

I-B 20

セミアクティブ同調液柱管ダンパーの提案

東京大学大学院	学生会員	木村周二
東京大学工学系研究科	正会員	阿部雅人
同 上	フェロー	藤野陽三

1. まえがき

構造物の振動を低減させる手段の一つとして、固有周期の調節が容易であり、小振幅でも機能するなどの利点を有する同調液柱管ダンパー（Tuned Liquid Column Damper, T L C D）がある。T L C Dは図1のようにU字管内の液体が構造物と同調して振動することで、構造物の振動を制御する装置であり、適当な減衰を得るためにU字管内にオリフィスが設置されるのが普通である。本研究は、T L C Dを用いて構造物の振動をより効率的に低減させる方法を開発、提案することを目的とする。具体的には、(1)オリフィスの開口率を制御することで減衰を調節できるT L C D、(2)U字管内の液体に磁性流体を用いることで磁力による制御力を加えるT L C Dの2つについて、制御則を構築する。両者とも、パッシブT L C Dの特性を生かすことで、小さな制御力による効率的な制御を目指しており、セミアクティブ制御の一種と考えられる。解析には、速度の2乗に比例する減衰項をもつ非線形1自由度で表したT L C Dと、線形1自由度で表した構造物の連成2自由度モデルを用いた。また、その性能は数値シミュレーションによって確認した。

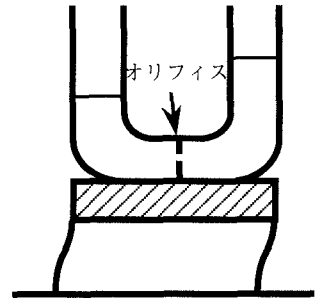


図1 T L C D 模式図

2. 可変オリフィスT L C D

(1) 構成

ここでは、オリフィスの開口率を振動中に制御することで、減衰を変化させるT L C Dについて検討した。ただし、オリフィスの開閉と液体の運動の相互作用の影響を小さくするため、オリフィスの開閉は半周期に一回、流速が0になる瞬間に行うこととする。

(2) 制御則

TMDに関する既往の研究[1]を参考に、T L C Dに関しても自由振動応答を最小化する可変減衰を求めた。簡単に考え方の概要を示す。構造物-T L C D連成2自由度系は、2つの複素固有モードを持つ。オリフィスの開口率を制御することで、系の減衰が変化するが、系が非比例減衰系なので連成2自由度系のモード形が大きく変化する。また、モード形が変化することによって、同じエネルギー状態でも振動の2つのモードへの寄与率は変化する。そこで2つのモードのうち、高減衰のモードの寄与率が高くなるようにオリフィスの開口率を制御することとした。

3. 磁性流体T L C D

(1) 構成

磁性流体とは液体中に微小な磁性体粉末（鉄など）をコロイドとして浮遊させることで、磁性を持つようにふるまう流体である[2]。この磁性流体をT L C D内の流体に用いて、図2のように鉄芯・磁性流体・空気の中に磁束を通し、空気と磁性流体の透磁率の差を利用して力を発生させるT L C Dを考案した。制御力は、コイルにかける電圧により磁力を変化させることによって調節する。

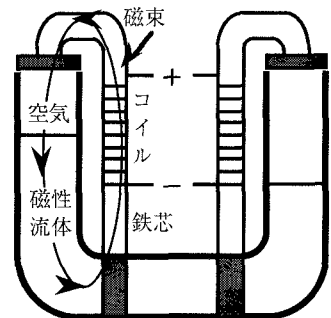


図2 磁性流体T L C D 模式図

（２）制御則

制御則は、構造物の変位をフィードバックしたバンバン制御を用いた。電流の電圧に対する遅れ（制御力の遅れ）を補償するため、電圧に対して電流のフィードバックを同時に行った。

４．数値シミュレーション

東神戸大橋主塔のデータ（固有周期3.697秒，対数減衰率0.01）[3]を用い，T L C Dと構造物の質量比を0.01，T L C Dの有効質量比を0.35として，数値シミュレーションを行った。結果は，図3，図4に示した。図3は，自由振動応答時の構造物の振幅の絶対値の包絡線であり，図4は強制振動応答のピーク値を，外力の大きさごとにプロットしたものである。また比較のためパッシブT L C Dの結果もあわせて示した。磁性流体T L C Dは，可変オリフィスを併用したモデルでシミュレーションを行った。

（１）自由振動応答（図3）

可変オリフィスT L C Dは，60秒程度まではパッシブT L C Dとほとんど変わらないが，70秒以降にパッシブT L C Dでみられるうなりによる振幅の増大がなくなり，スムーズに振幅が減衰していることがわかる。そのため構造物の振動継続時間が短縮されている。磁性流体T L C Dでは，60秒以前にも大きな減衰効果が得られている。

（２）強制振動応答（図4）

パッシブT L C Dでは外力が0.6～1.0galから外れると大きく性能が落ちるのに対して，可変オリフィスT L C Dでは，どの外力に対しても一定の能力が発揮できており，振幅依存性がなくなっていることがわかる。さらに，磁性流体T L C Dでは全般に制振性能が向上しているが，特に外力が小さい場合に高い性能を発揮している。これは，制御力の大きさが限られているので，外力が小さいときの方が相対的に大きな制御力を発揮できるためである。

５．まとめ

本研究では，可変オリフィスT L C D，磁性流体T L C Dの2つのタイプのT L C Dを提案し，それぞれについて数値シミュレーションを行った。その結果，可変オリフィスT L C Dでは自由振動応答におけるうなりがなくなり，振動の継続時間が短縮されることが確認できた。また，強制振動応答の結果から，振幅依存性がなくなり外力の大きさによらず一定の性能が発揮できることがわかった。磁性流体T L C Dでは制振性能をさらに高めることが可能で，自由振動応答・強制振動応答ともに大きな制振効果が得られた。今後は，磁性流体T L C Dにおけるバンバン制御以外のより効率の高い制御則の構築を行うとともに，模型実験を通して数値シミュレーションの結果の検証をする必要がある。

参考文献

- [1] M. Abe and T. Igusa, Semi-active dynamic vibration absorbers for controlling transient vibration, Journal of Sound and Vibration, (in press) [2] 神山新一，磁性流体入門，産業図書，1989 [3] 坂井藤一，高枝新伍，玉木利裕，相似モデルによる液柱管ダンパーの制振実験，構造工学論文集 Vol.36A,1990

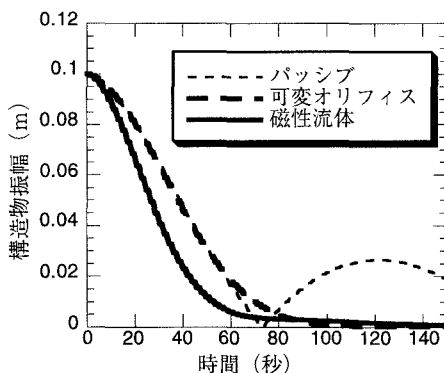


図3 自由振動応答

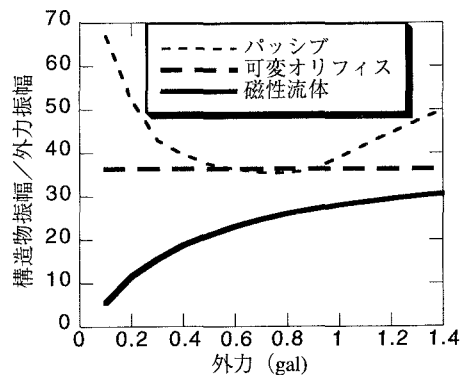


図4 強制振動応答