

# ティルト法による溶接鋼材内部の無応力状態格子定数の非破壊測定

Nondestructive measurement of lattice spacing  $d_0$  in welding material by tilt method

利用者 板野 祐太、 今福 宗行  
Yuta Itano Muneyuki Imahuku

所 属 東京都市大学

キーワード 中性子応力測定、溶接鋼材、無応力状態の格子面間隔 $d_0$ 、ティルト法、三軸応力解析

## 1. 目的

材料表面の応力測定には、一般的にラボX線が用いられている。しかし、ラボX線の侵入深さは表面から数・m程度である。そのため、内部応力測定は研磨と応力測定を繰返す逐次電解研磨法により測定を行う必要がある。近年、内部応力を非破壊で測定する方法として高エネルギー放射光や中性子線が盛んに用いられている。これらは数mm～数10mmの深さにおける応力を非破壊で測定できることから、原子炉配管などの大型構造物からマイクロマシンなどの精密部品にまで適用されている。従来の中性子応力測定では、無応力状態の格子面間隔 $d_0$ を基準としたひずみ量から試料の応力状態を決定している。これまでに無応力試料として粉末、試料から数mm<sup>3</sup>の立方体を切り出したクーボン材、応力除去焼鈍材といったものが用いられてきた。しかし、粉末試料やクーボン材等が無応力状態を保証することはできないし、また、試料を破壊する測定法であるという問題点がある。これらの問題を解決するために、新しい非破壊 $d_0$ 測定法を研究することを目的とする。

## 2. 方法

### 2. 1 試料

試料はSM400A溶接鋼材試験片を用いた。形状は80×10×15(mm<sup>3</sup>)で溶接は図1の中心線X軸方向に深さ3mmで直角のV溝を掘って、手溶接による被覆アーク溶接を行ない10mm幅切り出した(図1)。中心点をO点とし測定箇所を表1に示す、また、測定箇所はO点からのものとする。

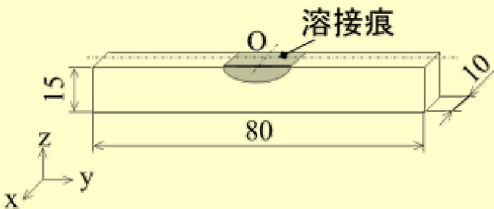


図1 測定試料の形状

### 2. 2 測定箇所

測定箇所の組織域を把握するため3%ナイトールを用いた化学エッチングを断面に行ない図2の組織図を得られた。図2から溶接部周辺1mm程度で熱影響部(HAZ)が形成されていることがわかる。組織図を基に中性子での測定箇所を表1のように決定した。X線での測定箇所は試料の前処理としてエメリー研磨、バフ研磨、電解研磨をしたことから組織を視認することができ決定した。電解研磨は母材部で応力が零近傍になるよう行なった。

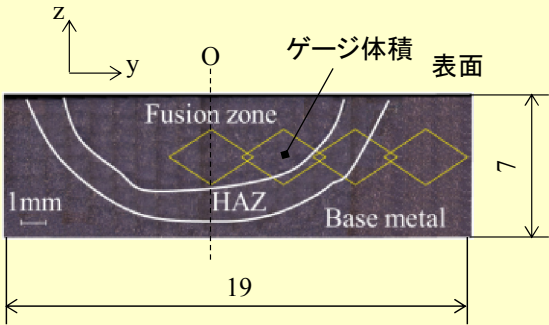


図2 溶接近傍断面

### 2. 3 測定方法

中性子回折実験、X線回折実験により溶接部近傍内部、表面の $d_0$ 分布と残留応力を確認した。 $d_0$ はティルト法(式(1)参照)を用い算出した<sup>3)</sup>。式(1)の $n$ はポアソン比、 $d_{\phi_1\Psi}$ は一方向の格子面間隔、 $d_{\phi_2\Psi}$ は一直角方向の格子面間隔、 $d_N$ を板厚方向の格子面間隔としている。

$$d_0 = \left( \frac{\nu}{1+\nu} \right) \frac{d_{\phi_1\Psi} + d_{\phi_2\Psi} - 2d_N}{\sin^2 \phi} + d_N \quad (1)$$

表1 各ビームの測定条件

線源種	中性子	X線
測定箇所 $y$ ,mm	0,3,6,9 (深さ2.5mm)	0,2,4,6,8,10,15
ビームサイズ	2×2×15 mm <sup>3</sup> (ゲージ体積)	φ3.0mm (コリメータ径)
$\sin^2 \psi$	0~0.5 (0.05 step)	0~0.6 (0.1step)

## 2. 4 ティルト法<sup>3)</sup>

方法は、クーポン材のように材料を破壊する必要がない上、4点曲げ試験のように荷重を加えたりする必要がない。ティルト法について中性子をベースにした3種類の図3で説明する。図3の(a)は試料に対して試料法線方向にビームを入射して測定を行なっている。この場合は、板厚方向の格子面間隔 $d_N$ を求めることが可能である。さらに、(a)に $\psi$ の変化をさせていくことで短手方向の格子面間隔 $d_{\phi 1\psi}$ を求めることができる(図(b)参照)、さらに、試料を90°回転させて同様に求めると長手方向の格子面間隔 $d_{\phi 2\psi}$ を求めることができる。この3方向の格子面間隔を求め、式(1)に代入すると無応力状態の格子面間隔を決定することができるとされている。

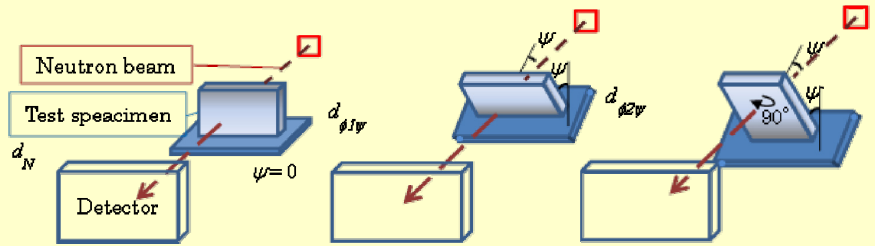


図3 ティルト法の概略図 (左から(a), (b), (c)とする)

## 3. 実験結果

X線回折実験による溶接面上の $d_o$ 分布を図4に、中性子回折実験による深さ2.5mmにおける $d_o$ 分布を図5に示す。また、X線回折で得た焼鈍材の $d_o$ 値をそれぞれの図に緑線で表記している。

図4の $y=8$  mmと図5の $y=7.5$  mmの $d_o$ の測定領域は熱影響部を多く含むため、塑性ひずみが最も高い箇所である。母材では焼鈍材の $d_o$ 値に近い値となった。また、図4の $y=0\sim6$  mm範囲の $d_o$ の変化では塑性変形の影響より組織の変化によるものと考えられる。さらに、図5の $y=0\sim6$  mmでは塑性変形により $d_o$ 値が変化したものと考えられる。また、 $d_o$ 分布を持たせて本溶接試料を三軸応力解析した結果を図6に示す。 $x$ ,  $y$ ,  $z$ は三軸方向の応力値を示している(図1参照)。溶接線から外側に向かってHAZ部を境に残留応力が圧縮から引張に変化していることがわかる。

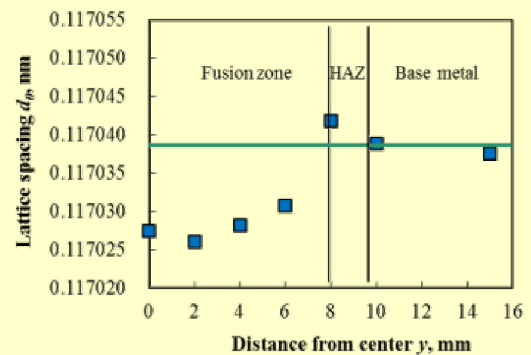


図4 溶接面上の分布 (X線回折)

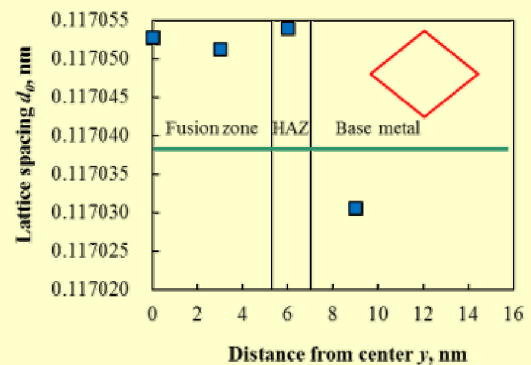


図5 溶接内部の分布 (中性子回折)

## 4. まとめ

材料内部の測定には中性子を、材料表面にはX線をプローブとしてティルト法により溶接鋼材の $d_o$ 分布の非破壊測定が可能である。母材部の $d_o$ 値は焼鈍材の値に近い結果が得られた。本手法は三軸応力状態でも用いることが可能であると考えられる。

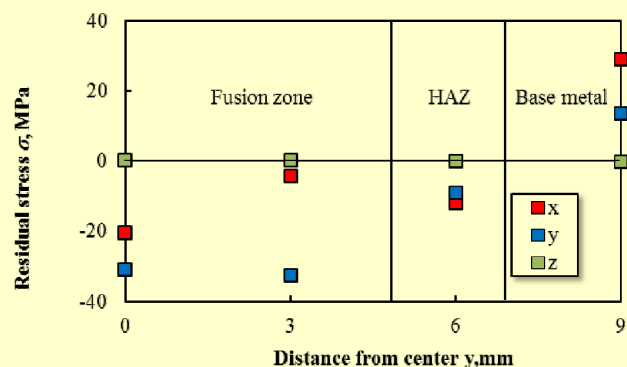


図6  $d_o$ 分布による内部の三軸応力解析結果

## 5. 引用(参照)文献等

- 1) 田中啓介, 鈴木賢治, 秋庭義明, 菅蒲敏久, “放射光による応力とひずみの評価”, PP.112~116.
- 2) 日本材料学会, X線応力測定法標準—鉄鋼編—, JSMS-SD-5-02 (2002), PP.41~42.
- 3) P. J. Withers, M. Preuss, A. Steuwer and J. W. L. Pang, “Methods for obtaining the strain-free lattice parameter when using diffraction to determine residual stress”, J. Appl. Cryst. 40, PP.891-904, (2007).