

変位場計測に基づく有限要素法による 超高張力鋼板の局所破壊ひずみと延性破壊限界の同定

麻 寧緒* 佐藤 健太郎** 高田 賢治***

Combination of Displacement Field Measurement and FEM for Analysis of Local Strains, Stresses and Damage Limit of High-Strength Steel Sheets

Ninshu MA *, Kentaro SATO ** and Kenji TAKADA ***

(Received on Oct.13th, 2015)

In the present work, we combined a measuring method, the digital image grid method (DIGM), with the finite-element method (FEM) to analyze local strains, local stresses and the damage limit. We called the method displacement-measurement-based FEM (M-FEM). Transient displacement fields during a uniaxial tensile test were directly measured by DIGM. With the aid of M-FEM, detailed distributions of local strains and local stresses in large deformation zones were investigated. Then, the change in the local anisotropic parameter of high-strength steel sheets with plastic strain from uniform deformation to fracture was evaluated. Furthermore, the local fracture strain and damage limit of several advanced high strength steel sheets (980MPa with t1.2mm, 980MPa with t1.6mm, 1180MPa with t1.6mm) were identified by uniaxial tensile tests and M-FEM. The identified damage limit of materials agreed very well with that measured by a conventional press test. This verified the validity of M-FEM.

Key words: strain measurement, criteria for ductile fracture, advanced high-strength steels, finite-element method.

1. 緒言

従来の材料試験では、ロードセルを用いる荷重測定と伸び計を用いるひずみ計測により、材料のマクロ的な応力ひずみ関係の評価することが一般的であった。一方、近年、急速に進歩してきた計測技術より、引張試験中における変形挙動を直接測定することが可能¹⁾になってきた。さらに、材料加工中の内部変形挙動や材料内部で発生した相変態プロセスを直接観察する方法も開発されている^{2),3)}。

画像解析技術を応用したひずみ測定に関しては、デジタル画像相関法 (DIC) が一般的になっている。1980年代に、Petersら、Chuら、Suttonが、DICによる精度の高いひずみ計測方法^{4)~6)}について提案した。Panらは高解像度の画像計測によるマイクロオーダーのひずみ計測技術⁷⁾への応用について提案している。Coppitersらは、デジタル画像相関法を使用し、引張試験片のネッキング領域におけるひずみ変化を測定し、大ひずみ領域の加工硬化挙動を高精度で

同定する方法⁸⁾を提案した。DIC法は、伸び計で計測できないネッキング部などの局所的なひずみの計測を可能にし、材料の変形挙動の研究に大きく寄与している。

ひずみ測定技術と数値シミュレーションを融合させることにより、実験に近い条件で応力分布を精度高く評価することが可能となる。Uedaらは、計測ひずみと弾性FEMの組合せにより、3次元内部溶接残留応力の推定手法⁹⁾を提案した。最近では、DIC法により測定された変位情報を有限要素解析の節点変位情報として活用する手法が提案されている。Besnardらは、二つの画像から変位を推定する方法¹⁰⁾を開発し、有限要素解析に繋げるための変位場を評価した。Dupuyらは、有限要素モデルに測定変位をマッピングして、重ね継手のせん断による弾性曲げ変形を解析¹¹⁾した。Tarigopulaらは、塑性変形問題へのDIC法の応用¹²⁾について研究した。RouxとHildはDICで測定した結果を用いて材料の損傷を推定¹³⁾した。Yoneyamaは測定変位のスムージング手法¹⁴⁾を開発し、板状試験片の穴の周囲におけるひずみ集中を計算した。これらの研究は微小変形の変位場を有限要素法に適用しており、局所破断ひずみ問題を対象とした例は少ない。

本研究では、鋼板の延性破壊限界を高精度に同定することを目的として、デジタル画像処理技術を応用した過渡変位場計測技術と有限要素解析を融合させる手法を提案する。過渡変位場計測技術として、著者らは、試験片の表面に電気エッチングにより制作された規則的なグリッドパター

* (株) JSOL 〒550-0001 大阪市西区土佐堀 2-2-4
JSOL Corporation, 2-2-4, Tosabori, Ninshi-ku, Osaka, 550-0001, Japan
大阪大学 接合科学研究所 〒567-0047 茨木市美穂ヶ丘 11-1
Joining and Welding Research Institute, Osaka University,
11-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

** JFE スチール(株) 〒260-0835 広島県福山市鋼管町 1 番地
JFE Steel Corporation, 1, Kokan-cho, Fukuyama, Hiroshima, 260-0835, Japan

*** (株) 本田技術研究所 〒321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町
下高根沢 4630 番地
Honda R&D Co.,Ltd., 4630, Shimotakanezawa, Haga-machi, Haga-gun,
Tochigi, 321-3393, Japan