

I-206

自由振動波形を用いた桁に作用する動的空気力の同定

大林組 正員 吉田陽一 名古屋工業大学 正員 岩本政巳
 東京大学 正員 藤野陽三 埼玉大学 正員 伊藤 學

1. 本研究の目的 橋桁の空力特性を表わす指標の一つに、動的空気力係数がある。これは、桁断面に作用する動的空気力の特性を示すもので、断面のフラッター特性を知るために必要とされる。現状では解析的に求めることができないため、風洞実験より実測する方法が取られるが、強制加振法等の既存の方法では、実験が煩雑であったり、特別な装置が必要でできる設備が少ないなど、容易に行うことができない。

そこで、本研究は、気流中で、たわみとねじれの連成振動をしている自由振動波形のみを用いて、動的空気力係数を求めようとするものである。波形より係数を同定する方法として拡張カルマンフィルターのアルゴリズムを用いた。この方法は、実験方法が簡単であり、また、連成空気力を直接対象とするため、強制加振法等で必要な空気力の線形重ね合わせの仮定から解放される。本研究では、既に強制加振法で動的空気力が求められている模型を用いることにより、本方法の同定の精度、問題点を調べた。その結果を報告する。

2. 動的空気力係数 ここでは、たわみ(z)とねじれ(θ)の2自由度系の連成振動を扱う。動的空気力の作用する系の振動方程式は、式1のように定義する。

$$\begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 A_2 \\ A_3 A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_5 A_6 \\ A_7 A_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \theta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

式中のMは質量、Iは極慣性モーメントを示す。右辺が動的空気力で、 $A_1 \sim A_8$ が動的空気力係数である。実際には、右辺を左辺に移項し、自由振動と同じかたちの振動方程式となった式を拡張カルマンフィルターのアルゴリズムに組み込む。そして、観測で得た変位波形を取り込み、係数の最適推定値を求める。この際、同定の精度、収束速度を高めるために、重み付きグローバルな繰り返し法¹⁾を用いている。

3. 波形の観測 本研究では、すでに強制加振法により係数が求められている部分模型を使用した。観測では、有風下で、たわみ、ねじれ2自由度の連成自由振動をさせ、その変位波形を時間間隔0.001秒のデジタルデータとして記録した。この際、想定していない自由度の振動による影響を小さくするよう十分注意した。

4. 同定結果及び考察 観測波形からの同定結果の一例を図1に示す。解析は、1秒間(たわみ波形2~3波、ねじれ波形5~6波)の波形を用いて、拡張カルマンフィルターを用いて行なった。しかし、フラッターがおきるような高風速での観測波形を用いた時は、値が収束せず係数の同定が行えなかった。これは、高風速では、2自由度の振動であるにもかかわらず、1つの振動モードしか現われていないということからくる、情報量の少なさのためであると思われる。結果として、得られる係数の風速範囲が狭くなるが、しかしこれは、模型の質量、極慣性モーメントを大きくし、フラッター発現風速を高くすることで、対応することができると思われる。一方、低い風速では、ほとんど10回程度の繰り返しで収束していた。

同定結果には、強制加振法の結果も付記しておいた。しかし、本研究では強制加振法を実施した風洞と、異なる風洞で行ない、両者の風洞の諸元等に違いがある。また、強制加振法の設定振幅と、同一の振幅で自由振動させることが難しく、空気力の振幅依存性を考えると、両者の厳密な比較はできないと思われる。そこで、強制加振法の結果とは定性的な比較を行なうことにする。

結果をみると、ほとんどの係数において値のバラつきが少なく、また強制加振法と同じ様な傾向を示している。したがって、これらの係数においては同定はうまく行っていると思われる。しかし、 A_2 や A_5 、 A_7 のように強制加振法と定性的にみても整合していなかったり、値のバラつきが大きく傾向を読み取りにくい係数も存在する。これは、自由振動波形にその係数の影響が強く現われていないために、同定できないのではないかと考え、フラッター予測値の感度調査を行なった。具体的には、8つの係数のうち1つの係数のみ変

化させ、フラッター発現風速の予測値が、変化させないときに比べ、どの程度変化するかを調べた。その結果、本研究で用いた2つの模型では、ともに、 A_3 、 A_4 、 A_6 、 A_8 を変化させたときに予測値も大きく変わり、これらの係数を知ることが、フラッター解析にとって非常に重要であることがわかった。また、それ以外の係数は、10%程度変化させても予測値が最大で1%程しか変化しないことがわかった。フラッター予測にとって重要な係数については、すでにみたように定性的には一致しており、このような係数は、本方法で十分同定できると思われる。

本方法の検証として、観測時にフラッターの発現した風速を、得られた係数を用いて、予測した。その結果、フラッター解析としては、十分な精度で予測することができた。

5. まとめ 自由振動波形から、拡張カルマンフィルターのアルゴリズムを利用して、動的空気力の同定を行った。その結果、動的空気力係数のうち、フラッター予測に強く影響する係数については、よい精度で同定することができた。動的空気力は断面に依存するため、本研究の結果はまだ一般性のあるものとはいえないが、自由振動法により動的空気力を求める可能性は示せたと思われる。また、連成空気力を直接対象とするこの方法により、空気力の線形重ね合わせの仮定について詳しく検討することができるとと思われる。

6. 参考文献

- 1) 星谷 勝 齊藤悦郎：拡張カルマンフィルターを用いた同定問題の各種振動系への応用 土木工学論文集 第339号 pp59-67 1983年 11月
- 2) 山田 均 宮田利雄 市川 衡：橋桁に作用する連成空気力推定に関する研究 第11回風工学シンポジウム論文集 pp55-60 1990年 12月

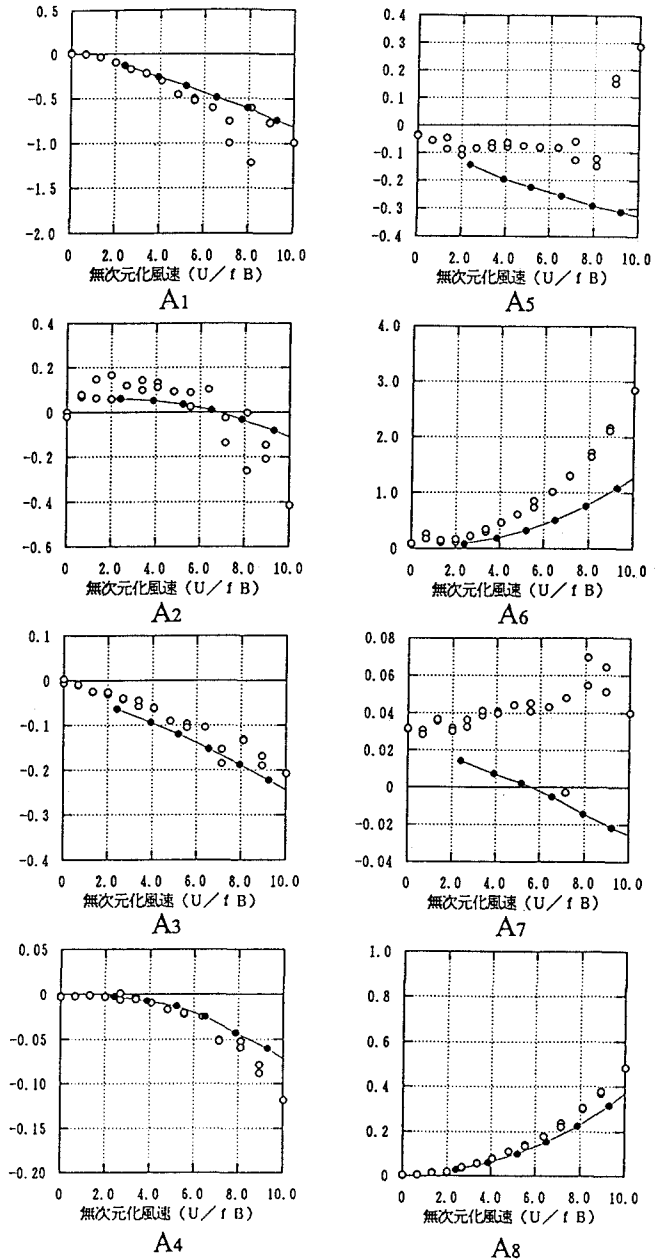


図1.同定結果の一例 ○----- 本方法の結果
●----- 強制加振法の結果