

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820184

研究課題名(和文)簡易熱源を用いた局所熱処理による鋼橋溶接部の耐疲労性向上に関する研究

研究課題名(英文) Fatigue durability improvement of welded parts of steel bridges by local heat treatment with portable heat source

研究代表者

廣畑 幹人 (HIROHATA, Mikihiro)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50565140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な三次元形状を有する鋼橋の溶接部に対し、溶接残留応力の低減により疲労寿命を向上させることを目的に、小型で簡易な熱源を用いた局所熱処理技術を開発した。疲労損傷が多く報告されているUリブ鋼床版を模擬した供試体を対象に、簡易熱源による熱処理実験を行い、熱処理プロセスを熱弾塑性解析によりシミュレーションする方法を構築した。簡易熱源を用いた熱処理により、溶接部の残留応力が約80%低減されることを確認した。また、熱弾塑性解析シミュレーションにより、熱処理時の省エネルギーが可能になる断熱方法を提案した。疲労試験を行い、熱処理した供試体は作用応力範囲が低い場合に疲労寿命の向上効果が得られることを示した。

研究成果の概要(英文)：In order to improve fatigue durability of welded parts of steel bridges with complicated geometric 3-dimensional shapes, a technique of local heat treatment with a portable heat source was developed. A series of experiment was carried out on specimens modeled a steel plate deck with U-shaped rib, in which a lot of fatigue damages are reported. A thermal elastic-plastic analysis method was investigated for simulating the heat treatment process. It was confirmed that the welding residual stress was reduced by 80% through the heat treatment. Furthermore, a method for saving heat energy during the heat treatment was proposed. It was shown that the fatigue durability was improved by the heat treatment under the condition of relatively low applied stress level.

研究分野：構造工学

キーワード：鋼橋 溶接 熱処理 疲労 残留応力

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

建設から長い年月が経過し老朽化した構造物の数が増加してきており、補修補強によりこれらの構造物を適切に維持管理していくことが重要となってきた。鋼橋の場合、疲労損傷が問題となることが多いが、疲労損傷が発生するのは主として溶接接合部である。溶接による部材の製作段階では、残留応力除去焼鈍などの溶接後熱処理が実施されるが、橋梁用の部材は大型であるため、通常加熱炉を使用することができない。既設鋼橋の点検で検出された疲労損傷を現場で補修溶接した場合、その溶接部に熱処理を行うことは困難である。新設橋あるいは既設橋の補修のいずれにおいても、大型で複雑な形状を有する鋼橋の溶接部に対する熱処理技術は確立されていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、大型で複雑な形状を有する鋼橋の溶接部に対してピンポイントで局所的に熱処理が行えるように、小型で簡易な熱源を用い、溶接部の残留応力制御する技術の開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では実験に加えて、有限要素法による非定常三次元熱伝導解析ならびに三次元熱弾塑性解析を行う。どのような熱源を用いて、どの部分をどの程度加熱し、どのように冷却すればよいかを実験と解析を通して明らかにする。また、熱処理による耐疲労性の向上効果を疲労試験により定量的に検証する。

4. 研究成果

Uリブ鋼床版を模擬した供試体(図-1)を対象に、熱処理を行うための簡易熱源として図-2に示すシート状セラミックヒーター<sup>1)</sup>を選定した。

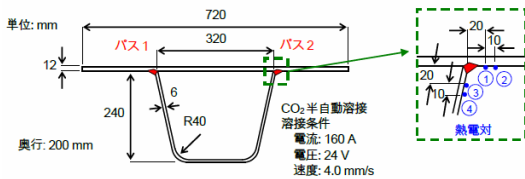


図-1 実験供試体

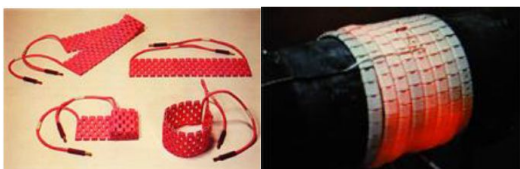


図-2 シート状セラミックヒーター<sup>1)</sup>

セラミックヒーターを用いて熱処理では、Uリブ内部は加熱および断熱せずにデッキプレート表面にヒーターを設置して加熱する

方法を検討した。溶接止端から 20mm 離れた位置のデッキプレート表面に熱電対を取付け、JIS Z 3700 に規定される熱処理条件に準拠して温度管理を行った。得られた温度履歴を図-3 に示す。

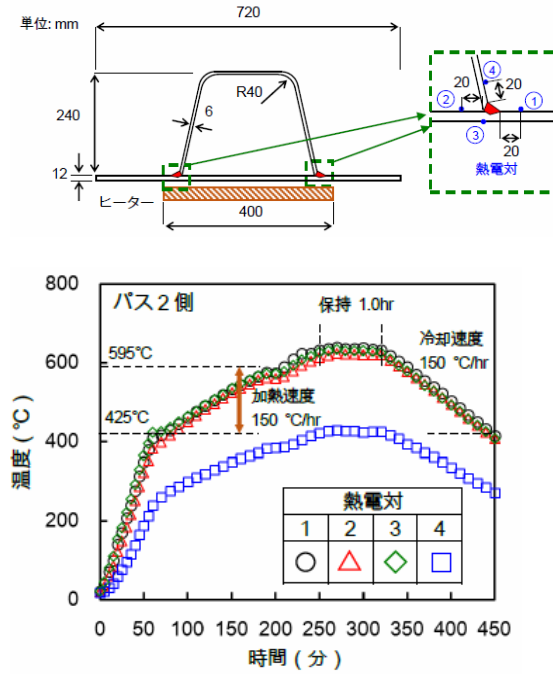
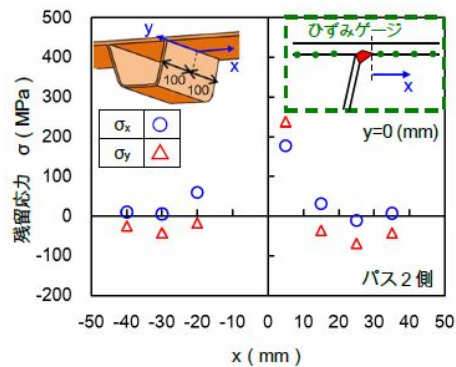
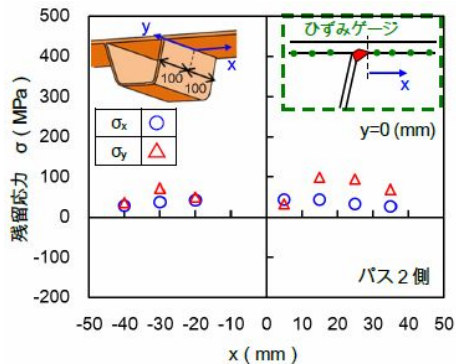


図-3 熱処理中の温度履歴



(a) 熱処理前の残留応力



(b) 熱処理後の残留応力

図-4 熱処理前後の応力分布の変化

デッキプレートにおいては熱処理に要求される規定を満たす温度履歴を制御することができたが、リブについては温度が十分に上昇しなかった。熱処理前後の供試体に対し、応力弛緩法により残留応力を測定した結果を図-4に示す。溶接線直交方向の応力成分は熱処理により緩和された。溶接線方向の応力成分は、溶接部近傍では緩和されたが、溶接部から離れた位置では熱処理前よりもやや応力が大きくなっていった。

この熱処理実験を再現するため、図-5に示す熱弾塑性解析シミュレーションモデルを構築し、溶接で生じる残留応力および熱処理による残留応力の緩和挙動を模擬する手法を構築した。

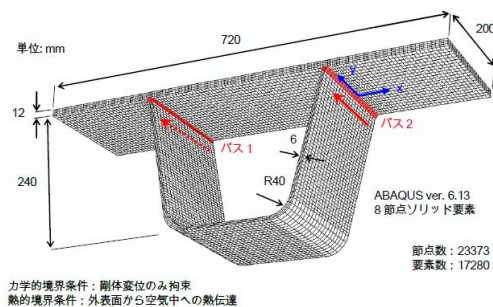


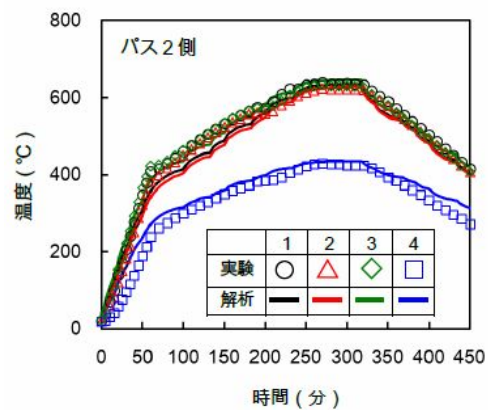
図-5 熱弾塑性解析モデル

解析では、セラミックヒーターからの入熱を表面熱流束として与え、機械的性質の温度依存性、高温クリープ特性を考慮し、加熱冷却に伴う応力の変化の挙動をシミュレーションした。図-6に示すように、熱処理中の温度履歴および熱処理による応力の変化を再現することができた。

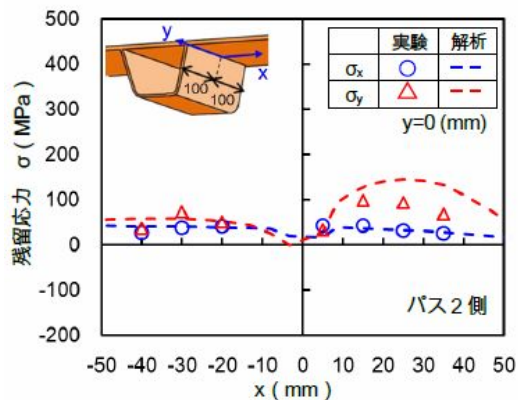
さらに、溶接線方向の応力成分が、溶接部から離れた位置では熱処理前よりもやや大きくなるという問題に対し、これを解決するための加熱方法を検討した。すなわち、供試体の外表面だけでなくトラフリップの内側にも断熱材を設置することを想定しシミュレーションを実施した。この方法により、デッキプレートとトラフリップ側面の温度差が小さくなり、熱処理後の残留応力は、溶接止端部から15~30mm程度離れた位置における溶接線方向の応力成分が40MPa程度に抑制された。また、図-7に示すように、リブの内部に断熱材を設置した場合は、断熱材を設置しない場合に比べ熱処理中の入熱量が約46%に低減されることが分かった。リブの内部に断熱材を挿入することができれば、残留応力低減と熱処理時の省エネルギーの双方の観点から有利となることを結果は示唆している。

最後に、熱処理前後の供試体を用いて4点曲げ疲労試験を実施し、熱処理による耐疲労性の向上効果を検証した。疲労試験の結果を図-8に示す。疲労試験では、溶接止端部とルート部のいずれかからき裂が発生した。本実験では、作用応力範囲の比較的高い領域(120MPa以上)では熱処理による耐疲労性の向上効果が確認されなかったが、作用応力範

囲が比較的低い場合(120MPa未満)では、熱処理による耐疲労性の向上効果が得られた。この領域では、熱処理しない供試体に比べ熱処理を施した供試体の疲労寿命が3~4倍程度となった。作用応力範囲が大きい場合、残留応力の緩和により平均応力を低減させても疲労寿命の向上効果は得られない。作用応力範囲を考慮し、残留応力の緩和による疲労寿命の改善効果が得られるか否か検討した上で、熱処理の適用を判断する必要がある。



(a) 熱処理中の温度履歴の再現結果



(b) 熱処理後の残留応力の再現結果

図-6 熱弾塑性解析結果

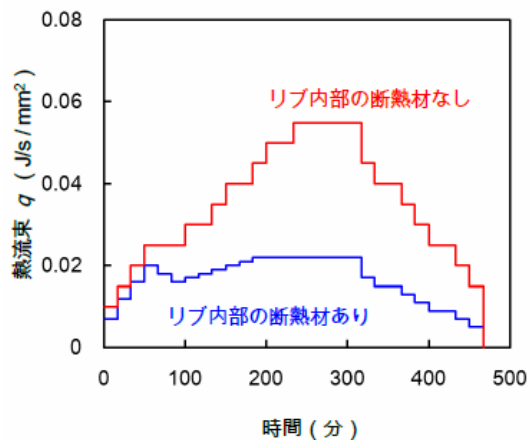


図-7 断熱材の有無による熱流束の比較

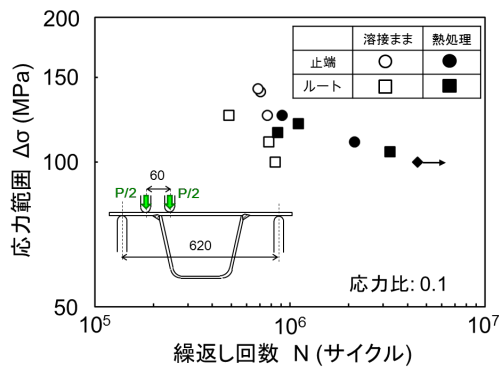


図-8 疲労試験結果

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし

<引用文献>

1) ジェミックス株式会社ホームページ：  
<http://www.jemix.co.jp/>

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

廣畑幹人、伊藤義人：トラフリブ溶接部の残留応力緩和に対する簡易熱源による熱処理の適用性検討，構造工学論文集，Vol.62A，pp.1168-1179，2016.3.(査読有)

〔学会発表〕(計 3 件)

廣畑幹人、伊藤義人：熱処理による溶接残留応力の低減がUリブ鋼床版の耐疲労性に及ぼす影響，溶接学会平成28年度春季全国大会，306，pp.102-103，2016.4.

HIROHATA Mikihito and ITOH Yoshito：Residual Stress Release of Steel Plate Deck with Trough Rib by Portable Heat Source, The 68<sup>th</sup> Annual Assembly and International Conference on Welding, International Institute of Welding (IIW), XV-1490-15, Helsinki, Finland, 2015.6.

廣畑幹人、伊藤義人：Uリブ鋼床版の溶接残留応力除去に対する簡易熱源による熱処理の適用性検討，溶接学会平成27年度秋季全国大会，424，pp.408-409，2015.9.

〔図書〕(計 0 件)

なし

〔産業財産権〕(計 0 件)

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

廣畑 幹人 (HIROHATA, Mikihito)  
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：50565140