20113 EP ゴム O リングの劣化予測解析手法の高度化

Improvement of prediction method for degradation of EP rubber O-rings

○学 磯崎 孝寛 (筑波大) 小林 航太郎 (筑波大) 堀 康彦 (電力中央研究所)

水谷 嘉伸 (電力中央研究所) ◎正 松田 昭博 (筑波大)

Takahiro ISOZAKI, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki

Kotaro KOBAYASHI, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki

Yasuhiko HORI, Central Research Institute of Electric Power Industry, Nagasaka 2-6-1, Yokosuka, Kanagawa

Yoshinobu MIZUTANI, Central Research Institute of Electric Power Industry, Nagasaka 2-6-1, Yokosuka, Kanagawa

Akihiro MATSUDA, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki

In this paper, a computational prediction method for degradation of EP rubber O-rings was improved. As the prediction method, the finite element analysis code using thermo-mechanical viscoelastic model was used. The finite element analysis was improved by incorporating a new boundary condition. A new boundary condition of the FEM simulation was supposed that rubber O-rings was compressed in the groove and lid. Effect of the difference of boundary conditions on the rubber O-ring was investigated. In addition, the leak test of EP rubber O-ring was performed. The relationship between the load value and leak in EP rubber O-ring was obtained.

Key Words: Gas Insulated Switchgear, O-ring, Compression set, Stress relaxation

1. 緒言

変電所や発電所には電力系統の主要設備として、ガス絶縁開閉装置(Gas Insulated Switchgear)が設置されている。GIS 内部には六フッ化硫黄ガスが充填されており、このガスの高い絶縁性能により、GIS は高い閉閉性とコンパクト性を有している。しかし、六フッ化硫黄ガスは高い地球温暖化係数を持ち、大気中への排出が規制されている。そのため、内部気体の密閉用材料の寿命評価には高い信頼性が必要である。

本研究では、GIS の密閉用材料として用いられる EP ゴム製 O リングの劣化予測解析手法を確立することを目的とした。これまでに、ゴムの非線形粘弾性と温度依存性を考慮した応力緩和を再現したモデルを構築し、ゴム O リングが 2 つの平板により圧縮される境界条件で、圧縮永久ひずみの推定を行った。本論文では、新たにゴム O リングが溝に装着され圧縮される境界条件で解析を行い、ゴム O リングが溝壁に接触することで受ける影響を調べた。また、これまではゴム O リングのシール機能の劣化評価に圧縮永久ひずみを用いていたが、新たにゴム O リングが発生させる鉛直荷重で評価できるように、ゴム O リングの漏れ量と鉛直荷重の関係を取得した。

2. 応力緩和シミュレーション

解析モデルとして図 1 に示すようなゴム O リングの断面の半分を模擬した 3 次元モデルを用い、水平方向を x_1 軸、鉛直方向を x_2 軸、厚さ方向を x_3 軸とした。解析では実際に GIS に用いられている EP ゴム O リングの寸法を参考に、半径を 3mm で設定し、厚さ方向の長さを 1mm として解析を行った。境界条件はゴム O リングが 2 つの平板により圧縮される条件と、溝に装着され圧縮される条件の 2 通りで行った。

解析は鉛直方向に荷重を与えるステップ、水平方向に荷重を与えるステップ、時間を経過させるステップ、荷重を取り除くステップに分けて行った。荷重を与えるステップでは、溝内の O リングの変形を設定し、その外側にある節点に対して、次式で表す荷重をペナルティ法を用いて与えた。

$$f = \alpha(y - y_0) \quad (1)$$

ここで、 F は荷重、 α はペナルティ数、 y は荷重を与える接点の座標、 y_0 は圧縮変形後の座標をそれぞれ示している。ペナルティ数 α は境界条件を満足するように最適な値を決定した。

Fig.1 Analysis model

溝壁への接触がゴム O リングに与える影響を調べた。ゴム O リングが 2 つの平板により圧縮される条件と、溝に装着され圧縮される条件のそれぞれの境界条件で、初期変形として 40% の圧縮変形を加えた。10 週間劣化させ、1 週間毎の圧縮永久ひずみおよび鉛直荷重を求めた。温度条件は 150℃で行った。また、溝の幅は 8mm とした。

図 2 に圧縮永久ひずみと劣化期間の関係を示す。それぞれの解析条件の結果を比較すると、圧縮永久ひずみに差異がなく、溝壁への接触が圧縮永久ひずみに影響を与えないことが分かった。図 3 に鉛直荷重と劣化期間の関係を示す。解析では厚さ方向の長さを 1mm としているため、解析結果より得られた線荷重にゴム O リングの円周を乗ずることで、鉛直荷重を計算した。図 3 で、ゴム O リングが溝に設置され圧縮される境界条件の方が、高い鉛直荷重を示している。この結果より、溝壁へ接触することでゴム O リングがより高い鉛直荷

重を示すことが分かった。図4に各境界条件での応力分布図を示す。

Fig.2 Compression set calculated by FEM

Fig.3 Load calculated by FEM

ここで、ゴム O リングの劣化を鉛直荷重で評価できるように、EP ゴム O リングを対象に漏洩試験を実施し、漏れと鉛直方向に発生する線荷重の関係について検討した^{[1][2]}。

評価試料には、実際に GIS に用いられる EP ゴム製 O リングを用いた。試料の寸法は直径 6mm, 内径 94mm, 外径 106mm であり、未劣化のものを用いた。まず、2つの平板を取り付けた一軸引張試験機(島津製作所製, AG-X plus)を用いて、ゴム O リングに 40%の圧縮変形を加え、圧縮後にゴム O リング内部を真空引きした。その後、ひずみ速度 0.01/min でゴム O リングを圧縮している平板を引き上げ、時間の経過に伴う、線荷重および圧力の変化を計測した。圧力の計測には、ピラニ真空計(大亜真空株式会社製, TRP-11)を用いた。図5に時間の経過に伴う線荷重と圧力の変化を示す。実線は線荷重を表し、y1 軸によって示される。また、点線とマーカーは気圧を表し、y2 軸によって示される。図より、線荷重が 0.568N/mm 付近で気圧が大きく上昇している。このことより、未劣化の EP ゴム O リングでは、0.568N/mm 付近に漏れが発生する線荷重の値が存在することが分かった。また、ある一定の荷重を下回ると漏れが急激に発生することが分かった。今後は、劣化したゴム O リングでも同様の試験を行い、ゴム O リングの劣化が、漏れと線荷重の関係にどのような影響を及ぼすかを調査する予定である。

Fig.5 Results of leakage test

(a)Compression by two flat plates (b)Compression by groove and lid

Fig.4 Mean stress distribution calculated by FEM

3. EP ゴム O リング圧縮漏洩試験

2章で同様の圧縮永久ひずみにおいても、境界条件によって、鉛直方向荷重に差異が生じるという結果が得られた。そ

4. 結言

ゴムの非線形粘性弾性と温度依存性を考慮した応力緩和を再現したモデルを用いて、ゴム O リングが溝壁に接触する解析を新たに行い、その影響を調べた。溝壁への接触は、圧縮永久ひずみには影響を与えず、ゴム O リングが発生させる鉛直荷重を増加させることが分かった。

また、ゴム O リングの漏れと鉛直荷重の関係を取得した。未劣化の EP ゴム O リングでは、漏れが発生する線荷重について検討した。

参考文献

- (1) 岩根 孝夫(1989), 密封装置選定のポイント, 日本規格協会, 318pp
- (2) 中川 寛(1978), 漏洩防止の理論と実際, 株式会社オーム社, 257pp