

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 15 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760640

研究課題名（和文）

画像計測を利用した船体大型ブロック溶接組立時における変形予測システムの開発

研究課題名（英文）

Development of Prediction System for Welding Deformation during Assembling Hull Blocks Using Image Measurement

研究代表者

柴原 正和 (SHIBAHARA MASAKAZU)

大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：20350754

研究成果の概要（和文）：

本研究では、船体大型ブロック溶接組立時における溶接変形予測システムを開発した。このシステムにより、任意の形状・溶接法および溶接条件の溶接継手を含む船体ブロック溶接組立時におけるブロック全体に亘る変形が事前に予測できるようになった。この手法は、船体建造における全過程において発生する変形を、溶接工程順に従って予測することができる手法である。この開発により、変形の低減策について検討することができるようになった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, prediction system for welding deformation during assembling hull blocks using image measurement was developed. Using this system, welding deformation during assembling hull blocks and welding deformation of whole process every welding sequence became able to be predicted. Because of this development, for example, it became to be possible to take into consideration the reduction of welding deformation

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：材料・構造力学

1. 研究開始当初の背景

船舶建造時におけるブロック組立工程においては、工作精度において問題が生じるケースが存在し、ブロック同士を接合する際には、熟練工による油圧ジャッキを用いた

寄せ作業等の手直し作業が必要となり、それがドック内工事期間の延長に繋がる場合もあり、生産コストを著しく上昇させる原因となる可能性を含んでいる。よって、ブロック組立工程を精度良くシミュレートで

きる手法があれば、生産性の向上に繋がると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、船体大型ブロック溶接組立時における溶接変形予測システムを開発することである。この開発により、任意の形状・溶接法および溶接条件の溶接継手を含む船体ブロック溶接組立時におけるブロック全体に亘る変形が事前に予測できるようになる。この手法は、ブロック建造工程における数百ある船体ブロックすべてを溶接組立し、それらの集合・接合体としての船体が完成するに至る全過程において発生する変形を、溶接工程順に従って予測することができる手法である。

⑤界面要素を用いた組立工程を考慮可能な FEM 解析プログラムの整備

3. 研究の方法

本研究は、以下の①から⑥の順に従い、研究を実施した。

①デジタルカメラを用いた画像処理による三次元溶接変形計測法の高性能化

②デジタルカメラを用いた画像処理による溶接固有変形同定システムの構築

③小型構造への適用による溶接固有変形同定システムの妥当性検証

④界面要素を用いた組立工程を考慮可能な FEM 解析プログラムの整備

⑤溶接固有変形に基づく弾性非線形 FEM 解析の高速化・省メモリー化のための理想化陽解法 FEM の導入

⑥船体大型ブロック溶接組立時の変形低減・制御方法について

4. 研究成果

①デジタルカメラを用いた画像処理による三次元溶接変形計測法の高性能化

申請者が独自に開発し、高精度溶接変形計測が可能である、デジタルカメラを用いた画像処理による三次元溶接変形計測法に対し残差力に基づく修正変位法および画像拡大法⁷⁾を導入することにより、高精度化した計測法を新たに開発した。これらの導入により、変位の計測精度は概算で 1 ピクセルの 20 分の 1 程度となった。なお、残差力に基づく修正変位法とは、有限要素法の基礎理論に基づき物体内の変位の連続性および各画素位置における力の釣り合い状態の両者を同時に満足させる、実用性の高い理論的手法であり、申請者が独自に研究を進めているものである。さらに、溶接変形計測に即した簡易かつ汎用的に使えるカメラキャリブレーションのためのカメラ特性マトリックスを幾何的性質より導出することで計測精度向上のための工夫を行った。さらには、この手法に対

し流体計測の PIV 法でよく用いられている時空間微分法を導入することにより、画像照合ではなく輝度値の微分量から変位量を予測するため、画像照合の際の計算時間を 1/20 程度に抑えることが出来た。

②デジタルカメラを用いた画像処理による溶接固有変形同定システムの構築

デジタルカメラを用いた画像計測により得られた 1000 万点以上ある変位情報を、逆解析による手法を用いて統計的に処理することにより、その最確値として高精度な溶接固有変形主要 4 成分を同定するシステムを構築した。

③小型構造への適用による溶接固有変形同定システムの妥当性検証

2 次元問題の適用例として、ビードオンプレート溶接を実施し、その際に発生する溶接固有変形主要 4 成分を算出した。ここでは、溶接固有変形主要 4 成分により構造全体の溶接変形が再現可能かどうか、それらの値を用いて、固有変形に基づく弾性非線形 FEM 解析を実施することにより、妥当性について検証した。また、計測精度に影響を及ぼす、本手法に含まれるパラメータについて調べるため、感度解析を実施した。

④界面要素を用いた組立工程を考慮可能な FEM 解析プログラムの整備

上述の溶接固有変形算出システムにより得られた溶接固有変形主要 4 成分を溶接部近傍の要素に付与し、溶接固有変形に基づく弾性非線形 FEM 解析を実施することにより純粋な熱変形のみによる溶接変形を予測することが可能となった。しかし、溶接変形を形成するのは熱変形のみならず、位置決めの際に発生するギャップや目違い等の組立工程上発生する変形も無視することはできない。そこで、それらの影響についても検討できるようにするため、界面要素を用いた組立工程を考慮可能な FEM 解析手法を用いることにより、さらなる検討を行った。

⑤溶接固有変形に基づく弾性非線形 FEM 解析の高速化・省メモリー化のための理想化陽解法 FEM の導入

溶接固有変形に基づく弾性非線形 FEM 解析を用いて、船体大型ブロック同士を接合する際の溶接変形を解析する場合においては、解析自由度が数千万を超えるような場合も想定され、市販されている PC ではメモリーの制約上、また、解析時間の都合上の両面から解析が不可能になる場合が想定される。そこで、この問題を解決するために、本研究では、2009 年に申請者らが開発した理想化陽解法 FEM を導入した。

⑥ 船体大型ブロック溶接組立時の変形低減・制御方法について

提案手法を用いることで、溶接組立時における溶接変形を、熱変形による溶接固有変形主要4成分、ギャップ量、目違い量等の成分ごとに分離して算出することができるようになった。また、本手法は、組立過程(途中)における変形状態も予測可能である。よって、ここでは、上述の成分分離方法に基づき、変形の低減策およびそれらの制御方法について検討した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 溶接中における三次元変形の時系列全視野計測 柴原正和、恩田尚拓、伊藤真介、正岡孝治 338-345 溶接学会論文集 28 3 2010 (査読有)
- ② Development of Analytical Method for Welding mechanics Using Idealized Explicit FEM Masakazu Shibahara, Kazuki Ikushima 384-386 TRANSACTIONS OF JWRI 39 2 2010 (査読無)
- ③ 動的陽解法 FEM を基にした大規模構造のための溶接過渡変形・応力解析手法の提案 柴原正和、生島一樹、伊藤真介、正岡孝治 1-9 溶接学会論文集 29 1 2011 (査読有)
- ④ Application of Inherent Strain Analysis Using Idealized Explicit FEM for Prediction of Welding Deformation in Ship Block Building S.Itoh, M.Hata, M.Shibahara, M.Mochizuki 111-116 The Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference 2011 (査読有)
- ⑤ Development of Idealized Explicit FEM K.Ikushima, S.Itoh, M.Shibahara, T.Fukasawa 166-173 The Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference 2011 (査読有)
- ⑥ Investigation of Factors Influencing Welding Deformation of Ship Block by Inherent Strain Analysis Using Idealized Explicit FEM M. Hata, S. Itoh, T. Sugihira, Y. Yamashita, A. Kamio, M. Shibahara, and M. Mochizuki 1-8 Journal of Physics, Conference Series 379 1 2012 (査読有)
- ⑦ Investigation on Twisting Distortion of Thin Plate Stiffened Structure under Welding Jiangchao Wang, Masakazu Shibahara, Xudong Zhang, Hidekazu Murakawa 1705-1715 Journal

of Materials Processing Technology 212 8 2012 (査読有)

- ⑧ Measurement of In-situ Measurement System for Welding Deformation Using Digital Camera Masakazu SHIBAHARA, Kazuki IKUSHIMA, Shinsuke ITOH 511-517 Journal of Science and Technology of Welding and Joining 17 6 2012 (査読有)

- ⑨ Large-scale Computation for Welding Mechanics Using Idealized Explicit FEM Accelerated by a GPU Kazuki IKUSHIMA, Shinsuke ITOH, Masakazu SHIBAHARA 244-251 The Proceedings of the 21th International Offshore and Polar Engineering Conference 4 2012 (査読有)

- ⑩ Ultra Large Scale FE Computation Using Idealized Explicit FEM Accelerated by GPU Kazuki IKUSHIMA, Shinsuke ITOH, Masakazu SHIBAHARA, Ninshu MA 91-92 TRANSACTIONS OF JWRI 2012 (査読無)

- ⑪ Numerical Analysis of Welding Deformation for Large-Scale Structure Kazuki Ikushima, Shinsuke Itoh, Masakazu Shibahara 95-96 Visual JW 2012 1 2012 (査読無)

- ⑫ GPU を用いた理想化陽解法 FEM による溶接変形・応力解析手法 生島一樹、柴原正和、伊藤真介、深沢塔一 23-32 溶接学会論文集 31 1 2013 (査読有)

[学会発表] (計 16 件)

- ① 画像計測を用いた溶接固有変形同定に関する研究 恩田尚拓、伊藤真介、柴原正和、深沢塔一 溶接学会秋季全国大会講演概要 Vol.87, pp.36-37 2010, 9/8, 大阪
- ② 理想化陽解法 FEM による大型船体ブロックの固有ひずみ解析 畑将司、伊藤真介、山下泰生、柴原正和、望月正人 溶接学会秋季全国大会講演概要 Vol.87, pp.74-75 2010, 9/8, 大阪
- ③ Development of Analytical Method for Welding mechanics Using Idealized Explicit FEM Masakazu Shibahara, Kazuki Ikushima 23-24 The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science Through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW 2010), 1 2010, 11/12, 大阪
- ④ Elastic Analysis Using Inherent Strain for

Large-Scale Structure by Idealized Explicit FEM Yusuke Minami, Kazuki Ikushima, Masakazu Shibahara, Toichi Fukasawa 410-415 The 4th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies (PAAMES) 2010, 12/7, Singapore

⑤ Development of Analytical Method for Welding Mechanics Using Idealized Explicit FEM Kazuki Ikushima, Masakazu Shibahara, Toichi Fukasawa 404-409 The 4th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies (PAAMES), 2010, 12/7, Singapore

⑥理想化陽解法 FEM による溶接構造物の大規模接合・組立シミュレーション 生島一樹、伊藤真介、柴原正和、深沢塔一 溶接学会春季全国大会講演概要 Vol.88, pp.172-173 2011, 4/20, 東京

⑦固有ひずみを利用した理想化陽解法 FEM による残留応力・変形解析の高速化 生島一樹、伊藤真介、柴原正和 溶接学会秋季全国大会講演概要 Vol.89, pp.144-145 2011, 4/20, 東京

⑧溶接三次元変形の画像計測 柴原正和、恩田尚祐、八木利起、伊藤真介 OS0404 日本機械学会 M&M2011 材料力学カンファレンス 2011, 7/17, 北九州

⑨ Ultra Large Scale Welding Simulation M. Shibahara, K. Ikushima 333-340 International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation 2011, 9/17, 神戸

⑩GPU を用いた並列化理想化陽解法 FEM の開発 生島一樹、八木利起、伊藤真介、柴原正和 313-320 溶接構造シンポジウム 2011, 大阪 2011, 11/15, 神戸

⑪理想化陽解法 FEM による大型船体ブロックの固有ひずみ解析 畑将司、望月正人、伊藤真介、柴原正和、山下泰生 329-336 溶接構造シンポジウム 2011, 2011, 11/15, 大阪

⑫理想化陽解法 FEM による超高速大規模解析 柴原正和、生島一樹 301-308 溶接構造シンポジウム 2011, 2011, 11/15, 大阪

⑬ Ultra Large Scale FE Computation Using Idealized Explicit FEM Accelerated by GPU Kazuki IKUSHIMA, Shinsuke ITOH, Masakazu SHIBAHARA, Ninshu MA 137-138 International Seminar on Welding Science and Engineering (WSE2011) & CCWS Seminar

2011, 2011, 11/19, 大阪

⑭理想化陽解法 FEM による薄板構造の溶接変形解析 生島一樹、重政拓海、伊藤真介、柴原正和、深沢塔一 溶接学会春季全国大会講演概要 Vol.90, pp.134-135 2012, 4/11, 大阪

⑮画像処理を用いた溶接変形の計測 生島一樹、伊藤真介、柴原正和 溶接学会春季全国大会講演概要 Vol.90, pp.144-145 2012, 4/11, 大阪

⑯溶接変形・残留応力解析における固有ひずみ付与方法に関する検討 八木利起、生島一樹、伊藤真介、柴原正和、岡田裕、村川英一 溶接学会秋季全国大会講演概要 Vol.91, pp.358-359 2012, 9/28, 奈良

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://blade04.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab03/index.htm>

6. 研究組織

(1)研究代表者

柴原 正和 (SHIBAHARA MASAKAZU)

大阪府立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20350754