



# 軸継手を介して駆動される回転体の安定性に関する研究

西郷, 宗玄

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1988-04-22

(Date of Publication)

2014-03-04

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙1169

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001169>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・(本籍)	さいごうむねはる (和歌山県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博ろ第23号
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位授与の日付	昭和63年4月22日
学位論文題目	軸継手を介して駆動される回転体の安定性に関する研究

審査委員	主査 教授 岩 壺 卓 三
	教授 中 川 隆 夫 教授 森 脇 俊 道

### 論 文 内 容 の 要 旨

最近の回転機械は高性能化の要求から、高速化、大容量化されてきており、振動的にはますます厳しい条件になってきている。そのため、従来、小型低速機械では余り問題にされなかった問題も高性能化、高負荷化のためクローズアップされてきている。しかしながら、回転機械の防振技術も、大型コンピュータ、エレクトロニクス計測機器の進歩と共に近年目ざましく進歩しており、不つりあい振動を抑えるつりあわせ技術をはじめ各種の振動解析技術の進歩により、単体としてはかなりの精度で製作できるようになってきている。ところが、回転機械は発電プラントなどの定置型であっても、また車両などの移動型であっても必ず軸継手で連結されて構成されるものであるため、十分に振動が抑えられた単体どうしであっても、それらを連結するとしばしば連結したために振動が発生することがある。この原因は軸系のアライメントが十分取れていないことに起因することもあるが、従来、軸継手に起因する振動特性が十分明らかになっていないため適切な対策が取られていないことに大きな原因がある場合も多い。最近では、軸継手に起因する振動解析の必要性が注目されはじめ、研究が活発になされているが、実際上のトラブル解決には未だに現場的なノウハウに頼っているのが実状のようである。その原因は、まだ実験結果を定量的に説明できる解析結果が得られていないことが最も大きいと考えられるが、従来の軸継手に関する振動解析が個別の軸系に対して行われており軸継手系の一般的な特性が解明されていないことに一因があると考えられる。すなわち、ロータ軸系を形態別に分類して各々をモデル化し系統的に解析する必要があると考えられる。特に、今後のより一層の高性能化を考えると重負荷時の振動特性の解明が重要である。また、従来の解析は回転軸に関するものがほとんどで回転軸上の

回転体の運動に重点を置いた解析は比較的少ない。実際の発電プラントなどでは、軸に比べて非常に大きな回転体に取り付いており実用上は回転体に重点を置いた解析も重要であると考えられる。

これらの研究情勢に鑑み、本論文は、自在軸継手を介して駆動されるロータ軸系とたわみ軸継手を介して駆動されるロータ軸系について、動力を伝達する場合の横振動の安定解析を統一的行なったものである。この場合のロータ軸系の振動現象は、ロータ軸の横運動に拘束を発生させない自在継手を介した場合に最も顕著に現れるので、第2章では等速形自在継手、第4章では十字軸形自在継手で連結されたロータ軸系を扱った。第2章、第4章ではロータ軸系の安定性を理論的に解釈するため、運動方程式が陽な形で表される剛体ロータモデルを用いた。ロータ軸系のモデルとしては、発電機、圧縮機や車両の終端部を表す一方の軸端が他の軸に結合されていないモデル（Mモデル）と、一般の伝達軸を表す両端が軸継手によって他の軸に連結されているモデル（Sモデル）を用いた。前者のモデルについては、まず軸継手の特性を定性的に理解するため1つの継手を介した2自由度モデルロータ系を解析し、ついで一般のロータ軸のモデルを表す2つの継手を介した4自由度モデルを解析した。また、後者のモデルについては、継手の影響を理解するためのモデルとして3つの継手で連結された2自由度モデルを解析し、ついで一般のロータ軸のモデルである4つの継手を含む4自由度モデルを解析した。

第2章「等速形自在軸継手で連結された回転体の不安定振動」では、まず、等速形自在継手で連結されたロータ軸の横運動に伴う自転運動の関係式を一般的な形で導き、動力を伝達している場合の軸継手のトルク伝達特性を導いた。ついで各モデルの運動方程式を導いた。運動方程式を一階の微分方程式で表しQR法によって固有値を求めることにより安定解析を行った。何れのモデルロータの場合でも伝達トルクの横方向成分が運動方程式の復元力項に非対角連成成分として現れるため、系を不安定にすることが明らかとなった。Mモデルの安定解析はロータ軸で動力が吸収される場合と動力が加えられる場合に分けて行なった。各モデルについて伝達トルクを変数とした不安定領域図を求め、継手内部の減衰力、軸受剛性異方性、ジャイロモーメント、初期交差角の不安定領域に及ぼす影響を系統的に明らかにした。

第3章「自在軸継手に起因する不安定振動の一般的特性」では、第2章で明らかになった不安定特性を、ロータ軸系のみならず他の振動系で発生する不安定現象と比較検討した。運動方程式を一般化した微分方程式の安定性に関する一般的なパラメータ・スタディを行い、第2章で調べた不安定領域についてより広い視野から考察を加えた。運動方程式の復元力項の不安定化作用の一般的性質を非対角成分の対称性に注目して整理することにより、静的不安定発生条件と動的不安定発生条件を明らかにし、軸受剛性異方性の安定化作用の一般的性質を明らかにした。

第4章「十字軸形自在軸継手で連結された回転体の不安定振動」では第2章と同じ手順で十字軸形継手を介して駆動されるロータ軸系を解析した。特に十字軸形継手は不等速継手であるので、その不等速性が安定性に及ぼす影響も解析した。運動方程式は等速継手で連結された場合に現れる定係数の連成項のほかには可変係数の連成項を含むので、解をLyapunovの定理に従ってフーリ

エ級数の形で展開し、無限次元の特性方程式を導いた。安定解析は有限次元で近似した特性方程式にQR法を適用して固有値を求めることによって行い、伝達トルクを変数とした不安定領域図を求めた。本章ではこの近似法についても検討を加えた。第2章と同様に、継手部の減衰力、ジャイロモーメント、軸受剛性異方性、初期交差角および軸受減衰異方性の不安定領域に及ぼす影響を系統的に明らかにした。不安定領域は定係数の連成項に起因する不安定と可変係数の連成項に起因する不安定から成っており、これらの間の相互干渉についても考察を行った。

第5章「たわみ軸継手で連結された回転体の不安定振動」ではたわみ軸継手を介して駆動される剛性軸ロータ系および剛な回転体を持つ弾性軸ロータ系について4自由度のMモデルとSモデルの解析を行った。たわみ継手はトルクの伝達方向を一般化したモデルを用いた。すなわち、駆動軸と従動軸の交差角が両軸のなす平面内で $\alpha$ である場合、たわみ継手を介してトルクが駆動軸から見て同平面内で $\varepsilon_1\alpha$  ( $0 \leq \varepsilon_1 \leq 1$ )の方向で伝達され、かつその平面に垂直な方向に復元モーメント $k\alpha$  ( $k$ :ばね定数)が発生するものとした。安定解析ではモデル化の際のパラメータ $\varepsilon_1$ ,  $k$ が不安定領域に及ぼす影響を調べるとともに第2章、第4章と同様に軸受剛性異方性、ジャイロモーメントが不安定境界に及ぼす影響を系統的に明らかにした。また、Mモデルでは負荷トルクの作用方向の不安定境界に及ぼす影響も明らかにした。

最後に、第6章「実験」では、各軸継手を介して駆動される軸系に共通して現れる定係数の連成項による不安定化力をインパルス法による自由振動を観測することにより実験的に確認した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、軸継手に起因する不安定振動とくに重負荷時の不安定特性及び安定化方法を解明するため、自在軸継手を介して駆動されるロータ軸系とたわみ軸継手を介して駆動されるロータ軸系について、動力を伝達する場合の横振動の安定解析を統一的行なったものである。第2章では等速形自在継手、第4章では十字軸形自在継手、第5章ではたわみ軸継手で連結されたロータ軸系を扱っている。ロータモデルは、圧縮機や車両の終端部などを表す一方の軸端が他の軸に結合されていないモデル(Mモデル)と、一般の伝達軸を表す両端が軸継手によって他の軸に連結されているモデル(Sモデル)を用いている。第2、4章ではロータ軸系の安定性を理論的に把握するため、運動方程式が陽な形で表される剛性ロータモデルを用いている。各モデルについて、まず軸継手の特性を定性的に理解するため2自由度モデルロータ系を解析し、ついで一般のロータ軸のモデルを表す4自由度モデルを解析している。

第2章「等速形自在軸継手で連結された回転体の不安定振動」では、最初に、等速形自在継手で連結されたロータ軸の横運動に伴う自転運動の関係を一般的な形で導き、動力を伝達している場合の軸継手のトルク伝達特性を導いている。各モデルの運動方程式を導き、その特性方程式の固有値を求めることにより安定解析を行っている。何れのモデルロータの場合でも伝達トルクの横方向成分が運動方程式の復元力項に非対角連成成分として現れるため、系が不安定になること

を明らかにしている。各モデルについて伝達トルクを変数とした不安定領域図を求め、継手内部の減衰力、軸受剛性異方性、ジャイロモーメント、初期交差角の不安定領域に及ぼす影響を系統的に明らかにしている。

第3章「自在軸継手に起因する不安定振動の一般的特性」では、第2章で明らかになった不安定現象について、運動方程式を一般化した微分方程式の一般的なパラメータ・スタディを行なっている。運動方程式の復元力項の不安定化作用の一般的性質を非対角成分の対称性に注目して整理することにより、静的不安定発生条件と動的不安定発生条件を明らかにし、軸受剛性異方性の安定化作用の一般的性質を明らかにしている。

第4章「十字軸形自在軸継手で連結された回転体の不安定振動」では第2章と同じ手順で十字軸形継手を介して駆動されるロータ軸系を解析している。十字軸形継手は不等速継手であるので、その不等速性が安定性に及ぼす影響も解析している。運動方程式は等速継手で連結された場合に現れる定係数の連成項のほかに可変係数の連成項を含むので、解をリアプノフの定理に従ってフーリエ級数の形で展開し、特性方程式を導いている。有限次元で近似した特性方程式を用いて第2章と同様な安定解析を行っている。また、この近似方法についても検討を加えている。不安定領域は定係数の連成項に起因する不安定と可変係数の連成項に起因する不安定から成っており、これらの間の相互干渉についても考察を行っている。

第5章「たわみ軸継手で連結された回転体の不安定振動」ではたわみ軸継手を介して駆動される剛性軸ロータ系および剛な回転体を持つ弾性軸ロータ系について4自由度のMモデルとSモデルの解析を行っている。たわみ継手はトルクの伝達方向を一般化したモデルを用いている。安定解析では第2、4章と同様な解析とモデル化の際のパラメータが不安定領域に及ぼす影響を調べている。

最後に、第6章「実験」では、軸継手を介して駆動される軸系に共通して現れる定係数の連成項による不安定化力を自由振動を観測することにより実験的に確認している。

以上の研究は軸継手に起因する不安定振動とくに重負荷時の不安定特性及び安定化の方法について種々の軸継手について解析を主にして系統的な研究を行ったものであり、軸継手に起因する不安定振動の発生機構とその安定化の方法について重要な知見を得、価値ある集積をしたもので、工学上寄与する処大である。

よって、学位申請者西郷宗玄は工学博士の学位を得る資格があると認める。