

## Dynamics and Design Conference 2015 に参加して

竹村 真人

Masato TAKEMURA

機械システム工学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

2015年の8月26日から8月28日の3日間、弘前大学で開催された Dynamics and Design Conference 2015 に参加し、「大容量蒸気タービン静翼の振動特性と安定性に関する研究」というテーマで発表を行った。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究の背景と目的

蒸気タービン静翼には、静翼の両端を外周リングや内周シュラウドに溶接し、数枚の静翼をシュラウドで結合した綴り翼構造が採用される。このような静翼では、静翼の剛性は外周リングの剛性や内周シュラウドの剛性に比べて小さくなる。その結果、低圧最終段静翼には、静翼の両端の変位がほぼ零であり翼群内の静翼の振動の位相が異なる両端固定モード (Toop モード) が密集して現れる。静翼の両端は溶接で固定されているため Toop モードの減衰は非常に小さくなり、蒸気タービン静翼では、この Toop モードの強制振動や自励振動がトラブルの原因になることが経験的に知られている。

このため本研究では、先ず FEA を利用して静翼環の振動解析を行い、静翼環全体の振動特性を調査する。次に FEA の解析結果をベースにして、静翼環の等価ばね・質量モデルを作成して安定性解析を行い、静翼の設計パラメータが安定性に及ぼす影響を調査することを目的にしている。

#### 2.2 解析方法

蒸気タービンの静翼環全体を、図1のような等価ばね・質量モデルに置き換えて、安定性解析を行

う。等価ばね・質量モデルのパラメータは、有限要素法で解析した振動特性と、等価ばね・質量モデルで解析した振動特性が一致するように決定する。

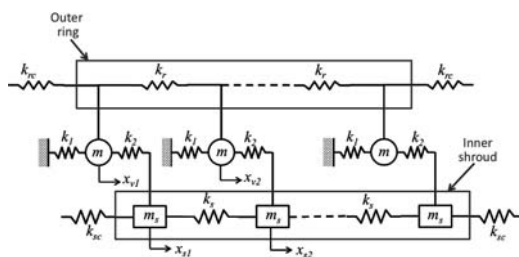


図1 等価ばね質量モデル

非定常力を考慮した等価ばね質量モデルの自由振動の運動方程式は、式(1)のように表すことができる。

$$(-\omega^2[M] + [K] + [C])\{\hat{x}\} = 0 \quad (1)$$

ここで、 $[M]$  は静翼環全体の質量行列、 $[K]$  は静翼環全体の剛性行列、 $[C]$  は翼の振動によって翼にフィードバックされる非定常力行列であり、適当な CFD コードを利用して求めることができる。静翼環全体の空力減衰比は式(2)から求めることができる。ここで  $\omega_{jR}$  は式(1)から求まる固有振動数  $\omega$  の実部、 $\omega_{jI}$  は虚部である。

$$\zeta_j = \frac{\omega_{jI}}{\omega_{jR}} \quad (2)$$

この減衰比  $\zeta$  が正であれば静翼環は安定である。一方、 $\zeta$  が負であれば静翼環は不安定であり、フラッタが発生することになる。

#### 2.3 解析結果

セグメント内の綴り枚数  $N_a$  が安定性に及ぼす影響を調査した結果を図2に示す。この図の横軸は流体との連成効果を考慮した時の固有振動数であり、縦軸は空力減衰比を示している。図中のプロットは各振動モードの振動数と減衰比を示している。図2から分かるように綴り枚数による差は認められな

い。従って、綴り枚数の差が安定性に及ぼす影響は無視できる。

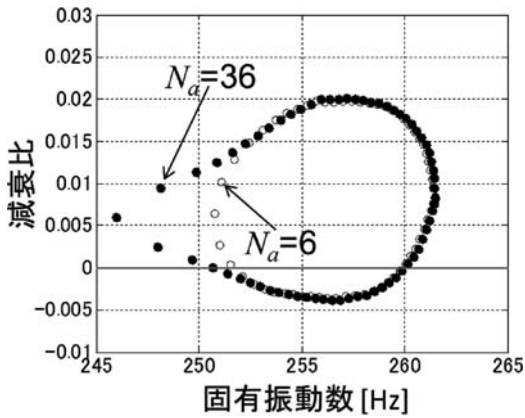


図2 綴り枚数が安定性に及ぼす影響

静翼の剛性，すなわち，静翼の両端固定条件の振動数が安定性に及ぼす影響を調査した結果を図3に示す。図3から分かるように，非定常力が一定であれば空力減衰の値は翼剛性の大きさにほぼ逆比例する。すなわち，静翼の振動数が低いほど，フラッタが発生し易くなる。

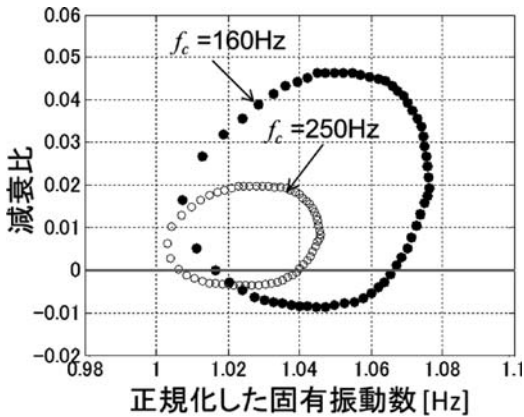


図3 静翼の剛性に及ぼす影響

静翼の振動数のばらつきが安定性に及ぼす影響をモンテカルロ法で解析した結果を図4に示す。また図中の数値は，静翼の剛性の変動係数を示している。

図4から分かるように，個々の静翼の剛性（固有振動数）のばらつきが大きくなると安定性が向上しており，ミスチューン（固有振動数のばらつき）はフラッタを抑制する効果があることが示されている。

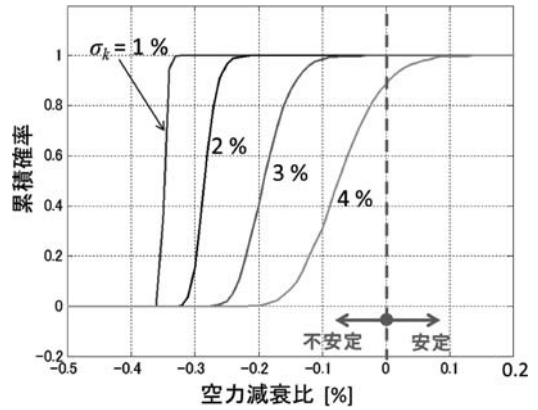


図4 空力減衰の確率分布

## 2.4 まとめ

本研究では，有限要素法を利用して，実際の大容量蒸気タービン静翼の振動解析を行い，その振動特性を詳細に調査した。次に，等価ばね質量モデルを作成し，静翼環の安定性解析を行った。その結果，静翼の設計パラメータ，すなわち，綴り枚数や翼剛性が安定性に及ぼす影響などを明確にすることができた。また，ミスチューニング解析を行い静翼の固有振動数のばらつきが，安定性に及ぼす影響を明確にした。

## 3. おわりに

学会では様々な研究発表を聞くことができ，また本研究に多くの意見を頂き貴重な経験となりました。この経験を残りの研究生生活に活かしていきたいと思っております。最後に，ご指導を頂いた金子康智教授にこの場を借りてお礼申し上げます。