

秋田大学 学生員 佐々木 保隆
 秋田大学 正 員 稼 農 知徳
 秋田大学 正 員 長谷部 薫

1), 2)

1. はじめに 筆者らは、はりの横倒れに関する弾性域での変形特性の研究を行なってきた。その結果非弾性域まで考慮した研究の必要性が明らかとなった。しかし、曲線ばりに関するこの種の研究は最近始められ、未だ確立されたものはないように思われる。曲線ばりの弾性域における有限変位理論はこれまでも厳密な支配方程式が導かれ、逐次実用設計に関する研究が行なわれている。しかし、曲線ばりの非弾性解析に関する研究は数少ない。実際の構造物では、その境界条件や作用する荷重条件などが複雑となり、特に種々の拘束条件を有するはりの有限変位解析はかなり困難となる。はりが拘束を受けると極端に変形量は減少するが、応力は増加し断面は塑性化する。通常の構造物のはりにおいても断面の一部が塑性域に入り、非弾性域で座屈現象が生じる。この意味から、拘束ある曲線ばりの非弾性挙動を十分に検討する必要がある。本報告は、これまでに導かれた曲線ばりの弾性有限変位解析の基礎式を拡張して残留応力の影響も含めた非弾性有限変位解析を示す。また、曲線格子桁橋への適用のため、横桁の剛性を等価な剛性をもつバネ支承に置換して、弾性バネ拘束された曲線桁としたモデル化を行なうことによってその影響を考察する。

2. 解析方法 曲線ばりの弾性有限変位理論より得られる一階常微分方程式は文献1), 2) に示される。解析方法は伝達マトリックス法が用いられる。非弾性域の解析では、非弾性の影響をはりの剛性の低下として考慮し、非弾性域においても弾性有限変位理論より得られる断面力-変位関係式が成立するものとする。ここで用いた仮定は次の通りである。

- (1) 曲線ばりの断面はI形2軸対称断面である。
- (2) 応力-ひずみ関係式は完全弾塑性体のものを用いる。
- (3) はりの非弾性域における曲げ剛性および曲げねじり剛性は弾性域のみ有効とする接線弾性係数理論によるものとし、St. - Venantのねじり剛性は全断面有効とする塑性流れ理論によるものとする。
- (4) 曲線ばりの断面の残留応力分布は、圧延形断面および溶接組立断面の残留応力分布を理想化したpattern Iおよびpattern IIを用いる。

3. 断面剛性

$$\beta = d_w/d, \quad \gamma = t_w/b$$

$$\text{フランジ微小要素} \quad \Delta F_f = \frac{bd}{2n_m} (1-\beta)$$

$$\text{腹板微小要素} \quad \Delta F_w = \frac{bd}{2} \frac{\beta \gamma}{m_2}$$

$$J_y = \frac{bd^3}{2n_m} (1-\beta) \Sigma \xi_f^2 + \frac{bd^3}{2m_2} \beta \gamma \Sigma \xi_w^2$$

$$J_x = \frac{b^3 d}{2n_m} (1-\beta) \Sigma \eta_f^2$$

$$J_w = \frac{b^3 d}{8n_m} (1-\beta) (1+\beta)^2 \frac{\Sigma \eta_f^2 \Sigma \eta_f^2}{\Sigma \eta_f^2}$$

$$\times \left(\frac{\Sigma \eta_f^2 \xi_f}{\Sigma \eta_f^2} - \frac{\Sigma \eta_f^2 \xi_f}{\Sigma \eta_f^2} \right)^2$$

$$K = \int \sigma_{rs}^2 \Delta F = \left[\int \xi \xi_f \{ (\xi_f - \xi_0)^2 d^2 + \eta_f^2 b^2 \} \Delta F_f \right.$$

$$+ \int \sigma_{ys} \text{sgn}(\xi_f) \{ (\xi_f - \xi_0)^2 d^2 + \eta_f^2 b^2 \} \Delta F_f \left. \right]$$

$$+ \left[\int \xi \xi_w \{ (\xi_w - \xi_0)^2 d^2 \Delta F_w + \sigma_{ys} \text{sgn}(\xi_w) (\xi_w - \xi_0)^2 d^2 \Delta F_w \} \right]$$

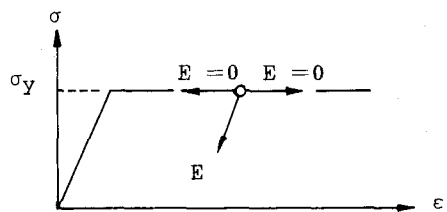


Fig.1 Stress - Strain

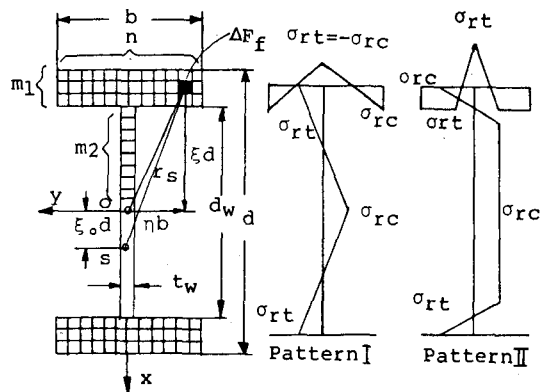


Fig.2 Small Rectangular Element and Residual Stress

4. 数値計算例 Fig.3 は中心角0.08(rad), 曲線スパン長2.8 m, 曲率半径35 m, 偏心量1/100, 降伏応力 $\sigma_y = 3200 \text{ kg/cm}^2$ のI形曲線ばり³⁾に対し、集中荷重がスパン中央に載荷された場合の弾性解析および残留応力を考慮した非弾性解析を行ないスパン中央でのねじり角と荷重の関係を示したものである。また、それぞれについてウェブの剛性を考慮した場合と無視した場合との比較も行なっている。ここで用いたI形曲線ばりの場合にはウェブの剛性の影響が見られ無視できないものと思われる。Fig.4, 5は、2—曲線主桁, 3—横桁で構成される曲線格子桁を想定し、弾性バネ拘束された曲線桁の変形・応力特性を弾性解析および非弾性解析した結果を示している。形状寸法は中心角0.4(rad), スパン長1.72 m, 曲率半径4.3 m, 降伏応力 $\sigma_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ である。横補

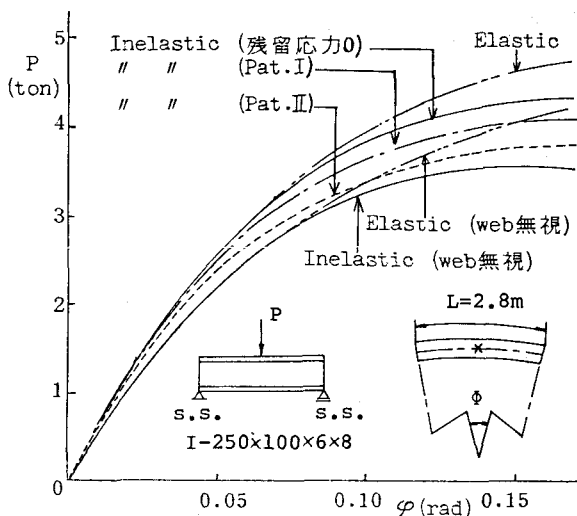


Fig.3

剛剛度を示すパラメータは $\delta = F_0/bt_f$, $\gamma_x = J_{x0}/\frac{bt_f}{12}$, $\gamma_y = J_{y0}/\frac{bt_f}{12}$ である。 F_0 , J_{x0} , J_{y0} は横桁の断面積, 弱軸, 強軸まわりの断面2次モーメントとする。なお、変位、応力はスパン中央における値をプロットしており、残留応力は考慮していない。Fig.4は横桁本数の変形・応力特性に及ぼす影響を調べたものである。弾性解析によると横桁を三本配置すると極端に横補剛効果があらわれねじり角および応力の非線形性が失われているが、非弾性解析の場合では断面的塑性化に伴ない曲線主桁の耐荷力に与える影響が顕著に表われている。

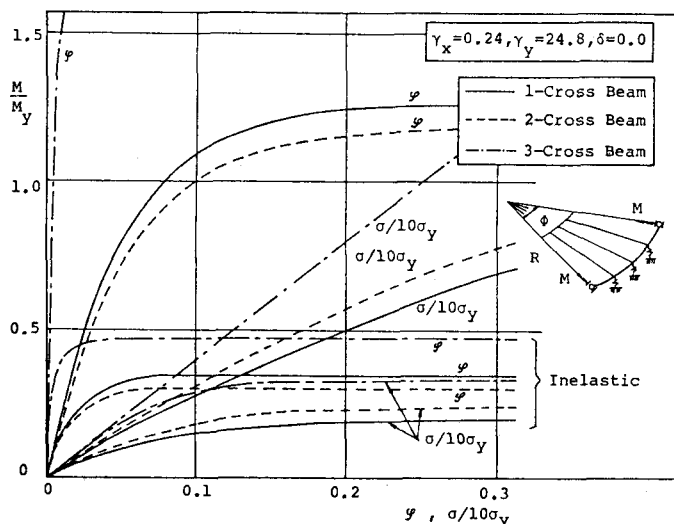


Fig.4

Fig.5は支間中央点に横桁一本配置された場合の、横桁の強軸まわりの剛性比 γ_y の影響を調べたものである。弾性解析および非弾性解析とも、ねじり角に関しては剛性比 γ_y をある程度確保すると横補剛効果を期待でき、応力に関しては γ_y を大きくとると応力の増大が見られるが、弾性解析に比べると非弾性解析の場合耐荷力が急激に低下することがわかる。

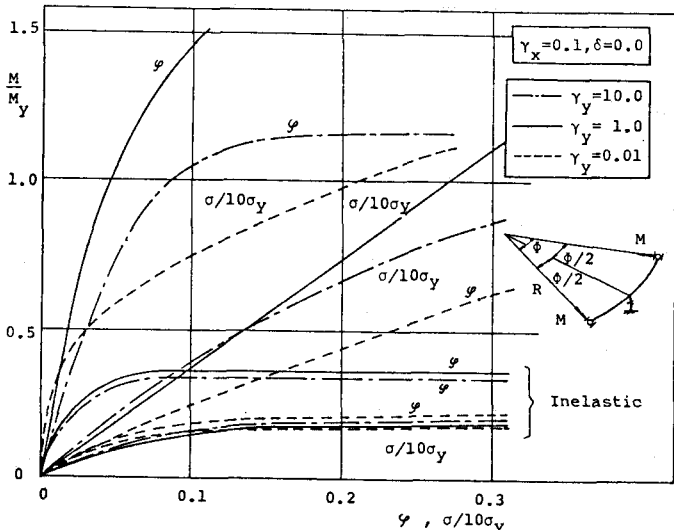


Fig.5

- 1) 曲線プレートガーダーの耐荷力と設計基準に関する研究 (倉西茂代表), 文部省科研費総合研究(A), 1981.3
- 2) 曲線桁の有限変形特性: 稼農・薄木・長谷部, 土木学会第36回年次学術講演会概要集I, 1981.10
- 3) 伝達マトリックス法による曲線I形ばりの耐荷力解析: 前川・吉田, 土木学会論文報告集第312号, 1981.8