

支持ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の動的応答解析に関する研究

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○木村 剛 長崎県土木部 正会員 北原雄一
中国福州大学 非会員 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

一般的な斜張橋の動的解析においては、支持ケーブルを1本の弦要素¹⁾として解析を行っている。しかし、斜張橋の支持ケーブルのサグの影響や係数励振振動などを評価した厳密な解析を行えない。そのため、支持ケーブルの局部振動を評価するために全体系の振動と支持ケーブルの局部振動を分離して求める解法が提案されているが、全体系の振動解析において支持ケーブルの局部振動が主桁や主塔に及ぼす影響を評価できない。そこで、これまでに支持ケーブルの応答評価を行える有限要素プログラムを作成し、支持ケーブルをモデル化するためのケーブル要素の適用可能性及び既存の弦要素との動的解析結果の比較をおこなった。本研究では、一般的な斜張橋の動的解析に用いられる支持ケーブルを1本の要素としてモデル化した従来のモデル（以下、分割無しモデル）と支持ケーブルを分割してサグを考慮したモデル（以下、分割有りモデル）を用い、固有振動解析および動的応答解析における両解析モデルで得られる応答結果を比較する。そして、支持ケーブルが主桁および主塔に与える影響を評価する。また、本研究においては、長崎県の女神大橋を対象橋梁とした。

2. 解析対象と解析モデル

2.1 女神大橋の概要

解析対象の女神大橋は、長崎港によって分断されている長崎市南部・西部を最短距離で結ぶことで市内中心部の慢性化した交通混雑を緩和し、地域全体の産業・経済・文化の活性化を目的として建設され、平成17年12月11日開通した3径間連続鋼斜張橋である。図-1に側面図を示す。図-1に示すように本研究では、支持ケーブル番号をC1, C2のように側径間から中央径間に向けて付ける。中央径間480m, 側径間200m, 全幅員28.3mである。また、主塔形状はH型で高さ170mである。

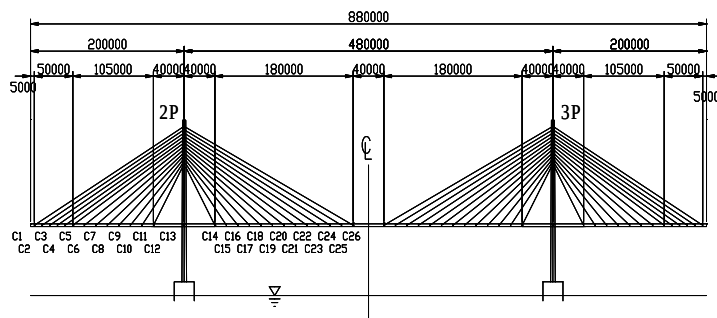


図-1 側面図(mm)

2.2 FEM モデル

本研究では、女神大橋全体モデルにおいて、先に述べた分割有りモデルおよび分割無しモデルの2つを用いる。主塔および主桁は共に3次元はり要素とし、支持ケーブルはケーブル要素とする。但し、支持ケーブル分割無しモデルにおいては、支持ケーブルを1本の要素でモデル化しているため、従来用いられる弦要素と同じである。図-2に解析モデルを示す。図-2(a)は支持ケーブル分割無しモデル、図-2(b)は支持ケーブルのサグを考慮して分割した分割有りモデルである。

3. 固有振動解析

両解析モデルによる固有振動解析結果を表-1および表-2に示す。表-1および表-2には鉛直1次、ねじれ1次及び面外1次の結果を示す。表-1および表-2より、両解析モデルから得られた振動モードはよく一致し、固有振動数に関しても差は、最大で3.6%となりよく一致した。これは、女神大橋の支持ケーブルがマルチファン型であり、支持ケーブル1本当たりの重量が小さためであると考えられる。よって、女神大橋のように

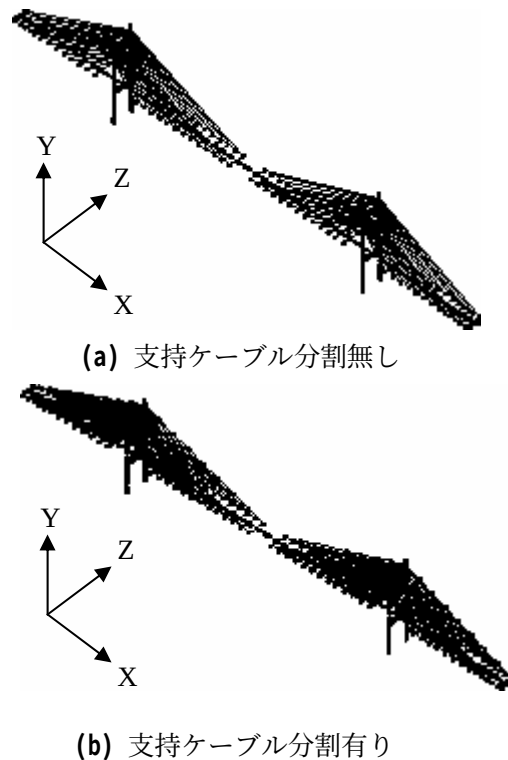


図-2 解析モデル

マルチファン型の支持ケーブルの場合、固有振動解析においては、橋梁の全体固有振動解析に支持ケーブルが与える影響が小さい。

4. 正弦波加振

正弦波加振した場合の応答を求める。鉛直正弦波加振の場合、加振点を主桁中央径間中央の中央断面の中点とし、加振力の振幅を 50kN とした。また、ねじれ正弦波加振の場合、加振点を主桁中央径間中央の中央断面の両端とし、加振力の振幅を 500kN とした。

4.1 鉛直正弦波加振による応答

図-3 および図-4 に鉛直正弦波加振による結果を示す。図-3 には主桁軸力 N、図-4 には主塔軸力 N を示す。主桁および主塔の軸力において応答はほぼ一致した。また、軸力 N が最大となる点において応答結果を比較すると、主桁において -1.9% および主塔において -4.5% の差となりほぼ一致した。

4.2 ねじれ正弦波加振による応答

図-5 および図-6 に鉛直正弦波加振による結果を示す。図-5 には主桁軸力 N、図-6 には主塔軸力 N を示す。主桁の軸力 N に関して、分割有りモデルに比べて分割無しモデルでは、非常に小さい値となった。また、主塔の軸力 N に関しては、ほぼ同程度の応答を示したが大きな差が見られる箇所もあった。主桁および主塔の軸力 N においてそれぞれが最大となる点において両解析モデルの応答結果を比較すると、分割有りモデルを基準とした場合、主桁では 94.5% (約 18 倍) および主塔では -13.9% と大きな違いが見られた。

4.3 考察

分割無しモデルでは、支持ケーブルを一本のケーブル要素としてモデル化している為、支持ケーブルのサグの変化に伴う張力の変動を考慮できない。鉛直正弦波加振では、左右の支持ケーブルが同じ方向に動くので、支持ケーブルに作用する張力は同じである。このため、支持ケーブルの変動張力の影響は少ない。しかし、ねじれ正弦波加振では、左右の支持ケーブルの動きが逆のために支持ケーブルの張力の差が効いてくる。よって、支持ケーブルの張力変動が小さくても橋梁全体の応答の差が大きくなったと考えられる。

5. まとめ

分割無しモデルでは、支持ケーブルのサグの変化に伴う張力の変動を考慮できない。そのため、ねじれ正弦波加振のように左右の支持ケーブルの動きが逆になる場合、分割無しモデルでは、支持ケーブルの振動を正確に考慮できない。よって、斜張橋の動的応答解析を行う際には、支持ケーブルのサグを考慮して分割すべきである。

参考文献

1) (株) アーク情報システム：TDAPⅢ機能説明書，2003.9. 2) 木村剛，呉慶雄，高橋和雄，中村聖三：ケーブル要素と弦要素を用いた斜張橋の応答の比較，第 61 回土木学会年次学術講演会講演概要集第一部門，2005.

表-1 固有振動モードの比較

	分割無しモデル	分割有りモデル
	振動モード	振動モード
鉛直対称 1 次		
ねじれ対称 1 次		
面外対称 1 次		

表-2 固有振動数の比較

①分割無しモデル		②分割有りモデル		差 (%) (①-②) / ① ×100
次数	振動数 (Hz)	次数	振動数 (Hz)	
2	0.267	2	0.266	0.5
3	0.269	3	0.268	0.1
9	0.674	121	0.698	-3.6

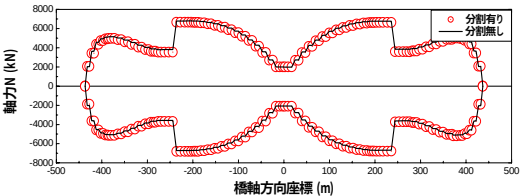


図-3 主桁軸力 N

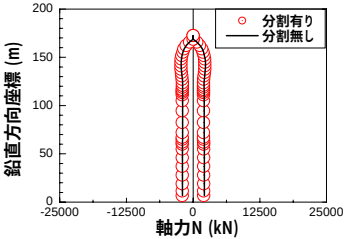


図-4 主塔軸力 N

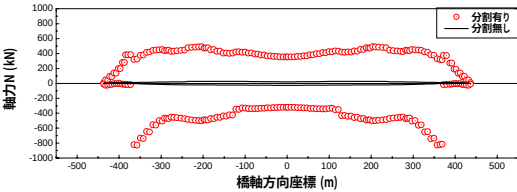


図-5 主桁軸力 N

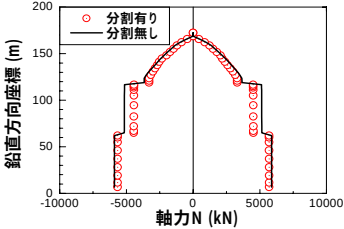


図-6 主塔軸力 N