



Title	Mechanical Performance of Laser-arc Hybrid Welded Joints for Steel Bridge Members
Author(s)	陳, 剛
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/98792
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (CHEN GANG)	
論文題名	Mechanical Performance of Laser-arc Hybrid Welded Joints for Steel Bridge Members (鋼橋部材におけるレーザ・アークハイブリッド溶接継手の力学的性能)
論文内容の要旨	
<p>鋼構造部材の接合方法として溶接が一般に用いられるが、入熱量の低減、施工時間の短縮、製作精度の向上などが実現可能となるレーザ・アークハイブリッド溶接（以降、ハイブリッド溶接）が近年注目されている。自動車の車体等、比較的薄い鋼板の接合に対してはハイブリッド溶接の適用事例が多くあるが、橋梁に代表される大型鋼構造物の部材作製においては10mmを越える比較的厚い板の接合が必要であり、厚板に対するハイブリッド溶接の施工条件が確立されていない。本研究では、大型構造物（橋梁）の部材接合に対するハイブリッド溶接の適用拡大を念頭に、鋼橋に用いられる橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）を対象に、ハイブリッド溶接による接合条件を明らかにするための実験的検討を実施した。また、熱弾塑性解析によってハイブリッド溶接のプロセスをシミュレーションする方法を構築し、ハイブリッド溶接で生じる変形と応力の特徴を明示した。さらに、基本的な継手の力学的性能を検証するため、疲労試験、シャルピー衝撃試験を実施するとともに、ハイブリッド溶接で製作した部材の圧縮耐荷力を評価するための実験を実施した。論文の構成と内容は、以下のとおりとした。</p> <p>第1章では、鋼橋部材の接合における現状の課題を整理するとともに、今後の需要拡大が期待されるハイブリッド溶接の特徴を示し、本研究の背景と目的を述べた。</p> <p>第2章では、板厚15 mmのSBHS400を供試材として施工実験を実施し、1パスのハイブリッド溶接で欠陥や割れを生じず健全な突合せ継手を得るための溶接条件を特定した。また、同じ板厚をCO₂半自動アーク溶接（以降、アーク溶接）で接合する場合に対し、ハイブリッド溶接により施工時間を2%に、入熱エネルギーを8%に削減できる可能性を示した。</p> <p>第3章では、ハイブリッド溶接による変形と残留応力の生成機構と特徴を明らかにするための実験を行い、熱弾塑性解析による実験のシミュレーションを実施した。異なる二種類の熱源を併用するハイブリッド溶接の入熱モデルを提案し、この入熱モデルにより実験結果を精度よく再現できることを明らかにした。アーク溶接に対し、1パス貫通のハイブリッド溶接では板厚方向の温度勾配が抑制されるとともに、多パスのアーク溶接に比べ入熱量が削減されることで、変形および残留応力が低減されることを明らかにした。</p> <p>第4章では、溶接継手に要求される基本的性能である疲労強度と韌性を評価する実験を実施した。ハイブリッド溶接で形成されるビード形状はアーク溶接に比べ小さく円滑になり、止端部の応力集中が低減された。また、急熱急冷による溶接部の硬化に伴い、止端部からの疲労き裂発生が抑制される可能性を示した。これらの影響により、ハイブリッド溶接継手の疲労寿命はアーク溶接継手に比べ向上し、日本鋼構造協会（JSSC）が提示する疲労等級であるD等級を満足する結果を得た。溶接継手の韌性に対応するシャルピー吸収エネルギーについては、ハイブリッド溶接による急熱急冷部で低下する可能性が示唆されたが、高い韌性を保証する橋梁用高降伏点鋼板を用いることで、溶接後においても脆性破壊の発生を抑止するレベルの吸収エネルギー値が満足されることを示した。</p> <p>第5章では、トラス部材の角溶接部を想定した供試体をハイブリッド溶接により作製し、軸方向単調圧縮荷重を負荷することでその耐荷性能を評価する実験を実施した。圧縮荷重作用下における初期不整に相当する溶接変形と残留応力は、アーク溶接の場合に比べハイブリッド溶接では抑制される傾向を確認した。このような初期不整の相違に起因し、アーク溶接の場合に比べ、ハイブリッド溶接で製作した圧縮部材の耐荷性能が向上することを明らかにした。</p> <p>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。鋼橋に用いられる材料、板厚に対しハイブリッド溶接を適用することで、施工時間および消費エネルギーの削減と、継手の力学的性能の向上が実現される可能性を提示した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (C H E N G A N G)		
論文審査担当者	(職)	氏名
	主査 准教授	廣畠 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溶接が一般に用いられるが、入熱量の低減、施工時間の短縮、製作精度の向上などが実現可能となるレーザ・アークハイブリッド溶接（以降、ハイブリッド溶接）が近年注目されている。自動車の車体等、比較的薄い鋼板の接合に対してはハイブリッド溶接の適用事例が多くあるが、橋梁に代表される大型鋼構造物の部材作製においては 10mm を越える比較的厚い板の接合が必要であり、厚板に対するハイブリッド溶接の施工条件が確立されていない。本研究では、大型構造物（橋梁）の部材接合に対するハイブリッド溶接の適用拡大を念頭に、鋼橋に用いられる橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）を対象に、ハイブリッド溶接による接合条件を明らかにするための実験的検討を実施している。また、熱弾塑性解析によってハイブリッド溶接のプロセスをシミュレーションする方法を構築し、ハイブリッド溶接で生じる変形と応力の特徴を明示している。さらに、基本的な継手の力学的性能を検証するため、疲労試験、シャルピー衝撃試験を実施するとともに、ハイブリッド溶接で製作した部材の圧縮耐荷力を評価するための実験を実施している。論文の構成と内容は、以下のとおりである。

第 1 章では、鋼橋部材の接合における現状の課題を整理するとともに、今後の需要拡大が期待されるハイブリッド溶接の特徴を示し、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、板厚 15 mm の SBHS400 を供試材として施工実験を実施し、1 パスのハイブリッド溶接で欠陥や割れを生じず健全な突合せ継手を得るための溶接条件を特定している。また、同じ板厚を CO₂ 半自動アーク溶接（以降、アーク溶接）で接合する場合に対し、ハイブリッド溶接により施工時間を 2% に、入熱エネルギーを 8% に削減できる可能性を示している。

第 3 章では、ハイブリッド溶接による変形と残留応力の生成機構と特徴を明らかにするための実験を行い、熱弾塑性解析による実験のシミュレーションを実施している。異なる二種類の熱源を併用するハイブリッド溶接の入熱モデルを提案し、この入熱モデルにより実験結果を精度よく再現できることを明らかにしている。アーク溶接に対し、1 パス貫通のハイブリッド溶接では板厚方向の温度勾配が抑制されるとともに、多パスのアーク溶接に比べ入熱量が削減されることで、変形および残留応力が低減されることを明らかにしている。

第 4 章では、溶接継手に要求される基本的性能である疲労強度と韌性を評価する実験を実施している。ハイブリッド溶接で形成されるビード形状はアーク溶接に比べ小さく円滑になり、止端部の応力集中が低減される。また、急熱急冷による溶接部の硬化に伴い、止端部からの疲労き裂発生が抑制される可能性を示している。これらの影響により、ハイブリッド溶接継手の疲労寿命はアーク溶接継手に比べ向上し、日本鋼構造協会（JSSC）が提示する疲労等級である D 等級を満足する結果を得ている。溶接継手の韌性に対応するシャルピー吸収エネルギーについては、ハイブリッド溶接による急熱急冷部で低下する可能性を示唆しているが、高い韌性を保証する橋梁用高降伏点鋼板を用いることで、

溶接後においても脆性破壊の発生を抑止するレベルの吸収エネルギー値が満足されることを示している。

第5章では、トラス部材の角溶接部を想定した供試体をハイブリッド溶接により作製し、軸方向単調圧縮荷重を負荷することでその耐荷性能を評価する実験を実施している。圧縮荷重作用下における初期不整に相当する溶接変形と残留応力は、アーク溶接の場合に比べハイブリッド溶接では抑制される傾向を確認している。このような初期不整の相違に起因し、アーク溶接の場合に比べ、ハイブリッド溶接で製作した圧縮部材の耐荷性能が向上することを明らかにしている。

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ている。鋼橋に用いられる材料、板厚に対しハイブリッド溶接を適用することで、施工時間および消費エネルギーの削減と、継手の力学的性能の向上が実現される可能性を提示している。

以上のように、本論文は新たな接合技術であるレーザ・アークハイブリッド溶接を橋梁構造物の製作に適用するうえで有用な情報を与えるものである。特に、基本的な継手の力学的特性と、溶接による変形および残留応力の生成機構と特徴を明らかにしている点で、新規性が高く工学的に有用であり、今後の社会基盤工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。