

I - B 337 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

高知工科大学 正会員 藤澤伸光

1. まえがき 多数のモードを考慮するなど、フラッタ解析の精緻化、複雑化に伴い、解析の基礎となる非定常空気力の重要性が増している。非定常空気力の測定法には、強制振動法と自由振動法がある。強制振動法は、振動数、振幅などの振動状態が明確であるという利点を持つ反面、慣性力が測定精度を悪化させるという難点があった。本研究では、振動状態が明確であるという利点を保持したまま、慣性力の問題を解決する新しい方法を検討した結果、その実現性に関して見通しを得たので、概要を報告する。

2. 測定システムの概要 自励空気力は物体の運動にともなって発生し、その力が再び物体に作用して、系の減衰性や振動数を変化させる。そこで、空気力とは別のフィードバック系を構築して系の応答が変化しないように制御すれば、制御力が空気力をキャンセルしていることになるので、これから非定常空気力を測定できるというのが基本的なアイデアである。制御力を加える方法としては、図1に示すように、供試模型をバネ支持してバネの支点を制御しながら加振する方法を検討した。

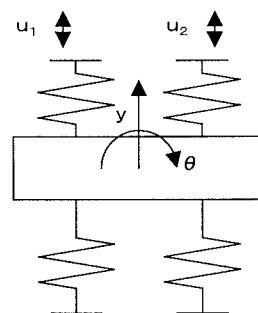


図1 空気力計測システム

3. 制御の方法 たわみ1自由度で加振する場合について述べる。紙面の制約から詳細は省くが、図1の2自由度系が、たわみ1自由度で振動するように

制御する場合の系全体のブロック図は、図2のようにになる。図中のY、 Θ はたわみとねじれの模型変位のラプラス変換、U、Vはたわみとねじれの加振変位 $u=(u_1+u_2)/2$ 、 $v=(u_1-u_2)/2a$ のラプラス変換である。Y→f₂→ Θ →f₁→Yと回るループは、連成空気力の作用を表す。

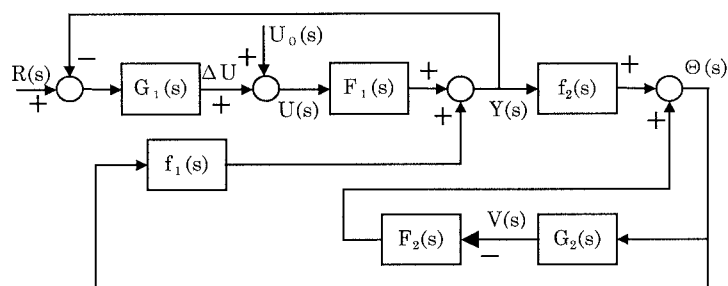


図2 たわみ振動時の空気力測定のための制御

右下の Θ から G_2 、 F_2 を経て Θ に戻

るループは、ねじれ変位を0に抑えるための制御ループである。左上のループはたわみ振動を目標値 R とするためのループであり、ループの中間にある U_0 なる入力、無風時に R なる応答を生じさせる加振変位である。無風時には U_0 によって目標値 R に等しい応答 Y が生じるから、制御力は発生しない。送風によって系の特性が変化し、応答と R に差が生じると G_1 の出力として制御のための加振変位が発生するので、これと U_0 の和が実際の加振振幅となって、応答は R に保たれる。制御のためのコントローラ G_1 、 G_2 の出力から非定常空気力係数を求める。伝達関数 F_1 、 F_2 、 f_1 、 f_2 は、非定常空気力を

$$\text{Lift} = \pi \rho L U^2 k^2 \{ c_{LY,R} y + c_{LY,I} (b/Uk) \dot{y} + c_{L\theta,R} b \theta + c_{L\theta,I} (b/Uk) b \dot{\theta} \}$$

$$\text{Moment} = \pi \rho b L U^2 k^2 \{ c_{MY,R} y + c_{MY,I} (b/Uk) \dot{y} + c_{M\theta,R} b \theta + c_{M\theta,I} (b/Uk) b \dot{\theta} \}$$

で表す時、次のようになる

$$F_1(s) = \frac{2k_1}{ms^2 + \{2(c_1 + c_2) - \pi \rho b L U k c_{LY,I}\} s + 2(k_1 + k_2) - \pi \rho L U^2 k^2 c_{LY,R}}$$

キーワード：非定常空気力、制御、測定法

連絡先：〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町 phone 0887-57-2417 fax 0887-57-2420

$$f_1(s) = \frac{\pi \rho b L U^2 k^2 \{c_{L\theta,I} (b/Uk)s + c_{L\theta,R}\}}{ms^2 + \{2(c_1 + c_2) - \pi \rho b L U k c_{LY,I}\}s + 2(k_1 + k_2) - \pi \rho b L U^2 k^2 c_{LY,R}}$$

$$F_2(s) = \frac{2a^2 k_1}{Is^2 + \{2a^2(c_1 + c_2) - \pi \rho b^3 L U k c_{M\theta,I}\}s + 2a^2(k_1 + k_2) - \pi \rho b^2 L U^2 k^2 c_{M\theta,R}}$$

$$f_2(s) = \frac{\pi \rho b L U^2 k^2 \{c_{MY,I} (b/Uk)s + c_{MY,R}\}}{Is^2 + \{2a^2(c_1 + c_2) - \pi \rho b^3 L U k c_{M\theta,I}\}s + 2a^2(k_1 + k_2) - \pi \rho b^2 L U^2 k^2 c_{M\theta,R}}$$

ここに ρ は空気密度、 L は模型長、 b は半弦長、 k は無次元振動数、 U は平均風速、 k_1 、 k_2 は上パネ、下パネのパネ係数、 a はパネ間隔の半分、 m 、 I は質量、極慣性である。また、伝達関数 G_1 、 G_2 はコントローラの特長で、とりあえず、 $G_1 = G_2 = As + B$ の形とした。以上の伝達関数から、コントローラのゲイン定数 A および B が十分大きい場合、たわみ、およびねじれに関するコントローラの出力 ΔU 、 V から、たわみ加振時の非定常空気力係数が次のように求められる。

$$c_{LY,R} = -2k_1 \operatorname{Re}\{\Delta U\} / \pi \rho L U^2 k^2 \quad c_{LY,I} = -2k_1 \operatorname{Im}\{\Delta U\} / \pi \rho b L U k \omega$$

$$c_{MY,R} = 2a^2 k_1 \operatorname{Re}\{V\} / \pi \rho L U^2 k^2 \quad c_{MY,I} = 2a^2 k_1 \operatorname{Im}\{V\} / \pi \rho b^2 L U k \omega$$

ここに ω は正弦的に振動する目標値 R の角振動数である。

3. 数値計算結果 本研究で提案する方法を実用化するためには、このような制御系が安定であること、従来法を上回る測定精度が期待できること、および支点の加振振幅が過大とならないことなどが必要である。ここでは、斜張橋の箱桁を想定した既往の実験結果¹⁾を参考に、部分模型実験として一般的と考えられる模型の諸定数、および代表的な無次元振動数における非定常空気力係数を設定した上で、数値的に上記の諸問題を検討した。コントローラの伝達関数に関しては、速度項には ω が乗じられることを考慮して $B = 10A$ とし、 A を変化させて、その影響を調べた。まず、安定性であるが、ゲイン定数の増加に伴って特性根の実部は一様に減少すること、測定精度の観点から必要と思われるようなゲイン定数とした場合、特性根は全て負の実根となって系は過減衰状態になることが分かった。加振に用いるモータなどの特性にもよるが、ここで提案するシステムは基本的には安定なものと考えてよいように思われる。

測定空気力の誤差、およびパネ支点の加振振幅とコントローラのゲイン定数の関係を図3、4に示す。計算した無次元風速は $U_r = 15$ で、かなり風速が高く、空気力が相対的に大きい状態である。ここで検討したケースに関する限り、空力モーメントの虚部の誤差が相対的に大きく、1%以下程度の誤差とするためには、 $a = 20 \sim 30$ 程度とする必要があること、加振振幅に関しては空力モーメントの実部が大きいため、ねじれを0に抑えるためのねじれ加振変位が大きくなることなどが分かる。

4. あとがき ここで検討した諸特性は、構造系の特性によっても変わる可能性がある。今後、それらの影響のパラメトリックな調査を行うとともに、リニアモータを用いたシステムの装置化を実施する予定である。

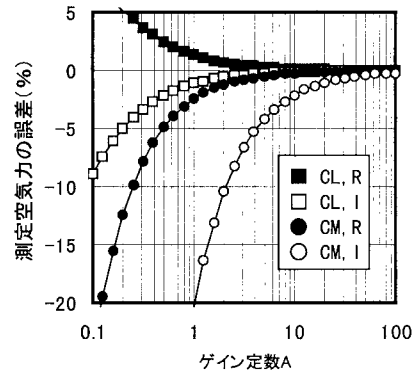


図3 測定空気力の誤差

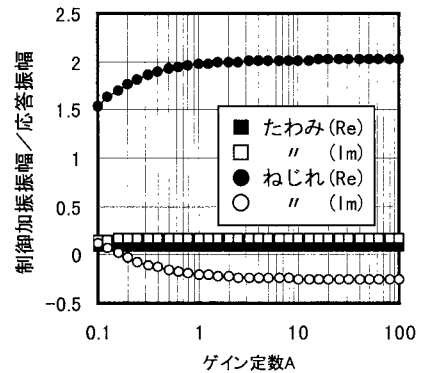


図4 測定空気力の誤差