

東京大学 学生員 神見 秀希
埼玉大学 正 員 山口 宏樹
東京大学 正 員 伊藤 学

1. はじめに

吊橋は、他の橋梁形式と比べ、フレキシブルな構造であるため、地震、風等により振動を起こしやすい。したがって、動的特性を正しく知ることは、吊橋の長大化とも相まって、ますます重要になっている。現在、吊橋の動的特性の解析手法としては、吊橋を多質点骨組構造物として立体解析する手法が、最も簡便であり、一般に用いられている。しかし、この解析法は、汎用性に優れている反面、吊橋の解析においては、省略し得る不要な自由度まで取り込んでおり、計算機の記憶容量、計算時間、及び入力データ作成などの点で不利である。これに対し、橋脚桁を薄肉断面梁と仮定し、鉛直たわみと横たわみ、ねじれの連成を無視して、計算を簡略化する解析法があるが、架設時に於ける振動特性、あるいは、長支間吊橋において強風により水平横変位が大きくなる場合など、連成を考慮して、解析する必要があることもあり、この解析法にも欠点が多い。

以上のことから、本研究では、従来の骨組構造解析の欠点である不要な自由度を、吊橋の特徴を用いて、省略し、かつ有意な精度で、立体振動解析する手法を確立することを目的とした。さらに、架設中の吊橋や、強風時の吊橋の立体振動解析にまで応用を試みた。

2. 本解析法の概要

従来の解析法では、Fig.1-1のようにモデル化し、桁1格点につき、3方向変位とその回転角の計6自由度、ケーブルについては、3方向変位の3自由度、したがって、1断面計24自由度をとっている。これに対し、本解析法では、Fig.1-2のようにモデル

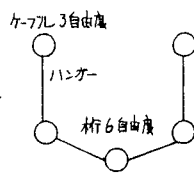


FIG.1-1 従来のモデル

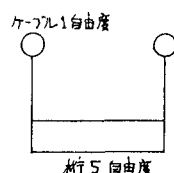


FIG.1-2 本解析法のモデル

化し、桁については、鉛直変位、水平横変位とそれぞれの回転角、そしてねじれ角の計5自由度、また、ハンガーが伸びないを仮定し微小変形であることを考慮すると、ケーブルの鉛直変位を桁のねじれ角と鉛直変位で表すことが出来るため結局ケーブルについては、水平横変位の1自由度となり、桁と合せて、1断面7自由度となる。

このような自由度を用いて、エネルギーを評価し、ハミルトンの原理により定式化して、有限要素法により、固有振動解析を行なう。

3. 数値解析例

以下に示す数値解析例は、因島大橋三次元風洞試験模型について、本解析法を適用したものである。本解析法による結果と従来の解析法による結果と、固有振動数について

Table.1 無風時の固有振動数比較

比較したものを、Table 1 に示す。この表よりわかるとおり、どのモードにおいても、本解析法と従来の解析法とは、良く一致している。この内、鉛直たわみの逆対称1次モードが、他のモードよりも差が大きくなっているのは、従来の解析結果によるとこのモードでは、橋軸方向の振動がかなり強く連成しているが、本解析法では、橋軸方向変位を無視しているため、このことを考慮できなかったためと考えられる。また、モード形について本解析法と従来の解析法を比較したものを、Fig.2-1～Fig.2-3に示す。この図よりわかるとおり、モード形についても、

単位:H.		本解析法	従来法	本解析法 — 従来法
鉛直たわみ	A-S.MODE 1	1.278	1.169	1.09
	S. MODE 1	1.426	1.470	0.97
	S. MODE 2	2.031	2.060	0.98
ねじれ	A-S.MODE 2	2.840	2.856	0.99
	S. MODE 1	4.049	4.091	0.99
横たわみ	A-S.MODE 1	5.793	5.662	1.02
	S. MODE 1	0.795	0.790	1.01
	A-S.MODE 1	2.342	2.324	1.01

本解析法は、従来の解析法と同程度の精度で、得ることが出来る。

また、本解析法のメリットとして、吊橋の特徴を生かして、自由度を減らし、計算時間を短縮できることが挙げられる。CPU-TIMEは、従来の方法が80秒程度、本解析法が46秒程度であり、40%程を短縮出来る。なお、計算機は、東京大学計算機センター HITAC M-200Hを用いた。

4. 架設系への拡張と数値解析例

本解析法では、ケーブルのみの要素を、付加することによって架設系を容易に再現出来る。前出の因島大橋三次元風洞試験模型について、架設率による振動数の比較を、Fig.3に示した。この図よりわかるとおり、本解析法は、架設系においても、従来の解析法と同程度の精度で、固有振動数を算出することが出来る。(モード形については、ここでは、省略したが、これを比較すると、架設率が50%~60%以上の架設系での適用が、妥当と考えられる。)

5. 強風時への拡張と数値解析例

本解析法では、強風時に拡張するために、初期変位を有する場合の剛性マトリクス及び質量マトリクスを評価した。また、変形による座標変換については、本解析法が、橋軸方向変位を考慮していないこと、変形が橋軸長に比べ、微小であることを考慮して、おこなわないことにした。強風時についても、因島大橋三次元風洞試験模型について数値解析を行なった。本解析法による結果と従来の解析法による結果を、固有振動数について、比較したものを、Table2に示す。この表よりわかるとおり強風時についても、本解析法は、従来の解析法と同程度の精度で、結果が得られる。

6. まとめ

本研究では、吊橋の特徴を生じて、自由度を省略し、かつ精度を落とすことなく立体振動解析することが可能な解析法を、確立した。また、本解析法は、架設中の吊橋、さらには、強風時の吊橋の振動解析にも容易に拡張でき、実用性の高い解析法といえる。

<参考文献>

- 1) Abdel-Ghaffar, A. M., "Free lateral vibrations of suspension bridges", Proc. ASCE, Vol. 104, No. ST3, March, 1978, Paper 503-525
- 2) Abdel-Ghaffar, A. M., "Vertical vibration analysis of suspension bridges", Proc. ASCE, Vol. 106, No. ST10, October, 1980, Paper 2053-2075
- 3) 富橋, 定井, 平野, "運成を考慮した吊橋の基礎方型式および風荷重を受けた場合への応用", 土木学会論文報告集, 第277号, 1978年9月.
- 4) 川田・日立・住友重工業共同企業体, 因島大橋三次元風洞試験模型 静的・動的解析報告書, 昭和56年2月

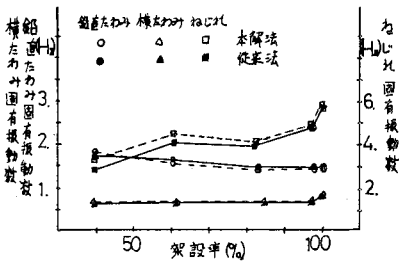
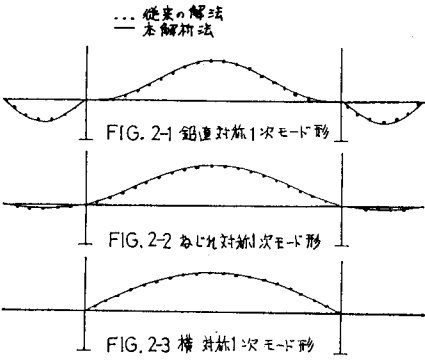


FIG.3 架設率による固有振動数比較(S.MODE1)

Table.2 強風時の固有振動数比較

モードH _z		本解析法	従来法	本解析法 / 従来法
鉛直方向	A-S. MODE 1	1.281	1.430	0.97
	S. MODE 1	1.524	1.560	0.97
	S. MODE 2	2.024	2.062	0.98
ねじれ	A-S. MODE 2	2.844	2.851	0.99
	S. MODE 1	4.245	4.081	1.04
横方向	A-S. MODE 1	5.845	5.637	1.04
	S. MODE 1	0.799	0.794	1.01
	A-S. MODE 1	2.349	2.348	1.00