

製品設計時の強度評価・評価指標に関する一考察

A Study on the Strength Assessment and Evaluation Indicators at the Time of Product Design

○平野 重雄 (株アルトナー) 喜瀬 晋 (株アルトナー)

関口 相三 (株アルトナー) 奥坂 一也 (株アルトナー)

Shigeo HIRANO. Artner Co., LTD. 2-5-5. Shinyokohama, Kohoku-ku, YOKOHAMA

Susumu KISE. Artner Co., LTD. 2-5-5. Shinyokohama, Kohoku-ku, YOKOHAMA

Sozo SEKIGUCHI. Artner Co., LTD. 2-5-5. Shinyokohama, Kohoku-ku, YOKOHAMA

Kazuuya OKUSAKA. Artner Co., LTD. 2-5-5. Shinyokohama, Kohoku-ku, YOKOHAMA

1. はじめに

製品設計において、最近では FEM 解析ソフトウェアの品質が向上し、誰でも容易に解析できるようになってきている。しかし、材料力学・材料強度に関して曖昧なまま FEM 解析を利用している技術者も多いように見受けられる。

本報では、製品設計時の強度評価と評価指標に関して考察を加えた。

2. 製品設計時の強度評価・評価指標について

製品設計において、製品の強度を確保し信頼性の高い製品を世の中に提供することが必要不可欠である。一般的に対象製品に対して、様々な使用環境下を想定し、高温強度、耐震強度、疲労強度、座屈強度、衝撃強度などの側面から、構造物強度試験技術と解析技術を駆使した強度評価を行うことになる。

例えば、構造解析技術として弾塑性とは、鋼材の変形特性を表す言葉で、金属ばねを軽く手で引張りその手を放すと元に戻るが、ばねをさらに大きく引張るとばねは伸びきったまま元に戻らない。このような変形特性を考慮し、製品の使用環境を再現した変形構造解析を実施することで、構造物に生じる応力状態を把握し、製品全体に対して強度評価を実施することができる。

さらに、様々な製品の小型化、軽量化、環境対策などの市場要求から新材料の採用が進む一方で、製品設計においての疲労強度評価の要求も高まりつつある。しかし、どのような疲労強度評価を検討し、試験、解析を実施するのが的確なのかなどについては必ずしも明確にされていないのが現状である。

工業製品の設計において、静的な力学特性を正しく評価することはもちろんのこと、動的な力学特性を正しく理解し設計に反映することが求められている。これらの課題がすべて材料力学によって解決されるわけではなく、他の技術と組み合わせで解決すべき課題であるが、材料力学としての開発すべき技術課題について設計実務の立場から、一つの問題を提起したい。

製品設計で部品形状を決める際の指標はなにを考えるので

あろうか。いきなり部品形状が飛び出してくるわけではなく設計の上流には企画、仕様書の存在がある。仕様に基づいて形状を具現化させて行くわけであるが、その際に十分配慮しなければならないのは各種の加工方法がある中でいかに安くつくれるかのコスト意識が重要になる。ユニークで凝ったものも技術的には有用なものであるが、製品として市場の価格競争に乗らないと結果的に自己満足に過ぎなくなる。そして、安全性のこと、特に人が使うものは使用者が怪我をしないような形状とそれから創造する形状（意匠・機能・構造）が特許にふれないかのチェックは見落とせない点である。

また、信頼性は製品の特性ではなく、目標達成のための評価指標であるが、工業製品としての信頼性の定義は、JIS Z 8115 の「アイテムが、与えられた条件のもとで、規定の期間中、要求された機能を果たせる性質」である。一般的な概念として、狭義には所定の使用環境で故障せず、長持ちできるかという性質になる。また広義に解釈すると、上記に加えて、万一故障しても迅速に復旧し、サービスを継続維持できる性質となる。維持・修理などの保全性や可用性も含むと考えると、信頼性は時間的品質を表す尺度であるとも考えられる。

一方、品質の保証とは、単に製品の質の良さを保証するのではなく、製品を生み出すシステム（受注→開発・設計→生産→輸送→納入のライフ・サイクル）の質の良さも維持・保証することと考えられ、一種の総合品質保証であると見なせる。

3. バッハ氏の式とフォン・ミーゼス応力

軸径を決定するとき、単に強度だけでなく軸のねじり角もある一定の値以下にないと色々和不都合が生じる（例えば軸のねじり振動の発生など）。バッハ(Bach)氏の説によるとそのねじり角は1 m当たり 0.25 度以下に抑えるのがよいとされている。

一方、設計者がCAEに取り組みはじめると、最初にVon Mises 応力に出会う。しかし、Von Mises 応力は学生時代に材料力学を学んだ人以外にとっては耳慣れないものであり、一体どのような応力なのか尋ねる人が多い。CAE では製品が使用状況下で永久変形を生じないように設計するのが一般的とされ

ているので、CAE で計算された応力が降伏点より十分小さな値（実際は安全率を考慮した許容応力）以下になるよう設計している。

単軸の荷重下の場合であれば計算した発生応力を降伏点と照合して弾性範囲内であるか容易に判別できるが、荷重が 2 軸や 3 軸の複雑な環境下では応力成分が複数になりどの成分と降伏点応力を比較すべきか迷うことになる。このような多軸の荷重下の場合、ある理論に基づいてスカラー値で表現した相当応力を降伏点応力と比較し弾性範囲内かどうかを判別する。

この背景になる理論はいくつかあるが、フォン・ミーゼスはせん断ひずみエネルギー説に基づく相当応力による降伏条件を提唱した。よって、その相当応力のことをフォン・ミーゼス応力と呼ばれている。フォン・ミーゼス応力はスカラー値で大きさは絶対値で表し、方向を持っていない。

ここで、ある CAE 設計者よりバッハの式は古くて使えないとの意見が筆者の一人に届いた。そこで、次のような回答をまとめた。設計で用いるか否かは各設計者に決めていただきたい。

バッハの式は、現在の CAD ならびに CAE での構造解析においては、全く姿を消しておりますが、単純な円形断面を有するねじりモーメントと引張（圧縮）の主応力が作用する構造体には有用な計算式と著者は考えております。現代の CAE 解析には複雑な構造体にも対応が可能となっておりますが、材料強度そのものは主応力成分での引張試験データが全てベースになっています。

ミーゼス相当応力およびトレスカ相当応力の概念は 1980 年代以降に CAE の普及とともに使われるようになったのですが、ミーゼス相当応力は、体積変化を伴わないせん断ひずみエネルギーが材料の強度に達した時に破損するという考えに基づいた理論であり、対象物に作用する応力を 6 成分の引張応力に換算してエネルギー的に強度比較を行うものといえます。また、トレスカ相当応力は延性のある材料での最大の強度に達した時に破損するという考えに基づいた理論ですが、破断時のせん断応力値の実測値があまり無い（一般的な材料強度は引張強度で表されている）こともあり、使われるのが限られています。

一方、バッハの式は、ねじりモーメントと圧縮（あるいは引張）の主応力（作用方向が軸と同じ）により求める方法で、材料固有の実測引張強度から容易に換算して求める古典的な方法であり、相当ねじり応力（2 つの要因による相当応力換算）による計算手法とも言われているものです。ただ、基本的にはミーゼスの相当応力やトレスカの相当応力で言われている相当応力の意味とはやや異なるものです。なお、バッハの式は、基本的には対象物の断面が円形であるという理論的仮定がありますので、円形以外の形状の場合は、そう簡単には求めることが難しくなります。バッハ自身が書かれた古いドイツ語の書籍に、式の誘導が書かれたものがありました。

参照希望の際はお申し出ください。

材料の軸方向の強度基準も 1960 年代以前に作られたものも多いことと、従来の材料力学の考え方や法律で規定されている諸設計基準として掲載されているもの多くは主応力基準であるために、コンピュータ上の計算にたよるミーゼス相当応力およびトレスカ相当応力での相当応力基準で評価基準を設定しているものがまだ多くはないことがあるようです。

近年はコンピュータによる設計手法の信頼性が高まって来ていますので、法律に縛られた材料力学による評価基準も大きく見直されていくものと思います。

一例ですが、建築基準法では、未だに法律で主応力基準での評価基準で定められているものがありますので、ミーゼス相当応力のような新しい方法での評価基準がまだ出来ていないこともあります。あえて古典的な手法であるバッハの式は、現代でも手計算で容易に設計評価ができる手法であるといえます。

4. 現在の機械設計法について

現在採用されている設計法、とりわけ機械設計法を概観すると、大部分が機械要素設計法に特化している。これは、歯車やねじといった機械要素について、その機構上の特徴や幾何学的寸法の相互間の関係について論及した設計法である。この設計手法は、1900 年代初頭にルーローが確立したといわれる方法を踏襲しており、歴史的に重みがある。

しかし、製品が使用される環境、顧客の要望が複雑化するにつれ、製品に持たせる機能も複雑化しつつある。これに適切に対処するには、機械設計法に対しても、機構上の観点からだけでなく、経済的な視点や機能上の観点から改めて見直す必要に迫られているのも事実である。

5. むすび

工業製品の設計において、静的な力学特性を正しく評価することはもちろんのこと、動的な力学特性を正しく理解し設計に反映することが求められている。

ここで、筆者らの考えるものづくりのポイントは、ものではなく設計である。ものづくりの本質は、ものをつくることではなく、設計情報をものにつくりこむことである。このように考えることにより、ものづくりは生産現場だけで閉じたプロセスではなくなり、むしろ開発・設計・生産・購買・販売の現場が連携し、本社部門も経営トップも、サプライヤーも販売店も顧客も巻き込む、一つの開かれたプロセスとなる。

例えば自動車は、設計情報がものに転写された人工物である。その設計情報を創造するのが設計の仕事、創造された設計情報をものに転写するのが生産の仕事、転写するものを確保するのが購買の仕事、転写された設計情報を顧客に向けて発信するのが販売の仕事である。そして、顧客はそうした設計情報を企業から受け取り、いわば設計情報を消費するのである。