

X線による応力測定技術

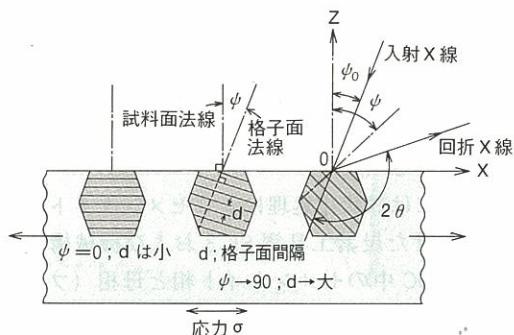
X線応力測定法は測定物表面の表層局部領域に存在する結晶の格子面間隔を非接触、非破壊的に測定して、結晶に加わる応力を算定する測定技術であり、工業的な応用への技術の発展はめざましいものがある。最近のすう勢としては、セラミックスや被覆材、あるいは複合材料、電子部品、また、亀裂や破面近傍、工具の刃先、歯車の歯面など微小領域の測定の要求が高まっている。ここでは、X線による応力測定法の原理を簡単に述べるとともに、位置敏感型比例計数管（Position-Sensitive Proportional Counter, PSPC）を用いた微小領域の応力測定の特徴とその応用例を示す。

D

X線応力測定の原理

D-1

金属材料は無数の結晶粒の集合体であり、その方位の異なる結晶粒に応力が加わると、材料のもつ弾性限界内では応力の大きさに比例して結晶の格子面間隔が伸びたり縮んだりする。第1図は、



第1図 応力による格子面間隔の変化

格子面法線が紙面上にあるような結晶粒を試料の表面層から数個選んで描いたものであり、同時にX線の回折の条件をも示している。この試料を紙面上で図示する方向に引張ると、格子面間隔dは格子面法線が引張軸方向に近い結晶粒ほど広くなる。X線応力測定では、試料面法線と格子面法線がつくる角度をψ角と呼ぶが、上述の格子面間隔dの変化はψが90°に近いほど大きいといい換えられる。X線応力測定法はこの変化を測定して応力を求める方法である。いま、無秩序な方位を有する多結晶体に波長λのX線を第1図に示すよう

に照射すると、X線は、回折条件式（Braggの条件）を満足する結晶の回折面より回折される。

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

ここに d : 回折面間隔

θ : 回折角

n : 回折次数

この式からθの変化を測定することによってdの変化が求められる。いま、図に示すO点において試料表面に沿った応力の測定方向（X軸）と試料面法線方向（Z軸）を含む面内でZ軸とψなる傾きをなす格子面法線方向のひずみを ϵ_ψ 、これに対応するX線回折角をθとするとX方向の応力 σ_x は次式で表される。

$$\sigma_x = \frac{-E}{1+\nu} \cdot \frac{\partial \epsilon_\psi}{\partial (\sin^2 \psi)} = \frac{-E}{2(1+\nu)} \cdot \cot \theta_0 \cdot \frac{\partial (2\theta)}{\partial (\sin^2 \psi)} \quad (2)$$

ここに E : 縦弾性係数

ν : ポアソン比

θ_0 : 材料が無ひずみ状態のときの回折角

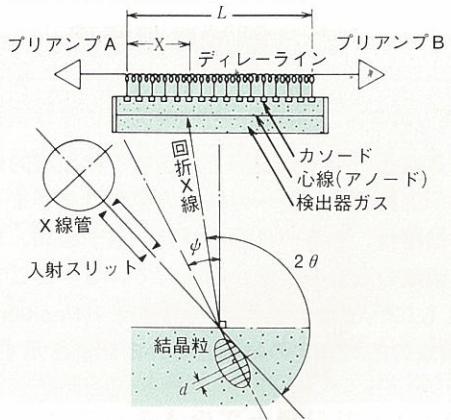
実際にはX線入射角 ψ_0 を変えて数点のψについて回折角 2θ を測定し、 $\sin^2 \psi$ に対してプロットすれば、 2θ と $\sin^2 \psi$ の関係は理論的には直線になる。これを $2\theta - \sin^2 \psi$ 線図という。この直線の勾配から応力 σ を決定する。

微小領域の応力測定の特徴

D-2

疲労亀裂先端の塑性領域や工具刃先などの微小領域の応力を測定する場合、X線ビームを絞り、照射面積を小さくする必要がある。その結果、従来の方式ではX線強度が低下し測定時間が長くかかるばかりでなく、満足な測定精度が得られなかった。PSPCを採用することによりこれらの問題が解決され、微小領域の応力の迅速な測定が可

能となった。PSPCは、リニアカウンターともいいうべきもので、従来のSC(Scintillation Counter)、PC(Proportional Counter)が点カウンターであり、測角範囲を走査して回折X線をとらえるのに対し、長さ方向に50~100mmの区間にわたって同時に計測し、しかも位置分解機能をもつ一種のPSD(Position Sensitive Detector)である。



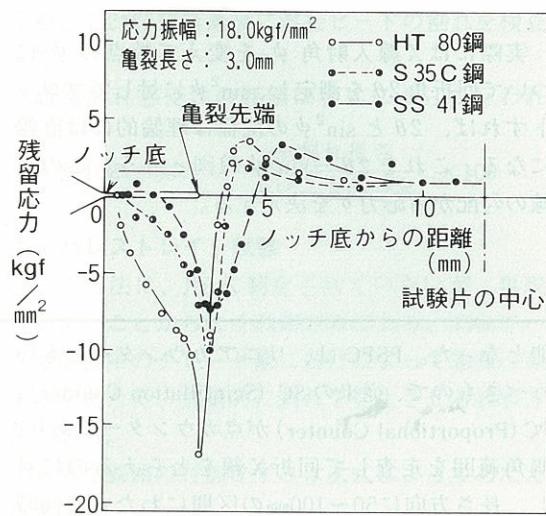
第2図 PSPC の測定原理図

D-3 応用例

- 1) 小木曾克彦、八代努：金属、1月臨時増刊号、(1979), p.88.
- 2) 本田和男、鳥居太始之、戸井詔彦：材料、Vol. 33(1984), p. 209.
- 3) 西田真之、英嵩夫、藤原晴夫：材料、Vol. 38(1984), p. 576.



第3図 浸炭焼入れ歯車の測定例



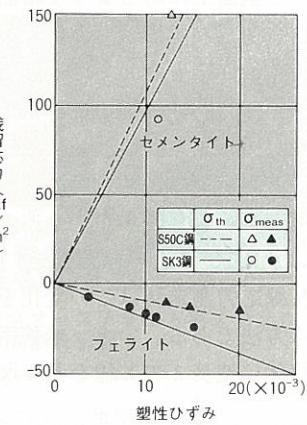
第4図 3種類の鋼板の疲労亀裂周辺の残留応力分布

PSPC の測定原理を第2図に示す。回折X線は PSPC 内の検出器ガスと衝突し分子をイオン化する。カソードとアノード間には、高電圧がかけられており、位置Xを中心にイオンがカソード上に集められる。これがパルスをつくり、このパルスが、ディレーラインの両端に、入射位置Xに比例した時間後現れ、この時間を測定することにより位置Xを測定することができる。これらの発展に加えコンピューターの導入により自動X線応力測定装置も開発され、測定もその解析も簡単に行えるようになった。

なる傾向を示す。

第4図は3種類の鋼板に応力振幅 $\sigma_a = 18.0 \text{ kgf/mm}^2$ をあたえて作製した亀裂長さ $l_c = 3.0 \text{ mm}$ における、亀裂線上の残留応力分布を示す²⁾。残留応力は亀裂線上および少し前方まで圧縮であり、亀裂先端より離れると引張りに転ずることがわかる²⁾。

第5図には球状化処理によりセメンタイト粒子を分散させた炭素工具鋼 SK3 および機械構造用炭素鋼 S50C 中のセメンタイト相と母相（フェライト）の残留応力の測定値 (σ_{meas}) を、理論計算の結果 (σ_{th}) とともに示す³⁾。母相のフェライトは圧縮残留応力となり、セメンタイト相は引張りの残留応力となっている。



第5図 セメンタイトを分散させた2種類の材料の残留応力分布

X線機器の発展によって上記のように微小領域の応力測定が可能となった。今後さらに、X線応力測定法は材料開発や表面改質などにおける材料評価の基礎技術として不可欠となり、ますますその重要性を増すであろう。

[西神事業所物性試験室 中村均]