# ケーブルの局部振動を考慮した斜張橋の振動及び応答解析

九州旅客鉄道(株)	正会員	清川佑輔	中国・福州大学	非会員	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
			長崎大学工学部	非会員	永田正美

### 1. 研究目的

解析対象となる大島大橋で,完成時に行われた起振機実験で支持ケ-ブル(以下,ケーブルと呼ぶ)に振幅の 大きな局部振動が発生した.したがって,斜張橋の動的解析を行うにあたっては,ケ-ブルの局部振動を考慮し た解析が必要になる.しかし,斜張橋全体の支持ケ-ブルの局部振動を含めた応答を評価する際には一般的に斜 張橋の動的解析においては,ケ-ブル要素を弦要素として解析を行っているため,ケ-ブルの支点変位,係数励 振振動,サグの影響などを評価した厳密な解析を行えない.そこで,本研究では,新たに開発されたケーブル要

素モデル<sup>1)</sup>と従来の弦要素モデルの2つの解析 モデルを用い,両解析モデルの応答を評価する. 解析に先立っては,大島大橋の常時微動計測を 行い,大島大橋の固有振動特性を把握し,FEM 解析モデルを評価する.次に,鉛直正弦波加 振・ねじれ正弦波加振による応答を求め,両解 析モデルで得られる応答結果を比較する.



### 2. 解析対象

解析対象は長崎県内の大島大橋で,橋梁形式

は 3 径間連続鋼斜張橋で中央 支間 350m 幅員 9.75mである. また,主塔は A 型で,ケーブ ルはマルチファン型で 20×4 の計 80 本である.図-1 に大 島大橋の一般図を示す.ケーブ ルについては,C1 から C20ま で番号を付けた.

## 3. 固有振動特性の評価

### 3.1 固有振動解析

主桁や主塔にケ - ブルの振 動が連成する振動モ - ドにつ いて,2つの解析モデルによる



表 - 1 全体系の固有振動数および振動モードの比較

全体振動の固有振動数および振動モードの比較を表 - 1 に示 す.全体系の振動モードにケーブルの振動が連成しているが, 全体系の固有振動数に及ぼす影響は最大4%程度で小さい.

次に,表-2にケーブルの固有振動数の比較を示す.表-2 の単一ケーブルの理論値はケーブルを両端ピンでモデル化し て解析した結果である.ケーブルの固有振動数についても両

ケーブル ケーブル 差(%) ケーブル の理論値 要素 ( - )/ 番号 振動数(Hz) 振動数(Hz) ×100 0.585 0.586 C1 -0.170.578 C2 0.573 -0.87C19 0.616 0.616 0.00 C20 0.637 0.635 0.31

キーワード:斜張橋,支持ケーブル,係数励振振動,ケーブル要素モデル,弦要素モデル 連絡先(〒852 8521 長崎市文教町1番14号 TEL:819 2610 FAX:819 2627) 者の差は小さい.大島大橋のようなマルチフ ァンケ - ブルでは1本あたりの質量が小さい ために,ケ - ブルの振動による主桁や主塔へ の影響が小さいと考えられる.よって,大島

#### 表-3 局部振動が発生する可能性のあるケーブル

	分数調波共振	副不安定領域	主不安定領域		
鉛直対称 1 次振動	C1 , C2 , C19 , C20	なし	なし		
ねじれ対称 1 次振動	なし	C9 , C8 , C12 , C13	C1 , C2 , C19		

大橋のようにマルチファン型のケーブルの場合,固有 振動解析においては,斜張橋の全体固有振動解析とケ ーブルの固有振動解析を分離して行うことができる.

# 4. ケーブルの局部振動を考慮した応答解析

# 4.1 ケーブルと全体系の固有振動数の関係

大島大橋の全体系の固有振動数とケーブルの1次固 有振動数の関係よりケーブルに局部振動が発生する可 能性があるケーブルを選び出すと表-3の結果になる. 表-3より,全体系の鉛直対称1次振動発生時にケー ブルC1,C2,C19およびC20に分数調波共振が発生 する可能性がある.また,全体系のねじれ対称1次振 動発生時にケーブルC9,C8,C12およびC13に副不 安定領域の係数励振振動が発生する可能性があり,さ らに,ケーブルC1,C2,C19およびC20に主不安定 領域で係数励振振動が発生する可能性がある.起振機 実験を想定して2つの解析モデルを用いて鉛直対称1 次振動数とねじれ対称1次振動数と同一の加振振動数 で正弦波加振した場合の斜張橋の動的応答を求める. 鉛直正弦波加振の場合,加振力50kNで行い,作用点 を主径間中央点とする.ねじれ正弦波加振の場合には,



加振力 500kN・m で行い,作用点を主径間中央点の両端とし,逆位相の加振で行う.

### 4.2 鉛直正弦波加振による応答

図 - 2 にケ - ブルの鉛直方向応答変位を示す.両解析モデルにおいて分数調波共振の発生する可能性のあるケ -ブル C1, C2, C19 および C20 の応答に差が見られる.

## 4.3 ねじれ正弦波加振による応答

図 - 3 にケ - ブルの鉛直方向応答変位を示す.2 つの解析モデルによる結果を見ると,副不安定領域で係数励振振動が発生する可能性のある支持ケーブル C9, C8, C12 および C13 と,主不安定領域で係数励振振動の発生する可能性のある支持ケーブル C1, C2, C19 および C20 の応答に差が見られる.図-4 に主桁の軸力を示す.軸力はケーブル要素モデルでは発生しているが,弦要素モデルではほぼ0となる.

### 5. まとめ

1)ケーブルがマルチファン型のように,ケーブル1本当たりの重量が小さい場合には,固有振動解析において斜 張橋の全体固有振動解析とケーブルの固有振動解析を分離して行うことができる.

2)動的応答解析の結果によれば,分数調波共振や係数励振振動が発生する可能性のあるケーブルで応答の差があった.また,特に,ねじれ正弦波加振時の主桁の軸力にはケーブルの局部振動による影響が顕著に見られる.したがって,動的応答解析はケーブル要素モデルで行うべきである.

### 参考文献

2) 北原雄一, 呉慶雄, 木村剛, 高橋和雄, 中村聖三: 分割トラス要素を用いた女神大橋の動的応答解析, 土木構造・材料論文集 Vol.23, 2007.12
3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説(V 耐震設計編), 2002.3.

<sup>1)</sup> Q. Wu, K. Takahashi, and B. Chen: Using cable finite elements to analyze parametric vibrations of stay cables in cable-stayed bridges, Structural Engineering and Mechanics, Vol.23, No.6, pp.691-711, 2006.8.