

I-505

連成フラッターの発生機構に関する研究

宮 地 鐵 工 所 正 員○小林裕輔* 京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白石成人 京都大学大学院 学生員 浜崎 博
 (* 研究当時 京都大学大学院)

1. はじめに 近年橋梁の長大化にともない、連成フラッターなどの自励振動に対する安全性の評価が重要な課題となっている。本研究は、比較的偏平な矩形断面における非定常空気力係数の連成項を介したねじれ振動とたわみ振動の相関から、フラッターの発生機構を考察するとともに、その相関に沿って繰り返し計算を行いフラッター振動の減衰と振動数を求める方法（以後、Step-by-step 解析と呼ぶ）により、フラッター発生への非定常空気力係数の役割を明らかにした。

2. 連成フラッターの発生機構 フラッター振動について考察を行うには、振動中に作用する非定常空気力についての検討を避けて通ることは出来ない。たわみとねじれの連成振動をする桁断面に作用する非定常空気力は、8個の非定常空気力係数を用いて次式のように表される [1]。

$$L = \frac{1}{2}\rho(2b)U^2 \left\{ kH_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kH_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (1)$$

$$M = \frac{1}{2}\rho(2b^2)U^2 \left\{ kA_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kA_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (2)$$

ここに、 L ：単位スパン当たりの揚力（下向き正）、 M ：単位スパン当たりのモーメント（頭上げ正）、 η ：たわみ変位（下向き正）、 ϕ ：ねじれ変位（頭上げ正）、 $(\cdot)$ ：時間微分、 U ：風速、 ρ ：空気密度、 b ：半弦長、 k ：換算振動数（ $=b\omega/U$ ）

ねじれフラッターが起こる断面はねじれの減衰項 A_2^* が風速の増加とともに負値から正值に変わるのに対し、連成フラッターが発生する断面は A_2^* が正值とはならないため、連成項 H_2^* 、 H_3^* 、 A_1^* 、 A_4^* の効果でフラッターが発生するものと考えられる [2]。

そこで、非定常空気力係数の連成項を介したねじれ振動とたわみ振動の相関を示したものが、図-1である。ねじれ振動（ ϕ motion）によってたわみ振動系（ η system）にたわみ振動（ η response）が励起され、そのたわみ振動によって同様にねじれ振動が励起されるという、フィードバック系を形成している。

ここで、振幅 $\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2$ と位相差 θ は強制振動における応答を考えると次式のように表すことができる。

$$\bar{\eta}_1 = \frac{(\rho b^3/m)\omega_F H_2^* \bar{\phi} \omega_\phi}{\sqrt{(\omega_\eta^2 - \omega_F^2)^2 + 4\zeta_\eta^2 \omega_\eta^2 \omega_F^2}} \quad (3)$$

$$\bar{\eta}_2 = \frac{(\rho b^3/m)\omega_F^2 H_3^* \bar{\phi}}{\sqrt{(\omega_\eta^2 - \omega_F^2)^2 + 4\zeta_\eta^2 \omega_\eta^2 \omega_F^2}} \quad (4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta_\eta \omega_\eta \omega_F}{\omega_\eta^2 - \omega_F^2} \right) \quad (5)$$

ここに、 m ：質量、

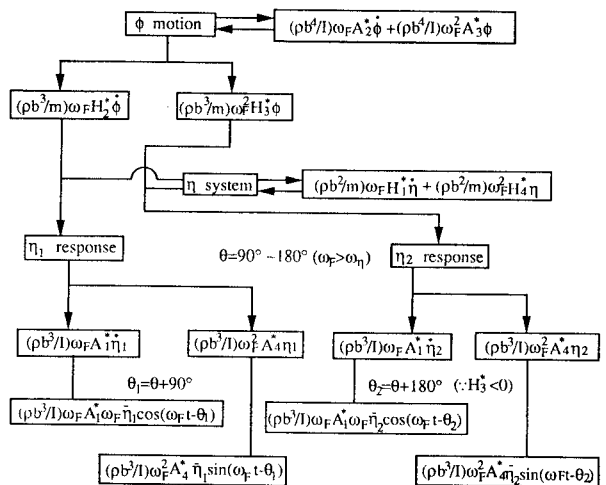
ω_F ：フラッター振動数、

$\bar{\phi}$ ：ねじれ振幅、

ω_ϕ ：ねじれ振動数、

ω_η ：たわみ振動数、

ζ_η ：たわみ振動の減衰係数



ねじれ・たわみ2自由度系（ねじれ分枝）
 図-1 ねじれ振動とたわみ振動の相関図

この $\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2, \theta$ を図 - 1 の最下段に代入することにより、耐フラッター性を向上させるためには、非定常空気力係数の減衰項 H_1^*, A_2^* の負の絶対値を大きくし、連成項 $H_2^*, H_3^*, A_1^*, A_4^*$ の絶対値を小さくすればよいことがわかる。

3. フラッター解析 図 - 2 に従来からの複素固有値解析と Step-by-step 解析によるねじれ分枝の減衰の比較を示す。両者の値はよく一致している。

次に、フラッター発生における各非定常空気力係数の役割を知るため、Step-by-step 解析により対数減衰率の内訳を求めた（図 - 3）。5つの破線（図 - 1 の最下段の4つの項と A_2^* の項の5つ）の合計が実線（ねじれ分枝の減衰）となる。B/D=20 は A_2^* の項が負とはならず $A_1^* H_3^* \cos \theta$ の項が負となりフラッターが発生するのに対し、B/D=5 は $A_1^* H_3^* \cos \theta$ の項が負になる効果もあるが基本的には A_2^* が負になることでフラッターが発生している。このことから、連成フラッターとねじれフラッターは各係数の大きさが違うだけで、発生機構は同じであるといえる。

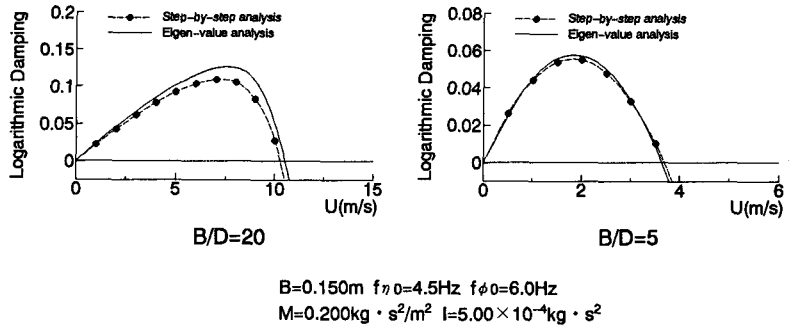


図 - 2 複素固有値解析と Step-by-step 解析の比較

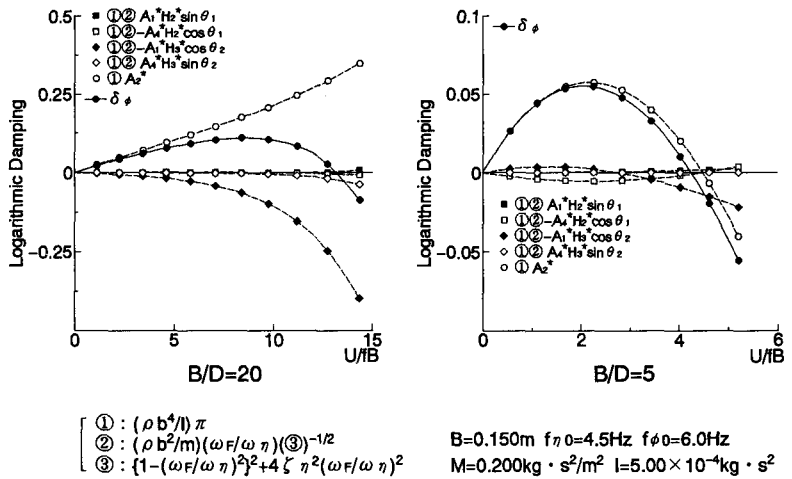


図 - 3 フラッター発生への非定常空気力係数の役割

4. 結論 本研究で得られた結論を以下に列挙する。

- 橋梁断面のフラッター安定性を向上させるためには、非定常空気力係数の減衰項 H_1^*, A_2^* の負の絶対値を大きくし、連成項 $H_2^*, H_3^*, A_1^*, A_4^*$ の絶対値を小さくすればよい。特に、ねじれ振動が卓越するフラッターの場合 H_3^*, A_1^*, A_2^* の効果が大きい。
- 高風速域における連成フラッターとねじれフラッターの基本的な機構は同じである。

謝辞 本研究の遂行にあたり多大なご協力をいただいた、京都大学工学部 白土博通助手、京都大学大学院 川合吉弘氏に感謝いたします。

参考文献 [1] Scanlan R.H., Beliveau J.-G, and Budlong K.S.: Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE., Vol.100, EM4, August, pp.657-672, 1974.

[2] Scanlan R.H.: The Action of Flexible Bridges under Wind, Part I (Flutter Theory), Journal of sound and Vibration, 60-2m pp.187-199,1978.