

鋼板の繰り返し載荷挙動における構成則モデルの比較

石川島播磨重工業（株） 正会員○河合輝雄
広島大学工学部 正会員 藤井 堅

1. はじめに 現在、構造物の変形能に関する研究が盛んに行われている。しかし、解析的なシミュレーションはあまり多くない。そこで本研究では、幾何学的非線形および材料非線形を考慮し、繰り返し履歴特性を評価できる折板構造物の繰り返し載荷挙動解析プログラムを開発し、それを用いて繰り返しせん断力を受ける梁の変形能の把握を試み、種々の構成則の特徴について検討する。

2. 解析方法 幾何学的非線形を考慮するために有限変位理論，増分理論，更新座標法を用いた。

材料非線形を考慮するための塑性の構成方程式の一般的なものとして、完全弾塑性モデル、Prandtl-Reuss モデルなどが挙げられるが、完全弾塑性モデルでは降伏後の応力が一定になり、Prandtl-Reuss モデルでは弾性域から塑性域に移行するとき応力-ひずみ曲線が折れ曲がり、繰り返し弾塑性挙動を説明するには十分とはいえない。そこで本研究では、材料非線形を非線形塑性域と線形塑性域で表現する二曲面モデル^{1),2),3)}を用いた。

本研究では厚肉曲面シェル解析によく用いられるアイソパラメトリックシェル要素(4 節点 6 自由度)を採用した。また、荷重制御での解析では、ピーク荷重後の釣合経路を追跡できないので、変位制御により解析も行えるようにした。なお、収斂には Newton-Raphson 法を用いた。

3. 鋼板の繰り返し載荷挙動解析 構成則に完全弾塑性モデル、Prandtl-Reuss モデル(移動硬化)、二曲面モデルを用いたプレートガーダーの繰り返しせん断解析結果から、各構成則の特徴を把握する。また、解析結果より繰り返しせん断挙動のメカニズムについて検討する。

3. 1 解析概要 解析モデルは Fig. 1 に示すようなプレートガーダーを想定し、ウェブ厚 5.0mm，ウェブアスペクト比 1.0，ウェブ幅厚比 160.0，フランジ厚 6.0mm フランジ幅 300.0mm とした。解析モデルの材質は SS400 である。要素分割は、ウェブパネルは 10×10 分割，フランジは 10×2 分割とし、板厚方向の層分割は、ウェブパネル，フラ

ンジ共に 10 とした。各構成則で用いた材料特性および定数を Table.1 a), b), c) に示す。境界条件は Fig. 2 に示すように、 $y=0$ および $y=l$ の辺はたわみに対して単純支持とした。荷重は $y=l$ のウェブパネル辺上に x 方向等分布荷重として与え、1 点を x 方向に変位制御している。増分変位の制御方法は Fig. 3 のように、降伏せん断応力 τ_y に対応する対角線の差 $\delta_y = l'_1 - l'_2$ (ここでは降伏せん断変位と呼ぶ) を求め、対角線の差 δ を $\pm \delta_y, \pm 2 \delta_y, \pm 3 \delta_y, \dots$ と $5 \delta_y$ まで漸増させて解析した。初期たわみは最大で板幅の 1/150 とし、正弦半波形で与えた。

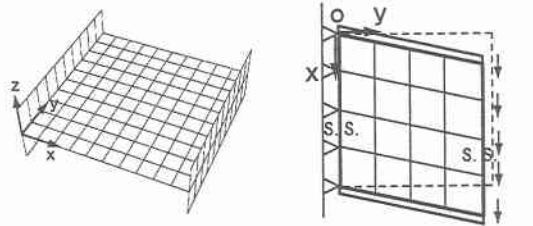


Fig. 1 要素分割図

Fig. 2 境界条件および荷重条件

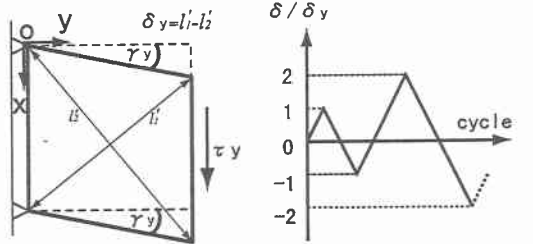


Fig. 3 せん断変位

Table. 1 a) 材料特性および構成則の定数

各構成則共通	ウェブ，スティフナー	フランジ
降伏強度 σ_y (MPa)	293.5	287.3
弾性係数 E (GPa)	192.8	198.7
ポアソン比 ν	0.28	0.28

Table. 1 b)

Prandtl-Reuss モデル	ウェブ，スティフナー	フランジ
移動硬化率 H'_k (GPa)	2.793	2.761

Table. 1 c)

二曲面モデル	ウェブ，スティフナー	フランジ
定常塑性係数 E'_o (GPa)	1.928	1.987
形状パラメーター $h(\times 10^6)$	0.7	0.7
境界曲面半径 R (MPa)	337.52	330.41

3. 2 解析結果 各構成則を用いた荷重-せん断変位曲線を Fig.4~6 に示す. 各構成則でほぼ同じ挙動をしている. しかし, $\delta/\delta_y=1.0$ 以降での各ループでのピーク荷重が, 二曲面モデルが最も大きく, Prandtl - Reuss モデル, 完全弾塑性モデルの順に小さい. 完全弾塑性モデルでは, 弾性域から塑性域への移行においてひずみ硬化が全く得られないため, 荷重が他の構成則より小さくなると考えられる. また Prandtl - Reuss モデルではひずみ硬化が多少得られるが, 硬化係数の急激な減少のため, 硬化係数が滑らかに減少する二曲面モデルより荷重が小さくなると考えられる.

二曲面モデルでの解析値の, 荷重-ウェブ中央点の面外たわみの履歴曲線を Fig.7 に示す. -2δ から以降 P/P_y が $\pm 0.2 \sim \pm 0.4$ 付近において曲線に変動が見られる. P/P_y がプラスのピーク荷重からマイ

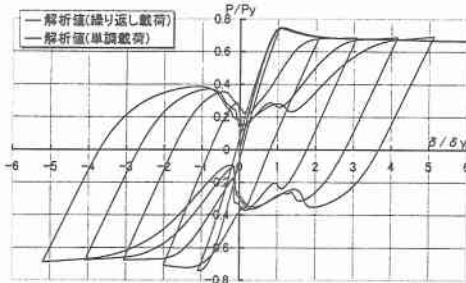


Fig. 4 荷重-せん断変位曲線(二曲面モデル)

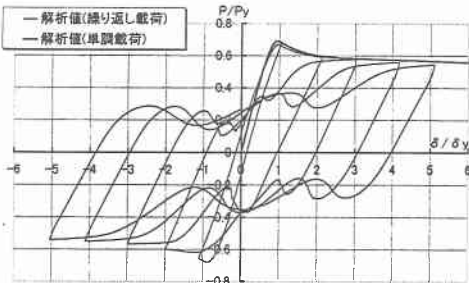


Fig. 5 荷重-せん断変位曲線(完全弾塑性モデル)

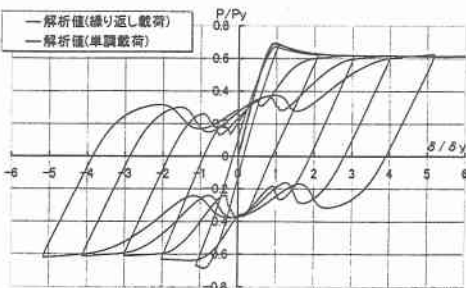


Fig. 6 荷重-せん断変位曲線(Prandtl-Reuss モデル)

ナスのピーク荷重に移行するとき, 面外たわみが一度増加して, その後急激に減少している. その後, せん断変位が折り返して, マイナスのピーク荷重からプラスのピーク荷重に移るときも, 面外たわみが急激に増加している. これは, $2\delta_y$ から $-2\delta_y$ の途中で, たわみ形状が一次モードから二次モードに変化し(Fig.8), それ以降は二次モードでせん断変形を続けるためと考えられる.

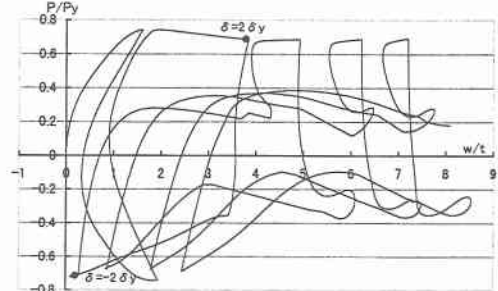


Fig. 7 荷重-ウェブ中央点面外たわみ曲線(二曲面モデル)

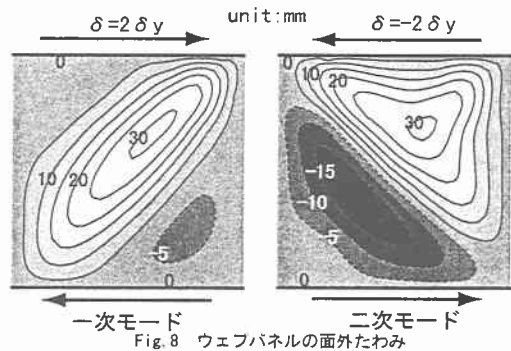


Fig. 8 ウェブパネルの面外たわみ

4. まとめ

1) $\delta/\delta_y=1.0$ 以降での各ループでのピーク荷重は二曲面モデルが最も大きく, Prandtl - Reuss モデル, 完全弾塑性モデルの順に小さい.

2) 座屈後の斜め張力場により, プレートガーダーのウェブパネルに, 異なる 2 種類のたわみ形状が繰り返して発生することがわかった.

参考文献 1) Y.F.Dafalias and E.P.Popov : A Model of Nonlinearly Hardening Materials for Complex Loading, Acta Mechanica 21, pp.173-192(1975) 2) C.Shen, Y.Tanaka, E.Mizuno, T.Usami : A Two-Surface Model for Steel with Yield Plateau, Structural Eng./Earthquake Eng.Vol.8, No.4, pp.179-188(1992.1) 3) C.Shen, E.Mizuno, T.Usami : A Generalized Two-Surface Model for Structural Steels under Cyclic Loading, Structural Eng./Earthquake Eng.Vol.10, No.2, pp.59-69(1993.7)