

京都大学 学生員 加藤 隆

京都大学 正員 白石 成人

京都大学 正員 松本 勝

1. まえがき

自然風の乱れに起因する空力不規則振動現象の研究は、A. G. Davenport⁽¹⁾の研究に代表されるように周波数軸における統計的手法が用いられ、極値分布理論によって最大応答期待値を求めるという定常確率統計解析の形で行われてきた。これに対し長大吊橋のような長周期振動系に台風等のようにその風速あるいは風向に強い非定常性がみられる強風が作用するときには、その応答解析は必ずしも定常統計解析だけでは不十分であり、その非定常性を知る上でも時間軸での過渡応答解析によっても併せて検討されるのがより妥当ではないかと考えられる。本研究はこの第1段階として問題を二次元にしぼり、時間領域における過渡応答解析においてその評価が重要となる風速から空気力へ変換する構造断面固有の空力システム関数に注目し、風洞実験によっていくつかの橋梁基本断面の空力システム関数を求め、それについて若干の考察を加えるものである。

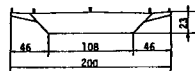
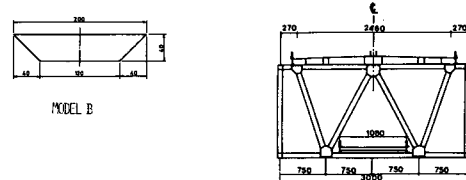
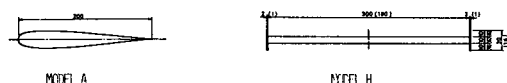
2. 二次元空力システム関数

周期的に変動する二次元気流（鉛直変動風速）と、それによって二次元構造断面に作用する変動空気力（揚力、ピッチングモーメント）とを関連づける無次元周波数関数を二次元空力システム関数とよび、式(1)で定義する。R. T. Jones⁽²⁾は薄平板がSharp Edge Gustをうけた場合の空気力の過渡特性を表わすKüssner関数の近似として空間および時間の座標原点を断面のLeading Edge にとってインディシャル応答関数ならびにその τ に関する1階微分と与えられる空力衝撃応答関数をそれぞれ2種類の指数関数の和の式として提案している。ここで薄翼や薄平板に限らず一般の構造断面についても空力衝撃応答関数を2種類の指数関数の和として式(2)のように表わせるものと仮定し、Sharp Edge Gustが空間的に $- \infty$ から $+\infty$ まで分布すれば空気力は準定常値を示すという条件を導入すると、3個の独立な係数 a 、 b 、 d を用いて空力衝撃応答関数、インディシャル応答関数、空力システム関数はそれぞれ式(3)のように表わせる。

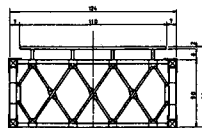
$$\left. \begin{aligned} L_f &= \frac{dc_F}{d\alpha} \rho b \bar{u} u_0 e^{i\omega t} \phi_L(k) \\ M_f &= \frac{dc_M}{d\alpha} \rho b^2 \bar{u} u_0 e^{i\omega t} \phi_M(k) \\ k &= b\omega / u \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} h(\tau) &= ae^{-b\tau} + ce^{-d\tau} \\ h(\tau) &= ae^{-b\tau} + \frac{d}{b}(b-a)e^{-d\tau} \end{aligned} \right\} (2)$$

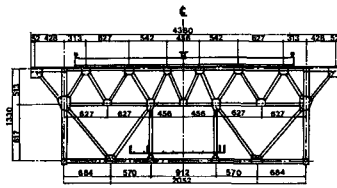
$$\left. \begin{aligned} \phi(\tau) &= 1 - \left(\frac{a}{b}\right)e^{-b\tau} - \left(1 - \frac{a}{b}\right)e^{-d\tau} \\ |\phi(k)| &= \left\{ \frac{\xi^2 (AD - A - D)^2 + D^2}{(\xi^2 + 1)(\xi^2 + D^2)} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \text{ただし } \xi &= \frac{k}{b}, A = \frac{a}{b}, D = \frac{d}{b}, a > 0, b > 0, d > 0 \end{aligned} \right\} (3)$$



MODEL BS



MODEL T



MODEL LTB

Fig. 1

3. 実験結果

実験で対象とした断面はNACA0012型薄翼(model A), 逆梯型(model B, BS), H型<桁高は弦長の $\frac{1}{10}$ >(model H), トラス(model T)の計5種類であり, 他に, 耐風実験橋(LTA, LTB)については, 文献(3)で報告された結果をもとに, ガスト空力関数に検討を加えたものである。(Fig1参照)

揚力に関する空力システム関数については換算振動数 k の

増加にともなって $|\phi_L(k)|$ 値が1.0より漸減する特性を示すタイプ(Fig. 2)と, ある k の値では1.0より大きくなる

タイプ (Fig 3) がある。一方ピッチングモーメントに関する空力システム関数については、model B や model H のように k の増加にともない、ある k 値までは $|\phi_M(k)|$ 値が 1.0 より大きくなり、以降減少するタイプ (Fig 4) と model BS のように 1.0 から漸減するタイプがある。

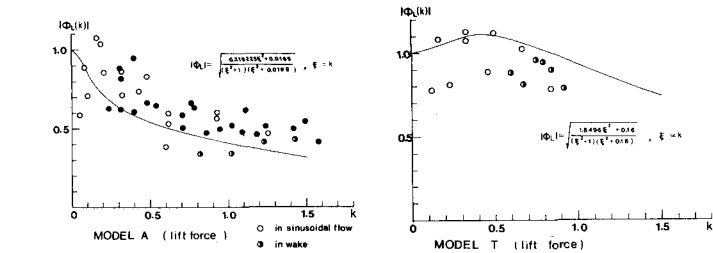


Fig 2

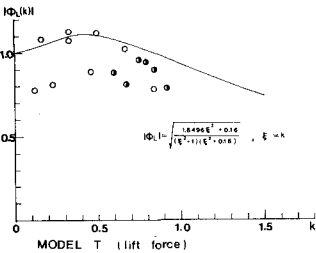


Fig 3

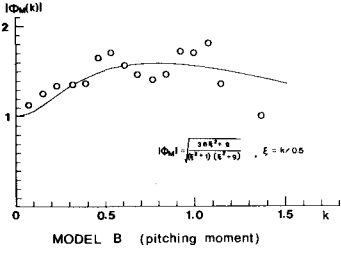


Fig 4

Fig 4 および Fig 5 は各断面についてのインディシャル応答関数、空力衝撃応答関数をそれぞれ示したものである。また Fig 7 は空間および時間の座標原点を弦中央点に設定したときの空力システム関数の Real Part, Imaginary Part の近似曲線を実験結果とともに示したものである。

4. まとめ

揚力に関する空力システム関数は、H型断面や逆梯形断面のような剥離をとまなう断面形状についても薄翼断面の結果と傾向的に同じ特性を示したのに対し、トラス断面の場合はやや異なった特性を示し、換算振動数 k の小さい領域では振動数の増加にともないシステム関数の減少の割合が比較的小さく、準定常特性が強い断面であると考えられる。また H型断面や逆梯形断面の model B でのピッチングモーメントに関する空力システム関数は固有の特性を示し、概して時間過渡状態の強い断面であると考えられるのに対して、model BS は比較準定常特性が強いといえる。さらに本研究で対象としたような比較的偏平な構造断面については、各種橋梁基本断面の空力衝撃応答関数を、独立な 3 個のパラメータをもつ 2 種類の指数関数の和と仮定したとき空力システム関数の Real Part および Imaginary Part の関係を近似的に決定した 3 個のパラメータを用いて求めた曲線と実験値が比較的一致し、位相特性も追従しうることがわかった。

5. あとがき

今後の課題として本研究で推定された各種タイプの空力システム関数を用いて、非定常性の比較的強い気流を入力とした場合の鉛直たわみ振動およびねじれ不規則振動解析を行ない、従来の定常統計解析結果と対比させるとともに、さらにスパン方向にある相関を有する変動風速をシミュレートし、モデル化された台風等の強風のもとでの実橋の空力ガスト不規則振動を検討することなどが考えられる。

- (1) A. G. Davenport, "A Statistical Approach to the Treatment of Wind Loading of Tall Masts and Suspension Bridges," PhD Dissertation, Univ. Bristol, March, 1961
- (2) Y. C. Fung, "An Introduction to the Theory of Aeroelasticity," John Wiley, New York, 1955
- (3) 土木学会・本州四国連絡橋耐風小委員会, "本州四国連絡橋の耐風実験橋に関する調査研究報告書(その2)" 昭和53年10月

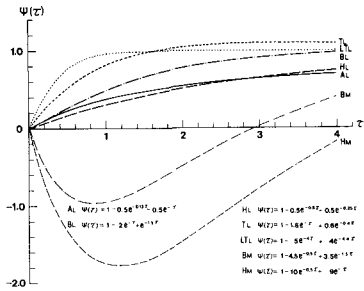


Fig 5

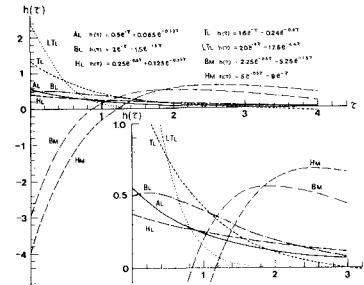


Fig 6

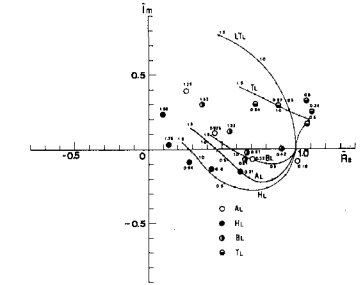


Fig 7