面外変形により発生した溶接部の疲労き裂進展挙動

名古屋大学	学生員	小坂田	陽平
名古屋大学	正会員	舘石	和雄

1.はじめに

鋼部材に発生した疲労き裂の危険性を評価することは,合理的な構造物の維持管理,補修・補強計画の立案 のために必要不可欠である.実橋に生じるき裂の中には,板の面外変形によって発生するものも多いが,その 進展挙動は必ずしも明らかとなっていない.そこで本研究では,試験体に曲げとせん断を同時に作用させた疲 労試験を行い,疲労き裂の進展挙動に関するいくつかの特徴を明らかにする.

2.試験方法

図-1 に試験体の形状,寸法を示す.鋼種 は SM490 である.図-2 に示すように,二つ の試験体を向かい合わせ,主板端部どうしを ボルトで固定した.この試験体のリブに載荷 することで,主板に曲げ変形と面外せん断変 形が同時に生じるようにした.主板とリブの 溶接部のルートき裂を防止するために,溶接 は完全とけ込み溶接としており,また,リブ 側止端からのき裂を防止するために止端仕 上げを行った.すなわち,溶接部の主板側止





図-2 載荷方法

端から疲労き裂が発生するようにした.2組み,計4体の試験体に対して荷重制御にて試験を行い,荷重範囲 Pは8kN(最大10kN,最小2kN)および12kN(最大15kN,最小3kN)の2ケースとした.

3. 試験結果

図-3 に Pが12kNの場合のき裂面の形状を示す.疲労き裂は主板側の回し溶接止端部から発生したが,リ ブ溶接側表面ではかなり長いき裂となっても,その反対面にはき裂があらわれなかった.これは図に示すとお リ,リブの直下においてき裂の進展方向が急激に変化し,き裂がリブの下に潜り込むような特徴的な形状とな ったためである.図-4 にリブ側溶接側の表面における板幅方向のき裂長と,載荷回数の関係を示す. Pが8 kN の場合ではき裂が進展するに従ってき裂進展速度が減少していき,やがてき裂の進展は止まった.また, 最終段階においても反対側の表面にき裂は到達せず,板厚方向への貫通はみられなかった. Pが12 kN の場 合,同じようにき裂の進展は遅延していったが,表面でのき裂長が160 mm付近でき裂が反対側の表面にも表 れ,その後は進展が早くなった.破面観察の結果,リブと反対側の表面近傍は延性的な破壊を示しており,疲 労き裂の進展により貫通が生じたのではない.また,貫通が観察されてからなお200万回ほど載荷を続けたが, 延性破壊を生じた表面側において疲労き裂の進展は観察されなかった.なお,各試験体には4カ所の試験箇所 (溶接止端)があるが,上記の傾向はいずれの箇所でも同様であった.



(a) 全体形状



(b) 中央部(リブ直下)

図-3 き裂形状

キーワード 溶接継手,疲労,面外変形 連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学エコトピア科学研究機構 TEL052-789-3741

4.応力拡大係数の解析

このような複雑な形状のき裂の応力拡大係数を求めるに は数値計算に依らざるを得ないことから,破面から計測し たき裂形状を正確にモデル化して有限要素解析を行い,変 位外挿法によって応力拡大係数を求めた.図-5に解析モデ ルの一部を示す.図-6に,解析により求めたリブ溶接側表 面でのき裂先端における応力拡大係数(モードI)の変化 を示す.荷重制御で試験を行ったにも関わらず,応力拡大 係数はき裂長が長くなるにつれ減少する傾向を示している. ただし, Pが12kNの場合の解析結果からわかるように, き裂が貫通した後は,応力拡大係数が増加している.これ らの傾向はき裂の進展挙動の観察結果とも一致する.

5.考察

荷重範囲が小さい場合にはき裂の貫通が見られず,き裂は 停留した.き裂の板厚方向への進展が停留したのは,き裂が 板と水平な方向に急速に進展方向を変えることにより,主板 の曲げ応力の影響を受けなくなったためであると考えられ る.また,板幅方向への進展が遅延・停留したのは,き裂の 先端が荷重載荷点から離れていくこと,リプ直下においても わずかに残ったリガメント部において荷重を伝えることが できることから,進展とともにき裂先端での応力が小さくな ったためであると考えられる.図-7 に有限要素解析により 求められたリブ溶接側表面の応力分布を示すが,その傾向が 現れている.

荷重範囲が大きな場合にはある時点でき裂が貫通し,遅延 傾向にあったき裂進展はその後加速した.貫通前の遅延傾向 は前述のメカニズムによるものであると考えられる.しかし ある程度の深さまでき裂が進展し,ほんのわずかなリガメン ト部を残すのみとなった際に,大きな荷重が作用することに よって延性的に破断が生じ,き裂が貫通したものと考えら れる.これにより載荷点直下では荷重伝達ができなくなり, 図-7に示すように板幅方向の応力分布が大きくなることに より,板幅方向のき裂進展が加速したものと考えられる.

なお,実測および解析によりき裂先端近傍の面外変形を 求め,モード III の応力拡大係数を計算した結果,その値 は無視できるほど小さなものとなっており,本試験におい てはき裂進展に及ぼすモード III の影響は少ないと考えら れる.

6.おわりに

面外変形によって生じた疲労き裂の特徴的なき裂進展挙 動を実験的に明らかにした.ここに見られたような進展挙 動を定量的に予測するための手法については今後の検討課題としたい.





図-5 解析モデル(き裂面)





