

I - A271

鋼材の延性き裂発生条件の推定

名古屋工業大学 学生員 花井 崇
 名古屋高速道路公社 正員 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 芳顯

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挙動を把握する必要がある。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と考えられる。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、数値解析による実用的な検討にまでには解明しなければならない問題がある。著者らはグルソン型構成モデルにおいて大変形を正確に考慮した実験によりその係数を決定すれば、延性破壊にいたるきわめてひずみの大きい領域まで鋼材の変形を適切に表現できることを示した。その一方で延性破壊が発生する点、言い換えれば延性き裂の発生する点をどの程度定量的に把握できるかどうかの判断についてはまだあきらかにはなっていない。本研究では応力集中部を含むいくつかの供試体について行った引張り破壊実験から延性き裂発生条件について考察する。

2 引張り破壊試験

供試体の形状は図1に示すように JIS5 号試験体を参考にしたものにいくつかのノッチをつけたものである。CN1, CN2 型では板幅方向に応力集中係数の異なるノッチをつけ、BN 型では平面ひずみ状態が卓越するように板厚方向にノッチをつけている。応力集中係数は CN1,

表1 鋼材の化学成分

材質	C (x100)	Si (x100)	Mn (x100)	P (x1000)	S (x1000)
SM400A	16	15	62	20	8
SM490YA	19	35	143	13	7

CN2, BN 型それぞれ 1.4, 1.7, 1.8 である。材質は SM400A と SM490YA の2種類とした。その化学成分は表1にまとめる。実験は破断にいたるまで変位制御で行いひび割れの発生は荷重変位曲線の観察にくわえて目視および音により確認した。測定項目は荷重と CN1,2 型では写真撮影による標点間の変位, BN 型ではクリップゲージによるノッチ開口部の変位である。

3 実験結果と考察

図2に SM490YA-CN1 供試体の荷重変位曲線を示す。CN1, CN2 型では破断はいずれもノッチ底から発生し、BN 型では供試体内部から発生した。鋼材の延性破壊の発生すなわち延性き裂は鋼材中の微粒子からの空隙の発生と成長そして最終段階でのそれらの連結によって生じるものと考えられている。数値解析に適用可能な延性破壊発生条件として考えられているものはいくつかあるが、ひとつは応力の静水圧成分と相当塑性ひずみを用いるものである。延性き裂は数 10% を超える大ひずみ領域で生じることからこの判定基準は数値解析に用いる応力ひずみ関係に敏感に依存する。もうひとつの考え方は材料の損傷を組み込んだ応力ひずみ関係を用いて、一定の損傷度に達したときに延性破壊が発生するとするものである。このタイプのものとしてはグルソン型の応力ひずみ関係がある。いずれの判定基準を用いるにしても鋼材の大ひずみ領域での挙動を正確に把握する必要があるが、これまではこの点での直接的な検証が少ないままに破壊条件の議論がなされてきた傾向がある。ここでは著者らが提案した方法によって決定した材料定数を用いたグルソン型モデルを用いる場合について考える¹⁾。グルソン型モデルを用いたときの延性破壊発生条件として最も単純に空隙体積比率 f そのものをとり表2にき裂発生時における $f_{critical}$ をまとめた。図2には SM490YA CN1 型供試体における数値解析による荷重変位曲線とき裂発生要素の空隙体積比率もあわせてプロットした。表2に見

表 2 供試体の材料定数とき裂発生時の空隙体積比率

材質	供試体	べき乗則の定数		グルソンモデルの定数		$f_{critical}$	き裂発生箇所
		n	$h(\text{MPa})$	ε_N	s_N		
SM400A	BN	0.218	743	0.381	0.483	0.527	供試体中央部
	CN1			0.376	0.508	0.0660	供試体表面
	CN2			0.384	0.460	0.0508	供試体表面
SM490YA	BN	0.163	885	0.439	0.352	0.192	供試体中央部
	CN1			0.418	0.384	0.0648	供試体表面
	CN2			0.420	0.372	0.0486	供試体表面

えるように CN1, CN2 型供試体ではおおよそ $f = 0.06$ 付近で破断にいたっている。しかしながら空隙体積比率が急激に増加する時点よりもかなり前に実験ではき裂の発生が観測されており、また数値解析結果でも空隙の急激な増加と荷重の低下が単純に対応しているわけではない。荷重の低下に対してはむしろ材料の軟化と関連した幾何学的非線形性の影響の方が大きいことになる。したがってグルソン型モデルに含まれる空隙間の相互作用を表すパラメータに対する検討も必要と考えられる。BN 型での f は CN1, CN2 型に比べて小さくなっているがこれは数値解析において実験値よりも小さい変位で大きなくびれが生じ荷重の急激な低下が生じたためである。BN 型では平面ひずみ状態が卓越し CN 型とは応力状態が大きく異なるためこのような挙動を示したものと考えられる。大変形時の材料の変形をみると応力ひずみ関係にグルソン型モデルを用いた空隙体積比率をもとに延性破壊の判定をすることが合理的と思われるが、単純に体積比率そのものをとることが妥当かどうかについてはさらに検討が必要である。

参考文献

- 1) 水谷明嗣, 名古屋工業大学修士論文, 1999

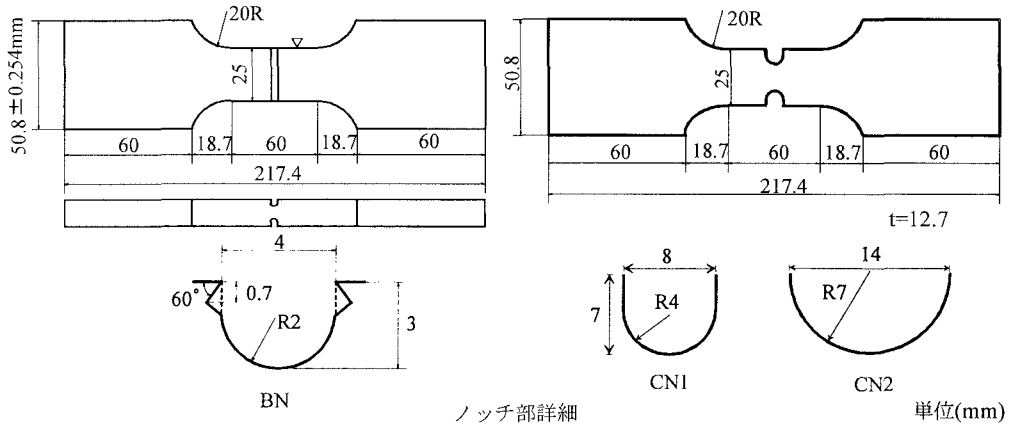


図 2 供試体の形状

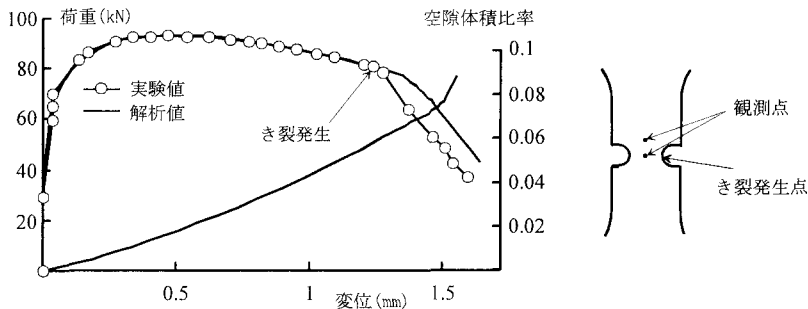


図 2 荷重変位曲線と空隙体積比率(SM490YA-CN1)