

土 木 研 究 所 資 料

ハイブリッドコントロールによる 耐震性向上技術に関する研究

—(その1) バリアブルダンパーの
実大模型の動的載荷実験—

平成5年1月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

「Copyright © (1993) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted,
nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

ハイブリッドコントロールによる 耐震性向上技術に関する研究

—(その1) バリアブルダンパーの 実大模型の動的載荷実験—

土木研究所地震防災部

耐震研究室 室長 川 島 一 彦
研究員 運 上 茂 樹
飯 田 寛 之
向 秀 毅

要 旨

近年、免震設計が道路橋にも取り入れられ始め、地震時の耐震性を向上させる技術として定着しつつある。免震設計は、構造物の長周期化を図るとともに、減衰性能を向上させることにより構造物の地震時応答を低減させようというものである。一方、免震設計と並んで、制震設計と呼ばれる新しい手法も主に構造物の耐風安定性の向上のために実際に取り入れられつつある。しかしながら、大地震時には制御に要するエネルギーが過大となることから現状ではまだ実用段階にはない。このため、免震技術と制震技術の長所を組み合わせ、少ないエネルギーで効果的に制御するハイブリッドコントロール技術が有望視されている。土木研究所では、ハイブリッドコントロールに用いるための装置として、構造物の振動性状に応じてその減衰特性を変化させることが可能なバリアブルダンパーを考案した。

本資料は、バリアブルダンパーの実大模型を製作し、模型単体を用いた動的載荷実験によりその特性を検討するとともに、構造物の応答に応じて減衰特性を変化させる場合のバリアブルダンパーの制御方法について検討した結果をまとめたものである。

キーワード：ハイブリッドコントロール、免震設計、制震設計、バリアブルダンパー、
実大模型、動的載荷実験

目 次

1. まえがき	1
2. バリアブルダンパーの実大模型の開発	2
2.1 バリアブルダンパーの概要	2
2.2 バリアブルダンパーの実大模型の構成及び性能	3
3. バリアブルダンパーの実大模型の動的载荷試験	10
3.1 目 的	10
3.2 実験方法及び実験条件	10
3.3 実験結果	12
3.4 バリアブルダンパーの特性関数	18
4. バリアブルダンパーの制御方法	21
4.1 バリアブルダンパーの制御装置の構成	21
4.2 制御方法	22
5. バリアブルダンパーの実大模型の制御確認試験	24
5.1 実験方法及び実験条件	24
5.2 実験結果	26
6. 結 論	30
参考文献	31
付属資料	33

1. ま え が き

近年、免震設計が道路橋にも取り入れられ始め、地震時の耐震性を向上させる技術として定着しつつある。免震設計は、構造物の長周期化を図るとともに、減衰性能を向上させることにより地震時の応答を低減させようというものである。

一方、免震設計と並んで、制震設計と呼ばれる新しい手法も主に構造物の耐風安定性の向上対策のために実際に取入れられつつある。制震設計は、なんらかの装置あるいは機構を用いて外部からエネルギーを供給することにより強制的に構造物の応答を低減しようというものであり、外部から供給するエネルギーによっては構造物の応答を限りなく小さくすることも可能である。しかしながら、大地震時には、制御に要するエネルギーが過大となることから、大地震に対する制御に対しては現状ではまだ現実的ではない。このため、免震技術と制震技術の長所を組み合わせ、少ないエネルギーで構造物の地震時応答を効果的に制御しようというハイブリッドコントロール技術が有望視されている。

土木研究所では、ハイブリッドコントロールに用いるための装置として、構造物の振動性状に応じてその減衰特性を変化させることが可能なバリアブルダンパー装置を考案し、これまでバリアブルダンパーによる地震応答制御効果、バリアブルダンパーの最適な制御方法等について検討してきた。この結果、バリアブルダンパーが構造物の地震応答を低減させるために有効であることが明かとなっている。このため、バリアブルダンパーの効果を実証するためにバリアブルダンパーの実大模型を設計、製作した。

本資料は、試作したバリアブルダンパーの実大模型単体を用いた動的載荷実験によりその特性を検討するとともに、構造物の応答に応じて減衰特性を変化させる場合の制御方法について検討した結果をまとめたものである。

2. バリアブルダンパーの実大模型の開発

2.1 バリアブルダンパーの概要

バリアブルダンパーとは、基本的には粘性ダンパーであるが、粘性減衰力を構造物の応答性状に応じて図-2.1に示すように変化させようというものである。すなわち、

- ① 橋桁の振動の振幅が小さいうちは、減衰係数を大きくして、車両の制動荷重などに対しては、事実上固定支承と同じ機能をもたせる。速度の遅い温度変化による桁の伸縮に対しては可動である。
- ② 地震が発生し、桁の振動がある程度大きくなった場合には、エネルギー吸収を図り、下部構造へ伝達される地震力を適切に低減できるように減衰係数を下げる。
- ③ さらに、桁の振動が大きくなり過ぎた場合には、これ以上の桁の振動を抑えるために、徐々に減衰係数を大きくして緩衝機能付きの移動制限装置の役目をもたせる。これは、急に減衰係数を上げ、移動制限機能が発揮されると、衝撃的な力が生じ橋梁に悪影響を及ぼす可能性があるためである。

したがって、バリアブルダンパーとは、上記3点からみて、従来の粘性ダンパーストッパー、エネルギー吸収装置としてのダンパー、緩衝機能付きの移動制限装置の3つの装置の長所を合わせ持った装置ということができる。

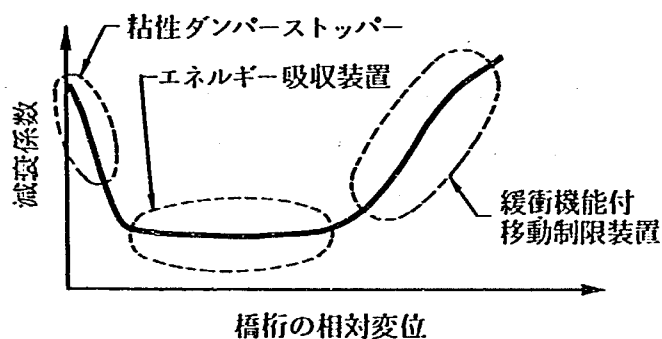


図-2.1 バリアブルダンパーの概念

バリアブルダンパーの構造としては、いろいろなものが考えられるが、最もシンプルなものとしては図-2.2のようになる。基本的な構造は、従来のシリンダー型のダンパーにピストンをまたいでバイパスを設け、このバイパスを通る粘性体の量をコントロールすればよい。こうした流体の通過量のコントロールに関する技術にはいろいろなものが開発されており、実用化の際にはこのような技術を応用可能である。

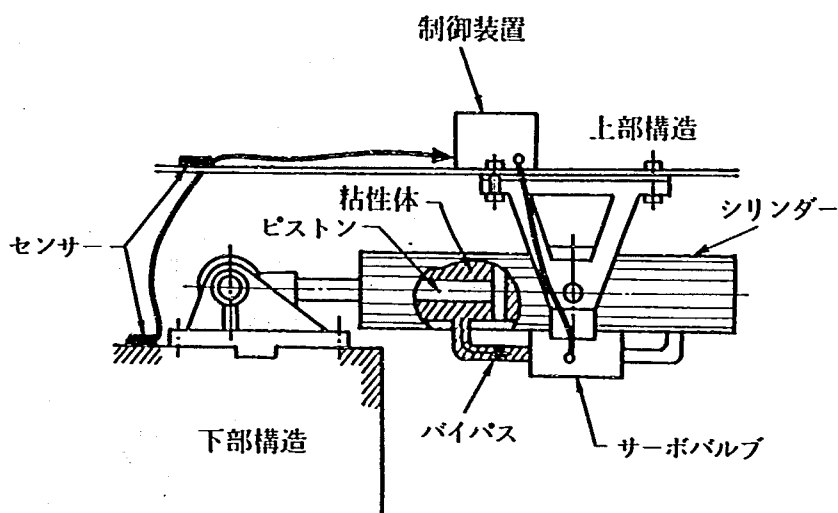


図-2.2 バリアブルダンパーの構造概要

2.2 バリアブルダンパーの実大模型の構成及び性能

(1) バリアブルダンパーの構成

バリアブルダンパー装置は、以下の部品から構成される。

- ① ダンパー本体 : 1本
- ② サーボバルブユニット : 2基
- ③ コントロールアンプ : 2ch
- ④ コントローラ : 1基

バリアブルダンパーの実大模型の設計・製作に際しては、最大減衰力: 20tf, 最大ストローク: $\pm 10\text{cm}$ を基本条件として、ダンパー本体及びサーボバルブの性能を定めた。

(2) 各機能の性能

このような性能を満たすバリアブルダンパーの小型模型に用いた各機器の主要諸元を表-2.1～表-2.3に、ダンパーの寸法図及び流路図を図-2.3～図-2.4に示す。

このようにすると、バリアブルダンパーの設計性能は、表-2.4に示す通りとなり、また、バリアブルダンパーの抵抗力の調整可能範囲は、図-2.5に示す通りとなる。

表-2.1 ダンパー本体の主要諸元

支 持 形 式	中間固定トラニオン型
シリンダー内径	160 (mm)
ロ ッ ド 径	90 (mm)
シリンダー有効断面積	137.4 (cm ²)
最大ストローク	260 (mm)
使 用 圧 力	210 (kgf/cm ²)
最 高 使 用 圧 力	315 (kgf/cm ²)
最 低 作 動 圧 力	3 (kgf/cm ²)
最 高 使 用 速 度	300 (mm/sec)
最 低 使 用 速 度	10 (mm/sec)
使 用 温 度	-10 ~ +80 (°C)
荷 重 圧 力 係 数	90 (%)

表-2.2 サーボバルブの主要諸元

形 式	電磁比例リリーフ弁
最 高 調 整 圧 力	160 (kgf/cm ²)
最 大 流 量	160 (ℓ/min)
推 奨 最 低 流 量	12 (ℓ/min)
定 格 電 圧	DC24V
定 格 電 流	850 (mA)
コ イ ル 抵 抗	26~30(Ω) (20~60°C)
ヒステリシス(圧力)	最高調整圧力の3%以下
繰 り 返 し 性	最高調整圧力の1%以下

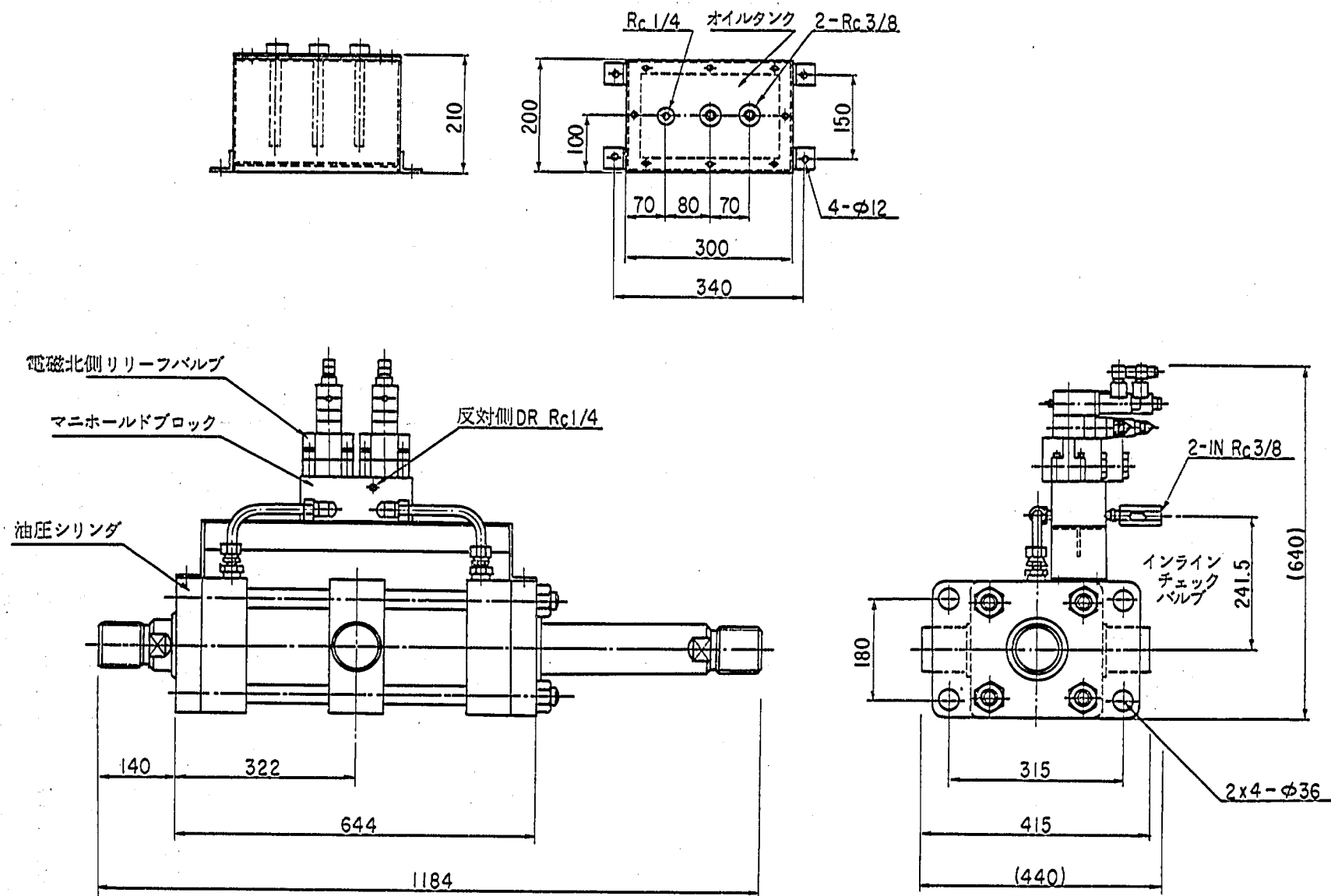


図- 2.3 バリアブルダンパー本体組立図

表-2.3 コントロールアソプの主要諸元

形 式	KL電気コントローラ
使用電源	AC 100/200/220 V ± 10%, 50/60Hz
出力電流	0 ~ 850 (mA)
負 荷	比例弁用ソレノイド DC24V 用
消費電力	最大 45 (W)
ランプ応答	最大 3 ~ 4.5 (sec/850mA)

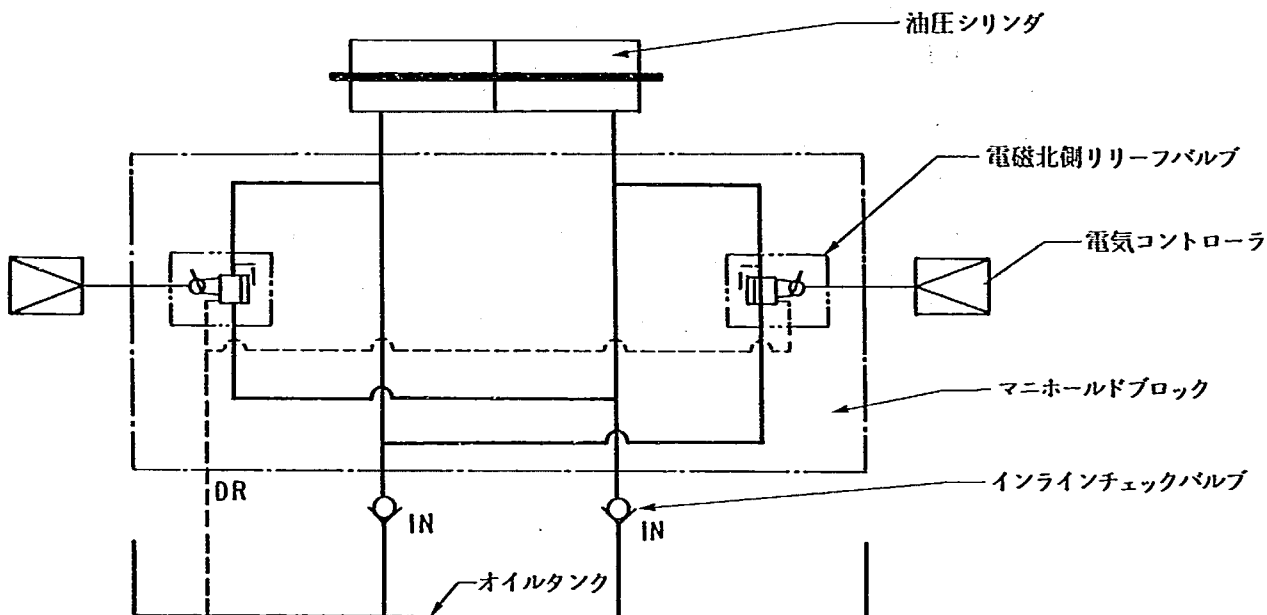


図-2.4 バリアブルダンパー流路図

表-2.4 バリアブルダンパー小型模型の設計性能

項 目		性 能
サーボ バルブ の性能	シリンダー有効断面積 A	137.4 (cm ²)
	最高調整圧力 $p_{\max}$	160 (kgf/cm ²)
	最低調整圧力 $p_{\min}$	5 (kgf/cm ²)
	最大流量 $Q_{\max}$	160 (ℓ/min)
	最小流量 $Q_{\min}$	12 (ℓ/min)
最大抵抗力 $F_{\max} = p_{\max} A$		22 (tf)
最小抵抗力 $F_{\min} = p_{\min} A$		0.7 (tf)
最大速度 $v_{\max} = Q_{\max}/A$		19.4 (cm/s)
最低速度 $v_{\min} = Q_{\min}/A$		1.46 (cm/s)

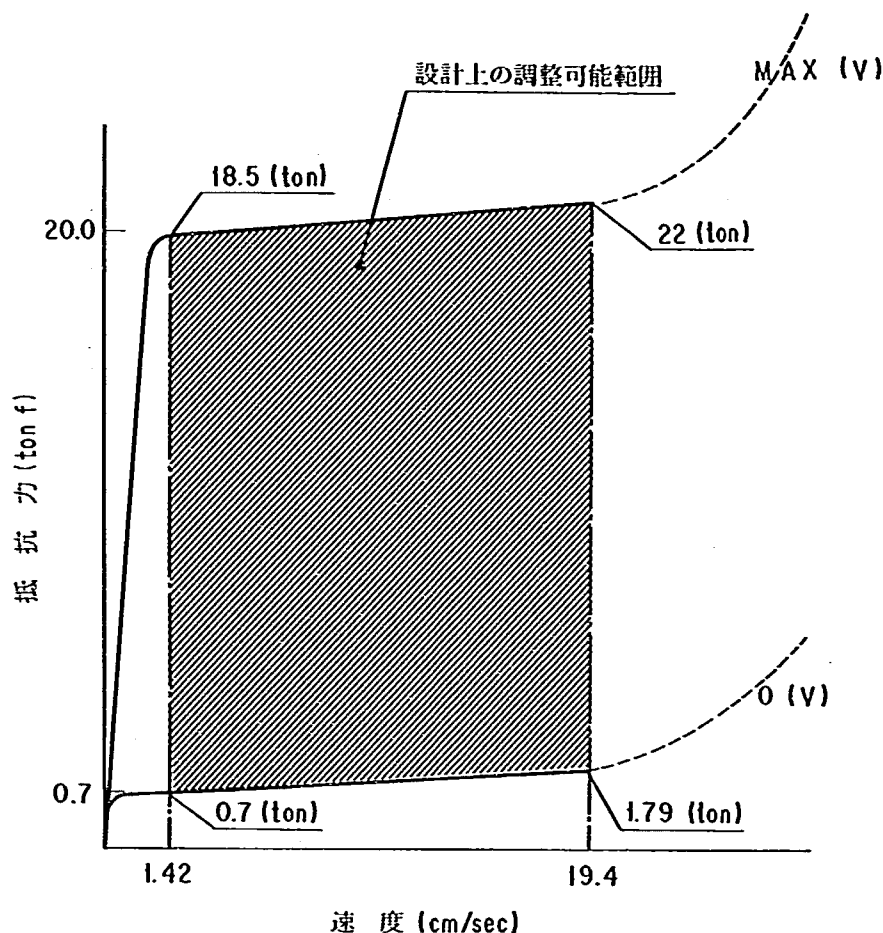


図- 2.5 バリアブルダンパーの小型モデルの性能曲線

バリアブルダンパーの抵抗力特性は、サーボバルブによる調整圧力の大きさのみで調整され、サーボバルブの調整圧力の大きさは、コントロールアンプからサーボバルブへ入力する電圧のみで制御される。このため、構造物の変位や速度応答に応じて、必要とする抵抗力を定めてやれば、サーボバルブに入力する電圧のみでバリアブルダンパーの抵抗力を制御することができる。なお、入力電圧 0 V で調整圧力最小（抵抗力最小）、入力電圧 5 V で調整圧力最大（抵抗力最大）となる。

(3) 温度特性

バリアブルダンパーの使用温度範囲は、表- 2.5 に示す通りとなる。今回試作したバリアブルダンパー小型モデルの作動油としては、通常の石油系の作動油（ISO VG 46 相当）を用いており、使用温度範囲はこの作動油に支配される。使用温度範囲は、作動油の凍結温度及び劣化温度から、 $-7.5 \sim 60^{\circ}\text{C}$ となる。橋梁等の構造物に設置する場合を考えると、外気にさらされること等から、低温～高温の広い温度範囲で作動油を使用することが必要とされる。

なお、バリアブルダンパーは動圧型ダンパーであり、サーボバルブ内の流れの状態は乱流であるため、バリアブルダンパーの基本特性は作動油の粘性特性の影響を大きく受けないことになる。

表－ 2.5 バリアブルダンパーの温度特性

項 目		特 性
作動油	品 名	石油系作動油（ISO VG 46 相当）
	使用温度範囲	$-7.5^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 凍結温度： -7.5°C 劣化温度： 60°C 引火点： 200°C
サーボバルブの 使用温度範囲		$-15^{\circ}\text{C} \sim +75^{\circ}\text{C}$ （電気系統の耐熱温度による）
作動油粘性の温度変化		動粘性 $0^{\circ}\text{C} : 280 \text{ (cst)}$ $+40^{\circ}\text{C} : 46 \text{ (cst)}$ [バリアブルダンパーは動圧型、流れ は乱流であり、ダンパーとしては粘 性] に依存しない。

(4) フェールセーフ機能

バリアブルダンパーは、フェールセーフ機能として、停電時等制御系の電源が切れた時にある減衰特性状態でロックする機構を有する。図－ 2.6 にフェールセーフ機能の概略図を示す。フェールセーフ機能は、停電時にサーボバルブのピンをばね力で機械的に固定することにより抵抗力を一定に保つ構造となっている。抵抗力値は、ばね力を調整することにより設定する。

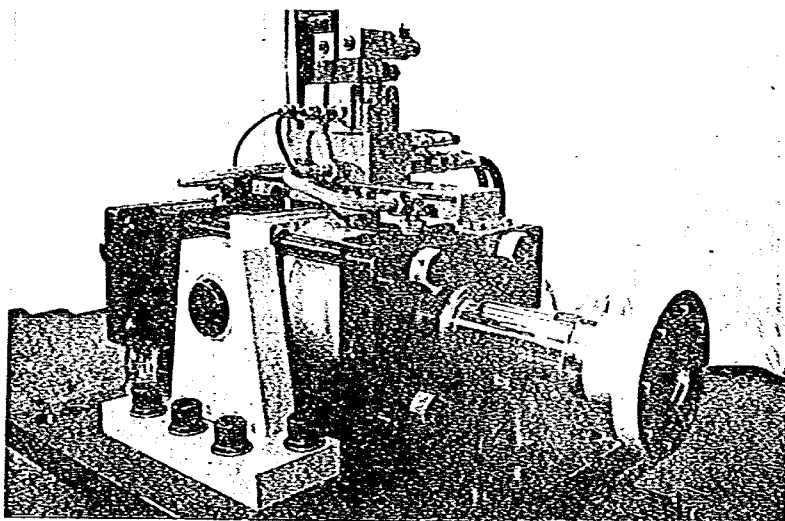


写真-2.1 バリアブルダンパー本体

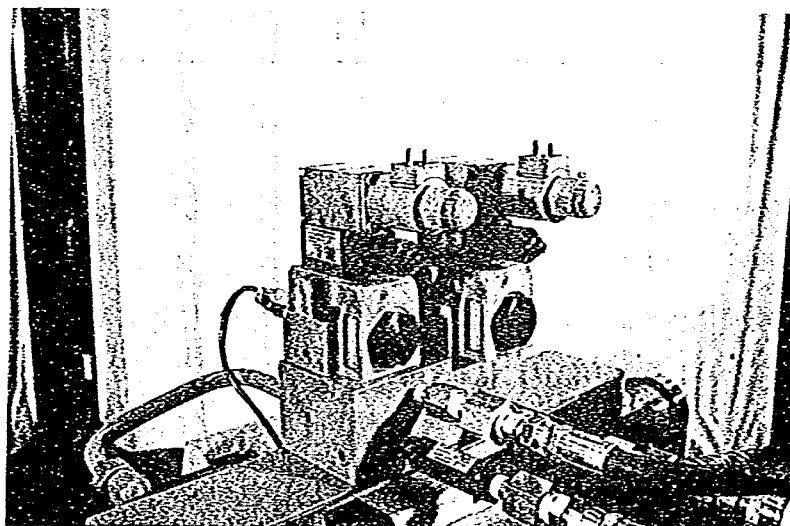


写真-2.2 サーボバルブユニット

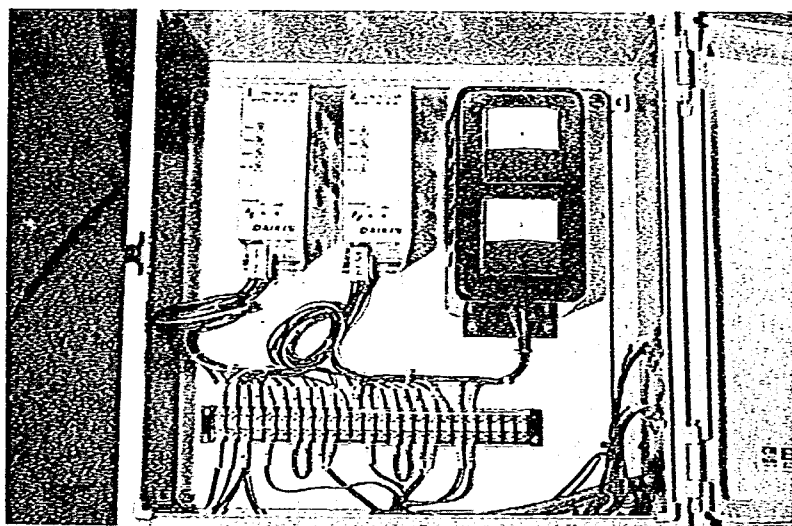
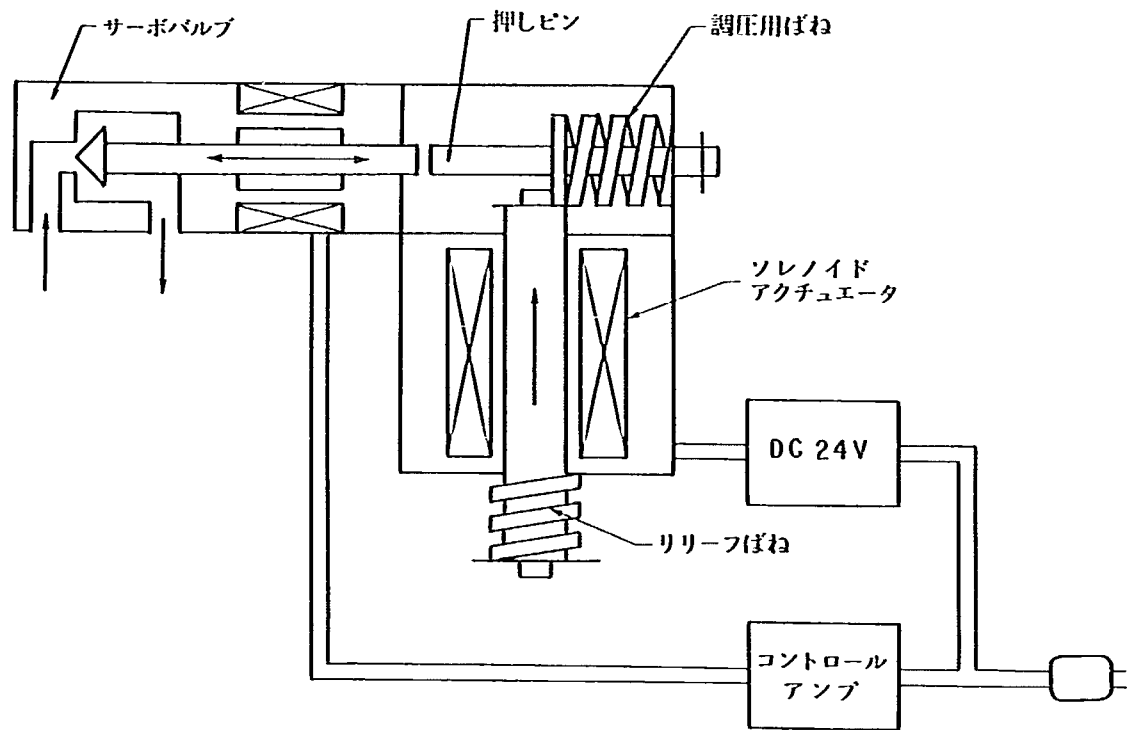
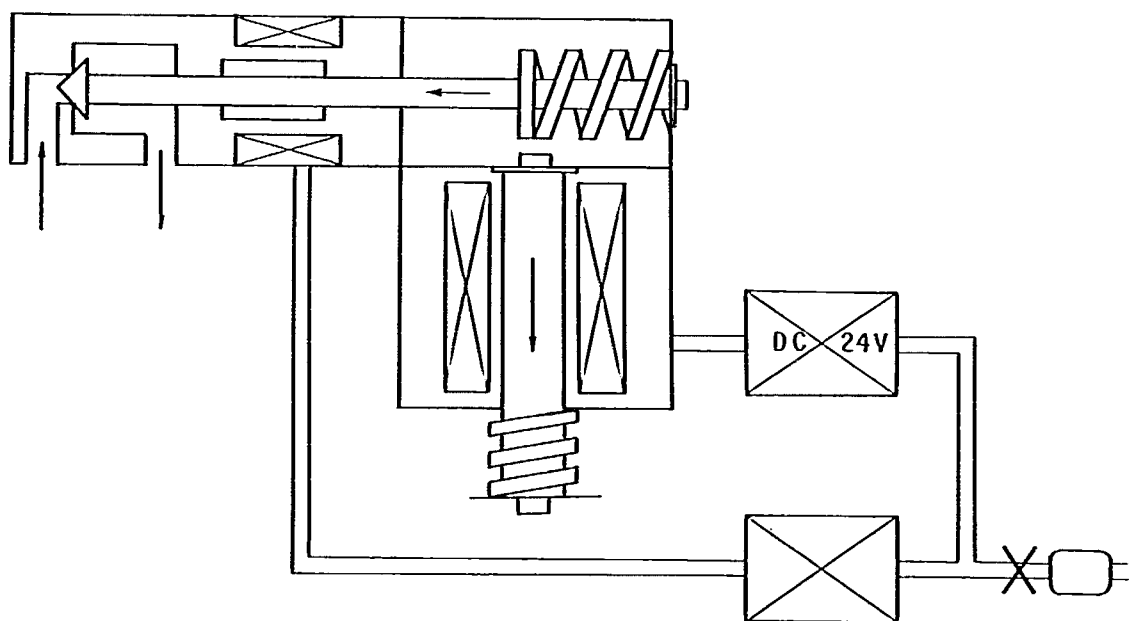


写真-2.3 サーボバルブ用コントロールアンブ



(a) 制御系通電時



(b) 制御系停電時

図-2.6 フェールセーフ機能概略図

3. バリアブルダンパーの実大模型の動的载荷実験

3.1 目 的

バリアブルダンパーは、構造物の変位や速度応答に応じてその減衰特性を任意に変化させることが可能な装置である。バリアブルダンパーの抵抗力特性は、コントローラからサーボバルブへ入力する電圧値のみで制御されるため、バリアブルダンパーにある特定の減衰特性を与える場合には入力電圧とバリアブルダンパーの抵抗力特性の関係を明らかにしておく必要がある。

このため、本実験では、開発製作したバリアブルダンパーの実大模型単体を用いて、サーボバルブへの入力電圧とバリアブルダンパーの減衰特性の関係を求め、任意に減衰特性を変化させる場合の制御系を構築するための基本特性を求めた。

3.2 実験方法及び実験条件

図-3.1及び写真-3.1は、実験状況を示したものである。

実験では、定電圧発生装置により一定電圧をコントロールアンプに入力してバリアブルダンパーの特性を一定に保った状態で、油圧アクチュエータにより強制加振した。強制加振では、加振振幅及び加振振動数を変化させた。

計測は、コントロールアンプへの入力電圧、バリアブルダンパーの変位及びアクチュエータとバリアブルダンパー間に取り付けたロードセルにより抵抗力を計測した。

実験ケースは、表-3.1に示す通りであり、以下の3種類について行った。

① 摩擦力測定実験

ダンパーピストンは、摺動部分を有しているため、この部分では摩擦が生じる。このため、ダン

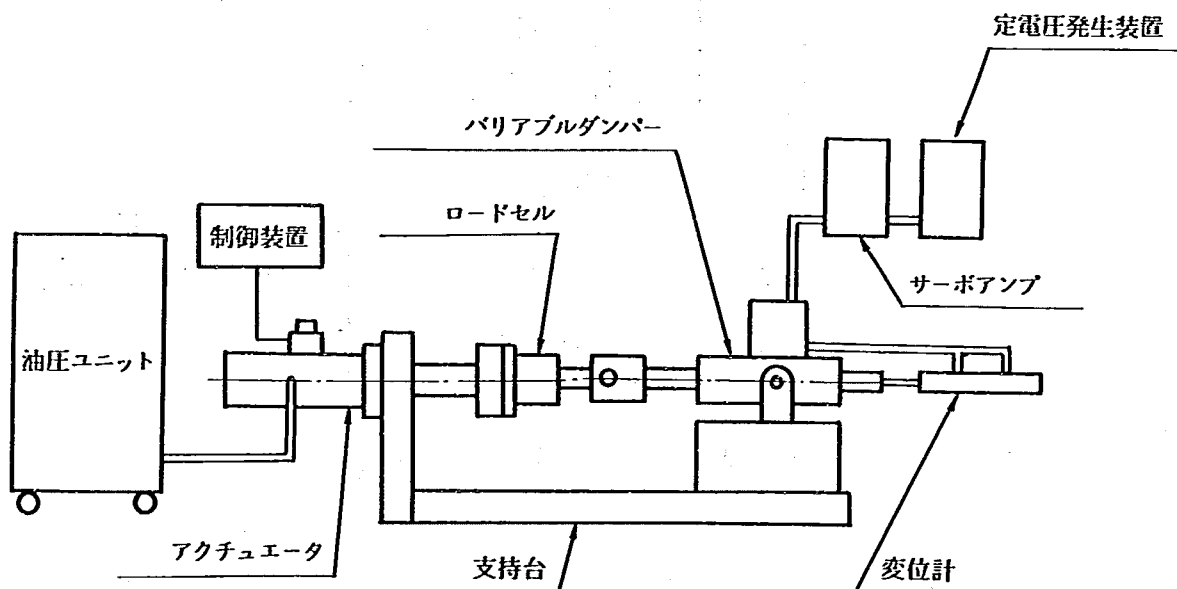


図-3.1 試験装置概略図

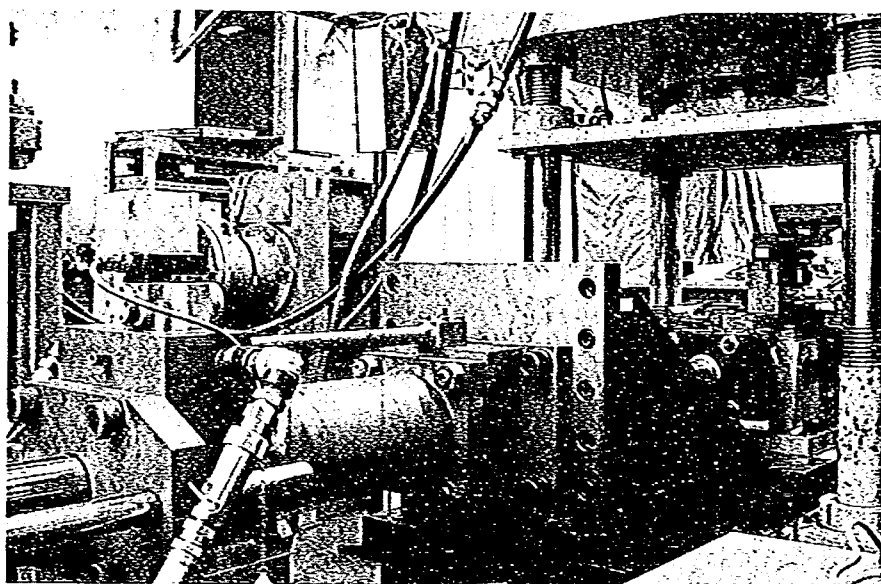


写真- 3.1 実験状況

表- 3.1 実験ケース

実験ケース	加振振動数 (Hz)	振 幅 (mm)	入力電圧 (V)	加振波形
摩擦力測定実験	0.05	± 100	0	正弦波及び三角波
入力電圧～抵抗力実験	0.1 ~ 1.0	± 2 ~ ± 100	0 ~ 5	正 弦 波
フェールセーフ* 機能確認実験	0.1	± 100	0	正 弦 波

*) フェールセーフ機能確認実験では、抵抗力を約10tfに設定。

バーにより抵抗力を与えない状態における抵抗力を測定した。コントロールアンプへの入力電圧を0Vとし、最低抵抗力の状態におけるダンパーピストンの摩擦等による抵抗力を求めた。静的な载荷を想定し、载荷振動数は0.05Hzとした。载荷変位振幅は±100mmとし、正弦波状及び三角波状の波形を载荷した。

② 入力電圧～抵抗力測定実験

バリアブルダンパーへの入力電圧と抵抗力の関係を求めるための実験であり、コントロールアンプへの入力電圧を一定にし、载荷振動数及び载荷変位振幅を変化させてその時のバリアブルダンパーの抵抗力を求めた。さらに、入力電圧を種々変化させて同様の実験を行った。表- 3.2に载荷条件を示す。なお、载荷に用いたアクチュエータの性能により速度が7cm/sを越える载荷は行っていない。载荷波形は正弦波とし、10波を基本に载荷した。

③ フェールセーフ機能確認実験

フェールセーフ機能の抵抗力を約10tfに設定して、その動作確認を行った。载荷振動数、0.1Hz、

载荷振幅 ± 100 mm の正弦波加振とし、サーボバルブへの入力電圧は 0 V とし、载荷の途中でフェールセーフ機能を作動させた。

3.3 実験結果

(1) 摩擦力測定実験

図-3.2 は、正弦波及び三角波で加振した場合のバリアブルダンパーの抵抗力～抵抗力関係の履歴曲線を示したものである。履歴曲線は、ほぼ矩形状を呈している。载荷の方向が逆転するところでわずかな乱れとオーバーシュートが生じている。これは、圧力が零となって反対向きの圧力になるまでに時間遅れが生じるためと考えられる。摩擦力は、1 gf 程度である。なお、抵抗力～変位関係に载荷の回数による変化は少なく再現性は非常によい。

(2) 入力電圧～抵抗力実験

図-3.3 及び図-3.4 は、表-3.2 に示した载荷ケースのうち、代表的な载荷ケースについて、バリアブルダンパーの抵抗力～変位関係の履歴曲線を示したものである。図-3.3 は、载荷振動数 0.1 Hz とし、载荷変位を変化させた場合の履歴曲線である。これによれば、抵抗力～変位の履歴曲線は、矩形状となりほぼ摩擦力が作用する系の履歴曲線を示している。これは、本バリアブルダンパーは、電磁比例リリーフ弁を用いており、弁を通過する粘性体の圧力がある一定値となった場合に、その超過分を解放するという特性を有しているためである。なお、履歴曲線にはピストンの向きが逆転するところで抵抗力が 0 になるまではほぼ瞬時に抵抗力が 0 になるが、その後反対向きにピストンが動きだすところで抵抗力の立ち上がりが遅れている。これは、特に変位が小さい（バルブを通過する流量が小さい）時により大きい。これは、ピストンの動きが逆転して圧力が立ち上がるまでにタイムラグを必要としていることを意味している。

図-3.4 は、载荷振動数を変化させた場合の履歴曲線を比較したものである。履歴曲線は、同様に矩形状となる。ただし、圧力が逆転する時に遅れが生じる点と、その後振動が生じている。これは、速度が速くなると急激に圧力が立ち上がるため、粘性体中に圧力波動的な現象が生じ始めるためと考えられる。

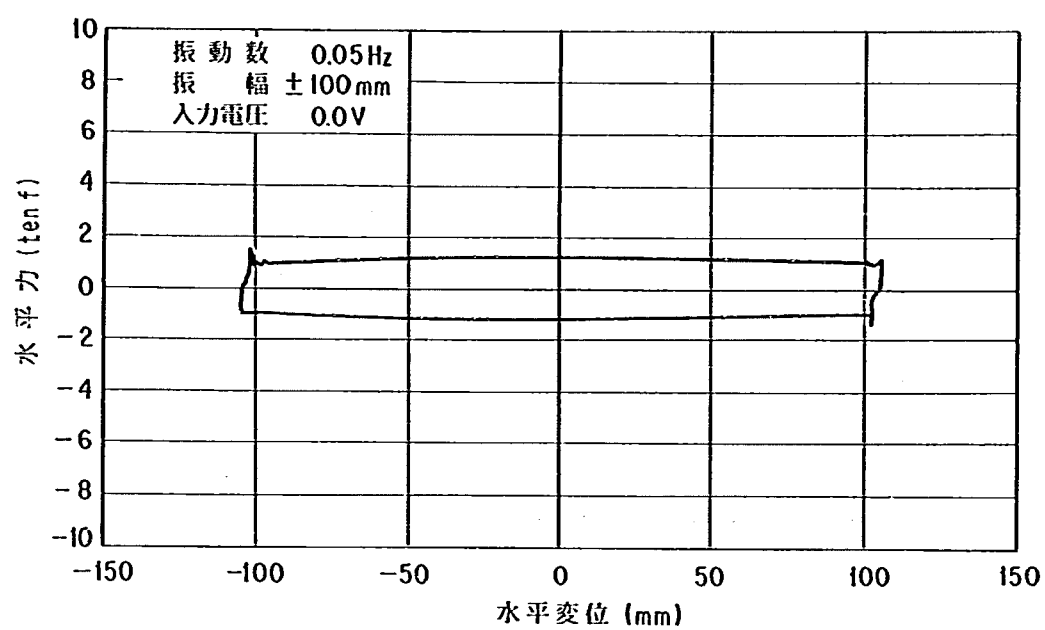
(3) フェールセーフ機能確認実験

図-3.5 は、载荷変位と抵抗力の関係式を示したものである。フェールセーフ機能を作動させるまでは、約 1 gf の抵抗力となっているが、フェールセーフ機能を作動させると、正側载荷で約 8 gf、負側载荷で約 11 gf の抵抗力が確認された。このため、ばね力を調整することにより設定することが確認された。

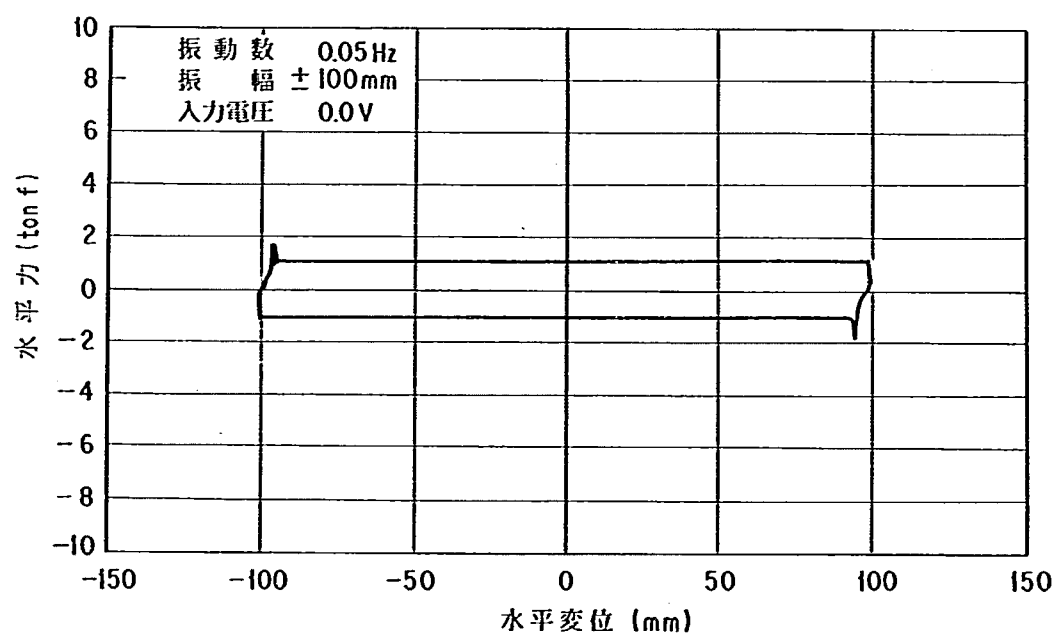
表-3.2 入力電圧～抵抗力測定実験の加振条件

振動数 振幅	0.1 (Hz)	0.2 (Hz)	0.5 (Hz)	1.0 (Hz)
2 (mm)	—	—	—	1.26
5 (mm)	—	—	1.57	3.14
10 (mm)	0.63	1.26	3.14	6.28
15 (mm)	—	—	4.71	—
20 (mm)	1.26	2.51	6.28	—
25 (mm)	—	3.14	—	—
40 (mm)	—	5.03	—	—
50 (mm)	3.14	6.28	—	—
80 (mm)	5.03	—	—	—
100 (mm)	6.28	—	—	—

(枠内の数値は速度 (cm/s))

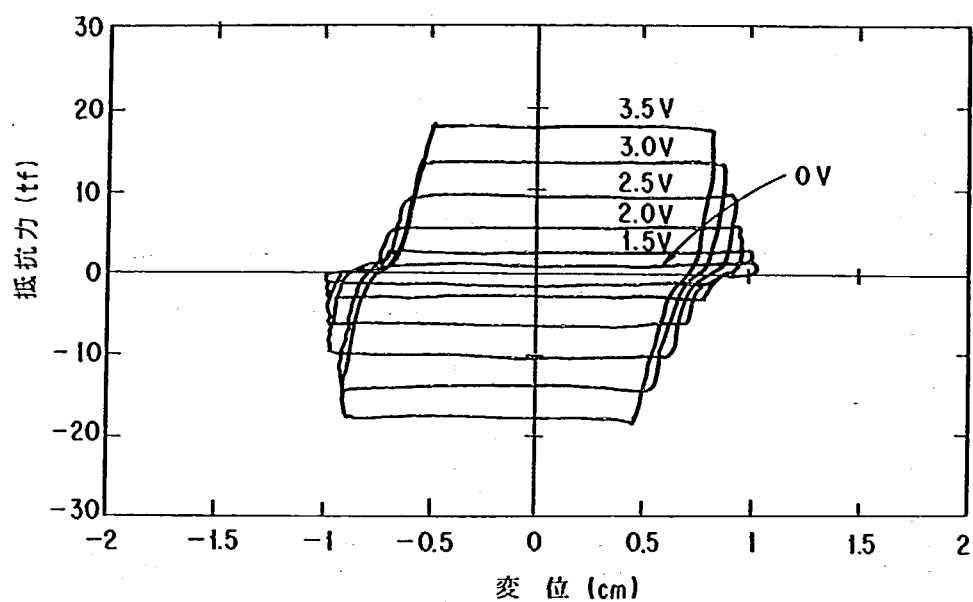


(a) 正弦波加振

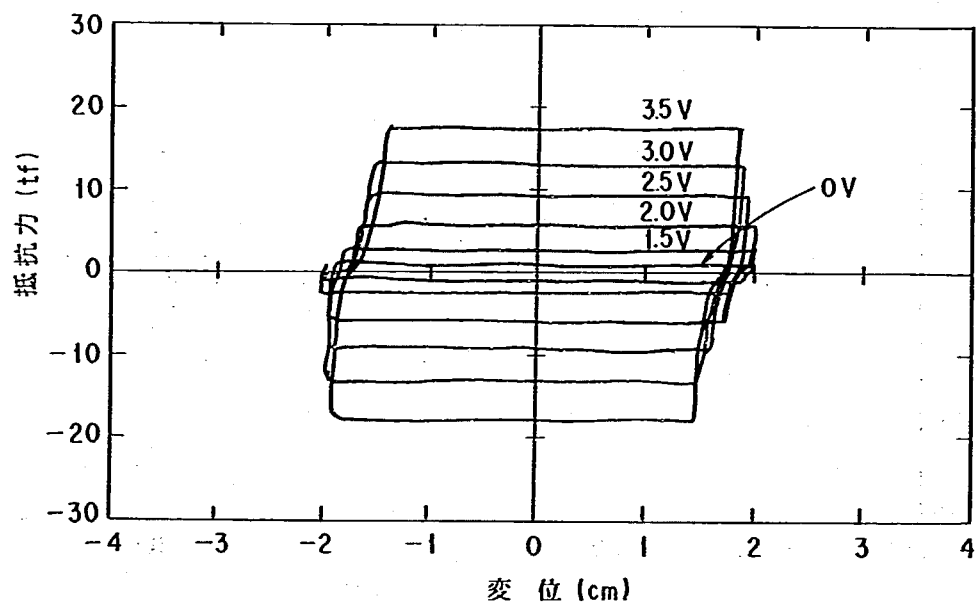


(b) 三角波加振

図- 3.2 摩擦力測定試験

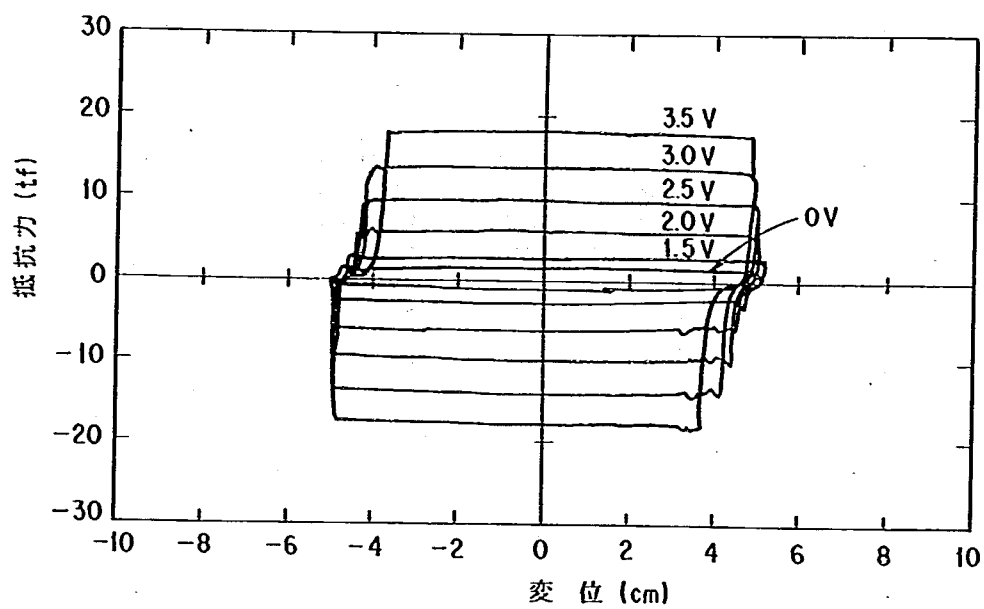


(1) 载荷振幅 10 mm

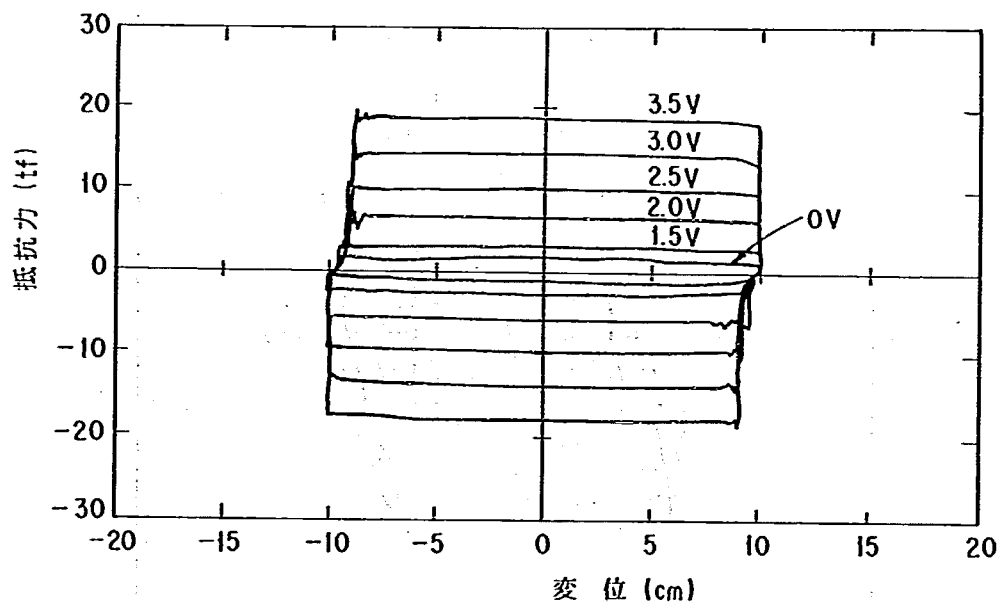


(2) 载荷振幅 20 mm

図-3.3(1) 抵抗力～変位の履歴曲線 (载荷振動数 0.1 Hz)

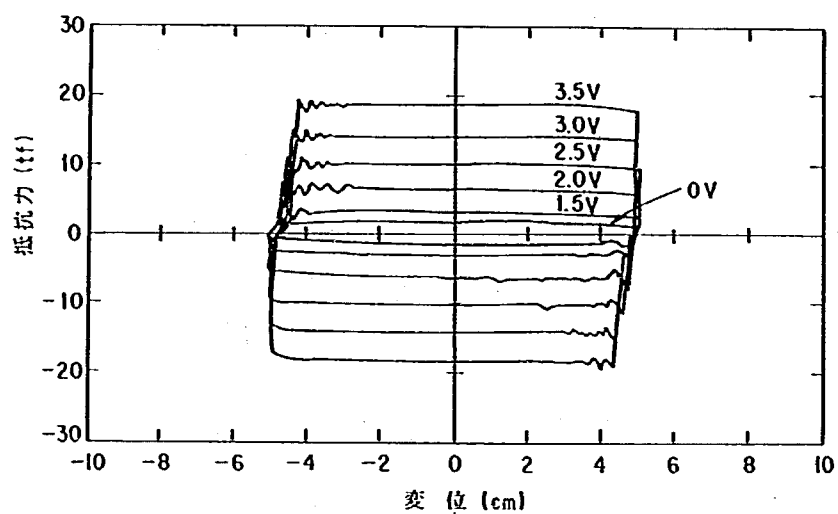


(3) 载荷振幅 50 μm

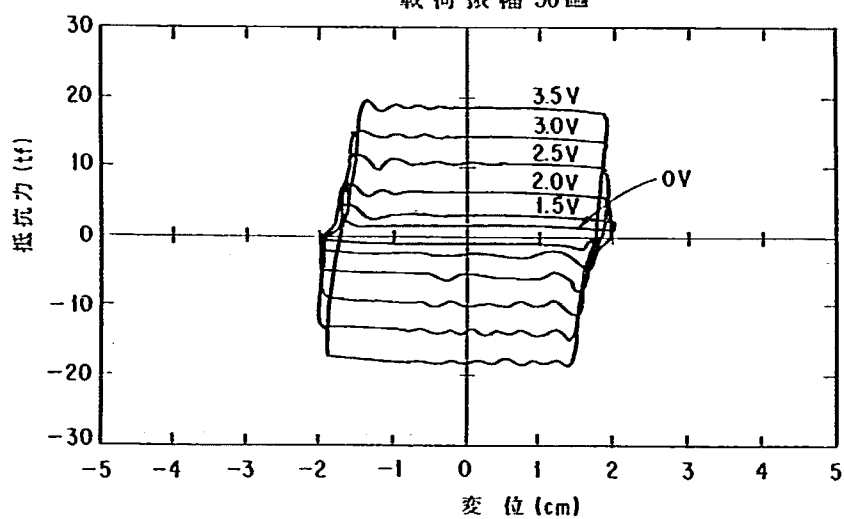


(4) 载荷振幅 100 μm

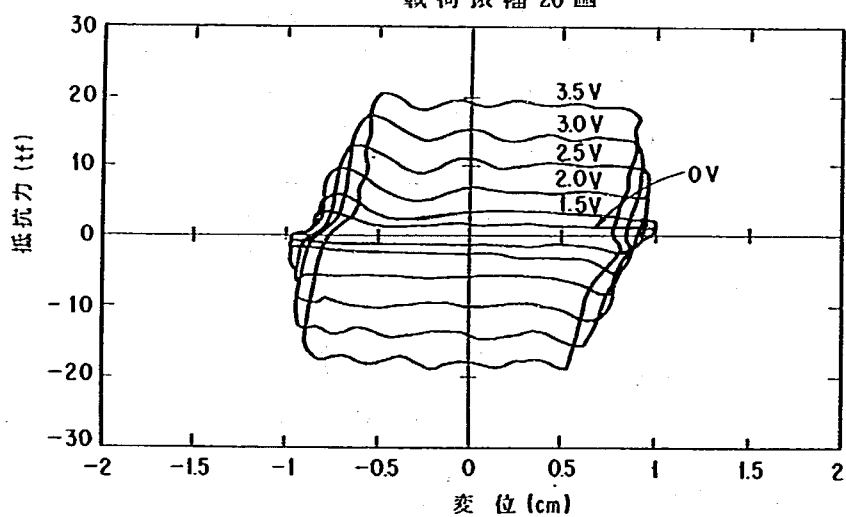
図-3.3(2) 抵抗力～変位の履歴曲線 (载荷振動数 0.1 Hz)



(1) 载荷振動数 0.2 Hz
载荷振幅 50 mm

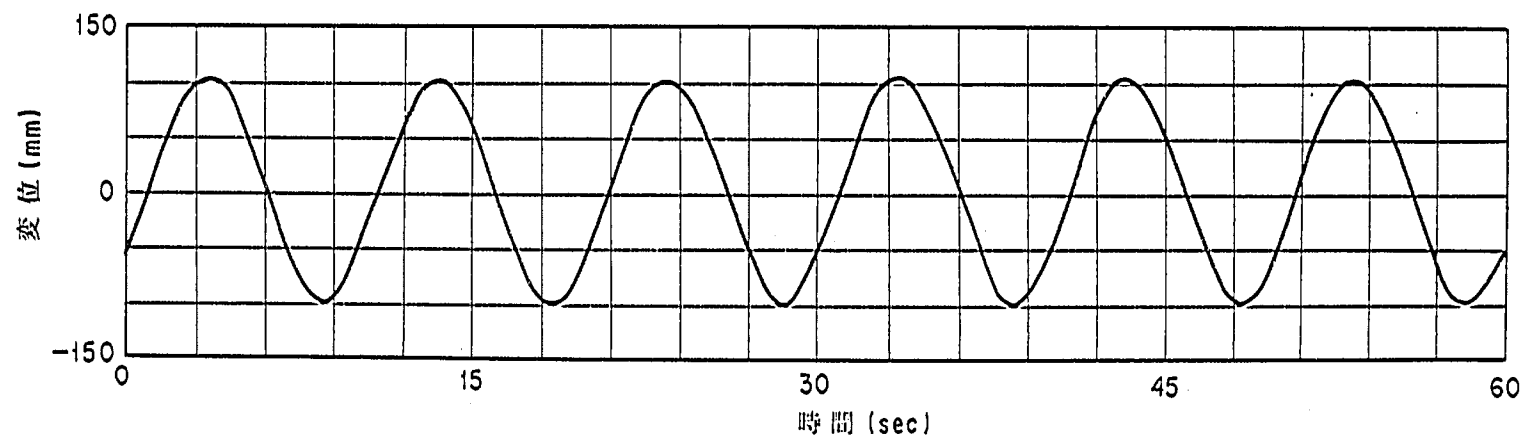


(2) 载荷振動数 0.5 Hz
载荷振幅 20 mm

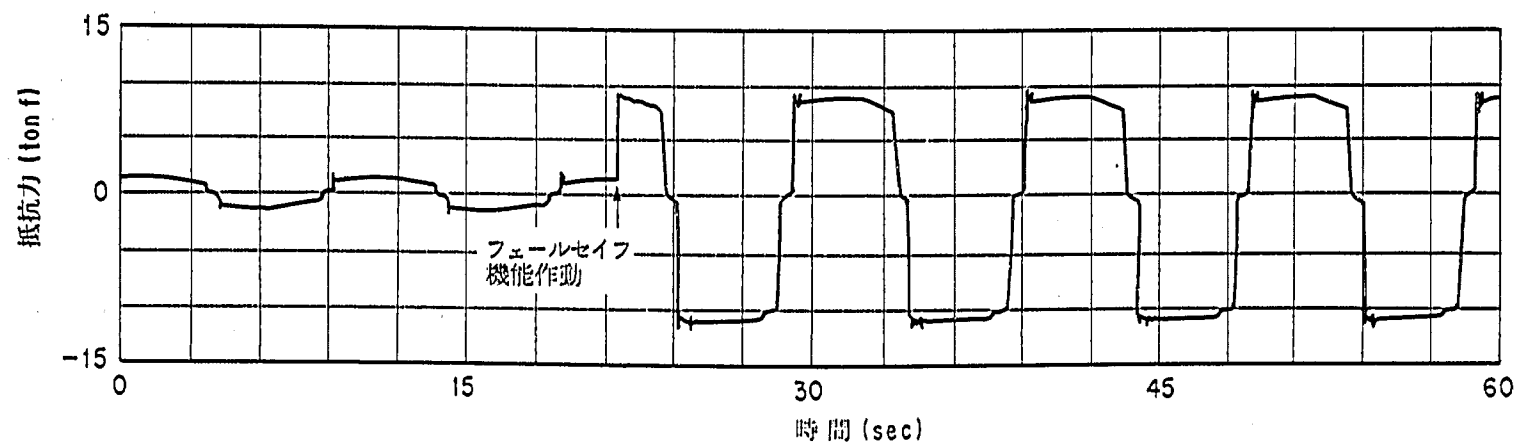


(3) 载荷振動数 1 Hz
载荷振幅 10 mm

図-3.4 抵抗力～変位の履歴曲線



(a) 載荷変位



(b) 抵抗力

図-3.5 フェールセーフ機能確認実験

3.4 バリアブルダンパーの特性関数

バリアブルダンパーの抵抗力を制御するために、上記の特性実験から求めたバリアブルダンパーの性能を定義する必要がある。

図-3.6は、コントロールアンプへの入力電圧とバリアブルダンパーの抵抗力を示したものである。ここで、バリアブルダンパーの抵抗力は、载荷変位に依存せず、入力電圧のみで制御することができる。入力電圧と抵抗力の関係は、ほぼ2次曲線的に変化する。なお、ここで、バリアブルダンパーの抵抗力は、正側载荷及び負側载荷の平均値とした値を示している。

図-3.7は、载荷速度と抵抗力の関係を示したものである。また、表-3.3は、図-3.7に示した速度～抵抗力関係の1次回帰式を示したものである。これによれば、载荷速度の係数はほぼ0に近く、バリアブルダンパーの抵抗力は载荷速度にほとんど依存しないといえる。

表-3.3 速度-抵抗力実験式

入力電圧 (V)	実 験 式
0.0	$F = 0.085 V + 0.89$
1.0	$F = 0.086 V + 1.10$
2.0	$F = 0.084 V + 5.36$
3.0	$F = 0.067 V + 13.8$
3.7	$F = 0.085 V + 19.6$

(F: 抵抗力 (tf), V: 入力電圧 (ボルト))

このため、バリアブルダンパーの抵抗力は、入力電圧のみにより定めることができる。図-3.6に

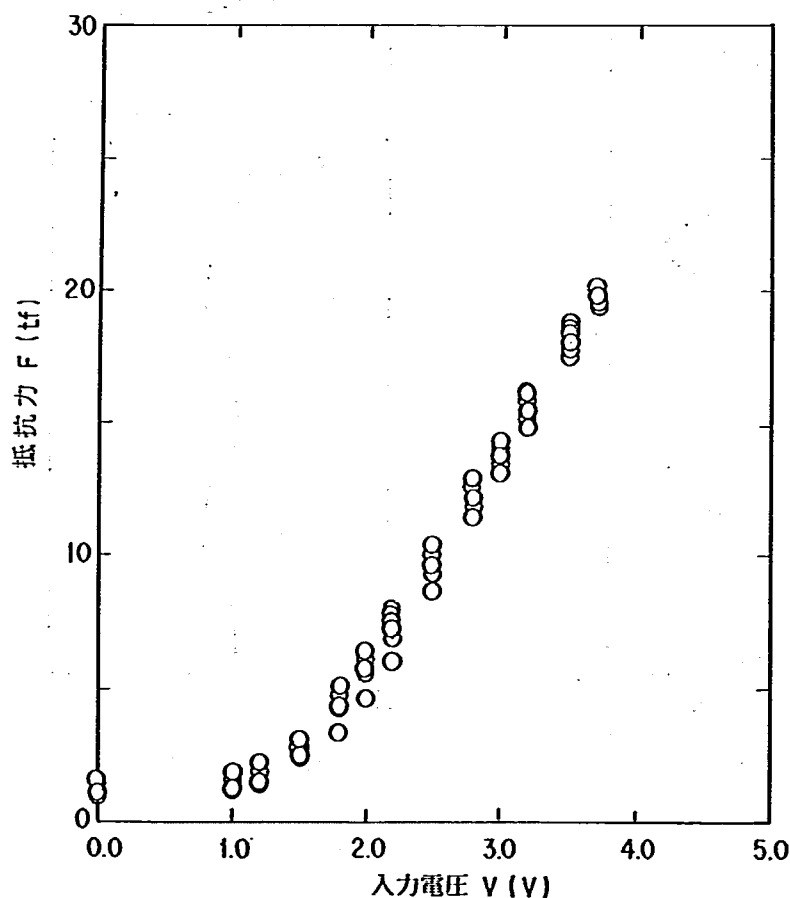


図-3.6 入力電圧-抵抗力関係

よれば、入力電圧と抵抗力の関係は、入力電圧が約 1.8 V まではべき乗関数で変化するが、1.8 V 以上ではほぼ直線的となっている。このため、実験式としては、電圧範囲を 0 ~ 1.8 V、1.8 ~ 3.7 V の 2 区分にして求めた。表-3.4 は、このようにして各载荷実験により求めた入力電圧と抵抗力の関係式を示したものである。これらの式の係数を単純平均すると、バリアブルダンパーの抵抗力~入力電圧の関係式として次式が求まる。

$$F = \begin{cases} 0.42V^{3.70} + 1.00 & (0 \leq V \leq 1.8) \\ 8.14V - 9.95 & (V > 1.8) \end{cases} \quad \text{..... (I)}$$

ここで、

F : バリアブルダンパーの抵抗力 (tf)

V : 入力電圧 (Volt)

図-3.8 は、入力電圧と抵抗力の関係について、実験結果と実験式を比較したものである。

表-3.4 各条件における実験式

実 験 条 件		実 験 式	
振 動 数	振 幅	電圧範囲 V = 0 ~ 1.8	電圧範囲 V = 1.8 ~ 3.7
0.1 (Hz)	10 (mm)	$F = 0.31 V^{4.15} + 1.00$	$F = 7.90 V - 9.69$
0.1 (Hz)	20 (mm)	$F = 0.28 V^{4.26} + 1.00$	$F = 8.04 V - 10.05$
0.1 (Hz)	50 (mm)	$F = 0.34 V^{3.98} + 1.00$	$F = 8.10 V - 10.05$
0.1 (Hz)	80 (mm)	$F = 0.45 V^{3.48} + 1.00$	$F = 8.22 V - 10.32$
0.1 (Hz)	100 (mm)	$F = 0.60 V^{3.03} + 1.00$	$F = 8.21 V - 10.22$
0.2 (Hz)	10 (mm)	$F = 0.16 V^{5.06} + 1.00$	$F = 7.98 V - 10.23$
0.2 (Hz)	20 (mm)	$F = 0.33 V^{3.96} + 1.00$	$F = 8.02 V - 10.06$
0.2 (Hz)	25 (mm)	$F = 0.27 V^{4.30} + 1.00$	$F = 8.16 V - 10.31$
0.2 (Hz)	40 (mm)	$F = 0.44 V^{3.47} + 1.00$	$F = 8.19 V - 10.36$
0.2 (Hz)	50 (mm)	$F = 0.83 V^{2.63} + 1.00$	$F = 7.96 V - 9.44$
0.5 (Hz)	5 (mm)	$F = 0.20 V^{4.73} + 1.00$	$F = 8.14 V - 10.43$
0.5 (Hz)	10 (mm)	$F = 0.28 V^{4.17} + 1.00$	$F = 8.26 V - 10.62$
0.5 (Hz)	15 (mm)	$F = 0.52 V^{3.23} + 1.00$	$F = 8.15 V - 10.21$
0.5 (Hz)	20 (mm)	$F = 0.52 V^{3.24} + 1.00$	$F = 8.24 V - 10.35$
1.0 (Hz)	2 (mm)	$F = 0.80 V^{2.66} + 1.00$	$F = 8.06 V - 9.69$
1.0 (Hz)	5 (mm)	$F = 0.33 V^{3.40} + 1.00$	$F = 8.70 V - 12.23$
1.0 (Hz)	10 (mm)	$F = 0.54 V^{3.18} + 1.00$	$F = 8.09 V - 10.51$
平 均 式		$F = 0.42 V^{3.70} + 1.00$	$F = 8.14 V - 9.95$

(F : 抵抗力 (tf), V : 入力電圧 (ボルト))

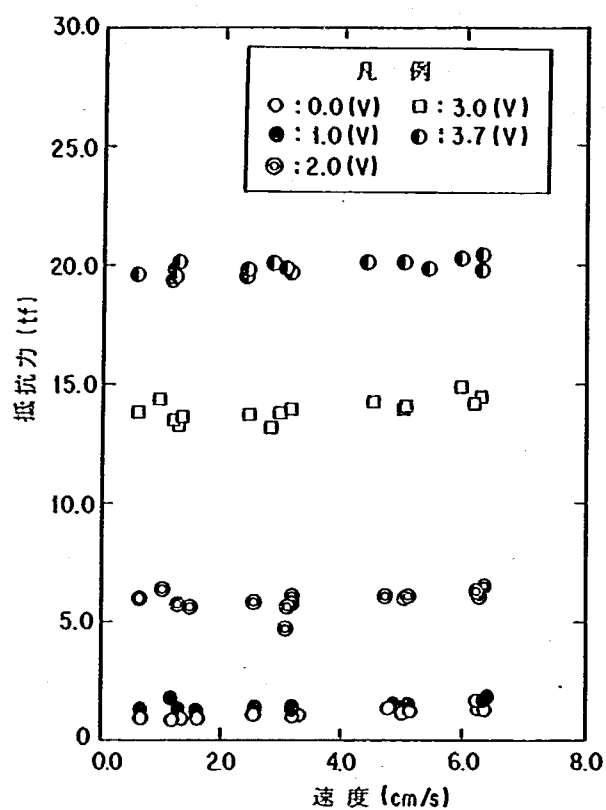


図- 3.7 速度—抵抗力関係

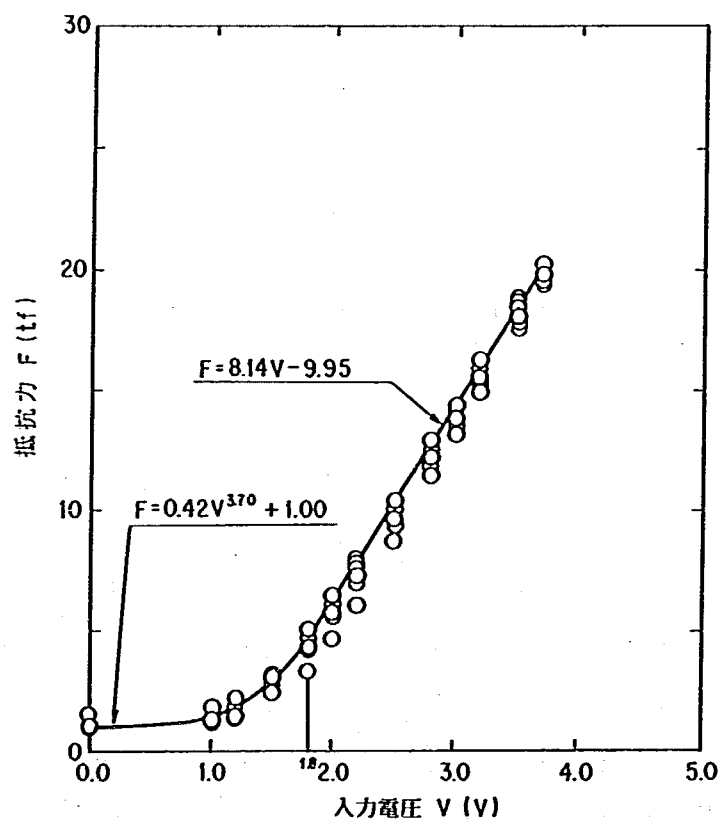


図- 3.8 入力電圧—抵抗力関係

4. バリアブルダンパーの制御方法

4.1 バリアブルダンパーの制御装置の構成

バリアブルダンパーは、構造物の応答性状に応じてその抵抗力を制御しようというものである。このため、前述3.に示したバリアブルダンパーの抵抗力和入力電圧の関係をj用いて制御系を構築した。図-4.1は、バリアブルダンパーの制御装置の概略図を示したものである。制御装置の構成として以下の装置が必要となる。

- ① 変位計：構造物の振動応答を計測（速度の場合は微分回路等により演算）
- ② 動ひずみアンプ：動変位データの増幅
- ③ ADコンバータ：変位・速度データのデジタル化
- ④ パーソナルコンピュータ：制御装置
- ⑤ DAコンバータ：制御データのアナログ化
- ⑥ サーボアンプ：サーボバルブ制御用のアンプ

したがって、変位計で制御因子となる変位もしくは速度（微分回路等による）を計測し、そのデータをADコンバータを介してパーソナルコンピュータに取り込み、構造物の変位等によって必要とされるバリアブルダンパーの抵抗力、サーボアンプへの制御信号を演算する。パーソナルコンピュータで計算された制御信号をDAコンバータを介してサーボアンプに出力し、サーボアンプからサーボバルブへ制御信号を送ってバリアブルダンパーの抵抗力を制御することになる。

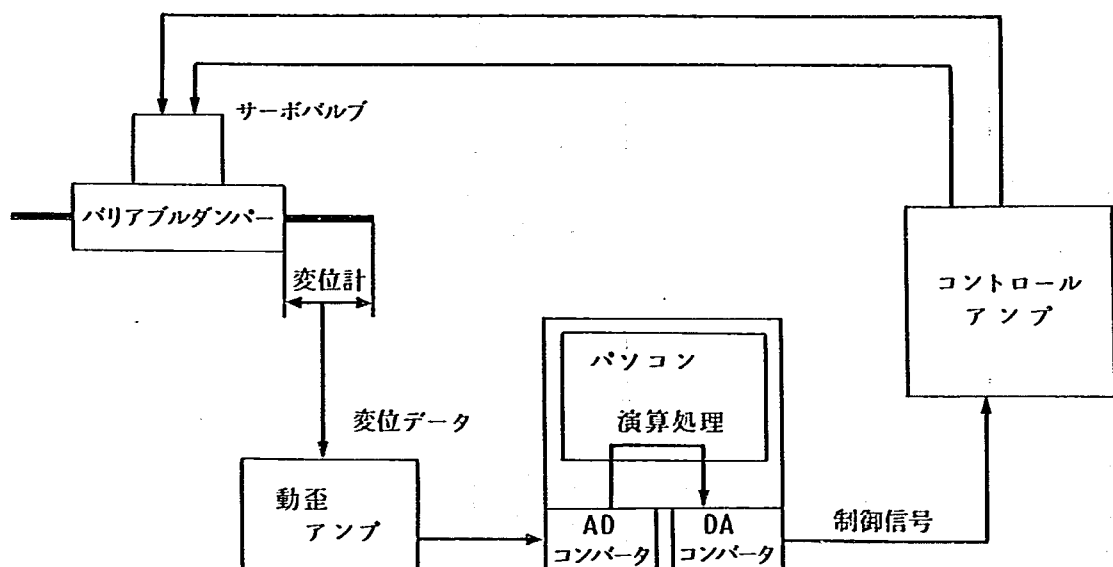


図-4.1 バリアブルダンパーの制御装置概略図

4.2 制御方法

(1) 変位依存型制御

構造物の変位に応じて、例えば図-4.2に示すように制御する場合には、図-4.3のフローチャートに示すような制御フローとなる。

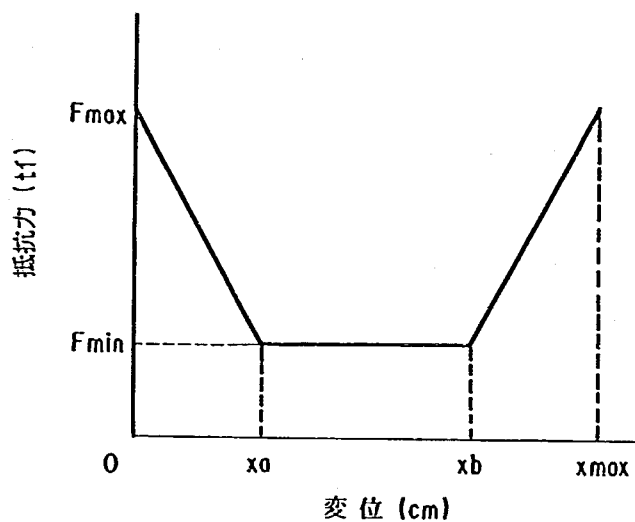


図-4.2 制御条件 (変位)

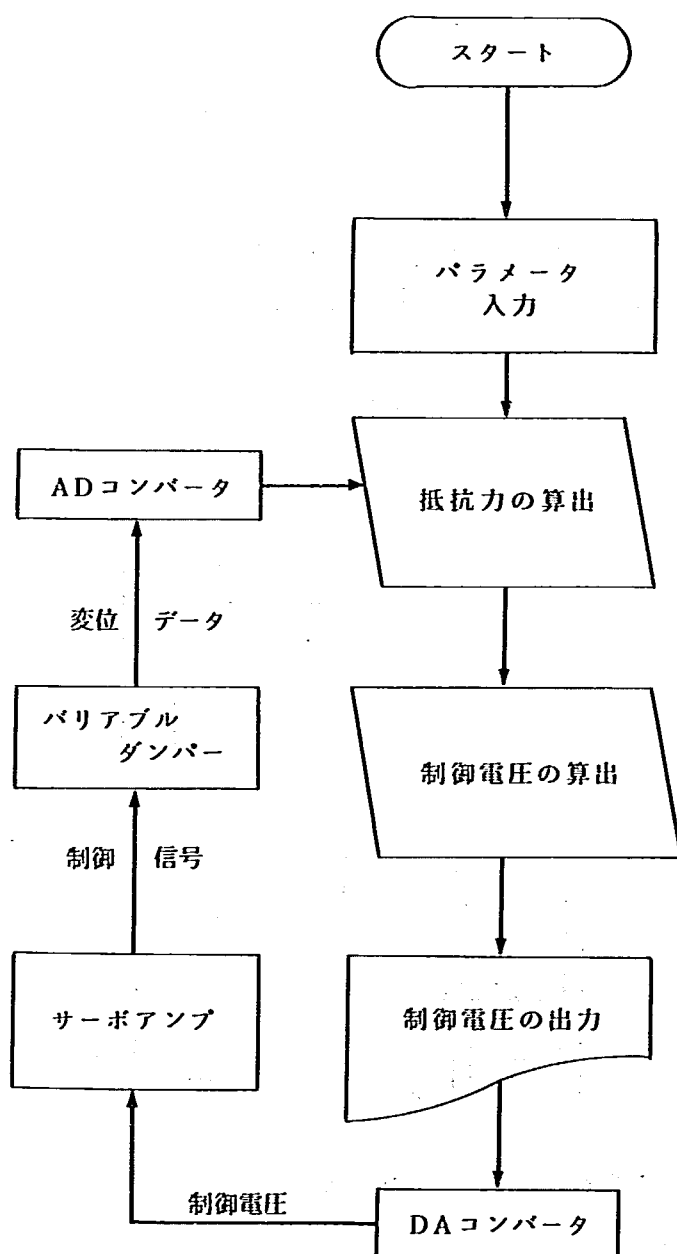


図-4.3 変位～抵抗力制御プログラムフローチャート

(2) 速度依存型制御

構造物の速度に応じて、例えば図-4.4に示すように制御する場合には、図-4.5のフローチャートに示すような制御フローとなる。なお、ここで、速度は計測された変位から演算回路によって算出する。

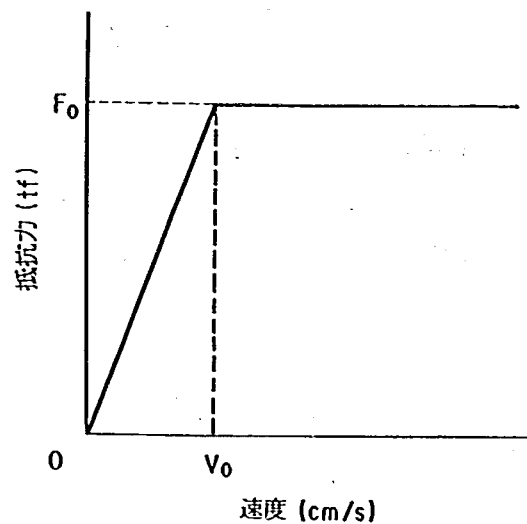


図-4.4 制御条件(速度)

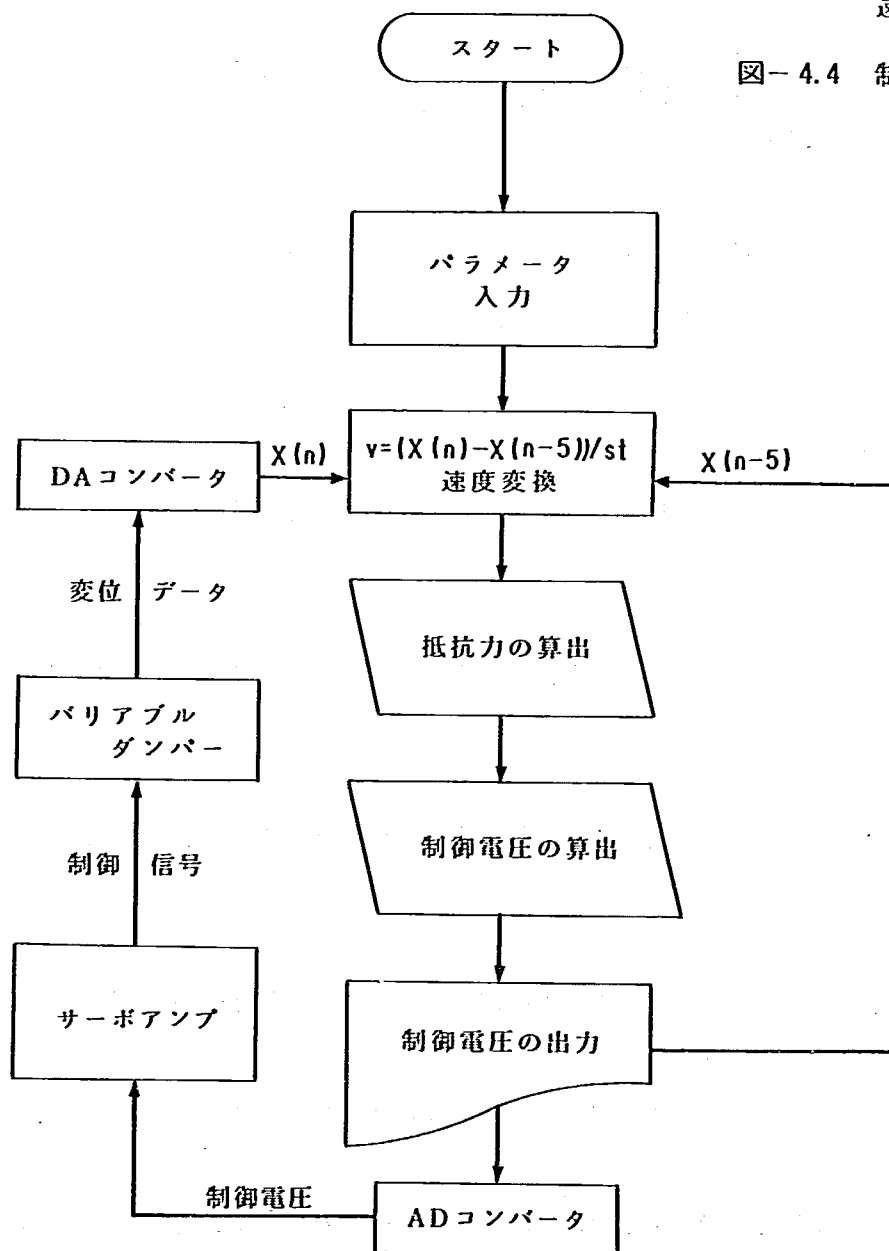


図-4.5 速度～抵抗力制御プログラムフローチャート

5. バリアブルダンパーの実大模型の制御確認実験

5.1 実験方法及び実験条件

実験では、図-5.1に示すようにバリアブルダンパー単体の特性実験と同様にバリアブルダンパーに動的加振装置を固定し、定電圧発生装置のかわりにパーソナルコンピュータをセットして加振を行った。

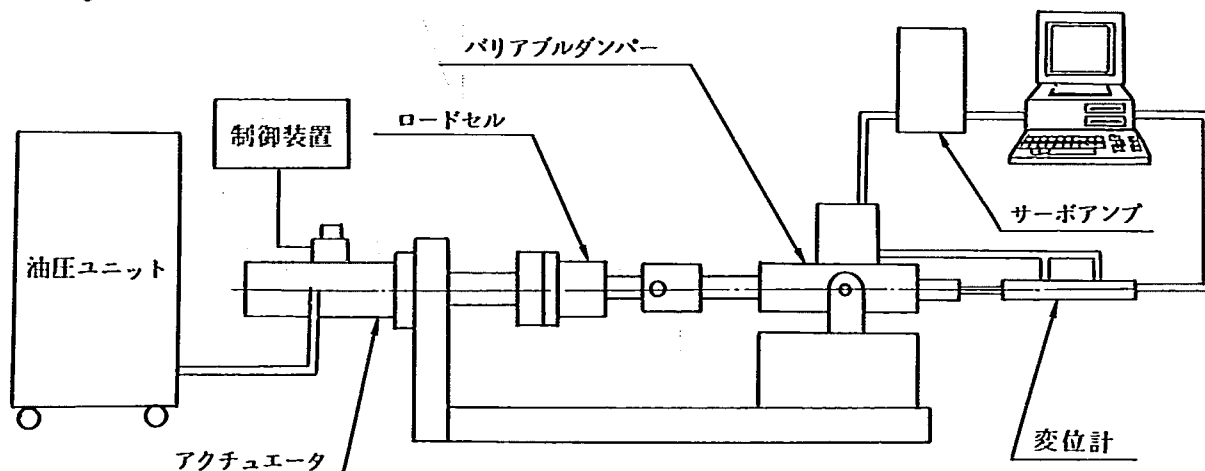


図-5.1 試験装置概略図

試験条件としては、以下の2ケースとした。

(1) 変位依存型制御実験

変位計により計測した変位によって抵抗力を変化させるもので、制御パターンとしては、図-5.2に示すように3種類の制御ケースについて行った。各条件は以下の通りである。

① 制御条件-1

最大抵抗力を15tf、最低抵抗力を5tfとし、抵抗力を変化させる変位を30mm、60mmとした場合で、載荷振動数は、0.1Hzである。

② 制御条件-2

最大抵抗力を15tf、最低抵抗力を5tfとし、抵抗力を変化させる変位を20mm、40mmとした場合で、載荷振動数は、0.2Hzである。

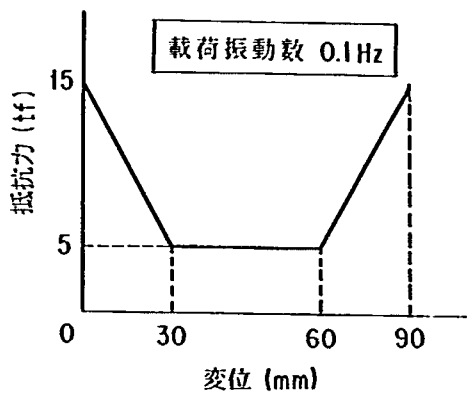
③ 制御条件-3

最大抵抗力を20tf、最低抵抗力を1tfとし、抵抗力を変化させる変位を20mm、40mmとした場合で、載荷振動数は、0.2Hzである。

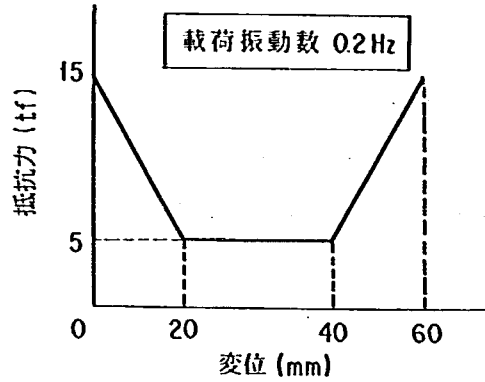
なお、計測した変位をコンピュータでAD変換する際にはサンプリングタイムを種々変化させた。

(2) 速度依存型制御実験

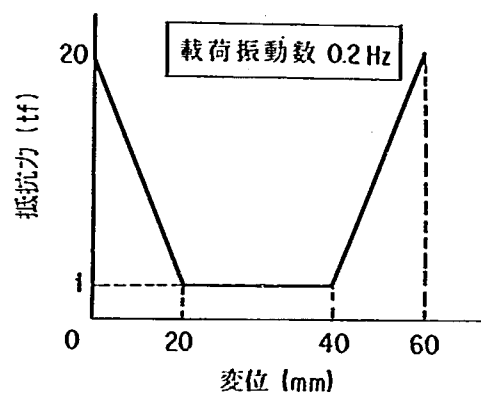
変位計により計測した変位を微分して求めた速度によって抵抗力を変化させるもので、制御パターンとしては、図-5.3に示す制御ケースについて行った。載荷ケースは、表-5.1とした。



(1) 制御条件-1



(2) 制御条件-2



(3) 制御条件-3

図-5.2 変位依存型制御例

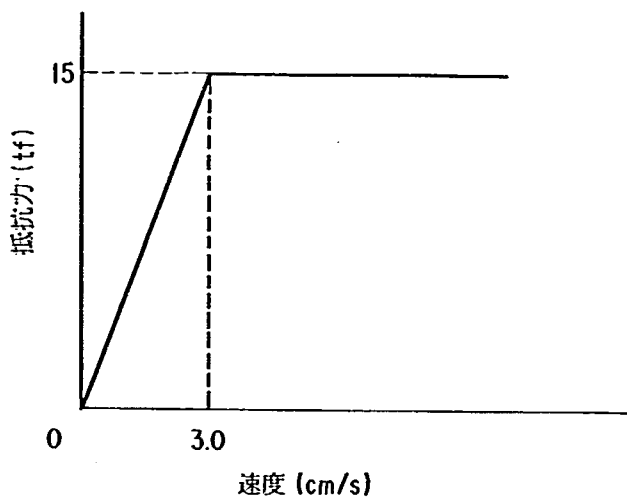


図-5.3 速度依存型制御例

表-5.1 速度依存型制御条件

振動数	振 幅	速 度
0.1 Hz	± 10 (mm)	0.63 (cm/s)
	± 20 (mm)	1.26 (cm/s)
	± 50 (mm)	3.14 (cm/s)
	± 80 (mm)	5.03 (cm/s)
	± 100 (mm)	6.28 (cm/s)

5.2 実験結果

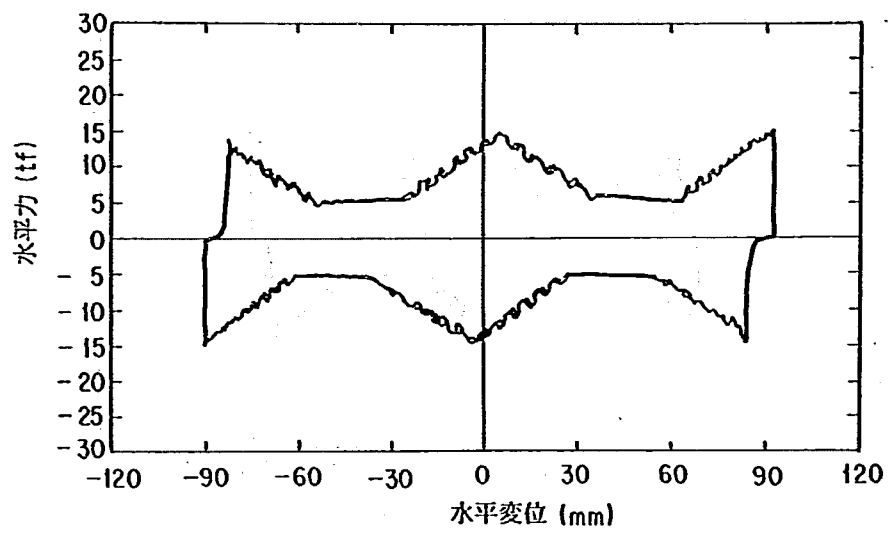
(1) 変位依存型制御実験

図－5.4～図－5.6は、各制御条件によりサンプリングタイムを0.1秒、0.01秒、0.005秒に変化させた場合の抵抗力と変位の履歴曲線を示したものである。これによれば、履歴曲線は、ほぼ制御通りの関係を有している。ただし、サンプリングタイムが0.1秒では特に抵抗力が直線的に変化させるところで階段状になっており、少なくともサンプリングタイムを0.01秒以下に設定する必要がある。なお、载荷速度に応じてサンプリングタイムを選定する必要がある。

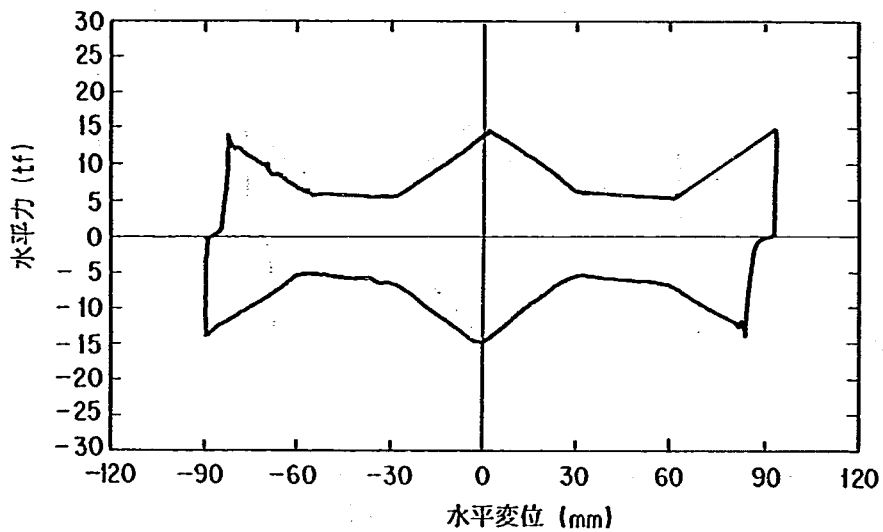
また、バリアブルダンパー単体による特性実験でも生じていたものであるが、ダンパー内の圧力の向きが逆転するところでタイムラグにより抵抗力の立ち上がりが遅くなる点が見られる。

(2) 速度依存型制御実験

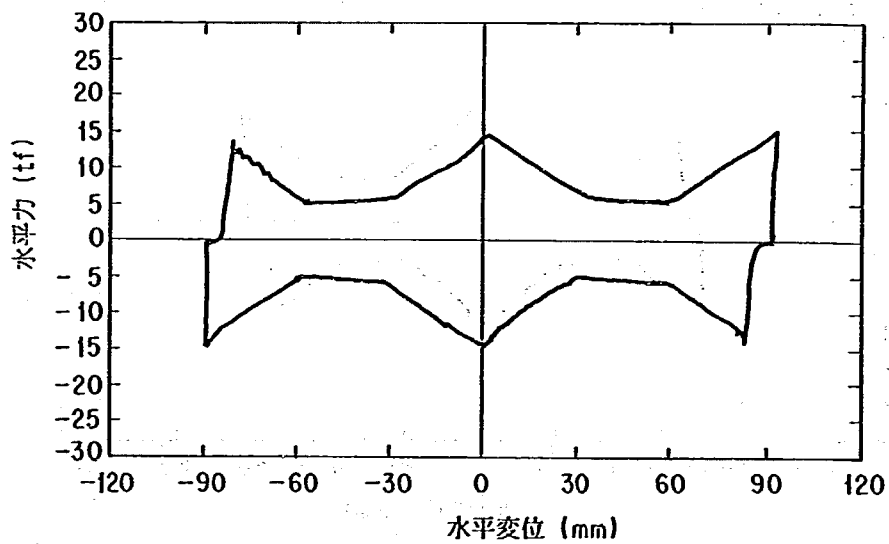
図－5.7は、速度依存型制御実験による抵抗力と変位の履歴曲線を示したものである。これによれば、履歴曲線は制御として与えた最大抵抗力15gfを越えるまではほぼ楕円形を描き、いわゆる速度依存型の粘性ダンパーとしても制御できることを示している。



(1) サンプルタイム 0.1 (秒)

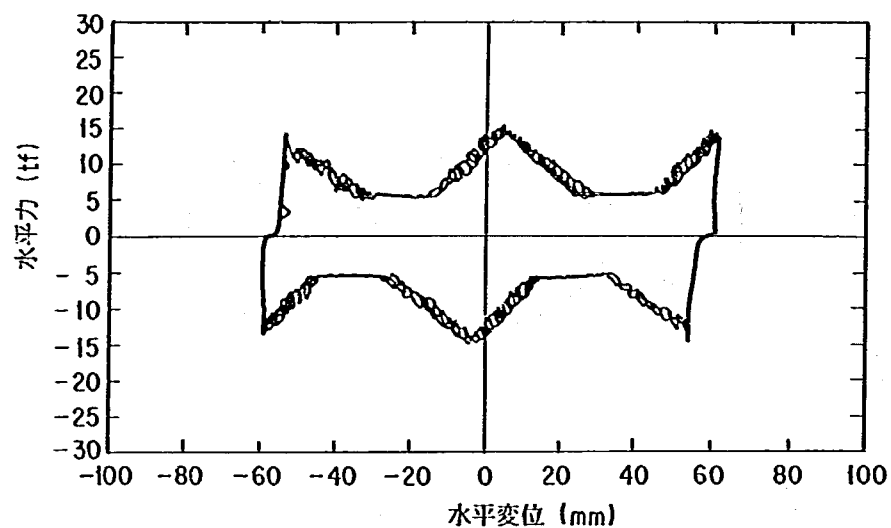


(2) サンプルタイム 0.01 (秒)

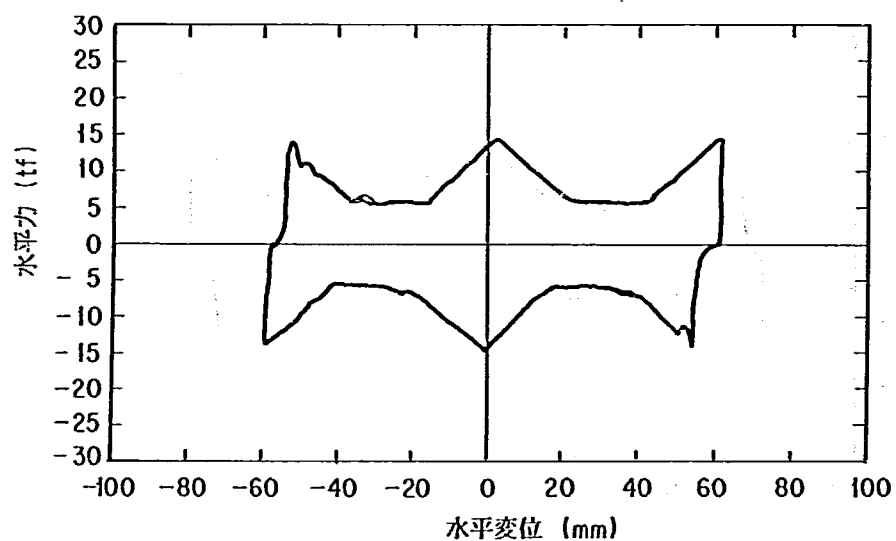


(3) サンプルタイム 0.005 (秒)

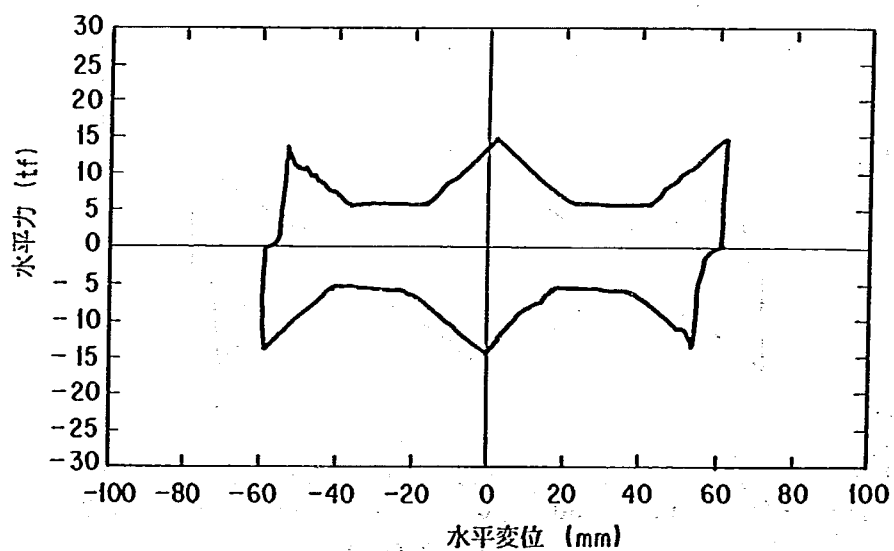
図-5.4 制御条件-1



(1) サンプリングタイム 0.1 (秒)



(2) サンプリングタイム 0.01 (秒)



(3) サンプリングタイム 0.005 (秒)

図- 5.5 制御条件- 2

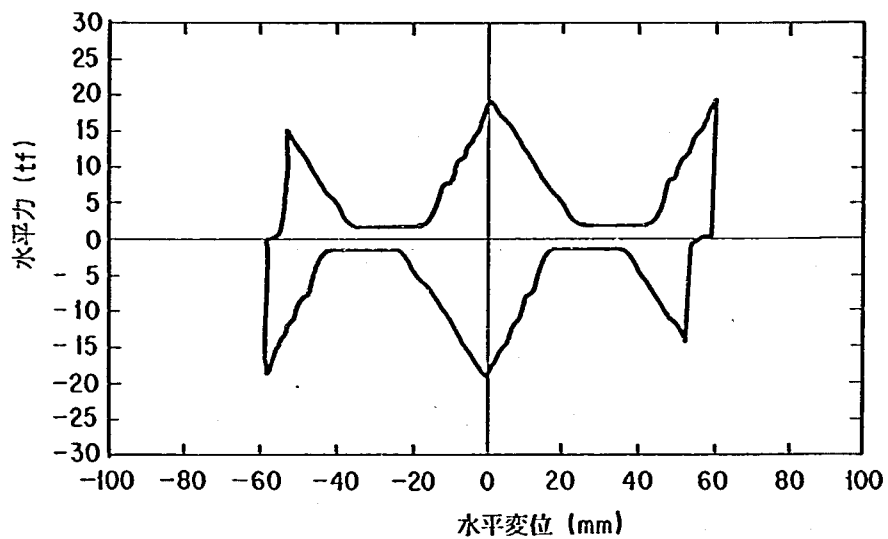
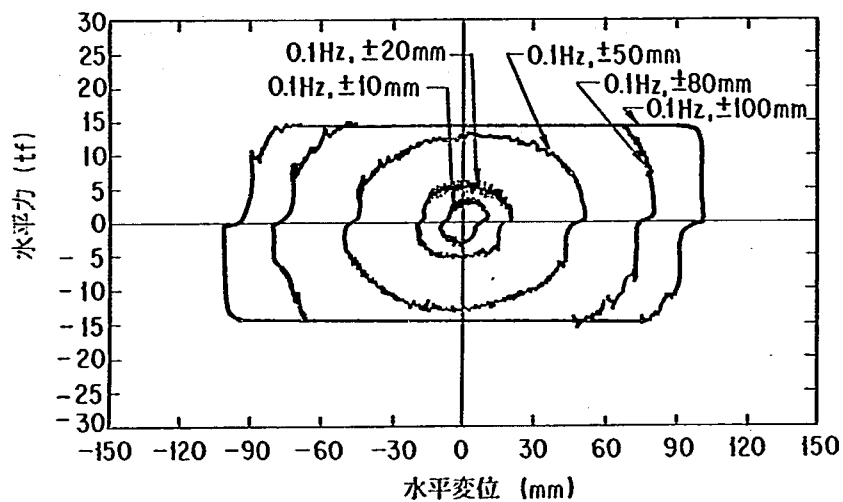
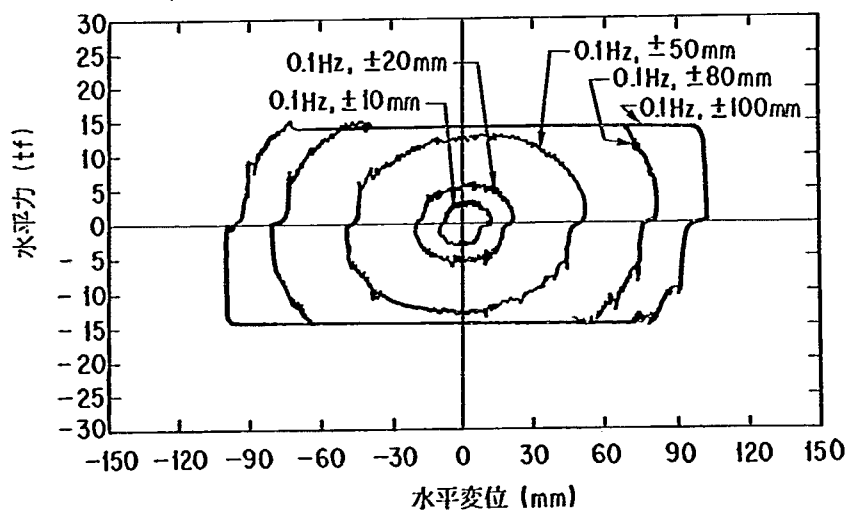


図-5.6 制御条件-3 (サンプリングタイム0.01秒)



(1) サンプリングタイム 0.02 (秒)



(2) サンプリングタイム 0.05 (秒)

図-5.7 速度依存型制御施設

6. 結 論

構造物の地震時の振動を制御する装置として、構造物の振動性状に応じて減衰特性を変化させることが可能なバリアブルダンパーの実大模型を開発製作するとともに、模型単体を用いた載荷実験を行い、その基本特性を検討した。さらに、その基本特性をもとに、バリアブルダンパーの制御方法を構築するとともに、制御確認実験を行った。

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

- 1) バリアブルダンパーの実大模型として、最大抵抗力20tf、最大ストローク $\pm 10\text{cm}$ の特性を有する模型を製作した。
- 2) 製作した実大模型単体の載荷実験によれば、開発した模型は、サーボバルブへの入力電圧のみにより制御され、ダンパーピストンの変位、速度に依存しない抵抗力特性を有する。このため、バリアブルダンパーの抵抗力は、入力電圧のみにより制御可能であり、設計通り製作できたことが確認された。
- 3) 実大模型単体を用いた載荷実験から、ダンパーの抵抗力と入力電圧の関係式を求め、構造物の変位等によって抵抗力を制御する場合の制御系を構築した。制御の確認実験を行った結果、ほぼ制御値通りに抵抗力が制御可能であることが確認された。

参考文献

- 1) Taguchi, J., Iwasaki, T., Adachi, Y., Sasaki, Y. and Kawashima, K. : U. S. - Japan Cooperative Research Program on Hybrid Control of Seismic Response of Bridge Structures, 22nd Joint Meeting, U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Gaithersburg, Maryland, U.S.A., May, 1990.
- 2) Kawashima, K., Unjoh, S., Nagashima, H. and Shimizu, H. : Current Research Efforts in Japan for Passive and Active Control of Highway Bridges Against Earthquakes, 23rd Joint Meeting, U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Tsukuba, May, 1991.
- 3) Kawashima, K., Unjoh, S. and Shimizu, H. : Seismic Response of Highway Bridges by Variable Damper, 24th Joint Meeting, U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Gaithersburg, Maryland, U.S.A., May, 1992.
- 4) Liu, S., C., Lagorio, H., J. and Chong, K., P. : Status of U.S. Research on Structural Control Systems, 23rd Joint Meeting, U.S. - Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Tsukuba, May, 1991.
- 5) Kawashima, K., Hasegawa, K. and Nagashima, H. : Experiment and Analysis on Seismic Response of Menhshin Bridges, Proc. 1st U.S. - Japan Workshop on Earthquake Protective Systems of Highway Bridges, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, N. Y., U.S.A., September, 1991.
- 6) 福岡 悟 : 粘性せん断型ストッパーを用いた多径間連続桁の設計, 橋梁, pp. 22 - 29, 2月, 1980.
- 7) 井関治郎 : 粘性せん断ダンパー, - 多径間連続桁への一提案 -, 橋梁, pp. 30 - 33, 2月, 1980.
- 8) 松村駿一郎, 福岡 悟, 水元義久, 中田恒和 : ダンパーを用いた多径間連続橋の耐震設計, 橋梁と基礎, pp. 31 - 37, 5月, 1982.
- 9) Milliken, Jr., W., F. : Lotus Active Suspension System, Proceedings of 11th International Conference on Experimental Safety Vehicles, pp. 467 - 475, Washington D.C., May, 1987.
- 10) Sugawara, F. : Electronically Controlled Shock Absorber System Used as a Road Sensor which Utilizes Super Sonic Waves, Proceedings of Society of Automotive Engineers, pp. 6.15 - 6.25, 1986.
- 11) 川島一彦, 運上茂樹, 清水英之 : アクティブ・マス・ダンパーを用いた道路橋の最適振動制御, 土木技術資料, Vol. 33, No 9, pp. 61 - 68, 11月, 1991.
- 12) 川島一彦, 運上茂樹, 清水英之 : バリアブルダンパーを用いた道路橋の地震応答制御, 構造物の振動制御に関するコロキウム, 土木学会, part. B, pp. 221 - 224, 7月, 1991.

- 13) Feng, Q. and Shinozuka, M. : Use of A Variable Damper for Hybrid Control of Bridge Response Under Earthquake, U.S. National Workshop on Structural Control Research, University of Southern California, CA., U.S.A., October, 1990.
- 14) Shinozuka, M., Feng, Q. and Kawamura, S. : New Perspectives for Sliding Base Isolation Systems, Proceedings of International Workshop on Recent Developments in Base Isolation Techniques for Buildings, Tokyo, Japan, 27-30, April, 1992.
- 15) 川島一彦, 運上茂樹, 清水英之 : バリアブルダンパーを用いた道路橋の地震応答制御, 構造物のアクティブ制震(振)に関するシンポジウム論文集, 日本学術会議, pp. 311-317, 3月, 1992.
- 16) 川島一彦, 運上茂樹, 清水英之 : バリアブルダンパーの動的特性に関する実験的研究, 構造物のアクティブ制震(振)に関するシンポジウム論文集, 日本学術会議, pp. 311-317, 3月, 1992.
- 17) Kawashima, K., Unjoh, S., Iida, H. and Mukai, H. : Effectiveness of the Variable Damper for Reducing Seismic Response of Highway Bridges, Proceedings of 2nd Workshop on Earthquake Protective Systems for Bridges, Tsukuba, Dec. 7-8, 1992.

付 属 資 料

- (1) 変位依存型制御プログラム
- (2) 速度依存型制御プログラム

THE JOURNAL OF THE

AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION

PUBLISHED WEEKLY

(1) 変位依存型制御プログラム

```

/*****
/*
/*          Y. DAMPER CONTROL PROGRAM (A-F)          */
/*
*****/
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <conio.h>
#include <vdes.h>

void control( );
int int_ad(void);
int parinput( int *fst );

static int chc;          /* 入力チャネル数 */
static unsigned int chn[CHNMAX]; /* 入力チャネル値 */
static float force, fmax, fmin, xa, xb, time_val;
static float cal[1];

/*****
/*          メインプログラム          */
*****/
void main( argc, argv )
int argc;
char **argv;
{
    int eq,i;
    int fst=0;

/* チャンネル数と値を決定 */
    if( argc != 2 ){
        chc=1;
        chn[0]=0;
    }else{
        ++argv;
        chc=atoi(*argv);
        if(chc>=1 && chc<=16){
            for(i=0;i<chc;++i){
                chn[i]=i;
            }
        }else{
            chc=1;
            chn[0]=0;
        }
    }
    cls( );

/* A/D変換ボード実装判定 */
    if( int_ad() != 0 ){
        locate(10,21);
        printf("A/D変換ボードを設定して下さい");
        exit(1);
    }
    for(;;){

/* 入力処理 */
        eq=parinput( &fst );
        if(eq==1)
            break;

/* I/O制御処理 */
        control( );
        cls();
        cursor_on( );
        exit(0);
    }
}
/*****
/*          A/D変換ボード実装判定          */
*****/
```

```

/*****/
int int_ad( ){
    unsigned int al, ah;
    int okng;
    okng=0;
    ah=inp(AD12);
    if( ah==0xFF ){
        okng=1;
    }else{
        outp(AD01, 0x80);
    }
    return(okng);
}
/*****/
/*      I/O制御処理      */
/*****/
void control( )
{
    static float chn_volt[CHNMAX];      /* volt value area for each channel */
    float *cvp = chn_volt;
    float *wcvp;
    unsigned int *wchn;                  /* max channel number */
    unsigned char al, ah, dh1, dl1, dh2, dl2;
    int ax, i, dv1, dv2;
    float pre_volt, aa, bb;              /* previous voltage */
    float volt, vn, un, xn;
    double f, fx, fy, fn, uv, da;

    locate(10, 21);
    line_cls( );
    printf("実行中です (Q:中止)");
    pre_volt=0.0;                        /* initialize previous volt */

    outp(AD01, 0x81);                    /* トリガーステータスリセット */
    outp(AD02, 0xC0);
    for(;;){                              /* do forever */
        /* recover pointer */
        wchn=chn;
        wcvp=cvp;
        /* wait timeout */
        ah=0x00;
        while((ah & 0x10) == 0x00 ){
            ah=inp(AD12);
        }

/* チャンネル及び変換開始 */
        outp(AD00, 0x80+chc-1);
        /* output chn_volt[*] */
        for(wchn; wchn < chn+chc; ++wchn){
            ah=0;
            /* wait convert data */
            while((ah & 0x40) == 0x00 ){
                ah=inp(AD12);
            }

/* 変換データ取得 */
            ah=inp(AD11);
            al=inp(AD10);
            ax=( ah & 0x0F )*0x100+al;

/* 電圧値計算 */
            volt=ax;
            volt=volt*20/0x1000-10;
            /* set array pre_volt */
            *wcvp=volt;
            ++wcvp;
        }

/* エンジニアリングユニット */

```

```

        chn_volt[0]=chn_volt[0]*cal[0];
/* 相対速度 */
        xn=chn_volt[0];
        vn=(xn-pre_volt)/time_val*1000;
        *wcvp=xn;
        pre_volt=xn;
/* 制御電圧の決定 */
        vn=fabs(vn);
        xn=fabs(xn)+.01;
        fmax=fabs(fmax);
        fmin=fabs(fmin);

        if(xn < xa) {
            force=fmax-((fmax-fmin)/xa)*xn;
        } else if (xn < xb) {
            force=fmin;
        } else if (xn >= xb) {
            force=((fmax-fmin)/xa)*xn+(fmin-(fmax-fmin)/xa*xb);
        }
        aa=(force-1)/.42;
        bb=1/3.7;
        da=pow(aa,bb);
        if (da>=1.8) {
            da=(force+9.95)/8.14;
        }

/* for(i=0;i<chc;++i) {
    locate(50,10+i);
    printf(" %d ch. %f V ",i, chn_volt[i]);
}
    locate(50,17);
    printf("time_val:%f",time_val);
    locate(50,18);
    printf("vn:%f",vn);
    locate(50,19);
    printf("da:%f",da) ; */
    if(da>= 5.0) {
        da=5.0;
    }
}

/* 制御電圧データ変換 */
        dvl=da*65536/10;
        dh1=( dvl & 0xff00 )/0x100;
        dl1=( dvl & 0x00ff );

/* 制御電圧データ出力*/
        outp(DA02 , 0x03);
        outp(DA00 , dl1);
        outp(DA01 , dh1);

        outp(AD01, 0x03);
        /* check keyboard input */
        if( kbhit() ){
            if((al=getch())=='Q')
                break;
        }
    }

    outp(AD01,0x81);
    return;
/* トリガーステータスリセット */
}

/*****
/* 入力処理
*****/
int parinput( int *fst )
{

```

```

unsigned int scan_t0, scan_t1, scan_t2, al;
int wi_value, eq;
char wch;

locate(0,21);
line_cls();
locate(15,3);
printf("V. D a m p e r   C o n t r o l   S y s t e m");
locate(5,6);          /* k1の表示 */
printf(" 抵抗力最大値 F m a x (kgf) : ");
locate(5,8);          /* mの表示 */
printf(" 抵抗力最小値 F m i n (kgf) : ");
locate(5,10);         /* k1の表示 */
printf(" 変曲点1      x a (cm) : ");
locate(5,12);         /* mの表示 */
printf(" 変曲点2      x b (cm) : ");
locate(5,14);         /* □□□の表示 */
printf(" calibration cal (cm/V) : ");
locate(5,16);         /* インターバルタイマーの表示 */
printf(" timer value (msec) : ");

for(;;){
  if( #fst==0 ){
    #fst=1;
    cursor_on();
    locate(39,6);      /* f m a x の入力 */
    line_cls();
    scanf("%f",&fmax);
    locate(39,8);      /* f m i n の入力 */
    line_cls();
    scanf("%f",&fmin);
    locate(39,10);     /* x a の入力 */
    line_cls();
    scanf("%f",&xa);
    locate(39,12);     /* x b の入力 */
    line_cls();
    scanf("%f",&xb);
    locate(39,14);     /* □□□の入力 */
    line_cls();
    scanf("%f", &cal[0]);
    locate(39,16);     /* インターバルタイマー値の入力 */
    line_cls();
    for(;;){
      locate(39,16);
      line_cls();
      scanf("%d",&wi_value);
      if(wi_value>0 && wi_value<=1000)
        break;
    }
  }

  cursor_off();

  scan_t0=wi_value*4;  /* 内部タイマー値の計算 */
  scan_t1=10;
  scan_t2=100;

  /* 初期設定 A/D変換装置 */
  outp(AD02,0x00);    /* タイマー選択と停止 */
  outp(AD01,0x81);    /* トリガーステータスリセット */

  /* タイマー値設定 */
  outp(AD0E,0x34);
  outp(AD08,scan_t0 & 0x00FF);
  outp(AD08,(scan_t0>>8) & 0x00FF);
  outp(AD0E,0x74);
  outp(AD0A,scan_t1 & 0x00FF);
  outp(AD0A,(scan_t1>>8) & 0x00FF);
  outp(AD0E,0xB4);
  outp(AD0C,scan_t2 & 0x00FF);
  outp(AD0C,(scan_t2>>8) & 0x00FF);
}

```

```

al=inp(AD10);          /* 変換終了ステータスリセット */
outp(AD01,0x01);       /* トリガーステータスリセット */

time_val=wi_value;     /* インターバルタイマー値の計算 */
}

cursor_on();
locate(15,21);
printf("準備はよろしいですか (E:実行 Q:中止 R:入力):");
wch=0x00;
while(((wch=getchar())!='E') && (wch!='Q') && (wch!='R'))
    locate(61,21);
cursor_off();

if(wch=='E'){
    eq=0;
    break;
} else{
    if(wch=='Q'){
        eq=1;
        break;
    }
}
*fst=0;
}
return(eq);
}

```

(2) 速度依存型制御プログラム

```

/*****/
int int_ad( ){
    unsigned int al, ah;
    int okng;
    okng=0;
    ah=inp(AD12);
    if( ah==0xFF ){
        okng=1;
    }else{
        outp(AD01, 0x80);
    }
    return(okng);
}
/*****/
/*      I/O 制御処理      */
/*****/
void control( )
{
    static float chn_volt[CHNMAX];      /* volt value area for each channel */
    float *cvp = chn_volt;
    float *wcvp;
    unsigned int *wchn;                  /* max channel number */
    unsigned char al, ah, dh1, dl1, dh2, dl2;
    int ax, i, dv1, dv2;
    float pre_volt;                      /* previous voltage */
    float volt, vn, un, xn, x, n, a, b;
    double f, fx, fy, fn, uv, da;

    locate(10,21);
    line_cls( );
    printf("実行中です (Q:中止)");
    pre_volt=0.0;                        /* initialize previous volt */

    outp(AD01, 0x81);                    /* トリガーステータスリセット */
    outp(AD02, 0xC0);
    for(;;){                              /* do forever */
        /* recover pointer */
        wchn=chn;
        wcvp=cvp;

        /* wait timeout */
        ah=0x00;
        while((ah & 0x10) == 0x00 ){
            ah=inp(AD12);
        }

        /* チャンネル及び変換開始 */
        outp(AD00, 0x80+chc-1);
        /* output chn_volt[i] */
        for(wchn; wchn < chn+chc; ++wchn){
            ah=0;
            /* wait convert data */
            while((ah & 0x40) == 0x00 ){
                ah=inp(AD12);
            }

            /* 変換データ取得 */
            ah=inp(AD11);
            al=inp(AD10);
            ax=( ah & 0x0F )*0x100+al;

            /* 電圧値計算 */
            volt=ax;
            volt=volt*20/0x1000-10;
            /* set array pre_volt */
            *wcvp=volt;
            ++wcvp;
        }

        /* エンジニアリングユニット */

```

```

        chn_volt[0]=chn_volt[0]*cal[0];

/* 相対速度 */
        xn=chn_volt[0];
        /* xn=xn*10;
        a=modf(xn,&b);
        xn=b/10;*/
        vn=(xn-b)/(time_val/1000*5);
        /*wcvp=xn;
        a=b;
        b=n;
        n=x;
        x=pre_volt;
        pre_volt=xn;

/* 制御電圧の決定 */
        vn=fabs(vn);

        k1=fabs(k1);

        if(vn < n) {
            k2=(k1*vn/n)+1.0;
        }else if (vn >= n){
            k2=k1;
        }
        aa=(k2-1)/.42;
        bb=1/3.7;
        da=pow(aa,bb);
        if (da>1.8) {
            da=(k2+9.95)/8.14;
        }

/* for(i=0;i<chc;++i){
        locate(50,10+i);
        printf(" %d ch. %f V ",i, chn_volt[i]);
    }
    locate(50,17);
    printf("xn:%f",xn);
    locate(50,16);
    printf("time_val:%f",time_val);
    locate(50,18);
    printf("vn:%f",vn);
    locate(50,19);
    printf("da:%f",da) ;    */
    if(da>= 5.0){
        da=5.0;
    }

/* 制御電圧データ変換 */
    dvl=da*65536/10;
    dh1=( dvl & 0xff00 )/0x100;
    dl1=( dvl & 0x00ff );

/* 制御電圧データ出力*/
    outp(DA02 , 0x03);
    outp(DA00 , dl1);
    outp(DA01 , dh1);

    outp(AD01, 0x03);
    /* check keyboard input */
    if( kbhit() ){
        if((al=getch())=='Q')
            break;
    }
}

outp(AD01,0x81);    /* トリガーステータスリセット */
return;

```

```

}
/*****
/* 入力処理 */
*****/
int parinput( int *fst )
(
    unsigned int scan_t0, scan_t1, scan_t2, al;
    int wi_value, eq;
    char wch;

    locate(0, 21);
    line_cls();
    locate(15, 3);
    printf("V. D a m p e r   C o n t r o l   S y s t e m");
    locate(5, 9);          /* k1 の表示 */
    printf("抵抗 力 F0 (kgf) : ");
    locate(5, 11);         /* m の表示 */
    printf("速 度 V0 (cm/s) : ");
    locate(5, 13);         /* □□□ の表示 */
    printf("calibration (V/cm) : ");
    locate(5, 15);         /* インターバルタイマーの表示 */
    printf("timer value (msec) : ");

    for(;;){
        if( *fst==0 ){
            *fst=1;
            cursor_on();
            locate(32, 9);    /* k1 の入力 */
            line_cls();
            scanf("%f", &k1);
            locate(32, 11);    /* m の入力 */
            line_cls();
            scanf("%f", &m);
            locate(32, 13);    /* □□□ の入力 */
            line_cls();
            scanf("%f", &cal[0]);
            locate(32, 15);    /* インターバルタイマー値の入力 */
            line_cls();
            for(;;){
                locate(32, 15);
                line_cls();
                scanf("%d", &wi_value);
                if(wi_value>0 && wi_value<=1000)
                    break;
            }
        }

        cursor_off();

        scan_t0=wi_value*4;    /* 内部タイマー値の計算 */
        scan_t1=10;
        scan_t2=100;

        /* 初期設定 A/D変換装置 */
        /* タイマー選択と停止 */
        /* トリガーステータスリセット */
        outp(AD02, 0x00);
        outp(AD01, 0x81);

        /* タイマー値設定 */
        outp(AD08, scan_t0 & 0x00FF);
        outp(AD08, (scan_t0>>8) & 0x00FF);
        outp(AD0E, 0x74);
        outp(AD0A, scan_t1 & 0x00FF);
        outp(AD0A, (scan_t1>>8) & 0x00FF);
        outp(AD0E, 0xB4);
        outp(AD0C, scan_t2 & 0x00FF);
        outp(AD0C, (scan_t2>>8) & 0x00FF);

        al=inp(AD10);          /* 変換終了ステータスリセット */
        outp(AD01, 0x01);      /* トリガーステータスリセット */

        time_val=wi_value;     /* インターバルタイマー値の計算 */
    }
}

```

```

    }
    cursor_on();
    locate(15, 21);
    printf("準備はよろしいですか (E:実行 Q:中止 R:入力):");
    wch=0x00;
    while(((wch=getchar())!='E') && (wch!='Q') && (wch!='R'))
        locate(61, 21);
    cursor_off();

    if(wch=='E'){
        eq=0;
        break;
    }else{
        if(wch=='Q'){
            eq=1;
            break;
        }
    }
    *fst=0;
}
return(eq);
}

```

ハイブリッドコントロールによる
耐震性向上技術に関する研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3169号
平成5年1月(1993)

要 旨

川島一彦, 運上茂樹, 飯田寛之, 向 秀毅

近年, 免震設計が道路橋にも取り入れられ始め, 地震時の耐震性を向上させる技術として定着しつつある。免震設計は, 構造物の長周期化を図るとともに, 減衰性能を向上させることにより構造物の地震時応答を低減させようというものである。一方, 免震設計と並んで, 制震設計と呼ばれる新しい手法も主に構造物の耐風安定性の向上のために実際に取入れられている。しかしながら, 大地震時には制御に要するエネルギーが過大となることから現状ではまだ実用段階にはない。このため, 免震技術と制震技術の長所を組み合わせることで少ないエネルギーで効果的に制御するハイブリッドコントロール技術が有望視されている。土木研究所では, ハイブリッドコントロールに用いるための装置として, 構造物の振動性状に応じてその減衰特性を変化させることが可能なバリアブルダンパーを考案した。
本資料は, バリアブルダンパーの実大模型を製作し, 模型単体を用いた動的载荷実験によりその特性を検討するとともに, 構造物の応答に応じて減衰特性を変化させる場合のバリアブルダンパーの制御方法について検討した結果をまとめたものである。

キーワード: ハイブリッドコントロール, 免震設計, 制震設計, バリアブルダンパー, 実大模型, 動的载荷実験

郵便はがき

四十一円切
手をはって
下さい。

305-□□

建設省土木研究所
耐震研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 099

No. 099

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 3169 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印