

日本道路公団 正員 数 須 信 一
 大阪大学工学部 正員 小 松 定 夫
 大阪大学大学院 学生員 三 吉 和 範

1 まえおき 小西・小松²⁾³⁾は、薄肉はり理論を用いて、代表的な荷重状態における曲線箱げたの計算公式を与えている。これは、近似解法として、非常に有効であるが、断面変形を考慮していない。Labowski⁴⁾は、曲線箱げたの断面変形に関して、興味ある研究を報告している。本研究は、これらを発展させたものであり、次の事を目的とする。

(1) 断面変形を考慮した曲線箱げたの解析手法の提示

(2) 隔壁・対傾構の配置間隔や必要剛性に関する基礎的設計資料の作成

ここでは、(1)について記述し、(2)については、後日詳細な報告を、おこなう。

2 解析手法 曲線箱げたの軸方向応力 σ_x は、3成分から成り立つ。

$$\sigma_x = \sigma_b + \sigma_w + \sigma_s \quad (1)$$

式中の第1項は曲げモーメントにより生ずる応力であり、第2項は曲げねじりモーメントにより生ずる応力である。各々、薄肉はり理論より求め得る。第3項は断面変形により生ずる応力であり、Labowskiにより次式の如く与えられている。

$$\sigma_s = -A^* \Pi_s \gamma'' \quad (2)$$

ここに、 $A^* = \frac{E H_s H_z}{8 \omega_s}$ 、 Π_s : そり関数(図2-(a))、 γ : 断面変形角(図2-(b))である。式(2)の γ については、曲線箱げたをN分割し、第k番目の要素に対する微分方程式は次式の通りである。

$$\gamma'' + 4 \lambda_k^* \gamma = \frac{1}{W A_k^*} \left(S_k^* \frac{M_k}{R_k} - \frac{m}{2} \right) \quad (3)$$

ここに、 $\lambda_k^* = \left(\frac{k}{4 W A_k^*} \right)^{1/2}$ 、 k, λ_k^* : 箱げたの剛性、 $W A_k^*$: 断面変形に対する剛性、 S_k^* : 無次元の形状係数、 M_k : 曲げモーメント、 m : 分布トルク、 R_k : 圆心の曲率半径である。一般解は次式の通りである。

$$\gamma = C_{1k} Y_1(\lambda_k R_k \theta_k) + C_{2k} Y_2(\lambda_k R_k \theta_k) + C_{3k} Y_3(\lambda_k R_k \theta_k) + C_{4k} Y_4(\lambda_k R_k \theta_k) + K_{1k} \ln \theta_k + K_{2k} \cos \theta_k + K_{3k} \quad (4)$$

ここに、 $C_{1k} \sim C_{4k}$: 積分定数、 $Y_i(\lambda_k R_k \theta_k) \sim Y_4(\lambda_k R_k \theta_k)$: Krzylov関数、 $K_{1k} \sim K_{3k}$: 定数である。積分定数は、境界条件 $\gamma = \gamma_k$ 、 $\gamma' = \gamma'_k$ ($\theta_k = 0$)、 $\gamma = \gamma_{k+1}$ 、 $\gamma' = \gamma'_{k+1}$ ($\theta_k = \theta_k$)、 θ_k : k番目要素の中心角より決定される。行列表示すると、

$$\begin{bmatrix} \gamma_k \\ \gamma'_k \\ \gamma_{k+1} \\ \gamma'_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{3k} & 0 & 0 \\ K_{1k} & K_{2k} & K_{1k} & K_{2k} \\ K_{12k} & K_{13k} & K_{14k} & K_{15k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{1k} \\ C_{2k} \\ C_{3k} \\ C_{4k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{4k} \\ K_{5k} \\ K_{6k} \\ K_{7k} \end{bmatrix} \quad \text{又は} \quad U_k = H_k \cdot X_k + I_k \quad (5)$$

全要素については次式の通りである。

$$U = H X + I \quad (6)$$

ここに、 $U = \{U_1, \dots, U_k, \dots, U_N\}$ 、 $H = \text{diag}\{H_k\}$ 、 $X = \{X_1, \dots, X_k, \dots, X_N\}$ 、 $I = \{I_1, \dots, I_k, \dots, I_N\}$ である。分割点kにおける釣合式は次式の通りである。

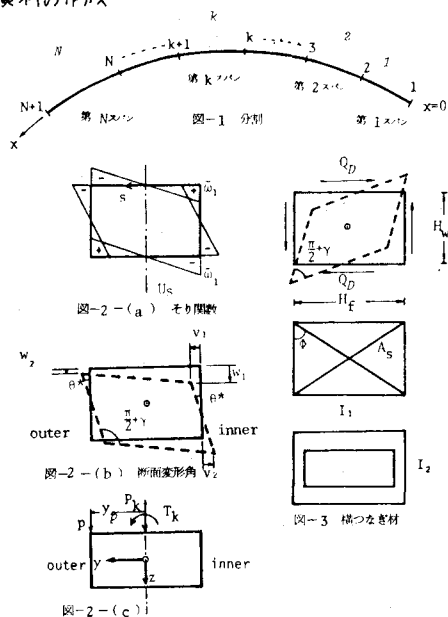


図-3 横つなぎ材

$$(WA^*Y'')_{k-1} - (WA^*Y'')_k = \frac{T_k}{2} + Q_{Dk} \cdot H_w \quad (7)$$

$$(WA^*Y'')_{k-1} - (WA^*Y'')_k = 0$$

ここに、 $T_k = PY_k$ (図2(c))であり、 $Q_{Dk} = K_g Y_k$ は、横つなぎ材の水平せん断力である。 K_g は、横つなぎ材の形式により、①隔壁形式 $K_g = G t_0 H_k$ 、ただし t_0 : 隔壁板厚、②斜傾構形式 $K_g = \frac{2EA_s H_w \sin^3 \phi}{H_f}$ 、③ラメン形式 $K_g = \frac{24E}{H_w(H_{1/2} + H_{3/2})}$ である。(図-3) 式(7)を行列表示すると次式の通りである。

$$\begin{bmatrix} \bar{P}_k \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} WA_{k-1}^* M_{1,k-1} & WA_{k-1}^* M_{2,k-1} & WA_{k-1}^* M_{3,k-1} & WA_{k-1}^* M_{4,k-1} & 0 & 0 & 0 & -WA_{k-1}^* L_{1,k} \\ WA_{k-1}^* N_{1,k-1} & WA_{k-1}^* N_{2,k-1} & WA_{k-1}^* N_{3,k-1} & WA_{k-1}^* N_{4,k-1} & 0 & 0 & -WA_{k-1}^* J_{1,k} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{k-1} \\ X_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} WA_{k-1}^* M_{1,k} - WA_{k-1}^* L_{2,k} \\ WA_{k-1}^* N_{1,k} - WA_{k-1}^* J_{2,k} \end{bmatrix}$$

全分割点については、次式の通りである。

$$\bar{P} = J \cdot X + L \quad (8)$$

ここに、 $\bar{P} = \{\bar{P}_1, \dots, \bar{P}_k, \dots, \bar{P}_N\}$ 、 $J = \text{diag}\{J_1, \dots, J_k, \dots, J_N\}$ 、 $L = \{L_1, \dots, L_k, \dots, L_N\}$ である。従て、式(8)と式(8)より

$$U = (K^*)^{-1} P^* \quad (9)$$

ここに、 $K^* = JH^*$ であり、 $P^* = \bar{P} + JH^*I - L$ である。式(9)より求めた U_k を式(5)に代入して、各断面の区間に対する積分定数 X_k が求まる。さらに積分定数 X_k を式(4)に代入して断面変形角 γ が求まる。最後に、その γ を式(2)に代入して断面変形による応力 σ_f が求まる。

3 数値計算 本解析法の妥当性を検討するために、数値計算をおこなった。①本法(Torsion bending theory)により、剛体隔壁を有する曲線箱げたに非対称荷重が作用する場合を解析し、文献5)の解と比較検討した。(図-4) Table 1に、スパン中央断面における両解析法の解を示す。本法と良く一致している。②本法により、弾性隔壁を有する曲線箱げたに集中荷重が作用する場合を解析し、著者が開発したFEMによる解と比較検討した。図-5は、スパン中央断面における応力分布である。本法と良く一致しており、本法により十分FEMの解を近似できる。

4 結論 ①本解析法は妥当であり、曲線箱げたの解析に有用である。②本解析法は、単純ばり、固定ばり、連続ばり、いずれも解析可能である。③計算時間、計算機容量とも非常に小さく、FEMの最大のデメリットを克服している。

5 あとがき 目的(2)を達成するために、本解析法により、パラメータ解析をおこなう。パラメータ解析の詳細は、後日報告する予定である。

参考文献 1) 小面小松: 薄肉曲線材の基礎理論、土木学会論文集89号(1962)、2) 小面小松: 単純支持曲線桁橋の立体的解析、土木学会論文集90号(1963)、3) 小面小松: 薄肉連続曲線桁橋の立体的解析、土木学会論文集91号(1963)、4) Dabrowski, R.: Gebümmte dünnwandige Träger, Springer Verlag (1968)、5) Olmick J.C. & Heino, P.C.: Diaphragms for Curved Box Beam Bridges, ASCE(1975)

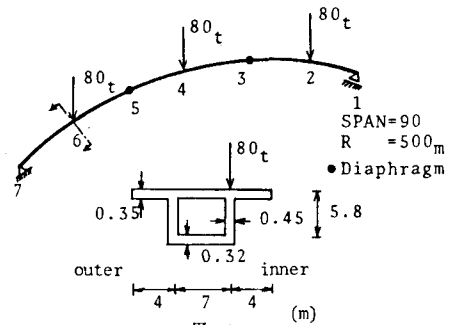


Table 1

	Reference (5)		Torsion-Bending[本法]
M	2990.0	t-m	2988.0 (0.06 %)
γ	4.14×10^{-5}	rad.	4.09×10^{-5} (1.18 %)
γ''	-1.23×10^{-6}	m ⁻¹	-1.23×10^{-6} (0.0 %)
$(\sigma_y)_{upper flange}$	-92.4	t/m ²	-92.2 (0.178 %)
$(\sigma_y)_{lower flange}$	150.0	t/m ²	149.5 (0.347 %)
$(\sigma_x)_{upper flange}$	-16.7	t/m ²	-16.7 (0.0 %)
$(\sigma_x)_{lower flange}$	24.7	t/m ²	24.7 (0.0 %)

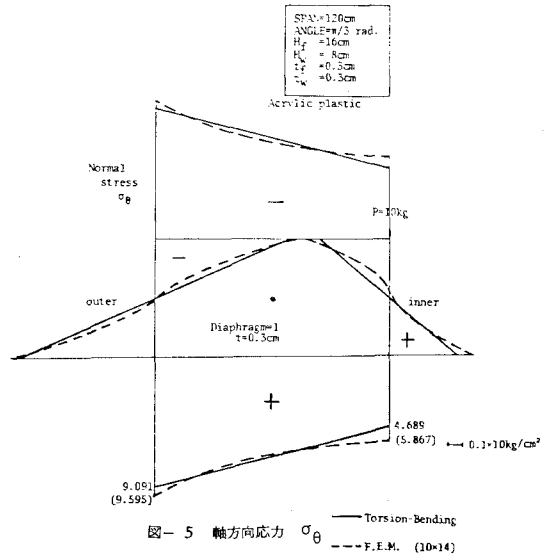


図-5 軸方向応力 σ_θ