

過荷重による疲労き裂進展の遅延効果への諸影響

名古屋大学 学生員 ○奥原 祐治 名古屋大学 正 員 山田健太郎
名城大学 正 員 近藤 明雅 フジエンジニアリング 正 員 程 小華

1. まえがき 近年、鋼橋の切欠き部や溶接部で疲労が原因と見られるき裂が数多く発生している。日本鋼構造協会による疲労設計指針では定振幅応力下での疲労試験結果から疲労強度の評価を行っているが、実荷重は複雑な変動振幅応力であるため、この評価方法は変動応力を定振幅応力に置き換えることで行われている。通常、変動応力の評価には応力範囲や応力比以外にそれらの頻度分布が必要とされる。本研究では変動応力の荷重相互作用の解明のため、これを最も単純化した過荷重応力による疲労き裂進展速度への影響に注目した。また、定振幅応力だけの場合についても比較のため行った。

2. 実験概要

2.1 実験方法 本実験では、MTS製万能試験機(容量25tf)を用いて、繰り返し速度600回/分で行った。試験片の材質はJIS SM520B, SS400, HT780で、その形状をFig. 1に示す。疲労試験開始前に、試験片の偏心を除去するために試験片表面に貼付したひずみゲージから、最大荷重載荷時のひずみ値の5%以下になるように偏心量を調整した。過荷重は、原則として3回載荷し、その内の2回は疲労き裂進展速度が $1.0, 2.0 \times 10^{-8} \text{m/cycle}$ 程度に達したと予測される時点で、全試験片において行った。疲労き裂長の計測はエナメル被覆銅線が切れた後から開始し、測定の間隔は繰り返し数で約 3×10^4 回以内、疲労き裂進展長さが0.5mm以下で行った。過荷重の載荷前後には繰り返し数3000回の間隔で行った。き裂長の測定は拡大倍率25倍の光学顕微鏡(精度1/100mm)を用い、ダイヤルゲージでき裂先端とノッチとの距離をその都度、試験片表裏とノッチ左右の計4ヶ所測定した。また、SS400とHT780材では、き裂先端の試験片表面にひずみゲージを貼付して、その応力-ひずみ曲線の変曲点からき裂開口応力を測定した。

2.2 荷重の設定 本実験で試験機の載荷容量を考慮して、設定した荷重をTable 1に示す。各鋼材の荷重条件別の着目点を以下に述べる。

SM520B材では、応力範囲 $\Delta\sigma (= \sigma_{\max} - \sigma_{\min}) = 50, 70 \text{MPa}$ 、応力比 $R (= \sigma_{\min} / \sigma_{\max}) = 0.22, 0.46$ のA, B, C-seriesの荷重条件で測定を行い、過荷重比 $R_{OL} (= \sigma_{OL} / \sigma_{\max}) = 1.2, 1.4, 1.7, 2.0$ として、過荷重載荷後の疲労き裂進展への過荷重比の影響を評価した。

SS400材、及びHT780材では、 $\Delta\sigma = 50 \text{MPa}$ 、 $R_{OL} = 1.4$ 、 $R = 0.22$ 、0.46のC, D-seriesで測定を行い、過荷重載荷後の疲労き裂進展への材料と応力比の影響について評価した。

3. 実験結果

3.1 疲労き裂進展挙動 過荷重を載荷した後の遅延が全試験片で見られた。遅延効果と過荷重波形特性の相関を以下に示した。

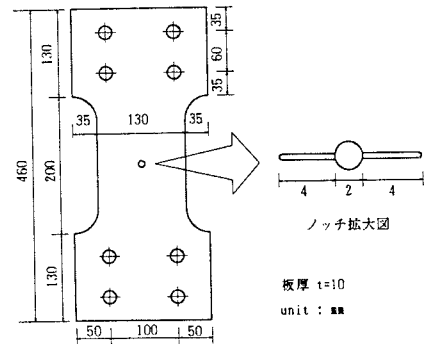


Fig. 1 試験片形状

Table. 1 設定荷重

試験片名	$\Delta\sigma$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{\min}$	R	R_{OL}	σ_{OL}
SMA-CA SMA-OLL SMA-OLM SMA-OLH	70	90	20	0.22	- 1.4 1.7 2.0	- 126 153 180
SMB-CA SMB-OLL SMB-OLL	70	130	60	0.46	- 1.2 1.4	- 156 182
SWC-CA SWC-OLM SWC-OLH	50	64	14	0.22	- 1.7 2.0	- 109 128
SSC-OLL HTC-OLL	50	64	14	0.22	1.4	90
SSD-OLL HTD-OLL	50	93	43	0.46	1.4	130

unit : MPa

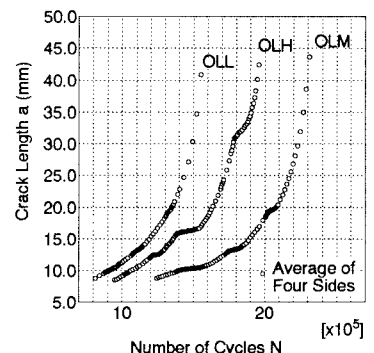


Fig. 2 過荷重比の影響

(a) 過荷重比による影響

過荷重比 R_{OL} による遅延効果への影響をSM520B材を用いて測定を行った。Fig. 2から、SM520B材のA-seriesの各荷重条件で、 R_{OL} が大きいほど大きな遅延現象が認められた。

(b) 応力比による影響

応力比による遅延効果への影響を $R=0.22, 0.46$ の条件下で各鋼材ごとに行った。SS400, HT780の鋼材についての比較図をFig. 3に示す。各鋼材とも、 $R=0.22$ の条件より大きな遅延効果が見られた。

(c) 鋼材の差による影響

鋼材の違いによる遅延効果への影響を比較した。Fig. 4から、等しい R 値での鋼材間の遅延効果の差は、 $R=0.22$ ではSS400とHT780材の間に大きな差が見られたが、 $R=0.46$ では両鋼材間にほとんど差が見られなかった。

3.2 き裂開口応力 き裂先端のひずみゲージから測定したき裂開口応力 σ_{op} の過荷重載荷後の変化をFig. 5に示す。 σ_{op} の過荷重載荷の前後での変動が分かる。 σ_{op} の測定は $R_{OL}=1.4$ の場合で、 σ_{op} の変動

は小さい。また、D-seriesの荷重条件での σ_{op} 値は、定振幅応力部の σ_{min} より低い測定値であった。つまり、この荷重条件ではき裂は常に開口しており、過荷重載荷後のき裂進展の変化に σ_{op} の変動が寄与していないことを示している。

4. まとめ

1. 構造用鋼SM520B, SS400及びHT780材で、過荷重載荷後に疲労き裂進展の遅延効果が確認できた。荷重条件ごとの遅延効果への影響は過荷重比が高いほど、応力比と応力範囲は低いほど顕著な遅延が見られた。
2. 過荷重載荷後の疲労き裂進展速度の低下とき裂開口応力の変動には、応力比 $R=0.22$ の場合では相関が考えられるが、応力比 $R=0.46$ ではき裂開口応力が最小応力を下回り、両者の相関関係は少ないと考えられる。

参考文献

Xiaohua CHENG, et al. :FATIGUE CRACK GROWTH RATE MEASUREMENT OF STRUCTURAL STEEL UNDER OVERLOAD CONDITIONS, Proc. JSCE, No. 489/I-27, April 1994, pp. 71-78.

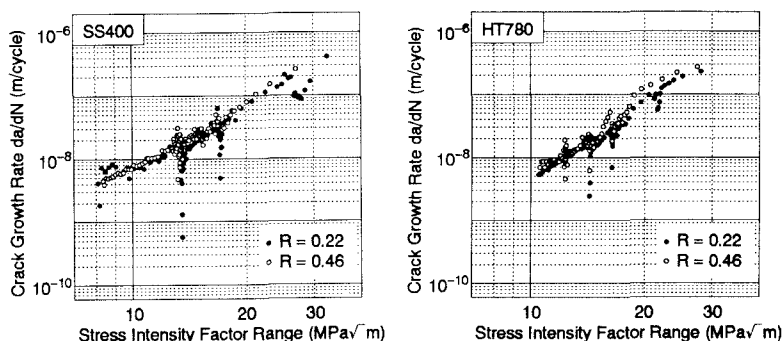


Fig. 3 応力比の違いによる遅延効果の差

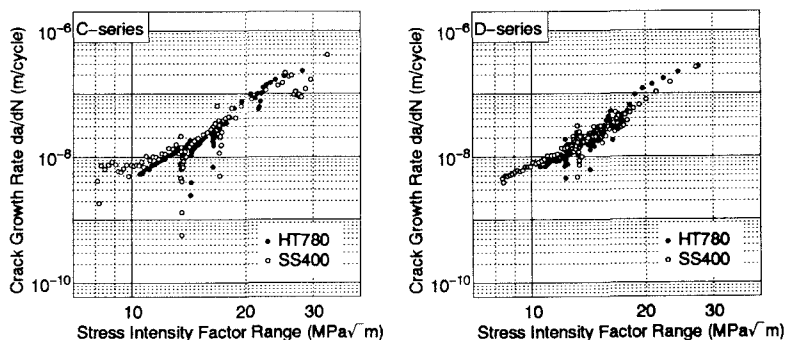


Fig. 4 鋼材の降伏点の違いによる遅延効果の差

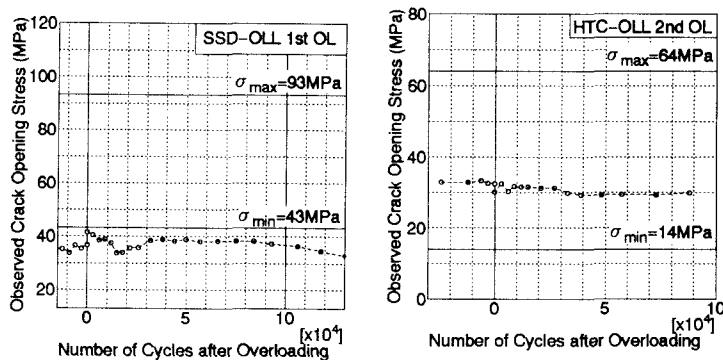


Fig. 5 き裂開口応力の変動