

村本建設株式会社 正会員 川村 裕雅
 長岡技術科学大学工学部 正会員 林 健治
 長岡技術科学大学工学部 正会員 笹戸 松二

1. まえがき

J積分は、解析的には弾塑性有限要素法による径路積分から精度の良い解を得ることができ、また、実験的にはRiceの簡便式などを用いてその値を評価することができる。しかしながら、破壊靱性試験などによりJ値を求める場合、得られた値の精度は簡便式の精度に依存し、その値が十分信頼できるものであるか否か検討する必要がある。鋼素材の靱性を評価する三点曲げ及びCompact tension 試験における簡便式の信頼性については十分な検討がなされているが、継手などの靱性を評価することが可能と考えられる中央切欠き材に対する検討は非常に少ない。

本研究は、以上の観点から、中央切欠き材を対象として、簡便式及び径路積分によるJ値を比較し、簡便式の精度及び適用範囲を調べ、信頼性の高い簡便式を提案するものである。

2. 簡便式と径路積分

Riceらは、切欠きもしくはき裂が深く、部材の荷重-変位曲線が主としてリガメント長さ(図-1のb)のみに依存する場合のJ積分簡便式を提案している。変位 u が $u = u_{el} + u_{pl}$ で表わされ、 u_{pl} が

$$u_{pl} = b f \{ P / (\sigma_Y b t) \} \quad (1)$$

と仮定される場合、 $J (=J^R)$ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} J^R &= J_{el} + J_{pl} \\ &= J_{el} + (2 \int_0^{u_{pl}} P du - P u_{pl}) / (b t) \end{aligned} \quad (2)$$

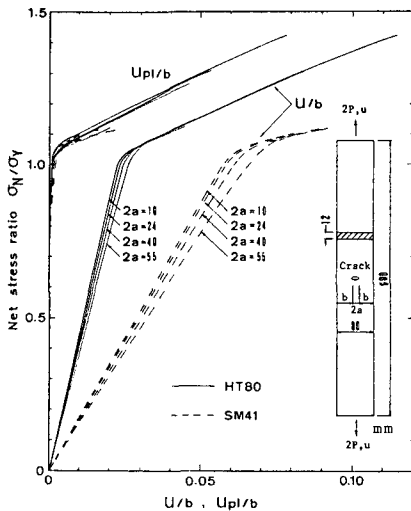
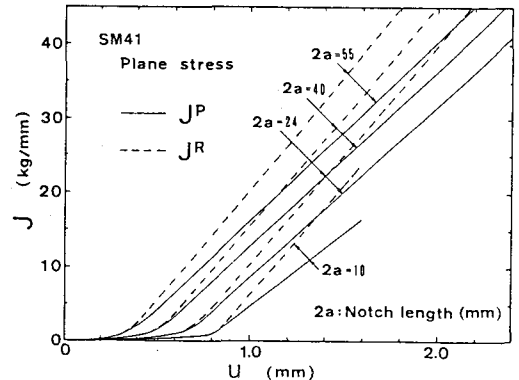
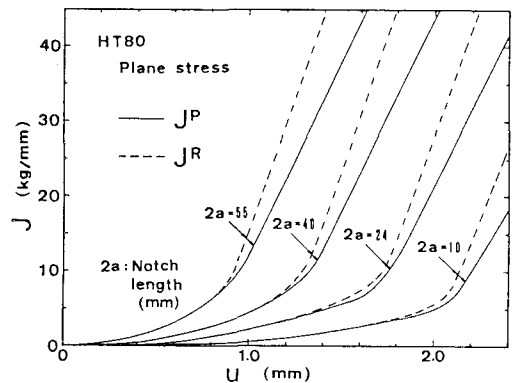


図-1 ネット応力比と u_{pl}/b の関係



(a) SM41



(b) HT80

図-2 径路積分と簡便式の比較

ここに、 u_{el} は u の弾性成分、 u_{pl} は u の塑性成分、 σ_Y は材料の降伏点、 t は板厚である。また、 J_{el} 、 J_{pl} はそれぞれ J^R の弾性成分及び塑性成分を表す。

図-1は、ネット応力比と u/b 及び u_{pl}/b の関係をHT80及びSM41について求めたものである。図から明らかなように式(1)の仮定はほぼ妥当なものと考えられるが、鋼種により関数 f は異なり、また、僅かながら切欠き比に依存する。これは u_{pl} が強度、加工硬化及び応力状態(塑性域の拡がりを含む)などに依存するためと思われる。

図-2に径路積分(J^P)と簡便式(J^R)を比較した結果を示す。HT80、SM41共に深い切欠きと考えられる $2a=40, 55$ においても簡便式は径路積分と良い一致を見ない。また、 $2a=10\sim 55$ までの計算の範囲内では、簡便式と径路積分との差の傾向は切欠き比によらずほぼ同じである。

そこで、簡便式と径路積分の差に影響を及ぼす成分を調べたものが図-3である。 J^P と J^R の差はネット応力比が1.0を越えると比例的に増大する。また、ネット応力が1.0を越えると、 J_{el} はほぼ一定となり、 J^R の増加は J_{pl} の増加に依存する。

3. 修正されたJ積分簡便式

以上の結果から、ネット断面降伏後の J_{pl} を修正することにより、 J^R の精度を向上させることができる。ここでは簡単に、ネット断面降伏後の J^P と J^R の挙動がほぼ線形であることを利用して簡便式を修正する。

ネット応力比が1.0のときの J_{pl} の値を $J_{pl}^{1.0}$ とし、 J^R の直線部分の勾配に対する J^P の直線部分の勾配の比を C_f とすると、修正された J_{pl} の値、 J_{pl}^m は次式で与えられる。

$$J_{pl}^m = C_f(J_{pl} - J_{pl}^{1.0}) + J_{pl}^{1.0} \quad (3)$$

図-4に補正係数 C_f と切欠き比の関係を示す。

SM41では切欠き比によらず C_f は一定の値となり、本研究の範囲内の任意な切欠きに対して修正された簡便式を適用することができる。HT80では $2a/W=0.125$ において C_f の値が他より小さく、簡便式の精度が悪化するものと予想されるが、他の三点ではほぼ一定となり、この領域では上式の適用は可能である。

図-5に補正係数 C_f と加工硬化指数 n の関係を示す。同図より、簡便式は加工硬化の影響を受けることが明らかである。また、任意な加工硬化指数、即ち、種々の鋼材に対する C_f を同図より求めることができる。最後に、実験により修正された簡便式の精度が十分なものであることを確認した。

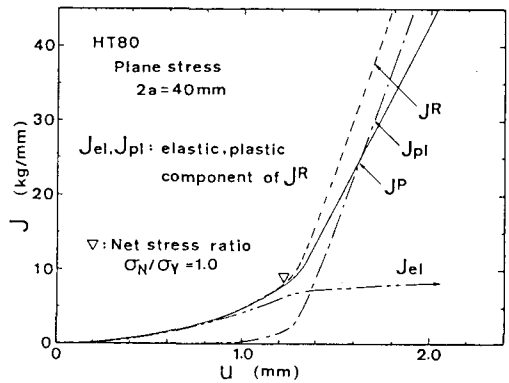


図-3 簡便式の各成分と径路積分

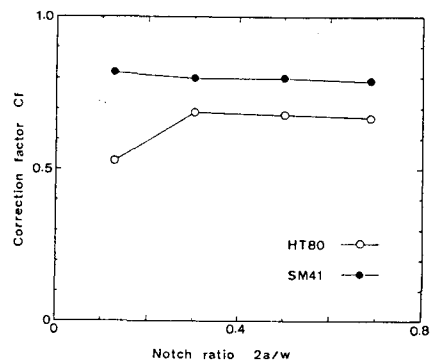


図-4 補正係数 C_f と切欠き比 $2a/W$ の関係

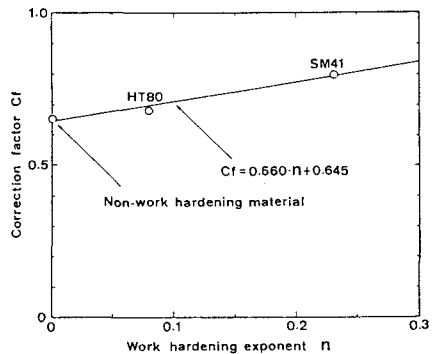


図-5 補正係数 C_f と加工硬化指数 n の関係