

## I - 488

## 斜張橋のガスト応答に及ぼすケーブル振動の影響

埼玉大学工学部 学生員 高橋雅裕

埼玉大学工学部 正 員 山口宏樹

1. はじめに 斜張橋の設計において、風の乱れに起因するガスト応答は重要な照査項目の1つである。ガスト応答照査の重要性は斜張橋の長支間化に伴い増大するが、長支間化に伴い、ケーブルの全体構造に占める役割が増えてケーブル振動のガスト応答に及ぼす影響が懸念される。しかし、自由度が膨大になるという解析上の理由からそれを無視しているのが現状であろう。そこで、本研究では、斜張橋のガスト応答に及ぼすケーブルの振動の影響について数値解析により検討を行った。

2. ケーブル振動を考慮した斜張橋のガスト応答解析 まず、立体固有振動解析を行い、固有振動数、固有振動モードを求めた。ケーブルの振動の影響について検討するため、ケーブルの振動を考慮した場合とケーブルの振動を無視した場合について解析を行っている。ケーブル振動を考慮した解析は、ケーブル単体のモードを用いた縮約法により、全体系の自由度を大幅に抑えたものである<sup>1)</sup>。次に、得られた固有振動モードを用いてガスト応答の推定を行った。解析は水平、鉛直それぞれのたわみについて独立に行ったが、いずれも低次から5次までの振動モードを用いている。さらに、ケーブルの振動を考慮した場合と無視した場合の解析結果から、ガスト応答に及ぼすケーブル振動の影響を考察している。

ケーブル振動を無視した解析ではケーブル抗力は考慮せず、ケーブル振動を考慮した解析ではケーブルの各質点に抗力を風速の鉛直プロファイルを考慮して作用させた。また、変動空気力は準定常理論により与えている。

3. 解析モデルおよび条件 生口橋の完成系を対象とし、図1に示すように3次元立体骨組構造にモデル化した。ケーブル振動を無視した場合はケーブルの質量を塔と桁の節点に等分して振り分け、考慮した場合は各ケーブルを5分割しケーブルの各節点に質量をおいた。基本風速は37 (m/s)とし、変動風速のパワースペクトルは水平方向には日野の式、鉛直方向にはBusch・Panofskyの式を用い、鉛直分布べき指数は1/7、地表面摩擦係数は0.0025、空間相関係数は7とした。構造減衰（対数減衰率）は塔および桁は0.02、ケーブルは0.003と仮定している。さらに、抗力係数は塔：1.8、桁：1.3、ケーブル：0.7とした。基準高度は各節点の高さとし、乱れ強度は高度による変化を考慮している。

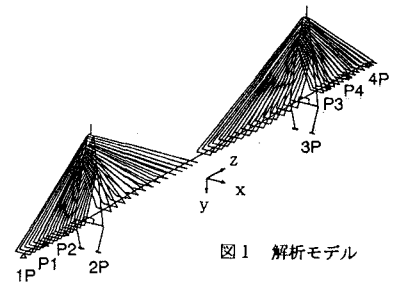


図1 解析モデル

4. 固有モード特性 固有振動数の解析値を表1に示す。表には、本州四国連絡橋公団の解析値および実験橋での常時微動測定結果も示してある。本四公団の解析値および実験値と本研究での解析値を比較すると、各モードとも比較的良好に一致しており、解析の妥当性が示されたものと考えられる。また、桁のモード形は、ケーブル振動を無視した場合と考慮した場合の差はほとんど見られなかったが、横たわみ1次モードでは桁の振動に伴うケーブルの横振動連成は大きいものではないが、横たわみ2、3次モードで大振幅のケーブルの連成振動がしている。

表1 固有振動数

| 振動モード     | ケーブル振動<br>無視   | ケーブル振動<br>考慮   | 本四公団  | 実験値<br>(常時微動) |
|-----------|----------------|----------------|-------|---------------|
| 横たわみ対称1次  | 0.294          | 0.285          | —     | —             |
| 横たわみ逆対称1次 | 0.515          | 0.516          | —     | —             |
| 鉛直曲げ対称1次  | 0.343<br>(2.7) | 0.333<br>(0.3) | 0.334 | 0.342         |
| 鉛直曲げ逆対称1次 | 0.444<br>(2.1) | 0.431<br>(0.9) | 0.435 | 0.450         |
| 鉛直曲げ対称2次  | 0.608<br>(5.2) | 0.600<br>(3.8) | 0.578 | 0.613         |

注) 単位: Hz 括弧内は本四公団の解析値に対する誤差 (%)

**5. ガスト応答に及ぼすケーブル振動の影響** 主桁の水平ガストの  $rms$  応答値を計算した結果を図2に示す。点線がケーブル振動を無視した場合であり、実線がケーブル振動を考慮した場合である。図よりケーブル振動を考慮した場合は無視した場合より主桁中央の応答値が大きくなる傾向が見られる。各モードのモード変位の自乗平均を図3に示す。1次モードの寄与率が大きく大部分を占め、ケーブル振動を考慮した場合は無視した場合に比べ、1次モードの自乗平均が大きい。これがケーブル振動を考慮した場合の応答値の増加の原因となっていると考えられる。

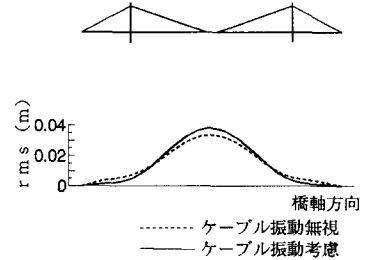


図2 主桁の水平ガスト応答

応答値の大小に関係するパラメータとして、モード質量、モード減衰比、モード外力があるが、それぞれにケーブルの振動がどう関わっているかを調べた。図4に桁の最大値を1として正規化したモードを用いてモード質量を計算した結果を示す。1、4、5次モードではケーブル振動のモード質量に及ぼす影響は小さい。また、2、3次モードでケーブル振動を考慮した場合の方が大きくなっているのは大振幅のケーブルの連成のためである。図5には各モードのモード減衰比(空力減衰を含む)を示したが、各モードともケーブル振動を考慮した場合の方が多少大きい。図6に各モードのモード外力を示す。図には固有振動数位置でのモード外力のパワースペクトル値を示したが、1、2、3次モードでケーブル振動を考慮した場合の方が大きくなっている。1次モードに着目して考察すると、ケーブル振動を考慮した場合は無視した場合に比べてモード外力が約1.7倍に増加するのに対し、モード質量は1.1倍、モード減衰比は1.2倍の増加であり変化せず、これが応答値の増加の原因になると考えられる。

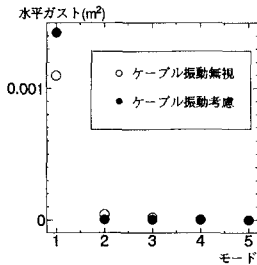


図3 自乗平均

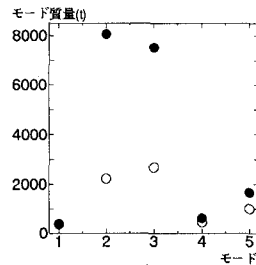


図4 モード質量

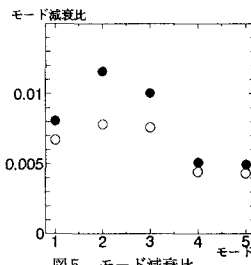
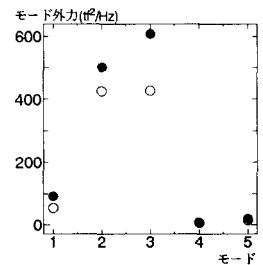
図5 モード減衰比  
(空力減衰を含む)

図6 モード外力

一方、主桁の鉛直ガストの  $rms$  応答値の解析結果を図7に示したが、ケーブル振動を考慮した場合は無視した場合より応答値が増加する傾向がみられるものの、水平方向ほど差は大きくなかった。

**6. まとめ** ケーブル振動を無視した場合と考慮した場合についてガスト応答を推定し、ケーブル振動のガスト応答に及ぼす影響について検討した。その結果、ケーブルの振動を考慮した場合は無視した場合に比べ、応答値が大きくなる傾向がみられた。1次モードの寄与が大部分で、1次モードのモード外力の増加がモード質量、モード減衰比の変化に比べ大きいと考えられる。ガスト応答解析は多くの仮定に基づくものであり、より実際の現象を再現するために仮定の妥当性の検討や、風洞実験、実橋観測との比較検討等を行い、1つ1つ問題を解決していく必要があろう。

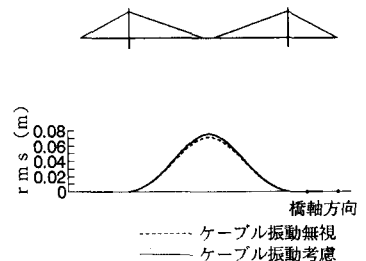


図7 主桁の鉛直ガスト応答