

Dynamics and Design Conference 2017 に参加して

岸 本 星 太
Seita KISHIMOTO

機械システム工学専攻修士課程 2 年

1. はじめに

2017 年の 8 月 29 日から 9 月 1 日にかけて、愛知大学で開催された Dynamics and Design Conference 2017 に参加し、「ミスチューンを有する翼・ディスク系の最適設計に関する研究」というテーマで発表を行った。

2. 研究内容

2.1 研究背景と目的

翼・ディスク系の振動解析では、通常、ディスク上の全ての翼の特性は同一（チューン系）と仮定されるが、現実には工作誤差や材料定数のばらつきによって個々の翼の特性が僅かに異なっている（ミスチューン系）。ミスチューンを有する翼・ディスク系は、強制振動では、固有振動数の分化や振動モードのひずみにより、特定の翼のみが大きく応答する。一方、自励振動（フラッタ）では、翼・ディスク系に明確な進行波や後退波が形成されないため作動流体から供給されるエネルギーが小さくなり、フラッタが発生しにくくなる。すなわち、ミスチューニングの効果は強制振動に対しては危険側に、フラッタに対しては安全側に作用することが多くの文献で指摘されている。本研究では、低次元モデル FMM (Fundamental Mistuning Model) を利用して、実際にフラッタが発生した翼・ディスク系を対象にして、安定性解析と周波数応答解析を行い、フラッタと強制振動の両方に対して振動強度上最適な翼・ディスク系の設計法について検討した。

2.2 解析方法

FMM では、翼・ディスク系のモード族が完全に

分離しているとき、ミスチューンがある翼・ディスク系の着目するモード族の振動モードを、チューン系の当該モード族の振動モードの重ね合わせで式 (1) のように表す。

$$\{\Phi_r\} = \sum_{m=0}^{N-1} \beta_{rm} \{\Phi_m^0\} \quad (1)$$

ここで、 $\{\Phi_r\}$ はミスチューン系の着目するモード族における r 次の振動モード、 $\{\Phi_m^0\}$ はチューン系の当該モード族の m 次の振動モード、 N は全周の翼枚数である。 β_{rm} は、ミスチューン系の r 次の振動モードに占めるチューン系の m 次の振動モードの割合を表す係数である。式 (1) により、非定常力を考慮したミスチューン系の運動方程式を式 (2) で表すことができる。

$$[[\Lambda^0] + [\hat{A}] - \omega_r^2 [I]] \{\beta_r\} = \{F^m\} + \{F^w\} \quad (2)$$

$[\Lambda^0]$ はチューン系の固有振動数を対角成分にする対角行列である。また、 $[\hat{A}]$ はディスク上の個々の翼の振動数分布を離散フーリエ変換した行列であり、 $[I]$ はチューン系のモーダル質量行列である。そして、 ω_r はミスチューン系の r 次の固有振動数であり、 $\{F^m\}$ は翼の振動によりフィードバックされる非定常力であり、適切な CFD コードを利用して求めることができる。 $\{F^w\}$ は作動流体との連成を考慮しない非定常力の振幅である。強制振動応答を求める場合は、 $\{F^w\}$ を既知量として与え、 $\{F^m\} = 0$ において式 (2) を解くことにより求める。空力減衰は、式 (2) で $\{F^w\} = 0$ において得られる固有値方程式を解くことにより求める。

2.3 解析結果

フラッタ対策として交互ミスチューンを採用する場合、意図的な交互ミスチューンと工作誤差などにより生じるランダムミスチューンが重畳したミスチューン系になると考えられる。3 ケースの単独翼振動数の偏差がある交互ミスチューン系に σ_f のラン

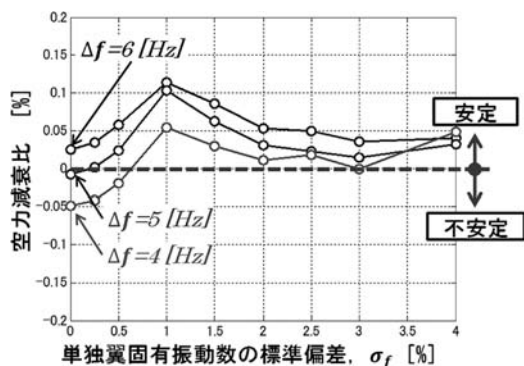


図1 現実的なミスチューン系の安定性解析結果

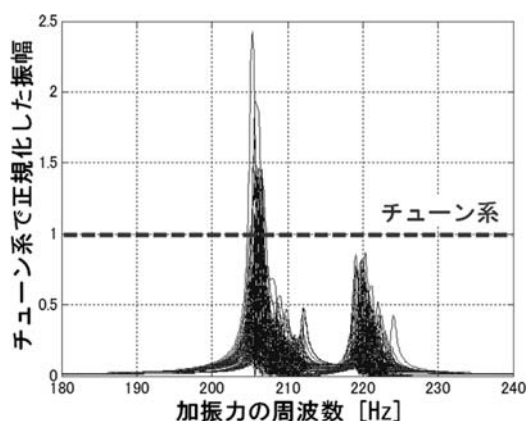


図2 最適化前の周波数応答関数

ダムミスチューン分布を重畳させて安定性解析を行い、モンテカルロ法で σ_f と空力減衰（全モードの空力減衰の最小値）の関係を求めた結果を図1に示す。図1から分かるように、単独翼の振動数偏差6 Hzの交互ミスチューンにランダムミスチューンを重畳させると単独翼固有振動数の標準偏差の全ての領域で安定化している。

図2は、交互ミスチューン系 ($\Delta f = 6\text{Hz}$) にランダムミスチューンを重畳させた系において、発生振幅が最大となる周波数応答解析結果を示している。図3は、モンテカルロ法を利用して交互ミス

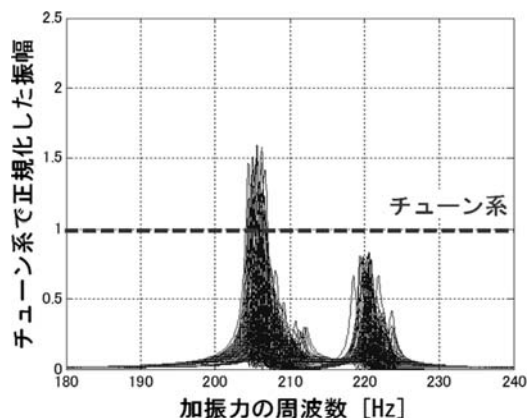


図3 最適化後の周波数応答関数

チューンを保持した状態で翼の配置を並び替え、発生振幅が最小となる結果を示している。図2と図3の比較から分かるように、翼を並び替えることにより、発生する最大振幅を2.5から1.5に低減できている。

2.4 まとめ

現実的なミスチューン系では、単独翼の振動数偏差6 Hzの交互ミスチューンにすれば、単独翼固有振動数の標準偏差の全ての領域で安定化できる。さらに、既知のランダムミスチューンを並び替えて、すなわちディスク上の翼の配置を変更して、発生最大振幅を抑えることによりフラッタと強制振動の両方を考慮した最適化が可能である。

3. おわりに

機械・プラント・構造物で発生した振動問題に関する様々な研究発表を聞くことができ貴重な経験となりました。この経験を残りの研究生活に活かしたいと考えています。最後に、ご指導して頂きました金子康智教授にこの場をお借りしてお礼申し上げます。