I-366　斜張橋のねじれ１次固有周期の算定

電力中央研究所　正員　大鳥　靖樹
長岡技術科学大学　正員　長井　正嗣
川崎重工業（株）　正員　佐野　信一郎

１．まえがき

斜張橋の曲げおよびねじれの１次振動数が事前に精度良く推定できれば耐風安定性の概略検討を行う上で有益と考えられる。また、支間の長大化に伴う動特性の予測が行えること、長支間領域における代案である吊橋との比較が行えることは、とくに斜張橋が急速に長大化する傾向の中で有益と考える。

著者らは、曲げ１次の固有振動数について精度良い算定式を提案するとともに、長支間領域における吊橋（我国の実積）との比較等を行ってきた。本文では、ねじれ振動数に着目し、その算定式を提案する。手法は、中央径間に等分布ねじれ荷重を載荷させた場合の静的変位モード形と振動モード形の比較考察から、形状、剛比に応じた振動モード形を仮定し、レーリーの原理を適用するものである。その際、ひずみエネルギーの最大値の評価に困難を伴うため、外力のポテンシャルエネルギーに置き換える。これより、主桁、塔の静的最大変位が事前に予測できれば振動数の予測が可能になるとともに、各種設計パラメータの変動に伴う動特性の予測が容易に行える。

２．モード仮定

ねじれ振動モード形を精度良く推定できれば、固有周期を精度良く求めることができる。ねじれ振動モード形は、ケーブルと主桁の剛比、塔剛性はもとより、塔形状によっても変化するため、それらを簡単に推定するには困難を伴う。さらに、鉛直曲げ振動モード形と異なり、せん断中心と重心また図心が一致しないことに起因して、塔とケーブルの連結状態によっても横たわみ振動と連成し複雑となる。

本文では、文献 1) と同様中央径間に等分布ねじれ荷重を作用させた場合の変位モード形を振動モード形とみなして検討を行うこととし、その妥当性を数値計算（ねじれ振動解析）により確認する。以上より仮定したモード形を図 - 1 に示す。図中、$\gamma_{cg,J}$ は主桁の純ねじれ剛性とケーブルの伸び剛性（ねじれに対する剛性評価）の比で、詳細は文献 2) に与えられる。ξ_{MAX}、ξ_H は中央径間に等分布ねじれ荷重が作用した場合の最大ねじれ角と塔頂の水平変位である。

３．１次固有周期の算定式

（１）レーリーの原理の適用

ねじれ振動モード形を ξ、連成横たわみモード形を η とすると、円固有振動数として、

$$\omega^2 = \frac{\dfrac{1}{2} m_t \displaystyle\int_0^{l_c} \xi \, ds}{\dfrac{1}{2}\dfrac{\gamma}{g}\displaystyle\int_s (A\eta^2 + 2 y_s A \xi \eta + I_P \xi^2)\, ds + T_{W,MAX}} \qquad (1)$$

を得る。ここで、m_t は中央径間に満載される等分布ねじれ荷重強度、γ は単位体積重量、g は重力加速度、A は主桁断面積、y_s はせん断中心の座標、I_P（$=I_X+I_Y+y_s{}^2A$）は極慣性モーメント、I_X、I_Y は x、y 軸まわりの断面２次モーメントである。また、$T_{W,MAX}$ は塔の運動エネルギーに関する量で、H形状塔に対して（A形状の場合無視する）、

$$T_{W,MAX} = \frac{W_T B_G{}^2}{2g}\int_0^h \xi^2 ds \qquad (2)$$

と与えられる。W_T は塔柱１本の単位長さあたりの重量で全体で４本と考えている。また、h は塔高さ。なお、式 (1) は簡単のため、一軸対称の鋼断面桁を対象としている。

（２）仮定モードを用いた固有周期

今、η を無視すると、固有周期の算定式として、

$$T=\frac{\pi\sqrt{\pi}}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{I_{GP}\,\xi_{MAX}}{m_t}}\sqrt{1+\frac{2\lambda^2}{n_{cs}}}\sqrt{1+\lambda_T} \qquad (3)$$

を得る。ここで、$I_{GP}=\gamma I_P$、n_{cs} は支間長比（中央径間長／側径間長）、また λ は側径間の影響を考慮する係数、λ_T は塔の影響を考慮する係数で、A形状、H形状塔に対して、それぞれ以下のように定義される。

a．A形状塔に対して、

$$\lambda=0. \quad , \quad \lambda_T=0. \qquad (4)$$

b．H形状塔に対して、

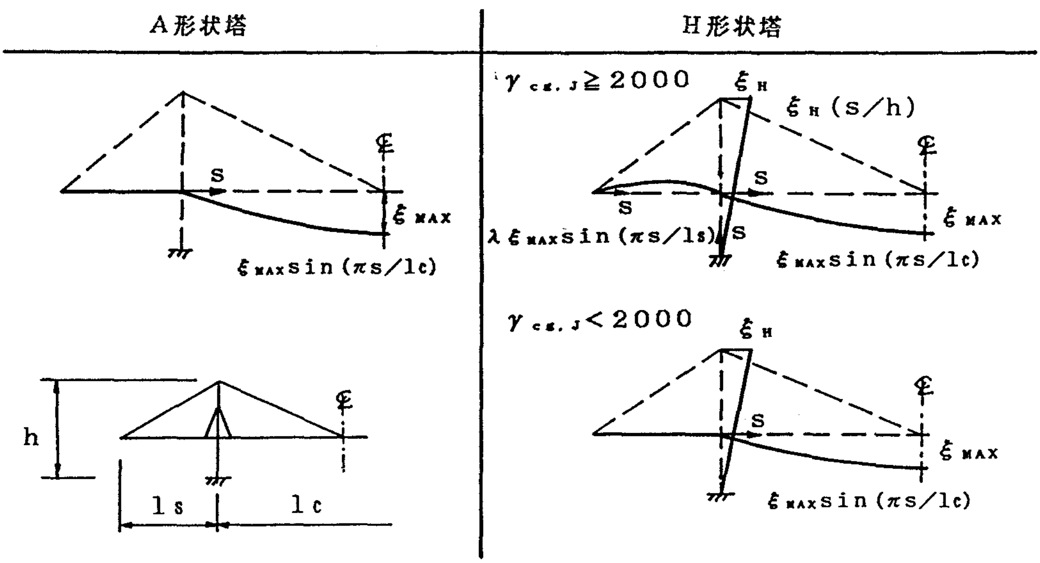
$$\begin{array}{ll} \gamma_{cg.J}\geqq 2000 \text{ ------------ } & \lambda=0.5 \\ \gamma_{cg.J}< 2000 \text{ ------------ } & \lambda=0. \end{array} \qquad (5)$$

$$\lambda_T=\frac{8}{3}\,\frac{W_T}{I_{GP}}\left(\frac{\xi_H}{\xi_{MAX}}\right)^2\frac{1}{1+2\lambda^2/n_{cs}}\,\frac{h}{l_c} \qquad (6)$$

$\gamma_{cg.J}$ に応じて固有周期にステップが生じるが、この近傍いずれを採用しても誤差が等しくなるように配慮したものである。

（３）ξ_{MAX}、ξ_H の算定

静的解析によっても、また、文献 1),2) に与えられる簡易算定式によっても求めることができる。



図－１　仮定モード

４．まとめ

ねじれ１次固有周期算定式を提案した。このように数式表示を用いることにより、各種設計パラメータの変化に伴う性状予測に有益と考える。仮定の妥当性、精度比較を含む計算例は、紙面の都合で紹介できなかったため、講演当日発表させて頂きたい。また、斜張橋のねじれ振動特性については別の機会に報告したい。

参考文献

1) 長井他；斜張橋の曲げ１次固有周期の算定とその性状に関する検討、構造工学論文集、1990

2) 有村他；斜張橋の最大ねじれ角の算定、土木学会年次学術講演会概要集、1990