

(311) 疲れき裂先端における損傷と伝播速度

金属材料技術研究所

田中 紘一, 松岡 三郎

1. 緒言 疲労き裂伝播式  $da/dN = C \Delta K^m$  (1) を表わす 2 つの材料係数のうち, 指数  $m$  はき裂開口率の  $\Delta K$  依存性を示すパラメータと理解できることを別報<sup>1)</sup> で明らかにした。すなわち, き裂伝播に有効な拡大係数  $\Delta K_{eff}$  は開口係数  $U(\Delta K)$  を使って,  $\Delta K_{eff} = U(\Delta K) \Delta K$  (2) と表わされるが  $U(\Delta K)$  は指数  $n$  と  $U(\Delta K) = U_0 (\Delta K / \Delta K_0)^{m-2/2}$  ( $U_0, \Delta K_0$ : 常数) という関係で結ばれる。き裂先端のくり返し塑性域  $\omega_0$  は  $\Delta K_{eff}^2$  に比例するのでその塑性域内の損傷が臨界値に達するとき裂が伝播すると仮定すると  $da/dN = C_{eff} \Delta K_{eff}^2$  (3) となるはずである。本報では 4 種類の鋼につき, 低サイクル試験より得たくり返し応力ひずみ曲線  $\sigma = \sigma_0 (\epsilon / \epsilon_0)^n$  ( $\sigma$ : 応力振幅,  $\epsilon$ : 全ひずみ振幅) および Manson-Coffin 関係  $N \epsilon^\alpha = D$  (4) を使って, (3) 式の係数  $C_{eff}$  の導出を試みた。

2. 解析 き裂先端におけるひずみは図 1 のように, Rice<sup>2)</sup> の計算により  $1/(1+n)$  乗則に従って分布し, 先端の極く近傍では (COD 影響域) Hahn の示唆に基づき<sup>3)</sup> 不安定変形をして  $\epsilon = \epsilon_{max} = n =$  一定になっていると仮定した。実験に使った 4 種類の鋼の名称, 降伏応力, き裂伝播係数  $C$  と  $m$  は表に示し, これらの Manson-Coffin プロットを図 2 に示し, これより求めた  $D$  も表に示した。き裂先端において, 図 1 のようなくり返しひずみ履歴を受けて累積損傷が  $D$  に達すると破壊すると仮定すると, き裂が  $\omega_0$  伝播するに要するくり返し数は

$N_0 = (D / \epsilon_{max}^\alpha) (\epsilon_{max} / \epsilon_0)^{1+n} (d-1-n/d)$  (5) となり, COD 影響域を通り抜けるに要するくり返し数  $N_c$  は  $N_c = (\epsilon_0 / \epsilon_{max})^{1+n} N_0$  となる。き裂伝播速度は  $\omega_0 / N_0$  で与えられるが,  $\omega_0$  は Dugdale モデルを修正して,  $\omega_0 = (1/3) \pi^{1/2} \lambda^{1/1+n} (\Delta K_{eff} / \sigma_0)^2$  (6) とした。従って  $\omega_0 / N_0$  と (3) 式を比較して, 係数  $C_{eff}$  は

$C_{eff} = (1/6) \lambda^{1/1+n} (1/N_c \epsilon_{max} \sigma_{max} (\epsilon_0 / \sigma_0))$  (7) と求まる。ここで  $\sigma_{max} = \sigma_0 (\epsilon_{max} / \epsilon_0)^n$  である。

3. 考察および結論 (7) 式の結果はき裂伝播は COD 影響域での累積くり返し塑性仕事  $N_c \epsilon_{max} \sigma_{max}$  で定まる事を示している。また COD は  $\Delta K_{eff}^2 / \epsilon \sigma_0$  に比例するので (7) 式の結果は見掛け上, 伝播速度は COD に比例するという形にもなっている ( $\sigma_0 / \epsilon_0 \approx E, \sigma_{max} \approx \sigma_0$ )。4 種類の鋼につき,  $C_{eff}$  を計算してその結果を表に示した。低サイクル試験結果は種々に異なり,  $N_0, N_c$  も異なっているにも拘らず,  $C_{eff}$  はほぼ一定となっている。

[文献] 1). 討論会討論予稿, 2) 以下省略。

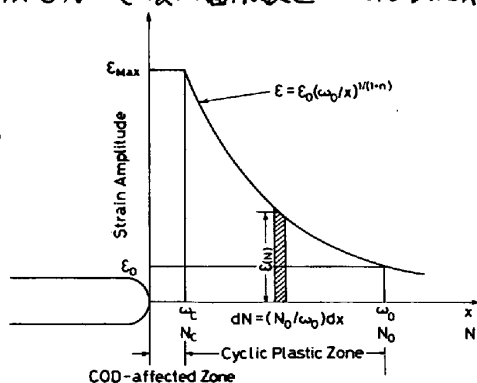


図 1. き裂先端のくり返し塑性域

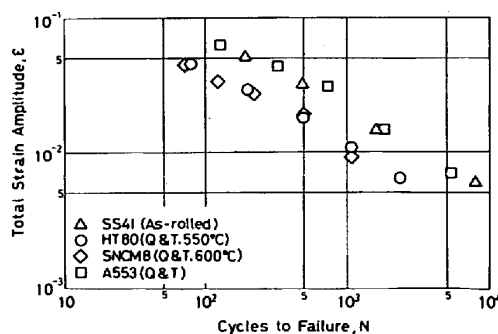


図 2. Manson-Coffin プロット

材 料	1 方向降伏応力 <sup>2</sup> kg/mm <sup>2</sup>	くり返し降伏応力; $\sigma_0$ kg/mm <sup>2</sup>	C	m	n	$\alpha$	D	$N_0$ cycles	$N_c$ cycles	$C_{eff}$
軟鋼; SS41	27.6	23.4	$3.80 \times 10^{-6}$	4.34	0.225	1.96	0.589	1265	4.2	$3.85 \times 10^{-3}$
高張力鋼; HT80	80.0	50.8	$4.95 \times 10^{-9}$	2.22	0.130	2.00	0.169	255	4.5	$4.40 \times 10^{-3}$
高強度鋼; SNCMB	96.1	59.8	$1.98 \times 10^{-9}$	2.48	0.161	2.23	0.0734	157	2.1	$3.96 \times 10^{-3}$
9%Ni 鋼; A553	71.2	43.9	$1.52 \times 10^{-9}$	1.98	0.162	2.90	0.0705	545	5.5	$2.68 \times 10^{-3}$