

I-153 ケーブル振動を考慮した斜張橋の立体振動解析

川崎重工業(株) 正員 ○川畑 治
 長岡技術科学大学 正員 長井正嗣
 長岡技術科学大学 学生員 新居準也

1. まえがき

複数のケーブルで弾性的に桁を支持する斜張橋では、ケーブルも多くの固有振動数を有していることから、それらの振動と桁、塔、ケーブル系の全体振動との連成振動が話題となる。例えば、桁とケーブルの振動数が一致して、桁励振によりケーブルが振動する線形共振がある。実際の斜張橋で1次の振動に着目した場合、全体系とケーブルの連成振動は桁のねじれ振動において必ず生じ¹⁾、この場合は、桁水平(横)方向の振動と必ず連成して複雑な挙動が予想される。しかしながら、このような連成系での解析を通しての応答特性に関する検討は少ないと考える。

さて、全体系の振動とケーブルの振動を同時に考慮した立体の連成振動の解析にあたっては、ケーブルに複数の質点を設けた解析が行なわれることになり、ケーブルに複数の質点を設ける解析では、多大な自由度を必要とすることになる。そこで、ケーブルの振動については物理座標系(通常の x, y, z 座標系)での変位(3方向の並進、回転変位)に代わって、モード座標を用いた一般化変位で表示することとし、斜張橋の立体振動解析を行なうこととした。

本法は、文献2)で示した斜張橋の立体振動解析(ケーブルはトラス部材で扱われた)において、幾何剛性を考慮し、それに、文献3)で示したケーブルをモード座標に変換したケーブルの立体振動解析手法を組み込んだシステムで固有値、応答解析を行なうものである。

2. 解析手法

2-1 桁、塔²⁾

主桁、塔については任意の薄肉断面はりについて、2主桁断面のような開断面桁にも対応できるよう、そりを考慮した7自由度のはりモデルを用いる。その際、今後の斜張橋の長大化に対応するため、剛性には幾何剛性(初期断面力)も考慮する。初期断面力は、ケーブル張力を事前に設定し、ケーブルのない系に対して死荷重を載荷して作成する。また、ケーブル取り付けは、桁のせん断中心軸から剛棒(6自由度のはりモデル)を介して行なう。

2-2 ケーブル³⁾

ケーブルのモード座標変換について説明する。本計算では、ケーブルの曲げモーメント応答も評価するためケーブルに曲げを考慮した立体的取り扱いを行なっている。以下その手順を説明する。

- ①. ケーブルに曲げを考慮することから、はり要素として線形化有限変位理論により定式化する。
- ②. ケーブルの剛性マトリックスを用い、内部変位を両端の単位変位で表示する。また、両端を固定し固有値解析を行なう。
- ③. 両者から変換マトリックスを作成する。
- ④. ケーブルの振動方程式を、④. のマトリックスを用いて両端の変位と、モードに対応する一般化変位を未知数とする振動方程式に変換する。
- ⑤. 2-1で説明した主桁、塔の振動方程式に、両端変位と振動モードに対応する一般化変位に変換されたケーブルの振動方程式を組み込む。この段階で、斜張橋の振動解析上の自由度数は、ケーブルのない系の自由度数に選んだケーブルの振動モードの数の合計となる。
- ⑥. この段階で応答解析が可能であるが、さらに⑤. の振動方程式(外力=0)の固有値解析を行なうことにより、モード座標に変換でき、一連の動的応答解析が可能となる。

以上説明した手順を図-1に示す。

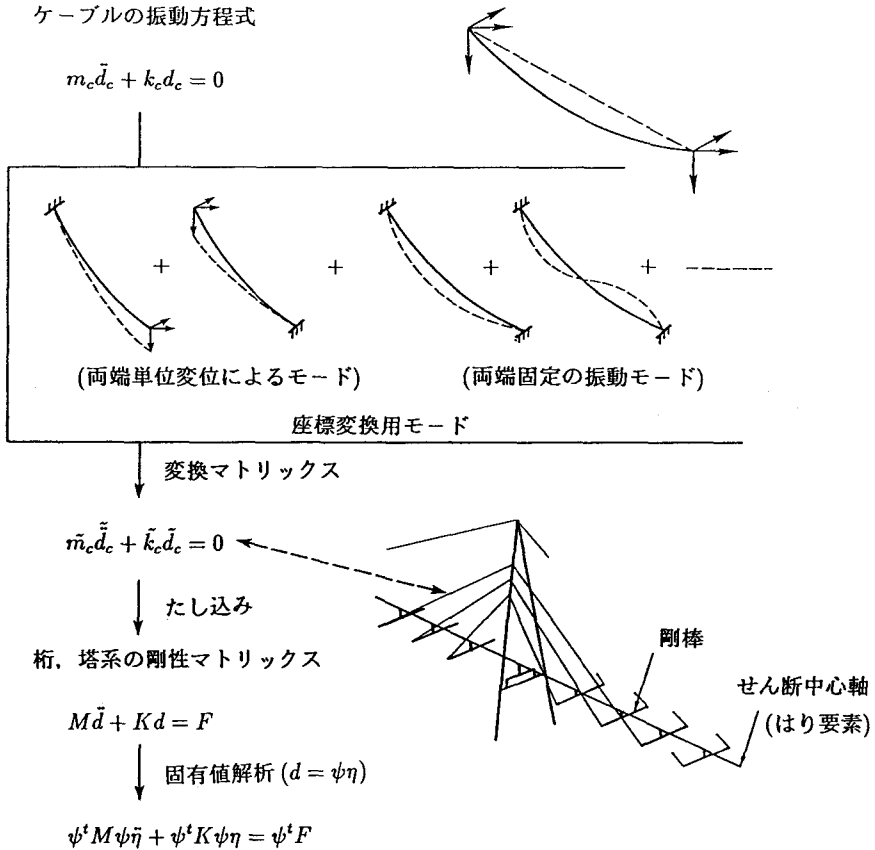


図-1 斜張橋の振動解析の手順

3. 数値計算例

本手法では、ケーブルに採用する振動モード数をいくらに選ぶかという問題がある。そこで、まず簡単な桁、ケーブル平面系³⁾の固有値および動的応答解析(調和振動、非減衰系)を行なった。桁、ケーブル系の振動数(A)、ケーブル単独の振動数(B)、加振振動数(C)をパラメータとして検討を行なった。(A)、(B)を接近させ、(C)を少し離れたケースでは、周知の桁にうなりが生じ、ケーブルの振動が成長していく。このとき、ケーブルに振動モードを考慮しないと、ケーブルの応答は桁端の応答に支配されて差異が生じる。一方、この時のケーブルの張力応答は振動モードを考慮しなくてもその差はかなり小さい。採用すべき振動モード数の検討を行なったところ、ケーブルの曲げモーメント応答については、加振の初期の段階でわずかな差異がみられ、5モード程度でよい一致を示したが、それ以外の応答については1モードで質点モデルの計算結果とよい一致を示した。振動数の値の組合せを変化させたケースについてもほぼ同様のことがいえた。紙面の都合で結果の図示を省略したが、講演当日詳細に説明したい。

参考文献 1). 長井、川畑、有村：斜張橋の桁曲げ、ねじれおよびケーブルの基本振動数の相対的關係の検討、土木学会構造工学論文集、Vol. 38A、1992. 3 2). 勝俣、安田、長井：薄肉はりの曲げ、ねじれ振動解析と斜張橋主桁の連成振動特性、土木学会第46回年次学術講演会概要集、1991. 9 3). 長井、川畑、岸本、奥井、菊池：ケーブルにモード座標を用いた桁・ケーブル系の固有値および応答解析、土木学会構造工学論文集、Vol. 38A、1992. 3