

令和元年6月17日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06918

研究課題名（和文）船舶建造工程におけるレーザー照射を用いた疲労強度改善方法に関する研究

研究課題名（英文）Improvement of Fatigue Strength by Laser Irradiation in the Hull Construction

研究代表者

穴井 陽祐（ANAI, yosuke）

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：60470051

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：レーザー照射による船舶建造工程における効率的な疲労強度改善手法の開発を行った。隅肉溶接継手を対象として複数条件下で溶接止端部へのレーザー照射を行い、疲労強度に関する各種因子への影響を調査した。その結果、溶接止端形状の変化による応力集中の緩和が確認された。一方、結晶粒の微細化および残留応力に関しては、本研究で実施した照射条件の範囲においては、疲労強度に影響を与えるほどの有意な改善効果は見受けられなかった。つぎに、レーザー照射を施工した継手試験体を用いた疲労試験を行った。その結果、レーザー照射による疲労強度の改善が確認された。これは、溶接止端部へのレーザー照射による止端半径の変化が主な要因と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶は重要な社会資本として活用されているが、現在も多数の疲労損傷が報告されている。本研究の結果、船体の溶接工程においてレーザー照射を実施することにより効率的に船舶の疲労強度を改善可能なことが明らかとなった。これにより、疲労強度の観点から安全な船舶の建造が可能となり、安全かつ経済的な社会資本の構築に寄与するものと考えられる。

さらに、本研究の波及効果として、船体建造工程におけるレーザーの活用が進むことにより、より変形の少ない高品質な船舶の建造、新たな船体構造様式の開発につながると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed an efficient fatigue strength improvement method in hull construction by laser irradiation.

Laser irradiation was applied to the weld toe of fillet weld joints under multiple conditions, and the effects on factors affecting fatigue strength were examined. As a result, the weld toe radius increased and stress concentration at weld toe was relaxed. On the other hand, in regard to grain refining and residual stress, no significant improvement effect to affect the fatigue strength was found in the range of irradiation conditions in this study. Next, fillet weld joints irradiated with laser provided for fatigue tests. As a result, fatigue strength was improved by laser irradiation. It is considered that this is mainly due to the increase of the toe radius by the laser irradiation to the weld toe.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：疲労強度 レーザ照射

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、レーザ発振器の高出力化ならびに発振効率の向上に伴い、その適用範囲はますます広がりを見せている。船舶・海洋構造物の分野においても、その建造工程に関し、上部構造や機関室壁材などの比較的薄い鋼板に対してレーザ溶接とアーク溶接を組み合わせたレーザ・アークハイブリッド溶接の適用例があり、更なる適用範囲拡大に向けた研究も実施されているが、厚板に関しては施工条件が未だ確立されているとは言い難く、適用例は少ない。

(2) 船舶や海洋構造物に代表される大型溶接構造物では、溶接部を起点とする疲労損傷が現在も多数報告されている。構造物の大型化・厚板化という傾向の中、安全かつ経済的な構造物を製作するために、様々な耐疲労性能向上策が検討されている。耐疲労性能向上策のひとつとしてレーザを照射して鋼材表面の結晶粒を微細化する手法がある。当該手法は、過去の研究において溶接止端部への効果についても検証されており、疲労寿命が向上することが判明している。また、過去の研究においては、レーザの照射回数や施工速度が結晶粒微細化におよぼす影響についても検討されている。

2. 研究の目的

本研究では、船体構造に最も多くみられる隅肉溶接継手を対象として、溶接止端部にレーザ照射を施工することにより、連続した工程で効率よく継手の耐疲労強度を向上させる手法を考案する。

3. 研究の方法

(1) 隅肉溶接継手に対するレーザ照射方法の検討

アーク溶接にて隅肉溶接継手を製作する。この継手の溶接止端部に対する効率的なレーザ照射方法を検討し、レーザ照射が継手の溶接止端部性状に及ぼす影響を明らかにする。

(2) レーザ照射による疲労強度改善効果の検証と船舶建造工程における照射手法の考案

レーザ照射を施工した溶接継手から試験片を疲労試験に供して疲労強度データを取得し、疲労強度改善効果と照射条件の双方から効率的な照射方法を考案する。

4. 研究成果

(1) アーク溶接によるビードオン溶接を行ったうえで溶接止端部へのレーザ照射を行い、レーザ照射の狙い位置の設定等を含む施工の妥当性について確認実験を実施した。この確認実験により、隅肉溶接継手形状寸法、レーザ照射を実施する継手のアーク溶接条件（溶接電流、溶接電圧、溶接速度等）、照射するレーザの出力およびデフォーカス距離を決定した。なお、隅肉溶接止端部に対するレーザの照射方法としては、アーク溶接とレーザ照射のタンデム方式（先行：アーク溶接、後行：レーザ照射）とした。すなわち、アーク溶接後生成される溶接止端位置を予測したうえでレーザ照射位置を決定し、生成された溶接ビードを被覆するスラグを除去することなくアーク溶接とほぼ同時にレーザ照射を行うという方法である。これにより、レーザ照射による工数の増加を抑え、施工の効率化を図った。また、施工の効率化の観点からレーザ照射回数は1回とした。アーク溶接の施工条件を表1に、レーザ照射の施工条件を表2に示す。

表1 アーク溶接の施工条件

ID	電流	電圧	速度	トーチ角度	前進角	ワイヤ狙い位置
	[A]	[V]	[mm/min]	[deg.]	[deg.]	[mm]
1	373	31.7	600	45	0	1
2						
3						

表2 レーザ照射の施工条件

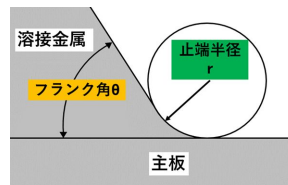
ID	出力	デフォーカス距離	速度	トーチ角度	前進角	アーク溶接との極間距離
	[kW]	[mm]	[mm/min]	[deg.]	[deg.]	[mm]
1	2.5	30	600	45	0	300
2		15				
3		溶接まま（レーザ照射材との比較検討のため）				

(2) 表1および表2の各施工条件下で得られた隅肉溶接ビードの止端形状および結晶粒の微細化状況、溶接残留応力分布に関し、レーザ照射が及ぼす影響を調査した。隅肉溶接ビードの止端形状についてはレーザ照射を行うことによって止端半径は大、フランク角は小となり、応力集中の緩和効果が確認された（表3および図1参照）。結晶粒の微細化状況および溶接残留応力分布（図2参照）については、本研究で実施した照射条件の範囲においては、疲労強度に影響

を与えるほどの有意な改善効果は見受けられなかった。

表3 止端形状計測結果（2本のビードの平均）

ID	止端半径	フランク角	K_t (1)
	[mm]	[deg.]	
1	3.16	20.2	1.53
2	2.17	22.2	1.65
3	1.04	38.8	2.33



(1) 表3中の応力集中係数 K_t は、以下に示す式により算出した。

$$K_t = 1 + \left\{ 0.629 + 0.058 \cdot \ln\left(\frac{T}{t}\right) \right\} \cdot \left(\frac{\rho}{t}\right)^{-0.431} \cdot \tanh\left(\frac{6h}{t}\right) f_\theta$$

ただし、

$$f_\theta = \frac{1 - \exp(-0.9 \cdot \sqrt{W/2h} \cdot \theta)}{1 - \exp(-0.9 \cdot \sqrt{W/2h} \cdot \pi/2)}, \quad W = t + h, \quad T = t_p + 2h_p$$

h_p : 主板側隅肉脚長、 h : 立板側隅肉脚長、 θ : フランク角、 ρ : 止端半径、 t : 主板厚、 t_p : 立板厚

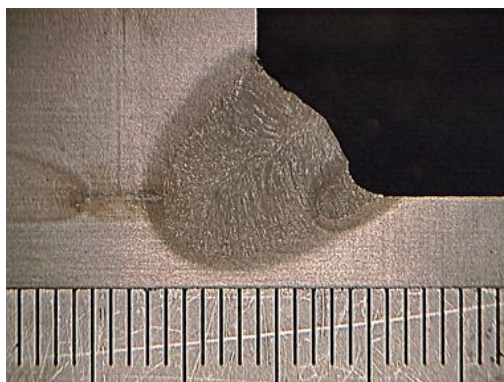


図1 レーザ照射した止端部マクロの例

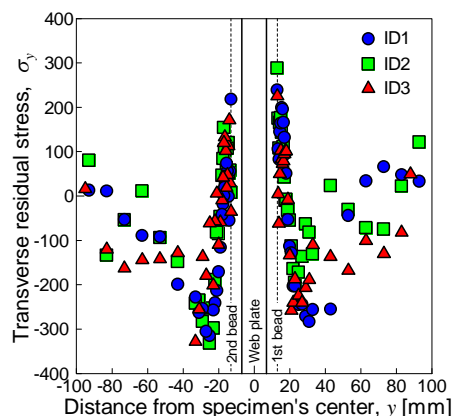


図2 溶接残留応力分布計測結果

(3) レーザ照射実験を行った継手試験体より、三点曲げ疲労試験片を複数体製作し、疲労試験を行った。その結果、レーザ照射を行うことによる疲労強度の改善が確認された(図3参照)。これは、溶接止端部へのレーザ照射による止端形状の変化にともなう応力集中の緩和が主要因と考えられる。なお、疲労亀裂はレーザ照射端部より発生した(図4参照)。

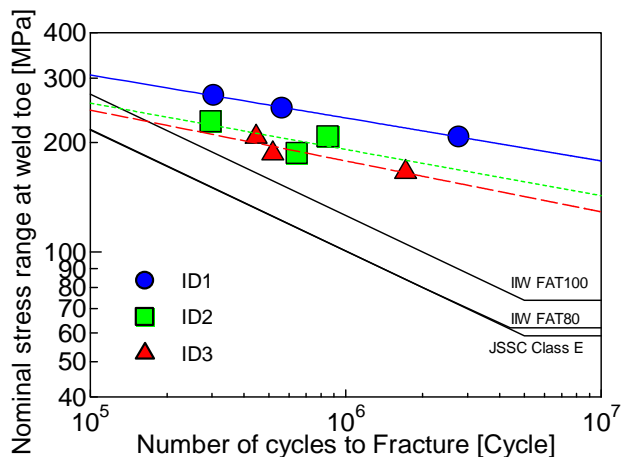


図3 疲労試験結果



図4 試験結果の例 (ID1)

(4) 船体建造における重要な溶接継手として、厚板の突合せ継手がある。本手法は同継手にも適用可能な手法であると考えられるため、今後船体建造工程への更なるレーザ適用工程の拡大も見据え、同継手に対する効果検証も必要であると考えられる。

<参考文献>

古賀宏志、郷田穂積、寺田伸、廣田一博、中山伸、坪田秀峰、レーザ・アークハイブリッド溶接の初の一般商船への適用、三菱重工技報、第47巻、第3号、pp.86-91、2010

一般財団法人日本船舶技術研究協会、船舶建造高品質化・効率化技術のための調査研究、2013
たとえば 野瀬哲郎、島貫広志、中島清孝、溶接構造物の疲労特性に及ぼす超音波衝撃処理の効果 - 疲労対策技術の溶接構造物への応用(第1報) - 、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第5E号、pp.75-76、2007

西尾一政、加藤光昭、田中孝彦、迎静雄、レーザ照射による組織の微細化、溶接学会全国大会講演概要、第67集、pp.246-247、2000

非荷重伝達型すみ肉溶接継手の止端部の応力集中係数の推定式、辻勇、西部造船会々報第80号、pp.241-251、1990

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔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

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：丹羽 敏男

ローマ字氏名：(NIWA, toshio)

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

部局名：その他部局等

職名：研究員

研究者番号(8桁)：10208267

研究分担者氏名：岩田 知明

ローマ字氏名：(IWATA, toshiaki)

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

部局名：その他部局等

職名：研究員

研究者番号(8桁): 50358397

研究分担者氏名：津村 秀一

ローマ字氏名：(TSUMURA, shuichi)

所属研究機関名：国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

部局名：その他部局等

職名：研究員

研究者番号(8桁): 10782526

(2)研究協力者

研究協力者氏名：後藤 浩二

ローマ字氏名：(GOTOH, koji)

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。