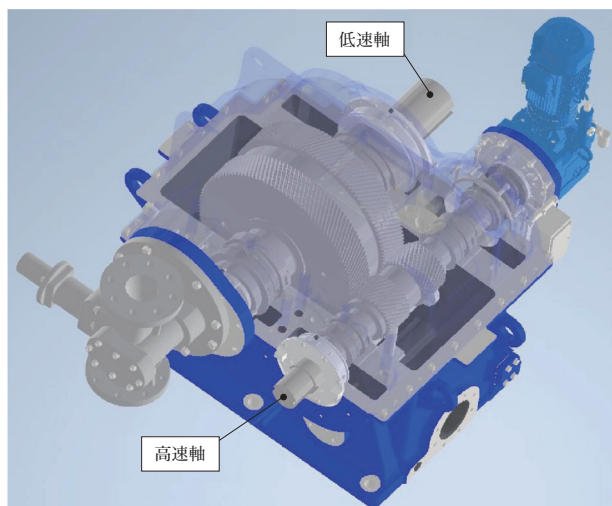


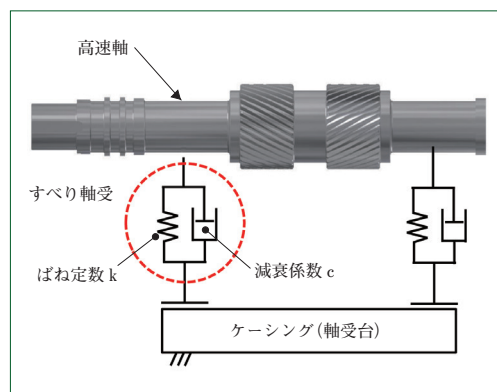
高速歯車装置の軸受・軸振動解析プログラムの再構築

Reconfiguration of Analysis Program for Journal Bearing and Rotor Dynamics of High Speed Gearbox

●持 田 将 身*
Masami MOCHIDA



高速歯車装置の軸-軸受支持系
Rotor-bearing-support system of high speed gearbox



1 はじめに

住友重機械ギヤボックス株式会社の主力製品の一つである高速歯車装置は、高速軸の回転数が最大約60 000 r/min、歯車周速が最大約160 m/sであり、汎用の歯車装置に比べて高速回転の領域で使用されている。高速軸は、軸の固有角振動数に近い領域で運転されることが多いが、運転回転数に対する軸の固有角振動数の余裕が少ないと、共振によって軸と軸受、ケーシングの損傷を引き起こす可能性がある。すなわち、危険速度を正確に把握することが重要である。このことから、顧客の要求仕様や使用条件に応じて歯車諸元や軸径などを決定した後、軸モデルを作成して軸振動解析を実施する必要がある。また、ラジアル荷重を支持する軸受が転がり軸受では対応困難な周速である場合、通常は流体すべり軸受が採用されるので、軸-軸受系の安定性の評価をこのすべり軸受のばねと減衰を考慮して実施する必要がある。これらの解析は住友重機械ギヤボックスで開発した解析プログラムを用いているが、追加や変更が難しいデータ形式となっている。

そこで、すべり軸受の改良や新規開発、各国の規格や顧客の仕様などに柔軟に対応できるように軸受・軸振動解析プログラムの再構築を進めてきた。本報では、その概要について解説する。

2 高速歯車装置の設計プロセスの主な流れ

まず、顧客の要求仕様や使用条件をもとに、歯数やモジュールなどの歯車諸元、軸径、軸受支持位置、軸長などを仮決

定し、軸振動解析対象の軸形状を作成する。次に、軸の質量や歯車のかみ合い反力から軸受荷重を算出する(図1)。これらの条件を考慮して軸をモデル化し、安全に運転できるかどうかを評価すべく、すべり軸受特性解析および軸振動解析を行う。

3 すべり軸受特性解析

図2に、すべり軸受特性の計算フローを示す。軸受径、軸受隙間、軸受荷重、潤滑油の粘度、軸の回転数などを設計パラメータとして、軸受隙間内の油の流れを有限要素法で解くプログラムを再構築した。これを解き、軸受内の軸の静的釣合い位置における軸受内面全体の油膜圧力分布、負荷容量、温度分布、ロス、油量などを求める。次に、ばね定数と減衰係数を算出し、この値を支点条件とした軸振動解析につなげる。

4 軸振動解析

4.1 危険速度解析の条件と結果

危険速度解析の対象は回転軸であることから、本手法では軸をせん断梁とし、回転慣性とジャイロ効果を考慮した運動方程式を導き、有限要素法で解くプログラムを再構築した。図3に、軸受ばね定数が $10^6 \sim 10^{10}$ (N/m)における高速軸の1～3次の危険速度と固有振動モードを示す。運転で使用する回転数が、危険速度からどの程度の余裕を有しているか、軸の剛性に対して支持する軸受のばね定数がどの程度必要かなど、代表的な振動モードについて確認する。

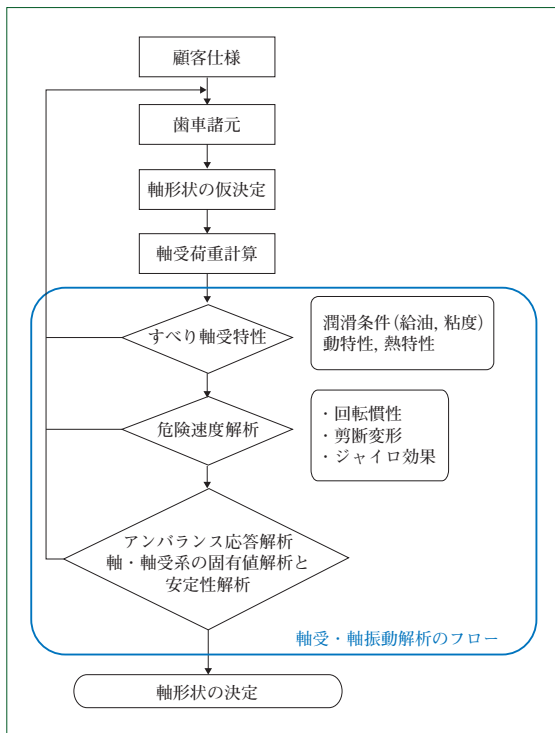


図1 軸受・軸振動解析の主なフロー
Main flow of journal bearing and rotor dynamics analysis

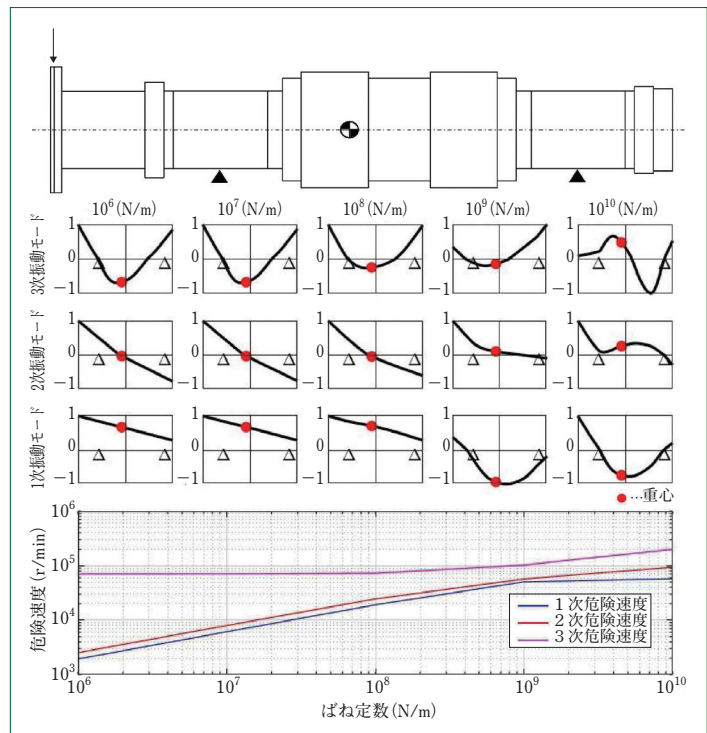


図3 軸の危険速度解析
Rotor critical speed analysis

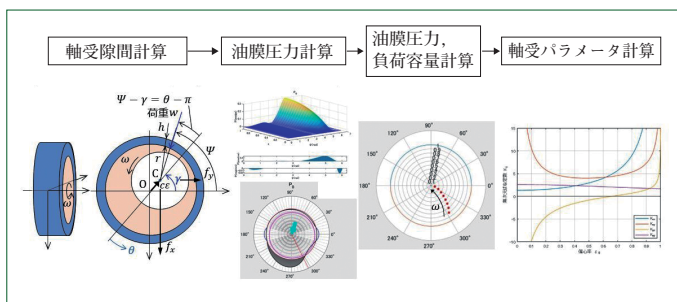


図2 すべり軸受特性の計算フロー
Calculation flow of bearing characteristics

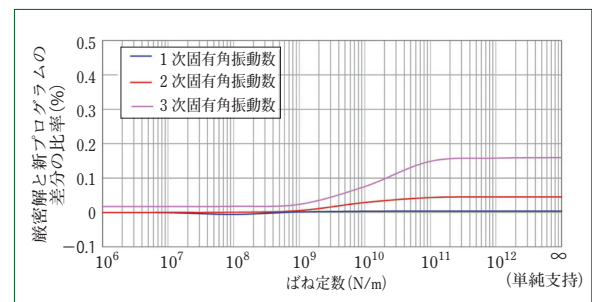


図4 一樣断面軸における厳密解と新プログラムの固有角振動数の差の比率
Difference ratio of natural frequency between exact solution and new program

4.2 精度の検証

新プログラムの精度や確からしさの検証として、厳密解（解析解）と軸モデルを一樣断面軸として得られた固有角振動数を比較した。一樣断面軸の長さ(L)を120mm、直径(D)を30mm(長さの直径比 $L/D=0.25$)、両端ばね支持として比較する新プログラムの要素分割数は32分割とした。その結果、ばね定数 $10^6 \sim 10^{12}$ (N/m) および単純支持梁の条件にて、厳密解との差分の比率は最大で0.16%以下(3次固有角振動数)と良好一致が見られた(図4)。

5 おわりに

- (1) すべり軸受特性解析で油膜の圧力分布および負荷容量を求め、軸受のばねと減衰係数を算出した。
- (2) 軸振動解析で危険速度解析を行い、厳密解と比べても遜色のない結果が得られた。
- (3) すべり軸受特性解析で得られたばね定数と減衰係数を用いたアンバランス応答解析が新プログラムでも可能となった。

高速歯車装置にとって、すべり軸受解析や軸振動解析は重要な技術であるが、現行のプログラムは追加や変更が難しいデータ形式であることから、新プログラムへ置き換えるべく再構築を行った。今後は、すべり軸受の温度分布とロス・油量計算、軸振動解析における減衰を考慮した安定性解析まで行えるようにし、最終的には歯車や軸の強度計算を含めた一連の設計プログラムの運用開始を目指す。

軸受・軸振動解析プログラムの再構築に当たり、埼玉大学名誉教授 佐藤勇一氏、元技術研究所 畑山貴善氏にご指導いただいたほか、技術研究所の支援があったことを付記し、心より感謝を申し上げる。