

塗膜剥離用高周波誘導加熱のシミュレーションモデルの構築

大阪大学大学院 工学研究科 学生員 ○桐畑 光生
 大阪大学大学院 工学研究科 正会員 廣畑 幹人
 日本橋梁 フェロー会員 小西 日出幸

1. はじめに

防食塗装の更新は鋼橋の維持管理，長寿命化における重要課題であり，防食塗装の更新工事では劣化した旧塗膜を効率的に除去する技術が要求される．本研究では，既存の動力工具や有機溶剤を用いた方法に比べ，効率性や環境負荷低減，火気への配慮の観点から有用性が認められている高周波誘導加熱(IH)による塗膜剥離技術に注目する．この技術では，塗膜剥離対象とする鋼材に近接させたコイルに電流を印加し，磁界を発生させることで，鋼材に渦電流を発生させる．渦電流に対する鋼材自身の抵抗発熱による金属の膨張と，塗膜の付着力低下により，スクレーパーで塗膜を容易に剥離することができる¹⁾．しかし，IH装置では鋼材を急速かつ局所的に加熱するため，施工条件によっては変形，応力が生じる．過剰な変形，応力の発生を抑制するための適切な施工条件の確立が必要とされている．本研究では，施工条件の選定を効率的に行うため，塗膜剥離用高周波誘導加熱のシミュレーションモデルの構築を目的とする．

2. 鋼板供試体の加熱実験

図-1に示す鋼板供試体を用いて，IH装置による加熱実験を実施した．供試鋼材はSS400であり，板厚は9mmである．目標加熱温度は150℃～250℃とした²⁾．供試体の表面，裏面に2つずつ熱電対を取り付けた．また，鋼板の端部に治具を取り付け，標点距離100mmまたは150mmの間の変位を標点距離で除することでひずみを計測した．なお，鋼板と治具の間の熱伝達を遮断するため，断熱材を使用した．

3. 熱弾塑性解析による加熱実験のシミュレーション

有限要素法に基づく熱弾塑性解析により，加熱実験をシミュレーションした．4節点シェル要素を使用し，供試体の対称性を考慮してハーフモデルを作成した．メッシュサイズは5mm×5mmである．材料の機械的性質および物理定数の温度依存性は既往の文献³⁾を参照して決定した．熱的境界条件として空気中への熱伝達を考慮し，力学的境界条件として剛体の運動のみ拘束した．IH装置の走行を考慮し，入熱位置を5mmずつ逐次移動させ表面熱流束により入熱を再現した．熱流束の大きさは実験結果を再現できるよう試行錯誤的に決定した．

実験と解析による温度履歴を図-2に，ひずみ履歴を図-3に示す．温度履歴については実験結果を概ね再現することができた．ひずみ履歴については実験と解析による膨張ひずみに60μ程度の差が生じたが，この理由として，断熱材による鋼板と治具の間のすべりの影響が考えられる．解析の精度に改善の余地はあるが，入熱による鋼板の膨張挙動を概ね再現できたものとし，この解析手法を本研究の基準とする．

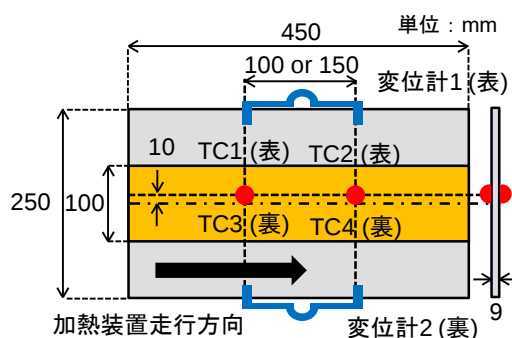


図-1 鋼板供試体

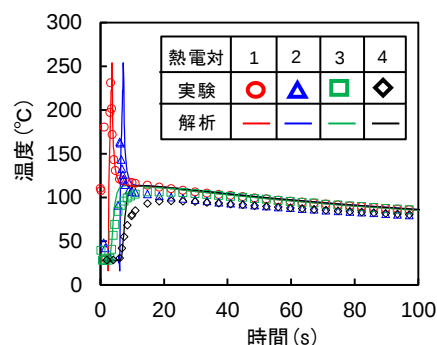


図-2 温度履歴

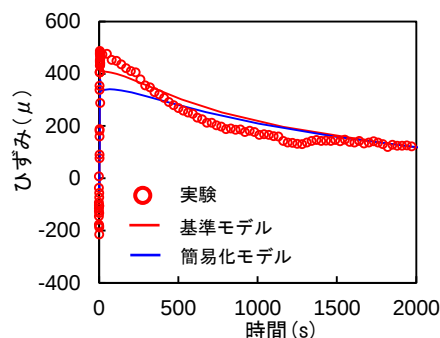


図-3 ひずみ履歴

キーワード 鋼橋，維持管理，防食塗装，高周波誘導加熱，熱弾塑性解析

連絡先 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学工学部 S1-525 TEL 06-6879-7598

4. シミュレーションの簡易化に関する検討

基準となるモデルでは熱源移動や細かいメッシュ分割により解析に長時間を要することから、シミュレーションの簡易化について検討した。10mm×10mm メッシュを用い、入熱位置を 50mm ずつ逐次移動させる簡易化モデルを構築した。基準モデルに比べ、簡易化モデルの最高温度は 12%程度低下した。基準モデルと比較したひずみ履歴を図-3 に示す。基準モデルに比べ簡易化モデルの膨張ひずみは 20%程度減少したが、残留ひずみは概ね一致した。この簡易化により、基準モデルに比べ解析時間は約 85%短くなった。

5. プレートガーダーウェブの塗膜剥離施工のシミュレーション

4. で構築した簡易化モデルを基本として、インダクションヘッドの幅が 180mm の加熱装置を用いた入熱を想定し、プレートガーダーウェブの塗膜剥離施工をシミュレーションした。ここでは、2 種類の入熱方法(図-4)について比較を行った。1 本目の加熱線を走行した後、連続して隣接する加熱線を走行する条件を連続入熱と称す。連続入熱では加熱線が隣接することで高温になりやすくなると考え、その対策として、1 本目の加熱線を走行した後、5 本目までの加熱線を 180mm の間隔を設けて走行し、十分な冷却時間を設けた後、6 本目から 10 本目までの加熱線を同様に走行する条件(不連続入熱と称す)を検討した。加熱終了から 1000 秒後の温度分布を図-5 に示す。連続入熱が不連続入熱より温度が低下しにくく、施工者の作業安全性を考えると連続入熱の場合は、さらに冷却時間を要する可能性が考えられる。冷却後の x=910mm(緑線)における面外変形を図-6 に示す。連続入熱と不連続入熱では面外変形のモードが大きく異なり、連続入熱の最大面外変形は不連続入熱の場合の 8 倍程度となった。面外変形の観点からも不連続入熱が連続入熱よりも優位となる可能性を結果は示唆している。

6. まとめ

高周波誘導加熱装置を用いた塗膜剥離施工のシミュレーションモデルを構築するための一連の検討を実施した。精度に改善の余地はあるものの、加熱による温度変化およびひずみ挙動の傾向を把握するツールとして利用できる手法を提案した。このモデルを用いて実橋梁における塗膜剥離施工のシミュレーションを実施し、温度および変形の観点から効果的な施工方法を提案した。

参考文献

- 1)小西日出行・鈴木直人・田中正裕・廣畑幹人：許田高架橋補修における IH 装置による塗膜剥離工法の適用，橋梁と基礎，2017-7，pp14-20，2017.
- 2)中村将章：鋼橋の塗膜剥離における高周波誘導加熱の適用性検証，名古屋大学修士，2018.
- 3) 中川弘文・鈴木弘之：鋼橋の崩壊温度，鋼構造論文集，第 6 巻，22 号，pp57-65，1999.

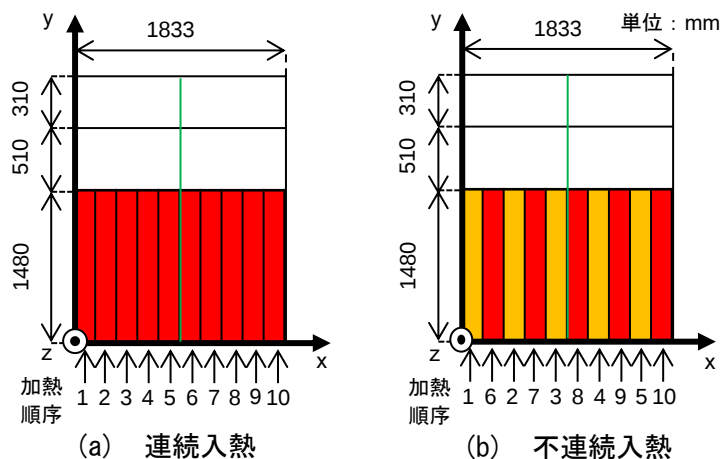


図-4 入熱方法

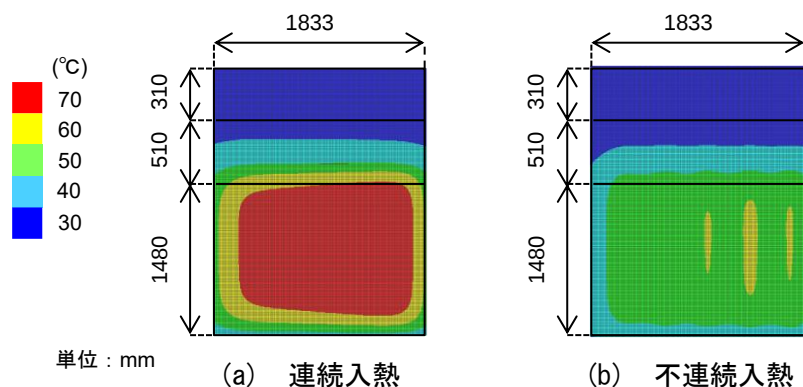


図-5 温度分布

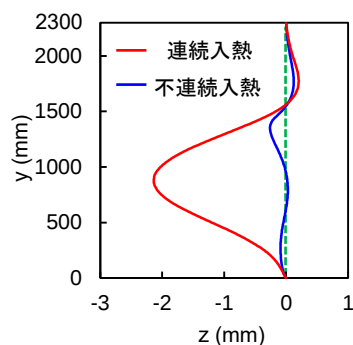


図-6 面外変形のモード(y 方向)