

鋼材の延性破壊特性の実験的検討

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支配されるが、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弾塑性の問題として統一的に扱うことができると考えられるものであり、したがって延性破壊も含めた数値解析が可能となるはずである。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。これらの問題について変位を測定することにより簡単な逆解析を行う材料定数の決定する方法がある。¹⁾本研究ではその考えにそった実験を行い、とくに応力集中部の存在や荷重載荷経路の影響についてあきらかにし、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

構造用鋼材の延性破壊は材料中に含まれる不純物や微細粒子から塑性変形に伴い発生する空孔（ボイド）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。あるいは最終的な破壊が空孔の連結によって起こるにしてもその引き金となる局所的な変形は材料構成則に依存した材料不安定によって生ずる場合も考えられる。いずれの場合も延性破壊の解析には弾塑性の応力ひずみ関係の適切な選択が重要である。図1は平板引張り試験における延性破壊の状態と解析結果の一例²⁾を示しているがこのようにせん断帯を含むような破壊はいわゆるとがり型構成則を用いて解析することが可能である。しかしながら延性破壊に広く適用できる応力ひずみ関係については材料不安定以外に直接的に空孔の発生と成長を考慮したものを考慮することも重要である。ここではそ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。

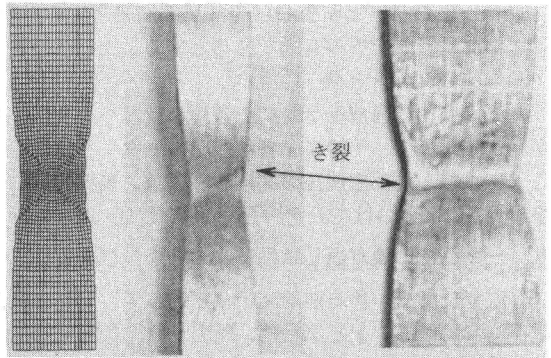


図1 構造用鋼材の延性破壊と解析例

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

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3)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。

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

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。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。実際の数値解析では空隙の体積比率がある一定の大きさに達したときにき裂の発生や破断を認めるということになる。

3 実験の概要

式(1),(2)に見るように材料定数である f_N 、 ε_N や s_N を決定すること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く、一般にその決定はかなり困難が伴う。それを避けるひとつの方法として応力集中部を含む供試体の引張り破壊試験を行い、測定した変位から有限要素法を用いた逆解析からこれらのパラメータを推定する方法をものとし、その考えに沿った実験を行うものとする。供試体の一例を図2に示すが、基本的には平板の試験体とそれをもとに応力集中部であるノッチを設けたものである。材料の化学成分を表1に示す。実験は式(1),(2)の数値解析への適用性を確認するために単調引張りだけではなく繰り返し载荷も含めて破断実験を行った。変位の測定は供試体表面につけたけがき線を载荷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。実験結果の詳細については当日に発表する。

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、1998 (掲載予定)
- 2) Obata, M., Shoji, T., and Goto, Y., Proc. Of SDSS'97, Vol. 2, p.817, 1997
- 3) Needleman, A. and Tvergaard, V., J. Mech. Phys. Solids, Vol.35, p.151, 1987

表1 供試体の材料の化学的性質

鋼種	化 学 成 分 (%)									
	C (x100)	Si (x100)	Mn (x1000)	P (x1000)	S (x1000)	Cu (x100)	Ni (x100)	Cr (x100)	B (x100)	Pcm (x100)
SM400A	16	15	62	20	8	1	2	3	1	20
SM490Y	19	35	143	13	7	2				

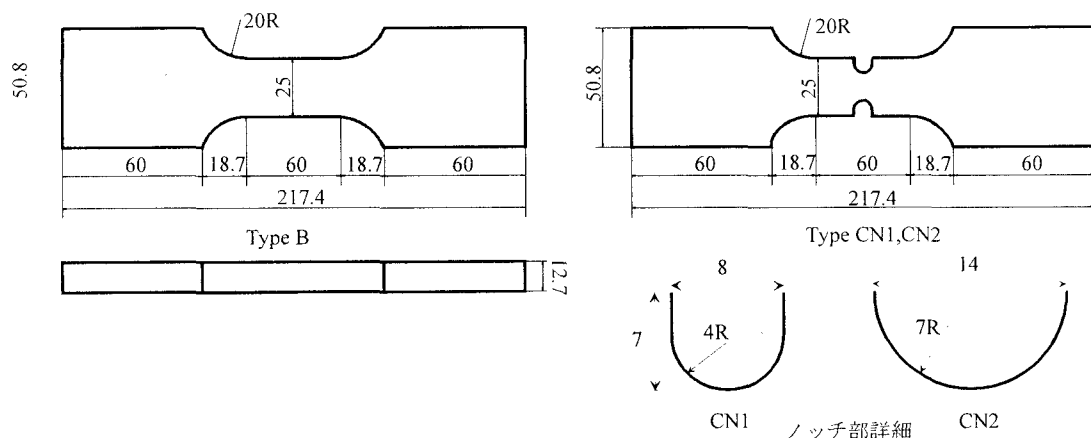


図2 供試体の形状