

リベット継手に生じる残留応力の特徴

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○末廣 大地
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 廣畑 幹人
 西日本旅客鉄道 正会員 中山 太士

1. はじめに

高力ボルト接合や溶接接合の技術が確立する以前には、橋梁の鋼部材や鋼板を用いた組み立てにはリベット接合が主に使用されていた。リベット接合が用いられている高齡橋梁の多くはその外観や技術的な特徴から歴史的価値が認められており、維持管理および保存の重要性が認識されている。このような高齡橋梁の保存においては、損傷したリベットを除去し、新たなリベットを打設する補修が想定される。既存の構造物に対して補修のためにリベットを打設する際、打設時の入熱により部材が膨張、収縮し残留応力が発生するが、リベット部材の耐荷性能に及ぼす残留応力の影響については不明な点が多々ある。本研究では、リベット打設により生じる残留応力を応力弛緩法により測定した。さらに、熱弾塑性解析モデルを作製し、リベット継手に生じる残留応力の特徴を明らかにするための一連の検討を実施した。

2. 実験概要

2.1. 温度履歴

図-1 に示す鋼板供試体を用いてリベット打設実験を実施した。板厚 9mm の SM400A を 2 枚重ね、中央に設けた直径 23.5mm の孔にリベットを挿入し接合した。図-1 に示すように供試体の表面に熱電対を 4 つ取り付け、リベット打設時に測定した温度履歴を図-2 に示す。また、打設時に赤外線カメラにより別途測定した供試体 3 体のリベット本体の最高温度はそれぞれ 1054, 1026, 1134°C であった。

2.2. 残留応力測定

リベット打設後の供試体に対し、応力弛緩法を用いて残留応力を測定した。残留応力は、直交する二方向(1 および 2 方向)の解放ひずみ ε_1 , ε_2 から、次式(1), (2)によって算出される²⁾。

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) \quad (2)$$

ここに、 E はヤング係数、 ν はポアソン比を表す。得られた応力値(各位置に対し 4 個の平均値および標準偏差)を図-3 に示す。なお、リベット孔に対して径方向を 1、周方向を 2 とした。残留応力の傾向は、径方向は引張、周方向は圧縮であり、リベット孔から遠ざかるにつれ残留応力の大きさが減少することが確認された。

3. 熱弾塑性解析

3.1. リベット打設における熱伝達のモデル化

有限要素法に基づく熱弾塑性解析により、リベット打設実験をシミュレーションした。作製した解析モデル(1/8 対称モデル)を図-4 に示す。

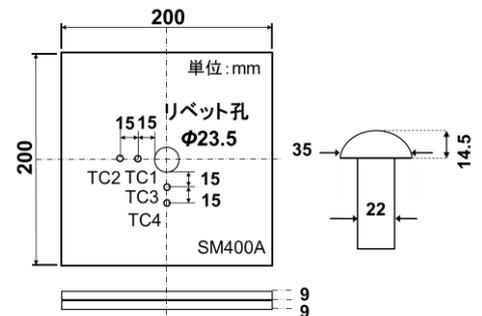


図-1 実験供試体

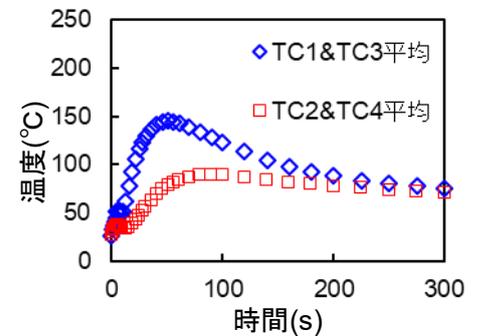


図-2 温度履歴

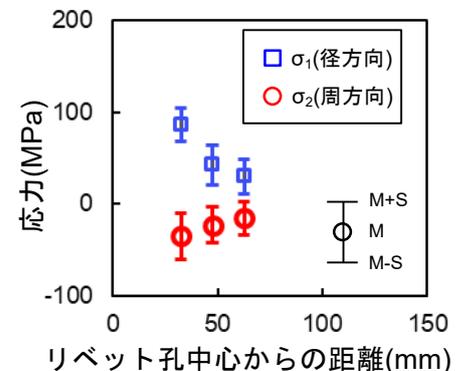


図-3 残留応力測定結果

キーワード 鋼橋, 維持管理, 継手, リベット, 残留応力

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7598

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は剛体の運動のみを拘束した。なお、本研究ではリベットと鋼板の間の接触状態を理想化し、リベットと鋼板を連続体としてモデルを作製した。このため、式(3)に示すようにリベットと鋼板の境界部の熱伝導率 λ_b を一般部(図-4 参照)の熱伝導率 λ_g より低減させることで、リベットと鋼板の間の接触熱伝達を考慮した。

$$\lambda_b = \alpha \lambda_g \quad (0 < \alpha \leq 1) \quad (3)$$

リベットに該当する入熱部の温度が実測されたリベットの最高温度となるように調整し入熱した。解析により得られたTC1およびTC3の温度履歴を図-5に示す。 $\alpha = 10^{-3}$ とすることで実験の温度履歴を概ね再現することができた。

3.2. リベット打設の力学的モデル化

リベットと鋼板を連続とした本モデルを用いて、リベット打設により生じる残留応力を再現するには、リベットと鋼板の境界部の力学的な取扱いを考慮する必要がある。リベットは、打設後に徐々に冷却され収縮する。鋼板はリベットからの入熱を受け膨張し、最高温度に達した後、冷却により収縮する。この際、リベットと鋼板は実際には不連続であるため、お互いに拘束しない。リベットと鋼板を連続とした解析モデルでは冷却過程における収縮の拘束が過剰になるため、式(4)に示すように境界部(図-4 参照)のヤング率 E_b を一般部のヤング率 E_g より低減させることでリベットと鋼板に生じる収縮の拘束を緩和するように考慮した。

$$E_b = \beta E_g \quad (0 < \beta \leq 1) \quad (4)$$

周方向の残留応力解析結果を図-6に示す。 $\beta = 10^{-2}$ とすることで実験結果を概ね再現することができた。

4. まとめ

熱弾塑性解析において、リベットと鋼板の境界部における熱的、力学的な取扱いを考慮する手法を考案し、実験の温度履歴と残留応力分布を概ね再現した。また、実験および解析結果の残留応力分布から、リベット孔に対して径方向には引張応力、周方向には圧縮応力が生じることを明らかにした。径方向はリベット孔の中心から20mm付近で最大値のおよそ135MPaをとり、周方向は25mm付近で最大値のおよそ102MPaをとることを示した。

本検討では、リベット一本のみの単純な継手モデルを対象としたが、実際のリベットを使用した組立部材や継手部は、多数のリベットによって構成されている。今後は、そのような複数本のリベットを用いた組立部材や継手部において、リベット部材に生じる残留応力の検討を行う必要がある。

参考文献：1)鋼構造委員会 歴史的鋼橋の補修・補強に関する調査小委員会，歴史的鋼橋の補修・補強マニュアル，土木学会，2006.11. 2)渡辺正紀，佐藤邦彦：溶接力学とその応用，朝倉書店，p.332，1965. 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，pp.57-65，1999.

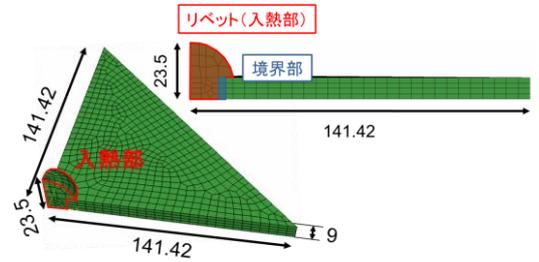


図-4 解析モデル

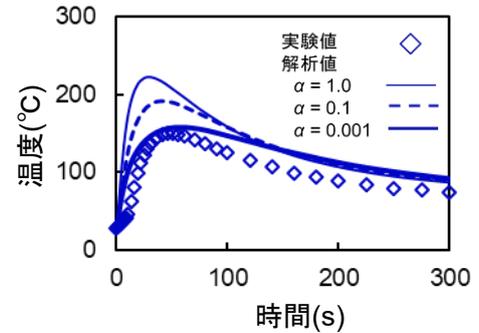


図-5 温度履歴

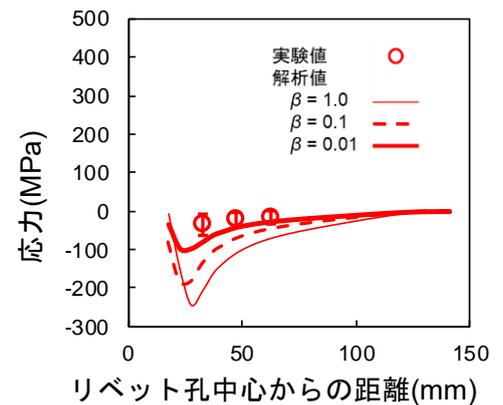


図-6 残留応力解析結果