

日本鋪道	正員	下菊 和則
埼玉大学	正員	山口 宏樹
東京大学	正員	藤野 陽三

1. まえがき

送電線、通信線、斜長橋ケーブル等はフレキシブルが故に耐風安定性が問題とされることが多く、それらの耐風性を評価する場合、その振動特性、特に直接結果に反映される構造減衰の推定が重要になってくる。本研究では、ケーブルのたわみ振動時の減衰性状を模型実験によって把握し、また解析によりケーブル固有振動時の変動張力の定量的評価を行って、実験結果としてのモード減衰との対応を試みた。

2. 実験方法ならびに解析方法

実験はFig.1 に示すように、スパン2.05m に模型ケーブルを張り、各振動モードごとに正弦波で鉛直面内、および面外方向に加振した。ケーブルにはターゲットを取りつけ、非接触光学式変位計で自由減衰振動時の変位を測定し、その記録から対数減衰率を算定した。加振点は各振動モードが得やすい点とし、実験パラメーターにはケーブルのたわみ振動特性との関連から、サグ比 γ 、伸び剛性EA、支点間傾斜角 θ 、等を選んだ。また対数減衰率 δ はモードの最大振幅を一定にとり、それに対応する振幅に対して算出した。以下に示す結果はすべてモードの最大振幅5mmで整理してある。変動張力は線形の範囲では小坪らの解析⁽¹⁾を用い、非線形項を考慮した結果については有限要素法によるケーブルの解析⁽²⁾を用いて変位の2次項までとってひずみを評価し、解析を行った。

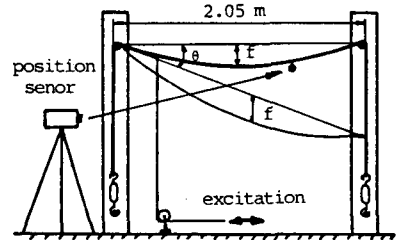


Fig.1 実験装置概要

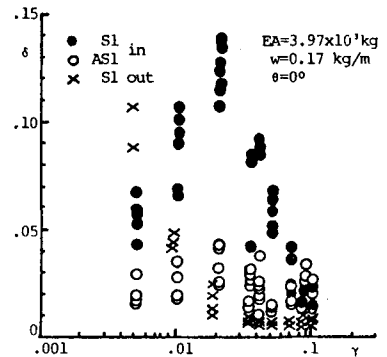


Fig.2 サグ比-モード減衰

3. 結果及び考察

(1) サグ比によるモード減衰の変化 $EA = 3.97 \times 10^3$ kg、 $\theta = 0^\circ$ のケーブルについて、サグ比に対するモード減衰の変化をみたのがFig.2 である。横軸がサグ比 γ で対数目盛を採り、縦軸には対数減衰率 δ を採っている。これをみると、対称1次モードの場合に $\gamma = 0.02$ 付近で非常に大きな値となっている（以下ピーク点とよぶ）。このピーク点を境に増加、減少の傾向がみられる。逆対称1次モードの場合は対称モードより減衰は小さく、サグ比により大きな変化はみられない。面外対称1次モードについてみるとさらに小さな減衰を示している。なおサグ比が小さい範囲（ $\gamma < 0.01$ ）で面外モード減衰が不連続に増加しているが、これは支点からのエネルギー逸散（横ずれ）によるものと思われる。次に模型ケーブルについての変動張力の解析結果を示したのがFig.3 である。上図はサグ比に対する固有振動数の変化を示したものの、下図は、変動張力の変化を示したもので、それぞれ横軸にはサグ比を対数目盛で、縦軸には無次元固有振動数 ω 、および変動張力 ΔT を採っている。対称1次モードの場合モード形の遷移に伴って変動張力が増加しているが、その変動張力とモード減衰（実験結果）は増減の傾向、ピーク点の

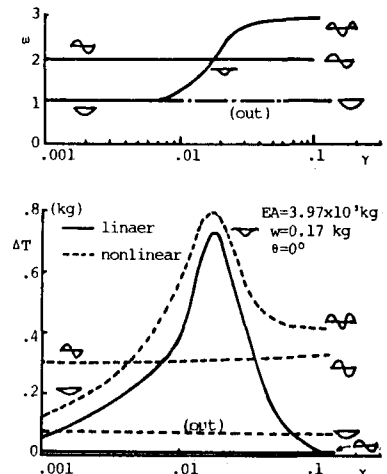


Fig.3 サグ比-変動張力

位置等かなりよく対応している。しかし逆対称1次モードおよび面外1次モードに関しては、対称1次モードより小さいということは一致しているものの、定量的な対応はなされていない。ただし非線形項を考慮した場合(破線)には、逆対称1次モード、面外対称1次モードともモード減衰にかなりよく対応している。以上より、サグ比によるモード減衰特性の変化は変動張力の変化と対応づけることによってかなり明確に把握することができるといえよう。

(2) 伸び剛性EAの影響 伸び剛性をパラメーターにとって減衰性を検討したものがFig.4である。ここではFig.2との比較として $EA=2.45 \times 10^4$ kgにおけるサグ比によるモード減衰の変化を示した。Fig.2および4を比較すると、対称1次モードに限って減衰はピーク点で非常に大きくなっているが、逆対称1次モード、面外対称1次モードはほとんど変化せず、EAの影響をほとんど受けないことがわかる。このことはこれらのモードが張力変化を伴わず、形状変化のみの振動であるという既往の研究⁽³⁾と対応づけられる。

(3) 傾斜ケーブルのモード減衰の変化 $\theta=30^\circ$ の傾斜ケーブルについて減衰を示したのがFig.5である。1次モードがピーク点をもつことは水平ケーブルと同様であるが、2次モードについても減衰が変化している。また面外対称1次モードについては水平ケーブルと傾向はかわらない。Fig.6には傾斜ケーブルのサグ比に対する変動張力の変化を示したが水平ケーブルとは性質が異なっていることがわかる。傾斜ケーブルの場合も変動張力と実験結果としてのモード減衰は比較的良好に対応しているといえよう。また水平ケーブルと比較して減衰が小さいことなども変動張力と対応づけられる。1次モードの減衰におけるピーク点からの急激な減少は減衰の小さい偶数次モードにモード形が遷移しているためであり、また面外対称1次モードが水平ケーブルと同様の傾向であるのは傾斜角の影響が面外固有振動特性にあらわれないことに起因するものであろう。

(4) モード減衰の振幅依存性 各振動モード減衰の振幅依存性をみたのがFig.7である。横軸には振幅を2mm～5mmまで採っている。どのモードについても振幅が小さくなると減衰も小さくなり、減衰が大きいほどその振幅依存性は小さいが、逆対称モード、および面外モードについては振幅にほとんど依存しないといえよう。

4. まとめ

送電線や通信線などの実測データあるいはケーブル構造の風洞実験での経験において、面内1次固有振動に対するモード減衰が他に比べ大きかったことが本研究を行う動機であった。本研究によりケーブルの減衰特性が多少なりとも明らかになったと考える。

参考文献

- 1) 小坪ら, 土木学会論文集 344/I-1, PP.225~234, 1984.
- 2) Henghold et al, Computers & Structures, Vol.6, 1976.
- 3) 山口ら, 土木学会論文報告集 286, PP.29-36, 1979.

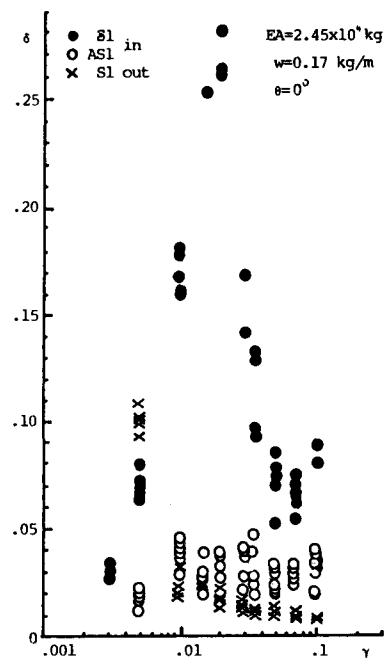


Fig.4 サグ比-減衰 (EA大)

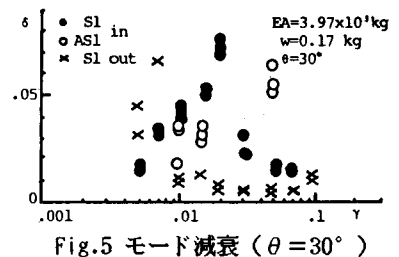


Fig.5 モード減衰 ($\theta=30^\circ$)

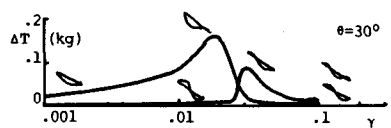


Fig.6 変動張力 ($\theta=30^\circ$)

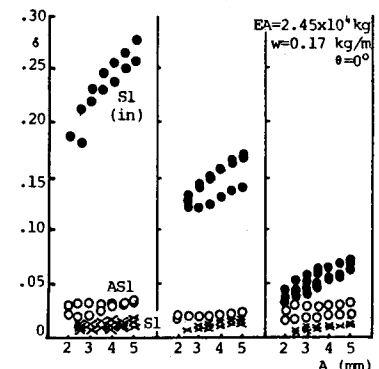


Fig.7 減衰の振幅依存性