



Title	X線回折法による溶接残留応力の非破壊的評価と溶接過渡応力のその場計測に関する研究
Author(s)	辻, 明宏
Citation	大阪大学, 2016, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/55987
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 辻 明 宏 ）

論文題名

X線回折法による溶接残留応力の非破壊的評価と溶接過渡応力のその場計測に関する研究

論文内容の要旨

第1章では、溶接残留応力の構造物への影響について述べ、溶接部の残留応力とその生成過程を評価することの重要性を述べた。また、X線応力測定法の特徴を整理するとともに、X線応力測定法の溶接部への適用と課題について述べ、課題解決のための先行研究について整理し、本研究の目的を明らかにした。

第2章から第4章ではX線応力測定法を用いた溶接残留応力の高精度測定に向けた検討を行った。

第2章では、溶接試験体より作成した4点曲げ試験片、および、Lz試験片を用い、任意の応力状態を再現した溶接部に対し、粗大粒と集合組織に関する先行知見を適用し、溶接部に生じる粗大粒・集合組織に対しても先行知見の適用が可能か検証した。また、平均格子ひずみの考え方を溶接部に対して適用するため、EBSDを用いた結晶の存在確立の決定法を提案した。以上の検討から、X線応力測定法を溶接部に適用するには、多軸応力状態の集合組織を有する溶接部における応力算出法の構築が必要不可欠であることを示した。

第3章では、多軸応力状態の集合組織を有する溶接部における応力算出法の構築のため、溶接部の集合組織に多軸応力を加えた際の 2θ と $\sin^2\phi$ の関係を観察し、多軸応力状態の集合組織を有する溶接部における結晶粒の変形挙動について検討した。そして、結晶粒の変形挙動を考慮した応力算出法を提案し、その効果を示した。

第4章では、溶接時に相変態が生じない材料としてSUS316Lを、生じる材料としてSM490YBを用い、各材料に生じる溶接部の残留応力を前章までに提案したX線応力測定法を用いて評価した。そして、第3章で提案した手法が、集合組織を有する溶接部に対し効果的であることを示した。また、溶接部の残留応力と、応力弛緩法による応力測定結果を比較し、X線応力測定法により溶接部の残留応力を正確に評価できることを示した。

以上の検討から、X線応力測定法により溶接部の残留応力を正確に評価できることを示した。

第5章では、X線応力測定法の非破壊的計測という特徴を活かし、溶接中過渡応力のその場計測を試みた。その場計測のため、放射光を利用した応力その場測定装置を構築し、引張試験を用いたシステムの検証を行った。そして、構築したシステムにより、溶接部における相変態中の応力挙動を実験的に観察することを試みた。

第6章では、本研究で得られた成果を総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (辻 明 宏)			
論文審査担当者	(職) 氏 名		
	主 査	教 授	望月 正人
	副 査	教 授	才田 一幸
	副 査	准教授	大畑 充

論文審査の結果の要旨

本論文では、X線回折法による溶接残留応力の評価と、非破壊的計測という特徴を活かした、溶接過渡応力のその場計測を目指している。そのために、X線応力測定法を溶接部に適用する際の問題点と、その解決策について検討を行っている。さらに、溶接過渡応力のその場計測のための光学システムの開発を行っている。その結果、溶接部に生じる粗大粒に対しては揺動法を適用できること、また、集合組織に対しては従来手法である Honda の手法が適用できないことを明らかにした上で、多軸応力下の集合組織における応力算出法を新しく提案している。そして、揺動法と提案手法を併用した手法を溶接試験体に適用し、X線応力測定法により溶接残留応力を正確に評価できることを明らかにしている。さらに、大型放射光施設 SPring-8 において、放射光、GTA 溶接システム、3 台の 2 次元検出を用い、1 回の測定から $2\theta - \sin^2\phi$ 法による応力算出が可能となる光学系を構築し、溶接過渡応力のその場計測を行っている。得られた知見の詳細は下記の通りである。

① 粗大粒と集合組織を有する溶接部への従来知見の適用

溶接部に生じる粗大粒と集合組織の問題を解決するべく、粗大粒と集合組織の対策としてそれぞれ提案されている揺動法と Honda の手法を異なる組織、応力状態を有する溶接部に適用し、それぞれの効果について確認している。異なる組織、応力状態を有する溶接部の再現には、溶接構造用圧延鋼材 SM490YB とオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L の溶接試験体から作成した 4 点曲げ試験片と Lz 試験片を用いている。X線応力測定の結果、溶接部に生じる粗大粒は溶接部の応力状態にかかわらず、揺動法を用いることで解決できることを示している。一方、溶接部に生じる集合組織に対しては Honda の手法の効果は限定的であり、集合組織が多軸応力状態になると適用できないことを示している。さらに、X線応力測定法を溶接部に適用するには、多軸応力下の集合組織における応力算出法の構築が必要不可欠であることを明らかにしている。

② 多軸応力下の集合組織における応力算出法の提案

多軸応力下の集合組織における応力算出法を提案するため、集合組織内に含まれる結晶粒の変形挙動について検討を行っている。検討では Lz 試験片に対し任意の負荷を加えた際の回折角の変化の挙動の観察を行っており、多軸応力状態においても集合組織内の結晶粒の変形挙動は Reuss の応力一定モデルに従うことを示している。結晶の変形挙動に関する実験結果に基づき、多軸応力下の集合組織における応力算出法を提案している。提案手法では、未知数の応力 3 成分を、直交する 2 方向の測定結果に対し、仮の応力比を与え、反復法を用いて計算することによって算出する。これらから、Lz 試験片を用い、Honda の手法では正確に評価できていなかった多軸応力下の集合組織における応力を提案手法では正確に評価できていることを確認している。

③ X線応力測定法による溶接継手の残留応力測定

一連の実験結果に基づき、揺動法と提案手法を用い、X線応力測定法による溶接部における残留応力評価を行っている。その結果、粗大粒と集合組織を有する溶接部においても揺動法と提案手法を用いることにより、従来手法である応力弛緩法と同程度の応力を得ることを確認している。また、板厚内部に大きな応力変化が生じる場合には、互いの

測定値が乖離することがあるが、お互いのゲージ体積を近づけることで、測定値が近づくことを確認している。以上検討から、溶接部に対し X 線応力測定法は適用可能であり、X 線応力測定法により溶接部の残留応力を正確に評価できることを示している。

④ 溶接過渡応力のその場計測

溶接過渡応力のその場計測を実現させるため、大型放射光施設 SPring-8 において新しい光学システムの構築を行っている。放射光、GTA 溶接システム、3 台の 2 次元検出を用いた光学システムを新しく構築しており、2 台の 2 次元検出器で疑似的に $2\theta - \sin^2\phi$ 線図を作成することで、1 回の測定から $2\theta - \sin^2\phi$ 法による応力算出が可能なシステムを構築している。さらに、フェライトとオーステナイトからの回折を同一の検出器で捉えることで、相変態中のフェライトとオーステナイトの各相の応力を独立して評価することを可能にしている。その場観察は溶接構造用圧延鋼材 SM490A を対象に、溶接中の応力変化を 0.1 秒間隔で観察しており、十分冷却された後の測定値は、ラボ X 線による測定値と良好に一致していた。また、相変態中にフェライトとオーステナイトに生じる応力を独立して評価できており、それらの挙動は、体積膨張率の差や相変態に伴う体積膨張に起因した相応力の挙動とも対応したことを確認している。

以上のように、本論文は溶接構造物の信頼性向上に向け、X 線回折法による溶接残留応力の非破壊的評価と溶接過渡応力のその場計測手法の確立を目指し、X 線応力測定法を用いた溶接残留応力高精度測定に向けた検討と、X 線応力測定法の特徴を活かした溶接過渡応力のその場計測に向けた検討を行ったものであり、学術的に価値が高い内容を有する。また、溶接過渡応力のその場計測は世界初の試みであり、構築したシステムは溶接残留応力生成メカニズムや溶接中の応力変化に及ぼす諸因子の影響を解明するためのツールとして、また、産業分野における革新的な計測技術としての応用が期待され、学術的、工学的な発展が期待できる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。