

ケーブル要素を用いた斜張橋のケーブルの局部振動を考慮した応答解析

長崎大学大学院 学生会員 ○大淵隆司 中国 福州大学 呉 慶雄
 長崎大学工学部 フェロー 高橋和雄 長崎大学工学部 正会員 中村聖三

1. まえがき

有限要素法を用いた TDAP 等の汎用構造解析ソフトウェアでは、支持ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋や吊橋の非線形応答や係数励振振動を取り扱うことはできない。そのため、斜張橋の支持ケーブルの局部振動解析を行うにあたって、斜張橋全体の固有振動解析および応答解析を行った後に、着目した支持ケーブル 1 本を抽出して解析を行う分離モデル法による解析がなされている¹⁾。そこで本研究では、文献²⁾において提案したケーブル要素を用いて支持ケーブルを分割する全体系の解析（全橋モデル法）を行う。数値解析において大島大橋を対象に、ねじれ正弦波加振を作用させ、斜張橋の支持ケーブルおよび主桁の応答を解析する。

2. 解法

全橋モデル法は、支持ケーブルの局部振動を含めた全体振動の解析を行えるようにするため、斜張橋の支持ケーブルについて文献²⁾で提案されたサグをもつケーブルの非線形性および係数励振振動を考慮することができるケーブル要素を用いる。支持ケーブルの局部振動を考慮するためのケーブル要素の剛性マトリクス³⁾は、文献²⁾の剛性マトリクスを用い、動的な荷重下でのケーブルの変形を評価するために局部座標系で初期軸力を取り除いた式(1)を用いて解析を行う。この解法では、支持ケーブルの局部振動が主桁および主塔に及ぼす影響を評価することができる。

$$[R] = \begin{bmatrix} -P \frac{L_0 + \bar{u}}{L_0 + e} + P_0 & -P \frac{\bar{v}}{L_0 + e} & -P \frac{\bar{w}}{L_0 + e} & P \frac{L_0 + \bar{u}}{L_0 + e} - P_0 & P \frac{\bar{v}}{L_0 + e} & P \frac{\bar{w}}{L_0 + e} \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

ここで、 P ：全軸力、 e ：伸び、 L_0 ：初期長さ、 P_0 ：初期軸力、 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ ：局部座標系での相対変位。

主桁および主塔ははり要素を用い、主桁は支持ケーブルの定着点を考慮し、橋軸方向の 1 本のはりに置き換える。動的解析では、Newmark β 法を用いる。そして、繰り返し計算を行うために Newton 法を使う。

分離モデル法¹⁾は、まず斜張橋のそれぞれの支持ケーブルを 1 本のトラス要素として考え、主桁および主塔の応答を求める。次に支持ケーブル 1 本を抽出し、全体系の動的応答解析によって得られた応答を周期的支点変位として単一ケーブルの両端に作用させ支持ケーブルの応答解析を行う。この解法では、支持ケーブルの局部振動が主桁および主塔に影響を及ぼさないという仮定に基づいて解析を行っている。

3. 解析対象

解析対象として、3 径間鋼斜張橋である大島大橋（図 - 1）を用いる。大島大橋は中央径間 350m、それぞれの側径間 160m、主塔は A 型で、支持ケーブルは 2 面吊りで 1 面 10 × 4 本のマルチケーブルシステムである。ケーブル番号は側径間から中央径間に向かってつける。

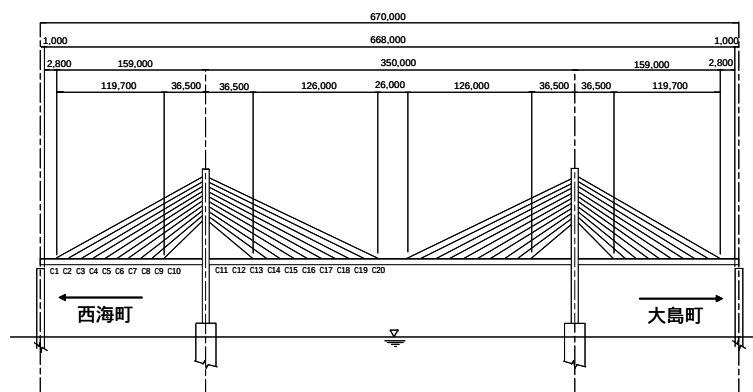


図 - 1 大島大橋一般図

4. ねじれ正弦波加振による支持ケーブルの動特性

ねじれ 1 次固有振動数は、全橋モデル法では 1.137Hz、分離モデル法では 1.158Hz となる。ねじれ 1 次固有

キーワード：斜張橋，ケーブル要素，有限要素法，係数励振振動

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 Tel095-819-2610 Fax095-819-2627

振動数を加振振動数としてそれぞれの解法による、加振力の振幅を $500\text{kN}\cdot\text{m}$ とする。ねじれ1次の固有振動モードが対称な形状となる中央径間の中央点に加振点を設ける。それぞれの部材について考慮したレーリー減衰を用い、主桁および主塔の減衰定数を 0.02、支持ケーブルの減衰定数を 0.001 とする。図 - 2 に支持ケーブルの最大変位を示す。この図からケーブル C1、C2、C19 および C20 で振幅が大きくなっている。これは、ねじれ1次固有振動数と支持ケーブルの1次固有振動数の比が 1 : 2 となる主不安定領域での係数励振振動が C1、C2、C19 および C20 において起こっているためと考えられる。また、他の支持ケーブルにおいて全橋モデル法および分離モデル法による支持ケーブルの最大変位の値がほぼ等しい。図 - 3 に主不安定領域のケーブル C2 の時刻歴応答、図 - 4 にねじれ1次固有振動数と支持ケーブルの1次固有振動数の比が 1 : 1 となる副不安定領域での係数励振振動が起こるケーブル C13 の時刻歴応答を示す。図 - 3 から全橋モデル法の振幅が大きく最大振幅に達する時間が短い。図 - 4 から副不安定領域に対応する支持ケーブルの応答について、2つの解法の結果が等しい。図 - 5 に主桁のねじれ角度および軸力を示す。主桁のねじれ角度の最大応答の差は約 13% となり、分離モデル法による結果が大きい。軸力は全橋モデル法では発生しているが、分離モデル法ではほぼ零となり大きく異なる。この原因は分離モデル法では支持ケーブルに起こる係数励振振動を含む局部振動の影響を考慮できないためだと考えられる。

5. まとめ

斜張橋にねじれ正弦波加振を与えた結果、支持ケーブルの局部振動が主桁および主塔の応答に及ぼす影響がみられ、係数励振振動が発生する支持ケーブルの最大応答に差があった。よって、より正確な解析モデルである全橋モデル法を用いて解析を行うべきである。

参考文献

- 1) Wu, 高橋, 岡林, 中村: 実斜張橋の支持ケーブルの局部振動特性, 鋼構造年次論文報告集, Vol.8, pp.557-564, 2000.
- 2) Broughton, P., Ndumbaro, P.: The Analysis of Cable & Catenary Structures, Thomas Telford Books, 1994
- 3) 大淵, Wu, 高橋, 中村: 有限要素法による単一ケーブルの非線形振動解析, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集, 第 部, -205, pp.409-410, 2003.

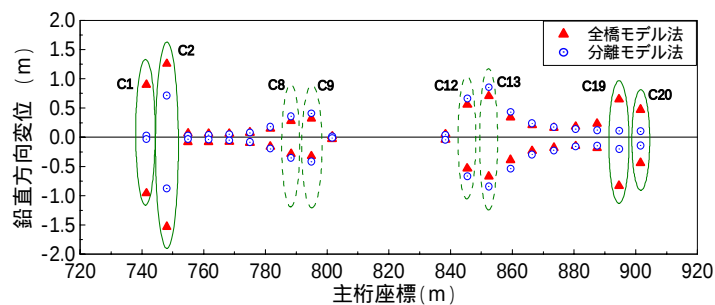


図 - 2 支持ケーブルの最大変位

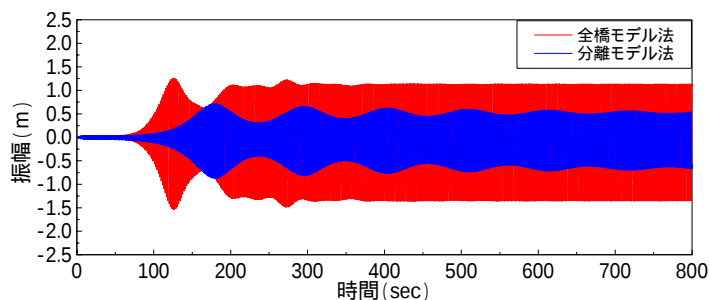


図 - 3 ケーブル C2 の時刻歴応答

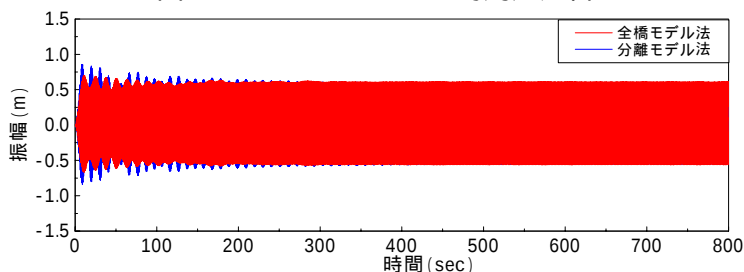
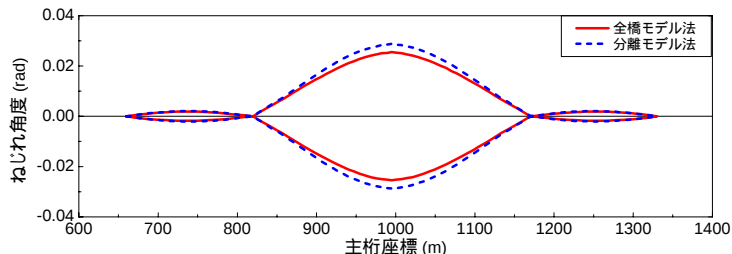
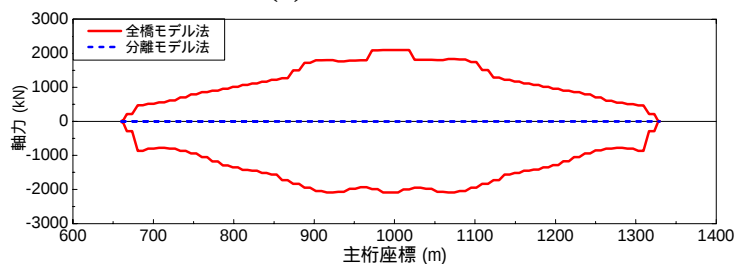


図 - 4 ケーブル C13 の時刻歴応答



(a) ねじれ角度



(b) 軸力

図 - 5 主桁の応答