

I - B164

吊橋の曲げねじれフラッタに対するジャイロ制振装置の効果

摂南大学工学部 学生会員 飯野 和洋

摂南大学工学部 正会員 頭井 洋

摂南大学工学部 正会員 波田 凱夫

1 まえがき

長大吊橋の曲げねじりフラッタに対して制振装置を設置することで積極的な抑制を働きかける方法がいくつか検討されている。ここでは、ジャイロ効果を利用したジャイロダンパー¹⁾を使った場合の吊橋の曲げねじれフラッタの抑制効果を、固有振動モードの組み合わせ法²⁾による連成フラッタ解析により、検討する。

2 連成フラッタ解析の運動方程式と固有値方程式

連成フラッタの運動方程式は、モードの組み合わせ法によると各モードごとに次のようになる²⁾。

$$\ddot{\xi}_m + 2\zeta_m \omega_m \dot{\xi}_m + \omega_m^2 \xi_m = \sum_{n=1}^M (F_{mn} \omega \dot{\xi}_n) + \sum_{n=1}^M (G_{mn} \omega^2 \xi_n) \quad (1)$$

ここに、 ξ_m は m 次のモード座標、 ζ_m は m 次のモーダルダンピング、 ω_m は m 次の角振動数、 m_m は m 次のモーダルマス、 ω はフラッタの角振動数である。また、 F_{mn} 、 G_{mn} は自励空気を表す係数で、次式で与えられる。

$$F_{mn} = \frac{\rho}{2m_m} \sum_i B_i \ell_i \{ \phi_{im}^y, \phi_{im}^z, \phi_{im}^{\theta x} \} \begin{bmatrix} A_i P_i^* & 0 & A_i B_i P_2 i^* \\ 0 & B_i H_1 i^* & B_i^2 H_2 i^* \\ 0 & B_i^2 A_1 i^* & B_i^3 A_2 i^* \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_{im}^y \\ \phi_{im}^z \\ \phi_{im}^{\theta x} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$G_{mn} = \frac{\rho}{2m_m} \sum_i B_i^2 \ell_i \{ \phi_{im}^y, \phi_{im}^z, \phi_{im}^{\theta x} \} \begin{Bmatrix} A_i P_{3i}^* \\ B_i H_{3i}^* \\ B_i^2 A_{3i}^* \end{Bmatrix} \phi_{im}^{\theta x} \quad (3)$$

ここに、 ϕ_{im} は m 次のモードシェイプ (i は補剛桁番号)、 ρ は空気密度、 B_i は桁幅、 ℓ_i は補剛桁の水平長、 A_i は受圧面積、 $P_i^* H_i^* A_i^*$ は非定常空気力係数である。ジャイロ装置を N_G 個補剛桁に取り付けたときの吊橋の m 次モードの運動方程式は、式(1)にジャイロ装置によるジャイロモーメントの項を加えて

$$\ddot{\xi}_m + 2\zeta_m \omega_m \dot{\xi}_m + \omega_m^2 \xi_m = \sum_{n=1}^M (F_{mn} \omega \dot{\xi}_n) + \sum_{n=1}^M (G_{mn} \omega^2 \xi_n) + \frac{1}{m_m} \sum_{j=1}^{N_G} \phi_{jm}^{\theta} H \dot{\theta}_j \quad (4)$$

ここで H はジャイロモーメントで、 $\omega_g (= 2\pi f_g)$ (f_g はジャイロの回転数) と I_w (ジャイロロータの極慣性モーメント) の積 ($= \omega_g I_w$)、 ϕ_{jm}^{θ} はジャイロ装置 j の取り付け点の m 次モードのねじり回転角のモードシェイプ、 θ_j はジャイロ装置 j の y 軸 (桁直角方向) 回りの回転角である。

ジャイロ装置 j の運動方程式は

$$I_{gj} \ddot{\theta}_j + 2\zeta_{gj} \omega_{gj} I_{gj} \dot{\theta}_j + \omega_{gj}^2 I_{gj} \theta_j + H \sum_{m=1}^M \phi_{jm}^{\theta} \xi_m = 0 \quad (5)$$

ここで I_g は y 軸回りのジャイロ装置の慣性モーメント、 ζ_g は減衰比である。

式(1)よりジャイロ装置を設置した固有値方程式は、 $i = \sqrt{-1}$ として、次式で与えられる。

$$\left[\begin{bmatrix} [H_{mn}] & [H_{mj}] \\ [H_{jm}] & [H_{jj}] \end{bmatrix} - \lambda \right] \begin{Bmatrix} \{\xi_{m0}\} \\ \{\theta_{j0}\} \end{Bmatrix} = 0 \quad (6)$$

$$H_{mm} = [G_{mm} + 1 + i\{F_{mm} - 2\zeta_m(\omega_m/\omega)\}]/\omega_m^2, \quad H_{mn} = [G_{mn} + iF_{mn}]/\omega_m^2 \quad (m \neq n) \quad (7)$$

$$H_{mj} = \frac{i}{m_m \omega_m^2} \phi_{jm}^{\theta} \frac{H}{\omega}, \quad H_{jm} = -\frac{i}{I_{gj} \omega_{gj}^2} \phi_{gm}^{\theta} \frac{H}{\omega}, \quad H_{jj} = \text{Diag} \left[\frac{1}{\omega_{gj}^2} \{1 - 2i\zeta_{gj}(\omega_{gj}/\omega)\} \right] \quad (8)$$

3 数値解析と考察

3.1 解析モデル

対象とした吊橋は、中央径間長2500m,側径間長1000mの長大吊橋で、橋床幅: $B=38.5\text{m}$,単位長当たりの吊り構造部総重量: 46.7tf/m ,構造減衰率: 0.01 ,桁の極慣性モーメント: $1240\text{ tms}^2/\text{m}$ とした。曲げおよびねじりの1次固有振動数は、それぞれ 0.065 Hz , 0.15 Hz である。発振風速は、平均風速を漸増させながら、式(6)の固有値方程式を解いて、該当するモードの対数減衰率が0になる条件より求めた²⁾。ジャイロ装置を設置しない場合 66 m/s となる。

ジャイロダンパーは、2次元の簡易解析により最適値を求め、回転数: 1000rpm ,減衰比: 0.0793 ねじりの固有振動数 0.146 Hz とした。非定常空気力係数は参考文献³⁾の偏平桁の実験値を使用した。

3.2 解析結果

ジャイロを中央に1個、中央に50mピッチで3個および5個を設置した3ケースについてジャイロの総重量(tf)に対する発振風速との関係を図1に示す。また1個当たりのジャイロの極慣性モーメント I_ω の変化に対する発振風速との関係を図2に示した。 I_ω とジャイロ1個の重量 W_g との関係は、 $I_\omega = 5\text{ tms}^2/\text{m}$ の時 $W_g = 16\text{ tf}$
 $I_\omega = 10\text{ tms}^2/\text{m}$ の時 $W_g = 23\text{ tf}$ 程度となる。

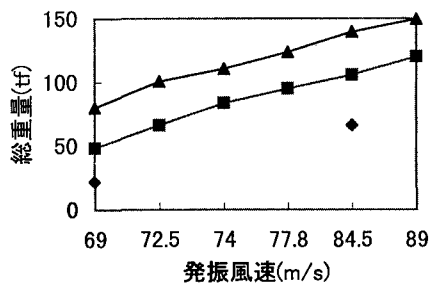


図1: 総重量と発進風速の変化

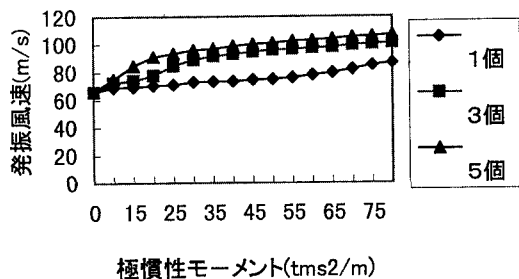


図2: 1個当たりの極慣性モーメントと発進風速の変化

3.3 考察

図1より同じ発振風速を得るためのジャイロ装置の総重量はジャイロ装置の個数が少ない方が小さくて済むことがわかる。中央でねじり基本モードの振幅が最大になることから、中央付近にジャイロを設置する方が効果が大きくなるためと考えられる。しかし、1個当たりの重量は、強度や寸法的な制限からあまり大きくすることはできない。図2より設置個数を5個にすると極慣性モーメントが $15\text{ tms}^2/\text{m}$ ぐらいまでが発振風速の向上に効果大きい。発振風速の向上とジャイロ装置1個当たりの重量の両方の観点から、最適な設置個数を選ぶ必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 藤澤 伸光:連成フラッタに対するジャイロ・ダンパーの効果,超長大橋セミナー,1994
- [2] 田中 洋,山村 信道:長大橋梁の非定常空気力係数による連成フラッター解析,風工学シンポジウム,1990
- [3] 山田 均,宮田 利雄,中島 州一:送風時の振動モード情報を利用した非定常空気力推定法の開発,土木学会論文集,1996.4