

日本鋼管 K. K. 正会員 加藤真志
 名古屋大学工学部 正会員 水野英二
 名古屋大学工学部 正会員 福本秀士

1. はじめに 近年、橋梁主塔、海洋構造物などの骨組構造物は、その必要性から大型化する傾向にあり、地震力、波力などは、それら大型構造物に大きな外力として作用する。まれにみる大地震や大津波のような究極状態を想定して骨組構造物を設計する際には、鋼材の塑性変形挙動を考慮することにより、構造物のエネルギー吸収能を高めるという考え方が、構造設計技術者の間で認められてきている。本研究では、多曲面塑性モデルを導入した有限要素法プログラムを開発し、海洋構造物に多く用いられる鋼管部材を対象にした1981年のShermanの鋼管はり一柱繰り返し載荷実験、および斜張橋などに用いられるA型ラーメンをとりあげ、極限状態を想定した繰り返し荷重を受ける構造物の荷重-変形特性について、数値計算による検討を行った。

2. 構造材料塑性モデル 本研究で対象としている構造物は、部分的に弾性域を大きく越えた範囲で引張、圧縮と繰り返しを受けるために、等方硬化則、あるいは釣動硬化則を用いても、応力-ひずみ関係の厳密な予測ができない。本研究では、応力-ひずみ関係を非常に精度よく予測できる釣動硬化則と等方硬化則を巧みに混合した多曲面塑性モデル²⁾³⁾を採用した。

このモデルはPopovらによって提唱されたもので、その概要を図-1に示す。このモデルは、最初同心円上にあつた曲面群が、応力の変化に伴ない大きさを変化させながら偏心円群となり、曲面群の大きさ、位置が応力-塑性ひずみ経路を決定するものである。このモデルには3つの特性関数 χ_a , χ_b , W が存在し、材料の塑性履歴を相当塑性ひずみ $\bar{\epsilon}_p$ の関数として表わすところ

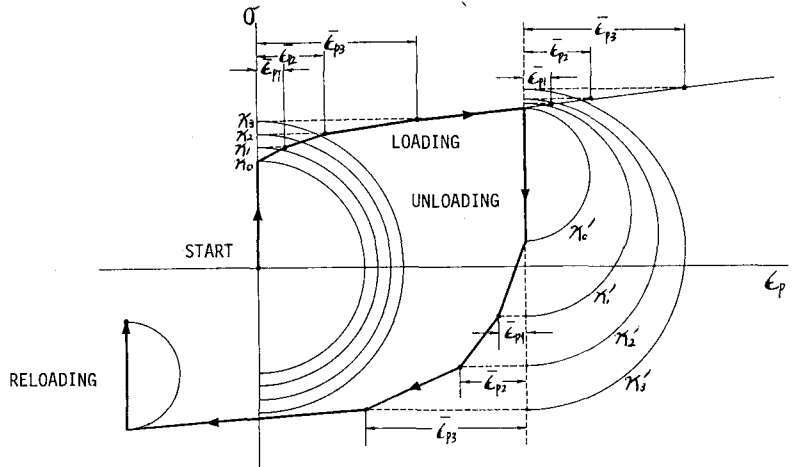


図-1. 多曲面塑性モデルの概念図

に特徴がある。 χ_a は応力-塑性ひずみ処女載荷曲線で、 χ_b は材料に塑性サイクルを何度も与えた後の定常状態における載荷曲線である。 W は材料が定常状態に至る以前の載荷曲線が、 χ_a , χ_b のどちらに大きく依存するかを決定する重み関数である。図-1 に示される曲面数を、本研究では9とした。i番目の曲面の大きさ χ_{ai} は、次の(1)式で計算される。

$$\chi_{ai} = \chi_{bi} + W(\bar{\epsilon}_p) \{ \chi_{ai} - \chi_{bi} \} \quad \text{----- (1)}$$

χ_{ai} , χ_{bi} は、 χ_a , χ_b を離散的に9箇所であらわしたi番目の大きさである。 W は処女材料であれば1、定常状態であれば0である。本研究では、軟鋼の特性関数を材料試験より決定した。

3. 繰り返し荷重を受ける鋼構造物の非線形解析手法 本研究では、ひずみ-変位関係式として有限変形理論を用いた。変位関数は構部材軸方向、構部材直交方向それぞれ2次関数、4次関数とした。部材には曲げと軸力を考慮し、応力、ひずみは軸方向のみを用いる平面保持の仮定に従うため、局部座屈は考慮しない。鋼管はり一柱の解析では、冷間加工材料の特色として、降伏棚の消失・早期降伏・早期硬化の性質をもつ図-2のような応

力-塑性ひずみ関係を用いた。A型ラーメンの解
析では、材料は降伏棚を有するものとし、残留応
力を考慮した。要素分割数は、はり-柱、A型ラ
ーメンそれぞれ16, 30要素とした。計算は変動荷
重載荷点の変位制御法による増分法を用い、増分
区間で Newton-Raphson 法による収束計算を行
った。

4. 数値計算例

4-1 鋼管はり-柱の挙動 図-3に、Sh-
ermanの行った実験結果と本研究の数値計算結果を
示す。図-2の応力-塑性ひずみ関係を入れて求めた結果を
みると、実験値と良好な一致をみている。荷重-変形履歴特
性は、1回目の最大圧縮荷重付近のなだらかなピーク、引張
降伏荷重($P_y=23.8t$)付近のひずみ硬化による荷重の漸増、2
回目の最大圧縮荷重の低減の理由、Bauschinger効果と、1回目
の圧縮時の残留変形が2回目の圧縮時に付加モーメントを生
じさせたことが考えられる。なお、2回目の最大圧縮荷重後
の挙動は実験値が解析値を下回っている。これは実験報告
には断面の扁平化、または曲げによる局部座屈出現につ
いての明確な記述がないので、本解析の適用の妥当性
については確かめられない。

4-2 A型ラーメンの挙動 図-4は下端固定の吊橋
または斜張橋の主塔の橋軸直角方向の水平力が、柱位置
に作用した時のA型ラーメン構造の復元力特性を求め
るために行った数値計算の一例である。モデルとして、
すべて等断面($H=100 \times 100 \times 6 \times 8$ の箱組)の骨組であり、
鉛直荷重として32.73tを作用させている。図中に示さ
れる $H_{max(1)} \sim H_{max(3)}$ は、それぞれこの位置での
Hの最大値であり、 $H_{max(2)}/H_{max(1)} = -1.07$
 $H_{max(3)}/H_{max(1)} = 1.02$ である。この種の形状、
断面では塑性履歴にかかわらず、十分な復元力が得
られた。

5. おわりに 多曲面塑性モデルによる材料の構成方程式
を骨組解析の有限要素法プログラムに導入すると、極めて精
度の良い数値計算結果が得られた。このプログラムは任意
の断面形状、任意の骨組形状に対して適用可能である。

参考文献

- 1) Han, D.J. and Chen, W.F.: Behavior of Portal and Strut Types of Beam-Columns, Eng. Struct., Vol.5, Jan., 1983
- 2) Petersson, H. and Popov, E.P.: Constitutive Relations for Generalized Loadings, ASCE, Vol.102, No.EM4, Aug., 1977
- 3) Popov, E.P. and Petersson, H.: Cyclic Metal Plasticity; Experiments and Theory, ASCE, Vol.104, No.EM6, Dec., 1978

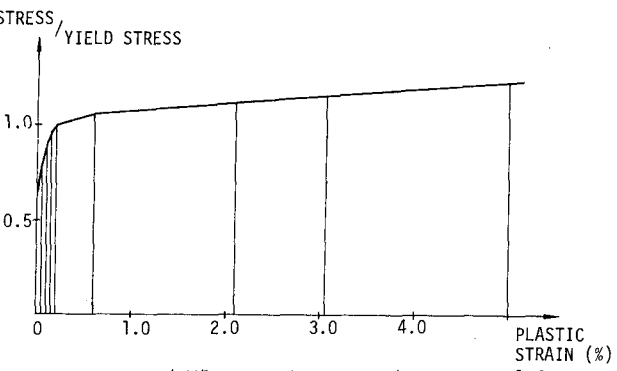


図-2. 鋼管はり-柱の応力-塑性ひずみ関係

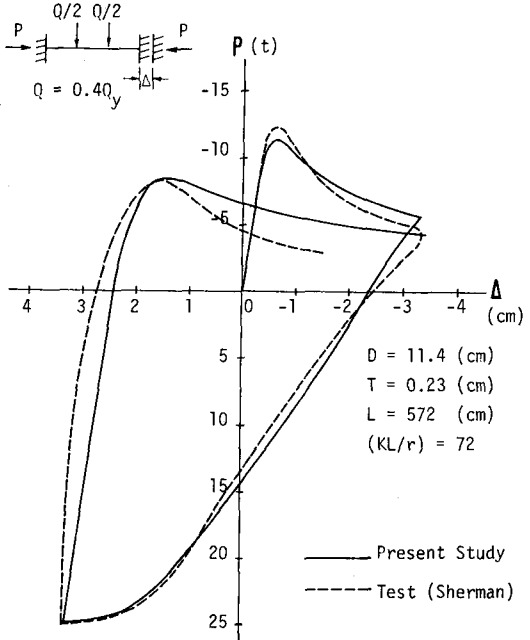


図-3. 鋼管はり-柱の軸方向変位~軸荷重関係

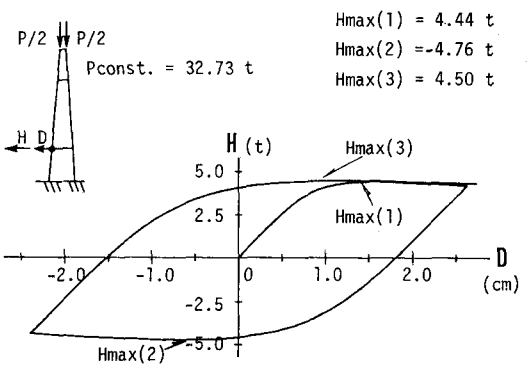


図-4. A型ラーメンの水平変位~水平荷重関係