

上下動を考慮した免震建物の地震応答解析

1992年5月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

上下動を考慮した免震建物の地震応答解析

森下 正樹* 北村 誠司** 岩田 耕司*

要 旨

高速炉の実用化プラントにおいて、原子炉建物の水平免震と機器の上下免震を組み合わせた3次元免震構造の実現を図るべく、各種の検討が行われている。本検討はそのうち、機器の上下免震構造を創出する際に必要となる原子炉容器据付けレベルでの3次元床応答を評価することを目的としている。まず、既往の免震構造モデルの振動試験のうち、3次元地震応答試験結果を参照したシミュレーション解析を行い、上下動を含む地震応答解析手法の妥当性を確認をした。次に、この手法を用いて水平免震された原子炉建物の2次元地震応答解析を行い、免震建物における上下動応答特性を把握した。

(1) 免震構造モデルの振動試験結果の整理

合理化設計の反映された免震原子炉建物の縮小モデル（鉄骨フレームモデル）と各種免震装置（①積層ゴム+鋼材履歴ダンパー、②鉛入り積層ゴム、③高減衰積層ゴム）を組み合わせた免震構造モデルの振動台による3次元地震応答試験を行った結果を整理した。

(2) 免震構造モデルの3次元応答解析

鉄骨フレームモデルを梁要素による3次元フレームにモデル化し、免震装置モデルを要素試験で得られた各モデルの復元力特性から簡略化した等価線形モデルを用いて3次元応答解析を行った。鋼材履歴ダンパーについては、詳細な非線形梁要素モデルについても検討を行った。解析の結果、免震装置の復元力特性を等価線形化したモデルによっても、各種免震構造モデルの振動台試験の応答結果を良好に再現できることが確認できた。

(3) 免震建物の2次元地震応答解析

試設計した高速炉建物を多質点のSRモデルでモデル化し、地盤条件と免震装置特性をパラメータとして人工地震波入力による2次元地震応答解析を行って、原子炉容器据付けレベルでの3次元床応答を把握するとともに、免震建物における機器設計のために必要な地震時応答挙動について検討した。

* 機器構造開発部・構造工学室

** 現 本社 動力炉開発推進本部 開発計画室

3-D Seismic Analysis of a Base Isolated Reactor Building

M. Morishita*, S. Kitamura**, and K. Iwata*

Abstract

Various studies are being made to pursue a possibility of a 3-D seismic isolation system for a future LMFBR, where a horizontal base isolation and a vertical component isolation systems are combined. Among these, the purpose of the present study is to assess the 3-D floor response of a base isolated structure, which will serve as a premise in creating a vertical component isolation system. First, a series of response analyses corresponding to the existing test data was made to verify validity of the current 3-D analysis methodology. Then, the method was applied to an actual scale base isolated reactor building to evaluate its vertical seismic responses.

- 1) The existing test data was revisited. The tests were made on a seismic table using a steel frame upper structure with various base isolation devices, which was scaled down from an actual base isolated reactor building.
- 2) In the validation analyses, the isolation devices were characterized by an equivalent linear model based on the static test results of their restoring forces, while the upper structure was modeled as a 3-D frame.

For the steel dampers, a detailed non-linear characterization was also used. As a result, it was found that the equivalent linear models for the isolation devices provides a good estimate of the seismic response of test model.

- 3) A parametric survey was then carried out to assess the 3-D floor response of a base isolated reactor building. Here, the upper structure was modeled by a multi d.o.f stick model with sway and rocking soil springs and dampers, and the effects of the soil condition and the characteristics of the isolation devices were surveyed. From these analyses, necessary information was acquired to provide a design basis of a vertical component isolation system.

* Structural Engineering Section, Systems and Components Division

** Research and Development Planning Section, Reactor Development Project.

目 次

1. まえがき	1
2. 検討目的	3
3. 検討成果	5
3.1 免震構造モデルの3次元応答解析	6
3.1.1 既存の試験データ概要	6
3.1.2 免震構造モデルの3次元応答解析 (既存の試験データのシュミレーション解析)	25
3.2 免震建屋の2次元地震応答解析	76
3.2.1 解析概要	76
3.2.2 解析条件	76
3.2.3 解析モデルの設定	83
3.2.4 解析結果	102
4. まとめ	160
4.1 免震構造モデルの3次元応答解析	161
4.2 免震建屋の2次元地震応答解析	161
5. あとがき	162
6. 参考文献	164

Appendix

1. 既存の振動台試験のシュミレーション解析	167
1.1 シミュレーション解析の概要	167

1.2 入力レベルの違いによる地震応答特性試験のシミュレーション解析	167
1.2.1 解析条件	167
1.2.2 解析結果	171
2. FINAS入力データの例	327

目 次

List of Figures

図 3.1.1-1	高速炉建物の設計例	9
Fig. 3.1.1-1	Design Example of FBR Building	
図 3.1.1-2	壁厚の比較	10
Fig. 3.1.1-2	Comparison of Wall Thickness	
図 3.1.1-3	免震装置の設計例	15
Fig. 3.1.1-3	Design Example of Base Isolation Device	
図 3.1.1-4	免震装置の配置例	16
Fig. 3.1.1-4	Example of Base Isolation Device Arrangement	
図 3.1.1-5	免震装置の相似則関係	18
Fig. 3.1.1-5	Reduction Rule of Base Isolation Device	
図 3.1.1-6	供試体の全体形状	19
Fig. 3.1.1-6	Base Isolation Building Model	
図 3.1.1-7	各免震装置の履歴特性	21
Fig. 3.1.1-7	Hysteretic Characteristics of Each Base Isolation Devices	
図 3.1.2-1	FINAS 3次元フレームモデル (等価線形型) 概念図	27
Fig. 3.1.2-1	3-Dimension Analysis Frame Model for FINAS (Equivalent Linear Type)	
図 3.1.2-2	FINAS 3次元フレームモデル (積層ゴム+鋼材ダンパー全体モデル) 概念図	28
Fig. 3.1.2-2	3-Dimension Analysis Frame Model for FINAS (Rubber Bearing+Steel Damper Type)	
図 3.1.2-3	積層ゴムのモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)	30
Fig. 3.1.2-3	Simulation Model of Rubber Bearing (Equivalent-linear Model of Experimental Values)	
図 3.1.2-4	積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta=0.1$) のモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)	31
Fig. 3.1.2-4	Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta=0.1$) (Equivalent-linear Model of Experimental Values)	
図 3.1.2-5	鉛入り積層ゴムのモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)	32
Fig. 3.1.2-5	Simulation Model of Lead Rubber Bearing (Equivalent-linear Model of Experimental Values)	
図 3.1.2-6	高減衰積層ゴムのモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)	33
Fig. 3.1.2-6	Simulation Model of High Damping Rubber Bearing (Equivalent-linear Model of Experimental Values)	

図 3.1.2-7	鋼棒ダンパー (弾塑性梁要素) のモデル化フロー ($\beta=0.1$ の場合)	34
Fig. 3.1.2-7	Flow of Modeling Steel Damper(Plasto-elastic Beam Element) (in Case of $\beta=0.1$)	
図 3.1.2-8	非線形梁要素 4 tonモデル ($\beta=0.1$)	34
Fig. 3.1.2-8	Element of Non-linear Beam, 4 ton-model ($\beta=0.1$)	
図 3.1.2-9	加速度及び変位応答時刻歴 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)	36
Fig. 3.1.2-9	Time History Response of Acceleration and Displacement (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-10	加速度及び変位応答時刻歴 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルE)	37
Fig. 3.1.2-10	Time History Response of Acceleration and Displacement (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-11	加速度及び変位応答時刻歴 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)	38
Fig. 3.1.2-11	Time History Response of Acceleration and Displacement (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-12	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)	39
Fig. 3.1.2-12	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-13	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルE)	40
Fig. 3.1.2-13	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-14	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)	41
Fig. 3.1.2-14	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-15	免震装置の履歴曲線 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)	42
Fig. 3.1.2-15	Hysteresis Loop of Total Device (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-16	免震装置の変位オービット (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデルE)	43
Fig. 3.1.2-16	Orbit Curve of Base Isolation Devices (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, EW-ns, Model E)	
図 3.1.2-17	加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)	44
Fig. 3.1.2-17	Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	

図 3.1.2-18	加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルE)	45
Fig. 3.1.2-18	Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-19	加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)	46
Fig. 3.1.2-19	Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-20	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)	47
Fig. 3.1.2-20	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-21	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルE)	48
Fig. 3.1.2-21	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-22	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)	49
Fig. 3.1.2-22	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-23	免震装置の履歴曲線 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)	50
Fig. 3.1.2-23	Hysteresis Loop of Total Device (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-24	免震装置の変位オービット (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデルE)	51
Fig. 3.1.2-24	Orbit Curve of Base Isolation Devices (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW-ns, Model E)	
図 3.1.2-25	加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルF)	52
Fig. 3.1.2-25	Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model F)	
図 3.1.2-26	加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルF)	53
Fig. 3.1.2-26	Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model F)	
図 3.1.2-27	加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルF)	54
Fig. 3.1.2-27	Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model F)	
図 3.1.2-28	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルF)	55
Fig. 3.1.2-28	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model F)	

図 3.1.2-29	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル F)	56
Fig. 3.1.2-29	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model F)	
図 3.1.2-30	最大加速度応答及び床応答スペクトル (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル F)	57
Fig. 3.1.2-30	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model F)	
図 3.1.2-31	免震装置の履歴曲線 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル F)	58
Fig. 3.1.2-31	Hysteresis Loop of Total Device (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model F)	
図 3.1.2-32	免震装置の変位オービット (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデル F)	59
Fig. 3.1.2-32	Orbit Curve of Base Isolation Devices (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW-ns, Model F)	
図 3.1.2-33	加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)	60
Fig. 3.1.2-33	Time History Response of Acceleration and Displacement (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-34	加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)	61
Fig. 3.1.2-34	Time History Response of Acceleration and Displacement (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-35	加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル E)	62
Fig. 3.1.2-35	Time History Response of Acceleration and Displacement (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-36	最大加速度応答及び床応答スペクトル (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)	63
Fig. 3.1.2-36	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-37	最大加速度応答及び床応答スペクトル (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)	64
Fig. 3.1.2-37	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-38	最大加速度応答及び床応答スペクトル (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル E)	65
Fig. 3.1.2-38	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-39	免震装置の履歴曲線 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)	66
Fig. 3.1.2-39	Hysteresis Loop of Total Device (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	

図 3.1.2-40	免震装置の変位オービット (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデル E)	67
Fig. 3.1.2-40	Orbit Curve of Base Isolation Devices (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, EW-Ns, Model E)	
図 3.1.2-41	加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)	68
Fig. 3.1.2-41	Time History Response of Acceleration and Displacement (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-42	加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)	69
Fig. 3.1.2-42	Time History Response of Acceleration and Displacement (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-43	加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル E)	70
Fig. 3.1.2-43	Time History Response of Acceleration and Displacement (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-44	最大加速度応答及び床応答スペクトル (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)	71
Fig. 3.1.2-44	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-45	最大加速度応答及び床応答スペクトル (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)	72
Fig. 3.1.2-45	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)	
図 3.1.2-46	最大加速度応答及び床応答スペクトル (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル E)	73
Fig. 3.1.2-46	Maximum Acceleration and Floor Response Spectra (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)	
図 3.1.2-47	免震装置の履歴曲線 (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)	74
Fig. 3.1.2-47	Hysteresis Loop of Total Device (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)	
図 3.1.2-48	免震装置の変位オービット (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデル E)	75
Fig. 3.1.2-48	Orbit Curve of Base Isolation Devices (HDR, FINAS 3-direction Frame Model, EW-Ns, Model E)	
図 3.2.2-1	免震装置の復元力特性	78
Fig. 3.2.2-1	Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices	
図 3.2.2-2	入力地震波の時刻歴	79
Fig. 3.2.2-2	Time History of Input Waves	
図 3.2.2-3	入力地震波の加速度応答スペクトル (h=5%)	80
Fig. 3.2.2-3	Acceleration Response Spectrum (h=5%)	
図 3.2.3-1	解析モデル	85
Fig. 3.2.3-1	Analysis Model	

図 3.2.3-2	免震装置の復元力特性モデル	87
Fig. 3.2.3-2	Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices	
図 3.2.3-3	免震建屋の地盤ばね定数の算定	90
Fig. 3.2.3-3	Damping Factor of Soil Spring of Base Isolation Building	
図 3.2.3-4	固有モード (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	93
Fig. 3.2.3-4	Natural Modes (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.3-5	固有モード (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	94
Fig. 3.2.3-5	Natural Modes (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.3-6	固有モード (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	95
Fig. 3.2.3-6	Natural Modes (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6Hz)	
図 3.2.3-7	固有モード (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	96
Fig. 3.2.3-7	Natural Modes (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.3-8	固有モード (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	97
Fig. 3.2.3-8	Natural Modes (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.3-9	固有モード (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	98
Fig. 3.2.3-9	Natural Modes (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6Hz)	
図 3.2.4-1	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	104
Fig. 3.2.4-1	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4-2	水平最大応答加速度 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	105
Fig. 3.2.4-2	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4-3	水平最大応答変位 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	106
Fig. 3.2.4-3	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4-4	上下最大応答加速度 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	107
Fig. 3.2.4-4	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4-5	上下最大応答変位 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	108
Fig. 3.2.4-5	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4-6	床応答スペクトル (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz, 質点 No. 5)	109
Fig. 3.2.4-6	Floor Response Spectrum (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz, Mass No. 5)	
図 3.2.4-7	免震装置の履歴特性 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)	110
Fig. 3.2.4-7	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-1:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	

図 3.2.4-8	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	111
Fig. 3.2.4-8	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4-9	水平最大応答加速度 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	112
Fig. 3.2.4-9	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4-10	水平最大応答変位 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	113
Fig. 3.2.4-10	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4-11	上下最大応答加速度 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	114
Fig. 3.2.4-11	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4-12	上下最大応答変位 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	115
Fig. 3.2.4-12	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4-13	床応答スペクトル (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz, 質点 No. 5)	116
Fig. 3.2.4-13	Floor Response Spectrum (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No. 5)	
図 3.2.4-14	免震装置の履歴特性 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)	117
Fig. 3.2.4-14	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4-15	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	118
Fig. 3.2.4-15	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3.2.4-16	水平最大応答加速度 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	119
Fig. 3.2.4-16	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3.2.4-17	水平最大応答変位 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	120
Fig. 3.2.4-17	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3.2.4-18	上下最大応答加速度 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	121
Fig. 3.2.4-18	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3.2.4-19	上下最大応答変位 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	122
Fig. 3.2.4-19	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3.2.4-20	床応答スペクトル (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz, 質点 No. 5)	123
Fig. 3.2.4-20	Floor Response Spectrum (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz, Mass No. 5)	

図 3.2.4 - 21	免震装置の履歴特性 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性18Hz)	124
Fig. 3.2.4 - 21	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness18Hz)	
図 3.2.4 - 22	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)	125
Fig. 3.2.4 - 22	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-4:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4 - 23	水平最大応答加速度 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)	126
Fig. 3.2.4 - 23	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4 - 24	水平最大応答変位 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)	127
Fig. 3.2.4 - 24	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4 - 25	上下最大応答加速度 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)	128
Fig. 3.2.4 - 25	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4 - 26	上下最大応答変位 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)	129
Fig. 3.2.4 - 26	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4 - 27	床応答スペクトル (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz, 質点No. 5)	130
Fig. 3.2.4 - 27	Floor Response Spectrum (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz, Mass No. 5)	
図 3.2.4 - 28	免震装置の履歴特性 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)	131
Fig. 3.2.4 - 28	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	
図 3.2.4 - 29	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)	132
Fig. 3.2.4 - 29	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4 - 30	水平最大応答加速度 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)	133
Fig. 3.2.4 - 30	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4 - 31	水平最大応答変位 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)	134
Fig. 3.2.4 - 31	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4 - 32	上下最大応答加速度 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)	135
Fig. 3.2.4 - 32	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3.2.4 - 33	上下最大応答変位 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)	136
Fig. 3.2.4 - 33	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	

図 3. 2. 4 - 34	床応答スペクトル (ケース 5 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz, 質点No. 5)	137
Fig. 3. 2. 4 - 34	Floor Response Spectrum (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No. 5)	
図 3. 2. 4 - 35	免震装置の履歴特性 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)	138
Fig. 3. 2. 4 - 35	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3. 2. 4 - 36	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	139
Fig. 3. 2. 4 - 36	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-6:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3. 2. 4 - 37	水平最大応答加速度 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	140
Fig. 3. 2. 4 - 37	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3. 2. 4 - 38	水平最大応答変位 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	141
Fig. 3. 2. 4 - 38	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3. 2. 4 - 39	上下最大応答加速度 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	142
Fig. 3. 2. 4 - 39	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3. 2. 4 - 40	上下最大応答変位 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	143
Fig. 3. 2. 4 - 40	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3. 2. 4 - 41	床応答スペクトル (ケース 6 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz, 質点No. 5)	144
Fig. 3. 2. 4 - 41	Floor Response Spectrum (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz, Mass No. 5)	
図 3. 2. 4 - 42	免震装置の履歴特性 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)	145
Fig. 3. 2. 4 - 42	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	
図 3. 2. 4 - 43	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	146
Fig. 3. 2. 4 - 43	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3. 2. 4 - 44	水平最大応答加速度 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	147
Fig. 3. 2. 4 - 44	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3. 2. 4 - 45	水平最大応答変位 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	148
Fig. 3. 2. 4 - 45	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	
図 3. 2. 4 - 46	上下最大応答加速度 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性18Hz)	149
Fig. 3. 2. 4 - 46	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	

図 3.2.4-47	上下最大応答変位 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	.....	150
Fig. 3.2.4-47	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		
図 3.2.4-48	床応答スペクトル (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz, 質点No. 5)	.....	151
Fig. 3.2.4-48	Floor Response Spectrum (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No.5)		
図 3.2.4-49	免震装置の履歴特性 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	....	152
Fig. 3.2.4-49	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		
図 3.2.4-50	加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	.....	153
Fig. 3.2.4-50	Time History Response of Acceleration and Displacement (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		
図 3.2.4-51	水平最大応答加速度 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	....	154
Fig. 3.2.4-51	Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		
図 3.2.4-52	水平最大応答変位 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	.....	155
Fig. 3.2.4-52	Horizontal Maximum Displacement Response Analyses (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		
図 3.2.4-53	上下最大応答加速度 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性18Hz)	....	156
Fig. 3.2.4-53	Vertical Maximum Accerelation Response Analyses (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)		
図 3.2.4-54	上下最大応答変位 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	.....	157
Fig. 3.2.4-54	Vertical Maximum Displacement Response Analyses (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		
図 3.2.4-55	床応答スペクトル (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz, 質点No. 5)	.....	158
Fig. 3.2.4-55	Floor Response Spectrum (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No.5)		
図 3.2.4-56	免震装置の履歴特性 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)	....	159
Fig. 3.2.4-56	Hysteresis Loop of Tital Device (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)		

表 目 次

List of Tables

表 3.1.1-1 Table 3.1.1-1	免震装置の評価 Evaluation of Base Isolation Devices	12
表 3.1.1-2 Table 3.1.1-2	免震装置復元力特性の評価(硬質地盤, 300Gal入力) Evaluation of Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices (Hard Rock Site, 300Gal Input)	13
表 3.1.1-3 Table 3.1.1-3	免震装置復元力特性の設定 Establish of Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices	14
表 3.1.1-4 Table 3.1.1-4	実建屋と縮小モデルの相似則関係 Reduction Rule of Isolation Building and Models	17
表 3.1.1-5(a) Table 3.1.1-5(a)	加振計画一覧 List of Shaking Programs	23
表 3.1.1-5(b) Table 3.1.1-5(b)	加振計画一覧 List of Shaking Programs	24
表 3.1.2-1 Table 3.1.2-1	免震構造モデルの3次元応答解析ケース Analysis Cases for 3-dimension Response of Base Isolation Structural Model	25
表 3.2.2-1 Table 3.2.2-1	地盤物性値 Physical Properties of Soil	79
表 3.2.2-2 Table 3.2.2-2	解析ケース Analysis Cases	82
表 3.2.3-1 Table 3.2.3-1	建屋モデル諸元 Properties of Building	86
表 3.2.3-2 Table 3.2.3-2	免震装置の諸元 Properties of Base Isolation Devices	87
表 3.2.3-3 Table 3.2.3-3	地盤ばね定数 Properties of Soil Springs	90
表 3.2.3-4 Table 3.2.3-4	地盤ばね減衰定数(免震無し建屋) Constants of Damping Factor of Soil Springs (Non Base Isolated Buildings)	90
表 3.2.3-5 Table 3.2.3-5	地盤ばね減衰定数 Constants of Damping Factor of Soil Springs	91
表 3.2.3-6 Table 3.2.3-6	免震建屋地盤ばねの減衰定数算定のための固有値解析結果 Results of Eigenvalue Analysis for Constants of Damping Factor of Soil Springs	92

表 3.2.3-7 Table 3.2.3-7	固有値解析結果 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz) Results of Eigenvalue Analysis (Case-1: Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	.... 99
表 3.2.3-8 Table 3.2.3-8	固有値解析結果 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz) Results of Eigenvalue Analysis (Case-2: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	.... 99
表 3.2.3-9 Table 3.2.3-9	固有値解析結果 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz) Results of Eigenvalue Analysis (Case-3: Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	.... 100
表 3.2.3-10 Table 3.2.3-10	固有値解析結果 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性 18Hz) Results of Eigenvalue Analysis (Case-4: Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)	.... 100
表 3.2.3-11 Table 3.2.3-11	固有値解析結果 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性 12Hz) Results of Eigenvalue Analysis (Case-5: Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)	.... 101
表 3.2.3-12 Table 3.2.3-12	固有値解析結果 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz) Results of Eigenvalue Analysis (Case-6: Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)	.... 101

1. ま え が き

1. ま え が き

高速炉の実用化にあたって、機器の構造成立性とプラントの経済的成立性の両観点から、耐震設計の大幅な合理化の達成が必要不可欠である。免震構造の適用によって建物・機器への地震入力の低減を図る方法はその有効な手段となり得る。積層ゴムと何らかのエネルギー吸収機構の組合せによって建物全体を（水平）免震支持する方式については、従来から振動試験・解析を含む研究開発を行っており、ひとつおりの見通しが得られている。

(1)～(4) また、電中研においても通産省の委託事業として、高速炉への建物免震構造の実用を目指した大規模な試験研究が進行中である⁽⁵⁾。

建物免震の場合、上下地震動に対しては、積層ゴムの軸剛性を可能な限り高く設計することにより、少なくとも免震装置の介在による上部構造の上下方向の応答増幅を回避する、という考え方が採られるのが一般的である。しかしながら、実際にはある程度の応答増幅は避けられない。一方で、従来の静的設計に替わり、上下動に対しても動的解析による設計を行う方向での流れがある。この場合、従来の静的震度による設計と比較して、上下動地震力は厳しくなる傾向があるが、高速炉においては上下動が設計上クリティカルとなる構造部位も存在し、今後設計上の過大になることも考えられる。このような観点から、原子炉建屋の水平免震と機器の上下免震を組み合わせた3次元免震構造の実現を図るべく、各種の検討が行われている。ここではその一環として、機器の上下免震を創出する際に必要となる、原子炉据付けレベルでの3次元的な床応答を評価するため、水平免震された原子炉建屋の2次元地震応答解析を行うこととした。

2. 検 討 目 的

2. 検 討 目 的

高速炉の実用化プラントにおいて、原子炉建屋の水平免震と機器の上下免震を組み合わせた3次元免震構造の実現を図るべく、各種の検討が行われている。ここでは、機器の上下免震構造を創出する際に必要となる、原子炉容器据付レベルでの3次元床応答を評価することを目的として、水平免震された原子炉建屋の2次元地震応答解析を行う。

その際、実機評価に先立って、既存の試験データを参照解とした、免震構造モデルの3次元応答解析を行って解析手法の妥当性を検討する。

3. 検 討 成 果

3. 検 討 結 果

3.1 免震構造モデルの3次元応答解析

実大免震建屋の評価解析に先立って、既存の試験データを参照解とした、免震構造モデルの3次元応答解析を行う。

3.1.1 既存の試験データ概要

免震構造モデルの3次元応答解析を行う際に参照する既存の試験データは、清水建設に委託した「高速炉建物の免震構造試験」⁽¹⁾の成果の一部である。以下に、その概要を示す。

(1) 免震構造試験計画

高速炉建物に免震構造を採用した場合を想定し、その挙動を把握し、解析手法の妥当性を検証することを目的として、免震構造縮小モデルによる振動台試験を中心とした研究を行った。

合理化設計の反映された高速炉建物の設計例を対象に、基礎版厚の低減並びに免震による応答せん断力の低減を考慮した壁厚低減免震建屋を設定し、これをモデル化対象の免震建屋とした。合理化設計の反映された高速炉建物の設計例を、図3.1.1-1に示す。また、モデル化の対象とした壁厚低減免震建屋の断面を原形建屋断面と比較して図3.1.1-2に示す。上部基礎版低減及び壁厚低減を行った結果、上部構造重量(下部基礎版を除く)は、約21万tonから約14万tonに低減された。

高速炉建物に適用可能な免震装置としては、表3.1.1-1に示すものが考えられる。具体的な免震装置の概念を図3.1.1-2'に示す。ここでの研究では、表に示したものの中から、装置としての実現性、高速炉建物に適用した場合の施工性、メンテナンス性等を考慮して、

- i) 積層ゴム+鋼材履歴ダンパー
- ii) 鉛入り積層ゴム
- iii) 高減衰積層ゴム

の3種類を適切な免震装置として選定し、モデル化対象の免震装置とした。選定した各免震装置の復元力を設定するにあたっては、「高速炉建物の免震構造に関する

研究」⁽²⁾で行った免震装置の復元力特性のパラメータ解析の成果（表3.1.1-2参照）に基づき、応答特性の良好であった復元力の中から、Bilinear型（免震振動数 $f=1.0\text{Hz}$ 、剛性比 $\alpha=0.1$ ）と等価線形型（免震振動数 $f=0.5\text{Hz}$ 、粘性減衰 $h=10\%$ ）を抽出し、それぞれの免震装置に適用した復元力特性を設定した。表中、応答加速度の低減と変位の抑制の両観点からトリガーを有する場合が良好であるが、トリガー有りの場合には応答スペクトルに高次の振動モードに対応する成分が卓越してくることが知られており、ここでは対象外とした。

抽出した復元力特性のうちBilinear型については、応答特性の良好な降伏震度のパラメータとして $\beta=0.05$ 、 0.1 を設定した。このうち、応答加速度の低減効果が最良であった $\beta=0.05$ に対しては、積層ゴム+鋼材履歴ダンパーを選定した場合、塑性率が問題となることから、材料特性上から許容変位内での塑性率の影響のない鉛入り積層ゴムを選定した。次に、応答特性の評価上最良であった $\beta=0.1$ については、積層ゴム+鋼材履歴ダンパーを選定した。また、極大地震時においては、積層ゴム+鋼材履歴ダンパー $\beta=0.1$ タイプのダンパーの塑性率が問題となることを勘案して、塑性率に余裕を持たせた鋼材履歴ダンパー $\beta=0.2$ タイプをパラメータとして加え $\beta=0.1$ タイプとの比較を行った。等価線形型については、他の免震装置に比べて安定状態での履歴骨格曲線が比較的線形履歴に近く、かつ高い減衰性能を有する高減衰積層ゴムを選定した。設定した各免震装置の復元力特性を整理して、表3.1.1-3に示す。設定した各免震装置の復元力特性を基に、モデル化の対象とした実大免震建屋への使用を仮定した実大の各免震装置を、設定した復元力にできるだけ近似するように試設計を行った。

試設計の結果の一例を図3.1.1-3に、その配置例を図3.1.1-4に示す。免震装置の試設計結果と免震建屋上部構造を対象に相似則の検討を行い、試験体のモデル化を行った。設定した相似則を表3.1.1-4に示す。モデル化にあたっては、実大建屋の形状寸法や重量の忠実な縮小は困難なことから、免震構造の場合、形状・寸法よりも固有振動数等の振動特性が、相似則に適合することが重要となることから、実大建屋の重量を1200tonに基準化し、これを支持荷重300tonの積層ゴム4個で支持するものとした。また、振動台の加振能力の限界荷重が16ton程度に制約される

ため、試験体上部構造を16ton に設定し、これを4個の積層ゴムで支持（1個あたり4tonの支持荷重）するものとした。従って、実大積層ゴム支持荷重 300 ton/個から試験体積層ゴム支持荷重 4 ton/個に縮小する過程の相似比を物理的基本相似則関係から求め、相似比は $1/8.66$ とした。免震装置の相似則関係を図 3.1.1-5に示す。

上部構造のモデル化については、モデル化の対象とした壁厚低減免震建屋の上部構造の基礎固定時の固有振動数の1次と2次が、設定した相似比によって試験体上部構造の固有振動数の1次と2次に合致するように、振動特性を模擬した2層の鉄骨フレーム（全重量16ton）で設計を行った。試験体の全体形状を図3.1.1-6に示す。

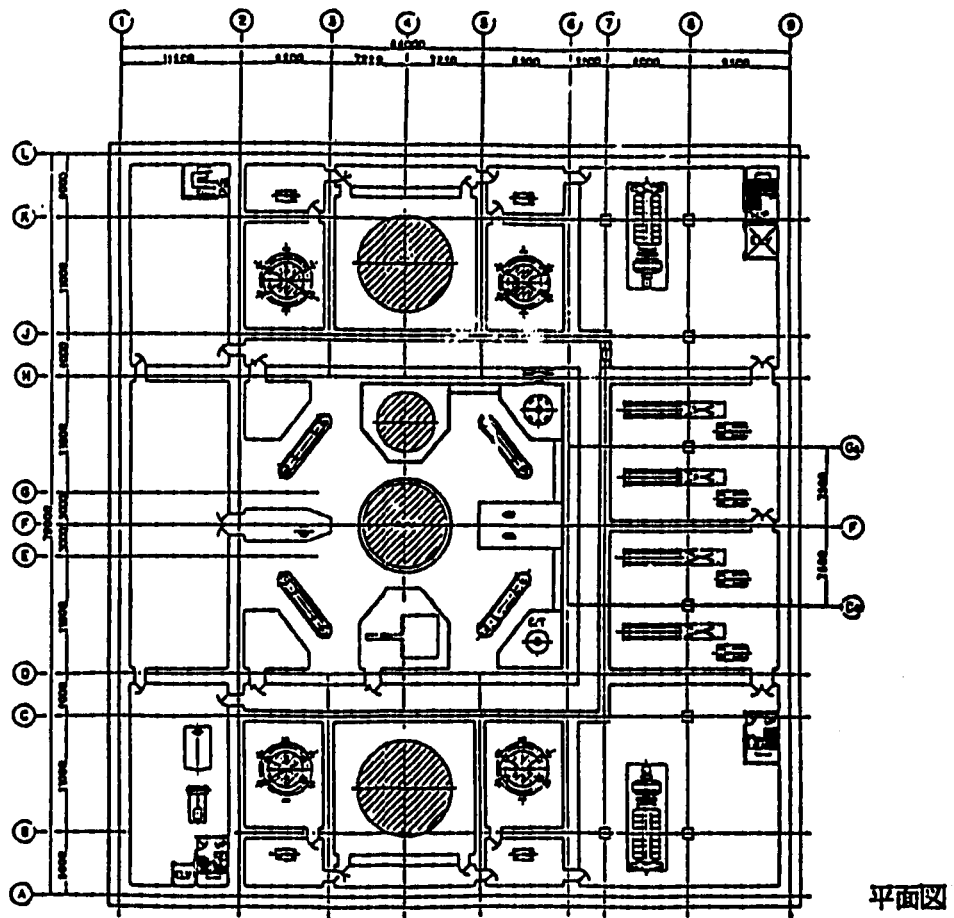
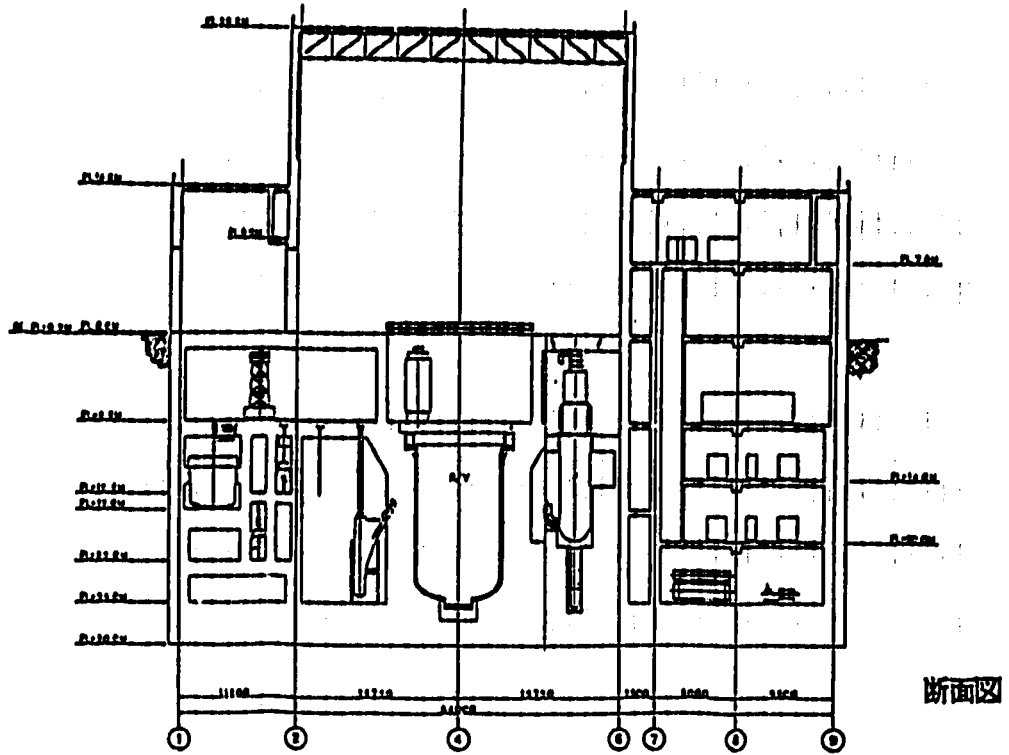
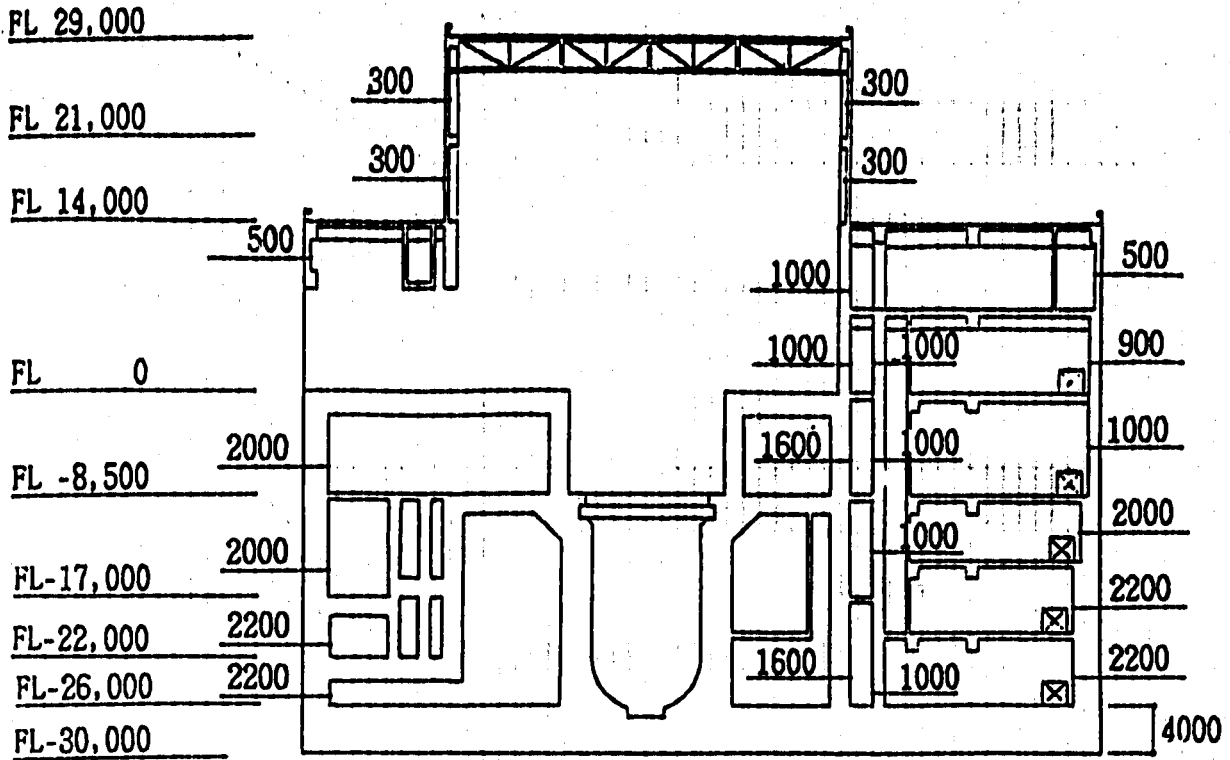
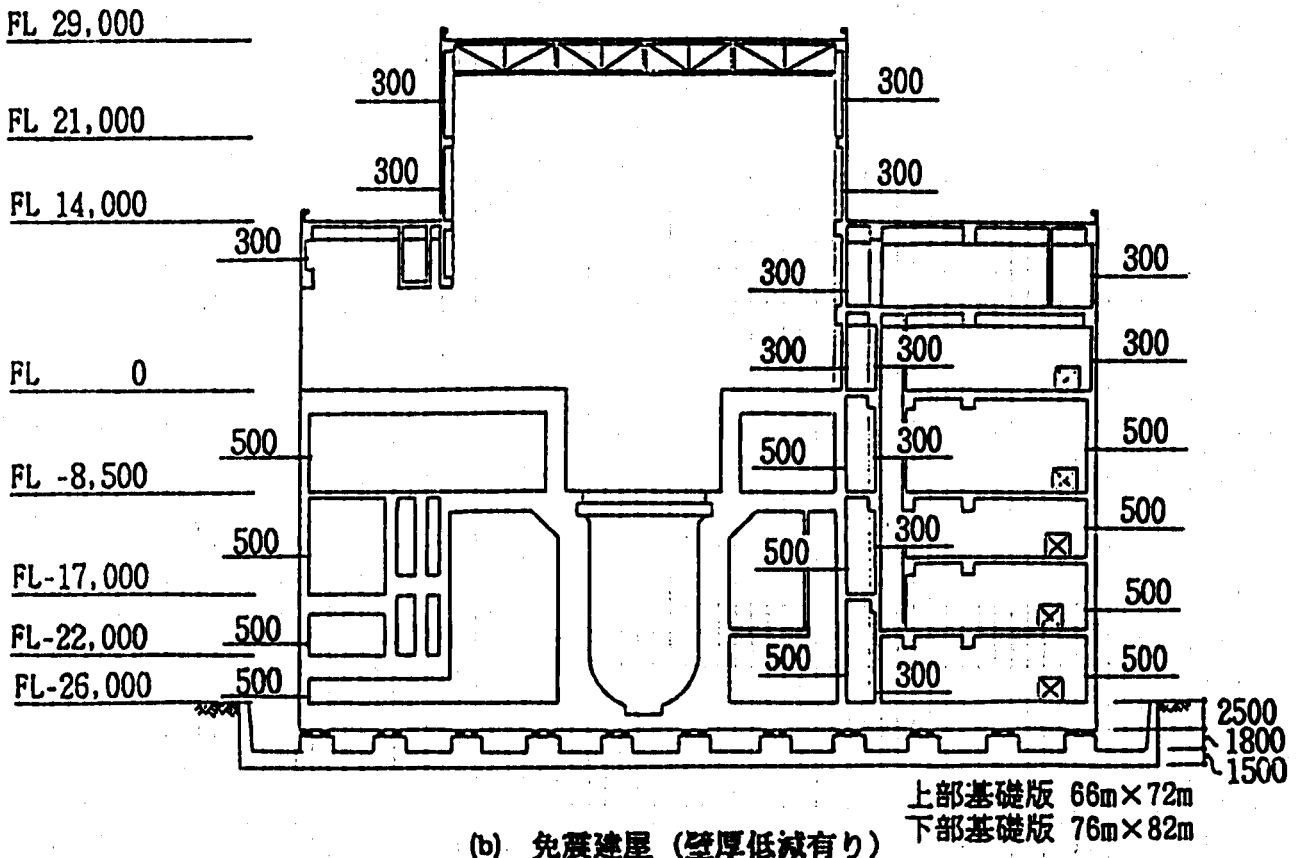


図 3.1.1 - 1 高速炉建物の設計例
 Fig. 3.1.1 - 1 Design Example of FBR Building



(a) 非免震建屋



(b) 免震建屋 (壁厚低減有り)

図 3. 1. 1 - 2 壁厚の比較
Fig. 3. 1. 1 - 2 Comparison of Wall Thickness

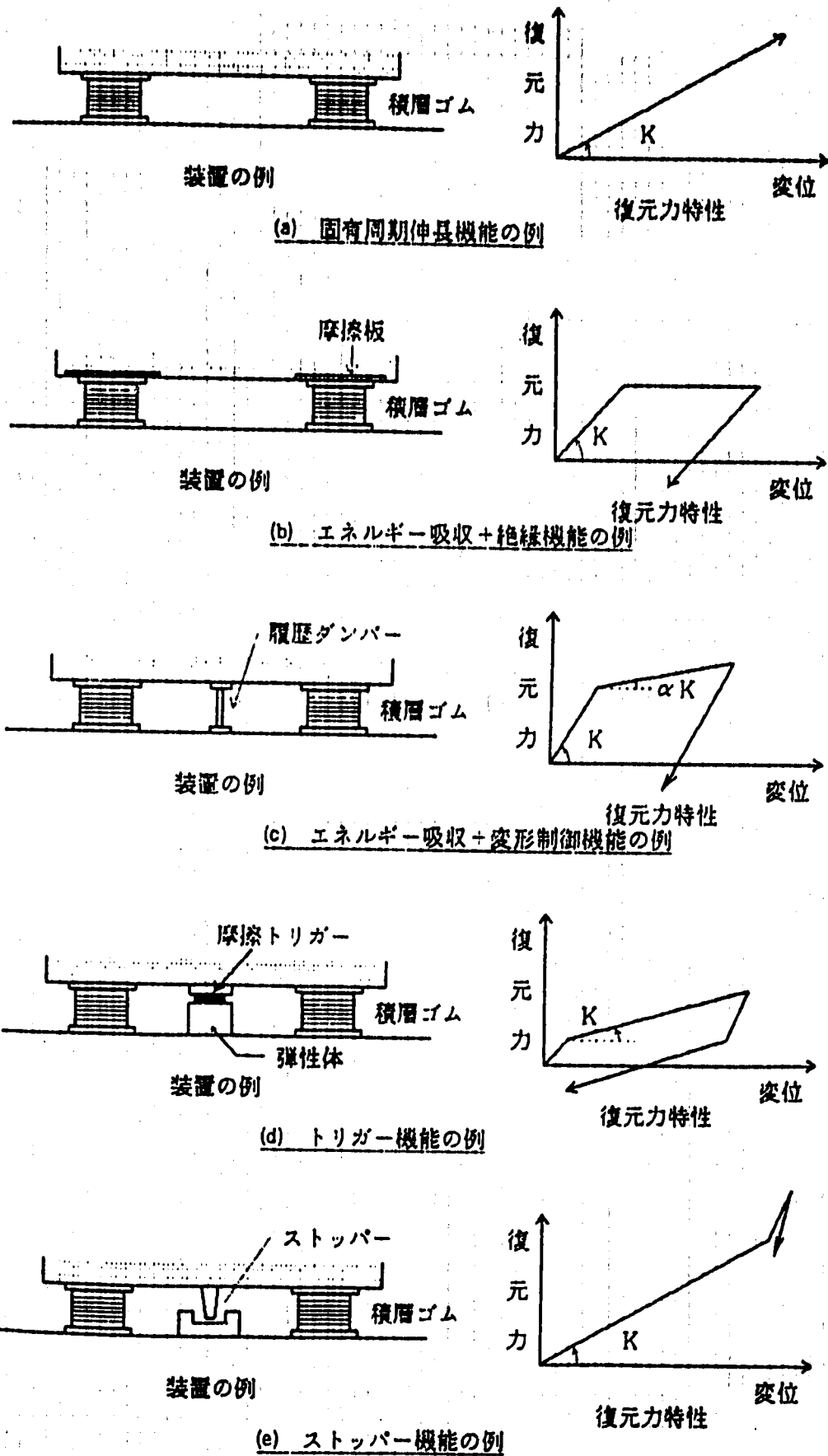


図 3.1.1 - 2' 免震装置の基本的機能と装置例
 Fig. 3.1.1 - 2' Fundamental Functions of Base Isolation Device and Examples of Devices

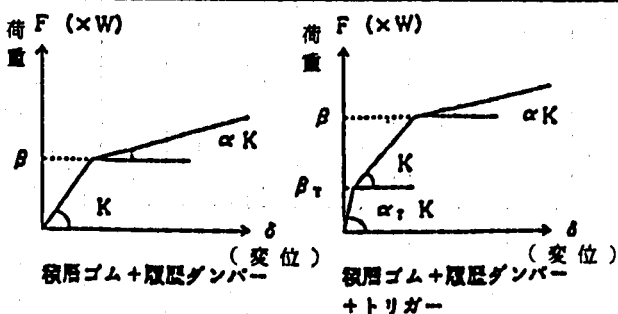
表 3.1.1-1 免震装置の評価
Table 3.1.1-1 Evaluation of Base Isolation Devices

分類	概要	免効	震果	減衰性能	変形能力	解析との対応	施工性	保守性	信頼性	耐久性
		中小地震時	大地震時							
積層ゴム+鋼材ダンパー	大地震に対して大きな減衰性能を持っている。免震装置の支持装置と減衰機が独立しているため、建物のねじれ振動への構造計画の対応が可能。大地震後には取りかえが必要となる。一般建築での施工実績あり。	△	◎	◎	○	○	△	○	○	○
積層ゴム+鉛ダンパー	減衰性能が大きく、鉛の塑性変形後の再結晶（材料特性）により性能復元するため、地震時の取り替えの必要性が少ない。特にニュージーランド方式の鉛入り積層ゴムは施工性、メンテナンス特等の利点がある。一般建築での施工実績あり。	○	◎	◎	○	○	◎	◎	○	○
積層ゴム+摩擦板	テフロン、ステンレス板等の摩擦減衰力を利用する方法。原子力発電所の施工実績（南アフリカ、ケーベルグ発電所）有り。設定により、トリガー的機能を持たせることも可能。	△	◎	△	△	○	△	△	△	△
積層ゴム+オイルダンパー	小地震レベルでも減衰効果が期待でき、線形応答のため解析的に明解であり地震時のダンパーの取り替えの必要性も少ない。通常、伸縮一方向のみに所定の減衰力を生ずる。	◎	△	△	○	◎	△	△	○	△
積層ゴム+粘性体ダンパー	高粘度の粘性体（シリコンオイル等）の粘性せん断力により減衰力を得る。温度依存性を有するが、水平面内いずれの方向にも減衰力が得られる。減衰力は非線形性を有する場合がある。	◎	△	○	○	○	△	△	○	△
高減衰積層ゴム	積層ゴムに特殊な配合のゴムを用いることにより、積層ゴム単体で大きな減衰性能を実現する。	○	△	◎	○	○	◎	◎	△	△

◎：良好 ○：問題無し △：要検討

表 3.1.1-2 免震装置復元力特性の評価 (硬質岩盤, 300Gal入力)
 Table 3.1.1-2 Evaluation of Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices (Hard Rock Site, 300Gal Input)

ケース	免震動数 f Hz	降伏度 β	剛性比 α	トリガ-降伏度 β_r	応答 加速度 Gal	応答 変位 cm	塑性率	応答特性の評価
01	0.5	0.05	0.5		65	8.3	1.66	●
02		0.1			109	12.1	1.22	変形が大きい
03			0.025	62	3.9	0.51	◎	
04		0.2	0.0		165	16.8	0.84	変形が大きい
05	1.0	0.05	0.1		66	5.2	4.17	塑性率が大きい
06		0.1			116	6.6	2.66	●
07		0.2			206	6.9	1.38	加速度が大きい
08		0.05	0.2		85	5.7	4.57	塑性率が大きい
09		0.1			130	6.5	2.59	○
10		0.2			212	6.8	1.36	加速度が大きい
11		0.1			0.1	0.025	125	4.0	2.05	◎
12		0.2	0.0		203	8.0	1.59	加速度が大きい
13	2.0	0.05	0.05		77	3.7	11.85	塑性率が大きい
14		0.1			127	3.8	6.09	同上
15		0.05	0.1		104	3.7	11.86	同上
16		0.1			148	3.7	5.88	同上
17	0.5	粘性減衰 h = 2%			165	16.8	-	変形が大きい
18		h = 5%			93	9.3	-	○
19		h = 10%			66	6.3	-	●
20	1.0	粘性減衰 h = 2%			429	11.1	-	変形が大きい
21		h = 5%			273	6.9	-	加速度が大きい
22		h = 10%			177	4.5	-	○



評価基準

応答加速度	応答変位	塑性率	
150 Gal 以下	5 cm 以下	3 以下	◎
200 Gal 以下	10cm 以下	4 以下	○●

表 3.1.1 - 3 免震装置復元力特性の設定
 Table 3.1.1 - 3 Establish of Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices

免震装置種別	積層ゴム+鋼材 履歴ダンパー (免震2-1)	積層ゴム+鋼材 履歴ダンパー (免震2-2)	鉛入り積層ゴム (免震3)	高減衰積層ゴム (免震4)
対応ケース 表 3.1.1 - 2	06	07	05	19
免震振動数 f (Hz)	1.0	1.0	1.0	0.5
降伏震度 β	0.1	0.2	0.05	粘性減衰 $h = 10\%$
剛性比 α	0.1	0.1	0.1	
復元力特性	Bilinear型	Bilinear型	Bilinear型	等価線形型

Bilinear型

等価線形型

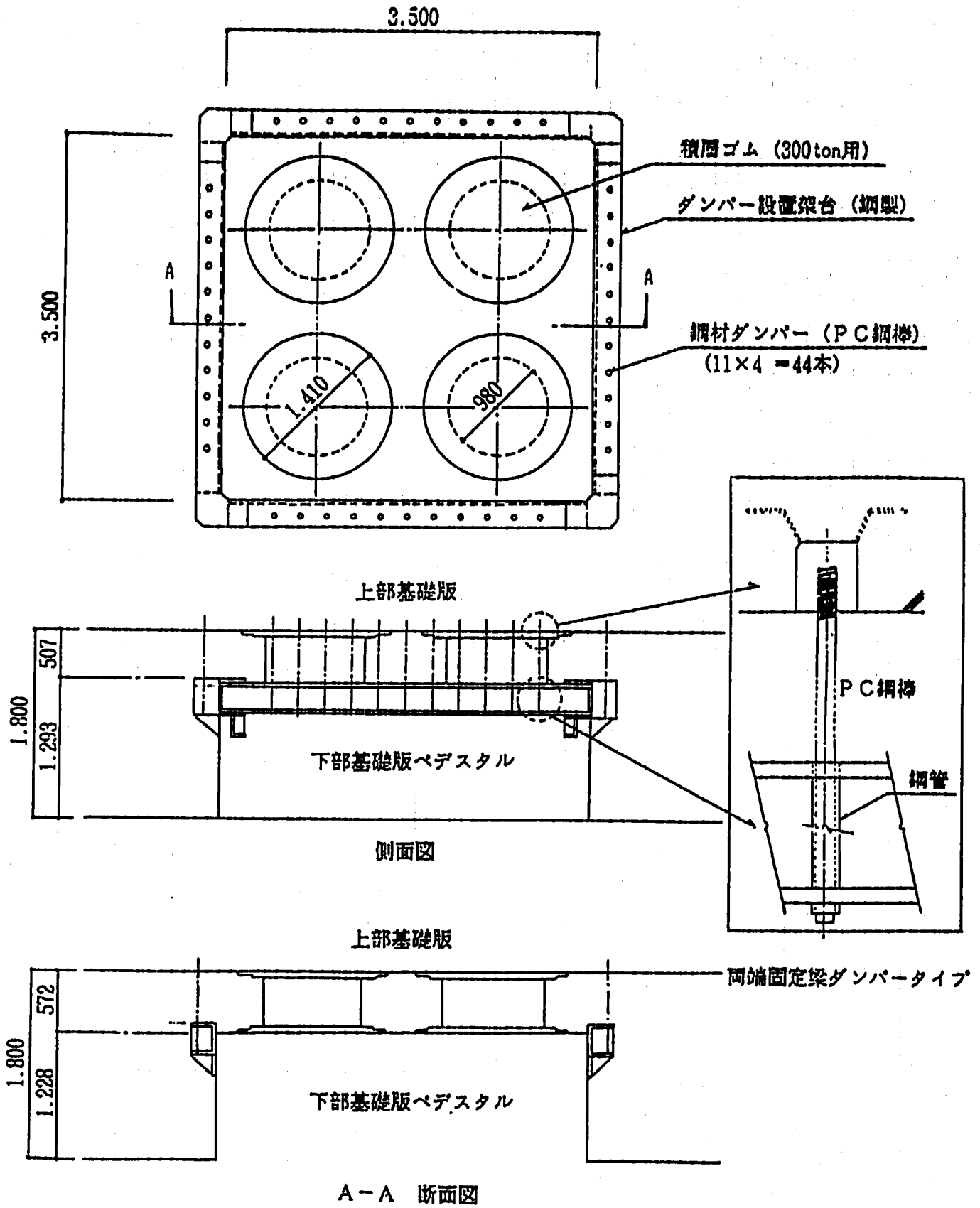


図 3.1.1 - 3 免震装置の設計例
Fig. 3.1.1 - 3 Design Example of Base Isolation Device

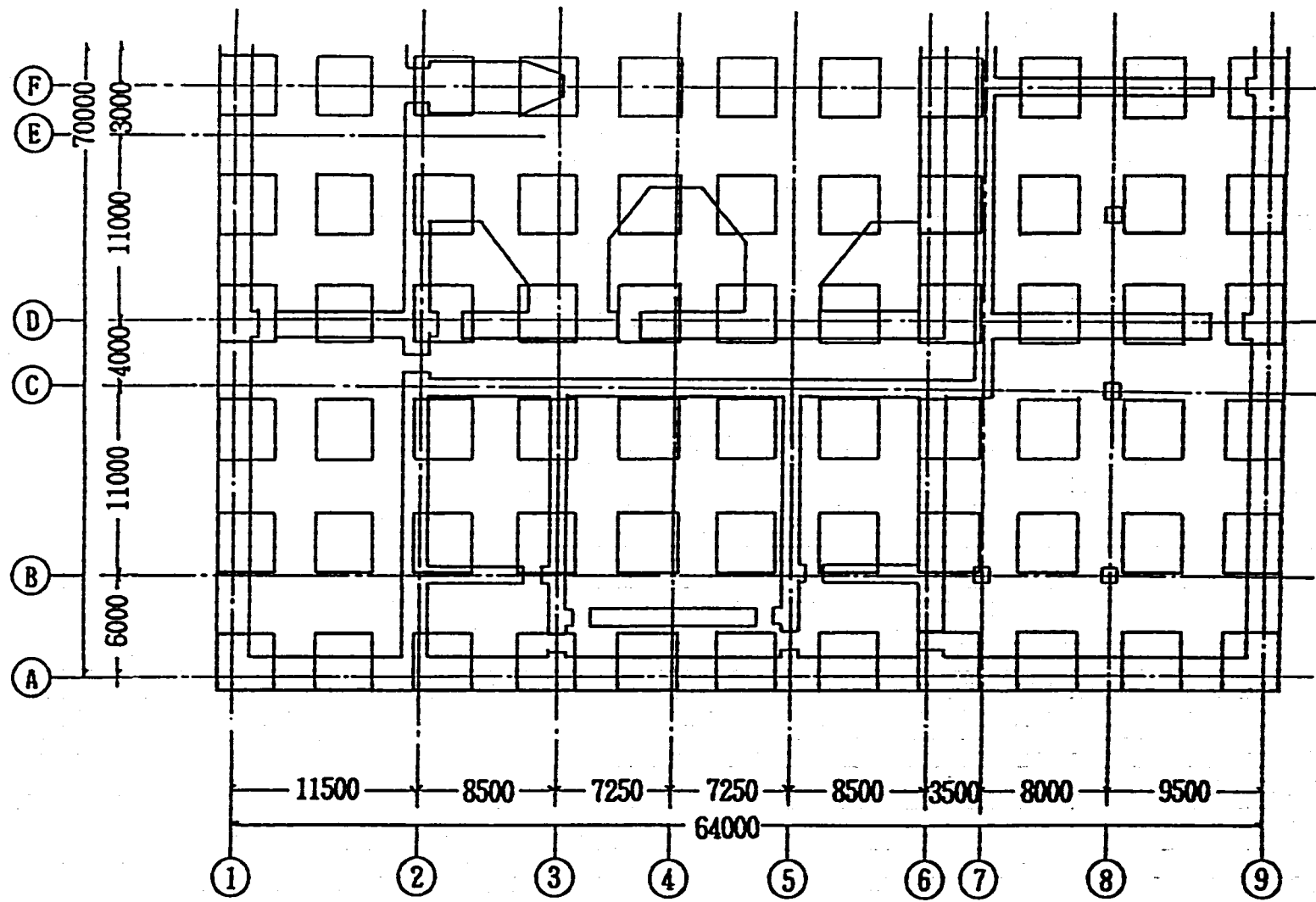


図 3.1.1 - 4 免震装置の配置例
Fig. 3.1.1 - 4 Example of Base Isolation Device Arrangement

表 3.1.1 - 4 実建屋と縮小モデルの相似則関係
 Table 3.1.1 - 4 Reduction Rule of Isolation Building and Models

項 目	単 位	実大免震建屋	供 試 体	相 似 比	
積層ゴム単体	定 格 荷 重	ton	300	4	$1/8.66^2$
	水 平 剛 性 f_H	Hz	0.316	0.93	$\sqrt{8.66}$
	鉛 直 剛 性 f_v	Hz	12	35.3	$\sqrt{8.66}$
	許 容 変 位	cm	60	7	$1/8.66$
免震装置の 復元力特性	免 震 振 動 数	Hz	1	2.94	$\sqrt{8.66}$
	降 伏 後 振 動 数	Hz	0.316	0.93	$\sqrt{8.66}$
	降 伏 震 度 β	-	0.1	0.1	1.0
	剛 性 比 α	-	0.1	0.1	1.0
	降 伏 変 位	cm	2.48	0.286	$1/8.66$
上 部 構 造	重 量	ton	1200	16	$1/8.66^2$
	1次固有振動数	Hz	4.41	12.97	$\sqrt{8.66}$
	2次固有振動数	Hz	9.86	28.99	$\sqrt{8.66}$

物 理 量	相 似 比
長 さ	$1/S$
時 間 (周 期)	$1/\sqrt{S}$
速 度	$1/\sqrt{S}$
加 速 度	1
力 (重 量, 質 量)	$1/S^2$
剛 性	$1/S$
振 動 数	\sqrt{S}

S : 縮尺率 (= 8.66)

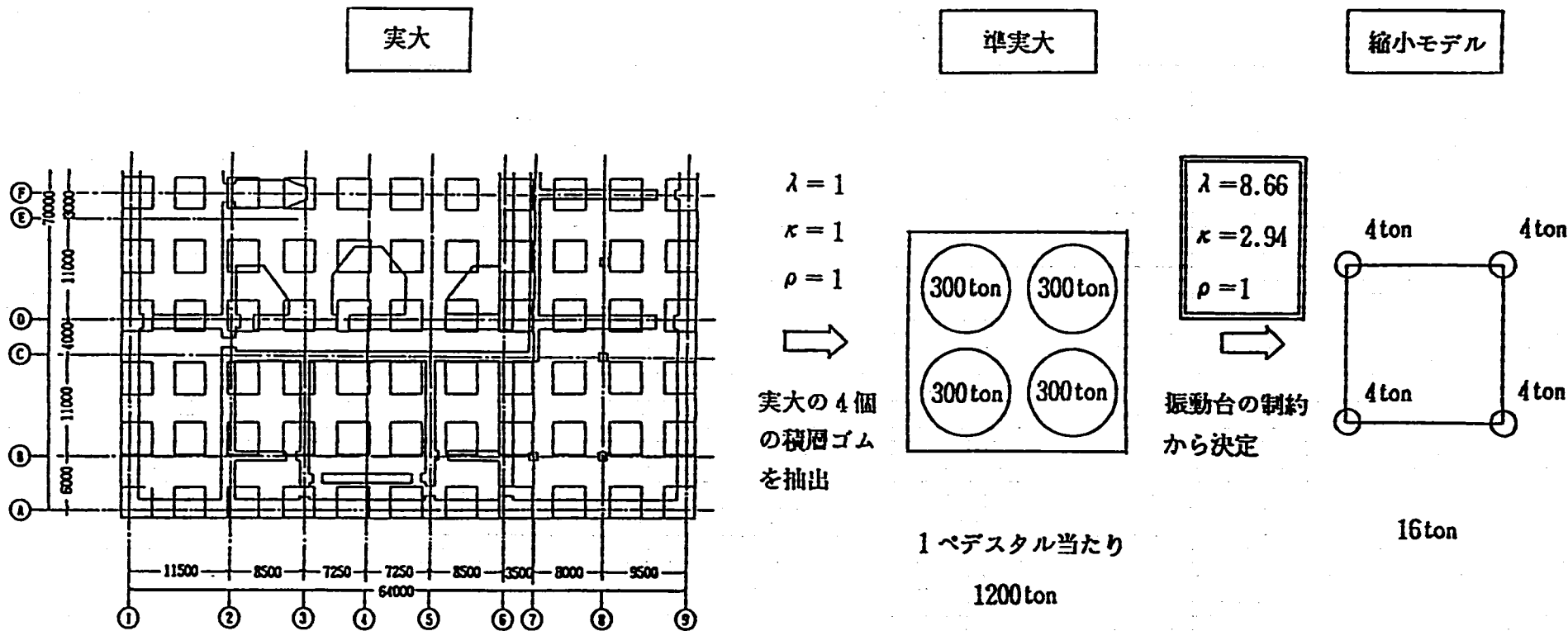


図 3. 1. 1 - 5 免震装置の相似則関係
 Fig. 3. 1. 1 - 5 Reduction Rule of Base Isolation Device

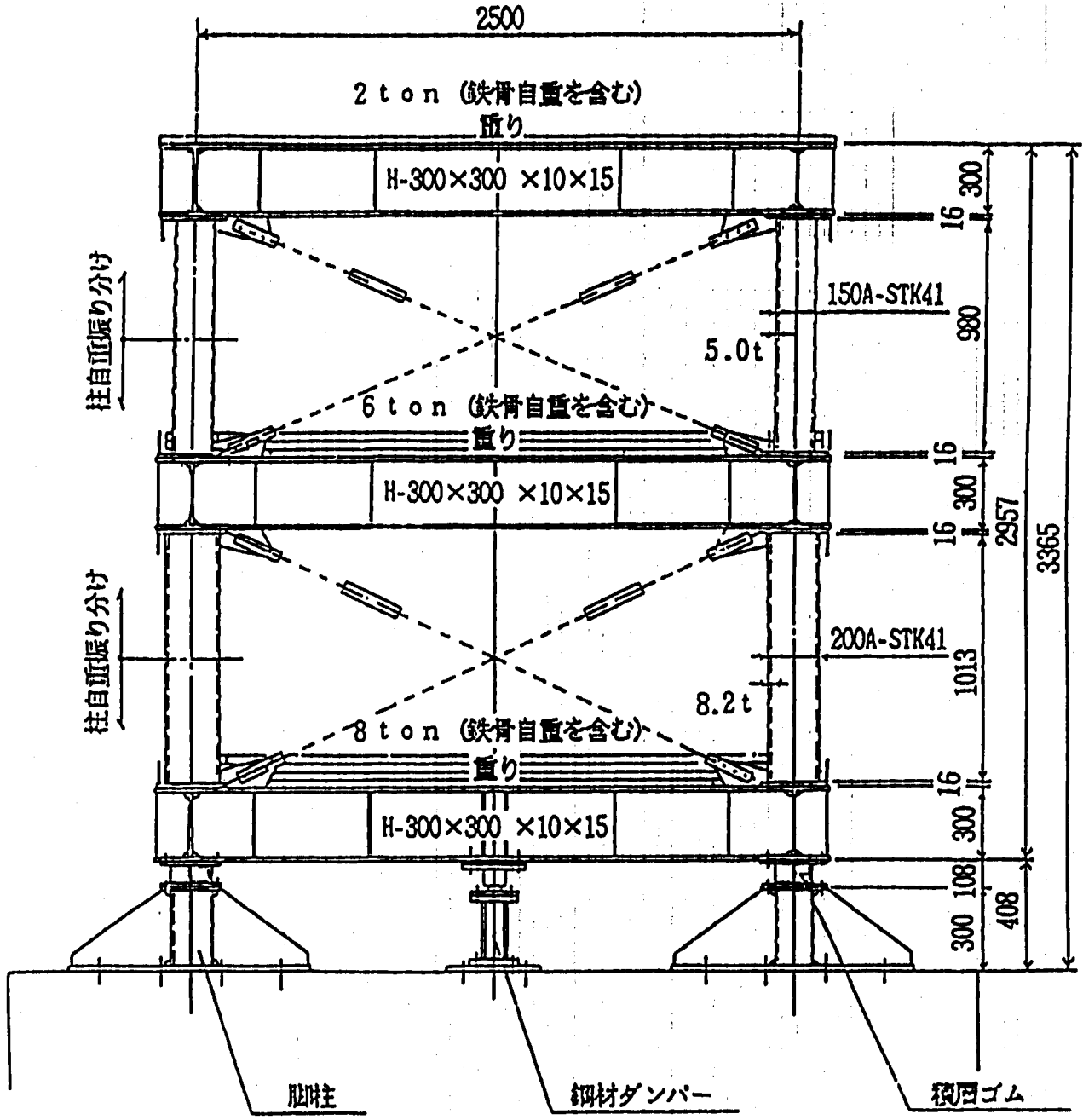


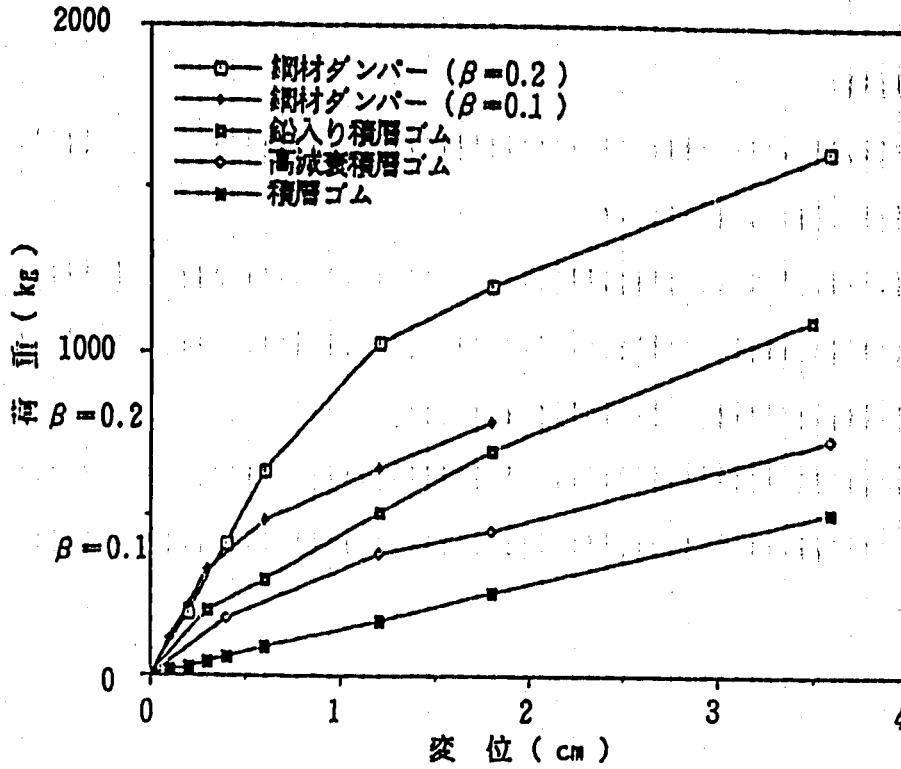
図 3. 1. 1 - 6 供試体の全体形状
 Fig. 3. 1. 1 - 6 Base Isolation Building Model

(2) 免震装置の特性試験

振動台による試験に先立ち、使用する各免震装置の特性を確認するため、製作した各免震装置試験体の加力試験を行った。

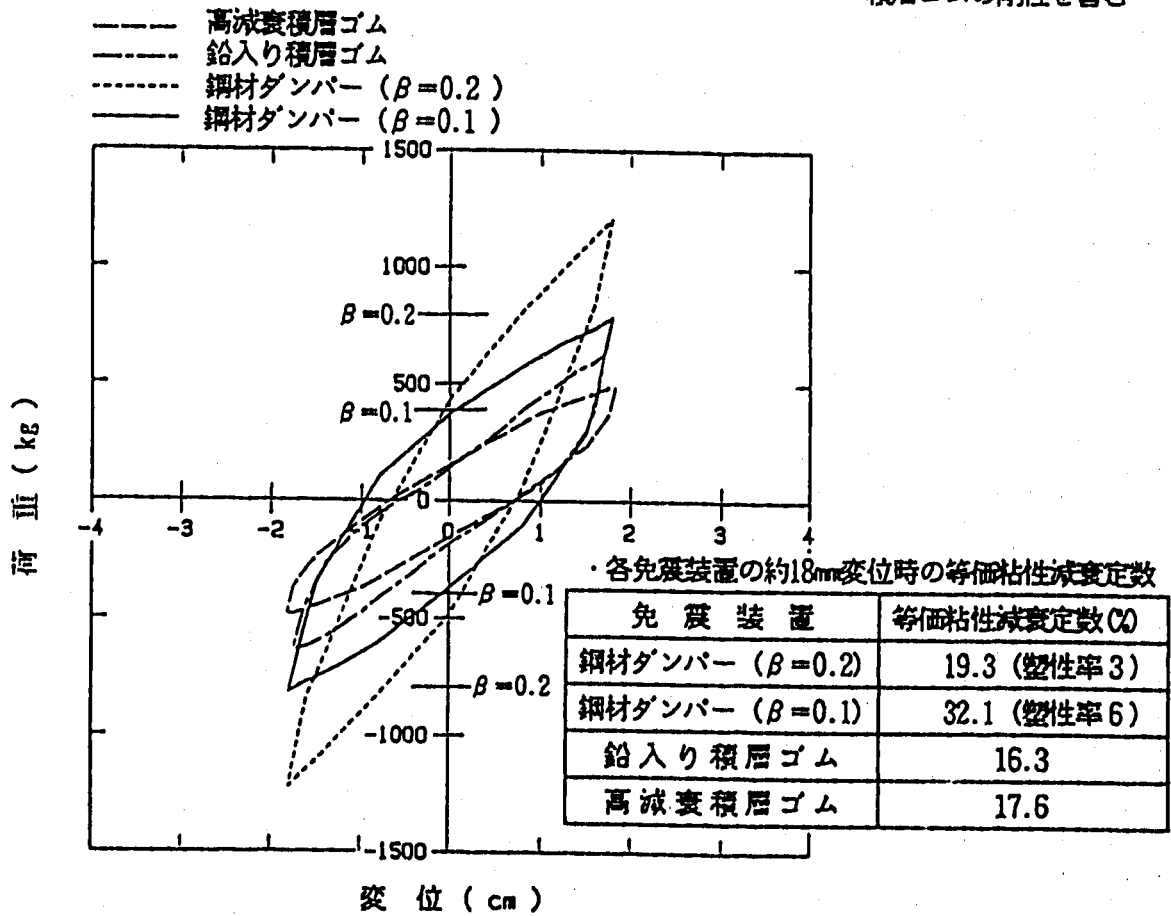
試験による確認項目としては、鋼材履歴ダンパーについては初期剛性、降伏後の剛性、履歴減衰特性等を確認し、積層ゴム系については水平剛性、鉛直剛性、履歴特性、基本特性の振幅及び振動数依存性等を確認した。

各免震装置試験体の加力試験の結果から、履歴特性を比較して図3.1.1-7に示す。試験の結果、各装置ともに設計の際に設定した復元力特性をほぼ再現できていることを確認した。



(a) 各免震装置の荷重-変位関係

*鋼材ダンパーについては、積層ゴムの剛性を含む



(b) 各免震装置の荷重-変位履歴 (±18mm変位時)

図 3.1.1-7 各免震装置の履歴特性
Fig. 3.1.1-7 Hysteretic Characteristics of Each Base Isolation Devices

(3) 振動台による試験

各種免震装置試験体を2層の鉄骨フレーム試験体に装着した免震構造試験体を用いて、各種免震構造の基本応答特性と地震応答特性を把握するための振動台試験を行った。基本応答特性試験は、正弦波入力を行い各免震構造試験体の基本的な伝達特性を確認し、地震応答特性試験では、長周期成分が卓越している1968年十勝沖八戸地震波を主に用い、入力レベルによる応答特性の違い及び多方向入力の影響に着目した加振試験を行った。振動台試験を行った加振計画の一覧を表3.1.1-4(a)、(b)に示す。加振計画一覧での加振ケースのうち、実大免震建屋の評価解析に先立って、参照する試験データは、十勝沖八戸3方向地震波入力（加振ケースRD0-6, RD1-12, LRB-9, HDR-9）を対象とする。（各加振試験結果の詳細については、「高速炉建物の免震構造試験」*⁽¹⁾を参照）

表 3.1.1 - 5 (a) 加振計画一覽
Table 3.1.1 - 5 (a) List of Shaking Programs

免震装置分類	加振分類	ケース	入 力								得られる成果	備 考
			水平 X 方向		水平 Y 方向		鉛直 Z 方向		ねじりθ ₁ 方向			
			波 形	振 幅	波 形	振 幅	波 形	振 幅	波 形	振 幅		
*免震2-2 積層ゴム + 鋼材懸垂 ダンパー (β=0.2)	基本応答	RD2-1	正弦波	弾性	-	-	-	-	-	-	免震2の水平方向伝達特性 1方向復元力特性の振動数・振幅依存性	
		RD2-2	加振種別(1)-a		-	-	-	-	-	-		
		RD2-3	加振種別(1)-b		-	-	-	-	-	-		
		RD2-4	加振種別(1)-c		-	-	-	-	-	-		
	地震応答	RD2-5	既往波	原波	-	-	-	-	-	-	免震2-2の地震時応答特性 免震2-2地震時振幅応答特性	
		RD2-6	既往波	原波	既往波	原波	-	-	-	-		
		RD2-7	既往原波×2倍		-	-	-	-	-	-		
		RD2-8	既往原波×3倍		-	-	-	-	-	-		
*免震3 船入り 積層ゴム	基本応答	LRB-1	正弦波	弾性	-	-	-	-	-	免震3の水平方向伝達特性 免震3の鉛直方向伝達特性 免震3のねじり方向伝達特性 1方向復元力特性の振動数・振幅依存性		
		LRB-2	-	-	-	-	正弦波	弾性	-		-	
		LRB-3	-	-	-	-	-	-	正弦波		弾性	
		LRB-4	加振種別(1)-a		-	-	-	-	-		-	
		LRB-5	加振種別(1)-b		-	-	-	-	-		-	
		LRB-6	加振種別(1)-c		-	-	-	-	-		-	
	地震応答	LRB-7	既往波	原波	-	-	-	-	-	-	免震3の地震時応答特性 免震3の地震時振幅応答特性	
		LRB-8	既往波	原波	既往波	原波	-	-	-	-		
		LRB-9	既往波	原波	既往波	原波	既往波	原波	-	-		
		LRB-10	既往原波×2倍		-	-	-	-	-	-		
		LRB-11	既往原波×3倍		-	-	-	-	-	-		
*免震4 高減衰 積層ゴム	基本応答	HDR-1	正弦波	弾性	-	-	-	-	-	免震4の水平方向伝達特性 免震4の鉛直方向伝達特性 免震4のねじり方向伝達特性 1方向復元力特性の振動数・振幅依存性		
		HDR-2	-	-	-	-	正弦波	弾性	-		-	
		HDR-3	-	-	-	-	-	-	正弦波		弾性	
		HDR-4	加振種別(1)-a		-	-	-	-	-		-	
		HDR-5	加振種別(1)-b		-	-	-	-	-		-	
		HDR-6	加振種別(1)-c		-	-	-	-	-		-	
	地震応答	HDR-7	既往波	原波	-	-	-	-	-	-	免震4の地震時応答特性 免震4の地震時振幅応答特性	
		HDR-8	既往波	原波	既往波	原波	-	-	-	-		
		HDR-9	既往波	原波	既往波	原波	既往波	原波	-	-		
		HDR-10	既往原波×2倍		-	-	-	-	-	-		
		HDR-11	既往原波×3倍		-	-	-	-	-	-		

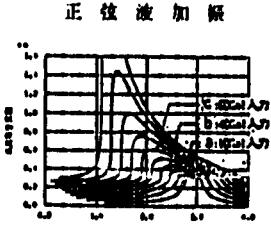
<p>正弦波加振</p>  <p>加振種別(1)</p>	<p>正弦波加振</p> <p>振動数 2.0Hz 振幅 6δy 繰り返し回数 n回</p> <p>加振種別(2)</p>	<p>地震波1方向複数回加振</p> <p>既往波入力→残留変位 →既往波入力</p> <p>加振種別(4)</p>
---	---	--

表 3.1.1 - 5 (b) 加振計画一覧
Table 3.1.1 - 5 (b) List of Shaking Programs

免震装置 分類	加振分類	ケース	入 力								得られる成果	備考
			水平 X 方向		水平 Y 方向		鉛直 Z 方向		ねじり θ_s 方向			
			波形	振幅	波形	振幅	波形	振幅	波形	振幅		
非免震 *上部構造のみ	基本応答	NON-1	正弦波	弾性	-	-	-	-	-	-	上部構造の水平方向伝達特性	
		NON-2	-	-	-	-	正弦波	弾性	-	-	上部構造の鉛直方向伝達特性	
		NON-3	-	-	-	-	-	-	正弦波	弾性	上部構造ねじり方向伝達特性	
	地震応答	NON-4	改標波	弾性	-	-	-	-	-	-	上部構造の地震応答特性	
		NON-5	既往波	弾性	-	-	-	-	-	-		
		NON-6	既往波	弾性	既往波	弾性	-	-	-	-		
免震1 *積層ゴムのみ	基本応答	RD0-1	正弦波	弾性	-	-	-	-	-	-	免震1の水平方向伝達特性	
		RD0-2	-	-	-	-	正弦波	弾性	-	-	免震1の鉛直方向伝達特性	
		RD0-3	-	-	-	-	-	-	正弦波	弾性	免震1のねじり方向伝達特性	
	地震応答	RD0-4	改標波	弾性	-	-	-	-	-	-	免震1の地震応答特性	
		RD0-5	既往波	弾性	-	-	-	-	-	-		
		RD0-6	既往波	弾性	既往波	弾性	既往波	弾性	-	-		
免震2-1 *積層ゴム + 鋼材履歴ダンパー ($\beta=0.1$)	基本応答	RD1-1	正弦波	弾性	-	-	-	-	-	-	免震2の水平方向伝達特性	
		RD1-2	-	-	-	-	正弦波	弾性	-	-	免震2の鉛直方向伝達特性	
		RD1-3	-	-	-	-	-	-	正弦波	弾性	免震2のねじり方向伝達特性	
		RD1-4	加振種別1)-a		-	-	-	-	-	-	1方向復元力特性の振動数・振幅依存性	
		RD1-5	加振種別1)-b		-	-	-	-	-	-		
		RD1-6	加振種別1)-c		-	-	-	-	-	-		
		RD1-7	加振種別(2)		-	-	-	-	-	-	鋼材ダンパー繰り返し疲勞特性	
		RD1-8	加振種別(3)		-	-	-	-	-	-	2方向復元力特性の振幅依存性	
	地震応答	RD1-9	改標波	原波	-	-	-	-	-	-	免震2-1の地震時応答特性	
		RD1-10	既往波	原波	-	-	-	-	-	-		
		RD1-11	既往波	原波	既往波	原波	-	-	-	-		
		RD1-12	既往波	原波	既往波	原波	既往波	原波	-	-		
		RD1-13	加振種別(4)		-	-	-	-	-	-	ダンパー履歴経験後の応答特性	
		RD1-14	改標原波×2倍		-	-	-	-	-	-	免震2-1の地震時極限応答特性	
		RD1-15	既往原波×2倍		-	-	-	-	-	-		
		RD1-16	既往原波×3倍		-	-	-	-	-	-		

3.1.2 免震構造モデルの3次元応答解析（既存の試験データのシミュレーション解析）

(1) 解析概要

実大免震建屋の評価解析に先立って、既存の振動台試験データを参照解とした、免震構造モデルの3次元応答解析を行う。

ここでの解析は、地震波の多方向入力に対する免震構造モデルの応答特性に着目し、参照する振動台試験での加振ケースについては、十勝沖八戸波の3方向入力を対象とする。解析を行うにあたって、鉄骨フレームモデルは梁要素による3次元フレームにモデル化し、免震装置のモデル化は、「高速炉建物の免震構造試験」⁽¹⁾で実施した免震装置の特性試験で得られた復元力特性を基に、簡略的に等価線形によるモデル化を行う。さらに、鋼材履歴ダンパーについては詳細な非線形梁要素によるモデル化も行う。これらのモデル化により3次元応答解析を行い、振動台試験の応答結果の再現性を確認し、モデル化の妥当性を検討する。

(2) 解析ケース及び解析コード

解析は、汎用解析コード「FINAS」を用いる。

解析ケースは、表3.1.2-1に示すように、十勝沖原波の3次元入力を対象とし、既存の試験データの再現性等に着目して解析を行う。

表 3.1.2-1 免震構造モデルの3次元応答解析ケース

Table 3.1.2-1 Analysis Cases for 3-dimension Response of Base Isolation Structural Model

解析ケース	試験ケース	免震装置	加振条件	解析方法
CASE 1	RD0-6	積層ゴムのみ	十勝沖原波 3次元入力	線形解析
CASE 2-1	RD1-12	積層ゴム+鋼材ダンパ, $\beta=0.1$	"	等価線形
CASE 2-2	RD1-12	積層ゴム+鋼材ダンパ, $\beta=0.1$	"	非線形
CASE 3	LRB-9	鉛入り積層ゴム	"	等価線形
CASE 4	HDR-9	高減衰積層ゴム	"	等価線形

(3) 解析条件

a. 入力地震波

入力地震波は、振動台による試験で用いた以下の地震波とする。

- ・十勝沖地震（1968年：八戸港湾記録）EW成分原波 $A_{max}=184\text{Gal}$
- ・十勝沖地震（1968年：八戸港湾記録）NS成分原波 $A_{max}=224\text{Gal}$
- ・十勝沖地震（1968年：八戸港湾記録）上下成分原波 $A_{max}=114\text{Gal}$

なお、振動台試験の地震波入力において、入力波の再現性の可否（試験体と振動台の相互作用による影響等）については特に補正等の処理を行っていないことから、ここでの解析には各試験ケースで再現された地震波（振動台上で計測された基準応答波）を各解析ケースの入力地震波として用いる。

b. 解析モデル

上部構造鉄骨フレームの解析モデルは、前節の図3.1.1-6に示した免震構造試験用モデルで実際に使用した鋼材の断面形状と等価な断面積、断面2次モーメントを有する弾性梁要素（SBEAM2）を用いてモデル化する。重量は、各層の重量と等価となるように、梁部分の要素に単位長さあたりの等価密度で与える。

免震装置が積層ゴムのみの場合と鉛入り積層ゴム、高減衰積層ゴムの場合の解析モデルを図3.1.2-1に、積層ゴム+鋼材履歴ダンパーの場合を図3.1.2-2に示す。免震構造モデルは、このフレームモデルの柱脚に、積層ゴムを表す線形ばね要素（LCOMB2）と、第1層の梁の中間部に鋼材履歴ダンパーを表す弾塑性梁要素（BEAM2：非線形モデル）及び線形ばね要素（LCOMB2：線形モデル）を付加することにより作成する。

c. 免震装置のモデル化

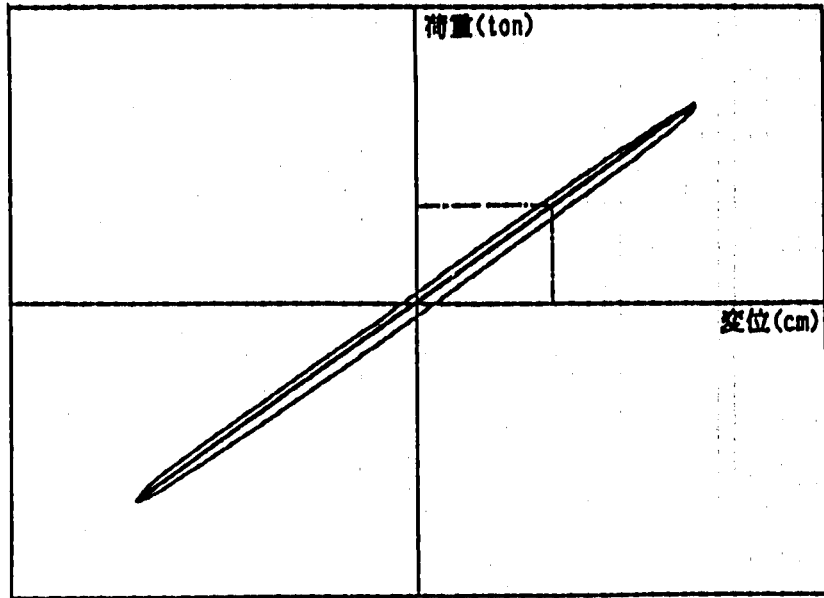
等価線形系のモデル化については、「高速炉建物の免震構造試験」⁽¹⁾で実施した免震装置の特性試験で得られた復元力特性を基に、各免震構造モデルによる振動台試験時の応答変位を参考に割線剛性を求め、さらにこの時の等価粘性減衰を復元力曲線から求める方法とする。積層ゴムのみの等価線形化を図3.1.2-3に、鋼材履歴ダンパーの等価線形化を図3.1.2-4に示す。また、鉛入り積層ゴムの等価線形化を図3.1.2-5に、高減衰積層ゴムの等価線形化を図3.1.2-6に示す。なお、鋼材履歴ダンパーの非線形梁要素のモデル化は、免震装置の特性試験のうちの鋼材履歴ダンパー（定格荷重4ton相当：1体あたり3本）の要素試験で得られた履歴曲線に適合するように、梁要素の形状、材料定数を設定して、可能な限り実情に近い履歴性状が得られるように行う。この際、鋼棒1本当たり（定格1.33tonに相当）の形状及び材料定数を決定し、定格荷重4ton相当に対応するように材料定数を3倍して評価するものとする。鋼材履歴ダンパーのモデル化のフローを図3.1.2-7に、非線形梁要素の定格荷重4ton相当モデルの骨格曲線を図3.1.2-8に示す。

d. 解析方法

解析は、弾塑性解析では非線形時刻歴解析（Newmark β 法）を、等価線形解析ではモーダル解析により解析を行う。

減衰に関しては弾塑性解析では、1次固有周期における減衰定数が1%となるように剛性比例型の減衰で与える。

モーダル解析では各モード系に応じて免震装置（水平モード）、上部構造、免震装置（上下モード）の減衰定数を与えて行い、考慮する次数は1～7次とする。なお、各モードの減衰定数は、各要素の特性試験で得られた等価粘性減衰の値を用いる。

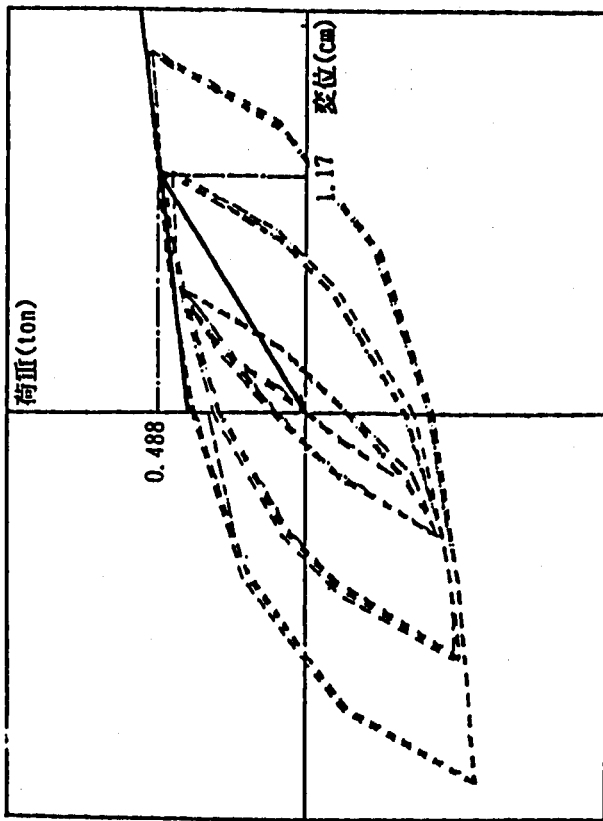


(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	水平剛性 (t/cm)	鉛直剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	906.0	1.42×10^7	2.0

図 3. 1. 2 - 3 積層ゴムのモデル化
 (実験値に基づく等価線形モデル)
 Fig. 3. 1. 2 - 3 Simulation Model of Rubber Bearing
 (Equivalent-linear Model of Experimental Values)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	等価剛性 (ton/cm)	回転剛性 (t·cm/rad)	鉛直剛性 (ton/cm)	等価粘性減衰 (%)
積層ゴム	0.562	1.42×10^7	906.0	—
鋼材ダンパー	1.667	—	—	26.9

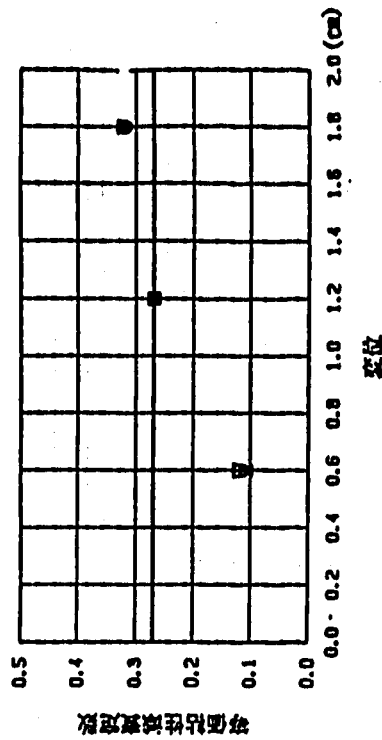
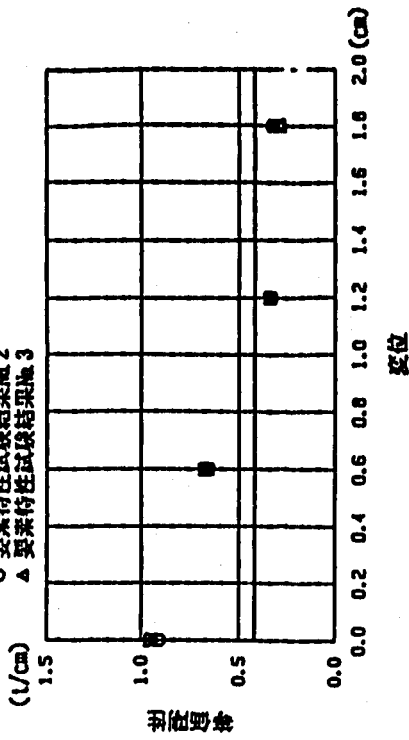
備考：水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定

図 3.1.2 - 4 積層ゴム + 鋼材ダンパー ($\beta = 0.1$) のモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)

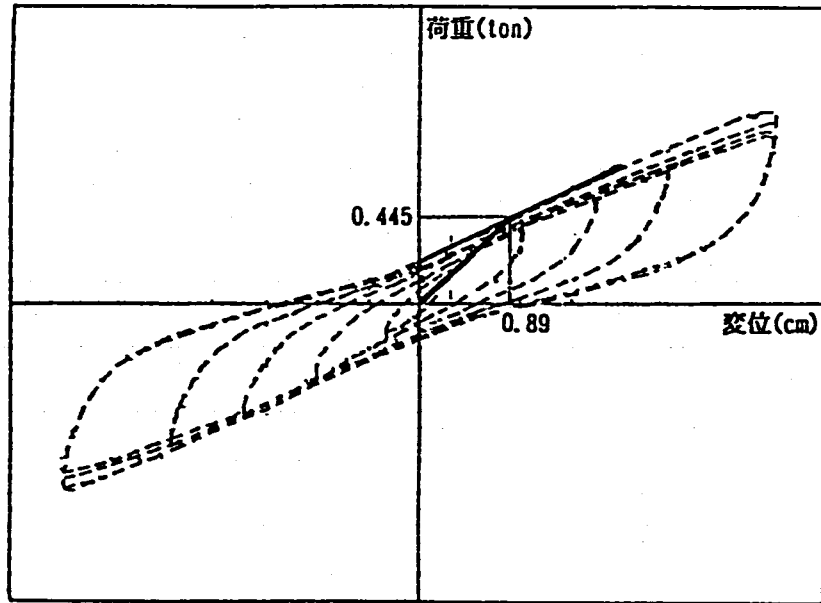
Fig. 3.1.2 - 4 Simulation Model of Rubber Bearing + Steel Damper ($\beta = 0.1$) (Equivalent-linear Model of Experimental Values)

— 実験値に基づく等価線形モデル (原破入力時)

□ 要素特性試験結果 No.1
○ 要素特性試験結果 No.2
△ 要素特性試験結果 No.3



(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

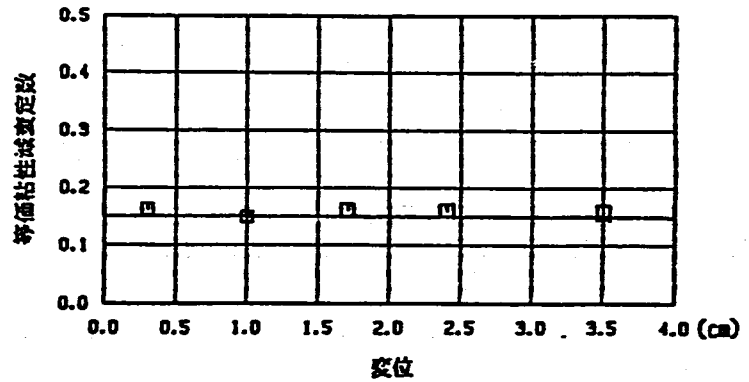
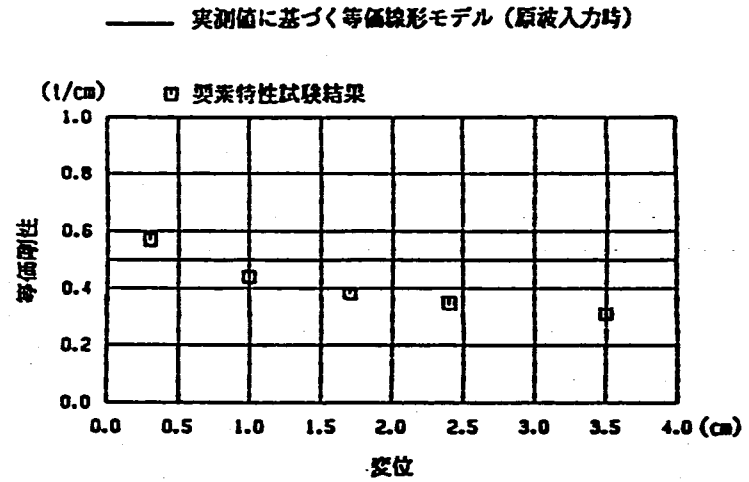


(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

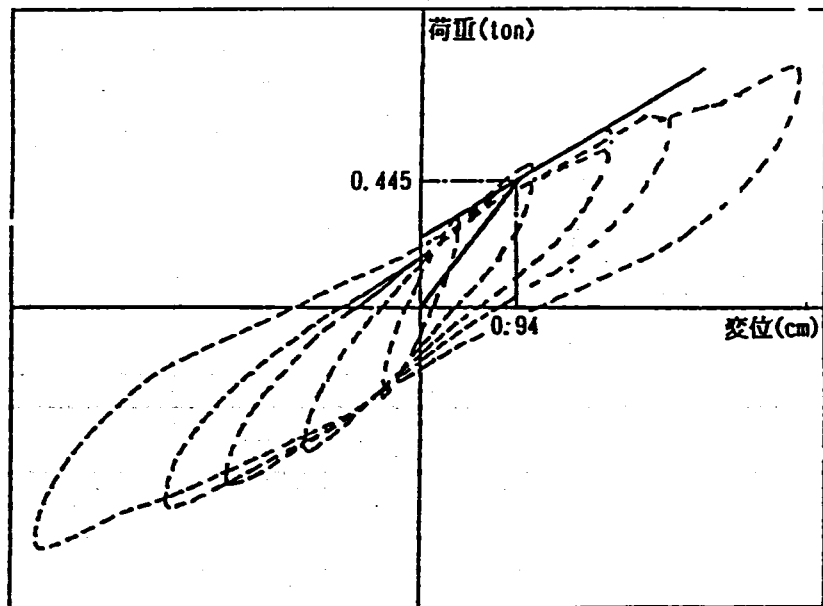
免震装置	等価剛性 (ton/cm)	回転剛性 (t*cm/rad)	鉛直剛性 (ton/cm)	等価粘性減衰 (%)
鉛入り積層ゴム	2.000	1.40×10^7	895.0	15.0

備考：水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定



(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

図 3.1.2 - 5 鉛入り積層ゴムのモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)
 Fig. 3.1.2 - 5 Simulation Model of Lead Rubber Bearing (Equivalent-linear Model of Experimental Values)

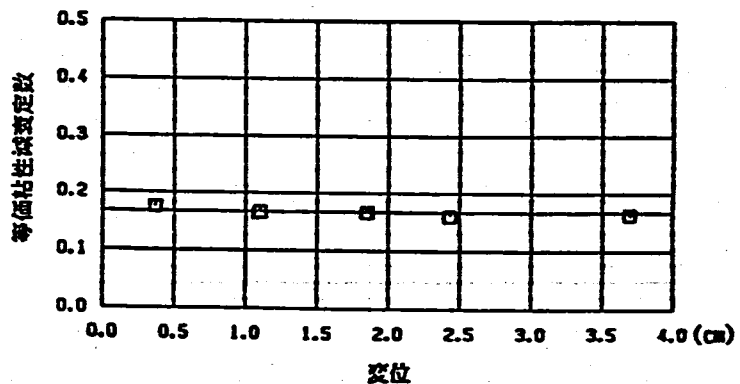
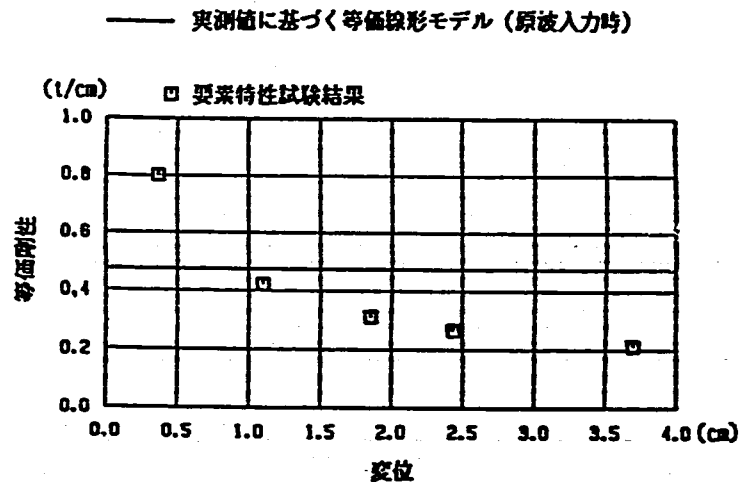


(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	等価剛性 (ton/cm)	回転剛性 (t*cm/rad)	鉛直剛性 (ton/cm)	等価粘性 減衰 (%)
高減衰積層ゴム	1.892	1.28×10^7	816.0	16.7

備考：水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定



(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

図 3.1.2 - 6 高減衰積層ゴムのモデル化
(実験値に基づく等価線形モデル)
Fig. 3.1.2 - 6 Simulation Model of High Damping Rubber Bearing
(Equivalent-linear Model of Experimental Values)

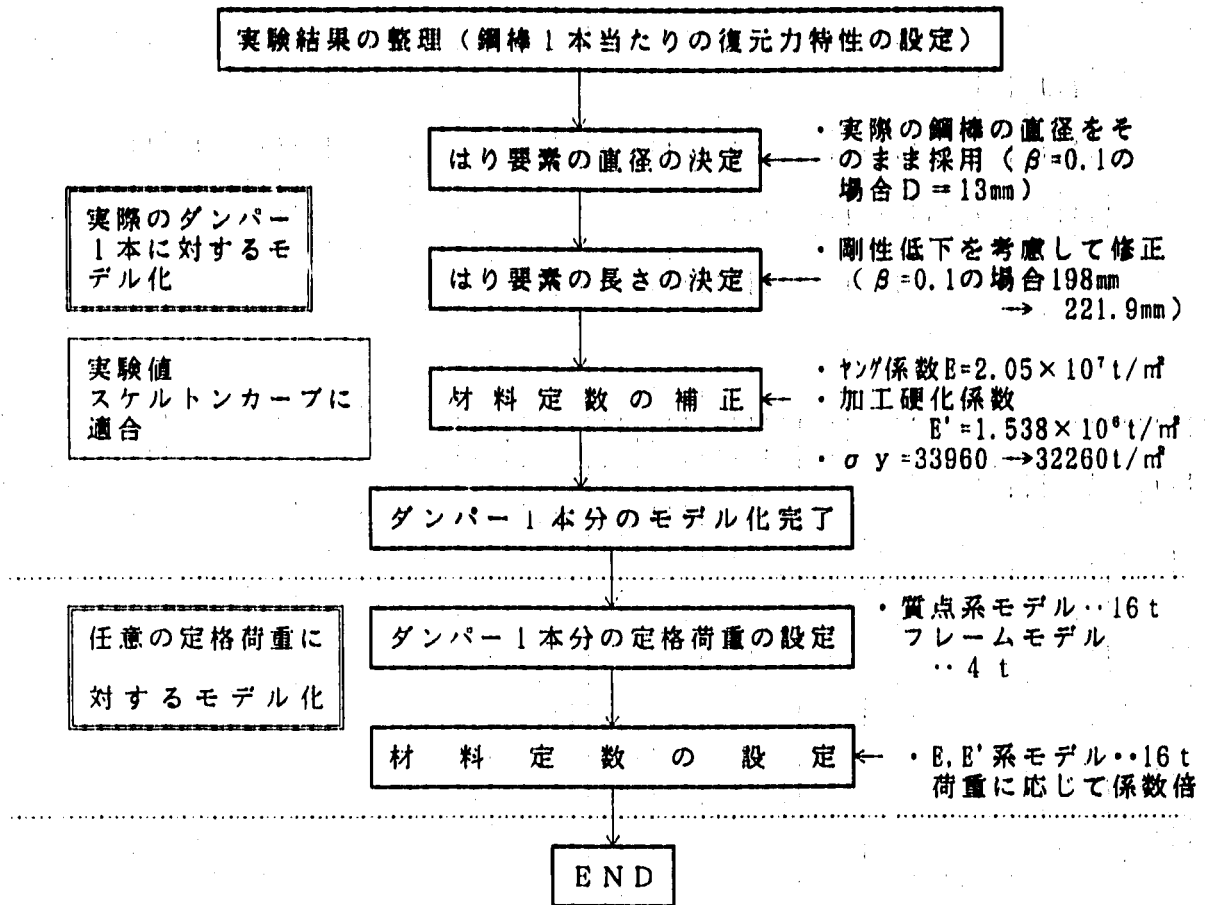


図 3.1.2-7 鋼棒ダンパー (弾塑性梁要素) のモデル化フロー ($\beta=0.1$ の場合)
 Fig. 3.1.2-7 Flow of Modeling Steel Damper (Plasto-elastic Beam Element) (in Case of $\beta=0.1$)

4 ton Model

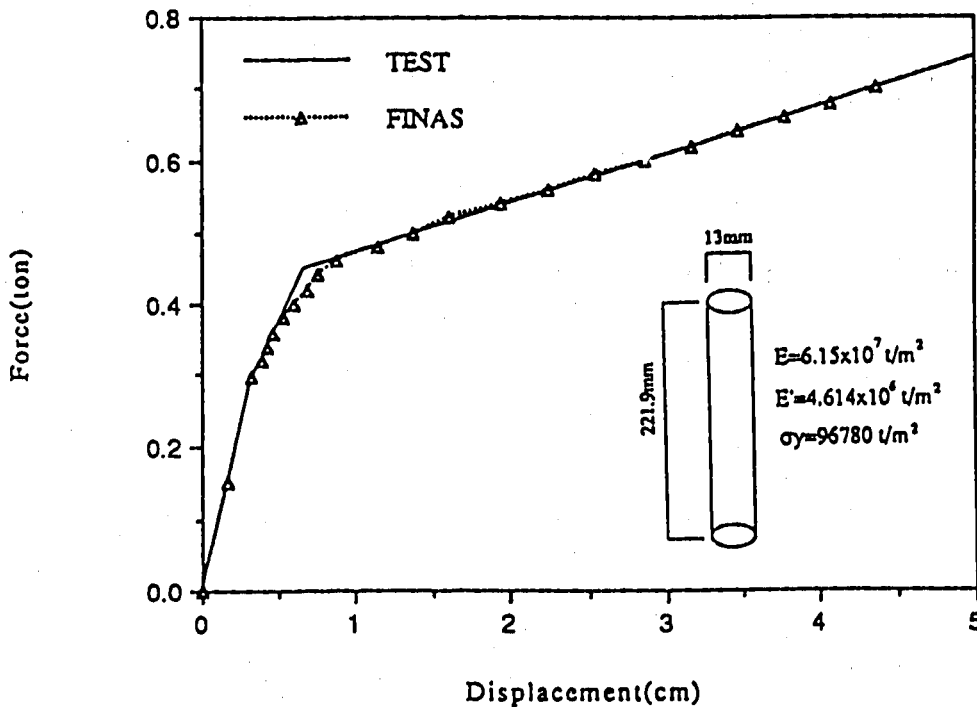


図 3.1.2-8 非線形梁要素 4 tonモデル ($\beta=0.1$)
 Fig. 3.1.2-8 Element of Non-linear Beam, 4ton-model ($\beta=0.1$)

(4) 解析結果

各解析ケースに対応した各方向の試験結果と解析結果の比較を、加速度及び変位
 応答時刻歴、最大加速度及び床応答スペクトル、免震装置の履歴曲線、免震装置の
 変位オービットについて各図に示す。(下記一覧表参照)

解析ケース	試験ケース	方向 成分	加速度及び変 位応答時刻歴	最大加速度応 答及び床応答	免震装置の 履歴曲線	免震装置の変 位オービット
CASE 1 線形	RD0-6	EW NS 上下	図3.1.2-9 図3.1.2-10 図3.1.2-11	図3.1.2-12 図3.1.2-13 図3.1.2-14	図3.1.2-15 — —	図3.1.2-16 " —
CASE 2-1 等価線形	RD1-12	EW NS 上下	図3.1.2-17 図3.1.2-18 図3.1.2-19	図3.1.2-20 図3.1.2-21 図3.1.2-22	図3.1.2-23 — —	図3.1.2-24 " —
CASE 2-2 非線形	RD1-12	EW NS 上下	図3.1.2-25 図3.1.2-26 図3.1.2-27	図3.1.2-28 図3.1.2-29 図3.1.2-30	図3.1.2-31 — —	図3.1.2-32 " —
CASE 3 等価線形	LRB-9	EW NS 上下	図3.1.2-33 図3.1.2-34 図3.1.2-35	図3.1.2-36 図3.1.2-37 図3.1.2-38	図3.1.2-39 — —	図3.1.2-40 " —
CASE 4 等価線形	HDR-9	EW NS 上下	図3.1.2-41 図3.1.2-42 図3.1.2-43	図3.1.2-44 図3.1.2-45 図3.1.2-46	図3.1.2-47 — —	図3.1.2-48 " —

解析の結果、各免震装置モデルともに免震装置の復元力特性を簡略的に等価線形
 でモデル化しても、振動台試験の各応答結果を良好に再現できていることが確認で
 きる。

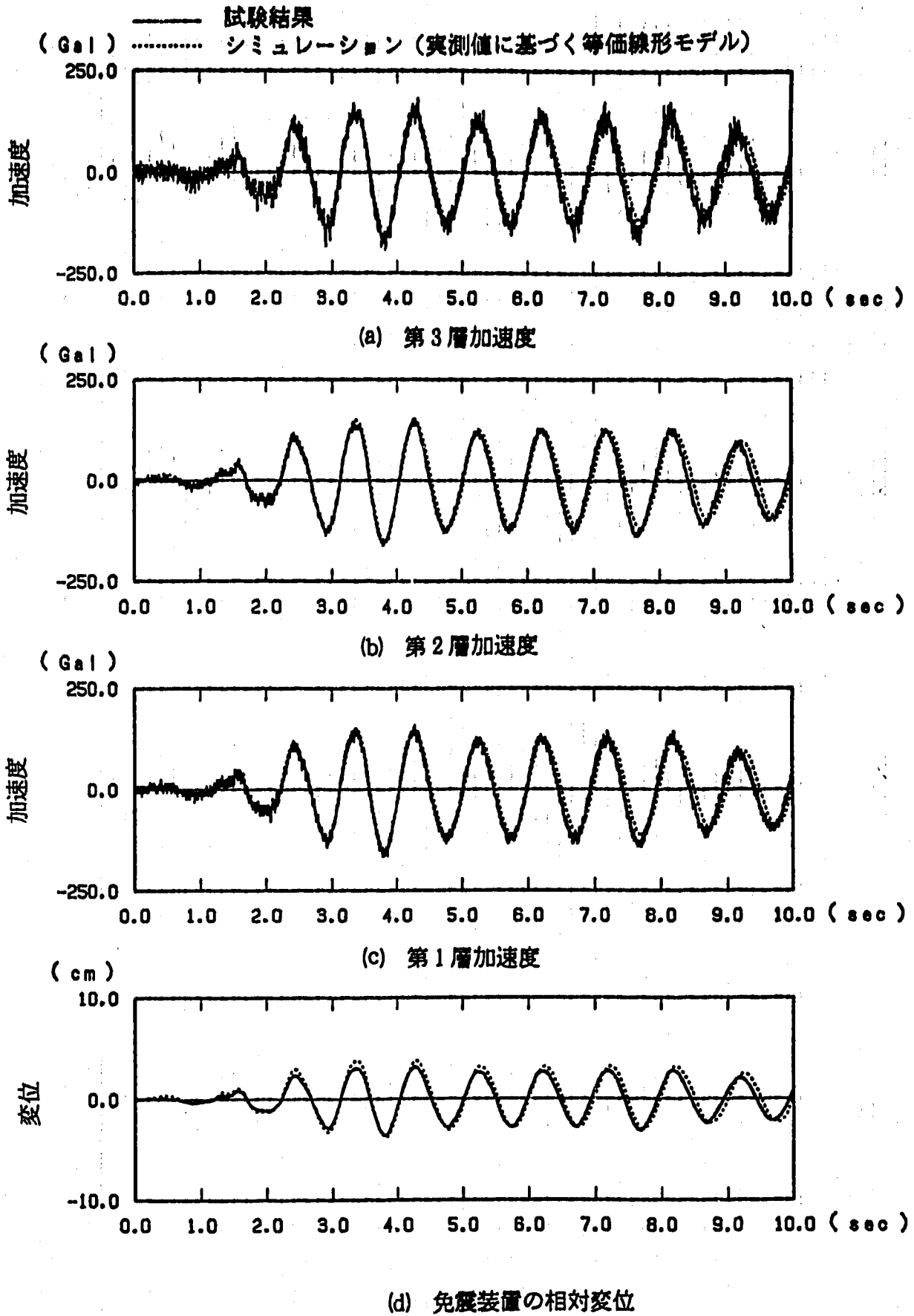


図 3. 1. 2 - 9 加速度及び変位応答時刻歴
 (RDO, PINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 9 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RDO, PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

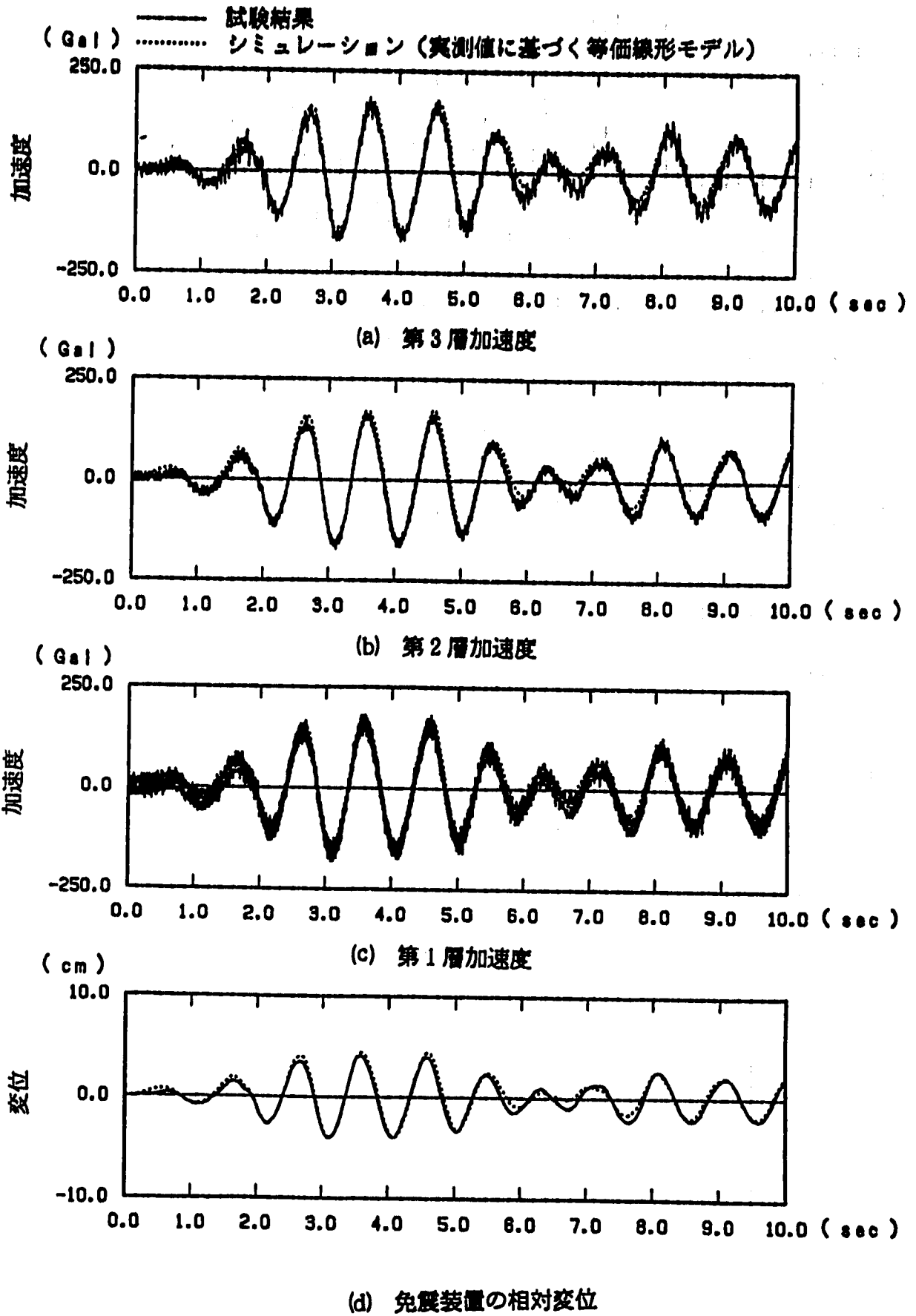


図 3.1.2 - 10 加速度及び変位応答時刻歴
 (RDO.FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)
 Fig. 3.1.2 - 10 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RDO.FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)

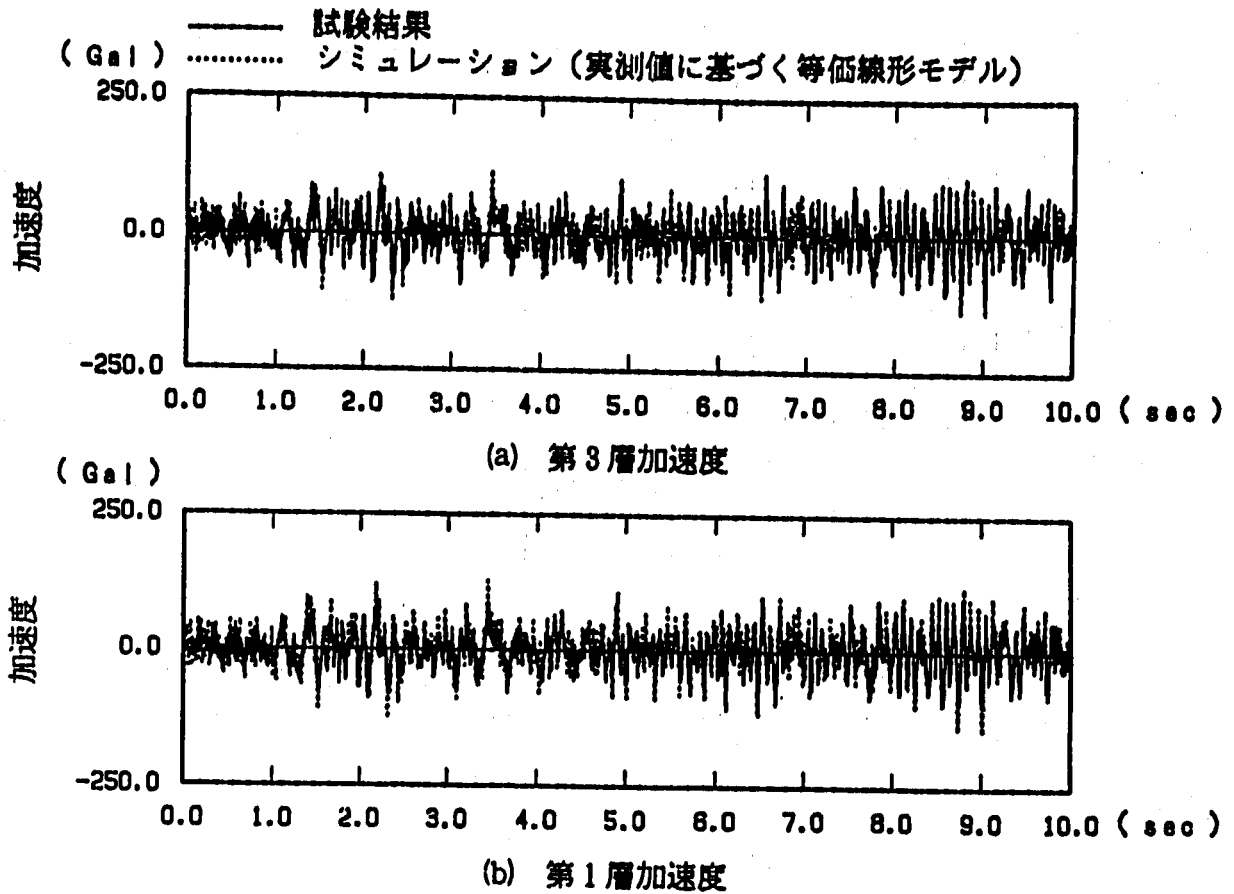
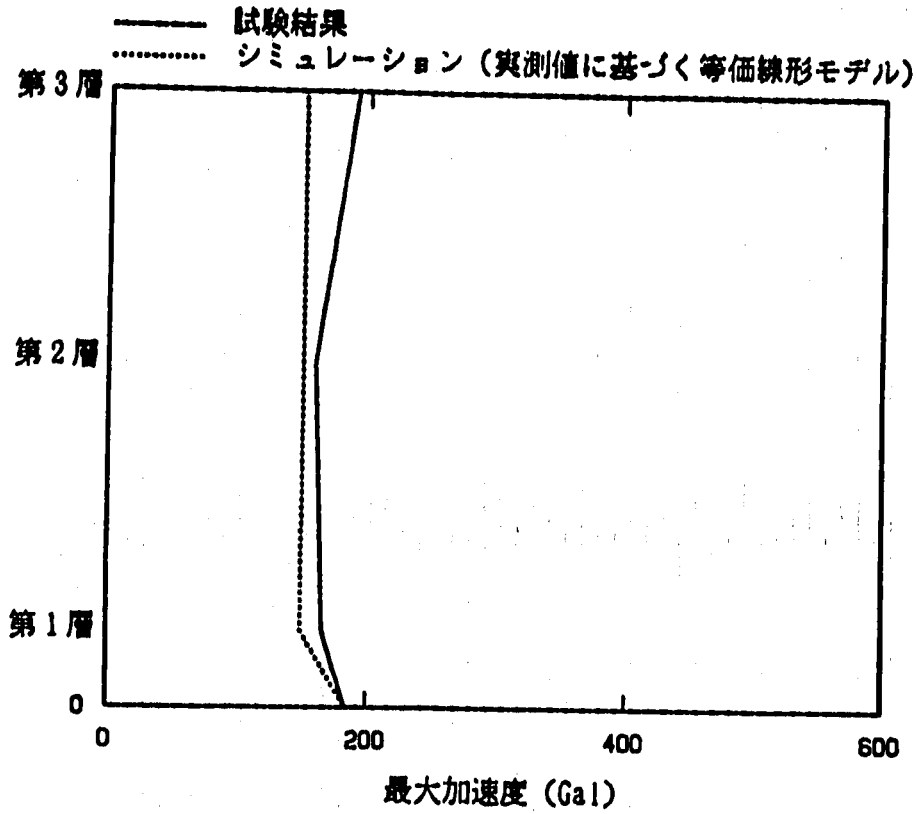
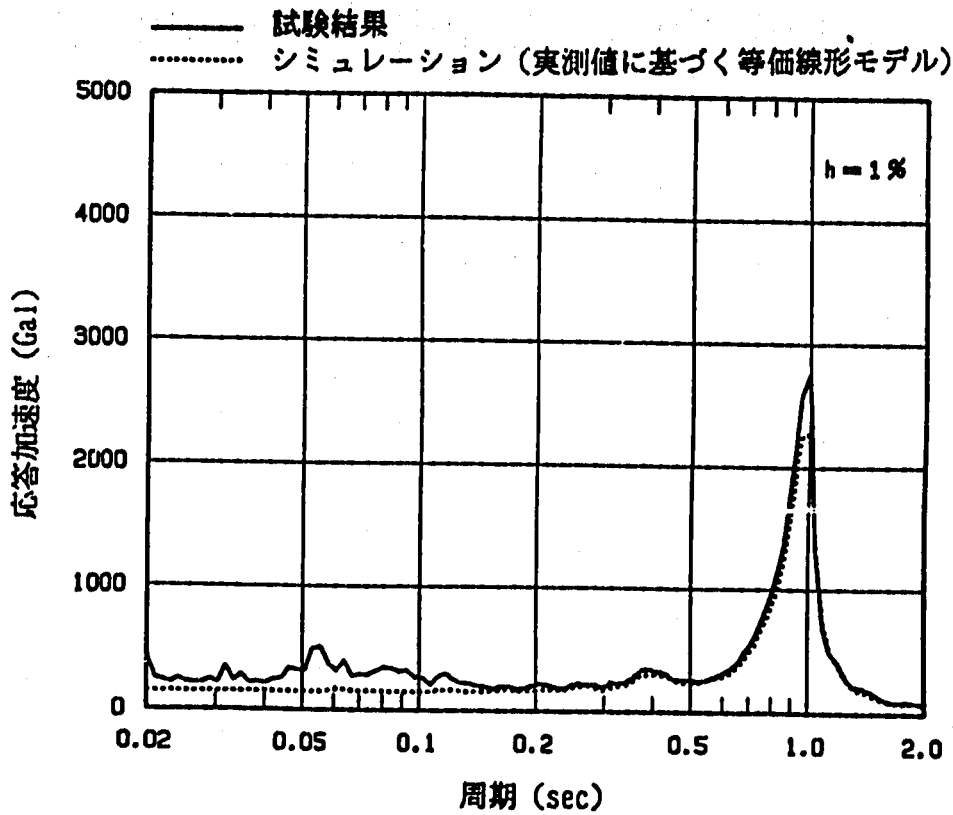


図 3. 1. 2 - 11 加速度及び変位応答時刻歴
 (RDO, PINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 11 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RDO, PINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)



(a) 最大加速度分布



(b) 床応答スペクトル

図 3.1.2 - 12 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)
 Fig. 3.1.2 - 12 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

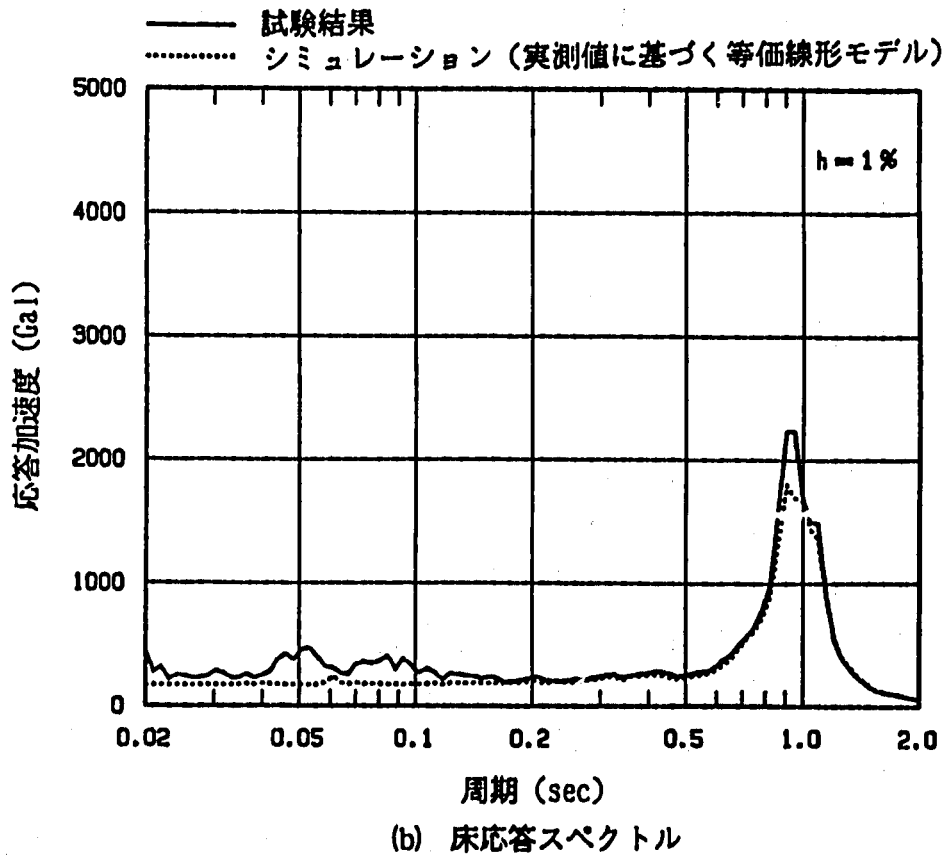
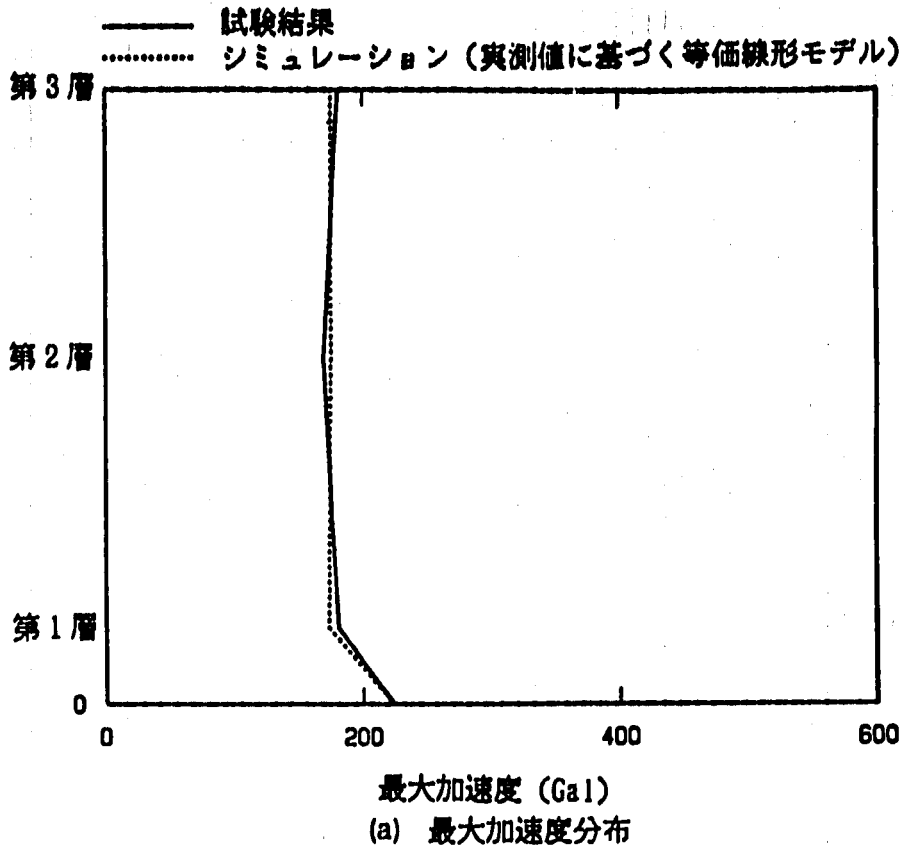


図 3. 1. 2 - 13 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 13 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)

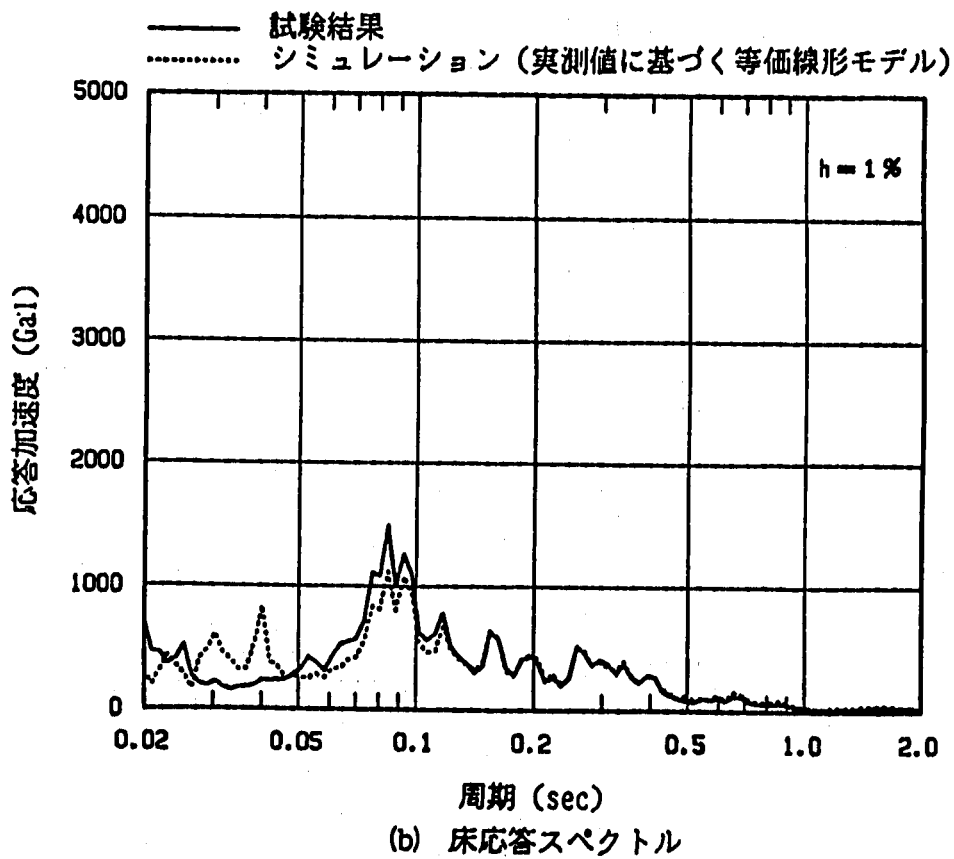
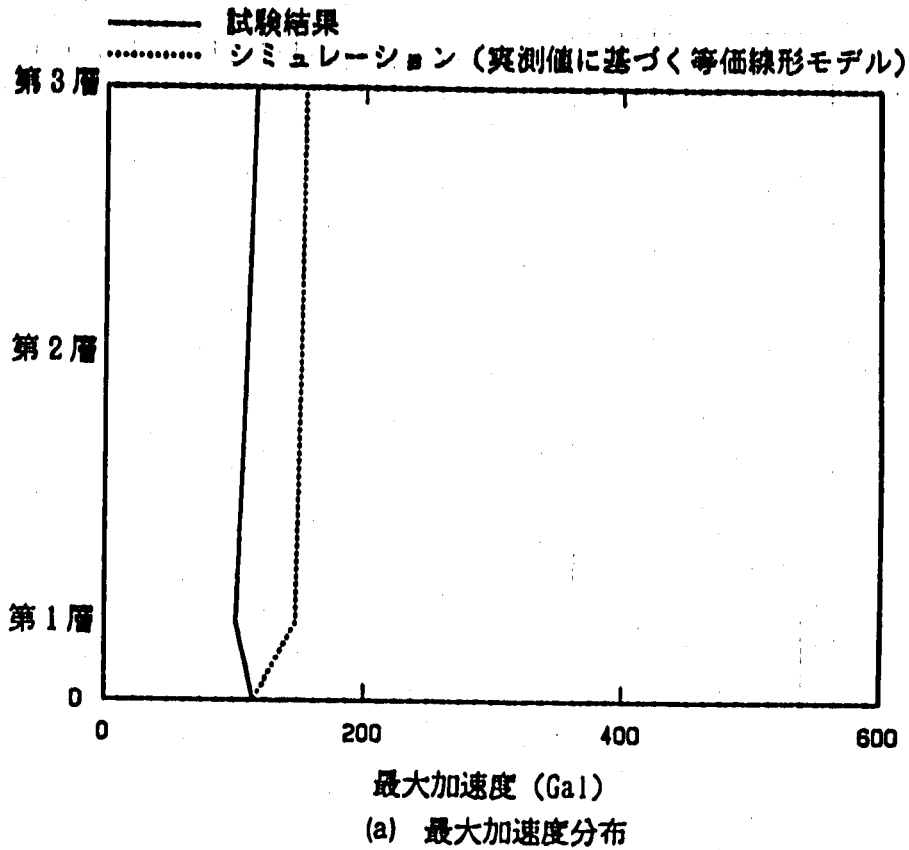


図 3. 1. 2 - 14 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RDO, PINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 14 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RDO, PINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

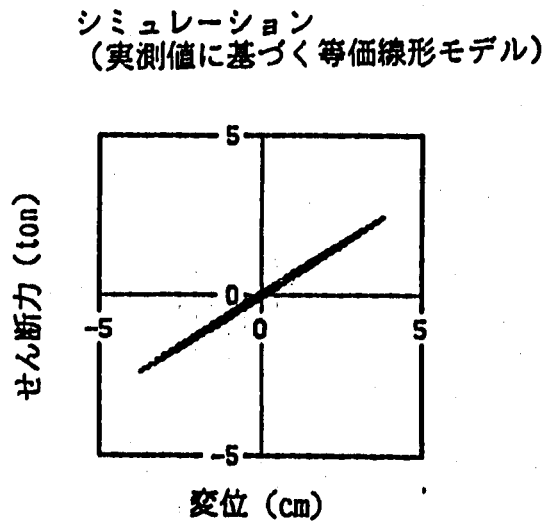
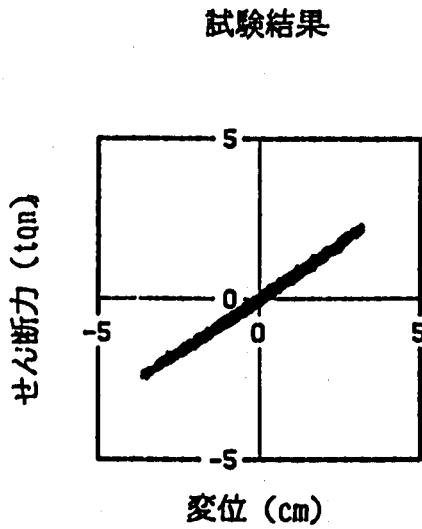
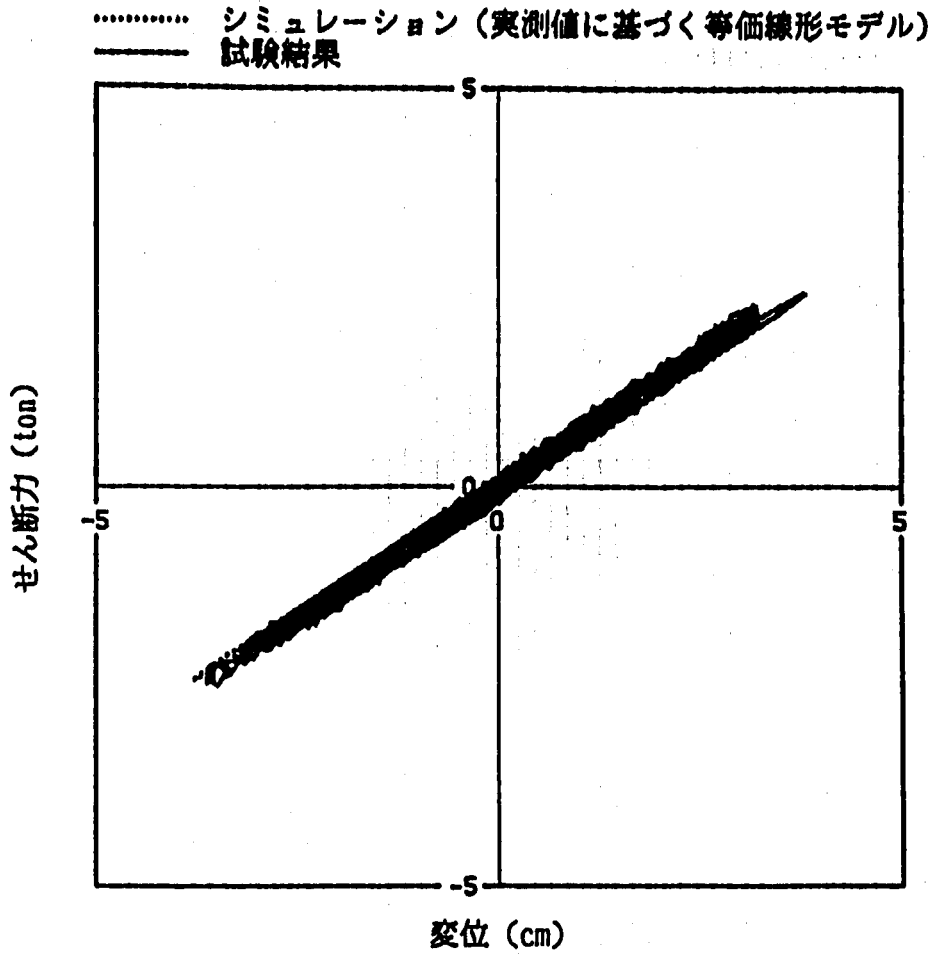


図 3. 1. 2 - 15 免震装置の履歴曲線
 (RDO, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 15 Hysteresis Loop of Total Device
 (RDO, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

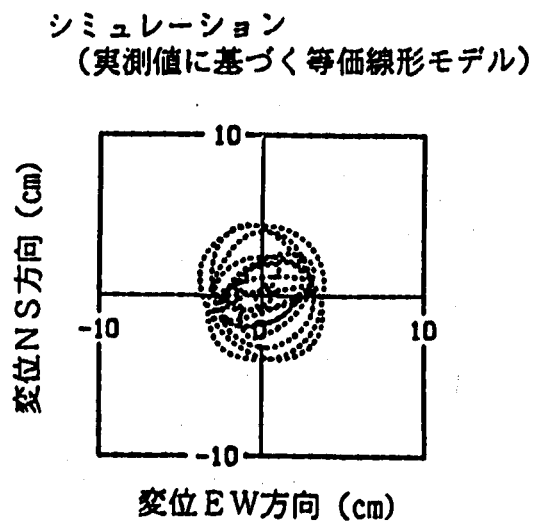
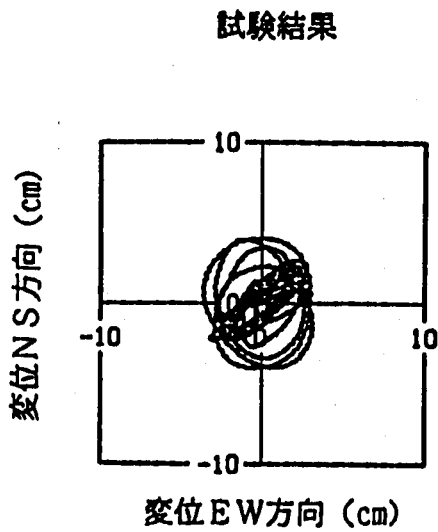
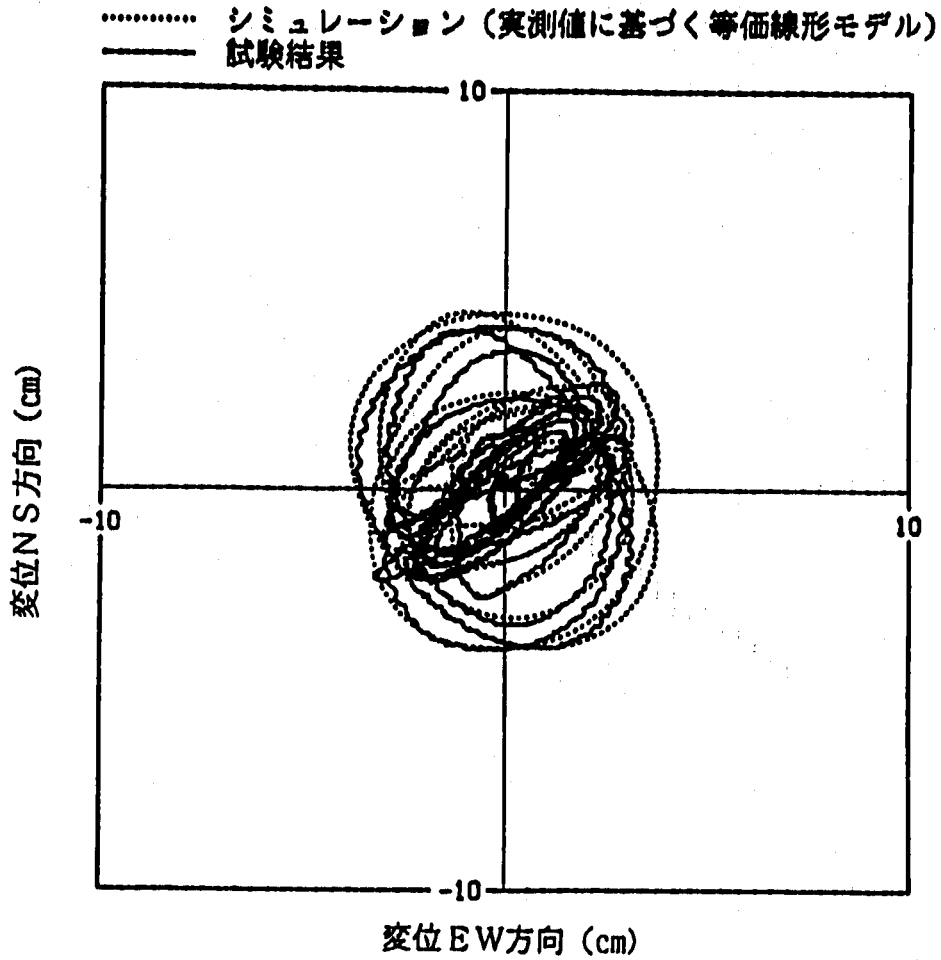


図 3.1.2 - 16 免震装置の変位オービット
 (RDO, PINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデル E)
 Fig. 3.1.2 - 16 Orbit Curve of Base Isolation Devices
 (RDO, PINAS 3-direction Frame Model, EW-NS, Model E)

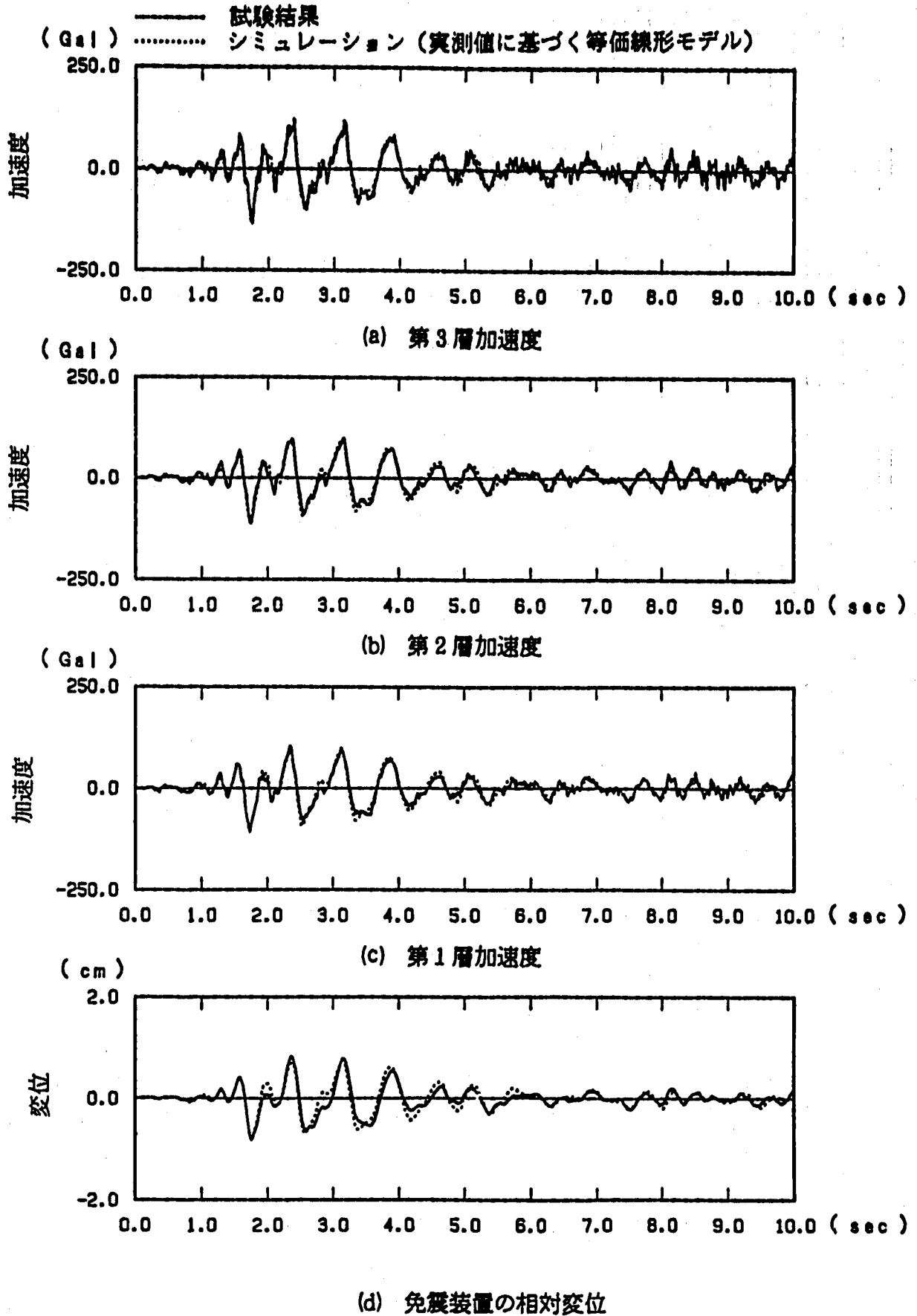
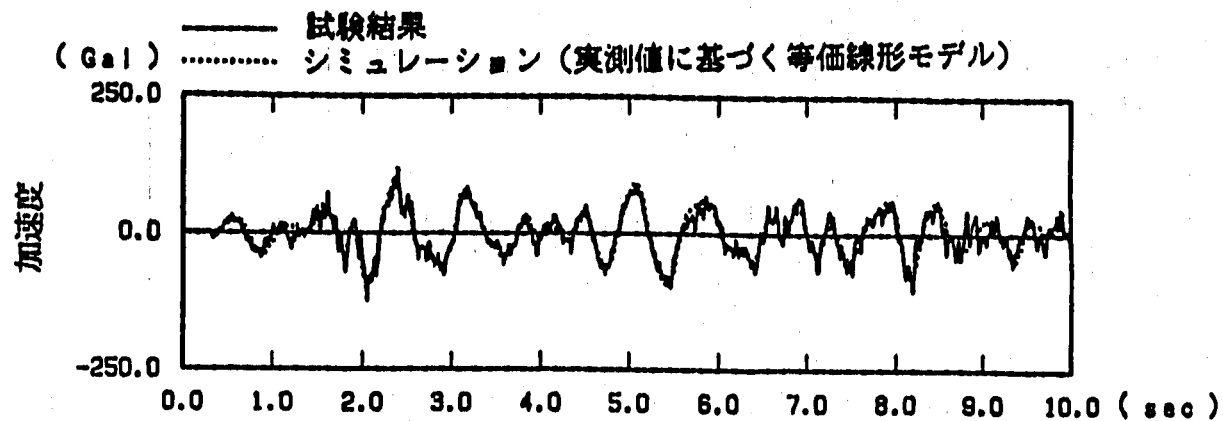
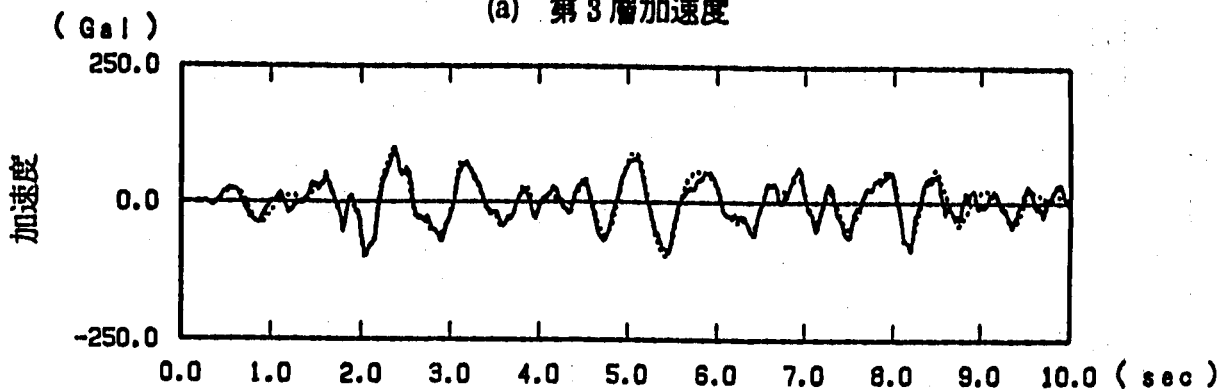


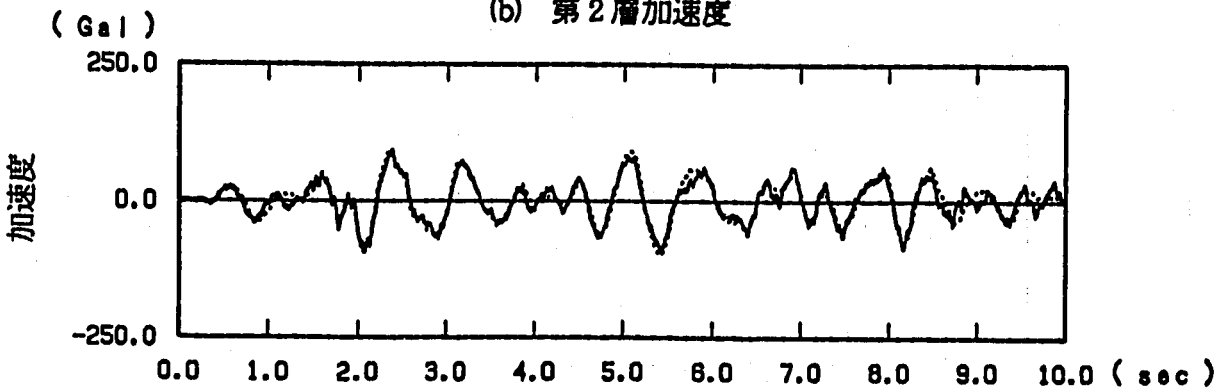
図 3.1.2 - 17 加速度及び変位応答時刻歴
 (RD1 PINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)
 Fig. 3.1.2 - 17 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1 PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)



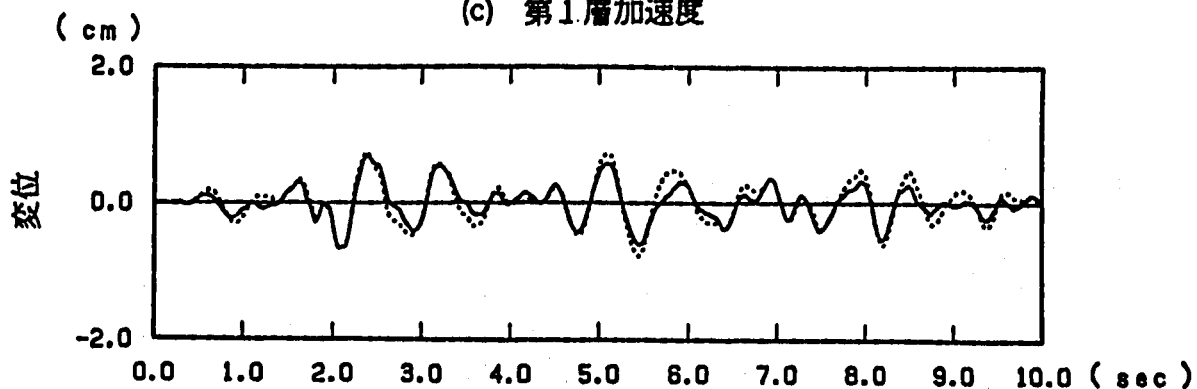
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度



(c) 第1層加速度



(d) 免震装置の相対変位

図 3. 1. 2 - 18 加速度及び変位応答時刻歴
 (RD1, PINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 18 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, PINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)

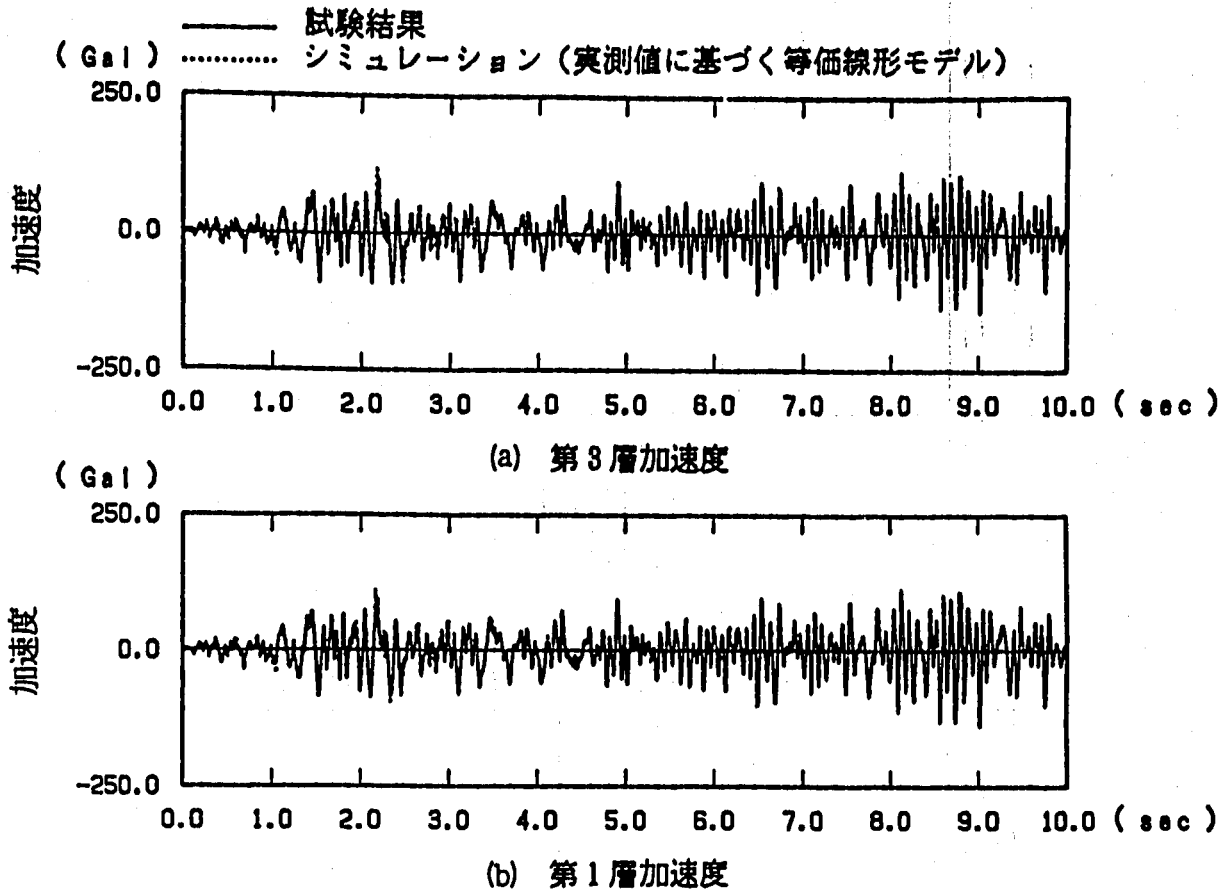
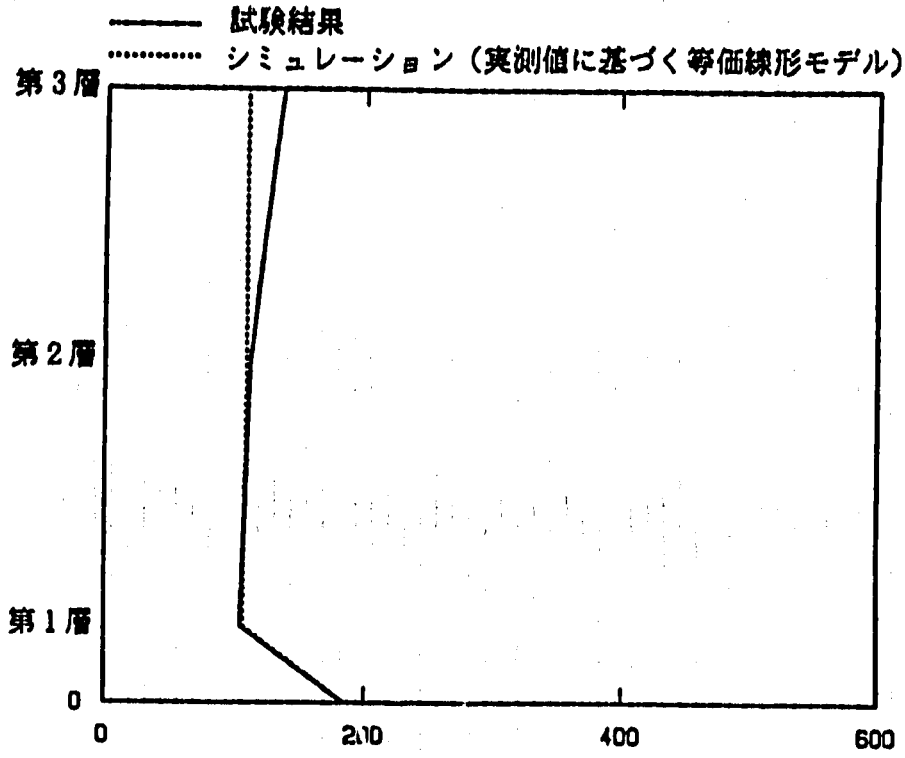
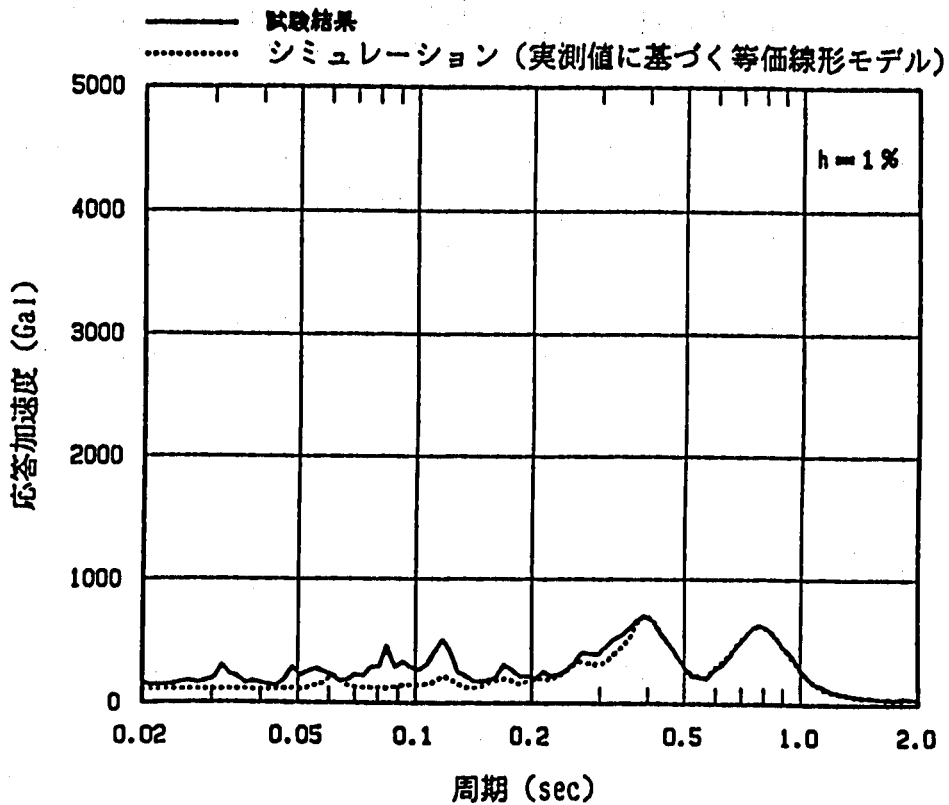


図 3. 1. 2 - 19 加速度及び変位応答時刻歴
 (RD1, FINAS 3 方向フレームモデル, UD, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 19 Time History Response of Acceleration and displacement
 (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

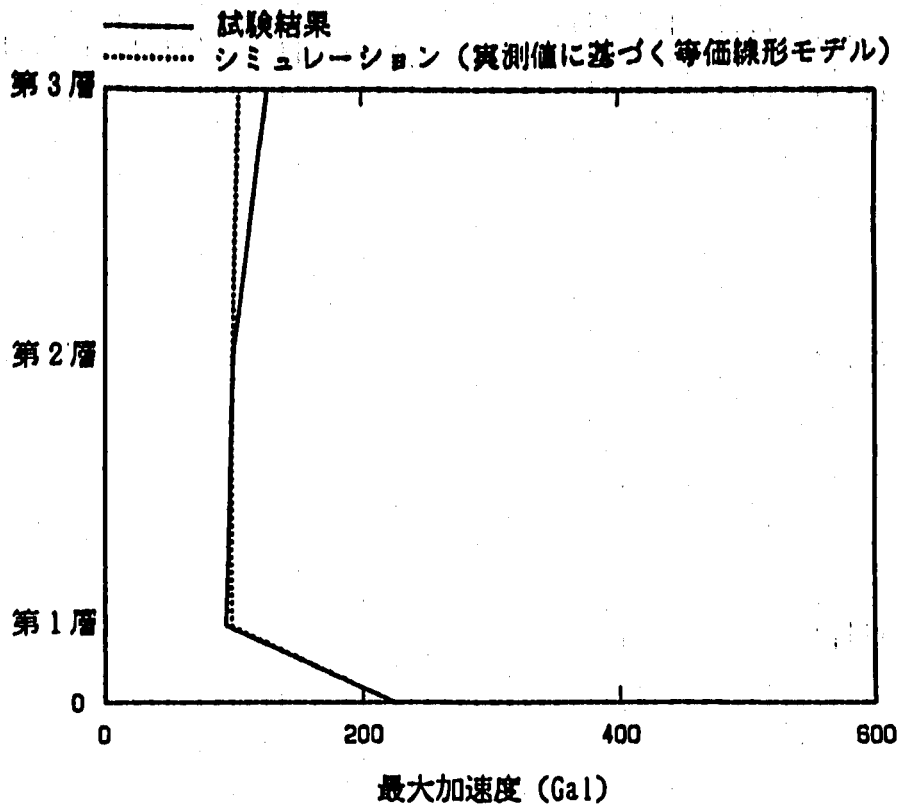


最大加速度 (Gal)
(a, 最大加速度分布)

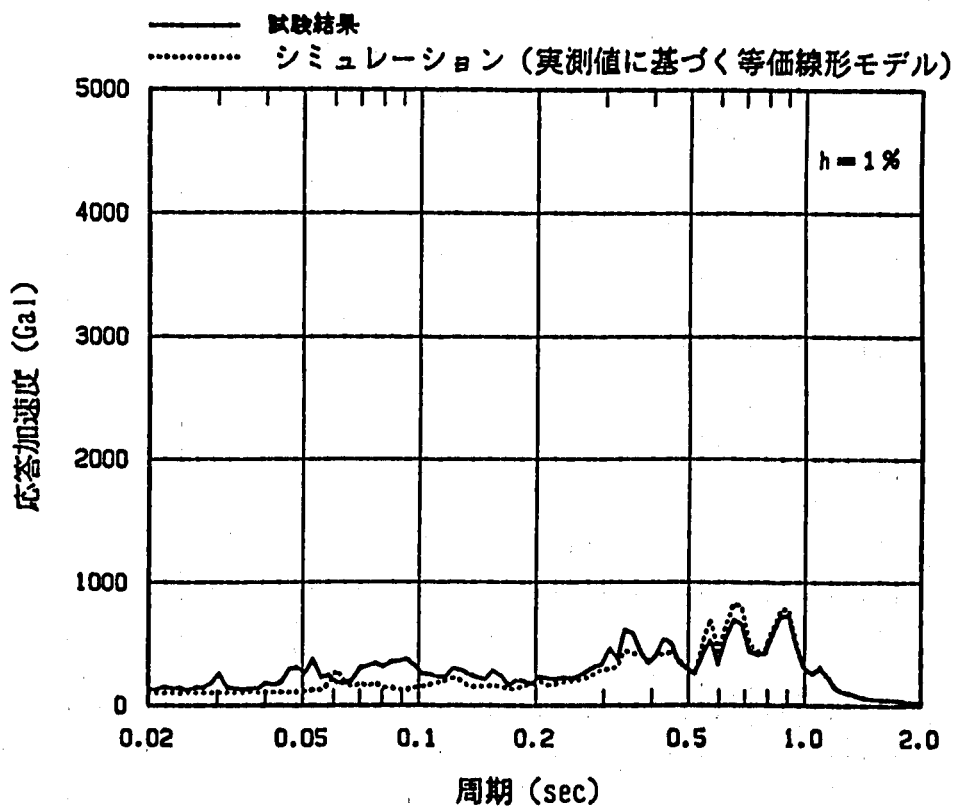


(b) 床応答スペクトル

図 3. 1. 2 - 20 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD1, PINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)
Fig. 3. 1. 2 - 20 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD1, PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

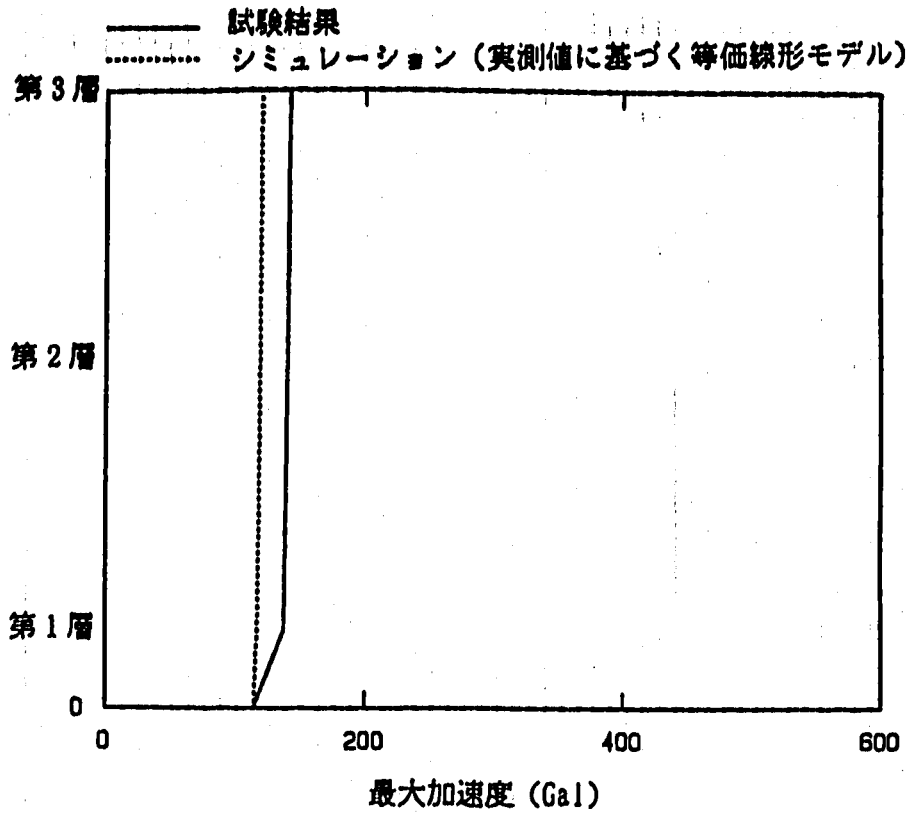


(a) 最大加速度分布

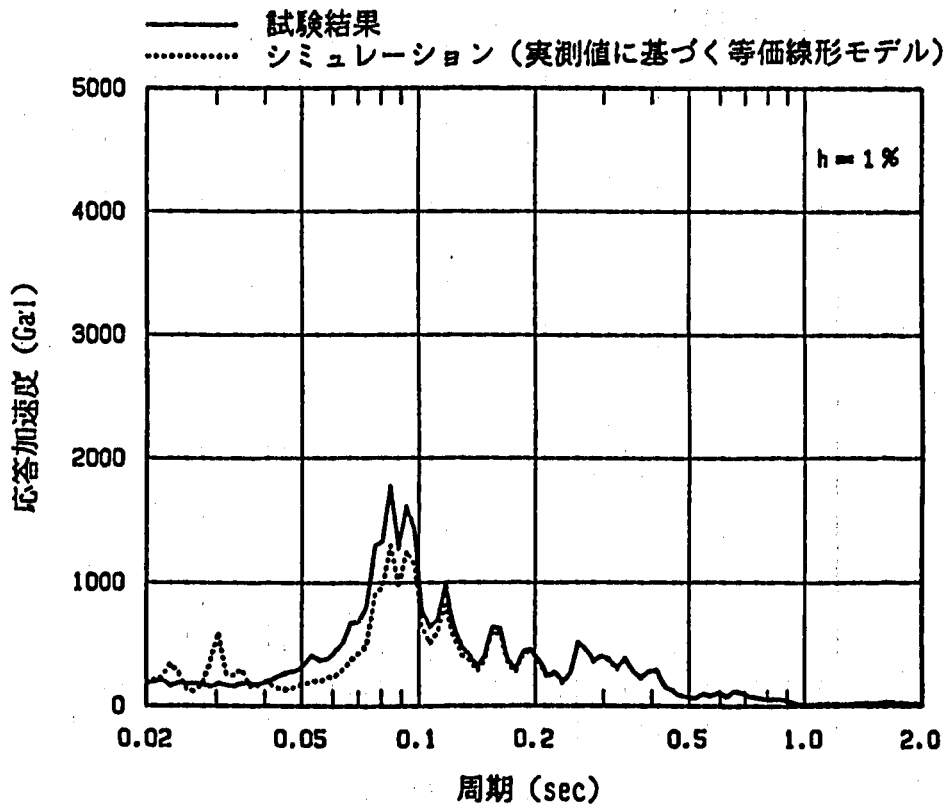


(b) 床応答スペクトル

図 3. 1. 2 - 21 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, FINAS 3 方向フレームモデル, NS, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 21 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)



(a) 最大加速度分布



(b) 床応答スペクトル

図 3. 1. 2 - 22 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, PINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 22 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, PINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

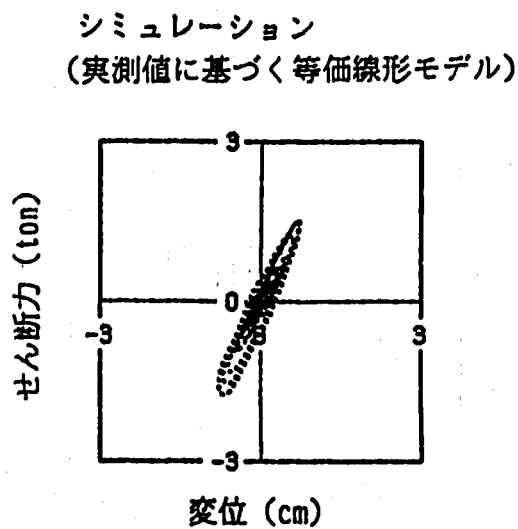
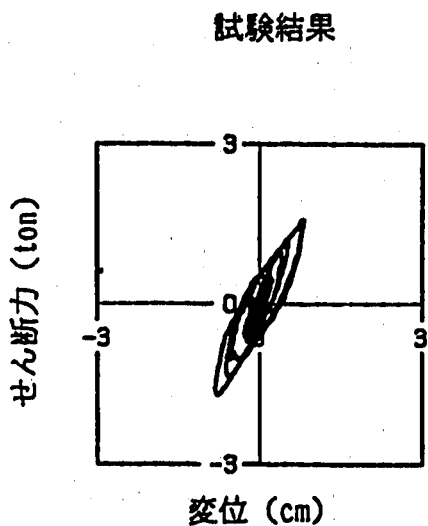
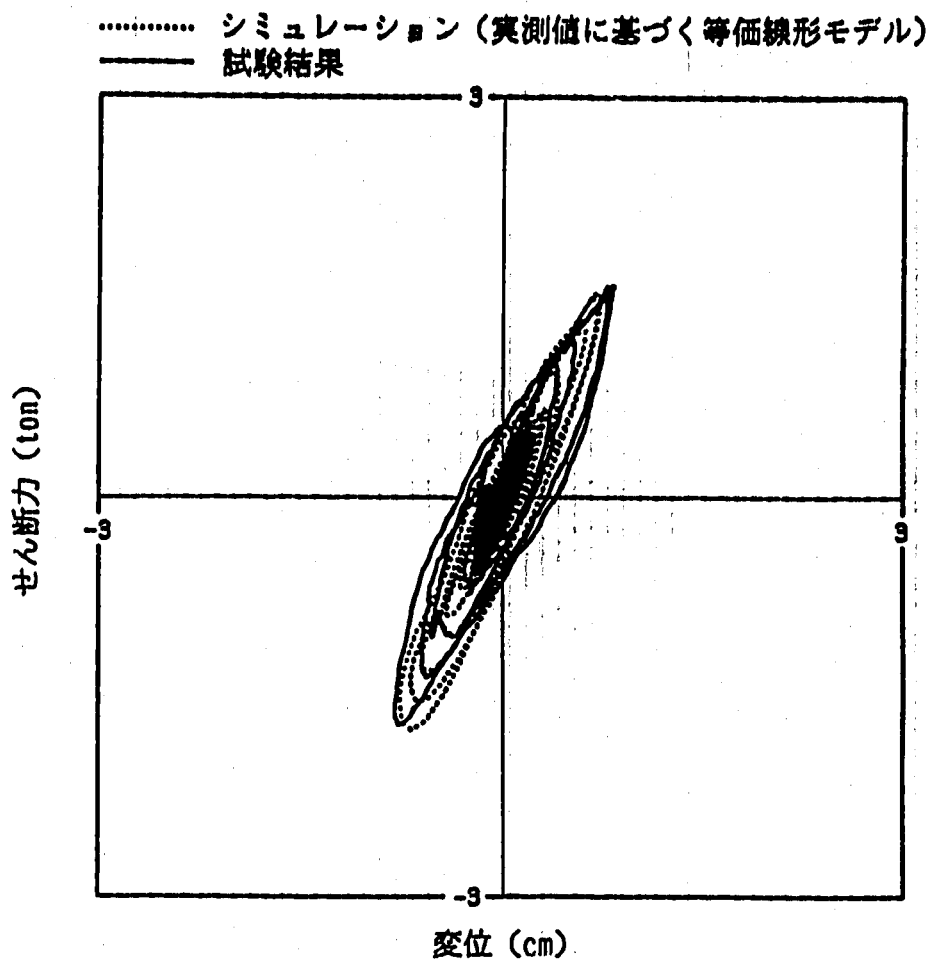


図 3.1.2 - 23 免震装置の履歴曲線
 (RD1.PINAS 3方向フレームモデル, BW, モデル E)
 Fig. 3.1.2 - 23 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1.PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

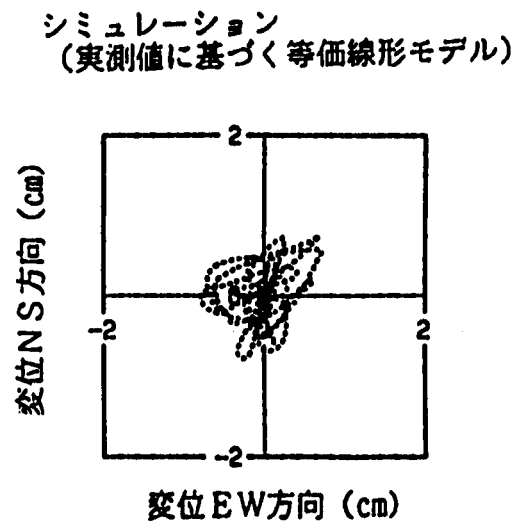
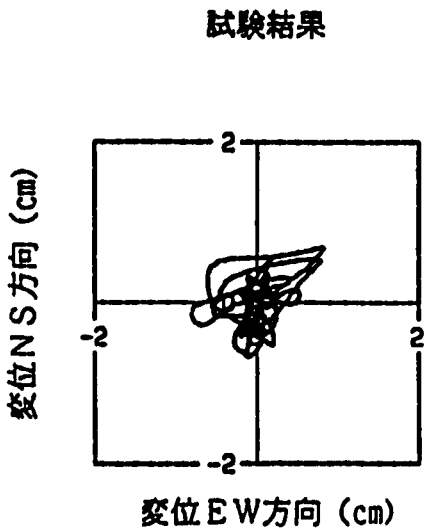
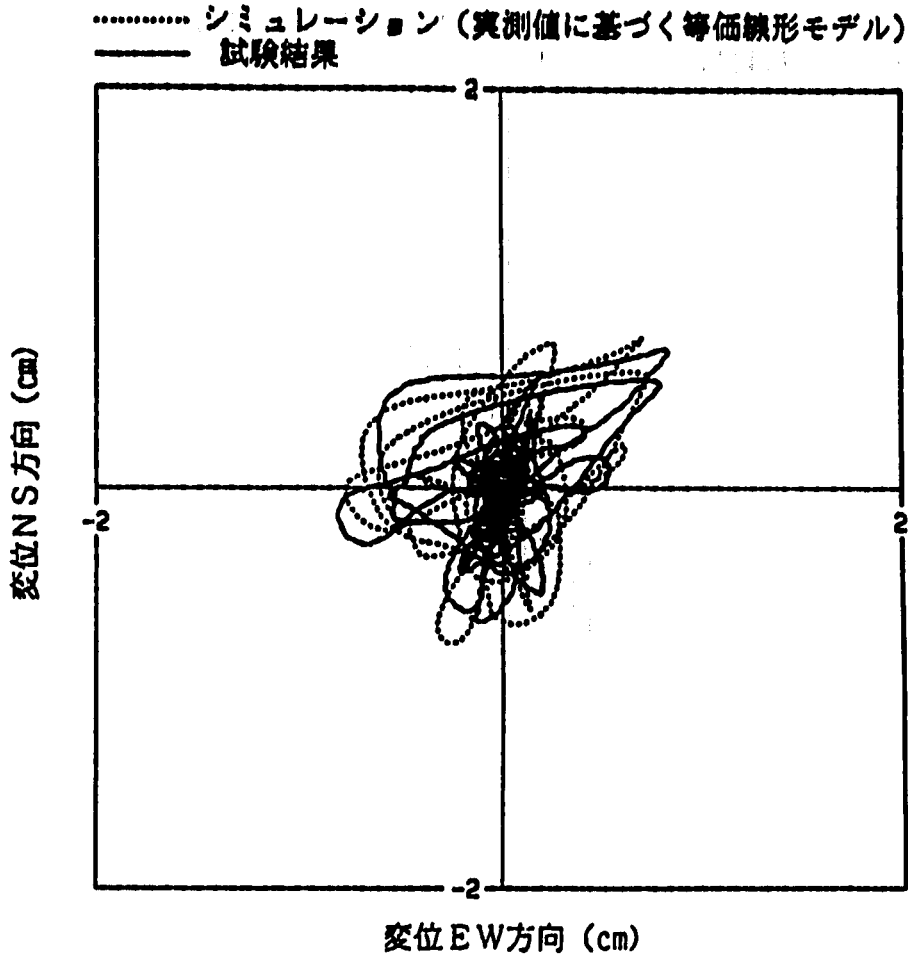


図 3. 1. 2 - 24 免震装置の変位オービット
 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, BW-NS, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 24 Orbit Curve of Base Isolation Devices
 (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, BW-NS, Model E)

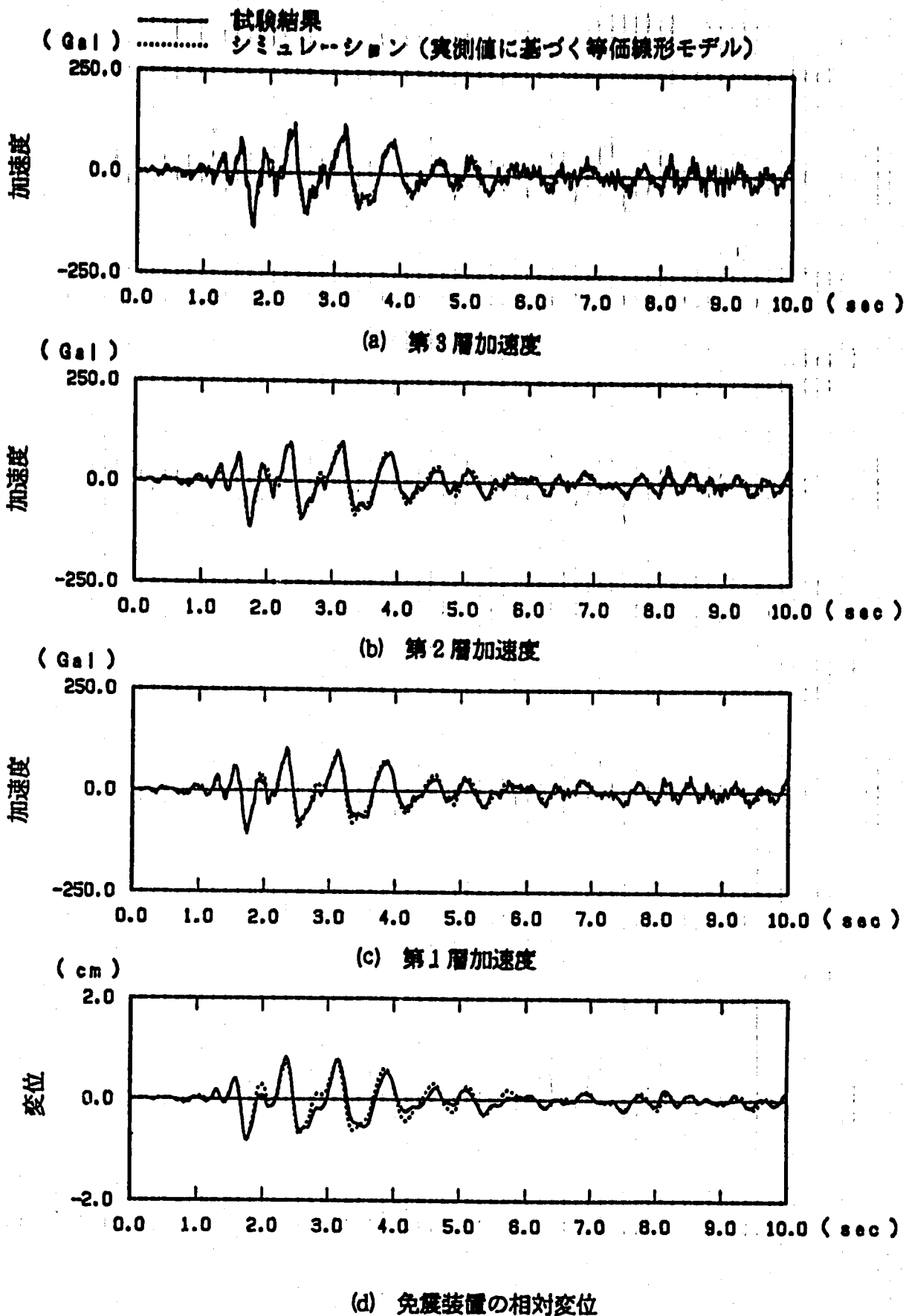
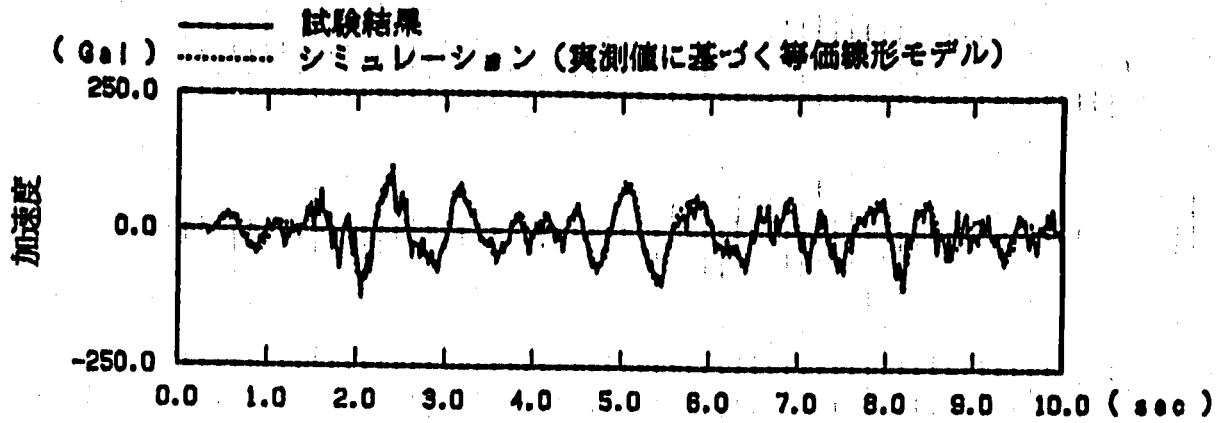
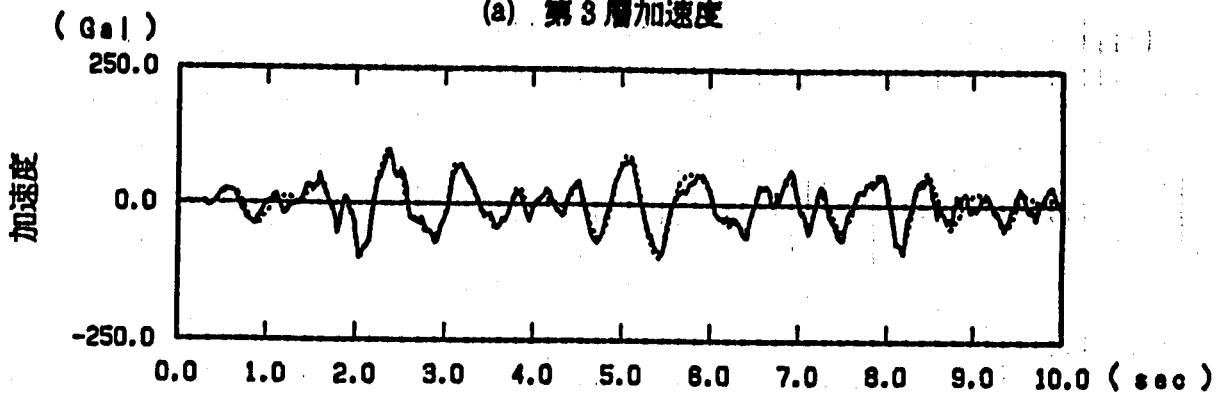


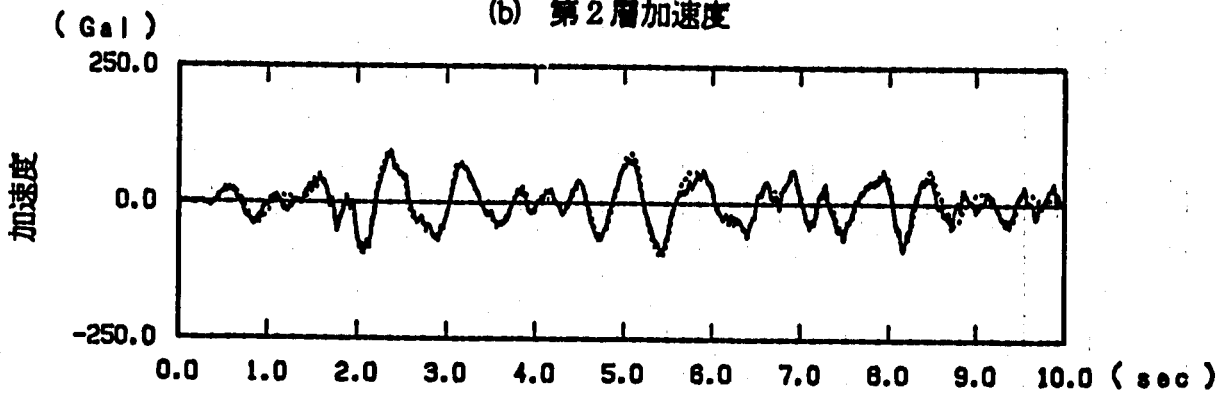
図 3. 1. 2 - 25 加速度及び変位応答時刻歴
 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, BW, モデル F)
 Fig. 3. 1. 2 - 25 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, BW, Model F)



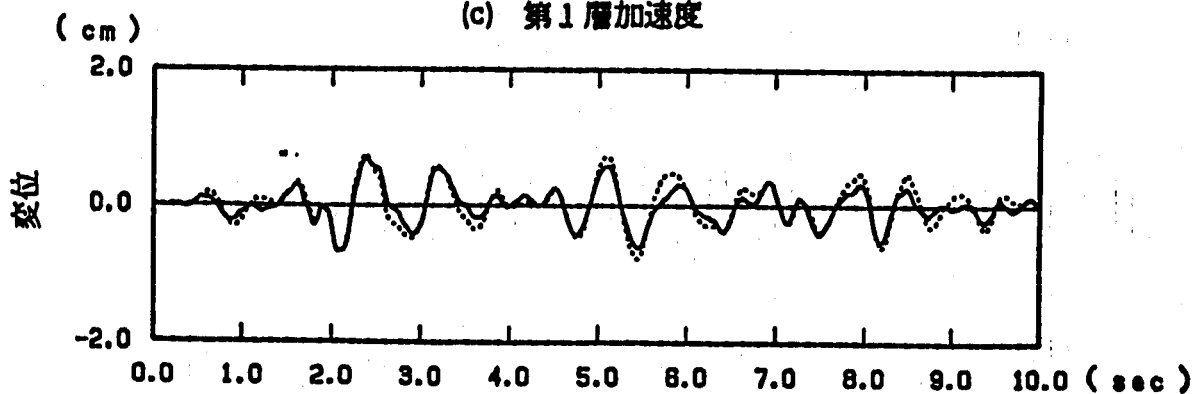
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度



(c) 第1層加速度



(d) 免震装置の相対変位

図 3. 1. 2 - 26 加速度及び変位応答時刻歴
 (RD1, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル F)
 Fig. 3. 1. 2 - 26 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model F)

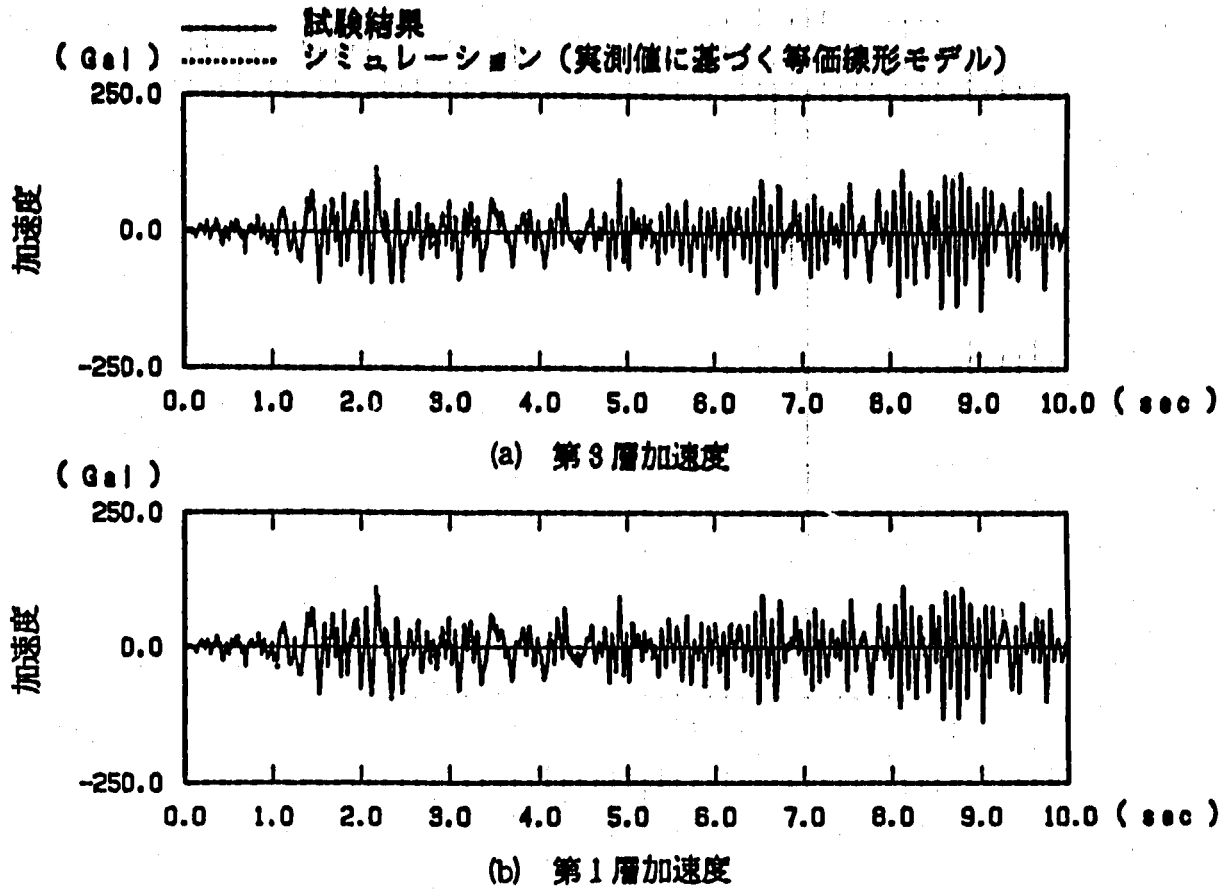


図 3.1.2 - 27 加速度及び変位応答時刻歴
(RDI, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデル F)
Fig. 3.1.2 - 27 Time History Response of Acceleration and Displacement
(RDI, FIMAS 3-direction Frame Model, UD, Model F)

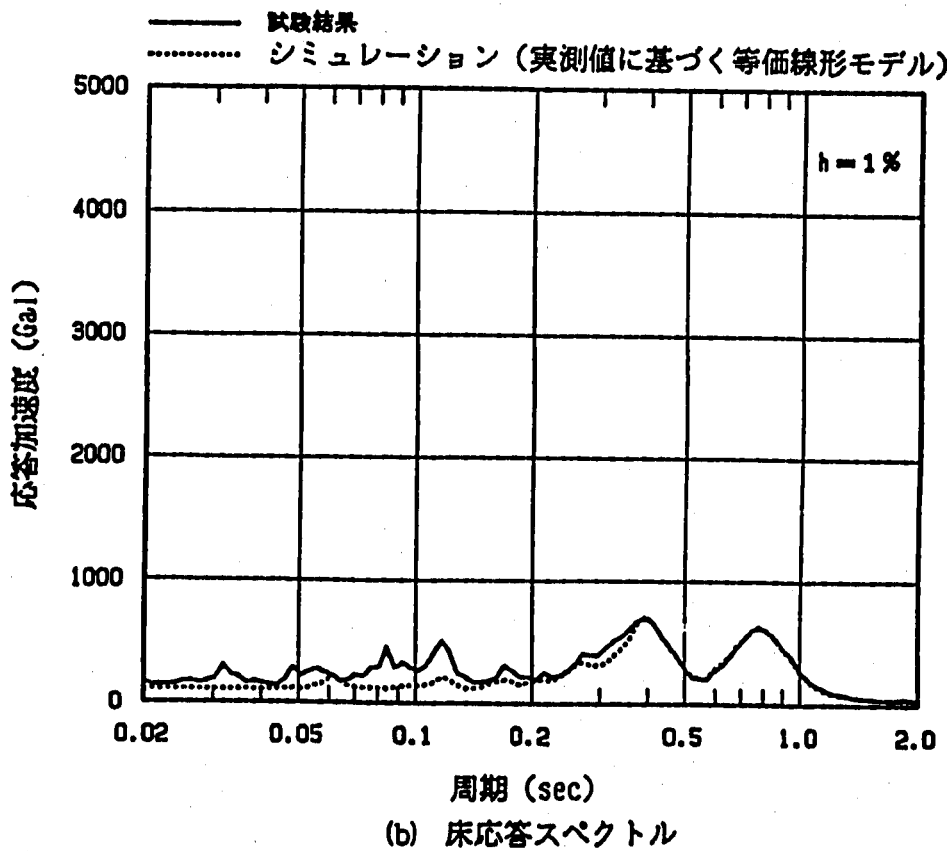
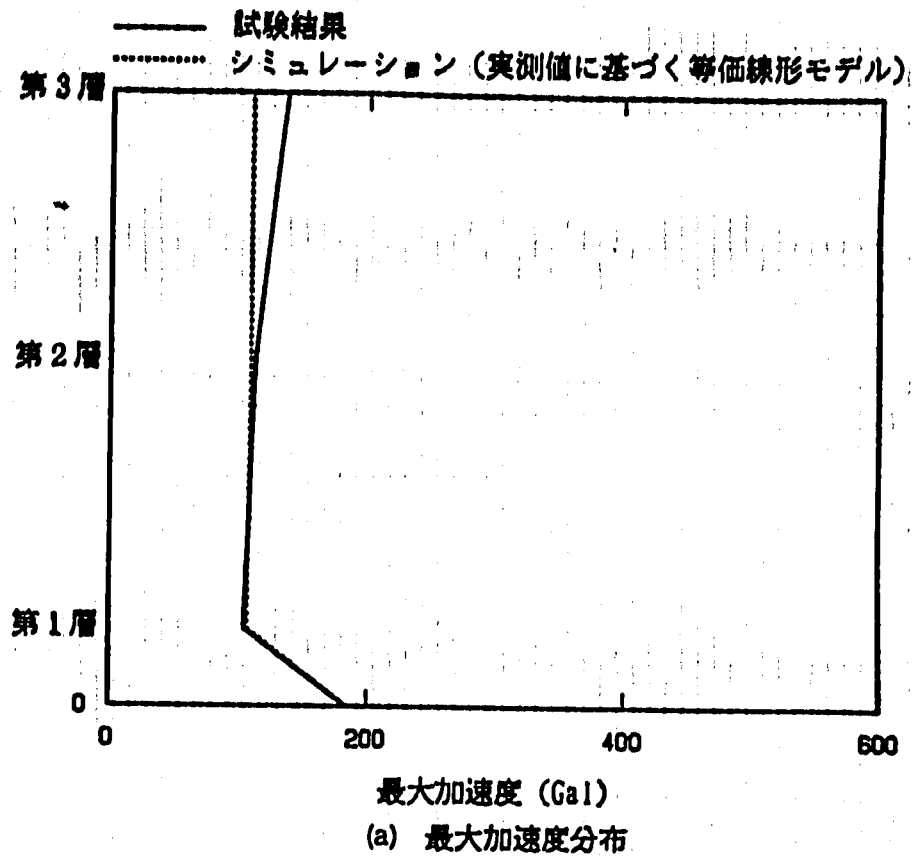
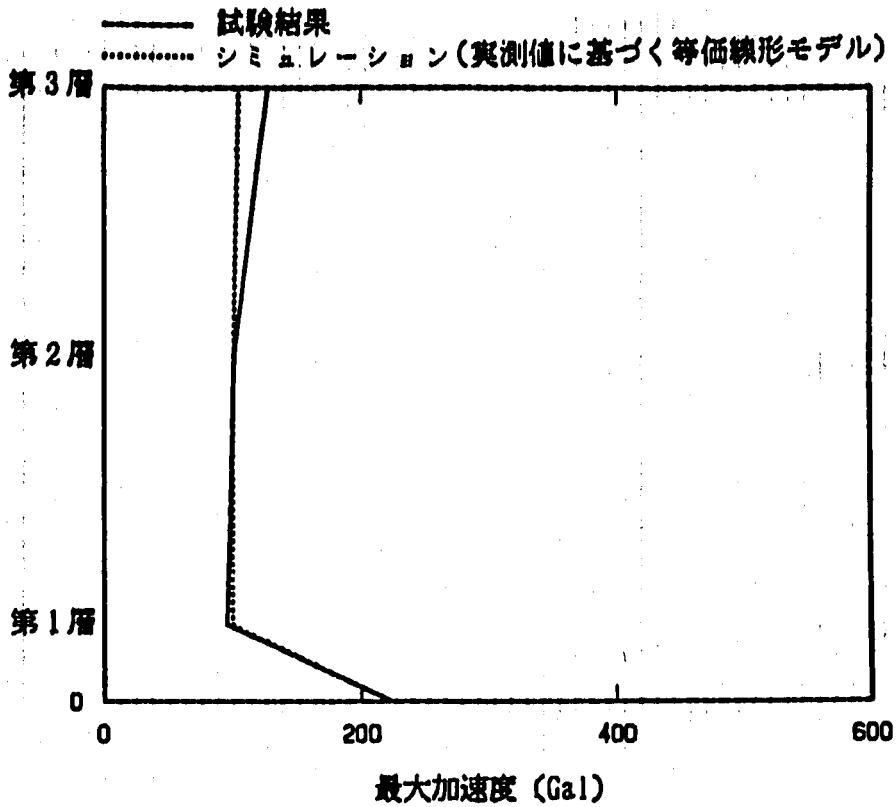
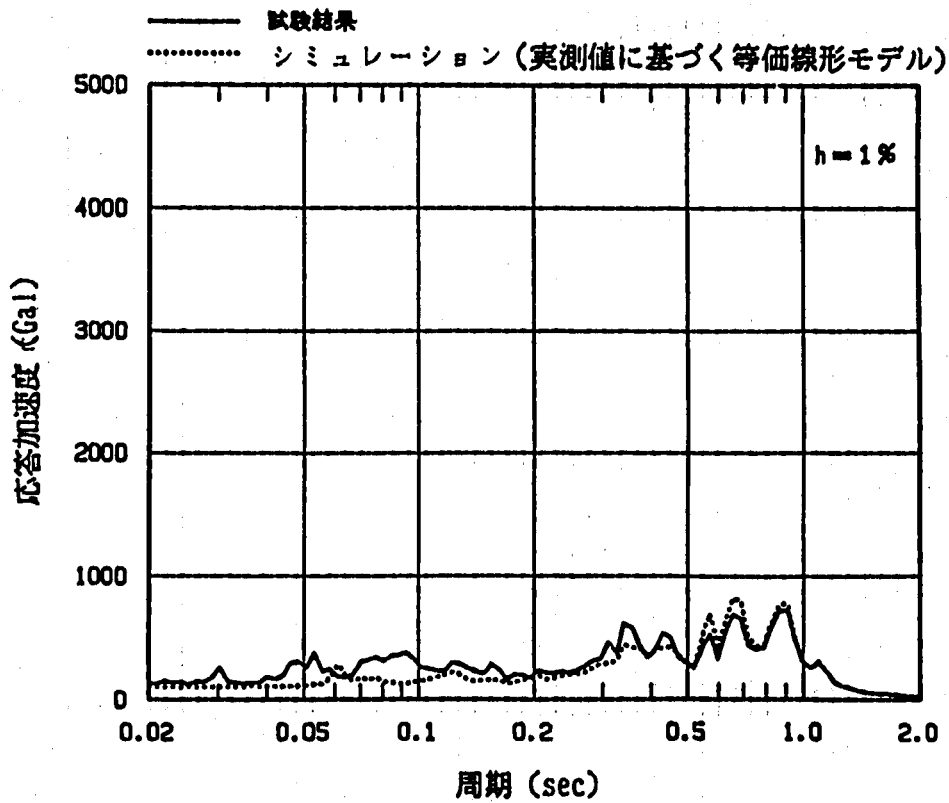


図 3. 1. 2 - 28 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RDI, PINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル F)
 Fig. 3. 1. 2 - 28 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RDI, PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model F)



(a) 最大加速度分布



(b) 床応答スペクトル

図 3. 1. 2 - 29 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, PINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル F)
 Fig. 3. 1. 2 - 29 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, PINAS 3-direction Frame Model, NS, Model F)

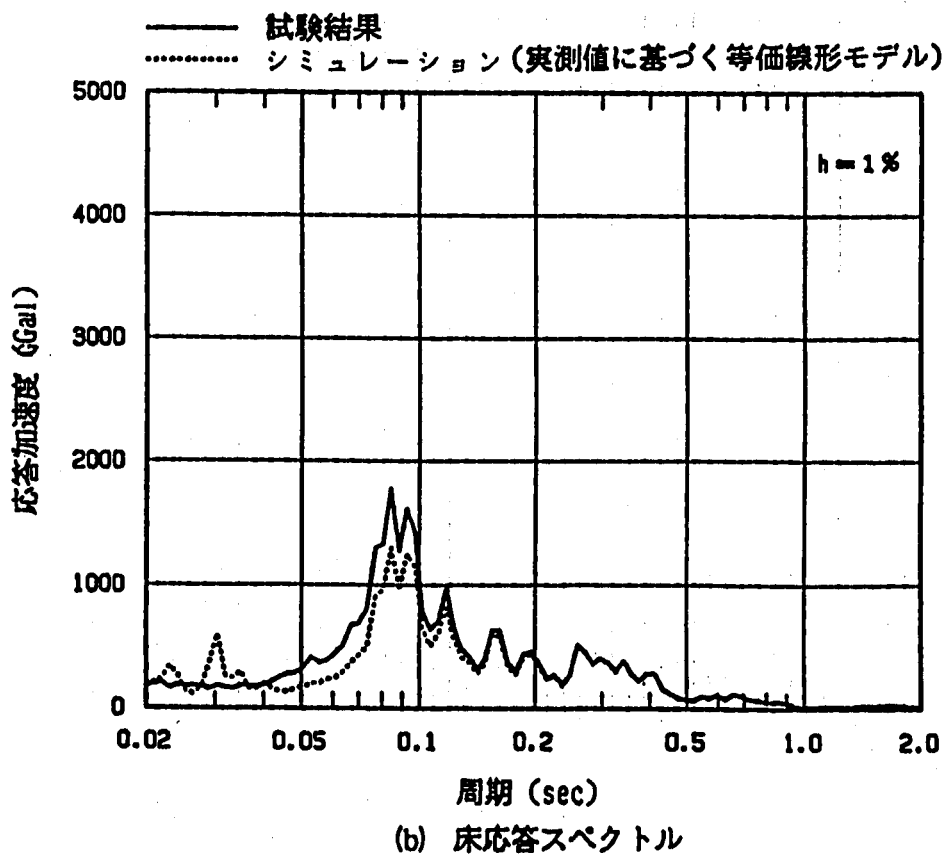
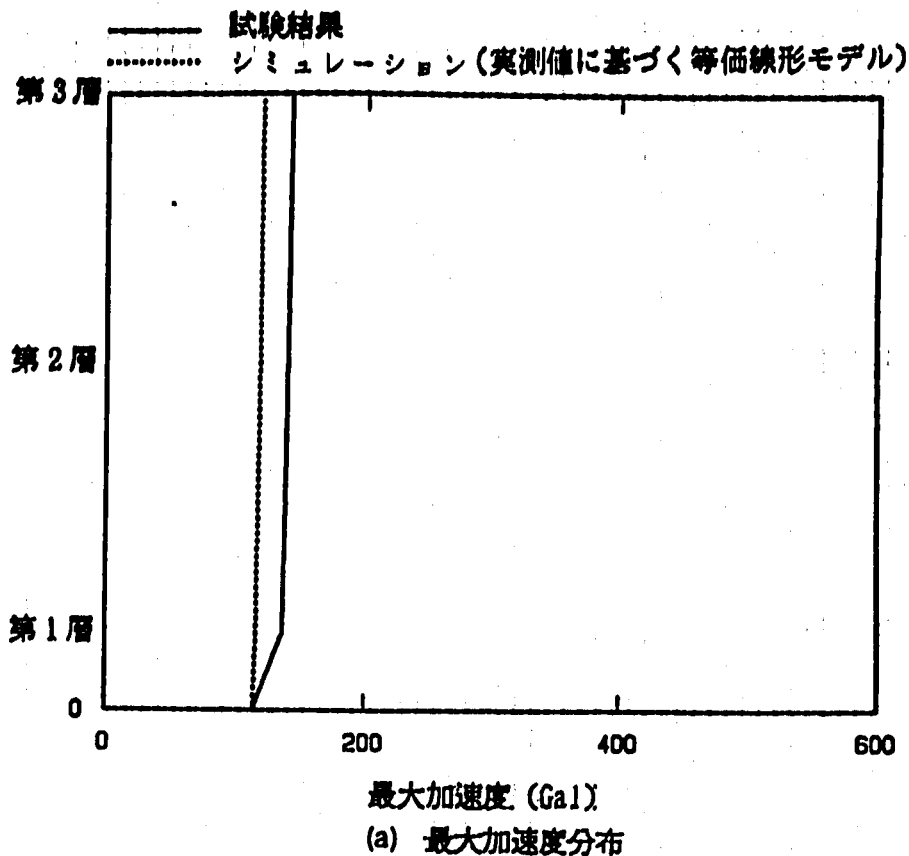


図 3. 1. 2 - 30 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, PINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルF)
 Fig. 3. 1. 2 - 30 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, PINAS 3-direction Frame Model, UD, Model F)

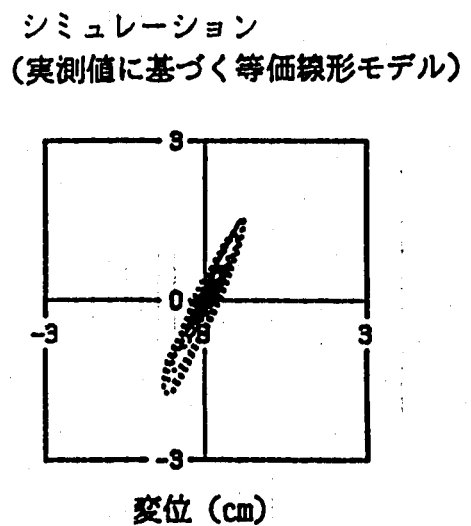
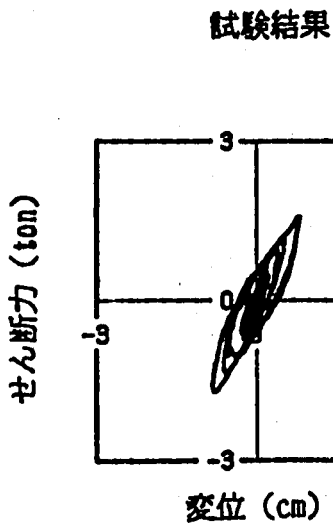
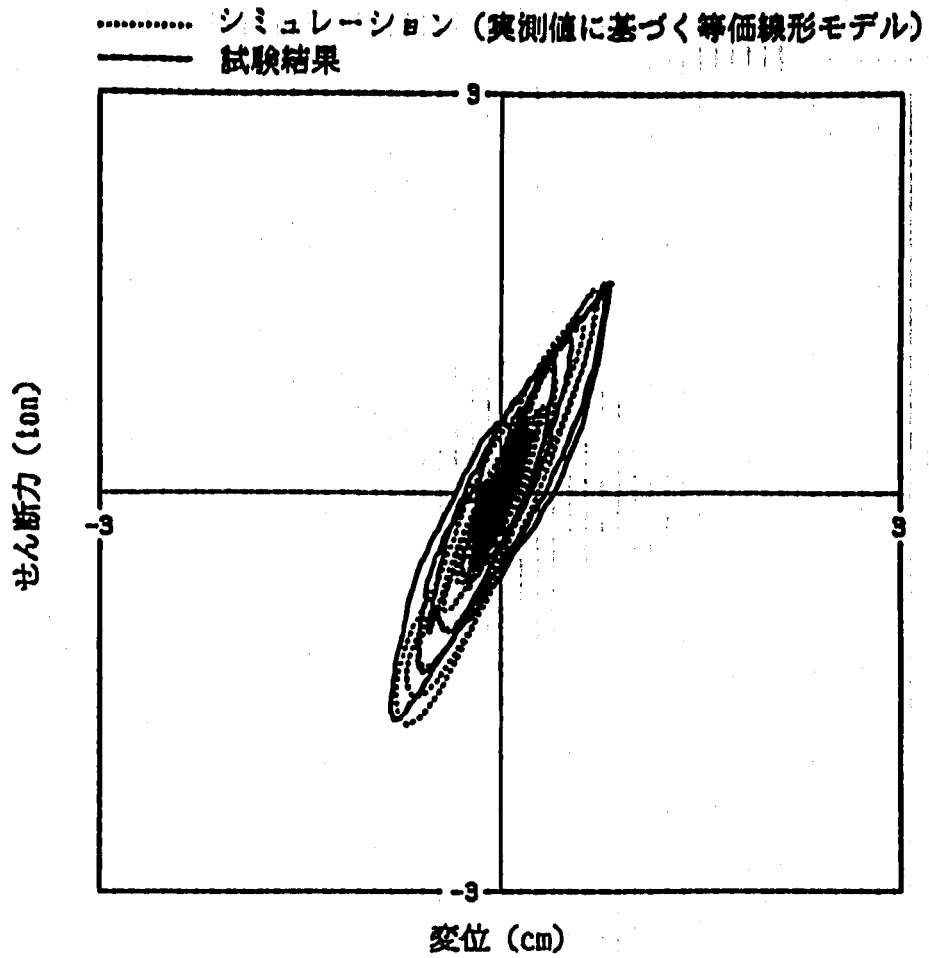


図 3. 1. 2 - 31 免震装置の履歴曲線
 (RD1, FINAS 3 方向フレームモデル, EW, モデル F)
 Fig. 3. 1. 2 - 31 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model F)

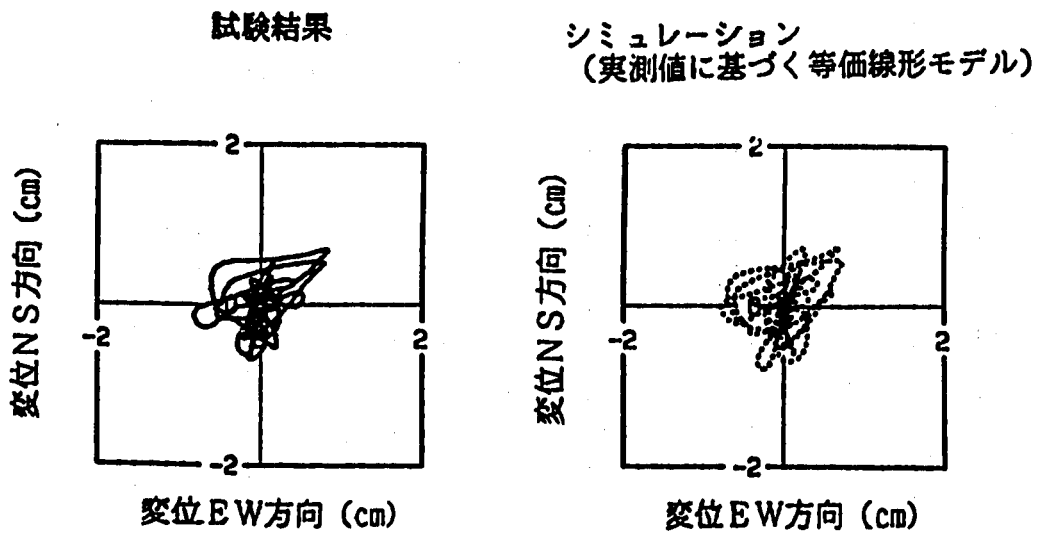
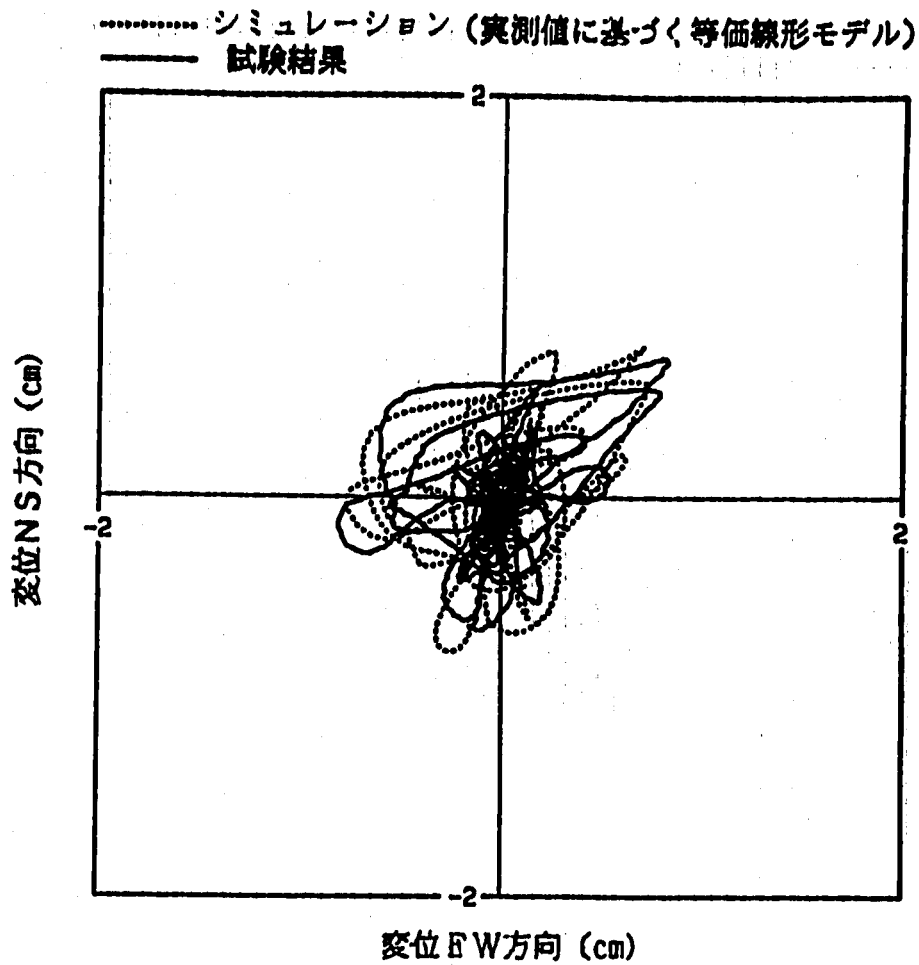


図 3. 1. 2 - 32 免震装置の変位オービット
 (RD1, PINAS 3方向フレームモデル, BW-NS, モデル F)
 Fig. 3. 1. 2 - 32 Orbit Curve of Base Isolation Devices
 (RD1, PINAS 3-direction Frame Model, BW-NS, Model F)

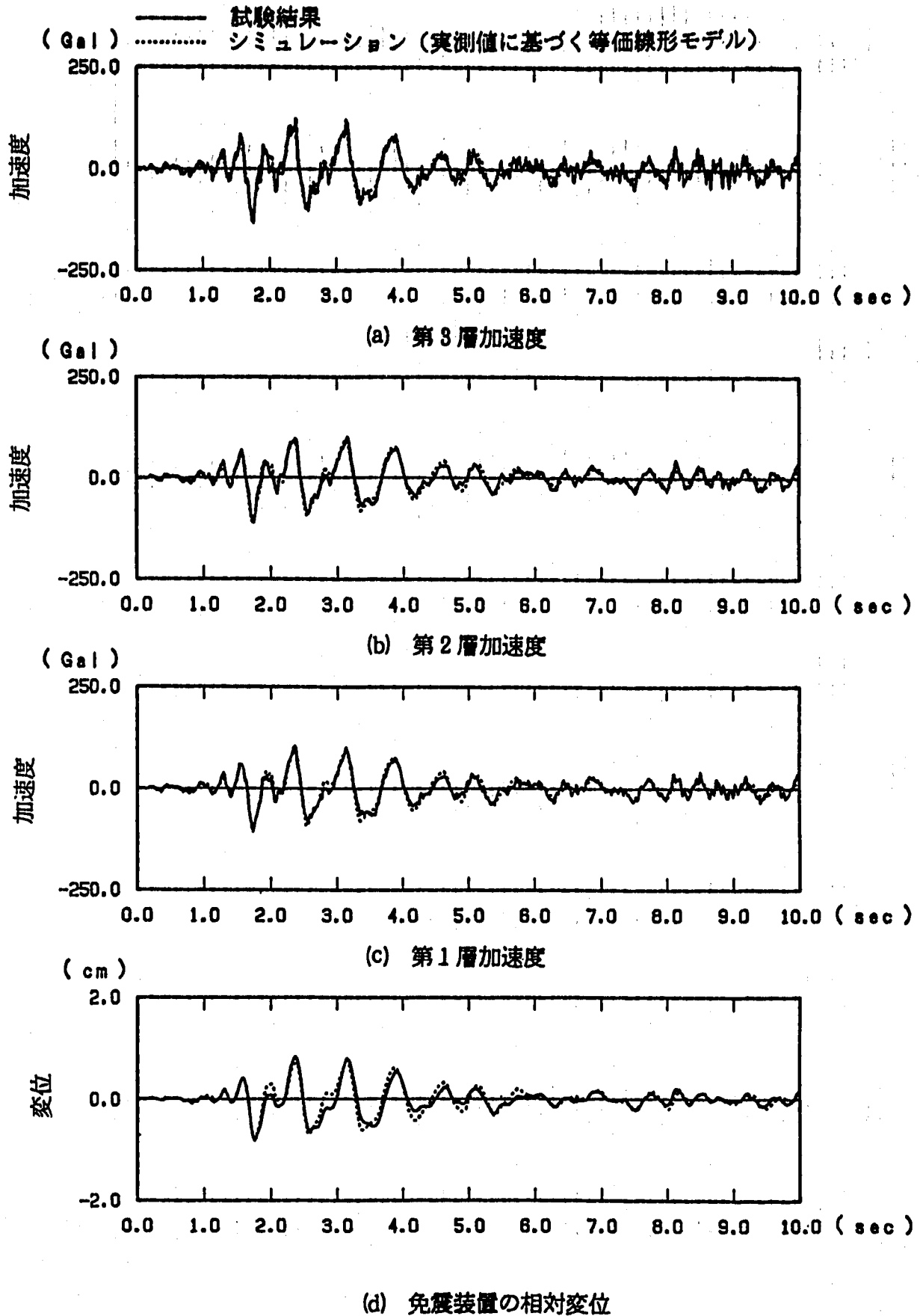


図 3. 1. 2 - 33 加速度及び変位応答時刻歴
 (LRB, PINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 33 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

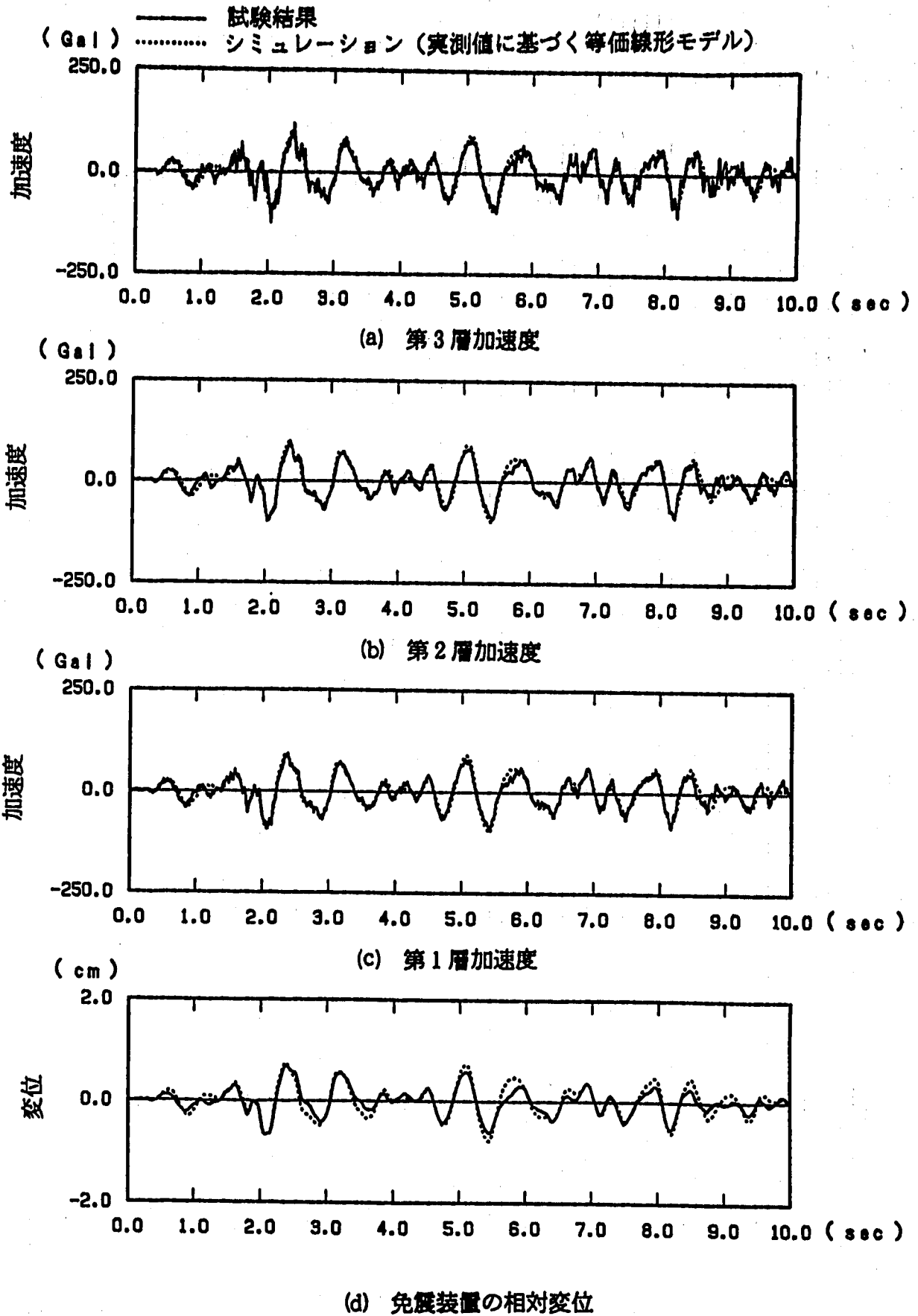


図 3.1.2 - 34 加速度及び変位応答時刻歴
 (LRB, PINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)
 Fig. 3.1.2 - 34 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, PINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)

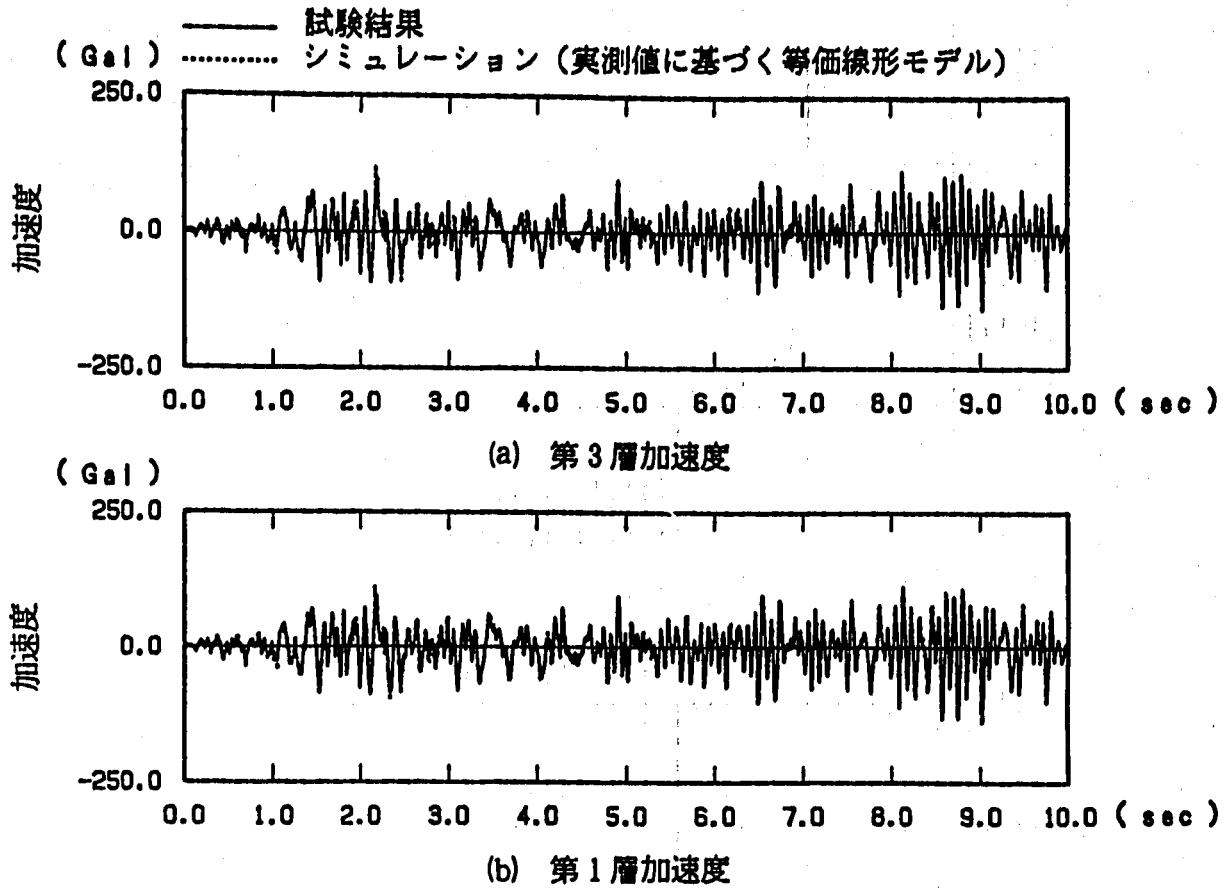


図 3. 1. 2 - 35 加速度及び変位応答時刻歴
 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 35 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

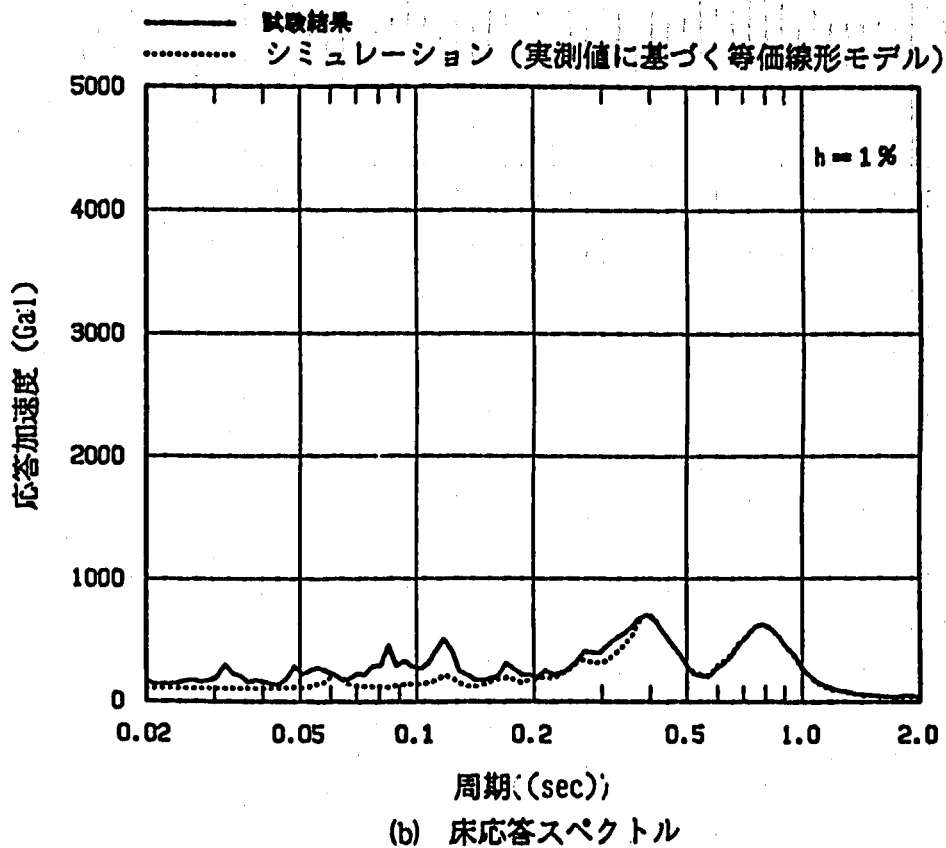
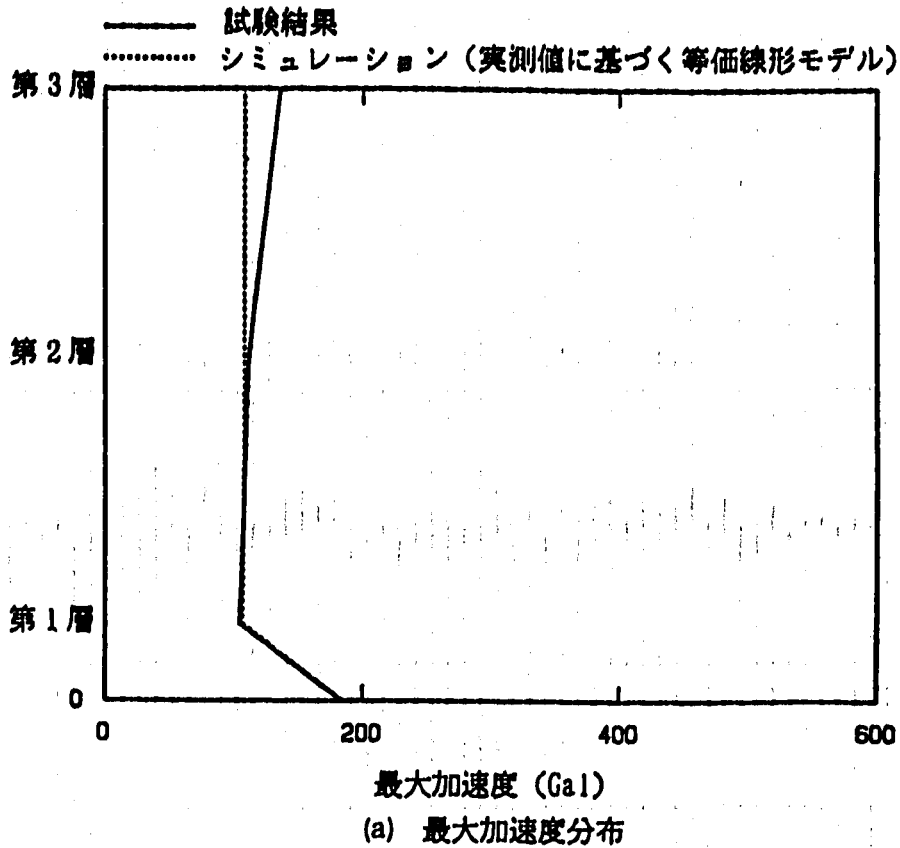


図 3. 1. 2 - 36 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, BW, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 36 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, BW, Model E)

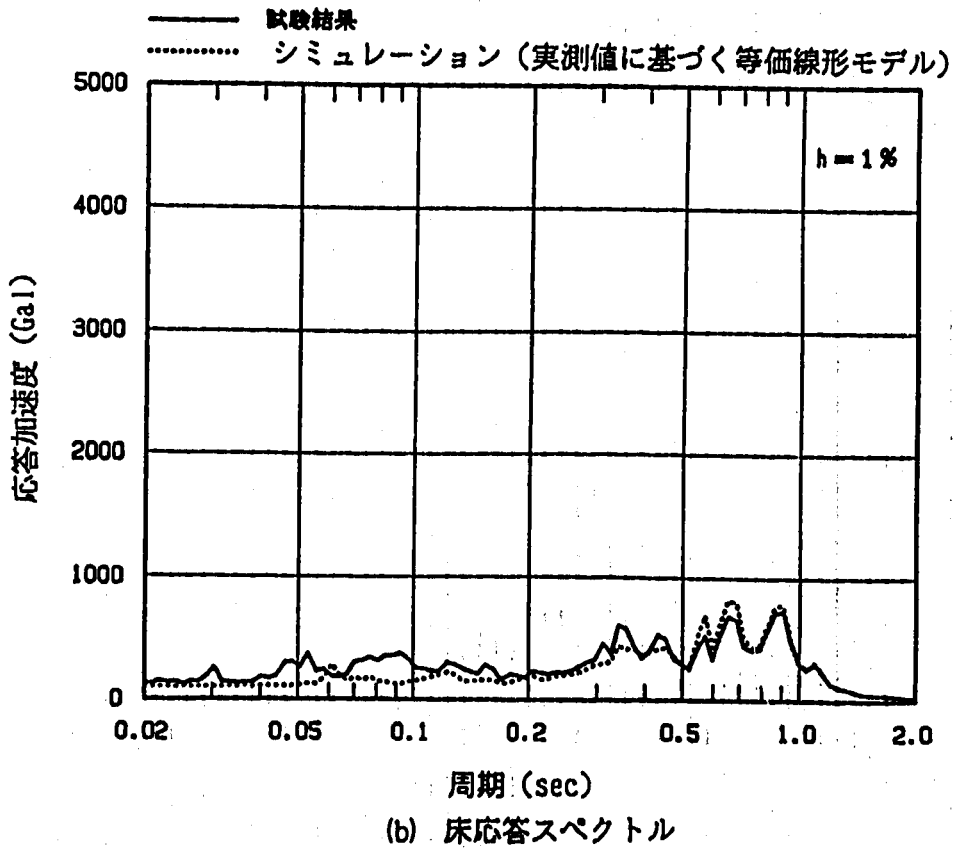
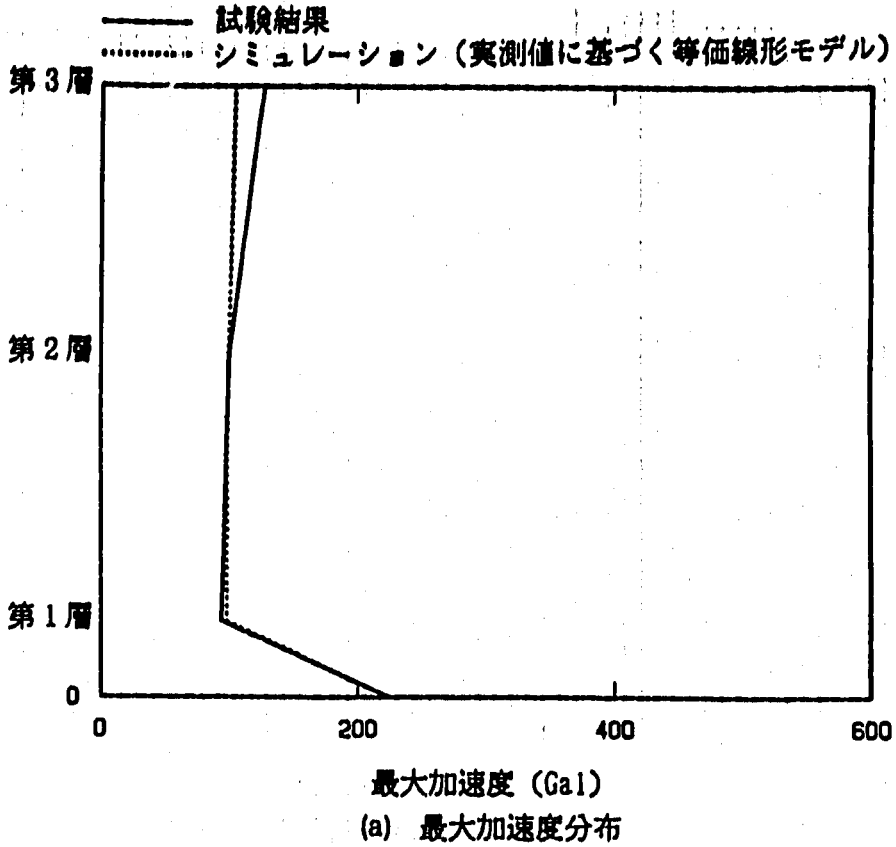


図 3. 1. 2 - 37 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, FINAS 3方向フレームモデル, NS, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 37 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, FINAS 3-direction frame Model, NS, Model E)

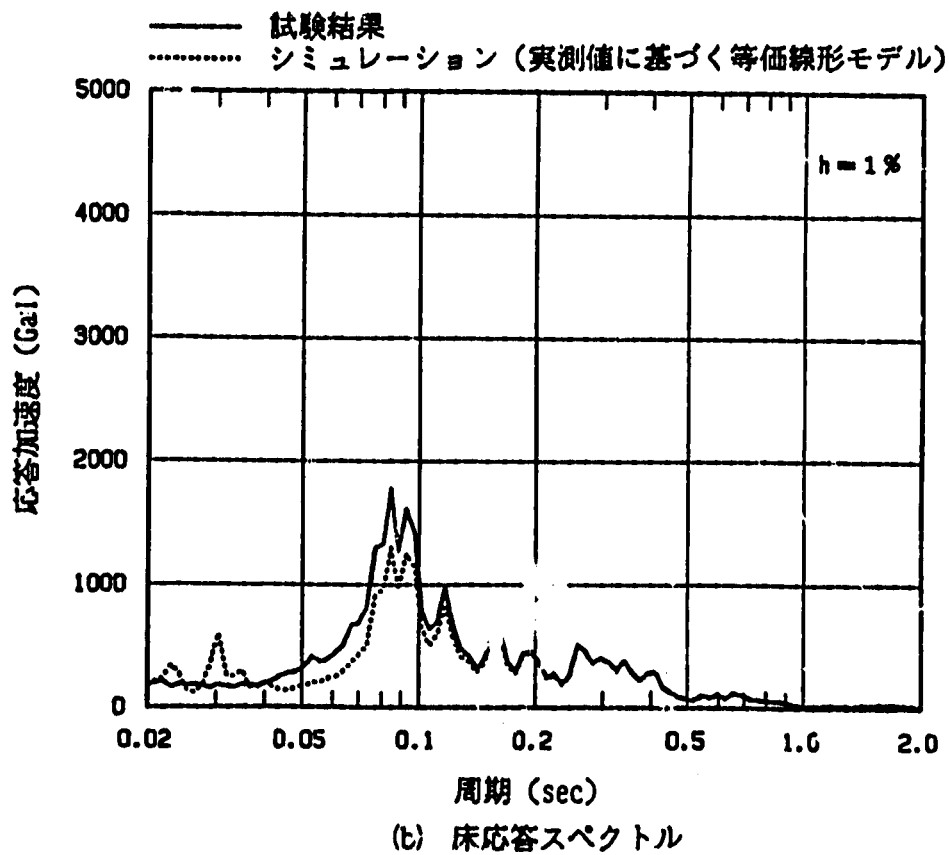
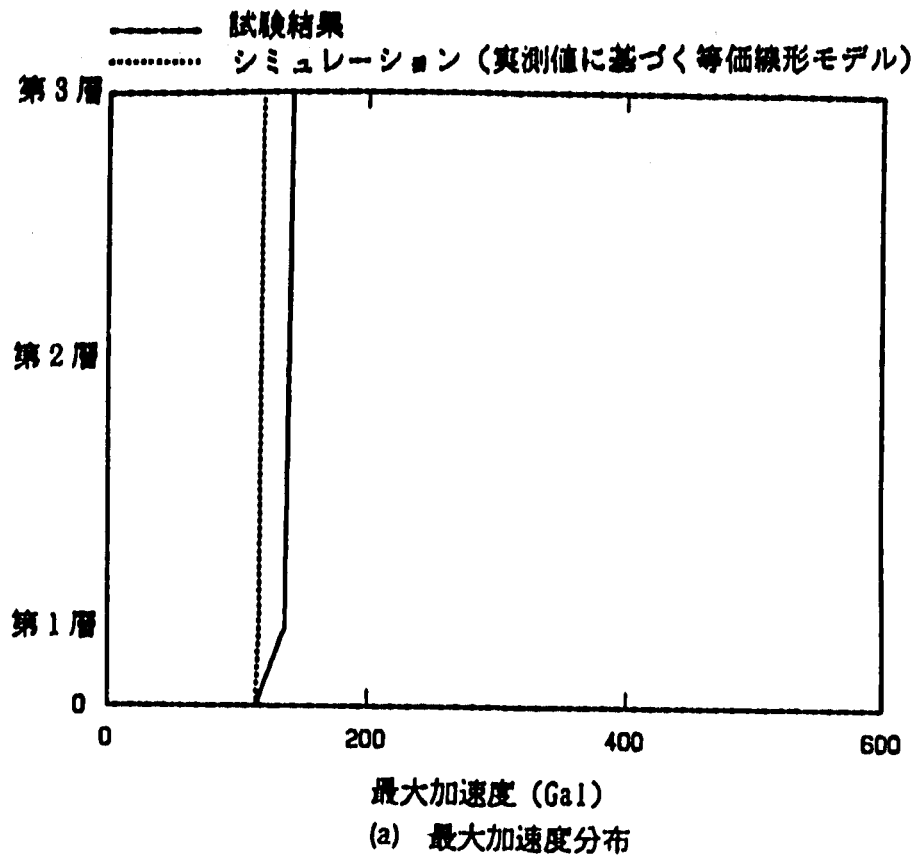


図 3. 1. 2 - 38 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, PINAS 3 方向フレームモデル, UD, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 38 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, PINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

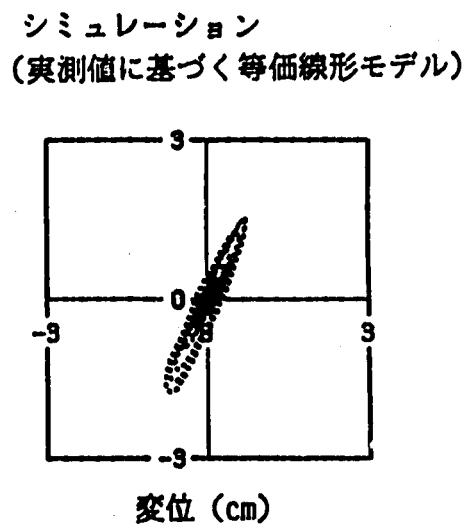
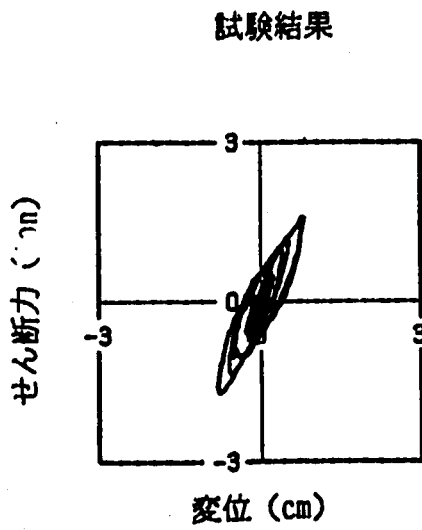
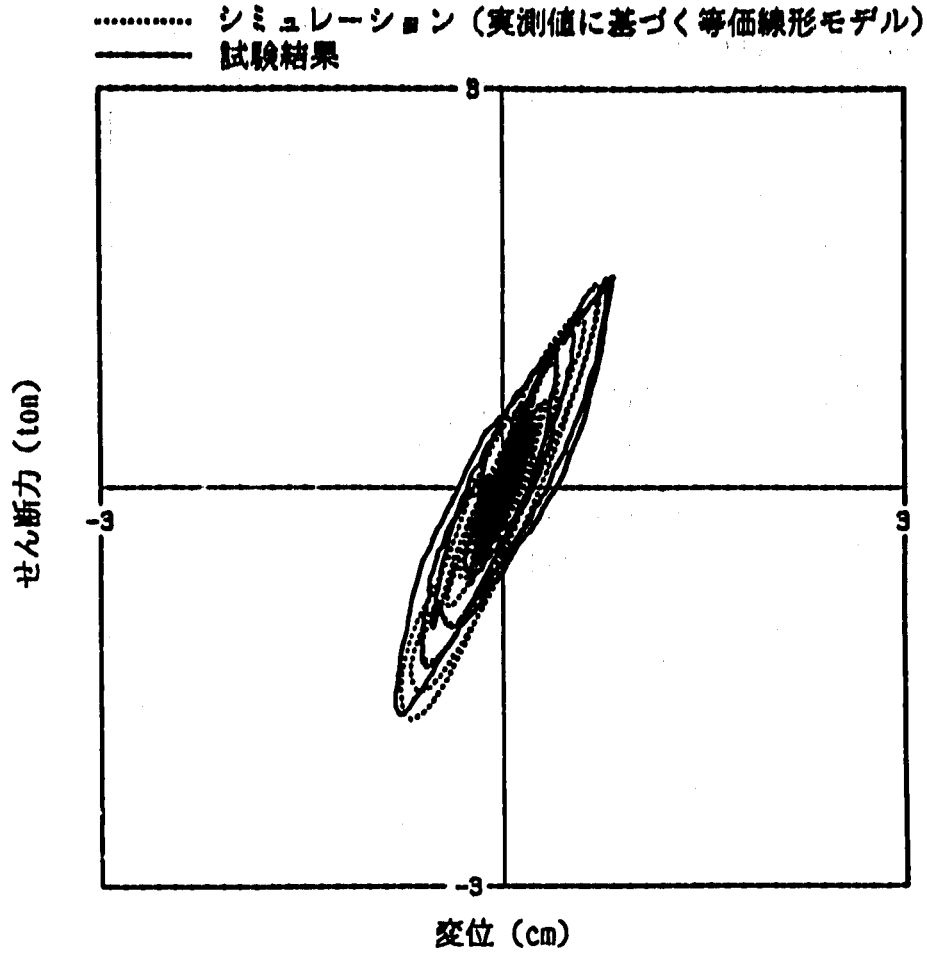


図 3. 1. 2 - 39 免震装置の履歴曲線
 (LRB, FINAS 3 方向フレームモデル, EW, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 39 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

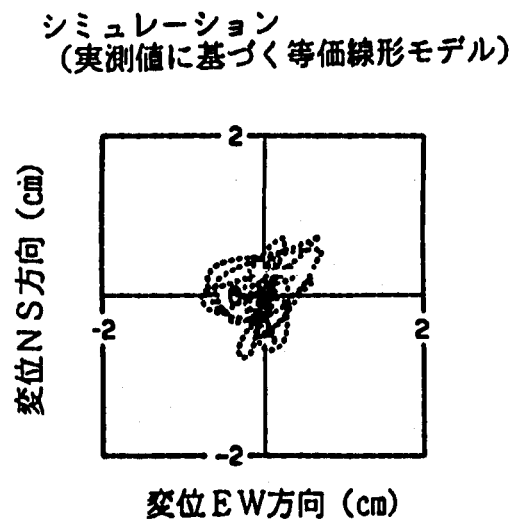
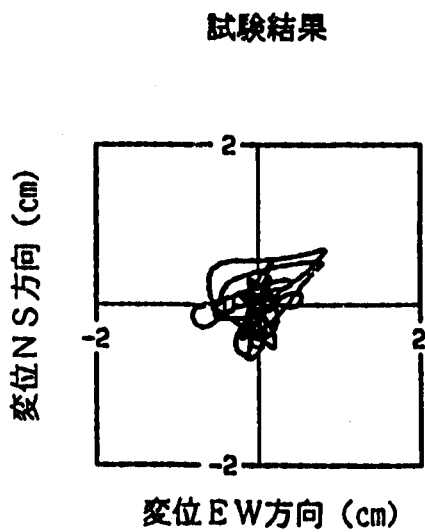
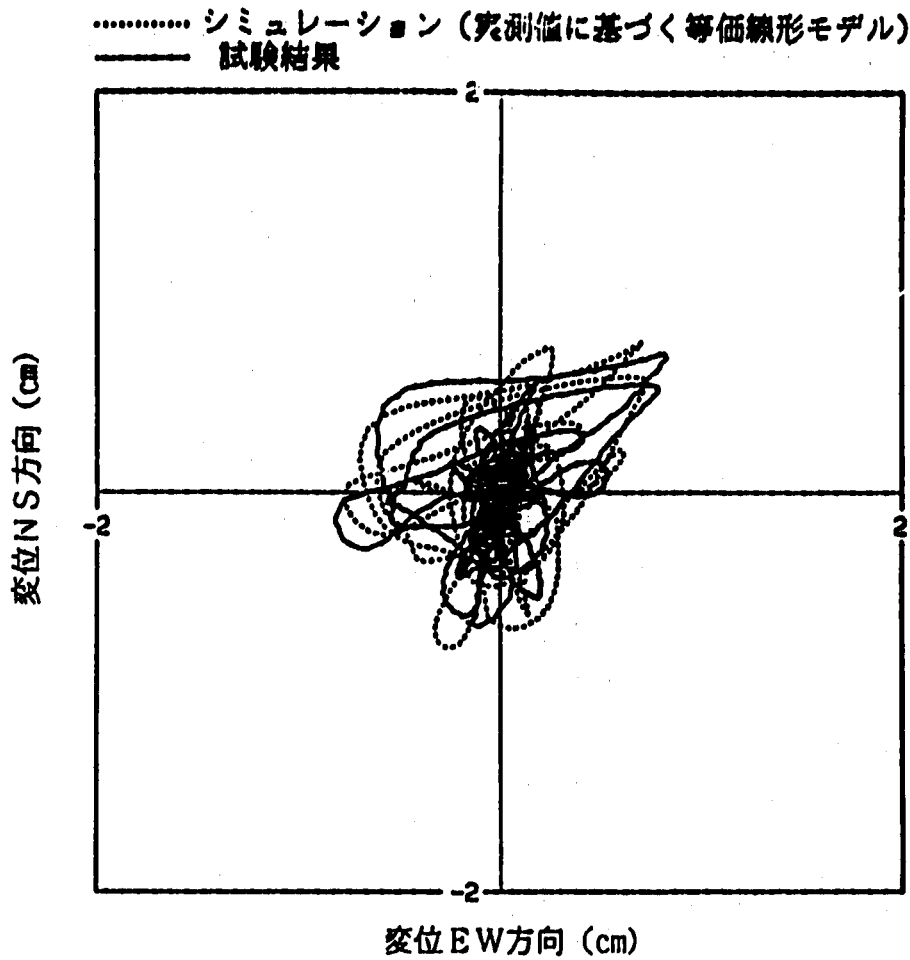


図 3. 1. 2 - 40 免震装置の変位オービット
(LRB.FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデルE)
Fig. 3. 1. 2 - 40 Orbit Curve of Base Isolation Devices
(LRB.FINAS 3-direction Frame Model, EW-NS, Model E)

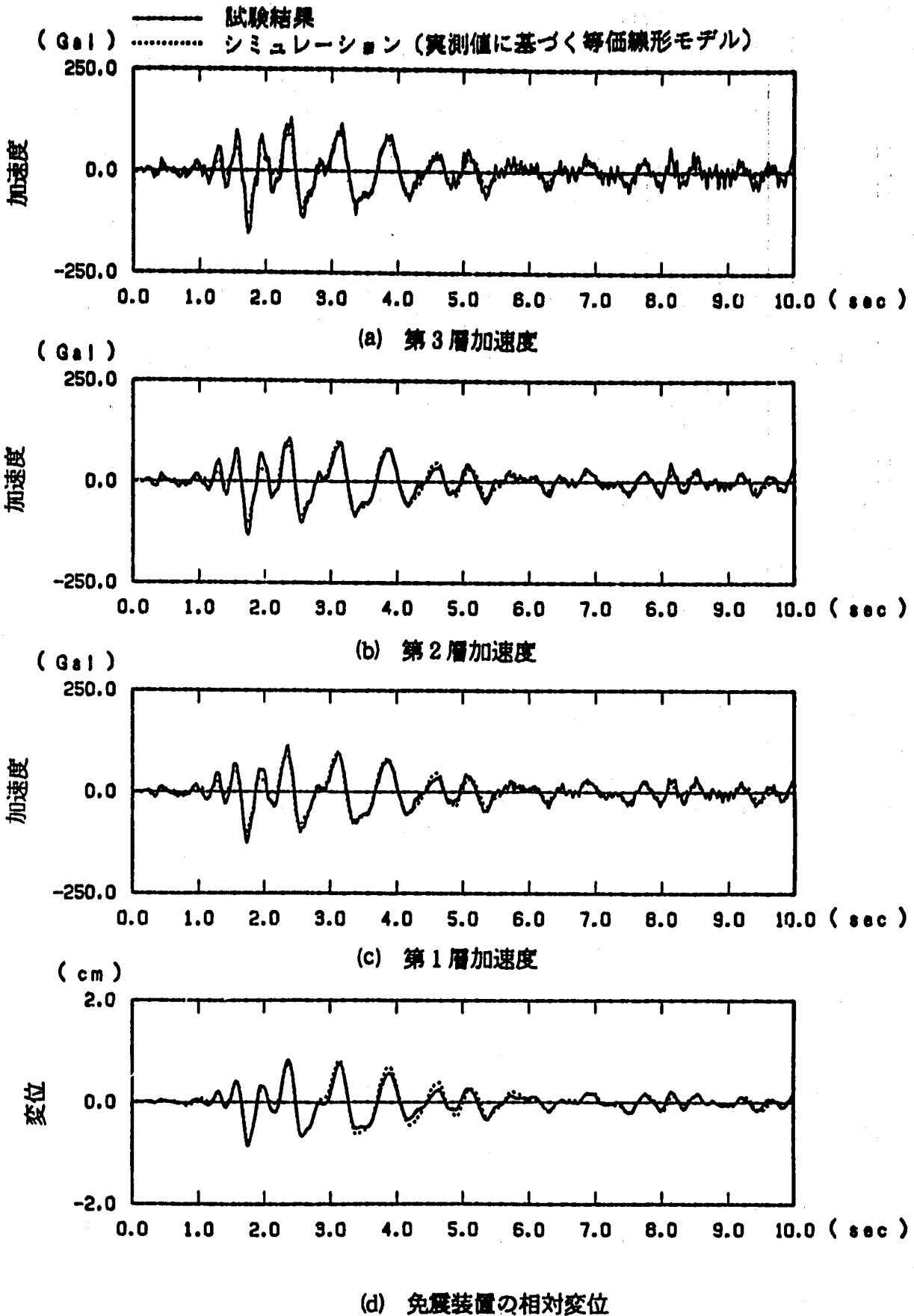


図 3. 1. 2 - 41 加速度及び変位応答時刻歴
 (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, EW, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 41 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HOR, FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

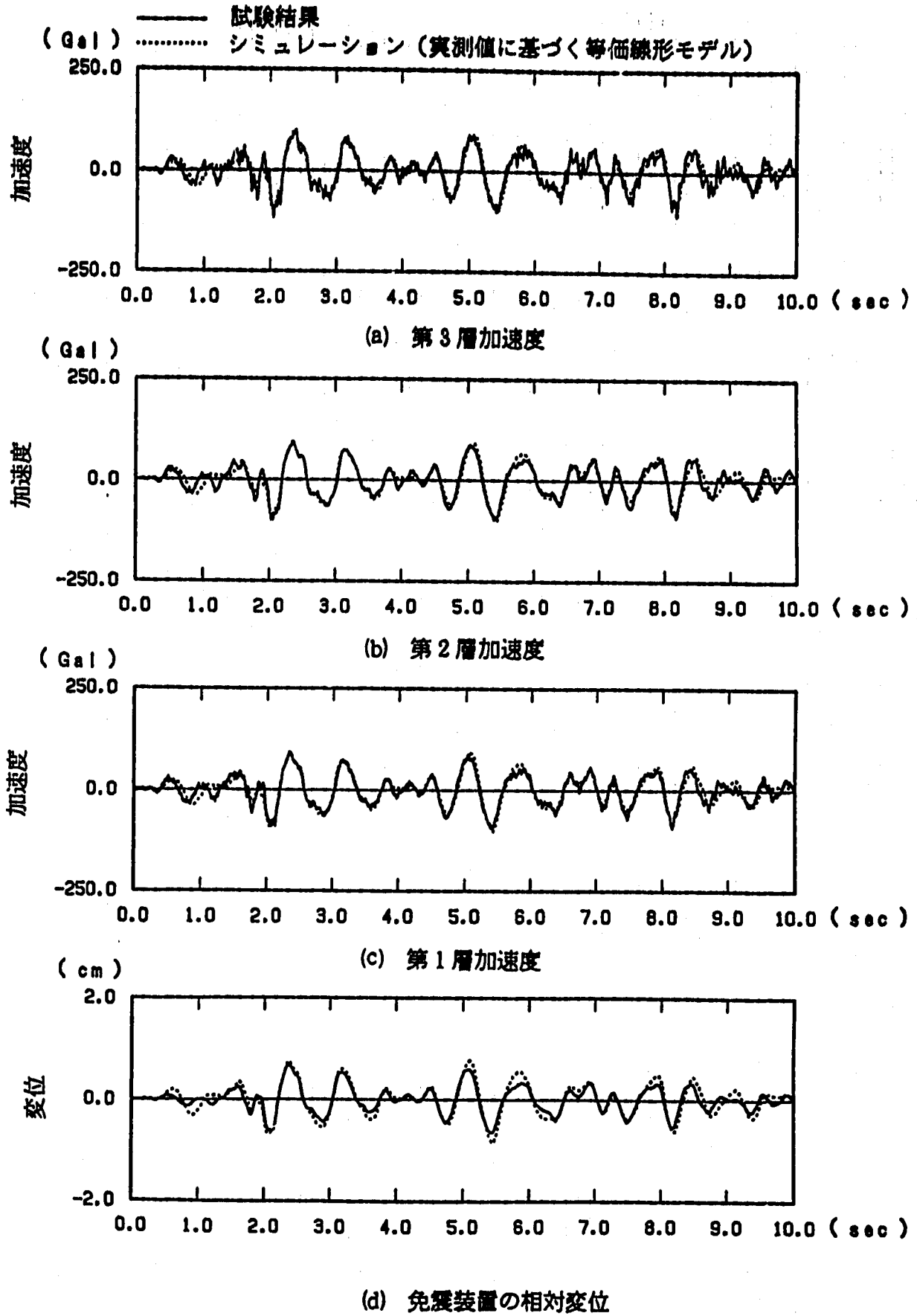


図 3. 1. 2 - 42 加速度及び変位応答時刻歴
 (HDR, PINAS 3方向フレームモデル, NS, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 42 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, PINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)

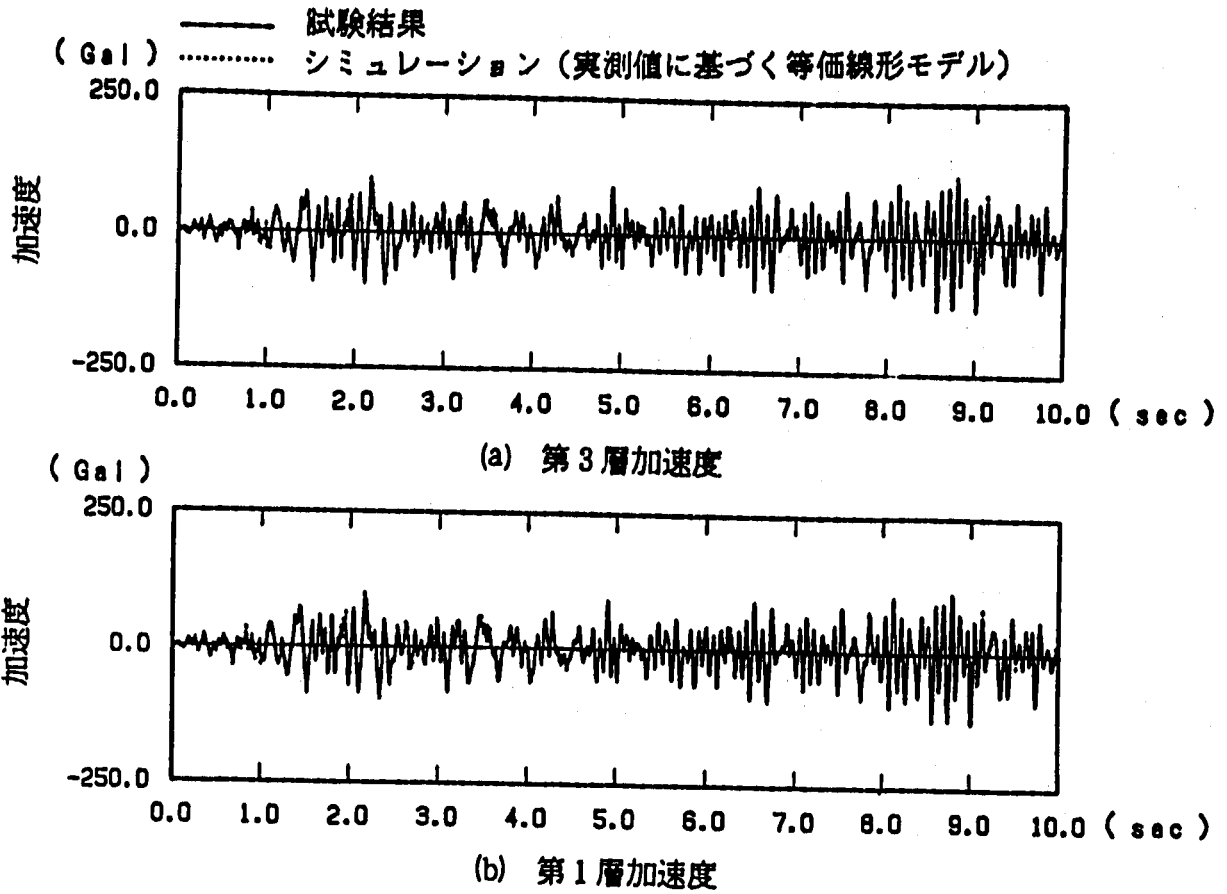


図 3. 1. 2 - 43 加速度及び変位応答時刻歴
 (HDR.FINAS 3方向フレームモデル, UD, モデルE)
 Fig. 3. 1. 2 - 43 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR.FINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

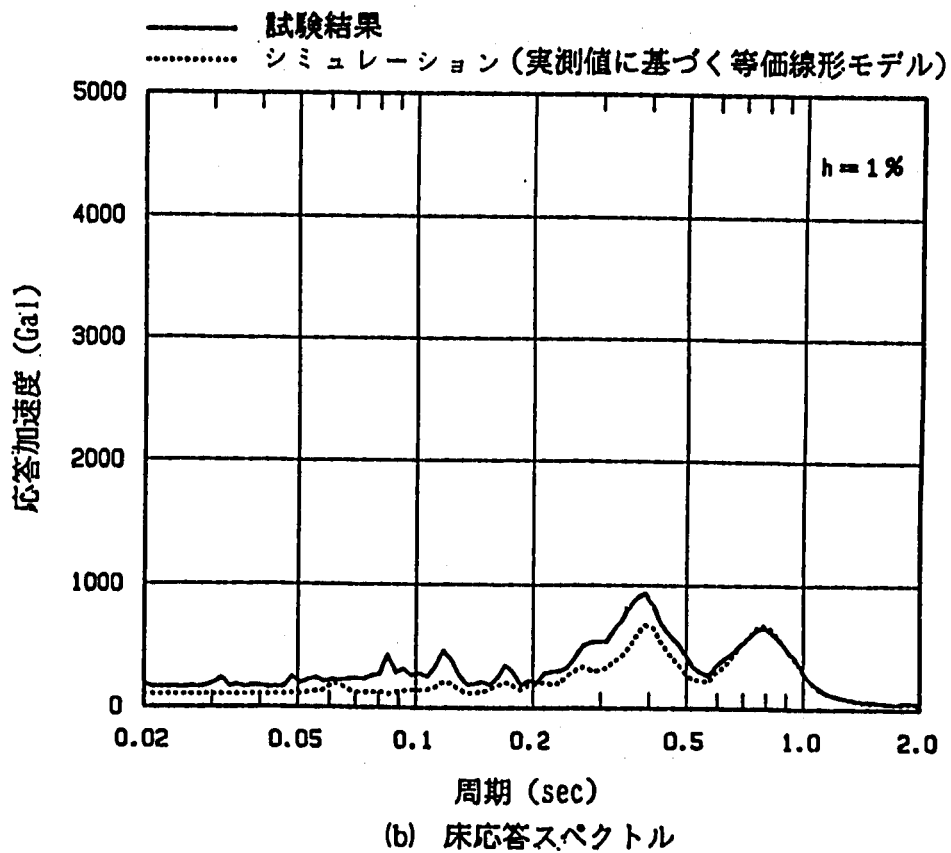
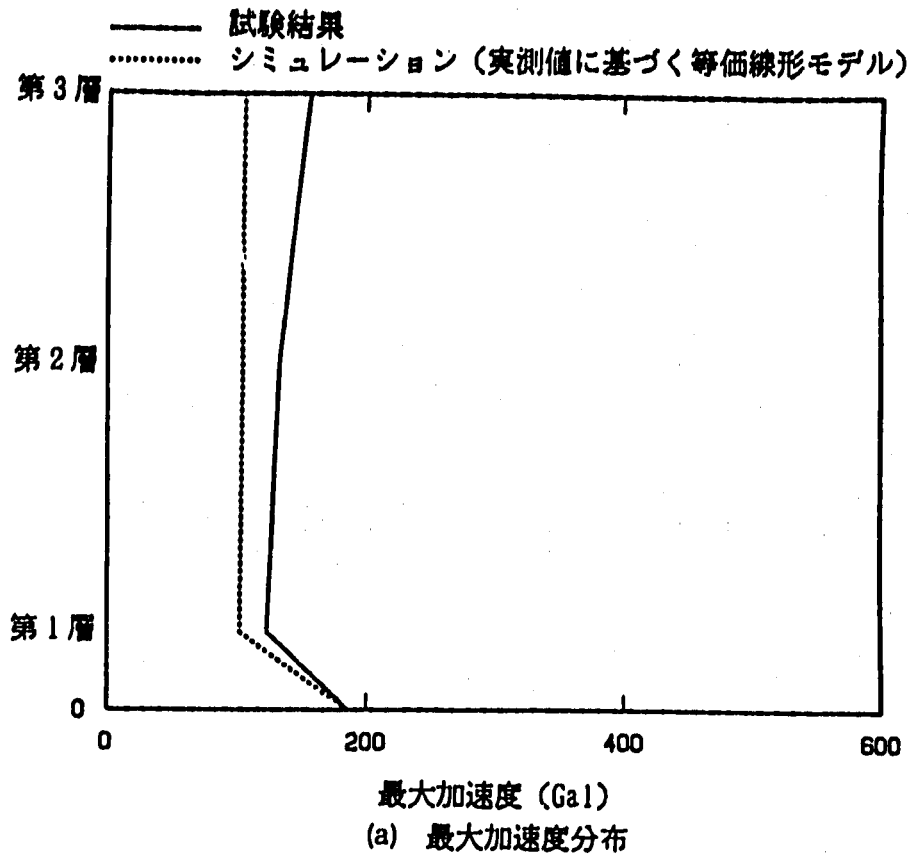


図 3. 1. 2 - 44 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, PINAS 3方向フレームモデル, EW, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 44 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, PINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

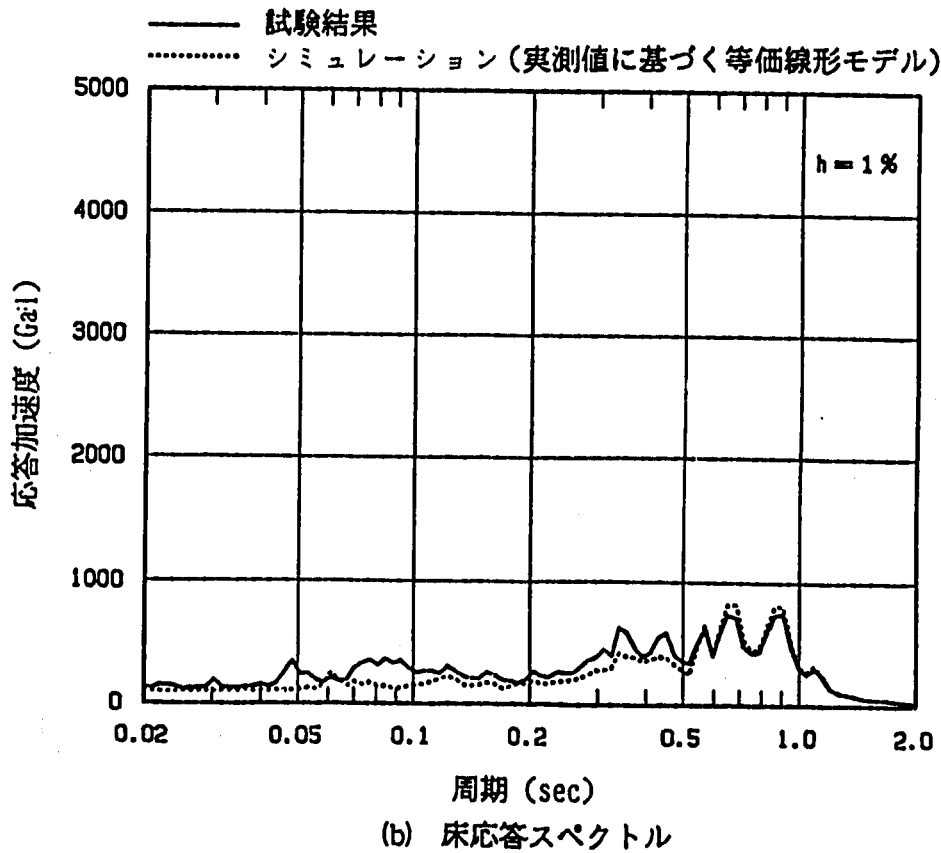
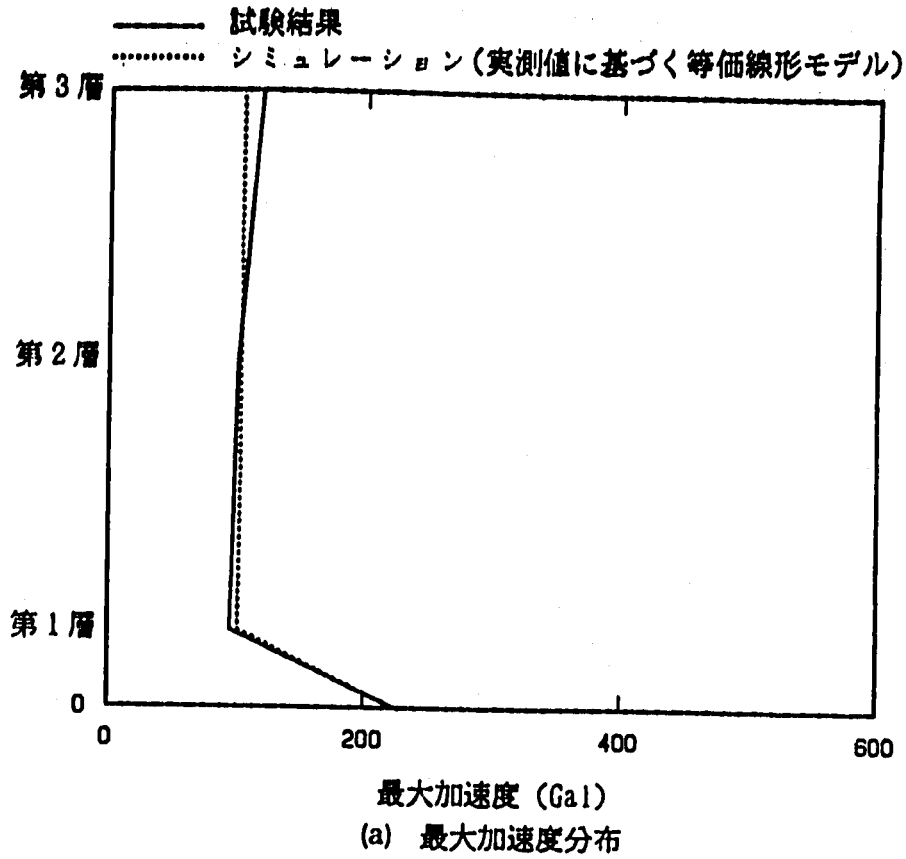


図 3. 1. 2 - 45 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(HDR, FINAS 3 方向フレームモデル, NS, モデル E)
Fig. 3. 1. 2 - 45 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(HDR, FINAS 3-direction Frame Model, NS, Model E)

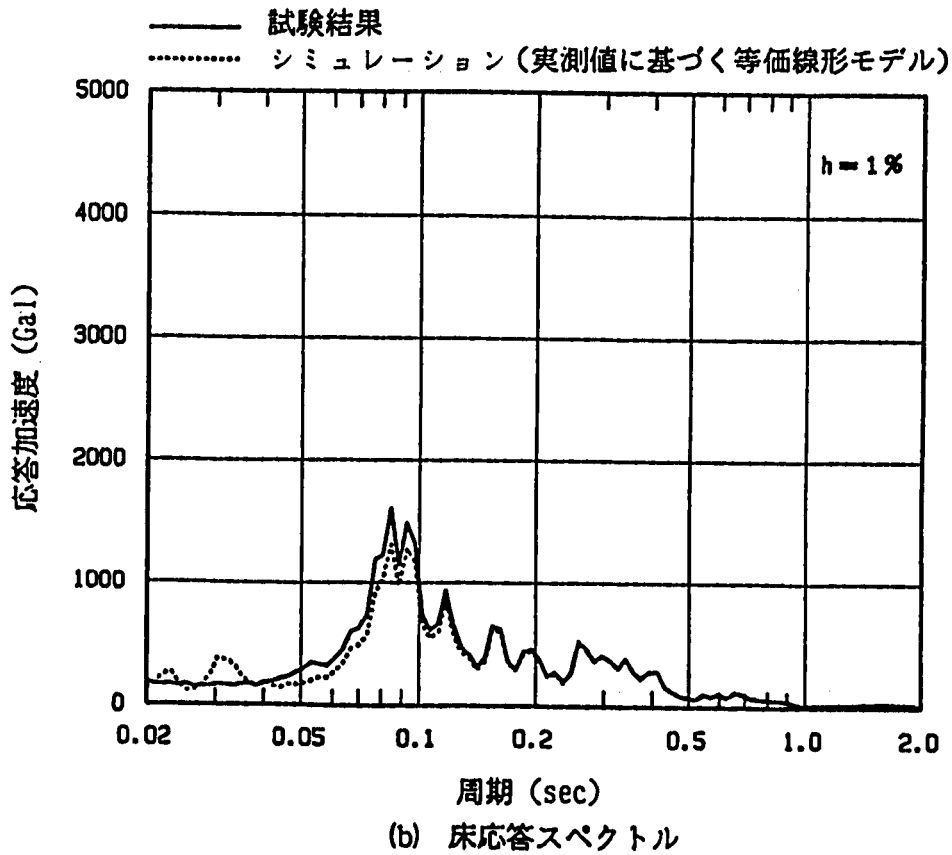
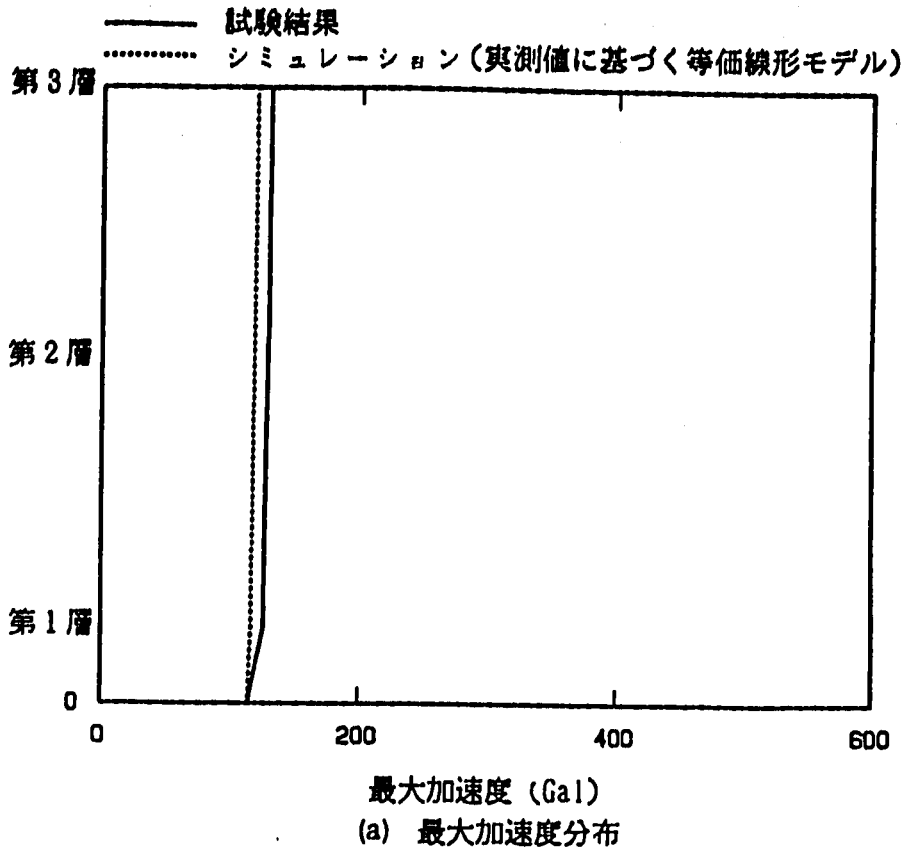


図 3. 1. 2 - 46 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, PINAS 3 方向フレームモデル, UD, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 46 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR PINAS 3-direction Frame Model, UD, Model E)

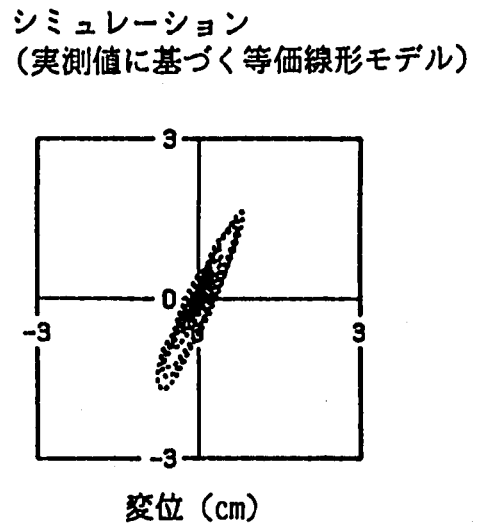
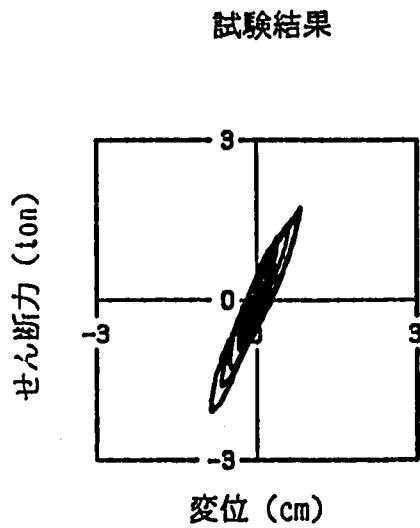
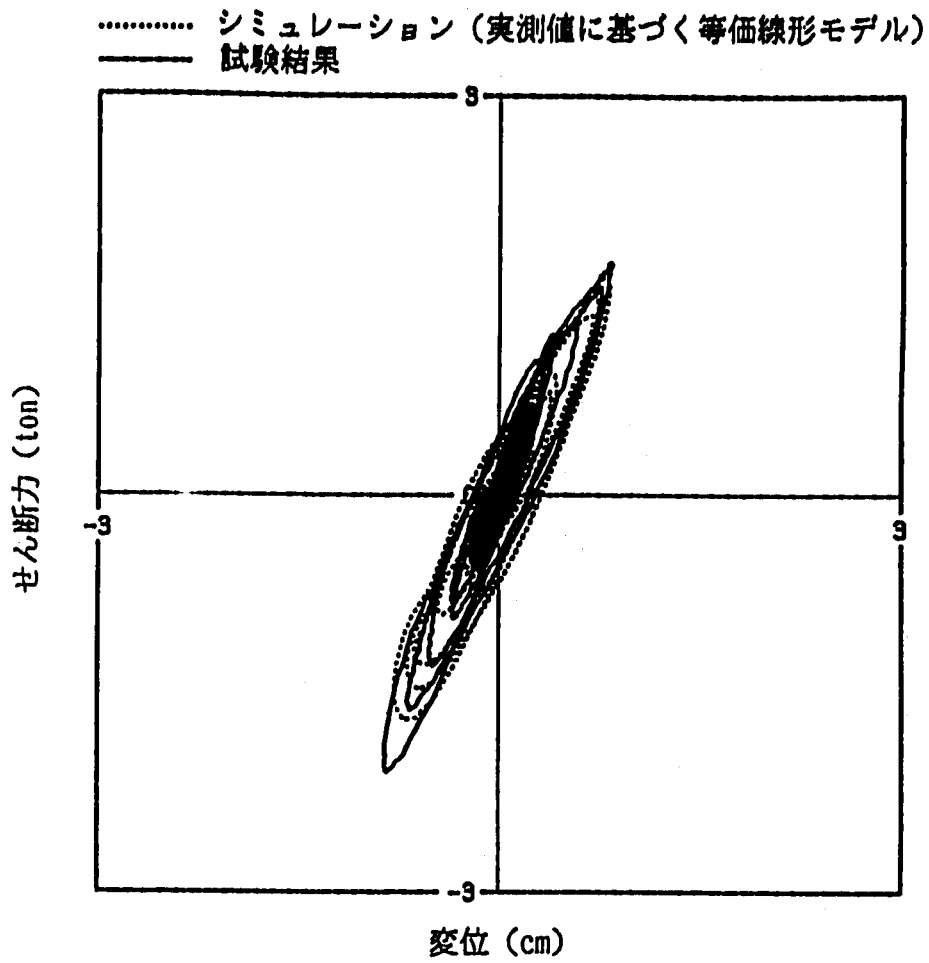


図 3. 1. 2 - 47 免震装置の履歴曲線
 (HDR.FINAS 3 方向フレームモデル, BW, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 47 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR.FINAS 3-direction Frame Model, EW, Model E)

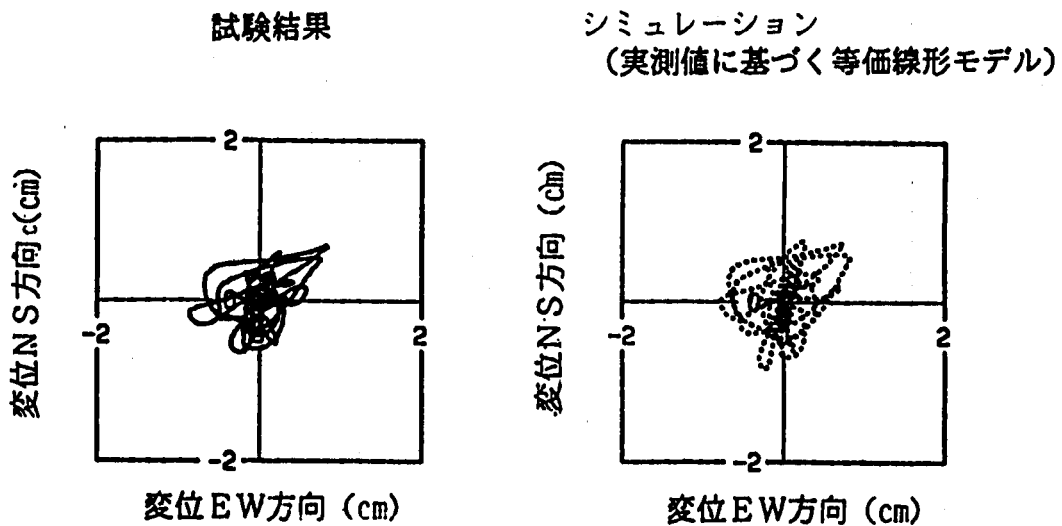
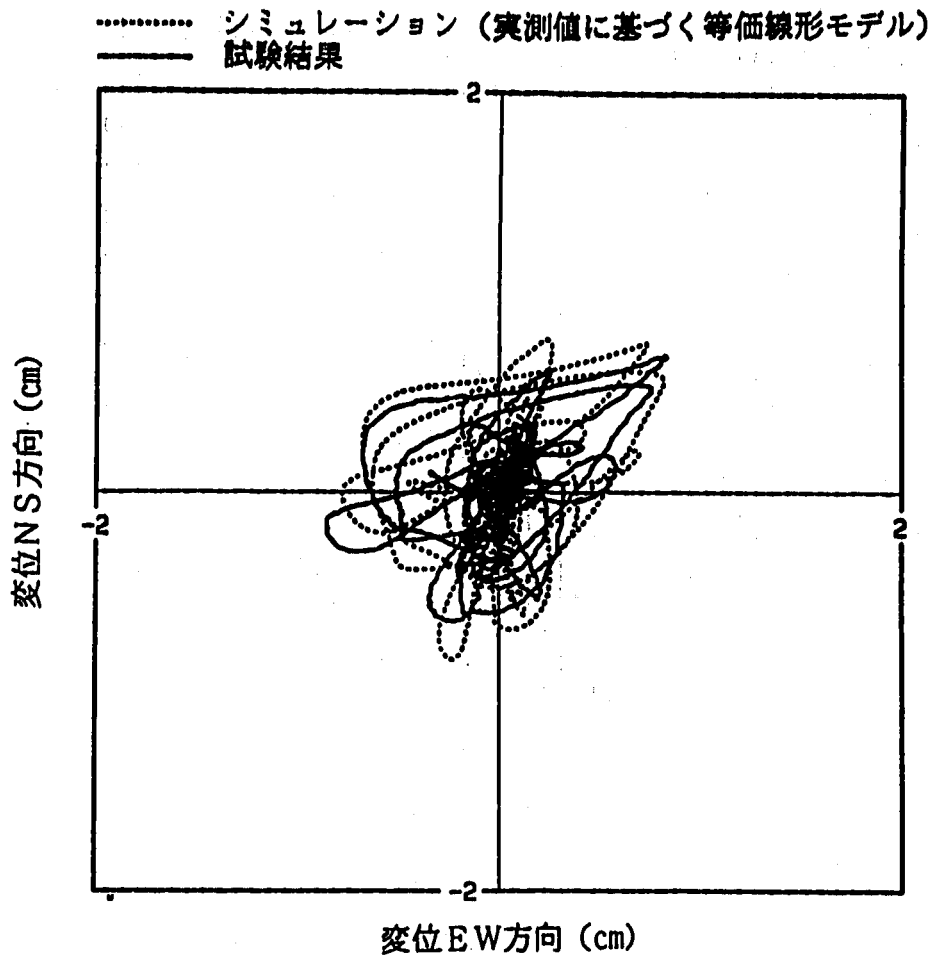


図 3. 1. 2 - 48 免震装置の変位オートビット
 (HDR, FINAS 3方向フレームモデル, EW-NS, モデル E)
 Fig. 3. 1. 2 - 48 Orbit Curve of Base Isolation Devices
 (HDR, FINAS 3-direction Frame Modelp EW-NS, Model E)

3.2 免震建屋の3次元地震応答解析

3.2.1 解析概要

免震構造モデルの3次元応答解析で対象とした実大免震建屋を多質点のSRモデルでモデル化し、地盤条件と免震装置の鉛直剛性をパラメータに、人工地震波による2次元地震応答解析を行い、機器の上下免震構造を創出する際に必要となる、原子炉容器据付レベルでの3次元的床応答を評価する。

3.2.2 解析条件

(1) 対象建屋

解析の対象とする建屋は、「3.1.1 既存の試験データ概要」で示した図3.1.1-1の設計例を基に、基礎版厚の低減並びに免震による応答せん断力の低減を考慮した壁厚低減免震建屋を設定し、これをモデル化対象の免震建屋（図3.1.1-2の壁厚低減免震建屋）とする。

(2) 対象とする免震装置の復元力特性

免震装置の復元力特性のモデル化にあたり、対象となる復元力特性の設定を行う。対象となる復元力特性の設定にあたっては、「高速炉建物の免震構造に関する研究」⁽²⁾で行った免震装置の復元力特性のパラメータ解析の成果に基づき、応答特性の良好であった復元力の中から、免震振動数 $f = 1.0\text{Hz}$ 、剛性比 $\alpha = 0.1$ 、降伏震度 $\beta = 0.1$ のBi-linear型を選定する。選定した対象となる復元力特性の形状を図3.2.2-1に示す。

(3) 地盤条件

地盤条件としては、軟質岩盤と硬質岩盤を設定し、せん断波速度をパラメータに以下の2種類を選定する。

軟質岩盤 ($V_s = 700\text{m/s}$)

硬質岩盤 ($V_s = 1500\text{m/s}$)

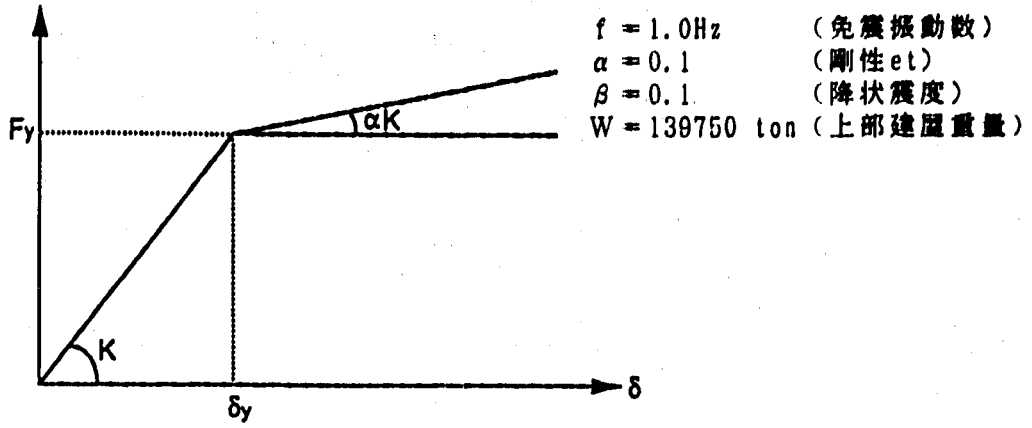
地盤の物性値を表3.2.2-1に示す。

(4) 入力地震波

入力地震波としては、免震検討用の3次元人工地震波を用い、解析では入力地震波の水平 N-S成分と上下成分を同時に入力する。

入力地震波の時刻歴波形を図3.2.2-2に、入力波の加速度スペクトルを図3.2.2-3に示す。

• 免震装置復元力の設定



$K_1 = f^2 \times (2\pi)^2 \times W / g = 5630.0 \text{ ton/cm}$: 第一剛性
 $K_2 = \alpha K_1 = 0.1 \times 5630.0 = 563.0 \text{ ton/cm}$: 第二剛性
 $F_y = \beta \times W = 13975 \text{ ton}$: 降伏震度
 $\delta_y = 2.48 \text{ cm}$: 降伏変位

図 3.2.2 - 1 免震装置の復元力特性
 Fig. 3.2.2 - 1 Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices

表 3.2.2 - 1 地盤物性値
Table 3.2.2 - 1 Physical Properties of Soil

	硬質地盤	軟質地盤
せん断波速度 V_s (m/sec ²)	1500	700
単位体積重量 γ (ton/m ³)	2.3	1.8
ポアソン比 ρ	0.38	0.41

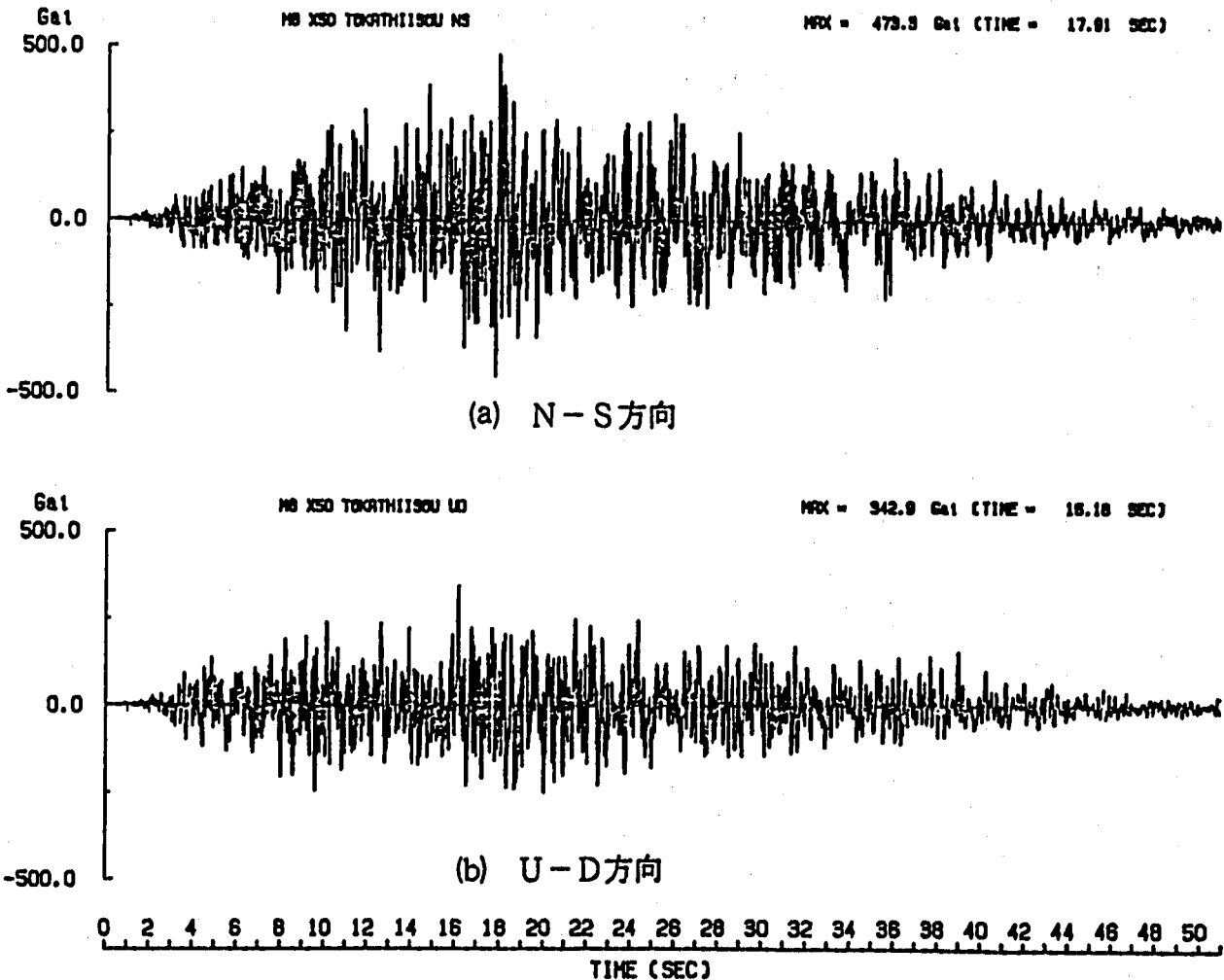


図 3.2.2 - 2 入力地震波の時刻歴
Fig. 3.2.2 - 2 Time History of Input Waves

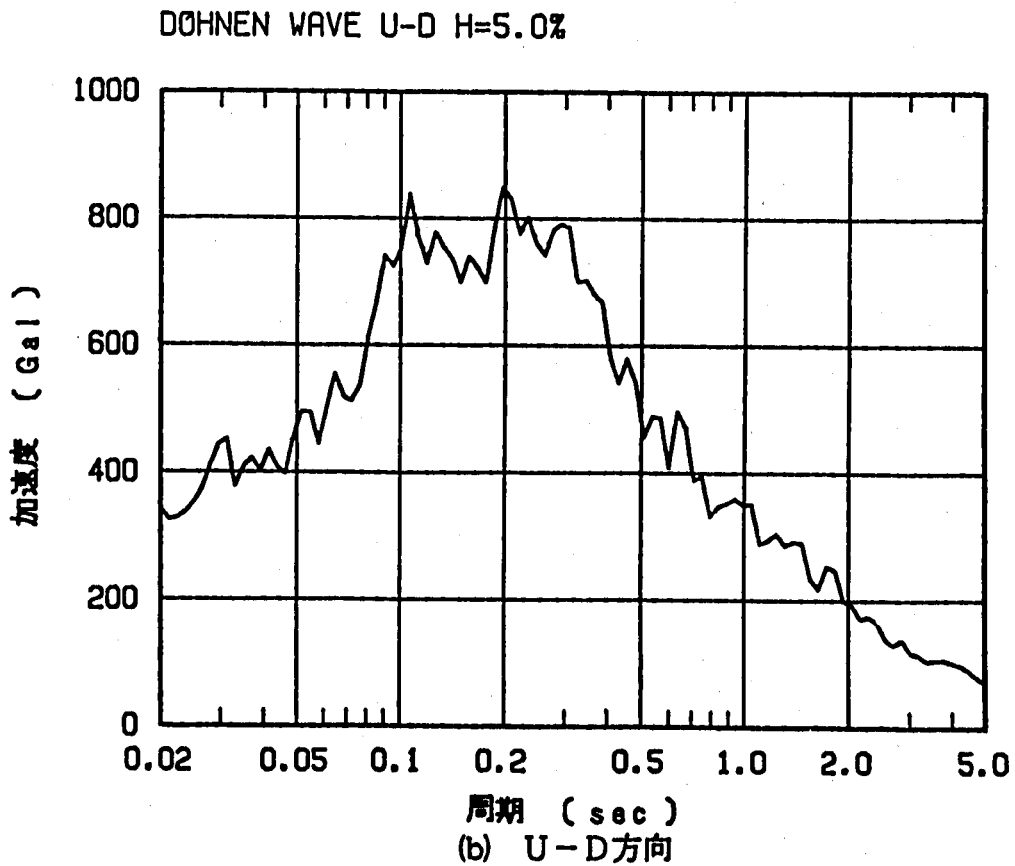
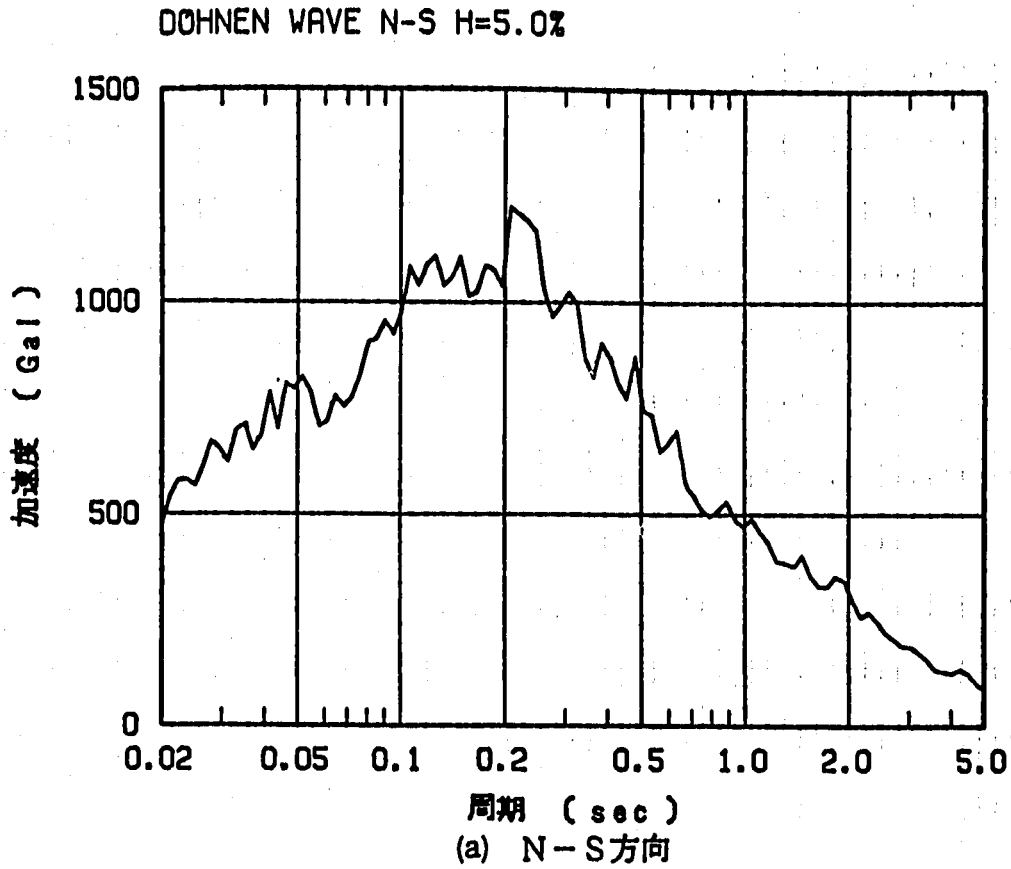


図 3.2.2-3 入力地震波の加速度応答スペクトル (h = 5%)
 Fig. 3.2.2-3 Acceleration Response Spectrum (h = 5%)

(5) 解析ケース及び解析コード

解析ケースは、地盤条件2種類（軟質岩盤、硬質岩盤）と免震装置の鉛直剛性3種類（18Hz, 12Hz, 6Hz）をパラメータに、本解析6ケースと予備解析2ケースの計8ケースの解析を行う。本解析では、選定した対象となる復元力特性に対して等価線形化を行ったモデルを用い、汎用解析コード「FINAS」による線形時刻歴応答解析を行う。また、予備解析では、本解析でのモデル化（免震装置復元力の等価線形化、モード減衰定数の設定等）の妥当性を確認するため、選定した対象となる復元力特性（Bi-linear型）モデルと等価線形化モデルの2種類のモデルを用い、3次元非線形振動解析コード「DAC3N」による線形及び非線形の時刻歴応答解析（ひずみエネルギー比例型減衰定数を設定）を行う。予備解析の地盤条件としては硬質岩盤、免震装置の鉛直剛性については12Hzを選定する。

解析ケースを表3.2.2-2に示す。

表 3.2.2 - 2 解析ケース
Table 3.2.2 - 2 Analysis Cases

解析 ケース	地盤 条件	免震装置鉛直 剛性 (ton/m)	免震装置の 水平ばねモデル化	解析 コード
1	Vs= 1500	1.82×10^8 (18Hz)	等価線形化	PINAS
2		8.11×10^7 (12Hz)		
3		2.02×10^7 (6 Hz)		
4	Vs= 700	1.82×10^8 (18Hz)	等価線形化	PINAS
5		8.11×10^7 (12Hz)		
6		2.02×10^7 (6 Hz)		
7	Vs= 1500	8.11×10^7 (12Hz)	Bi-linear	DAC3N
8			等価線形化	

3.2.3 解析モデルの設定

(1) 建屋のモデル化

建屋全体のモデル化は、上部建屋を曲げせん断型の多質点系モデル、上部・下部基礎版を剛体とし、免震装置ばね及び地盤ばねを付けたモデルとする。地盤ばねとしては、下部基礎版底面に水平ばね、鉛直ばね、回転ばねを集約して取り付ける。

建屋解析モデルを図3.2.3-1に、建屋モデル緒元を表3.2.3-1に示す。

(2) 免震装置のモデル化

a. 等価線形剛性の評価

免震装置の復元力特性のモデル化は、選定した対象となるBi-linear型の復元力特性（第1剛性 K_1 、第2剛性 αK_1 、 $\alpha=0.1$ ）に基づいて等価線形化を行う。以下に等価線形化の方法を示す。

等価線形化の第1段階として、選定した対象となるBi-linear型の復元力の第1剛性に等価な線形ばねによって、上部構造剛体、基礎固定による弾性応答解析を行う。その際の免震装置の減衰定数は20%（入力波の特性からBi-linear型の復元力での応答変位を大まかに推定した時の等価粘性減衰）を仮定する。第2段階として、この弾性応答解析の結果から、免震装置部分の最大応答変位 δ_{max} を読み取り、図3.2.3-2(a)に示すように、第1剛性に等価な線形剛性での最大応答変位 δ_{max} と選定した対象となるBi-linear型の復元力の第2剛性で囲まれる三角形の面積（エネルギーA）とBi-linear型の復元力でのエネルギーBが等しくなる χ を求め、最終的な復元力を決定する。

等価線形剛性は図3.2.3-2(b)示すように、第2剛性及び推定変位 χ による割線剛性とBi-linear型の復元力が等価に対応するものと考えて算出する。

b. 等価減衰定数

等価減衰定数は、推定変位 χ 時のBi-linear型の復元力の損失エネルギーと等価線形時の弾性エネルギーの比より求める。

選定した対象となるBi-linear型の復元力に、設定地震波を入力した時の応答履歴に等価な線形剛性と粘性減衰の最適値は、第1段階で仮定した減衰定数と第2段階で得られる等価粘性減衰定数の値がほぼ一致するまで上記手順を繰り返し行

うことで求まる。(ここでは、第1段階の仮定でほぼ収束と見なす。)

以上の算定方法により求めた免震装置の緒元の算定結果を表3.2.3-2に示す。

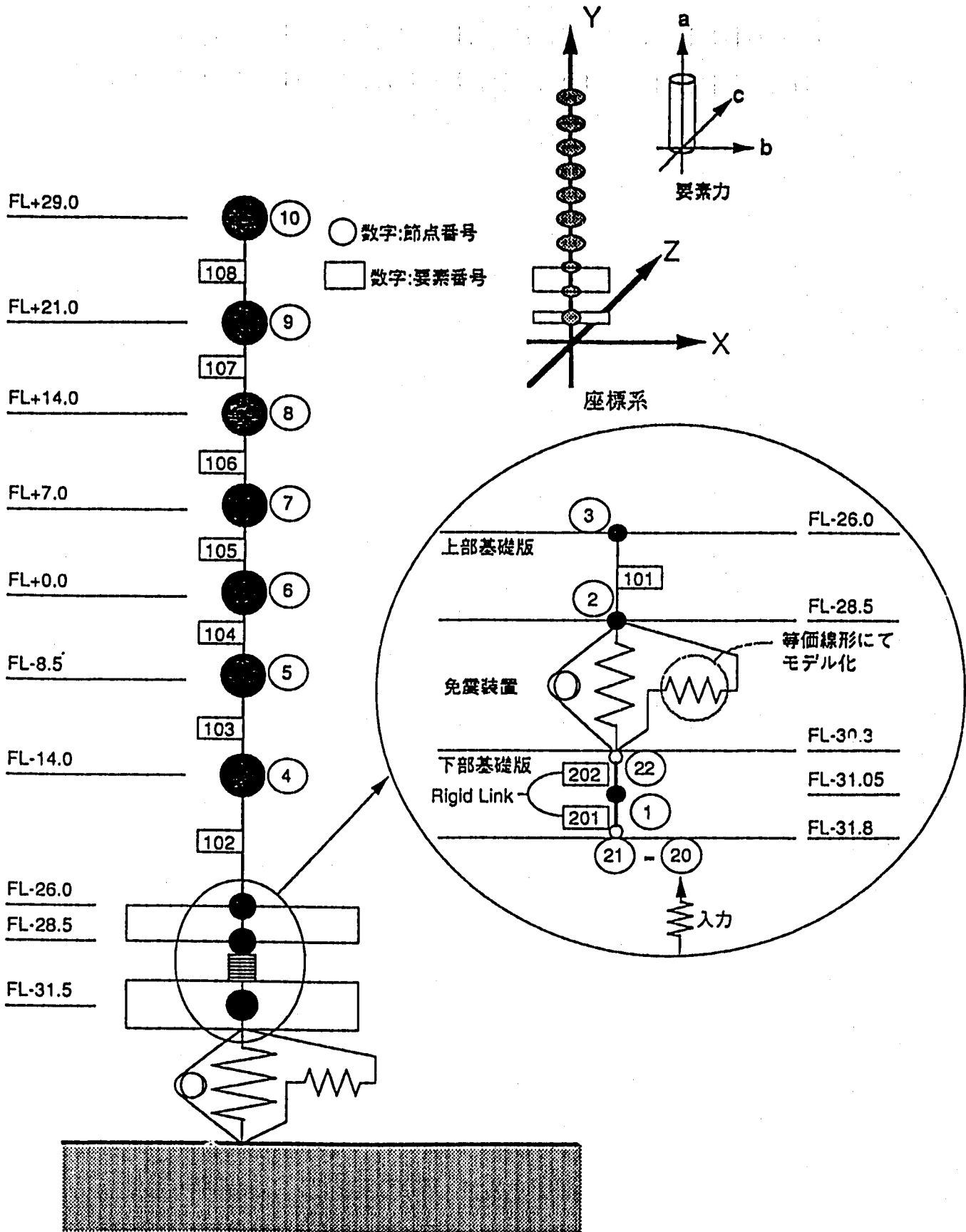


図 3.2.3 - 1 解析モデル
Fig. 3.2.3 - 1 Analysis Model

表 3.2.3-1 建屋モデル諸元
Table 3.2.3-1 Properties of Building

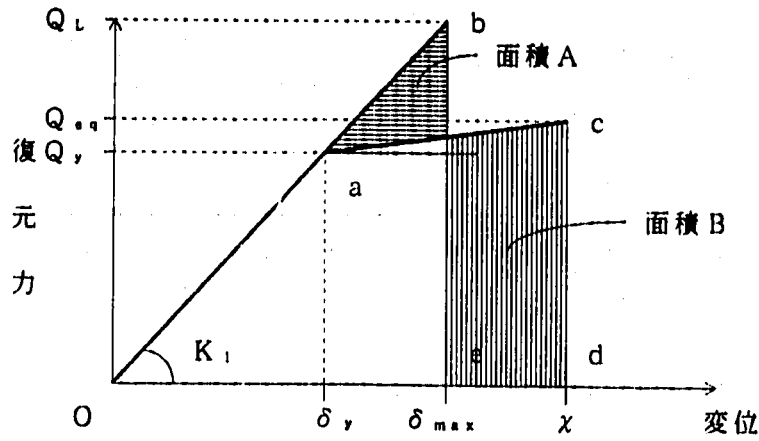
(a) N-S方向建屋

質点 No.	高さ (m)	重量 (ton)	回転慣性 (ton*m ²)	要素 No.	せん断断面積 (m ²)	断面 2 次 モーメント(m ⁴)	軸断面積 (m ²)
10	29.0	1260	1.18×10^5				
9	21.0	2410	1.71×10^5	108	20.1	4.26×10^3	40.2
8	14.0	9700	3.52×10^5	107	29.4	5.43×10^3	58.8
7	7.0	12430	4.51×10^5	106	76.8	8.05×10^4	153.6
6	0.0	19530	7.10×10^5	105	111.3	7.92×10^4	222.6
5	-8.5	21420	7.79×10^5	104	146.2	1.31×10^5	292.4
4	-14.0	25490	9.28×10^5	103	151.9	1.35×10^5	303.8
3	-26.0	33250	1.21×10^7	102	154.2	1.37×10^5	308.4
2	-28.5	14260	5.18×10^5	101	4752.0	1.73×10^6	4752.0
1	-31.05	32470	5.40×10^5	免 震 装 置			

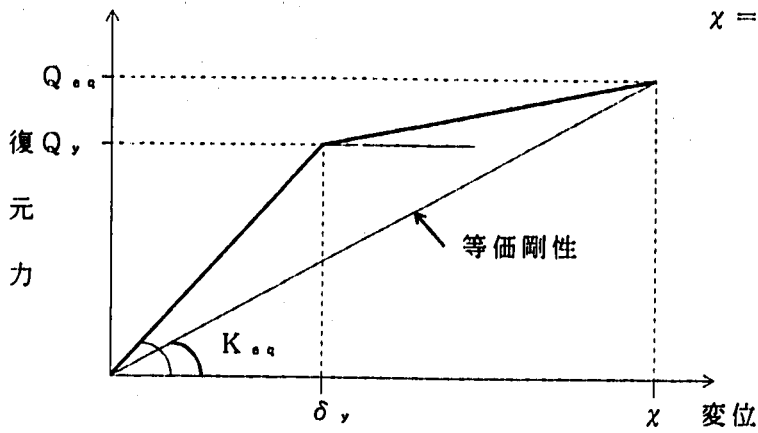
※ 建屋減衰は一律5%とする

(b) 建屋の材料定数

ヤング係数	$2.57 \times 10^5 \text{ ton/m}^2$
せん断弾性係数	$1.10 \times 10^5 \text{ ton/m}^2$
ポアソン比	0.167



(a) Bilinear ($\alpha=0.1$) $\delta_{max}=7.33\text{cm}$
 $x=10.71\text{cm}$



(b) Bilinear ($\alpha=0.1$)

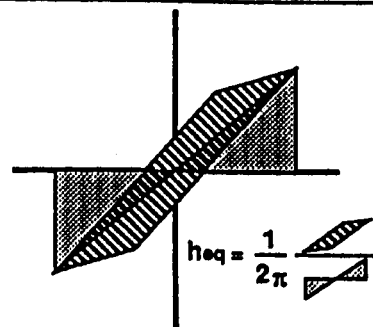
図 3.2.3-2 免震装置の復元力特性モデル

Fig 3.2.3-2 Hysteretic Characteristics of Base Isolation Devices

表 3.2.3-2 免震装置の諸元

Table 3.2.3-2 Properties of Base Isolation Devices

解析 ケース	剛 性			減 衰 定 数		
	水平等価剛性 K_{0a} (ton/m)	鉛直剛性 (ton/m)	回転剛性 (ton*m/rad)	H_{0a} (%)	鉛直 (%)	回転 (%)
1, 4	1.738×10^5	1.82×10^8 (18Hz)	6.62×10^{10}	33	2	2
2, 5	1.738×10^5	8.11×10^7 (12Hz)	2.94×10^{10}	33	2	2
3, 6	1.738×10^5	2.03×10^7 (6Hz)	7.36×10^9	33	2	2



(3) 基礎-地盤相互作用のモデル化

a. 地盤ばね定数の算定

基礎と地盤の相互作用を表現する地盤の各ばね定数は以下に示す田治見博士の矩形式により算定する。

・水平ばね K_H

$$K_H = \frac{2\pi G l_y}{(1-\nu) \ln(\sqrt{1+\lambda^2} + \lambda) + \lambda \ln\left(\frac{\sqrt{1+\lambda^2} + 1}{\lambda}\right)}$$

・回転ばね K_θ

$$K_\theta = \frac{\pi G l_y}{2l_x(1-\nu)\lambda \ln\left(\frac{\sqrt{1+\lambda^2} + 1}{\lambda}\right)}$$

・水平ばね K_V

$$K_V = \frac{2\pi G l_y}{(1-\nu) \ln(\sqrt{1+\lambda^2} + \lambda) + \lambda \ln\left(\frac{\sqrt{1+\lambda^2} + 1}{\lambda}\right)}$$

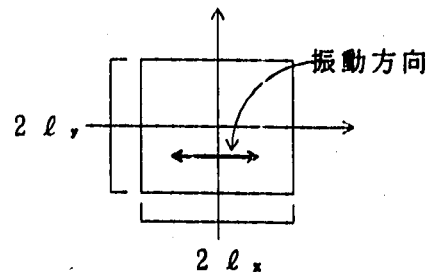
ただし、 $I_y = (2l_x)^3(2l_y) / 12$

$$\lambda = l_y / l_x$$

G : 地盤のせん断弾性係数

ν : 地盤のポアソン比

とする。



地盤ばねの算定結果を表3.2.3-3示す。

b. 地盤ばね減衰定数

地盤ばねの減衰定数は表3.2.3-4に示す値を免震無し建屋の場合の地盤減衰定数と考え、免震建屋の場合は免震無し建屋の1次固有振動数 f_1 Hzより、振動アドミッタンス理論に基づき減衰定数が固有振動数に比例すると考えて、図3.2.3-3のように点O($f; 0$ Hz, $h; 0$ %)と点P($f; f_1$ Hz, $h; h_1$ %)を結んだ直線を免震建屋の1次固有振動数より内挿して求める。ただし、減衰定数の下限値は5%、上限値は30% (水平)、10% (回転)、40% (鉛直)とする。

地盤ばね減衰定数の算定結果を表3.2.3-5に示す。なお、地盤ばね減衰定数を算定する際に用いた免震無し建屋、免震建屋の固有値解析結果を表3.2.3-6に示す。免震建屋の固有値解析は、(2)免震装置のモデル化で算定した免震装置復元力の等価線形化モデルを用いた。また、固有値解析は、図3.2.3-1に示した建屋解析モデルを用いた

(4) 減衰定数の設定

「FINAS」を用いる場合は、時刻歴モーダル解析による線形応答解析とする。各次のモーダル減衰定数は、清固有値解析結果を参考に定める。

設定した諸定数を用いた固有値解析結果の固有モードを図3.2.3-4～図3.2.3-9に示す。また、モード減衰定数は、各部材の減衰定数と、固有値解析結果の各次に対応する固有モードから、表3.2.3-7～表3.2.3-12に示すように定める。

表 3.2.3 - 3 地盤ばね定数
Table 3.2.3 - 3 Properties of Soil Springs

地盤条件	水平 (ton/m)	鉛直 (ton/m)	回転 (ton*m/rad)
硬質岩盤	9.23×10^7	1.20×10^8	1.18×10^{11}
軟質岩盤	1.60×10^7	2.14×10^7	2.11×10^{10}

表 3.2.3 - 4 地盤ばね減衰定数 (免震無し建屋)
Table 3.2.3 - 4 Constants of Damping Factor of Soil Springs
(Non Base Isolated Buildings)

地盤条件	水平 (%)	鉛直 (%)	回転 (%)
硬質岩盤	10	20	5
軟質岩盤	26	36	9

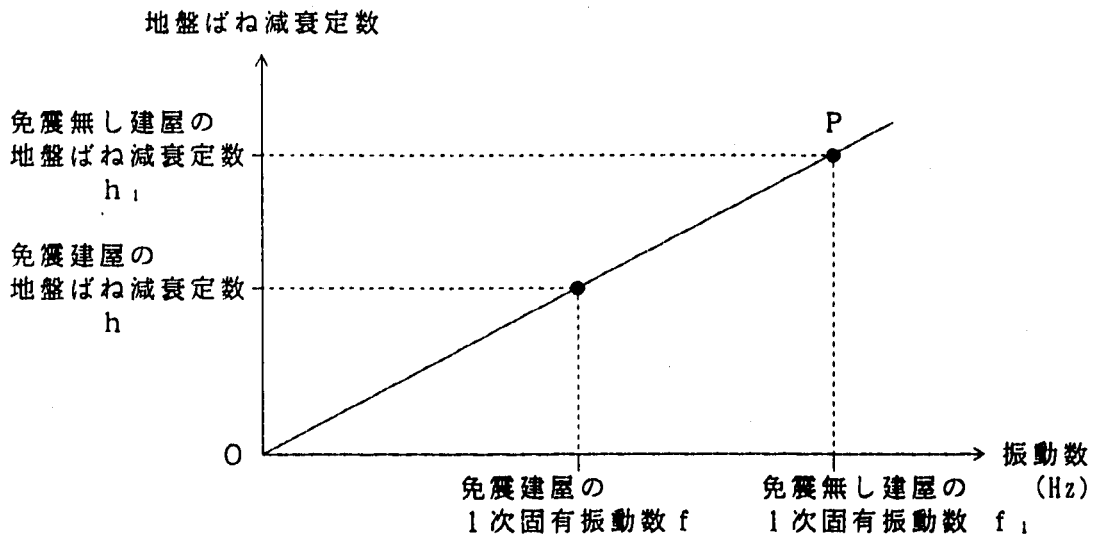


図 3.2.3 - 3 免震建屋の地盤ばね定数の算定
Fig. 3.2.3 - 3 Damping Factor of Soil Spring of Base Isolated Building

表 3.2.3 - 5 地盤ばね減衰定数
 Table 3.2.3 - 5 Constants of Damping Factor of Soil Springs

地盤条件	ケース	地盤ばね減衰定数		
		水平 (%)	鉛直 (%)	回転 (%)
硬質岩盤	1	5	19	5
	2	5	17	5
	3	5	12	5
軟質岩盤	4	5	37	5
	5	5	35	5
	6	5	29	5
硬質岩盤	7	5	17	5
	8	5	17	5

表 3.2.3 - 6 免震建屋地盤ばねの減衰定数算定のための
固有値解析結果
Table 3.2.3 - 6 Results of Eigenvalue Analysis for
Constants of Damping Factor of Soil Springs

(a) 免震無し建屋

地盤条件	1次固有振動数	
	水平 (Hz)	鉛直 (Hz)
硬質岩盤	4.03	8.55
軟質岩盤	2.99	4.90

(b) 免震建屋

地盤条件	解析 ケース	1次固有振動数	
		水平 (Hz)	鉛直 (Hz)
硬質岩盤	1	0.55	8.01
	2	0.55	7.26
	3	0.55	5.07
軟質岩盤	4	0.55	5.00
	5	0.55	4.78
	6	0.55	3.99
硬質岩盤	7	0.55	7.26
	8	0.55	7.26

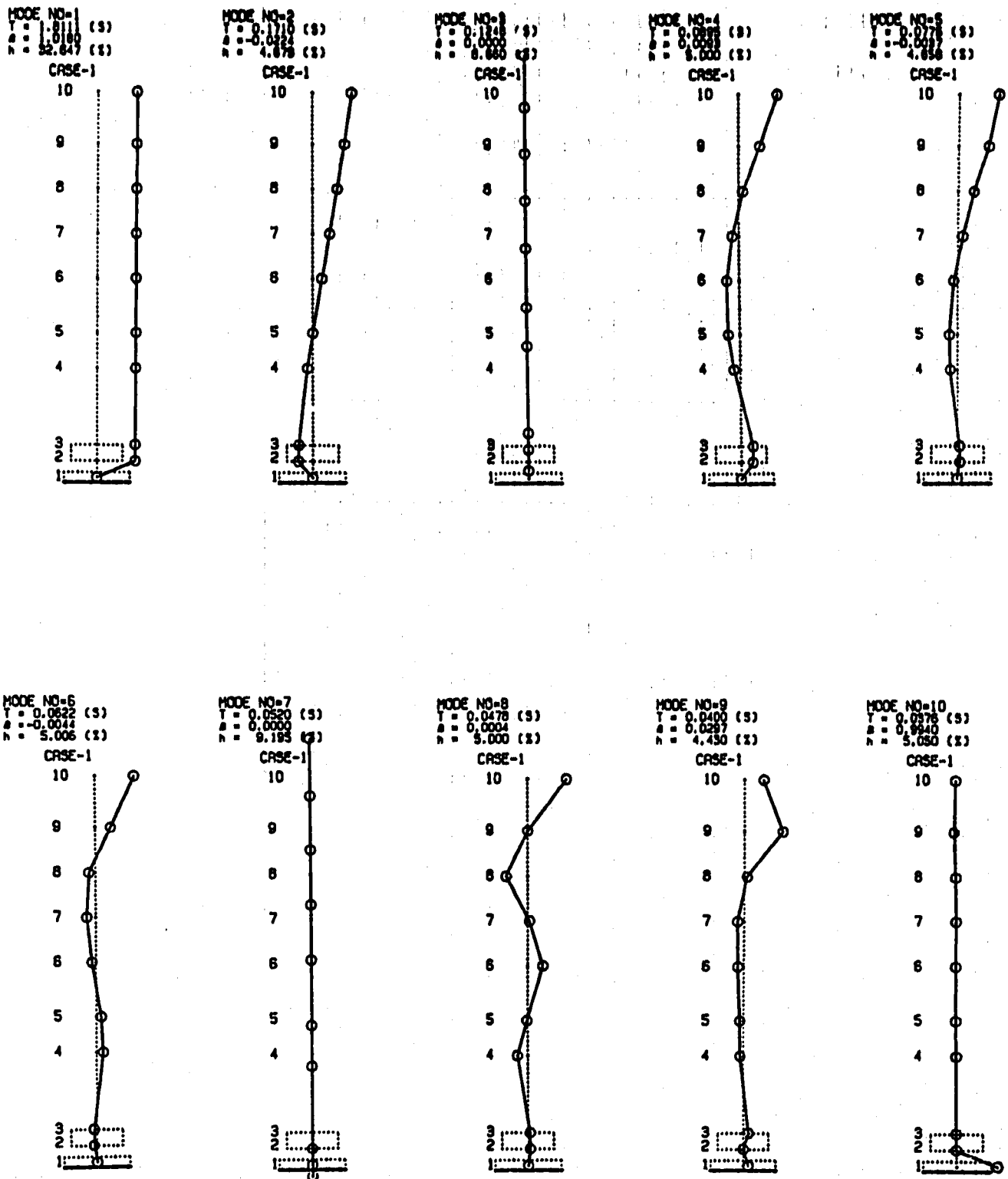


図 3. 2. 3 - 4 固有モード (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
Fig. 3. 2. 3 - 4 Natural Modes (Case-1:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)

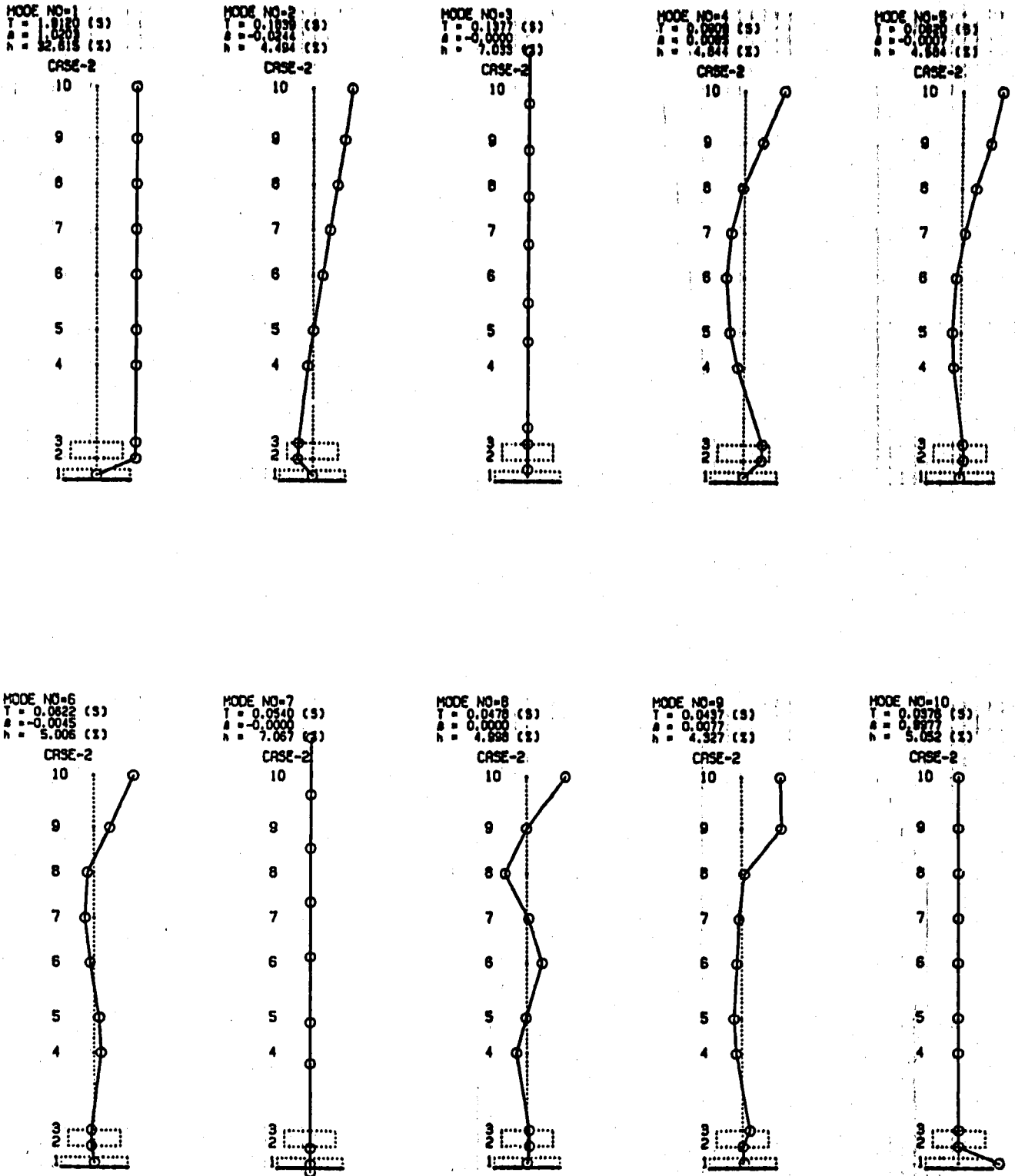
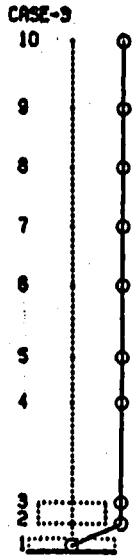
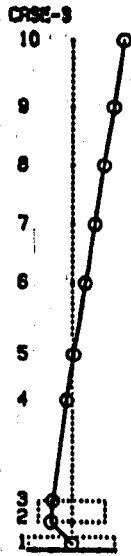


図 3.2.3 - 5 固有モード (ケース2 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)
 Fig. 3.2.3 - 5 Natural Modes (Case-2:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

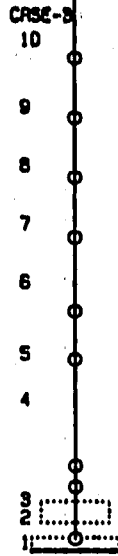
MODE NO-1
 T = 0.8178 (S)
 A = 1.0027
 N = 32.458 (Z)



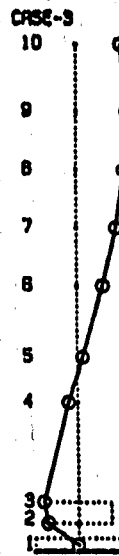
MODE NO-2
 T = 0.8761 (S)
 A = -0.0582
 N = 3.472 (Z)



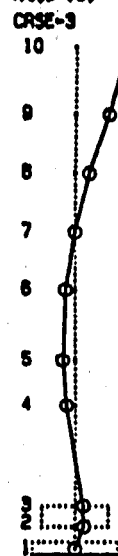
MODE NO-3
 T = 0.1971 (S)
 A = 0.0000
 N = 3.778 (Z)



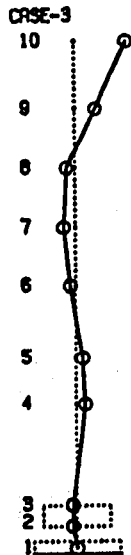
MODE NO-4
 T = 0.0589 (S)
 A = -0.0398
 N = 4.818 (Z)



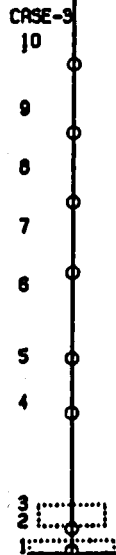
MODE NO-5
 T = 0.0582 (S)
 A = 0.0048
 N = 4.948 (Z)



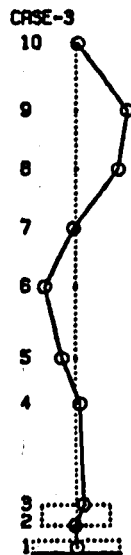
MODE NO-6
 T = 0.0622 (S)
 A = -0.0045
 N = 5.006 (Z)



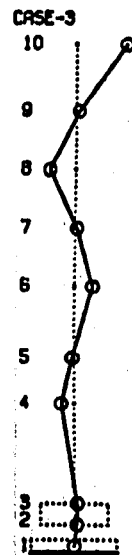
MODE NO-7
 T = 0.0588 (S)
 A = 0.0000
 N = 4.950 (Z)



MODE NO-8
 T = 0.0482 (S)
 A = 0.0014
 N = 4.714 (Z)



MODE NO-9
 T = 0.0477 (S)
 A = 0.0050
 N = 4.688 (Z)



MODE NO-10
 T = 0.0378 (S)
 A = 0.0080
 N = 5.053 (Z)

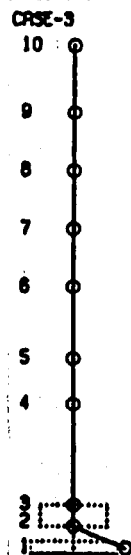


図 3.2.3 - 6 固有モード (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3.2.3 - 6 Natural Modes (Case-3:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)

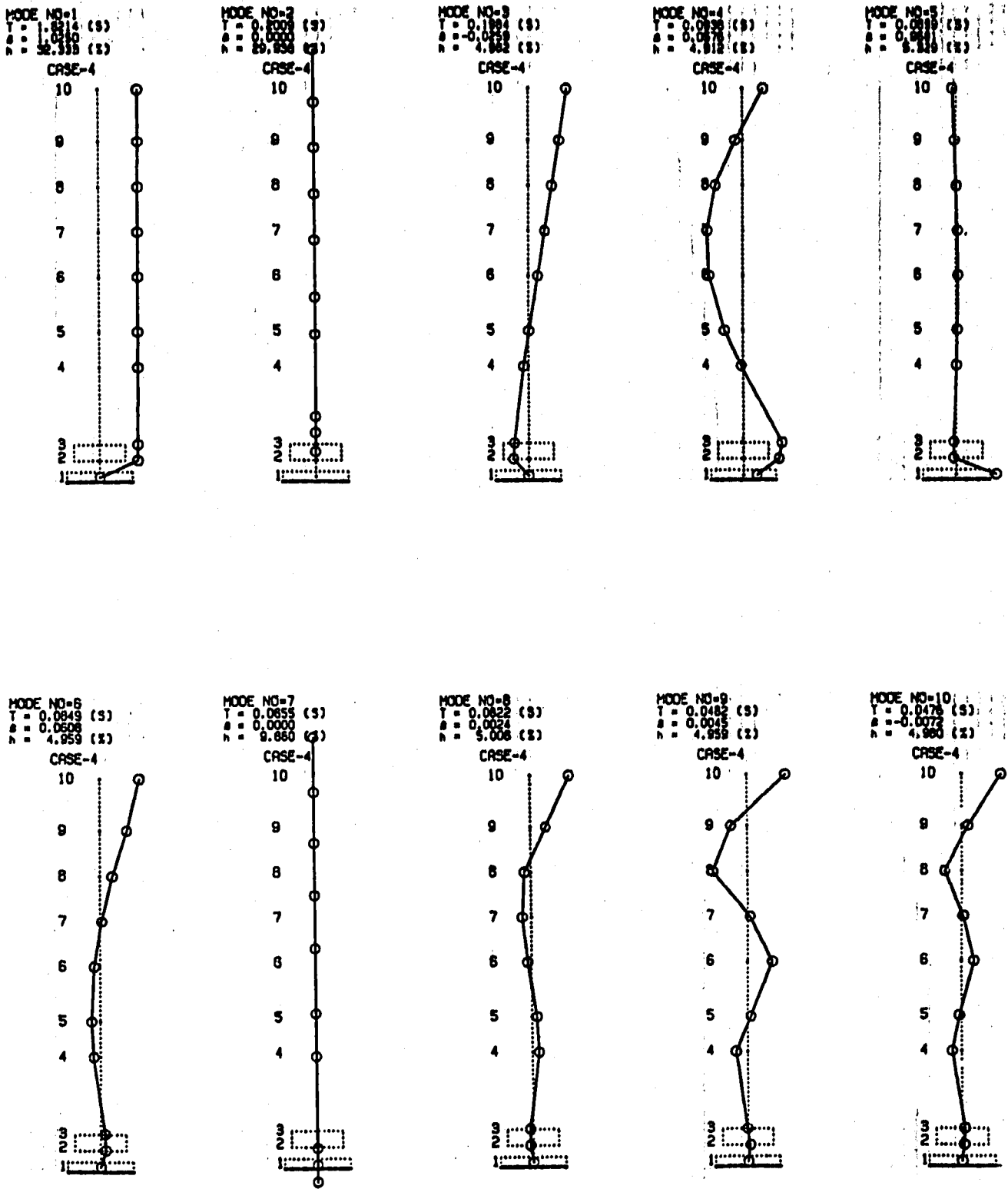


図 3. 2. 3 - 7 固有モード (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 3 - 7 Natural Modes (Case:4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)

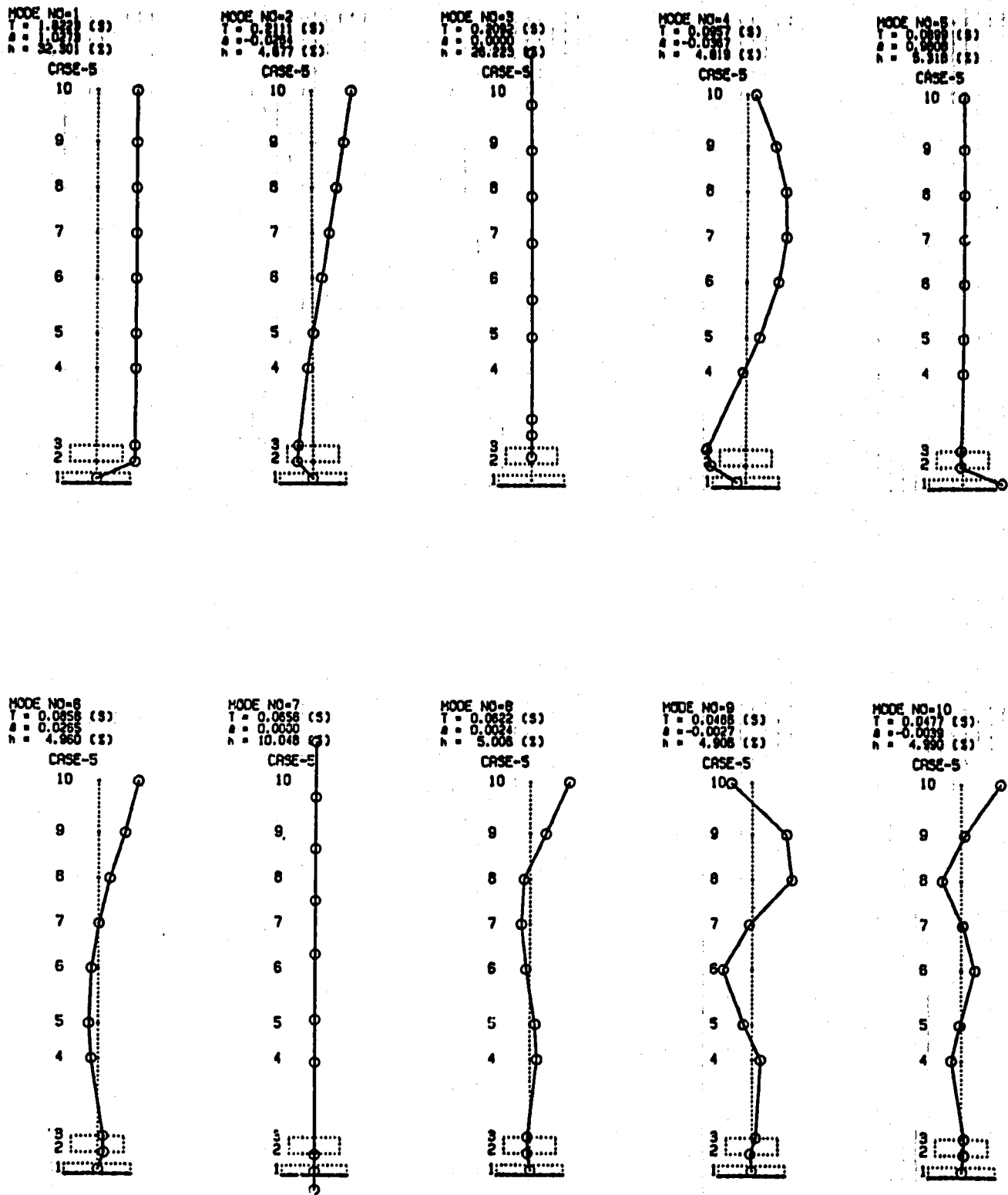


図 3.2.3 - 8 固有モード (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)
 Fig. 3.2.3 - 8 Natural Modes (Case-5:Soft Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

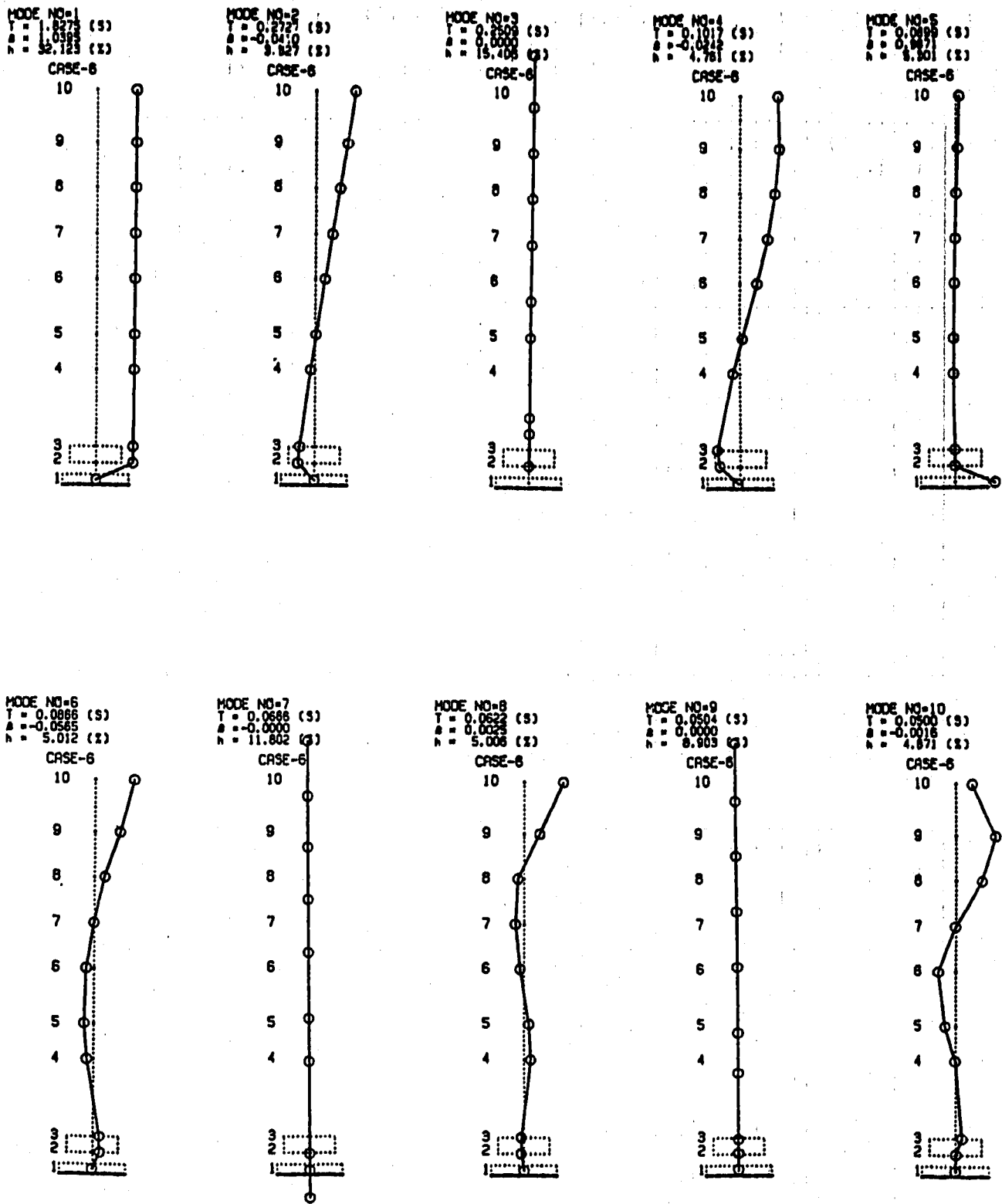


図 3.2.3 - 9 固有モード (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3.2.3 - 9 Natural Modes (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz).

表 3.2.3 - 7 固有値解析結果 (ケース 1 : 硬質地盤 : 鉛直剛性 18Hz)
 Table 3.2.3 - 7 Results of Eigenvalue Analysis
 (Case-1:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)

次 数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数			モード減衰	備 考
		水 平	鉛 直	回 転		
1	0.552	1.02	0.0	1.08×10^3	0.326	水平 1 次
2	5.848	2.24×10^{-2}	0.0	5.40×10^3	0.049	水平 2 次
3	8.014	0.0	1.53	0.0	0.087	鉛直 1 次
4	11.18	9.34×10^{-3}	0.0	1.21×10^3	0.050	
5	12.88	3.74×10^{-3}	0.0	2.95×10^3	0.047	
6	16.08	4.43×10^{-3}	0.0	42.3	0.050	
7	19.25	0.0	1.05	0.0	0.092	鉛直 2 次
8	20.92	4.10×10^{-4}	0.0	1.15×10^2	0.050	
9	24.98	2.97×10^{-2}	0.0	5.82×10^2	0.044	
10	26.59	9.94×10^{-1}	0.0	3.17×10^3	0.050	

表 3.2.3 - 8 固有値解析結果 (ケース 2 : 硬質地盤 : 鉛直剛性 12Hz)
 Table 3.2.3 - 8 Results of Eigenvalue Analysis
 (Case-2:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

次 数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数			モード減衰	備 考
		水 平	鉛 直	回 転		
1	0.552	1.02	0.0	1.07×10^3	0.326	水平 1 次
2	5.434	2.44×10^{-2}	0.0	5.43×10^3	0.045	水平 2 次
3	7.261	0.0	1.45	0.0	0.070	鉛直 1 次
4	11.01	6.47×10^{-3}	0.0	1.07×10^3	0.048	
5	12.19	7.47×10^{-4}	0.0	2.83×10^3	0.046	
6	16.08	4.45×10^{-3}	0.0	34.3	0.050	
7	18.51	0.0	0.87	0.0	0.071	鉛直 2 次
8	20.91	2.10×10^{-3}	0.0	1.53×10^2	0.050	
9	22.86	7.71×10^{-3}	0.0	4.39×10^2	0.043	
10	26.58	9.98×10^{-1}	0.0	3.12×10^3	0.050	

表 3.2.3 - 9 固有値解析結果 (ケース 3 : 硬質地盤 : 鉛直剛性 6 Hz)
 Table 3.2.3 - 9 Results of Eigenvalue Analysis
 (Case-3: Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)

次 数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数			モード減衰	備 考
		水 平	鉛 直	回 転		
1	0.550	1.03	0.0	1.07×10^3	0.324	水平 1 次
2	3.998	3.52×10^{-2}	0.0	4.93×10^3	0.035	水平 2 次
3	5.073	0.0	1.22	0.0	0.038	鉛直 1 次
4	10.02	3.46×10^{-3}	0.0	5.08×10^2	0.046	
5	11.57	8.24×10^{-3}	0.0	6.85×10^2	0.050	
6	16.08	4.50×10^{-3}	0.0	21.7	0.050	
7	17.01	0.0	0.40	0.0	0.050	鉛直 2 次
8	20.33	1.40×10^{-3}	0.0	1.69×10^2	0.047	
9	20.95	3.04×10^{-2}	0.0	1.48×10^2	0.050	
10	26.58	1.0	0.0	3.09×10^3	0.050	

表 3.2.3 - 10 固有値解析結果 (ケース 4 : 軟質地盤 : 鉛直剛性 18 Hz)
 Table 3.2.3 - 10 Results of Eigenvalue Analysis
 (Case-4: Soft Rock, Vertical Stiffness 18 Hz)

次 数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数			モード減衰	備 考
		水 平	鉛 直	回 転		
1	0.549	1.02	0.0	1.08×10^3	0.323	水平 1 次
2	4.977	0.0	1.23	0.0	0.299	水平 2 次
3	5.039	2.59×10^{-2}	0.0	5.42×10^3	0.049	鉛直 1 次
4	10.66	5.76×10^{-2}	0.0	3.86×10^2	0.049	
5	11.13	0.97	0.0	3.20×10^3	0.053	
6	11.78	6.08×10^{-2}	0.0	2.26×10^3	0.050	
7	15.27	0.0	0.33	0.0	0.099	鉛直 2 次
8	16.08	2.41×10^{-3}	0.0	96.6	0.050	
9	20.75	4.52×10^{-3}	0.0	5.90×10^2	0.050	
10	21.01	7.23×10^{-3}	0.0	9.22×10^2	0.050	

表 3.2.3-11 固有値解析結果 (ケース5:軟質地盤:鉛直剛性12Hz)
 Table 3.2.3-11 Results of Eigenvalue Analysis
 (Case-5:Soft Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

次 数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数			モード減衰	備 考
		水 平	鉛 直	回 転		
1	0.549	1.03	0.0	1.08×10^3	0.323	水平1次
2	4.736	2.84×10^{-2}	0.0	5.31×10^3	0.047	水平2次
3	4.781	0.0	1.23	0.0	0.262	鉛直1次
4	10.45	3.67×10^{-2}	0.0	4.15×10^2	0.048	
5	11.12	0.98	0.0	3.17×10^3	0.053	
6	11.68	2.65×10^{-2}	0.0	1.57×10^3	0.050	
7	15.24	0.0	0.34	0.0	0.100	鉛直2次
8	16.08	2.44×10^{-3}	0.0	68.4	0.050	
9	20.56	2.70×10^{-3}	0.0	3.48×10^2	0.049	
10	20.96	3.91×10^{-3}	0.0	4.82×10^2	0.050	

表 3.2.3-12 固有値解析結果 (ケース6:軟質地盤:鉛直剛性6Hz)
 Table 3.2.3-12 Results of Eigenvalue Analysis
 (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6Hz)

次 数	固有振動数 (Hz)	刺 激 係 数			モード減衰	備 考
		水 平	鉛 直	回 転		
1	0.547	1.04	0.0	1.07×10^3	0.321	水平1次
2	3.667	4.10×10^{-2}	0.0	4.83×10^3	0.038	水平2次
3	3.986	0.0	1.18	0.0	0.154	鉛直1次
4	9.831	2.42×10^{-2}	0.0	4.53×10^2	0.047	
5	11.12	0.99	0.0	3.11×10^3	0.053	
6	11.54	5.65×10^{-2}	0.0	3.37×10^2	0.050	
7	15.02	0.0	0.40	0.0	0.118	鉛直2次
8	16.08	2.51×10^{-3}	0.0	0.23	0.050	
9	19.84	0.0	0.28	0.0	0.089	
10	19.99	1.59×10^{-3}	0.0	1.99×10^2	0.049	

3.2.4 解析結果

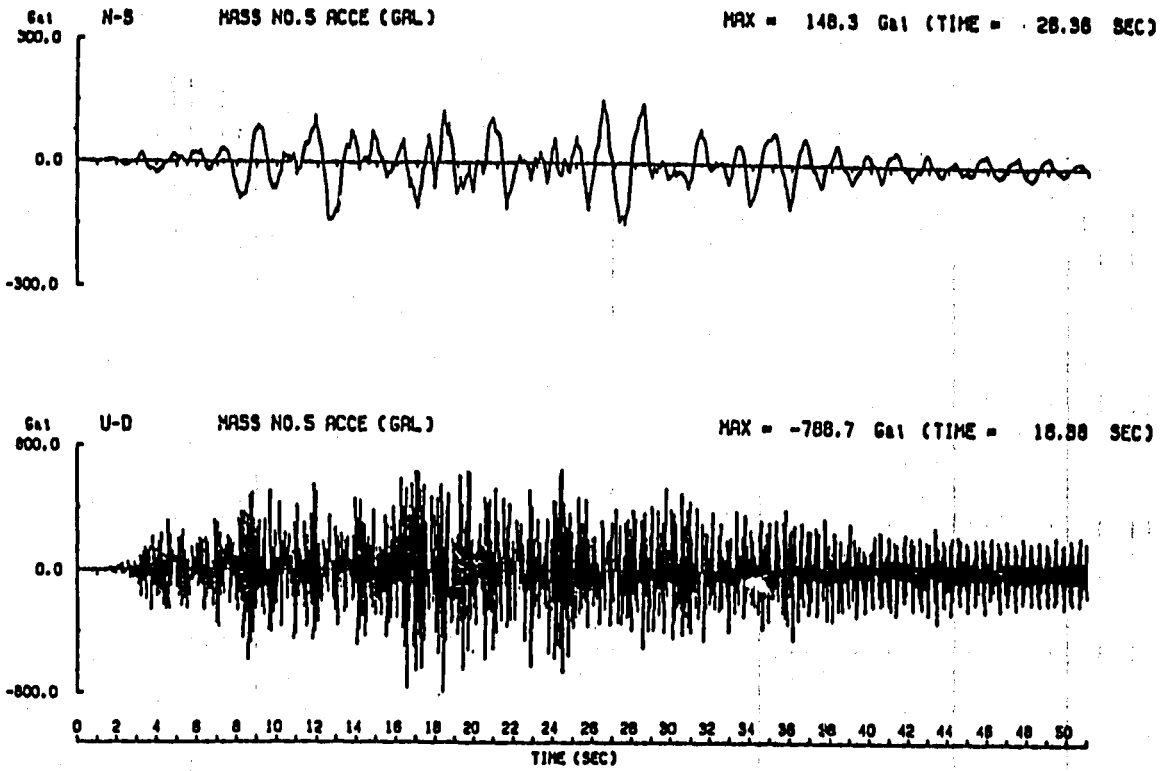
各解析ケースに対応した解析結果を、原子炉容器据付けレベルでの加速度及び変位
 応答時刻歴、水平最大加速度応答、水平最大変位応答、上下最大加速度応答、上下最
 大変位応答、原子炉容器据付けレベルでの床応答スペクトル、免震装置の履歴特性に
 ついて各図に示す。(下記一覧表参照)

解析 ケース	地盤 条件	装置 鉛直	解 析 コード	加速度及び変 位応答時刻歴	水 平 最 大 加 速 度 応 答	水 平 最 大 変 位 応 答	上 下 最 大 加 速 度 応 答
No. 1	Vs= 1500	18Hz	FINAS	図 3.2.4-1	図 3.2.4-2	図 3.2.4-3	図 3.2.4-4
No. 2		12Hz		図 3.2.4-8	図 3.2.4-9	図 3.2.4-10	図 3.2.4-11
No. 3		6Hz		図 3.2.4-15	図 3.2.4-16	図 3.2.4-17	図 3.2.4-18
No. 4	Vs= 700	18Hz	FINAS	図 3.2.4-22	図 3.2.4-23	図 3.2.4-24	図 3.2.4-25
No. 5		12Hz		図 3.2.4-29	図 3.2.4-30	図 3.2.4-31	図 3.2.4-32
No. 6		6Hz		図 3.2.4-36	図 3.2.4-37	図 3.2.4-38	図 3.2.4-39
No. 7	Vs= 1500	12Hz	DAC3N	図 3.2.4-43	図 3.2.4-44	図 3.2.4-45	図 3.2.4-46
No. 8				図 3.2.4-50	図 3.2.4-51	図 3.2.4-52	図 3.2.4-53

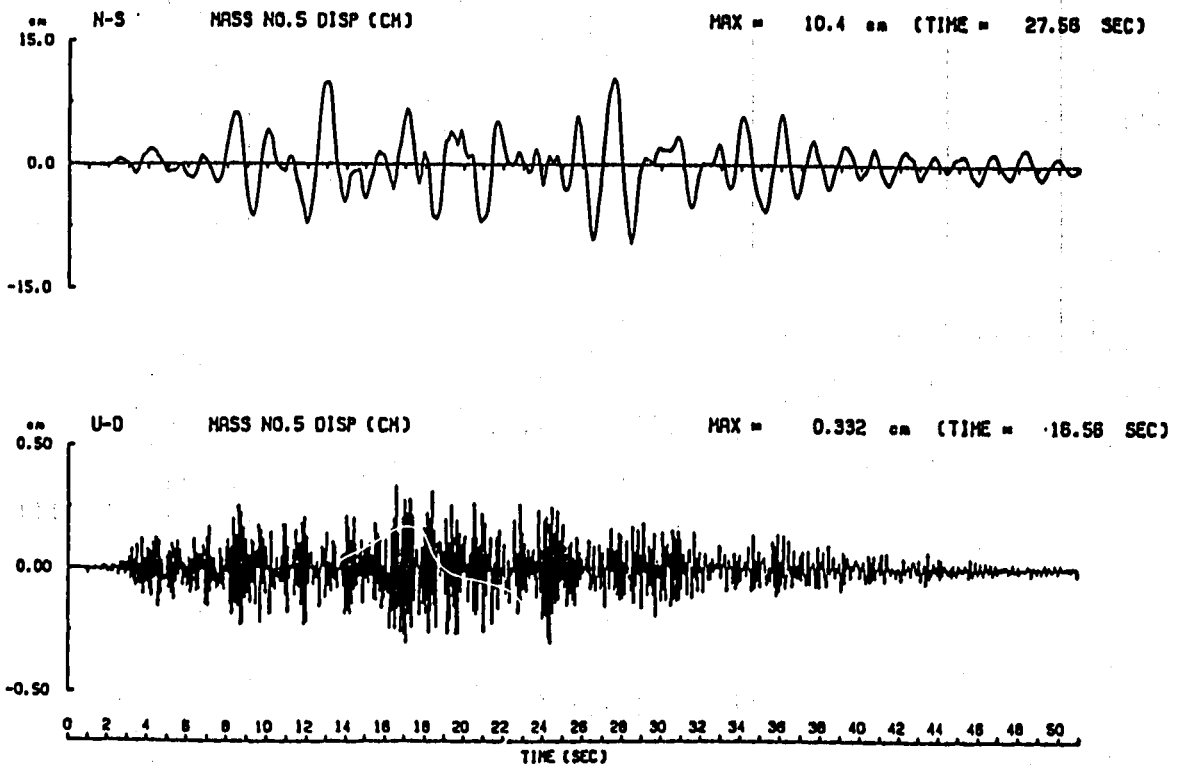
注) 解析ケースNO.7は、Bi-linear モデル

解析 ケース	地盤 条件	装置 鉛直	解 析 コード	上 下 最 大 変 位 応 答	床 応 答 ス ペクトル	免震装置の 履歴特性
NO. 1	Vs= 1500	18Hz	FINAS	図 3.2.4-5	3.2.4-6	3.2.4-7
NO. 2		12Hz		図 3.2.4-12	3.2.4-13	3.2.4-14
NO. 3		6Hz		図 3.2.4-19	3.2.4-20	3.2.4-21
NO. 4	Vs= 700	18Hz	FINAS	図 3.2.4-26	3.2.4-27	3.2.4-28
NO. 5		12Hz		図 3.2.4-33	3.2.4-34	3.2.4-35
NO. 6		6Hz		図 3.2.4-40	3.2.4-41	3.2.4-42
NO. 7	Vs= 1500	12Hz	DAC3N	図 3.2.4-47	3.2.4-48	3.2.4-49
NO. 8				図 3.2.4-54	3.2.4-55	3.2.4-56

Bi-linear モデルでの予備解析結果と各解析ケースでの免震装置の履歴特性を比較すると、剛性勾配及び応答せん断力、応答変位がほぼ一致しており、モデル化における等価線形化は妥当であると言える。

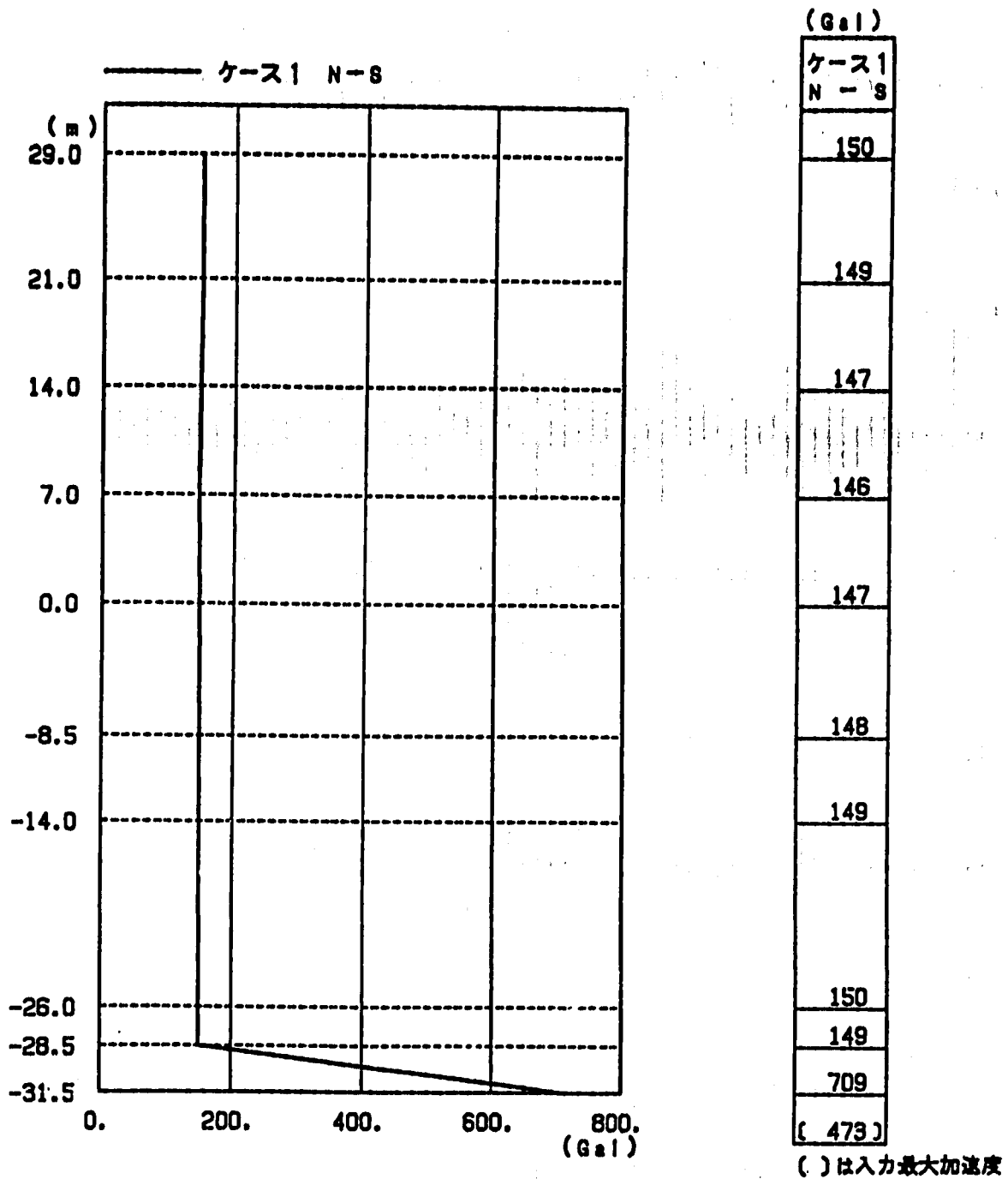


(a) 加速度波形



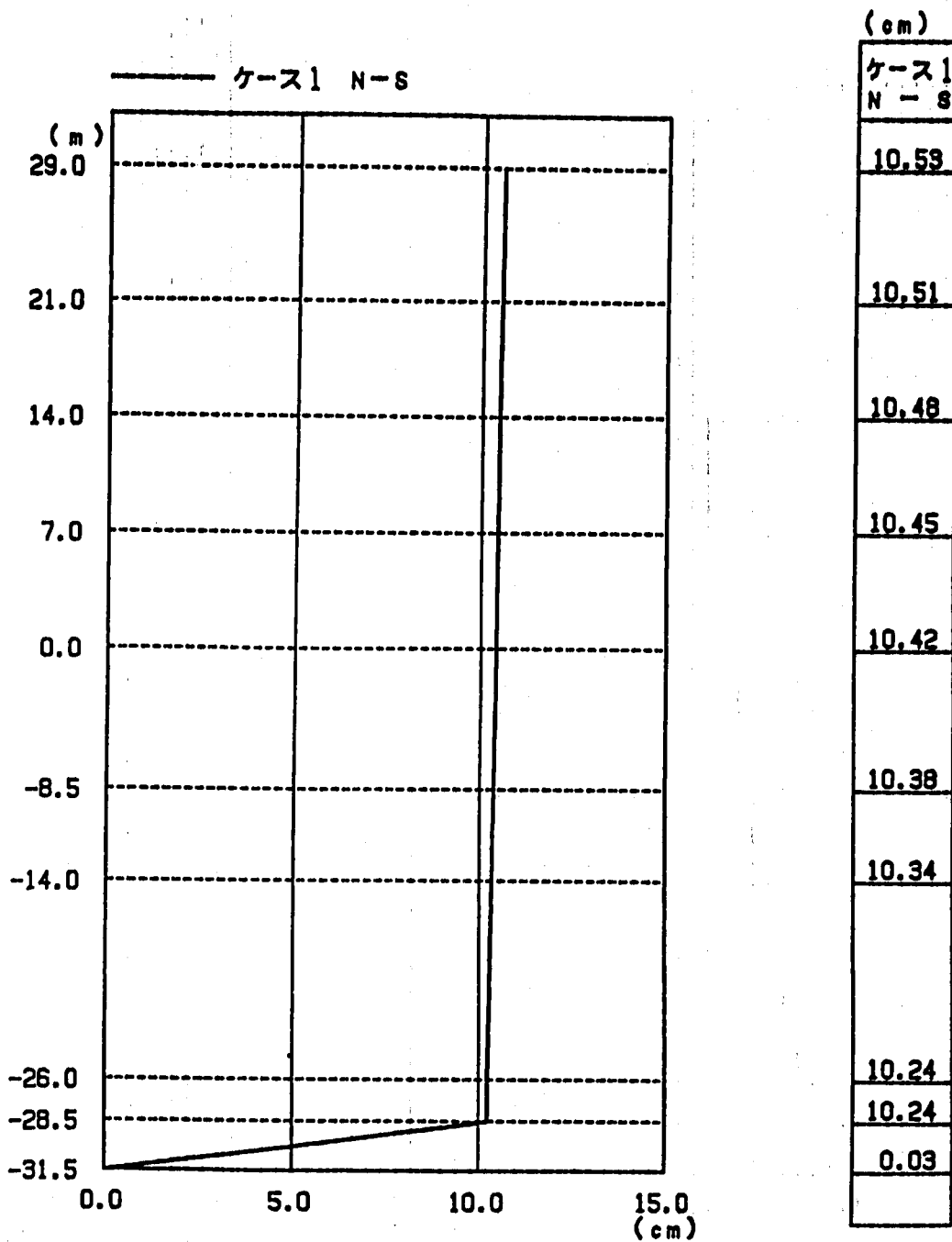
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 1 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース1: 硬質地盤, 鉛直剛性18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 1 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-1: Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)



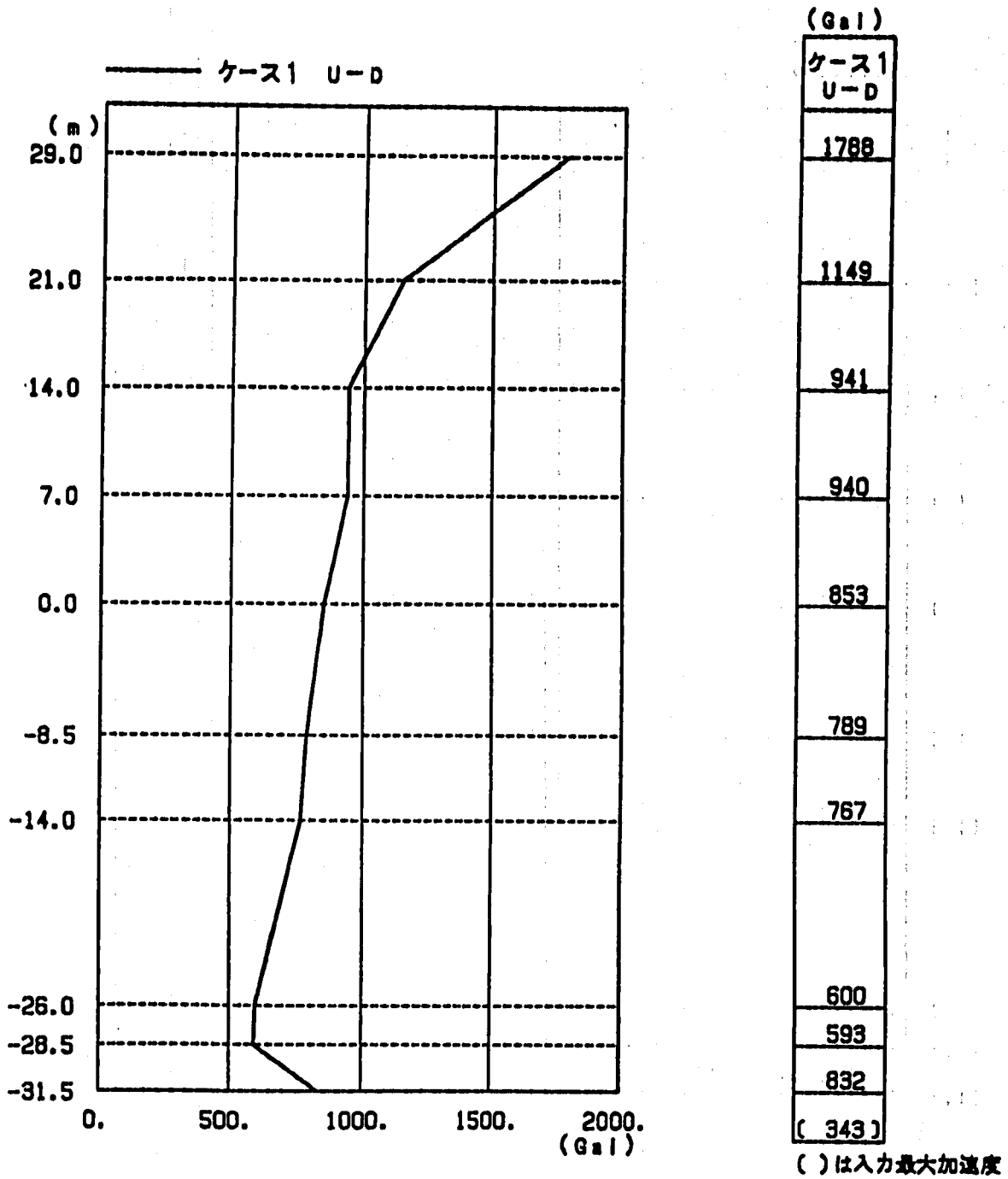
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 2 水平最大応答加速度 (ケース1 : 硬質地盤, 鉛直剛性18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 2 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-1:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)



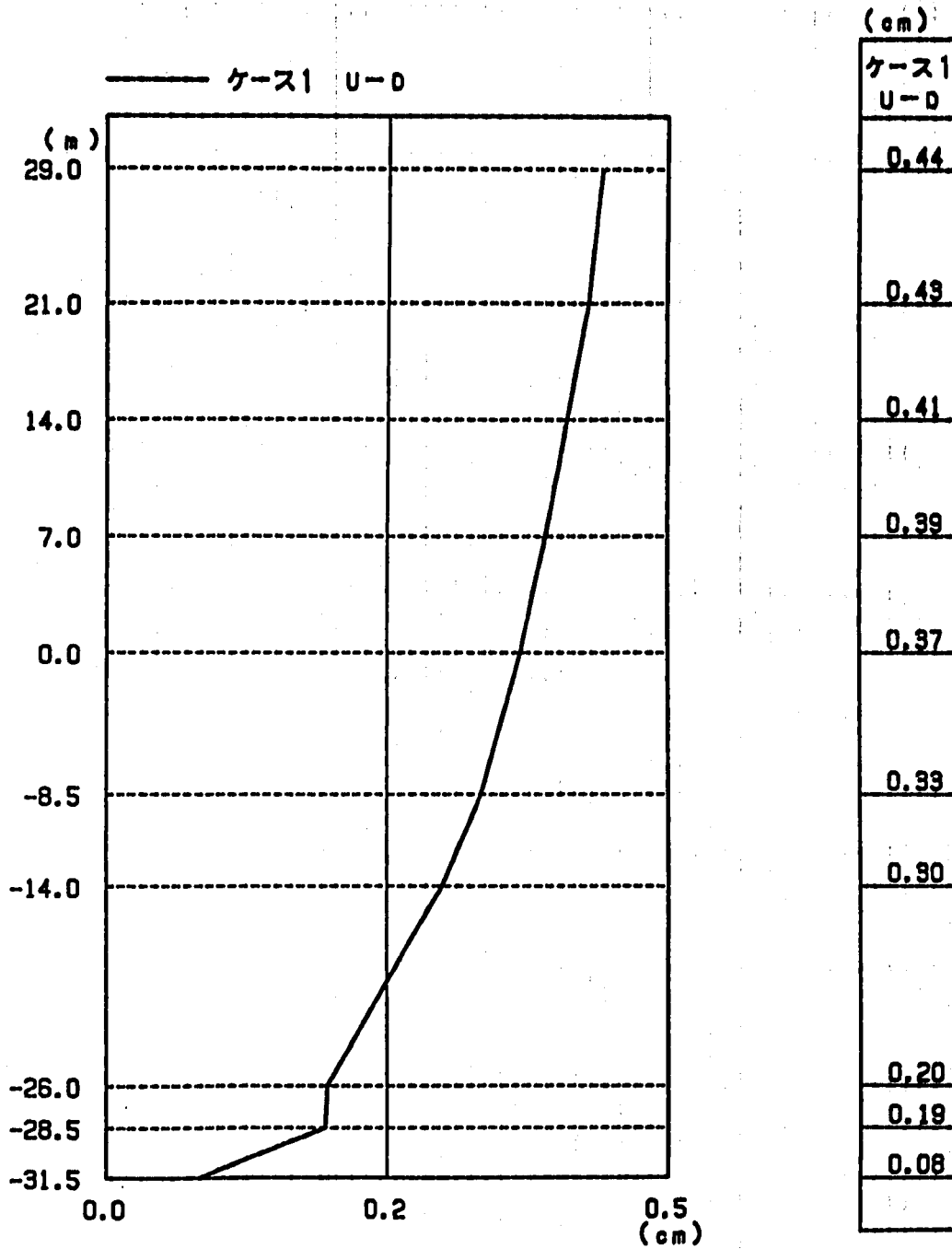
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 3 水平最大応答変位 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 3 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-1:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)



最大応答加速度

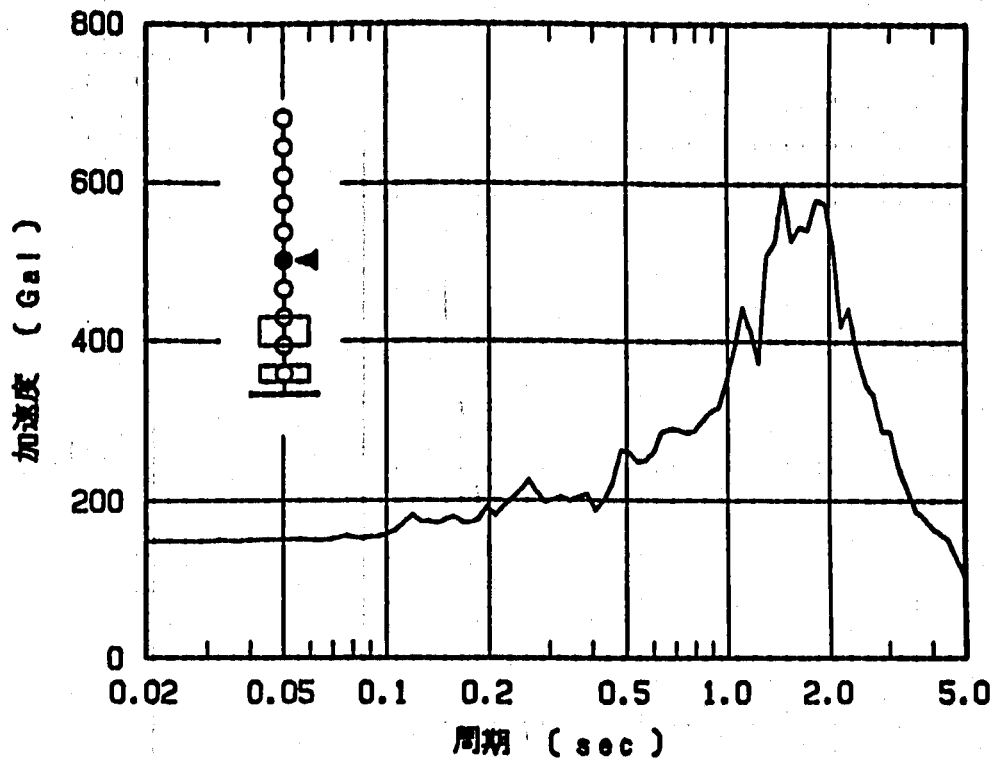
図 3. 2. 4 - 4 上下最大応答加速度 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 4 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-1:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)



最大応答変位

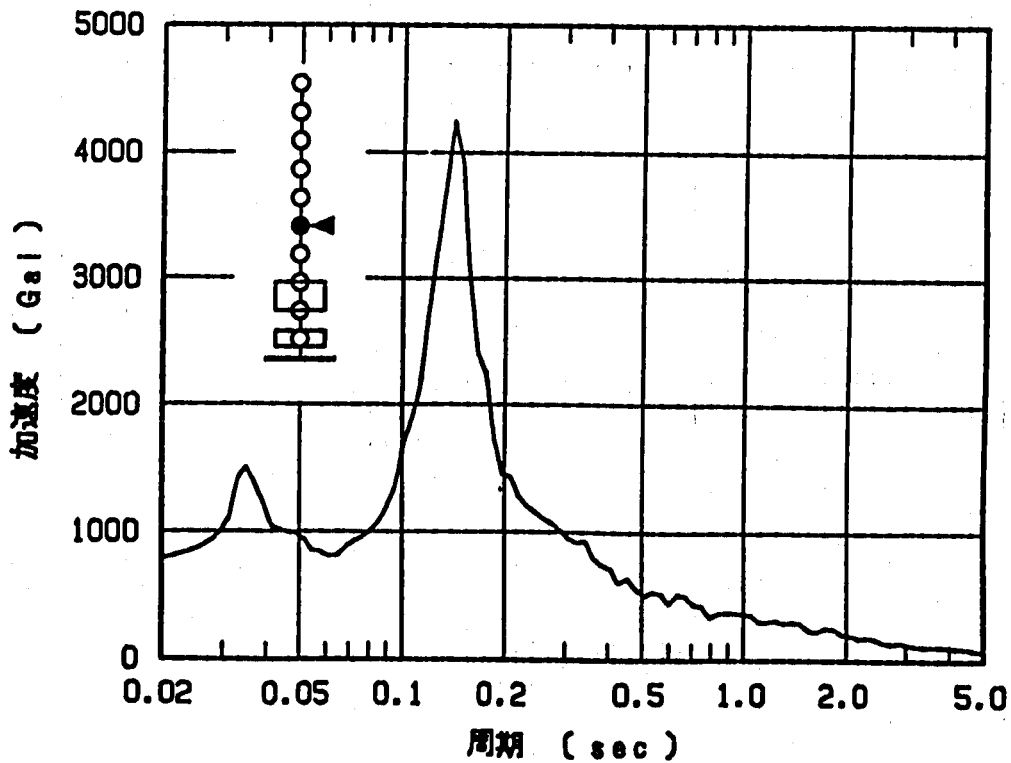
図 3.2.4-5 上下最大応答変位 (ケース1: 硬質地盤, 鉛直剛性18Hz)
 Fig. 3.2.4-5 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-1: Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)

H=5.0% , N-S



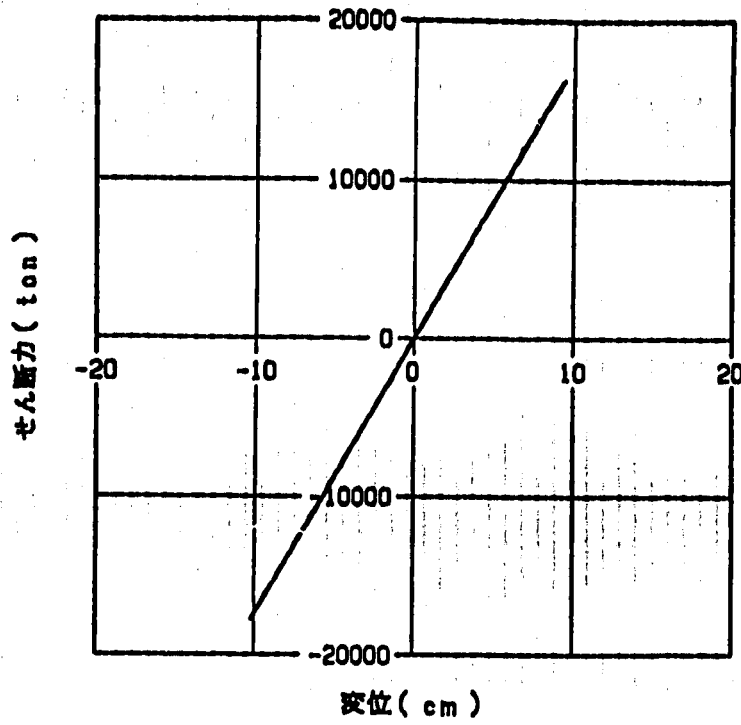
(a) N-S方向

H=5.0% , U-D



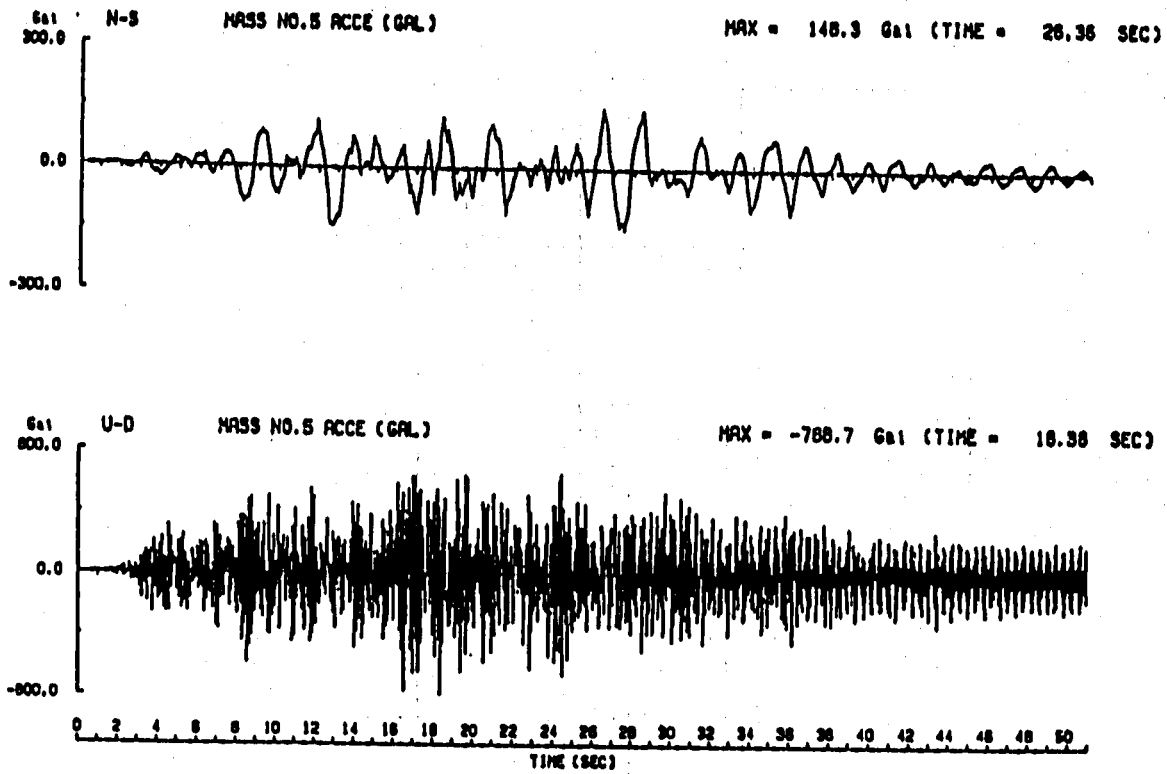
(b) U-D方向

図 3. 2. 4 - 6 床応答スペクトル (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz, 質点 No. 5)
 Fig. 3. 2. 4 - 6 Floor Response Spectrum
 (Case-1: Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz, Mass No. 5)

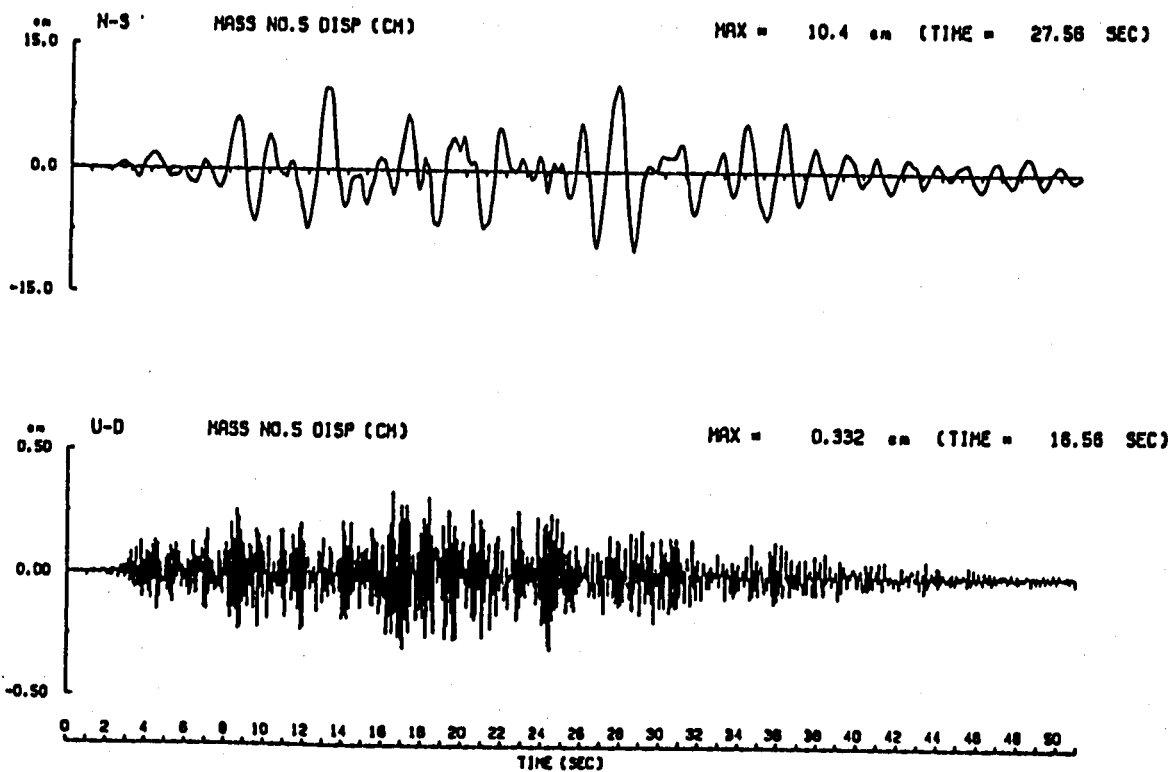


HYSTERESYS CURVE

図 3. 2. 4 - 7 免震装置の履歴特性 (ケース 1 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 7 Hysteresis Loop Tital Device
(Case-1:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

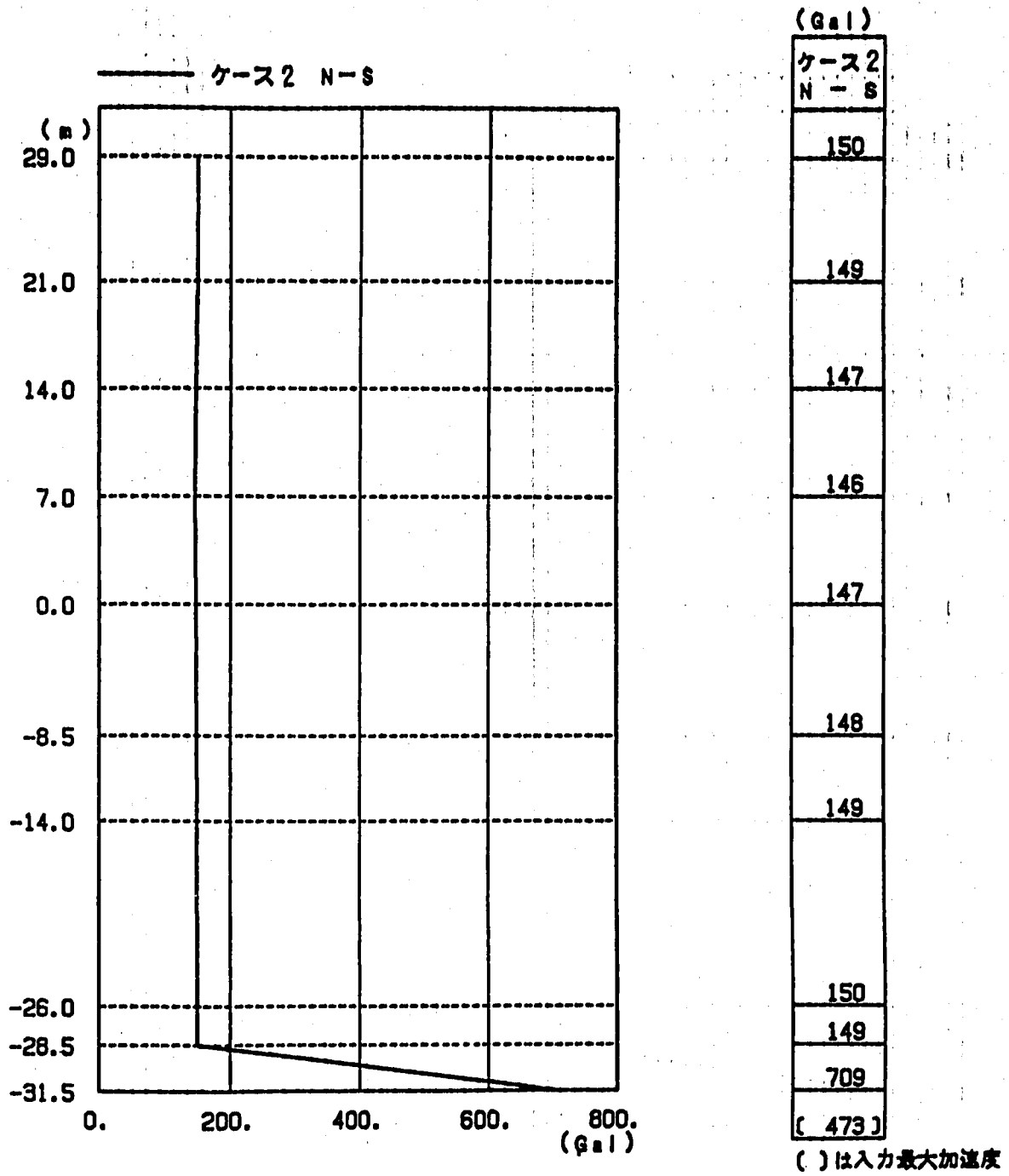


(a) 加速度波形



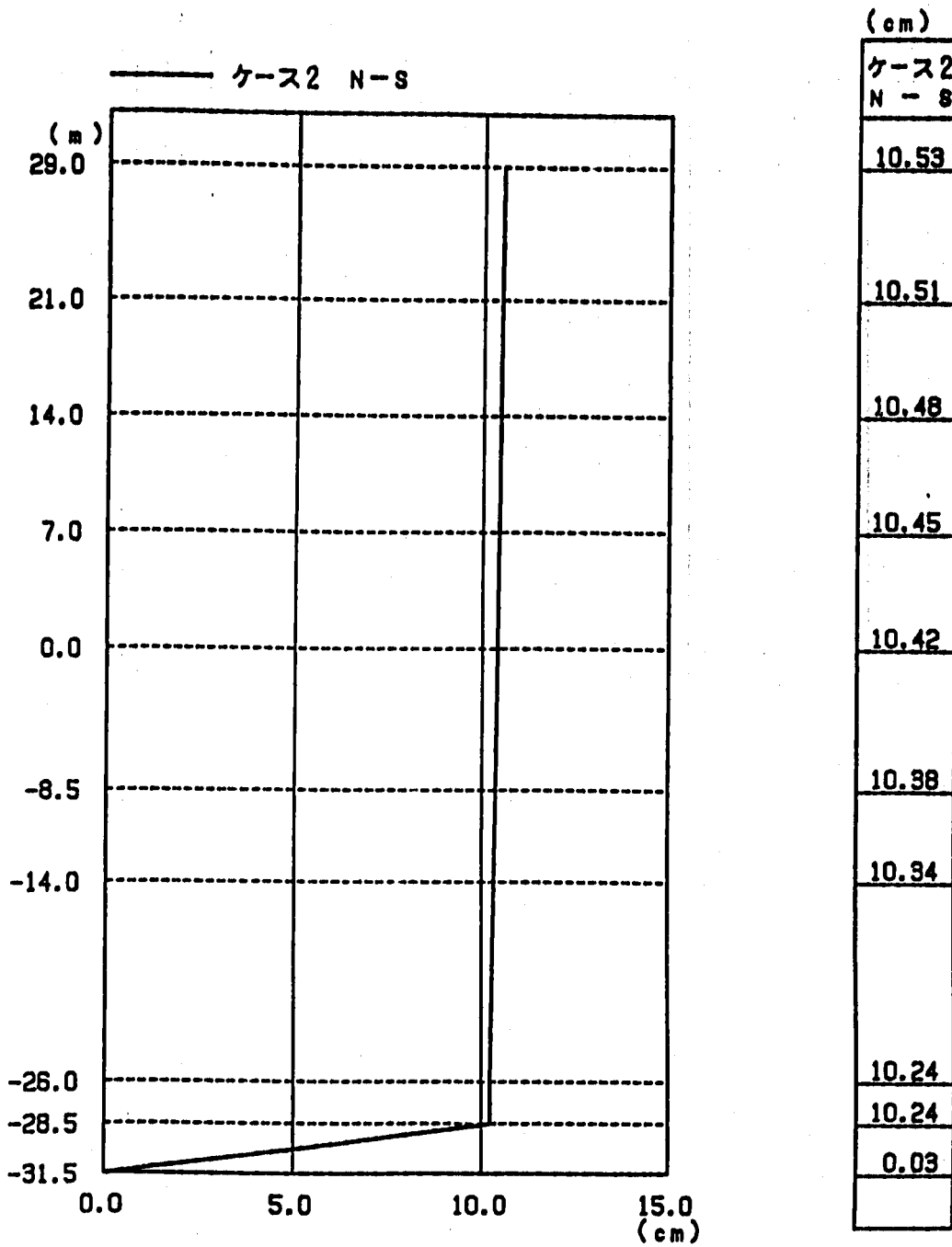
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 8 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 8 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-2: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)



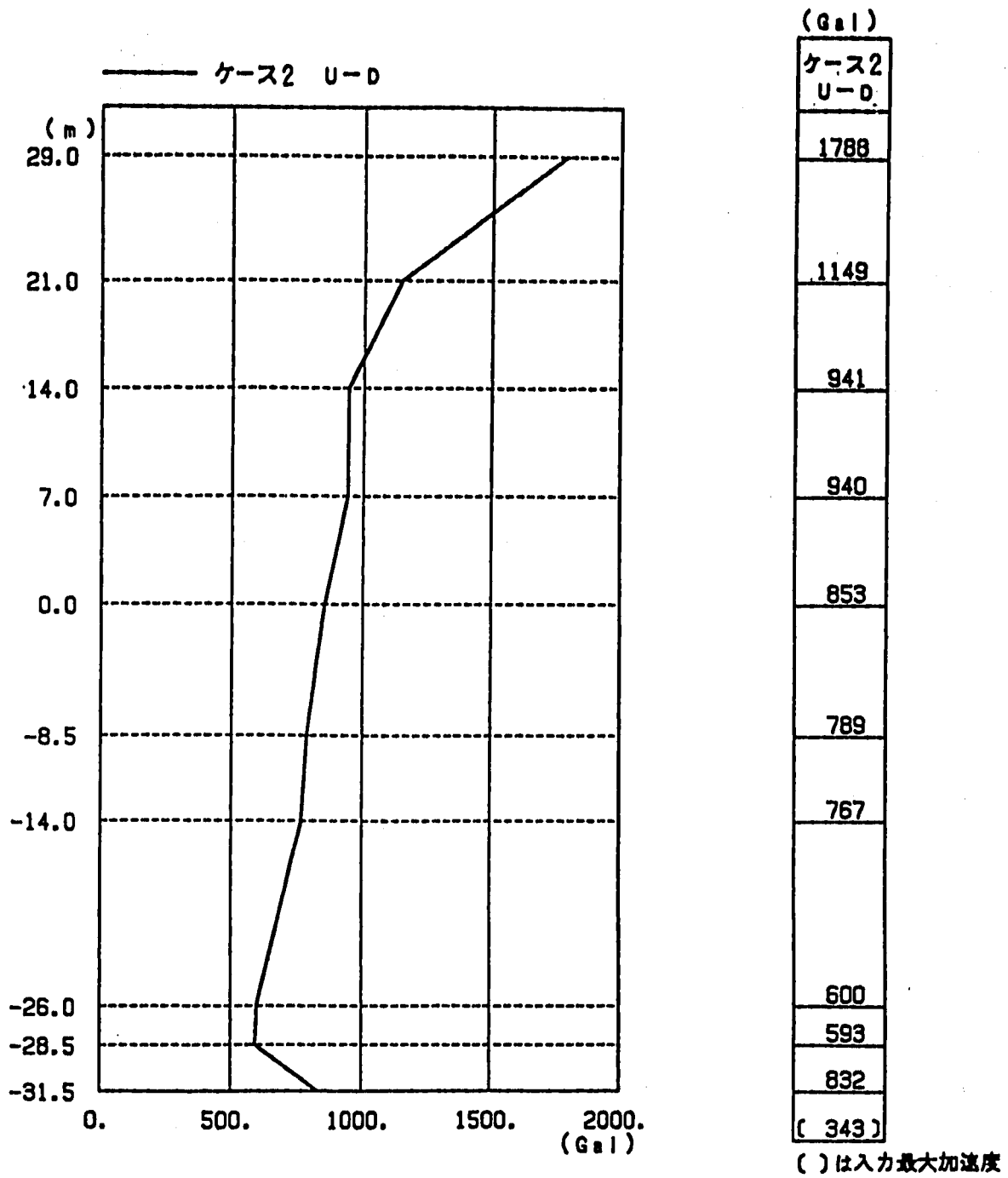
最大応答加速度

図 3.2.4 - 9 水平最大応答加速度 (ケース2 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)
 Fig. 3.2.4 - 9 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-2:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



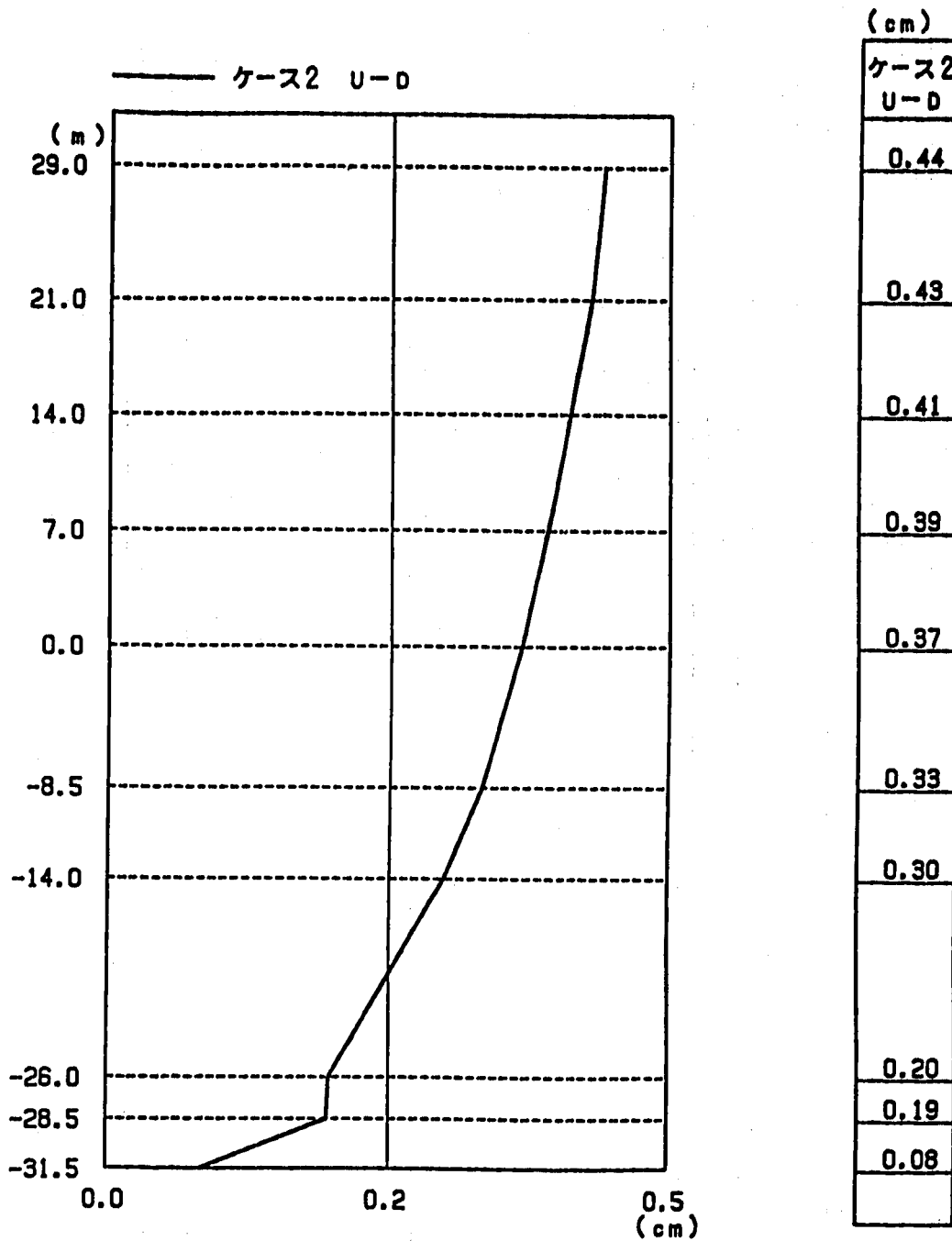
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 10 水平最大応答変位 (ケース 2 ; 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 10 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)



最大応答加速度

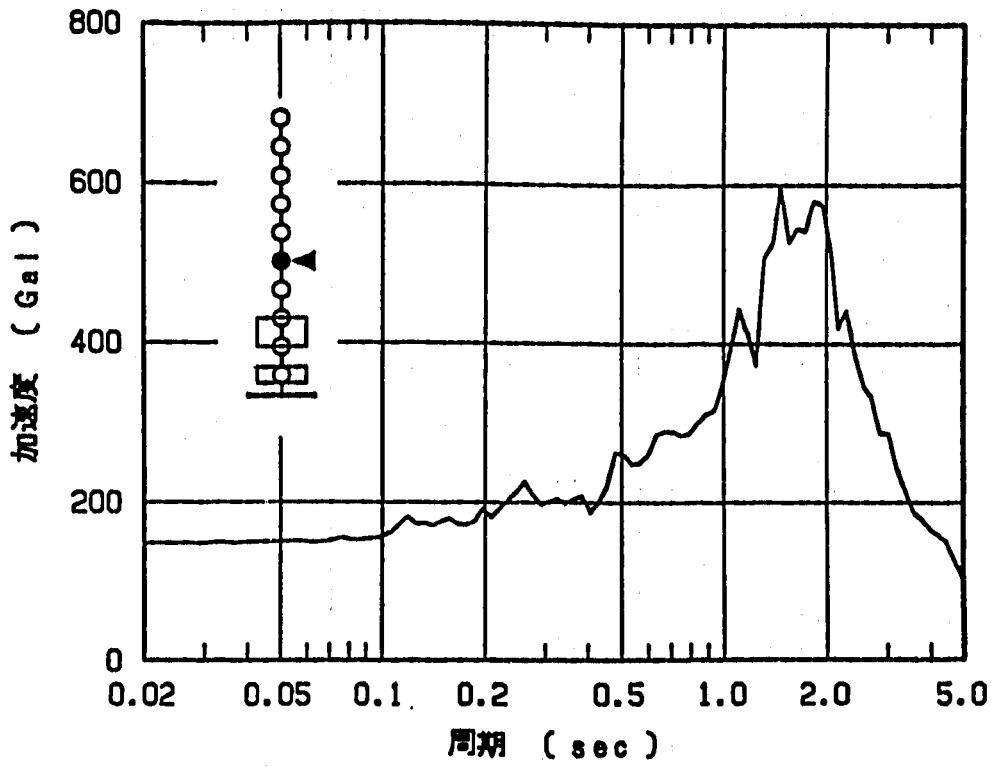
図 3. 2. 4 - 11 上下最大応答加速度 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 11 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-2:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



最大応答変位

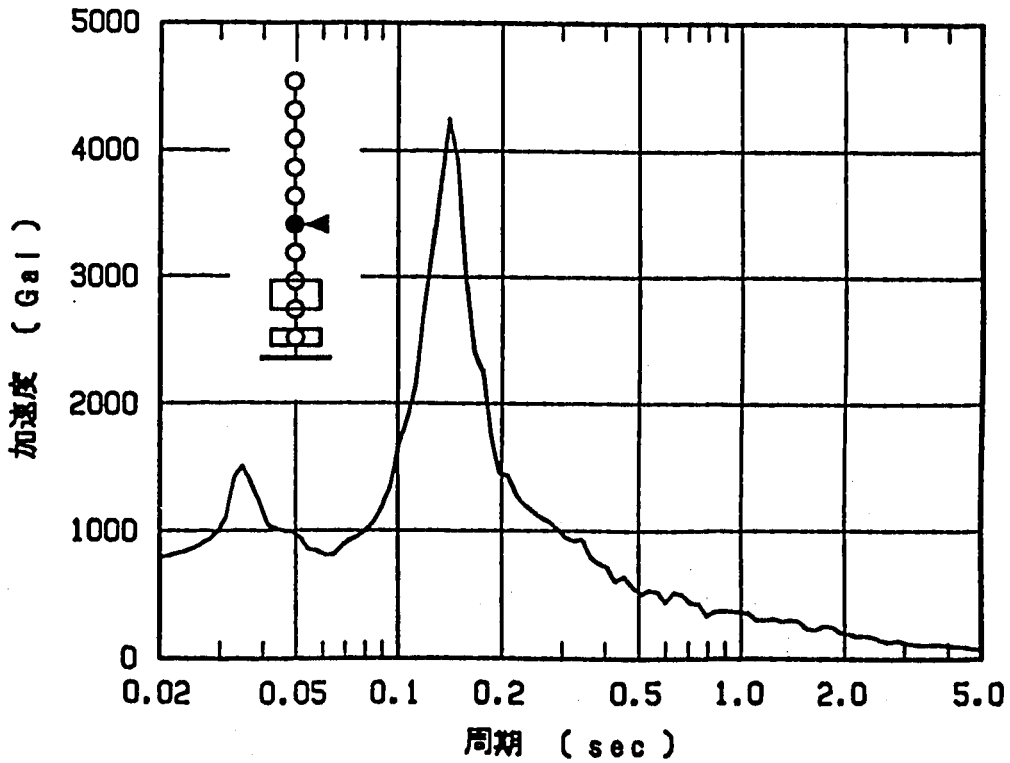
図 3. 2. 4 - 12 上下最大応答変位 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 12 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)

H=5.0% , N-S



(a) N-S方向

H=5.0% , U-D



(b) U-D方向

図 3. 2. 4 - 13 床応答スペクトル (ケース 2 : 硬質地盤 , 鉛直剛性 12Hz , 質点 No. 5)
 Fig. 3. 2. 4 - 13 Floor Response Spectrum
 (Case-2: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass, No. 5)

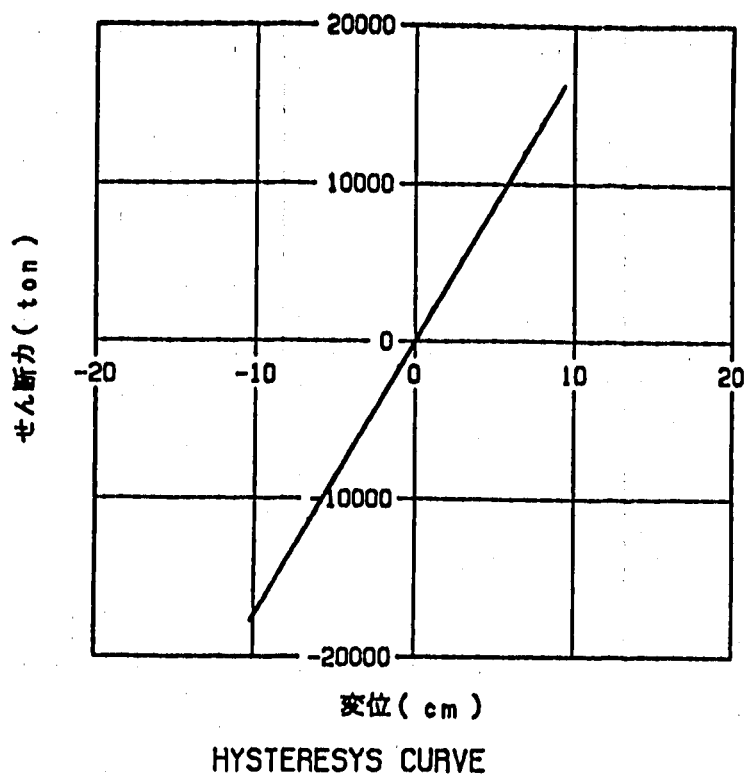
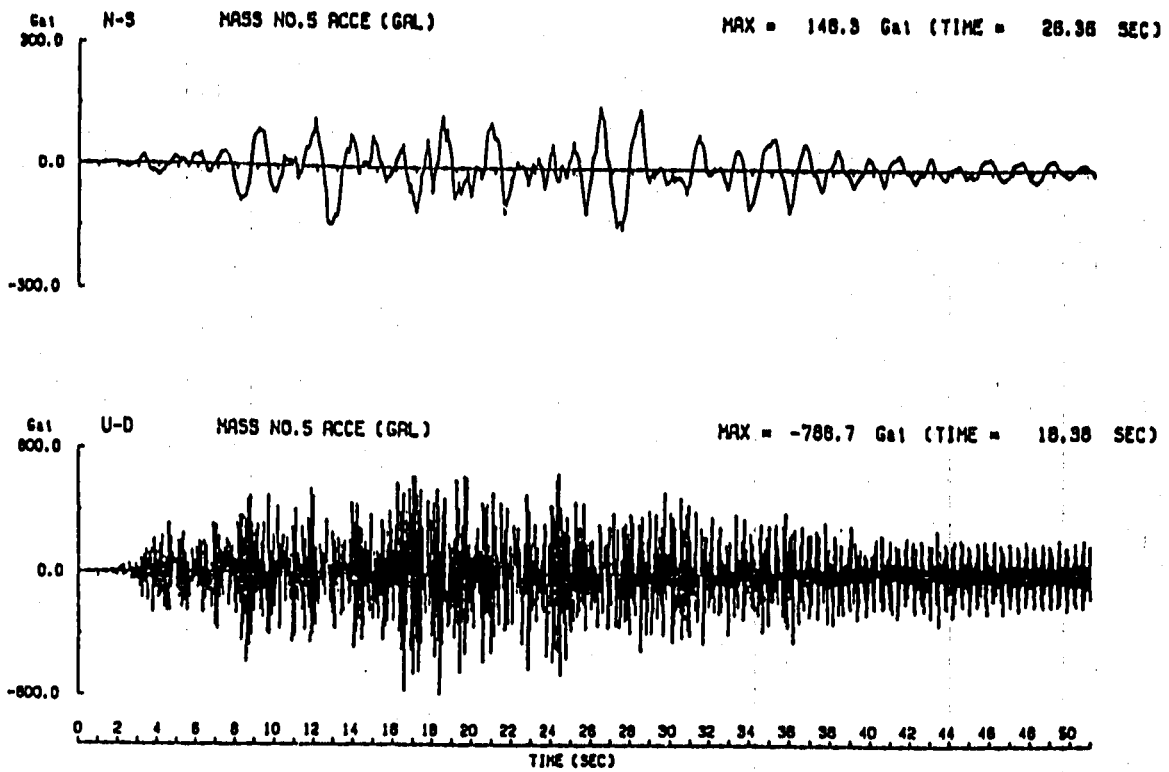
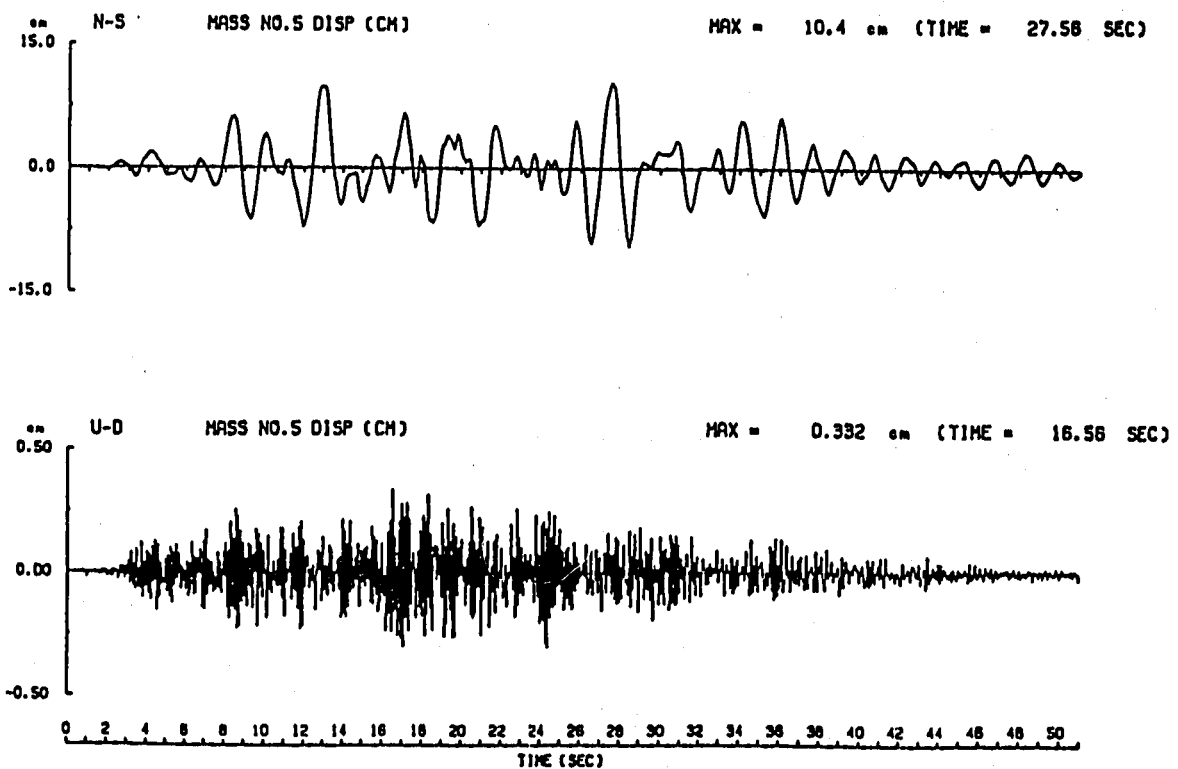


図 3. 2. 4 - 14 免震装置の履歴特性 (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 14 Hysteresis Loop of Tital Device.
(Case-2:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)

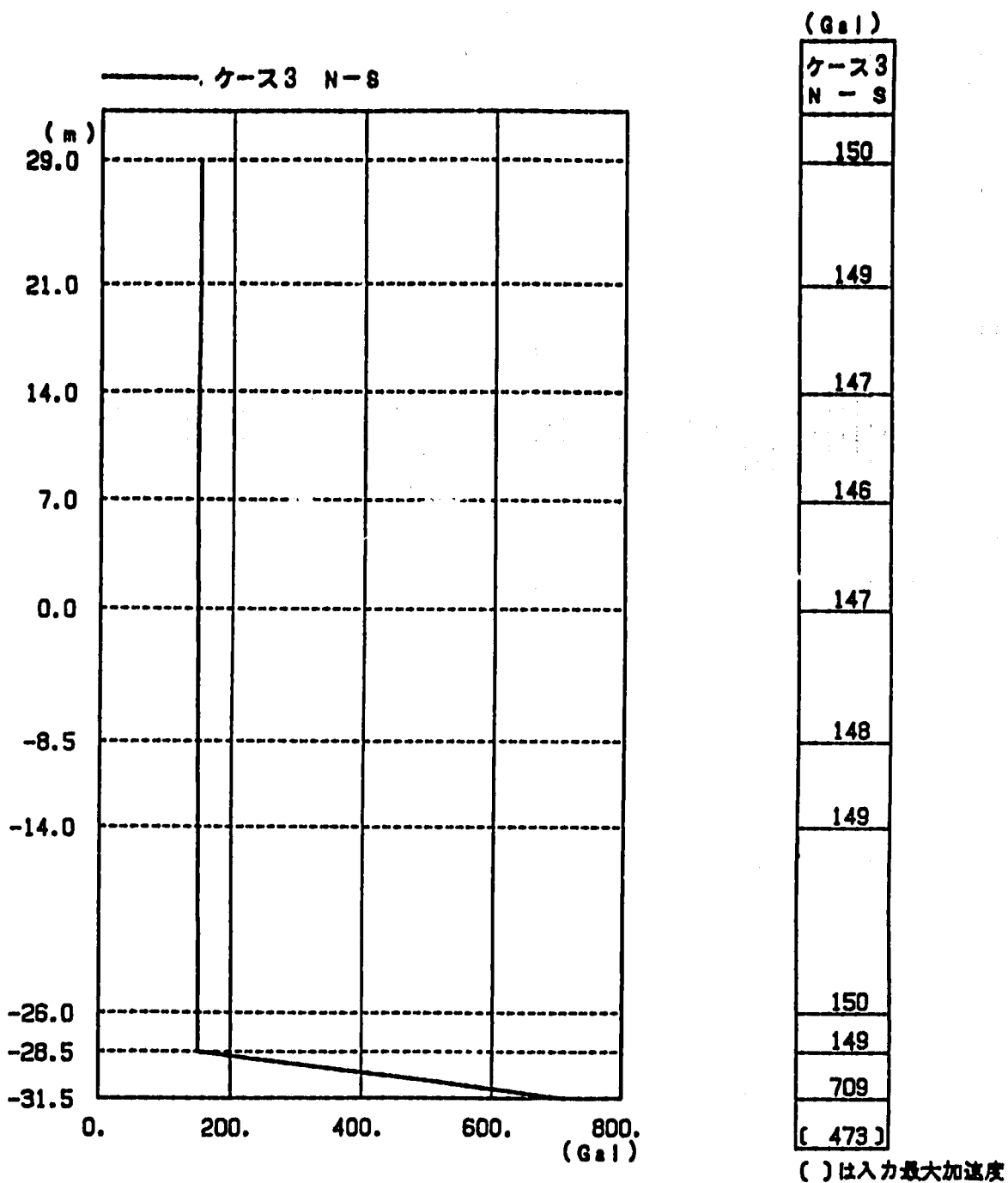


(a) 加速度波形



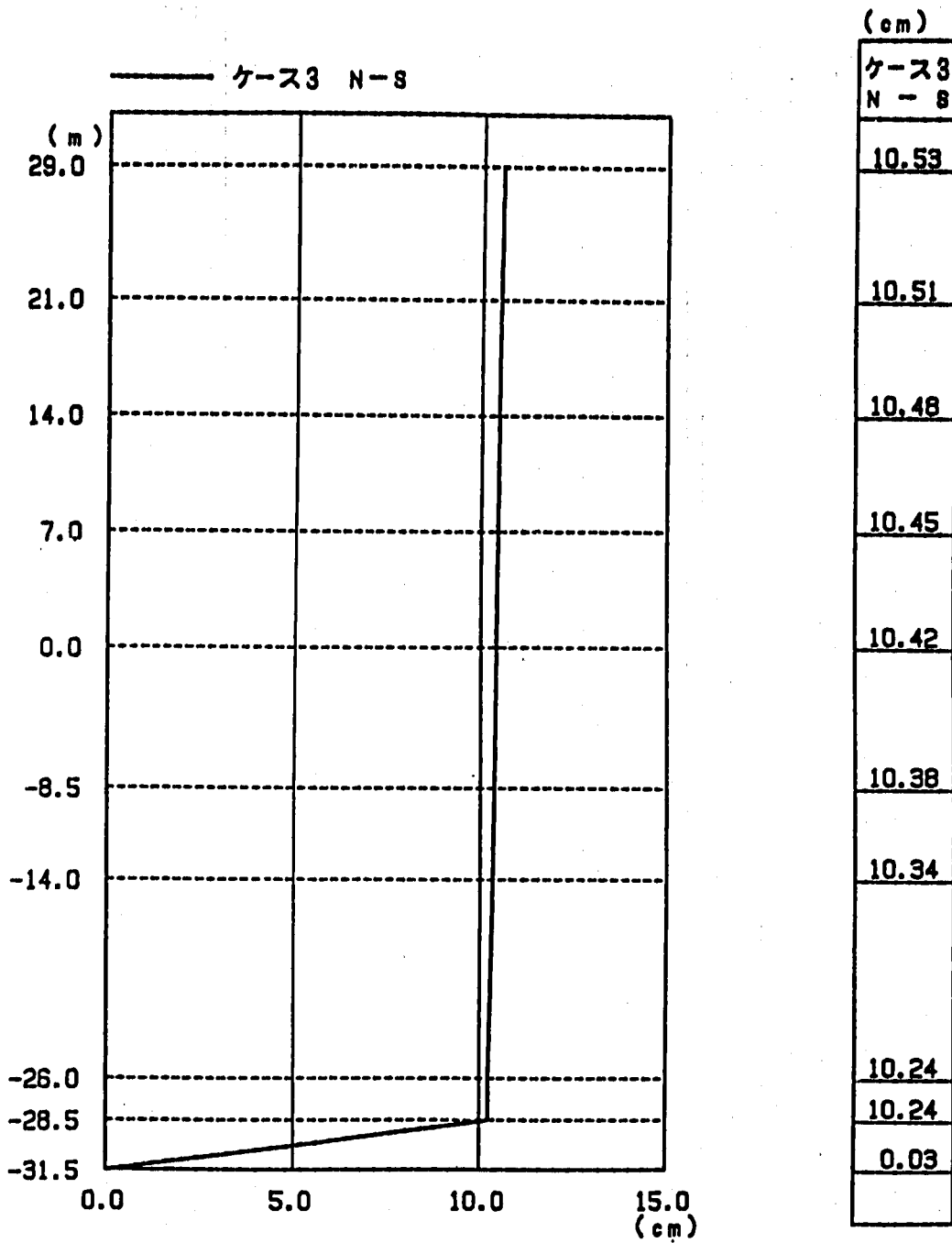
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 15 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 15 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-3: Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)



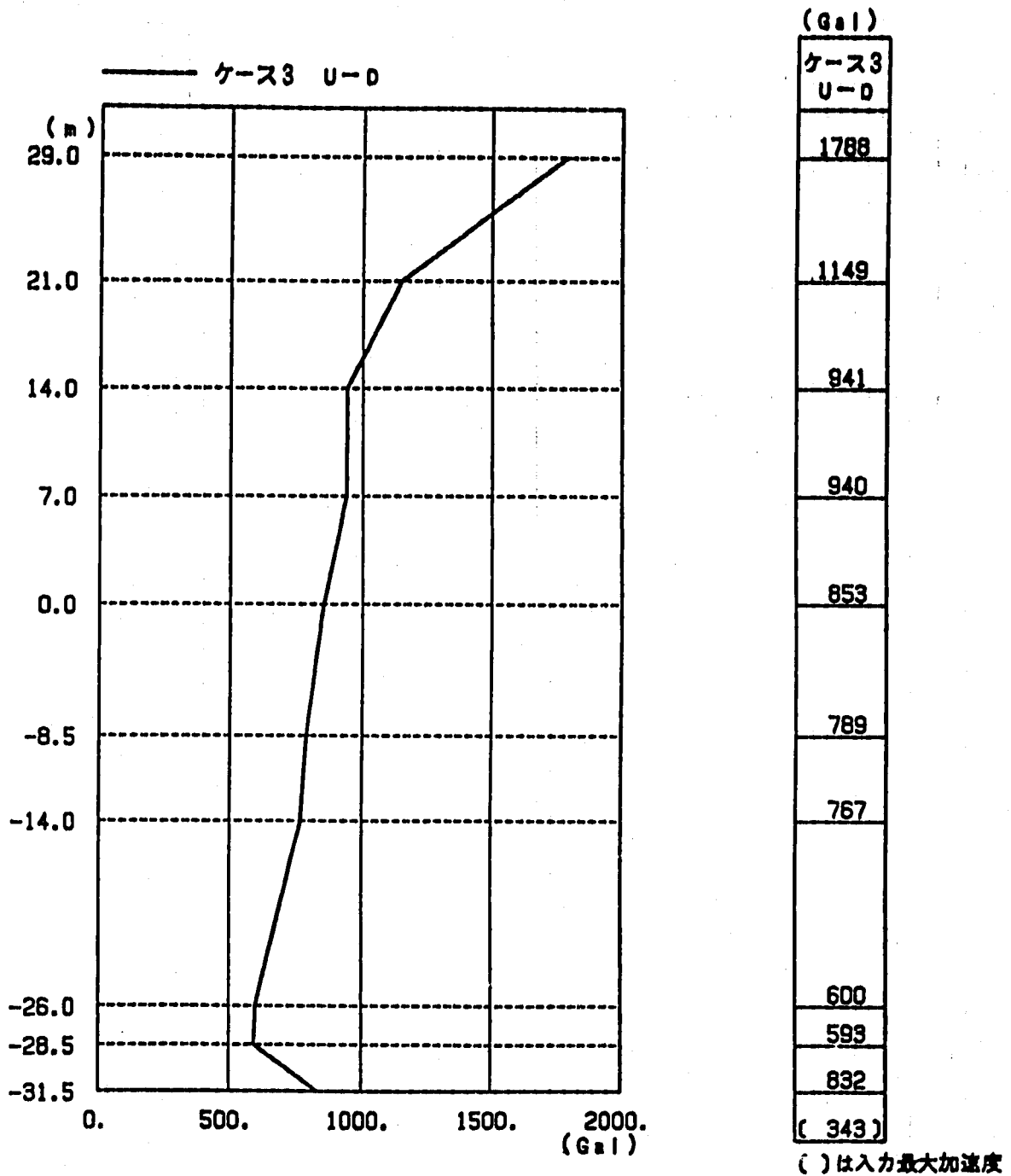
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 16 水平最大応答加速度 (ケース: 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 16 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-3:Hard Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)



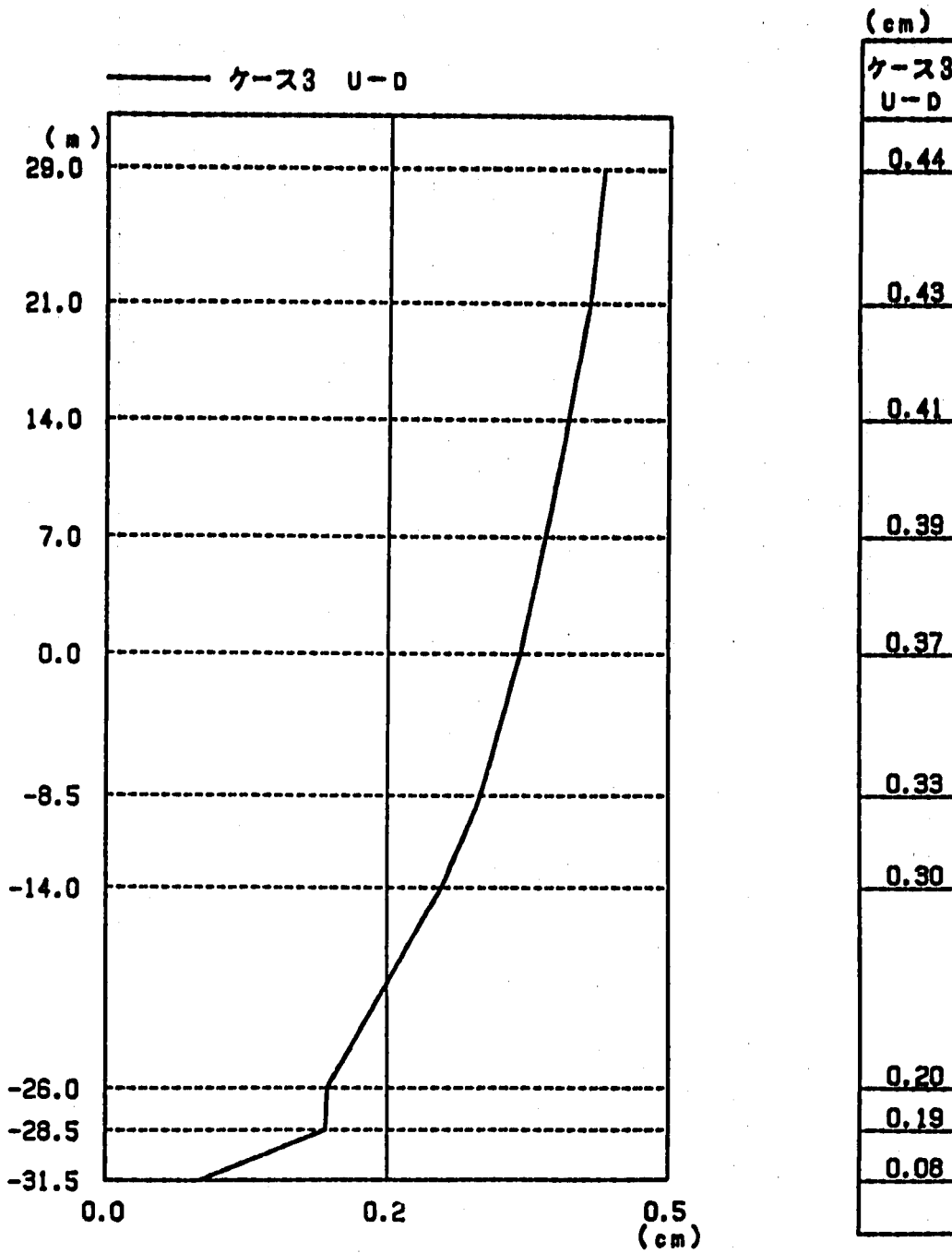
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 17 水平最大応答変位 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 17 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-3:Hard Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)



最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 18 上下最大応答加速度 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 18 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-3:Hard Rock,Vertial Stiffness 6 Hz)



最大応答変位

図 3. 2. 4 - 19 上下最大応答変位 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 19 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-3:Hard Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)

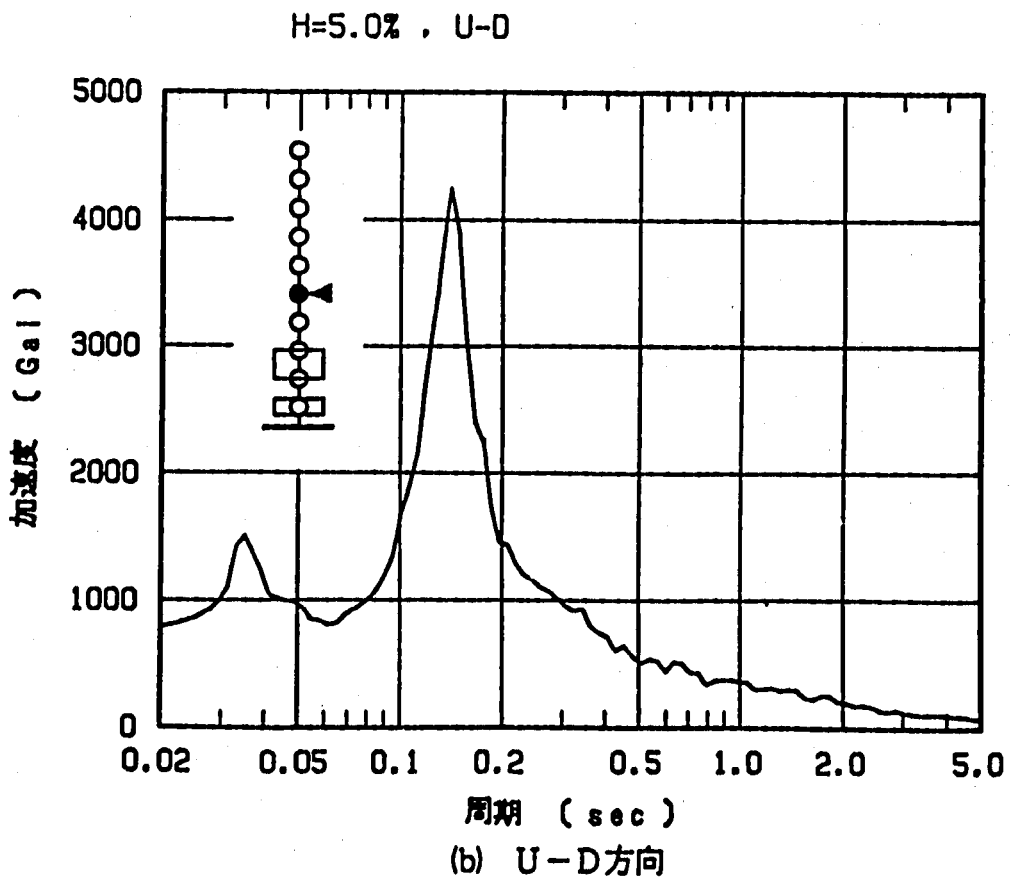
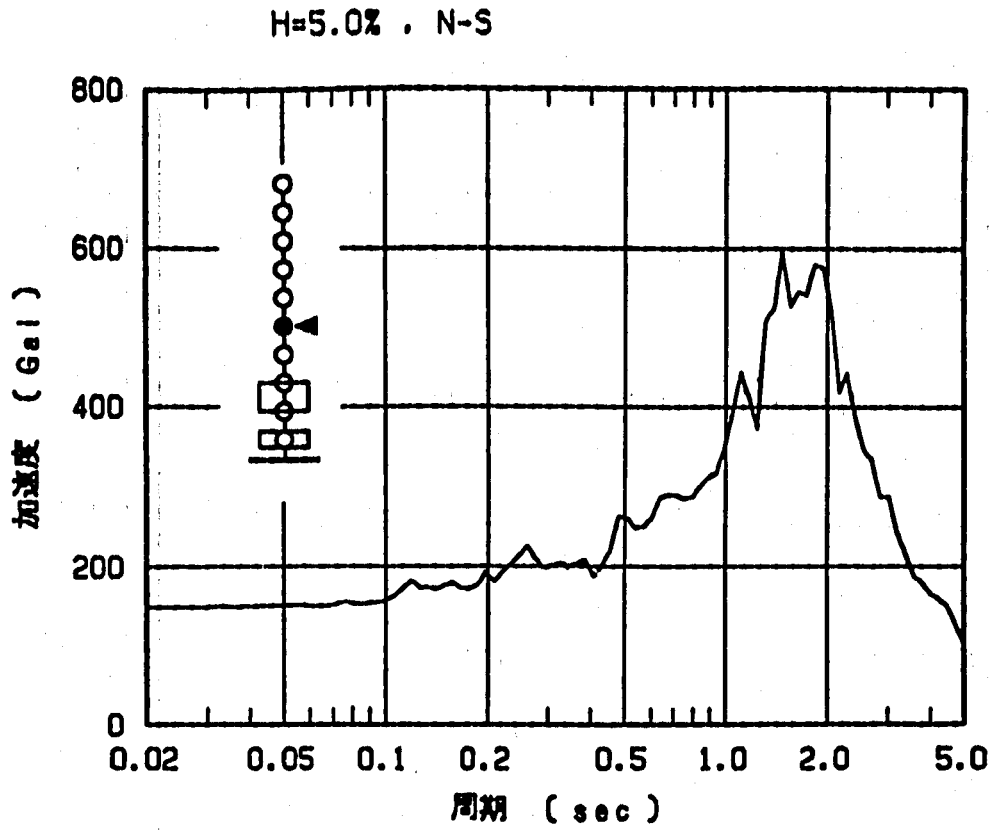


図 3. 2. 4 - 20 床応答スペクトル (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 6 Hz, 質点 No. 5)
 Fig. 3. 2. 4 - 20 Floor Response Spectrum
 (Case-3: Hard Rock, Vertical Stiffness 6Hz, Mass, No. 5)

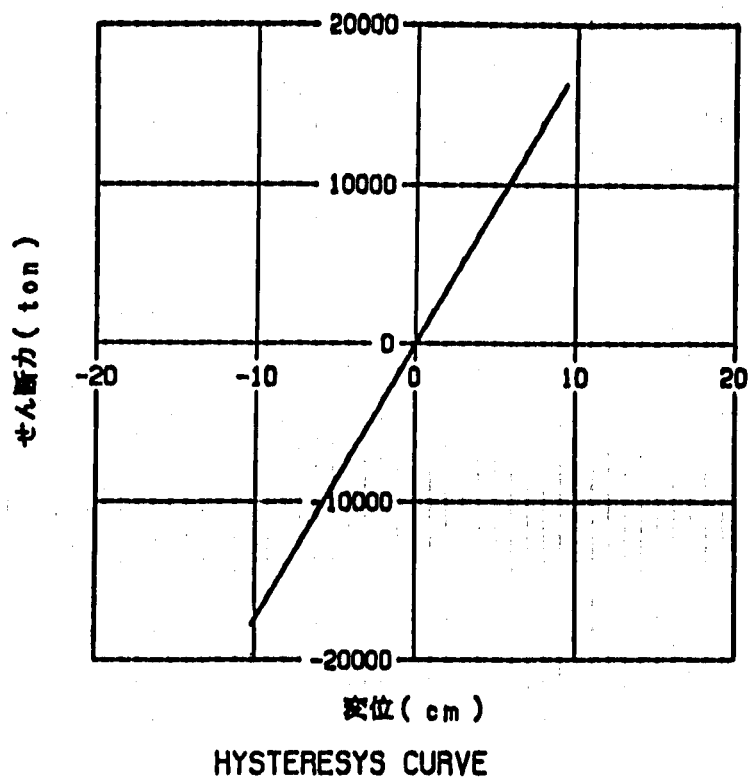
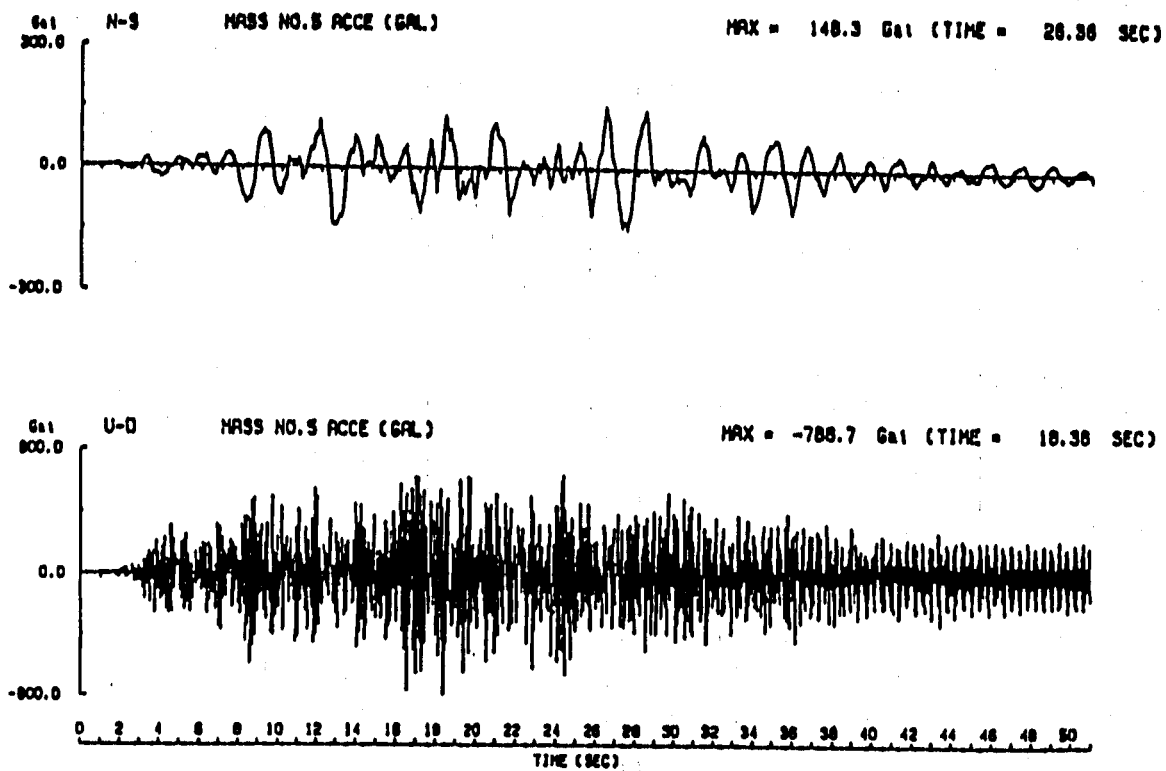
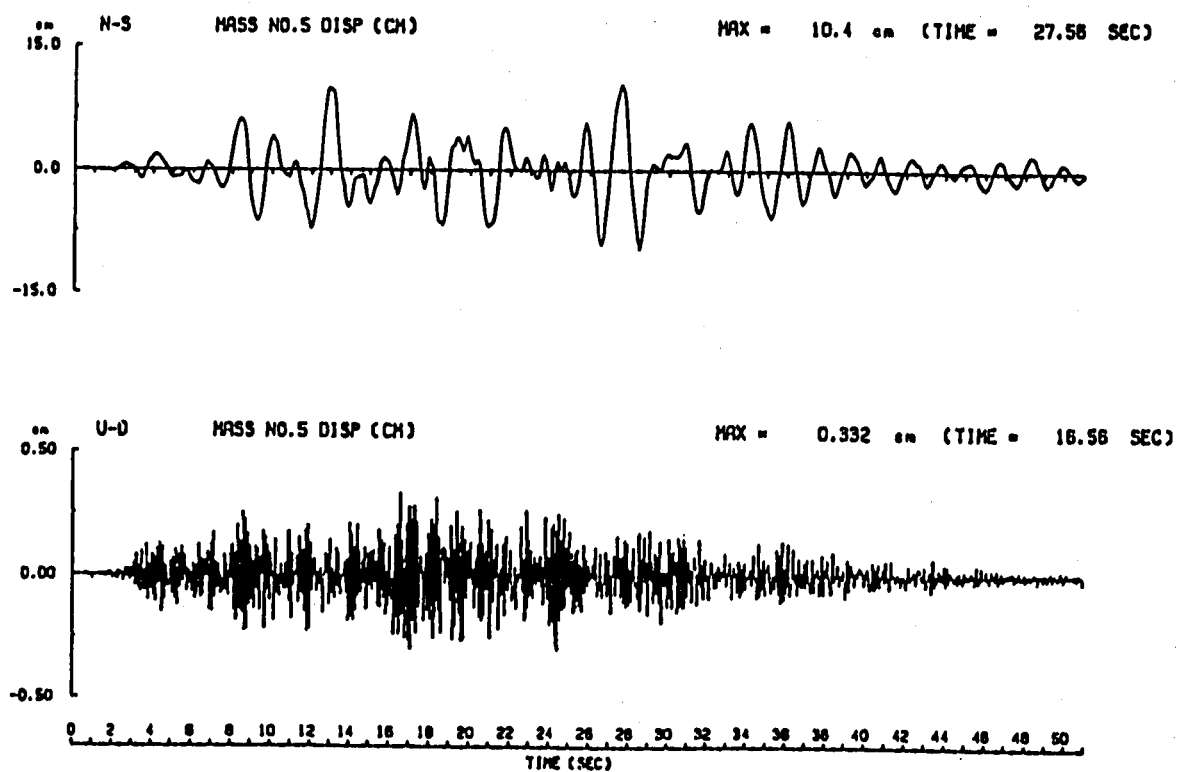


図 3. 2. 4 - 21 免震装置の履歴特性 (ケース 3 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 21 Hysteresis Loop of Tital Device
(Case-3:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)

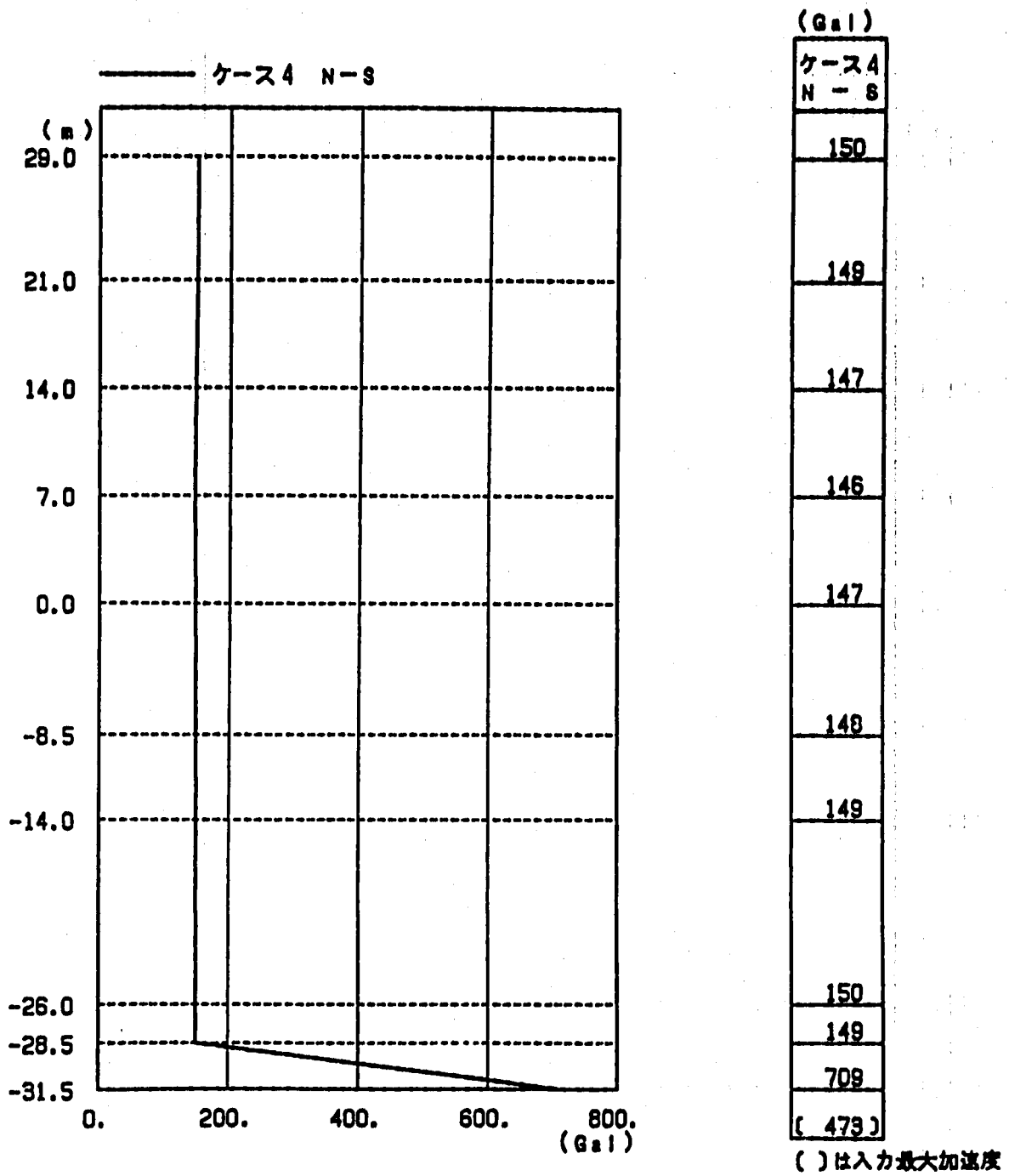


(a) 加速度波形



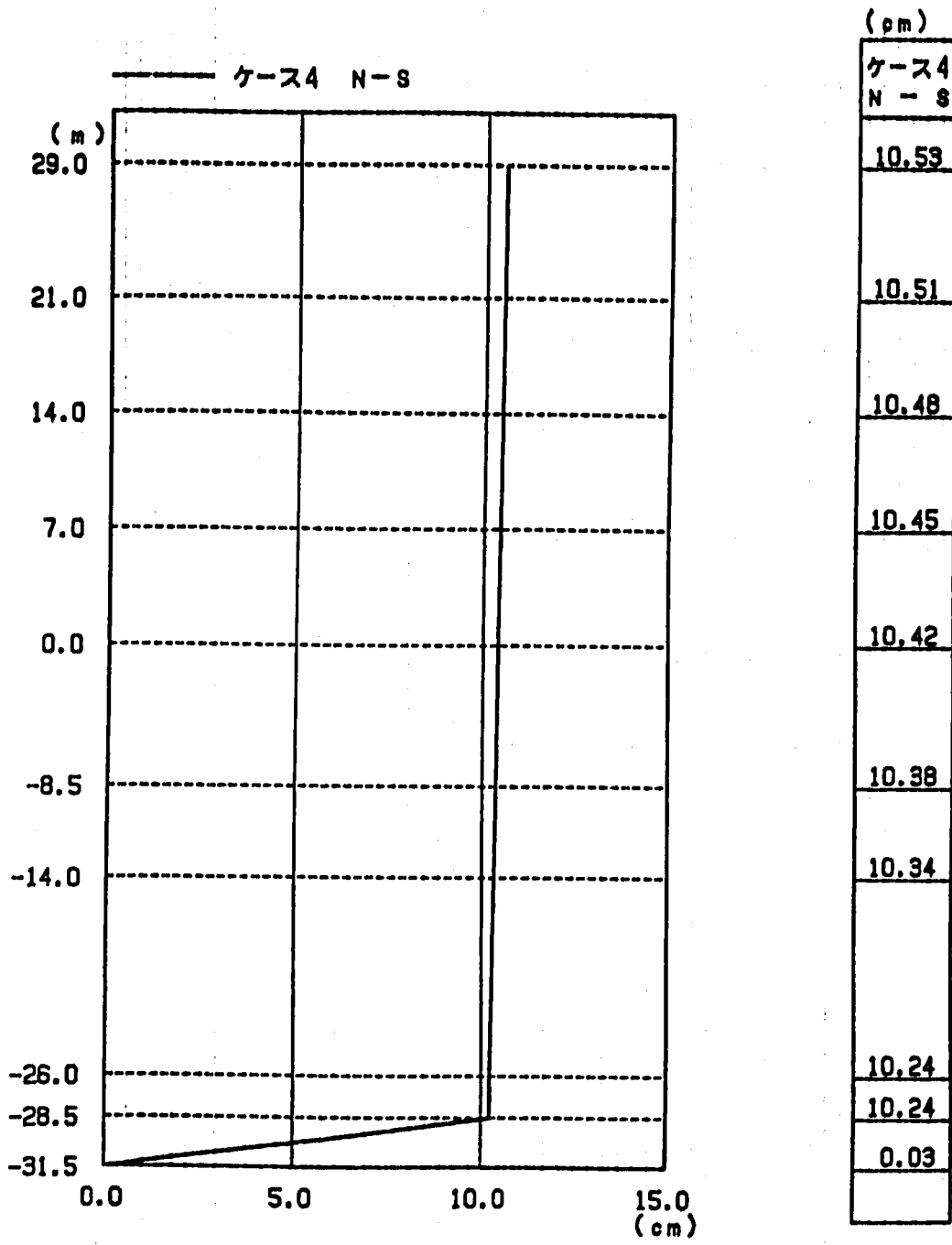
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 22 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 22 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-4: Hard Rock, Vertical Stiffness 18Hz)



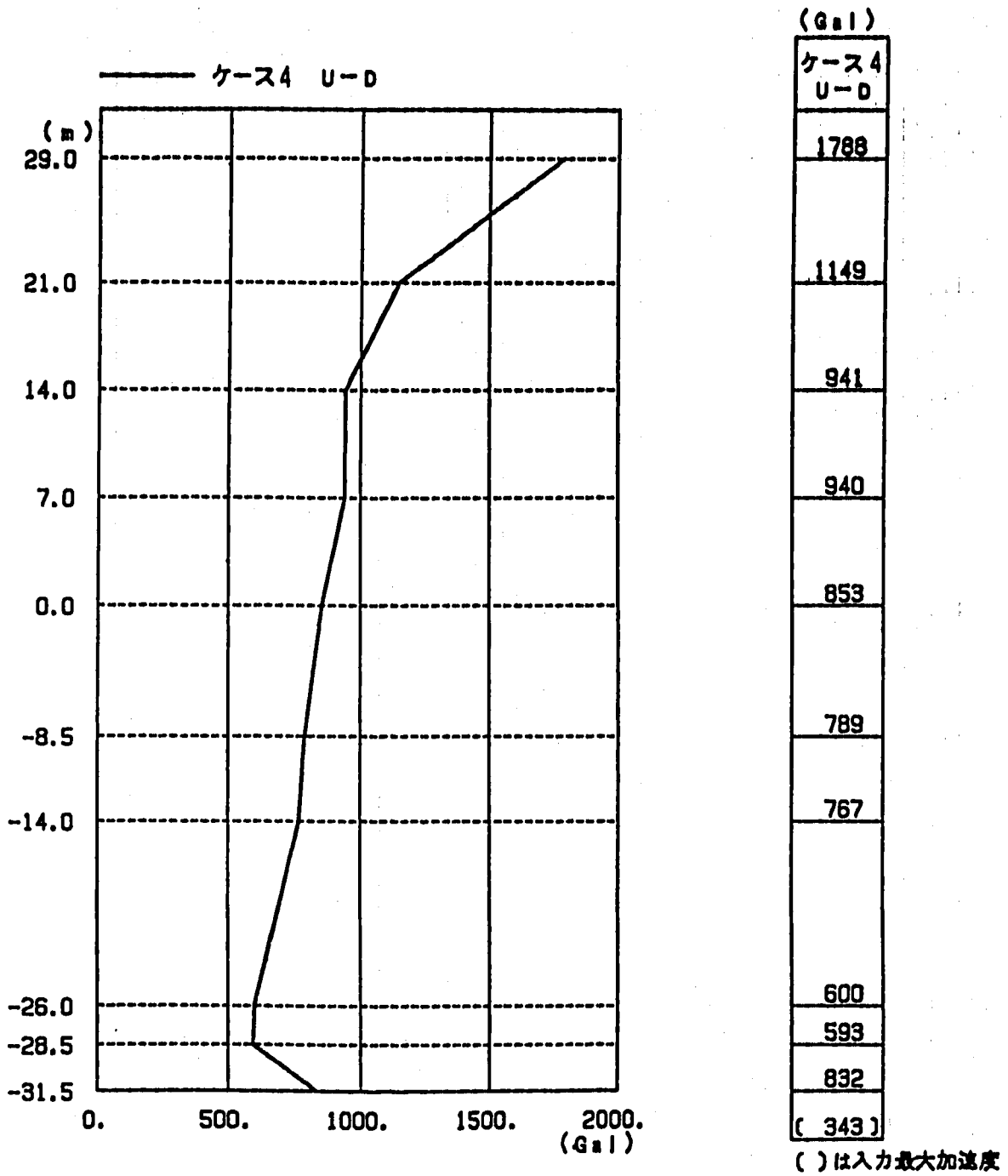
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 23 水平最大応答加速度 (ケース4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 23 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-4:Soft Rock,Vertical Stiffness 18Hz)



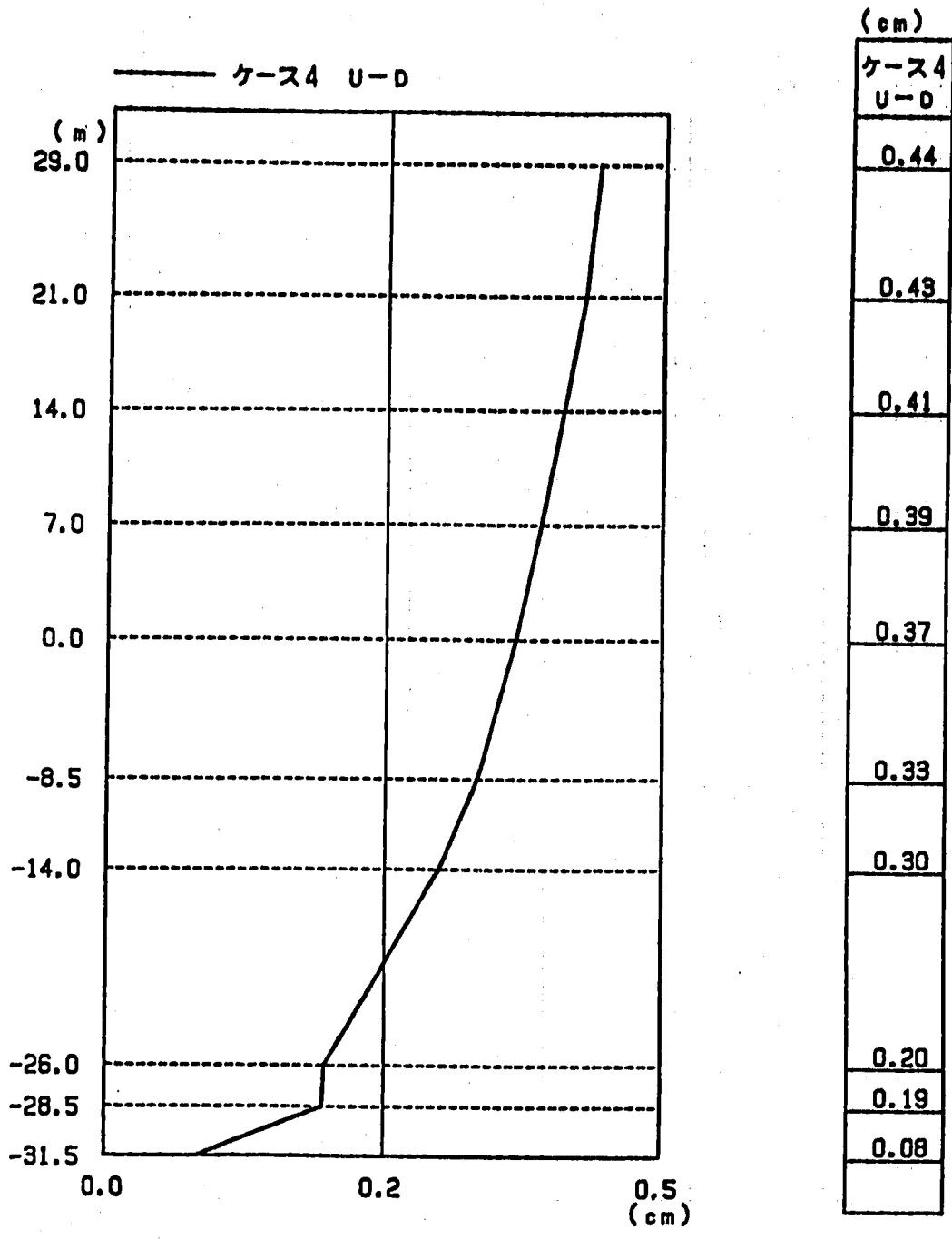
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 24 水平最大応答変位 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 24 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-4: Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)



最大応答加速度

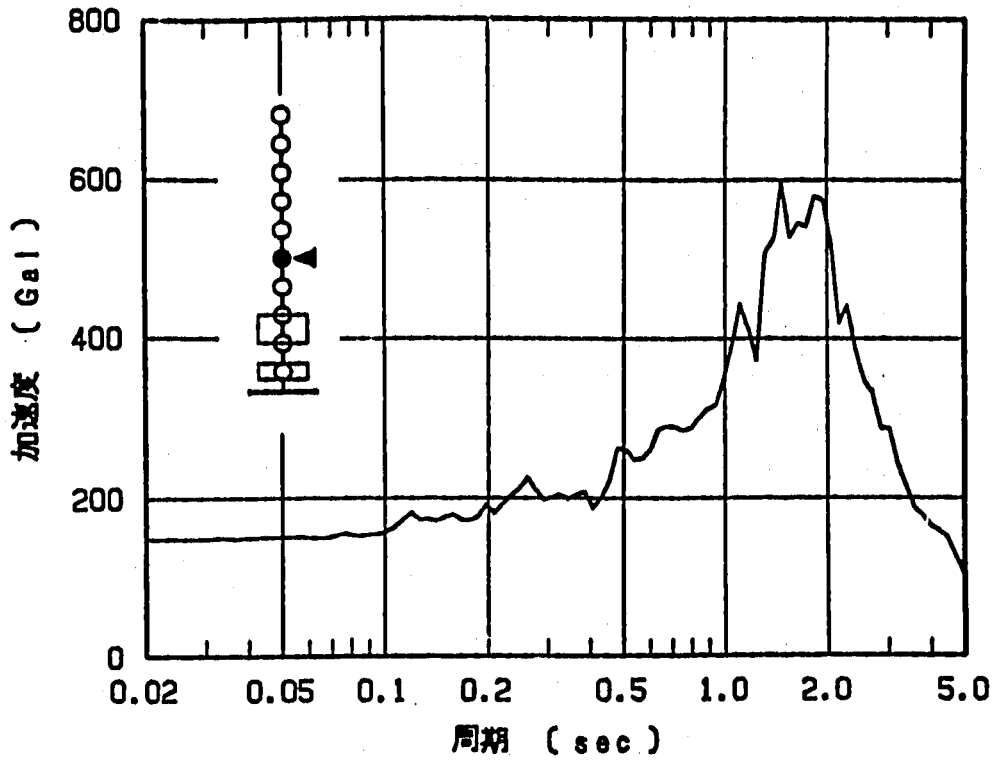
図 3. 2. 4 - 25 上下最大応答加速度 (ケース4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 25 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-4:Soft Rock,Vertical Stiffness 18Hz)



最大応答変位

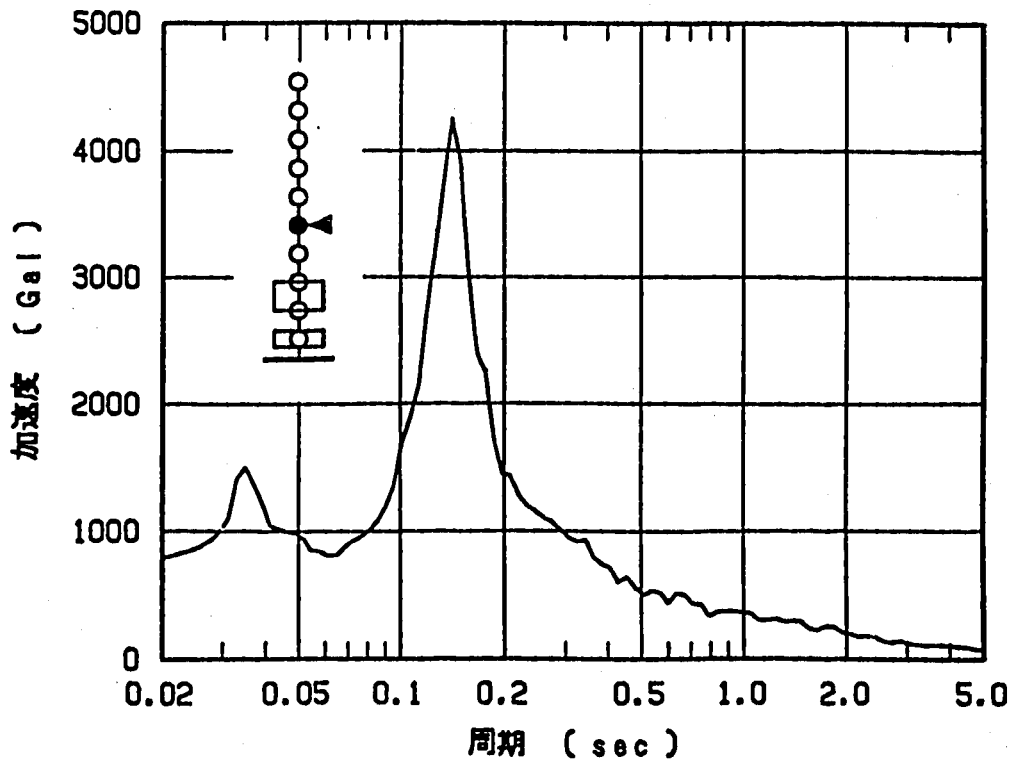
図 3. 2. 4 - 26 上下最大応答変位 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 26 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)

H=5.0% . N-S



(a) N-S方向

H=5.0% , U-D



(b) U-D方向

図 3.2.4-27 床応答スペクトル (ケース4:硬質地盤,鉛直剛性18Hz,質点No.5)
 Fig. 3.2.4-27 Floor Response Spectrum
 (Case-4:Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz, Mass No.5)

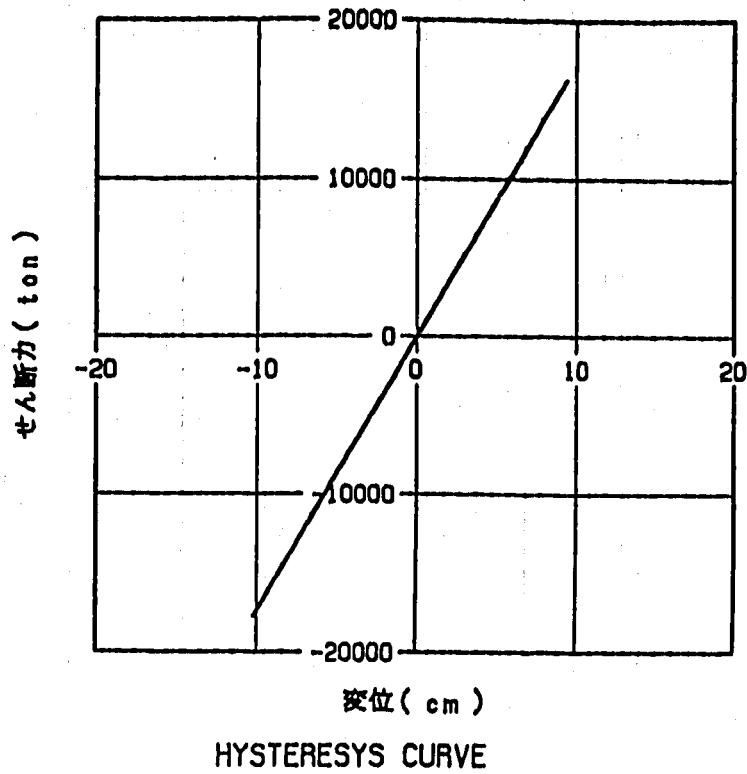
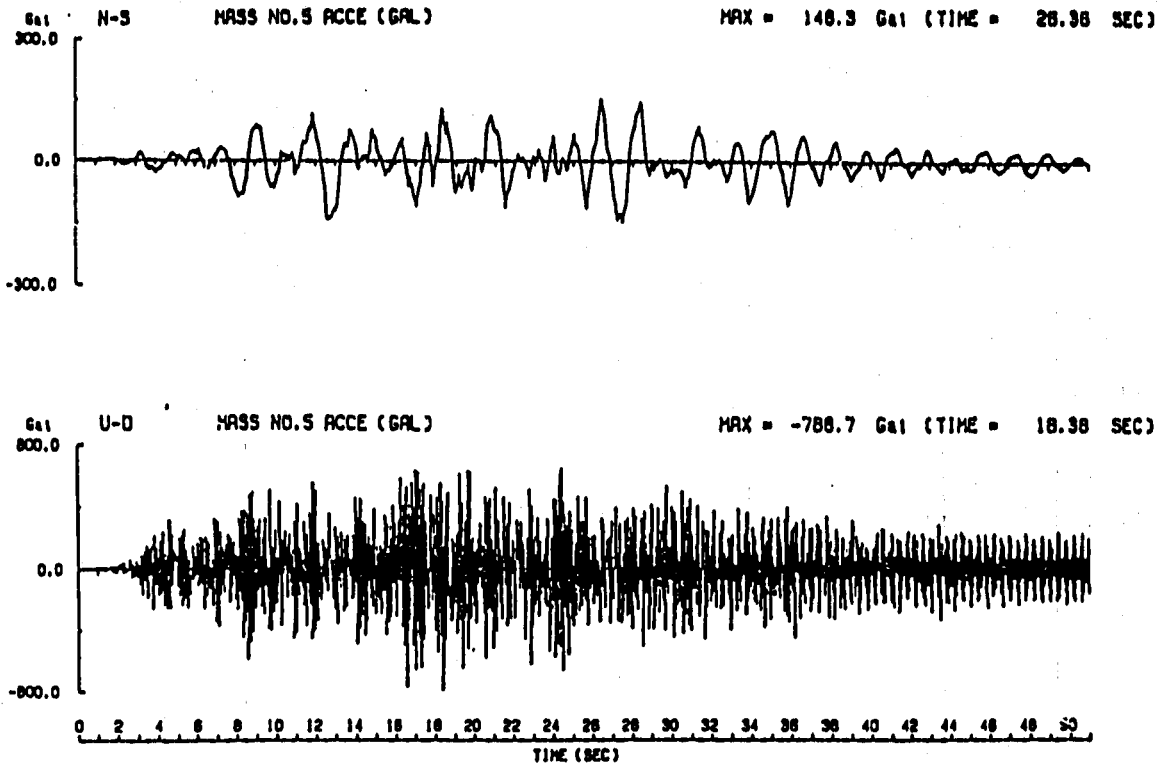
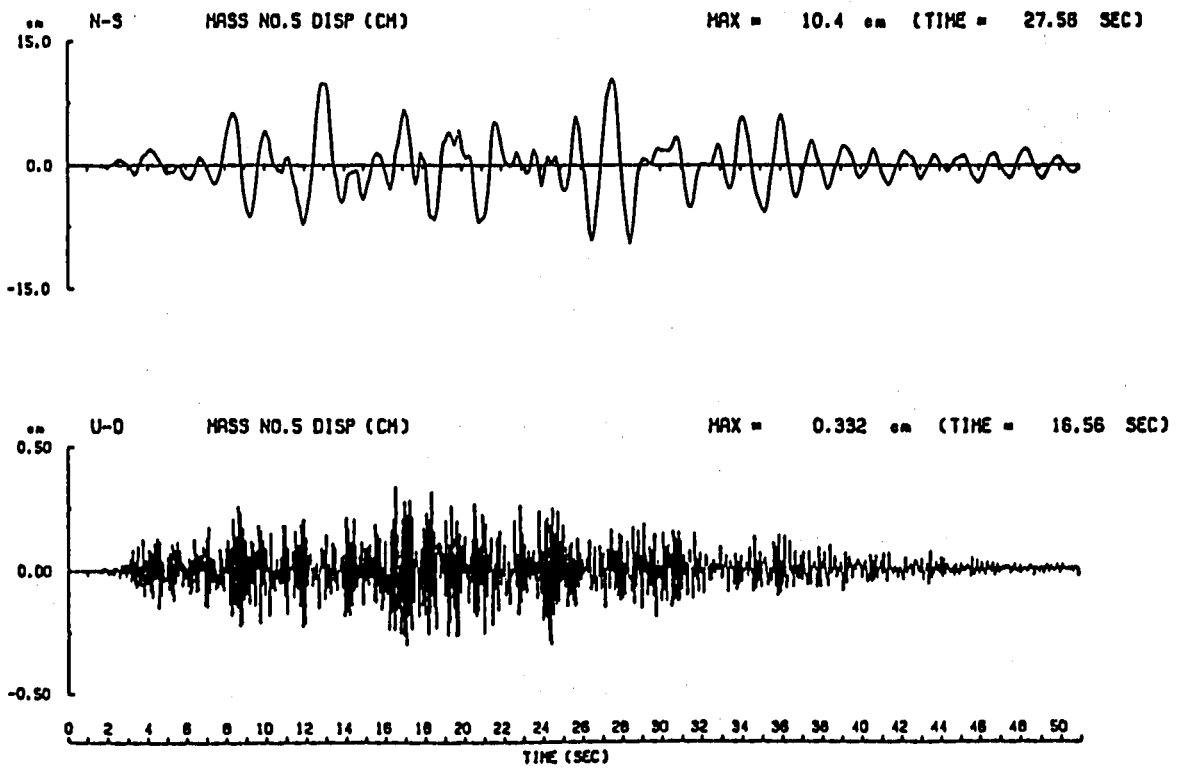


図 3. 2. 4 - 28 免震装置の履歴特性 (ケース 4 : 軟質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 28 Hysteresis Loop of Tital Device
(Case-4: Soft Rock, Vertical Stiffness 18Hz)

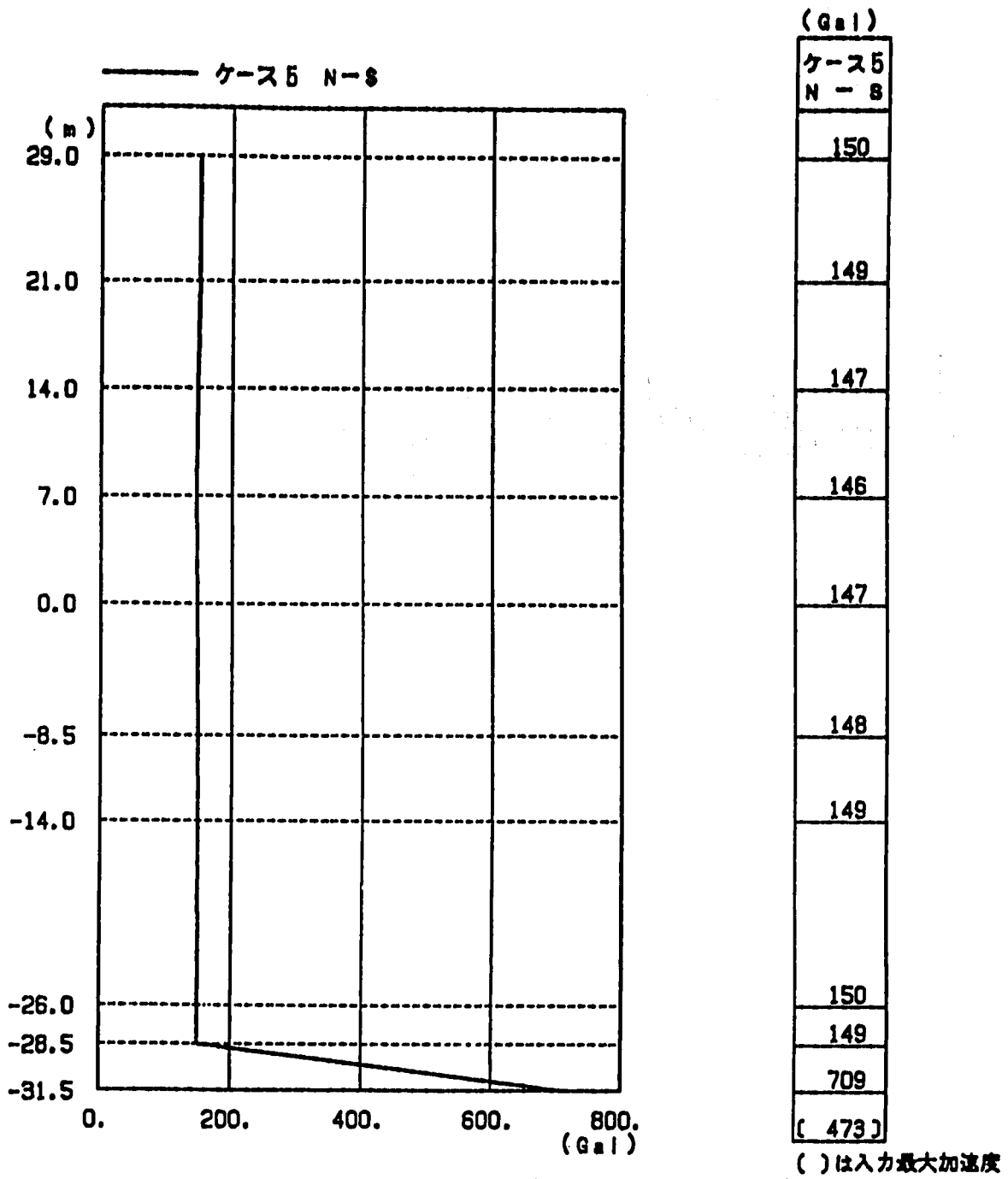


(a) 加速度波形



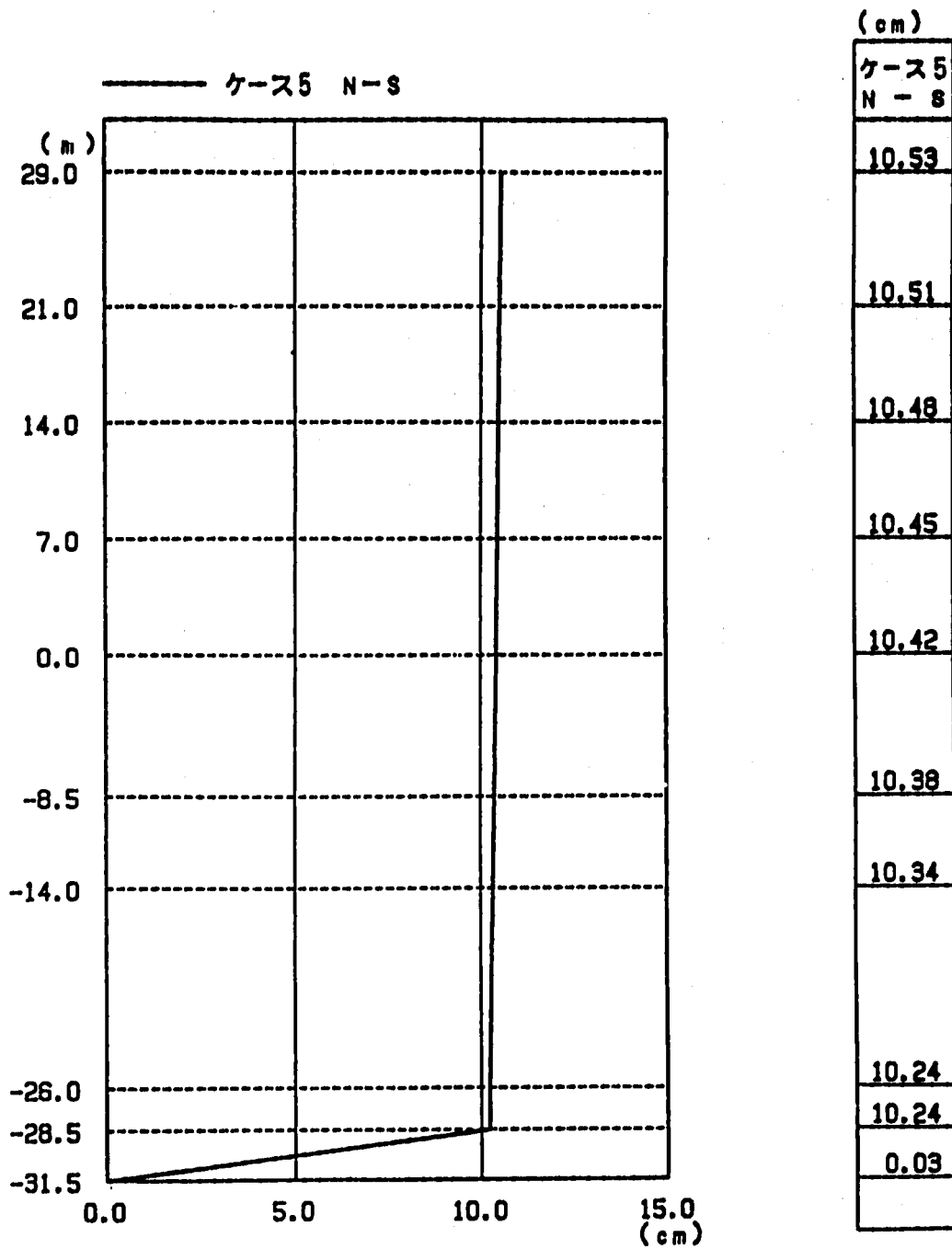
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 29 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 29 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-5: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)



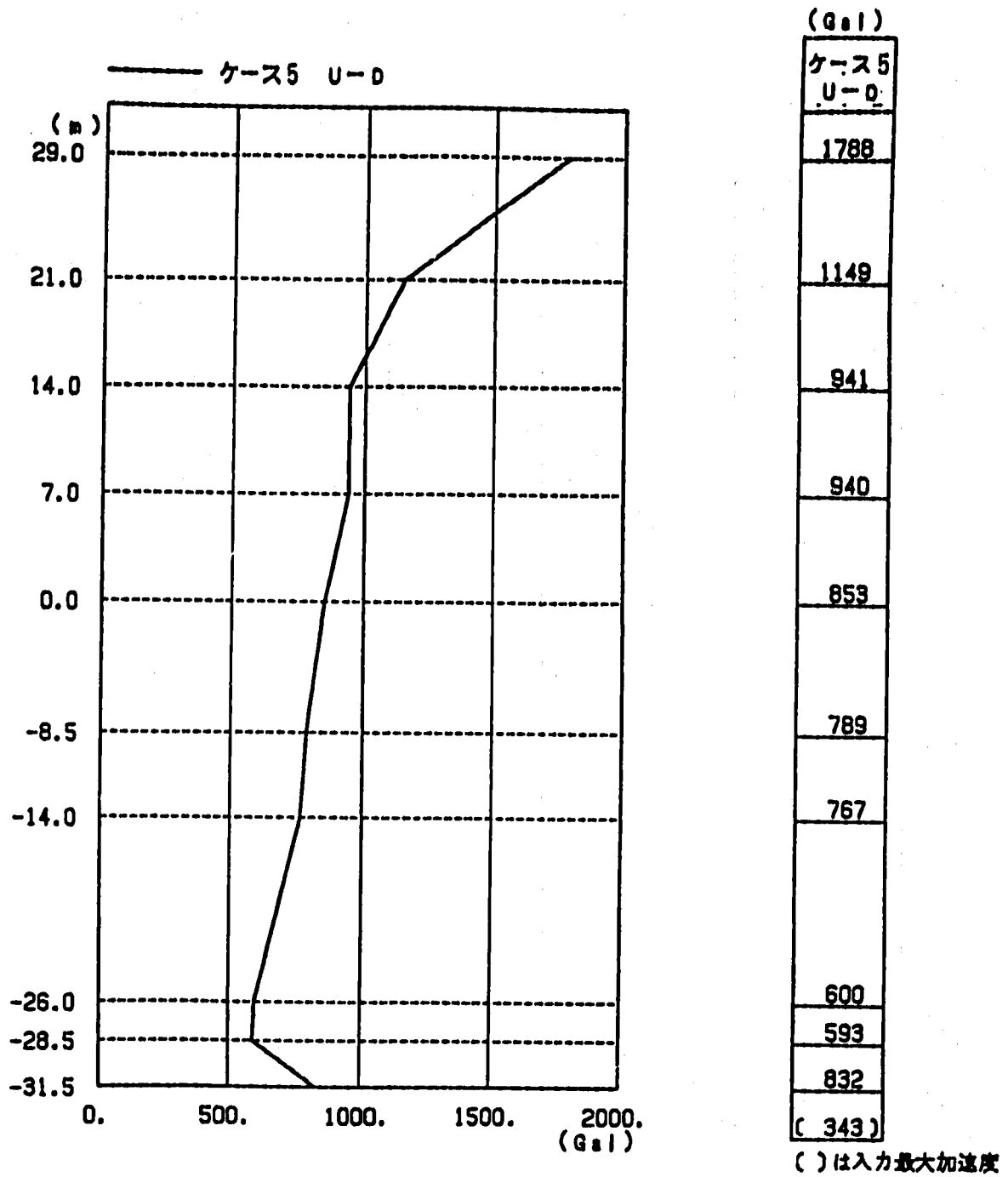
最大応答加速度

図 3.2.4-30 水平最大応答加速度 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3.2.4-30 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-5: Soft Rock, Vertical Stiffness 12H.)



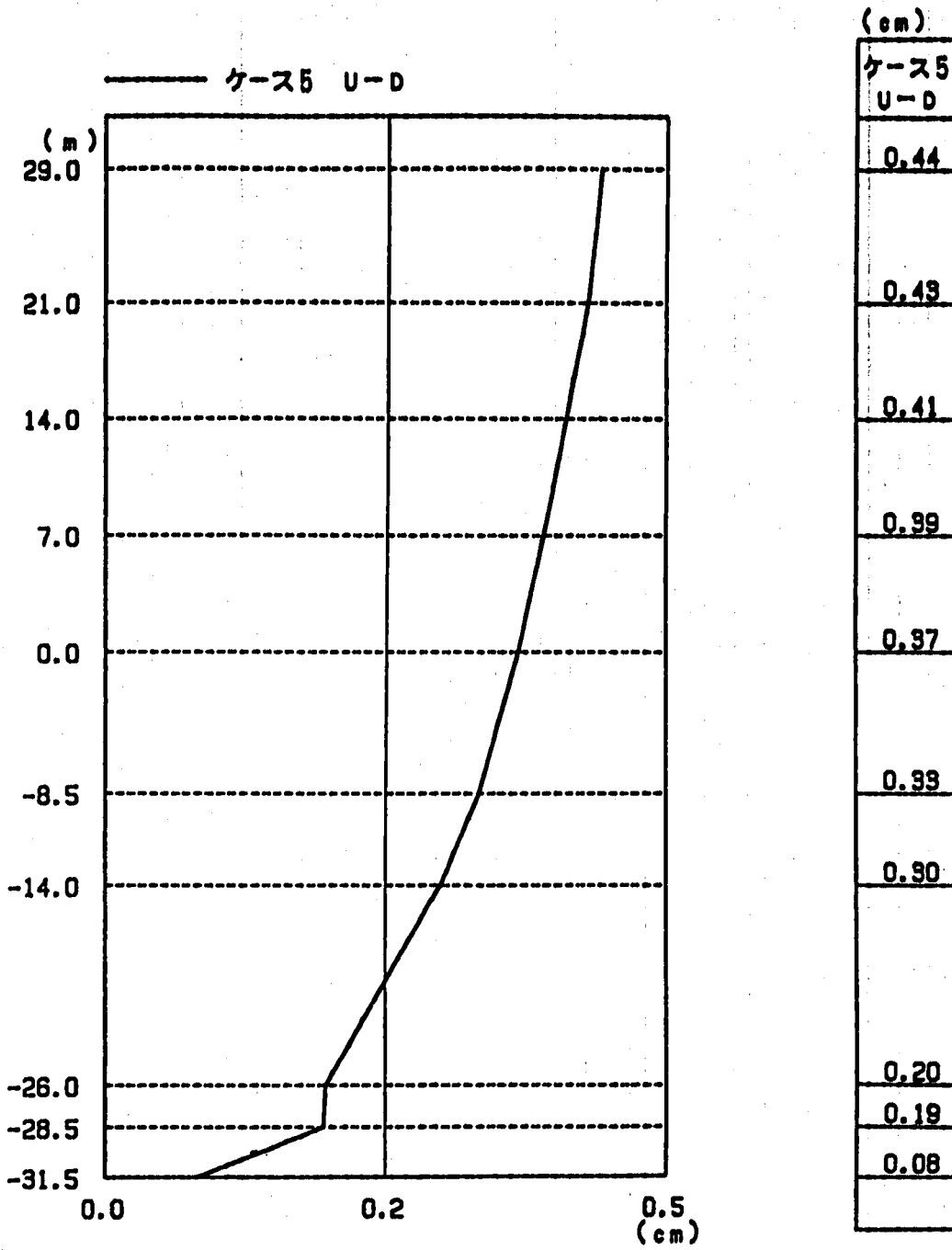
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 31 水平最大応答変位 (ケース5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 31 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-5:Soft Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



最大応答加速度

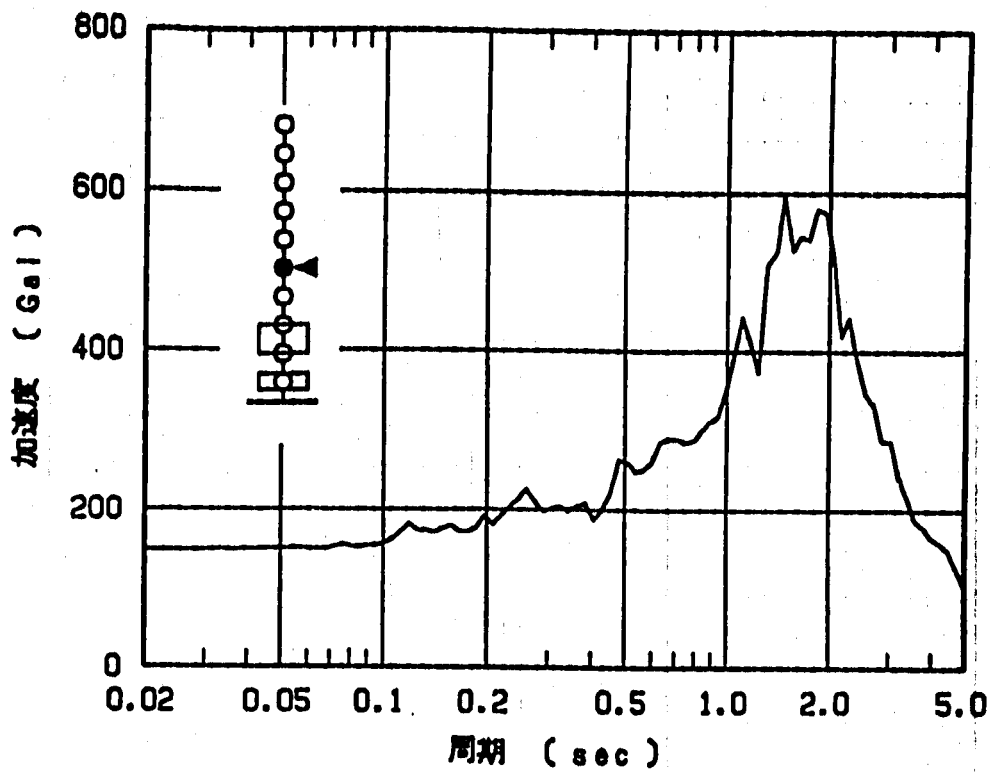
図 3. 2. 4 - 32 上下最大応答加速度 (ケース5 : 軟質地盤, 鉛直剛性12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 32 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-5:Soft Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



最大応答変位

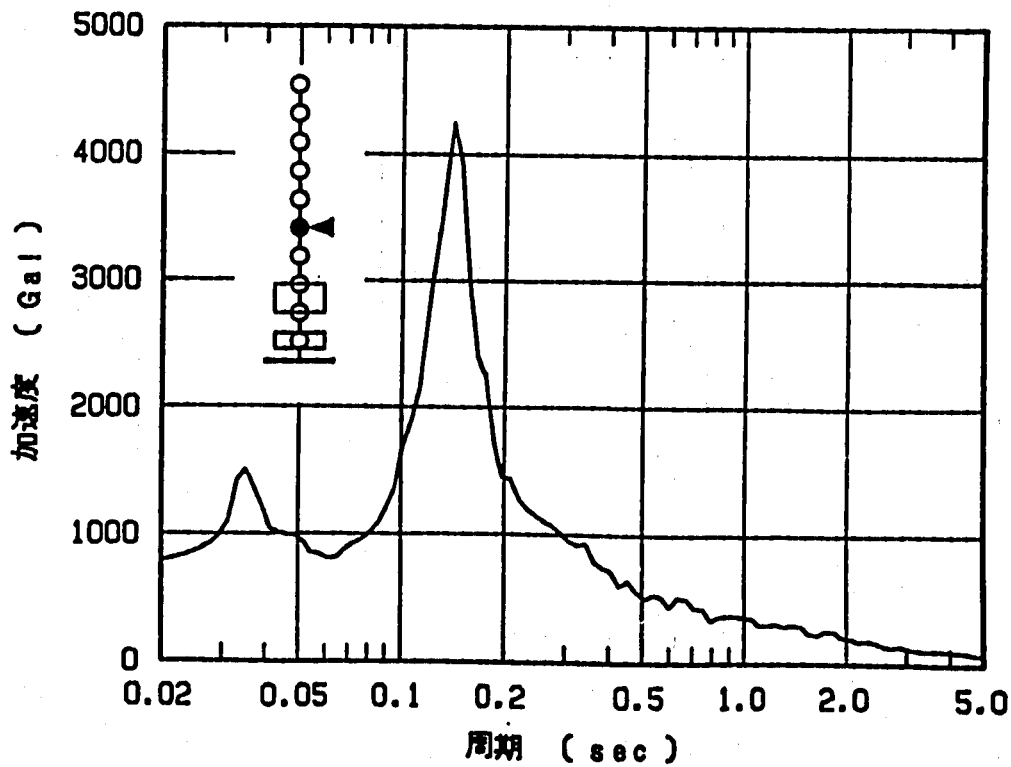
図 3. 2. 4 - 33 上下最大応答変位 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 33 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-5: Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)

H=5.0% . N-S



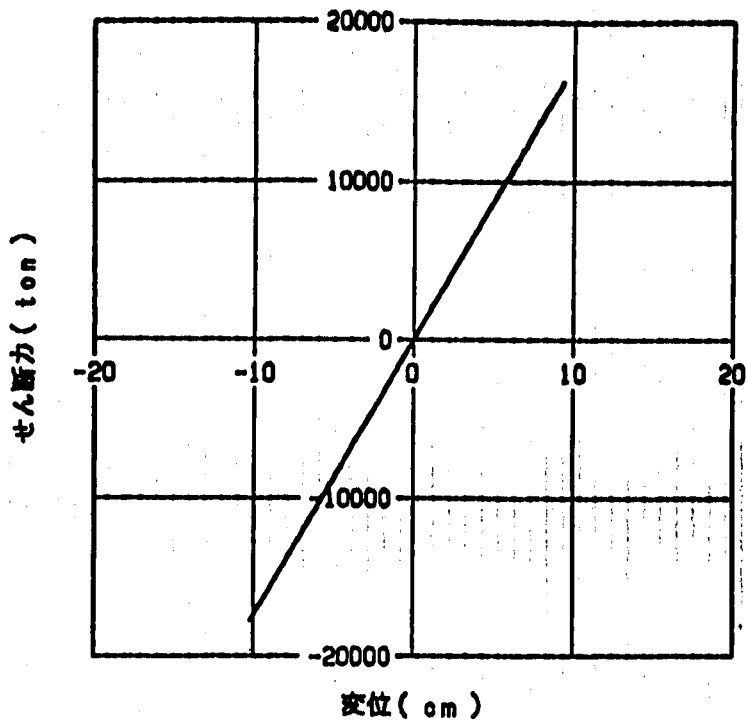
(a) N-S方向

H=5.0% . U-D



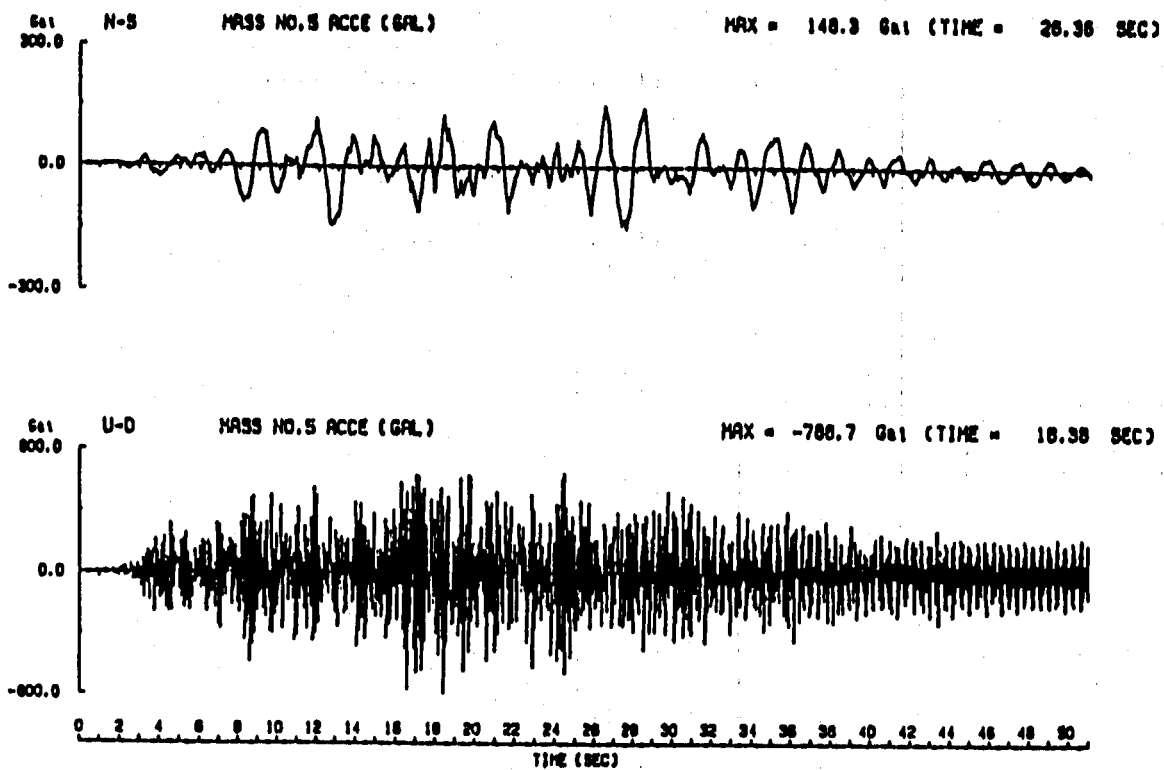
(b) U-D方向

図 3. 2. 4 - 34 床応答スペクトル (ケース 5 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz, 質点 No. 5)
 Fig. 3. 2. 4 - 34 Floor Response Spectrum
 (Case-5: Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No. 5)

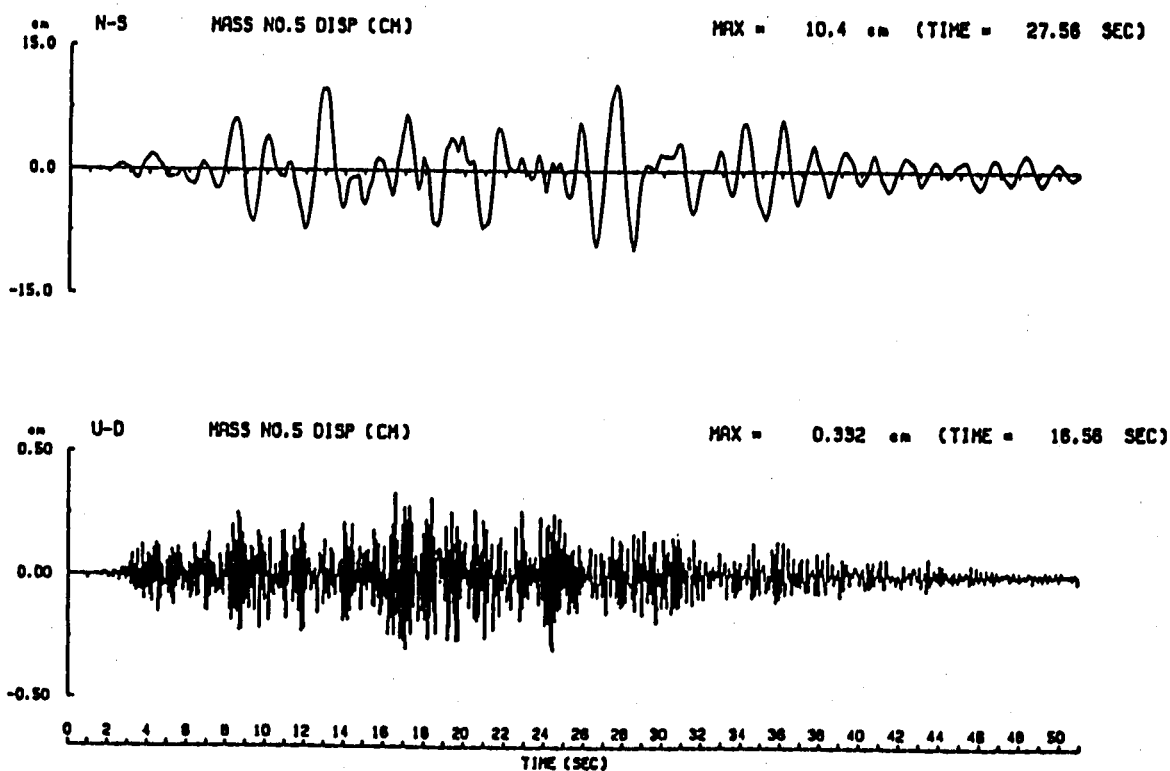


HYSTERESYS CURVE

図 3. 2. 4 - 35 免震装置の履歴特性 (ケース 5 : 軟質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 35 Hysteresis Loop of Tital Device
(Case-5:Soft Rock, Vertical Stiffness 12Hz)

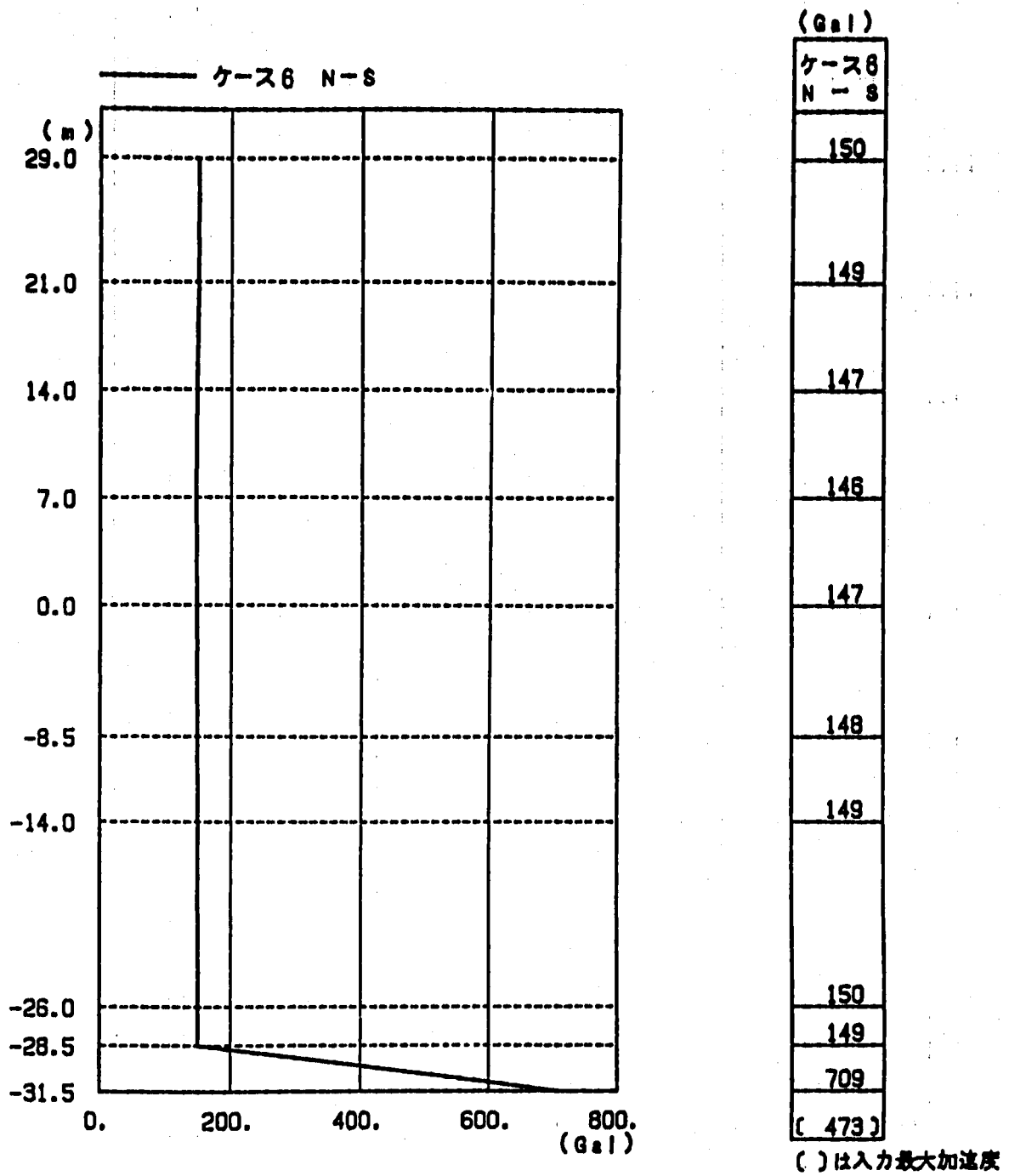


(a) 加速度波形



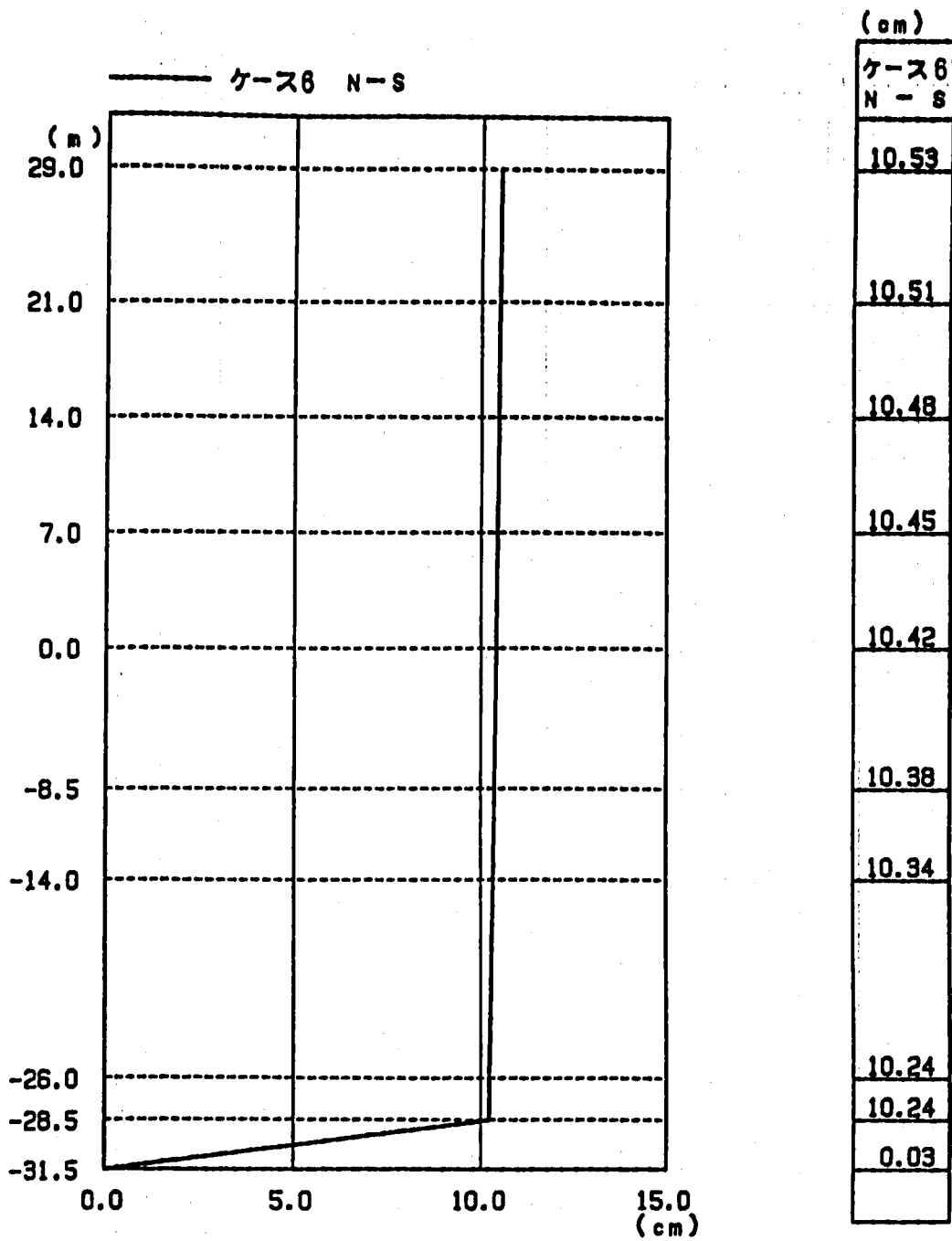
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 36 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 36 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-6:Hard Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)



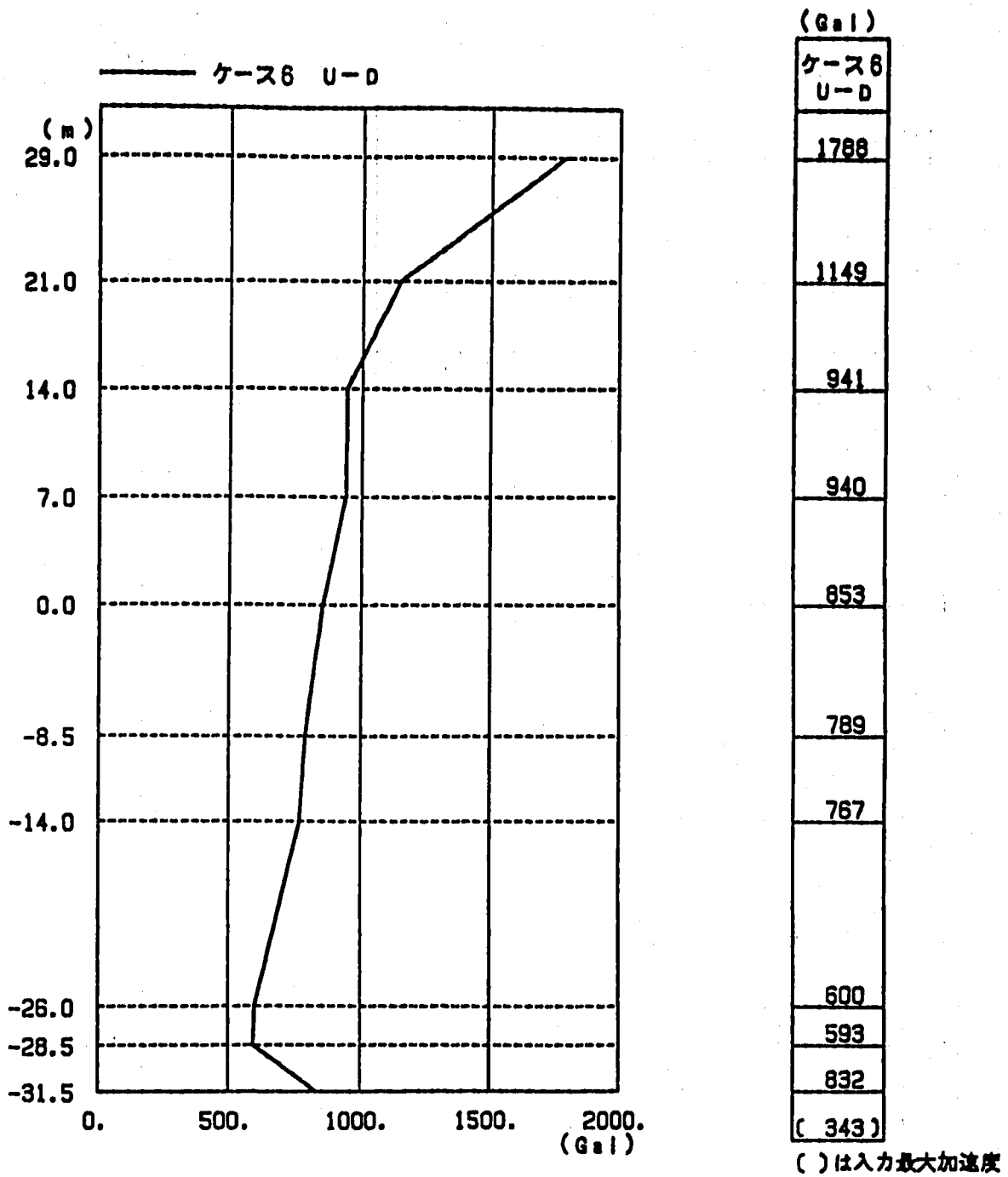
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 37 水平最大応答加速度 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 37 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)



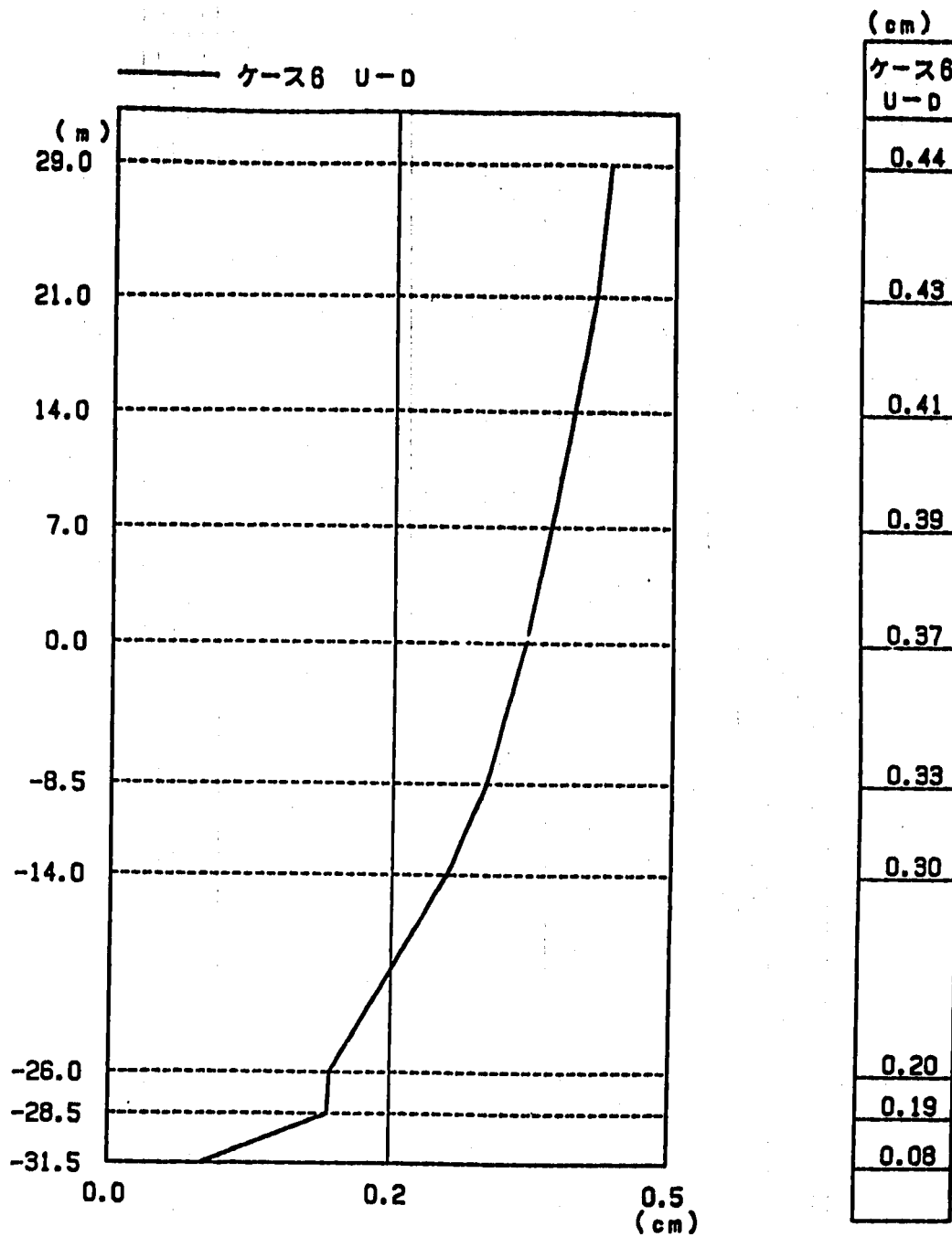
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 38 水平最大応答変位 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 38 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)



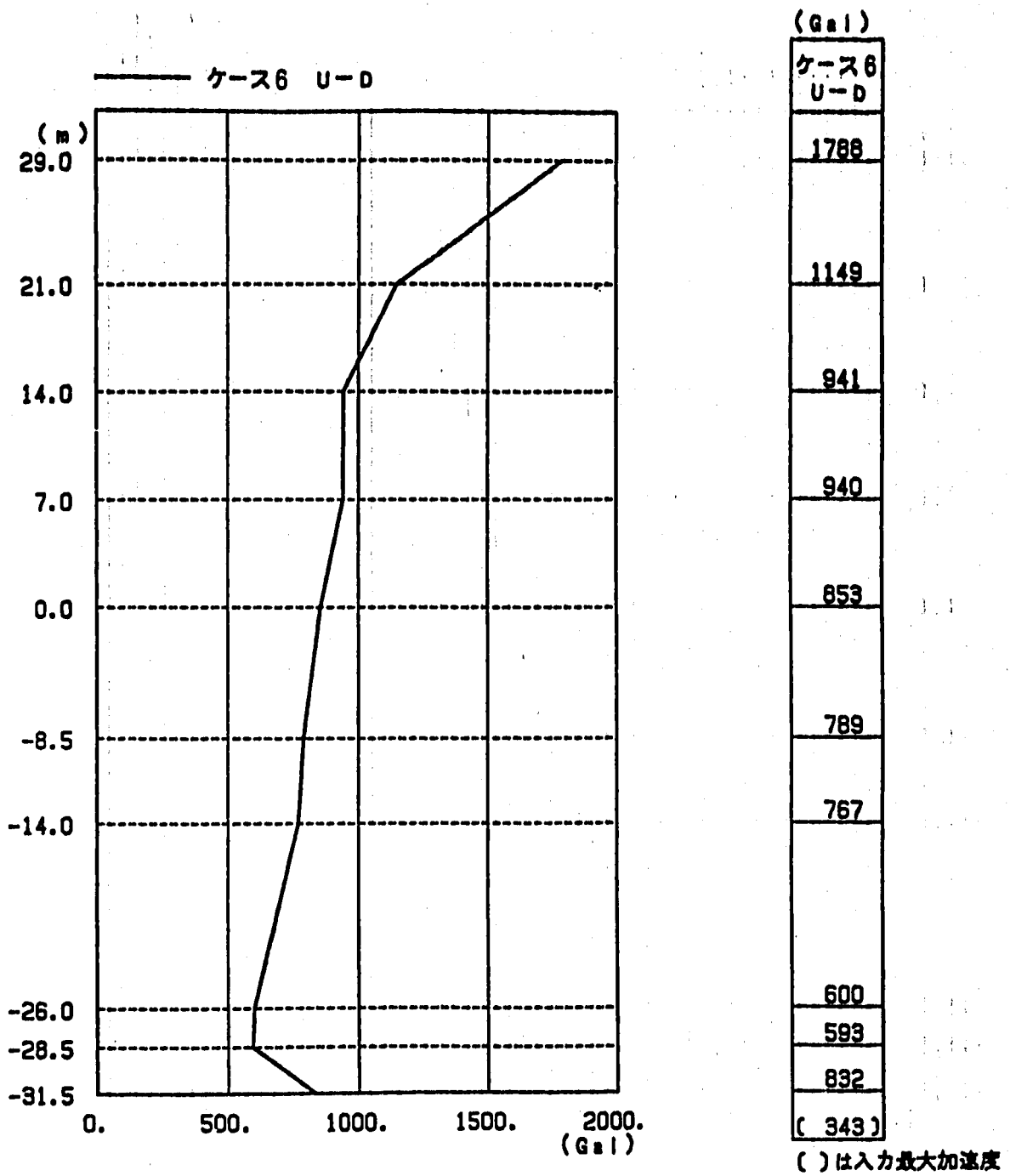
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 39 上下最大応答加速度 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 39 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)



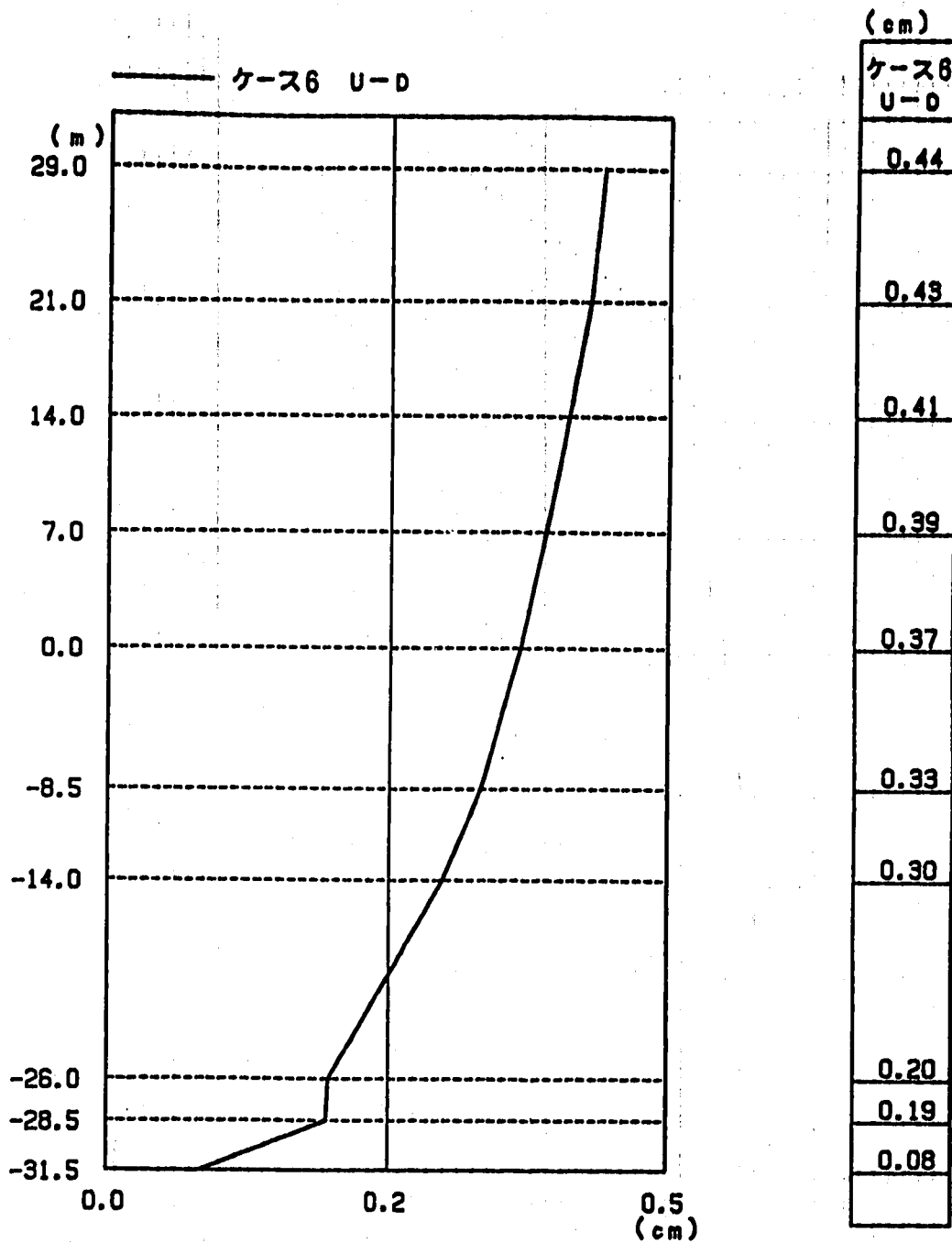
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 40 上下最大応答変位 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 40 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-6: Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)



最大応答加速度

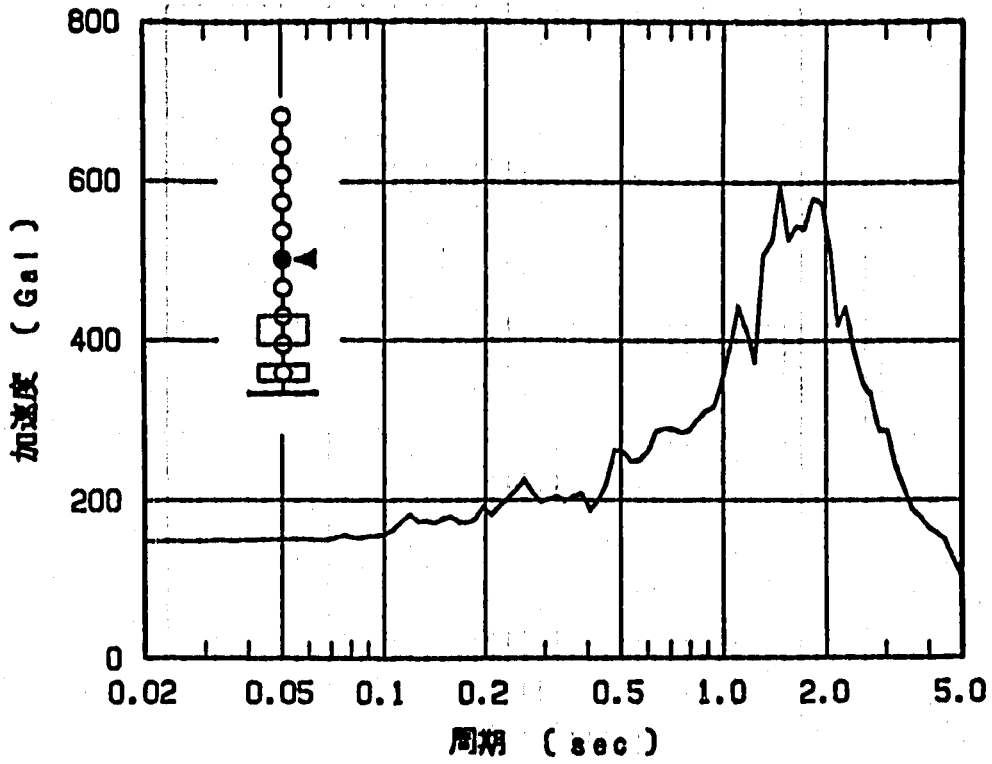
図 3.2.4-39 上下最大応答加速度 (ケース6: 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3.2.4-39 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-6: Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)



最大応答変位

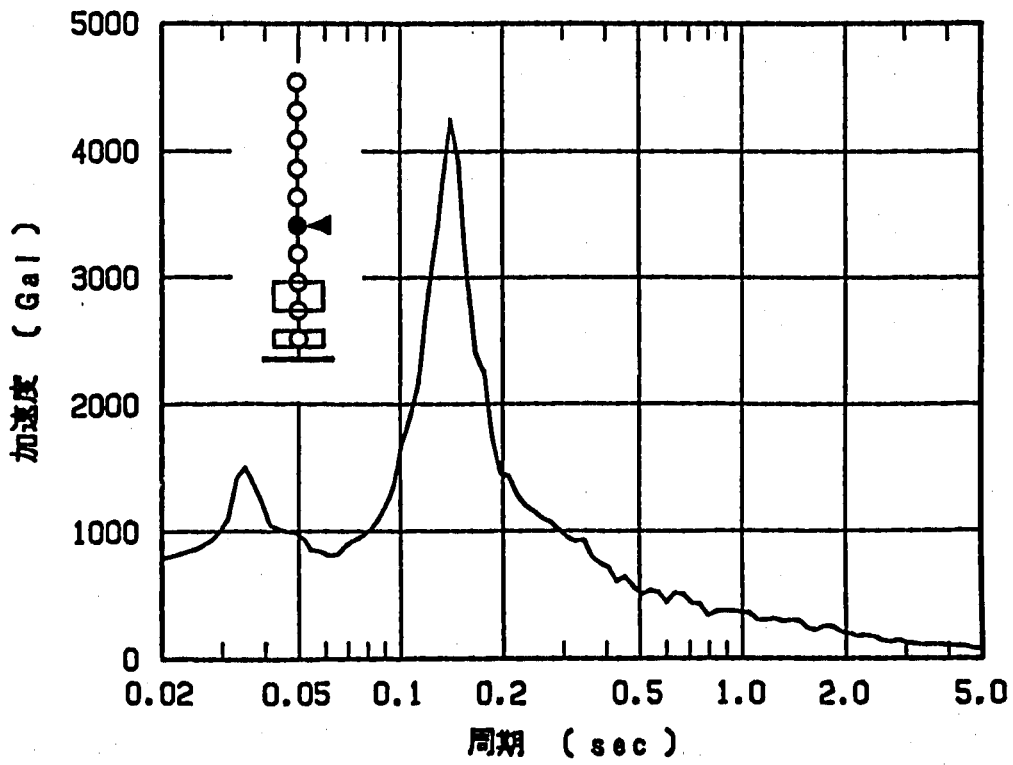
図 3. 2. 4 - 40 上下最大応答変位 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 40 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)

H=5.0% . N-S



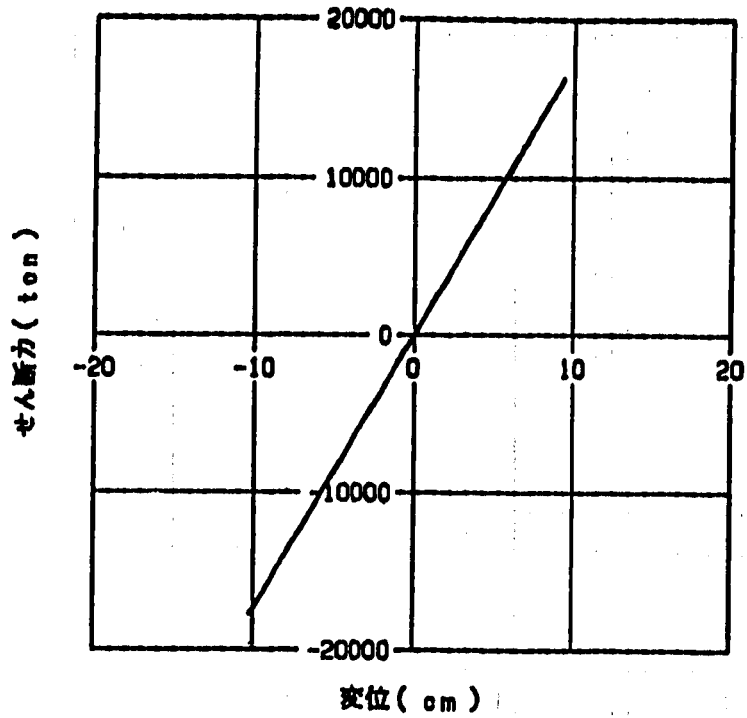
(a) N-S方向

H=5.0% . U-D



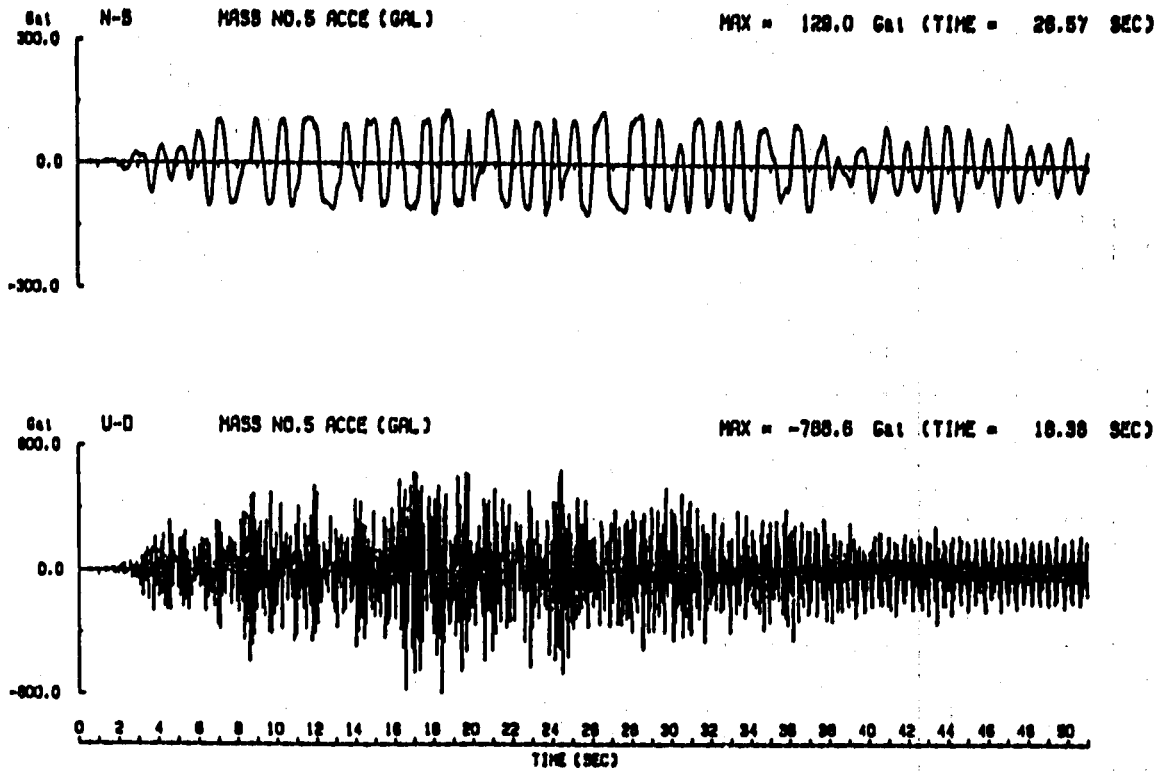
(b) U-D方向

図 3.2.4-41 床応答スペクトル (ケース6:硬質地盤,鉛直剛性6 Hz,質点No.5)
 Fig. 3.2.4-41 Floor Response Spectrum
 (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6 Hz, Mass No.5)

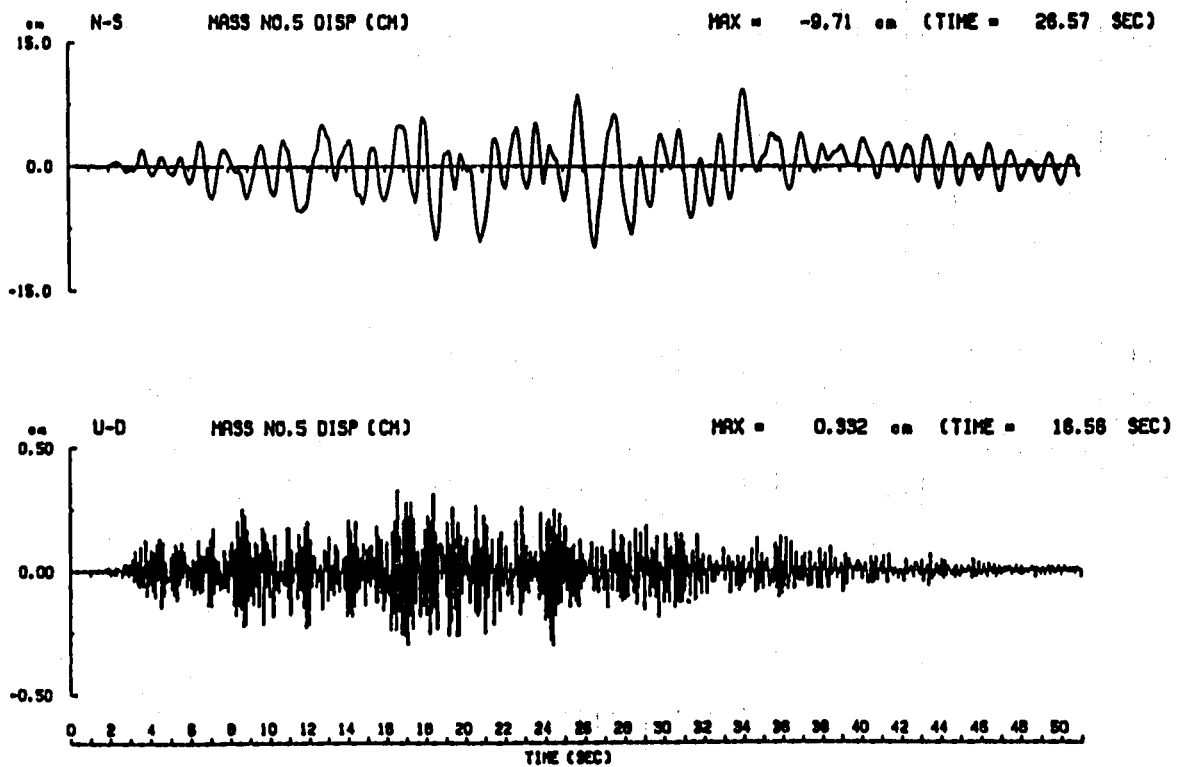


HYSTERESYS CURVE

図 3. 2. 4 - 42 免震装置の履歴特性 (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 42 Hysteresis Loop of Tital Device
(Case-6: Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)

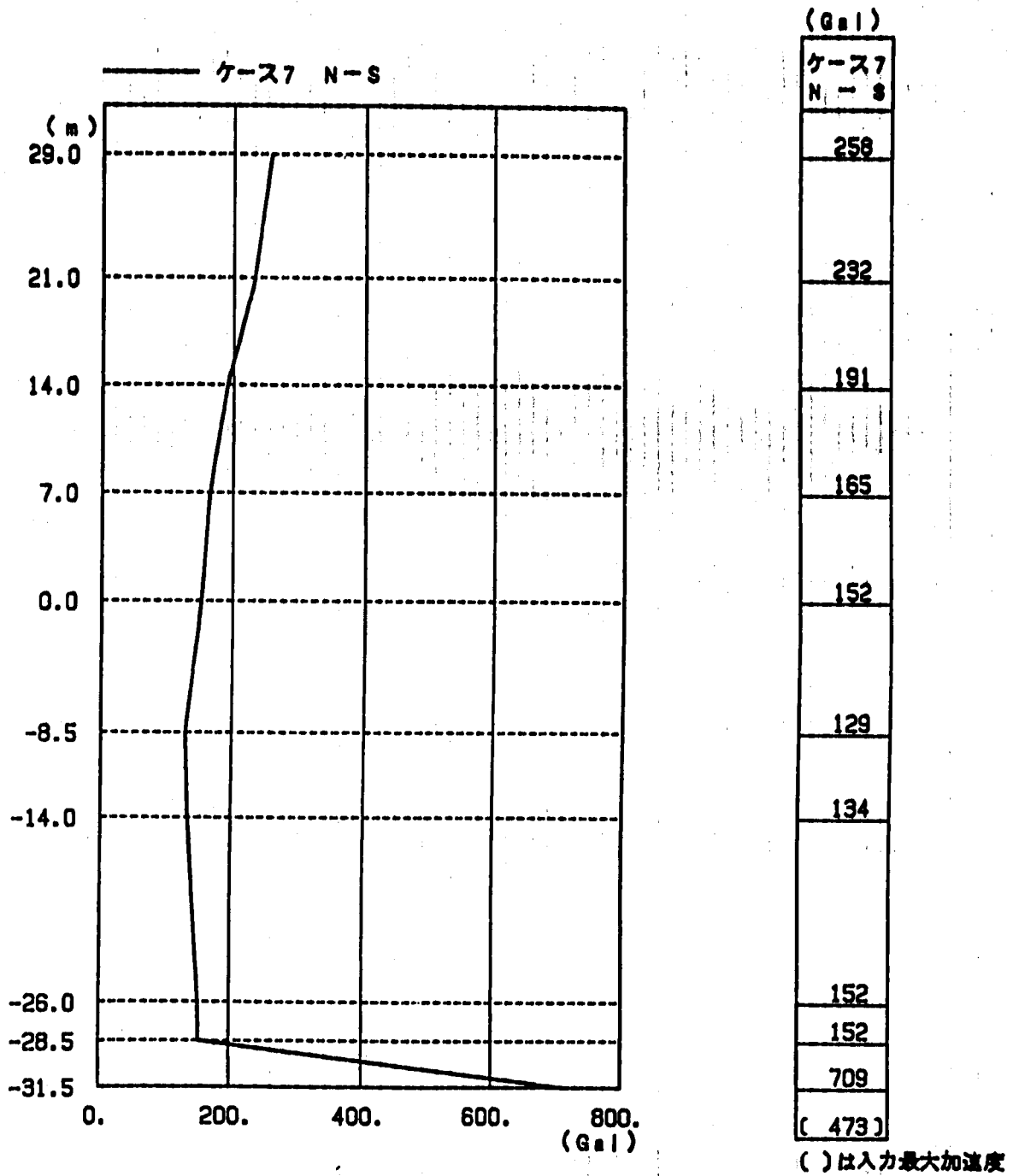


(a) 加速度波形



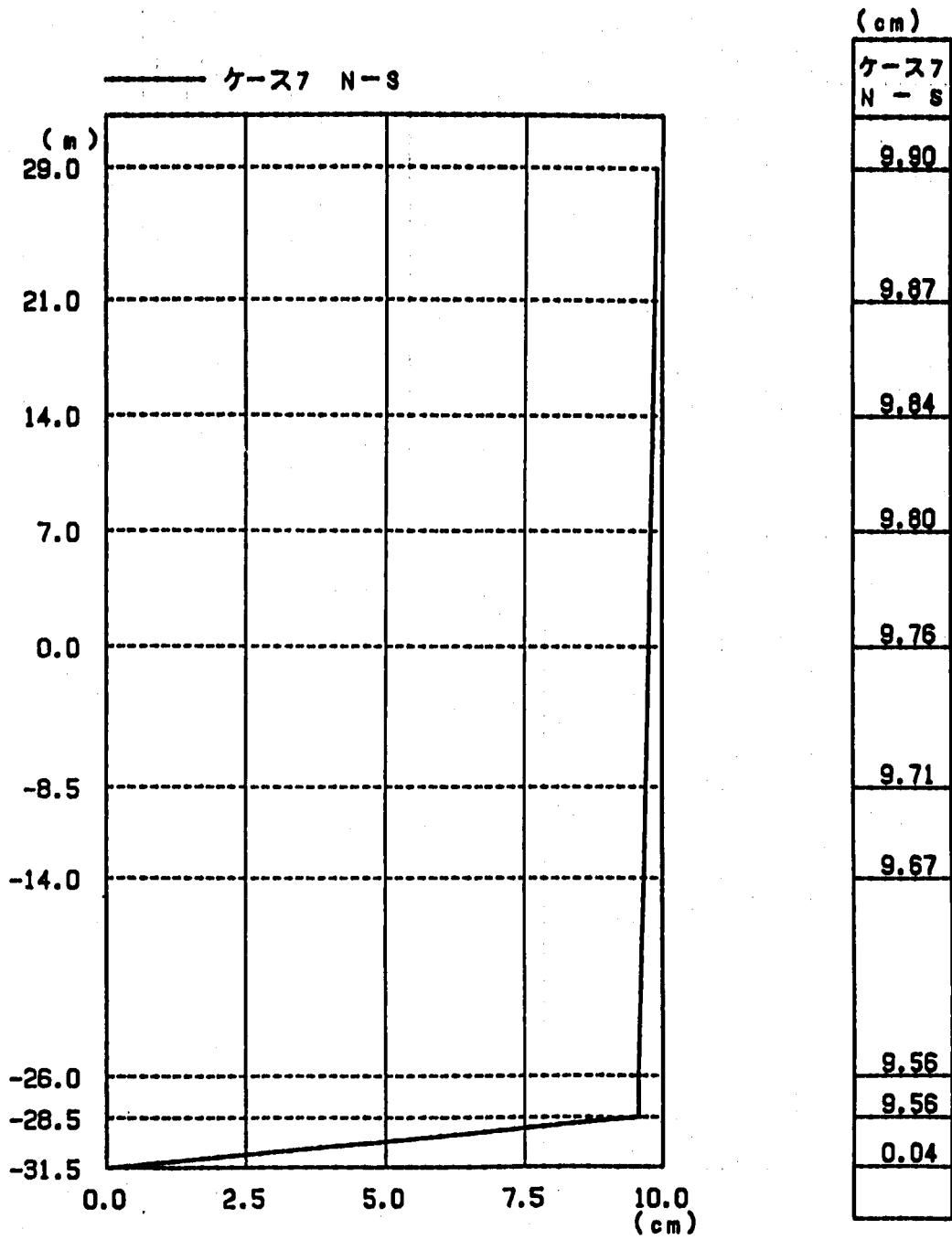
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 43 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 43 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-7: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)



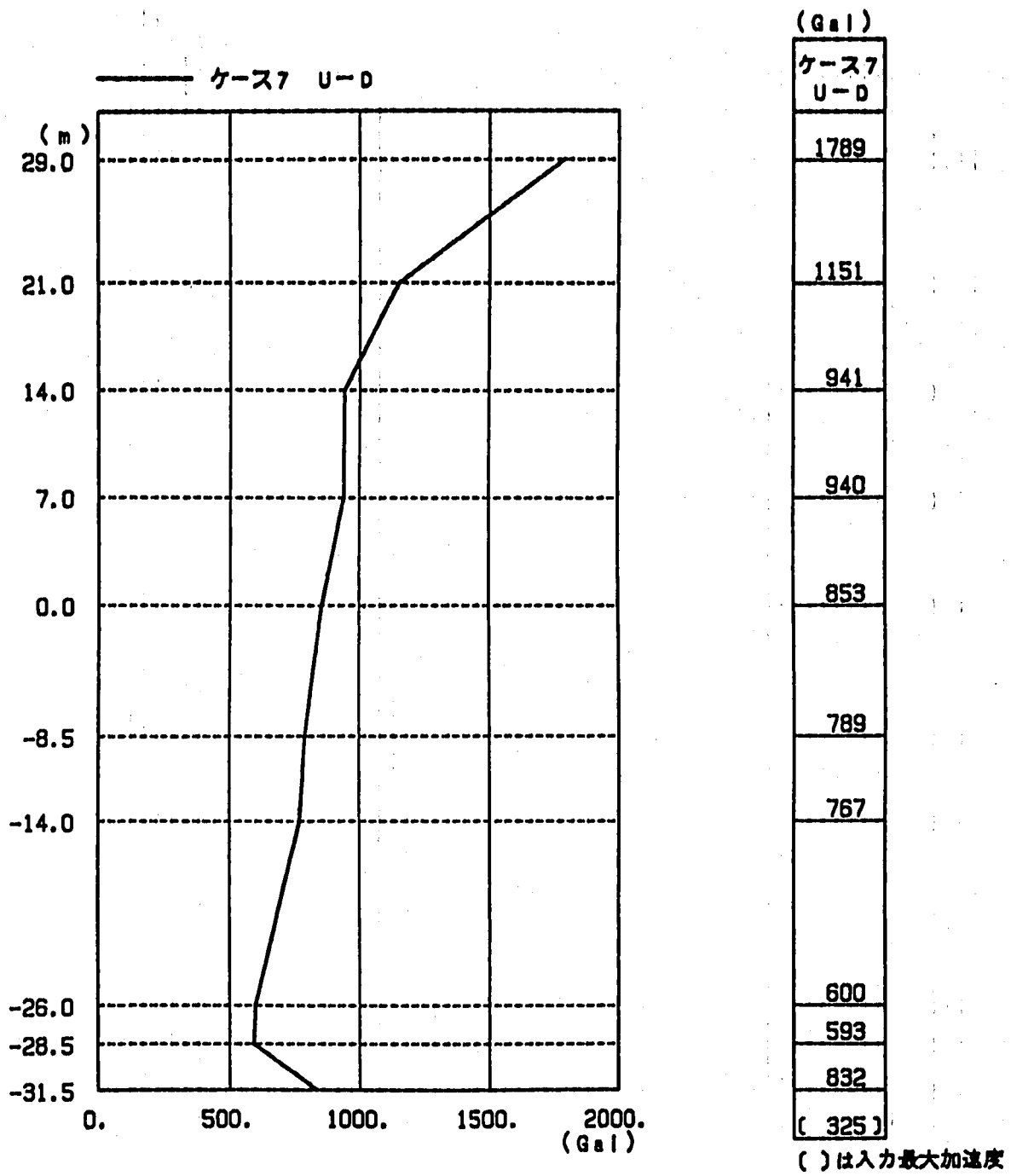
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 44 水平最大応答加速度 (ケース7 : 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 44 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-7:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



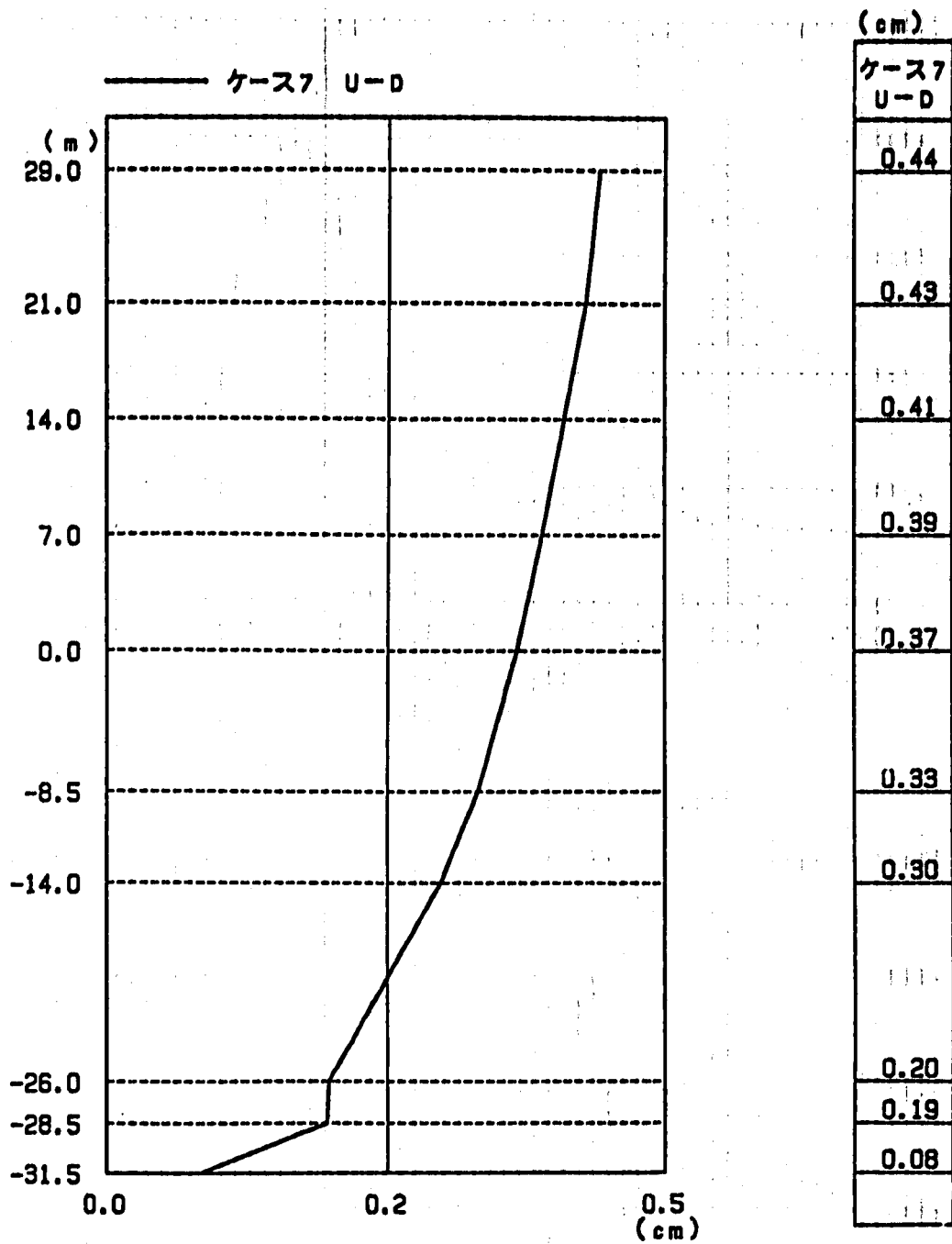
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 45 水平最大応答変位 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 45 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-7:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)



最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 46 上下最大応答加速度 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 46 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-7:Hard Rock,Vestical Stiffness 18Hz)



最大応答変位

図 3. 2. 4 - 47 上下最大応答変位 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 47 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-7: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)

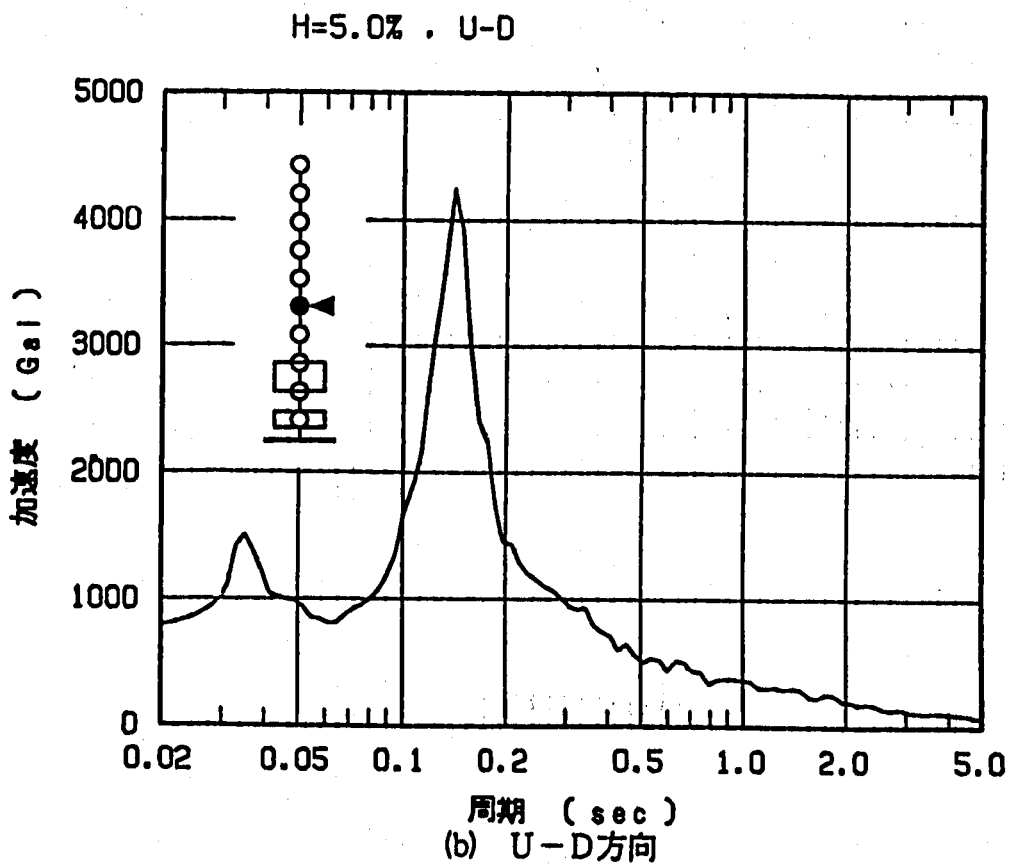
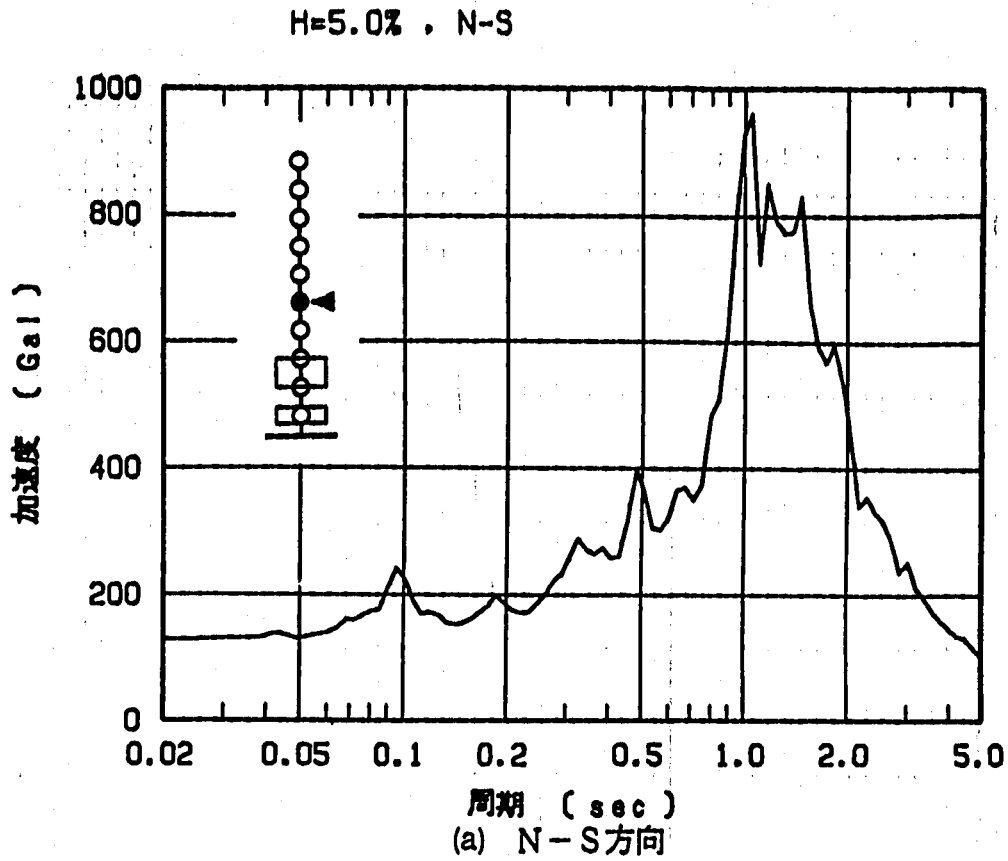


図 3.2.4-48 床応答スペクトル (ケース7: 硬質地盤, 鉛直剛性12Hz, 質点No.5)
 Fig. 3.2.4-48 Floor Response Spectrum
 (Case-7: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No.5)

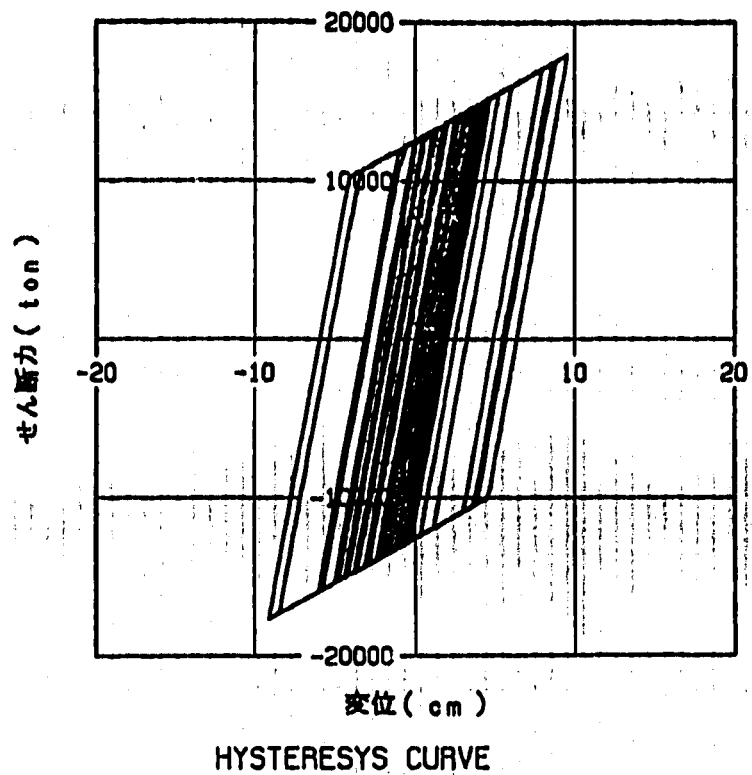
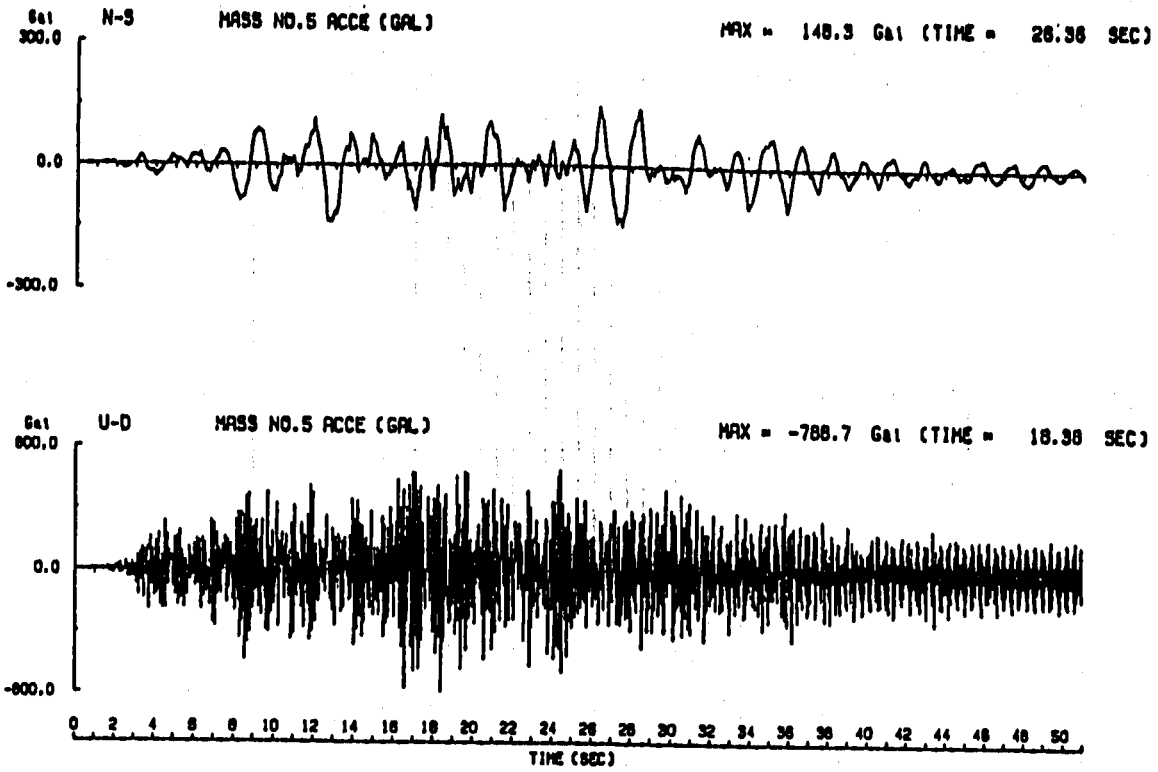
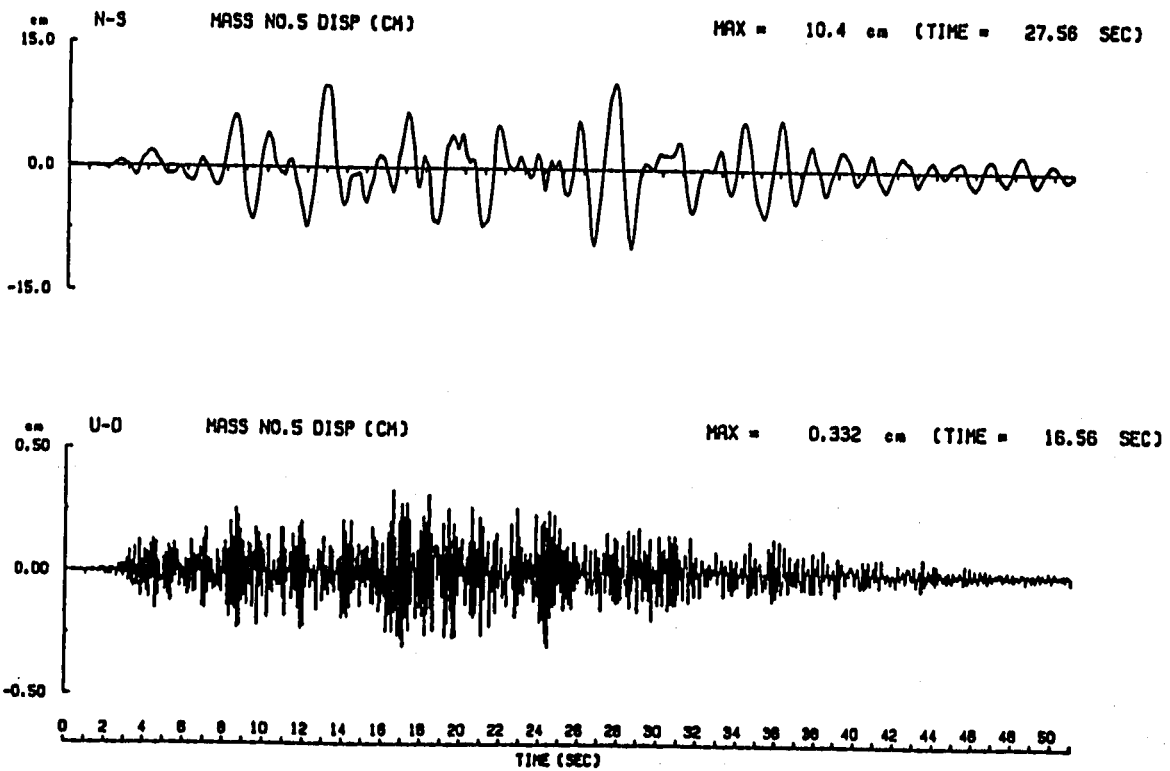


図 3. 2. 4 - 49 免震装置の履歴特性 (ケース 7 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
Fig. 3. 2. 4 - 49 Hysteresis Loop of Tital Device
(Case-7:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

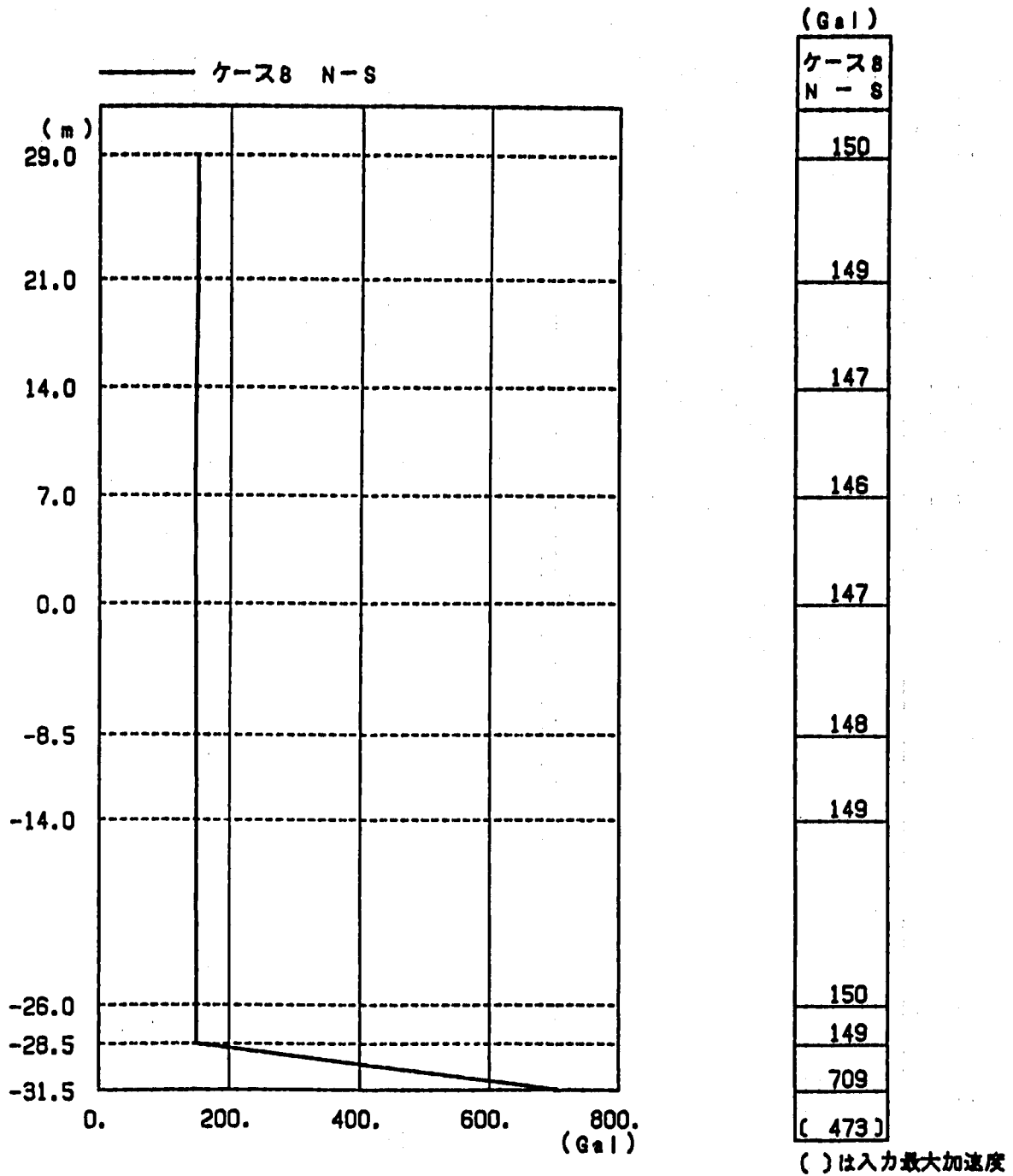


(a) 加速度波形



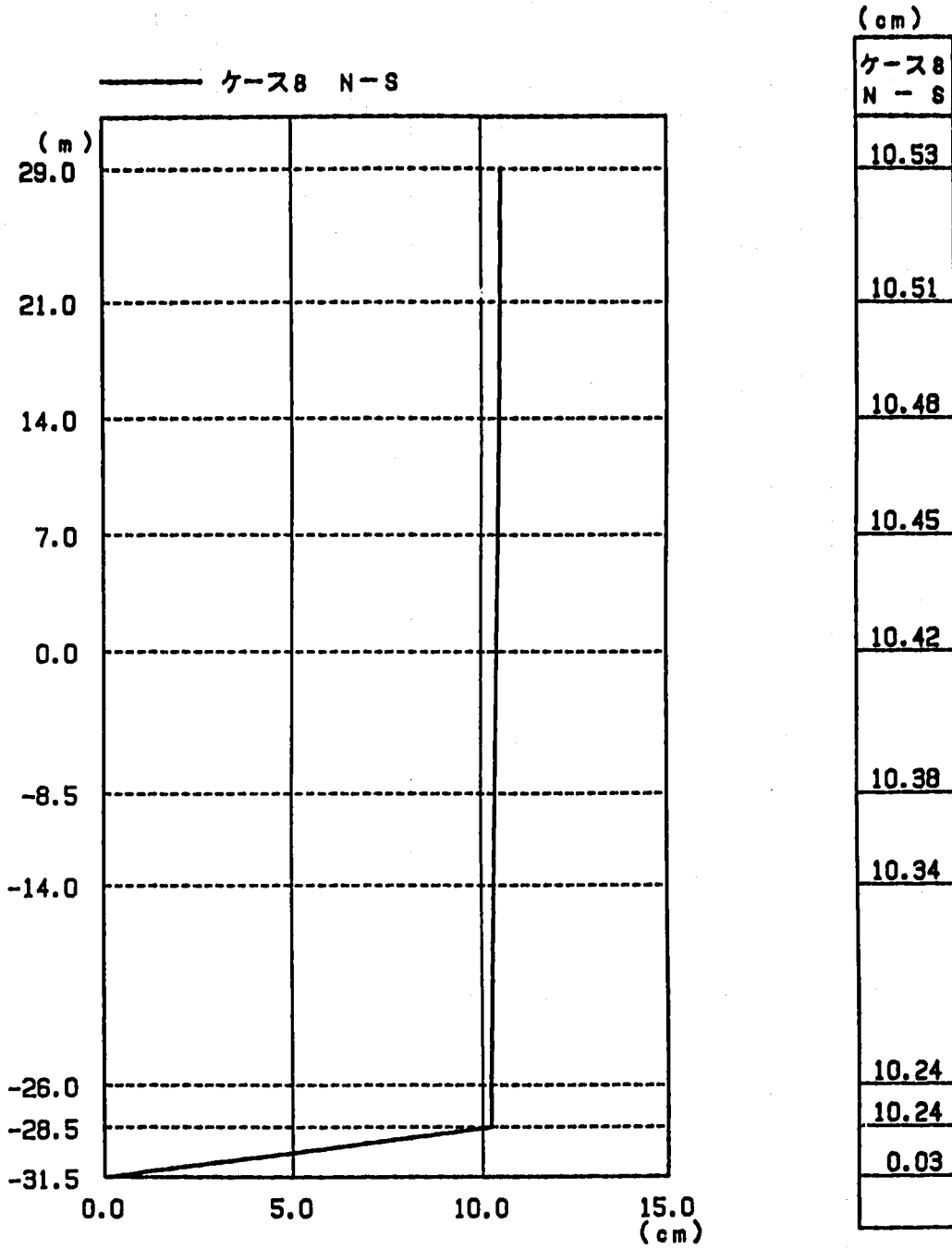
(b) 変位波形

図 3. 2. 4 - 50 加速度及び変位応答時刻歴 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 50 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (Case-8:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



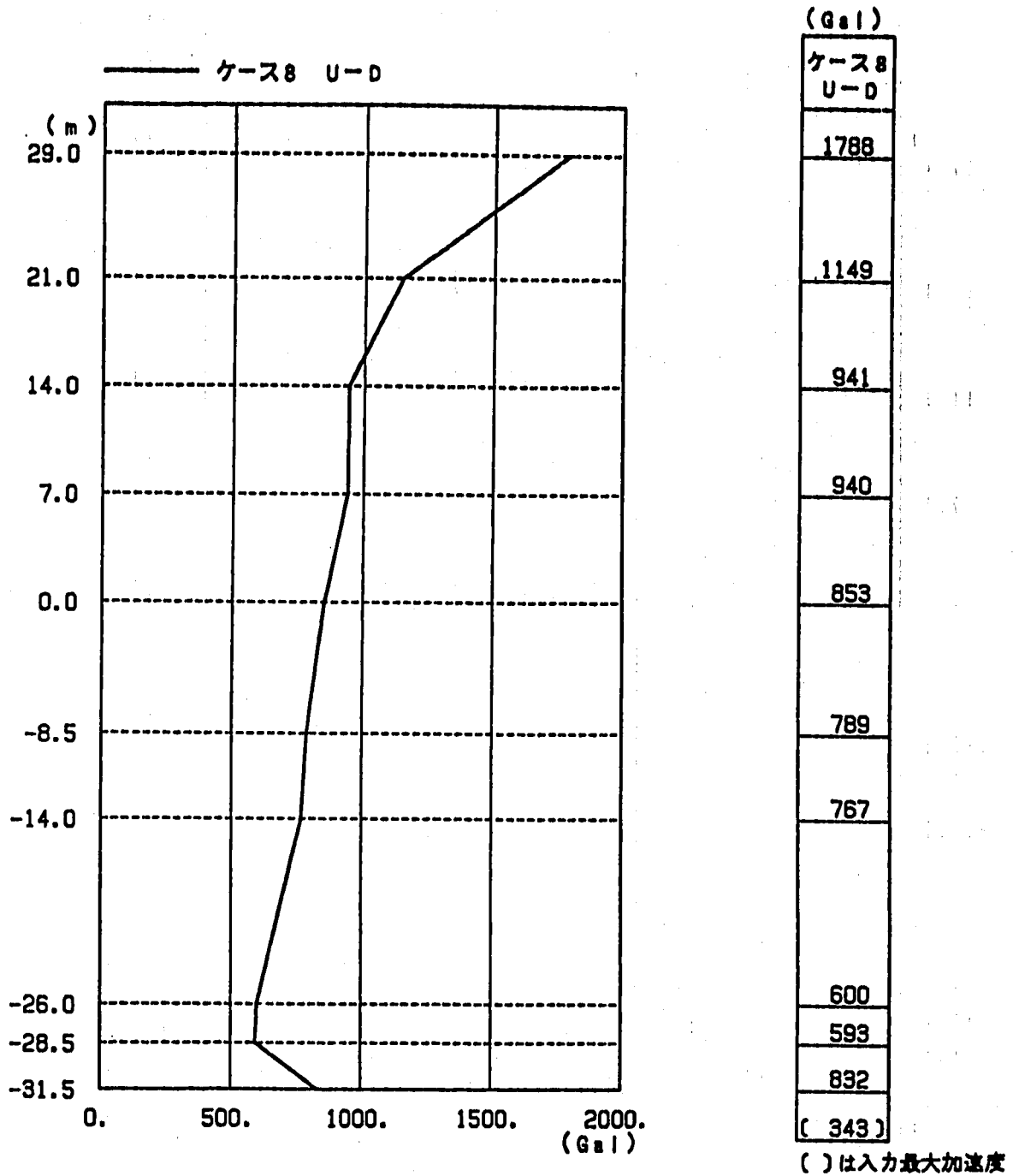
最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 51 水平最大応答加速度 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 51 Horizontal Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-8:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)



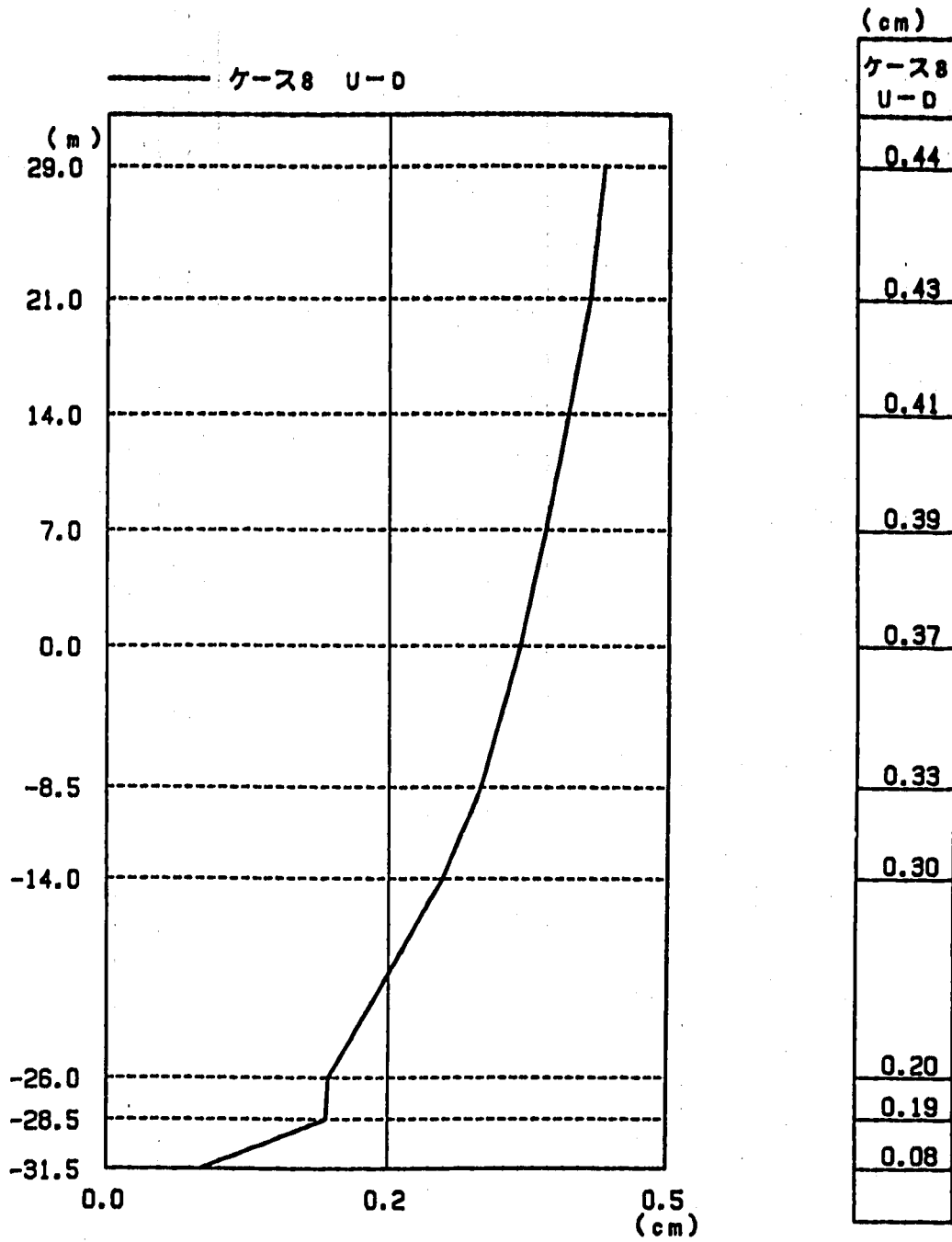
最大応答変位

図 3. 2. 4 - 52 水平最大応答変位 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 52 Horizontal Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-8:Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz)



最大応答加速度

図 3. 2. 4 - 53 上下最大応答加速度 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 18Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 53 Vertical Maximum Accerelation Response Analyses
 (Case-8:Hard Rock,Vertical Stiffness 18Hz)



最大応答変位

図 3. 2. 4 - 54 上下最大応答変位 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 Fig. 3. 2. 4 - 54 Vertical Maximum Displacement Response Analyses
 (Case-8:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

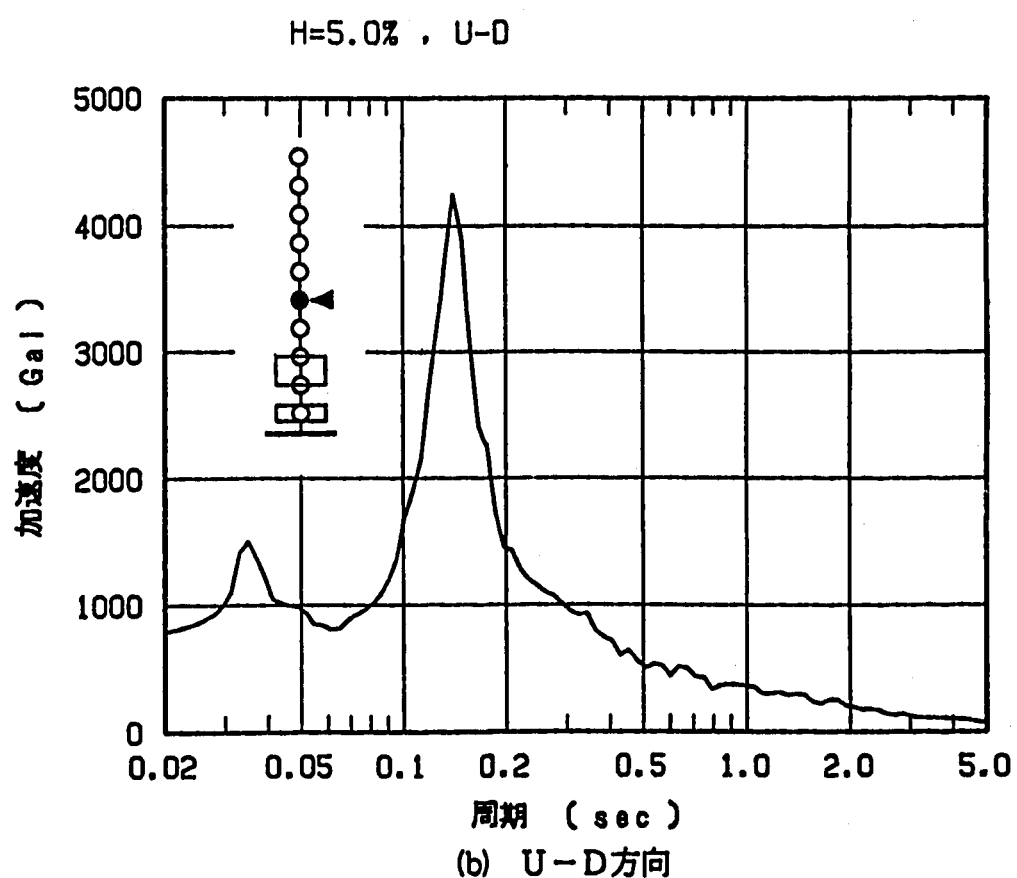
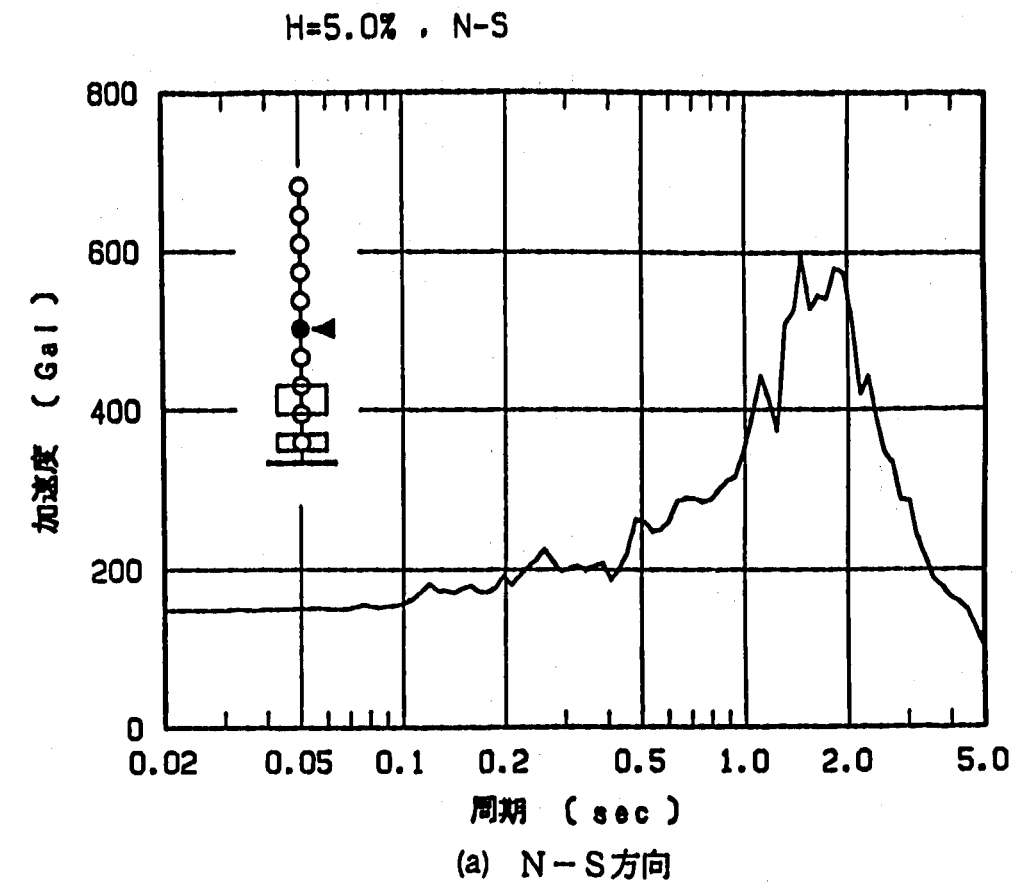


図 3. 2. 4 - 55 床応答スペクトル (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz, 質点 No. 5)
 Fig. 3. 2. 4 - 55 Floor Response Spectrum
 (Case-8: Hard Rock, Vertical Stiffness 12Hz, Mass No. 5)

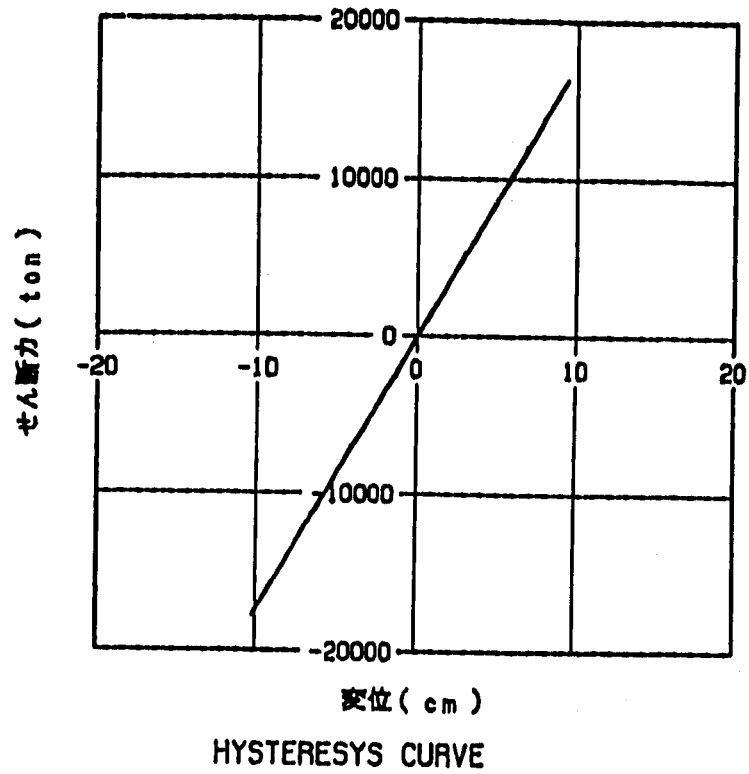


図 2.4 - 56 免震装置の履歴特性 (ケース 8 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
Fig. 2.4 - 56 Hysteresis Loop of Tital Device
(Case-8:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

4. ま と め

4. ま と め

4.1 免震構造モデルの3次元応答解析

実大免震建屋の評価解析に先立って、既存の試験データを参照解とした、免震構造モデルの3次元応答解析を行った。3次元応答解析を行うにあたって、鉄骨フレームモデルは梁要素による3次元フレームにモデル化し、免震装置モデルは既存の試験で得られた各モデルの復元力特性を基に、簡略的に等価線形によるモデル化を行った。さらに、鋼材履歴ダンパーについては、詳細な非線形梁要素によるモデル化も行った。

解析の結果、免震装置の復元力特性を簡略的に等価線形でモデル化しても、各種免震構造モデルの振動台試験の応答結果を良好に再現できることを確認した。

4.2 免震建屋の2次元地震応答解析

免震構造モデルの3次元応答解析で対象とした実大免震建屋を多質点のSRモデルでモデル化し、地盤条件と免震装置の鉛直剛性をパラメータとした人工地震波入力による2次元地震応答解析を行った。その際、免震装置のモデル化は、免震構造モデルの3次元応答解析で得られた知見を基に、免震装置の復元力特性を簡略的に等価線形でモデル化しても振動台試験の応答結果を良好に再現できたことから、既存のパラメータ解析の結果で応答特性の良好であったBi-linearモデルを対象に等価線形化を行った。

解析の結果から、原子炉容器据付けレベルでの3次元床応答の評価を行い、機器の上下免震構造を創出する際に必要となる基礎データを得た。

5. あとがき

5. あ と が き

高速炉建物は、経済的成立性と機器の構造成立性の両方の観点から、建屋・機器に入力される地震力を低減させる等の方法により耐震設計の大幅な合理化の達成が必要不可欠となり、その方法としては免震構造を導入することが有効な手段となり得る。そのため、高速炉建物を水平免震する場合について、既に「高速炉建物の免震構造に関する研究」*⁽²⁾において、種々の解析的な検討から免震構造の有効性を確認しており、同じく「高速炉建物の免震構造試験」*⁽¹⁾においては、振動台試験によって各種免震装置を装着したモデルの免震効果を確認している。

今後は、機器への上下地震入力の低減を図るべく、原子炉建屋の水平免震と機器の上下免震を組み合わせた3次元免震構造の考え方を適用すれば、高速炉固有の問題である高温構造による機器の薄肉設計と地震に対する耐震設計の両立性という関係も解決でき、実用化に大きく近づくことが可能となるであろう。

6. 参 考 文 献

6. 参 考 文 献

(1) 高速炉建物の免震構造試験関連

*PNC SJ2060 88-001 「高速炉建物の免震構造試験」清水建設株式会社

*PNC SJ2060 88-001 「高速炉建物の免震構造試験（Ⅱ）」清水建設株式会社

(2) 高速炉建物の免震構造に関する研究関連

*PNC SJ2155 86-001 「高速炉建物の免震構造に関する研究」清水建設株式会社

*PNC SJ2155 87-001 「高速炉建物の免震構造に関する研究（Ⅱ）」清水建設株式会社

A p p e n d i x

Appendix

1. 既存の振動台試験のシミュレーション解析

1.1 シミュレーション解析の概要

清水建設株式会社に委託して実施した「高速炉建物の免震構造試験（Ⅱ）」で実施した振動台試験の結果を参照解として、本検討の「2次元床応答評価解析」において地震波の多方向入力に着目した3次元応答解析を行った。ここでは、「高速炉建物の免震構造試験（Ⅱ）」で実施した振動台試験の結果を参照解として、地震波の1方向入力の入力レベルによる応答特性の違いを対象に、各免震装置の復元力特性のモデル化をパラメータにシミュレーション解析を行った結果を、今後の検討の参考として以下に示す。

1.2 入力レベルの違いによる地震応答特性試験のシミュレーション解析

ここでの解析の対象とする振動台試験のケースは、本検討の3.1.1節で示した加振計画一覧の表3.1.1-4(a), (b)のうち、十勝沖八戸波のBW成分の入力レベルをパラメータに行った加振（RD0-5, RD1-10, RD1-15, RD1-16, RD2-5, RD2-7, RD2-8, LRB-7, LRB-10, LRB-11, HDR-7HDR-10, HDR-11）を参照解とする。

1.2.1 解析条件

(1) 解析コード及び解析ケース

解析は、主として汎用非線形有限要素解析システム「FINAS」（非線形梁要素）を用いて行った。

解析ケースは、付表1に示すように、各免震装置の復元力特性のモデル化をパラメータとし、入力レベルによる応答特性の違いの再現性に着目した解析を行った。

(2) 解析モデル

上部構造の鉄骨フレーム試験体を3質点のばね-マス系モデルに置き換え、各質点（各層の梁の中心位置）に水平及び回転の自由度を考慮した。その際、上部構造の重量及び回転慣性は、鉄骨フレーム試験体製作図面を基に算定し、水平剛性は上部構造の基本応答特性試験（委託研究「高速炉建物の免震構造試験」で実施）結果

付表1 解析ケース
A-Table 1 Analysis Case

免震装置種別	入力地震波	解析モデル					
		集中質モデル					
		A	B	C	D	E	F
(免震1) 積層ゴムのみ	十勝沖EW波	○	-	-	-	○	-
(免震2-1) 積層ゴム + 鋼材 ダンパー $\beta = 0.1$	十勝沖EW波	○	○	○	○	○	●
	十勝沖EW波 × 2	-	-	-	-	○	●
	十勝沖EW波 × 3	-	○	○	○	○	-
(免震2-2) 積層ゴム + 鋼材 ダンパー $\beta = 0.1$	十勝沖EW波	○	○	○	○	○	-
	十勝沖EW波 × 2	-	-	-	-	○	-
	十勝沖EW波 × 3	-	○	○	○	○	-
(免震3) 鉛入り積層ゴム	十勝沖EW波	○	○	○	○	○	-
	十勝沖EW波 × 2	-	-	-	-	○	-
	十勝沖EW波 × 3	-	○	○	○	○	-
(免震4) 高減衰積層ゴム	十勝沖EW波	○	○	○	○	○	-
	十勝沖EW波 × 2	-	-	-	-	○	-
	十勝沖EW波 × 3	-	○	○	○	○	-

注1) 表中のA~Fは免震装置復元力特性のモデル化の種類で、意味は以下のとおり

- A : 設計値に基づく各要素モデル
- B : 実測値に基づくBi-linearモデル
- C : 実測値に基づくTri-linearモデル
- D : 実測値に基づくRamberg-Osgoodモデル
- E : 実測値に基づく等価線形モデル
- F : 実測値に基づく非線形梁要素使用モデル

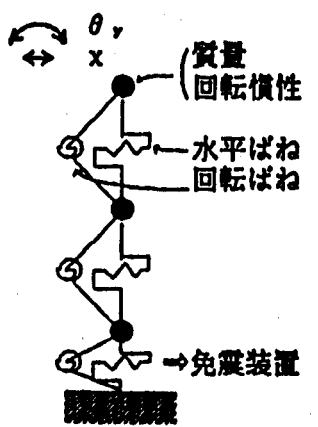
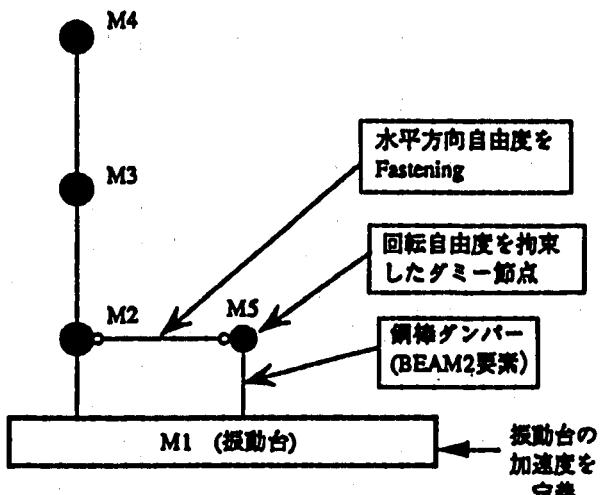
注2) ●印は使用コードFINASによる。

○は使用コードDAC2N(清水建設(株)保有)による。

付表2 シミュレーション解析モデル
A-Table 2 Simulation Analysis Models

質点 No.	重量 (t)	回転慣性 (tm^2)	水平剛性 (t/cm)	鉛直剛性 (t/cm)	回転剛性 (tcm/rad)	備考
3	2.0	1.49	45.4	2157	3.37×10^7	・免震装置の諸元については、免震装置のモデル化の各図で示す
2	6.25	3.79				
1	7.75	4.44	51.7	4445	6.95×10^7	

注) ・上部構造の水平剛性は、基本応答特性試験結果の1次固有振動数と2次固有振動数を整合した等価なせん断ばねを算定
・上部構造の減衰定数は全て0.58%

DAC2N用モデル	FINAS用モデル
 <p>質量 回転慣性 水平ばね 回転ばね 免震装置</p> <p>自由度：一方向入力→水平X, 回転θ, 多方向入力→水平X及びY, 回転θ,</p>	 <p>水平方向自由度をFastening 回転自由度を拘束したグミー節点 鋼棒ガンバー (BEAM2要素) M1 (振動台) 振動台の加速度を定義</p>

1.2.2 解析結果

各解析ケースに対応した試験結果と解析結果の比較を、免震装置のモデル化、加速度及び変位応答時刻歴、最大加速度応答及び床応答スペクトル、免震装置の履歴曲線について各図に示す。(下記一覧表参照)

免震装置種別	復元力特性 パラメータ		免震装置の モデル化		加速度及び変 位応答時刻歴		最大加速度応 答及び床応答		免震装置の 履歴曲線	
(免震 1) 積層ゴムのみ	E W波	A	付図 1	付図 3	付図 4	付図 5				
		E	付図 2	付図 6	付図 7	付図 8				
(免震2-1) 積層ゴム+ 鋼材ダンパー $\beta=0.1$	E W波	A	付図 9	付図 10	付図 11	付図 12				
		B	付図 13	付図 14	付図 15	付図 16				
		C	付図 17	付図 18	付図 19	付図 20				
		D	付図 21	付図 22	付図 23	付図 24				
		E	付図 25	付図 26	付図 27	付図 28				
		F	付図 29	付図 30	付図 31	付図 32				
	E W波 × 2倍	E	付図 25	付図 33	付図 34	付図 35				
		F	付図 29	付図 36	付図 37	付図 38				
	E W波 × 3倍	B	付図 13	付図 39	付図 40	付図 41				
		C	付図 17	付図 42	付図 43	付図 44				
		D	付図 21	付図 45	付図 46	付図 47				
		E	付図 25	付図 48	付図 49	付図 50				
(免震2-2) 積層ゴム+ 鋼材ダンパー $\beta=0.2$	E W波	A	付図 51	付図 52	付図 53	付図 54				
		B	付図 55	付図 56	付図 57	付図 58				
		C	付図 59	付図 60	付図 61	付図 62				
		D	付図 63	付図 64	付図 65	付図 66				
		E	付図 67	付図 68	付図 69	付図 70				
	E W波 × 3倍	E	付図 67	付図 71	付図 72	付図 73				
		B	付図 55	付図 74	付図 75	付図 76				
	E W波 × 3倍	C	付図 59	付図 77	付図 78	付図 79				
		D	付図 63	付図 80	付図 81	付図 82				
		E	付図 67	付図 83	付図 84	付図 85				
	(免震 3) 鉛入り 積層ゴム	E W波	A	付図 86	付図 87	付図 88	付図 89			
B			付図 90	付図 91	付図 92	付図 93				
C			付図 94	付図 95	付図 96	付図 97				
D			付図 98	付図 99	付図 100	付図 101				
E			付図 102	付図 103	付図 104	付図 105				
E W波 × 3倍		E	付図 102	付図 106	付図 107	付図 108				
		B	付図 90	付図 109	付図 110	付図 111				
E W波 × 3倍		C	付図 94	付図 112	付図 113	付図 114				
		D	付図 98	付図 115	付図 116	付図 117				
		E	付図 102	付図 118	付図 119	付図 120				

A : 設計値に基づく各要素モデル
 B : 実測値に基づくBi-linear モデル
 C : 実測値に基づくTri-linearモデル

D : 実測値に基づくRamberg-Osgoodモデル
 E : 実測値に基づく等価線形モデル
 F : 実測値に基づく非線形梁要素モデル

免震装置種別	復元力特性 パラメータ		免震装置の モデル化	加速度及び変 位応答時刻歴	最大加速度応 答及び床応答	免震装置の 履歴曲線
(免震 4)	E W波	A	付図 121	付図 122	付図 123	付図 124
		B	付図 125	付図 126	付図 127	付図 128
		C	付図 129	付図 130	付図 131	付図 132
		D	付図 133	付図 134	付図 135	付図 136
		E	付図 137	付図 138	付図 139	付図 140
高減衰 積層ゴム	EW×2	E	付図 137	付図 141	付図 142	付図 143
	E W波 × 3倍	B	付図 125	付図 144	付図 145	付図 146
		C	付図 129	付図 147	付図 148	付図 149
		D	付図 133	付図 150	付図 151	付図 152
		E	付図 137	付図 153	付図 154	付図 155

A : 設計値に基づく各要素モデル

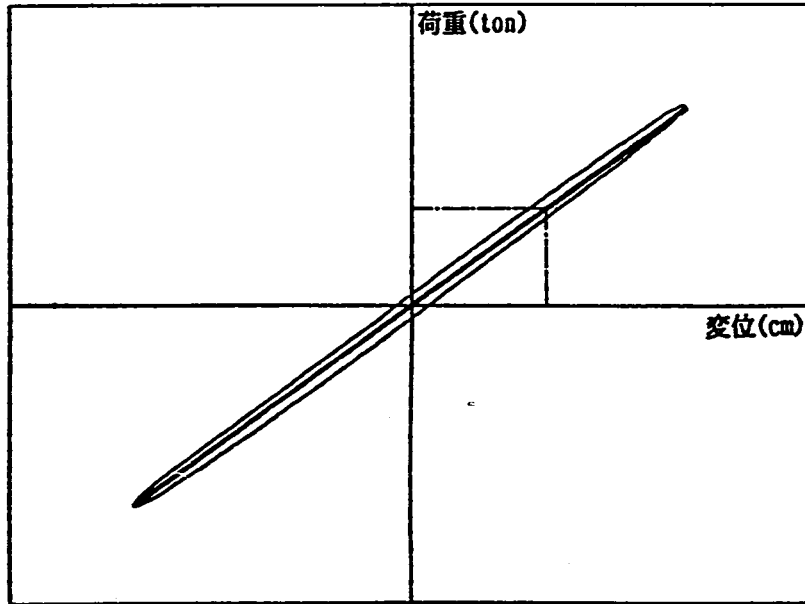
B : 実測値に基づくBi-linearモデル

C : 実測値に基づくTri-linearモデル

D : 実測値に基づくRamberg-Osgoodモデル

E : 実測値に基づく等価線形モデル

F : 実測値に基づく非線形梁要素モデル

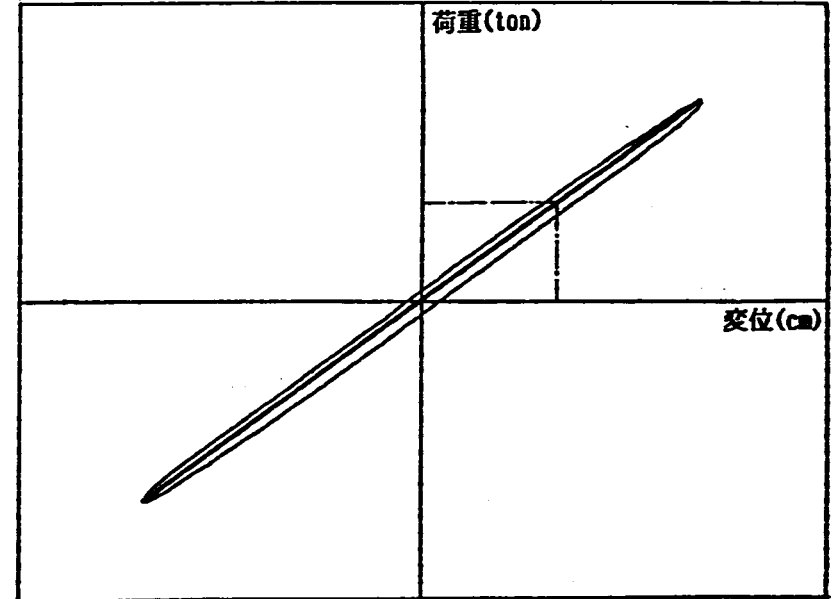


(a) 要素特性復元力と設計モデル復元力の比較

(b) 設計モデルの諸定数

免震装置	水平剛性 (t/cm)	鉛直剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.557	780.0	1.22×10^7	2.0

付図1 積層ゴムのモデル化
(設計値に基づく等価線形モデル)
A-Fig. 1 Simulation Model of Rubber Bearing
(Equivalent-linear of Design Values)

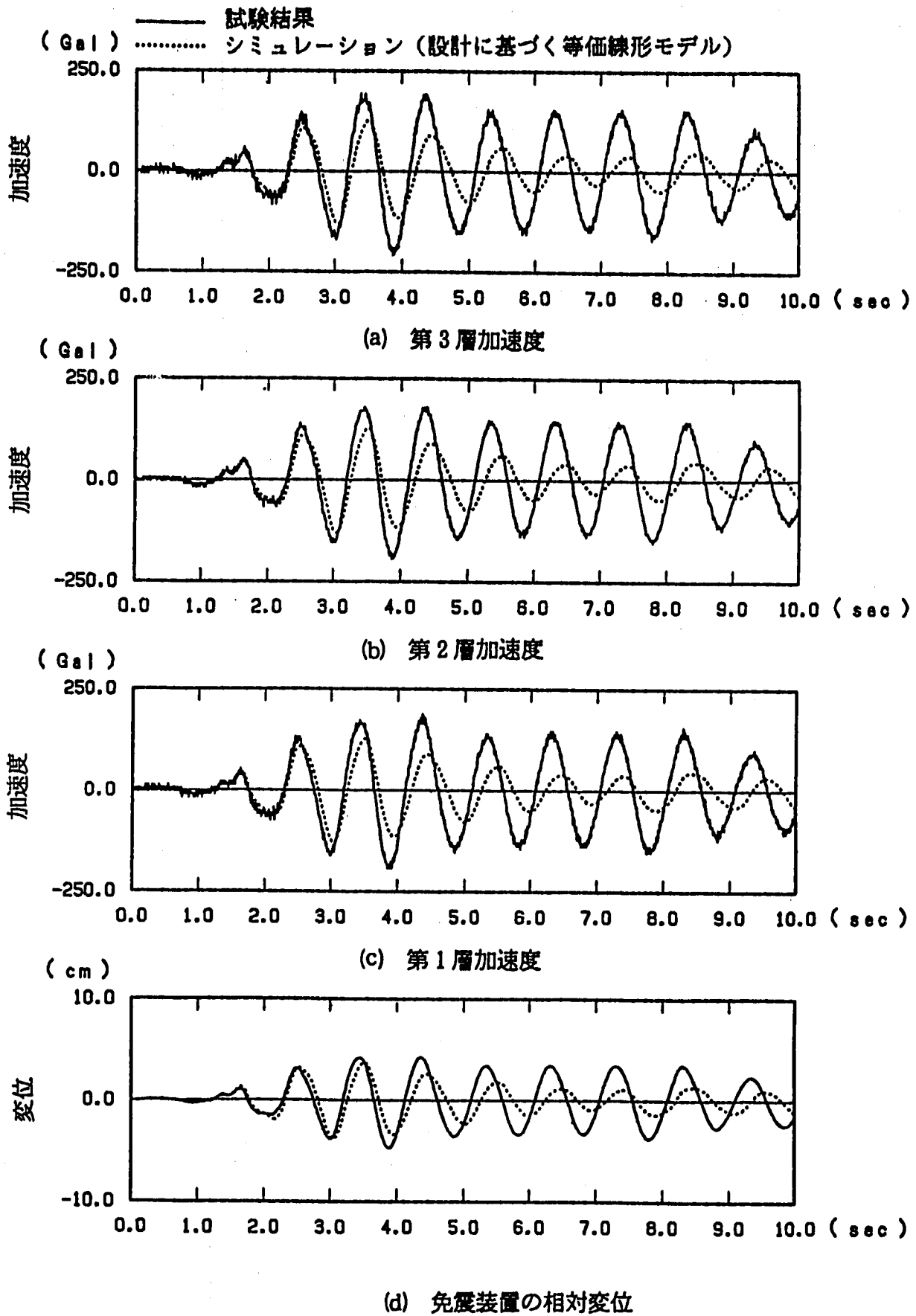


(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

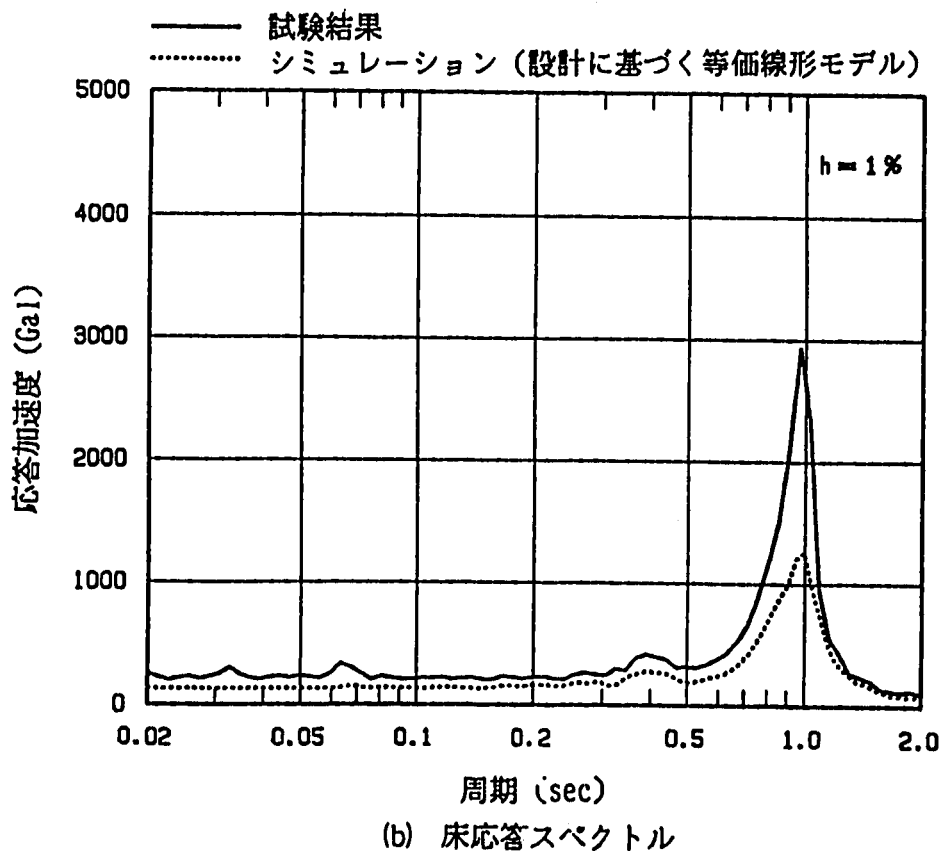
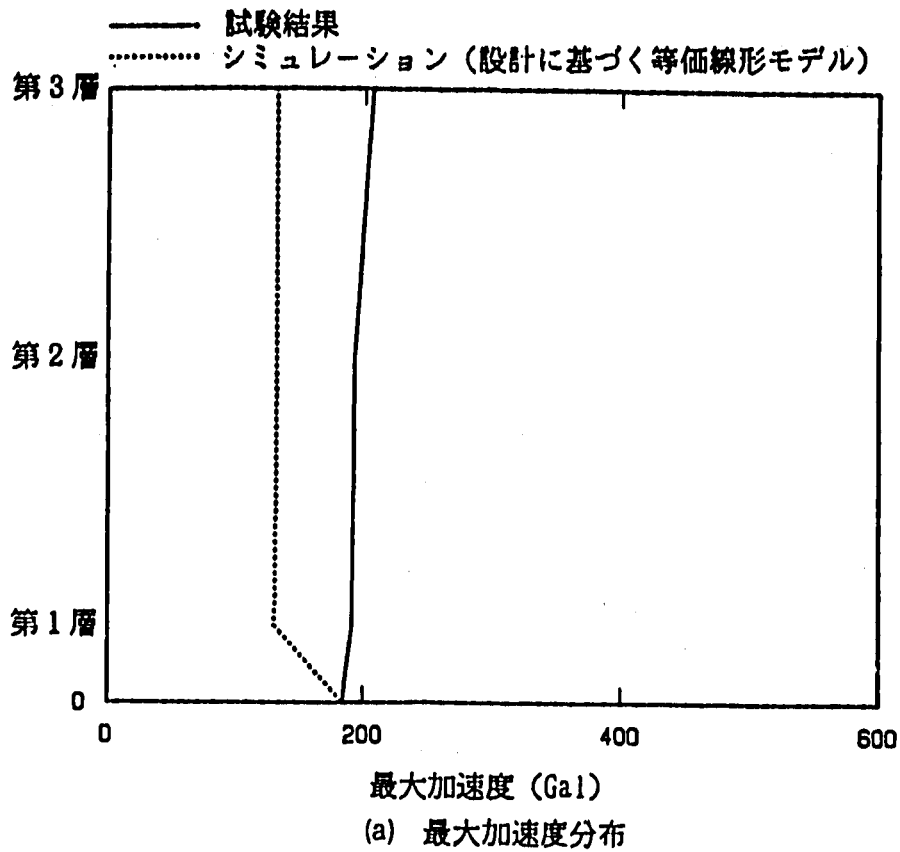
(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	水平剛性 (t/cm)	鉛直剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	906.0	1.42×10^7	2.0

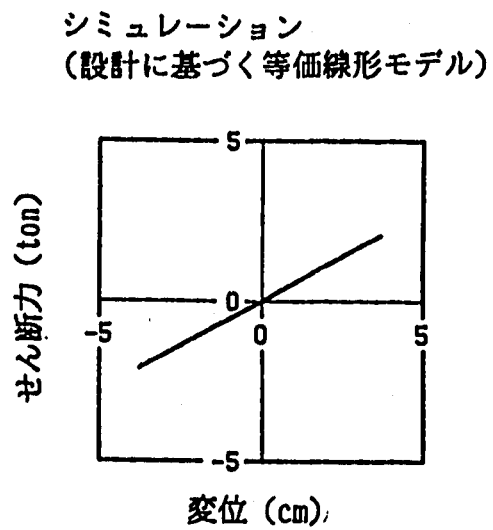
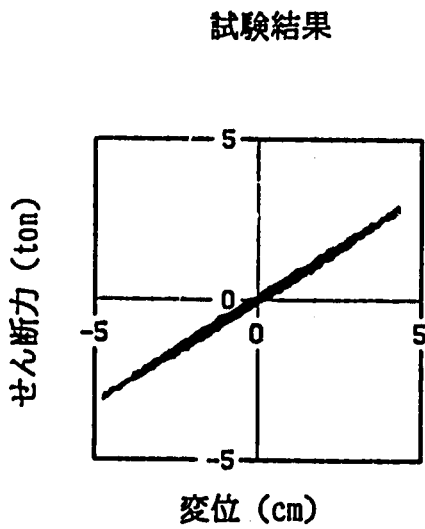
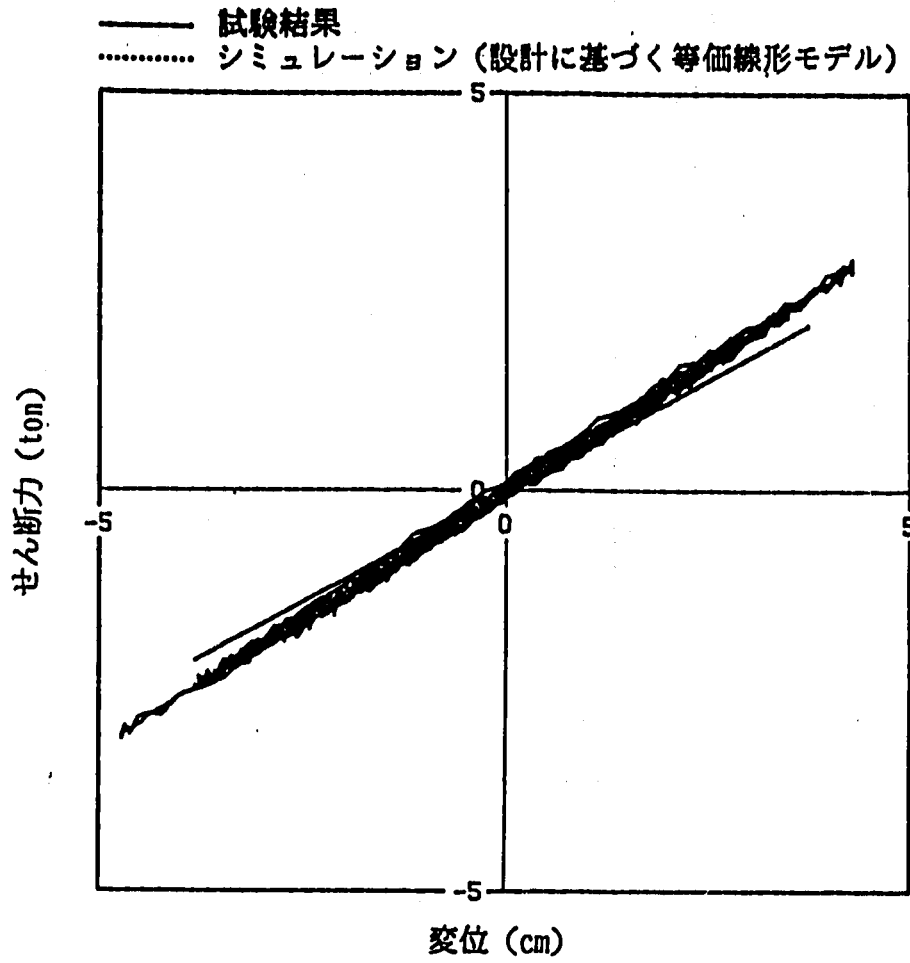
付図2 積層ゴムのモデル化
(実験値に基づく等価線形モデル)
A-Fig. 2 Simulation Model of Rubber Bearing
(Equivalent-linear Model of Experimental Values)



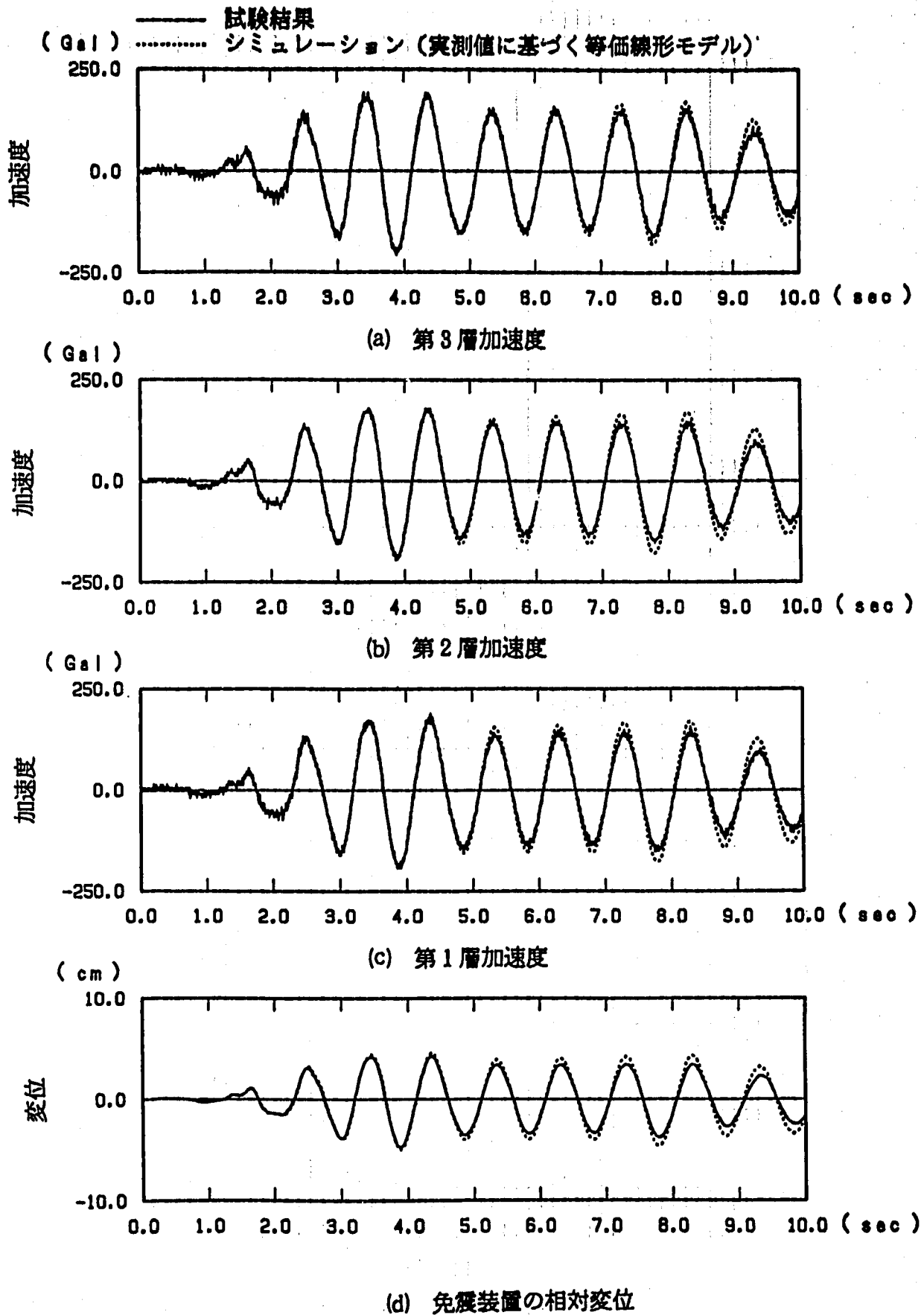
付図3 加速度及び変位応答時刻歴 (RDO, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-Fig. 3 Time History Response of Acceleration and Displacement (RDO, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



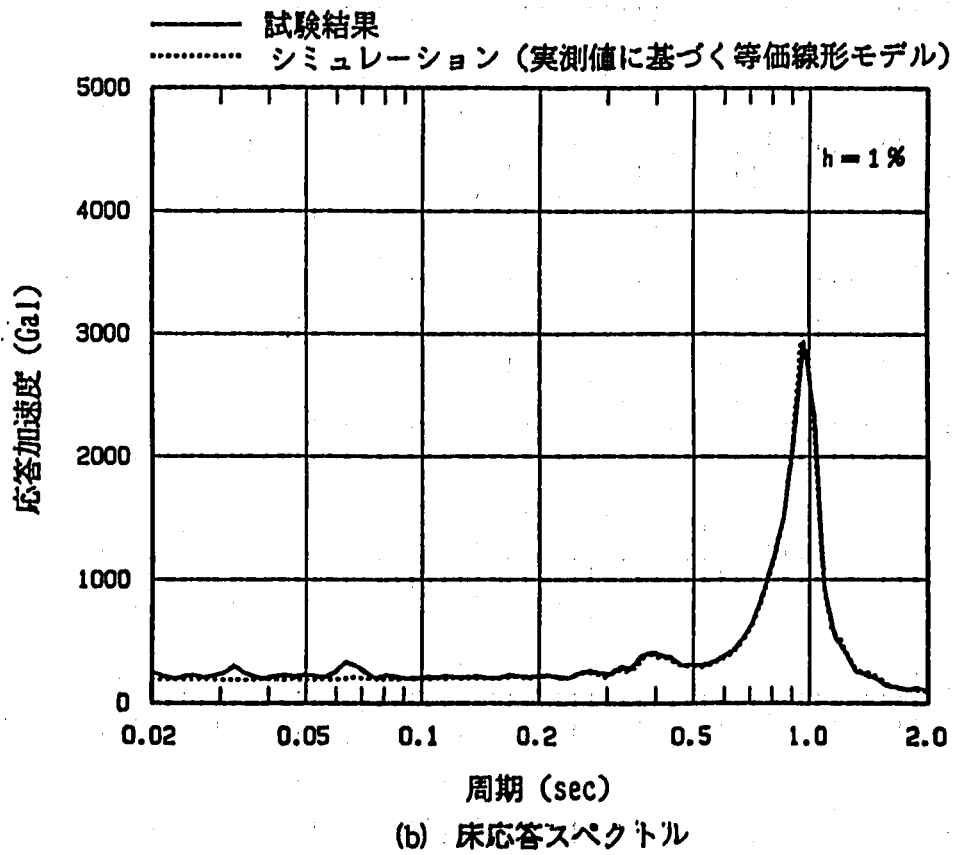
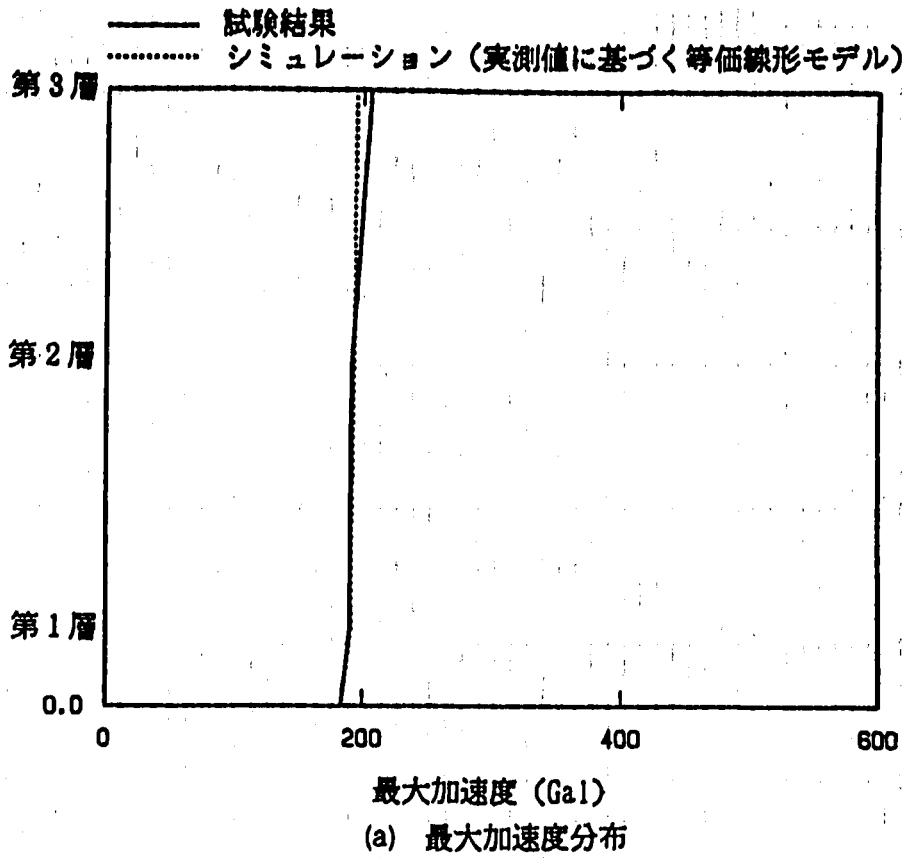
付図4 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RDO, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-Fig. 4 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RDO, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



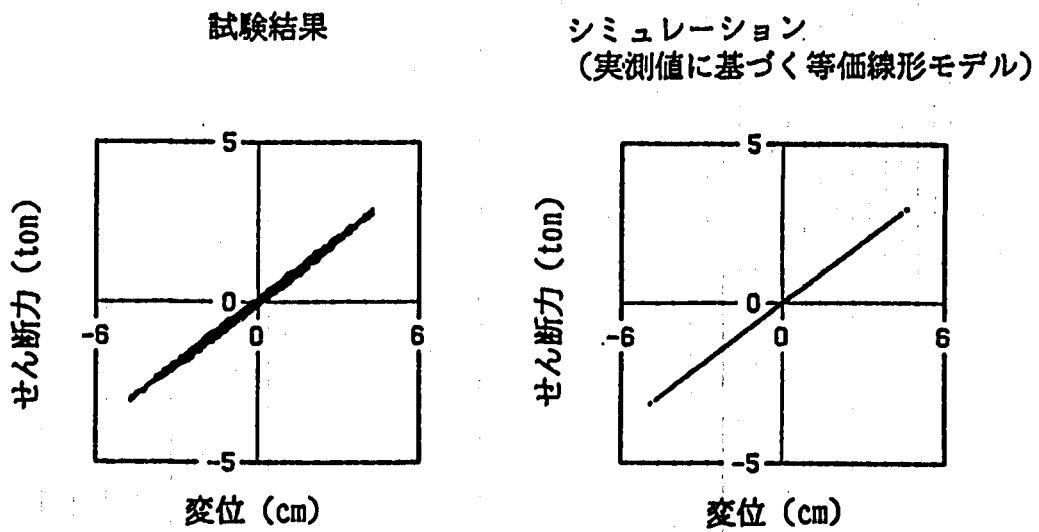
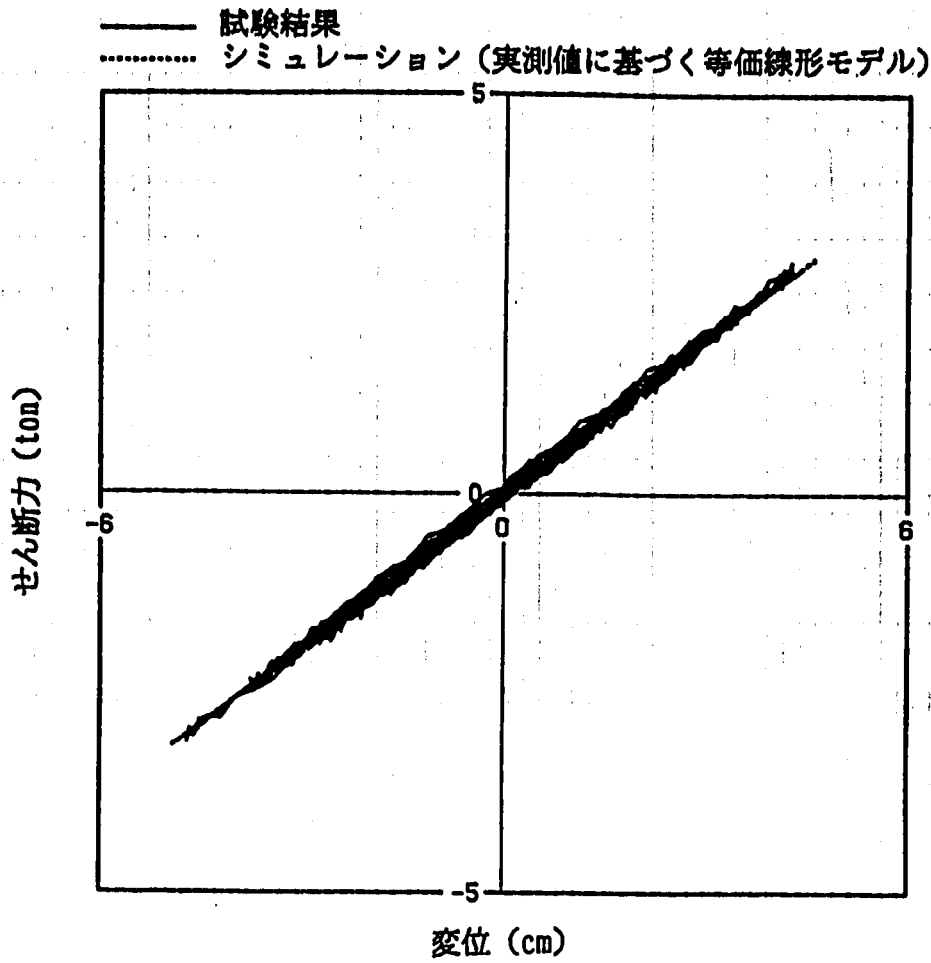
付図 5 免震装置の履歴曲線 (RDO, DCA2N 質点モデル, EW, モデル A)
 A-Fig. 5 Hysteresis Loop of Total Device
 (RDO, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



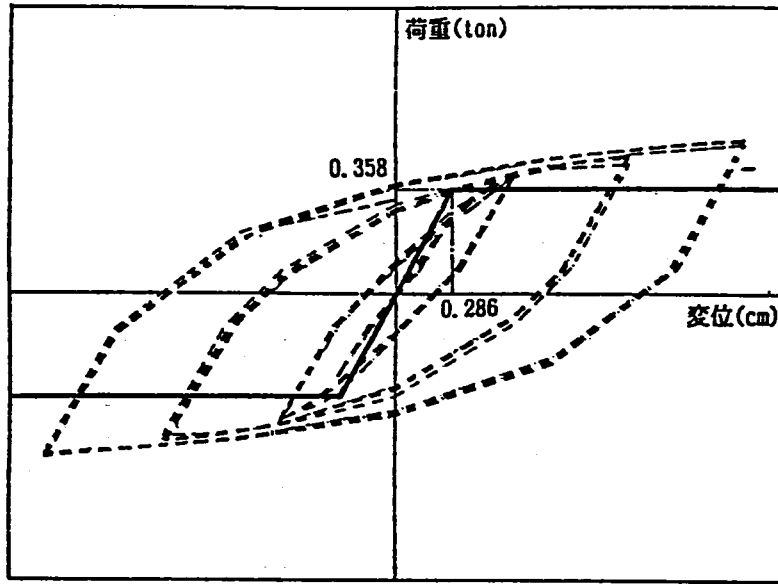
付図6 加速度及び変位応答時刻歴 (RDO, DAC2N 質点モデル, EW, モデルE)
 A-Fig. 6 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RDO, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



付図7 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RDO, DAC2N 質点モデル, EW, モデルE)
 A-Fig. 7 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RDO, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



付図 8 免震装置の履歴曲線 (RDO, DAC2N 質点モデル, BW, モデル E)
 A-Fig. 8 Hysteresis Loop of Total Device
 (RDO, DAC2N Mass Model, BW, Model E)



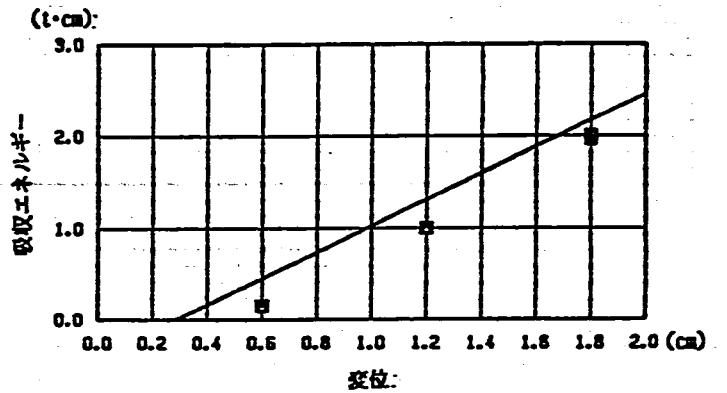
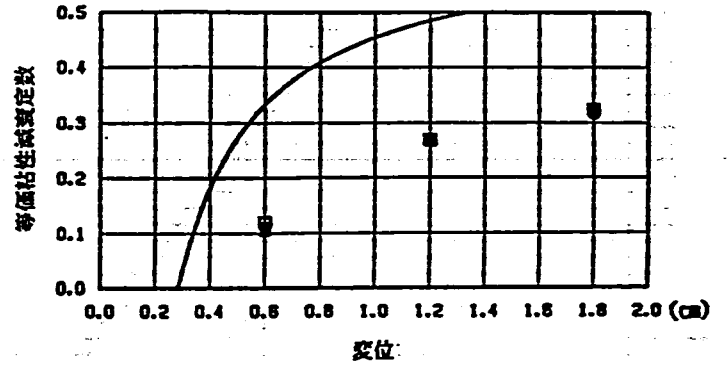
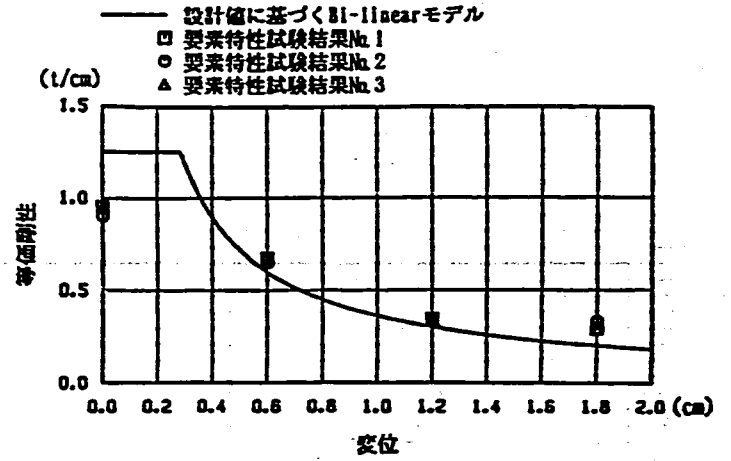
(a) 要素特性復元力と設計モデル復元力の比較

(b) 設計モデルの諸定数

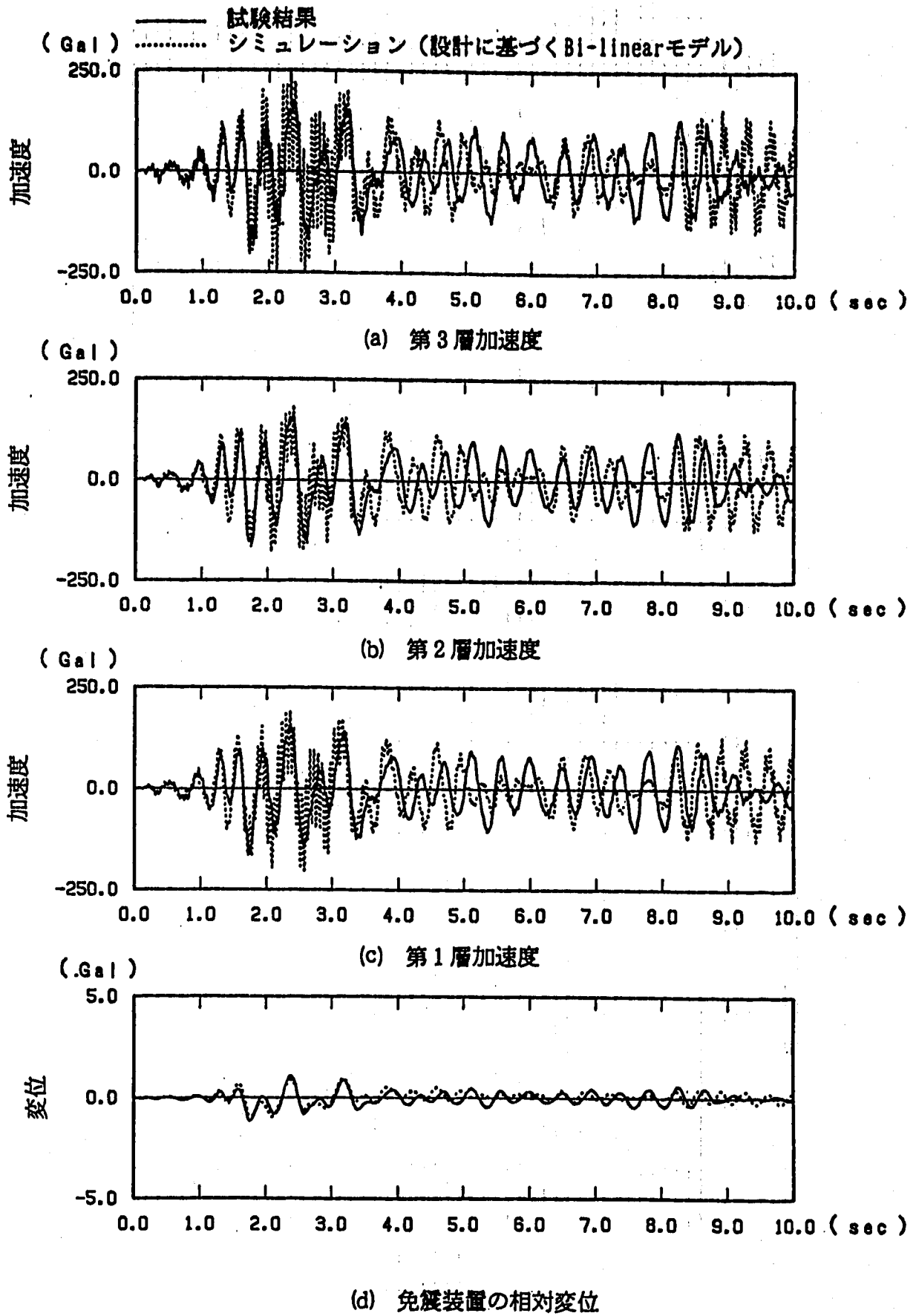
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.557	—	—	1.22×10^7	2.0
鋼材ダンパー	5.014	0.0	—	—	1.0

付図9 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta=0.1$) のモデル化
(設計値に基づくBi-linearモデル)

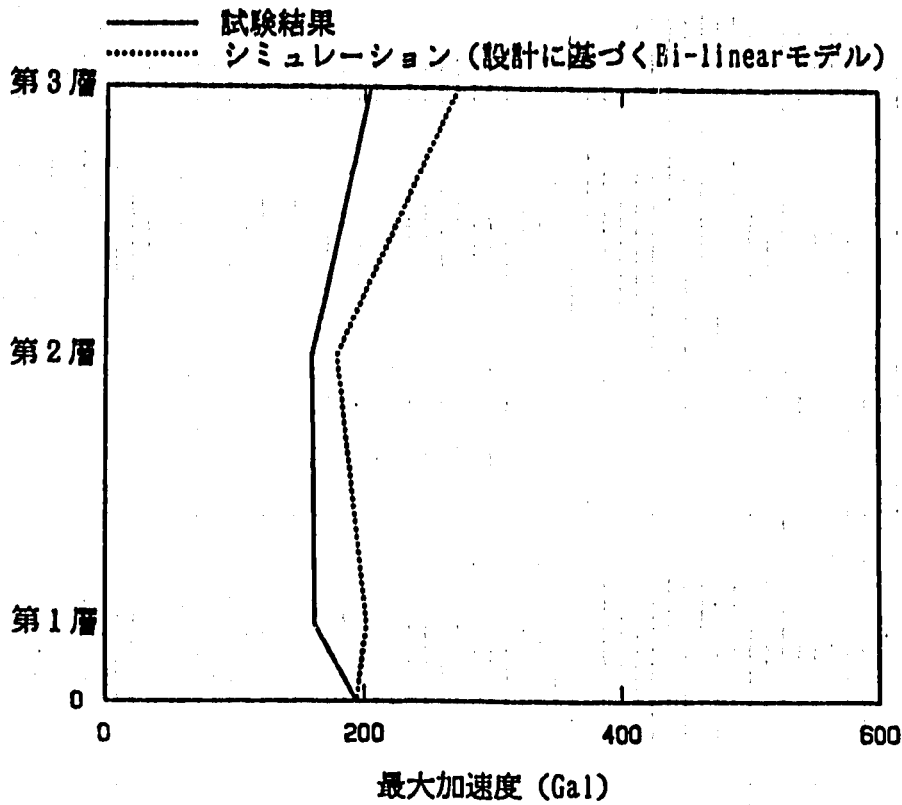
A-Fig. 9 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta=0.1$)
(Bi-linear Model of Design Values)



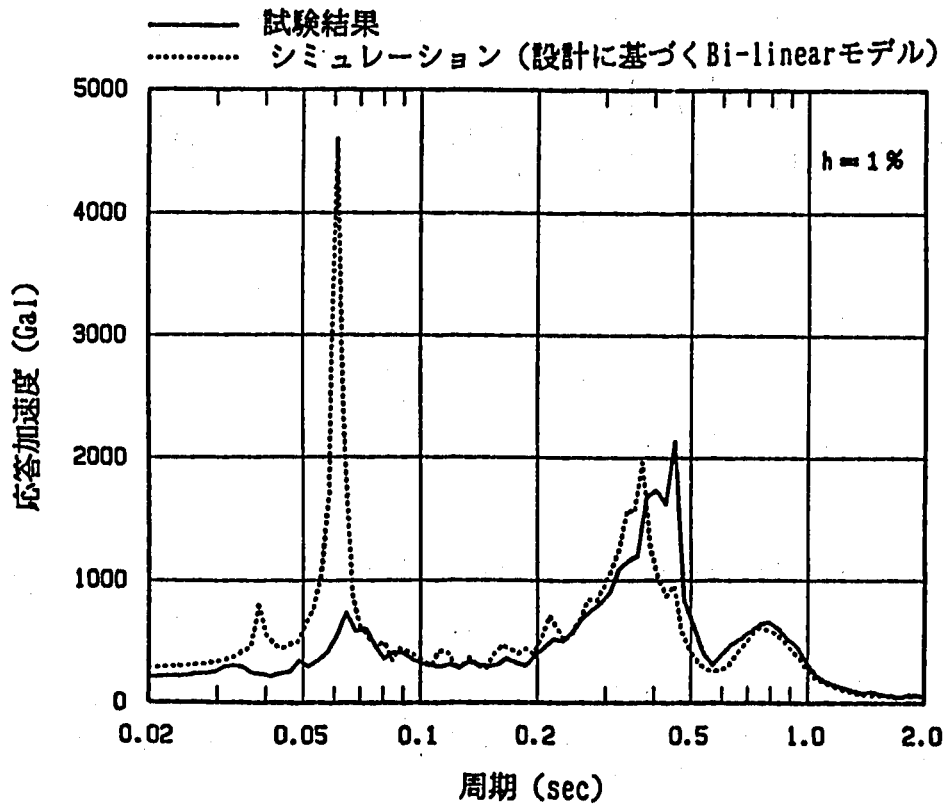
(c) 要素特性試験結果と設計モデル復元力特性の比較



付図10 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, BW, モデルA)
 A-fig.10 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, BW, Model A)

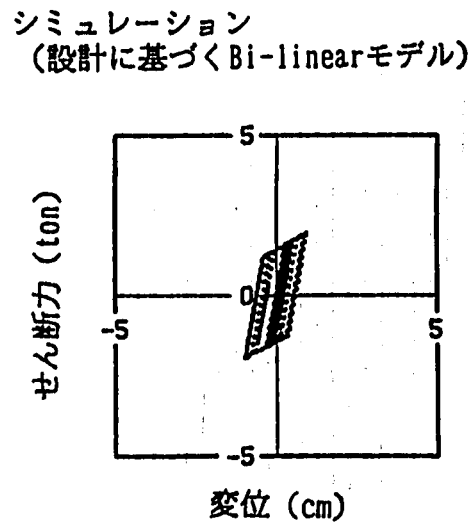
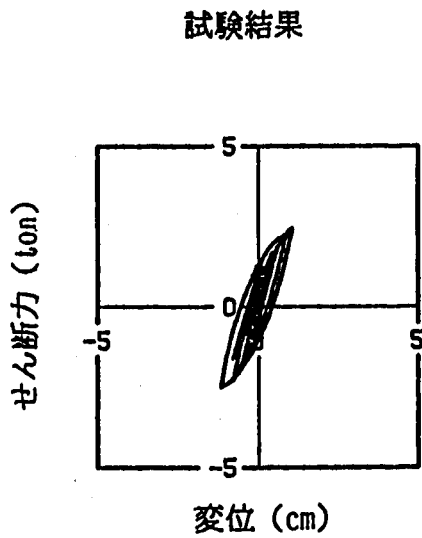
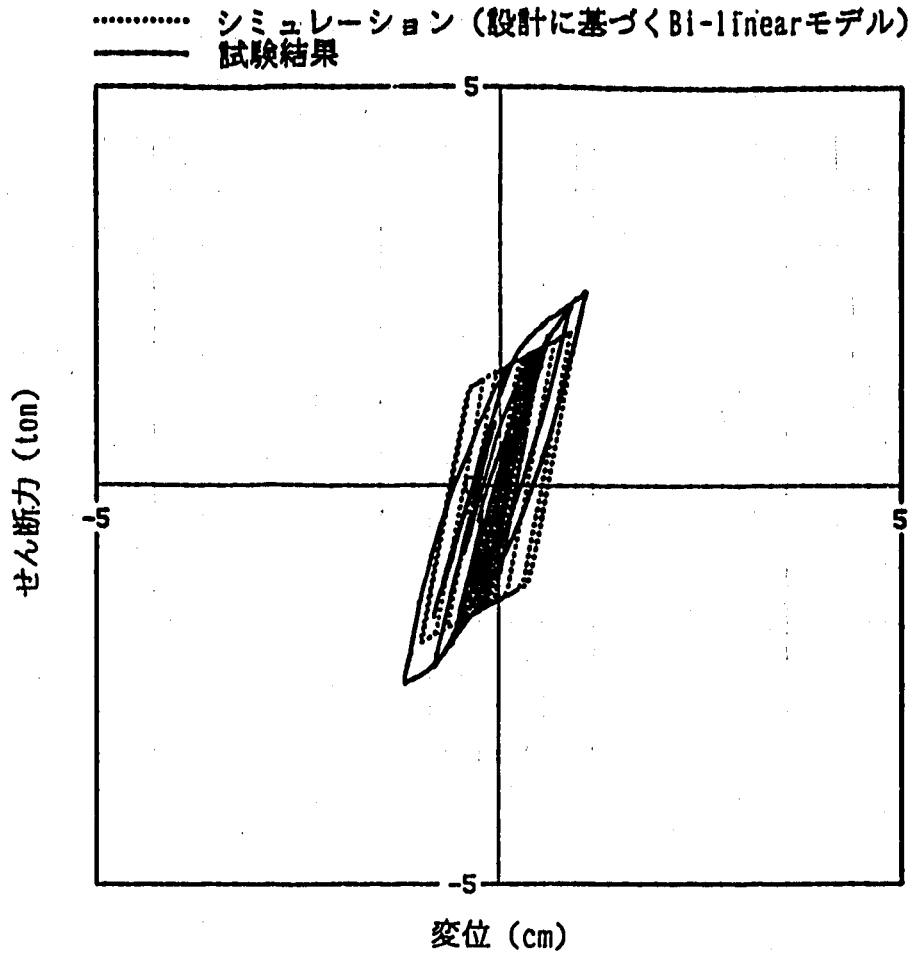


(a) 最大加速度分布

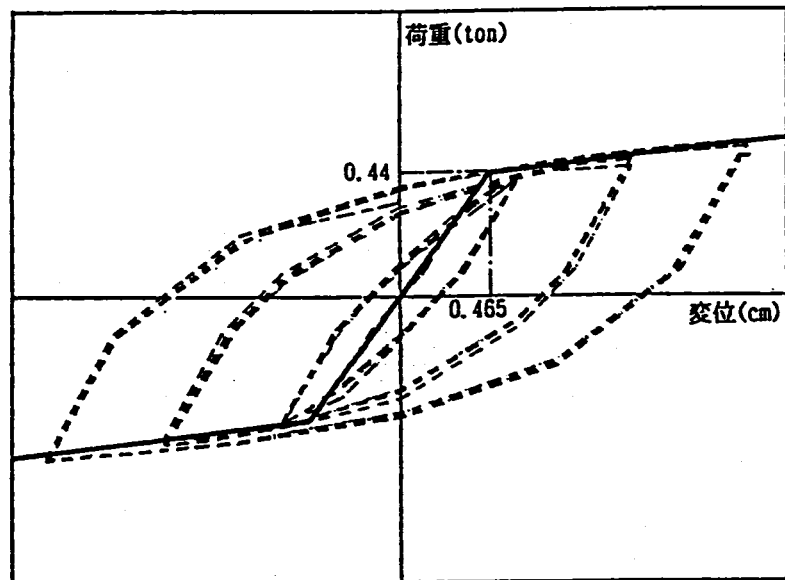


(b) 床応答スペクトル

付図11 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデル A)
 A-Fig.11 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



付図12 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-fig.12 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



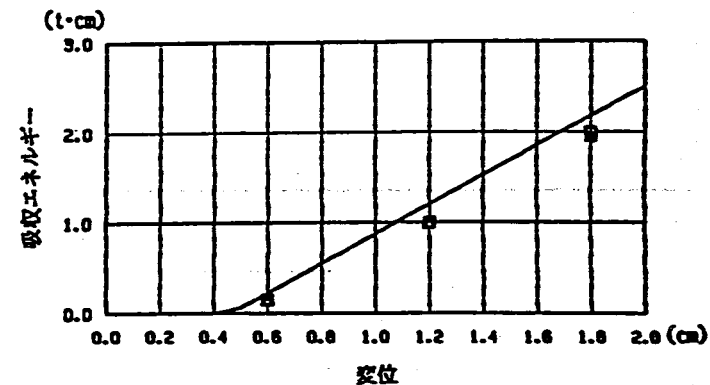
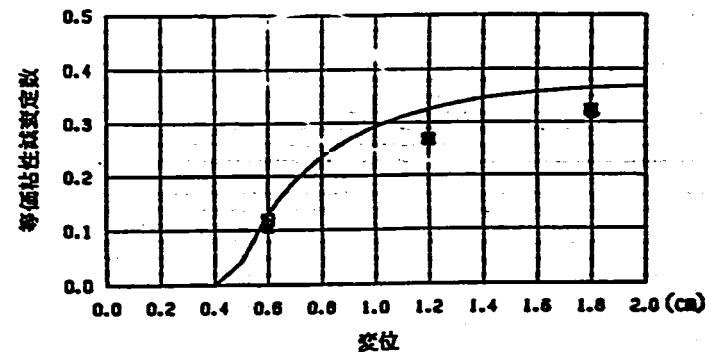
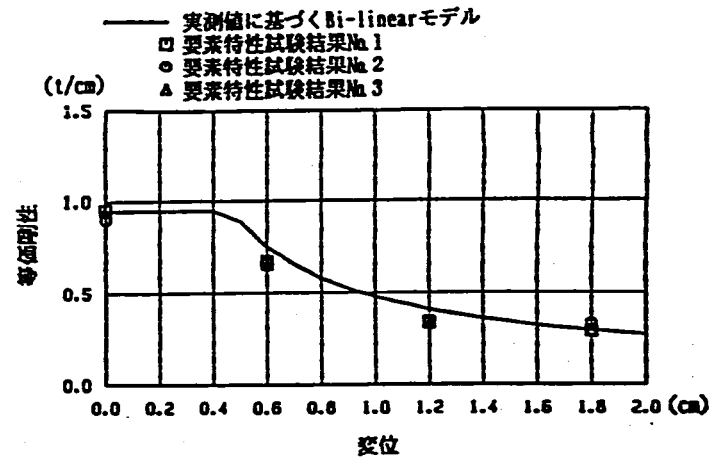
(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

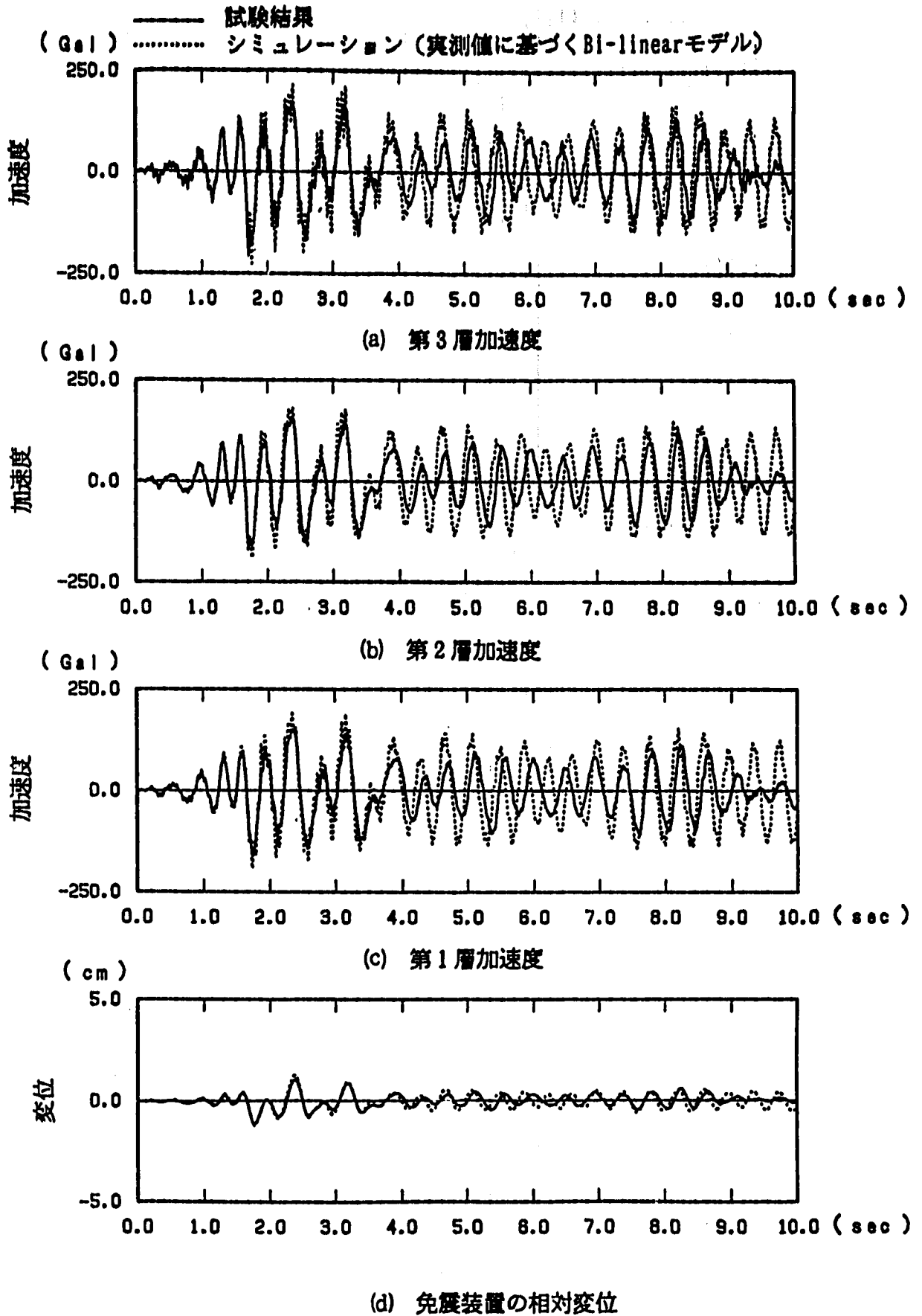
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	2.0
鋼材ダンパー	3.788	0.269	—	—	1.0

付図13 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.1$) のモデル化
(実験値に基づくBi-linearモデル)

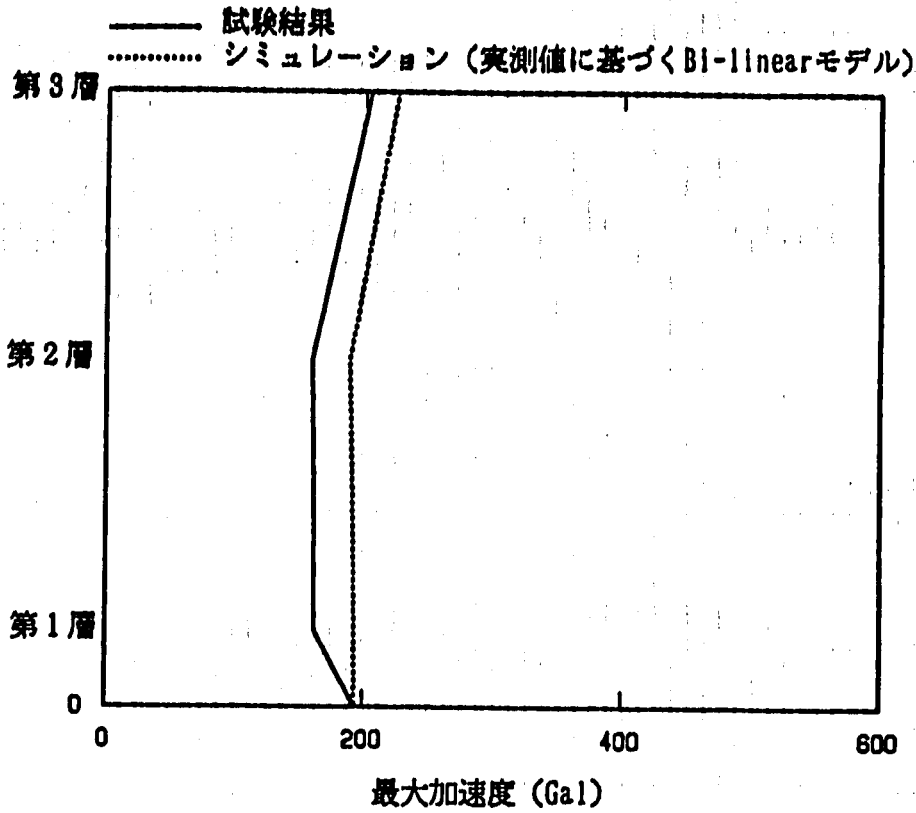
A-Fig.13 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.1$)
(Bi-linear Model of Experimental Values)



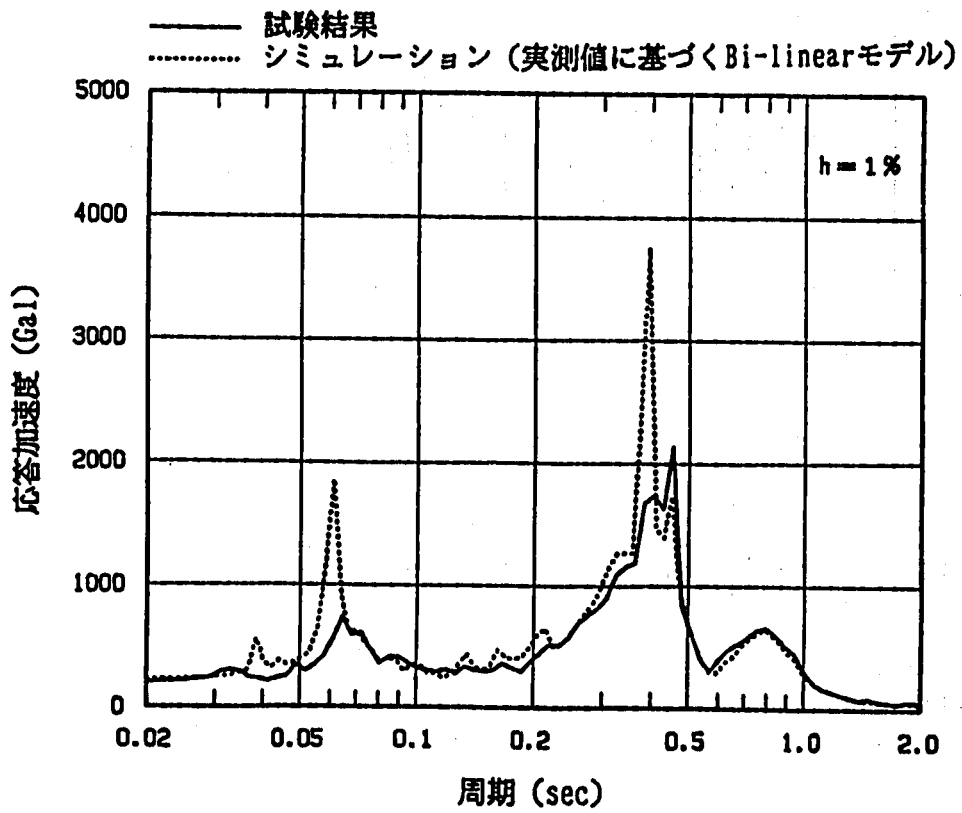
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較



付図14 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルB)
 A-fig.14 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model B)

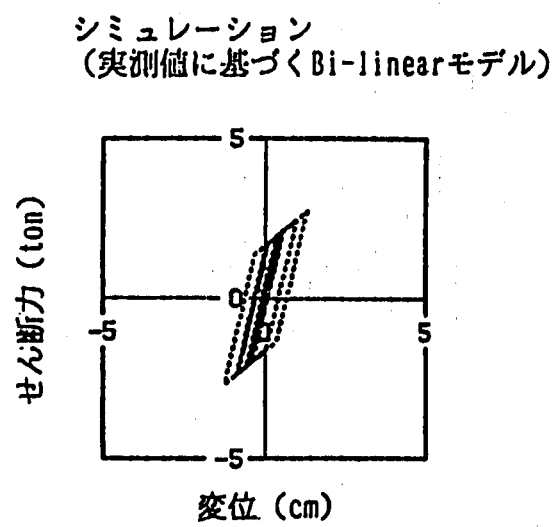
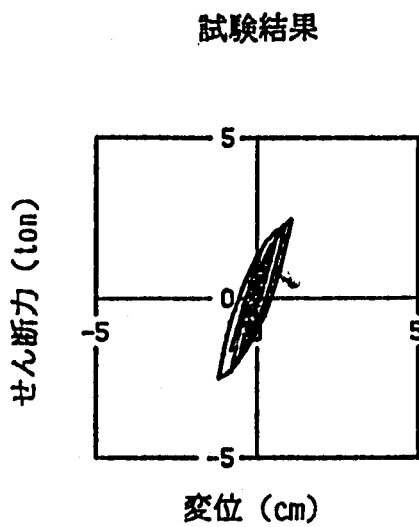
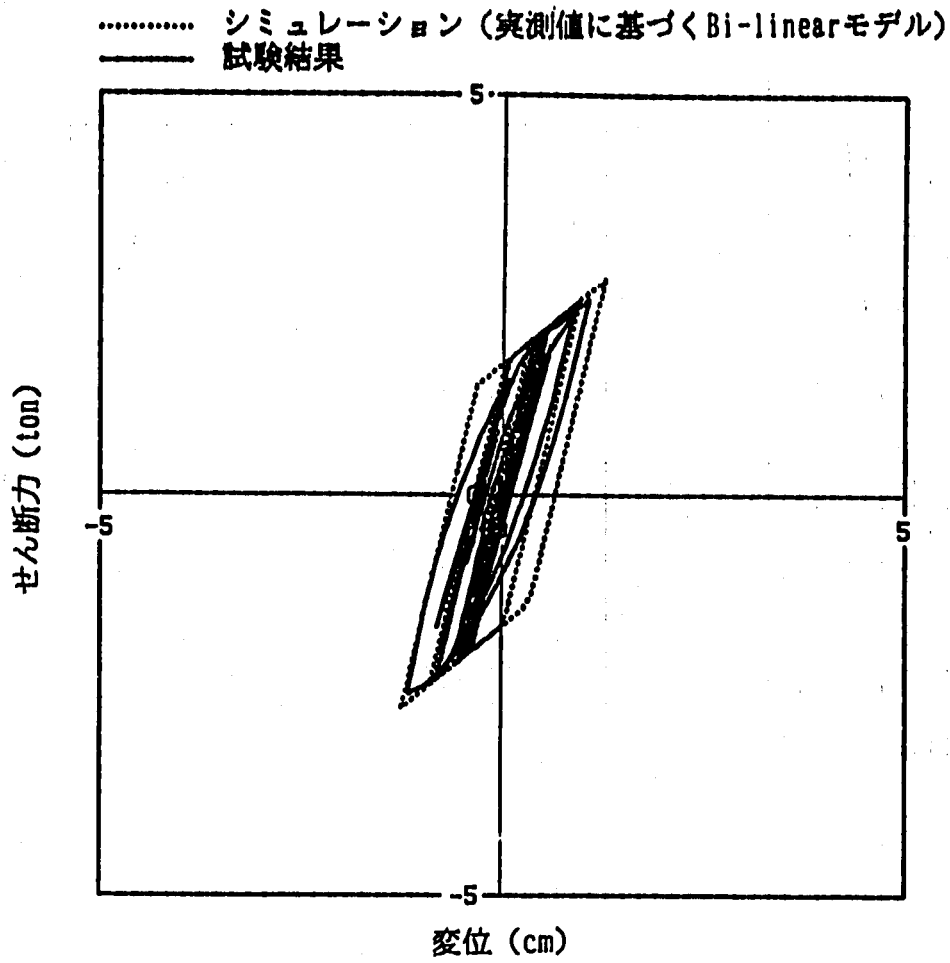


(a) 最大加速度分布

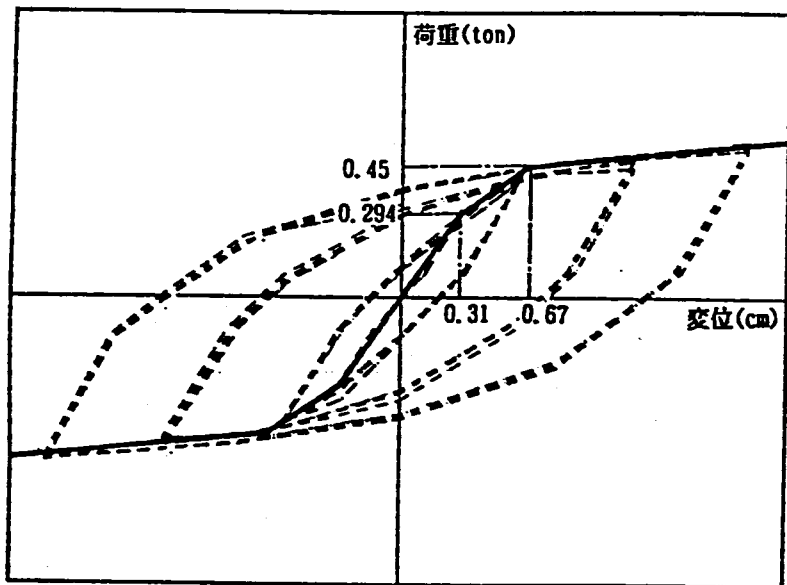


(b) 床応答スペクトル

付図15 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, BW, モデルB)
 A-Fig.15 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, BW, Model B)



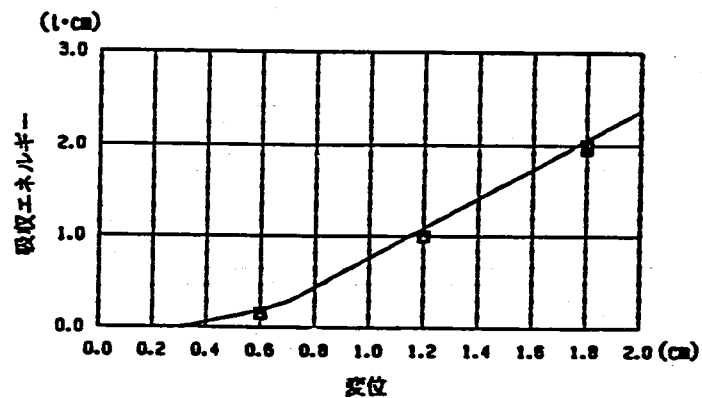
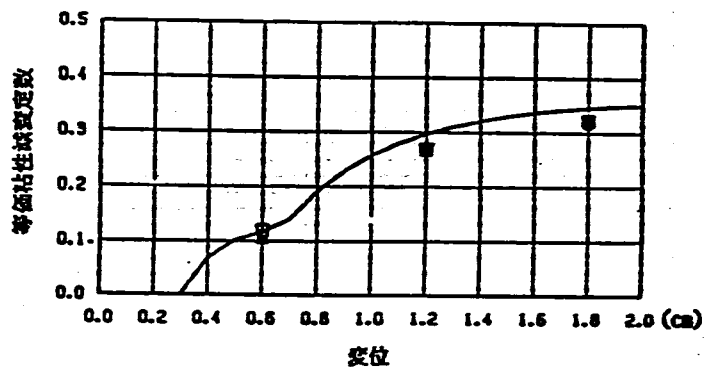
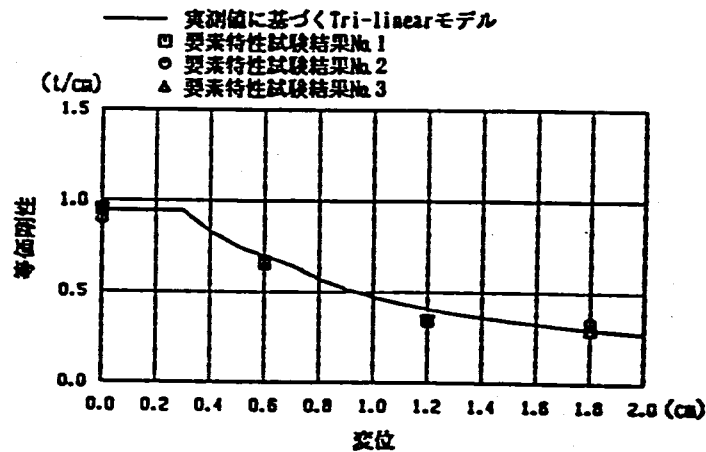
付図16 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデル B)
 A-Fig.16 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model B)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

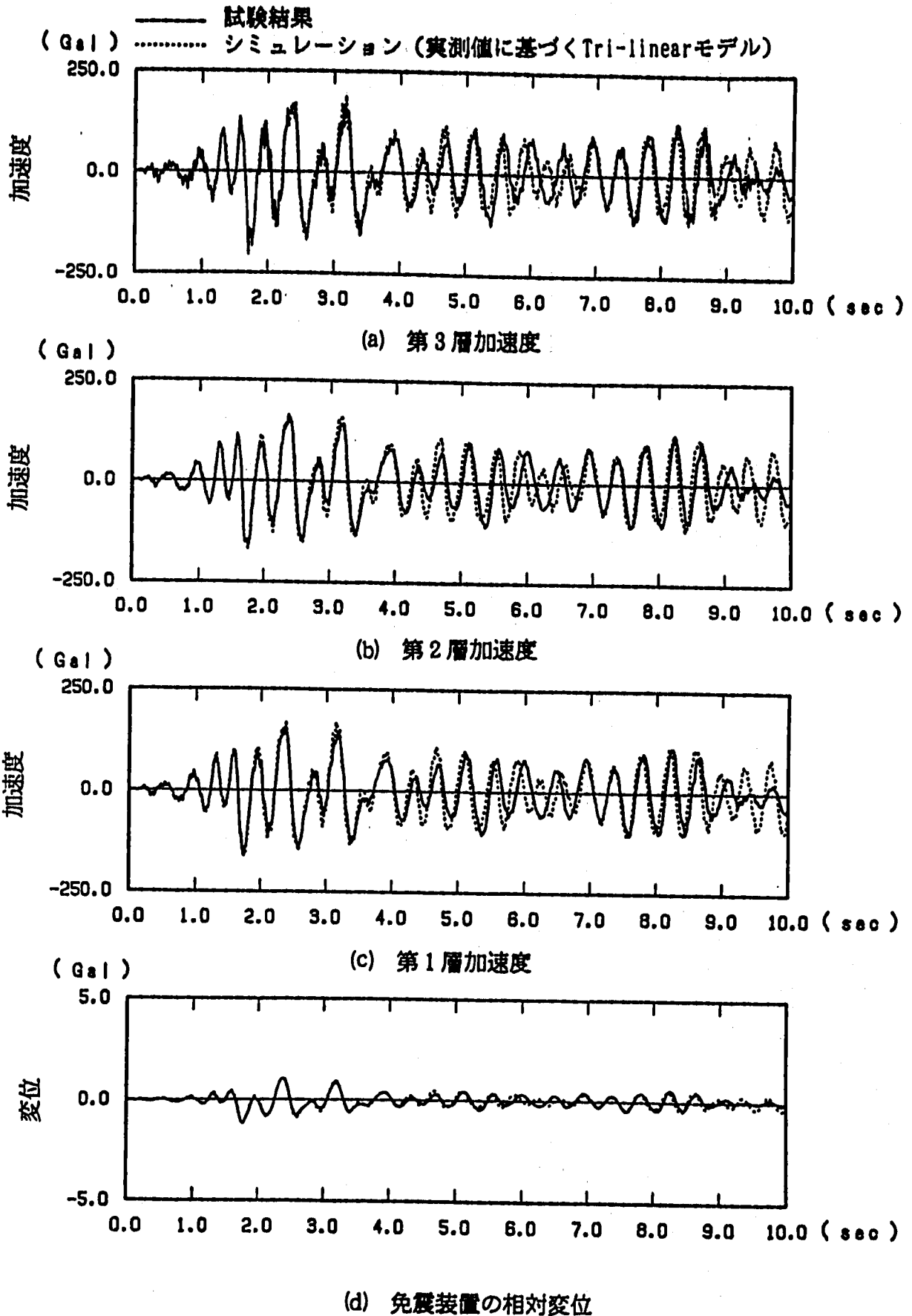
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	2.0
鋼材ダンパー	3.788	1.730	0.269	—	1.0



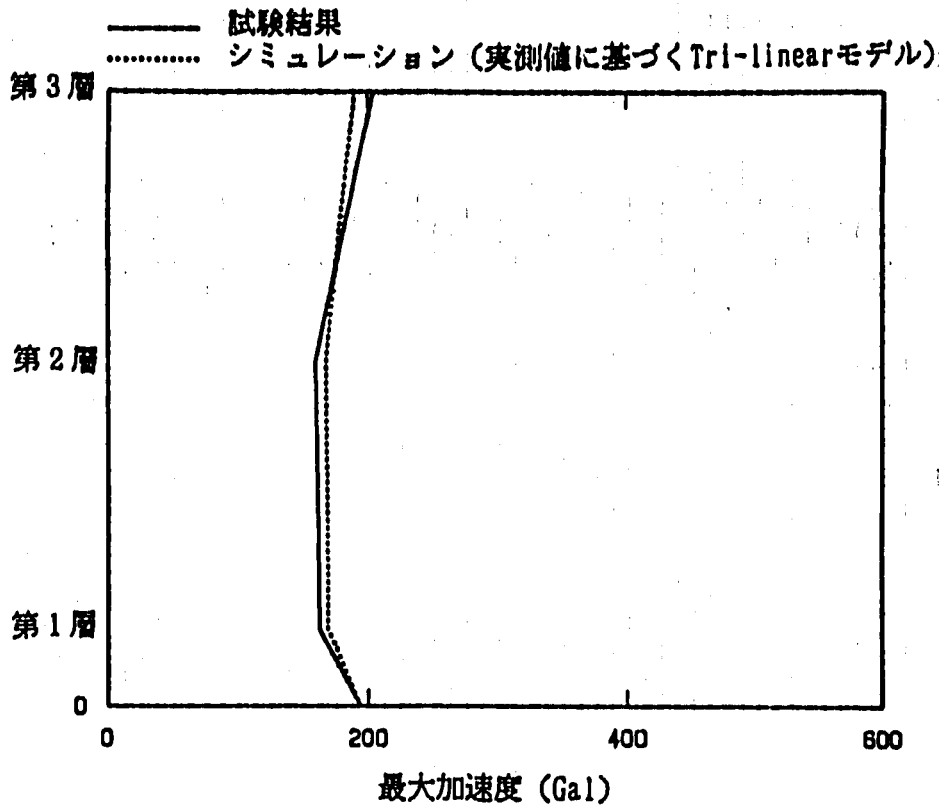
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図17 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.1$) のモデル化
(設計値に基づくTri-linearモデル)

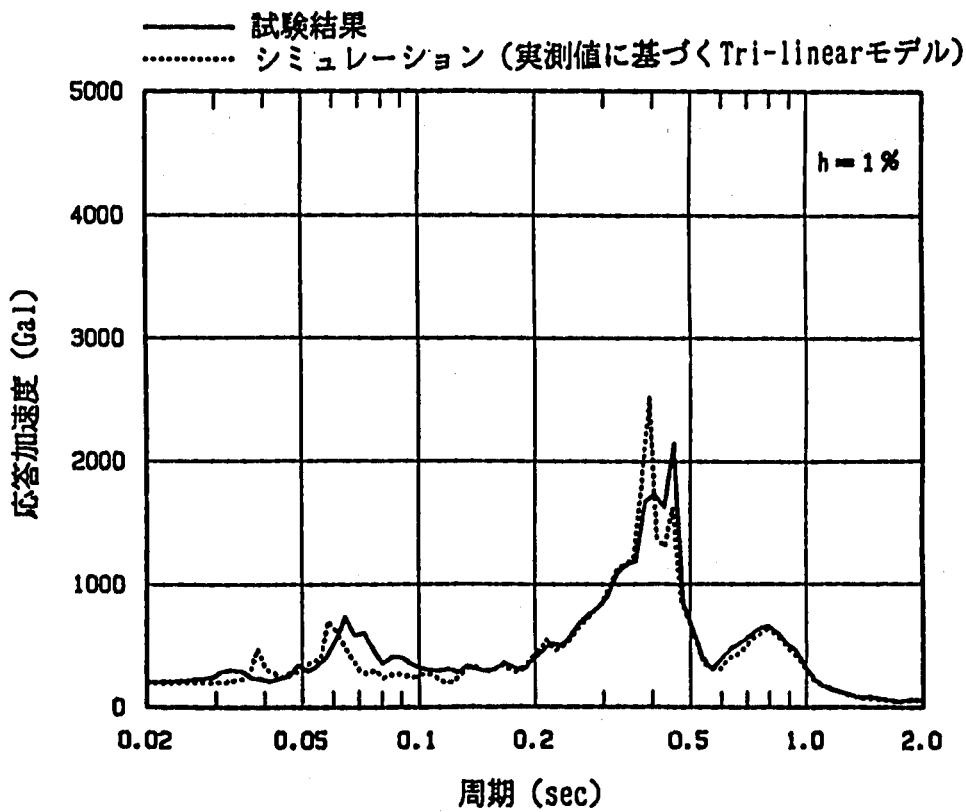
A-Fig.17 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.1$)
(Tri-linear Model of Experimental Values)



付図18 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルC)
 A-Fig.18 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model C)

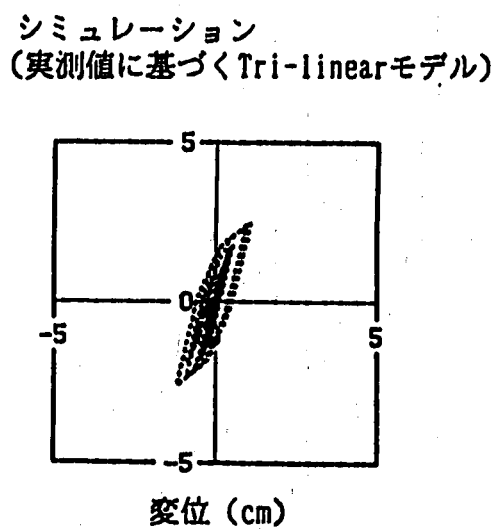
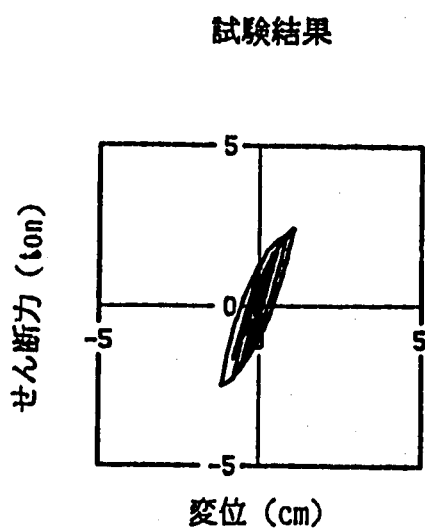
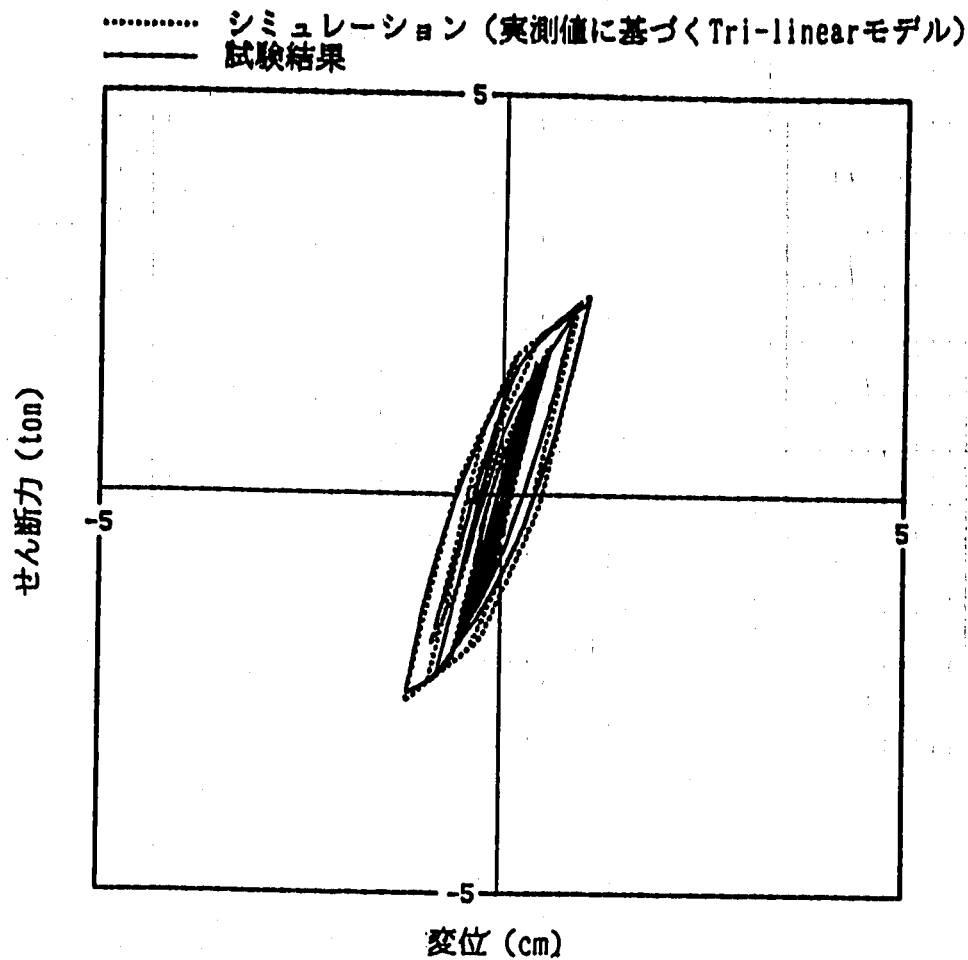


(a) 最大加速度分布

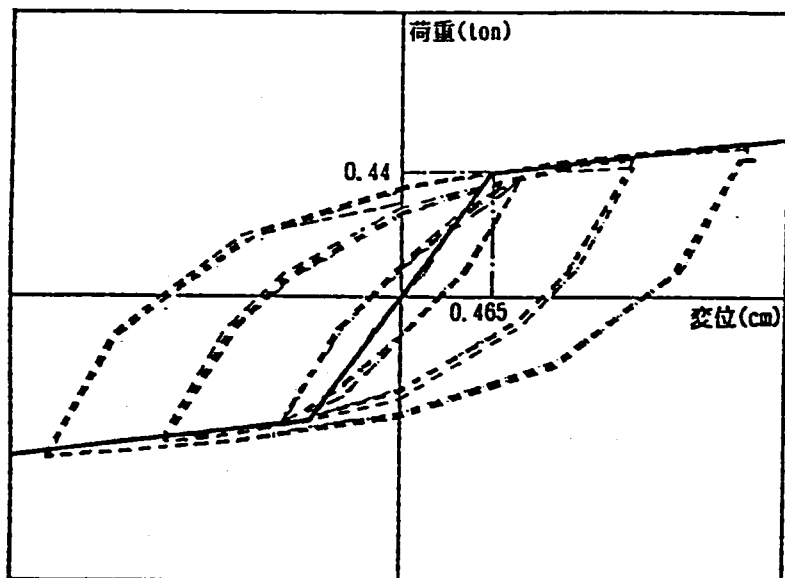


(b) 床応答スペクトル

付図19 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルC)
 A-Fig.19 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model C)



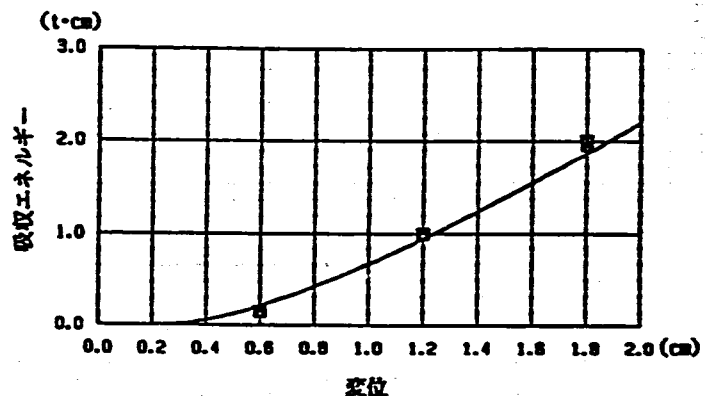
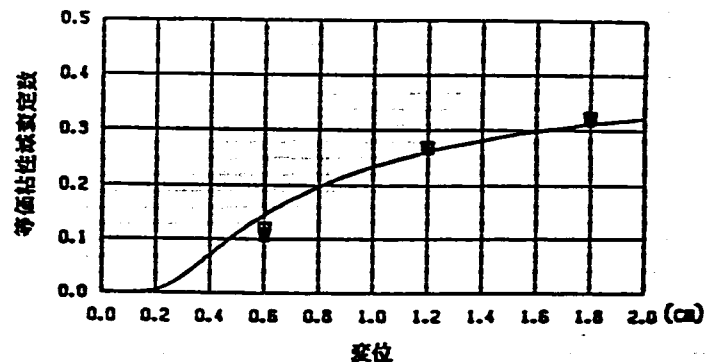
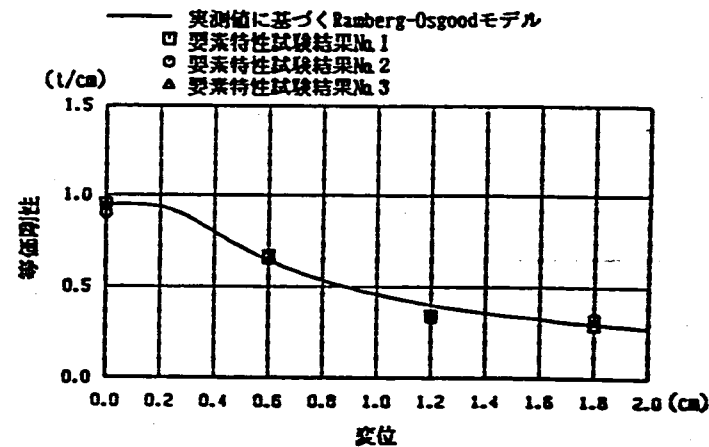
付図20 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルC)
 A-Fig. 20 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model C)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

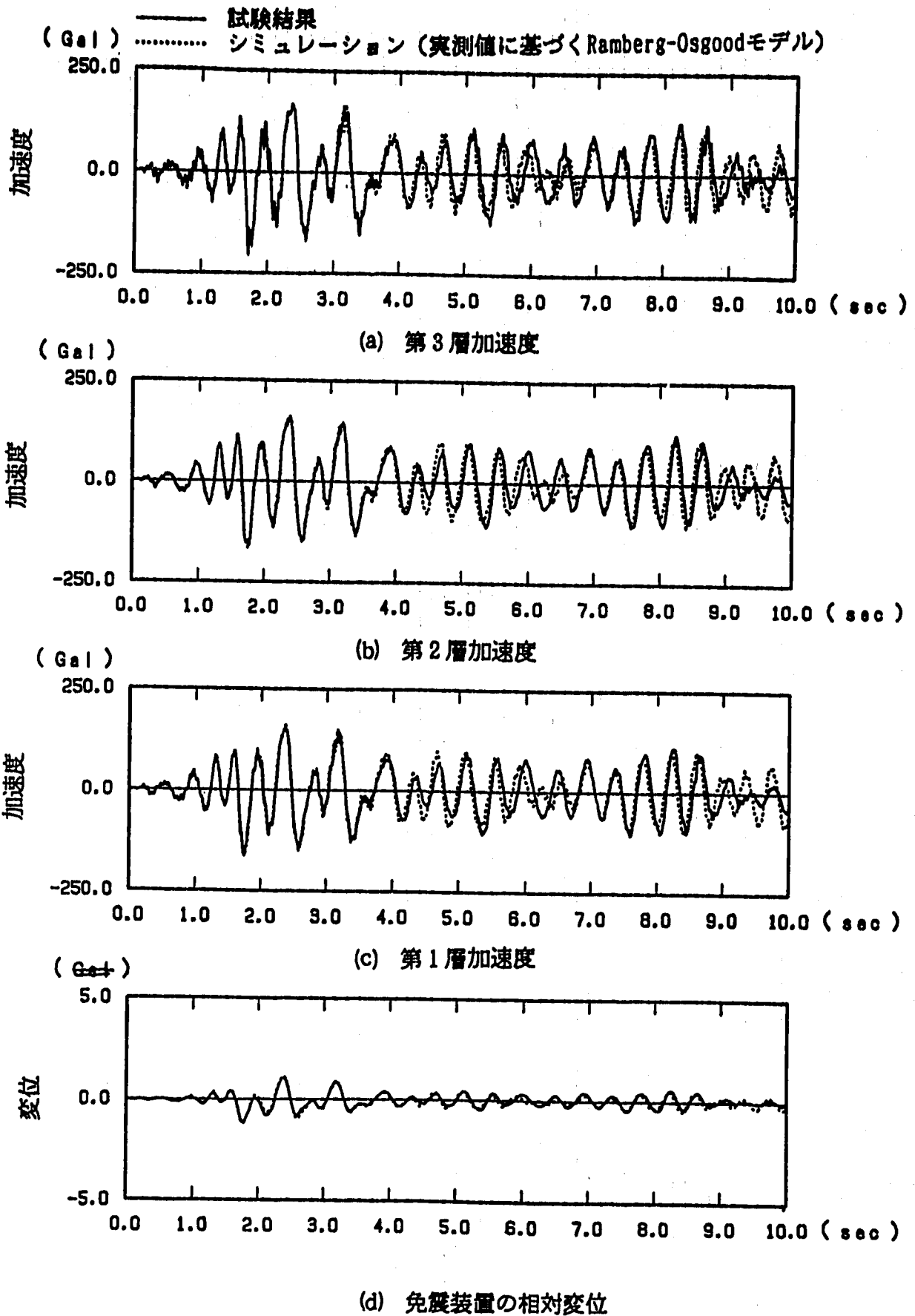
(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	2.0
鋼材ダンパー	3.788	0.269	—	—	1.0
	ヒ滞リループ形状係数			無次元化基準復元力, 変位	
	α	β	γ	Fr	δr
	0.2640	0.0149	5.8869	2.12 ton	1.80 cm

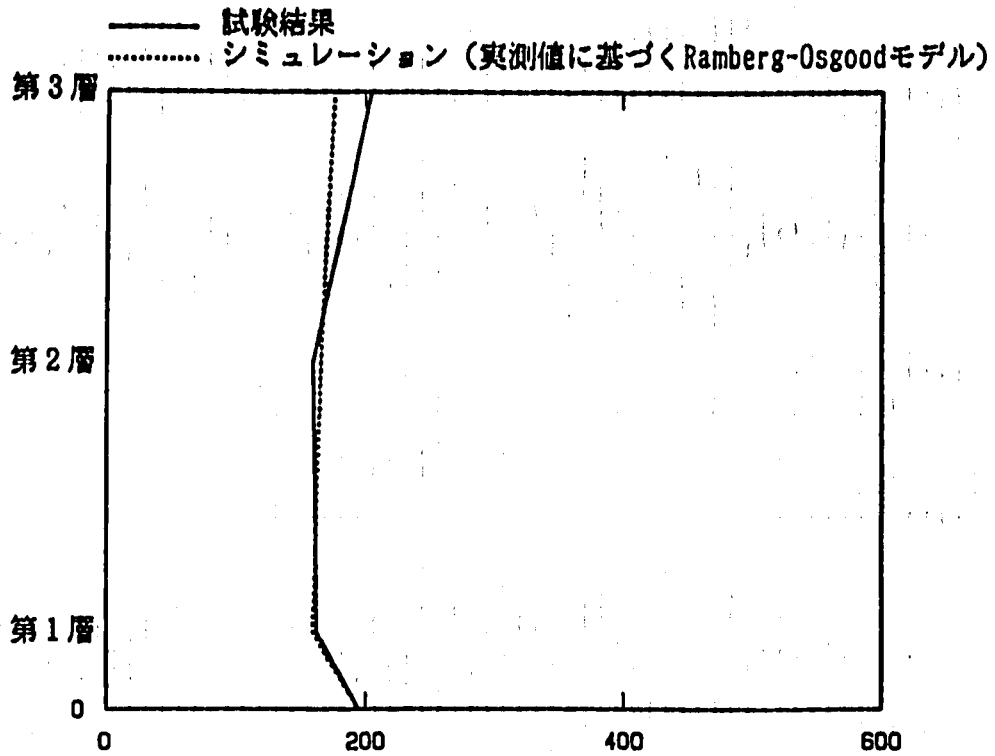


(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

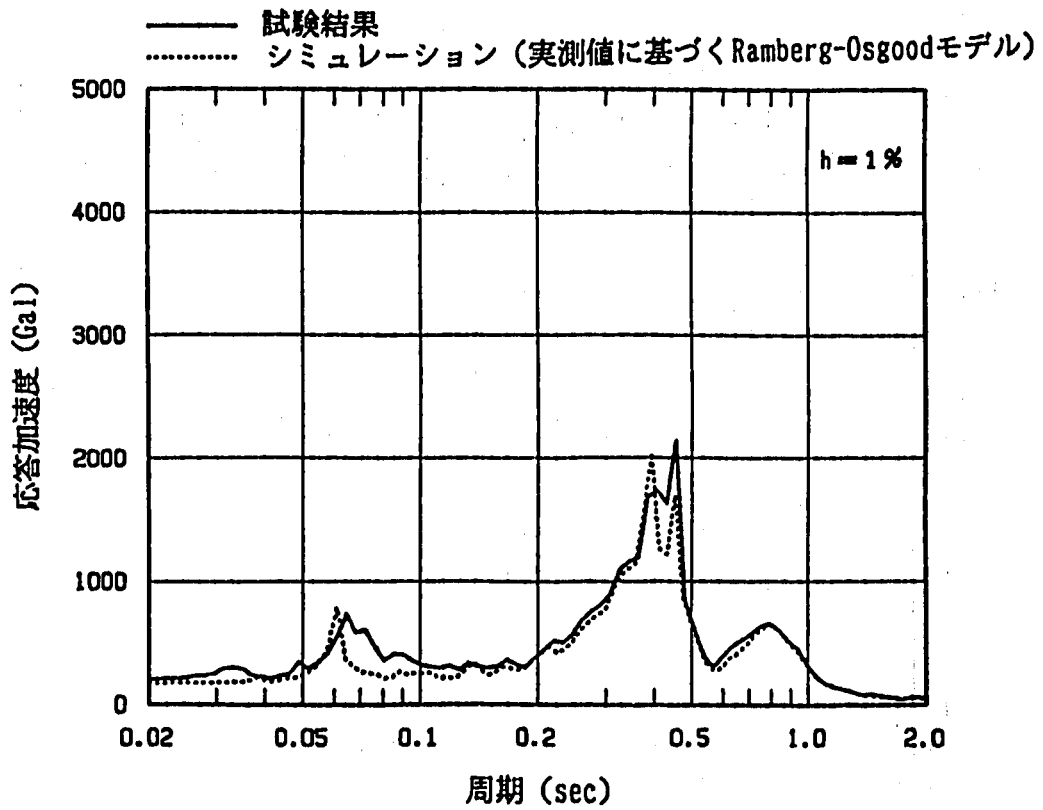
付図21 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta=0.1$) のモデル化
(実測値に基づくRamberg-Osgoodモデル)
A-Fig.21 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta=0.1$)
(Ramberg-Osgood Model of Experimental Values)



付図22 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig.22 Time History Response of Acceleration and Displacement (RD1, DCA2N Mass Model, EW, Model D)

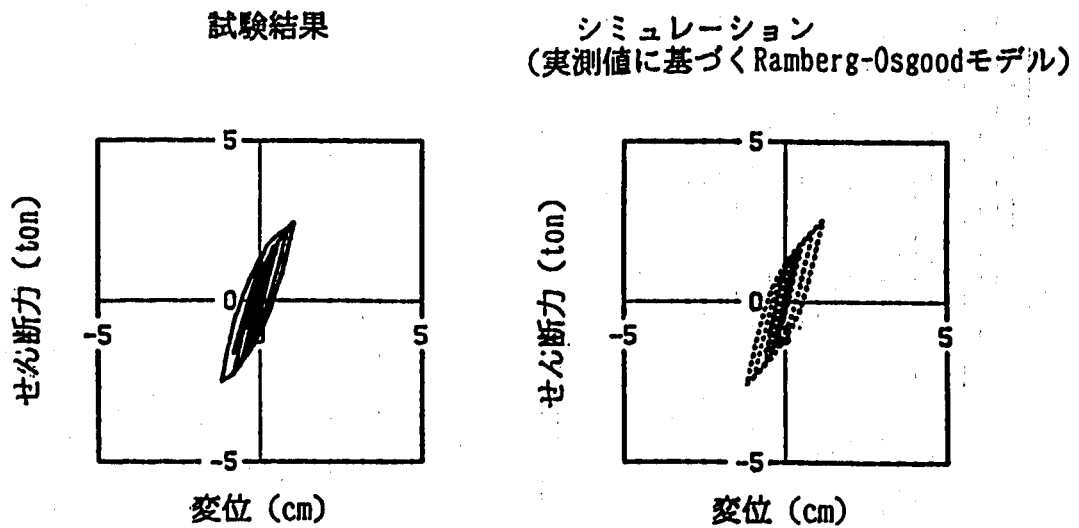
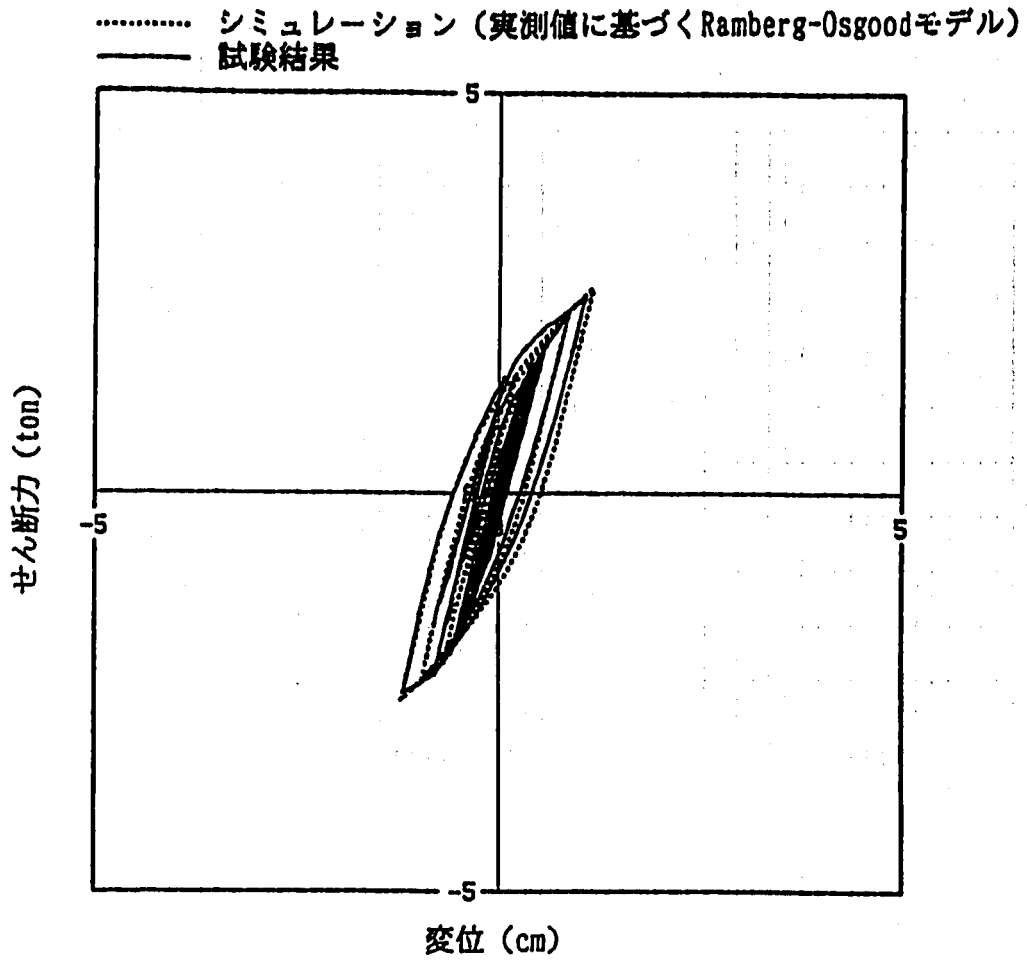


最大加速度 (Gal)
(a) 最大加速度分布

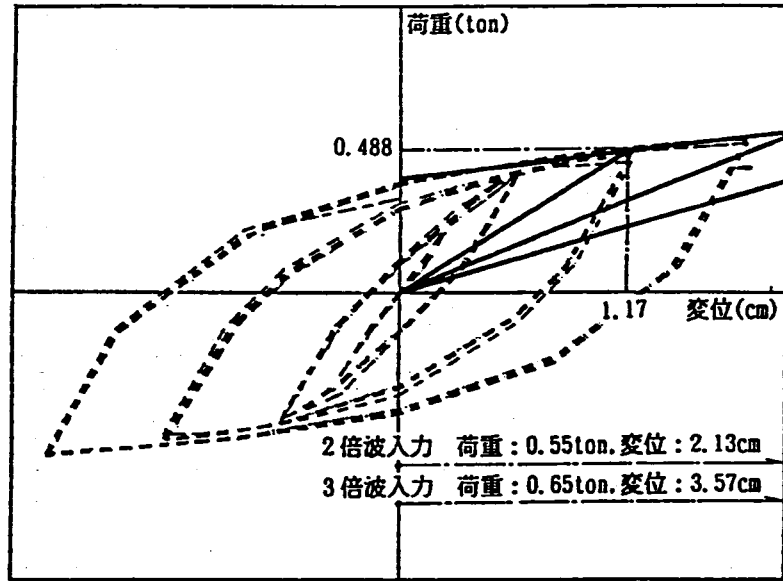


(b) 床応答スペクトル

付図23 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD1, DAC2N 質点モデル, BW, モデルD)
A-Fig. 23 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD1, DAC2N Mass Model, BW, Model D)



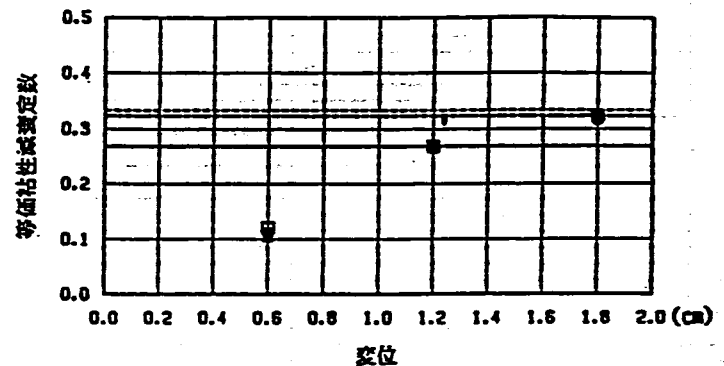
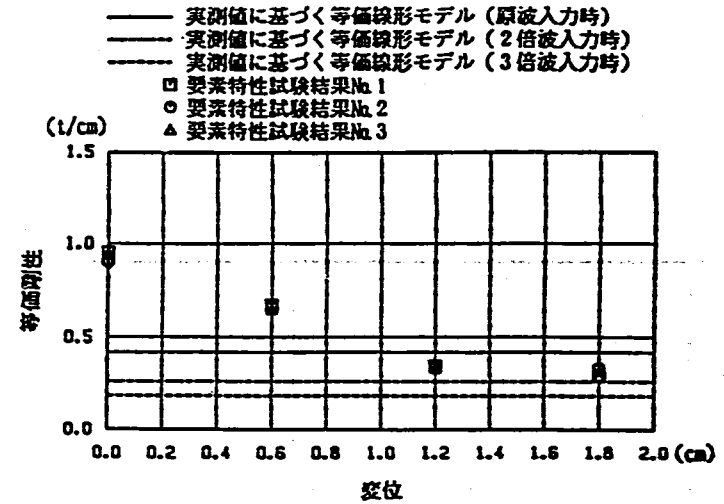
付図24 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, BW, モデルD)
 A-Fig. 24 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, BW, Model D)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

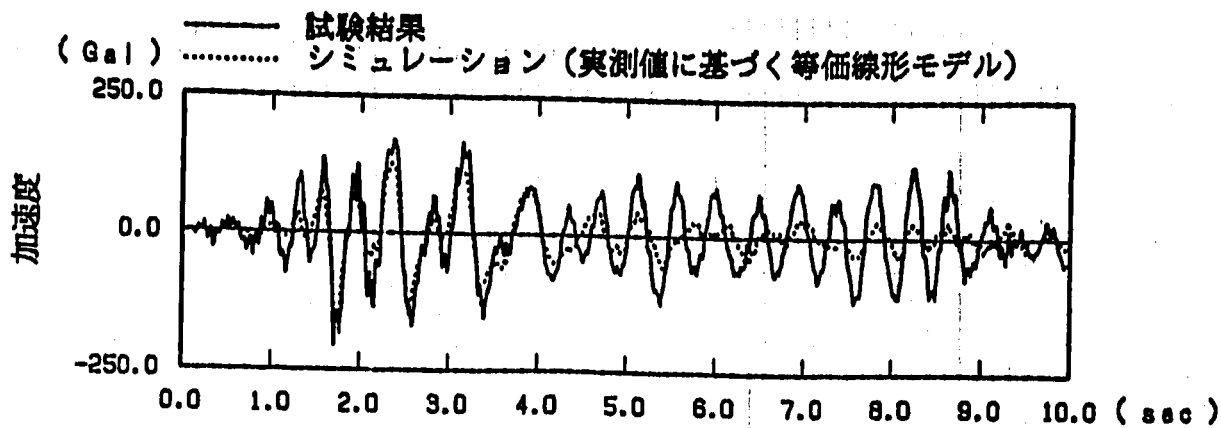
免震装置	1次剛性 (t/cm)	2次剛性 (t/cm)	3次剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	鉛直剛性 (t/cm)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	906.0
鋼材ダンパー	1.667	1.037	0.728	—	—
	等価粘性減衰定数(%)			備考: 水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定	
	26.9	32.3	33.3		



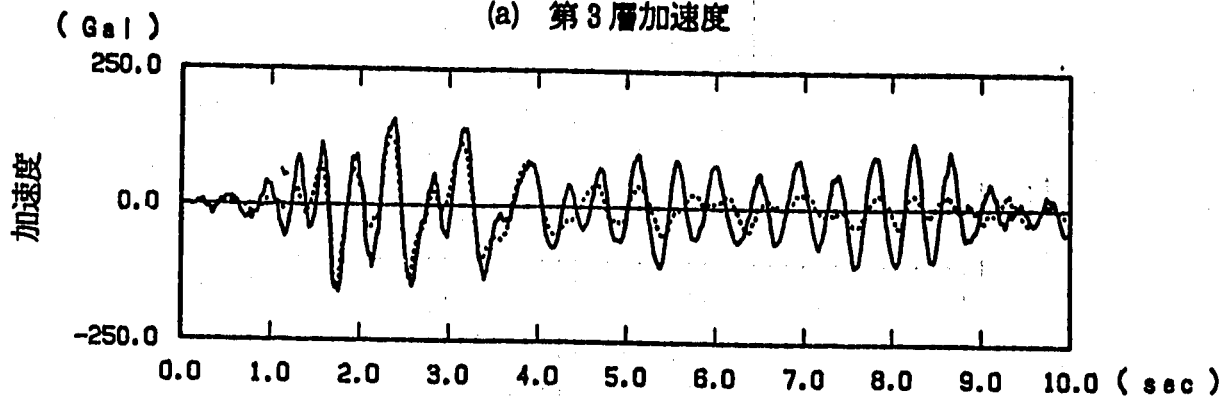
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図25 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.1$) のモデル化 (実験値に基づく等価線形モデル)

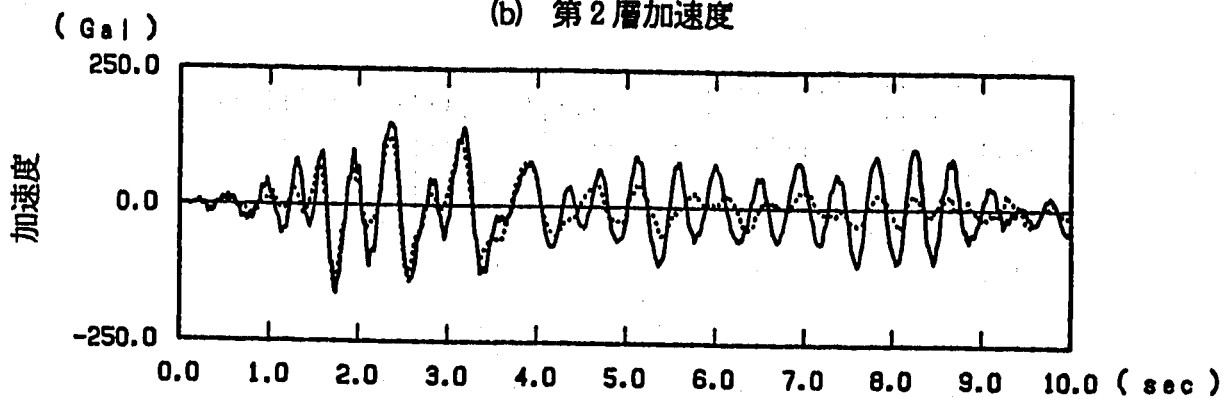
A-Fig.25 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.1$) (Equivalent-linear Model of Experimental Values)



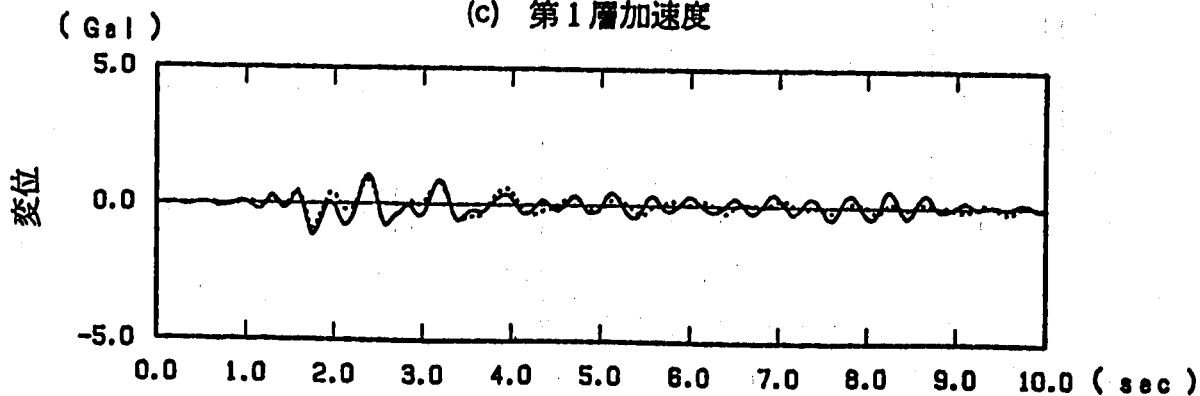
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

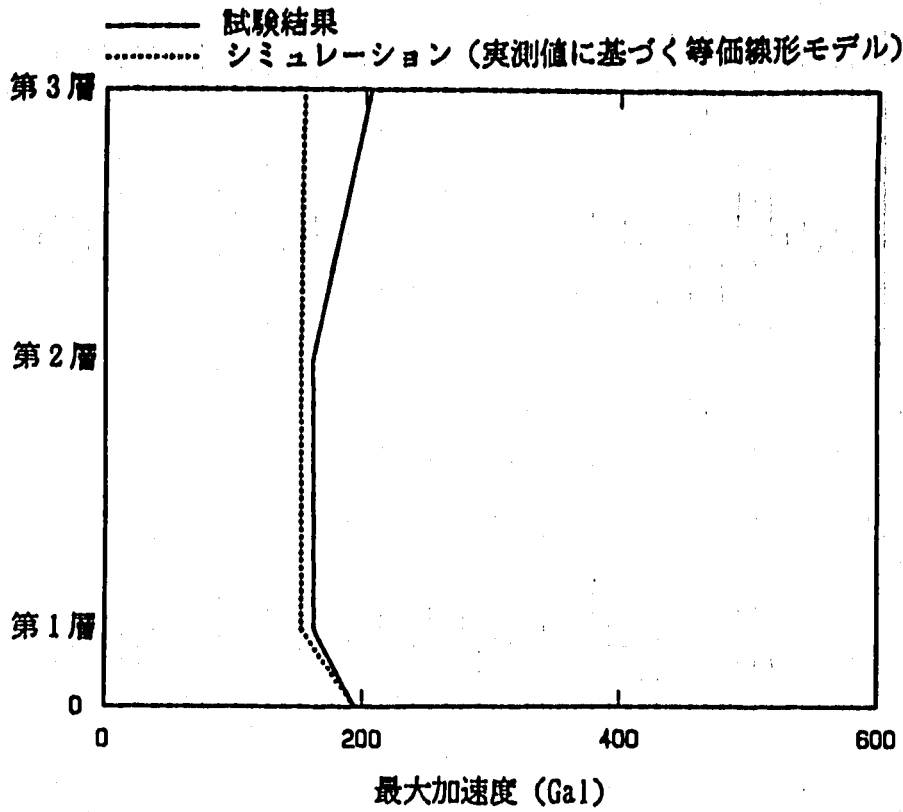


(c) 第1層加速度

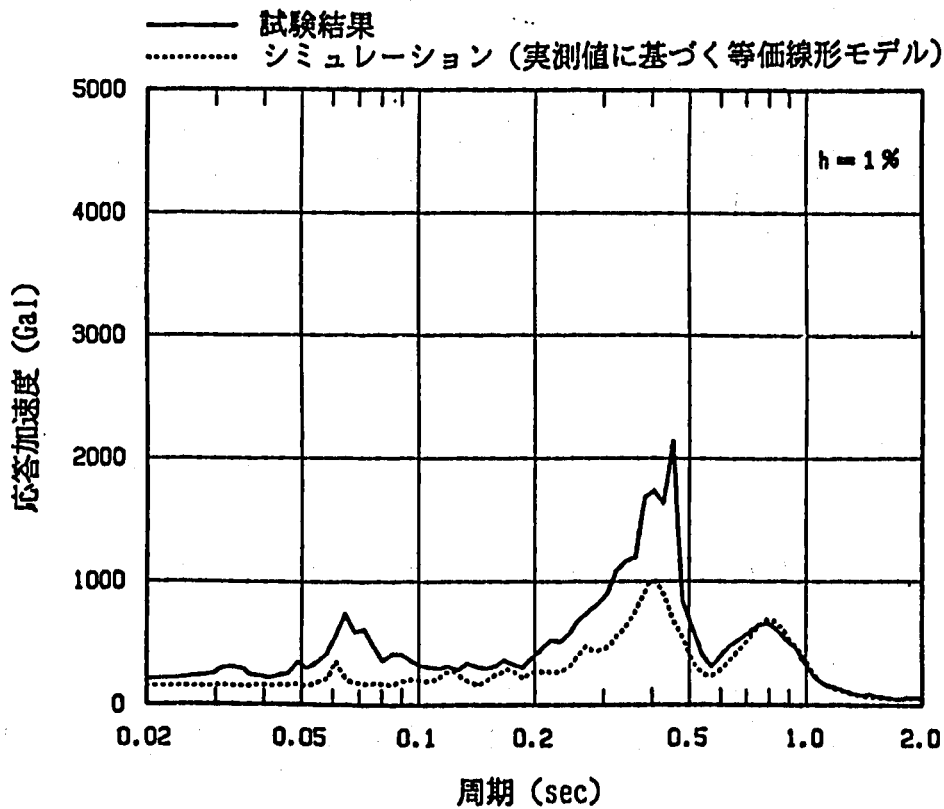


(d) 免震装置の相対変位

付図26 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデルE)
 A-Fig.26 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model E)

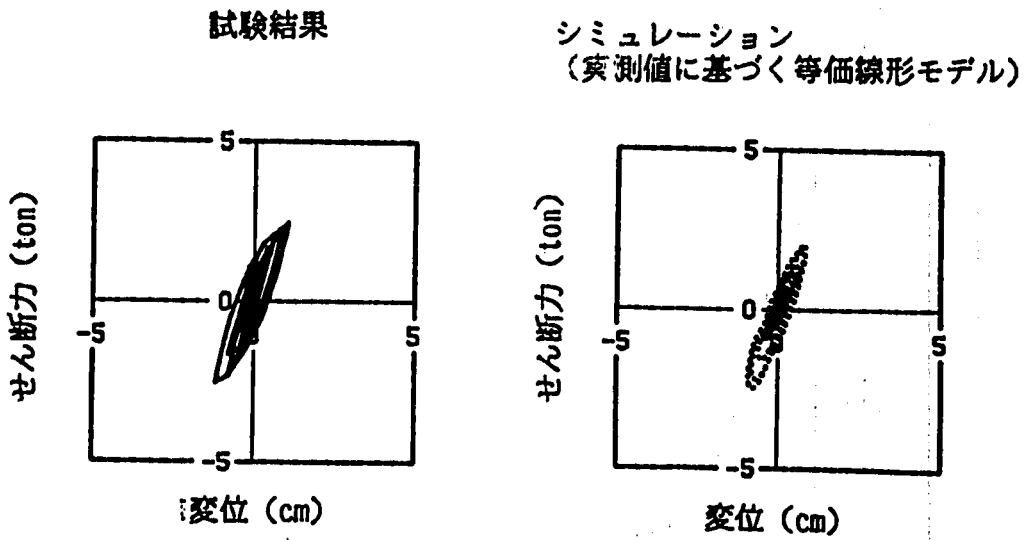
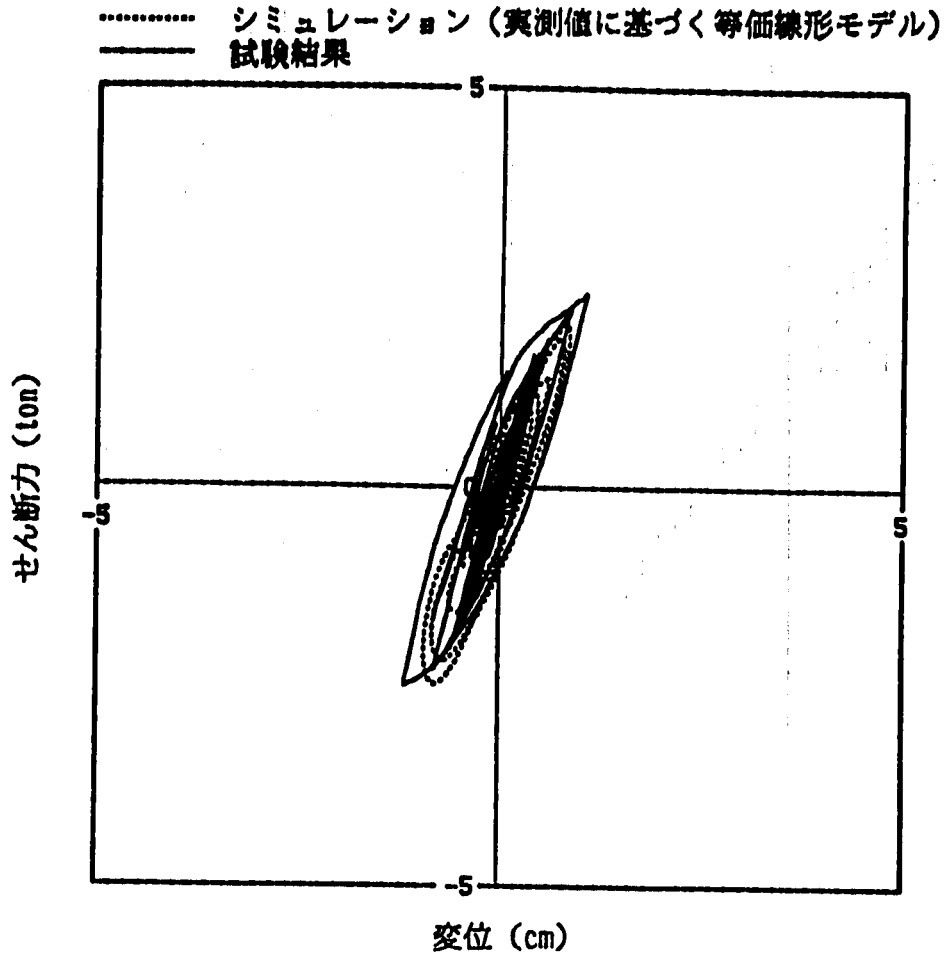


(a) 最大加速度分布

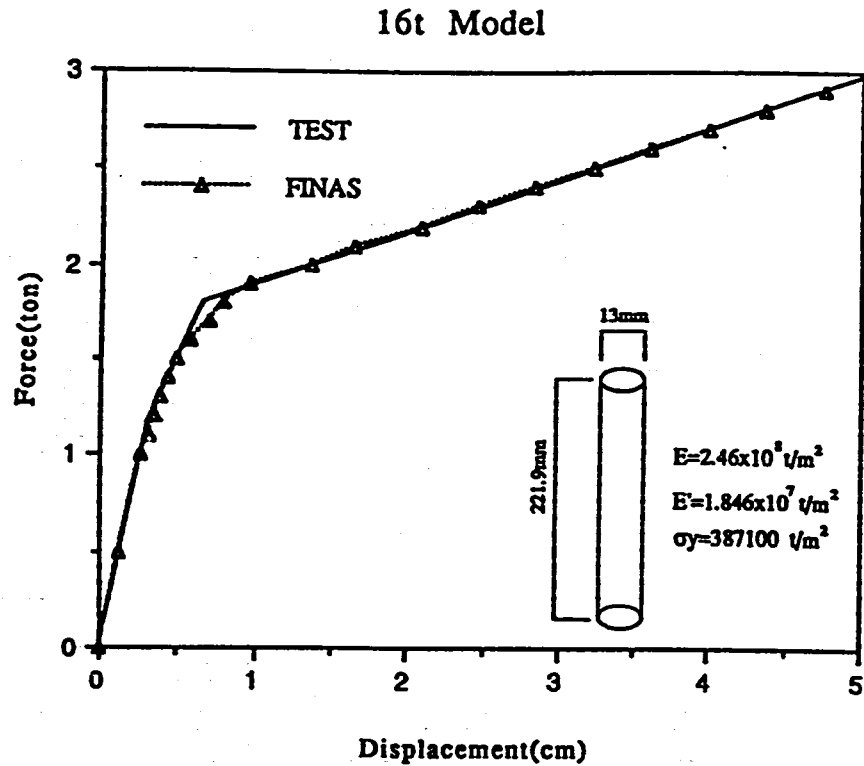


(b) 床応答スペクトル

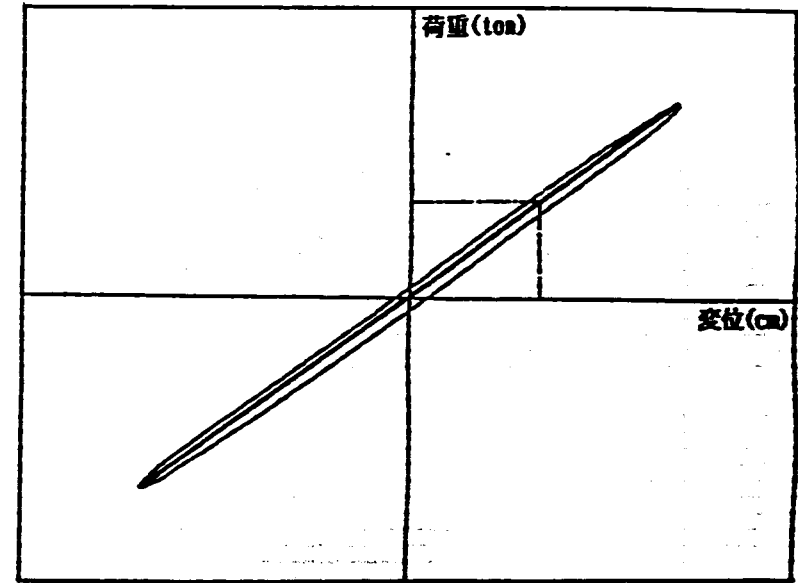
付図27 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, EW, モデル E)
 A-Fig. 27 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



付図28 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, BW, モデル E)
 A-Fig. 28 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, BW, Model E)



(a) 非線形梁要素のシミュレーションモデル化



要素特性復元力のシミュレーションモデル化

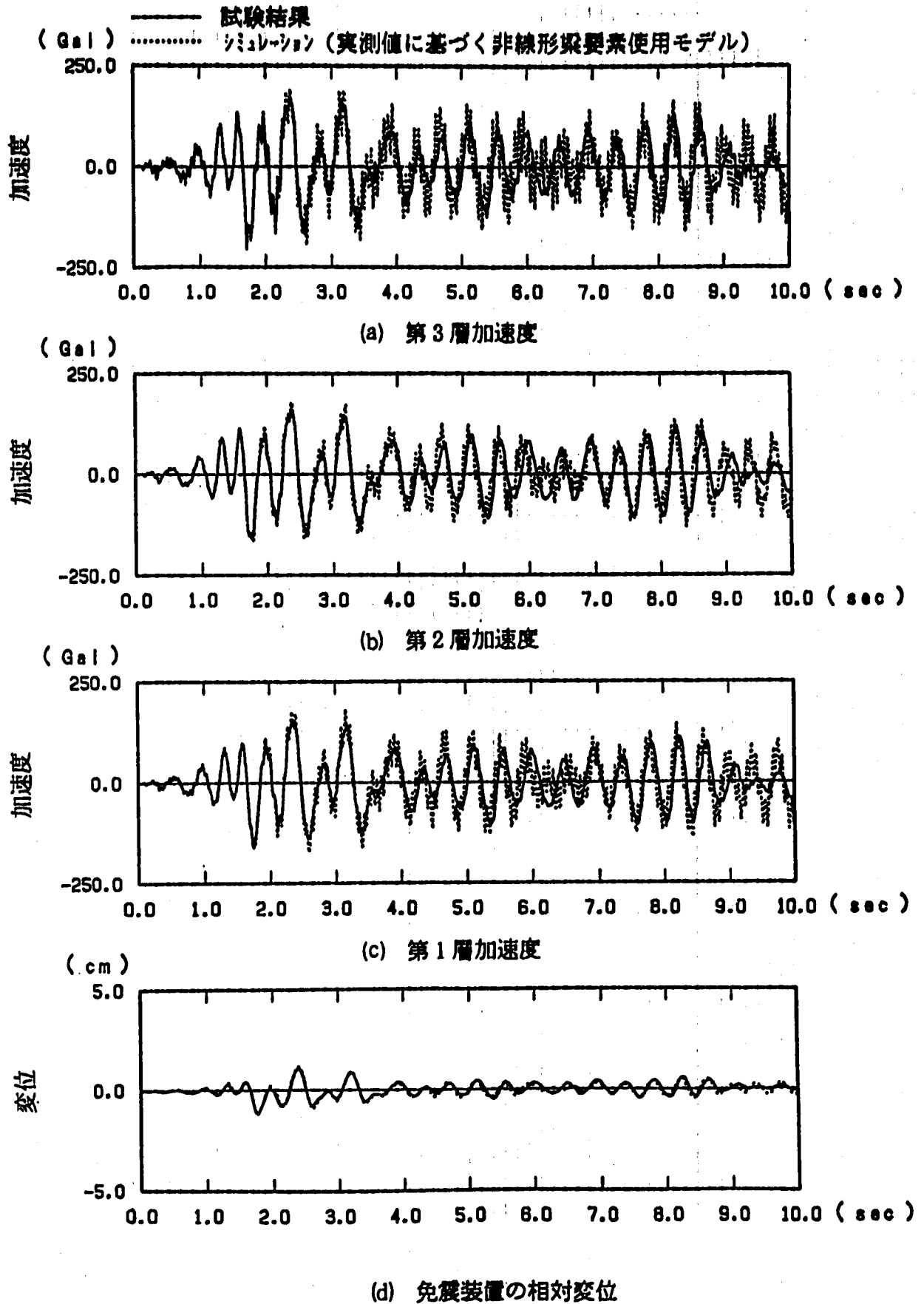
シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	水平剛性 (t/cm)	鉛直剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	906.0	1.42×10^7	2.0

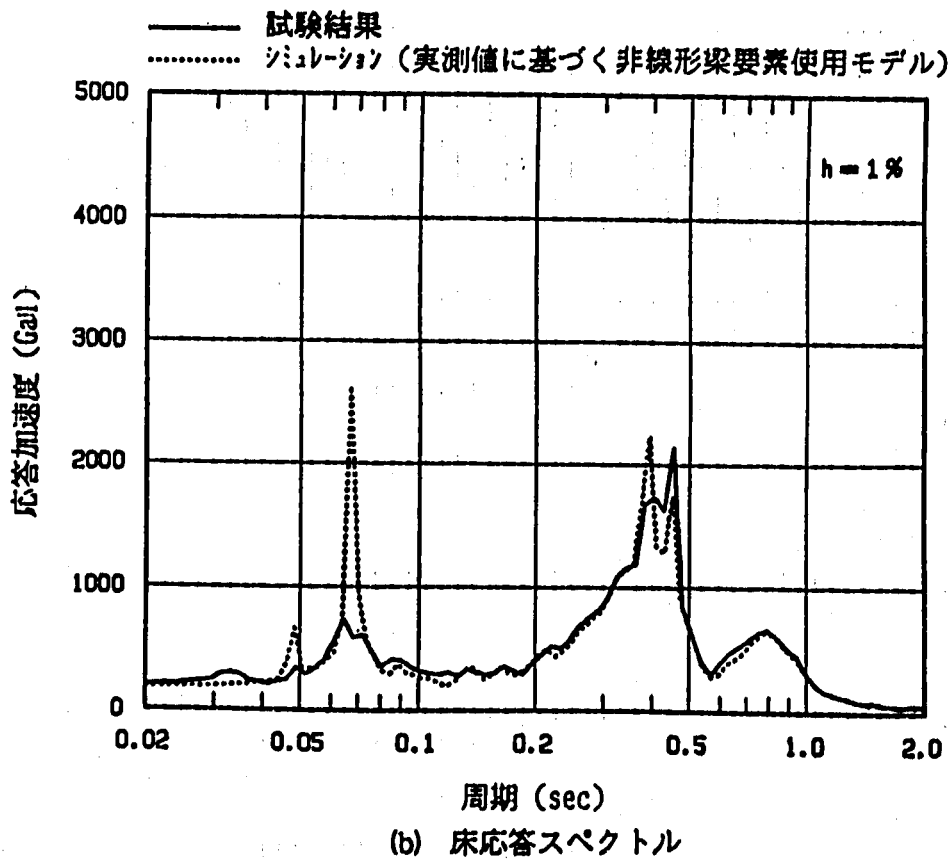
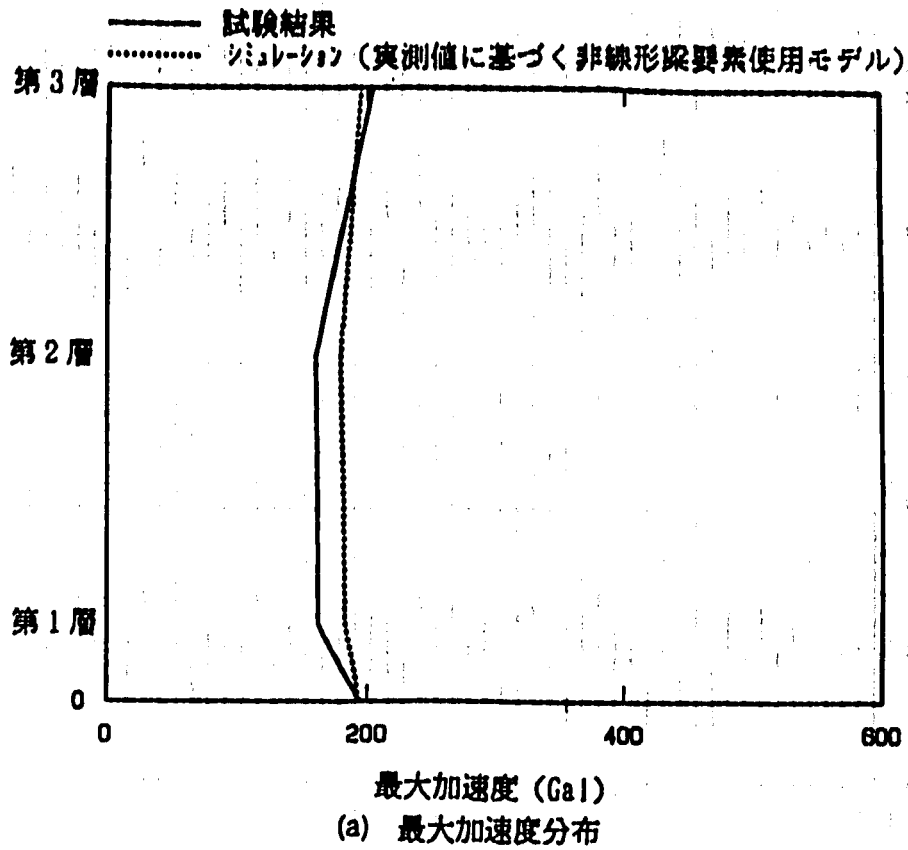
(b) 積層ゴムのシミュレーションモデル化

付図29 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta=0.1$) のモデル化
(実験値に基づく非線形梁要素モデル)

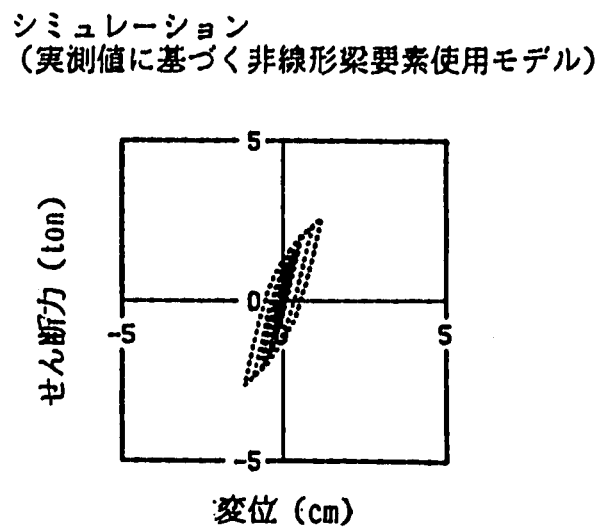
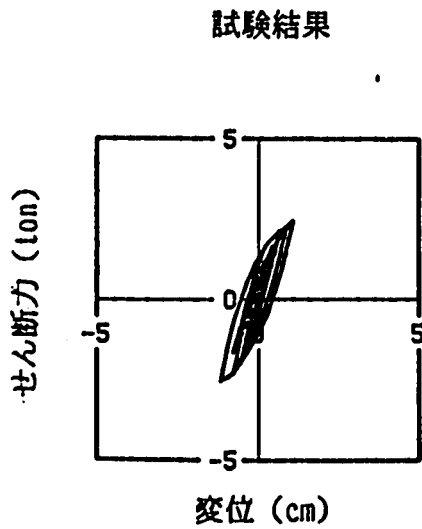
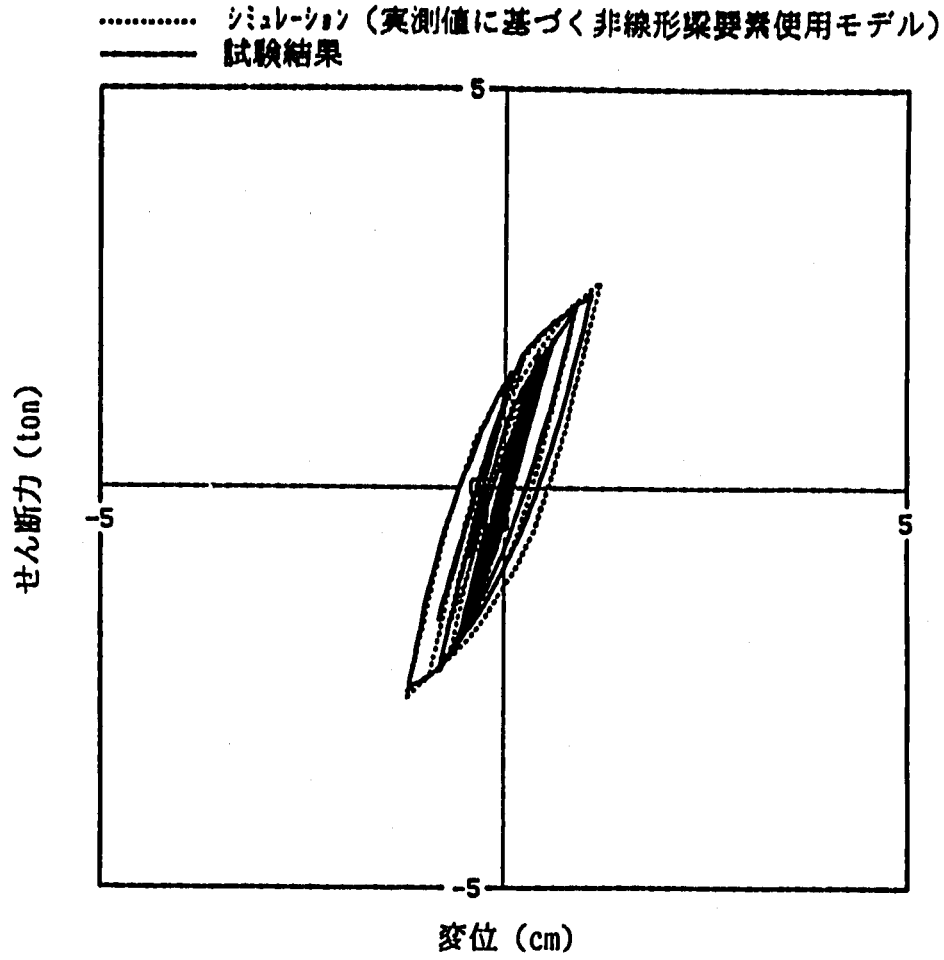
A-Fig. 29 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta=0.1$)
(Non-linear Beam Element to Experimental Values)



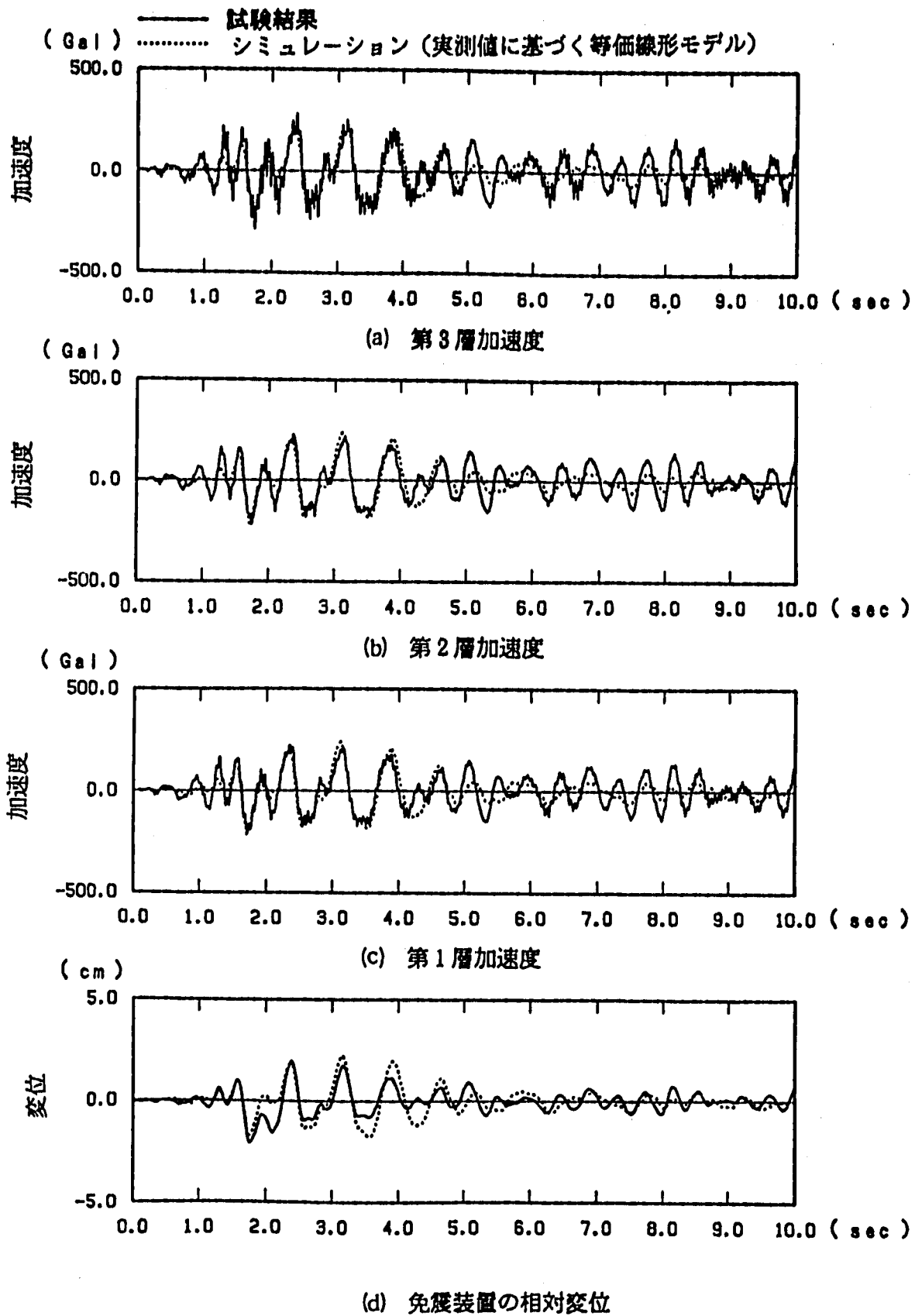
付図30 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, PINAS 質点モデル, BW, モデル F)
 A-Fig. 30 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, PINAS Mass Model, BW, Model F)



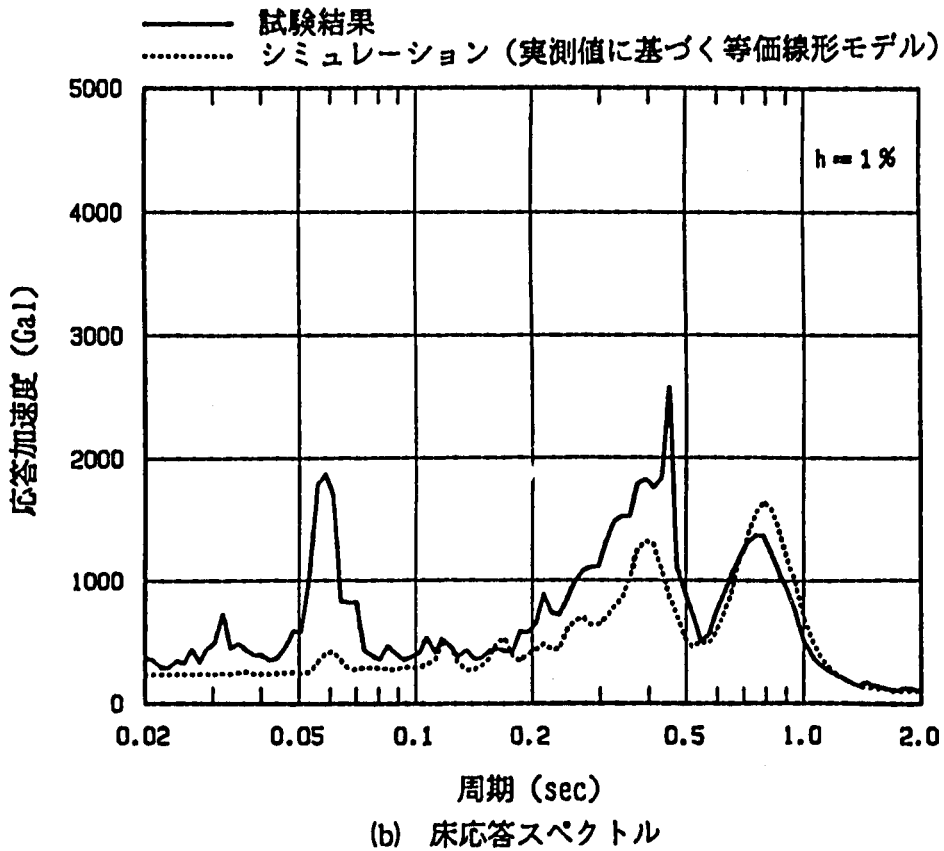
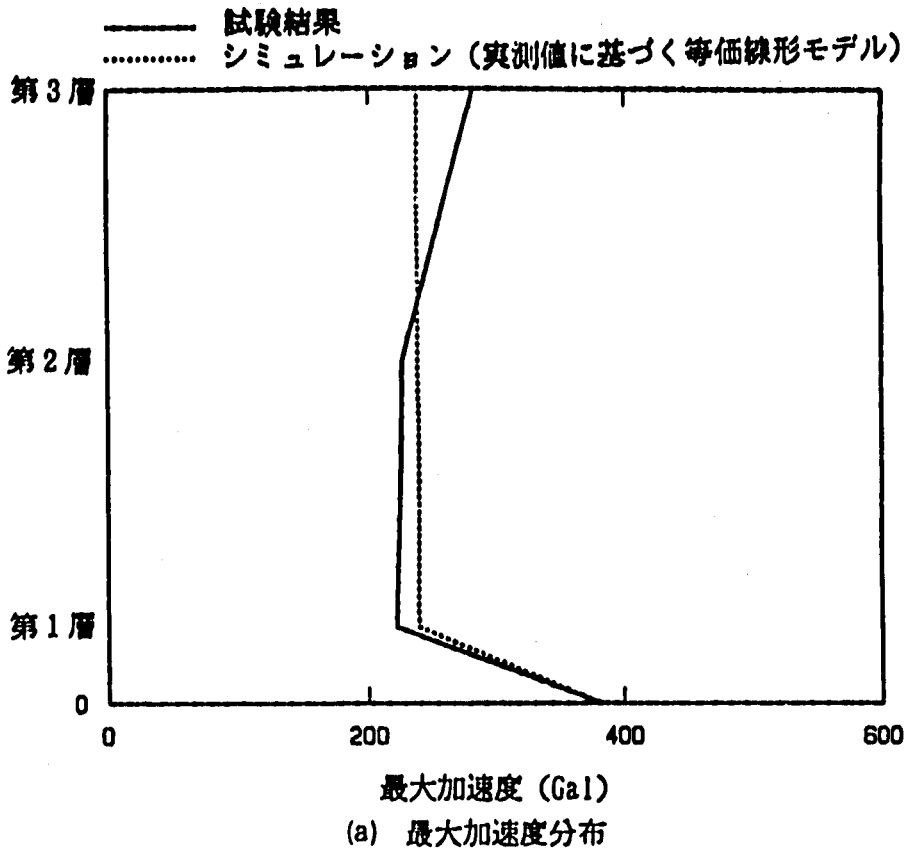
付図31 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, FINAS 質点モデル, EW, モデルF)
 A-Fig. 31 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, FINAS Model, EW, Model F)



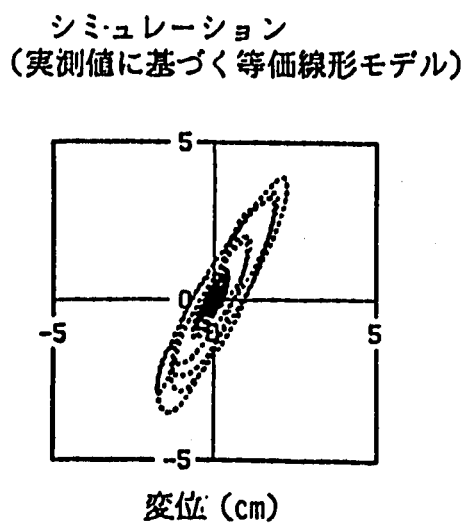
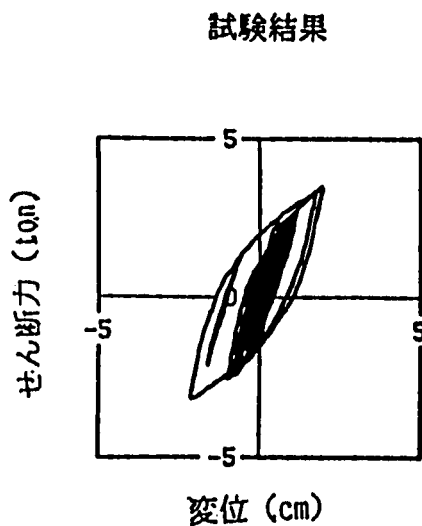
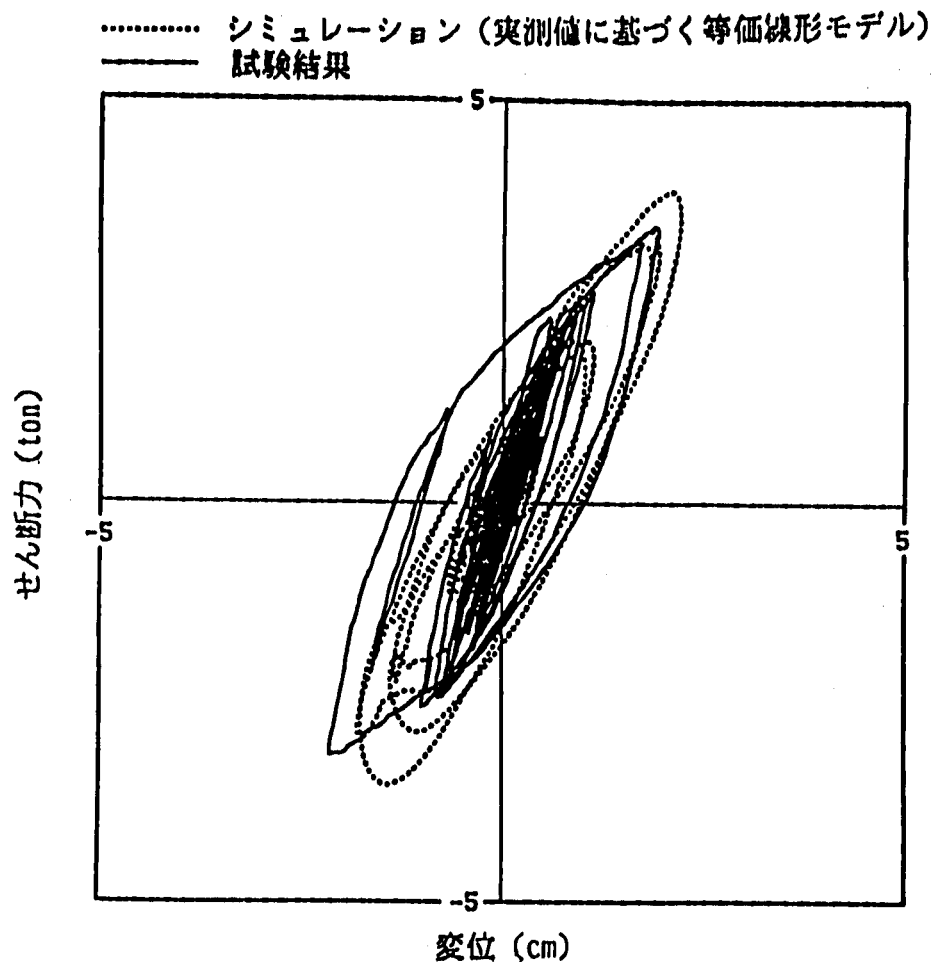
付図32 免震装置の履歴曲線 (RD1, FINAS 質点モデル, EW, モデル F)
 A-Fig. 32 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, FINAS Mass Model, EW, Model F)



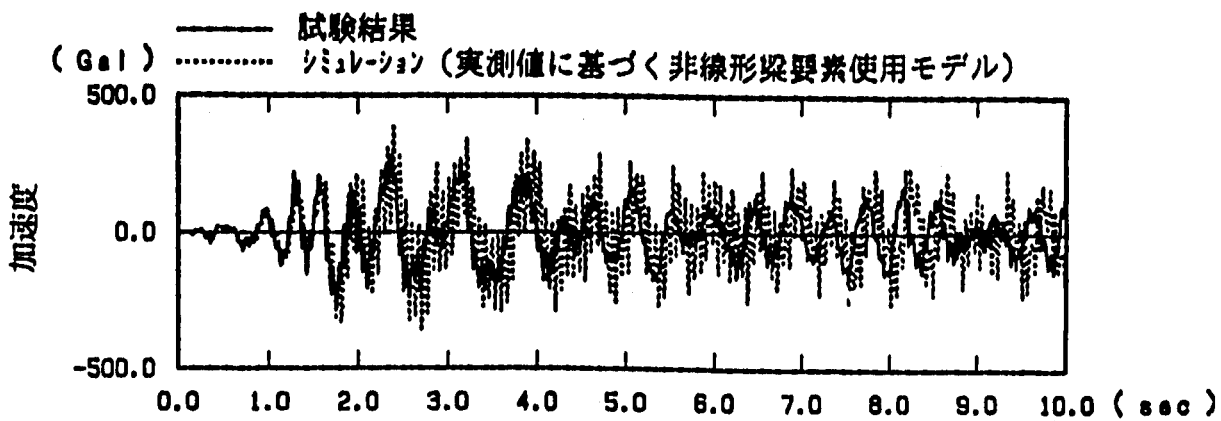
付図33 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデル E)
 A-Fig. 33 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



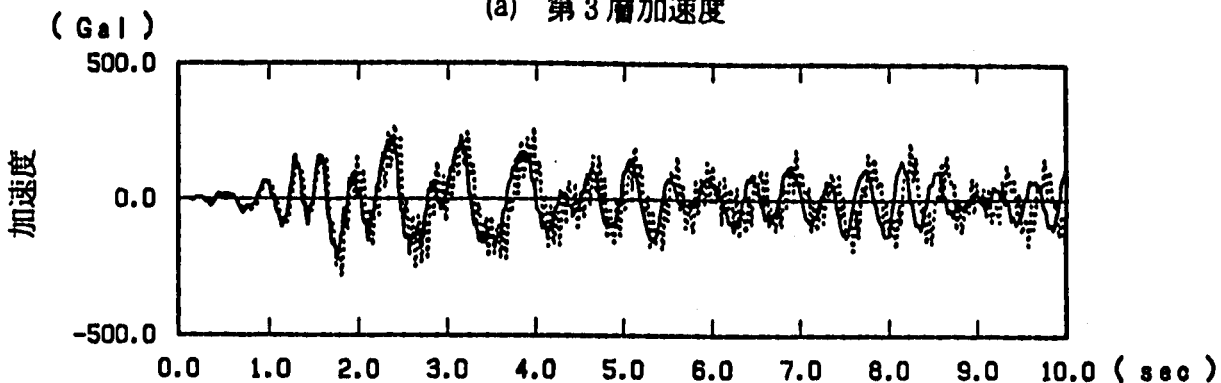
付図34 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデル E)
 A-Fig. 34 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



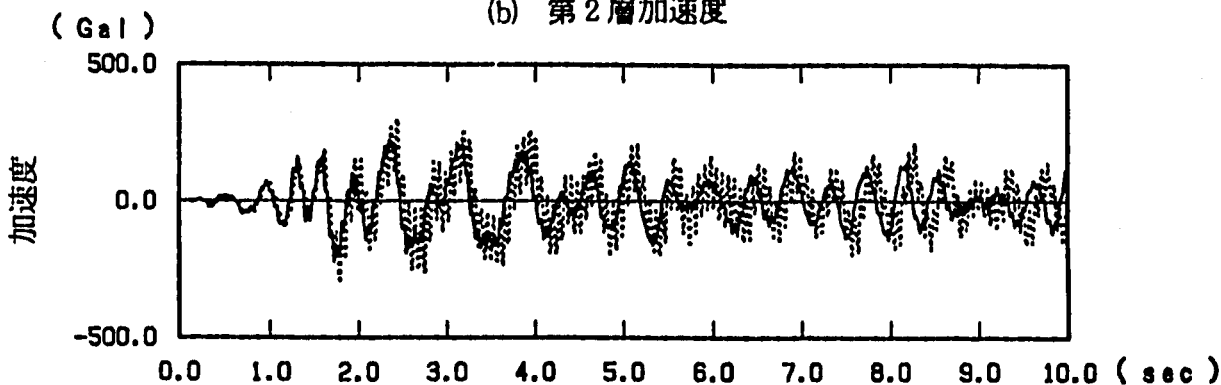
付図35 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデル E)
 A-Fig.35 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



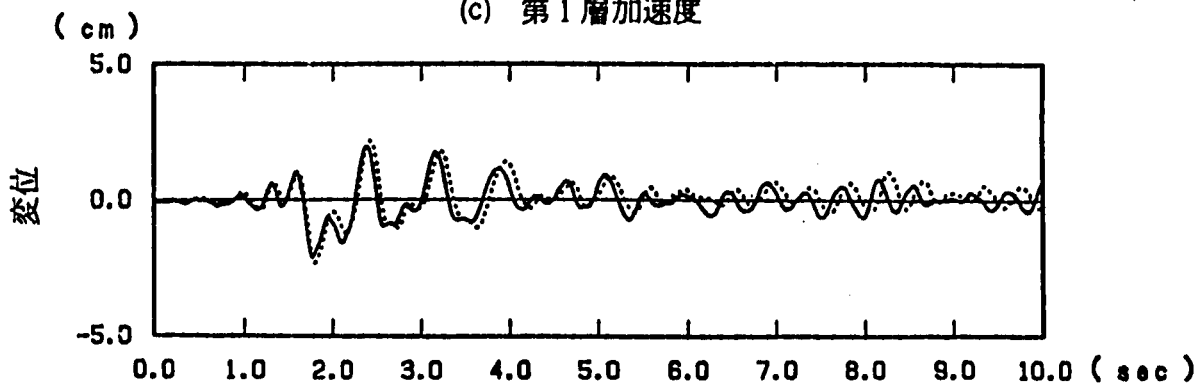
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

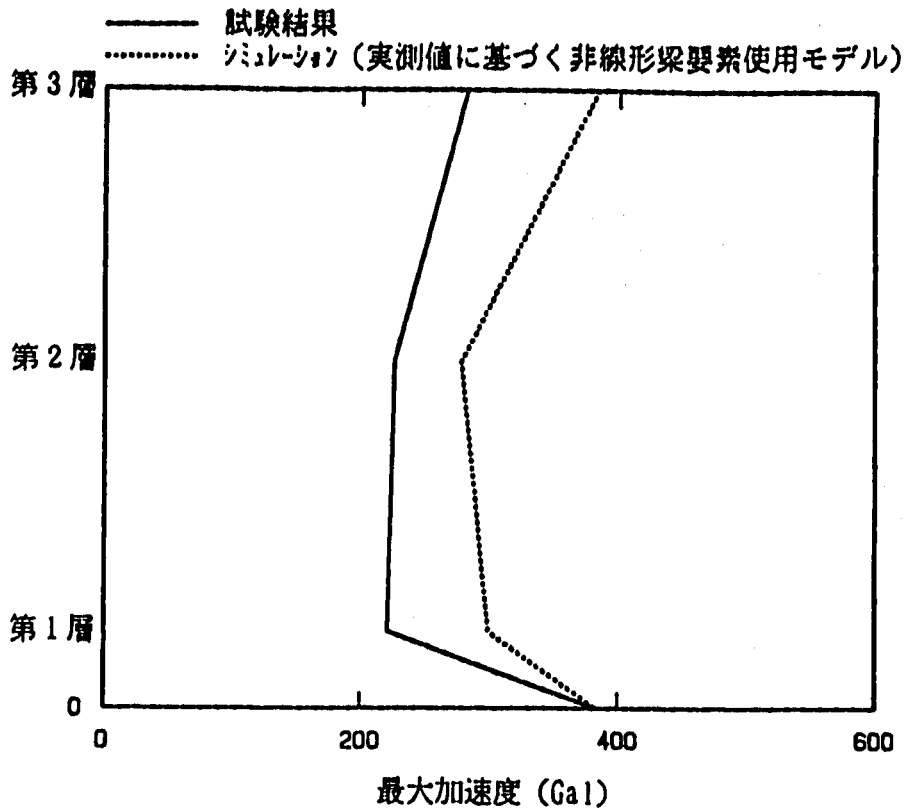


(c) 第1層加速度

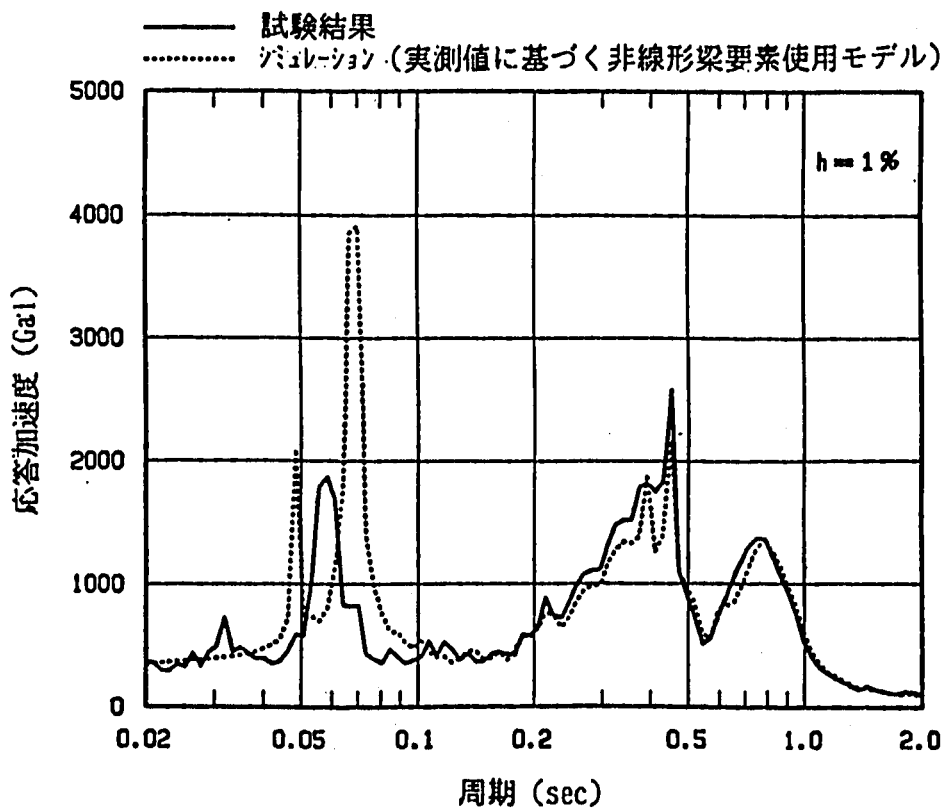


(d) 免震装置の相対変位

付図36 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, FINAS 質点モデル, 2EW, モデルF)
 A-Fig. 36 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, FINAS Mass Model, 2EW, Model F)

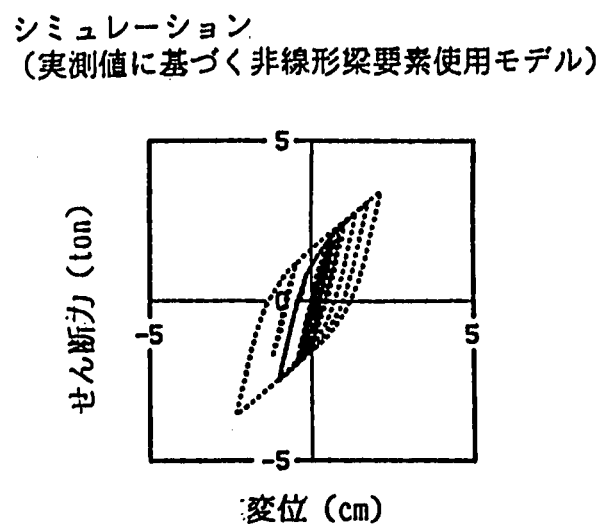
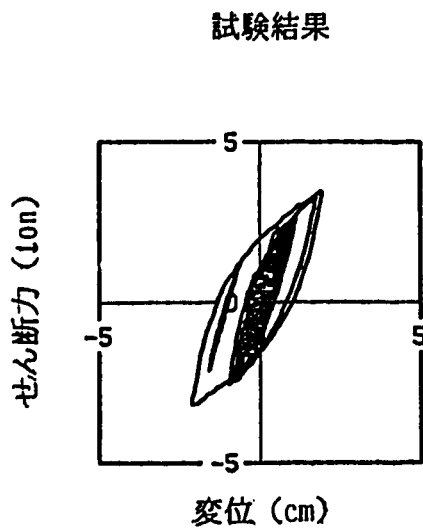
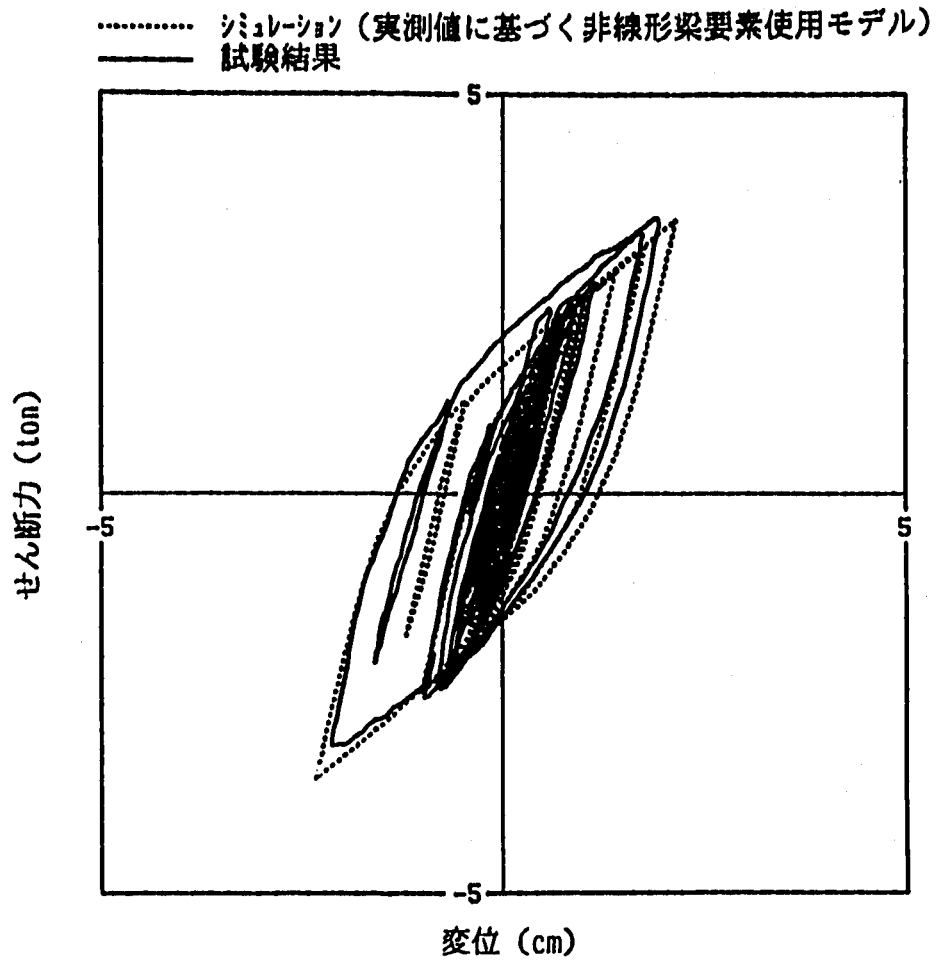


(a) 最大加速度分布

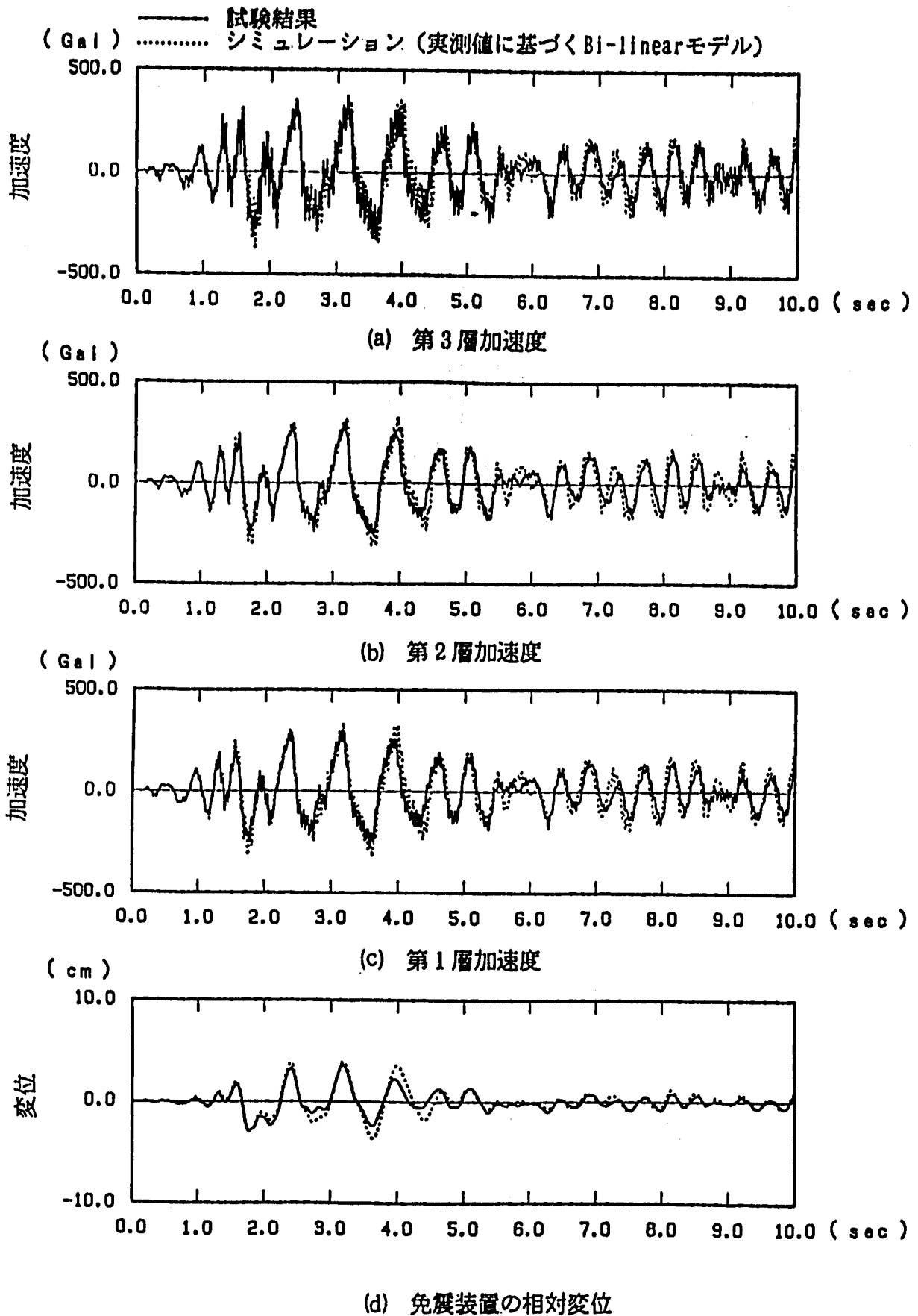


(b) 床応答スペクトル

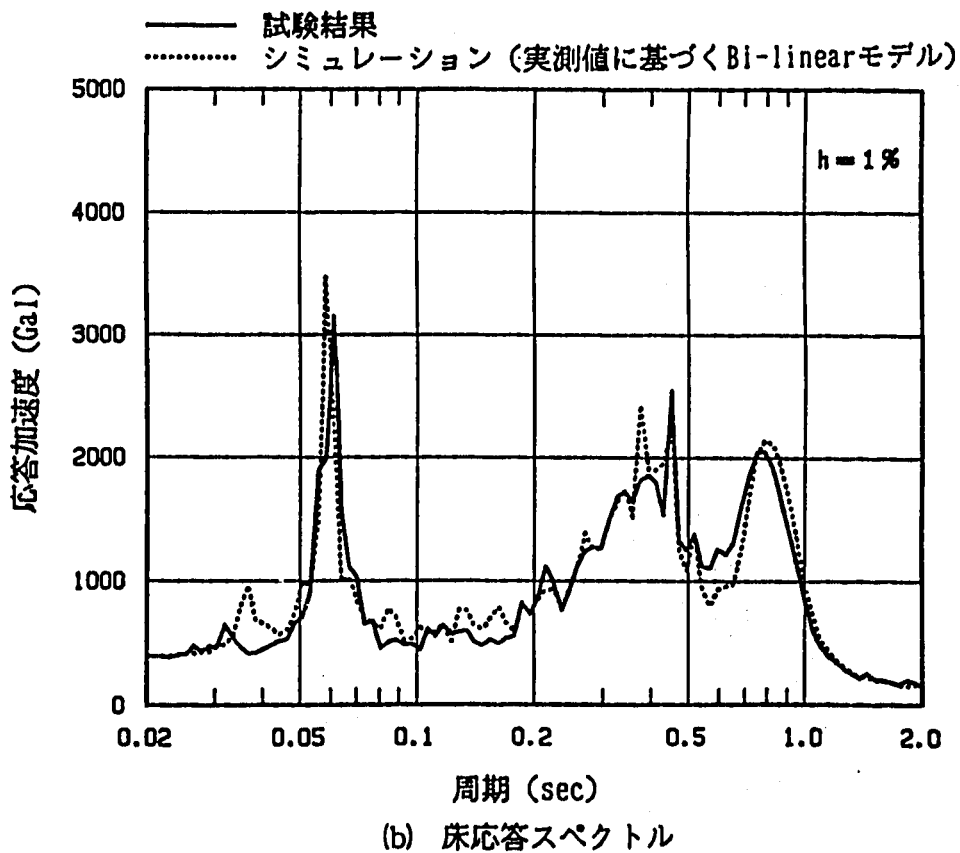
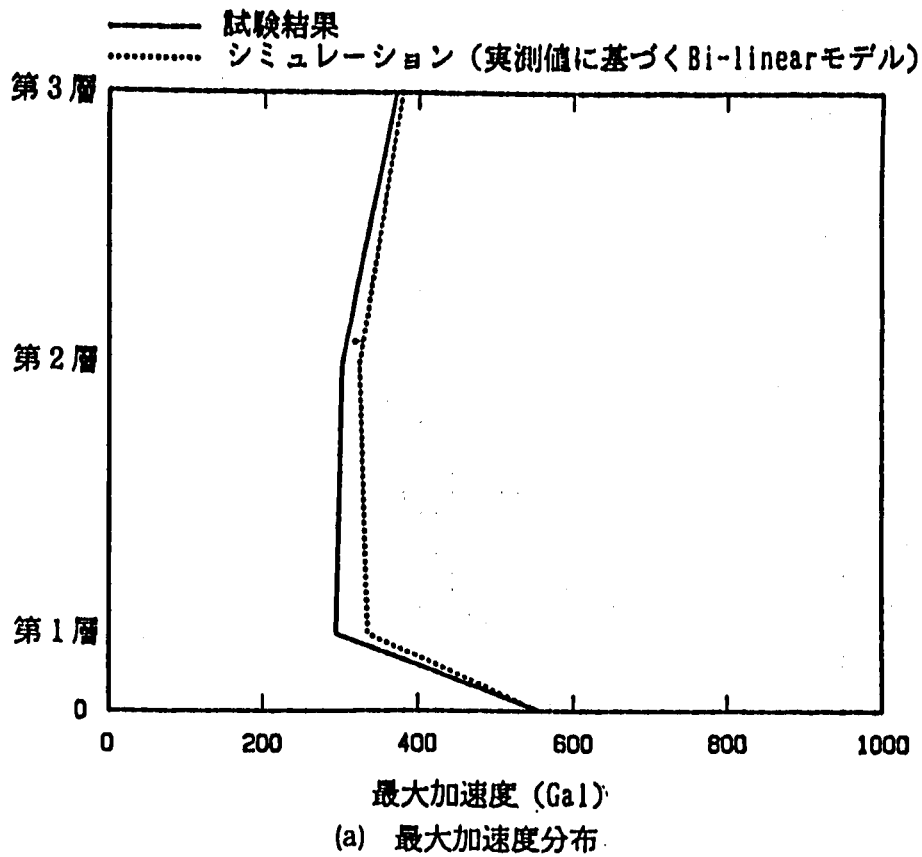
付図37 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, FINAS 質点モデル, 2EW, モデル F)
 A-Fig. 37 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, FINAS Mass Model, 2EW, Model F)



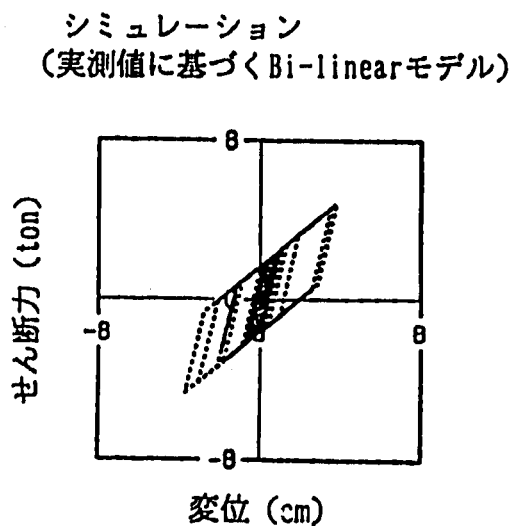
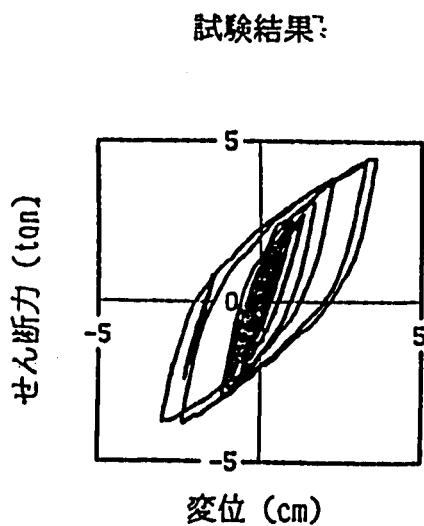
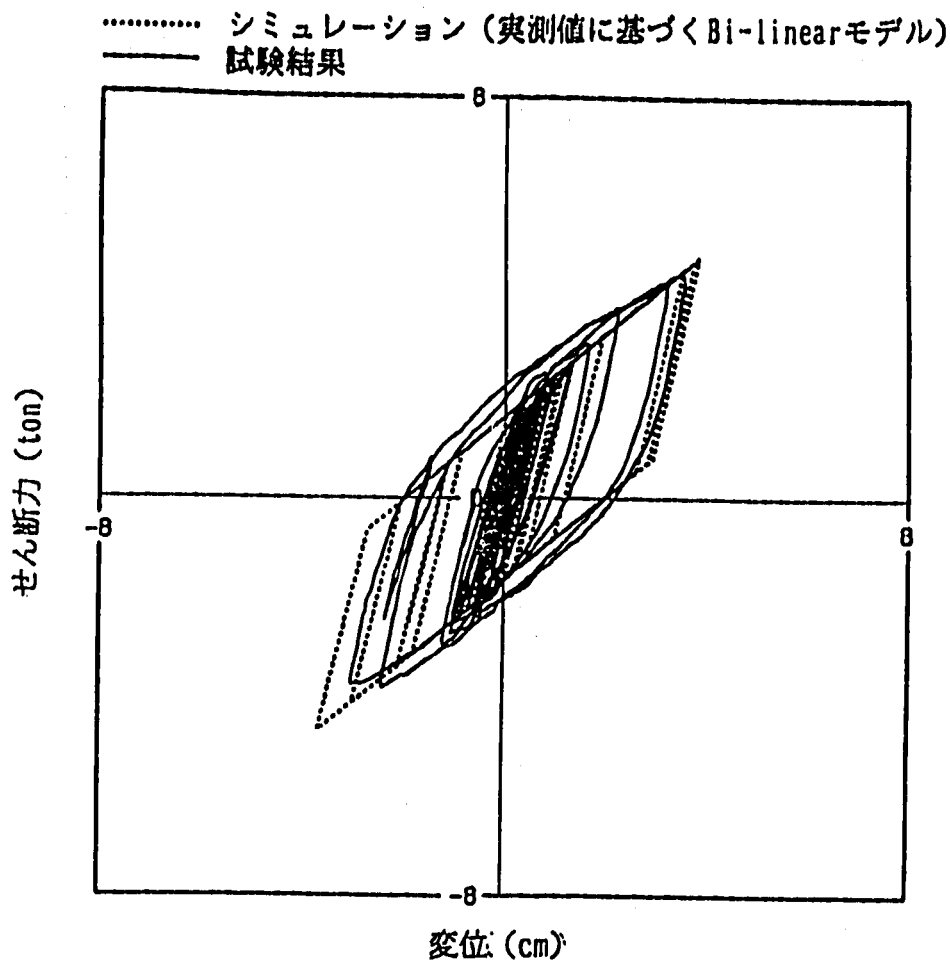
付図38 免震装置の履歴曲線 (RD1, FINAS 質点モデル, 2EW, モデルF)
 A-fig. 38 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, FINAS Mass Model, 2EW, Model F)



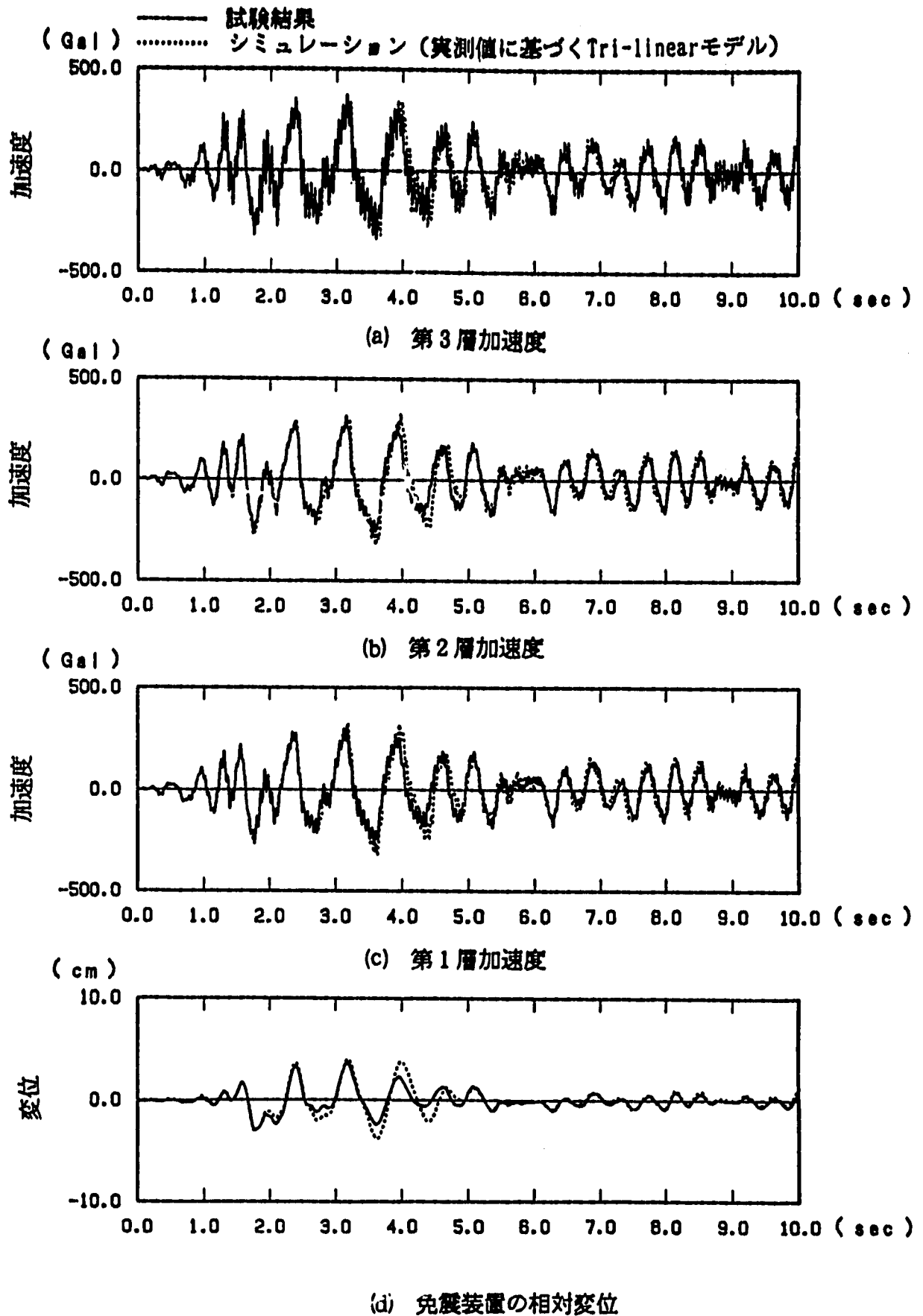
付図39 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルB)
 A-FIG. 39 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)



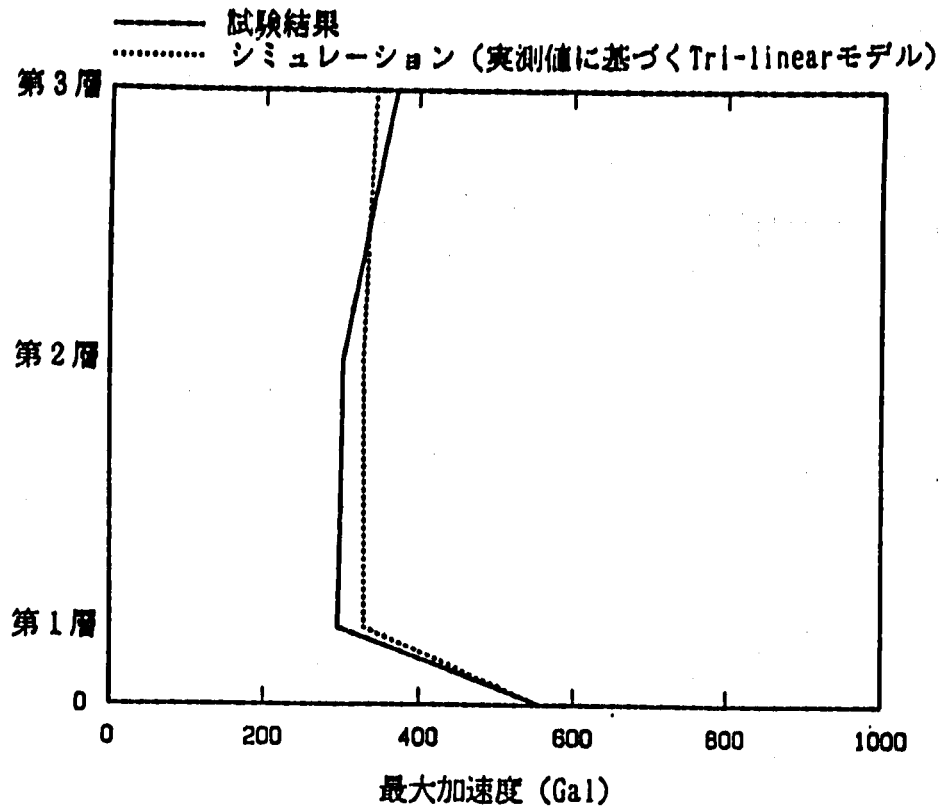
付図40 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルB)
 A-Fig.40 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3BW, Model B)



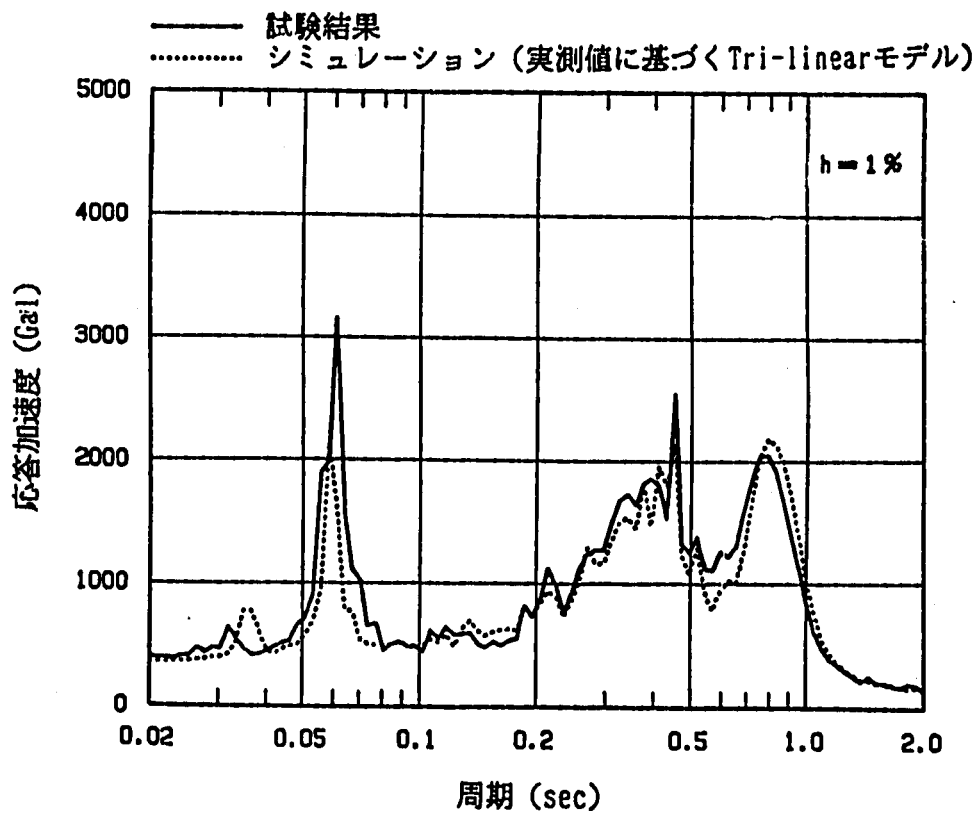
付図41 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル B)
 A-Fig.41 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3BW, Model B)



付図42 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルC)
 A-Fig. 42 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)

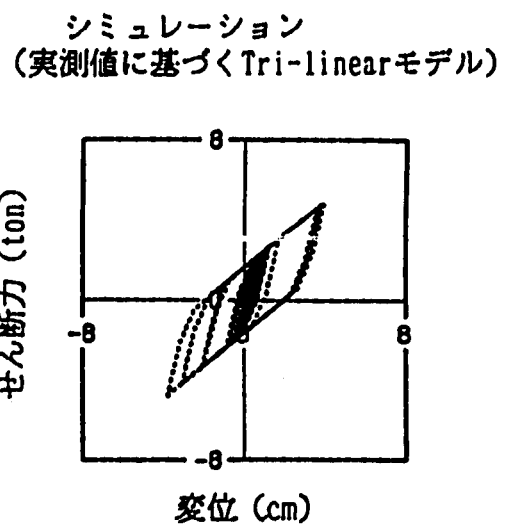
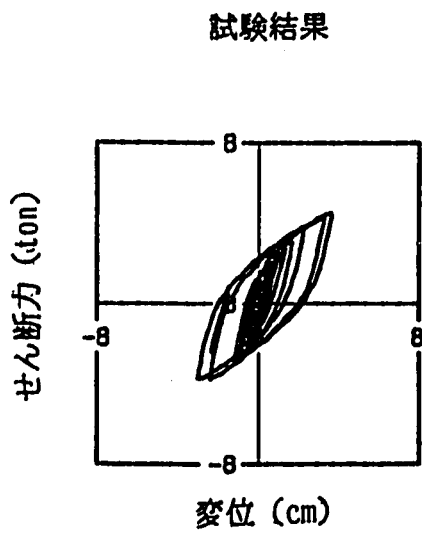
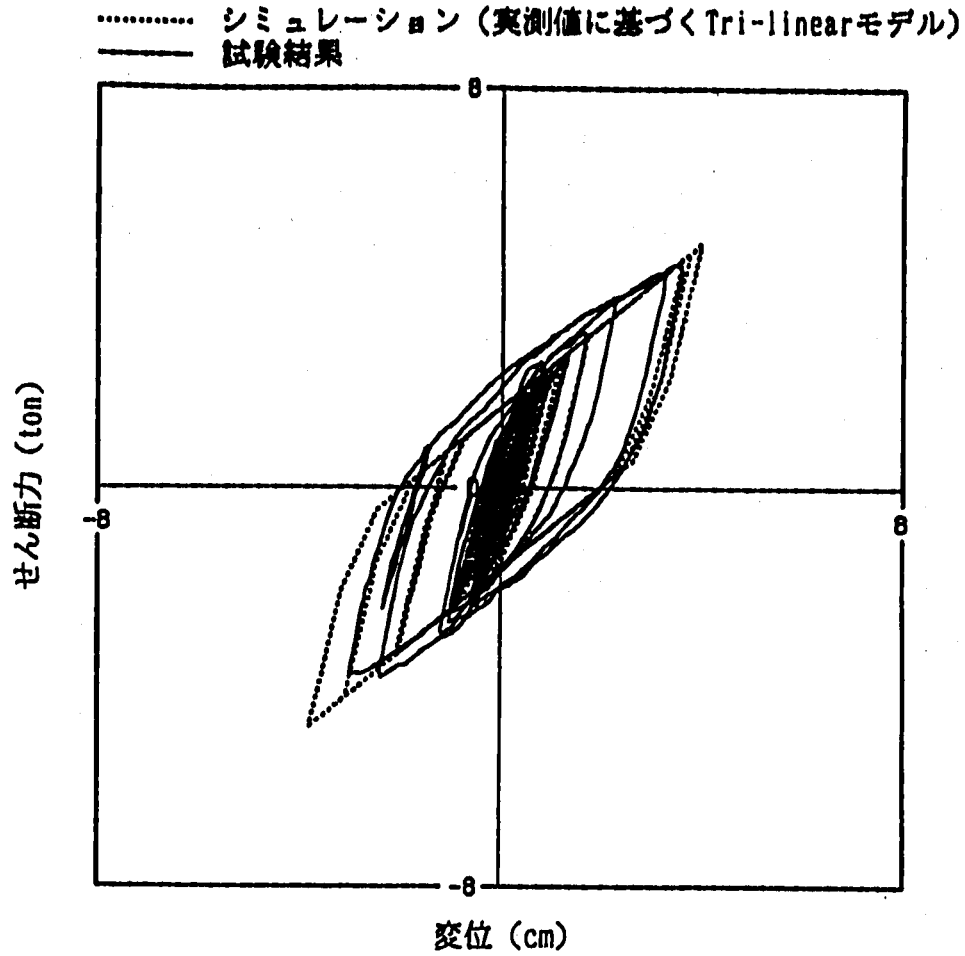


(a) 最大加速度分布

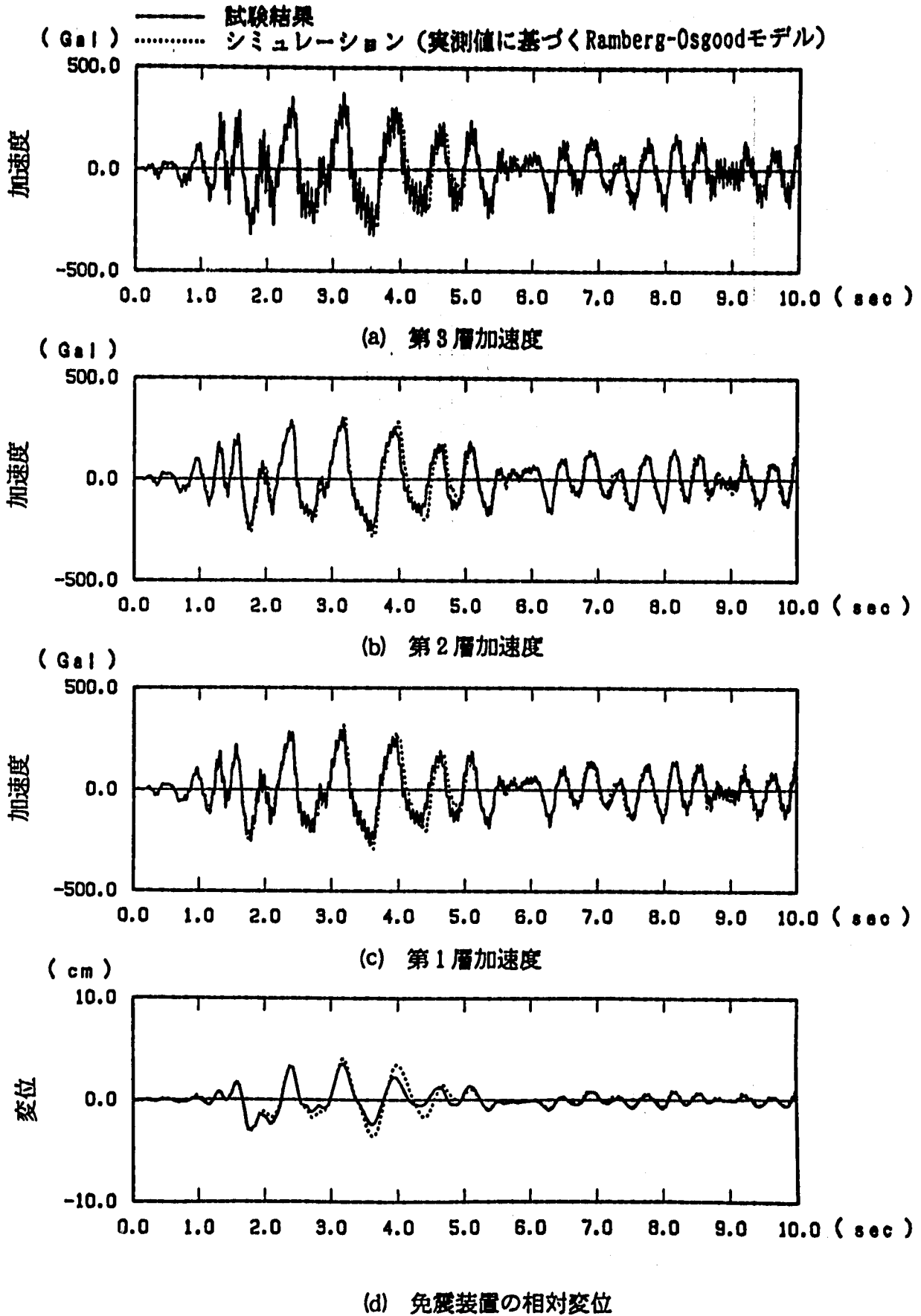


(b) 床応答スペクトル

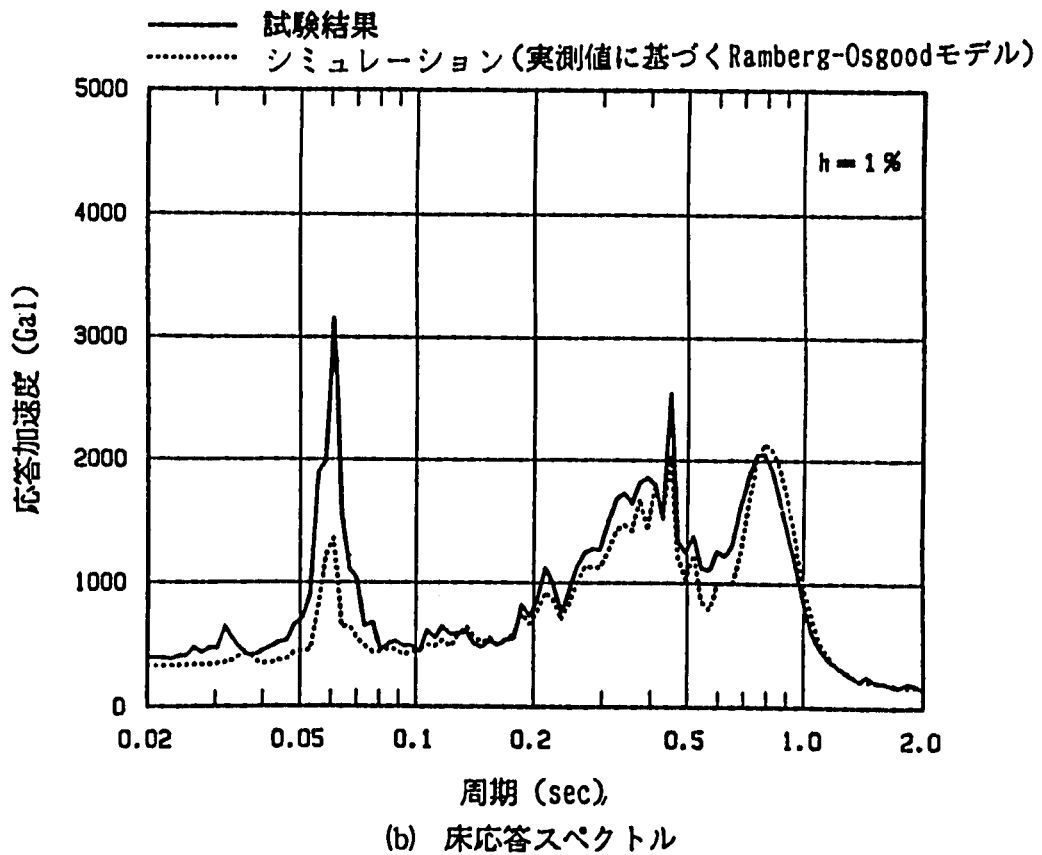
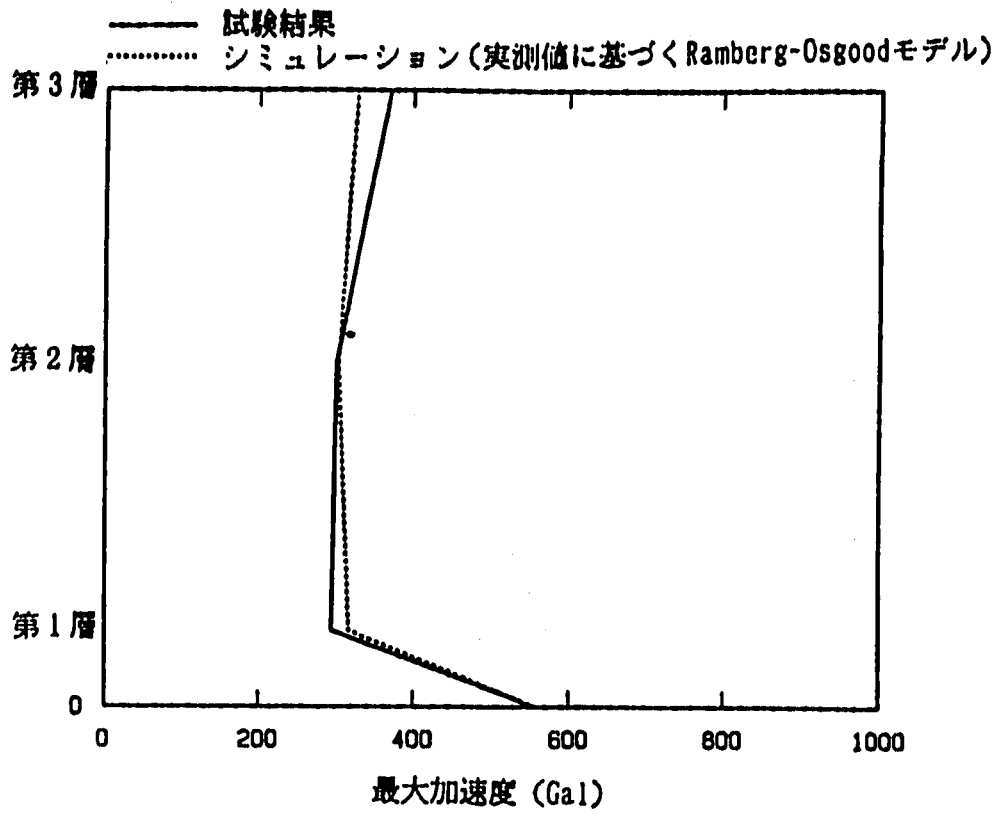
付図43 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD1, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルC)
A-Fig. 43 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD1, DAC2N Mass Model, 3BW, Model C)



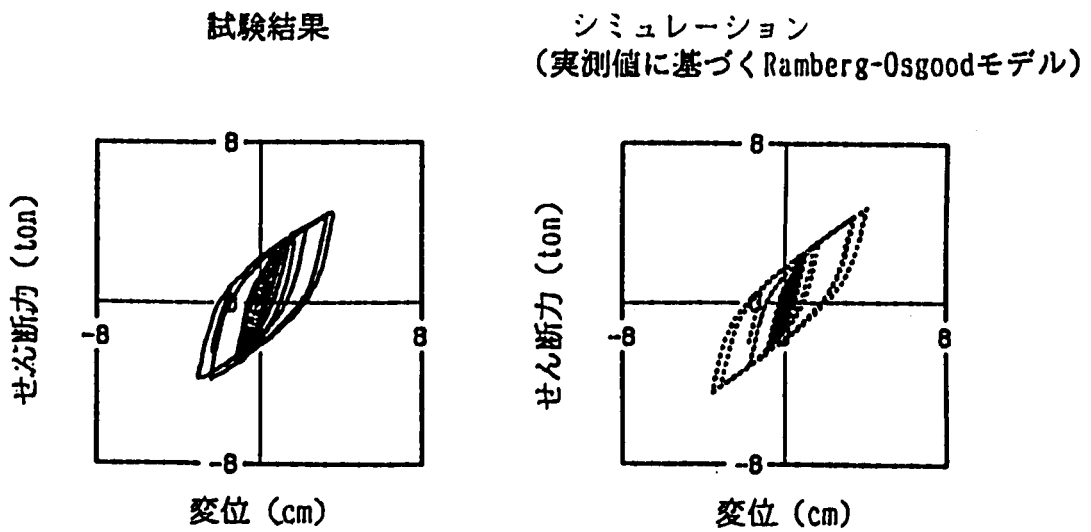
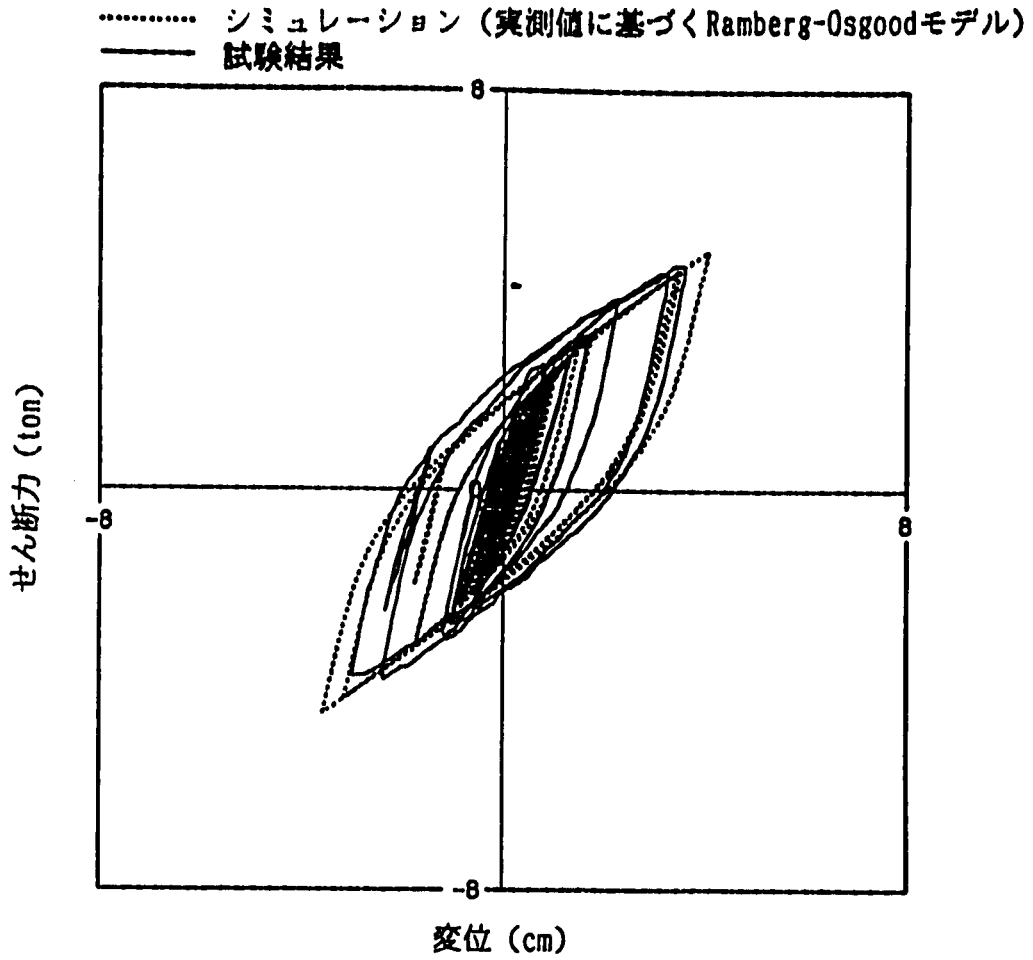
付図44 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルC)
 A-Fig.44 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)



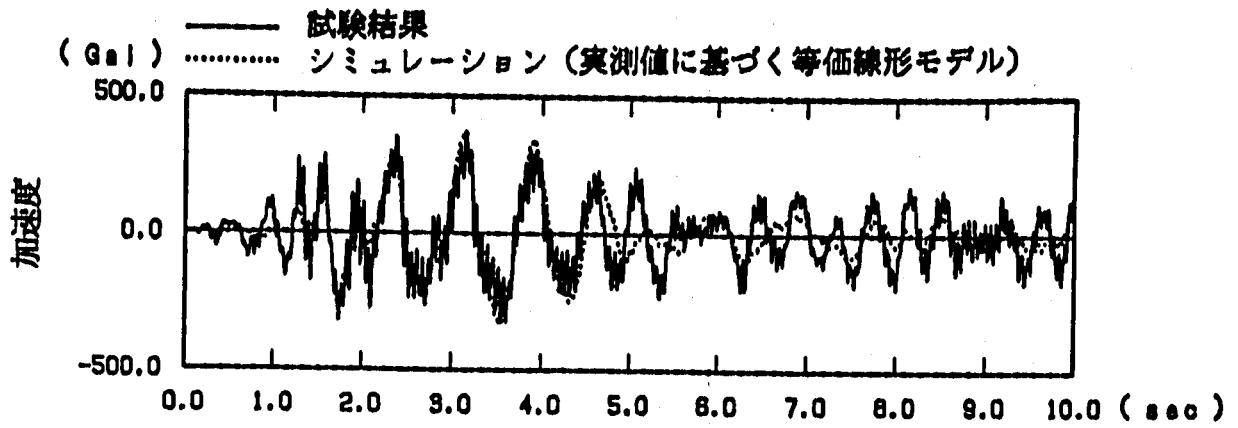
付図45 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig. 45 Time history Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



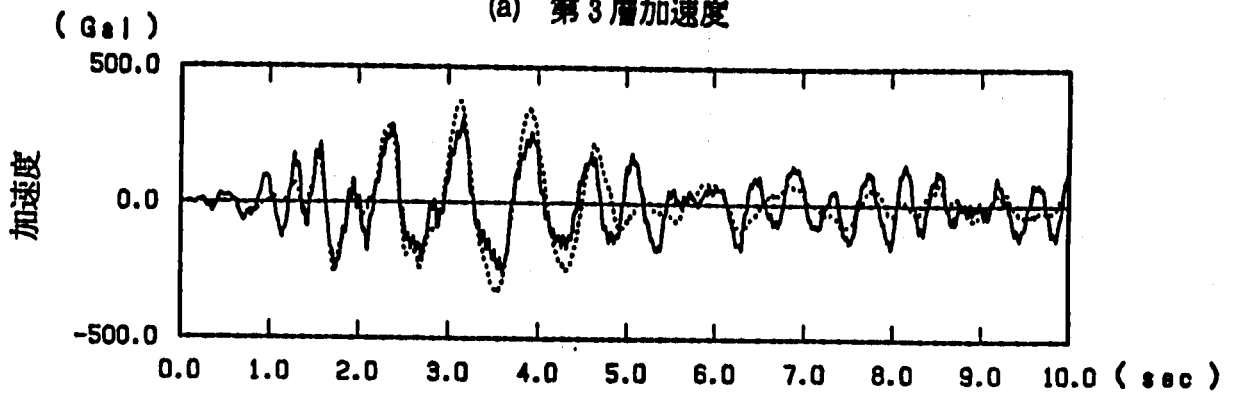
付図46 最大加速度応答及び床応答とスペクトル
 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig. 46 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



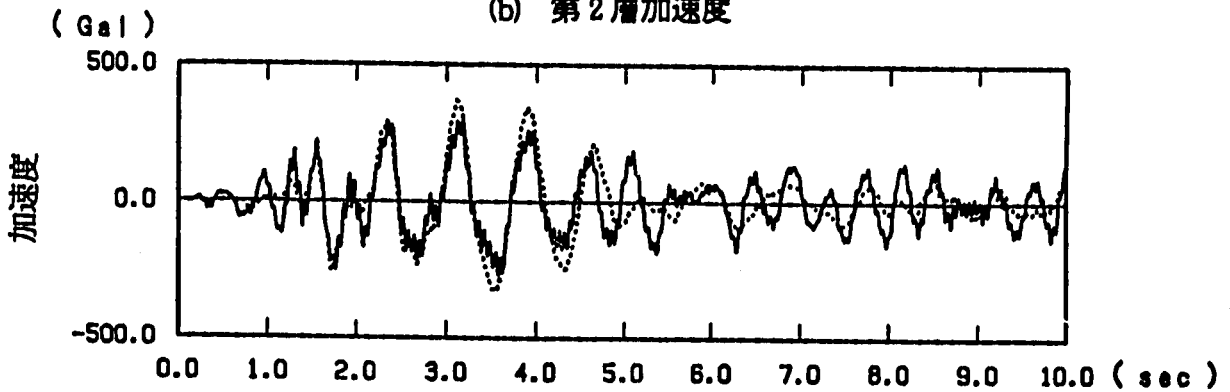
付図47 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig. 47 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



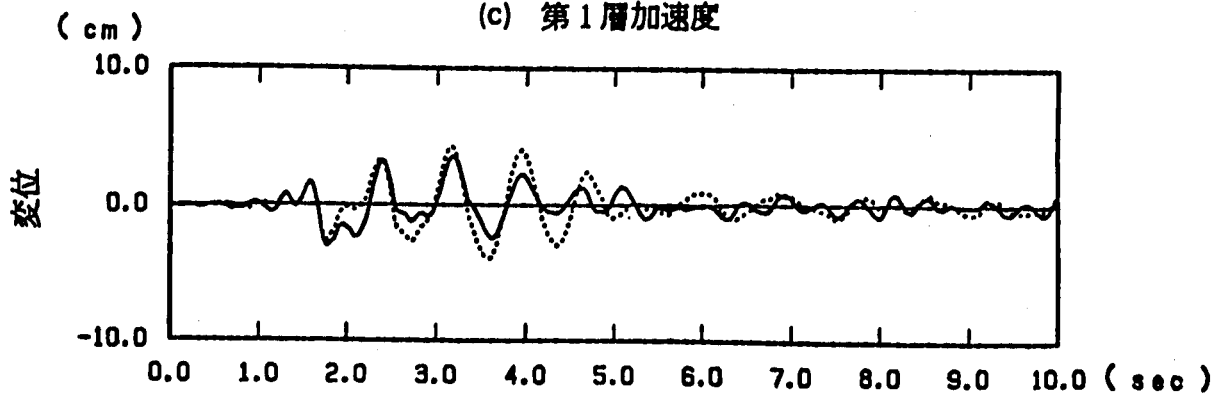
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

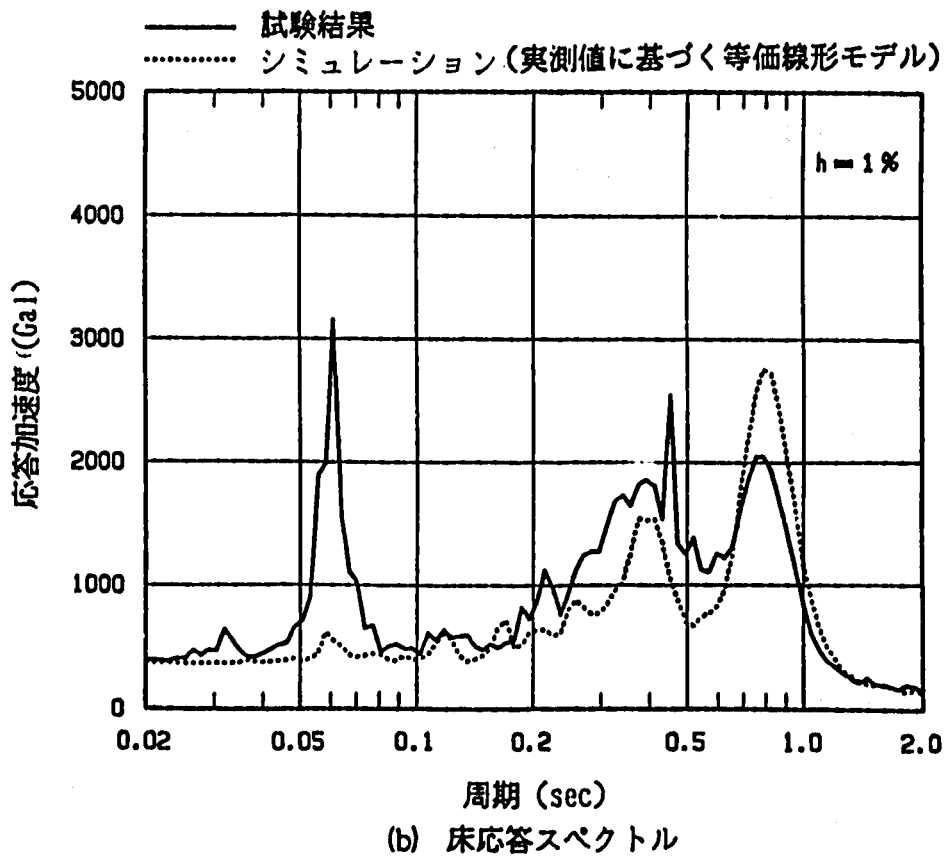
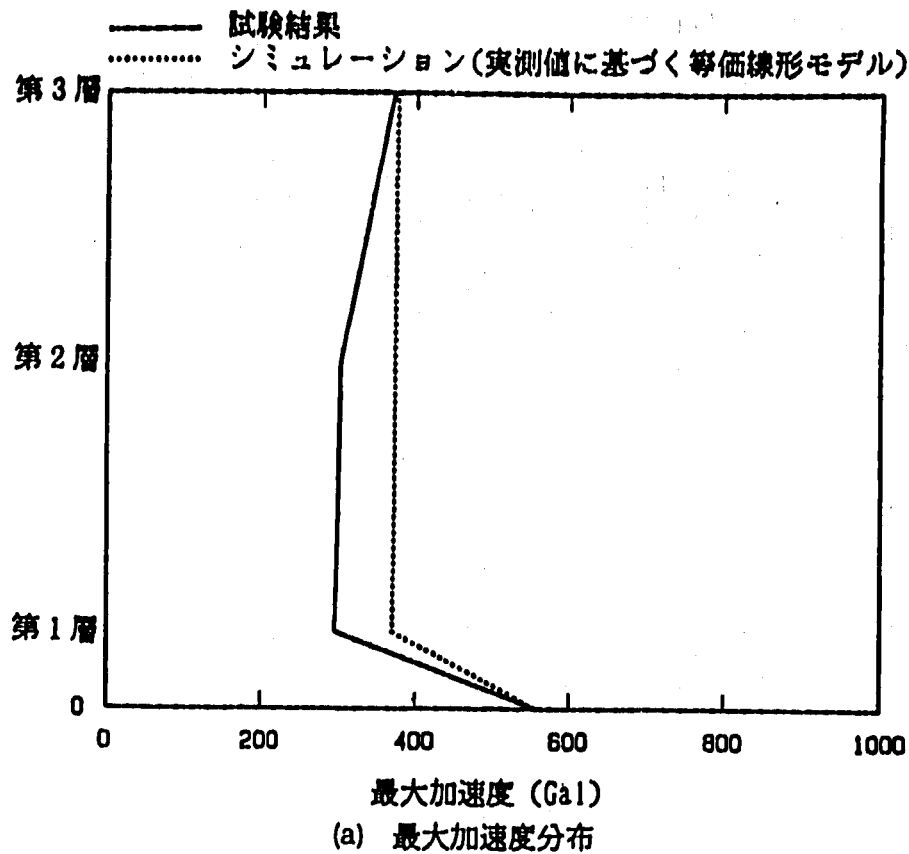


(c) 第1層加速度

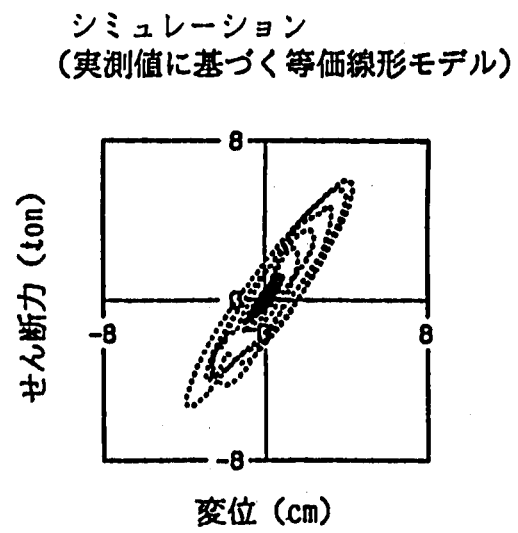
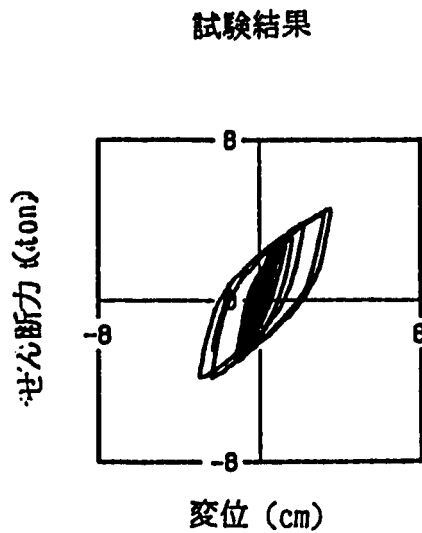
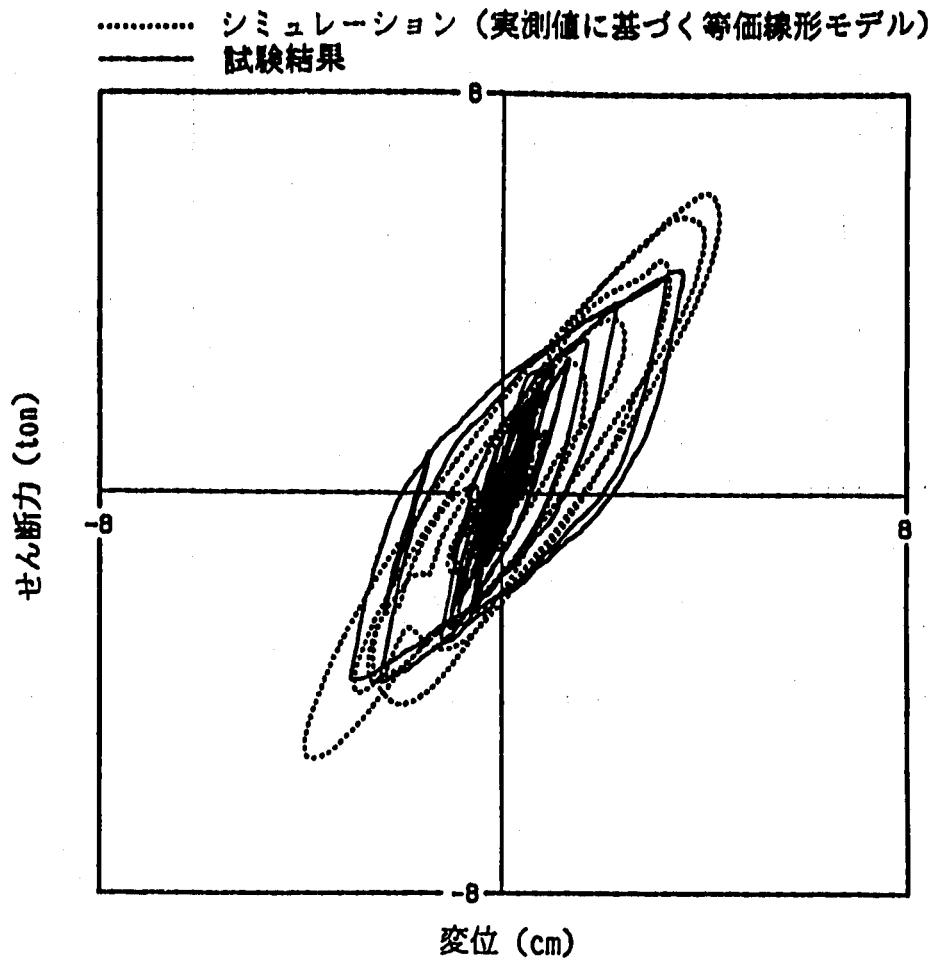


(d) 免震装置の相対変位

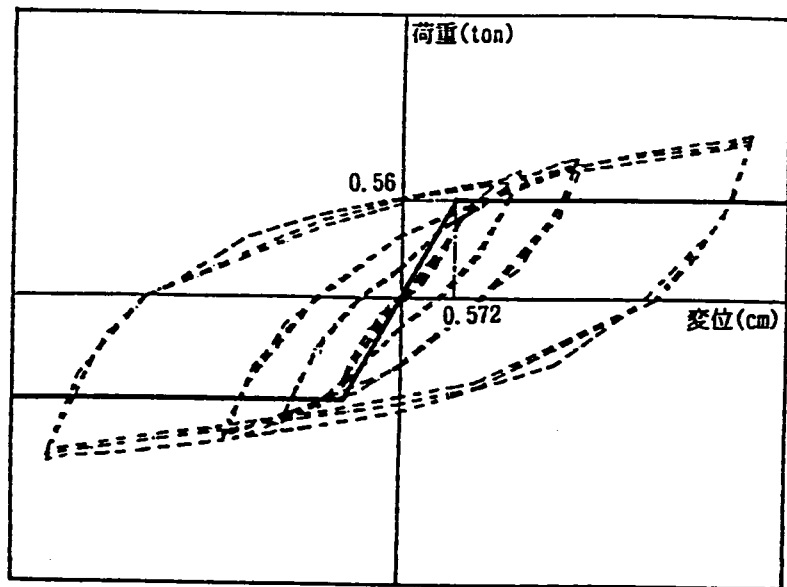
付図48 加速度及び変位応答時刻歴 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルE)
 A-Fig. 48 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model E)



付図49 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD1, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルE)
A-Fig. 49 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD1, DAC2N Mass Model, 3EW, Model E)



付図50 免震装置の履歴曲線 (RD1, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル E)
 A-Fig.50 Hysteresis loop of Total Device
 (RD1, DAC2N Mass Model, 3BW, Model E)



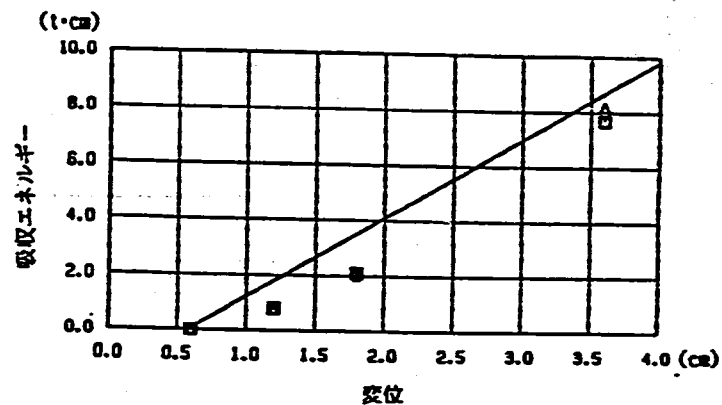
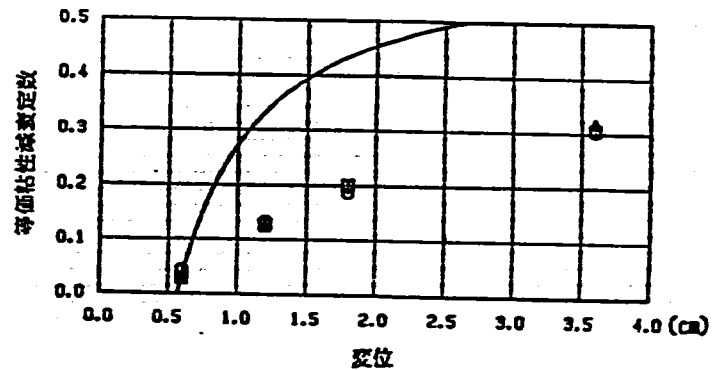
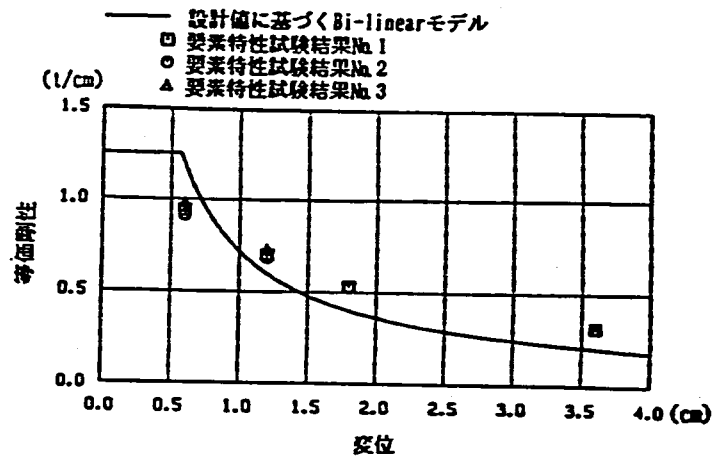
(a) 要素特性復元力と設計モデル復元力の比較

(b) 設計モデルの諸定数

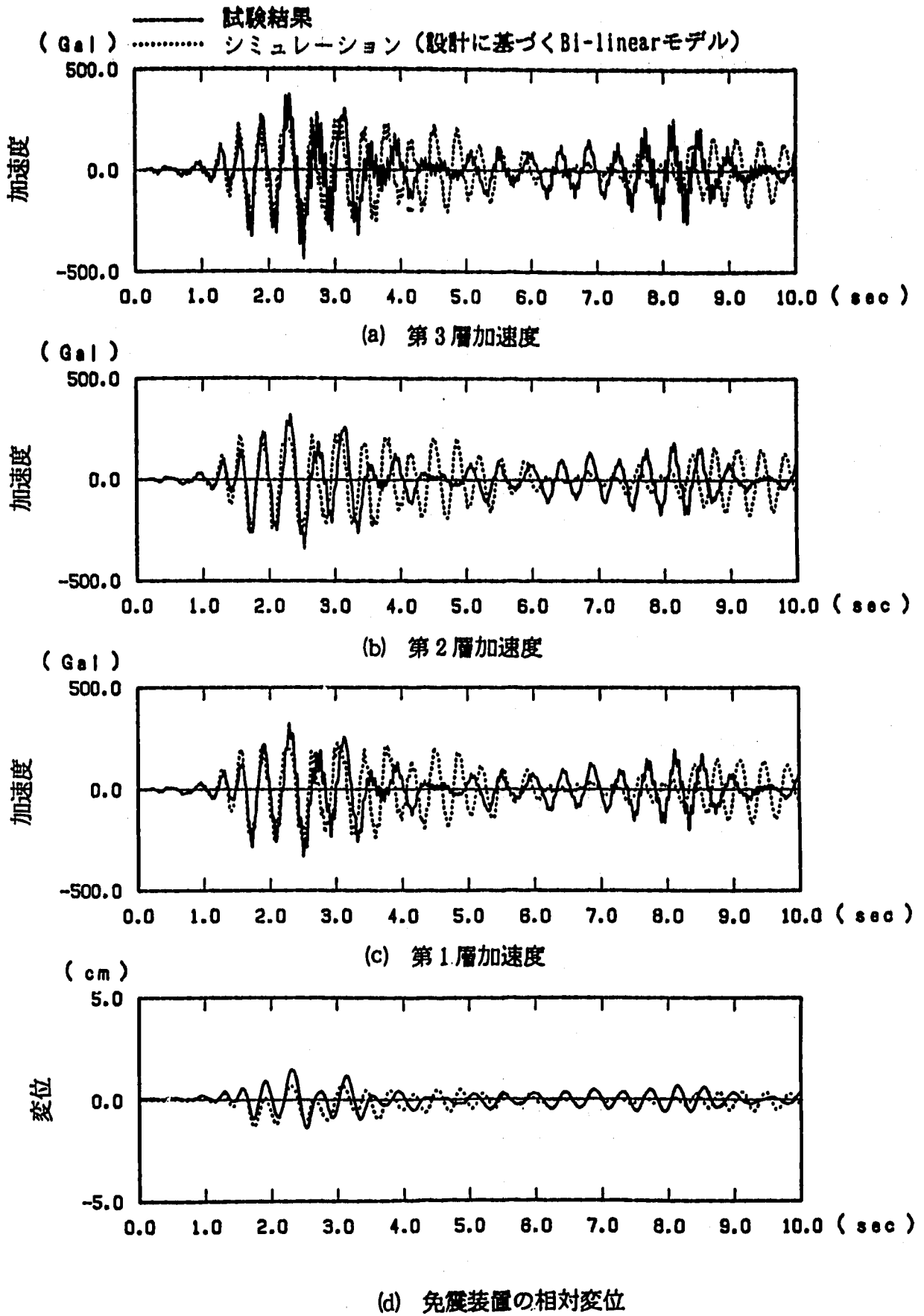
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.557	—	—	1.22×10^7	2.0
鋼材ダンパー	5.014	0.0	—	—	1.0

付図51 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.2$) のモデル化
(設計値に基づくBi-linearモデル)

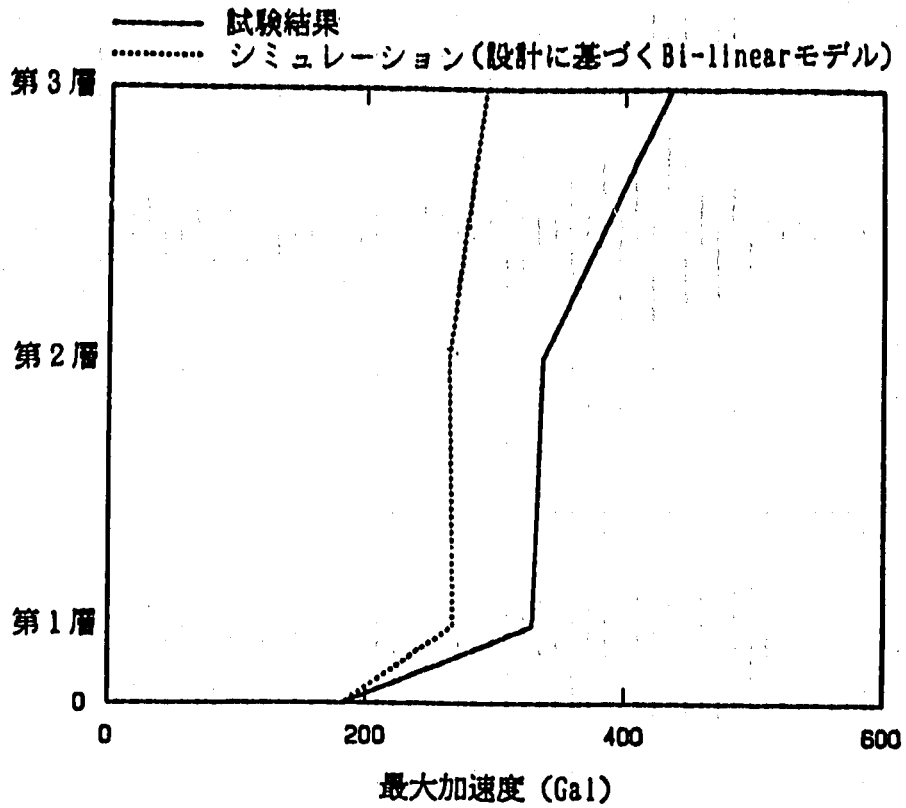
A-Fig. 51 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.2$)
(Bi-linear Model of Design Values)



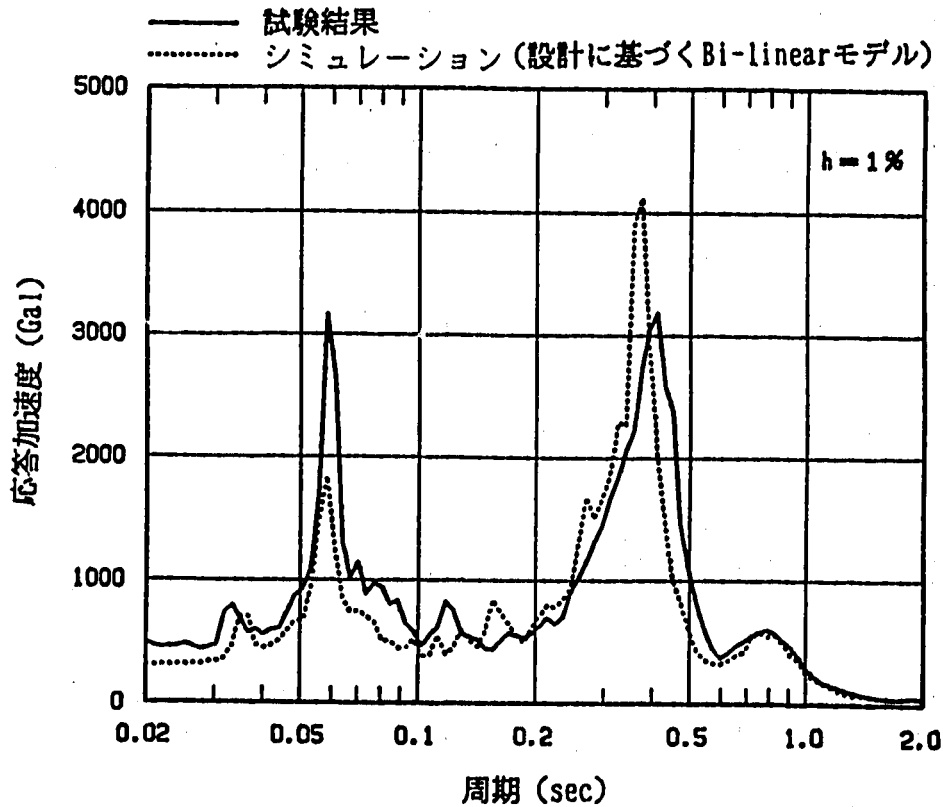
(c) 要素特性試験結果と設計モデル復元力特性の比較



付図52 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, BW, モデルA)
 A-Fig. 52 Time History Response of Acceleration and Displacement (RD2, DAC2N Mass Model, BW, Model A)

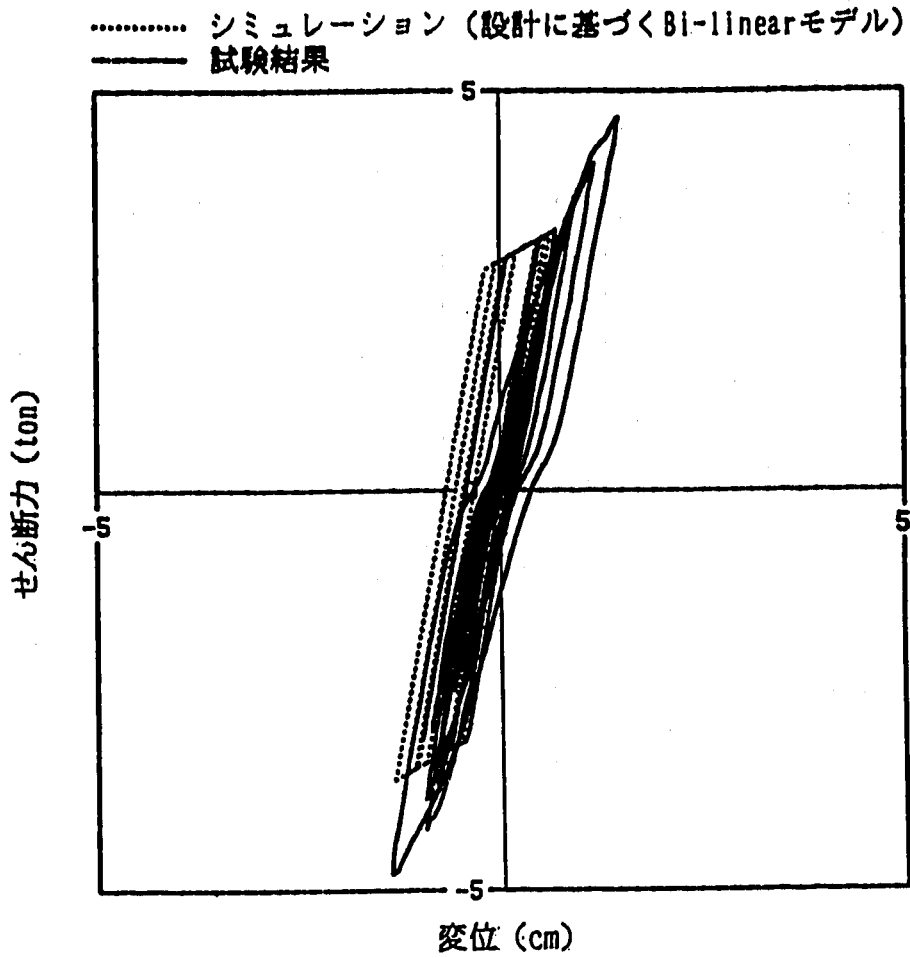


(a) 最大加速度分布

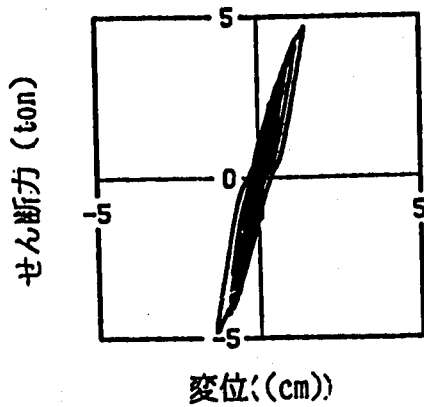


(b) 床応答スペクトル

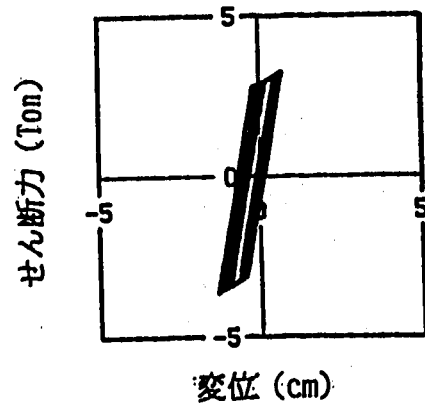
付図53 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD2, DAC2N 質点モデル, BW, モデル A)
 A-Fig. 53 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD2, DAC2N Mass Model, BW, Model A)



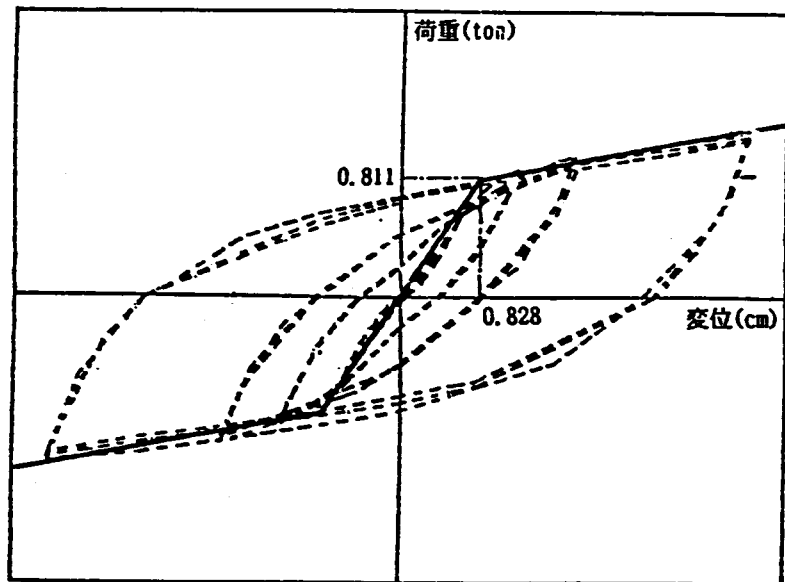
試験結果



シミュレーション
 (設計に基づくBi-linearモデル)



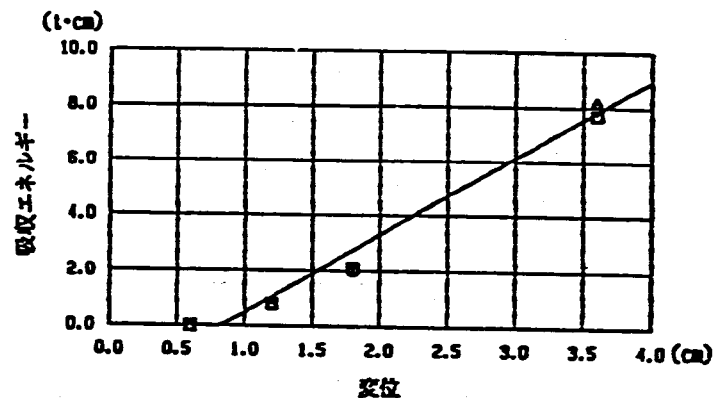
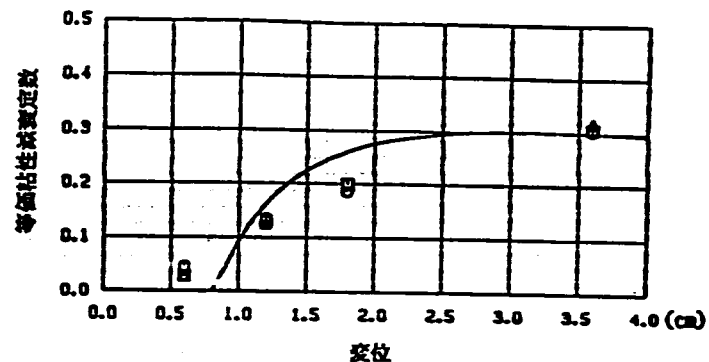
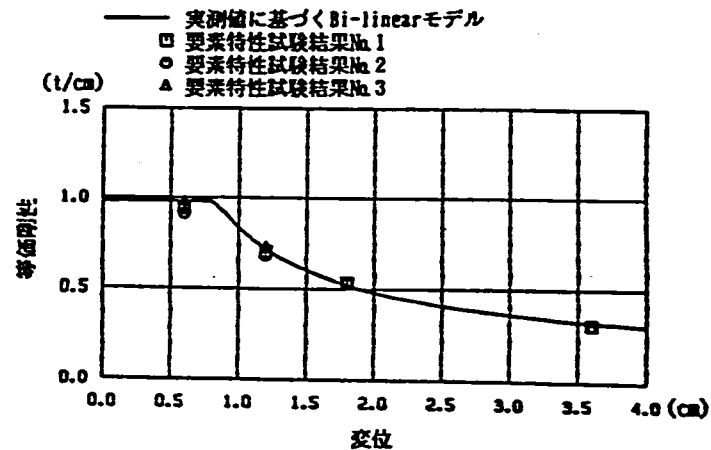
付図54 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-Fig. 54 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

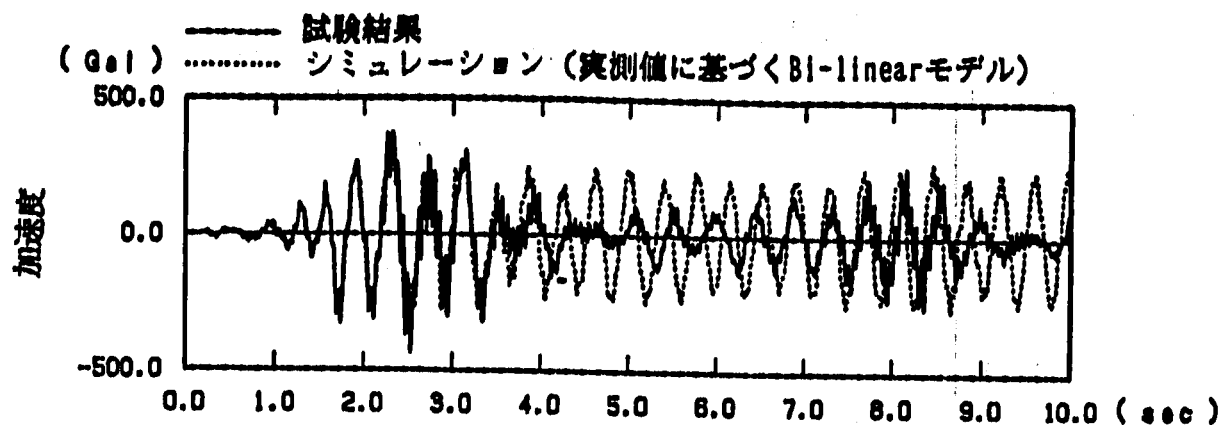
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	2.0
鋼材ダンパー	3.916	0.504	—	—	1.0



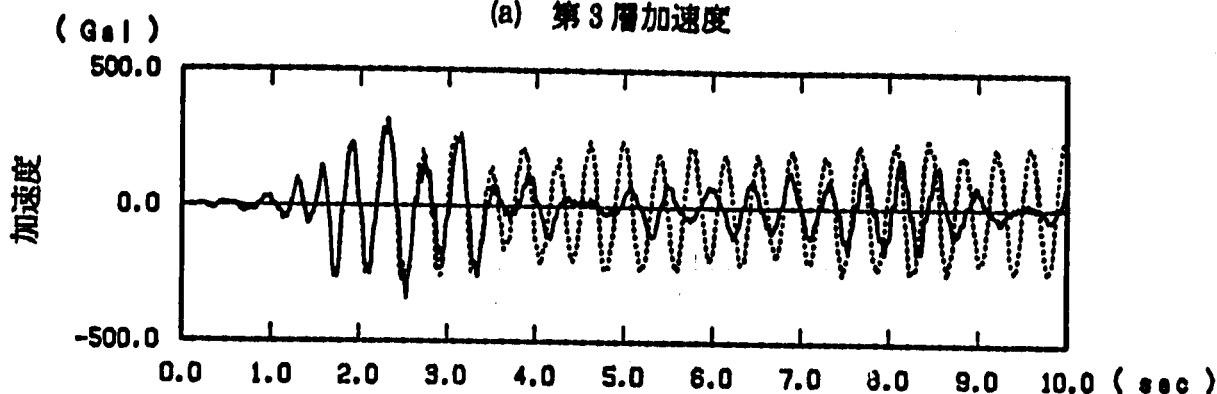
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図55 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.2$) のモデル化
(実験値に基づくBi-linearモデル)

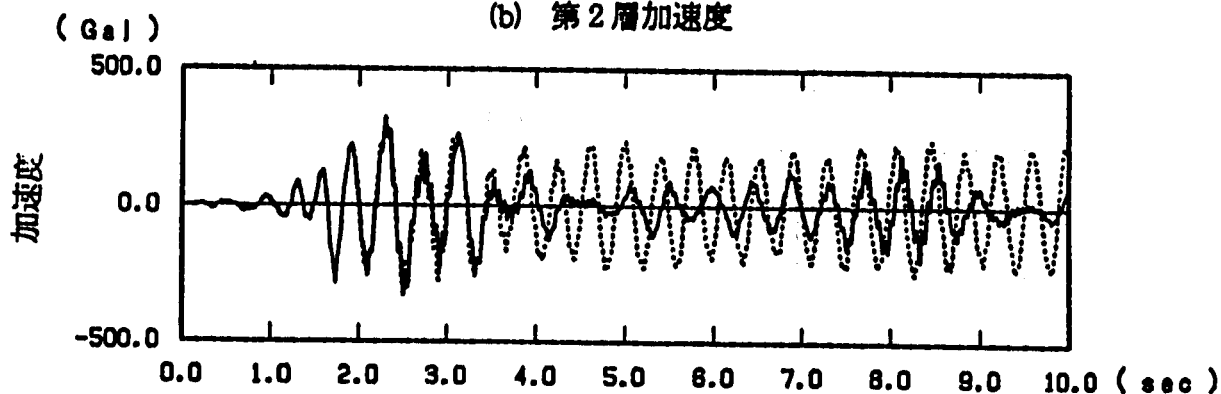
A-Fig. 55 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.2$)
(Bi-linear Model of Experimental Values)



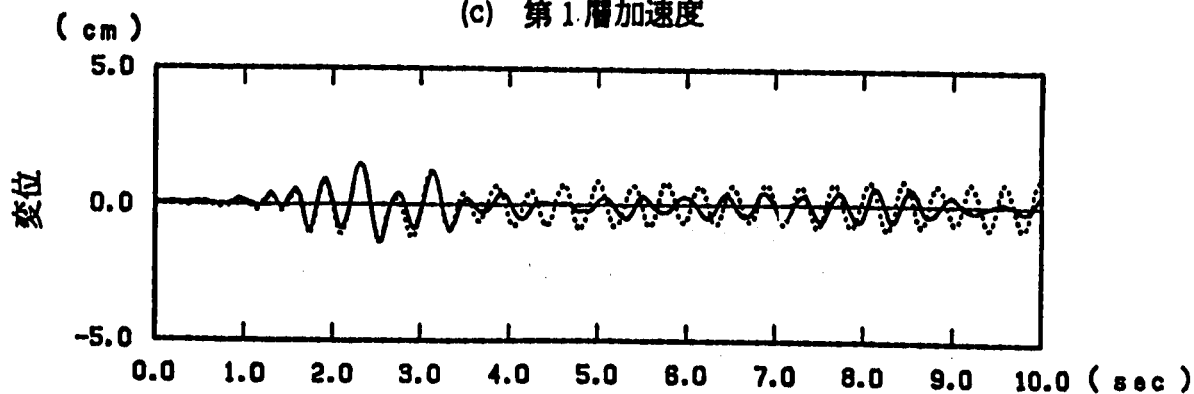
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

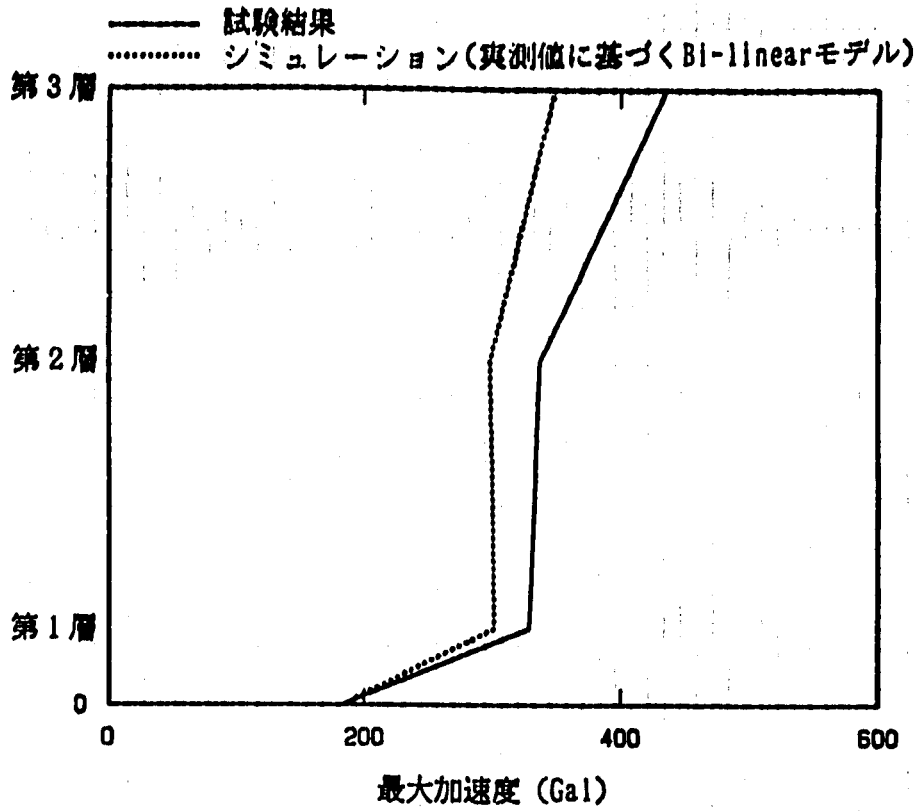


(c) 第1層加速度

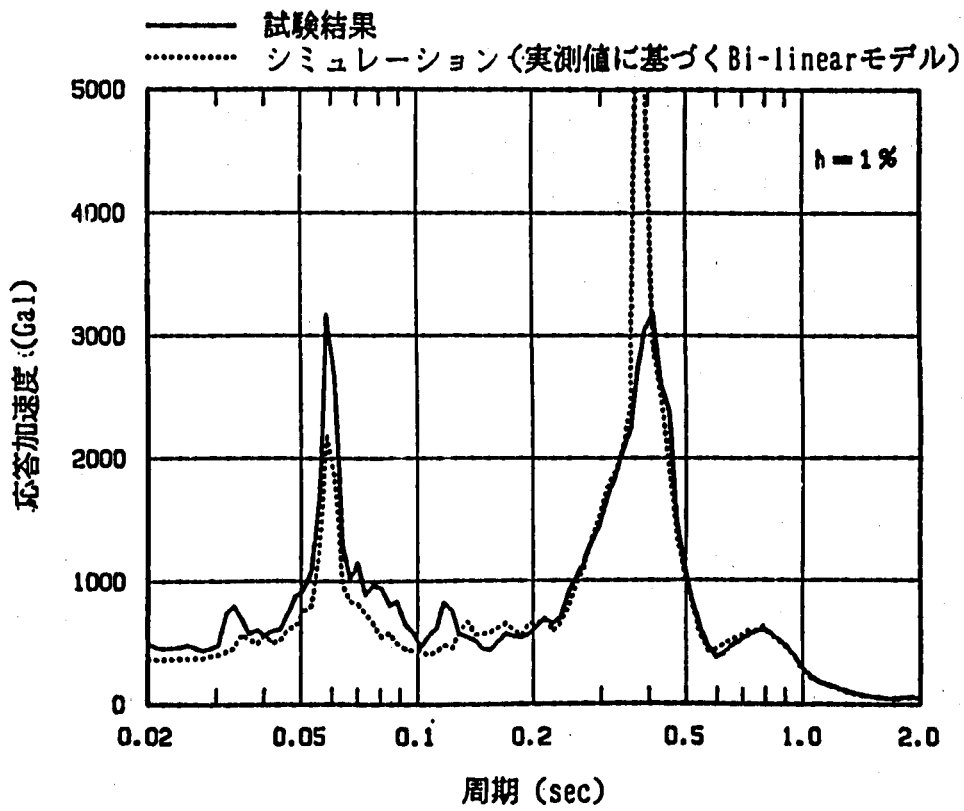


(d) 免震装置の相対変位

付図56 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルB)
 A-Fig.56 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model B)

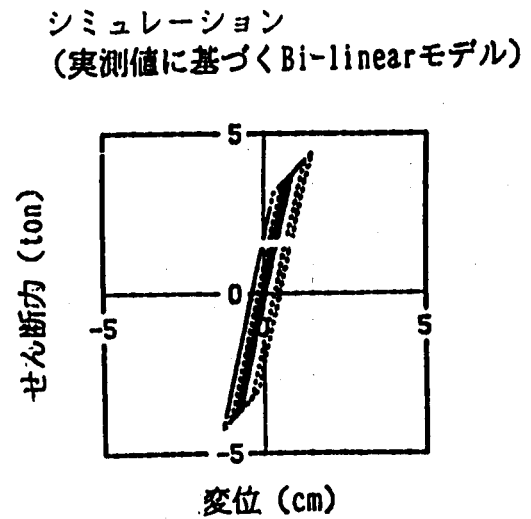
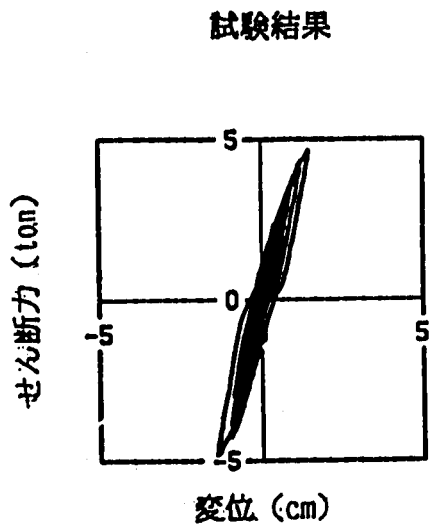
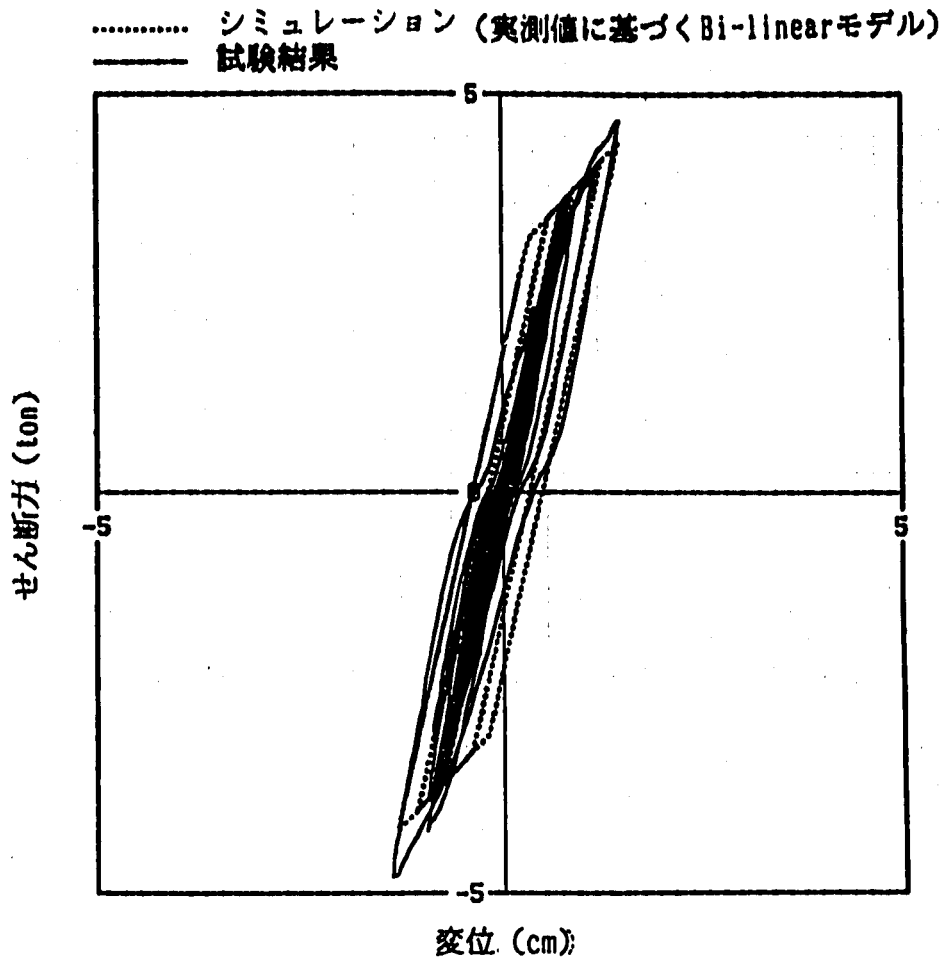


(a) 最大加速度分布

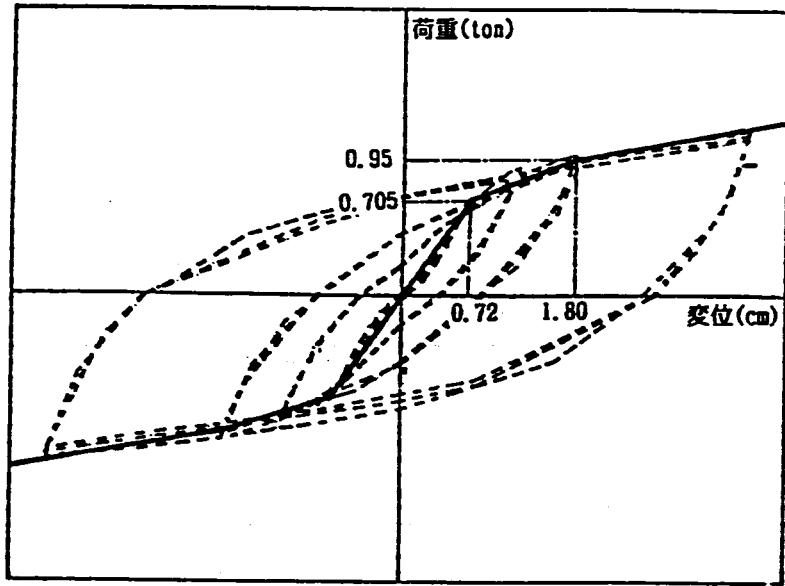


(b) 床応答スペクトル

付図57 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデル B)
 A-Fig. 57 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model B)



付図58 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデル B)
 A-Fig.58 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model B)



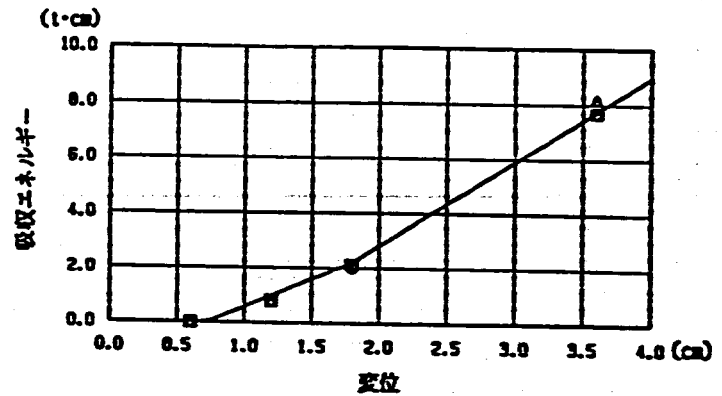
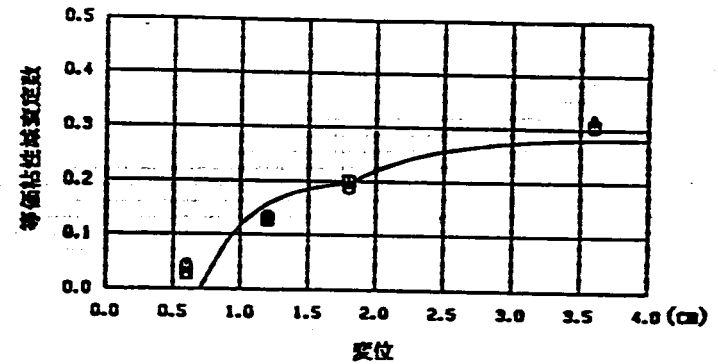
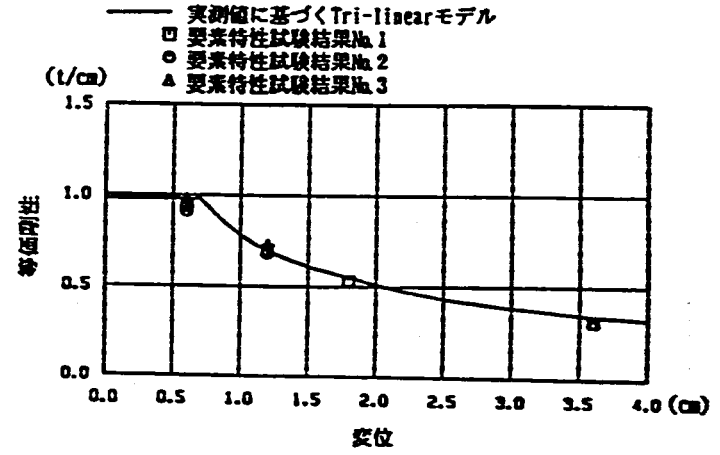
(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

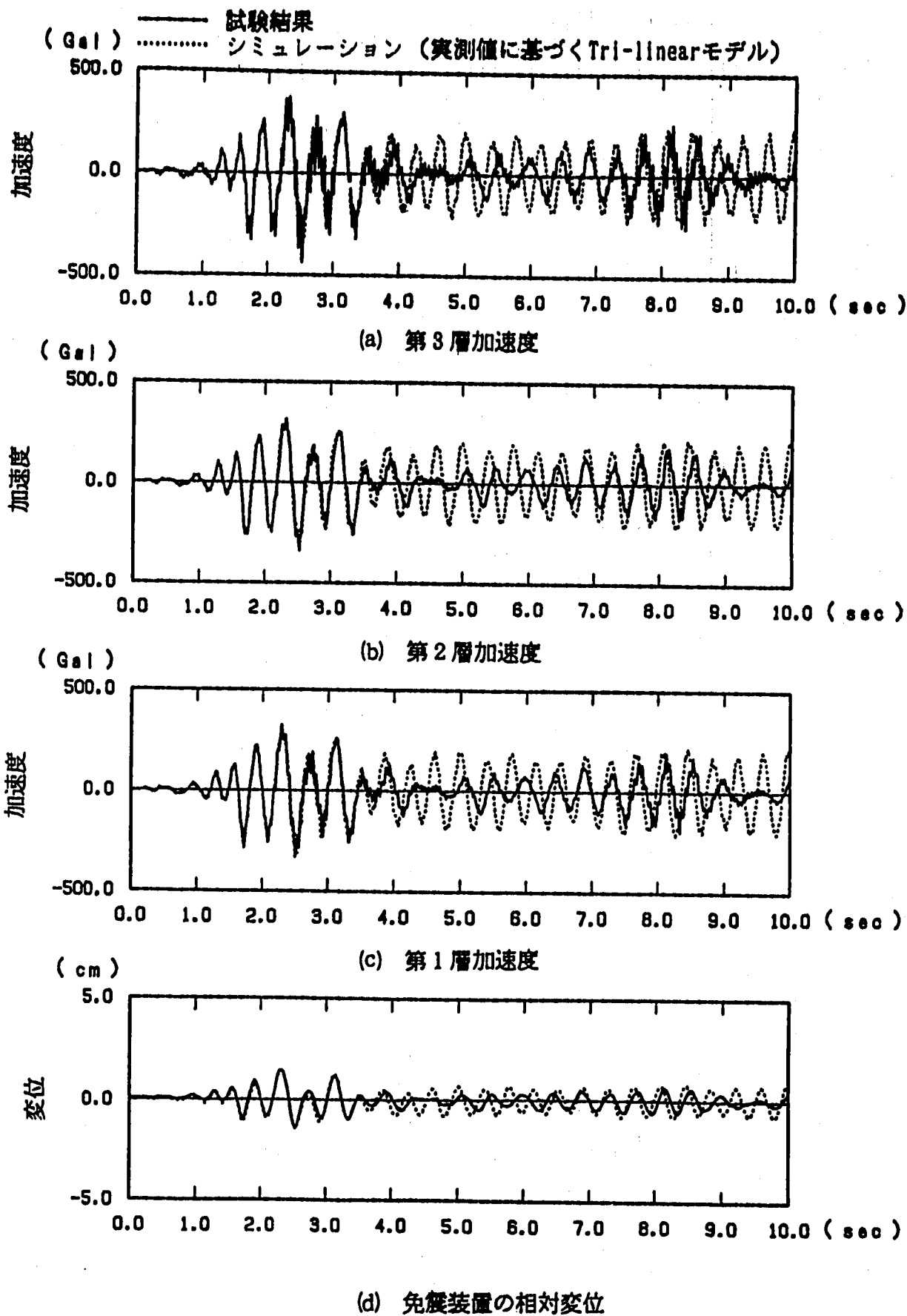
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	2.0
鋼材ダンパー	3.916	1.076	0.504	—	1.0

付図59 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.2$) のモデル化
(実験値に基づくTri-linearモデル)

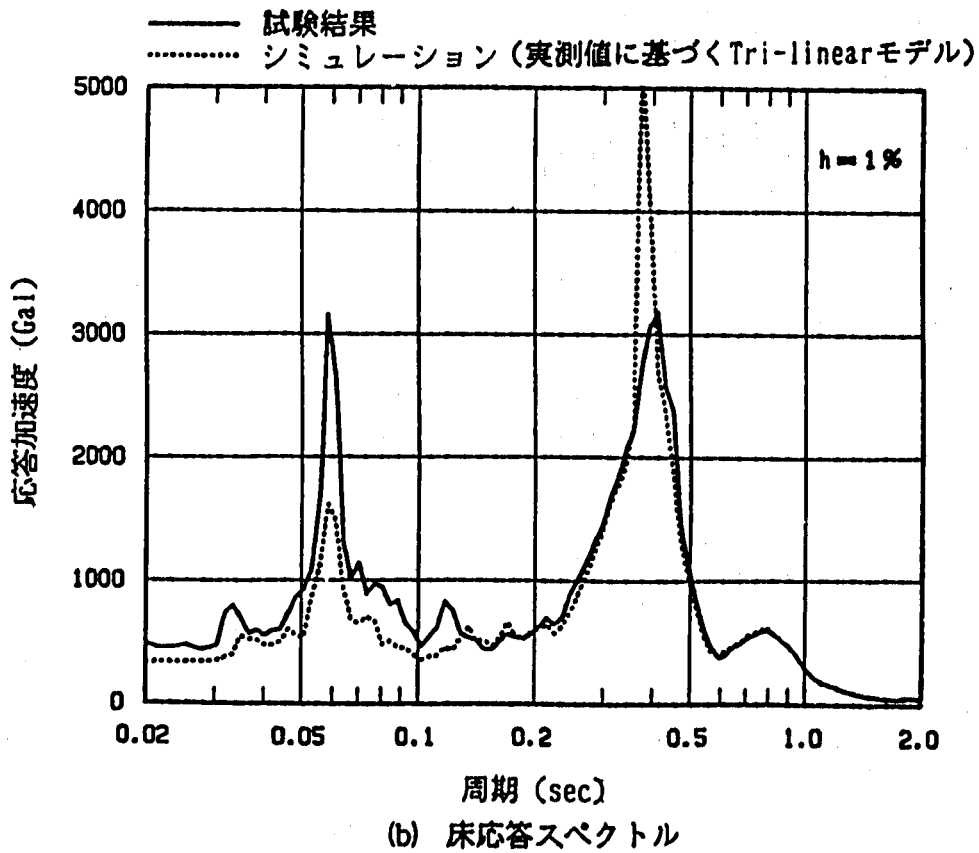
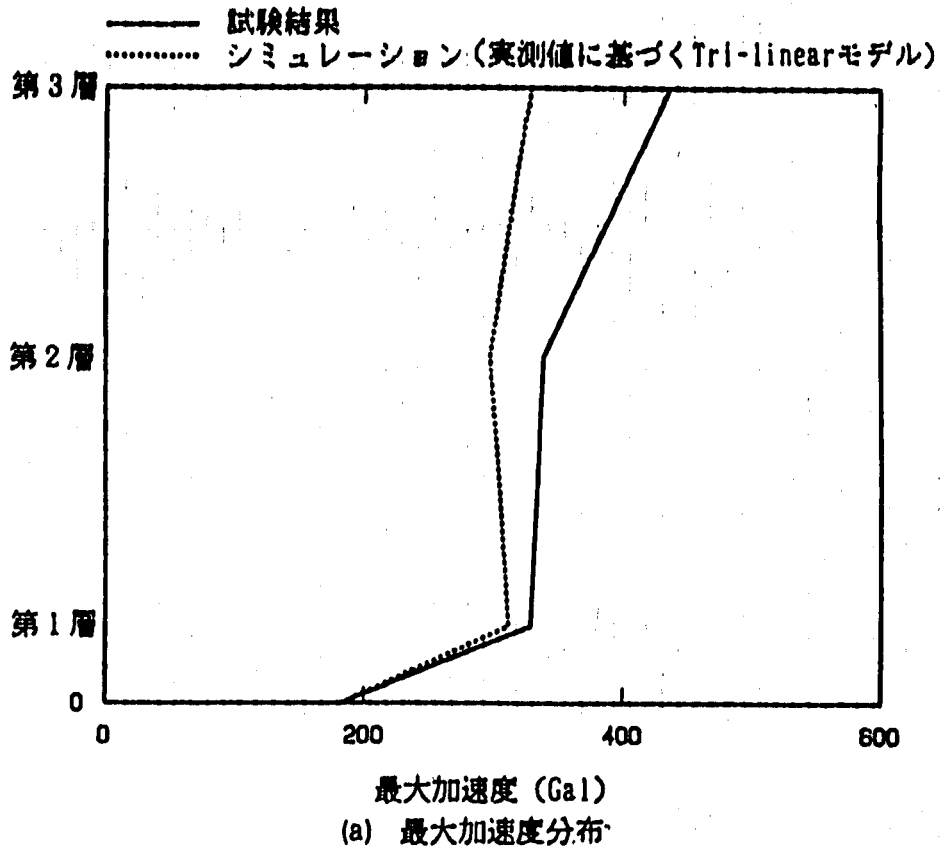
A-Fig. 59 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.2$)
(Tri-linear Model of Experimental Values)



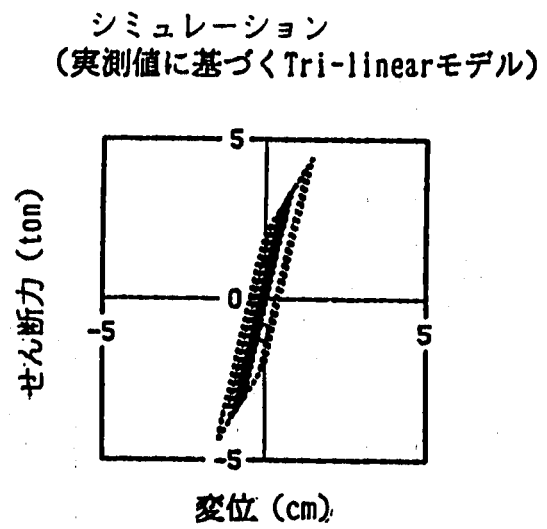
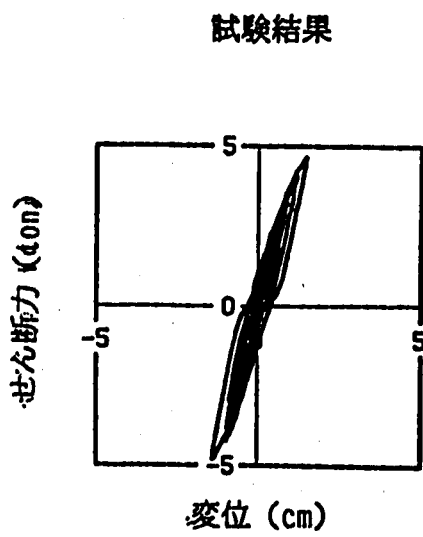
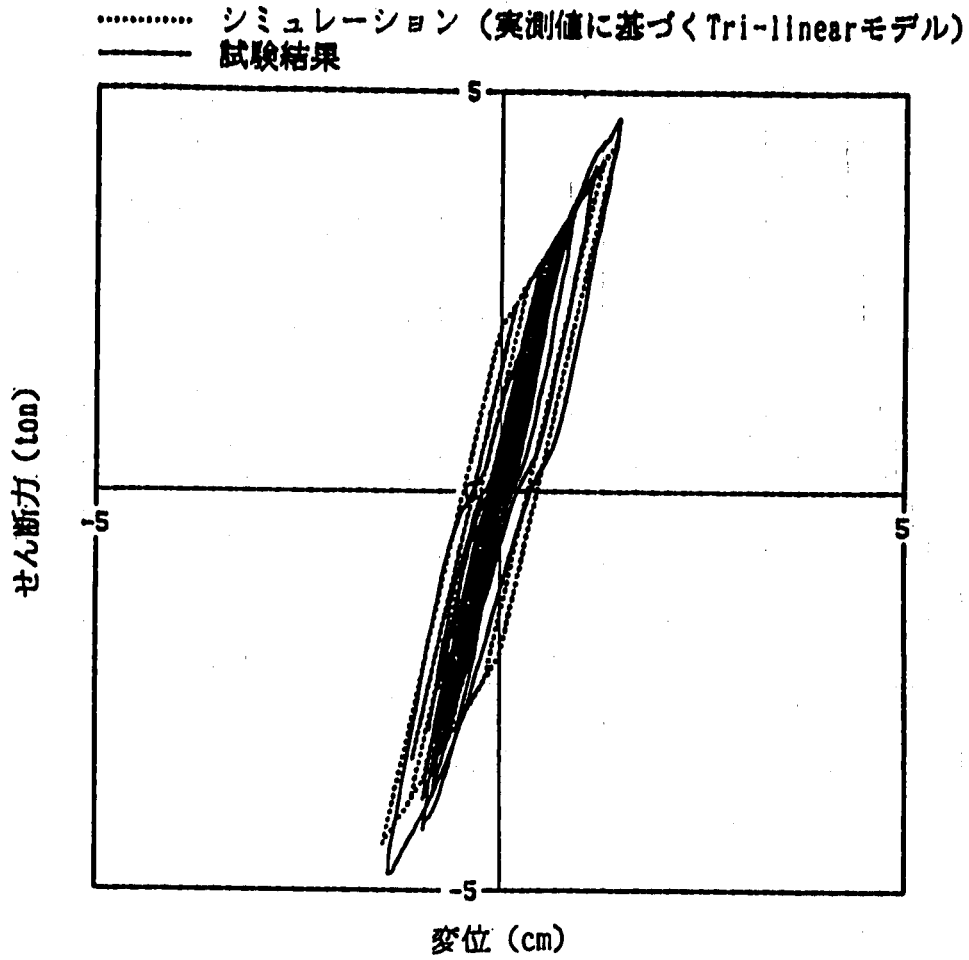
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較



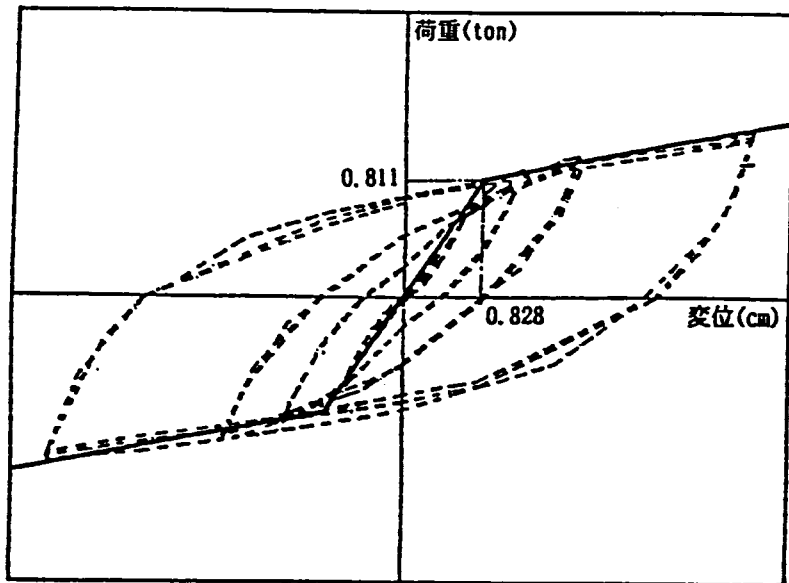
付図60 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルC)
 A-Fig.60 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model C)



付図61 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD2, DAC2N 質点モデル, BW, モデルC)
 A-Fig. 61 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD2, DAC2N Mass Model, BW, Model C)



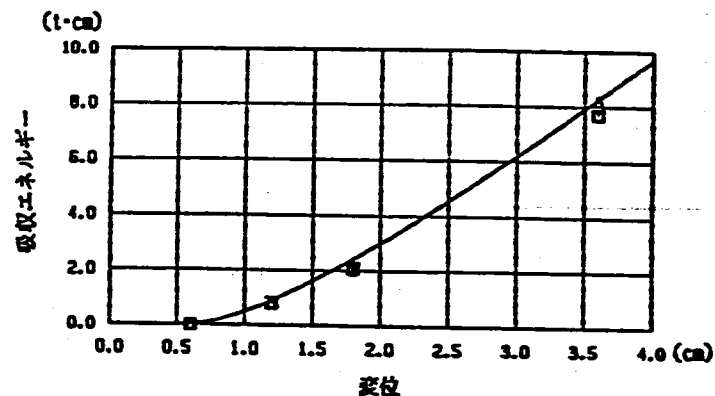
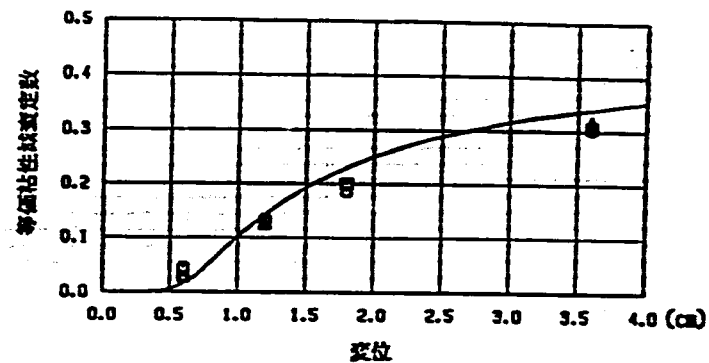
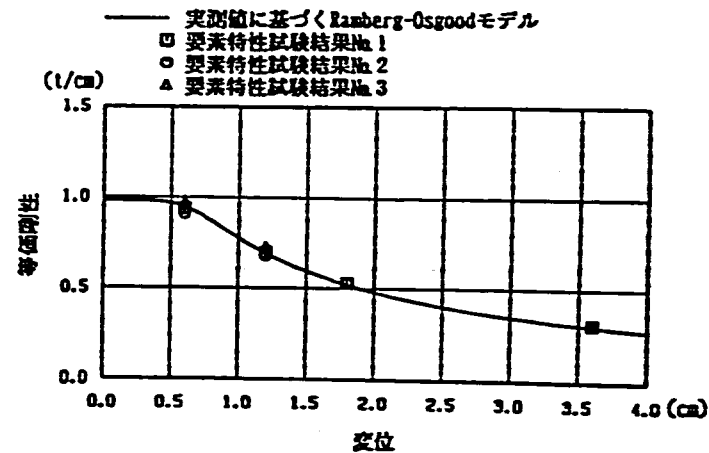
付図62 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルC)
 A-fig. 62 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model C)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

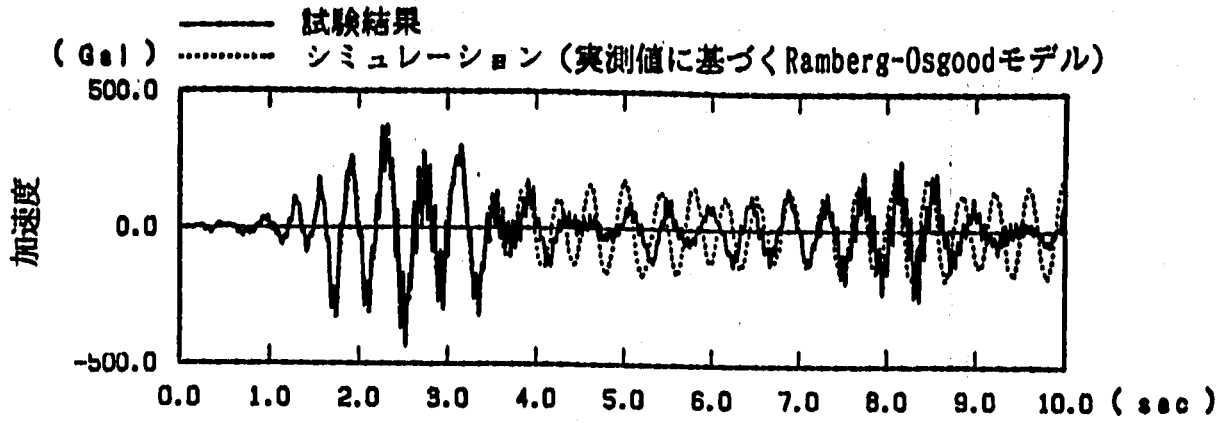
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	2.0
鋼材ダンパー	3.916	0.504	—	—	1.0
	ヒステリシスループ形状係数			無次元化基準復元力, 変位	
	α	β	γ	F_r	δ_r
	0.2554	0.000037	7.6188	3.73 ton	1.80 cm



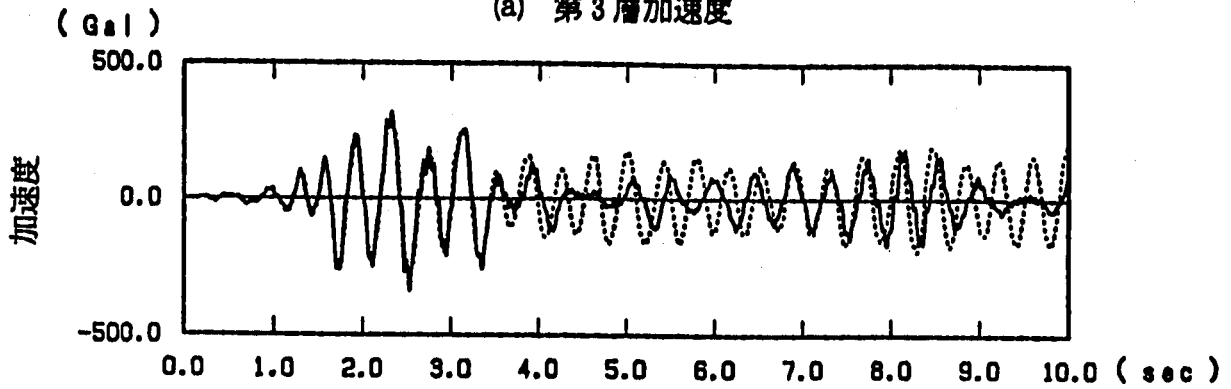
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図63 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta=0.2$) のモデル化
(実験値に基づく Ramberg-Osgoodモデル)

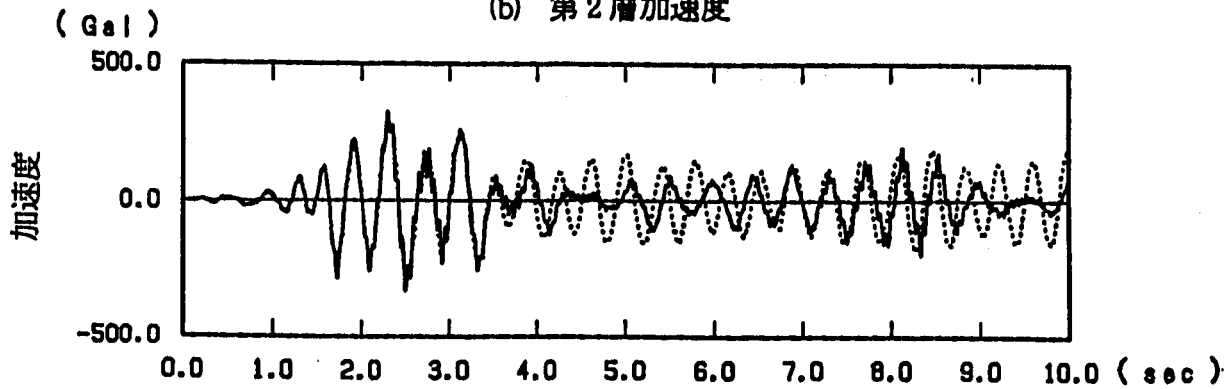
A-Fig. 63 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta=0.2$)
(Ramberg-Osgood Model of Experimental Values)



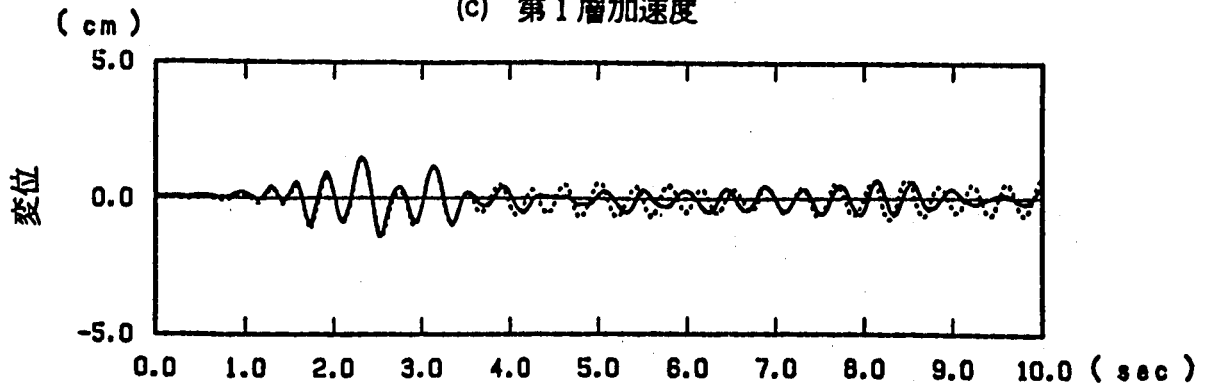
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

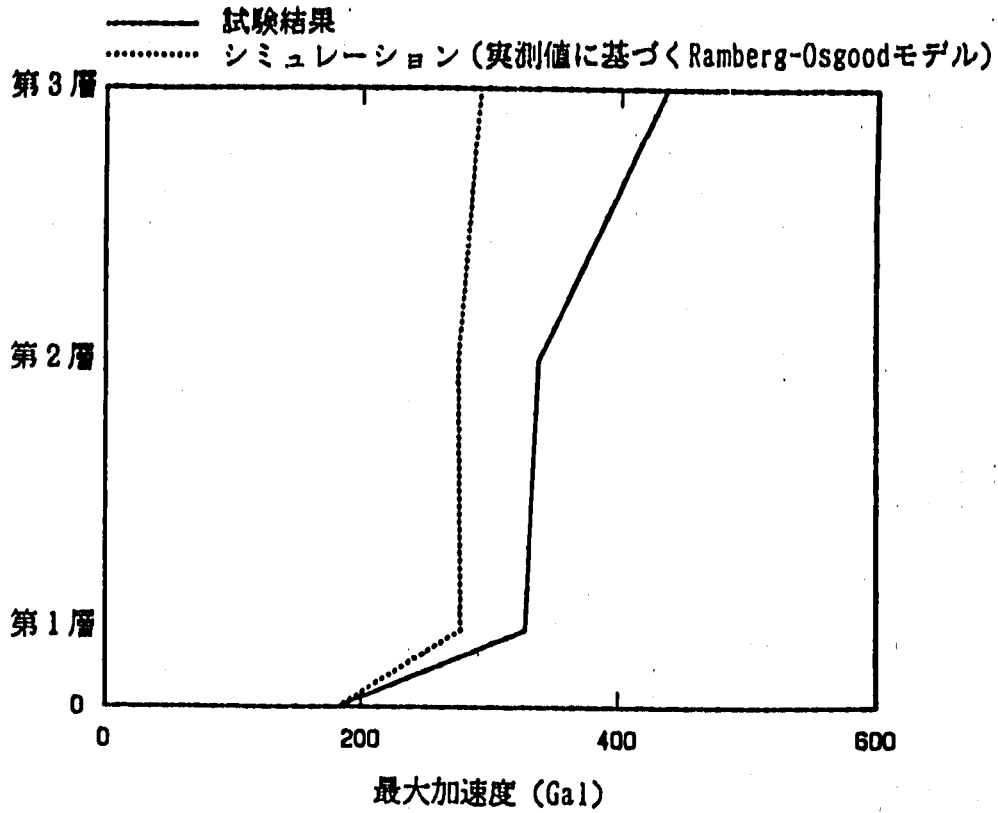


(c) 第1層加速度

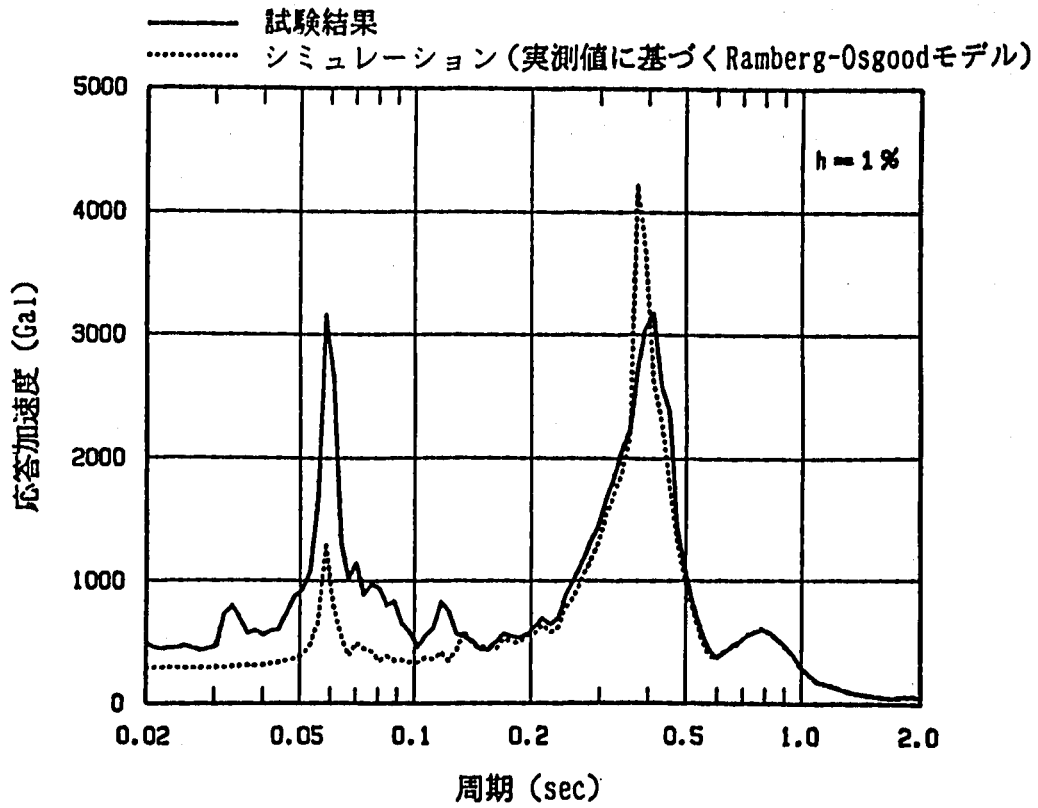


(d) 免震装置の相対変位

付図64 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig.64 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, BW, Model D)

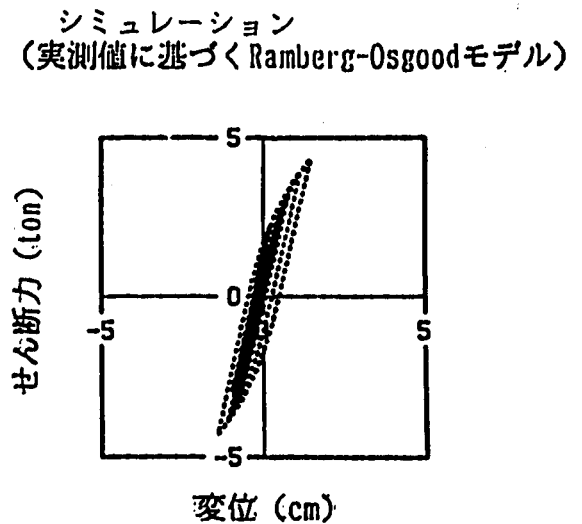
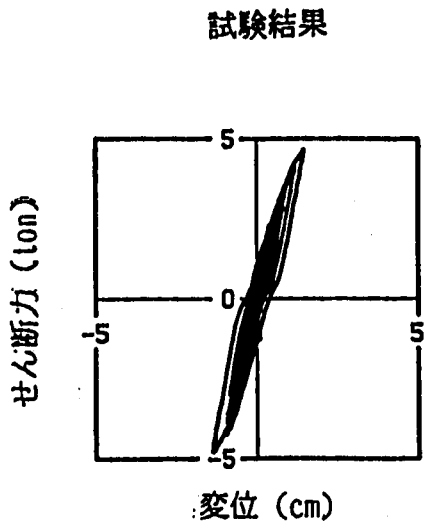
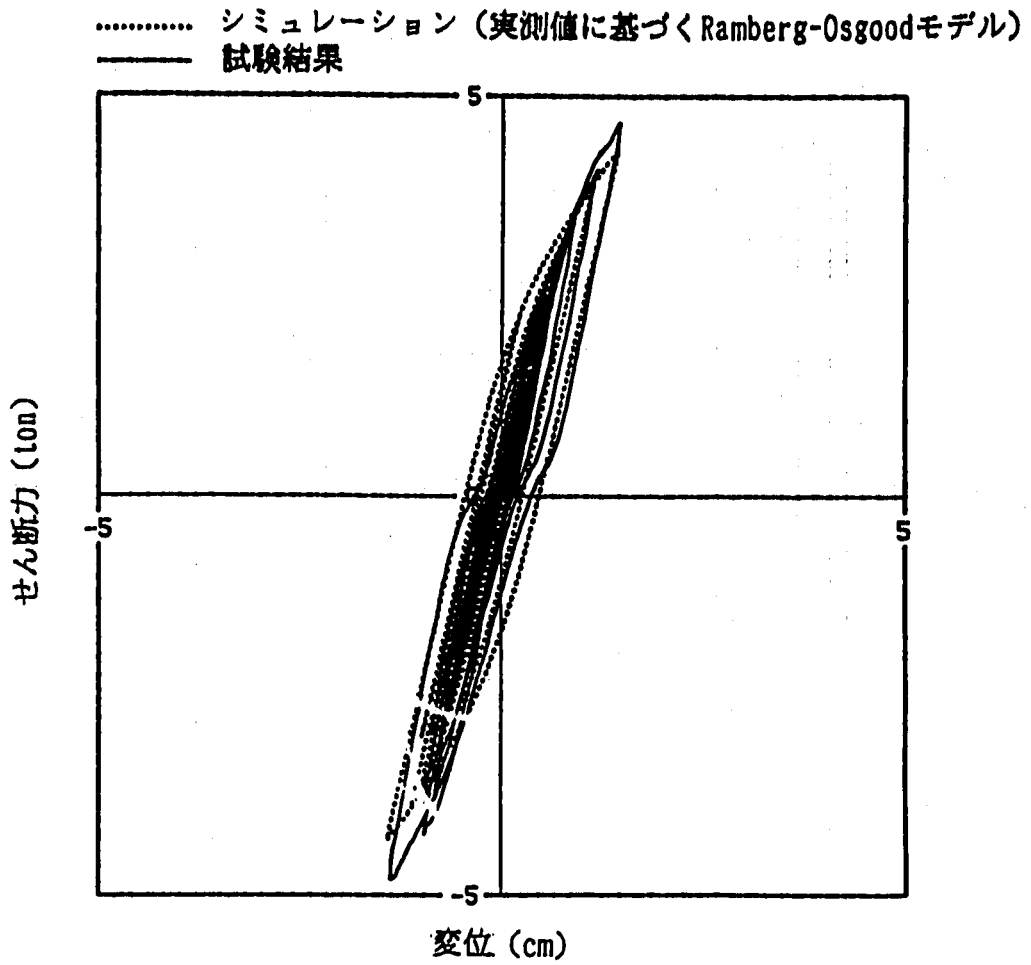


(a) 最大加速度分布

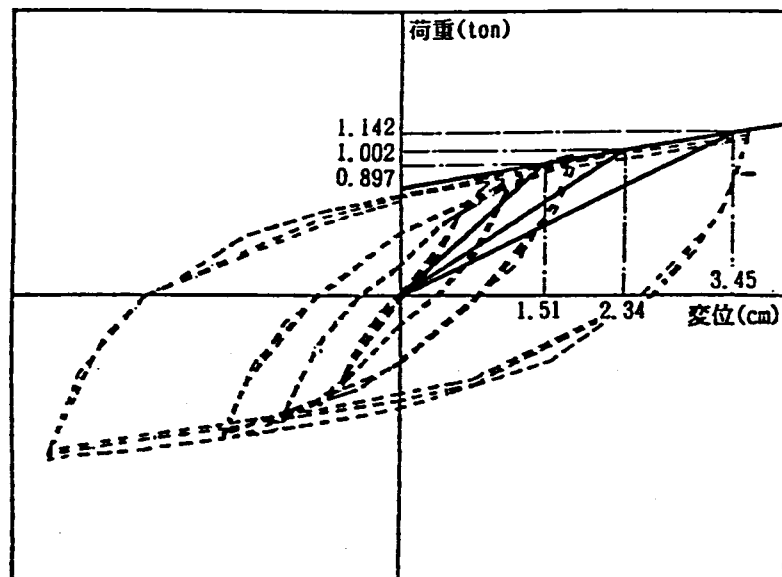


(b) 床応答スペクトル

付図65 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
A-Fig.65 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model D)



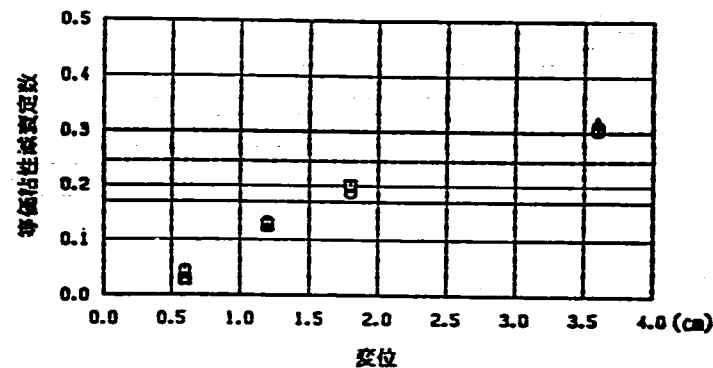
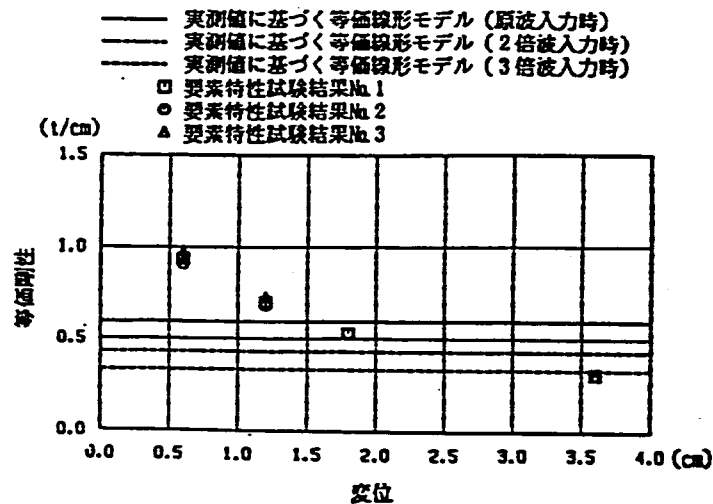
付図66 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, BW, モデル D)
 A-Fig.66 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, BW, Model D)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

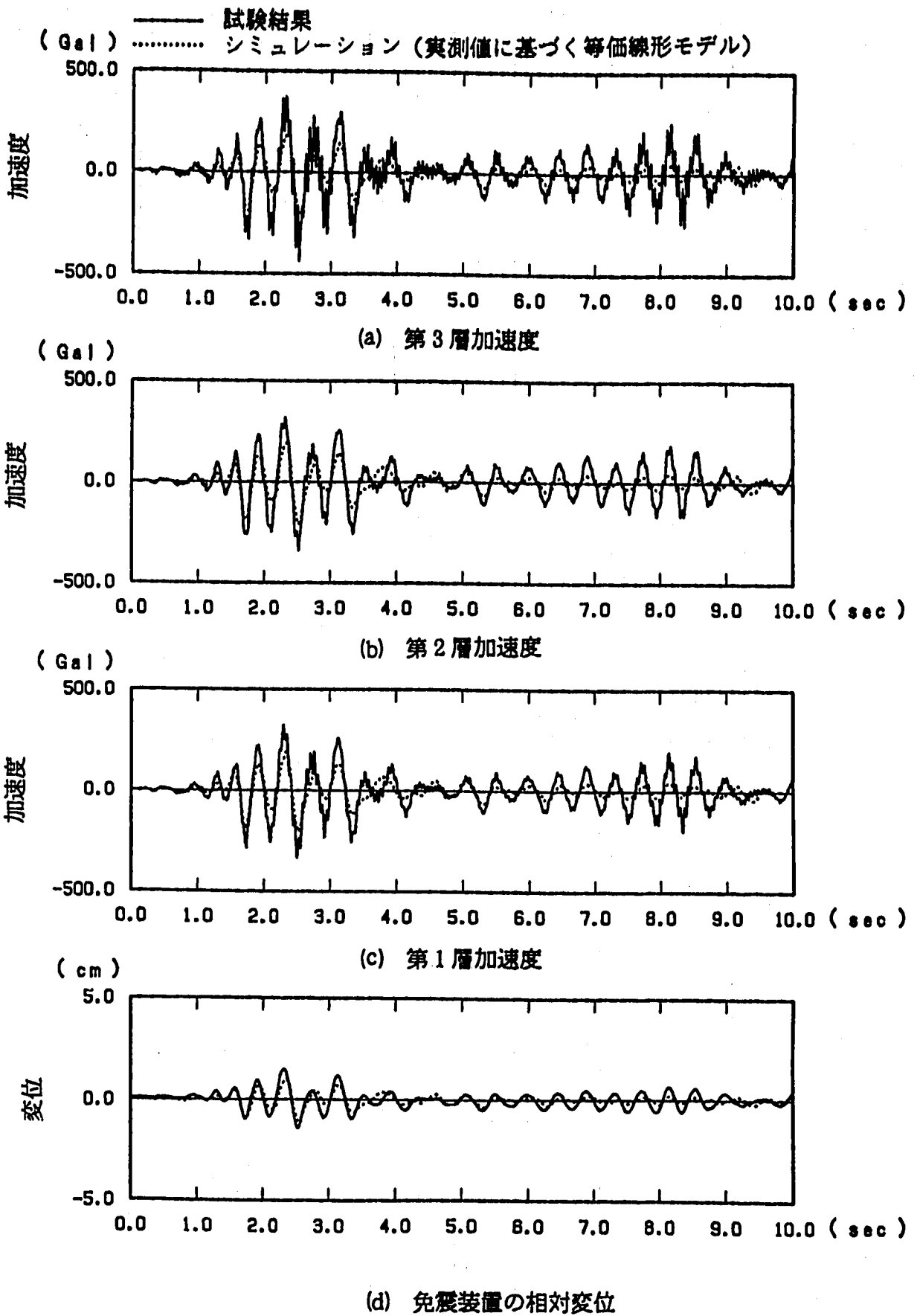
免震装置	1次剛性 (t/cm)	2次剛性 (t/cm)	3次剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	鉛直剛性 (t/cm)
積層ゴム	0.562	—	—	1.42×10^7	906.0
鋼材ダンパー	2.376	1.713	1.324	—	—
	等価粘性減衰定数(%)			備考：水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定	
	17.0	24.5	30.0		



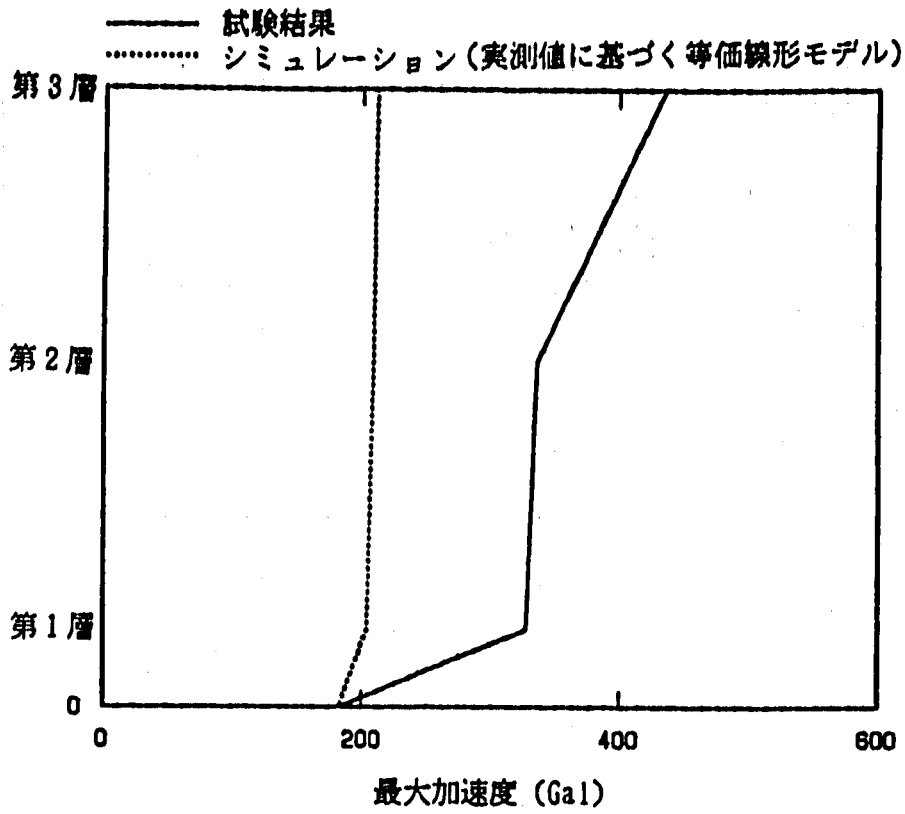
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図67 積層ゴム+鋼材ダンパー ($\beta = 0.2$) のモデル化 (実測値に基づく等価線形モデル)

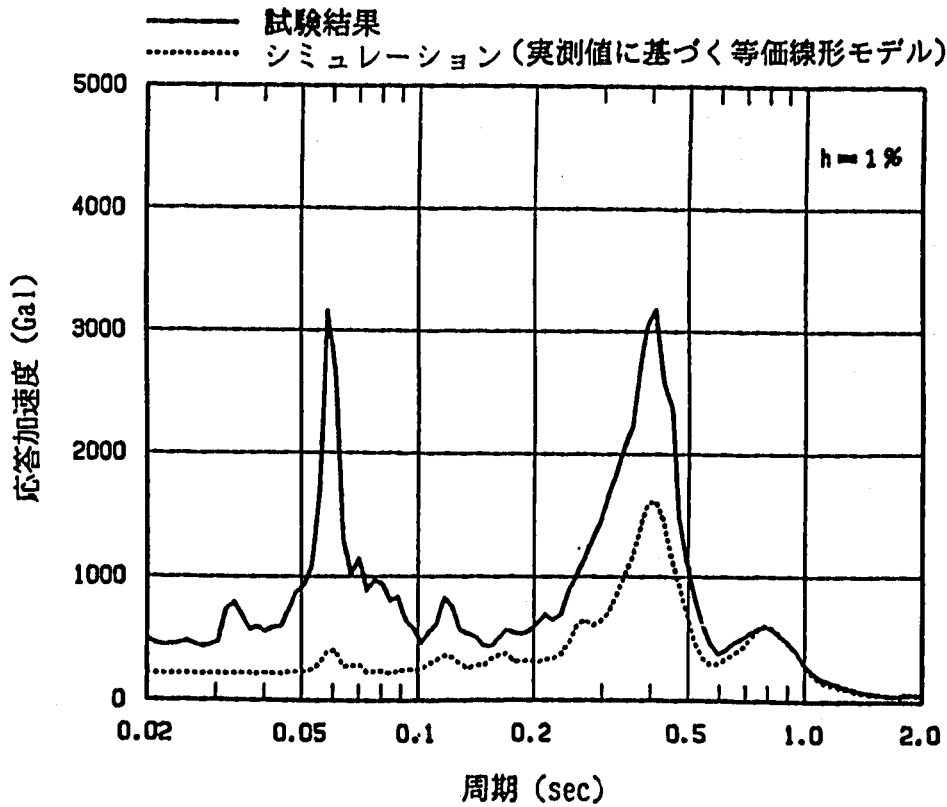
A-Fig. 67 Simulation Model of Rubber Bearing+Steel Damper ($\beta = 0.2$) (Equivalent-linear Model of Experimental Values)



付図68 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデルE)
 A-Fig. 68 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model E)

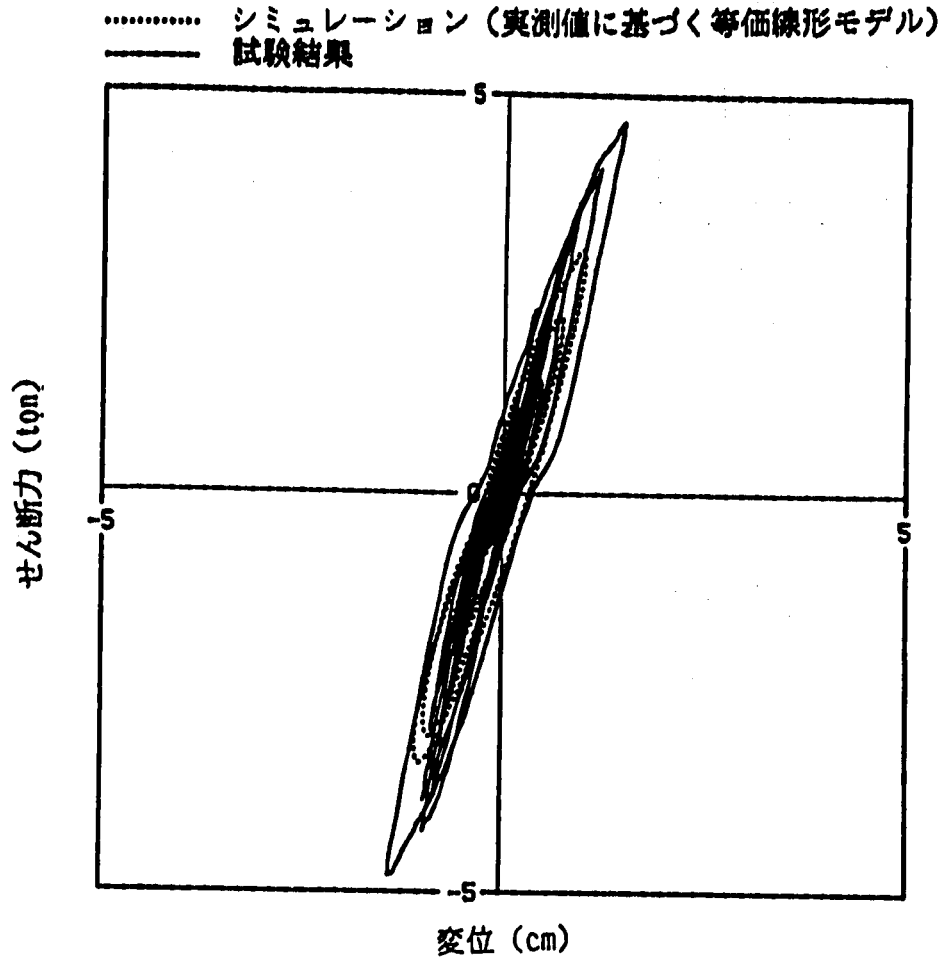


(a) 最大加速度分布

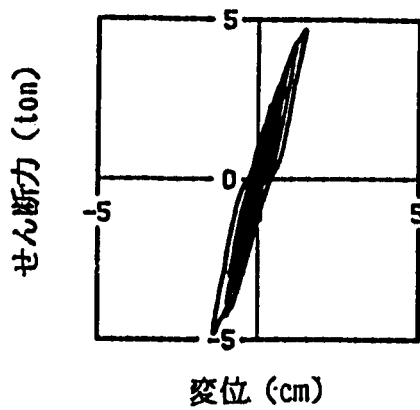


(b) 床応答スペクトル

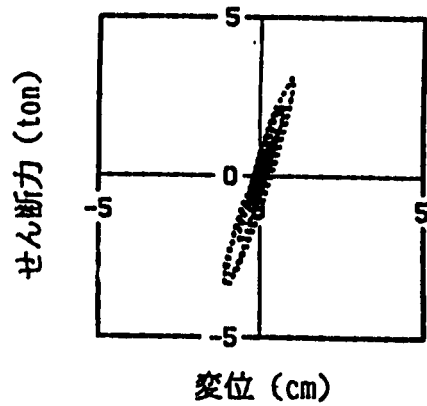
付図69 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD2, DAC2N 質点モデル, EW, モデル E)
 A-Fig. 69 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD2, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



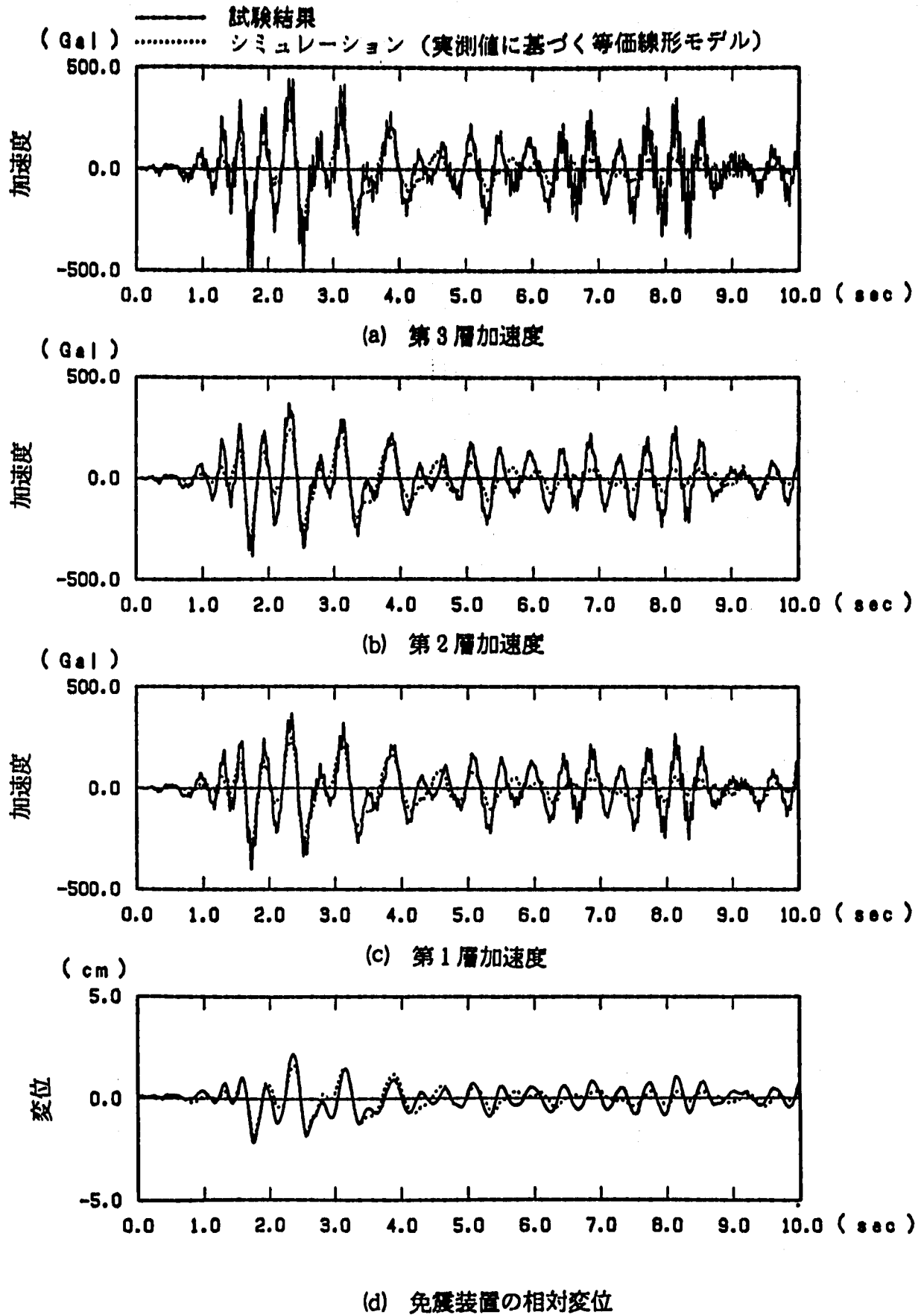
試験結果



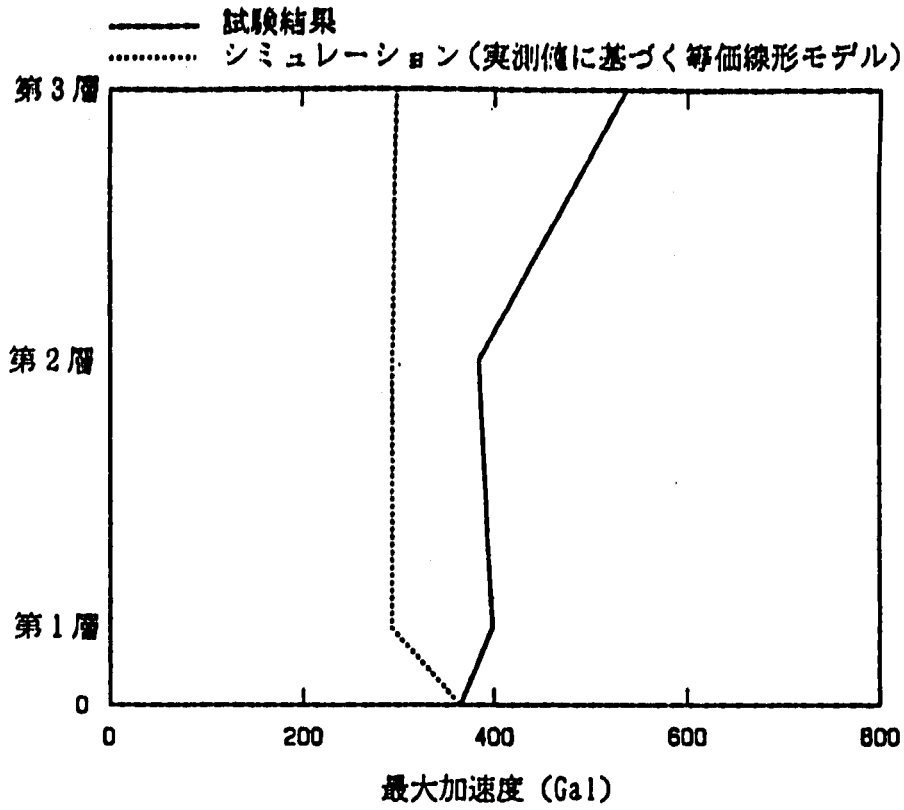
シミュレーション
 (実測値に基づく等価線形モデル)



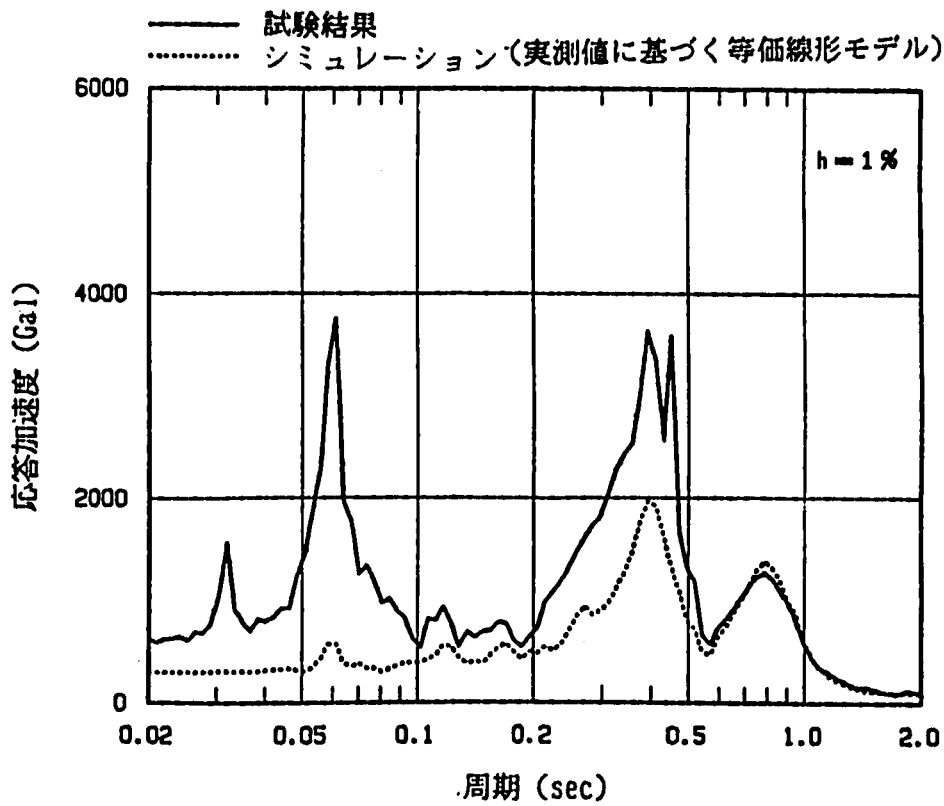
付図70 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, BW, モデル E)
 A-Fig.70 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, BW, Model E)



付図71 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデルE)
 A-Fig.71 Time History Response of Acceleration and Displacement (RD2, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)

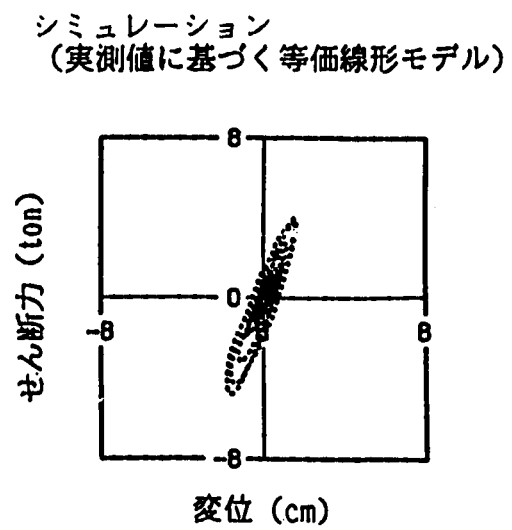
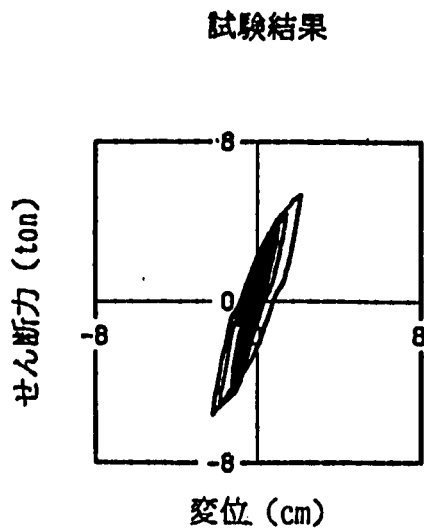
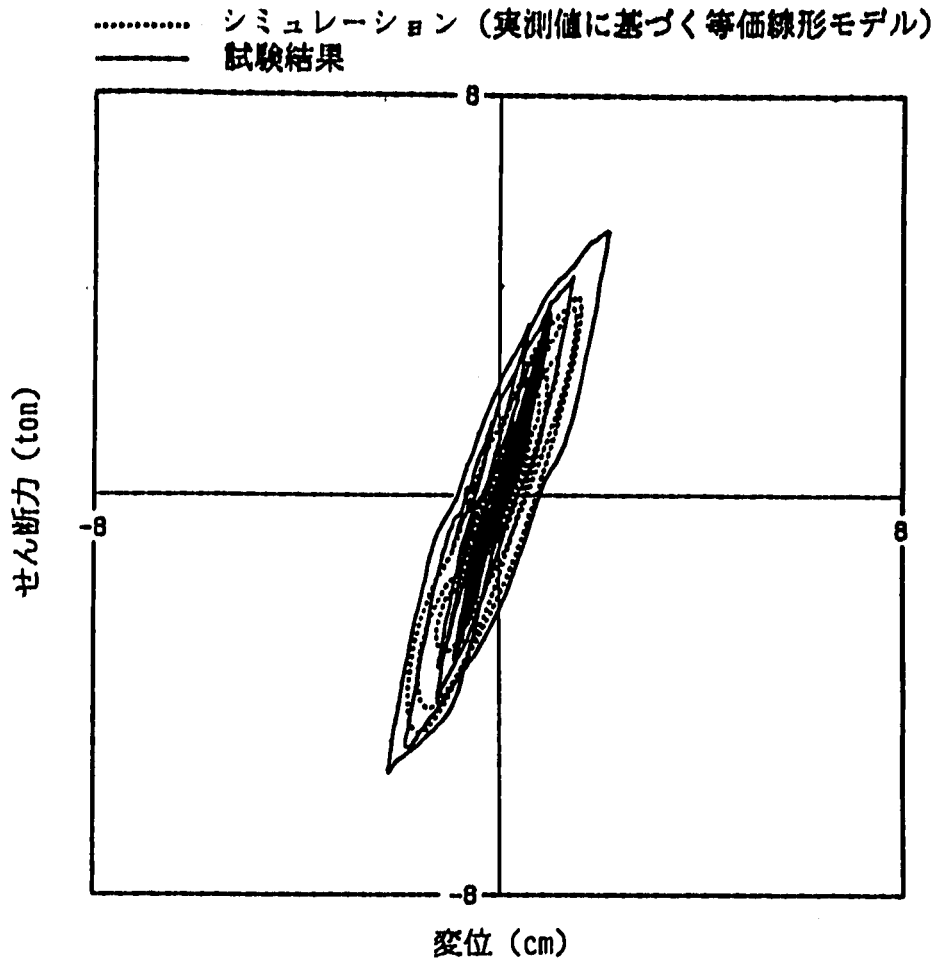


(a) 最大加速度分布

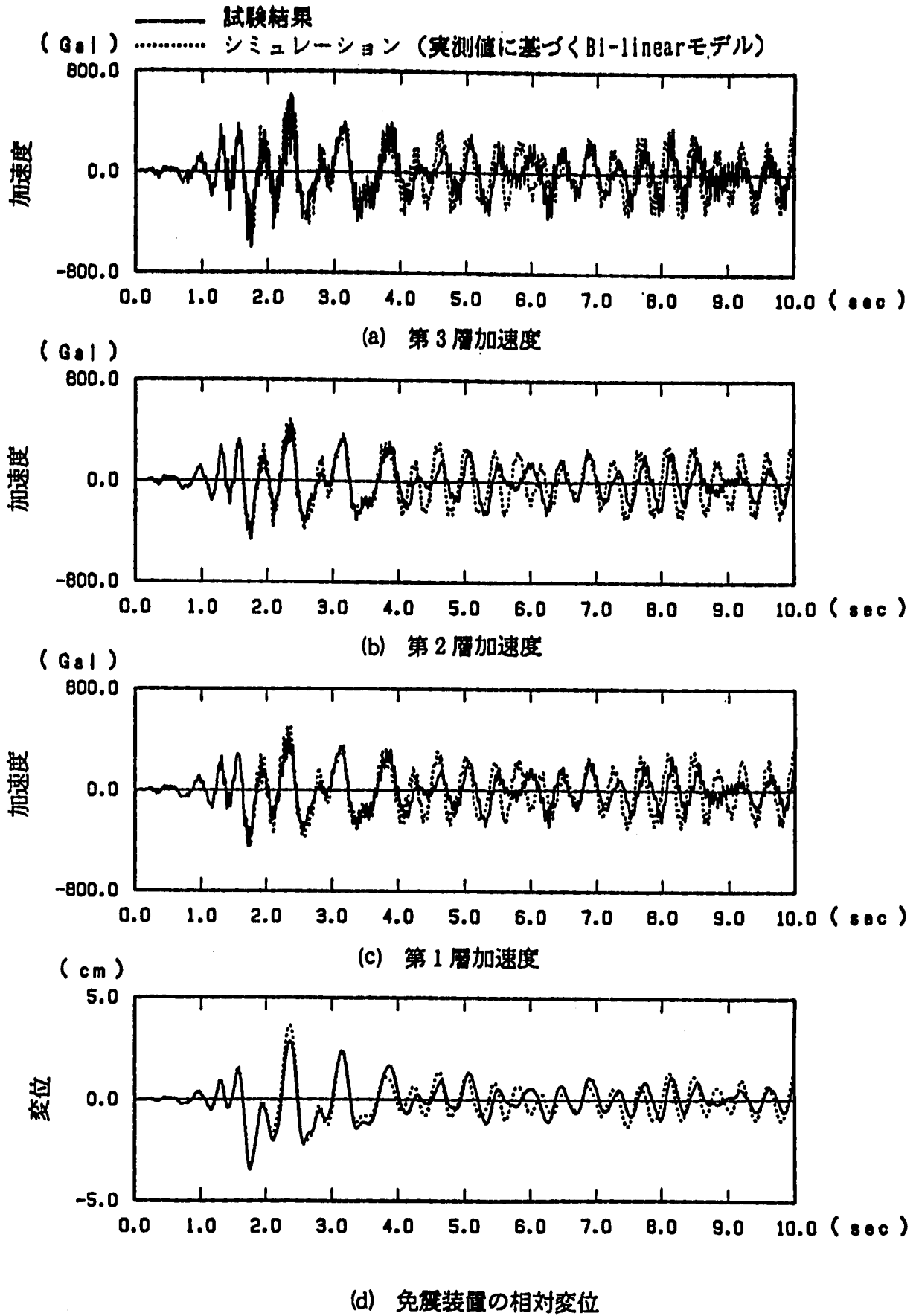


(b) 床応答スペクトル

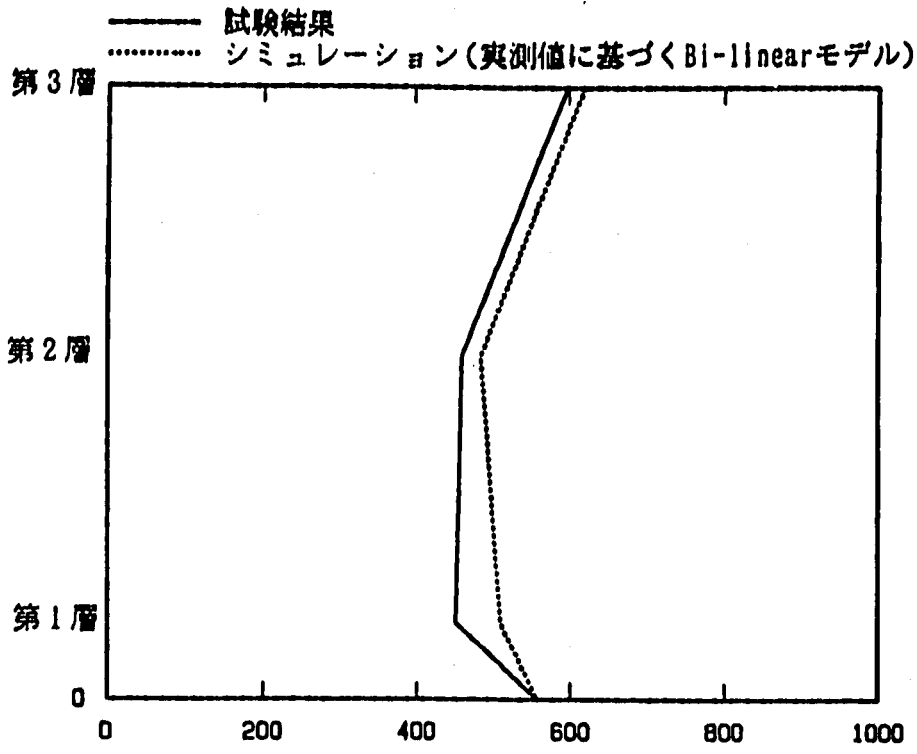
付図72 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD2, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデル E)
 A-Fig. 72 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD2, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



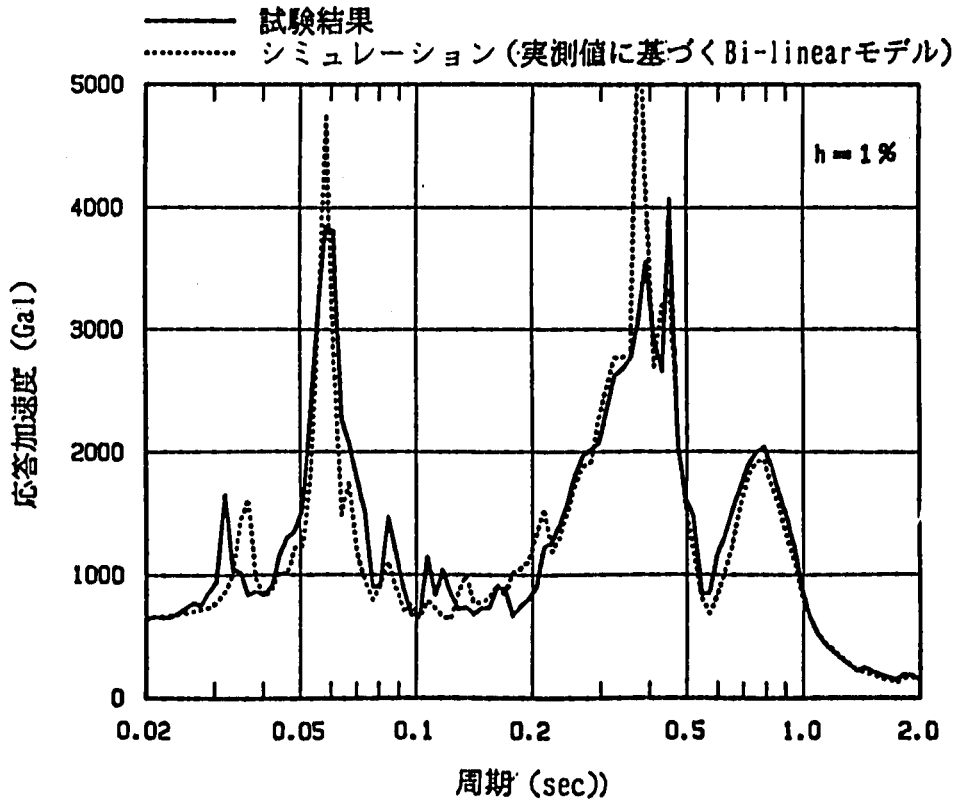
付図73 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデル E)
 A-Fig.73 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



付図74 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルB)
 A-Fig.74 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)

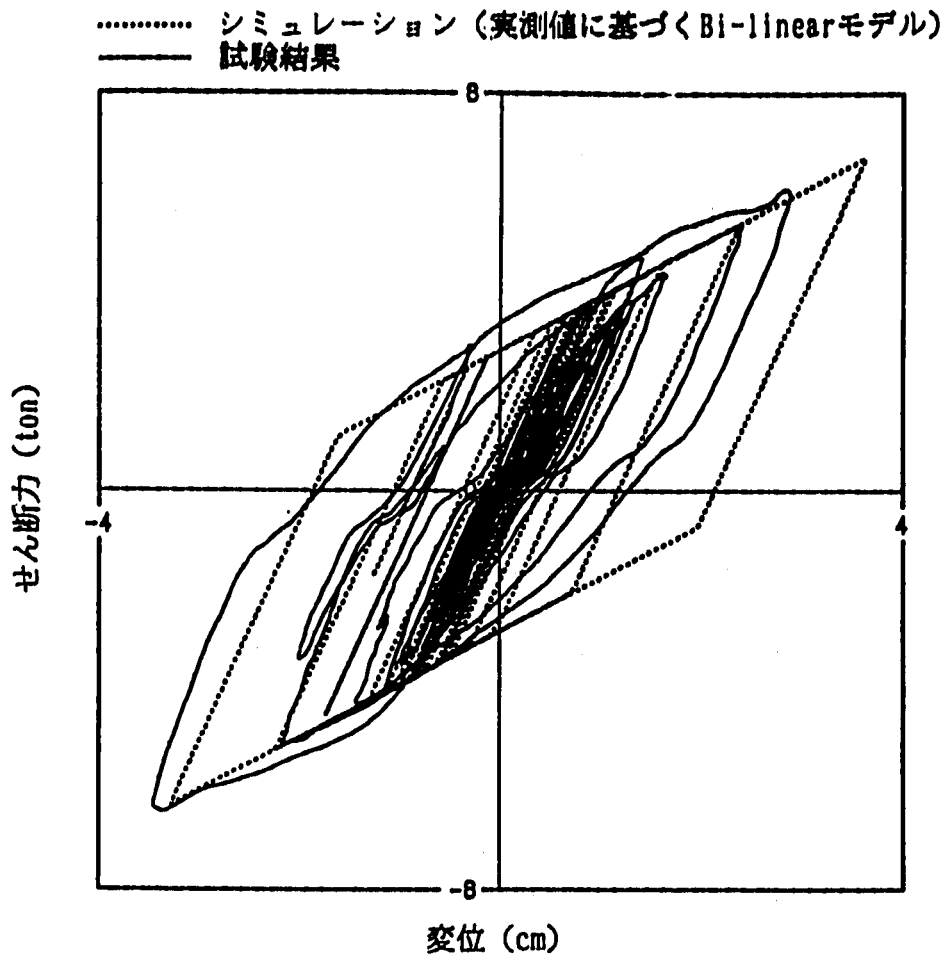


最大加速度 (Gal)
(a) 最大加速度分布.

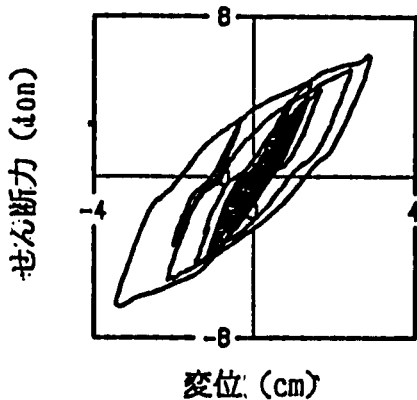


周期 (sec)
(b) 床応答スペクトル

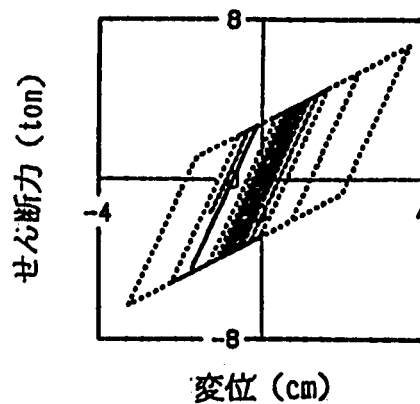
付図75 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデル B)
A-Fig. 75 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD2, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)



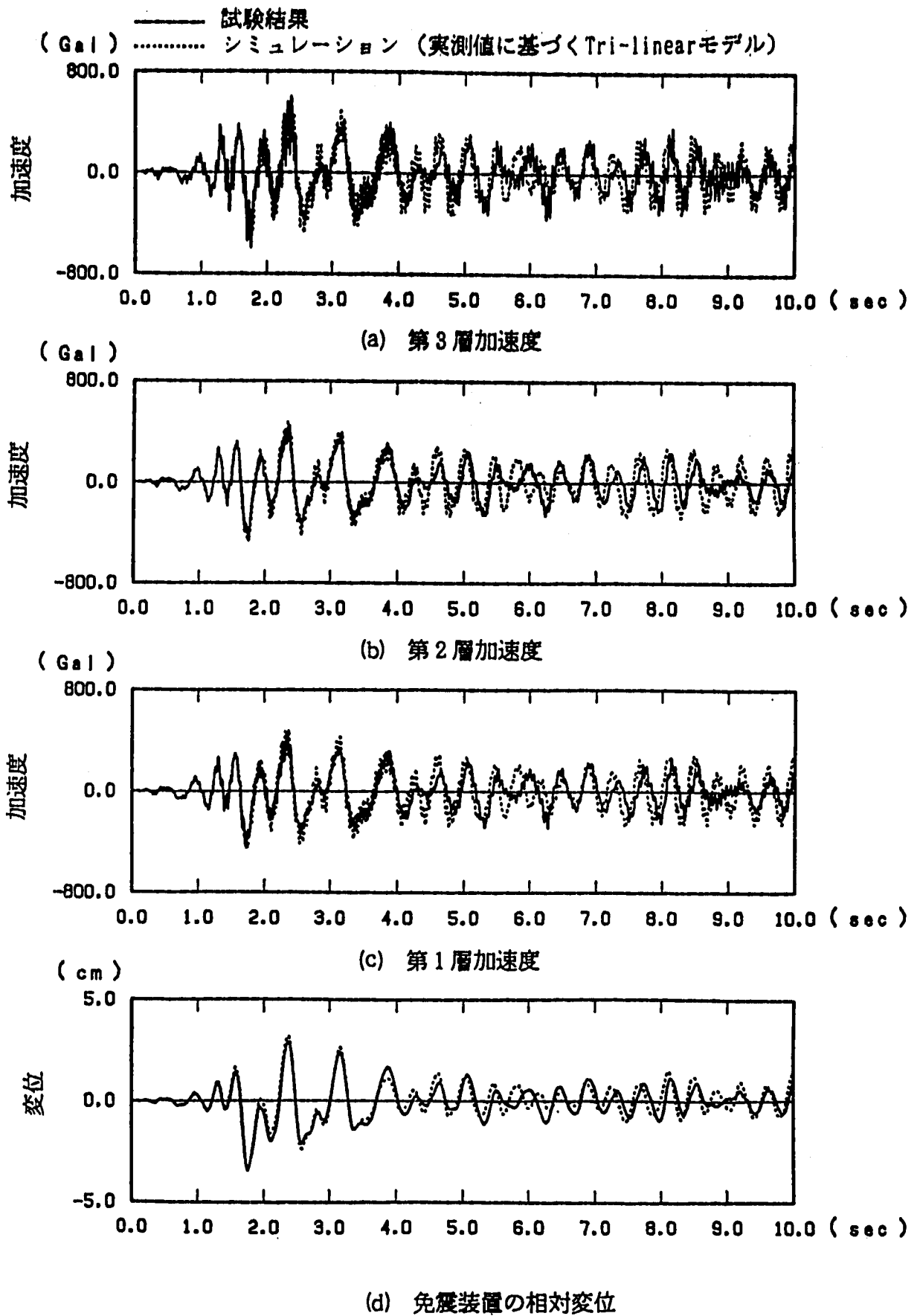
試験結果



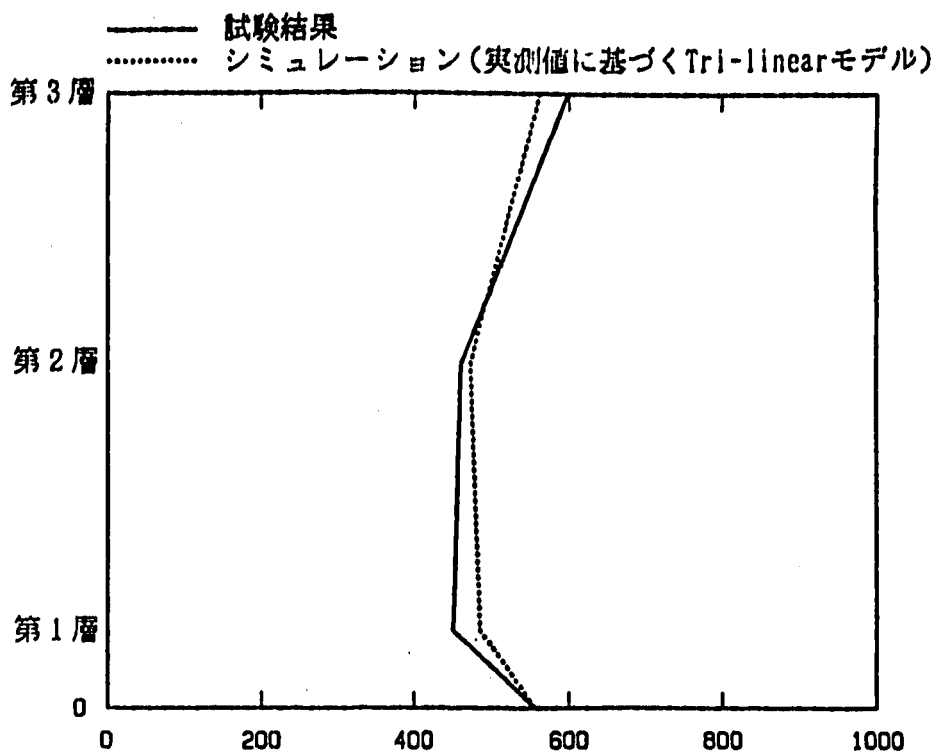
シミュレーション
 (実測値に基づくBi-linearモデル)



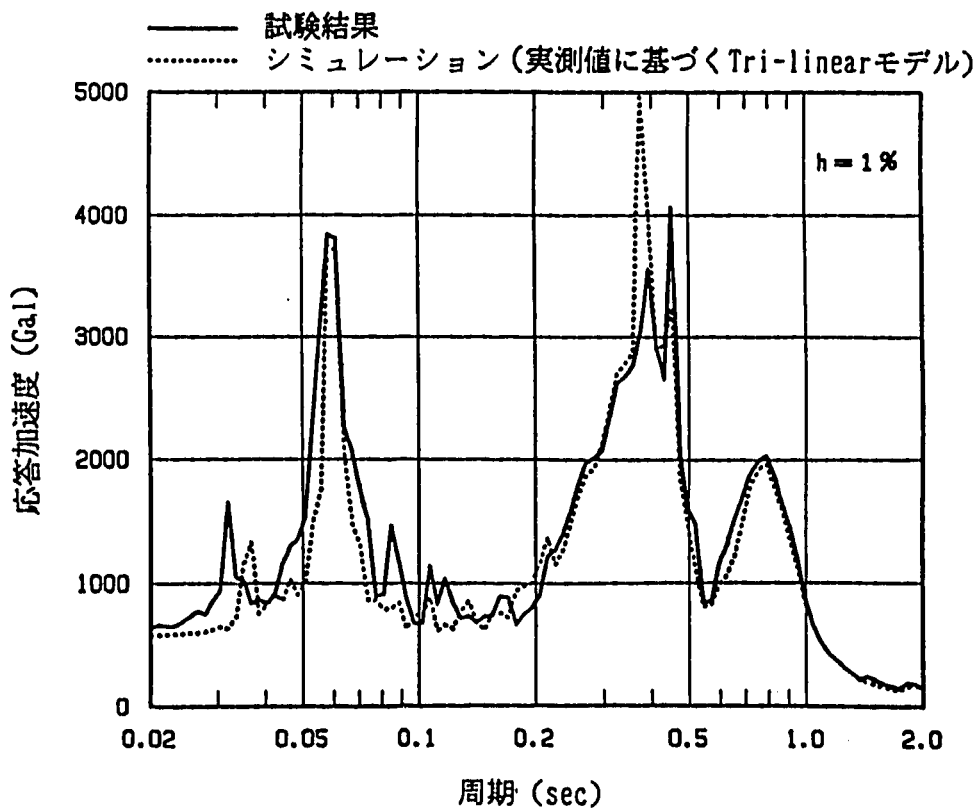
付図76 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル B)
 A-Fig. 76 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3BW, Model B)



付図77 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルC)
 A-Fig.77 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)

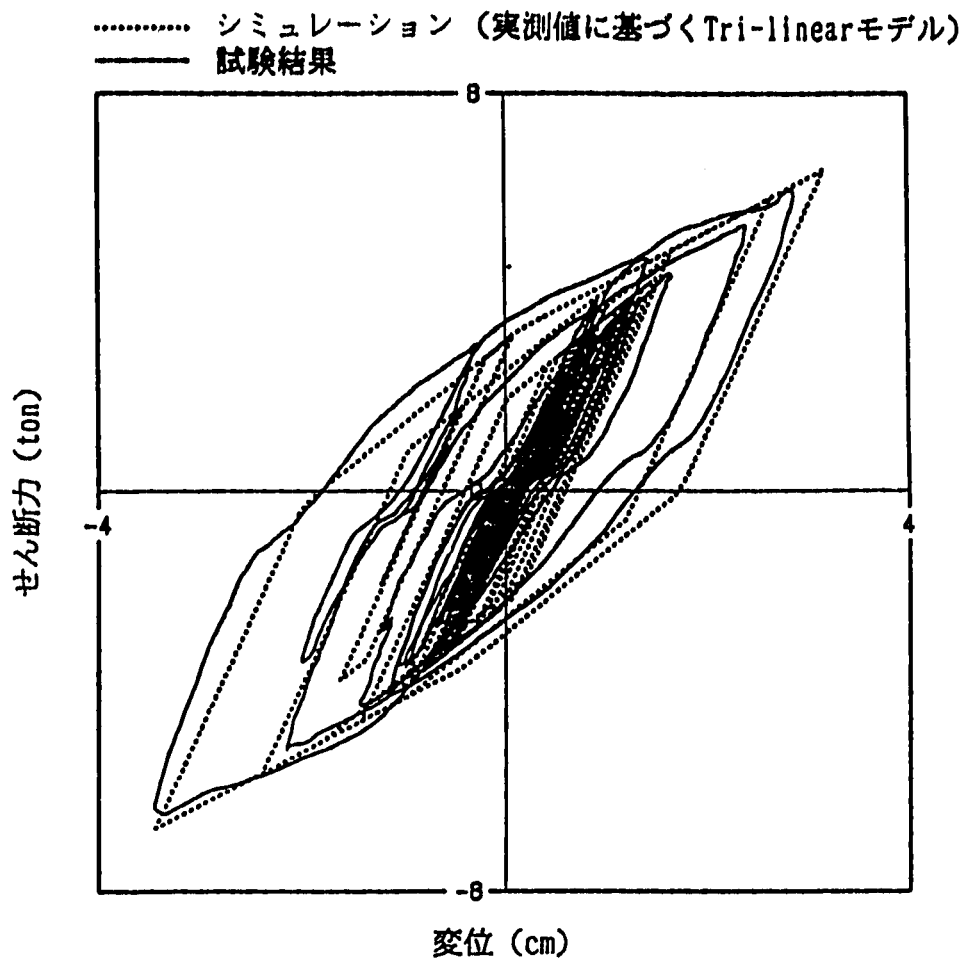


最大加速度 (Gal)
(a) 最大加速度分布



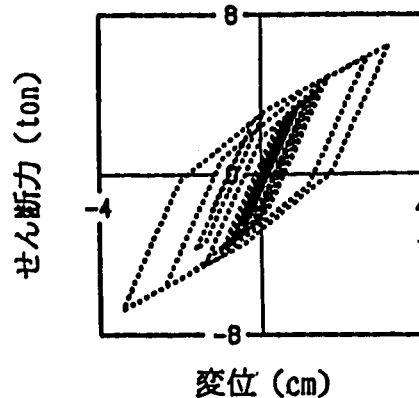
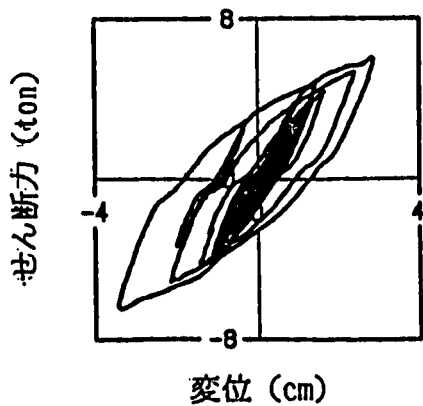
周期 (sec)
(b) 床応答スペクトル

付図78 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD2, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルC)
A-Fig.78 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD2, DAC2N Mass Model, 3BW, Model C)

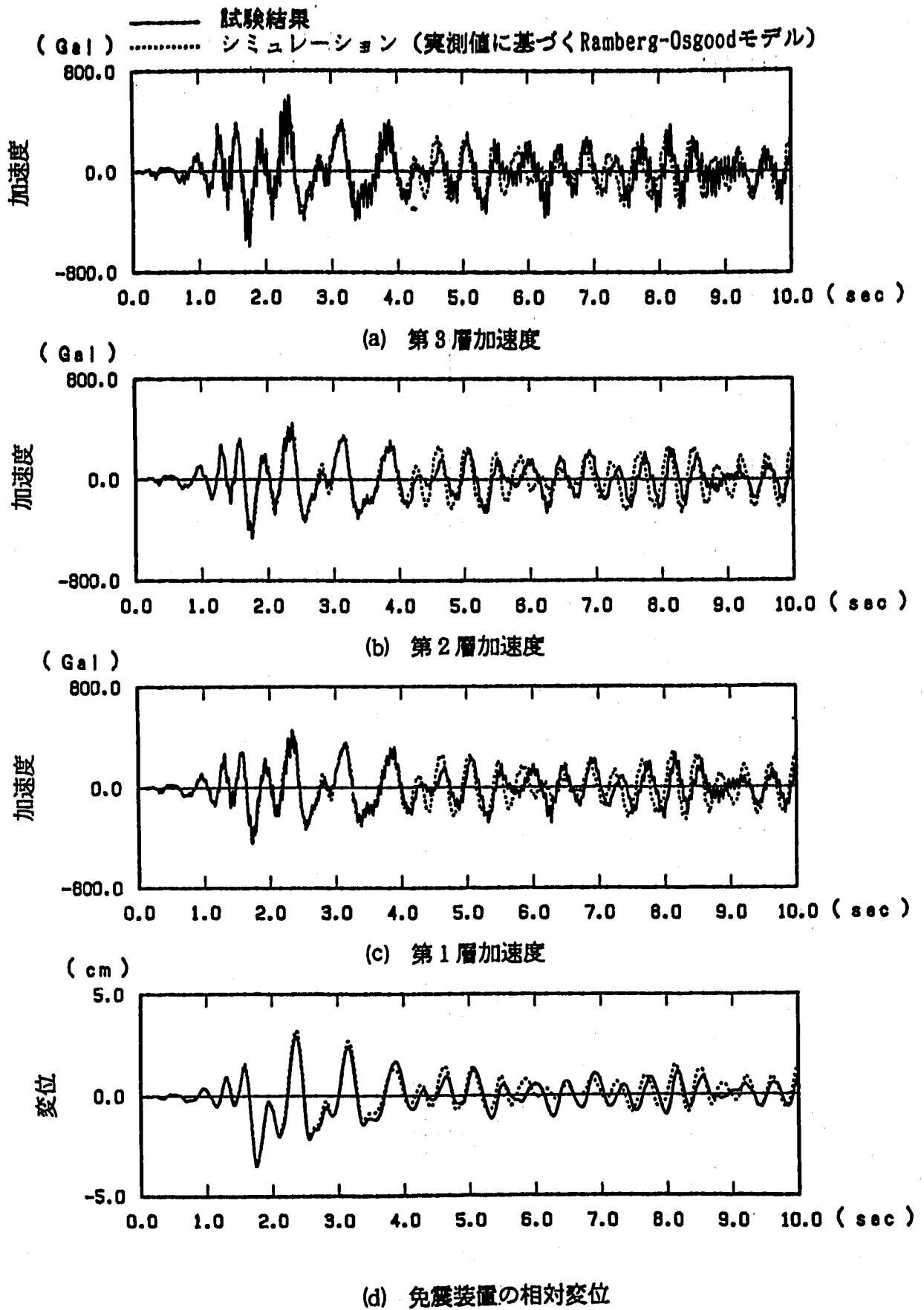


試験結果

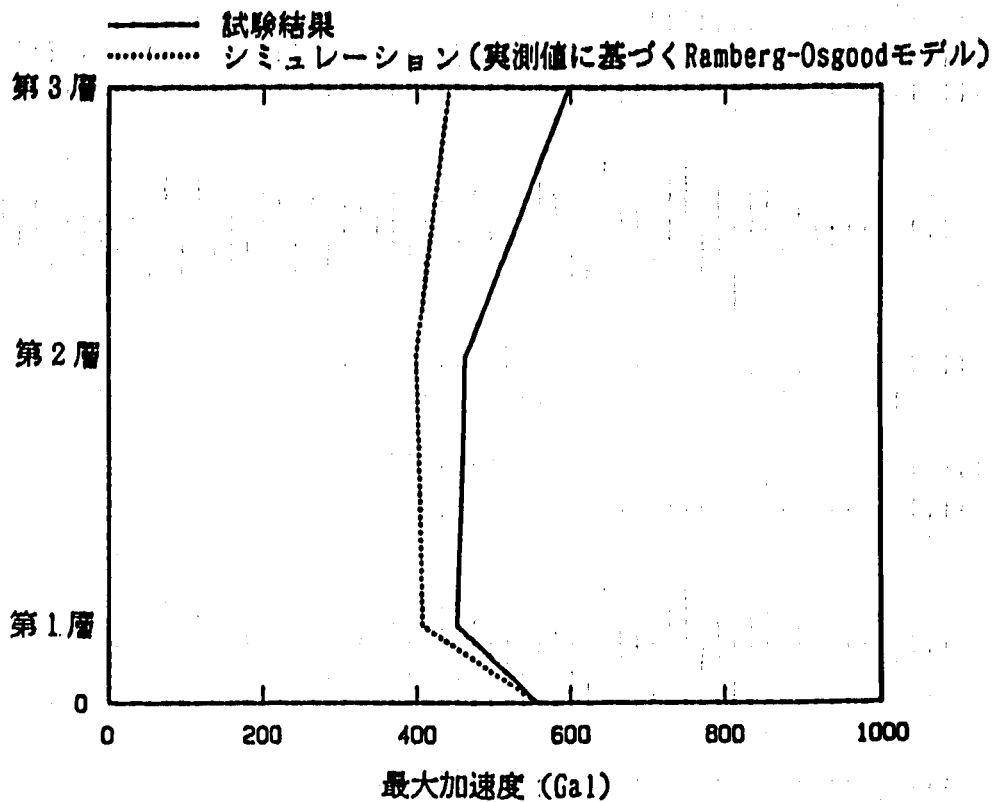
シミュレーション
 (実測値に基づくTri-linearモデル)



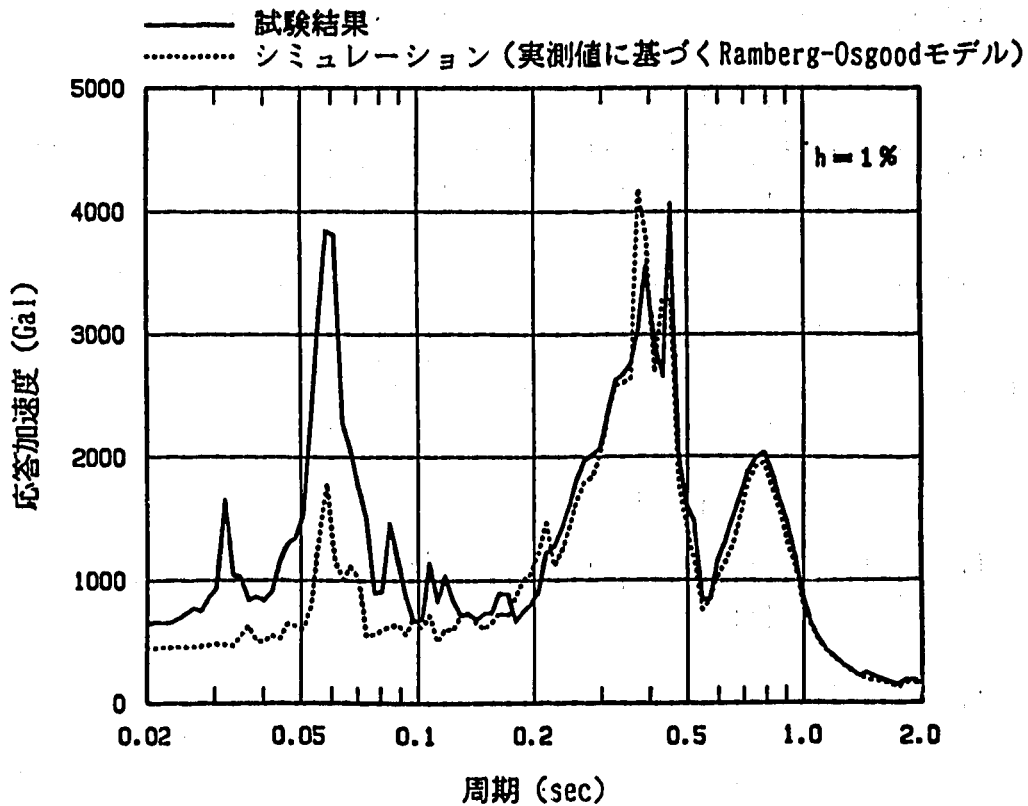
付図79 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルC)
 A-Fig.79 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)



付図80 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-fig.80 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



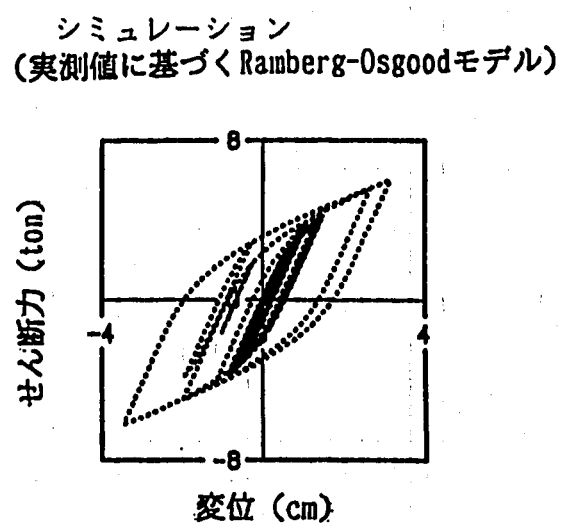
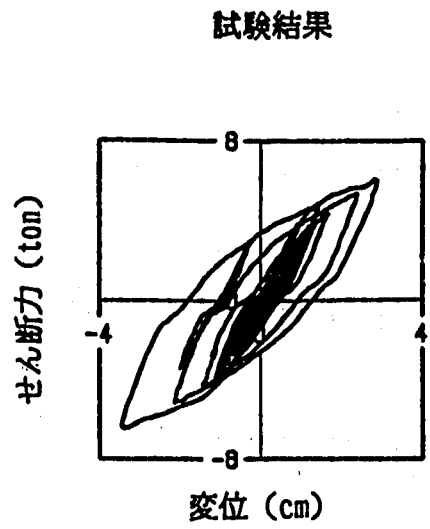
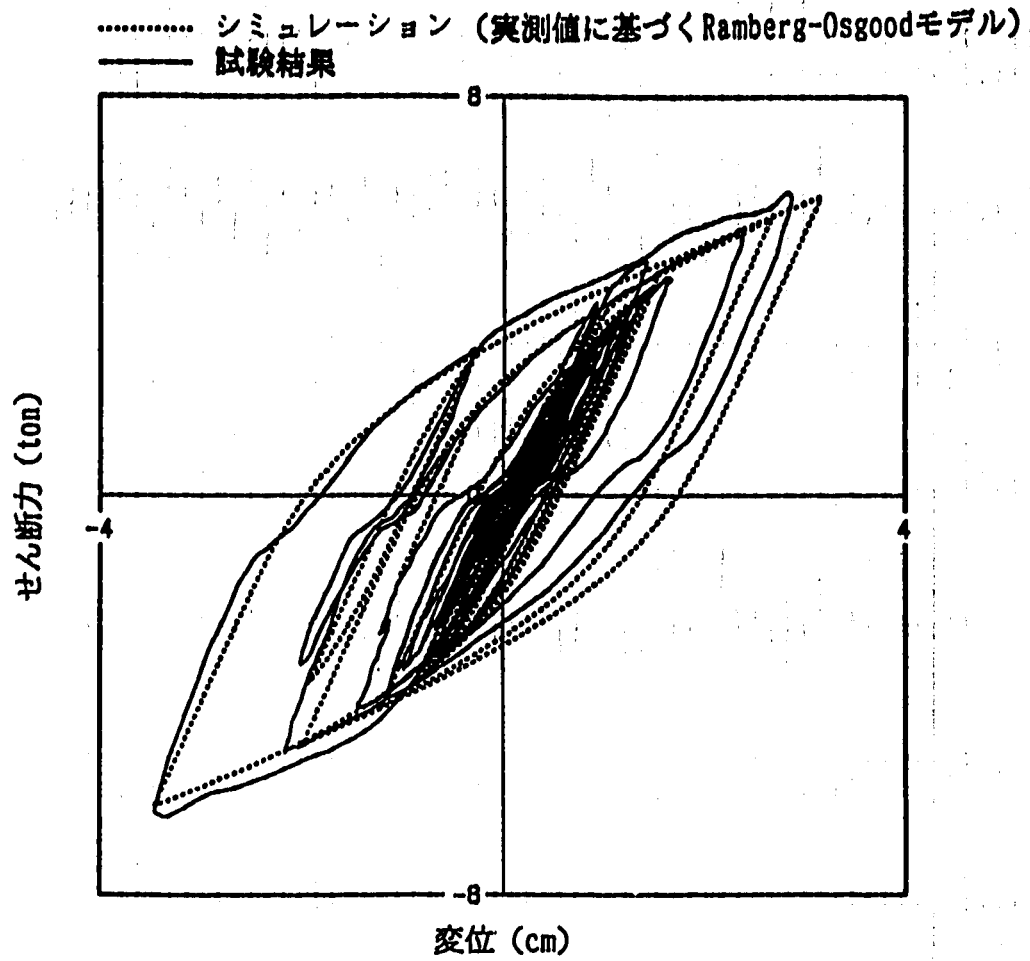
(a) 最大加速度分布



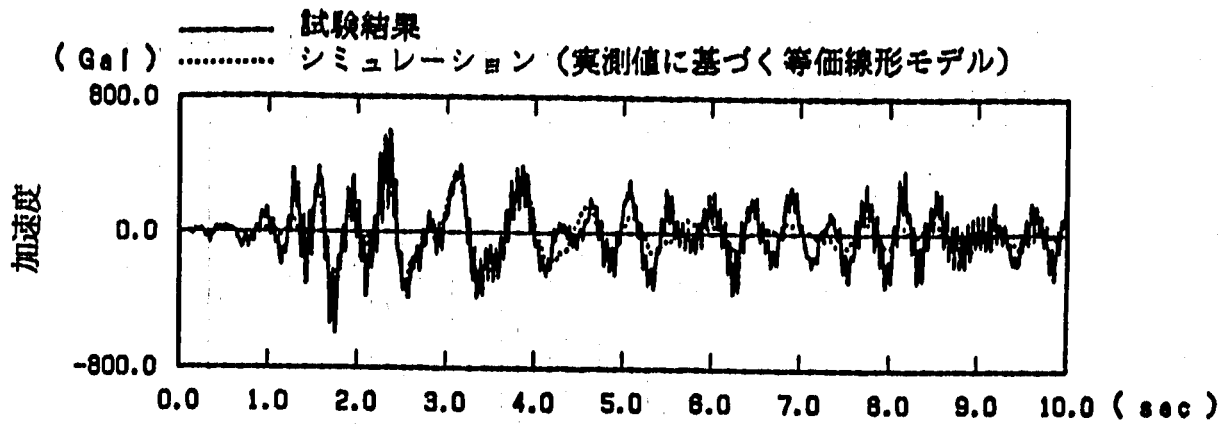
(b) 床応答スペクトル

付図81 最大加速度応答及び床応答スペクトル
(RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)

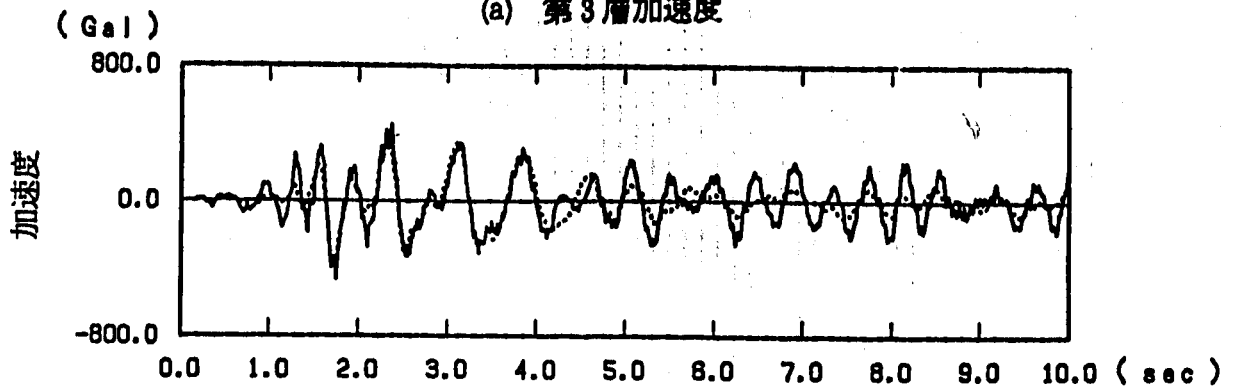
A-Fig. 81 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
(RD2, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



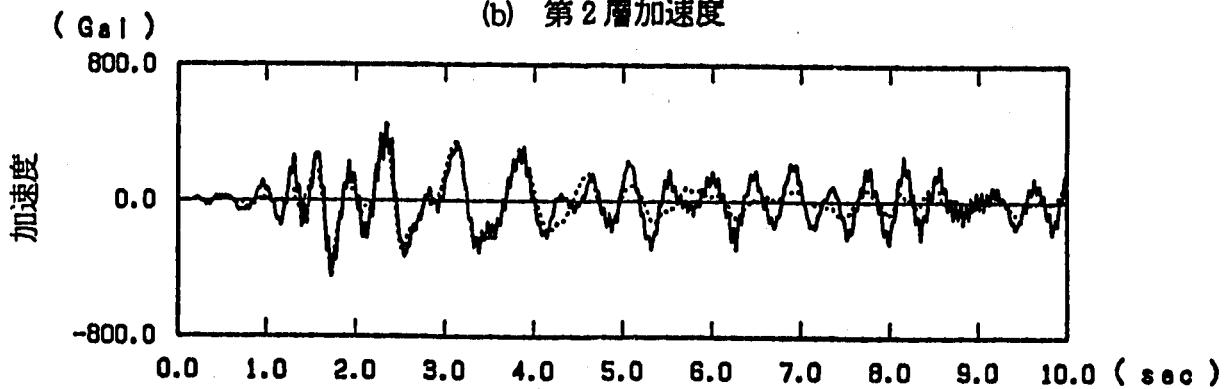
付図82 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig.82 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass, 3EW, Model D)



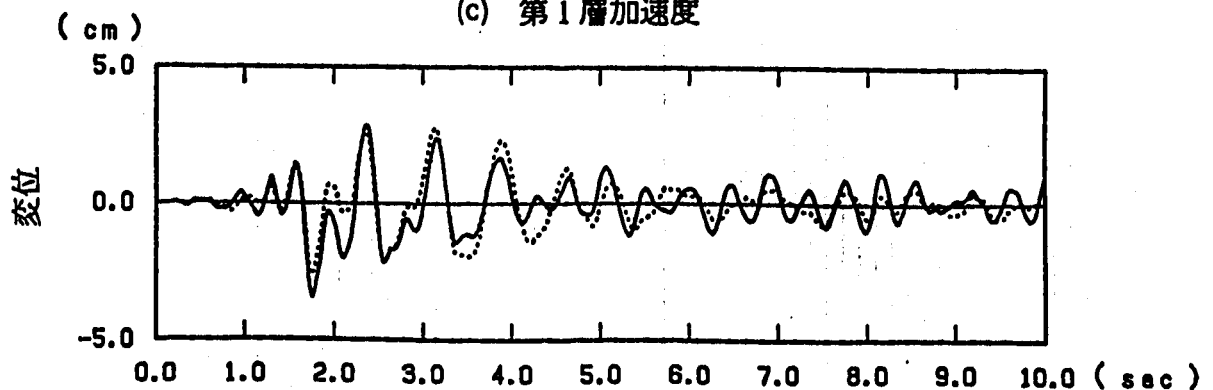
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

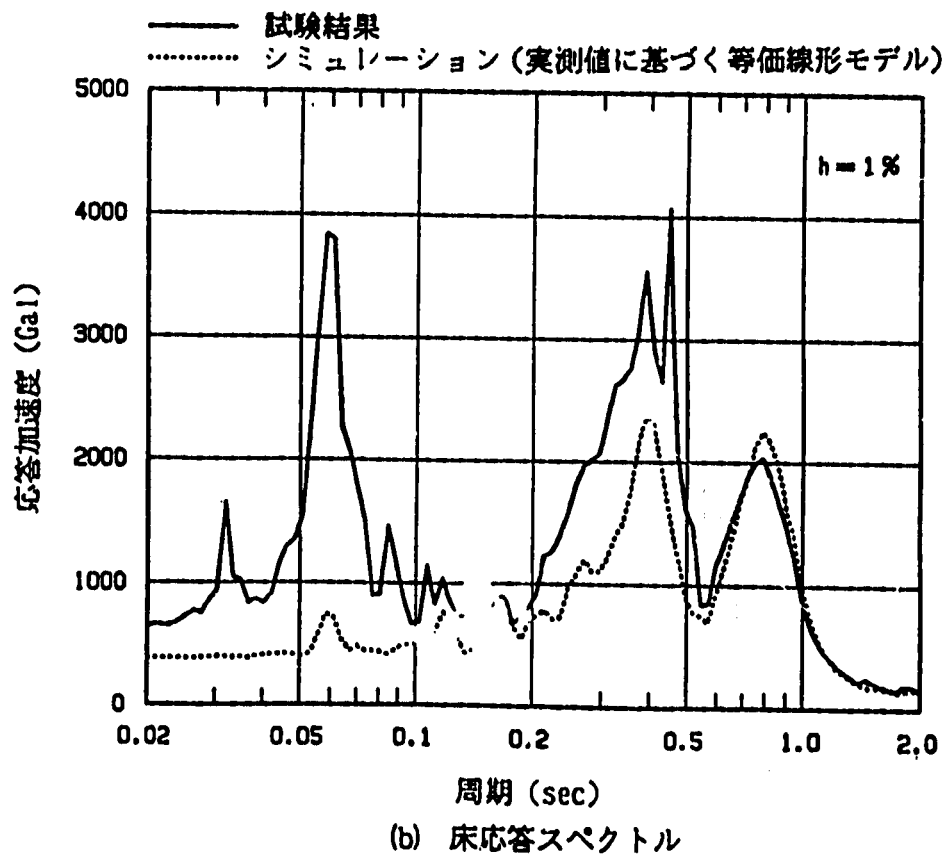
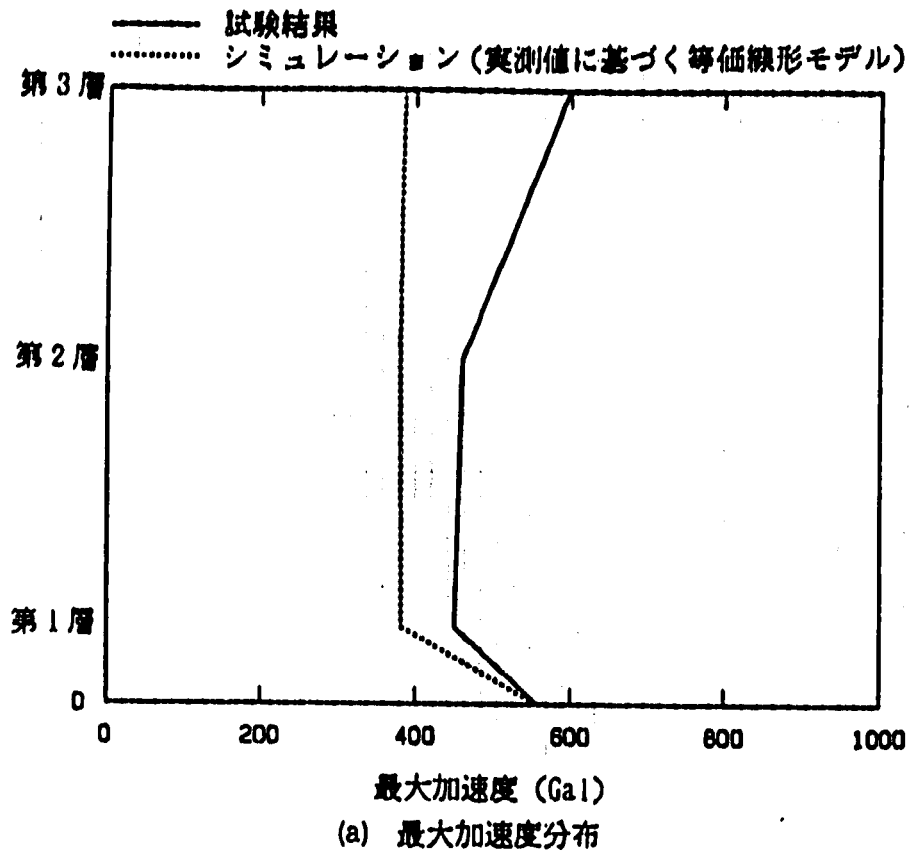


(c) 第1層加速度

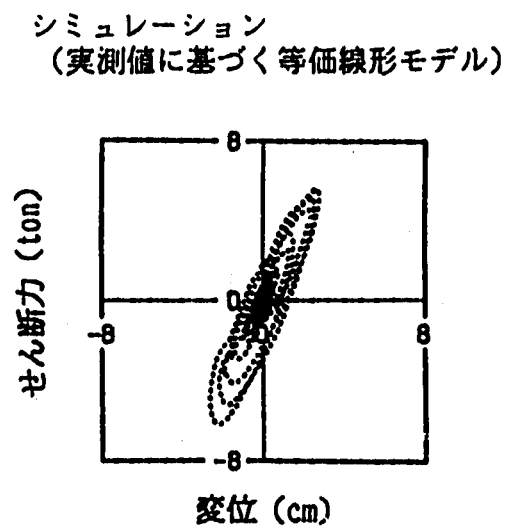
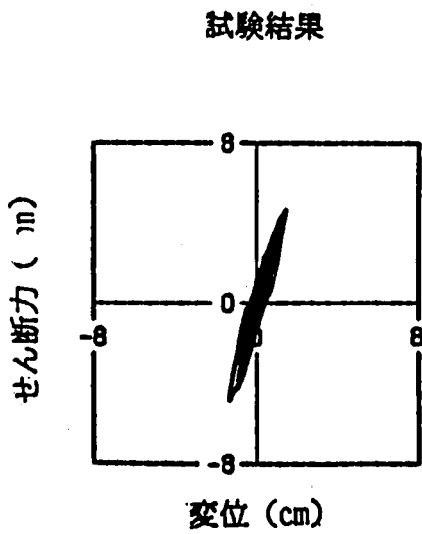
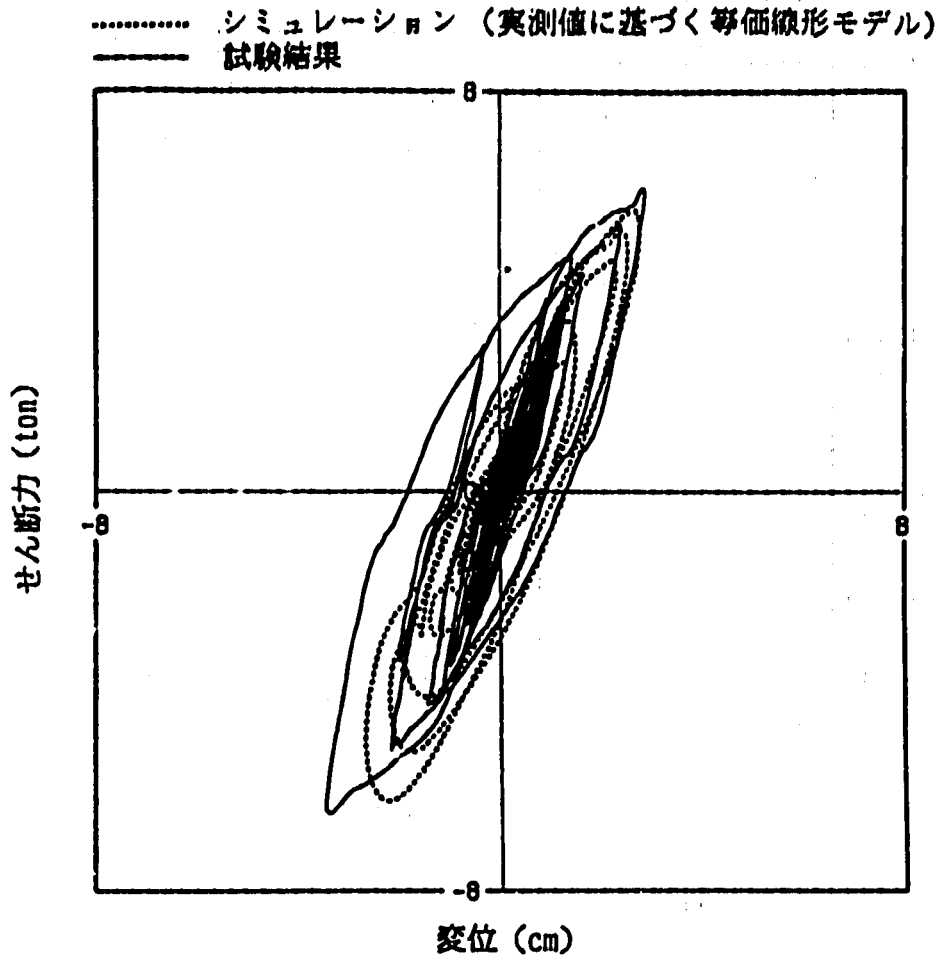


(d) 免震装置の相対変位

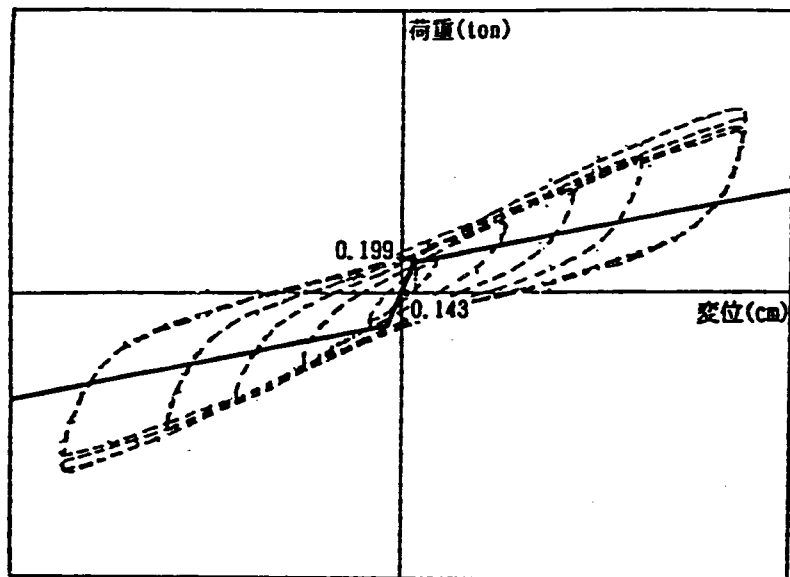
付図83 加速度及び変位応答時刻歴 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルE)
 A-Fig. 83 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3BW, Model E)



付図84 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (RD2, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル E)
 A-Fig. 84 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (RD2, DAC2N Mass Model, 3BW, Model E)



付図85 免震装置の履歴曲線 (RD2, DAC2N 質点モデル, 38W, モデル E)
 A-Fig. 85 Hysteresis Loop of Total Device
 (RD2, DAC2N Mass Model, 38W, Model B)

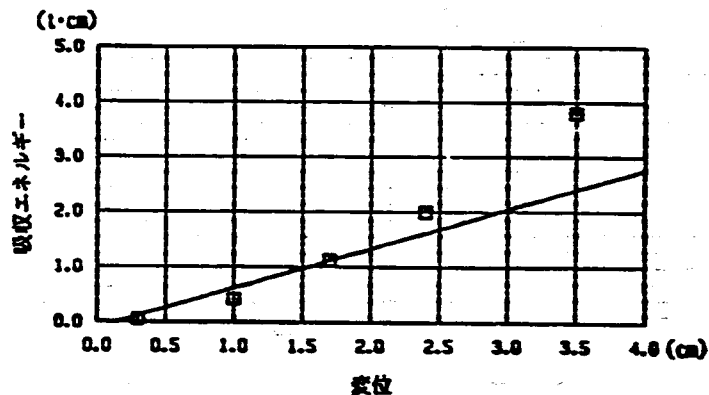
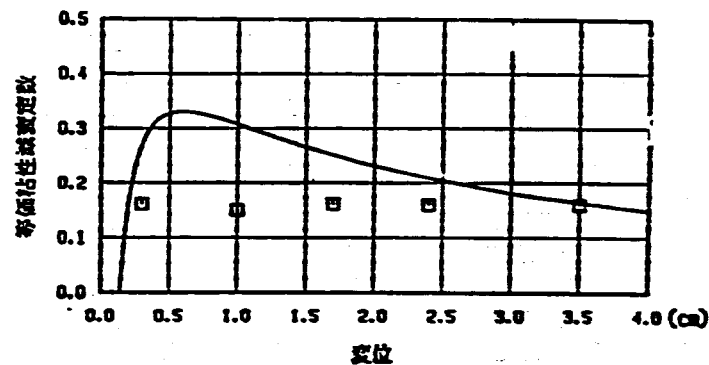
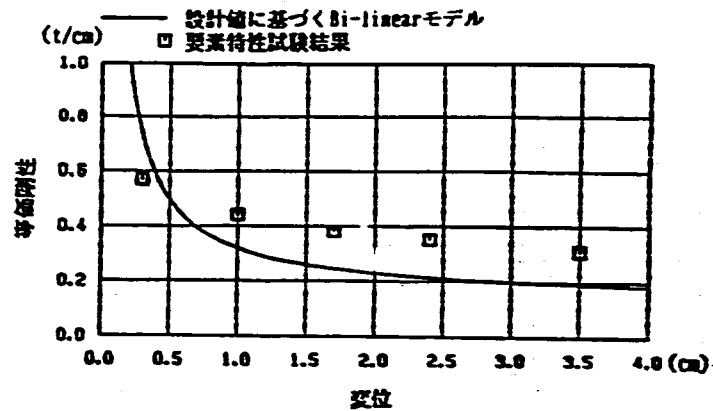


(a) 要素特性復元力と設計モデル復元力の比較

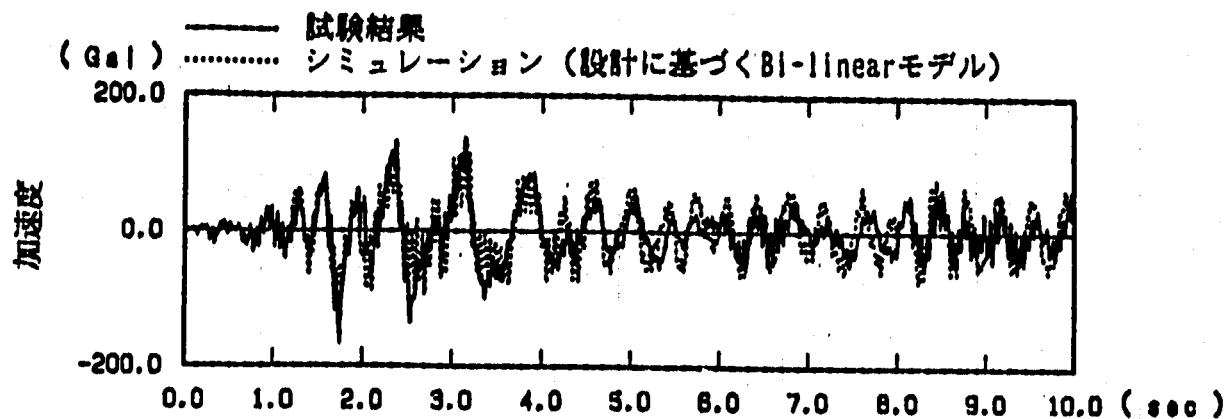
(b) 設計モデルの諸定数

免震装置	第1弾性 (t/cm)	第2弾性 (t/cm)	第3弾性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
鉛入り積層ゴム	5.5712	0.557	—	1.43×10^7	2.0

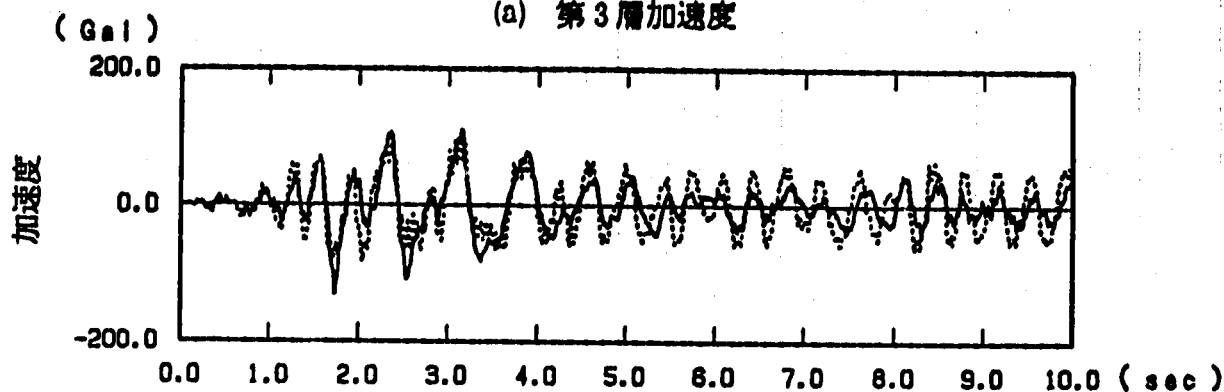
付図86 鉛入り積層ゴムのモデル化
(設計値に基づくBi-linearモデル)
A-Fig 86 Simulation Model of Lead Rubber Bearing
(Bi-linear Model of Design Values)



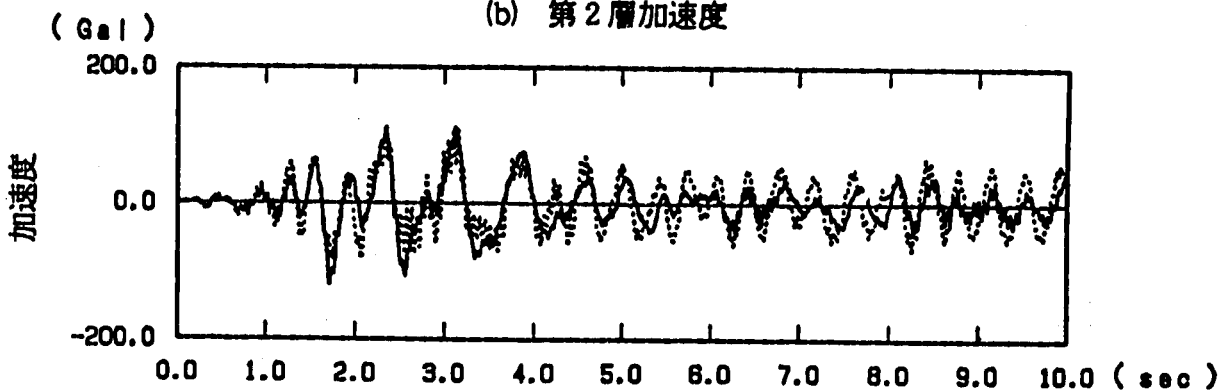
(c) 要素特性試験結果と設計モデル復元力特性の比較



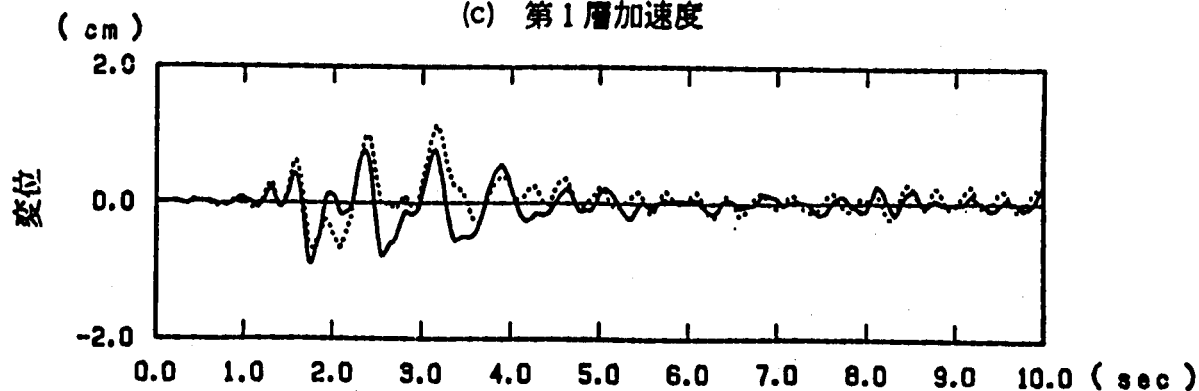
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

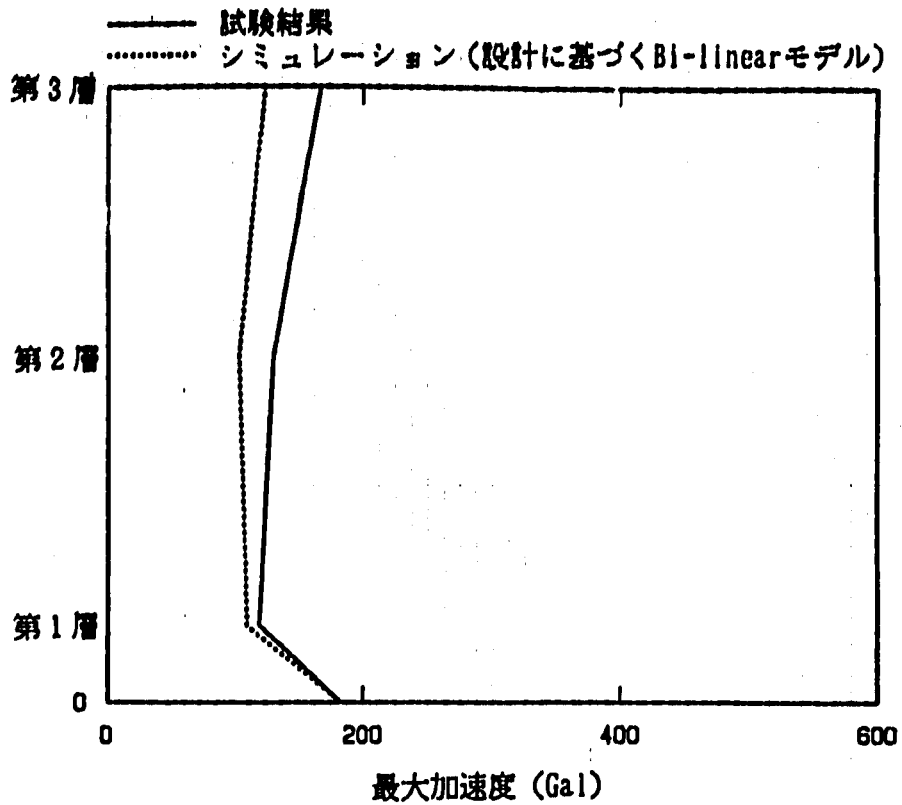


(c) 第1層加速度

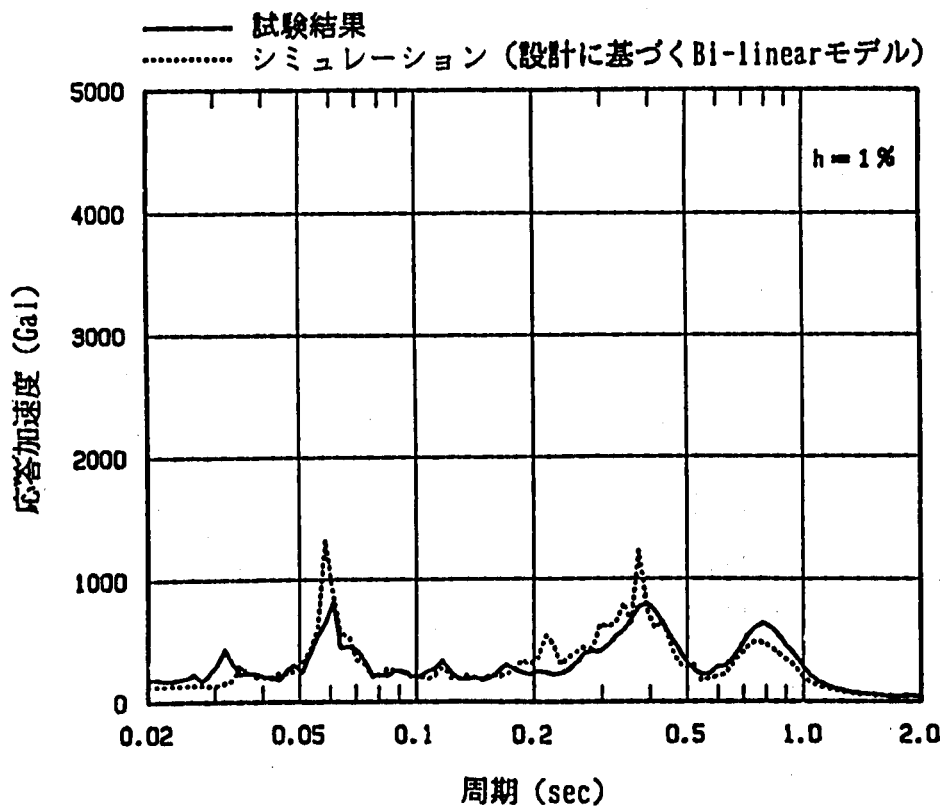


(d) 免震装置の相対変位

付図87 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, BW, モデルA)
 A-Fig.87 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, BW, Model A)

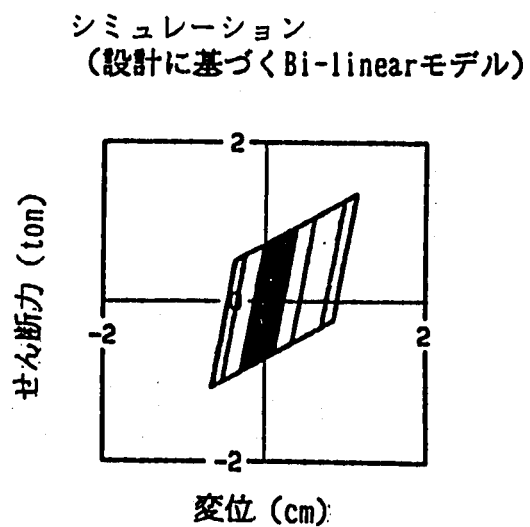
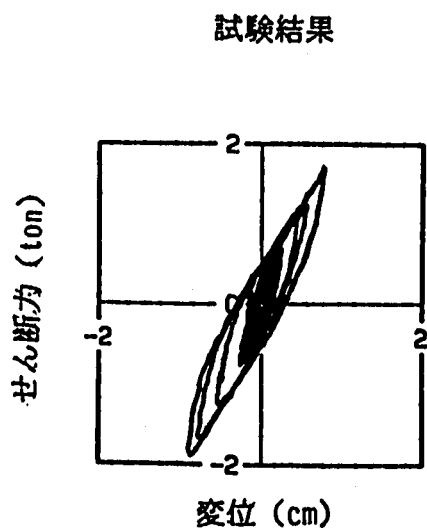
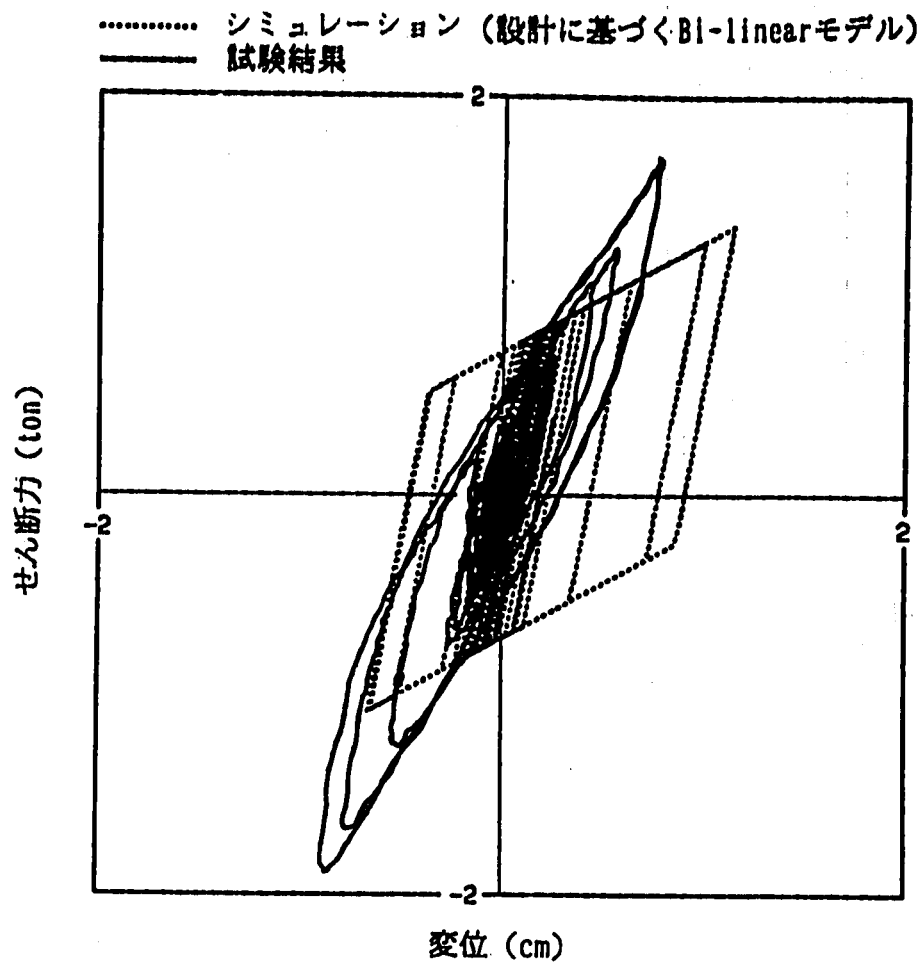


(a) 最大加速度分布

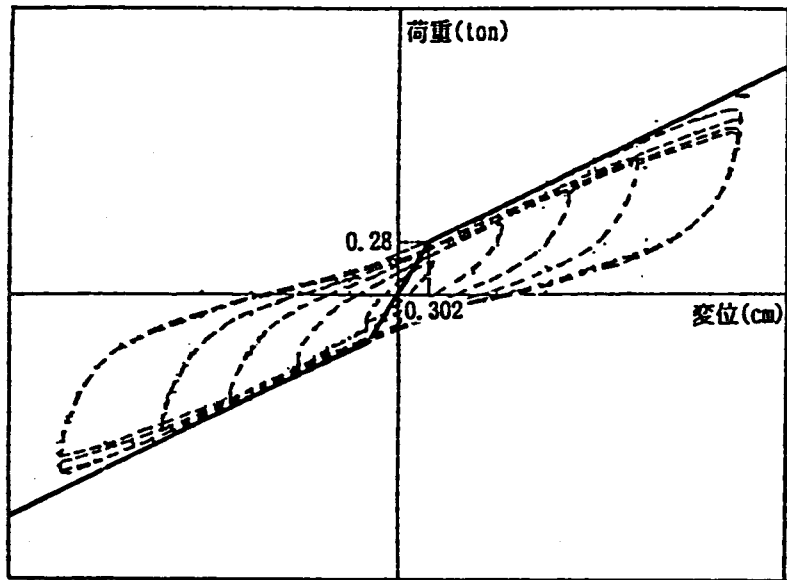


(b) 床応答スペクトル

付図88 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, BW, モデル A)
 A-Fig. 88 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, BW, Model A)



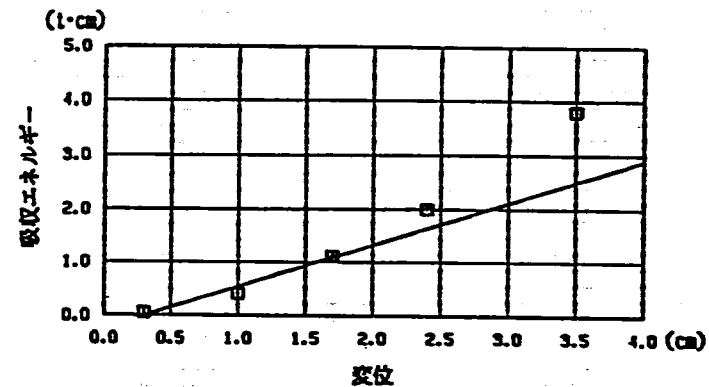
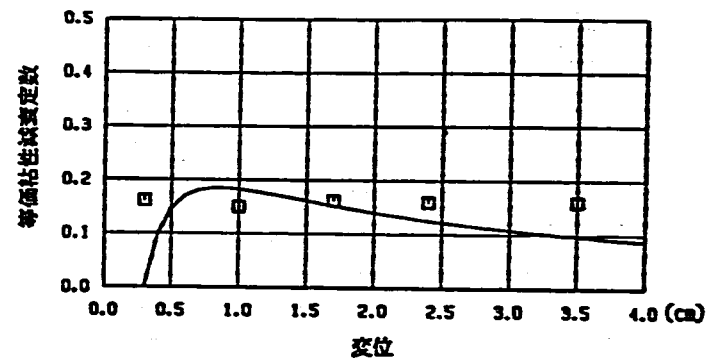
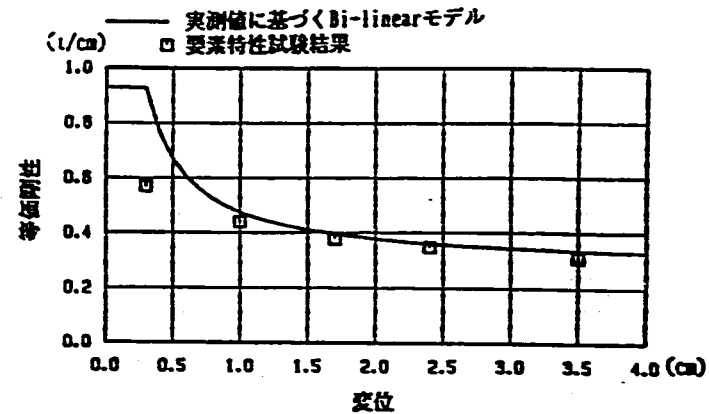
付図89 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-Fig. 89 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

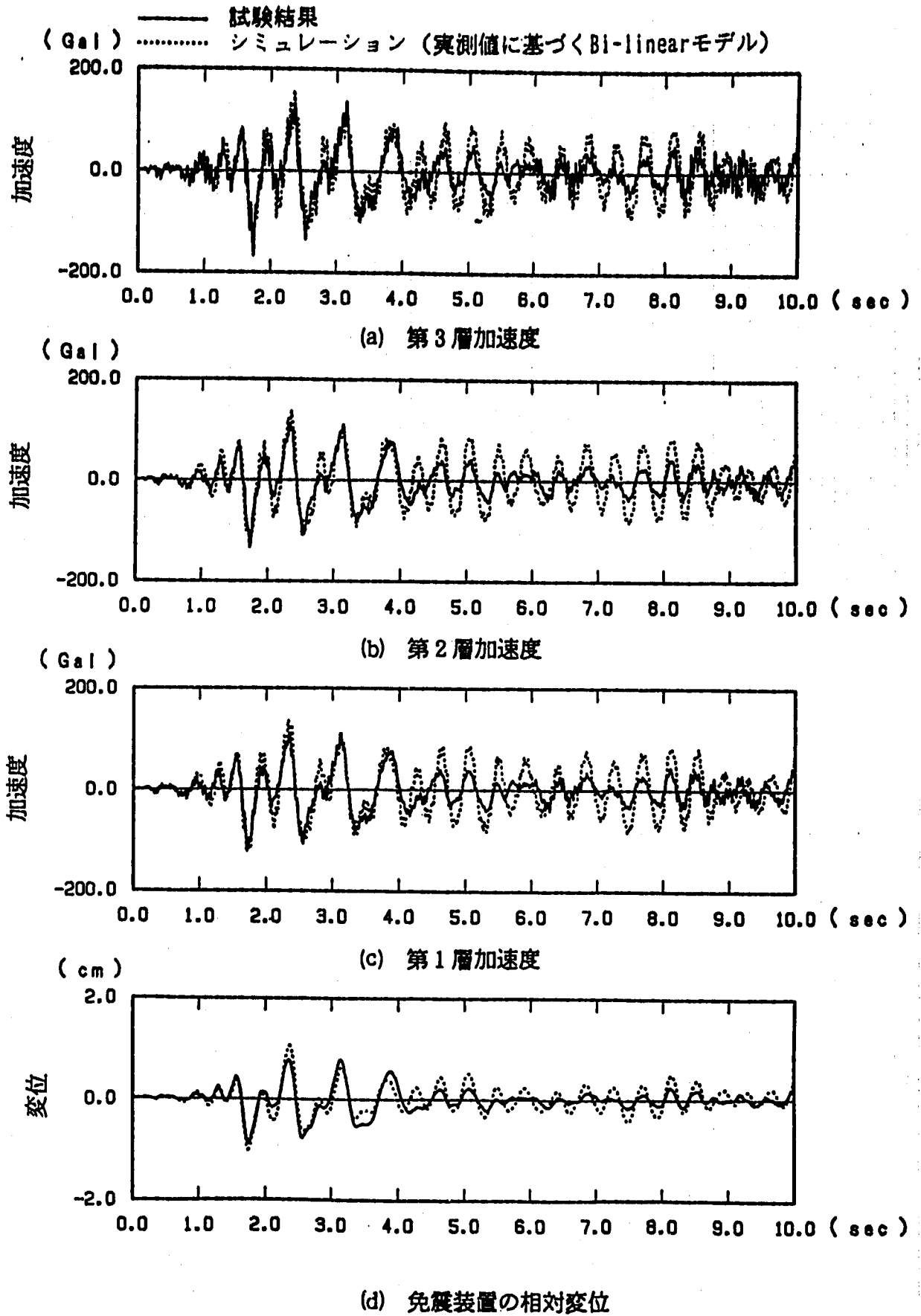
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
鉛入り積層ゴム	3.712	1.120	—	1.40×10^7	2.0



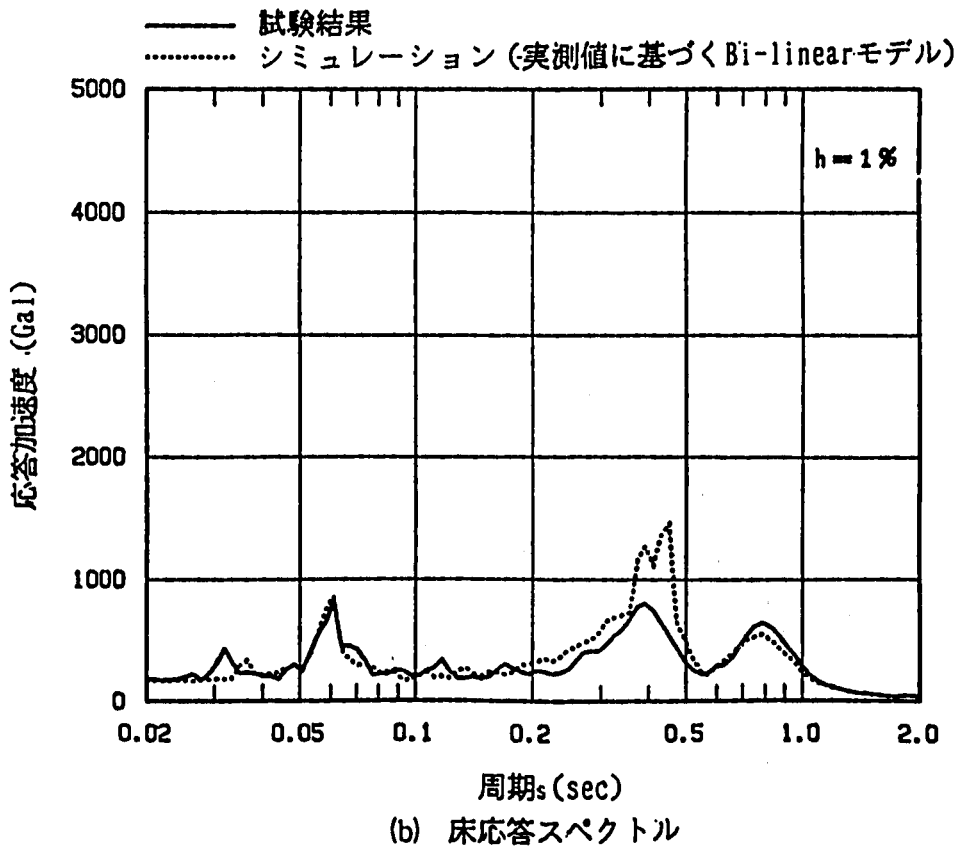
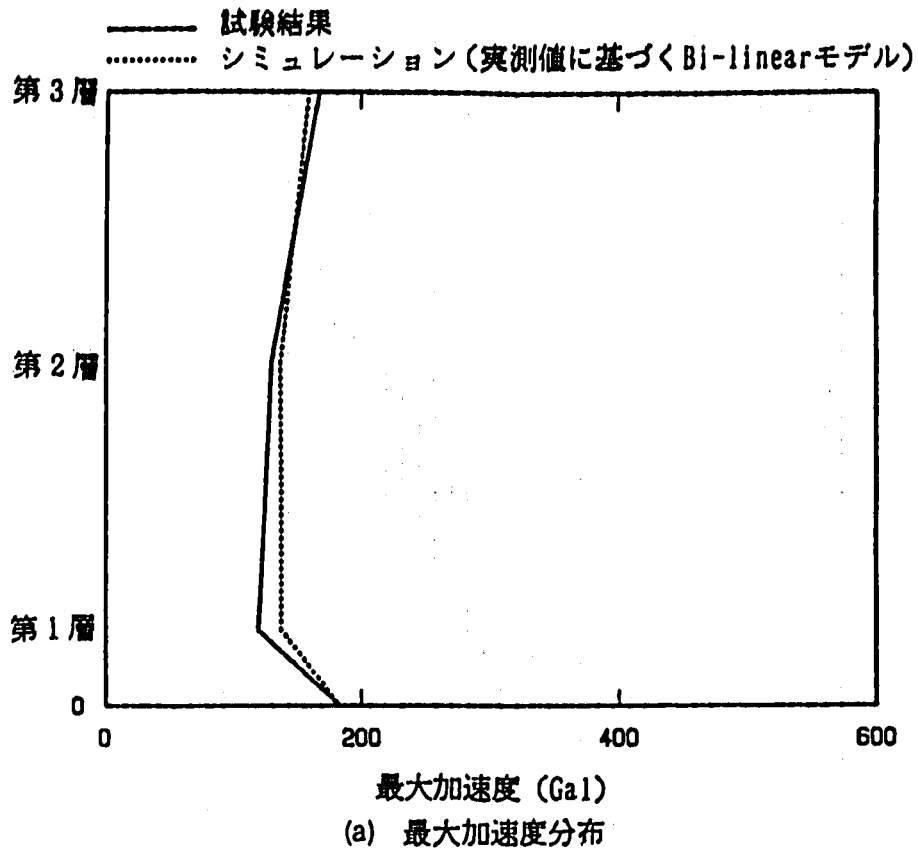
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図90 鉛入り積層ゴムのモデル化
(実験値に基づくBi-linearモデル)

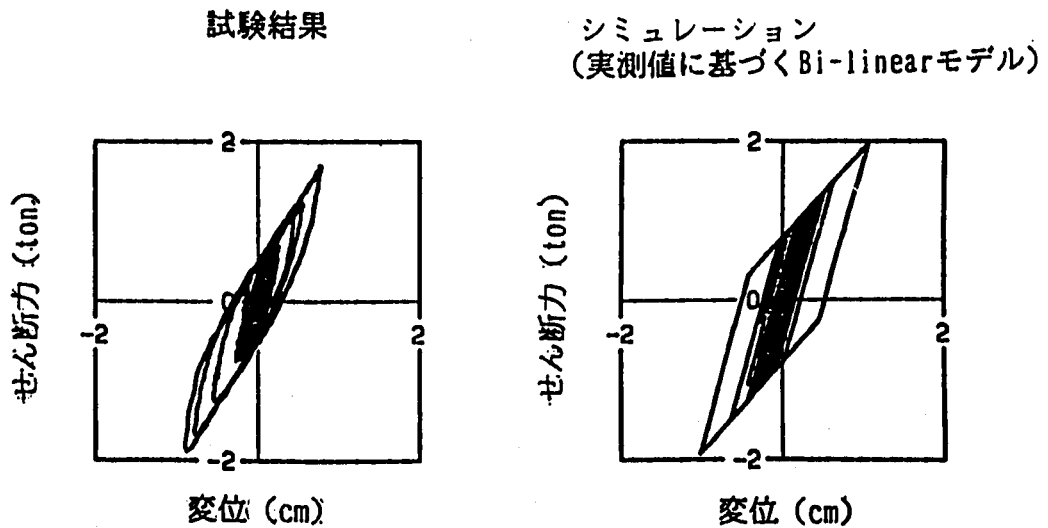
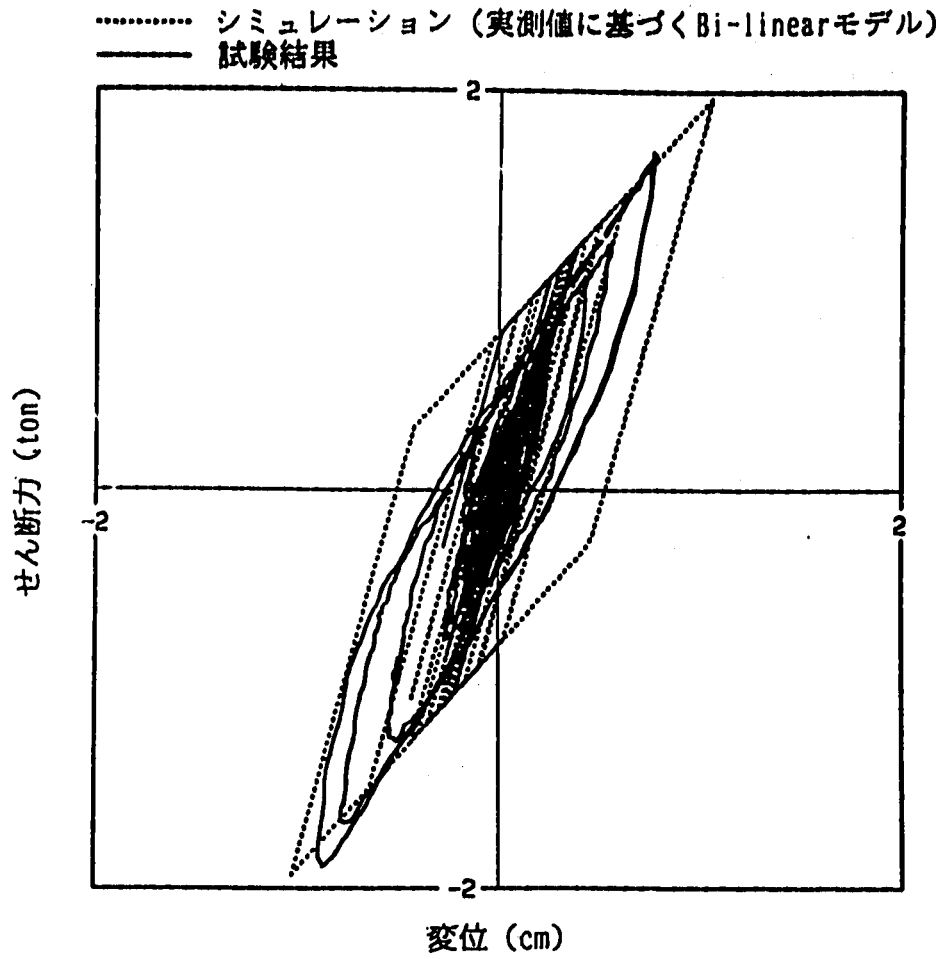
A-Fig. 90 Simulation Model of Lead Rubber Bearing
(Bi-linear Model of Experimental Values)



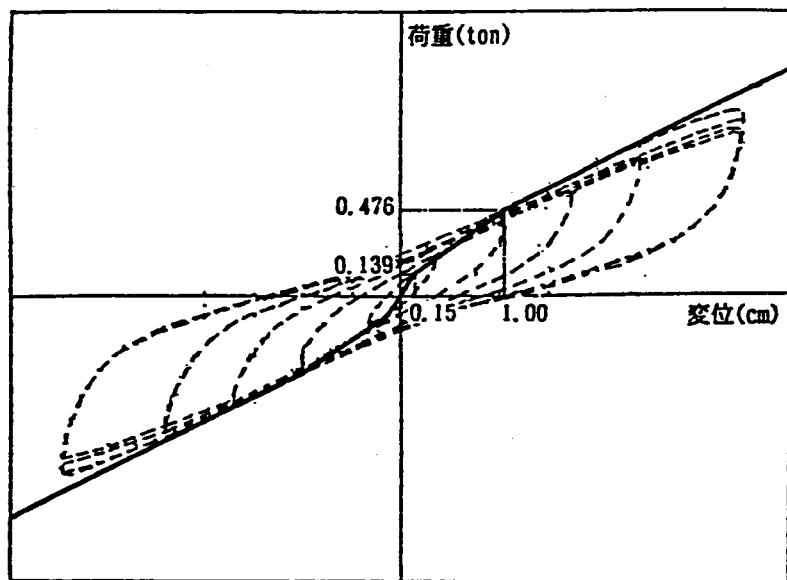
付図91 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, BW, モデルB)
 A-Fig.91 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, BW, Model B)



付図92 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, BW, モデル B)
 A-Fig. 92 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, BW, Model B)



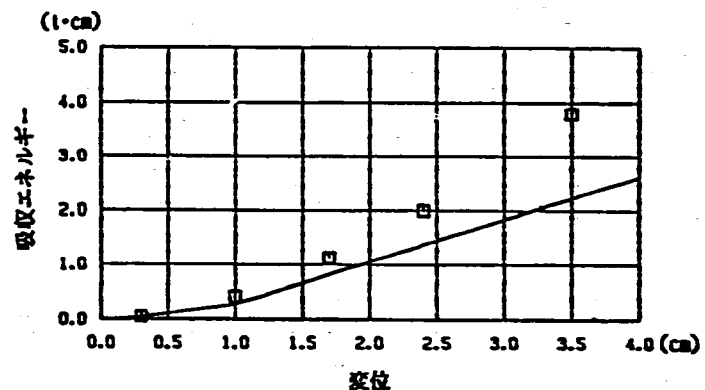
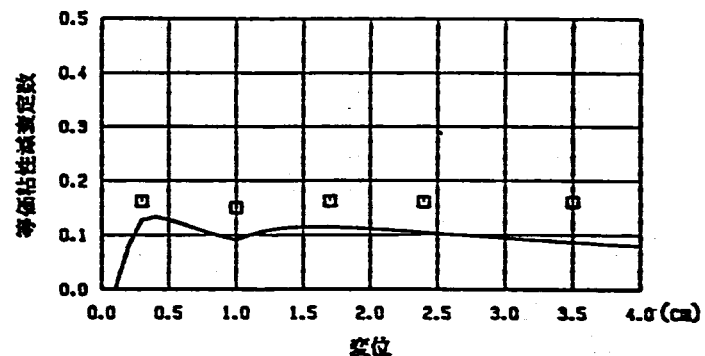
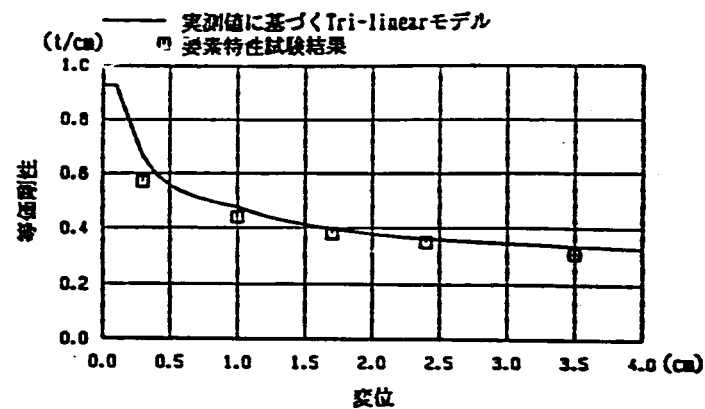
付図93 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデル B)
 A-Fig.93 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model B)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

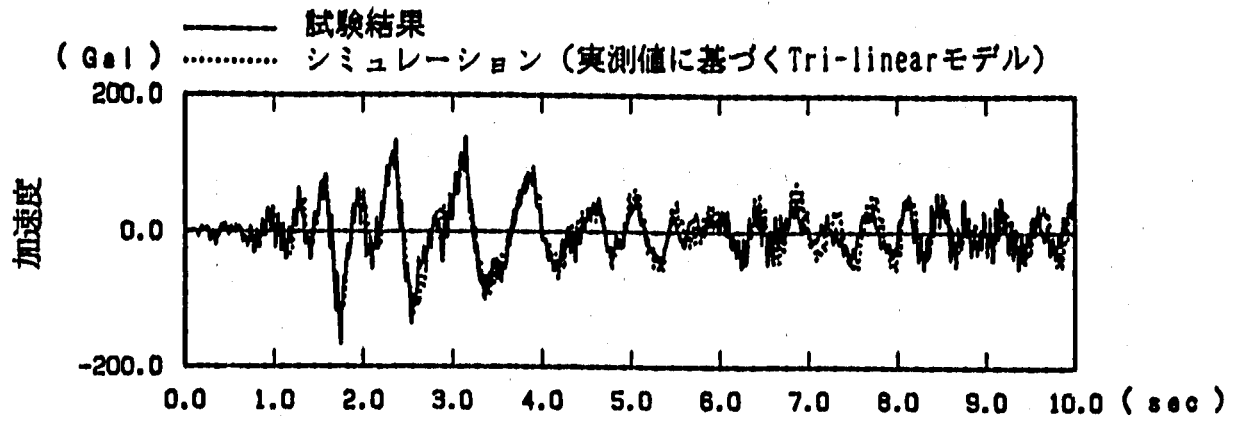
免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
鉛入り積層ゴム	3.712	1.584	1.120	1.40×10^7	2.0



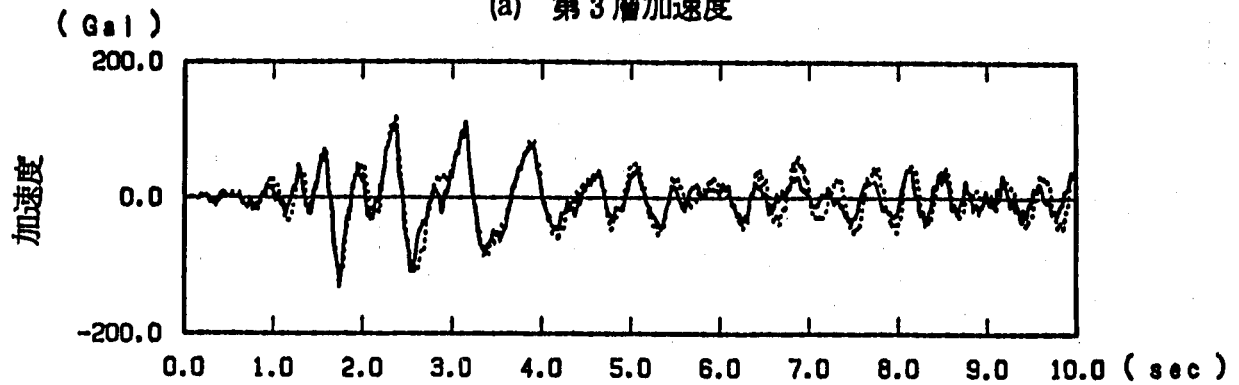
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図94 鉛入り積層ゴムのモデル化
(実験値に基づくTri-linearモデル)

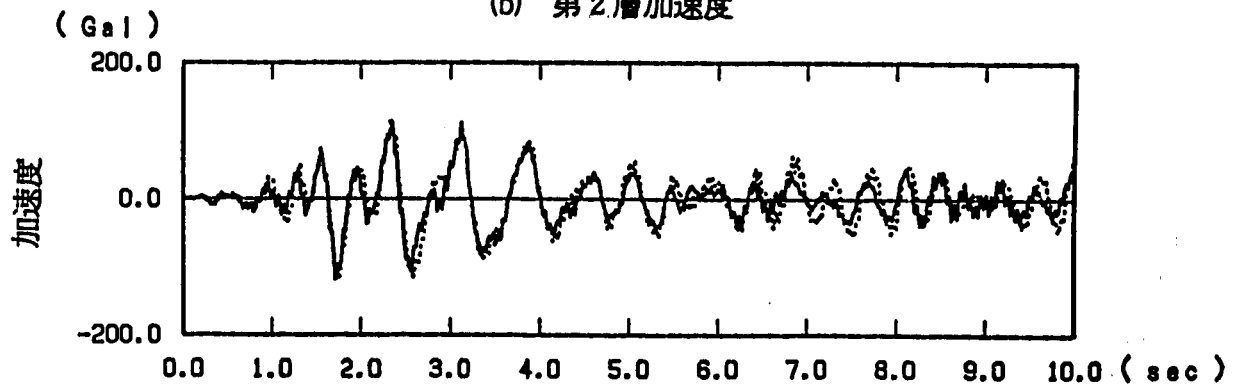
A-Fig. 94 Simulation Model of Lear Rubber Bearing
(Tri-linear Model of Experimental Values)



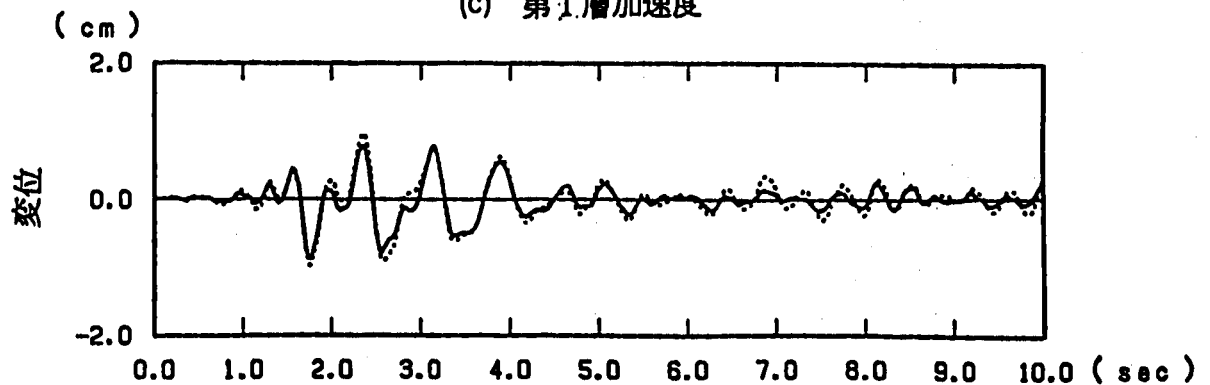
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

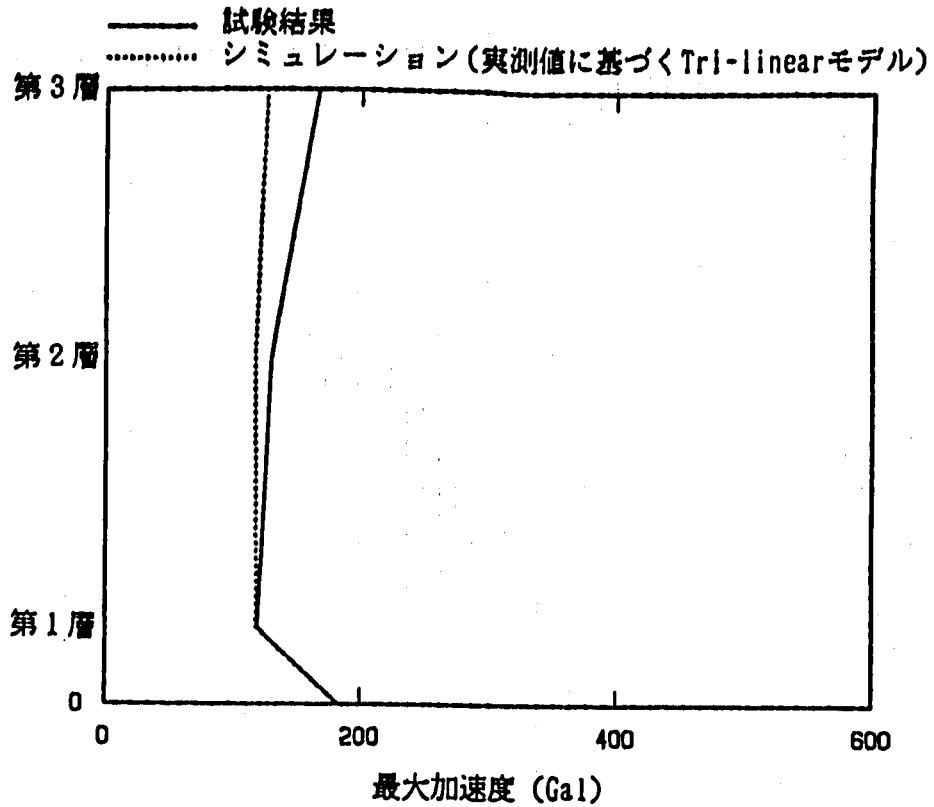


(c) 第1層加速度

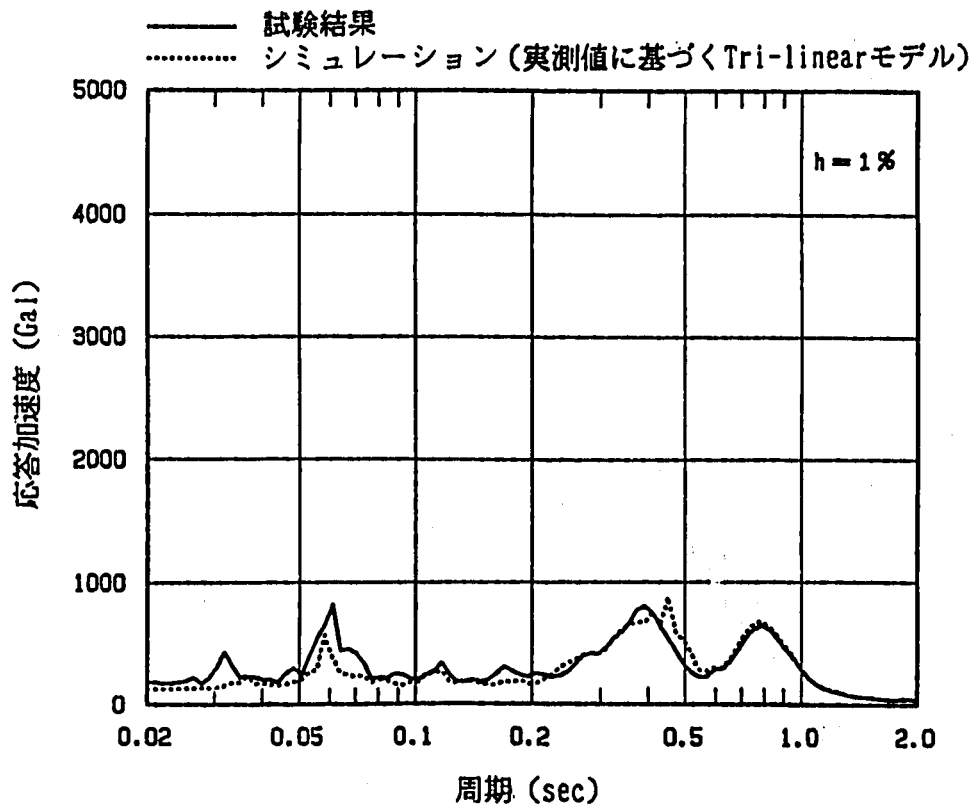


(d) 免震装置の相対変位

付図95 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデルC)
 A-Fig.95 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model C)

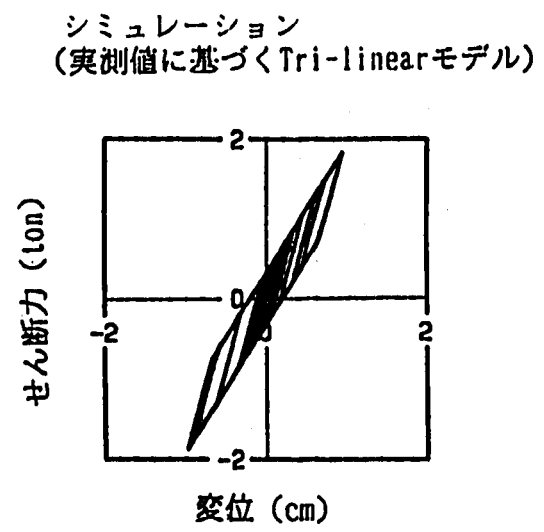
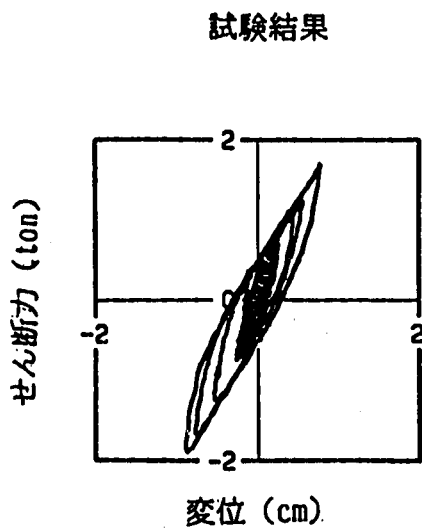
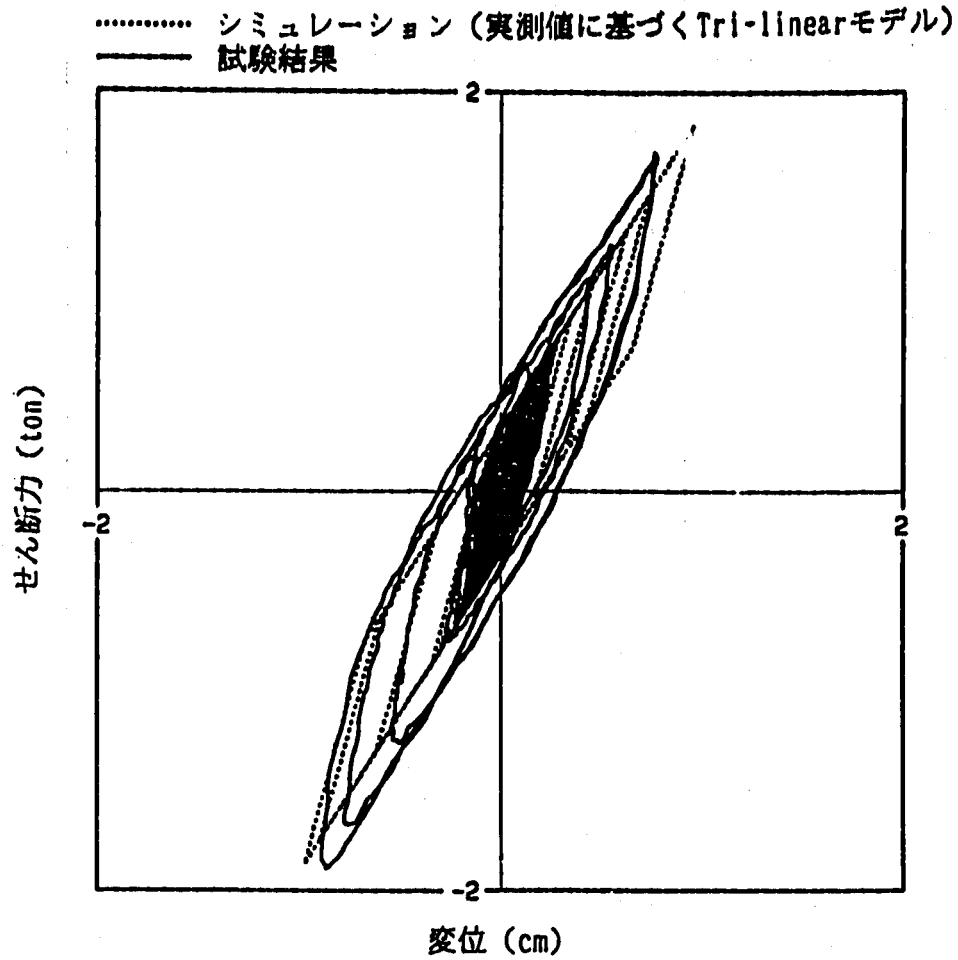


(a) 最大加速度分布

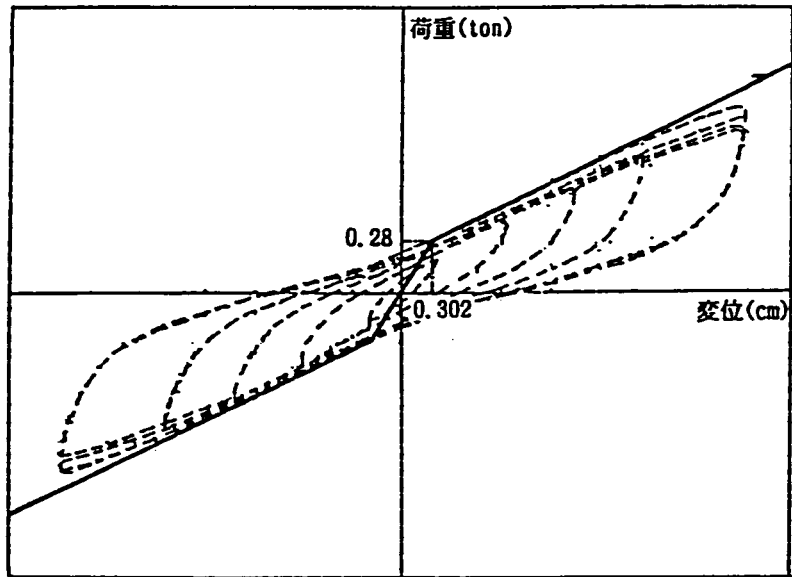


(b) 床応答スペクトル

付図96 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデル C)
 A-Fig.96 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model C)



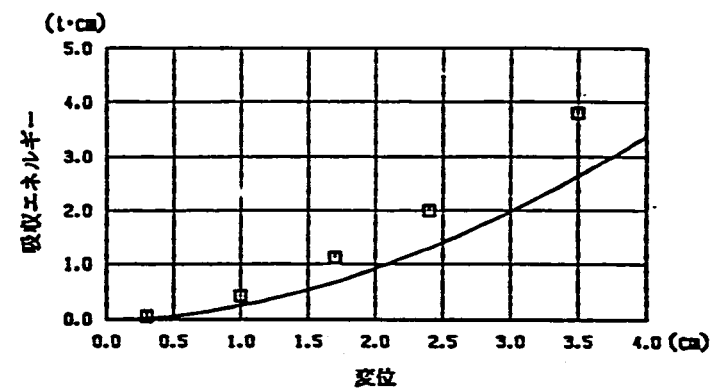
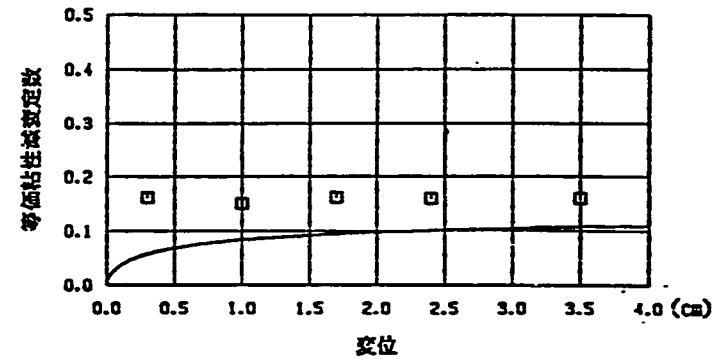
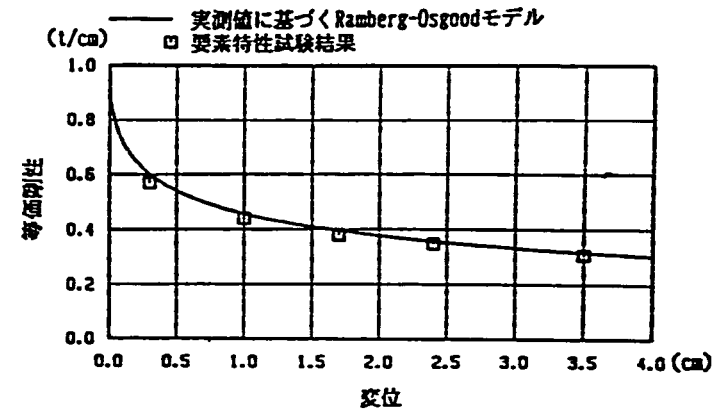
付図97 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, BW, モデルC)
 A-Fig. 97 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, BW, Model C)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

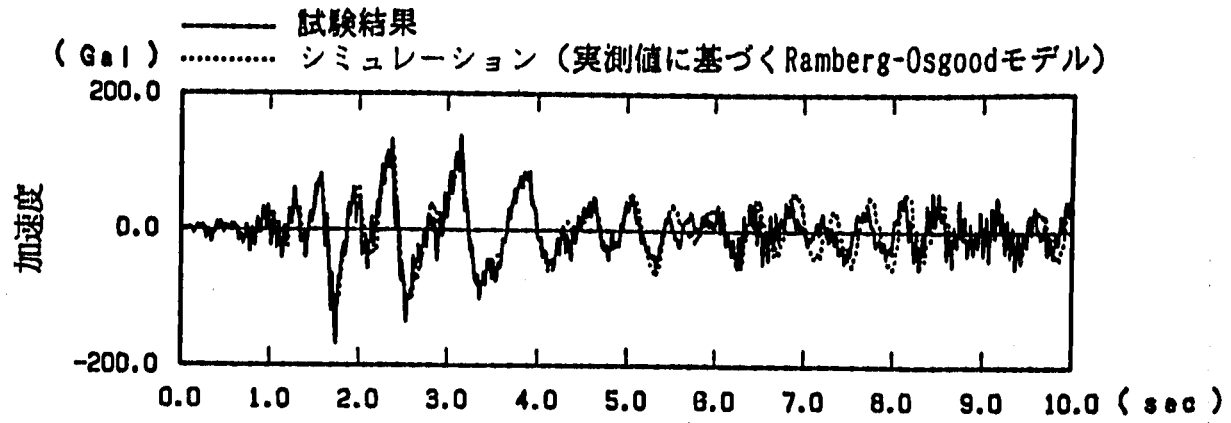
(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
鉛入り積層ゴム	3.712	1.120	—	1.40×10^7	2.0
	ヒステリシスループ形状係数			無次元化基準復元力, 変位	
	α	β	r	F_r	δ_r
	0.2694	0.1018	2.4340	1.90 ton	1.00 cm

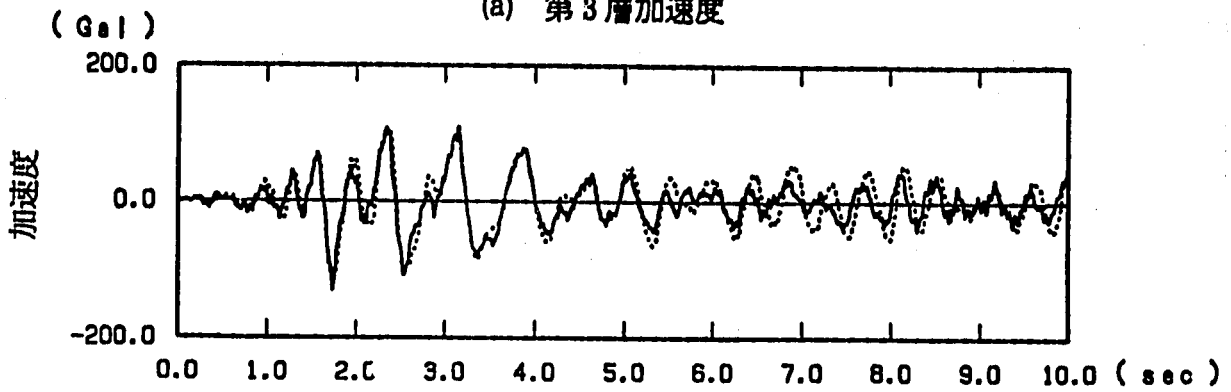


(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

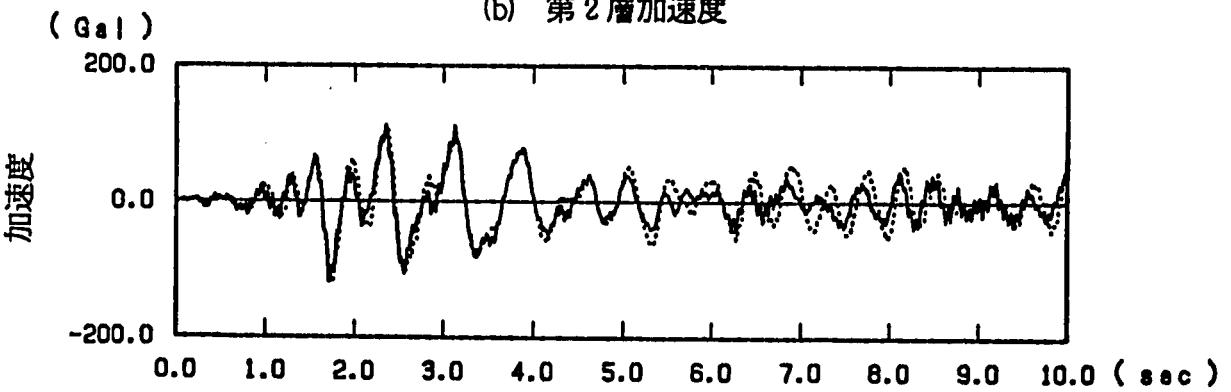
付図98 鉛入り積層ゴムのモデル化
 (実験値に基づくRamberg-Osgoodモデル)
 A-FIG. 98 Simulation Model of Lead Rubber Bearing
 (Ramberg-Osgood Model of Experimental Values)



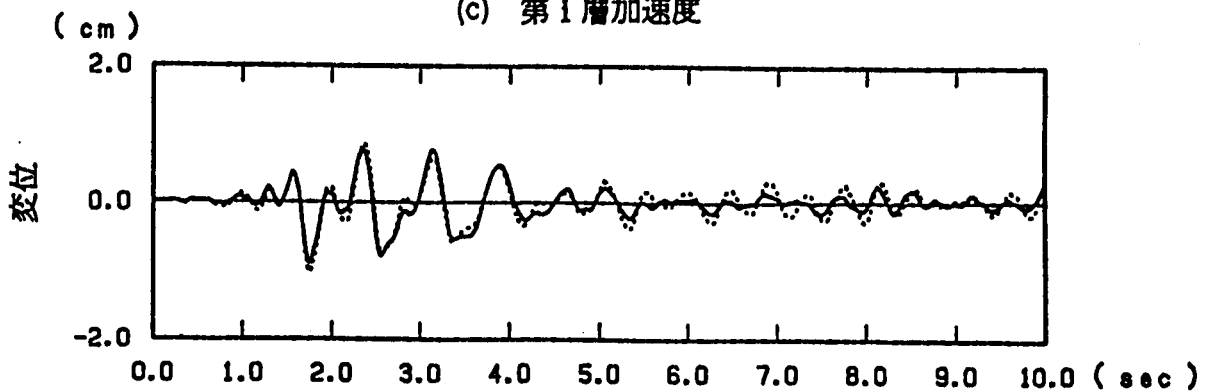
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

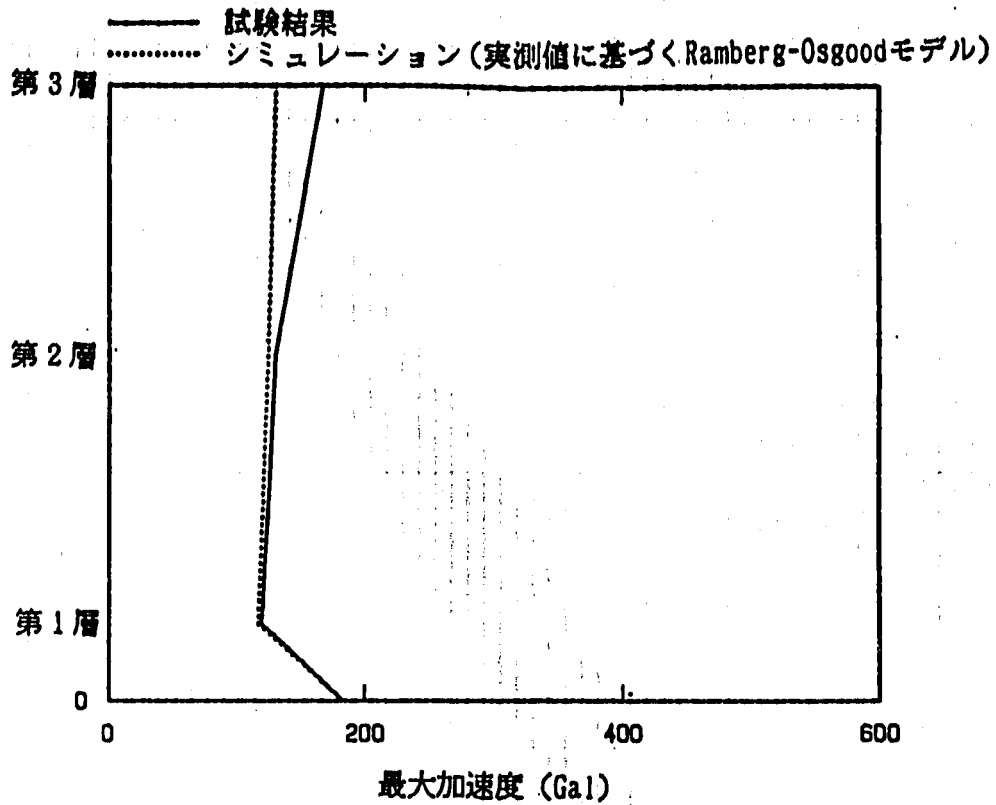


(c) 第1層加速度

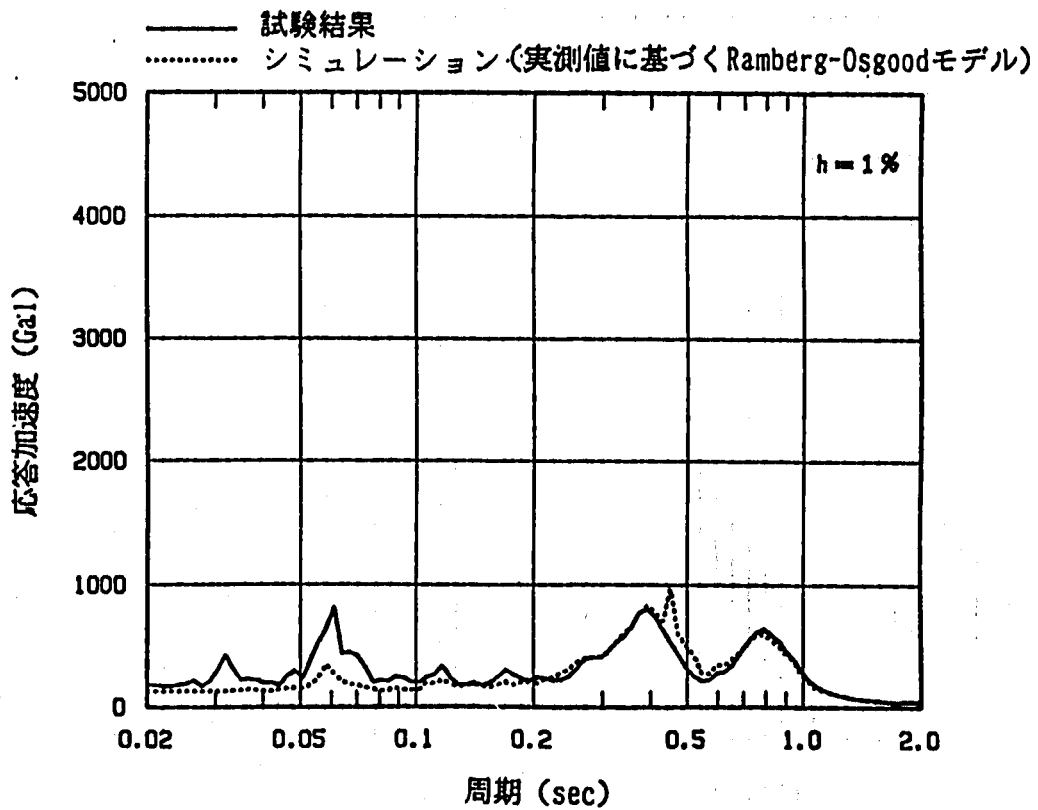


(d) 免震装置の相対変位

付図99 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig. 99 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model D)

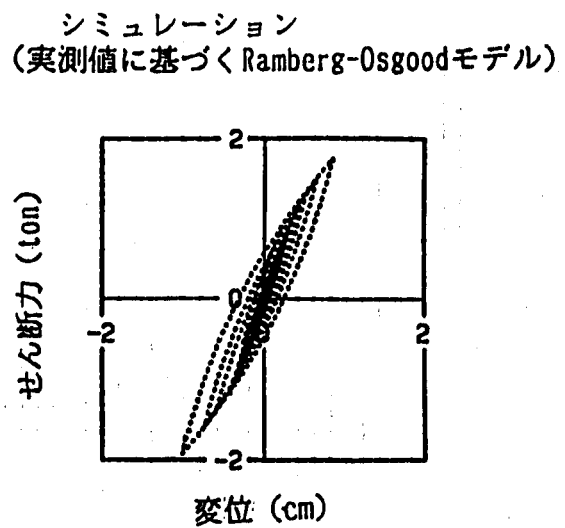
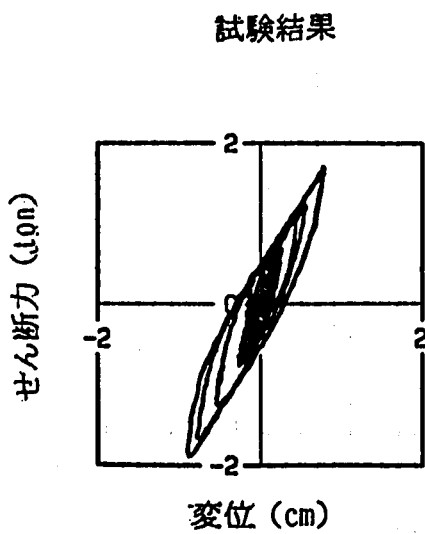
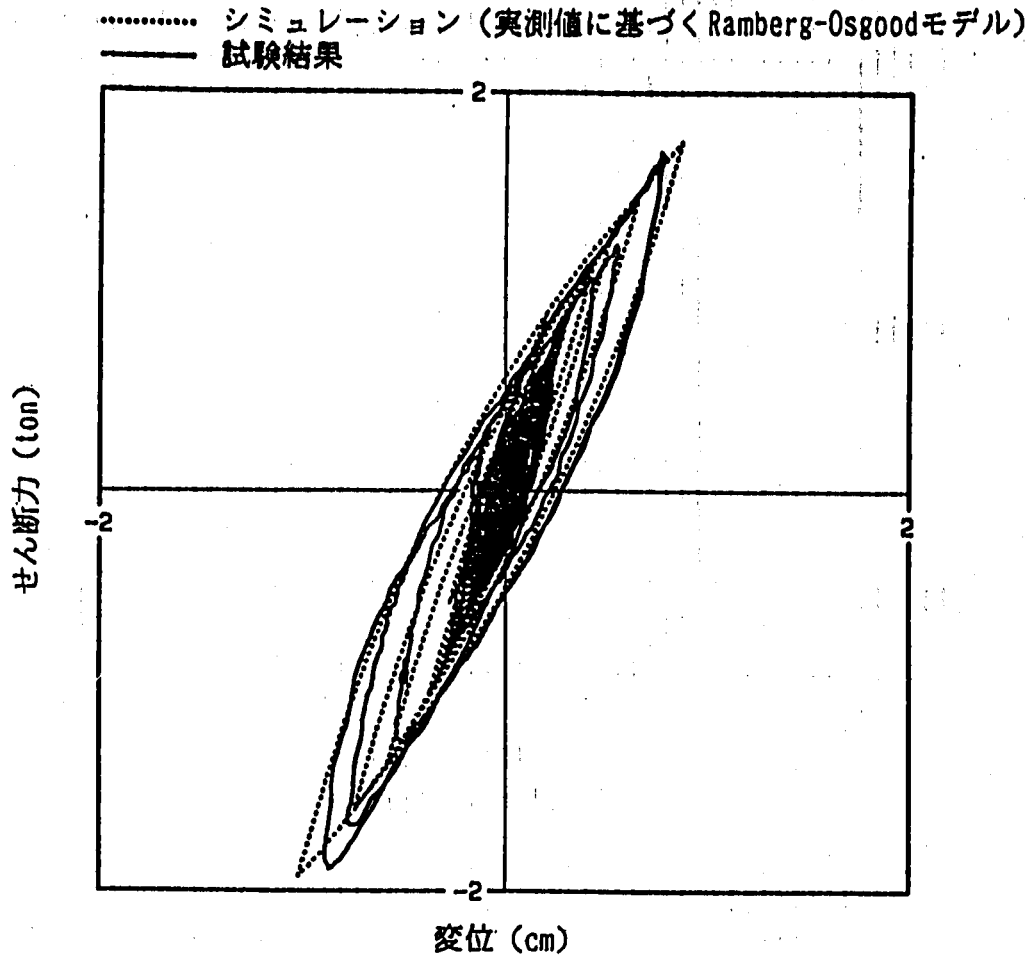


(a) 最大加速度分布

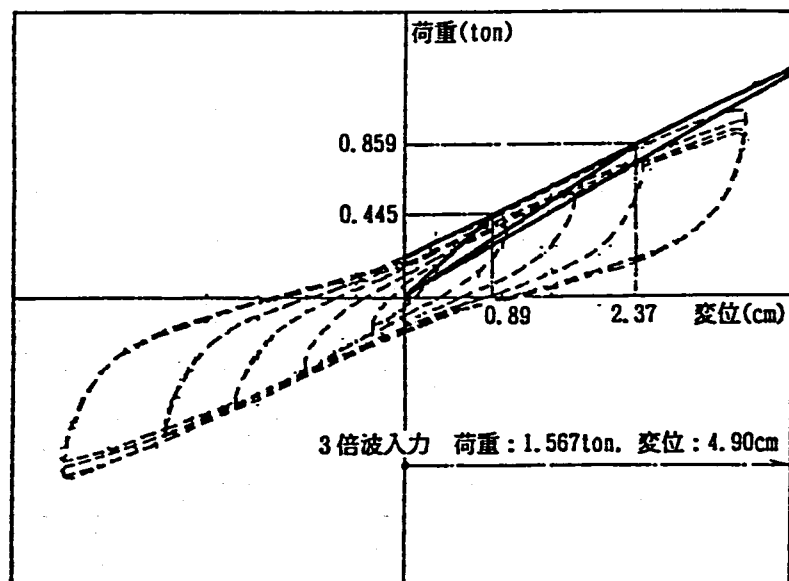


(b) 床応答スペクトル

付図100 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig. 100 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model D)



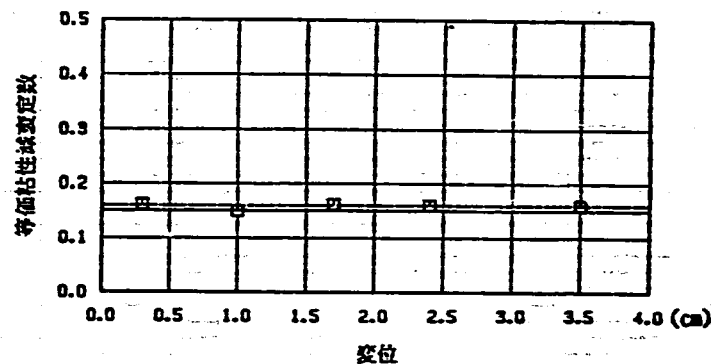
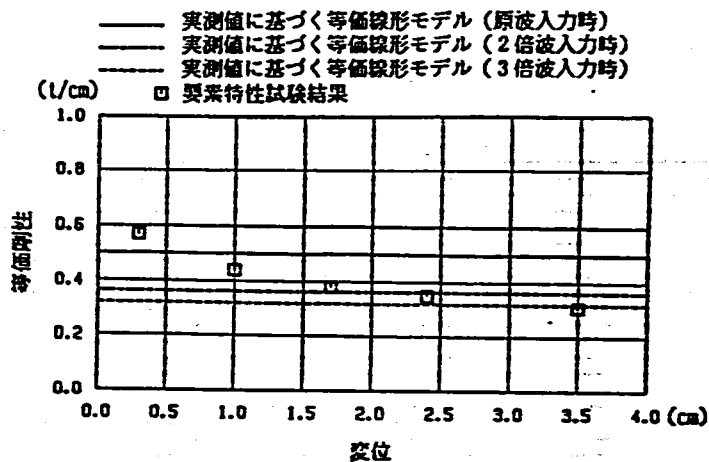
付図101 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig.101 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model D)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

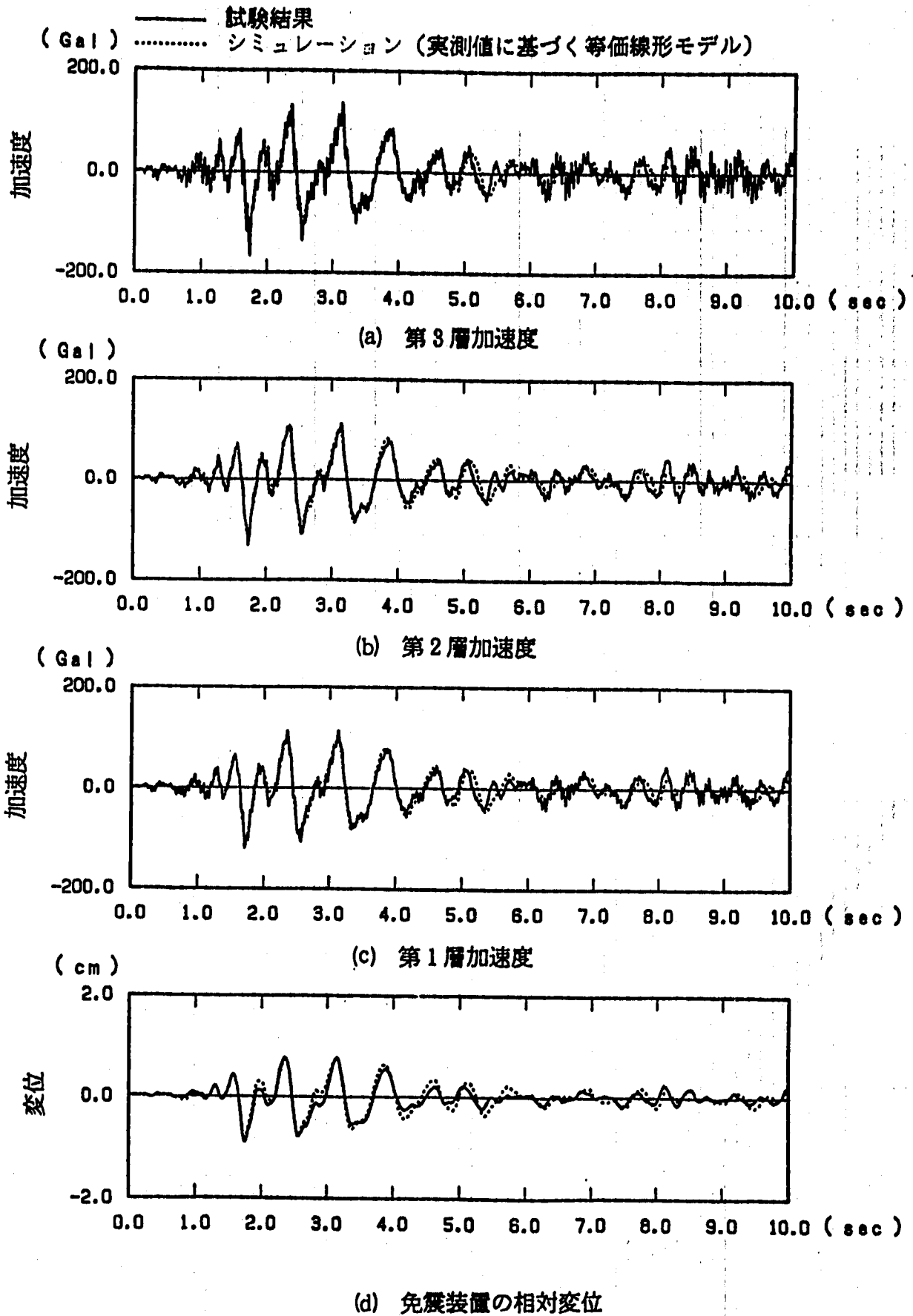
免震装置	1次剛性 (t/cm)	2次剛性 (t/cm)	3次剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	鉛直剛性 (t/cm)
鉛入り積層ゴム	2.000	1.450	1.279	1.40×10^7	895
	等価粘性減衰定数 (%)			備考: 水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定	
15.0	16.0	16.0			



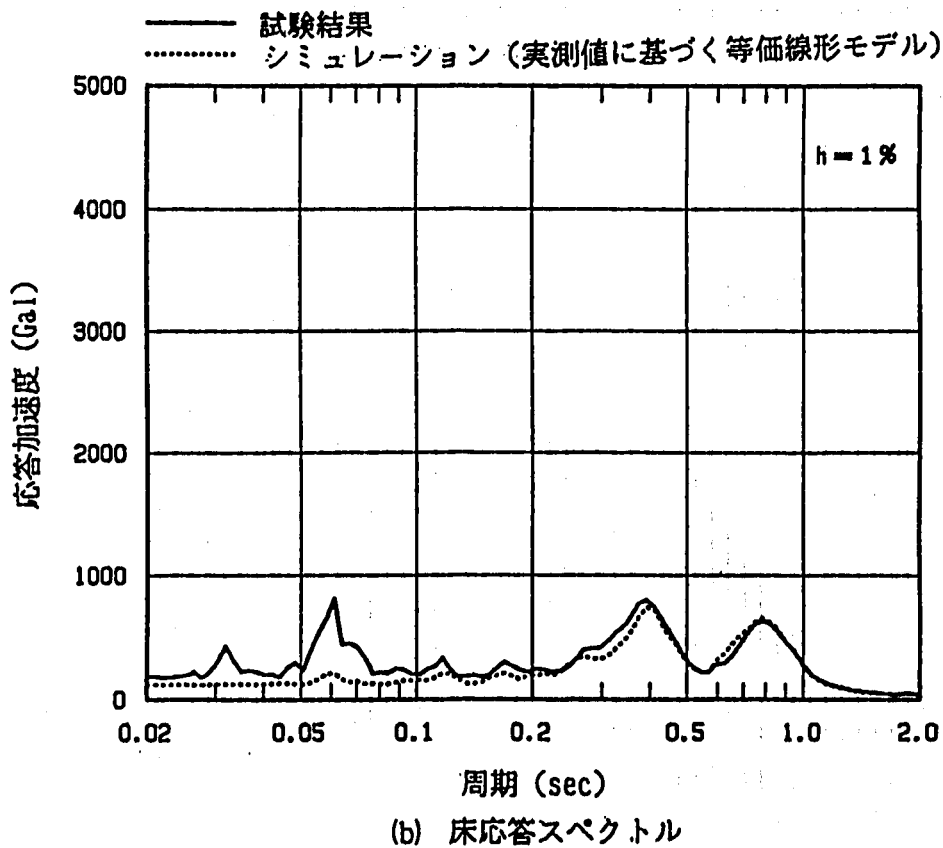
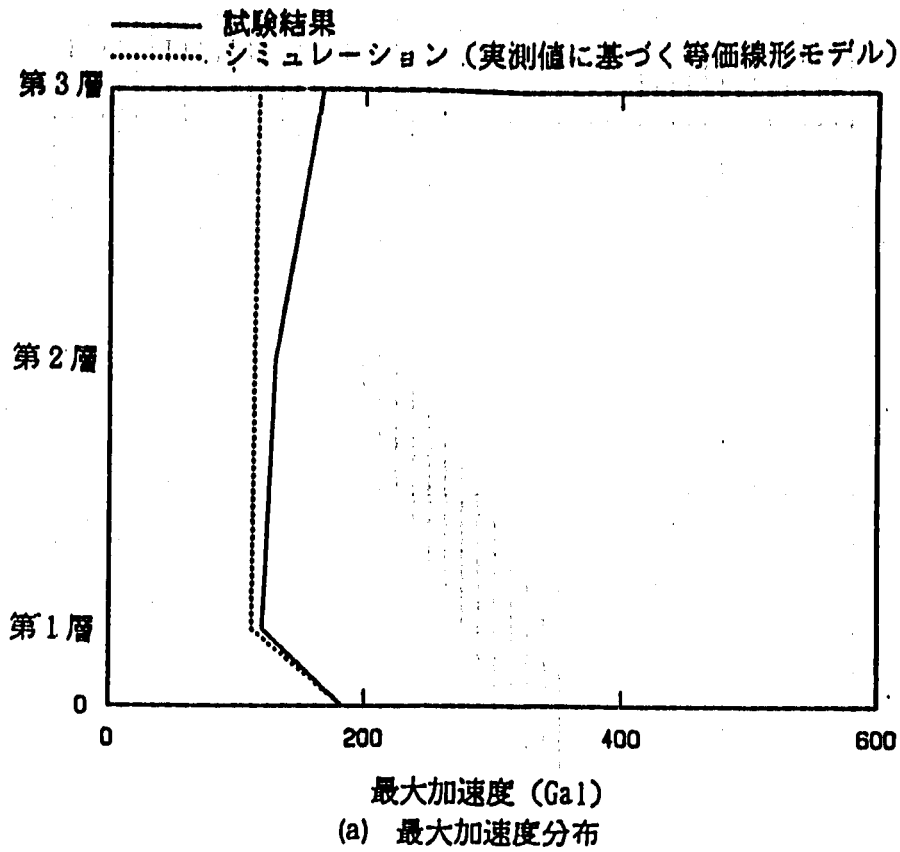
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較

付図102 鉛入り積層ゴムのモデル化
(実験値に基づく等価線形モデル)

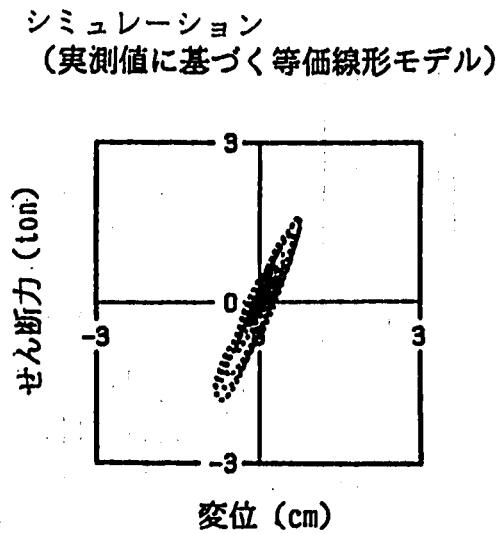
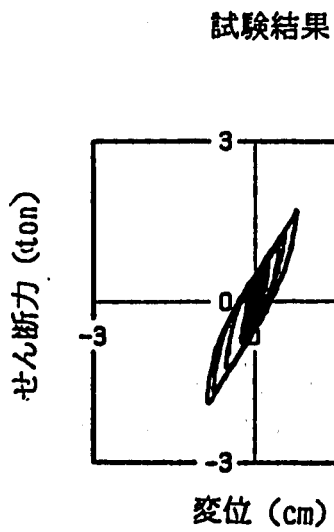
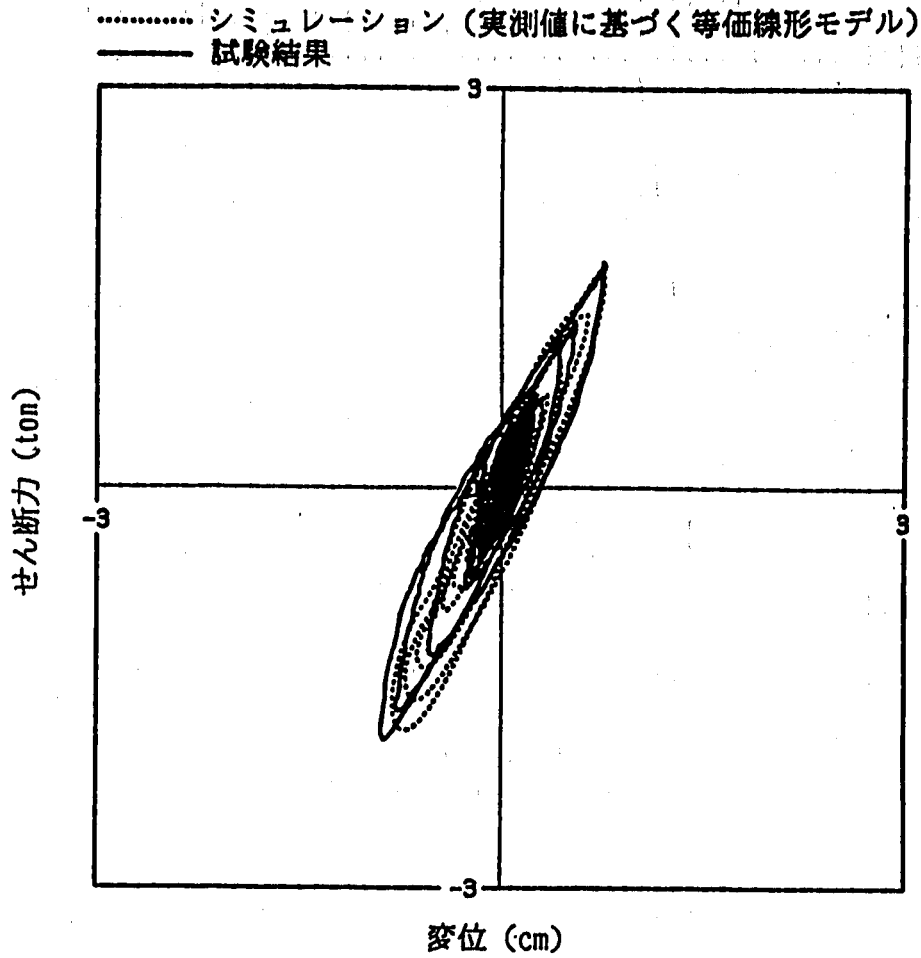
A-Fig.102 Simulation Model of Lead Rubber Bearing
(Equivalent-linear Model of Experimental Values)



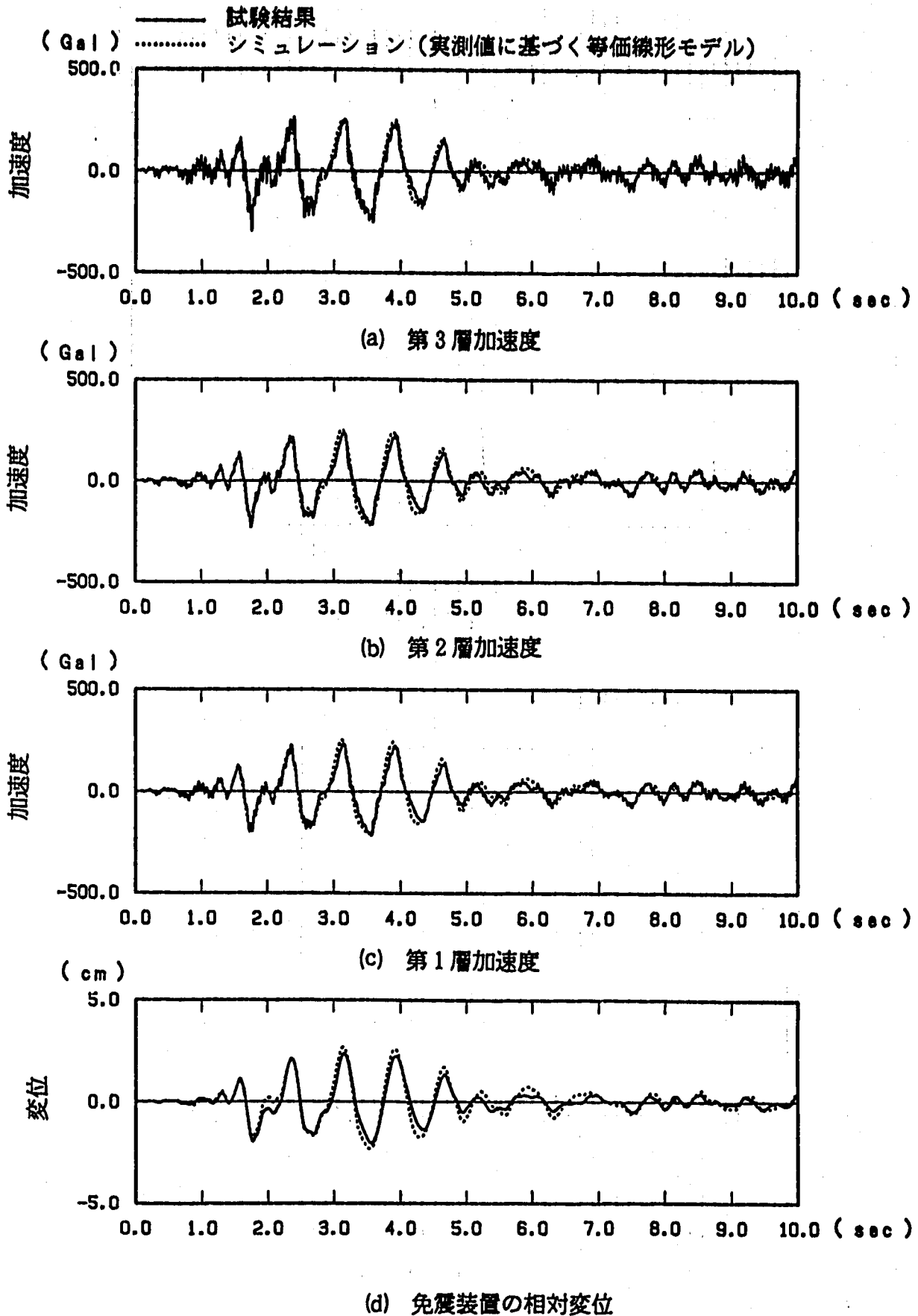
付図103 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデルE)
 A-Fig.103 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



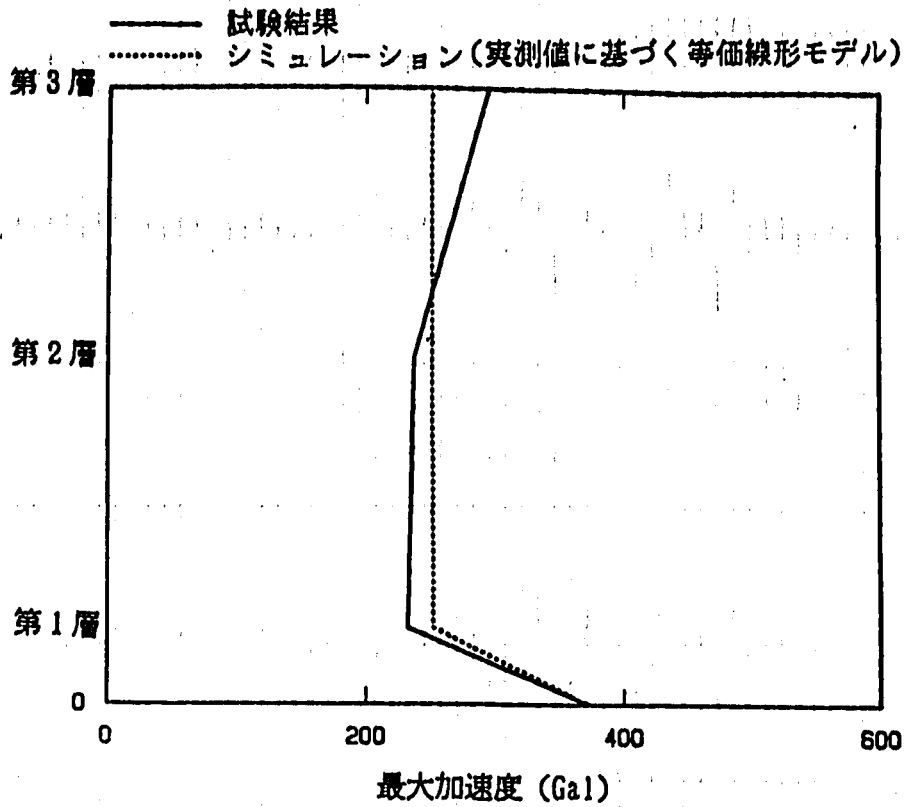
付図104 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデル E)
 A-Fig. 104 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



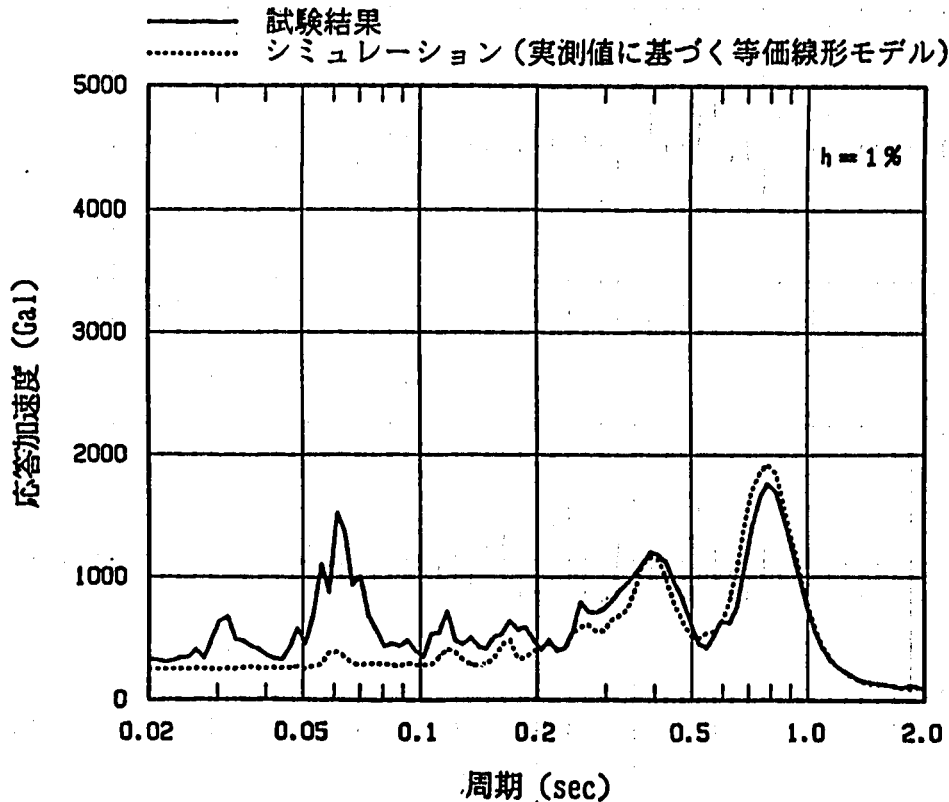
付図105 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, EW, モデル E)
 A-Fig.105 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



付図106 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, 2BW, モデル E)
 A-Fig.106 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, 2BW, Model E)

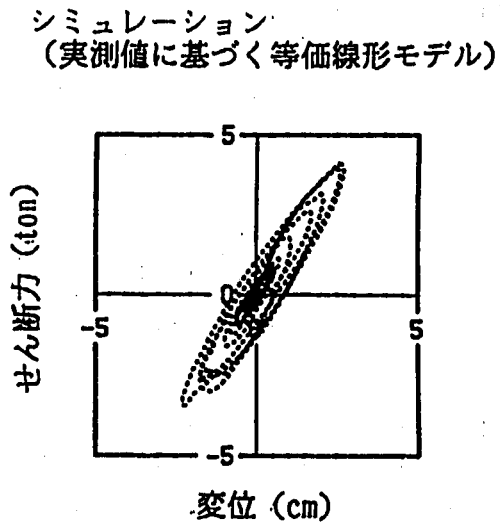
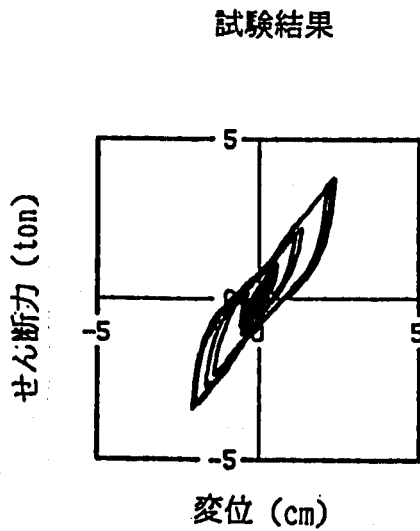
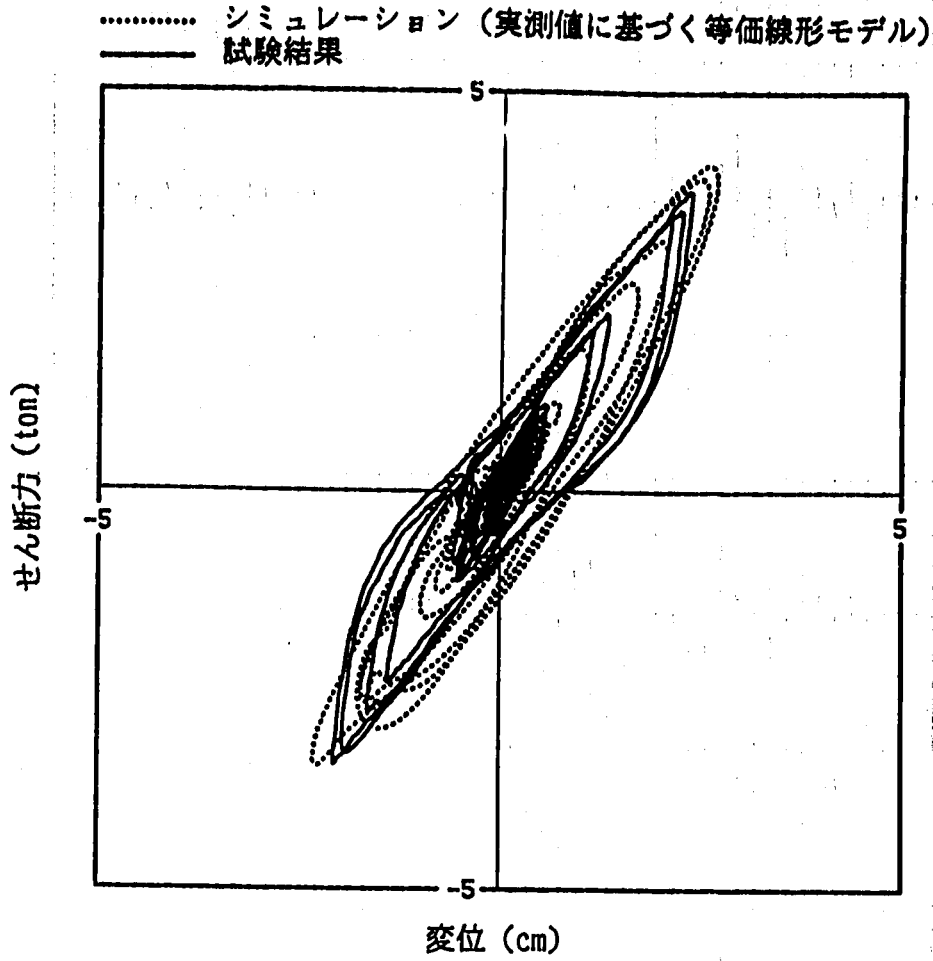


(a) 最大加速度分布

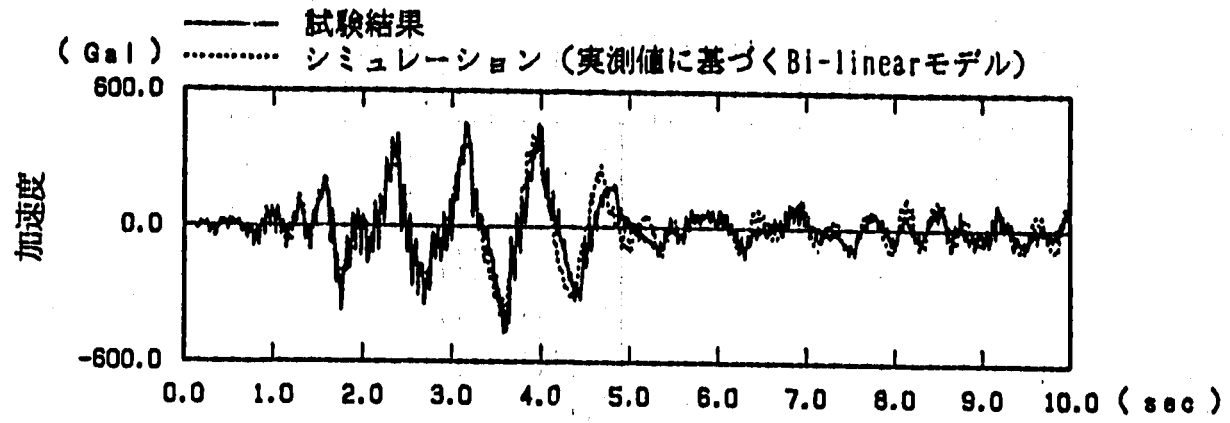


(b) 床応答スペクトル

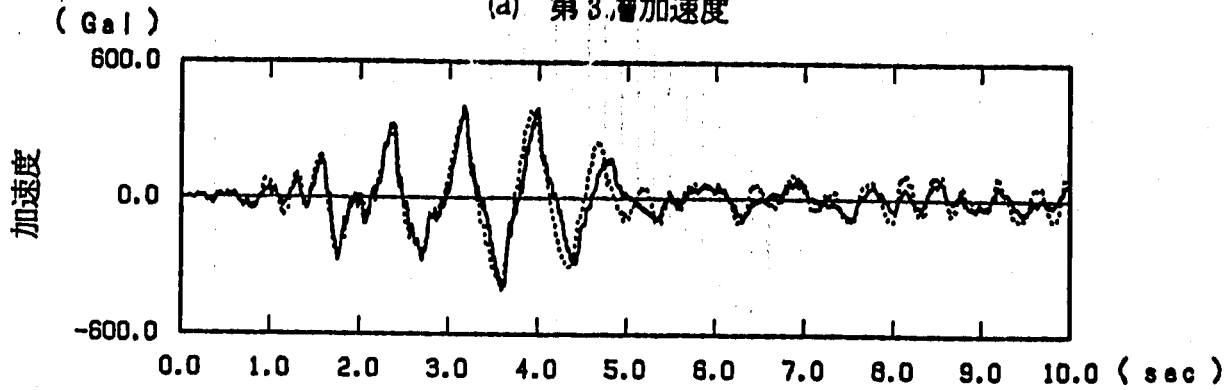
付図107 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, 2BW, モデル E)
 A-Fig.107 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, 2BW, Model E)



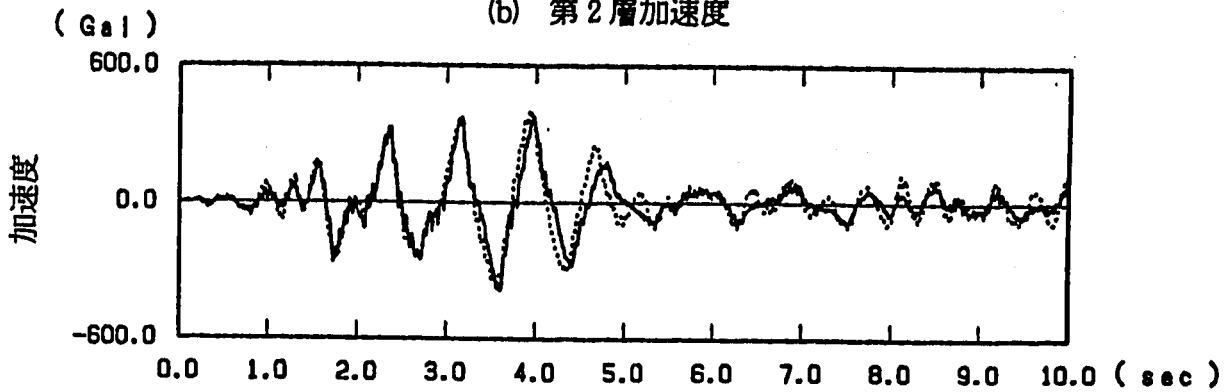
付図108 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, 2BW, モデル E)
 A-Fig.108 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, 2BW, Model E)



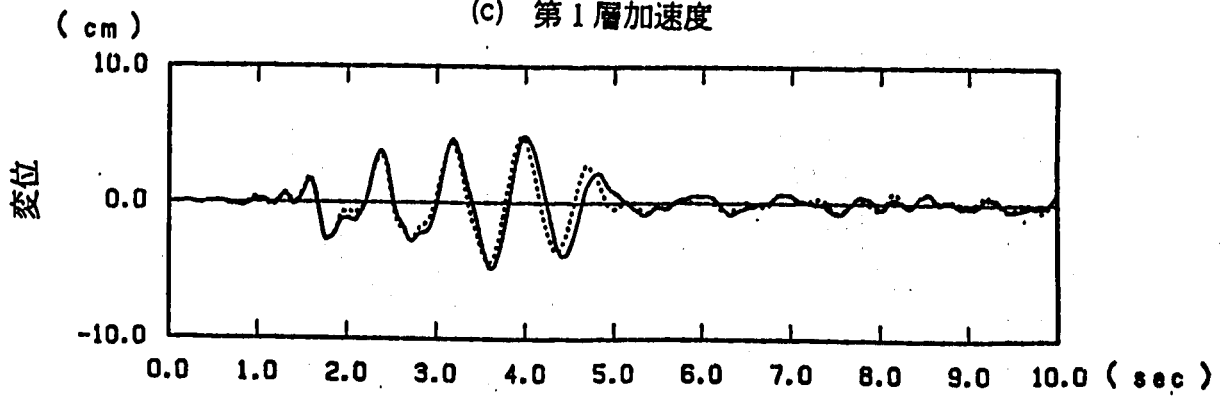
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

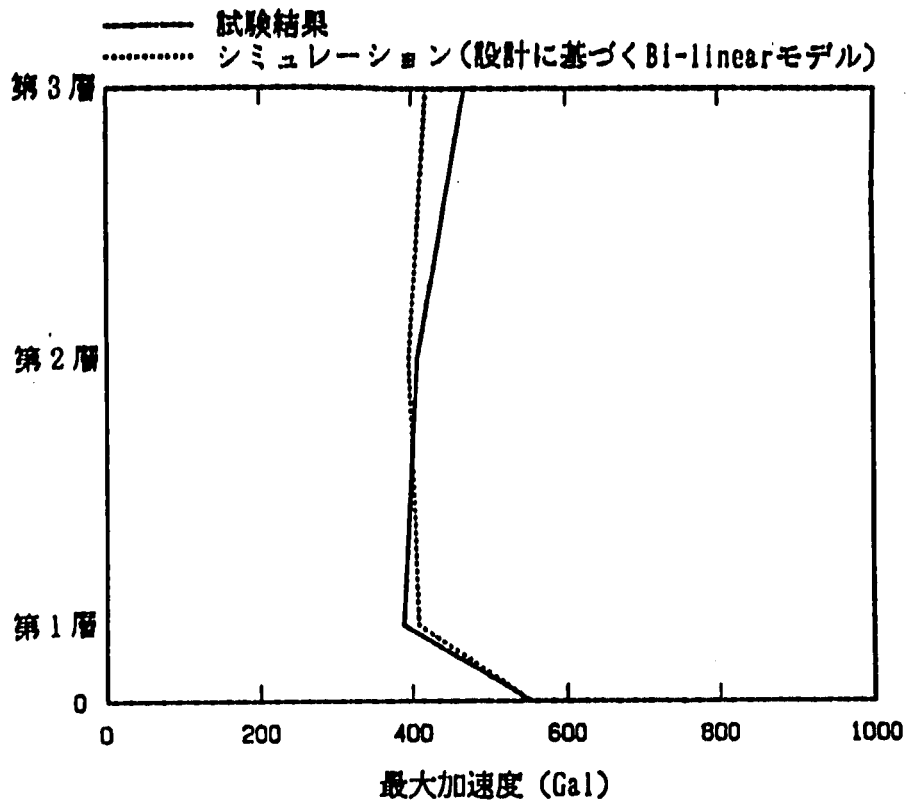


(c) 第1層加速度

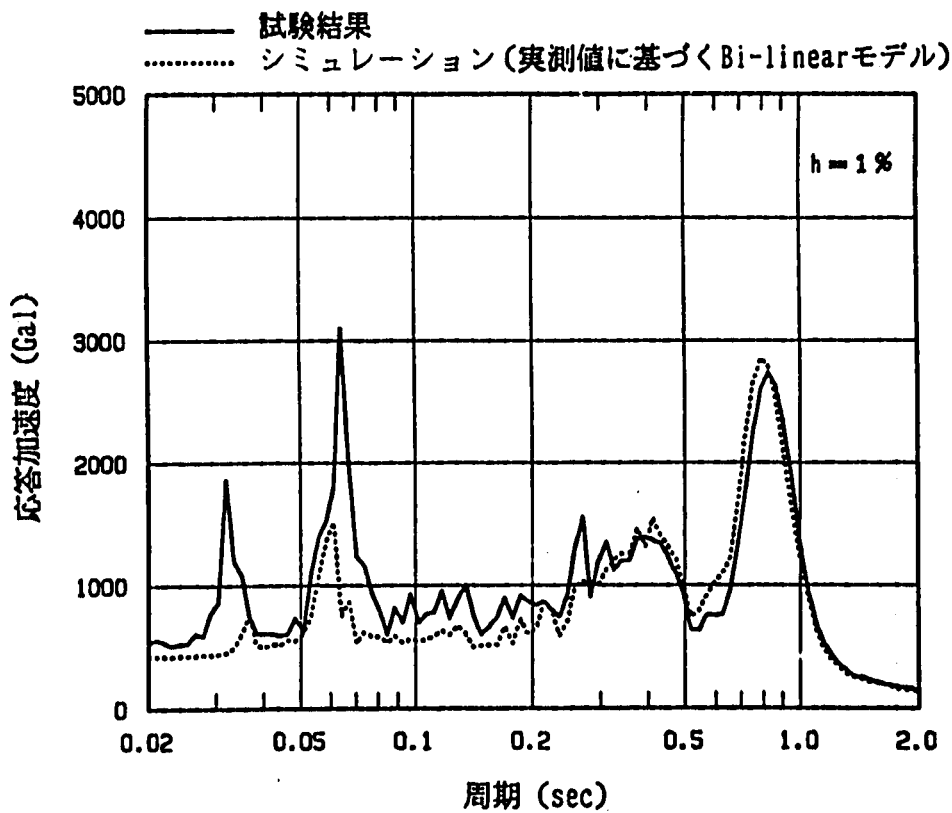


(d) 免震装置の相対変位

付図109 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルB)
 A-Fig. 109 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)

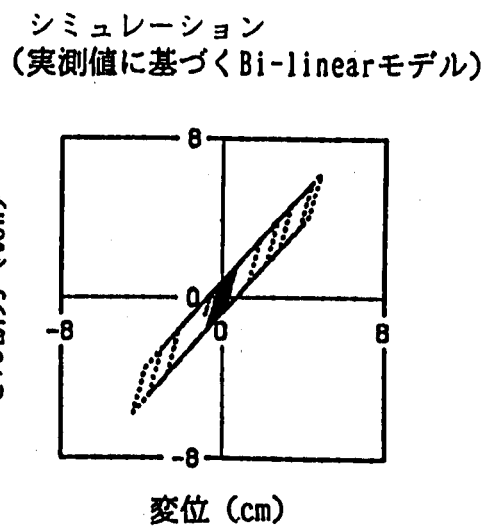
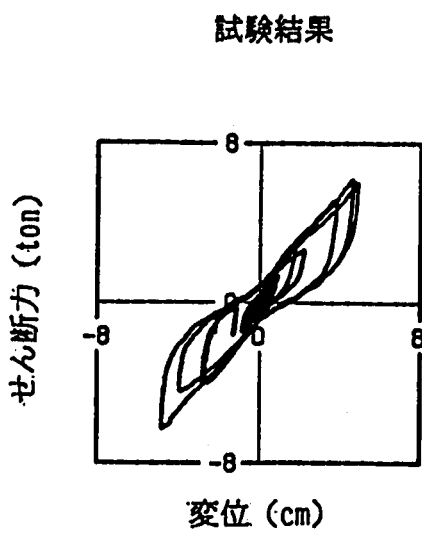
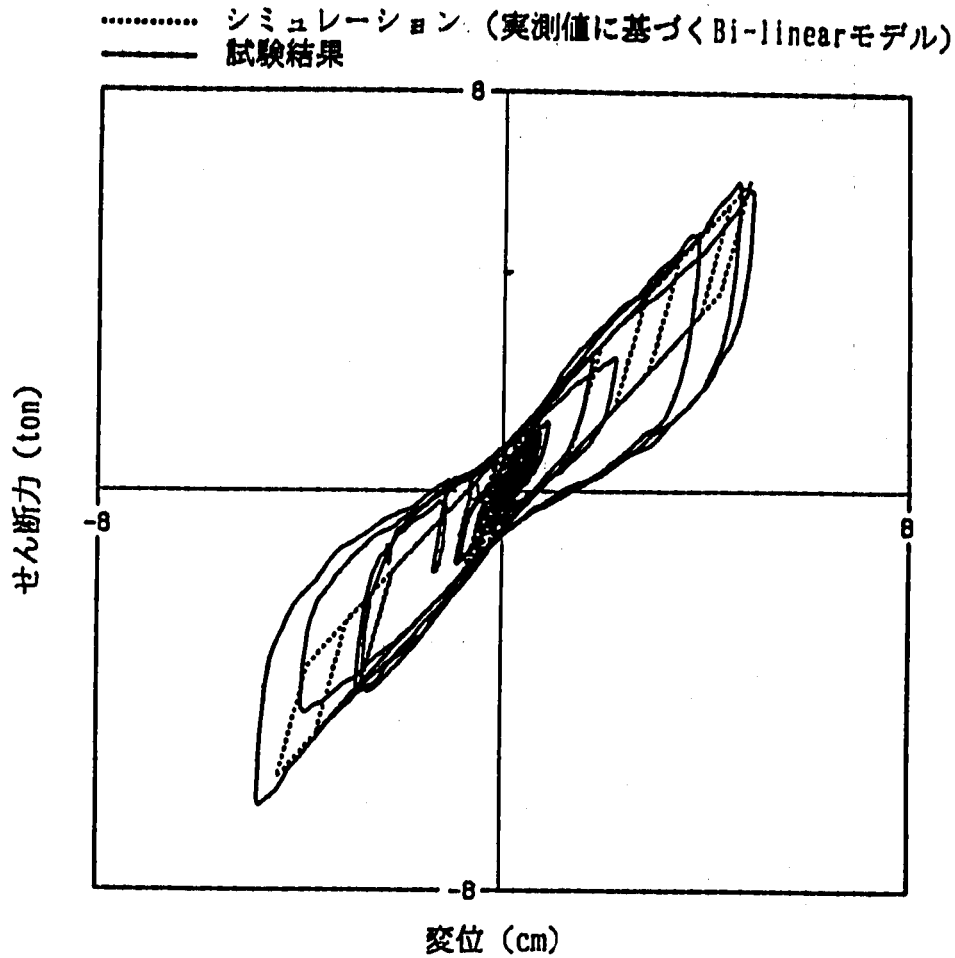


(a) 最大加速度分布

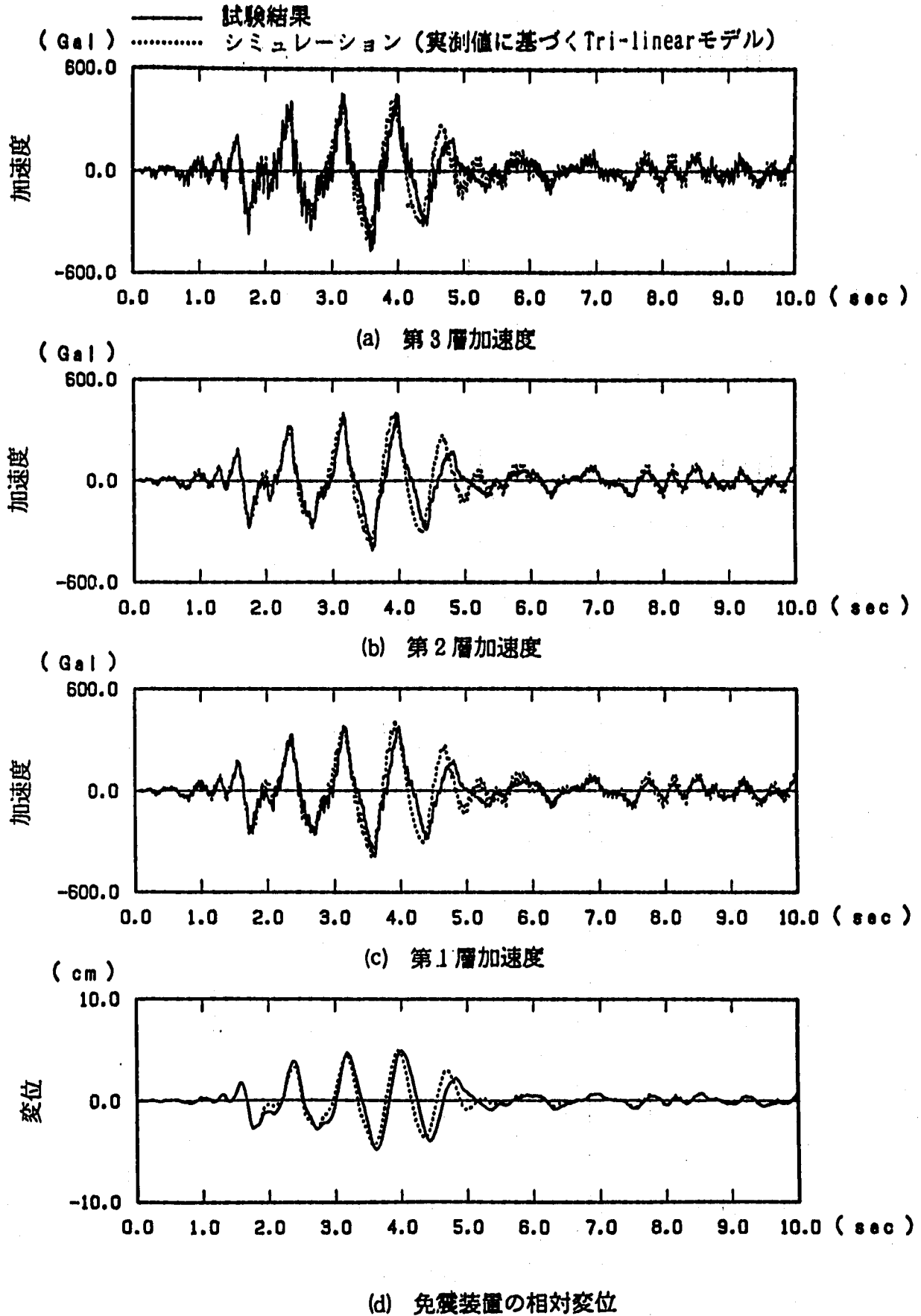


(b) 床応答スペクトル

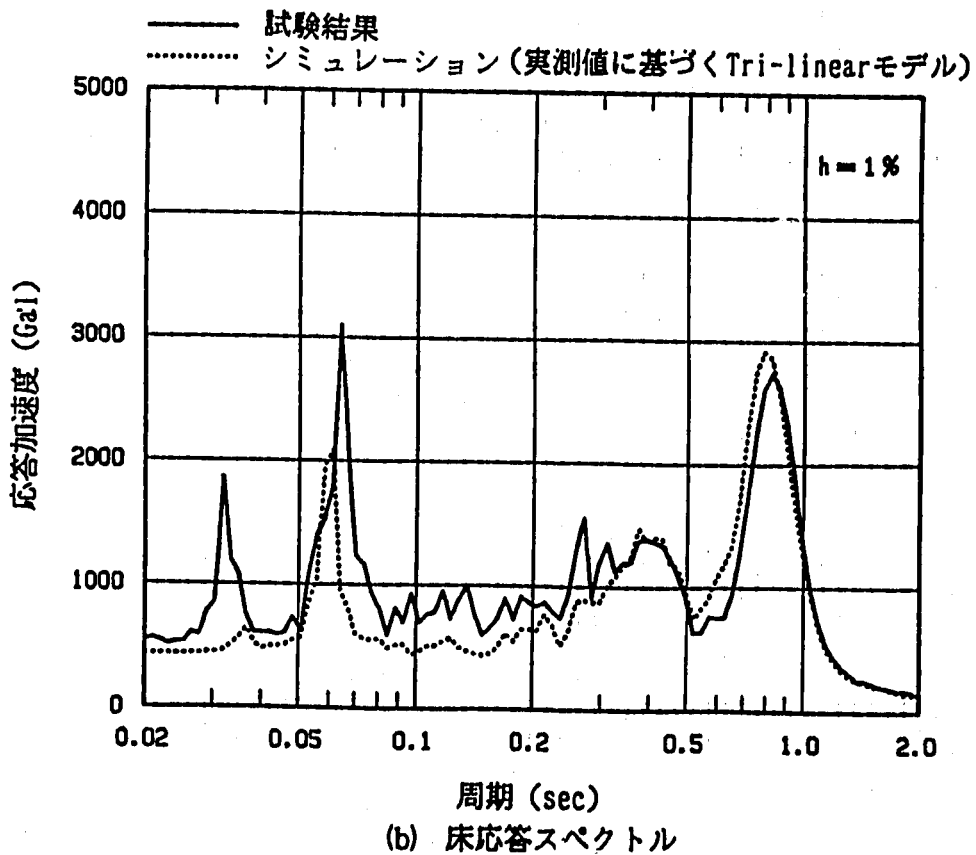
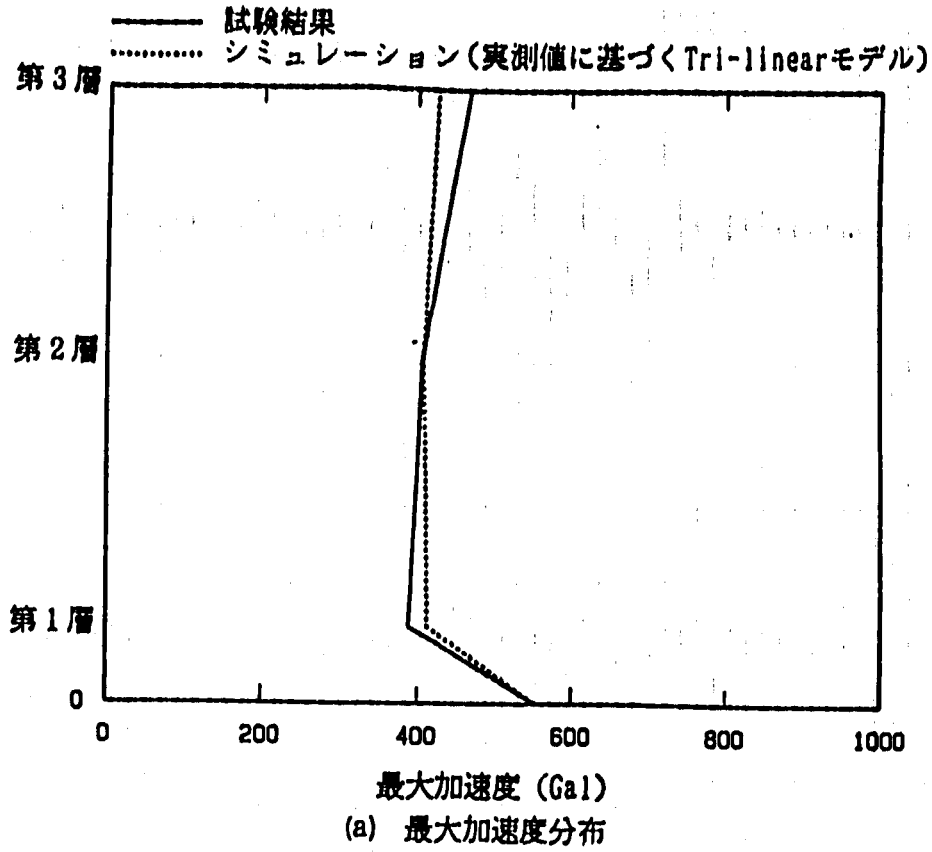
付図110 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルB)
 A-Fig. 110 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3BW, Model B)



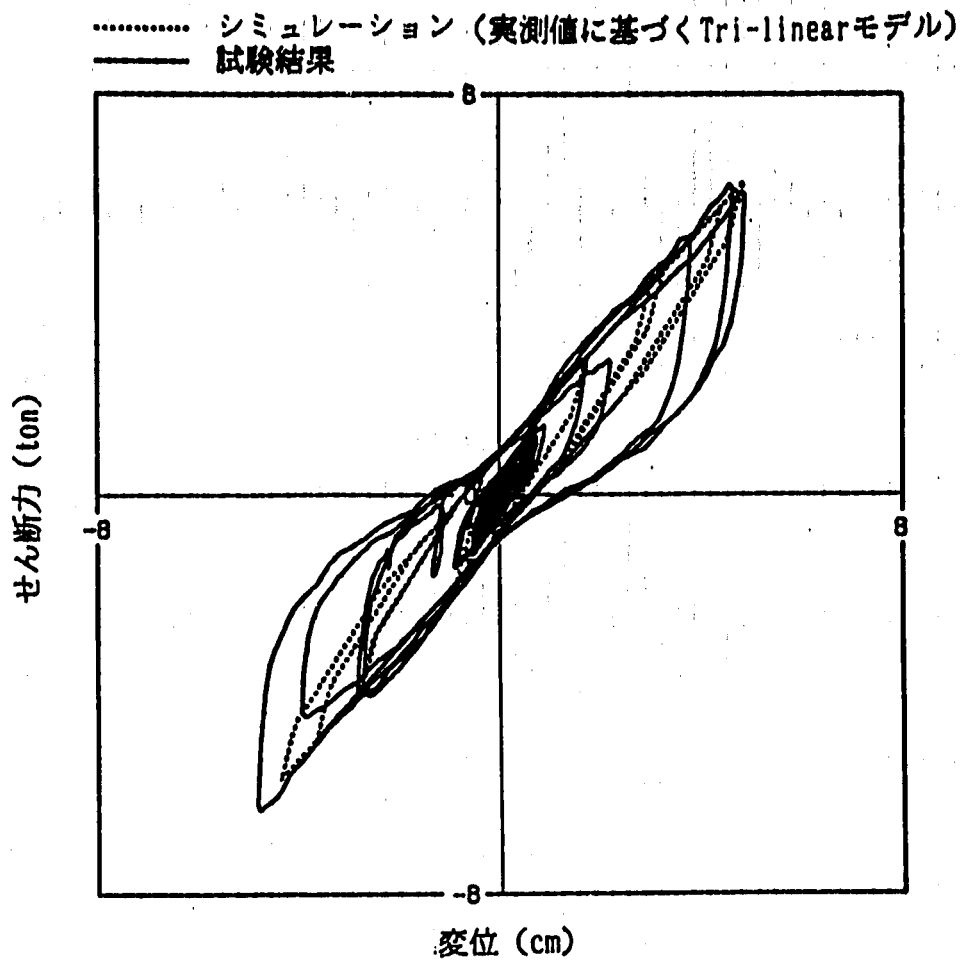
付図111 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデル B)
 A-Fig.111 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)



付図112 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルC)
 A-Fig.112 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3BW, Model C)

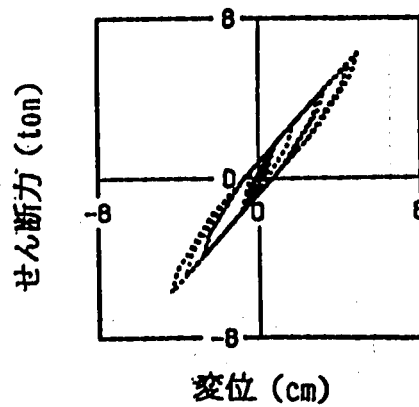
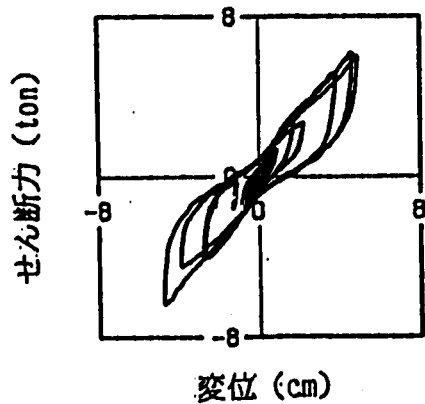


付図113 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルC)
 A-Fig.113 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)



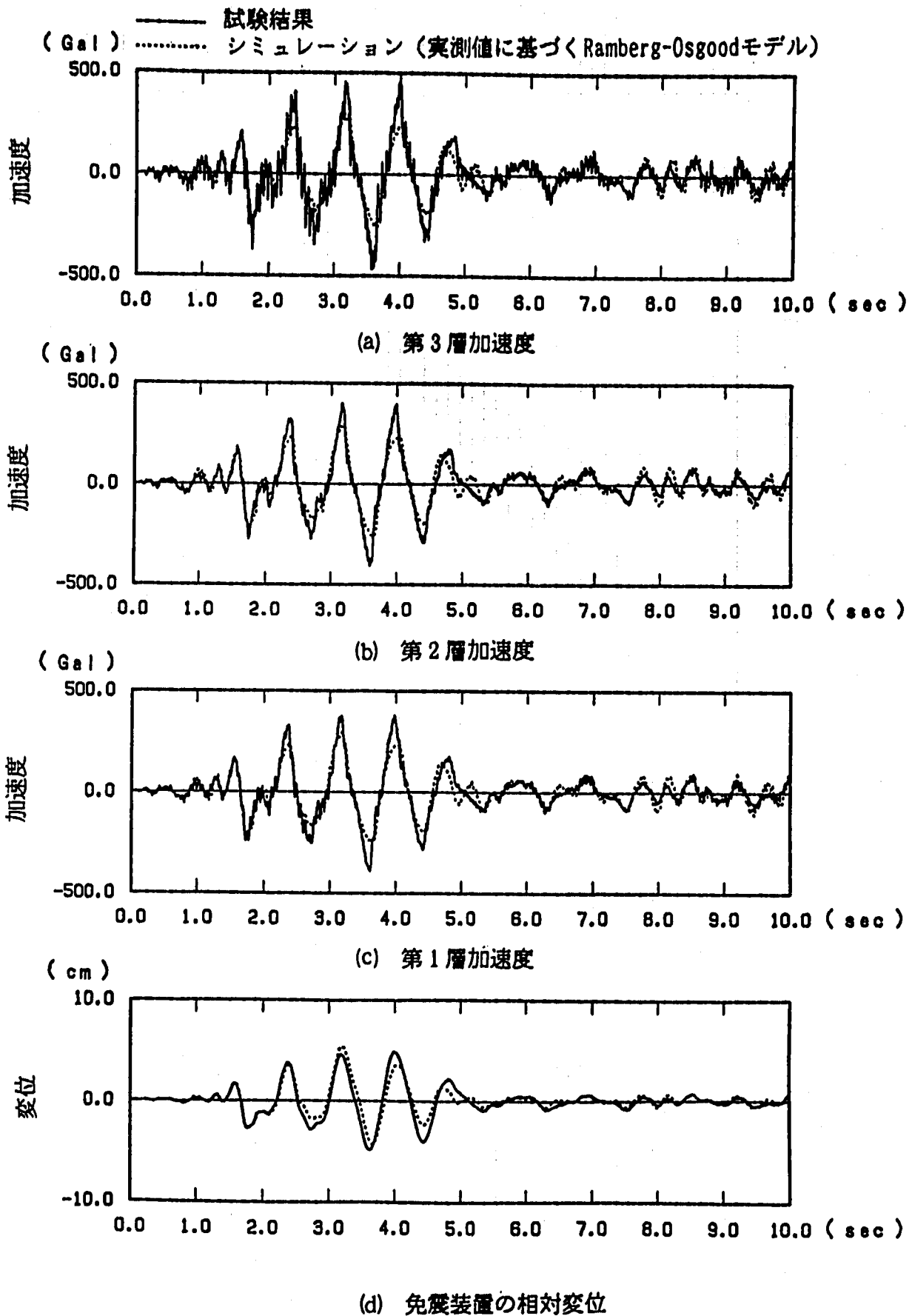
試験結果

シミュレーション
 (実測値に基づくTri-linearモデル)

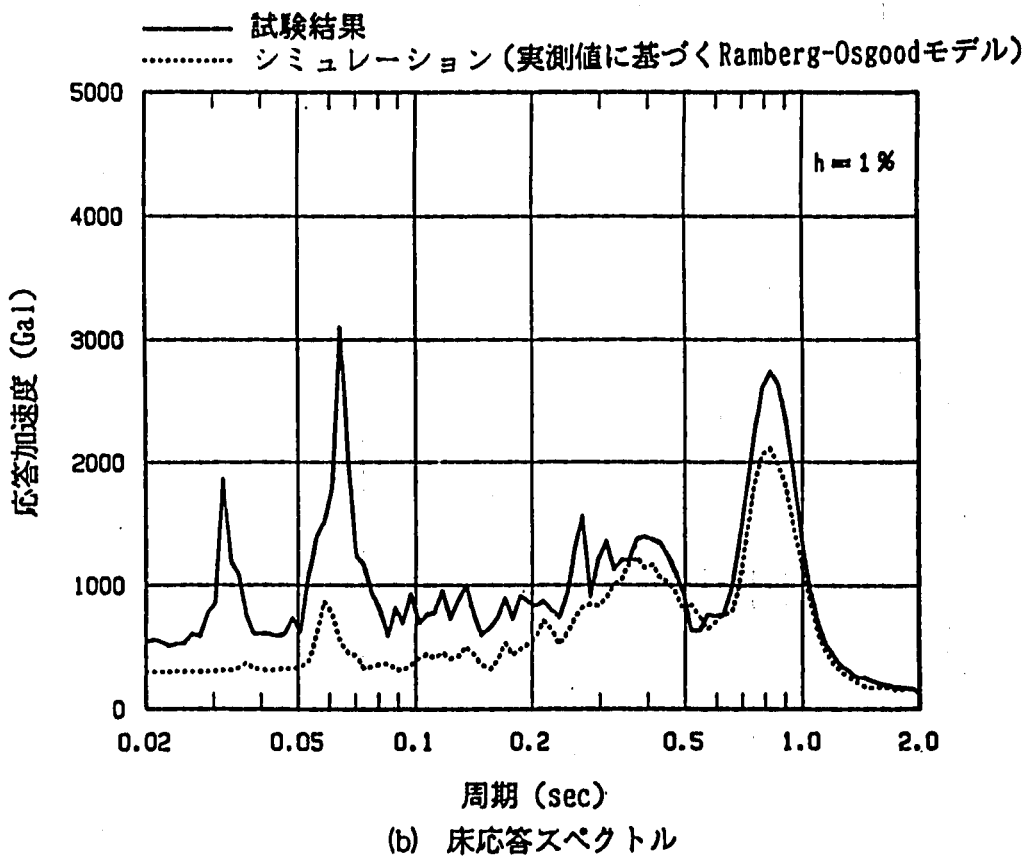
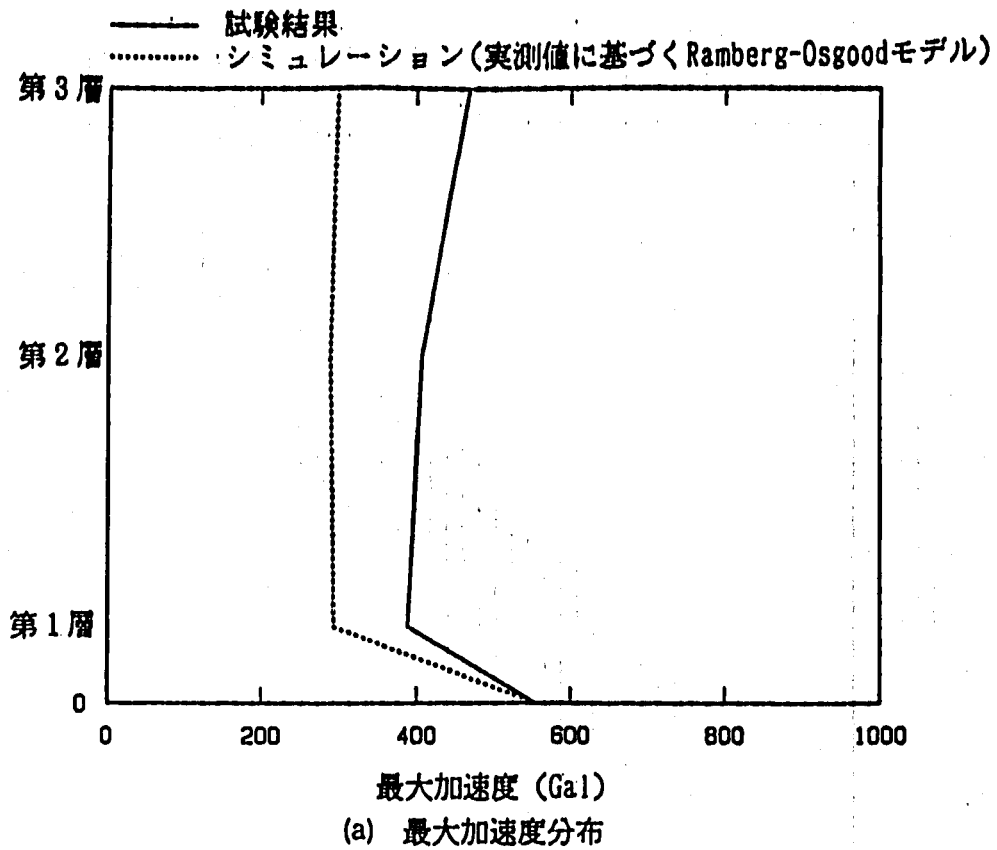


付図114
 A-Fig. 114

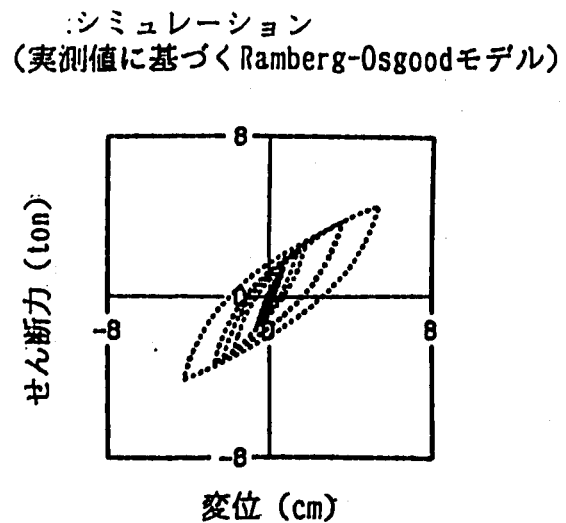
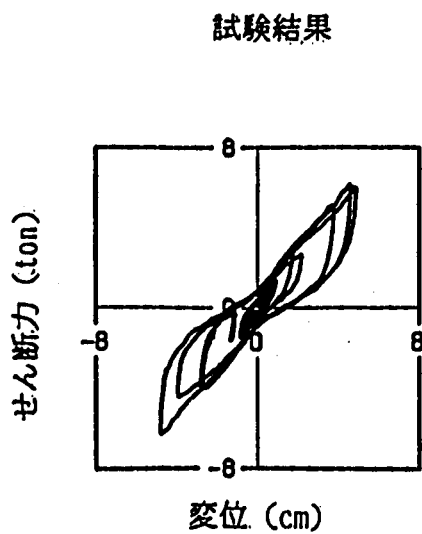
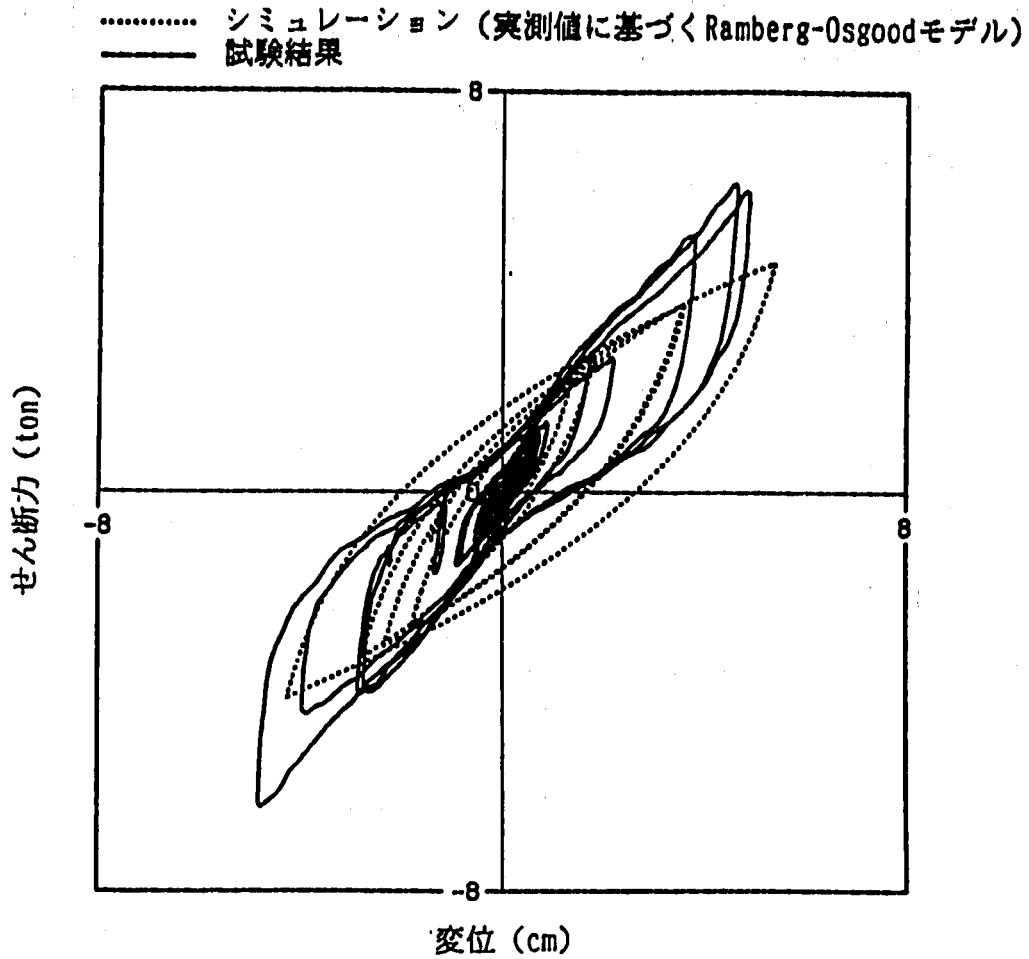
免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルC)
 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)



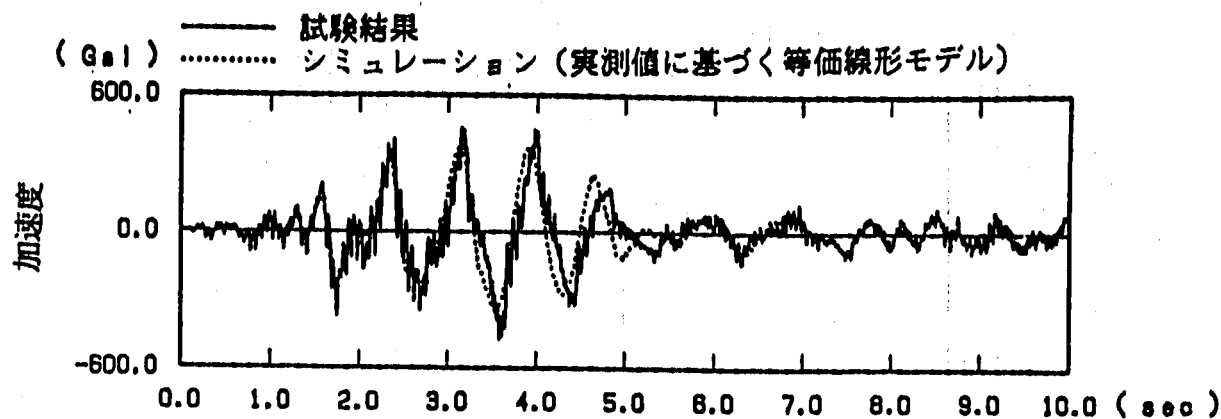
付図115 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig.115 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



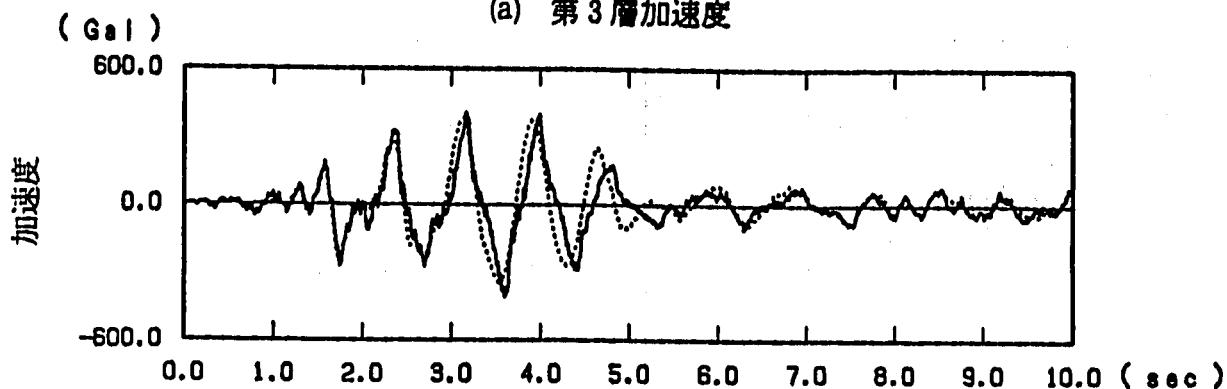
付図116 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig.116 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



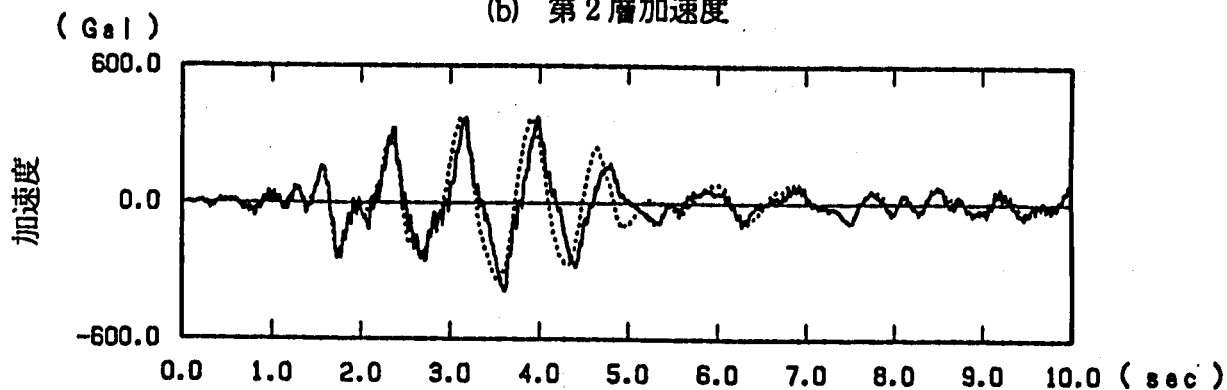
付図117 免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig. 117 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



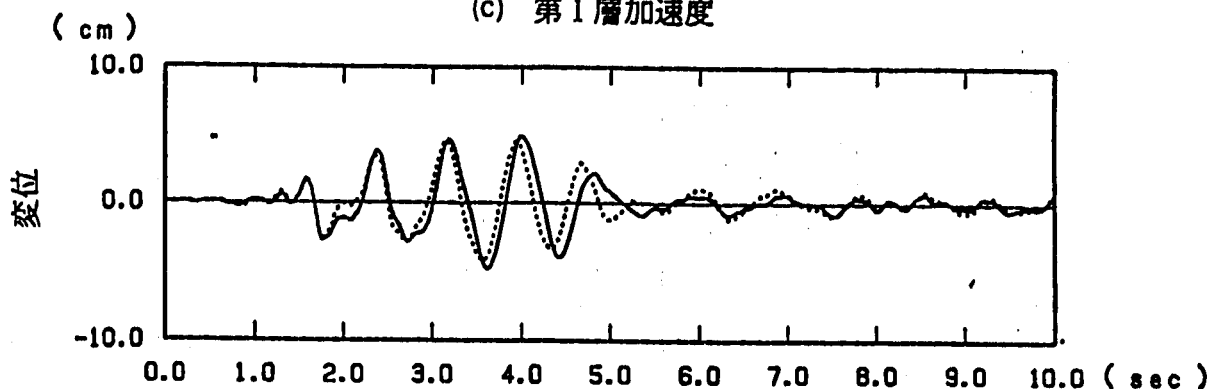
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

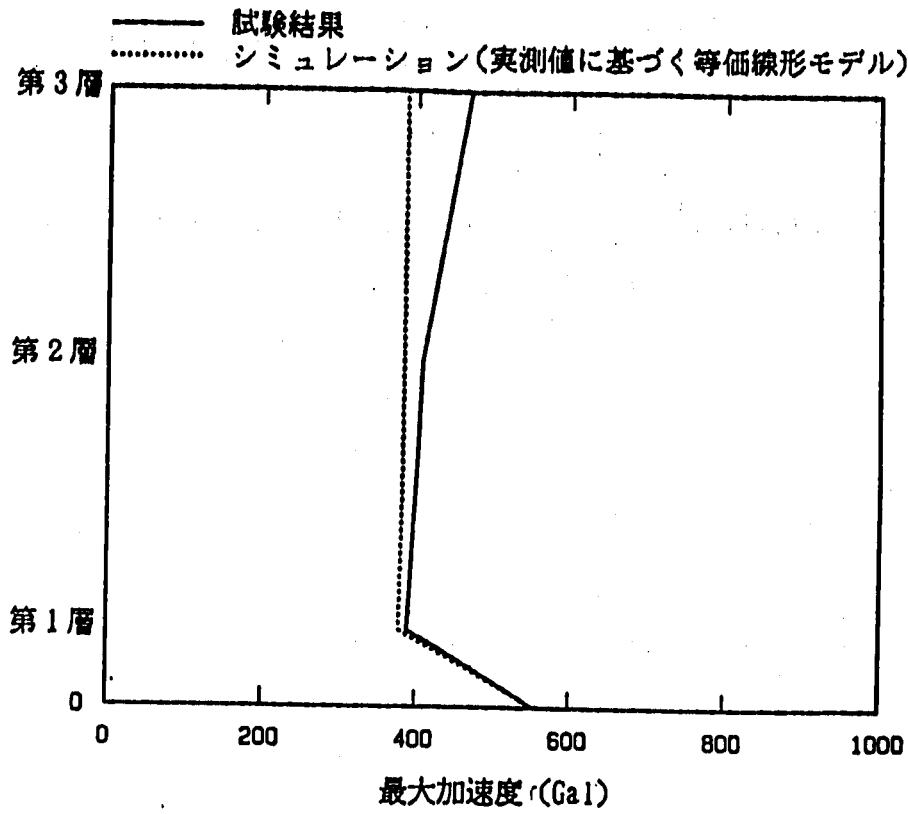


(c) 第1層加速度

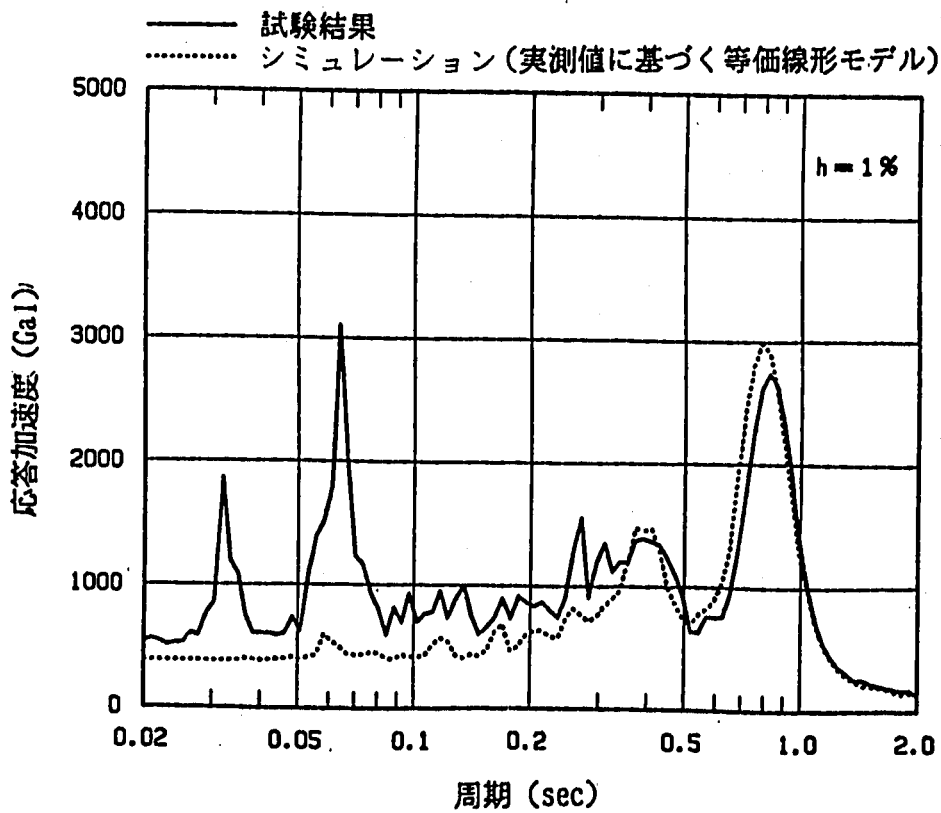


(d) 免震装置の相対変位

付図118 加速度及び変位応答時刻歴 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデル E)
 A-Fig.118 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3EW, Model E)

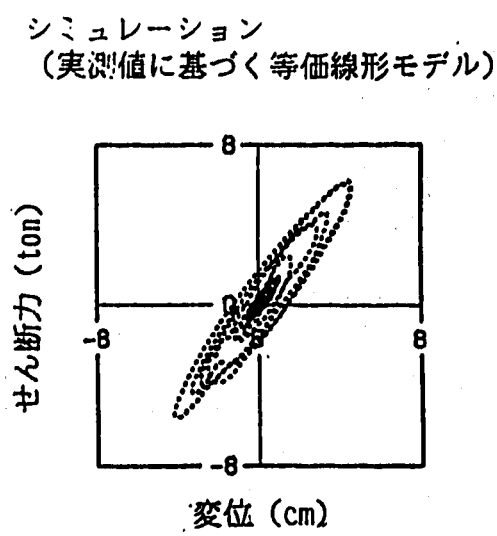
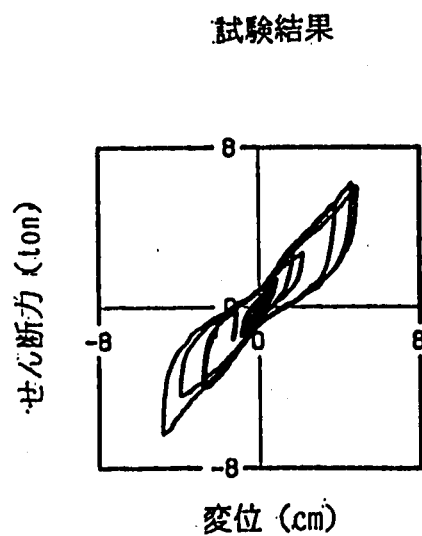
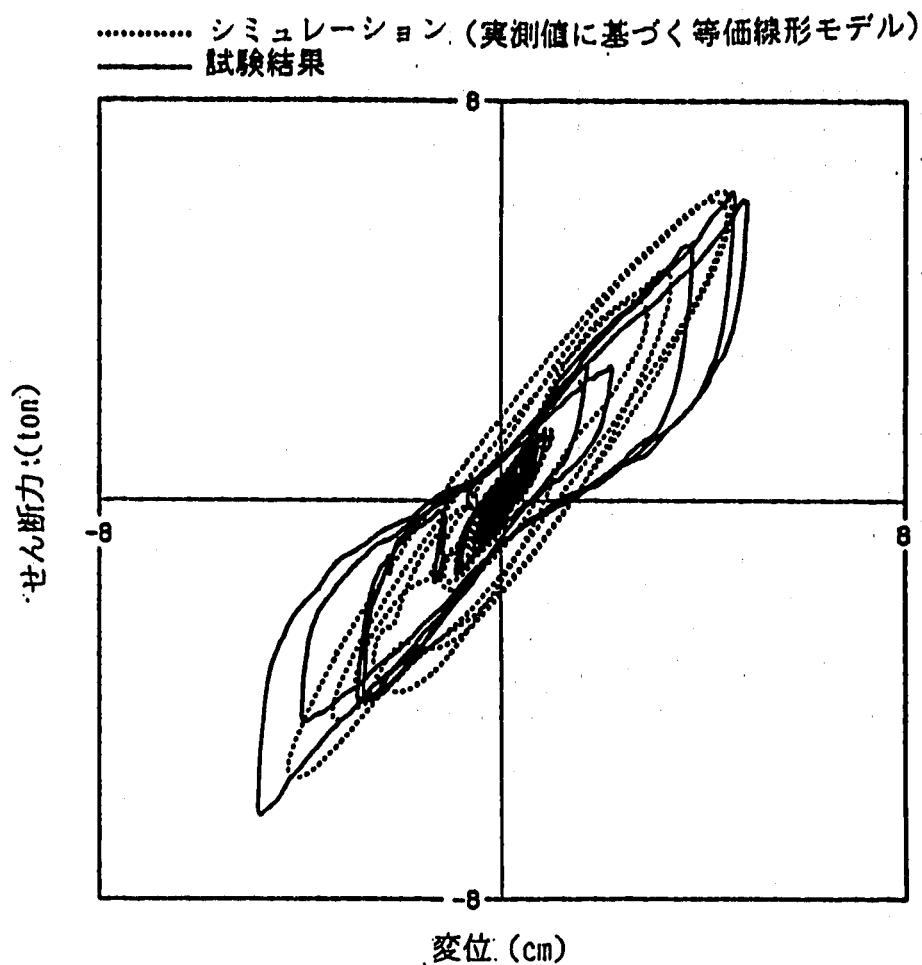


(a) 最大加速度分布



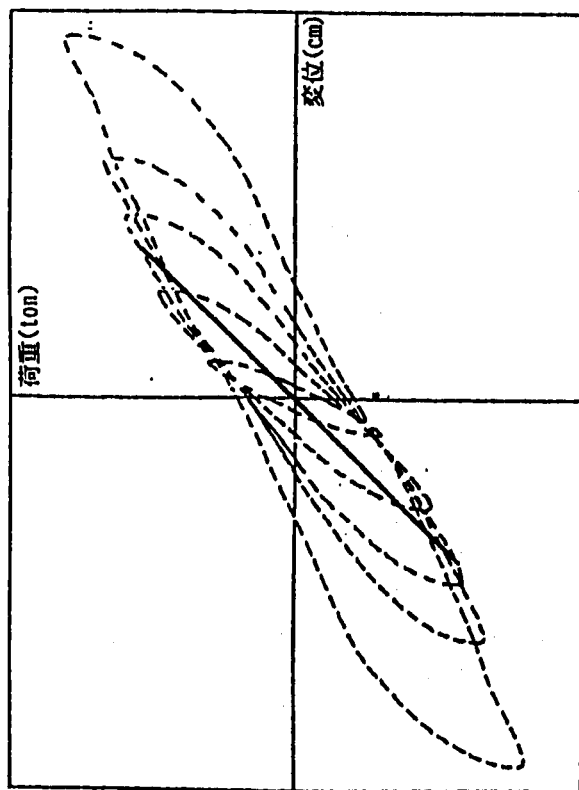
(b) 床応答スペクトル

付図119 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル E)
 A-Fig.119 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3BW, Model E)



付図120
 A-Fig.120

免震装置の履歴曲線 (LRB, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル E)
 Hysteresis Loop of Total Device
 (LRB, DAC2N Mass Model, 3BW, Model E)

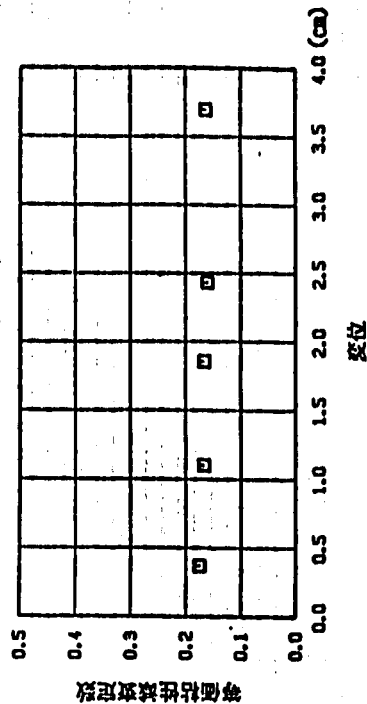
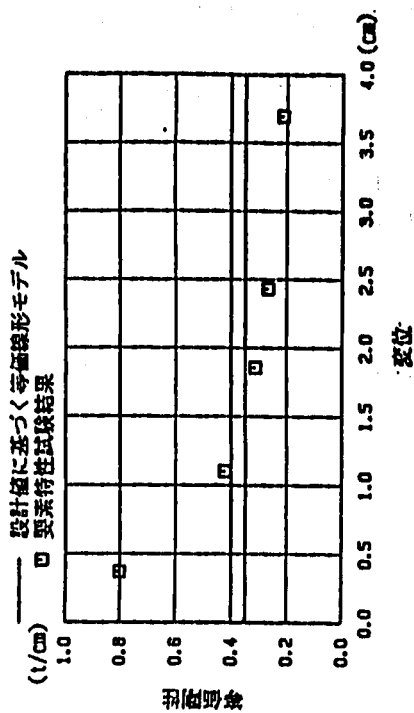


(a) 要素特性復元力と設計モデル復元力の比較

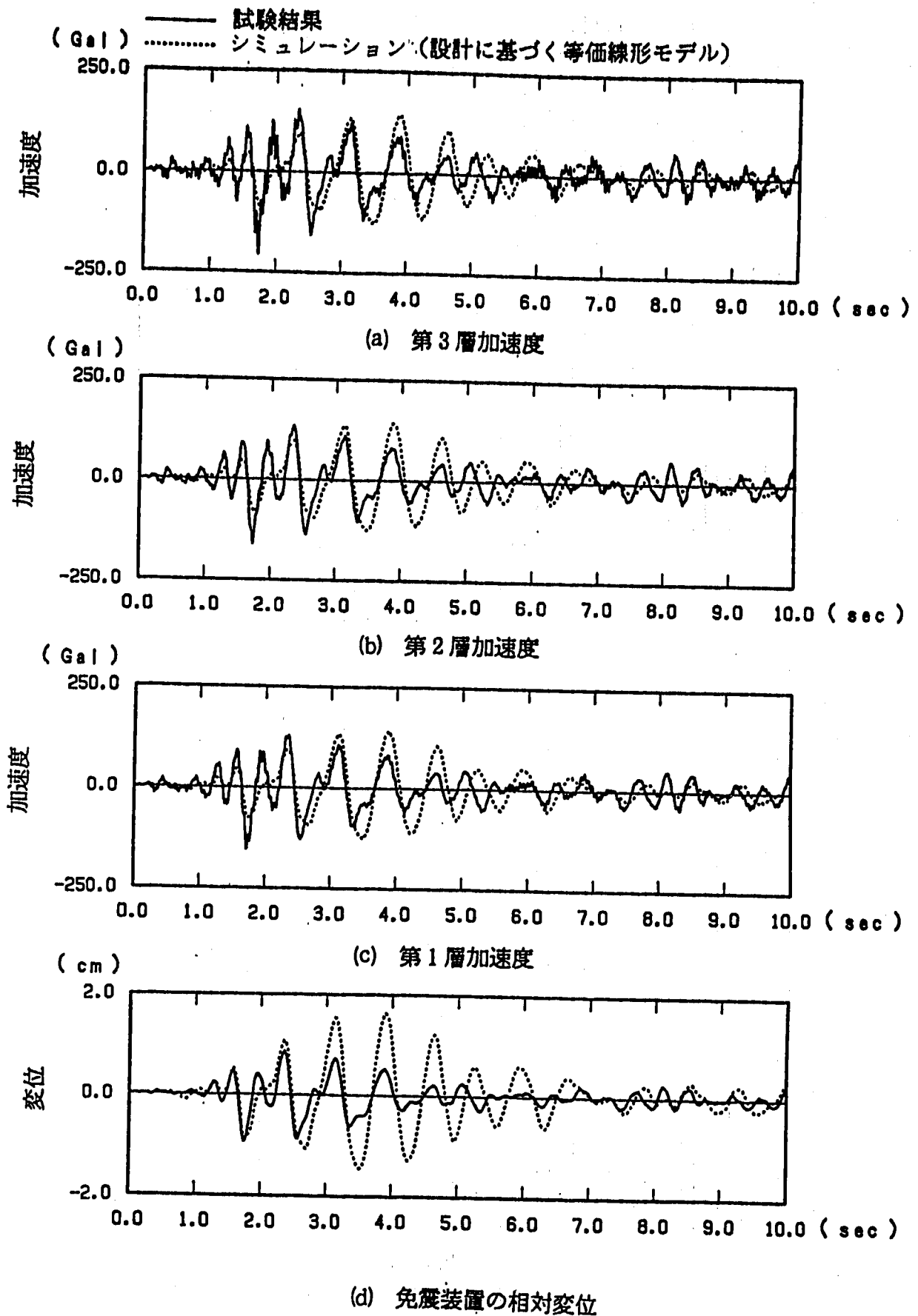
(b) 設計モデルの諸定数

免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
高減衰積層ゴム	1.3928	—	—	1.22×10^7	10.0

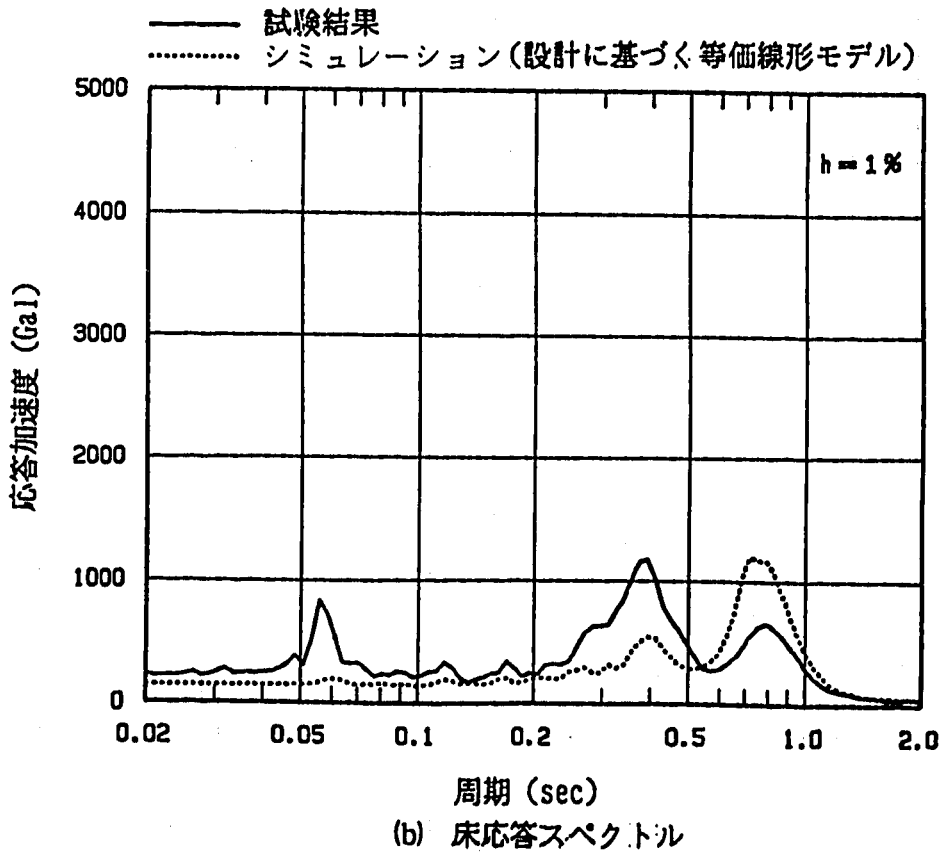
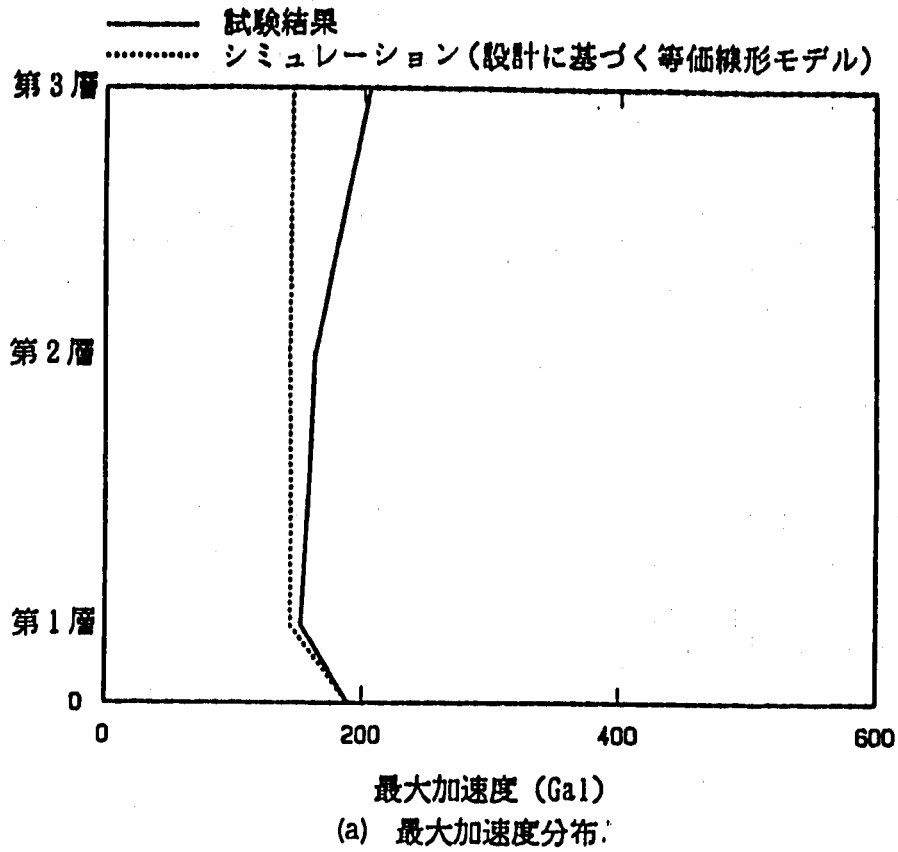
付図121 高減衰積層ゴムのモデル化
 (設計値に基づく等価線形モデル)
 A-Fig. 121 Simulation Model of High Damping Rubber Bearing
 (Equivalent-linear Model of Design Values)



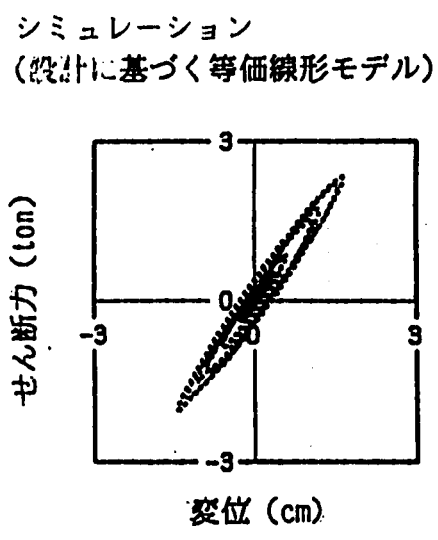
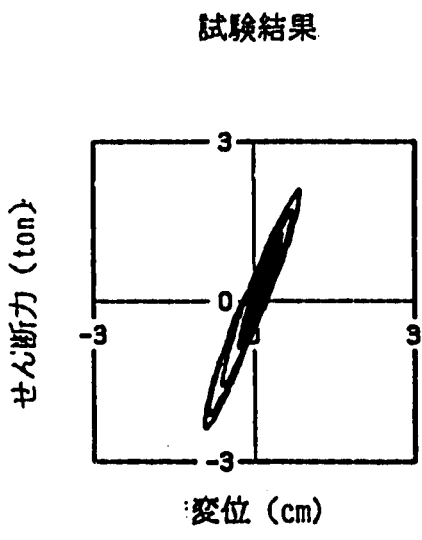
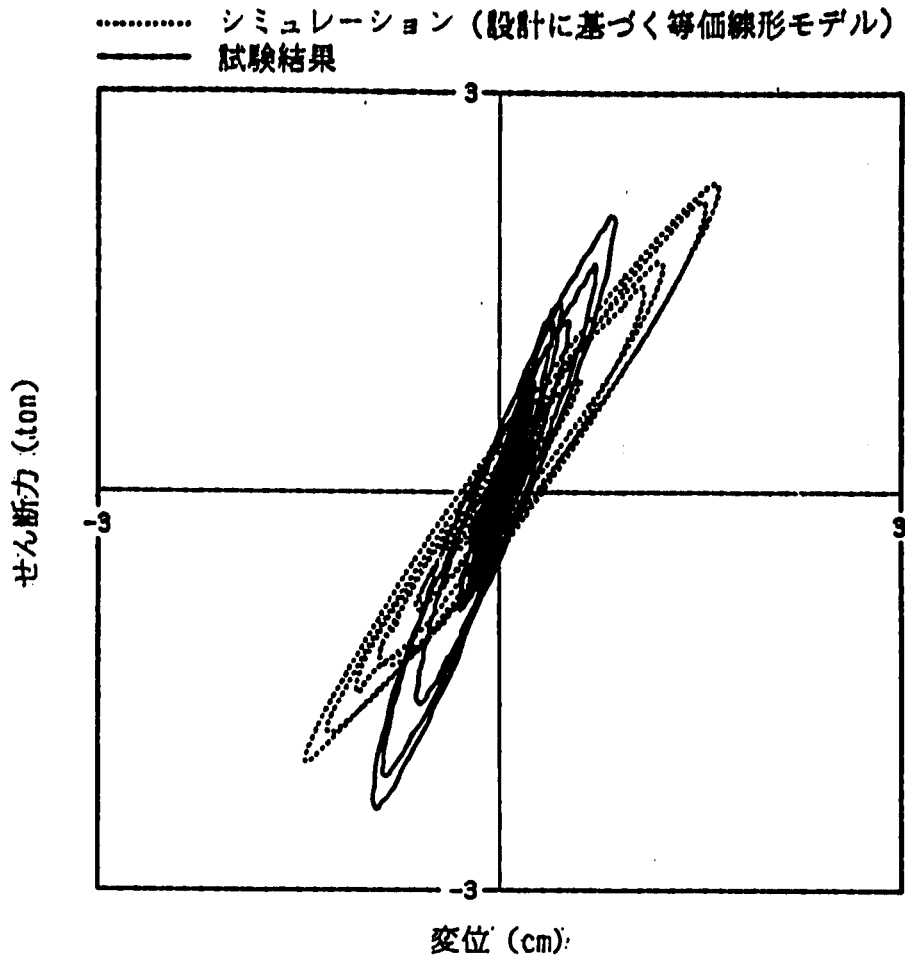
(c) 要素特性試験結果と設計モデル復元力特性の比較



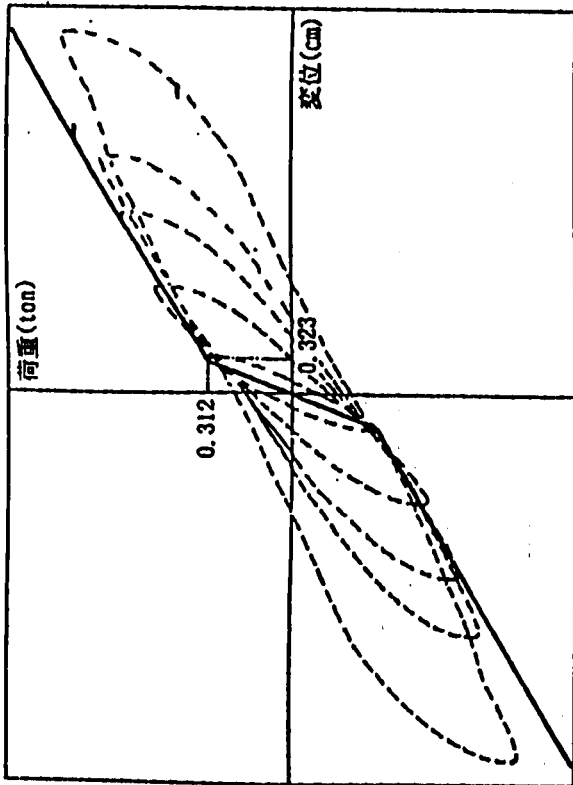
付図122 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-Fig.122 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



付図123 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデル A)
 A-Fig. 123 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, BW, Model A)



付図124 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデルA)
 A-Fig.124 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model A)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
高減衰積層ゴム	3.864	0.864	—	1.28×10^7	2.0

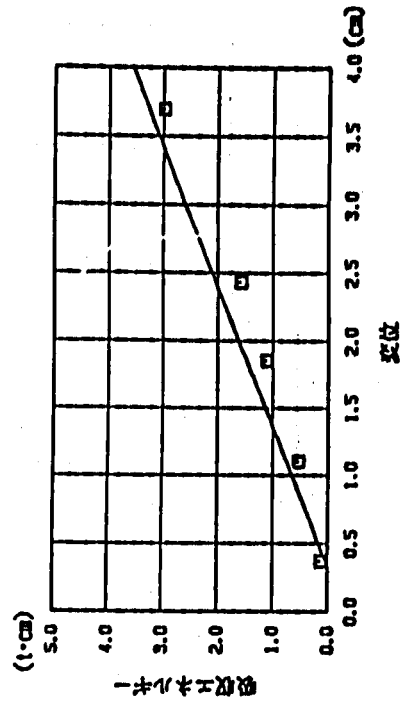
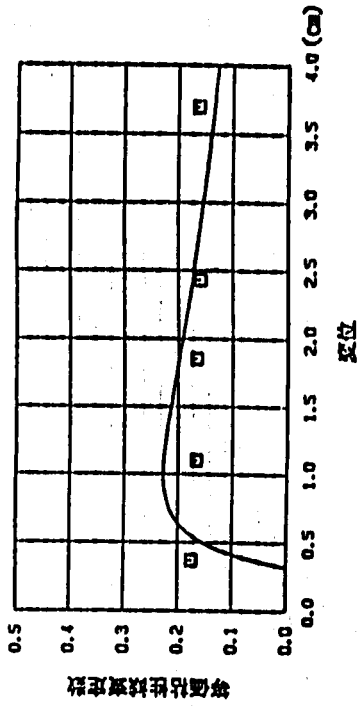
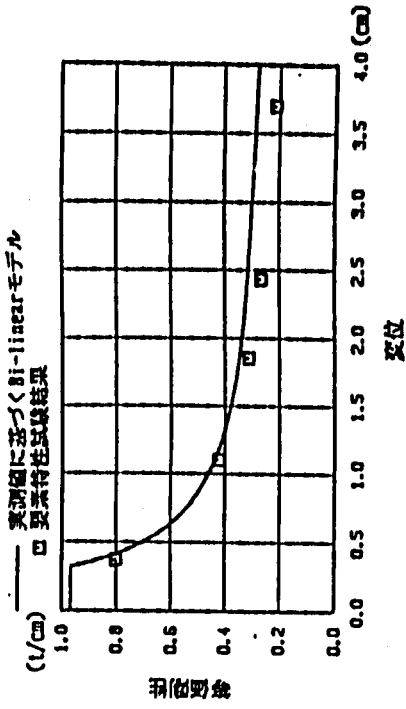
付図125

高減衰積層ゴムのモデル化

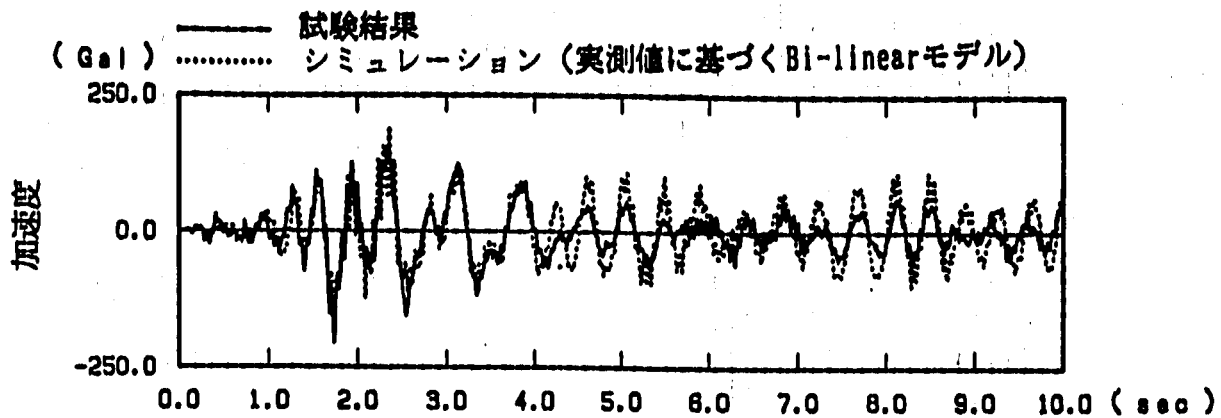
(実験値に基づくBi-linearモデル)

A-Fig. 125 Simulation Model of High Damping Rubber Bearing

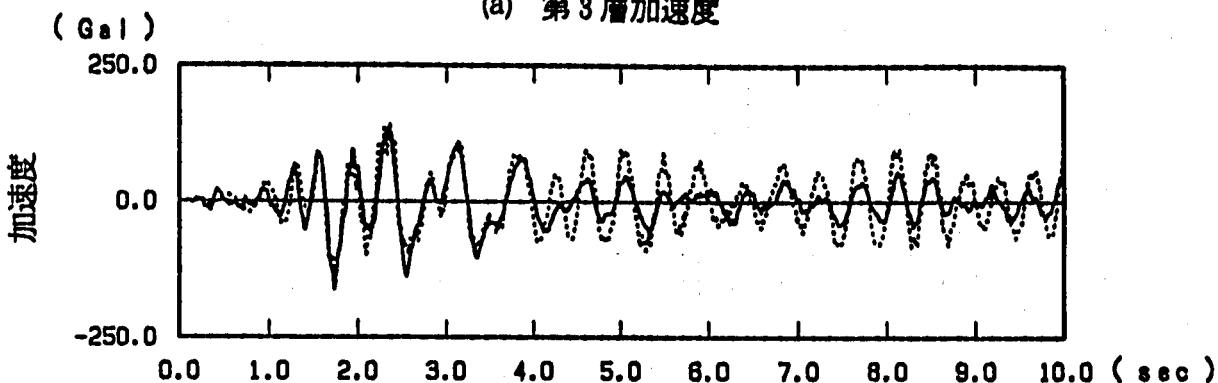
(Bi-linear Model of Experimental Values)



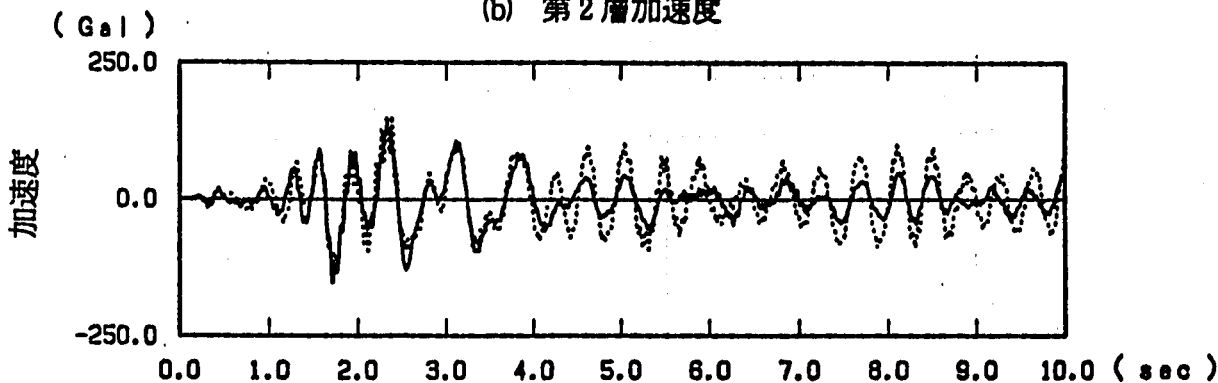
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較



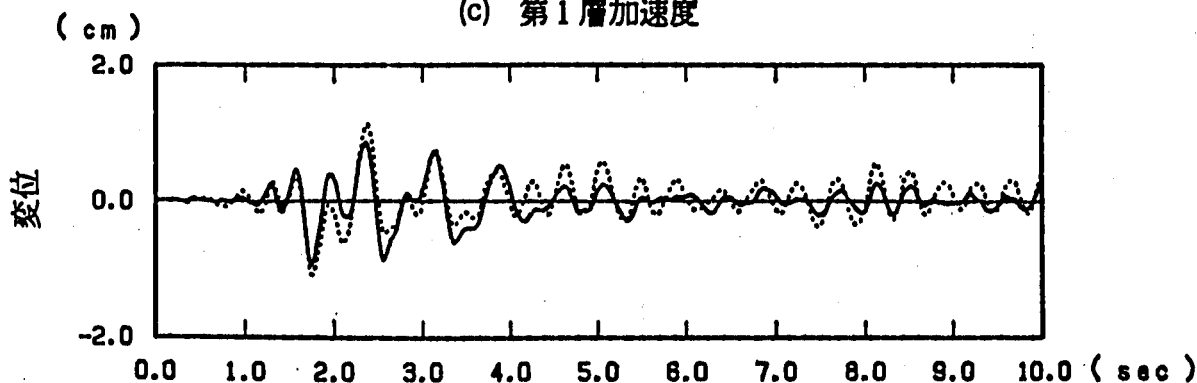
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度



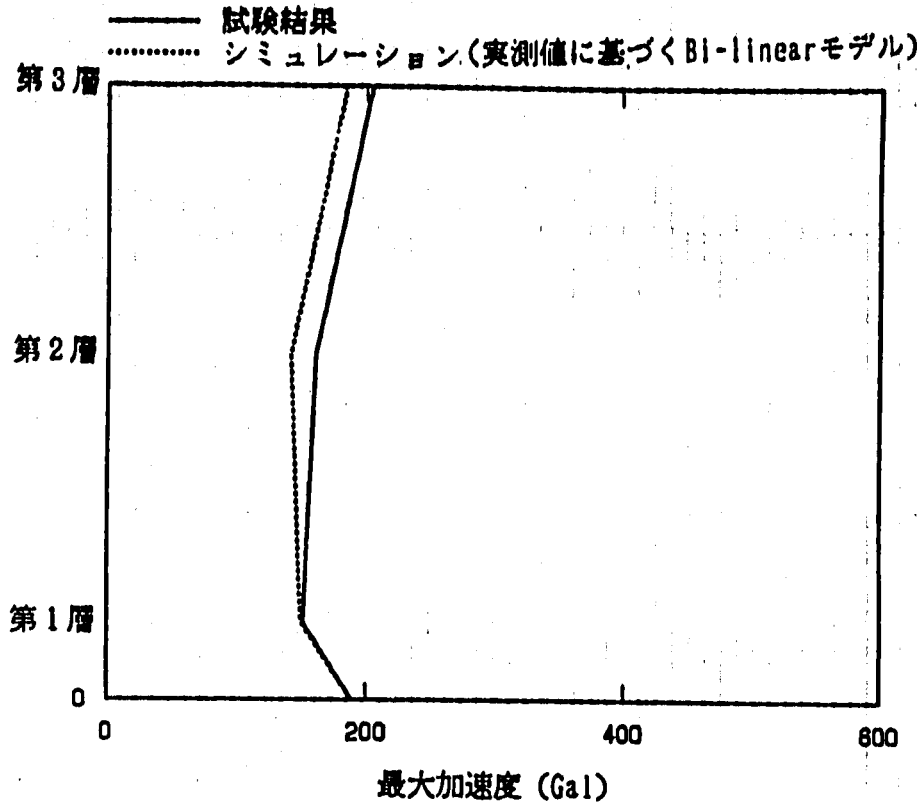
(c) 第1層加速度



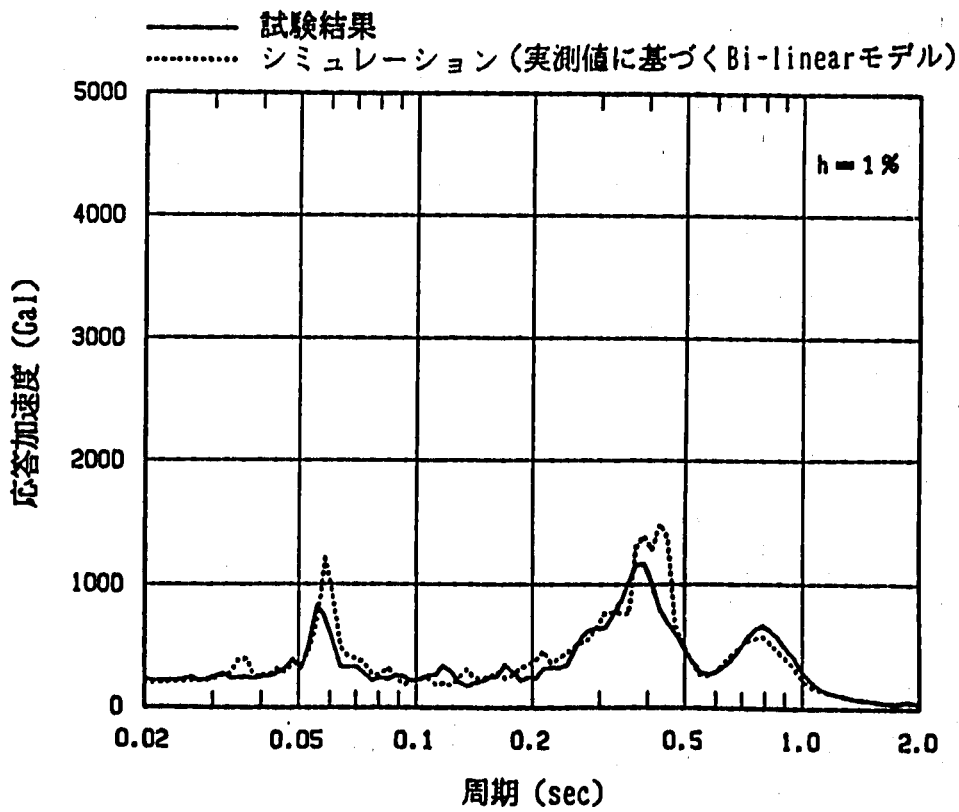
(d) 免震装置の相対変位

付図126
 A-Fig.126

加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデルB)
 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, BW, Model B)

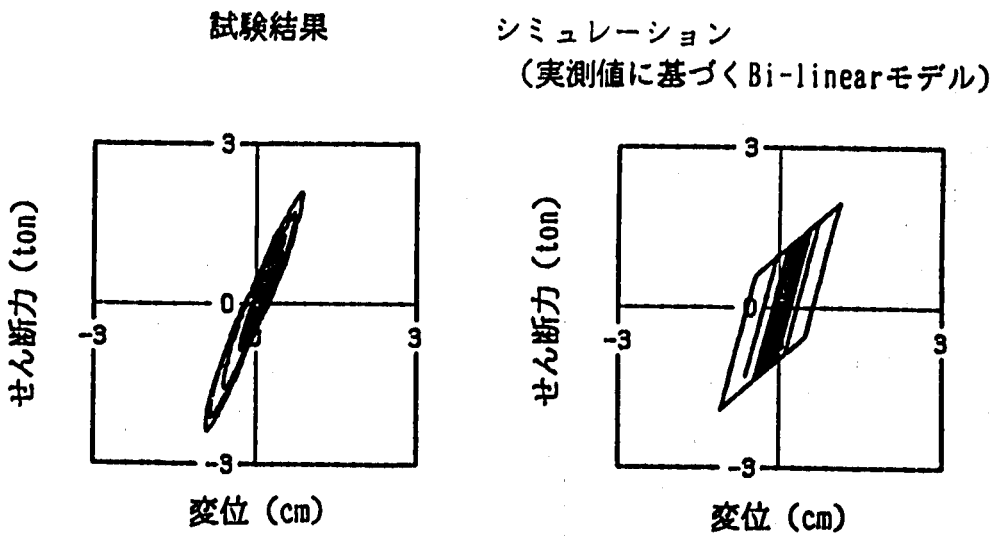
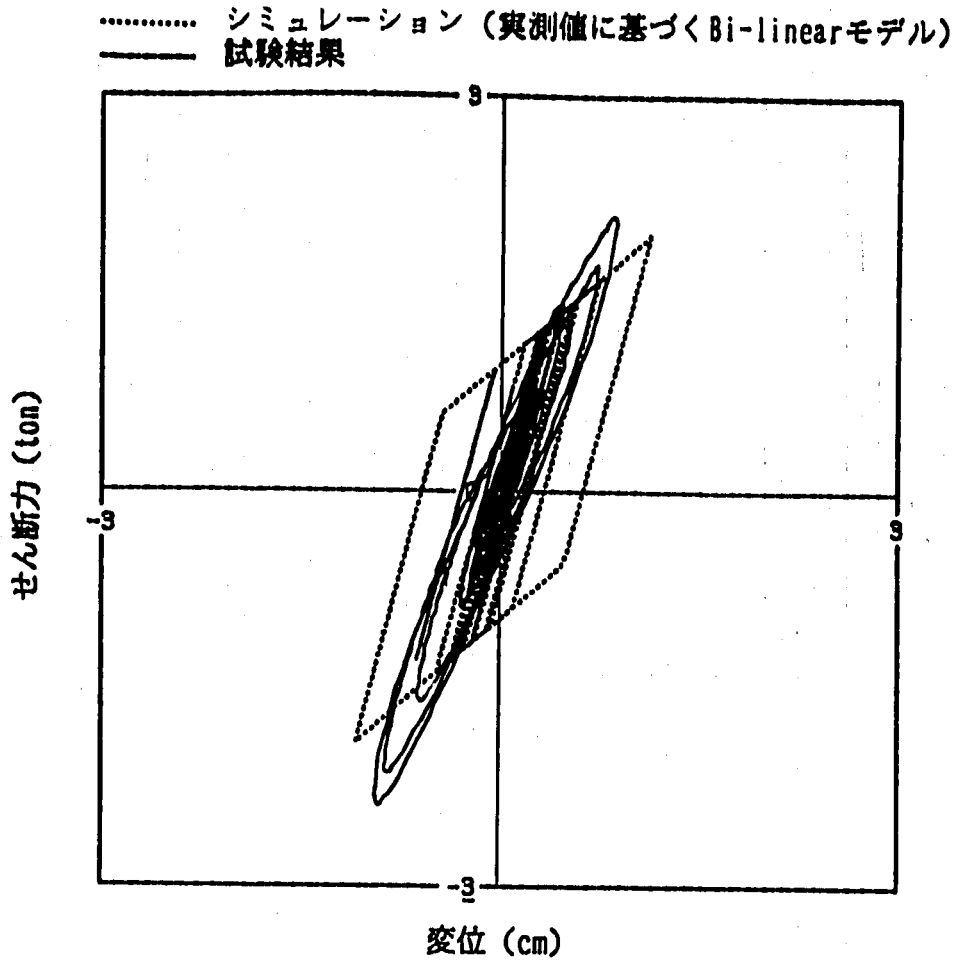


(a) 最大加速度分布

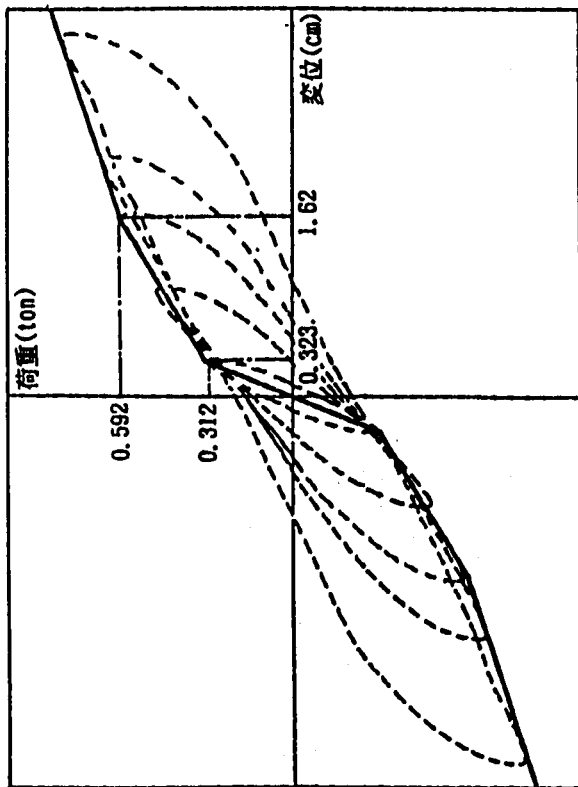


(b) 床応答スペクトル

付図127 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデル B)
 A-Fig.127 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, BW, Model B)



付図128 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデル B)
 A-Fig.128 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model B)

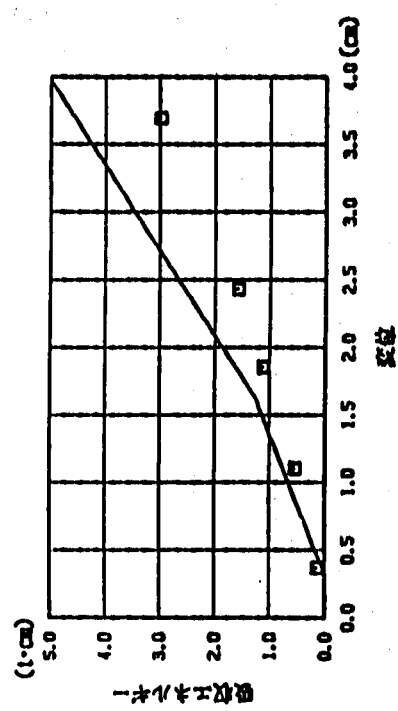
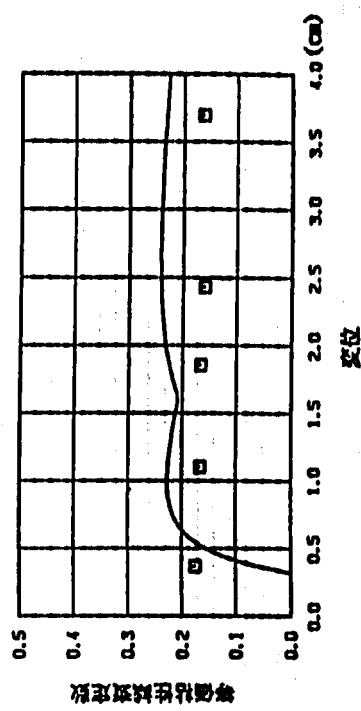
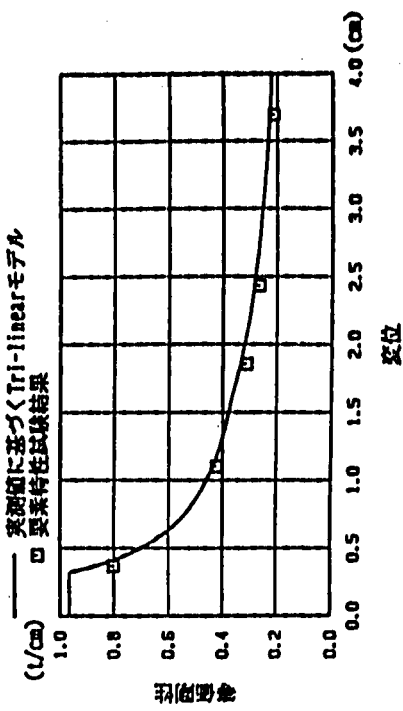


(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

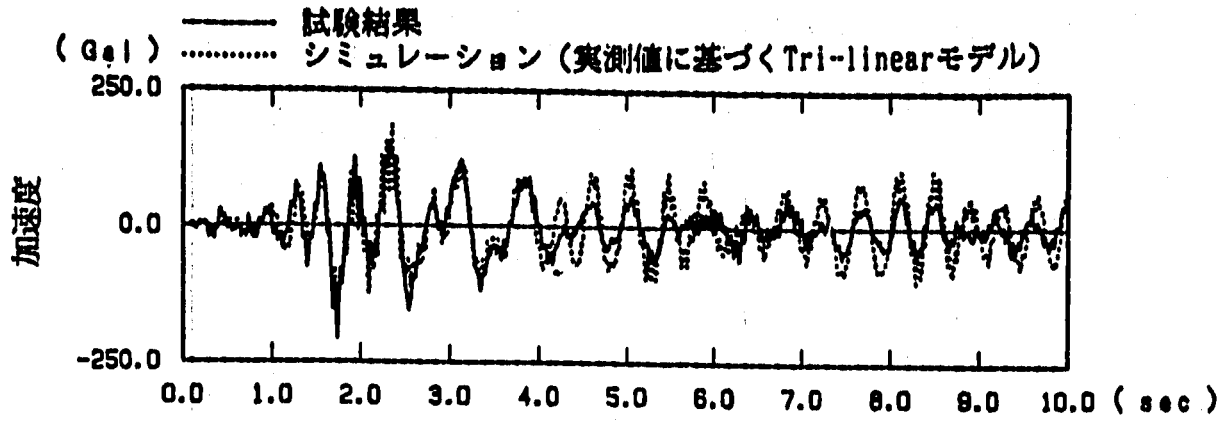
(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (%)
高減衰積層ゴム	3.864	0.864	0.484	1.28×10^7	2.0

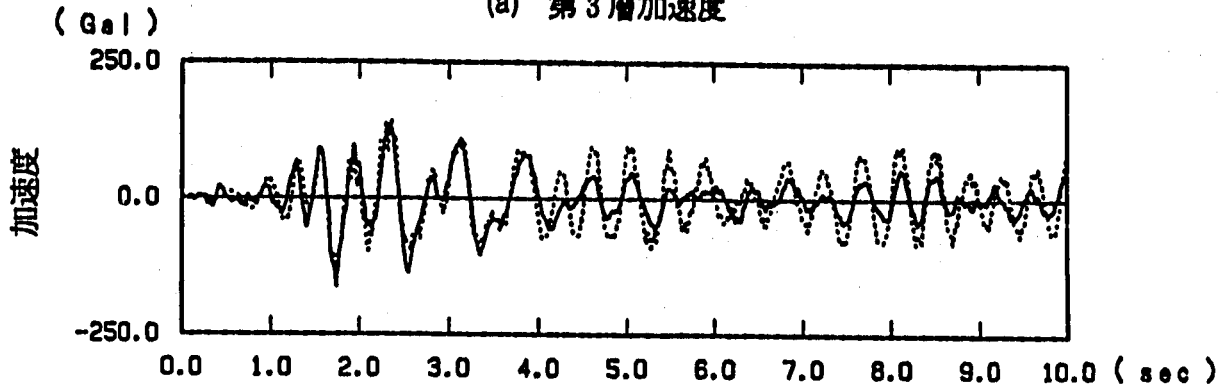
付図129 高減衰積層ゴムのモデル化
 (実験値に基づくTri-linearモデル)
 A-Fig.129 Simulation Model of High Damping Rubber Bearing
 (Tri-linear Model of Experimental Values)



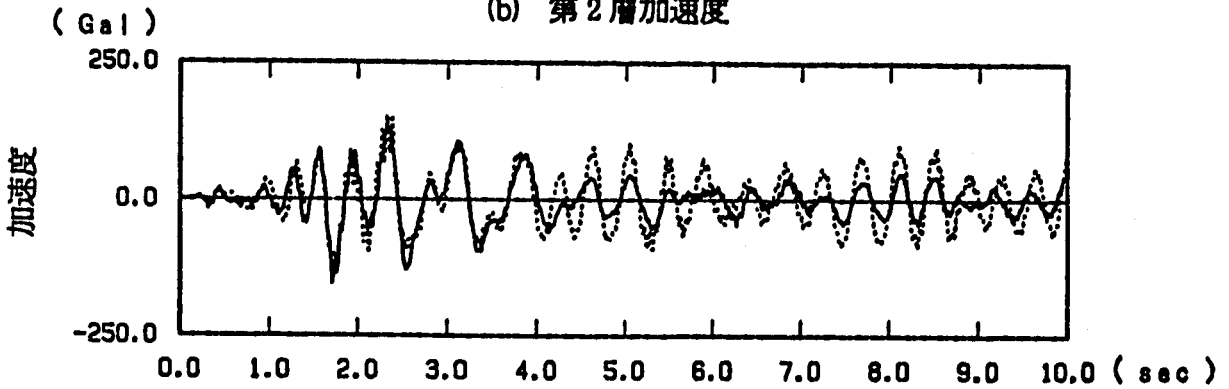
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較



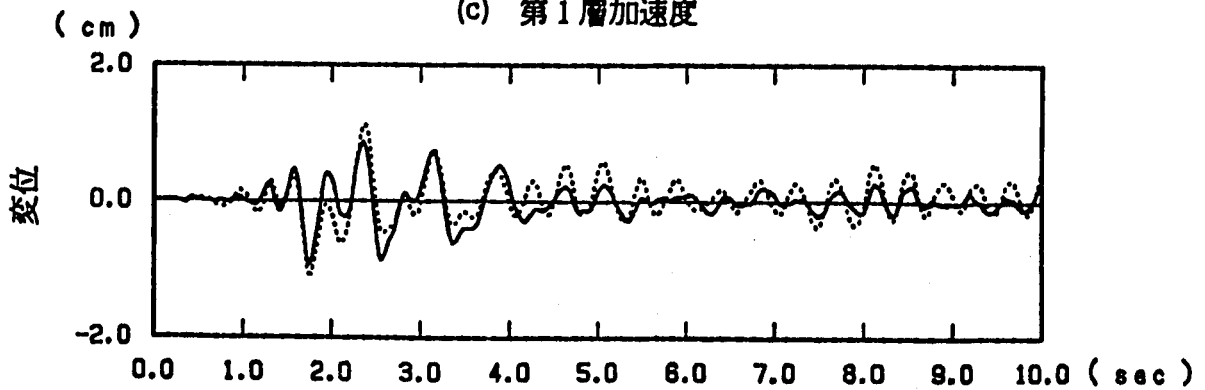
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

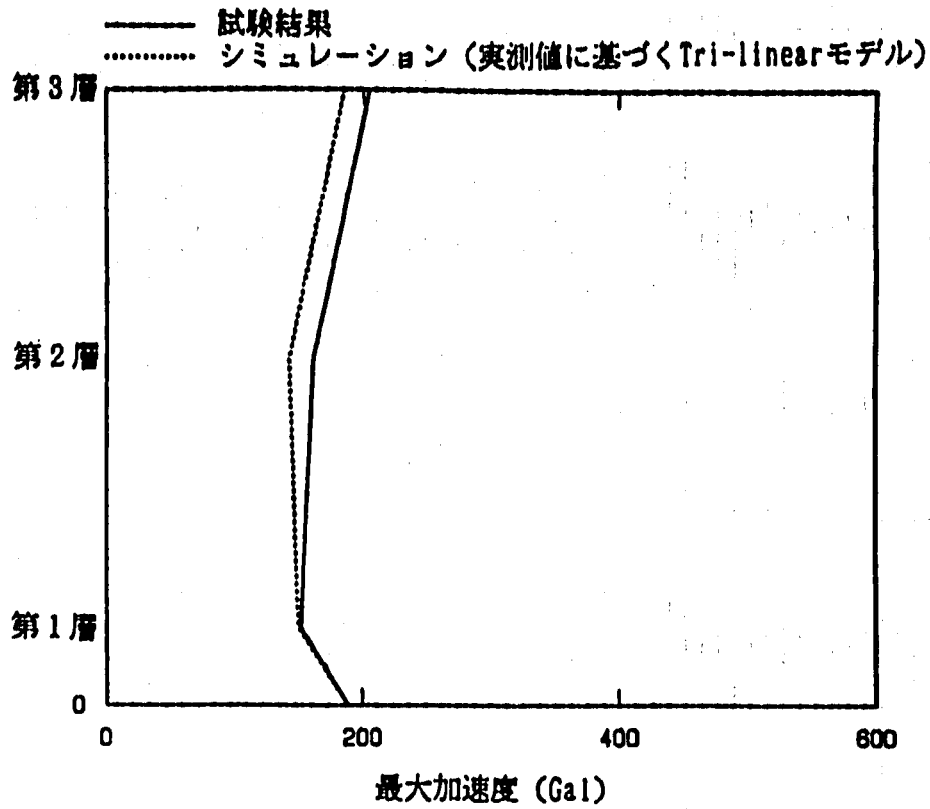


(c) 第1層加速度

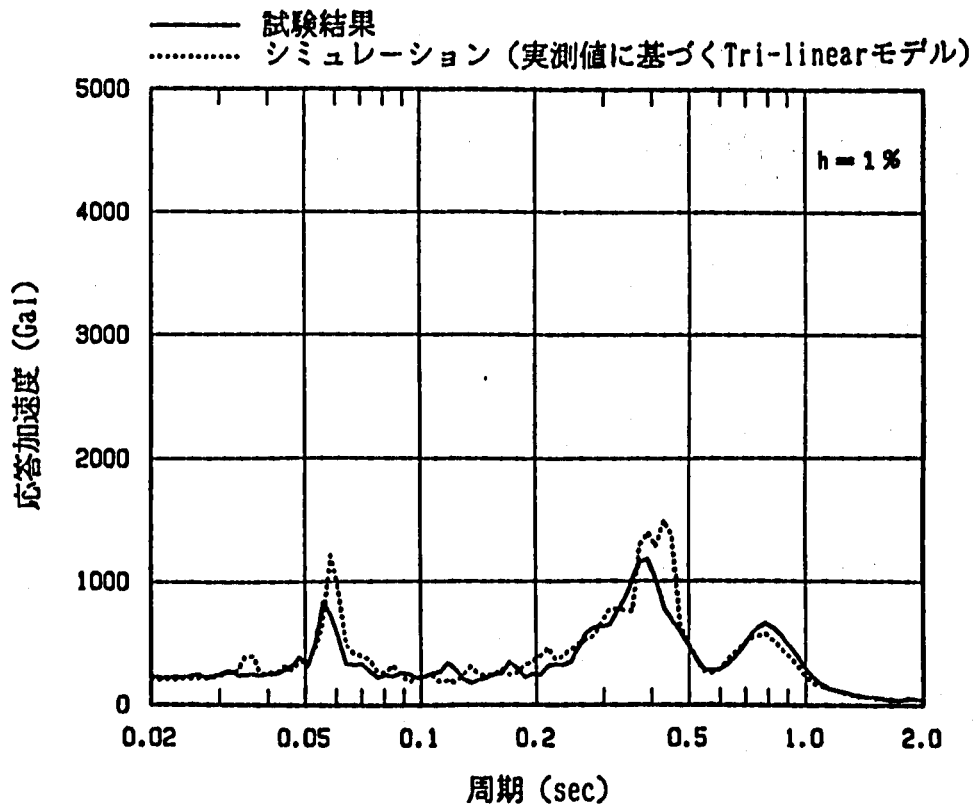


(d) 免震装置の相対変位

付図130 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデルC)
 A-Fig.130 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model C)

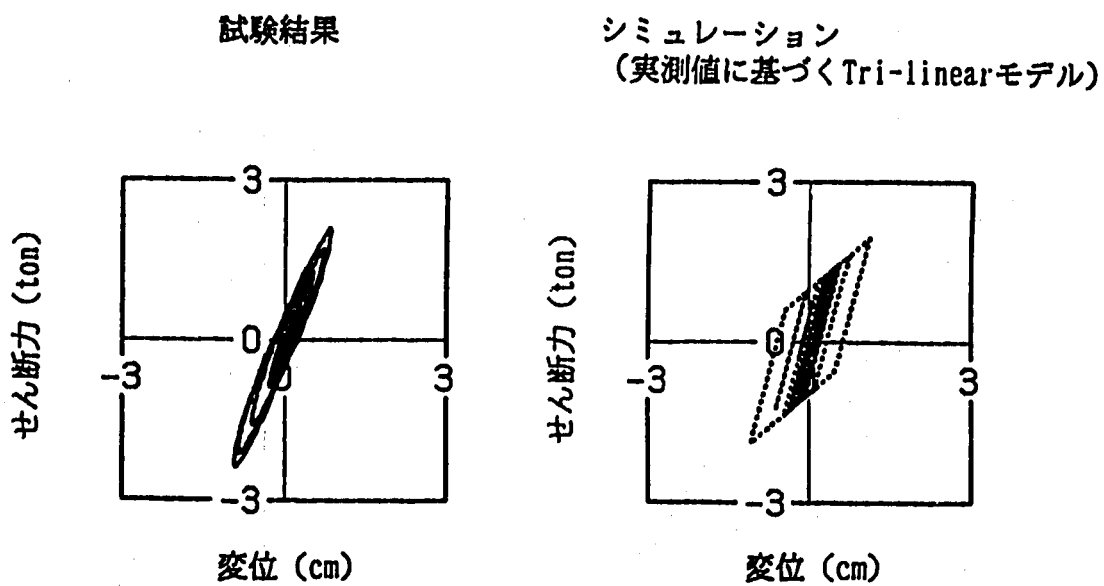
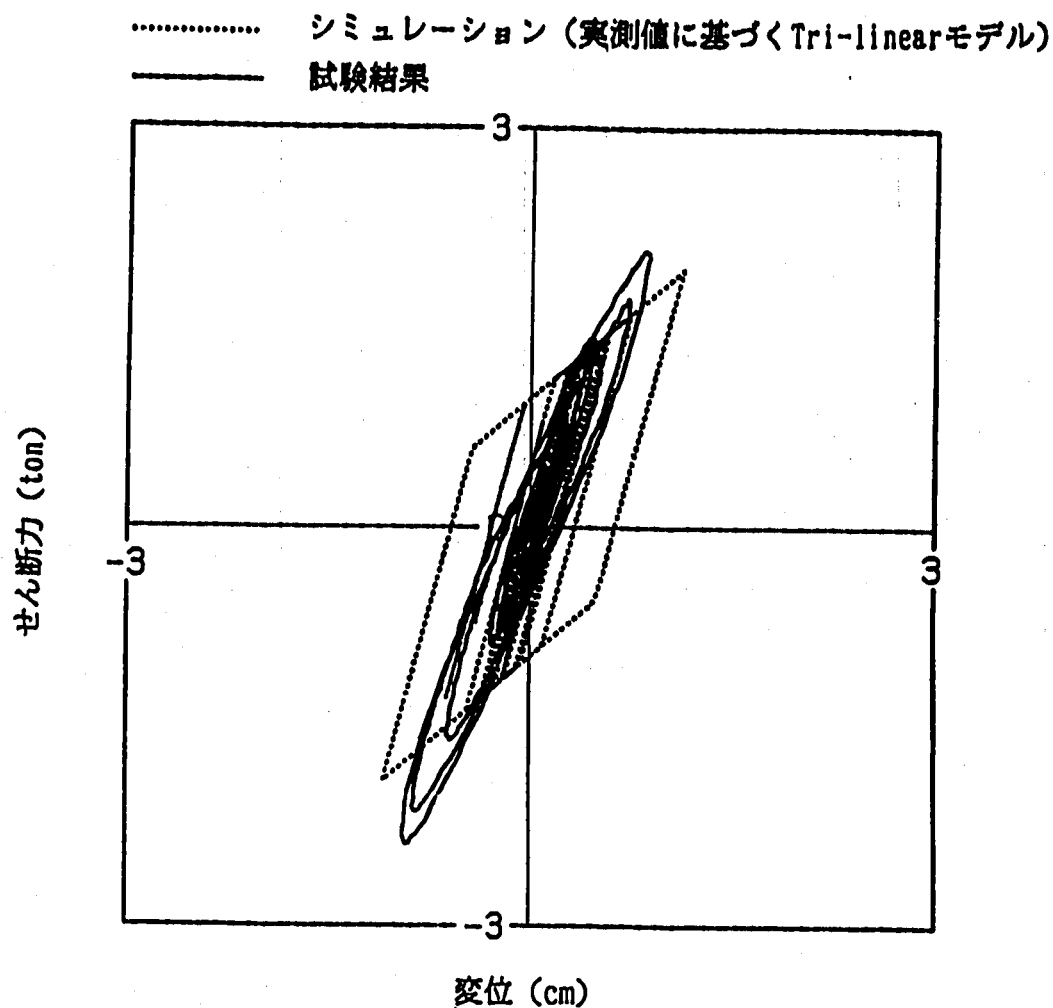


(a) 最大加速度分布

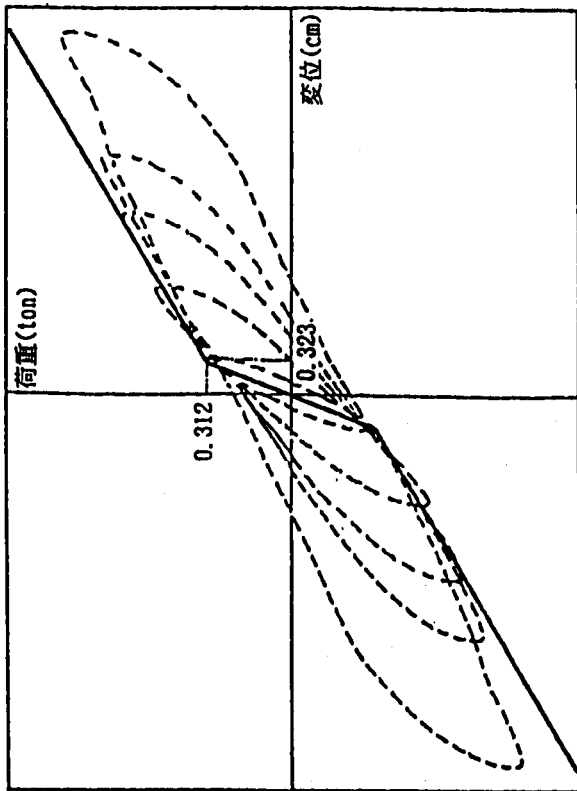


(b) 床応答スペクトル

付図131 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデルC)
 A-Fig.131 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, BW, Model C)



付図132 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデルC)
 A-Fig.132 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, BW, Model C)



(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

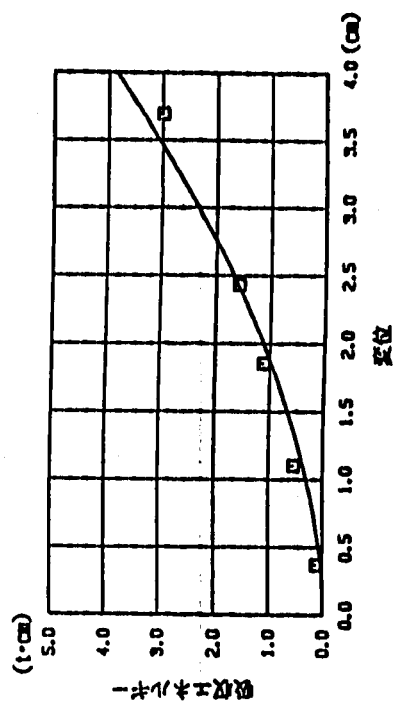
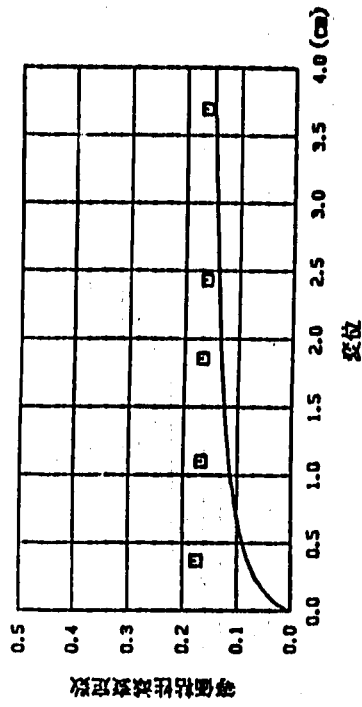
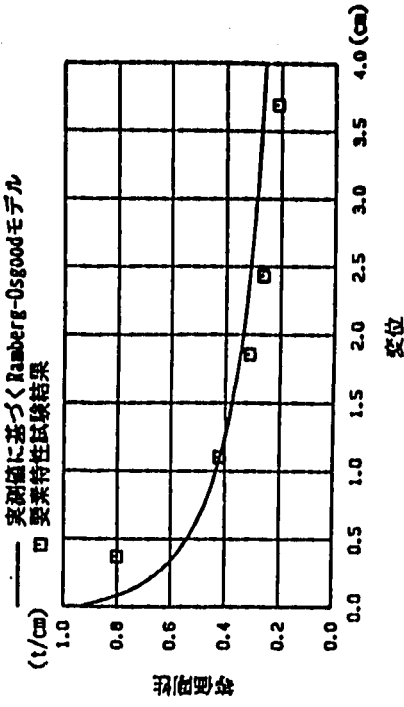
(b) シミュレーションモデルの諸定数

免震装置	第1剛性 (t/cm)	第2剛性 (t/cm)	第3剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	減衰定数 (C)
	3.864	0.864	—	1.28×10^7	2.0
高減衰積層ゴム	ヒヤシロフ 形状係数			無次元化基準復元力, 変位	
	α	β	γ	$F r$	δr
	0.2558	0.1904	1.9398	2.58 ton	1.86 cm

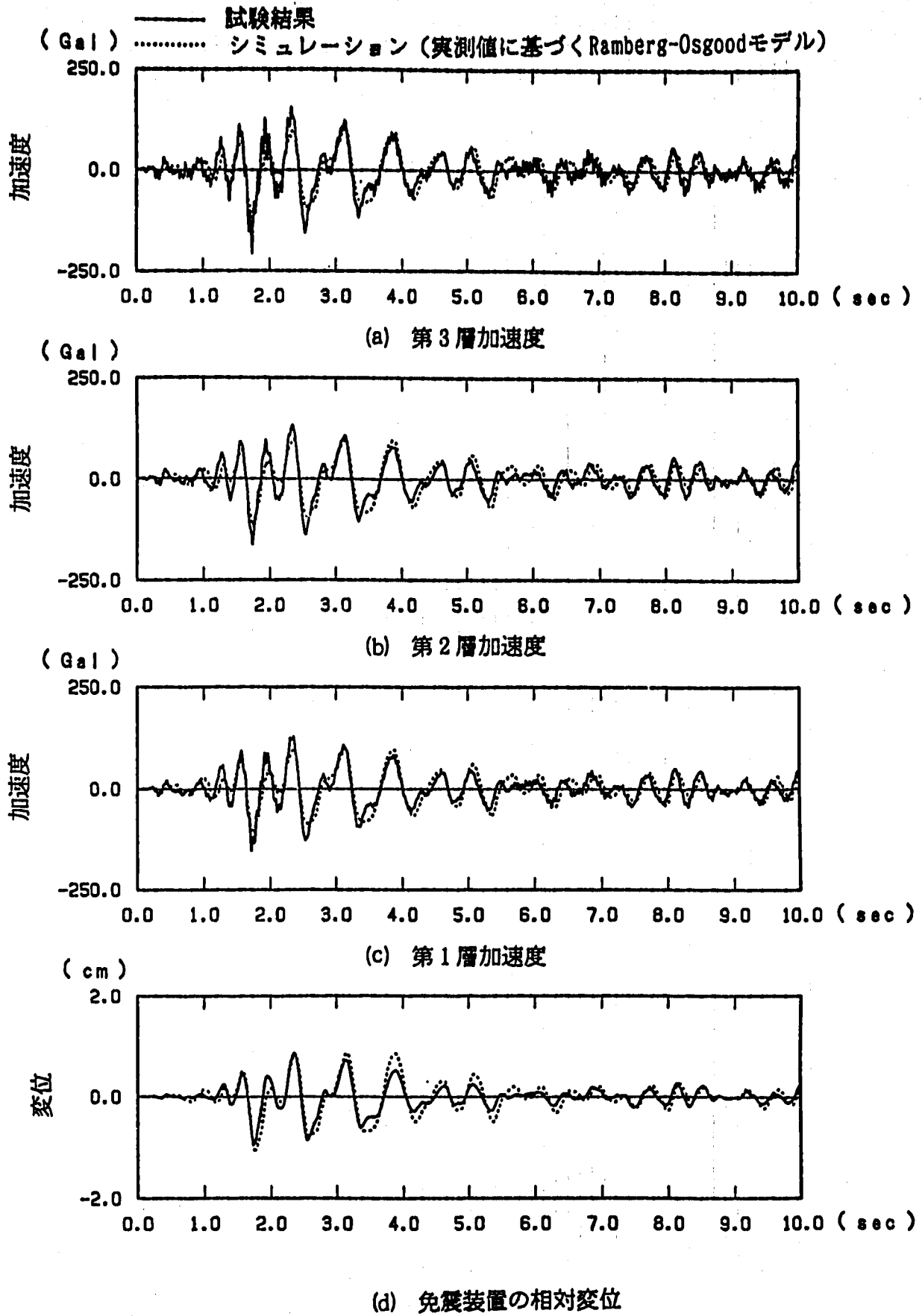
付図133 高減衰積層ゴムのモデル化

(実験値に基づくRamberg-Osgoodモデル)

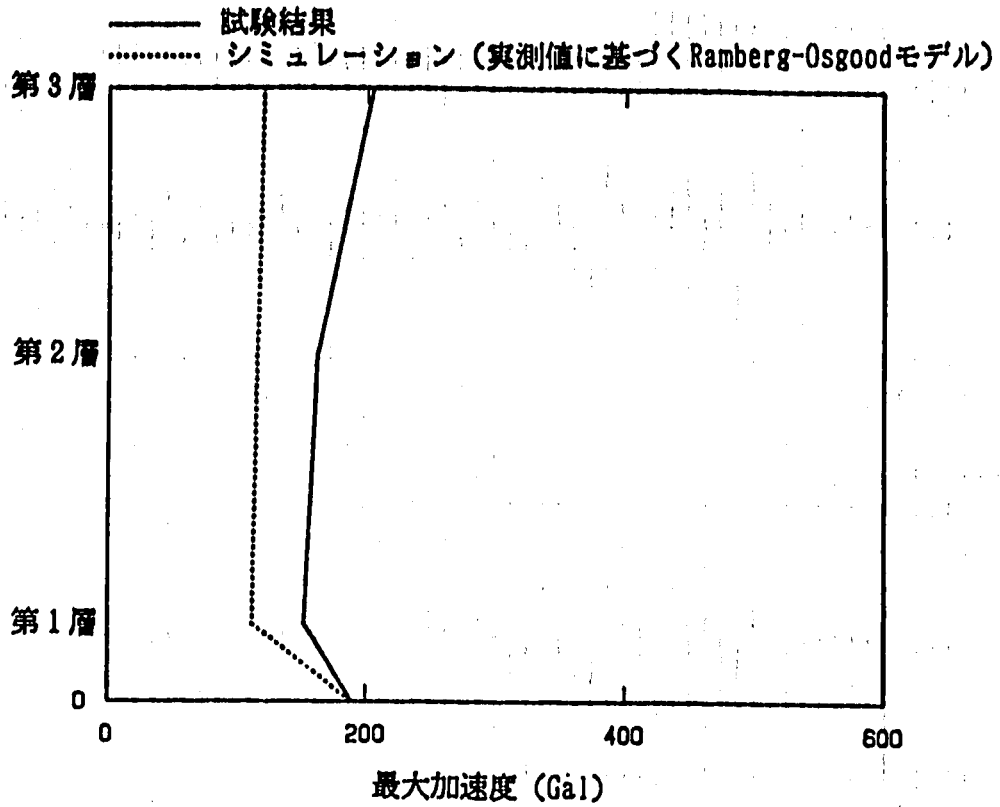
A-Fig. 133 Simulation Model of High Damping Rubber Bearing (Ramberg-Osgood Model of Experimental Values)



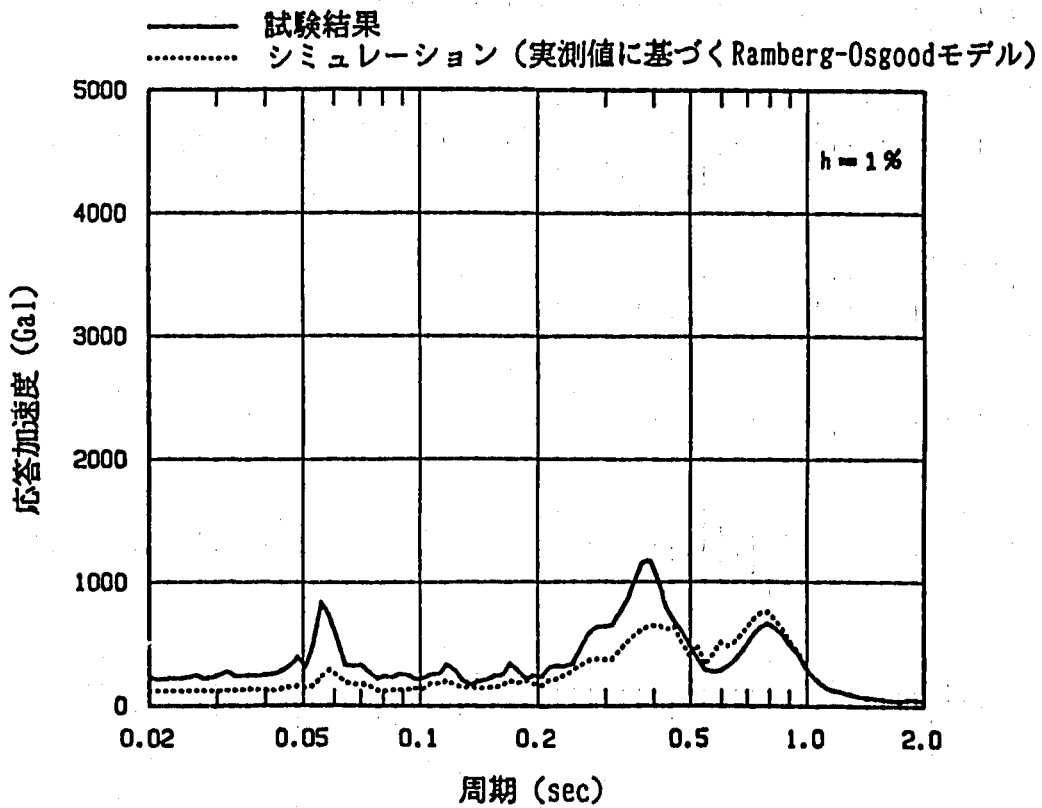
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較



付図134 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig.134 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model D)

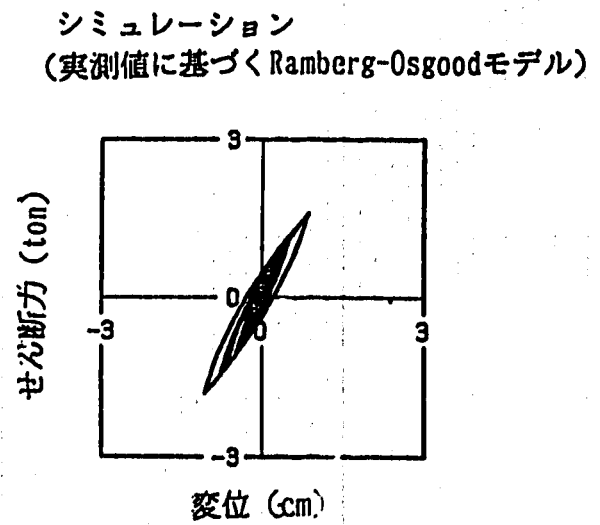
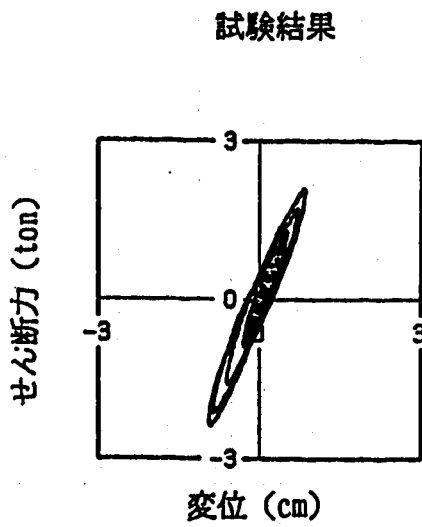
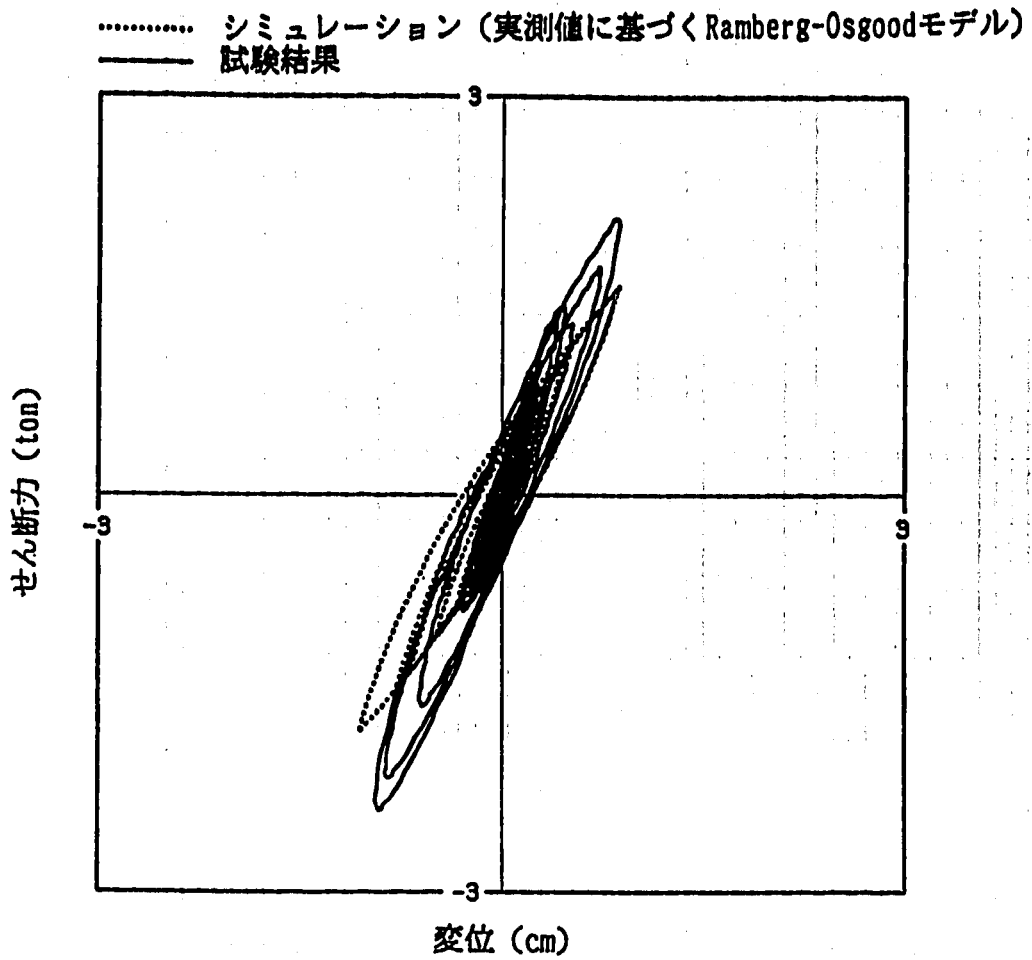


(a) 最大加速度分布

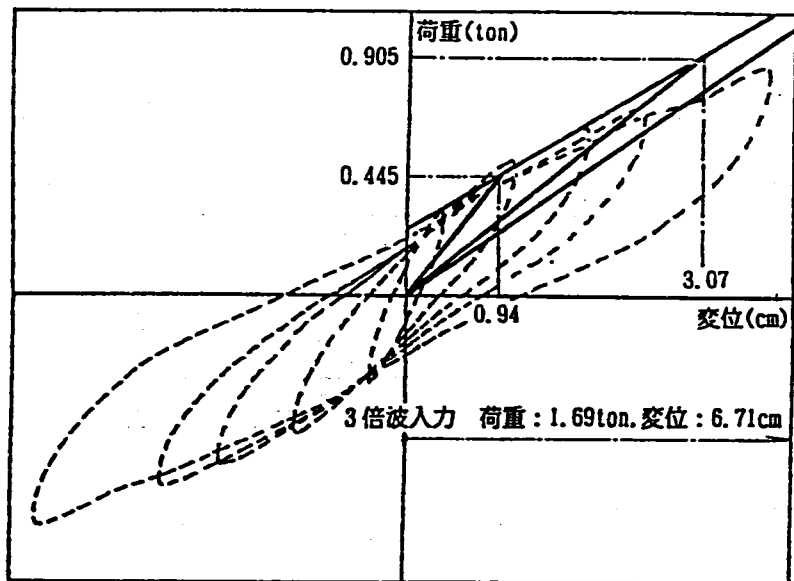


(b) 床応答スペクトル

付図135 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig.135 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model D)



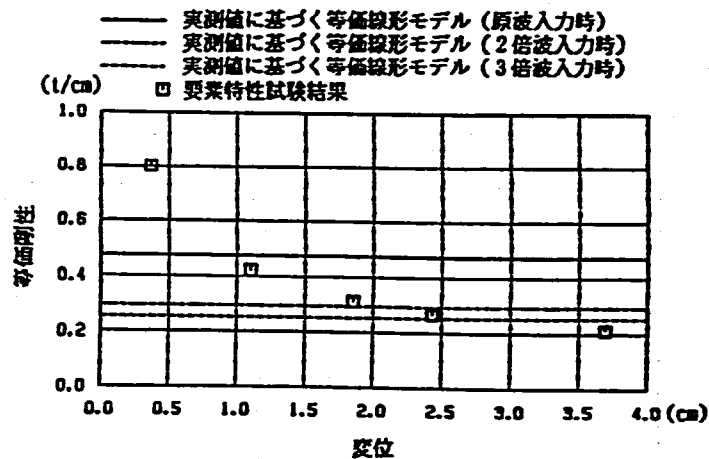
付図136 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデルD)
 A-Fig.136 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model D)



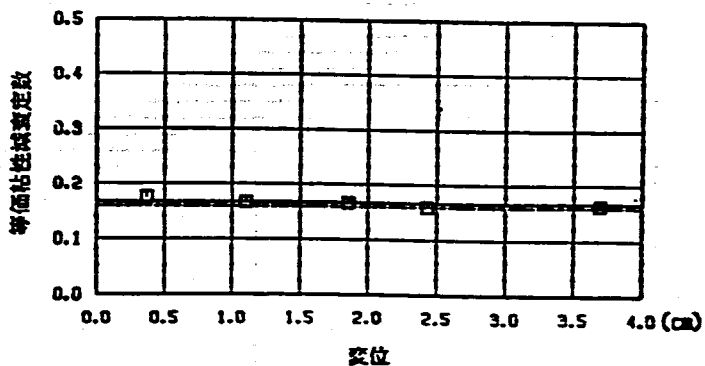
(a) 要素特性復元力のシミュレーションモデル化

(b) シミュレーションモデルの諸定数

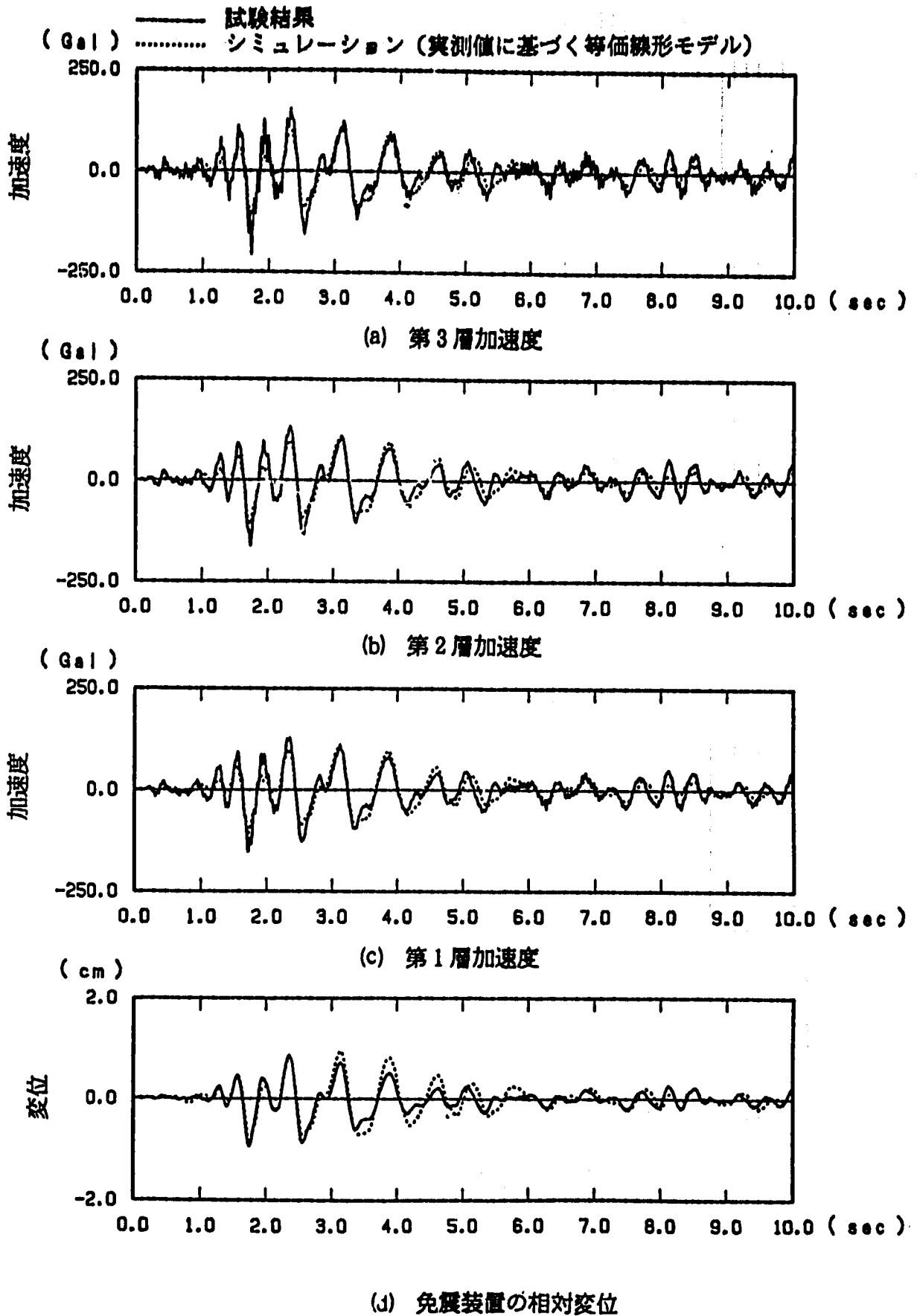
免震装置	1次剛性 (t/cm)	2次剛性 (t/cm)	3次剛性 (t/cm)	回転剛性 (t cm/rad)	鉛直剛性 (t/cm)
高減衰積層ゴム	1.892	1.180	1.008	1.28×10^7	816
	等価粘性減衰定数 (%)			備考: 水平剛性は試験結果応答変位と要素特性の骨格曲線から推定	
	16.7	16.0	16.0		



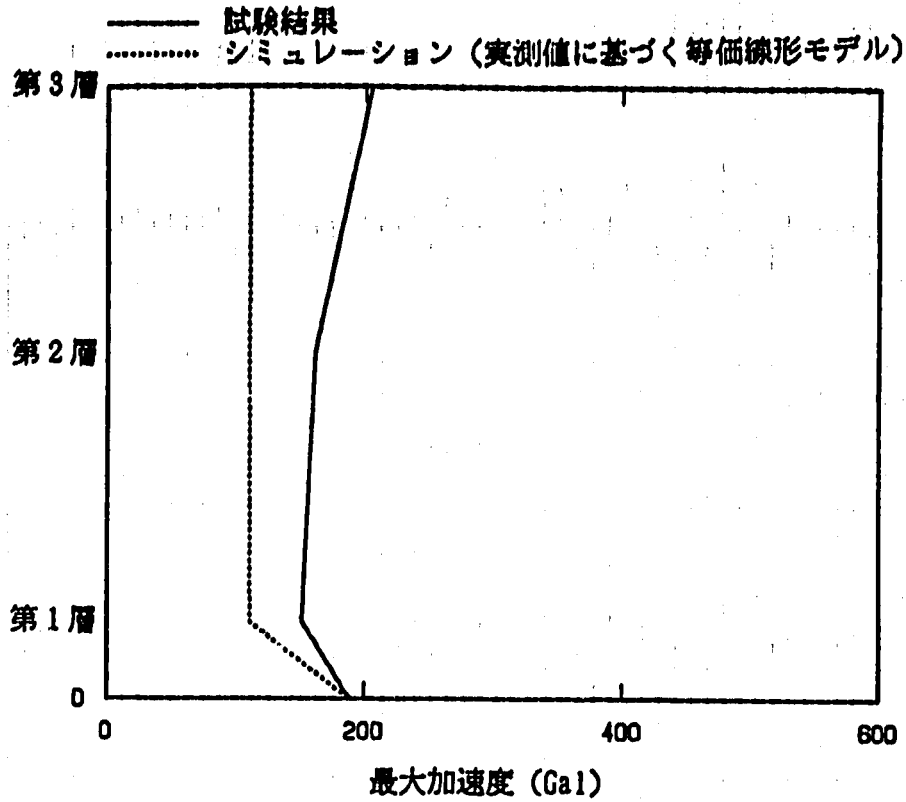
(c) 要素特性試験結果とシミュレーションモデルの復元力特性の比較



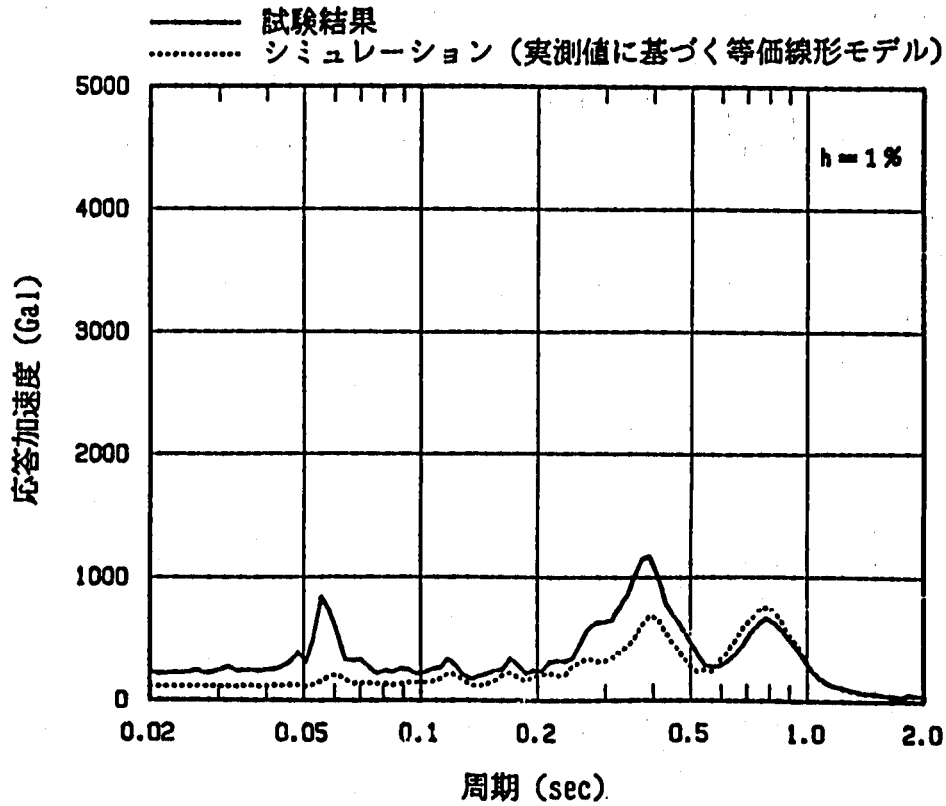
付図137 高減衰積層ゴムのモデル化
(実験値に基づく等価線形モデル)
A-Fig.137 Simulation Model of High Damping Rubber Bearing
(Equivalent-linear Model of Experimental Values)



付図138 加速度及び変位応答時刻歴) HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデルE)
 A-Fig.138 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model E)

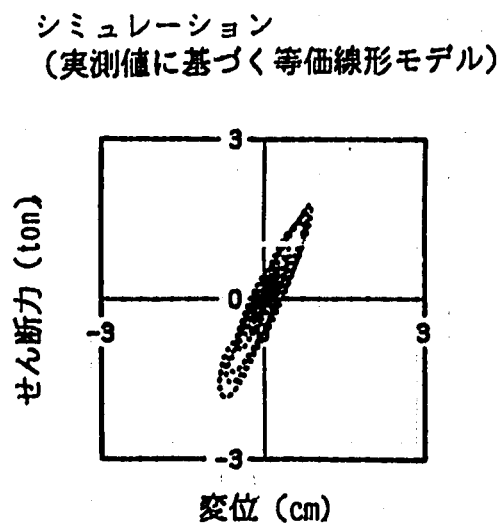
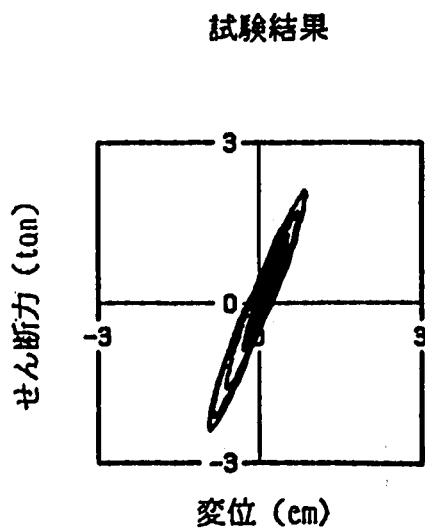
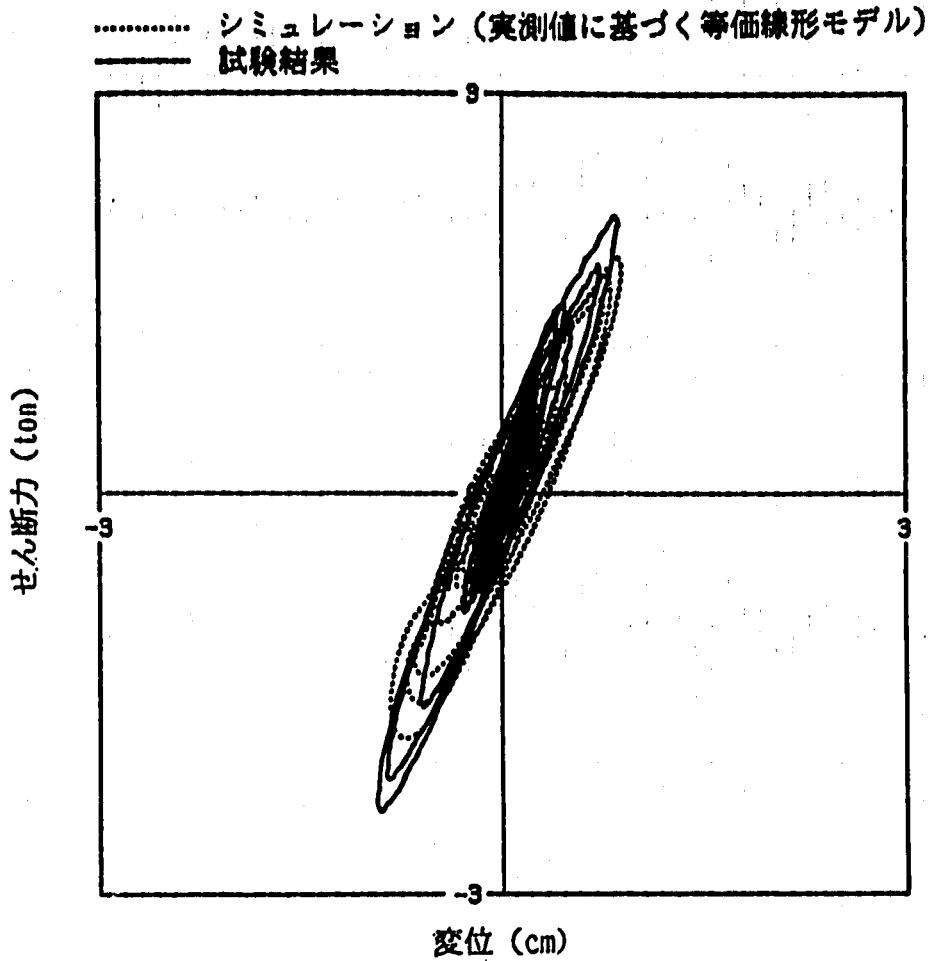


(a) 最大加速度分布

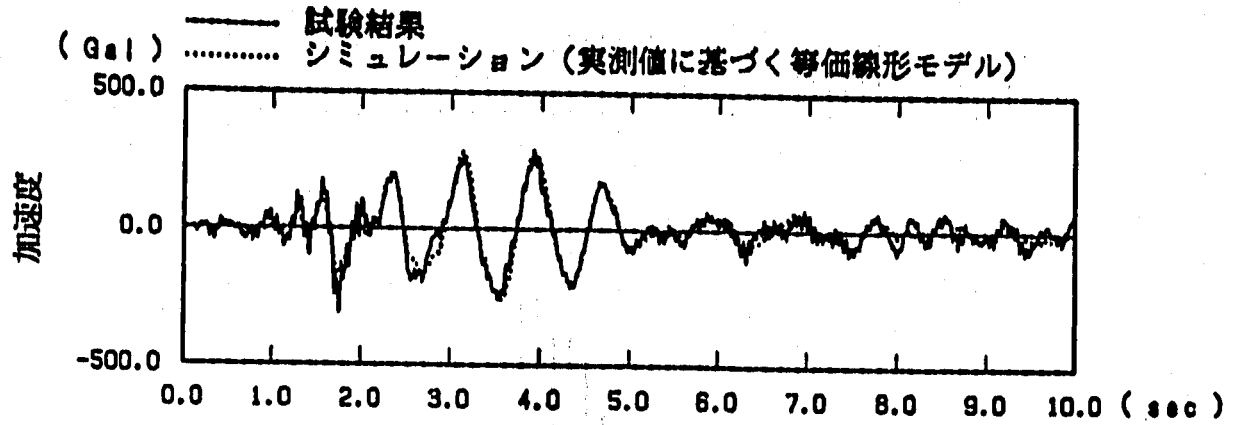


(b) 床応答スペクトル

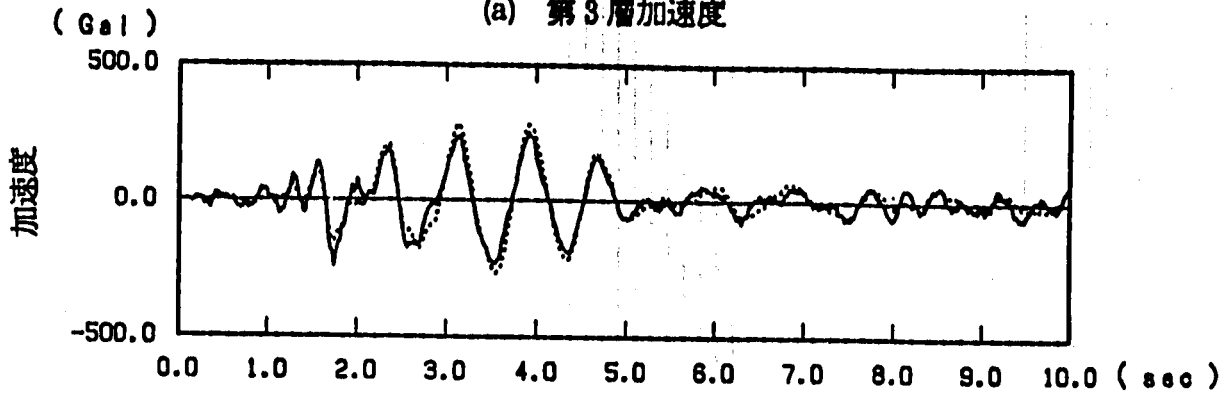
付図139 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, EW, モデル E)
 A-Fig.139 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, EW, Model E)



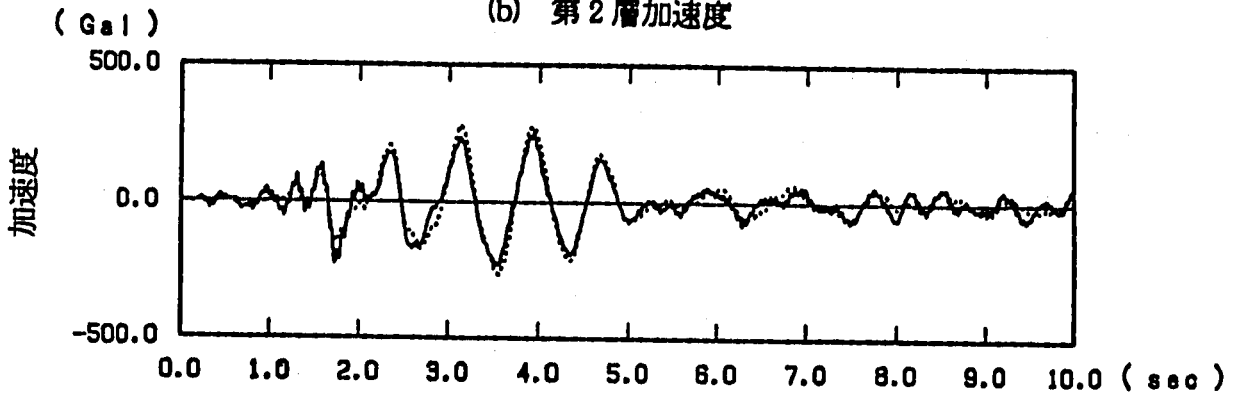
付図140 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, BW, モデルE)
 A-Fig.140 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, BW, Model E)



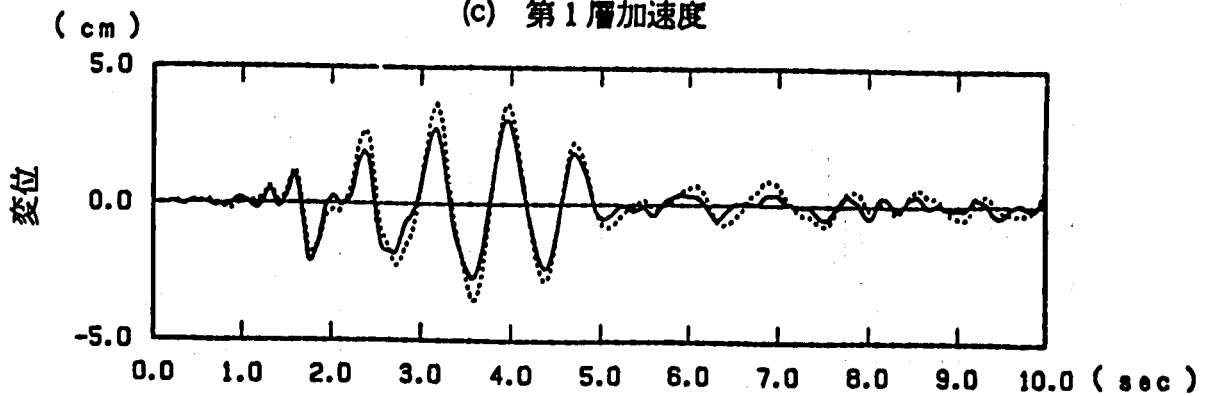
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

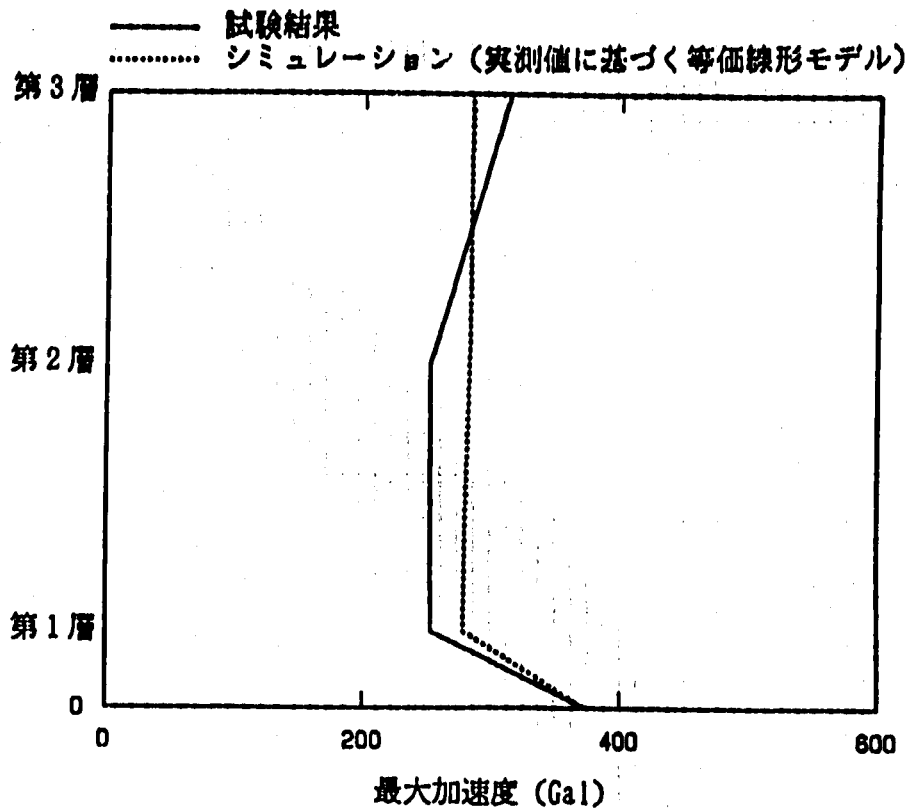


(c) 第1層加速度

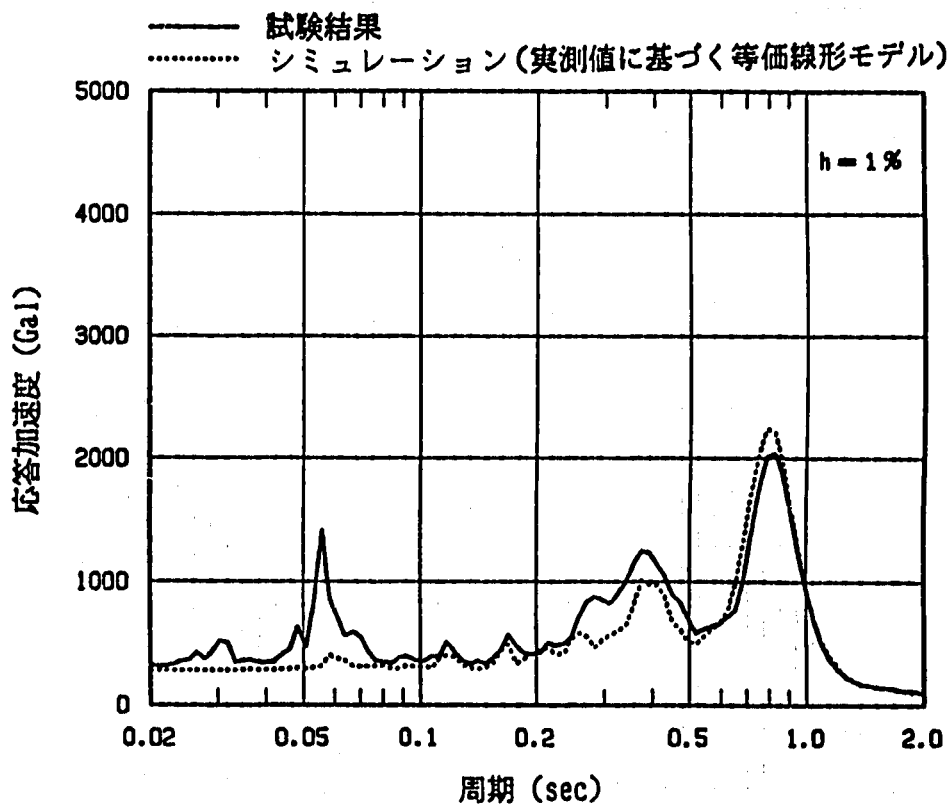


(d) 免震装置の相対変位

付図141 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, 2BW, モデル E)
 A-Fig.141 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, 2BW, Model E)

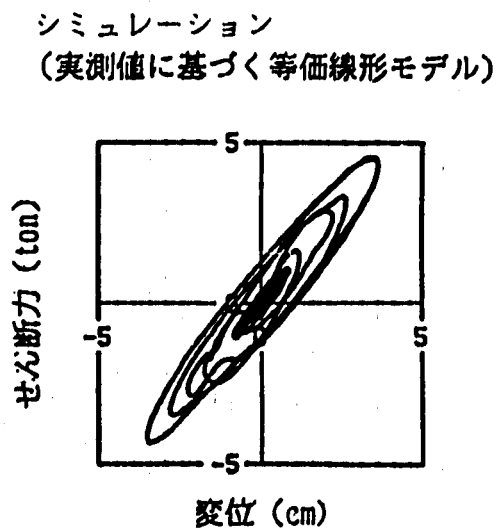
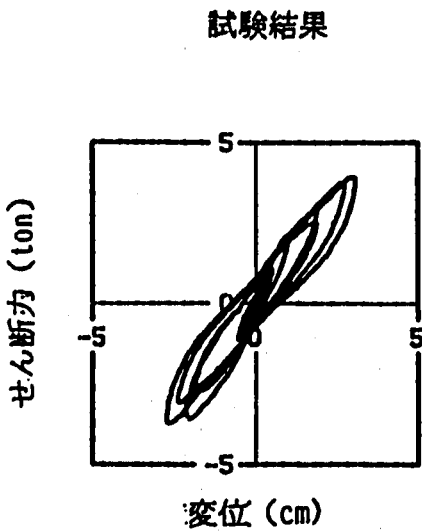
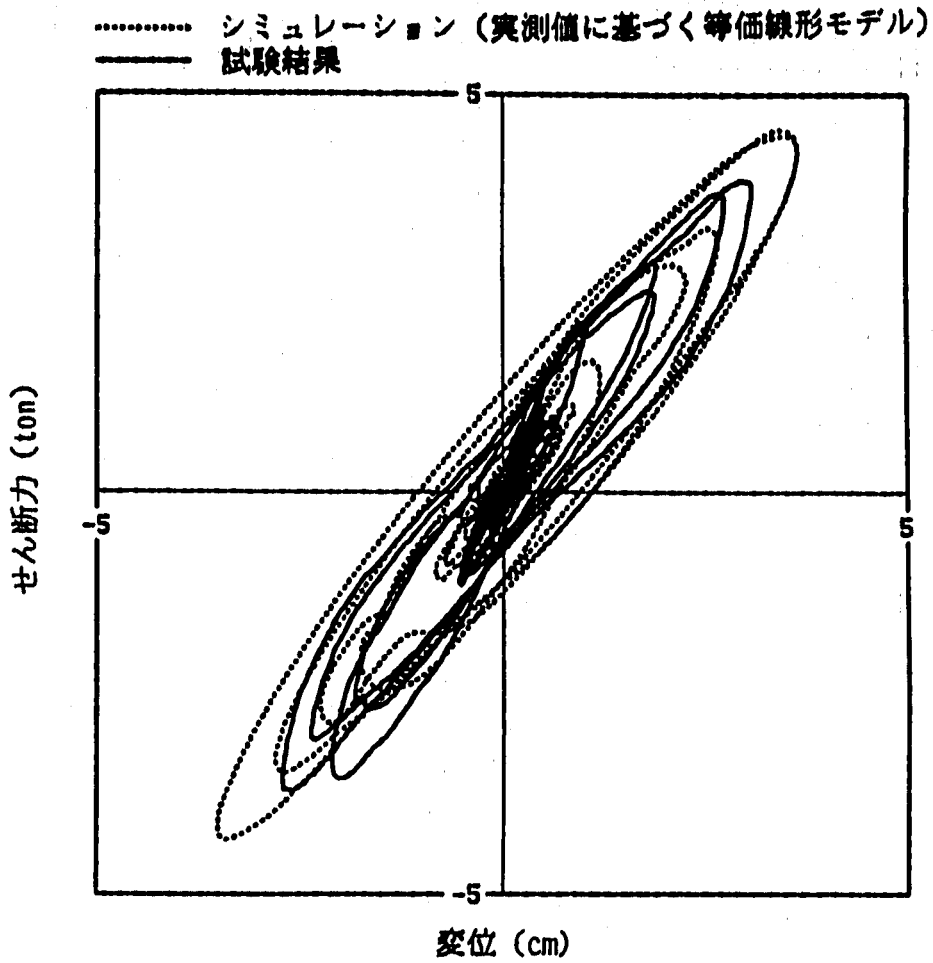


(a) 最大加速度分布

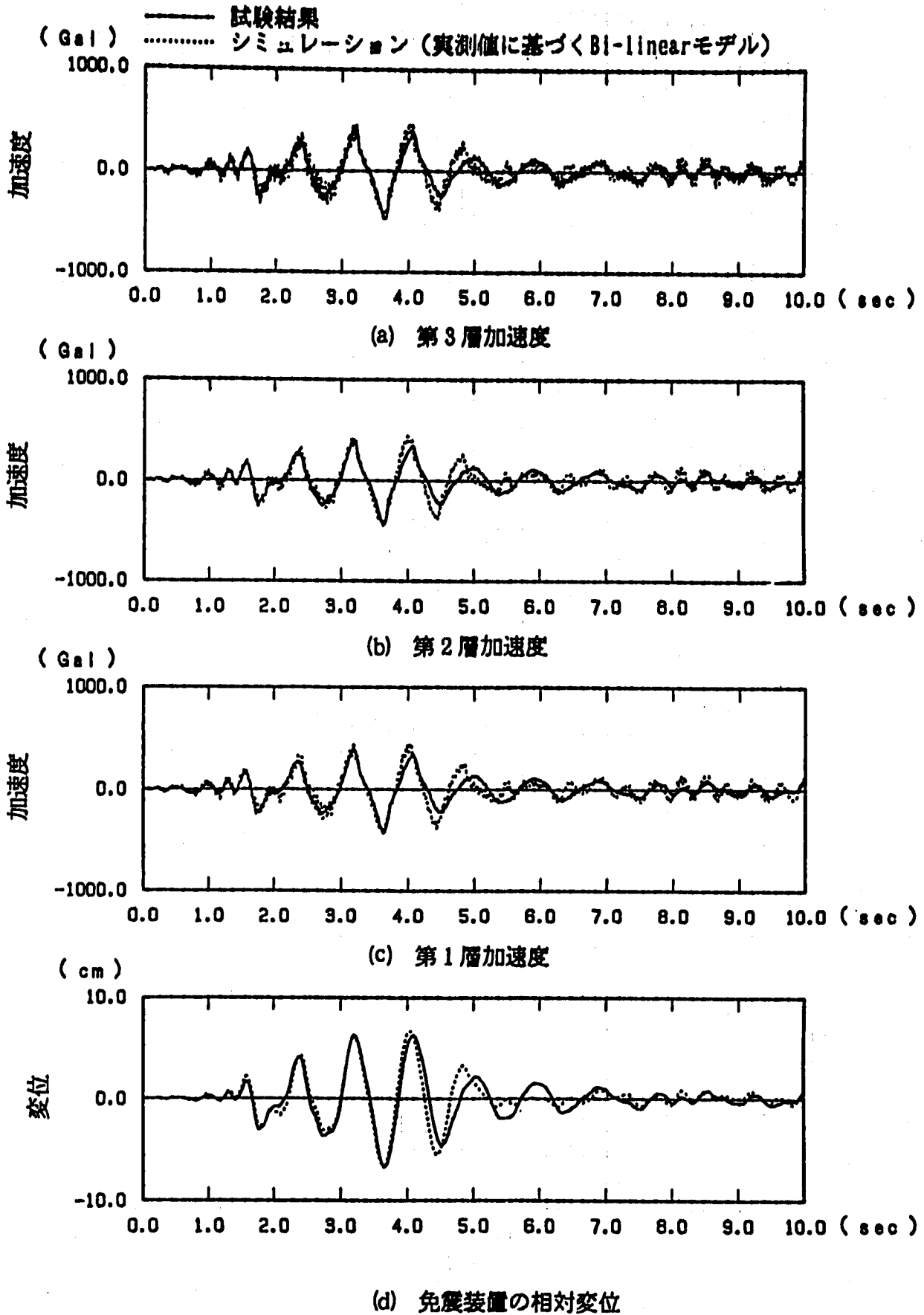


(b) 床応答スペクトル

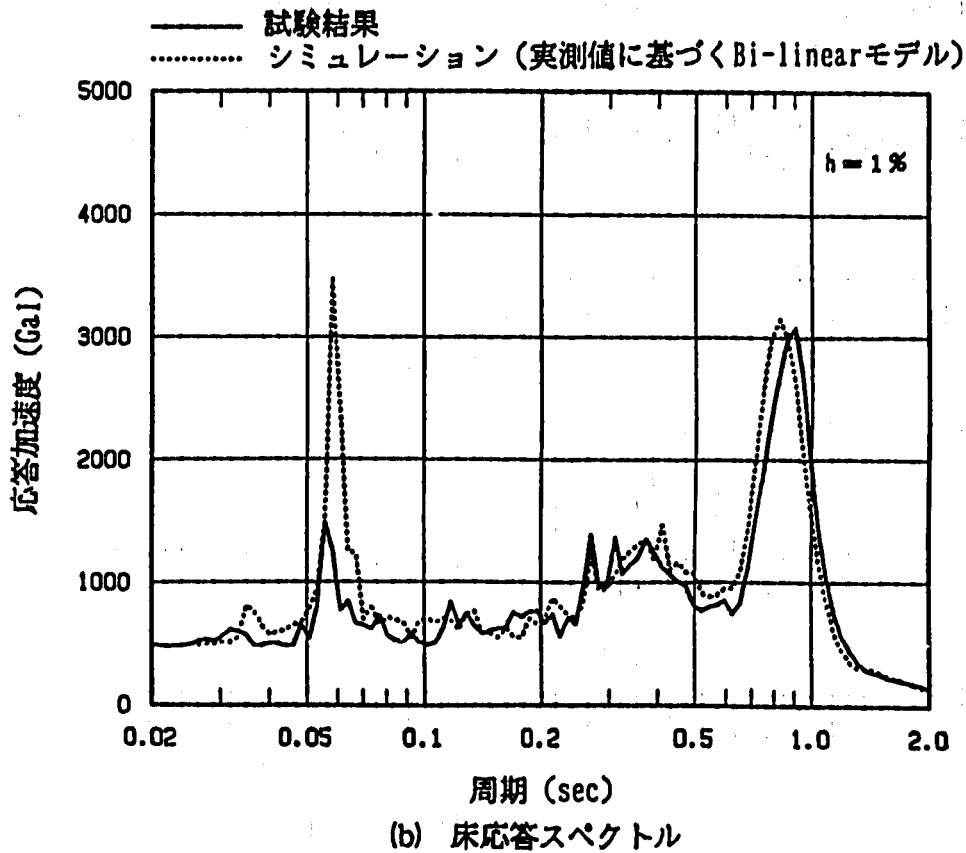
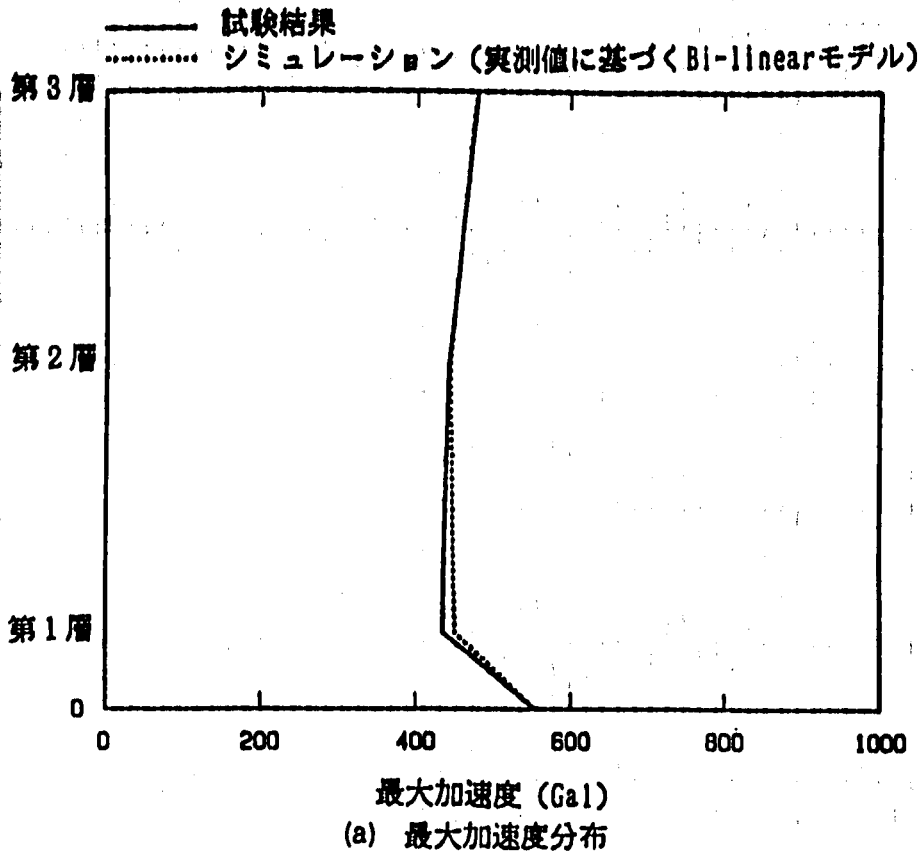
付図142 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデル E)
 A-fig.142 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



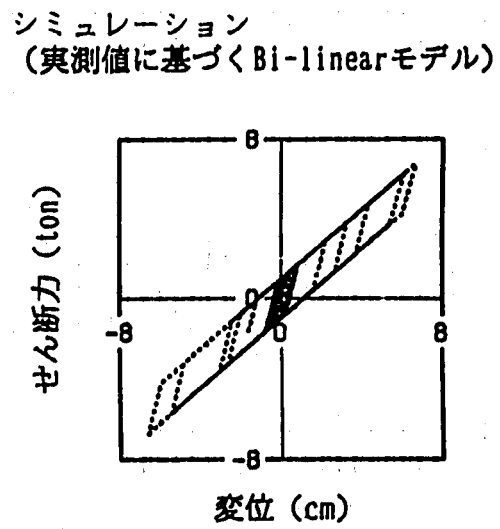
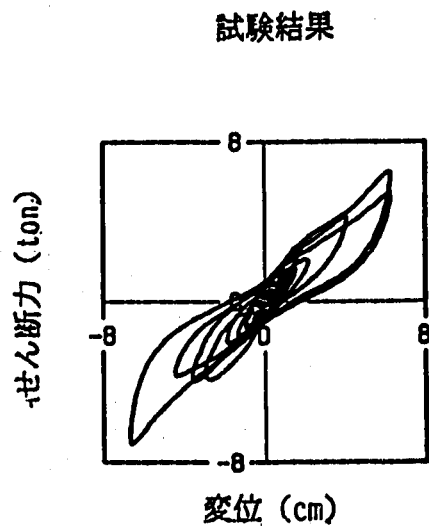
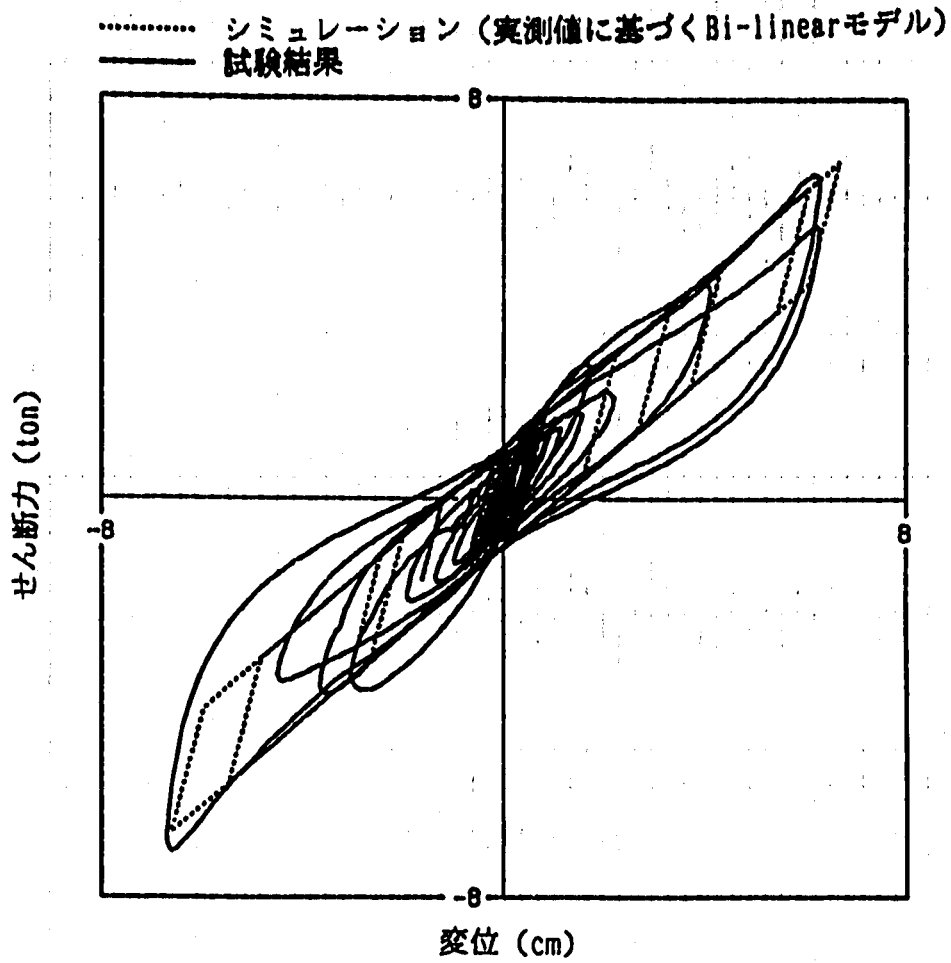
付図143 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, 2EW, モデルE)
 A-Fig.143 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, 2EW, Model E)



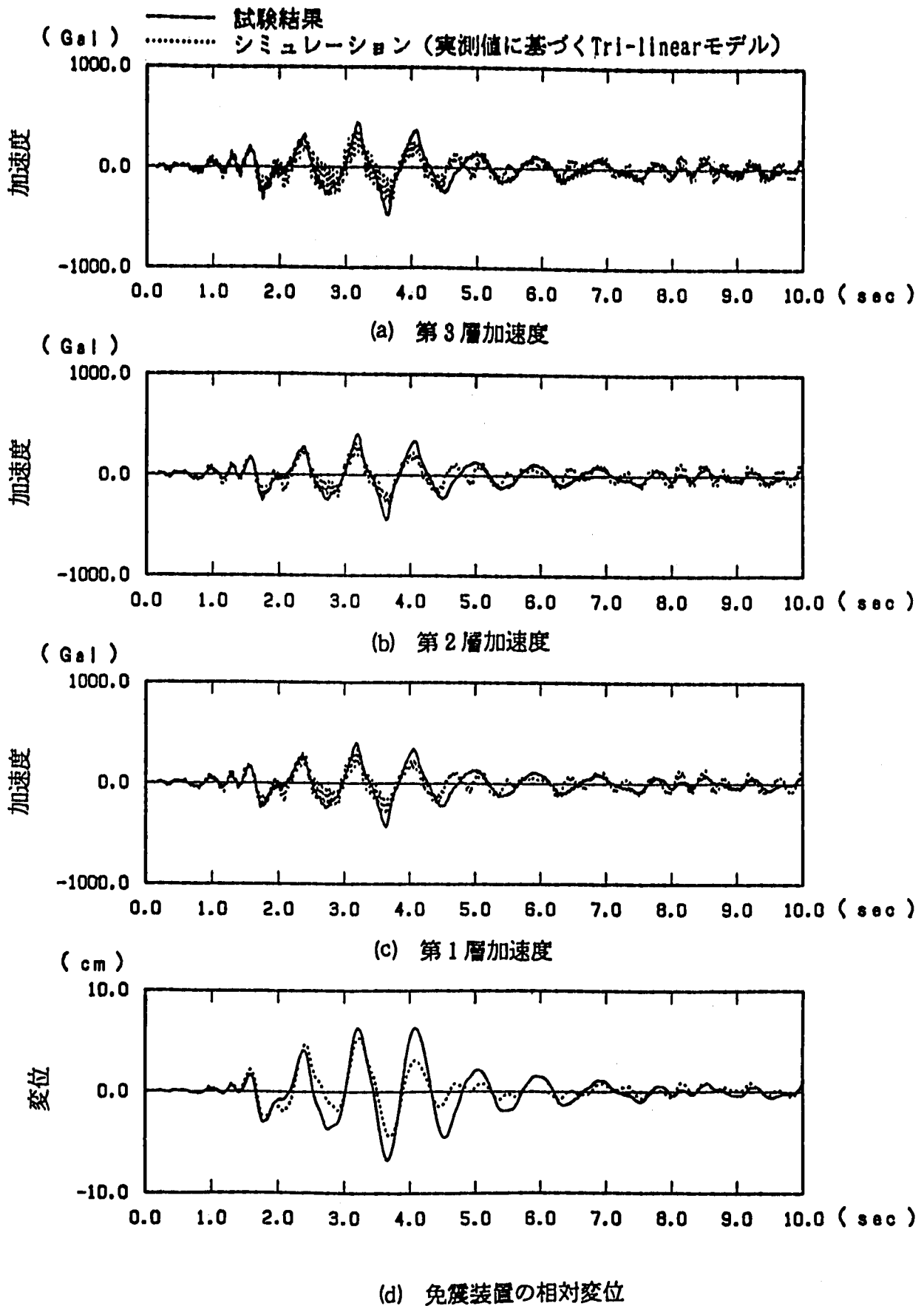
付図144 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルB)
 A-Fig.144 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3BW, Model B)



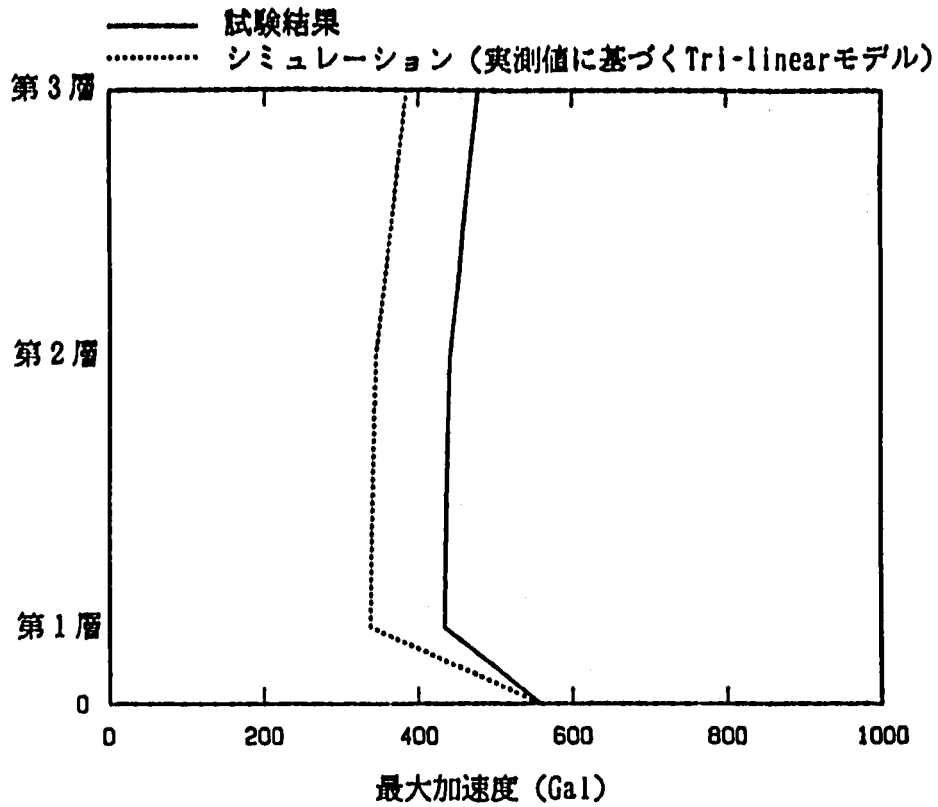
付図145 最大加速度及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルB)
 A-Fig.145 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)



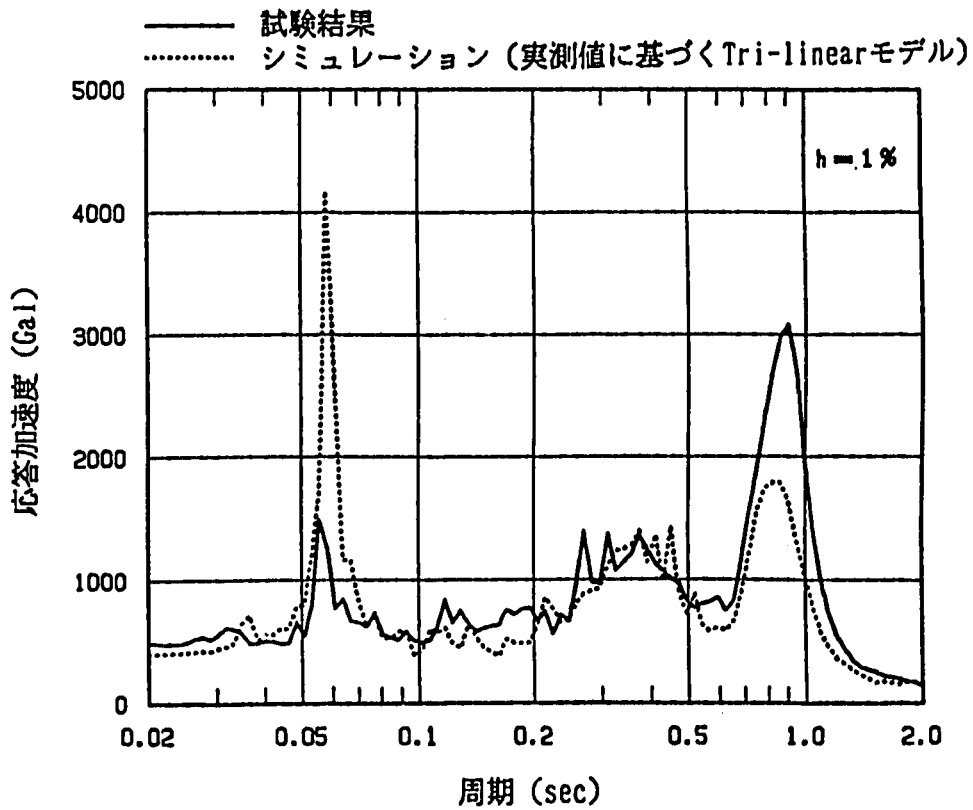
付図146 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデル B)
 A-Fig.146 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model B)



付図147 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルC)
 A-Fig.147 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)

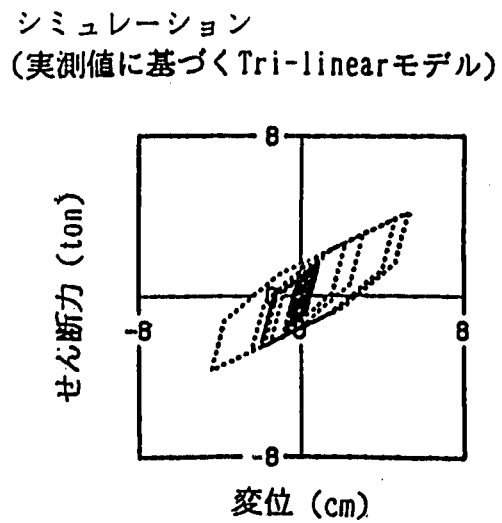
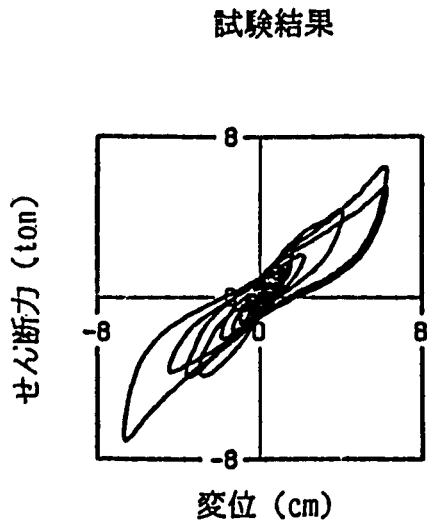
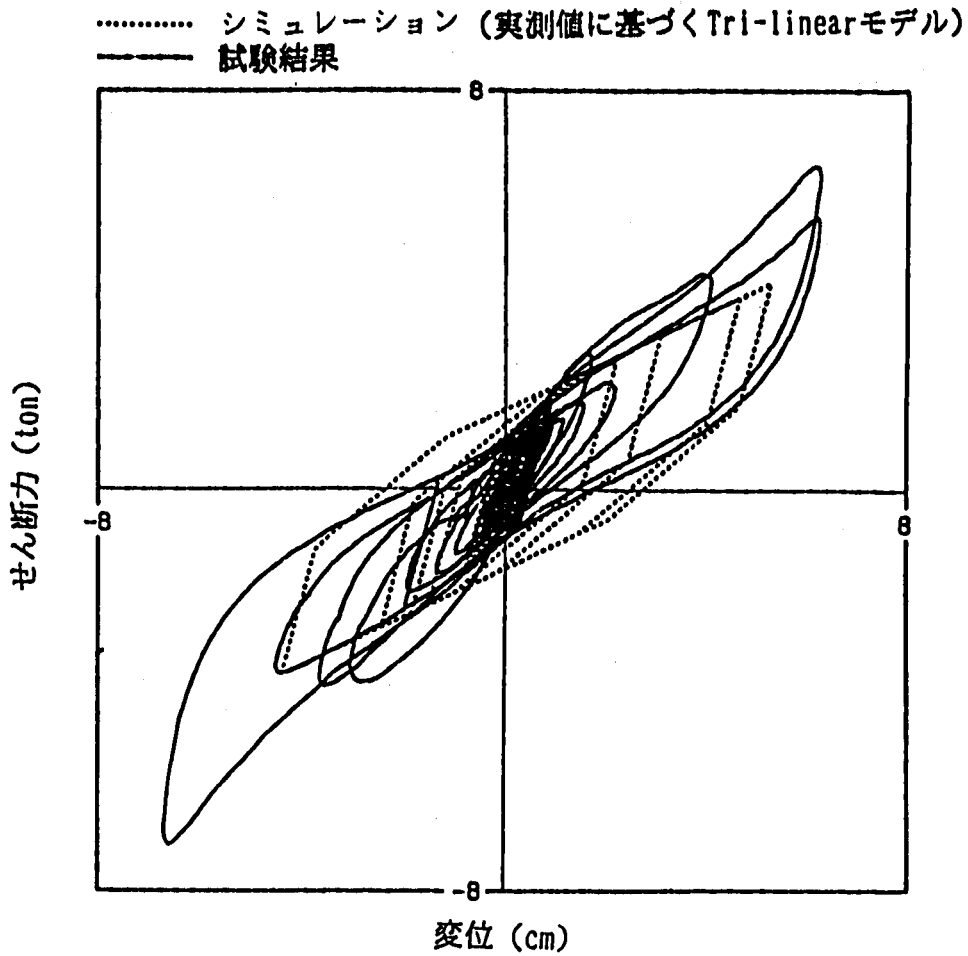


(a) 最大加速度分布

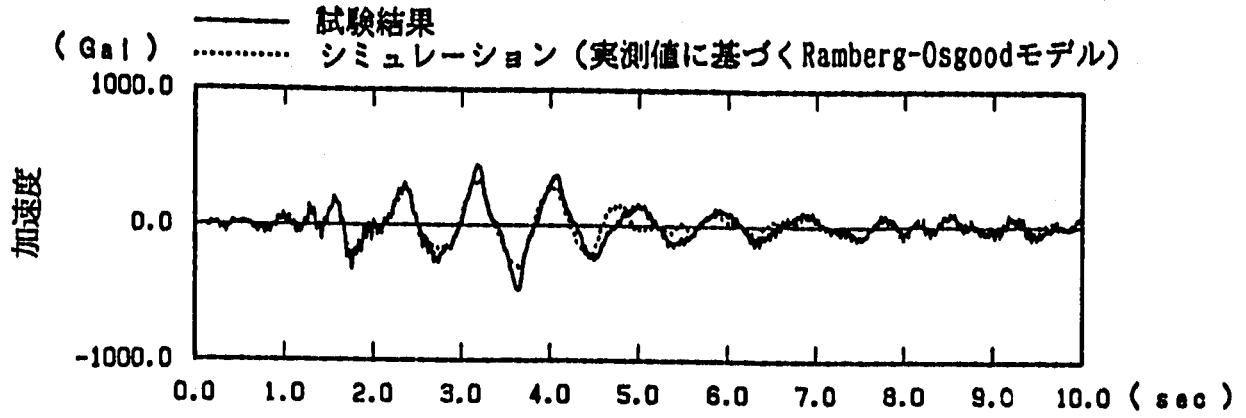


(b) 床応答スペクトル

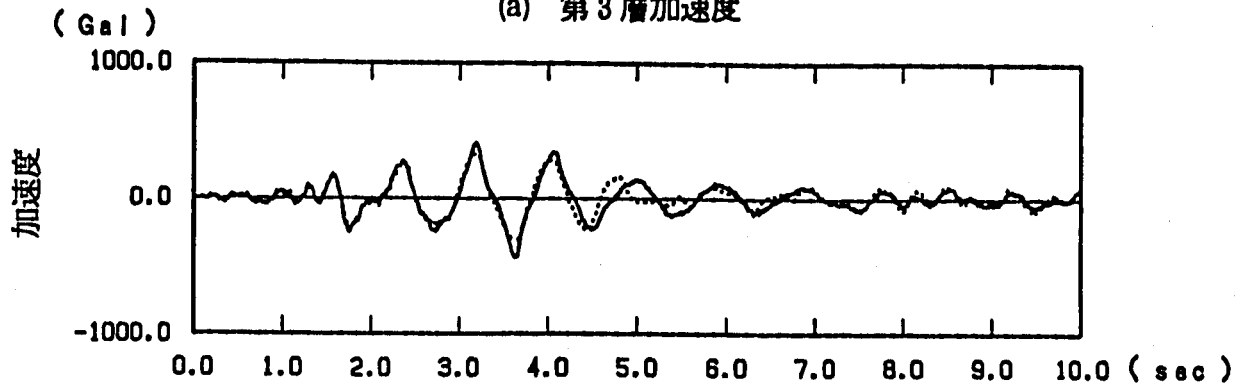
付図148 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデルC)
 A-Fig.148 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3BW, Model C)



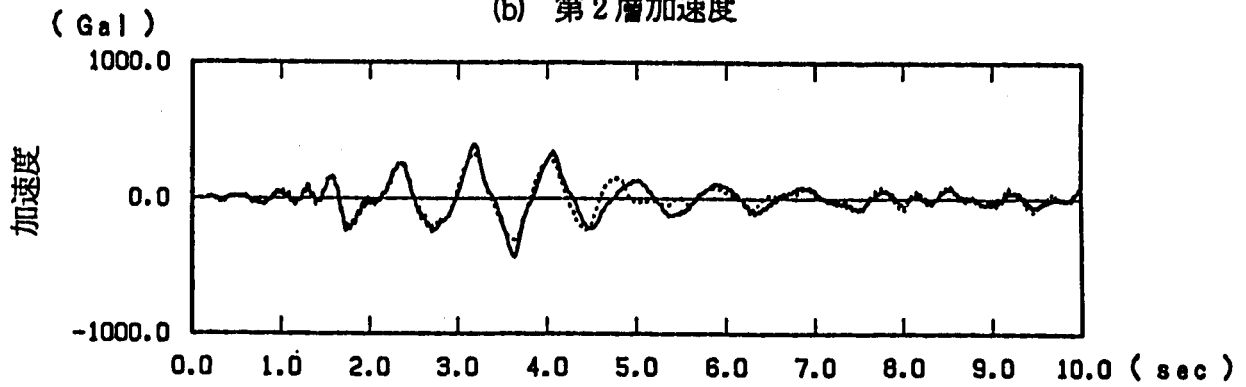
付図 149 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデル C)
 A-Fig. 149 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model C)



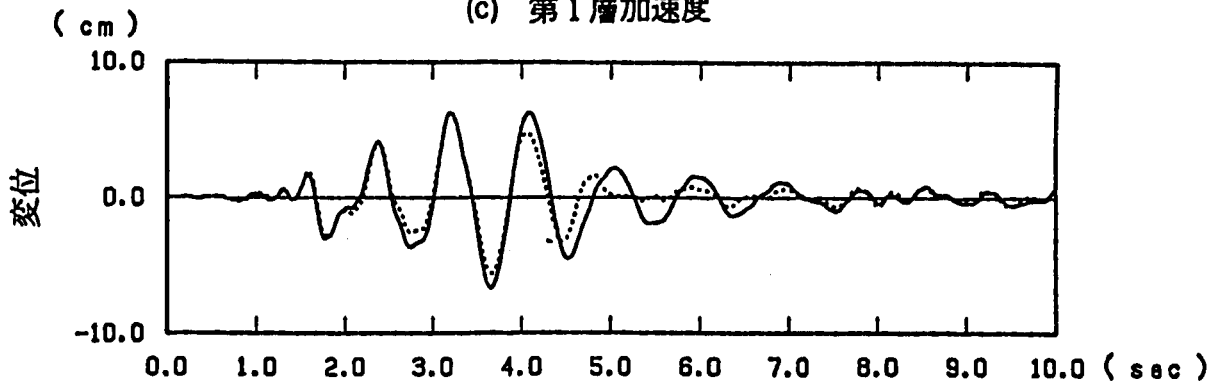
(a) 第3層加速度



(b) 第2層加速度

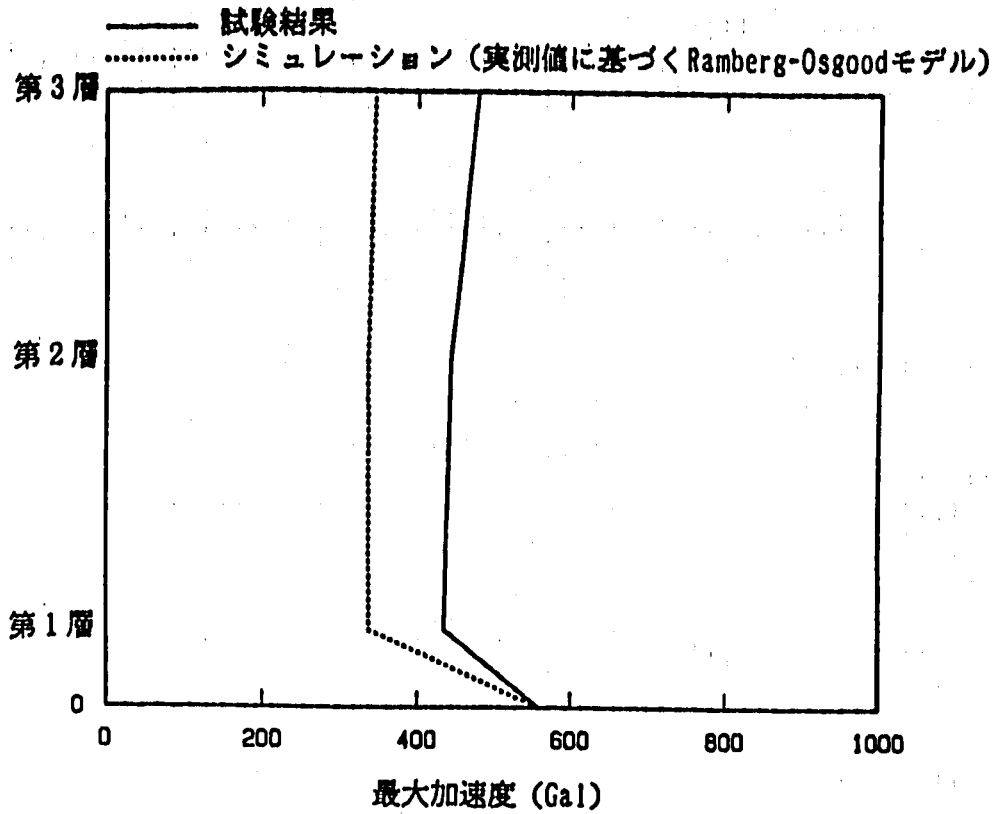


(c) 第1層加速度

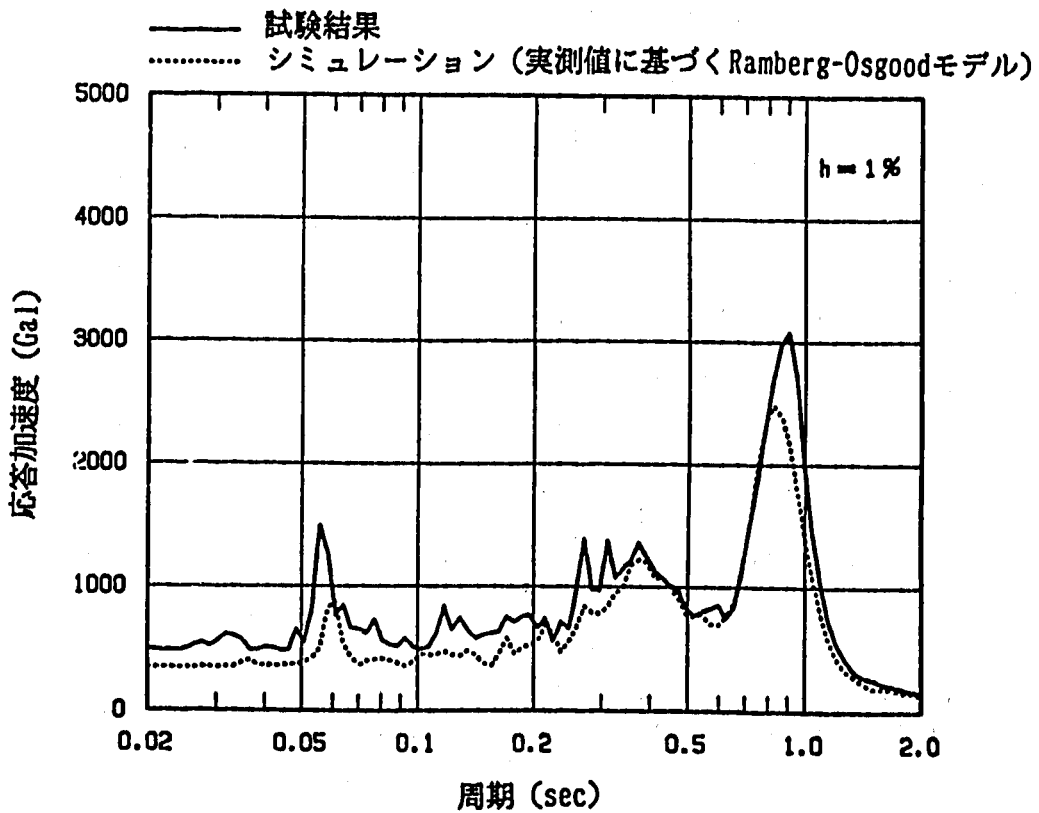


(d) 免震装置の相対変位

付図150 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig.150 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)

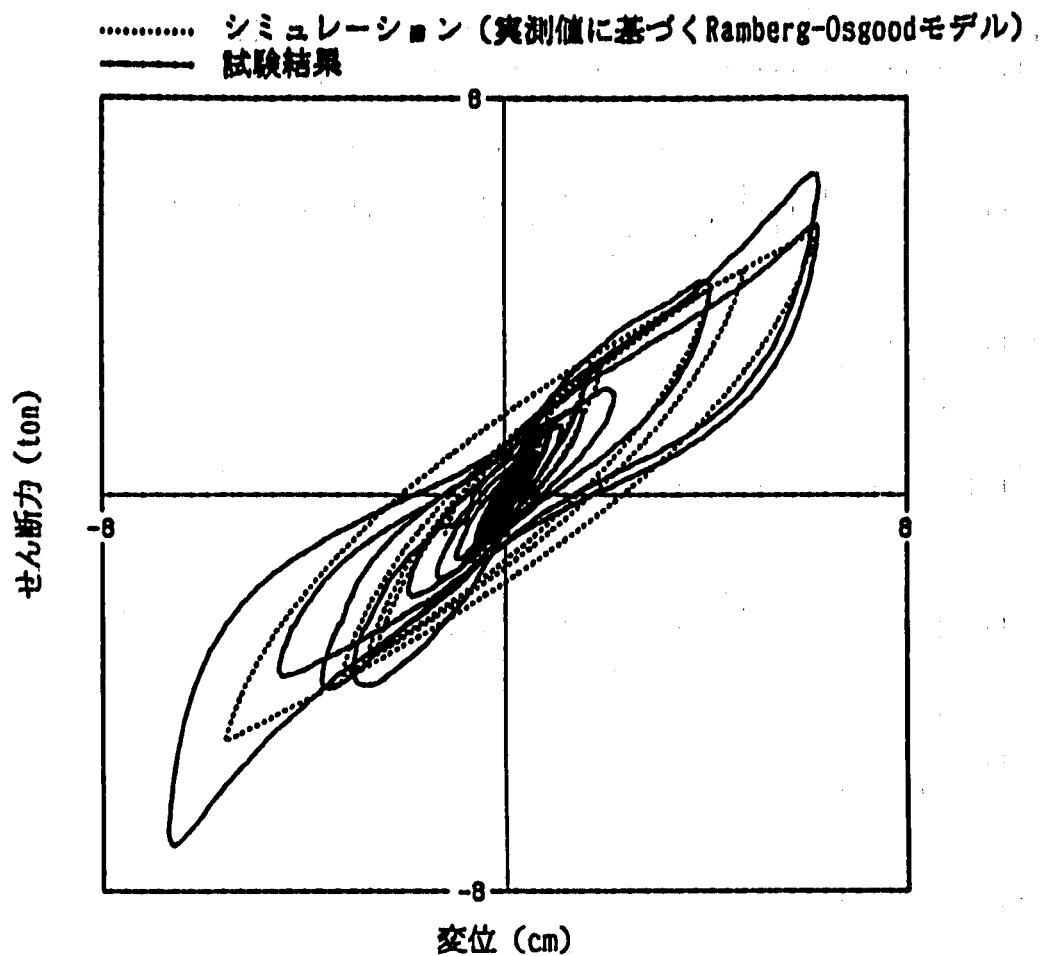


(a) 最大加速度分布



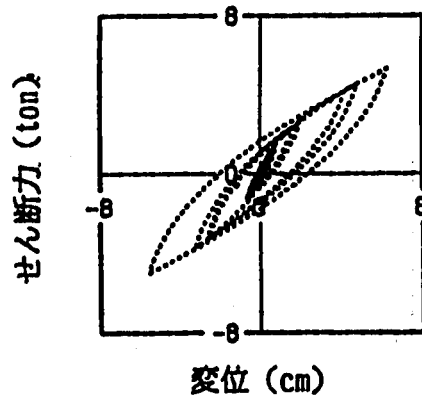
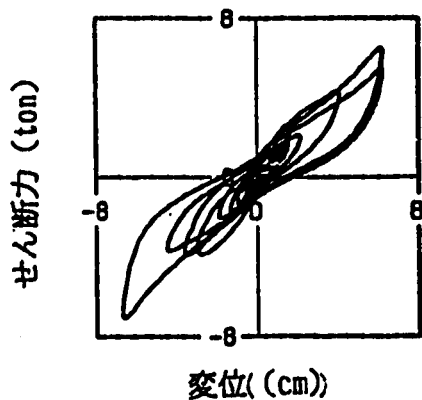
(b) 床応答スペクトル

付図151 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig. 151 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)

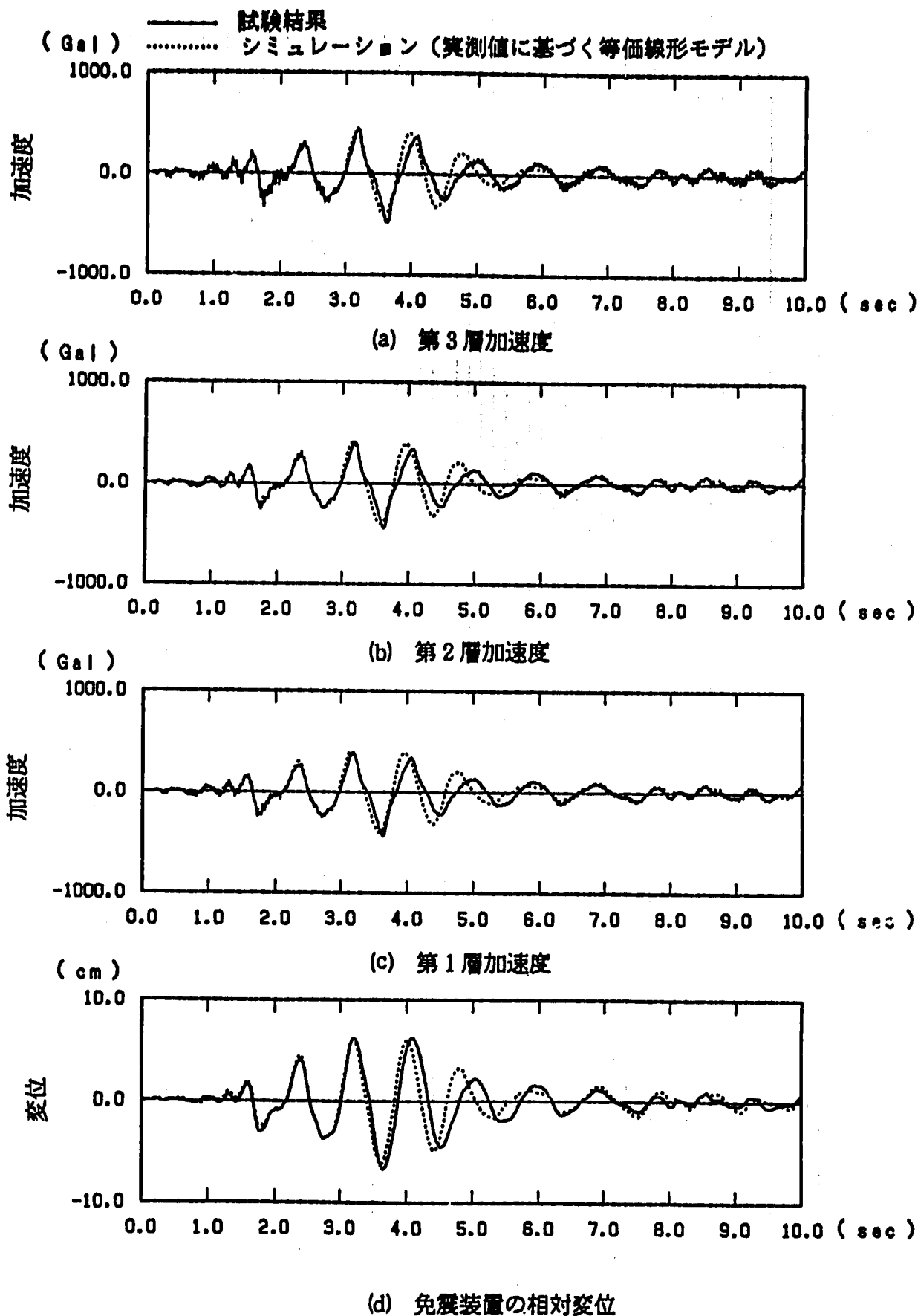


試験結果

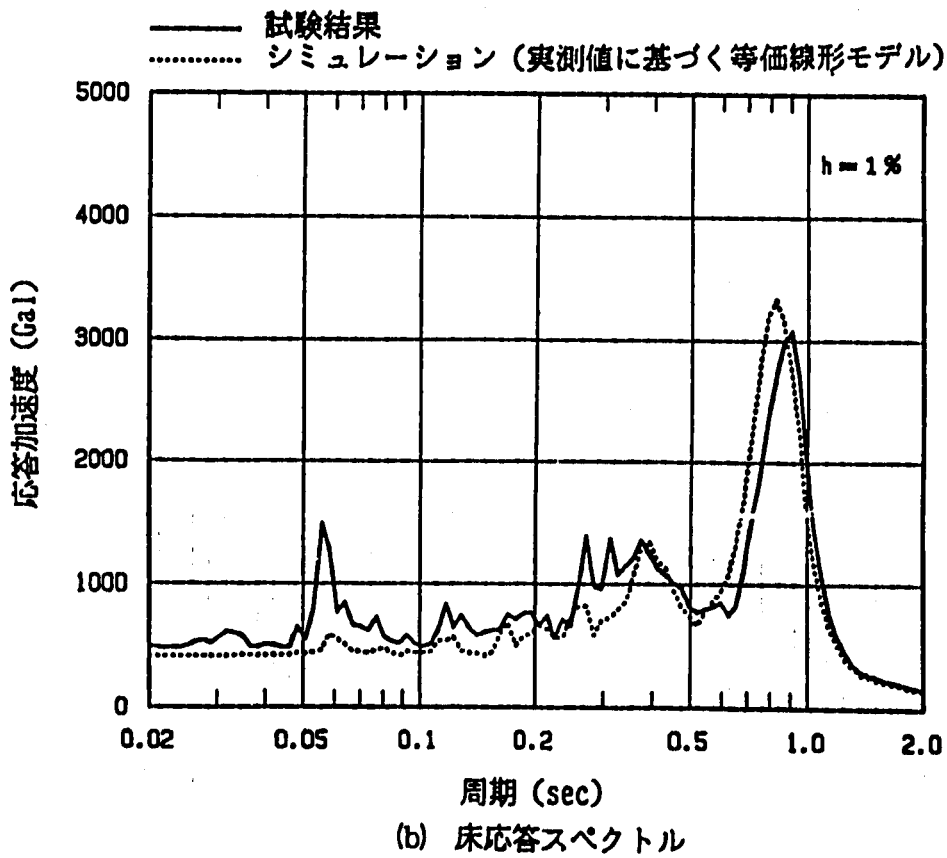
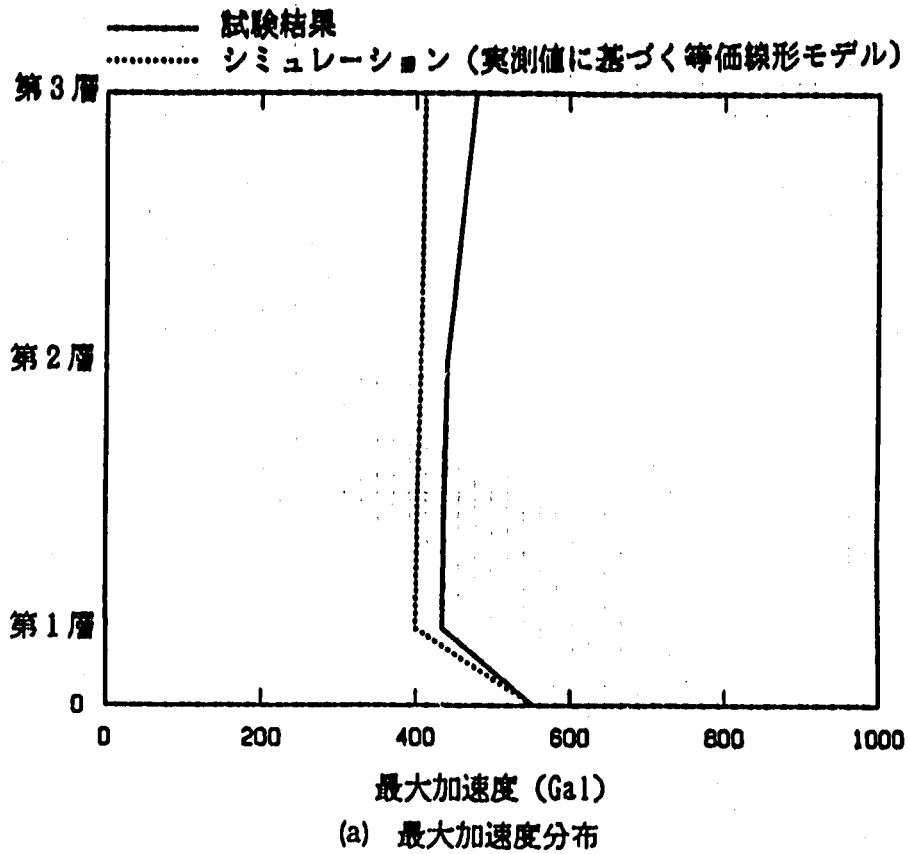
シミュレーション
 (実測値に基づく Ramberg-Osgoodモデル)



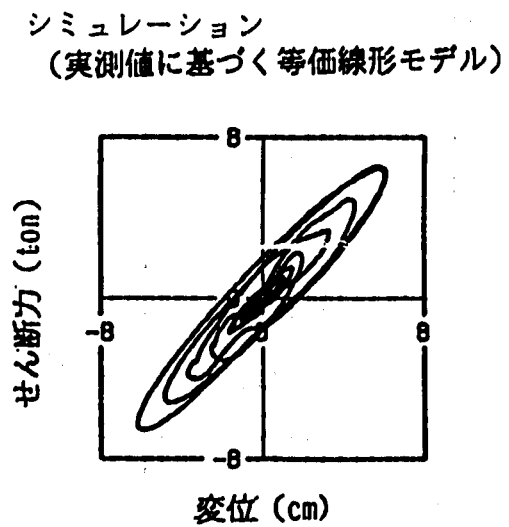
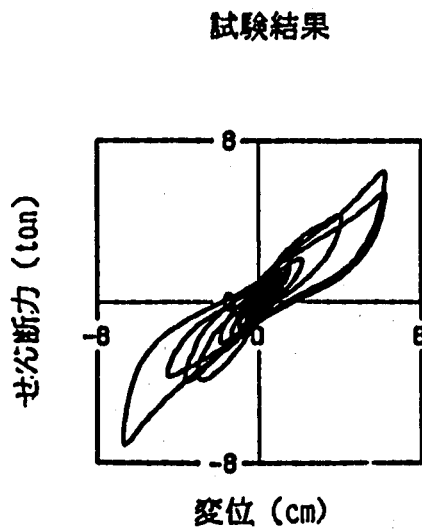
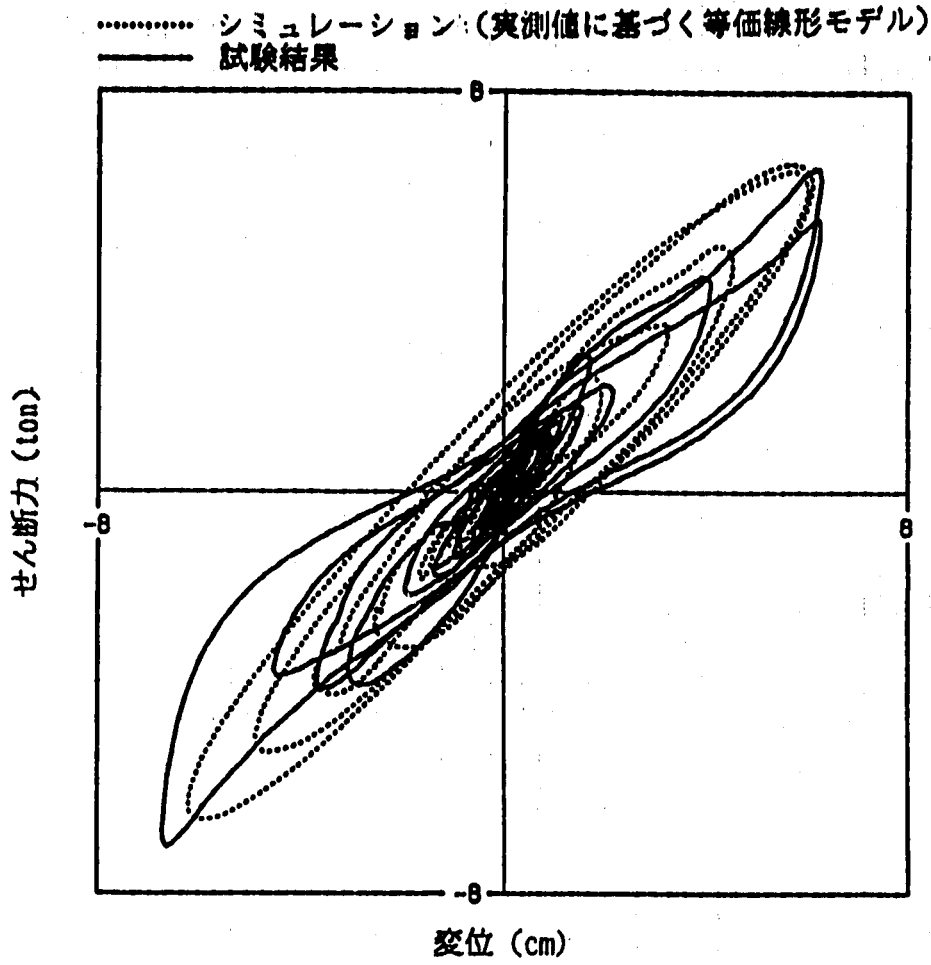
付図152 免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルD)
 A-Fig.152 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model D)



付図153 加速度及び変位応答時刻歴 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルE)
 A-Fig.153 Time History Response of Acceleration and Displacement
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model E)



付図154 最大加速度応答及び床応答スペクトル
 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3EW, モデルE)
 A-Fig. 154 Maximum Acceleration and Floor Response Spectra
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3EW, Model E)



付図155
 A-Fig. 155

免震装置の履歴曲線 (HDR, DAC2N 質点モデル, 3BW, モデル E)
 Hysteresis Loop of Total Device
 (HDR, DAC2N Mass Model, 3BW, Model E)

2. 「FINAS」入力データ

多質点系モデル（ケース1～6）、免震構造モデル（ケース1～4）の「FINAS」
入力データを各々、付表3～付表8、付表9～付表13に示す。

付表 4 (a) 「FINAS」入力データ (ケース 2 : 硬質地盤, 鉛直剛性 12Hz)
 A-Table 4 (a) Input Data "FINAS" (Case-2:Hard Rock,Vertical Stiffness 12Hz)

```

        ANALYSIS CONTROL DATA IMAGE
        1      2      3      4      5      6      7      8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
FINAS
TITLE      LUMPED MASS SYSTEM CASE-2
SUBTITLE   12HZ HARD ROCK
DYNAMIC    M    HR
NOPRINT    DESCR
CONTROL
          LUMP MASS
          EIGENVALUE      10
    
```

LUMPED MASS SYSTEM CASE-2
 12HZ HARD ROCK

FINAS VERSION 11.0

```

        MODEL DATA IMAGE
        1      2      3      4      5      6      7      8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
0- MODEL
1- NODE
  V NO          X(M)      Y(M)      Z(M)
2-   10         0.0       29.0     0.0
3-   9          0.0       21.0     0.0
4-   8          0.0       14.0     0.0
5-   7          0.0       7.0      0.0
6-   6          0.0       0.0     0.0
7-   5          0.0      -8.5    0.0
8-   4          0.0     -14.0   0.0
9-   3          0.0     -26.0   0.0
10-  2          0.0     -28.5   0.0
11-  1          0.0    -31.05  0.0
  V BASE-ISOLATION AND INPUT AREA
12-  20         0.0     -31.8   0.0
13-  21         0.0     -31.8   0.0
14-  22         0.0     -30.3   0.0
  V DUMMY POINT
15-  1000       1.0       0.0    0.0
16- ELEMENT TYPE
17-   1      SBEAM2
18-   2      LCOMB2
  V CONNECTION
  V NO IETY IGEO IMAT   1   J   K
20-  108   1   8   1   10  9 1000
21-  107   1   7   1   9   8 1000
22-  106   1   6   1   8   7 1000
23-  105   1   5   1   7   6 1000
24-  104   1   4   1   6   5 1000
25-  103   1   3   1   5   4 1000
26-  102   1   2   1   4   3 1000
27-  101   1   1   1   3   2 1000
  V
28-  201   1  20  2   1  21 1000
29-  202   1  20  2   2  22  1 1000
  V ISOLATION DEVICE
30-  24   2  24   2   22
31-  25   2  25   2   22
32-  26   2  26   2   22
  V SOIL SPRING
33-  30   2  30   20  21
34-  31   2  31   20  21
35-  32   2  32   20  21
  V GEOMETRY
  V NO IETY      A      AY      AZ      IY      IZ      J
37-   8   6    40.2   20.1   20.1  4.26E+3  4.26E+3
38-   7   6    58.8   29.4   29.4  5.43E+3  5.43E+3
39-   6   6   153.6   76.8   76.8  80.54E+3  80.54E+3
    
```


付表 6(c) 「FINAS」入力データ (ケース4:軟質地盤,鉛直剛性18Hz)
 A-Table 6(c) Input Data "FINAS" (Case-4:Soft Rock,Vertical Stiffness 18Hz)

(CONTENTS OF FILE TP21 HAVE BEEN INSERTED HERE)

```

V
1563- RESPONSE
1564-   TIME      51.0   1
V   TIME      0.10   1
1565-   ACCE     1      0.01 1310   2      0.01 1330
1566-   BOUN     4
1567- END MODEL
    
```

```

          OUTPUT CONTROL DATA IMAGE
          1         2         3         4         5         6         7         8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
OUTPUT
ESET1      1  24
NSET1      1  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
NSET1      3  1  2  5
V
NSET1      2  20 21 22
ESET2      2 101 108 1 24
NSET2      1  1  10  1
PRINT SELECT
DISP      NONE
ACCE      NONE
VELO      NONE
MODE      1
XDISP     1          2
XACCE     1          2
XVELO     1          2
ELFO      NONE
XELFO     2
ELM       NONE
XELM      NONE
PRESS     NONE
WAVH      NONE
XPRESS    NONE
XWAVH     NONE
REAC      NONE
V
POST TAPE
DISP      3
ACCE      1
VELO      NONE
ELFO      1
XDISP     NONE
XACCE     NONE
XVELO     NONE
XELFO     NONE
ELM       NONE
XELM      NONE
PRESS     NONE
WAVH      NONE
XPRESS    NONE
XWAVH     NONE
REAC      NONE
MODE      NONE
END OUTPUT
END FINAS
    
```


付表 8 (a) 「FINAS」入力データ (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 A-Table 8 (a) Input Data "FINAS" (Case-6:Soft Rock, Vertical Stiffness 6 Hz)

```

      ANALYSIS CONTROL DATA IMAGE
      1         2         3         4         5         6         7         8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
FINAS
TITLE      LUMPED MASS SYSTEM CASE-6
SUBTITLE   6HZ SOFT ROCK
DYNAMIC    N      HR
OPTIONS    ISSPOPT=2
NOPRINT    DESCR
CONTROL
          LUMP MASS
          EIGENVALUE          10
    
```

LUMPED MASS SYSTEM CASE-6
 6HZ SOFT ROCK

FINAS VERSION 11.0

```

      MODEL DATA IMAGE
      1         2         3         4         5         6         7         8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
0-  MODEL
1-  NODE
    V NO          X(M)      Y(M)      Z(M)
2-   10          0.0       29.0       0.0
3-   9           0.0       21.0       0.0
4-   8           0.0       14.0       0.0
5-   7           0.0        7.0       0.0
6-   6           0.0        0.0       0.0
7-   5           0.0       -8.5       0.0
8-   4           0.0      -14.0       0.0
9-   3           0.0      -26.0       0.0
10-  2           0.0      -28.5       0.0
11-  1           0.0     -31.05       0.0
    V BASE-ISOLATION AND INPUT AREA
12-  20          0.0     -31.8       0.0
13-  21          0.0     -31.8       0.0
14-  22          0.0     -30.3       0.0
    V DUMMY POINT
15-  1000        1.0        0.0       0.0
16-  ELEMENT TYPE
17-   1      SBEAM2
18-   2      LCOMB2
    V
19-  CONNECTION
    V NO IETY IGEO IHAT      I      J      K
20-  108  1  8  1  10  9 1000
21-  107  1  7  1  9  8 1000
22-  106  1  6  1  8  7 1000
23-  105  1  5  1  7  6 1000
24-  104  1  4  1  6  5 1000
25-  103  1  3  1  5  4 1000
26-  102  1  2  1  4  3 1000
27-  101  1  1  1  3  2 1000
    V
28-  201  1  20  2  1  21 1000
29-  202  1  20  2  22  1 1000
    V ISOLATION DEVICE
30-  24  2  24  2  22
31-  25  2  25  2  22
32-  26  2  26  2  22
    V SOIL SPRING
33-  30  2  30  20  21
34-  31  2  31  20  21
35-  32  2  32  20  21
    V
36-  GEOMETRY
    V NO IETY      A      AY      AZ      IY      IZ      J
37-   8  6      40.2  20.1  20.1  4.26E+3  4.26E+3
38-   7  6      58.8  29.4  29.4  5.43E+3  5.43E+3
39-   6  6     153.6  76.8  76.8  80.54E+3  80.54E+3
    
```


付表 8 (c) 「FINAS」入力データ (ケース 6 : 軟質地盤, 鉛直剛性 6 Hz)
 A-Table 8 (c) Input Data "FINAS" (Case-6:Soft Rock,Vertical Stiffness 6 Hz)

(CONTENTS OF FILE TP21 HAVE BEEN INSERTED HERE)

```

v
1563. RESPONSE
1564.   TIME      51.0   1
v     TIME      0.10   1
1565.   ACCE     1      0.01 1310   2      0.01 1330
1566.   BOUN     4
1567. END MODEL
    
```

```

                OUTPUT CONTROL DATA IMAGE
                1      2      3      4      5      6      7      8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
OUTPUT
ESET1          1  24
NSET1          1  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
NSET1          3  1  2  5
v
NSET1          2  20  21  22
ESET2          2 101 108  1  24
NSET2          1  1  10  1
PRINT SELECT
DISP           NONE
ACCE           NONE
VELO           NONE
MODE           1
XDISP          1          2
XACCE          1          2
XVELO          1          2
ELFO           NONE
XELFO          2
ELM            NONE
XELM            NONE
PRESS          NONE
WAVEH          NONE
XPRESS         NONE
XWAVEH         NONE
REAC           NONE
v
POST TAPE
DISP           3
ACCE           1
VELO           NONE
ELFO           1
XDISP          NONE
XACCE          NONE
XVELO          NONE
XELFO          NONE
ELM            NONE
XELM            NONE
PRESS          NONE
WAVEH          NONE
XPRESS         NONE
XWAVEH         NONE
REAC           NONE
MODE           NONE
END OUTPUT
END FINAS
    
```

付表 9(a) 「FINAS」入力データ (ケース1: RD0-6)
 A-Table 9(a) Input Data "FINAS" (Case-1:RD0-6)

```

    ANALYSIS CONTROL DATA IMAGE
    1.....0.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
    FINAS
    TITLE CASE 17
    SUBTITLE 3-D FRAME(RUBBER BEARING)
    DYNAMIC M MR
    VATA CHECK
    NOPRINT DESCR
    CONTROL EIGENVALUE 7
    v
    
```

CASE 17
 3-D FRAME(RUBBER BEARING)

FINAS VERSION 10.0

```

    MODEL DATA IMAGE
    1.....0.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
    0- MODEL
    1- NODE
    v NO X(M) Y(M) Z(M)
    2- 41 0.0 0.0 2.657
    3- 42 2.5 0.0 2.657
    4- 43 2.5 2.5 2.657
    5- 44 0.0 2.5 2.657
    6- 45 1.25 2.5 2.657
    7- 31 0.0 0.0 1.345
    8- 32 2.5 0.0 1.345
    9- 33 2.5 2.5 1.345
    10- 34 0.0 2.5 1.345
    11- 35 1.25 2.5 1.345
    12- 21 0.0 0.0 0.000
    13- 22 2.5 0.0 0.000
    14- 23 2.5 2.5 0.000
    15- 24 0.0 2.5 0.000
    16- 25 1.25 2.5 0.000
    17- 26 0.0 1.25 0.000
    18- 11 0.0 0.0 -0.108
    19- 12 2.5 0.0 -0.108
    20- 13 2.5 2.5 -0.108
    21- 14 0.0 2.5 -0.108
    v
    22- ELEMENT TYPE
    23- 1 SBEAM2
    24- 2 LCOMB2
    v
    25- CONNECTION
    v NO IETY IGEO IMAT I J K
    v SUPERSTRUCTURE
    26- 41 1 1 1 41 42 31
    27- 42 1 1 1 42 43 32
    28- 43 1 1 1 43 45 33
    29- 432 1 1 1 44 45 34
    30- 44 1 1 1 44 41 34
    31- 31 1 1 2 31 32 21
    32- 32 1 1 2 32 33 22
    33- 331 1 1 2 33 35 23
    34- 332 1 1 2 34 35 24
    35- 34 1 1 2 34 31 24
    36- 21 1 1 3 21 22 11
    37- 22 1 1 3 22 23 12
    38- 231 1 1 3 23 25 13
    39- 232 1 1 3 24 25 14
    40- 241 1 1 3 24 26 14
    41- 242 1 1 3 21 26 11
    42- 301 1 2 4 41 31 42
    43- 302 1 2 4 42 32 43
    44- 303 1 2 4 43 33 44
    45- 304 1 2 4 44 34 41
    46- 201 1 3 4 31 21 32
    47- 202 1 3 4 32 22 33
    48- 203 1 3 4 33 23 34
    49- 204 1 3 4 34 24 31
    v
    50- RUBBER BEARING
    51- 111 2 11 21 11
    52- 112 2 12 21 11
    53- 113 2 13 21 11
    54- 114 2 14 21 11
    55- 115 2 15 21 11
    56- 121 2 11 22 12
    57- 122 2 12 22 12
    58- 123 2 13 22 12
    59- 124 2 14 22 12
    60- 125 2 15 22 12
    61- 131 2 11 23 13
    62- 132 2 12 23 13
    63- 133 2 13 23 13
    64- 134 2 14 23 13
    65- 135 2 15 23 13
    66- 141 2 11 24 14
    67- 142 2 12 24 14
    68- 143 2 13 24 14
    69- 144 2 14 24 14
    70- 145 2 15 24 14
    
```

付表 9 (b) 「FINAS」 入力データ (ケース 1 : R D 0 - 6)
 A-Table 9 (b) Input Data "FINAS" (Case-1:RDO-6)

```

70- GEOMETRY
71- 1 6 1.198E-2 3.0E-3 9.0E-3 6.78E-5 2.04E-4
72- 2 6 2.516E-3 1.258E-3 1.258E-3 8.08E-6 8.08E-6
73- 3 6 5.361E-3 2.680E-3 2.680E-3 2.91E-5 2.91E-5
74- 11 7 16.00 0.0 1.0
75- 12 7 16.00 0.0 1.0
76- 13 7 22650.0 0.0 1.0
77- 14 7 18.08 0.0 1.0
78- 15 7 18.08 0.0 1.0
79- MATERIAL
80- 1 1 1 2
81- E 2.10E7
82- NU 0.3
83- RHO 1.703
84- SIGY 3.398E4
85- HDASH 2.05E5
86- 2 1 1 2
87- E 2.10E7
88- NU 0.3
89- RHO 5.323
90- SIGY 3.398E4
91- HDASH 2.05E5
92- 3 1 1 2
93- E 2.10E7
94- NU 0.3
95- RHO 6.601
96- SIGY 3.398E4
97- HDASH 2.05E5
98- 4 1 1 2
99- E 2.10E7
100- NU 0.3
101- RHO 0.001
102- SIGY 3.398E4
103- HDASH 2.05E5
104- DAMPING
105- F1 7 0.02 0.02 0.0058 0.0058 0.0058 0.0058
106- 0.02
107- BOUNDARY
108- V 1 NODS NODE DNOD DOFS DOFE
109- 41 45 8
110- 31 35 8
111- 21 26 6
112- 11 14 4 6
113- 2 11 14 1 1.0
114- 3 11 14 2 1.0
115- 4 11 14 3 1.0
116- FASTENING
117- V 1 LOOP NOD1 DOF1 DNOD NOD2 DOF2 DNOD
118- F1 1 41 1 44 1
119- F1 1 42 1 43 1
120- F1 1 31 1 34 1
121- F1 1 32 1 33 1
122- F1 1 21 1 24 1
123- F1 1 22 1 23 1
124- F1 1 41 2 42 2
125- F1 1 43 2 44 2
126- F1 1 31 2 32 2
127- F1 1 33 2 34 2
128- F1 1 21 2 22 2
129- F1 1 23 2 24 2
130- V TIME SERIES
131- V (CONTENTS OF FILE TP21 HAVE BEEN INSERTED HERE)
132- V RESPONSE
581- TIME 10.00 1 1.0 1101 3 1.0 1102 4 1.0 1103
582- ACCE 2
583- BOUN 1
584- FAS 1
585- V END MODEL
586-
      OUTPUT CONTROL DATA IMAGE
      1 2 3 4 5 6 7 8
      1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
      OUTPUT
      NSET1 1 11 24 25 35 44 45
      NSET1 2 25 26
      PRINT SELECT
      DISP NONE
      VELO NONE
      ACCE NONE
      ELM NONE
      REAC NONE
      MODE ALL
      XDISP ALL
      XACCE ALL
      ELFO NONE
      POST TAPE
      DISP 2
      VELO NONE
      ACCE 1
      ELM NONE
      REAC NONE
      ELFO NONE
      END OUTPUT
      END FINAS
    
```

付表10(a) 「FINAS」入力データ(ケース2-1:RD1-12)
 A-Table 10(a) Input Data "FINAS" (Case-2-1:RD1-12)

```

      ANALYSIS CONTROL DATA IMAGE
      1         2         3         4         5         6         7         8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
FINAS
TITLE      CASE 20 EQUIVALENT
SUBTITLE   FRAME BETA=0.1, 3-D INPUT
DYNAMIC    M      HR
NOPRINT    DESCR
CONTROL
      EIGENVALUE      7
    
```

CASE 20 EQUIVALENT
 FRAME BETA=0.1, 3-D INPUT

FINAS VERSION 11.0

```

      MODEL DATA IMAGE
      1         2         3         4         5         6         7         8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
0-  MODEL
1-  NODE
    V NO          X(M)      Y(M)      Z(M)
2-   41          0.0        0.0        2.657
3-   42          2.5        0.0        2.657
4-   43          2.5        2.5        2.657
5-   44          0.0        2.5        2.657
6-   45          1.25       2.5        2.657
7-   31          0.0        0.0        1.345
8-   32          2.5        0.0        1.345
9-   33          2.5        2.5        1.345
10-  34          0.0        2.5        1.345
11-  35          1.25       2.5        1.345
12-  21          0.0        0.0        0.000
13-  22          2.5        0.0        0.000
14-  23          2.5        2.5        0.000
15-  24          0.0        2.5        0.000
16-  25          1.25       0.0        0.000
17-  26          2.5        1.25       0.000
18-  27          1.25       2.5        0.000
19-  28          0.0        1.25       0.000
20-  251         1.25       0.0        -0.0001
21-  261         2.5        1.25       -0.0001
22-  271         1.25       2.5        -0.0001
23-  281         0.0        1.25       -0.0001
24-   11         0.0        0.0        -0.108
25-   12         2.5        0.0        -0.108
26-   13         2.5        2.5        -0.108
27-   14         0.0        2.5        -0.108
28-   15         1.25       0.0        -0.222
29-   16         2.5        1.25       -0.222
30-   17         1.25       2.5        -0.222
31-   18         0.0        1.25       -0.222
    V
32-  ELEMENT TYPE
33-   1      SBEAM2
34-   2      LCOMB2
    V
35-  CONNECTION
    V NO IETY IGEO IMAT      I      J      K
    V SUPERSTRUCTURE
36-   41  1  1  1  41  42  31
37-   42  1  1  1  42  43  32
38-  431  1  1  1  43  45  33
39-  432  1  1  1  44  45  34
40-   44  1  1  1  44  41  34
41-   31  1  1  2  31  32  21
42-   32  1  1  2  32  33  22
43-  331  1  1  2  33  35  23
44-  332  1  1  2  34  35  24
    
```


付表10(c) 「FINAS」入力データ (ケース2-1: RD1-12)
 A-Table 10(c) Input Data "FINAS" (Case-2-1:RD1-12)

```

114-      3          1  1  2
115-      E          2.10E7
116-      NU          0.3
117-      RHO         6.601
118-      SIGY        3.396E4
119-      HDASH       2.05E5
120-      4          1  1  2
121-      E          2.10E7
122-      NU          0.3
123-      RHO         0.001
124-      SIGY        3.396E4
125-      HDASH       2.05E5
126-  DAMPING
127-    F1          7          0.269  0.269  0.0058  0.0058  0.0058  0.0058
128-          0.020
129-  BOUNDARY
130-    V          1          NODS NODE DNOD          DOFS DOFE
131-          41  44          6
132-          31  34          6
133-          21  28          6
134-          251 281  10          6
135-          11  18          4  6
136-      2          11  18          1          1.0
137-      3          11  18          2          1.0
138-      4          11  18          3          1.0
139-      11  18          3          1.0
140-      11  18          3          1.0
141-      11  18          3          1.0
142-  FASTENING
143-    V          1          LOOP NOD1 DOF1 DNOD NOD2 DOF2 DNOD
144-      F1  1  41  1          44  1
145-      F1  1  42  1          43  1
146-      F1  1  31  1          34  1
147-      F1  1  32  1          33  1
148-      F1  1  21  1          24  1
149-      F1  1  22  1          23  1
150-      F1  1  41  2          42  2
151-      F1  1  43  2          44  2
152-      F1  1  31  2          32  2
153-      F1  1  33  2          34  2
154-      F1  1  21  2          22  2
155-      F1  1  23  2          24  2
156-      F1  1  25  1          251  1
157-      F1  1  25  2          251  2
158-      F1  1  25  3          251  3
159-      F1  1  25  4          251  4
160-      F1  1  25  5          251  5
161-      F1  1  26  1          261  1
162-      F1  1  26  2          261  2
163-      F1  1  26  3          261  3
164-      F1  1  26  4          261  4
165-      F1  1  26  5          261  5
166-      F1  1  27  1          271  1
167-      F1  1  27  2          271  2
168-      F1  1  27  3          271  3
169-      F1  1  27  4          271  4
170-      F1  1  27  5          271  5
171-      F1  1  28  1          281  1
172-      F1  1  28  2          281  2
173-      F1  1  28  3          281  3
174-      F1  1  28  4          281  4
175-      F1  1  28  5          281  5
176-
177-  Y
178-  TIME SERIES
179-  Y
180-  (CONTENTS OF FILE TP21 HAVE BEEN INSERTED HERE)
181-  Y
182-  RESPONSE
183-  V          TIME          0.05  1
184-          TIME          10.0  1
185-      ACCE          2          1.0 1301  3          1.0 1302  4          1.0 1303
186-      BOUN          1
187-      FAS          1
188-  Y
189-  END MODEL
  
```

付表10(d) 「FINAS」入力データ (ケース2-1: RD1-12)
 A-Table 10(d) Input Data "FINAS" (Case-2-1:RD1-12)

	OUTPUT CONTROL DATA IMAGE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0	.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
OUTPUT								
NSET1	1	11	24	27	35	44	45	
NSET1	2	27	28					
NSET1	3	11	12	13	14	15	16	17 18
PRINT SELECT								
DISP	NONE							
VELO	NONE							
ACCE	NONE							
ELM	NONE							
MODE	NONE							
ELFO	NONE							
XELM	NONE							
XELFO	NONE							
PRESS	NONE							
WAVEH	NONE							
XPRESS	NONE							
XWAVEH	NONE							
XDISP	2							
XACCE	1							
XVELO	1							
REAC	3							
POST TAPE								
DISP	2							
VELO	NONE							
ACCE	1							
ELM	NONE							
REAC	3							
MODE	NONE							
ELFO	NONE							
XELM	NONE							
XELFO	NONE							
PRESS	NONE							
WAVEH	NONE							
XPRESS	NONE							
XWAVEH	NONE							
XDISP	NONE							
XACCE	NONE							
XVELO	NONE							
END OUTPUT								
END FINAS								

付表11(c) 「FINAS」入力データ (ケース2-2:RD1-12)
 A-Table 11(c) Input Data "FINAS" (Case-2-2:RD1-12)

```

111-      3          1  1  2
112-      E          2.10E7
113-      NU          0.3
114-      RHO         6.601
115-      SIGY        3.396E4
116-      HDASH       2.05E5
117-      4          1  1  2
118-      E          2.10E7
119-      NU          0.3
120-      RHO         0.001
121-      SIGY        3.396E4
122-      HDASH       2.05E5
123-      5          1  1  2
124-      E          6.15E7
125-      NU          0.3
126-      RHO         0.001
127-      SIGY       96780.0
128-      HDASH      4.614E6
129-  DAMPING
130-    F2              1      0.0  1.24E-3
131-  BOUNDARY
132-  V          NODS  NODE  DNOD      DOFS  DOFE
133-    1              41  44          6
134-              31  34          6
135-              21  28          6
136-             251  281   10      6
137-              11  18          4  6
138-    2              11  18          1      1.0
139-    3              11  18          2      1.0
140-    4              11  18          3      1.0
141-  FASTENING
142-  V          LOOP  NOD1  DOF1  DNOD  NOD2  DOF2  DNOD
143-    1
144-      F1  1  41  1  1  44  1
145-      F1  1  42  1  1  43  1
146-      F1  1  31  1  1  34  1
147-      F1  1  32  1  1  33  1
148-      F1  1  21  1  1  24  1
149-      F1  1  22  1  1  23  1
150-      F1  1  41  2  2  42  2
151-      F1  1  43  2  2  44  2
152-      F1  1  31  2  2  32  2
153-      F1  1  33  2  2  34  2
154-      F1  1  21  2  2  22  2
155-      F1  1  23  2  2  24  2
156-      F1  4  25  1  1  251  1  10
157-      F1  4  25  2  1  251  2  10
158-      F1  4  25  4  1  251  4  10
159-      F1  4  25  5  1  251  5  10
160-      F1  4  25  1  1  251  1  10
161-      F1  4  25  5  1  251  5  10
162-  V
163-  V  TIME SERIES
164-  V
165-  (CONTENTS OF FILE TP21 HAVE BEEN INSERTED HERE)
166-  V
167-  RESPONSE
168-  610-  TIME      10.00  1
169-  611-  V  TIME      0.050  1
170-  612-  ACCE      2      1.0 1301  3      1.0 1302  4      1.0 1303
171-  613-  BOUN      1
172-  614-  FAS       1
173-  V
174-  615-  END MODEL
    
```

付表11(d) 「FINAS」入力データ(ケース2-2:RD1-12)
 A-Table 11(d) Input Data "FINAS" (Case-2-2:RD1-12)

	OUTPUT		CONTROL			DATA		IMAGE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0									
OUTPUT									
NSET1	1	11	24	27	39	44	45		
NSET1	2	27	28						
NSET1	3	11	12	13	14	15	16	17 18	
PRINT SELECT									
DISP	NONE								
VELO	NONE								
ACCE	NONE								
ELM	NONE								
REAC	NONE								
MODE	NONE								
ELFO	NONE								
POST TAPE									
DISP	2								
VELO	NONE								
ACCE	1								
ELM	NONE								
REAC	3								
ELFO	NONE								
END OUTPUT									
END FINAS									

付表12(a) 「FINAS」入力データ(ケース3:LRB-9)
 A-Table 12(a) Input Data "FINAS" (Case-3:LRB-9)

```

    ANALYSIS CONTROL DATA IMAGE
    1.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
    FINAS
    TITLE CASE 26
    SUBTITLE 3-D FRAME(LRB 3-D INPUT)
    DYNAMIC M MR
    VATA CHECK
    NOPRINT DESCR
    CONTROL
    EIGENVALUE 7
    v
    
```

CASE 26
 3-D FRAME(LRB 3-D INPUT)

FINAS VERSION 10.0

```

    MODEL DATA IMAGE
    1.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....8
    0- MODEL
    1- NODE
    v NO X(M) Y(M) Z(M)
    2- 41 0.0 0.0 2.657
    3- 42 2.5 0.0 2.657
    4- 43 2.5 2.5 2.657
    5- 44 0.0 2.5 2.657
    6- 45 1.25 2.5 2.657
    7- 31 0.0 0.0 1.345
    8- 32 2.5 0.0 1.345
    9- 33 2.5 2.5 1.345
    10- 34 0.0 2.5 1.345
    11- 35 1.25 2.5 1.345
    12- 21 0.0 0.0 0.000
    13- 22 2.5 0.0 0.000
    14- 23 2.5 2.5 0.000
    15- 24 0.0 2.5 0.000
    16- 25 1.25 2.5 0.000
    17- 26 0.0 1.25 0.000
    18- 11 0.0 0.0 -0.108
    19- 12 2.5 0.0 -0.108
    20- 13 2.5 2.5 -0.108
    21- 14 0.0 2.5 -0.108
    v
    22- ELEMENT TYPE
    23- 1 SBEAM2
    24- 2 LCOMB2
    v
    25- CONNECTION
    v NO IETY IGED IMAT I J K
    v SUPERSTRUCTURE
    26- 41 1 1 1 41 42 31
    27- 42 1 1 1 42 43 32
    28- 43 1 1 1 43 45 33
    29- 432 1 1 1 44 45 34
    30- 44 1 1 1 44 41 34
    31- 31 1 1 2 31 32 21
    32- 32 1 1 2 32 33 22
    33- 331 1 1 2 33 35 23
    34- 332 1 1 2 34 35 24
    35- 34 1 1 2 34 31 24
    36- 21 1 1 3 21 22 11
    37- 22 1 1 3 22 23 12
    38- 231 1 1 3 23 25 13
    39- 232 1 1 3 24 25 14
    40- 241 1 1 3 24 26 14
    41- 242 1 1 3 21 26 11
    42- 301 1 2 4 41 31 42
    43- 302 1 2 4 42 32 43
    44- 303 1 2 4 43 33 44
    45- 304 1 2 4 44 34 41
    46- 201 1 3 4 31 21 32
    47- 202 1 3 4 32 22 33
    48- 203 1 3 4 33 23 34
    49- 204 1 3 4 34 24 31
    v RUBBER BEARING
    50- 111 2 11 21 11
    51- 112 2 12 21 11
    52- 113 2 13 21 11
    53- 114 2 14 21 11
    54- 115 2 15 21 11
    55- 121 2 11 22 12
    56- 122 2 12 22 12
    57- 123 2 13 22 12
    58- 124 2 14 22 12
    59- 125 2 15 22 12
    60- 131 2 11 23 13
    61- 132 2 12 23 13
    62- 133 2 13 23 13
    63- 134 2 14 23 13
    64- 135 2 15 23 13
    65- 141 2 11 24 14
    66- 142 2 12 24 14
    67- 143 2 13 24 14
    68- 144 2 14 24 14
    69- 145 2 15 24 14
    
```


付表13(a) 「FINAS」入力データ (ケース4 : HDR-9)
 A-Table 13(a) Input Data "FINAS" (Case-4:HDR-9)

```

        ANALYSIS CONTROL DATA IMAGE
    1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
    FINAS
    TITLE CASE 28
    SUBTITLE 3-D FRAME(HDR 3-D INPUT)
    DYNAMIC M MR
    VATA CHECK
    NOPRINT DESCR
    CONTROL
    EIGENVALUE 7
    v
    
```

CASE 28
 3-D FRAME(HDR 3-D INPUT)

FINAS VERSION 10.0

```

        MODEL DATA IMAGE
    1.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0.....0
    0- MODEL
    1- NODE
    v NO X(M) Y(M) Z(M)
    2- 41 0.0 0.0 2.657
    3- 42 2.5 0.0 2.657
    4- 43 2.5 2.5 2.657
    5- 44 0.0 2.5 2.657
    6- 45 1.25 2.5 2.657
    7- 31 0.0 0.0 1.345
    8- 32 2.5 0.0 1.345
    9- 33 2.5 2.5 1.345
    10- 34 0.0 2.5 1.345
    11- 35 1.25 2.5 1.345
    12- 21 0.0 0.0 0.000
    13- 22 2.5 0.0 0.000
    14- 23 2.5 2.5 0.000
    15- 24 0.0 2.5 0.000
    16- 25 1.25 2.5 0.000
    17- 26 0.0 1.25 0.000
    18- 11 0.0 0.0 -0.108
    19- 12 2.5 0.0 -0.108
    20- 13 2.5 2.5 -0.108
    21- 14 0.0 2.5 -0.108
    v
    22- ELEMENT TYPE
    23- 1 SBEAM2
    24- 2 LCOMB2
    v
    25- CONNECTION
    v NO IETY IGED IMAT I J K
    v SUPERSTRUCTURE
    26- 41 1 1 1 41 42 31
    27- 42 1 1 1 42 43 32
    28- 431 1 1 1 43 45 33
    29- 432 1 1 1 44 45 34
    30- 44 1 1 1 44 41 34
    31- 31 1 1 2 31 32 21
    32- 32 1 1 2 32 33 22
    33- 331 1 1 2 33 35 23
    34- 332 1 1 2 34 35 24
    35- 34 1 1 2 34 31 24
    36- 21 1 1 3 21 22 11
    37- 22 1 1 3 22 23 12
    38- 231 1 1 3 23 25 13
    39- 232 1 1 3 24 25 14
    40- 241 1 1 3 24 26 14
    41- 242 1 1 3 21 26 11
    42- 301 1 2 4 41 31 42
    43- 302 1 2 4 42 32 43
    44- 303 1 2 4 43 33 44
    45- 304 1 2 4 44 34 41
    46- 201 1 3 4 31 21 32
    47- 202 1 3 4 32 22 33
    48- 203 1 3 4 33 23 34
    49- 204 1 3 4 34 24 31
    v
    50- RUBBER BEARING
    51- 111 2 11 21 11
    52- 112 2 12 21 11
    53- 113 2 13 21 11
    54- 114 2 14 21 11
    55- 115 2 15 21 11
    56- 121 2 11 22 12
    57- 122 2 12 22 12
    58- 123 2 13 22 12
    59- 124 2 14 22 12
    60- 125 2 15 22 12
    61- 131 2 11 23 13
    62- 132 2 12 23 13
    63- 133 2 13 23 13
    64- 134 2 14 23 13
    65- 135 2 15 23 13
    66- 141 2 11 24 14
    67- 142 2 12 24 14
    68- 143 2 13 24 14
    69- 144 2 14 24 14
    70- 145 2 15 24 14
    
```

