

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 27 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760678

研究課題名(和文) 船体曲がり部ブロックにおける曲面形成および組立の最適化工法の開発

研究課題名(英文) Development of procedure of bending plate block for ship building

研究代表者

伊藤 真介 (ITO, Shinsuke)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50535052

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、船体建造におけるプレス加工シミュレーションの開発を行い、プレスによる自由曲面形成法を開発することを目的とする。

プレス加工により目的形状を成形するには必要なプレス条件を選定する必要がある。そこで、開発したプレス解析ツールを用いてプレス加工を行った際に発生する固有変形および曲がり角のデータベースを作成した。一方、ぎょう鉄においてもプレスと同様に目的固有ひずみ分布を算出し、それを近似するような加熱条件、及び目的形状が成形できなかった場合の修正加熱条件の選定方法を考案し、固有変形データベースから選定することによりFEM熱弾塑性解析を用いて提案手法の妥当性検証を行った。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is the development of the method to form the curved surface by pressing for the ship-building.

It is necessary to select the appropriate pressing conditions to form the objective shape by pressing. The refore, the database of inherent deformation and angular distortion is created by using the press analysis tools developed. On the other hand, the heating and correcting conditions of line heating is calculated from the database of the objective inherent strain distribution as the pressing. To verify this method, a series of the thermal-elastic-plastic finite element analysis, which is one of strongly non-linear analyses, is performed and the result is that the required curved shape is obtained with three times correcting heating.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学

キーワード：プレス ぎょう鉄 曲面形成

1. 研究開始当初の背景

ブロック建造法によって、船体の生産効率は格段に向上した。クレーンの搭載規模によって造船の生産性が決まるとまで言われている。しかしながら、大型ブロックにおいても製造が困難な箇所として船首部、船尾部の曲がり部ブロックが挙げられる。これらの部位は、複雑な曲面形状となっており、高度な板曲げ技術が必要となる。板曲げには、主にプレスやローラーなどの冷間加工に加え、ガス火炎を用いて熱曲げや熱絞りを行なって板曲げを行うぎょう鉄（線状加熱）作業が挙げられる。ぎょう鉄は日本発の技術であり、現在も熟練技術者によって行われている。近年の少子高齢化により後継者不足となっていることに加え、個人差も大きいため、生産性の観点から考えるとボトルネックとなっている。一方、プレス加工は加圧力やプレス歯の形状等には個人差は発生しないが、ぎょう鉄の加熱線と同様にプレス線の配置によって板の曲がり方に大きな差が発生するため、これらの諸条件の決定にも熟練した技能が必要となっている。

これらの熟練技術が必要な板曲げ工程を誰でも行える技術とするため、様々な研究が行われている。特に、ぎょう鉄に関する研究は多く、IHI- α （丹後ら[1]）などの、高周波加熱を用いた自動板曲げ設備も開発されているが、全てぎょう鉄で行われるため、冷却時間に時間を要すると考えられる。一方、プレス加工では、多点プレス法（野本ら[2]）のように船体外板を対象とした研究が行われているが、近年は自動車外板などに用いられる薄板のプレス形成技術に関する研究はあるものの、船舶の外板のように直線のプレス歯を複数回当てて曲面を形成するプレス加工に関する研究は少ない。

[1] 丹後 義彦, 石山 隆庸, 永原 章二, 長島 智樹, 小林 順: 線状加熱自動鋼板曲げシステムの実船適用, 日本造船学会論文集 (193), pp.85-95, (2003)

[2] 野本 敏治, 大塚 守三, 岡村 俊哉, 横山 保: 多点プレス法による船体外板の曲げ加工に関する実験的研究, 日本造船学会論文集(174), pp.635-650, (1993)

2. 研究の目的

ぎょう鉄およびプレス加工を用いた板曲げ加工シミュレータの開発および固有ひずみデータベースの構築によって、プレス加工およびぎょう鉄による総合的な板曲げ加工の解析を行うことが可能となる。また、より簡易に板曲げ加工の変形予測を行うために、固有ひずみデータベースを構築する。

また、申請者らによって開発された理想化陽解法 FEM は大規模・高速・省メモリに三次元熱弾塑性解析を行うことが出来る。本手法を接触問題であるプレス加工の弾塑性解析に適用し、大規模プレス加工シミュレシ

ョン手法を開発する。

3. 研究の方法

【プレス加工シミュレーションの開発および性能評価】

溶接力学解析において、大規模・高速・省メモリ化に成功した理想化陽解法 FEM(申請者ら[1])をプレス加工解析問題に適用し、大規模プレス加工シミュレーション手法を開発する。船舶の外板の曲面形成に使用されるプレスは、自動車の車体等の成形に用いられるプレスとは異なり、一本のプレス歯を複数の箇所によってプレスされるため、プレス線は直線かつ複数となる。まず、プレス線の形状と加圧力が板曲げ角度に及ぼす影響について整理すると共に、実機における単プレスによる曲がり角度と比較することで本解析手法の性能評価および妥当性の検証を行う。船体の曲面外板を製造するためには複数の加熱線およびプレス線が必要となる。理想化陽解法 FEM により大規模解析を行うことができ、これらの変形シミュレーションを逐次解析により行うことが出来るが、加熱線およびプレス線を選定するために、固有ひずみ解析が必要となる。そのため、ぎょう鉄およびプレスによって得られる固有ひずみのデータベースを作成する。さらに交差部や、端部の加熱やプレスによる固有ひずみ分布も考慮できるように、固有ひずみデータベースを構築する。

【画像計測による曲面形成の実証実験】

本手法の妥当性および精度検証を行うために、申請者らが開発を行ったデジタルカメラを用いたステレオ画像照合法(申請者ら[2][3])を改良する。これまでの画像計測では、十分に計測できなかったひずみ分布を更なる高精度化および高速化を実現することによりひずみ計測の実現を目指す。

【船体曲がり部ブロックの溶接変形解析】

これまでの理想化陽解法 FEM に改良を加え、船体ブロックを対象とした大規模溶接変形解析を行う。

[1] S.Itoh, M.Hata, M.Shibahara, M.Mochizuki: Application of Inherent Strain Analysis Using Idealized Explicit FEM for Prediction of Welding Deformation in Ship Block Building, pp.111-116, The Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, 2011.6, 査読有

[2] 柴原正和, 恩田尚弘, 伊藤真介, 正岡孝治: 溶接中における三次元変形の時系列全視野計測, pp.338-345, 溶接学会論文集, 28, 3, 2010.10

[3] 柴原正和, 河村恵里, 生島一樹, 伊藤真介, 望月正人, 正岡孝治: ステレオ画像法による三次元溶接変形計測法の開発, pp.108-115, 溶接学会論文集, 28, 1, 2010.4

4. 研究成果

【プレス加工について】

プレス加工による板曲げ工程の自動化を目指し、プレスによる変形のデータベースの作成および、FEM 弾塑性解析をもとに作成したプレスシミュレーションメソッドを作成した。様々な荷重条件におけるデータベースを作成から、プレス加工によって任意形状を成形するための荷重条件選定方法を提案した。さらに、提案した荷重条件を用いてシミュレーションを用いて成形を行い妥当性検証し、対象形状を成形するための荷重条件を決定した。以下に成果をまとめる。

- 1) プレス加工によって生じる固有変形4成分の固有変形量のデータベースを作成した。
- 2) FEM 弾性解析を用いて平板から任意形状を成形するために必要な、目的主曲率分布を算出した。
- 3) 平板から任意形状を成形するために必要な、目的固有変形量を目的主曲率分布から求め、それを近似するような荷重条件選定方法を考案し、固有変形データベースから選定した。
- 4) FEM 弾塑性解析を用いて提案手法の妥当性検証を行った結果、主軸に垂直または平行なプレスのみで成形した椀型および鞍型は目的形状と定性的に一致した変位分布を得ることができた。

【ぎょう鉄について】

FEM 弾性解析を用いた変形シミュレーションを用い、ぎょう鉄による任意形状を成形するための加熱条件選定方法、および修正加熱条件選定方法を提案した。さらに FEM 熱弾塑性解析によってその妥当性について検証し、対象形状を成形するための加熱条件を決定した。以下に成果をまとめる。

- 1) FEM 弾性解析を用いて平板から任意形状を成形するために必要な、目的固有ひずみを算出し、その面内成分の主軸を面外成分の主軸と一致させることにより、ぎょう鉄によって近似しやすい形で目的固有ひずみを表現できた。
- 2) 平板から任意形状を成形するために必要な、目的固有変形量を目的固有ひずみから求め、それを近似するような加熱条件、及び目的形状が成形できなかった場合の修正加熱条件の選定方法を考案し、固有変形データベースから選定した。
- 3) FEM 熱弾塑性解析を用いて提案手法の妥当性検証を行った結果、今回目的形状とした鞍型に関しては、3回の修正を行った加熱条件によって、平板から、おおむね一致した形状が得られることが確認された。

【画像計測について】

本研究ではデジタル画像相関法を用いた

溶接変形計測手法に対して、画像拡大法、並びに、最小二乗法を導入することで溶接中におけるひずみ分布を計測可能な手法を開発した。開発した手法を基礎的なビードオンプレート溶接の変形、ひずみ計測及び防撓版を有する構造物の溶接変形計測に適用した。以下に成果をまとめる。

- 1) 提案手法を用いることで、溶接中の過渡ひずみ分布を計測できる可能性を示した。
- 2) 提案手法を用いて計測された溶接中の過渡ひずみ分布の履歴と、FEM 熱弾塑性解析によるひずみ分布の履歴を比較した結果、提案手法と FEM 熱弾塑性解析による過渡ひずみ分布履歴が定性的に一致することを確認した。
- 3) 提案手法を防撓構造の溶接変形計測に適用し、ダイヤルゲージによる計測結果と比較した結果、提案手法とダイヤルゲージによる計測結果が良好に一致することを確認した。

【大規模溶接変形解析について】

理想化陽解法 FEM の薄板構造物の溶接変形・残留応力解析への適用性を向上させるために、マルチグリッド法を導入した解析手法を提案した。提案手法を基礎的な薄板ビードオンプレート溶接の解析に適用し、提案手法が持つ性能について検討した。また、提案手法の大規模薄板構造物の解析への適用性を示すために、船体二重底ブロックの建造工程を模擬した問題の解析に提案手法を適用した。以下に成果をまとめる。

- 1) 提案手法を基礎的な薄板ビードオンプレート溶接問題の解析に適用し、提案手法および静的陰解法 FEM により得られた溶接変形、残留応力分布に関して比較した結果、提案手法は静的陰解法 FEM とほぼ同等の解析精度を有することが分かった。
- 2) 板厚の異なる薄板ビードオンプレート溶接問題の解析において、提案手法と GPU 並列化を適用した理想化陽解法 FEM、静的陰解法 FEM の計算時間について比較した結果、GPU 理想化陽解法 FEM は解析モデルの板厚が薄くなるほど計算時間が増大するのに対して、提案手法の計算時間は板厚に関係なく解析自由度に比例する程度となることを確認した。また、提案手法は GPU 並列化理想化陽解法 FEM に対して、板厚 10 mm、16,674 節点の解析モデルにおいては約 10 倍、板厚 20 mm、30,569 節点の解析モデルにおいては約 5 倍高速に解析可能であることが分かった。以上のことから、提案手法は、従来、理想化陽解法 FEM で計算時間が増加する可能性のあった薄板問題を効率的に解析できることが分かった。
- 3) 提案手法を 1000 万自由度クラスの船体

二重底ブロックの溶接組立における変形問題の解析に適用した結果，提案手法を用いることで大規模薄板構造物の溶接変形問題を実用的な計算時間（約 5 日）で解析できることが分かった．このことから，提案手法は，従来手法では解析が難しい大規模問題の検討を，大規模な計算設備を用いずに実現できる手法であると言える．

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. K. Ikushima, **S.Itoh** and M. Shibahara, Numerical Analysis of Welding Deformation for Large-Scale Structure, 溶接学会論文集, Vol. 31, No.4, pp.138-142 (2013) (査読有)
2. M. Shibahara, M. Hamada, K. Ikushima and **S. Itoh**, Three-dimensional in situ measurement system for welding deformation using digital camera, Proceedings of the 1st International Symposium on Joining and Welding, pp.531-536,(2013) (査読有)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

6．研究組織

(1)研究代表者

伊藤 真介 (ITO SHINSUKE)
大阪府立大学・工学研究科・准教授
研究者番号：50535052

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし