

ハブユニット解析シミュレーション技術の向上

Improvement of Simulation Technology for Analysis of Hub Unit Bearing

梶原一寿 K. KAJIHARA

In the recent severe development competition, a development process reform aiming for a shorter development period and a reduced development cost has been performed actively. In order to realize such a reformed development process, a highly matured design is required to be provided at the initial development stage. Thus, CAE is indispensable for clarifying designing bases.

From the viewpoints as described above, an approach for providing a development method using CAE has been performed. This paper introduces the outline of development process with regards to bearings for automobile wheel.

Key Words: FEM, CAE, hub unit bearing

1. はじめに

近年の厳しい開発競争のなか、開発期間短縮、開発コスト削減を目指した開発プロセス変革が積極的に行われている。目標とする開発プロセスの変革を実現するためには、開発初期段階から完成度の高い設計を行うフロントローディングによる開発を進める必要がある(図1)。

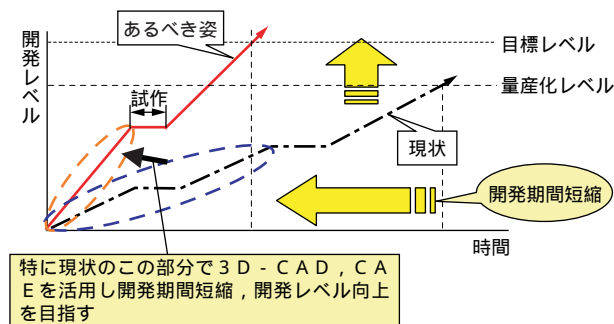


図1 フロントローディングによる開発
Development by front loading

フロントローディングによる開発を行うためには、3D-CADやCAEを開発初期段階から積極的に活用し、製品の性能を机上で迅速に評価していかなければならない。また、フロントローディングによる開発を進めることによって、設計の根拠も明確になり、設計品質の向上にもつながると考える。

上述の観点から、開発プロセスの変革を目指して、CAEを活用した評価方法確立への取組みを進めてきた。ここでは、自動車ホイール用軸受について、それらの取組み内容について紹介する。

2. CAEを活用したホイール用軸受解析の現状と課題

自動車ホイール用軸受には、自動車メーカー各社から、小型・軽量化、剛性向上、長寿命化に代表される性能向上、および信頼性向上に関わる要求が年々厳しくなっている。また、近年ではホイール用軸受として、ユニット化されたハブユニット軸受(以下ハブユニットと称す)が採用されることが増え、軸受を含む構造体としての設計が求められる、ますますCAEへのニーズが高まっている。

代表的なハブユニットの構造を図2に示す。

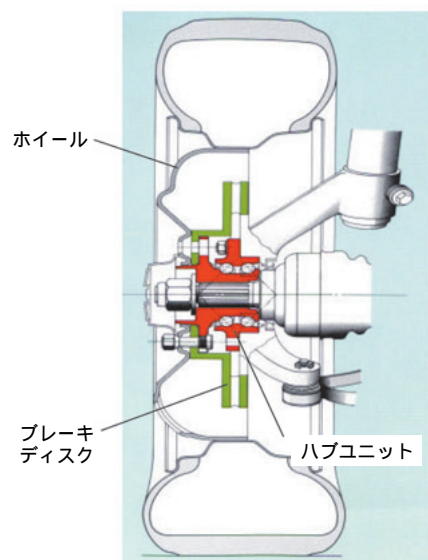


図2 ハブユニットの構造
Structure of hub unit

今までの開発評価は実験に依存することが多いため、試作品を実験し評価結果で問題が発生した場合は、再度、設計～試作～実験を繰り返し、開発期間短縮を阻害してきた。

このような現状から、開発期間短縮や試作コスト削減を実現するために、先に述べたようなCAEを活用したフロントローディングによる開発を進め、設計者自身がCAEで評価できることを最終目標とした取り組みを行っている。

以下に、ハブユニットについて代表的な解析事例を紹介する。

3. 強度

当社にCAEツールが導入されてから20年近く経過しているが(図3は当時のFEM解析モデルを示す)、ハブユニットのFEM解析技術に関しては、解析ツールの進化と共に大きく改善されてきた。

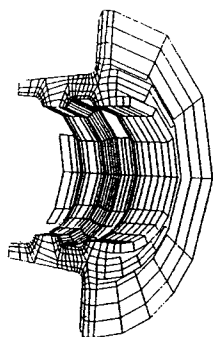


図3 1987年当時のFEM解析モデル
FEM analysis model in 1987

コンピュータの高性能化に伴ってモデルサイズの拡大が可能となり、現在では、導入当時と比べて飛躍的に計算精度が向上している。また、使用するアプリケーションの機能も大きく進歩してきたため、以前ではできなかったような複雑な条件をモデルに付与することも可能になった。

しかし、当社の解析業務の実状としては、解析値と実験値との整合性についても十分に検討ができていなかったため、精度面での課題があった。そこで、実験値とFEM解析値との応力解析の整合性を向上させるための取り組みからスタートさせ、ハブユニットの高精度な解析ができる技術の開発を進めてきた。この取り組みの目標としては、実験値とFEM解析値との応力誤差を10%以内(実験のばらつきも考慮)にすることである。

3.1 実験との整合性

FEMと実験で高い整合性を得るためには、モデルの作成方法、荷重条件、拘束条件を含む複数の因子が関与してくるため、最初から複雑なモデルで整合性を取るうとしても、応力誤差が出てきた時点で何が誤差要因となっているかが断定し難い。したがって、実験との合せ込みに関しては、まずは単純なモデルから整合性を取ることをスタートさせ、それから徐々に実際の形状・条件に近づけていく方式で行った。図4に、実際に応力解析に用いた各STEPごとのモデルの概略を示す。

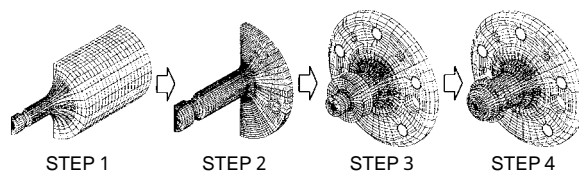


図4 解析モデルのアプローチ
Approach by analysis model

図4に示すように、実験との合せ込みはSTEP 1～STEP 4の計4段階で行い、FEMが実験評価の代用として使用できるかを検討した。

STEP 1

- ・単純片持ち梁モデルによる解析

本STEPでは

FEMモデルのメッシュ分割方法
各部のメッシュの分割数

を決定した。

STEP 2

- ・フランジ形状による解析

本STEPでは、モデルの固定方法(境界条件)の絞り込みを行った。

STEP 3

- ・実機フランジシャフト形状による検討

本STEPでは実機形状のモデルを用いて、STEP 1で決定したモデルのメッシュ形状と、STEP 2で決定した境界条件を適用した場合、実験とどの程度の整合性が取れるかを確認した。

STEP 4

- ・シャフトアッセンブリ状態での検討

本STEPでは、STEP 3までの結果を元に、実際の試験条件を想定した解析モデルを作成し、実験値との応力整合性を確認した。

図5に、代表的な2つの荷重条件(荷重方向は図中模式図参照)における実験 - FEMの応力整合性について示す。荷重条件、共に、各測定箇所が高い整合性(誤差10%以内)が得られていることがわかる。

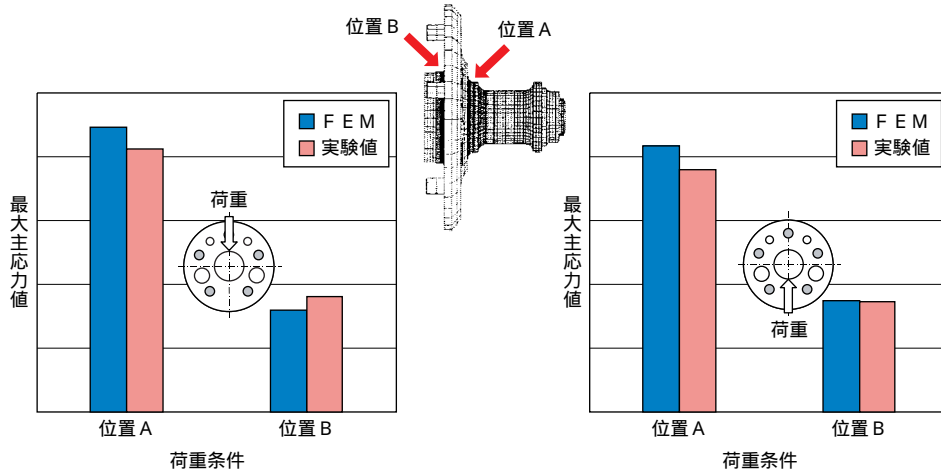


図5 各測定箇所での応力整合性
Stress consistency among measurement portions

上述の結果から、これまでの実施内容によって確立した本解析手法は、実機の応力状態を高い精度で再現することができるようになった。

4. モーメント剛性

自動車ホイール用軸受の剛性は、乗り心地、運転操舵感への影響が大きいので、自動車メカ各社からの要求も厳しい。ホイール用軸受の剛性は、指定されたモーメント荷重に対する各部の傾き角（以下、モーメント剛性と称す）で評価することが多い。

4.1 実測方法

図6に実測方法の概略を示す。

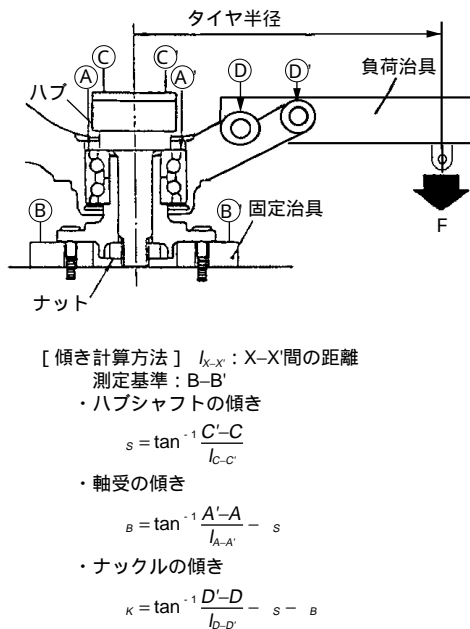


図6 実測方法の概略
Outline of actual measurement method

4.2 CAEによるモーメント剛性解析の方法

モーメント剛性の計算には、汎用FEMコードと自社開発した技術計算プログラムを併用した。FEM解析では先の3項で示した解析手法を活用している。

ナックル、軸受、ハブ、ドライブシャフトの剛性をFEMで一度に計算することも可能であるが、以下の理由から各部の剛性を別々に計算する方法を採用した。

- ・節点数が多くなり過ぎてコンピュータへの負荷が大きいこと
- ・モデル作成が複雑になる(=設計者への展開が困難になる)こと

つまり、各部の剛性を別々に計算し、最終的にそれらを加算することにより全体のモーメント剛性を算出するという方法を採用した。

4.3 FEM解析結果と実測結果の整合性

実測結果とFEM解析結果の比較を図7に示す。

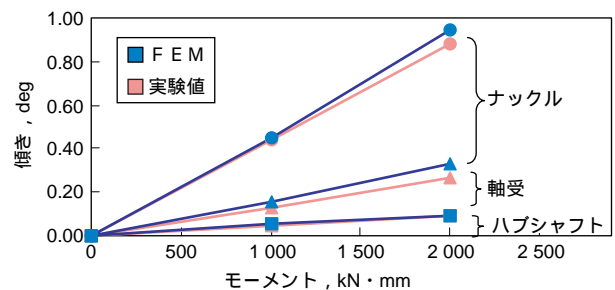


図7 実測結果と解析結果の比較
Comparison between actual measurement result and analysis

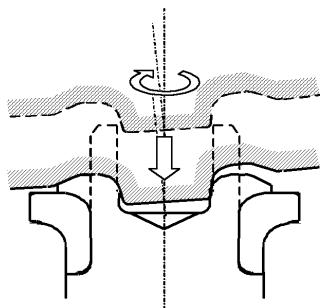
全体のモーメント剛性について、CAEと実測は最大8%の差であり、比較的僅差で一致した。特に、ハブシャフト傾き角、ナックル傾き角については良好な整合性が確認できた。

5. 軸端かしめ

現在、ハブユニットのフランジシャフトと内輪を締結する方法として、従来のナット固定に代わる軸端かしめ加工が開発され、量産稼働している。

ナットに代わるかしめは軸受組込み時の予圧管理が不要ことや、部品点数削減のメリットがあり、今後、採用が拡大すると予想される。その生産技術を含めた最適設計手法を導くシミュレーションを紹介する。

図8に解析モデルの概略を示す。



パンチ(剛表面)を揺動させながら加工面を軸方向に据え込み、塑性加工のシミュレーションを行う。

図8 解析モデル概略
Outline of analysis model

図9は揺動かしめ動解析の時系列におけるVonMises応力図(変形は等倍)である。パンチの回転と押しにより軸がかしまつてゆく様子が見取れる。また、スプリングバック後は均質な応力分布になっており、パンチが確実にはずれているのがわかる。

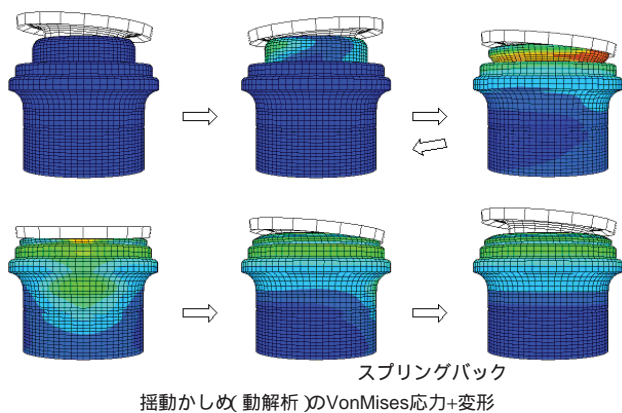


図9 軸端かしめシミュレーション
Simulation of axis end clinching

他に軸の塑性域やパンチ反力なども実測と合致していることを確認している。

6. フレッチング

ハブユニット、ブレーキディスク、ホイールの接合面にフレッチングが発生することで、スティックスリップ音の問題につながるため、フレッチング発生を少なくする検討が必要であった¹⁾。今までは、実験によって評価されてきたが、事前検討としてCAEによるフレッチング解析ができれば設計検討として有効である。

そこで、FEMによりハブユニットとブレーキロータの間に働く接触面圧などからフレッチングに関係するパラメータを抽出し、CAEによる解析手法を検討した。

6.1 フレッチング接触面圧分布

フレッチングは、微少な相対すべりの繰り返しによる摩耗粉の発生と、酸化による摩耗粉の硬化によって進行する。相対すべりは、接合面が運転中に接触したり離れたりする箇所に発生し、接触したままの箇所、接触しない箇所には発生しにくいと考えられる。つまり、常に接触している箇所、常に離れている箇所の面圧はフレッチングに対し有効な面圧ではない。そこで、荷重方向が変動したときに接触状態が変化する箇所の接触面圧をフレッチング接触面圧と定義し計算した。その解析結果を図10に示す。また、図11に試験後のフランジ面のフレッチング状況を示す。

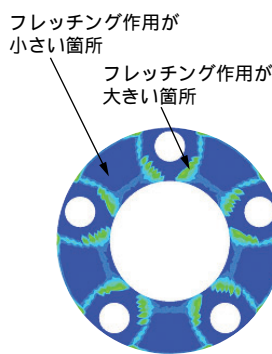


図10 FEM解析結果
FEM analysis result

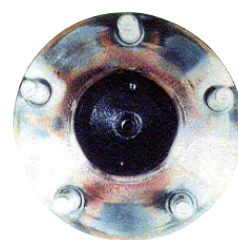


図11 試験後のフレッチング状況
Fretting status after test

フレッチング接触面圧の分布図と試験後のフレッチング状況は、発生領域、摩耗の度合いなどが定性的に良く一致している。

この手法を使えばフレッチング発生を抑えた設計検討が可能である。

7. 軽量化

ばね下重量の軽減による低燃費化や車体運動性能の向上、周辺部品の寸法自由度拡大などのため、ハブユニットの小型・軽量化は今や定常的な設計ニーズである。一方で、軽量化に付随する強度・剛性などの基本性能の低下は、当然回避しなければならない。

そのため強度・剛性解析に裏打ちされたハブユニット軽量化手法を使って、設計の最適化を行っている。図12に具体的な解析例を示す。このモデルは、現行量産品に対して強度・剛性を維持しながら大幅に軽量化した例であり、現状ではこのような「軽くて強い」軸受のための設計アプローチが増えてきている。

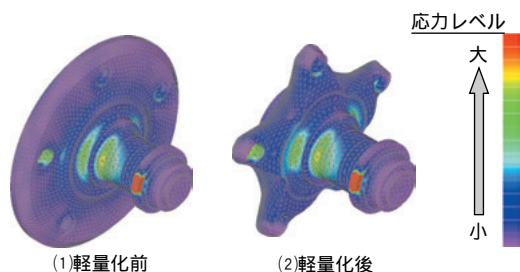


図12 ハブシャフトの軽量化実施例
Example of light weight hub shaft

8. おわりに

開発プロセス変革を目指したCAEのこれまでの取組みについて、自動車ホイール用軸受を例に述べた。取組みを開始した時点から考えると、解析可能な項目はかなり増えた。

ただし、今後さらにCAE技術が進化しても、実験での検証を無くすることはできないと考えており、実験との整合性をとりながら、さらにCAE解析技術の高度化に取り組んでいきたい。

参考文献

1) 山川耕志郎，梶原一寿：Koyo Engineering Journal, no. 165, (2004) 42.

筆者



梶原一寿*
K. KAJIHARA

* 軸受事業本部 解析技術部