

# 残留応力のオンサイト測定のご紹介

## はじめに

残留応力測定は、機械部品や構造物の健全性評価、それらの破損原因調査などにおいて広く利用されています。測定は、非破壊法（X線回折法、中性子回折法）と破壊法（開放法、穿孔法など）の2種類の手法に分けられます。

一方、供用中の機械設備、構造物の残留応力を現場で測定（以下、オンサイト測定と称します）するには、非破壊であることが必須です。さらに、様々な場所（工場内、屋外、高所など）での測定が要求されることから、X線回折法による残留応力オンサイト測定が一般的です。

本稿では、供用中の構造物に対するオンサイト残留応力測定サービスについてご紹介いたします。

## 測定原理

X線応力測定法は、X線回折現象を利用し、測定対象の残留応力によって生じた格子間隔の変化を捉えて、直接的に残留応力値を求める方法です。図1にX線回折のイメージを示します。格子間隔 $d$ 、入射X線波長 $\lambda$ 、回折角 $\theta$ には式1の関係があり、格子間隔が変化すると回折角度 $\theta$ が変化することが判ります。即ち、回折角 $\theta$ の変化から格子間隔の変化量が判りますので、その変化量にヤング率を掛けると残留応力が算出できます。詳細は、社団法人日本材料学会「鉄鋼編」をご参照下さい。

$$n\lambda = 2d \times \sin\theta \quad \dots \text{式1}$$

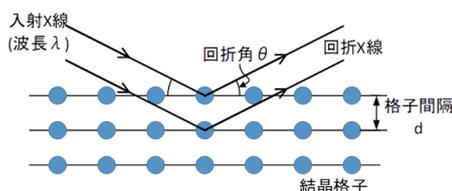


図1 ブラッグ回折イメージ図

### ◇X線応力測定法の特徴

- 1) 残留応力の評価範囲はX線の浸入深さまでの表面層
- 2) 非破壊検査方法
- 3) 粗大結晶粒や集合組織があると測定が困難

## 装置概要

オンサイト測定で使用されるX線応力測定装置は可搬型のもので、可搬型登場以前の装置重量は、数十kgと重い室内据え置き型でした。測定対象は切り出し試験体や十数cm以下のものが一般的でした。当初の可搬型は十数kgの重量でしたが、最近では重量2.4～6.8kgの運搬が容易な装置が販売されています。さらに、サイズも20～30cmと小型になっており、小型・軽量化によって測定対象の形状に合わせた装置の設置が容易となりました。

鋼管内面の残留応力を測定した例を図2に示します。この装置では、内径300mm以上の鋼管内面の残留応力測定が可能です。

## 測定概要

1か所当たりの測定所用時間は数分から数十分必要ですが、正味の測定時間（X線を照射してから残留応力を算出するまでの時間）は数十秒で終了し、殆どの時間は装置の位置調整に掛かります。

1回の測定領域は、直径1～3mm程度と非常に微小です。この領域内の表層近傍（表面下から数μmまで）の平均応力を測定します。



図2 鋼管内面の残留応力測定例

オンサイト測定は、①測定位置・測定応力方向の決定⇒②測定位置での表面処理⇒③残留応力測定⇒④後処理 の手順で行います。

①は、測定領域が非常に微小なため、目的に応じた確かな位置決定が重要です。さらに、測定位置と応力方向によっては、装置の設置ができない場合があるので、現場の状況を確認することが重要です

②は、供用中の設備では表面に汚れ、錆、塗装のような測定障害がある場合が多く、それらを除去する必要があります。これらの除去工程で、現在保持されている残留応力に変化を与えないようにすることが重要です。グラインダーやピーニングなどのように物理的な力を付加してしまう方法は適さず、通常は溶剤を用いて化学的に除去します。

③は、最初に測定位置に装置を設置します。その後X線を照射し、回折X線を検出して残留応力を算出します。表面照射時には回折X線以外にもいろいろな方向へ散乱X線が発生するので、被ばくを避けるために、X線管理区域の設定や退避、X線の遮蔽等の対応が必要になります。

また、表面の応力のみならず、深さ方向の残留応力測定の必要な場合があります。その際には、酸系の溶剤で徐々に溶解除去（電解研磨）し、深さ方向の応力の測定を行います。溶解除去は破壊検査となるため、構造物の用途・使用状況に照らし合わせて、実施の可否を決定する必要があります。なお、この方法は、測定表面が機械加工等の物理的な力の付与により、本来の残留応力から変化した部分を除去する目的でも使用されます。

④は、残量応力測定後、地肌が露出していることにより耐食性の低下が想定される場合、表面補修を行うことを意味しています。

## 測定実績

主な測定目的を表1に示します。また、主な測定実績を表2に示します。数十cmの小さなものから数m以上の大きな部品・構造物などへの測定実績があります。

表1 主な測定目的

測定部位	目的
溶接部近傍	亀裂発生原因調査
機械加工面	変形原因調査、塑性加工状態調査、破損原因調査
熱処理部	応力除去確認

表2 主な測定対象

分野	対象
建築	鉄骨構造物、橋梁溶接部
機械・設備	風力発電設備、製鉄設備、水車ランナー、クレーン、建設機械、自動車部品
造船	船倉溶接部

## 測定事例

橋桁仕口部での測定事例として、図3に装置設置状況を示し、図4に測定結果を示します。

これは、橋桁仕口の廻し溶接部の止端部からの疲労亀裂発生を抑制するために行うUIT処理（超音波打撃処理）の、処理前後に残留応力を測定したものです。UIT処理によって、溶接起因の引張残留応力が圧縮残留応力に変化していることがわかります。



図3 橋桁仕口部の廻し溶接部での測定事例

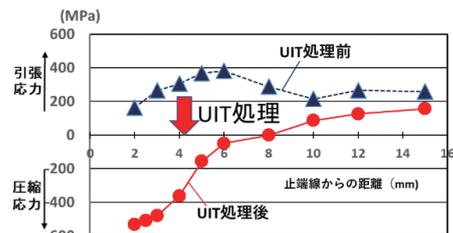


図4 UIT処理前後の残留応力測定結果

## おわりに

弊社では、2007年からオンサイトでの残留応力測定サービスを実施しており、さまざまなご要望にお応えしてまいりました。

応力測定でお困りのことがございましたら、お気軽にお声掛け頂きますよう、お願いいたします。

### お問い合わせ先

計測・検査事業部 技術営業部

林 一雄

TEL : 045-620-5039 FAX : 045-620-5057  
hayashi.kazuo.m53@nstec.nipponsteel.com