

I-A 229

一般化非定常空気力測定のためのアクティブ制御応用に関する基礎研究

水産庁（研究当時、横浜国立大学大学院）正会員 佐伯公康

横浜国立大学 正会員 宮田利雄

横浜国立大学 正会員 山田 均

1 はじめに 橋桁断面に作用する長大橋梁の設計では、橋桁断面のフラッター特性が重要な検討課題になる。フラッターは自励振動の一種で、構造物の振動と周辺の剥離流れが互いに影響しあう現象であるから、その空気力（非定常空気力）は振動状態に依存する。

風洞試験で橋桁模型に作用する非定常空気力を求める場合、模型自身の慣性力に比べてオーダーが小さいため、力を直接測定すると慣性力の除去法が問題となる。そこで、橋桁模型をバネ支持して風速作用下で自由振動させ、空気力を変位比例項・速度比例項の線形和で表すと仮定した上で、変位の時系列波形から比例定数を推定する手法が広く用いられてきた。しかしこの線形表現は正弦振動時のみ適用可能であり、急発散やランダム振動等、任意の振動状態にあるときに生じている非定常空気力に関してはこれまで実験法・表現法とも存在せずフラッター研究の阻害となってきた。

そこでこの度、模型に任意の振動を実現させ、かつ空気力を適切に求めるはどうすべきかを検討し、自由振動法にアクティブ制御を付加する方法を提案した。これは具体的には、何か制御則を用い、観測される変位から適切な制御力を随時計算して模型に作用させ、目的の振動波形を実現させる方法である。このとき系列上の j 点における振動方程式は

$$m\ddot{x}_j + c\dot{x}_j + kx_j = F_{Aj} + F_{Cj} \quad (F_A: \text{空気力} \quad F_C: \text{制御力})$$

となり、数値計算で速度・加速度を求めれば、式の上での差引き演算で j 時点の空気力が得られる^{下注}。

今回は簡単な振動系に対し制御実験を行い、風洞試験への適用を念頭に置きつつ制御則に関する検討を行ったので、ここに報告する。

（注：このデータを用い、線形式ではない新たな表現法によって空気力を評価することになる。その表現法に関しても現在検討中である。）

2. 制御実験概要 1 自由度振動系にリニアモータ式アクチュエータを接続し、制御実験を行った（図1、表1）。アクチュエータの可動部とマスはワイヤーで接続され、一体となって振動する。なおこの系は無制御時、リニアモータの可動部をガイドするベアリングの摩擦力の影響で減衰性を有する（図2）。

3. 制御則 “任意の振動波形を実現する”ことを目的とした制御実験は過去に例がないようであり、新たな制御則を開発した。それは最適レギュレータ制御を応用したもので、以下の通りである。

◇実験前 時系列上に目標の変位・速度波形を決定しておく。

最適レギュレータ理論に基づき適切なフィードバックゲインを求めておく。

◇実験中、サンプリング周期毎に

1 変位を測定し、差分で速度を求め、その時点の目標値との間のズレからベクトルを作る。（図3）

2 このベクトルにフィードバックゲインを乗じ制御力を決定する。

4. 実験結果 今回は目標を正弦波形に絞った。制御時波形を図4に示す。この結果から次のことが言える。
 >この制御則では、ズレがゼロだと制御力もゼロになることから、目標波形を忠実に実現することは原理上不可能であるが、結果として安定した振動波形が得られる。

>目標振幅を大きくすると、実現波形の振幅も増す。（図4-a,b）

>目標を減衰波形にすると概ね目標通りの減衰が実現できる。（図4-c）発散波形でも同じことが言える。

>目標振動数と固有振動数が異なる場合、実現波形の位相が目標波形とずれるが、ずれの量は一定に保たれる。（図4-d）

>制御力は、今回の実験では減衰力を相殺するような形で発現している。（図4-a）

>自由振動中に位相を考慮せず制御を開始しても、すぐに目標波形に食いつく。（図4-d）

5. 考察 振幅・位相に生じるずれは、一定の傾向に基づくものであるから、これを把握しておいて目標波形を調整すれば、結果的に任意の振動波形を実現できる。

また、今回の最適レギュレータ理論による方法は、想定する振動系のパラメータの変化にも比較的安定した結果が得られ、非定常空気が作用し見かけ上、系の減衰・弾性に変化が起きる場合にも本手法は適用可能と考えられる。

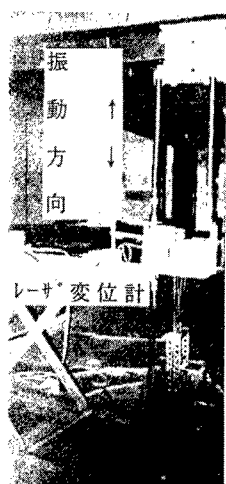


図1 実験装置

表1 振動系諸元

質量	11.69 kg
固有振動数	1.52 Hz
対数減衰率	0.15~0.35 (振幅依存)

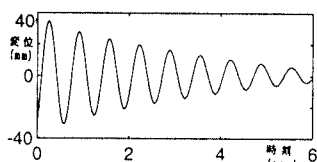
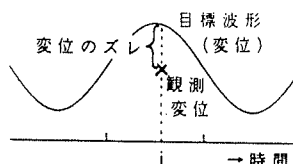


図2 自由振動波形



$$\begin{aligned} &\downarrow \text{ (速度のズレも求める) } \\ &\boxed{\text{制御力}} = -[\text{フィードバックゲイン}] \\ &\quad \times \left\{ \begin{array}{l} \text{速度のズレ} \\ \text{変位のズレ} \end{array} \right\} \end{aligned}$$

図3 制御則

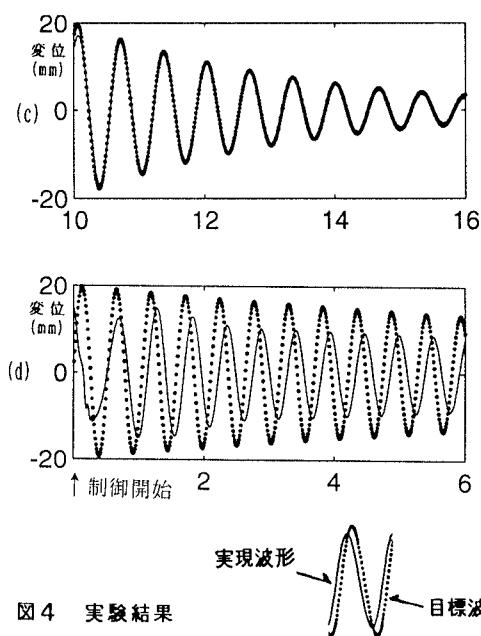
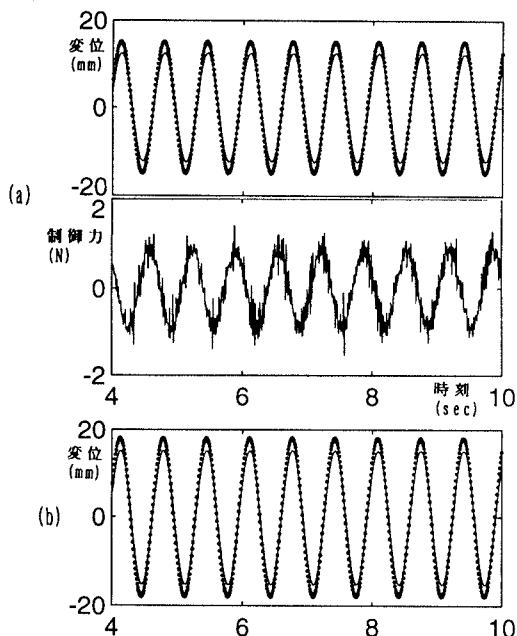


図4 実験結果

