

## 2次元検出器(PILATUS)を利用した内部応力のその場測定

In-situ measurement of internal stress using 2D detector

鈴木 賢治<sup>1)</sup>北島 進也<sup>1)</sup>木村 満彦<sup>1)</sup>山岸 葵<sup>1)</sup>

Kenji SUZUKI

Shinya KITAJIMA

Mitsuhiko KIMURA

Aoi YAMAGISHI

菖蒲 敬久<sup>2)</sup>城 鮎美<sup>2)</sup>

Takahisa SHOBU

Ayumi SHIRO

<sup>1)</sup>新潟大学<sup>2)</sup>原子力機構

## (概要)

計数型2次元検出器PILATUSは高エネルギーで効率が低下する。本実験では、実際に高エネルギーでの測定性能を検証し、2次元検出器としての有効性を検討した。10mm厚さの鉄鋼材料の透過回折像の検出に40分ほど必要であり、効率は低かった。しかし、読み取り据え付けの精度、時間などの問題がないので、ひずみ測定に使用することも可能である。また、S45Cの細粒試験片の理想的回折環をPILATUSで測定し、スパイラルスリットの性能と表面効果を具体的にまとめた。

## キーワード:

残留応力, 2次元検出器, X線応力測定, PILATUS, 回転スリット

## 1. 目的

2010Aは、スパイラルスリットとPILATUS検出器を利用して、粗大粒を持つアルミニウム試験片の曲げ応力を測定した。そこでは、回折スポット追跡法(DST法)の有効性が確認された。しかし、使用した波長エネルギーは30 keVであり、鉄鋼材料などの内部を測定するためには、高エネルギーX線を用いて2次元スリットとPILATUS検出器を利用して測定する必要がある。

本課題では、70 keVの高エネルギーX線とスパイラルスリットを用いたひずみスキャンニングの有効性およびPILATUS検出器の効率について鉄鋼材料を用いて具体的に検討する。対象としては、S45C曲げ試験片および焼きばめ材とした。

## 2. 方法

## 2.1 試験片および実験方法

試験片材料は、細粒で回折環が連続となるようにS45Cを用いた。既定の曲げ負荷ひずみを与えるために、図1に示す試験片を製作した。試験片の前方のM5細目ネジを回すことで引張りと曲げ応力を中央の

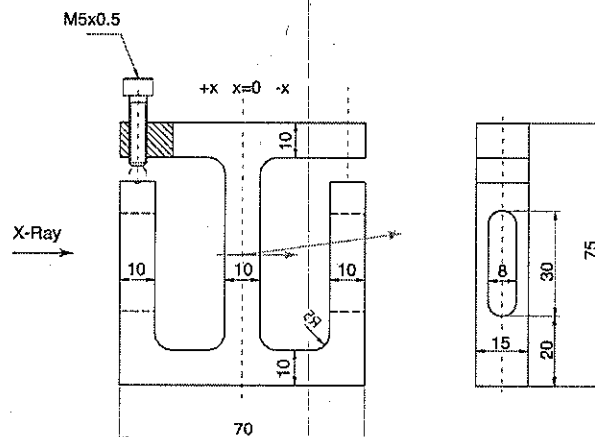


図1 片持ち曲げ試験片

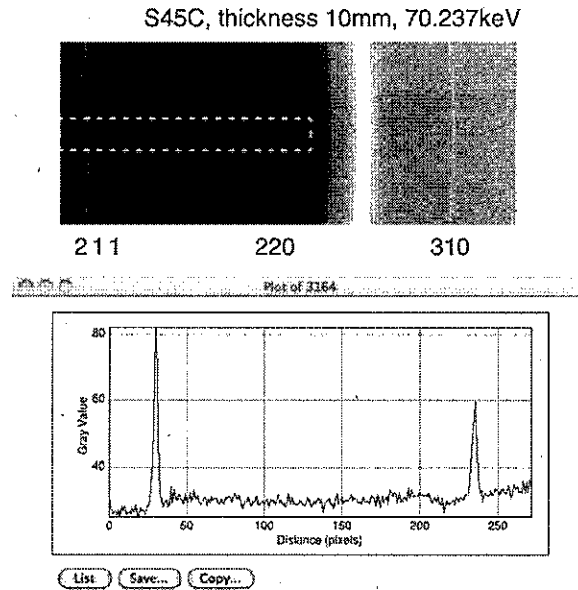


図3 測定された S45C 曲げ試験片の透過回折環

3. 研究成果

3.1 S45Cの応力分布測定

得られた応力分布を図4に示す。測定結果をみると、試験片の表面付近で測定応力の値が、負荷応力と大きく異なる。これは、試料の表面付近では実際に回折に寄与するゲージ体積が対称でなくなり、光学的中心がゲージ体積の幾何学中心と一致しないのが原因であり、いわゆる表面効果がみられる。また、回折角の小さい211, 220回折は、310回折に比較して大きなゲージ体積になるので、表面効果が顕著に現れ、応力が表面付近で大きく変化している。

これに対して、高回折角の310回折では、ゲージ体積が小さいために表面効果の影響が小さくなり、負荷応力とほぼ近い応力分布を測定できた。ゆえに、310回折は強度が低いけれども、ゲージ体積が小さく、空間分解能が高くなって、本実験ではよい結果を示した。

211回折( $2\theta=8.6\text{deg}$ )および220回折( $2\theta=9.9\text{deg}$ )ではよい結果が得られなかったが、310回折( $2\theta=11.1\text{deg}$ )では、ひずみ測定が可能であった。本実験の結果から、本スパイラルスリットとPILATAUS検出器の組み合わせにおいては、 $2\theta=11.0\text{deg}$ 以上の回折条件を利用することが望ましい。ゲージ体積が回折見込み角に対して一定の回折スリット系があれば、回折角を気にしないで測定できる。

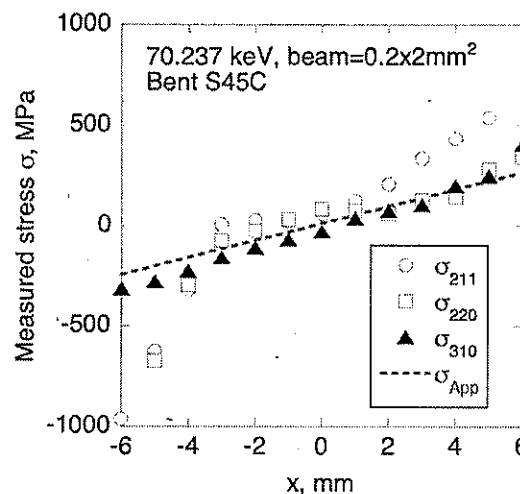


図4 S45Cの応力分布

応力比  $\sigma_r/\sigma_\theta$  について理論と測定を比較した結果を図 6 に示す。211 回折の測定結果は理論から大きく外れているので、220 回折の測定結果のみを図に示した。図からわかるように、理論と同様の傾向は得られたが、正確な一致を得ることはできなかった。211 回折は回折角が低く、精度を上げることは難しい。結果として、220 回折が 211 回折よりも測定精度がよかった。ただし、空間分解能を得るためにスリットの幅を狭くしたために回折強度が弱く、測定精度が低い。より高い回折角で回折強度を大きくする必要がある。前節のように 310 回折が利用できれば、精度よい測定が実現したかもしれない。なお、焼きばめ試験片においては板厚方向でなく、半径方向にスキャンニングしているので、表面効果の影響は現れないモードのひずみスキャンニングを行っている。

#### 4. 結論・考察

高エネルギー放射光 X 線に対して、スパイラルスリットおよび PILATUS の組み合わせで、X 線応力測定を行い、その有効性を実証するとともに測定における課題を明らかにした。

(1) 70keV 相当の挿入光源 X 線の実験で PILATUS の検出効率低下が認められ、10 mm 厚さの鋼を透過した回折の PILATUS の測定では露光時間 40 min を要した。また、入射ビームサイズを  $0.2 \times 2 \text{ mm}^2$  にすることで測定することができた。高エネルギーに対する計数効率の低下は大きく測定に長時間を要するが、バックグラウンドは低く、イメージングプレートのような積分型よりも有利である。

(2) S45C 材では、きれいな回折環を得ることができ、 $2\theta$  が 11deg 以上の 310 回折で既定の曲げ応力を十分な精度で測定することができた。 $2\theta$  が 9deg 台の 211 回折および 220 回折では、表面効果の影響が大きく応力の測定は困難であった。前回の実験では粗大粒のスポットによる測定のため、応力分布が離散的にしか測定できなかったが、本実験では、細粒のために、連続的応力分布が得られたので、スリットの性能の検証が十分に実施できた。

(3) 焼きばめ試験片では、入射ビームサイズを  $0.2 \times 1 \text{ mm}^2$  にして測定したが、211 回折と 220 回折を得ることができたが、310 回折を得るのが困難であった。焼きばめのスキャンニング方向は、表面効果が現れない方向 (r 方向) であったが、よいひずみ測定結果が得られなかった。理論解と実測による測定を比較したが、よい一致が得られなかった。

高エネルギー対応の PILATUS 検出器が開発され、また回折角によるゲージ体積の変化の少ない理想的なスリットが製作できれば、粗大粒の内部応力評価の飛躍的發展が期待できる。

#### 5. 引用(参照)文献等

1) J.H. Michell, The uniform torsion and flexure of incomplete tores, with application to helical springs, Proceedings of London Mathematical Society, Vol. 31, pp. 130-146.