

## I-253 相境界上に欠陥を有する溶接継手へのJ積分の適用

長岡技術科学大学工学部 正員 林 健治

長岡技術科学大学大学院 内藤 将史

大阪大学溶接工学研究所 正員 堀川 浩甫

## 1. まえがき

溶接ボンド部のような相境界上に欠陥を有する継手では、き裂開口形状がき裂線に対して非対称となり、き裂をき裂線方向に進展させようとする力と、き裂線直角方向に進展させようとする力が作用する。溶接部の靱性評価法としてCODが確立されつつあるが、本質的に開口モード型の破壊を取り扱うものであり、上述の混合モード型の破壊をCODにより評価することは困難である<sup>1)</sup>。

本報では、Chenによって定義されたスカラー量である非均質材のJ積分<sup>2)</sup>を、より一般的な二次元変形場を想定してベクトル量として取り扱い、相境界上に欠陥を有する溶接継手について有限要素法によるJ積分解析を実施し、J積分値に及ぼすき裂の存在位置、母材と溶接金属との強度比の影響及びJ積分値の増加に伴うき裂進展開始方向の変化等について検討する。

## 2. J積分評価法

非均質材のJ積分評価法としてChenによって開発された手法を一般的な二次元変形場に拡張する。図-1に示すようなき裂を有する材料中に異種材料が存在する場合、 $x_k$  方向 ( $x_1$ はx軸、 $x_2$ はy軸に対応) にき裂を進展させる力 $J_k$ は次式で与えられる。

$$J_k = J_k^{\text{PR}} - \sum J_k^{\text{PSI}} \quad (k=1,2) \quad (1)$$

ここに、

$$J_k^{\text{PR}} = \int_{\Gamma_k} (W \delta_{jk} - \sigma_{ij} u_{i,k}) ds n_j \quad (2)$$

であり、 $W$ はひずみエネルギー密度、 $\delta_{ik}$ はクロネッカーの $\delta$ 、 $\sigma_{ij}$ は応力テンソル、 $u_i$ は変位であり、 $ds$ 、 $n_j$ はそれぞれ径路上の線素及び単位法線ベクトルの成分である。

幾何形状がx軸に対称であれば、 $J_y = 0$ となり、 $J_x$ のみ算定すればよい。幾何形状が非対称の場合には、 $J_x$ と $J_y$ を算定し、次式を用いて

$$J = (J_x^2 + J_y^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1} (J_y / J_x) \quad (4)$$

その合成力 $J$ 及びき裂の進展開始方向 $\theta$ が決定される。

線形弾性体及び除荷を含まない全ひずみ理論に従う弾塑性体について式(1)のJ積分の径路独立性は Gaussの積分定理<sup>3)</sup>を用いて簡単に誘導できるが、ここでは省略する。

## 3. 相境界上に欠陥を有する溶接継手の解析

解析モデルには図-2に示すような寸法・形状の横ビードを有するCT試験片を用い、ひずみ増分理論に基づく有限要素法による平面ひずみ解析を実施した。解析に用いた材料定数は、母材と溶接金属の降伏応力がそれぞれ31.0kg/mm<sup>2</sup>、46.5kg/mm<sup>2</sup>であり、ひずみ硬化率は共に210kg/mm<sup>2</sup>で一定とした。要素数は1088、節点数は613であり、要素の最小寸法は板幅(=50mm)の1/50とした。また、J積分値に及ぼすき裂の存在位置の影響

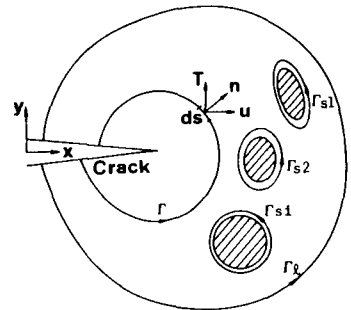


図-1 J積分の定義

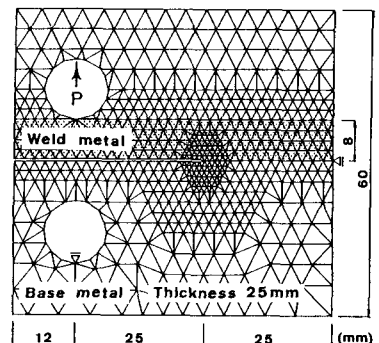


図-2 解析対象と要素分割

と、母材に対する溶接金属の降伏応力の比、強度比の影響を調べるために、き裂がビードから4mm離れた場合、母材や溶接金属のみから成る場合についても併せて解析を実施した。

図-3に荷重 $P$ と荷重点変位 $u$ の関係を示す。継手の $P-u$ は母材と溶接金属の間にあり、その関係はき裂の位置にはあまり影響を受けない。図-4は相境界上（ボンド部）にき裂を有する継手の $J=8.6\text{ kg/mm}$ における塑性域の広がり示す。母材側の塑性域の広がりが顕著であり、非対称な変形挙動を呈する。図-5は $J$ と荷重点変位 $u$ の関係を示したものである。き裂が相境界上にある場合及びそこから4mm離れている場合共に母材側に近い関係を示し、母材との差は計算の範囲内では最大でも10%程度であり、 $J$ はき裂の位置及び材料の強度比にあまり影響を受けない。図-6に $J$ とき裂の進展開始方向 $\theta$ の関係を示す。き裂が相境界から離れている場合には、 $J$ が大きい段階でも $\theta$ は零に近く、ほぼき裂線方向にき裂が進展するものと考えて差し支えない。一方、相境界上にき裂が存在する場合には、 $\theta$ は $J$ の増加と共に大きくなり、ほぼ一定値（約 $8^\circ$ ）に近づき、き裂は母材側に進展する。

4. あとがき      ここで示した $J$ 積分評価法は、強度不均一場中に欠陥を有する継手の破壊靱性を推定する有力な方法と考えられるので、種々の溶接継手に本法を適用し、その変形能力と破壊靱性との関係を今後共に検討する予定である。最後に、本研究の機会を与えて頂いた長岡技術科学大学 故笹戸 松二教授に心から感謝し、哀悼の意を表します。      参考文献省略。

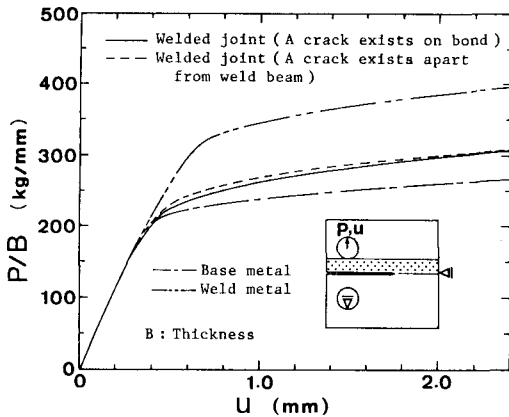


図-3 荷重-荷重点変位

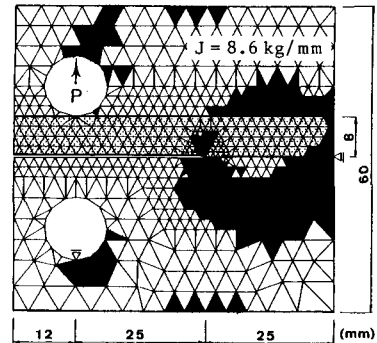


図-4 塑性域の広がり

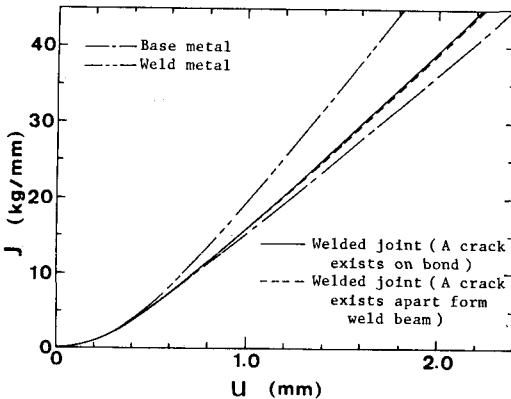


図-5  $J$ と荷重点変位

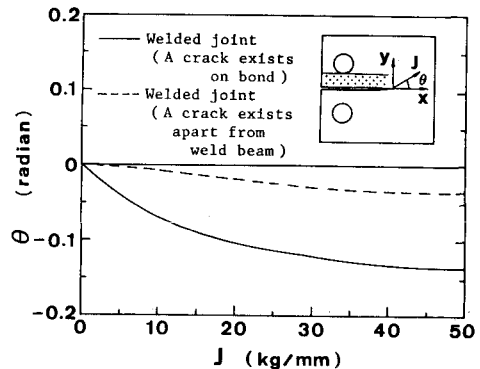


図-6  $J$ とき裂進展開始方向