



油圧電磁弁における閉弁挙動の解析 —流体と構造の連成解析—

研究・開発機関 : ナブテスコ (株)
 利用施設 : 自社設備
 計算規模 : 48コアで4日
 利用ソフトウェア : Abaqus/Explicit & SCRYU/Tetra

Before

●高速応答が求められる油圧電磁弁に関して、ばね力によって弁体が座面に衝突する際の弾性変形によるバウンドで、一旦閉じた弁が再度開くことによる応答速度低下が問題となっています。通常の移動境界解析では構造部は剛体とみなされるため、バウンド現象を再現することは出来ませんでした。

After

○流体-構造連成解析を行うことによって弁体のバウンドを再現できるようになりました。これにより、弁体、ケース形状を工夫することで、大幅に油圧電磁弁の作動時間を短縮しつつ、バウンドを抑制することが確認できました。

背景と目的

高速応答が求められる油圧電磁弁 (図1) において、下記の①、②が問題となっています。

- ① 油中を運動する弁体の油の抵抗による応答速度低下
 - ② ばね力によって弁体が座面に衝突する際の弾性変形によるバウンドで一旦閉じた弁が再度開くことによる応答速度低下
- ①については、移動境界を含む流体解析を行うことで、弁体形状による応答速度の変化を予測しスペックを満たす形状を求めることができますが、②は通常の移動境界解析では構造部は剛体とみなされるため、バウンド現象を再現することは出来ませんでした。

そこで油圧電磁弁に対して流体解析にSCRYU/Tetra、構造解析にAbaqus/Explicit を用いた流体-構造連成 (Fluid-Structure Interaction: FSI) 解析を行うことによって、閉弁挙動の解析を行い、応答速度の改善を試みました。

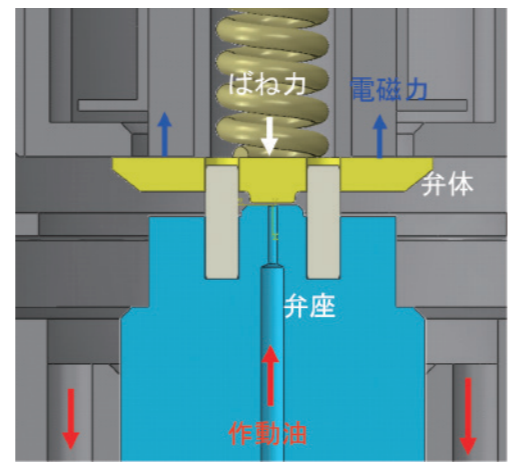


図1. 電磁弁構造

弁体上方からの電磁力により開弁し、ばね力により閉弁する。構造部の材料は鋼系の金属で、空間は作動油で満たされており、装置下側中央から作動油が流入する。

■ 利用成果

構造解析:

モデルを図2に示します。油圧電磁弁の挙動は高速な現象であることからAbaqus バージョン 6.12の陽的動解析 (Abaqus/Explicit) を用いました。部品間には接触 (一般接触) を定義し、モデル簡略化のため、ばねは端面のみをソリッド要素でモデル化し、ばね力は2点間の距離から力を算出するコネクタ要素を用いて与えることとしました。

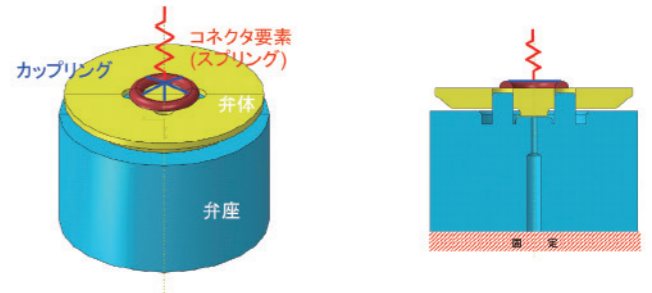


図2. 構造解析モデル

流体解析:

SCRYU/Tetra V10を用いた流体解析の解析領域を図3に示します。Abaqusとの連成解析を行う前にSCRYU/Tetraのみでダイナミカル要素移動機能を用いてFSI以外の解析条件を確認しました。ケースをマスター、弁体をスレーブとする重合メッシュを用い、流体は圧縮性液体とし、流出入面の圧力差で流れを駆動しました。

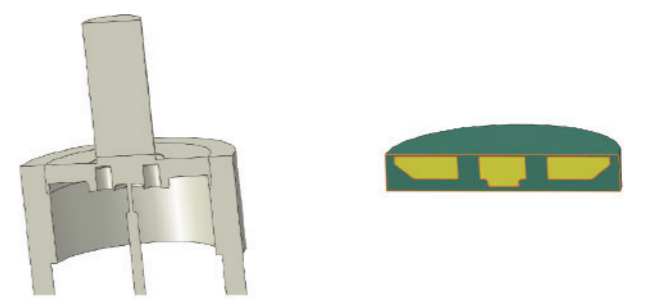


図3. 流体解析モデル

FSI解析時には要素移動機能に代えて、連成解析機能を有効化しました。

実験との比較:

図4に計算および実機試験における弁体の上面中心移動量をプロットしたグラフを示します。距離は全ストローク幅、時間は実験における最初の接触時刻で無次元化されています。弁体の速度、バウンド量は実験と良く一致していることがわかります。(予備解析のSCRYU/Tetraのみの解析結果“剛体”とFSI結果を比較するとバウンドが再現されていない以外は概ね一致)

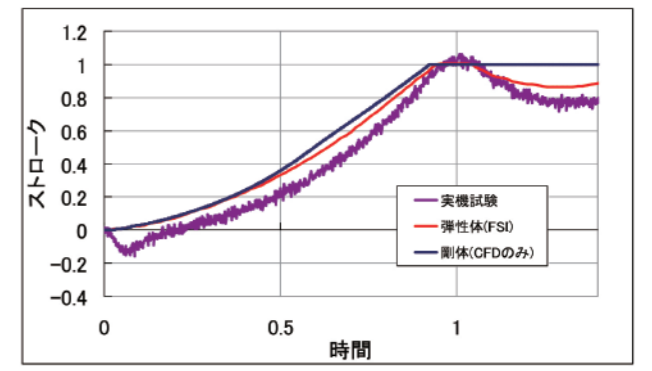


図4. 弁体ストローク (実験との比較)

以上のことから、本FSI手法により弁体のバウンドを再現できると判断できます。

形状変更による応答改善:

リバウンドを再現できることが判明し、本手法を用いて形状変更による応答改善案を事前検討しました。図5に結果を示します。改良1では主に弁体の速度を向上することを目指し、改良2でバウンドを抑制することを目標としました。弁体、ケース形状を工夫することで、大幅に作動時間を短縮しつつ、バウンドを抑制できることが確認できました。

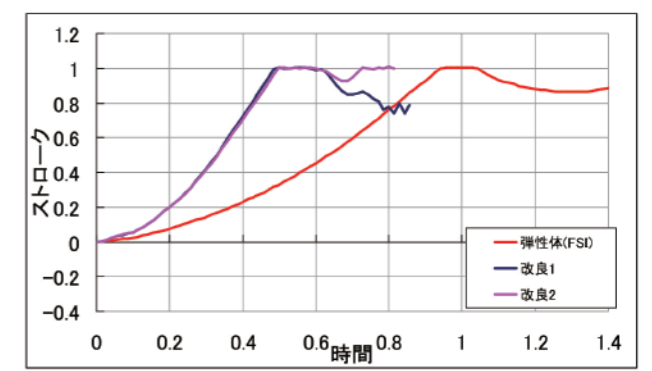


図5. 弁体ストローク (改良形状との比較)