

鹿島建設技術研究所 正員 〇竹田 哲夫

〃 〃 三村長一郎

〃 〃 森光 康夫

1 はじめに 前報^{*}では、PC(プレストレストコンクリート)斜張橋の耐震設計にあたって、その振動系が塔や桁などの部分振動系から成る連成振動系であるという観点から、考慮すべき振動特性を指摘した。すなわち、i) 地震動の橋軸直角水平成分に対する面外振動の場合、塔と桁の固有周期が接近していると、塔と桁は弱連成系を形成して「動的相互作用効果」が伴うことを示し、またii) 橋軸方向の水平成分に対する面内振動の場合は、スーの拘束が強いため、このような効果は顕著にならないが、塔の横たわみ振動がスーを介して桁の鉛直たわみ振動と間接的に励起するため、その影響に留意すべきことを示した。

本報では、この桁の鉛直たわみ振動がばね操縦のうら、特に「動的不静定力効果」について、連成振動に対するスーの効果に着目しながら検討した。なお、解析モデルと解析方法は前報の場合と同様である。

2 解析結果および考察

1) 固有振動特性；面内振動系における連成振動を特性づけるものとしては、塔と桁を直接結合しているスーが重要である。そこで、まず基本構造系でスーの剛性をパラメータにした固有振動数曲線を求めると図-1のようになる。また基本構造系での固有振動モードは図-2に示すとおりである。

地震動の水平成分による応答に対して、寄与する固有振動は、その刺激係数からみて1次、3次、6次などである。このうち1次は、部分振動系である塔〜ケーソン系の1次振動と、桁系の1次振動が同位相で連成し、桁の鉛直たわみ振動が主体になったものである。一方、3次は両者が逆位相で連成し、塔〜ケーソン系の振動が主体となるが、塔自体の横たわみ振動はスーの拘束を強く受けていて卓越せず、ケーソンのロッキング振動が桁のスエーイング振動を伴って卓越するものである。また、6次は塔〜ケーソン系の2次振動が主体で、塔の横たわみ振動が卓越するものである。

したがって、固有振動数曲線(図-1)において、スーの剛性が増大すると、全体系1次と3次の固有振動数は漸増する程度であ

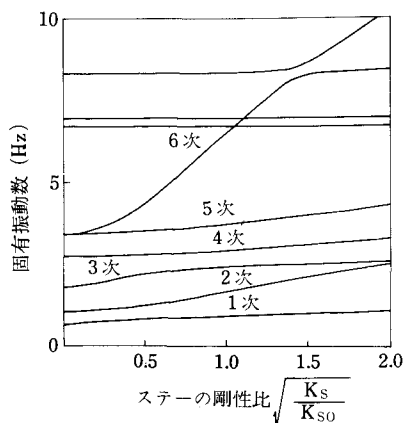


図-1 固有振動数曲線

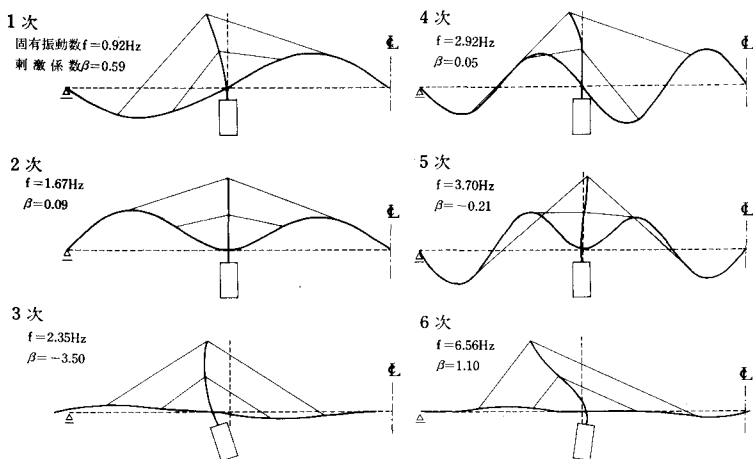


図-2 基本構造系($K_s=K_{s0}$)での固有振動モード

り、また6次では急増することとなる。すなわち、面外振動の場合に、特に留意したような固有振動数の接近が伴うものではない。

2) 桁の曲げモーメント ; スターの剛性をパラメータとした桁の曲げモーメントのうち、側径間の長スラー取付け位置について示すと図-3のようになる。桁の曲げモーメントをもたらす鉛直たわみ振動はスラーを介して励起されるが、1次振動の場合はそれが主体であるため、スターの剛性増大に対応して励起されやすくなり、そのために1次の曲げモーメントも単調に増大している。しかし3次振動などの場合はそれが主体でないため、次項で述べるようなスターの拘束による不静定力の影響を受けやすくなり、そのために曲げモーメントは単調でない増大を示す。

また、3次振動では塔と桁が逆位相で連成してスラー軸力に変動するため、桁の軸力にも影響がある。このような高次振動成分は、面内振動の特徴的な動的効果といえる。

3) 塔の曲げモーメント ; 同じくスターの剛性をパラメータとした場合の塔下端での曲げモーメントを示すと図-4のようになる。スターの剛性が増大すると、1次の曲げモーメントは桁の鉛直たわみの影響で単調に増大する。しかし、3次の曲げモーメントは、塔の横たわみ振動によってもたらされていたものが、スターの拘束による不静定力の影響を強く受け、符号が反転して増大するようになる。すなわち、このスターによる影響は、塔と桁が逆位相で連成するため顕著であって、動的な不静定力効果とも呼んで特筆すべきものである。なお、6次は、それをもたらす塔の横たわみ振動がスターの剛性増大に対応して抑制されるため単調に減少している。

以上のような性状のため、各成分によるr.m.s値には極小値があって、塔の曲げモーメントに対して最適なスター剛性のあることがわかる。

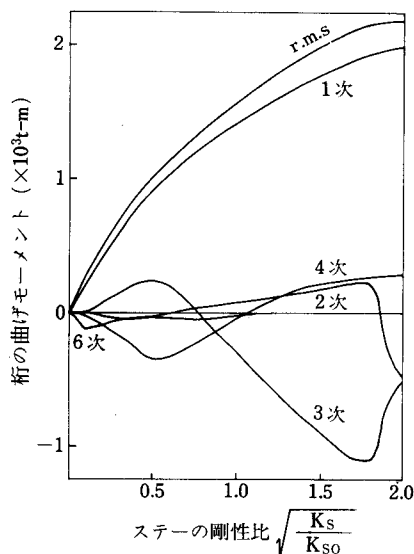


図-3 桁、側径間での曲げモーメント

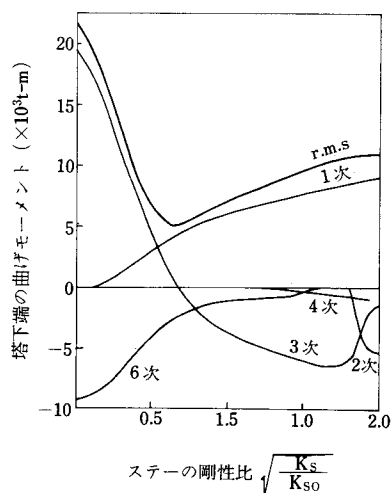


図-4 塔下端での曲げモーメント

3 まとめ 以上の考察から、面内振動系では桁の鉛直たわみ振動に加えて、桁のスエーイングを伴ったグーソンのロッキング振動が、「動的な不静定力効果」をもたらす点で重要なことがわかる。これはPC斜張橋の場合、その自重が大きくて塔が下部構造に剛結される形式であるために起因するが、それには下部構造および基礎地盤の支持特性が重要な役割を演じるということを意味している。

そこで、地盤の支持剛性を増大させて、以上と同様の計算を行なってみると、この効果の減少することがわかる。またここで用いた検討モデルでは、主橋脚上での桁の支持とピン支承としているが、これを剛結とすると、桁の曲げモーメントは増大するが、塔の曲げモーメントはこの効果が減少して軽減することがわかる。したがって、このような応答特性を考慮しながら、構造計画を吟味し、耐震設計を行なうことが必要といえる。

(※ 竹田、三村、森光；PC斜張橋の耐震特性について、土木学会第31回年次学術講演会講演集I部)