

建設省 正会員 西川和広
東京工業大学 正会員 三木千寿
東京工業大学 学生員 ドアン、タン、ビン

1. はじめに

疲れきれつの先端には塑性ひずみ領域が存在することや、きれつの開口位置や応力比によって異なることなどから、その進展挙動に強い履歴現象が生じる。本研究は鉄道橋部材が受けるような図-1に示すごとき変動応力下での疲れきれつ進展速度を予測する方法を、きれつ先端の開閉挙動に基づいて考察したものである。

2. 試験方法

図-2に用いた試験本の形状および寸法を示す。供試験材は溶接構造用鋼材SM50Aと、調質性高張力鋼HT80である。疲れ試験は±5.0cmの電気油圧式疲れ試験機により行なった。疲れきれつ長さの判定には実体顕微鏡(6.3~40倍)を用いた。きれつの開閉挙動は試験本体内部に取り付けたクリップゲージにより検出される変位と荷重とのヒステリシスループ形状から判断した。荷重波形は正弦波である。

ここで実施した実験は次の三種類である。

- i. 応力拡大係数範囲(ΔK)と疲れきれつ進展速度(da/dn)との関係および有効応力比(σ)を求める実験
- ii. ピーク荷重による履歴現象を調べる実験
- iii. 簡単な変動応力による疲れきれつ進展試験

3. 試験結果およびその考察

1) 応力比(R)の影響: 図-3に各応力比毎の da/dn と ΔK の関係を示す。また図-4は有効応力比 σ ($\sigma = (\sigma_{max} - \sigma_{open}) / \Delta \sigma = (P_{max} - P_{open}) / \Delta P$, σ_{max} , P_{max} : 最大応力および最大荷重, σ_{open} , P_{open} : きれつが完全に開口する時の応力および荷重, $\Delta \sigma$, ΔP : 応力範囲および荷重範囲)と応力比 R との関係である。同図中にはElberがAl合金で求めた結果も示した。有効応力拡大係数範囲 ΔK_{eff} ($\Delta K_{eff} = \sigma \cdot \Delta K$)を用いて疲れきれつ進展速度を整理した結果が図-5であり、 da/dn と ΔK_{eff} との間にはほぼ R に関係なく直線関係が認められる。

2) ピーク荷重の影響: ピーク荷重の後は疲れきれつの進展速度が一時的に速くなると言われている。ここではこの現象は σ が変わるために生じると考え、それが発生する期間を σ の変化から検討した。図-6はピーク荷重後の P_{open} (縦軸は P_{open}/P_1)の変化を示した例($R=0$, $P_2/P_1=2$)であり、ピーク荷重(P_2)により P_{open} は P_2 に対するレベル(P_2 で疲れ試験を行なった時の P_{open})まで引き上げられ、それが長期間(SM50で10回、HT80で10回以上)継続することが明らかであろう。他の R 、あるいは P_2/P_1 でもその傾向は同様である。

3) 変動応力下での疲れきれつ進展速度の予測: 図-7は上述のピーク荷重後の P_{open} の挙動および有効応力比に基づいて変動応力の取扱いを示したものである。すなわち対象とする部材が受ける応力のうちの最大値によりきれつ開口の応力レベル σ_{open} を設定し、それ以上の応力をきれつ進展に有効な応力とする。鉄道橋ではピーク荷重は機関車が生じるためほぼ一定の大きさであり、またそれが発生する間隔も定かい(ピーク荷重による P_{open} 位置となる期間中)ため、各部材について一定の σ_{open} を設定することが可能である。 da/dn と ΔK_{eff} の関係から以上のごとく求めた有効応力に対する疲れきれつ進展速度が求まり、また有効応力をレンジパ法やピーク法等で処理すれば一列車による、あるいは1日個での疲れきれつ進展長さを計算することができる。

4) 変動応力による疲れきれつ進展試験の結果: 3)での方法の適用性を確認するために図-8に示すような変動応力波形による試験を行ない、疲れきれつ進展速度を測定した。図-9はその結果の例であり、 σ_2 に対する応力拡大係数範囲 ΔK_2 およびその繰返し数 n_2 を基準とした進展速度 da/dn_2 で示している。図中1の直線は、

有効応力をピーク法で、2の直線はレンジペア法で整理した場合の予測性最速線であり、実験値は両直線の中
間に位置している。

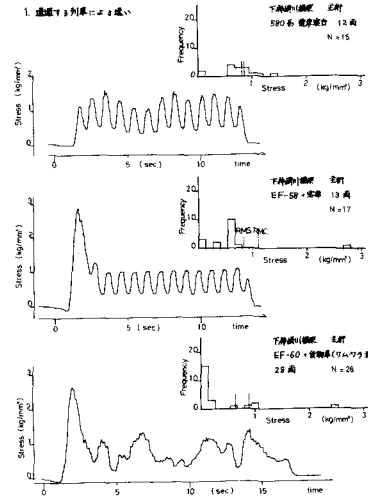
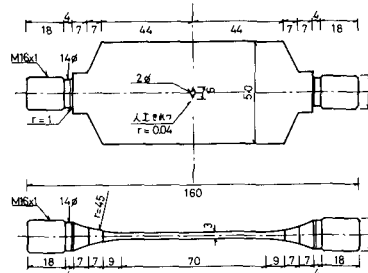


図-1. 鉄道橋における応力波形の例



Geometry of specimen

図-2. 試験体の形状と寸法

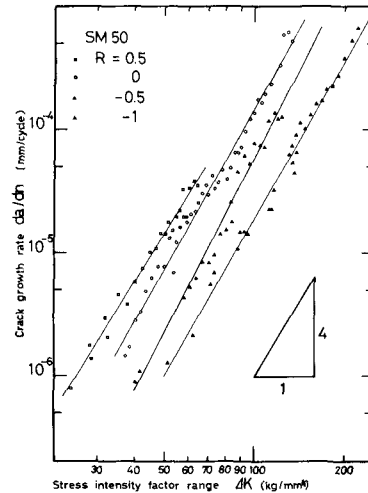


図-3. 種々異なる進展速度 (da/dn) と応力強度係数範囲 (ΔK)

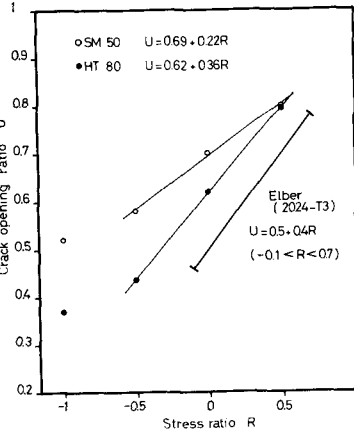


図-4. 有効応力比 (U) と種々試験での応力比 (R)

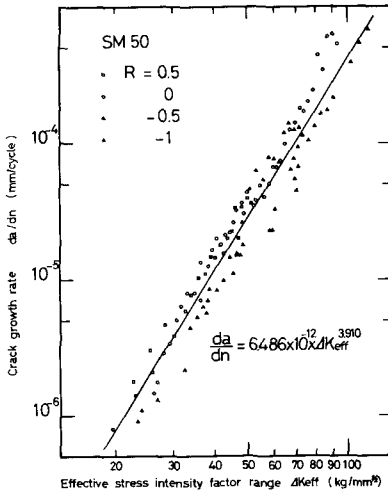


図-5. 有効応力係数範囲による整理

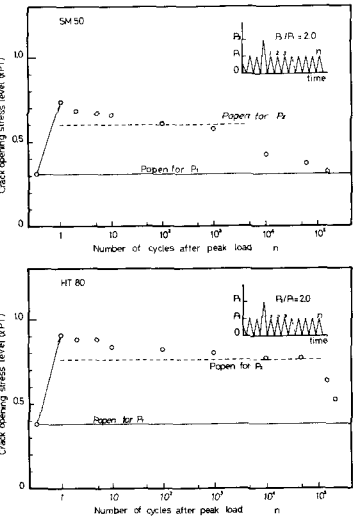


図-6. ピーク応力による開き開閉レベルの変化

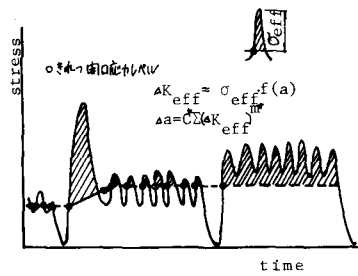


図-7. 変動応力での開き開閉レベルと有効応力

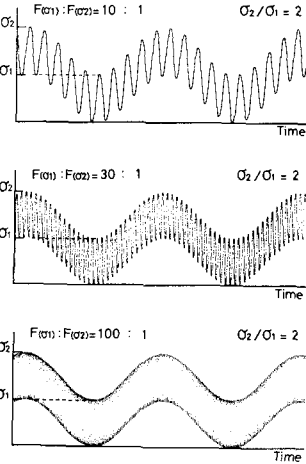


図-8. 試験に用いた変動応力波形

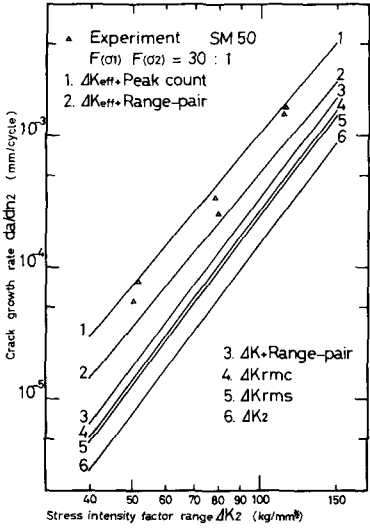


図-9. 変動応力下試験の結果