

制御を利用した非定常空気力測定に関する基礎実験

高知工科大学 正会員 藤澤伸光

○ 学生員 小松茂久

1. まえがき 物体の変位に比例する成分（P）とその速度に比例する成分（D）をフィードバックする PD 制御によって非定常空気力測定が理論的に可能なことは既に報告した通りである⁽¹⁾。本報では、この方法の実用化に向けて行った 2 つの基礎実験の結果について報告する。

2. 減衰率付与実験 既報で提案したバネ支点変位を制御する方法の妥当性を確認するために、簡単な 1 自由度系に D 制御を施して系の減衰性を制御する実験を行った。この制御は非定常空気力測定のみならず、自由振動実験にも適用可能であり、通常のダンパーなどでは不可能な負の減衰を付加して構造減衰を低下させることもできることに特徴がある。図 1 に示すように、上バネ反力から質点変位を検出し、その微分に比例する変位を下バネ支点に与えた。

$$m\ddot{y} + (k_1 + k_2)y = k_2x = k_2a\dot{y}$$

ここに、 a は制御パラメータで、 k_2a が制御によって与えられる減衰係数となる。当初、市販のソフトウェアとデジタル制御のリニアモータを用いて上式に忠実なシステムを構築したところ、物体変位検出から下バネ変位出力までの、デジタル系の時間遅れのために設定した制御が実現できなかった。そこで遅れ時間を実測し、これを補正する予測制御を試みた結果、ほぼ満足すべき結果が得られた。図 2 に、制御をかけた状態で、手動で初期変位を与えてから解放して自由振動させた時の振動波形の例を示す。図から明らかなように、機械的なダンパーで減衰を付加した場合と全く同様に、安定な挙動を示している。様々な目標減衰率に対して実現された減衰率を表 1 に示す。本方法では、目標値をコンピュータに入力するだけで極めて高い精度で減衰設定が可能であり、自由振動実験への応用は極めて有用と思われる。なお、負の減衰を与えると発散振動が生じることも確認した。

3. 非定常空気力測定実験 既報で提案した方法は、制御によって定常振動を保つことをベースにしているが、本研究では前段階として PD 制御によって非定常空気力の効果をキャンセルし、その時の制御力から空気力を求める実験を試みた。実験には、装置および制御システムを簡単にするために、図 3 のような前縁を回転中心とする 1 自由度の平板を用いた。

$$I\ddot{\theta} + cr^2\dot{\theta} + (k_1 + k_2)r^2\theta = k_2rx = k_2r(A\dot{y} + By)$$

デジタル系の時間遅れを予測制御で補正する方法は外挿であるため、微

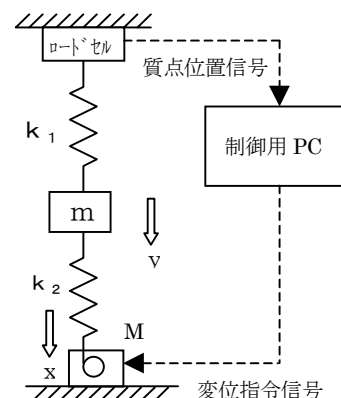


図 1 減衰率付与実験

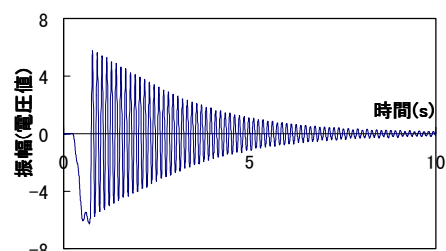


図 2 $\delta=0.05$ 減衰波形

表 1 付与減衰率

目標負荷減衰率	達成減衰率	目標偏差(%)
0.03	0.030	0.49
0.04	0.040	0.44
0.05	0.052	3.99
0.10	0.095	-5.45

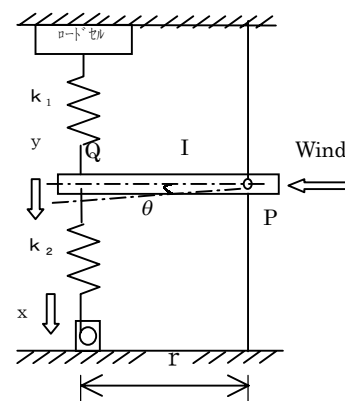


図 3 非定常空気力測定実験

キーワード：非定常空気力，風洞実験，PD 制御

連絡先：高知工科大学 782-8502 高知県香美郡土佐山田町 TEL 0887-57-2417 FAX 0887-57-2420

少な不規則振動などをともなう場合は不安定となることが懸念される。このため、本実験では予測制御を用いず、振動数変化が微少であれば遅れによって生じる位相回転が一定であることから、位相回転を含んだ制御を行ったとみなして空気力を求める方法を用いた。上式から明らかのように、A、Bは、各々、付加減衰、付加剛性を意味する制御パラメータであるが、

実際には時間遅れのために位相が回転して減衰および剛性の両特性に影響を及ぼす。そこで、実際の系では次式のように、A、Bではなく、a、bをパラメータとする制御となっているものとする。

$$\ddot{\theta} + c r^2 \dot{\theta} + (k_1 + k_2) r^2 \theta = k_2 r x = k_2 r (a \dot{y} + b y)$$

図4は、無風時の系の振動数、対数減衰率とパラメータA、Bの関係を測定した結果である。若干のバラツキはあるものの、A、Bと振動数、減衰率はほぼ線形関係にある。そこで、図4のような振動数、減衰率変化をもたらすa、bを求めれば、

a、bを次のようにA、Bの1次結合で表すことができる。

$$\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \mathbf{D} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} \quad \text{ただし、}\mathbf{D}\text{は}2 \times 2\text{の変換行列}$$

なお、実験誤差のため、図4では、振動数、減衰率の変化を表す直線が原点を通っていないが、上記の変換では勾配のみ使用した。

以上の準備を行ったうえで、無風時および風速約7m/sにおける振動数、減衰率を測定し、送風による特性変化をキャンセルする制御を試みた。送風による

振動数、減衰率の変化をキャンセルするようなa、bは容易に求まるから、これを逆変換すれば与えるべきA、Bが求められる。しかしながら、今回の実験では、このようにして求めたA、Bを与えると定性的には空気力の影響をキャンセルする傾向となったものの、定量的には制御量不足であった。このため、試行錯誤的にA、Bを変化させた結果、計算値の2倍に近い値を与えた場合に、ほぼ空気力の影響がキャンセルされた。この時の振動数、減衰率を表2に示す。このA、Bをa、bに変換した後、 $k_2 r$ を乗じて制御モーメントを計算した。計算結果、および平板の理論空気力を表3に示す。実験精度を考えれば、空力モーメントの実部はほぼ満足できる結果と言えるが、虚部は、オーダーが1桁違う結果となっている。理論空気力を作用させた場合の振動数、減衰率を計算した結果は実験値とよく一致したことから、問題は、実際の制御状態を支配しているパラメータa、bの推定方法、換言すればデジタル系の時間遅れの処理方法にあるものと考えられる。

5. あとがき 今回の実験では、定性的には想定した方向の制御が実現できたと考えられるが、空気力測定法として実用化するためには大幅な精度改善が必要である。特に、安価な市販の製品を用いたシステム化を考える場合は、制御の時間遅れの処理が問題であり、今後の課題としたい。

参考文献

1) 藤澤伸光、制御を利用した非定常空気力測定システムに関する基本検討、土木学会第54回年次講演会講演概要集1-B 1999

2) 小松茂久、藤澤伸光、制御を用いた対風応答実験法、土木学会四国支部第6回技術研究発表会講演概集、2000

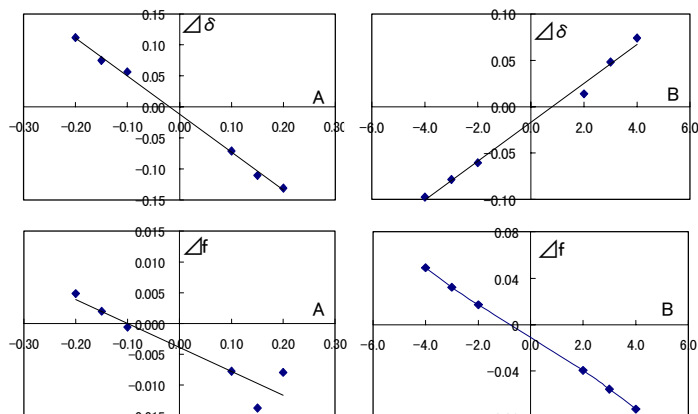


図4 振動特性変化

表2 送風・制御時の振動数・減衰

実験状態	風速(m/s)	周波数(HZ)	対数減衰率
無風時自由振動	0	0.981	0.053
送風時自由振動	7.34	1.030	0.089
送風時自由振動+制御	7.34	0.982	0.050

表3 空力モーメント

	$M_{\theta I}(N*m*s)$	$M_{\theta R}(N*m)$
実験値	0.01230	0.1186
理論値	0.00151	0.1020