

京都大学工学部 正員 家村浩和

立命館大学理工学部 正員 伊津野和行

○ 鹿島建設 正員 高村 尚

1. はじめに

補助質量を用いた制振機構として、パッシブ制御ではTMD、アクティブ制御ではAMDがあげられる。AMDは対象とする構造物が巨大になると必要制御力が過大となるため実現には困難が伴う。本研究では、より小さな制御力で高い制振効果をあげるハイブリッド型制振装置として自励型動吸振器(Self Oscillating TMD: 以下SOTMDと略す)を提案し、制御則の違いによる制振効果の差異について実験的に比較、検討した。また、SOTMDのAMDに対する工学的優位性について検証した。

2. 実験システム

実験は各層の質量が34.3kgの鋼製4層フレーム供試体にSOTMDを取り付けて行った(図1)。表1には供試体各モードの諸元を示した。SOTMDは、定点理論により供試体1次振動に同調するよう設計し、動吸振器として供試体4層から吊り下げた。このSOTMDはACサーボモーターと可動マスを内蔵しておりモーターを動かすことによりTMDにアクティブな制御力を与え、TMDとしての制振効果を拡大することができる。このSOTMDの供試体に対する質量比は、TMDの部分が3.9%、AMDの部分が2.5%である。

3. SOTMDの制御則

SOTMDのアクティブの部分であるAMDに与える制御力は、供試体各層と振動台で得られた速度、変位データを基に、次の評価関数

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad Q = \begin{pmatrix} K & 0 \\ 0 & M \end{pmatrix}$$

を最小化する最適レギュレータ理論で求められる制御力

$$u = F_x x + F_z z$$

を使用した。Fx、Fzはフィードバック、フィードフォワードゲインである。ただしSOTMDは2重構造を有するので、評価関数のとりかたにより2通りの制御則が得られる。

制御則1: 図2(a)のように評価関数として構造物のみを考える。このとき制御力はTMDの振幅を拡大する向きに働くので供試体1次振動の低減効果が極めて大きくなる。

制御則2: 図2(b)のように評価関数としてTMDを含んだ構造系全体を考える。このとき制御力はTMDの振幅を抑えようとする向

表1 供試体特性

Mode	Natural Period (sec)	Damping Ratio(%)	Participation Factor
1	0.675(0.662)	0.39	(1.241)
2	0.225(0.229)	3.58	(0.333)
3	0.138(0.149)	4.41	(0.183)
4	-(0.122)	-	(-0.079)

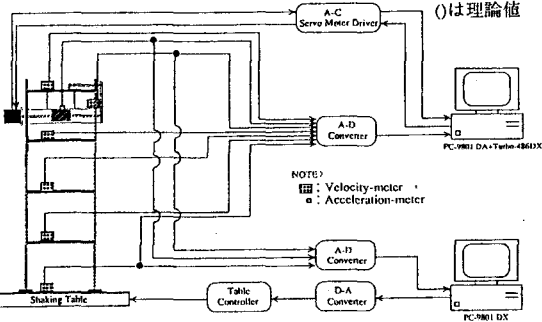


図1 実験システム

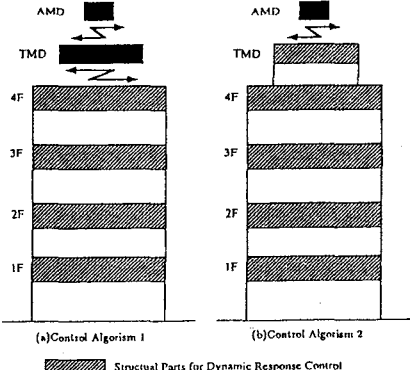


図2 SOTMDの制御アルゴリズム

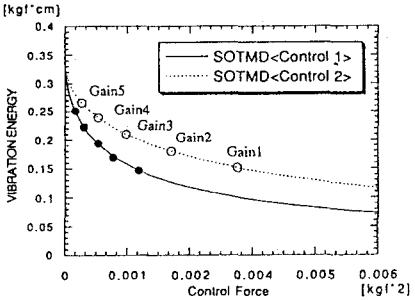


図3 制御則の比較

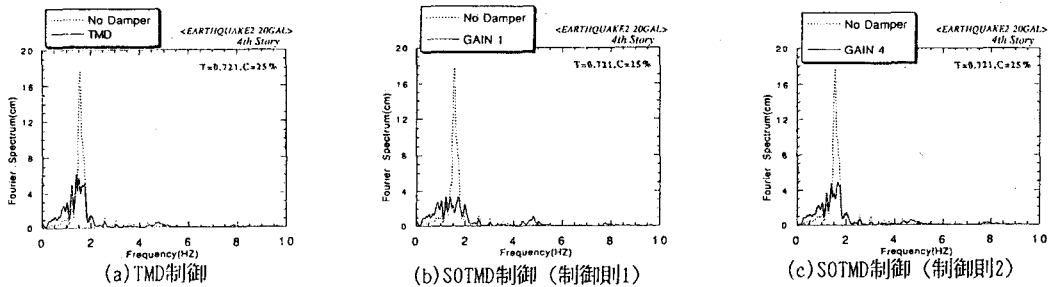


図4 4層速度応答のフーリエスペクトル

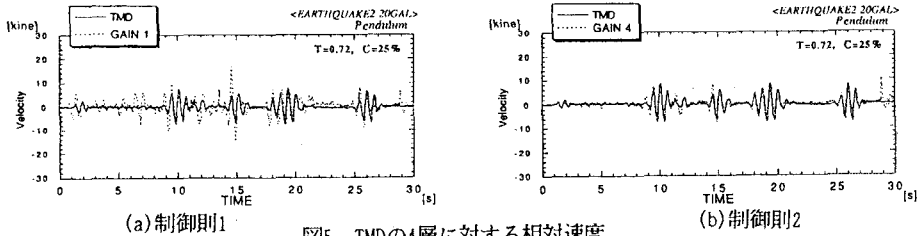


図5 TMDの4層に対する相対速度

きに働くので供試体1次に対する制振効果は制御則1より劣るが、高次振動に対しても制御可能である。

これらの制御則での制振効果を表すトレードオフ曲線を算出した(図3)。この解析結果から制御則1の方が、TMDの1次の低減効果を有効に活用する分だけ制振効果が高いといえる。

4. SOTMDによる制振実験結果

図4に、それぞれの制御則で図3に示す5つのゲインによる制振実験結果(供試体4層速度応答時刻歴のフーリエスペクトル)を示す。なお、入力波には道路橋示方書Ⅱ種地盤用地震波を用いた。制御則1、2ともに、TMDのみで制御するときよりも高い制振効果をあげている。制御則1では1次のピークを大きく低減し、制御則2では2次振動に対して安定な制御をしている。図5には、TMDの供試体4層に対する相対速度を示した。制御則1ではTMDの振幅を拡大しながら、制御則2ではTMDの振幅を抑えながら制御していることが読み取れる。また、それぞれの制御則で同等の制振効果をあげる場合に必要アクティブ制御力のフーリエスペクトル(図6)から、供試体1次振動に対する制御力は制御則1の方が制御力2に比べ圧倒的に少なくすむことが分かる。制御則2による制御力は制御則1に比べ多少大きくなる、しかし制御力を4Hz付近の2次振動にも配分することができる。

本研究のSOTMDは4層上部に固定し可動マスの慣性力を直接供試体に作用させることでAMDとして扱うことができる。SOTMDとAMDにはほぼ同等の制御力を与えた場合(図7)、SOTMDは供試体の1次振動をAMDの50%以下に抑えることができる。また、制振効果がほぼ同等の時に必要とされる制御力はSOTMDの方がAMDに対し極めて少なく済むことがわかる(図8)。

5. おわりに

本研究で提案したSOTMDの有効性が解析的、実験的に明らかになった。

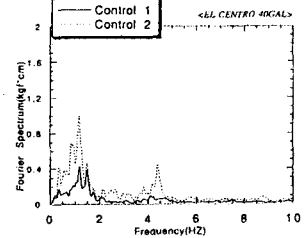


図6 制御力の比較

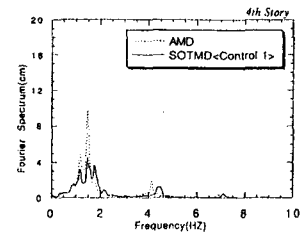


図7 SOTMDとAMDの応答の比較

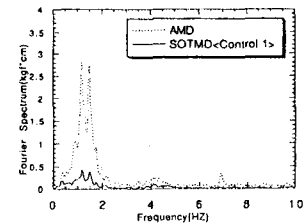


図8 SOTMDとAMDの制御力の比較