

I-439

加速度フィードバックを用いたハイブリッド制震装置の振動台実験

九州電力株式会社 正員○本郷 克浩
京都大学工学部 正員 家村 浩和
京都大学工学部 正員 五十嵐 晃

【1.はじめに】

地震などの不確定外力をうける構造物の動的応答を低減する手法として、パッシブとアクティブのハイブリッド法であるATMD（Active Tuned Mass Damper）がある。本研究では、チューニングに必要なパラメータの陽な解を得ることのできる制御則を新たに提案し、最適ゲイン・最適同調振動数・最適減衰率ならびに制震効果について検討を行った。さらに、振動台実験により制震効果を検証した。

【2.定点理論に基づく制御則】

図1に示すような直列型ハイブリッド制震装置を設置した1自由度系モデルに地動外力が作用するときの運動方程式は

$$\begin{cases} m(\ddot{x} + \ddot{z}_0) + kx - c_d \dot{y} - k_d y = 0 \\ m_d(\ddot{x} + \ddot{y} + \ddot{z}_0) + c_d \dot{y} + k_d y = u(t) \\ m_s(\ddot{x} + \ddot{y} + \ddot{z}_0) = -u(t) \end{cases} \quad (1)$$

制御力として絶対加速度をフィードバックする。

$$u(t) = -G(\ddot{x} + \ddot{z}_0) = -mg(\ddot{x} + \ddot{z}_0) \quad (2)$$

TMDの最適パラメータを求める方法でよく知られているように、主振動系の共振曲線を最適化することで以下のパラメータが求められる。

共振曲線のピークの値 α を用いて

・最適ゲイン

$$g_{opt} = \frac{2 - \mu(\alpha^2 - 1)}{\alpha^2 - 1} \quad (3)$$

・最適同調振動数比

$$\xi_{opt} = \frac{\alpha\sqrt{\alpha^2 - 1}}{\alpha^2 + 1} \quad (4)$$

・最適減衰率

$$\eta_{opt} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\alpha^2 + 1}} \quad (5)$$

【3.実験システム】

本研究では図2のように各層の質量が34.3kgの鋼製4層フレーム供試体にTMD、ATMDを取り付けて実験をおこなった。供試体の1次固有振動数は1.5Hzである。本実験で用いた制震装置はACサーボモータと可動マスを内蔵している。TMDの実験では、この制震装置を供試体第4層から吊り下げた。ATMDの実験では、TMDの状態内で蔵されたモータを動かし、能動的にTMDの振動を増幅することで制震効果の増大を図ることができる。それぞれの制震装置のパラメータは表1のよう

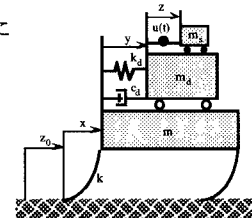


図1 1自由度モデル

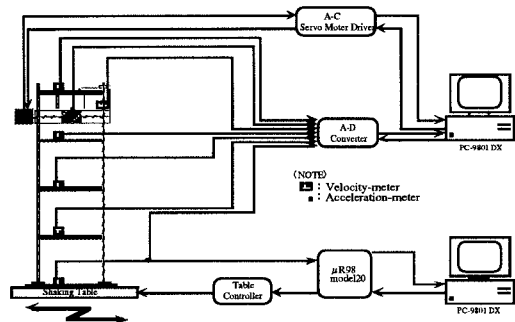


図2 実験システム

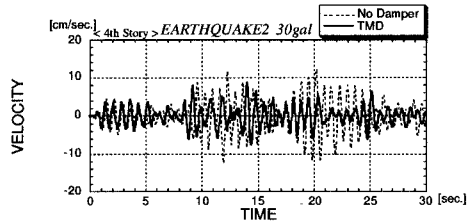


図3 TMD付加の場合の4層速度応答時刻歴

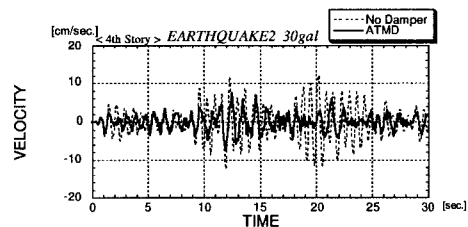


図4 ATMD付加の場合の4層速度応答時刻歴

になる。またシステム全体の安定性を保つことに配慮して以下のような制御則を用いた。

$$u(t) = -G_1(\ddot{x} + \ddot{z}_0) + G_2\dot{z} + G_3z = -m_1g_{opt}(\ddot{x} + \ddot{z}_0) + G_2\dot{z} + G_3z$$

フィードバックゲイン G_2 、 G_3 については、所定の効果が得られかつ可動マスストロークが所定のストローク内（±10cm）に収まるという条件下でゲインを数値シミュレーションにより求めた。

【4.実験結果】

実験に用いた地震波は道路橋示方書Ⅱ種地盤用地震波の最大加速度を30galにスケール化したものである。また制震効果の指標を示す α は3とした。TMD、ATMDを設置した場合の4層速度応答の時刻歴を

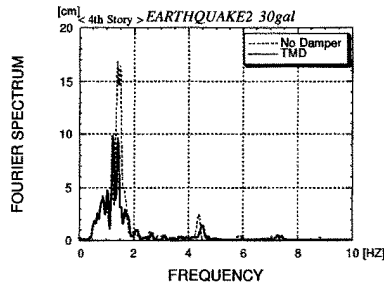


図5 TMDの場合の4層速度応答のフーリエスペクトル

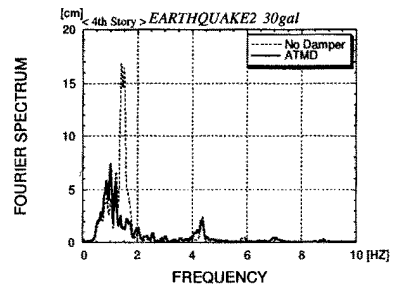


図6 ATMDの場合の4層速度応答のフーリエスペクトル

図3、図4に示す。TMDに比べてATMDでは18秒から20秒のモデルが大きく共振するところでは応答振幅を小さく抑えることができています。また最初の5秒までの応答の立ち上がりでは、可動マスの慣性力により振り子の動きを拡大するため、供試体の応答が小さな場合でも制御が可能である。次に4層応答速度のフーリエスペクトルを図5、図6に示す。ATMDの場合、最大値ではTMDとほぼ等しいわけだが本研究で用いた供試体の1次固有振動数に相当する1.5Hzでは大幅に制御することができています。

最後に最適制御理論と比較した場合の実験結果を図7、図8に示す。図中、Control1が定点理論による制御、Control2が最適制御理論による制御である。供試体の1次振動に対応する1.5Hzでは提案する制御を用いた方が振動を低減することができています。制御力のフーリエスペクトルを見ると定点理論を用いた制御では1次振動に対して制御力が大きく与えられていることがわかる。

【5.まとめ】

4層フレーム供試体を用いた振動台実験を行い、本研究で用いた定点理論に基づく制御則が供試体の1次振動の低減には極めて有効であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 小堀鐸二、西村功、坂本光雄：アクティブ二重動吸収器の開発・実用化に関する研究、日本建築学会大会学術講演概要集、1993年9月

表1 制震装置のパラメータ

	Mass Ratio μ	Frequency Ratio ξ_{opt}	Damping η_{opt}	Gain G_{opt}	Response Peak α
TMD	0.11	0.925	0.193	—	4.38
ATMD	$\mu = 0.067$ $\mu = 0.043$	0.849	0.274	0.183	3.00

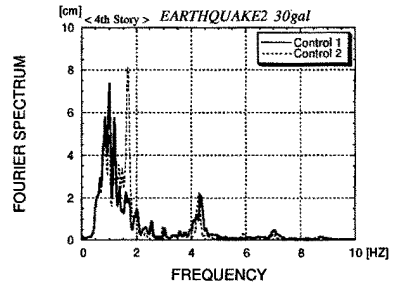


図7 最適制御理論と比較した場合の4層速度応答のフーリエスペクトル

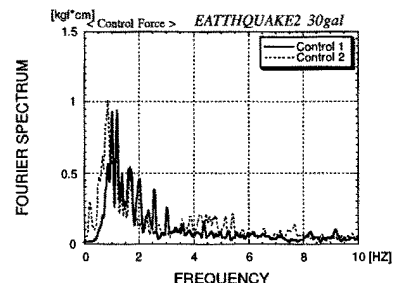


図8 最適制御理論と比較した場合の制御力のフーリエスペクトル