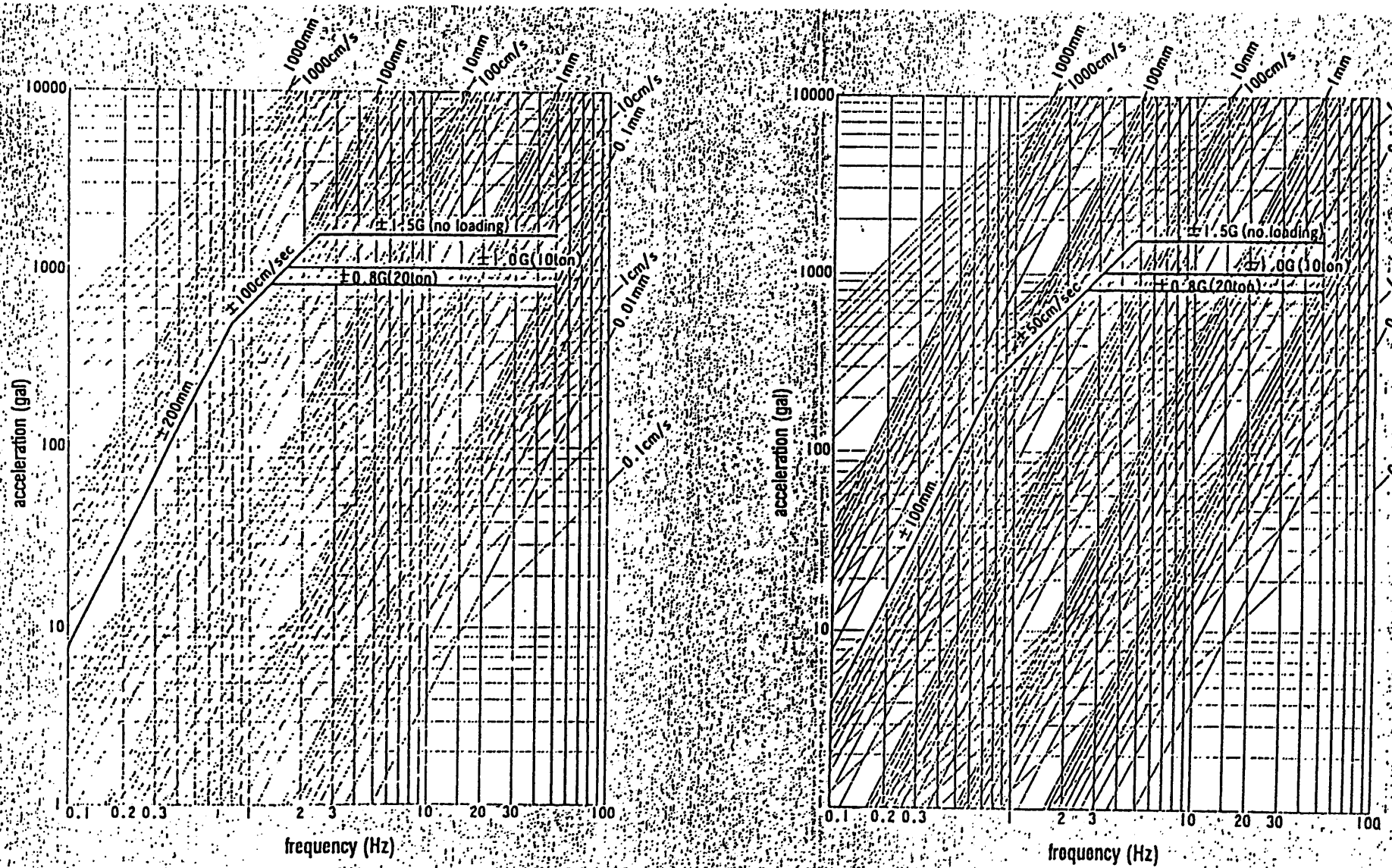
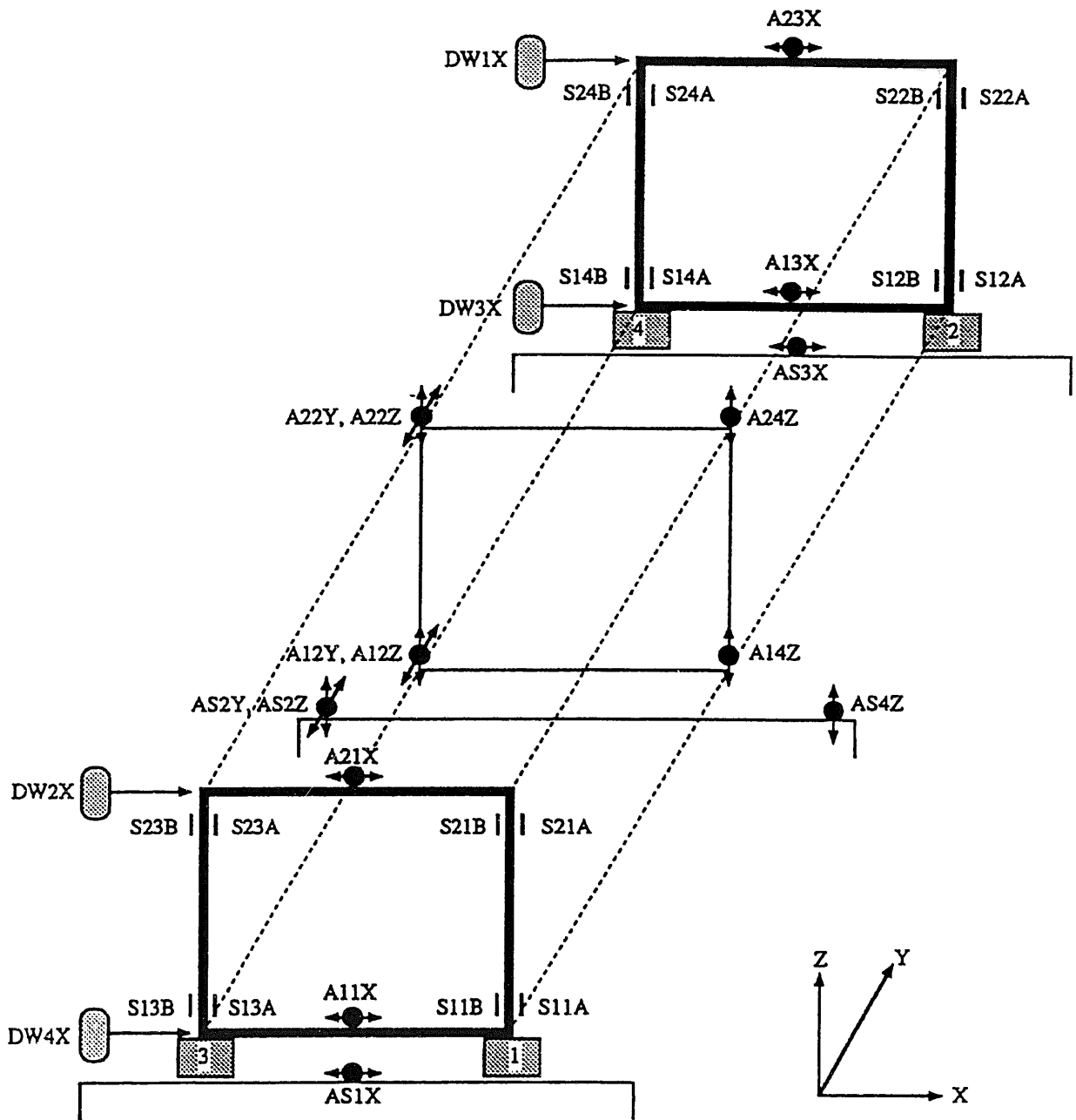





図3. 2 - 5 振動台の加振限界線図



	加速度計
	変位計
	ひずみゲージ

凡例			
A	S	1	X
方向 (X、Y、Z、A、B)			
位置 (1、2、3、4)			
高さ位置 (S、1、2)			
種類 (A:加速度、D:変位、S:ひずみ)			

図3. 2 - 6 計測器の設置位置 (Aシリーズ)

表3. 2-6 計測器のチャンネル対応表 (Aシリーズ)

Ch.	測定番号	測定位置	機器名称
1	AS1X	振動台上	加速度計 (AS-2GB)
2	AS2Y	振動台上	加速度計 (AS-2GB)
3	AS2Z	振動台上	加速度計 (AS-2GB)
4	AS3X	振動台上	加速度計 (AS-2GB)
5	AS4Z	振動台上	加速度計 (AS-2GB)
6	A11X	1FL	加速度計 (AS-2GB)
7	A12Y	1FL	加速度計 (AS-2GB)
8	A12Z	1FL	加速度計 (AS-2GB)
9	A13X	1FL	加速度計 (AS-2GB)
10	A14Z	1FL	加速度計 (AS-2GB)
11	A21X	2FL	加速度計 (AS-2GB)
12	A22Y	2FL	加速度計 (AS-2GB)
13	A22Z	2FL	加速度計 (AS-2GB)
14	A23X	2FL	加速度計 (AS-2GB)
15	A24Z	2FL	加速度計 (AS-2GB)
16	A11X-10G	1FL	加速度計 (AS-10GB)
17	A13X-10G	1FL	加速度計 (AS-10GB)
18	A21X-10G	2FL	加速度計 (AS-10GB)
19	A23X-10G	2FL	加速度計 (AS-10GB)
20	DW1X	1FL	変位計 (WS1-500)
21	DW2X	1FL	変位計 (WS1-500)
22	DW3X	2FL	変位計 (WS1-500)
23	DW4X	2FL	変位計 (WS1-500)
24	S24B	柱-4上部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
25	S24A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
26	S14B	下部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
27	S14A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
28	S23B	柱-3上部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
29	S23A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
30	S13B	下部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
31	S13A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
32	S22B	柱-2上部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
33	S22A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
34	S12B	下部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
35	S12A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
36	S21B	柱-1上部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
37	S21A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
38	S11B	下部E	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
39	S11A	W	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
40	SB1A	N側1プレス外	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
41	SB1B	内	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
42	SB2A	S側2プレス外	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
43	SB2B	内	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
44	SB3A	N側3プレス外	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
45	SB3B	内	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
46	SB4A	S側4プレス外	ひずみゲージ (FLA-6-1L)
47	SB4B	内	ひずみゲージ (FLA-6-1L)

C. 正弦波加振試験結果

a) 正弦波掃引加振

A1 試験体(ストッパ無)及びA2 試験体(ストッパ有)の正弦波掃引加振試験結果(10Gal の場合)を図3. 2-7に示す。

10Gal の正弦波掃引加振であるので、免震層の相対変位は共振点でも約3m程度で、ストッパは作動せず、両試験体ともほぼ同様の特性を示している。1次振動数は1.6Hz、2次振動数は約6.0Hzであった。また、共振時、試験体のねじりはほとんどない。

b) 正弦波定常加振

正弦波定常加振時に得られた主要点の応答波形(30Gal 入力の場合)を図3. 2-8、図3. 2-9に示す。

これらの図で、各層の加速度及び変位は振動方向に対し直交して配置された左右2点の平均で評価している。また、免震層に加わる慣性力Fは、以下の式で求めた。

$$F=W_2 A_2+W_1 A_1$$

W_2 : フレーム上部の重量 (3.98tf)

A_2 : フレーム上部の震度

W_1 : フレーム下部の重量 (3.97tf)

A_1 : フレーム下部の震度

この免震層に加わる慣性力と免震層の相対変位を用いて、免震層の応答履歴を図3. 2-10に示す。この、履歴曲線より求めた、等価剛性及び等価減衰定数を図3. 2-11に示す。

A1 試験体、A2 試験体とも最大の相対変位は約25mmで、ストッパは作動しない範囲であるので、両者はほとんど同じ特性を示している。等価剛性は変位が大きくなるに従い小さくなり、安定してくる。等価減衰定数の変化は小さいが、変位が大きくなるに従いわずかに小さくなる。その値は0.15~0.20の間にある。

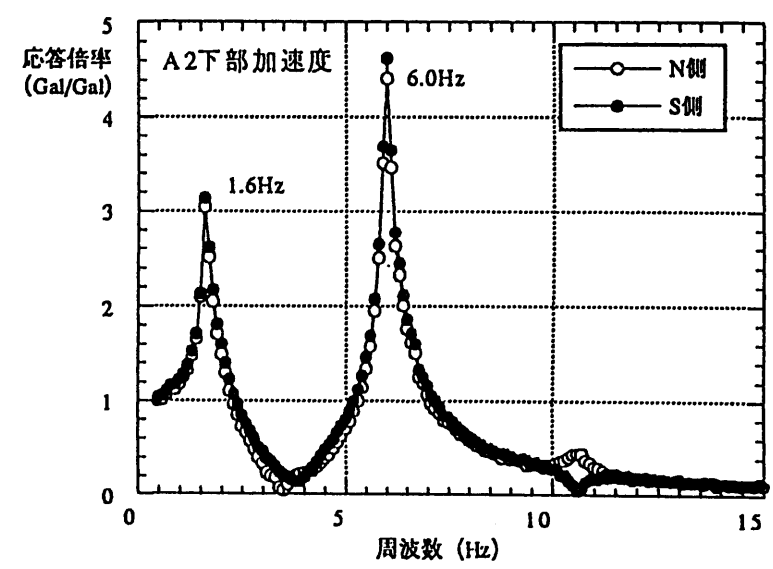
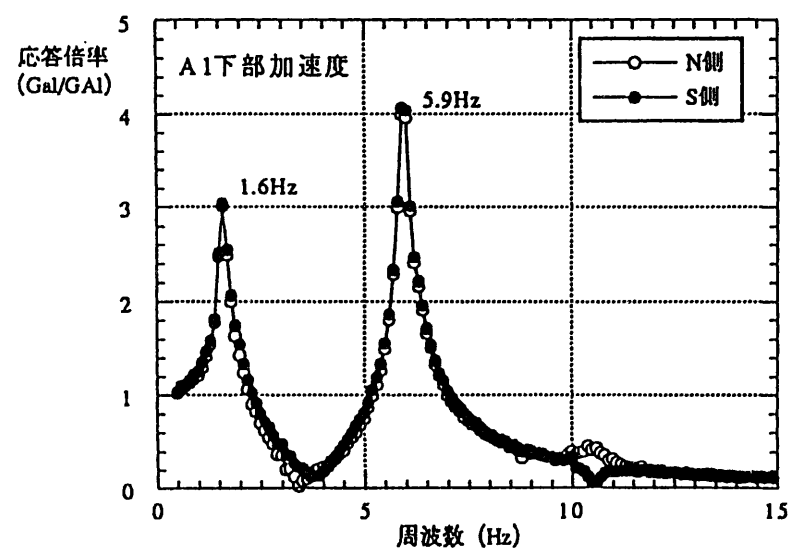
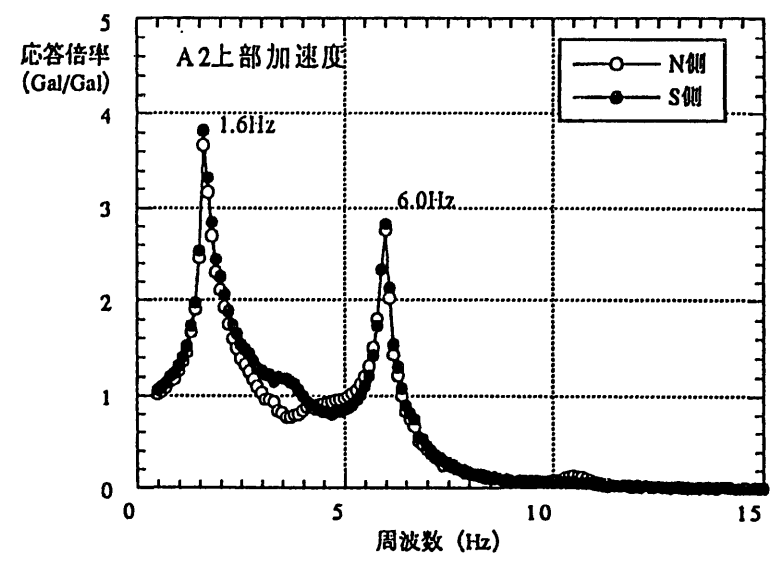
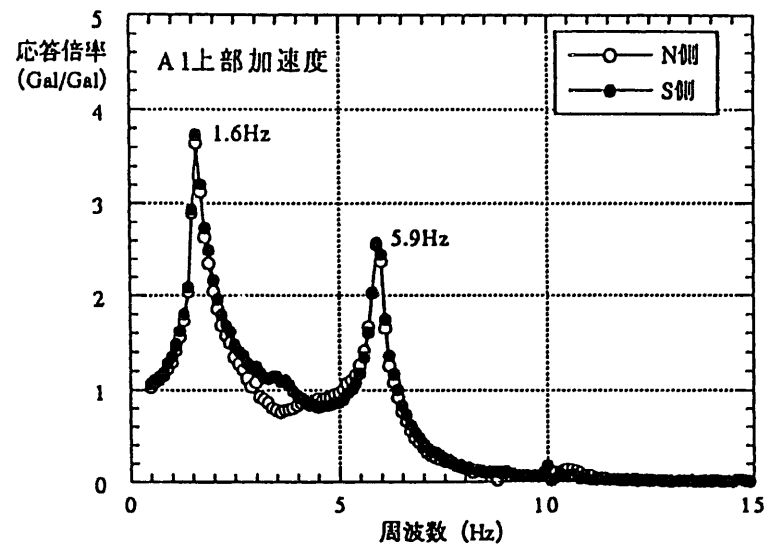


図3. 2 - 7 10Gal正弦波掃引加振結果

上部構造の加速度応答倍率

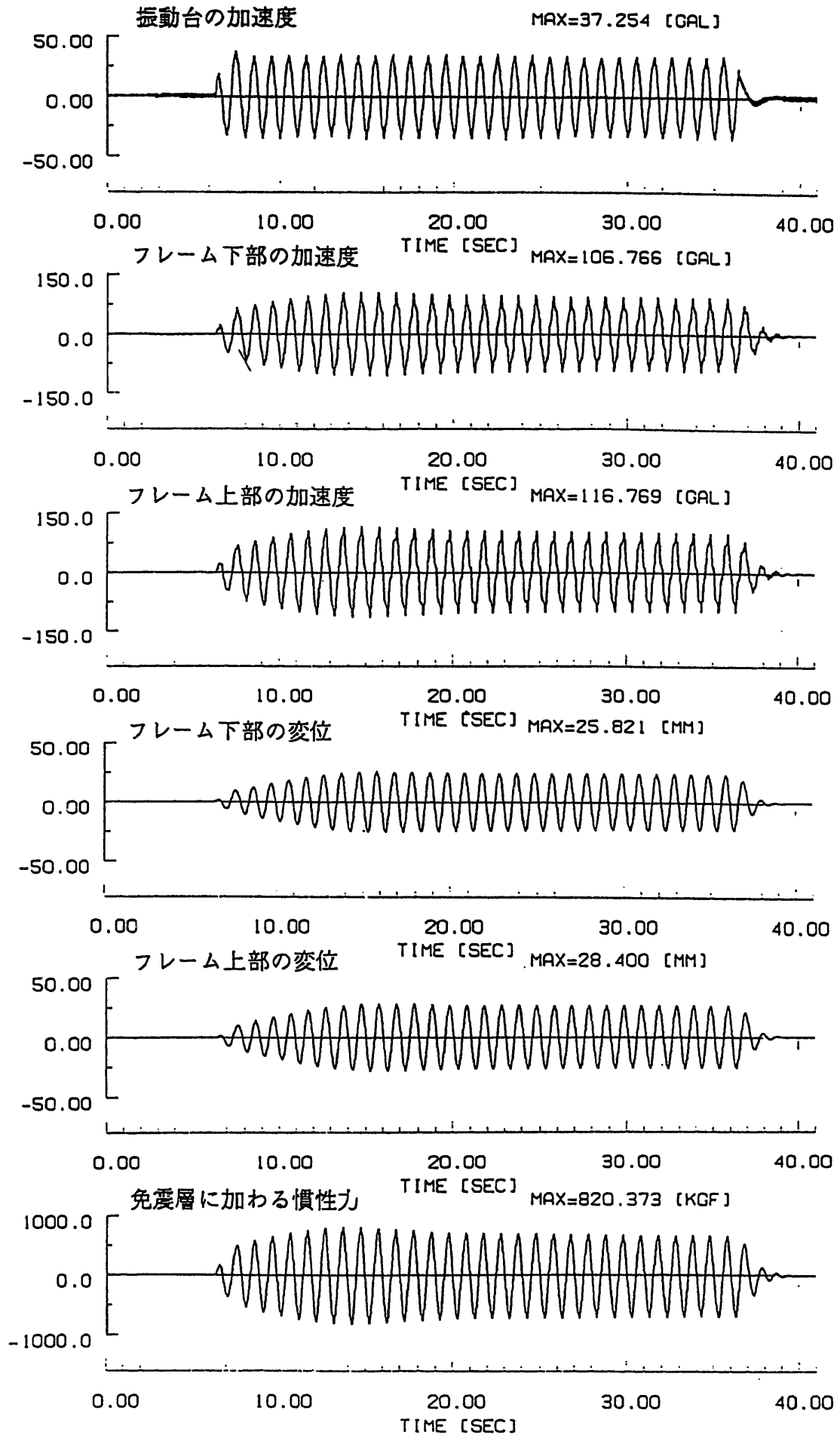


図3.2-8 AI試験体、正弦波定常加振時の応答波形 30 Gal 入力

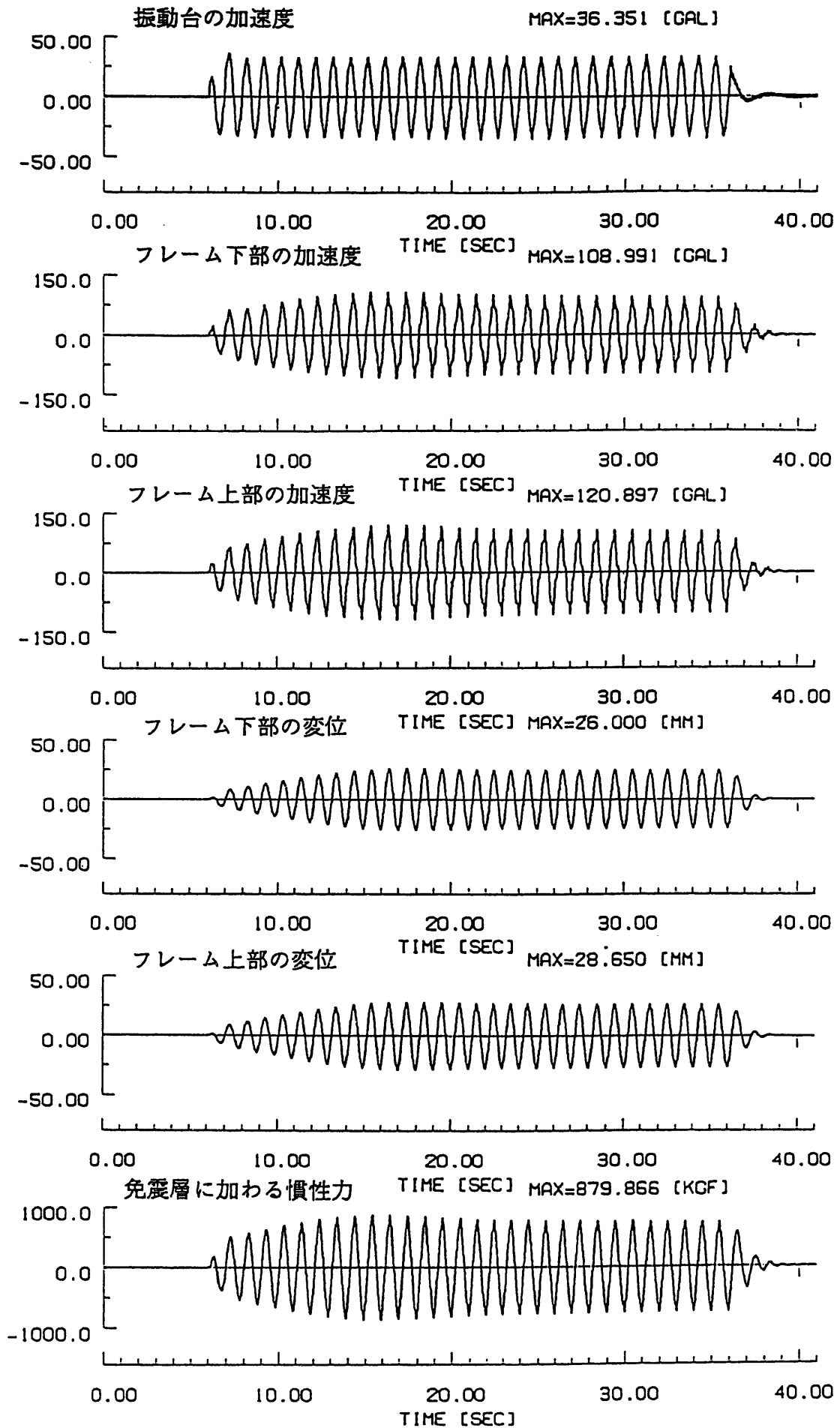
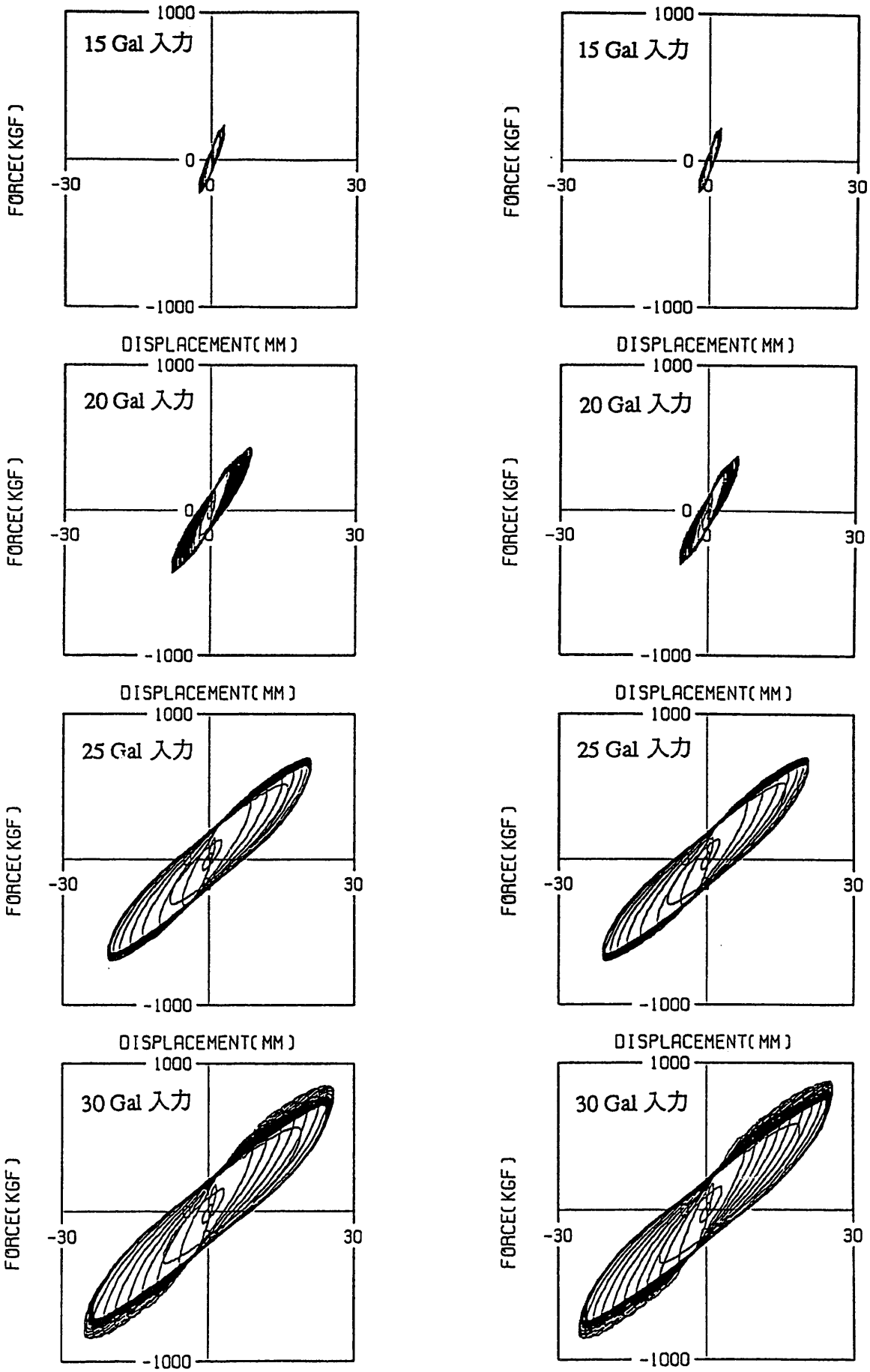


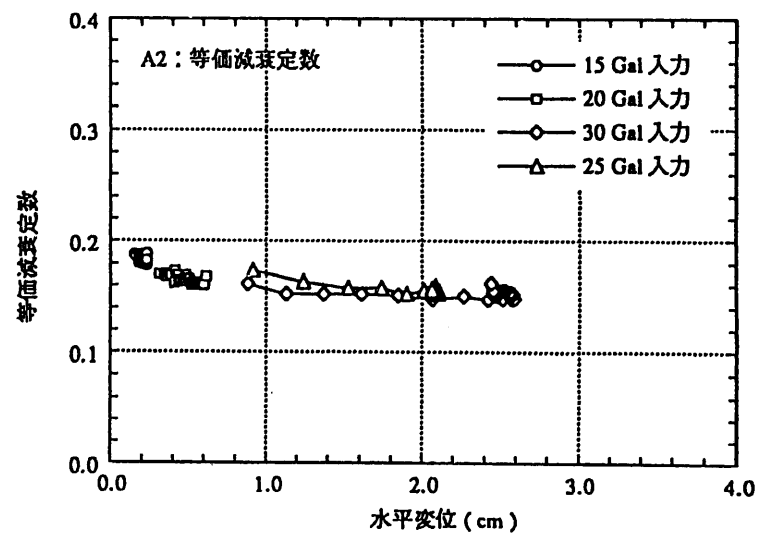
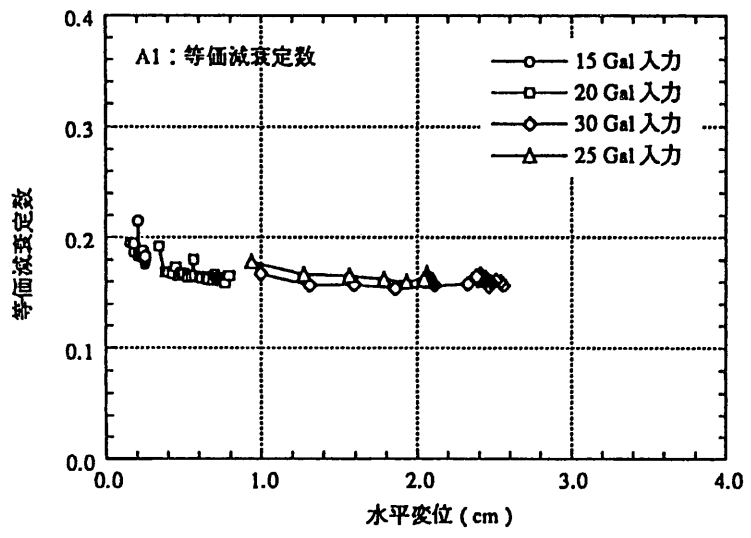
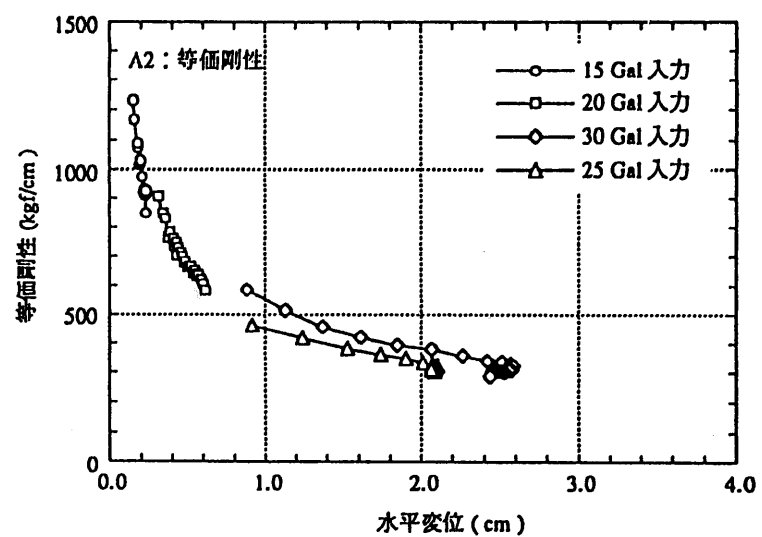
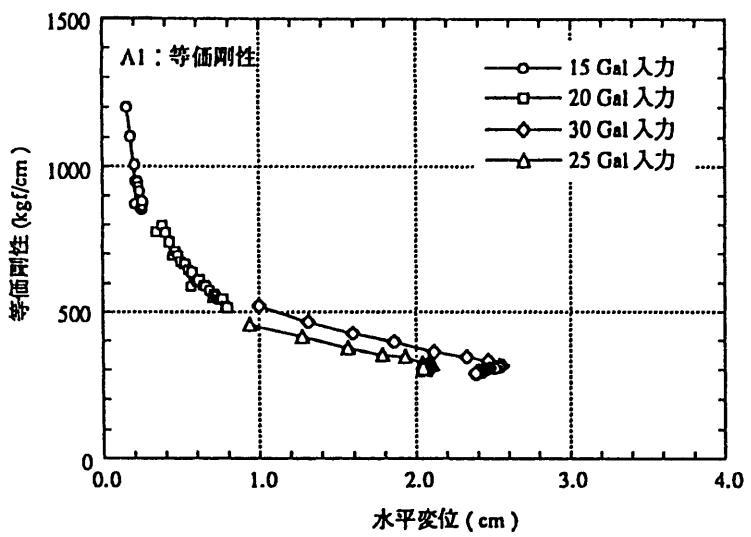
図3. 2 - 9 A2試験体、正弦波定常加振時の応答波形 30 Gal 入力



(a) A1試験体

(b) A2試験体

図3. 2 - 10 正弦波定常加振時の免震層の応答履歴



(a) A1試験体

(b) A2試験体

図3. 2 - 11 正弦波定常加振時の等価剛性および等価減衰定数

d. 地震波加振試験結果

400 Gal入力の時、A 1 試験体（ストッパ無）は加振開始14sec で積層ゴムが座屈した。座屈変位（座屈直前に復元力が最大となる点の水平変位）は51mm、その後、変位は88mmまで進んで一旦戻るが戻り切らず座屈に至った。一方、A 2 試験体（ストッパ有）は、免震層の変位が抑えられているが、せん断力が増加し、上部構造は塑性域に至っている（最大層間変位42mm）。

表3.2-7、表3.2-8は、主要位置での最大応答値をまとめたものである。図3.2-12は最大応答加速度及び変位のモード図を、図3.2-13、図3.2-14は上部構造及び免震層の最大応答値をせん断力-変位関係図上にプロットしたものである。

ストッパを付けることにより、免震層の変位が抑えられ積層ゴムの座屈を防止することができるが、上部構造の応答が増加してフレーム層間変位はストッパが無い場合に比べ、300 Gal入力では約5倍に、400 Gal入力では約7倍に増加し、上部構造は塑性域（約20mm以上）に達する。

表3. 2 - 7 A1試験体、地震波加振時の最大応答値

測定位置	記号 (単位)	地震波加振ケース					
		EL CEN	HACHINOHE				
		70Gal	70Gal	140Gal	200Gal	300Gal	400Gal *
フレーム上部加速度	A2X (Gal)	102	105	163	200	227	215
フレーム下部加速度	A1X (Gal)	95	87	167	199	179	156
振動台加速度	ASX (Gal)	79	81	154	226	344	460
フレーム上部変位	D2X (mm)	16	16	37	60	79	90
フレーム下部変位	D1X (mm)	14	14	34	55	76	88
フレーム層間変位	D20X (mm)	2.1	2.3	3.6	4.6	5.2	6.3
フレームせん断力	Q20X (kgf)	406	418	650	798	904	854
免震層せん断力	Q10X (kgf)	724	698	1114	1387	1585	1227

注) $D20X = D2X - D1X$ (時刻歴で)

$Q20X = W2 * A2X$ (時刻歴で) $W2$: 上部重量 (3.98tf)

$Q10X = W2 * A2X + W1 * A1X$ (時刻歴で) $W1$: 下部重量 (3.97tf)

*) 400Gal入力時の応答値は座屈時の値を用いる。

表3. 2 - 8 A2試験体、地震波加振時の最大応答値

測定位置	記号 (単位)	地震波加振ケース					
		EL CEN	HACHINOHE				
		70Gal	70Gal	140Gal	200Gal	300Gal	400Gal
フレーム上部加速度	A2X (Gal)	106	100	175	371	1037	1437
フレーム下部加速度	A1X (Gal)	93	86	190	510	1130	2514
振動台加速度	ASX (Gal)	84	81	156	227	333	404
フレーム上部変位	D2X (mm)	16	16	37	55	79	98
フレーム下部変位	D1X (mm)	14	14	34	49	54	61
フレーム層間変位	D20X (mm)	2.4	2.2	3.7	7.7	25.1	41.6
フレームせん断力	Q20X (kgf)	421	398	698	1475	4137	5719
免震層せん断力	Q10X (kgf)	701	680	1209	2789	6434	11014

注) $D20X = D2X - D1X$ (時刻歴で)

$Q20X = W2 * A2X$ (時刻歴で) $W2$: 上部重量 (3.98tf)

$Q10X = W2 * A2X + W1 * A1X$ (時刻歴で) $W1$: 下部重量 (3.97tf)

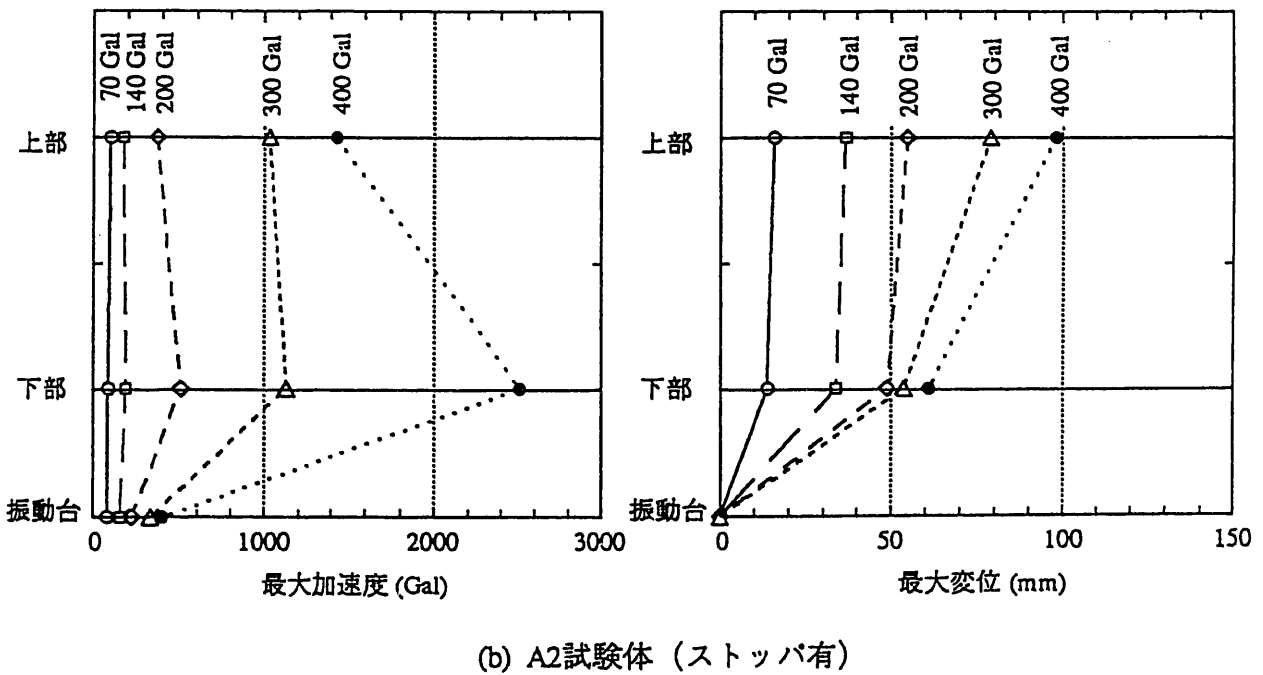
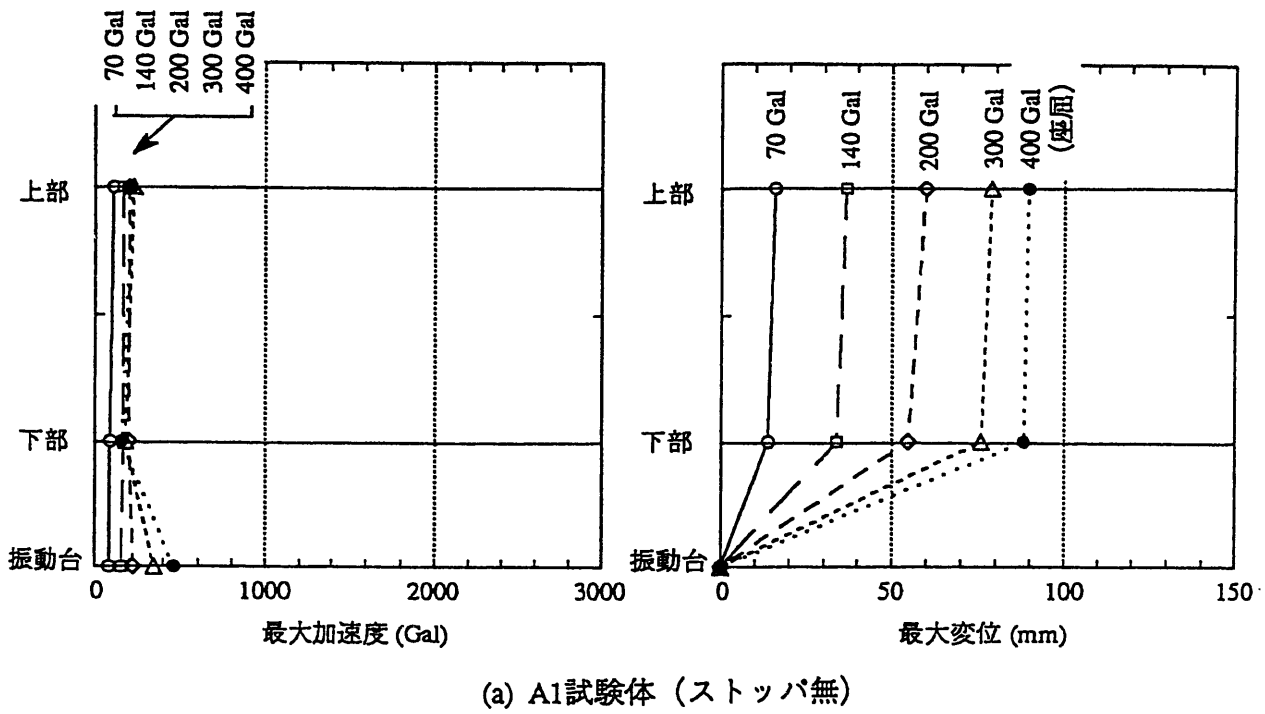


図3. 2 - 12 地震波加振時の最大応答加速度および変位 (Aシリーズ)

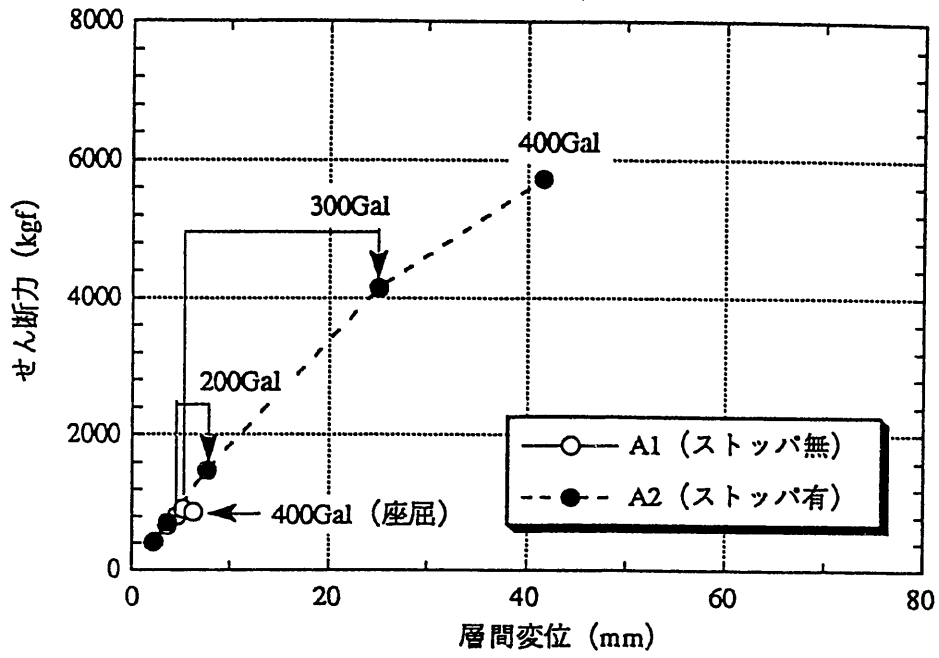


図3. 2 - 13 地震波加振時の上部構造の最大応答値 (Aシリーズ)

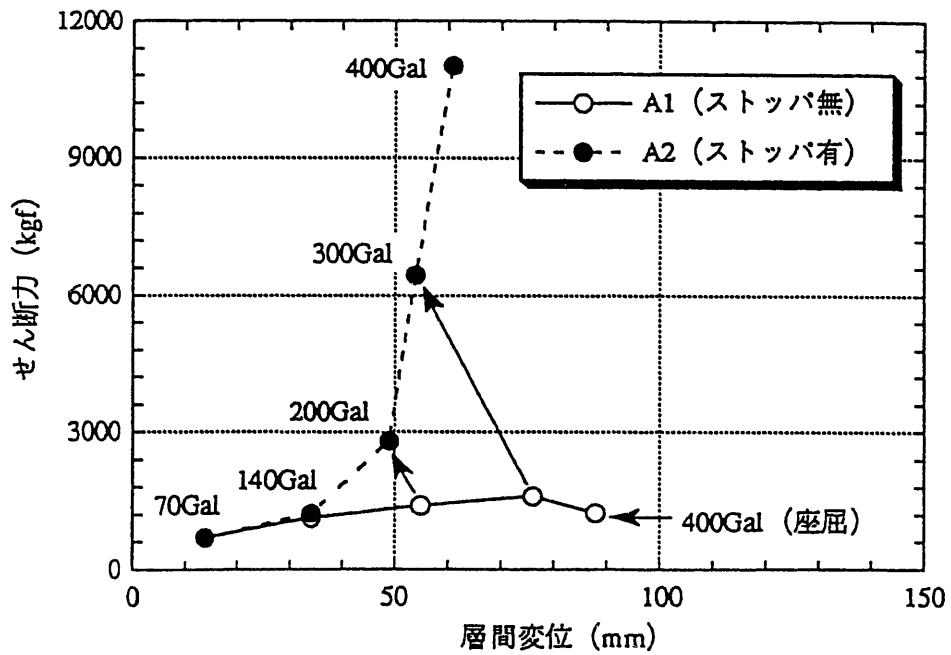


図3. 2 - 14 地震波加振時の免震層の最大応答値 (Aシリーズ)

(3) まとめ

Aシリーズ試験では、東海事業所において地震観測に供していた免震構造モデルを用い、地震観測では得られなかった免震装置の大変形領域での応答特性を把握することを目的に振動台試験を実施した。

その結果、以下のことがわかった。

10Gal入力の正弦波掃引加振の結果より、A1、A2試験体は、ほぼ同じ振動特性（1次共振点1.6Hz、2次共振点6.0Hz）を持つことが確認された。

正弦波定常加振結果より求めた免震層の復元力特性から、等価剛性が変位の増大に伴い減少し、安定してくること、等価減衰定数は変位による依存性は小さく、0.15～0.20の間にあることがわかった。

地震波加振結果より、ストッパを付けることにより、免震層の変位が抑えられ積層ゴムの座屈を防止することができるが、上部構造の応答が増加してフレーム層間変位はストッパが無い場合に比べ、5倍～7倍に増加し、上部構造は塑性域（約20mm以上）に達することがわかった。また、この傾向は、試験に先立ち実施した予備応答解析結果でも概略把握することができた。

3.3 Bシリーズ試験

(1) 目的

第1期共研で用いていた免震構造体は地震観測用のモデルであったため、相似則を排除し、周期、加速度、変位等を実機にできるだけ合わせた。このため、使用した高減衰積層ゴムの形状も、実機に比べて、スレンダーな形状となっている（2次形状係数が小さい）。積層ゴムの形状は積層ゴムの終局状態に大きく影響するため、今回は、1991年度に実施した免震設計ケーススタディで検討した実機建家の相似則モデルを新たに作成し、振動台試験を実施する。このシリーズをBシリーズと呼ぶ。

(2) 免震構造モデルの振動台試験

a. 試験概要

Bシリーズ免震構造モデルの終局状態までの振動特性を把握するために振動台試験を実施した。振動台試験のケース一覧を表3.3-1に示す。試験体はストッパーの有る場合と無い場合の2ケースで、それぞれ正弦波加振と地震波加振を行う。正弦波加振は比較的小さい振幅レベルでの基本特性を把握し、地震波加振は順次入力レベルを大きくしていき、免震構造モデルの終局状態を把握する。

表3.3-1 振動台試験ケース一覧（Bシリーズ）

試験体				加振方法	
試験体名	上部構造	積層ゴム	ストッパー	正弦波加振	地震波加振
B1	Bシリーズ	Bタイプ	無	○	○
B2	Bシリーズ	Bタイプ	有	○	○

b. 加振種別

a) 正弦波加振

① 正弦波加振

正弦波加振の加振ケースを表3.3-2に示す。加振は入力加速度40Gal一定で振動数を段階的に変化させるスイープ加振（ $f=0.5 \sim 40\text{Hz}$, $\Delta f=0.1\text{Hz}$ ）と、振動数2Hz一定で入力加速度を20, 40, 60, 80, 100 Galと変化させた定常加振を実施する。

② 地震波加振

地震波加振の加振ケースを表3.3-3に示す。用いる入力波は以下の3波である。

・ EL CENTRO NS 1940	40.96 秒
・ MOGIHA1002	40.96 秒
・ MOGIHA1002 (フィルター波)	40.96 秒

MOGIHA1002は第1期共研免震設計ケーススタディで使用した模擬地震動で、設計ではレベル3 (S2)として用いている。MOGIHA1002 (フィルター波)は振動台の加振限界性能を考慮し、MOGIHA1002の1.5Hz以上のスペクトル成分をカットした波で、免震構造モデルの限界加振用に用いる。

加振は、まず、上記3波の設計入力レベル3 (S2)での加振を行い、積層ゴムの設計領域での振動特性を把握する。その後、MOGIHA1002 (フィルター波)の入力加速度をレベル3 (S2)の2倍、3.3倍、4倍と増大させて、免震構造モデルの終局状態を把握する。入力レベルの設定には、予備応答解析結果 (付録2参照)を参考とした。

MOGIHA1002及びMOGIHA1002 (フィルター波)の波形及び応答スペクトルを図3.3-1、図3.3-2に示す。振動台入力地震波の波形及び応答スペクトルを図3.3-3、図3.3-4に示す。各加振ケースの入力最大目標値を表3.3-4に示す。

b) 加振システム

Aシリーズ同様に振動台防護装置を使用している。

振動台システムの概要はAシリーズで示したとおりである。

c) 計測方法

計測は以下の計測器によって行う。

・ 加速度計	19ch	
・ 変位計	4ch	
・ ひずみゲージ	24ch	
・ 分力計	8ch	合計 55ch

表3.3-2 正弦波加振ケース (Bシリーズ)

加振NO.	加振方法	振動数(Hz)	入力加速度 (Gal)	加振時間 (sec)	備 考
B-01	スイープ加振	0.5~40.0 $\Delta f = 0.1$	40		
B-02	定常加振	2.0	20	1.5	計測: $\Delta t = 0.01\text{sec}$ N=2048
B-03	定常加振	2.0	40	1.5	計測: $\Delta t = 0.01\text{sec}$ N=2048
B-04	定常加振	2.0	60	1.5	計測: $\Delta t = 0.01\text{sec}$ N=2048
B-05	定常加振	2.0	80	1.5	計測: $\Delta t = 0.01\text{sec}$ N=2048
B-06	定常加振	2.0	100	1.5	計測: $\Delta t = 0.01\text{sec}$ N=2048

表3.3-3 地震波加振ケース (Bシリーズ)

加振NO.	入 力 波	入力 方向	入力加速度 (Gal)	時間刻み	データ 数	継続時間 (sec)	備 考
B-11	EL CENTRO 1940 NS	X	766	0.00227	4096	9.3	レベル3 (S2)
B-12	MOGIHA1002	X	428	0.00227	4096	9.3	レベル3 (S2)
B-13	MOGIHA1002(Filtered)	X	317	0.00227	4096	9.3	レベル3 (S2)
B-14	MOGIHA1002(Filtered)	X	633	0.00227	4096	9.3	S 2 × 2 倍
B-15	MOGIHA1002(Filtered)	X	1054	0.00227	4096	9.3	S 2 × 3.33倍
B-16	MOGIHA1002(Filtered)	X	1266	0.00227	4096	9.3	S 2 × 4 倍(1)
B-17	MOGIHA1002(Filtered)	X	1266	0.00227	4096	9.3	S 2 × 4 倍(2)

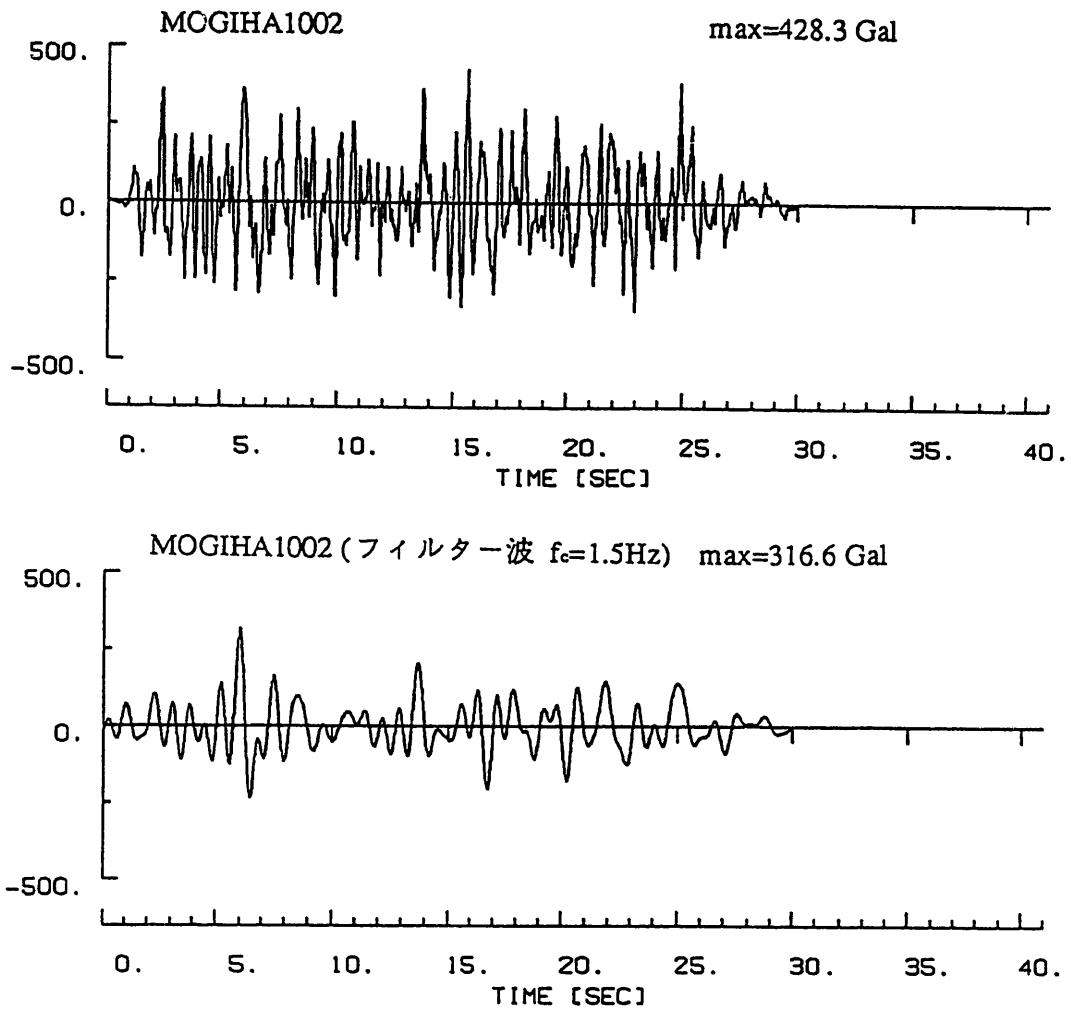


図3. 3 - 1 MOGIHA1002の原波およびフィルター波

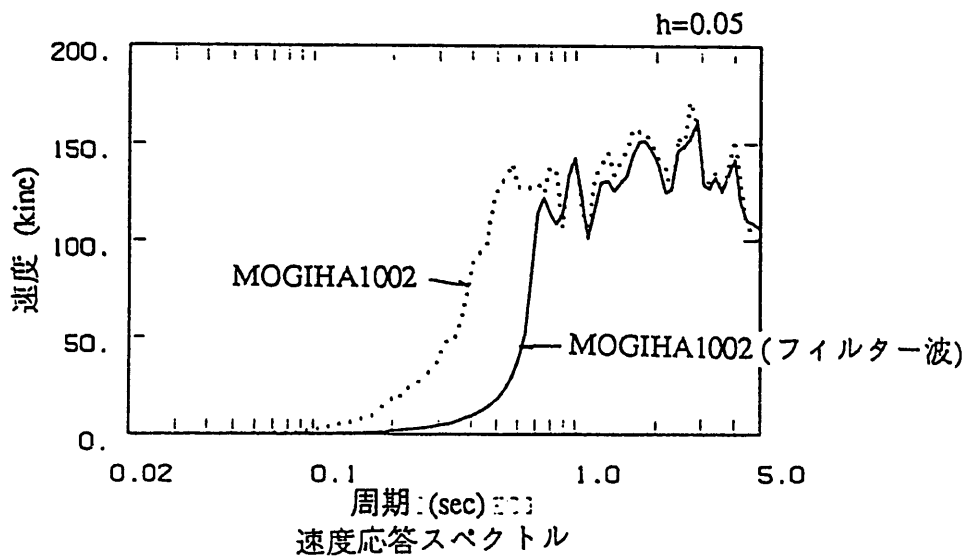


図3. 3 - 2 MOGIHA1002の応答スペクトル

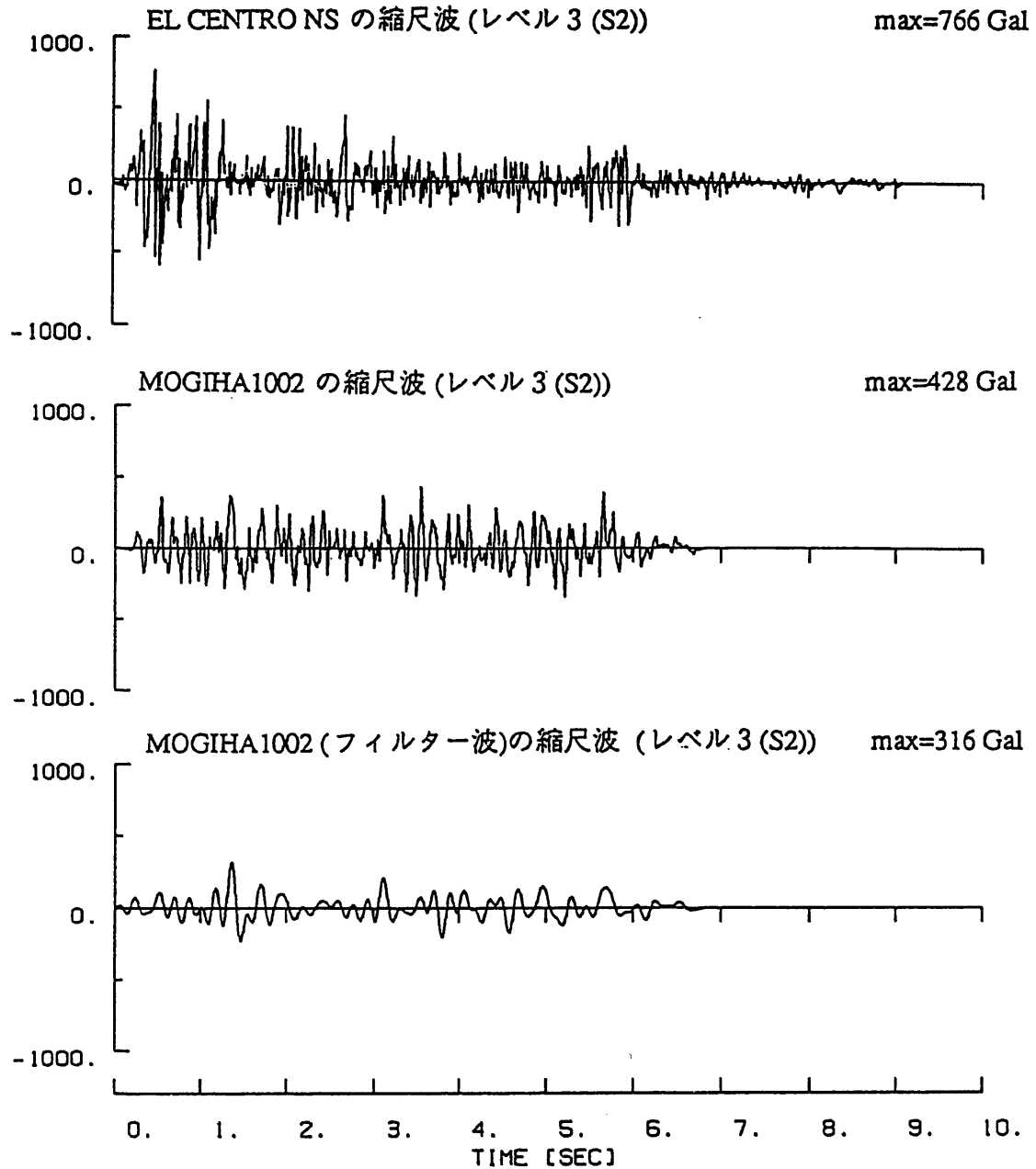


図3. 3 - 3 入力地震波の時刻歴波形

表3. 3 - 4 地震波加振の入力最大目標値 (Bシリーズ)

入力波	加振 NO.	加速度 (Gal)	速度 (kine)	変位 (cm)	備 考
EL CENTRO NS		341.7	33.45	10.9	原波
		766.1	75.0	24.4	レベル 3 (S2)
	B-11	766	17	1.3	レベル 3 (S2)の相似則
MOGIHA1002		428.3	67.4	21.2	レベル 3 (S2)
	B-12	428	15	1.1	レベル 3 (S2)の相似則
		316.6	74.0	20.9	レベル 3 (S2)のフィルター波
	B-13	317	17	1.1	レベル 3 (S2)のフィルター波の相似則
	B-14	633	34	2.2	(B-2) の 2 倍
	B-15	1054	56	3.6	(B-3) の 3.33 倍
	B-16	1266	68	4.4	(B-3) の 4 倍

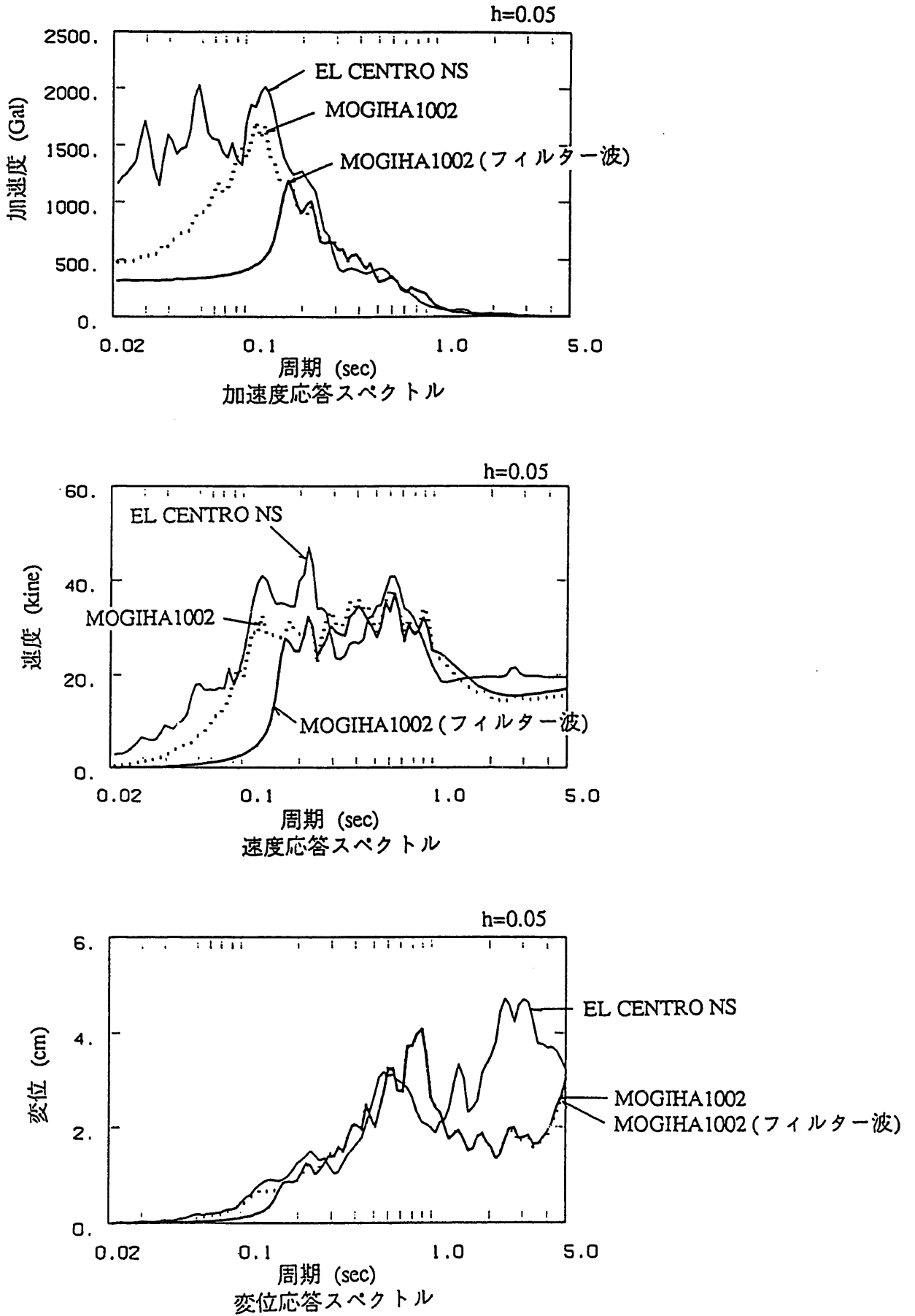


図3.3-4 入力地震波の応答スペクトル

C. 正弦波加振試験結果

a) 正弦波掃引加振

B1 試験体（ストッパ無）及び B2 試験体（ストッパ有）の正弦波掃引加振結果（40Gal 入力の場合）を図 3. 3-5 に示す。

40Gal の正弦波掃引加振であるので、免震層の相対変位は共振点でも約 4mm 程度で、ストッパは作動せず、両試験体ともほぼ同様の特性を示している。1 次振動数は 3. 2Hz、2 次振動数は約 29. 0Hz であった。また、共振時、試験体のねじりはほとんどない。

b) 正弦波定常加振

正乾波定常加振時に得られた主要点の応答波形（100Gal 入力の場合）を図 3. 3-6、図 3. 3-7 に示す。

これらの図で、各層の加速度及び変位は振動方向に対し直交して配置された左右 2 点の平均で評価している。また、免震層に加わる慣性力 F は以下の式で求めた。

$$F = W_2 A_2 + W_1 A_1$$

W_2 : フレーム上部の重量 (4. 02tf)

A_2 : フレーム上部の震度

W_1 : フレーム下部の重量 (3. 97tf)

A_1 : フレーム下部の震度

この免震層に加わる慣性力と免震層の相対変位を用いて、免震層の応答履歴を描いたのが、図 3. 3-8 である。この履歴曲線より以下の方法で求めた等価剛性及び等価減衰定数を図 3. 3-9 に示す。

B1 試験体、B2 試験体とも相対変位は約 22mm 以下で、ストッパは動作しない範囲であるので、両者はほとんど同じ特性を示している。等価剛性は変位が大きくなるに従い小さくなり、安定してくる。等価減衰定数は変位による依存性は小さく、その値は 0. 12～0. 14 の間にある。

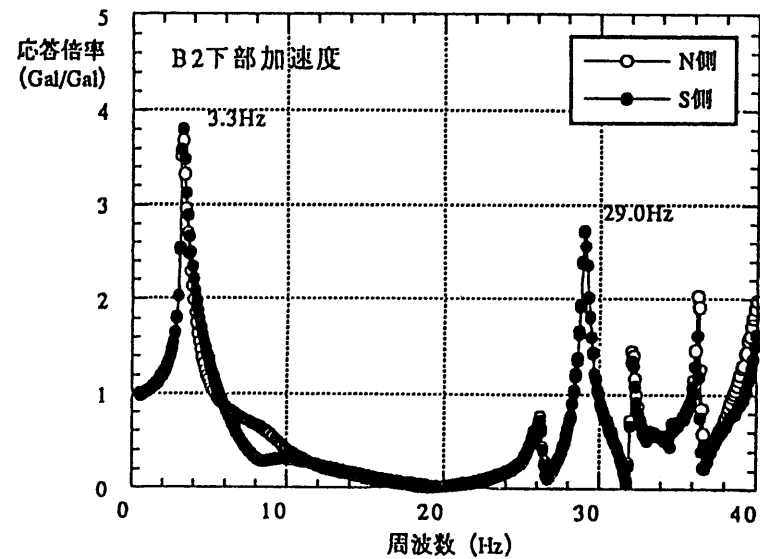
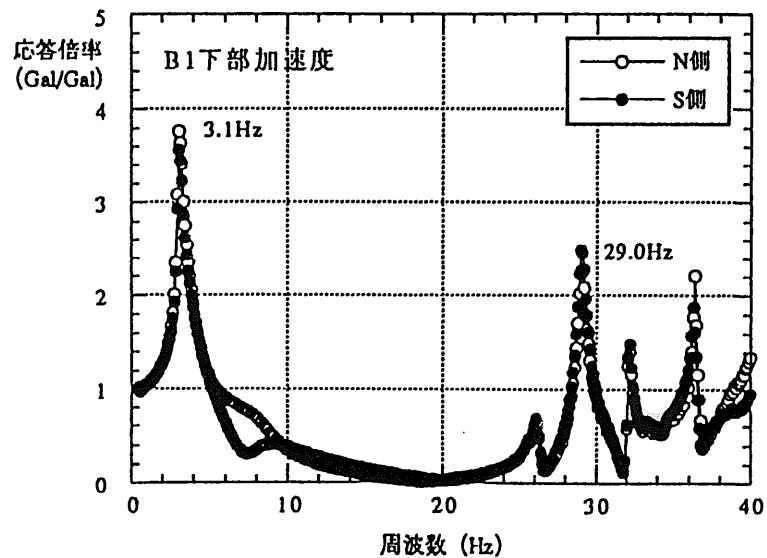
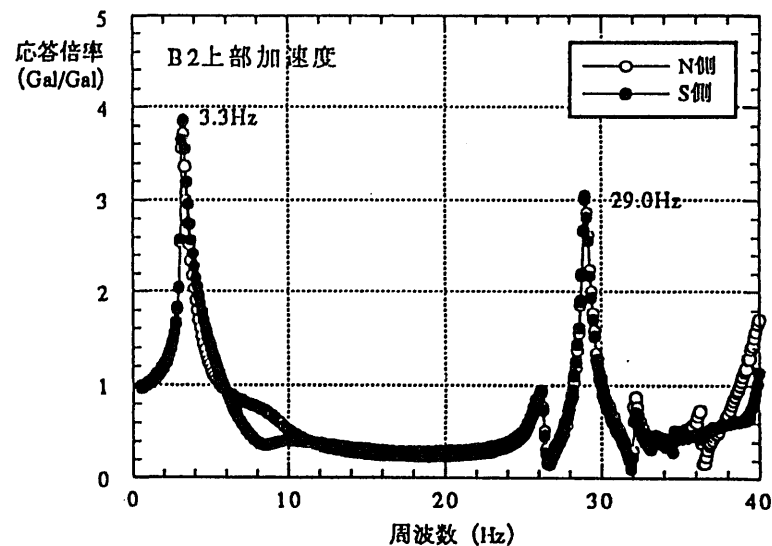
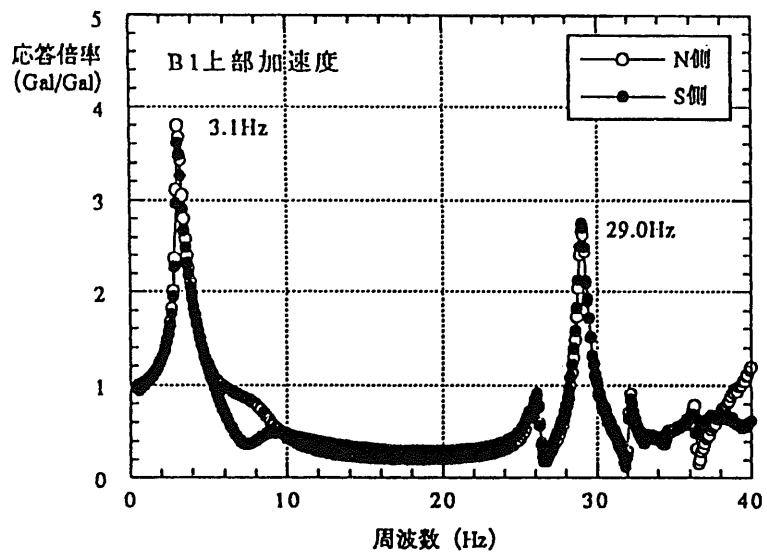


図3.3-5 40Gal正弦波掃引加振結果

上部構造の加速度応答倍率

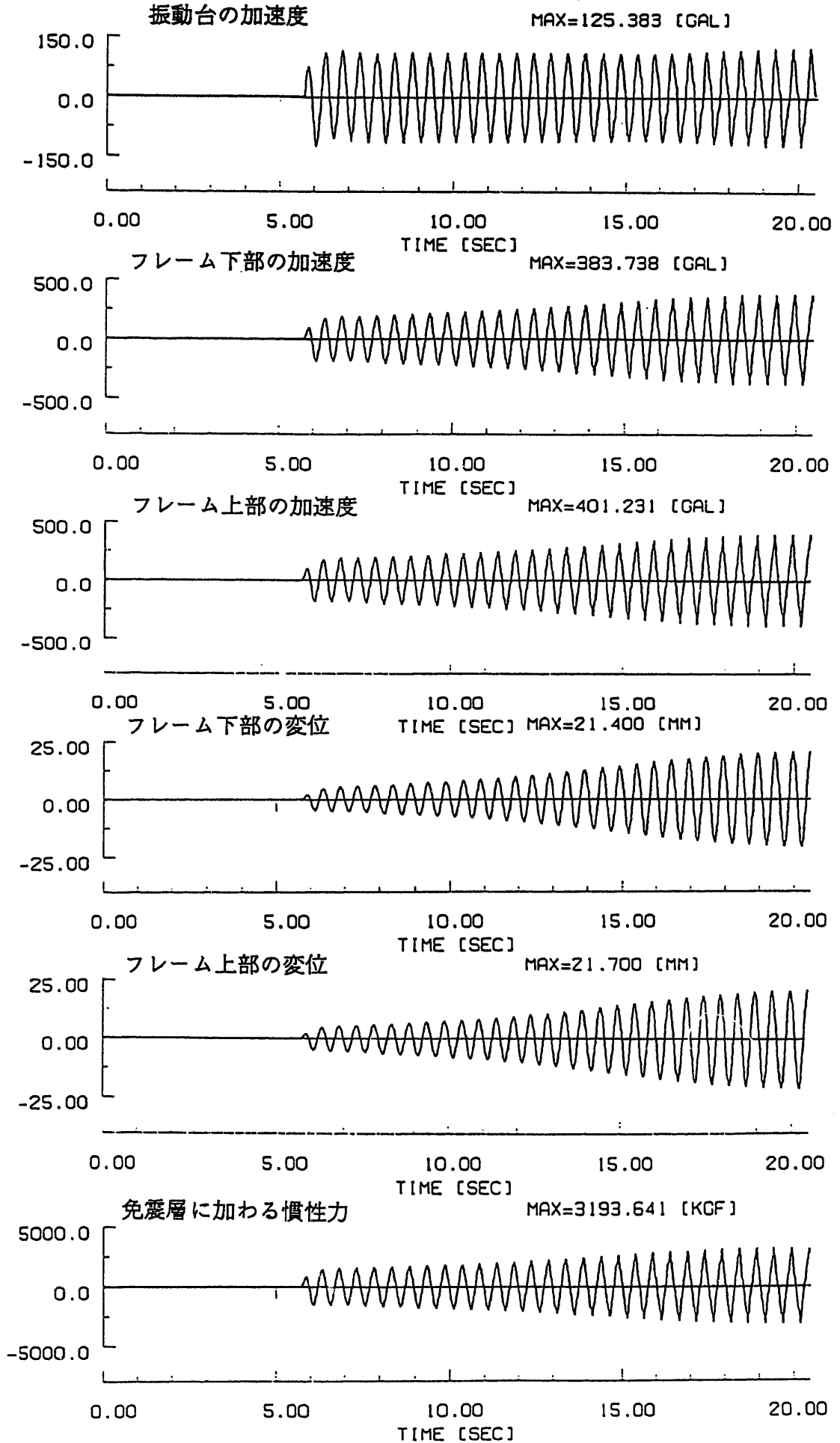


図3.3-6 B1試験体、正弦波定常加振時の応答波形 100 Gal 入力

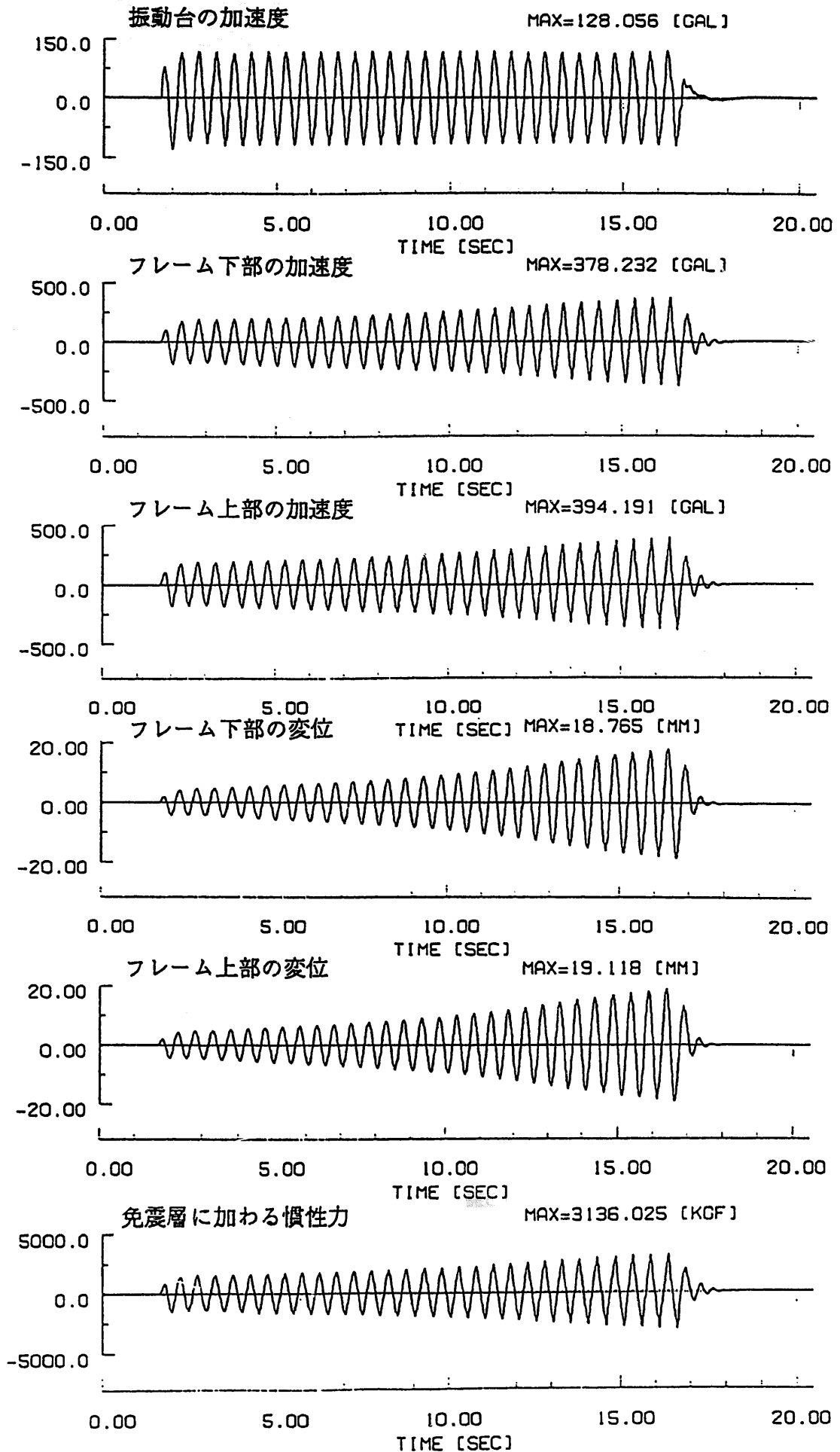
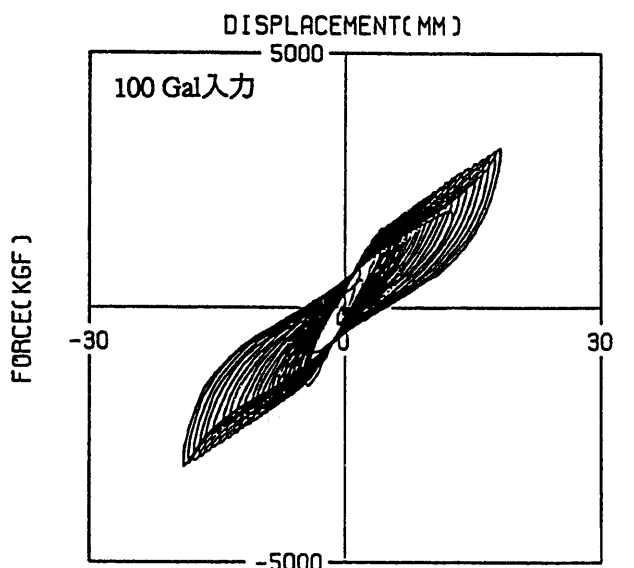
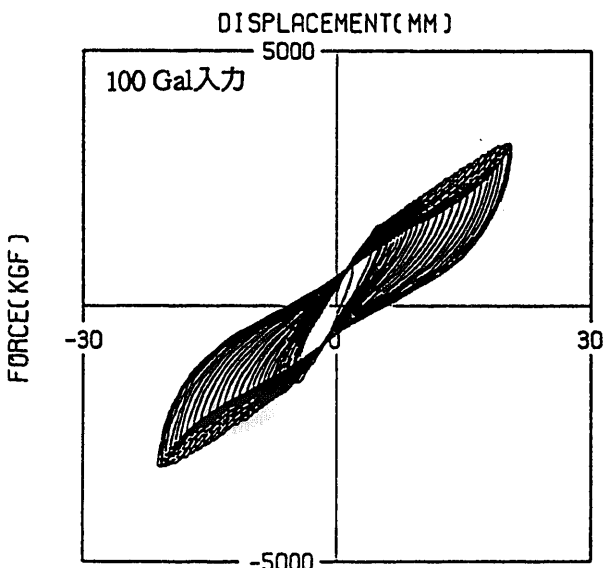
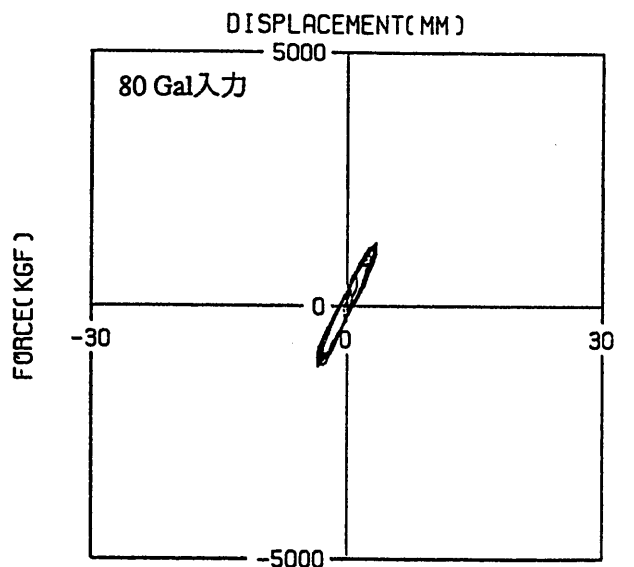
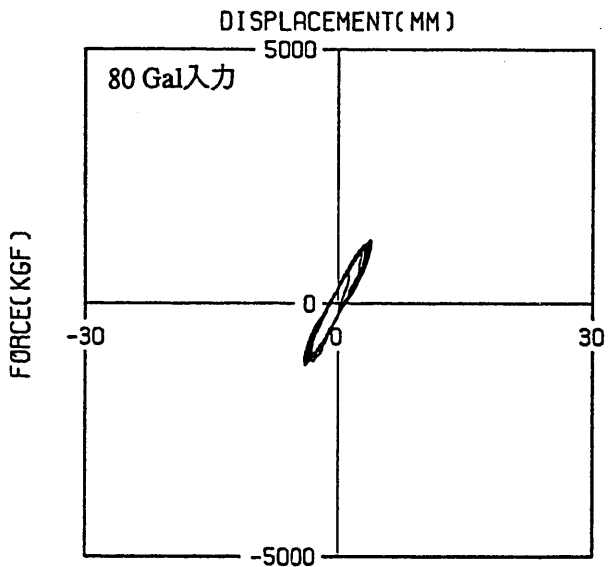
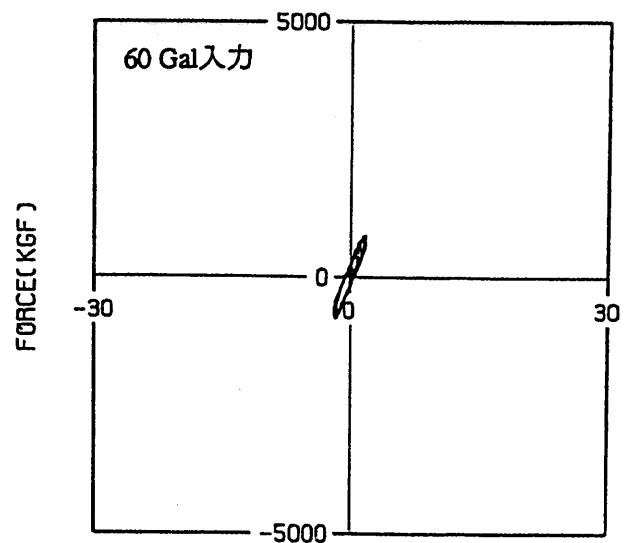
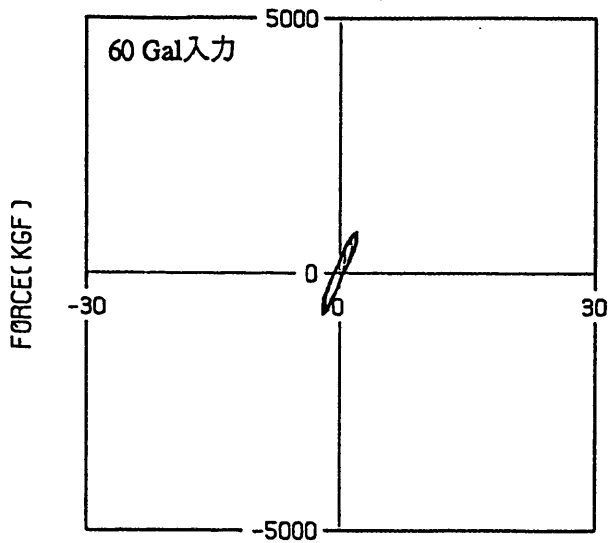


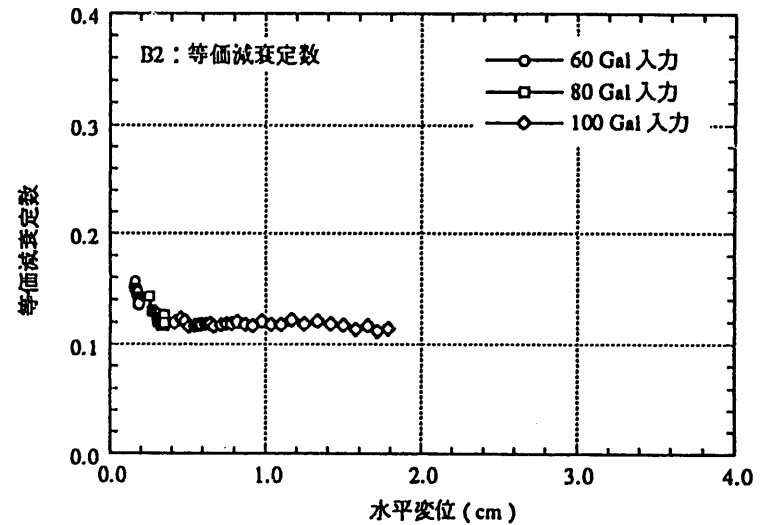
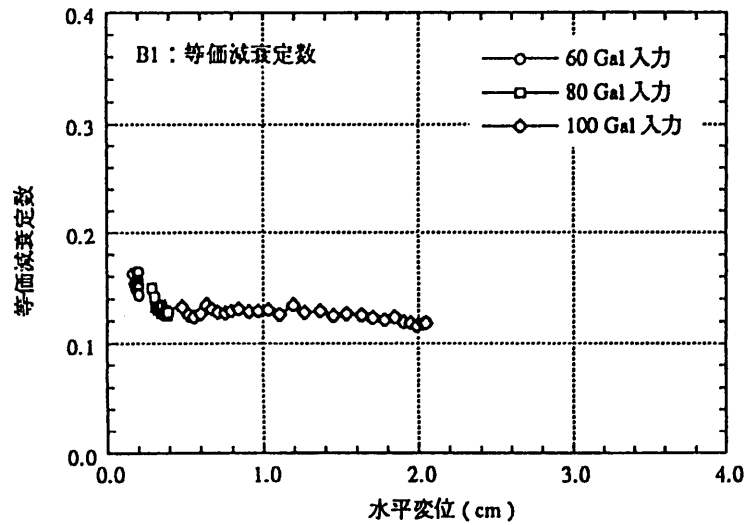
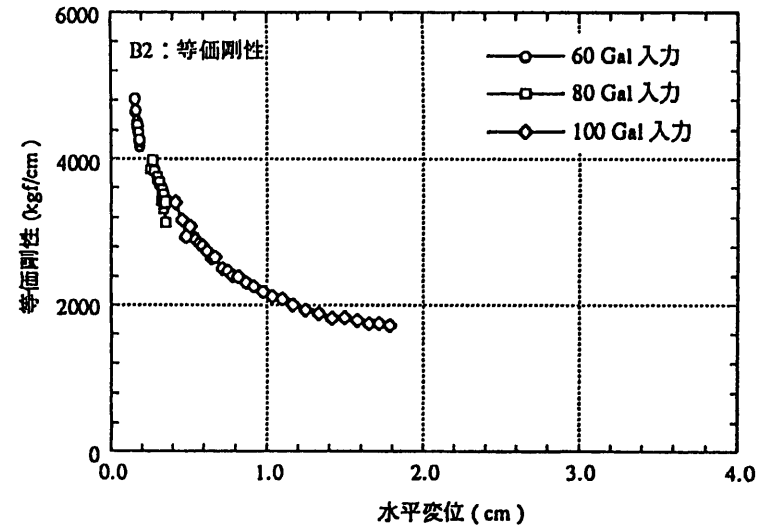
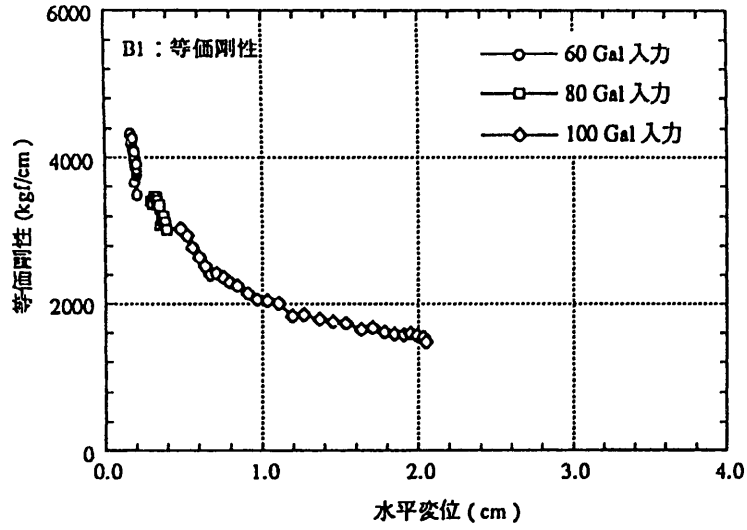
図3.3-7 B2試験体、正弦波定常加振時の応答波形 100 Gal 入力



(a) B1試験体

(b) B2試験体

図3.3-8 正弦波定常加振時の免震層の応答履歴



(a) B1試験体

(b) B2試験体

図3.3-9 正弦波定常加振時の等価剛性および等価減衰定数

d. 地震波加振試験結果

ストッパの作動変位22mmを超えるのは、MOGIHA(FILTER) 633Gal以上の加振ケースであり、免震層の履歴応答に差が出てくる。

MOGIHA(FILTER)1266Gal入力1回目の加振の時、B1試験体(ストッパ無)の免震層の相対変位は62mm($\gamma=5.6$)で、高減衰積層ゴムの特性試験での破断変位(繰返し载荷時53mm、単調载荷時58mm)を超えているが、積層ゴムに破断は生じなかった。一方、B2試験体(ストッパ有)の免震層の相対変位は、ストッパの作動によって54mm($\gamma=4.9$)に抑えられている。

MOGIHA(FILTER)1266Gal入力2回目の加振では、加振開始1.6secにB1試験体(ストッパ無)の積層ゴムの中の1個が破断した。その時の積層ゴムのせん断力及び履歴曲線を図3.3-10に示す。破断時の免震層の相対変位は67mm($\gamma=6.1$)であった。一方、B2試験体(ストッパ有)の免震層の相対変位は59mm($\gamma=5.3$)に抑えられ、積層ゴムの破断は生じなかった。ただし、試験終了後、ストッパ2台のうち1台(高減衰ゴム4個のうち2個)が破断していることが確認された。また、上部構造は、B1試験体、B2試験体ともブレースの塑性域に達している(B1試験体の最大層間変位は3.6mm、B2最大層間変位は6.1mm)。表3.3-5、表3.3-6は、地震波加振時の主要位置での最大応答値をまとめたものである。図3.3-11は最大応答加速度及び変位のモード図を、図3.3-12、図3.3-13は上部構造及び免震層の最大応答値をせん断力-変位関係図上にプロットしたものである。

ストッパを付けることにより、免震層の変位が抑えられ積層ゴムの破断を防止することができるが、上部構造の応答が増加している。MOGIHA(FILTER)1266Gal入力の場合、上部構造はB1試験体、B2試験体とも塑性域(約2mm以上)に達しており、この時、ストッパの作動によるフレーム層間変位の増加率は約1.6倍程度である。

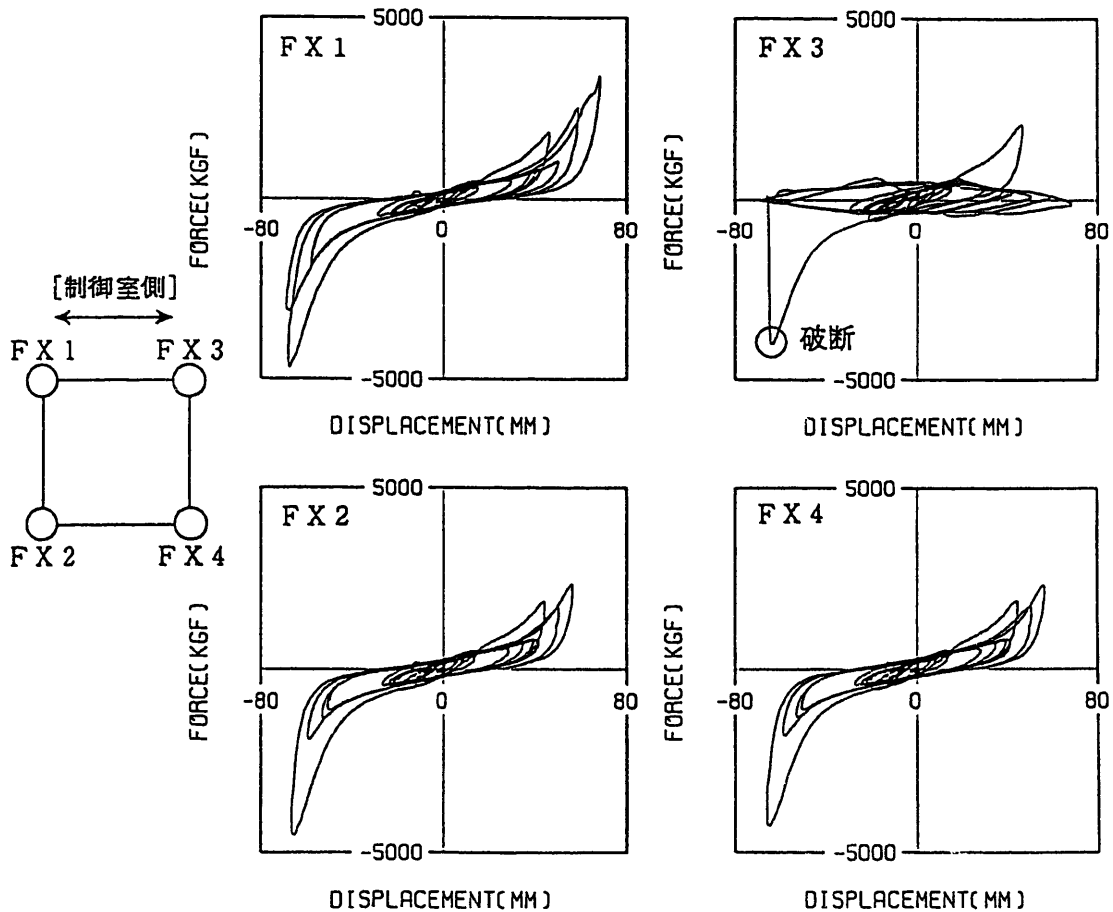
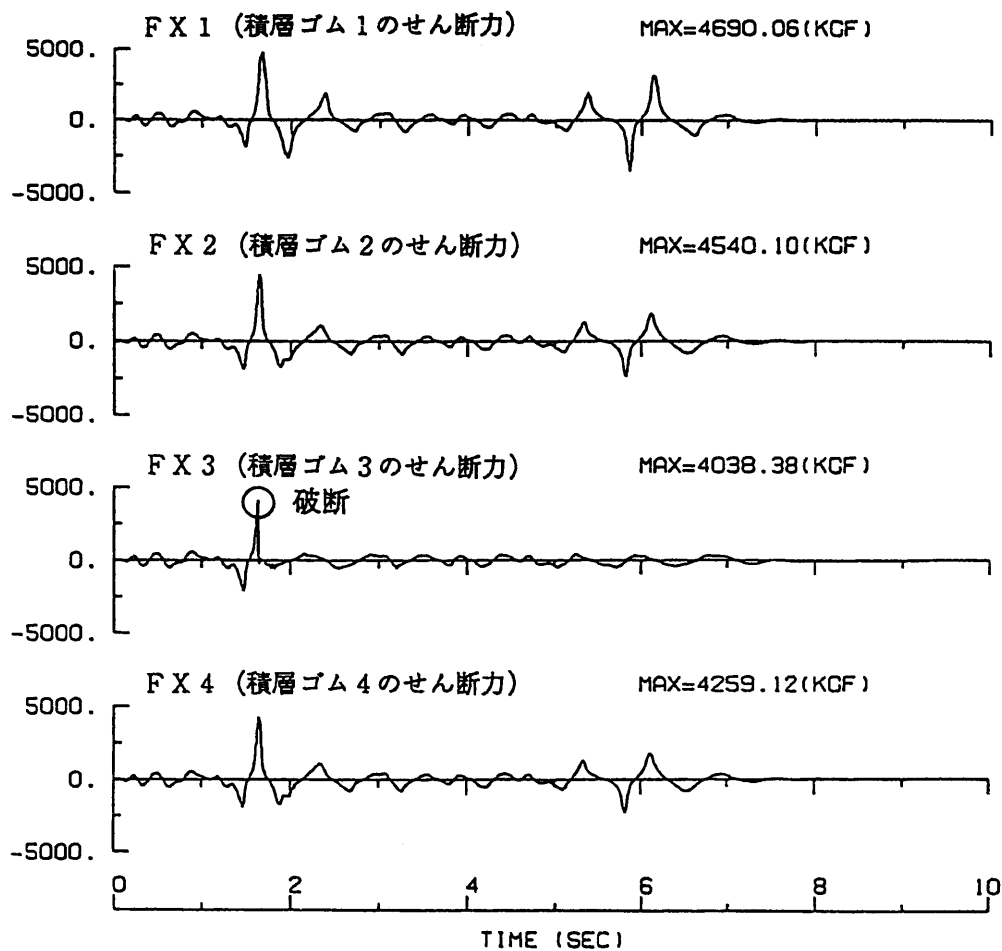


図3. 3-10 MOGIHA(FILTER) 1266 Gal 入力 2 回目、B1試験体 (ストップパ無) 積層ゴムの応答

表3.3-5 B1試験体(ストッパ無)、地震波加振時の最大応答値

測定位置	記号 (単位)	地震加振ケース						
		EL CBN	MOGIHA	MOGIHA (FILTER)				
		766Gal	428Gal	317Gal	633Gal	1054Gal	1266Gal	1266Gal
フレーム上部加速度	A2X(Gal)	327	323	301	836	1762	2272	2205
フレーム下部加速度	A1X(Gal)	326	326	303	761	1441	1877	1922
振動台加速度	ASX(Gal)	781	595	332	617	985	1223	1230
フレーム上部変位	D2X(mm)	13	14	14	30	49	64	70
フレーム下部変位	D1X(mm)	13	14	14	29	47	62	67
フレーム層間変位	D20X(mm)	0.7	0.7	0.6	1.1	2.4	3.8	3.6
フレームせん断力	Q20X(kgf)	1314	1297	1211	3360	7083	9133	8864
免震層せん断力	Q10X(kgf)	2387	2503	2396	6370	12143	16346	14953
分力計(水平4台)	FX(kgf)	2520	2619	2517	6713	13144	15905	16612
分力計(垂直東2台)	FZ(kgf)	1289	1105	1023	2891	6033	7772	8002

注) D20X=D2X-D1X(時刻歴で)
 Q20X=W2* A2X(時刻歴で) W2 : 上部重量 (4.02tf)
 Q10X=W2* A2X+W1* A1X(時刻歴で) W1 : 上部重量 (3.97tf)
 FX=積層ゴム4台分のせん断力合計(時刻歴で)
 FZ=積層ゴム東側2台分の鉛直軸力合計(時刻歴で)

表3.3-6 B2試験体(ストッパ有)、地震波加振時の最大応答値

測定位置	記号 (単位)	地震加振ケース						
		EL CBN	MOGIHA	MOGIHA (FILTER)				
		766Gal	428Gal	317Gal	633Gal	1054Gal	1266Gal	1266Gal
フレーム上部加速度	A2X(Gal)	343	337	328	979	2075	2629	2649
フレーム下部加速度	A1X(Gal)	347	329	328	834	1696	2576	2638
振動台加速度	ASX(Gal)	811	637	348	636	1009	1270	1252
フレーム上部変位	D2X(mm)	13	13	14	29	46	59	63
フレーム下部変位	D1X(mm)	12	13	13	28	43	54	59
フレーム層間変位	D20X(mm)	0.9	0.7	0.5	1.3	2.9	5.7	6.1
フレームせん断力	Q20X(kgf)	1381	1336	1320	3934	8342	10569	10649
免震層せん断力	Q10X(kgf)	2611	2629	2618	7046	14303	19494	18135
分力計(水平4台)	FX(kgf)	2689	2749	2709	6404	11486	14614	14326
分力計(垂直東2台)	FZ(kgf)	1315	1138	1081	3110	7042	9590	9043

注) D20X=D2X-D1X(時刻歴で)
 Q20X=W2* A2X(時刻歴で) W2 : 上部重量 (4.02tf)
 Q10X=W2* A2X+W1* A1X(時刻歴で) W1 : 上部重量 (3.97tf)
 FX=積層ゴム4台分のせん断力合計(時刻歴で)
 FZ=積層ゴム東側2台分の鉛直軸力合計(時刻歴で)

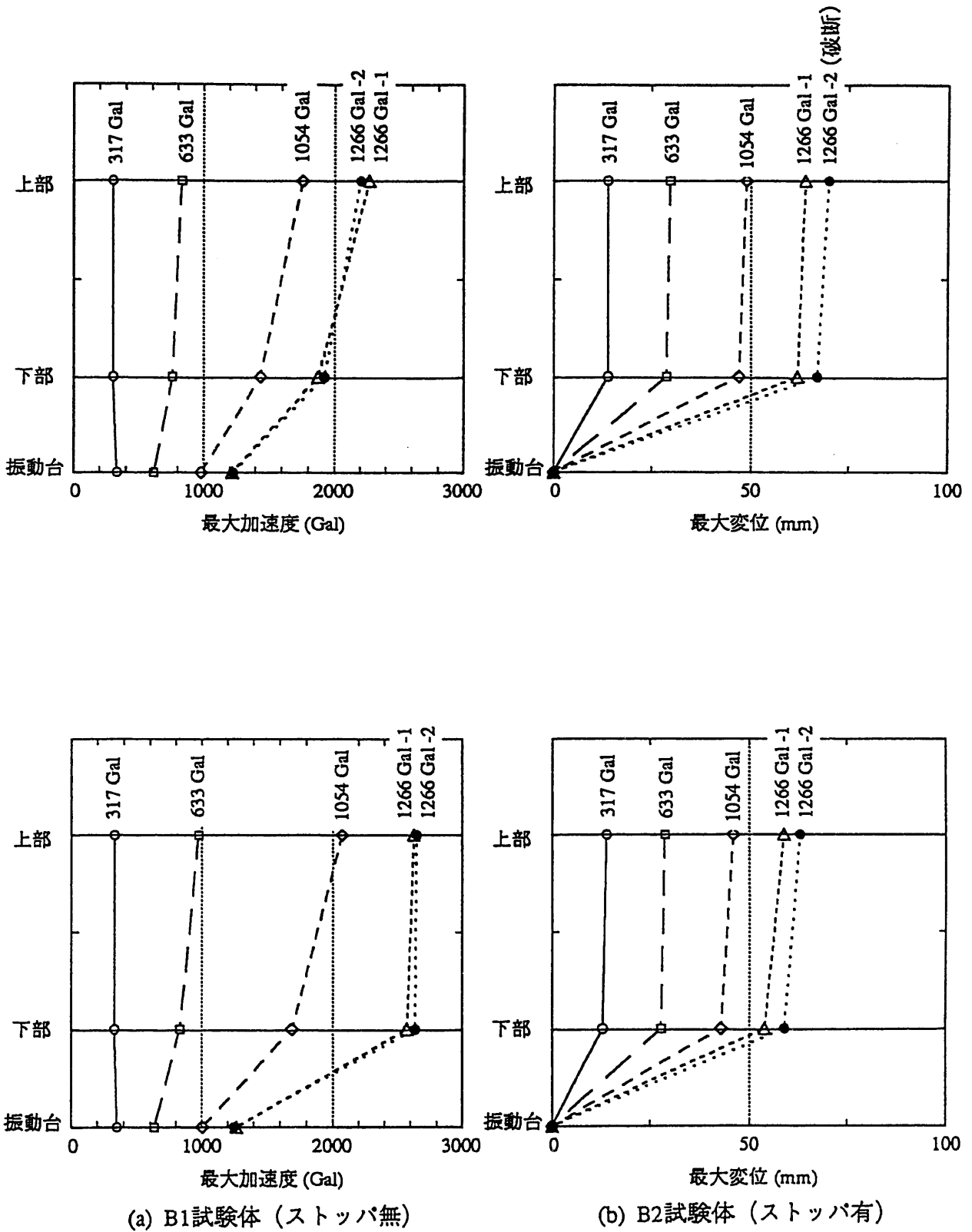


図3.3-11 地震波加振時の最大応答加速度および変位 (Bシリーズ)

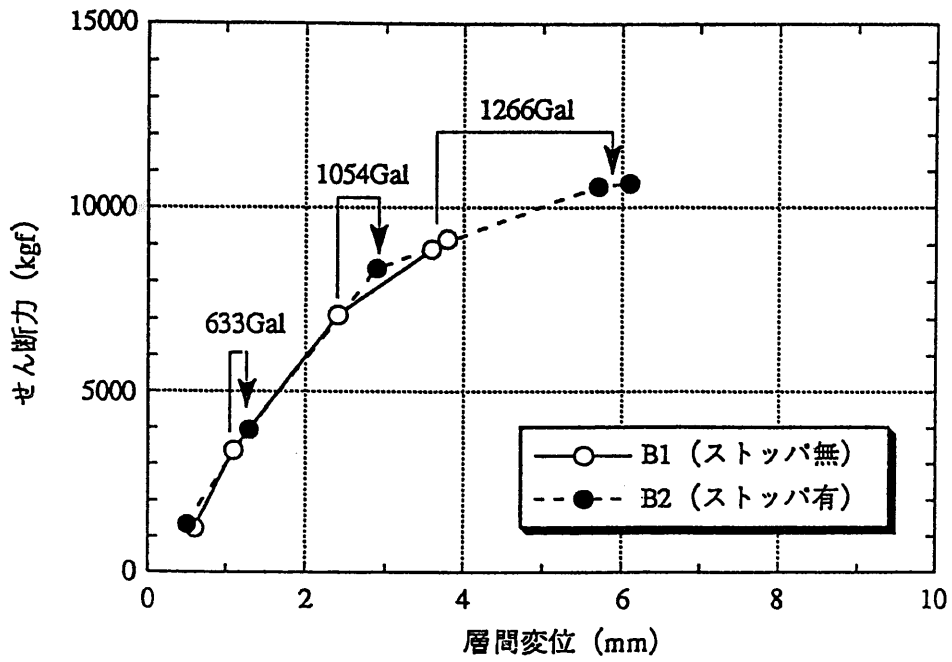


図3.3-12 地震波加振時の上部構造の最大応答値 (Bシリーズ)

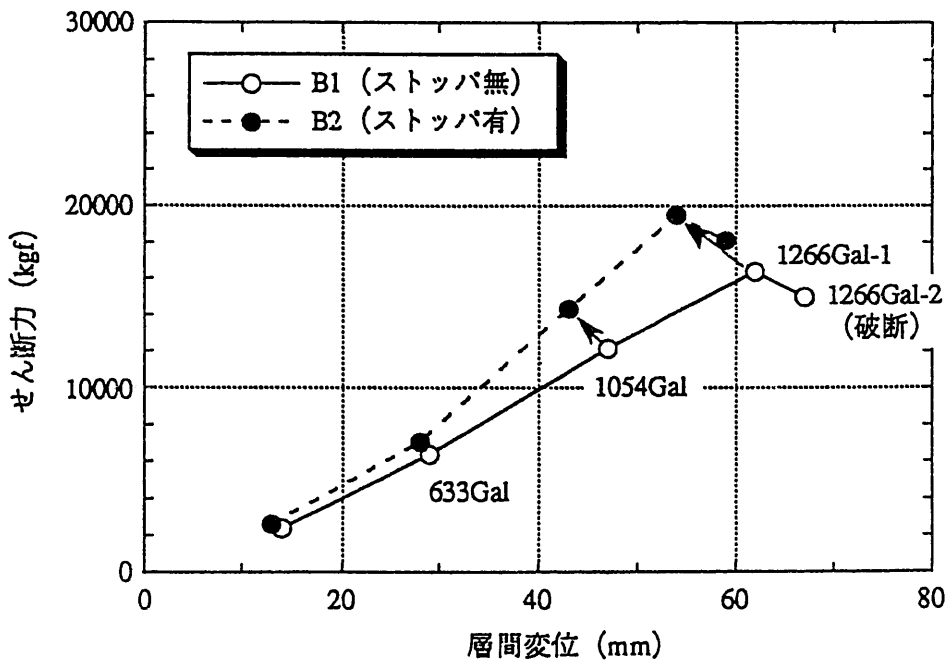


図3.3-13 地震波加振時の免震層の最大応答値 (Bシリーズ)

(3) まとめ

Bシリーズ試験では、免震構造物の終局状態を把握することを目的に振動台試験を実施した。その結果、以下のことがわかった。

40Gal入力の正弦波掃引加振の結果より、B1、B2試験体は、ほぼ同じ振動特性（1次共振点3.2Hz、2次共振点29.0Hz）を持つことが確認された。

正弦波定常加振結果より求めた免震層の復元力特性から、等価剛性が変位の増大に伴い減少し、安定してくること、等価減衰定数は変位による依存性は小さく、0.12～0.14の間にあることがわかった。

地震波加振結果より、ストッパを付けることにより、免震層の変位が抑えられ積層ゴムの座屈を防止することができるが、上部構造の応答がやや増加し、フレーム層間変位はストッパが無い場合に比べ、1.6倍に増加する。

3.4 Cシリーズ試験

(1) 目的

解析的な検討から、上部構造の強度や剛性に応じたストッパを含む免震層の設計を行うことで、免震建物が設計で考慮した地震力を遥かに上回る大地震を受けても免震建物全体の安全性が向上し、建物の仕様に応じた適切な安全裕度の設定が可能になるだろうとの知見を得た。そこで、得られた知見を実験的に把握する目的から、上部構造の特性（強度、剛性）とストッパ剛性との関係や入力レベルとの関係をパラメータとした縮小モデルによる振動台試験を行う。

(2) 免震構造モデルの振動台試験

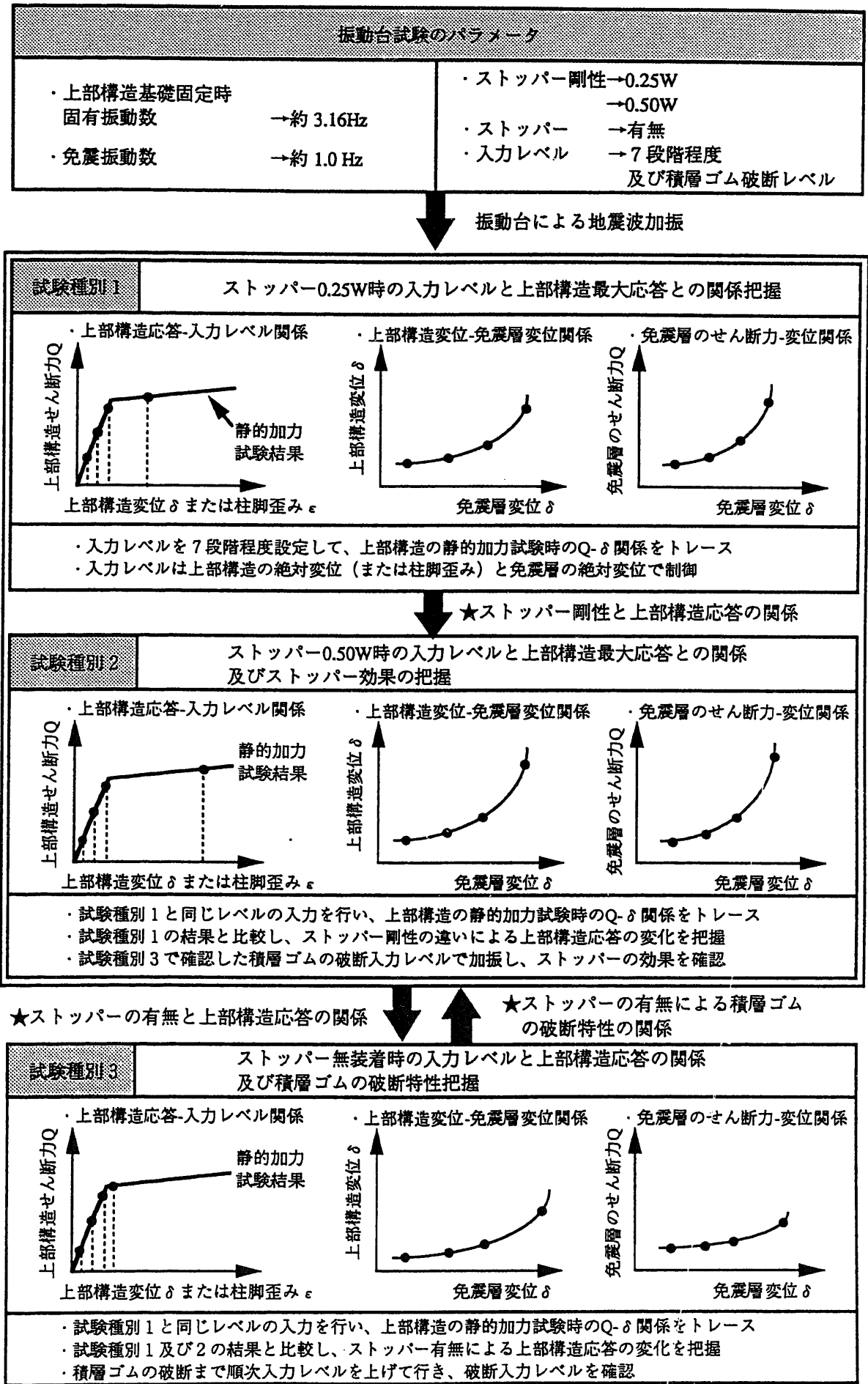
a. 試験概要

免震装置の大変形時の損傷を防護するためのストッパを装着した免震構造物の動的特性のうち大地震時における上部構造の特性（強度、剛性）とストッパ剛性との関係や入力レベルとの関係を把握する目的から、縮小モデルによる振動台加振試験を行う。

振動台試験の試験パラメータの概念を図 3.4-1 に示す。

試験種別を設定したパラメータに応じて以下の 3 種類に分類する。

- ・試験種別 1：ストッパ 0.25W（上部建屋重量）時の入力レベルと上部構造最大応答との関係を把握
 - ・試験種別 2：ストッパ 0.50W（上部建屋重量）時の入力レベルと上部構造最大応答との関係を把握
 - ・試験種別 3：ストッパ無装着時の入力レベルと上部構造最大応答との関係を把握
- 加振の手順は、予備解析で検討した入力レベル（最大入力加速度レベル）を参考に、試験種別 1 で上部構造の絶対変位（または柱脚歪み）と免震層の絶対変位の応答結果を予備解析結果と照らし合わせながら、試験で用いる入力レベルを 7 段階程度設定する。次に、設定した入力レベルの各地震波を試験種別 2 と試験種別 3 で用いて、それぞれの加振結果からストッパ剛性と上部構造応答の関係や、ストッパの有無と上部構造応答の関係を明らかにする。また、ストッパ無装着の試験種別 3 の状態で、積層ゴムの破断まで入力レベルを試験種別 2 のストッパ 0.50W 時の状態に適用し、ストッパ無装着時の試験種別 3 の状態と諸応答を比較することで、ストッパの効果を確認する。



b. 加振種別

1) 正弦波加振

試験種別1から試験種別3の各地地震波加振の前後に、免震振動数と上部構造の固有振動数の基本性状の変化を確認する目的で、入力加速度一定（10Gal程度）で振動を段階的に変化させるスイープ加振（ $f=0.5 \sim 15\text{Hz}$, $\Delta f=0.1\text{Hz}$ ）を行う。

2) 地震波加振

試験に用いる地震波は、東海事業所敷地での設計検討用模擬波（最大加速度195Gal、継続時間40秒）を設定した時間の相似則（ $\kappa=3.16$ ）で縮小したものを試験用基準地震波として用いる。

設計検討用模擬波と相似則で縮小した試験用基準地震波の時刻歴波形を図3.4-2に、応答スペクトルを図3.4-3にそれぞれ示す。

加振レベルは、試験用基準地震波を用いて予備解析で検討した入力レベル（最大入力加速度レベル）を参考に、試験種別1で上部構造の絶対変位（または柱脚歪み）と免震層の絶対変位の応答結果を予備解析結果と照らし合わせながら、試験で用いる入力レベルを7段階程度設定（入力レベル n ＝試験用基準地震波の最大加速度 $\times n$ 倍）する。さらに、試験種別3においては、積層ゴムの破断まで入力レベルを上げて行き破断入力レベルを確認し、その破断レベルを試験種別2に適用する。

試験パラメータと加振種別を整理して、表3.4-1に振動台試験ケース一覧を示す。

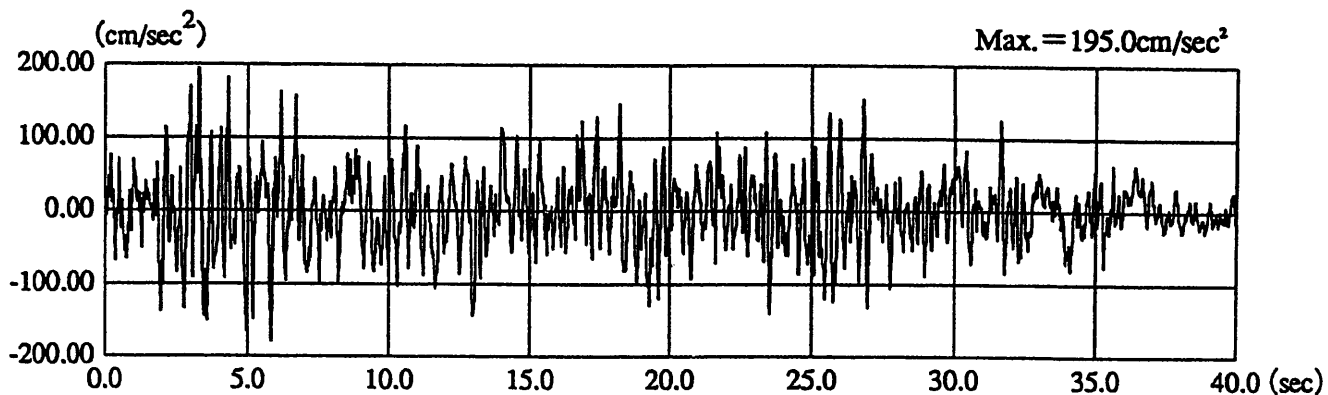
c. 加振システム

Aシリーズと同様の振動台防護装置を使用している。また、振動台システムの概要はAシリーズで示したとおりである。

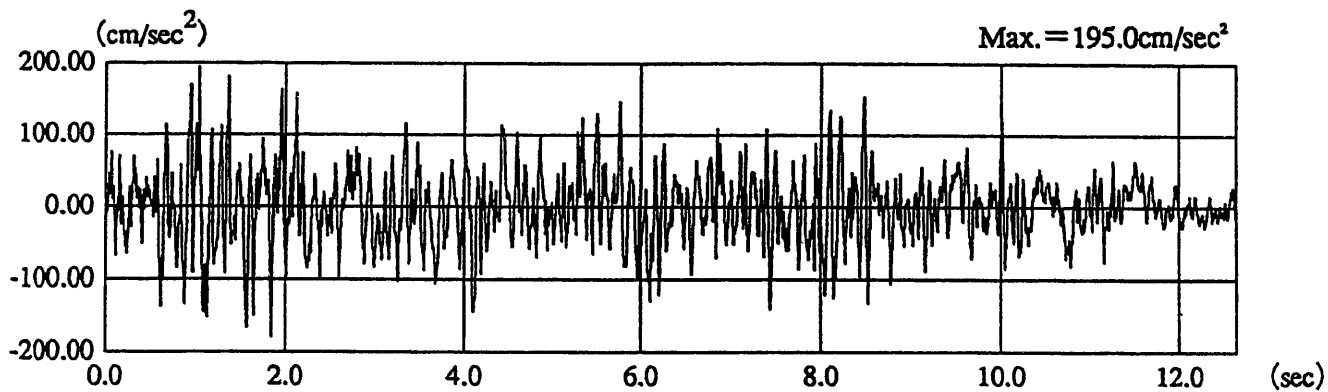
d. 計測方法

計測方法は以下の計測機器により行う。

・加速度計	19ch		
・変位計	4ch		
・歪みゲージ	8ch		
・分力計	8ch	合計	39ch



設計検討用模擬波



試験用基準地震波

図3.4-2 設計検討用模擬波及び試験用基準地震波の時刻歴波形

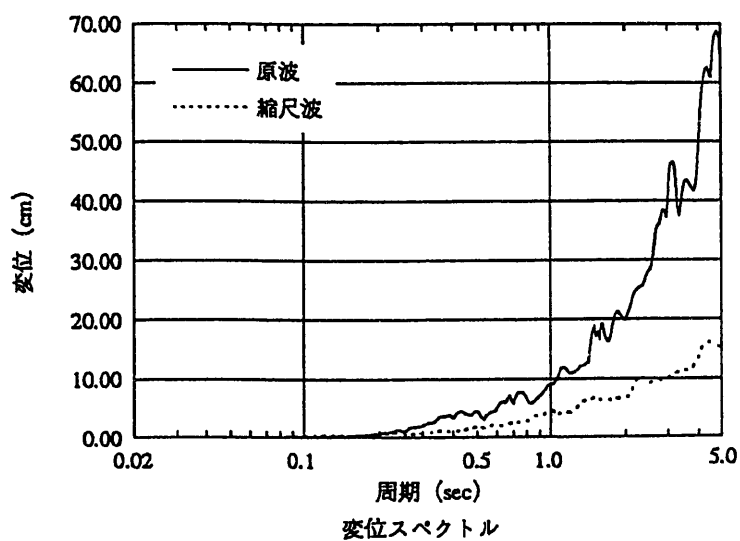
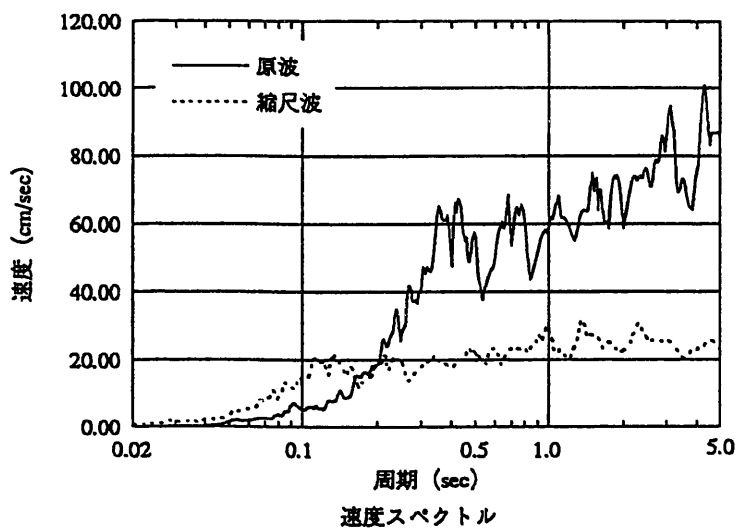
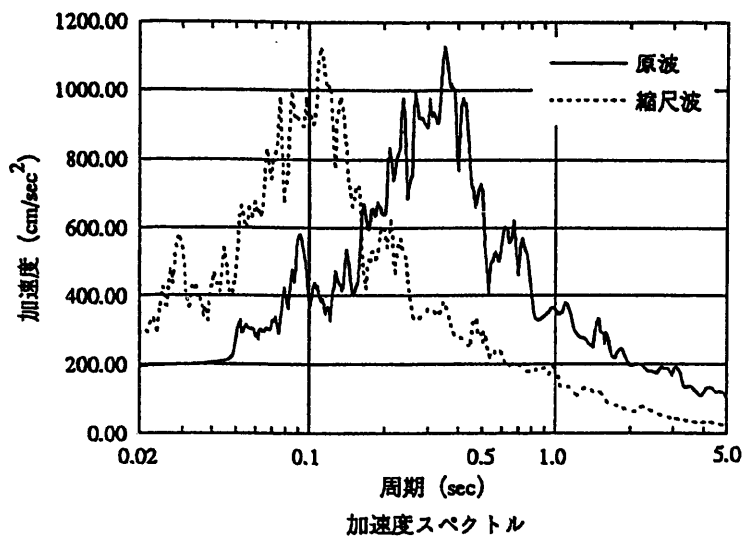


図3. 4 - 3 設計検討用模擬波及び試験用基準地震波の応答スペクトル (h = 2%)

表3.4-1 振動台試験一覧

	加振ケース	入力波	入力レベル	時間刻み	データ数	継続時間	備考
試験種別1	NO. 1	正弦波スイープ	10Gal	$\Delta f=0.1\text{ Hz}$	—	—	試験用基準地震波の入力レベルは、予備解析結果を参考に決定する。
	NO. 2	試験用基準地震波	レベル1	0.0031sec	4096	12.6sec	
	NO. 3		レベル2				
	NO. 8		レベル7				
	NO. 9	正弦波スイープ	10Gal	$\Delta f=0.1\text{ Hz}$	—	—	
試験種別2	NO. 10	正弦波スイープ	10Gal	$\Delta f=0.1\text{ Hz}$	—	—	試験用基準地震波の入力レベルは、試験種別1と同じレベルとする。
	NO. 11	試験用基準地震波	レベル1	0.0031sec	4096	12.6sec	
	NO. 12		レベル2				
	NO. 17		レベル7				
	NO. 18	正弦波スイープ	10Gal	$\Delta f=0.1\text{ Hz}$	—	—	
試験種別3	NO. 19	正弦波スイープ	10Gal	$\Delta f=0.1\text{ Hz}$	—	—	試験用基準地震波の入力レベルは、試験種別1と同じレベルとする。
	NO. 20	試験用基準地震波	レベル1	0.0031sec	4096	12.6sec	
	NO. 21		レベル2				
	NO. 26		レベル7				
	NO. 27	正弦波スイープ	10Gal	$\Delta f=0.1\text{ Hz}$	—	—	
試験種別3	NO. 28	試験用基準地震波	積層ゴム 破壊レベル	0.0031sec	4096	12.6sec	積層ゴムの破断まで順次入力レベルを上げて行き、破断入力レベルを確認する。
試験種別2	NO. 29	試験用基準地震波	積層ゴム 破壊レベル	0.0031sec	4096	12.6sec	上記入力レベルで入力し、ストッパーの効果を確認する。

e. 加振試験結果

スイープ試験結果を図3.4-4と図3.4-5に示す。図3.4-4は、地震波加振前の結果であり、図3.4-5は、地震波加振後の結果である。スイープ試験結果より、免震層の1次振動数は約1 Hzであり、上部フレームの1次振動数は約3.5 Hzである。地震波加振後における上部構造の加速度応答倍率 ($F1/F2$)は、地震波加振前と比べて、柱部材の塑性化により3.5 Hz付近に谷があり、ピーク振動数が2つになっている。

地震波加振の入力加速度レベルとストッパーの有無、ストッパーの剛性をパラメータに振動台による加振を行った結果、以下に示す傾向が確認された。ただし、ストッパーの作動入力レベルは、ストッパー目標耐力0.25Wの場合、入力レベル1.0倍であったが、ストッパー目標耐力0.50Wの場合、同じ入力レベル1.0倍では作動しなかった。この原因としては、入力レベル1.0倍がストッパー作動開始の境界レベルであったこと、振動台の応答制御誤差や試験経過に伴う積層ゴムの剛性変化が微妙に影響したものと考えられる。

地震波加振の各入力レベルでの加速度応答スペクトルをストッパー無し、目標耐力0.25W、0.50Wについて図3.4-6～3.4-8にそれぞれ示す。建家-免震装置連成の1次固有周期に相当する0.2秒近傍の応答が、ストッパー無しの場合は積層ゴムのハードニング領域に到達する入力レベル1.4倍あたりから次第に増加するのに対して、ストッパーのある場合は作動領域に到達する入力レベル近傍から増加が顕著となる。また、ストッパーの剛性の違いによる応答特性の変化は、フレーム上部ではほとんどみられないが、フレーム下部でストッパーの剛性が硬い方が単周期領域での応答も増加が顕著となっている。

最大応答加速度分布を図3.4-9に、上部構造フレームの最大応答せん断力-層間変位関係を図3.4-10に示す。各図より、ストッパーが作動すると上部構造フレームの応答が急増するが、ストッパーが無い場合でも積層ゴムがハードニング領域に入るに従って応答は増加して行くことが分かる。また、入力レベルが増加するに従って、フレーム上部ではストッパーの有無及びストッパーの剛性の違いが応答に与える影響が小さくなっていく傾向が見られる。これは、入力レベルの増加に伴い、積層ゴムのハードニングの影響が上部構造の応答に対して支配的となるためと考えられる。

免震層の最大応答せん断力-変位図を図 3. 4-11 に、上部構造フレームの層間変位-免震層の変位関係を図 3. 4-12 に示す。各図より、ストッパーが無い場合、入力レベル 1. 8 倍で積層ゴムの破断限界ひずみ ($\gamma=400\%$) に達しているが、ストッパーを付加することで免震層の変位が抑制されていることから、ストッパーは積層ゴムの破断防止に効果的であることが確認できる。

ストッパーの効果を把握するため、ストッパー無しの場合の各入力レベルにおける免震層の変位を基準とし、ストッパー有りの場合の免震層の変位の割合をまとめて図 3. 4-13 に示す。ストッパーの作動によって免震層の変位が抑制され、入力レベルの増加に伴いその効果も増加していることが分かる。これは、入力レベルの増加に伴う応答変位の増加によって、ストッパー自体もハードニング領域に入るためと考えられる。また、ストッパーの効果は、目標耐力 0. 25W と 0. 50W で大きな違いがなく積層ゴムの破断限界まで 18% 前後の裕度を確保していることから、目標耐力 0. 25W でも積層ゴムの破断防止効果が充分あることが確認できる。

免震層におけるストッパーと積層ゴムのせん断力の分担割合を把握するため、ストッパー有りの場合の免震層の層せん断力を基準として、ストッパーと積層ゴムのせん断力の分担割合をまとめて図 3. 4-14 に示す。入力レベルの増加に伴う分担割合の大きな変化は見られず、ストッパーの目標耐力 0. 50W では積層ゴムと半々のせん断力の分担割合となっている。また、入力レベルの増加に伴って応答変位が増加してもせん断力の分担割合が極端には変化しないことから、ストッパーと積層ゴムの剛性の比率がハードニング領域でもバランスよく釣り合っているとと言える。

ストッパー作動時の上部構造フレームの応答に与える影響を把握するため、ストッパー無しの場合の各入力レベルにおけるフレームの層せん断力及び層間変位を基準とし、ストッパー有りの場合の層せん断力及び層間変位の割合をまとめて図 3. 4-15 に示す。ただし、試験においてフレーム柱の降伏後も継続して入力レベルを増加させているため、柱の累積ひずみエネルギー量が各試験ケースで異なることから、ここでは定性的な傾向比較を行う。ストッパーの作動に伴って上部構造フレームの応答はストッパー無しの場合の応答にほぼ近づく傾向が確認できる。この傾向は、入力レベルの増加に伴って積層ゴムのハードニングの影響が上部構造フレームの応答に対して支配的となるためと考えられる。また、ストッパーの目標耐力 0. 25W と 0. 50W で上部構造フレームの応力に大きな違いがないことから、本試験ケースの場合、ストッパーの剛性の違いが上部構造フレームの応答に与える影響はほとんどないことが分かる。

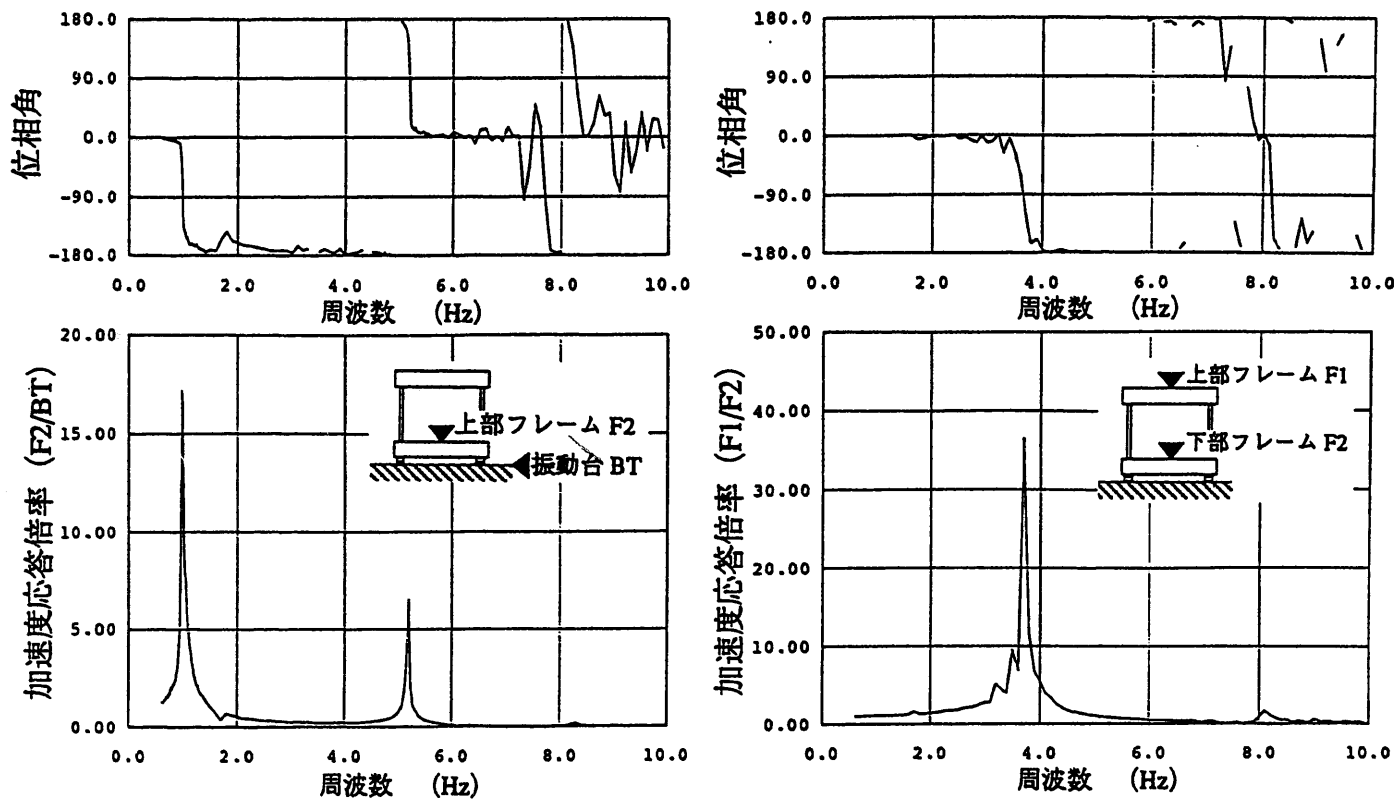


図3. 4 - 4 正弦波スイープ試験結果 (地震波加振前、10Gal)

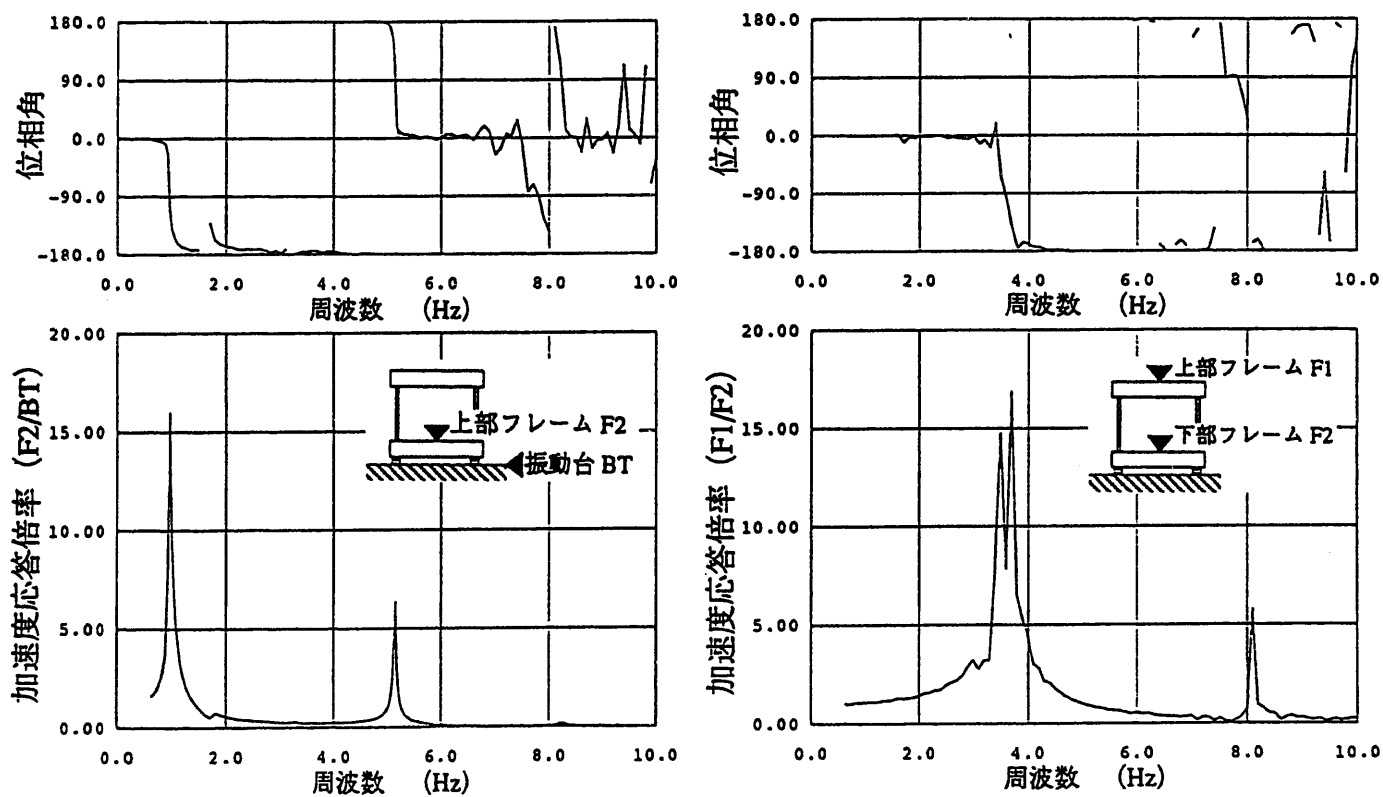
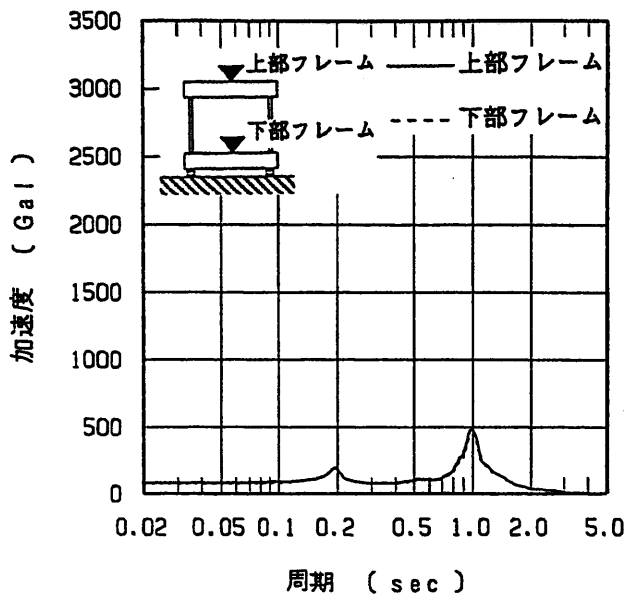
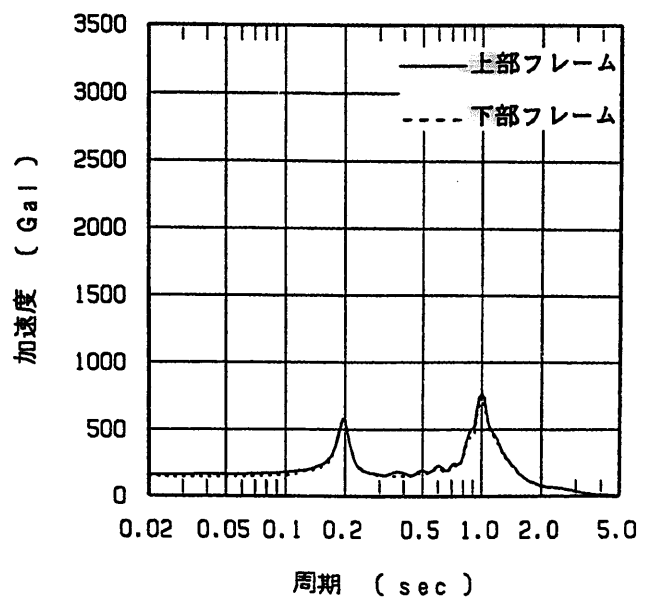


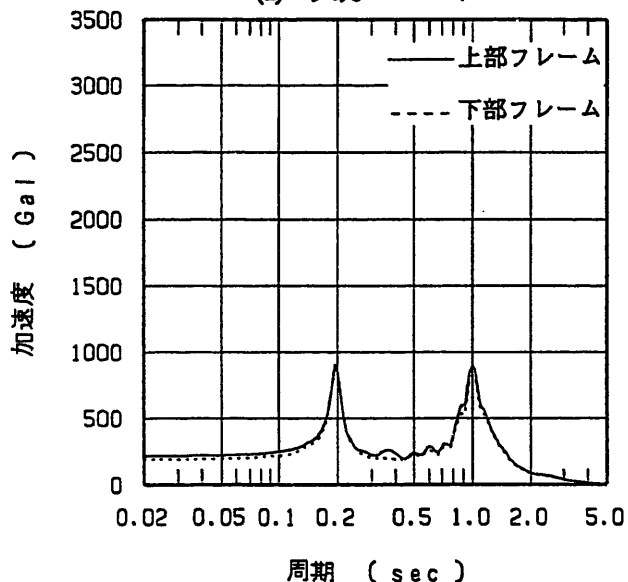
図3. 4 - 5 正弦波スイープ試験結果 (地震波加振後、10Gal)



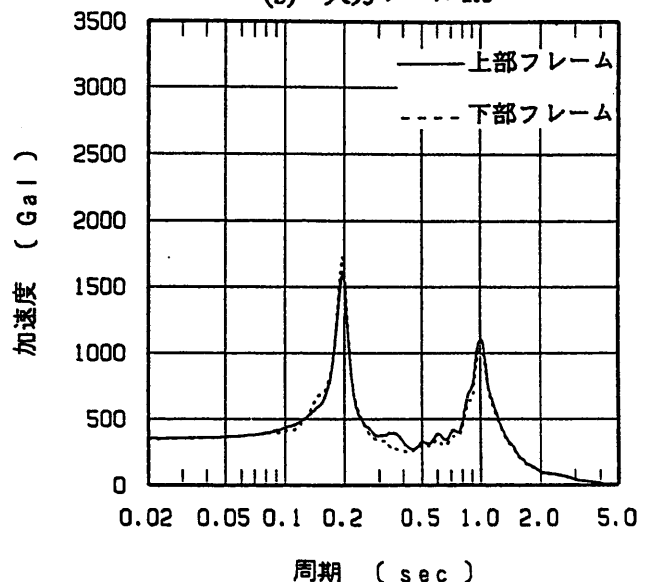
(a) 入力レベル1.2



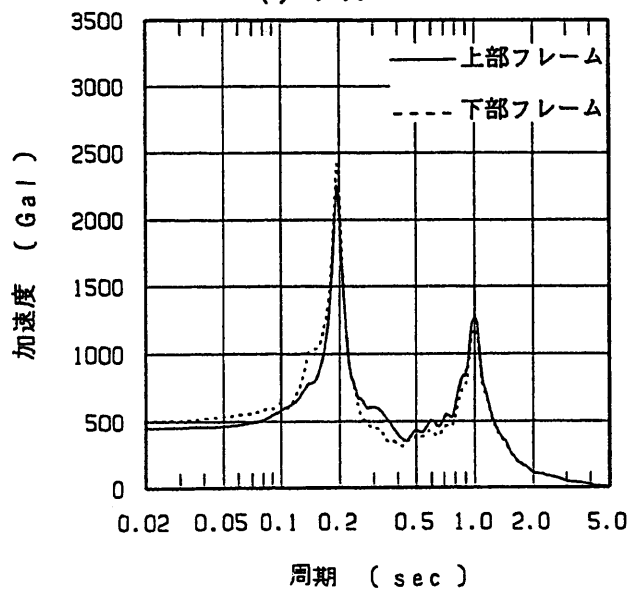
(b) 入力レベル1.0



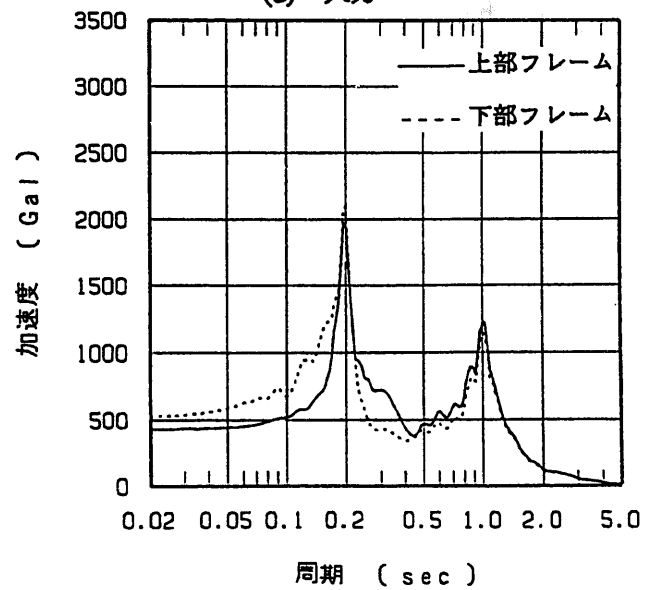
(c) 入力レベル1.2



(d) 入力レベル1.4



(e) 入力レベル1.6



(f) 入力レベル1.8

図3.4-6 加速度応答スペクトル (ストッパー無し、減衰定数5%)

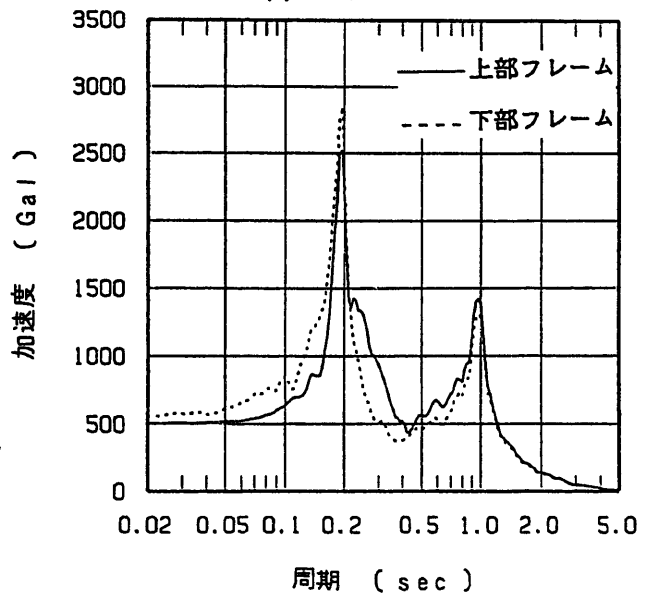
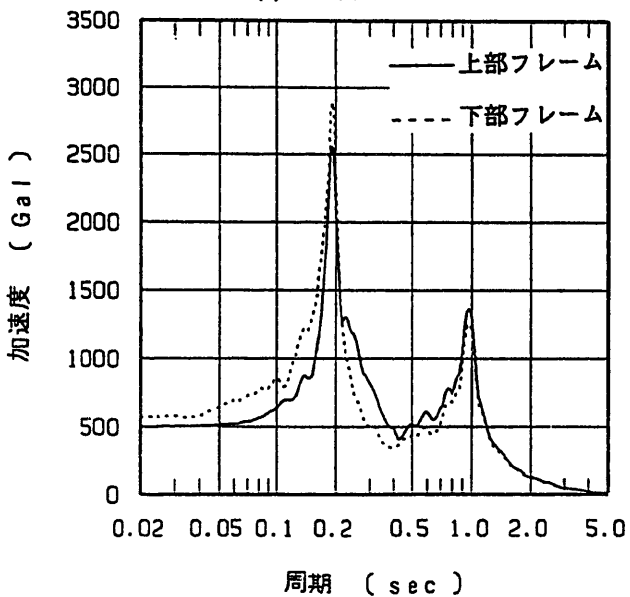
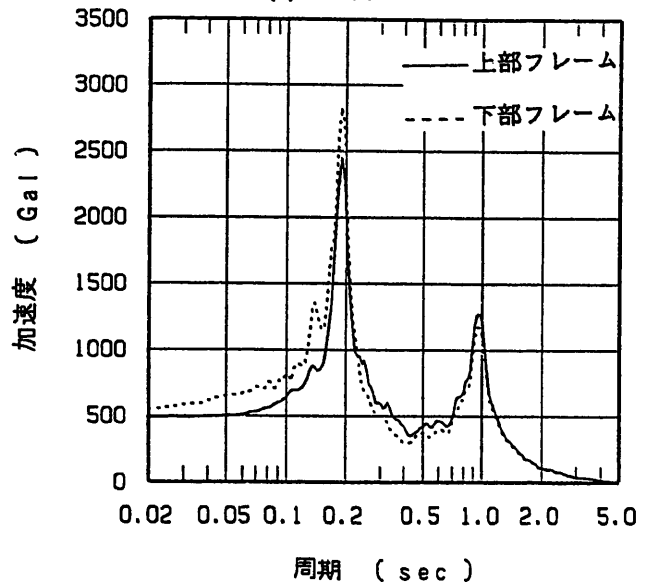
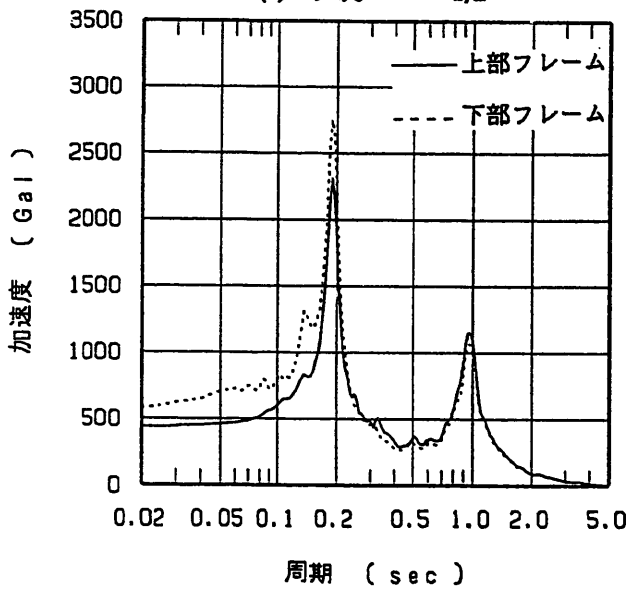
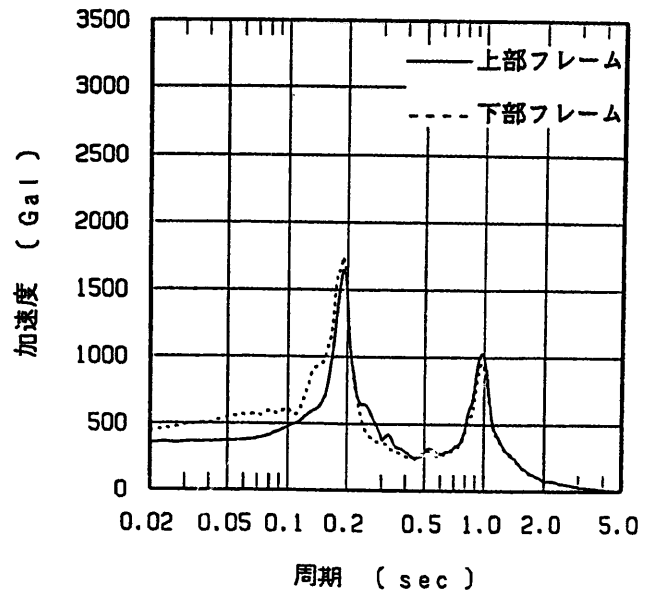
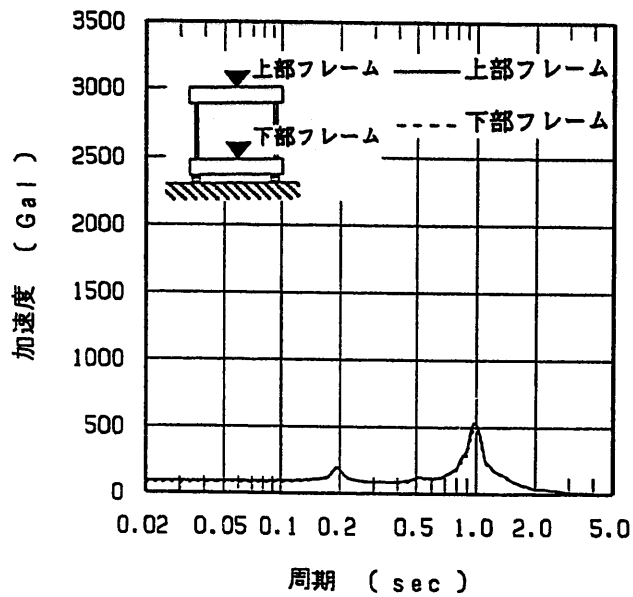
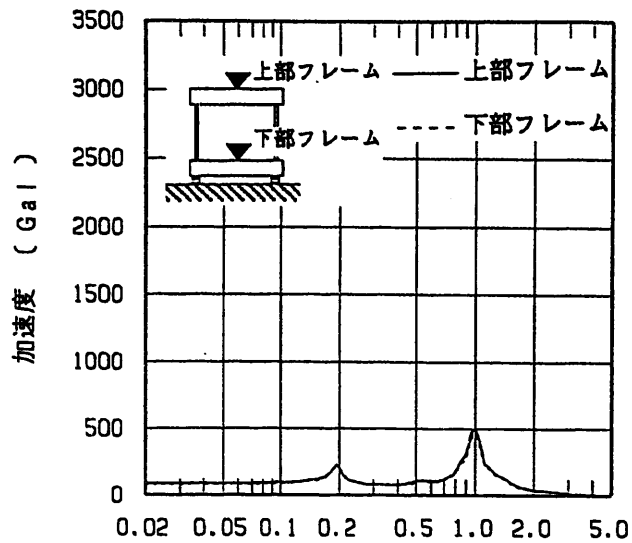
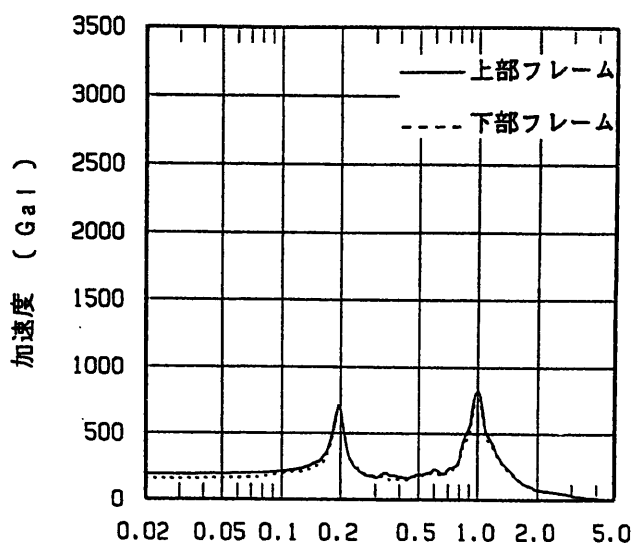


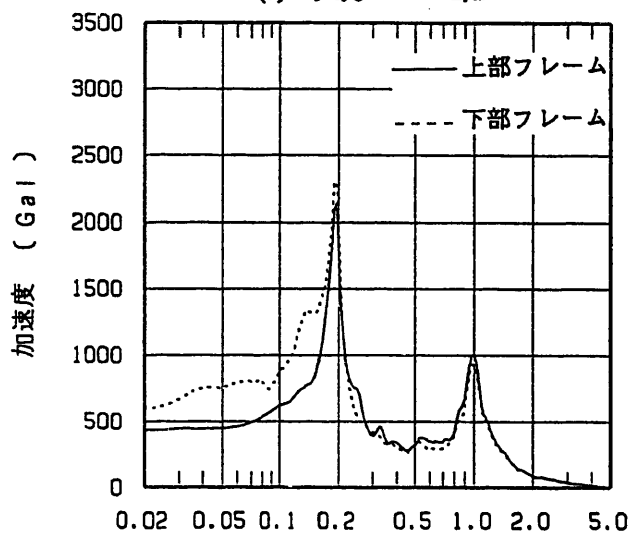
図3.4-7 加速度応答スペクトル (ストッパー0.25W、減衰定数5%)



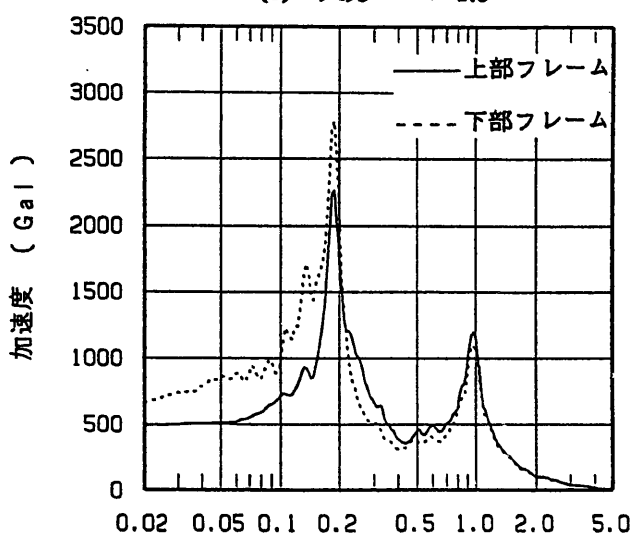
周期 (sec)
(a) 入力レベル1/2



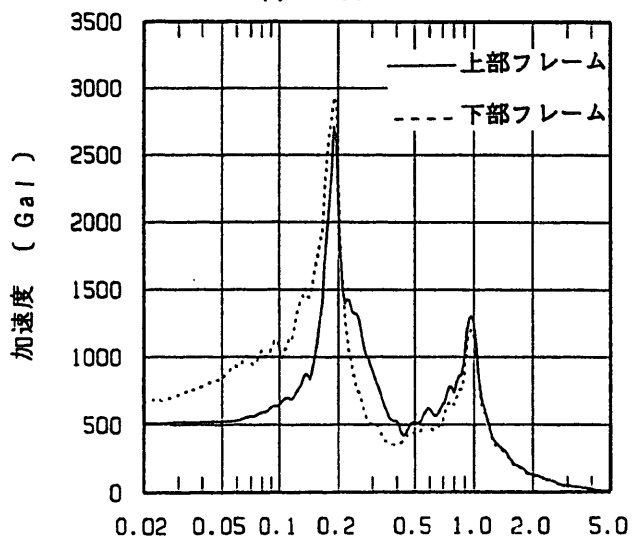
周期 (sec)
(b) 入力レベル1.0



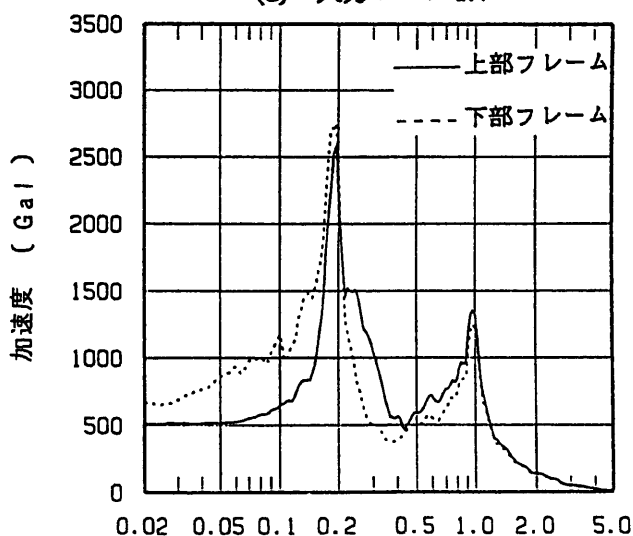
周期 (sec)
(c) 入力レベル1.2



周期 (sec)
(d) 入力レベル1.4



周期 (sec)
(e) 入力レベル1.6



周期 (sec)
(f) 入力レベル1.8

図3. 4-8 加速度応答スペクトル (ストッパー0.50W、減衰定数5%)

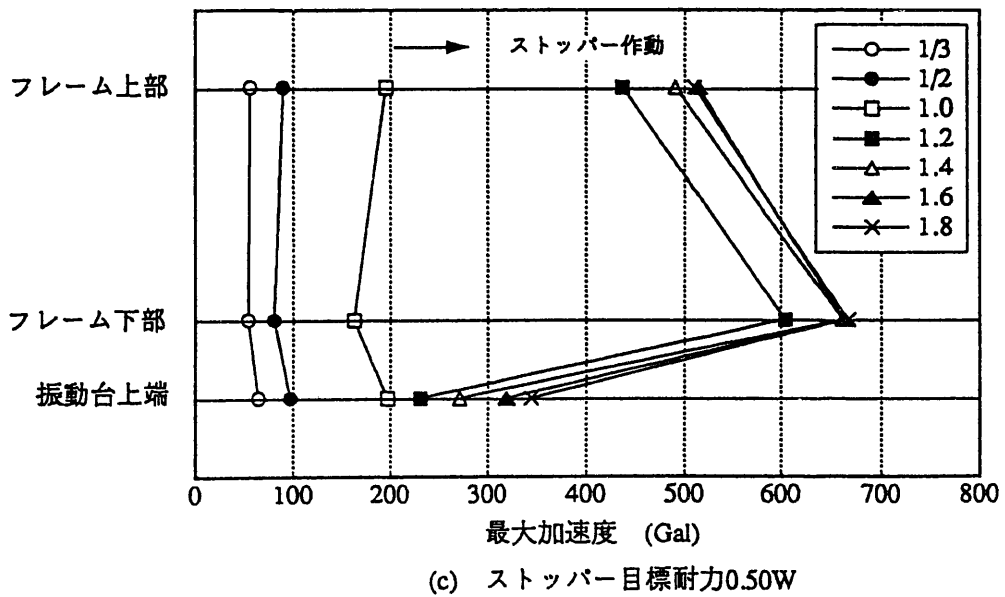
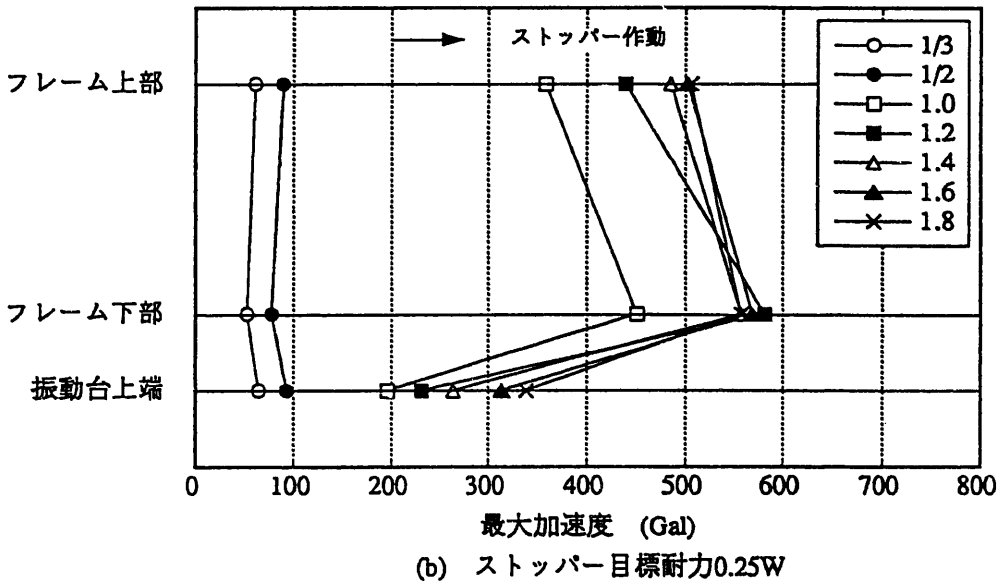
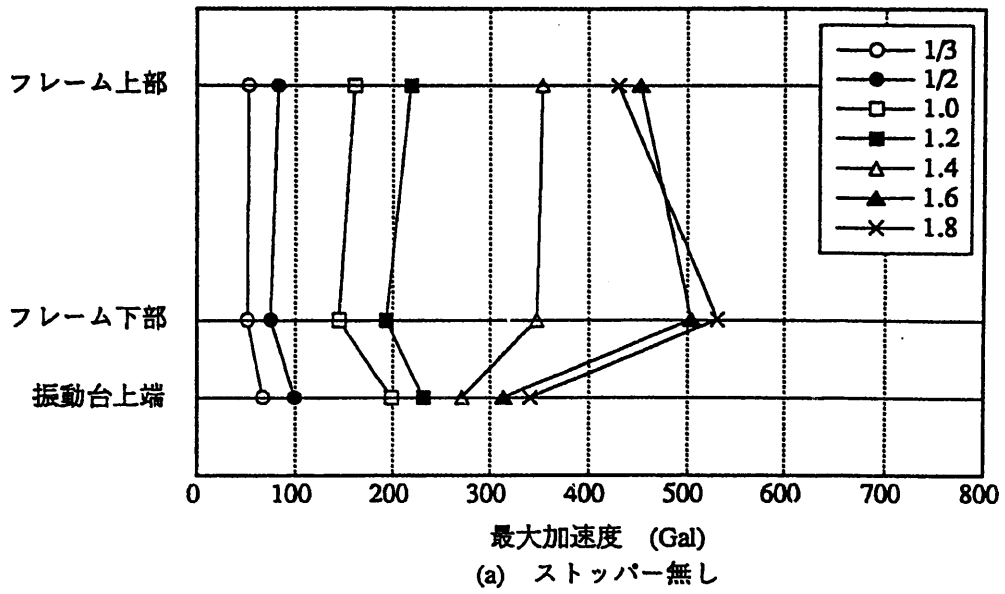
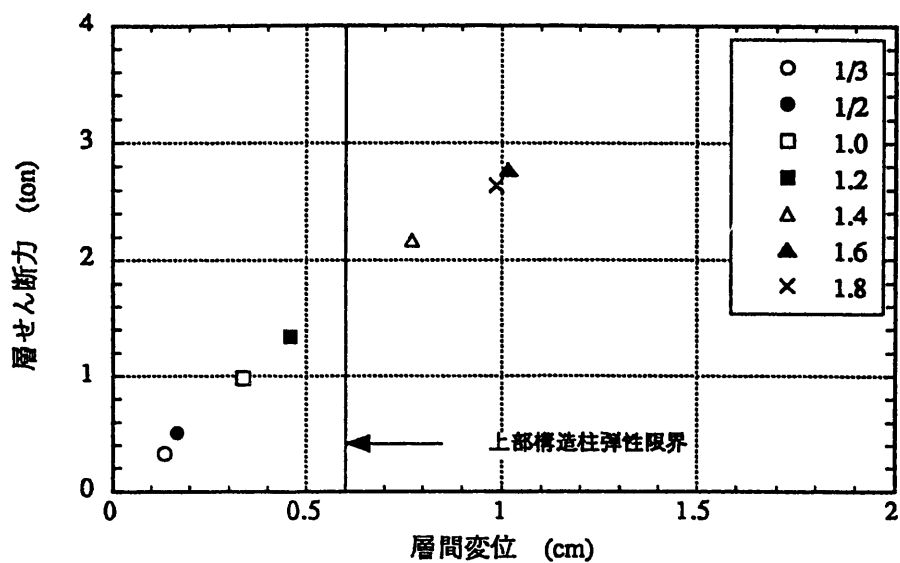
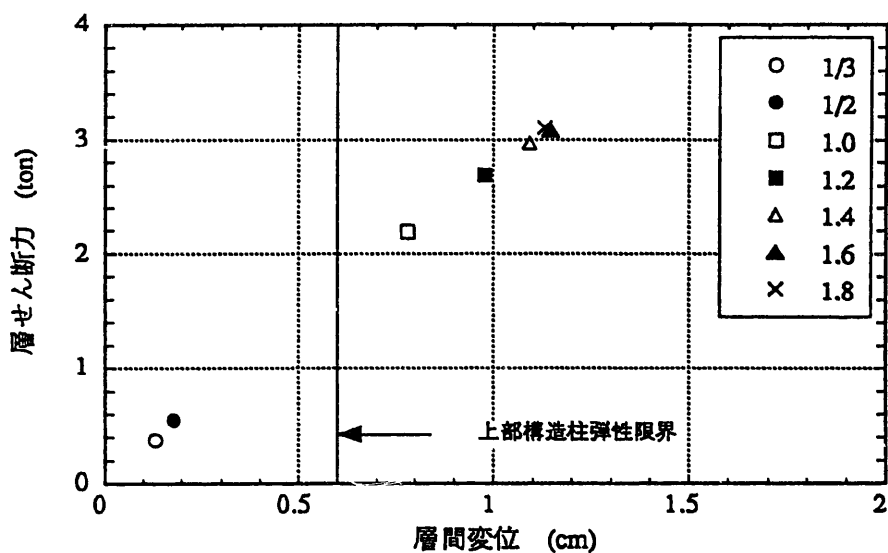


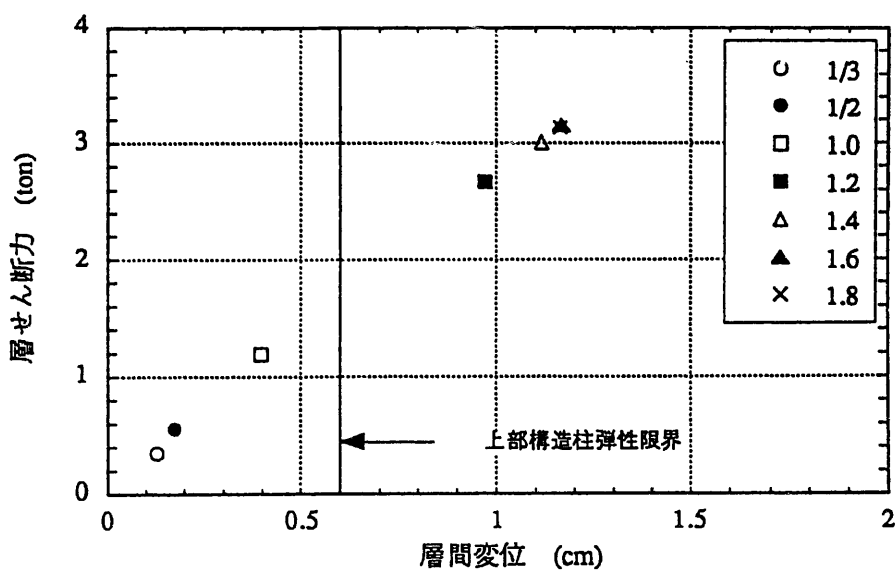
図3.4-9 最大応答加速度



(a) ストッパー無し

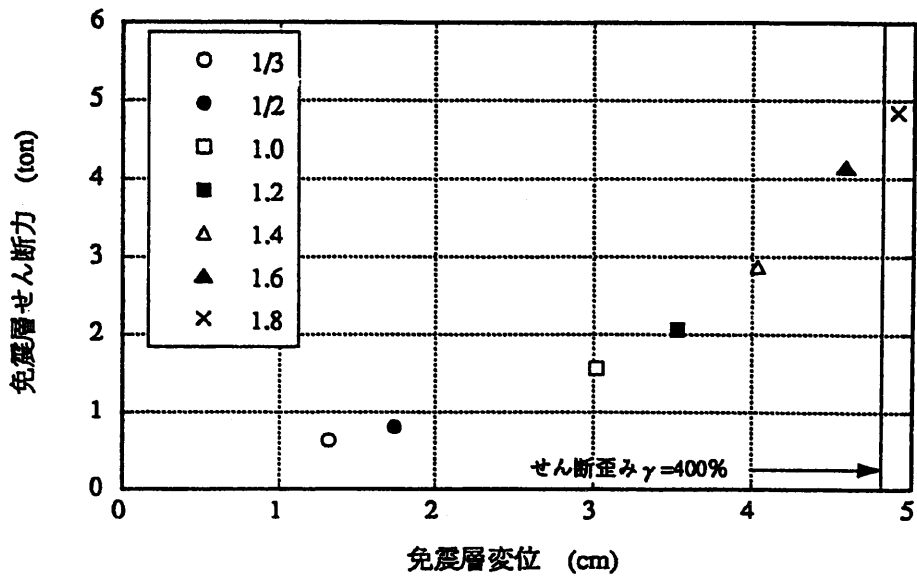


(b) ストッパー目標耐力0.25W

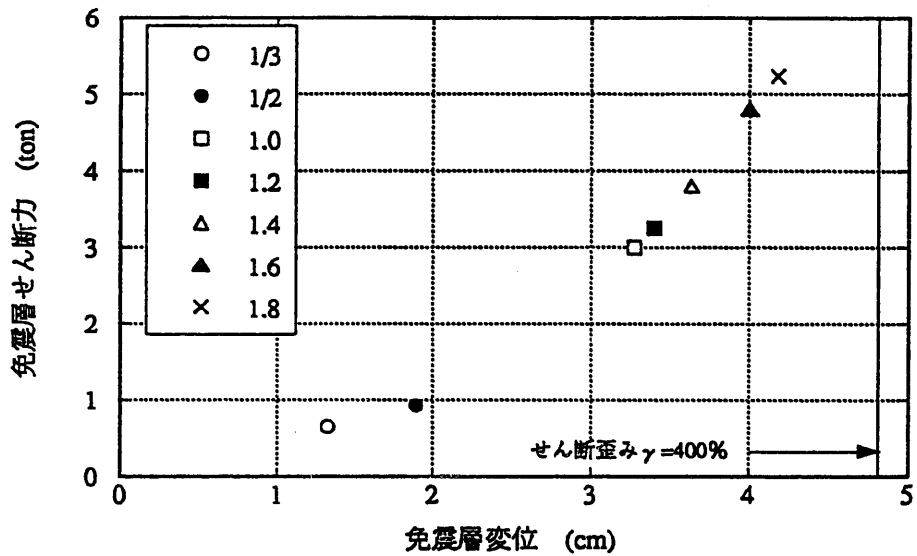


(c) ストッパー目標耐力0.50W

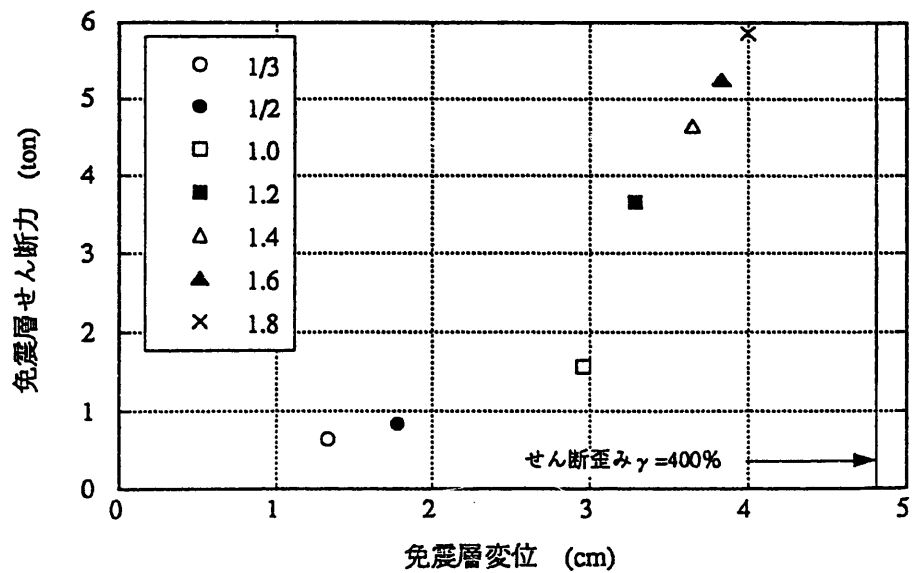
図3. 4-10 上部構造の最大応答せん断力と層間変位の関係



(a) ストッパー無し



(b) ストッパー目標耐力0.25W



(c) ストッパー目標耐力0.50W

図3.4-11 免震層の最大応答せん断力と層間変位の関係

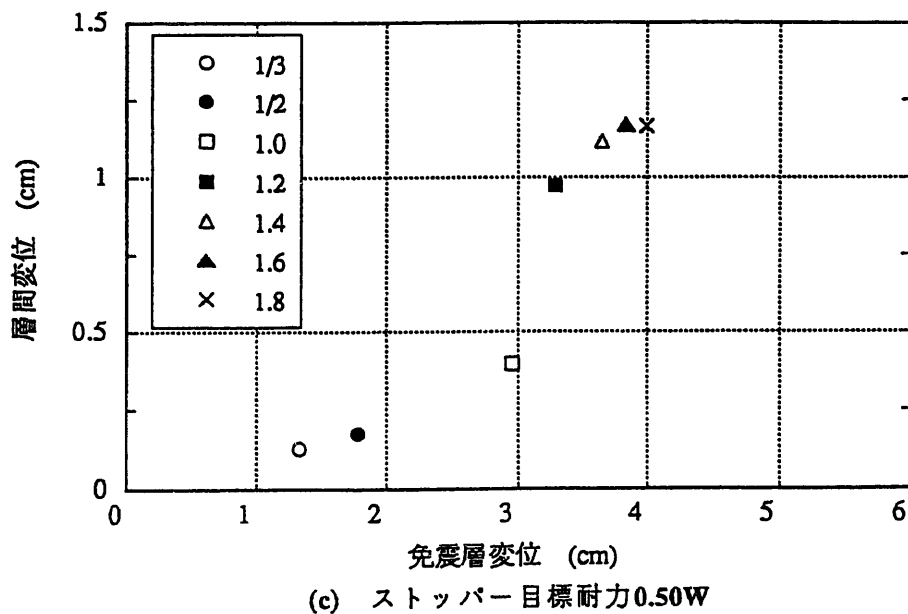
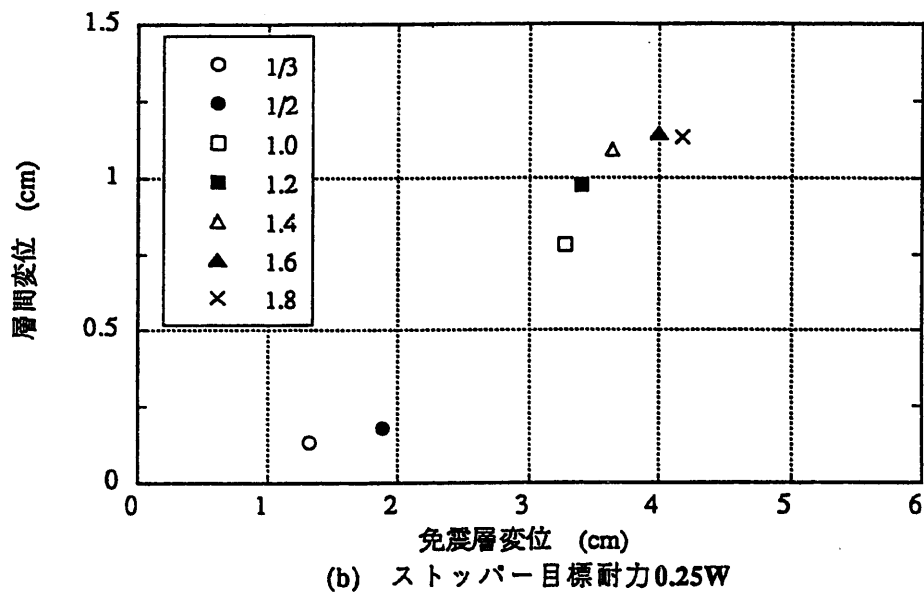
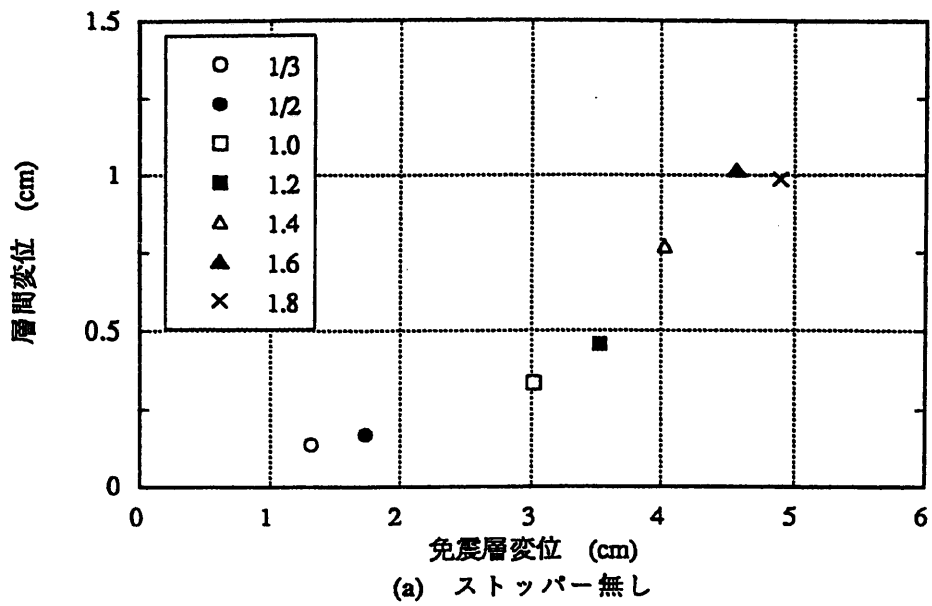
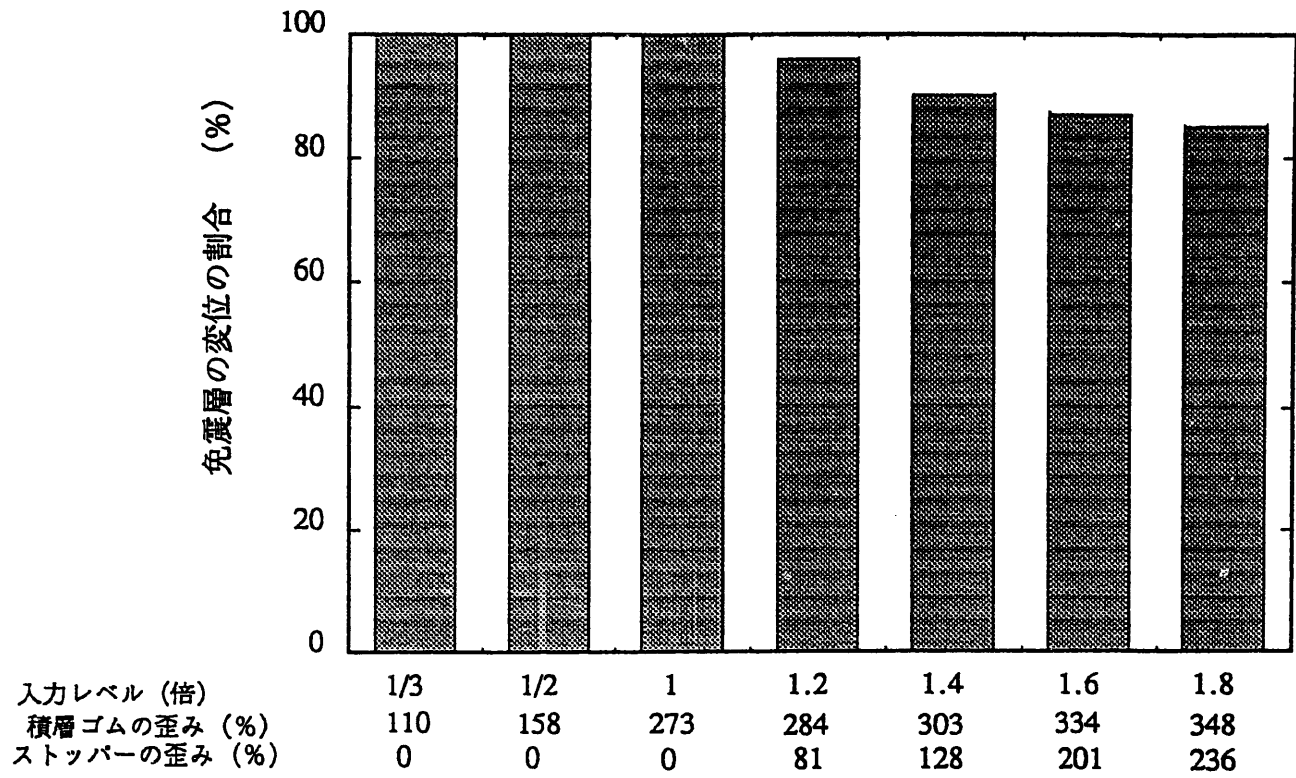
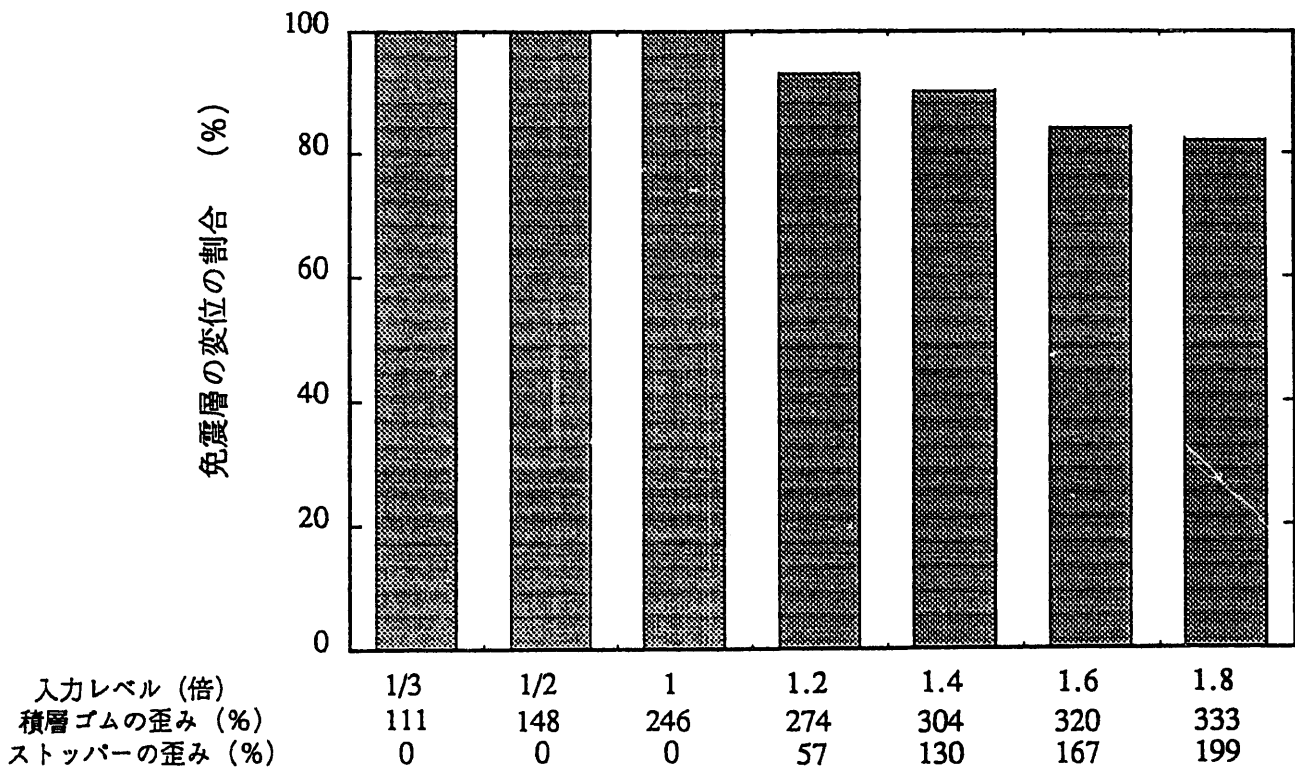


図3.4-12 フレーム層間変位と免震層変位の関係



(a) ストッパー目標耐力0.25W
(ストッパー無しの場合の変位を100%とする。)



(b) ストッパー目標耐力0.50W
(ストッパー無しの場合の変位を100%とする。)

図3. 4-13 免震層の変位応答に与えるストッパーの効果

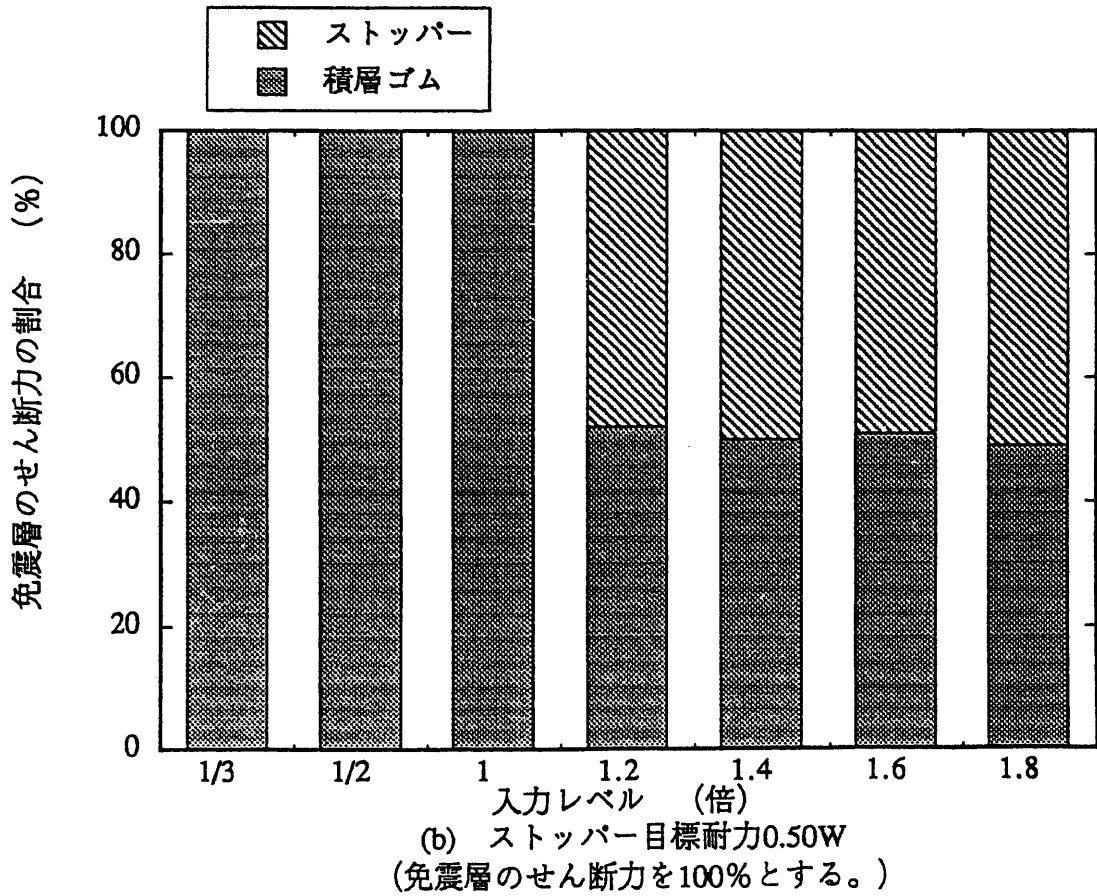
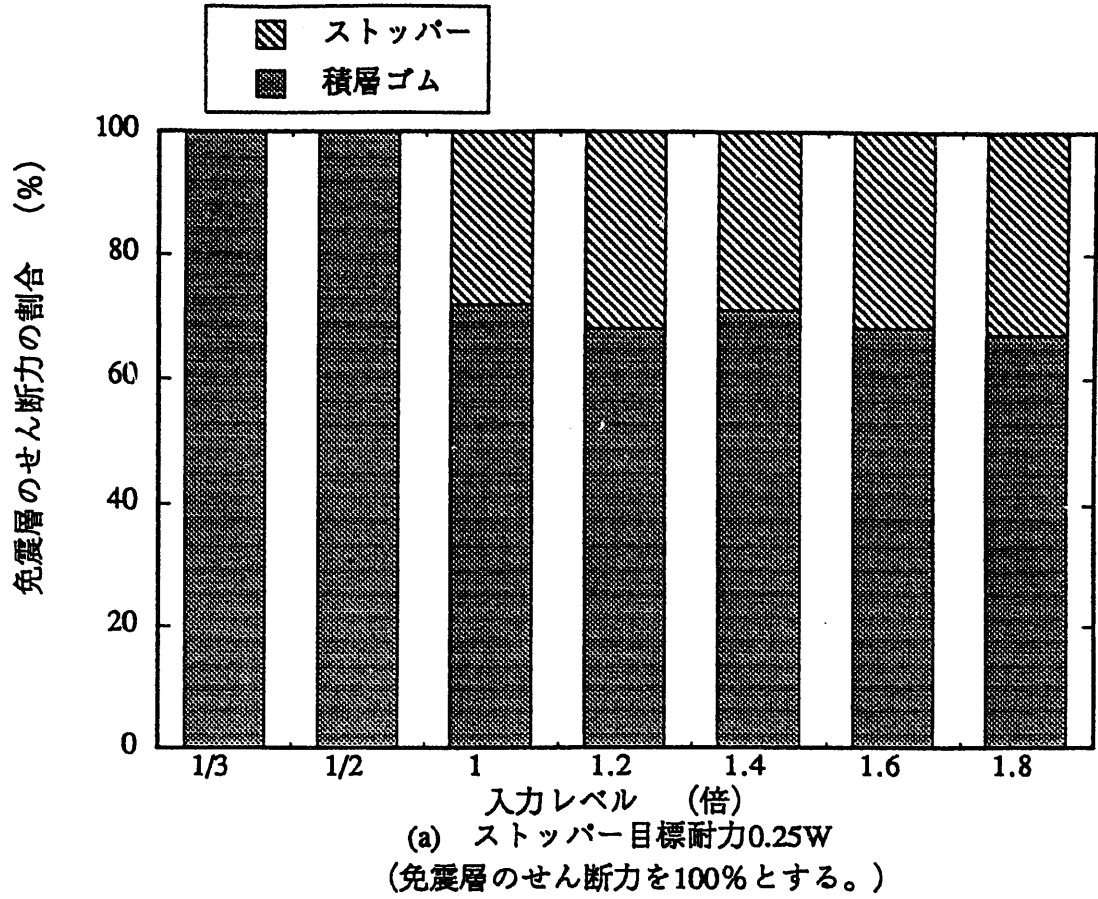
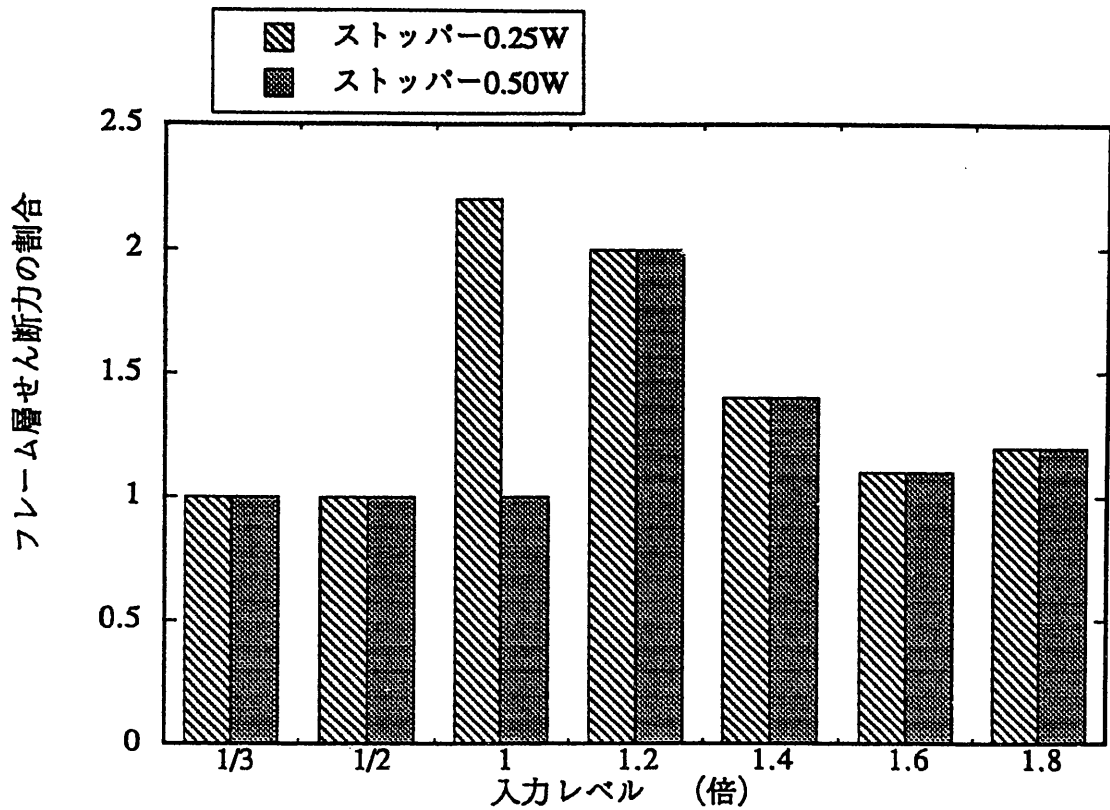
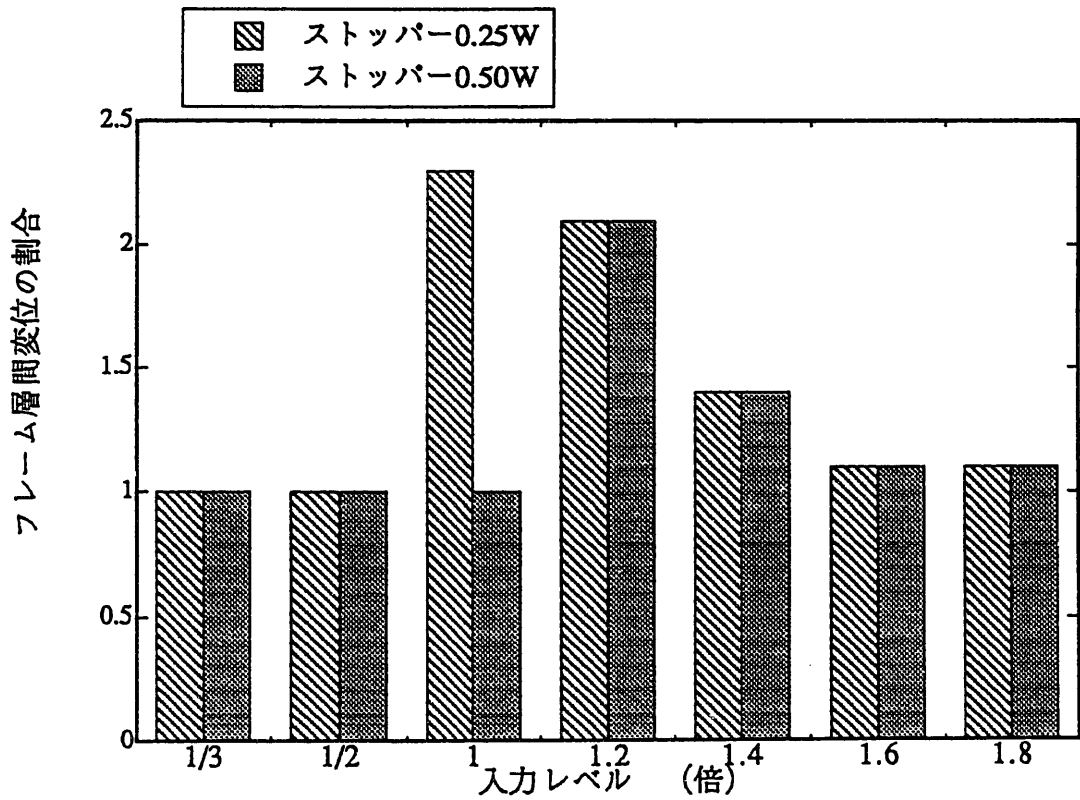


図3. 4-14 積層ゴムとストッパーの最大せん断力の分担割合



(a) フレーム層せん断力の割合
(ストッパー無しの場合の層せん断力を1とする。)



(b) フレーム層間変位の割合
(ストッパー無しの場合の層間変位を1とする。)

図3. 4-15 上部フレームの応答に与えるストッパーの影響

(3) まとめ

免震装置の大変形時の損傷を防護するためのストッパーを装着した免震構造物の動的特性のうち、大地震時における上部構造の特性（強度、剛性）とストッパー剛性との関係や入力レベルとの関係を把握する目的から、縮小モデルによる振動台試験を行った。

振動台試験の結果から、ストッパーは大入力時の積層ゴムの破断防止に効果的であることが確認できた。また、ストッパーの作動が上部構造の応答に与える影響は、ストッパーの剛性の違いにかかわらず作動開始時で応答増加の傾向が見られたが、入力レベルの増加に伴い次第にストッパーの無い場合の応答に近づく傾向が確認できた。この傾向は、入力レベルの増加に伴ってストッパーの付加による影響よりも積層ゴムのハードニングの影響が支配的となっているために生じることも確認できた。

3.5 免震構造物、埋め込み構造物と地盤の地震観測

(1) 目的

大洗工学センターに設置した免震構造縮小モデルと非免震構造縮小モデル（埋め込み無し、埋め込み有り）の観測記録を用いて、免震効果を考察し、更にシミュレーション解析を行いモデル化の妥当性について検討する。

また、動力炉・核燃料開発事業団（現 核燃料サイクル開発機構）の計算機センターである情報センター建物では、維持管理あるいはデータ蓄積を目的として地震計を設置し、竣工時から地震観測を行っている。これら縮小モデルは、情報センター建物と同一敷地内にあることから建物で観測された地震記録との相互比較も行った。

(2) 地震観測構造モデル

地震観測構造モデルは、モデル1：埋め込み無し、モデル2：埋め込み有り、モデル3：免震構造の3種類設置している。上部構造は鉄骨フレーム造で、GL±0m以下の部分はコンクリート構造である。上部構造の鉄骨フレームの1次固有振動数は事前に行った振動台試験によりモデル1は4.4Hz、モデル2は4.7Hz、モデル3は4.9Hz、減衰は各々0.5%であった。また、モデル3の免震装置は高減衰積層ゴムを使用しており、免震周期は0.5cm変形時に0.8秒程度となるように設定している。図3.5-1にモデルの配置及び情報センター建屋との位置関係を示す。

(3) 地震計設置位置

構造縮小モデル及び周辺地盤の地震計設置位置をモデルの形状及び地盤柱状図と併せて図3.5-2に示す。地震観測は1991年3月より観測を始め、表3.5-1に示すように気象庁震度階（水戸）で震度Ⅱ以上を17波観測している。（1994年3月現在）。

(4) 地震観測結果

GL-1.0mの加速度に対する第二層加速度の応答倍率を図3.5-3に示す。この図からは、埋め込みの有無による応答性状の違いは確認できない。図3.5-4に情報センター建屋の下部基礎版加速度に対する1階の応答倍率とモデル3の下部基礎版加速度に対する上部基礎版の応答倍率を比較した図を示す。モデル3の平均値は0.8、変動係数0.5となっておりモデルの方が若干ばらつきが大きいですが、双方とも地震波入力が大きくなるに従い応答倍率は減少する傾向にある。このように実建物、縮小モデル双方の免震性能についてほぼ同等の免震効果がみられた。

更に、1991年～1993年の間で震度IVとして観測された4波（表3.5-2、図3.5-5参照）のうちA、C、D地震の観測結果に着目して、各モデルの応答性状について検討した。図3.5-6に各モデルの第二層加速度の応答スペクトルを示す。いずれの地震もモデル2のピークがモデル1に比べて若干短周期側に移行しており埋め込みによる拘束効果が若干みられるが、ピーク値は地震波によって異なっている。一方、モデル3では地震波特性の影響をほとんど受けずほぼ免震効果を発揮している。

(5) シミュレーション解析

a. 解析モデル

解析の対象観測記録はD地震、対象モデルはモデル1、モデル3とした。解析モデルを図3.5-7に示す。全体モデルは地盤の水平及び回転を考慮したSRモデルとし、動的地盤ばねは図3.5-2のGL-1.5mの地盤物性値を用いて振動アドミタンス理論に基づき算出した。上部鉄骨フレームは減衰1%の1質点せん断型モデルとし、下部コンクリート部は剛ビームでモデル化した。高減衰積層ゴムは既往の試験データを参考に、せん断弾性率、減衰の歪み依存性を反映した修正バイリニア型履歴曲線でモデル化した。また、入力は周辺地盤のGL-4.0mの観測波形を用いて1次元波動論により算出したGL-1.5mでの波形を用いた。

b. 解析結果

モデル1とモデル3の第二層の加速度応答スペクトルを観測結果と併せて図3.5-8に示す。地盤ばねがモデルの剛性に比して硬く固定条件に近くなっており地盤との相互作用による周期はみられない。モデル1の応答スペクトルのピーク約0.23秒は上部構造の1次周期である。また、モデル3の応答スペクトルのピーク約0.2秒は上部構造の1次周期であり、増幅率は非免震のモデル1に比べはるかに小さい。また、スペクトル特性もモデル1に比べフラットな性状を呈しており、免震効果が発揮されていることが確認できる。モデル1及びモデル3とも解析結果は観測波のスペクトル特性とよく対応している。

(6) まとめ

構造縮小モデルの地震観測により、実建物との相互比較を行い免震効果を確認した。また、シミュレーション解析により高減衰型免震構造のモデル化の妥当性を把握した。

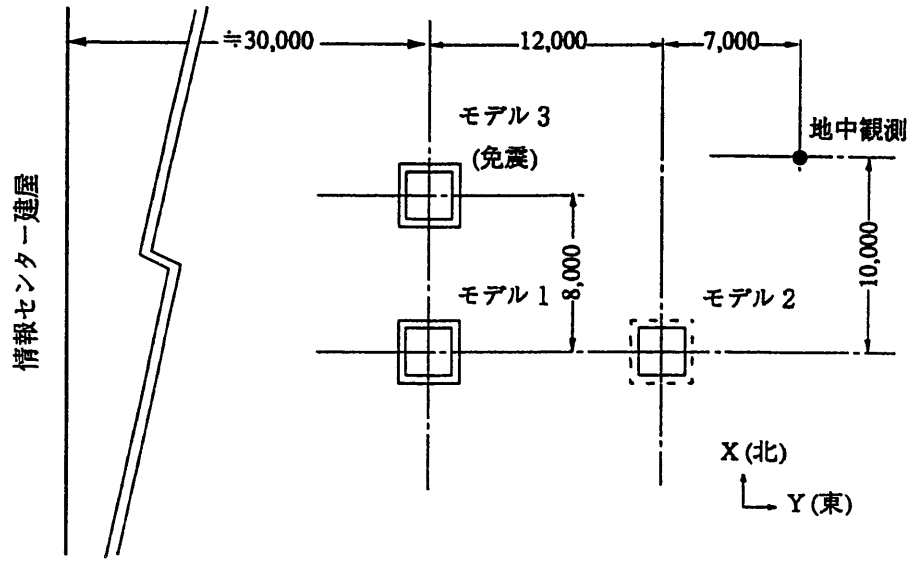


図3.5-1 構造モデルの配置

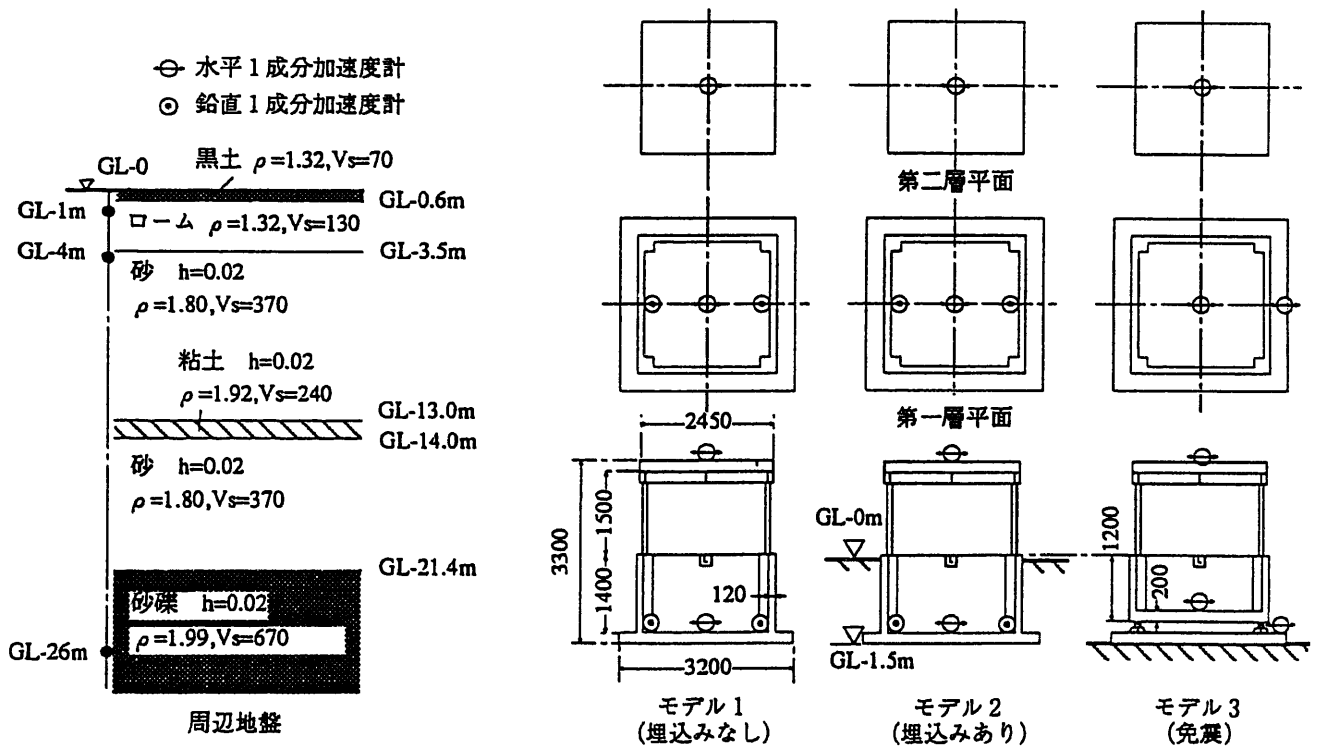


図3.5-2 地震計設置位置

表3.5-1 観測震度階回数

震度階	回数
II以下	27
III	13
IV	4

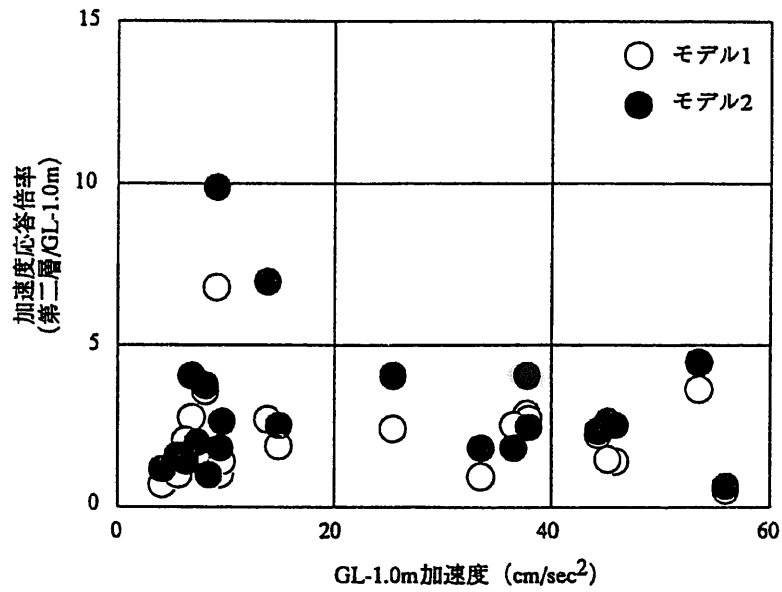


図3.5-3 加速度応答倍率

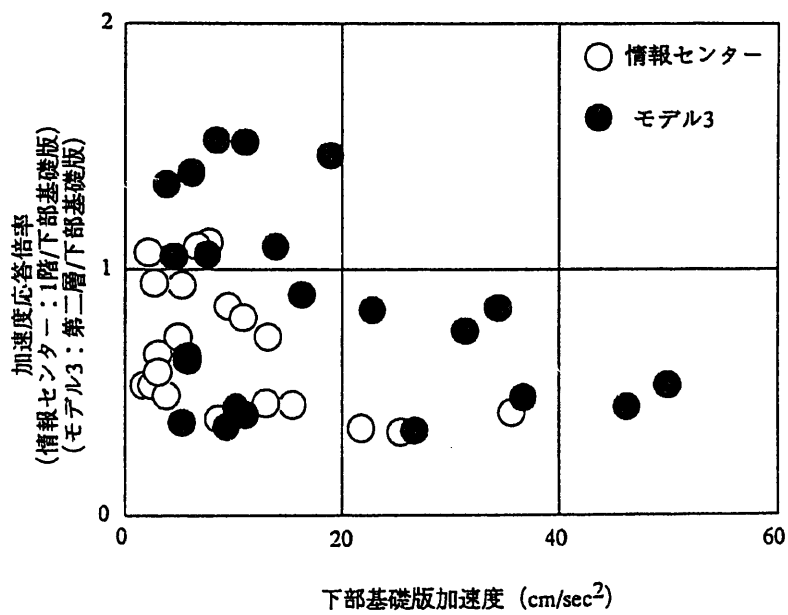


図3.5-4 地震レベルと免震効果

表3.5-2 情報センター建屋における水戸震度IVの地震記録及び地表面 (GL-1.06m) の最大加速度

記号	発生場所	年月日	M	Δ	D	X	観測値 α max (Gal)		
							X	Y	Z
A	鹿島灘	1991.12.12	4.6	25	48	54	X:52.2	Y:44.2	Z: 6.1
B	茨城県南西部	1992.4.14	4.9	65	62	90	X:30.9	Y:28.7	Z:16.2
C	茨城県中部	1992.5.11	5.6	30	56	64	X:44.2	Y:38.1	Z:23.8
D	鹿島灘	1993.9.18	5.1	23	30	38	X:61.0	Y:53.5	Z:26.7

注) M: マグネチュード、Δ: 震央距離、D: 震源深さ(m)、X: 震源距離(km)

X: NS、Y: EW、Z: UD

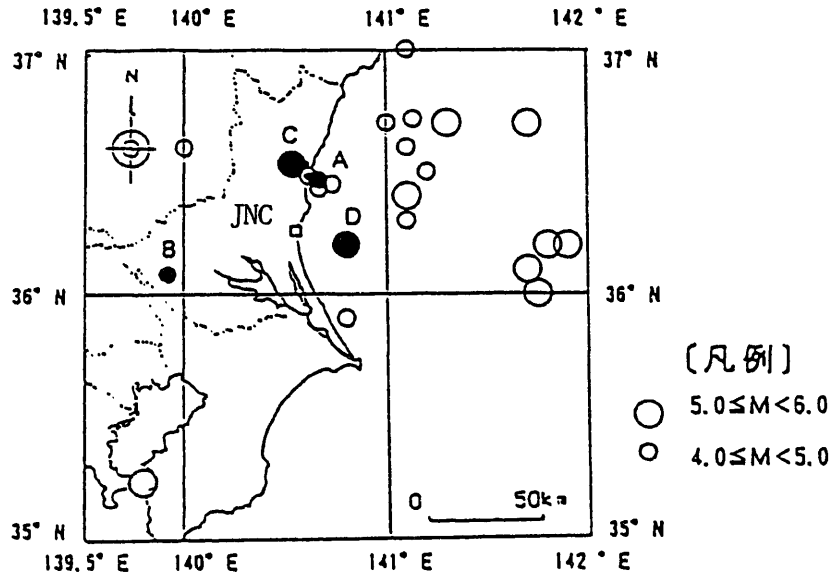


図3.5-5 観測地震の震源位置

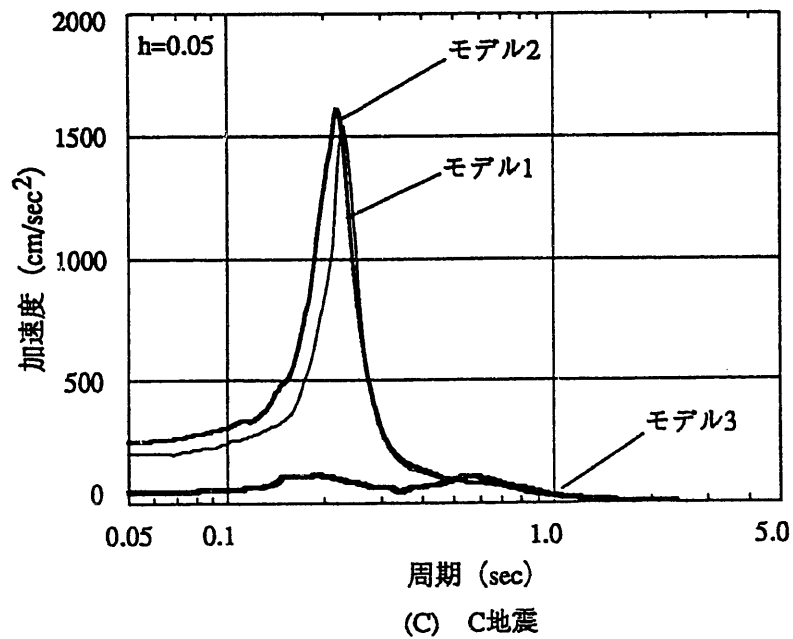
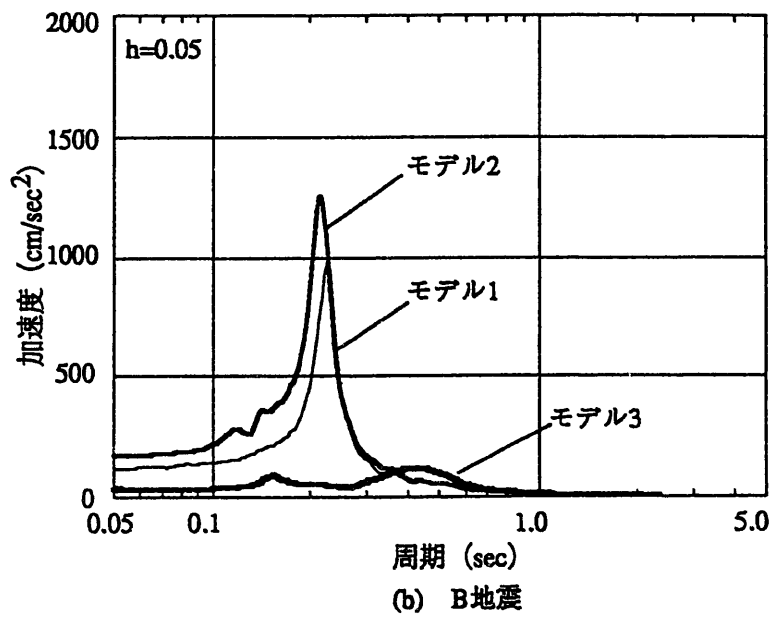
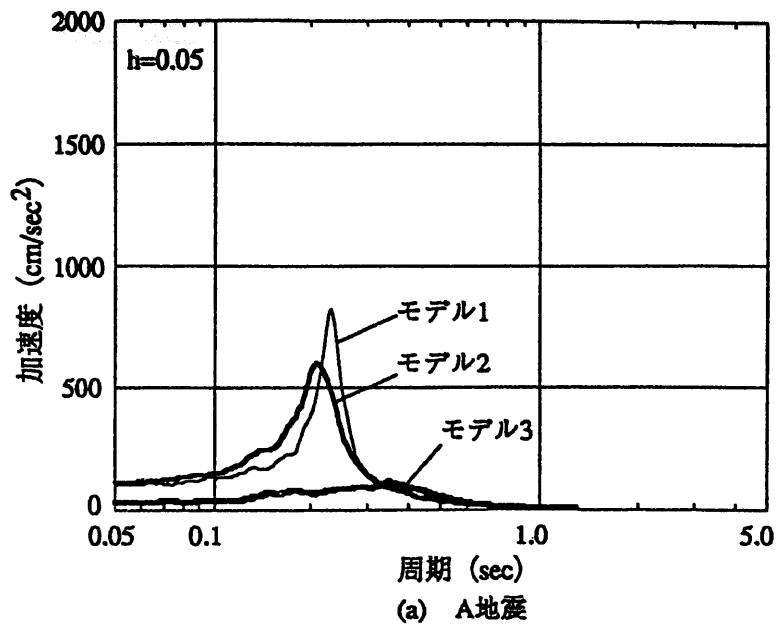
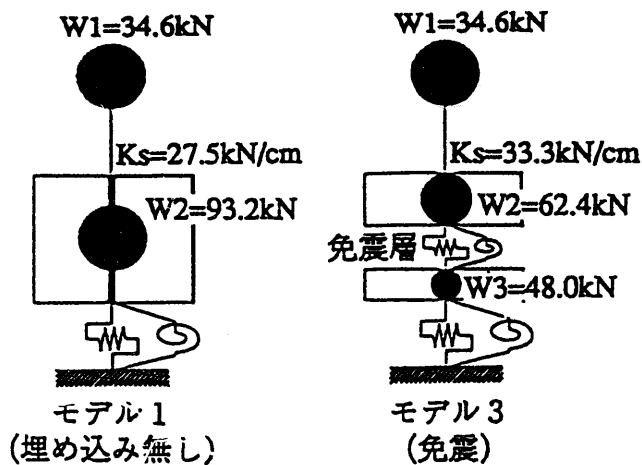
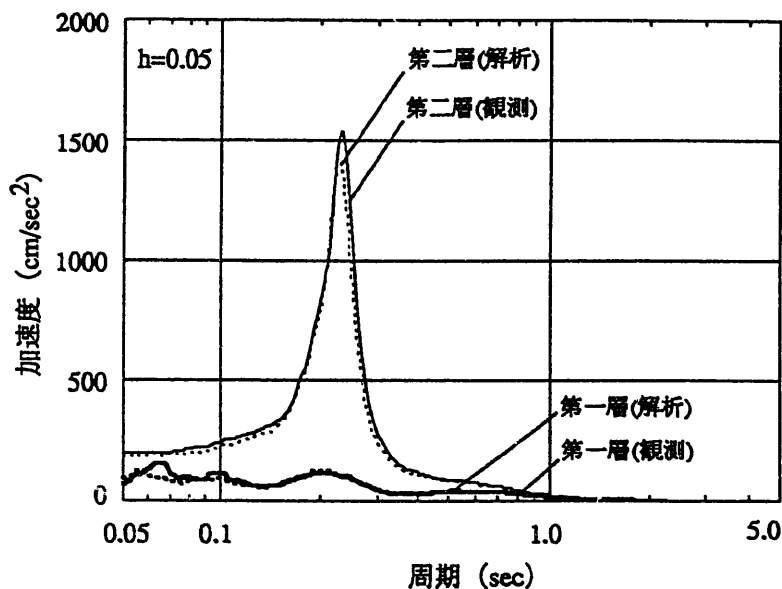


図3.5-6 加速度応答スペクトル (観測)

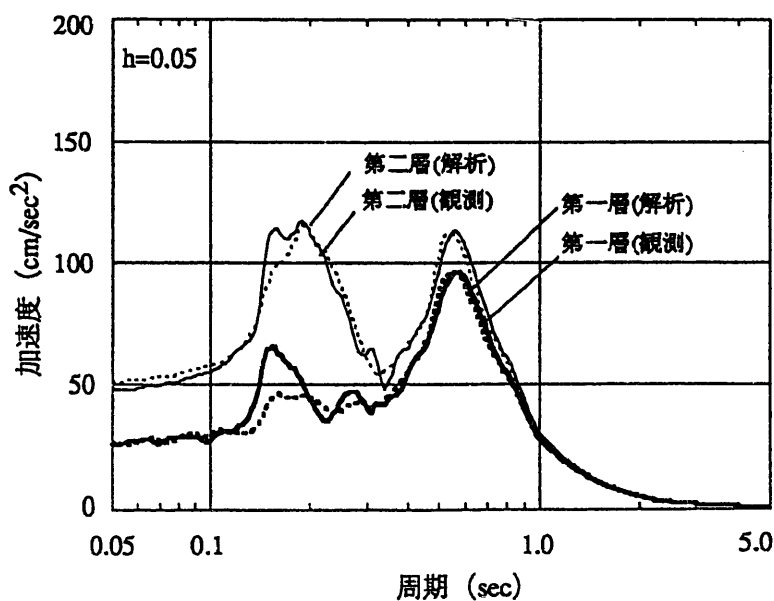


地盤： $K_s=19.4 \times 10^4 \text{ kN/cm}$
 $K_r=59.3 \times 10^4 \text{ kN/cm}$

図3.5-7 解析モデル



(a) モデル1



(b) モデル3

図3.5-8 加速度応答スペクトル (D地震解析結果)

4. 免震用渡り配管の静的変形性能確認試験

4.1 目的

免震構造を採用する場合、建屋の上部構造と下部基礎版間には地震時の地震動による相対変位が生じるため、上部構造と下部基礎版間の渡り配管には、伸縮管継手などにより、この相対変位を吸収させる構造を採用している。

本試験は、ヒンジ型及びジンバル型伸縮管継手（以下、ヒンジ型継手、ジンバル型継手という）を組み合わせた実機ベースの渡り配管試験体を用いて、管内水圧を加えた状態で、相対変位を静的に加える変形性能確認試験を実施し、渡り配管の健全性及び設計の妥当性を確認する。

4.2 試験概要

(1) 試験体及び試験装置

図 4.2-1 に免震用渡り配管の試験装置概要図を示す。配管は、SGP150A 鋼管を使用し、ヒンジ型継手 1 基、ジンバル型継手 2 基を含んで、L 字型に配置する。ヒンジ型継手は水平方向に回転する継手であり、ジンバル型継手は図 4.2-2 に示すように水平と上下に変位可能である。両継手とも、配管を結合するベローズと配管の力を伝達するアームピン等によって構成されている。各配管の一端はパイプ固定台に固定され、他端は変位を加えるための加力摺動台に固定される。加力摺動台は、免震建家の動きを模擬できるように、主動ウインチによって水平 2 方向（X, Y）の変位を加えることが可能となっている。また、内側の 2 配管（A, B）には、ポンプによって、水圧（10kgf / c m²）を加えることが可能である。

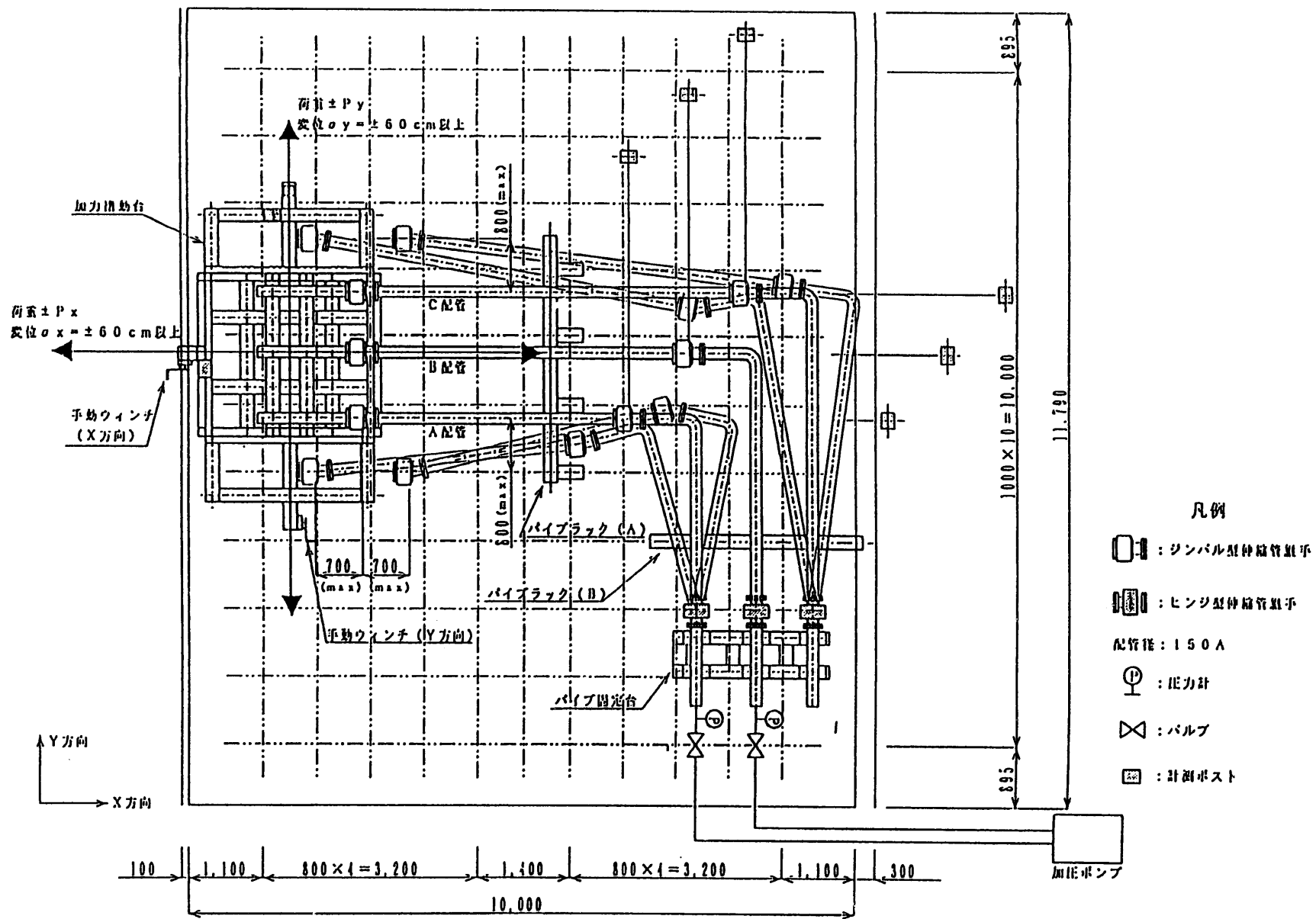


図 4.2-1 免震用渡り配管の静的変形性能確認試験装置概要図

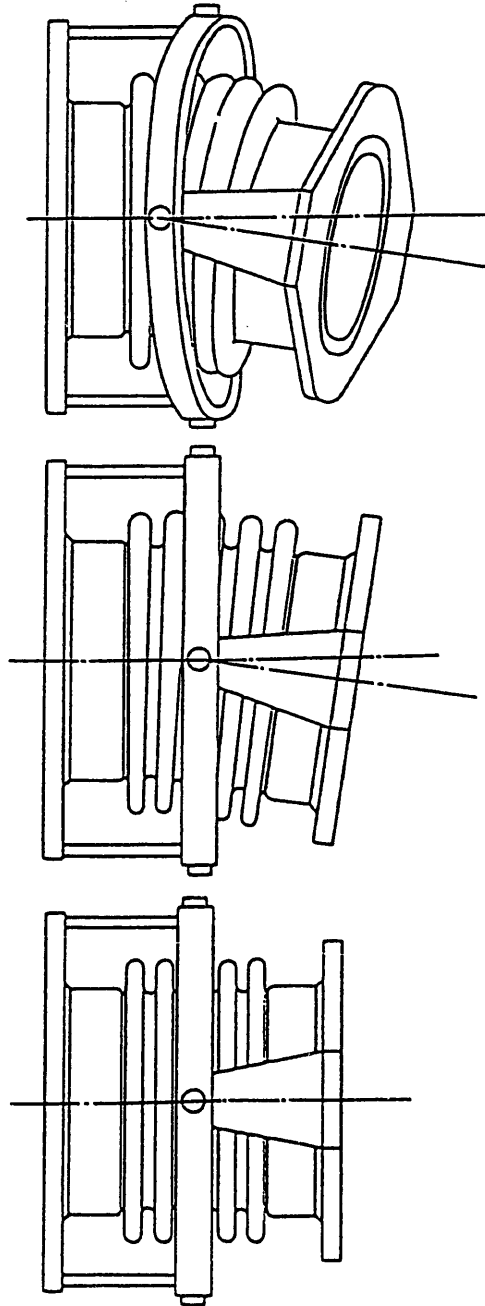


図 4.2-2 ジンバル型継手の変形状態

4.3 試験結果

(1) 試験ケース 1

試験ケース 1 の試験結果を以下の各図に示す。

(条件) : 設計レベル (30cm)、水圧なし

図 4.3-1 強制変位と中央ジンバル型継手の変位軌跡 (ケース 1)

図中にはシミュレーション解析による結果も示すが、両者は非常に良く一致している。

図 4.3-2 A 配管の継手の回転角 (ケース 1)

図中にはシミュレーション解析による結果も示すが、両者は非常に良く一致している。

図 4.3-3 A 配管の継手のモーメント (ケース 1)

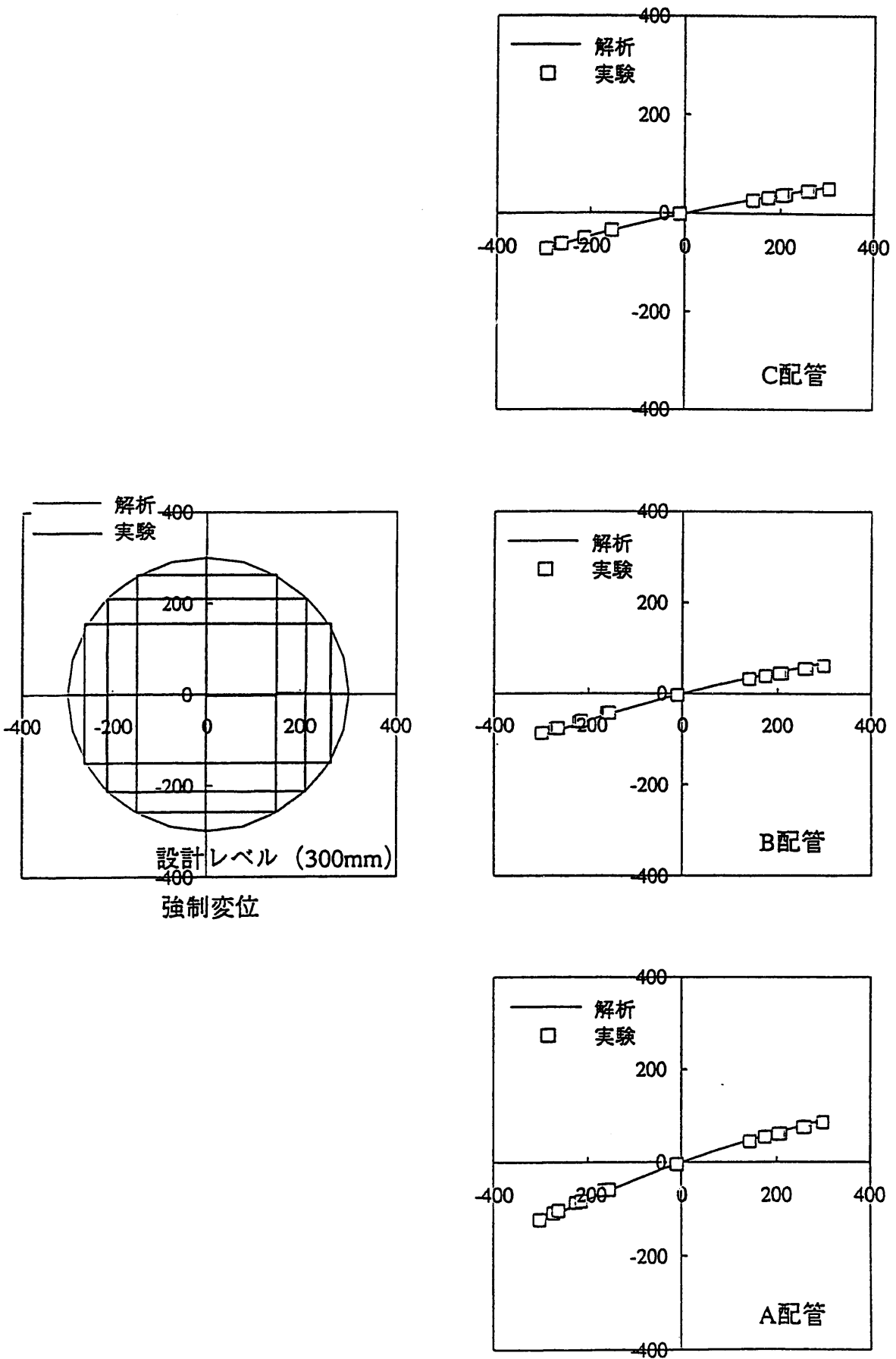
継手部モーメントの変化は、回転角の変化と良く対応しており、両者が比例関係にあることを示している。

図 4.3-4 A 配管の継手の M-R 関係 (ケース 1)

図中の実線は実験結果の近似直線、破線は JIS B 2352 のベローズ継手回転剛性の設計式によるものである。実験結果は設計式に比べ、約半分の剛性となっている。これは設計式がベローズの弾性剛性に基づくのに対し、今回のような大変形時には剛性が低下することを示していると思われる。

図 4.3-5 A 配管の継手の軸力 (ケース 1)

継手部に発生する軸力の最大値は、約 420kgf であった。



中央ジンバル型継手の変位軌跡

図 4.3-1 強制変位と中央ジンバル型継手の変位軌跡 (ケース 1)

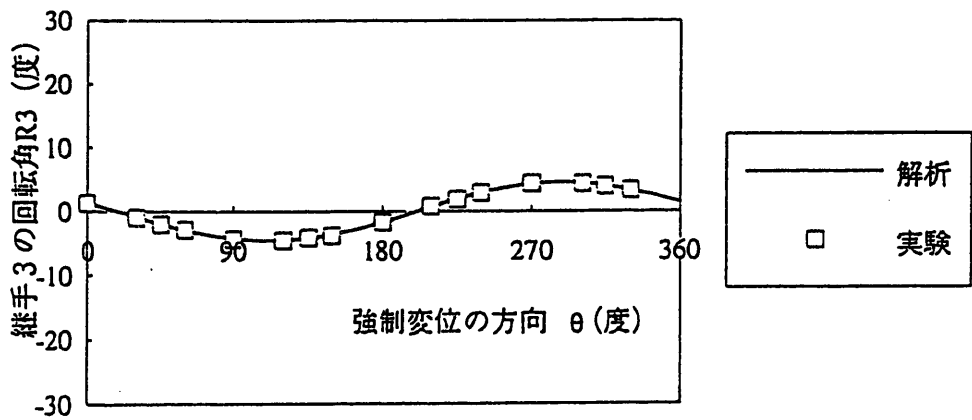
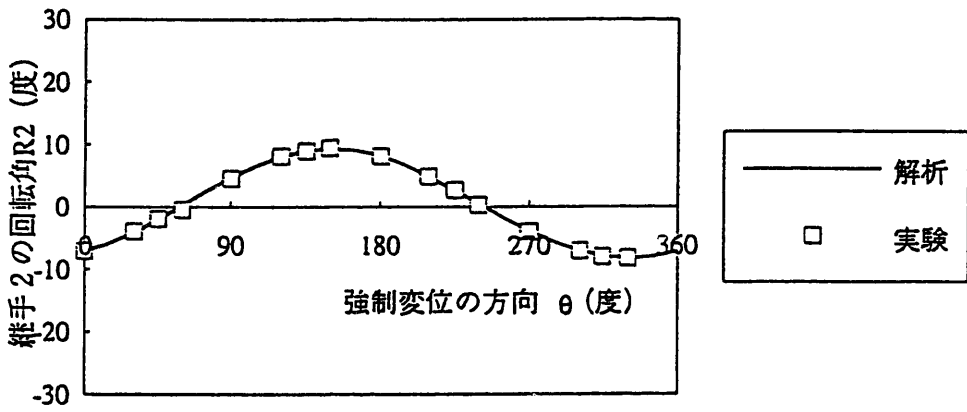
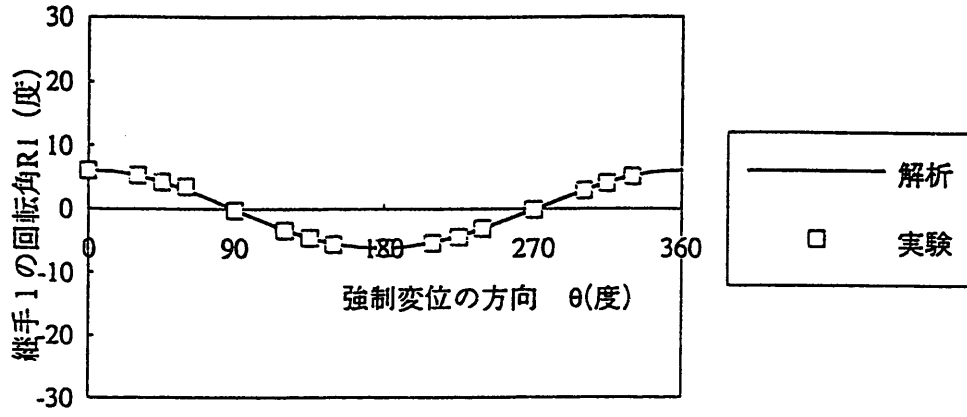
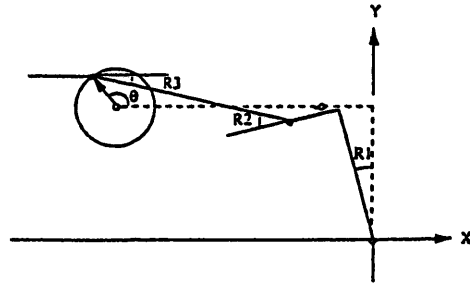


図 4.3-2 A配管の継手の回転角 (ケース1)

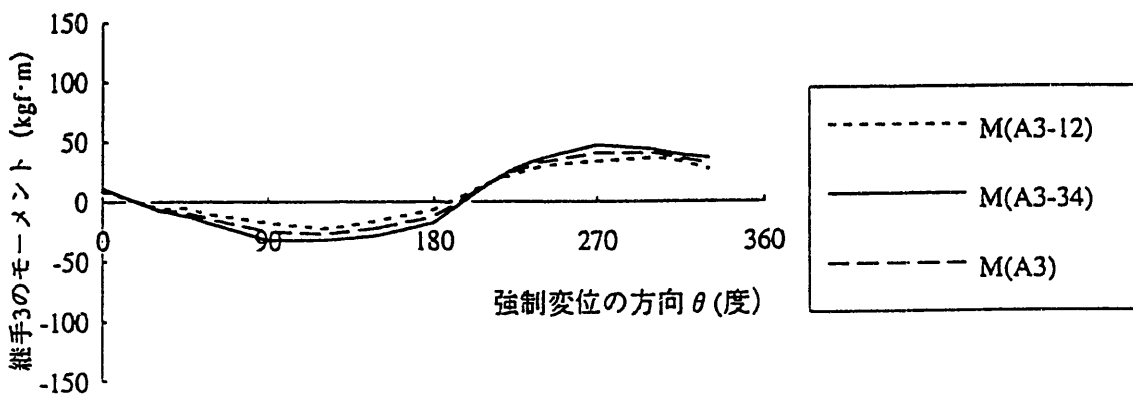
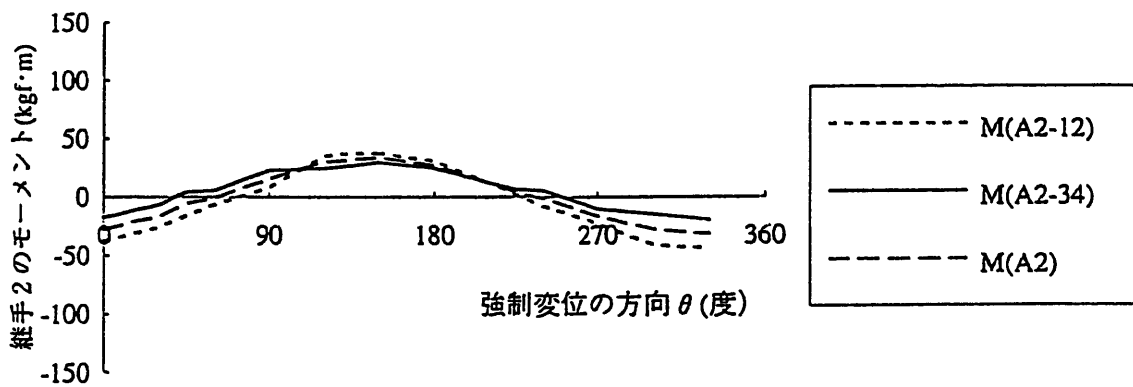
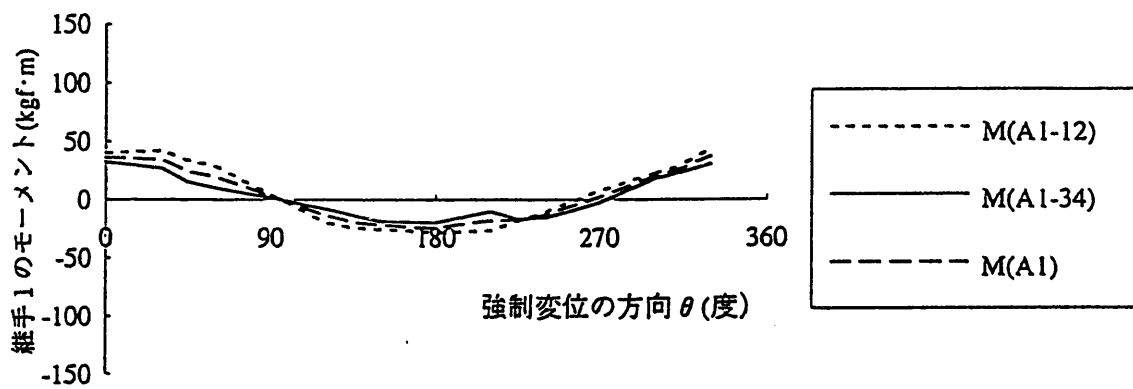
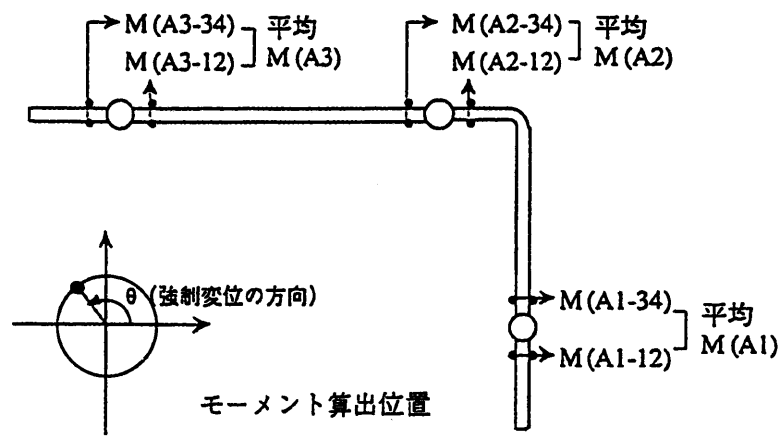


図 4.3-3 A配管の継手のモーメント (ケース1)

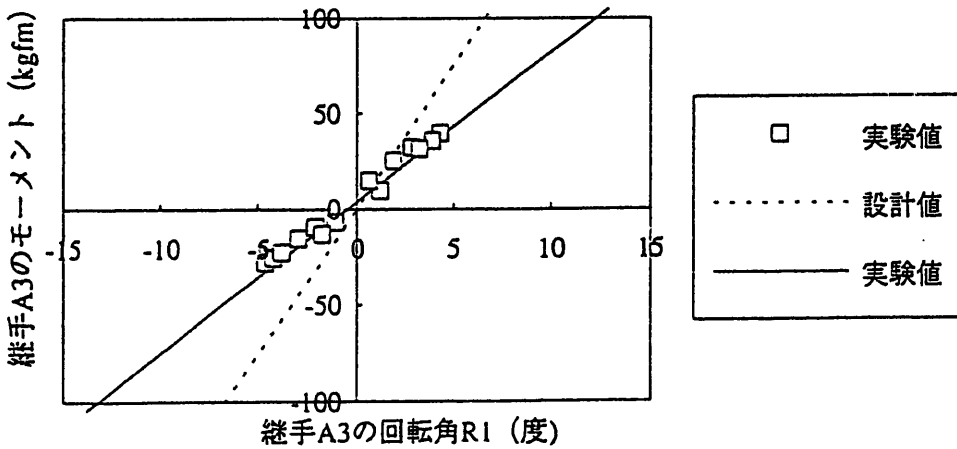
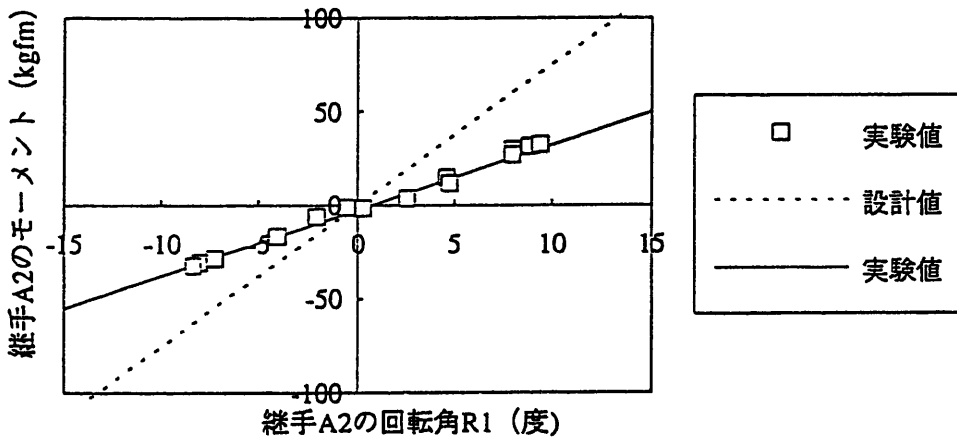
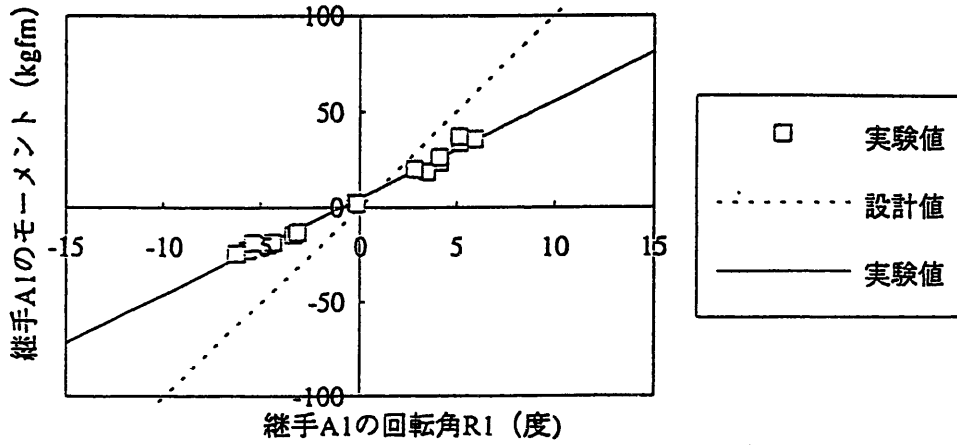
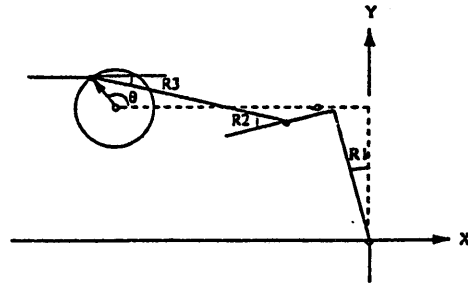


図 4.3-4 A配管の継手のM-R関係 (ケース1)

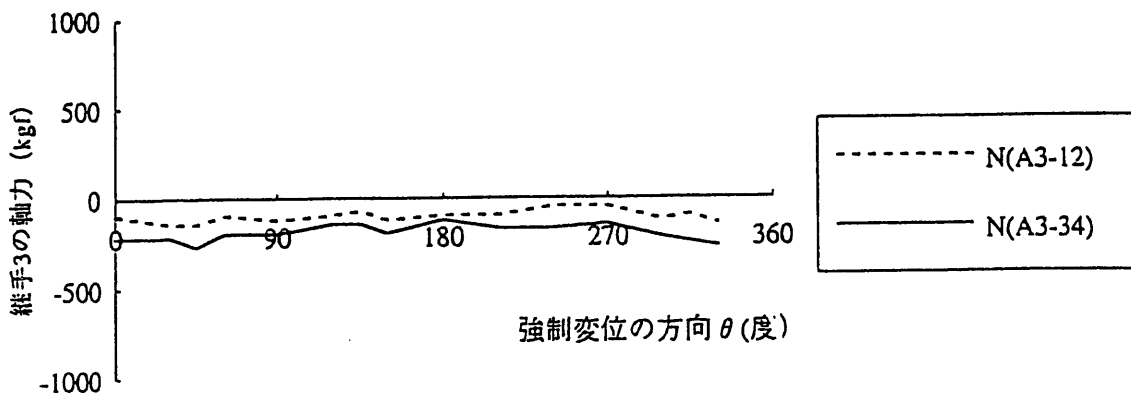
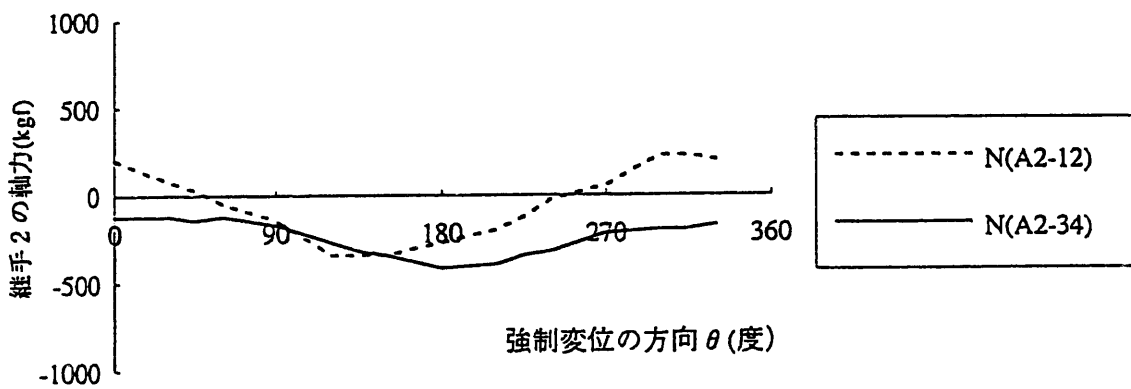
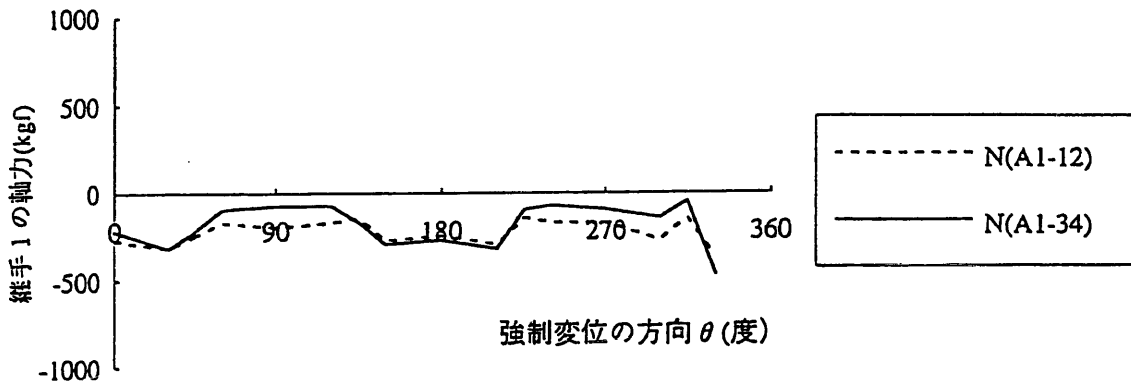
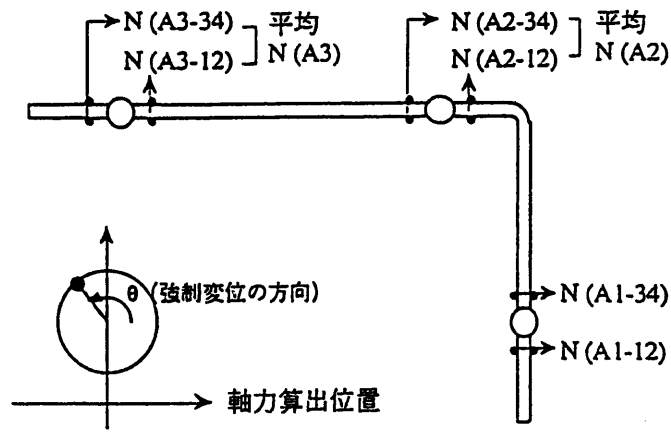


図 4.3-5 A配管の継手の軸力 (ケース1)

4.4 まとめ

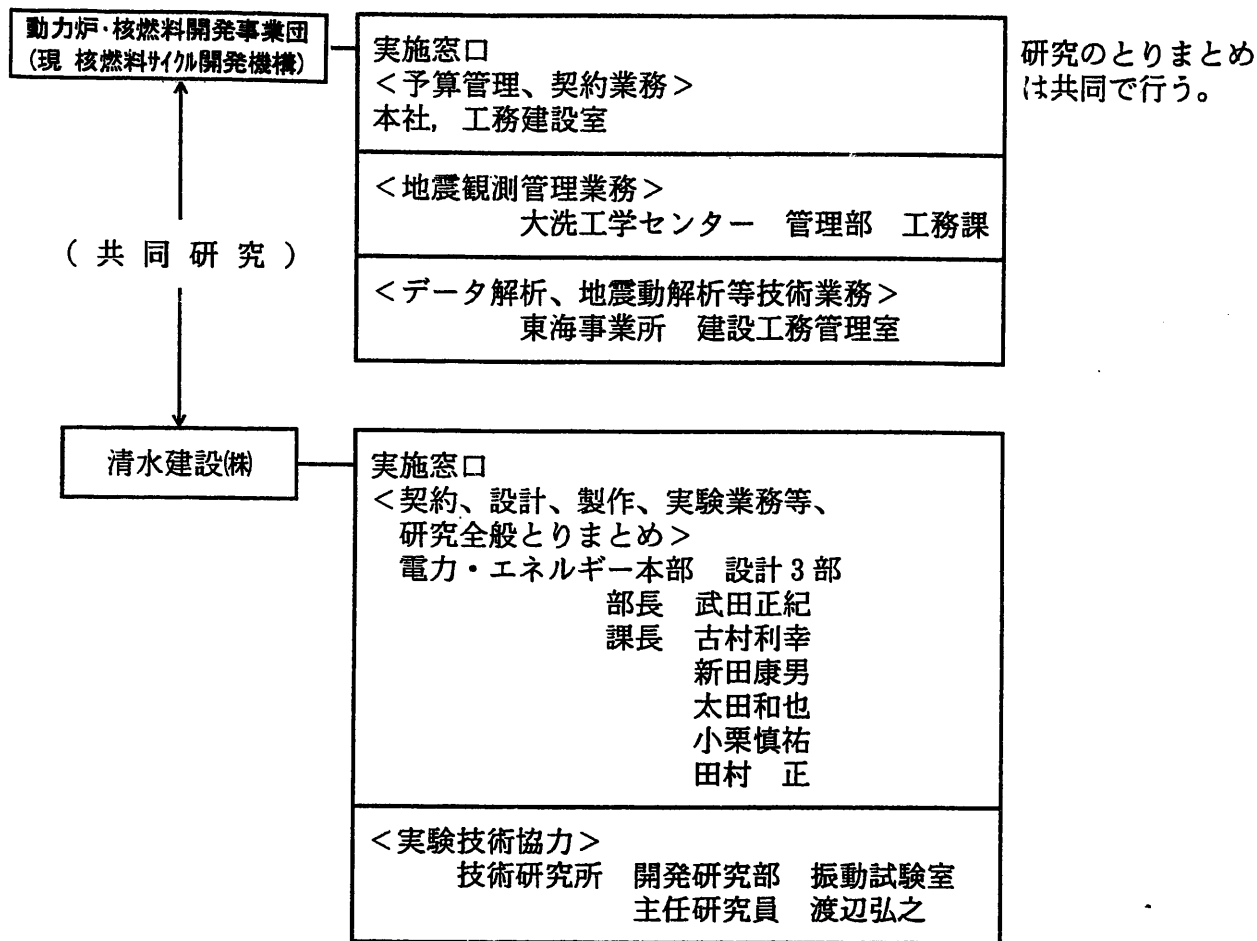
ヒンジ型及びジンバル型伸縮継絶手を組み合わせた実機ベースの免震用渡り配管の静的変形性能確認試験を実施し、終局レベルまでの渡り配管の変形追随性を確認することができた。

5. あとがき

非常に厳しいクライテリアを要求される核燃料施設に免震構法を適用するために、昭和63年から平成3年にかけて実施した共同研究（第一期）に引続き、第二期共同研究では、免震構造物の限界設計に対する考え方を整理することを目的として極限振動台試験及び大洗工学センターにおける免震構造物、埋め込み構造物と地盤の地震観測を行い、免震層及び上部構造物の動的特性を明らかにした。さらに、免震用渡り配管を用いて、管内水圧、相対変位を加える静的変形性能確認試験を実施し、変形追随性を確認した。また、本研究での研究成果は逐次建築学会等へ投稿するなど積極的に外部発表を行ってきた。

本研究により蓄積された地震情報、試験結果、解析結果により、免震構造体の安全性が確認され、核燃料施設のための免震構法の開発を進めることが可能となった。

いずれにせよ、ここまで研究が進展し、一定の成果を挙げることができたことは、関係者の尽力だけでなく、研究を支援していただいた方々並びに各種実験の実施などで研究に協力していただいた多くの方々のおかげであり、ここに、深甚なる感謝の意を表してあとがきとする。



共同研究の実施体制

第二期共同研究分担表

項目	分担者	動燃事業団	清水建設(株)	備考
1. 免震構造体				
① 上部構造体		○	—	
② 積層ゴム		○	—	
③ ストッパー		○	—	
2. 振動台試験				
① 試験実施		—	○	
② 試験消耗品等		○	○	
3. 地震観測 記録読み取り、データ作成		○	—	その都度
4. 解析、評価、報告書作成				
① 解析		○	○	年3回程度
② 評価		○	○	年3回程度
③ 報告書作成		○	○	必要に応じ

第二期概略工程表

項目	年月	平成3年度	平成4年度											平成5年度					
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	10	3		
1. A,Bシリーズ 免震構造体の設計		■																	
2. A,Bシリーズ 免震構造体の製作						■													
3. A,Bシリーズ 振動台試験										■									
4. 大洗工学センター 試験体地震観測		■																	
5. 報告書 (適宜作成)															■				

項目	年月	平成6年度											平成7年度					
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3					
1. Cシリーズ 免震構造体の設計		■																
2. Cシリーズ 免震構造体の製作						■												
3. Cシリーズ 振動台試験								■										
4. 大洗工学センター 試験体地震観測		■																
5. 報告書 (適宜作成)														■				