

関西大学工学部 正会員 三上市藏
フジタ工業㈱ 正会員○出口恒宣

1.まえがき 曲線プレートガーダーに関する研究は従来より多数あるが、その多くは幾何学的非線形を考慮したもので、材料的非線形まで考慮しているものは少なく、十分な解明がなされていない。こうした事態を打開する上で、より詳細な曲線プレートガーダーの挙動および耐荷力解析が必要となっている。そこで、本報告では、曲線プレートガーダー腹板が純曲げを受け、上下フランジでねじり拘束された場合について、Dynamic Relaxation Method (D.R.M.) と差分法を用いてその幾何学的、材料的非線形挙動を解析し、曲率、腹板幅厚比、初期たわみ、フランジねじれ剛比等の終極強度に対する影響を調べた。

2.基礎方程式 図-1に示す弧に沿った長さ a 、桁高 b 、厚さ h 、パネル中央の曲率半径 R の初期たわみを有する曲線桁腹板パネルを考える。荷重としては、曲げモーメントを作用させるため強制変位を与え、桁として純曲げを保つための一様な調整変位を与える。図-2、3には円筒腹板パネルおよびフランジの微小要素を取り出し、変位および断面力の正の方向を定義した。円筒腹板パネルの基礎方程式はD.R.M.を適用するため、静的つり合い式に慣性項と動的項を付加して次のようになる。

$$\rho_u \Delta \dot{u}_t + k_u \Delta \dot{u} = \Delta N_{x,x} + \Delta N_{xy,y} \quad (1.a)$$

$$\begin{aligned} \rho_v \Delta \dot{v}_t + k_v \Delta \dot{v} &= \Delta N_{y,y} + \Delta N_{xy,x} \\ &- (\Delta M_{y,y} + 2 \Delta M_{xy,x})/R \end{aligned} \quad (1.b)$$

$$\begin{aligned} \rho_w \Delta \dot{w}_t + k_w \Delta \dot{w} &= \Delta M_{x,xx} + 2 \Delta M_{xy,xy} + \Delta M_{y,yy} \\ &+ (N_x + \Delta N_x) \Delta \phi_{x,x} + \Delta N_x (\phi_{x,x} + \Delta \phi_{ox,x}) \\ &+ (N_{xy} + \Delta N_{xy}) (\Delta \phi_{y,x} + \phi_{x,y}) + \Delta N_{xy} (\phi_{y,x} \\ &+ \phi_{oy,x} + \phi_{x,y} + \phi_{ox,y}) + (N_y + \Delta N_y) \Delta \phi_{y,y} \\ &+ \Delta N_y (\phi_{y,y} + \phi_{oy,y}) + \Delta N_y/R \end{aligned} \quad (1.c)$$

ただし、記号 Δ は増分量を表し、 t は時間、 ρ_u 、 ρ_v 、 ρ_w は面密度、 k_u 、 k_v 、 k_w は減衰係数である。 \dot{u} 、 \dot{v} 、 \dot{w} は変位速度で、変位との関係は次のようになる。

$$\Delta \dot{u} = \Delta u_t, \Delta \dot{v} = \Delta v_t, \Delta \dot{w} = \Delta w_t \quad (2.a-c)$$

上下フランジの基礎方程式は次のようになる。

$$\Delta M_{tt,yt} + \Delta T_{yt} = 0, \Delta M_{tt,yb} + \Delta T_{yb} = 0 \quad (3.a,b)$$

面外変形に関する境界条件は、上下フランジ辺でねじりの影響を考慮する場合、次のようになる。

$$x=0,b \text{ において } \Delta w=0, \Delta M_x = \Delta T_{yt}, \Delta T_{yb} \quad (4.a,b)$$

ねじりの影響を考慮しない場合、次のようになる。

$$x=0,b \text{ において } \Delta w=0, \Delta M_x = 0 \quad (4.c,d)$$

$$y=a/2 \text{ において } \Delta w=0, \Delta M_y = 0 \quad (4.e,f)$$

$$y=0 \text{ において } \Delta w(y)=\Delta w(-y), \Delta M_x(y) = \Delta M_x(-y),$$

$$\Delta M_y(y) = \Delta M_y(-y), \Delta M_{xy}(y) = -\Delta M_{xy}(-y) \quad (4.g-j)$$

面内変形に関する境界条件は次のようになる。

$$x=0,b \text{ において } \Delta N_x = 0, \Delta N_{xy} = 0 \quad (5.a,b)$$

$$y=a/2 \text{ において } \Delta N_{xy} = 0, \int_0^b \Delta N_y dx = 0 \quad (5.c,d)$$

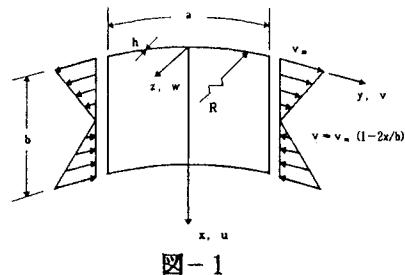


図-1

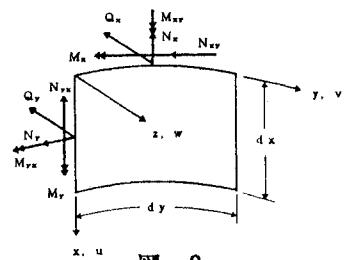


図-2

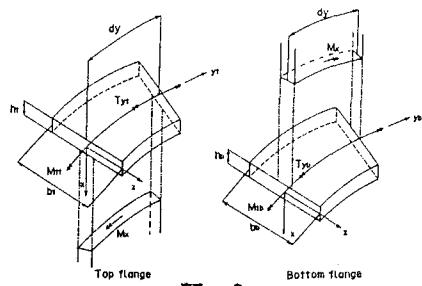


図-3

$y=0$ において

$$\begin{aligned}\Delta u(y) &= \Delta u(-y), \quad \Delta v(y) = -\Delta v(-y), \\ \Delta N_x(y) &= \Delta N_x(-y), \quad \Delta N_y(y) = \Delta N_y(-y), \\ \Delta N_{xy}(y) &= -\Delta N_{xy}(-y)\end{aligned}\quad (5.e-i)$$

載荷辺の強制変位の初期値を $v_m (1-2x/b)$ にとれば、式(5.d)によって純曲げ状態を維持するようになる。ただし、D.R.M.では、すべての境界条件を満足するように、運動方程式(1)から変位速度を求めるが、そのためには断面力に関する境界条件を変位で表示せねばならず煩雑になる。そこで、断面力表示のままで慣性項と減衰項を付加する技法¹⁾を採用する。

3. 数値計算結果 パラメータとしては、円筒腹板について縦横比 $\alpha=a/b$ 、幅厚比 $\beta=b/h$ 、曲率パラメータ $Z=b^2/hR$ を、フランジのねじれ剛比 $r_t=GJ_t/bD$ を考慮する。荷重として、腹板の負担モーメント \bar{M}_w を採用する。

(1) 図-4は、フランジねじり剛比の影響を荷重一たわみ曲線として表したものである。これより、ねじり剛比を考慮した方が終極強度も高くなり、たわみ変形が抑制されるのがわかる。

(2) 図-5より、実橋の範囲内 $z < 7.0$ ²⁾までは終局強度荷重にほとんど影響を与えないが、それ以上になると終極強度を検討する必要があることがわかる。また、曲率が大きくなるほど引張領域のたわみが大きくなる。

(3) 図-6に、初期たわみ量の違いによる個々の挙動を比較したが、曲率ライズと同方向に初期たわみが存在すればその方向にたわみが増長していき、反対方向に存在すればたわみが抑制されるのがわかる。

(4) 幅厚比の差異による曲線腹板の複合非線形挙動および終局強度を調べる。比較のために曲率ライズを統一し、腹板長さと曲率半径の比 $a/R=0.03$ とする。図-7には、縦軸に終局強度荷重 M_{wmax} を降伏モーメント M_y ($= \sigma_y b^2 h / 6$) で割った値を、横軸には無次元幅厚比 λ を用いた。また、図中の k は同一縦横比の板パネルの弾性曲げ座屈係数であり、周辺単純支持の場合、23.9となる。これより、幅厚比パラメータが増加すると終局強度は低下していることがわかる。

なお、詳細は発表日に譲る。

1) Mikami, I., Miura, Y., Matsumura, K., and Tanaka, K.: Useful techniques for dynamic relaxation method, Technology Reports of Kansai University, No.27, Mar., 1986. 2) 中井博・松村駿一郎・吉川紀・北田俊行・大南亮一: 曲線桁腹板の実績調査、橋梁と基礎、Vol.15, No.5, pp.38-43, 1981-5.

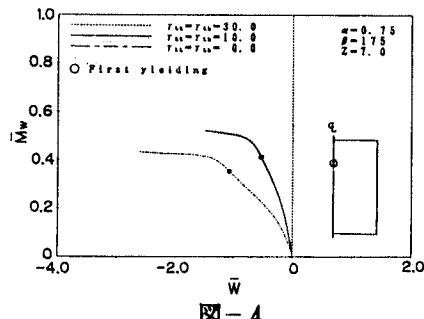


図-4

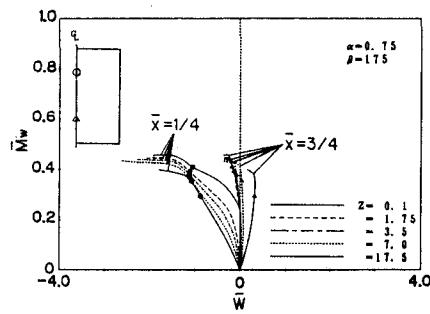


図-5

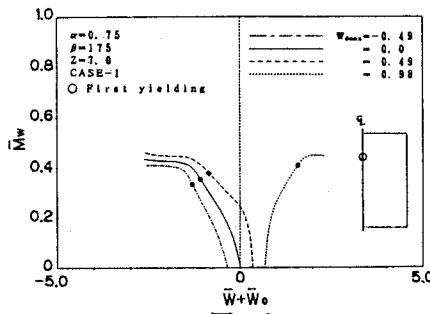


図-6

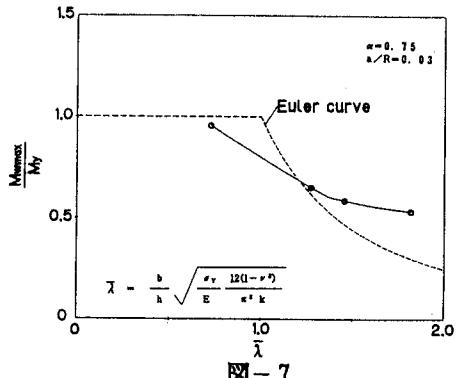


図-7