

## I-45

繰り返し圧縮を受ける部材の弾塑性有限変位解析における  
二曲面モデルのモデルパラメータの感度について

早稲田大学 学生員 ○小玉 乃理子  
電力中央研究所 正員 石川 智巳  
早稲田大学 正員 依田 照彦

## 1. はじめに

地震のような繰り返し荷重の影響下では、鋼構造物の応力レベルが圧縮あるいは引張側で弾性域を超え、塑性域に達する。このような、繰り返し荷重下での鋼構造物の弾塑性有限変位挙動を有限要素法などの解析手法を用いて十分な精度で評価するためには、繰り返し荷重を受ける鋼素材の応力-ひずみ関係が表現できる弾塑性モデルを構築する必要がある。この弾塑性力学モデルを構築するためには次のような現象が考慮できることが必要とされている。

- ①バウシinger効果(塑性変形の発生による逆負荷時の応力低下を示す現象)
- ②繰り返しひずみ硬化(ひずみの振幅が増大するにつれて応力の振幅も増大する現象)
- ③Masing効果(塑性変形の発生による逆負荷時の応力ひずみ曲線の曲率の低下を示す現象)
- ④力学的ラチェット現象(のこぎり波状の応力-ひずみ曲線を示す現象)
- ⑤シェイクダウン(ひずみの進行の減衰を示す現象)

本報告では、文献1)で開発された鋼素材に対する修正二曲面モデルのモデルパラメータの感度について考察する。修正二曲面モデルを利用した理由としては、定式化が容易であることと、前述の現象が考慮できることが挙げられる。計算の主たる対象は、繰り返し軸方向力を受ける部材(初期たわみを持つ)の弾塑性有限変位問題であり、解析手法としては増分過程に弧長法、反復過程に不平衡変位最小法を用いている<sup>2)</sup>。

## 2. 鋼素材モデルの弾塑性解析

構成則の定式化の妥当性を調べるために、修正二曲面モデルを用いて、対称繰り返しひずみ硬化と非対称繰り返しひずみ硬化の数値シミュレーションを行った。ここに、二曲面モデルで用いたパラメータは、降伏応力  $\sigma_Y = 2330 \text{ kgf/cm}^2$ 、形状パラメータ  $h = 1538\delta$ 、境界線の勾配  $E\beta = 1.43 \times 10^{-2} E$ 、境界線の切片  $\sigma_{BY} = 1.10 \sigma_Y$ 、降伏棚の長さ 0.7%、累積相当塑性ひずみの増加に伴う境界線の拡大を示すパラメータ  $\gamma = 0.2$ である。

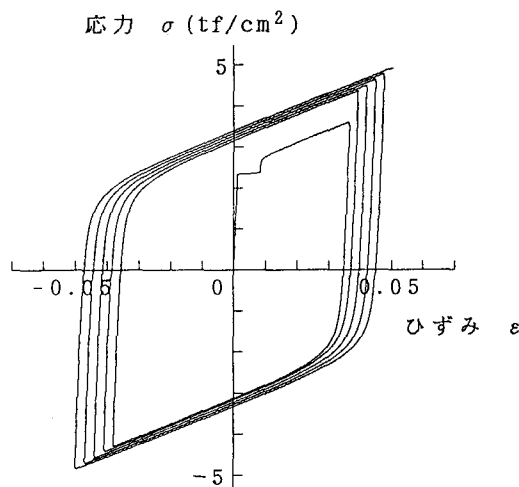


図-1 対称繰り返しひずみ硬化現象の予測曲線

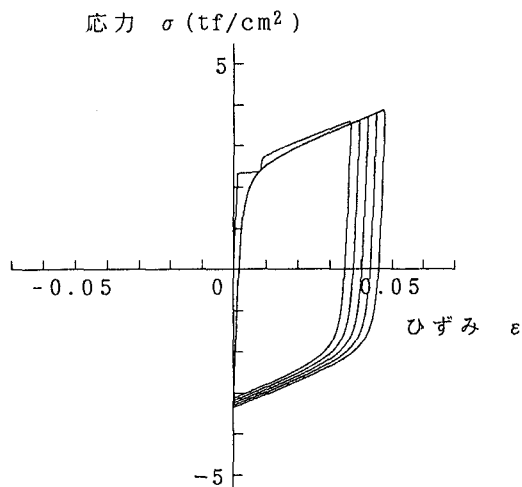
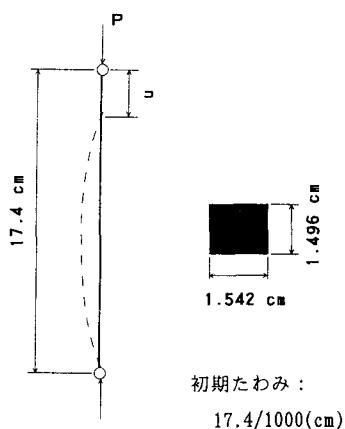


図-2 非対称繰り返しひずみ硬化現象の予測曲線

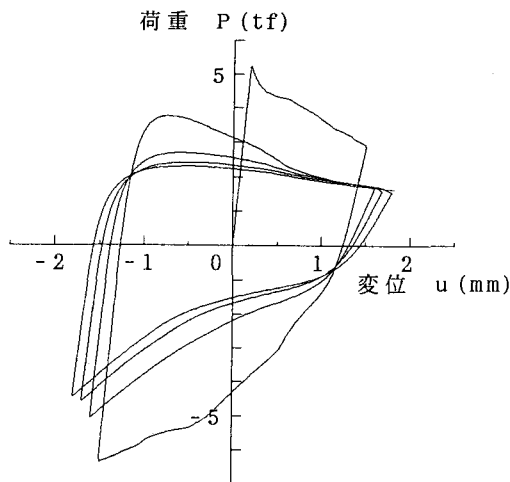
数値計算の結果を図－1、図－2に示す。図－1の対称繰返しひずみ硬化現象の予測曲線では、1サイクルごとに応力度が引張、圧縮側で徐々に増加する傾向が見られ、文献1)の結果と類似している。同様に、非対称繰返しひずみ硬化現象の予測曲線においても、文献1)の結果と同じようにひずみ硬化現象が1サイクルごとに圧縮領域で生じている。以上の結果から、本解析における弾塑性力学モデルはほぼ妥当であると考えられる。

### 3. 二曲面モデルのモデルパラメータの感度

弾塑性有限変位解析の収束状況に及ぼす二曲面モデルのモデルパラメータの感度を調べるために、図－3に示すような初期たわみを有する両端単純支持部材の繰返し圧縮問題を考える。使用した二曲面モデルの基準値は、2.と同様である。ここでは、弾塑性有限変位解析の収束状況に影響を及ぼすパラメータのうち<sup>1)</sup>、累積相当塑性ひずみの増加に伴う弾性域の減少、形状パラメータ $h$ 、境界線の半径、境界線の傾きの4つに注目した。数値シミュレーションの結果の一部を図－4に示す。4つのパラメータのうち3つを固定し、残りの1つのパラメータを関数形も含めて変化させた結果、収束計算に最も大きく影響するパラメータは、形状パラメータ $h$ であり、比較的影響の少ないパラメータは累積相当塑性ひずみの増加に伴う弾性域の減少であることがわかった。残りの2つのパラメータ、すなわち、境界線の半径と境界線の傾きはその中間に位置するものと考えられる。



図－3 解析モデル



図－4 繰返し圧縮を受ける部材の弾塑性有限変位解析

### 4. あとがき

数値計算の収束性という観点から、修正二曲面モデルのモデルパラメータの弾塑性有限変位解析に及ぼす影響を調べた。鋼素材のパラメータは本来物理的意味を持つものであり、その表示式がどのようなものであるかが、最終的な数値計算結果を左右することは当然予測できるので、厳密な繰返し現象が予測できない以上、近似解の収束条件を確保するように弾塑性力学モデルのパラメータを決定する必要があると思われる。その意味で、各パラメータの重要度を知った上で力学モデルを構築することの意義は大きいものと考えられる。

### 参考文献

- 1) 水野英二、沈赤、宇佐美勉：鋼素材に対する修正二曲面モデルの一般定式化、構造工学論文集、Vol.40 A、pp.235-248、1994.3.
- 2) 石川智巳、依田照彦：骨組み構造物の幾何学的非線形解析における不つり合い力の補正、構造工学論文集、Vol.40A、pp.415-423、1994.3.