



Title	Investigation of Buckling Distortion of Ship Structure due to Welding Assembly Using Inherent Deformation Theory
Author(s)	Wang, Jiangchao
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/27558">https://hdl.handle.net/11094/27558</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	王 江 超 (Wang Jiangchao)
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 6 2 4 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 25 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科地球総合工学専攻
学 位 論 文 名	Investigation of Buckling Distortion of Ship Structure due to Welding Assembly Using Inherent Deformation Theory 固有変形法を用いた溶接組立時における船体構造の座屈変形に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 村川 英一  (副査) 教 授 大沢 直樹 教 授 藤久保 昌彦 准教授 中長 啓治 准教授 芹澤 久

## 論 文 内 容 の 要 旨

In modern manufacturing, design of transport vehicles such as ships, automobiles, trains and aircrafts emphasizes minimizing weight to improve fuel economy and/or enhance the carrying capacity. Therefore the demand for lightweight structures assembled using thin plates has significantly increased. When thin plate is used, buckling type distortion may be produced by the welding process. Buckling is considered to be the most critical type of welding distortion because of its instability and difficulty of straightening. In this research, the mechanism of welding induced buckling is clarified using the concept of inherent deformation. The effectiveness of elastic FE analysis using inherent deformation in prediction of buckling distortion caused by welding assembly of large scale thin plate structures and the subsequent straightening is demonstrated.

In Chapter 1, the background and the objective of this research are presented. Published investigations of welding distortion and especially welding induced buckling are thoroughly reviewed.

Theories and methods incorporated in the in-house code JWRIAN, which is used to carry out all the computational analysis throughout the present investigation, are introduced in Chapter 2. JWRIAN consists of a solid element thermal elastic plastic FE analysis, a shell element elastic analysis and eigenvalue analysis based on the inherent deformation theory.

The concept of inherent deformation is explained in Chapter 3 taking the longitudinal inherent shrinkage (tendon force) as an example and three methods to evaluate are presented. The average temperature (the temperature at which the whole welded joint has a uniform temperature distribution and starts to cool uniformly) is used to explain the influence of the width of a welded joint and the

heat input used in welding on the magnitude of the longitudinal inherent shrinkage.

Chapter 4 shows the overview of buckling behavior during the whole welding process, which consists of the heating and the cooling processes. When thin plates made of high tensile strength steel are welded, not only residual buckling after cooling, but also transient buckling during welding may occur. During heating process, large compressive thermal stress is produced near the welding line and the plate buckles due to this stress. During cooling, the compressive thermal stress in the region close to the welding line disappears, and tensile residual stress is produced in and around the welding line due to contraction. Compressive residual stress is then produced away from the welding line to balance the tensile stress. This compressive residual stress, when it exceeds the critical buckling condition, produces buckling deformation in saddle mode.

An experiment and three types of computations performed for bead on plate welding on a low carbon steel plate are presented in Chapter 5. In both experiment and computations, saddle type buckling is observed and a good agreement with measurements is obtained. Eigenvalue analysis shows that longitudinal inherent shrinkage caused by welding is the dominant cause of buckling in bead on plate welding. Inherent bending and initial deflection are considered to act as imperfections that trigger buckling and influence the magnitude of out-of-plane welding distortion.

In Chapter 6, a thin plate stiffened structure is selected to investigate the twisting type buckling induced by welding. The same assembly sequence as in experiment is considered in computations. A comparison of computed results with measurement shows that the twisting type buckling of thin plate stiffened structures can be predicted accurately using either thermal elastic plastic FE analysis or elastic FE analysis employing the inherent deformation theory assuming large deformation. However, thermal elastic plastic FE analysis requires large computing time and memory space. Further, eigenvalue analysis shows that both the longitudinal and the transverse inherent shrinkage determine the occurrence of buckling and its mode. The computed lowest buckling mode in this case is twisting type in agreement with experiment and both thermal elastic plastic FE and elastic FE analyses.

As a practical example, buckling distortion of car deck panel in PCC (Pure Car Carrier) is investigated in Chapter 7, in which the welding assembly process is precisely taken into account. Elastic FE analysis using the inherent deformation theory is employed to predict welding induced buckling. Elastic FE analysis and eigenvalue analysis show that the buckling is observed in the region near the edge of the deck panel and only bending distortion is produced in the internal region. Knowing the mechanism which produces the distortion, straightening process of welding distortion by line heating is simulated. In the internal region, inherent bending deformation with the same magnitude as that produced by welding is applied on the opposite side of welded joint assuming a fast moving gas torch. Only the in-plane inherent strain is applied assuming a slow moving gas torch to mitigate the buckling distortion in the edge region. It is shown that out-of-plane welding distortion of the car deck panel can be reduced to an accepted level after the straightening.

Finally, Chapter 8 concludes this thesis with summarizing its contributions and presents suggestions for the future research.

近年、船、車両、航空機などの輸送機器の設計では省エネルギーおよび輸送効率向上が重要な課題であり、薄板を採用した構造の軽量化が図られている。しかし、構造の薄板化により溶接組立時の変形、特に座屈型の変形の発生が懸念される。座屈型の変形は不安定な非線形現象であることから予測が難しく修正のための歪取にも熟練を要する。そのため本研究では、座屈型の溶接変形の生成メカニズムを明らかにするために固有変形概念と界面要素を導入した有限要素法(固有変形法)を用いた検討を行っている。さらに、固有変形を大型の実用構造物の溶接組立時に生じる座屈変形の予測およびこれを修正するための歪取に適用しその有効性を示している。

本論文は8章から構成され、第1章では研究の背景と目的を示すとともに、溶接変形に関する既往の研究の調査分析結果が述べられている。

第2章では、本研究で用いた3次元熱弾塑性解析FEM、大変形弾性解析FEMおよび固有値解析FEMの理論について固有変形概念と部材間の結合状態を表現するために導入された界面要素の考え方を中心に述べている。

第3章では、座屈変形に対して最も影響が大きい固有縦収縮(固有縦収縮力: Tendon Force)を例に、熱弾塑性解析の結果から溶接部に生じる局部変形である固有変形の同定法を示すとともに、同定に用いられる溶接継手モデルの寸法や溶接条件が同定される固有縦収縮に及ぼす影響を平均温度上昇の観点から論じている。

第4章では、基本的なビード溶接を例に溶接による変形の全過程を熱弾塑性FEMにより解析し、降伏強度が高い高張力鋼(降伏応力 980 MPa)と降伏応力が低い炭素鋼(降伏応力 345 MPa)の変形挙動を比較している。その結果、何れの材料においても完全冷却後は座屈変形の特徴である鞍型の変形が認められること、また材料の降伏強度が高い場合には加熱過程においても座屈が生じその変形モードは碗型となり、その原因が熱膨張によって溶接線近傍に生じる大きな圧縮応力であることを示している。

第5章では、薄板鋼板のビード溶接を対象に、熱弾塑性解析、大変形弾性解析および固有値解析の3種類のFEM解析を実施し、実験との比較を行っている。固有値解析および大変形弾性解析では平板のビード溶接における鞍型の座屈変形の原因は溶接による縦収縮であり、初期撓みおよび溶接による角変形は座屈を生じさせる引き金として働くとともに撓みの大きさに影響を及ぼすことを明らかにしている。また熱弾塑性解析では初期撓みを考慮することにより実験との良好一致が得られることを示している。

第6章では、縦横それぞれ2本および3本のスチフナーで補強された薄板構造を対象に熱弾塑性解析および大変形弾性解析を行い振れ型の変形が生じることを示すとともに実験結果との良好な一致を得ている。この解析について計算時間を比較すると熱弾塑性解析が97時間であるのに対して大変形弾性解析は1/1000以下の262秒であり、後者の優位性を示している。さらに固有値解析を実施し、振れ型の変形が最低次の固有モードとして得られることを示すとともに振れ型の座屈がスチフナーの隅肉溶接による縦収縮および横収縮の両者が原因となって生じることを明らかにしている。

第7章では、提案手法である固有変形と界面要素を用いた大変形弾性解析FEMの有効性を確認するために、自動車運搬船の車両デッキ(幅×長さ=13.12 m×13.12 m、ロンジ補強材15本、トランス補強材4本)の溶接組立による変形の予測を行っている。車両デッキの組立工程は、単板へのロンジ補強材の溶接、4枚の単板の溶接、トランス補強材と板材の溶接およびロンジ材とトランス材の溶接の4工程で構成される。また、車両デッキは形状寸法が異なる6種類の溶接継手から構成されており、それぞれの継手について熱弾塑性解析を実施し、同定された固有変形を用いて全体構造の弾性解析を実施している。大変形解析および固有値解析からは、座屈は車両デッキの端部のみに生じ、内部のパネルの変形は隅肉溶接により生じた曲げ変形であることを明らかにしている。このような知見に基づき、車両デッキの歪取についても検討を行い、角変形を除去することを目的とした線状加熱により端部を含めてデッキパネルの変形が許容値以下に低減できることを示している。

第8章では、以上の成果を総括するとともに今後の課題を示している。

以上のように、本論文は船などの大型薄板構造物の溶接組立時に生じる座屈型の変形を予測するための実用的な手法を提案するとともに、その有効性を具体的に示しており、この成果は溶接構造物の変形制御および組立精度向上に貢献するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。