

正弦波加振による斜張橋の支持ケーブルの局部振動の応答特性

中央コンサルタンツ(株)福岡支店 正会員 ○久保田展隆 長崎大学大学院 学生会員 Wu Qing Xiong
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

風荷重や車の走行荷重による斜張橋全体系の振動によって、支持ケーブルに振幅の大きな局部振動が発生することが指摘されており、檜島大橋、用倉大橋や多々羅大橋¹⁾の振動実験で確認されている。この原因はケーブルが係数励振振動することによるものと考えられる。本研究では、実PC斜張橋²⁾を対象として、正弦波を加振する時の斜張橋の全体振動による支持ケーブルに発生する係数励振振動に起因する局部振動解析を行い、多々羅大橋の振動実験との対比を検討する。

2. 解析方法

斜張橋の3次元骨組モデルを用いた固有振動解析を行い、次いで正弦波加振による斜張橋全体応答をモード解析法によって求める。これらによって計算した桁側および塔側ケーブルの定着点の相対応答をケーブルの支点変位として、ケーブルの係数励振振動による局部振動解析を実施する。一端固定、他端に任意の支点変位を受けるケーブルの局部振動解析モデルを用いる。

3. 支持ケーブルの応答特性

(1) 全体固有振動数とケーブルの局部振動の固有振動数の関係

図-1 示すように、全体系の鉛直対称 2 次固有振動数がケーブル C20 の 1 次固有振動数に接近し、副不安定領域に対応している。全体系のねじれ対称 1 次固有振動数がケーブル C3 の固有振動数の 2 倍に接近し、主不安定領域に対応している。

(2) ねじれ正弦波加振によるケーブルの局部振動特性

ねじれ正弦波加振は、全体ねじれ対称1次固有振動数と同一の加振振動数 2.206Hz で行い、中央スパンの中央点の両側に起振機を2台設置して逆位相の加振を行う。

図-2 示すように、C3 の 1 次振動数 (1.105Hz) は全体振動のねじれ対称 1 次固有振動数 (2.206Hz) の約 1/2 倍と一致しているので、C3 に主不安定領域における係数励振振動が発生している。図-3 に示すように、主桁の変位 (0.007m) が定常に振動し始めてから、約 5 分後にケーブルは大きな振動が発生している。最大振幅は、0.464m に達し、主桁の振幅の 600 倍程度になっている。

図-4に0秒～200秒、200秒～400秒および400秒～960秒におけるC3の応答のスペクトルを示す。0秒～200秒ではケーブルと主桁が同じ振動数で強制振動しているが、200秒～400秒ではケーブルの固有振動をもつ係数励振振動に変化する。振幅が急激に増加する400秒以降の卓越振動数もケーブルの固有振動数である。

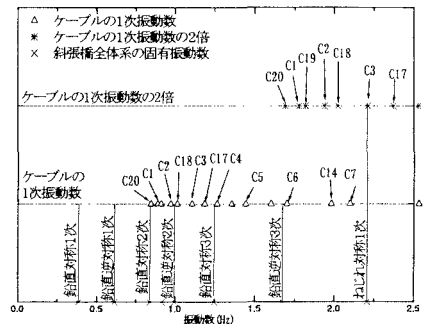


図-1 全体系の固有振動数とケーブルの固有振動数の関係

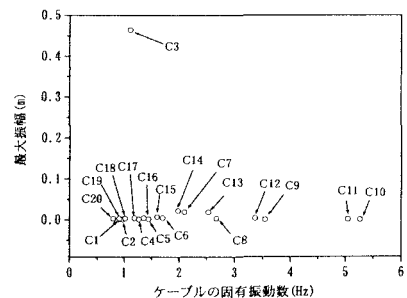
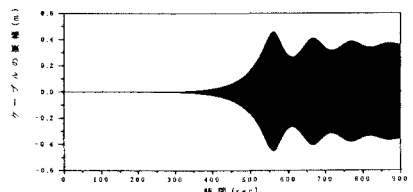


図-2 ねじれ正弦波加振によるケーブルの最大振幅



時間 (sec)

図-3 ねじれ正弦波加振による C3 の応答波形

表-1 加振力とケーブル C3 の応答との関係

起振力 (tf)	相当起振ねじれモーメント (tf・m)	ケーブルの定着点の主桁の最大振幅 (m)	ケーブルの最大振幅 (m)	最大振幅に達する時間 (sec)
10	133	0.004	0.231	1255.5
15	200	0.006	0.322	646.2
20	266	0.007	0.464	559.2
30	399	0.012	0.505	258.2

加振力の大きさの影響を調べるために、加振力を 10tf から 30tf まで変化させた場合のケーブルの応答を図-16 に示す。また、図-3 および図-5 から得られる起振力と応答の関係を一覧表にして表-1 に示す。これらの図表より、加振力の増大とともに発達時間が早くなる、つまり、加振力の増大によって、ケーブルの係数励振振動の発達時間が短くなる。

多々羅大橋の振動実験¹⁾では、ねじれ逆対称 1 次振動加振時に、加振開始後約 15 分程度で主桁が定常振幅をキープしていたところ、突然あるケーブルに加振振動数の 1/2 の振動数をもつ主不安定領域の振動が発生している。本研究で得られた結果はこの多々羅大橋の係数励振振動の発生と同じ傾向を示している。これに対して、文献 3) に示したように支点変位をスパンの 1/5,000 として求めた主不安定領域の振動は振幅の発達時間を必要としておらず、両者の現象の間に差がある。本研究によって、この原因は加振振幅の大きさによるものであることが判明した。すなわち、ねじれ振動のように主桁の振幅が小さい場合には、係数励振振動の発生に時間を要するといえる。

4. まとめ

本研究で、ねじれ正弦波加振によって、ケーブルが大振幅振動となる主不安定領域における係数励振振動が発生することおよび係数励振振動が現れるまでにかなりの時間を要することを示した。

参考文献

- 1) 真辺, 佐々木, 山口: 多々羅大橋の実橋振動実験, 橋梁と基礎, Vol.33, No.5, pp.27-30, 1999.5.
- 2) 井上, 久富, 上野, 藤岡, 沖野, 伊東: 天建寺橋の上部工の施工, 橋梁と基礎, Vol.32, No.12, pp.2-9, 1998.12.
- 3) 高橋, 呉, 中村, 久保田, 伊田: 斜張橋の支持ケーブルの局部振動の解析, 構造工学論文集, Vol.46A, pp.501-510, 2000.3.

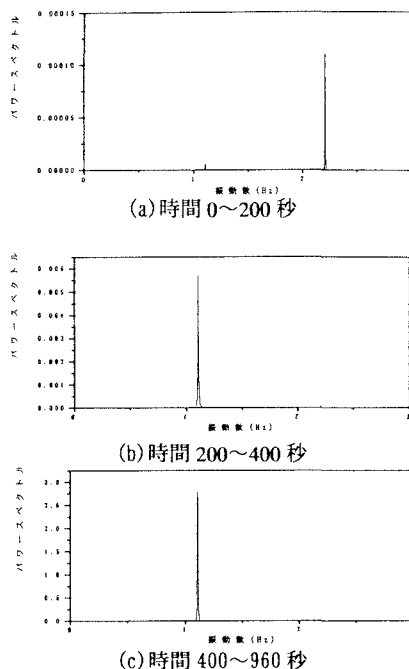


図-4 ケーブル C3 の応答のスペクトル

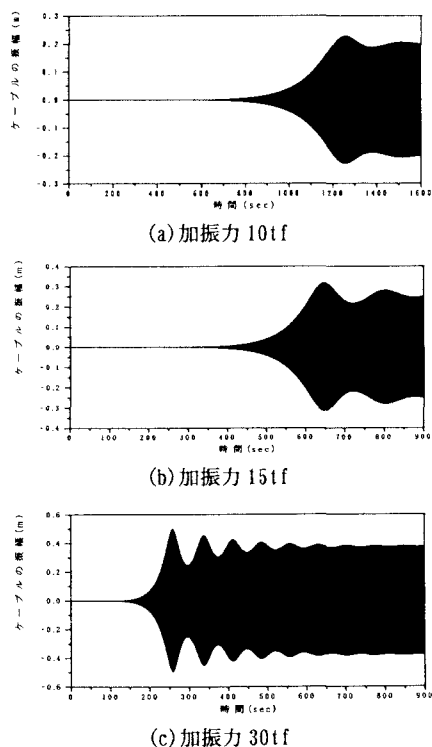


図-5 ケーブル C3 の主不安定領域の応答に及ぼす加振力の変化の影響