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ビード亀裂の検出

滋賀県立大学	学生会員	○上西　広粋	滋賀県立大学	正会員	和泉　遊以
神戸大学	正会員	阪上　隆英	本州四国連絡高速道路	正会員	溝上　善昭
本州四国連絡高速道路	正会員	奥村　淳弘	本州四国連絡高速道路	正会員	林　昌弘

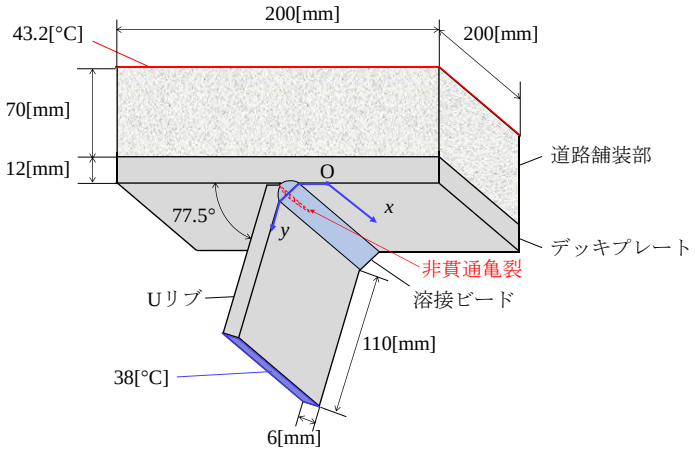
１．緒言

道路橋鋼床版におけるデッキプレートと U リブ間の溶接部では，車両通行時の繰り返し荷重を直接受けるため，疲労亀裂が発生する．このような疲労亀裂を検出するため，低コストかつ効率的な非破壊検査法として，温度ギャップ検出赤外線サーモグラフィ法（以下「温度ギャップ法」という）を提案した[1]．これは，赤外線サーモグラフィを用いて，亀裂の断熱効果により生じる温度差（温度ギャップ）を検知し，亀裂を検出する手法である．過去の研究により，溶接ビード貫通亀裂の検出に対する温度ギャップ法の有効性が示され，現場での実用に至った．

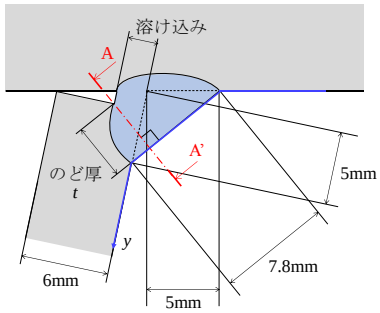
本研究では，温度ギャップ法を亀裂進展の初期段階である非貫通状態のビード亀裂に適用することを目的として，デッキプレートと U リブ間の溶接ビードに非貫通亀裂を導入したモデルに対して FEM 解析を行った．本報では，FEM 解析の結果をもとに，非貫通ビード亀裂に対する温度ギャップ法の有効性について検討した結果を示す．

２．解析方法

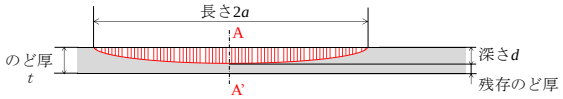
FEM 解析モデルの概要を図 1 に示す．モデルはデッキプレートと U リブの溶接部を模擬し，デッキプレートの厚さを 12mm, U リブの厚さを 6mm とした．デッキプレートと U リブおよび溶接部の材質は鋼（熱伝導率 51.6W/m･K）とした．また，その上には道路舗装部を想定して 70mm のアスファルト（熱伝導率 0.75W/m･K）を配置した．U リブでの温度勾配が 0.02K/mm（4 月~8 月相当[1]）となるように道路表面の温度を 43.2℃，U リブの溶接止端から 110mm の位置の温度を 38℃とした．溶接部の脚長は 5mm とし，ビード亀裂は溶け込み量が小さい場合に発生しやすいことから，溶け込み量はを 0mm および 2mm とした場合について解析を行った．また，亀裂は図 1(b)に示す A-A’で示す面に，U リブ側ルート部からビード表面に向かって最短距離を進展すると仮定し，その長さをのど厚 t とした．のど厚は溶け込み量 0mm の場合 2.30mm，溶け込み量 2mm の場合 3.85mm となる．こののど厚面（A-A’）に，亀裂を模擬した幅 0.1mm の半楕円状のスリットを導入した．スリットの概要を図 1(c)に示す．スリットは長さ $2a$ を 60mm，120mm とし，亀裂深さ d は各溶け込み量でののど厚 t に対する割合 d/t が 50，65，80%となるように設定した．なお，解析モデルは解析時間の短縮のため，スリットの中心面で対称となる 1/2 モデルとした．また，メッシュサイズはビード周辺を 1mm とし，解析は NX nastran の定常熱伝導解析で行った．



(a)　FEM 解析モデルの全体図



(b)　溶接ビード部分の形状



(c)　スリットの概要

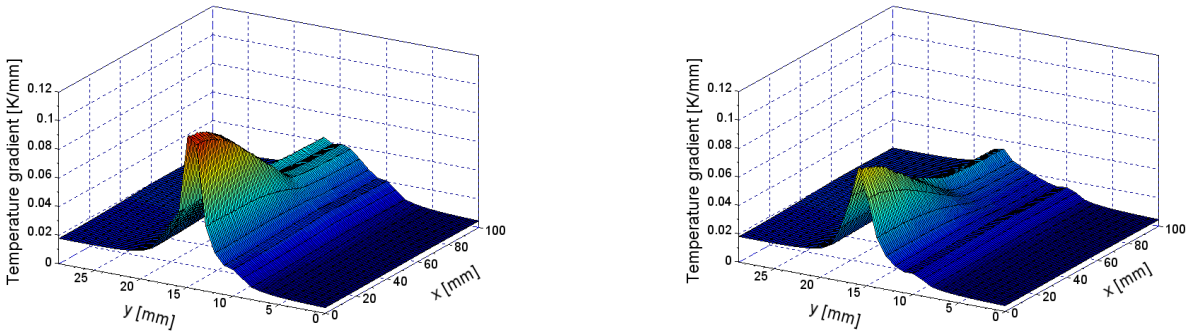
図 1　FEM 解析モデルの概要

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 0749-28-8200

３．解析結果

図 2 に溶け込み量 0mm および 2mm，2*a*=120mm，*d*/*t*=80%での解析により得られた *y* 方向（図 1(a)の O 点を基点とした鋼材表面の橋軸直角方向位置）の温度勾配分布を示す．*y* 軸の 0~10mm がデッキプレート表面，10~17.8mm がビード表面，17.8mm~が U リブ表面である．また，*x* 軸は橋軸方向位置を示している．図 2 より，非貫通亀裂部（溶け込み量 0mm のとき *y*=14.94mm，溶け込み量 2mm のとき *y*=16.19mm，*x*=0~60mm）では温度勾配が大きくなっていることがわかる．また，健全部でも，ビード表面（*y*=10mm~17.8mm）では形状の変化による熱の流れの違いにより，温度勾配が鋼板表面より大きくなっている．しかし，健全部に比べて，非貫通亀裂部ではより大きい温度ギャップが発生しており，U リブ構造でもビード非貫通亀裂の検出が可能であることがわかった．



(a)溶け込み量 0mm　　(b)溶け込み量 2mm

図 2　FEM 解析による温度勾配分布（2*a*=120mm，*d*=80%）

図 3 に残存のど厚と亀裂部の温度勾配のピーク値の関係を示す．図 3 には各溶け込み量での健全部の温度勾配のピーク値を併せて示している．図 3 より，残存のど厚が小さいほど，温度ギャップが大きくなることがわかる．また，ピーク値は亀裂が長い方が大きくなっているが，その差は残存のど厚によるものと比べて小さい．さらに，亀裂の検出性は，健全部と亀裂部の温度勾配の差が大きいほど高くなると考えられるが，平滑試験片での実験により，この差が 0.007K/mm 程度あれば温度ギャップの検出が可能であることが判明している(2)．本結果では，健全部との温度勾配の差が最も小さいもの（溶け込み量 2mm，2*a*=60mm，残存のど厚 1.92mm）でも 0.011K/mm であることから，本解析で行った条件の亀裂は十分に検出できるものと考えられる．また，溶け込み量 0mm よりも溶け込み量 2mm の方が健全部の温度勾配が小さくなっていることから，残存のど厚が同じ場合には，溶け込み量が大きい方が非貫通亀裂部と健全部の温度勾配の差が大きくなり，亀裂が検出しやすくなると考えられる．

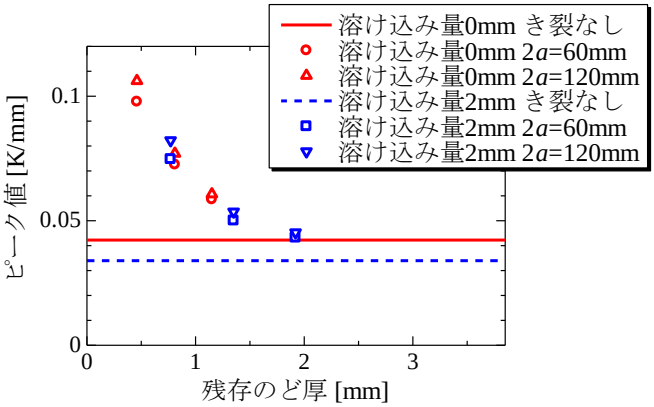


図 3　残存のど厚と温度勾配のピーク値の関係

４．結言

本解析の結果，U リブ構造でも非貫通ビード亀裂の検出が可能であることがわかった．また，温度勾配のピーク値は，残存のど厚が小さいほど大きな値となることがわかった．さらに，残存のど厚が同じ場合には，溶け込み量が大きいほど亀裂は検出しやすく，溶け込み量が 2mm（のど厚 3.85mm）の場合には，残存のど厚が 2mm 程度以下の亀裂であれば，健全部との間に十分な温度勾配の差が生じ，検出可能であると考えられる．

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)上西広粋，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.