

引張試験シミュレーションにおける延性破壊条件式の パラメータの最適化

日大生産工(院) ○角田龍之介 日大生産工 高橋 進
理化学研究所 高村 正人 理化学研究所 見原俊介
日大生産工(院) 真水 大介

1 緒言

自動車用小部品等の製造は低コスト化のため、切削、焼結およびダイキャストを板鍛造への工法転換が求められている。しかし、部品の精度向上のために、せん断加工精度のさらなる向上が必要である。また、せん断加工用の金型開発期間短縮のため、成形シミュレーションの適応が期待されている。

そこで破断の予測技術向上、効率化のため、本研究では破壊条件を考慮した引張試験シミュレーションを実施し、延性破壊条件式のパラメータ同定の自動最適化をする。

2 引張試験におけるパラメータ同定

破壊条件式等のパラメータ同定の流れをFig.1に示す。このフローチャートには引張試験実施からシミュレーションにて用いるSwiftの式とCockcroft-Lathamの式のパラメータの同定の流れの概略を示している。

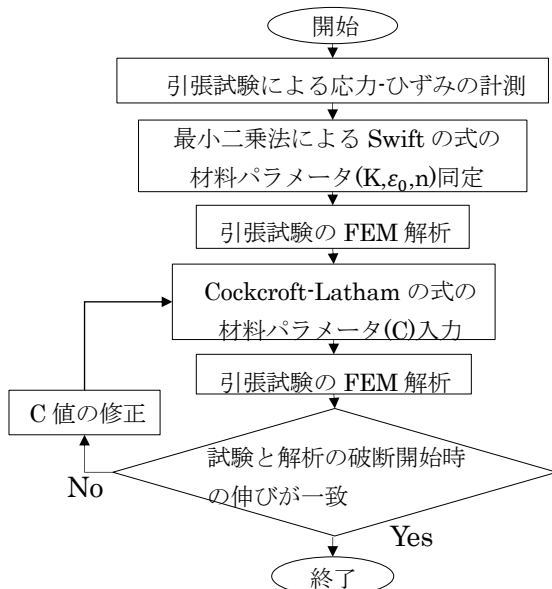


Fig.1 Flowchart of optimization of parameters of ductile fracture condition formula

2.1 引張試験

2.1.1 試験片

試験片には板厚1mmの冷間圧延鋼板SPCEを用い、形状はJIS 5号試験片とした。試験片寸法をFig.2に示す。また、解析に用いる試験片モデルも同様の材料と形状を設定している。

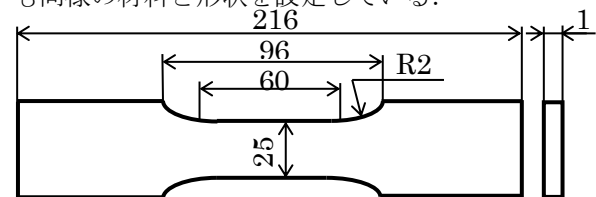


Fig.2 Specimen dimensions

2.1.2 引張試験条件

試験には万能材料試験機(AG-X100kN 島津製作所製)を用いた。試験前に試験片の平行部の厚さと幅を測定し、引張速度を1mm/minで試験を行った。荷重はロードセル(SLFL-100kN島津製作所製)、伸びは評点間距離50mmの評点を高速カメラ(VW-6000 KEYENCE製)にて撮影し、画像処理ソフト(Motion Analyzer KEYENCE製)によって計測した。

2.2 Swiftの式のパラメータの同定

解析時に入力する応力とひずみの関係式として、下記のSwiftの式を用いた。

$$\bar{\sigma} = K(\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^n \quad (1)$$

ここで $\bar{\sigma}$:真応力(MPa), $\bar{\varepsilon}$:塑性ひずみ, K, n, ε_0 :定数である。Swiftの式の定数の値は試験とFEM解析で局所くびれ開始時の伸びが一致する値とした。

2.3 FEM解析

FEM解析ソフト(TP-Femis TRIALPARK製)を用いて引張試験の解析を行った。まず、試験片モデルの下端を完全固定し、上端を1mm/stepで引張り、解析結果を保存した。解析結果から、上端の各要素に発生する荷重の総和と、標点間の伸びを計測し、荷重-伸び線図を求めた。

Optimization of parameters of ductile fracture condition formula in tensile test simulation

Ryunosuke KAKUTA, Susumu TAKAHASHI, Masato TKAMURA, Syunsuke MIHARA
and Daisuke SIMIZU

2.4 Cockcroft-Lathamの式のC値の同定

解析で破断条件式である Cockcroft-Latham の式²⁾を計算し、各要素で設定したC値以上になった時にその要素が破断したとする。Cockcroft-Lathamの式を以下に示す。

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

ここで σ_{max} ：最大引張応力(MPa)、 $\bar{\epsilon}_f$ ：破断限界ひずみ、 C ：定数である。C値の同定は、C値を入力して解析を行い、試験と解析にて試験片が破断を開始した時の伸びが一致する値とした。また、解析での破断開始は、破断条件式を考慮した場合と考慮していない場合の荷重-伸び線図の剥離点とした。

3 C値の同定の自動最適化

3.1 手動でのC値の同定方法

これまでのCockcroft-Lathamの式のC値の同定方法は、C値を100~1000までを100ずつ間隔をあけて10回解析を行い、剥離点と試験時の局所くびれが発生した時の伸びが最も近いC値を同定結果とした。Fig.3に破断条件式を考慮していない解析結果とC値が100, 200, 300, 500, 800の時の解析結果の荷重伸び線図を示す。この場合同定結果のC値は、 $C:800$ となる。この方法では、多くの解析回数による長時間の同定と同定完了の基準が定量的ではない等の課題がある。そこで、これらの課題を解決するためプログラム言語Pythonを用いたC値の同定の自動最適化プログラムの開発を行った。

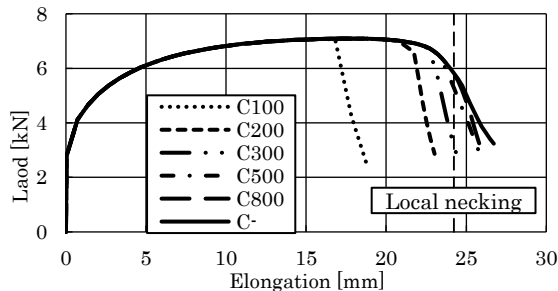


Fig.3 Example of separation with changing C values

3.2 C値の自動同定

同定完了の基準である、試験と解析での破断開始時の伸びが一致したという判断を適用材料の破断伸びの $\pm 0.5\%$ の範囲とした。

同定方法は試験での破断開始した時の伸び x_0 とし、 i 回目の解析でのC値と乖離点を C_i と x_i として最適化範囲の決定(Fig.4)と最適化(Fig.5)の2段階とした。最適化範囲の決定では x_i が x_0 より大きくなるまでC値を2倍ずつ大きくする。最適化では、破断開始時の伸びとC値が比例関係と仮定する。最適化の範囲決定で得られた範囲の下限を C_1 、上限を C_2 とし、 x_1 と x_2 をそれぞれの破断開始時の伸びとして比例配分の式(3)を用いて x_0 の時のC

値を推測し、設定する方法とした。

$$C = C_{i-1} + (C_i - C_{i-1}) \times \frac{x_0 - x_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} \quad (3)$$

ここで C は推測したC値、 x_{i-1} 、 x_i は C_{i-1} 、 C_i の時の破断開始点の伸び(mm)である。

以降は目標となる伸び近傍の設定した範囲で解析結果が破断する値になるまで下限の C_{i-1} あるいは上限の C_i に求めたCを代入し(3)式を繰返し計算し $x_i \cong x_0$ にしていく。

これにより、Table1に示す様に解析回数も削減し、かつ精度良いC値の同定を行う事が可能になった。

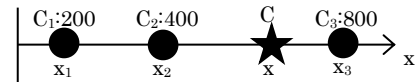


Fig.4 Determination of optimization range

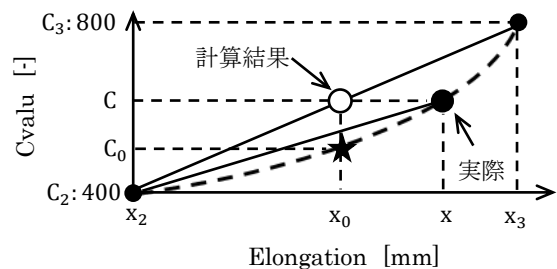


Fig.5 Optimization of C value

Table 1 Comparison of identification results

	Identification results			
	Before optimization		After optimization	
Rolling direction [°]	C value	Number of analyses	C value	Number of analyses
0	900	10	882	4
45	800	9	863	4
90	1100	12	998	3

4 結言

- (1)Cockcroft-Lathamの式のC値の同定が自動化と出力数及び解析回数の削減により約25時間かかる同定時間が約40%減少し、より目標の伸びと破断点が近いC値の同定を可能にした。
- (2)現時点では過去の知見からC値の初期値を設定しているため、新たな材料での解析では初期値を設定する為の基準が無い。その為に基準の設定方法の検討を行う必要がある。

「参考文献」

- 1) 高村 正人, 延性破壊条件を考慮した弾塑性有限要素法による板材せん断過程のシミュレーション, 塑性と加工, Vol.53, No.620 (2012), p.805-808.
- 2) 大矢根 守哉, 延性破壊のクライティアリヤ, 塑性と加工, Vol.13, No.135 (1972), p.265-270.