

I-309

マルチケーブル形式斜張橋の構造減衰特性に及ぼすケーブルダンパーの効果

川田工業（株） 正員 ○前田研一

川田工業（株） 正員 米田昌弘

1. まえがき 斜張橋の動的耐風安定性の検討にあたっては、風による桁部の振動のみならず、wake galloping や rain vibration 等のケーブル自身の風による振動にも対処する必要がある。ケーブルの風による振動に対処する方法として、わが国では一般にピアノ線や特殊な治具でケーブル同志を結合する方法が、一方、欧米では積極的にケーブルにダンパーを挿入する方法がしばしば採用されているが、制振の対象としているのはあくまでもケーブルのみであり、当然のことながら、両者とも桁部の耐風性を同時に向上させることはできない。

ところで、著者らはケーブルの横振動数を、ケーブルの横振動を無視した斜張橋全体系の桁の固有振動数に接近させると、システムダンピング効果と呼ばれる一種のT.M.D.としての作用効果が期待できることを報告している¹⁾。この効果は、ケーブルの構造減衰が大きいほど顕著であるが、逆に、その構造減衰が過小の場合には悪影響を及ぼす恐れのあるものである²⁾。ますます長大化し、架設上の配慮からマルチケーブル形式が採用される傾向にある斜張橋では、意図的にケーブルの横振動数を調律しなくても桁とケーブルが連成振動を生じる可能性が高くなることが十分に予想される。そこで、本研究では、このようなマルチケーブル形式斜張橋を対象として、ケーブルにダンパーを挿入した場合の斜張橋全体系の構造減衰特性を複素固有振動解析を実施して検討し、上述の議論を踏まえた斜張橋の耐風設計上の基礎資料を得ることを試みる。

2. 対象としたマルチケーブル形式斜張橋とその非減衰固有振動数特性 対象としたマルチケーブル形式斜張橋は、図-1に示すような中央径間長が420mの3径間連続形式である。なお、この斜張橋は、文献1)で対象とした実橋設計例を引用したものであるが、断面諸量については、文献1)では断面変化させた値を示しているが、ここでは単純平均した値を用いることとした。

まず、斜張橋の非減衰固有振動数特性を把握するために、実固有振動解析（以下、固有振動解析と記す）を実施した。ケーブル全段の横振動を無視した場合に得られた固有振動解析結果を表-1に示す。また、ケーブル全段についてその密度と張力をそれぞれ 11.0 t/m^3 、 1050 t と仮定し、ケーブルの横振動を考慮した場合について固有振動解析を実施した。得られた解析結果の一例を図-2に示す。なお、ここで仮定したケーブル密度は文献1)からそのまま引用したものであり、またケーブル張力は文献1)で示されたケーブル全段の値をほぼ平均したものに对应する。図-2より、この場合には、桁とケーブルが連成した2つのモード（MODE-2S1とMODE-2S3）とケーブルのみが振動する1つのモード（MODE-2S2）が存在していることが判る。これは11段目ケーブルの横振動数が、ケーブル全段の横振動を無視した斜張橋全体系の桁の鉛直たわみ対称1次振動数（ 0.3889 Hz ）と非常に接近していたことに起因する。また、ここでは省略したが、3段目ケーブルの横振動数は、桁の鉛直たわみ逆対称1次振動数（ 0.7224 Hz ）と非常に近く、同様に桁とケーブルが連成した2つのモード（MODE-2AS1とMODE-2AS3）とケーブルのみが振動する1つのモード（MODE-2AS2）が存在していた。なお、前述したように、ケーブル張力は一律に 1050 t と設定したが、ケーブルの横振動数はケーブル張力のみならずその質量や長さによっても変化することを考慮すれば、ケーブル張力としてケーブル全段の平均値を用いたことは本質的な問題ではないと考えられる。

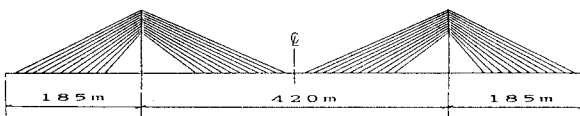


図-1 対象としたマルチケーブル形式斜張橋

表-1 ケーブルの横振動を無視した場合の非減衰固有振動数

次	数	非減衰固有振動数	振動モード
1	次	0.3889 Hz	たわみ対称1次
2	次	0.4398 Hz	（橋軸方向）
3	次	0.7224 Hz	たわみ逆対称1次

3. 複素固有振動解析と解析結果に対する考察 非減衰固有振動数特性を把握した後、中央径間側の11段目と3段目ケーブルにダンパーを挿入し、複素固有振動解析を実施した。得られた解析結果の一部を図-3～図-

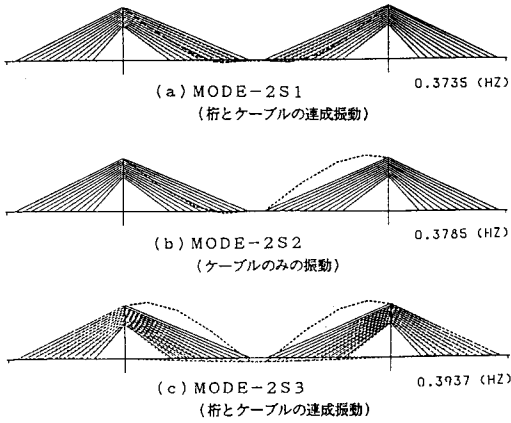


図-2 実固有振動解析結果の一例

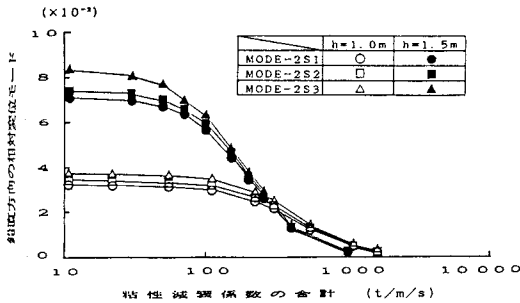


図-4 ダンパー取付け位置における鉛直方向の相対変位モードの変化 (MODE-2S1~2S3)

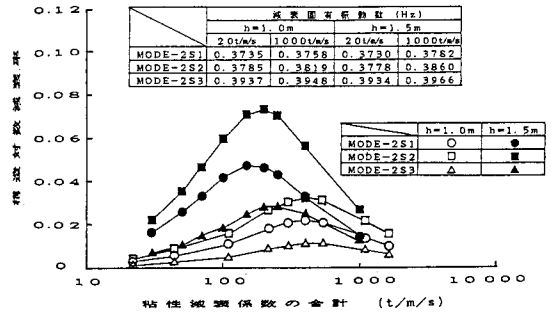


図-3 構造対数減衰率の変化 (MODE-2S1~2S3)

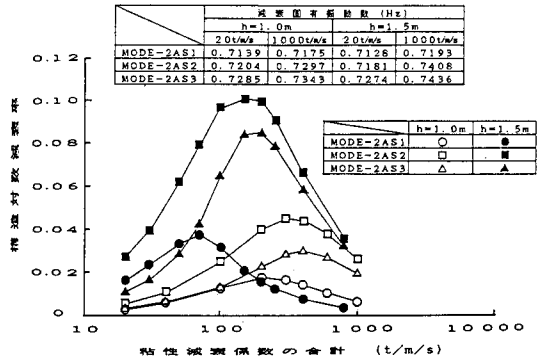


図-5 構造対数減衰率の変化 (MODE-2AS1~2AS3)

5に示す。図-3、-4より、ダンパーを挿入した場合のMODE-2S1~MODE-2S3の構造対数減衰率は、相対変位モードが低下し始める領域から急激に増加するが、ある程度以上の粘性減衰係数になると逆に減少する傾向を示すことが判る。また、ダンパー取付け位置が高いほど構造対数減衰率も大きくなっていることも判るが、これは相対変位モードの差異に起因するものである。一方、図-5より、MODE-2AS1~MODE-2AS3の構造対数減衰率についてもほぼ同様のことが言えるものの、MODE-2AS3に対する最適粘性減衰係数の大きさは、他のモードに比べかなり小さくなっており、また、ダンパー取付け高さhが1.5mになるとMODE-2AS1とMODE-2AS3の構造対数減衰率は粘性減衰係数の大きさによって逆転することが判る。これは、3段目のケーブル長が1段目ケーブルの1/2程度の長さであることから、粘性減衰係数の大きさによってケーブルの横振動数が比較的敏感に影響を受け、桁とケーブルの連成の度合いに著しい変化が生じたことに起因するものと考えられる。

4. あとがき 本研究より、桁とケーブルが連成振動を生じる可能性のあるマルチケーブル形式斜張橋では、連成振動に関係する特定のケーブルにダンパーを挿入すれば、耐風設計上、有意な量まで斜張橋全体系の構造対数減衰率を増加できることを示唆することができた。なお、トラス形式で弦材高が比較的大きい場合や一面吊りの箱桁形式の場合、ケーブルは通常、ボックス内に定着される。それゆえ、ダンパーを上フランジからそれ程高くない位置に設置した場合にも、十分にその効果を期待できよう。また、この場合にはダンパー設置箇所をケーブルカバーで覆うことも可能であり、美観的にもそれ程低下することはないものと考えられる。

最後に、本研究にあたり、常に適切な御助言をいただいた東京大学・伊藤 学教授、同・藤野陽三助教授、および、ダンパーに関する貴重な資料を御提供していただいたオイレス工業(株)・伊関治郎氏に感謝致します。《参考文献》1) 前田・前田・米田: 斜張橋のたわみ風琴振動におけるシステムダンピング効果に関する研究, 土木学会論文集, No. 344/I-1, 1984. 2) 前田・米田・前田: 斜張橋のシステムダンピングの実際とその応用, 橋梁と基礎, Vol. 22, No. 3, 1988.