

## 第2章 金属疲労

### 2-4 ダメージを計れば疲労を評価できる

#### ■ 「回数」から寿命が分る

中学校に入ったばかりの頃、体育の授業で初めてバレーボールのルールを教わった。「オーバータイム」という言葉を知ったのはその頃だ。

3回以内にボールを相手コートへ戻せない場合、「時間」がオーバーしたわけでもないのに、なぜオーバータイムなのか、その時はその理由が分らなかった。

時間だけでなく回数も英語ではタイム(time)であることを後で知った。

英語の世界では、時間も回数も共に「継続性と限界」が在ることが認識されているのかも知れぬ。それがtimeと言う一語に集約されているのであろう。

そう考えれば、回数・頻度も時間・年齢のような時の流れと同様に「寿命」を表す量として使うことに何のためらいもない。

前述したように、繰返し数は疲労寿命を知る上で重要な役割を演じる。

金属にある応力(ひずみ)振幅下で繰返し負荷を与え、N回で疲労破壊したとしよう。

言うまでもなく、このNがその金属の**疲労寿命(破断繰返し数)**(Fatigue Life)となる。

今、その金属部材に同じ応力(ひずみ)振幅下で、n回の**繰返し数(頻度)**が働いているとすると、

$$n < N$$

であれば、疲労破壊は起こらず安全状態にある。一方、更に繰返し数が増し、以下のようにになると疲労破壊を生じることになる。

$$n \geq N$$

これが疲労破壊・破断の基本的な考えである。繰返し数の相対比較という極めてシンプルな考えに基づいている。

更にこの式の右辺を左辺に移項すれば、以下のような明瞭な判断基準が出来る。

$$n/N \geq 1$$

ここで、左辺の量： $n/N$  は「**危険な度合い**」を表しており、**疲労損傷度**(Fatigue Damage)と名付けられている。

この疲労損傷度、譬えで言えば、人の「現在の年齢÷平均死亡年齢」を仮に「**老い度**」と表現すれば、それに相当するであろう。

「老い度=1」はあの世に行く、「老い度=0.5」はあと半分生きられそうだ、という度合い・目安を示している。

前期高齢者、後期高齢者という言い方が出たとき、「あまりにストレートな表現でセンスが感じられない。いっそのこと末期高齢者にしたらどうか」なんてブラック・ユーモアを放っていた人がいたが、更に「老い度0.8者」とか「老い度0.9者」とかのような表現は如何だろう。これでは正確・客観的すぎてユーモアにならんかな。

#### ■ これが疲労の評価判定式だ

話を戻そう。

先ほどの判断基準式の左辺をもう一度観て頂きたい。左辺を以下のように分離・変形すれば、新たな概念が生まれる。

$$n \times (1/N) \geq 1$$

ここで、 $1/N$  は「**1サイクル(回)の損傷度**」と解釈できる。

このことは、「1サイクル(回)の損傷度」がN回加えられれば、値は1.0となり破壊に至る」、ということからも理解できよう。

以上の説明は、基本的な考えを示す為に、単一の応力(ひずみ)振幅が働いている場合のみを想定している。しかし、実際には様々な応力(ひずみ)振幅が負荷されている。これにどう対処すべきか。

実は、基本は同様である。負荷されている各々の応力(ひずみ)振幅について「1サイクル(回)の損傷度」を入手し、更にその各々の応力(ひずみ)振幅での疲労損傷度を集積すれば、全体の疲労損傷度を求めることができる。

今、ある応力(ひずみ)振幅下:iでの「1サイクル(回)の損傷度」を $1/N_i$ 、繰返し数を $n_i$ とすれば、それぞれの応力(ひずみ)振幅下での疲労損傷度は次のようになる。

$$D_i = n_i \times (1/N_i)$$

従って、全体の疲労損傷度は

$$D = \sum D_i$$

と表される。ここで、 $D_i$ を**分別損傷度**(Damage Fraction)、 $D$ は**累積疲労損傷度**(Cumulative Fatigue Damage)と名付けられている。

以上より、疲労破壊での**評価判定式**は次のようになる。

$$D \geq 1$$

但し、この式はあくまでも基本式であり、実際上はデータのばらつきなど不確かな面もある。従って、いわゆる安全係数を含めて考慮すべきであろう。

### ■ 高サイクル疲労と低サイクル疲労を分けて考えよう

ここまで、金属疲労の基本的な一般論を述べてきた。

ここから具体的な技法を示すが、疲労の問題を扱う際、通常、その対象を2種類に分けている。

その2種類とは、「高サイクル疲労」と「低サイクル疲労」のことである。

**高サイクル疲労**とは**弾性疲労**のことだ。つまり、弾性範囲内での繰返し荷重での疲労を意味する。弾性範囲内の為、金属への負担が比較的少なく、結果的に破壊までの繰返しサイクル(回)数が多く(高く)なる。これが高サイクル疲労と言われるゆえんである。

ちなみに、高サイクル疲労の対象となるサイクル数はどの程度なのか。厳密な定義は無いが、概ね10の4乗以上を指すようだ。

一方、**低サイクル疲労**とは**塑性疲労**のことだ。塑性領域も含めた疲労を指す。当然、破壊までの繰返しサイクル(回)数が少ない(低い)為に低サイクル疲労というわけだ。

低サイクル疲労の場合、その対象サイクル数の範囲は、大体10の2乗から10の5乗と言われている。

ところで、なぜ一般的に2種類に分けて論じられているのか。その理由は定かでないが、「扱う技法がそれぞれ違う為」、というのが大きな要因かも知れない。

高サイクル疲労は応力ベース、そして低サイクル疲労はひずみベースに基づいている、という事も両者の違いである。言うまでもなく、塑性領域を扱うひずみベースである低サイクル疲労の方がその扱いは煩雑となる。

次章からそれぞれの技法を紹介したい。