

修正二曲面モデルを汎用プログラム DIANA に組み込んだ有限変形構造解析

瀧上工業（株）（中部大学大学院博士後期課程）正会員 ○松村 寿男
中部大学 高橋 哲也 中部大学 正会員 水野 英二

1.まえがき

兵庫県南部地震以降、鋼材の繰返し構成モデルの開発・検証が活発に行われ、これら構成モデルを汎用有限要素法プログラムに導入することにより、鋼構造物の繰返し変形挙動はある程度の範囲で精度よく再現されるまでになった¹⁾。本研究では、水野が開発した鋼材に対する修正二曲面モデル²⁾をせん断の影響も考慮できるプログラムへと修正し、それを汎用有限要素プログラム DIANA に導入することにより、せん断の影響が大きいはり－柱構造部材を対象として弾塑性有限変形解析を行った。本解析結果を実験結果、完全弾塑性モデルおよびはり理論に基づく多曲面モデルによる解析結果と比較・考察する。

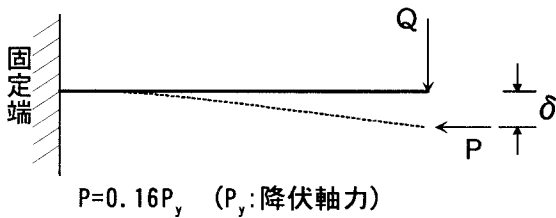
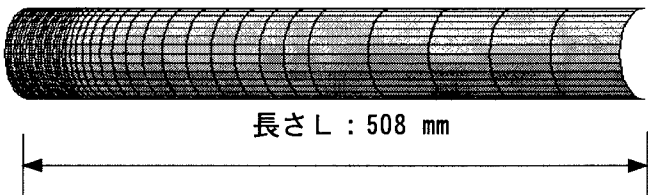


図-1 解析モデル



降伏応力 σ_y :289MPa, 厚さ t :2.3mm, 直径 D :114mm,
引張強度 σ_u :355MPa

図-2 要素分割図

2. 三次元弾塑性有限変形解析

2.1 実験供試体および解析モデル

Sherman が実験で使用した供試体³⁾は、冷間加工鋼材による円筒鋼管供試体である。この解析モデルを図－1 に示す。ここでは、まず軸方向に一定軸圧縮力($P=0.16P_y$: P_y は降伏軸力)を載荷し、横方向荷重 Q により強制変位 δ を与えて繰返し載荷実験を行った。

2.2 三次元シェル要素による解析の概要

本解析では、供試体断面が軸対称であるため、供試体の 1/2 部分を解析モデルとした。図－2 に示すように、4 節点アイソパラメトリック三次元シェル要素を用いて、局部座屈が発生すると予想されるはり－柱の固定端近傍を要素長さ 5mm と細かくし、固定端から離れるに従い 10mm～最大 40mm 程度に要素長さを変化させることにより要素分割を行った。

材料の構成モデルとして鋼管部分には、水野の修正二曲面モデル²⁾を採用した。なお、本解析では、冷間加工鋼材が使用されていることを考慮し、鋼材の降伏棚はほとんど消失している状態と仮定し、修正二曲面モデルに含まれる材料パラメータ(表-1 参照)のうち、ひずみ硬化開始時の塑性ひずみ ϵ_{st}^p の値を 1.53×10^{-2} から 0.01×10^{-2} に、最大引張強度 σ_u と降伏強度 σ_y との比を $\sigma_u/\sigma_y = 1.81$ から $\sigma_u/\sigma_y = 1.23$ へと変更した。また、初期降伏曲面の大きさを初期降伏応力 σ_y の半分に設定し、実験で使用された鋼材の状態に近づける配慮を行った。表-1 に示されるパラメータの詳細な説明は文献 2)を参照されたい。

表-1 修正二曲面モデルのパラメータ値

パラメータ	E(GPa)	σ_y (MPa)	ν	E_{st}^p	ϵ_{st}^p	a	b	c
SS400 材	206.7	289	0.29	2.49×10^{-2}	1.0×10^{-4}	-0.505	2.17	14.4

α	e	f/E	M	E_{01}^p/E	$\omega \cdot \sigma_y$	κ_0/σ_y	σ_u/σ_y	$\zeta \cdot \epsilon_y^2$
0.191	5.00×10^2	0.3	-0.37	8.96×10^{-3}	3.08	1.15	1.23	9.89×10^{-4}

2.3 解析結果および考察

(1) 荷重－変位曲線

図-3 に示すように、i) 水野による多曲面モデルを用いたはり解析結果³⁾、ii) 本解析で行った完全弾塑性モデルを用いた解析結果、および iii) 修正二曲面モデルを用いた解析結果を Sherman による実験結果と比較した。

はり要素による有限要素解析結果（多曲面モデル）は基部に生ずる局部座屈現象を再現できないため、再載荷後の耐力の劣化がない。一方、DIANA の立体シェル要素に完全弾塑性モデルおよび修正二曲面モデルを用いた解析結果は、図-4 に示すように局部座屈挙動を再現できることから、比較的实验結果に近い挙動を示す。完全弾塑性モデルによる解析結果の場合、初期載荷時のピーク荷重ならびに除荷曲線が実験曲線よりも低い。一方、修正二曲面モデルによる解析では、初期載荷曲線は概ね実験曲線と一致しているが、除荷曲線では実験曲線と比べ剛性の低い曲線を予測する。両モデルとも再載荷時におけるピーク荷重は実験値に比べて高くなる。

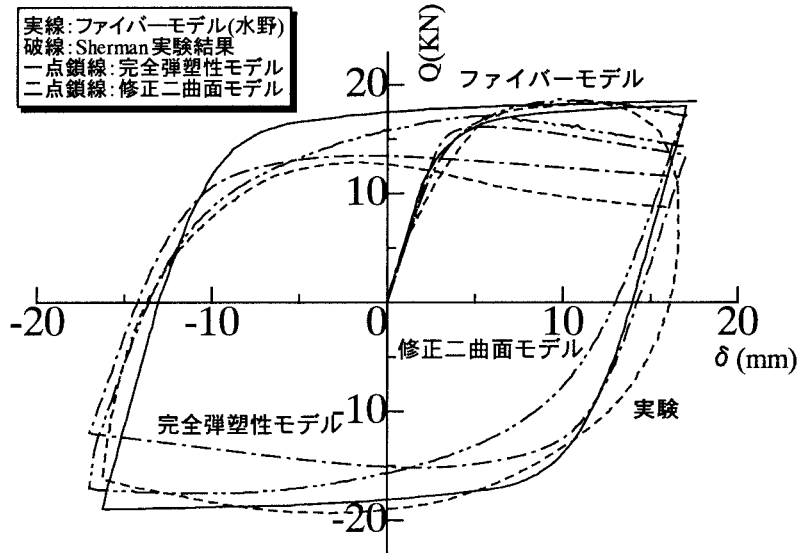


図-3 荷重 Q －変位 δ 曲線

(2) 供試体基部の変形状と応力分布

再載荷終了時点における供試体基部近傍の変形状と応力分布について、修正二曲面モデルと完全弾塑性モデルとの結果を図-4 に示す。完全弾塑性モデルによる結果は、供試体基部の座屈形状が引張側と圧縮側の両方で発生しているが、修正二曲面モデルによる結果は主として、圧縮側にのみ発生している。

3. まとめ

本研究では、修正二曲面モデルを汎用解析プログラム DIANA に導入することにより、せん断の影響が大きい供試体の実験結果を再現するため弾塑性有限変形解析を行った。完全弾塑性モデルと修正二曲面モデルによる繰り返し変形特性と実験曲線との比較、両モデルによる変形状ならびに応力分布状況などの比較を通して、修正二曲面モデルの再現性能について検討した。

謝辞: 本研究は、文部省ハイテクリサーチ構想による研究費（中部大学）によったことを付記する。

参考文献

- 葛漢彬, 高聖彬, 宇佐美勉, 松村寿男: 鋼製パイプ断面橋脚の繰り返し弾塑性挙動に関する数値解析的研究, 土木学会論文集, No.577/ I -41, pp.181-190, 1997.
- 水野英二ら: 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.40A, pp.235-248, 1994.
- E.Mizuno, M.Kato, Y.Fukamoto: Multi-Surface Model Application to Beam-Columns Subjected to Cyclic Loads, J. Construct. Steel Research 7, pp.253- 277, 1987.

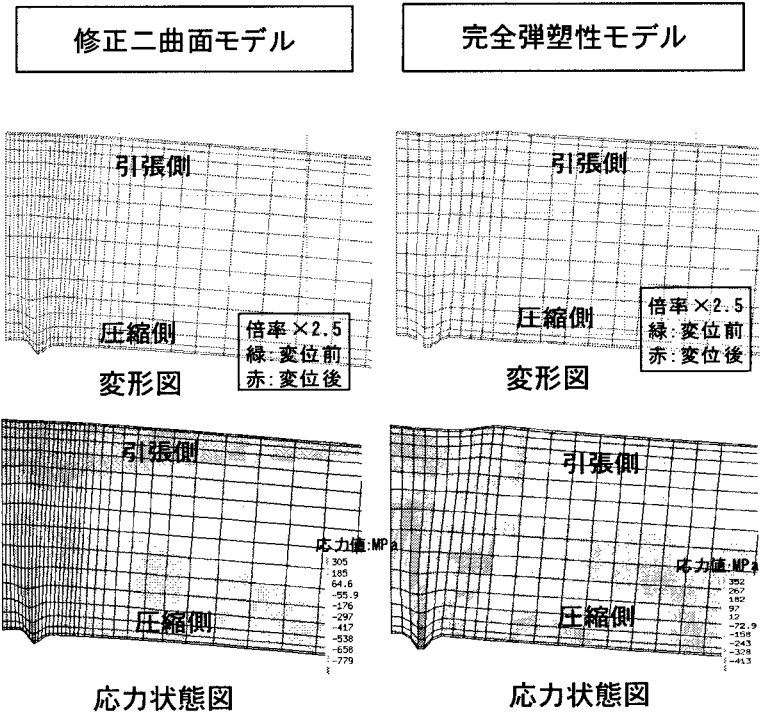


図-4 供試体基部の変形状と応力分布