

氏 名 (本 籍)	福 森 淳 治 (三重県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 号 番 号	甲第 94 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 11 年 3 月 25 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学 位 論 文 題 目	油圧管路系の動特性シミュレーションに関する研究 (Study on Dynamic Characteristics Simulation of Fluid Transmission Lines)
学位論文審査委員	(主査) 教 授 武 藤 高 義 (副査) 教 授 丸 井 悦 男 教 授 川 崎 晴 久 助教授 山 田 宏 尚

論文内容の要旨

近年、油圧システムの高速・高精度化および高機能化の進展に連れて、油圧管路系のシミュレーションをより高速・高精度かつ簡便に実施することが強く求められている。その理由は、管路内における流体信号あるいは動力の伝達特性が油圧システムの動特性に大きく影響を及ぼすことから、油圧管路が油圧システムにおける重要な構成要素となることによる。管路が長くなるほどシステム全体の特性が複雑となり、予期していた動特性が得られないことがしばしば起こりうる。そこで、動特性シミュレーションによる解析が有効な開発手段となるが、管路内流体の性質に基づき、その解析は他の要素に比して複雑とならざるを得ない。これは、動特性を記述する数学モデルが、管路以外の油圧機械要素は集中定数系すなわち有限次元で表現されるのに対し、管路要素は本質的に分布定数系モデルで表現されるためである。また、油圧管路では流動抵抗が高周波になるほど増大するという周波数依存の性質をもつ。これらの性質を考慮に入れた管路の数学モデルは、一般に非定常層流モデルと呼ばれている。油圧管路を含むシステムを高速に駆動しようとするほど、その影響は顕在化する。このような状況下において、油圧管路系の動特性シミュレーションを、パーソナルレベルのコンピュータによって高速・高精度に実施する簡便な方法が早急に求められている。

そこで、本研究の第1の目的として、従来は剛体壁を有する管路系に限定されていた有理多項式近似によるシミュレーション法の適用範囲を粘弾性壁管路（油圧用高圧ゴムホース）へと拡張を試みている。そのために、中野らによって提案された粘弾性管路系に対する伝達マトリックスを基礎式とし、これをブロック線図表示したときの各伝達要素を有理多項式によって近似している。有理多項式によって表現された伝達要素とブロック線図に基づけば管路系の動特性シミュレーションを簡便に実施することができる。剛体管路、粘弾性管路を問わず、油圧管路系に対する従来のシミュレーションでは、管路の両端（始端および終端）における状態量（圧力と流量）のみを扱っていたが、一般的には、管路の任意位置における状態量が必要とされる。そこで、本研究の第2の目的として、管路の任意位置における状態量のシミュレーション法確立を目指している。

本研究で扱うシミュレーション法によれば、管路内過渡現象のみならず、油圧ポンプ・管路系に生ずる管路内圧力脈動についても同様に処理できるものと期待される。そこで本研究の第3の目的として、油圧ポンプ・管路・絞りから成る基本システムを対象として、上記シミュレーション法の管路内脈動現象への適合性について検討している。油圧ポンプとしては、ベーンポンプとピストンポンプの2種類を選び、管路系については、先ず剛体管路単体から成る管路系、次に剛体管路と粘弾性管路を直列に接続した管路系を対象としている。そして、これらの管路内における圧力脈動のシミュレーションを実施し、その結果を実験結果と比較検討している。

以上に述べた本研究の検討結果は次のように要約される。

- (1) 3要素の粘弾性管壁モデルを用いて導出された非定常層流モデルに基づく管路系の伝達マトリックスを基礎式とし、これをブロック線図表示したときの各伝達要素を有理多項式によって高精度に近似した。次に、有理多項式近似された伝達要素を用いて油圧管路系に生ずる油撃現象のシミュレーションを行った。2種類の高压ゴムホースを用いての代表的な油圧管路系に対するシミュレーション結果は、対応の実験結果と良好に一致し、粘弾性壁管路系に対する本シミュレーション法の有用性が確認された。
- (2) 剛体壁と粘弾性壁の両者に対応する一般的な管路系に対して、非定常層流モデルに基づく伝達マトリックスを基礎式とし、管路の任意位置における状態量の関係をブロック線図表示し、そこに現れる各伝達関数を有理多項式によって高精度に近似表現した。そして、これら近似式により管路の任意位置における状態量のシミュレーションを行った。その結果は実験結果と良好に一致し、本シミュレーション法の有効性が確認された。
- (3) 本研究で提案したシミュレーション法の実用面における有効性を検証するため、油圧ポンプ・管路系に生ずる圧力脈動シミュレーションを実施し、実験結果との比較検討を行った。2種類のポンプなど種々の場合に対する時間応答のシミュレーション結果は実験結果と比較的良好に一致し、本シミュレーション法の有効性が確認された。

学位論文等審査結果の要旨

近年、油圧システムの高速度・高精度化および高機能化の進展に連れて、油圧管路系のシミュレーションをより高速・高精度かつ簡便に実施することが強く求められている。その理由は、管路内における流体信号あるいは動力の伝達特性が油圧システムの動特性に大きく影響を及ぼすことから、油圧管路が油圧システムにおける重要な構成要素となることによる。管路が長くなるほどシステム全体の特性が複雑となり、予期していた動特性が得られないことがしばしば起こりうる。そこで、動特性シミュレーションによる解析が有効な開発手段となるが、管路内流体の性質に基づき、その解析は他の要素に比して複雑とならざるを得ない。これは、動特性を記述する数学モデルが、管路以外の油圧機械要素は集中定数系すなわち有限次元で表現されるのに対し、管路要素は本質的に分布定数系モデルで表現されるためである。また、油圧管路では流動抵抗が高周波になるほど増大するという周波数依存の性質をもつ。これらの性質を考慮に入れた管路の数学モデルは、一般に非定常層流モデルと呼ばれている。油圧管路を含むシステムを高速に駆動しようとすればするほど、その影響は顕在化する。こ

のような状況下において、油圧管路系の動特性シミュレーションを、パーソナルレベルのコンピュータによって高速・高精度に実施する簡便な方法が早急に求められている。

そこで、本研究の第1の目的として、従来は剛体壁を有する管路系に限定されていた有理多項式近似によるシミュレーション法の適用範囲を粘弾性壁管路（油圧用高圧ゴムホース）へと拡張を試みている。そのために、中野らによって提案された粘弾性管路系に対する伝達マトリックスを基礎式とし、これをブロック線図表示したときの各伝達要素を有理多項式によって近似している。有理多項式によって表現された伝達要素とブロック線図に基づけば管路系の動特性シミュレーションを簡便に実施することができる。剛体管路、粘弾性管路を問わず、油圧管路系に対する従来のシミュレーションでは、管路の両端（始端および終端）における状態量（圧力と流量）のみを扱っていたが、一般的には、管路の任意位置における状態量が必要とされる。そこで、本研究の第2の目的として、管路の任意位置における状態量のシミュレーション法確立を目指している。

本研究で扱うシミュレーション法によれば、管路内過渡現象のみならず、油圧ポンプ・管路系に生ずる管路内圧力脈動についても同様に処理できるものと期待される。そこで本研究の第3の目的として、油圧ポンプ・管路・絞りから成る基本システムを対象として、上記シミュレーション法の管路内脈動現象への適合性について検討している。油圧ポンプとしては、ベーンポンプとピストンポンプの2種類を選び、管路系については、先ず剛体管路単体から成る管路系、次に剛体管路と粘弾性管路を直列に接続した管路系を対象としている。そして、これらの管路内における圧力脈動のシミュレーションを実施し、その結果を実験結果と比較検討している。

以上に述べた本研究の検討結果は次のように要約される。

- (1) 3要素の粘弾性管壁モデルを用いて導出された非定常層流モデルに基づく管路系の伝達マトリックスを基礎式とし、これをブロック線図表示したときの各伝達要素を有理多項式によって高精度に近似した。次に、有理多項式近似された伝達要素を用いて油圧管路系に生ずる油撃現象のシミュレーションを行った。2種類の高圧ゴムホースを用いての代表的な油圧管路系に対するシミュレーション結果は、対応の実験結果と良好に一致し、粘弾性壁管路系に対する本シミュレーション法の有用性が確認された。
- (2) 剛体壁と粘弾性壁の両者に対応する一般的な管路系に対して、非定常層流モデルに基づく伝達マトリックスを基礎式とし、管路の任意位置における状態量の関係をブロック線図表示し、そこに現れる各伝達関数を有理多項式によって高精度に近似表現した。そして、これら近似式により管路の任意位置における状態量のシミュレーションを行った。その結果は実験結果と良好に一致し、本シミュレーション法の有効性が確認された。
- (3) 本研究で提案したシミュレーション法の実用面における有効性を検証するため、油圧ポンプ・管路系に生ずる圧力脈動シミュレーションを実施し、実験結果との比較検討を行った。2種類のポンプなど種々の場合に対する時間応答のシミュレーション結果は実験結果と比較的良好に一致し、本シミュレーション法の有効性が確認された。

本論文によって得られた知見と成果は、工学上および工業上、重要な貢献をなすものであると判定される。