I－135　合成曲線並列桁橋における床版の連続性の影響について

山梨大学工学部　正員　深沢泰晴
交通技術(株)　青柳史郎
仝　上　○桧貝幹夫

1. はじめに

曲線橋特有の卓越するねじれに対処するには，閉断面構造を採用することが特に望ましい。しかしながら経済性の観点からすれば，コンクリート床版と並列I桁とを合成させた，いわゆる合成並列桁構造が非常に有利であり，そのため最近では曲線橋においてもこの種の構造例がかなり多くみられるようになった。このような構造は箱桁構造に較べるとねじりに対する力学的特性が遥かに劣るので，その設計にあたっては慎重な解析がなされると共に，構造特性が十分に検討されなければならない。

一般に従来は，この種の構造の計算にあたっては，有効巾に応じてコンクリート床版を切断し，各並列桁のフランヂが橋軸方向に単独で自由に振舞えるものと仮定し，格子構造として計算するか，更に単純化して全横断面形状不変の並列桁構造として解析している。ところが有効巾の考え自体，曲げを主体とする構造を対象とするものであり，また床版の連続性を無視してはねじりによる反り拘束及びそれに伴うせん断流の状態を正確に把握し得ない等の不合理を考えれば，これらの慣用設計法は必ずしも妥当であるとは云えない。そこでここでは床版を連続としたままでの並列主桁構造の簡便な計算式を提案すると共に，2，3の計算結果にもとづいて比較検討を行なった。

2. 合成曲線並列桁橋の計算式

図-1は横断面の一部を示す。構成要素としての個々の板帯を単位として解析し，全体としては各板帯の接合点での軸方向の垂直歪の連続条件が満たされるようにするという解析方法を採用した。

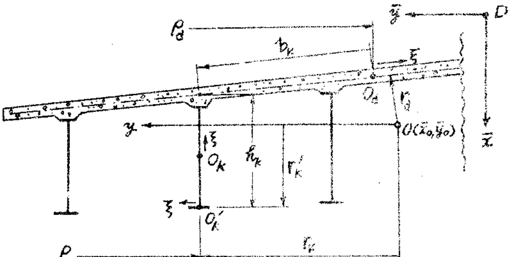

図-1. 合成曲線並列桁橋断面

2-1. 板帯の中立点と断面定数　合成曲線並列桁橋がnヶの曲線状の板帯から構成されているとする。そのうちの板帯jの中立点の座標$O_j(\bar{x}_j, \bar{y}_j)$その曲率半径$\rho_j$，断面二次モーメント$J_{xj}$，$J_{yj}$，$J_{xyj}$，ねじれ定数$J_{\tau j}$は次式で表わされる；

$$\bar{x}_j \doteqdot \bar{x}'_j + \frac{1}{12}\frac{d_j^2 \sin\alpha_j \cos\alpha_j}{\rho'_j}\ ,\quad \bar{y}_j \doteqdot \bar{y}'_j + \frac{1}{12}\frac{d_j^2 \sin^2\alpha_j}{\rho'_j}\ ,\quad \rho_j \doteqdot \rho'_j\left(1 - \frac{1}{12}\frac{d_j^2\sin^2\alpha_j}{\rho_j'^2}\right)$$

$$J_{xj} \doteqdot \frac{1}{12} d_j^3 t_j \sin^2\alpha_j \left(1 - \frac{1}{6}\frac{d_j^2 \sin^2\alpha_j}{\rho_j'^2}\right),\quad J_{yj} \doteqdot \frac{1}{12} d_j^3 t_j \cos^2\alpha_j \left(1 - \frac{1}{6}\frac{d_j^2\sin^2\alpha_j}{\rho_j'^2}\right)$$

$$J_{xyj} \doteqdot \frac{1}{12} d_j^3 t_j \sin\alpha_j \cos\alpha_j \left(1 - \frac{1}{6}\frac{d_j^2\sin^2\alpha_j}{\rho_j'^2}\right),\quad J_{\tau j} \doteqdot \frac{1}{3} d_j t_j^3 \left(\frac{\rho_j}{\rho'_j}\right)^3 \left(1 + \frac{d_j^3 \sin^2\alpha_j}{\rho_j'^2}\right)$$

ここに，$(\bar{x}'_j, \bar{y}'_j)$＝板帯断面の中心点の座標，ρ'_j＝同曲率半径，d_j＝板帯の巾，t_j＝板帯厚。

2-2. 全断面の中立点と断面定数　全断面の中立点の座標$O(\bar{x}_0, \bar{y}_0)$，同曲率半径R_0，断面二次モーメントJ_x，J_y，J_{xy}は各板帯の断面定数によって次のように表わされる；

$$\bar{x}_0 = \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{\rho_j}F_j\bar{x}_j \Big/ \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{\rho_j}F_j\ ,\quad \bar{y}_0 = \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{\rho_j}F_j\bar{y}_j \Big/ \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{\rho_j}F_j\ ,\quad R_0 = F \Big/ \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{\rho_j}F_j$$

$$J_x=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_0}{\rho_j}(J_{xj}+F_j y_j^2),\quad J_y=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_0}{\rho_j}(J_{yj}+F_j x_j^2),\quad J_{xy}=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_0}{\rho_j}(J_{xyj}+F_j x_j y_j)$$

ここに、F_j = 板帯 j の横断面積、 $F=\sum_{j=1}^{n}F_j$ = 全断面の断面積。 (x_j, y_j) = 座標系 $(O\text{-}x, y)$ における O_j の座標。

2-3. 全断面の中立点に関する反り関数と断面定数　合成並列桁橋が m ケのI桁と1ケの床版より構成されているとする。中立点Oをねじり中心とした場合の床版及び桁々の下突縁板、腹板の各中立点における反り関数 ω_d, ω_{fk}, ω_{wk} はそれぞれ次式で与えられる；

$$\omega_d=\frac{R_0\rho_d}{F}\sum_{k=1}^{m}\left[F_{wk}\left(\frac{r_k h_k}{2\rho_k^2}+\frac{r_d b_k}{\rho_k\rho_d}\right)+F_{fk}\left(\frac{r_k h_k}{\rho_k^2}+\frac{r_d b_k}{\rho_k\rho_d}\right)\right]$$

$$\omega_{fk}=\omega_d-R_0\rho_k\left(\frac{r_k h_k}{\rho_k^2}+\frac{r_d b_k}{\rho_k\rho_d}\right),\quad \omega_{wk}=\omega_{fk}-\frac{R_0}{\rho_k}\cdot\frac{r_k h_k}{2}$$

ここに、F_{wk}, F_{fk} = 桁 k の腹板、下突縁板の横断面積、 ρ_d = 床版断面の中立点の曲率半径、 ρ_k = 桁 k の腹板及び下突縁板断面の中立点の曲率半径、その他の記号については 図-1 参照。

各板要素の中立点の反り関数を知れば全断面の中立点に関する反りモーメント及び反り定数は

$$C_x=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_0^2}{\rho_j^2}\left[\left(x_j-\frac{\omega_j}{R_0}\right)J_{xj}-y_j J_{xyj}+\frac{\rho_j}{R_0}F_j\omega_j y_j\right],\quad C_y=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_0^2}{\rho_j^2}\left[-y_j J_{yj}+\left(x_j-\frac{\omega_j}{R_0}\right)J_{xyj}+\frac{\rho_j}{R_0}F_j\omega_j x_j\right]$$

$$C_\omega=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_0^3}{\rho_j^3}\left[\left(x_j-\frac{\omega_j}{R_0}\right)^2 J_{xj}+y_j^2 J_{yj}-2\left(x_j-\frac{\omega_j}{R_0}\right)y_j J_{xyj}+\frac{\rho_j^2}{R_0^2}F_j\omega_j^2\right]$$

2-4. せん断中心と断面定数　座標系 $(O\text{-}x, y)$ における全断面のせん断中心 S の座標 (x_s, y_s) は

$$x_s=\frac{C_x J_y-C_y J_{xy}}{J_x\left(J_y-\frac{C_y}{R_0}\right)-J_{xy}\left(J_{xy}-\frac{C_x}{R_0}\right)},\quad y_s=-\frac{C_y J_x-C_x J_{xy}}{J_x\left(J_y-\frac{C_y}{R_0}\right)-J_{xy}\left(J_{xy}-\frac{C_x}{R_0}\right)},\quad R_S=R_0\frac{J_x J_y-J_{xy}^2}{J_x\left(J_y-\frac{C_y}{R_0}\right)-J_{xy}\left(J_{xy}-\frac{C_x}{R_0}\right)}$$

せん断中心Sに関する反り関数、ねじり定数並びに反り定数はそれぞれ

$$\omega_j^*=\frac{R_s^2}{R_s^2}\omega_j-\frac{R_s}{R_0}x_s y_j+\frac{R_s}{R_0}y_s x_j,\quad J_t^*=\sum_{j=1}^{n}\frac{R_s^3}{\rho_j^3}J_{tj},\quad C_\omega^*=\frac{R_s^4}{R_0^4}\left(\frac{R_s}{R_0}C_\omega-x_s C_x+y_s C_y\right)$$

3. 計算例並びに比較検討

コンクリート床版を切断し、断面形不変の並列桁構造として解析する慣用計算法による結果と、床版の連続性を加味した全断面一体としての計算結果との比較を垂直応力について 図-2,3 に示す。

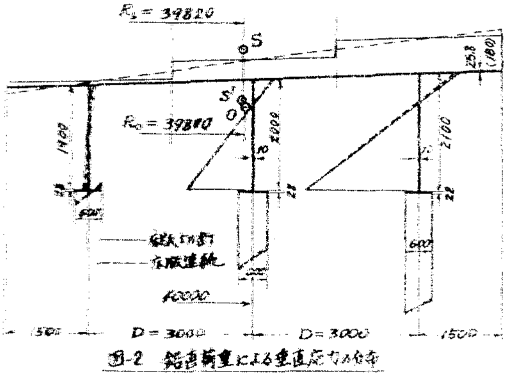

図-2 鉛直荷重による垂直応力の分布

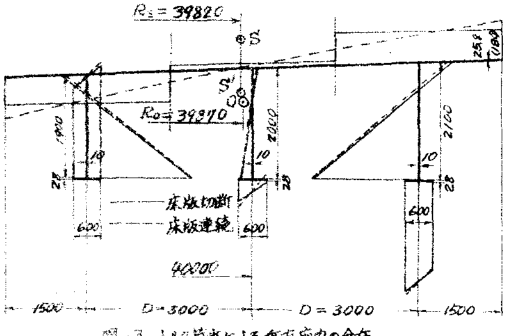

図-3 トルク荷重による垂直応力の分布

前者の結果は各並列桁についての平均的な値を与えるものであり、局部的な応力状態に対しては必ずしも十分でないことがわかる。特に床版の連続性のために生ずるコンクリート床版の内側縁部の引張り応力については注意しなければならない。計算結果から得られたその他の特性については講演当日に譲ることにする。なお、断面形不変の並列桁構造としての計算は土木技術Vol. 19, 20の文献によった。