

変動荷重における鋼のき裂進展

大同工業大学 学生員○若杉貴之

大同工業大学 正会員 事口壽男

1. まえがき

本研究は変動荷重が鋼のき裂進展にどのような影響を及ぼすのかを明らかにするものである。一般に疲労試験では一定振幅による繰り返し荷重が用いられる。しかし実構造物において作用する応力は振幅が複雑に変化するランダム荷重である。そのため本研究は、最小荷重を一定とし、最大引張り応力を変化させた 2 段階変動荷重疲労試験を行い、変動荷重下における鋼のき裂進展特性を調べ、一定荷重疲労試験と比較した。

2. 実験概要と項目

図-1 に供試体の形状および寸法を示す。供試材には SS400 材を用いた。その機械的及び、化学的性質は文献⁽¹⁾と同じである。き裂長さを結晶粒オーダーで動的観察するため試験片を #2000 の耐水ペーパーで研磨し、最終的に $0.05[\mu\text{m}]$ アルミナ水溶液で研磨、鏡面仕上げをした。その後試験片を 3% 硝酸アルコール溶液でエッチング処理を施し結晶粒界を析出させた。2 段階荷重試験には油圧サーボ式の疲労試験機を用いた。2 段階変動荷重は高応力レベルでは $0 \sim 125[\text{MPa}]$ 、また低応力レベルでは $0 \sim 62.5[\text{MPa}]$ とし、周波数 $10[\text{Hz}]$ の片振り正弦波に設定した。応力状態は I $62.5[\text{MPa}]$ を $1465[\text{sec}]$ 、II $125[\text{MPa}]$ を $10[\text{sec}]$ 、III $62.5[\text{MPa}]$ を $600[\text{sec}]$ 、IV $125[\text{MPa}]$ を $60[\text{sec}]$ 、V $62.5[\text{MPa}]$ を $1465[\text{sec}]$ で計 3600 秒を 1 サイクルとした。その荷重条件及び荷重時間の間隔を図-2 に示す。また、結晶粒レベルでのき裂進展挙動の把握には倍率 1000 倍のマイクロハイスコープを使用した。

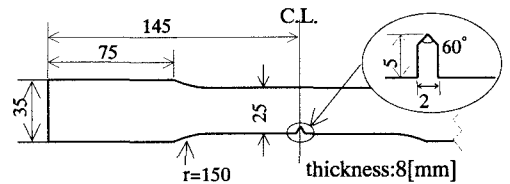


図-1 供試体の形状と寸法

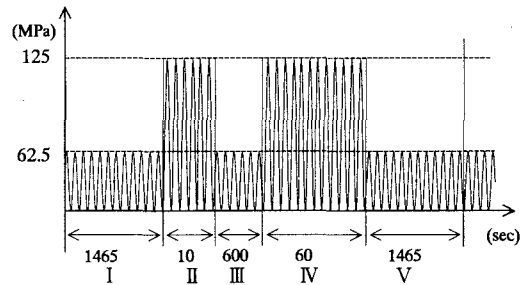


図-2 変動荷重の波形

のき裂進展挙動の把握には倍率 1000 倍のマイクロハイスコープを使用した。き裂進展速度は収録したビデオのタイムカウンターと、動的観察によるき裂距離を利用して求めた。実験項目としては、①供試体のマシンノッチ先端より $1, 3, 5[\text{mm}]$ 点に動的ひずみゲージを貼付し応力-ひずみ曲線より変動荷重下によるき裂開閉口応力を求める。②マイクロハイスコープを使用し、き裂進展挙動を動的観察することにより、高レベル荷重時と低レベル荷重時におけるき裂進展挙動の差異を観察する。③変動荷重と一定荷重下におけるき裂長さとき裂速度の関係の差異を検討する。

3. 実験結果と考察

①一例としてマシンノッチ先端より約 $1[\text{mm}]$ の範囲に貼付した動的ひずみゲージをオシロスコープで収録した応力-ひずみ曲線を図-3 に示す。(a)は高応力時き裂近傍、(b)は低応力時のき裂近傍である。これよりき裂開閉口点応力は高応力、低応力共にほぼ同じ値であった。一定荷重の場合、応力が 2 倍になるとき裂開閉口点は約 2 倍になるはずである⁽²⁾。これは、2段階変動荷重の場合において高応力時のき裂開閉口点は、低応力時のき裂開閉口点応力に支配されるためと思

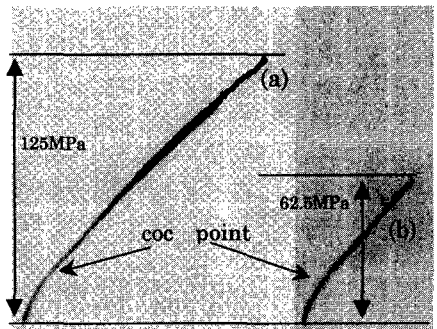


図-3 応力-ひずみ曲線

われる。②写真-1, 2 はノッチ先端よりそれぞれ 1, 3[mm]付近の範囲における 2 段階変動荷重試験後の供試体を顕微鏡で撮影したものである。写真-1, 2 の白い部分は高レベル荷重中にき裂が進展した範囲である。このケースでは高レベル荷重が 3600 秒毎に僅か 70 秒しか載荷されない。しかしき裂進展距離は低レベル荷重中に進展した距離以上に長かった。その特性は、き裂距離がノッチ先端に近づくに従い顕著に観察された。さらにノッチ先端より 0.2[mm]の範囲までは低レベル荷重ではまったくき裂は進展せず、高レベル荷重時のみき裂進展が観察された。③変動荷重と、変動荷重の高レベル荷重と低レベル荷重にそれぞれ同じ一定荷重の疲労試験をし、2 段階変動荷重と比較した。図-4に試験より得た、き裂長さとき裂進展速度の関係を示す。ノッチ先端より 2.5[mm]までは変動荷重の高レベル時において同レベルの一定荷重よりき裂進展速度が速い場合が多い、また5[mm]を過ぎた時点からは変動荷重、一定荷重ともにき裂進展速度の最大値は同じような値をとっていることがわかった。

4. まとめ

2 段階変動荷重試験において以下のような結果が得られた。

①2 段階変動荷重では高レベル側でのき裂開閉口点は、低レベル側の影響を受け、き裂開閉口点が低下する。結果、高応力時ではき裂駆動力が増大する。

②2 段階変動荷重において高レベル荷重は僅かな時間であれ、それはき裂進展駆動力として十分稼働する。それは、き裂距離がノッチ先端により近くなる程顕著である。

③2 段階変動荷重と同レベルの一定荷重とをそれぞれ比べると高レベル側はそれほど顕著な違いはないが、低レベル荷重側においては高レベル荷重のそれとは異なりき裂進展速度は著しく遅くなる傾向が観察された。

謝 辞 文部省科学研究費基盤研究(b)の補助を受けたことに感謝します。

〈参考文献〉 1.事口壽男,若杉貴之, 第 53 回年次学術講演会概要修 1-A P596-597(1998)

2.Hisao KOTOGUCHI and Takayuki WAKASUGI :ECF12 FRACTURE FROM DEFECTS Proceedings of the 12th Biennial Conference on Fracture-ECF12-held in Sheffield,U.K.,14-18,September 1998Vol.1,pp(283-288)



写真-1 ノッチ先端より 1mm 点におけるき裂進展

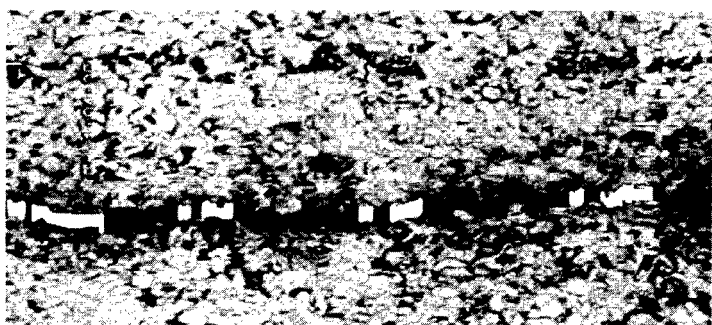


写真-2 ノッチ先端より 3mm 点におけるき裂進展

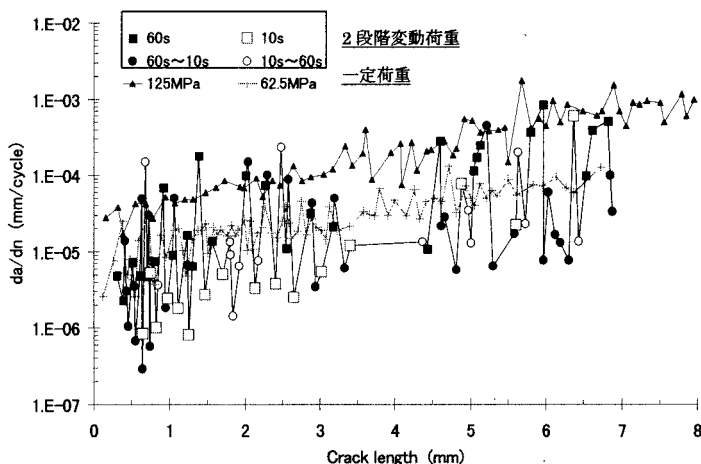


図-4 一定荷重との比較