

I-2

斜張橋の架設系における横たわみ振動について

九州産業大学工学部 正員 吉村 健, 学生員 藤原 猛, 学生員 森下正浩
新構造技術株式会社 曾川文次, 渡辺 実

① まえがき 斜張橋の架設系は完成系より剛性が低く、風の影響を受け易い。かつ、架設系特有の対風挙動を示すことが考えられる。ここで取り上げる横たわみ振動がその一つであって、気流の乱れに起因する横たわみ振動を生じることが予想される。

本研究では、①架設系の横たわみの固有振動特性に及ぼすケーブルや主塔の剛性の影響、ならびに主桁—主塔間の弾性支承の剛性の影響 ②風による横たわみ振動の制振対策などについて調べることを目的としている。本報告では、呼子大橋を例に取り、①について検討中のことがらを記すことにする。

② 立体骨組解析による固有値解析結果 呼子大橋は $121\text{ m} \times 250\text{ m} \times 121\text{ m}$ のPC斜張橋である¹⁾。本橋の主桁閉合直前の架設系について、約90質点系の立体骨組モデルを用いて固有値解析を行なった。その中で、1次と2次の横たわみ振動モードを図-1に示す。図aの振動に着目すると、その固有周期は8.60秒であり、完成系における横たわみ最低次の固有周期2.42秒と比べると著しく長い。かつ、主桁は主塔をねじり中心とした剛体回転運動しており、架設系のみに見られる振動である。図の系では、主桁が主塔の両側にそれぞれ120m張出してあり、かつ、重さ100t以上の架設機械が主桁の両先端に載荷されている。したがって、図-1aにおける主塔まわりの主桁の極慣性モーメントは非常に大きい値となり、風によって図の振動を生じた場合の制振対策を検討しておく必要がある。

③ 横たわみ振動に関する平面骨組解析法

①の①に記したように、本研究では弾性支承の剛性を種々変化させるなど多ケースの計算を行なう。そこで、経費節約のために、主塔と主桁を1次元部材に置換し、かつこれらの軸力による変形を無視し、平面骨組解析によって横たわみ振動のみ解析することにした。変位と力は図-2に示す記号で表記することにする。

(1) 主塔の剛性行列 主桁のモードが対称の場合 ま

ず、図-3aに示す主塔の剛性行列を η 平面で作成する。そして、自由節点の条件： $M_{k1}^0 = M_{k2}^0 = M_{k3}^0 = 0, M_{m+2}$

$= Y_{m+2} = 0$ よりたわみ角 $\theta_x', \theta_x'', \theta_{\tau A}$ と変位 u_{m+2} を消去して次式を得る。 $\{Y', Y'', Y_{\tau}\}^T = K_{\tau\tau} \{u', u'', u_{\tau}\}^T$ —①
ここに、 Y' は Y の転置行列。次に、主塔の逆対称変形の条件： $u' = u'' \equiv u_{\tau}$ 、ならびに水平力の条件： $Y' = Y'' \equiv Y_{\tau}/2$ を用いると、式①は

$$\{Y_{\tau}, Y_{\tau}\}^T = K_{\tau\tau} \{u_{\tau}, u_{\tau}\}^T \text{—②}$$

となり、図-3aを図-3bの1次元骨組に単純化できた。節点 $m+1$ には弾性支承が取り付けられる。

主桁のモードが逆対称の場合 図-4aに示す立体骨組の剛性行列を作成する。ただし、塔上部については曲げ、ねじれ、 x 方向並進の各変位のみを、また、塔脚部についてはねじれのみを考える。次に、自由節点を除去して $\{X', X'', M_{\tau}\}^T = K_{\tau\tau} \{u', u'', \theta_{\tau}\}^T$ —③
ここで、主塔の逆対称変形の条件： $u' = -u''$ と力の条件 $X' = -X''$ より u'' と X'' を消去する。さらに、塔上部の変位と力を次のようにねじれ角とねじりモーメントに変換する。 $u_i' = \frac{B}{2} \theta_{xi}, X_i' = \frac{1}{B} M_{\tau i} (i = k+2, \dots, m+2)$ (図-5参照)。かくして、図-4bの1次元骨組に単純化できた。

(2) 主桁の剛性行列 図-6に示す主桁について、 x と y 平面上で剛性行列を作成する。そして、自由節点の条件： $M_{k1}^0 = M_{k2}^0 = 0, M_{k+1} = 0$ よりたわみ角 $\theta_{\alpha}, \theta_{\alpha}', \theta_{\alpha''}$ を消去して $\{Y_{\alpha}, Y_{\alpha}', Y_{\alpha''}\}^T = K_{\alpha\alpha} \{u_{\alpha}, u_{\alpha}', u_{\alpha''}\}^T$ —④
節点 $k+1$ には弾性支承が取り付けられる。

(3) ケーブル系の剛性行列 図-7a,bに示すように、主桁の横たわみ振動(図中(1))に伴うケーブルの運動を、図中(2)と(3)の2種の運動に分解して考える。まず、図中(2)に関するケーブルの剛性行列を求める。図-8は、 η 平面上で見たものである。この種の運動によってケーブルから主桁にもたらされる y 方向の復元力は、桁の重力 W に起因するものであって、吊橋にも見られるものである。1対のケーブルを図-8bのように置換すると主塔、主桁の変位 u_{τ}, u_k と水平力 Y_{τ}, Y_k の間に

$$\begin{Bmatrix} Y_{\alpha} \\ Y_{\tau} \end{Bmatrix} = \frac{W}{h} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{\alpha} \\ u_{\tau} \end{Bmatrix} \text{—⑤}$$

なる関係が成立する。よって、図-6に示したケーブル系の剛性行列のうち、左半分のみを示すと、

$$\begin{pmatrix} Y_g \\ Y_{T1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{C1} & -K_{C1} \\ * & K_{C1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_g \\ U_{T1} \end{pmatrix} \quad \text{--- ⑥}$$

(図-3 b参照). コに、 $K_{Ci} = \begin{pmatrix} K_{Ci} & -K_{Ci} \\ * & K_{Ci} \end{pmatrix}$, $K_i = W_i / h_i$.
次に、図-7 の図中(3)に関するケーブルの剛性行列を求める。図-9 に示すように、ケーブルの伸縮に伴ない、主桁は $M_g = FB$ なる復元モーメントを受ける。この種の復元モーメントは両面吊の斜張橋に特有のものである。モーメント M_g , M_T と主桁のたわみ角 θ_g , 主塔のねじれ角 θ_T の間には、
$$\begin{pmatrix} M_g \\ M_T \end{pmatrix} = \frac{EBA}{2l} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_g \\ \theta_T \end{pmatrix} \quad \text{--- ⑦}$$

との間には、なる関係が成立する。ここに、 E, A, l は、それぞれケーブルの弾性係数、断面積、長さ。よって、式⑥と対応する剛性行列
$$\begin{pmatrix} M_g \\ M_{T1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{C2} & -K_{C2} \\ * & K_{C2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_g \\ \theta_{T1} \end{pmatrix} \quad \text{--- ⑧}$$

(図-4 b参照). コに、 $K_{Ci} = \begin{pmatrix} K_{Ci} & -K_{Ci} \\ * & K_{Ci} \end{pmatrix}$, $K_i = EBA_i / 2l_i$.

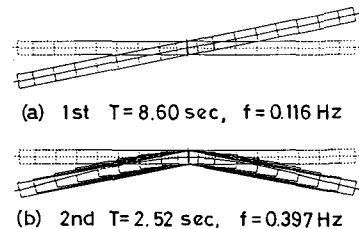


図-1

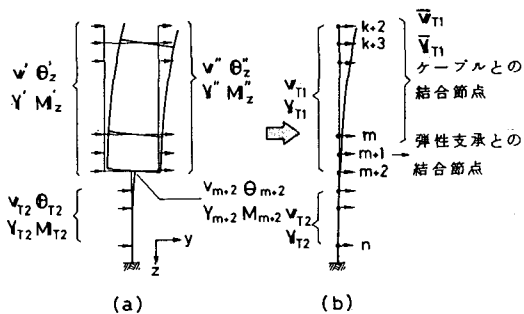


図-3

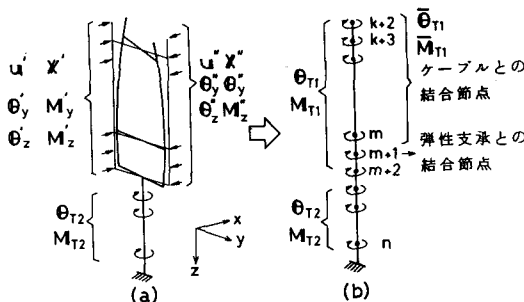


図-4

主桁のモードが対称と逆対称の場合、それぞれ、式②で $\theta_T = 0$ と式⑧で $U_{T1} = 0$ となる (図-7 参照)。

(4) 系全体の剛性行列 以上に述べた(1)~(3)の結果と主桁-主塔間の弾性支承の剛性行列を重ね合わせる。そして、主桁の対称と逆対称モードの条件: $U_g = U_g$ と $U_g = -U_g$ を用いて固有値解析を行なうわけであるが、剛性行列の次数が著しく遞減したことが知られよう。なお、計算結果については発表会当日に示す予定である。

四 むすび 斜張橋の架設糸において、風による横たわみ振動の発生を予想し、二・三のことがらについて検討中である。

参考文献 1) 大坪, 吉村他: SS8 年度西部支部講義集
謝 辞 本研究を行なうにあたり、呼子大橋技術検討委員会の諸氏と九大の小坪清真教授に貴重な助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

	並進	回転
x	U_i, X_i	θ_{x_i}, M_{x_i}
y	V_i, Y_i	θ_{y_i}, M_{y_i}
z	W_i, Z_i	θ_{z_i}, M_{z_i}

図-2

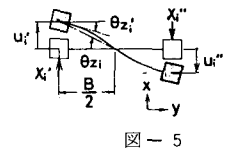


図-5

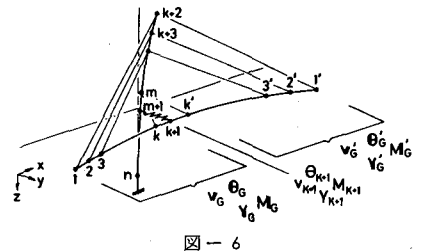


図-6

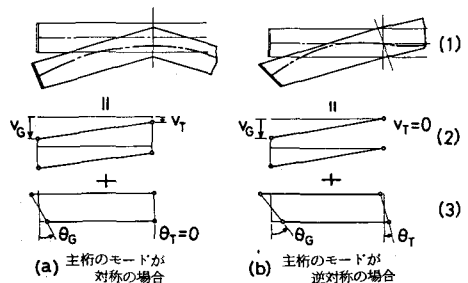


図-7

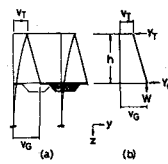


図-8

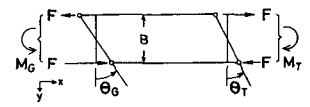


図-9