

斜張橋のケーブルの係数励振振動に関する解析

長崎大学工学部 学生員○ 梶原圭介
 長崎大学工学部 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

ケーブルは剛性が小さいために、風や車の走行などによって各種の流体関連振動、幾何学的非線形振動などが発生することが知られている。斜張橋の支持ケーブルにおいても、風による渦振動、ウェークギャロピング、レインパイプレーションなどが発生しているが、ケーブルの固有振動数と斜張橋の全体系の固有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、Kovacs が最初に指摘し、その後方面で解析が行われている。我国においても、檜石島橋¹⁾や倉倉大橋²⁾の振動実験でも確認されている。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

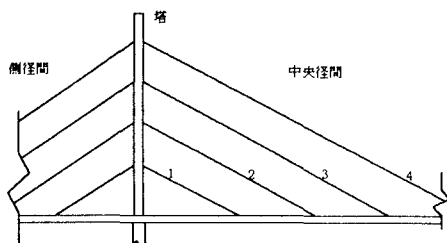


図-1 ケーブル番号の付け方

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した。さらに、支点移動を受けるケーブルの係数励振振動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。この結果7橋について固有振動数のデータがそろった。図-1は本研究で用いるケーブル番号の付け方である。下段ケーブルから番号を付ける。ケーブルが係数励振される原因は橋桁の鉛直曲げ振動と振れ振動による支点の周期的変動である。また、係数励振振動には、ケーブルの固有振動数の2倍 ($2f^i_j$; i : 振動次数, j : ケーブル番号) 付近の加振振動数で発生する主不安定領域と固有振動数付近 (f^i_j) に発生する副不安定

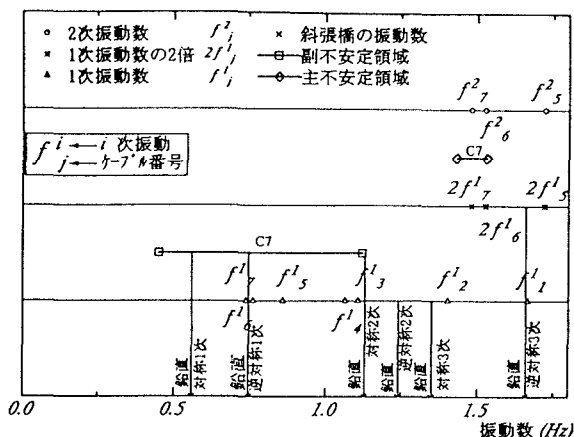


図-2 全体系とケーブルの振動数の関係 (斜張橋A)

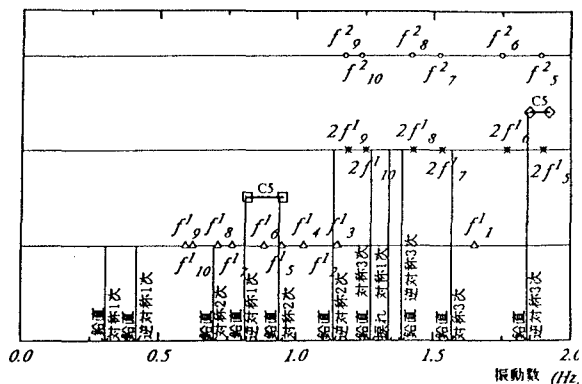


図-3 全体系とケーブルの振動数の関係 (斜張橋B)

領域が存在する。これらのデータを斜張橋 A（中央径間 250m）、B（中央径間 350m）および C（中央径間 480m）について示すと、図-2～4の結果となる。これらの図によれば、ケーブル長の長い上段ケーブルの 1 次固有振動数の低次の鉛直振動の固有振動数が接近している。また、主不安定領域に相当する $2f_1$ は鉛直振動の対称 3 次から 4 次振動付近に存在する。ケーブルの 2 次振動数 f_2 はケーブルの 1 次振動数の 2 倍 $2f_1$ にほぼ一致する。

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 $X \sin \Omega t$ で周期が接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 $1/5,000$ (Case1), $1/10,000$ (Case2) および $1/20,000$ (Case3) とした。また、ケーブルの減衰定数 $h = 0.005$ とした。ケーブルの非線形応答の一例を図-5 に示す。縦軸はケーブル中央点の応答を、横軸は励振振動数である。 $f_1 = 0.95\text{Hz}$ 付近に支点変位による強制力による付随応答と係数励振力による応答との連成応答が生じる。 $2f_1 = 1.89\text{Hz}$ 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-5 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、また主不安定領域は分岐応答が発生する振動数領域を読みとる。これらの結果を図-2～4 に併記している (図-2 : ケーブル番号 C7, 図-3 : C5, 図-4 : C12)。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 のように f_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、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ケーブルの最大応答はケーブル長の $1/100$ 程度となる。

5. まとめ

本研究では、斜張橋のケーブルの係数励振振動の発生領域を求めたが、さらに資料を収集して、斜張橋の塔の形式、中央径間長、幅員などの構造特性、歩道橋の場合、PC 斜張橋との場合との比較を行う予定である。

6. 参考文献

- 1) 岡内・宮田・辰巳・佐々木, 土木学会論文集, 第 455 号, pp.75~84, 1992.10
- 2) 藤野・岩本・加藤・岡林・本田・平本・志水・飯村, 土木学会第 48 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

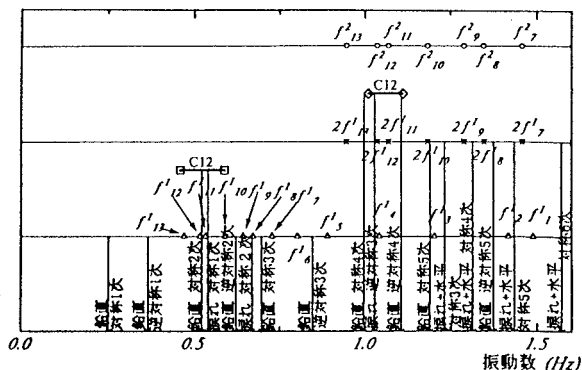


図-4 全体系とケーブルの振動数の関係 (斜張橋 C)

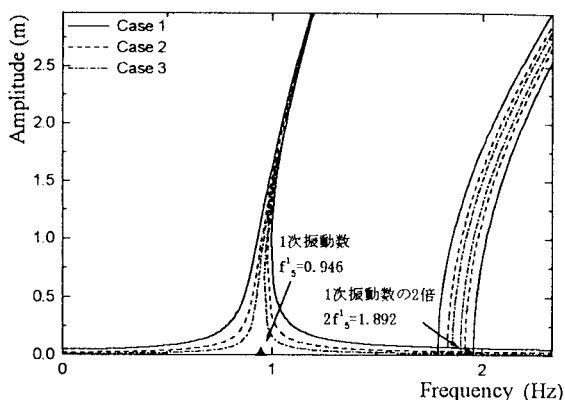


図-5 ケーブルの非線形応答 (斜張橋 B, C5)