

高精度 3 次元拡張有限要素法の開発と その多結晶体劈開亀裂伝播現象への適用

03-160978 鈴木悠太
指導教員 柴沼一樹 准教授

1. 研究背景・目的

劈開破壊は、体心立方構造を持つ金属材料の局所的脆化部から発展し、非常に高速で進展するためきわめて危険な破壊形態である。しかしこの現象を微視的に観測することは現実的には困難であるため、その挙動メカニズムは未解明な部分が多い。メカニズムの解明には破壊の素過程に立脚したモデル開発が有用であるため、実際の劈開破面を正確に再現するモデルを構築することを本研究の目的とする。

劈開破壊は各結晶粒の {100} 面でのみ進展するが、各結晶粒につき {100} 面は 3 面あり、そのうちのどの面が劈開破壊するかはエネルギー開放率と等価である応力拡大係数によって決定する。応力拡大係数は相互積分法によって導出されるが、相互積分の領域設定に関しては様々な方法が従来の研究で設定されている[1,2]。本研究では、有限要素法で使用されているメッシュとは独立に積分領域を定義する(Fig.1)。その際に相互積分経路幅、半径、分割数をパラメータとしてそれらによって場合分けがなされるので、それらを整理して的確な領域分割法を設定しその精度検証を行うことも本研究の目的とした。

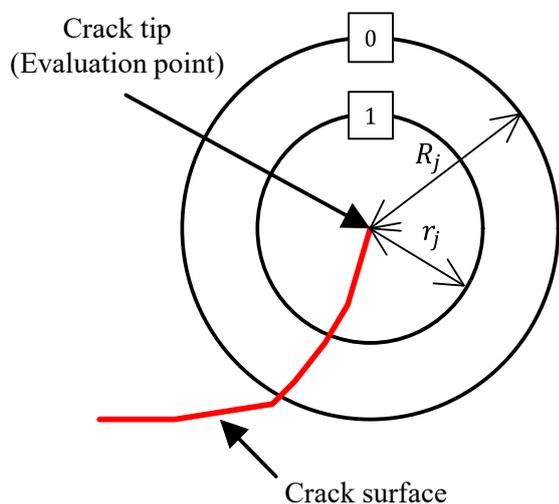


Fig.1 Integral domain

2. 相互積分領域と精度検証

上述した積分領域のパラメータ設定によって 12 パターンの積分領域分割法が提案され、円亀裂問題を対象としてそれぞれについて精度検証を行い、最も精度よく効率的に相互積分を計算できる条件を決定した。それを用いて各破壊モード、各平面による亀裂前縁の回転などのあらゆる条件の直線亀裂問題についても精度検証を行い、Fig.2 のような誤

差 2%以内の精度を誇る方法であることが証明された。そして相互積分の従来研究の方法とも比較して、相互積分に関して、同程度もしくはそれ以上の精度と効率を実現することが可能となったことが示された

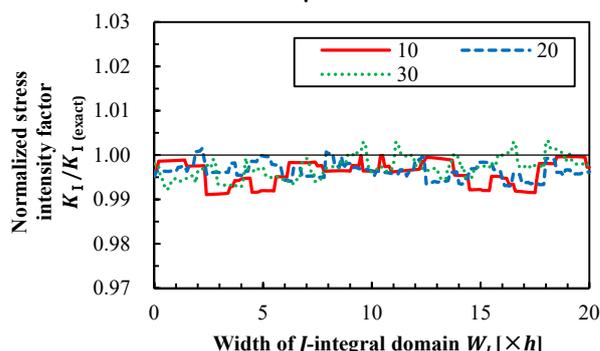
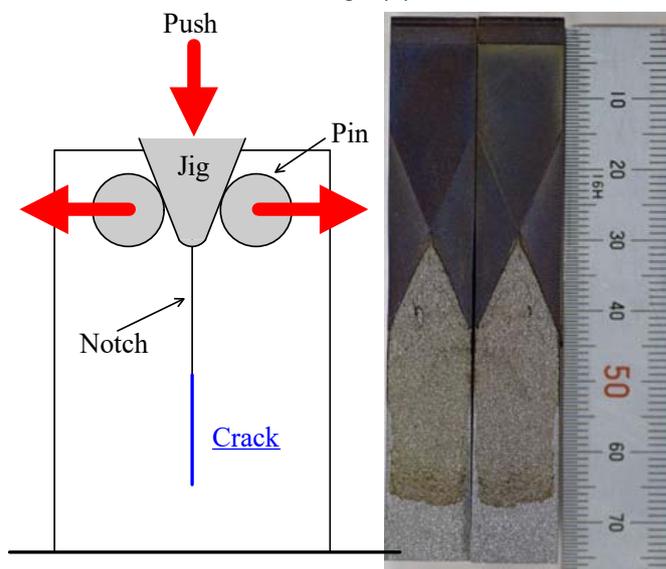


Fig2. Influence of width of J-integral domain W_j on stress intensity factor K_I

3. 劈開破面再現実験とその評価

劈開破面を得るために DCB 試験を行い、破面を得た。そのために用いた実験器具を Fig3(a)で示す。そこで得た破面を Fig3.(b)に示す。



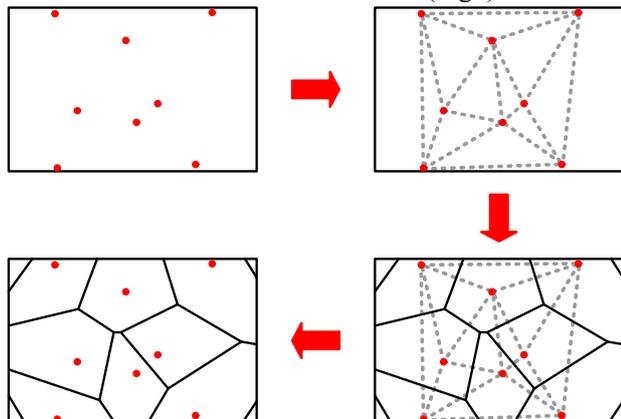
(a)DCB test image

(b)Fracture surface

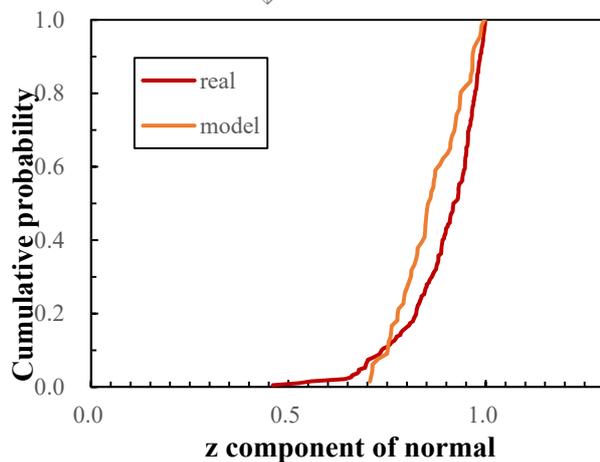
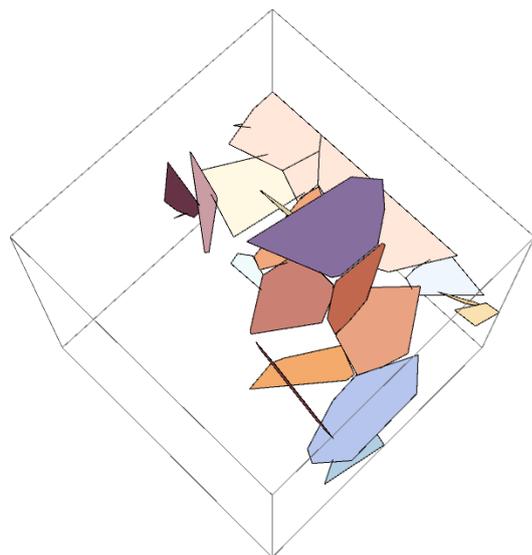
Fig3. DCB test

劈開亀裂伝播モデルにも結晶粒を定義するために結晶粒分布ソフトウェア Neper を用いた。Neper はボロノイ分割(Fig4)により、結晶粒を分割して

それを有限要素領域内に適用し初期亀裂を定義し、2.節で決定した相互積分法を適用し、応力拡大係数を適切に評価して次々に劈開面が伝播していくモデルとなった。一例を(Fig5)に示す。



このモデルの妥当性を評価するための定量的指標として法線ベクトルに着目して妥当性検証を行う。レーザー顕微鏡を用いて実験で得た破面の法線ベクトルのz方向成分を抽出して比較を行うが、レーザー顕微鏡はレンズに対して一定以上の角度は観察できない部分があるのでその面を考慮しないとすると Fig6 のようになり定量的に劈開亀裂伝播現象を再現できているといえる。



参考文献

1. V. F. Gonzalez-Albuixech, E. Giner, J. E. Tarancon, F. J. Fuenmayor, A. Granvoulil, Domain integral formulation for 3-D curved and non-planar cracks with the extended finite element method, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol.264, pp.12-144, 2013.
2. K.Agathos, E.Chatzi, S.Bordas: Stable 3D extended finite elements with higher order enrichment for accurate non planar fracture, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol.306, pp.19-46, 2016