

工作機械主軸の軸方向剛性に関する研究

工学部 機械工学科 精密工学研究室

学生C(B4) 院生D(M1) (指導教員:井原 之敏教授)

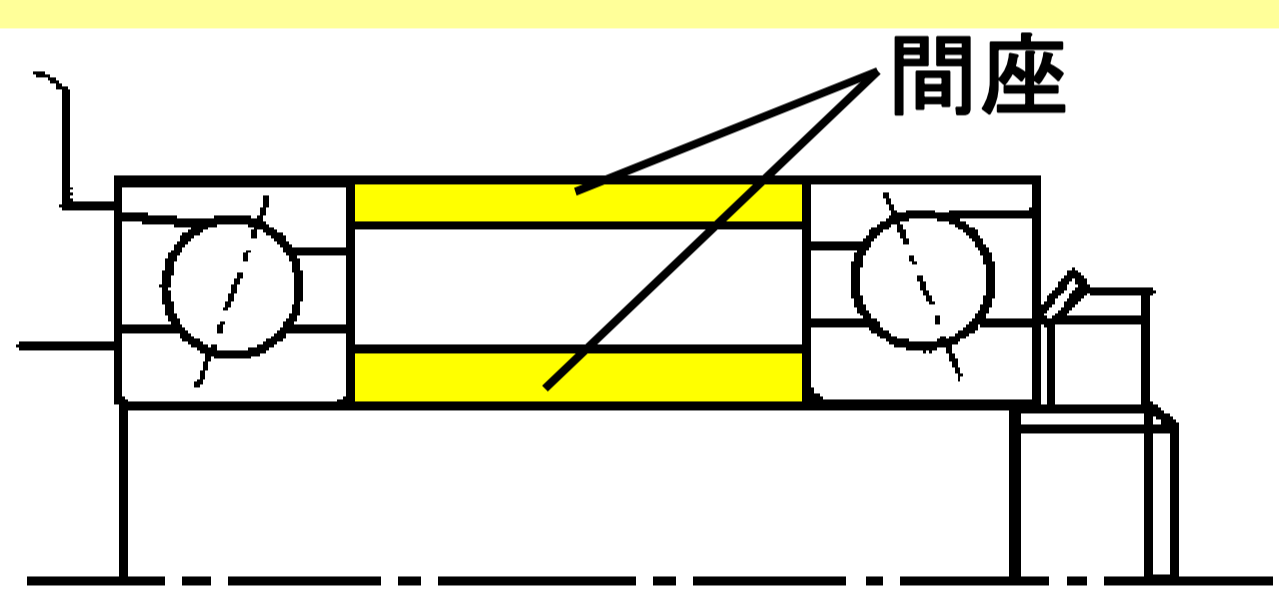
研究目的

近年、工作機械には加工の高能率化、工具の進歩、被削材の変化などによって主軸の高速化、高精度化が求められている。一般に工作機械主軸には主軸の剛性を高めるために予圧が与えられている。予圧は大きいほど主軸剛性が高くなり、切削能力が向上する。逆に予圧が小さいと主軸剛性が低くなり、切削能力が低下する。しかし、予圧の与えすぎは主軸の破損の原因となる。また予圧は主軸を回転させることに生じる遠心力・発熱により増加する。従ってこの増加量を考慮したうえで予圧を与える必要がある。本研究では予圧と密接な関係を持つ固有振動数を加振法で測定し、主軸回転中の予圧を測定する。また、主軸を回転させることにより生じる影響を計算で解析し、推定する。それにより、より高い予圧を与えることを可能とし性能向上を目指すことを目的とする。

予圧とは

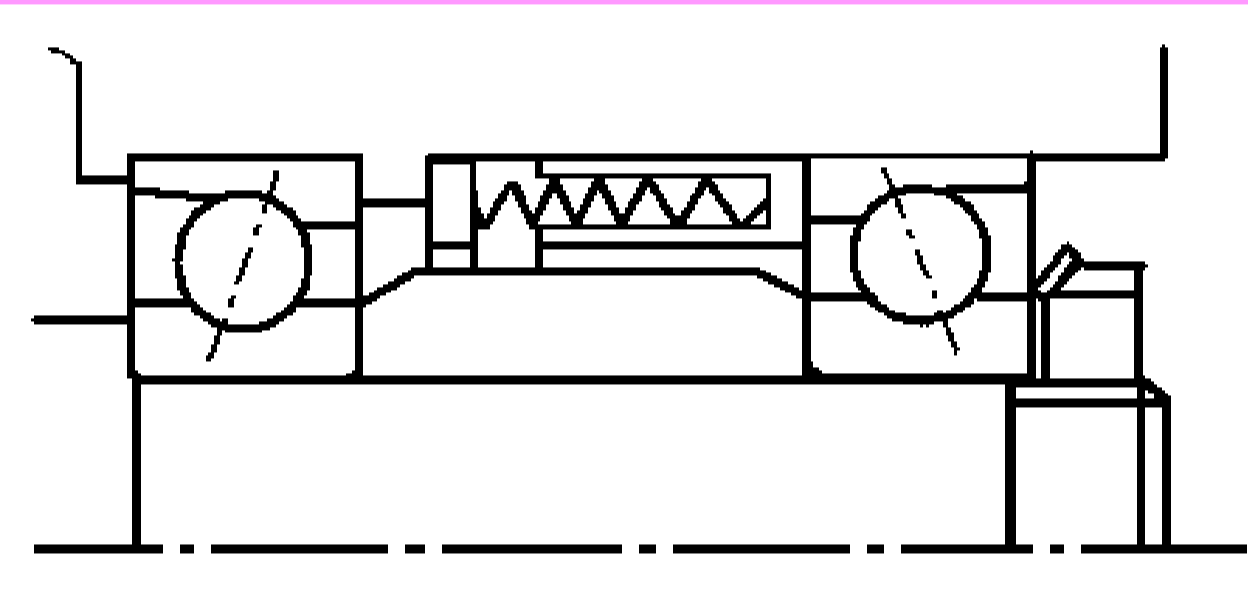
予圧とは、軸受を締め付けることにより軸受に荷重をかけることをいう。予圧の与え方は、大きく定位置予圧と定圧予圧の2種類に分けることができる。

定位置予圧



アキシャル方向の相対位置が使用中にも変化しない方法。

定圧予圧

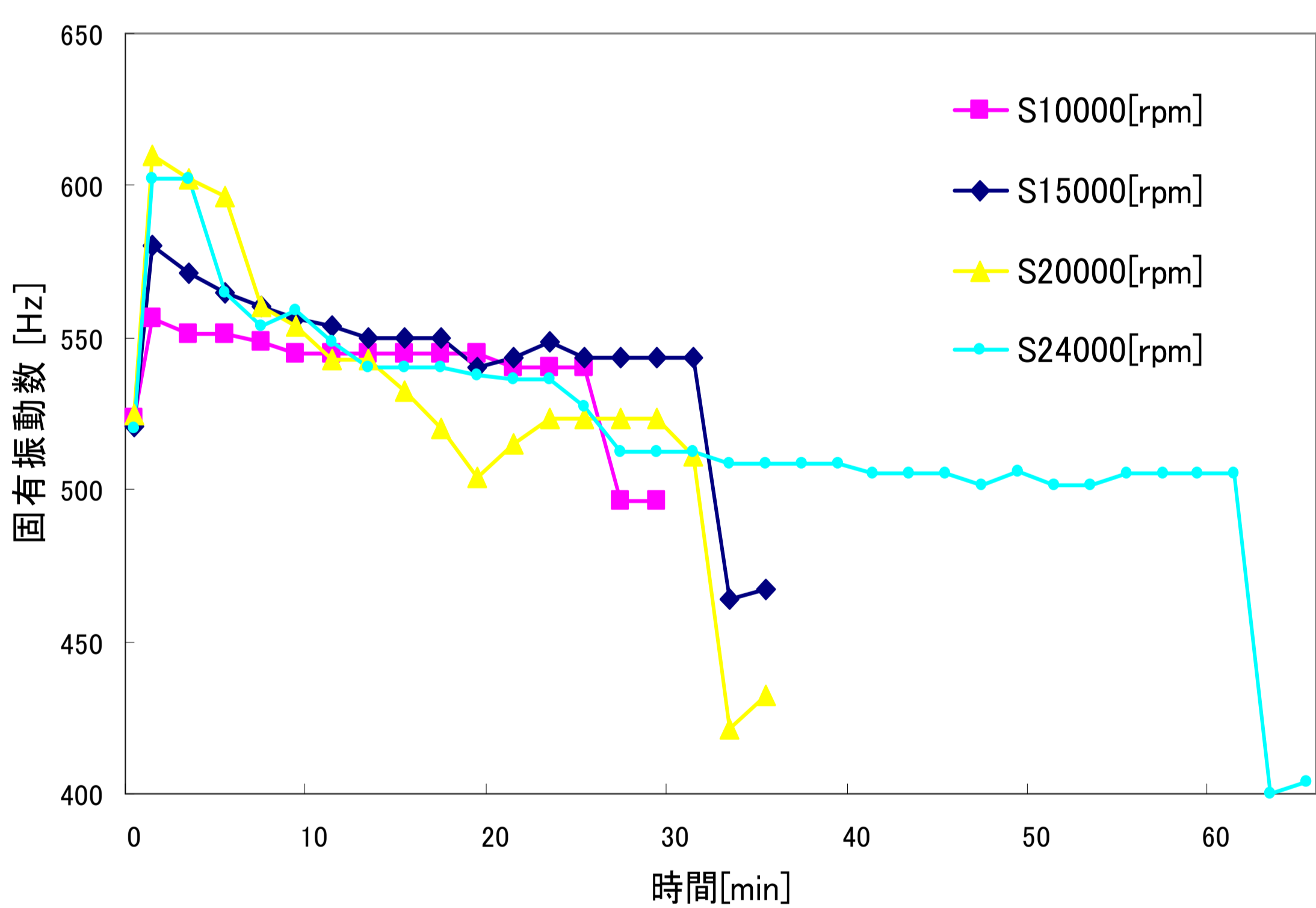


コイルばね、皿ばね等を使い適正な予圧を与える方法。

実験方法・実験装置



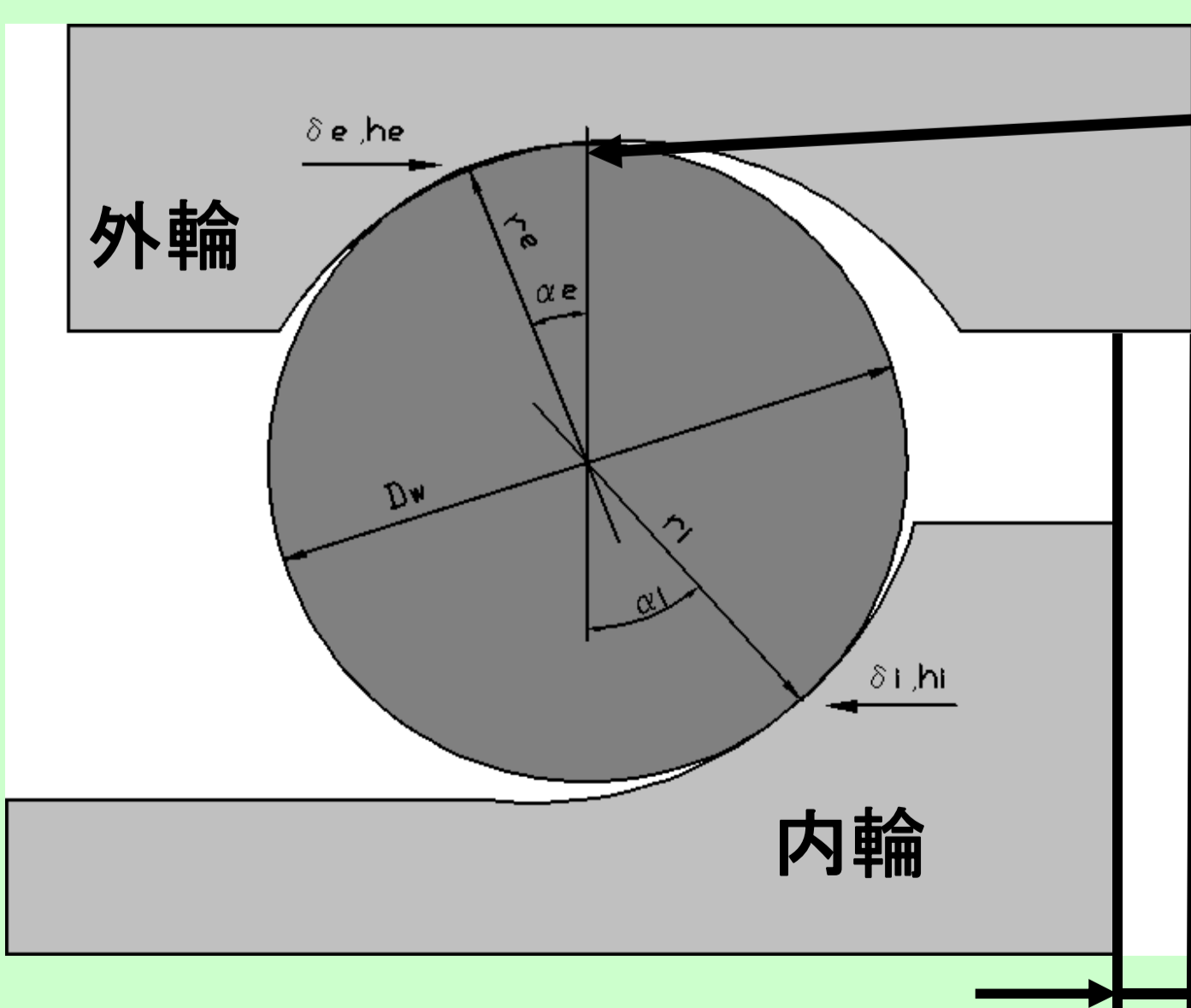
工作機械主軸の伝達関数を測定し、固有振動数を求めるためには、主軸への入力および出力を同時に測定する必要がある。そこで、インパルスハンマを用いた加振法を行う。



結果と考察

- 主軸運転直後に固有振動数が急激に増加しているのが確認できる。
 - 主軸回転によって生じる遠心力により内輪が膨張し、軸受が締め付けられたことで、予圧が増加したからだと考えられる。
- 主軸運転直後に固有振動数が急激に増加した後、固有振動数が徐々に減少しているのが確認できる。
 - 主軸回転に伴って生じる発熱の影響で、内外輪の間座が熱膨張する。内輪間座より線膨張係数の低い材質を外輪間座に使用することで内外で膨張量に差が生じる。内輪間座の膨張量が大きくなり、軸受が予圧の抜ける方向に押されることで予圧が減少したと考えられる。
- 主軸運転停止直後に固有振動数が急激に減少しているのが確認できる。
 - 予圧の増加因子であった遠心力による内輪の膨張がなくなり、減少因子である内外輪の間座の膨張が残ったため、予圧が減少したと考えられる。

理論式(主軸回転直後)



u — 予圧増加

r : 内外輪溝半径
 α : 転動体と内外輪の接触角
 u : 遠心力による内輪の膨張量
 δ : 転動体と内外輪の弾性変形量
 Δa : 初期アキシャル隙間
 D_w : 転動体直径
 h : 潤滑油膜厚さ

Δa — 予圧減少

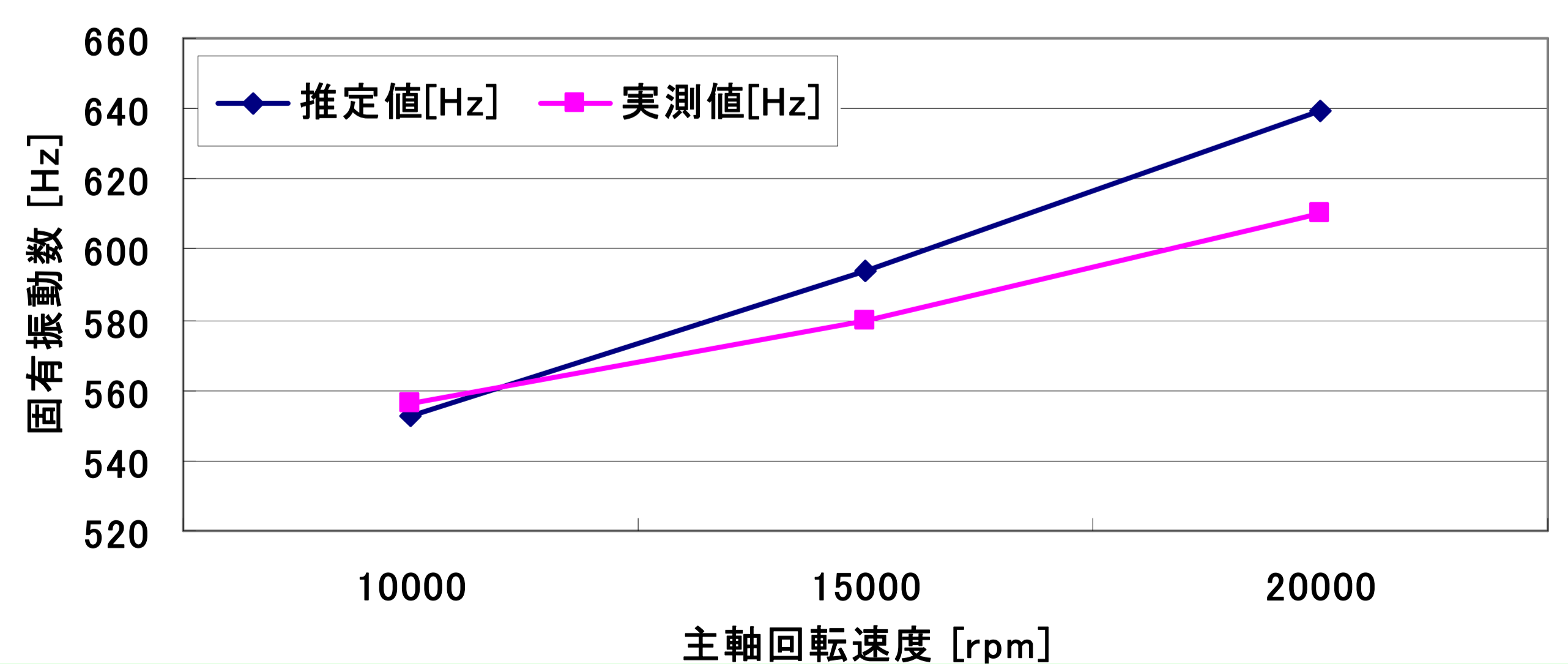
アキシャル方向の幾何学的釣合式

$$(r_i + \delta_i - \frac{D_w}{2} - h_i) \sin \alpha_i + (r_e + \delta_e - \frac{D_w}{2} - h_e) \sin \alpha_e = (r_i + r_e - D_w) \sin \alpha_0 + \Delta a$$

ラジアル方向の幾何学的釣合式

$$(r_i + \delta_i - \frac{D_w}{2} - h_i) \cos \alpha_i + (r_e + \delta_e - \frac{D_w}{2} - h_e) \cos \alpha_e = (r_i + r_e - D_w) \cos \alpha_0 \pm u$$

まとめ



主軸回転直後の固有振動数と主軸回転速度の関係を上図に示す。

主軸回転に伴い生じる遠心力・熱膨張が主軸の剛性に影響を及ぼすことを計算によって解析、推定することができた。

理論式より回転数が増加するにつれ、軸受内輪の膨張量が増加し、予圧が増加することがわかった。