

東京大学工学部

学生員 齋藤 智也

東京大学生産技術研究所

正会員 舘石 和雄

東京大学国際・産学共同研究センター

正会員 魚本 健人

1. はじめに

鋼材の疲労試験において、微小なき裂の発生を目視により確認することは困難であり、き裂進展を簡便かつ正確に測定する方法も確立されていない。一方で、き裂進展に伴う塑性仕事のエネルギーにより、き裂先端部分の温度は上昇することが知られている。そこで、疲労試験を行いながら、サーモグラフィにより試験体の温度分布を測定することで、き裂先端の位置を確認するという方法が考えられる。本研究では、コンパクト標準引張試験において上記の方法の適用可能性を考察し、また、き裂先端の温度とK値の関係を調べた。

2. 実験概要

コンパクト標準引張試験を行い、20 cmほどの距離からサーモグラフィで測定した。試験体の形状、赤外線カメラの仕様を図1、表1に示す。繰り返し载荷は荷重制御で10Hz、0～3 t fと10Hz、0～4 t fの2種類を行った。両者ともき裂が数cm進展した後、0～3 t fのものは振幅32100回で、0～4 t fのものは振幅19000回で脆性破壊した。測定に際して、試験体表面に少しでも何かが反射するとサーモグラフィの測定が乱れてしまうという問題が生じたが、スプレーで表面を黒く塗装することにより、この問題は完全に解決することができた。

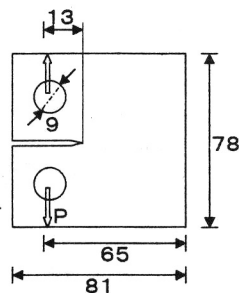


図1. 試験体の形状 (mm)

表1. 赤外線カメラの仕様

フレームタイム	検出素子	表示画素数	最小検出温度差	温度測定精度	測定温度範囲
60 フレーム/ 秒	縦 160×横 120	縦 320×横 240	0.025℃	±4.0%	-40～300℃

3. 結果と考察

サーモグラフィの画像より、き裂進展に伴いき裂先端付近の温度上昇が確認できるようになっていき、き裂が1.5 cmほどになると温度上昇がはっきり分かるようになり、脆性破壊に至る直前では高温部分がき裂進展方向に移動していく様子を観察できるようになった。サーモグラフィの画像の一例を図2に、そのときの試験体中央線上における温度分布を図3に示す。このようにプロットすることで、各時点における温度が一番高い部分の位置を求めることができる。この位置と実験時に温度測定と同時にスケールで計測したき裂先端の位置を繰り返し回数に対してプロットしたものを図4に示す。これより最高温度の位置とき裂先端の位

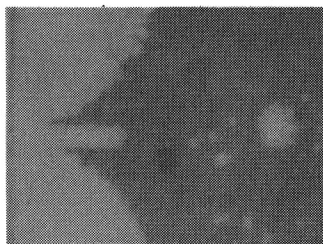


図2. サーモグラフィの画像

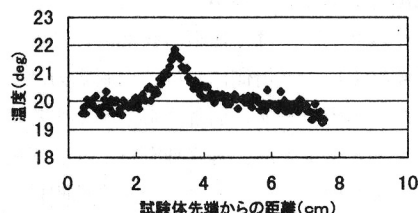


図3. 中央線における温度分布

キーワード 疲労き裂, サーモグラフィ, 温度分布, K値

連絡先

東京都港区六本木7-22-1

電話 03-3402-6231 内線2543

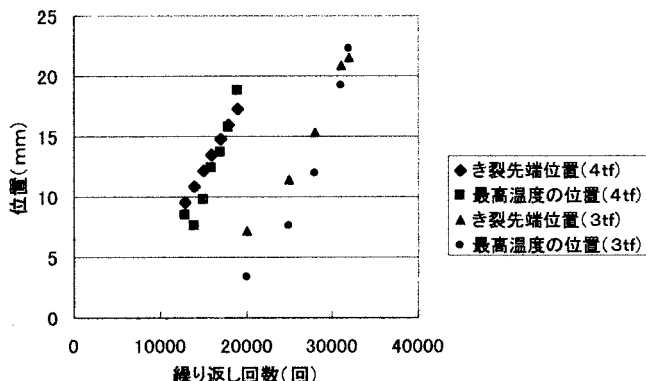


図4. き裂先端の位置と最高温度の位置

置は、繰り返し回数が少なくき裂の小さい間は、2～3mmの差があるが、き裂が大きくなるにつれ等しくなっていくことが分かる。き裂が小さい時に両者の位置が合わない原因として、き裂が小さいと温度上昇が小さいので、最高温度の位置を正確に特定できないということが挙げられる。すなわち、き裂がある程度の大きさに達すれば、サーモグラフィによりき裂先端の位置を計測することが可能であると考えられ、そのき裂の大きさはサーモグラフィの性能に左右されると言え

る。同様に、微少き裂の発生を検出する可能性もサーモグラフィの性能に依存すると考えられる。

次に、K値と上昇温度（き裂先端の最高温度と試験体外周部分の温度との差）の関係を図5に示す。これよりK値と上昇温度に相関があることを見て取れ、このことからサーモグラフィにより温度分布を測定することで、そのときのK値を予測することが可能であると言える。この実験に用いた試験体と載荷方法では、およそ 50 がK値のとりうる最小値であるが、より小さな荷重をかける場合などではK値がもっと小さくなり、また、実構造物においてもそのような小さなK値が問題となる。そこで、より小さいK値においてどの程度の温度上昇があるか予測するために、最小自乗法を用いて累乗関数でK値と上昇温度の関係を近似した。

$$\Delta T = 0.00001K^{2.57} \quad (\Delta T : \text{上昇温度}, K : K \text{ 値})$$

この式で求めた、小さい範囲のK値と上昇温度の関係を表2に示す。そして、この関係はこのようなK値のき裂を検出するために要求されるサーモグラフィの性能を表していることになる。例えば、K値が 20 のき裂を検出するためには 0.022℃の温度差が測定できなければならない。図4より本計測では、K値が 70 以下の範囲では上昇温度を明確に測定できておらず、K値と上昇温度の関係に乱れが生じていることが分かる。

4. まとめ

- ①. コンパクト標準引張試験を行いながら、サーモグラフィを用いて試験体の温度分布を測定した。
- ②. き裂がある程度まで大きくなると、試験体の最高温度の位置とき裂先端の位置はほぼ一致するようになった。
- ③. K値とき裂先端の上昇温度には相関が見られる。
- ④. 今後の課題として、K値と上昇温度の関係を精度良く解析できれば、あるK値を検出するのに必要なサーモグラフィの性能を正確に示すことができる。

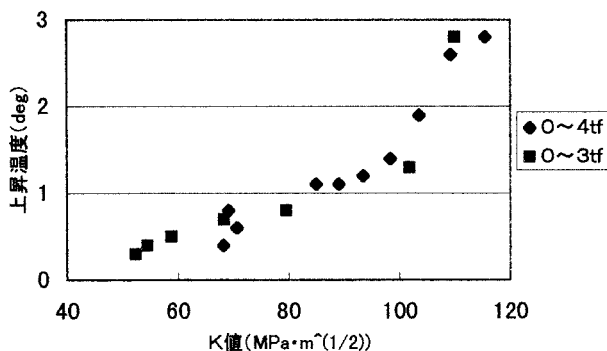


図5 K値と上昇温度

K値	上昇温度
10	0.0037
20	0.022
30	0.063
40	0.13

表2 K値と上昇温度

<参考文献> 1) 後藤 浩二, 豊貞 雅宏, 平澤 宏章: 破壊靱性値の負荷速度依存性簡易推定手法, 日本造学会論文集176号