

日本鋼管 正員 辻 松 雄
" 岡 本 晴 仁
" 正員 ○石 井 紘

1. ま え が き

ドイツで誕生し、発展してきた斜張橋は、現在、日本、米国、更に各国に続々と架橋されてきている。その理由は、中スパン程度の橋梁においては他の型式に見られない多くの優れた長所を有しているためである。このような状況のもとで斜張橋の構造解析に関する研究は、ここ数年活発に行なわれ、数多くの論文が発表されてきた。しかし、それらの論文中的解析は、ほとんどが斜張橋を平面モデルに置き換えたもので、立体モデルに置き換え、そのねじり挙動を取り扱ったものは極めて少ない。

本報告は、F.E.M.を利用したいわゆる変形法により、2面吊り(Double plane)と称される斜張橋のねじり解析を行なったものである。塔の影響をも含めて、2面吊り斜張橋におけるケーブルが、どの程度、斜張橋のねじり剛度に寄与するかを解析しようとするもので、更に、補剛桁の曲げねじり剛性およびケーブルの死荷重プレストレスによる剛性変化の影響も解析に取り入れることができることを述べ、計算例として尾道大橋の各諸元を借用し、以上述べた影響を調べてみたのでここに報告する。

2. 理 論 解 析

F.E.M.を利用して構造物を解析する場合、まず構造物各要素の節点における節点力と節点変位を関係づける剛性マトリックスを求めなければならない。剛性マトリックスを導く方法は種々考えられるが、ここでは要素の任意点における変位曲線を仮定し、ひずみと変位を関係づけ、ひずみエネルギーを計算し、その後、カステリアノの定理を利用して剛性マトリックスを導く方法を採用した。

2-1 補剛桁および塔、部材(2軸非対称断面)の
剛性マトリックス

図-1に、ここで使用した、部材端力、部材端変位の記号と正負、およびその他の記号を示す。

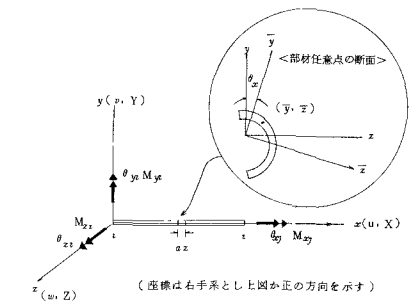
<変位関数>: 部材任意点における変位を(1)式のごとく仮定する。

$$\left. \begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x \\ v &= \alpha_3 + \alpha_4 x + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 x^3 \\ w &= \alpha_7 + \alpha_8 x + \alpha_9 x^2 + \alpha_{10} x^3 \\ \theta_x &= \alpha_{11} + \alpha_{12} x + \alpha_{13} x^2 + \alpha_{14} x^3 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $\alpha_k, k=1\sim 14$ 未定係数
(但し曲げねじりを無視する場合は $\theta_x = \alpha_{11} + \alpha_{12} x$)
部材端の条件を考え、部材任意点での変位を部材端の変位で表わすと(2)式のごとく得られる。

$$\left. \begin{aligned} u &= a u_i + b u_j \\ v &= c v_i + d \theta_{zi} + e v_j + f \theta_{zj} \\ w &= c w_i - d \theta_{yi} + e w_j - f \theta_{yj} \\ \theta_x &= c \theta_{xi} + d \theta_{\omega i} + e \theta_{xj} + f \theta_{\omega j} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで
 $a = (1 - x/\ell) \quad b = x/\ell \quad c = (1 - 3/\ell^2 x^2 + 2/\ell^3 x^3)$
 $b = (x - 2/\ell x^2 + x^3/\ell^2) \quad e = (3/\ell^2 x^2 - 2/\ell^3 x^3) \quad f = (x^2/\ell + x^3/\ell^2)$
(但し曲げねじりを無視する場合は $\theta_x = a \theta_{xi} + b \theta_{xj}$)
<ひずみと変位の関係およびひずみエネルギー>



記 号 次 元	記 号 次 元
u, v, w (m) x, y, z 方向変位	I_{yy} (m ⁴) $\int y^2 dA$ z 軸に関する断面 2 次モーメント
$\theta_{xi}, \theta_{yi}, \theta_{zj}$ (rad) x, y, z 軸回りの回転角	I_{zz} (m ⁴) $\int z^2 dA$ y 軸に関する断面 2 次モーメント
X_i, Y_i, Z_i (t) x, y, z 方向の力	$I_{\phi\phi}$ (m ⁶) $\int \omega^2 dA$ 重心点に関する曲げねじり抵抗
M_{xi}, M_{yi}, M_{zj} (t m) x, y, z 軸回りのモーメント	$I_{\phi y}$ (m ⁶) $\int y \omega dA = -y_c I_{yy}$
θ_{ω} (rad/m) x 軸回りの回転角率	$I_{\phi z}$ (m ⁶) $\int z \omega dA = -z_c I_{zz}$
$M\omega$ (t m ²) 曲げねじりモーメント	ω (rad) 重心点に関するそり関数
y_c, z_c (m) セン断中心の座標	J (m ⁴) サンプソンのねじり定数
	f, A, E, G 等は慣用記号なので説明略

図-1 部材端変位、部材端力の記号と正負およびその他の記号

ひずみと変位の関係を(3)式、ひずみエネルギーを(4)式に示す。

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} - (\bar{y} - \bar{z}\theta_x) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - (\bar{z} + \bar{y}\theta_2) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \omega \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$U = \frac{E}{2} \int_V \epsilon_x^2 dV + \frac{GJ}{2} \int_0^\ell \left(\frac{\partial \theta_x}{\partial x} \right)^2 dx \quad (4)$$

＜剛性マトリックス＞

カステリアノの定理を利用して剛性マトリックスを求めたがその結果を図-2に示す。力と変位の関係を(5)式に示す。

$$\{F\} = [K] \{f\} \quad (5)$$

ここに

$$\{F\} = \{X_i Y_i Z_i M_{xi} M_{yi} M_{zi} M_{\omega i} \quad X_j Y_j Z_j M_{xj} M_{yj} M_{zj} M_{\omega j}\}^T$$

$$\{f\} = \{u_i v_i w_i \theta_{xi} \theta_{yi} \theta_{zi} \theta_{\omega i} \quad u_j v_j w_j \theta_{xj} \theta_{yj} \theta_{zj} \theta_{\omega j}\}^T$$

$\{K\}$: 剛性マトリックス (図-2に示す。)

(但し曲げねじりを無視する場合、 θ_{ω} , M_{ω} は考えない。)

2-2 ケーブルの剛性マトリックス

＜変位関数＞部材の任意点における変位を(6)式のごとく仮定する。

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x \\ v &= \alpha_3 + \alpha_4 x \\ w &= \alpha_5 + \alpha_6 x \end{aligned} \quad (6)$$

部材端の条件を考え、部材任意点における変位を部材端の変位で表

わすと(7)式が得られる。

$$\begin{aligned} u &= a u_i + b u_j \\ v &= a v_i + b v_j \\ w &= a w_i + b w_j \end{aligned} \quad (7)$$

ここで a , b は(2)式の時使用したものと同一。

＜ひずみと変位の関係およびひずみエネルギー＞

ひずみと変位の関係を(8)式、ひずみエネルギーを(9)式に示す。

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \quad (8)$$

$$U = \frac{AE}{2} \int_0^\ell \epsilon_x^2 dx \quad (9)$$

＜剛性マトリックス＞

カステリアノの定理を利用して求めた剛性マトリックスを図-3に示す。力と変位の関係を(10)式に示す。

$$\{F_c\} = [K_c] \{f_c\} \quad (10)$$

$$\{F_c\} = \{X_i Y_i Z_i \quad X_j Y_j Z_j\}^T$$

$$\{f_c\} = \{u_i v_i w_i \quad u_j v_j w_j\}^T$$

$[K_c]$: ケーブルの剛性マトリックス (図-3に示す。)

2-3 ケーブルと補剛桁との結合部の剛性マトリックス

ここで補剛桁の断面変形は生じないという仮定を設ける。図-6を参照しながら結合部の剛性マトリックスを求める。今、補剛桁とケーブルの結合点 k を原点とし、 x 軸をケーブル軸にとった右手系の座標系を考える。この座標系における i 点 (補剛桁の重心線上の点) の座標値を (x_0, y_0, z_0) とすると、 k 点、 i 点における変位、力の関係は $[H]$ を媒介に(11)式、(12)式のごとく得られる。

$$\{f_c\}_k = [H] \{f_i\} \quad (11)$$

$$\{F\}_i = [H]^T \{F_c\}_k \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_2 & 0 & k_3 & 0 & k_4 & k_5 & 0 & -k_2 & 0 & -k_3 & 0 & k_4 & k_5 & 0 \\ k_6 & k_7 & k_8 & 0 & k_9 & 0 & 0 & -k_6 & -k_7 & k_8 & 0 & k_9 & 0 & 0 \\ k_{10} & -k_5 & k_3 & k_{11} & 0 & 0 & 0 & -k_5 & -k_{10} & -k_3 & k_{11} & 0 & 0 & 0 \\ k_{12} & 0 & k_{14} & 0 & 0 & k_{15} & k_{16} & k_{17} & 0 & k_{18} & 0 & k_{19} & 0 & 0 \\ k_{20} & k_{21} & 0 & k_{22} & 0 & k_{23} & 0 & k_{24} & 0 & k_{25} & 0 & k_{26} & 0 & 0 \\ k_{27} & 0 & k_{28} & 0 & k_{29} & -k_{10} & -k_{11} & k_{18} & k_{24} & k_{25} & 0 & k_{26} & 0 & 0 \\ k_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{35} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{36} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{37} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{38} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{39} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{40} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{41} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{43} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{45} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{46} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{47} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{48} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{49} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{50} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{51} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{52} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{53} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{54} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{55} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{56} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{57} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{58} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{59} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{62} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{64} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{65} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{66} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{67} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{68} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{69} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{70} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{72} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{73} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{74} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{75} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{76} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{78} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{79} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{80} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{81} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{82} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{83} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{84} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{85} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{86} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{87} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{88} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{89} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{90} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{91} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{92} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{93} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{94} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{95} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{96} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{97} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{98} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{99} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{100} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

図-2 補剛桁・塔の剛性マトリックス

$$\begin{bmatrix} \frac{E_c A}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{E_c A}{\ell} & 0 & 0 \\ N_p & 0 & 0 & -\frac{N_p}{\ell} & 0 & 0 \\ \frac{N_p}{\ell} & 0 & 0 & -\frac{N_p}{\ell} & 0 & 0 \\ \frac{E_c A}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{N_p}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{N_p}{\ell} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

図-3 ケーブルの剛性マトリックス

$$\begin{bmatrix} \frac{E_c A}{\ell} & 0 & 0 & \frac{E_c A}{\ell} (-z_0) & \frac{E_c A}{\ell} y_0 & 0 \\ N_p & 0 & \frac{N_p}{\ell} z_0 & 0 & \frac{N_p}{\ell} (-x_0) & 0 \\ \frac{N_p}{\ell} & \frac{N_p}{\ell} (-y_0) & \frac{N_p}{\ell} x_0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{N_p}{\ell} (z_0^2 + y_0^2) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E_c A}{\ell} (-z_0) & \frac{N_p}{\ell} x_0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{E_c A}{\ell} y_0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

図-4 結合部の剛性マトリックス

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -z_0 & y_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & z_0 & 0 & -x_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -y_0 & x_0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

図-5 $[H]$ マトリックス

従って(10), (11), (12)式より結合部における力と変位の関係を示す(13)式が得られる。

$$\{F\}_i = (H)^T (K_c)_i (H) \{f\}_i = (K)_B \{f\}_i \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \text{ここに } \{f_c\}_k &= \{u_k \ v_k \ w_k\}^T \quad \{f\}_i = \{u_i \ v_i \ w_i \ \theta_{xi} \ \theta_{yi} \ \theta_{zi} \ \theta_{wi}\}^T \\ \{F_c\}_k &= \{X_k \ Y_k \ Z_k\}^T \quad \{F\}_i = \{X_i \ Y_i \ Z_i \ M_{xi} \ M_{yi} \ M_{zi} \ M_{wi}\}^T \end{aligned}$$

結合部の剛性マトリックス $(K)_B$ を図-4に, (H) マトリックスを図-5に示す。剛性マトリックスが求まったならば後は一般の変形法の手順により解析すれば良い。しかし立体解析になったため、座標変換マトリックスを作成する際、部材座標系の y 軸（部材軸を x 軸）

を決定するデータが必要になることと、支点の境界条件、節点外力は全て全体座標系での値で解析が行なわれるため、平面解析では生じなかった現象が現れてくるので注意しなければならない。

3. 計算例

<計算例1>：図-7に示すような斜張橋（尾道大橋）の立体モデルに対し解析する。部材

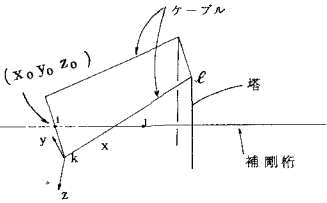


図-6 補剛桁とケーブルの結合部

表-1 解析モデル部材諸数値

補剛桁	A (m ²)	I _{yy} (m ⁴)	I _{zz} (m ⁴)	J (m ⁴)	I _{tw} (m ⁴)	B 10 ³ kg/m ²
塔	0.3	0.4	4.0	0.5	4.5	21
直立	0.09	0.02	0.03	0.02	0.009	21
水平	0.07	0.004	0.1	0.00	0.01	21
ケーブル	A ₁ =0.0135 A ₂ =0.0081 A ₃ =0.0087 A ₄ =0.012					
支点条件	補剛桁 y z 方向変位とねじり拘束 (原点のみ x 方向変位拘束)					
	塔 x y z 方向変位とねじり拘束					
	両者ともねじり拘束は無し					
荷重 (全橋幅平均)	中央点に Y=-1.0 ton M _x =1.0 t m を載荷					

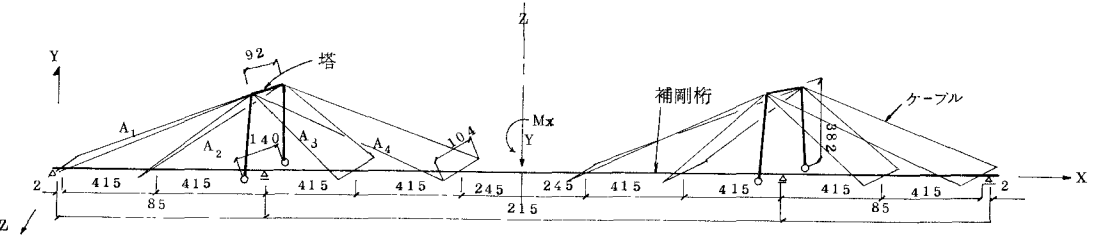


図-7 数値解析モデル (尾道大橋左右対称)

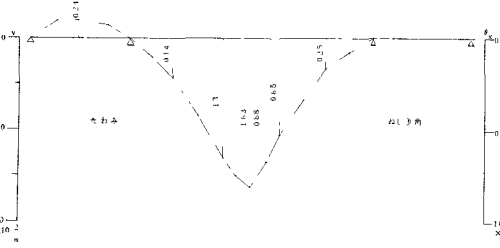


図-8 補剛桁 たわみ・ねじり角図

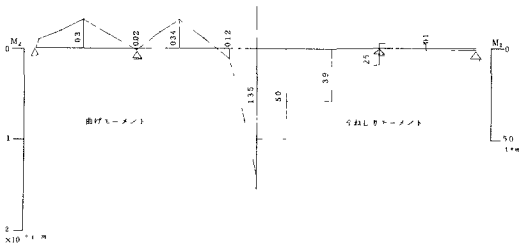


図-9 補剛桁 曲げモーメント・全ねじりモーメント図

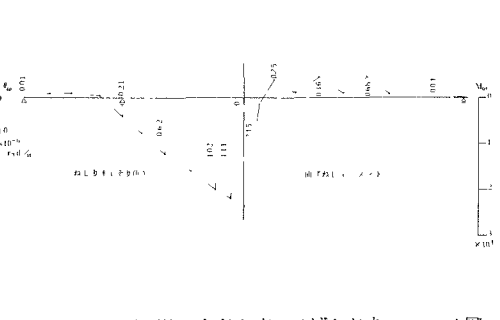


図-10 補剛桁 ねじり率・曲げねじりモーメント図

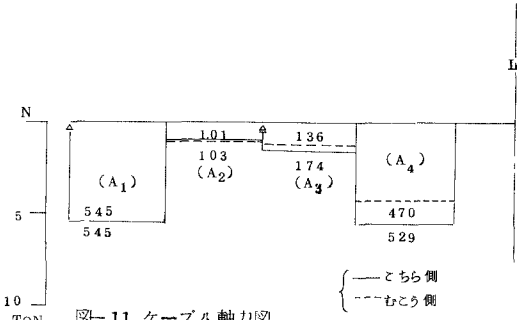


図-11 ケーブル軸力図

諸数値、支点条件、荷重を表-1に示す。計算結果を図-8~11に示す。図-8は補剛桁のたわみとねじり角、図-9は曲げモーメントと全ねじりモーメント、図-10はねじり率と曲げねじりモーメント、図-11はケーブルの軸力をそれぞれ示す。図の値は全て補剛桁中央点で対称な値をとる。

＜計算例2＞：補剛桁に作用するねじりモーメントに対しケーブルの影響を無視した場合

計算例1の値を分母、計算例2の値を分子にとり、それぞれ最大点で比較したものを表-2に示す。この表より2面吊り斜張橋のケーブルがねじり剛度に寄与する分を定量的に把握することができる。計算例の場合は、ケーブルの作用により斜張橋の等価ねじり剛度が1.4倍程になっていることがわかる。また全ねじりモーメントに関しては最大点（補剛桁中央）で同じ値を示しているが、図-9によると計算例1の場合、ケーブル取付点で、全ねじりモーメントが漸減していることがわかる。

＜計算例3＞：ケーブルの剛性に死荷重によるプレストレスの影響を考えた場合

結果を表-3に示す。この場合、プレストレスは斜張橋のねじり剛度にはほとんど影響を与えない。その影響は曲げ剛度の方にわずかに見られるが、それでもたわみが2%程小さくなっているにすぎない。本解析ではケーブルを直線部材とし、サグを考えていない。このサグを解析に考慮すると、プレストレスがケーブルの剛性に及ぼす影響はもっと顕著に現われてくるものと考ええる。

＜計算例4＞：補剛桁・塔の曲げねじり剛性を無視した場合。結果を表-4に示す。補剛桁・塔の曲げねじり剛性はこれ自体計算がやっかいなこと、さらにこれを考えた構造解析となるとなお複雑になり、ややもすれば無視されがちな値である。しかし曲げねじり剛性は一般に斜張橋のねじり剛度を高める。特に補剛桁の断面が開き断面の場合はその影響が著るしく、曲げねじりを考慮した構造解析を行なわねばならないものと考ええる。本計算例では、曲げねじり剛性を考慮すると、約1割程斜張橋のねじり剛度が増加した。

4. 結 論

斜張橋において、いわゆる2面吊りと称されるタイプについて、ケーブルの作用が斜張橋のねじり剛度をどの程度増加させるか定量的に把握する解析を行なった今まで、2面吊り斜張橋の場合ケーブルは、斜張橋のねじり剛度に効果を及ぼすであろうと定性的に知られていたが、本解析によりその効果を定量的に把握することができるようになった。計算例で行なった斜張橋（尾道大橋）の場合ケーブルの影響が斜張橋のねじり剛度を1.4倍程増加させている。さらに本解析はケーブルの剛性に死荷重によるプレストレスの影響を考えた場合の解析および補剛桁・塔の曲げねじり剛性も考慮に入れた解析を行なうことができる。これらの影響を上記計算例で見たが、ケーブルのプレストレスによる剛性は斜張橋のねじり剛度にほとんど影響がなく、また、補剛桁・塔の曲げねじり剛性は、斜張橋のねじり剛度を約1割増加させた。

5. あとがき

本報告は斜張橋の静的挙動を取り扱ったものであるが、この解析を基礎にして、今後、立体挙動としての斜張橋の有限変形解析、全体座屈解析、振動解析（ねじり振動解析）の研究を進めていく予定である。

＜参考文献＞ 1) F.W. Bornscheuer「曲げおよび曲げねじりの系統的表示」Der Stahlbau 1952 2) Man-Chung Tang「Analysis of cable-stayed girder bridges」ASCE 1971 ST5 3) 日本道路公団「尾道大橋上部工計算書」 4) 結城・前田「薄肉断面構造の三次元挙動の解析」論文集 1974-4 No. 244

表-2 計算例2の結果と計算例1との比較

	計 算 例 1 (ケーブルの作用を考慮)	計 算 例 2 (ケーブルの作用を無視)	計算例2 計算例1
ねじり角($\times 10^{-4}$ rad)	0.88	1.23	1.40
全ねじりモーメント($\times 10^4$ t·m)	0.50	0.50	1.00
ねじり率($\times 10^{-6}$ rad/m)	1.11	1.23	1.11
曲げねじりモーメント($\times 10^4$ t·m ²)	2.45	2.46	1.00

表-3 計算例3の結果と計算例1との比較

	計 算 例 1 (ケーブルの剛性にプレストレスを無視)	計 算 例 3 (ケーブルの剛性にプレストレスを考慮)	計算例3 計算例1
たわみ(cm)	1.63	1.60	0.98
ねじり角($\times 10^{-4}$ rad)	0.88	0.88	1.00
曲げモーメント($\times 10^2$ t·m)	1.35	1.34	1.00
全ねじりモーメント($\times 10^4$ t·m)	0.50	0.50	1.00
ねじり率($\times 10^{-6}$ rad/m)	1.11	1.11	1.00
曲げねじりモーメント($\times 10^4$ t·m ²)	2.45	2.45	1.00

表-4 計算例4の結果と計算例1との比較

	計 算 例 1 (補剛桁100%考慮)	計 算 例 4 (補剛桁100%無視)	計算例4 計算例1
ねじり角($\times 10^{-4}$ rad)	0.88	0.96	1.09
全ねじりモーメント($\times 10^4$ t·m)	0.50	0.50	1.00