

126 ボンドグラフによるカウンタバランス弁を用いた油圧回路の動特性解析

Analysis of Dynamic Characteristics of Oil-hydraulic Circuit with Counterbalance Valve by Bondgraphs

正 桜井康雄 (足利工大)

正 中田 毅 (東京電機大)

正 田中和博 (九州工大)

Yasuo Sakurai, Ashikaga Institute of Technology, 268-1 Oomaecho, Ashikaga, Tochigi

Takeshi Nakada, Tokyo Denki University, 2-1200 Muzai Gakuendai, Inzai, Chiba

Kazuhiro Tanaka, Kyushu Institute of Technology, 680-4 Kawazu, Iizuka, Fukuoka

This paper deals with analysis of the dynamic characteristics of the oil-hydraulic circuit with a counterbalance valve. In oil-hydraulic circuit of construction machinery with large inertial load, a counterbalance valve is employed to maintain control of a vertical oil-hydraulic cylinder to prevent it from descending due to gravity. However, its dynamic behavior may become oscillatory and sometimes unstable. It is important, therefore, to investigate its dynamic characteristics. Furthermore, to make the design of the circuit systematic, it is necessary to establish the mathematical model which is accurate enough to predict its dynamic characteristics. In the present paper, both experimental and simulation studies are performed. By making use of experimental results, a suitable mathematical model of the oil-hydraulic circuit with a counterbalance valve is obtained. In modeling, bondgraphs are employed, which represent a system model based on power train.

Key Words : Oil-hydraulics, Counterbalance valve, Dynamic characteristics, Simulation, Bondgraphs

1. 緒言

大きな慣性負荷を油圧シリンダで駆動する建設機械では、油圧シリンダにカウンタバランス弁を取り付け、負荷が自重で急激に落下するのを防止する。しかしながら、この時、油圧シリンダ・負荷とカウンタバランス弁間での相互干渉により、この回路の応答が振動的になる場合があり、時には、自励振動が発生する。これらを防止するために、試行錯誤的な手法により、カウンタバランス弁の弁変位と開口面積の関係あるいはカウンタバランス弁内のチョーク径などを調整しているのが現状である。

そこで、本研究では、実験とシミュレーションにより、カウンタバランス弁を用いた油圧回路の動特性が予測可能な数学モデルを確立することを試みる。なお、モデル化にあたっては、システム内のエネルギーの流れに着目してシステムモデルを作成するボンドグラフ法⁽¹⁾⁽²⁾を用いる。対象とする油圧回路には流体系および機械系が混在しているため、その動特性を解析する上でこの手法は有効な手段になる。

2. 油圧回路のボンドグラフモデル

2.1 油圧回路概要

図1に対象とした油圧回路を示す。この回路は油圧ポンプ(固定容量形)、リリーフ弁、方向制御弁、油圧シリンダおよびカウンタバランス弁により構成されている。慣性負荷を下降させる場合、カウンタバランス弁の絞りによる減衰効果のみが回路の動特性に影響するように、カウンタバランス弁のBポート側は直接タンクと接続した。そのため、本実験装置には2つのストップ弁を挿入した。

2.2 ボンドグラフモデル

図1に示した油圧回路のボンドグラフモデルを図2に示す。な

お、この図で両矢印は信号のみを伝えるアクティブボンドである。

電動機と油圧ポンプにおいては、その回転数は一定であり、油圧ポンプの脈動は回路の動特性に特に大きな影響を及ぼさないものとして、それぞれSFおよびTF素子でモデル化した。ポンプから方向制御弁までの管路では、管路中の作動油の慣性および管摩擦は回路の動特性に大きく影響を及ぼさないものとし、容積効果のみを考慮した。リリーフ弁は、弁自体の動特性は回路の動特性に大きく影響しないものとして、その静特性のみを考慮したモデルとした。

本研究で、対象としているのは、方向制御弁をP→A、B→T

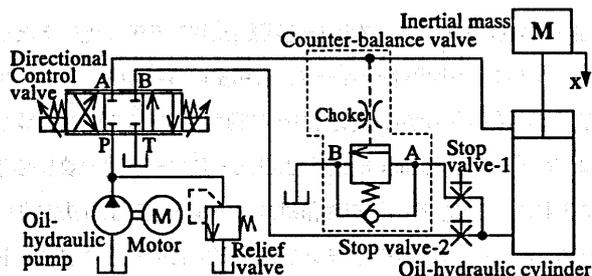


Fig.1 Oil-hydraulic circuit with a counter-balance valve

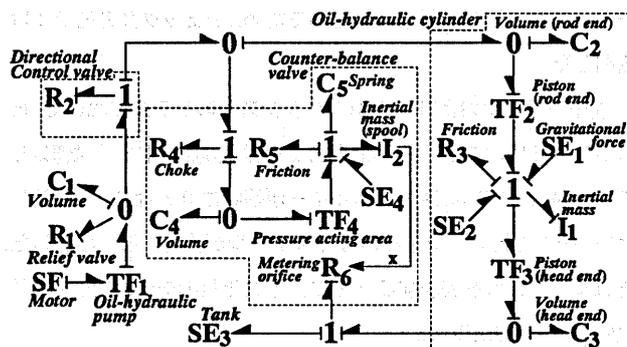


Fig.2 Bondgraphs for the circuit

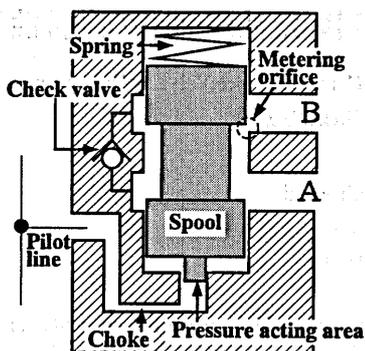


Fig.3 Schematic of counter-balance valve

に切換え、慣性負荷を下降させる場合である。また、この時、カウンタバランス弁の絞りによる減衰効果のみが回路の動特性に影響するように、カウンタバランス弁のBポート側は直接タンクと接続した。よって、方向制御弁では、動特性のシミュレーションに際して考えるべき因子はPポートとAポート間の絞りのみであり、さらに、この弁自体の動特性は回路の動特性に大きく影響を与えないものとし、R素子のみでモデル化した。

油圧シリンダにおいては、油圧シリンダロッド側およびヘッド側の容積、ピストンと油圧シリンダ内壁の摩擦およびピストンロッド側およびヘッド側における流体動力から機械動力への動力変換を考慮に入れ、そのモデルを作成した。なお、方向制御弁から油圧シリンダロッド側までの管路および油圧シリンダヘッド側からカウンタバランス弁Aポートまでの管路においては、容積効果のみが回路の動特性に影響を及ぼすものとし、それぞれの管路の容積を油圧シリンダロッド側あるいはヘッド側の容積に含めモデル化した。

図3にカウンタバランス弁の概要図を示す。モデル化にあたっては、パイロット回路のチョーク、容積室の容積効果、スプール受圧面での流体動力から機械動力への動力変換、スプールの質量、ばね、スプールと壁面間の摩擦およびA-Bポート間の絞りを考慮に入れた。この絞りの開口面積はスプール変位により決定されるため、スプール変位をアクティブポンドでこの絞りにフィードバックした。なお、この弁において、作動油はAポートからBポートへ流れる場合を対象としているため、チェック弁のモデルは省略した。

油圧シリンダおよびカウンタバランス弁のモデルにおいて、ピストンあるいはスプールが最大あるいは最小変位に達した瞬間、これらが持っている運動エネルギーが瞬時に0となり、力が釣り合い、そこでピストンあるいは弁スプールが静止するものとした。それゆえ、これを表現するために、それぞれのモデルでSE素子(SE₂, SE₄)を用いた。

3. 実験とシミュレーション

図2に示したボンドグラフモデルに基づき、この油圧回路の動

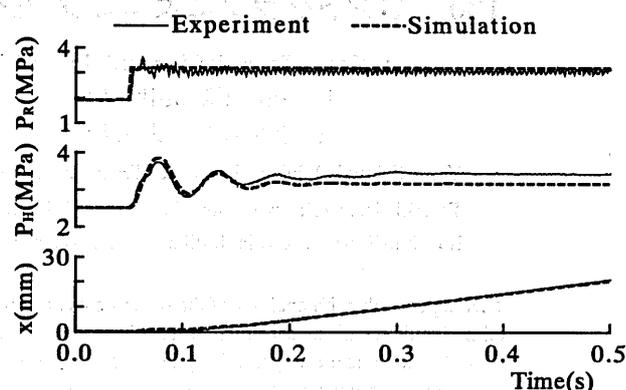


Fig.4 Experimental and simulated results

特性のシミュレーションを行った。なお、シミュレーションに際しては、シミュレーション・プログラムBGSP[®]を用いた。

実験結果とシミュレーション結果の比較の一例を図4に示す。この図で、 P_R は油圧シリンダロッド側圧力、 P_H はヘッド側圧力、 x は負荷変位である。ここでは、負荷質量200kgおよび作動油油温40℃とした。この図より、ヘッド側圧力の定常値に若干の誤差がみられるものの、シミュレーション結果は、実験結果をほぼシミュレートしていることが分かる。特に、ヘッド側圧力のピーク圧力と振動の周期および負荷変位は、良く一致しており、本研究で作成した油圧回路の数学モデルが妥当であることが分かる。よって、この数学モデルを用いれば、カウンタバランス弁を用いた油圧回路の動特性をほぼ予測することが可能となった。なお、油圧シリンダロッド側圧力の高周波の振動は、単にポンプの脈動によるものである。

4. 結言

カウンタバランス弁を用いた油圧回路を実際に製作し動特性実験を行った。また、それと併せて、ボンドグラフ法を用いてこの回路の数学モデルを作成し、シミュレーション・プログラムBGSPにより動特性のシミュレーションを行い、実験結果とシミュレーション結果の比較検討を行った。その結果、本研究で作成したボンドグラフモデルは妥当であることが分かった。これにより、パラメータの変更による回路の動特性の変化をコンピュータ・シミュレーションにより、予測可能となった。おわりに、実験には当時足利工業大学大学院生野口弘明君と学部生高橋真人君の協力を得たことを記して謝辞に代える。

文献

- (1) Rosenberg, R.C. and Karnopp, D.C., Introduction to Physical System Dynamics, (1983), 19-96, McGraw-Hill.
- (2) Thoma, J., Simulation by Bondgraphs, (1990), 9-79, Springer-Verlag.
- (3) T. Kohda, Nakada, T., Kimura, Y. and Mitsuoka, T., Simulation of Bond Graphs with Nonlinear Elements by Symbolic Manipulation, Bulletin of Mechanical Engineering Laboratory, No.49, (1988), 17-55.