

# XY 運動機構と油圧アクチュエータを用いた アクティブ・パッシブ切換え型マスダンパの地震・風応答観測

Earthquake and Wind Response Measurements for Hybrid Mass Damper with  
Convertible Active and Passive Modes Using XY-Motion Mechanism and Hydraulic Actuator

嶋崎 守\*・藤田 隆史\*・松本 喜代隆\*\*・渡壁 守正\*\*  
Mamoru SHIMAZAKI, Takafumi FUJITA, Kiyotaka MATSUMOTO and Morimasa WATAKABE

## 1. ま え が き

高層建物の居住性向上を目的とした制振には、マスダンパを用いる方法が一般的となっている。最近では制振性能の向上をめざしたアクティブ制振の研究が盛んに行われている。しかし、アクティブ・マスダンパは、アクチュエータの能力限界から、その適用は風や小地震時に限られ、中・大地震時には制振装置としての機能を停止せざるを得ない。

そこで著者は、数年ほど前から、発生頻度の高い風や小地震に対しては制振効果の高いアクティブ・マスダンパとして働き、アクチュエータの能力を越えるような中・大地震に対してもパッシブ・マスダンパとして機能を維持するようなアクティブ・パッシブ切換え型マスダンパを提案し、その開発研究を行ってきた<sup>1)~2)</sup>。

本研究では、XY 運動機構と油圧アクチュエータを用いたタイプを開発し、可動質量 5 ton の大型モデルを搭載した制振実験棟を、戸田建設(株)技術研究所(茨城県つくば市)に建設してその制振性能を確認しており、現在、実際の使用形態での制振性能の実証のため地震・風応答観測を行っている。本報では、その観測結果について報告する。

## 2. マスダンパモデルと制振実験棟

図 1 に制振実験棟を示す。この実験棟は、高さ 19m、スパン長は各方向ともに 8 m の 6 層の鉄骨構造で、総質量は 480ton、1 次モードの固有振動数は X 方向が 0.75Hz、Y 方向が $0.88\text{Hz}$ である。

マスダンパは実験棟最上階に屋外設置されており、可動部質量および固有振動数は X 方向が $5590\text{kg}$ 、 $0.83\text{Hz}$ 、Y 方向が $4410\text{kg}$ 、 $1.02\text{Hz}$ である。また、とくに減衰装置は付加していない(パッシブモードでは油圧アクチュエータがオイルダンパの機能を果たす)。摩擦係数は X

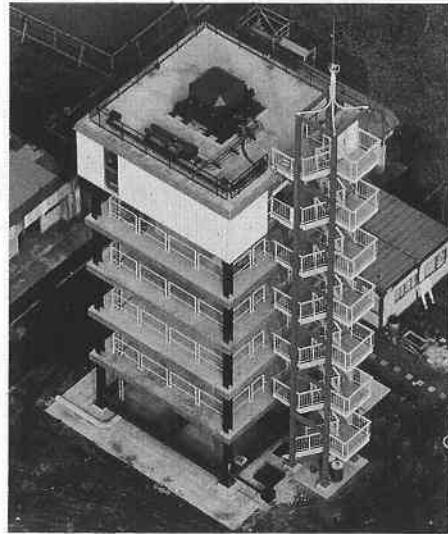


図 1 マスダンパモデルと制振実験棟

方向が $6/1000$ 、Y 方向が $9/1000$ である。

## 3. 地震・風応答観測システム

図 2 は制振実験棟の応答観測用計測機器の配置図である。実験棟上空 25m の位置に超音波風向風速計、実験棟各階の床面にサーボ型速度計、6 階の制御室壁面に風圧計、地下 100m の位置に地中地震計が設置されている。

またマスダンパの加速度、速度、変位、および油圧アクチュエータへの制御電圧も同時に収録される。

応答観測システムは地中加速度の三成分のうちのいずれかが $0.005\text{m/s}^2$ を越えるか、または最上階の速度が $0.0004\text{m/s}$ を越えるか、または風速が瞬間最大で $24\text{m/s}$ を越えると収録を開始する。

## 4. 解析モデル

### 4.1 制振実験棟・マスダンパ系の解析モデル

制振実験棟・マスダンパ系の解析モデルは、X 方向

\*東京大学生産技術研究所 第 2 部

\*\*戸田建設(株)

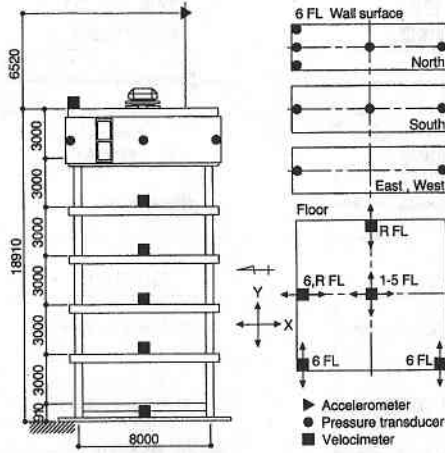


図2 制振実験棟の地震・風応答観測システム

および Y 方向はそれぞれ独立であるものと考え、運動方程式は以下ようになる。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{s\}(k_d x_d + \mu_k \text{sgn}(\dot{x}_d) m_d g - F_a) - [M]\{1\}\ddot{z} + \{W\} \dots \dots \dots (1)$$

$$m_d(\ddot{x}_0 + \ddot{x}_d + \ddot{z}) + k_d x_d + \mu_k \text{sgn}(\dot{x}_d) = F_a \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $[M]$   $[C]$   $[K]$  ( $6 \times 6$ ) はそれぞれ制振実験棟の質量行列、減衰行列、剛性行列、 $\{x\}$  ( $6 \times 1$ ) は制振実験棟の地表面からの相対変位ベクトル、 $\ddot{z}$  は地震動の地表面加速度、 $\{s\} = \{0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1\}^T$ 、 $\{W\}$  は風による外力ベクトル、 $x_d$ 、 $m_d$ 、 $k_d$ 、 $\mu_k$  はそれぞれマスダンパの最上階からの相対変位、質量、ばね定数、摩擦係数、 $F_a$  は油圧アクチュエータによる制御力である。

4.2 油圧アクチュエータの解析モデル

油圧アクチュエータの特性式を以下のように表す。

$$a\dot{x}_d + r\dot{p} = bu_c - lp - \text{sgn}(p) k_b u_b \sqrt{|p|} \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 $b$  はサーボバルブの流量ゲイン、 $u_c$  はサーボバルブへの入力電圧、 $l$  はサーボバルブの内部漏れによる出力流量の減少率、 $r$  は駆動系の剛性を表す定数、 $p$  は負荷圧力、 $a$  はピストンの断面積、 $k_b$  はバイパスバルブの流量ゲイン、 $u_b$  はバイパスバルブへの入力電圧である。また、アクチュエータの発生する力は次式で表される。

$$F_a = ap - f_p \text{sgn}(\dot{x}_d) \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $f_p$  はシリンダのシール抵抗である。

4.3 解析モデルの同定

解析モデルの同定では、実験棟の質量行列は設計値を

表1 制振実験棟の固有振動数および減衰比

Mode number		1	2	3	4	5	6	
Natural frequency [Hz]	X	(Exp)	0.75	2.41	4.16	6.07	7.25	8.00
		(Cal)	0.77	2.42	4.12	6.09	7.28	7.92
	Y	(Exp)	0.88	2.92	5.30	8.01	10.05	11.69
		(Cal)	0.88	2.95	5.36	8.03	9.94	11.71
Damping ratio [%]	X	1.0	1.5	1.2	3.0	1.0	1.2	
	Y	0.6	0.5	3.5	0.8	3.0	1.2	

用いた。剛性行列については、5階に設置された起振機による強制振動実験によって求めた各モードの固有振動数とモード形状から、モード解析と感度解析の手法を用いて同定した。また、減衰行列については、応答観測結果と比較しながら同定した。表1に振動実験結果と同定結果の各モードの固有振動数および減衰比を示す。

マスダンパおよび油圧アクチュエータの諸定数は、マスダンパ単体での振動実験および応答観測結果との比較により同定した。

5. 地震応答観測結果

応答観測を開始して以来、まだ風による観測例はないが、地震による観測例では、地表面の加速度が $0.1m/s^2$ を越えたものが、現在までに3波観測されている。そのうち、もっとも加速度の大きかった1992年5月11日の結果を図3～4に示す。この地震は、茨城県中部を震源とするM5.6の近地地震で、震源の深さは56km、柿岡(つくば市)では震度Ⅲの弱震であった。図3～4には観測結果とともに、式(1)～(4)からなる解析モデルをもとに、時間刻み0.001secのルンゲクッタ法で計算した非制振応答と制振応答結果も示してある。観測結果をみると、最上階の加速度および相対変位応答は、非制振と比較して、最大値で40%程度低減されており、かつ、それらの振動の収束もかなり速くなっている。また、マスダンパの動きからも安定した制御が行われているといえる。ただし、この観測例でも、マスダンパは常時アクティブモードであり、パッシブモードに切り換わるような規模の地震ではなかった。

図5～6は、各結果のフーリエスペクトルと地表面から最上階までの加速度伝達特性を示したものである。データはFFTによる0.1Hzのデジタルハイパスフィルタとバンド幅0.24HzのParzenウィンドにより処理されている。この結果からも、観測結果は制振対象とした1次と2次モードを効果的に低減しており、かつ、それ以降の高次モードは増幅させることがなく、安定した制御が行われていることを示している。また、高次の応

研 究 速 報

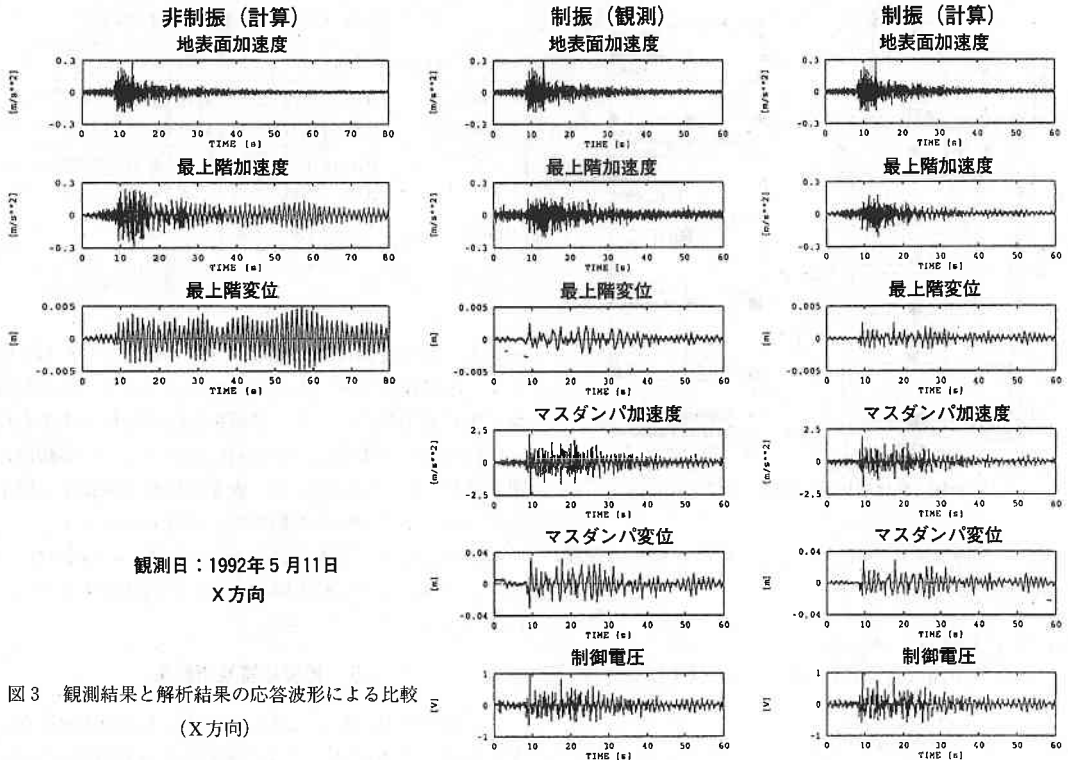


図3 観測結果と解析結果の応答波形による比較 (X方向)

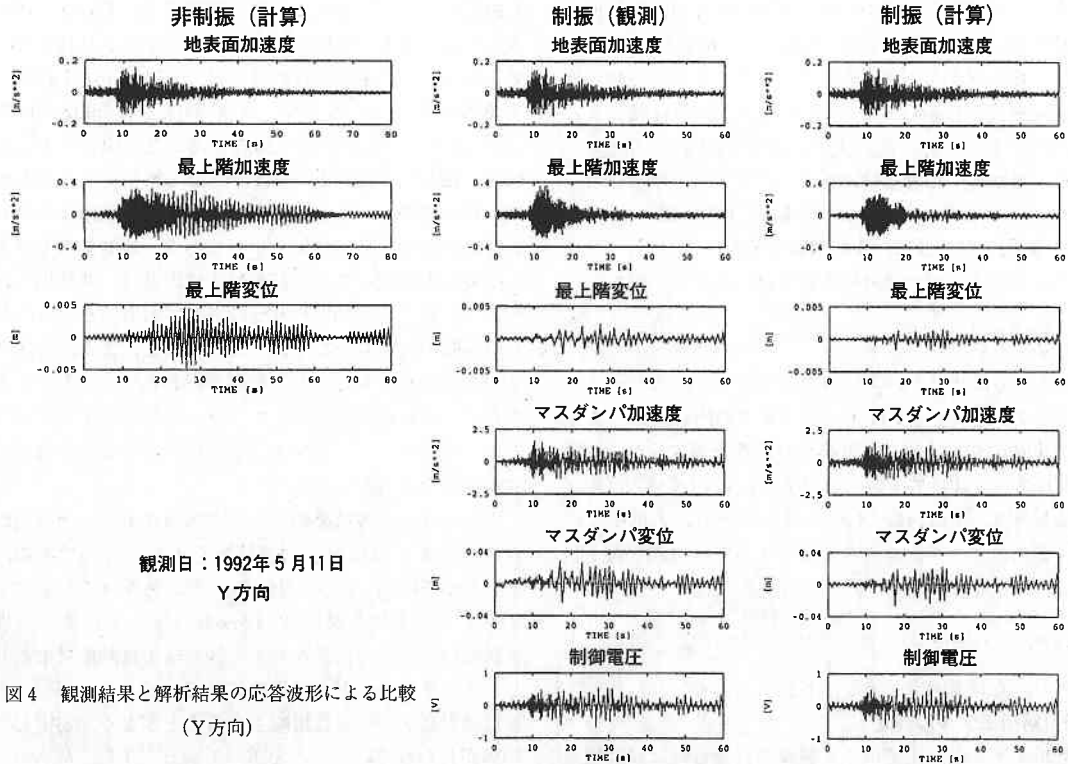


図4 観測結果と解析結果の応答波形による比較 (Y方向)

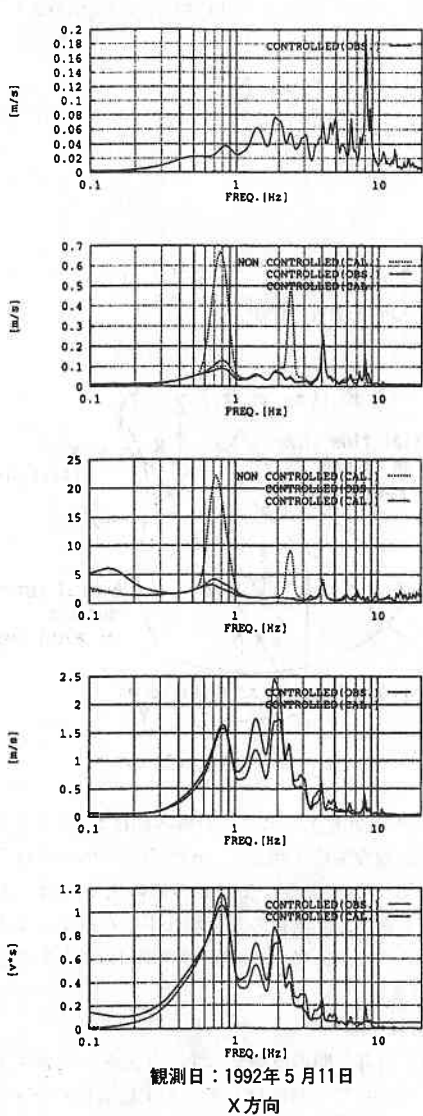


図5 応答のスペクトルと伝達特性 (X方向)

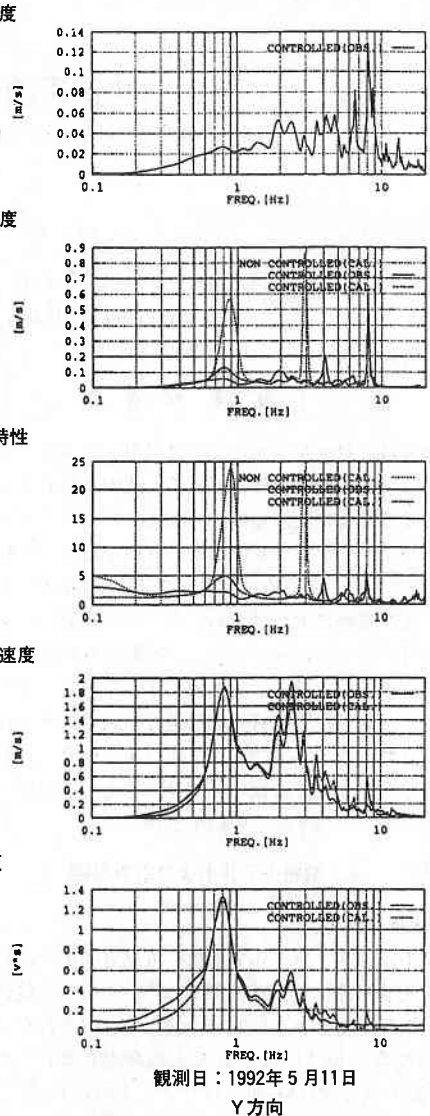


図6 応答のスペクトルと伝達特性 (Y方向)

答が大きいのは、地表面の加速度成分が制御対象外の実験棟の高次成分を励起するような高い振動数にパワーがあるためである。

図3～6から観測結果と解析結果はほぼ一致しており、地震によるアクティブモードでの解析モデルは妥当であるといえる。

### 6. あとがき

XY運動機構と油圧アクチュエータを用いたアクティブ・パッシブ切換え型マスダンパの5tonモデルを設置した制振実験棟の地震・風応答観測によって、実際の使

用形態での制振性能や解析モデルの妥当性が実証されつつある。現在のところ、風やパッシブモードに切替わるような観測例はないが、それらについても、今後の観測によって実証できるものと考えている。

(1993年5月6日受理)

### 参考文献

- 1) 藤田・勝・宮野・高梨, 日本機械学会論文集(C編), 57-543(1991-11), 3532-3539.
- 2) 藤田・水田・松本・木下・高梨・宮野, 日本機械学会論文集(C編), 59-557(1991-1), 36-43.