

I - B 469

振動モード形の変化を利用した自励振動の制御

建設省 正会員 尾松 智
 東京大学工学系研究科 正会員 阿部雅人
 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三

1. まえがき

斜張橋ケーブルをはじめとした柔軟構造物は、粘性ダンパーなどの制振装置設置によって振動モード形状が変化しやすい。そのため、制振装置設置位置が振動モードの節となって高い制振効果が得られない場合がある。そこで、磁石をダンパーとして用い、磁力が運動の拘束と解放を繰り返すことでモードの節の生成を助け、制振効果を向上させることを意図した磁石ダンパーが考案されている。本研究では、磁石ダンパーの定量的な制振効果を明らかにし、設計方法を確立することを目的として検討を行った。

2. 磁石ダンパーの基本的特性

磁石ダンパーは振動モードをパッシブに変化させることにより振動を制御する装置である。その基本的特性を明らかにするために、単純な2自由度振り子モデルを用いた解析を行った。このモデルは、図1のように上側の質点が磁石に接触するまでは、2自由度の運動をし、上側の質点が磁石に接触すると、磁力により拘束されて1自由度の運動をする。その後、下側の質点の変位が一定以上になると、磁力による拘束が解放されて、再び2自由度運動をする。本研究では自励振動に注目し、自励振動を速度の小さい時には負の減衰、速度の大きい時には正の減衰を上下の質点に与えることによってファンデルポール型の振動で表現し、解析を行った。自励振動力としてはダンパーを設置場合の定常振幅が約0.1mとなるような振動を考えた。図2は磁石ダンパー、および最適設計した粘性ダンパーを設置した場合のエネルギーの変化を示したものである。この図から、定常状態に関しては、磁石ダンパーは最適設計した粘性ダンパーとほぼ同等の効果が得られることがわかる。また、エネルギーの減少が磁石からの解放時に生じていることから、(1)磁石からの解放によって高次モードが励起される、(2)励起された高次モードは振動速度が大きいので、正の減衰力が作用する、という制振原理であることが明らかになった。したがって、磁石ダンパーは、制振対象モードの減衰に比較して、高次モードの減衰が著しく大きい振動の制御に適していると考えられる。

3. 磁石ダンパーの最適化

磁石ダンパーの性能は、図3に示すように、磁力、磁石と接着部材との隙間によって大きく変化する。

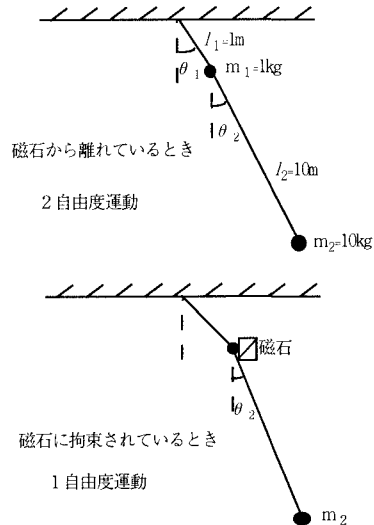


図1. 2自由度振り子モデル

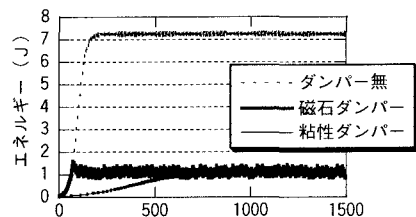


図2. 磁石ダンパーの効果

キーワード：自励振動，磁石ダンパー，最適化，ケーブル振動

〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745 建設省武雄工事事務所 TEL：0954-23-5151

そこで、磁力および磁石との隙間を設計値として用い、磁石ダンパーの最適化について検討した。図3から最適と思われる磁石ダンパーを用いた場合、その効果は最適設計した粘性ダンパーとはほぼ等しくなると考えられる。つまり、粘性ダンパー設置時の定常振幅で磁石と接触・解放を繰り返すように設計値を与えればよいと考えられる。

4. 最適設計値の検討

以下のような無次元量を導入して、最適設計値について検討する。

$$\frac{F_{\max}}{M_1 d \omega_1^2} \quad (1)$$

ここに、 $F_{\max}$ は解放時の磁力の最大値、 d は磁石の隙間、 ω_1 は1次モードの振動数である。 M_1 はダンパー設置位置の変位が1となるよう正規化した1次モードのモード質量である。この無次元量は、磁力の最大値を、磁石との隙間 d を振幅として振動する場合の1次モードに働く慣性力で無次元化したものである。つまり、式(1)の値が1のとき、定常振幅 d において磁石と接触・解放を繰り返す設計値与えることとなる。ここで図3から得られる最適値を用いて、式(1)の無次元量を計算すると0.8から0.9の間で1よりやや小さくなった。これは、磁石に接触する振幅で磁石から解放される時に最適であるため、振動の振幅は d よりやや大きいこと、および、1次モードの慣性力と比較して、実際には上側の質点が拘束されている分だけ慣性力が小さくなるためであると思われる。この無次元量を適用して実際の斜張橋ケーブル²⁾を例に試算を行った。図4は、磁力を一定とし、磁石の隙間を変化させた時の定常振幅である。この図で最適と思われる時の無次元量を計算すると0.8となり、ケーブルにおいてもこの無次元量を用いて設計出来ると考えられる。この場合の磁石ダンパーの効果は、図5で示すように、最適設計した粘性ダンパーと同等であることがわかる。

5. まとめ

ここでは、柔軟な構造物の自励振動を対象に、モード形状の変化を利用した磁石ダンパーの制振原理と設計法を、数値解析に基づいて検討した。主たる結論は以下のとおりである。

- (1)磁石ダンパーは、高次モードを励起することで自励振動に対して効果を発揮する。同様の理由で、高次モードの減衰が相対的に大きいシステムには効果を発揮するものと考えられる。
- (2)磁石ダンパーの制振効果は最適設計された粘性ダンパーとはほぼ同等である。
- (3)磁石ダンパーの最適設計値を、ここで提案した無次元量によって算定することができる。

【参考文献】1)中野、大塩、片村、前田：振動モードの制御による斜張橋斜材ケーブルの制振、第52回土木学会年次学術講演会I-B, pp.338-339, 1997. 2)横山、日下部：斜張橋ケーブルの風による振動と対策、橋梁と基礎、1989年8月号, pp.75-84.

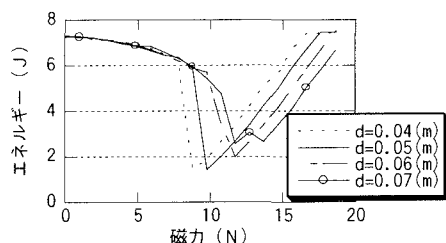


図3. 磁力、磁石との隙間を変化させた時の磁石ダンパーの効果

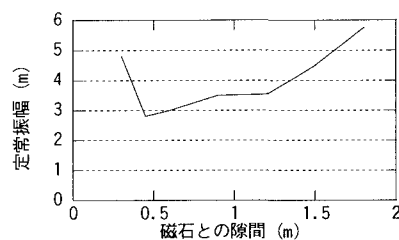


図4. 磁石との隙間を変化させた時の磁石ダンパーの効果

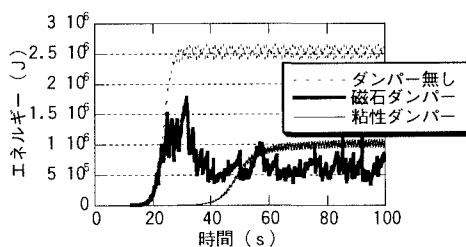


図5. ケーブルに対する磁石ダンパーの効果