

鋼床版2主桁橋の主桁付加応力と補剛材応力について

九州大学工学部 学生員 平田 洋

正員 彦坂 照

正員 高海 克彦

1. 緒言

薄肉開断面ばりは、断面変形の防止及びねじり剛性の増加を図るために、横桁・対傾構・横構等による補剛が不可欠である。これら補剛材と主桁の結合点には集中結合力が生じて疲労損傷を起す例が見られ、さらに曲線桁橋では主桁の初期曲率により、主桁フランジには付加応力が、横構部材には付加軸力が生じる。しかし、断面剛を仮定する限り、主桁付加応力・補剛材付加軸力や断面変形防止効果の合理的評価は困難であり、この問題には通常有限要素法等による立体解析が用いられる。これに対し本研究は、種々の補剛材を有する薄肉開断面ばりの断面変形の一次元的簡易解析法を提示し、鋼床版2主桁曲線橋に適用して慣用設計法¹⁾と比較するものである。

2. 補剛材を有する曲りばりの断面変形の定義

図1のような円柱座標系 (r, θ, x) 中に、 N 枚の薄板要素からなる多角形開断面曲りばりを考え、中立点 C を原点とする (x, y, z) 座標系を設ける。さらに、板厚中心線に一致する曲線座標 s と、その法線方向座標 n の (n, s, x) 座標系を設ける。本研究では、はりを構成する板要素の節点が $x-y$ 面内で相対変位を起し、補剛材に軸力が生じる状態をはりの断面変形と定義し、 N 枚の板要素からなる開断面ばりの断面変形を、節点 i において相隣る板要素が反時計回りに相対回転角 θ_i ($i=1, 2, \dots, N-3$) で定義する。

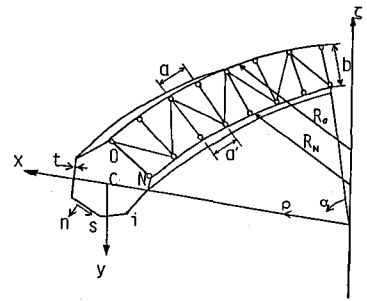


図1 補剛曲りばりの座標系

3. 断面変形時のつりあい方程式とはりおよび補剛材の付加応力

補剛材をもつ薄肉開断面曲りばりにつりて、断面剛を仮定する準梁断面曲りばりとしての変位と応力はすべて既知とすれば、断面変形によるはりの任意点の n, s 方向付加変位 u, v は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} u &= u_s l + v_s m - h_a \rho - \sum_{i=1}^{N-3} h_{ai} \mu_i \theta_i \\ v &= -u_s m + v_s l + h_n \rho + \sum_{i=1}^{N-3} h_{ni} \mu_i \theta_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\text{ただし, } \mu_i = \begin{cases} 1 & (s \leq s_i) \\ 0 & (s > s_i) \end{cases}$$

ここに、 u_s, v_s, ρ は断面変形に伴う s, y 方向の剛体付加変位および剛体付加回転角であり、 l, m は、 $l = \cos(x, n)$, $m = \cos(y, n)$ で定義される方向余弦、 h_a, h_n はせん断中心から、また h_{ai}, h_{ni} は節点 i から任意点に引いた位置ベクトルの s および n 方向成分である。

横構は、力学的性質が等価な板厚 t の仮想薄板に置き換えて扱う。この仮想薄板の曲げ剛性は0で、はり軸方向垂直応力も受け持たないが、せん断変形とはり軸直角方向伸縮には抵抗し、 δ^* のせん断流と単位長当たり P^* の s 方向軸力を受けるものとする(図2)。仮想薄板厚 t は、せん断流 δ^* を受ける横構トラスパネルの斜材の軸力によるひずみエネルギーを、仮想薄板のひずみエネルギーに等置して定められる。

今、横断面 $\alpha = \alpha_k$ に横桁(対傾構)を有し、横構を仮想薄板に置換

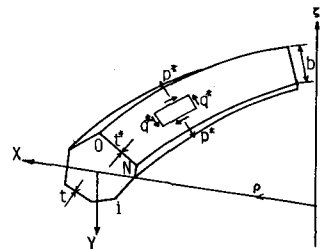


図2 横構の仮想薄板置換

した半閉断面はりが任意荷重を受けて断面変形するものとする、式(1)の変位に基づく仮想仕事の原理から、 $N-3$ 個の θ_i を未知量とする断面変形時のつりあり方程式が導かれる。これを解いて得られる θ_i を用いて、はりおよび補剛材の付加応力が次のように算定される。

(1) はりの α 軸方向付加応力

$$\sigma_{\alpha} = E \frac{R_s}{\rho} \sum_{i=1}^{N-3} \left(\Psi_i(x, y) \frac{\theta_i'}{R_s^2} - \Psi_i(x, y) \frac{\theta_i}{R_s} \right) \quad (2)$$

ここに、 $\Psi_i(x, y)$, $\Psi_i(x, y)$ は断面形状のみから定まる x, y の既知関数、 R_s はせん断中心の曲率半径。

(2) 補剛材の応力

横構部材の軸力は、次式の P^* , g^* より換算して求められる。

$$P^* = \frac{R_o - R_N}{R_N \log(R_o/R_N)} \sum_{i=1}^{N-3} E^* \frac{V_{Ni}^*}{b/t^*} \theta_i \quad (3)$$

ここに、 E^* は P^* による仮想薄板のひずみエネルギーと部材軸力のひずみエネルギーを等置して得る換算ヤング係数、 V_{Ni}^* は節点 i から仮想薄板に下した垂線の長さ。

$$g^* = \frac{2R_s}{(R_N + R_o)} \left\{ G \frac{2\Omega}{b/t^*} \cdot \frac{1}{R_s} \left(\gamma' - \frac{V_s'}{R_s} \right) + \sum_{i=1}^{N-3} G \frac{R_o^2}{R_N^2} \frac{2\Omega_i}{b/t^*} \cdot \frac{1}{R_s} \theta_i' \right\} \quad (4)$$

ここに、 $2\Omega = R_o^2 \oint \frac{ds}{\rho^2} ds$, $2\Omega_i = R_N^2 \int_{s_N}^{s_i} \frac{V_{Ni}^*}{\rho^2} ds$, G はせん断弾性係数。

4. 解析例

図3の諸元を有する鋼床版2主桁曲線橋を対象として数値計算を行った。はりの支点では断面変形が拘束されるものとし、スパンの4等分点に横構(断面積 153.0 cm^2) 3体と、その間に対傾構(断面積 34.0 cm^2) 4組を配置する。図3(b)に横構(断面積 29.0 cm^2) とストラット(断面積 14.0 cm^2) の配置を示す。図4の荷重を載荷する場合の横構軸力と主桁付加応力分布は、図5, 6に示す通りである。

参考文献 1) 阪神高速道路公団: 鋼構造物設計基準 第4章, 1980年4月

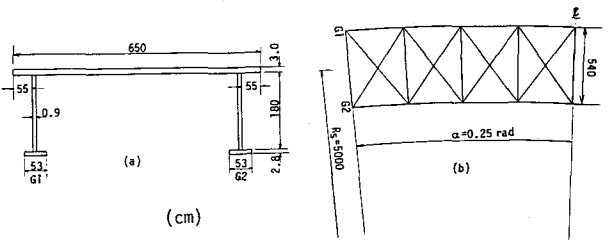


図3 2主桁曲線橋の解析モデル

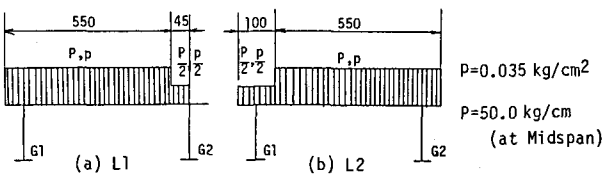


図4 荷重ケース

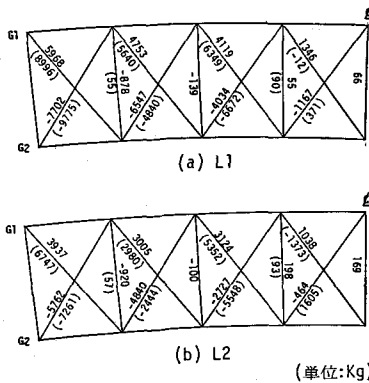


図5 横構軸力

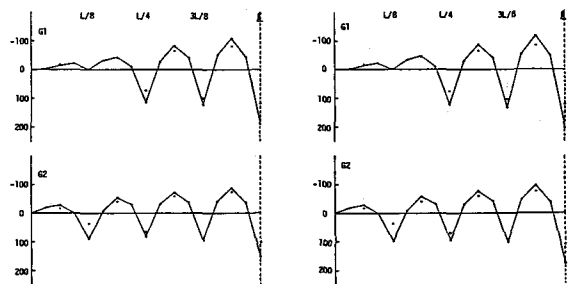


図6 主桁付加応力分布

(・は文献1)による値)