

令和 6 年 5 月 2 日現在

機関番号： 14401
研究種目： 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））
研究期間： 2020～2023
課題番号： 19KK0366
研究課題名（和文）道路橋鋼床版の狭隘溶接部における耐疲労性向上技術の実用展開と施工プロセス最適化

研究課題名（英文）Practical application and construction process optimization of technology for improving fatigue resistance of narrow welds in steel plate decks of highway bridges

研究代表者
廣畑 幹人（Hirohata, Mikihiro）

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号： 50565140
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,200,000円
渡航期間： 7ヶ月

研究成果の概要（和文）：本研究では、道路橋鋼床版における狭隘な構造の溶接部に対し、申請者が開発した局所加熱による残留応力低減を利用した耐疲労性向上を適用するための研究を国際共同体制で実施した。本技術を実用展開するために有用な、施工プロセスの最適化、経済的観点からのアプローチについて、ハンガリー、ミシユコルツ大学のJarmai教授の協力を得て研究を進めた。また、疲労耐久性を合理的に評価する手法について、韓国、ソウル中央大学のChang教授の協力を得て研究を進めた。得られた成果を国際共著論文として投稿した。また、異なる構造物に対する適用の可能性など、今後の発展性を有する継続的な協同体制を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、道路橋鋼床版の実寸法を想定した溶接部に対し、局所加熱による残留応力低減を効果的に適用するための条件探索を実施した。また、残留応力低減による耐疲労性向上効果を合理的に評価する手法を提示した。これらの点は、本技術の実用展開に向け、学術的に大きな意義を有する。さらに、橋梁に代表されるインフラ構造物の耐久性向上に資する成果を提示したことは社会的に大きな意義を有する。また、国際共同研究、共著論文の公表を通じて本技術の有用性を国際的にアピールする機会を得たことの意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, research on the application of fatigue resistance improvement using residual stress reduction by local heating, which was developed by the applicant, to welds of narrow structures in steel decks of highway bridges, was conducted in an international joint organization. The research was conducted in cooperation with Prof. Jarmai of the University of Miskolc, Hungary, on the optimization of the construction process and the approach from an economic viewpoint, which are useful for the practical application of this technology. The method to rationally evaluate fatigue durability was also studied in cooperation with Prof. Chang of Chung-Ang University, Seoul, Korea. The obtained results were submitted as international co-authored papers. In addition, we established a continuous cooperative system with the possibility of future development, such as the possibility of applying the method to different structures.

研究分野： 構造工学

キーワード： 鋼床版 道路橋 溶接 疲労

様式 F - 19 - 2

1. 研究開始当初の背景

社会基盤構造物の経年劣化、損傷が顕在化してきており、適切な維持管理、補修補強により構造物の長寿命化を図ることの重要性が強く認識されるようになってきている。鋼構造物においては、腐食による部材断面の欠損と疲労き裂の発生、進展が主たる損傷として挙げられる。疲労損傷に関しては、特に都市部道路高架橋などに使用される鋼床版の疲労き裂発生事例が多数報告されている。鋼床版に発生する疲労き裂は多種多様であるが、デッキプレートと縦リブの溶接部(図-1)、縦リブと横リブの溶接部(図-1)、縦リブの突合せ溶接部(図-1)、垂直補剛材とデッキプレートの溶接部(図-1)などで疲労き裂の発生事例が多いことが知られている。デッキプレートと縦リブの溶接部から発生し、デッキプレート板厚方向に進展するき裂については、床版下面からの検出が困難であり、き裂がデッキプレートを貫通した場合に路面陥没の原因となるなど交通に及ぼす影響が大きく、これまで、耐疲労性の向上やき裂の補修方法に関する数多くの検討がなされてきている¹⁾。

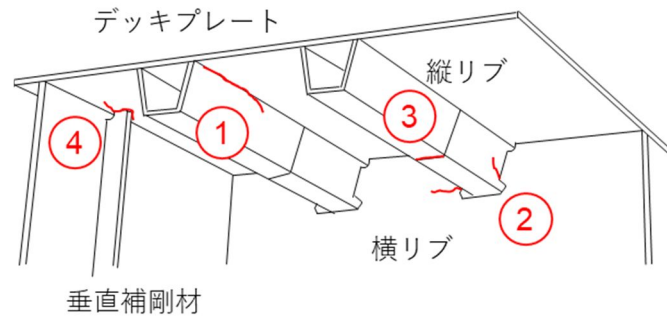


図-1 鋼床版の疲労き裂発生位置

2. 研究の目的

橋軸直角方向の床版端部における垂直補剛材とデッキプレートの溶接部(図-1)における疲労き裂について、当該個所の構造的な特徴として、デッキプレートと垂直補剛材のまわし溶接部と、デッキプレート端部の縦リブの溶接線が近接していることが挙げられる。国際共同研究の基礎となる課題(2019年度～2021年度、基盤研究(C):鋼床版垂直補剛材と縦リブ間の狭隘領域における溶接残留応力分布の解明と耐疲労性向上)では、特にこの部位に注目し、疲労き裂の発生および進展に影響を及ぼす溶接残留力の特徴を明らかにするとともに、残留応力が当該構造部位の耐疲労性に及ぼす影響、耐疲労性の向上に関する研究を実施した。この耐疲労性向上技術は、溶接部近傍への局所的な加熱により残留応力を低減させるものであり、一連の実験および数値シミュレーションを通じてその適用性を検証してきている²⁾。本研究では、この耐疲労性向上技術を実構造物(道路橋鋼床版)に適用拡大するため、実構造物の形状や寸法に応じた最適な施工条件を探索すること、さらに、局所加熱による残留応力の低減が耐疲労性の向上効果に与える影響を定量的に明らかにすることを目的とした。それぞれの目的に対し、有用な技術を持つ研究者との共同により、合理的かつ効率的に検討を進めることとした。

3. 研究の方法

(1) 道路橋鋼床版における耐疲労性向上技術の施工プロセス最適化

道路橋鋼床版を対象に、溶接部の耐疲労性を向上させる幾つかの技術について、実施工を想定した最適条件探索に関する調査、検討を実施した。溶接構造物の設計、製作における最適化に関する研究³⁾を実施している Károly Jármai 教授(ハンガリー、ミシュコルツ大学)と共同で、道路橋鋼床版の構造的な特徴、製作プロセスと経済性に関する調査を行い、耐疲労性向上技術を適用するための条件を検討した。

(2) 局所加熱による残留応力の低減が耐疲労性向上効果に与える影響の解明

局所加熱による残留応力の低減が、溶接部の耐疲労性向上効果に与える影響を明らかにするためには、溶接残留応力の分布と耐疲労性評価をシームレスに行うことが効果的である。韓国ソウル中央大学の Chang Kyong-Ho 教授らが取り組んでいる溶接構造体の耐疲労性予測技術⁴⁾は、溶接構造体の残留応力をシミュレーションにより再現し、残留応力を再現した状態からそのまま繰返し荷重を荷重して耐疲労性の評価に繋げることができる手法である。Chang 教授らの研究グループと共同で、局所加熱による残留応力低減と耐疲労性向上効果の定量的関係を明らかにするための検討を実施した。

4. 研究成果

(1) 道路橋鋼床版における耐疲労性向上技術の施工プロセス最適化

複数の補剛材を配置した鋼床版断面(図-2)を対象に、大規模な加熱炉を用いた熱処理と、簡易な熱源を用いた局所的な熱処理の適用を想定した施工プロセスの比較検討を実施した。構造物をそのまま内部に設置可能な大規模な加熱炉を用いた場合、熱処理は1回で実施できるものの、設備費が高額となる。一方、小型の簡易熱源を用いた場合、熱源の個数によるが、安価な施工が可能である。熱源の数が少なければ施工回数が増えることになるが、価格と時間のトレードオフ関係を考慮して最適な手法を選択可能であることを示した。さらに、全体熱処理と局所熱処理による残留応力低減効果の違いを明らかにするため、熱弾塑性解析によるシミュレーションを実施した。解析モデルおよび解析結果を図-3に示す。いずれの場合でも、溶接残留応力の低減効果はほぼ同じであるが、熱源の配置によって応力の分布形状が大きく異なる可能性が示唆された⁵⁾。

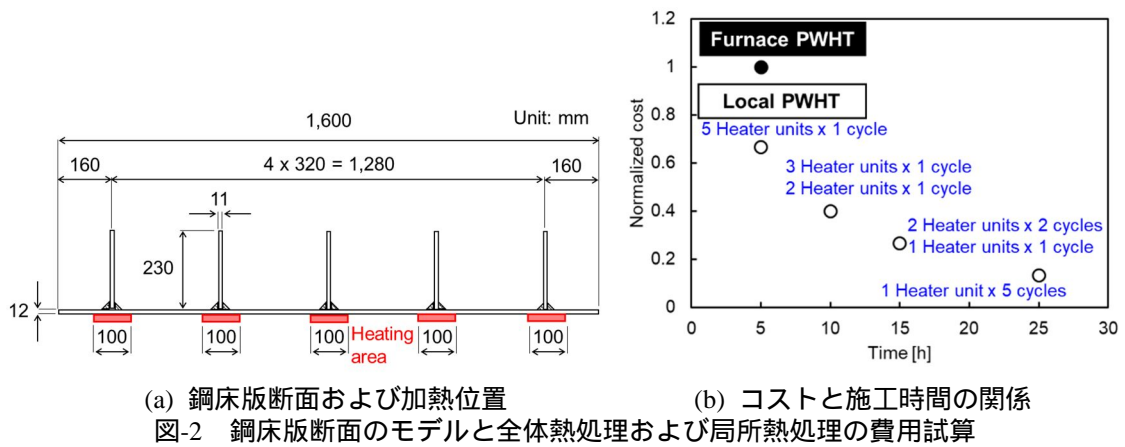


図-2 鋼床版断面のモデルと全体熱処理および局所熱処理の費用試算

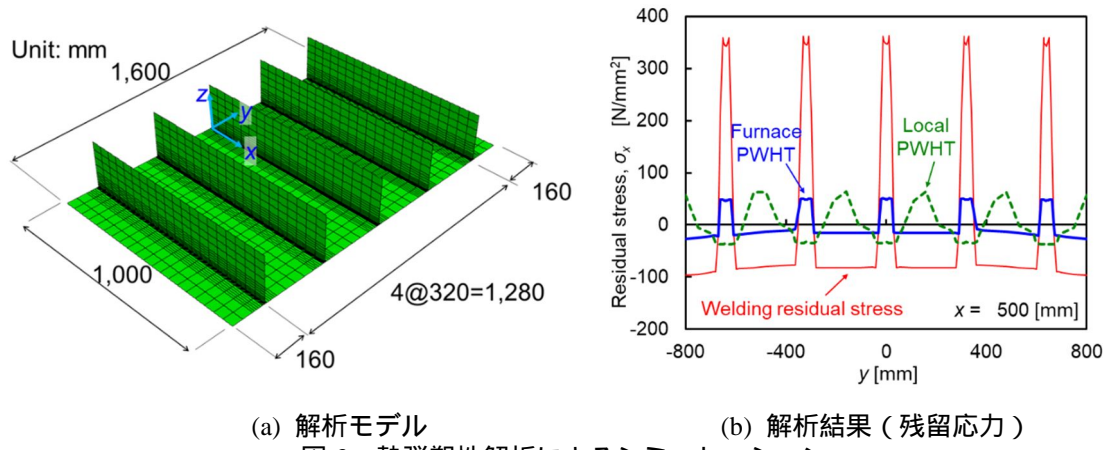


図-3 熱弾塑性解析によるシミュレーション

(2) 局所加熱による残留応力の低減が耐疲労性向上効果に与える影響の解明

すみ肉まわし溶接部を対象に、局所加熱による残留応力の低減と耐疲労性向上効果の関係性を明らかにするための検討を実施した。既往の研究²⁾では、まわし溶接部を囲むように「コの字」形に加熱を行う方法(図-4)を提案しているが、3箇所での加熱条件(温度と時間)は一定としていた。これに対し、残留応力の低減効果を高めるために、位置ごとに異なる条件で加熱を行うことを新たに提案し、その有効性を検証した⁶⁾。また、既存の耐疲労性向上技術である溶接止端部の仕上げとピーニングとの比較を通じて、局所加熱の施工性を検証する実験を実施した⁷⁾。

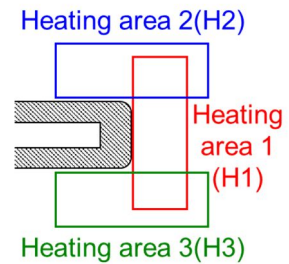


図-4 局所加熱の配置

引用文献

- 1) 小野秀一, 下里哲弘, 増井隆, 町田文孝, 三木千壽: 既設鋼床版の疲労性能向上を目的とした補強検討, 土木学会論文集, No. 801/I-73, 213-226 (2005).
- 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, 29-40 (2020).
- 3) Károly Jármai: Optimum design of welded structures, *Rakenteiden Mekaniikka (Journal of Structural Mechanics)*, 50-3, 326-329, doi.org/10.23998/rm.65153 (2017).
- 4) LEE, C.-H., CHANG, K.-H. and Vuong Nguyen Van Do: Modeling the high cycle fatigue behavior of T-joint fillet welds considering weld-induced residual stresses based on continuum damage mechanics, *Engineering Structures*, 125, 205-216 (2016).
- 5) M. Hirohata, S. Nozawa, K. Jármai: An Economical and Mechanical Investigation on Local PWHT for Stiffened Steel Plates in Bridge Structures, *Applied Mechanics*, Vol. 2, No. 4, 714-727 (2021).
- 6) 中谷紘人, 廣畑幹人, Chang Kyong-Ho, 富永周佑, 小西英明, 鈴木俊光: 鋼床版の補剛材交差部における溶接残留応力低減のための局所加熱条件に関する解析的検討, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, I-381 (2023).
- 7) 富永周佑, 中谷紘人, 廣畑幹人, 小西英明, 鈴木俊光: 鋼床版の補剛材交差部に対する局所加熱による溶接残留応力低減の施工性に関する基礎的検討, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, I-382 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 M. Hirohata, S. Nozawa, K. Jarrai	4. 巻 2-4
2. 論文標題 An Economical and Mechanical Investigation on Local PWHT for Stiffened Steel Plates in Bridge Structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Mechanics	6. 最初と最後の頁 714-727
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/applmech2040041	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Hirohata, K.-H. Chang, T. Suzuki. H. Konishi	4. 巻 215
2. 論文標題 Local heating for reducing residual stress and fatigue-performance improvement of welded joints	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Constructional Steel Research	6. 最初と最後の頁 108544
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jcsr.2024.108544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 M. Hirohata, T. Nakahara, K. Jarrai
2. 発表標題 Life cycle cost analysis on anti-corrosion coatings for steel bridges in Japan
3. 学会等名 MultiScience -XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Hirohata, K. Jarrai
2. 発表標題 An Investigation on combined section by steels with different strengths for bridge girder
3. 学会等名 Civil Engineering Conference, The 45th Anniversary of the establishment of the faculty of civil engineering, Technical University of Kosce（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Hirohata, F. Jiang, T. Suzuki, H. Konishi, S. Tominaga, C-H. Lee, K-H. Chang
2. 発表標題 Residual Stress Reduction of Gusset Welded Joints by Local Induction Heating and Its Effect on Fatigue Life Improvement
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Steel Structures (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. K. Sazid, K-H. Chang, M. Hirohata, S. Muzaffer
2. 発表標題 The Effect of Reduced Residual Stress on Fatigue Life by Heating Method
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Steel Structures (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中谷紘人, 廣畑幹人, Chang Kyong-Ho, 富永周佑, 小西英明, 鈴木俊光
2. 発表標題 鋼床版の補剛材交差部における溶接残留応力低減のための局所加熱条件に関する解析的検討
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富永周佑, 中谷紘人, 廣畑幹人, 小西英明, 鈴木俊光
2. 発表標題 鋼床版の補剛材交差部に対する局所加熱による溶接残留応力低減の施工性に関する基礎的検討
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
カーロイ ヤルマエ (Karoly Jarmai)	ミシュコルツ大学・Institute of Energy Engineering and Chemical Machinery・Professor	
チャン キョンホ (Chang Kyong-Ho)	ソウル中央大学・Department of civil Environment & Plant Engineering・Professor	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ハンガリー	ミシュコルツ大学			
韓国	ソウル中央大学			