

令和元年6月24日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14887

研究課題名（和文）船体建造工程へのハイブリッド溶接適用に向けたレーザによる仮付け方法に関する研究

研究課題名（英文）A study on laser tack welding for applying hybrid welding to the ship hull construction.

研究代表者

津村 秀一（Tsumura, Shuichi）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：10782526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではレーザ・アークハイブリッド溶接の溶接施工法についてレーザによる仮付け溶接に着目し、従来の造船工作法の延長線上の工法として日本独自の溶接施工方法の開発を目的として、A) 溶接変形解析に供するメッシュサイズに応じた材料物性値の同定を行った。B) 最終的に残留する溶接変形（縦板の横倒れ変形）に起因する拘束反力によって仮付け溶接部に割れが生じるのではなく、溶接施工中の局所の変形が原因となって割れが生じることを明らかにした。C) 長さ500mm程度の試験片で検討した仮付けの条件であれば長尺継手への適用可能な仮付け条件であることをシミュレーションによって明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイブリッド溶接普及のボトルネックの一つである大型付帯設備の投資コストを軽減するために、レーザ溶接を活用した我が国独自のハイブリッド溶接の溶接施工法を開発を行うことを本研究の目的としている。また、付帯設備を必要としない溶接施工法の開発により、ハイブリッド溶接の普及が進み船体建造工程の高品質化・効率化が達成され、高品質な船舶をリーズナブルな価格で提供することが可能となる。このために解決すべき学術的課題として、仮付け溶接部の破壊のクライテリア、並びにハイブリッド溶接の溶接変形に起因する拘束反力に対する定量的な検討が挙げられるが、本研究では、両者について検討を行う。

研究成果の概要（英文）： In Europe, which has been leading the introduction of Laser-arc hybrid welding (LAHW), large ancillary equipment is used for the restraining of weld members, but there is concern about the investment cost of the ancillary equipment. In this research, laser tack welding was focused in order to develop a unique Japanese welding method of LAHW. The results of this research are as follows A) Identification of mechanical properties of tack welded zone for using the simulation of welding deformation analysis was carried out. B) The restraint reaction force which occurs at the laser tack welded zone during LAHW was clarified. C) It was clarified that it is possible to apply the tacking conditions of laser welding examined by the specimen size when the weld length is less than about 500mm.

研究分野：溶接継手強度、溶接施工法

キーワード：レーザ・アークハイブリッド溶接 仮付け溶接 溶接施工法 静的破壊

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) ハイブリッド溶接の利点

レーザー・アークハイブリッド溶接（以降では単にハイブリッド溶接と称する）はアーク単独溶接と比較して溶接入熱が小さいため溶接変形の低減が可能である。またレーザーの深溶け込み性を活かすことで、従来はすみ肉溶接継手として設計されていた溶接部を剛性・疲労強度で有利な完全溶け込み溶接継手へと置き換えることが可能となる（図1, 図2）。すなわち、ハイブリッド溶接は、溶接変形を低減しつつ高剛性・高強度な継手を得ることが可能な溶接方法であり、船体建造工程の高品質化・効率化を実現する技術として期待されている<sup>①</sup>。また接合以外の加工プロセス（たとえば、結晶粒の微細化等）にレーザーを活用することも可能であり、一つの加工ステージで複数の加工プロセスを実施できるという利点もある。

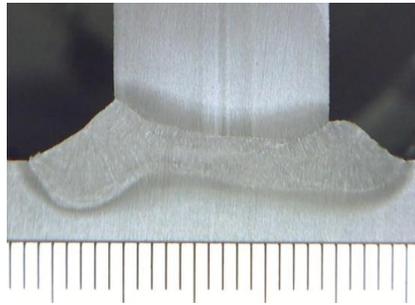


図1 完全溶込み溶接（高剛性）

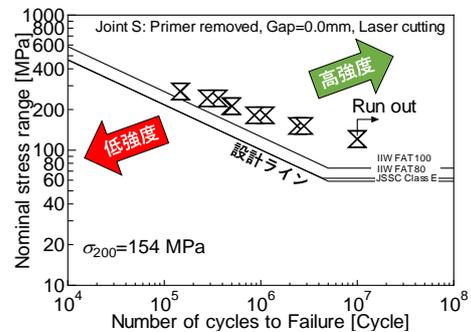


図2 疲労強度の実験結果

#### (2) 導入・普及にあたっての課題

欧州圏の一部の造船所では2000年頃からハイブリッド溶接の導入が始まっているが、レーザー狙い位置の要求精度を満足させるために、高精度な配材と強固な拘束を実現する大掛かりな段取り装置が用いられている。この付帯設備により投資コストが増大するため、国内造船所では新規技術としてハイブリッド溶接を採用することはないとされている。一方、国内造船所ではアーク溶接で船体の組立が行われており、部材の位置決め・拘束もアーク溶接による仮付け溶接でなされるのが一般的である。しかしながら、ハイブリッド溶接の溶接施工においては、仮付け溶接の溶接ビードが溶込みを阻害し溶接欠陥が発生することが知られている。また、欠陥の発生を懸念し仮付けビードを小さくし過ぎると仮付けビードに割れが発生し、過大な溶接変形が生じる場合がある。すなわち、ア) 付帯設備を必要としない、イ) 溶込みを阻害しない、ウ) 適切な拘束力が得られる新しい溶接施工法の開発を行い、同溶接法の投資コスト軽減が求められている。

#### (3) 着想に至った経緯

ハイブリッド溶接における接合プロセスの研究、並びに製作された継手の各種強度に関する研究は精力的に行われているものの、前段の問題を解決するための研究はほとんどなされていない。応募者らは付帯設備を必要としない新しい溶接施工法を開発するために「レーザー溶接による仮付け溶接」に着目しその有用性について検討を行った<sup>②</sup>。基礎的な検討結果から、レーザー溶接によってある程度の拘束力が得られること、並びに仮付け溶接部においても溶接欠陥のない健全な継手が得られることを確認した。この施工法を実施工へと展開するためには、適切な仮付け条件（レーザー出力、溶接長、仮付けピッチ等）を溶接条件に応じて決定する必要があるが、学術的課題として、仮付け溶接部の破壊のクライテリア、並びにハイブリッド溶接の溶接変形に起因する拘束反力に対する定量的な検討が必要である。

#### (4) 参考文献

- ① 海事イノベーション部会：海事産業の生産性革命（i-shipping）による造船の輸出拡大と地方創生のために推進すべき取組について、2016年
- ② 津村 秀一，青柳 了太，後藤 浩二：レーザー・アークハイブリッド溶接を対象としたレーザー溶接による仮付け溶接の有用性に関する検討，日本船舶海洋工学会講演会論文集，Vol. 21, 405-408, 2015.

### 2. 研究の目的

研究課題申請時における当初の研究目的は、ハイブリッド溶接の新しい溶接施工法開発のために「レーザー溶接による仮付け溶接」に着目し、ア) 仮付け溶接部の破壊のクライテリア、イ) 溶接変形に起因する仮付け部に生じる拘束反力を明らかにすることである。ハイブリッド溶接は船体建造工程を合理化する技術としてi-shippingにおいても同溶接法の導入・普及について言及されているものの、投資コストが大きいため国内造船所ではほとんど採用されていない。この問題を解決するために、ハイブリッド溶接の投資コストを軽減する日本独自の溶接施工法の開発を行う。この問題を解決することで他国造船所より安価でハイブリッド溶接を導入することが可能となり、船体建造工程の理化・製品の品質化による国内造船所の競争力強化が

期待される。

### 3. 研究の方法

本研究では、両側から1パスずつ合計2パスの溶接で完全溶込みを達成する両側完全溶込みT継手の製作を対象として、主に以下の3点について検討を行う。

#### (1) 仮付け溶接部の静的破壊のクライテリアの同定

長さ100mm、溶接長80mmの仮付け溶接試験体の製作を行い、この試験体を供試体として曲げ試験の実施を行う。実験結果を精度良く再現する材料物性値を同定することで、あとに続く溶接変形解析に供すべき仮付け溶接部の破壊のクライテリア、及び材料物性値の同定を行う。

#### (2) 熱弾塑性解析による溶接シミュレーション

アーク溶接によって縦板に生じる溶接変形は溶接条件が定まっていれば予想可能であり<sup>①</sup>、これをもとに拘束反力を予測可能である。しかしながら、ハイブリッド溶接の溶接変形については未だ十分には研究がなされておらず、溶接条件と溶接変形を一対一に対応づけるモデルは開発されていない。そこで本検討では、熱弾塑性FE解析によるシミュレーションを活用することでハイブリッド溶接によって生じる溶接変形とその拘束反力の推定を試みる。

#### (3) 長尺継手（長さ900mm）のシミュレーション

研究実施期間中に、他の研究者らが実施した実験<sup>②</sup>において長尺継手の場合、試験片サイズと異なる変形に起因し仮付け溶接部に割れが生じる場合があることが明らかとなった。そこで、長尺継手に対し熱弾塑性FE解析によるシミュレーションを実施し、溶接施工中の変形挙動について検討を行う。

#### (4) 参考文献

- ① たとえば 村川英一：溶接変形予測技術の進歩，日本船舶海洋工学会誌，Vol. 51, pp. 19-22, 2013.
- ② 後藤浩二他：レーザ・アークハイブリッド溶接技術の一般商船建造工程への導入に向けた研究-(その3)実機レベルの溶接長を有する片側貫通T継手製作の検討-，日本船舶海洋工学会講演論文集，Vol. 28, pp. 271-275, 2019.

### 4. 研究成果

#### (1) 仮付け溶接部の静的破壊のクライテリアの同定

長さ100mm、溶接長80mmの仮付け溶接試験体の製作を行い、この試験体を供試体として曲げ試験の実施を行った。実験結果を精度良く再現する材料物性値を同定することで、あとに続く溶接変形解析シミュレーションに供すべき仮付け溶接部の破壊のクライテリア、及び材料物性値の同定を行った。図3に試験片形状、図4に実験結果と解析結果の比較を示す。

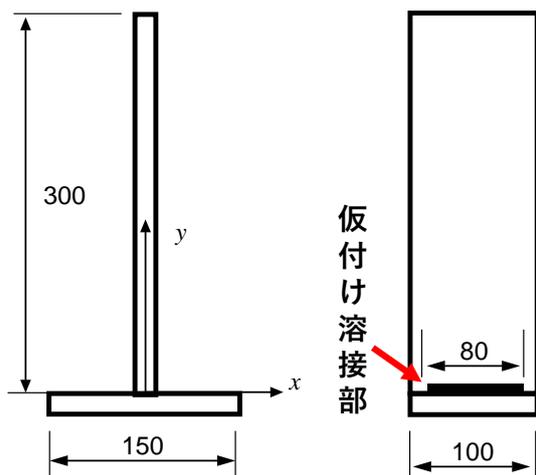


図3 試験片形状

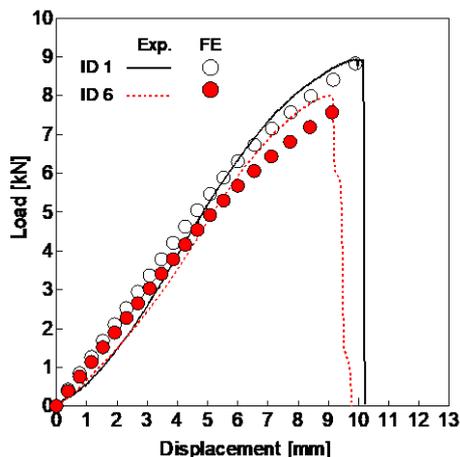


図4 実験結果と解析結果の荷重-変位関係の比較

#### (2) 溶接変形に起因する拘束反力の検討

(1)で同定した材料物性値を仮付け溶接部の材料物性値として、熱弾塑性FE解析による溶接シミュレーションを実施した。その結果、仮付け溶接部には比較的大きな溶接線方向せん断応力、及び溶接線直角方向せん断応力が生じおり、最終的に残留する溶接変形（縦板の横倒れ変形）に起因する拘束反力によって仮付け溶接部に割れが生じるのではなく、溶接施工中の局所的変形が原因となって割れが生じることを明らかにした。また、溶接施工中の局所的変形が起因となって仮付け溶接部に割れが生じること、及び仮付け溶接部に割れが生じた後、縦板が横

方向に平行移動する変形を呈する可能性があることは他の研究者らが実施した実験<sup>①</sup>より明らかとなっており、本検討で実施したシミュレーションはこの実験結果と整合する結果である。

### (3) 長尺継手（長さ 900mm）の熱弾塑性 FE 解析によるシミュレーション

研究実施期間中に、他の研究者らが実施した実験<sup>①</sup>において長尺継手の場合、試験片サイズと異なる変形に起因し仮付け溶接部に割れが生じる場合があることが明らかとなった。そこで、長尺継手に対し熱弾塑性 FE 解析によるシミュレーションを実施し、溶接施工中の変形挙動について検討を行った。ただし、上記実験は片側からの 1 パス施工で完全溶込み溶接を達成する片側完全溶込み T 継手の場合であり、本シミュレーションは両側完全溶込み T 継手を対象としていることに注意を要する。

仮付け溶接部に生じる塑性ひずみに着目すると、熱源位置が溶接始端から 400mm の範囲では溶接の進行に伴い仮付け溶接部に生じる塑性ひずみが徐々に大きくなっている（図 5 ア）。一方、溶接始端から 400mm を超える範囲では熱源位置に依らず仮付け溶接部に生じる塑性ひずみに差がない（図 5 イ）ことから、長さ 500mm 程度の試験片で検討した仮付けの条件であれば長尺継手への適用可能な仮付け条件であると考えられる。

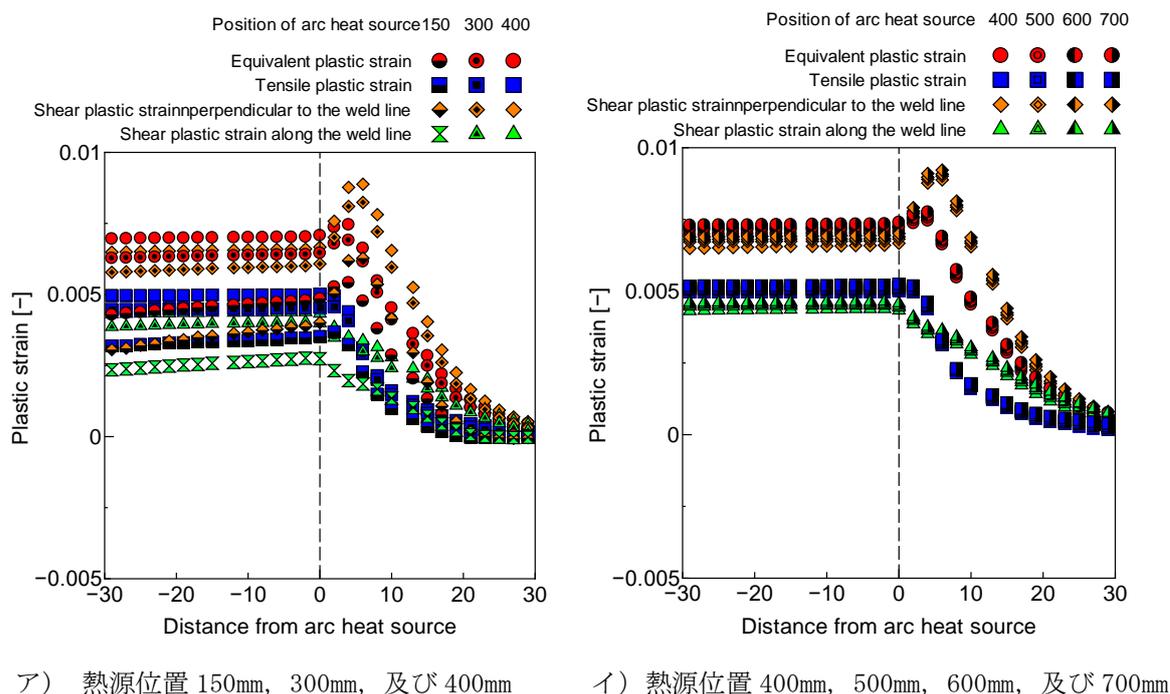


図 5 仮付け溶接部に生じる塑性ひずみ分布

### (4) 参考文献

- ① 後藤浩二他：レーザ・アークハイブリッド溶接技術の一般商船建造工程への導入に向けた研究-(その 3)実機レベルの溶接長を有する片側貫通 T 継手製作の検討-, 日本船舶海洋工学会講演論文集, Vol. 28, pp. 271-275, 2019.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 1 件）

津村秀一：レーザ・アークハイブリッド溶接を対象としたレーザ溶接による仮付け溶接部の静的強度に関する検討, 平成 30 年度日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2018.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

[https://www.nmri.go.jp/\\_src/21803/PNM24180308-00.pdf](https://www.nmri.go.jp/_src/21803/PNM24180308-00.pdf)

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。