

温度ギャップ検出赤外線サーモグラフィ法による非貫通亀裂の検出に及ぼす亀裂開口幅の影響

滋賀県立大学
神戸大学
本州四国連絡高速道路

○正会員 和泉 遊以
正会員 阪上 隆英
正会員 溝上 善昭

滋賀県立大学
本州四国連絡高速道路

学生会員 上西 広粋
正会員 有馬 敬育

1. 緒言

鋼床版ビード亀裂を効率的に検査する方法として、温度ギャップ赤外線サーモグラフィ法（以下、温度ギャップ法とする）が開発された⁽¹⁾。温度ギャップ法は、日射により鋼床版に生じる熱の流れを亀裂の空隙が遮ることにより発生する温度差（温度ギャップ）を赤外線サーモグラフィにより検知することにより、亀裂を遠隔から非接触で検出する手法である。既往研究により、同手法が鋼床版ビード貫通亀裂の検出に有効であることが確認され⁽¹⁾、現場での実用に至った。本研究では、温度ギャップ法を鋼床版のビード非貫通亀裂の検出に適用することを目的としている。過去の研究⁽²⁾において、非貫通亀裂の開口幅が小さいときに温度ギャップが検出できにくい事象が確認されたが、亀裂開口幅が非貫通亀裂の検出性に及ぼす影響については明らかにされていない。本研究では、亀裂開口幅が異なる条件で温度ギャップ計測実験を行い、発生する温度ギャップと亀裂開口幅の関係を調べる。

2. 実験概要

実験に用いた試験片は、寸法 300mm×60mm×10mm であり、材質は SS400 である。試験片に半楕円形状の疲労亀裂を導入するため、4点曲げの疲労試験を行った。図 1 に試験片および 4点曲げ疲労試験の概要を示す。疲労試験では、試験片を図のように治具に挟み、油圧サーボ式疲労試験機により圧縮の繰り返し荷重を加え、試験片に曲げ応力を加えた。試験片には深さ 1mm、直径 1mm のドリル孔を 3 個連結した切り欠きを設けており、切り欠き部から亀裂を発生させた。疲労試験の試験周波数は 5Hz であり、応力比は 0.1 である。また、閉じた亀裂を導入するため、亀裂進展に応じて最大荷重を 7.8kN、6.9kN、5.9kN と段階的に下げて試験を行った。導入した疲労亀裂の長さ $2a$ は 34.5mm であり、深さ分布は図 2 に示す通りである。そして、静荷重により試験片を塑性変形させて亀裂を段階的に開口させ、その都度、温度ギャップ計測試験を行った。亀裂開口状態の異なる各段階における亀裂開口幅分布を図 3 に示す。

温度ギャップ計測試験では、図 4 に示すように亀裂開口部が下側になるように設置し、試験片の一端を加熱、もう一端を冷却して温度勾配を与えた。温度勾配は 0.04[K/mm]（4月～8月の日中）、0.06[K/mm]（6月のピーク時刻）および 0.08[K/mm]（より理想的な条件）とし、試験片上面の温度分布を赤外線サーモグラフィにより測定した。

3. 実験結果

亀裂開口幅の異なる場合の温度ギャップ計測試験の結果の一例を図 5(a)～(e)に示す。図は、試験片に与えた温度

キーワード 赤外線サーモグラフィ、温度ギャップ法、鋼床版、ビード亀裂、非貫通亀裂

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

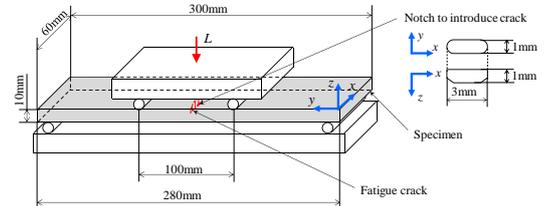


図 1 疲労試験の概要

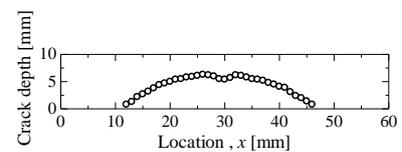


図 2 亀裂深さ分布

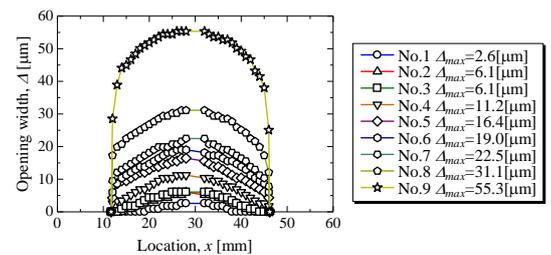


図 3 亀裂開口幅分布

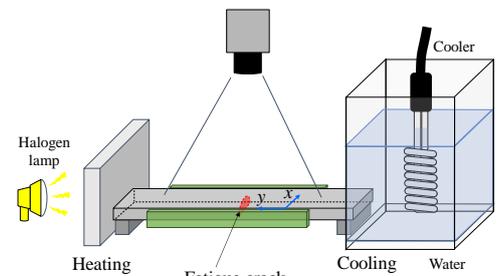
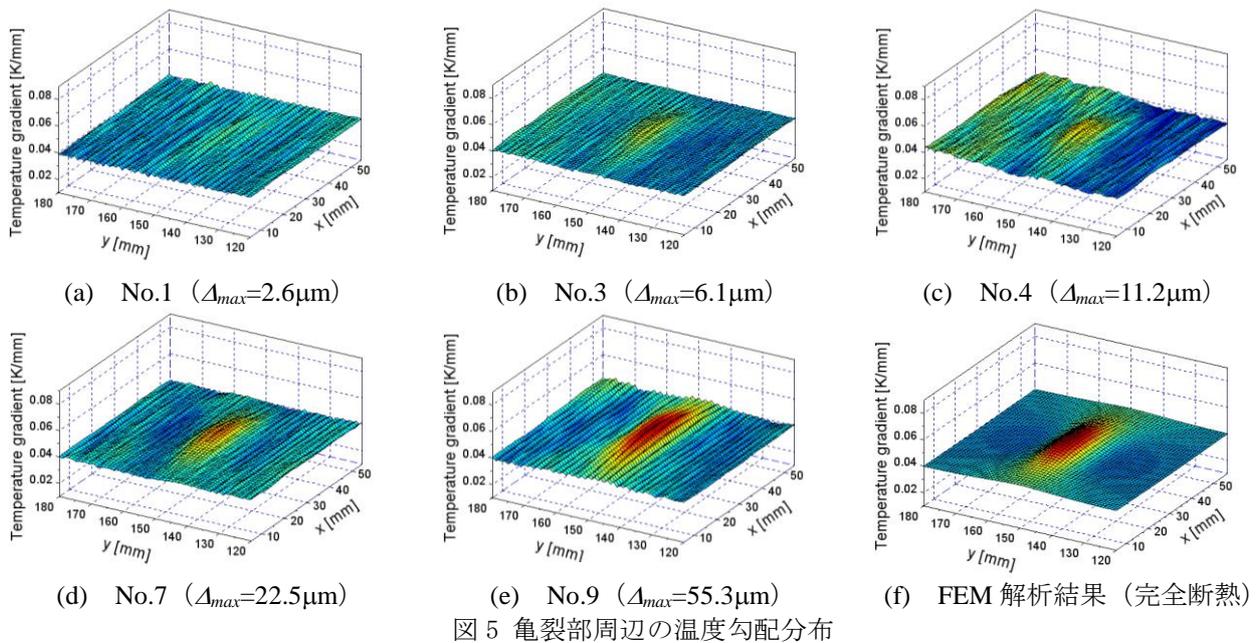


図 4 温度ギャップ計測試験の概要



勾配が $0.04[\text{K}/\text{mm}]$ のときの亀裂周辺の温度勾配分布を示している。亀裂が完全に開口している場合には、亀裂部では完全断熱の状態になると考えられる。そこで理想的な完全断熱の状態での温度勾配分布がどのようになるのかを調べるため、完全断熱を模擬した半楕円スリット (幅 1mm) を有する試験片モデルによる FEM 解析を行った。図 5(f) は FEM 解析により得られた温度勾配分布である。最も亀裂が閉じている No.1 では温度ギャップが確認できないが、No.3 ではわずかに温度ギャップが確認できる。さらに開口幅が大きくなるにしたがって、温度ギャップが大きくなっており、開口幅が大きい No.9 の結果では、完全断熱の FEM 解析の結果と同程度の温度ギャップが発生している。

温度ギャップの大きさを定量的に評価するために、亀裂部における温度勾配のピーク値 P を健全部の温度勾配の平均値 A で除した P/A を亀裂開口幅で整理した。結果を図 6 に示す。図中の黒線は FEM 解析によって得られた P/A である。図 6 より、亀裂最大開口幅 Δ_{max} が大きくなるにしたがって、亀裂部の温度ギャップ量を表す P/A が大きくなっている。これは、亀裂の開口にしたがい、亀裂面の接触面積が小さくなり、亀裂による断熱性が大きくなったためであると考えられる。また、最大開口幅が $55.3\mu\text{m}$ の実験結果では、FEM 解析の結果と同程度の温度ギャップが発生している。このことから、今回実験を行った試験片では、最大亀裂開口幅が $55\mu\text{m}$ 程度以上あれば、亀裂が内部まで開口し、理想的な断熱状態になると考えられる。

また、温度ギャップ自体は亀裂最大開口幅が $10\mu\text{m}$ 程度以上の条件で明確に現れた。検査対象となるデッキプレートと U リブの溶接ビード部では引張りの残留応力が発生しており、実際の亀裂はある程度開口していると考えられるため、温度ギャップ法によるビード非貫通亀裂の検出が十分に可能であると考えられる。

4. 結言

温度ギャップ法による非貫通亀裂の検出に及ぼす亀裂開口幅の影響を明らかにした。今後は、U リブ試験体を用いた検討を行い、本亀裂検出法のビード非貫通亀裂への有効性を詳細に検討する予定である。

参考文献

- (1) 溝上善昭, 小林義弘, 和泉遊以, 阪上隆英, 赤外線サーモグラフィを用いた温度ギャップ検知による鋼床版デッキプレート-U リブ間の溶接部に生じる疲労亀裂の遠隔検出, 鋼構造論文集, vol.22, No.87 号 (2015), pp.47-56.
- (2) 上西広稔, 和泉遊以, 阪上隆英, 溝上善昭, 森山彰, 温度ギャップ検出赤外線サーモグラフィ法による裏面亀裂の検出, 第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集 (2017), pp.1887-1888.

