

グリコール系作動液バルブ面高速流動における腐食と キャビテーションの相乗作用による異常摩耗に及ぼす添加剤の影響

The effect of Additives on Abnormal Wear Caused by Synergistic Effects of Corrosion and
Cavitation in High-Speed Flow of Glycol-Based Hydraulic Fluid Valve Surfaces

名大・工（学）*高坂 涼太 名大・工（正）梅原 徳次 名大・工（正）野老山 貴行

名大・工（正）張 鋭璽 アドヴィックス（非）岡村 孝一 アドヴィックス（非）船橋 知彦

アドヴィックス（非）玉谷 佳丈 アドヴィックス（非）安部 恒平 アドヴィックス（非）林 哲也

アドヴィックス（非）若松 智之 アドヴィックス（非）福田 純一

Ryota Takasaka*, Noritsugu Umehara*, Takayuki Tokoroyama*, Ruixi Zhang*

Koichi Okamura**, Tomohiko Funahashi**, Yoshitake Tamaya**, Kohei Abe**

Tetsuya Hayashi, Satoshi Wakamatsu**, Zyunichi Fukuda**

*Nagoya University, **ADVICS

1. 緒論

油圧制御は航空宇宙機、船舶、建設車両及び、工作機械など幅広い分野において利用されている。油圧制御は小さい電力で大出力の制御が可能であり、伝達効率及び応答性が高く、コンピュータに接続して高精度に制御することができる¹⁾。しかし油圧制御にも課題があり、そのひとつが油圧制御を行う弁体におけるキャビテーション・エロージョンである。作動液が油圧弁の絞り箇所を通過する際に、作動液の流速が上昇し液圧が低下する。油圧弁におけるキャビテーションは作動液の液圧が飽和蒸気圧以下になった際に発生する。油圧弁におけるキャビテーションは発生した気泡が崩壊する際の衝撃圧によって弁体を摩耗させることが知られている。また作動液が油圧弁を腐食し摩耗を促進する場合もある。越前らは油圧回路中に油圧弁を設置し、作動液フルード A 及びフルード D を高速流動させてキャビテーション・エロージョンに対する耐久試験を実施した²⁾。耐久試験実施後の油圧弁表面に対して摩耗箇所の摩耗溝体積測定及び、表面観察を行った。この研究において流動させる作動液ごとに油圧弁の摩耗の程度が異なることが示された。油圧制御に用いられる作動液はグリコール系のベース油と酸化防止剤などの添加剤から構成されるが、油圧弁のキャビテーション・エロージョンにおいて添加剤の影響による腐食機構を明らかにした研究はいまだなされていない。そこで本研究では高速流動させた際に油圧弁にフルード洩れを発生させるフルード A のベース油に 4 種類の添加剤を 1 種類ずつ加えた 4 種類の作動液、及びフルード洩れを発生させないフルード M のベース油を用いた 2 種類の作動液を用意し、弁体に高速で作動液を流してキャビテーションを発生させ、弁体シート（以降シートと称す）の摩耗をそれぞれ評価した。

2. 実験手法

本研究ではグリコール作動液フルード A のベース油に 4 種類の添加剤を 1 種類ずつ加えたサンプル 6~9、及びフルード M のベース油に添加剤を加えたサンプル 12~13 を用いてそれぞれ実験を行い、摩耗状態の評価を行った。フルード A を用いたキャビテーション試験ではシートが激しく摩耗し、フルード洩れを起こすことが分かっている。以降フルード洩れの要因となる摩耗を異常摩耗と称す。フルード A の主成分はトリエチレングリコールモノメチルエーテルとテトラエチレングリコールモノメチルエーテルである。サンプル 6 には DA (アミン) が、サンプル 7 には TTA (銅防錆剤) が、サンプル 8 にはベンゾチアゾール系銅防錆剤（以降銅防錆剤非公開 A と称す）が、サンプル 9 には BBM (酸化防止剤) が添加剤として含有されている。フルード M を用いたキャビテーション試験ではシートの摩耗は小さく、フルード洩れが発生しないことが分かっている。フルード M の主成分はトリエチレングリコールモノメチルエーテルである。サンプル 12 には銅防錆剤非公開 A が、サンプル 13 には銅防錆剤非公開 A と銅防錆剤（成分非公開、以降銅防錆剤非公開 B と称す）が添加剤として含有されている。

本研究で用いた油圧回路の概略図を Fig. 1 に示す。加圧装置で加圧されたフルードは油圧回路の配管内を循環する。実験時の油圧は弁上流側の油圧が約 19.5 MPa で一定となるようにした。本研究では作動時間を固定して試験を行い、循環するフルードごとの摩耗状態を評価した。摩耗状態の評価は開弁時間約 1100 分まで試験した弁体のシートを分析し行った。リザーバタンク内のフルード温度を 70 °C とし、実験中にフルード温度が

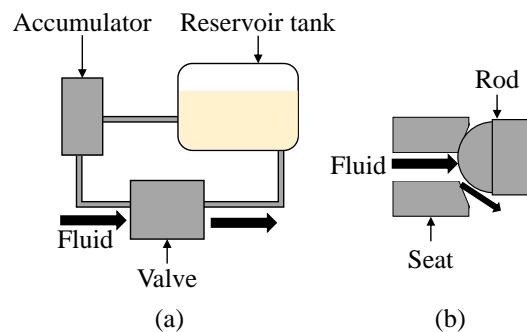


Fig. 1 Hydraulic circuit schematic (a) Overall of Hydraulic circuit, (b) Inside of Valve

大きく変化しないようにした。本研究の実験では弁体にリニア電磁弁を用い、開弁状態において幅約 5 μm の流路を設けた。

3. 実験結果及び考察

3.1 摩耗溝体積の測定結果

各サンプルを用いた実験後におけるシートの摩耗溝体積を Fig. 2 に示す。添加剤として銅防錆剤非公開 A のみを含有させたサンプル 8 及びサンプル 12 を用いた実験において、シートが異常摩耗した。フルード M のベース油に銅防錆剤非公開 A と銅防錆剤非公開 B を組み合わせて含有させたサンプル 13 を用いた実験において、シートは異常摩耗しなかった。

3.2 摩耗箇所の元素分析結果

EDS を用い、シート表面の摩耗面における元素の組成を取得した。サンプル 12 及びサンプル 13 を用いた実験後のシート摩耗面から取得したスペクトル線図を Fig. 3 に示す。サンプル 12 を用いた実験後のシート表面からは、硫黄のピークが検出された。それに対し、サンプル 13 を用いた実験後のシート表面からは、硫黄ピークが検出されなかった。

3.3 AFM ナノスクラッチ試験の結果

実験後のシートの上面に対して、AFM ナノスクラッチ試験を実施した。AFM ナノスクラッチ試験は、弱い荷重での表面形状取得と、強い荷重での表面のスクラッチを繰り返し実施し、スクラッチにより掘れた深さから表面硬度を評価する試験である。結果を Fig. 4 に示す。サンプル 12 での実験後のシートでは、1 回目のスクラッチでサンプル 13 での実験後のシートよりもスクラッチ深さが 14.7 倍になった。この結果より、サンプル 12 での実験では作動液の腐食作用によりシート表面が軟質になることが示唆された。

3.4 添加剤がシートの摩耗に及ぼす影響

本研究において、添加剤として銅防錆剤非公開 A のみを含有させたサンプルを用いた実験後のシートはいずれも異常摩耗した。この結果から、銅防錆剤非公開 A は作動液のベース油の種類によらず摩耗促進効果があることが示唆された。銅防錆剤非公開 A には、硫黄が含まれることがわかっている。サンプル 12 を用いた実験後の摩耗面からは硫黄が検出されたが、この硫黄は銅防錆剤非公開 A 由来のものであり、銅防錆剤非公開 A が表面に吸着したものと考えられる。この硫黄化合物が軟質であるため、銅防錆剤非公開 A のみを添加したサンプルではキャビテーションの衝撃圧による摩耗が進行しやすく、シートが異常摩耗すると考える。

サンプル 13 を用いた実験後のシートからは硫黄が検出されず、シート表面もサンプル 12 と比較して硬質であった。この結果から、サンプル 13 を用いた実験では銅防錆剤非公開 B が銅防錆剤非公開 A のシート表面への吸着を防止したと考えられる。よって、銅防錆剤非公開 B を組み合わせた場合ではシートの摩耗が抑制された。

4. 結論

本研究ではグリコール系作動液が油圧弁を高速流動する環境下において、添加剤がシートの異常摩耗に及ぼす影響を明らかにした。実験後シートの摩耗溝体積を測定した結果、銅防錆剤非公開 A のみを添加した場合ではシートが異常摩耗するが、銅防錆剤非公開 B と組み合わせると摩耗が抑制されることが明らかになった。銅防錆剤非公開 A のみを添加剤として作動液に含有させた場合では、摩耗面から硫黄が検出された。銅防錆剤非公開 A 由来の軟質な硫黄化合物がシート表面に生成することで、摩耗が促進されると考えられる。銅防錆剤非公開 B を組み合わせた場合では、軟質な硫黄化合物は生成せず、シートの摩耗も抑制された。

文献

- 小西・西海：油圧制御システム，東京電機大学出版局

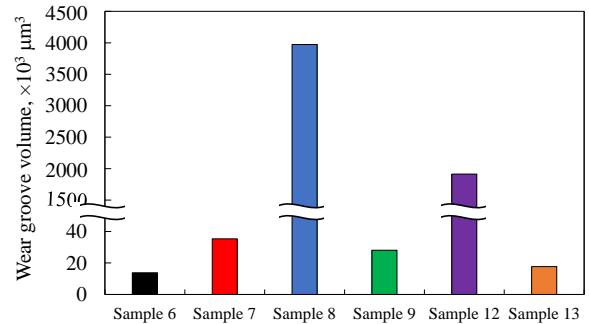


Fig. 2 Comparison of wear groove volume

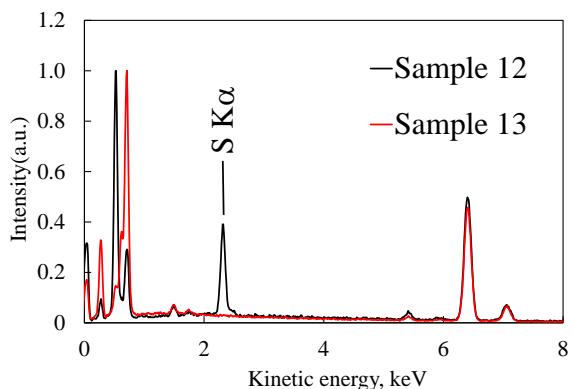


Fig. 3 Spectral diagram obtained by EDS

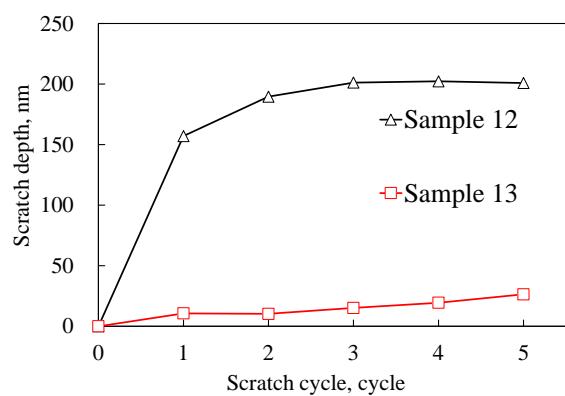


Fig. 4 Relationship between the number of scratches and scratch depth

- 2) 越前：高速流動環境下の弁体における腐食とキャビテーション相乗作用による異常摩耗, 日本機械学会年次大会
2022