

第34回 ばね破断面の見方と折損原因の調べ方

鈴木金属工業(株) 林 博昭

ばねの折損はその製品の信用を低下させるばかりでなく、時には人命にもかかわることがある。ばねの折損を皆無にすることは不可能としても、その再発を防ぐことは可能であり、そのためには、ばねが破損に至った原因を究明することが必要である。

1. 観察の道具

破断面を調べるには観察の道具が必要である。しかし、道具の前になによりも肉眼がなければいけない。後述するような高価な道具は持っているに越したことはないが、事実を客観的に捉える眼がなければ、高価な道具も宝の持ち腐れと化す。まず、肉眼で折損状況、破断面の全体観や色の情報を捉えることである。ばねが小さい場合にはマクロ観察用ルーペ、実体顕微鏡、ビデオマイクロスコープなどが役立つ。この場合は光源付が便利である。ばねの折損の形態や折損破断面の特徴を理解しているとこの段階でも50%以上の原因系がつかめるはずである。

さらに細かい調査にはミクロ観察用として走査電子顕微鏡(SEM: Scanning Electron Microscope)やX線マイクロアナライザーあるいは電子線マイクロアナライザー(EPMA: Electron Probe Micro Analyzer)と呼ばれる装置(写真1)が役立つ。後者は前者の電子顕微鏡の機能に加え、元素分析機能を持たせたもので、錆の発生原因調査などに有効である。

2. ばね材料の破断面を見るときにの注意点

事実を客観的に捉える眼を持っていても、やはり破壊の基本知識は必要である。金属材料の破壊メカニズムやある程度のフラクトグラフィ(破断面学)については勉強しておくべきである。そして一般の金属材料に対するばね材料の特異性を理解しておかねばならない。ばね材料は硬いので一般の材料の破断面と異なることが多々生じる。例えば

- ① 疲労破断面にストライエーションが現れない
- ② ピアノ線、硬鋼線、ばね用ステンレス鋼線は繊維状の集合組織が発達しているため、ねじりが加わった破壊では、延性破壊でも縦割れ状の破断面を伴う

といったことがある。こういったことを理解しておかないと誤った結論に至ることがあり、そういった報告書も目にしたことがある。

3. サンプルの採取から観察までの注意点

ばねの折損原因を正しく知るためには、折損のマクロ状況をなるべく維持することが望ましい。ばねの折損は単体で発生するとは限らず、他の部品との競合で折損が生じることは良くあることである。折損ばね単体の調査ではどうしても原因がわか

らなかったが、使われ方を聞いて原因がわかったということは時々経験しているし、原因特定まで出来なくても可能性の選択肢を絞り込むことが出来るものである。

次に重要なのは錆びさせないことである。錆びてしまうと当然、破断面の情報が失われてしまう。破断面観察のために一旦脱脂した鉄鋼材料の破断面は意外と錆びやすい。空気中に放置しているだけで、空気中の水分により発錆することがある。錆びやすい材料はデシケータに入れるか、防錆油などを塗布し、ポリエチレンの袋などに入れて保管するのが望ましい。そうすればほこり、糸くずなどの付着も防ぐことができる。

4. 破断面観察の進め方

シャーロック・ホームズが殺人事件の現場検証に多大な時間を割くように、ばねの折損においても現場の把握は非常に重要である。どのような状況で破壊したのか、原因の全体観を捉えることが第1である。そのためにはマクロ観察(ルーペ、実体顕微鏡など)からおよその原因を把握・推定するとよい。最終的にマクロとミクロの両面から調べることになる場合には

- ① マクロ観察に5~8割の注意力を注ぎ、どこを何に注意して調べるべきかを定める
- ② ミクロ観察はマクロ観察による推定の立証と心得るべきで、細かいものは直接ミクロ観察してもよい。

③ 破壊の背景を考えながら観察する

機械的に破断面の写真を撮っていると、重要な手がかりのポイントを見落とすことがあるので注意しなければならない。以下のような点について観察すると良い。

- ・加工中なのか、使用中なのか、環境はどうか?
- ・破壊起点はどこか? 表面欠陥からの破壊か、内部からの破壊か?
- ・破壊に働いた応力はどのようなものか?
曲げ応力か、ねじり応力か、引張り応力か?
その応力は大きいのか、小さいのか?
- ・材料原因か、加工原因か、設計原因か?
- ・ばね全体に対してどのような位置関係か?
座巻部なのか、コイル部なのか、フック部なのか?
コイル内側か、外側か、材料表面か、材料内部か?
- ・破壊起点付近の破壊モードはなにか?
延性破壊か、脆性破壊か、疲労破壊か、その原因はなにか?

④ 折損原因は場合によっては金属組織と結びついている場合もあるので、最終的に破断面を壊してもよい場合は、金属組織や硬さも調べることを心がけておくとよい。

5. ばねが折れる原因

ばねが折損する原因は様々であるが、折損する時期から分類するとおおよ次のようになる。

5.1 ばね加工中の折損

- ① 材料原因によるもの
伸線中の潤滑不良によるきず、ハンドリングきず、材料の延性、靱性不足
- ② 加工原因によるもの
局部的に加工度過大、フィードローラのスリップなどによるきず



写真1 左: 走査型電子顕微鏡 (SEM) (株)日立イテテクノロジー
右: 電子線マイクロアナライザー (EPMA) (株)島津製作所

5.2 ばね使用中の折損

使用中に折損するほとんどのばねは疲労破壊で折れている、その原因を分類すると、

① 材料に起因する原因系

材料きず、脱炭、組織不良、表面肌不良、さび、非金属介在物

② ばね製造に起因する原因系

加工きず、さび、低温焼なまし(熱処理)不良、表面処理不適切、形状不良、めっきスパーク

③ ばね使用条件に起因する原因系

過大応力(無理な設計、取り付け不良、サージング・衝撃荷重)ばね同士あるいは他部品との接触によるフレットング、環境による腐食

などとなるが、折損の原因は1つだけとは限らないことを忘れてはいけない。

6. 破断面調査の実例

写真2に線径6.0mmのSUS304-WPB(硬さ:444HV)を用いた圧縮コイルばねが、使用中に折損した実例を調べた結果を示す。当該ばねはショットピーニングが施されている。

6.1 外観及びマクロ観察

写真2-1は折損ばねの外観である。折損は1.8巻目付近で発生しており、破断面は線軸に45度傾いており、材料が受けるねじりの主応力方向と一致している。コイル外側には折損後生じたと思われるきずが認められる。写真2-2は破断面のマクロ観察結果である。コイル内側から疲労破壊特有のビーチマーク(貝殻模様ともいう)がコイル外側に向かって発生しており、折損は典型的な疲労破壊であることがわかる。

6.2 起点の拡大

写真2-3はビーチマークの開始点すなわち疲労破壊の起点部をSEMにより拡大したものである。起点は内部ではなく、表面であることが確認できた。写真2-4はそのコイル内側の表面と起点部を同時に見たものである。疲労破壊はショットピーニングを施された表面の上から加えられたきずを起点としている。

6.3 折損防止対策

折損破断面の観察及び原因調査は以上のような結果であるが、肝心なのはその防止対策である。当該ばねの場合、疲労破壊の起点となったきずはショットピーニング後に加えられているので、このきず発生原因の究明が必要となる。ばね製造工程、ばね組込み方法、ばね作動状況の

確認などを行って原因を追求することになるが、折損ばねからすべての原因が究明できるとは限らない。したがって、事故発生時に周辺の状況も出来る限り調べておかないと、本当の折損防止策が打つチャンスを逃がすことがある。

7. 参考文献 & もっと勉強したい人は

さらに詳しく勉強したい方には以下の書籍をお勧めする。

- ①「フラクトグラフィとその応用」 小寺沢 良一 著 日刊工業新聞社
- ②「金属破断面の見方」 吉田 亨 著 日刊工業新聞社
- ③「ASM Hand Book vol.19 Fatigue and Fracture」 ASM International
- ④「フラクトグラフィ -破面と破壊情報解析-」 日本材料学会フラクトグラフィ部門委員会 編 丸善
- ⑤「フラクトグラフィ」 破壊力学と材料強度講座 15 北川 英夫, 小寺沢 良一 共著 培風館
- ⑥「材料の破損とその対策」 宮長 文吾 著 日刊工業新聞社
- ⑦「製品使用時における欠陥の見分け方」 是枝 隆三郎, 足立 広弥 共著 日刊工業新聞社



写真2-1 折損ばねの外観 SUS304-WPB 6.0mm

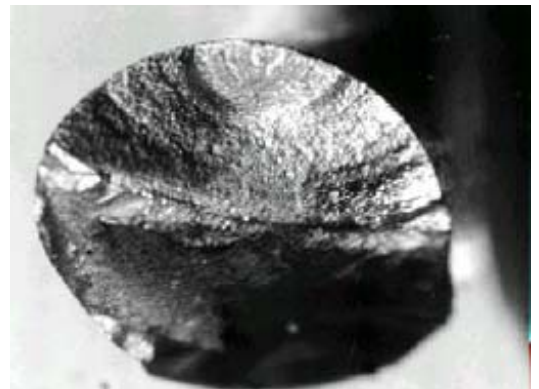


写真2-2 破断面のマクロ写真
疲労破壊特有のビーチマークが認められる。

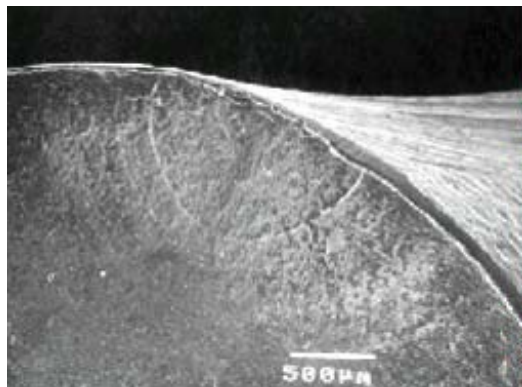


写真2-3 疲労破壊起点部の拡大

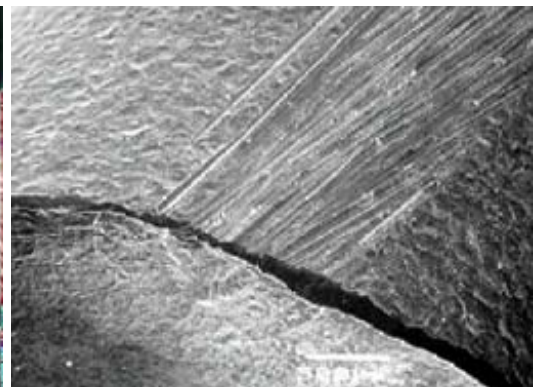


写真2-4 起点部とその表面
ツールマークと呼ばれるばね研削時のきずが認められ