

**分析事例の紹介**

**走査型電子顕微鏡装置 (SEM) JSM-5610LV による  
破断面の組成分析と破断原因の究明**

**キーワード**

- ✓ 元素分析
- ✓ 破断面
- ✓ 疲労破壊
- ✓ 疲労痕

**装置 JSM-5610LV (JEOL)**



**はじめに**

本センターが有する走査型電子顕微鏡装置を用いて、破断面の組成分析と破断面を高解像度観察した事例を紹介する。本装置はエネルギー分散型 X 線装置(EDS)を付属しており、簡単な操作で迅速に元素分析(適用元素：B ~ U)を行うことができる。

**実験**

円形状の試料を試料台に固定して、破断面の二次電子像の観察および元素分析を行った。測定条件を以下に示す。

- 加速電圧 : 15 kV
- 観察像 : 二次電子像
- 測定雰囲気 : 高真空モード
- 倍率 : 7000 倍

**結果**

図 2 は、破断面の二次電子像である。破断面の外側 (図 2 a,b) では、典型的な疲労痕の特徴である縞模様が観察された。一方、破断面の中心部 (図 2 c) では、破断時に形成されるディンプル形状が観察された。ディンプル形状が破断面の極中心部で観察されたことから、定常的な低強度の負荷が破断原因であると断定した。詳細は解

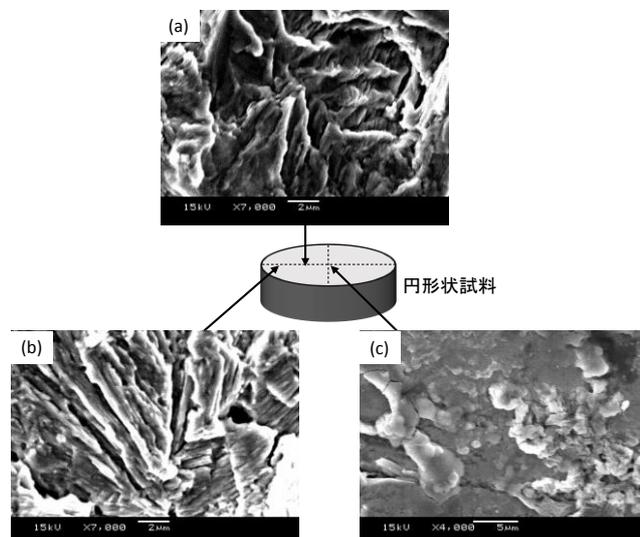


図 2 破断面の二次電子像

説記事(3 ページ以降)参照。

図 3 は、破断面の元素分析結果である。鉄製破断面にほとんど不純物が含まれていないことから、材質異常はないと結論した。

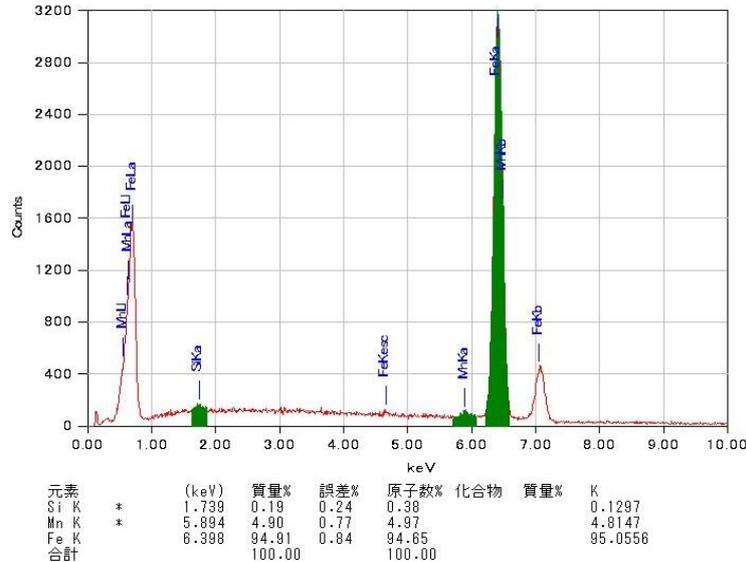


図 3 組成分析結果。縦軸は特性 X 線強度、横軸はエネルギーを表す。

### まとめ

走査型電子顕微鏡装置 JSM-5610LV を用いて、破断面の組成分析と判断原因の特定結果を紹介した。本センターの走査型電子顕微鏡装置は、本稿で示した組成分析および二次電子像の観察以外にも、低・高真空における反射電子像を観察可能であり、様々な分析に活用することができる。

### 謝辞

本稿で取り上げた内容は、材料力学の専門家である静岡理科大学 理工学部 機械工学科 服部敏雄 特任教授の助言のもとで行われた分析結果であり、深く感謝申し上げます。

**静岡理科大学 先端機器分析センター** [www.sist.ac.jp/kiki/](http://www.sist.ac.jp/kiki/)

Advanced Instrumental Analysis Center,  
Shizuoka Institute of Science and Technology



〒437-8555  
静岡県袋井市豊沢2200-2  
TEL : 0538-45-0175  
E-mail : kiki@ob.sist.ac.jp

**解説(機械工学科 服部 敏雄 特任教授)**

この種の破損解析は、

- ① 破損部位設計応力の確認と疲労限との比較。
- ② マクロ破断面の観察と設計応力との比較。
- ③ ミクロ破断面観察による詳細確認。

で行われる。

今回の事例では基本的な負荷はねじりでありそのせん断応力  $\tau$

$$\tau = \frac{T}{\frac{\pi D^3}{16}}$$

で計算されるが、この値は素材の疲労限  $\tau_{w0}$  と比較して低いため、他の負荷の可能性が考えられた。

まずマクロ破面観察（肉眼、ルーペ）では、下図の図1のような皿状破面で、これは曲

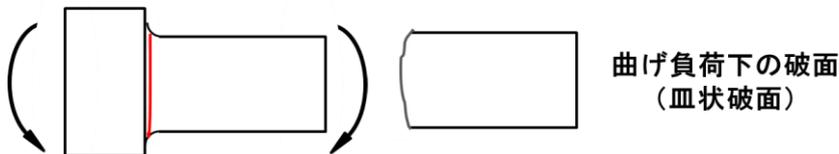


図1 繰返し曲げ負荷下の破面

げ負荷下の破面の特徴であり、破損の原因は、繰返しねじり疲労ではなく、栗けし曲げであることが分る。ちなみに繰返しねじり負荷下の破面の特徴は、図2の如くギザギザ状破面となる。

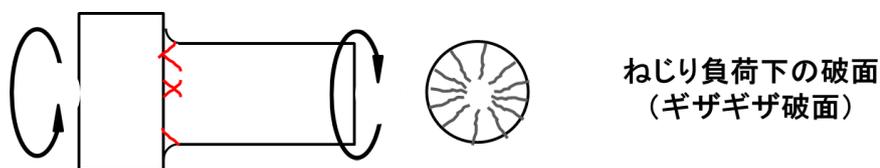


図2 繰返しねじり負荷下の破面

また、その負荷の大きさも、図3の負荷形態、応力レベルの事例からもわかるように低応力であったことも明白であり、疲労限あたりでなかったかと推測される。

次にミクロ破面であるが、これは分析センターのSEMで撮影いただいた、7000倍の破面写真からわかるようにストライエーションが観察され疲労破面であったことが観察されている。鋼材の代表的なストライエーションSEM写真は図4に示すがこの縞々一本当たりが負荷一回ごとのき裂進展となる。このき裂の進展の模式図を図5に示す。

この縞々の幅（ストライエーション幅）から負荷応力振幅を予測する方法はあるが詳細および前述の確認等は以下の参考文献（図6にも表紙）を参考に願いたい。

破面解析事例の教科書・参考書

- ・ N T S, 破壊力学体系
- ・ (株) テクノシステム、最新フラクトグラフィー各種材料の破面解析
- ・ 日刊工業新聞社、製品設計のための材料力学と疲労強度設計入門

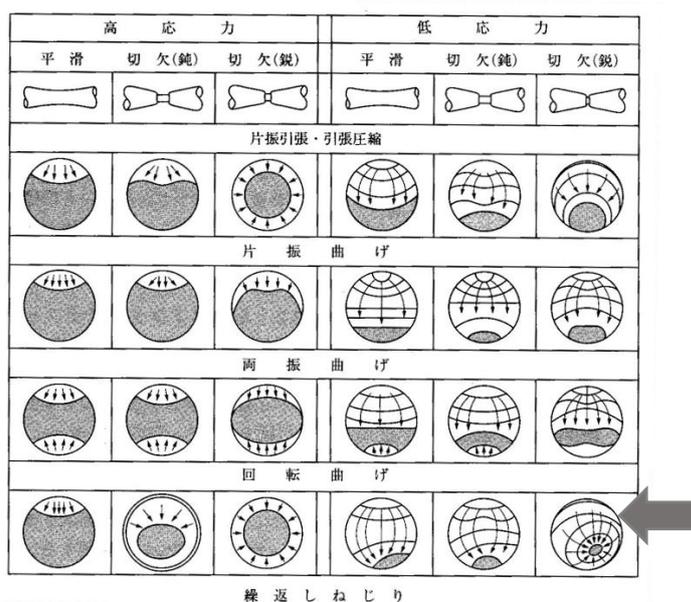


図3 負荷形態、負荷応力レベルと破面形態

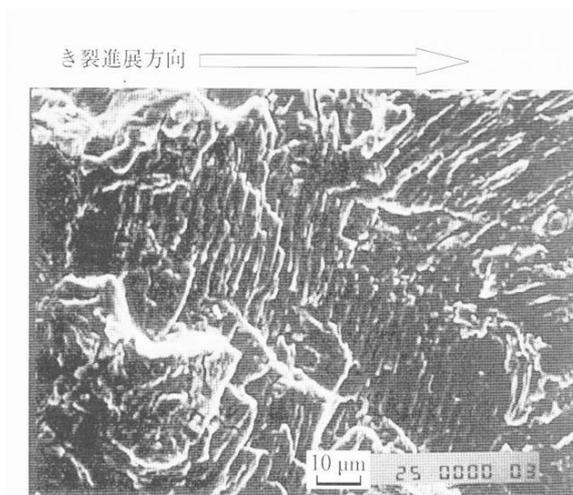


図4 S35C鋼の疲労破面SEM写真

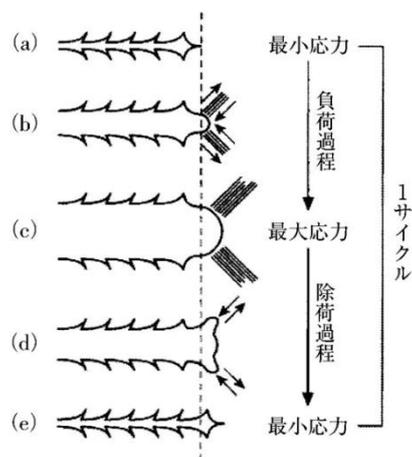


図5 ストライエーションの発生模式図



図6 強度解析および破面解析の参考文献

以上