

九州大学工学部

学生員 中野計雄

正員 大塚久哲

吉村虎蔵

1. まえがき 本研究は、扇形床版、曲線主桁および横桁の3構成要素間の偏心結合を考慮した曲線箱桁橋の一解析法を提示し、あわせてこの種構造物の荷重分配性状について考察するものである。

2. 解法 扇形床版の剛性方程式を有限帯板法(FSM)により、曲線主桁のそれをフーリエ級数展開により、横桁のそれを有限要素法(FEM)によりそれぞれ求める。扇形床版と曲線主桁のつなぐ構造(以下、基本構とよぶ)は、通常のFSMにより解析できる。横桁を有する曲線箱桁橋では、偏心結合法により基本構と横桁間に作用する結合力を求め、外荷重とこの結合力と同時に基本構に作用させて解析する。(詳しくは、文献1)参照)

(a) 曲線主桁および扇形床版の剛性方程式

図-1は、箱桁とそれに隣接する床版部分を示す。図中I-A, B-Jは、扇形帯板要素とするがA~B間の床版は、箱桁と一体と考えこれを断面変形のない一本の薄肉曲線けたとみなす。曲線箱桁の圆心Oに関する着目点の剛性方程式は、次式で与えられる。

$$\{ \delta_m^A \} \{ \delta_m^B \} = \{ P_m^A \} \quad (1)$$

ここに $\{ \delta_m^A \} = \{ u_m, v_m, w_m, \psi_m \}^T$, $\{ P_m^A \} = \{ P_{m,u}, P_{m,v}, P_{m,w}, P_{m,\psi} \}^T$ ($\{ \delta_m^B \}$ は文献1) 参照)

この剛性方程式は、節線Aの変位 $\{ \delta_m^A \}$ と力 $\{ P_m^A \}$ にし、て次のように表わされる。

$$[T_m] [\delta_m^A] [T_m] \{ \delta_m^A \} = \{ P_m^A \} \quad (2-a) \quad \text{ただし、} \{ \delta_m^B \} = [T_m] \{ \delta_m^A \} \quad (2-b), \quad [T_m]^T \{ P_m^A \} = \{ P_m^B \} \quad (2-c)$$

$$[T_m] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & z_A \\ \frac{z_A k_m}{R_0 + x_A} & \frac{R_0}{R_0 + x_A} & (z_A - \frac{w_A}{R_0}) \frac{k_m}{R_0 + x_A} & \frac{k_m w_A}{R_0} \\ 0 & 0 & 1 & -x_A \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-d)$$

帯板要素(I-A)の剛性方程式において、節線Aの変位と力に関する要素中に、式(2-a)を重ねあわせれば箱桁の剛性と組み込んだ剛性方程式が求められる。箱桁は、断面変形を無視(剛体変位)するから、節線Bの変位 $\{ \delta_0 \}$ 、力 $\{ P_0 \}$ は、節線Aのそれらと互いに独立ではなく、基本構の全体剛性方程式から $\{ \delta_0 \}$ と $\{ P_0 \}$ を除去する必要がある。節線AおよびB間の変形あるいは力の関係をそれぞれ求めれば、次式となる。

$$\{ \delta_m^A \} = [T_m^{AB}] \{ \delta_0 \} \quad (3-a), \quad \{ P_m^A \} = [T_m^{AB}]^T \{ P_0 \} \quad (3-b)$$

$$[T_m^{AB}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & (z_B - z_A) \\ \frac{k_m(z_B - z_A)}{R_0 + z_B} & \frac{R_0}{R_0 + z_B} & \frac{k_m}{R_0} \left\{ \frac{R_0 + z_A}{R_0 + z_B} (z_B - \frac{w_B}{R_0}) - z_A + \frac{w_A}{R_0} \right\} & \frac{k_m}{R_0} \left\{ (w_B - w_A) + \frac{R_0}{k_m} (w_B z_A - w_A z_B) + (x_B z_A - z_A z_B) \right\} \\ 0 & 0 & 1 & (x_A - x_B) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-c)$$

式(3)を用いて式(2)で与えられる要素(B-J)の剛性方程式から $\{ \delta_0 \}$, $\{ P_0 \}$ を除去すれば式(4)となる。

$$\begin{bmatrix} [K_m^{AB}] [K_m^{BJ}] \\ [K_m^{AB}] [K_m^{JJ}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{ \delta_m^A \} \\ \{ \delta_m^B \} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{ P_m^A \} \\ \{ P_m^B \} \end{bmatrix} \quad (4) \quad \left[\begin{array}{l} ([T_m^{AB}]^T [K_m^{AB}] [T_m^{AB}]^T, ([T_m^{AB}]^T [K_m^{BJ}]^T) \\ [K_m^{AB}] [T_m^{AB}]^T, [K_m^{JJ}] \end{array} \right] \begin{bmatrix} \{ \delta_m^A \} \\ \{ \delta_m^B \} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{ P_m^A \} \\ \{ P_m^B \} \end{bmatrix} \quad (5)$$

(b) 橋桁結合点と床版節線の力と変位の関係

図-1の図心の橋桁結合点A', B'あるいはO-A'-B'と同断面内にある節線A上の点(この点をAと表記する。)の力の関係式は、次のように書ける。

$$\{P\} = \{A_A\} \{P_A\} \dots (6-a), \quad \{P_A\} = \{A_A'\} \{P_A'\} \dots (6-b), \quad \{P_O\} = \{A_O\} \{P_O'\} \dots (6-c)$$

ここに $\{P\} = \{P_{Ax}, P_{Ay}, P_{Ox}, P_{Oy}\}$ は、図心の橋桁方向たわみ角 φ に対応するモーメントを示す。

$$\{A_A\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -Z_A & X_A & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \{A_A'\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -Z_A' & X_A' & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \{A_O\} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -Z_O' & X_O' & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

式(6)を用いれば、 $\{P_A\}$ と $\{P_A'\}$, $\{P_A\}$ と $\{P_O\}$ の関係は次式で示される。

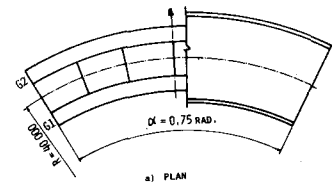
$$\{P_A\} = \{A_A'\} \{P_A'\} = \{A_A'\} \{A_O'\} \{P_O'\} \dots (7-a), \quad \{P_A\} = \{A_A'\} \{P_O\} = \{A_A'\} \{A_O\} \{P_O\} \dots (7-b)$$

よって、仮想仕事の原理より、 $\{\delta A\} = \{A_A'\} \{A_O'\}^T \{\delta A'\} \dots (8-a), \quad \{\delta O\} = \{A_A'\} \{A_O\}^T \{\delta A\} \dots (8-b)$

式(8)を用いて、節線変位と節点変位に変換し、基本構の節点たわみ性行列と橋桁の刚性行列を用いれば結合力を求めることができ、式(7)を用いてこの結合力を節線力に変換し、外荷重と共に基本構に作用せしめば、手続を解くことができる。

(c) 荷重ベクトルの処理 箱桁に作用する荷重は、

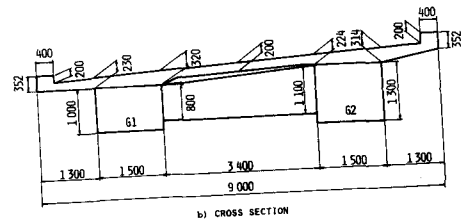
図心のOに集中して働かせ、それを節線Aに作用する等価荷重に置きかえる。



3. 曲線2箱桁橋(図-2)の解析例

(a) 死荷重載荷時 主桁のみからなる構造をSGB-O

主桁・橋桁からなる構造をSGB-1とすると、死荷重載荷時の各主桁の直応力、せん断応力を求めれば、図-3, 4をうる。これから、橋桁の働きのため内桁のたわみ、応力がわかる。これから減少することになる。



(b) 活荷重載荷時 床版、主桁のみからなる構造をCGB-O

CGB-Oに橋桁と取付けた構造をCGB-1とし、荷重を各主桁に不利と見るように載荷(L1, L2)したときの

橋梁横断面のたわみ、各主桁の直応力、せん断応力を求めれば、図5, 6, 7をうる。これから橋桁の働きのため、荷重分配が若干良好と

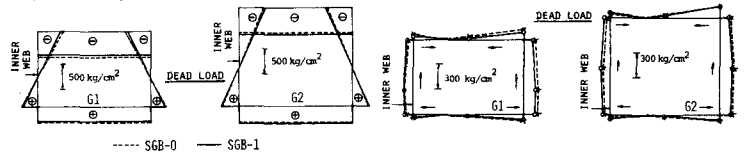


図-3 SGBの直応力

図-4 SGBのせん断応力

参考文献) 大塚吉村 橋梁 平成 床版と桁の偏心結合を考慮した曲線2箱桁橋の解析 土木学会論文報告集 251号 1977年3月

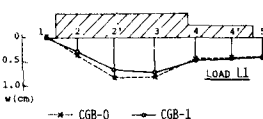


図-5 CGBのたわみ

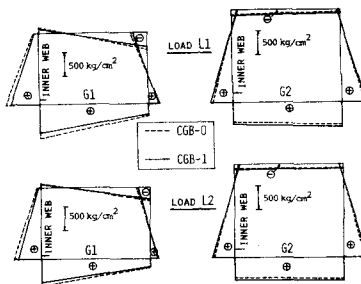


図-6 CGB 直応力

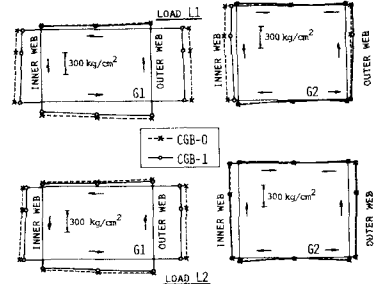


図-7 CGBのせん断応力