

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360393

研究課題名（和文） 溶接時の温度分布及び材料特性制御による船体ブロックの高精度ニアネットシェイプ工作

研究課題名（英文） Near-Net Shape Manufacturing of Hull Structures in Ship-Building by Using Control of Temperature Distribution and Material Properties

研究代表者

望月 正人 (MOCHIZUKI MASAHIRO)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：10304015

研究成果の概要（和文）：

建造及び艤装時の工作精度を高めることは、コスト面のみならず性能面にも影響を及ぼす重要なテーマである。溶接変形はその代表的なものであり、これまでは、溶接前の対策として溶接変形を拘束の力で完全に抑制することは困難なことから、溶接後に熱加工や機械加工などの後処理によって変形を矯正している場合が多い。しかし、生産プロセス全体の効率を考えると、溶接後に何らの処理を加えることなしに溶接プロセス中に変形を制御してしまうのが好ましい。そこで、溶接施工終了後そのままの状態に必要な部材形状・寸法精度を確保することを目指した、高精度ニアネットシェイプ工作法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

It is important for the quality of hull structures in ship-building to increase precision of manufacturing process such as cutting, welding and assembling. Weld distortion is one of the most important factors for precise manufacturing, but it was difficult to intentionally control weld distortion. A new methodology of controlling weld distortion for near-net shape manufacturing is studied by using control of temperature distributions during weld process and material properties in hull plate and weld metal.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：溶接力学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：溶接変形，ニアネット，プロセス中制御

1. 研究開始当初の背景

船舶や海洋構造物などの大型溶接構造物に溶接や切断などの熱加工プロセスによって発生する残留応力や熱変形が、構造物の強度や性能に種々の悪影響を及ぼすことは古くから周知の事実であるが、特に溶接変形に

関しては現在でも技術的に解決されているとは必ずしも言い切れない。したがって、溶接や熱加工によって発生する変形量を評価し、さらには制御することが重要な技術課題となっており、種々の研究機関で活発な研究がなされている。ここで、溶接変形の評価に

については最近の技術的な発展によってかなりの精度で予測が可能になりつつあるが、その一方で、溶接変形を拘束の力で完全に抑制することは困難なことから、溶接後に線状加熱や「お灸」などの後処理によって変形を矯正している場合が多い。しかし、生産プロセス全体の効率を考えると、溶接後に何らの処理を加えることなしに溶接プロセス中に変形を制御してしまうのが好ましい。そこで、溶接施工終了後そのままの状態に必要な部材形状・寸法精度を確保することを目指した、「高精度ニアネットシェイプ工作」という発想に至った。これを実現するために、従来の研究によって明らかにされた溶接変形のメカニズムにあらためて着目し、以下の二つのアプローチを見出した。

(1) 温度分布制御による溶接変形コントロール：

溶接中の不均一な温度分布が溶接変形発生の主要因であることから、これを積極的にコントロールすることで、溶接変形をもコントロールできる。

(2) 材料特性制御による溶接変形コントロール：

溶接変形に及ぼす材料特性の影響は従来の研究からも明らかにされている。これらのすでに得られている知見に加えて近年飛躍的に向上した材料特性制御手法を活用することにより、溶接変形の低減に有効な鋼材および溶接材料を開発することができる。

2. 研究の目的

本研究では、これまでに得られた知見を元に、「温度分布を制御することによって溶接変形を自在にコントロールする」手法ならびに「材料特性を活用することにより溶接変形をコントロール」する手法の物理的機構を一般化するとともに、種々の実験および数値解析を行うことによって、温度分布制御および材料特性制御に基づく変形制御法の定量的効果を明らかにする。さらに、これらの検討によって、溶接変形コントロールの実現に必要な因子を把握することができ、これに基づいて「高精度ニアネットシェイプ工作法」の確立へ向けた具体的手法を提案・開発する。

3. 研究の方法

(1) 温度分布制御による溶接変形アクティブインプロセスコントロール法の実用化

・溶接変形コントロールのために有効な温度分布制御指針の提案

・温度分布制御による溶接変形アクティブインプロセスコントロール用トーチの開発

(2) 材料特性制御による溶接変形コントロール法の確立

・溶接変形コントロールに有効な材料特性の提案

・溶接変形コントロール効果を有する鋼材・溶接材料の効果確認

(3) 温度分布制御・材料特性制御ハイブリッド溶接変形コントロール法への展開

・材料特性による溶接変形コントロールに及ぼす溶接施工条件の影響基礎検討

・複雑形状構造試験体に対応可能な変形計測装置の提案

・基本継手の溶接変形コントロールへの適用

・船体ブロックの溶接変形コントロールへの展開

(4) 高信頼性変形制御継手の溶接方法の確立

・温度分布制御・材料特性制御ハイブリッド法による溶接変形制御継手の継手性能評価

(5) 総合評価

・温度分布制御・材料特性制御による溶接変形コントロール法の総合評価

4. 研究成果

(1) 温度分布制御による溶接変形アクティブインプロセスコントロール法の実用化

制御対象となる溶接変形(角変形, 縦曲り, 縦収縮等)および溶接施工条件(継手形式, 溶接入熱量等)を明確化し, 溶接変形をコントロールするためには, どのような温度分布を作成すべきかについて, その指針を提案した。また, 提案された温度分布制御指針を, 実際の溶接工作現場において実現することが可能な, 溶接変形アクティブインプロセスコントロール用トーチにより変形性漁港かを確認した。

(2) 材料特性制御による溶接変形コントロール法の確立

溶接変形高精度数値シミュレーション手法を活用し, 材料特性を広範囲に変化させたパラメトリック解析を実施することにより, 制御の対象となる溶接変形(角変形, 縦曲り, 縦収縮等)それぞれについて, 変形コントロールに有効な材料特性を提案した。得られた溶接変形コントロールに有効な材料特性を有する鋼材ならびに溶接材料による変形コントロール効果を確認した。

(3) 温度分布制御・材料特性制御ハイブリッド溶接変形コントロール法への展開

両者の相乗効果による高精度ニアネットシェイプ工作法の提案に向け, 温度分布制御・材料特性制御ハイブリッド化へ向けた基礎検討を行うとともに, 基本継手モデルに対して適用し, 変形コントロール効果を確認した。さらに, 温度分布制御・材料特性制御ハイブリッド法を, 船体ブロックのような実構造モデルに適用し, 変形コントロール効果を確認した。

(4) 高信頼性変形制御継手の溶接方法の確立

溶接変形制御継手の強度および破壊特性

評価性能試験により、継手の健全性を確認した。

(5) 総合評価

温度分布制御・材料特性制御による溶接変形コントロール法の総合評価を行った。すなわち、実際の使用形態を考慮した施工性の評価、船体ブロックへの適用時における溶接変形コントロール効果の確認、溶接トーチ開発・材料開発へのフィードバックを行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 34 件)

- ① S. Okano, M. Mochizuki, K. Yamamoto and M. Tanaka, “An Attempt to Enhance Numerical Models of Angular Distortion by Considering the Physics of the Welding Arc,” *Welding in the World*, Vol. 55, No. 5/6, pp. 93-100 (2011) 査読有。
- ② 岡野成威, 田中学, 望月正人, “溶接アークの熱源特性を考慮した溶接変形の数値解析 - 入熱パラメータと溶接角変形に関する一考察”, *溶接学会論文集*, Vol. 29, No. 2, pp. 77-85 (2011) 査読有。
- ③ 岡野成威, 望月正人, 豊田政男, 上山智之, “熱源後方に冷却を伴う突合せ溶接中に生じる面内回転変形に及ぼす収縮変形の影響”, *溶接学会論文集*, Vol. 29, No. 2, pp. 70-76 (2011) 査読有。
- ④ M. Mochizuki and M. Toyoda, “Prediction of Ductile-to-Brittle Transition Under Different Strain Rates in Undermatched Welded Joints,” *Transactions of the ASME, Journal of Pressure Vessel Technology*, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 133, No. 3, 031401-1-8 (2011) 査読有。
- ⑤ S. Okano, M. Tanaka and M. Mochizuki, “Arc Physics Based Heat Source Modeling for Numerical Simulation of Weld Residual Stress and Distortion,” *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 16, No. 3, pp. 209-214 (2011) 査読有。
- ⑥ 岡野成威, 望月正人, 豊田政男, 上山智之, “水冷法による角変形低減効果に及ぼす溶接入熱条件の影響”, *溶接学会論文集*, Vol. 29, No. 1, pp. 55-60 (2011) 査読有。
- ⑦ 北野萌一, 岡野成威, 望月正人, “高強度鋼の適用拡大に向けた溶接部軟化許容設

計の基礎的検討”, *鋼構造年次論文報告集*, 第 18 巻, pp. 165-172 (2010) 査読有。

- ⑧ 岡野成威, 松下和憲, 望月正人, 豊田政男, “移動熱源の影響に注目した入熱パラメータと角変形の関係に関する一考察”, *溶接学会論文集*, 第 28 巻, 第 3 号, pp. 272-280 (2010) 査読有。
- ⑨ 越智申久, 岡野成威, 望月正人, 嶋村純二, 石川信行, “多電極サブマージアーク溶接における温度場特性に関する理論解析”, *溶接学会論文集*, 第 28 巻, 第 1 号, pp. 158-166 (2010) 査読有。
- ⑩ 岡野成威, 松下和憲, 望月正人, 豊田政男, 上山智之, “入熱パラメータと溶接角変形の関係に関する実験的考察”, *溶接学会論文集*, 第 28 巻, 第 1 号, pp. 97-107 (2010) 査読有。
- ⑪ 岡野成威, 望月正人, 豊田政男, “局所冷却を伴う温度場で生じる溶接残留変形とその低減効果”, *溶接学会論文集*, 第 28 巻, 第 1 号, pp. 72-79 (2010) 査読有。
- ⑫ M. Mochizuki, Y. Mikami, S. Okano and S. Itoh, “Computational Simulation of Weld Microstructure and Distortion by Considering Process Mechanics,” *Journal of Physics, Conference Series*, Vol. 165, No. 012014, pp. 1-6, IOP Publishing Limited (2009) 査読有。
- ⑬ Y. Mikami, M. Mochizuki and M. Toyoda, “Effect of Transformation Temperature and Restraint Intensity on the Reduction of Restraint Stress by Transformation Expansion,” *Quarterly Journal of Japan Welding Society*, Vol. 27, No. 2, pp. 235s-239s (2009) 査読有。
- ⑭ Y. Mikami, Y. Morikage, M. Mochizuki and M. Toyoda, “Angular Distortion of Fillet Welded T Joint Using Low Transformation Temperature Welding Wire,” *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 14, Vol. 2, pp. 97-105 (2009) 査読有。
- ⑮ S. Okano, M. Mochizuki and M. Toyoda, “Angular Distortion Reduction by In-Process Control Welding Using Back Heating Sources,” *Materials Science Forum*, Vols. 580-582, pp. 585-588 (2008) 査読有。

〔学会発表〕(計 17 件)

- ① M. Mochizuki and S. Itoh, “Million-Finite-Element-Order Large-Scale Computation of Residual Stress in Complicated Weld Structures,” Proceedings of the 2010 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Seattle, USA, PVP2010-25902 (2010. 7. 22) 査読有.
- ② M. Mochizuki and S. Okano, “Coupling Computation between Weld Mechanics and Arc Plasma Processes,” Proceedings of the 2010 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Seattle, USA, PVP2010-25901 (2010. 7. 20) 査読有.
- ③ S. Itoh, M. Shibahara, M. Mochizuki and H. Murakawa, “Prediction of Welding Deformation of Shell and Multiple-Pipe Components,” Proceedings of the 12th International Conference on Pressure Vessel Technology, Jeju, Korea, No. WRS1-5, pp. 72-79 (2009. 9. 21) 査読有.
- ④ M. Mochizuki, S. Okano and H. Shirai, “Weld Residual Stress and Distortion by Considering Process Mechanics,” Proceedings of the 2009 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, Prague, Czech, PVP2009-77617 (2009. 7. 28) 査読有.
- ⑤ S. Okano, M. Mochizuki, M. Toyoda and T. Ueyama, “Experimental Study on Thermal Distortion Behavior during In-Process Control Welding by Additional Cooling,” Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, ISOPE-2009-TPC-711 (2009. 6. 25) 査読有.
- ⑥ S. Itoh, S. Okano, M. Mochizuki and H. Murakawa, “Influence of Initial Residual Stress by Rolling Process on Welding Distortion of Stiffened Plate,” Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, ISOPE-2009-TPC-650 (2009. 6. 24) 査読有.
- ⑦ M. Mochizuki, Y. Mikami and M. Iyota, “Effect of Low Temperature Transformation Expansion on Restraint Stress of High Strength Steel Welds,” Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan, ISOPE-2009-TPC-549 (2009. 6. 23) 査読有.

- ⑧ Y. Morikage, T. Kubo, K. Yasuda, Y. Mikami and M. Mochizuki, “Effect of Transformation Temperature of Weld Metal on Welding Distortion,” Proceedings of the 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Estoril, Portugal, OMAE2008-57709 (2008. 6. 17) 査読有.

〔その他〕

ホームページ等

http://www7.mapse.eng.osaka-u.ac.jp/Pro-M_Lab_Home.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 正人 (MOCHIZUKI MASAHIRO)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：10304015

(2) 研究分担者

三上 欣希 (MIKAMI YOSHIKI)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：40397758