

実施課題番号 2006B0124  
 実施課題名 高エネルギー放射光による鉄道車両用ステンレス鋼溶接部の応力分布測定  
 実験責任者所属機関 財団法人鉄道総合技術研究所  
 実験責任者氏名 松本恵介  
 使用ビームライン BL02B1

### 1. はじめに

鉄道車両は、公共交通機関であるため安全性、信頼性については他の製品よりも非常に厳しい要求がある。ステンレス鋼製車体は、鋼製の車体に比べ車体の軽量化やメンテナンスの軽減などのメリットが数多く存在するため、在来線新型車両において多く採用されており、図1のような部分の溶接で使用されている。車両構体で強度上の問題となる部分の多くは溶接継手であるが、溶接の疲労に対する強度評価は従来行われておらず、その基準作りが必要となってきた。当機関では、車両構体の強度評価に関する研究を行っており、応力分布の強度への影響が大きいと予測している。溶接継手の応力分布について詳細に検討した例は少なく、限られた応力測定結果から推定することによって、強度評価を行っているのが現状である。近年、より正確な強度評価が必要とされてきており、溶接部の残留応力や負荷時の応力分布を知ることは非常に重要となってきた。溶接部の応力状態を知るためにひずみゲージやラボX線を用いた測定が行われているが、これらの非破壊での測定はごく表面の情報しか得られない。今回、対象とする重ね継手の溶接では、内部の応力分布が非常に重要である。材料内部での非破壊な測定が可能であり、溶接部の応力分布をより詳細に知るためには、高エネルギーの放射光を用いる必要がある。

本研究の最終目的は、高エネルギーの放射光を用いることによって、ステンレス鋼溶接部の詳細な応力分布を把握し、より正確な鉄道車両構体の強度評価法を確立することである。

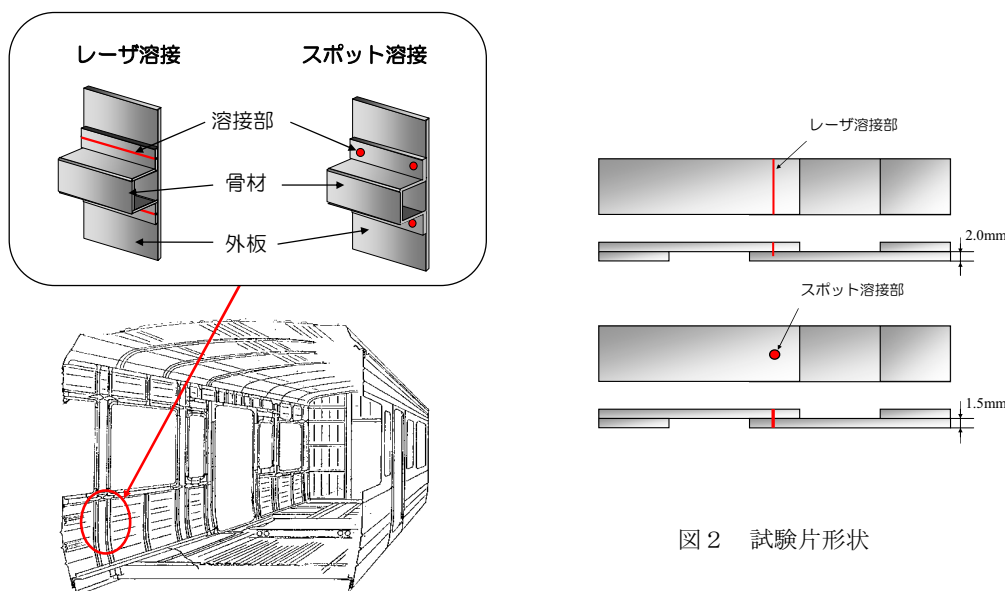


図1 ステンレス構体の溶接適用例

図2 試験片形状

## 2. 実験方法

溶接部および溶接部近傍の材料内部の残留ひずみを非破壊で測定した。実験は、多軸回折計を用い室温大気中で行った。材料は、ステンレス鋼製車体の鉄道車両で一般的に用いられているオーステナイト系ステンレス鋼 SUS301L と SUS304 を、レーザ溶接およびスポット溶接およびでつなぎ合わせた重ね継手の試験片である。レーザ溶接は、SUS301L-HT と SUS304 を、スポット溶接は、SUS301L-DLT と SUS301L-HT を溶接したものである。試験片形状を図 2 に示す。エネルギーは 70.65keV を用い、光学系はダブルスリットである。測定方法は、ひずみスキニング法の透過法により、xyz ステージを用いてひずみの分布を測定した。

## 3. 実験結果

今回用いたステンレス鋼の測定のプロファイルは良好であり、問題なく測定ができた。プロファイルを図 3, 4 に示す。図 3 は、広角に取ったプロファイルであり、図 4 は、実際の測定に用いた範囲のプロファイルである。ステンレス鋼は、粒径が大きい等の問題から精度の良い測定が出来ないと報告された例があるが、今回は、これらのプロファイルにおいてピークの形が良好であったため精度良く測定できた。回折は、Fe の  $\gamma$ -311 面を用いた。

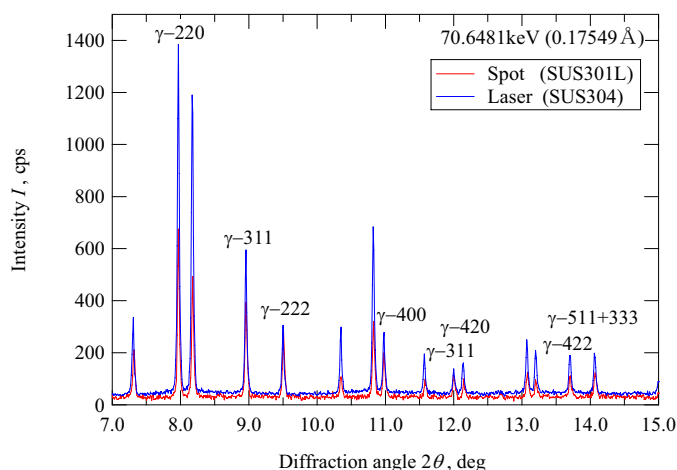


図 3 試験片のプロファイル

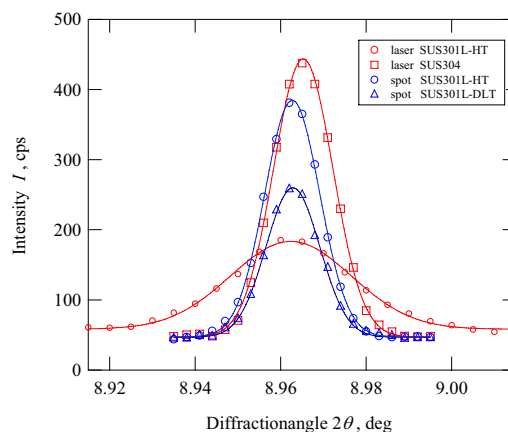


図 4 試験片のプロファイル

ひずみ分布測定の実験結果を、図 6、7、9、10 に示す。図において横軸が溶接中心からの距離であり、縦軸が試験片表面からの深さである。図 5、図 8 は、試験片の測定位置である。

レーザ溶接試験片のひずみ測定の結果、溶接部近傍で深さ方向に対して引張りのひずみ分布があることが分かる。溶接部の幅は 2mm 程度であるのでこの部分は、溶接の境界付近か熱影響部であると考えられる。このひずみは、溶接時の熱影響によって発生したものと考えられる。また、この試験片は、2mm 厚の板を重ね溶接したものであり、表面からの深さが 2mm のところが板の境界である。よって、上板と下板のひずみの値に違いがみられる。これは、上下で材料が異なっているためと考えられる。

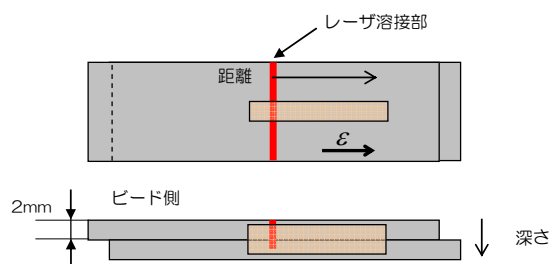


図 5 レーザ溶接試験片の測定位置

半価幅の分布測定の結果、溶接部をのぞくと、ひずみ分布と同様に上側の板と下側の板で違いが見られる。また、溶接部では、深さ方向に対してほぼ同様の値になっている。これは、溶接により溶融することで、ほぼ同様の材質になっているため同じような値が測定されたと考えられる。溶接部の下方で青色になっている部分があるが、ここは溶接によって溶融していないためと考えられる。

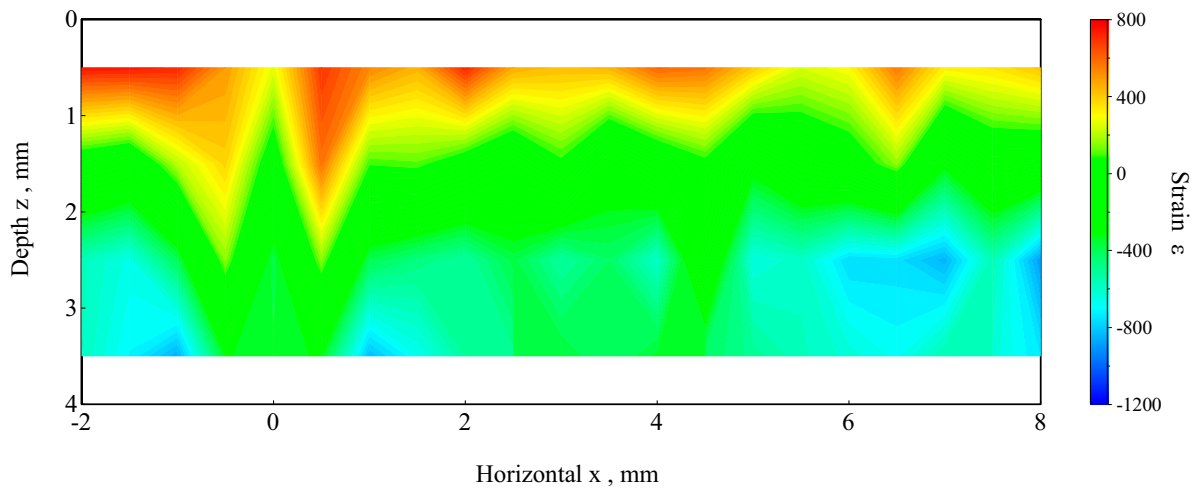


図6 レーザ溶接試験片のひずみ分布

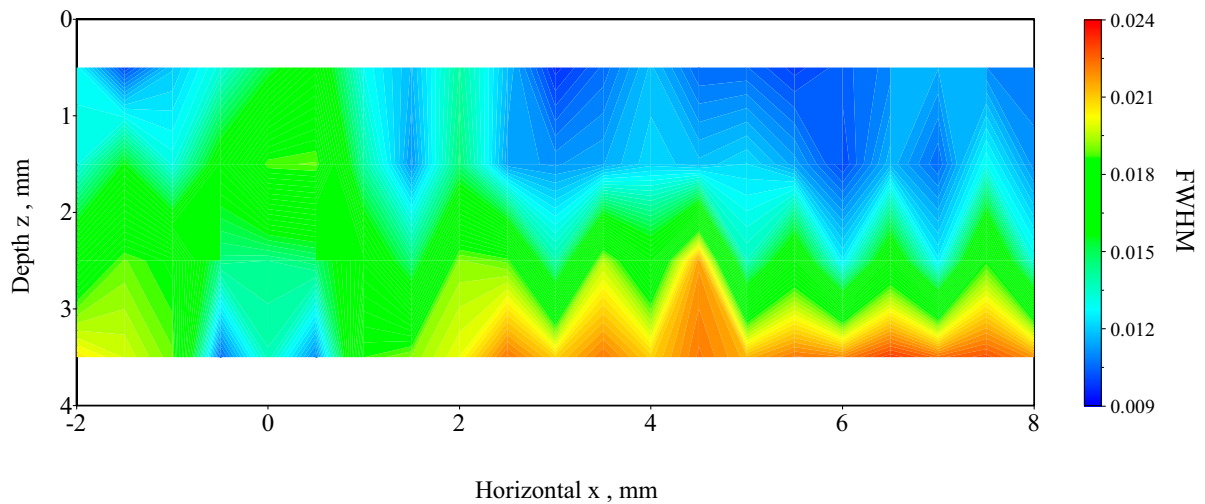


図7 レーザ溶接試験片の半価幅

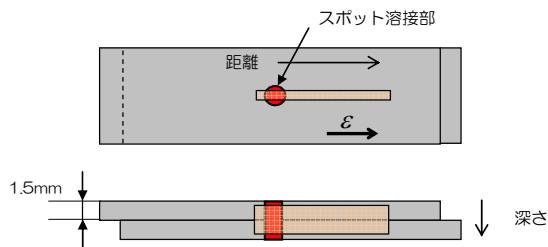


図8 スポット溶接試験片の測定位置

スポット試験片のひずみ測定の結果、溶接部の中心で引張りのひずみ分布があることが分かる。スポット溶接の直径は約6mmであるのでスポット全体ではなく中心で顕著な引張りひずみであることが分かる。これは、溶接時の影響のためと考えられるが、中心部のみ大きい理由は不明である。この試験片は、1.5mm厚の板を重ね溶接したものであり、表面からの深さが1.5mmの場所が、板の境界である。よって、上面の板と下面の板でひずみ分布の違いがみられる。これは、材料は同じであるが、圧延の違いのためと考えられる。

半価幅の測定の結果、上面と下面の違いはレーザー溶接試験片とは異なり観察できなかった。スポット溶接試験片は、材料が同じであるためと考えられる。また、下面の溶接部よりやや離れた位置で大きな値が測定されたがこの原因は不明である。

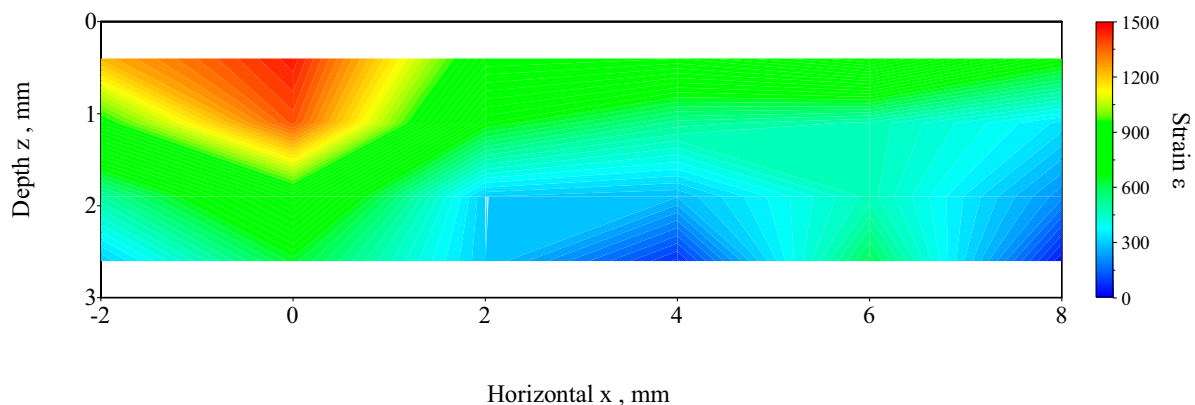


図9 スポット溶接試験片のひずみ分布

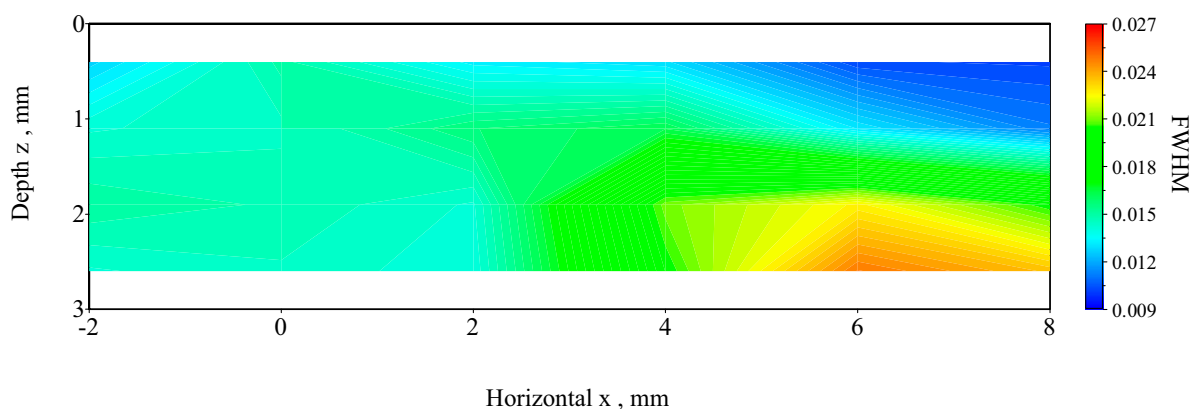


図10 スポット溶接試験片の半価幅

#### 4. まとめ

今回の実験でステンレス鋼の溶接部および溶接部近傍の高エネルギー放射光によるひずみ分布測定ができた。従来、ステンレス鋼は、粒径が大きい等の多くの問題から、精度の良い測定が出来ない状態であったが、この実験において測定の可能性を示した。また、溶接部近傍のひずみの変化を測定することができ、溶接部の応力状態の把握に対し前進したと考えられる。今後さらに詳細な測定や試験片の材料や板厚の条件を変えた測定を行い、ステンレス鋼溶接部の測定方法の確立とさらに精度の良いデータの測定を行う予定である。

溶接部の詳細の応力測定が可能となれば、測定結果と数値解析を組み合わせることにより溶接部の応力分布を知ることができ、ステンレス構体のより正確な強度評価が可能となる。その結果エネルギー効率の良い車両、安全性の高い車両の製作が可能となる。溶接部の応力測定を他の部材に適用することにより車両構体だけにとどまらず溶接を用いた構造部材の強度設計に大きな影響を与えることができると考えられる。