

京都大学大学院 学生員 北川 雅章
京都大学工学部 正員 白石 成人
京都大学工学部 正員 松本 勝

1. はじめに 本研究においては、主流風速がステップ関数的な変化を行う場合に、構造基本断面に発生する非定常空気力の測定を行い、パラメトリックに決定された空力インディシャル関数と、非定常空気力係数 H^* および空力システム関数より推定される等価Wagner関数および等価Küssner関数とを比較・検討することにより、断面に発生する非定常空気力の発生機構・時間過渡特性に対し考察を加えるものである。

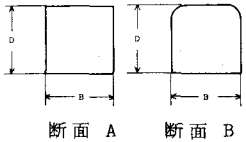


Fig. 1 断面図

2. 風洞実験 Fig. 1 に示す断面 A, B を対象として、3 種類のそれぞれ異なる風洞実験を行った。一つは、一樣気流中でバネ支持した断面に発生した非定常空気力を測定し、鉛直にのみ速度 (V) に比例する非定常空気力係数 H^* を求め、これより等価Wagner関数を推定した。他の一つは、鉛直周期変動気流中において固定された断面 A, B に作用する変動空気力を測定し、空力システム関数を推定し、等価Küssner関数を求めた。これらの実験より求めた等価Wagner関数、等価Küssner関数を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。図に示されるように断面 A, B ともに両者は比較的良好一致をみている。断面 A, B は、迎角 0° 付近で静的揚力係数勾配が負であり、ギャロッピング現象の生じる空力的に不安定なものでこの特性に対応して Fig. 2, Fig. 3 で示されるように、非定常揚力は、一旦準定常値と逆方向に 4~5 倍のレベルに達し、その後準定常値へ漸近している。最後の実験として、Fig. 4 に示されるような吸込式風洞(断面 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 、長さ 180 cm) の下流側にシャッターを設け、これを閉塞状態より急激に開放状態にすることにより、風洞内にステップ関数的な主流風速を発生させ、このとき断面に発生する非定常空気力を模型両側に取り付けたロードセル型 AC 天秤により測定した。この結果の一例(断面 B、迎

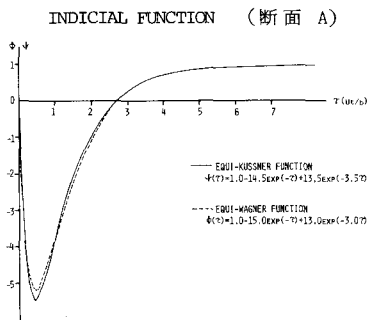


Fig. 2

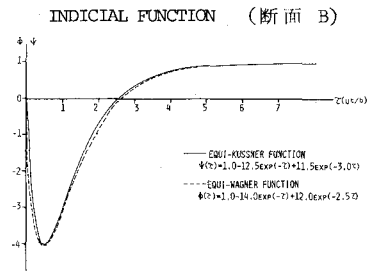


Fig. 3

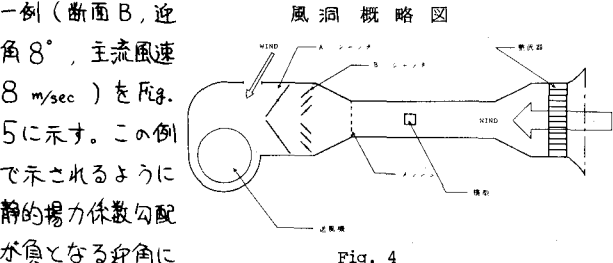


Fig. 4

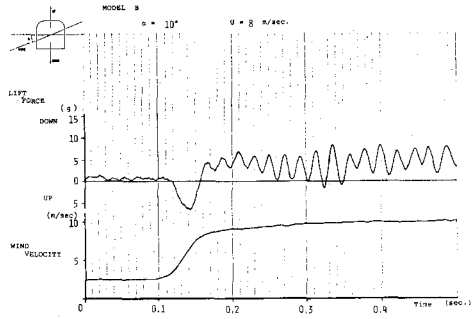


Fig. 5 実験結果一例

角 8° 、主流風速 8 m/sec) を Fig. 5 に示す。この例で示されるように静的揚力係数勾配が負となる迎角において、揚力は、一旦準定常値と逆方向に働き、その後準定常値に漸近している。なお、非定常揚力波形にみられる周期成分は、断面背後に生じる Karman Vortex による変動空気力である。Fig. 5 にみられる非定常揚力の形状は、Fig. 2 と Fig. 3 に示された等価Wagner関数、等価Küssner関数の形状とよく似ている。したがって、主流風速がステップ関数的に変化する場合は空力インディシャル関数も等価Wagner関数、等価Küssner関数などと同様に、2 個の指

数関数の和として近似できると仮定する。すなわち、空カインディシャル関数 $\Psi(\tau)$ を次式 (1) のように4個の未知数 a, b, c, d を含む式で表わす。

$$\Psi(\tau) = 1 - \frac{a}{b} e^{-b\tau} - \frac{c}{d} e^{-d\tau} \quad \text{ただし、} \quad \frac{a}{b} + \frac{c}{d} = 1 \quad (1)$$

3. インディシャル関数の評価 主流風速の時間変動特性がステップ関数のとき、その非定常揚力の過渡状態を表わす空カインディシャル関数は、式 (1) のように表わされるが、実験における風速変化特性が完全なステップ関数ではなく、ある時間後に定常レベルに達している。このような気流が作用したときに実験で得られた非定常揚力を生じさせるための空カインディシャル関数を未知数 a, b, c, d の変化により、パラメトリックに決定した。このとき、非定常揚力 $L(\tau)$ は、次式 (2) で表わされる。

$$L(\tau) = \frac{1}{2} \rho (2b) l C_F \int_{-\infty}^{\tau} U(\tau-\sigma)^2 \frac{d\Psi(\sigma)}{d\sigma} d\sigma \quad (2)$$

数値計算結果を Fig. 6 と Fig. 7 に示し、このときの空カインディシャル関数をそれぞれ Fig. 8 と Fig. 9 に示す。断面 A の空カインディシャル関数は、 $\tau = 0.5$ においてピーク値約 -13 を持ち、これは Fig. 2 の等価 Wagner 関数、等価 Küssner 関数の約 -5 に対して、約 2.6 倍である。また、揚力レベルが 0-cross するまでの無次元時間 τ は約 5 であり、Fig. 2 の約 2 倍となっている。同様に、断面 B の空カインディシャル関数は、 $\tau = 0.5$ においてピーク値約 -16 を持ち Fig. 3 の約 -4 に対して、約 4 倍である。また、0-cross までの無次元時間は、約 2 倍と長くなっている。以上の結果は、鉛直ガストあるいは一様気流中での断面姿勢変化がステップ関数である場合の等価 Küssner 関数、等価 Wagner 関数がステップ関数の 1 次の表現で表わされるのに対し、主流風速がステップ関数的に急変する場合の空カインディシャル関数がステップ関数の 2 次 $[U(\tau)]$ として表現されるために、非定常性の強いものになったと判断される。

4. 結論 主流風速がステップ関数的に変化する場合の揚力の過渡特性は、Küssner 問題、Wagner 問題の揚力の過渡特性に比べて非常

に非定常性の強いものとなる。構造断面によっては、過渡状態で一旦準定常の状態の逆方向に準定常値の数倍の力が作用する場合も考えられる。このような過渡的に瞬間に作用する過大な力は、風速の変化特性によりその程度が異なるものの、竜巻などのように、移動速度が極めて速く、通過地点での風速変化が急激であり、かつ烈風あるいは強風を伴う場合には、このような過大な力が作用すると十分考えることができる。

謝辞 最後に、本研究の遂行にあたり、京都大学工学部助手 白土博通氏ならびに、京阪電鉄 松村修一氏の御協力に対し、心より謝意を表す。

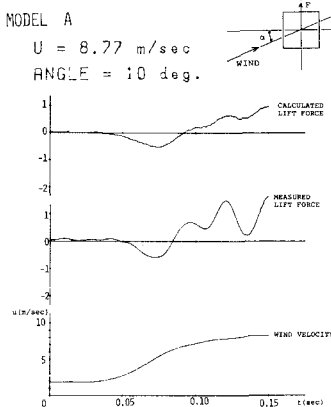


Fig. 6 数値計算結果

INDICIAL FUNCTION (断面 A)

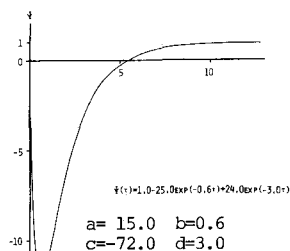


Fig. 8

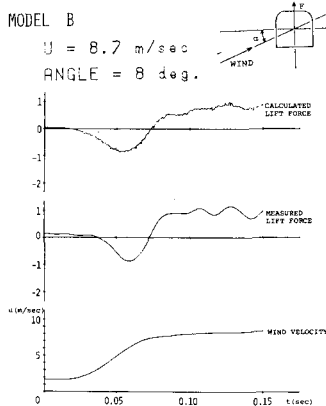


Fig. 7 数値計算結果

INDICIAL FUNCTION (断面 B)

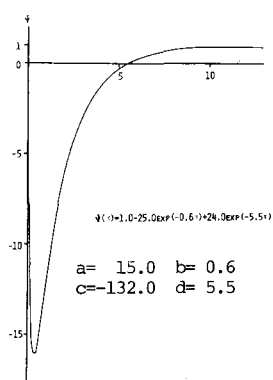


Fig. 9