

I - A171

鋼材の延性破壊特性値の測定

名古屋工業大学 学生員 水谷 明嗣

名古屋工業大学 正員 小畑 誠

名古屋工業大学 正員 後藤 芳顕

1 はじめに

鋼構造物の終局挙動や変形能力を正しく評価するためには部材の延性および脆性破壊の特性を把握する必要がある。なかでも延性破壊は応力集中部においては脆性破壊の引き金となるき裂の発生の原因になっている可能性もありその特性を把握することは特に重要である。しかしながら、現在のところ構造用鋼材の延性破壊特性に関する定量的な研究は多くなく、設計上有益な数値解析による検討にまでは至っていない。一般に延性破壊は材質、幾何学的形状、残留応力や載荷経路などに影響されるが、これらは本来鋼材が持つ材料劣化の性質として理解されるべきであり、適切な応力ひずみ関係を用いれば数値解析でも十分精度良く予測できるものである。しかしながら延性破壊が生じる領域はいわゆる大ひずみ領域であることから、数値解析には幾何学的非線形性の考慮に加えて応力ひずみ関係の材料定数の決定に関する困難さが伴う。著者らは大変形領域での材料定数について一つの具体的な方法を提案した。¹⁾本研究ではその考えにそった実験を行い適切な材料定数決定のための資料とすることを目的とする。

2 延性破壊を含む応力ひずみ関係

構造用鋼材の応力ひずみ関係はひずみがそれほど大きくない範囲では次式で表すことができるべき乗則などが用いられている。

$$\sigma = h(\varepsilon^p + \alpha)^n \quad (1)$$

延性破壊が生じるような大きなひずみの領域では上式は材料の劣化を表すことができず適切ではなくなる。延性破壊は塑性変形に伴い材料中に含まれる不純物や微細粒子から発生する空孔が成長しある段階でそれらが不安定的に連結することにより起こるものとされている。ここではそのようなメカニズムを考慮した応力ひずみ関係の一例としてグルソン型モデルを考慮することにする。グルソン型モデルは次の降伏関数を用いる関連流れ塑性モデルである。

$$\phi = \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_M} \right)^2 + 2f^* q_1 \cosh \left(\frac{\sigma_{kk}}{\sigma_M} \right) - \left\{ 1 + (q_1 f^*)^2 \right\} = 0 \quad (2)$$

ここに σ_M 、 σ_e はそれぞれ基質材料の降伏応力、ミゼスの相当応力である。 f^* は空孔の体積比率でありあきらかなように f^* の増加により材料は急激に軟化する。詳細は文献 2) によることとしてこの構成方程式で重要なのは f^* の発展則であるが、それは次のように与えられる。

$$f_{nuc} = A \left(\frac{EH}{E-H} \right) \varepsilon^p, \quad A = \left(\frac{1}{H} - \frac{1}{E} \right) \frac{f_N}{s_N \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_M^p - \varepsilon_N}{s_N} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

ここで f_N は材料に初期に含まれる空孔発生の原因となる粒子の体積比率である。また H は基質材料の加工硬化係数でありそれは式(1)に従うものとする。上式は空隙の発生率は正規分布関数で支配され相当塑性ひずみが ε_N に等しいとき最大になることを示している。

3 実験結果と考察

式(2),(3)に見るように材料定数である f_N 、 ε_N や s_N を決定するには延性破壊が生じる程度のひずみ領域で

の観察をもとに決定することが望ましいが、それは標準の引張試験では最大荷重後の変形領域であり標準的な試験法で観察することは難しい。それを避けるひとつの方法としてここでは応力集中部を含む供試体の引張り破壊試験を行い、測定した変位をもとに有限要素法を用いた簡単な逆解析からこれらのパラメータのうち ϵ_N と s_N を推定することを考える。¹⁾ 実験に用いた供試体の一例を図1に示す。基本的には平板の標準試験体とそれに対し応力集中部であるノッチを設けたものである。変位の測定は供試体表面につけたけがき線を荷重開始から破断にいたるまで適当な間隔で写真撮影しその画像をデジタル化した後に画像処理によってけがき線間の伸びを測定することによって行った。なお画像による変位測定の精度は予備試験によって悪くても 1/20mm 程度を確保できることを確認している。まず降伏応力、ヤング率、ポアソン比等は通常の方法で決定し基質材料のべき乗則の定数 h と n については標準供試体の引張り試で変形の比較的小さい荷重最大点までの荷重変位曲線より推定した。その結果を図2に示すが、べき乗則が鋼材の加工硬化の様子をきわめて良く表していることがわかる。次にこれらの値を用いて応力集中係数が異なる2種類のノッチ付供試体により独立に同定した ϵ_N と s_N の結果を図3に示す。なお、 f_N は標準的な値である 0.04 に固定している。従来は材料定数の推定が困難であった大変形領域で行った異なる供試体に対する同定にもかかわらず、それぞれの ϵ_N と s_N の値は比較的良く一致しておりグルソン型のモデルが鋼材の軟化挙動を表すのにある程度信頼のおけるものであることがわかる。

参考文献

- 1) 小畑誠、水谷明嗣、後藤芳顕、構造工学論文集 Vol.44A, p.29, 1998
- 2) Needleman, A. and Tvergaard, V., J. Mech. Phys. Solids, Vol.35, p.151, 1987

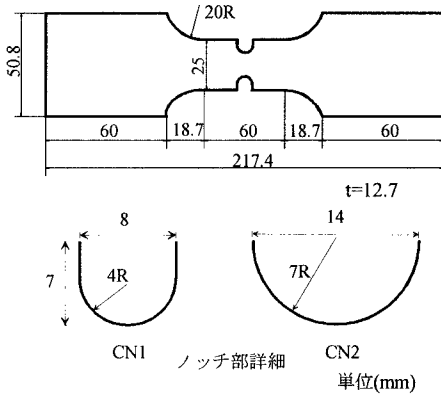


図2 供試体の形状

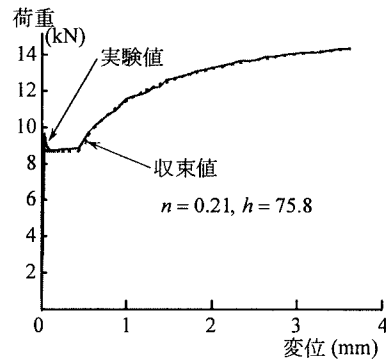


図3 べき乗則の材料定数の決定

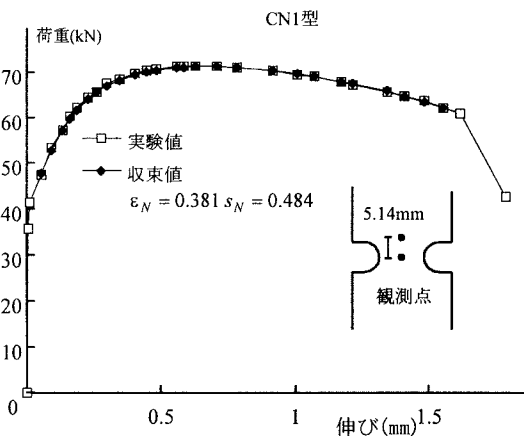


図3 CN1型供試体での同定結果

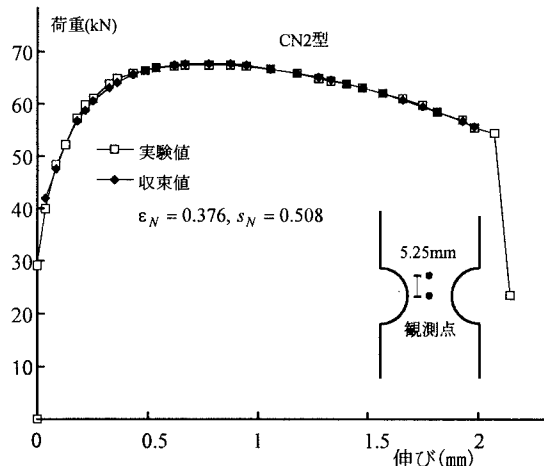


図4 CN2型供試体での同定結果