

1 自由度振動系における空力アドミタンスの評価法

大阪大学工学部 正員 川谷充郎

大阪大学大学院 学生員 ○金 照憲

1. まえがき 最近、構造物の長大化・軽量化に伴って、フラックあるいは渦励振と共に風速変動によるパフエッティングも重要になってきた^{1), 2)}。この適切な評価のためには、変動風速から変動空力への伝達関数である空力アドミタンスを正確に求めなければならない。本研究では、主流方向成分と鉛直方向成分を独立に制御可能なアクティブ乱流発生装置を用い、2次元模型の空力アドミタンスの評価法を提案する。

2. 空力係数の推定方法 **2.1 運動方程式** 乱れを有する気流中における鉛直1自由度系の動的挙動は次のように表せる。

$$M\{\ddot{z}(t) + 2h_z\omega_z\dot{z}(t) + \omega_z^2 z(t)\} = L_B(t) + L_S(t) \quad (1)$$

ここで、 M は質量、 h_z 、 ω_z は無風時の構造物の減衰定数と固有円振動数を示す。また、 $L_B(t)$ と $L_S(t)$ はそれぞれ、気流の乱れによる強制（パフエッティング）空力と構造物の振動に起因する自励空力であり、次のように表すことができる。

$$L_B(t) = (\rho UB/2)\{C_u(fd/U)u(t) + C_w(fd/U)w(t)\}, \quad L_S(t) = (\rho U^2 B/2)\{H_1\dot{z}(t)/U + H_2 z(t)/B\} \quad (2), (3)$$

ここで、 B は構造物の代表長さ、 U は平均風速、 $u(t)$ および $w(t)$ は主流方向および鉛直方向の変動風速である。 $C_u(fd/U)$ 、 $C_w(fd/U)$ は変動風速 $u(t)$ 、 $w(t)$ による変動空力 $L_B(t)$ に関する伝達関数、いわゆる空力アドミタンスを示す。また、 H_1 と H_2 はそれぞれ速度応答および変位応答に依存する自励空力係数である。

式(2)、(3)を(1)に代入すると、次の運動方程式が得られる。

$$M\{\ddot{z}(t) + \{2h_z\omega_z - (\rho UB/2M)H_1\}\dot{z}(t) + \{\omega_z^2 - (\rho U^2/2M)H_2\}z(t)\} = (\rho UB/2)\{C_u(fd/U)u(t) + C_w(fd/U)w(t)\} \quad (4)$$

2.2 自励空力係数 気流の乱れのない一様流中 ($u(t)=w(t)=0$) における構造物の振動数および減衰定数をそれぞれ ω_w 、 h_w とすれば、式(4)より自励空力係数 H_1 、 H_2 が次のように得られる。

$$H_1 = -4M\omega_w\{h_w + h_z(1-f_r)\}/(\rho UB), \quad H_2 = -2M\omega_w^2(1-f_r^2)/(\rho U^2), \quad f_r = \omega_z/\omega_w \quad (5), (6), (7)$$

ここで、 h_w は空力減衰定数で、 $h_w = h_w - h_z$ と定義する。また、実際においては無風時の振動数 ω_z と通風時の振動数 ω_w はほぼ同一であるので、 $H_2 \approx 0$ となる。

2.3 空力アドミタンス 1自由度系の応答 $z(t)$ とその外力 $L_B(t)$ のそれぞれのパワースペクトル $S_z(\omega)$ 、 $S_{L_B}(\omega)$ には次の関係式が成り立つ。

$$S_z(\omega) = |H(\omega)|^2 S_{L_B}(\omega) \quad (8)$$

ここで、 $|H(\omega)|$ は式(4)に示すような1自由度系の周波数応答関数で、次のようになる。

$$|H(\omega)|^2 = \frac{1}{(M\omega_w^2)^2 \{[1 - (\omega/\omega_w)^2]^2 + 4(h_w + h_z)^2(\omega/\omega_w)^2\}} \quad (9)$$

また、変動風速の主流方向成分と鉛直方向成分は互いに独立であると仮定すると、パフエッティング空力のパワースペクトルは次のようになる。

$$S_{L_B}(\omega) = (\rho UB/2)^2 \{|C_u(\omega)|^2 S_u(\omega) + |C_w(\omega)|^2 S_w(\omega)\} \quad (10)$$

本研究では、上式の空力アドミタンス $C_u(\omega)$ および $C_w(\omega)$ を求める目的で、2種類の乱流における2次元模型の応答測定を行う。その1つは主流方向および鉛直方向成分が変動する通常の2次元乱流中での応答であり、もう一つは鉛直方向成分の乱れがなく、主流方向のみが変動する乱流（ u 成分制御乱流）での応答である。このとき主流方向成分は2次元乱流の主流方向成分と同一である。そして、 u 成分制御乱流のパワースペクトルを $S_{uu}(\omega)$ 、そのときの応答のパワースペクトルを $S_{zu}(\omega)$ とすれば、 $S_w(\omega)=0$ および式(8)～

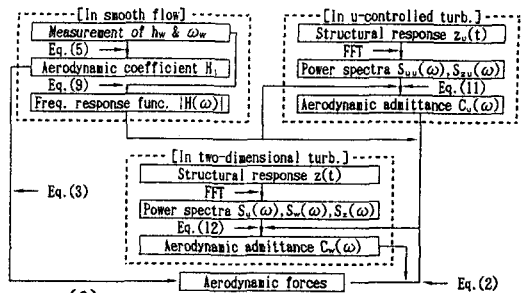


図-1 空力係数の推定プロセス

(10)より、主流方向成分の空力アドミタンスは次のように得られる。

$$|C_u(\omega)|^2 = 4S_{u_u}(\omega)/\{\rho UB\}^2 S_{u_u}(\omega)|H(\omega)|^2\} \quad (11)$$

鉛直方向成分の空力アドミタンスは2次元乱流中での応答と上式の $|C_u(\omega)|$ を用いて次のように得られる。

$$|C_w(\omega)|^2 = 4S_z(\omega)/\{\rho UB\}^2 S_w(\omega)|H(\omega)|^2\} - |C_u(\omega)|^2 S_u(\omega)/S_w(\omega) \quad (12)$$

図-1にここで提案した空気力推定のプロセスを示す。

3. 空気力係数の推定例

3.1 風洞実験概要

実験で用いた風洞は1.8m×1.8mの測定断面を有するゲッティンゲン型風洞で、その風路内に平板列と翼列を持つアクティブ乱流発生装置³⁾を設置した。この装置を用いてカルマンの提案式をターゲットとした前述の2次元制御およびu成分制御乱流のシミュレーションを行った。u成分制御乱流の場合は、翼列を0°に固定し平板列のみを制御した。このときの鉛直方向成分の乱れ強度は1.0%程度で収まった。気流のパワースペクトルの例を図-2, 3に示す。2次元乱流とu成分制御乱流の主流方向成分が等しく、u成分制御乱流の鉛直方向成分のパワーが2次元乱流に比べて1~2桁小さいことが分かる。従って、前節で仮定した理想的な乱流を風洞内に発生させることができた。図-4に示す鉛直1自由度系に支持された辺長比2の角柱模型のパフェッティング応答を測定し、そのパワースペクトルを図-5に示す。表-1には用いた模型の諸元を示す。

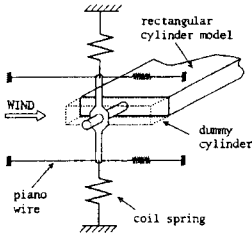


図-4 模型支持系

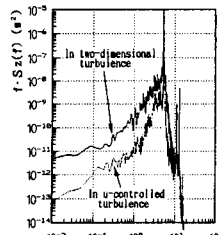


図-5 2次元角柱の応答

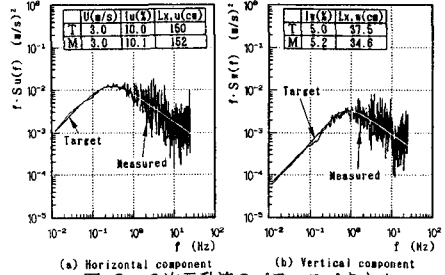


図-2 2次元乱流のパワースペクトル

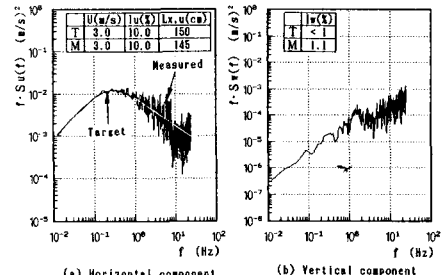


図-3 u制御乱流のパワースペクトル

表-1 模型諸元

Aspect ratio (D/B)	Weight	Natural frequency	Logarithmic decrement
1/2 (D=60mm)	2.52 kg·f	5.32 Hz	0.002

表-2 自動空気力係数

Mean wind velocity (m/s)	2	3	4	5
Aerodynamic damping as logarithmic decrement	0.003	0.028	0.180	0.048
Self-excited coeff. H_1	-0.53	-3.32	-16.0	-3.41

3.2 空気力係数 自由振動法を用いて、一様流における角柱の空力減衰を測定し、式(5)より自動空気力係数 H_1 を求めて表-2に示す。このとき、基準振幅をB/200にした。また、図-5に示した2次元乱流およびu成分制御乱流中の応答より、式(11), (12)に示した空力アドミタンスを求め、図-6に示す。ここで、鉛直方向成分の方が主流方向成分の空力アドミタンスより1桁大きく、鉛直方向成分の変動空気力がパフェッティング応答に大きく関与することが分かる。

参考文献

- 1)横山・佐藤・東久保：第10回風工学シンポジウム論文集，pp.301-312，1988
- 2)加藤・武田：第11回風工学シンポジウム論文集，pp.37-48，1990
- 3)小林・川谷・金・太田・上島：第11回風工学シンポジウム論文集，pp.167-172，1990

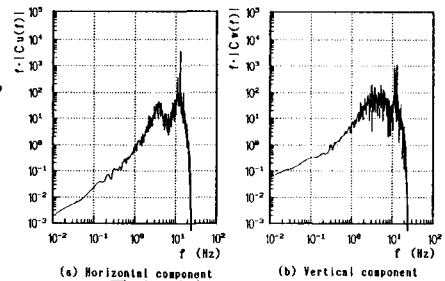


図-6 空力アドミタンス