

鋼板の繰返しせん断挙動に関する解析的検討

広島大学大学院 学生会員 ○藤本 慧
 広島大学大学院 フェロー会員 中村 秀治

広島大学大学院 正会員 藤井 堅
 福山大学 正会員 中村 雅樹

1. 背景・目的

繰返し力を受ける構造物の力学挙動や変形能に関する研究は、Popov らによって一定の成果があげられている。変形能の評価においては、構造物のポストピークの問題がほとんどであり、ひずみの大きさは、降伏後の数%あるいは十数%のオーダーを扱う必要がある。さらに、繰返し履歴特性における材料力学的非線形問題として、従来の静的耐力解析で主流となっていた Prandtl-Reuss の流れ則、等方硬化則や移動硬化則では、Bauschinger 効果などの繰返し特性を十分に表現できないといった問題もあり、現在では多曲面モデルや三曲面モデル、二曲面モデルの構成則が提案されている。

本研究では、材料構成則として繰返し挙動を良く再現できるとされている二曲面モデルを用いる。さらに幾何学的非線形解析に定評のある汎用構造解析ソフト ABAQUS に二曲面モデルをユーザーサブルーチンとして組み込むことで複合非線形解析を行い、繰返しせん断力が作用する際のプレートガーターのウェブパネルの挙動について考察する。

2. 二曲面モデルについて

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 モデル等が挙げられるが、これらの構成則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、降伏後の応力～ひずみ曲線の傾きが一定になってしまう事や、降伏後のひずみ硬化を表現できないなど、繰返し弾塑性挙動を表現するには十分とは言えない。そこで本研究では、繰返し弾塑性挙動を評価できるとされる二曲面モデルを用いた。

Fig1 に示すように、二曲面モデルは応力空間内に降伏曲面と境界曲面の2つの曲面を考える。降伏曲面は境界曲面内を移動する。これを一軸応力状態で考えると、Fig.2 に示すように、境界応力と降伏応力との差を δ_{in} 、現応力と降伏応力との差を δ 、曲率を h 、定常塑

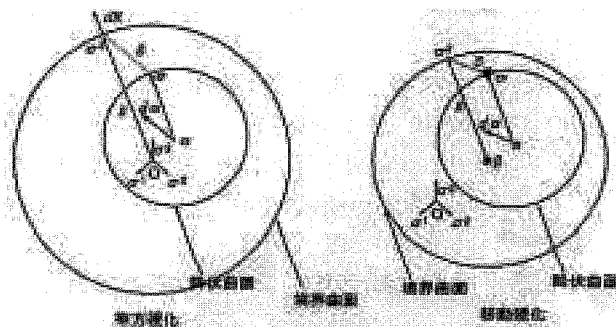


Fig1 多軸応力状態での境界曲面と降伏曲面

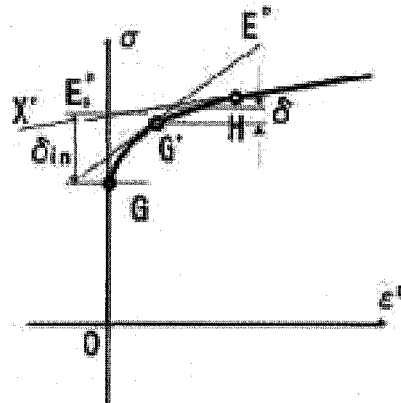


Fig2 一軸応力～一軸塑性ひずみ図

性係数を E_0^p とすると、接線塑性係数 E^p は式(1)で表せる。

$$E^p = E_0^p + h \frac{\delta}{\delta_{in} - \delta} \quad (1)$$

3. 解析概要

解析モデルについては Fig3 に示すとおりで、ウェブは一辺が 800[mm]で、要素分割は 10×10 要素の正方形ウェブパネルを対象とした。荷重条件と境界条件については Fig4 に示すとおりである。理論値での座屈荷重と降伏荷重を計算した結果、降伏荷重の方が大きいため、解析に用いたモデルはウェブ座屈先行型のプレートガーターである。このモデルについて材料構成則として二曲面モデルを用い、複合非線形解析を行った。

4. 解析結果

荷重～変位関係についての解析結果を Fig5 に示す. 荷重, 変位ともにそれぞれ降伏荷重, 降伏変位を用いて無次元化している. また Fig5 中にプロットした mode-1 と mode-2 におけるウェブパネルの変形図を Fig6 に示す.

Fig5 より各サイクルの最高荷重について, 実験結果をよく再現できていることが分かる. また Fig6 のそれぞれの変形図を確認すると, 2 種類の異なる座屈モードが確認できた.

ここで Fig5 での解析結果では, P/P_y が ± 0.3 付近において荷重が一旦急激に低下して再び増加する現象が認められる. これは斜め張力場の発生方向が変化することによる. すなわち, ウェブの対角線上に発生した斜め張力場が別の対角線に移るとき, 今までの張力場で発生したたわみが残っているために, それが筋交のような役割をし, Fig5 での解析結果に現れるような不安定な現象を招いていると考えられる. このような急激な荷重低下は実験では捕らえることは難しいが, 解析では不安定現象を再現できている.

5. 結論

本研究での結論を以下にまとめる.

- ・二曲面モデルを用いてプレートガーターのウェブパネルの繰返しせん断挙動を再現した.
- ・ P/P_y が ± 0.3 付近において荷重の急激な低下が確認できた. これは斜め張力場の影響により発生しており, 実験では捕らえられなかった不安定現象を, 解析により追うことができた.
- ・斜め張力場が逆転する不安定状態では, 一次モードのみならず二次モードの座屈モードが発生して移行する.

6. 参考文献

1. 宇佐美勉他：座屈設計ガイドライン pp403-437, 社団法人土木学会, 2005
2. Y.F.Dafalias and E.P.popov : A Model of nonlinearly hardening Materials for Complex Loadnig, Acta mechanica 21, pp.173-193
3. C.shen 他：降伏棚を有する鋼材の二曲面モデル, 土木学会論文集 441/I-18, pp179-188

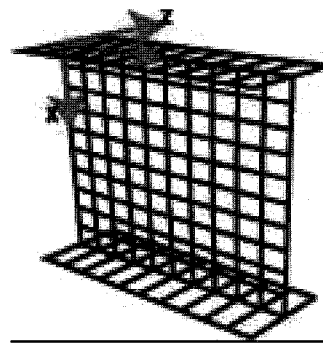


Fig3 解析モデル

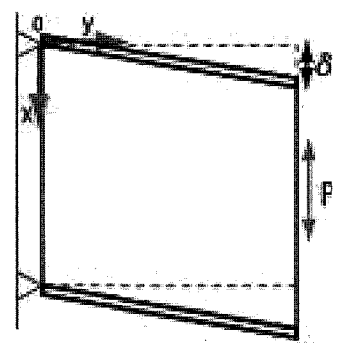


Fig4 荷重条件・境界条件

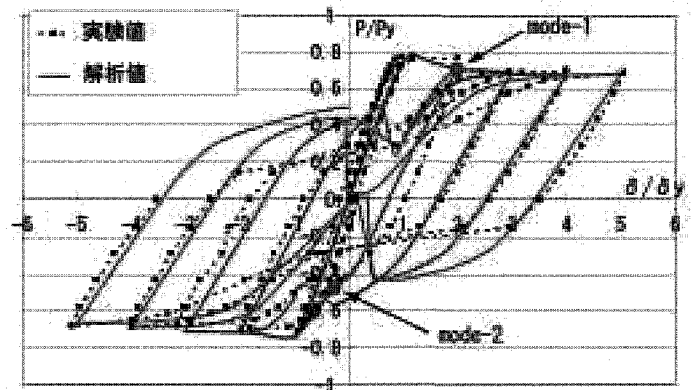


Fig5 荷重～変位関係

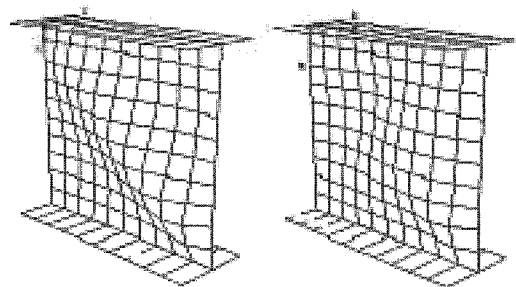


Fig6 変形図(左: mode-1, 右: mode-2)

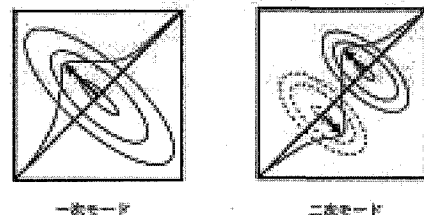
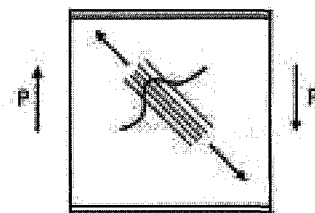


Fig7 斜め張力場とたわみ形