

ものづくり計算センター CAE 基礎 ＜構造解析/線形解析・弾性解析の活用法＞

キーワード：CAE、CAD、FEM、構造解析、線形解析、縦弾性係数、耐力、許容応力

線形（微小変形）解析

構造解析には、弾性範囲内の小さな変形（微小変形）を対象にした「線形解析」と、大変形やすべり・移動、降伏点後の永久変形（塑性変形）を考慮した「非線形解析」があります。一般的に、製品の強度設計では、部品が永久変形すると使用不能となるため、どの程度の荷重であれば耐えうるかを調べます。単純な形状であれば、材料力学の公式から強度を推定することも可能ですが、詳細な検討を行うために、構造解析（線形解析）を用いた設計検討が多く行われています。本報では、線形解析について説明します。

構造解析では、対象となる構造物のある部分を固定して、荷重を加えることで変形や応力を評価します。中でも、線形解析は、フックの法則（力＝バネ定数×変形量）の関係が成り立つ範囲での計算で、荷重と変形の比例関係が維持される前提のもとで解析が行われます。言い換えれば、荷重が 2 倍になれば変形や応力が 2 倍、荷重が 10 倍になれば変形や応力が 10 倍になる解析です。永久変形や破壊は線形解析からは求められず、解析結果を見て計算者が判断することになります。

設定の流れ

設定の流れは以下の通りです。

- ① CAD データの作成・読み込み
- ② メッシュの作成
- ③ 材料データの入力（縦弾性係数、ポアソン比）
- ④ 境界条件の入力（荷重、固定）
- ⑤ 解析・結果表示

ここでは、ソフトウェアに ANSYS Mechanical を用いました。

【手順①】図 1 は、荷重を受けるブラケット部品の CAD データの読み込みを行った様子です。CAE ソフトウェアによりますが、CAD データの形式は、STEP や Parasolid、SAT、IGES などの中間形式で利用可能です。

【手順②】メッシュと呼ばれる小さな単位で CAD データを分割します。近年、よく用いられる CAE ソフトウェアの大部分では、自動でこのメッシュ分割が行われます。しかしながら、R 部など形状の細かい部分は、計算者がサイズを決めて分割する方が望ま

しいです。図 2 は、自動でメッシュ分割した結果と、意図的に細かいメッシュ分割した例を示しています。

【手順③】材料データを入力します。線形解析に必要な材料データは、縦弾性係数（ヤング率）とポアソン比のみです。多くのソフトウェアではライブラリに代表的な材料データが収録されているため、該当するものを選択できます。注意点として、例えば鋼では、さまざまな鋼種や熱処理方法があることを考慮する必要があります。軟鋼と高炭素鋼では強度が異なりますが、縦弾性係数はほぼ同等です。この線形解析では、縦弾性係数を基に計算することから、軟鋼あるいは高炭素鋼で解析結果にほとんど違いが現れません。違いをどのように考慮するかについては、後述の「結果の表示と考察」で詳しく述べます。ここでは、まず構造用鋼（縦弾性係数：200 GPa、ポアソン比：0.3、耐力：300 MPa）を材料として選びました。

【手順④】境界条件として、まずは荷重を設定します（図 3）。CAD 上の面や辺、頂点などを選択し、荷重方向や大きさを入力します。ここでは、ベアリング部に上向きに 10 kN を加えました。次に、固定を設定します（図 4）。固定には、全方向を固定する

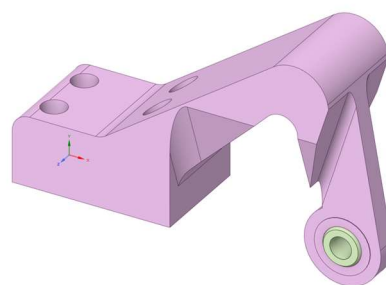
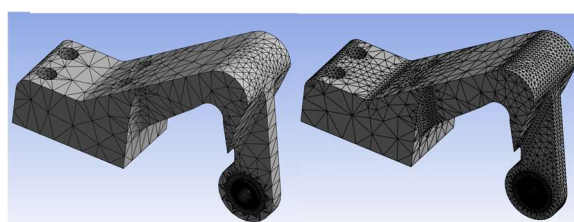


図 1 ブラケット部品の CAD データ
(部品サイズ：約 130 mm)



(a) 自動分割した場合 (b) 細かくした場合

図 2 メッシュ分割の例

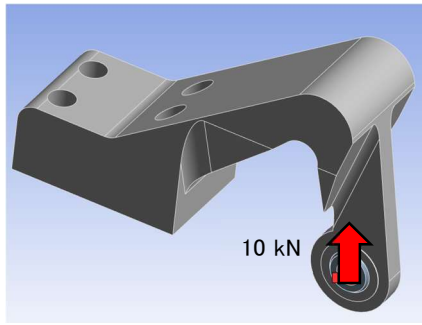


図3 荷重の設定

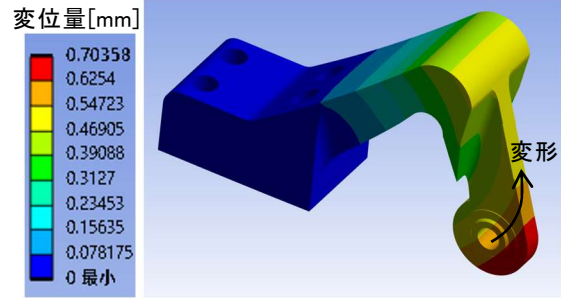


図5 変形量の解析結果

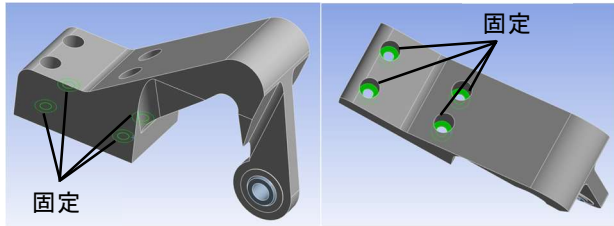


図4 固定の設定

方法（完全固定）、特定の方向や回転だけ固定する方法（部分固定）など、さまざまな方法があります。実際の使用状況に応じた固定方法を検討する必要がありますが、重要な境界条件です。ここでは、ボルト固定部の座面を完全固定としています。

【手順⑤】以上の設定を行い、解析をスタートします。エラーがなく完了できれば結果が表示されます。

結果の表示と考察

結果の表示でよく用いられるパラメータとして、変形量と相当応力（ミーゼス応力）があります。図5に変形量、図6に相当応力の解析結果を示します。

相当応力とは、さまざまな方向に生じる応力を一軸方向の値にみなせるように換算したもので、材料の一軸引張試験での応力に相当する値です。つまり、材料の耐力（降伏応力）や引張強さ、自社で設定した許容応力と比較できますので、相当応力により、強度が十分であるかどうかを判断することができます。ここでは、アーム根元の相当応力（416 MPa）が材料の耐力（300 MPa）を超えているため、永久変形が生じてしまうという結果として読み取ることができます。

そこで、相当応力の高い部分の曲率を大きくし、さらにアーム根元部を太く設計変更しました。解析結果を図7に示します。相当応力が下がり、耐力以下になることがわかりました。

また、形状変更をせずに、材料の種類や熱処理を変更することも設計変更案として考えられます。耐力が300 MPaの構造用鋼から、耐力が450 MPaの高炭素鋼に変更したとすると、耐力が解析結果

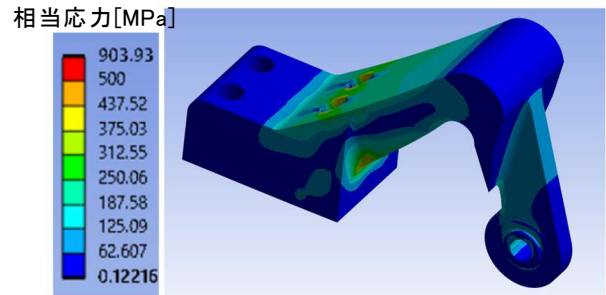


図6 相当応力の解析結果

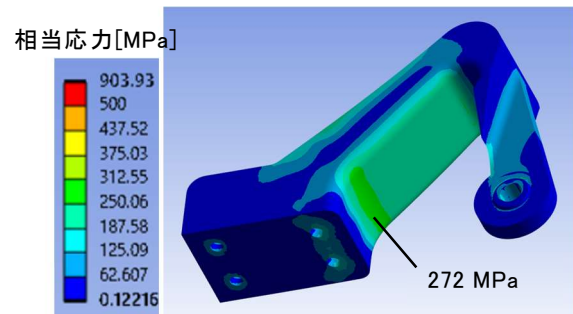


図7 設計変更した形状での相当応力の解析結果

の相当応力以上とみることができ、弾性変形内であると判断できます。

おわりに

今回、紹介した構造解析の他にも、ものづくり計算センターでは、さまざまなCAEソフトウェアを用いてお客様の技術課題を解決いたします。ご興味ある方はぜひご相談ください。

発行日 2024年11月1日（2024年11月11日改訂）

作成者 ものづくり計算センター（加工成形研究部 精密・成形加工研究室 四宮 徳章、特殊加工研究室 三木 隆生）

Phone: 0725-51-2525

E-mail: mcae-center02@orist.jp