

重点産業利用課題報告書

実施課題番号：2007B1931

実施課題名：溶接部近傍表面内部残留応力測定

実験責任者所属機関及び氏名：三菱重工業（株） 栗村隆之

使用ビームライン：BL19B2

実験結果：

1. 目的

発電機器、棟梁、船舶など大型構造物や車両の製造においては、部品・素材の接合は不可欠な工程であり、その中でも溶接は必要不可欠な接合方法となっている。

本研究では、高エネルギー放射光 X 線の強い透過力に着目し、破壊の発生する材料表面かつ溶接部周辺における材料の表面から内部にいたる残留応力分布測定が SPring-8 の共用ビームラインである BL19B2 で可能であるかを検討した。

2. 試験片

試験片は、溶接小委員会で作成された SM570(100×100×10 mm³) および SUS304(100×100×15 mm³) を母材とする溶接材を使用した。なお、事前に実験室系 X 線を用いて本試験片の表面における溶接線と垂直方向の残留応力測定を行った結果を図 1 に示す。

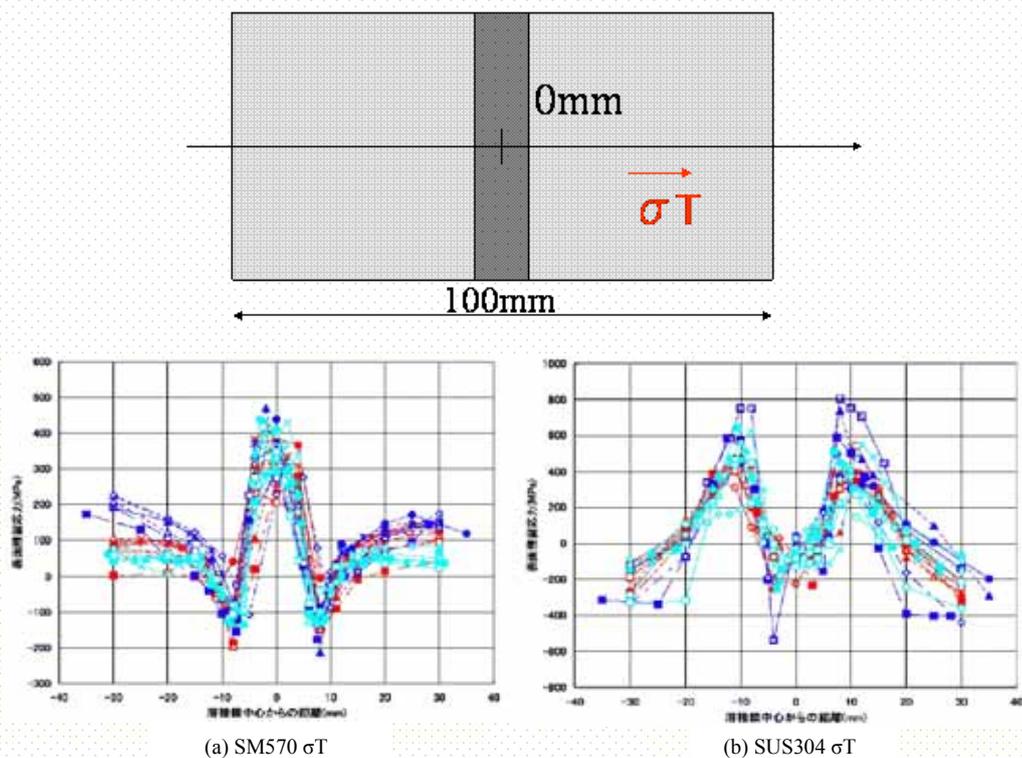


図 1 実験室系 X 線を用いて測定した溶接材表面部の残留応力分布

3. 実験

実験は、大型放射光施設 SPring-8、産業利用ビームラインの 1 つである BL19B2 にて行った。装置は、第 2 ハッチに設置されている縦振りの 8 軸回折計を使用した。エネルギーは 72 keV である。

測定は、以下のことを試みた。

- 1) 透過法による SUS304 内部のひずみ分布測定
- 2) 透過法による SM570 内部のひずみ分布測定
- 3) 反射法による SM570 表面近傍の応力分布測定

ここで、1) および 2) では図 2 に示す光学系を用いた透過型ひずみスキャンニング法¹⁾、3) では図 3 に示す光学系を用いた侵入深さ一定法²⁾で測定を行った。検出器には CdTe ダイオード検出器を使用した。これにより低ノイズのデータ収集が可能となる。なお、図 4 は 3) の測定の様子である。

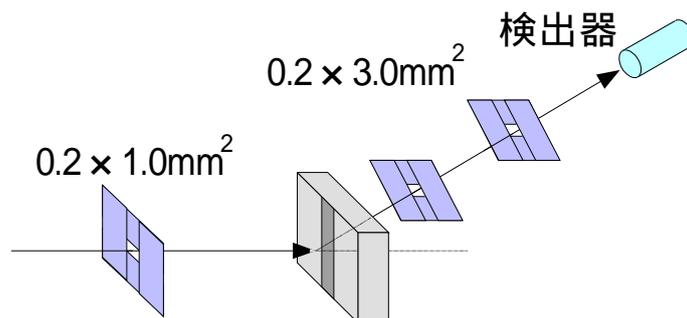


図 2 透過法によるひずみ分布測定で使用した光学系

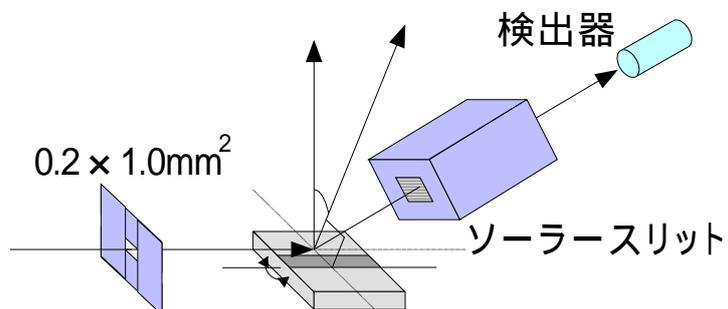


図 3 反射法による侵入深さ一定法測定で使用した光学系



図 4 侵入深さ一定法における光学系

4 . 実験結果、考察

4 - 1 . SUS304 内部ひずみ測定

図 5 に透過法により測定された回折プロファイルを示す。X 線の強度が不足しているために何も観測されなかった。

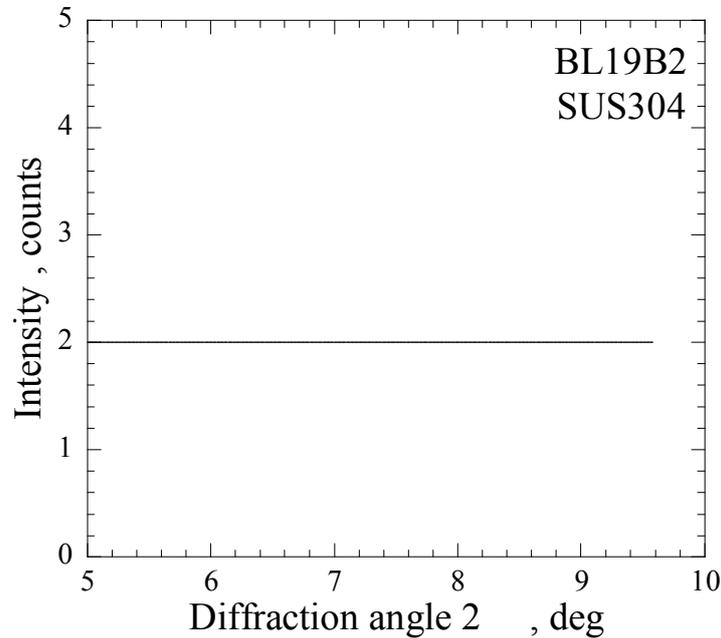


図 5 透過法で測定した SUS304 の回折プロファイル

4 - 2 . SM570 内部ひずみ測定

図 6 に透過法により測定された α -Fe (110) 反射の回折プロファイルを示す。時間をかければ内部ひずみを求めることも可能ではあるが、回折角度が非常に低いためにひずみ精度は得られないと判断し、測定を断念した。

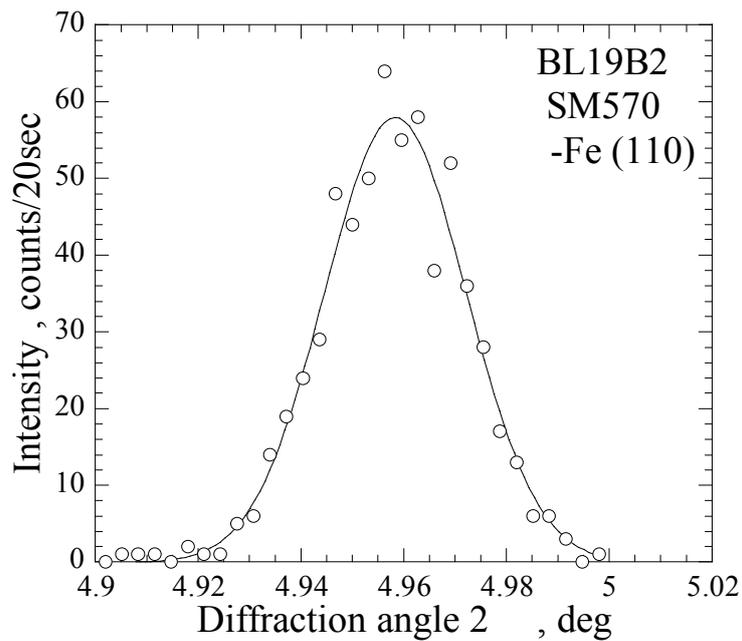


図 6 α -Fe (110) 回折プロファイル

4 - 3 . SM570 表面応力測定

測定は α -Fe (521) 回折を用いた侵入深さ一定法により行った。 ψ を 0.04 より 0.6 まで 0.08 ステップで合計 8 点測定し、 2θ - $\sin^2\psi$ 線図の傾きより表面 50 μm までの平均応力を求めた。ここで X 線の弾性定数は Kroner モデルより計算し、そのときの値は、ヤング率 $E = 198.49 \text{ GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.2982$ を使用した。

図 7 に溶接部中央における α -Fe (521) 回折プロファイルおよび 2θ - $\sin^2\psi$ 線図、図 8 に溶接部より 20 mm 離れた位置における α -Fe (521) 回折プロファイルおよび 2θ - $\sin^2\psi$ 線図をそれぞれ示す。溶接部中央についてはプロファイルにがたつきが見られ、その影響もあり 2θ - $\sin^2\psi$ 線図はかなりばらついていいる。溶接部中央より 20 mm 離れた位置についても中央に比べると若干ばらつきが小さいものの 2θ - $\sin^2\psi$ 線図は直線とはいえず、本測定の質があまりよくないと判断される。

図 9 に溶接線に対して (T 方向垂直方向) および平行方向 (L 方向) の表面から 50 μm までの深さにおける平均残留応力を示す。ここで横軸の 0 の位置が溶接部となる。T 方向に関しては、0 を中心に対照的な応力分布を示しているが、L 方向はかなり異なっている。横軸のプラス側だけに注目すると、溶接部で引張応力を示し、溶接部より少し離れたところでもっとも強い圧縮応力が発生していることがわかる。しかしながらその絶対値はかなり異なり、溶接部より外れたところでは、T 方向は引張応力、L 方向は圧縮応力を示している。なお、T 方向に関して、図 1(a) と今回の結果を比較すると、絶対値は今回の結果のほうが全体に小さくなっているが傾向は一緒であり、内部では応力が 0 に近いことがこの結果から推察される。

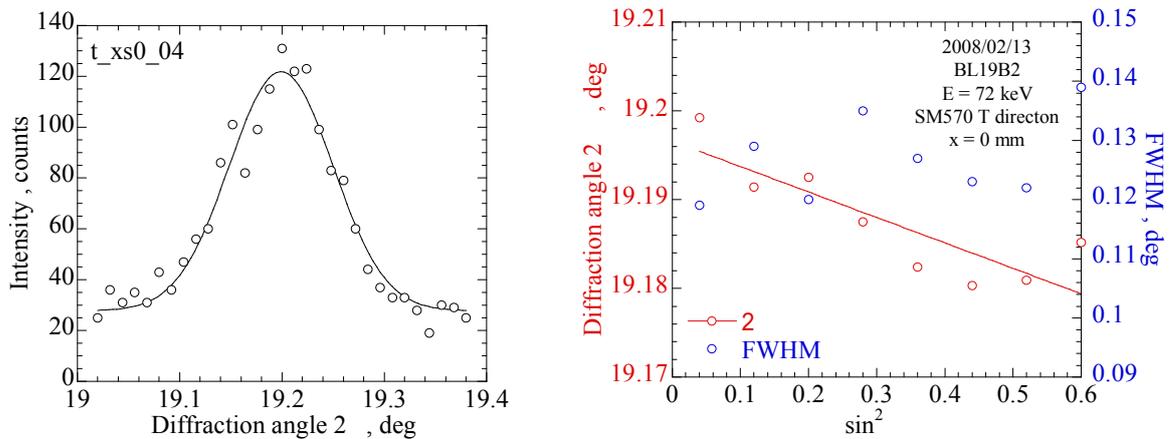


図 7 溶接部中央における α -Fe (521) 回折プロファイルおよび 2θ - $\sin^2\psi$ 線図

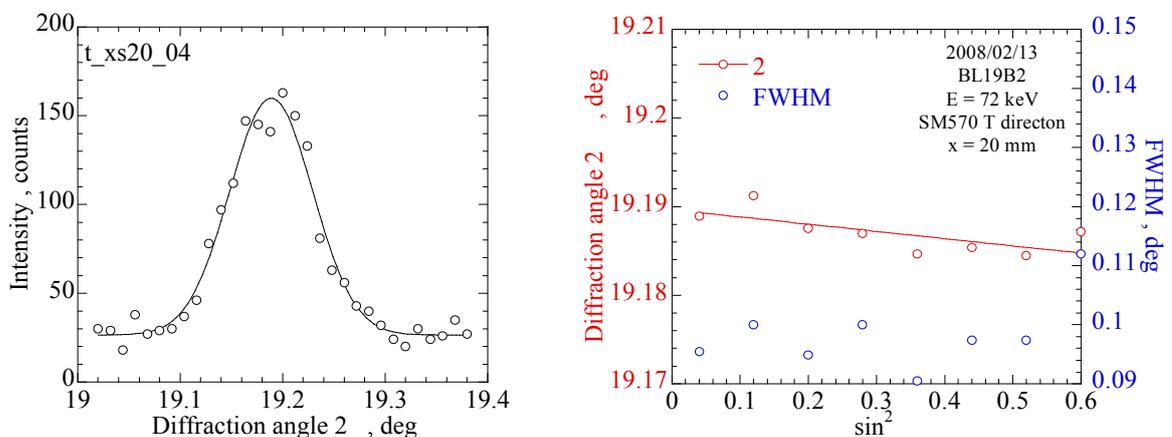


図 8 溶接部より 20 mm 離れた位置における α -Fe (521) 回折プロファイルおよび 2θ - $\sin^2\psi$ 線図

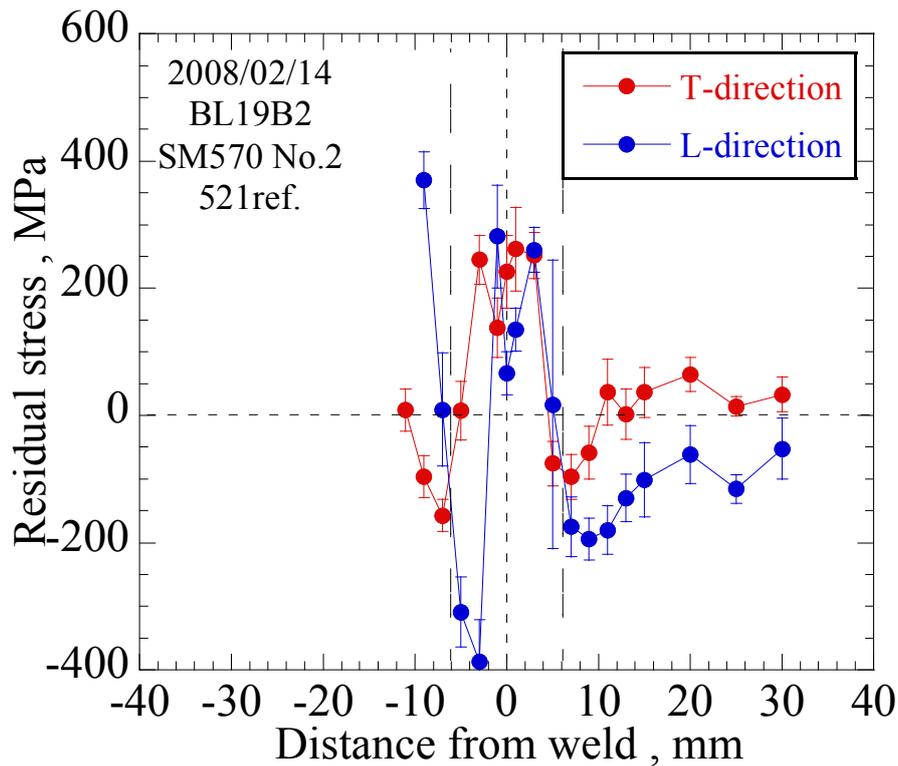


図9 SM570 表面から 50 μm の深さまでの平均残留応力分布

5. まとめ

今回の結果をまとめると次のようになる。

- 1) 透過型ひずみスキャンニング法により厚さ 15mm の SUS304、および厚さ 10mm の SM570 溶接材内部のひずみ分布測定を試みたが、どちらも回折強度が不十分なために測定することができなかった。この理由は、BL19B2 の光源が偏向電磁石であること、分光結晶によるサジタル集光などが行われていないことによる入射 X 線強度の不足によるものと考えられる。
- 2) SM570 における表面残留応力の結果は、ラボ X 線の結果に対して絶対値を小さくしたものに一致した。これは試料が深さ方向に応力勾配を有し、X 線侵入深さの深いことの違いに基づくと考えられる。

参考文献

- 1) Measurement of residual stress distribution in laser-shock peened Ti-alloy using hard synchrotron x-rays, K. Suzuki, T. Shobu and K. Tanaka, Journal of the Society of Material Science, Japan Vol.56, No.3, 217-222 (2007).
- 2) Evaluation of Residual Stress Distribution in Shot-Peened Steel by Synchrotron Radiation, Y. Akiniwa, K. Tanaka, K. Suzuki, E. Yanase, K. Nishio, Y. Kusumi, H. Okado and K. Arai, Journal of the Society of Material Science, Japan Vol.2, No.7, 764-769 (2003).