

## 配管溶接継手の残留応力測定に関する影響因子の評価

Evaluation of influential factors on residual stress measurement of pipe welded joint

前川 晃<sup>1)</sup> 高橋 常夫<sup>1)</sup> 辻 峰史<sup>1)</sup> 鈴木 裕士<sup>2)</sup> 盛合 敦<sup>2)</sup>  
 Akira MAEKAWA Tsuneo TAKAHASHI Takashi TUJI Hiroshi SUZUKI Atsushi MORIAI

<sup>1)</sup>原子力安全システム研究所 <sup>2)</sup>原子力機構

以前実施した中性子回折によるSUS316 製配管溶接継手の残留応力測定結果は数値解析や他測定結果と明らかな差異が生じており、この要因を明らかにするために、無応力状態クーポン（ $d_0$ クーポン）の格子面間隔（ $d_0$ 値）を再評価した。311 面の $d_0$ 値のみを測定して用いれば、十分に精度の良い残留応力測定が可能であることが示唆された。

**キーワード**：配管溶接継手、中性子回折、残留応力、回折面、格子面間隔、 $d_0$ クーポン、 $d_0$ 値

### 1. 目的

原子力配管系の高経年化による損傷評価や余寿命評価には内部の残留応力分布を適切に把握する必要がある。中性子回折法は配管溶接継手の内部残留応力を測定する有望な技術であり、実用に供するために測定精度をさらに向上することが必要である。以前実施した中性子回折によるオーステナイト系ステンレス鋼配管溶接継手の残留応力測定結果は数値解析や他測定結果と明らかな差異が生じており、この要因を明らかにする必要が生じた。本研究では、 $d_0$ クーポンの $d_0$ 値を再測定し、測定の再現性等について検討することを目的とする。

### 2. 方法

$d_0$ クーポンはSUS316 製の配管継手供試体の測定領域から切り出して作製した。供試体からワイヤー放電加工により3mm×3mm×3mmの小片を192ピース切り出し、切り出し位置および切り出し方向を揃え再び原型に組み合わせることで作製した。作製したクーポンを図1に示す。図1に示すように配管長手方向に細長いクーポンであり、配管長手方向に6点、板厚方向に4点測定して長手方向および板厚方向の $d_0$ 値の変化の有無を確認した。図2は測定状況を示す。入射ビームスリット幅は2mm×2mmとし、中性子の波長は0.16nmとした。

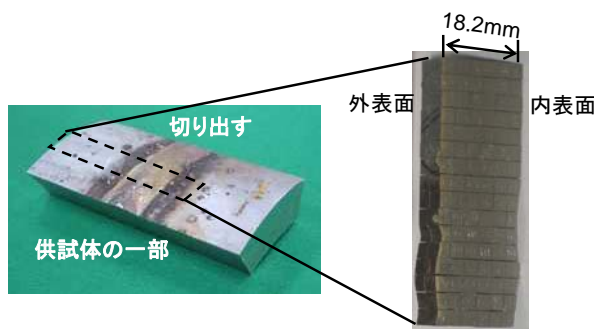


図1 作製した無ひずみ状態クーポン

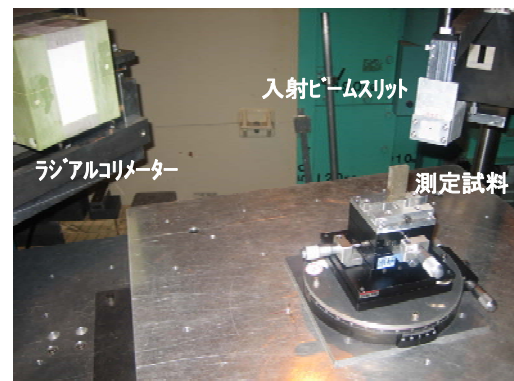


図2 測定状況

### 3. 研究成果

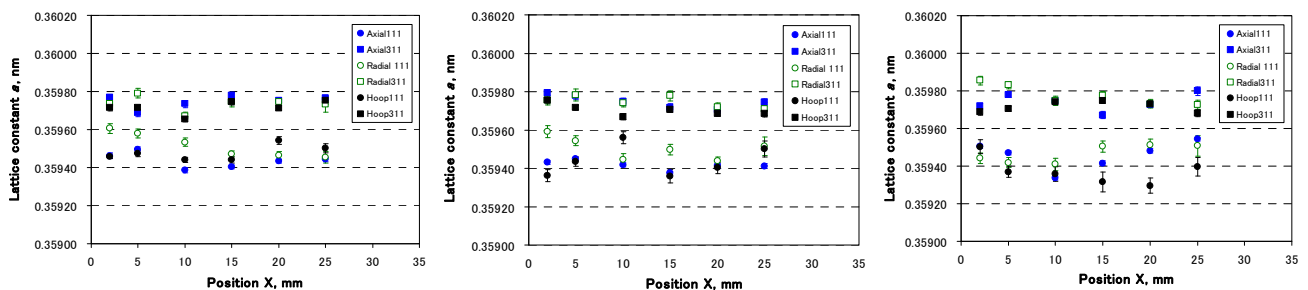
図3に測定した格子定数を示す。(a)は外表面から4mm深さ、(b)は8mm深さ、(c)は12mm深さであり、溶接止端から配管長手方向に6点測定した。図3には311面と111面の格子定数を示すが、それぞれの回折面

の格子定数は狭い範囲に分布してはいるが、その分布中心はそれぞれ大きく異なった。しかしながら、後述する有限要素法による解析結果との比較から、この結果は妥当と思われた。311面の格子定数は狭い範囲内にランダムに分布していることから、試験片を3mm角の大きさに切断すれば、 $d_0$ クーポン内部の残留応力は十分に解放されることを示している。長手方向のどの部分においても同じであり、これは、今回用いた溶接継手試験体において熱影響部から母材にかけて $d_0$ 値は同じ値を用いてよいことを示している。

一方、111面の格子定数は一定の傾向があるように見られた。つまり、長手方向に10~15mm位置から溶接止端に向かって格子定数が大きくなる傾向を示した。また、111面の格子定数の周方向成分の標準偏差は他の測定値と比べて大きかった。これは、111面の回折角が低角度であるので、わずかな回折角変化が大きな格子面間距離の変化に繋がるためと考えられる。また、111面のヤング率が相対的に大きいことも他回折面に比べ低い測定精度の要因と考えられる。

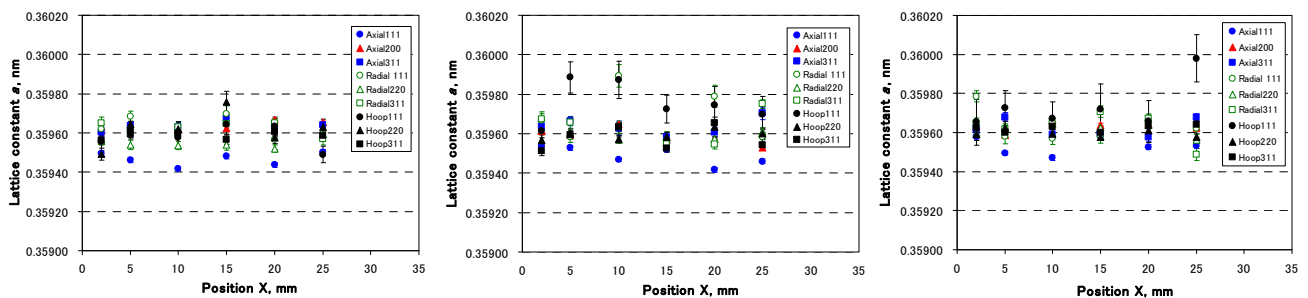
同じクーポンの前回測定した格子定数を比較のために図4に示す。111回折面の格子定数に着目すると、軸方向成分は今回とほぼ同じ値近傍に分布していることがわかる。他の2つの成分は各値が大きく変動しており、標準偏差も大きく、今回とは全く異なる分布傾向であることがわかる。このことから、標準偏差が大きな値はその信頼性が予想以上に低下していることが示唆された。これは、他の測定値と比較して極端に大きなエラーバーを持つ値については、 $d_0$ 値を求める時の母集団へ含めないことが、残留応力測定の精度向上に繋がることを示している。311面の格子定数は前回と今回を比較するとその平均値が乖離している。0.0001nm程度の差があり無視できない。クーポンの設置条件の差やバックグラウンド強度などに原因があったと推測するが、現時点では原因は不明である。

図5に今回の結果のうち、 $d_0$ 値に311面の格子定数の平均値を用いて計算した配管溶接継手供試体の残留応力分布を示す。比較のために $d_0$ 値に311面と111面の両方の格子定数の平均値を用いて計算した残留応力分布を図6に示す。両図には比較として、有限要素法により解析した残留応力分布も示す。311面のみを用いた測定値が解析値とよく一致していることがわかった。これは、311面が高角度で第二種ひずみの影響を受けない回折面であり、さらにヤング率も111面に比べれば小さいことから、測定精度が高くなった結果と考えられる。以上の結果ように、111面の回折角が低角度であり測定精度の低下が生じやすい回折面であることを考慮すると、311面の $d_0$ 値のみを用いるほうが測定精度の向上に繋がると考えられる。したがって、SUS316製構造物の残留応力測定では、311面の $d_0$ 値のみを十分な時間等をかけて測定した結果を用いれば、十分に精度の良い残留応力測定結果が得られると考えられる。



(a) 外表面から4mm深さ (b) 外表面から8mm深さ (c) 外表面から12mm深さ

図3 今回の試験で得られた格子定数



(a) 外表面から4mm深さ (b) 外表面から8mm深さ (c) 外表面から12mm深さ

図4 前回の試験で得られた格子定数

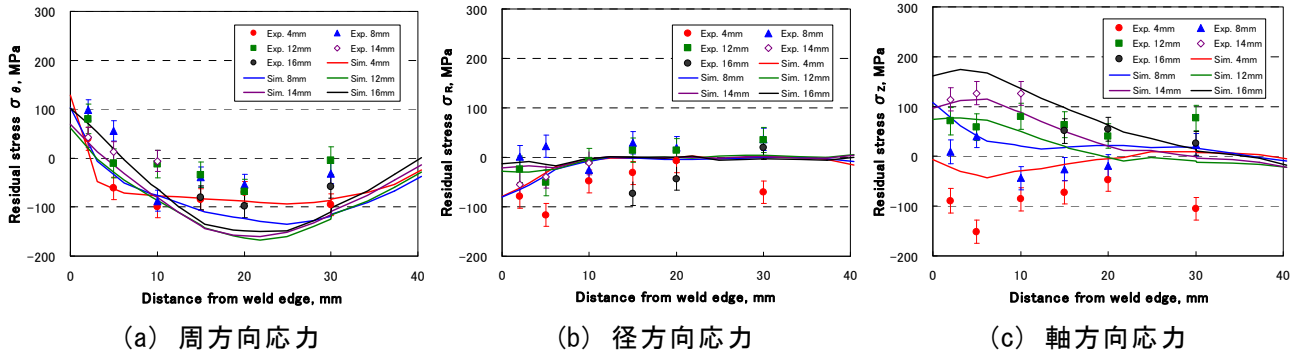


図5 残留応力の長手方向分布 ( $d_0$ 値に311回折面のみの値を用いた場合)

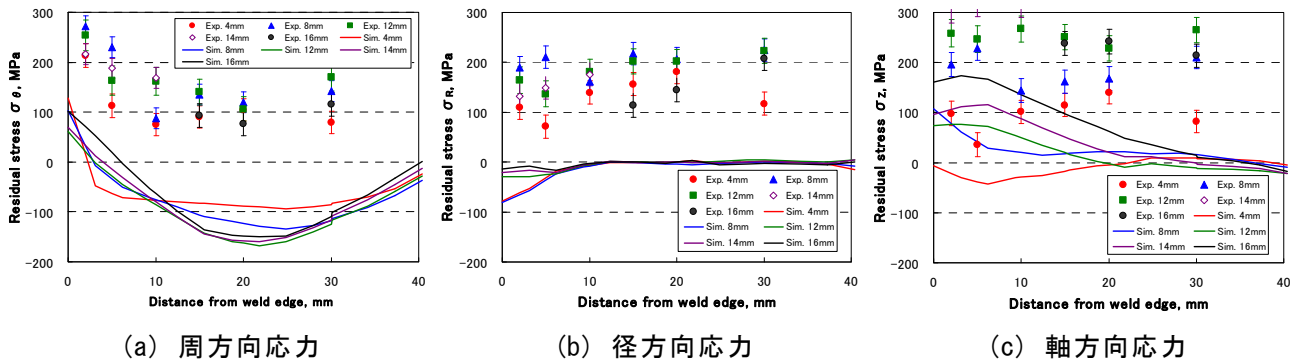


図6 残留応力の長手方向分布 ( $d_0$ 値に311回折面および111回折面の値を用いた場合)

#### 4. 結論・考察

以前実施した中性子回折によるSUS316 製配管溶接継手の残留応力測定結果は数値解析や他測定結果と明らかな差異が生じており、この要因を明らかにするために、 $d_0$ クーポンの $d_0$ 値を再評価した。111面の $d_0$ 値は311面の $d_0$ 値に比べて、測定精度が低いと評価された。これは、111面の回折角が低角度であることから、わずかな回折角変化が111面の $d_0$ 値に大きな変動を与えることが要因と考えられた。再評価した $d_0$ 値を用いて計算した残留応力測定値と有限要素法による解析値とを比較したところ、311面のみの $d_0$ 値を用いた測定値のほうが解析値とよく一致し、SUS316製構造物では、311面の $d_0$ 値のみを十分な時間等をかけて測定した結果を用いれば、十分な残留応力測定精度を確保できると考えられた。

#### 5. 引用(参照)文献等

- (1) A. Maekawa, M. Noda, S. Takahashi, T. Oumaya, H. Serizawa and H. Murakawa, "Evaluation of Residual Stress Distribution in Austenitic Stainless Steel Pipe Butt-Welded Joint," 溶接学会論文集, Vol.27, No.2, pp.240s-244s (2009).
- (2) 前川晃, 野田満靖, 大既徹, 高橋茂, "中性子回折法によるオーステナイト系ステンレス鋼配管突合せ溶接継手の残留応力分布測定," INSS Journal, Vol.16, pp.62-73 (2009).
- (3) A. Maekawa, T. Oumaya, M. Noda, S. Takahashi and T. Saito, "Residual Stress Distribution in Austenitic Stainless Steel Pipe Butt-Welded Joint Measured by Neutron Diffraction Technique," Materials Science Forum, Vol.652, pp.116-122 (2010).
- (4) 田中啓介, 鈴木賢治, 秋庭義明, 残留応力のX線評価—基礎と応用—, 養賢堂, p.181, (2006).