

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：24403

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889052

研究課題名(和文) 超大規模溶接変形解析手法を用いた船体ブロック組立時における変形低減に関する研究

研究課題名(英文) Investigation on mitigation of welding deformation on assembly of ship hull block using ultra large scale analysis method

研究代表者

生島 一樹 (Ikushima, Kazuki)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80734003

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大規模なシミュレーションを高速に実施できる手法として注目されている理想化陽解法FEMを基にした、船体ブロック溶接組立時の変形の低減に関する検討が可能な手法の開発、ならびに、開発手法を用いた基礎的な検討を実施した。その結果、理想化陽解法FEMを用いることで、従来手法では予測が困難であった変形傾向が大きく変化する溶接時の座屈現象をスムーズに解析できる可能性があることが分かった。また、従来手法ではきわめて困難な船体ブロックの溶接組立時に発生する変形の解析に対して、開発手法を適用した結果、実用的な計算時間で変形を予測できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a new analysis method based on the Idealized Explicit FEM, which can perform large scale simulation and is gathering attention, was developed. In addition, the developed method was applied to the fundamental investigation of welding distortion on the assembly process of ship hull block.

As a result of investigation, it was shown that it is possible to analyze the buckling behavior which includes large change of deformation tendency by using Idealized Explicit FEM. This kind of behavior may cause the collapse of analysis in the conventional method which is based on static implicit FEM. In addition, the developed method was applied to the simulation of the welding deformation on welding assembly process of ship hull block. As a result it was found that the developed method can analyze the large scale problem within the reasonable computing time.

研究分野：材料力学、構造力学、溶接力学、計算力学

キーワード：有限要素法 船体ブロック 溶接変形 非線形解析 大変形

### 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る。この手直し作業により、ドック内の建造の長期化につながる場合があり、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。そのため、船体ブロック溶接組立時の変形を低減することができれば、手直し作業に伴うコストの削減につながると考えられるが、溶接変形は施工条件や順序等の要因により複雑に変化するため、その予測は大変困難であると言える。そのため、溶接変形を予測し、更に、変形量を低減することが可能な施工方法を事前に検討できるシステムを構築することができれば、非常に有効であると考えられる。

溶接変形を予測するための解析手法として、固有ひずみを用いた弾性有限要素解析、熱弾塑性理論に基づく非線形有限要素解析が挙げられる。前者の固有ひずみを用いる手法は、溶接継手の変形を規定する固有ひずみを基に簡易的な線形弾性解析により溶接変形を予測する手法であるが、その基礎となる固有ひずみを求める方法が未確立であるため、実構造物の溶接変形予測への適用は困難なのが現状である。一方、非線形有限要素法により溶接変形を予測する場合は、熱弾塑性解析理論に基づき、溶接中の温度変化に伴う過渡の応力、変形を逐次計算することで溶接変形を予測可能であるが、非常に詳細な解析が必要となるため、従来手法では、計算時間や記憶容量が膨大となることから、船体ブロックをはじめとする実構造物規模の解析は困難であるのが現状である。そのため、船体ブロック規模の大規模な構造物の溶接変形を実用的な計算時間で予測できる手法が求められている。

### 2. 研究の目的

非線形解析を用いた溶接変形の予測手法に関して、報告者らは、理想化陽解法 FEM<sup>1)</sup>と呼ばれる手法を開発することで、従来手法では解析が困難な大規模溶接変形・残留応力問題を、実用可能な計算時間、記憶容量で解析可能であることを示してきた。

そこで、本研究においては、報告者らがこれまでの開発した理想化陽解法 FEM を基に、船体ブロック溶接組立時における溶接変形を予測可能なシステムを構築し、これに対して、溶接変形を低減可能な溶接施工方案について検討できるシステムを構築することを目標とした。

### 3. 研究の方法

(1) 船体ブロックなどの大型薄板構造物の溶接時においては、幾何学非線形に起因する座屈などの大変形現象が生じる場合が想定される。本研究では、理想化陽解法 FEM に対

して、座屈を含む大変形現象を高精度に解析するための検討を行う。

(2) 実施工における溶接変形は、仮付け、ルートギャップ、目違い、部材間の寄せ作業等の組立工程における諸因子の影響が熱変形による影響よりも大きい場合も存在する。そのため、本研究では、界面要素を用いた溶接変形解析法を理想化陽解法 FEM に対して導入することで、上記の因子の影響を考慮可能な解析手法を構築し、変形特性が異なるすべての船体ブロックを統一的に解析可能な新しい溶接変形解析手法を開発する。

### 4. 研究成果

(1) 船体ブロックなどの大型薄板構造物の溶接時において、幾何学的非線形性に起因する座屈などの大変形現象が生じる場合が想定されることから、理想化陽解法 FEM に対して、座屈を含む大変形現象を高精度に解析するための基礎的検討を行った。

検討に際しては、図 1 に示す基礎的な構造物に対して、固有ひずみ法を用いて溶接線に対して収縮を付与し、理想化陽解法 FEM、ならびに従来手法である静的陰解法 FEM を適用し、溶接変形解析を実施した。また、参考として、幾何学的非線形性を考慮していない微小変形理論に基づく静的陰解法 FEM による解析を合わせて実施した。

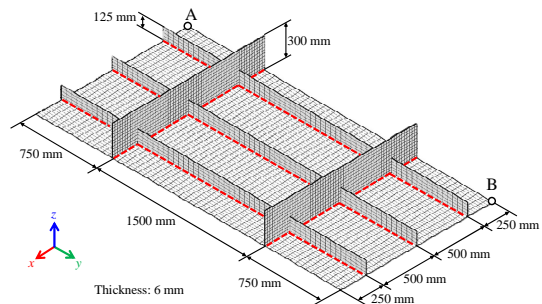


図 1 大変形解析モデル

解析結果を図 2 に示す。同図は入熱量と最大変位量の関係を示している。図 2 より、幾何学的非線形性を考慮することにより、微小変形理論に基づく解析手法による結果より大きな変形が得られていることが分かる。加えて、入熱量が大きくなると、構造の変形様式が大きく変化し、理想化陽解法 FEM に基づく解析手法による解析結果では、大きなねじれ形式の座屈が得られているが、静的陰解法 FEM に基づく解析手法においては、変形モードの変化に追従できず、解析が途中で破たんし、結果を得ることができなかった。幾何学的非線形問題の解析において一般的に使用される静的陰解法 FEM を基にした手法においては、分岐座屈のように変形モードが極端に変化するような問題を解析するために、固有値解析を実施し、変形モードを決定するなどの複雑な解析手法が必要とされるが、上で示したように、理想化陽解法 FEM は動的陽解法

FEM を基に定式化を行っているため、従来手法では複雑な手順が必要な分岐問題において、動的陽解法 FEM の動的効果によりスムーズに解析できる可能性があることが分かった。

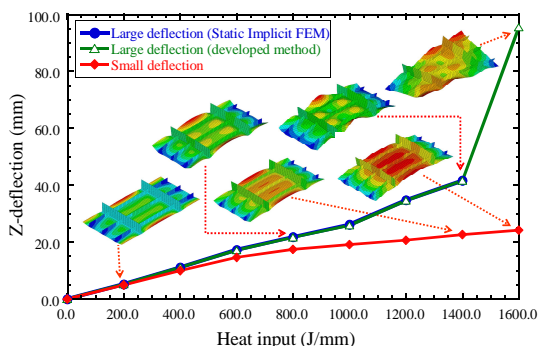


図 2 入熱量と変形量の関係

(2) 理想化陽解法 FEM に対して並列化導入した GPU 並列化理想化陽解法 FEM<sup>2)</sup> に対して、マルチグリッド法を導入することで、大型薄板鋼構造物製作時の溶接変形を効率的な解析可能なマルチグリッド理想化陽解法 FEM を開発した。

手法構築したシステムを用いて、図 3 に示す船体ブロックの溶接変形解析を試みた。本解析モデルは、解析自由度が 1000 万規模に達する従来の解析手法では実施が極めて困難なものであり、60 本の溶接線で指定された溶接により生じる変形を、本手法を用いて順次解析した。

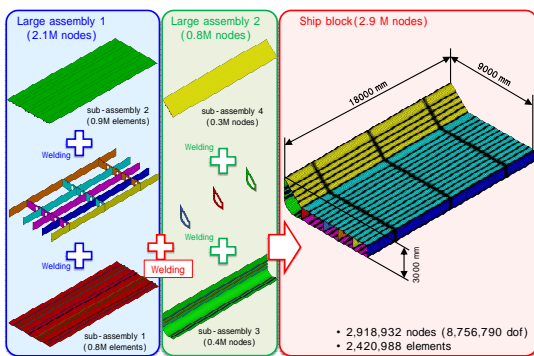


図 3 船体ブロック溶接組立て解析モデル

図 4 に解析結果を示す。同図はすべての溶接組立て工程を解析した後の高さ方向の変形の分布を示している。図 4 より、ギャップの矯正やひずみ取り等の手順を一切行わない場合、最大で数十 mm もの変形が発生する可能性があることが分かった。

また、本解析は PC 程度の計算機 1 台を用いて実施したものであり、解析に要した計算時間は 1 週間程度であった。このことより、本研究で開発したマルチグリッド法を導入した GPU 並列化理想化陽解法 FEM を用いることで、従来手法では解析が極めて困難な 1000 万自由度規模の超大規模非線形構造解析を実用的な計算時間で完了できることを確認

できた。

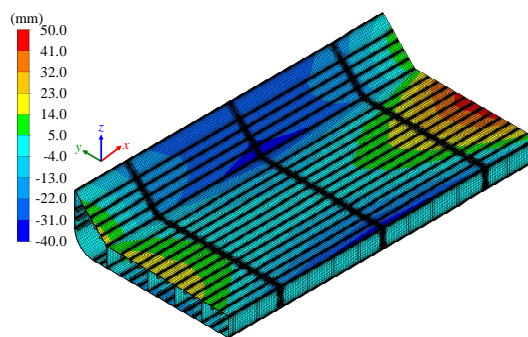


図 4 船体ブロック溶接変形解析結果

<引用文献>

柴原 正和, 生島 一樹, 伊藤 真介, 正岡 孝治: 動的陽解法 FEM を基にした大規模構造のための溶接かた変形・応力解析手法の提案, 溶接学会論文集, 第 29 巻, 2011, pp.1-9

生島 一樹, 伊藤 真介, 柴原 正和: GPU を用いた並列化理想化陽解法 FEM の開発, 溶接学会論文集, 第 31 巻, 2013, pp.23-32

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

K. Ikushima, M. Shibahara: Large-scale Non-linear Analysis of Residual Stresses in Multi-pass Pipe Welds by Idealized Explicit FEM, Welding in the World, 第 59 巻, 2016, pp.839-850

DOI: 10.1007/s40194-015-0263-y

K. Ikushima, M. Shibahara: Study on Welding Distortion of Stiffened Thin-Plate Structures Using Idealized Explicit FEM, 溶接学会論文集, 第 33 巻, 2015, pp.175s-179s.

DOI: 10.2207/qjwjs.33.175s

K. Ikushima, S. Itoh, M. Shibahara: Development of Idealized Explicit FEM Using GPU Parallelization and Its Application to Large-scale Analysis of Residual Stress of Multi-pass Welded Pipe Joint, Welding in the World, 第 59 巻, 2015, pp.589-595.

DOI: 10.1007/s40194-015-0235-2

生島 一樹, 伊藤 真介, 西川 聡, 柴原 正和: 理想化陽解法 FEM による円筒多層溶接継手の 3 次元移動熱源残留応力解析, 溶接学会論文集, 第 33 巻, 2015, pp.69-81

DOI: 10.2207/qjwjs.33.69

生島 一樹, 伊藤 真介, 高倉 大典, 津乗 充良, 柴原 正和: 反復サブストラクチャー法を導入した理想化陽解法 FEM による大規模溶接変形残留応力解析,

溶接学会論文集，第 32 巻，2014，  
pp.223-234  
DOI: 10.2207/qjws.32.223

〔学会発表〕(計 9 件)

K. Ikushima, T. Harada, M. Shibahara:  
Analysis of Welding Deformation on  
Construction of Large Thin-plate  
Structure by Idealized Explicit FEM  
Using Multigrid Method, 11th  
International Seminar Numerical  
Analysis of Weldability, 2015 年 9 月  
30 日，グラーツ，オーストリア

K. Ikushima, M. Shibahara:  
Large-scale Residual Stress Analysis  
of Multi-pass Welded Pipe Joint Using  
Idealized Explicit FEM Accelerated by  
a GPU, 11th International Seminar  
Numerical Analysis of Weldability,  
2015 年 9 月 30 日，グラーツ，オースト  
リア

山田 順也，山里 久仁彦，中谷 光良，  
河原 充，南野 寿造，生島 一樹，柴原  
正和：大型円筒構造物における溶接変  
形低減のための製作方法の検討，溶接  
学会全国大会，2015 年 9 月 2 日，北海道  
科学大学(北海道札幌市)

齋藤 俊明，生島 一樹，河原 充，柴原  
正和，高倉 大典：統合的設計管理手法  
(TDM)を用いた開先形状の最適化に関す  
る研究，溶接学会全国大会，2015 年 9  
月 2 日，北海道科学大学(北海道札幌市)  
生島 一樹，北村 徳識，河原 充，南野  
寿造，柴原 正和，湯藤 尚人，永井 昭  
弘，谷 和彦，辻 文彰，山田 順也，中  
谷 光良：理想化陽解法 FEM を用いた多  
重パイプ継手の残留応力解析，溶接学  
会全国大会，2015 年 9 月 2 日，北海道科  
学大学(北海道札幌市)

岩田 昂士，生島 一樹，柴原 正和：ル  
ートギャップおよび仮付けを考慮した  
初層溶接時における溶接変形の解析，  
溶接学会全国大会，2015 年 9 月 2 日，北  
海道科学大学(北海道札幌市)

K. Ikushima, T. Minamino, A. Kawahara,  
M. Shibahara, H. Yuto, A. Nagai, K.  
Tani, T. Tsuji, J. Yamada, M.  
Nakatani: Enhanced large-scale  
analysis method and its application to  
multi-axial pipe weld, The 68th Annual  
Assembly of the International  
Institute of Welding, 2015 年 7 月 3  
日，ヘルシンキ，フィンランド

K. Ikushima, K. Kaigaishi, M.  
Shibahara: Large-Scale Welding  
Deformation Analysis of Ship  
Structure by Idealized Explicit FEM,  
25th Annual International Ocean and  
Polar Engineering Conference, 2015  
年 6 月 21 日，コナ，ハワイ

K. Ikushima, M. Shibahara: Study on  
Welding Distortion of a Stiffened  
Thin Plate Structure Using Idealized  
Explicit FEM, Visual JW 2014, 2014  
年 11 月 26 日，ホテル阪急エキスポパ  
ーク(大阪府吹田市)

〔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://www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab03/index.htm>

6. 研究組織

(1)研究代表者

生島 一樹 (IKUSHIMA, Kazuki)

大阪府立大学・工学研究科・特認助教

研究者番号：80734003

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし