

# Study on the X-ray Stress Measurement of the Exposure Unit and Scanning Unit All In One System Using an Imaging Plate.

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/43790">http://hdl.handle.net/2297/43790</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



イメージングプレートを用いた露光再生一体型

X線応力測定に関する研究

Study on the X-ray Stress Measurement of the Exposure Unit  
and Scanning Unit All In One System Using an Imaging Plate.

自然科学研究科システム創成科学専攻

丸山 洋一

# ABSTRACT

In this study, a new residual stress measurement device based on the X-ray diffraction method has been developed. An imaging plate was used as a detector to sample the full diffraction ring. The imaging plate and the scanning unit were built into the one system. Compared with the traditional X-ray stress measurement systems, the physical size and weight of the instrument were significantly reduced. The instrument also has a capability to measure the distance from the specimen to the imaging plate. This capability contributes to improve the accuracy and simplicity of the stress measurement. The developed instrument was focused on measuring a ferrite sample and the acquired diffraction ring was analyzed using the  $\cos\alpha$  method. In the present work, the accuracy of the measurement data from the instrument was evaluated by a ferrite powder and comparison with the strain gauge results obtained from four-point bending measurements. Then checked the transition of the repeated measurement accuracy in the several conditions to find the minimum required conditions. Finally the measurement accuracy for the large grain size materials by the X-ray stress measurement is improved by oscillation method.

## 学 位 論 文 要 旨

国内においてインフラのメンテナンスが問題となっている昨今，施工の確認を目的とする X 線応力測定が現場で求められている．そこで本論文では，X 線応力測定を簡略的に測定可能とするため

- (1) 軽量で簡単に設置できること．
- (2) 高速で結果が得られること．
- (3) 高精度で測定ができること．
- (4) 設置から測定結果が得られるまでが煩雑な手順なしに連続的に行われること．

これらの特徴を有する装置の実現に向けて研究を行い，装置を試作し検証を行って得た知見をまとめたものである．

まず要求される X 線応力測定装置の実現のため，既存技術であるイメージングプレート

と  $\cos\alpha$  法を用いた応力測定法の特徴である

- (a) イメージングプレートは繰返使用が可能であること.
- (b)  $\cos\alpha$  法は単一入射で応力測定が可能であること.
- (c)  $\cos\alpha$  法は許容される試料の設置距離が長いこと.

に着目し、従来の  $\cos\alpha$ 法による実験装置の問題点

- (i) イメージングプレートへの X 線露光装置とイメージングプレートの再生装置が分離しており測定が非連続なこと.
- (ii) X 線出射位置を特定するため、無ひずみ試料の多重露光を必要とする.
- (iii) 応力測定に適さないイメージングプレートの読み取り.

を解消するため、X 線管とイメージングプレートの読取装置を一体型とし、無ひずみ試料(主に粉末を用いる)の多重露光を必要とせず、応力測定に適したイメージングプレートの読取方法を研究し、Fig. 1 に示す構造の装置を試作し検証を行った.

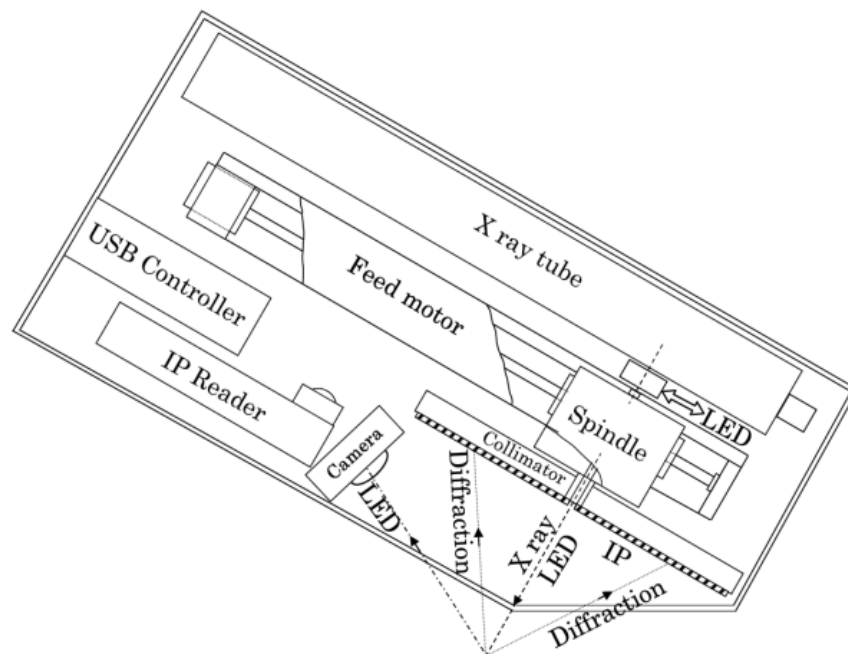


Fig. 1 Structure of the X-ray stress measurement using an imaging plate (IP) developed in this study.

X 線を回転モータの中空軸と X 線の照射範囲を制限するコリメータを通して試料に照射し、試料からの回折環をイメージングプレートに露光する。露光後イメージングプレートを直動ステージによって読取部に移動させ、直動ステージと回転モータによってスパイラル

方式で読み取りを行う。これにより回転中心を基準とする放射状のデータが得られ、コリメータ位置とイメージングプレートの回転中心を物理的に合わせることで、X線出射位置を特定し粉末の多重露光を必要としない応力測定が可能であることを示した。試作した装置は、応力測定の一貫精度が JIS-B2711(ばねのショットピーニング)に規定の「無ひずみ状態の鉄又は銀の粉末について応力測定を行い、 $\pm 25\text{MPa}$  以下であること」を十分に満たす結果が得られ、さらに  $\cos\alpha$ 法の特徴である試料の許容設置距離が広いことも明らかにした(Fig. 2)。また測定値の確かさは四点曲げ負荷試験にて、ひずみゲージと非常に高い相関が得られ、残留応力と共に負荷応力も測定可能と判断される結果を示した(Fig. 3)。

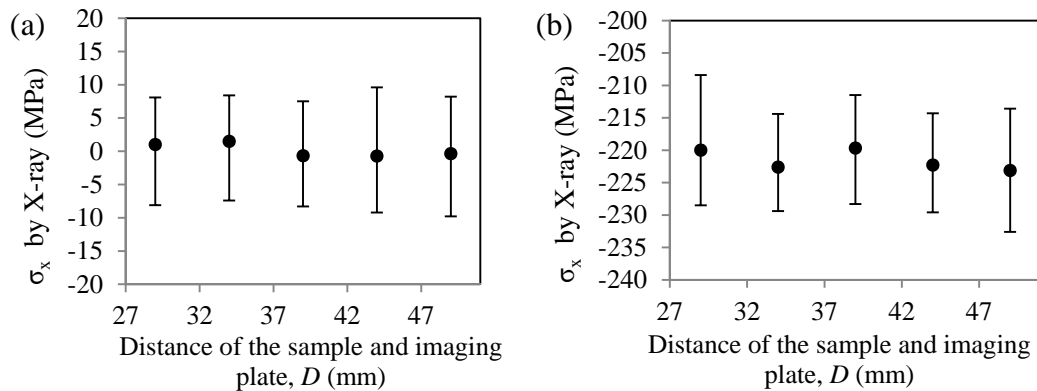


Fig. 2 Error of repeated measurements for different distance of the sample and imaging plate.

(a)  $\alpha\text{Fe}$  powder. (b) JIS-S45C.

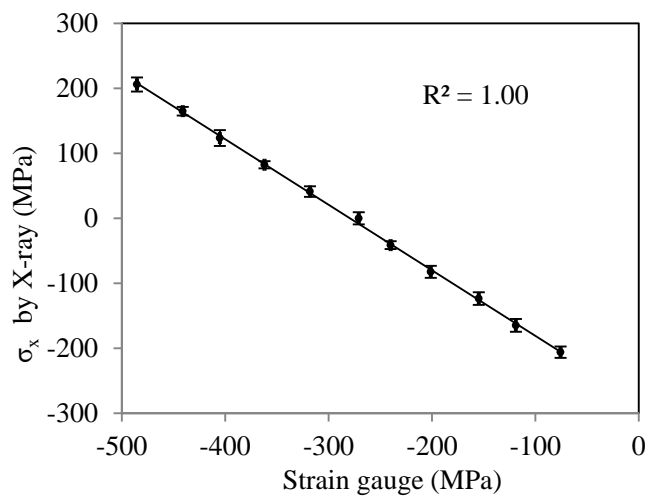


Fig. 3 Relationship between the X-ray stress measurements using  $\cos\alpha$  method and the strain gauge measurement.

次に高精度で X 線応力測定を行うために、X 線の線量が増える X 線管の各種設定や光学的条件を可変させ、応力測定に必要なパラメータを導出する試みを行った。露光時間を可変し応力測定の繰り返し精度の推移を確認した結果を Fig. 4 に示す。X 線の線量が多くなるに従い回折環から得られたプロファイルのピーク強度  $I_p$  は増加し、増加に伴い繰返精度は向上するが、ピーク強度が一定以上になると繰返精度の向上が飽和する傾向が確認された。この結果から応力測定は一定以上の線量があれば十分であるという知見が得られ、X 線管の選定に大いに役立つ結果が得られている。さらにイメージングプレートの読取条件を可変し、応力測定の繰返精度の推移を確認した結果、イメージングプレートの読取条件の変更が繰返精度に与える影響は小さく、繰返精度は X 線の線量に大きく依存する結果となっている。以上により X 線応力測定に必要な線量は、本装置の光学系において管電圧 30kV、管電流 1mA 設定で露光時間 30 秒程度と比較的低線量で、イメージングプレートの読取と解析時間の 45 秒を加え、75 秒の測定で十分な測定精度が得られることを実験によって検証した。

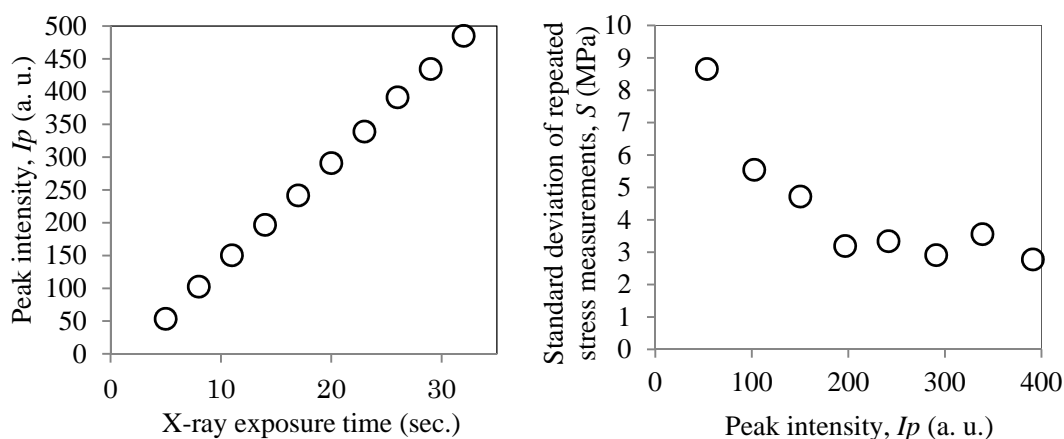


Fig. 4 Relationship between the peak intensity and accuracy of the X-ray stress measurement when changing the exposure time for  $\alpha$ Fe powder.

最後に試作した装置を用いて粗大結晶粒材料の測定手法に関する研究を行っている。

X 線応力測定は次の 3 つの大きな仮定

- (1) 対象となる材料が均質等方性体であること。
- (2) X 線照射域内に回折に寄与する結晶粒が十分な数だけ存在すること。
- (3) 測定対象とする材料表面の応力状態が平面応力状態であること。

の元に組み立てられており上記(2)の仮定を満たさない粗大結晶粒材料の応力測定を試みた。従来から粗大結晶粒材料への測定精度向上対策として揺動法(Fig. 5)が提案されているが

$\cos\alpha$ 法では試料平面揺動が提案されているのみである．そこで粗大結晶粒材料を用い，入射角揺動法の効果を四点曲げ負荷試験により検証した結果を Fig. 6 に示す．揺動法を適用することで相関係数 $R^2$ が0.908  $\rightarrow$  0.995と改善される結果が得られ，測定精度の向上に有効な手段であることを実験により検証し，さらに論文中では入射角揺動法における試料の許容設置距離についても言及した．試料平面揺動法でも同様に測定精度の改善効果は確認されたが，X線照射中に試料を移動させることから，得られる応力値は移動中の平均応力となり平面解像度が低下してしまう．その低下対策にCT法による断層画像の再構成手法によって応力分布の再構成が提案されているが，論文中では従来のCT法に改良を加え，新しくAFBP(Active Feedback Back Projection)法を提案し，粗大結晶粒材料に[KH]の文字をショットブラストした試験片を用い，試料平面揺動法を適用してもCT法を用いることにより高精度で応力の平面分布が復元可能であることを実験により検証した (Fig. 7)．

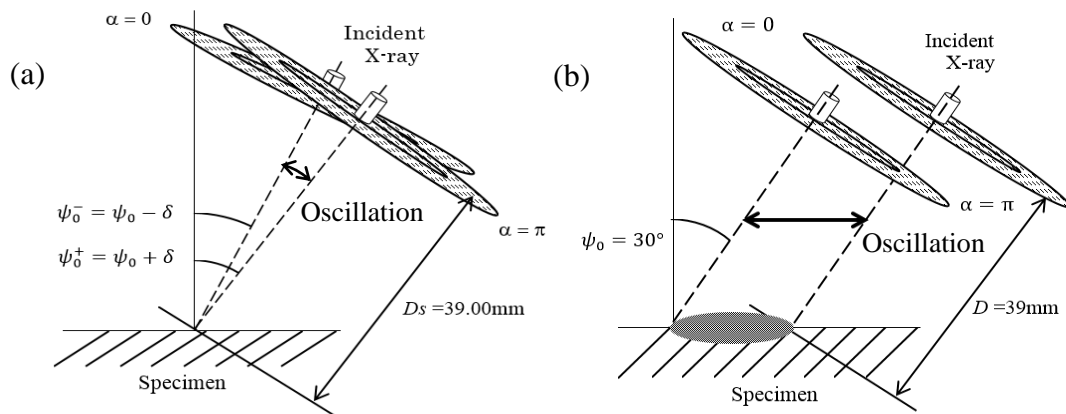


Fig. 5 Schematic of oscillation method. (a) Incident angle oscillation. (b) Plane oscillation.

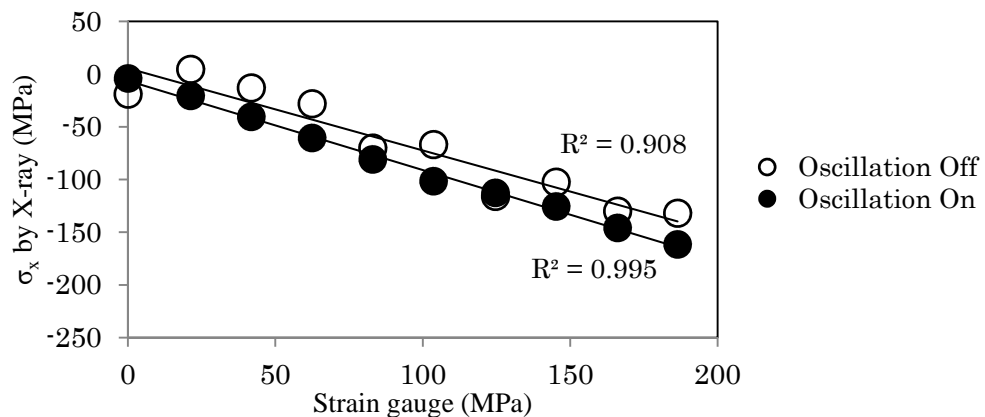


Fig. 6 Correlation of the X-ray stress measurement and strain gauge using four-points bending machine when changing the oscillation ON/OFF.

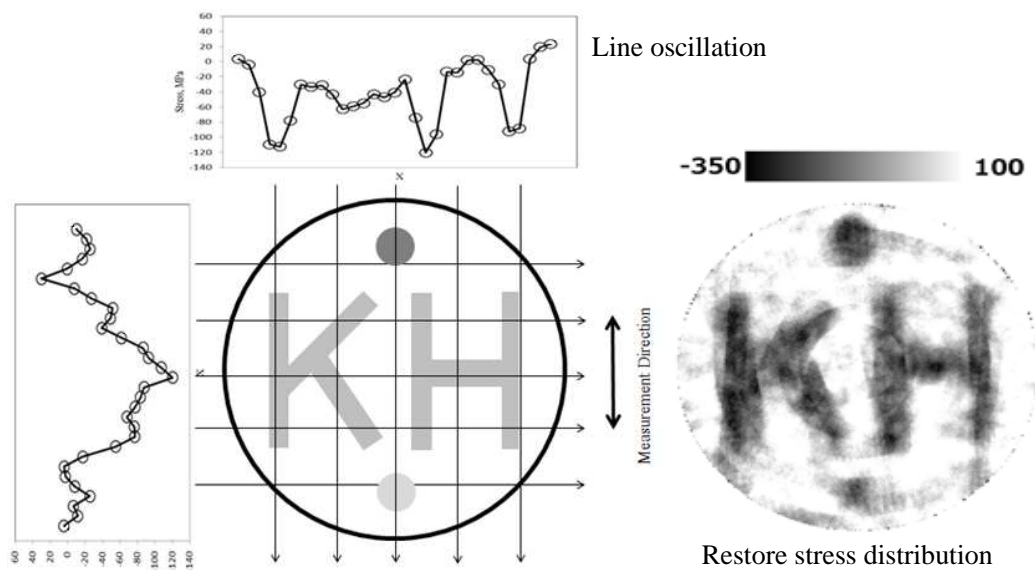


Fig. 7 Stress distribution measurement results using the AFBP method.

本研究は、イメージングプレートへの露光と再生を一体として煩雑な手順を不要とし、連続的に応力測定が可能な装置を研究し、さらに必要最低限の X 線の線量を明確にすることで、センサ部重量 4.3kg、測定時間 75 秒、消費電力 85W と従来の  $\cos\alpha$ 法の実験装置と比較し、大幅な軽量化と測定時間の短縮化および省エネルギー化を実現しつつ、測定精度は JIS-B2711 を満足し、かつ測定値の確かさを四点曲げ負荷試験により検証し十分な性能を有していることを確認した。さらに揺動法の適用によって粗大結晶粒材料の高精度測定を行い、研究中に得た様々な知見と研究成果をまとめたものである。

現場での X 線応力測定を簡便にする本研究は、今後工学的分野における測定において大きく貢献し、安全安心な生活に貢献すると期待されるものである。



## 学位論文審査報告書（甲）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

イメージングプレートを用いた露光再生一体型 X 線応力測定に関する研究

2. 論文提出者 (1) 所 属 システム創成科学 専攻

(2) 氏 名 <sup>ふり</sup> <sup>がな</sup> <sup>まるやま</sup> <sup>よういち</sup>  
丸山 洋一

3. 審査結果の要旨（600～650 字）

当該学位論文に関し、平成 27 年 8 月 6 日に第 1 回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文および関連資料について詳細に検討した。同日に口頭発表の後、第 2 回学位論文審査会を開催し慎重に協議した結果、以下の通り判定した。

本研究は、X 線応力測定技術を現場で使用可能とするため、それに必要な装置の小型化および測定時間の短縮に関して検討したものであり、最初に新たな測定装置を開発し、次にそれに対する基礎的な検討を行っている。本研究の主な特徴は、2 次元 X 線検出器、および、新しい応力解析理論（ $\cos \alpha$  法）を適用した点である。本研究の開発装置により、X 線照射点から発生する回折 X 線（デバイリング）を一度に計測可能となり、また、測定されたデバイリングに含まれる結晶格子面の間隔やひずみに関する情報を高精度に抽出できるようになった。その結果、従来技術では不可欠であったゴニオメータの使用が不要となり、装置全体の小型化と測定時間の短縮につながった（それぞれ従来比で 1/10 以下）。2 次元検出器方式の有効性に関しては約 20 年前から知られていたが、X 線露光と再生（読み出し）過程に関して実用上の課題があった。これに対して本研究では、これを連続的かつ自動的に行えるようにして解決し、さらにその有効性を実証した。

以上のように、本論文は 2 次元検出器方式の X 線応力測定法の有効性を実証し、生産現場や実機への適用を可能にすることで関連する分野に貢献したと判断でき、博士（工学）の学位に値すると判定した。

4. 審査結果 (1) 判 定（いずれかに○印） 合 格 ・ 不合格

(2) 授与学位 博 士（ 工 学 ）