

I-335

吊橋の耐風安定性に及ぼすケーブル連成振動の影響

埼玉大学大学院 学生員 松本 一彦
埼玉大学 正員 山口 宏樹

1. はじめに

長大吊橋はケーブルを主部材の一つとする非常にフレキシブルな構造物であるため、風による動的不安定現象が発生し易く、その耐風安定性照査が重要となる。従来の二次元風洞実験による照査では三次元的なファクターをある程度取り入れているものの、ケーブルについてはあまり考慮されていない。しかし、ケーブル連成振動の耐風性への影響を明確にし、二次元風洞実験に反映させることができれば、より合理的な耐風設計が可能になると思われる。以上のような観点から、本研究では、吊橋補剛桁の固有振動に連成するケーブル振動に着目して、それが耐風安定性に及ぼす影響を数値解析により検討した。

2. ケーブルの空気力を考慮した固有振動解析

吊橋におけるケーブルの並進運動に対して準定常理論から導かれる空気力を考慮し、空力減衰を含めた固有振動解析を行なった。ケーブルの空気力は、ケーブルが平均流方向とその直角方向（それぞれ z 、 y 方向とする）に振動する場合を考えると、 y 方向及び z 方向の空気力は次式で表わされる¹⁾

$$F_y = -1/2 \cdot \rho \cdot U \cdot d_c \cdot C_D \cdot \dot{y}$$

$$F_z = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot d_c \cdot C_D - \rho \cdot U \cdot d_c \cdot C_D \cdot \dot{z}$$

ここに、 ρ は空気密度、 U は風速、 d_c はケーブル径、 C_D はケーブルの抗力係数、 $\dot{y}$ 、 $\dot{z}$ はケーブルの変位速度であり、 F_z の右辺第1項は定常空気力である。この空気力は単位長さ当りに働く分布外力であるから、これを等価節点荷重ベクトルに変換し、さらに空力減衰マトリクスの形で運動方程式の左辺に取り込み固有振動解析を行なった。解析に用いた吊橋諸元は本州四国連絡橋公団明石海峡大橋設計計画案を基本にしている。

3. モード減衰および等価極慣性モーメント

表1に設計風速である65.0m/s時におけるセンタースパン 1/4点の静的変形位置からの振動モードを示し、それぞれの固有振動数、モード減衰（対数減衰率）を記した。また、ねじれ振動に対しては等価極慣性モーメントを桁の極慣性モーメントで除した値を付記した。この表より、固有振動数が最も低いモードにおいて、対数減衰率が非常に大きい値となっているのは注目すべき事である。また固有振動数が接近し、ねじれ振動を起こしている左

下の2ケースについてであるが、モード減衰から見ると値の小さい右側のケースがねじれ振動を起こし易いと考えられるものの、等価極慣性モーメントを比べると左側のケースが他成分との連成性が小さいためにその値が小さくなっていることから、ねじれ対称一次振動は左側のケースであると考えられる。この2ケー

0.0372Hz	0.0634Hz	0.0774Hz	0.0800Hz	0.0839Hz	0.0938Hz	0.116Hz
0.0366	0.0122	0.0077	0.0097	0.0060	0.0075	0.0066
0.131Hz	0.137Hz	0.154Hz	0.156Hz	0.161Hz	0.165Hz	0.187Hz
0.0067	0.0037	0.0276	0.0274	0.0210	0.0059	0.0041
2.195	6.158					1.926

表 1

スのねじれフラッターに対する安定性、つまりモードの選択性はさらに検討する必要性があろう。

4. 耐フラッター性に及ぼすケーブル連成振動の影響

ねじれフラッターは吊橋に作用する非定常空気力の負減衰効果により生ずる自励振動であり、かなり高風速時に発生する現象である。そのフラッター安定性に及ぼすケーブル連成振動の影響は当然風速に依存するため、2. の解析を風速5ケースについて行った。図1はねじれ変位卓越対称1次、および逆対称1次モードについて風速一対数減衰率の関係を示したものである。これによると、風速増加に伴い線形的に対数減衰率が増加し、ねじれ対称1次においては、限界風速である78.0m/s時に対数減衰率が約0.008となっている。現行の本四耐風基準では構造減衰は0.03とされているものの、明石クラスの長大吊橋では0.01まで小さくなるとの考え方もあり、ケーブルのもたらす減衰0.008は決して小さくない値である。このように、ケーブルの空気力のみで有意な減衰が付加されることは、ケーブル連成振動はねじれフラッターが発生する様な強風時において耐風安定性上、安全側の減衰に寄与する効果を持つものと考えられ、ねじれ振動におけるケーブル連成は有意であるといえる。

一方、吊橋の架設段階初期には、ケーブルの連成性が強いことが報告されている²⁾。図2は因島大橋の架設時を対象とし行った固有振動解析結果であり、ねじれ変位卓越対称1次モードのケーブル連成モードを示している。ここに、 T_s は桁のねじれ変位、 W_c 、 V_c はそれぞれケーブルの水平、鉛直変位である。この図より、未架設部ではケーブルが自由な動きを見せ、ケーブル連成性が非常に強く現れることがわかる。この場合について、ケーブルにのみ空気力を与えて固有振動解析を行ったところ、ねじれ対称1次モードに対する各架設段階のモード減衰が表2のように得られた。これによると、55%の架設段階のモード減衰は完成系や98%の架設段階の2倍以上の大きさであり、風速80m/sには構造減衰0.03の半分にも及んでいる。以上のことより、架設初期にはねじれ振動自体の存在が弱まり、モード減衰も非常に大きいため、ねじれフラッターに対する検討を有利な方向に導いていくと考えられる。

5. まとめ

耐フラッター照査におけるケーブル連成は有意な効果をもたらし、耐風安定性を増大させる。このことを考慮することにより、耐風設計がより合理的になると考えられる。

参考文献

- 1) 岡内功、伊藤学、宮田利雄 耐風構造、丸善、1973
- 2) 山口宏樹、荒川一成 NONLINEAR-COUPLED FREE OSCILLATION ANALYSIS OF SUSPENSION BRIDGES、Proc.of JSCE No.374/I-6

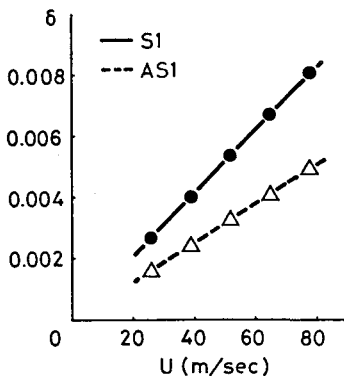


図1. 風速一対数減衰率の関係

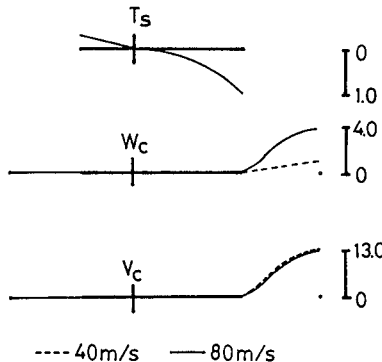


図2. 架設段階初期のねじれ対称1次モード

	モード減衰	
	U(m/s)	
	40	80
完成系(100%)	0.0028	0.0059
架設系(98%)	0.0029	0.0072
架設系(55%)	0.0075	0.0158

表2. 各架設段階におけるモード減衰