

第3章 高サイクル疲労

この章では高サイクル疲労(弾性疲労)での強度評価技法について概説する。

前述したように、高サイクル疲労でのサイクル数(繰返し数)は、概ね10の4乗以上を対象としている。

3-1 マイナー則とヴェーラー(S-N)線図とは何か?

■ 工学用語の名称に惑わされるな

「名は体を表す」という成句がある。だが、科学・工学系で使われている数々の名称は、必ずしもその実体を示しているわけではない。

科学・工学系での名称は、一般的に手法や式、そして図表などに付けられているのがご承知と思うが、それらは大抵、発案者の名前から来ているからだ。

例えば、今まで出てきた名称を例として取り上げれば、「フックの法則」や「モール円」と言ってみたとところで、この人名を採った用語から直接、その実体・概念を連想できないであろう。

本来は実体を示す名称を付けた方が便利だと思うのだが、実情はそうはなっていない。

読者には大変お気の毒ではあるが、この章以降、この手の聞き慣れない用語が幾度となく出てくる。

我々日本人にとって更に不幸なのが、それが殆んど西欧人の名前が付けられていることだ。フックやモールなら未だしも、長くて舌を噛みそうな名前が湧出して来る。憶え難いどころか目を覆いたくなる事態だ。

とは言え、嘆いてみたところで仕方ない。一つ留意して頂きたい事は、それらの名称に幻惑されないことだ。

本質は名前ではない。その実体・概念である。それらに目を向け、更にそこに至った基本的な考え方に着目するよう心掛けたい。

余計なお世話かも知れないが、実体に迫る為の補助的手段として、次のような方法を採用するのも有益かも知れない。

1. その概念(その用語の実体)は何に役立つのか? 何に使われているのか? を押さえること。
2. それぞれの用語(概念)が他の用語(概念)とどう関連しているか? を押さえること。
3. 自分が実際に寿命計算する場合を想定して、その手順と入出力

データの流れを押さえること。

これ以降の章は、この分野に疎い方には難しく感じるかも知れないが、上記の方法が「理解」を助ける手段として役立てば幸いである。

■ マイナー則は極めてメジャーな手法である

前章(2-4)で、一般論としての「疲労の評価判定式」を上げた。高サイクル疲労(弾性疲労)の強度評価式としては、通常、以下に示すマイナー則(Miner's Law)が使われている。

$$D = \sum D_i \\ = \sum (n_i/N_i) \geq 1$$

ここで、

D : 累積疲労損傷度(Cumulative Fatigue Damage)

D_i : 分別損傷度(Damage Fraction)、

n_i : その応力振幅が働いている繰返し数・頻度

N_i : その応力振幅での破断繰返し数(疲労寿命)

を表す。

この評価法はマイナー(Miner)が1945年に提唱した。"マイナー"とは言え、極めて"メジャー"な手法である。

繰り返すが、この手法は弾性範囲での疲労損傷則である。言い方は様々あって、これ以外に疲労被害則、線形被害則とも言われる。

なお、上式で留意したい点は、分母の破断繰返し数N_iに関してである。これは純粋な理論から求めることが出来ないで、実験からデータを獲得する必要がある、という点だ。

この実験から得られた破断繰返し数を線図として整えた代表的なものが、ヴェーラー(S-N)線図である。

マイナー則では、破断繰返し数を得る為にこのヴェーラー線図が利用されている

このヴェーラー線図について次の節で述べよう。

■ ヴェーラー線図は既に100年程使われている

ヴェーラー線図(Wöhler Diagram)とは応力と破断繰返し数の関係を表した図である。

第3章 高サイクル疲労

3-1 マイナー則とヴェーラー(S-N)線図とは何か?

縦軸は応力振幅、横軸は破断繰返し数(疲労寿命)を、共に対数(log-log)で表示している。

鋼の例として、図3.1に実測した代表的な0.32%炭素鋼と0.22%炭素鋼でのヴェーラー線図を示した。

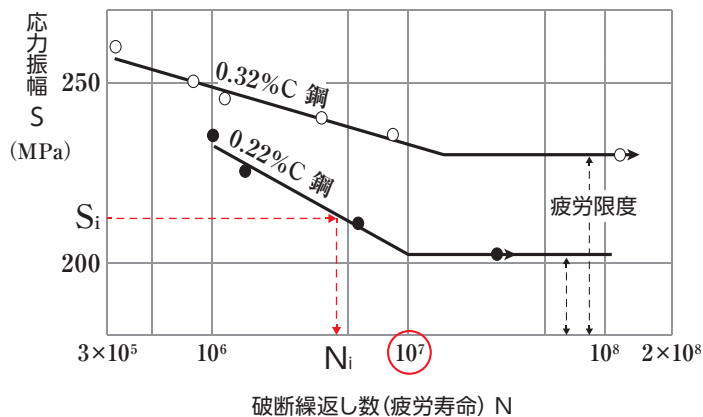


図3.1 ヴェーラー線図

共に回転曲げ疲労試験機により「両振り」での繰返しから得られたものである。即ち、図表データは平均応力がゼロである点を留意したい。

鋼では、図に示されるように以下の特徴がある。

- (1) 10の7乗付近まで、ある傾きで概ね一直線上に並ぶ。
- (2) 10の7乗以上は水平となる。

これにより、実験式として数理処理が可能になる。

例えば、ある構造体の対象部分に S_i の応力振幅が繰返し負荷されると想定しよう。その部分の破断繰返し数はどの程度となるか?

図に示すように、応力振幅 S_i を水平にたどり、斜め線との交点の破断繰返し数を読めば N_i ということになる。

ついでに言えば、「1サイクルあたりの損傷度」は $1/N_i$ となる。

N_i が得られれば、これより前述したマイナー則に当てはめ、**累積疲労損傷度D**を求めることができる。

(2)に関する水平部を、**疲労(疲れ)限度**(Fatigue Limit, Endurance Limit)といい、この水平線以下の応力振幅が負荷されても無限の寿命を有することを意味している。

なお、ヴェーラー線図は、一般的に10の3乗以下は適用外として扱っていない。

又、アルミなど非鉄の場合は明確な疲れ限度は無く、緩やかに傾斜している。その為、疑似的に疲れ限度を設定して活用する場合には、その境の値として 5×10^8 を採用しているようだ。

以上がヴェーラー線図についてもポイントである。

因みに、ヴェーラー線図はドイツの鉄道技師ヴェーラー(Wöhler)がほぼ百年前に作成。それ以降、現在まで標準的線図設計手法として使われている。

100年間程それに代わるべき手法がなく、使われ続けていることは驚くべきことだ。

なお、一般的に応力振幅を S 、そして破断繰返し数(疲労寿命)を N として表しているの、ヴェーラー線図は**S-N線図**とも言われている。どちらかと言うと、S-N線図の方がこの分野での通りがよいかも知れない。