



最近のX線応力測定

残留応力や静的な負荷応力の測定に回折現象を利用したX線応力測定法がある。残留応力の測定に関して、ひずみゲージ法では通常応力開放が必要で測定物を切断する必要があるが、X線応力測定法では測定原理として結晶格子のひずみを利用するため、通常、切断の必要が無く非破壊的測定になる。

本稿では、最近当社が導入した種々の特徴を有する新しいX線応力測定装置の特徴とその利用分野について述べる。

B-1

測定原理

金属をはじめとする結晶構造を有する物質内では外部から応力が加わると、弾性限界内では応力の大きさに比例して結晶の原子間距離すなわち格子面間隔が伸縮する。この格子面間隔を測定し、そのひずみ量から測定物表面に存在する応力を算出することができる。

一定波長λの単色X線は結晶格子面で回折することが知られており、格子面間隔dとブラッグ角

θ、回折次数nとの間にはブラッグの法則が成立する。

$$\text{ブラッグの法則 } n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$$

一定波長λを有するX線を測定物に入射させ、結晶面から帰ってくる反射X線を検出器でとらえ、回折角度θを測定することにより、dの変化を求め、その格子面に負荷されている応力を算出する。

B-2

新型X線応力測定装置の特徴とパフォーマンス

2003年10月、当社はカナダのProto社から、従来の国内メーカーのX線応力測定装置では見られない種々の特徴を有するX線応力測定装置 iXRD-Combo (写真1)を導入した。その特徴を以下に述べる。

装置の主な仕様

測定範囲、測角範囲	最小φ0.5mm、最大φ4.0mm、123~165°
スリットのアパチャー寸法	φ0.5~2.0mm (4種類)
X線管球 (現状)	Cr,Co,Mn、主要対象測定物の材質: Fe(α,γ)、Al
検出方式	PSSDディテクター、アレイ方式
測定時間	10分/点、マッピング時: 5分/点



写真1 X線応力測定装置の外観(ラボスタイル)

装置の特徴

①高速アレイディテクター (検出器) の採用

X線応力測定では、格子面で反射する回折X線を検出し、強度分布曲線を作成し、曲線のピーク位置の変化より応力を算出する。

検出器として従来からシンチレーション計数管

や比例計数管が用いられているが、これらの検出器は0次元検出器で、強度分布測定を行なう場合、回折環を半径方向に横切って走査させる必要があり時間を要する。

また機械的走査無しに強度分布を求める位置検出型比例計数管(PSPC)も採用されている。この検出器は1次元検出器で、X線の角度位置が短時間で検出できるが、検出感度が低いため高出力のX線を必要とする。

当社が新しく導入した応力測定装置では検出器としてPSSD(Position Sensitive Scintillating Detector)方式と呼ばれる高速、高感度アレイディテクターを採用している。半導体と光ファイバーを使用したアレイ方式の高感度ディテクターで、512個のディテクターを左右2配列させ、一度の照射によって、多数の信号分布が得られ、極めて短時間にピーク位置が特定される。また、ディテクターが感知した信号は可視光に変換され、光ファイバーで送られるため信号の高感度が維持され、ゴニオメーターが小型軽量化されている。さらに高感度ディテクターを採用しているため、微弱なX線の検出が可能で、必要なX線の出力は従来機に比べ極めて小さくなっている。

②キャリブレーション法

X線応力測定装置の校正は、国内では、通常、純金属の微粉末を試料とするゼロ調整(応力ゼロ)が実施される。

しかし、本機は米国標準を基本としており、ゼロ調整に加え、ASTMで規格化(E1426-98)されたキャリブレーション法も採用している。この方法はひずみゲージを貼付した試料に機械的負荷をかけ、ひずみゲージの読みとの対比によって有効弾性パラメータを求めるものである。

パフォーマンスの特徴

従来機と比較した新型応力測定装置の特徴のキーワードは、このように①迅速な測定、②小型軽量、③低X線出力と④キャリブレーションであり、パフォーマンスとして以下の特徴を有している。

①迅速な測定/多点測定・マッピング

測定時間が短いことにより、従来機では大変時間を要していた多点測定が可能となった。多点測定が可能になったことにより、分布測定し、結果をマッピングすることが比較的容易になった。マッピングを行なうと、最高応力を示す部位の特定と応力値の推定ができ、その後の評価の信頼性が向上する。

②小型軽量、低出力/可搬式・フィールド測定

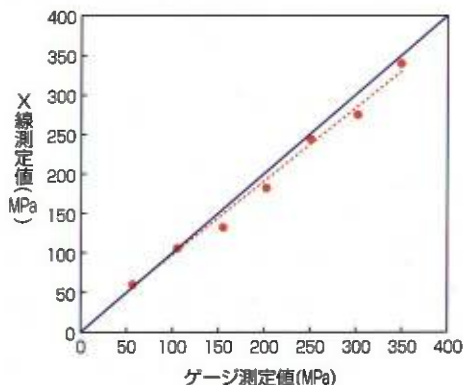
ゴニオメーター全体が小型で、オープン型であるため、従来機では困難であった円筒内面(約φ90mm以上)やR部内面などの狭隘部の測定が可能となった。また、ゴニオメーターは可搬式となっているため実験室に持ち込めない大型部材や建造物等の現地(フィールド)での測定が可能で(写真2)、適切なポジションにゴニオメーターを取り付けることによって垂直下向き以外の面の測定も可能である。さらに本機のX線出力は最大200Wで従来機にくらべ極めて低く、フィールド測定の場合、5m四方程度の管理区域は設定するが、測定点から1m程度の距離で自然界に存在する程度の強度であり、現地での測定準備が容易である。



写真2 ゴニオメーターの外観(フィールドスタイル)

③キャリブレーション/測定精度

ひずみゲージを貼付した標準試料(例、4点曲げ試験片)に機械的の荷重をかけ、ひずみゲージの読みとX線での結果を対比できる(第1図)。



第1図 キャリブレーションの一例(Cr-Mo鋼)

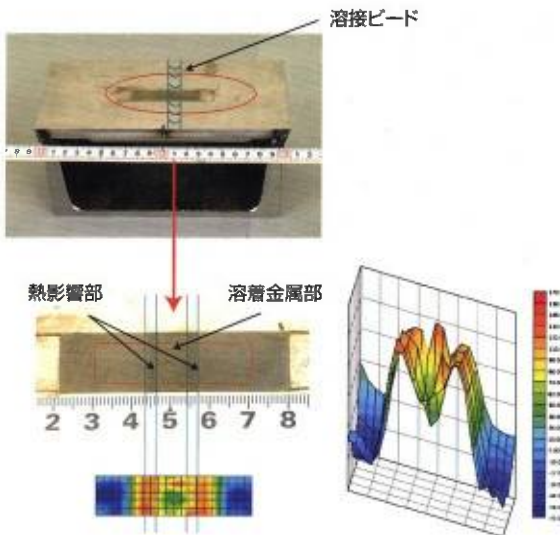
標準試料はX線測定の目的によって模擬作成される。また、得られた結果のばらつきの判断基準は要求される測定精度の範囲内であればよいとされているが、測定依頼者との協議により、必要ならば測定結果の補正ができる。

利用分野

従来のX線応力測定の利用分野に加え、前記の特徴を活かしたさまざまな応力測定が可能であり、電力、重電、航空機、自動車、橋梁、建築などの広範囲な分野での研究開発、品質管理および設備の保守管理を目的として、構造物、製品、部品の残留応力、負荷応力の測定が可能である。特徴的な例をここで紹介する。

多点測定とマッピング機能活用

溶接部とその近傍の残留応力分布(第2図)、ショットピーニング、ロール加工、高周波焼入れ材、摩耗や疲労を受けた部材などの残留応力測定



第2図 測定例(溶接部の残留応力分布)

狭隘部の測定

自動車用エンジンのボア、クランク軸のピン部などの残留応力測定

フィールド測定

橋梁、建築物、機械装置、工場や発電所の配管等の応力測定

測定結果の活用

CAE解析の検証手段として、また、製造中の製品の中間検査、完成品検査としての応力測定や構造部材、装置の信頼性評価

さまざまな工業製品の信頼性が厳しく問われる現在、構成部材の応力、残留応力測定に威力を発揮する新しいX線応力測定装置を紹介した。各分野からの幅広い活用が期待される。

[高砂事業所 北村善男]