第I部門 赤外線熱画像解析による腐食した鋼板の板厚評価

京都大学工学部 学生会員 〇井伊 健太郎 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

1. 研究背景並びに研究内容

現在,高度経済成長期に建設された多くの構造物が老朽化し,構造物の維持管理が極めて重要な課題として認 識されるようになった.特に,鋼構造に関しては,供用期間における経年劣化要因の一つに腐食が挙げられる. 腐食鋼構造物の補修・補強,もしくは撤去・再構築を検討する上で,実環境におかれた腐食構造物の残存耐荷力・ 変形能などの力学形状を評価する必要があり,その腐食形状を正確に現場で評価することが求められる.しかし, 既存の港湾構造物の防食・補修マニュアルによれば,10cm×10cmパッチ内において5点の板厚計測により平均 板厚を決定するといったガイドライン¹¹が存在するのみである.また,腐食構造物を検査する際,既存の板厚計測 方法としてマイクロメータなどによる機械式測定法や超音波計測法²¹などが存在するが計測環境や検査対象とす る構造物の特性によって検査できない場合がある.このように,腐食減肉を検出し定量評価できる非破壊検査を確 立する必要がある.そこで,多くのメリットが予測される赤外線サーモグラフィによる検査方法を提案する.

本研究では、仮想的腐食減肉を有する鋼板に熱負荷を与えた後の表面温度分布を赤外線サーモグラフィにより 計測し、この熱画像データにより減肉欠陥を非破壊検査する手法の有効性を検討した.また、汎用有限要素解析 コード ABAQUS³⁾を用いて、単純モデル化した仮想的腐食形状を有する鋼板に熱負荷を与えた後の温度変化性状 に付いて検証した.そこで、実験結果とABAQUSを用いてシミュレーション結果を検討した.

2. 熱伝導解析による腐食減肉モデルの温度変化

まず、一次元熱遷移において ABAQUS による有限要素解と計算による解を比較した. 定常熱伝導問題での計算による厳密解と ABAQUS による解を図-1 に、非定常熱伝導問題での差分法による解と ABAQUS による解を図-2 に示す. その結果、ABAQUS の要素分割数、時間増分の設定は妥当であると考えられる.

次に、様々な解析モデルに対する熱伝導解析を検証した.熱伝導問題において熱負荷を与えられた被測定物の 表面温度は、欠陥の位置、形状及び寸法を反映した局所高温部が表れる.この表面温度分布から鋼板の板厚形状 を推測するために様々な解析モデルを作成し熱負荷に対してどのような温度分布が生じるか知る必要がある.よ って解析モデルは板厚形状の異なるモデルを4種類、そして板厚変動の波数を2種類、板厚変化率を2種類変化 させ、計16パターンの解析ケースとして解析を行なった.



Kentaro II and Kunitomo SUGIURA

3. 実験の概要・結果及び解析

3.1 定常状態での実験

裏面に減肉を施した鋼板に表面から熱負荷を与え,その後の温度分布を赤外線サーモグラフィによって計測し, 裏面の腐食形状を推測することを試みる.その結果を実際の減肉と比較して赤外線サーモグラフィ法の有効性を 確認する.用いる鋼板は,寸法 300mm×300mm,厚さ 6mm の鋼板に,裏面錆びによる減肉を模擬した人工減 肉を施した.減肉形状は鋼板を横切る二種類の溝とし,左端から 90mm の位置から幅 20mm で深さ 1mm,右端 から 90mm の位置から幅 20mm で深さ 2mm の凹部である.なお,物体表面にアサヒペン社製の耐熱塗料によりつ や消し黒色塗装を施すことにより試験鋼板表面の放射率向上とその均一化を行なったため,放射率を 0.95 とした. 加熱方法は 1500W のハロゲンランプで直接照射することによる温度上昇を利用する方法とした.この際、熱遷移 が左右に均一であるようにするため,ハロゲンランプは赤外線サーモグラフィの下側に設置した.

なお,用いた赤外線サーモグラフィは NEC 三栄株式会社製のサーモトレーサ TH9100MR である.これは,最 小検知温度差 0.02℃,フレームタイム 1/60 で撮影できる.

板全面に表面熱流束を与えた解析での定常状態における温度分布では、温度差が表れた.しかし、本実験では 凹部での温度分布はほとんど発生しなかった.

3.2 非定常状態での実験

定常状態に至ると温度差が消失してしまったので,非定常状態, つまり短いフレームタイムで加熱直後の赤外線画像を撮影すること とした.用いる鋼板は先の実験で使用した鋼板と同じであるが,溝 の位置を左右反対に置いた.また,赤外線サーモグラフィも先の実 験で用いたものと同じであるが,フレームタイムを短くするので S/N 改善が行なえず,最小検知温度差は 0.06℃となる.

実験結果は、じわじわと温度差が表れ、40/60 秒後から 120/60 秒 後に明確な温度差が認められ、特に図-3の 100/60 秒後の温度差が顕 著に表れた。溝の段落ち手前に温度低下と、凹部の温度上昇が見受 けられた.これは図-4のような解析における温度上昇の時系列変化 とほぼ同じ結果である.

4. 結論及び今後の課題

解析では定常熱伝導問題,非定常熱伝導問題のどちらでも温度差 が表れたので,比較的簡便に計測できる定常熱伝導問題を扱った. しかし,満足のいく結果は得られなかった.よって,実験を再試行 し非定常熱伝導問題を前提に短いフレームタイムで計測を行なった. その結果,解析通りの値となり,温度差が表れて減肉部を推定できた.



図-3 加熱後 100/60s の温度分布



今回の実験では、熱負荷の与える方法はハロゲンランプによる一定熱負荷を用いたが、パルス状熱負荷や移動 熱源による熱負荷など様々な方法が有効であるか試す必要がある.また、小さい腐食減肉部の局所的高温部は短 時間で消失し、その高温部も周囲の温度とは微小な変化しか見られないので、その違いを検知できる高性能な赤 外線サーモカメラが求められる.

(参考文献)

- (1)(財)沿岸開発技術研究センター:港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(改訂版), pp.239-240, 1993.4
- (2) 土木学会・鋼構造委員会,鋼構造の残存耐荷性能評価と耐久性向上方策研究小委員会:腐食した鋼構造物の残存性能評価および性能回復技術,2007.5
- (3) Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc : Standard User's Manual Volume I III Version 6.3, 2002.