

## 部分構造合成法によるケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の固有振動解析の効率化

長崎大学工学部 正会員 呉 慶雄  
 長崎大学工学部 フェロ - 高橋和雄  
 長崎大学工学部 正会員 中村聖三

### 1. まえがき

長大斜張橋では、マルチケーブルが採用されており、その振動特性は複雑である。マルチケーブルにおいては斜張橋の動的特性に及ぼすケーブルの振動の影響が無視し得なくなるため、著者らは係数励振振動を考慮できるケーブルの有限要素法の構造解析プログラムを開発した<sup>1)</sup>。しかし、斜張橋の固有振動解析について、ケーブルの局部振動を考慮すると、多くのモードで局部ケーブル振動が生じ、主桁および主塔の固有振動が判断しにくくなることがある。このため、主桁および主塔の固有振動を正確に判断する必要がある。本研究では、部分構造合成法を用いて、ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の主桁および主塔の固有振動が計算できる固有振動解析プログラムを開発し、ケーブルの局部振動を考慮した主桁および主塔の固有振動を評価する。

### 2. 研究背景と解析手法

ケーブルの局部振動を考慮する斜張橋の解析モデルは、図 - 1 に示すように、主桁および主塔をはり要素として剛性を評価するとともに、支持ケーブルをケーブル要素<sup>1)</sup>でモデル化する。各ケーブルを適切に分割した全体構造を用いると、ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の固有振動が得られる。ここでは、主桁および主塔の固有振動を全体振動と呼び、支持ケーブルの単独の振動を局部ケーブル振動と呼ぶ。ケーブルの局部振動を考慮すると、図 - 2 に示すようにある三径間鋼斜張橋 (160m+350m+160m) の全体構造の固有振動数には全体振動の固有振動数のほかにケーブルの局部振動数も多く生じている。どの固有振動数が全体振動モードであるかを求めなければならない。固有振動数、固有振動モードおよび刺激係数を見ながら判断するのが通常であるが、全体振動および局部ケーブル振動との連成モードが生じるためなかなか難しい。

そこで、部分構造合成法を用いて、ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の固有振動解析を試みる。部分構造合成法による固有振動解析の手法には、静的縮合<sup>2)</sup>および動的縮合<sup>3)</sup>がある。動的の問題に静的縮合を使うと結果に誤差を生じることがいわれている。この問題に対して、繰り返し計算によってこの誤差を小さく、精度のよい結果を得ることができる動的縮合がある。本研究では、静的縮合および動的縮合を用いて、ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の固有振動解析を行う。

### 3. 解析結果

#### (1) 静的縮合と動的縮合による固有振動モードの差

静的縮合と動的縮合の二つの解析による全体振動について考察する。図 - 3 に両解法による全体振動の固有振動数を示す。なお、全体構造による全体振動の固有振動数も示している。図より、固有振動数が約 1.0Hz 以下の場合、両解法による固有振動数は全体構造による固有振動数とよく一致している。しかし、振動数が 1.0Hz より大きくなると、静的縮合による固有振動数と全体構造による固有振動数との差が大きくなる。こ

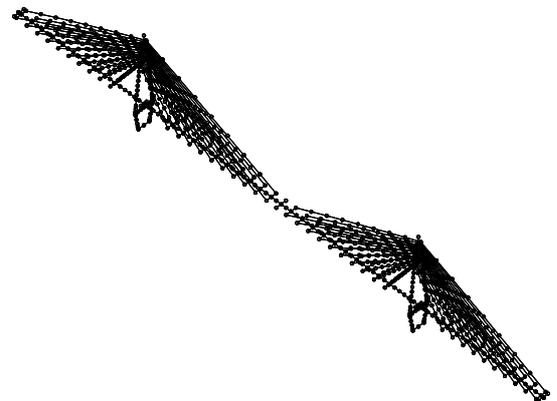


図 - 1 ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の解析モデル

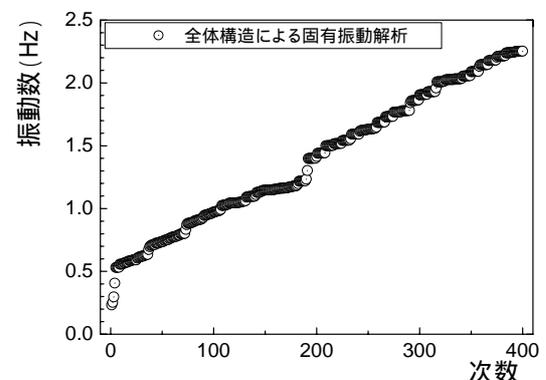


図 - 2 全体振動と局部ケーブル振動の固有振動数

表 - 1 固有振動数と固有振動モード

ケーブルの局部振動を考慮した解析モデル			ケーブルの局部振動を無視した解析モデル		
No.	振動数 (Hz)	モード図	No.	振動数 (Hz)	モード図
1	0.233		1	0.233	
2	0.254		2	0.253	
3	0.297		3	0.308	
4	0.407		4	0.417	
37	0.674		5	0.676	
146	1.137		14	1.158	

これは、静的縮合では運動方程式のうち復元力の項のみ考慮しているため、高次モードが関与する問題に適用すると誤差が大きくなる<sup>4)</sup>。しかし、動的縮合による固有振動数は全体構造による固有振動数とよく一致しており、繰り返し計算による動的縮合を用いてケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の主桁および主塔の全体固有振動に適用できることが確認できる。

(2) ケーブルの局部振動が全体振動の固有振動に及ぼす影響

ケーブルの局部振動を考慮した解析モデルとケーブルの局部振動を無視した解析モデルを用いて、両モデルによる全体振動の固有振動数と固有振動モードを表 - 1 に示す。ケーブルの局部振動を考慮すると、斜張橋の全体振動の固有振動数は若干変わる。図 - 4 に示すように、両モデルの差は、面内振動に対して最大約 4%、ねじれ振動に対して最大約 2%、面外振動に対して最大約 2%である。

4.まとめ

本研究では、部分構造合成法を用いてケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の固有振動解析を行った。この方法を用いると、多くの局部ケーブル振動を含む斜張橋の固有振動の中から、全体振動モードを正確に判断できる。特に、動的縮合を用いると、高次モードが関与する誤差も少なくなる。また、斜張橋の全体振動に及ぼすケーブルの振動の影響を評価した。

参考文献

- 1) 高橋, 大淵, 呉, 中村: 有限要素法によるケーブルの振動解析, 長崎大学工学部研究報告, 第 33 巻, 第 61 号, pp.103-108, 2003.7
- 2) Guyan, R.J.: Reduction of Stiffness and Mass Matrices, AIAA Journal, Vol.13, No.2, p.380, 1965.
- 3) Paz, Mario: Dynamic Condensation, AIAA Journal, Vol.22, No.5, pp.724-727, 1984.
- 4) 長松: 部分構造合成法, 培風館, 1991.1.

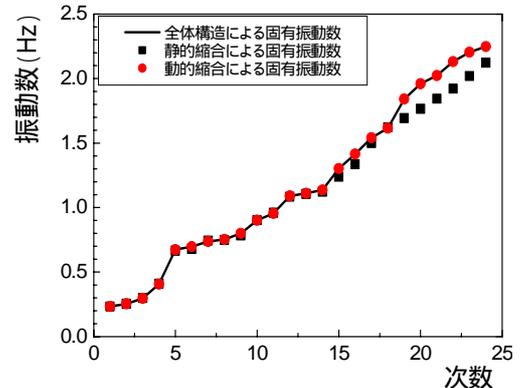


図 - 3 全体振動の固有振動数

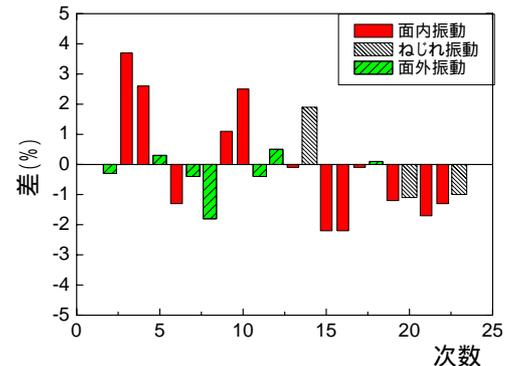


図 - 4 固有振動数の違い