柱上高圧活線作業での電気用ゴム手袋の劣化と寿命推定

正 員 市川 健二 (労働省産業安全研究所)

Estimation of Deterioration and Life-Time of Rubber Insulating Gloves used in High Voltage Live-Line Working on Pole

Kenji Ichikawa, Member (Research Institute of Industrial Safety, Ministry of Labour)

Rubber insulating gloves for electrical working must always keep dielectric properties in good condition in order to prevent a line man from electric shock. However, they are deteriorated by various stresses to which they are subjected in service and keeping. Therefore, their dielectric deterioration and estimation of lifetime were studied when they were actually used in high voltage electrical working on pole of distribution lines, because such a place is considered where the frequency of use is large and the environment is severe. As the result, it was found that the usable lifetime was considerably shorter than expected because of their mechanical damages in service. Also, measured dielectric and mechanical properties showed deterioration tendencies on the whole, though their data scattered on a wide range. And the voltage endurance lifetime was estimated for the used days with the help of statistical treatment, and it was confirmed that there are cases where a few used gloves fail in the voltage proof test of 10 kV even if they once passed in the withstand test of 20 kV when they were new products. Furthermore, it was also shown that the electrical breakdown point was not decided by innumerable slight scratches caused in service.

キーワード：電気用ゴム手袋，絶縁劣化，寿命推定，残存破壊電圧

1. まえがき

高圧(公称電圧 6.6kV)活線作業で使用する電気用ゴム手袋(以下、手袋と記す)は、作業者の手、前腕部分を感電から保護するために着用される絶縁用保護具であり、製造時は勿論、使用期間中においても絶縁性能が常に良好な状態に維持されていなければならない。しかし、手袋は肉厚が約2mm前後の天然ゴム材料で作られており、材料の経年劣化や使用中の損傷によって絶縁性能は劣化する。

活線作業中に手袋が絶縁破壊を起こすと人命に係わる災害に直結するため、絶縁性能の中で特に耐電圧性能が重要視される。現在、労働安全衛生法及び同規則では型式検定や定期自主検査で耐電圧試験を義務付けている。この試験電圧は使用期間中の経年劣化を考慮して対象とする電路の電圧よりかなり高く、型式検定や受渡し試験では20kV、使用期間中に行われる6ヶ月以内ごとの定期自主検査では10kVである^{(1)・(2)}。

一方、実際の作業では、この手袋の下に汗取り用の綿手袋を、上には機械的損傷防止のための保護手袋を着用するため、絶縁性能のみを重視して肉厚の厚い手袋を製造すると作業性が悪くなる。そこで、現状の手袋は、耐電圧試験に合格する程度の裕度を持たせた中で、できるだけ肉厚を薄くするように製造されており、JIS規格で定められた肉

厚の範囲も安全性と作業性を考慮して決められている⁽³⁾。

この様にして製造され管理されている手袋でも、現場の作業者には不満な点がある。その一つに耐電圧性能の信頼性である。新品時20kVの耐電圧性能があったものが、使用期間中の定期自主検査時に時々10kVに耐えないものが出現する。10kVは配電線の電圧から比べれば十分な裕度があるが、性能が半減するまで使用していたことに対して精神的に不安であり、また、今回10kVの耐電圧性能があった手袋でも、次の定期検査までの間に劣化してしまわないかと言う不安がある。同様なことが製造者側にもある。それは、個々の製品について製造終了時に20kVの耐電圧試験に合格した手袋でも、使用者への受渡し試験で再度20kVの耐電圧試験を行うと不合格のものが希に現れることである。

この解決には、新品時及び使用期間中における手袋の残存破壊電圧を知り、耐電圧値に対する減少傾向を明らかにすることであり、究極的には絶縁破壊の原因や破壊機構が解明される必要がある。そこで、本研究は、その手掛かりを得るために、実際に使用されている手袋について使用状況を調査し、使用状況下の総合的要因による寿命(使用寿命)を把握した。次に、手袋の形での絶縁破壊試験から使用期間に対する残存破壊電圧の減少傾向を明らかにし、耐電圧試験に合格しないもの(耐電圧寿命)が現れる確率を推定した。更に、誘電正接、体積抵抗率、引張り強さ、伸び

率を測定してゴム材料の電氣的及び機械的劣化傾向を明らかにした。また、絶縁破壊箇所が必ずしも表面にできた微小な傷に左右されなく、破壊には別の要素があることを推定した。

2. 手袋（試料）とその収集方法

＜2.1＞ 実験対象とした手袋 実験対象とした手袋は、JIS T8112「電気用ゴム手袋」の種類分けによれば、C種（3500Vをこえ、7000V以下の作業に使用するもの）で、その外形寸法が405mmのものである。その外観を図1に示す。また、手袋の材料は90%以上が天然ゴムで、残りが加硫剤、加硫助剤、老化防止剤、充填剤、顔料などから成り、その製造方法は、これら原料を揮発油で溶かしてゴム糊にし、この中に手型を数回浸漬して所定の厚さの膜を作り、それを乾燥して製造される。C種電気用ゴム手袋の肉厚は、JIS T8112によれば、手のひら・甲・指の部分で1.3～2.4mm、その他胴・指の先端部分で1.3～2.7mmと規定されているが、本実験で用いた手袋は、胴部分の厚さが2.0～2.3mmであった。

図1 電気用ゴム手袋の外観

Fig.1. Outside appearance of rubber gloves for electrical working

＜2.2＞ モニター実験による収集 手袋は高圧活線作業時に作業者の手に着用されて使用されるものであり、調査対象の手袋として単に使用開始日からの時間経過のみを考慮して収集したのでは必ずしも十分ではない。その理由は、使用頻度や作業内容等によって手袋の劣化度合が非常に異なること、また、現場から使用中の手袋を収集しても、定期自主検査時の耐電圧不良や使用中の破損によって使用不能になったものが除かれているため、実際の劣化傾向や寿命を知ることができないことである。

使用頻度や作業内容の最も厳しい環境は、電気工事会社で架空配電線の保守や改修等の外線工事に従事する作業者が着用する場合である。そこで、某電気工事会社の協力を得て、24双の新品の手袋を24名の作業者に提供し、使用日時を記録しながら日常の業務に使用してもらい、3ヶ月ごとに2双（すなわち試料数として4個）を回収（途中で使用不能になったものは、その都度回収）するモニター実験を実施して手袋（試料）を収集した。

なお、電気工事会社における外線作業は、責任者(班長)、第一線で高圧活線作業を行う者、補助的作業を行う者など数名の作業員からなる班単位で実施される。そこで、外線作業員の作業員であっても手袋の使用頻度や傷み具合は大

いに異なるため、モニター実験の対象とした作業者は、使用頻度や作業内容が最も厳しい作業者、すなわち上記のうちで第一線で高圧活線作業に従事する者とした。

＜2.3＞ 使用中手袋の収集 モニター実験では機械的破損によって回収される場合が多く、手袋の状態で絶縁破壊試験を実施できる試料が少なかった。そこで、手袋の残存破壊電圧やゴム材料の電氣的及び機械的性質の劣化傾向を調べるために、モニター実験で回収した手袋以外に、同じ電気工事会社から同一メーカーの使用中手袋を収集した（使用期間はほぼ明らかであるが、使用状況は不明である）。この様にして回収された手袋とモニター実験で回収された手袋とを区別する必要があるときは、前者を非モニター手袋、後者をモニター手袋と呼ぶことにする。

3. 実験方法

＜3.1＞ 使用状況の調査 モニター手袋における使用状況の記録から、作業者が手袋を一日当たり着用する時間（着用時間）、回収されるまでに着用した日数（使用日数）及び回収までの期間（使用期間）を調査し、これらの相関性を明らかにする。また、廃棄までに要した使用期間から使用寿命を推定する。

③.2> 誘電正接及び絶縁破壊電圧の測定 手袋の状態
で誘電正接を測定したのち交流50Hzで絶縁破壊電圧を測定し、手袋としての絶縁特性の劣化傾向や残存破壊電圧の減少傾向を検討する。実験装置は、図2に示すように、手袋の内外部に入れた水を電極とする水中試験法で行った⁽⁴⁾。ただし、手袋の縁から水面までの距離は、閃絡破壊を防ぐために規定値より大きく約7cmとした。なお、誘電正接の測定には、高電圧シェーリングブリッジ回路を用いた双信電機(株)製の装置で、測定周波数は50Hz、測定電圧は0～10kVである。また、絶縁破壊電圧の測定は、零から破壊電圧まで約1kV/sの速度で昇圧する連続昇圧法で行った。

試験された手袋は、モニター手袋の中で測定が可能な手袋と非モニター手袋である。ここで、モニター手袋の中で

図2 手袋と電極の配置

Fig.2. Arrangement of glove and electrodes

測定が可能な手袋とは、回収指定日に使用可能な状態で回収された手袋、及び使用中での破損や定期検査時に耐電圧不良として回収された手袋のうちで使用不良でない片方の手袋である。

なお、収集された手袋は、水洗いして表面に付着したほこりや汚れを落とし、1日以上陰干しして表面の濡れを除いた後、試験まで個々に専用の保管箱に入れて保管された。

<3.3> その他の電氣的及び機械的性質の測定 手袋の胴部分から一辺が12cmの正方形の試料片を切り取り、体積抵抗率を測定し、次に、この試料片からダンベル3号形の試験片を打ち抜き、引張り強さと伸び率を測定する。これらの測定からゴム材料としての電氣的及び機械的性質の劣化傾向を検討する。なお、体積抵抗率は直流1kV印加後の1分値を採用した。

4. 実験結果及び考察

4.1. 使用状況と使用寿命の推定

<4.1.1> 一日当たりの着用時間 図3は、外線工事で高圧活線作業に従事する作業員が一日あたりに手袋を着用する時間のヒストグラムである。手袋の使用頻度が最も多い彼等ですら、一日の着用時間は30分から1時間が最も多く、また、全体の約75%以上が2時間以内である。そこで、ゴム材料の経年劣化に及ぼす自然環境は、使用時に受ける直射日光や電圧のほか保管・運搬時の環境も大きいと考えられる。一般に、手袋は各々専用の保管箱に収納されて荷重等が加わらないようにして、日陰に保管される。

<4.1.2> 使用日数と全着用時間の関係 図4に使用日数と全着用時間の関係を示す。これらの間には良い相関性がみられ、使用日数をY(日)、全着用時間をZ(時間)として回帰直線を求めると(1)式が得られる。

$$Z = 1.56Y + 9.64 \quad \dots\dots\dots (1)$$

<4.1.3> 使用期間と使用日数の関係 図5に使用期間と使用日数の関係を示す。使用期間が1年以内であれば(使用期間が300~365日の手袋に使用日数の少ないものがあり、図中に点線で囲まれた3データを除けば)、これらの間に良い相関性が認められる。使用期間をX(日)、使用日数をY(日)として回帰直線を求めると(2)式が得られる。

$$Y = 0.27X + 4.86 \quad \dots\dots\dots (2)$$

しかし、使用期間が1年以上経過した手袋の使用日数は(2)式で表される割合で増加せず、使用期間が300日から1年の間に回収された手袋とほぼ同じである。これは使用期間が1年以上の手袋は日頃の使用頻度があまり高くなく、使用中に破損される機会が少なかったとも考えられる。

上記(1)及び(2)式を用いれば、使用期間の既知な手袋であれば、その手袋が実際に使用された日数や全着用時間を推定することができる。例えば、使用期間が6ヶ月の手袋の使用日数は約54日、全着用時間は約93時間となり、使用期間が1年以上2年以下の手袋の使用日数は約104日、全着用時間は約171時間となる。

<4.1.4> 手袋の使用寿命 図6は、24双のモニター手

図3 一日当たりの着用時間のヒストグラム

Fig.3. Histogram of wearing time per day

図4 使用日数と全着用時間の関係

Fig.4. Relation between service day and total wearing time

図5 使用期間と使用日数の関係

Fig.5. Relation between period of use and service day

袋のうち指定日に良品として回収された6双を除く18双について、手袋が破損や耐電圧不良などの理由で使用不能になるまでの日数(使用期間)をワイブル確率紙上に示したものである。これは使用期間中の全ての劣化要因を考慮した手袋の寿命分布と考えることができる。この累積故障分布は良い直線性を示し、分布関数 $F(X)$ を求めると(3)式が得られる。

$$F(X) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{X}{350} \right)^{1.23} \right] \quad \dots (3)$$

ただし、X: 使用期間(日)

これから第一線の外線作業員が着用する手袋の平均寿命

図6 使用期間の累積破壊分布

Fig.6. Cumulative failure probability of period of use

は、約265日(約9ヶ月)と推定される。

4.2.手袋の絶縁破壊特性

4.2.1 残存破壊電圧 図7は、水中試験法で得られた手袋の絶縁破壊電圧(BDV)を使用期間に対して示した結果である。図中、●印はモニター手袋、▲印は非モニター手袋のデータである。また、BDVが10kVの位置に示された○印は、モニター実験の現場で6ヶ月ごとに行った定期自主検査の耐電圧試験(10kV, 1分間)で破壊したデータを記入したものである。この結果から、実使用下での手袋のBDVは新品時のそれより低下したものがあるが、新品のBDVと変わらないものもいくつかあり、この図から明確な傾向を知ることは難しい。

図7 使用期間に対する絶縁破壊電圧の変化

Fig.7. Chance of breakdown voltage with period of use

そこで、時間経過を表す要素として使用日数を採用し(非モニター手袋は(2)式を用いて算出)、かつ、使用日数を次の4つのグループに分類して、各グループについてBDVの累積頻度分布を求め確率論的に検討した。(なお、4つのグループの他に同一製品の新品を加えたので、時間経過に対する分類は5つになる。)

新品……使用日数0日[使用期間0ヶ月, マーク:○]
 グループa……使用日数26~34日[使用期間約3ヶ月, マーク:●]
 グループb……使用日数43~54日[使用期間約6ヶ月, マーク:▲]
 グループc……使用日数70~90日[使用期間約10ヶ月, マーク:□]
 グループd……使用日数110~130日[使用期間1~1.5年, マーク:×]

図8 使用日数で分類された手袋の累積破壊電圧の分布

Fig.8. Cumulative distribution of BDV of gloves classified

by service day

図8は、グループごとのBDVの累積頻度分布に適当な近似曲線を引いたものである。ただし、近似曲線はグループaで現れた5.0kVのBDV、グループbで現れた2つの10kVのBDVの内の1つを無視した。その理由は、グループaにおける5.0kVはグループa内の他のBDVと比べても一つだけ極端に小さく、使用日数の多い他のグループで現れるBDVに比べても異常であるため、また、グループbにおける1つの10kVは使用日数から見るとグループbに入るが、使用期間では約1年でグループdに属する希な試料であるため、共に特殊なケースと考えた。すなわち、グループごとの測定個数が多くなれば、このような発生頻度は低下すると考えた。しかし、この手袋も新品時には20kVの耐電圧試験に合格しており、なぜ短期間の内にBDVが低下したのか、これこそ解明されなければならない課題であるが、確率論的検討では不可能である。これには本質的な絶縁破壊の原因や機構の解明が必要である。

図8の近似曲線から、手袋の残存破壊電圧の低下傾向として次のようなことが言える。

(1)新品におけるBDVの分布が最も右に位置し、使用日数の増加したグループほど左に移動する。ただし、グループa及びbの分布はほぼ同じである。これから、使用日数が増加すると全体的にBDVが低下すること、使用日数が26~54日、すなわち使用期間が3~6ヶ月ではBDVの低下が同程度であること、が推定される。

(2)新品における分布曲線が最も急峻な傾きを持ち、使用日数の増加したグループの分布曲線ほど勾配が緩やかになる。これは使用日数が増加する程BDVのばらつきが大きくなり、BDVの低いものが増加することを示している。

4.2.2 耐電圧寿命の推定 図8の結論は、高い破壊確率を選べば使用日数の増加した手袋であってもBDVが高く、定期自主検査で要求する10kVの耐電圧性能を有しているが、低い破壊確率を選べば全般的にBDVが低下し、使用日数の増加した手袋では10kVの電圧に耐えないものが現れることを暗示している。

図9 破壊確率を考慮して推定された耐電圧寿命

Fig.9. Voltage endurance lifetime estimated in consideration of breakdown probability

図10 絶縁破壊箇所 (●---表○---裏)

Fig.10. Electrical breakdown points on BDV test

この関係を明確にするために、図8から破壊確率10, 20, 30及び50%におけるBDVを求め、使用日数に対して示すと図9が得られる。これより、残存破壊電圧が10kVの電圧に耐えない場合(耐電圧寿命)を推定すると、使用日数が約95日((2)式から推定した使用期間で約11ヶ月)である手袋では、10%の確率で不合格になるものが出現し、使用日数が約115日(使用期間で約14ヶ月)である手袋では、20%の確率で不合格になるものが出現すると推定される。

<4.2.3> 絶縁破壊箇所 図10は、交流50Hzで残存破壊電圧を測定したときの破壊箇所を示す。同図中の記号でMはモニター手袋を、Kは非モニター手袋を示す。これらの手袋は現場で使用されたもので手首から指先の部分は保護手袋で覆われており、ほとんど傷はなく、汚れも少なく新品時の色に近いが、保護手袋で覆われていない胴部分は小さな引掻き傷が各所にみられ、また表面の汚れも著しく、かなり黒く変色している。

傷のある箇所破壊した数は、モニター手袋で24個中6個、非モニター手袋で20個中2個であり、その割合は全数(手袋の縁で閃絡破壊したものを除いた40個)からみて20%であり、保護手袋で覆われていない胴部分で破壊した手袋(17個)からみても約35%であった。また、保護手袋で覆

れた部分で破壊した数は23個で、全数の約58%であり、特に指の部分で破壊した数は15個と、手首から先の部分で破壊した手袋の約65%を占めている。以上のことから、手袋の絶縁破壊箇所の特徴として、次のことが言える。①引掻き傷は一つの要素になるが、浅く小さな傷であれば破壊を決定する要素にならない。②胴部分に比べ、指部分のような曲線部分での破壊が多い。また、胴部分でも曲がりの大きい側面での破壊が多い。これら2つの特徴から破壊箇所は傷による肉厚の変化だけでは決められず、傷以外の要素、例えば、使用中に受ける指部分の伸びや曲げ等の機械的応力、保管時に曲線部分に加わる歪みで、その部分の酸化劣化が促進されるとか、あるいは製造時に天然ゴム以外に加えられた添加剤などの影響が考えられる。

4.3. その他の電氣的及び機械的性質

<4.3.1> 誘電正接 水中試験法による測定が可能なモニター手袋について、50Hzの交流電圧を印加して測定した誘電正接($\tan \delta$)の電圧特性は、1~10kVまでの間で急激な変化がなく、この印加電圧であれば試料内部及び測定回路系にコロナが現れていないと考えられる。そこで、図11に6kVにおける $\tan \delta$ を使用期間に対して示す。使用期間が長くても新品と変わらないものもあるが、一般にばらつきが大きくなり、その上限(劣化が最もよく現れているもの)をみれば、使用期間が2年ほどで $\tan \delta$ は約2.4%になるも

図11 使用期間における誘電正接の変化

Fig.11. Change of loss tangent with period of use

図12 使用期間に対する体積抵抗率の変化

Fig.12. Change of volume resistivities with period of use

のがある。

<4.3.2> 体積抵抗率 図12は、モニター手袋の胴部分から切り取った試料片で測定した体積抵抗率を使用期間に対して示したものである。使用期間の増加に連れて減少し、2年ほどの経過で $2.5 \times 10^{16} \Omega \text{cm}$ のものも現れるが、まだ十分な絶縁性能がある。

<4.3.3> 引張り強さ 図13は、ダンベル3号形の試験片で測定した引張り強さを使用期間に対して示したものである。試料によってばらつきがあるが、最小の引張り強さを結んだ曲線は、使用期間が約200日(約6ヶ月)で約15MPaまで減少するが、その後の2年間には減少が見られない。なお、JIS規格では新品時で12.7MPa以上、老化試験後で、その80%(10.2MPa)以上であるから、2年経過しても十分な引張り強さを有している。

<4.3.4> 伸び率 図14は、引張り強さと同時に測定された伸び率を使用期間に対して示したものである。最小の伸び率を結んだ曲線は、使用期間が約95日(約3ヶ月)で約660%まで減少するが、その後の2年間には引張り強さと同様に減少が見られない。なお、JIS規格では新品時で700%以上、老化試験後で、その75%(525%)以上であるから、2年経過しても十分満足している。

図13 使用期間に対する引張り強さの変化

Fig.13. Change of tensile strength with period of use

図14 使用期間に対する伸び率の変化

Fig.14. Change of percentage of elongation with period of use

4.4. 寿命及び絶縁劣化の総合的考察

絶縁劣化には、機械的要因、電気的要因及び化学的要因などが考えられる。機械的要因としては使用中に受ける偶

発的な引掻き、使用中の曲げや伸び、屈曲部に加わる応力などがあり、電気的要因としては高圧配電線の対地電圧(約3810V)のほか、耐電圧試験時の電圧(20kV, 10kV)がある。また、化学的要因には熱、紫外線などによる天然ゴム(ネオプレン)の酸化劣化がある。

使用寿命は、<4.1.4>の結果(18双中、引掻き等による破損が13双、耐電圧(10kV, 1分間)不良が5双)から、破損等の機械的要因によって決定される要素が高い。一方、耐電圧寿命は、4.2の結果(使用日数の多いものほどBDVが低下するが、傷のある箇所では絶縁破壊したのは40個の試料中8個であること)から、ゴム材料自体が傷以外の要素で絶縁劣化する兆候がみられた。この要素としてゴム絶縁材料の酸化劣化が考えられる。

天然ゴムの性質、劣化原因や劣化機構に関する書籍⁽⁶⁾や文献^{(7)~(10)}は多々ある。これによれば、ゴムは酸素(空気)、熱、光、オゾン等によって劣化し、亀裂・強度低下・硬化・脆化・電気性能の低下等の現象が起きる。特に、酸素による酸化劣化の影響は大きく、熱、光、オゾン、及び伸びや曲げ等の機械的疲労についても酸素の存在が大きく影響する。空気中には約20%の酸素があり、ゴムの中にも通常0.1~2.0%位の酸素が存在し、共に劣化因子として作用する。これは少量の酸素によって、天然ゴム(イソプレン)分子中に存在する二重結合が容易に酸化反応を起こし、分子鎖の切断・酸素架橋による脆化を生じるためである。これは一部の二重結合が加硫によって飽和された加硫ゴムにおいても、大部分の二重結合が存在するために同様である。更に、熱や光(紫外線)によって酸化反応が促進されること、紫外線や放電等によって生じた微量なオゾンでゴムの二重結合が容易に反応して亀裂を生じること、特に伸びや曲げ等の機械的応力が加わった箇所では亀裂の材料内部への進展が著しいこと、などが知られている。

以上のことから、手袋の耐電圧寿命を低下させた絶縁劣化の要因として、ゴム絶縁材料の酸化による経年劣化が考えられる。特に、使用中には指などの部分に曲げや伸びなどが加わり、保管中にも屈曲した部分には常に応力が加わっているため、指、胴の側面のような箇所では特に酸化が促進され、BDVの低下が現れたのではないかと考えられる。また、絶縁破壊箇所に屈曲した部分が多い理由であるとも考えられる。一方、体積抵抗率、引張り強さ等の電気的及び機械的性質はゴム材料のマクロ的劣化をみるパラメータであり、これからBDVのような局所的破壊との相関性を見つけることは難しい。また、測定に供した試料片は胴の平らな部分で、使用中及び保管中にも機械的応力が一般に加わらない箇所であり、時間経過に対して酸化劣化の局所的な進展もあまりなかったと思われる。

また、手袋の製作は、固形の乾燥天然ゴムに素練りを加え、更に加硫剤や老化防止剤等を加えて混練りしたものをゴム揮発油に溶かしてゴム糊を作製し、この中に磁器製の手型を数回浸漬して所定の厚さの膜を作るのであるが、ゴム糊中に気泡等が生じないように、ゴム糊は長いこと静止

した状態で保持される。これから、ゴム材料は種々の添加剤を含んだ複合誘電体であり⁽⁶⁾、製法上からゴム糊が長時間静止状態で保持されているので、ゴム糊中の添加剤の分布が容器の上方と下方で異なり、下方(手袋では指の方)に分布した添加剤が、高電圧印加時に電氣的に弱い界面を形成するのではないかと考えられる。

5. まとめ

使用頻度が最も高く、使用状況が最も厳しい環境で電気用ゴム手袋が使用された場合について、手袋の使用状況や絶縁性能を調べ、劣化傾向や寿命推定を試みた。その結果を整理すると、次の通りである。

(1) 使用頻度の最も高い作業中でも、1日当たりの着用時間は30分～1時間以内が最も多く、大部分は2時間以内で終了する。そのため、ゴム絶縁材料の経年劣化には保管・運搬時の環境が大きいのと思われる。また、使用日数と全着用時間との間には良い相関性が認められる。

(2) 手袋の使用状況は、使用期間が1年以内であれば使用期間と使用日数との間により相関性が認められる。使用期間が1年以上約2年までの手袋では、使用日数の増加がほとんどなく、使用中に受けたストレスは1年程度のものと同じとみなせる。

(3) 手袋は使用中の破損などで1年以内に約67%が使用不能になり、手袋の使用寿命は一般に短い。ワイブル分布関数から算出した平均の使用寿命は、約265日(約9ヶ月)である。

(4) 使用日数で整理した残存破壊電圧のワイブル分布は、使用日数の増加に対して残存破壊電圧が低下することを示した。これから耐電圧値に対する寿命を推定した。例えば、使用日数が約95日(使用期間で約11ヶ月)の手袋は、10kVの耐電圧試験に合格しないものが10%の確率で現れる。

(5) 絶縁破壊箇所の観察は、浅く小さな傷は破壊を決める要素にはならず、また、指や胴の側面のように曲線部分での破壊が多いことを示した。これから絶縁劣化の一つの要因として、この様な箇所に加わる機械的応力によって加速されたゴム材料の酸化劣化が推定される。

(6) ギャム絶縁材料の誘電正接や体積抵抗率、引張り強さや伸び率については、ばらつきはあるが、使用期間の増加に連れて低下する。しかし、使用期間が2年程度であれば、絶縁性能及び機械的強度は十分維持されている。

最後に、本研究の遂行に当たって東京電力(株)安全部、(株)関電工の過大な協力を得た。ここで関係各位に深く謝意を表します。

(平成5年11月19日受付)

文 献

- (1) 絶縁用保護具等の規格：労働省告示第33号，昭和50年3月
- (2) 労働基準局長通達：基発第415号，昭和50年7月
- (3) 日本工業標準規格：電気用ゴム手袋，JIS T8112
- (4) 日本工業標準規格：絶縁用保護具・防具類の帯電圧試験法，JIS T8010
- (5) 日科技連編：信頼性データの解析，文詳堂
- (6) 高分子学会：高分子工学講座 7「ゴムの性質と加工」，地人書館，pp. 411～460，(昭40)
- (7) 谷岡良雄：「電線絶縁材料としてのゴム及びプラスチックについて」，電学誌，Vol. 74，No. 792，pp. 89～102，(昭29-9)
- (8) 建林賢司、川井栄一、高橋栄：「ゴム系絶縁材料の最近の進歩」，電学誌，Vol. 73，No. 772，pp. 63～70，(昭28-1)
- (9) 建林賢司：「ゴムの劣化機構について」，電学誌，Vol. 73，No. 779，pp. 91～94，(昭28-8)
- (10) 松田種光：「有機材料劣化問題」，電学誌，Vol. 77，No. 827，pp. 92～94，(昭32-8)

市川 健二 (正員) 1943年2月4日生。65年3月武蔵工業大学学電気工学科卒業。同年4月労働省産業安全研究所勤務。電気災害の防止の研究に従事。この間、70年3月東京電機大学大学院修士課程卒業。現在、同所主任研究官。