Dynamics and Design Conference 2016 に参加して

西　脇　裕　起
Yuki NISHIWAKI
機械システム工学専攻修士課程　２年

1. はじめに

2016 年 8 月 23 日から 26 日にかけて，山口大学工学部常盤キャンパスにおいて行われた「Dynamics and Design Conference 2016」に参加し，25 日の「ロータダイナミクス」のセッションで「蒸気タービンシュラウド翼の共振応答解析（シュラウドのコンタクト状態の変動が振動応答に及ぼす影響）」というテーマで発表を行った．

2. 研究内容

2.1　緒言

蒸気タービンの最終段動翼では，遠心力による翼のねじり戻り変形を利用して，隣接するシュラウドをコンタクトさせるシュラウド翼構造が広く採用されている．このようなシュラウド翼を設計する場合には，解析的に最適なシュラウド形状やコンタクト反力を予測することが必要である．しかし，現実には，製作公差などが原因で，コンタクト面が片当たりする翼が発生すると考えられ，個々の翼の特性やコンタクト条件が異なるミスチューン系の応答として解析する必要がある．そのために，シュラウド間の摩擦を考慮した非線形周波数応答解析を行い，シュラウドのコンタクト状態の変動が，翼・ディスク系の応答特性に及ぼす影響を調査する．そして，翼・ディスク系を低次元モデル（等価・ばね質量モデル）でモデル化し，個々のシュラウドのコンタクト状態が変動するときの応答のばらつきを調査する．今回はこれらの解析結果について報告する．

2.2　解析方法

本研究では，最初に，全翼の特性が均一なチューン系に対してはモーダル法とハーモニックバランス法に加え，図 1 に示すように翼ディスク系が周期対称系であることを利用して周期対称法を利用して応答特性を求め，シュラウドのコンタクト状態が変動するときの非線形周波数応答を求める．なお，解析に使用する FEM モデルは図 2 に示す．シュラウドのコンタクト状態の変動は，摩擦力やコンタクト領域（摩擦要素を挿入する領域）を変更して模擬する．つぎに，ミスチューン系の解析では，翼・ディスク系を図 3 に示す等価ばね質量モデルでモデル化し，モンテカルロ法により個々の翼のシュラウドの等価剛性や等価減衰（k2，c2）にばらつきを与えて周波数応答を求める．なお，等価ばね・質量モデルのモーダルパラメータ（m1, k1, etc.）は，有限要素

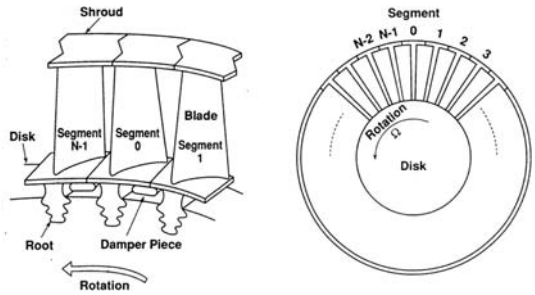

図 1　シュラウド翼構造の翼・ディスク系

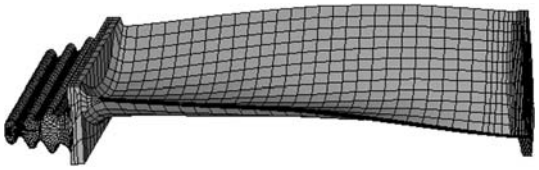

図 2　蒸気タービン L-1 R 翼（FEM モデル）

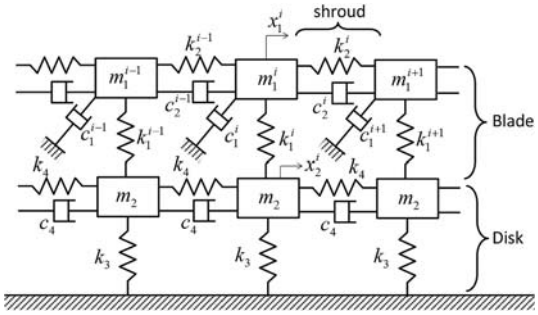

図 3　等価ばね・質量モデル

法の解析結果から決める．シュラウドの等価ばね・等価減衰の変動は，チューン系の解析結果をベースに決定する．

2.3　解析結果

今回行った解析の結果から以下のことがわかった．シュラウドが片当たりすると，固有振動数や減衰は低下する．加振力のハーモニック数が大きいほど，すなわち，応答する振動モードの節直径数が大きいほど，シュラウドの片当たりが振動特性に及ぼす影響は大きい．また，シュラウドの接触状態が変動すると（片当たりが発生すると），シュラウドの等価剛性や等価減衰がチューン系よりも低下するため，個々の翼の応答はチューン系よりも大きくなる．そして，図 4 に示すようにシュラウドの等価剛性や等価減衰の変動係数が大きくなると，発生振幅の平均値や発生最大振幅は単調に増加する．一方，図 5 に示すように共振回避周波数の上限値はほとんど変化しないが下限値が低下するため，共振回避周波数の範囲も単調に増加する．個々の翼のシュラウドの接触状態が変動するミスチューン系では，シュラウドの等価剛性や減衰の変動により生じるミスチューン効果は，加振力のハーモニック数が大きいほど大きくなる．

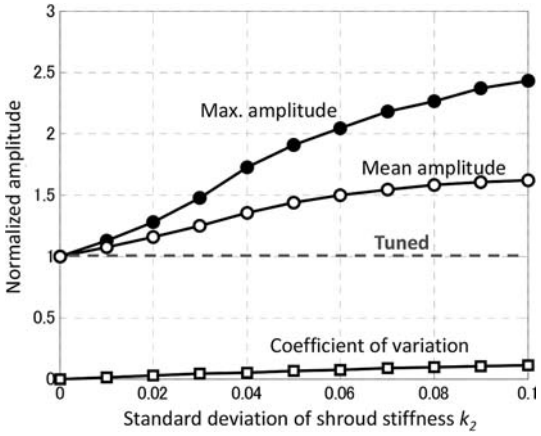

図 4　接触状態が変動したときの最大振幅

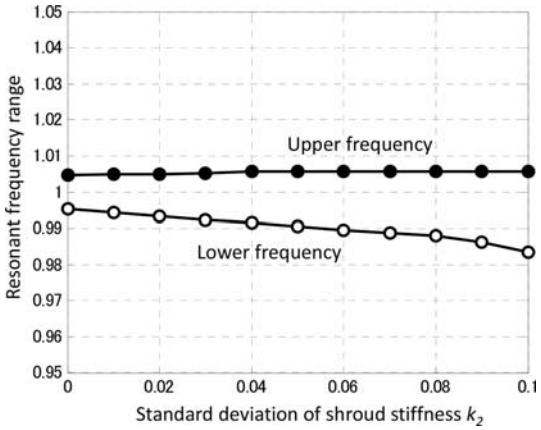

図 5　接触状態が変動したときの共振回避振動数

2.4　まとめ

本研究では，シュラウド翼の非線形周波数応答解析を行い，シュラウドの片当たりが減衰特性に及ぼす影響を調べた．つぎに，非線形周波数応答解析結果をベースにシュラウド翼で構成される翼・ディスク系を等価なばね・質量系でモデル化し，モンテカルロ法によりシュラウドの接触状態の変動が応答特性に及ぼす影響を調査した．

3.　おわりに

今回の学会では，様々な意見や指摘，質問をいただきました．今回の発表で今後の活動を行うにあたって，貴重な経験を積むことができました．今回得られた経験を今後に役立てていきたいと思います．