901 変電機器用 EP ゴム O リングの寿命評価に関する実験的研究

Experimental study on the life evaluation of EP rubber O-rings in substation equipment

○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, Graduate student, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki
Kotaro KOBAYASHI, Graduate student, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki
Yoshinobu MIZUTANI, Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka, Kanagawa
Yasuhiko HORI, Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-6-1 Nagasaka, Yokosuka, Kanagawa
Akihiro MATSUDA, University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki

In this paper, it was validated whether it is possible to use the line-load generated by rubber O-ring as an indicator of life evaluation instead of compression set. An instrument to evaluate the sealing performance under the condition that gave any load to a rubber O-ring was created. The load when leakage occurs was measured in the state that a rubber O-ring was compressed by using the instrument. Mechanical tests were carried out under various conditions. The effect of strain rate, differential pressure and the degree of deterioration of the rubber O-ring, to the load when leakage occurs were investigated.

Key Words: Gas Insulated Switchgear, O-Ring, Compression Set, leakage test

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(SF_6)が充填されており、このガスの高い絶縁性能により、GIS は高い開閉性とコンパクト性を確保している。しかし、六フッ化硫黄ガスは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要求される。

GIS の密閉用材料として用いられるゴム O リングのシール機能の劣化は圧縮永久ひずみでほぼ評価できると考えられ、シール機能を失うしきい値は圧縮永久ひずみ 80%と考えられてきた^[1]。

これまでに筆者らは、ゴム O リングの寿命評価に向け、ゴムの非線形粘弾性と温度依存を考慮した応力緩和を再現した非線形の粘弾性モデルを構築し、ゴムの内部応力の変化と圧縮永久ひずみの推定を行う手法を開発した^[2]。本手法を用いると、圧縮永久ひずみと共に、ゴム O リングの内部応力に基づいたフランジへの荷重を算出することができる。ゴム O リングが 2 つの平板により圧縮される境界条件と、ゴム O リングが溝に設置されて平板に圧縮される境界条件の 2 つにおいて、等しい劣化条件で解析を行ったところ、内部応力にのみ違いが見られた^[3]。そこで、本論文では寿命評価の指標として圧縮永久ひずみの代わりに、内部応力を用いることを検討した。そこで、ゴム O リングに任意の荷重を与えた状態で密封性能を評価できる真空漏洩試験が行える治具を開発し、変電機器用 EP ゴム O リングの密封性能と内部応力の関係を取得した。

2. 真空漏洩試験

1 軸の力学試験機(島津製作所製 AUTOGRAPH AG-X plus)を用いて、ゴム O リングを 2 枚の平板で挟み、任意の荷重を与えた条件で、ゴム O リングの密封性能を評価する治具を作成した。その治具の上面の平板に真空ポンプへのパイプ、弁、ピラニ真空計(大東亜真空株式会社 TRP-11)を取り付けた。図 1(a)に 1 軸引張試験機、図 1(b)に試験部の概要を示す。

(a) Loading test machine (b) Leak test device
Fig.1 Testing device

試験体には実際の GIS で使用されるゴム O リングと同じ材料で、寸法が直径 6.0mm、外径 106.0mm、内径 94mm の EP ゴム O リングを用いた。真空漏洩試験は新品と熱加速劣化させた試験体を用いて実施した。ここで、熱加速劣化させた試験体は、ゴム O リングを 2 枚の平板で圧縮率 23.3%となるように圧縮し、150℃で 34 日間劣化させて作製した。劣化した試験体の高さは 4.93mm であり、その時の永久ひずみの値は 76.5%であった。

試験は、試験体の高さが 4.602mm (新品のゴム O リングに対して圧縮率 23.3%) となるように圧縮し、ゴム O リングと平板による密封部を真空にした後、一定のひずみ速度で試験体を圧縮している平板を引き上げ、平板の変位に伴う、荷重および圧力の変化を計測した。測定した荷重をゴム O リングの円周で除すことで線荷重を求めた。

表に試験条件を示す。試験は平板を引き上げるひずみ速度、試験体、内部の圧力をそれぞれ変更して実施した。(以下、各条件を A から F と記載する。)条件 F での内部の圧力は、真空引き後しばらく放置することで内部の圧力を上昇させた。

図 2 に条件 A での引き上げる平板の変位と線荷重および圧力の関係を示す。他の試験条件においても荷重と圧力の関係

は同様の傾向を示した。図中の実線は線荷重を表し、点線とマーカーは気圧を表す。試験の結果からある一定の線荷重値を下回ると、圧力が大きく上昇することが分かる。この時の線荷重値を漏れが発生した線荷重として、各条件での値を比較した。

また、実機器ではゴム O リングが圧縮された状態で漏れが発生するため、試験は静的な条件で行う必要がある。そこで、ひずみ速度の異なる条件 A,B,C,D の試験結果を比較することによりひずみ速度の影響を調べた。表に各条件で漏れが発生した線荷重の値を示す。ひずみ速度が 0.0005mm/s 以下では同様の値を示している。

次に、新品と劣化品の試験体を用いた試験結果の比較によりゴム O リングの劣化による漏洩への影響を調べた。表に各条件で漏れが発生した線荷重の値を示す。新品の試験体に比べて劣化した試験体では漏れの発生する線荷重が高い値を示した。また、図 3 にゴム O リングを圧縮した際の、荷重とひずみの関係を示す。ひずみが 0 の時の 2 つの平板間の距離を 6mm とする。新品のゴム O リングに比べ熱加速劣化したゴム O リングでは、同じ高さまで圧縮しても低い荷重値を示した。このことから、ゴム O リングが劣化すると、発生させる荷重が低下することが分かる。

実機器では高圧ガスを密封しているため、内圧による影響を調べる必要がある。そこで最後に、差圧の異なる条件での試験結果を比較することにより差圧の影響を調べた。表に各条件での漏れが発生した線荷重の値を示す。内圧が大きくなっても、漏れの発生する線荷重値に変化は見られなかった。このことから、漏れが発生する荷重値は差圧の影響をうけないことが分かる。

3. 結言

本研究では、ゴム O リングの寿命評価の指標として圧縮永久ひずみの代わりに内部応力を用いることを検討した。ゴム O リングに荷重を与えた状態で真空漏洩試験が行える治具を開発し、密封性能と内部応力の関係を取得した。ひずみ速度、試験体の劣化、内圧が漏れの発生する荷重値に与える影響を調査した。今後は、さらに試験条件を追加し内部圧力を用いた寿命評価手法の検討を行っていく予定である。

参考文献

- (1) 佐藤他(2013), 275kV GIS/GCB における劣化調査 (その 2), 平成 25 年電気学会全国大会, 6-218, pp.375-376(2013)
- (2) 松田昭博他(2012), ガス絶縁装置用 EP ゴム O リングの圧縮永久歪推定手法の提案, 電気学会 No.8, pp. 623-629
- (3) 磯崎孝寛他(2014), EP ゴム O リングの劣化予測解析手法の高度化, 日本機械学会関東支部第 20 期総会・講演会講演論文集, 20113, 日本機械学会

Fig.2 Result of leakage test

Fig.3 Relationship of load and displacement

Table.1 Test condition and results

	Specimen	Strain rate [mm/s]	Differential pressure [MPa]	Line-load when leakage occurs [N/mm]
A	New	0.001	0.1	0.278
B	New	0.0005	0.1	0.244
C	New	0.0002	0.1	0.232
D	New	0.0001	0.1	0.234
E	Aged	0.0005	0.1	0.388
F	New	0.0005	0.09	0.242