第 部門 高サイクル繰り返し荷重作用下における鋼部材の疲労き裂進展現象に関する基礎的な実験的研究

大阪市立大学	学生員	小松	資典
大阪市立大学大学院	正会員	北田	俊行
大阪市立大学大学院	正会員	山口	隆司
大阪市立大学大学院	正会員	松村	政秀

1.研究背景および目的

近年 , 鋼製橋脚隅角部において , 図-1 に示すのように , 溶接部近 傍にき裂が発見され注目されている.疲労き裂の発生には,さまざ まな要因があり,疲労に対する配慮が不足している構造,複雑な板 組構造箇所における応力集中,過積載車などの重車輌の増加,溶接 の不十分な品質管理などが原因としてあげられている¹⁾.本研究では, 溶接不良下におけるき裂進展現象を解明するための基礎的資料の提 供を目的として、スリットを有する小型供試体に高サイクル繰り返 し載荷を行う疲労実験を行った.

2.実験概要

実験には,図-2 に示す鋼製(SS400)の実験供試体を用いた.供試体 形状は CT 試験片(JIS G0564)参考にしている.供試体には,図に示す A,B,C 位置の表裏にひずみゲージを貼り,開口部にはクリップ式変位計 を取り付けた.供試体は,写真-1 に示すように,治具を介して,MTS-810 疲労試験機に固定した.疲労実験は,表-1 に示す2つのパターンに 対して行った.なお,実験は,き裂が発生・進展し,供試体が破断する まで行った. 表-1 実験条件

供試体	最大荷重	最小荷重	荷重振幅	応力比	繰返し速度
	(kN)	(kN)	(kN)	R	(Hz)
CT-6	16	4	6	0.25	5
CT-3	13	7	3	0.54	10
3 計測項日および計測方法 (<i>R</i> =最小荷重/最大荷重)				重/最大荷重)	



図-1 鋼製橋脚隅角部に発生した疲労き裂



実験供試体(単位:mm)



写真-1 供試体のセット状況

3.計測項目および計測方法

繰り返し回数 1.0 × 10⁴ ~ 5.0 × 10⁴(cycle)ごとに,供試体ひずみ,開口変位,作 用荷重,振幅,および,き裂長さをサンプリング周期 5(msec)で測定した.開口 変位は,クリップ式変位を計取り付けることにより,繰り返し荷重載荷中に染色 浸透探傷材を用いてき裂を染色し,ノギスによりそれぞれ計測した.

4.実験結果

実験より得られたき裂長さと繰り返し回数との関係を図-3 に示す.

供試体 CT-3 において,繰り返し回数 1.0×10⁶(cycle)付近と 2.0×10⁶(cycle)付近 でき裂の進展が一時的に停滞している.この点を考慮しても,荷重振幅が大きく

なるほど,き裂の進展が速いことが確認された.次に,供試体の形状を考慮した応力拡大係数 K の算出式である式 (1)を用いて応力拡大係数 K を算出した²⁾.繰り返し回数 1(cycle)あたりのき裂長さの変化量であるき裂進展速度 da/dN(m/cycle)と,最大荷重より求まる応力拡大係数Kmaxと最小荷重から求まる応力拡大係数Kminの差(応力拡大係数

Takanori KOMATSU, Toshiyuki KITADA, Takashi YAMAGUCHI, Masahide MATSUMURA

範囲 K)との関係を,図-4 に示す.なお,式中の B は試験片厚さ,F は作用荷重,W は試験片幅,a はピン穴の中心 からき裂先端までの進行方向の距離である.

$$K = \frac{F}{BW^{1/2}} f(a/W)$$

$$f(a/W) = \frac{(2 + a/W)(0.886 + 4.64 a/W - 13.32 a^2/W^2 + 14.72 a^3/W^3 - 5.6a^4/W^4)}{(1 - a/W)^{3/2}} \qquad \vec{x}(1)$$

図-4 より,供試体 CT-3 では,き裂が遅延した時点のデータを削除したため連続したデータとはなっていないが,応力 比が大きくなれば,下限界応力拡大係数範囲 K_{th}は低下することが確認された.また,SS400 に関しては,低速進展 速度領域で応力比の影響を大きく受けていることがわかる.



5.疲労き裂破面の観察

破断した供試体の破面を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した.疲 労破壊の破面を図-5に,延性破壊の破面を図-6に示す.CT-3およびCT-6 ではともに,き裂が発生してから破断する 5(mm)手前までにおいて疲労破 壊の発生を示すストライエーション(図-5)が存在し,典型的な疲労破壊で あることがわかる.また,目視においては破断直前にぜい性破壊を起こし ていると推測されたが,図-6においては,延性破壊の特徴であるディン プル模様のみが観察され,延性破壊のみが生じていることがわかる³⁾. 6.まとめ

スリットを有する小型供試体に,荷重制御で荷重振幅を 3(kN),6(kN) とした2つのパターンの高サイクル疲労実験を行い,疲労き裂進展現象に ついて検討した.その結果,(1)応力比*R*が小さいほどき裂進展時に生じ るひずみは大きく,き裂の進展が速いこと,(2)応力比が,応力拡大係数-き裂進展速度(*da/dN- K*)関係に及ぼす影響は,き裂低速進展速度領域で 大きく,応力比が大きいほど *K*th は低下することが確認された.ただし, 実際の鋼製橋脚隅角部の溶接部には,部分溶け込みなど溶接欠陥のあるも のも存在する.そのため,今後 CT 試験片中央部に溶接部を有する供試体 を用いて疲労実験を行う必要がある.



図-5 ストライエーションの例(CT-6)



図-6 ディンプルの例(CT-6)

参考文献 1) 三木千壽,平林泰明:施工の不具合を原因とする疲労損傷,構造工学フロンティア,土木学会,pp.131-146,2006.6.,2) 小林英男:破壊力学,共立出版,1993.4,3)城野政弘,宋智浩:疲労き裂 き裂開閉口と進展速度推定 法,大阪大学出版会,2005.2.