スナップフィットの簡易理論計算と解析事例

目次

・座学

1　スナップフィットとは? ---------- P. 3

2　力学理論（梁理論） ---------- P. 4

3　設計ガイドライン ---------- P. 5

4　CAE を活用したスナップフィット最適設計例 ---------- P. 6

・Femtet 解析事例

5　熱可塑性樹脂製スナップフィット爪の線形・非線形解析

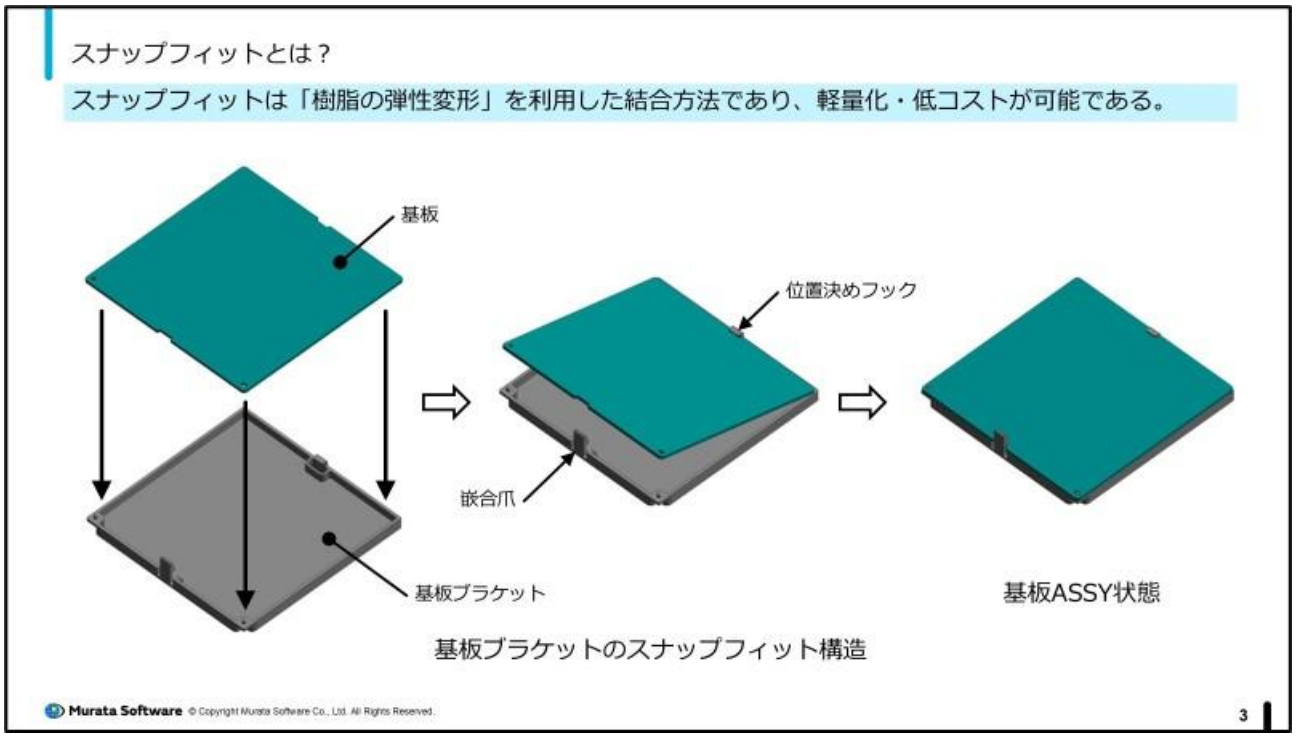
（1）目的・概要 ----------P. 7

（2）解析条件 ----------P. 8

（3）各スナップフィット爪（ Ｉ型、L 型、U 型）の変形モードと応力分布 ----------P. 9

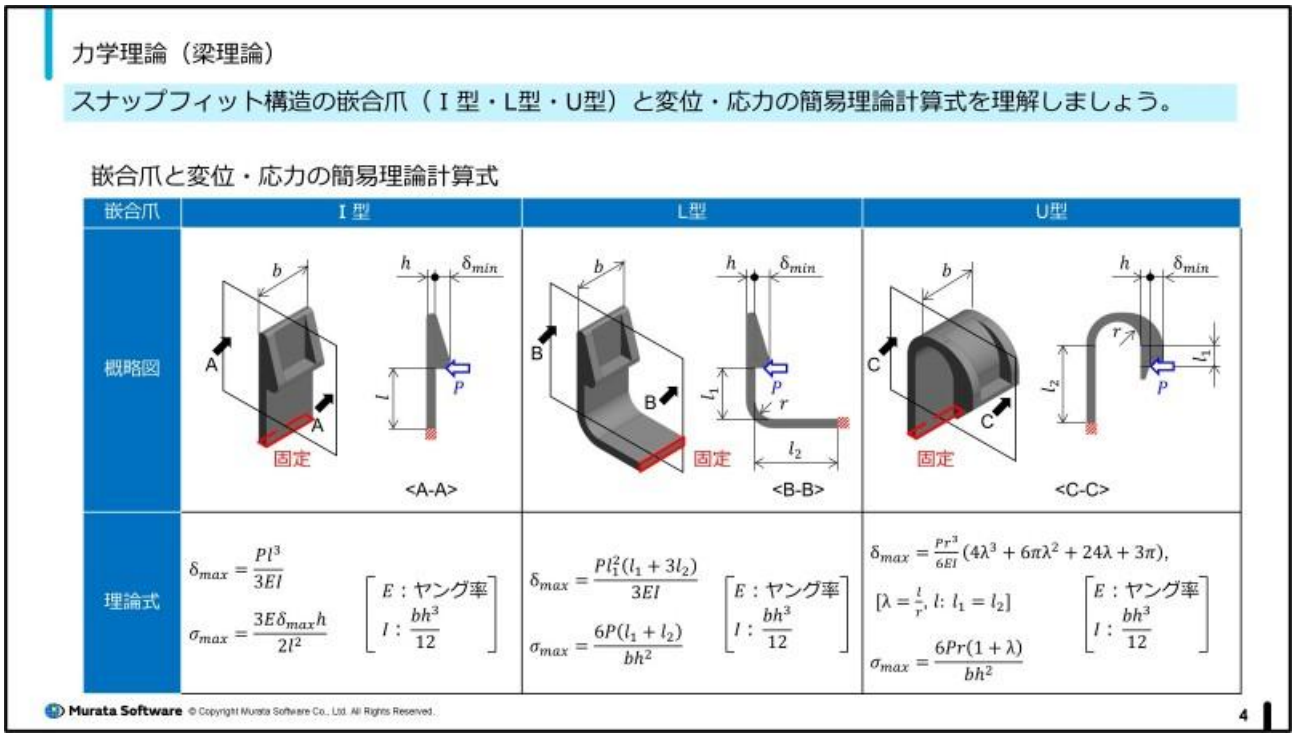
（4）結論 ----------P. 10

1.　スナップフィットとは?



スナップフィットとは、樹脂材料の弾性変形を利用して部品同士を固定する結合方式です。ねじやボルト等の締結部品を使用せずに組立てができる為、部品点数の削減、軽量化、組立工数の低減、コスト削減などのメリットがあります。家電製品、自動車部品、電子機器の筐体など、多くの製品で採用されている代表的な締結方法の一つです。
本図では、基板と基板ブラケットをスナップフィットによって固定する例を示しています。まず、基板をブラケット上に配置し、位置決めフックによって基板の位置を正確に合わせます。次に、基板を押し込むことで嵌合爪が一時的に弾性変形し、基板の通過を許容します。基板が所定の位置まで到達すると、変形していた爪形状が元に戻り、基板端部を保持することで固定が完了します。このように、組立時には変形し、組立後には復元力によって保持力を発生させることがスナップフィットの基本原理です。設計においては、嵌合時に発生する変形量や応力を適切に管理することが重要です。特に嵌合爪の根元部分には大きな応力が集中しやすく、設計が不適切な場合は爪の破損や白化、保持力不足などの不具合につながります。その為、爪の長さや板厚、根元の R 形状、使用材料の弾性特性などを考慮しながら設計を行う必要があります。また近年では、CAE を活用して嵌合時の変形挙動や応力分布を事前に評価することが一般的になっています。試作前の段階で挿入力や最大応力を予測できる為、設計品質の向上や開発期間の短縮にも大きく貢献します。
スナップフィットはシンプルな構造でありながら、樹脂設計・強度設計・生産性を総合的に考慮する必要がある重要な設計要素です。

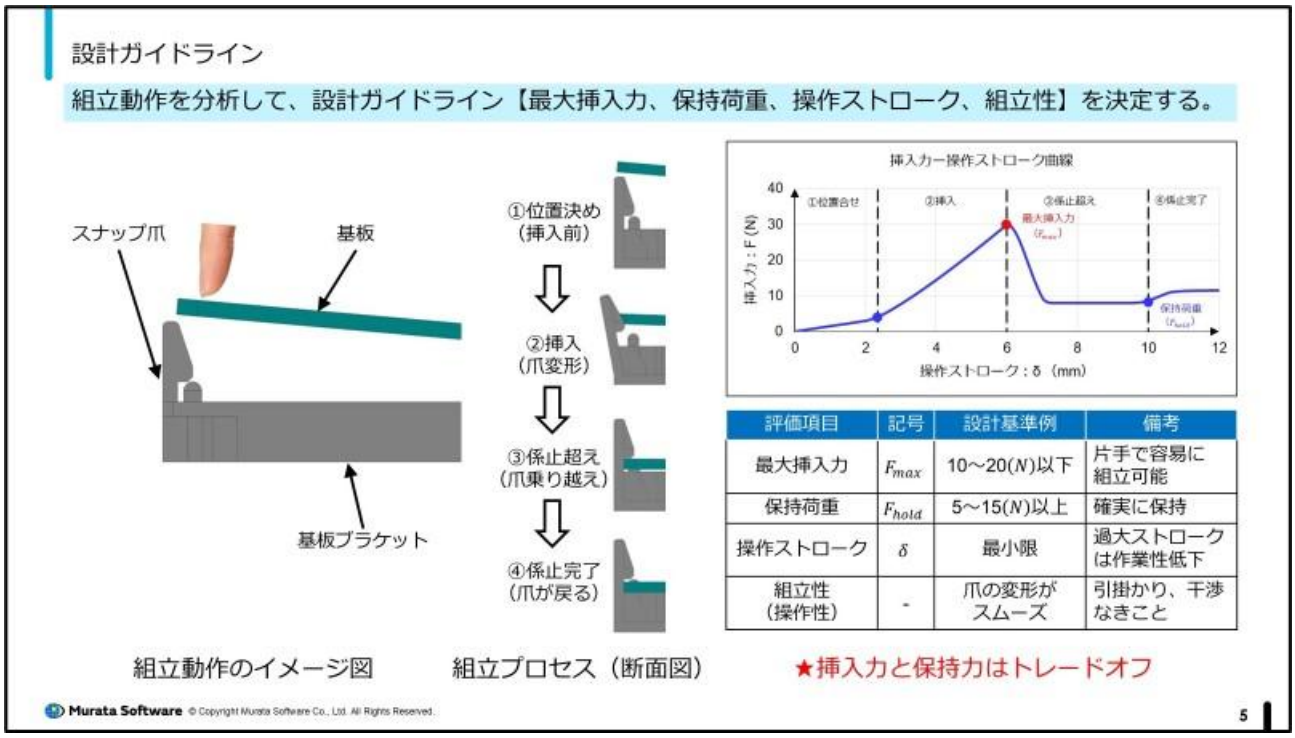
2.　力学理論（梁理論）



スナップフィット設計では、嵌合作業時に発生する変位量と応力を把握し、弾性域内で確実に嵌合・保持できる構造とすることが重要です。図には代表的な爪形状であるＩ型、L 型、U 型の簡易理論計算式を示しています。Ｉ型は最も基本的な片持ち梁構造であり、梁理論に基づく先端変位および最大曲げ応力を用いて評価できます。構造が単純で理解しやすい反面、大きな変位を確保しにくい特徴があります。

L 型は曲げ部を介して嵌合部を配置した形状であり、同一スペースでもＩ字タイプより大きな変位を確保できます。変位は縦梁長さ l_1と横梁長さ l_2の両方に依存し、特に横梁長さを長くすると柔軟性が向上します。一方で、固定端には大きな曲げモーメントが発生する為、応力評価が重要になります。U 型はヘアピンばねと同様の構造であり、限られたスペースの中で最も大きな変位を得やすい形状です。U 型では直線部の曲げ変形と半円部の曲げ変形をカスティリアーノの定理で合成した近似式となっています。一般に、直線部長さが長いほど変位量は増大しますが、曲げ部内側には応力集中が生じやすくなります。これらの理論式は、スナップフィット設計初期段階において必要変位量や概略応力を迅速に見積もるための簡易計算式です。ただし実際の製品では、コーナーR、テーパ形状、肉厚変化、材料非線形性、接触状態などの影響を受ける為、最終的な設計妥当性の確認には CAE 解析を併用することが重要です。理論計算と CAE 解析を組み合わせることで、効率的かつ信頼性の高いスナップフィット設計が可能となります。

3.　設計ガイドライン



スナップフィットは、単に保持できれば良いわけではなく、組立性と保持性能の両立が重要な設計課題となります。図は基板をブラケットへ固定するＩ型スナップフィットの組立動作と、その際の挿入力ー操作ストローク特性を示しています。組立プロセスは、①位置決め→②爪変形を伴う挿入→③係止部の乗り越え→④爪の復元による係止完了となります。設計時には製品仕様や組立条件に応じて目標値を設定します。本事例では、CAE を活用した設計検討の流れを説明する為、仮想的な製品を想定して設計目標値を設定し、各数値は設計上の目安として設定したものです。

① 最大挿入力（F_{max}）：組立時に必要な最大荷重

10～20（N）以下：最大挿入力が過大だと、組立時の操作性低下や部品への負荷増加になります。

② 保持荷重（F_{hold}）：組立後に部品を保持する力

5～15（N）以上：実設計では、使用条件や要求仕様に応じて適切な目標値を設定します。

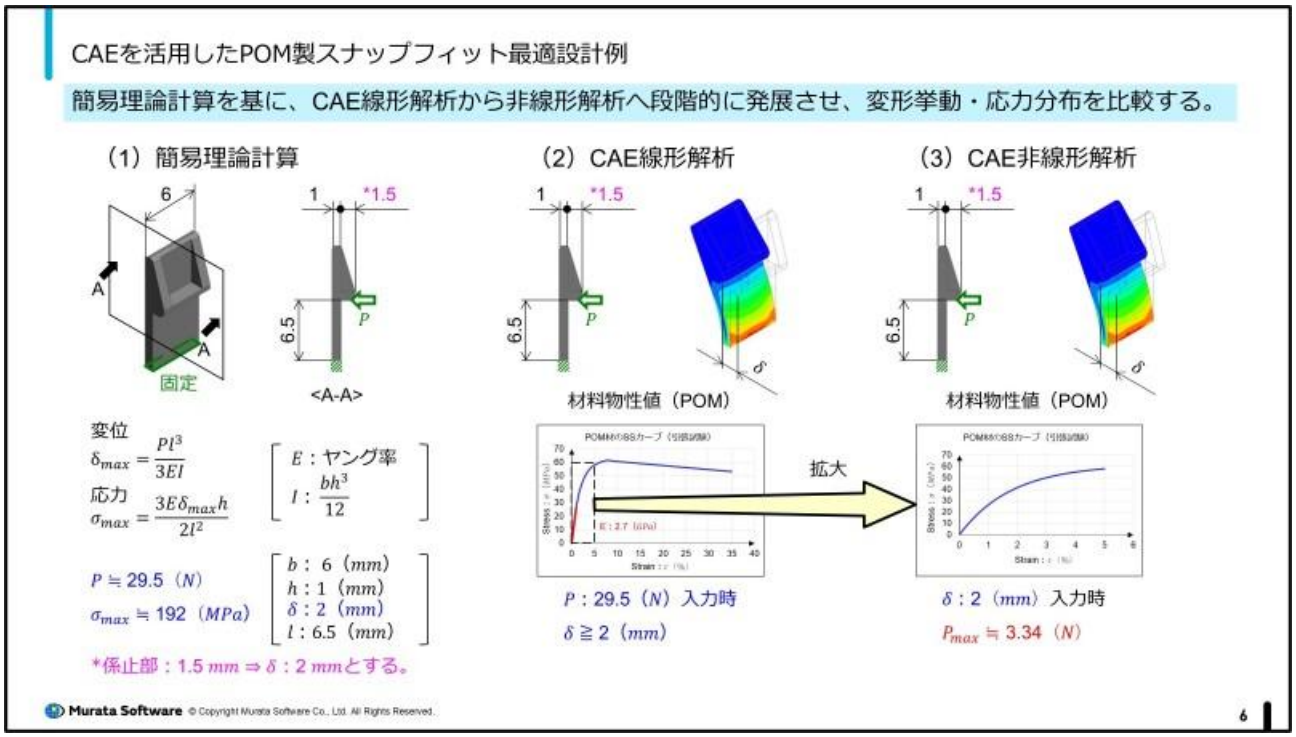
③ 操作ストローク（δ）：爪が変形する量

過大なストロークは作業性低下や樹脂疲労につながる為、必要最小限に抑えることが重要です。

④ 組立性（操作性）

組立中に引掛かりや干渉がなく、滑らかに係止できることを検証します。特にガイド面やリード角の設計は、操作性向上に大きく影響します。尚、最大挿入力と保持荷重はトレードオフの関係にあります。保持力を高めるために係止量を大きくすると挿入力も増加し、逆に組立性を優先すると保持力が不足する可能性があります。その為、CAE や試作評価を活用しながら、作業者が容易に組み立てられ、且つ十分な保持性能を確保できるバランス点を見つけることが、スナップフィット設計の重要なポイントとなります。

4.　CAE を活用したスナップフィット最適設計例



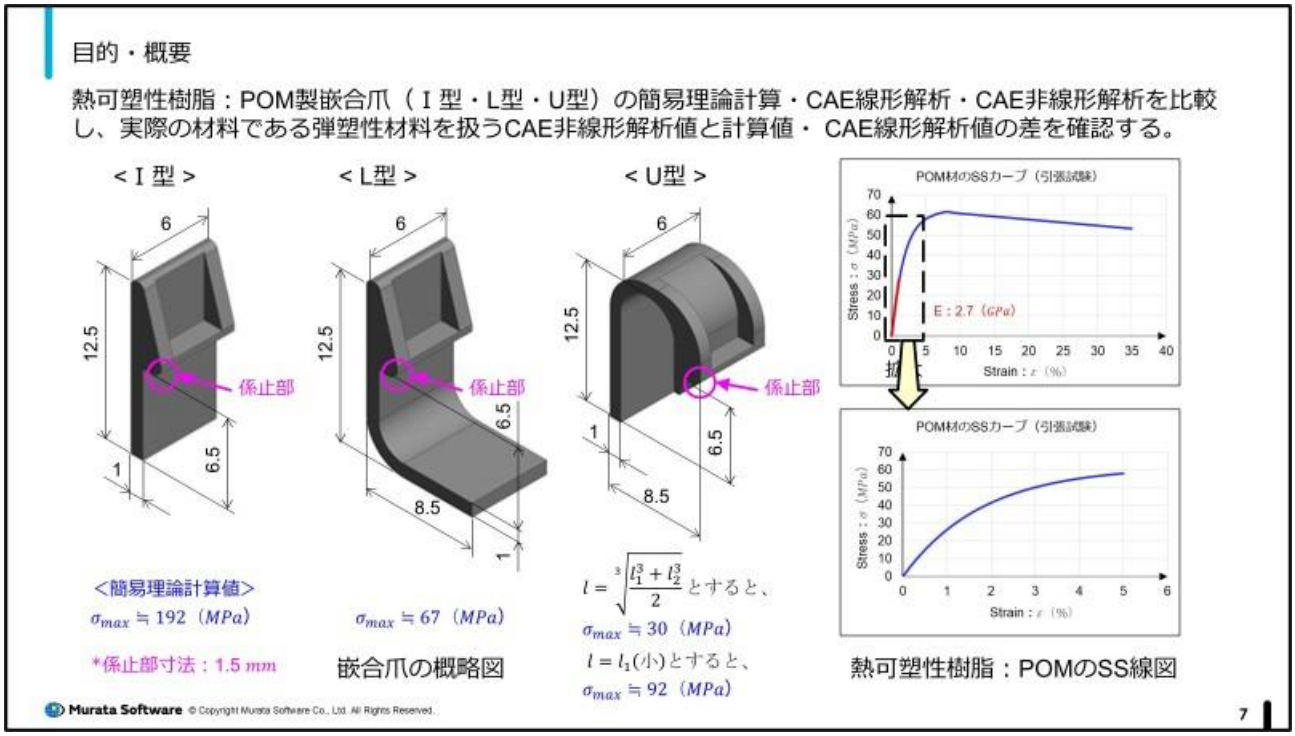
スナップフィット設計では、設計初期段階の検討方法として、簡易理論計算が良く利用されます。本事例では、POM 製スナップフィットを片持ち梁としてモデル化し、梁理論から嵌合に必要な変位、荷重および公称応力を算出しています。簡易理論計算では、嵌合部に必要な変位を 2（mm）とした場合、必要荷重は約 29.5（N）、公称応力は約 192（MPa）となります。

次に、同じ形状および材料物性値を用いて CAE 線形解析を行い、簡易理論計算で求めた 29.5（N）を入力した場合の変形挙動を確認します。CAE では三次元形状や境界条件などを考慮する為、簡易理論計算と解析結果が必ずしも同じ値になるとは限りません。また、スナップフィットのように変形量が板厚に対して大きい構造では、変形に伴う形状変化による影響も無視できなくなります。そこで、さらに実際の変形状態に近づけるため、大変形および材料の非線形特性を考慮した CAE 非線形解析を行います。非線形解析では、嵌合に必要な 2（mm）の強制変位を与え、そのときに生じる反力や応力分布を評価します。

このように、簡易理論計算を設計初期段階の目安として利用し、CAE 解析によって形状、境界条件、大変形、材料非線形性などを段階的に考慮することで、簡易理論だけでは捉えにくい実際のスナップフィットの変形挙動をより詳細に評価することが可能となります。

5.　Femtet 解析事例「熱可塑性樹脂製スナップフィット爪の線形・非線形解析」

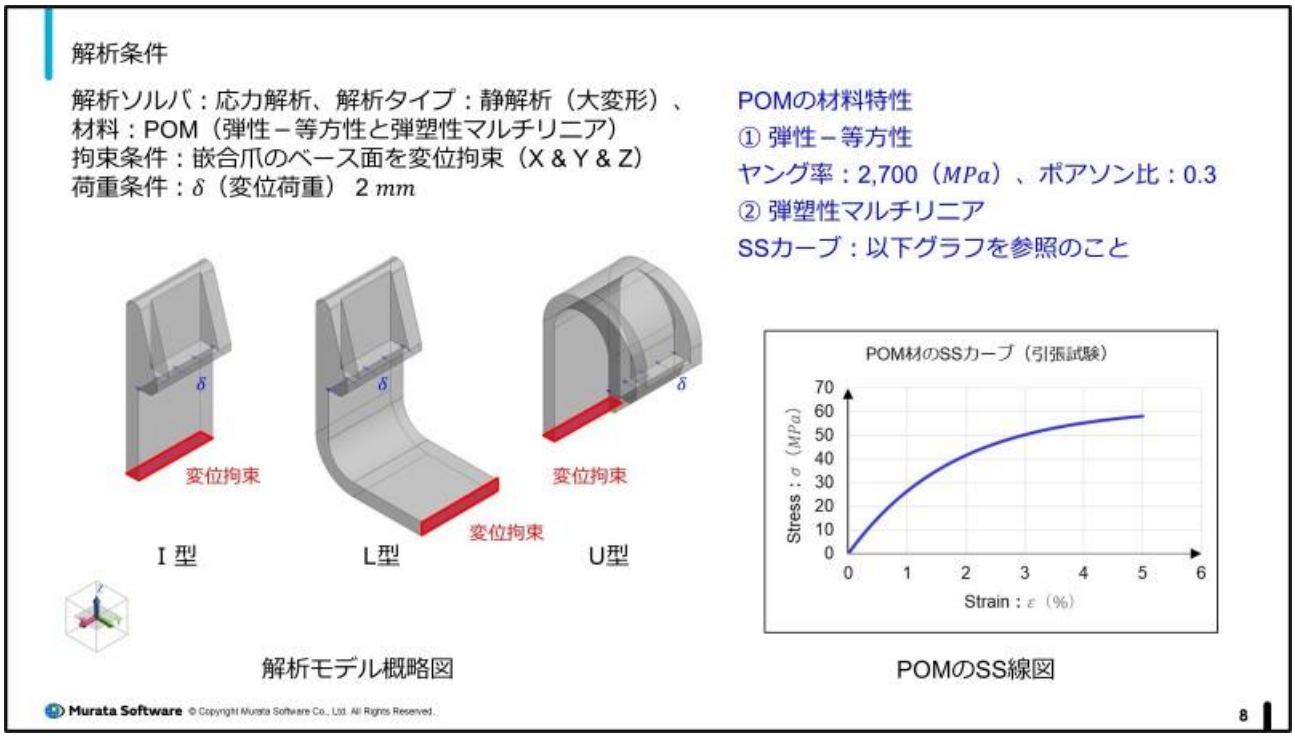
（1）目的・概要



熱可塑性樹脂 POM を用いたスナップフィット爪（Ｉ型・L 型・U 型）を対象に、簡易理論計算、CAE 線形解析、および CAE 非線形解析の結果を比較し、評価手法の特徴と適用範囲を確認します。スナップフィットは部品点数の削減や組立性向上に有効な構造ですが、係止部周辺には大きな変位や応力が発生する為、設計段階で適切な強度評価を行うことが重要です。

一方で、実際の樹脂材料は金属のような完全な線形弾性体ではなく、応力とひずみの関係が非線形となる為、簡易計算や線形解析だけでは実際の挙動を十分に再現できない場合があります。そこで本検討では、各形状について材料力学に基づく簡易理論計算による公称応力を求めるとともに、ヤング率を用いた CAE 線形解析、および引張試験から取得した POM 材の SS カーブを適用した CAE 非線形解析を実施します。更に、それぞれの解析結果を比較することで、形状の違いによる応力発生傾向や、材料非線形性が解析結果へ与える影響を評価します。また、簡易計算値と CAE 解析値との差異を確認することで、設計初期段階における理論計算の有効性と限界を把握します。特に大変形を伴う樹脂スナップフィットでは、大変形や材料の非線形挙動によって応力分布が変化する為、非線形解析の重要性を理解することができます。本解析事例を通じて、理論計算から線形解析、更に実材料特性を考慮した非線形解析へと評価精度を段階的に向上させる方法を示し、CAE を活用した、より合理的なスナップフィット設計の考え方について紹介します。

（2）解析条件



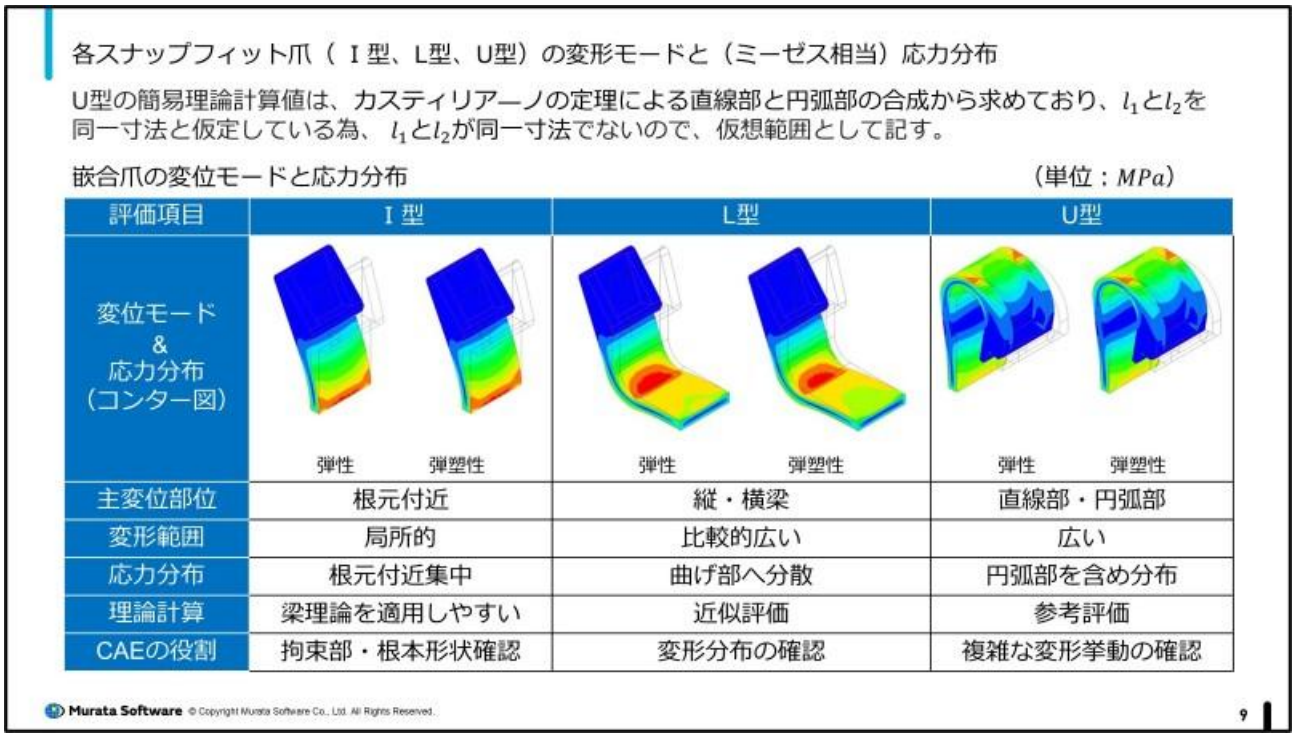
本解析では、POM（ポリアセタール）製スナップフィットを対象として、組立時の変形挙動と発生応力を評価するための静的構造解析を実施します。解析ソルバは応力解析、解析タイプは大変形を考慮した静解析を適用しています。評価対象は、Ⅰ型・L 型・U 型の嵌合爪モデルであり、各々の形状の違いが組立性および応力分布に及ぼす影響を比較・評価します。

境界条件として、各モデルのベース面を X、Y、Z 方向の全自由度拘束とし、実機に固定された状態を模擬しています。荷重条件には変位荷重を採用し、嵌合方向へ 2（mm）の強制変位：δ を与えることで、組立時に発生する変形および応力状態を再現しました。材料特性は POM を適用し、弾性解析ではヤング率：2,700（MPa）、ポアソン比：0.3 を設定します。更に、実材料の非線形挙動を考慮する為、引張試験から取得した SS カーブに基づく弾塑性マルチリニア材料モデルを適用し、変形モードおよび応力分布の変化を評価します。

これにより、弾性解析による理論的な応力評価と、材料の非線形挙動を考慮した解析結果との比較が可能となります。最後に、各形状における変形モードおよび応力分布を比較して、形状の違いによる変形挙動や応力集中位置の変化を評価します。

また、簡易計算結果と CAE 解析結果を比較することで、大変形や材料非線形を考慮できる CAE 解析の有効性について検証します。

（3）各スナップフィット爪（ Ｉ型、L 型、U 型）の変形モードと応力分布



図は、Ｉ型・L 型・U 型のスナップフィット爪について、同一の嵌合変位を与えた場合の変形モードおよびミーゼス相当応力分布を CAE 解析により比較したものです。各形状では、変形に利用できる梁長さや曲げ部形状が異なる為、同じ変位を与えた場合でも変形の仕方や応力分布に違いが生じます。

Ｉ型は基本的な片持ち梁に近い構造で、変形が根元付近に集中する傾向があります。

ただし、根元を完全拘束した CAE モデルでは、拘束境界の端部に局所的に高い応力が発生する場合があります。このような局所応力は、拘束条件や形状、メッシュ分割の影響を受ける為、一点の最大応力値だけを用いて各形状の強度を比較することには注意が必要です。

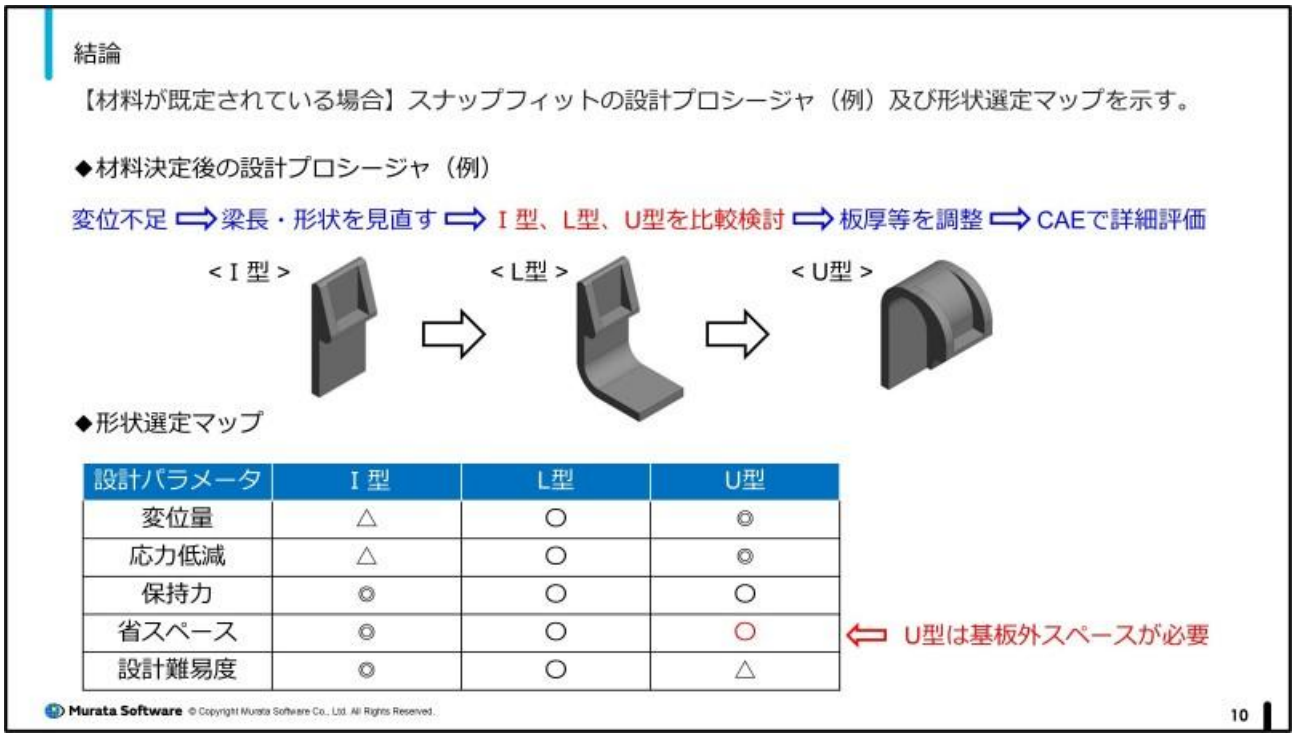
そこで本事例では、最大応力値の大小ではなく、変形する範囲や応力が集中する位置、形状による応力分布の違いに着目します。

L 型では縦方向と横方向の梁が変形に寄与し、U 型では直線部と円弧部が変形に寄与する為、Ｉ型とは異なる変形モードや応力分布を示します。このように CAE 解析では、簡易理論計算だけでは把握しにくい変形状態や応力分布を視覚的に確認できることが大きな特徴です。

更に、実際の製品では、根元 R や周辺の土台形状、肉厚変化、材料非線形性などを CAE モデルに取り込むことで、より実形状に近い状態で応力集中や応力分布の変化を検討できます。

簡易理論計算で基本的な挙動を把握し、CAE 解析によって実際の製品形状へ評価を発展させることが重要となります。

（4）結論



解析結果から、同一の嵌合変位を与えた場合でも、スナップフィットの形状によって変形モードや応力分布が異なることが確認できます。 I 型は片持ち梁に近い構造であり、変形が根元付近に集中する傾向があります。一方、L 型では縦方向と横方向の梁が、U 型では直線部と円弧部が変形に寄与する為、より広い範囲を利用した変形が可能となります。

スナップフィット設計では、必要な嵌合変位を確保するとともに、局所的な応力集中を抑えることが重要です。変位が不足する場合には、単純に板厚を薄くするだけでなく、梁の有効長さや形状を変更することも有効な設計手段となります。

実製品では、必要スペース、成形性、操作性、保持力などを総合的に考慮して形状を決定する必要があります。そのため、設計初期段階では簡易理論計算を用いて基本形状や寸法を検討し、その後 CAE 解析によって変形モードや応力分布を詳細に評価します。

更に、根元 R、周辺形状、大変形、材料非線形性などを考慮することで、実製品に近い評価へ発展させることができます。

以上より、簡易理論計算による一次設計と CAE による詳細評価を組み合わせ、必要な変位、強度、組立性、成形性などを総合的に検討することが、合理的なスナップフィット設計につながります。