

橋梁のガスト応答に関する基礎的研究(第3報)

九州産業大学工学部

正員 吉村 健

九州大学応用力学研究所

正員 中村泰治

九州産業大学大学院

学生員 荒牧信介 角田榮治

[1] まえがき 著者らは、橋梁のガスト応答を時間領域において推定するために、sharp-edged gust 発生用特殊水路を用いて、数種の充腹断面に対する過渡揚力応答を測定した。^{1),2)} 本報告ではこれらの過渡揚力応答をフーリエ変換して周波数応答関数を推算し、周波数領域における揚力応答特性について考察する。また、sharp-edged gust に突入した時の充腹断面まわりの流れの観察を行ない、過渡揚力の発生について流れ学的考察を加える。

[2] 周波数応答 (1) 流体系の線型性 既報のように、図-1に示す4種の断面の2次元模型を用いて、過渡揚力応答の測定値を得た。²⁾ 周波数応答関数は、これらの測定値をフーリエ変換する事によって推算されるが、線型系の仮定のもとでのみ変換可能である事はいうまでもない。そこで、周波数応答関数を求めるにあたり、まず、流体系の線型性について検討した。

図-2は、種々の有効迎角 $\alpha = w/v$ に対する図-1dの充腹断面の過渡揚力応答 $\bar{L} = L/(2\rho g b v^2 \alpha)$ の測定結果であり、横軸に無次元時間 $\tau = Vt/b$ を取り図示したものである。ここに、 w はガストの流速、 V は主流の流速、 $b = C/2$ は半弦長、 ρ は水の密度、 t は実時間を表わす。図中で $\tau = \infty$ に対する値は定常揚力である。 $\alpha > 3^\circ$ の有効迎角範囲では応答に非線型性が認められるが、 $\alpha < 3^\circ$ においてはほぼ線型応答を示している。図に見る応答特性は、図-1cの断面でもほぼ同様に認められた。また、図-1bの矩形断面の応答は弱い非線型性を示したし、図-1aの翼は $\alpha < 7^\circ$ の範囲で線型応答を示した。以上の実験結果により、小さい迎角範囲では線型流体系とみなし得る事が明らかにされた。

(2) 過渡揚力応答の指数関数近似 図-3aと図-3bに太い実線で示される曲線は、それぞれ、翼と図-1dの断面に対する過渡揚力の線型応答である。ただし、 $\hat{L} = \bar{L} / \frac{d\bar{L}}{d\alpha}$ として記されている($\frac{d\bar{L}}{d\alpha} = \bar{L}(\infty)$ は揚力傾斜)。

図-3bの応答に見られるほぼ周期的変動成分は後流渦に起因するものである。この変動成分は、いわばノイズであるから、フーリエ変換ではこれを除去することにする。フーリエ変換を行なうにあたり、図の応答を次のように指数関数近似する。

$$\hat{L}(\tau) = [a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \cdot e^{-b_j \tau}] \cdot E(\tau) \quad (1)$$

ここに、 $E(\tau)$ はヘビサイト単位関数。このようにして得られた近似値を、図-3a, bに細い実線で示す、なお、図中破線の曲線は、翼の応答の理論値として知られているKüssner関数である。

(ハ) 周波数応答関数 過渡揚力応答を式(1)で近似したとき、周波数応答関数 $\hat{X}_L(R)$ は次式で与えられる。

$$\hat{X}_L(R) = \int_0^\infty \frac{d\hat{L}}{d\tau} \hat{L}(\tau) \cdot e^{-iR\tau} d\tau \\ = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j - \sum_{j=1}^n \frac{a_j b_j}{b_j + iR} \quad (2)$$

ここに、 $R = w b / v$ はガストの無次元振動数、 w は円振動数である。図-4aは、図-3a, bの測定値を用いて得られた推算値であり、翼の理論値(修正 Sears 関数^{2),3)})も併記されている。まず、翼に対する推算値を理論値と比較すると、図-3aの過渡応答に見た実験値と理論値の小さな差異に比べ、周波数応答における両者の差異は予想外に大きい。特に、大きい R の範囲において、位相角 $\tan \phi = \text{Re} X_L / \text{Im} X_L$ にかなり大きい差異が認められる。次に、図-1dの断面と翼の応答は定性的に同様の特性を示すが、定量的にはかなり異なっている。図-4bは図-1に示した4種の断面の推算値であり、 $\hat{X}_L \cdot \frac{d\bar{L}}{d\alpha}$ として図示したものである。周波数領域における各断面の応答の間かなり大きい差異を生じることが図の結果より推定される。

[3] 流れの観察 写真-1はガストに突入した時の図-1dの模型まわりの流れの観察写真である。本実験では、模型の前縁付近に張ったステンレス線から、ガスト突入と同時に水素気泡のシートを発生させた。このようにして、ガスト突入以後に形成される剝離せん断

層が白色に着色され、突入以前の気流と断面層と区別される。写真に見る様に、ガスト突入後における流れは、前縁剥離渦の発生と成長で特徴づけられる。この流れの特性は、文献(4)に記した、インディシアルな有知迎角運動を行な、た時のそれとさわめて良く類似している。前者は Küssner 問題であり、後者は Wagner 問題であるが、いずれにおいても前縁剥離渦を生じることが明らかにされた。前縁剥離渦が模型の上下面に持異な圧力分布をもたらすことは、文献(4)に記したとおりである。ガストに突入した時もこれと同様の圧力分布がもたらされ、図-3b に示した過渡揚力が生じたものと考えられる。

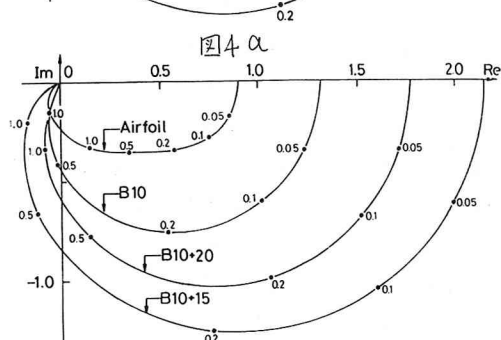
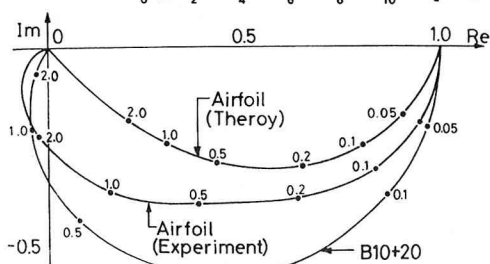
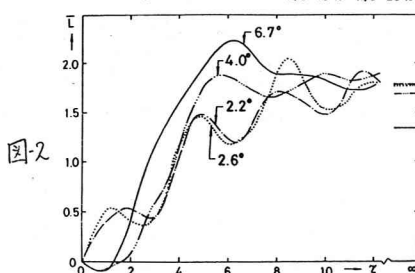
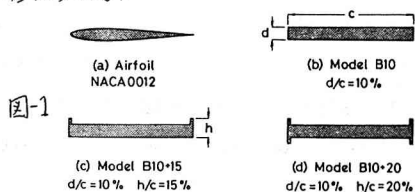


図-4 b

⑤むすび 本研究において明らかにされた事は以下のとおりである。

(1) 充腹断面と翼の過渡揚力応答から推算した周波数応答関数は、定性的にはほぼ同様の特性を示すが、定量的にはかなり異なる。

(2) ガストに突入した時の模型まわりの流れは、前縁剥離渦の発生と成長で特徴づけられる。

参考文献

- 1) 吉村 健 他:九州大学応用力学研究所所報, 56号, 1982
- 2) 吉村 健 他:第2回風工学シンポジウム論文集, 1982
- 3) J.P. Giesing et al.: J. Aircraft, Vol 7, No 3, 1970
- 4) 吉村 健, 中村 泰治:土木学会論文報告集, 280, 1978

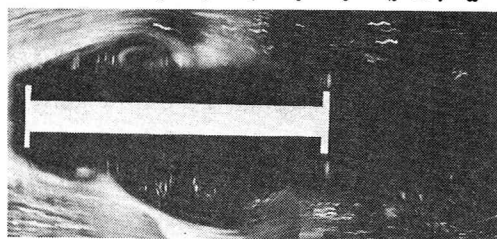
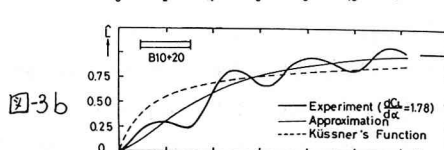
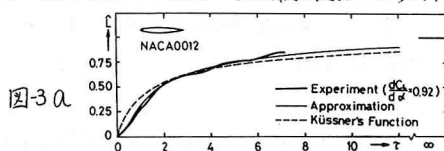


写真-1 a $\tau = 2.74$

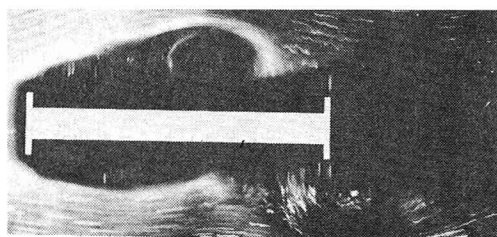


写真-1 b $\tau = 4.46$

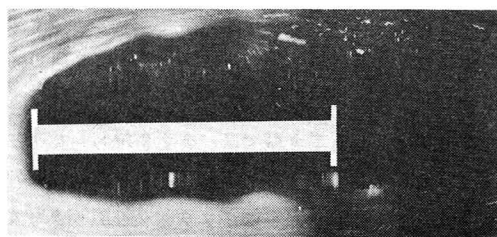


写真-1 c $\tau = \infty$