第Ⅰ部門　　局所加熱による鋼橋ソールプレート溶接部の残留応力低減に関する基礎的検討

大阪大学大学院工学研究科　　学生員　○遠藤　愛巳
大阪大学大学院工学研究科　　正会員　　廣畑　幹人

1．はじめに

鋼橋における疲労損傷発生箇所の一つとして，ソールプレートと下フランジのすみ肉溶接部が挙げられる[1]．この構造では，すみ肉溶接前縁の止端部だけでなく，ルート部からの疲労き裂発生事例も比較的多く報告されている．ルート部から発生するき裂に対しては，仕上げやピーニングなどの機械的処理が適用できないため，ルート部にも適用可能な疲労き裂予防技術の確立が求められている．

著者らは，高周波誘導加熱装置を用いた局所加熱により，溶接部の残留応力を低減する技術に関する一連の検討を実施している[2]．この技術は，疲労耐久性向上を目的に，溶接部近傍を比較的低温（350 ℃程度），短時間（40秒程度）で加熱し，加熱部の膨張および収縮挙動を利用して溶接残留応力の状態を改善するものである．本稿では，高周波誘導加熱装置を用いた局所加熱により，ソールプレート溶接部の残留応力低減が可能か否かを検討するための基礎的実験およびシミュレーションを実施した結果を報告する．

2．実験供試体および局所加熱実験

本実験に使用した供試体の形状および寸法を**図-1** に示す．鋼橋の下フランジとソールプレートの溶接部を模擬したものであり，SM400A（降伏応力：301 N/mm^2，引張強度：440 N/mm^2，板厚 9 mm）のフランジと，SM400A（降伏応力：306 N/mm^2，引張強度：445 N/mm^2，板厚 22 mm）のソールプレートを CO_2 半自動溶接で接合した．溶接条件は電流 280 A，電圧 30 V，平均溶接速度 4.2 mm/s である．なお，溶接および局所加熱を施した後，板曲げ振動疲労実験に供することを想定し，下フランジには疲労実験装置のジグに固定するための孔を設けている．

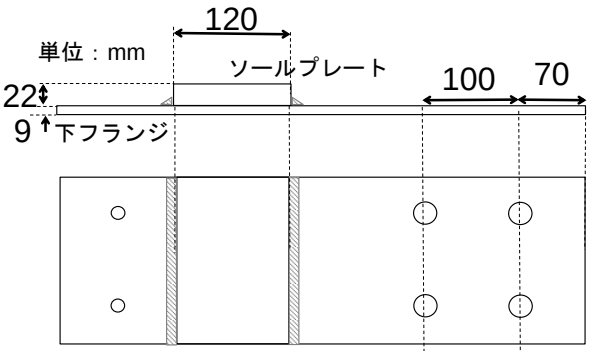

図-1　実験供試体

高周波誘導加熱装置を用いて局所加熱実験を行った．既往の研究[2]では，高周波誘導加熱装置を用いた局所的な急速加熱により供試体に熱膨張を生じさせ，この熱膨張を加熱部周辺の低温領域に拘束させることで圧縮応力を導入する方法を提案している．これを参考に，目標加熱温度を 350 ℃，加熱時間を 35 秒とした．**図-2** に示すように加熱領域に熱電対を配置し，溶接線に沿って溶接部前縁を幅方向に一様に加熱した．供試体幅方向中心の熱電対（TC3）の温度を監視しながら，この位置の測定温度が目標温度（350 ℃）に到達するまで加熱し，その後供試体を室温まで自然冷却した．温度履歴を**図-3** にプロットで示す．温度制御点 TC3 は，最高温度が 350 ℃程度であった．しかし，端部の TC1，TC5 では最高温度が 350℃を大きく上回った．これは，高周波誘導加熱装置の性質上，中央部に比べて端部近傍の誘導電流密度が高くなり，中央部に比べて端部の温度が大きく上昇したためと考えられる．

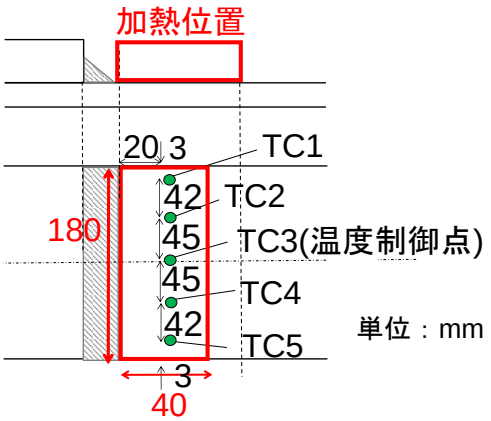

図-2　加熱領域と熱電対位置

Manami ENDO and Mikihito HIROHATA
m-endo@civil.eng.osaka-u.ac.jp

局所加熱による残留応力の変状を確認するため，X 線回折法により溶接ままと局所加熱した供試体それぞれについて溶接線直交方向の応力を測定した結果を**図-4** にプロットで示す．局所加熱により，止端部からの距離が 5 mm の位置では 40 MPa 程度，15 mm の位置では 50 MPa 程度の応力の上昇が見られた．まわし溶接部を対象とした既往の実験[2)]では，まわし溶接部を取り囲むように複数回の加熱を実施することで，残留応力の低減効果が確認された．一方，加熱領域が幅方向に長い本実験の条件では，溶接部近傍を加熱した際，熱膨張を拘束する効果が小さいため加熱領域には圧縮応力が導入されなかったと考えられる．

3．熱弾塑性解析によるシミュレーション

有限要素法に基づく熱弾塑性解析により，溶接および局所加熱のシミュレーションを行った．局所加熱の温度履歴を再現した結果を**図-3** に実線で示す．温度制御点 TC3 の実験結果と一致するように解析の入熱量を調整した．しかし，解析では加熱領域全体に一様に入熱しているため，端部の TC1，TC5 の温度は実験に比べ解析の方が低くなった．温度履歴の再現性が低いため，残留応力（**図-4** 中の実線）についても実験結果を再現できていない．ただし，本解析の結果では，加熱なしに比べ加熱ありでは，全体的に残留応力が低下している．すなわち，解析のように幅方向に一様に加熱することが実験でも可能であれば，止端側，ルート側を含め残留応力が低下する可能性が示唆された．

4．まとめ

(1) ソールプレート溶接部の疲労き裂予防技術として，局所加熱の適用を検討した．高周波誘導加熱装置を用い，フランジの溶接止端部前縁の領域を幅方向に一様に加熱した．幅方向中央が目標温度（350 ℃）に達した時，端部近傍は目標温度を大きく超過した．これは，中央部に比べて端部近傍の誘導電流密度が大きくなったためと推察される．

(2) 局所加熱した供試体の止端部近傍の残留応力は，溶接ままの状態に比べ上昇する傾向が確認された．供試体幅方向に一様に加熱した本実験の条件では，加熱時の熱膨張を拘束する効果が小さいため，加熱領域近傍に圧縮応力が導入されなかったと考えられる．熱弾塑性解析によるシミュレーションの結果によれば，幅方向に一様に加熱する状態を実現できれば，止端部およびルート部近傍の残留応力が溶接ままの状態に比べ低下する可能性が示唆された．

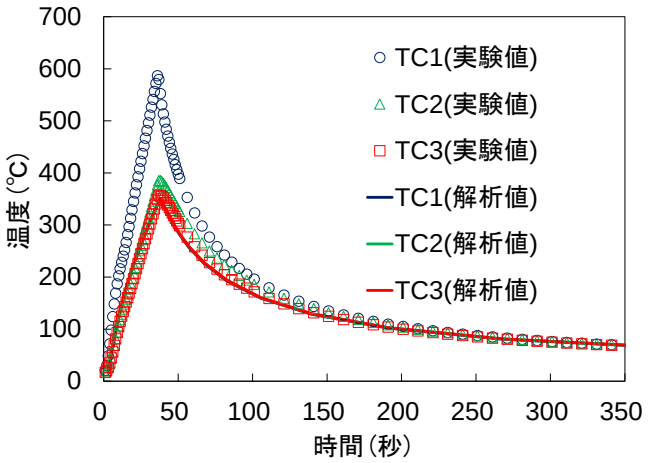

図-3　局所加熱温度履歴

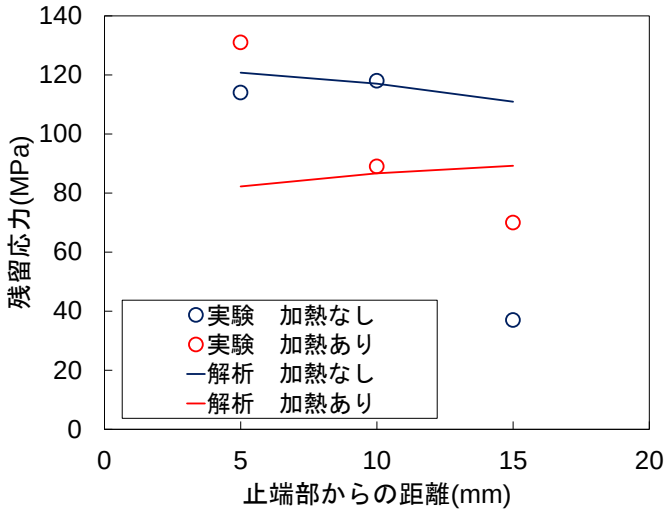

図-4　残留応力

参考文献

1) 館石和雄，名取暢，三木千寿：プレートガーダー支承部の疲労損傷とそのディテール改良に関する研究，土木学会論文集，No. 489/I-27，pp. 167-176，1994. 4

2) 廣畑幹人，Aung May Phyo，阿二一慶：高周波誘導加熱装置を用いた局所加熱によるすみ肉まわし溶接継手の残留応力低減，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol. 76, No. 1, pp. 29-40, 2020. 1