

# 統計的方法による固体の絶縁破壊に及ぼす電極効果の検討

斎藤 金一  
柳瀬 秋夫

The Study on the Effects of the Electrode Structures on the Breakdown of Solid by Stochastics.

Kin-iti SAITO  
Akio YANASE

On the measurements of the breakdown of solid insulation, using the analysis of the variance by the one-way layout in stochastics, we investigate the relations between the thickness of solid and the level of significance. And we analyse the effects of the electrode structures on the breakdown of solid insulating material.

## 1. 緒言

筆者等は先に厚さ約 1mm の板状絶縁物の厚さの微小変化に対して、絶縁破壊値が如何なる状態<sup>(1)</sup>で変化するかを硬質ビニール板を用いて統計学的方法によつて求め、其の結果を利用してビニール板の紫外線劣化による絶縁破壊値の変化の模様を測定した。更に今回は之を参照して、第一表に示す様な 3 群に分けられた試料の、各群の平均厚さの差が約 30/1000mm, 20/1000mm, 10/1000mm 異なる 3 組の試料を用い、その交流破壊値に対して、分散分析による F 分布検定を

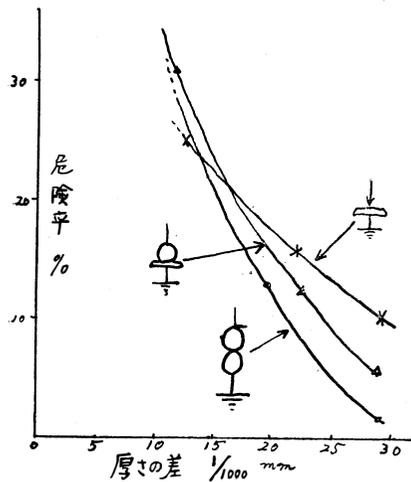


図-1

を行い、夫々の厚さの差に対して破壊値が危険率何%で検出されるかを算出した。此の様な測定及び球対球、球対平板、平板対針電極に対して行い、図-1 示す様に各電極構造による厚さの差に対する絶縁破壊値の検出

	オ1組	オ2組	オ3組
	厚さ mm	厚さ mm	厚さ mm
オI群	1.057	1.039	1.023
	1.060	1.042	1.021
	1.059	1.042	1.019
	1.058	1.039	1.018
	平均	1.059	1.041
最大偏差	0.003	0.003	0.005
I, II の平均差	0.031	0.019	0.011
オII群	1.030	1.024	1.007
	1.027	1.021	1.011
	1.026	1.018	1.009
	1.031	1.023	1.009
	平均	1.028	1.022
最大偏差	0.005	0.006	0.004
II, III の平均差	0.027	0.020	0.012
オIII群	0.998	0.999	0.995
	0.997	1.000	0.995
	1.003	1.003	0.999
	1.000	1.004	1.000
	平均	1.001	1.002
最大偏差	0.006	0.005	0.005
平均差の平均	0.029	0.0195	0.015

表-1

危険率を求め、之によつて各電極構造が破壊測定値に及ぼす効果を検討した。

## 2. 本 論

固体の絶縁破壊測定値に影響する因子は試料の厚さ、均一性及び表面状態、温度、電極の構造、表面状態及び接触圧力、周囲媒質、印加電圧の種類、印加時間及び上昇速度等多数あつて、之等の中には、破壊瞬時の試料温度の様に測定者に制御出来ないもの、又出来たとしても例えば電極の表面状態の様に問題が微視的であつて制御が甚だ困難なものが含まれている。従つて此の測定値の信頼度を高めるためには測定を多数回行つて其の代表値（例えば平均値）をもつて測定値とする方法が行なはれている。次に絶縁破壊の研究に於ては前記の諸因子を出来るだけ一定に保つて目的の因子だけを変化させて其の効果を検出することが必要である。例えば固体の厚さを変化させて破壊値がどの様に变化するか、試料に紫外線を照射して強制劣化させてその照射時間と破壊値との関係を測定する場合等である。之等の場合目的の因子に加える処理の効果即ち級間変動が他の諸因子による効果即ち級内変動（之は一般の測定に於ける偶然誤差と同じものと考えられる）に比して充分大きくなければならない。

今変化させる因子として厚さをとり他の測定条件を一定として次の様に破壊測定値を処理する。表-1第一組の12枚の試料を用いてその各群の4枚の試料の破壊値を夫々各群の平均厚さに属する測定値とみなすと第二表の様になる。測定値 $V_{ik}$ を実現値とする確率変数を $V_{ik}$ とすると、 $V_{ik}=m_i+W_{ik}$ 、 $i=1,2,\dots,k(k=3)\lambda=1,2,\dots(n=4)$ 、と置く事が出来る。此の式で $m_i$ は厚さ $(i)$ によつて变化する破壊値の部分で $W_{ik}$ は前記の偶然誤差によつて変動する破壊値の部分で之は正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うものとする、そして $\sigma$ は $i$ によつて変化しないものと仮定する。今 $m_i=m+g_i$ とおき $\sum g_i=0$ なる様に $m$ を定めても一般性を失はない。従つて $V_{ik}=m+g_i+W_{ik}$ になる。こうすれば $g_i$ は破壊値の中厚さのみによつて変動する部分を表はす、従つて帰無仮説として $H_0: g_1=g_2=\dots=0$ をとり之を分散分析により検定する。分散分析及びF分布検定の方法に就ては文献参照のこと。

実際の計算は次の方法で行う。算式はすべて平方和になつているので実測破壊値から一様に25KVを引いた値（表-2の $V_i'$ ）を用いる。

$$M = \left( \sum \sum v'_{ik} \right)^2 / [n] = 14.5^2 / 12 = 17.56$$

$$\text{総平方和 } S = \sum \sum v_{ik}^2 - M = 95.11 - 17.56 = 77.55$$

$$\text{級間平方和 } S_t = \frac{1}{n} \left\{ (\sum v'_1)^2 + (\sum v'_2)^2 + (\sum v'_3)^2 \right\} - M = 58.53 - 17.56 = 40.97$$

$$\text{級内平方和 } S_{in} = S - S_t = 77.55 - 40.97 = 36.58$$

之等の値から表-3が求められる。此のFの $f_1=2, f_2=9$ のF分布表から $\alpha=3.5$ である。尚数値表には $\alpha$ の大きい値に対するものがないので、表の数値から曲線を描き、それから危険率を求めたので多少の誤差はあると思う。

以上の測定値の処理の過程から解ることは厚さの微小変化の効果を敏感に絶縁破壊値に

$\bar{x}_1 = 1.059$			$\bar{x}_2 = 1.028$			$\bar{x}_3 = 1.001$		
$v_1$	$v_1'$	$v_1'^2$	$v_2$	$v_2'$	$v_2'^2$	$v_3$	$v_3'$	$v_3'^2$
31.0	6.0	36.00	26.2	1.2	1.44	24.5	-0.5	0.25
28.5	3.5	12.25	28.1	3.1	9.61	27.1	2.1	4.41
26.2	1.2	1.44	23.5	-1.5	2.25	22.2	-2.8	7.84
29.0	4.0	16.00	25.1	0.1	0.01	23.1	-1.9	3.61
$\sum v_1' = 14.7$			$\sum v_2' = 2.9$			$\sum v_3' = -3.1$		
$\sum v_1'^2 = 65.69$			$\sum v_2'^2 = 13.31$			$\sum v_3'^2 = 16.11$		

図-2

表はさせるためには、級内変動即ち目的の因子以外の因子による変動を出来るだけ小さく抑える様に実験計画を立てることである。そのためには、(1)他の条件を出来るだけ精密に一定に保つことで

ある、此の目的のために本実験に於ては、試料は一枚の板から切りとつたものを用ひ、電圧上昇速度は2kv/sec一定とし、測定中の油温の変化は最大4°Cでその上昇を防ぐために測定間隔を5分にした、油が劣化し

	平方和	自由度	$u^2 = S/f$	$F = u^2 / u_{\alpha}^2$
組間 $S_t$	40.97	$k-1 = 2$	20.49	$20.49 / u_{0.05}^2 = 5.04$
組内 $S_m$	36.58	$[n]-k = 9$	4.06	
総和 $S$	77.55	$(n)-1 = 11$		

図-3

ない様に試料の出し入れは外部で行なえる様な装置とした、更に電極圧力は自重75g一定とし、試料(4cm×4cm)の厚さの測定は4方からマイクロメーターで測定して平均値をとり、第一表の各組の各群に属する試料の厚さの最大偏差は5/1000mm以内のものを選んだ。之は先の実験により此の程度の厚さの差は破壊値に全く表はれて来ないという事実が解つているからである。然し此の様に注意しても此の条件には前述の様に測定者に制御出来る限界が存在する。(2) 同一級内即ち同一処理に於ける測定回数nの値を多くする、之は1個の $V_{\alpha}$ に入つて来るかもしれない偶然的変動の分散を $\sigma$ とすると $V_{\alpha}$ の代りに $V_i = \frac{1}{n} \sum V_{i\lambda}$ を用いれば $V_i$ に対する偶然的変動の分散は $\sigma^2/n$ になるからである。然しnを大にする事は他の因子を一定にするといふ条件と排反する場合がある、例えば測定回数を増すと電極表面状態が変化してしまうとか、周囲媒質が劣化するとかという場合である。従つてnを余り大きくする事は出来ない。(3) 他の因子の効果を適当にかきまぜて積極的に確率化することである、此の実験では第一表の36枚の試料をまぜ合わせて順序不同で測定を行つた、之は条件を無作意化すると同時に測定者の先入観による誤差の浸入を防ぐためのものでもある。

第一表の試料に対しては球対球電極により測定し同様に配列した試料群(記載略)に対して球対平板、平板対針電極で測定した結果を図-1に示す。尚電極はすべて真鍮で球電極は径10mm、平板電極は試料に接する面の径8mmである。

## 結 論

(1) 厚さの微小差が絶縁破壊値に及ぼす効果が最もよく検出出来るのは球対球電極で、球対平板、平板対針電極の順である。之は主に破壊値の「ばらつき」が此の順序に小さく即ち、偶然誤差が此の順序に入りにくい事を示すもので、電極構造の特性を示している。

(2) 平板対針電極は破壊点が一点に集り而も破壊値が低いので「ばらつき」は他の電極より小さいものと想像されるが反対の結果を示している。之は此の電極は破壊値は大体揃うけれども時に大きく離れた測定値を示す事があり、此の点球対球電極は破壊値が一様に揃つている。

(3) 厚さの差が大きい方では電極効果が明らかに表はれているが、小さい所では殆んど差がなくなつて5/1000mm位になると一様に検出々来なくなる様である。従つて厚さ以外の因子を変えてその効果を知ろうとする場合は試料群の厚さの最大偏差を5/1000mm以内位にとれば、厚さのちがひによる誤差は無視出来る事が解る。

(4) 平板対針電極の曲線の傾斜は他の電極のそれよりもゆるやかで、差の小さい所で他と交叉している。此の原因は明らかでないが偶然誤差が厚さの大小により異なる事はあり得ないので、1mm附近の厚さ対破壊値特性が平板対針電極の場合他と多少異なるのではないかと考えられる。

最後に実験及計算を行つた卒業生渡辺恒夫(富士電機)岡田健治(東北電力)両君に感謝する。

## 文 献

- (1) 斉藤、柳瀬 昭33 電気学会支部連大
- (2) 斉藤 昭34 電気学会支部連大
- (3) 例えば 増山 実験計画法  
確率及統計 応物講座 第11巻
- (4) 統系数値法 統計科学研究会編