

I-616

自動型動吸振器の開発と制御アルゴリズムの効率化

鹿島建設 正員 高村 尚 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

1. はじめに

フレキシブルな構造物に対する制振機構として、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動型動吸振器(Self Oscillating TMD: 以下SOTMDと略す)を提案した。そして、制御アルゴリズムの違いによる制振効果の差異について実験的に比較し、さらにそれらの制御則の効率化について考察した。

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の可動マスが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(X、Z)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。F_x、F_z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

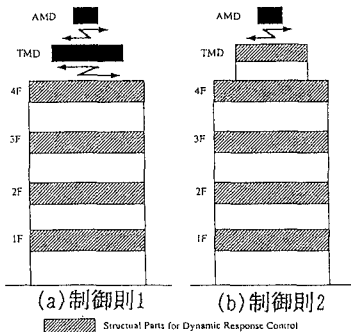


図2 SOTMDのアルゴリズム

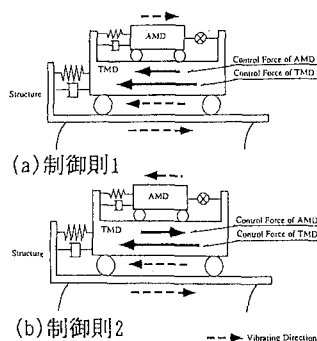


図3 SOTMDの振動方向と制御力

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)

()は理論値

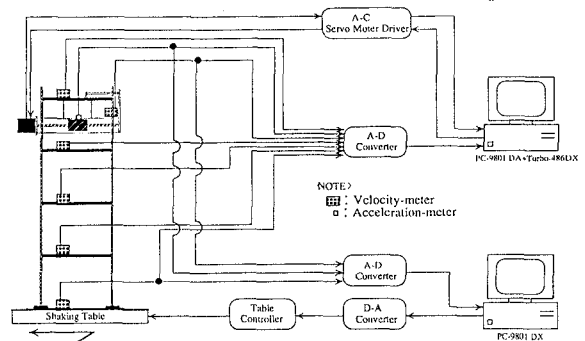


図1 実験システム

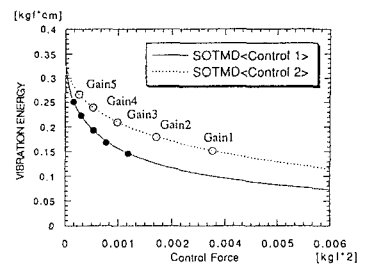


図4 トレードオフ曲線

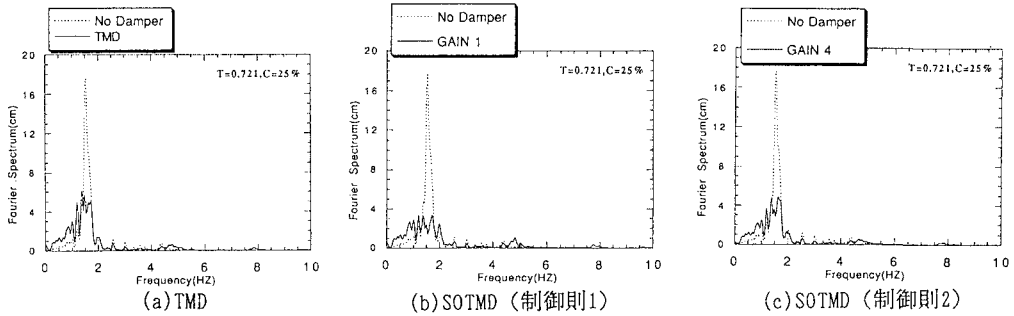


図5 4層速度応答のフーリエスペクトル

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（図3(a)）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。このとき制御力はおもにTMDの振幅を抑えようとする向き（図3(b)）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エネルギー効率が高いといえる。

4. SOTMDによる制振実験結果

図5に、それぞれの制御則で図4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。より小さな制御力で高い制振効果をあげるためには制御則1を使えばよい。しかし、この場合TMDを加振することになるので制振性能のよいゲインを使うとき、あるいは地震入力の大きいときにTMDの振幅がストロークの限界を越えてしまう危険性がある。そこでTMDの振幅が小さいときには制御則1で制御し、TMDの振幅が大きくなりすぎるときには制御則2に切り替えることにした。この結果のトレードオフ曲線（図7）とTMDの相対速度（図8）を示す。制御則を切り換えることにより、TMDの相対速度をある限度内におさえることができ、さらに制御則1より制振効果がよくなっている。

5. おわりに

本研究では、ハイブリッド型制振装置SOTMDの有効性を解析的、実験的に明らかにした。

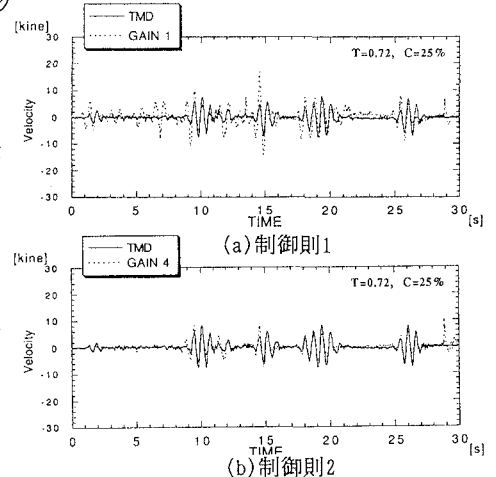


図6 TMDの4層に対する相対速度

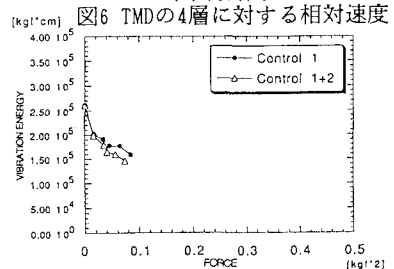


図7 制御則1と可変制御則の比較

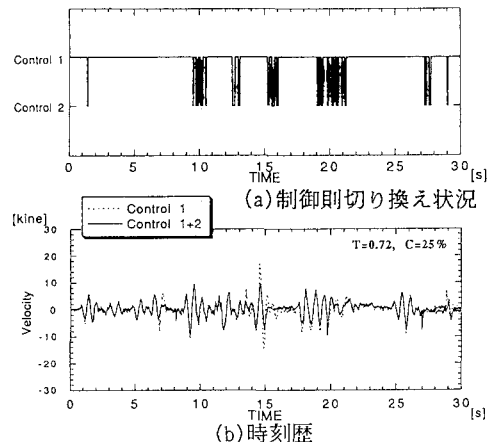


図8 TMDの相対速度の比較