

京都大学大学院 学生員 平出 純一
 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. まえがき

構造物の空力自励振動特性は、その断面形状・断面比と密接な関係がある。本研究は矩型断面を対象とし、パラメータとしての断面比の変化が自励振動特性に及ぼす影響を調べるため、自由振動法(1自由度系)により各断面ごとに非定常空気力係数を求め、さらに時間軸領域での特性を明らかにするために空力インディシアル応答関数(等価 Wagner 関数)を推定し、あわせてたわみねじれ2自由度系における自励振動特性を調べたものである。

2. 実験ならびに結果に対する考察

図に示す断面比をパラメータとし、たわみ、ねじれそれぞれ1自由度拘束を行ない、自由振動法により次式で定義される非定常空気力係数 $H_i^* A_i^*$ を求めた。

$$\ddot{\eta} + 2\zeta_{\eta 0} \omega_{\eta 0} \dot{\eta} + \omega_{\eta 0}^2 \eta = H_1 \ddot{\eta} \quad , \quad \ddot{\varphi} + 2\zeta_{\varphi 0} \omega_{\varphi 0} \dot{\varphi} + \omega_{\varphi 0}^2 \varphi = A_2 \ddot{\varphi} \quad (1)$$

$\zeta_{\eta 0}$, $\zeta_{\varphi 0}$, $\omega_{\eta 0}$, $\omega_{\varphi 0}$: 無風時における減衰率と円振動数で η はたわみ、 φ はねじれを表す

このとき、無次元非定常空気力係数 $H_i^* A_i^*$ は次式で求められる。

$$H_1^* = \frac{m}{\rho B^2 \omega_{\eta 0}} H_1 = \frac{m}{\pi \rho B^2} (\delta_{\eta 0} - \delta_{\eta u}) \quad , \quad A_2^* = \frac{I}{\rho B^2 \omega_{\varphi 0}} A_2 = \frac{I}{\pi \rho B^2} (\delta_{\varphi 0} - \delta_{\varphi u}) \quad (2)$$

$\delta_{\eta u}$, $\delta_{\varphi u}$: ある風速 U におけるたわみ、ねじれの対数減衰率

さらに、自励型空気力についての空力インディシアル応答関数(等価 Wagner 関数) $\psi(\tau)$ が

$$\psi(\tau) = 1 + C_1 e^{c_1 \tau} + C_2 e^{c_2 \tau} \quad (3)$$

なる形で表示されるものとする $H_i^* A_i^*$ は次式で表わされる。²⁾

$$H_1^* = -\frac{dC_F}{d\alpha} K \left(1 + \frac{C_1}{1+C_1^2 K^2} + \frac{C_2}{1+C_2^2 K^2} \right) \quad , \quad A_2^* = \frac{dC_G}{d\alpha} K^3 \left(\frac{C_3}{K^2} - \frac{C_1 C_3}{1+C_1^2 K^2} - \frac{C_2 C_3}{1+C_2^2 K^2} \right) \quad (4)$$

$K = \frac{1}{\rho A} = \frac{U}{\delta \omega}$: 無次元風速 $C_i (i=1 \sim 5)$: 定数

別の実験で求めた静的空気力係数勾配を用いて、 K に対する $H_i^* A_i^*$ の形状を近似するよう $C_1 \sim C_5$ を適当に定め、この値を用いることにより式(3)により空力インディシアル応答関数を求めることができる。この結果で、たわみねじれ2自由度系での応答振幅測定実験の結果をあわせて同図に示す。なお、 $H_i^* A_i^*$ の実験値のばらつきが大きいものに対しては、敢えて近似曲線による近似は行なわなかった。

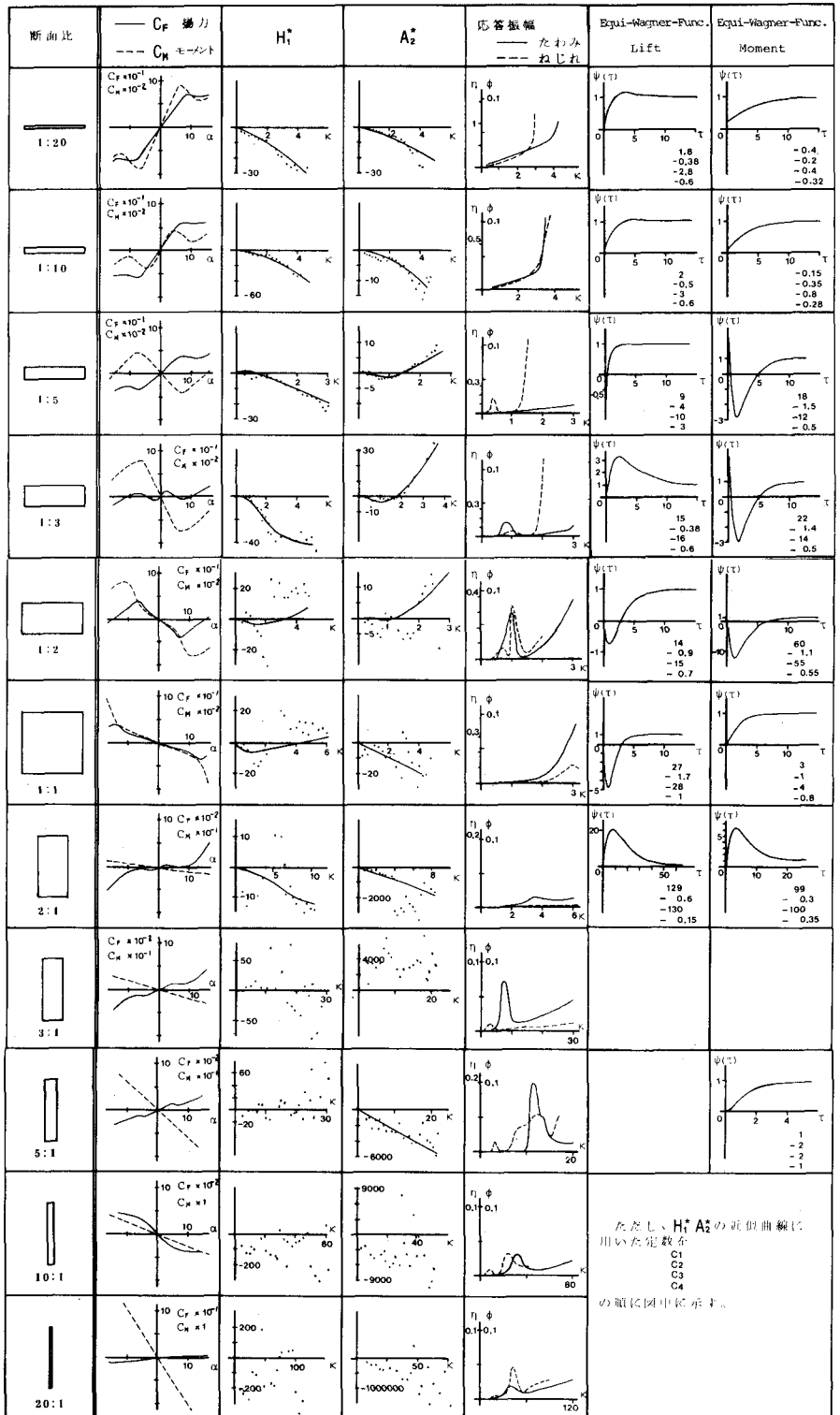
1:20, 1:10 矩型の偏平な断面では K の増加とともに $H_i^* A_i^*$ は絶対値の大きな負値をとり、このことは1自由度支持においては自励振動が発生しないことを示している。また、等価 Wagner 関数の形状も1自由度自励振動が発生しないことを示す形状²⁾となっている。1:5, 1:3 矩型断面では H_i^* は単調に負値となり、 A_i^* は一旦負値をとった後にある K 以上では正値へと転じている。又等価 Wagner 関数の形状も、モーメントに関しては一旦定常値とは逆符号の力が作用し、無次元時間の増加とともに定常値1へて漸近している。この両者の形状はねじれフラッタが発生することを示しており、フラッタ実験結果と一致するものとなっている。1:2 矩型断面では $H_i^* A_i^*$ とともに低風速域で負値をとった後正値へと転じており、等価 Wagner 関数の形状は揚力、モーメント共ギャロッピングあるいはねじれフラッタ等の1自由度自励振動が発生し得る形状を示している。フラッタ実験ではギャロッピングが発生したが、これはたわみ振動とねじれ振動相互間の干渉によるものであり、振動数比($\omega_{\varphi}/\omega_{\eta}$)によつてはねじれフラッタと発生し得るものと考えられる。1:1 矩型断面では H_i^* はある K 以上で正値、 A_i^* は単調に負値となっており、等価 Wagner 関数の形状も揚力に関して自励振動が発生することを示すものとなっており、フラッタ実験ではギャロッピングが発生したことと一致している。以下 2:1 矩型から 20:1 矩型の中で自励振動が発生する可能性のあるものを調べてみると、まず静的空気力係数の勾配の符号が負となっている 10:1 矩型は準定常

理論によればギャロッピング発生の可能性があるものの、評価は今後の研究に待ちたい。非定常空気力係数の形状からは自励振動が発生すると考えられるものはないが、等価Wagner関数の形状からは、10:1 矩型のたわみに関して自励振動の発生があり得ると判断される。本実験では実験値がばらついているものもあり、 H_1^* 、 A_2^* の近似曲線とこれから求められる等価Wagner関数の形状は画一的に定まるものではないことを付しておく。

3. 結論及び課題
 矩形断面比別の空力自励振動特性の変化の様子を概略把握することができた。今後、ばらついた H_1^* 、 A_2^* の近似精度を向上させると共に、これらの形状特性とフラッタ特性との関連性をより詳細に明らかにすることが必要である。

〈参考文献〉

- 1) Scanlan R.H., Ali Sabzevari, "Suspension Bridge Flutter Revisited", ASCE Struct. Eng. Conf.
- 2) Scanlan R.H., Jean-Guy Beliveau and Kathleen S. Budlong, "Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks", ASCE, EM4, 1974
- 3) 吉村 健, 中村泰治, "インディシアル応答による橋梁断面のねじりフラッタの研究", 土木学会論文報告集 第264号, 1977年8月



ただし、 H_1^* 、 A_2^* の近似曲線に用いた定数を
 C_1
 C_2
 C_3
 C_4
 の順に図中に示す。