

東京大学 正 伊藤 学
 川田工業(株) 正 三品 吉彦
 東京大学 学 西田 徳積

1. はじめに

ジャイロ安定装置を吊橋に設置して耐風安定性の増大を計る方法につき、前回の報告¹⁾では、わいれフラッタの微分方程式を Galerkin 法によって解き、いくつかの基本的な性質を調べるとともに、全径間模型による風洞実験を行って、この方法が効果的であることを示した。今回は、より具体的に、ジャイロ諸値を変化させて発振風速を計算し、最大効率をあげるジャイロの使用法をさぐる。

2. 計算式の誘導

ここでは数値計算に便利な有限要素法の考えを用いるが、収束計算を伴う振動解析でもあり、またジャイロの効果調べるのが目的でもあるため、部材に着目する有限要素法ではなく、微分方程式を橋軸方向に分割する方法で充分と思われる。

さて、吊橋を $(n+1)$ 区間に分け、 m 個のジャイロを設置したときの方程式は次のように書ける。

$$\text{吊橋: } [\mathcal{M}]\{\ddot{\varphi}\} + [C]\{\dot{\varphi}\} + ([D][W]^T[D]^T - GK + 2b^2Hw)[D] + [D]\{\ddot{\theta}\} + 2b^2 \frac{E_c A_c}{L_c} \{\ddot{\theta}\} \{D\} \{\varphi\} - [H]\{\dot{\theta}\} = \pi P b^4 \{ \omega \} \{\varphi\} + \{ \omega \} \{\dot{\varphi}\} \quad (1)$$

$$\text{ジャイロ: } [I_g]\{\ddot{\theta}\} + [C_g]\{\dot{\theta}\} + [K_g]\{\theta\} + [H]\{\dot{\varphi}\} = [Ad]\{\varphi\} + [Av]\{\dot{\varphi}\} \quad (2)$$

ここで、(1)式中左辺の才1~3項は通常の吊橋のわいれ振動を表わしており²⁾、 $[D]$ は2階の微分演算子、 $\{\varphi\}$ はケーフル形状、 $[W]$ は曲げわいり剛度、 b はケーフル間隔の半分である。最終項はジャイロとの連成を表わすもので、 H はロータの旋転角運動量である。右辺は空力のモーメントであって、前回の報告に際して行われた模型に対する測定値を用いた。(2)式はジャイロ枠の振動を表わし、ロータを回転させることにより H を生じて吊橋と連成する。それぞれの回転方向を図-1に示した。右辺は、ジャイロをより効果的に用いるため、橋体の振動をフィードバックさせてやろうとするものである。式中、 $[]$ は正方行列、 $[]$ は対角行列、 $\{ \}$ は列ベクトルであるが、 H 、 Ad および Av に關する項は (m, n) 行列である³⁾、 i 番目のジャイロが j 番目の分割点にあるとき (i, j) 要素にそれぞれの値が与えられる。

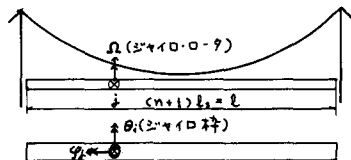


図-1. 回転の方向

右辺を左辺に移項して両式をひとつにまとめると $(m+n)$ 自由度の運動方程式が得られ、 $M\ddot{z} + B\dot{z} + Sz = 0$ と書ける。 $Ad = Av = 0$ のとき B は逆対称であり、そうでないときは B 、 S が完全に非対称となって振動方程式は一般に $2(n+m)$ 次の固有値問題と形成する³⁾。

得られる固有値および固有ベクトルは一般に $(m+n)$ 組の共役複素数であり、これより $(m+n)$ 組の減衰定数と振動数、変形および速度の分布とそれらの位相角が計算できる。安定論を適用すると、固有値のうちで実数部が正になるものがあれば、この系は不安定である。このことは減衰が負であることと対応しており、発振状態にあると考えることができる。系数行列は未知数 ω を含んでいるので、実際の計算に際しては、発散しそうなモード

1) ジャイロによる吊橋の耐風制振効果, 伊藤学・村田正信, 才26回年次学術講演会紀要集(昭和46年).
 2) 電算による吊橋設計の問題点とその一解法, 大地羊三, 才10回橋梁構造工学研究発表会(才38年).
 3) Elementary Matrices, Frazer, R.A., Duncan, W.J., Collar, A.R., Cambridge Univ. Press, 1955.

について振動数 ω を収束させ、空気力係数を変化させて、減衰が殆んど0となったときに発振と判断して風速を求めた。いくつかのモードが同時に不安定に近いつきは収束しないことがあるので、特定のモードについて発振風速を求め、後にそれらと比較して決定した。

3. 計算の結果と考察

前回の報告に際して行われた模型実験の結果と比較するために橋梁に関する諸値は模型のものをを用いた。実験モデルの減衰定数は1次振動に対する値しか得られていないが、計算モデルでは1次と2次に対して0.5%とし、高次モードに対しては次第に大きくなるよう調整した⁴⁾。

図-2にジャイロ回転数と発振風速との関係について前回に報告した実験結果と今回の計算値とを比較して示した。発振風速の値には可成り差が見られるが、最大値を示す位置、その点でモードが遷移すること、およびモード形については良い一致を示しており、ジャイロの効果を調べるには充分と思われる。

次に、いくつかのパラメータの性質について述べる。

振動数比 (ξ = ジャイロ棒振動数 / 1次振動数)

0.85程度が良い結果を示す。1付近では更に効果的と思われるが干渉が強いため収束しないことが多く、明確な結果は得られなかった。

ジャイロ棒の減衰定数 (β_g)

6~30%が良い。これが大きいと高次モードで発振することが多く、風速は飛躍的に増大する。

ジャイロ棒の強制回転

A_0 は殆んど効果がなく、 A_d を ξ としたときは回転数をあげると効果的である。(図-3参照)

複数個を設置した場合

設置点をあやまると振動形の腹をつぶす際に風速はあがらない。橋梁の自由振動形の節に当る位置に置くと低速回転でも高次モードを発生させることができ、効果的である。(図-4参照)

そのほか、ジャイロ棒の慣性モーメントは小さいのが良いが、これは敏感さを示すためであろう。

4. 実用化への考察

実際の構造に適用する場合、ジャイロ棒の振幅が非常に大きくなるおそれがあり、ジャイロの所要数もかなり増大する可能性がある。しかし、橋体の自由振動モード形で節に当るところに設置するとジャイロ棒の振幅は非常に小さく、また簡単に高次モードをつくらせることができる。図-4の場合、真の節の位置から多少ずれているがそれでも振幅は矢印で示した程度である。以上のことから、振動形の腹をつぶしてやるよりも橋梁固有の性質にさらわすに節の形成を誘うよう用心の用いるのが理に適ったものかと判断できる。この観点からジャイロ実用化の可能性に向けて一歩を進めることになり今後の研究に期待がもたれる。

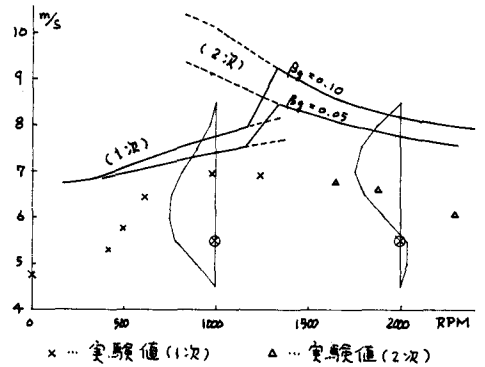


図-2. 実験値との比較

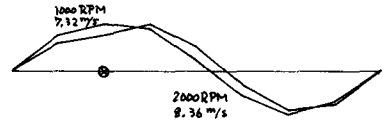


図-3. 橋の回転角をフィードバックした場合

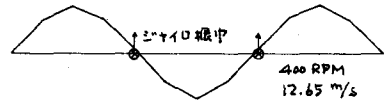


図-4. 3次振動を発生させる場合

4) The Treatment of Damping Coefficient on the Dynamic Problem, Ohchi, Y., Final Report of 8th Congr. of IABSE (1968).