

I - B220

斜張橋ケーブルの係数励振振動の解析

長崎大学大学院 学 生 員 ○ HERATH, M.C.R

松 尾 橋 梁 正 員 梶 原 圭 介

長崎大学工学部 フェロー 高 橋 和 雄

1. まえがき

斜張橋の支持ケーブルは剛性が小さいため、風による渦励振、ウェークギャロッピング、レインバイブレーション、車の走行による振動などが発生している。斜張橋の全体系の振動数とケーブルの局部振動の振動数が接近しているため、ケーブルに係数励振振動が発生する可能性がある。これについては、Kova'cs が最初に指摘し、その後、各方面で解析が行われている。我国においても、檀石島橋¹⁾や用倉大橋²⁾の振動実験で確認されている。しかし、斜張橋ケーブルの係数励振振動を調査、解析した研究は少ないようである。そこで、係数励振振動の立場から斜張橋の全体振動とケーブルの局部振動の関係を、斜張橋の振動の文献、工事報告、設計書などをもとに分析する。さらに、支点移動を受けるケーブルの非線形振動解析を行うことによって、係数励振振動の発生領域および応答振幅を明らかにする。

2. 斜張橋の全体系の振動数とケーブルの局部振動の振動数の関係

斜張橋の全体系の固有振動数とケーブルの局部振動の固有振動数の関係を調べるために、文献、工事報告、設計計算および土木研究センターの刊行物を収集した。斜張橋の全体系の固有振動数は、これらの文献の数値を採用し、ケーブルの局部振動の固有振動数は、ケーブル長、質量、張力などのデータを用いて、ケーブルのサグの影響を考慮した計算を行った。図-1は、本研究で用いるケーブル番号の付け方である。下段ケーブルから順に番号を付ける。図-2, 3は収集した資料より斜張橋全体系の振動数、ケーブルの1次振動数、その2倍の振動数および2次振動数を示したものである。図中の f_j^i は j 番目ケーブルの i 次振動数を示す。これらの図より上段ケーブルになるにしたがい、ケーブルの固有振動数が低くなり、斜張橋の低次固有振動数に接近する。図-2に示す斜張橋 Me（中央スパン 480m）の鉛直対称2次の固有振動数にケーブル C-12の固有振動数、斜張橋の鉛直対称5次の固有振動数にケーブル C-3の固有振動数がそれぞれ一致している。斜張橋 Me に関しては C-3 および C-12 ケーブルの解析を行う。図-3に示す斜張橋 Oh（中央スパン 350m）の鉛直対称2次の固有振動数はケーブル C-8の固有振動数、斜張橋の鉛直対称2次の固有振動数（塔位置桁回転拘束）はケーブル C-5の固有振動数と接近している。この橋に関しては C-5 および C-8 ケーブルの解析を行う。

3. ケーブルの非線形応答解析

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ケーブルの非線形応答を1自由度系モデルを用いて解析する³⁾。ケーブルのサグの影響を考慮した解析を行ったが、サグ比 $\gamma \approx 0.003 \sim 0.006$ で縦波-横波伝播速度比 $k = 20 \sim 30$ 程度であった。計

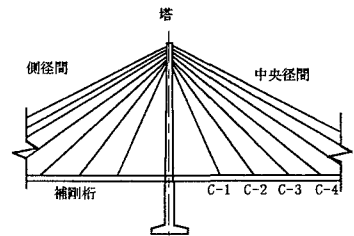
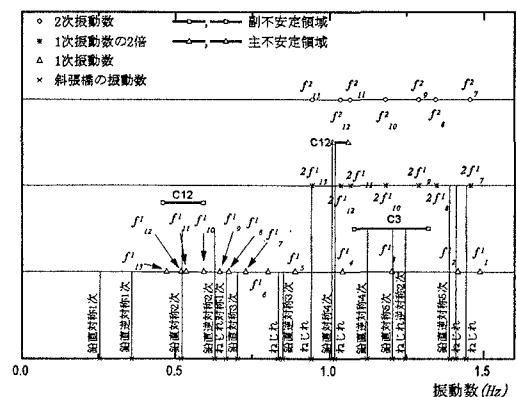


図-1 ケーブル番号の付け方

図-2 斜張橋 Me 全体系の振動数と
ケーブルの局部振動数の関係

キーワード：非線形振動，係数励振振動，ケーブル，斜張橋

〒852 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会発工学科 TEL 0958-48-9639 FAX 0958-48-9639

算パラメータとして、ケーブルの支点変位は斜張橋の中央径間長の $1/20,000$ (Case1), $1/10,000$ (Case2) および $1/5,000$ (Case3) とした。また、ケーブルの減衰定数 $h=0.005$ とした。斜張橋 Me の C-3 ケーブルの非線形応答を図-4に示す。横軸は励振振動数を、縦軸はケーブル中央点の応答を示している。 $f_3^1 = 1.202$ (Hz) 付近に強制力による付随応答と係数励振振動力による応答との連成応答が生じる。 $2f_3^1 = 2.404$ (Hz) 付近では係数励振振動による主不安定領域の分岐応答が生じている。ケーブルの支点変位が大きくなるとケーブルの応答振幅が増大し、その発生領域も広がる。図-4において副不安定領域の場合、支点変位の5倍の応答が発生する振動数領域 (C-D 間)、また、主不安定領域は分岐応答が発生する振動数領域 (A-B 間) を読みとる。これらの結果を図-3に併記している。図中の□-□の範囲と△-△の範囲でケーブルに振動が生ずる。ケーブルの局部振動は固有振動数およびその2倍付近の振動数領域で発生し、必ずしも固有振動数に一致する必要はない。ケーブルの固有振動数が接近しているので、同時に数本のケーブルが桁の鉛直振動によって振動する可能性がある。ケーブルの傾斜角が小さい場合には、支点変位による強制力が支配的となって、図-2, 3のように f_{12}^1, f_{10}^1 付近の副不安定領域が広い。一方、ケーブルの傾斜角が大きくなると副不安定領域の幅が狭くなり、 $2f_3^1, 2f_7^1$ のように主不安定領域が広がる。また、主および副不安定領域における振幅は f_3^1 および $2f_3^1$ のときの応答 (E,F) を用いて表す。ケーブルの最大応答はケーブル長の $1/100$ 程度となる。

4. まとめ

本研究で得られた結果以下に示す。

1. 斜張橋が長くなるにつれ、低い振動数で斜張橋全体系のモードが多くでる。
2. ケーブル長が長い上段ケーブルの1次固有振動数が、斜張橋の低次の鉛直およびねじれ振動の固有振動数と接近する。したがって、斜張橋の上段ケーブルが下段ケーブルよりも係数励振振動を起こす可能性が高い。
3. ケーブルの係数励振振動はケーブルの固有振動数もしくはその2倍の近傍の加振によって発生する。ケーブルの固有振動数と全体系の固有振動数が完全に一致する必要がないため、全体振動によって複数のケーブルが係数励振振動を起こす可能性がある。

参考文献

- 1) 岡内他：土木学会論文集，第455号，pp.75~84, 1992.10, 2) 藤野他：土木学会第回年次学術講演会講演概要集，第1部，pp.752~753, 1993.9, 3) A. Pinto da Costa and J. A. C. Martins: International Symposium on Cable Dynamics, pp.205~212, 1995.10

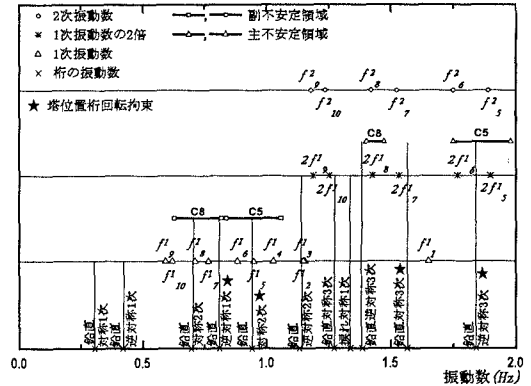


図-3 斜張橋 Oh 全体系の振動数と
 ケーブルの局部振動数の関係

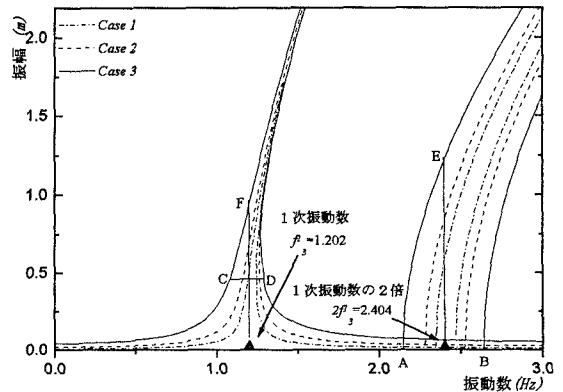


図-4 ケーブルの非線形応答 (斜張橋 Me , C-3)