

周期過荷重および変動振幅荷重下における構造用鋼の疲労き裂進展挙動

名古屋大学大学院 学生員 岡戸 直樹
 名古屋大学大学院 正 員 山田健太郎

名城大学 古田 雅幸
 名城大学 正 員 近藤 明雅

1. まえがき 実働荷重下での鋼構造物の疲労寿命推定は、一般にマイナー則および等価応力範囲を用いて推定される。これらの手法は簡便ではあるが、荷重の載荷順序によって起こる疲労き裂進展速度の遅延現象や加速現象といった荷重の相互干渉効果を考慮していない。そこで本研究ではCCT試験片に変動荷重を単純化した周期過荷重、変動振幅ブロック荷重および応力頻度分布がBETA分布に従う変動振幅荷重を載荷して構造用鋼の疲労き裂進展挙動を計測し、荷重の相互干渉効果の影響を検討する。また、き裂の開閉口挙動の概念を導入して、破壊力学の手法を用いた疲労寿命推定の適用を試みる。

2. 試験体および試験方法 本試験に用いた試験体はJIS 520BのCCT試験片であり、形状および寸法は図-1に示す通りである。試験体中央部には10mmのノッチが開けられ、そこからき裂が発生、進展するように加工されている。き裂長の計測は繰返し数1000~10000回毎に行った。載荷した荷重条件は、図-2に示すような周期過荷重、変動振幅ブロック荷重および変動振幅荷重である。図-2(a)に示す周期過荷重は、一定振幅の応力範囲および応力比をそれぞれ70MPaと0.22とし、下限荷重を一定とした。過荷重比 ($R_{OL} = \sigma_{OL} / \sigma_{max}$) は1.4と2.0の2種類について行った。過荷重の載荷間隔は、 $R_{OL}=1.4$ の場合は繰返し数100, 1000, 10000回とし、 $R_{OL}=2.0$ の場合は1000, 10000, 50000回とした。変動振幅ブロック荷重では図-2(b)に示したような、10通りの違った応力範囲を有するブロックを繰返し載荷した。1ブロックの大きさは繰返し数で100, 1000, 10000, 100000回とした。また、等価

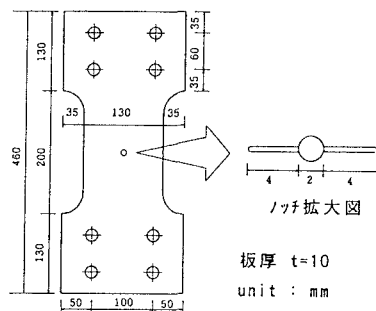
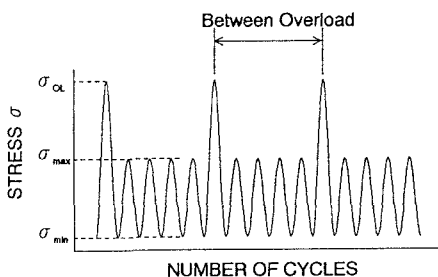
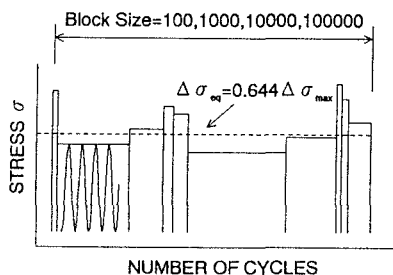


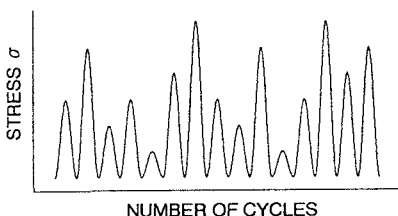
図-1 試験体の形状および寸法



(a) 周期過荷重



(b) 変動振幅ブロック荷重



(c) 変動振幅荷重とその応力範囲頻度分布

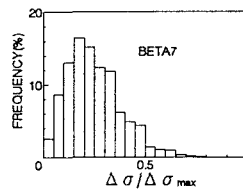
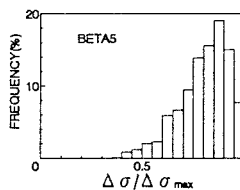


図-2 載荷した荷重条件

力範囲を70MPaとし、下限荷重を一定とした。図-2(c)に示す変動振幅荷重では、応力範囲頻度分布が2種類のBETA分布に従う応力をランダムに載荷した。変動振幅荷重では下限荷重および上限荷重を一定とした2種類の条件下で試験を行った。なお、上限応力は153MPa、下限応力は20MPaとし、その範囲内で荷重の載荷を行った。そのときの等価応力範囲はBETA5、BETA7それぞれ109.0MPaと41.5MPaである。

3. 試験結果 図-3および図-4に周期過荷重条件下の計測結果の da/dN - ΔK 関係およびその回帰直線を示す。また、図中の実線は一定振幅荷重を載荷した場合について示している。図-3は $R_{OL}=1.4$ 、図-4は $R_{OL}=2.0$ の計測結果である。どちらの場合も、疲労き裂進展速度が一定振幅荷重が作用したときの進展速度より低下しており、単一過荷重が作用したときのような進展速度の回復はみられなかった。これは、過荷重による遅延現象が連続して現れたためと考えられる。過荷重の載荷間隔による影響はどちらの場合も間隔が大きいほど遅延現象が大きくなった。載荷間隔が短いと、過荷重による疲労き裂進展速度の低下が完全に低下し終わる前に次の過荷重が載荷されるため、遅延現象が小さくなったと考えられる。また、同じ過荷重の載荷間隔で過荷重比の影響を比較すると過荷重比が大きいほど遅延現象が大きくなった。

図-5に変動振幅ブロック荷重を載荷したときの da/dN - ΔK 関係とその回帰直線を示す。図中には、一定振幅荷重を載荷したときのデータも示した。ブロックの大きさが100回を除いて疲労き裂進展速度の遅延現象がみられた。ブロックの大きさの影響をみると、ブロックの大きさが大きいほど遅延現象が大きくなった。これは、ブロックの大きさが小さい場合、大きな荷重が載荷された後の小さな荷重の繰返し回数が少なくなり、過大荷重による疲労き裂進展速度の低下が完全に低下し終わる前に次の荷重が載荷され、遅延現象が小さくなったと考えられる。

4. まとめ 今後は、変動振幅荷重を載荷したときの疲労き裂進展速度の計測を行う予定である。また、き裂開閉口挙動の概念を考慮した上で、破壊力学を用いた疲労寿命推定を行う予定である。

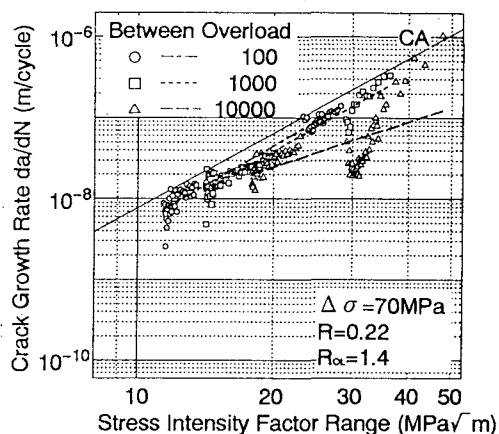


図-3 周期過荷重 ($R_{OL}=1.4$) の da/dN - ΔK 図

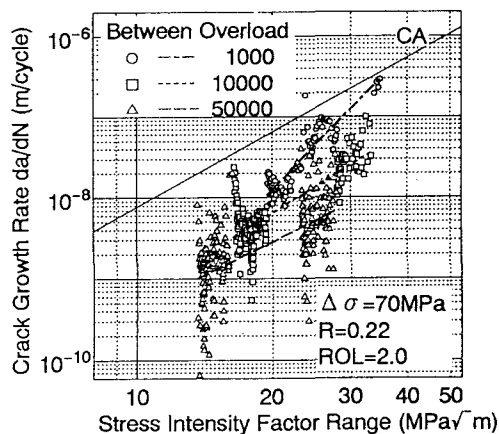


図-4 周期過荷重 ($R_{OL}=2.0$) の da/dN - ΔK 図

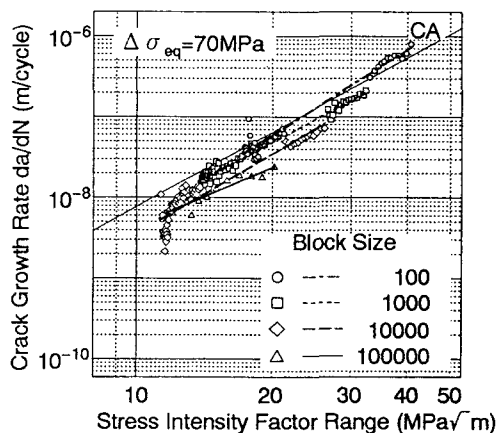


図-5 変動振幅ブロック荷重の da/dN - ΔK 図