

# 電流漏洩による電気発破の不発とその対策

電気課 技官 上 月 三 郎  
寺 沢 正 義  
坂 主 勝 弘

## 緒 言

電気発破による災害の大半は残留発破の暴発によるものである。しかも残留発破の検知の困難な現状においてはこれらの災害を防止するには発破時の不発防止が極めて重要である。電気雷管の不発の原因としては誤接続、発破器の点火能力不足、電気雷管の特性不同、電流漏洩等種々の事項が考えられる。しかし、これらの中で最も事例が多く重要なのは発破電流の漏洩による不発である。殊に湧水その他で湿気の多い場所での発破や斉発数の多い大発破においては特に不発発生危険が多い。そこで次に電流漏洩により不発の発生する状況を明らかにし、その対策を説明する。

## 1. 直列発破回路の電流漏洩について

### 1.1 電気雷管の回路抵抗及び絶縁

発破回路において発破母線には一般に絶縁の優秀な電線が用いられるので、これよりの電流漏洩はほとんど考えられない。主に脚線及び脚線の結線部よりの漏洩が考えられる。しかも多数の電気雷管の直列回路において電流の漏洩は単に点火電流の減少のみでなく、電気雷管の間の電流値の不同を生じ、これが不発残留の大きな原因となり得る。そこで多数の電気雷管を直列に接続した場合の標準的な回路について検討しよう。

今発破回路の電気雷管の定数が全部同じものとして

- 電橋部の抵抗.....  $r_1$
- 脚線 1m 当りの抵抗.....  $r_2$
- 結線部の接触抵抗.....  $r_3$
- 電橋部の大地に対するコンダクタンス.....  $g_1$
- 脚線 1m 当りの大地に対するコンダクタンス.....  $g_2$
- 結線部の大地に対するコンダクタンス.....  $g_3$
- 脚線の長さ.....  $l$

とすれば

電気雷管 1 本当り (結線部 1ヶ所を含む) の

$$\text{抵抗 } r = r_1 + 2lr_2 + r_3$$

$$\text{大地へのコンダクタンス } g = g_1 + 2lg_2 + g_3$$

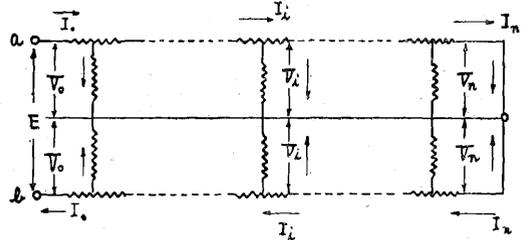
$r_1$  は普通 0.7~1.0Ω 位であり、 $r_2$  は脚線の太さ 0.5mm において 0.093Ω、 $l$  は 1.2m~2.0m 位  $r_3$  は正しく接続された場合には  $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$  見当で、 $r_1$  に比し省略し得る。 $r$  は大体 1Ω 内外と考えられる。

$g_1$  について一般に雷管の外管と電橋線とは良く絶縁されているので、絶縁抵抗は数 MΩ 以上あり、 $g_1$  は比較的小さい。 $g_2$  脚線の絶縁被覆の種類及び土壌の性質および水分によって著しく異なる。 $g_3$  は結線部の絶縁方法によって異なる。

### 1.2 標準直列発破回路の解析

これらの電気雷管 N 個を直列に接続した場合に N を偶数とし  $n = \frac{N}{2}$  とすれば、第 1 図の如き等価回路を考えることができる。今これを単位長当りの等価抵抗  $r$ 、等価コンダクタンス  $g$  の分布定数回路と考えれば、

第 1 図



$$\left. \begin{aligned} \frac{dv}{dx} &= -rI \\ \frac{dI}{dx} &= -gV \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = -r \frac{dI}{dx} = rgv$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = -g \frac{dv}{dx} = rgI$$

これを解けば

$$\left. \begin{aligned} v &= A \cosh \theta x + B \sinh \theta x \\ I &= -\frac{\theta}{r} (B \cosh \theta x + A \sinh \theta x) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ただし  $\theta = \sqrt{rg}$

給電端における電圧電流を  $v_0, I_0$  とすれば

$$x = 0 \text{ において } v = v_0, \quad I = I_0$$

$$\therefore A = v_0, \quad B = -\frac{r}{\theta} I_0$$

従って

$$\left. \begin{aligned} v &= v_0 \cos \theta x - \frac{r}{\theta} I_0 \sin \theta x \\ I &= I_0 \cos \theta x - \frac{\theta}{r} v_0 \sin \theta x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

次に中央部端における電圧電流を  $v_n, I_n$  とすれば

$$x = n \text{ において } v = v_n = 0, \quad I = I_n$$

$$\therefore v_0 \cos hn\theta = \frac{r}{\theta} I_0 \sin hn\theta \dots\dots\dots(4)$$

$$\therefore I_n = I_0 \cos hn\theta - I_0 \frac{\sin h^2 n\theta}{\cos hn\theta} = I_0 \frac{1}{\cos hn\theta}$$

1.3 電気雷管の絶縁抵抗と電流漏洩との関係

電気雷管に流れる電流値は  $x=0$  の場合に最も大きくその後漸次漏洩して減少し、 $x=n$  において最も小さく

第1表  $K_s = \frac{I_n}{I_0} = \frac{1}{\cos hn\theta}$  の値

(注)  $N = 2n \quad \theta = \sqrt{\frac{r}{r_g}}$

( $r=1.00\Omega$ の場合)

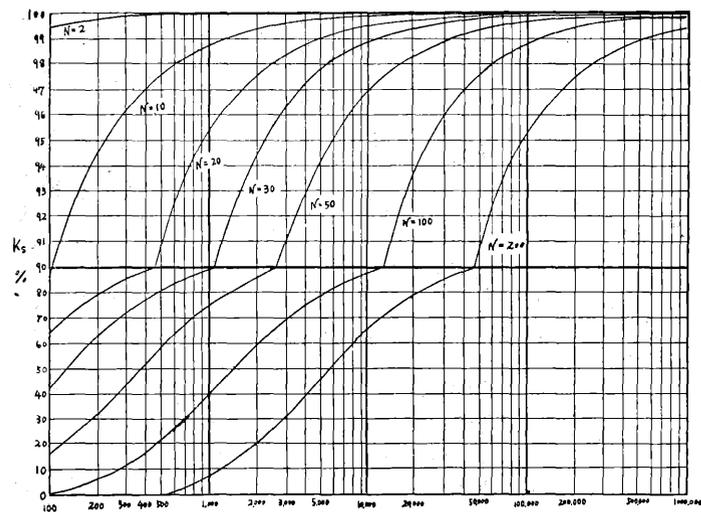
N	$r_g$	100	500	1,000	5,000	10,000	50,000	100,000	500,000	1,000,000
2		0.995	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10		0.888	0.977	0.989	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000
20		0.648	0.909	0.953	0.991	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000
30		0.424	0.815	0.898	0.978	0.989	0.998	0.999	1.000	1.000
50		0.163	0.594	0.758	0.942	0.970	0.995	0.997	1.000	1.000
100		0.014	0.213	0.395	9.797	0.888	0.975	0.989	0.999	0.999
200		0.000	0.023	0.085	0.459	0.648	0.909	0.953	0.990	0.995

なる。従って最小値と最大値との比

$$K_s = \frac{I_n}{I_0} = \frac{1}{\cos hn\theta} \dots\dots\dots(5)$$

である。

今電気雷管の回路抵抗  $r=100\Omega$  の場合、種々の斉発数  $N$  および電気雷管の絶縁抵抗  $r_g (= \frac{1}{g})$  に対する  $K_s$  の値を示せば第1表および第2図のとおりである。



第2図

斉発数  $N$  が増加するに従って  $K_s$  の値が著しく低下している。

次に

$$\frac{r_g}{r} = \frac{1}{r_g} = \theta^2$$

(5)式より

$$\frac{1}{\theta^2} = \frac{n^2}{\left\{ \cos^{-1} \left( \frac{1}{K_s} \right) \right\}^2} = \frac{N^2}{4 \left\{ \cosh^{-1} \left( \frac{1}{K_s} \right) \right\}^2}$$

今  $P = \frac{1}{4 \left\{ \cosh^{-1} \left( \frac{1}{K_s} \right) \right\}^2}$  とすれば

$$\frac{r_g}{r} = PN^2 \dots\dots\dots(6)$$

$K_s$  の種々の値に対する  $P$  の値を示せば第2表のとおりである。これにより  $K_s$  並びに  $N$  の種々の値に対する  $\frac{r_g}{r}$  の値を求むれば第3表のとおりである。

第2表  $P = \frac{1}{4 \left\{ \cosh^{-1} \left( \frac{1}{K_s} \right) \right\}^2}$  の値

$K_s$	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94
$P$	16.9	6.25	4.07	2.99	2.42	2.03
$K_s$	0.93	0.92	0.91	0.90	0.80	0.70
$P$	1.69	1.47	1.38	1.13	0.571	0.313

第3表より回路抵抗  $r$  の電気雷管  $N$  個

を直列に接続した場合に電気雷管に流れる電流値の最小値と最大値との比  $K_s$  を一定の値とするために必要な電気雷管の絶縁抵抗値  $r_g$  を求めることができる。

1.4 合成回路抵抗及び合成絶縁抵抗

次に第1図において給電端  $a, d$  より見た合成抵抗値を  $R_0$  とすれば

$$R_0 = \frac{E}{I_0} = 2 \frac{V_0}{I_0}$$

故に(4)式により

$$R_0 = 2 \frac{r}{\theta} \tan hn\theta = 2 \sqrt{\frac{r}{g}} \tan hn\theta \dots\dots\dots(7)$$

第 3 表  $\frac{r_g}{r} = PN^2$  の表

N	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.80	0.70
2	6.78 ×10	2.5 ×10	1.63 ×10	1.2 ×10	9.7	8.1	6.8	5.9	5.0	4.5	2.1	1.25
10	1.69 ×10 <sup>3</sup>	6.25 ×10 <sup>2</sup>	4.07 ×10 <sup>2</sup>	2.99 ×10 <sup>2</sup>	2.42 ×10 <sup>2</sup>	2.03 ×10 <sup>2</sup>	1.69 ×10 <sup>2</sup>	1.47 ×10 <sup>2</sup>	1.38 ×10 <sup>2</sup>	1.13 ×10 <sup>2</sup>	5.71 ×10	3.13 ×10
20	6.78 ×10 <sup>3</sup>	2.5 ×10 <sup>3</sup>	1.63 ×10 <sup>3</sup>	1.2 ×10 <sup>3</sup>	9.7 ×10 <sup>2</sup>	8.1 ×10 <sup>2</sup>	6.8 ×10 <sup>2</sup>	5.9 ×10 <sup>2</sup>	5.0 ×10 <sup>2</sup>	4.5 ×10 <sup>2</sup>	2.1 ×10 <sup>2</sup>	1.25 ×10 <sup>2</sup>
30	1.52 ×10 <sup>4</sup>	5.56 ×10 <sup>3</sup>	3.66 ×10 <sup>3</sup>	2.68 ×10 <sup>3</sup>	2.18 ×10 <sup>3</sup>	1.83 ×10 <sup>3</sup>	1.52 ×10 <sup>3</sup>	1.32 ×10 <sup>3</sup>	1.24 ×10 <sup>3</sup>	1.02 ×10 <sup>3</sup>	4.7 ×10 <sup>2</sup>	2.8 ×10 <sup>2</sup>
50	4.23 ×10 <sup>4</sup>	1.56 ×10 <sup>4</sup>	1.02 ×10 <sup>4</sup>	7.5 ×10 <sup>3</sup>	6.05 ×10 <sup>3</sup>	5.08 ×10 <sup>3</sup>	4.25 ×10 <sup>3</sup>	3.67 ×10 <sup>3</sup>	2.95 ×10 <sup>3</sup>	2.82 ×10 <sup>3</sup>	1.3 ×10 <sup>3</sup>	7.8 ×10 <sup>2</sup>
100	1.69 ×10 <sup>5</sup>	6.25 ×10 <sup>4</sup>	4.07 ×10 <sup>4</sup>	2.99 ×10 <sup>4</sup>	2.42 ×10 <sup>4</sup>	2.03 ×10 <sup>4</sup>	1.69 ×10 <sup>4</sup>	1.47 ×10 <sup>4</sup>	1.38 ×10 <sup>4</sup>	1.13 ×10 <sup>3</sup>	5.71 ×10 <sup>3</sup>	3.13 ×10 <sup>3</sup>
200	6.78 ×10 <sup>5</sup>	2.5 ×10 <sup>5</sup>	1.63 ×10 <sup>5</sup>	1.2 ×10 <sup>5</sup>	9.7 ×10 <sup>4</sup>	8.1 ×10 <sup>4</sup>	6.8 ×10 <sup>4</sup>	5.9 ×10 <sup>4</sup>	5.0 ×10 <sup>4</sup>	4.5 ×10 <sup>4</sup>	2.1 ×10 <sup>4</sup>	1.25 ×10 <sup>4</sup>

従って個々の雷管の抵抗の総和 Nr の比

$$Kr = \frac{R}{Nr} = \frac{1}{n\theta} \tan hn\theta \dots\dots\dots(8)$$

また第 1 図において給電端 a d の二線を一括して大地との合成コンダクタンスを G<sub>o</sub> とすれば

$$G_o = 2 \frac{I_o}{V_o} = 2 \frac{\theta}{r} \tan hn\theta = 2 \sqrt{\frac{g}{r}} \tan hn\theta \dots\dots(9)$$

従って個々のコンダクタンスの総和 N g との比

$$K_g = \frac{G_o}{N g} = \frac{1}{n\theta} \tan hn\theta \dots\dots\dots(10)$$

また合成絶縁抵抗を R<sub>g</sub> とすれば

$$R_g = \frac{1}{G_o} = \frac{1}{2 \sqrt{\frac{g}{r}} \tan hn\theta}$$

個々の絶縁抵抗の総和  $\frac{r_g}{N}$  との比

$$K_{rg} = \frac{R_g}{\frac{r}{N}} = \frac{N_g}{2 \sqrt{\frac{g}{r}} \tan hn\theta} = \frac{n\theta}{\tan hn\theta}$$

$$K_r = K_g = \frac{1}{K_{rg}} = \frac{\tan hn\theta}{n\theta} \dots\dots\dots(11)$$

r=1.00Ω の場合について N および r<sub>g</sub> の種々の値に対する K<sub>r</sub> 及び K<sub>g</sub> の値を示せば第 4 表のとおりである。

第 4 表  $K_r = K_g = \frac{\tan hn\theta}{n\theta}$  (r=1.00Ω の場合)

N	r <sub>g</sub>	100	500	1,000	5,000	10,000	50,000	100,000	500,000	1000,000
2		0.997	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10		0.929	0.984	0.987	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20		0.762	0.930	0.968	0.994	0.997	1.000	1.000	1.000	1.000
30		0.604	0.883	0.930	0.985	0.993	0.998	0.998	1.000	1.000
50		0.393	0.722	0.836	0.960	0.980	0.996	0.997	1.000	1.000
100		0.199	0.437	0.581	0.861	0.924	0.983	0.992	0.999	0.999
200		0.100	0.200	0.316	0.628	0.726	0.930	0.968	0.994	0.997

### 1.5 電流漏洩と不発との関係

電気雷管にある一定の電流を流すと白金線が白熱されて点火玉の点火が起る。通電開始後これまでの時間を点火時間と称する。更にある時間遅れて雷管が爆発し電気回路は切断される。この時間を点爆時間と称し、通電開始後これまでの時間即ち点火時間と点爆時間との和を電橋切断時間と称する。この点火時間および電橋切断時間は通電電流の増大に伴って減少する。同一電流値の場合

に点火時間および電橋切断時間は、大体正規分布をしてバラつくと言われている。このバラツキは雷管の構造および製作技術によって異なるが、でき得る限り小さいことが望ましく、その一例として木下氏の実測の結果を示せば第 5 表のとおりである。

直列斉発回路において不発を生ぜず完爆するためには、最も電橋切断時間の短い雷管が爆発するまでに、すべての雷管が発火していなければならない。

第 5 表

試料	点火電流 (A)	雷管の抵抗 (Ω)	電橋切断時間		点火時間		点爆時間 (ms)
			平均 (ms)	標準偏差	平均 (ms)	標準偏差	
No. 1	0.5	1.2	15.9	1.34	13.7	1.00	2.2
	0.7	〃	8.5	0.59	6.5	0.60	2.0
	0.9	〃	5.9	0.22	3.9	0.45	2.0
	1.1	〃	5.4	0.19	2.4	0.20	3.0
No. 2	0.7	0.8	10.0	0.73	8.6	1.10	1.4
	0.9	〃	6.0	0.93	4.4	0.35	1.6
	1.1	〃	4.9	0.11	3.0	0.20	1.9

今ある電流値で電気雷管を発火させた場合

点火時間の平均値…………… $\mu_e$     標準偏差…………… $\sigma_e$

電橋切断時間の平均値…………… $\mu_b$     標準偏差…………… $\sigma_b$

とする。N個の電気雷管を取出した時の点火時間及び電橋切断時間の最大値と最小値との差即ち範囲をそれぞれ

$R_e$  および  $R_b$  とし  $\frac{R}{\sigma} = w$  とすれば

$$R_e = w\sigma_e, \quad R_b = w\sigma_b \text{ となる。}$$

木下氏および Elwyne Jones 氏は完爆するためには

$$\mu_e + \frac{R_e}{2} < \mu_b - \frac{R_b}{2}$$

$$\therefore w \frac{\sigma_e + \sigma_b}{2} < \mu_b - \mu_e$$

$$\therefore w < \frac{2(\mu_b - \mu_e)}{\sigma_b + \sigma_e} \dots\dots\dots (12)$$

が成立することが必要であるとしている。(12)式において正規分布をする場合の試料数Nに対するwの期待値および一定の危険率における値は統計数値表より求めることができる。

また使用する電気雷管について、点火電流 i に対する  $\mu_e, \sigma_e, \mu_b, \sigma_b$  を知れば i と  $\frac{2(\mu_b - \mu_e)}{\sigma_b + \sigma_e}$  との関係曲線を求めることができる。

Jones 氏は以上の方法によりある種の電気雷管について不発の確率  $10^{-6}$  の場合の直列斉発個数と点火電流との関係を第6表のとおりと報告している。即ち単発で1 ampで発火するものでも100発斉発させるためには不発の確率  $10^{-6}$  において1.37amp 流さねばならない。

第 6 表

斉発個数(N)	2	5	10	20	50	100	1000
点火電流(I)	0.98	1.08	1.13	1.18	1.27	1.37	1.60

以上は各雷管に同一電流を流した場合について論じたものである。

電流漏洩があり電流値に不同のある場合には更に複雑となる。しかし概略的には通電電流の不同により点火時間および電橋切断時間のバラツキが一層大きくなる。一般に点火電流の変化に対する点火時間または電橋切断時間の変化は極めて大きい。従って点火電流の不同により(12)式の右辺の完爆条件におよぼす影響は極めて大きい。

一般に発破にはコンデンサー型が多く用いられているが、これを使用する場合に点火電流には相当の安全率を見て余裕をとっている。従って点火電流が漏洩して多少減少しても、もし全体として均一に減少するならば、ほとんど不発を生じない。これに反し各雷管の間に不同を生ずるならば、僅かの漏洩でも不発を生ずる危険は極めて大きい。

前述の如く雷管の脚線及び結線部分の電流漏洩は直ちに雷管の間の点火電流の不同を生ずる。最小電流と最大電流との比  $K_s$  と完爆し得る斉発数Nの限界との関係については統計学的に更に精細な検討を要する。しかし実際上の一応の日安としては前記のデータより少くとも  $K_s$  を99%以上に保つようにしたい。これに必要な絶縁抵抗値  $r_g$  の値は第3表より求めることができる。そしてそのために脚線の絶縁被覆および結線部の絶縁を如何にすべきかを知るために種々の実験を行ったのでその結果を次に示す。

## 2. 脚線の絶縁抵抗の測定

### 2.1 試験の目的

電気雷管の不発の主な原因の一つとして前述のように脚線の絶縁被覆の絶縁低下により発破回路から電流が漏洩し、そのために各雷管に流れる電流が減少し、不同を生ずることが考えられる。現場で使用される脚線の大部分は綿巻線、パラフィン線、エナメル線などが多いが、これらの電線の絶縁被覆が発破準備から発破までの間に周囲の土壌の影響を受けて絶縁が低下したり、被覆が損傷したりすることがある。即ち脚線を土壌に配線した場合に土中に含まれた水分、種々の水質の湧水および湿度等によって、絶縁被覆の絶縁度が低下することが考えられる。そこでこれらの脚線を水中に浸した場合、水分を含んだ砂中に配線した場合、および高温または高温高湿の状態で配線した場合にその被覆の絶縁がどのように低下するかを測定した。

### 2.2 測定方法及び装置

#### 2.2.1 測定器具

絶縁抵抗の測定に用いた器具は超絶縁抵抗計、メガーおよび交流ブリッジでその電氣的性能は第7表～第9表のとおりである。

第7表 超絶縁抵抗計（横河電機製）

測定電圧	1000V	500V	100V
抵抗測定範囲	$5 \times 10^7 \sim 2 \times 10^{13} \Omega$	$2.5 \times 10^7 \sim 1 \times 10^{13} \Omega$	$5 \times 10^6 \sim 2 \times 10^{12} \Omega$
測定直流電圧誤差	1000V ± 10%以内	500V ± 10%以内	100V ± 10%以内
計器目盛	0.5~20	0.25~10	0.05~2
総合指示誤差	±10%	±10%	±10%

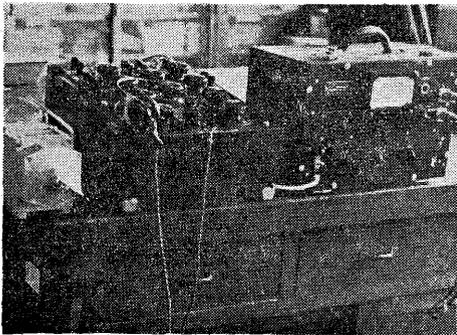
第8表 メガ ー（日立製作所製）

測定電圧	250V
抵抗測定範囲	0.01M $\Omega$ ~50M $\Omega$

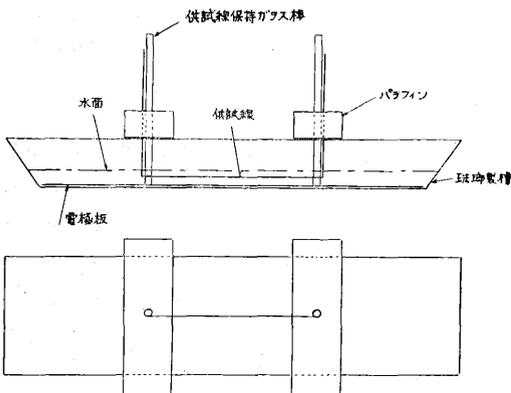
第9表 交流ブリッジ（横河電機製）

抵抗測定範囲	0.1~1M $\Omega$
確 度	10 $\Omega$ ~100K $\Omega$ にて±0.2%以下

第3図は超絶縁計（右），交流ブリッジ（中）およびメガ ー（左）を示す。絶縁抵抗はその値が  $10^8 \Omega$  以上の



第 3 図

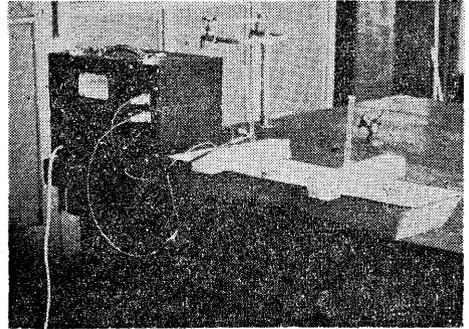


第 4 図

ときは超絶縁抵抗計を用い0.01M $\Omega$  以上ではメガ ーを、それ以下の場合は交流ブリッジを使用した。

### 2.2.2 水中における絶縁抵抗の測定

第4図は試料の水中における絶縁抵抗の測定に用いた装置の構造図で第5図はその写真を示す。



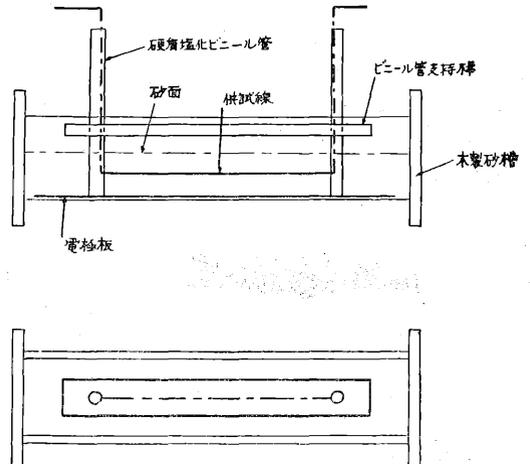
第 5 図

ホーロー製水槽の底にリード線をつけた電極板を置き清水を入れたものである。供試電線の支持器にはガラス棒とパラフィンを使用した。電極板から1 $\text{cm}$ の距離を離して水中に供試線を張りその一方の先端の芯線と電極板のリード線との間に電圧を加えて絶縁抵抗を測定した。

始めに供試線の絶縁抵抗を乾燥状態で測定しておき、水中に浸してから徐々に水分が被覆に浸透して、時間の経過とともに絶縁抵抗がどのように低下してゆくかを観測した。

なおその時の供試線と極板との間の水の抵抗を測定するために、同じ条件で供試線の代わりに裸線を用いて裸線と極板との間の抵抗を測定した。

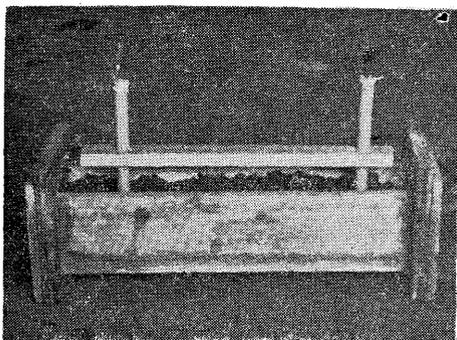
以上の測定結果はすべて標準温度（20C°），および標準長さ（1m）に換算して横軸に時間，縦軸に絶縁抵抗値（ $\Omega$ ）をとり曲線で示した。



第 6 図

## 2.2.2 含水砂中における絶縁抵抗の測定

第6図は試料の含水砂中における絶縁抵抗の測定に用いた装置の構造図で、第7図はその写真を示す。



第 7 図

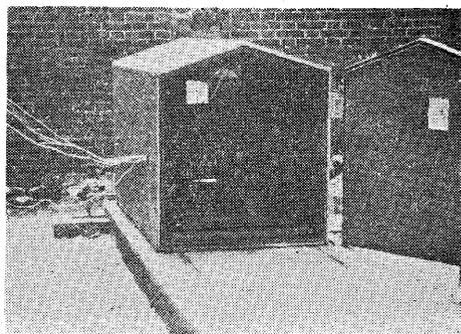
第6図の如く木製の容器の底にリード線を付けた電極板を置いてその中に砂（粒子の大きさ35メツシ以下22% 35~60メツシ53%, 60メツシ以上25%）を入れたものである。2本の硬質塩化ビニール管を30種の距離において木製の板で固定し、ビニール管の下端から3種のところに小さい穴を開けて供試線を通して支持し、砂の入った容器に埋めると、電極板と供試線との距離が3種となった。

始め乾燥した砂中で供試線の絶縁抵抗を測定し、次に種々な割合の水分を含んだ 中で絶縁抵抗を測定し、砂の含水率と絶縁抵抗の低下状況を測定した。また砂の表面に種々な重量を加え、砂と供試線との接触圧力を変化させて絶縁抵抗の低下の状況を観測した。なおその時の供試線と極板との間にある砂の抵抗を測定するために、その各々と同じ条件で供試線の代りに裸線を張り、これと極板との間の抵抗を測定した。以上の測定結果はすべて標準温度（20°C）および標準長さ（1m）に換算し2.2.2と同様に曲線で示した。

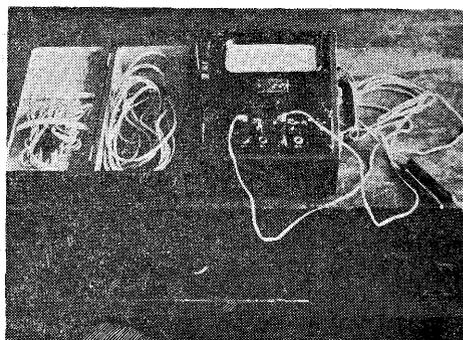
### 2.2.4 高温時および高温・高湿時の絶縁抵抗の測定

電気発破を坑内のような高温または高温・高湿の場所で行う場合には脚線の被覆の絶縁が低下し、電流が漏洩することが考えられるので、このような状況のもとにおける絶縁の低下状況を試験した。

第8図は試料の高温時および高温・高湿時における絶縁抵抗の測定に用いた恒温室である。恒温室の底部にはラジエーターが設けられており、別に設置したボイラーからの蒸気によって室内の温度を高め、温度は第9図に示すサーミスター精密温度計によって測定し、給気管のバルブを調節して温度を一定に保った。また恒温室の上部には蒸気の放出管を設け、同じくボイラーから送られた蒸気を放出管を通じて放出し、室内の湿度を調節した。



第 8 図



第 9 図

室内に設けたよく磨いた金属板上に供試線を金属板とよく密着するように30種の長さに配置し、その一端は別室の測定室に導き他端は空間に浮かし、金属板を接地側とし金属板と測定室に導いた一端の芯線との間に電圧を加えて、供試線の絶縁抵抗を測定した。

始め常温にて絶縁抵抗を測定し次に加熱し、約40°C~50°Cに保ち、その間4回測定した。引続き上部より蒸気を放出した状態において3回~4回測定を行い、高温および高温、高湿時の絶縁抵抗の測定を行った。測定には第8表および第9表のメガーおよび交流ブリッジを使用した。

### 2.3 供 試 線

測定に用いた雷管用脚線の外径および絶縁被覆は第10表のとおりである。第10表のエナメル線以外は現場において雷管用脚線および補助母線として実際に使用されているものである。脚線に用いるものは発破の都度消耗するため綿巻線またはパラフィン線などのように絶縁被覆の弱体なものが多く使用されている。また補助母線は発破の都度消耗することが多いので、パラフィン線またはエナメル線などを使用することが多く、一部にビニール線を用いている。

第 10 表

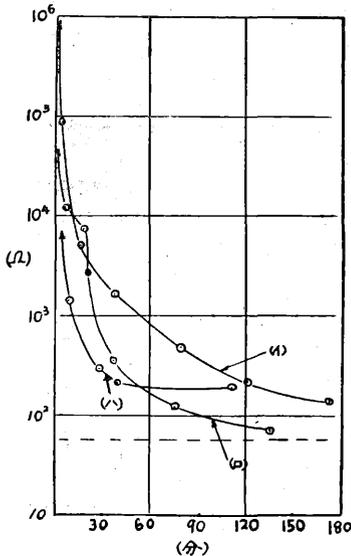
線の名称	記号	導體	心線外 径 mm	仕上り 外徑 mm	被 覆	備 考
綿 卷 線	1	単心	0.5		心線に紙を一重横巻き, その上に黄色と白色のマダラの綿糸を一重横巻	脚線として使用のもの
〃	2	〃	〃		心線に紙を一重横巻き, その上に赤色と白色のマダラの綿糸を一重横巻き	〃
パラフィン線	3	〃	〃		心線に紙を一重巻き, その上に白色綿糸を横巻し, パラフィンを含浸	補助母線として使用のもの
〃	4	〃	〃		心線に紙を一重巻き, その上に青色と白色のマダラの綿糸を巻き, パラフィンを含浸	脚線として使用のもの
〃	5	〃	〃		心線に紙を一重巻き, その上に白色の綿糸を巻き, パラフィンを含浸	〃
〃	6	〃	〃		心線に紙を一重巻き, その上に白色綿糸10本撚りを巻き, パラフィンを含浸	〃
エナメル被	7	〃		0.55	エナメル覆覆	市販のもの
〃	8	〃		0.65	エナメル線の上に網を一重巻き, その上に綿糸を巻いたもの	〃
ビニール線	9	〃	0.5	1.1	赤色ビニール被覆 ビニール絶縁厚さ 0.3mm	脚 線
ポリエチレン線	10	〃	0.45	0.85	黄色ポリエチレン被覆 ポリエチレン絶縁厚さ 0.4mm	〃

2.4 測定結果

2.4.1 脚線の水における絶縁抵抗

2.4.1-1 パラフィン線について

第10表 3~6 のパラフィン線について各々数回測定を繰返し, そのうち3, 5, 6のパラフィン線の測定結果の一部を第10図に示した。他の測定結果も含浸パラフィンの揮発減量の差によって多少の相違はあったが, 大体第10図に示したものと同様の曲線を示した。



第 10 図

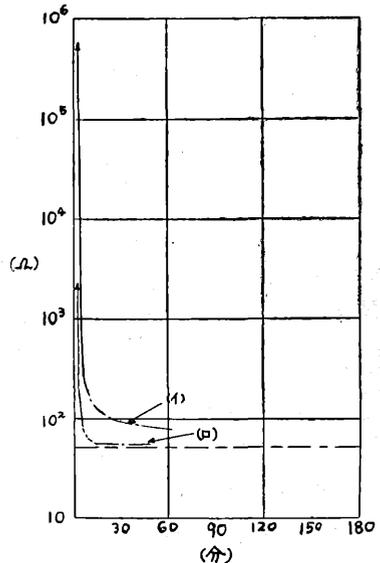
第10図の(3)は第10表の3, (5)は第10表の5, (6)は第10表の6のパラフィン線について測定したものである。乾燥している場合はそれぞれ  $10^6 \Omega/m$  以上の絶縁抵抗を有

していたものが水中に浸すと急激に低下し, 浸水後10分で  $1500\Omega \sim 8000\Omega$  になり, 120分後には  $80\Omega \sim 2400\Omega$  まで下がった。

第10図の下の点線はその時の状態における水の抵抗で  $49\Omega/m$  であったから浸水後 120 分後におけるパラフィン線の絶縁被覆の最低値は  $31\Omega/m$  である。発破準備から発破までの時間は普通約30分といわれているが, その30分後の値は最低  $200\Omega/m$  である。

2.4.1-2 綿巻線について

第10表の1および2の綿巻線について測定を行い, その測定結果を第11図(i)および(ii)に示した。点線はこの場合の水の抵抗  $52.3\Omega/m$  を示したものである。乾燥して

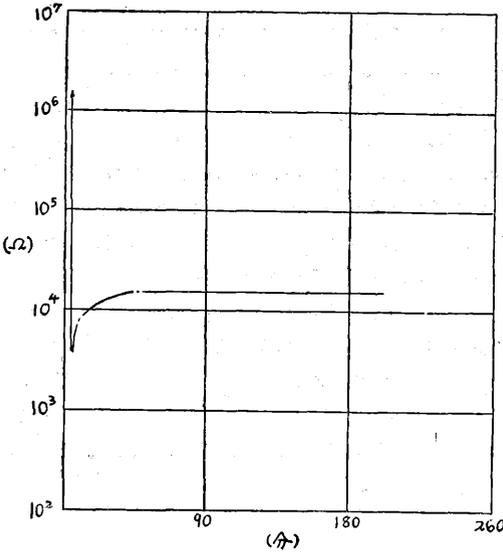


第 11 図

いる場合は各々  $10^7 \Omega/m$  以上の絶縁抵抗を有していたものが、水中に浸すとこれはパラフィン線の場合より更に急激に抵抗が低下し、曲線(ロ)の場合浸水後5分にして綿被覆の絶縁抵抗は  $37.7 \Omega/m$  となり、20分で最低値の  $7.7 \Omega/m$  を示した。曲線(イ)では60分で測定を停止したが図から明らかなように、いまだ曲線は低下の傾向にあり、(ロ)と同様の最低値を示すものと考えられる。

2.4.1-3 エナメル線について

第10表の7のエナメル線について測定を行い、その結果を第12図に示した。この場合の水の抵抗は  $52.3 \Omega/m$  である。エナメル線は絶縁が非常によく乾燥状態で  $10^{13} \Omega/m$  であった。浸水後1分にして極めて急激に抵抗が低下し、約  $3300 \Omega$  まで下がったが、その後序々に上昇し浸水後45分になり  $12400 \Omega$  まで上って安定し、そのまま200分まで一定の値を保った。



第 12 図

2.4.1-4 ビニール線について

第10表の(9)のビニール線について測定しその結果は第11表のとおりである。

第 11 表

ビニール線の水中における絶縁抵抗  
水温  $28^\circ C$ 、室温  $31^\circ C$ 、湿度  $63\%$

経過時間 (min)	0	30	60	150	390	1470
絶縁抵抗 ( $\Omega$ )	$3.8 \times 10^{10}$	$3.8 \times 10^{10}$	$3.5 \times 10^{10}$	$3.4 \times 10^{10}$	$3.2 \times 10^{10}$	$3.5 \times 10^{10}$

2.4.1-5 ポリエチレン線について

第10表の(10)ポリエチレン線について測定した結果は第12表のとおりである。

第 12 表

ポリエチレン線の水中における絶縁抵抗  
水温  $28^\circ C$ 、室温  $31^\circ C$ 、湿度  $63\%$

経過時間 (min)	0	30	150	750
絶縁抵抗 ( $\Omega$ )	$3.4 \times 10^{12}$	$4.06 \times 10^{12}$	$4.5 \times 10^{12}$	$4.5 \times 10^{12}$

2.4.2 含水砂中における絶縁抵抗

絶縁抵抗の測定の準備として次の測定を行った。

(a) 砂の抵抗の測定

第 13 表

室温  $8^\circ C$ 、湿度  $51\%$ 、砂温  $8^\circ C$

試料	$\phi 0.5mm$ 裸銅線
砂の含水率	0% (乾燥状態)
砂の抵抗	$4.1M\Omega$ (標準温度、長さ1mに換算さ)

第 14 表

室温  $10^\circ C$ 、湿度  $48\%$ 、砂温  $9^\circ C$

試料	$\phi 0.5mm$ 裸銅線
砂の含水率	5%
砂の抵抗	$1750\Omega$ (標準温度、長さ1mに換算)

第 15 表

室温  $10^\circ C$ 、湿度  $56\%$ 、砂温  $9^\circ C$

試料	$\phi 0.5mm$ 裸銅線
砂の含水率	10%
砂の抵抗	$880\Omega$ (標準温度、長さ1mに換算)

(b) 綿巻線の乾燥砂中における絶縁抵抗の測定

乾燥砂中と含水砂中における脚線の絶縁抵抗を比較するために、脚線のうち最も絶縁被覆の弱体と考えられる綿巻線についてその絶縁抵抗を測定した。その結果は第16表のとおり。

第 16 表

室温  $10^\circ C$ 、湿度  $45\%$ 、砂温  $8^\circ C$

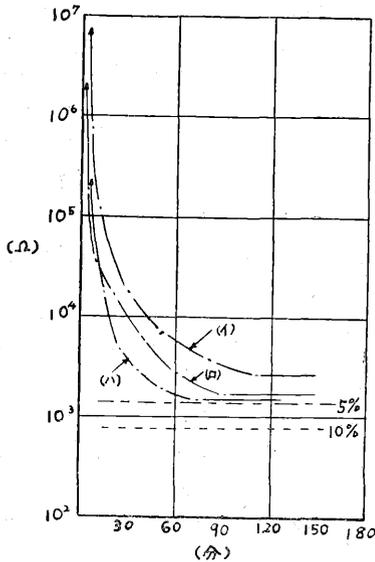
試料	綿線第10表-1	
砂の含水率	0% (乾燥状態)	
砂中で測定した抵抗	砂中に装置後	抵抗
	30 sec	$50M\Omega$ 以上
	5 min	〃
	10 〃	〃
	15 〃	〃

### 2.4.2-1 パラフィン線実験について

第10表の各パラフィン線について測定を行ったが、同表の4のパラフィン線についてその測定結果を第13図に示した。

同図において測定時の周囲条件は次のとおりである。

曲線の種類	砂の含水率	室温	湿度	砂の温度	その他
(イ)	5%	9.5°C	43%	7°C	15.5kgの圧力を加う
(ロ)	10%	10°C	56%	7°C	
(ハ)	5%	9.5°C	43%	7°C	



第 13 図

第13図の下部の上段の点線は砂の含水率5%のときの砂の抵抗(第14表参照), 下段は含水率10%のときの砂の抵抗(第15表参照)の値を示す線である。

曲線(イ)と(ロ)は含水率5%のときと10%のときの絶縁抵抗の低下状況を比較したものであり、(イ)と(ハ)は含水率5%で圧力を加えないときと、砂の表面から15.5kgの圧力を加えたときの比較である。いずれも乾燥時空間で測定したときに $10^7 \Omega/m$ 以上の抵抗を有していたものが、含水砂中に浸すと水中に浸したときと同様に急激に抵抗が低下し、その状況は第17表のとおりである。

第 17 表

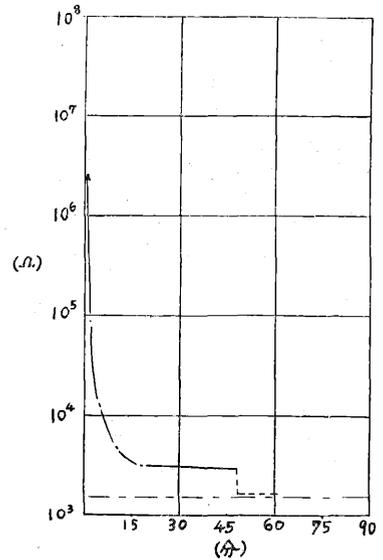
曲線	最低値を示すまでの時間	最低値
(イ)	110 min	1140 $\Omega/m$
(ロ)	90 "	870 "
(ハ)	70 "	50 "

第17表のとおり砂の含水率が高いと最低値を示すまでの時間も短くなり、その値も小さくなる。また同じ含

水率でも圧力を加えると供試線と含水砂との接触圧力が大きくなり、絶縁被覆に浸透する水分が多く、浸透する速さも早くなるため、最低値を示すまでの時間が短くなり、その値も小さくなる。しかし最低値は水中において測定した値よりもやや高くなっている。

### 2.4.2-2 綿巻線について

第10表-1および2の綿巻線について測定を行ったが、標準温度および標準長さに換算するとほとんど全く同様の曲線が得られた。



第 14 図

第14図はその第10表-1の綿巻線についての測定結果を示した。下部の点線は砂の抵抗を示したものである。乾燥時 $10^6 \Omega/m$ 以上あったものが20分後には最低値1350  $\Omega/m$ を示して安定し、45分後まで変化を認めなかったもので、15.5kgの圧力を加えるとほとんど同時にホボ砂の抵抗に近いとこまで低下した。

パラフィン線に比較すると最低値を示すまでの時間が極めて短く、パラフィン線の110分に対して綿巻線ではその5分1の20分で最低値を示している。最低値は綿の方がごく僅かではあるが、高くなっているが、これに圧力を加えた場合はパラフィン線で500  $\Omega/m$ あったものが綿では10  $\Omega/m$ を示した。また綿巻線の水中における測定値と比較すると最低値を示すまでの時間は、いずれも20分で全く同じであった。しかしその値は水中の方が砂中よりやや低く7.7  $\Omega/m$ であった。

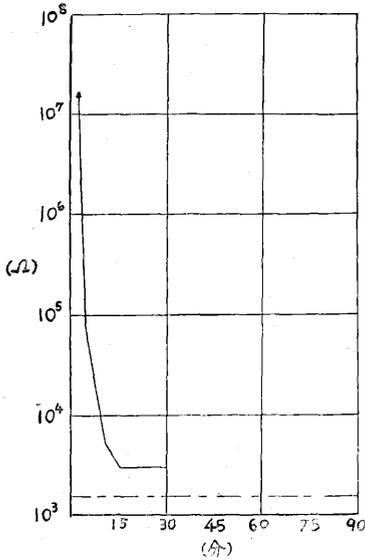
### 2.4.2-3 エナメル線について

第10表8のエナメル線について測定を行いその結果は第15図のとおりである。乾燥時 $10^{13} \Omega/m$ 以上あったものが、含水砂中においては急激に低下し、15分後に最低値

1400 $\Omega$ /mを示した。その状況は第14図の綿巻線の場合とやや似ている。

#### 2.4.3 高温時および高温・高湿時の絶縁抵抗

パラフィン線は高温によって芯線に巻かれた綿巻または絹巻に含浸されたパラフィンが揮発または流れ出してその絶縁効果が低下し、綿巻または絹巻線と同程度の絶縁以上の期待が持てないのではないかということが考えられるので、高温下でどのように絶縁抵抗が変わるか、



第 15 図

第10表-5および6のパラフィン線を同時に用いて測定を行った。またビニール線およびポリエチレン線のビニールおよびポリエチレンが高温によって軟化し、絶縁効果に悪影響を来たすのではないかと考え第10表-9のビニール線と10のポリエチレン線を使用した。その測定結果は第18表のとおりである。18表は実測した値で標準温度に換算していない。

#### 243.1 パラフィン線について

40°C~50°Cの温度を最高100分まで保ちその中に置いたパラフィン線の絶縁抵抗は第10表-5の線の第2回目の測定において最低3M $\Omega$ を示した以外は、7M $\Omega$ またはそれ以上を示した。パラフィン線の揮発減量試験は行わなかったが、金属板上にパラフィンの流出は認められた。引続き装置の上部から蒸気を放出し、恒温室内の温度が74°C~97°Cに保たれている中で最高175分間3~4回絶縁抵抗を測定した結果、最低のものは40 $\Omega$ を示し、最終測定値の平均は124 $\Omega$ であった。

#### 2.4.3-2 ビニール線について

ビニール線は測定中やや軟化したが、40°C~50°Cの温度の室内では絶縁抵抗は低下せず、メガーでいづれも

測定し50M $\Omega$ 以上であった。引続いて蒸気を放出した場合、最低7M $\Omega$ 、最高は50M $\Omega$ 以上であった。

#### 2.4.3-3 ポリエチレン線について

ポリエチレン線も測定中やや軟化したが、ビニール線と同様高温下ではすべて50M $\Omega$ 以上であった。引続いて蒸気を放出した場合も30M $\Omega$ 以上を保ち、良好であった。

18表の第4回目には1度蒸気を放出させて湿度を増大させた後、直ちに1回測定し、次に蒸気の放出を止め、漸次乾燥せしめて抵抗を測定したもので、抵抗は再び回復している。

## 2.5 測定結果の考察

### 2.5.1 綿巻線について

水中、および含水砂のいづれの測定結果からみても浸してから20分で7.7 $\Omega$ /mまたは10 $\Omega$ /mという極めて低い抵抗値を示した。従って発破回路からの電流の漏洩することは十分に考えられることであり、雷管に所定の電流が流れず不発に終る危険が明らかである。

### 2.5.2 パラフィン線について

水中の測定においては最低31 $\Omega$ /m、含水砂中では最低50 $\Omega$ /m更に高温状態下では最低40 $\Omega$ /mという低い値を示した。綿巻線に比較すれば僅かに高い値を示しているが、やはりこの程度の抵抗値では電流の漏洩の危険は充分にあり雷管の不発は明らかに予想される。

### 2.5.3 エナメル線について

エナメル被覆は絶縁抵抗は極めて高い(10<sup>13</sup> $\Omega$ 以上)のものであるが、エナメル電線の場合ピンホールが出やすく、また線を曲げた場合にはエナメル被覆が亀裂を起すことが多い。測定結果からは綿巻線、パラフィン線よりはやや高い値を示したが、水中における3300 $\Omega$ 、また砂中における1400 $\Omega$ などという値は発破発破回路としては極めて危険な絶縁抵抗値である。更にエナメル線の取扱い中に被覆は損傷され易く脚線に使用することは危険である。

### 2.5.4 ビニール線について

ビニール線の絶縁抵抗を水中において測定した結果は第11表のとおりで1470分水中に浸していても10000M $\Omega$ 以上の値を示しており、また高温高湿内で測定した場合も第19表のように最低7M $\Omega$ を示した。ビニール線の被覆に使用するビニール混和物は絶縁体および保護被覆を兼ねるもので、耐磨耗性にも富んでいる。また一般のものは-15°Cまでは屈曲により異状を認めず、70°Cまでは加熱によって軟化変形しない。

### 2.5.5 ポリエチレン線について

ポリエチレン線の絶縁抵抗を水中において測定した結果は、第12表のとおりで、750分水中に浸してもほとんど抵抗は低下しない。また高温・高湿中で測定した場合も第18表のように30M $\Omega$ 以上を保っている。しかし一般

第 18 表

高温時及び高温高湿時の絶縁抵抗

※1

パラフィン線 (第10表の6)	1	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	19 41 50MΩ	39 40.5 ~	59 50 ~	79 47 ~	85 81 0	90 80 100Ω	105 85 100Ω	124 93 160Ω
	2	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 20.5 15MΩ	15 40.5 7MΩ	30 40.5 50MΩ	45 40 ~	105 43 ~	135 90 0.02MΩ	145 90 100Ω	162 96 45Ω	175 95 75Ω
	3	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	18 42 50MΩ	33 44 50MΩ	49 47 ~	65 45 ~	71 75 440Ω	83 95 125	91 96.5 178Ω	
	4	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 24.5 ~	13 41 ~	28 39.5 ~	45 45 ~	60 49 ~	66 74 0	81 95 ※2 40Ω	103 97 60Ω	
パラフィン線 (第10表の5)	1	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	19 41 50MΩ	39 40.5 ~	59 50 ~	79 47 ~	85 81 0	87 80 390Ω	99 93 390Ω	121 93 190Ω
	2	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 20.5 18MΩ	15 40 3MΩ	30 41 3MΩ	45 40 3MΩ	105 43 10MΩ	135 90 0.01MΩ	150 96 79Ω	155 96 57Ω	174 95 87Ω
	3	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	18 42.5 30MΩ	33 44 50MΩ	49 47 50MΩ	65 46.5 ~	71 86 410Ω	83 95 230Ω	91 66.5 155Ω	
	4	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 24.5 ~	13 41 ~	28 39 ~	45 45 ~	60 4.85 ~	66 74 0.003MΩ	75 95 ※2 92Ω	104 97 94Ω	
ビニール線 (第10表の9)	1	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	19 41 ~	39 40.5 ~	59 50 ~	79 47 ~	85 81 20MΩ	90 80 ~	108 94 ~	131 95 8MΩ
	2	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 20.5 ~	15 40 ~	30 40.5 ~	45 40 ~	105 43 ~	135 90 ~	152 96 6MΩ	163 96.5 5.5MΩ	177 95 7MΩ
	3	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	18 43 ~	33 44.5 ~	49 47 ~	65 45 ~	76 86 8MΩ	85 95 7MΩ	93 95 8MΩ	107 95 8MΩ
	4	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 24.5 ~	13 39 ~	28 45 ~	45 41.5 ~	60 49 ~	75 95 7MΩ	93 97 ※2 15MΩ	110 61 ~	
ポリエチレン線 (第10表の10)	1	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	19 41 ~	39 40.5 ~	59 50 ~	79 47 ~	85 81 ~	90 80 ~	108 94 ~	
	2	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 20.5 ~	15 40 ~	30 40.5 ~	45 41 ~	105 43 ~	135 90 90MΩ	152 96 40MΩ	163 96.5 30MΩ	177 95 30MΩ
	3	時間(min) 温度(°C) 抵抗	加熱前 22.5 ~	18 40.5 ~	33 44.5 ~	49 47 ~	65 46.5 ~	75 90 40MΩ	86 95 40MΩ	94 94 50MΩ	

- 注 (1) ※1印のついている太線以後は蒸気をふかして測定した値である。  
 (2) 各線の第4番目の※2印以後は再び蒸気をとめて測定した値である。  
 (3) 表中の抵抗○はメガーで測定して示された値である。

のポリエチレンは老化によってクラッキングを起すことがあるが、1~2%の微細なカーボンを加えることによりこれを防ぐことができる。従って脚線にはクラックの入りにくい強いものを使用することがよい。

綿巻線、パラフィン線、エナメル線は多く通信用の電線として使用されるもので、一般に絶縁被覆は弱体であり、以上の測定結果から水分の吸収による絶縁抵抗の低下は極めて著しいことが明らかになり、従って雨水や湧水などの恐れのある所で電気雷管用脚線として用いることは甚だ危険である。これに対しビニール線は水分に対しても、また90°Cまでの高温に対してもこの実験から絶縁の良好なことが分った。しかし一般のビニール線の変形温度は70°Cであるから、70°Cまでは一般のビニール線を脚線として用いることができる。またポリエチレン線も絶縁は良く脚線として使用し安全である。

### 3. 脚線接続部の絶縁保護に関する試験

#### 3.1 試験の目的

脚線と脚線または脚線と補助母線を接続するには一般に各線端の被覆を約5㎝の長さにはく脱して心線を露出させ、接触抵抗を良好にするためよく磨き、5回以上ネジって行く。この場合接続部が大地に触れていると電流が漏洩し、また各々の接続部が触れているとその部分が短絡して、雷管に所定の電流が流れず、不発の原因になることがある。従って接続部は大地に触れることのないようまたお互に触れることのないように配線しなければならない。しかし接続部を露出したままで大地に触れないためには、その部分を空中に浮しておかねばならず実際にはほとんど困難である。従って接続部を現場で簡単に、確実に被覆することを考えなければならない。

この目的のために接続部に適当な長さとし太さを有する絶縁性のチューブを被せることが考えられる。このチューブは接続部から容易に脱落するものであってはならない。

この試験は接続部に被せるチューブの材質、長さ、太さ及び容易に脱落することなく効果的に被せる方法を知ることを目的とした。

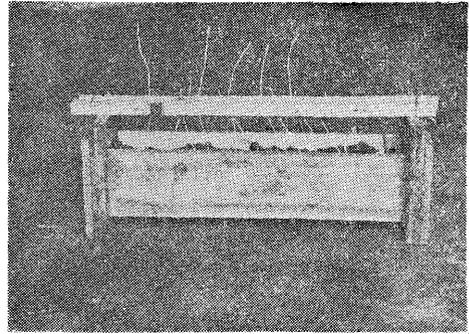
#### 3.2 試験方法および装置

##### 3.2.1 測定器具

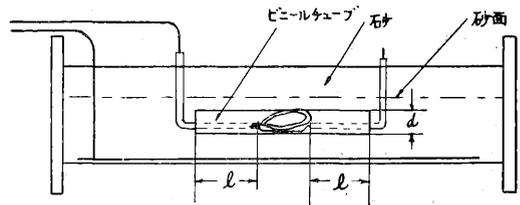
絶縁抵抗の測定には2.2.1の第8表に示すメガーを用いた。

##### 3.2.2 試験方法および試験装置

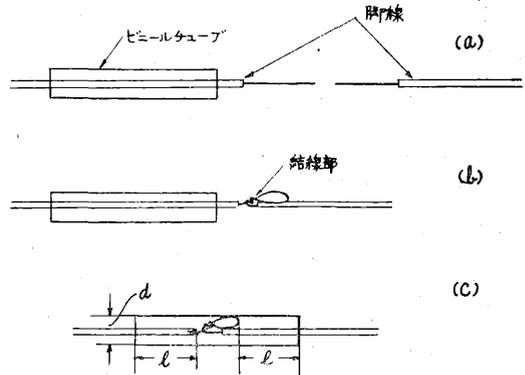
試験には第16図の如き装置を用い第17図の如く接続部に供試チューブを被せた試料を槽底の電極板から2㎝の距離に埋設し種々の水分を含む砂を軽くかけ、線の一端の芯線と電極板との間で抵抗を測定した。



第 16 図

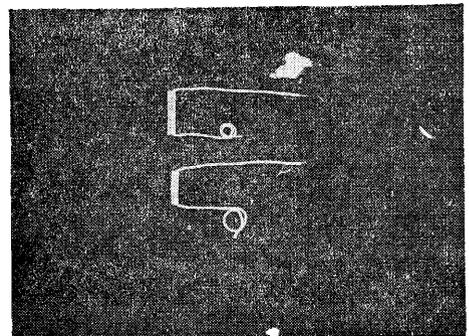


第 17 図



第 18 図

次は接続部にチューブを被せるには第18図(a)の如く接続すべき2線のうち1線に予めチューブを被せておき、次に(b)の如く所定の接続を行い、最後に(c)の如く先に被せたチューブを接続部を覆うようにずらせる。この場合



第 19 図

接続部の輪がチューブをささえるような太さのチューブを用いればチューブは接続部から容易に脱落することはない。第19図は脚線接続部にチューブを被せた写真を示す。

### 3.3 試料

#### 3.3.1 チューブ

被せるチューブは絶縁のよいことが必要であるからビニールチューブを用いた。又径(d)は露出させた芯線の長さ約5mmを輪にしてネジるためにこの輪が入るだけの太さが必要であるから試験には4号と5号の太さのものを用いた。この試料を砂中に埋設したときに水分を含んだ砂がチューブの端から浸入して露出芯線に触れると、電流が大地に漏洩するので、Lを長くすればよいが余り長いと結線作業を困難にするので5号および10号のものを用いて試験した。この場合Lの寸法を外部から確認するためにビニールチューブは透明のものが便利であるから、試験には透明のチューブを用いた。

#### 3.3.2 脚線

脚線は第10表-9のビニール線を用いた。

### 3.4 試験結果

測定結果は第19表のとおりである。実験3および6において各々含水率10%および20%のとき0.6M $\Omega$ および0.7M $\Omega$ の最低値を示した外は、含水率30%までは3回測定したうち2回はLの長さdの太さに関係なく50M $\Omega$ 以上の値を示した。

0.6M $\Omega$ および0.7M $\Omega$ という低い値が含水率10%および20%のときに示され、含水率がそれより多く25%および30%で示されていないのは逆のように考えられるが、これは次の理由に基くものと思われる。即ち含水率が少いと砂はサラサラしているためにチューブを被せた脚線の結線部を砂に埋めるときにチューブの中に砂が入って裸結線部に触れたためと思われる。これに反し、含水率が25%および30%になると砂はカタマリ細いチューブ内に入りにくくなるため砂と裸結線部の接触が断たれ絶縁が保たれているものと思われる。

含水率40%になると水分は飽和状態となり、砂は水と分離して水みの部分ができ、チューブ内に浸入した芯線に触るためか、抵抗もはるかに低くなり最低Lが10号の場合に8000 $\Omega$ まで下がった。Lが5号になると更に低下し1000 $\Omega$ に下がった。

### 3.5 測定結果の考察

チューブの太さを決定するには接続した輪がチューブ内に引っかかることなく入り、しかもその輪がチューブ一杯に拡がって、チューブを容易に脱落させないように輪によってチューブを押えられるような太さであることが必要である。実験結果から脚線相互の接続の場合は内径4号のチューブが適当と考えられる。次にチューブの長さは含水率30%まではLの長さは5号でも10号でも大差なく、また脚線を接続する場合にその先端の被覆を5mm以上むいて約半分折り返してネジるため裸部分の長さ

第 19 表 結線部保護チューブの絶縁抵抗

実験 番号	水分 %	温度 C	湿度 %	d mm	l mm	試験 本数	試験時間 min	抵抗値 (M $\Omega$ )			備 考
								a	b	c	
1	10	16	52	4	10	3	125	~	~	~	
2	〃	18.5	71	〃	〃	〃	140	〃	〃	〃	
3	〃	16	52	〃	5	〃	125	〃	2	0.6	
4	〃	18.5	71	〃	〃	〃	140	〃	~	~	
5	20	21	37	〃	10	〃	120	〃	50	30	
6	〃	23	71	〃	〃	〃	180	〃	〃	0.7	
7	〃	21	37	〃	5	〃	120	〃	〃	4	
8	〃	23	71	〃	〃	〃	180	〃	~	~	
9	25	20	56	〃	10	〃	〃	〃	〃	50	
10	〃	21	59	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
11	〃	20	56	〃	5	〃	〃	〃	〃	~	
12	〃	21	59	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
13	30	20	69	〃	10	〃	〃	〃	〃	〃	
14	〃	20	76	〃	〃	〃	200	〃	〃	〃	
15	〃	20	69	〃	5	〃	180	〃	〃	〃	
16	〃	20	76	〃	〃	〃	200	〃	〃	〃	
17	〃	22	91	5	10	〃	120	〃	〃	50	
18	〃	22.5	74.5	〃	〃	〃	180	〃	〃	~	
19	〃	22	91	〃	5	〃	120	〃	〃	2	
20	〃	22.5	74.5	〃	〃	〃	180	〃	〃	~	
21	40	20.5	81	4	10	〃	115	〃	0.008	0.02	水分40%では砂は飽和状態となり、砂と水は分離して水の部分ができた
22	〃	20	81	〃	〃	〃	140	0.03	0.008	0.008	
23	〃	20.5	81	〃	5	〃	115	~	0.05	0.02	
24	〃	20	81	〃	〃	〃	140	0.01	0.01	0.001	

は約2.5纏になるから、チューブの全長は約3.5纏～4.5纏となる。しかし多少余裕をみて5～6纏のものが適当と考えられる。次にチューブが片寄ることのないようにLを均等にするように外部から容易に確認できるように透明のチューブを用いることが必要である。

従って砂の表面に配線する場合の脚線の結線部の絶縁保護にはこのチューブが有効であるが、30%以上の水分を含む場所や土中に埋める場合にはチューブの上から絶縁テープを巻くことが必要である。

## 砂の性状についての考察 (その一)

土建課 技官 森 宣 制  
技官 前 郁 夫

### 1. 序 言

土に関する工学上の諸問題の究明は土が複雑な性質を持っていることから、他の部門に較べておこなわれている。したがって建設工事現場では土に関する問題を扱う場合科学性の低い経験とか勘に頼っている部分が相当あるので発生する災害の原因のうち土に関するものが非常に多い。

最近、土質工学に関して多くの関係機関で理論的、実験的研究が盛んになってきた。当土木建築課においても建設現場に発生する災害防止という点から土質工学の諸問題の解決に取り組むことになった。その第一段階として水平振動機を利用しての砂の締め固め問題、静的貫入試験による締固り状態の判定、貫入抵抗値と間隙比の関係等予備的且つ基本的な実験を行った。これらの結果を基にして更に軽軌条路盤の問題、土砂の切り取りの安全勾配の決定等の問題解決のために実験研究を進めていく計画である。

### 2. 水平振動機及び砂の振動性状

#### a. 水平振動機及び振動検出装置

本機は偏心カムを応用して水平方向のみの振動を発生させる装置で、動力伝達部、振動発生部（偏心カム）及び振動台の三つの部分より成っている。動力としては三相誘動電動機10馬力を使用し、変速はギヤの組合せにより行う。振動発生部は偏心カムが二つの遊子によって抱かれ、カムの回転により生ずる上下方向の変位は二つの遊子の上下に滑動することによって打ち消され、水平方向のみの変位が取出されて伝達される仕組みとなっている。この振動発生部に振動台が連結され、振動台には車がついていてレールの上を水平一方向のみの往復運動をするわけである。

振動数はギヤの組合せによって1, 1.4, 2, 2.8, 4, 10, 14, 20, 28, 40 c.p.s の10種類に変えることが出来、振巾は偏心カムの偏心量を変えることにより、0～20mm（片振巾）の範囲を1.5mmのピッチで変化させることが出来る。振動台の戴荷能力は1.5トンである。

上記の振動数及び振巾の適当な組合せにより最大2000 gal (cm/sec<sup>2</sup>) の加速度が出来ることになっている。写真-1がこの水平振動機の全容を示す。

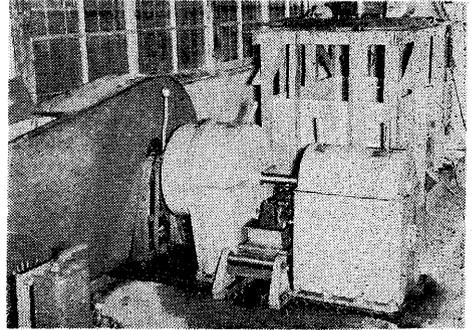


写真 -1

振動検出装置は振動台の後部に取り付けられてあり、振動台の変位を電流の変化に換え、これを増巾機を通して電磁オシログラフに記録するわけである。写真-2はこれにより得られた振動の記録であり、ほぼ厳密な正弦曲線が描かれている。なお振巾は偏心カムに刻まれたピッチの数で判るのであるが、機械の精度上の問題もあ

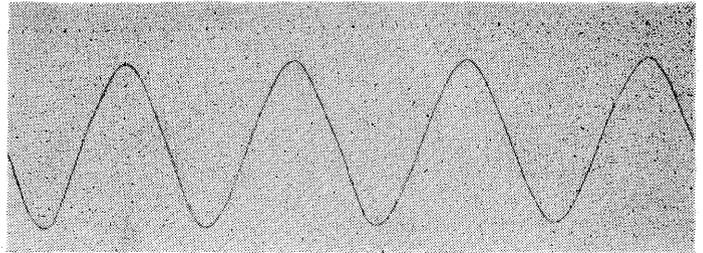


写真 -2

# ABSTRACTS

## Studies on the Missfiring of Electric Detonaters caused by the leakage of blasting current, and its Prevention

by S. Kouzuki, M. Terazawa, K. Sakanushi.

In general, electric leakage from blasting circuit in series causes the difference of firing current among detonaters, and this slight difference causes the misfire of detonaters.

The authors express the relation of electric leakage of blasting circuit in series, the electric characteristics of each detonater and the numbers of detonaters. In the typical blasting series circuit, these relations are shown as follows.

$$K_s = \frac{1}{\cosh \frac{N}{2} \sqrt{\frac{r}{r_g}}} \dots\dots\dots(1)$$

- where  $K_s$ .....ratio of the minimum value to the maximum value of firing current among all detonaters in series  
 $N$ .....numbers of detonaters in series  
 $r$ .....mean electric resistance of each detonater including one joint between detonaters  
 $r_g$ .....mean insulating resistance of each detonater including one joint between detonaters.

From this equation, the insulating resistance of detonater can be calculated as follows.

$$r_g = \frac{N^2 r}{4 \left\{ \cosh^{-1} \left( \frac{1}{K_s} \right) \right\}^2} \dots\dots\dots(2)$$

Then for successful explosion in series blasting circuit, the required insulating resistance of detonaters should be increased in proportional to square of numbers of detonaters in series.

The authors measured the insulating resistance of typical detonater leg wires and its protected joints inserted into water, sand or hot damp atmosphere. From these measurements, it is shown that polyvinyl or polyethylene insulated wires and polyvinyl or polyethylene protective tubes for joints should be used for successful explosion in a series blasting circuit of detonaters.