

前田建設工業株式会社
長岡技術科学大学工学部
長岡技術科学大学工学部

正員
正員
正員

佐々木 定雄
林 健治
笹 戸 松二

1. まえがき

構造部材の総合的な強度解析を実施するに当っては、荷重系及び幾何形状によって決定される部材の変形能力と、材料及び部材の破壊靱性との相互関係を明らかにすることが重要な課題である。この様な観点から、鋼素材や溶接継手の変形能力、特に、負荷ひずみと破壊靱性との関係を調べ、欠陥の許容限界評価を行うための設計曲線を求める研究が数多く見られるが、変形能力が破壊靱性に及ぼす影響について調べたものはほとんど見受けられない。

そこで、本報告では、鋼素材の破壊靱性を規定するパラメータに関する基礎的な知見を得る目的で、中央貫通切欠き材を用いて破壊靱性試験及び弾塑性有限要素解析を行い、破壊靱性と切欠き先端近傍の引張軸方向ひずみの関係及び破壊靱性に及ぼす予ひずみの影響について検討した結果を述べる。

2. 実験概要

供試材には、板厚12mmのSM41C及びHT80 鋼板を用いた。その化学成分及び機械的性質をそれぞれ表1及び表2に示す。

中央貫通切欠き引張試験体の形状と寸法を図1に示す。

破壊靱性に及ぼす予ひずみの影響を検討するために、予ひずみを与えないもの、一様伸び ϵ_u の半分程度及び ϵ_u 程度与えたものの3種類の試験体を製作した。

J積分の測定には、Riceの簡便式を用い、荷重-荷重線変位（標点距離200mm）曲線よりその値を求めた。

また、切欠先端近傍の引張軸方向ひずみの測定には、モアレ法を用いた。

弾塑性破壊靱性試験（J_{1c}試験）を行うに当っては、ASTM案の測定手順を参考にした。その際、き裂進展量には、板厚中央部の値を左右両側のき裂について平均した値を用いた。また、安定き裂成長開始点のJ値、J_{in}、を決定するに当っては、鈍化直線を用いないGriffis法を用いた。

なお、有限要素法によるJ積分の算定には、実験値との対応を考慮して、径路積分を用いず上述の簡便式を用いた。

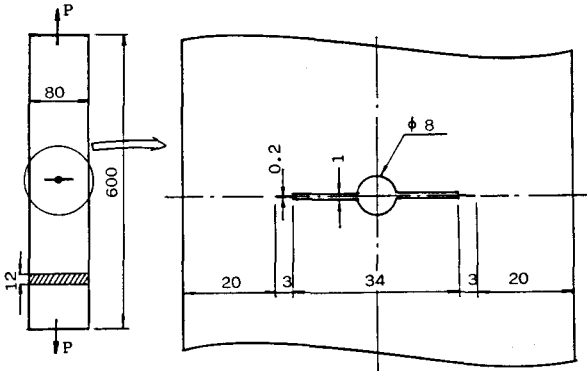
表一 1 供試材の化学成分

Steel Grade	Chemical Composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B
SM41C	.11	.22	.99	.014	.002	-	.01	.01	-	-	-
HT80	.12	.27	.99	.013	.004	.21	.70	.33	.28	.04	.001

表一 2 供試材の機械的性質

Mech. Properties Steel	σ_Y kgf/mm ²	σ_u kgf/mm ²	ϵ_u %	ϵ_{total} %	q %	ϵ_{max} %
SM41C	30.5	45.5	23.0	35.3	64.1	102.4
HT80	77.5	82.4	7.9	18.0	57.5	85.6

σ_Y : Yield Point, σ_u : Ultimate Strength,
 ϵ_u : Uniform Elongation, ϵ_{total} : Total Elongation,
q: Reduction of Area, ϵ_{max} : Maximum True Strain



図一 1 試験体の形状と寸法（単位mm）

3. 実験結果と考察

図一2に切欠き先端近傍の引張軸方向ひずみ ε_y とJの関係を示す。ここに、 ε_y は切欠き底からき裂進展方向へ0.1 mm離れた点のひずみである。実験により得られた ε_y とJの関係は、鋼種及び降伏規模によらず、ほぼ比例している。また、弾塑性有限要素解析の結果にも、両者には、ほぼ同様な関係が得られた。

図から、安定き裂成長開始点の J_{in} に対応する ε_y は、HT80では9.5%，SM41Cでは18.3%である。これらの ε_y は、鋼素材の一樣伸び ε_u と比較すると、HT80ではその120%，SM41Cではその80%であり、従って、工学的には、 ε_y が ε_u に達したときに安定き裂成長が始まると考えて差し支えないものと思われる。

今、上述の結果の下に、 J_{in} が ε_u で規定されるものと考え、試験体に ε_u 程度の予ひずみを導入すれば、 J_{in} はほぼ零になることが予想される。そこで、試験体に予ひずみを導入して弾塑性破壊靱性試験を行った。その結果を表一3及び図一3に示す。ここに、(1)はJとき裂進展量の関係を最小二

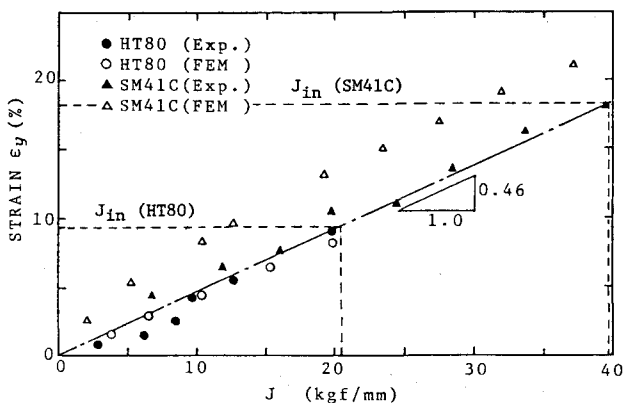
乗法により整理して得られた J_{in} を示し、(2)は抵抗曲線の傾きが予ひずみの影響を受けないものと仮定して求められた J_{in} を示す。

表と図から、まず、抵抗曲線の傾きは予ひずみの影響を受けず、同一材料であれば一定となることが判明した。

次に、 J_{in} が J_{Ic} （平面ひずみ破壊靱性）であるための試験体寸法に対する制約条件の判定結果と破面解析の結果より、切欠き底において、平面ひずみ状態であったと考えられるHT80では、 J_{in} は ε_u と密接に関連し、平面応力状態であったと考えられるSM41Cでは、 J_{in} は ε_u のみならず局部伸びの影響を受けることが明らかとなった。

4. あとがき

以上の結果より、鋼素材の平面ひずみ破壊靱性 J_{Ic} は一樣伸び ε_u と密接に関連するものと思われる。従って、今後、数多くの実験及び数値解析を行うことにより、材料の機械的性質から平面ひずみ破壊靱性を推定することが可能になるものと思われる。最後に、本研究全般に渡って有益な助言を頂いた大阪大学溶接工学研究所堀川浩甫助教授、供試材を提供頂いた神戸製鋼所石沢隆夫氏、試験体の製作にご助力頂いた日本橋梁株式会社村良吉氏及び実験にご助力頂いた高野一男技官に対し、深く感謝致します。

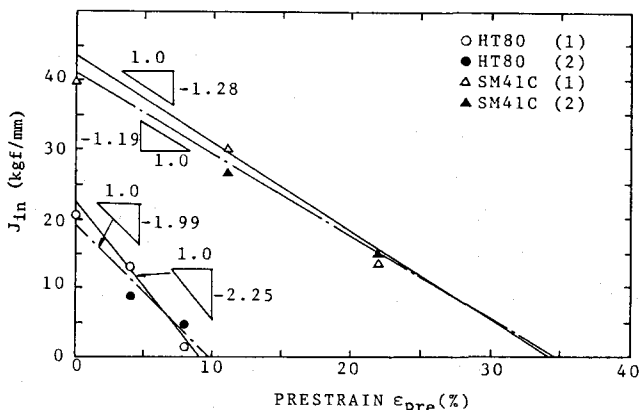


図一2 切欠き先端近傍の引張軸方向ひずみ ε_u とJの関係

表一3 J_{in} と導入予ひずみ量

steel grade	ε_{pre}	J_{in} (kgf/mm)	
		0	$\approx \varepsilon_u/2$
HT80	(1)	20.6	13.2
	(2)	20.6	9.0
SM41C	(1)	39.7	30.2
	(2)	39.7	26.5

ε_{pre} : prestrain



図一3 J_{in} と導入予ひずみ量の関係