

I-A51 サーモグラフィによる疲労き裂進展の検出限界に関する一考察

東京大学 学生員 齋藤 智也

東京大学生産技術研究所 正会員 館石 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

鋼橋に生じた疲労き裂の発見は、今のところ、目視で探し出すという方法でのみ行われているが、これは非常に困難な作業である。一方で、き裂のある鋼材に荷重がかかると、き裂の先端から発熱するという現象が知られている。そこで、鋼橋に荷重をかけながら、その温度分布をサーモグラフィで測定することで、き裂先端からの発熱を見つけ出すことにより、き裂を発見するという方法が考えられる。この方法を実用化するには、どの程度のき裂であれば検出できるのかを知る必要があり、その一例として、本研究ではコンパクト標準引張試験におけるき裂の検出限界について考察した。はじめに、実験を行いき裂先端の温度とK値の関係を調べ、次に、実験では求められなかった小さなき裂の先端の温度を解析により求めた。

2. 実験

2.1 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。繰り返し荷重は荷重制御で10 Hz、0～3 t fと10 Hz、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。

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℃

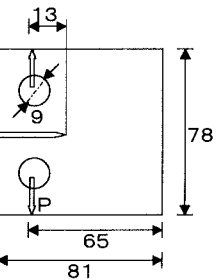


図1. 試験体の形状

2.2 実験結果

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した図でも、き裂が小さい間は温度分布が平坦で高



図2. サーモグラフィの画像

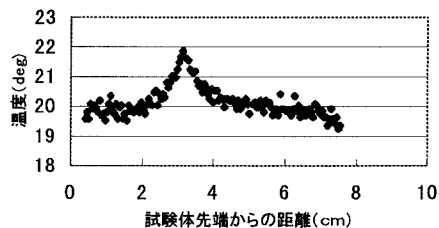


図3. 中央線における温度分布

キーワード 疲労き裂, サーモグラフィ, K値

連絡先 東京都港区六本木7-22-1

電話 03-3402-6231 内線 2543

温部分を確認することができず、き裂が大きくなるにつれ高温部分を確認できるようになる。すなわち、き裂がある大きさに達し、適当な熱量を発生するようになると、高温部分を確認することでK値を検出できるようになる。そこで、き裂の状態と温度上昇の関係を調べるために、き裂の状態を表す数値としてK値を選び、それと上昇温度（き裂先端の最高温度と試験体周辺温度の平均との差で定義）との関係を図4に示した。まず、この測定におけるK値の検出限界はおよそ50であった。次に、この図より、この実験における2種類の疲労荷重について、K値と上昇温度の関係は同じになった。このことよりあるK値において、どの程度の上昇温度が生じるかを推定することが可能であると言える。

3. 解析

3.1 解析の原理

実験における観察から、き裂先端より発生した熱は瞬間的に周りに伝導することが分かるので、サーモグラフィによる温度分布は、測定している瞬間に発生した熱量による温度分布にほぼ等しいと考えられる。そこで、あるK値のき裂に1サイクルの荷重をかけたときの最高温度を求めた。

解析では、最初に荷重の大きさや荷重点変位の関係より鋼材に加えた塑性仕事の大きさを計算し、その9割が熱に変化するとして、き裂先端に生じる塑性域に分布させる。塑性域は円形とし、その半径は平面応力状態を仮定して求める。塑性域内での発生熱量の分布は、各位置の応力と塑性ひずみより単位面積あたりの塑性仕事を計算し、その形状を決める。次に、その熱量分布が無限板上に発生するものとし、熱伝導方程式より熱の拡散を考慮して、最高温度を求めた。

3.2 解析結果

解析結果は図4に示す曲線であり、実験結果とほぼ一致している。そこで、この解析で小さな範囲のK値について上昇温度を求めたものを図5に示す。この図より、小さなK値での上昇温度を推定できるが、この上昇温度は、そのようなK値のき裂を検出するために測定する必要がある温度差を表している。例えば、K値=30のき裂を検出するためには、0.011℃の温度差を検出できなければならない。

4. まとめ

- ①. この測定におけるK値の検出限界は、およそ $K = 50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ であった。
- ②. K値と上昇温度の関係は、疲労荷重によらず一定だった。
- ③. K値と上昇温度の関係を解析した。それにより、小さな範囲のK値について上昇温度を求めた。

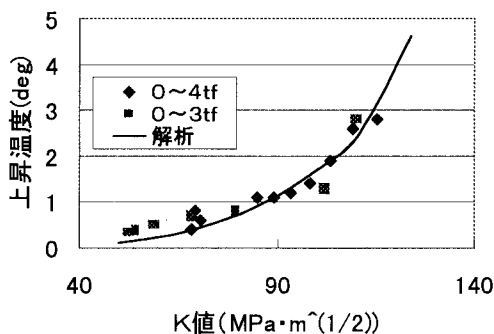


図4. K値と上昇温度

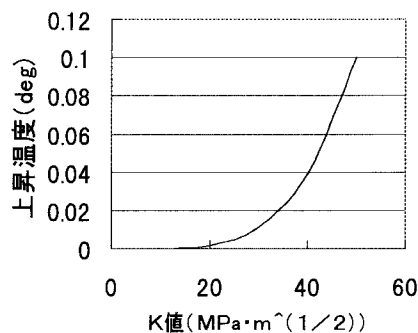


図5. 小さなK値と上昇温度

<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指定手法, 日本造船学会論文集

<謝辞> 本研究は、鋼材倶楽部の補助金を戴いております。