

# 金属疲労

第8回 今回のテーマ

# TECHNOLOGY TOPIX

技術トピックス

みなさん、日ごろの仕事や家事・育児で疲れていませんか？人は大きな負荷でもないのに長く行えば疲労しますが、それは私たちの身の回りの金属も同じです。そこで今回は金属疲労について解説します。前回の「金属の破壊と破面観察」とも関係しますので思い出しながら読んでみてください。

## 01 はじめに

人の疲労は休めば回復しますが、金属は回復せず疲労は蓄積する一方です。輸送機器や構造物の破損事故のうち、約80%は疲労が関係していると言われています。私たちがより安全に暮らすためには、この金属が疲労する現象を正確にとらえることが重要となります。

## 02 金属疲労研究の歴史

金属疲労に関する研究の歴史は古く、19世紀前半にさかのぼります。ドイツにある鋳山の巻き上げ機に使用している鉄製の鎖が突然破断したため、実体疲労試験を行った結果、静的な破断力より小さな力でも、繰り返し作用すれば突然破断することを見出しました。

今もなお、金属疲労に関する研究は続いているものの、解明されていない点がいまだ多いのが現状です。

次の写真は、完成後わずか4ヶ月で崩壊したタコマ橋の落下事故です。これを機に、つり橋の構造設計が見直され、1960年新タコマ橋に引き継がれました。

1940年11月7日  
ワシントン州タコマ橋の落下事故



開通からわずか4ヶ月後、風速19m/sの横風によってねじれ振動を起こし、それによって生じた繰り返し応力によりケーブルが疲労破壊し落下。

Collapse of Tacoma Narrows Bridge, 1940, USA\*  
\*Bashford and Thompson Photo, PHI Coll. 290.3.

## 03 金属疲労のメカニズム



## 04 疲労試験

## 05 疲労破壊を防ぐ

金属疲労は静的な破断力より小さな力でも、繰り返し作用すれば最終的に破断に至る現象です。それはなぜか。鍵となるのは応力集中です。平坦な表面を持つ金属が繰り返しの力を受けた時、マクロ的には大きな変化は感じられませんが、ミクロ的には表面にわずかな凹凸が発生しています。これは結晶のすべり変形によるものであり、さらに繰り返しという作用により、図1に模式的に示すようないわゆる「突き出しと入り込み」が発生します。このようなわずかな凹凸が、応力集中を引き起こすのに十分な程度まで発達した時に、このすべり面に沿って疲労き裂が発生します。一度発生した疲労き裂は進展を続け、最終的に破断に至ってしまいます。

図1 すべり帯の断面模式図

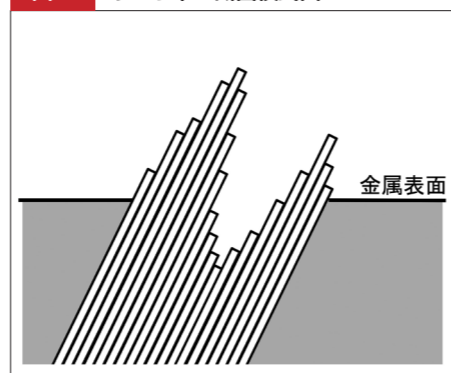
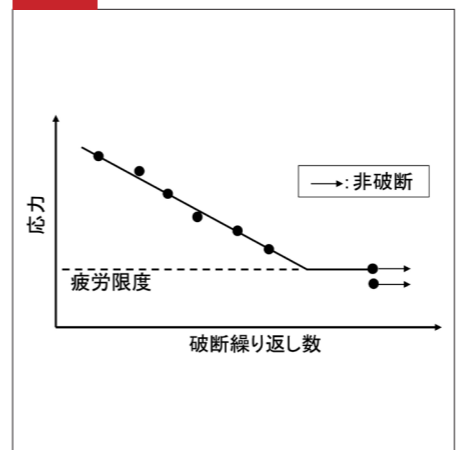


図1に模式的に示す「すべり帯」は、すべり面に沿って材料内部の転位が表面に抜け出したことによる、原子オーダーの段差が集積的に発達したものです。

疲労試験の基礎は試験対象(試験片)に繰り返しの力を加え、それが破断するまでの回数を求めます。この手法を拡大し、疲労強度を定量的に把握する手段として「S-N曲線」があり、疲労設計に多く用いられています。

図2にS-N曲線の例を示します。縦軸に応力(Stress)、横軸に破断繰り返し数(Number of cycles)をとり、複数の試験片を異なる応力で試験した結果をプロットして得られます。ここで、縦軸の応力は「応力振幅」や「応力範囲」、「最大応力」などが用いられ、これらを混同せず正しく用いることが重要です。S-N曲線は応力が減少するとともに破断繰り返し数は右下がりとなりますが、鉄鋼材料などではある応力以下では破断が見られなくなる「疲労限度」が現れ、疲労設計の重要な基準応力となります。

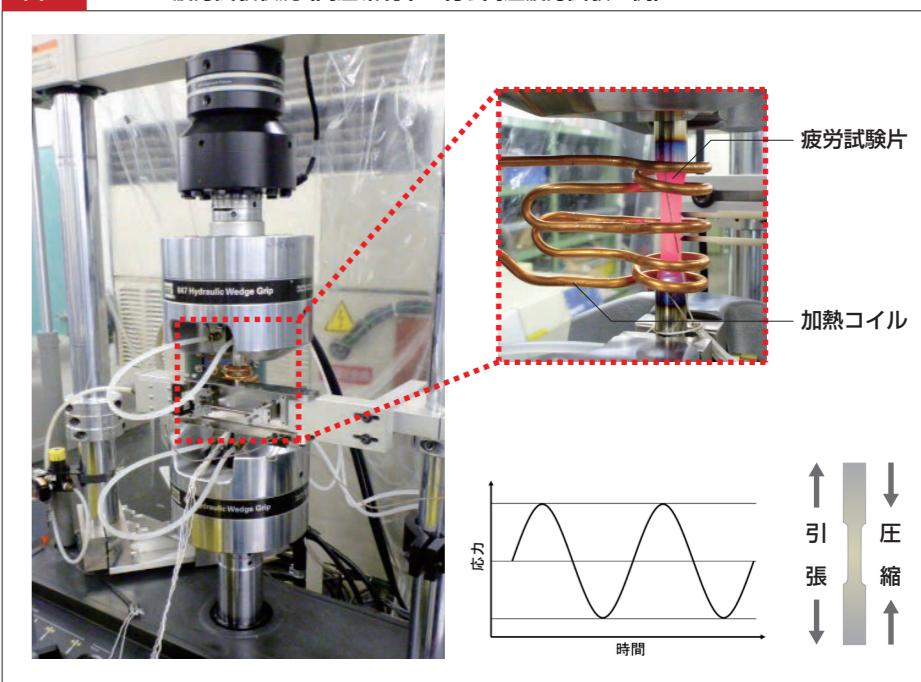
図2 S-N線図



一般的に金属の軸力疲労試験では試験速度20Hz前後。また、鉄鋼材料では繰り返し数10<sup>7</sup>回で破断しない応力を疲労限度とすることが多い。例えば、20Hzで10<sup>7</sup>回の疲労試験を行うと、それだけで約6日間もかかる。1本のS-N線図を作成するには1ヶ月間程度を要するので、疲労試験機を複数台準備することが求められる。

疲労試験とひとことでも言っても、試験方法は力の加え方(軸力・曲げ・ねじりなど)や環境(温度・湿度・腐食)など多岐にわたります。試験方法はできるだけ実際に使用される状況に合わせる必要があるため、当社においても多くの疲労試験に対応できる設備と技術を取り揃えています。(図3)

図3 800℃疲労試験状況(高温環境下で行う高温疲労試験の例)



## 06 金属以外の疲労

金属疲労による破損事故を防ぐには正しい疲労設計が必要となりますが、それでも事故が発生してしまった場合は、その原因を正確にとらえることで正しい対策を施すことができます。たとえば破損品の破面解析(フラクトグラフィ)は、破壊の起点や形態、負荷応力や繰り返し回数などを推定することができます。これらを正しく推定できれば、あとは材料変更や形状変更などその対策を適切に行うことで多くの疲労破壊は防ぐことができます。

※参照：第7回「金属の破壊と破面観察」

## 07 おわりに

輸送機器を中心として軽量化のための研究が多く行われています。なかでも炭素繊維強化プラスチック(CFRP)をはじめとした高分子材料の適用に関する研究は盛んに行われていますが、これらにおいても疲労の問題は共通です。そのほかにもセラミックスやコンクリートなど、疲労が問題となる材料は金属のみではありません。当社においても、金属以外を対象とした疲労試験も幅広く実施しています。

## 08 解説

疲労は今や金属のみに限らずあらゆる材料で問題となり、私たちの身近な製品の安全性に直接関わるものです。安全を確保するためには、試験などにより金属が疲労する現象を正確にとらえることが重要となります。当社では専門の技術者が、数多く保有する設備と技術をもとに、試験案の提案から試験結果解析までを行っています。



解説  
富津事業所  
材料ソリューション部  
破壊特性評価室  
中野 朋和さん

「疲労試験」についてもっと詳しくお知りになりたい方は、当社ホームページ下記URLをご覧ください。

- 技術分野紹介「疲労試験」  
技術分類>機械試験>疲労試験  
<https://www.nstec.nipponsteel.com/technology/mechanical/fatigue/>
- 技術事例紹介(テクニカルレポート)  
テクニカルレポート>材料評価・分析事例  
<https://www.nstec.nipponsteel.com/techrepo/zairyu.php#anc05>