

I-369 拡張カルマンフィルターを用いた空気力係数推定に関する基礎研究

横浜国立大学大学院 学生員 市川 衡
 横浜国立大学 正員 宮田 利雄
 横浜国立大学 正員 山田 均

まえがき

橋梁の耐風安定性状を検討する場合、通常部分模型試験が実施され、その応答挙動から直接判断される場合が多い。しかし、例えば桁に着目する場合、桁の断面形状が径間全体に渡り一様ならば問題は生じないが、変断面である場合には耐風応答性状の把握は単純ではなくなる。つまり、桁が変断面で空気力に関する断面特性の変化が無視できないとき、桁の軸方向の位置による空気力の変化を総合した評価が必要になる。このような場合の単純な解決策は、断面形状、剛性の分布を相似させた全橋模型試験を実施することである。しかし、全橋模型の実施が費用、施設の物理的制約、全橋模型試験の精度に問題があると判断される場合には、部分模型試験で全橋模型の微小区間に作用する空気力を評価し、それを全橋挙動へ拡張する方法が通常考えられる方法となる。一般に、空気力のモデルは、自励空気力として変位比例成分（あるいは加速度比例成分）と速度比例成分により評価され、またいわゆる線形空気力を考えることとすると2定係数の問題として与えられることとなる。さらに、変位をたわみとねじれの2つとし、空気力の揚力及び空力モーメントに関し変位に関し連成する成分を考えると、合計8パラメータを推定する必要がある。従来、空気力の評価には、自由振動法および強制振動法の二種類があり、盛んに行なわれているが、それぞれ測定実施上の問題点があるようである。自由振動法では、有風時の加振減衰履歴から空気力係数を評価しようとするため、たわみ振動、ねじれ振動それぞれに対応する空気力と連成する空気力を別々に評価する必要があり、空気力の変位に関する連成項の評価に手間が掛かる。強制振動法では、なんらかの方法で振動質量の慣性力を消去する必要があり、成田による巧みな方法はあるが、一般には測定精度にいまだ若干問題を残すように思われる。

一方、地震等の分野で、星谷らにより開発された拡張カルマンフィルターによるシステム同定手法[ref1,2]が、振動システムの種々の係数推定に適用され大きな成果を得ている。そこで、空気力評価は比較的確立した定式化が行なわれていることに着目し、空気力8パラメータ、構造振動系4パラメータのシステムとして、空気力評価に用いるための基礎研究を実施した。

手法及び設定した解析ケース

手法は星谷らの方法[refs.1,2]を繰り返しの考え方をも含めそのまま適用した。解析は空気力が2パラメータとなる1自由度系の場合、都合8パラメータとなる2自由度系の場合について表1、表2に示すような条件を設定して実施した。一部ホワイトノイズを加えた解析をも実施した（波形例、図1）。

解析ケースとして設定した1自由度系の場合、空気力を自励空気力の定式化を用いており、実質的には自由振動系で質量、減衰係数、反力係数を求める系と差異はない。したがって、星谷らが既に報告しているように、多少のノイズが混入した場合であっても非常に安定した精度のよい結果が得られる。したがって、この範囲では空気力の測定に関し十分な精度で係数の推定が可能であるといえる（表1）。

一方、連成フラッターの問題としての2自由度系である場合には、まったくノイズ混入の無い場合には非常に良好な結果が得られるが、ノイズが混入した場合には、正解への収束の度合は減衰項の連成成分で極端に落ちる（表2）。この場合にはシミュレートしたデータの長さ、時間刻みとが微妙に収束の度合を決めているように見えた。また、実用上問題となると思われる、設定した空気力系が異なる場合では、つまり実際は1自由度系空気力であるにもかかわらず2自由度系空気力として定式化を行い解析を進めた場合では、良好な結果を得ることができなかった。

結論

振動－空気力系が、たわみのみ、あるいはねじれのための1自由度系の場合では拡張カルマンフィルター手法を用いることにより有風時の自由振動波形から相当な精度でパラメータの推定が可能とみて取れる。一方、2自由度系の場合ではまだ解決すべき問題が残されているようであり、精度のよい推定値を得るためにはある条件の組合せの下に限られるようである。

参考文献

1) 星谷勝、斎藤悦郎：拡張カルマンフィルターを用いた同定手法の各種振動系への応用、土木学会論文報告集、第339号、pp.59－67、昭和58年11月。
2) Masaru Hoshiya: Strucutural identification by Extended Kalman Filter, EM ASCE vol.110 No.12, pp.1757-1770, December 1984.

設 定 値			推 定 値		データ長	繰り返し数
減衰係数	固有円振動数	SN比	減衰係数	固有円振動数		
0.015	6.2832	0	0.015	6.2832	5波(500)	2
-0.01	6.2832	0	-0.01	6.2832	1波(100)	2
0.01	6.2832	0.1%	0.01	6.2832	5波(500)	12
0.01	6.2832	1.2%	0.00986	6.2826	5波(500)	12

表1 1自由度系の同定結果

設 定 値							推 定 値						
減衰係数				反力係数			減衰係数				反力係数		
B-B	B-T	T-B	T-T	B-B	B-T	T-T	B-B	B-T	T-B	T-T	B-B	B-T	T-T
2.0	-2.5	-2.6	350	1300	-1000	223000							
同上、S/N比=0、データ長5秒							2.0	-2.5	-2.6	350	1300	-1000	223000
同上、S/N比=0、データ長10秒							2.0	-2.5	-2.6	350	1300	-1000	223000
同上、S/N比=0.1%、データ長10秒							2.0	-2.5	-2.9	350	1300	-1000	222998
同上、S/N比=1%、データ長10秒							2.0	-2.4	-3.7	350	1300	-999	222993

表2 2自由度系解析ケースの一例

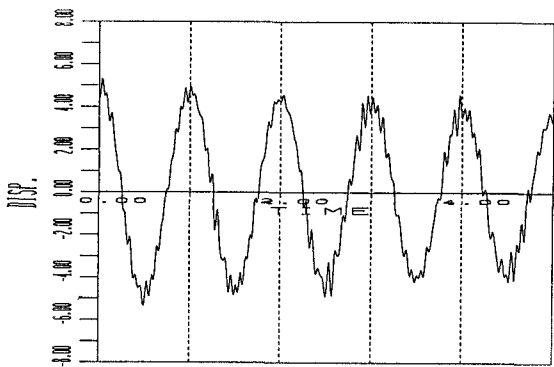


図1 S/N比=1.2%の波形例