

## 蒸気タービンのブレード・シュラウド固有値解析のご提案

以下は、弊社の構造解析技術を紹介する機会をいただきプレゼンテーションを行った際に、清野様より伺ったブレード・シュラウド固有値解析について問題解決の提言をまとめたものです。

蒸気タービンに関する重要な課題として一般的に

- \* 設計周波数での共振問題
- \* 設計周波数から離れた周波数帯での共振（見逃しやすい）
- \* 熱応力（シュラウドを連結する設計で特に重要）の影響
- \* 腐食問題（応力集中部）

などが挙げられます。これらの課題を解決することが、信頼性を高め熱効率を向上させる装置を提供することになると認識しております。なかでも振動を如何に制御するかが大きな課題ですが、振動の原因として以下の原因が考えられます。

- \* 周期的流れ荷重による励起
- \* ランダム荷重による励起（主に流れの非定常性による）
- \* 系の固有周期との共振

以上の問題解決のために、ブレードとシュラウドの構造に様々な工夫を凝らした設計が成されていること伺い、それを適切に取り込む計算方法について意見を交換できることを願っております。

### 1. 課題

提言は、ブレード・シュラウド固有値解析について以下のような問題があるという認識に立ったものである。

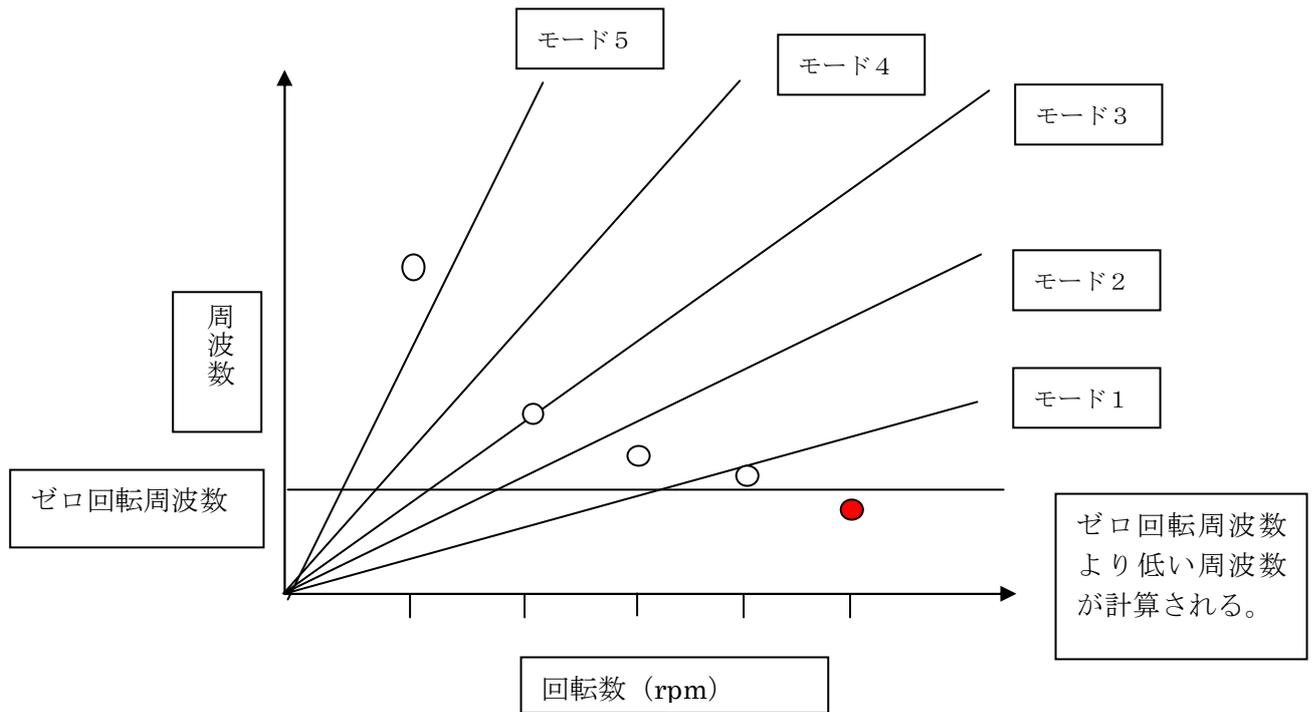
問題 : 回転数を変化させて実測し、その結果得られた応力・歪み状態を入力して有限要素モデルで固有値解析を行うと、ゼロ振動の最小周波数より小さい周波数が得られるのでおかしい結果であると考えるが、その理由が計算方法によるものか、あるいは実際にそのような現象が存在するのかは不明であるので明確にしたい。

実測方法：

- (1) あらかじめねじりを加えて重ねることにより初期応力を与えたブレード・シュラウドを回転させて、振動特性（応力、歪み、加速度等）を時系列として計測する。
- (2) この記録から周波数特性を計算する。

計算方法：

- (1) ある回転数における系の応力・歪み状態を入力し、固有値解析を行い、キャンベル図を描く。



赤丸で示すように、静止状態での最小周波数より小さくなる周波数が計算されるという結果になっています。

## 2. ご提案

実験による計測と計算結果を比較する場合、一般的にまず計測誤差が予想される。仮に実測が正しく行われるものとしても、計算には現実との違いが以下の項目で起こる可能性がある。

<計算誤差の起こる可能性>

動的な状態にある構造物の固有値は基本的に剛性（応力状態を含む）、減衰と幾何学的条件（境界条件も含む）で決定される。その他、計算法に起因する影響も含めて以下の項目を考慮することとする。

\*対象物を有限要素でモデル化する際の幾何学的誤差および要素タイプ選択による誤差

\*境界条件、初期条件設定に関する誤差（不適切な境界条件や境界条件の変化など）

例えば、接触部でのずれを正しく考慮していないケース。

あるいは、初期応力が正しく評価されないために、その後の変化によって誤差が増幅されるケース。

\*プログラムの計算法または計算オプションを適切に使用しないことによる誤差

\*プログラムの適用仮定を逸脱して計算することによる誤差

例えば、塑性化領域の計算も線形モデルで行うケース。

以上の誤差要因を踏まえ、まずは算出される固有値に各項目がどのような影響を与えるかを明確に把握するため、実機モデルから現象の本質を含む簡易モデルを作成して解析を行う。実機モデルでは数多くの比較計算が行えないからである。

### (1) 固有値に与える影響項目の調査（簡易モデル解析） 20日

- \* ADINA の計算法の調査
- \* 初期応力の影響
- \* 初期応力の緩和、塑性化、形状変化の影響
- \* 境界条件の変化（すべり、指示点のゆるみ等）の影響
- \* 塑性化の影響
- \* メッシュサイズの影響
- \* 応力集中の影響
- \* 熱応力の影響

### (2) 実機モデルの固有値解析 30日

(1) のモデル解析の結果を踏まえて、影響度の高い条件設定に関して、実機モデルで解析を行い、解析結果から問題を明確に把握する。