

埼玉大学 学生員 荒川 一成
 埼玉大学 正 員 山口 宏樹
 トビー工業 館 厚志

1. まえがき

ケーブルを主部材とする吊橋は一般にかなりフレキシブルな構造物であり、風による振動がしばしば問題とされる。吊橋の場合、特にねじれフラッターが問題となり、耐風性検証のためにはねじれ固有振動特性、連成振動特性を十分に把握する必要がある。また昨今の吊橋の長大化に伴い、その架設期間は長期化される傾向にあるが、架設時における吊橋は完成時のそれと比べて剛性が低下することから、その挙動は非線形性を呈し易く、ねじれ振動特性もより一層複雑となることが予想される。

そこで、本研究では吊橋の特徴を生かして不要な自由度を省略した吊橋要素を考え⁽¹⁾、かつ吊橋が本来有する幾何学的非線形性をも考慮した解析法を確立して、完成時における線形自由振動解析、及び架設時における非線形性を考慮した架設形状解析、さらにその架設形状を考慮した場合としない場合について線形自由振動解析を行った。

2. 解析手法

吊橋要素である補剛桁、ケーブル、ハンガーについて各々ポテンシャルエネルギー及び運動エネルギーを評価し、ハミルトンの原理を適用して定式化を行い、有限要素法を用いて解析した。ただし桁の橋軸方向変位は小さいとしてこれを無視し、ハンガーは剛体とみなすことにより不要な自由度を省略している。また補剛桁については薄肉断面ばかりとみなし一般の線形はり理論を用いたが、ケーブルについては歪-変位関係の2次の項まで取り入れ、ハンガーまで含めた系の変形後のつりあいを考えることによって、吊橋の有する幾何学的非線形性を考慮できる様にした。

3. 本解析法の精度

本解析法の精度を確かめるために、完成時における吊橋の線形自由振動解析を因島大橋三次元風洞試験模型を用いて行った。結果を実験値⁽²⁾及び汎用構造解析プログラム SAPIVによる解析結果と共に図-1に示す。図

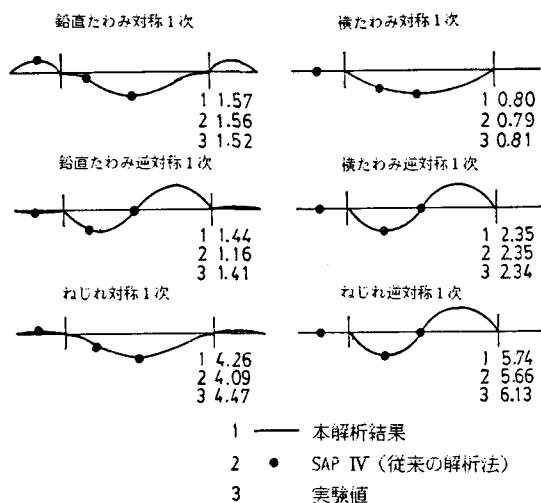


図-1 完成時吊橋の固有振動比較

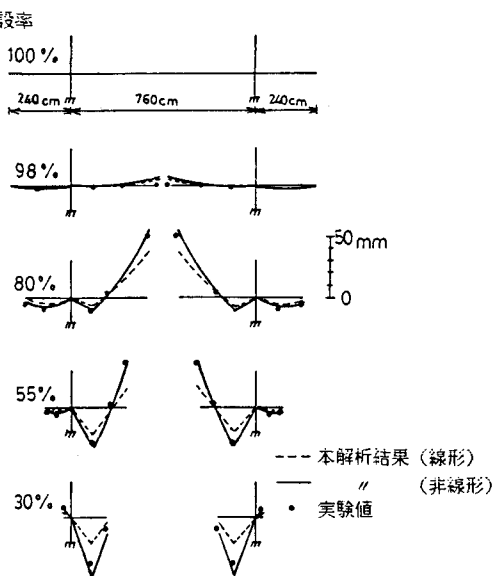


図-2 架設形状 (桁)

から本解析法の精度については固有振動数、固有振動モード共に問題はないと言える。

4. 架設形状の非線形解析

図-2は、因島大橋三次元風洞試験模型について行った各架設率(98%, 80%, 55%, 30%)に対する補剛桁の架設形状の解析結果を示したものである。非線形解析の結果と実験値⁽²⁾とは良く一致しているものの、線形解析結果と実験値とは有意な差があり、架設率が低くなる程その差は大きくなっていることから、架設初期の吊橋の非線形性の強さを伺うことが出来る。

5. ねじれ固有振動特性

初めに述べた様にねじれフラッターを究明するためには、ねじれ固有振動特性、連成振動特性を把握することが必要である。そこで本研究では、架設時の吊橋において、架設形状を考慮した場合としない場合について線形自由振動解析を行い、特にねじれ振動特性に注目して両者にいかなる差が生じるかを調べた。

図-3は各架設率に対するねじれ変位卓越1次モードの固有振動数を示したものであるが、どの架設率においても架設形状を考慮した場合と無視した場合との差はほとんど生じていない。また架設率による最低次モードの変化を見ると、架設率80%以外では対称1次であるが、架設率80%の時のみ逆対称1次が最低次固有振動数を与えており、その時の対称1次と逆対称1次の固有振動数は比較的近い値を示している。さらに架設率による固有振動数の変化を見ると、架設率が低くなる程固有振動数も低くなっていることがわかる。

6. 吊橋の連成振動特性

吊橋の連成振動特性の一つとしてねじれと横たわみの連成がよく知られているが、本解析結果からも完成時、架設時いずれにおいてもその存在が明らかになった。図-4は対称1次ねじれ振動に連成する桁の水平変位モードを示したもので、ねじれ変位をハンガー取付点に生じる鉛直変位で表し、その最大値が1となるように正規化してある。架設形状を考慮した場合について見てみると、架設率が低くなる程横たわみの変位成分が大きくなっており、架設初期のもの程連成し易い。しかし架設形状を無視した場合には連成性の傾向は異なっており、架設形状を非線形解析により評価することが重要であると言えよう。

7. 結論

吊橋は本来非線形性を有するもので、特に架設時においては大変非線形性が強くなり、その傾向は架設率が低い程顕著に現れると言える。その原因は桁のない部分の自由なケーブルが存在するためであると考えられ、これら吊橋の幾何学的非線形性は、ねじれの連成振動特性に有意な影響を与える。今後、種々の非線形連成振動⁽³⁾について解析を進める予定である。

〔参考文献〕 ⁽¹⁾沖見, 山口, 伊藤: 吊橋の三次元連成振動解析に関する研究, 土木学会第37回年次講演会 I, 1982

⁽²⁾東京大学橋梁研究室: 因島大橋の補剛桁架設時における耐風安定性の実験的研究, BEL-Report, 1981

⁽³⁾山口, 伊藤, 下川: 長大吊橋の三次元的動特性に関する実験的研究, 東大総合試験所年報, 40, 1981

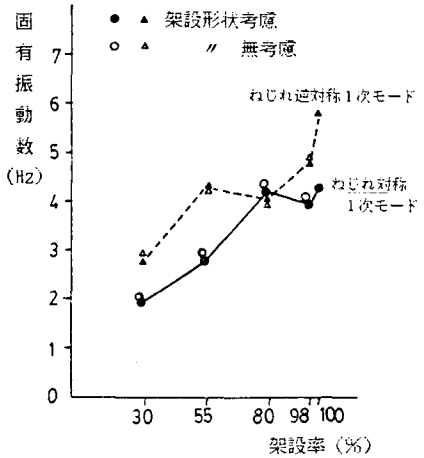


図-3 架設率に対する固有振動数

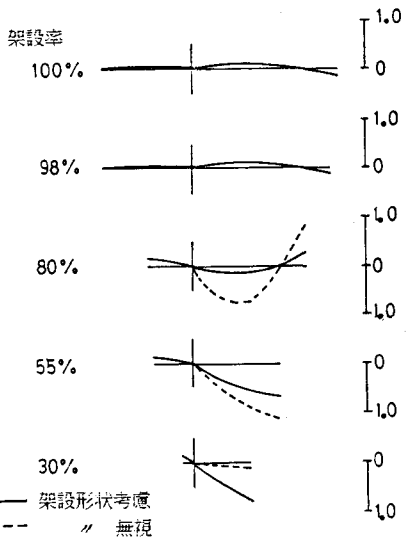


図-4 対称1次ねじれ振動に連成する水平変位モード