

【ダイジェスト版】 電力機器の更なる信頼性向上と開発設計の 効率化に向けた気密構造のゴム解析技術

1 背景

電力機器には電気を絶縁するために絶縁油や絶縁ガスが封入されているものが多く、内部からの漏れ、または外部から水などの侵入を防ぐための気密構造部は、ゴム材料の反発力を利用して気密を保つことが多い。しかし、ゴム材料はその特性上、構造解析を行うには一般的に難易度が高いため、気密構造を有する機器の開発においては、長年の製品実績をベースとした設計と繰り返しの試作評価により、製品品質を担保してきた。

今回、ゴム材料の特性を考慮した気密構造の解析に取り組んだ。今後は、このゴム解析技術の適用拡大により、製品の品質向上や試験回数削減、手戻り防止による開発設計の効率化を目指している。

2 ゴム材料の特徴とモデル化方法

(1) ゴム材料の特徴

気密構造の開発設計をする際に重要となるゴム材料の機械的特性面での特徴を以下に示す。

- ①応力-ひずみ特性において、強い非線形性を有する
- ②非圧縮性であり、変形前後で体積が変化しない
- ③変形回数によって、変形挙動が変化する
- ④永久ひずみが生じる可能性がある

(2) ゴム材料のモデル化方法

ゴム材料は、超弾性体として扱うことでひずみエネルギー関数を用いてモデル化される。このひずみエネルギー関数には、様々な種類の表現式が提唱されているが、その中で、精度が高く比較的単純な形で扱いやすいことから、今回は一般化 Mooney-Rivlin の式を使用した。

○一般化 Mooney-Rivlin 式

$$W = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j$$

W：ひずみエネルギー関数、 C_{ij} ：材料物性値

3 実測と解析の結果比較

実測と解析の結果を比較するために用いたモデルを図1に示す。モデルは蓋とケースの間にOリング（クロロプレンゴム）を接触させ、ボルトで締め付けることで気密を確保するものである。解析では、供試器の対称性を考慮して 1/4 モデルとし、締め付け位置の上面から鉛直下向きの荷重を設定して、解析を行った。

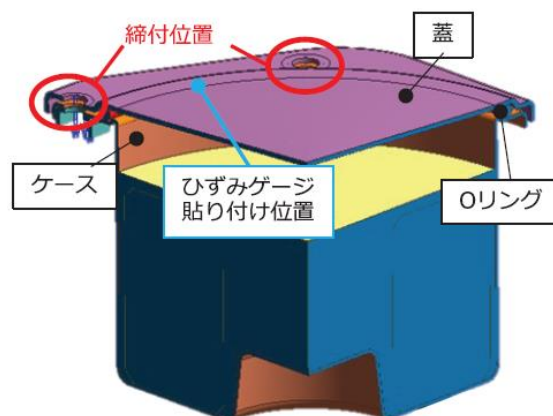


図1 解析モデル図 (1/4 モデル)

実測では、面圧分布に加え、締め付け部中間位置の平坦な部分にひずみゲージを貼り付け、ゴムの反発力による蓋のひずみ（変形）を測定した。

面圧分布の実測結果（図2）および解析結果（図3）より、実測、解析ともにOリングの全周にわたって面圧が確保されていることが確認できた。また、合わせて実施したひずみ測定においては、実測と解析の差が10%以下であったことから、反発力によって生じる構造物のひずみ量が実測と解析で一致することを確認した。

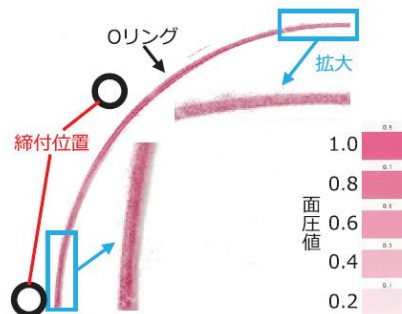


図2 実測結果（面圧分布）

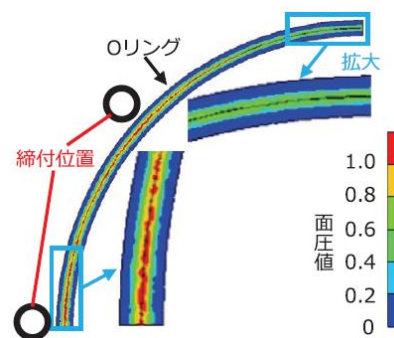


図3 解析結果（面圧分布）

■本稿の詳細

https://www.tktk.co.jp/report/file/2025/no_12_p2_4.html