

構造基本断面の複素空力アドミッタンス関数に関する実験的研究

Hitz 日立造船(株) 正会員 畑中 章秀 正会員 田中 洋

1. はじめに

長大橋梁の耐風設計において、自然風の乱れに起因するガスト応答評価は非常に重要である。ガスト応答解析には周波数領域解析と時間領域解析があり、一般的には前者が用いられているが、最近、時間領域解析の精緻な解法も提案されている¹⁾。一方、著者らはガスト応答解析の解析パラメータの一つである空力アドミッタンス関数に着目した研究を続けており²⁾、本論文では、新たに位相情報を考慮した空力アドミッタンス関数、すなわち、複素空力アドミッタンス関数に着目した研究を行った。具体的にはNACA0012翼断面および矩形断面を対象として、アクティブ制御された乱流中³⁾で変動空気を計測し、複素空力アドミッタンス関数を算定した。さらに、算定された複素空力アドミッタンス関数を用いて等価キスナー関数を計算し、上記の構造基本断面の過渡空力特性の違いについて調査した。以下、その詳細について述べる。

2. 複素空力アドミッタンス関数および等価キスナー関数の算定

剛支持にされた2次元部分模型に作用する変動風とそれによって生じる変動空気力から算定される伝達関数より複素空力アドミッタンス関数を算定する。ここでは、変動揚力および変動空力モーメントが鉛直方向成分の気流変動によって生じるものと仮定し、各々の複素空力アドミッタンス関数 $X_L(f)$ 、 $X_M(f)$ を次式により算定した。

$$X_L(f) = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{2} \rho U B \left(\frac{dC_L}{d\alpha} + C_D \frac{A}{B} \right) \right\}} \frac{F_L(f)}{F_w(f)}, \quad X_M(f) = \frac{1}{\left(\frac{1}{2} \rho U B^2 \frac{dC_M}{d\alpha} \right)} \frac{F_M(f)}{F_w(f)} \quad (1)$$

ここに、 ρ ：空気密度、 U ：平均風速、 B ：模型幅、 $dC_L/d\alpha$ ：揚力係数勾配、 C_D ：抗力係数、 $dC_M/d\alpha$ ：空力モーメント係数勾配、 $F_L(f)$ ：変動揚力の複素フーリエ成分、 $F_M(f)$ ：変動空力モーメントの複素フーリエ成分、 $F_w(f)$ ：鉛直方向の変動風速成分の複素フーリエ成分

なお、式(1)で与えられる伝達関数の計算には2次元自己回帰(AR)モデルによる計算アルゴリズム⁴⁾を利用した。さらに、式(1)で与えられる複素空力アドミッタンス関数から式(2-1)に従い等価キスナー関数 $\Psi_{L(or M)}(\tau)$ を算定した。キスナー関数は薄翼のシャープエッジガストに対する理論過渡揚力であり⁵⁾、式(2-2)で示される近似式が与えられている。

$$\Psi_{L(or M)}(\tau) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X_{L(or M)}(k)}{k} e^{ik(\tau-1)} dk \quad (2-1) \quad \Psi(\tau) = 1 - 0.5e^{-0.13\tau} - 0.5e^{-\tau} \quad (\text{キスナー関数・薄翼理論関数}) \quad (2-2)$$

ここに、 i ：虚数単位 ($i = \sqrt{-1}$)、 $k(\omega b/U)$ ：換算振動数、 $b = B/2$

3. 実験概要

複素空力アドミッタンス関数を算定するためには、変動風速(入力)と変動空気力(出力)の時系列を同時に計測する必要がある。しかし、格子乱流や境界層乱流のように空間的に変動風速の時系列が変化するような乱流場では、入力となる変動風速時系列そのものを特定することが難しく、複素空力アドミッタンス関数を算定することは非常に困難と考える。

そこで、著者らは、アクティブ乱流発生装置により生成される2次元乱流場で変動空気力を計測し、複素空力アドミッタンス関数を算定した。図1に実験装置の概要を示す。風路の上流側にアクティブ乱流発生装置を、その下流には非定常空気力測定装置を配置しており、静止模型に作用する変動空気力を計測した。詳細は文献3)に記載されているが、アクティブ乱流発生装置によりほぼ2次元に近い変動風を生成することができる。変動風速は模型を除去した状態での模型中央(翼列下流端から1680mm下流側)でX型熱線流速計で計測した。

キーワード ガスト応答、複素空力アドミッタンス関数、等価キスナー関数、アクティブ乱流発生装置

連絡先 〒550-0002 大阪市西区江戸堀2-6-33 Hitz 日立造船(株) 鉄構事業本部 TEL06-6447-6054

実験では、変動風と変動空気を同時に計測するわけではないが、コンピュータ制御された装置により生成される変動風には再現性があり³⁾、ほぼ同時計測に近い状態での計測が可能となる。なお、本論文では NACA0012 翼断面と幅高さ比 (B/D) が 7.5 の矩形断面についての計測結果を示す。

4. 実験結果

図 2 に実験結果を示す。NACA0012 翼断面についてはいずれもほぼ理論関数に一致する結果が得られており、本計測結果の妥当性を示すことができたと考える。次に、矩形断面

(B/D=7.5) をみると、揚力についてはほぼ理論関数に近い傾向を示すが、空力モーメントについては、特に、無次元周波数 fB/U が 0.1 前後で理論関数と大きく異なる傾向を示す。等価キュスナー関数をみると、準定常値 (=1) よりも一旦大きくなり、その後、準定常値に漸近する傾向が認められる。矩形断面 (B/D=7.5) の空力モーメントに関しては断面特有の過渡空力特性が顕著に表れている。なお、等価キュスナー関数の計算結果において、準定常値に漸近しないケース（特に、B/D=7.5、モーメント）が見られるが、その原因究明が今後の課題と考える。

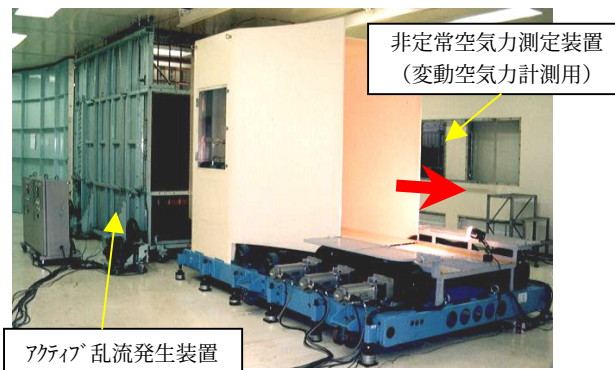


図 1 実験装置の概要

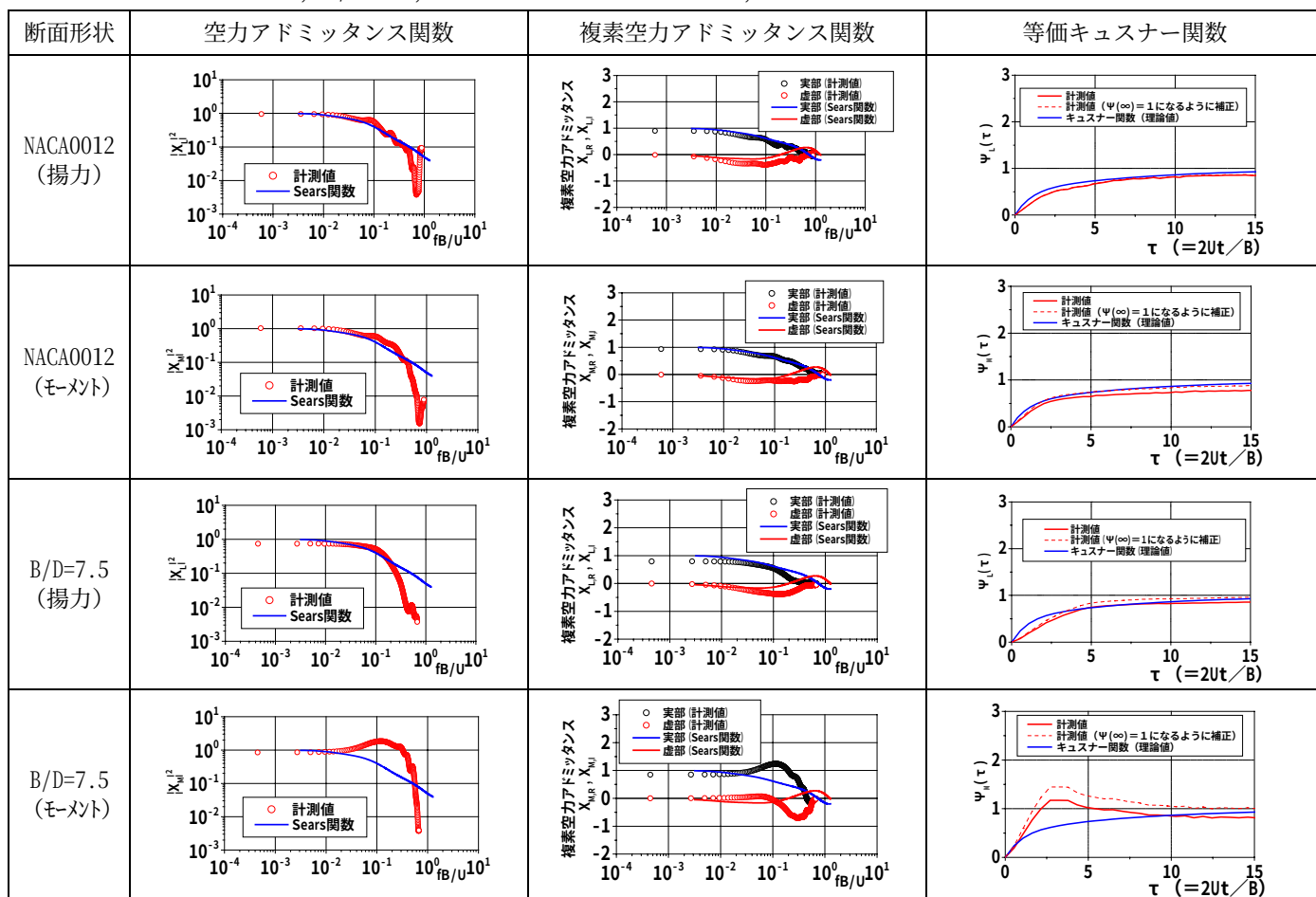


図 2 実験結果

5. 結論

本論文では、アクティブ制御された乱流中で変動空気を計測し、構造基本断面の複素空力アドミタンス関数を算定した。NACA0012 翼断面については理論関数にほぼ一致する結果を得ることができた。今後、更なる精度検証を進めるとともにガストによる変動空気の生成メカニズム等について検討する所存である。

参考文献 1) X.Chen & A. Kareem, J.of Engineering Mechanics, Vol.129, No.8,2003, 2) A.Hatanaka & H.Tanaka, JWEIA, Vol.90, 2002, 3) H.Kobayashi, A.Hatanaka & T.Ueda, JWEIA, Vol.53,1994, 4) 清水信行・千葉利晃：パソコンによるランダム信号処理, 共立出版, 1994, 5) Y.C.Fung: An Introduction to the Theory of Aeroelasticity, Dover Publications Inc., 1969.