

# 第1章 強度と応力

## 1-3 応力の真の意味を探ろう

### ■ 単純だが深い「強度評価判定式」

話を前述した強度評価判定式に戻そう。

再び、「強度評価判定式」を上げる：

$$\sigma_e \geq \sigma_{al} \left( = \frac{\sigma_b}{\alpha_m} \right)$$

$\sigma_e$  : 設計応力  
 $\sigma_{al}$  : 許容応力  
 $\alpha_m$  : 安全係数  
 $\sigma_b$  : 基準応力  
降伏点、引張強さ、など

繰り返すが、式の形は至って単純だ。単純だが、実は意味合いは意外と深い。式に含蓄がある。考えさせられる点多い。そういうものの内、著者が気になっている事項・留意点を3点ばかり示しておこう。

#### その1： そもそも応力とは何ぞや？ 再認識すべき。

今まで応力の定義として、「応力=力/面積」を用いてきた。

これは直観的・便宜的な説明であり、これはこれで1つの定義だが、これだけでは不十分である。実際問題に対しても対処できない。この解釈だけでは、100点満点中50点といったところか。応力という頂上に登りつめたことにならない。

#### その2： 評価は多軸応力？ 単軸応力？

右辺の材料データは、**単軸**（1軸）で測定した値だ。一方、構造体に実際に働いている応力は、**多軸**（2軸、あるいは3軸）状態である。

この違いに対し、如何に整合性を採っているのだろうか？

#### その3： 両辺の情報の質は均衡か？

両辺の値を得るために、それぞれそれなりの人工(にんく)・パワーが必要となる。ところが、両辺に掛けるパワーはバランスが取れているとは言い難い。

この事は、筆者自身の体験を通しての自己反省から感じている。廻りを見渡せば、どうやら、筆者だけでなく同様にいびつなご同輩が散見されるので、ここで取り上げてみた。

以下、それぞれについて概説したい。

### ■ たかが応力、されど応力

その1： そもそも応力とは何ぞや？ 再認識すべき。

これから、取り上げよう。

応力は代表因子であり、体温とか血圧とかと同じようなモノ、その程度のモノ、であることを前述した。「たかが応力」である。しかし、ここで、「されど応力」を語らなければなるまい。

そもそも、応力というものは掴みにくい。

そう感じる点の1つが、同じ単位の**圧力**と何が違うのか？

という疑問だ。前述したように、応力は「応力=力/面積」で表現されるが、圧力も同様である。しかし、案外、その概念の違いを明確に答えられないようだ。

掴みにくいと感じる2つ目は、ある「箇所」の応力値を知りたい場合、知りたいその箇所だけを指定しても応力値は定まらない、という点だ。「このこの応力はいかほど？」と言ったところで誰も答えることができない。

そして、3つ目は、応力の形態・姿だ。

ここまでお読みになった読者は、この関連の学問分野が「材料力学」であることをご承知と思う。そして、その材料力学の書物を繙けば、例えば、下図(図1.7)のような**自由物体線図**を見かけるはずである。平面では微小要素に図のような**垂直応力** $\sigma_x, \sigma_y$ と**せん断応力** $\tau_{xy}$ が働いている。

ここで、そもそも、どうしてこういう**応力状態**になるのか、なぜ、垂直応力とせん断応力に分類しているのか、という疑問が湧いてくる。

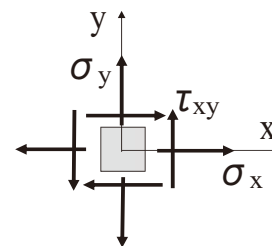


図1.7 2次元平面での応力状態

以上のような応力に対するもどかしさ・不明瞭さを、多くの人が感じたことがあるに違いない。

困みに、読者の中には、このもどかしさを全く感じたことがなく、すっきり・明確に応力というものを掴んでいる方もいらっしゃるかも知れない。そういう方は、もはやこの章を読む必要はなぞありません。どうぞ、速やかに次の章に移って下さいませ。

次の章に移らず踏み留まった残り読者の為に、更に説明を加えよう。

前述の3つの設問を明確に答えるには、実は、ある概念の理解が必要となる。単刀直入に言えば、それは、「応力は**テンソル**である」という概念だ。このことを説明できて、ようやく応力という山を登頂したことになる。百点満点を勝ち取ることになる。

## ■ 専門用語に恐れをなすな

筆者は長く製造メーカーに勤めていた。若い時分のある時、強度談義の場で、ある同僚と2人でもって、こう嘯(うそぶ)いた。

「**応力テンソル**の概念が解らなければ、応力を解ったことにはならないね」

それを聞いていた周りの同僚たちの意識が、サーと引いた。テンソルという用語に恐れをなしたのである。

誤解を恐れずに言えば、このテンソルに限らず「専門用語恐怖症候群」の蔓延状況は、程度の差はあれ、今もどこでも変わらないようだ。

最大の理由は、解ろうとしない、知ろうとする意識が働かないからだと思っているが、一体、どうすればその意識を変えることができるであろうか。

全くの余談になってしまうが、この無謀と思われる問いにここでメスを入れてみたくなった。

そのヒントは、そもそも、「分かるってどういうことなのか?」を探ってみるところに在りそうだ。体験から推し量って言い切ってしまうと、「分かる」為には、概ね、以下の3つの手段・手法が使われている。

- ① その意味・概念の把握
- ② アナロジー(類推)を活用する
- ③ そのものの用途・効果・利用価値を知る

ここで、②は先に示したドミノ倒しや絨毯のしわのような“似たもの”で類推する方法だ。本質である①を会得するには、かなりの努力を要する。一方、③の実行は割と容易だ。しかも、これで、結構分かった気分になる。

実は、この分かった気分・意識を持つ事が重要だ。それは、その用語を使うことへの恐れ・ストレスを減らす作用が生じるからである。

加えて、その意識・心理は、更に本質であるその「概念」を知ろうとする上でポジティブに働くようだ。

こんな訳で、それが何に使われているか、どう役立っているか、を知ることは、「専門用語恐怖症候群」を減らす1つの方策となる。意識改革の一步となり得る。

そう言えば、例えば、大根の「ジアスターゼ」、しじみの「オルニチン」、赤ワインの「ポリフェノール」などの難解用語。実は、我々はこういった専門用語を実体の概念をよく知らないのに結構分かった気になって気楽に使っている。ただ、「体に良い」という効用を知っているだけなのに.....。

工学用語の修得も、それと同じ事と受け止めたい。その垣根は決して高くはない。

それでもなお“高い”と感じる方には、最後の手段を提供しよう。

「テンソルと 千回唱え そうせんかい」

多少乱暴な物言いになるが、「習うより慣れよ」ということだ。

## ■ 腑に落ちる表現でテンソルを直観しよう

とは言え、本来のテンソルの意味・概念を押さえておくことは極めて重要なことだ。

この読み物は、工学理論の専門書でない為、テンソルについて十分な解説はできないが、種々の見方・切り口からテンソルを浮き彫りにしてみたい。

その切り口の幾つかを、以下に示す。

以下の中に、読者にとって腑におちるしっくりくるものが在れば良いのだが.....。どれかによって、テンソルを直観できることをお祈りする。

- 1) 該当箇所での「応力状態」は、微小要素(直方六面体)に働く3つの垂直応力と3つのせん断応力で表現できる。

微小要素(直方六面体)の**方位**(方向)を変化させると、それに応じてその垂直応力とせん断応力の値が変わる。このように、直方六面体微小要素の方位でその応力の値が決定される。

微小要素(直方六面体)の方位を変えた際、3つの垂直応力だけ働き、せん断応力が発生しない応力状態と方位を見出すことができる。その場合の垂直応力を**主応力**という。

こういう特質をもったものが応力テンソルである。(図1.8)

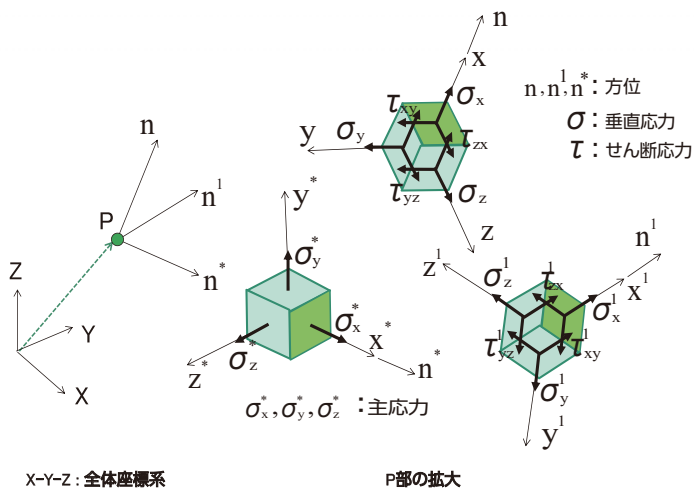


図1.8 方位と応力状態

2) 微小要素(直方六面体)の方位を変化させていくと、六面体の一面に働く垂直応力の値は**楕円面**を形成する。つまり、該当箇所・位置での楕円面は一意的に定まる。(図1.9)

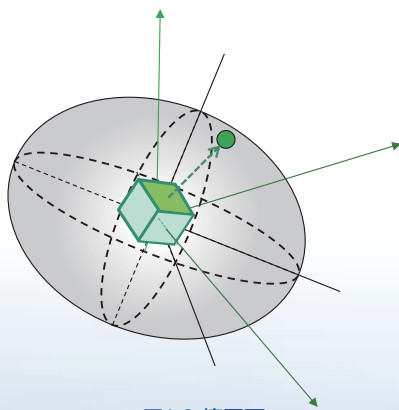


図1.9 楕円面

3) 視覚・幾何的なイメージで言えば、「テンソルは楕円面で表される」となる。これは「ベクトルは矢印で示される」という表現と同様である。(正確には2次曲面。主値の正負符号で、楕円面、双曲面などになる)

4) 楕円面なので、直交する3つの**主軸**がある。主軸方向に**主値**がある。応力テンソルに関して言えば、主値は主応力であり、主応力は垂直応力である。この主軸ではせん断応力が働かない。主軸以外の曲面での応力状態では、3つの垂直応力と3つのせん断応力の双方が働いていることになる。(図1.10)

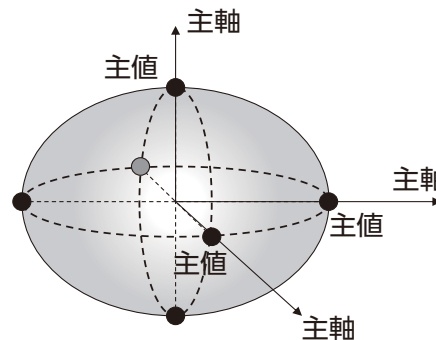


図1.10 主軸と主値

5) テンソルとは「直交する3つの**主方向**(主軸の方向)と3つの主値を持つもの」である。これは「ベクトルは方向と大きさをもつもの」と同様の言い方である。

以上、「応力」についてテンソルを示したが、工学系ではそれ以外に、**ひずみテンソル**、**慣性テンソル**、そして**誘電率テンソル**などが使われている。言うまでもなく、どれもその概念は同じである。