

延性破壊条件式を用いた鋼板の引張試験シミュレーション

日大生産工(院)○真水 大介 日大生産工 高橋 進 理化学研究所 須長 秀行
理化学研究所 高村 正人 理化学研究所 見原 俊介 (株)ファソテック 大橋 英一郎

1 緒言

生産技術におけるFEMシミュレーションは、金型設計に用いることで試作における試行錯誤を大幅に削減し開発期間の短縮およびコストの削減を可能にするほか、鍛造、切削および板金成形などの成形プロセスの検討に用いることが可能である。

近年、厚板の複雑な形状の部品は開発期間とコストを削減するために、切削、焼結、ダイカストから板鍛造への工法転換が検討されている。他の部品の表面上を摺動する場合、表面品質は非常に重要であり、せん断加工面におけるせん断面と破断面の制御が必要になる。成形プロセスの開発は時間がかかるため、せん断加工後の断面を評価するためのFEMによる正確な成形シミュレーションは開発期間を短縮することが出来る¹⁾。本研究では破断の基本形態での解析精度を検証するために、軟鋼板を使用してFEMによる引張試験における破断予測を行った。延性破壊条件式としてCockcroft-Lathamの式を用いて解析を行い、定数の同定及び破断形状の評価を行ったので報告する。

2 引張試験

冷間圧延鋼板SPCEを用いて引張試験を行った。引張試験の形状はJIS 5号、厚さは1mmとした。試験片寸法をFig.1に示す。試験片の切り出し角度は、材料の圧延方向から0°、45°、90°の3種類を用いた。引張速度は1mm/minである。引張試験結果の応力-ひずみ線図をFig.2に示す。図よりSPCEは異方性を示した。

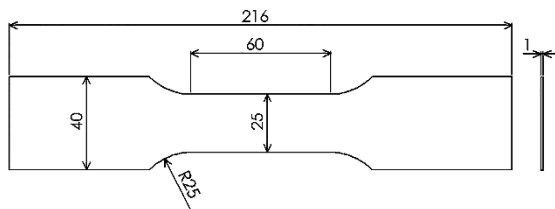


Fig.1 Specimen dimensions

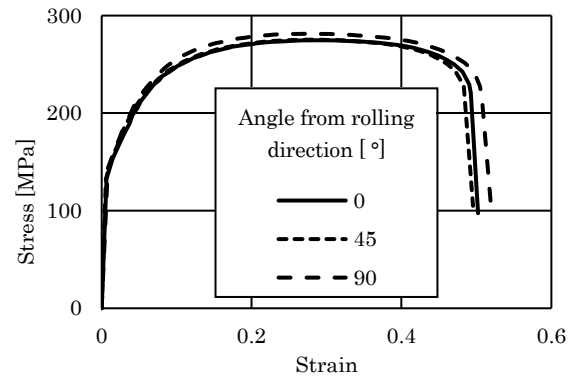


Fig.2 Stress-strain curves of SPCE

3 FEM解析

3.1 FEM解析結果

FEM解析では応力とひずみの関係式として加工硬化則であるSwiftの式を用いた。Swiftの式を以下に示す。

$$\bar{\sigma} = K(\bar{\epsilon} + \epsilon_0)^n \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\sigma}$ は真応力、 $\bar{\epsilon}$ は塑性ひずみ、 K, ϵ_0, n は材料定数である。材料定数は最小二乗法を用いて引張試験結果における真応力と塑性ひずみの関係に近くなるように求めた。

引張試験の解析は、FEMソフトウェアTP-STRUCT((株)トライアルパーク)を用いた。解析における試験片モデルはチャックされている部分を除いた形状とした。要素は六面体ソリッド要素を適用し、解析精度を考慮して試験片モデル中央部の要素は、立方体に近い形状とした。試験片モデルをFig.3に示す。

試験片モデルの一端を完全固定し、他端に試験片の長手方向に強制変位を与えて解析を行った。上端にかかる荷重の総和と評点間距離の伸びを解析より求めた。圧延方向の解析結果における荷重-伸び線図をFig.4に示す。実験結果と解析結果の相関係数は0.946でありよく近似している。

Simulation of Tensile Test for Steel Sheet Using Ductile Fracture Criterion

Daisuke SHIMIZU, Susumu TAKAHASHI, Hideyuki SUNAGA,
Masato TAKAMURA, Shunsuke MIHARA, Eiichiro OOHASHI

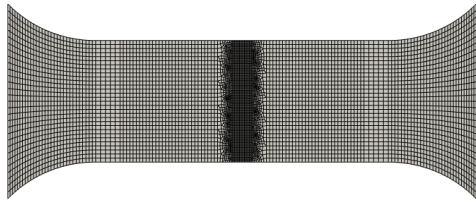


Fig.3 Mesh model of tensile test specimen

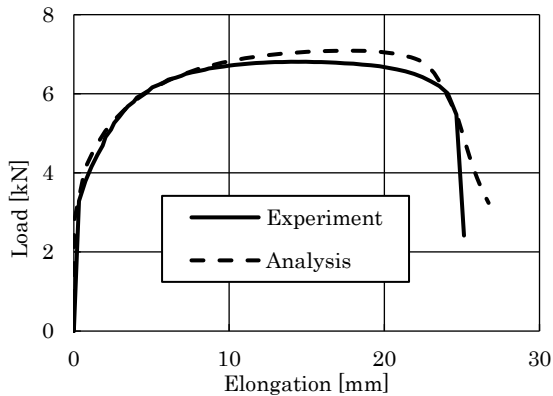


Fig.4 Relationship between load and elongation of rolling direction in an analysis and an experiment

3.2 破断シミュレーション

解析に延性破壊条件式を導入し試験片モデルに破壊を条件付けた。大矢根の式²⁾をはじめとし様々な延性破壊条件式が提案されている。本研究では引張試験より式中の定数を同定でき計測が簡便であることから Cockcroft-Latham の式³⁾を用いた。

$$\int_0^{\bar{\epsilon}_f} \sigma_{max} d\bar{\epsilon} = C \quad (2)$$

ここで、 σ_{max} ：最大垂直応力、 $\bar{\epsilon}_f$ ：破断限界ひずみ、 C ：定数である。

解析では式(2)の左辺を各要素にごとに計算し、設定した式(2)の右辺の値を超えた時要素の剛性を 0 にすることで亀裂を表現した。式(2)における定数 C の値(C 値)は実験とシミュレーションを一致させることで求める。ここでは、材料に局所くびれが発生し始めた時、材料内のポイドは大きく成長して破断が開始すると考える。そこで、 C 値はシミュレーションにおける破断開始点が実験における局所くびれ開始点と一致する値とした。実験と C 値を変化させたときのシミュレーションによる圧延方向の荷重-伸び線図を Fig.5 に示す。 C 値が 100~300 の場合、シミュレーションでは小さなひずみエネルギーで破断が開始するため実験結果と一致しない。この材料では C 値が 900 の時シミュレーションが、実験結果の局所くびれ開始点から破断が開始した。同様に試験片の切り出し角度が 45° および 90° の時の C 値を同定した結果それぞれ 800, 1100 となり、

Cockcroft-Latham の式の定数は SPCE の異方性により異なる値を示した。

また、解析と実験の破断後の形状を Fig.6 に示す。せん断帯の角度はそれぞれ 21.9° および 23.8° となり両者はよく一致した。

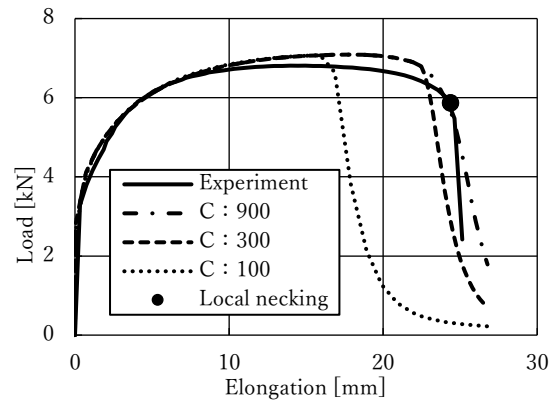


Fig. 5 Relationship between load and elongation of rolling direction with different C value in simulation

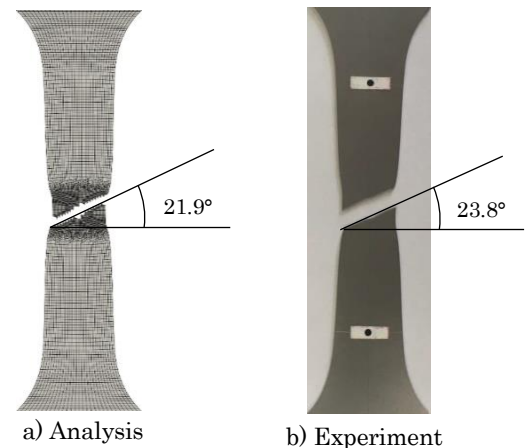


Fig.6 Breakage shape of specimen in rolling direction

4 結言

- 1) 軟鋼板について FEM を用いた破断シミュレーションを行った。延性破壊条件式である Cockcroft-Latham の式の C 値を同定した結果、圧延方向の場合 900 であるが、試験片の切り出し角度が変わると C 値も変化した。
- 2) 実験と解析の破断部の形状はよく一致していた。

「参考文献」

- 1) 高村 正人, 塑性と加工, 53-620 (2012), p. 17-20
- 2) 大矢根 守哉, 日本機械学会誌, 75-639 (1972), p. 596-601
- 3) M.G.Cockcroft and D.J. Latham, J. inst. Metals, 96 (1968), p. 33-39