

ポリマー絶縁材料の表面性状におよぼす吸水の影響

長谷川 誠 一

Effect of Water Absorption on Surface Properties of Polymer Insulating Materials

Seiichi HASEGAWA

(1999年11月30日受理)

The purpose of this study is an investigation of the degradation phenomena on polymer insulating materials for outdoor use. The outdoor polymer insulating materials are exposed to rain and snow, so the materials absorb water slightly. Therefore, their surface degrade and become wetting easily. Then surface discharges occur frequently, the materials get into breakdown. Various samples of polymer insulating materials without fillers such as Polycarbonate, Polyethylene and others were tested. After their samples are soaked in distilled water statically, the surface hydrophobicity, tracking resistance for the soaked are compared with those for original ones. As a result, water absorption of polymer insulating materials cuts down tracking resistance.

1. 緒 論

ポリマー絶縁材料は従来のセラミック絶縁材料に比べて軽量で加工性もよいのでコンパクトで施工が簡便になり、コストダウン効果も大きい。このため、配電作業が複雑化するのにもない屋外電力機器にポリマー絶縁材料が使用される例が多くなってきている。ポリマー材料は撥水性に優れているので塩害や産業大気汚染などに対する耐汚損特性はセラミック絶縁材料に劣らない。その一方ポリマー材料は日照や降雨を浴びた場合、表面が化学的影響を受けて変質する事がありその結果、表面の性状が初期状態から著しく劣化することが認められている。特に撥水性の低下は表面を濡れ易くし、濡れ電流が増大し放電が頻発するようになる。この放電が表面フラッシュオーバーに止まらず、最終的なトラッキング破壊に至ることがある。一方、耐トラッキング性改善のためベースポリマーに水和アルミナなどの充填剤が加えられる。この充填剤は材料表面に発生するシンチレーション放電のエネルギーを吸収することによりトラッキングの進行を制御するが、充填剤とポリマーとの界面が誘電・絶縁特性に影響を与えている²⁾³⁾とされ、水分吸収は界面が水分引き込むことに起因する⁴⁾ことが報告されている。

筆者は先に寒冷環境におけるベースポリマーの耐トラッキング性について研究を行ったが、供試ポリマーのなかには充填剤を含んでいないのに吸水の顕著なものがあることを見出した⁵⁾。

本研究ではポリマー絶縁材料が降雨を浴びた場合を想定して試料を純水に浸漬し、これらの材料の吸水率を測定し、吸水によって撥水性および耐トラッキング性が受ける影響を実験検討を行った。その結果、充填剤を含まないベースポリマー絶縁材料においても吸水現象が認められ、吸水率がわずかであっても撥水性や耐トラッキング性が低下するものがある事がわかった。

2. 実 験

2.1 試 料

本研究で使用した試料はポリカーボネート(PC) ABS樹脂(ABS)、ポリ塩化ビニール(PVC)、ポリエチレン(PE)の4種類のベースポリマーである。試料の寸法はIEC587試験法⁶⁾に準拠した耐トラッキング性試験を行う関係上、120×50×3ミリとした。試料に吸水させるための浸漬とその前処理は文献4)の「CIGRE TF15-06-02(固体内部界面現象)ラウンドロビンテスト」を参考にして。試料を真空

ポンプによる脱気乾燥した後、80°Cの純水（約2 μS/cm）に浸漬して吸水させた。

2.2 吸水率の測定

浸漬した試料の撥水性や耐トラッキング性を調べる前に試料が吸収した水量を測定した。浸漬用の純水から取り出した試料は室温と同じ温度の水で冷却した後表面をキムワイプで拭い、電子天びん（エアンドデイ社 HX-100、秤量101~0.0001 g）で計量した。浸漬前の試料重量 w_0 と浸漬後の重量 w から吸水率を次の重量の変化率として表わした。

$$\text{吸水率} = (w - w_0) / w_0 \times 100 [\%]$$

2.3 撥水性の測定

固体表面に水が置かれたとき、弾かれて水滴になるか、引き寄せられて膜状に表面に広がるかは液体/固体/気体の三者の間の界面に働く表面張力の大きさによって決まる。液体表面張力が固体表面に対してなす角度を接触角と称し、撥水性が強いほど大きい。本研究では試料表面の撥水性を次の測定法によって接触角を計測し評価した。

その1つは液滴法で水平に配置した試料面に直径が約1 mm (4 μl) の蒸留水を滴下し図1に示した水滴頂点の高さ h と半径 r をマイクロSCOPE (キ

エンス社 VH-5900) およびデジタイザー (KEIO 社 VG-11P) によって計測し次の式で接触角 θ を求めた。

$$\text{接触角 } \theta = 2 \tan^{-1}(h/r)$$

また、実際の屋外電力機器の絶縁部は必ずしも水平配置ではないので転落法にもとずいた測定も併せて行った。これは試料を毎分2回転のシンクロナスマータによって傾斜させ、液滴が滑り落ち始めるときの試料面の傾きを転落角 θ とした、また、試料面を傾けた状態で接触角と同様に図1に示した液滴の各部の大きさを計測し、前進角 θ_1 、後退角 θ_2 を求めた。

2.4 耐トラッキング性の判定

吸水させた試料の耐トラッキング性は IEC587 に準拠して試験を行い判定した。判定は試験電圧を4.5[kV]一定とする定電圧法で行い、試験時間が6時間を越えても破壊しない場合は試験を打ち切る。試験サンプル数は定めにしたがい、同一種類の材料について5個とした。

3. 実験結果と検討

3.1 吸水特性

ベースポリマーは充填剤を含まないので内部に界面が存在しない。したがって界面が外部から水を呼び込むメカニズムは考えられない。微量ながら吸水するのは内部への拡散浸透とされている。吸水を支配する条件は試料の材質と表面状態、水分の温度と水蒸気圧、時間などであるが、本研究では脱気乾燥の前処理と一定温度の純水で浸漬することで条件を一致させた。図2に各試料の浸漬時間と吸水率の関係を示した。浸漬試料の中でABSの吸水率が1.5%と最も大きく次いでPVC、PCの順で最小のPEは殆ど吸水していない。この吸水率の大きさは充填剤入のエポキシ樹脂などに比較すると1/10程度で、充填剤が吸収に大きく影響していることがわかる。また、浸漬時間200~250時間に達すると、どの試料も吸水率が飽和し一定となった。よって本研究では試料を250時間浸漬させて各実験を行った。

3.2 吸水が撥水性に与える影響

ポリマー内部に吸収された水分は材料自体を膨潤し電氣的損失を増大させる。ポリマーによっては水分は加水分解を起こしたり可塑剤を溶解させる。これにより表面の撥水性が受ける影響を液滴法におよ

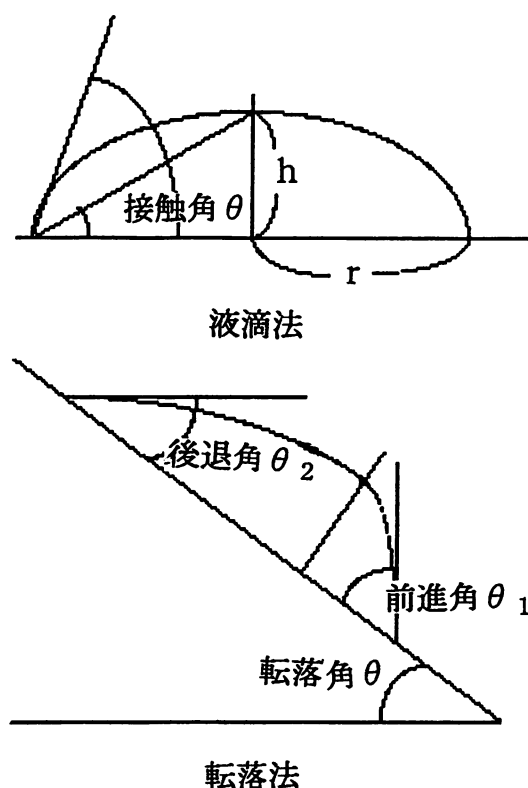


図1 液滴法と転落法

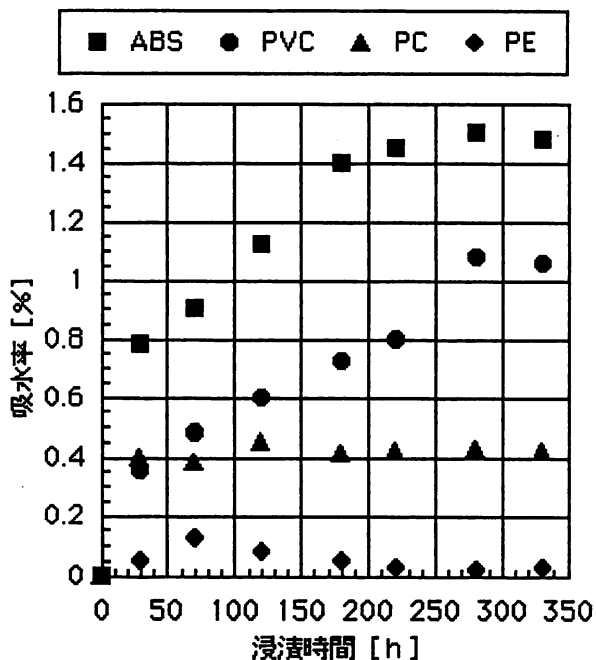


図2 吸水特性

び転落法によって試料表面においた水滴の形状を測定した。測定は同一種類の試料5個について行った。

3.2.1 接触角

図3に各試料を浸漬にする前と後の試料表面の接触角を液滴法で測定した結果を示した。浸漬する前後をそれぞれ origi, soak と表示した。ABS および PVC においては浸漬の後の接触角が減少している。これに対し PE においては浸漬による接触角の変化は認められない。ここで、ABS および PVC の吸水率はそれぞれ1.5%、1.1%であるのに対し PE は0.02%となっていて、PCを除いてこの吸水率の差が接触角の変化の違いとなったとみなされる。

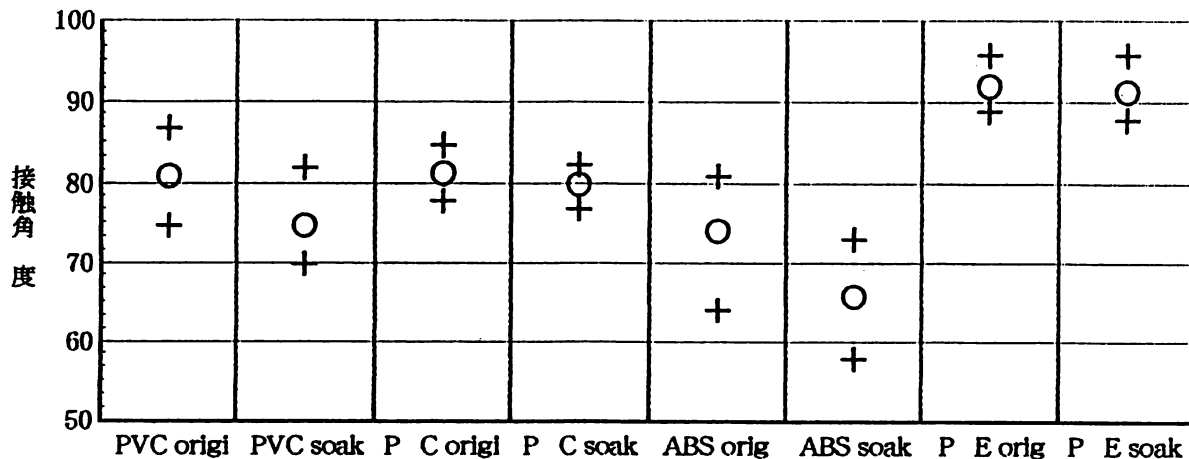


図3 接触角

3.2.2 前進角と後退角

実際の屋外電力機器の絶縁部は必ずしも水平配置ではない。また、IEC 耐トラッキング性試験法の試料面は垂直面から45度傾斜した下向き配置と規定(-45度)されている。そこで液滴法と同様に水平配置の試料面に水滴を滴下し、IEC 規定の-45度まで回転させ転落法によって前進角、後退角を測定した。図4に浸漬する前後の前進角、後退角をそれぞれ origi, soak として示した。ABS, PC, PVC の各試料とも浸漬の後、前進角が増大し、前進角と後退角の角度差も拡大している。水滴の形状の点から言えば、試料面の水滴が半球形から涙滴形に広がることをあらわしている。すなわち、試料表面の撥水性が低下して濡れ易くなったことが明らかである。PE についてはこのような変化は見られず、吸水の有無が影響しているものとみられる。

3.2.3 転落角

前項の接触角および前進角、後退角はいずれも水滴が静止している状態のもので、絶縁体が降雨を受けているときは水滴は流れ落ちることが多い。これを模擬して耐トラッキング性試験に用いられる試験液を試料表面に滴下して一定回転速度(2 rpm)で試料面を回転させ水滴が滑り落ち始める角度を測定した。図5に浸漬前後の転落角を各試料ごとに示した。浸漬前の PVC, PC は水滴が流れ落ち易く浸漬後には流れ難くなる。したがって浸漬前は転落角が小さく、浸漬後はそれが大きくなっている。ABS にも同様の傾向が見られるが前者ほどで顕著ではない。PE は供試材料の中では撥水性が強く、殆ど吸水しないので転落角の変化が小さい。

ポリマー絶縁材料の表面性状におよぼす吸水の影響

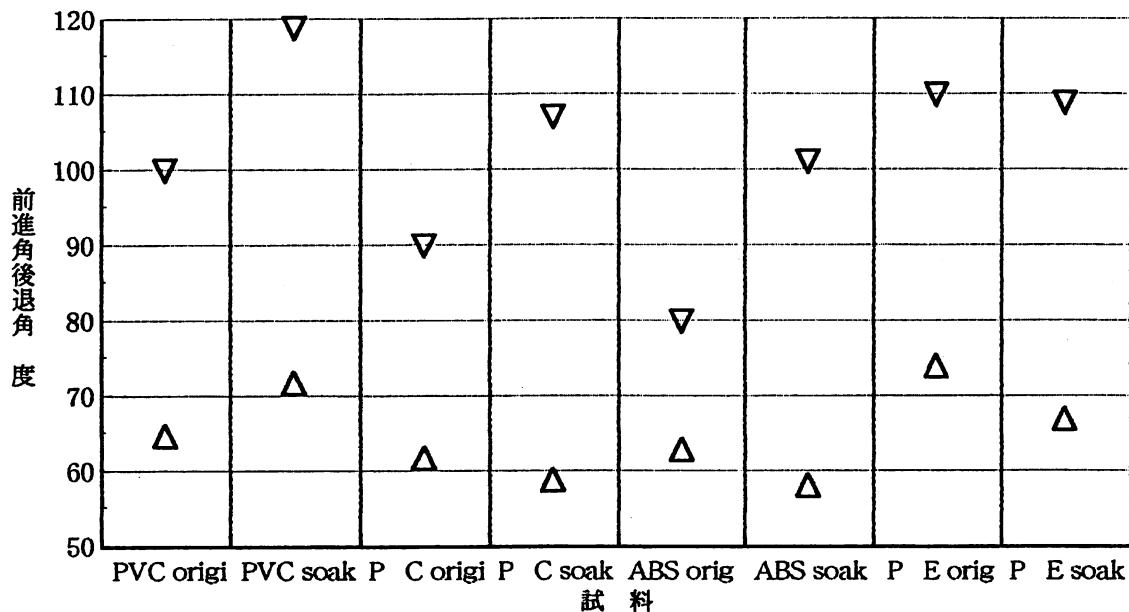


図4 前進角と後退角

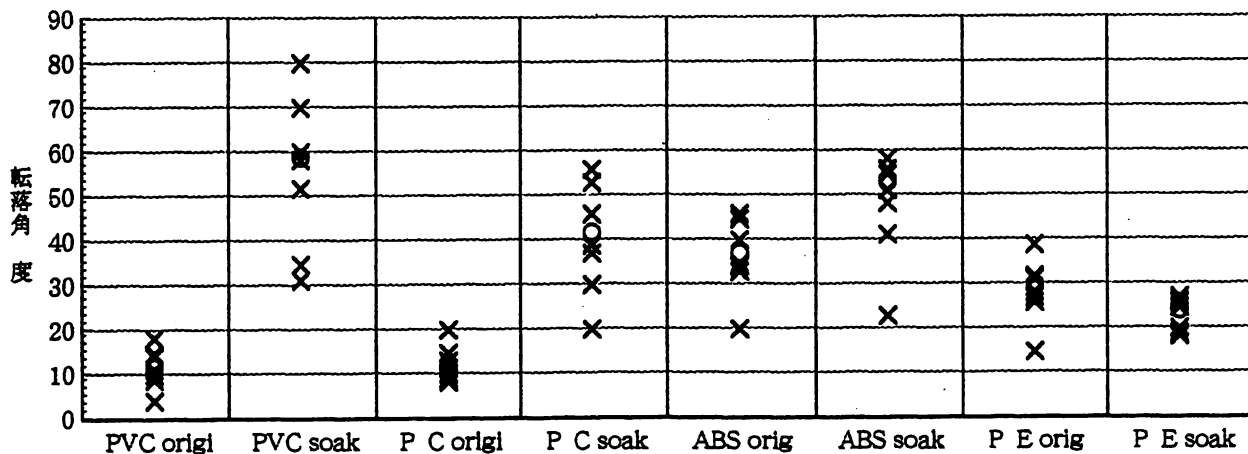


図5 転落角

3.3 吸水が耐トラッキング性に与える影響

図6は浸漬する前後に各試料について耐トラッキング性試験を行った結果である。試験は各試料について5個ずつ行った。浸漬の影響が大きくあらわれたのはPEで、浸漬前の試験では、5個すべてが6時間をすぎても破壊しなかったのに対して浸漬後は3個が6時間以内で破壊した。次いで浸漬の影響が大きいのはPCでABS、PVCではトラッキング破壊時間の浸漬による減少は僅かである。この結果は浸漬にともなう吸水現象と直接関連するものではない。

4. 結 論

以上の結果をまとめると次のようになる。

- 1) ABS樹脂, ピリ塩化ビニルなどの充填剤を含まないベースポリマー絶縁材料においても僅かながら吸水現象は起こる。吸収率は1~2%で充填剤入の樹脂の1/10程度である。
- 2) これらの内部には界面が存在しないので吸水のメカニズムは拡散浸透とみられ浸漬後数10時間から200~300時間で吸水率は飽和する。
- 3) 水分吸水率の大きいベースポリマーは接触角が減少し撥水性が低下した。また、前進角が増大し

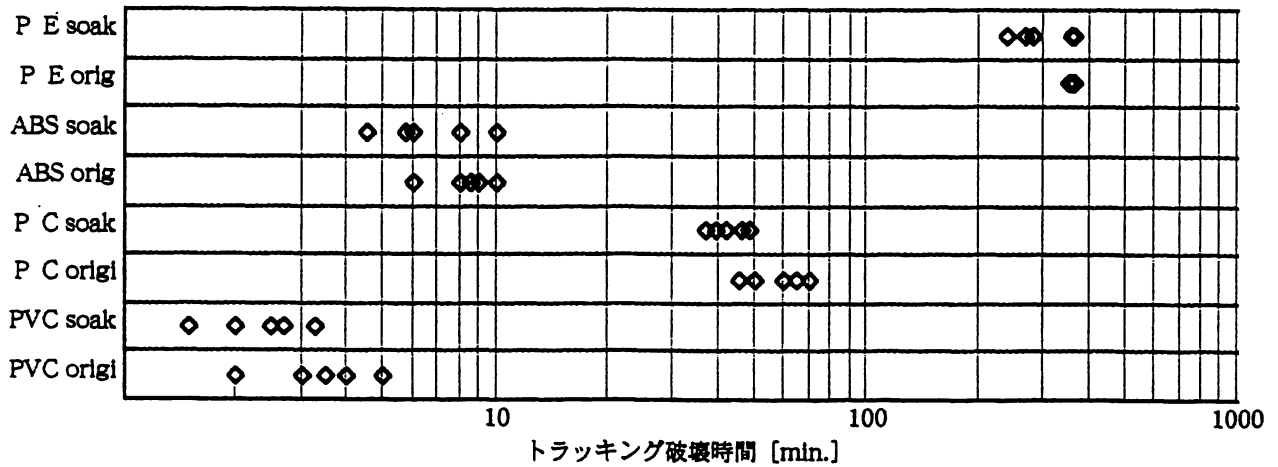


図6 トラッキング破壊時間

後退角が減少して、試料表面の水滴が涙滴形に拡がり易くなる。換言すれば「濡れ性」が増した事になる。

4) 水分吸収が耐トラッキング性に与える影響は供試材料の中で明確化する事は出来なかった。

今後供試材料の種類を拡げて実験を行い明らかにしていく予定である。

参考文献

- 1) 中村周平 他, “Al(OH)₃, Al₂O₃添加ポリ塩化ビニルの耐トラッキング性とシンチレーション放電エネルギー”電気学会論文誌, Vol. 59-A78, pp 635-642, 1984
- 2) 門谷健蔵 他, “複合材料の吸水特性”電気学会論文誌, Vol. 99-A, pp 207-212, 1979

- 3) H. Mitsui et al.: Proceeding of Joint Conference: 1993 International Conference on Electrical Insulation and 25th Symposium on Electrical insulation Materials, pp 43-46, 1993
- 4) 福田篤志 他, “屋外用複合絶縁材料の吸水による誘電・絶縁特性への影響”, 放電誘電・絶縁材料合同研究会試料, DEI-96-39, pp 29-38, 1996
- 5) 長谷川誠一, “積雪寒冷環境における有機絶縁材料の劣化現象”, 秋田高専寒冷センター年報, No. 11, pp 19-24, 1997
- 6) IEC: “Test Method for Evaluating Resistance to Tracking and Erosion of Electrical Insulating Materials used under Ambient Conditions”, IEC Publication 587, 2nd Edition