

油圧制御式自動車用変速機のスプールバルブに作用する押し付け力を予測するためのパラメータ解明と手法開発

柳川 大輔* 神谷 将弘* 戸塚 翔*
島田 勝** トウク イドリス*** 上蘭 直樹****

抄 録

自動車用自動変速機で使用されているコントロールバルブ内には調圧しつつ流量過剰分をドレーンする弁がある。弁周辺の流れは複雑で流れる際に弁に様々な力を与え、摺動抵抗が増加する事で弁の応答が遅くなることや、コントロールバルブボディに押し付けられる事でボディが摩耗する懸念がある。しかし、弁に作用する力を流体解析により計算することはできたが、解析結果が正しいかわからなかった。そこで本研究ではロードセルを用いて荷重の実測を行った。結果、流体解析による計算結果と実測結果の傾向の一致を確認でき、解析結果が妥当であることがわかった。

1. はじめに

自動車用自動変速機は複数の油圧回路への油の供給と調圧のためにコントロールバルブを使用している。コントロールバルブ内には調圧しつつ流量過剰分をドレーンする弁がある。ドレーンする際には弁に流れによる押し付け力が作用し、弁に様々な影響を与える。

しかし、従来は弁に作用する押し付け力を流体解析により計算することはできたが、押し付け力の測定が困難だったため、解析結果が正しいかがわからなかった。そのため仕様変更可否の判断は実験による応答性や摩耗の評価が必要である。仕様変更時には実験による判断

となるため、トライアンドエラーが生じており、開発期間に影響が出る。

本稿では、弁に作用する押し付け力を直接測定できる実験装置を製作し実測を行い、流体解析の妥当性を確認した結果について報告する。

2. 弁の構造と感度確認寸法

今回実験対象としたのはFig. 1に示す構造の弁で、上流から下流へ油が流れる際に流れによって弁に流体による押し付け力が作用する。押し付け力により弁のフリクションが増加し、制御において重要な特性である応答性に遅れ

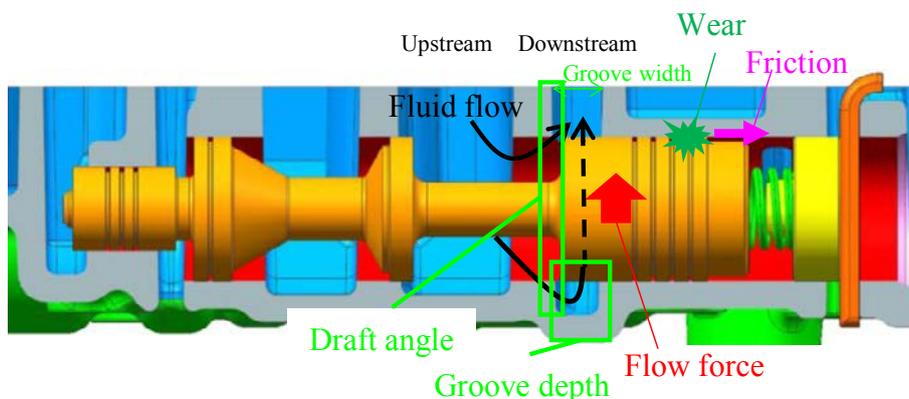


Fig. 1 Loading forces acting on the spool valve and their effects

* 部品システム開発部

*** 工務部

** ジャトコ エンジニアリング(株) 部品システム開発部

**** ジャトコ エンジニアリング(株) 実験部

が生じる。また、弁が挿入されているコントロールバルブボディに押し付けられることでボディが摩耗する懸念がある。

今回の実験は抜き勾配とグループ深さ2つの寸法に関して実測による感度取得を行った。これらの寸法は流体解析結果から押し付け力への感度があると考えている寸法である。

抜き勾配とはボディの壁面の傾斜角度の事でFig. 2の角度を抜き勾配とする。 casting時に型を抜き易くするにつける傾斜で、ボディ側にもその傾斜が残ってできるものである。グループ深さはFig. 3の通り、溝の深さとした。

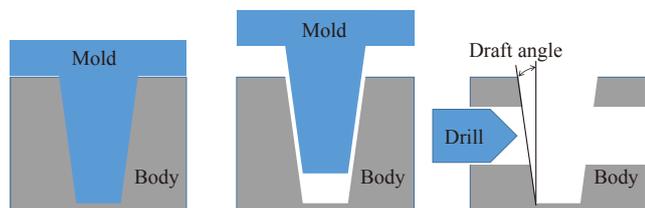


Fig. 2 Definition of draft angle

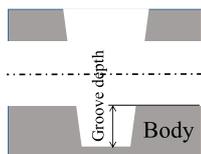


Fig. 3 Definition of groove depth

3. 実験スタンバイ

コントロールバルブボディ内にある弁がボディを押す力を直接測定するのは困難だが、測定子を介して弁が押す力をロードセルで測定できるように工夫した。測定子の位置は解析結果と実機の摩耗痕から弁がボディに押し付けられている位置を確認して、その位置に穴を開けて測定子を設置した。測定子は治具を貫通させて、上方に設置したロードセルと接触させる構造とした。これにより弁に作用する押し付け力が測定子を介してロードセルで測定可能となった。

実験スタンバイはFig. 4の様にコントロールバルブ実機の弁周辺を切り出した治具に、Fig. 5のアタッチメントパーツを使い弁周辺の寸法を可変とする構造とした。これにより弁周辺寸法の感度取得をできるようにした。

また、実験中に弁が適切なストローク位置で測定子を推せるように、弁先端と治具にネジを切り治具の外からス

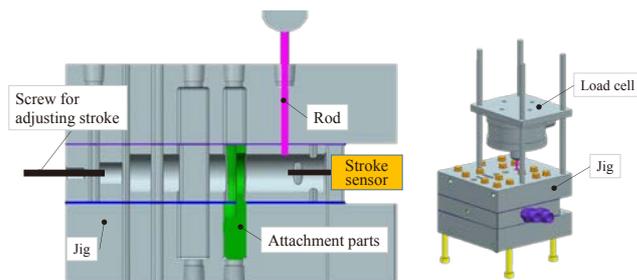


Fig. 4 Structure of jig, attachment parts and rod

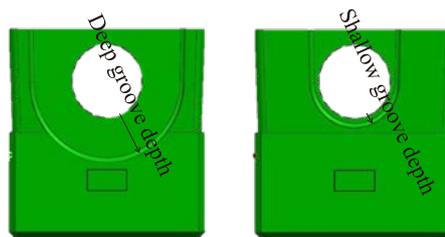


Fig. 5 Attachment parts

トロック量を調整できる構造とした。

上述のスタンバイで上流の油圧を変化させた時のロードセルにかかる押し付け力の出力確認を行った結果をFig. 6に示す。

実験仕様は抜き勾配2deg, グループ深さ11.5mmを使用した。横軸は時間で縦軸は油圧とロードセルにかかる押し付け力とし、赤が油圧で黒が押し付け力を示す。

上流の油圧が高くなると共に押し付け力は上昇し、油圧変化に追従した押し付け力の測定結果が得られた。これは上流と下流に差圧ができる事で流量が増加し、流体による押し付け力が増加した結果と考えられる。本スタンバイにて押し付け力が測定できることが確認できた。

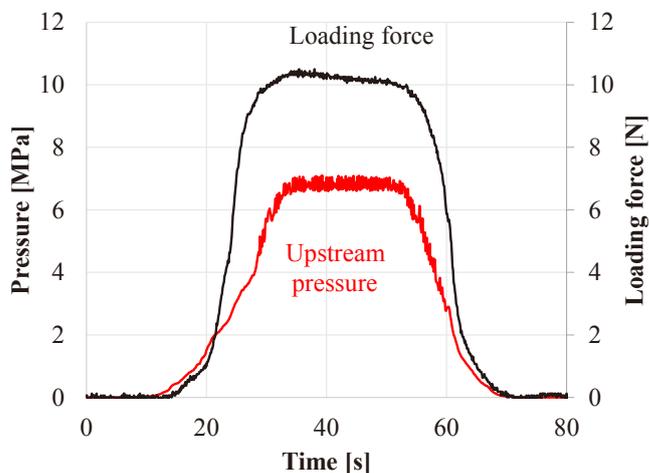


Fig. 6 Output of load cell related pressure

4. 解析モデル

上述の治具，アタッチメントパーツ，弁を3Dモデリングし，流体解析にて測定子位置に作用する流体力による押し付け力を解析する。

解析モデルの例をFig. 7に示す．今回測定する押し付け力はFig. 8に示すスプールとボディ間の環状隙間部に作用するので，環状隙間部のメッシュを細かくすることで計算精度を上げた．

解析条件は実験条件と合わせ，共に上流側の圧力を5.7MPa，下流側の圧力を0.7MPa，油温を50℃として，弁の仕様をφ17の弁とした．

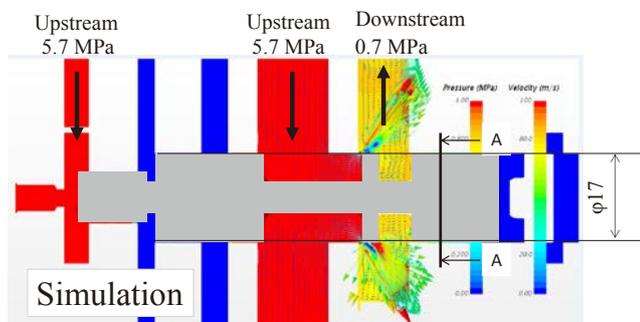


Fig. 7 Simulation model

Clearance:
Space between spool and body

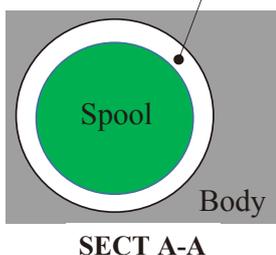


Fig. 8 Definition of clearance

5. 実測結果と解析の比較

抜き勾配感度の結果をFig. 9に示す．グラフは横軸にその抜き勾配を取り，縦軸は押し付け力をプロットした．青が実測結果で赤が解析結果である．抜き勾配の無い0deg条件では6.3Nの押し付け力が測定できた．抜き勾配を大きくしていくと押し付け力が大きくなり，2degの条件では19.3Nの押し付け力が測定できた．また同条件を流体

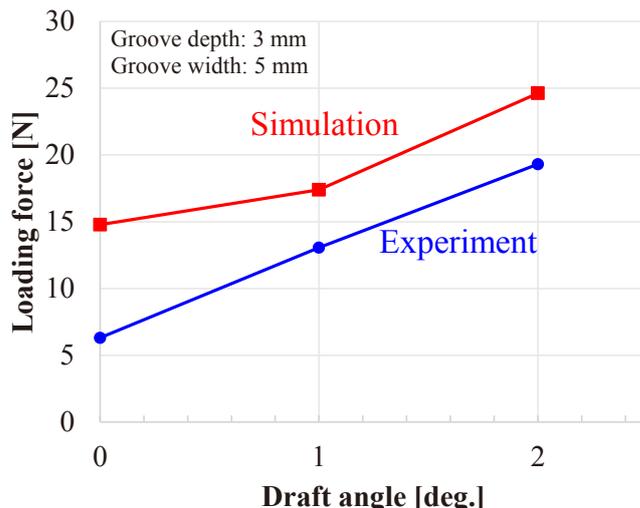


Fig. 9 Loading force as a function of draft angle

解析で計算すると抜き勾配の無い0deg条件では14.8Nとなり2degの条件では24.6Nとなった．

実測結果と解析結果の絶対値には若干の乖離があるものの，実験結果と解析結果は同様の傾向と感度があり解析の妥当性が確認できた．

押し付け力に抜き勾配感度がある理由としては，抜き勾配により回路面，背面側に圧力アンバランスができ，回路面側に押し付けられるためと考えられる．

抜き勾配が大きくなると回路面側と背面側の弁の開き量に差ができ，回路面側の弁の開き量が広がる(Fig. 10)．そのため，回路面側の流量が多くなるので流速は背面側よりも早くなり，回路面側の圧力が低くなるため圧力差ができ，回路面側のスプール周辺部圧力が局所的に低くなりFig. 11に示す通り圧力アンバランスができる．

次にグループ深さ感度をFig. 12に示す．横軸はグループ深さで縦軸は押し付け力，青が実測結果で赤が解析結果である．グループ深さに関しては深さが3mmの時に11.2Nとなり深くすると押し付け力は低下しグループ深さ11.5mmで3.3Nほどとなる．解析結果ではグループ深さが

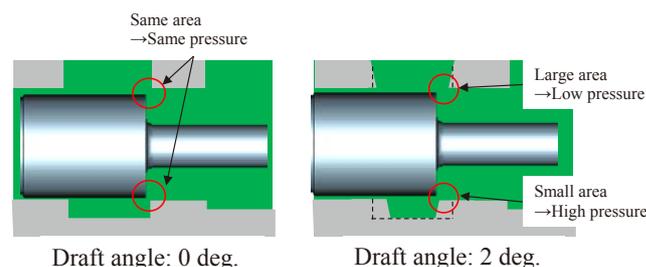


Fig. 10 Effect of draft angle

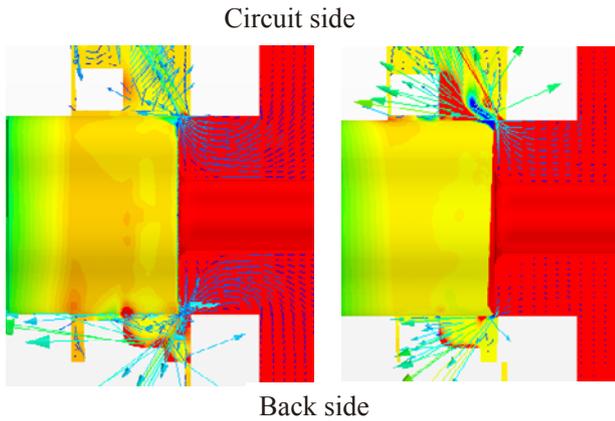


Fig. 11 Simulation results for draft angle

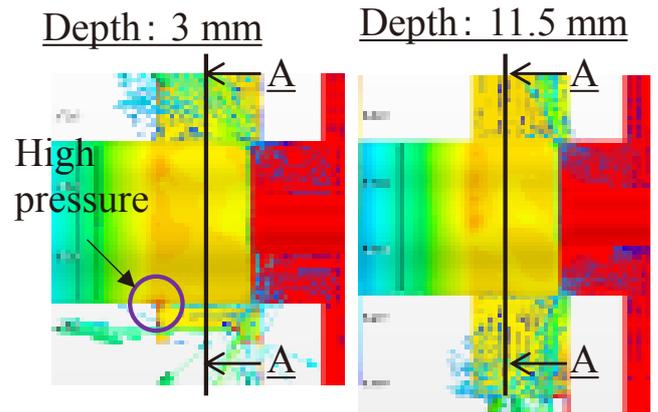


Fig. 13 Simulation results for groove depth

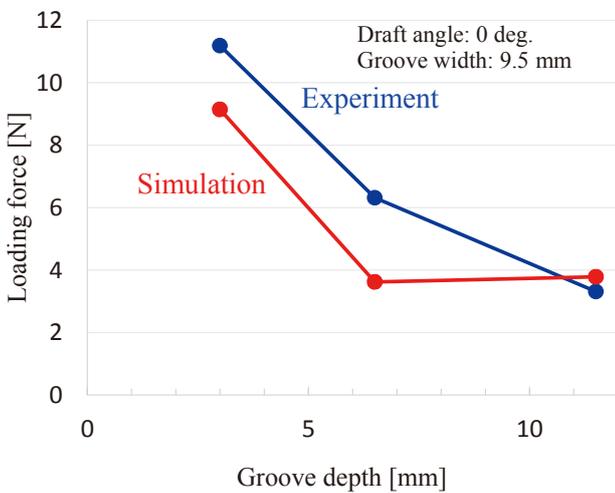


Fig. 12 Loading force as a function of groove depth

3mmの時に9.1Nでグループ深さが11.5mmの時は3.8Nとなる。

実測結果と解析結果は若干の乖離があるが、抜き勾配同様に傾向は合っている。

押しつけ力にグループ深さ感度がある理由としては、以下の2点の作用が考えられる。

- (1) スプールへの衝突による圧力上昇による回路面への押しつけ
- (2) 背面、回路面間の圧力勾配による背面側の圧力上昇による回路面への押しつけ

Fig. 13に示す(1)のスプールへの衝突は背面側のグループ部に出た油が回路面側に向かう時に発生する(Fig. 14)。グループ深さが深い場合には衝突する前に流れが広がり衝突の作用は小さいが、グループ深さが浅い場合には衝突による作用が大きく圧力上昇が見られる。

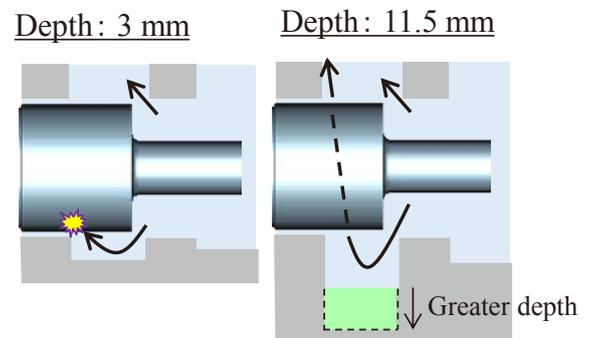


Fig. 14 Effect of groove depth

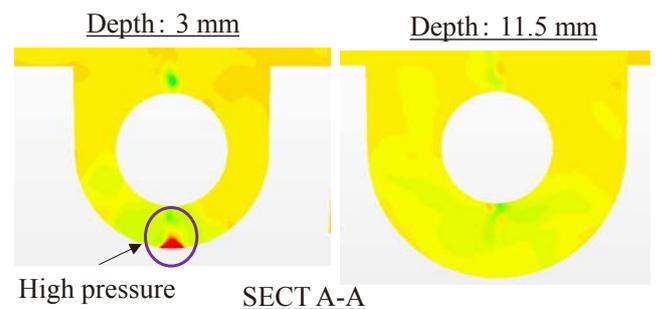


Fig. 15 Simulation results for groove depth in sect A-A

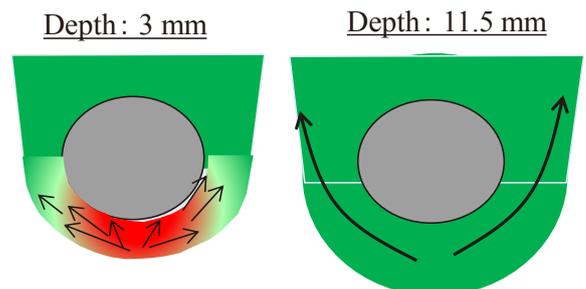


Fig. 16 Effect of pressure drop

また、Fig. 15に示す(2)の圧力勾配は背面側のグループ部に出た油が回路面側に向かう時にスプール～ボディ間を流れる事で流れ方向に発生する。これはグループ深さが浅い方が流路が狭くなるため顕著であり、グループ深さが深い場合には影響は小さい(Fig. 16)。その結果回路面側に比べて背面側の圧力が高くなり押し付け力が増加する。

6. まとめ

- (1) 弁周辺を切り出した治具、ロッド、ロードセルを使用することで、測定の困難な弁に作用する押し付け力を直接測定することができた。
- (2) 実測結果と解析結果の比較から絶対値には若干の乖離があるが寸法感度は実測、解析で傾向が合っており、解析結果は妥当である事が確認できた。
- (3) これにより、開発段階において実験前に設計判断ができるようになった。

7. 参考文献

本論文は2021年10月の第11回JFPS国際会議にて発表された内容である。

- (1) Kenji Sakakibara, "Development of a hydraulic control system for a new JATCO wide-range CVT," 10th International CTI Symposium USA. Automotive Transmissions, HEV and EV Drives, USA, 2016, B2_Sakakibara_Jatco_paper, pp. 5-6
- (2) Masaru Shimada, "Application of CFD to develop a control valve spool featuring reduced fluid force," 2017 JSAE Congress (Autumn), No. 20176045

■ 著者 ■



柳川 大輔



神谷 将弘



戸塚 翔



島田 勝



トゥンク イドリス



上蘭 直樹

