

省メンテナンスと再使用化を実現した オールメタルシールの脱着型水素継手の開発

～再使用化に向けた評価と CAE 解析～

○武田 洋一^{a)}

^{a)} 岩手大学技術部理工学系技術部

1. はじめに

脱炭素社会の実現に向け、水素に非常に注目が高まっている。一方でシール技術の課題があり、普及においては供給ラインやタンクなどの安全性や利便性の障壁である。それらの課題を解決案として、金属弾性に着目したシールと着脱継手の試作開発を JAXA らと共同で行ってきた。しかし、耐久性において優位であるが、弾性変形幅が小さく、これまでの試験においても加圧試験後の再加圧での漏えいが見られた。本研究では、再使用化に向け材料や形状の最適化を目標に、試験体の精密測定と CAE 解析を行い、漏えい原因や最適化指針について調べた。

2. 試験体の漏えい原因の究明

2. 1 高圧試験体の形状評価

JAXA/ISAS と岩手大学、Toki エンジニアリング株式会社と共同開発を行った高圧離脱接手（SUS316L 製、接続部直径 16mm）の 100MPa 試験体の精密計測を行った。測定には 3 次元座標測定機（CRYSTAPEX-S776 ミットヨ社製、図 1）を用い、ソケット（図 2）とプラグの断面形状並びに脱着部のテーパ形状の変形について評価した。図 3 にプラグ先端計測形状、図 4 にプラグ先端計測断面の比較図を示す。計測はプラグを等高線上に円周計測並びに半径断面上を計測した。等高線上の円周には大きな歪みはな

い一方、プラグの断面形状は先端部で直径 0.3mm の収縮変形がある。この形状をソケットとの当たりを CAD 上で確認したところ、漏えいするような隙間は無いもののプラグとの接触点は先端から後退する。湾曲によって内圧によるプラグ接触力が弱くなるために漏えいの原因となったと考えられる。

2. 2 高圧試験体の CAE 解析

試験体形状の CAE 解析を行った。解析ソフトは SolidWorks Simulation を用いている。解析モードは非線形解析を用いた。解析モデルはプラグ、ソケットの接続部のみを実形状とし、周辺部は接続変形を考慮するために単純円筒形状の剛体としている。外部力はソケットを固定した状態でプラグに締結力を与え、その後加圧するように設定した。内圧 100MPa での反力は軸方向に 18.2kN であり、それをもとに解析上の締結力は、内部の圧力反力を上回るよう 20kN とした。この条件化での接続断面形状を図 5 に示す。ソケット部に食い込むようにプラグ先端が変形しているが、その形状は湾曲しており、半径方向で 0.27 mm となった。また形状は図 3 に示す試験体のソケット先端形状に酷似している。また応力はプラグ先端とソケットの接触部に集中している。この塑性変形状態を CAE ソフトの安全率で評価した（図 6）。赤い領域は安全率 1 以下で本研究では塑性変形している領域としている。プラグ先端は、ほ



図 1 3次元測定機



図 2 試験体ソケット部

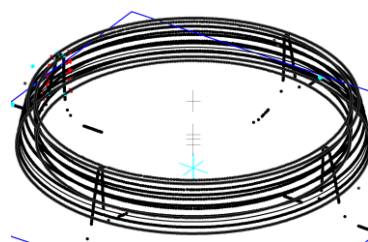


図 3 3次元プラグ測定結果

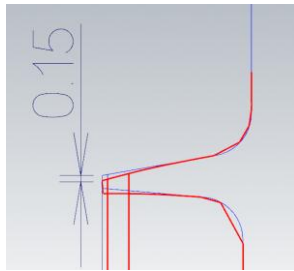


図4 プラグ計測結果

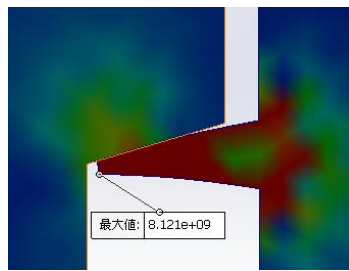


図5 解析による変形

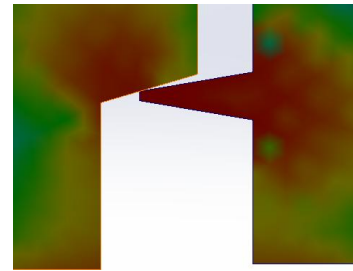


図6 安全率分布

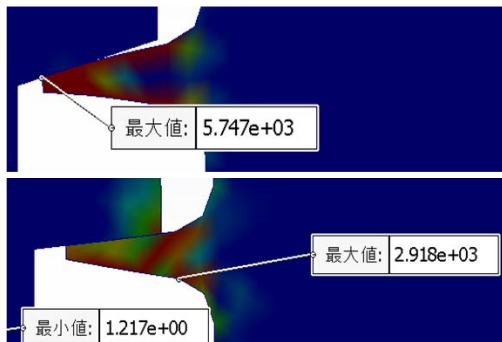


図7 接触角度による応力比較

(上：試験体モデル 下：改良モデル)

ば塑性域である。なお加圧での変形はごく微量であり、半径方向で 0.02 mmであった。以上のことから、プラグ先端の変形要因は内圧に対する締結力であると考えられる。

3. 設計最適化

3. 1 最適化設計の方針

- ① プラグ肉厚増大による変形の低減
 - ② 接続角度最適化による接触圧の均一化
 - ③ テーパー角度の鋭角化による締結反力分散
 - ④ 高強度かつ高弾性材への材質の変更
- 以上を考慮しシミュレーション解析を行った。

3. 2 最適化に向けたモデル解析

最適化を目指して様々なモデルの解析を行った。ソケットとプラグのテーパー角度を片側 6°とし内部応力を比較した(図7)。先端へ集中していた応力がテーパー根元や裏側に分散し、最大応力も半減した。そこで接触面の圧力をさらに低減させるため接触長を長くし、変形量を削減させるためにプラグ先端の肉厚を5倍と10倍に増して安全率を比較した。接触面付近には大きな差がなく、テーパー根元に応力が集中していることが確認された。またソケット角度をプラグより-0.2°にすることで接触圧の均一化が見られた。素材を SUS316L から高強度のニッケル合金を例に解析したところ塑性域の減少が見

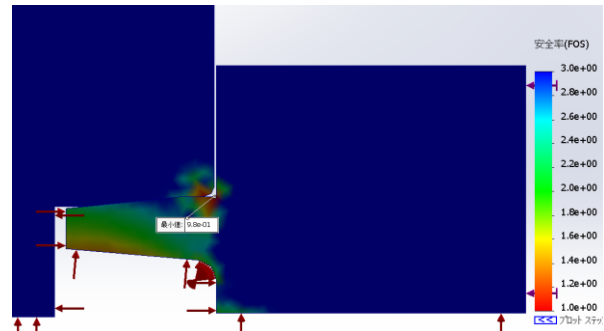


図9 最適化モデル安全率

られた。一方で接触面に塑性域があることに課題がある。そこで先端部と後端部に接触しない部分を設けるとともに差込変形を削減するため端面接触する二面接触を解析した。過度の食い込みがなくなり接触面には塑性域がなくなった(図8)。先端部に弾性状態が残っており離脱後の変形も最小限になると考えられる。また、接触面の接触圧は均一に100MPaを超えており高圧を十分にシールできると考えられる。

4. 結言

本研究では試験体と CAE 解析ならびに形状最適化の工程を通じ、以下の知見を得た。

- ① 接続部には内圧反力に対する高い締結力変形は内圧以上である。
- ② 接続部の弾性維持のためには締結時の接触変形を最小限にする形状必要がある。
- ③ 接続部の接触圧の均一化と応力の分散によって応力の局部集中による塑性変形を防ぐことにより最適形状が得られる。

謝辞

本研究をまとめるにあたり、試験体を提供いただきました JAXA 宇宙科学研究所 小林弘明教授、また本試験体に関し有益なご助言を頂きました Toki エンジニアリング(株) 小柳悟様に感謝申し上げます。なお本研究は、JSPS 科研費 奨励研究 23H05177 の助成を受けたものである。