

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：14401
研究種目：挑戦的萌芽研究
研究期間：2012～2014
課題番号：24656532
研究課題名(和文)環境に優しい薄板構造物の溶接変形予測および歪取り方案創成

研究課題名(英文)Environment c

研究代表者

村川 英一 (Murakawa, Hidekazu)

大阪大学・接合科学研究所・教授

研究者番号：60166270

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：船の建造においてブロックの寸法精度は、部材精度、組立精度、溶接変形、歪取りなど複数の要因に影響を受け、溶接変形や座屈のような非線形現象の累積が最終的なブロック精度を決定しているため、その予測は難しく熟練を必要とする。したがって、溶接組立精度を予測するためには、船体ブロックのように大型構造物における非線形現象を直接、詳細かつ逐次的に追跡する必要があるが既存の有限要素法では不可能である。そこで、本研究ではこれらの非線形性に対応するため、固有変形、理想化構造要素、界面要素という概念あるいは方法を導入することにより大型ブロック全体の溶接組立変形が予測できる方法を開発した。

研究成果の概要(英文)：The dimensional accuracy of ship block is influenced by errors introduced from various processes, such as cutting, fitting, welding and straightening. The fact that the geometrical error is accumulated through nonlinear phenomena involved in welding deformation and buckling makes it difficult to predict and to control the welding distortion of large structures. To overcome this, new method to predict the welding distortion is developed based on the concept of inherent deformation, ideas of idealized structural unit and interface element. Its versatility is demonstrated through various example problems.

研究分野：数値溶接力学

キーワード：溶接変形 歪取 理想化構造要素 界面要素 固有変形 画像計測 建造 薄板構造

1. 研究開始当初の背景

船舶建造における溶接変形の前測と制御については、日本はもちろん、米国においても国家レベルの研究プロジェクト、例えば“Predictive Weld Distortion in Thick Navy Structures” Battelle Memorial Institute, ESI North America (Feb. 05-May. 06) が実施されているが、自動車運搬船、客船、艦艇などのデッキ板厚が薄い船舶の座屈変形も含めた変形前測が可能なレベルには達していない。一方、建造コストに注目すると、座屈型の溶接変形を矯正するための歪取りに要する工数は、溶接に必要な工数に匹敵する場合もあり、座屈変形を抑制することができれば、工数を削減できるのみならず、線状加熱などに必要なガス消費量の削減、すなわち地球温暖化ガス発生量の削減につながる。そのため溶接変形の問題は、韓国、中国も含め各国において解決すべき問題と認識されており、研究開発が継続されている。我が国がこの分野における研究開発で優位に立つためには、先進的なアイデアに基づく技術開発が必要であり、本研究はその先駆けとなるものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、船の建造において問題となる溶接組立時の変形を前測し船体ブロック精度の向上を実現することであり、特に、板厚が薄い自動車運搬船、客船、艦艇などのデッキに発生する座屈型の溶接変形について、その発生を前測し、さらに防止対策を講じるための簡便な手段を提供することを目的とする。そのために、後述する固有変形、理想化構造要素、界面要素という概念あるいは方法を適用することにより大型ブロック全体の溶接組立変形が前測できる方法を開発し、これにより薄板構造を特徴とする船舶の軽量化と省エネルギー化を促す。

船の建造においてブロックの寸法精度は、部材精度(板曲げ精度も含む)、組立精度(仮付け精度)、溶接変形、歪取りなど複数の要因に影響を受けるため、その前測は難しく熟練を必要とする。熟練を必要とする理由としては、

- (1) 溶接変形は熱弾塑性現象の結果であり本質的に非線形現象である。
- (2) 薄板の溶接で見られる座屈変形も非線形現象である。
- (3) 部材寸法の誤差により生じたギャップの矯正(人為的な不連続)も変形の要因となる。
- (4) 部材寸法は図面寸法とは異なり、切断、曲げ、溶接、歪取りの各段階で変化する。

などが考えられ、溶接変形や座屈のような非線形現象の累積が最終的なブロック精度を決定している点にある。したがって、溶接組立精度を前測するためには、問題を非線形問題として取り扱う必要があるが、船体ブロックのように大型構造物における非線形現象を直接、詳細かつ逐次的に追跡することは既

存の有限要素法では不可能である。そこで、研究代表者らはこれらの非線形性を、後述する固有変形、理想化構造要素、界面要素という概念あるいは方法を導入することにより大型ブロック全体の溶接組立変形が前測できる方法を開発しその有用性を試算および変形前測を通して示すことを目的とした。

3. 研究の方法

船は鋼材の切断、線状加熱による曲げ加工、位置決め(仮付け)、溶接、歪取、ブロック搭載などの加工工程を経て完成に至る。したがって、製品の形状・寸法精度を前測するためには、溶接だけでなく、その前工程である、切断、板曲げ、位置決め、さらに後工程である歪取を視野に入れた変形前測法が必要となる。

また、溶接組立変形の原因はふたつあり、ひとつは溶接部が熱履歴を受けた結果として発生する局所的な収縮であり、いまひとつの原因は溶接組立の過程で既に変形している部材に新しい部材を取付ける際に生じる部材間のギャップやズレである。例えば、1本の溶接による横収縮がおおよそ 0.1~1.0 mm のオーダーであるとすれば、1.0 mm のギャップは無視することができない。本研究で用いた固有変形法は、溶接による局部収縮を固有変形の形で弾性有限要素法に導入し、部材の接合や切断および部材間のギャップやズレについては非線形バネである界面要素を部材間に配置することによりこれらが表現できるようにしたものである。また、溶接入熱に対して板厚が薄い構造物では座屈に近い現象も発生するので、大変形も考慮できるシェル要素を用いた。またさらに、船のような大型構造物を解析対象とする場合は、FEM モデルの規模が非常に大きくなり解析に膨大な計算時間を要するという問題が生じる。この問題を解決するために理想化構造要素(ISUM 要素)を用いた。

4. 研究成果

4.1 カーフェリー上部構造の座屈変形

客船やカーフェリーの上部構造では、重量を減少させて船の重心を下げるために 5 mm あるいは 6 mm といった薄い板厚の鋼板が多用されるが、薄い鋼板の溶接では大きな変形が発生する。船の建造はいくつかの工程に分かれており、小組、中組、大組での変形が累積し、最終的に大きな歪となる。特に、船全体に薄板が使用されているカーフェリーでは大きな歪が発生するが、美観を重視する客船であるために歪の許容値も厳しく設定されているので歪修正に多くの工数が要求される。また従来の建造法では、船台あるいはドックで最終的な歪取が実施されるので艤装などの他の作業との干渉が発生し工程遅延の原因となっていた。そこで、本研究では、歪取り作業の効率化と歪取り作業を早期に完了させる上流化を目標とし、組立順序や部

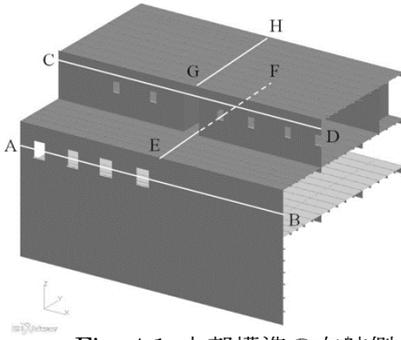
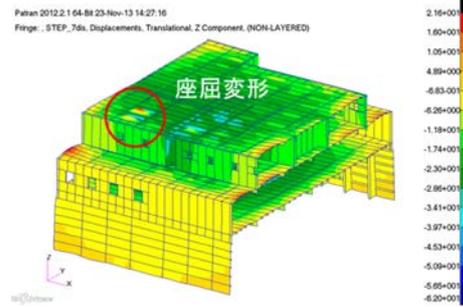
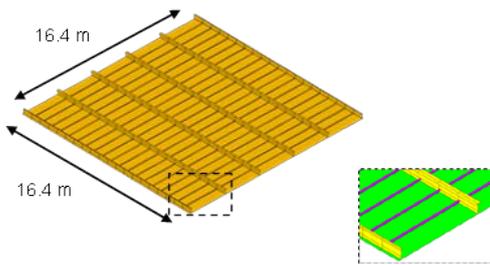


Fig. 4.1 上部構造の右舷側

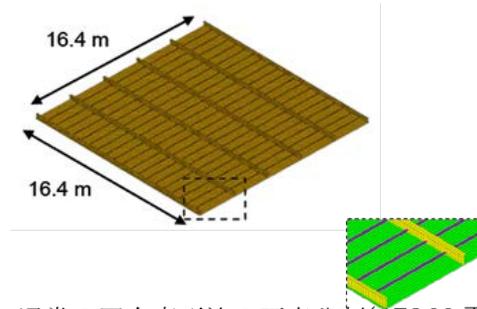


ig. 4.2 溶接組立完了時の座屈変形

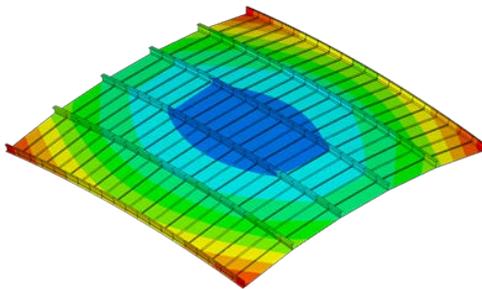


(a) ISUMにおける要素分割(810要素)

Fig. 4.3 自動車運搬船車両甲

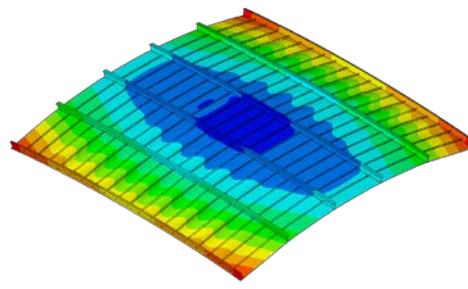


) 通常の固有変形法の要素分割(47360要素)
ブロックのFEMメッシュ分割



(a) ISUMによる計算結果

Fig. 4.4 大変形解析で得



) 通常の固有変形法による計算結果

両甲板ブロックの溶接変形

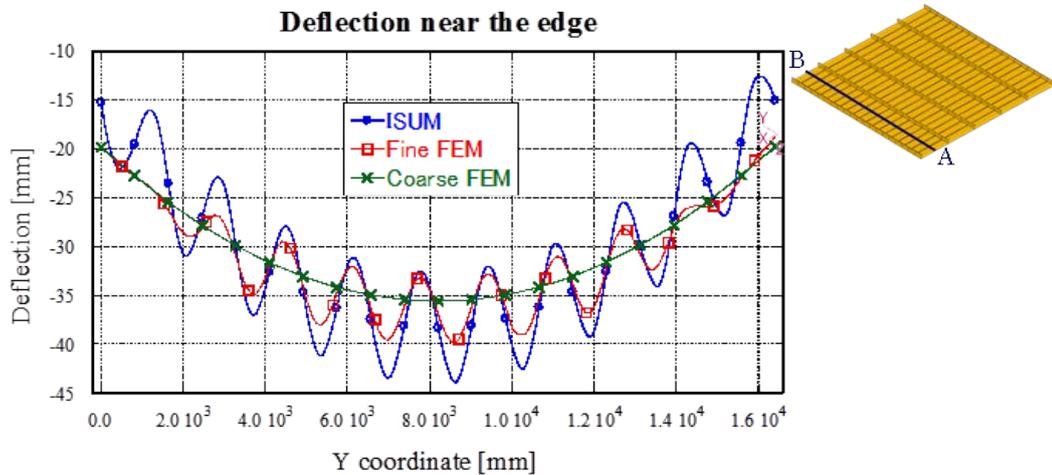


Fig. 5.5 ISUM および通常の固有変位法で得たライン A-B 上での撓みの比較

材間のギャップ処理が薄板パネルの座屈変形に及ぼす影響について固有変形法を用いて検討を行った。

カーフェリー上部構造は船体中心面に対して左舷側と右舷側がほぼ対称であるので、Fig. 4.1に右舷側の構造を示す。総組は3つの大組のAD、NDとCPDで構築されている。ADはプロムナードデッキとその下の壁で構成され、NDはナビゲーションデッキとプロムナードデッキまでの壁で構成され、CPDはコンパスデッキとナビゲーションデッキまでの壁で構成される。AD側壁に9.5mmの鋼板が使われている他はブロックのほとんどに6mmの鋼板が使われている。また、本研究対象としたカーフェリーの上部構造ブロックの高さは10.75m、幅は23.4m、長さは17.2mである。Fig. 4.2は、平板ブロックを組立てた後に各デッキの搭載が完了した時の変形を示し、最上部のデッキに座屈による変形が認められる。

4.2 車両運搬船の車両甲板ブロックの溶接変形

次の解析例は、車両運搬船の車両甲板ブロックの溶接変形をISUMを用いて計算し、通常の固有変形法の計算結果と比較したものである。Fig. 4.3(a)はISUMで計算する際のメッシュ分割であり(b)は通常の固有変形法でのメッシュ分割を示し、要素数は前者が810であるのに対し、後者は47360要素と約50倍となっている。計算の結果得られた撓み分布を示した図がFig. 4.4である。細かい要素分割を用いた固有変形法ではブロック全体の撓みと同時に座屈によるパネルの座屈が認められるがISUMには座屈は認められない。Fig. 4.5はブロック端部の直線ABに沿った撓みの分布を比較したものである。この図においてはISUMの結果は内部撓みも重ねて表示されており、ブロック全体の変形についてはISUMと通常の固有変形法は良く一致しており、スティフナー間のたわみはISUMの方がやや大きい座屈の発生が捉えられている。なお、この計算例では、ISUMの計算速度が約20倍であった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

Murakawa, H., Okumoto, Y., Rashed, S., Sano, M.: A practical method for prediction of distortion produced on large thin plate structures during welding assembly, *Welding in the World*, 57(6) (2013), 793-802.

Vega, A., Escobar, E., Fong, A., Ma, N., Murakawa, H.: Analysis and prediction of parallel effect on inherent deformation during the line heating process, *Computer*

Modeling in Engineering and Sciences, 90(3) (2013), 197-210.

Shibahara, M., Ikushima, K., Itoh, S., Fukasawa, T.: Time-history measurement of welding deformation using digital image correlation technique, *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, 23(2) (2013), 152-159.

Murakawa, H., Ma, N., Huang, H.: Iterative substructure method employing concept of inherent strain for large-scale welding problems, *Welding in the World*, 59-1 (2014), 53-63.

Wang, J., Rashed, S., Murakawa, H.: Mechanism investigation of welding induced buckling using inherent deformation method, *Thin walled structures*, 80 (2014), 103-119.

Shibahara, M., Onda, T., Itoh, S., Masaoka, K.: Full-field time-series measurement for three-dimensional deformation under welding, *Welding International*, 28(11) (2014), 856-864.

Vega, A., Rashed, S., Murakawa, H.: Analysis of cross effect on inherent deformation during the line heating process -Part 1 - Single crossed heating lines, *Marine Structures*, 40 (2015), 92-103.

Bhatti, A. A., Barsoum, Z., Murakawa, H., Barsoum, I.: Influence of thermos-mechanical material properties of different steel grades on welding residual stresses and angular distortion, *Materials and Design*, 65 (2015), 878-889.

Wang, J., Ma, N., Murakawa, H.: An efficient FE computation for predicting welding induced buckling in production of ship panel structure, *Marine Structures*, 41 (2015), 20-52.

Maekawa, A., Serizawa, H., Murakawa, H.: Fast computation based on an iterative substructure method for three-dimensional simulation of multipass welding, *Journal of Pressure Vessel Technology, Transactions of the ASME*, 137(4) (2015), 041410.

〔学会発表〕（計 1 件）

Huang, H., Ma, N., Murakawa, H.: Fast prediction of welding distortion using ISM and i-ISM with experimental validation, Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference (2014), 55-66.

〔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：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

大阪大学接合科学研究所数理解析学分野ホームページ：

http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/research/research03_1.html

大阪府立大学大学院航空宇宙海洋工学専攻海洋システム工学分野ホームページ：

<http://www.marine.osakafu-u.ac.jp/~lab03/top04.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村川 英一 (MURAKAWA, Hidekazu)

大阪大学・接合科学研究所・教授

研究者番号：60166270

(2) 研究分担者

芹澤 久 (SERIZAWA, Hisashi)

大阪大学・接合科学研究所・准教授

研究者番号：20294134

(3) 研究分担者

柴原 正和 (SHIBAHARA, Masakazu)

大阪府立大学・工学（系）研究科（研究院）

研究者番号：20350754