

有限要素法による曲線工型梁の耐荷力解析

広島大学工学部 正 員 大村 裕, 広島大学工学部 正 員 藤井 堅

川田工業(株) 正 員 松藤 人美, 広島大学大学院 学生員 ○伊藤 春彦

1. まえがき

曲線桁は、曲率を持つため、その力学性状は極めて複雑である。従来、曲線桁に関しては数多くの理論的研究がなされているが、耐荷力解析においては、十分な基礎資料は得られていないようである。本報告では、幾何学的および材料学的非線形性を考慮した曲線桁解析プログラムを作成し、種々の荷重状態における耐荷力を求め、曲線桁耐荷力に関する基礎資料を得ることを試みたものである。

2. 変位-ひずみ関係式

梁-変位場仮定を用いて、断面任意点の変位 $U(Y, \theta, Z)$, $V(Y, \theta, Z)$, $W(Y, \theta, Z)$ を、せん断中心の変位 $u(\theta)$, $w(\theta)$ で表すと次のようになる。

$$\begin{cases} U = u - (Z - Z_s) \varphi_0 \\ V = u - (Y - Y_s) \varphi_0 - (Z - Z_s) \varphi_0' - w \varphi_0' \\ W = w - (Y - Y_s) \varphi_0 \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 Y_s : 各プレートとせん断中心のY座標 Z_s : 各プレートとせん断中心のZ座標 Y_0 : 各プレートと図心のY座標 φ_0 : 断面回転角 w : 単位そり関数

変位-ひずみ関係式は、ひずみの6成分 ($\epsilon_r, \epsilon_\theta, \epsilon_z, \gamma_{r\theta}, \gamma_{\theta z}, \gamma_{rz}$) のうち3成分 ($\epsilon_r, \epsilon_\theta, \gamma_{rz}$) は、弾理論の断面削り仮定より無視する。軸ひずみ ϵ_θ は、円筒座標系における変位-ひずみ関係式を用いて、次式を採用する。

$$\epsilon_\theta = \frac{U}{r} + \frac{\partial W}{r \partial \theta} + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial U}{r \partial \theta} - \frac{V}{r} \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{r \partial \theta} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

一般に、2次の微小項は、せん断中心の変位を用いて、

$$\epsilon_\theta = \frac{1}{2} \left\{ \left(u' - \frac{v}{r} \right)^2 + w'^2 + (r^2 + z^2) \varphi_0'^2 \right\} \quad (3)$$

を採用している解析例が多いが、本解析(法2)では、任意点の変位を用いて与えることとした。なお、剛性行列作成の際の積分は数値積分を適用した。

また、せん断ひずみは、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \text{フランジ} \quad \gamma_{r\theta} &= 0, & \gamma_{r0} &= \frac{2\pi Y_s^2}{r^2} \varphi_0' \\ \text{腹板} \quad \gamma_{r0} &= \frac{2\pi Y_s^2}{r Y_0} \varphi_0', & \gamma_{r\theta} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

 r : 板厚中心点から任意点までの距離。

3. 解析モデルと境界条件

本解析では、実際に架設された曲線橋の調査結果を参考にして、実橋に近い解析モデルを決定した。解析モデルは、図-1に示すように、2軸対称I型曲線桁で、断面形状は一定とし間角を変化させて解析した。境界条件は、梁の両端部でねじれ角を拘束し、たわみに対し単純支持とした。(図-2参照)
残留応力 φ_0 は、図-3に示すものを仮定した。

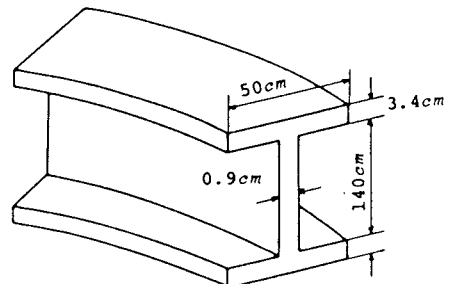


図-1 断面寸法



図-2 支承条件

4. 解析例

図-4は、梁の両端に曲げモーメントが作用する場合の、曲げ崩壊時の塑性域を示したものであり、また図-5は、種々の荷重条件の耐力曲線を示したものである。図-5で、 M_E は弾性換算断面モーメント、 M_P は全塑性曲げモーメントである。

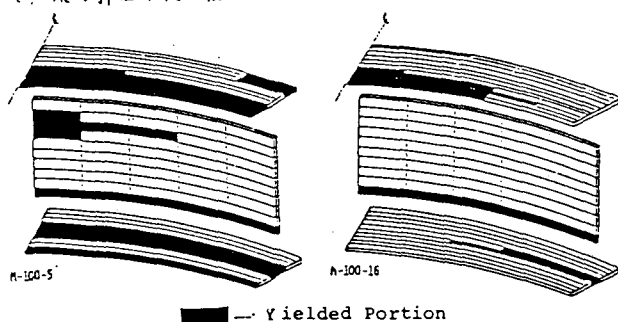


図-4 耐荷荷重時の塑性域分布図

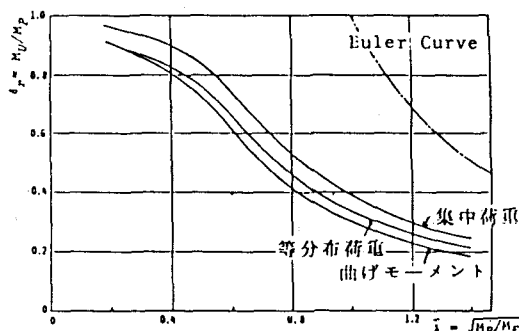


図-5 従来の耐力曲線

一般に、曲線桁では曲げねじりを伴うフランジ面内曲げが作用するが、図-5の M_P ではこれを考慮していない。そこで、塑性化が生ずる位置のフランジの面内曲げモーメントを考慮した応力状態(図-6)から導かれる全塑性曲げモーメント M_P' を用いて表せば、図-7を得る。

図-4から、フランジの面内曲げモーメントによつて、曲率中心側のフランジ縁から塑性域が進展することがわかる。しかし、開角の小さい桁はほぼ全スパンにわたって広く塑性域が広がっているが、開角の大きい桁は上下フランジの内側のみに塑性が現われて崩壊する。また、梁軸方向には、中央から両端に向かって塑性域が広がっている。また、図-7より、弾塑性座屈崩壊する桁では、フランジ面内曲げモーメントを考慮した M_P'/M_E を用いた耐力曲線は、ECCSで提案された直桁の設計提案式(9.1)によく近似している。したがって、曲線桁の場合には、 M_P'/M_E を用いて耐力曲線と与えれば、直桁の耐力曲線を適用することが可能ではないかと思われる。しかし、本解析で得られたデータのみでは十分でなく、今後このことについて種々の解析データを基に、十分な検証を行なう必要がある。

(参考文献) 1) Yukshi Fukumoto, Susumu Nishida; Ultimate Load Behavior of Curved I-Beams, ASCE, Vol. 107 No. EM2 1981 PP. 367~385

2) 前田、吉田; 伝達マトリックス法による曲線工型梁の耐力解析, 土木学会論文報告集, 第212号, Proc. of JSCE, PP.29~37, 1981年8月

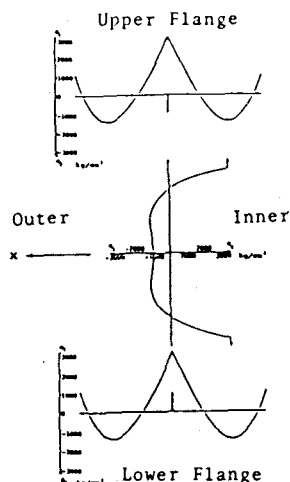


図-3 残留応力分布図

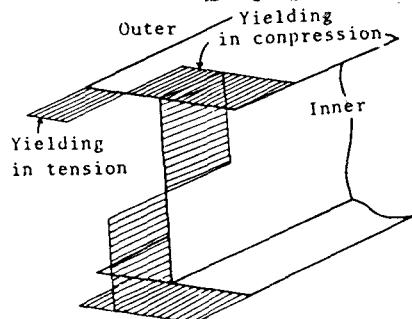


図-6 フランジの面内曲げを考慮した応力状態

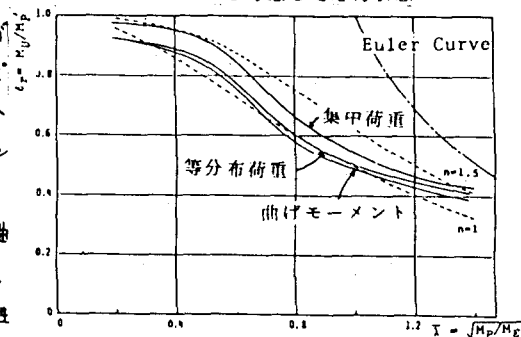


図-7 フランジ面内曲げを考慮した耐力曲線