

I - 332

繰り返し荷重における二曲面モデルのは
り要素への適用

埼玉大学	正会員	沈 赤
鹿島建設		倉石泰男
埼玉大学	正会員	山口宏樹
埼玉大学	正会員	奥井義昭
名古屋大学	正会員	宇佐美勉

1. まえがき

繰り返し荷重を受ける鋼材の力学モデルとして、近年、二曲面モデルが注目されている。そしてこの二曲面モデルは、実際の鋼材による実験結果との比較から、塑性域での応力-ひずみ関係を精度良く表現できることが確かめられている。しかし、実際の構造物での弾塑性応答解析において個々の部材の挙動を材料レベルでモデル化しようとすれば、全体系の解析には、膨大な計算を要する。それゆえ、鋼構造部材の弾塑性応答解析を行なう際に、より簡略なモデルにより精度良く応力-ひずみ関係または曲げモーメント-曲率関係を把握できることが必要となる¹⁾。本研究では、沈氏提案した修正二曲面モデル²⁾をはり断面の曲げモーメント-曲率関係へ拡張する。

第一段階として、修正二曲面モデルにより求められた応力-ひずみ関係の誘導から、矩形断面およびI形断面の曲げモーメント-曲率関係を計算する(以後、方法Iと呼ぶ)。そして、方法Iにより曲げモーメント-曲率関係を推定するための二曲面モデル提案する(この方法を以後、方法IIと呼ぶ)。

2. 二曲面モデルの応力-ひずみ関係から曲げモーメントと曲率の計算

ここで、矩形断面およびI形断面を考える。数値計算のため断面を軸に対称で水平にいくつかの要素に分割する。各要素に対し、材料レベルで修正二曲面モデルを適用して断面全体の $M - \Phi$ 関係を数値的に求める。方法Iの有効性を確かめるために、文献3)の実験結果と方法Iにより求めた $M - \Phi$ 関係の比較を行なった。図1には、最外縁フランジのひずみが約-0.8%から0.8%の間で繰り返し載荷を行なった。修正二曲面モデルより応力-ひずみ関係を用いて、曲げモーメント-ひずみ関係を推定した結果、精度よく推定することができた。

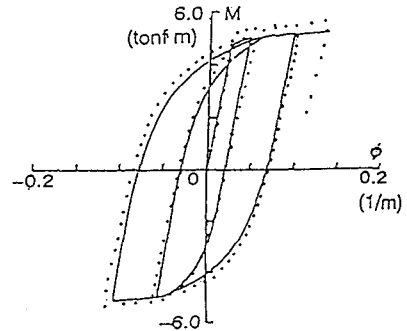


図1 文献3)の実験との比較

3. 曲げモーメント-曲率関係への二曲面モデルの拡張

次に方法Iの結果により修正二曲面モデルのような曲げモーメント-曲率関係を直接求めるモデルを提案する。図2に示す無次元化した曲げモーメント ($m = M/M_y$) - 曲率 ($\phi = \Phi/\Phi_y$) 関係で提案モデルの概要を説明する。

弾性域および定常状態の塑性域の遷移域である非線形塑性域の挙動(例えば、DF間)に対しては、二曲面モデルと同様に接線塑性係数を定義することにより表現する。

$$K^p = \frac{dm}{d\phi^p} = K_0^p + h \frac{\delta}{\delta_{in} - \delta} \dots\dots\dots (1)$$

しかし、断面が初期降伏から全塑性に至るまでの非線形部分(図OAB)の予測では矩形断面及びI形断面でそれぞれ次式を用いて補間する⁴⁾。

矩形断面:

$$m = \frac{3}{2} \left(1 - \frac{1}{3} \phi^{-2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

I形断面:

$$m = \begin{cases} \frac{BD^2}{4S} \left(1 - \frac{1}{3} \phi^{-2} \right) + \phi \left(1 - \frac{BD^2}{6S} \right) & 1 < \phi < \frac{D/2}{D/2 - t_f} \text{ 時} \\ f - \frac{t_w D^2}{12S} \phi^{-2} & \frac{D/2}{D/2 - t_f} \leq \phi \text{ 時} \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 f は形状係数であり、塑性断面係数と断面係数の比に等しい。

修正二曲面モデルような曲げモーメントー曲率関係に直接適用するため、弾性域の減少、境界線の移動、形状パラメータ h などを次のように定義する。

曲げモーメントの弾性域 ξ :

$$\xi = \xi_{\infty} + a \cdot \exp(-b\bar{\phi}^p) \dots\dots\dots (4)$$

境界線の半径 $\bar{\xi}$:

$$\bar{\xi} = \bar{\xi}_{\infty} + (\bar{\xi}_0 - \bar{\xi}_{\infty}) \cdot \exp(-\zeta\bar{\phi}^2/4) \dots\dots\dots (5)$$

形状パラメータ h :

$$h = (K^p - K_0^p) \cdot (1 - \delta/\delta_{im}) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 ξ_{∞} は定常状態の弾性域の大きさを、 $\bar{\xi}_0$ は境界線の初期半径を表している。 a, b, ζ は材料のパラメタである。各パラメタは方法 I で一軸繰返し実験の数値シミュレーション結果により得られた。

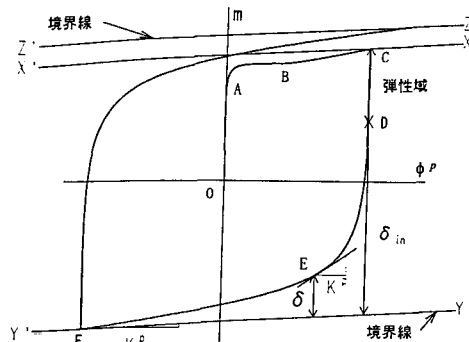


図2 提案モデルの概要

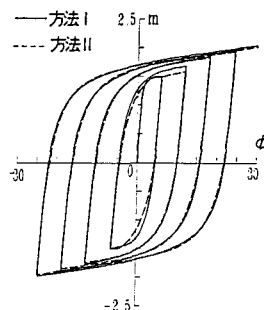


図3 矩形断面の $m - \phi$ 関係

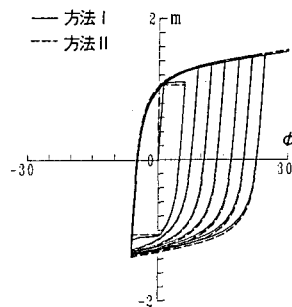


図4 I形断面の $m - \phi$ 関係

4. 結果の比較および考察

方法 II の有効性を確かめるため、方法 II による曲げモーメントー曲率関係と方法 I の比較を行った。図 3 は矩形断面における方法 I と方法 II との比較を示している。方法 II は、十分に精度良く曲げモーメントー曲率関係を再現することができた。図 4 は、I 形断面における方法 I と方法 II との比較を示している。比較に用いた断面を任意に選んだ。I 形断面の場合も精度よく弾塑性挙動が再現することができた。

5. まとめ

本研究は、繰返し荷重下における構造物および構造部材の応答解析を精度よく表すことを目標として、繰返し弾塑性挙動を表現できるモデルを提案し、はり要素の曲げモーメントー曲率関係へ適用したものである。本研究で得られた、結果を以下に示す。

(1) 方法 I により計算した曲げモーメントー曲率関係からはり要素に対する新しいモデルを提案した。

(2) 計算結果による、提案モデルがはり要素の繰返し荷重における弾塑性挙動を精度良く表現できることが分かった。

今後は、提案モデルを有限要素法などの数値解析法へくり返し荷重を受ける実際の構造物の弾塑性解析を行うことが期待される。

参考文献

- 1) 宇佐美勉、柴田輝昭：断面力表示構成則を用いた鋼骨組構造物の弾塑性有限変位解析、土木学会論文集 第 416 号/I-13, 1990 年 4 月, pp339-348
- 2) Shen, C., Mizuno, E. and Usami, T., "Generalized Two-Surface Model for Structural Steel under Cyclic Loading, *Structural Eng./Earthquake Eng., Proc. of JSCE*, Vol.10 No.2 59s-69s, July 1993.
- 3) 皆川 勝, 西脇威夫, 増田陳紀：鋼はりの履歴曲げモーメントー曲率関係の推定, 構造工学論文集 Vol.34A, pp111-120, 1988 年 3 月
- 4) 木原 博：塑性設計法, 森北出版