



CAE解析技術の精度向上に対する取り組み

Approaches for Improving Precision of CAE Analysis Technology

柴田 康之 Yasuyuki Shibata

最近のモノづくりでは、コンピュータのめざましい進歩により、従来から行われてきた実機評価に代わり、コンピュータ上で性能を作り込むCAE解析が様々な産業分野で広く行われている。

CAEは、Computer Aided Engineering(コンピュータ支援エンジニアリング)の略称であり、当社においても、高度化する技術的課題や多様化するお客様のニーズに応えるため、新製品開発や製品の改良などにCAE解析を積極的に活用している。

本稿では、当社で行っているCAE解析の活用事例とともに、CAE解析の精度向上の取り組みについて紹介する。

In today's manufacturing world, thanks to remarkable advances in computer technology, CAE analysis, a method in which product performance is refined to perfection on the computer, is widely used in various industrial fields, instead of the conventional method of performing analysis on the actual equipment.

CAE stands for Computer-Aided Engineering, and CKD is actively utilizing CAE analysis in product development and product improvement to meet customer needs that are growing more diversified and to address technical challenges that are becoming increasingly sophisticated.

This paper presents examples of how we utilize CAE analysis in our company and the approaches we are using to improve the precision of CAE analysis.

1 はじめに

当社では、空気圧制御機器、駆動機器、空気圧関連機器、ファインシステム機器、流体制御機器などの開発、設計を行っている。

製品競争力の維持、強化に必要な性能・信頼性向上の評価手法として、統計・品質工学的な手法である実験計画法や信頼性工学の手法であるFMEAやFTAなどとともにCAE解析も取り入れている。

CAE解析は、

- ①コンピュータ上で対象形状をモデル化する。
- ②モデル化した対象形状に仮想試験の条件設定をする。
- ③条件設定を行ったモデルに対し、有限要素法に代表される解析手法を用いて数値計算をする。
- ④数値計算で得られた結果を求め分析する。

という流れで行われ、設計の妥当性や性能予測、問題点の洗い出しなどを行なうシミュレーション技術である。

2 CAE解析の用途

CAE解析を活用する利点は、設計時に創出したアイデアを仮想試作し、その妥当性を評価できることである(Fig. 1)。

そのため、CAE解析は開発期間の短縮、開発コストの低減、品質改善・性能向上に大きな効果が期待できる。

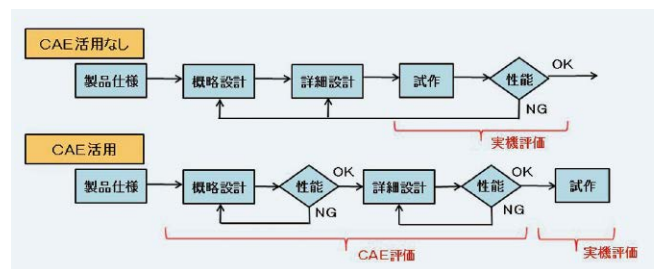


Fig. 1 CAE活用フロー

3 当社で実施しているCAE解析

当社では以下に示す分野のCAE解析を実施している。

3-1 構造解析

製品の機械的強度や熱の影響(熱応力・熱伝導)の評価が行われており、取り扱われる材質も金属、樹脂、ゴムなど多岐に渡る。解析ソフトは、単一部品や簡単な組み合わせ構造物を対象とした操作性重視の「設計者向け構造解析ソフト」と機能性を重視した専任者向けの「汎用構造解析ソフト」を内容に応じて使い分けている。

3-2 流体解析

設計した流路形状内での流れの効率や流量などの性能確認を目的とした解析が主に行われ、部品間・部品内に存在する気体・液体を伝熱媒体とした熱流体解析の活用ニーズも増えてきている。

3-3 樹脂流動解析

射出成形を行なう樹脂部品に対し、樹脂流れのバラ

ンス、ショートショット、エアトラップ、ソリやひけによる変形などの問題発生の可能性を事前評価するために樹脂流動解析を活用している。生産技術的な活用が大部分を占めており、エアトラップやウェルドの発生位置に大きな影響をおよぼすゲート位置を最適化することで、多大な費用と時間がかかる金型の修正回数低減に貢献している。

3-4 磁場解析

空圧バルブや流体制御バルブのソレノイドや工場内の省人化装置として使用されるDDモータ、磁気センサーなど電磁機器製品の設計に活用されており、当社製品の小型化、高能力化、高応答化、省電力化に貢献している。

4 CAE解析の精度向上

CAE解析で使用する物性値が実物とかけ離れている場合、実測との誤差が発生する。CAE解析を行なう際入力する物性値には、カタログ記載の定値を入力し計算できる内容もあれば、物性値が定値として表現できない非線形性を有するデータもある。前者の物性値としては弾性構造解析を行なう場合に必要となる金属材料のヤング率やポアソン比、流体解析で使用する粘度などが挙げられ、解析ソフトのデータベースに標準登録されていたりインターネット検索により比較的容易に入手出来る場合が多い。

後者の物性値としては、磁場解析における磁性材料の初磁化曲線やゴムの構造解析で必要となる応力-ひずみカーブなどが挙げられ、使用したい材料物性値が解析ソフトに登録されておらず、インターネット上からも情報を入手できない。当社ではこのような非線形性材料物性値を測定、データベース化し、解析ユーザーが社内ネットワーク上から使用したい材料データを選択し活用できる状態にしている。

ここで各解析に使用する材料データの測定方法と解析事例について紹介する。

4-1 磁場解析

磁場解析では、磁性材料の初磁化曲線を材料データとして使用する。

4-1-1 試験サンプルと測定

測定対象材料をリング状に加工後、絶縁処理を行い、励磁・検出用2種類のマグネットワイヤを巻き試験片を作製する(Fig. 2)。

試験片を直流磁化特性測定装置(Fig. 2)に取り付け、励磁用コイルに電流を流して磁界を緩やかに変化させて、試験片内に発生した磁束密度を測定すると、Fig. 3に示すような横軸が磁化力 H (A/m)、縦軸が磁束密度 B (T)のヒステリシスループが得られる。

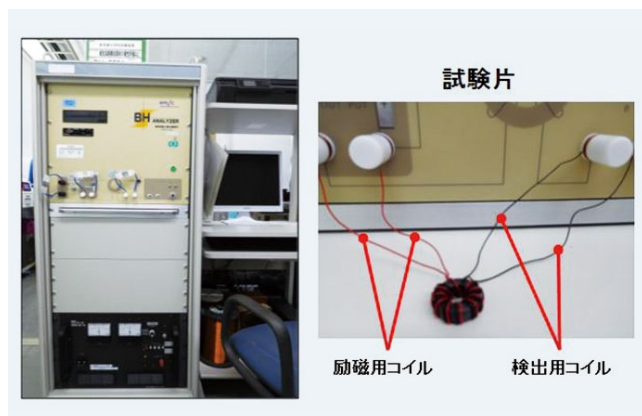


Fig. 2 直流磁化特性測定装置

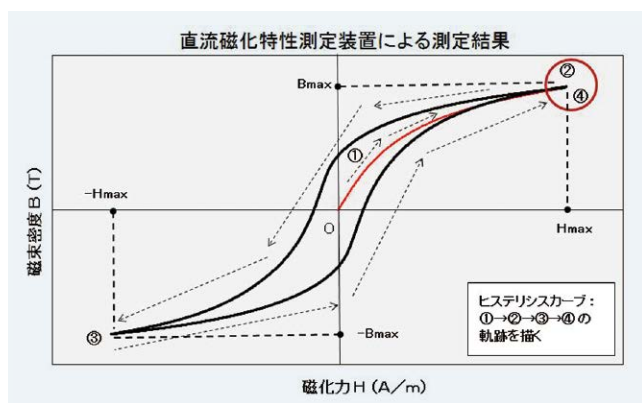


Fig. 3 測定データ (ヒステリシスカーブ)

初磁化曲線はFig. 4に示す H_{max} の異なるヒステリシスカーブを複数条件測定し、その(H_{max} , B_{max})をつないだデータとなる。

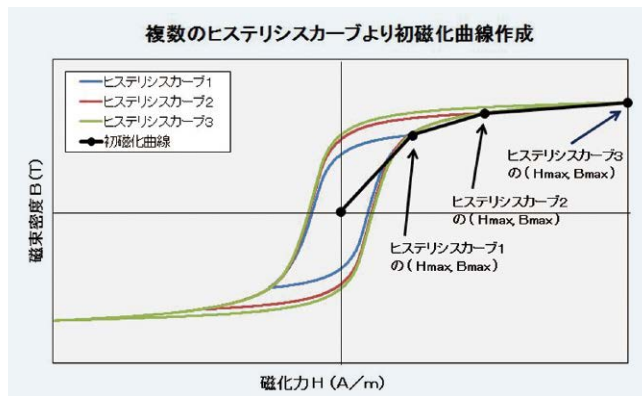


Fig. 4 初磁化曲線の作成

精度良い解析を行うには、磁束密度の飽和域までの初磁化曲線が必要となるため、巻数100turn以上となる試験片を作製することで、出来る限り大きな磁化力を発生させている。

4-1-2 測定値の解析データ化

(H_{max} , B_{max})をつないだままの初磁化曲線ではガタつきがあり、解析の収束性が悪くなるため、滑らかに変化するように測定データを微調整している(Fig. 5)。

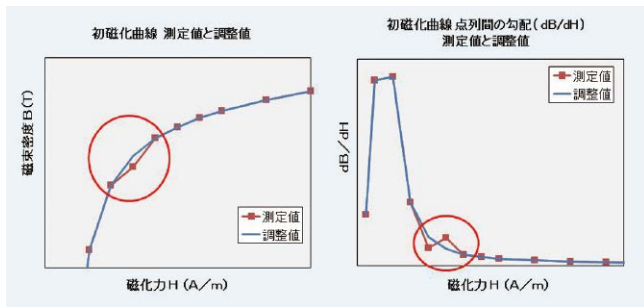


Fig. 5 測定データの調整

また、飽和磁束密度が必要となるため、初磁化曲線の最後の測定点との傾きが真空の透磁率となるような仮想データを1点加えている(Fig. 6)。

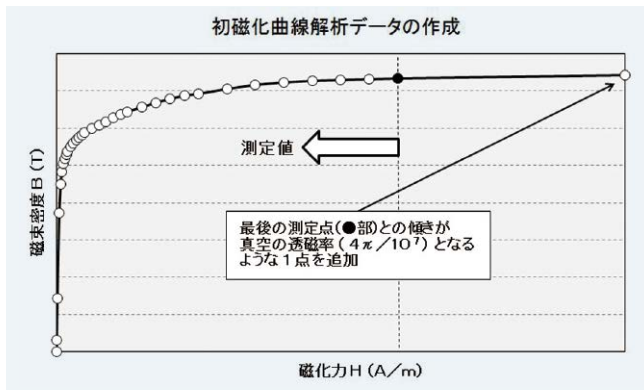


Fig. 6 初磁化曲線の解析データ

4-1-3 測定した物性値での解析

Fig. 7に示すソレノイドの磁性材Aに社内で測定した初磁化曲線と一般公開された初磁化曲線を使用した場合(Fig. 8)の解析結果として、ストローク-吸引力特性を比較する(Fig. 9)。

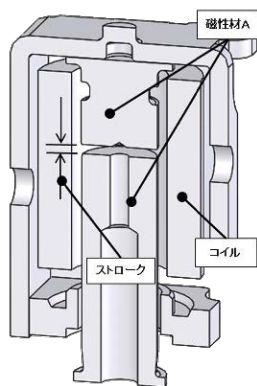


Fig. 7 解析対象形状

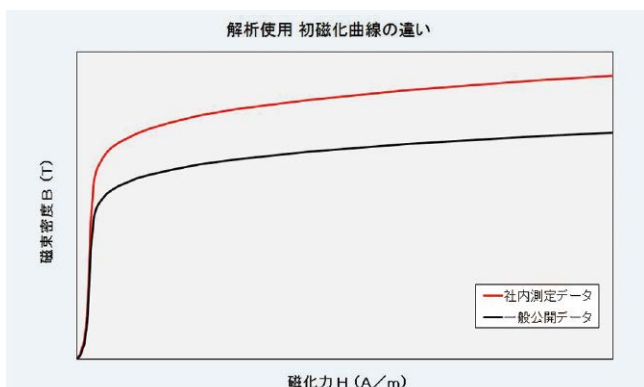


Fig. 8 解析使用初磁化曲線

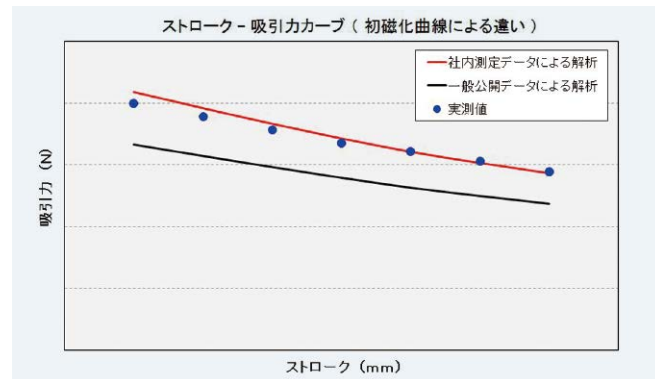


Fig. 9 ストローク-吸引力特性解析結果

解析結果より、一般公開データを使用した吸引力解析値は実測値との差異が生じているが、社内測定データによる吸引力解析値は実測値に良く一致した。

磁性材料は磁気特性を向上させるため熱処理を実施するが、一般公開データは、ごく一般的な熱処理を行っていると思われる。一方、当社では最高の磁気特性が得られるような独自の条件を求め、部品の熱処理を実施している。そして初磁化曲線を測定する試験片にも同じ熱処理を実施するので、社内測定データによる解析結果は、実測値に良く一致している。

このように、当社の磁場解析では磁性材料の熱処理による性能の違いや、鍛造などの塑性加工の影響を考慮した解析を行っているので、より現物に近い条件を入力したCAE解析により精度良く性能評価を実施している。

4-2 構造解析

構造解析では金属、樹脂、ゴムなどで作られた部品の解析を行っている。ここで、当社で物性値を測定しているゴムの構造解析について紹介する。

4-2-1 応力-ひずみカーブによる解析

構造解析に使用するゴム材料の物性値として、専用試験片を社内の引張・圧縮試験機で変形させて得られた応力-ひずみカーブ(SSカーブ)を使用している(Fig. 10)。このSSカーブは一般に1(mm/min)程度の低速で変形させて、一定の変位量毎に十分緩和させて得られた静的な特性である。

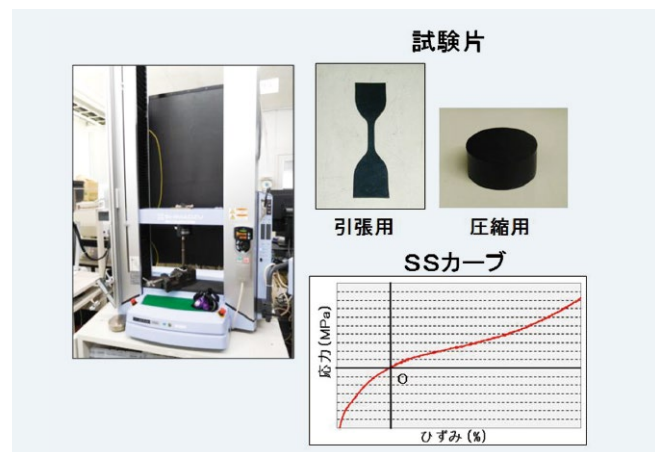


Fig. 10 引張・圧縮試験機

このため、変形速度が非常に遅い静的な状態を対象とする解析では、実測値と良く一致する。例として、上記測定で得られた静的なSSカーブを物性値として与え、専用試験片での引張・圧縮変形を解析し、応力とひずみの関係を求めると、実測値と一致することが確認できる(Fig. 11)。

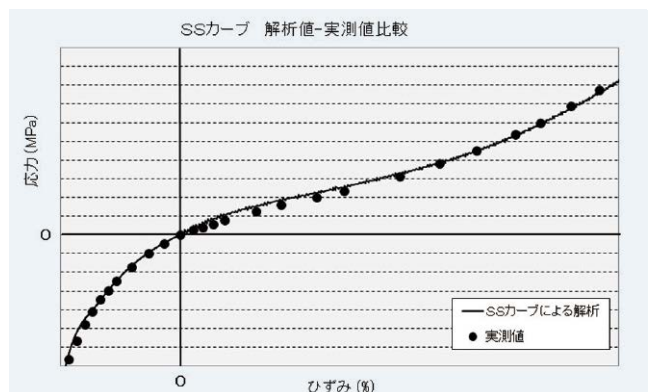


Fig. 11 試験値と解析値の比較

4-2-2 ひずみ速度依存性の影響

しかし、ゴムや樹脂などの高分子材料では材料の変形挙動が動作速度により変化するひずみ速度依存性という特性があり、Fig. 12に示す様に、ひずみが同じ条件でも速度が高くなると応力が高くなる現象が見られる。

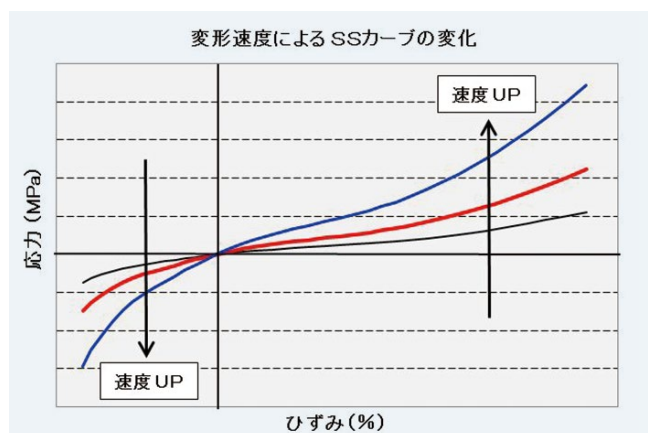


Fig. 12 変形速度によるSSカーブの変化

そのため、変形速度が高くなるにつれ、静的なSSカーブで計算された解析結果と実物の変形挙動が一致しなくなる。

また、ひずみ速度依存性の代表的な挙動として一定応力下でのクリープ変形や一定ひずみ下での応力緩和があり、静的なSSカーブを使用した解析ではこれらの挙動を求めることができない。

例として、バルブの弁の開閉に使用されるゴムダイヤフラムをFig. 13に示す矢印方向へ低速と高速の条件で同じ変位量だけ変形させて放置した時の反力解析を静的なSSカーブで実施した結果をFig. 14に示す。

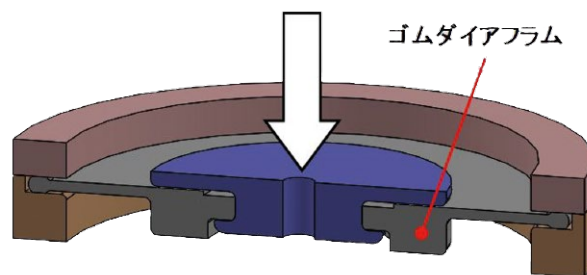


Fig. 13 ギョムダイヤフラムの変形

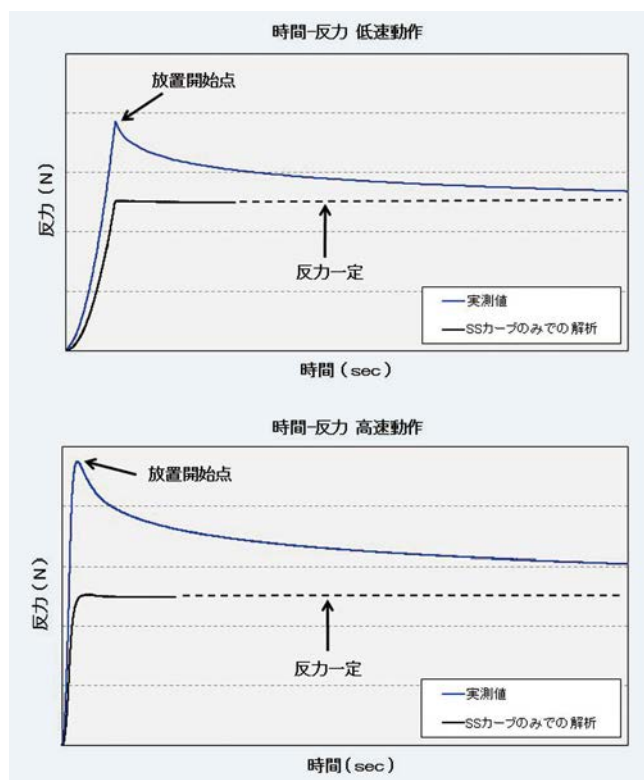


Fig. 14 実測値と解析結果 (SSカーブ) 比較

Fig. 14より、動作速度が非常に低い静的なSSカーブでの解析結果は、ひずみ速度依存性が考慮されていないため、放置後の反力は低下せず一定値となる。また、同じ変位量で変形させているため、異なる速度で解析しても反力は同じ値となる。一方、実測値ではひずみ速度依存性の影響により低速動作よりも高速動作の反力ピークが高くなる。

このように静的なSSカーブによる解析では、実測との差異が現れる。

4-2-3 粘弾性特性の測定と解析データ化

ひずみ速度依存性を解析するためには、粘性と弾性の特性を組み合わせた粘弾性特性を考慮する必要があります。

粘弾性特性の測定は、動的粘弾性試験装置を使用して試験片に正弦波振動となるひずみを与え弾性率を求める。粘弾性特性は速度依存性ととも温度依存性も持つため、時間-温度換算則により各温度での時間と弾性率の関係を求める。この温度ごとの測定結果をシフト

関数により水平移動させて一本の線にすることで、解析に使用するマスターカーブが作成される。このマスターカーブをprony級数でカーブフィットし(Fig. 15)、得られた係数が物性値となる。

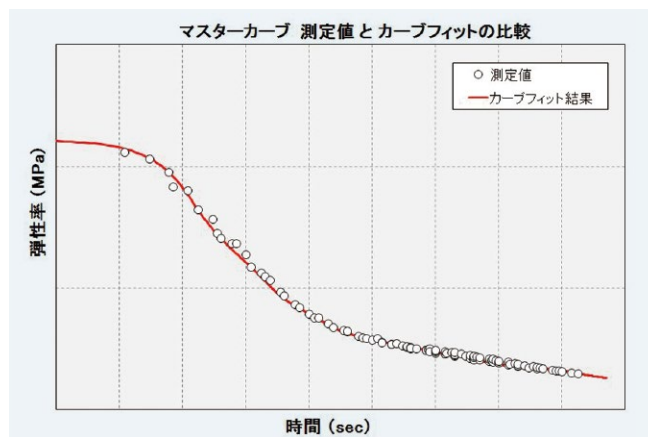


Fig. 15 マスターカーブの作成とカーブフィット

4-2-4 測定した物性値での解析

Fig. 14で示した静的なSSカーブで行ったダイアフラムの変形解析に対し、粘弾性特性を考慮し解析した結果をFig. 16に示す。

動作速度を変更しても解析値が実測値に追従しており、反力のピーク値も実測値にほぼ一致する。また、動作停止後の緩和域における反力の低下も実測値に近い。

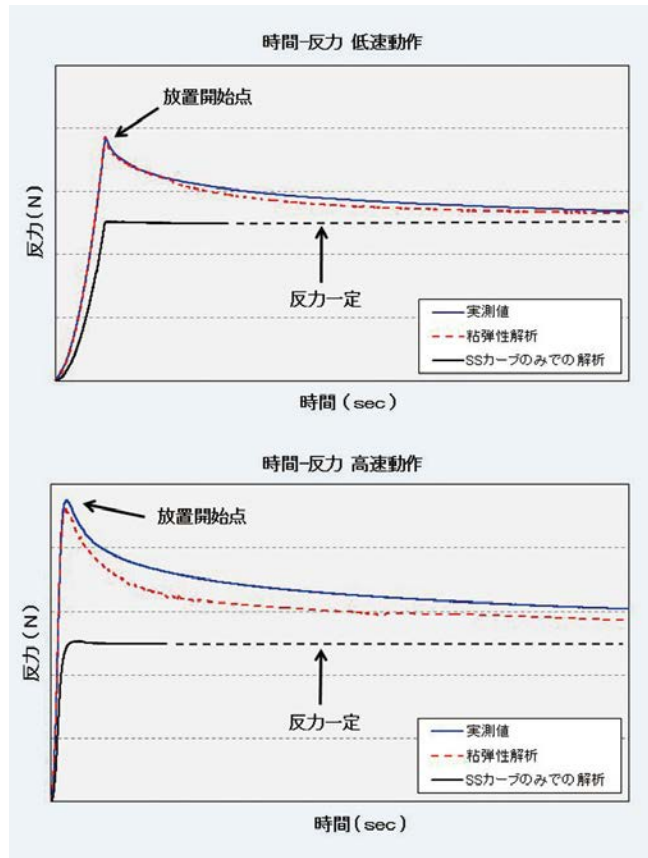


Fig. 16 実測値と解析結果(粘弾性解析)比較

このように、粘弾性特性を考慮した解析の有効性が確認できたため、今後は樹脂材料へも展開していく。

5 おわりに

以上当社で実施しているCAE解析の紹介を行ったが、最近では塑性加工や流体+構造、樹脂流動+構造といった連成解析のニーズも増えており、更なる解析のレベルアップが必要である。

また、設計部門においても磁場解析や流体解析で計算時間を要する過渡解析に取り組む機会が増えているため、計算時間短縮化を図り、複数のCPUを使用した並列計算処理が可能なソフトへの移行により開発リードタイムの短縮を目指す。

執筆者プロフィール



柴田 康之 Yasuyuki Shibata

コンポーネント本部

技術統括部

Engineering Administration Department

Components Business Division