

赤外線応力測定に基づく微細粒ペーストによる疲労亀裂進展抑制効果の検証

滋賀県立大学 正会員 ○和泉 遊以
 神戸製鋼所 正会員 河本 恭平
 大阪工業大学 フェロー 松井 繁之

神戸大学 正会員 阪上 隆英
 神鋼検査サービス株式会社 非会員 遠藤 英樹

1. 目的

疲労亀裂に対する補修法の一つとして、高硬度の微細粒を含有するペースト（以降、微細粒ペーストと呼ぶ）を亀裂面に注入する手法がある^{(1)~(4)}。微細粒ペーストとは、アルミナ粉末とオイルを混合・攪拌して得たペースト状の物質のことであり、この物質を疲労亀裂に塗布することによって、亀裂内に浸入したペースト中のアルミナ粉末が亀裂開閉振幅を抑制して進展速度を低下させる技術である。亀裂の遅延効果は、ペーストを適用した後の亀裂進展の推移を追跡調査して、ペーストを適用する前後の進展速度を比較することによって明確にすることができる。しかしながら、その調査には場合によっては長期間の年月が必要になり、実用的にはペーストを施工した時点で、将来の亀裂遅延を予測・保証できることが望ましい。疲労亀裂の進展性をその場評価可能な手法として、亀裂先端周辺の実働応力分布を測定できる赤外線応力測定法がある。著者らはこれまでも、赤外線応力測定法で得られた亀裂先端近傍の応力場に基づき亀裂を破壊力学的に評価する手法について検討してきた⁽⁵⁾。

本報では、微細粒ペーストの使用前後において赤外線応力測定法による亀裂周辺の応力分布計測を行い、その亀裂先端近傍の力学状態の変化からペーストによる亀裂進展の抑制効果を評価する手法の有用性について、実験室レベルでの検討を行った結果を示す。

2. 赤外線応力測定

応力が弾性限以下の場合、荷重の繰返し速度が断熱条件を満たす程度に十分速ければ、主応力和の変化量 $\Delta\sigma$ と温度の変化量 ΔT との間には、次式で示す関係が成立する。

$$\Delta T = -K_m T \Delta\sigma \tag{1}$$

ここで K_m は熱弾性係数、 T は絶対温度である。したがって、動的な負荷が与えられている条件のもとで、赤外線サーモグラフィを用いて部材表面の ΔT を測定することにより、被測定表面の $\Delta\sigma$ を求めることができる。

3. 実験方法

実験には図1に示すCT試験片を用いた。試験片の材質はSS400であり、板厚は2 mm および 12.5 mm の2種類を使用した。また予備実験により、切欠き先端から4 mm の予亀裂を導入している。赤外線計測時の試験条件および試験片の諸元を表1に示す。ペーストは、平均粒径 0.6 μm のものと、平均粒径 0.6 μm と 39 μm の混合物の2種類を使用した。なお、測定結果に板厚および粒径による大きな違いは見られなかったため、本論文では板厚 2 mm、平均粒径 0.6 μm と 39 μm の混合物の場合の結果のみ記載する。

赤外線応力計測は、ペーストを使用する前、およびペーストを使用してから数千サイクルの間、連続的に行い、応力状態の変化を観察した。赤外線計測には、FLIR社製のInSb素子搭載の赤外線カメラ（温度分解能は20 mKであり、応力に換算すると鋼の場合で20 MPaに相当する）を用い、フレームレートは157 Hzとした。

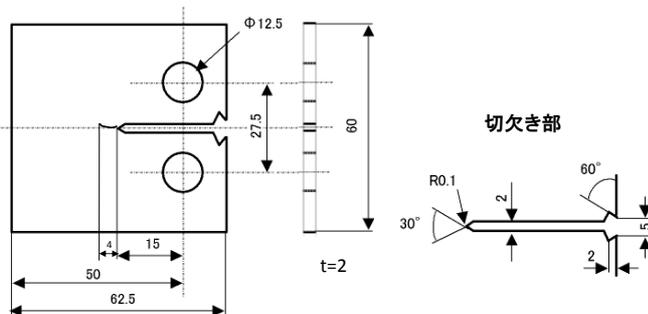


図1 CT試験片の形状 (mm)

表1 試験条件, 試験片の諸元

| | |
|----------------------|------------------------------------|
| 応力比 R (=最小応力/最大応力) | 0.05 |
| 応力拡大係数幅 ΔK | 19 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ |
| 繰返し速度 f | 11 Hz |
| 試験片 材質 | SS400 |
| ヤング率 E | 206 GPa |
| ポアソン比 ν | 0.3 |

キーワード 赤外線応力測定法, 微細粒ペースト, 疲労亀裂, 赤外線サーモグラフィ

連絡先 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500 滋賀県立大学 TEL 0749-28-8379

4. 実験結果

赤外線応力計測により得られた亀裂先端近傍の応力振幅の変化を図2に示す. 図の横軸はペーストを注入した後の载荷回数, 縦軸はペースト使用後の応力振幅をペースト使用前の応力振幅で除した値を示している. また応力振幅データは, 図2に併せて示したように, リガメント上の亀裂先端からの距離が異なる3つのエリアから抽出している. 図より, 载荷回数の増加に伴い, 応力振幅が減少していることが分かる. 既往の研究により, ペーストによる亀裂進展の抑制効果は, ペースト注入後およそ数百サイクルから数千サイクルで表れることが分かっており⁽³⁾, 今回得られた応力振幅の減少傾向は概ね妥当であると考えられる. 本手法により, ペーストによる亀裂先端近傍の応力緩和を検出できることが可視化された.

次に, 応力振幅データの取得場所に関する検討を行う. 図2より, 応力振幅の減少の割合は, 亀裂先端に近いほど大きくなっていることが分かる. 図3にペースト無しの場合とペースト有りの場合(N=3500)におけるリガメント上(亀裂の延長線上)の応力分布を示す. 図の横軸は亀裂先端からの距離, 縦軸は応力値にある係数を掛けて応力拡大係数の次元で表したものを示している. 図3より, 亀裂先端に近づくほどペースト使用前後の応力値の差が大きくなっており, また亀裂から離れた場所では両者がほぼ同程度の値を示していることが分かる. したがって, ペースト注入による応力振幅の変化は, 比較的亀裂先端に近いところで生じ, また亀裂先端に近いほど顕著に表れることが分かった. また, 試験片の板厚およびペーストの平均粒径が異なる場合においても, 本計測結果と同様の傾向が確認されている.

5. まとめ

本研究により, 赤外線応力測定法を用いることによって, 微細粒ペーストによる亀裂先端周辺の応力場の緩和効果を検出できることを確認した. 今後, 実構造物や実験室レベルの様々な実験条件において検討を行い, 本評価法の妥当性および適用性を明らかにする必要がある.

参考文献

- (1) 河本恭平ほか, 微細粒ペーストを用いた疲労き裂進展の抑制技術の開発, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM: I-445), (2010)
- (2) 河本恭平ほか, 金属材料の疲労き裂進展速度低下用粒子含有ペースト, および, そのペーストを塗布した金属材料疲労亀裂の進展抑制方法及び検出方法, 並びに, それらに用いるペースト, 特許第4852163号, (2011)
- (3) 大塚雄市ほか, 微粒子含有ペースト注入による疲労き裂進展抑制機構の実験的検討, 日本機械学会20年度年次大会講演論文集(DVD-ROM: G040046), (2012)
- (4) 佐藤京ほか, 鋼構造物に発生した疲労き裂の進展遅延化技術の効果定量化に関する検討, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM: I-262), (2012)
- (5) 佐藤基洋ほか, 赤外線応力分布計測データに基づく応力拡大係数評価の高精度化, 日本材料学会第15回破壊力学シンポジウム講演論文集, pp.374-378, (2011)

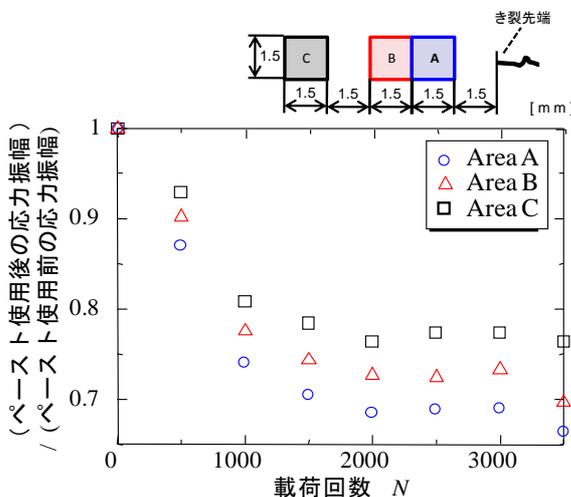


図2 ペースト塗布による応力振幅の変化

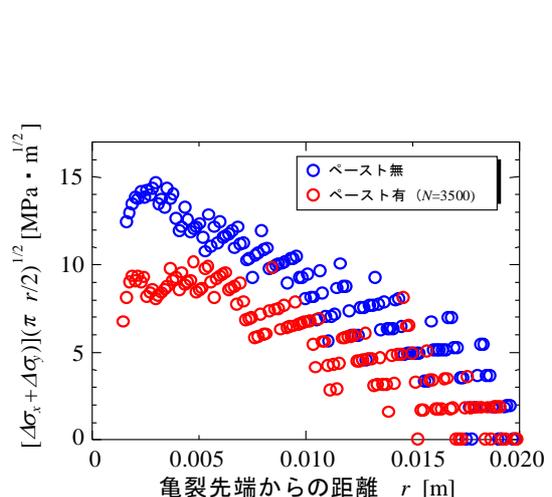


図3 リガメント上の応力分布