

## 構造解析ソルバ検証用参照解の整備 (低合金鋼引張試験の Code-Aster による再現)

藤岡 照高\* (東洋大学理工学部)

Reference experimental data for validation and verification of structural analysis solvers  
Numerical simulation of low alloy steel tensile test by Code-Aster

Terutaka FUJIOKA\* (Toyo University, Science & Engineering Department)

**Key Words** : V&V, Material Test, Finite Element Method, Geometrical Non-linearity, Material Non-linearity

### 1. はじめに

オープン CAE に限らず、数値解析の V&V は重要な課題である。有限要素法に基づく固体の構造解析では、材料非線形や幾何学的非線形による非線形解析において特に注意が必要になる。オープン CAE の場合、ユーザー自身が解析の妥当性を確認するため、検証に役立つ参照解が必要になる。線形問題については解析解が豊富に得られているが、非線形解は十分でない。得られている非線形解の多くは微小変形を仮定(幾何学的非線形を考慮しない)しており、検証にあたって 2 つの非線形要因を認識する必要がある。本稿では、上記 2 つの非線形性が同時に生じる延性材料の引張試験<sup>(1)</sup>を取り上げ、Code-Aster (Ver. 11.4.0)<sup>(2)</sup>を用いて再現した結果を報告する。

### 2. 実験の概要

文献<sup>(1)</sup>記載の 2.25Cr-1Mo 低合金鋼室温引張試験を解析対象とした。通常の引張試験では耐力計測の後、伸び計をはずし、クロスヘッド速度を切り替えるが、本試験では引張強さ到達後まで、一定速度で伸びを計測している。

同文献では商用 CAE を用い、共通の非弾性構成式によって、引張試験とスモールパンチ試験を良好に再現している。引張試験片は直径 10 mm、ゲージ長 50 mm。

### 3. 理論的背景

非線形解析を行う上で、材料の非弾性構成式として公称応力-公称ひずみ関係(以下、Nominal SS curve)と真応力-真ひずみ関係(以下、True SS curve)のいずれを用いるかの選択がある<sup>(3)</sup>。理論的には、大変形解析を行う場合は、要素寸法がステップごとに更新されるため、True SS curve を用いるべきであるが、要素寸法が初期状態のまま保持される微小変形解析では、Nominal SS curve を用いることで、引張試験の挙動と整合し得ると考えられる。使用するソルバがこの通りかどうかを、ソースを読むか違いを識別し得る問題を解いて確認する必要がある。

### 4. 解析方法&結果

軸対称 2 次完全積分要素を用いて試験片の 1/2 をモデル化した。半径方向(5 mm)10 分割、ゲージ半長(25 mm)方向に 50 分割とした。くびれを対称面に発生させるため、1/1000 (= 5 μm) の初期不正を導入し、テーパ状とした。

応力-ひずみ曲線には以下の 2 通りを用いた。

a. Nominal SS curve : 引張強さ以下は試験データ通り、そ

れ以降の見かけの加工硬化係数が負になる領域は応力=引張強さで一定とした。

b. True SS curve : 降伏点から最大荷重点までの試験データを近似した文献<sup>(1)</sup>記載の Ramberg-Osgood 則を仮定し、最大荷重点以降に対しても同じ式で外挿した。

大変形解析では、Code-Aster の STAT\_NON\_LINE にて DEFORMATION=SIMO\_MIEHE とした。微小変形解析では、DEFORMATION=PETIT とした。材料非線形性には VMIS\_ISOT\_TRAC を用い応力-ひずみ関係を定義した。

解析の結果を公称応力-公称ひずみ曲線(荷重反力を原断面面積で割った応力と端部伸びを原ゲージ長で割ったひずみ)で表現した(Fig. 1)。その結果、理論的推定の通り、微小変形解析(PETIT)では Nominal SS curve を用いることで引張強さの値や引張強さ到達以前の挙動を正確に再現でき、大変形解析(SIMO\_MIEHE)では True SS curve を用いることでくびれ発生後の挙動を含めて良好に再現できた。その他の組合せは実験と整合しない。

### 5. おわりに

理論的背景を踏まえた上で、2 つの応力-ひずみ関係の使い分けの考え方明確化し、Code-Aster でもその考え方が妥当であることを確認した。

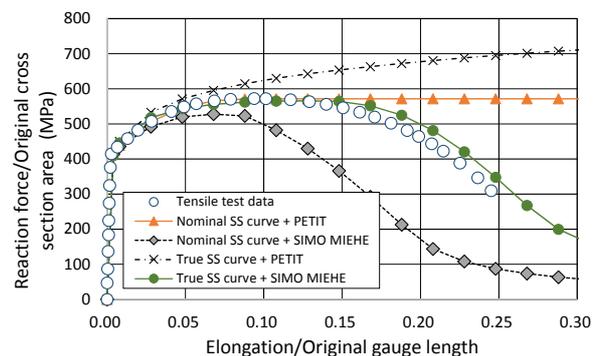


Fig. 1 Estimated Nominal Stress-Nominal Strain Curves Compared with Tensile Test Results

### 参考文献

- (1) 藤岡他 3 名, 日本材料学会学術講演会講演論文集 61, 77-78, 2012.
- (2) <http://www.code-aster.org/>.
- (3) 石川他, 解析塾秘伝 非線形構造解析の学び方, 日刊工業新聞社, 2012.