

CVTバルブボディ樹脂化による ボルト締結構造に関する研究

朴 鍾浩*

崔 鍾允*

金 大元**

金 喆淳*

児島 謙治***

抄 録

自動車のエネルギー効率向上のため、自動車部品の軽量化の重要性が高まっている。また、CVTの油圧を供給する機構であるコントロールバルブにも軽量化が求められている。軽量化の方法の一つとしてプラスチック材を使うこともある。コントロールバルブのボディはボルトで固定されており、ボアの変形を抑えながらオイル漏れを防止する必要がある。しかし、プラスチック材は剛性が低いため、アルミニウム材の設計手法をプラスチック材のコントロールバルブボディに適用することはできない。

本研究では簡易モデルの有限要素法を通じて締結力に及ぼす変数の影響を確認し、プラスチック材コントロールバルブに求められる油圧性能を満足できることを実験で確認した。

1. はじめに

自動車産業は、世界各国の厳しい環境規制に直面しており、自動車排出ガスと燃費基準値が上方調整されている。これに対応するために、車両の軽量化技術の重要性が高まっている。自動車の重要部品である自動変速機も各部品の軽量化のための研究を行っている。

自動変速機内部部品の一つであるコントロールバルブは、オイルポンプで発生する流量を各作動要素に最適な油圧、流量に制御して供給する。ハウジングを除く内部部品全体重量の約10%を占めているので、軽量化の要望が高まっている。すでに高油圧回路とボア部を除いた

電装品などを固定する目的のバルブボディはアルミから樹脂に変える研究が進められている。

ボア部を樹脂化するためには、ボルト締付力などの外力に対する変形を抑制しつつ、流体の要求性能を満足させる必要がある。樹脂材はアルミ材よりも剛性が低いため、アルミボディ形状の設計方法を流用するのは難しい。

本研究では、ボルト締結構造の樹脂材コントロールバルブボディ変形に対して解析予測手法の深掘りと物づくりし油圧性能を実物検証した。

2. コントロールバルブボディ構成と樹脂化の課題

Fig. 1にコントロールバルブの形状を示す。構成部品の役割は、以下の通りである。

- 1)バルブボディ：油圧を供給する油路、スプールと一緒に油圧を調節するボアで構成されバルブ部品の組み立てのための本体の役割。
- 2)スプールバルブ：入力油圧とスプリング力によって往復運動し、油路の開閉による油圧の調整。
- 3)セパレートプレート：複数のバルブボディ間の油路を繋ぐ。かつ部品間の密閉機能でオイルの漏れの防止。
- 4)電装品(ソレノイド、センサ、配電盤等)：電気信号から制御弁を作動させ、動作条件の検出。

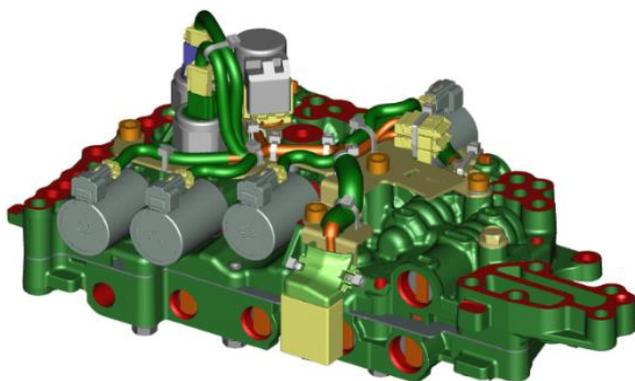


Fig. 1 Structure of control valve

* ジャヤコ 韓国エンジニアリング社 部品開発室

** ジャヤコ 韓国エンジニアリング社 システム開発室

*** 部品システム開発部

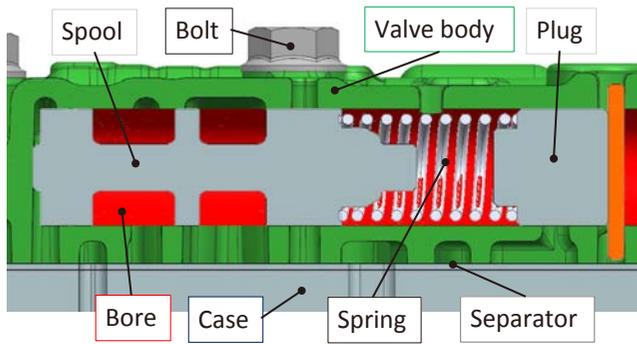


Fig. 2 Structure of spool valve

- 5) ボルト, ナット: コントロールバルブの構成部品とコントロールバルブをケースに締結及び固定.

本研究では樹脂化の対象となる部品は, Fig. 2で示すようにバルブボディ, スプールバルブであり, 影響を与える機能は次の通りである.

- 1) 油圧制御と分配: スプールの軸方向往復運動によって油路入出力ポートの開閉を通じた油圧の生成および分配し, 必要な部品に油を供給.
- 2) 油量確保: 部品間の密閉力を維持してオイル漏れを防止.

2.1 樹脂コントロールバルブの脆弱性と課題

一般的に, 樹脂の剛性は, アルミニウムの6%に過ぎず, 入力荷重による変形に敏感なので, 樹脂材のコントロールバルブ設計の際には, 以下の二つ懸念点について考慮する必要がある.

- 1) ボルト締付力によるボディの過渡変形: コントロールバルブ固定用ボルト締結時のボルト締付力により, バルブボディが変形されるが, その中で構造的に空間であるボアが相対的に大きく変形することになる. ボアが過度に変形すると, スプールの摺動に必要な最小のスペースを確保できず, スプールの動きが妨げられ, 油圧調整不良や油分配の異常を起こす.
- 2) ボルト締付力不足による密閉性が不足: ボルト締結により部品を固定するだけでなく, 締結時の面圧を利用した部品間の密閉性を確保する機能もある. ボルトの締付力が不足すると, バルブボディとセパレート, ケースの間に隙間が大きくなって, この隙間を介してオイルのリークが発生し, 各部品に必要な流量が不足することになる.

油圧異常と流量の不足は, 自動変速機全体の機能に深刻な問題を起こすので, ボルト締結の構造と力の関係を把握することが重要である.

3. バルブボディの変形の解析的研究

3.1 軸力の影響範囲

バルブボディに変形を起こす要因としてボルトの締付トルクによる軸力がある. ボルト軸力によるボディの変形の影響範囲は, 締結ボルトと被締結ボディとの間のバネ定数を求める方法で計算する. Shigley方法では, 被締結体の締結時剛性に影響を及ぼす範囲に基づいて被締結体のバネ定数をFig. 3および式(1)により求める.

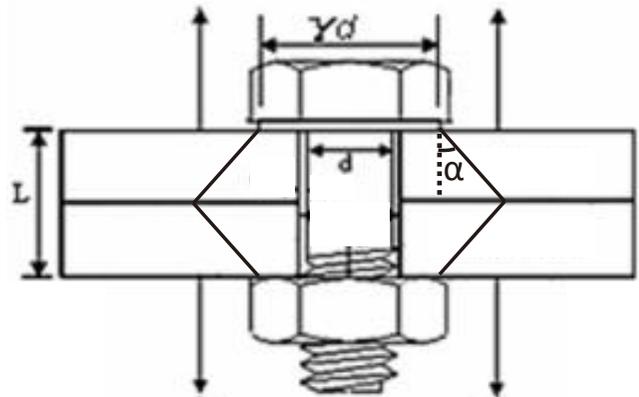


Fig. 3 Shigley's method for tightening structure

$$k_f = \frac{\pi d E \tan(\alpha)}{2 \ln \left(\frac{(L \tan(\alpha) + \gamma d - d)(\gamma d + d)}{(L \tan(\alpha) + \gamma d + d)(\gamma d - d)} \right)} \quad (1)$$

上の式, k_f : 被締結体のバネ定数

γd : ボルト座面の直径, d : ボルトシャングの直径,

L : ボディの厚さ

α : 被締結体の締結時剛性の影響範囲

E : Young's modulus

一般的に被締結体のバネ定数 a の値を 30° と仮定して計算が被締結体の形状が複雑で厚い場合, 数式の適用が困難である.

3.2 簡易モデルを用いた軸力の影響範囲の解析

ボルト締結構造と変形の間を把握するためにパラメータの研究を実施した. まず, ボディ素材による軸力の影響範囲の違いを比較するためにFig. 4のようにボディ, セ

Table 1 Condition of simulation model

Part	Material	Mesh
Body	Plastic/Aluminum	3D/Tet
Separator	Steel	3D/Tet
Case	Aluminum	3D/Tet
Bolt/Nut	Steel	1D

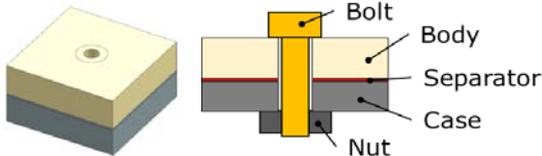


Fig. 4 Simple model for simulating tightening

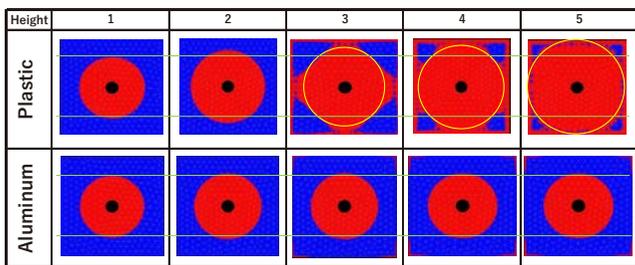


Fig. 5 Comparison of surface pressure of simple models

プレート、固定体で構成された単純な長方形のモデルで検討した。

ボディは厚さに応じた面圧分布を見るために十分な広さを持つ立方体モデルに厚さを5段階で設定し、その他の部品の形状は、同じように固定させた。樹脂材とアルミ材のボディをそれぞれ5段階の高さについて解析を実行した。解析モデルの材料とメッシュはTable 1の通りである。

その結果、Fig. 5のように厚さが厚くなるほど、ボルト締結力の影響を受ける範囲がますます広がることを確認することができた。

高さを振ったモデルの面圧分布解析結果をFig. 6に断面で示した。一定厚さの以上になるとShigley方法で提示している線形分布とは異なって、面圧領域が2次曲線の形で拡大され、最も厚いモデルでは、樹脂材の方がアルミ素材よりも19%広い範囲で面圧が発生した。

なお、二つの材料の応力もFig. 7のように2次曲線分布となっていて材料の違いにより生じた応力の値は異なるが、圧縮応力の分布は樹脂材の場合がアルミ材より広く増加することを確認できた。

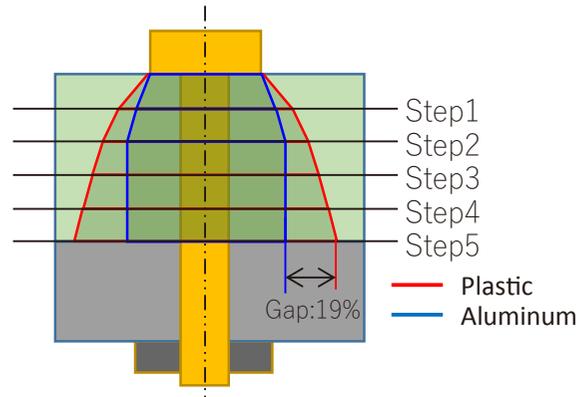


Fig. 6 Surface pressure range for different materials

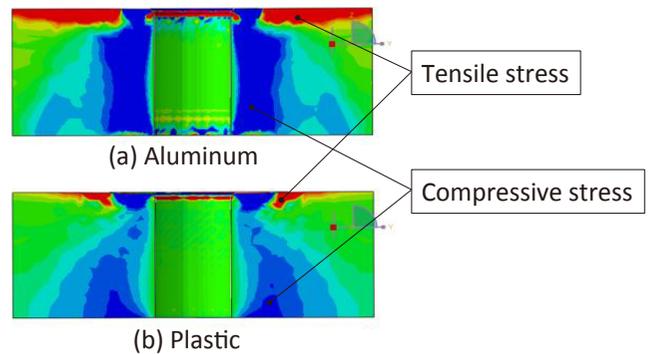


Fig. 7 Comparison of stress distribution

面圧は二つ被締結体の圧縮変形による接触圧力を示すパラメータである。上記の範囲をボルト軸力による被締結体の変形分布で見ることができ、これらの面圧と応力分布の比較結果を利用して締結力によるボディの変形の影響範囲を予測することが可能である。変形によるスプール動きに影響を及ぼす部位であるボアの位置に影響範囲から離れて設定することでボアの変形量を減らせる。

3.3 ボアモデルを用いた軸力の影響範囲の解析

ボアの変形を抑制しつつ、部品間に必要な面圧を出せるボルトの締結構造を把握するために簡易モデルでボルト締結時の軸力による変形の影響範囲を予測する方法を利用して、パラメータ解析検討を行った。

1) 解析モデルと方法

解析モデルは、Fig. 8のように一つの穴とボルトの締結構造を考慮したバルブボディである。ボルトの数、ボディ長さ、ボルト間の距離は締結による密閉性の影響を考慮し、簡易モデルの解析結果を利用して設定した。

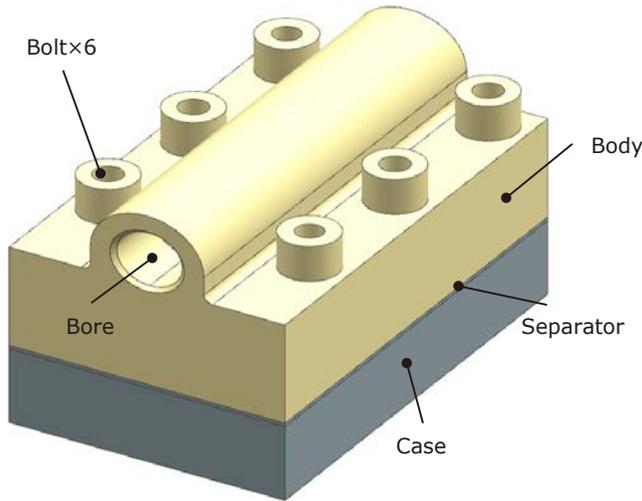


Fig. 8 Simulation model with shape of bore

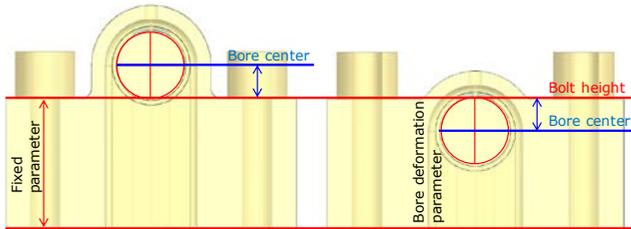


Fig. 9 Bore deformation parameter

ボアがあるボディのみ樹脂材を設定しそれ以外の部品は、簡易モデルと同じである。

解析はFig. 9, Fig. 11のように二つのパラメータを変化させながらボアの変形量と被締結体間の発生面圧を確認した。

Bore deformation parameter : ボディ厚さを固定しボア中心位置とボルト高さ関係の変化によるボア変形量を確認した。

Bore deformation parameterの解析結果Fig. 10に示すように、ボルトの高さが穴の中心よりも高くなる場合には、ボアの変形が急激に大きくなり、低くなる場合には、ボアの変形が減ることが分かる。

Contact pressure parameter : ボア中心位置とボルトボス高さの関係を固定してボディ厚さの変化による面圧の半径を確認した。

Contact pressure parameterの解析結果は、Fig. 12に示すようにボディの厚さが厚くなるほど有効面圧の範囲も増加することを確認した。

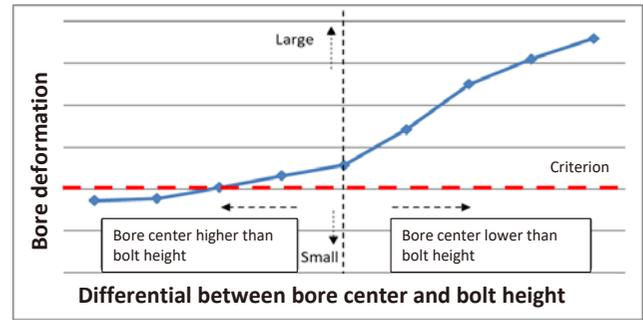


Fig. 10 Simulation results for bore deformation

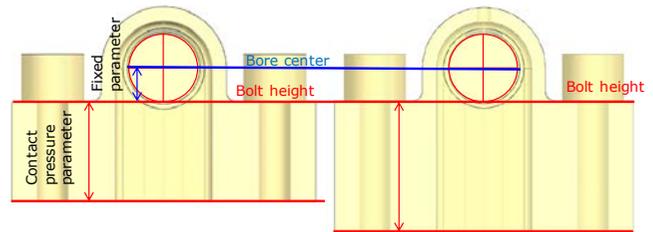


Fig. 11 Contact pressure parameter

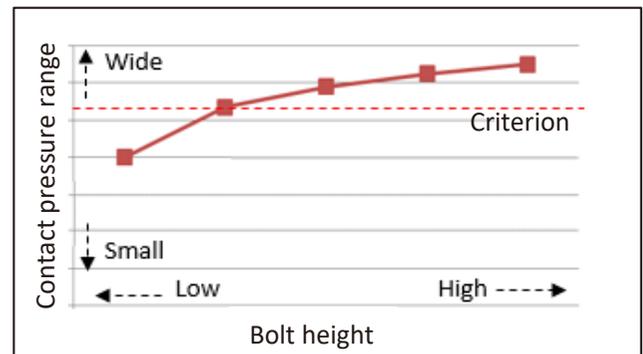


Fig. 12 Simulation results for contact pressure range

二つの感度グラフ(Fig. 10, Fig. 12)を通じて、ボア変形や有効面圧半径の感度を確認し、それぞれの要求特性を満たせるボルト締結構造の形状決定ができた。

4. 実験的検証

解析結果からボアの中心位置が高いほどボアの変形は減り、ボディ厚さが厚いほど有効面圧の範囲は広がるが、重量も増加するため、それぞれの基準を満たしている結果の中で最も重量を減らせた仕様を持って実験との比較モデルを決定した。このモデルのボア変形の解析と実験結果を比較した。

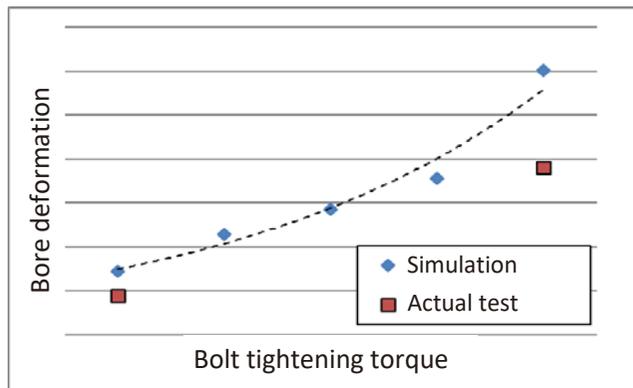


Fig. 13 Comparison between simulation and experiment

4.1 ボア変形解析と実験の結果の比較

Fig. 13で同じ形状の樹脂バルブボディに対してボルトの締付トルクに変化を与えボアの変形量を測定し、解析の結果と比較した。低トルク条件では、61.7%、高トルク条件では、63.4%の差が発生したが、解析と実験の傾向の一致は確認できた。

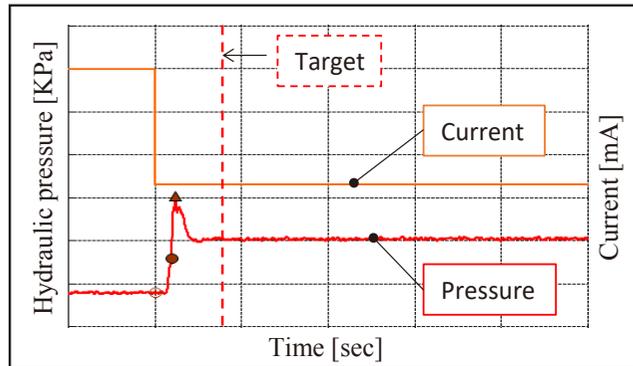


Fig. 14 Hydraulic response

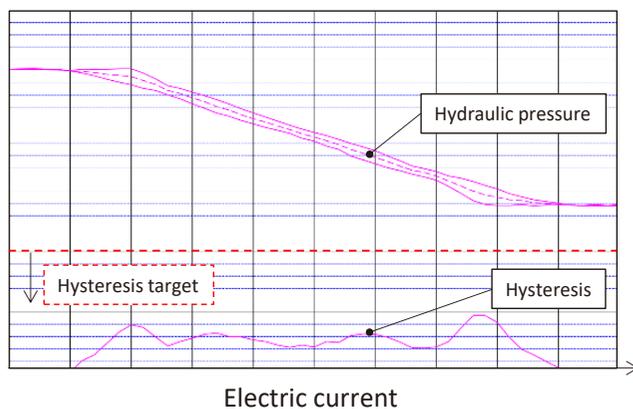


Fig. 15 Hydraulic sweep characteristic

4.2 樹脂コントロールバルブの油圧性能実験確認

同モデルを持って油圧性能を検証する実験を行った。まず、時間に応じた指示電流と油圧を測定した。Fig. 14のように電流が指示した後、必要とされる油圧まで目標時間内に到達することを確認した。

また、一定な大きさに油圧の変化を与えながら、ヒステリシス油圧を測定し、Fig. 15のように油圧の変動が目標値以内であることを確認した。

5. 結論

本研究では、コントロールバルブボディの樹脂化に伴うボルト締結構造を分析した結果、以下のような結論を得られた。

- 1) 被締結体の材料に応じて、ボルト軸力の伝達範囲が変化することと解析的に予測可能であることを確認した。
- 2) 樹脂バルブボディボア変形の予測が可能になり、構成部品を単に固定する部分だけでなく、スプールの摺動部まで樹脂化できるのを確認した。
- 3) 樹脂バルブボディのパラメータ解析的研究を通じてボアの変形抑制と油圧性能の満足を両立させるボルト締結形状を提案した。

6. 参考文献

- (1) Takahiro Yamamori, Takashi Shibayama, Izumi Amemiya: Automatic Transmission for Automobiles, September 2005.
- (2) Nawras Haidar, Salwan Obeed and Mohamed Jawad: Mathematical representation of bolted-joint stiffness: A new suggested model, Journal of Mechanical Science and Technology 2011.
- (3) Jian Wang, Qimin Li, Changwei Yang, Yidan Huang, Caizhi Zhou: A Simple Model for Elastic-Plastic Contact of Granular Geomaterials, Hindawi 2018.
- (4) Shigley's Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, 2014.

出典：韓国語を日本語に翻訳したものを掲載

・2020韓国自動車工学会秋季学術大会, 朴 鍾浩,
A Study on Bolt Fastening Structure of Plastic Valve
Body for CVT, P.88～93, 2020 KSAE, 2020.

■ 著者 ■



朴 鍾浩



崔 鍾允



金 大元



金 喆淳



児島 謙治