

低サイクル疲労き裂先端形状の変化挙動の観察

東京工業大学大学院

正会員 ○佐々木栄一

東京工業大学大学院

フェロー会員 三木 千壽

1. はじめに

先の兵庫県南部地震では、地震時の10回以下の塑性ひずみ履歴により発生したき裂（以下、低サイクル疲労き裂）を起点として脆性き裂が生じた例が報告されている。このような低サイクル疲労き裂を起点とした脆性破壊は、それまで発生例がなく、そのメカニズムについては不明な点が多い。低サイクル疲労き裂は、その発生、進展の過程で、大きな塑性ひずみ履歴を受けており、き裂先端形状が随時変化している可能性があり、それを起点とする脆性破壊の発生メカニズムの解明には、その変化挙動を明らかにすることが不可欠である。本研究では、低サイクル疲労き裂の発生および進展過程での時々刻々の変化を把握するため、CT試験片を用いて、定変位繰返し低サイクル疲労試験を実施し、载荷中常時試験片の側方からき裂先端をマイクロ스코プにより観察し、载荷過程のき裂先端形状の変化について検討した。

2. 実験方法

本研究では、図-1のような形状および寸法を有するCT試験片を対象とし、鋼材としては、SM490A材を用いた。実験条件は、延性き裂が発生せず、10回以下の繰返し载荷回数で発生・進展する低サイクル疲労き裂を導入できるように、まず、単純引張試験を行って、延性き裂が発生する変位を求めた後、その変位の2分の1（10mm）、4分の1（5mm）、8分の1（2.5mm）を変位範囲とする3つのケースで検討を行った。試験は、鋼製橋脚のひずみ履歴特性を考慮して、片側変位振幅载荷とした。それぞれき裂が発生・進展する様子を常時マイクロ스코プでモニターし、载荷過程で適宜画像を保存した。各試験体の試験条件を表-1に示す。試験体に用いた鋼材の化学成分および機械的性質を表-2および表-3に示す。なお、実験には、载荷能力±50kNのMTS社製材料試験機 Test Star II を用いた。

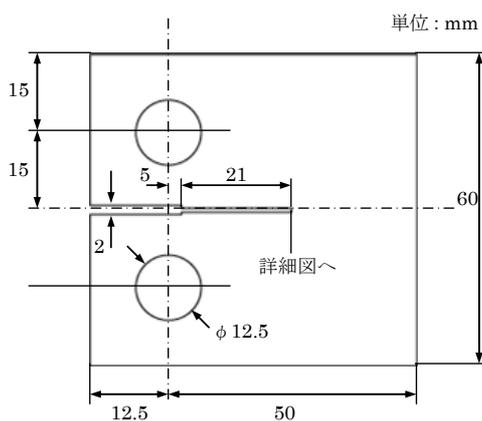


図-1 CT試験片

表-1 実験条件

試験体呼称	使用鋼材	载荷点変位 (mm)	最終繰返し回数	最初のき裂発見時の繰返し回数 (CT-UNIはき裂発見時の変位)	備考
CT-UNI	SM490A	-	-	20.0mm	単純引張
CT-10	SM490A	10.0	10	4.5	片側変位振幅
CT-10-2	SM490A	10.0	10	4.5	片側変位振幅
CT-10-3	SM490A	10.0	10	4.5	片側変位振幅
CT-5	SM490A	5.0	10	発生せず	片側変位振幅
CT-2.5	SM490A	2.5	10	発生せず	片側変位振幅

表-2 化学成分

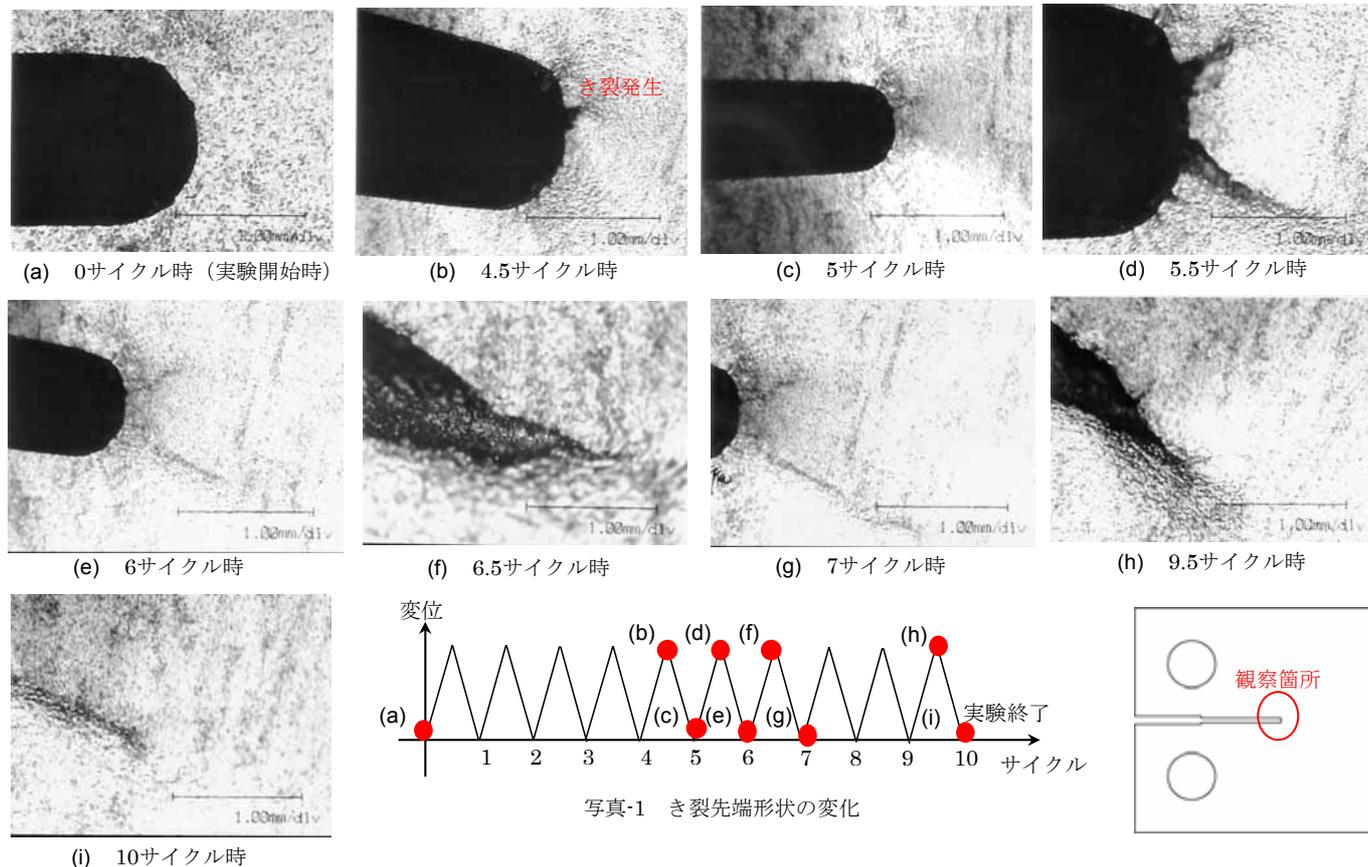
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al
0.21	0.28	1.19	0.024	0.013			0.21	0.09		0.01

表-3 機械的性質

降伏点 (MPa)	引張強度 (MPa)	伸び (%)	シャルピー吸収エネルギー (Joule@0°C)
337	569	31	30

キーワード 地震, 低サイクル疲労き裂, き裂先端形状

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 TEL 03-5734-2596



3. 実験結果

き裂が初めて確認された荷重回数を、表-1に示す。表に示すように、変位振幅が5mmおよび2.5mmの試験条件では、繰返し回数10回ではき裂発生が認められなかったことから、以下、変位振幅10mmの場合について、結果を示す。なお、変位振幅10mmの場合については、3体同じ条件で実験を行い、同様の結果であることを確認している。

写真-1に、変位振幅が10mmの場合の試験体の変位履歴と各変位段階でのき裂先端状況を示す。この図から、各試験体の各変位履歴でのき裂の発生・進展、さらには、き裂先端形状の様子が把握できるほか、図からわかるように、あるひとつの低サイクル疲労き裂に着目して、荷重過程の中でのそのき裂先端形状の変化を見ると、き裂が開く引張方向の変位の際には、き裂先端が鈍化していく状況が見られる。一方、圧縮方向の変位の際には、き裂の先端まで閉じきっており、鋭い状態となっている。繰返し荷重に伴って、き裂先端が鈍くなる状態と閉じきって鋭い状態とが繰返し観察されている。すなわち、低サイクル疲労き裂の先端形状は、塑性ひずみを繰返し受ける中で、鈍い状態だけではなく、閉じて鋭い状態となっている可能性があることが明らかとなった。

4. まとめ

低サイクル疲労き裂の先端形状は、繰返し荷重によって、鈍くなっている状態と、閉じて鋭くなっている状態とを繰返している可能性があることを示した。このことから、低サイクル疲労き裂を起点とする脆性破壊については、鈍い状態から駆動ひずみを受けて発生する場合と鋭くなった状態から駆動ひずみを受けて発生する場合の2つの発生シナリオを考える必要があると考えられる。

参考文献

- 佐々木栄一，荒川泰二，三木千壽，市川篤司：リブ溶接止端部に発生する低サイクル疲労き裂とそれを起点とする脆性破壊の発生可能性，構造工学論文集，Vol.48A，pp.1107-1112，2002.3.