OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Bonding-assisted Prevention Methods for Weld Root Cracks in Steel Structural Members
Author(s)	Mao, Jiahao
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105483
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　MAO　JIAHAO　）	
論文題名	Bonding-assisted Prevention Methods for Weld Root Cracks in Steel Structural Members （接着を援用した鋼構造部材の溶接ルートき裂防止方法に関する研究）

論文内容の要旨

鋼構造部材の接合方法として一般に広く用いられている溶接では，局所的な入熱により膨張した部位が冷却時に収縮し，この収縮が拘束されることで引張残留応力が生じる。さらに，溶接余盛の不連続形状が応力集中を引き起こす。引張残留応力と応力集中は繰返し荷重作用下において疲労き裂の発生を助長する要因となる。溶接金属の表面に位置する止端部に発生するき裂は，検出，防止，補修が可能である一方，溶接金属の内側に位置するルート部に発生するき裂（ルートき裂）は，検出が困難であり，補修する場合にも溶接金属を切削するなど多大な労力を要する。そのため，製作段階でルートき裂を予防する措置が望まれるものの，有効な手段は確立されていない。本研究では，ルートき裂の予防技術として，接着力を有する材料を援用する方法を提案し，継手の疲労耐久性の向上効果と橋梁構造部材への適用性を検証した。論文の構成と内容は以下のとおりである。

第1章では，鋼構造物における疲労損傷およびルートき裂に関する既往の研究と現状の課題を整理するとともに，本研究の背景と目的を述べた。

第2章では，実橋梁においてルートき裂発生事例が多数報告されている支承のソールプレートと主桁の下フランジの溶接部に注目し，実働荷重作用下における当該溶接部周辺の応力分布の特徴を解析的に検証した。複数の実橋梁の支点部近傍を詳細に再現した有限要素解析モデルを構築し，橋梁の形式および溶接部の寸法とルート部の応力状態の関係を明らかにした。また，Effective Notch Stress法を適用し，溶接ルート部の疲労寿命を推定することで各橋梁形式の疲労耐久性を評価した。さらに，既往のルートき裂防止方法の適用限界を検証することで，より有効なルートき裂防止方法を確立することの重要性を示した。

第3章では，支承のソールプレートと主桁下フランジをエポキシ樹脂で接着してから両者をすみ肉溶接する方法により，ルートき裂の防止効果を定量的に明らかにするための実験と数値シミュレーションを実施した。エポキシ樹脂が板の端部まで塗布されている場合，端部に溶接金属が置かれるすみ肉溶接により樹脂が高温に晒され気化することで，溶接欠陥を引き起こすことが課題となった。この課題を解決するため，エポキシ樹脂と溶接金属の間に適切な寸法の耐熱ゴムを遮蔽材として設置することで，欠陥の防止効果が得られる可能性を示した。さらに，樹脂による接着と溶接を併用し作製した継手と溶接のみで作製した継手を疲労実験に供した。また，有限要素解析により実験の載荷条件下での応力分布を再現し，樹脂接着の援用によりルート部周辺の応力が60～70%低減され，ルートき裂の防止に高い効果を与えることを明らかにした。

第4章では，ソールプレートとフランジの間に厚さ0.5mmの亜鉛板を挿入してから端部をすみ肉溶接し，溶接後に外部からの加熱により亜鉛板を溶融させて接着効果を付与する方法を提案し，ルートき裂の防止効果の有無を検証した。第3章で提示したエポキシ樹脂を用いる方法では，流動性を有する樹脂が硬化するまでに板の端部から漏出し，後の溶接における欠陥発生の原因となることが課題となった。これに対し，固体である亜鉛板を接着材の代替として用いることで施工性の向上を図った。第3章と同様の疲労実験と有限要素解析を実施し，本手法の有効性を検証した結果，エポキシ樹脂より剛性の高い亜鉛板を挿入することで，より高いルート部の応力低減効果が得られ，溶接のみの継手に比べ疲労強度が1.7倍程度に向上する可能性があることを明らかにした。

第5章では，第3章および第4章で提示した2つの方法を比較評価するための数値シミュレーションを実施した。第2章で構築した実橋梁モデルを利用し，エポキシ樹脂を用いた場合と亜鉛板を用いた場合のそれぞれについて，溶接ルート部周辺の応力低減効果を高めるための接着層の寸法条件を示した。また，両手法の施工上の特徴から，実橋梁への適用性に関する考察を行った。

第6章では，以上の結果を総括した本研究の結論をまとめた。本研究で提案する接着を援用した溶接ルートき裂の防止方法は，鋼構造部材の疲労耐久性を向上させる有効な手段となる可能性があることを明らかにした。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（ MAO JIAHAO ）	
論文審査担当者	（職）　氏　名 主 査　准教授　廣畑　幹人 副 査　教授　鎌田　敏郎 副 査　教授　乾　徹

論文審査の結果の要旨

鋼構造部材の接合方法として一般に広く用いられている溶接では、局所的な入熱により膨張した部位が冷却時に収縮し、この収縮が拘束されることで引張残留応力が生じる。さらに、溶接余盛の不連続形状が応力集中を引き起こす。引張残留応力と応力集中は繰返し荷重作用下において疲労き裂の発生を助長する要因となる。溶接金属の表面に位置する止端部に発生するき裂は、検出、防止、補修が可能である一方、溶接金属の内側に位置するルート部に発生するき裂（ルートき裂）は、検出が困難であり、補修する場合にも溶接金属を切削するなど多大な労力を要する。そのため、製作段階でルートき裂を予防する措置が望まれるものの、有効な手段は確立されていない。本研究では、ルートき裂の予防技術として、接着力を有する材料を援用する方法を提案し、継手の疲労耐久性の向上効果と橋梁構造部材への適用性を検証している。論文の構成と内容は以下のとおりである。

第 1 章では、鋼構造物における疲労損傷およびルートき裂に関する既往の研究と現状の課題を整理するとともに、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、実橋梁においてルートき裂発生事例が多数報告されている支承のソールプレートと主桁の下フランジの溶接部に注目し、実働荷重作用下における当該溶接部周辺の応力分布の特徴を解析的に検証している。複数の実橋梁の支点部近傍を詳細に再現した有限要素解析モデルを構築し、橋梁の形式および溶接部の寸法とルート部の応力状態の関係を明確にしている。また、Effective Notch Stress 法を適用し、溶接ルート部の疲労寿命を推定することで各橋梁形式の疲労耐久性を評価している。さらに、既往のルートき裂防止方法の適用限界を検証することで、より有効なルートき裂防止方法を確立することの重要性を示している。

第 3 章では、支承のソールプレートと主桁下フランジをエポキシ樹脂で接着してから両者をすみ肉溶接する方法により、ルートき裂の防止効果を定量的に評価するための実験と数値シミュレーションを実施している。エポキシ樹脂が板の端部まで塗布されている場合、端部に溶接金属が置かれるすみ肉溶接により樹脂が高温に晒され気化することで、溶接欠陥を引き起こすことを課題として特定している。この課題を解決するため、エポキシ樹脂と溶接金属の間に適切な寸法の耐熱ゴムを遮蔽材として設置することで、欠陥の防止効果が得られる可能性を示している。さらに、樹脂による接着と溶接を併用し作製した継手と溶接のみで作製した継手の疲労耐久性を比較評価するための実験を実施している。また、有限要素解析により実験の載荷条件下での応力分布を再現し、樹脂接着の援用によりルート部周辺の応力が60～70%低減され、ルートき裂の防止に高い効果を与える機構を解明している。

第 4 章では、ソールプレートとフランジの間に厚さ 0.5mm の亜鉛板を挿入してから端部をすみ肉溶接し、溶接後に外部からの加熱により亜鉛板を溶融させて接着効果を付与する方法を提案し、ルートき裂の防止効果の有無を検証している。エポキシ樹脂を用いてソールプレートとフランジを接着してから溶接する方法の課題は、流動性を有する樹脂

が硬化するまでに板の端部から漏出し、後の溶接における欠陥発生の原因となることである。これに対し、固体である亜鉛板を接着材の代替として用いることで欠陥を防止する方法の有効性を検証している。疲労実験と有限要素解析を実施し、エポキシ樹脂に比べ高い剛性を有する亜鉛板の挿入により、ルート部の応力低減効果が高くなり、溶接のみの継手に比べ疲労強度が 1.7 倍程度に向上する可能性があることを明らかにしている。

第 5 章では、第 3 章および第 4 章で提示した 2 つの方法を比較評価するための数値シミュレーションを実施している。第 2 章で構築した実橋梁モデルを利用し、エポキシ樹脂を用いた場合と亜鉛板を用いた場合のそれぞれについて、溶接ルート部周辺の応力低減効果を高めるための接着層の寸法条件を特定している。また、2 つの方法の施工上の特徴から、実橋梁への適用性に関する考察を行っている。

第 6 章では、一連の結果を総括した本研究の結論をまとめている。本研究で提案する接着を援用した溶接ルートき裂の防止方法は、鋼構造部材の疲労耐久性を向上させる有効な手段となる可能性があることを明示している。

以上のように、本論文は、溶接部から発生する疲労き裂の中でも検出および補修の難度が高いルートき裂を防止するための革新的な方法を提案しており、鋼構造物の耐久性向上と長寿命化に資する有用な知見を与えるものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。