

斜張橋の支持ケーブルの非線形分岐応答解析

長崎大学工学部 学生員○川北省二
長崎大学大学院 学生員 HERATH,M.C.R
長崎大学工学部 正 員 高橋和雄

1. まえがき

風や車の走行などによる斜張橋全体系の振動によって、斜張橋の支持ケーブルに局部振動が発生することがある。この原因は斜張橋全体系の振動数とケーブルの局部振動数が接近しているため、ケーブルが係数励振することによるものである。前報では、我が国における斜張橋全体系の振動数とケーブルの局部振動数の関係を調査し、係数励振振動が発生する可能性のあるケーブルを選択し、支点変位によるケーブルの非線形応答解析を行い、係数励振振動の発生領域および応答振幅を明らかにした¹⁾。本研究では、それに加えて係数励振振動の発生領域および応答振幅に及ぼす減衰力や橋のタワーの形状、スパン長、ケーブル長等の構造特性の影響を明らかにする。

2. 斜張橋のケーブルの非線形分岐応答解析

ケーブルの支点が鉛直方向に $X \sin \Omega t$ で周期変動する場合の非線形分岐応答を1自由度系モデルを用いて解析を行う¹⁾。斜張橋全体系の固有振動数は、文献、工事報告、設計計算等の数値を採用し、ケーブルの固有振動数は、ケーブル長、質量、張力などのデータを用いて計算した数値を採用した。ケーブル番号は下段ケーブルから順に付ける。

3. 斜張橋の全体系の振動数とケーブルの局部振動数との関係

図-1、2は、我が国に架設および計画中の斜張橋全体系の振動数とケーブルの局部振動数の関係である。斜張橋全体系の振動数は、鉛直1,2次振動数とねじれ1次振動(タワー形状別)を図示している。また、ケーブルの振動数については、副不安定領域が発生する固有振動数(図-1)と主不安定領域が発生する固有振動数の2倍(図-2)を示している。図-1のように、斜張橋の鉛直2次およびねじれ1次振動数とケーブルの振動数が一致するため、ケーブルに副不安定領域の振動が発生する可能性がある。スパン長が長くなると、上段ケーブルがその対象となっている。また、主不安定領域については、図-2のように、スパン長が600m以上の長大斜張橋のねじれ1次振動によって、最上段ケーブルに発生する可能性がある。なお、タワーの形状は、ねじれ1次振動数に影響を及ぼさない。

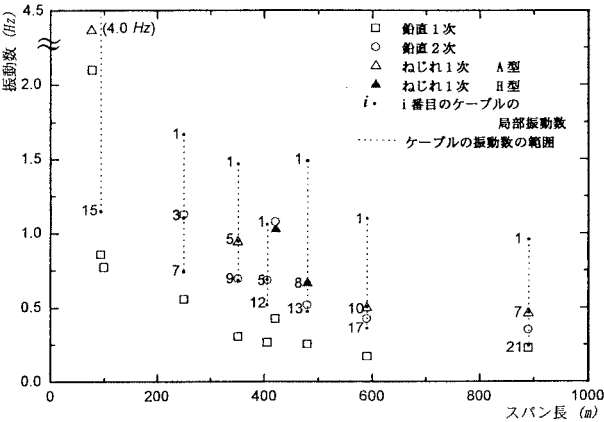


図-1 斜張橋全体の振動数とケーブルの局部振動数の関係(副不安定領域)

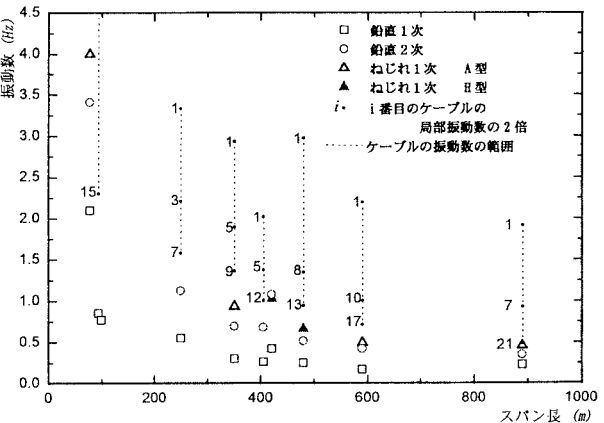


図-2 斜張橋全体の振動数とケーブルの局部振動数の関係(主不安定領域)

図-3は、斜張橋A(スパン長 93.75m)の斜張橋全体系の振動数とケーブルの局部振動数との関係を示す。鉛直 2 次振動とケーブル c-11 の固有振動数が一致している。ケーブル c-11 について非線形分岐応答解析(支点変位: スパン長の $1/5,000$)を行い、ケーブルの不安定領域を読み取り、図-3 にプロットした結果、不安定領域が広く存在するために他のケーブルにも係数励振振動が発生する可能性があることがわかる。

4. 応答に及ぼす減衰の影響

図-4 は、斜張橋B(スパン長 480m)の上段ケーブル c-12 について、ケーブルの支点変位をスパン長の $1/5,000$ として解析したときの応答曲線である。減衰がない場合(減衰定数 $h = 0$)と減衰がある場合(減衰定数 $h = 0.04$)について示している。斜張橋ケーブルの通常の減衰定数 $h = 0.01$ 以下では、無次元振動数 2 付近に現れる主不安定領域の応答振幅に減衰は影響を及ぼさない。減衰定数を通常よりも大きい $h = 0.04$ とした場合、図-4 のように、現れる振動数領域と応答振幅が小さくなる。また、ケーブルの傾斜角が大きい下段ケーブルでは、係数励振力が大きくなるため、主不安定領域の幅は、上段ケーブルの場合よりも広くなる。このため、減衰の効果はさらに小さくなる。このように係数励振振動の発生は、減衰を増大させても防ぐことができないと予想できる。

5. 解析解の精度と過渡振動の影響

解析解の精度と過渡振動の影響を明らかにするために、Runge-Kutta-Gill 法による数値シミュレーションを行った。図-5 は、斜張橋Bの c-12 について、支点変位をスパン長の $1/5,000$ 、減衰定数 $h = 0.01$ とした場合の解析解と数値シミュレーションを行った結果を示している。解析解の応答振幅とシミュレーションの定常解は、良く一致しており、解の精度は十分である。シミュレーションでは、主および副不安定領域の右の応答が得られていない部分がある。この部分は、不安定で、存在しない解である。また、斜張橋が急に振動を始めると、ケーブルには過渡振動が発生する。この場合の応答の最大値は、定常解よりも大きくなる。

6. まとめ

本研究では、係数励振振動の発生領域および応答振幅に及ぼす減衰力および構造特性である橋のタワーの形状、スパン長の影響を明らかにした。今後さらに、斜張橋の資料を収集して、2 径間と 3 径間の斜張橋の比較や歩道橋や PC 斜張橋の場合との比較を行う予定である。

参考文献

- 1) 梶原・HERATH・高橋: 平成 8 年度 土木学会西部支部研究発表会 講演概要集, pp.136~137, 1997.3

