

徳島大学工学部 正 員 宇都宮英彦

徳島大学大学院 学生員 〇長尾 文明

川田工業 K.K. 正 員 上平 隆章

1. まえがき

長大橋梁の空力不安定現象のなかで、乱れに起因するランダム振動（ガスト応答）は、橋梁部材の疲労問題さらに、走行車両の安全性、快適性などの問題に関与するものとして注目されている。本論文では、正方形断面のたわみ1自由度系ガスト応答について、二次元剛体部分模型を用い、変動風と空気力間の伝達関数である空力アドミッタンスを推定し、それを用いてガスト応答量を算出し、推定した空力アドミッタンスの妥当性を検討するものである。

2. ガスト応答計算手法の概略¹⁾

平均風速 V において、たわみ1自由度系の運動方程式は、たわみ振動速度と比例する動的空気力を考慮することによって、次式で表わせる。²⁾

$$\ddot{\eta} + 2\zeta_0\omega_0\dot{\eta} + \omega_0^2\eta = H_1\dot{\eta} + L_w(t)/m \quad (1)$$

ただし、 η ：模型のたわみ変位、 m ：系の単位スパン当りの質量

ζ_0, ω_0 ：無風時におけるたわみ振動の減衰比および固有円振動数

H_1 ：動的空気力係数 $H_1 = 2(\zeta_0 - \zeta)\omega_0$ 、 ζ ：有風時の減衰比

また、 $L_w(t)$ は鉛直方向変動風による単位長当り変動揚力次式で示される。

$$L_w(t) = \frac{1}{2} \rho d V \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + C_D \right) w(t) \cdot X_L^w(\omega) \quad (2)$$

ただし、 ρ ：空気密度、 d ：模型代表長、 $\left(\frac{dC_L}{d\alpha} + C_D \right) = \frac{dC_F}{d\alpha}$ ：空気力係数勾配さて、変動揚力のパワースペクトル密度関数は、式(2)より求める。

$$S_L(\omega) = \left\{ \frac{1}{2} \rho d V \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + C_D \right) \right\}^2 |X_L^w(\omega)|^2 S_w(\omega) \quad (3)$$

ただし、 $S_w(\omega)$ ：鉛直方向変動風速 w のパワースペクトル密度関数、 $|X_L^w(\omega)|^2$ ：空力アドミッタンス。

次に、たわみ1自由度系の周波数応答関数は、(1)式のフーリエ変換を行うことによって得られる。

$$|H(\omega)|^2 = \left\{ m^2 \omega_0^4 \left[\left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\}^2 + 4\zeta^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right] \right\}^{-1} \quad (4)$$

ただし、 $\zeta = \zeta_0 - H_1^*/\rho d^2/2m$ 、 $H_1^* = m H_1/\rho d^2\omega$ ：無次元動的空気力係数

そして、応答のパワースペクトル密度関数は、次式で与えられる。

$$S_\eta(\omega) = |H(\omega)|^2 \cdot S_L(\omega) \\ = |H(\omega)|^2 \left\{ \frac{1}{2} \rho d V \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + C_D \right) \right\}^2 |X_L^w(\omega)|^2 S_w(\omega) \quad (5)$$

最後に、応答の分散値は、次式で得られる。

$$\sigma^2 = \int_0^\infty S_\eta(\omega) d\omega \\ = \left\{ \frac{1}{2} \rho d V \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + C_D \right) \right\}^2 \int_0^\infty |H(\omega)|^2 |X_L^w(\omega)|^2 S_w(\omega) d\omega \quad (6)$$

図1は、ガスト応答分散値推定の概略ブロック図である。

3. 実験概略

模型寸法が、 $8\text{cm} \times 8\text{cm} \times 60\text{cm}$ のバルサ製正方形断面柱模型を水平支持し、迎角 0° にて実験を行った。変動風は、模型中心から 31cm 上流側に翼 $NACA 65-010$ (弦長 30cm 、スパン長 86cm 上下間隔 15cm で3枚並べたもの) の trailing edge がくるよう

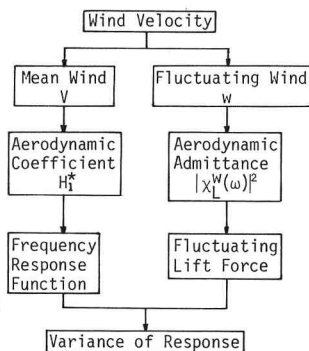


Fig.1

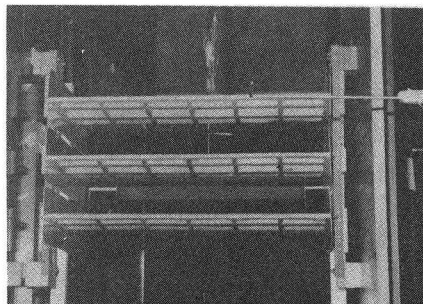


Photo. 1

に設置し、加振機によって強制ねじれ振動を起こし、正弦波状およびランダムガストを発生させた。変動風速および平均風速は、それぞれ、X型熱線風速計およびアスカニア型マノメータで読み取った。変動空気力は、模型両端で支持した荷重計によって測定した。実験風速は、微小振幅が成立する風速として、応答曲線より換算風速(V_{wsd})が2.5および1.25とした。実験風洞内部をPhoto.1に示した。

4. 空カアドミッタンス

(3)式を用いて、空カアドミッタンスを求めたものが、図2である。従来報告されている平板状構造物の空カアドミッタンス³⁾と大きく異なり、換算振動数(ω/ω_0)が0.75付近で、ピークを成している。この換算振動数は、カルマン渦に基づく揚力が、ピークとなる換算振動数に対応している。このことは、正方形断面構造か、平板状構造と異なり、典型的な斜離流れをとまほう断面であることによると考えられる。測定値のバラツキは、測定精度の問題もあるが、入力ガストの影響も大きいものと考えられる。

5. ガスト応答推定

得られた空カアドミッタンスを用いて、式(6)に従ってランダムガストによる応答分散値を推定した。まず、たわみ変位速度に比例する無次元化動的空気力係数 H_1^* (図3)を用いて、周波数応答関数が式(4)より算出される。換算風速2.5(5%)時の周波数応答関数を図4に示す。式(6)の積分は、有限としかつ、空カアドミッタンス、周波数応答関数およびガストのパワースペクトル密度を0.5Hz間隔に分割して近似計算を行った。表1に、応答分散の実験値と推定値とを示した。推定値と実験値と比較すると、一部を除いて、換算倍振幅($2\pi/d$)が0.063と0.15による推定値の間に実験値が入り、ほぼ妥当な推定が行なわれたものと考えられ、推定した空カアドミッタンスおよび動的空気力係数の妥当性を示しているものと思われる。しかし、より精度のよい推定を行うには、 H_1^* の振幅による非線形性の問題を評価することのほか本論文で考慮しなかった主流方向変動風速についても、Horlock関数⁴⁾等を用いた考察が必要であると考えられる。

6. むすび

正方形断面の空カアドミッタンスは、カルマン渦に対応する換算振動数でピークを持つ形状となるように思われるが、カルマン渦成分揚力は、入力ガストがカルマン渦成分を含んでいない時にも、生ずることもあり、乱れの渦励振振動に与える影響についての議論とも関係してくるものと思われる。今後、カルマン渦成分に対する考察が不可欠であると考えられる。

参考文献

1) Davenport A.G.; Buffeting of Suspension Bridge by Storm Wind ASCE. June. 1962.
2) Scanlan R.H.; Theory of the Wind Analysis of Long-Span Bridges Based on Data Obtainable from Section Model Tests, 4th Int. Con. W.E.B.S. 1975. Transverse and Chordwise Gusts, ASME. Dec. 1968.

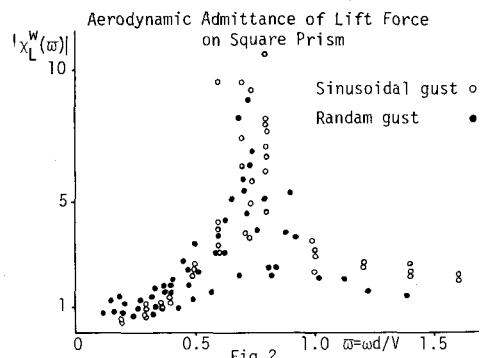


Fig.2

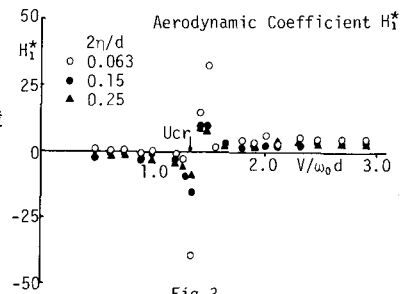


Fig.3

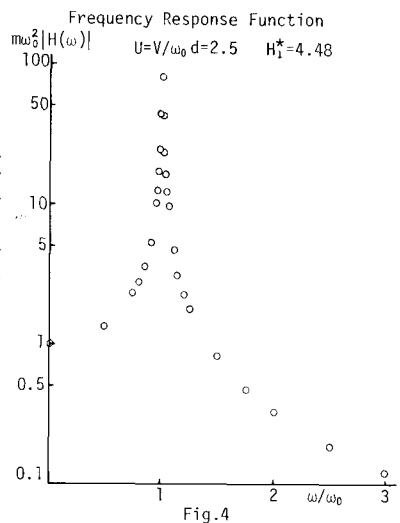


Fig.4

Table 1

Reduced Wind Velocity (V/ $\omega_0 d$)	Wing Frequency (Hz)	I_w (%)	Expe. $\sigma^2 \times 10^7$ (m^2)	Calc. $\sigma^2 \times 10^7$ (m^2)	
				(2 π/d)	
				0.063	0.15
2.5	D.C. 5	5	4.810	2.744	10.81
2.5	D.C. 5	10	6.795	9.390	40.85
2.5	D.C. 5	15	287.4	23.81	103.5
2.5	D.C. 10	5	3.687	1.478	6.428
2.5	D.C. 10	10	15.00	7.512	28.95
2.0	D.C. 10	10	10.10	2.756	11.96

3) 白石・松本・小川・加藤; 自然強風に対する長大橋梁の空力不規則応答特性に関する研究. 京大防災研究所年報, 1977.

4) Horlock J.H.; Fluctuating Lift Forces on Airfoils Moving Through Transverse and Chordwise Gusts, ASME. Dec. 1968.