土木学会第50回年次学術講演会（平成７年９月）

I －486

ケーブルの固有振動数から張力を推定する一方法

九州産業大学　正員　水田洋司
熊本工業大学　正員　平井一男

1．はじめに

ケーブルの張力を推定する方法は、斜張橋やニールセン橋のケーブル張り渡しの時に必要となり、工事を迅速に行えるか否かは張力を如何に正確に推定できるかに左右される。一般に振動法[(1)][(2)]と呼ばれる方法が使用されているが、曲げ剛性や張力の大きさによって使用される式が分けられており、現場で使用する場合に混乱する可能性がある。また、ケーブルの傾斜を考慮した式が提案されているが、これも計算式を煩雑にしている。本研究では、吊床版橋の振動はケーブル振動と同じであることに着目して、曲げ剛性、サグ量を考慮した式を吊床版橋の式より導き、逆対称振動の固有振動数を利用すれば、簡単にケーブル張力が算定できることを示している。また、有限要素法を用いて傾斜角が固有振動数に及ぼす影響が小さいことを示し、傾斜角$\theta=60°$程度までは傾斜角なしとして計算してもよいことを提示している。

2．ケーブル形状と傾斜角の影響

斜張橋のケーブル形状は懸垂曲線と考えられるが、懸垂曲線で式を展開すると式が煩雑になるため、展開が簡単な放物線の場合と比較して、形状や固有振動数がどのように異なるかを有限要素法を用いて調べた。分割数は40要素で、対象としたケーブルは文献(2)に記されている表-1の数値を利用した。形状の違いは図-1に、固有振動数の比較は表-2に記している。これらよりケーブル形状は放物線と仮定してもよく、傾斜角の固有振動数に及ぼす影響の小さいことが判る。

表-1 ケーブルの諸量

ｽﾊﾟﾝ長 l	301.867m	単位長さ当たりの重量w	1.049 kgf/cm
断面積A	129.69cm^2	曲げ剛性 EI	388040000 kgfcm^2
張力H	900 tf, 600tf, 300tf		

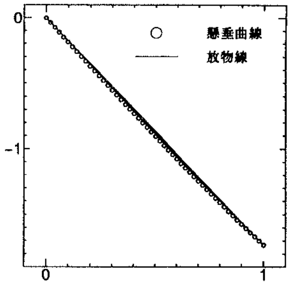

図-1 形状の比較（サグ比=0.02、$\theta=60°$）

表-2 固有振動数の比較

次数	放物線		懸垂曲線	
	$\theta=0°$	$\theta=60°$	$\theta=0°$	$\theta=60°$
1	0.489	0.482	0.489	0.482
2	0.963	0.961	0.963	0.961
3	1.445	1.441	1.445	1.441
4	1.926	1.921	1.926	1.921
5	2.408	2.401	2.407	2.401

3．提案法による固有振動数

吊床版橋はケーブルの張力で外力に抵抗する構造物であり、その振動は質量を付加されたケーブルの振動と同じである。したがって、ケーブルの曲げ剛性・張力・サグ比の関係を吊床版橋の曲げ剛性・張力・サグ比に置換すれば、吊床版橋の式をそのまま用いてケーブルの固有値解析を実施することができる。以下に、両端ヒンジの場合のケーブル固有振動数の算定式を記す。

対称　$1+\dfrac{512\beta'}{\pi^6}\sum_n \dfrac{1}{n^2[n^4\{1+(H_0L^2)/(EI\pi^2n^2)\}-\omega^2/\omega_{g1}^2]}=0$　(n=1, 3, …)　(1)

逆対称　$\omega=\omega_{gn}\quad 1+\sqrt{\dfrac{H_0L^2}{EI\pi^2n^2}}$　(n=2, 4, …)　(2)

ここに、β'は断面積・サグ比・サグ量・断面二次モーメンで決まる量、ω_{gn}は張力=0のときのケーブルのｎ次固有振動数である。

４．固有振動数の比較

張力900tf のときのケーブル固有振動数を表-3に記している。平面ＦＥＭで解いた場合、傾斜角の違いによる固有振動数の差が小さいこと、提案法で求めた値とよく一致していることが理解できる。提案法による値との差は各次数とも１％以下である。表-4にはケーブル張力を変化させた場合の提案法で求めた固有振動数を記している。

表-3 提案法とＦＥＭによる固有振動数の比較

次数	提案法	平面ＦＥＭ		
		θ=0°	θ=30°	θ=60°
1	0.482	0.489	0.486	0.482
2	0.961	0.963	0.961	0.961
3	1.441	1.445	1.441	1.441
4	1.921	1.926	1.921	1.921
5	2.402	2.408	2.401	2.401

表-4 張力と固有振動数

次数	張　力		
	300 tf	600tf	900tf
1	0.280	0.394	0.482
2	0.555	0.784	0.961
3	0.832	1.177	1.441
4	1.109	1.569	1.921
5	1.387	1.961	2.402

５．結論

有限要素法で計算した結果、サグ比=0.02 以下、θ=60°以下、ケーブル長300m以下の場合、ケーブル形状を放物線、懸垂曲線と仮定してもケーブル形状の変化は小さいことが図-1より理解できる。また、固有振動数計算ではθの大きさに関係なく固有振動数が近似した結果が得られた。これはケーブルに傾斜角があっても、張力が大きければ振動は張力と直角方向に発生しているためと考えられ、傾斜角を考慮する必要性が薄いと考えられる。また、提案式から理解できるように、張力の計算にはアーチの影響がない逆対称振動数を用いる方が簡単であり、この式の使用を提案する。すなわち、次式で求められる。

$$H_0=\frac{n^2\pi^2EI}{L^2}\left\{\left(\frac{\text{測定値}}{\omega_{gn}}\right)^2-1\right\} \qquad (3)$$

ここに、ｎは 2, 4, 6, …である。計測された値が２次振動であれば(＝逆対称１次)であれば、ｎ＝２を代入し、その時の張力H_0を算定すればよい。

参考文献

(1)新家徹　他３名：振動法によるケーブル張力の実用算定式にについて、土木学会論文報告集第294号、pp.25-32、1980年2月。

(2)島田忠幸：ケーブルの高次振動モードの固有振動数測定値からの張力測定法について、土木学会論文集 No.501、I-29、pp.163-171、1994年10月。

(3)水田洋司　他３名：吊床版歩道橋の鉛直固有振動数の解析法について、構造工学論文集、Vol.38A、pp.755-763、1992年3月。