

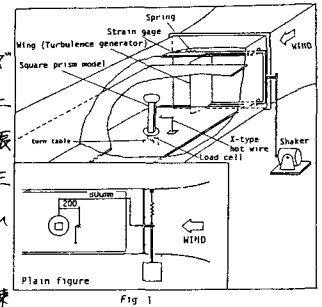
徳島大学工学部 正 員 宇都宮英孝
京都大学工学部 学生員 〇長尾 文明

1. まえがき

自然風の乱れに起因する空力不規則振動(ガスト応答)現象に対して、著者らは、典型的な斜離型断面である正方形断面模型を用い、二次元変動風中におけるたわみ1自由度系のガスト応答に注目した風洞実験による研究を報告してきたが、変動風と変動空気力間の伝達関数である空力アドミッタンス関数および乱流中の空力減衰効果の定量的把握には至っていない。本研究では、正方形断面の空力アドミッタンス関数を、主流直角方向変動風に対して推定し、周波数軸および時間軸におけるガスト応答を、評価するものである。

2. 実験概要

Fig.1に、風洞実験概要を示した。模型は、80mm×80mm×600mmの正方形断面柱であり、鉛直支持とし、迎角0°に設定されている。変動風は、模型中心より80cm上流側に設置したラワン製薄翼(NACA65-010、弦長25cm、スパン長80cm)に、加振機による強制ねじれ振動を与え、ほぼ二次元的に発生させた。この変動風は、主流方向および主流直角方向成分を有しているが、主流方向成分は、相対的に乱れの強さが小さいため、本解析においては、主流直角方向成分のみを対象とした。平均風速および変動風速は、それぞれ、アスカニア型マノメータおよび熱線風速計で読み取った。変動空気力は、模型両端をロードセルと荷重計で固定し模型支持系の剛性を高めて検出した。また、ガスト応答実験は、8本のコイルスプリングで模型を弾性支持して行った。



3. 空力アドミッタンス関数

変動風と変動空気力間の伝達関数である空力アドミッタンス関数の一例として、平均風速 $\bar{V}=5.73\text{ m/s}$ の不規則変動風中における空力アドミッタンス関数の平方根 $|X_L(\omega)|$ を、乱れの強さ I_w をパラメータとして、換算振動数 $\bar{\omega}$ に対して示したのがFig.2である。前報告同様に、ガスト振動数が、換算ストローハル振動数 $\bar{\omega}_{St}$ に接近するにつれて漸増し、換算ストローハル振動数付近において、ピークを形成することが認められる。また、このピーク値は、乱れの強さの増加に伴って減少している。このような特性を有する正方形断面の空力アドミッタンス関数の近似式として、次式を仮定した。

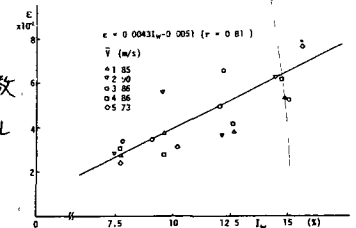
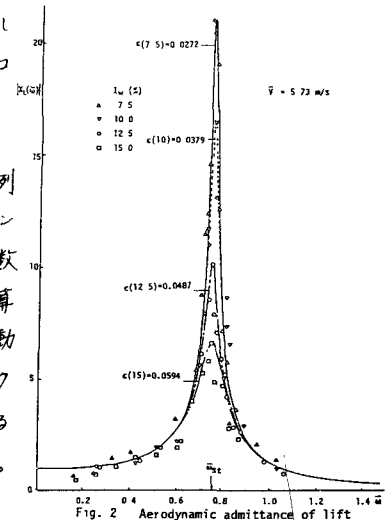
$$|X_L(\bar{\omega})|^2 = \left[\frac{1 - (\bar{\omega}/\bar{\omega}_{St})^2}{4E^2} \right]^2 + 4E^2 \left(\frac{\bar{\omega}}{\bar{\omega}_{St}} \right)^2 \quad (1)$$

ただし、 $\bar{\omega} = 2\pi f d / \bar{V}$

$$\bar{\omega}_{St} = 2\pi S c$$

E ：空力アドミッタンスのピーク形状を決定する乱れの強さの関数
Fig.2中の各線は、それぞれ、各乱れの強さに対してピーク値より E を逆算し近似式より算出したものであり、実験推定値とほぼ一致している。よって、 E が決定されれば、式(1)は、十分適当な近似式と考えられる。

Fig.3は、各平均風速に対して E を逆算し、乱れの強さに対して示した図で



ある。εは、平均風速の大きさにかかわらず、乱れの強さに依存し、両者間には、線形関係が存在することが認められ、次式に示される回帰式が得られる。

$$\varepsilon = 0.0043 I_W (\%) - 0.0051 \quad (2)$$

式(1)(2)より、正方形断面の空カアドミッタンス関数の近似が可能となり、以下この空カアドミッタンス関数の近似式を用いて、周波数軸および時間軸において変動空気力およびガスト応答の推定を行う。

4. 周波数軸におけるガスト応答の推定

Fig. 4(a)に示した変動風のパワースペクトル密度関数を入力とし、空カアドミッタンスの近似式を用いて求めた変動空気力パワースペクトル密度関数の推定値を実測値とともに、Fig. 4(b)に示した。Fig. 4(a)に示した変動風は、応答検出時の測定値であり、変動空気力測定時の変動風と異なっているが、平均風速、乱れの強さが、ほぼ同一条件であるため、近似した空カアドミッタンスの検討のためには、適合よく、結果は、図に示されるように満足すべきものとなり、空カアドミッタンスの妥当性が示されたものと考えられる。さらに、この変動空気力パワースペクトル密度の推定値と空力減衰効果を考慮したたわみ1自由度系の周波数応答関数を用い、応答のパワースペクトル密度を求め、Fig. 4(c)に実測値とともに示した。6 Hz近傍のピークは、ローリング振動であることを考慮すると、ほぼ妥当な推定が行われたものと考えられる。また、表1には、応答の分散値の推定値と実測値が示されており、空力減衰を応答の自己相関関数の包絡線より求めて推定した分散値は、実測値とほぼ一致していることが認められる。空力減衰の値は、応答量の推定に大きく影響する因子であり、応答振幅、平均風速、乱流特性等によって変化するため、その定量的把握が今後の課題である。

5. 時間軸におけるガスト応答の推定

近似した空カアドミッタンスのフーリエ逆変換により、時間軸における変動風と変動空気力間の伝達関数である空力応答関数が、次式で与えられる。

$$h^*(t) = \omega_{st}(1 - \varepsilon)^{-1/2} e^{-\omega_{st} t} \sin \omega_{st} \sqrt{1 - \varepsilon^2} \cdot t \quad (3)$$

Fig. 5は、アナログ計算機を使用し、式(3)を用いて推定した変動空気力(上段)と実測値(中段)および入力変動風(下段)の時間記録を示したものである。さらに、Fig. 6は、変動空気力推定値(最上段)、周波数応答関数のフーリエ逆変換より求める系の単位インパルス応答関数を用いて推定した応答値(2段目)と実測応答値(3段目)、さらに、入力変動風(最下段)を示したものである。両図より、変動空気力、応答は、その振幅および変動特性が、概略的に模擬できることが認められる。

6. おさび

正方形断面の空カアドミッタンスは、換算振動数と主流直角方向変動風の乱れの強さを用いて、周波数応答関数と類似した関数形で近似でき、この近似式の使用により、ガスト応答現象の概略的説明が可能となるが、より詳細な推定には、主流方向変動風の乱れの強さを用いた考察が必要であると考えられる。

参考文献 (1)宇都宮、長尾、上平：角柱構造物のガスト応答について、年次学術講演会報告書、1980。

(2)宇都宮、長尾：箱形断面構造物のガスト応答におけるStrouhal成分の影響について、土木学会論文報告書、1980。

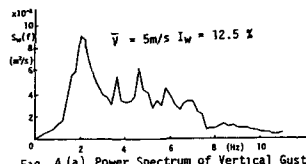


Fig. 4 (a) Power Spectrum of Vertical Gust

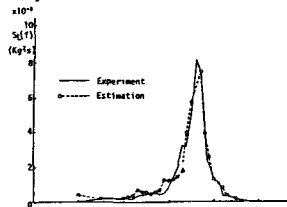


Fig. 4 (b) Power Spectrum of Lift

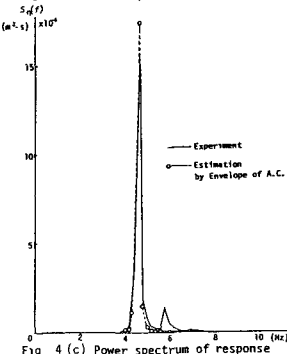


Fig. 4 (c) Power spectrum of response

Table 1 Variance of Response

Reduced Velocity $V/\sqrt{I_w}$	I_w (%)	Variance of Response			$\sigma^2 \times 10^4$ (m ²)
		Estimation		Envelope of A C	
		n/d 0.03	n/d 0.062		
0.79	7.5	0.72	0.76	0.58	1.73
	12.5	3.83	2.93	2.6	3.10
	7.5	67815.69	16654.78	1063.70	1786.53
1.49	10.0	962.21	1390.69	901.06	1489.72
	12.5	445.22	905.17	610.55	643.21
	15.0	503.38	578.95	578.75	504.69
2.16	7.5			131.21	294.07
	10.0			331.02	434.03
	12.5			406.9	542.64
	15.0			445.3	640.25

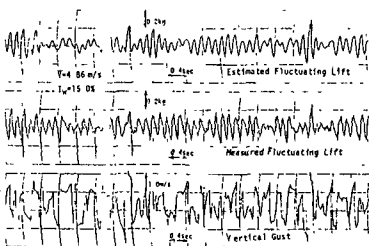


Fig. 5 Time Dependent Lift

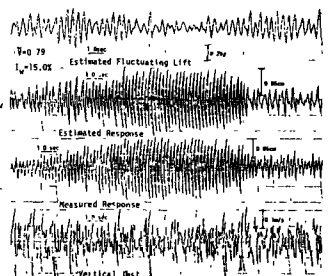


Fig. 6 Time Dependent Response