

# ラックピニオン式ステアリング用アルミラックハウジングの強度解析

## Strength Analysis of Aluminum Rack Housing of Rack and Pinion Steering Systems

西野明宏 A. NISHINO

*In the study of reverse input static strength of rack and pinion steering gears, the strength of aluminum rack housing was simulated by a linear finite element analysis on the rack housing. However, this method was not accurate enough causing substantial errors in estimation of the fracture position and the fracture load. In order to solve this problem, a more sophisticated simulation method has been developed taking account of non-linearity of the material as well as the contact and the transmission of forces between components. This method has improved the prediction accuracy of the fracture position and the fracture load through evaluation of maximum principal strain in the rack housing.*

**Key Words:** CAE, strength analysis, rack housing, finite element analysis, plastic-elastic analysis, contact analysis

### 1. はじめに

ステアリングギヤは自動車の重要保安部品の一つであり、特に十分な強度と耐久信頼性が要求される。そのため、さまざまな強度・耐久試験が実施されている。また、自動車の開発期間短縮および開発費削減と軽量化も、強く求められている。ラックピニオン式ステアリングギヤのラックハウジングは、アルミ鋳物のため、その鋳造型の製作に日数が必要である。したがって、強度・耐久試験の不合格による設計変更は、開発スケジュールに大きな影響を与える。このため、事前に十分検討された強度・耐久性を有する、高い設計品質が求められる。

従来の強度シミュレーションでは、鋼のような応力とひずみの関係が、材料に負荷される荷重にかかわらず、常に一定の関係を持つ線形材料を扱う事が、一般的であった。一方アルミのように、応力とひずみの関係が、負荷される荷重によって変化する非線形材料では、徐々に荷重を負荷し、その都度、剛性マトリックスを計算し直すことが必要なため、計算量が膨大となる。このため、その非線形性を無視して、線形材料に近似した簡易な強度シミュレーションが行なわれる事が多いので、破損荷重の推定は誤差が大きく、設計品質に影響を与えていた<sup>1)</sup>。

また、その計算対象として、部品単体を扱う事が多く、部品に作用する荷重条件の計算は、剛体の力学を用いた手計算が一般的であった。多数の部品から構成される組立品の強度シミュレーションは、部品同士の締結部分の接触状態が、外部から作用する荷重により変化し、強い非線形性を示

すため、計算結果が発散してしまい、結果を得る事が難しかった。このため、シミュレーションするアプリケーションごとに、専用のシミュレーションソフトを開発する必要があった。それらの課題に対し、昨今のコンピュータ処理能力の飛躍的向上と、汎用解析ソフトの機能向上により、非線形材料で、しかも部品相互の接触を含む、組立状態でのシミュレーションが、技術的には可能になってきた<sup>2)</sup>。

今回、台上の強度・耐久試験の一つである逆入力静的強度試験におけるラックハウジングの破損荷重の推定を、有限要素法によるシミュレーションで試みたので報告する。

### 2. 逆入力静的強度試験

ラックピニオン式ステアリングギヤの逆入力静的強度試験は、ステアリングギヤを治具に取り付け、ピニオンの回転を固定し、ラック端部よりステアリングギヤが破損するまで荷重を上げながら入力し、破損時の荷重を求める。

図1に試験の概要を示す。

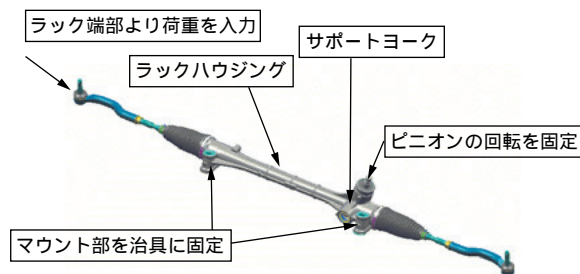


図1 逆入力静的強度試験の概要

Reverse input static strength test

ラック端部より入力された荷重により、ラックとピニオンのギヤ部にかみあい荷重が発生する。ピニオン側のかみあい荷重は、ピニオン支持軸受を介してラックハウジングに負荷される。ラック側のかみあい荷重は、サポートヨークを介してラックハウジングに負荷される。

### 3. 解析手法

#### 3.1 有限要素法によるシミュレーション

今回、シミュレーションに使用した有限要素解析ソフトウェアはABAQUS Inc.のABAQUS/Standardである<sup>3)</sup>。

今回の解析では、三次元モデルを使用し、ラックハウジングとラックをソリッド要素としてモデル化した。アルミは低ひずみ域より材料強度が非線形性を示すので、ラックハウジング強度に影響を与えると考えられる。このため、解析に用いた応力とひずみの関係は、ラックハウジング材料の試験片を用いて単軸引張試験より得られた図2の関係を用いた。さらに、ラックハウジング内径面とラックが、ラックがたわんだ時ラックハウジング端部で接触し、ラックの剛性がラックハウジング強度に影響を与えることが考えられるので、両者の接触も考慮した。

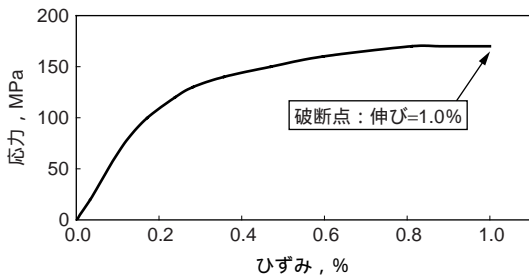


図2 応力 - ひずみの関係  
Relationship between stress and strain

#### 3.2 解析条件

解析に使用した有限要素モデルを図3に示す。境界条件は以下の4点とした。

- (1)ステアリングギヤを治具に取り付けるマウント穴の内径面を、剛体面として定義する。剛体面は完全固定する。
- (2)ラック端部から入力される荷重方向を表1に示す。この荷重のうち、ラックの半径方向成分のみラック端部に負荷する。
- (3)ラック端部からの荷重の軸方向成分よりギヤかみあい荷重を計算し、2点支持軸受系の解析により、ピニオン支持軸受の転動体荷重を計算する。軸受の転動体荷重は、ピニオン支持軸受の取り付け部分よりラックハウジング

に与える。このようにすることで、かみあい荷重はギヤかみあい部のFEMモデルを構築して解析する事なく計算することができるので、高速シミュレーションが可能となる。

- (4)ギヤかみあい荷重よりサポートヨークに作用する荷重を計算し、その荷重をラックハウジングのサポートヨーク軸内径面より負荷する。

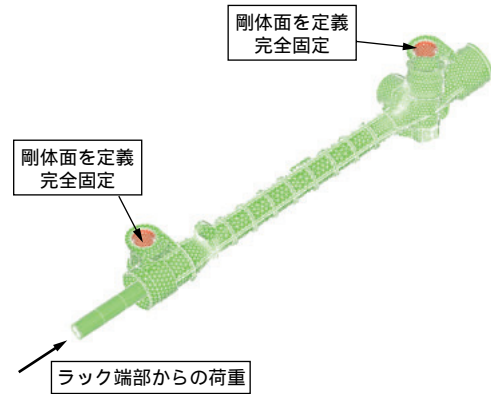


図3 有限要素モデル  
Finite element model

表1 ラック端部から入力される荷重方向

Load direction input from rack end

車両上面視	前方より11.3°
車両前面視	上方より0.5°

### 4. シミュレーション結果

一般的に、強度シミュレーションでは、応力を評価される事が多い。ところが、アルミのような非線形材料が破損するような荷重条件では、負荷される荷重の変化に対して、発生する応力の変化は小さい。これに対し、ひずみの変化は大きい。このため、ひずみを評価するほうが、破損荷重の推定は、精度良く、容易と予想できる。

図4にラックハウジングの最大主ひずみ分布図を示す。最大主ひずみの最大値は、ピニオン軸とラック軸の交差するリブ起点のA部に発生した。図5に変形モード図を示す。ラックとピニオンにギヤかみあい荷重が発生し、それぞれの荷重がラックハウジングに作用する事により、ラックハウジングのギヤかみあい部分周辺にモーメントが作用する。この結果、ラック軸がS字状に変形し、A部に最大の最大主ひずみが発生したと考えられる。

ラック端部からの荷重とラックハウジングに発生する最大主ひずみの最大値の関係を図6に示す。図6に示した、ラックハウジングに発生する

最大主ひずみの最大値が、図2に示した単軸引張試験時に材料が破断した伸びに達するとき、ラックハウジングが破損したと判断した。このときのラック端部からの荷重が、逆入力静的強度試験のラックハウジングの破損荷重と推定した。表2に推定破損荷重を示す。

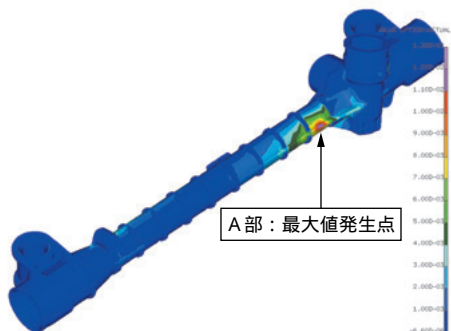


図4 最大主ひずみ分布  
Diagram of maximum principal strain

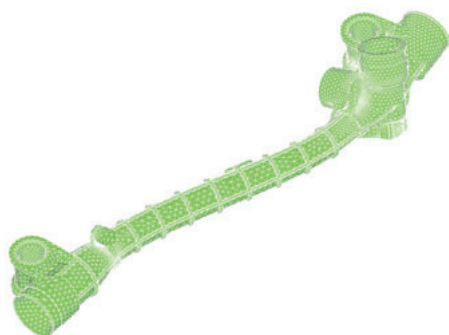


図5 ハウジングの変形モード  
Housing deformation mode

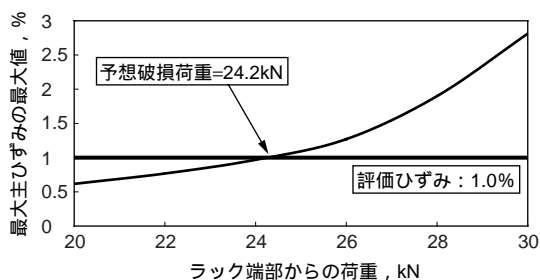


図6 荷重と最大主ひずみ  
Relationship between load and maximum principal strain

表2 シミュレーションの結果  
Results of simulation

シミュレーションの推定破損荷重, kN	24.2
試験時の破損荷重, kN	30.0
相対誤差, %	- 19.3

## 5. シミュレーションと逆入力静的強度試験の結果の比較

逆入力静的強度試験完了品の破損部の外観を図7に示す。シミュレーションで得られた最大主ひずみ最大値の発生点は実際の破断面と一致した。このことより、A部が破断起点と考えられる。



図7 逆入力静的強度試験の破損部  
Fracture point during static reverse input strength test

逆入力静的強度試験での破損荷重は30.0kNで、推定破損荷重は24.2kNであり、その相対誤差は - 19.3%であった。

この違いの要因としては、以下の2点が考えられる。

- (1)ステアリングギヤはゴムマウントを介して治具に取り付けられているが、このシミュレーションでは、ゴムマウントを剛体として扱っている。したがって、ラック軸の変形とひずみは、実際よりも大きく計算されていると考えられる。
- (2)図6から分かるように、材料破断時の伸びが変化すると、推定破損荷重も変化する。当然、材料の引張強度の影響も受ける。今回は試験片の応力 - ひずみの関係図を使用した。アルミ材料の鋳造条件などが異なるため、製品のそれとは違う可能性も考えられる。

## 6. おわりに

ラックピニオン式ステアリングギヤの逆入力静的強度試験におけるラックハウジングの強度を、シミュレーションした結果、以下の結論が得られた。

- (1)アルミの材料非線形性、ならびに部品間の接触を考慮した精度の良い強度シミュレーションが、汎用有限要素解析ソフトを使用することにより、実用的な計算時間で可能であった。このことは、他のアプリケーションのアルミハウジングにも、専用のシミュレーションソフトの開発無しで、容易に強度シミュレーションが可能であることを示している。
- (2)ラックとラックハウジングの接触、ならびにラックハウジングの材料のひずみ・強度の非線形性を考慮に入れ、ラックハウジングに発生する最大主ひずみを評価することで、破損起点を推定できた。
- (3)推定破損荷重は、ゴムマウントのモデル化方法と、材料の応力 - ひずみの関係が異なることの二つの要因のため、- 19.4%の相対誤差があった。

今回の逆入力静的破壊試験ではラック軸部分が破損したが、ピニオン支持軸受圧入部付近が破損することも多く見られる。このシミュレーションでは、軸受部分のモデル化の簡略化を図るため、ラックハウジングに軸受転動体荷重を直接負荷しているため、軸受圧入部付近が破損起点となる場合の評価はできない。今後、軸受を含めたシミュレーションを行い、軸受圧入部付近からの破損の推定と、破損荷重推定の精度向上に努めたい。

## 参考文献

- 1) 梶原一寿：Koyo Engineering Journal, no. 167 (2005) 37.
- 2) 久保田幸利：Koyo Engineering Journal, no. 162 (2002) 48.
- 3) ABAQUS Inc：ABAQUS/Standard USER'S MANUAL

## 筆者



西野明宏\*  
A. NISHINO

\* ステアリング事業本部 ステアリング実験部