

0.1mm 白金線	400	5	3.4	± 0.1	0.0
0.1mm ニッケル線	850	5	3.4	± 0.1	0.0
0.4mm フェーズ線	300	3	8.4	± 0.8	5.0
0.5mm 銅線	3600	5	6.3	± 0.7	2.9
5mm 巾錫箔巻	30	3	3.4	± 0.1	0.0

表2で見るように、切れる時間は針金の抗張力には比例していない。太い線ではばらつきが多く、又切断に要する時間も多し。例えば電気雷管の脚線(0.5mm銅線)では切れるのに2.9 μ s以上の時間を要している。導線の場合では、この針金が切れた瞬間には爆轟波先端は既に1.7cm先方へ進んでいることになる。フェーズ線等は伸びが大きい為か切れるのに長い時間がかかるからこの種の測定用としては不適當である。

0.1mm マンガン線の切れる絶対時間が分れば良いが今の所測定法はない。しかしばらつきは少いから0.1mm程度の針金ならば大きい誤差の原因にはならぬようである。

§ 5 結 び

著者等の考案した新しい爆速測定法は実験室内で短

い薬包の爆速を測る目的に充分適うものであると信ずる。故障も少いし、一度調整した装置は繰返し約300回の測定を行つた後も前と全く同じ結果を与えている。ただし測長を長くしても精度は上らない。本法の欠点は写真撮影の必要と、撮影された像の波形、読取に若干の任意性が入る点である。

又測定すべき薬包が電気の導体で被覆されている時には特に精度が悪く、この対策はまだ解決されていない。

本研究は文部省科学試験研究費の援助をうけて行われたものであり、本研究に当り種々有益な得教示を賜つた長友黒柳昌之、東大電気工学科岡村、宇都宮、安井の諸氏に深謝する。又試料の作製及び提供を快諾された帝國火工品、日本カーリット及び日本化薬に対し衷心より御礼申上げる。

電気雷管の齊発範囲に就て

(昭和28年5月14日受理)

明石善作・植田安男・野田満潮

(旭化成工業株式会社小倉工場)

I 緒 言

工業火薬協会誌第12巻第2号に電気雷管の点火齊度と白金線断線時間の関係からの齊発範囲を論じたが、当時指摘した通り右の外脚線の絶縁抵抗が低下し漏洩があればその回路の電流分布は均等でなくなるので最大電流(i_1)をとる電気雷管と最小電流(i_2)をとる電気雷管とを生ずることは明かである。この i_1 と i_2 との差がかなりの大きさに開いたときは白金線断線時間と点火時間の関係から当然不発を生じると考えられる。

市販されつつある電気雷管の脚線の絶縁抵抗の低下度を測り漏洩に会つた場合不発の可能性と之の齊発に必要な電源電圧を実験的に求め、水中発破では絶縁度の低下しない耐水脚線の使用と高電圧のコンデンサー

発破器の使用が有利であることを述べる。

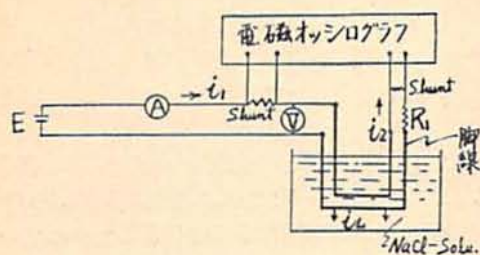
II 脚線の絶縁抵抗

通常、脚線の絶縁抵抗を知るには100V~500Vのメーターによつてゐるが、吾々は次の如き方法によつてこれを求めた。

脚線を約3%の食塩水に浸漬して電流を通ずるとき、若し脚線の絶縁抵抗が低下して漏洩するときは脚線を通つて流れた電流 i_1 は i_2 より小電流値を示すであろうし、又漏洩がなければ $i_1=i_2$ の筈であるから、これをオッシログラフを用いて測定しオッシログラムより求められた電流値から絶縁抵抗を計算で求めた。

即ち、漏洩電流を i_2 とし絶縁抵抗を R_0 とすると次の関係式が成立する。

図1 装置図



E: 電池 A: 電流計 V: 電圧計

R_1 : 電圧規正抵抗

i_1 : 全電流 i_2 : 漏洩にあつた小電流

i_L : 漏洩電流

$$i_1/i_2 = R_1/R_0 \quad \text{故に} \quad R_0 = R_1 \cdot i_2/i_1$$

結果

(A) 浸漬時間を一定として測定電圧を変化させた場合

表1 (3% NaCl-Solu. 浸漬時間 30min
Temp. 25~26°C)

電圧 (V)	絶縁抵抗 (Ω)	電圧 (V)	絶縁抵抗 (Ω)
15	579	55	511
-	510	-	1214
-	373	75	580
21	∞	-	226
-	647	-	850
-	584	100	823
34	761	-	571
-	674	140	463
47	408	-	215
-	345	-	-

この範囲の測定電圧では電圧による絶縁抵抗の変化は見られず、寧ろ普通綿巻パラフィン脚線の絶縁度自体のばらつきが大きく認められた。

(B) 浸漬時間による絶縁抵抗の変化

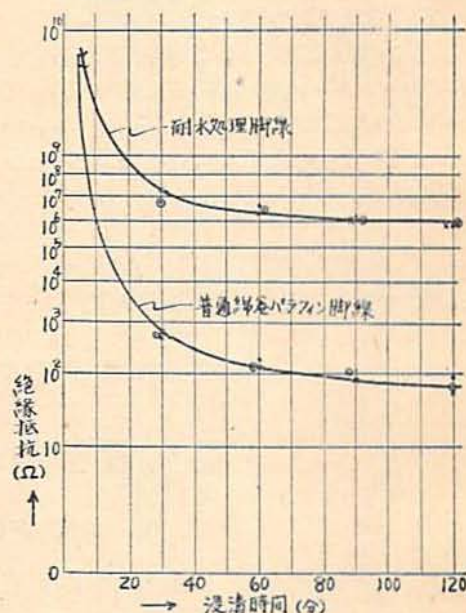
前項に於て電圧による絶縁抵抗の影響は殆んど認められなかつたので、測定電圧を DC20V~22V として 3.27% NaCl-Solu. Temp. 26~27°C で浸漬する時間を変化させて絶縁抵抗を測定した結果は表2及び図2の如くである。

綿巻パラフィン式の脚線の絶縁抵抗は浸漬する時間によつて加速的に低下し1時間30分にもなると約50 Ω 位までになることがわかる。

表2 絶縁抵抗の変化

種別	浸漬時間 30(分)	60	90	120
普通綿巻	(Ω)	(Ω)	(Ω)	(Ω)
パラフィン	584.0	200.0	126.5	91.4
脚線	647.0	169.0	89.5	56.6
	609.0	145.0	124.0	55.0
耐水処理	(M Ω)	(M Ω)	(M Ω)	(M Ω)
脚線	12.0	4.0	1.6	0.8
	8.0	3.5	1.5	0.9
	10.0	3.2	1.4	0.8

図2 浸漬時間と絶縁抵抗の変化



3% NaCl-Solu. 30分浸漬試験では普通綿巻パラフィン脚線の絶縁抵抗は大体500~600 Ω と見做され絶縁度の低いもので200 Ω 位が普通と思われる。然しこの試験は脚線の取扱操作を丁寧にしたものについての結果であるから手荒く取扱えば100 Ω 以下或は50 Ω 程度になるであろうことは十分に考えられる。

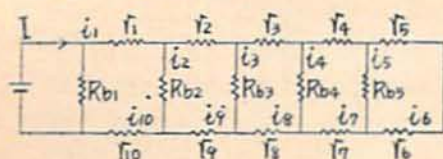
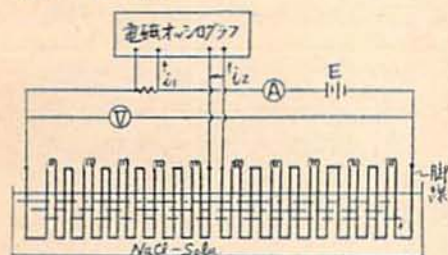
さて、斯の如き絶縁度を持つ電気雷管を10発直列に結線した場合の漏洩を測定すると表3の如くなる。

この時の脚線よりの漏洩を考える場合は極めて複雑な電流分布となるのであるが、ここでは簡単に図3の如く考えた。

しかるときは、最大電流は第1番目の雷管(r_1 と r_{10})に、最小電流は第 $n/2$ 番目の雷管(r_5 と r_6)にあることは明かである。

従つて、この場合の最大電流と最小電流の差を測定

図3 電流分布図

図4 i_1, i_2 の測定図

するの図4の如き方法を用いた。

即ち、 i_1 は最大電流であり、 i_2 は漏洩にあつた最小電流であるから夫々をオッシログラフに装置してそのオッシログラムより求め、 i_1 と i_2 の百分率で表わしたものが表3である。

表3 (DC 21.5V 3% NaCl-Soln. Temp. 26~26.5°C)

試料	浸漬時間			
	30(分)	60	90	120
1	99.2	-	94.5	75.5
2	91.0	73.2	69.8	62.2
3	98.0	80.0	66.6	64.7
4	100	100	100	100
5	100	100	100	100
6	100	100	100	100

(備考) 試料 No. 1~3 は普通脚線、4~6 は耐水処理した脚線

耐水処理をした特殊綿巻パラフィン脚線では浸漬時間1時間30分位では絶縁抵抗の低下による漏洩は認め難いが、普通綿巻パラフィン脚線の場合は表2のデータから相当の電流差が予測されたが、30分程度では約96%位であり、1時間30分では約67%位に低下する程度であることが判明した。

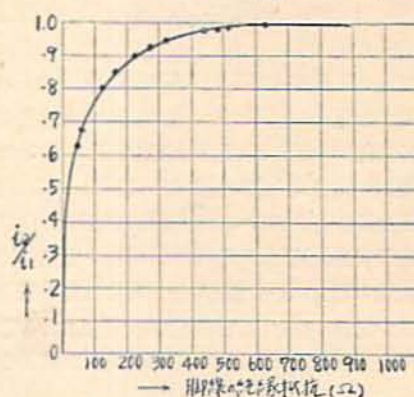
然しこれは飽く迄も丁寧に取扱はれた脚線についての測定であるから、手荒れ取り扱えば絶縁被覆の破壊が考えられ、その漏洩は更に大きくなるであろうことは十分に想像される所である。

今、この実験から得られたオッシログラムから脚線

の絶縁抵抗と最大電流と最小電流の比即ち i_2/i_1 との関係を表4にまとめグラフを作ると図5を得る。

表4 絶縁抵抗と i_2/i_1

絶縁抵抗 (Ω)	最大電流と最小電流の比		絶縁抵抗 (Ω)	最大電流と最小電流の比	
	1	2		1	2
35	0.552	-	225	0.898	-
45	0.615	0.624	230	0.899	-
46	0.622	-	250	0.910	-
54	0.647	-	265	0.917	-
60	0.677	0.666	275	0.923	-
70	0.698	0.698	320	0.945	-
85	0.732	-	383	0.946	-
120	0.800	-	425	0.970	-
160	0.850	-	440	0.980	-
173	0.861	0.892	480	0.980	0.980
215	0.892	-	500	0.984	-
220	0.895	-	625	0.992	0.992

図5 絶縁抵抗 - i_2/i_1 関係曲線

絶縁抵抗が低下して200 Ω 位になると i_2/i_1 は0.88程度で若し50 Ω 位に迄低下するとすれば、その電流差は大きく比は0.65程度になる。

従つて普通脚線を用いた電気雷管を装填して長時間後に発破を行うような場合、特に水条件の悪い所では当然脚線より漏洩が考えられるわけであるから仮りに1Ampの電流が流れる様に設計された回路があるとすれば中間位の或る電気雷管には0.65A又はそれ以下の電流しか流れないと云ふことがありうるわけである。

かかる場合に最大電流を取つた電気雷管の断線時間内に最小電流を取つた電気雷管の点火時間があれば齊発し得るのでこの範囲について検討する必要がある。

これに就ては既に火薬協会誌第33号に発表したのが、更に吟味を加へ次の如き結果を得た。

III 齊発に必要な電圧

今、図6に於て R_0 なる絶縁抵抗を持った電気雷管を2n個直列に結線して発破を行ふとき脚線の漏洩を考えると r_1 と r_{2n} には最大電流が r_n と r_{n+1} には最小電流が流れることになるので、これを図7の如く簡略して考察した。

図6

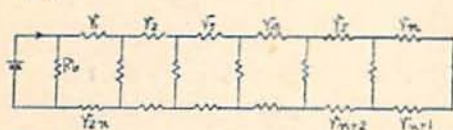
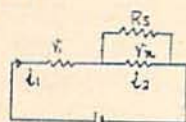


図7



R_0 は脚線の絶縁抵抗の大きさに比べて雷管の抵抗は小さいので、これを無視出来るとして漏洩した脚線の絶縁抵抗のみの合成抵抗を表わす。

かくて、 r_1 と r_n を齊発するに必要な電圧を測定すればよいことになる。

ここで点火力積の相等しい2個の電気雷管に i_1 、 i_2 なる異なつた電流を通じた時、点火玉の点火速度と電流値との関係から云えば、電圧を変化させても i_1 と i_2 の齊発範囲の比は変わらない筈のように思えるが、実際には電圧を高めるに従つて齊発範囲の巾が拡がる。この理由は實際的裏付けは困難であるが、電気雷管のような構造の電気回路に電流を通す時には電源電圧が大きく且つ電流の多い程白金線熔断後電氣による電流遮断時間が延びるということから齊発範囲が拡がるものように考えられる。

即ち、図8の如くポテンシヨメーターでコンデンサーの充電電圧を自由に加減しうる如く装置し、充電電圧は電圧計で読むようにする。

先づ、 R_0 を任意の値に選定しその抵抗を正確に測定しておき、 r_1 及び r_n の点火玉を接続する。しかしてコンデンサーの放電電流がこの r_1 と r_n を同時に点火しうる最小の電流を流すに必要な充電電圧を求めるとのである。

図8 齊発範囲測定装置図



その結果は表5及図9の通りである。

表5

R_0 (Ω)	r_1 (Ω)	r_n (Ω)	電圧 (V)	R_0 (Ω)	r_1 (Ω)	r_n (Ω)	電圧 (V)
1.0	0.99	0.99	125	3.9	0.89	0.86	68
-	0.98	0.91	▷	-	0.91	0.92	▷
-	0.96	0.99	▷	-	0.86	0.83	▷
-	0.96	0.96	▷	-	0.86	0.89	▷
-	0.99	0.95	▷	-	0.89	0.89	▷
平均	0.976	0.96	125	平均	0.882	0.876	68
1.5	1.01	1.07	92	6.0	0.89	0.86	61
-	1.01	1.01	▷	-	0.89	0.89	▷
-	1.07	1.06	▷	-	0.82	0.87	▷
-	1.00	1.00	▷	-	0.87	0.89	▷
-	1.00	1.10	▷	-	0.86	0.87	▷
平均	1.018	1.048	92	平均	0.866	0.876	61
2.0	0.90	0.91	81	8.0	0.89	0.80	58
-	0.95	0.96	▷	-	0.89	0.89	▷
-	0.90	0.92	▷	-	0.90	0.80	▷
-	0.99	0.90	▷	-	0.91	0.90	▷
-	0.90	0.93	▷	-	0.92	0.90	▷
平均	0.928	0.924	81	平均	0.902	0.856	58

これによつて、脚線の絶縁抵抗が或る時間後にどれ位のものになつてゐるかを推定すれば結線雷管個数でそれを除いたものがここで R_0 に相当するので、横軸に R_0 を取つてみれば発破に必要な電圧を知ることが出来る。

例えば、普通捲巻パラフィン脚線の絶縁抵抗が1時間後に45 Ω 程度と推定されるときは10発齊発のときは65V以上でなければ完爆はむづかしいことになる。

又若し100発位の火発破となれば R_0 は1.0 Ω 以下となるので如何に大なる電圧をかけても齊発し得ないで発破不能となるから幾つかの回路に分岐して並列一直列にしなければならぬことになる。

次に表5の結果から r_1 と r_n に流れた電流比即ち i_2/i_1 を計算して齊発範囲を吟味する。

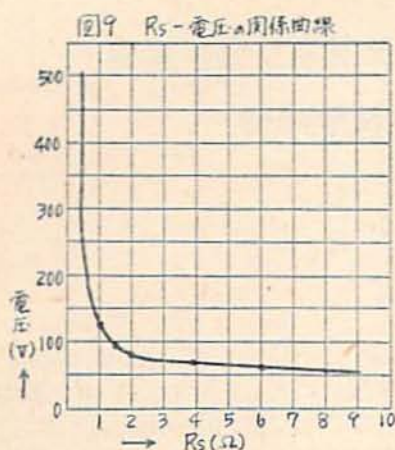
オームの法則より

$$i_1 = V / [r_n \cdot R_0 / (r_n + R_0) + r_1]$$

$$i_2 = i_1 \times R_0 / (r_n + R_0)$$

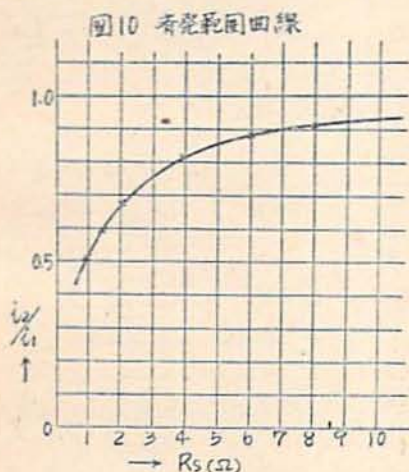
表6 R_0 と i_2/i_1

R_0	r_1	r_n	V	i_1	i_2	i_2/i_1
1.0	0.976	0.960	125	85.3	43.5	0.510
1.5	1.018	1.048	92	56.3	33.2	0.590
2.0	0.928	0.924	81	51.8	35.4	0.683



3.9	0.882	0.876	68	42.5	34.8	0.818
6.0	0.866	0.876	61	37.4	32.6	0.873
8.0	0.902	0.856	58	34.6	31.3	0.909

これをグラフに表わすと図10の如くなる。



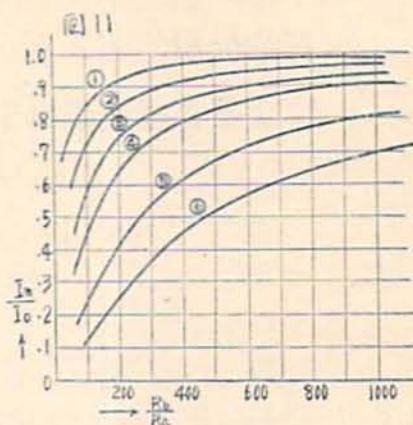
この電流比の曲線が悪条件の場合の齊発可能な範囲を示すものである。

従つて、九州工大橋本助教授の計算された脚線の絶縁抵抗 R_0 と最大、最小電流の比 I_m/I_0 との関係グラフを用いて直列結線の場合の齊発可能性に検討を加えてみた。

図11は橋本助教授の発表による関係グラフである。(九州鉱山学会誌第21巻第1号16頁)

このグラフの値は図5の実験値と略一致する。

絶縁抵抗 R_0 が或る条件によつて200Ω程度にあると



$$\begin{aligned} \text{最小電流 } I_m &= \frac{1}{\cosh n\theta} \\ \text{最大電流 } I_0 &= \cosh n\theta \end{aligned}$$

$$\text{但し } \theta = \cosh^{-1} \left(1 + \frac{R_a}{R_0} \right)$$

R_a : 雷管1個の抵抗

R_0 : 脚線の絶縁抵抗

雷管直列数 $2n$

①.....8

②.....12

③.....16

④.....20

⑤.....30

⑥.....40

假定されたとき、電気雷管の直列結線個数が8の場合はその最大電流と最小電流の比 I_m/I_0 は0.92程度であるから、これを齊発するには図10の i_2/i_1 の曲線及び図9の R_s -電圧曲線から約60V位の電源電圧を必要とすることが判る。然し結線個数が多く30発になると $I_m/I_0 = 0.41$ 位となるので電圧は170V~180Vを要することになり、40発直列ともなれば500V以上を必要とし到底齊発は不可能と見做してよい。

IV 結 論

(1) 水条件の悪い発破箇所では図2に示す如き処理を施した脚線を使用するのが安全である。

(2) 多数個の電気雷管を直列結線し回路に漏洩のあつた場合、最大電流 i_1 をとる電気雷管と最小電流 i_2 をとる電気雷管の齊発範囲は電源電圧を高めることによつて大きく拡められる。水条件の悪い発破箇所が高電圧のコンデンサー発破器が極めて有利であることが裏付けられた。

文 献

橋本武氏：不発電気雷管の一原因に就て

九州鉱山学会誌第21巻第1号16頁