

新日本製鉄 正会員 山田 兼裕
名古屋大学 正会員 山田健太郎

はじめに 鋼構造物の製作における部材の接合法として、溶接は最も一般的に行なわれている方法である。しかし、溶接はその施工上、接合部に欠陥が生じ易く、その欠陥において高い応力集中が生ずる。これに対し通常行なわれている溶接接合部の設計では応力集中の影響を無視して有効断面積を基準にして強度を推定している。これは溶着金属が極めて靱性の高い材料を用いている為、終局強度で評価すれば応力集中の影響が小さいという考えに基づいているからである。しかし、このことが定量的に保証されているわけではない。そこで本報では、溶着金属の靱性の定量的な評価として弾塑性破壊力学を利用し、溶着金属の破壊靱性値 (J_{Ic}) を求めた。用いる弾塑性破壊力学のパラメータは J 積分であるが、同時にき裂先端開口変位 (CTOD) の測定も行なった。この溶着金属の J_{Ic} 値がわかれば、溶接部にき裂を有する任意の部材の破壊挙動の予測が可能となる。

J_{Ic} 試験方法 J_{Ic} 試験方法は各種提案されているが、材料試験として規定されている代表的なものは、日本機械学会案と ASTM 案の2種類である。本報の J_{Ic} 試験は Begley と Landes が提案した R-カーブ法に基づいた ASTM 案には従って行なった。R-カーブ法は部材中のき裂に引張力が作用したときのき裂先端の挙動と J 積分との関係を利用したもので、これを模式的に示したのが図1である。 J はき裂先端のひずみ集中を表すパラメータで、 J が増すときき裂先端の鈍化がおこる。鈍化が進み $J = J_{Ic}$ に達すると、き裂先端のストレッチゾーンから安定き裂成長がおこる。安定き裂成長と J との関係はほぼ直線近似されることが実験的に確かめられている。図で示すように R-カーブ法は、鈍化線と R-カーブの交点から J_{Ic} を評価する方法である。なお図で示すき裂先端の開口量が CTOD である。

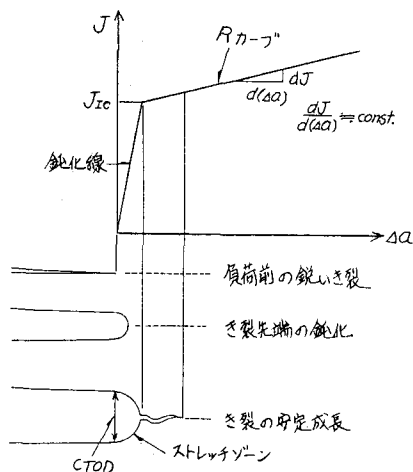
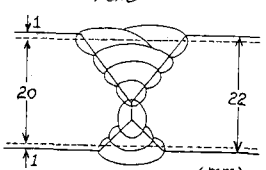


図1 J 積分とき裂先端の挙動

試験片は CT 試験片を用い、溶着金属部で破壊が生ずるように切欠き部で2枚の SM50B 鋼板を溶接したものを使用する。溶接条件を表1に示す。溶接後、鋼板の両面を仕上げ機械加工を行なって図2に示すような試験片を製作した。

表1 溶接条件

溶接法	被覆アーク溶接
溶接棒	低水素タイプ L-55 4.0φ
溶接速度	14 ~ 17 cm/min
電流 & 電圧	160 A , 25 V
入熱量	10 ~ 30 kJ/cm
開先形状 & 積層数	 (mm)

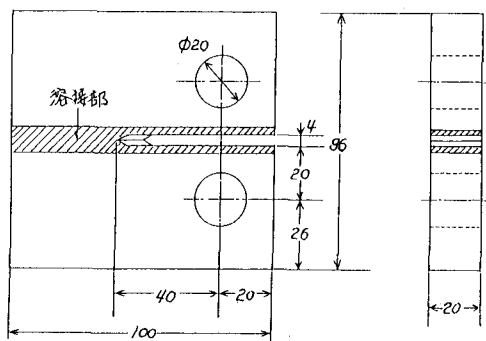


図2 溶接部を有する CT 試験片 (mm)

試験方法はほぼ ASTM 案に従っているから試験方法の詳細については省くが、一般に JIC 試験で対象としているのは単一材料の試験片で、溶接部と母材からなる複合材料の試験片では、その適用の妥当性が保証されない。このような試験片で問題となるのは J 積分の評価法である。ASTM 案では CT 試験片の J 値を Merkle と Corten が提案した簡便式を用いて推定しているが、この適用の妥当性の検討が必要である。そのため有限要素法を利用して CT 試験片の J 値の解析を行なった。解析対象は除荷が生ずるまで試験を行なった CT 試験片で、その着点変位と J 値との関係を示すのが図 3 である。解析は定むずみ三角形要素を用い、ひずみ場理論で計算した。経路積分法により 5 経路の J 値を計算し、その平均をとった。この図より J の簡便式はリガメント部を溶接した CT 試験片に対しても適用が可能であることがわかる。

JIC 試験結果 試験は 6 回行ない各試験片について、簡便式から求めた J 値と、加熱着色して求めたき裂先端の移動量 Δa の関係を示したのが図 4 である。R-カーブは 2~6 のデータ点を最小自乗法で直線近似したものである。ASTM で規定された鈍化線は実際と合わないという批判があるが、本実験の結果においても ASTM の鈍化線はデータ点と適合せず、溶着金属の JIC を高めに評価することになり危険側の値となる。溶着金属の JIC としては実験からの予想鈍化線を用いた値 (58.7 kgf/mm) が適当と考えられる。また実験で求めた溶着金属における J と CTOD との関係を図 5 に示す。CTOD は CT 試験片の両面を顕微鏡で測定した平均である。両者はほぼ同一直線上にのるのがわかる。最小自乗法で近似した直線を合わせて示す。

まとめ リガメント部を溶接した CT 試験片を用いて溶着金属の破壊靱性値 (JIC) を求めた。また有限要素法を用いて溶接 CT 試験片に対しても J の簡便式が適用可能であることを示した。今回用いた CT 試験片は ASTM 規定の板厚制限を満足しておらず、平面ひずみを保証しない。したがって今回求めた JIC は平面ひずみに対応する JIC より高めの値になっていると考えられる。なお、一般材料の代表的な JIC 値 (平面ひずみ) を表 2 に示す。

参考文献

- 1) 日本機械学会基準：弾塑性破壊靱性 JIC 試験方法 JSME S001-1981
- 2) Clarke, G. A., et al., J. Testing and Evaluation, 7-1, 49 (1979)
- 3) 武蔵大学から 3 次元有限要素法を用いた簡便 JIC 試験法について 日本造船学会論文集 No. 153

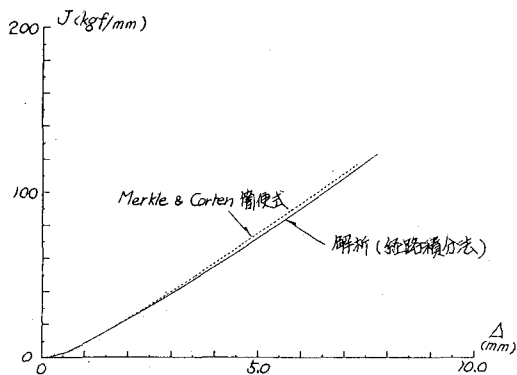


図 3 CT 試験片の J の解析

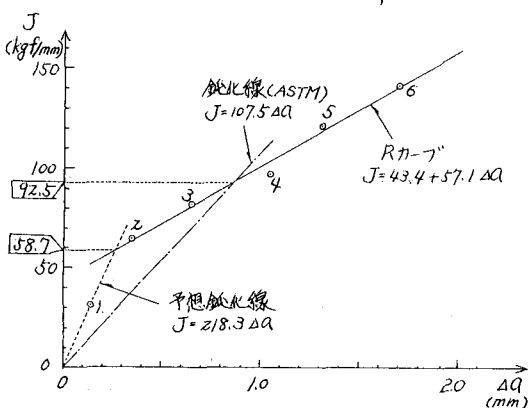


図 4 試験結果 J ~ Δa 関係

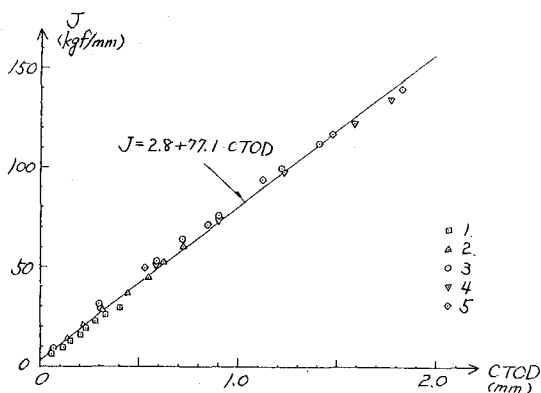


図 5 試験結果 J ~ CTOD 関係

表 2 各種材料の JIC 値の例³⁾

材料	JIC (kgf/mm)
SM50B	11.9
A533B	18.0
HT80	27.5
SUS304	20.0
アルミウム合金 7075	4.8