## 鋼材の局部伸びを考慮した真応カーひずみ関係の簡易的なモデル化の検討

九州工業大学 学生会員〇大塚 貴広

九州工業大学 正会員 高井 俊和

#### 1. はじめに

鋼材の大変形が生じる FEM 解析を実施するには, 断面積の変化が無視できないため真応カーひずみ関 係を用いる必要がある.材料引張試験では一般に公 称応カーひずみ関係が得られるが,引張強さ以降は ネッキングが生じるため真応カーひずみ関係に変換 するには煩雑さを伴う.ミルシートから真応カーひ ずみ関係がモデル化できれば簡便であるが,ミルシ ートに示される降伏点,引張強さ,伸び(,絞り)以 外は何らかの方法で補完する必要がある.本検討で は簡便に真応カーひずみ関係をモデル化する方法を 検討し,材料試験の再現解析によりモデル化の精度 を確認した.

# 2. 応カーひずみのモデル化

材料試験は SM490Y の板厚 28 mm の鋼板から作成 した 4 号試験片を用いた. 円筒部の直径が 14 mm, 標点間が 50 mm である. ミルシートによる公称の降 伏点は 416N/mm<sup>2</sup>, 引張強さは 542N/mm<sup>2</sup> である. 材 料試験結果とミルシートからモデル化した応カーひ ずみ関係を表 1 にまとめる. 表の値は真応力, 真ひ ずみであり, 公称応力, 公称ひずみから変換した. 表 内の赤数字は補完した値である.

補完にあたり,文献[1][2][3][4]に示されている 材料特性をもとに,特性値間の関係式を作成した. 一様伸びと降伏比の関係を図1に,破断応力と引張強 さの関係を図2に,絞りと降伏点の関係を図3に示 す. 横軸は文献や,相関係数を勘案して最も相関性が あると思われる特性値を選択した.降伏ひずみは,降 伏点をヤング率200,000 N/mm<sup>2</sup>で割り求めた.破断 伸びは,塑性変形の非圧縮性( $A_0L_0=AL$ )を考慮し,  $\epsilon_r=\ln(L/L_0)=\ln(A_0/A)$ で求めた.なお, $A_0/A$ は絞り $\varphi$ の 補完値に基づき代入した.

図4に表1にまとめた真応カーひずみ関係を示す. ミルシートの値を補完したケースも含め,どのモデ ル化も大きな差はなかった.局所伸びを考慮したた め,破断応力は1,000 N/mm<sup>2</sup>超え,破断ひずみは100% を超えた. 表1 応力-ひずみのモデル化

材料試験結果		材料試験結果に基づいた			
		マルチ リニア	トリ リニア	降伏点, 引張強さ, 破断伸び	ミル シート
解析ケース		а	b	с	d
降伏点σ <sub>y</sub> (N/mm	1 <sup>2</sup> )	427.7			416.9
降伏伸びε <sub>y</sub> (9	6)	0.21		0.21	0.21
引張強さot (N/mm	1 <sup>2</sup> )	629.2			616.8
ー様伸びε <sub>t</sub> (9	6)	14.5		12.4	12.9
破断応力σ <sub>f</sub> (N/mm	1 <sup>2</sup> )	1105.8		1165.9	1146.5
破断伸びε <sub>f</sub> (9	6)	126.4		121.8	121.7
絞りφ (9	6)	71.8		70.4	70.4



図1 一様伸び-降伏比関係









図4 局部伸びを考慮した真応力-真ひずみ関係

## 3. 解析方法

解析プログラムは Abaqus Standard v6.13 を用いた. 図5のように対称性を考慮した 1/8 モデルとし,要素長が2mm程度の均一とした8節点低減積分ソリッド要素を用いた.また,ネッキングを生じさせるため対称面の半径を0.01mm縮小した.応力-ひずみ関係は図4を用いた.幾何学的非線形を考慮した.

### 4. 解析結果

図6に材料試験の破断伸び(公称)に達した時点の変形と応力分布の一例を示す.いずれのケースと もネッキングが再現されていることを確認した.

図7に材料試験と解析結果から得られた公称応力 ーひずみ関係を示す.いずれの解析ケースとも似た 応カーひずみ関係が得られた.そのため,簡便なミル シートの値を補完した応力ーひずみ関係でも一定の 精度が得られる結果となった.材料試験結果と比較 すると,引張強さと破断の中間程度までは,近い結果 が得られたが,破断が生じる付近では解析の方がや や高くなった.

図8に材料試験結果に対する解析で得られた降伏 点,引張強さ,破断時点の応力とひずみの誤差を示 す.降伏点,引張強さの誤差は3%程度,降伏ひずみ, 一様伸びの誤差は10%前後となり,破断応力の誤差 は30%程度と大きくなった.

### 5. まとめ

本検討では、ミルシートの値を補完して鋼材の真 応カーひずみ関係のモデル化を提案し、FEM 解析を 実施し材料試験結果との比較でその精度を確認した. その結果、公称応カーひずみ関係では引張強さを越 えた辺りまでは、材料試験とおおむね近い結果が得 られた.

#### 参考文献

- [1]岩田 善裕,石原 直,向井 昭義,西山 功,青木 博文:鋼材の素材引張試験における一様伸びと破 断伸びの関係,日本建築学会構造系論文集,第78
  巻,第683 号,カテゴリーⅡ,pp.223-232,2013.
- [2] 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員 会・鋼材分科会:鋼上部構造用鋼板の所要性能, 1973.
- [3] 土田 紀之, 井上 忠信, 榎並 啓太郎: 様々な金属 材料を用いた断続引張試験と Bridman の式による 断続直前までの真の応力-ひずみ関係の推算,日





図6 ミルシートのケースの破断時の応力分布





図7 材料試験と解析で得られた公称応カーひずみ

図8 実験結果と解析結果の誤差

本金属学会誌, 第 76 巻, 第 10 号, pp.579-586, 2012.

[4] 国土交通省 国土技術政策総合研究所,日本鉄鋼 連盟:鋼材の破断伸びに及ぼす試験片形状の影響, 国土技術政策総合研究所資料,第 662 号, 2011.