多段積層ゴムと油圧アクチュエータを用いた高層建物制振用 アクティブ・パッシブ切換え形マスダンパの研究* (第1報, 作動限界が油圧系の圧力低下による場合の制御方法)

鎌田 崇義^{*1}, 藤田 隆史^{*2}, 正木 信男^{*3}

Hybrid Mass Damper with Convertible Active and Passive Modes Using Multistage Rubber Bearing and Hydraulic Actuator for Vibration Control of Tall Buildings (1st Report, Control Scheme Considering Operational Limit of Actuator due to Pressure Drop in Hydraulic System)

Takayoshi KAMADA, Takafumi FUJITA and Nobuo MASAKI

A hybrid mass damper has been developed using a new type of hydraulic actuator which can change from a normal actuator to a damper in the inverse direction as well. When the hybrid mass damper continues to work against strong winds or earthquakes beyond the capacity of the actuator, active-passive mode switching is carried out due to an excessive drop in the pressure or shortage of the stroke or saturation of the control force. In this paper mode switching due to the pressure drop is dealt with. The switching rules were determined by simulation using analytical models for the active and passive modes. Furthermore a gain-scheduled control law using a fuzzy rule was proposed for the active mode to render the damper more effective against frequent winds and earthquakes. Shaking table tests were carried out for a building model with a mass damper model on the roof, showing excellent performance of the mass damper over a wide range of excitation intensity.

Key Words: Vibration Control, Hybrid Mass Damper, Tall Building, Multistage Rubber Bearing, Hydraulic Actuator, Gain-Scheduled Control Law, Active-Passive Mode Switching, Operational Limit, Pressure Drop

1. ま え が き

高層建物の居住性向上を目的としたアクティブ・マスダンパの研究が進み, 実用化の段階に入ってきている⁽¹⁾⁽²⁾. 実用化を考える際には, 風や小地震に対する応答だけでなく, 大・中地震時の対処方法も考慮されねばならない(高層建物では最大速度 0.5 m/s の地震動に対する応答を考える必要がある)が, いくつかの研究^{(3)~(9)}を除いて大・中地震時のマスダンパの応答やその作動限界についての考慮はなされておらず, またマスダンパの作動限界について統合的に解析を行った例は見当たらない。

実用化を前提としたアクティブ・マスダンパの研究として, 著者らはより大きな外乱に対してまでアクティブコントロールを続けるために複数のフィードバックゲインを切換える可変ゲイン制御則の研究を行って

きた⁽³⁾⁽⁴⁾. また, 著者のうち一人はさまざまなタイプのアクチュエータについて, 制御の限界時にはマスダンパをパッシブモードに切換えるアクティブ・パッシブ切換え方式について研究を行っている^{(5)~(7)}.

本研究では, まず油圧システムの圧力変動を含むシステム全体のモデルを行い, 油圧アクチュエータを用いたアクティブ・マスダンパの作動限界についての考察を行った。この作動限界への対処方法として, 可変ゲイン制御則を適用し, さらに油圧アクチュエータをダンパ(リリーフ弁の利用により摩擦ダンパに似た減衰特性をもつ)として利用するアクティブ・パッシブ切換え方式を開発した。

本報では, マスダンパの作動限界が油圧系の圧力低下によって起こる場合について制御系および切換え則の設計を行い, 5 層建物モデルの屋上階にマスダンパを設置した実験モデルを用いた振動台での加振実験によって, そのモデル化の妥当性および良好な制振性能を確認している。

* 原稿受付 平成 6 年 3 月 4 日。

^{*1} 正員, 東京大学大学院 (〒106 東京都港区六本木 7-22-1)。

^{*2} 正員, 東京大学生産技術研究所。

^{*3} 正員, (株)ブリヂストン研究開発第 2 本部 (〒187 小平市小川東町 3-1-1)。

図1 解析モデル

2. アクティブ・マスダンパの基礎理論

2.1 建物・マスダンパ系の運動方程式 図1のような解析モデルを考える。高層建物を n 質点系、マスダンパは下から s 層めに設置するものとし、外力として地震および風を考える。建物・マスダンパの運動方程式は以下になる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{s\}(c_d \dot{x}_d + k_d x_d - F) - [M]\{1\}\ddot{z} + \{w\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$m_d(\ddot{x}_s + \ddot{x}_d + \ddot{z}) + c_d \dot{x}_d + k_d x_d = F \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ ($n \times n$) はそれぞれ建物の質量マトリックス、減衰マトリックス、剛性マトリックス、 $\{x\}$ ($n \times 1$) は建物の地面からの相対変位ベクトル、 $\{s\} = (0 \cdots 1 \cdots 0)^T$ ($n \times 1$) はマスダンパの設置階を表すベクトル、 $\{1\} = (1 \cdots 1)^T$ ($n \times 1$)、 $\ddot{z}$ は地震の地動加速度、 $\{w\} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ($n \times 1$) は風による外力ベクトルである。また、 x_s はマスダンパ設置階の地面からの相対変位、 m_d 、 c_d 、 k_d はそれぞれマスダンパの質量、減衰定数、ばね定数、 x_d はマスダンパの設置階床面に対する相対変位、 F はアクチュエータによる制御力である。

2.2 油圧系の特性方程式 油圧アクチュエータの特性式は以下になる。

$$a\dot{x}_d + r p_L = b(u - K_d x_d - K_I F) \times \sqrt{1 - \frac{\text{sgn}(u - K_d x_d - K_I F) p_L}{p_s}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 a はピストンの断面積、 r はシリンダの剛性を表す定数、 b はサーボ弁の流量ゲイン、 p_s はシステム圧力、 p_L は負荷圧力、 u は制御入力、 K_d は変位の

マイナードバック、 K_I は荷重のマイナードバックのゲインである。

負荷圧力と制御力の関係は以下になる。

$$F = a p_L - f_p \text{sgn}(\dot{x}_d) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 f_p はシリンダ摩擦である。

また、エネルギー蓄積用アキュムレータにおけるシステム圧力と吐出量の関係は次式で表される。

$$V_w = V_I \eta F_c \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 V_w はシステム圧力が p_{s1} から p_{s2} に変化したときのアキュムレータの吐出量、 V_I はアキュムレータ容積、 e はガス封入圧力比で $e = P_g/P_{s2}$ 、 P_g はガス封入圧力、 p_{s1} は時刻 t でのシステム圧力、 p_{s2} は時刻 $t + \Delta t$ でのシステム圧力、 F_c は吐出係数で

$$F_c = (a_p^{1/n} - 1)/a_p^{1/m}$$

η はアキュムレータ総合効率、 a_p は作動圧力比で $a_p = p_{s1}/p_{s2}$ 、 m は N_2 ガスポリトロップ指数(蓄積)、 n は N_2 ガスポリトロップ指数(吐出)で、 m 、 n は実験的に以下のように求められている⁽¹⁰⁾。

$$m, n = 9.388 \times 10^{-9} P_s (2.5 + \sqrt{3.7 - \log_{10} T}) + 1.34 - 0.2 \log_{10} T + \frac{18\sqrt{0.45 + \log_{10} T}}{\frac{P_s}{98000} + 95} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 T は蓄積時間 (T_m)、または吐出時間 (T_n) である。

ここで、 Δt を微小時間とするとマスダンパを動かすために使われた油量は次のように近似できる。

$$V_o = (a|\dot{x}_d|)\Delta t \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし、 V_o は使われた油量である。したがって、アキュムレータ内の油量の変化は次式で求められる。

$$\Delta V = V_o - Q_I \Delta t \quad \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 Q_I はポンプから入ってくる油量、 ΔV はアキュムレータから吐出した油量である。ゆえに、 $\Delta V \geq 0$ の場合はアキュムレータから作動油が吐出されたときで、式(5)～(8)において、 $V_w = \Delta V$ とおくことによって次式が得られる。

$$(a|\dot{x}_d| - Q_I)\Delta t = V_I \frac{P_g}{P_{s2}} \eta \frac{\left[\frac{P_{s1}}{P_{s2}}\right]^{1/n} - 1}{\left[\frac{P_{s1}}{P_{s2}}\right]^{1/m}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$\Delta V < 0$ の場合はアキュムレータに作動油が蓄積されたときで、次式が得られる。

$$(Q_I - a|\dot{x}_d|)\Delta t = V_I \frac{P_g}{P_{s1}} \eta \frac{\left[\frac{P_{s2}}{P_{s1}}\right]^{1/n} - 1}{\left[\frac{P_{s2}}{P_{s1}}\right]^{1/m}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式(9), (10)を解くことによって, Δt 後のシステム圧力を求めることができる。

2.3 フィードバックゲイン 式(3)を線形化すると次式ようになる。

$$a\dot{x}_d + r\dot{p}_L = bu - 1p_L \dots\dots\dots (11)$$

さらに式(1), (2), (4)において, シリンダ摩擦を無視し, $\{x\} = [T]\{q\}$ なるモード行列 $[T]$ とモード座標 $\{q\}$ を導入し, モード解析によって低次元化を行って状態方程式を導出する。本研究では1, 2次モードを制御の対象とするため, 状態変数は

$$\{X\} = (q_1 \dot{q}_1 \ddot{q}_1 \dot{q}_2 \ddot{q}_2)^T$$

の7個である。ただし, q_1, q_2 は建物の1, 2次のモード変位, f はマスダンパの単位質量当たりに働く制御力である。

フィードバックゲインの決定は, 評価関数として建物の相対変位, 絶対加速度の1, 2次のモード成分, マスダンパの相対変位, および制御入力を考慮して,

$$J = \int_0^\infty \{ \mu_1 \dot{q}_1^2 + \mu_2 \dot{q}_2^2 + \lambda_1 (\ddot{q}_1 + \ddot{z})^2 + \lambda_2 (\ddot{q}_2 + \ddot{z})^2 + \nu x_d + au^2 \} dt \dots\dots\dots (12)$$

と設定し, 最適レギュレータ理論に基づいて行った。

また, 計測値からモード座標への変換にはすでに有効性の確認されているモデルフィルタを利用した⁽⁴⁾。

3. 油圧アクチュエータの作動限界

油圧アクチュエータを用いたアクティブ・マスダンパの作動限界として次の三つが考えられる。

- ① 油圧系の圧力低下
- ② 油圧アクチュエータの変位制限
- ③ 油圧アクチュエータの制御力飽和

図2にマスダンパの制御入力を徐々に増加させたときの各作動限界を示す。

①では, マスダンパの挙動が大きくなり, その動作に必要な油量がポンプから供給される流量を越え, システム圧力が低下する。アキュムレータ内に蓄積された作動油が減少し, システム圧力が低下する。アキュムレータ内が空になると, マスダンパは小さな脈動を繰り返すだけになる。さらに, アキュムレータの耐久性の問題から油圧システム内で非常停止をかける場合もあり, この場合非制振状態になってしまう。

②では, マスダンパの設置スペース, マスの支持機構, 油圧アクチュエータのストロークには限界があり, 変位限界に達した場合は通常用意されるストッパに衝突するか, これを避けるためになんらかの制動をかけることになる。マスダンパを停止させれば建物は非制振状態になってしまうし, ストッパに衝突させることは建物に衝撃を与えるためよい方法とはいえない。

③では, 油圧アクチュエータの制御力にも限界があり, これを越える制御では制御力が飽和してしまい, 性能が悪化してしまうことが考えられる。

以上の作動限界を克服する方法として, 本研究では, マスダンパ系の状態にあわせて複数のフィードバックゲインを切換えて制御を行う可変ゲイン制御則と, アクティブ制御の限界時には制御をパッシブモードに切

図2 油圧アクチュエータを用いたアクティブ・マスダンパの作動限界

図3 「可変ゲイン+アクティブ・パッシブ切換え形」マスダンパの制振性能の概念図

換えるアクティブ・パッシブ切換え方式を適用する。図3にその概念を示すが、横軸に地震加速度をとり、縦軸に建物の応答、およびシステム能力をとっている。システム能力とはシステム圧力、アクチュエータ変位、制御力を総合的に考慮したもので、強いゲインでの制御によってシステム能力が限界に近づくと、ゲインを弱く切換えて能力限界内で有効な制御を行い、さらにはパッシブモードに切換えて従来のような制振効果の急激な劣化を防ぐものである。

本報では、①の油圧系の圧力低下によって作動限界がおこる場合について、制御系、切換則の設計を行い、さらに振動実験によって制御の有効性を確認している。

4. アクティブ・パッシブ 切換え形マスダンパ

4.1 アクティブ・パッシブ切換えの方法 図4に本研究で開発したアクティブ・パッシブ切換え形マスダンパの油圧系の回路図を示す。本マスダンパはアクティブモードでは、通常の油圧アクチュエータとして動作する。これをパッシブモードに切換えるときは3箇所ある電磁弁を閉じ油圧源からの油の供給を遮断して油を閉じこめる。さらに、減衰機構中の電磁弁を切換えることによって、リリース弁の設定圧力を2段階

図4 油圧回路図

に切換えることができる。シリンダ内の圧力がこのリリース弁の設定圧力を越えないときは作動油が流れず、マスダンパは静止したままであり、これを越えると弁が開きマスダンパの動きに対して減衰力を与えることができる。ただし、圧力設定のうち一番高い設定値はアクティブ状態でも常に有効であり、シリンダ内の圧力がこれを越えるとリリース弁から油が漏れることになる。

4.2 パッシブモードの解析モデル 本マスダンパでのパッシブモードでは減衰力を摩擦力と同様に扱うことができる。マスダンパが動いている場合(Phase 1)、止まっている場合(Phase 2)の運動方程式およびその切換え条件を以下に示す。

Phase 1での建物・マスダンパの運動方程式を考える。マスダンパに作用する減衰は減衰機構からの減衰力に加え、アクティブ時に比べ粘性抵抗が増加したものととしてモデル化され、以下に示すようになる。減衰機構による減衰力は速度の方向が変わってから、速度の大きさが一定値 V_d を越えるまでは速度の絶対値に比例し、それ以外では一定値をとるものとする。

$$\begin{aligned} [M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} \\ = \{s\}[c_d^* \dot{x}_d + k_d x_d + D_f \cdot \text{sgn}(\dot{x}_d)] \\ - [M]\{1\}\ddot{z} + \{w\} \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_d(\ddot{x}_s + \ddot{x}_d + \ddot{z}) + c_d^* \dot{x}_d + k_d x_d + D_f \cdot \text{sgn}(\dot{x}_d) = 0 \\ \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

ここで、 c_d^* はパッシブモードでのマスダンパの減衰定数、 D_f は減衰機構による減衰力で、

$$D_f = \begin{cases} D_i \frac{|\dot{x}_d|}{V_d} & (i=1, 2) \\ [(0 < \dot{x}_d \leq V_d \text{ and } \ddot{x}_d > 0) \\ \text{or } (0 > \dot{x}_d \geq -V_d \text{ and } \ddot{x}_d < 0)] \\ D_i & (i=1, 2) \\ [(0 < \dot{x}_d \leq V_d \text{ and } \ddot{x}_d < 0) \\ \text{or } (0 > \dot{x}_d \geq -V_d \text{ and } \ddot{x}_d > 0) \\ \text{or } |\dot{x}_d| > V_d \end{cases}$$

Phase 2での建物・マスダンパの運動方程式は、

$$\begin{aligned} [[M] + \{s\}\{s\}^T m_d]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} \\ = -[[M] + \{s\}\{s\}^T m_d]\{1\}\ddot{z} + \{w\} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

$$x_d = \text{const} \dots\dots\dots (16)$$

Phase 1 から Phase 2 への切換え条件は、

$$\begin{aligned} \dot{x}_d = 0 \text{ かつ、} \\ |m_d \ddot{x}_d| \leq 2D_i \end{aligned}$$

Phase 2 から Phase 1 への切換え条件は、

$$|m_d(\ddot{x}_s + \ddot{z}) + k_d x_d| > D_i$$

となる。

5. 制御における切換え則

本研究では、アクティブ・パッシブ切換え方式、さらにアクティブ制御時には可変ゲイン制御則を適用しているため、制御ではいくつかの切換えを行う。作動限界が油圧系の圧力低下によって起こるための切換えの対象はシステム圧力である。また、可変ゲイン制御での切換え方法は後述するようなファジィ切換え⁽⁴⁾とした。

5・1 可変ゲイン制御則 アクティブ制御では、複数のフィードバックゲインを切換えることによってより大きな外乱にまでアクティブ制御を続けるために可変ゲイン制御則を適用する。本研究では使用するフィードバックゲインは2種類(制振効果の高いほうをゲイン1, 低いほうをゲイン2)で、システム圧力をファジィ変数とするファジィ切換えを行う。

ゲイン切換えのためのメンバシップ関数を図5に、制御規則を表1に示す。ゲイン1での制御を f_1 , ゲイン2での制御を f_2 とする。

5・2 アクティブ・パッシブ切換え則 アクティブからパッシブへの切換えはポンプおよびアキュムレータからの作動油の供給圧力(システム圧力)の限界, つまりシステムの圧力が設定した圧力限界 P_r 以下に低下した場合に行う。

パッシブモードではアキュムレータ内の作動油は使用されず, ポンプからの油の供給は続いているためシステム圧力は徐々に回復していく。システム圧力がある設定値 $P_r + P_y$ まで回復したときにアクティブモードに戻すものとした。 P_y の値はあまり頻繁に切換えが入らないようにシミュレーションで検討して決定し

表 1 制御規則表

Rule	P.	CONTROL
R ¹	B	f ₁
R ²	S	f ₂

図 5 メンバシップ関数

図 6 パッシブモードでの切換え

た。また、パッシブモードから急にアクティブモードでの制御を始めるとパルス状の応答が出る場合があるため、切換えには一定時間をかけるものとした。

5・3 パッシブモードでの切換え則 パッシブモードで考慮すべき作動限界はマスダンパ変位のみである。切換えはクリップ切換えで、その概要は図6に示すとおりである。切換えの判断に用いるのはマスダンパの相対変位, 速度の二つである。マスダンパ変位が過大になったとき($x_d > DL1$), および変位が大きく速度もその速度が50 ms 続くと上の切換え値を越えてしまうとき

$[(x_d > DL2 \text{ and } \dot{x}_d > VL2) \text{ or } (x_d < -DL2 \text{ and } \dot{x}_d < -VL2)]$ に $P1$ から $P2$ へ切換えることにした。また, $P2$ から $P1$ への切換えは, 一次モード周期(0.4 s)の間マスダンパ変位がある値を越えなかったときとした。ただし, $DL1, DL2, VL2$ はパッシブモードでの切換えのしきい値である。

6. 振動制御実験

6・1 実験装置 図7が, 本研究で用いた建物・マスダンパ系の実験モデルである。制御は一次元で, 主

表 2 建物モデルのパラメータ

Mode	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
Natural Frequency (Hz)	2.43	7.28	11.5	14.8	17.0
Damping Ratio (%)	0.60	1.20	1.80	2.20	2.50

図 7 実験モデル全量

建物モデルに取付けたセンサはサーボ形加速度計で、その測定値をアンプで積分して建物の絶対速度、および絶対変位をアナログデータとして取込んでいる。制御ではこれらのデータから建物の振動台に対す

6・3 制御パラメータ 油圧系を含むマスダンパに関するパラメータを表3に、切換えのしきい値を表4に示す。

また、二つのフィードバックゲインの評価関数は表5に示すとおりで、ゲイン1が建物のみかけの減衰を1次モードで20.3%、2次モードで6.7%にするもの、ゲイン2が1次モードで7.8%、2次モードで4.3%にするものである。

<i>Pr1</i>	:	10.29	(MPa)
<i>Pr2</i>	:	9.51	(MPa)
<i>P_f</i>	:	8.92	(MPa)
<i>P_y</i>	:	0.588	(MPa)
<i>DL1</i>	:	0.065	(m)
<i>DL2</i>	:	0.06	(m)
<i>VL2</i>	:	0.1	(m/s)

a	:	3.95×10^{-4}	(m^2)
r	:	2.115×10^{-14}	(m^3/Pa)
P_{rr}	:	1.176×10^7	(Pa)
b	:	0.364×10^{-2}	(A/v)
l	:	9.6×10^{-12}	(m^3/sPa)
K_s	:	13.2	(v/m)
K_l	:	1.281×10^{-4}	(v/N)
f_p	:	3.0×10^2	(N)
V_l	:	0.004	(m^3)
P_s	:	8.82×10^6	(Pa)
η	:	0.90	
T	:	8.0	(s)
Q_s	:	2.16×10^{-5}	(m^3/s)
V_d	:	0.1	(m/s)
D_1	:	3.50×10^2	(N)
D_2	:	7.00×10^2	(N)

	Gain 1	Gain 2
λ_1	1.0	1.0
λ_2	0.004	0.004
μ_1	60000	60000
μ_2	400	400
ν	0.0	0.0
α	0.8	7.0

図 9 解析モデル検証実験

図 10 減衰機構同定実験(0.889 6 MPa, 3.0 m/s²)

7. 実験および解析結果

7.1 解析モデル検証実験 2章に示した油圧系を含む解析モデルの検証を行った。建物モデル最上階に設置したマスダンパをコントローラから正弦波を入力した場合の時刻歴応答を図9に示す。加振は2.0 Hz, 1.0 Vで行い、図9は上から制御電圧、マスダンパ加速度、マスダンパ変位、制御力、システム圧力で、左が実験値、右がシミュレーションである。アキュムレータが空になる時間に若干の違いがあるがよく一致しており、解析モデルの妥当性を示している。

7.2 減衰機構同定実験 減衰機構の同定を行うためマスダンパを振動台に直接設置し、パッシブ状態にしたマスダンパの正弦波加振実験を行った。加振周波数は建物の1次の固有振動数近傍である2.5 Hz, リリーフ圧力の設定や加振の強さをいくつか変化した。実験結果を図10に示すが、これは圧力設定0.886 MPa, 加振の最大加速度3.0 m/s²のときの実験とシミュレーションとの比較である。一番上が横軸にマスダンパ変位、縦軸にロードセルの力をとったもので、以下マスダンパ変位、速度、加速度、ロードセルの力の時刻歴応答である。実験ではマスダンパ速度の向きが変わる際にチェック弁の開閉が起こりロードセルの力に衝撃が入っているが、解析モデルではこれを無視しているものよく一致している。

7.3 地震波加振実験 図11はエルセントロ NS波(最大加速度1.3 m/s²)に対する実験とシミュレーションとの比較である。マスダンパの動き、建物の応答、システム圧力の変化および制御モードの遷移等よく一致しており、システム全体での解析モデルの妥当

図 11 アクティブ・マスダンパの応答

性が確認された。

図12はエルセントロ NS波(最大加速度2.0 m/s²)に対して、非制振(case 1), パッシブモード(case 2), ゲイン1のみでアクティブ制御を行いシステム圧力が低下して作動限界になったときにはマスダンパを停止させた場合(case 3), 可変ゲイン制御則とアクティブ・パッシブ切換え方式を併用した場合(case 4)の応答波形の比較である。case 3では8秒付近でアキュムレータが空になり非制振状態となり、制振性能が劣化している。これに対してcase 4ではパッシブモードに入りシステム圧力が回復してアクティブモードに戻ることで、強い外乱に対してもよい性能をあげている。

図13はエルセントロ NS波に対する応答で横軸に外乱加速度、縦軸に建物最上階加速度の二乗平均値をとり実験値をプロットしたものであるが、case 3では外乱が1.2 m/s²を越えると制御の途中でアキュムレータが空になり制振性能が劣化している。case 4では可変ゲイン制御則の効果で外乱が2.0 m/s²まではアクティブ制御を行い、これを越えるとパッシブモードに入るが、圧力が回復するとアクティブモードに戻るため制振性能はほとんど劣化していない。

図 12 エルセントロ NS 波に対する応答

図 13 各制御による制振性能の比較

8. あとがき

本研究では、油圧系を含む建物・マスダンパ系全体の解析モデルを構築し、油圧アクチュエータを用いたアクティブ・マスダンパの作動限界について考察を行った。さらに、この作動部界を克服する方法として可変ゲイン制御則と油圧アクチュエータをダンパとして

機能させるアクティブ・パッシブ切換え方式を提案した。さらに、作動限界が油圧系の圧力低下によって起こる場合について5層建物モデルにアクティブ・マスダンパを設置した実験モデルを使って振動制御実験を行い、従来のアクティブ・マスダンパでは作動限界に達するような地震の際にも、可変ゲイン制御則およびアクティブ・パッシブ切換え方式を用いることによって有効に制御が行えることを確認した。

文 献

- (1) 永田・ほか5名, 日本建築学会学術講演梗概集, (1990), 885.
- (2) 浮田・ほか5名, 日本建築学会学術講演梗概集, (1992), 953.
- (3) 藤田・ほか2名, 機論, 58-545, C(1992), 87.
- (4) 藤田・ほか2名, 機論, 59-558, C(1993), 379.
- (5) 藤田・ほか3名, 機論, 57-543, C(1991), 3532.
- (6) 藤田・ほか5名, 機論, 59-557, C(1993), 36.
- (7) 藤田・ほか6名, 第3回「運動と振動の制御」講演論文集, (1993-7), 162.
- (8) 吉田・渡辺, 機論, 58-550, C(1992), 1808.
- (9) 斎藤・ほか3名, 日本建築学会学術講演梗概集, (1992), 825.
- (10) (株)日本アキュムレータ技術資料, (1991), 11.