

## ケーブル要素を用いた全橋モデル法による斜張橋の支持ケーブルの応答評価

長崎大学大学院 学生会員 大淵隆司 長崎大学工学部 正会員 呉 慶雄  
 長崎大学工学部 フェロー会員 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、MARC 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<sup>1)</sup>。そこで本研究では、文献<sup>2)</sup>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の応答を評価する。

### 2. 解法

本研究で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<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>は、文献<sup>2)</sup>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を使う。ケーブル要素の局部座標系での復元力を式(1)に示す。

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

ここで、P：全軸力、e：伸び、L<sub>0</sub>：初期長さ、P<sub>0</sub>：初期軸力、 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ ：局部座標系での相対変位。

局部座標系の要素の剛性マトリクス<sup>3)</sup>を用いて解析を行う。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 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。

本研究の結果との比較のために用いる解法<sup>1)</sup>は、まず、斜張橋のそれぞれの支持ケーブルについて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。そして、支持ケーブル1本を抽出して解析を行う。主桁および主塔は本研究と同様に扱う。また、この解法では支持ケーブルの応答を得るために、支持ケーブルが主桁および主塔による影響を受けるものとして解析を行う。

### 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。

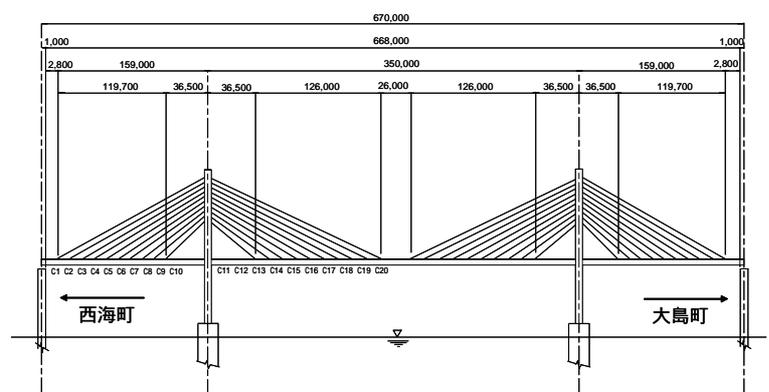


図-1 大島大橋一般図

### 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500kN・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 にケーブル C2 の定着点の主桁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 から全橋モデル法の最大振幅が大きい。図 - 5 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、図 - 6 に C13 の定着点の主桁の時刻歴応答を示す。これらの図から副不安定領域での支持ケーブルおよび支持ケーブルの定着点の主桁の応答について、2 つの解法の結果が等しい。

6. まとめ

斜張橋にねじれ正弦波加振を与えた結果、全橋モデル法と分離モデル法による解析結果では主不安定領域の支持ケーブルおよび支持ケーブルの定着点の主桁の時刻歴応答に違いが見られる。よって斜張橋の支持ケーブルの動特性の評価には支持ケーブルの振動について係数励振振動も考慮できる全橋モデル法による解法を用いるべきである。

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.

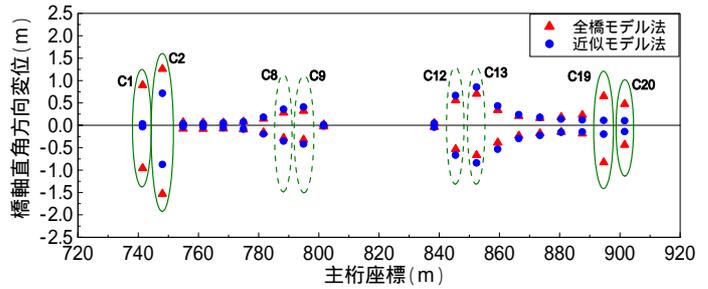


図 - 2 支持ケーブルの最大変位

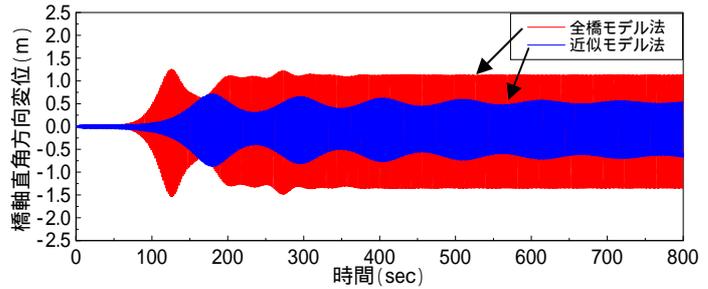


図 - 3 ケーブル C2 の時刻歴応答

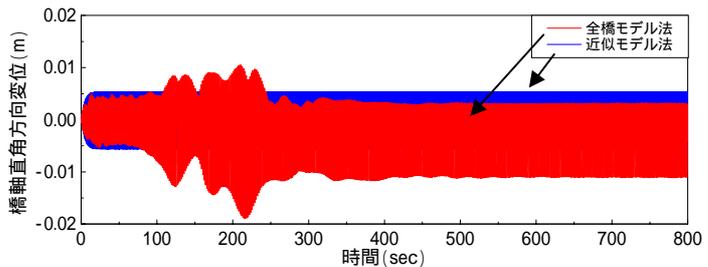


図 - 4 ケーブル C2 の定着点の主桁の時刻歴応答

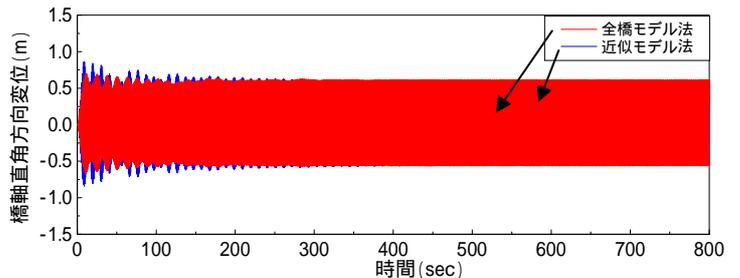


図 - 5 ケーブル C13 の時刻歴応答

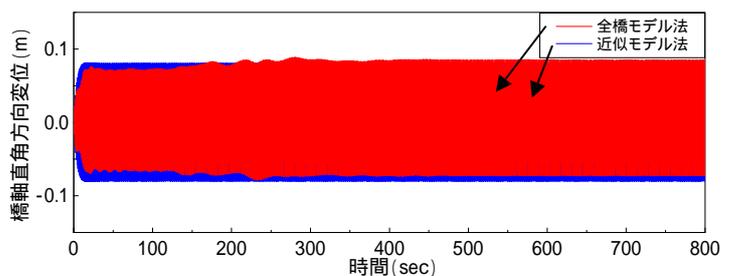


図 - 6 C13 の定着点の主桁の時刻歴応答