引張残留応力場に存在する三次元き裂の有効応力拡大係数

1.はじめに

溶接継手部に発生する疲労き裂の多くは、溶接止端 の表面から発生して板厚方向に進展するいわゆる三次 元き裂である.疲労き裂が生じる溶接継手部には,高 い残留応力が存在し,これらが疲労き裂進展に影響を 与える.本研究では,三次元き裂先端に沿ったき裂開 閉口を超音波探触子を用いて測定することにより,残 留応力場に存在する三次元き裂の有効応力拡大係数を 評価する.

2.疲労実験

BHS500 鋼材(表1)を用いて2種類の試験体を作製 した.図1の試験体Aは,放電加工によって半径5mm の半円ノッチが導入されている.図1の試験体 B は, 表2の条件で溶接したビード・オンプレートであり、溶 接ビードを切断することでノッチを導入した.

図2にビーチマークを残した破面を示す.試験体A では,放電加工によるノッチより半円疲労き裂が進展 している.一方,試験体Bでは,溶接による高い引張 残留応力のため初期の疲労き裂が扁平な形状となり, き裂進展に伴い半円に近づいていることがわかる.

Elongation

%

27

700

ann

100

700

<試験体 B>

図1 試験体の形状

<試験体 A>

|初期ノッチ

電流

300

電圧

34

速度 cm/min

51

(mm)

(mm)

300

表1 鋼材の機械的性質

Mechanical properties

Tensile

Strength

300

N/mm

674

Yield

Strength

N/mm²

573

東京工業大学大学院 学生会員 窪田拓実 東京工業大学大学院 フェロー 三木千壽 東京工業大学大学院 正会員 小野 潔 東京工業大学大学院 正会員 田辺篤史

3.超音波を用いたき裂開閉口

超音波探触子を用いてき裂先端のエコー高さと荷重 の関係を測定した.本実験では,き裂先端で1.7mmに フォーカスできる周波数 5MHz,振動子径 10 mm,屈 折角 45 度,集束範囲 7~26 mmの点集束斜角探触子を 使用した.

図3に板幅中心でのエコー高さと荷重の関係を示す. 試験体 A の場合 ,初期のノッチのみでは開閉口せずエ コー高さは変化しなかった(図3(a))が,き裂が進展す るとき裂が開閉口し,エコー高さの変化が現れている (図3(b)). 一方, 試験体Bの場合は, 高い引張の残留 応力が導入されているため,き裂開閉口せずき裂が開 口したままである(図3(c)).



キーワード き裂開閉口 有効応力拡大係数 残留応力の再分配

連絡先 東京工業大学理工学研究科土木工学専攻 三木·小野研究室 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 M5-3)

4.き裂開閉口荷重と有効応力拡大係数

図3に示したエコー高さと荷重の関係より図4のように二つの直線の交点をき裂開閉口荷重を決定し,き 裂先端に沿った有効応力拡大係数を求めた.き裂開閉 口荷重は,き裂が開口し始めるもしくは閉口し終わっ た時の荷重である.

試験体Aでの板幅中心からの距離とき裂開閉口荷重 の関係を図5に示す.き裂開口荷重はき裂先端に沿っ て変化しており,板幅中心から離れるほどき裂開口荷 重が大きくなっている.このようにき裂先端の位置に よってき裂開閉口荷重が異なるため有効応力拡大係数 が板幅方向に分布を持ち,き裂進展速度も分布を持つ ためき裂形状が半円形に変わっていくと考えられる.

5.残留応力の再分配と有効応力拡大係数

残留応力の測定は,試験体 B と同様の製作条件で作 製した試験体を切断法により行った.まず,表裏にひ ずみゲージを貼付し,板厚方向に5mmスライスして切 り出す.次に切断された試験体の新たな面にひずみゲ ージを貼り5mmごとスライスを繰り返し,最後に補正 を行った.補正は,それぞれの長手方向に切断したと き解放される表裏のひずみは断面内で直線分布をなす と仮定して,計算した値を各深さのひずみに足し合わ せた.



図6に表面での残留応力分布を示す.板幅中心から 9mm程度まで引張の残留応力場となっている.図7に 板幅中心から0,2,4,6mmの深さ方向の残留応力分布を 示す.9mm付近において引張から圧縮の残留応力へと 変化している.試験体Bでの疲労き裂進展実験ではき 裂深さが11.2mmとなったとき,き裂先端の位置が圧縮 域に進展しているにも関わらず応力比(応力拡大係数 比)が1となりき裂開閉口が起こらなかった(図8).こ れは,残留応力再配分によって引張の残留応力がき裂 先端に存在し,き裂が開口したままになったと言える.

6.結論

超音波探傷により疲労き裂の先端に沿ってのき裂開 閉口を観察した.引張残留応力場で発生した疲労き裂 は、き裂先端が残留応力分布の圧縮域まで進展しても, 残留応力の再配分によってき裂が開口したままとなる ことを示した.

