

埼玉大学 正員 山口 宏樹
 積水ハウス 後藤 斎
 埼玉大学 長嶺 俊広
 東京大学 正員 藤野 陽三

1. まえがき

斜張橋ケーブルの rain vibration 等、ケーブルの風による振動が問題となることの多い昨今、ケーブルの減衰機構の解明は振動予測、制振対策等の面で重要なポイントとなる。著者らはこれまでに模型実験によりケーブルの基本的モード減衰性状を明かにしている^{1), 2)} が、本研究はその結果を踏まえ、ケーブルの支持条件がモード減衰にいかに関与するかを明らかにすることを目的とする。

2. 模型ケーブルによる振動実験および有限要素法による

固有振動解析

模型ケーブルは 7本よりワイヤロープ(伸び剛性 $EA=2.45 \times 10^5 \text{ N}$) に鉛製おもり(15.1g/個)を約 9.5cm 間隔に付加重量として取り付けたものである²⁾。これをスパン 7.28m に張り、強制加振後の自由減衰振動を測定してモード減衰を求めた。実験方法等の詳細については参考文献1), 2)を参照されたい。支点には板ばねを用い、板厚を三種類(2.0, 2.5, 10.0mm)として弾性支持条件を変化させている。この支点の動力学的特性については支点単体についての静的実験、動的実験より実測しており、それを Table 1 に示す。この模型に対してケーブルを 3節点 2次有限要素、支点をバネ質点系でモデル化し、静的つり合い形状を非線形解析により求めた後に固有振動解析を行った。算出された固有振動数、固有モード、固有振動時変動ひずみと実験値とを比較することにより、総合的に考察を加えている。なお、モード減衰および変動ひずみの評価振幅はスパン長の 0.1%とした。

3. 結果および考察

(1) 固有振動数および変動ひずみに及ぼす支持条件の影響

Fig.1 はサグ比に対する固有振動数の変化について、解析曲線および実験値を示したものである。実験値は解析値とよく一致している。どの支持条件に対しても対称モードのモード遷移領域の存在が認められるが、その範囲は支点がフレキシブルになるほどサグ比の大きなところに移行しており、このことにより対称モードの固有振動数は支持条件により異なっている。しかし、モード遷移領域外のサグ比については支持条件による対称モードの固有振動数の差異は小さく、逆対称モードの固有振動数についてはサグ比に無関係にどの場合もほぼ一致している。

Fig.2 は変動ひずみの解析結果を示したものである。逆対称モードについては支持条件による差異はなく解析曲線が重なっているのに対し、対称モードではモード遷移領域で変動ひずみが大き

Table 1 支点の動力学的特性

	Plate Thickness (mm)	Equivalent Spring Const. (kN/m)	Generalized Mass (kg)	Log-Decrement
Elastic	2.0	2.38	0.481	0.01~0.02
Support	2.5	5.99	0.550	0.02~0.04
	10.0	1.86×10^4	1.19×10^{-1}	0.11~0.19

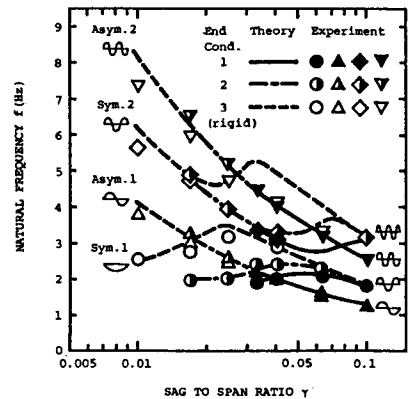


Fig. 1 固有振動数に及ぼす影響

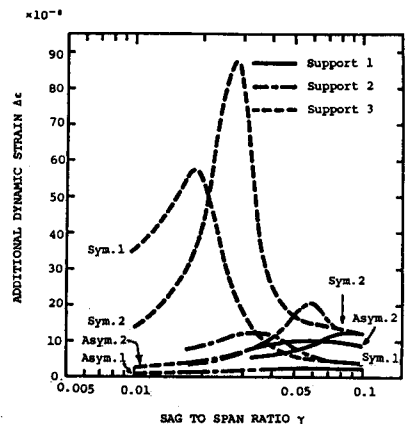


Fig. 2 変動ひずみに及ぼす影響

な値をとり、その値は弾性支持では固定支持に近い Support3 に比べかなり小さくなっている。したがって対称振動のモード減衰がモード遷移領域で支持条件の影響を受けることが予想される。

（2）モード減衰に及ぼす支持条件の影響 Fig.3 は対称 1 次モードに対するモード減衰のサグ比に対する変化を、各支持条件について比較して示したものである。上述のモード遷移領域で対数減衰率が大きくなっており、またモード遷移領域が支持条件により異なることから、モード減衰の支持条件による大小関係がサグ比により異なっている。つまり、サグ比が小さい場合に弾性支持のほうが固定支持より小さいのに対し、サグ比が大きくなるとその大小関係は逆転している。モード減衰のサグ比による変化の様子は Fig. 2 の変動ひずみのそれとよく似ているものの、各支持条件に対するピーク値の大きさは変動ひずみとの対応がよくないことは注目すべきことである。一方、逆対称モードの場合は（Fig.4）、サグ比によらず同程度の、対称モードに比べてかなり小さな対数減衰率となっており、支持条件により大きな差異はない。これは逆対称振動が弾性支点のほとんど動かない振動モードであることによる。

モード減衰と変動ひずみとの定量的関係をみるために、横軸に変動ひずみの解析値、縦軸にモード減衰の実験値を採って両対数紙にプロットしたものが Fig.5（対称モード）および Fig.6（逆対称モード）である。Fig.5 において、各支持条件に対して各点は図中に示した傾き 2 の直線にそれぞれよく載っており、モード減衰が変動ひずみの 2 乗に比例しているといえる。したがってヒステリシスエネルギーに基づく内部減衰がケーブルのモード減衰の主たる要因の一つと考えられる。しかし、実験には同一のケーブルを用いているわけで、モード減衰が内部減衰に支配されているとするとすべての点が一本の直線に載るはずであって、他の要因が存在することとなる。これが支点の動きに伴う、支点からのエネルギー散逸であることは容易に想像できるものの、その定量的裏付けは難しく、現在検討中である。Fig.6 の逆対称モードについてみると、変動ひずみの小さい範囲では、減衰が変動ひずみによらずほぼ一定となっている。この傾向は支持条件に依存しておらず、もう一つの減衰の要因の存在を示している。

4. まとめ

ケーブルのモード減衰について支持条件の及ぼす影響を論じた。支点の弾性の影響については定量的にも明かになったと考えるが、支点でのエネルギー散逸の影響については今後定量的な検討が必要である。

（参考文献） 1) Yamaguchi, H. and Y. Fujino: Modal Damping of Flexural Oscillation in Suspended Cables, Proc. of JSCE, No.386/1-8, pp.197-205, Oct. 1987. 2) 山口宏樹・長嶋俊広：弾性支持されたケーブルのモード減衰，構造工学論文集，Vol.34A, pp.627-634, 1988年3月。

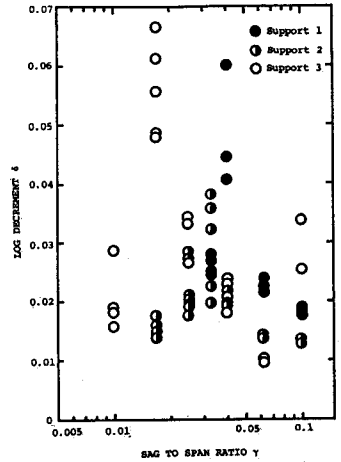


Fig. 3 対称 1 次モード減衰

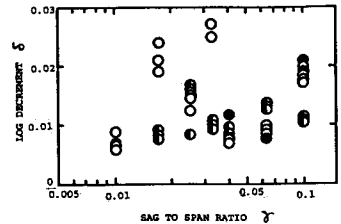


Fig. 4 逆対称 1 次モード減衰

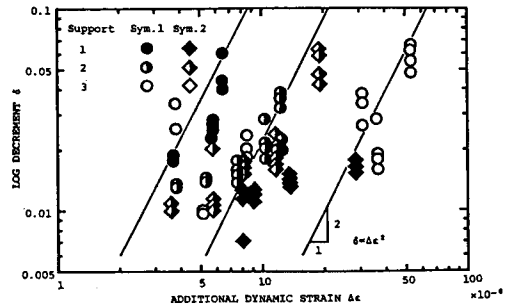


Fig. 5 対称モード減衰vs変動ひずみ

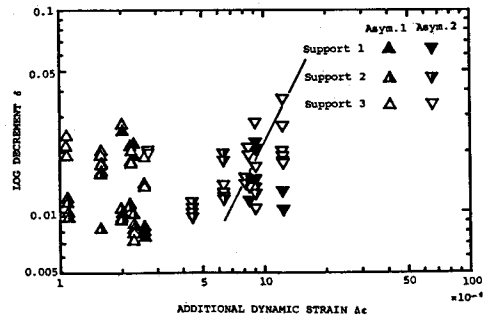


Fig. 6 逆対称モード減衰vs変動ひずみ