

文 献

1) 内田・八田・亀井 化学工学 p 601

2) Lowry, Hemings; J.S.C.I. 39 101 1920

On Caking of Dynamite

By T. Sakurai

1) Caking of dynamite containing ammonium nitrate is classified as follows.

Type	Change of temp.	Effect of containing moisture	Change of density	Effect of transition	Hardness of dynamite after caking
A	constant	none	increase	no	0.1~0.35
B	low~high	proportional to moisture	decrease	yes	2.0~4.0
1/B	high~low	same as above (?)	increase	no	2.0~3.0

2) Common caking belongs to B Type, and, worse than all, its strength becomes more than 4 kg/cm².
(Nihon Yushi co, Ltd., Taketoyo Factory)

電気雷管の齊発性に就て

(昭和 26 年 8 月 10 日 受理)

明 石 善 作

(旭化成小倉工場)

従来一度使用され不発となつて残つた電気雷管を調べて見ると所謂「生きて居る」単独で起爆させれば完爆するものが非常に多かつた。これは多く数個を直列させて「心抜き」を行つた場合とか、壱坑開鑿の一齊発破の様な場合に特に多い。発破に古い経験のある発破手は大概「電気抵抗の不揃」と云ふ言葉で片付けて来たが、実は電気抵抗の不揃はその一部の原因に過ぎず他に非常に大切な問題が潜んで居るもので、之等に就て基礎的な研究を試みた。

I 電気雷管の不発原因

単独では完爆するに拘らず、齊発の場合に何故残つたか。最も普通に

- (1) 雷管の点火整度の不揃
- (2) 点火整度は揃つていたが、同一回路内で電流値の異なつた場合

この二つの場合が多いと思われる。(2)の場合は回路の或る点からの漏電の場合もあり、又はその雷管自体の脚線相互間の絶縁抵抗の不良(低下)に歸する場合が考えられる。

実際の場合これ等の故障は或る程度不可避のものとなれば電気雷管の性能で特に齊発性の幅を大きくしない限り残留雷管を根絶させることは困難である。

II 電気雷管の齊発性

電気雷管の齊発性の幅を左右するものは、それに用いられる点火劑の性能に歸せられるものが大部分である。而してその電気雷管の齊発性を知るには

- (1) 点火整度を知ること
 - (2) 点火時間と白金断線時間を知ること
- である。

整度を知る目的で従来電橋の電気抵抗を測定して、標準規格に於ても之を或る範囲に納まる様規定して居るが、この事は実際に電気雷管の整度の揃を見る目的からは余り当にならない。何となれば、電気雷管の整度はその点火力積の大小に依つて表示されるもので、電橋に電流 I を時間 t だけ通した時の電流力積 K は次式で表わされる。

$$K = \int_0^t I^2 dt \quad I = \text{電流}, t = \text{点火時間}$$

そこで抵抗 r なる電橋に電流 I , 時間 t だけを通した時に発生する熱量 Q

$$Q = \frac{r}{J} \int_0^t I^2 dt \quad J = \text{は熱の仕事当量}$$

一方、長さ l , 断面積 s , 比重 γ ; 比熱 c なる電橋を温度 T だけ高めるに要するエネルギー Q' は $Q' = l \cdot s \cdot \gamma \cdot c \cdot T$

抵抗 $r = \frac{l}{s} \cdot \rho$ ρ = 電橋の比抵抗であるから

$$\int_0^t I^2 dt = J \cdot \frac{T \cdot c \cdot \gamma \cdot s^2}{\rho} = K$$

但し実際には熱損失その他のために $\alpha > 1$ なる係数が入り

$$K = \alpha \cdot J \cdot \frac{T \cdot c \cdot \gamma \cdot s^2}{\rho} \quad \text{となる。}$$

Beyling-Drekopf は $\alpha \approx 1.5$ として居る。

従つて点火力積に影響する部分はその材質と断面積であつて、例えば同じ材質同じ太さで異なつた長さの電橋を用いた二個の電気雷管はその電気抵抗は大いに異なるが、その他の条件に差がなければ点火力積は揃う。又電気抵抗は同等でもその太さが異なる様なものは点火力積は大いに違ふ。

故に電気雷管の整度を揃えるには電気抵抗を揃えてもあまり意味はないので、寧ろ他の方法に依つてその規準を設く可きものと思う。

III 点火時間と断線時間

電気雷管の齊発性を知るにはその点火時と白金断線時間を測ることが最も正確である。齊発性が良いと云ふことは点火時間が短く点爆時間の長いことが有利である。而してこの事は電橋材質が変らない限り用いられる点火劑の種類に依つて定まる値である。

ここで断線時間を知ることは比較的容易であるが、点火時間を測定するのは容易でない。筆者は旭化成の新製品鉛冠式電気雷管に就て次の如き実験を経て一応の結論を得た。

従来型の綿火薬を点火劑とした電気雷管の点火時間・断線時間等に就ては既に東京大学定田・岡崎両助教授の実験報告がある。

実験 1; 電橋断線時間

点火劑の着いた白金電橋に種々の大きさの電流を通してその焼断する時間を電磁オッシュログラフにより求めた。

表 1 電橋断線時間

i) 初電流 0.8 A の場合				
脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms
0.27	0.65	0.92	2.12	45.8
♠	♠	♠	2.11	38.7
0.25	0.67	♠	♠	34.6
0.26	♠	0.93	♠	28.8
0.25	0.65	0.90	2.07	35.3
平均	0.658	-	-	36.6

ii) 初電流 1.0 A の場合				
脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms
0.25	0.65	0.90	1.82	16.4
♠	♠	♠	1.83	14.5
♠	♠	♠	♠	15.4
♠	0.68	0.93	1.85	14.0
平均	0.658	-	-	15.1

脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms
0.26	0.69	0.95	2.13	19.2
0.25	0.67	0.92	2.10	19.2
♠	0.65	0.90	1.83	22.4
♠	♠	♠	1.82	22.0
平均	0.662	-	-	20.6

iii) 初電流 2.0 A の場合

脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms
0.25	0.66	0.91	2.09	4.3
0.26	♠	0.92	2.11	5.7
0.25	0.65	0.90	2.06	4.0
0.26	♠	0.91	2.11	5.0
0.26	0.67	0.93	2.12	5.0
平均	0.658	-	-	4.8

実験 2; 雷管作動と断線時間

電気雷管の管体の上に 0.5 m/m のフェーズ線を巻き付け、このフェーズ線を電橋と並列にオッシュログラフの別のエレメントに採り、電気雷管に電流を通ずると同時にこのフェーズにも約 10 mA の電流が流れる様にし雷管の作動によつてこの両回路の断たれる時間を求めた。

表 2 電橋断線時間と雷管作動時間の関係

i) 初電流 0.8 A の場合					
脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	作動時間	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms	ms
0.24	0.69	0.93	1.86	18.0	18.0
0.26	0.67	♠	♠	16.1	16.1
0.25	♠	0.92	1.85	17.1	17.1
♠	0.65	0.90	1.83	20.2	20.2
平均	0.67	-	-	17.9	17.9

ii) 初電流 1.0 A の場合					
脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	作動時間	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms	ms
0.25	0.65	0.90	1.82	16.4	16.4
♠	♠	♠	1.83	14.5	14.5
♠	♠	♠	♠	15.4	15.4
♠	0.68	0.93	1.85	14.0	14.0
平均	0.658	-	-	15.1	15.1

iii) 初電流 2.0 A の場合					
脚線抵抗	電橋抵抗	雷管全抵抗	母線+雷管全抵抗	作動時間	断線時間
Ω	Ω	Ω	Ω	ms	ms
0.27	0.67	0.94	1.84	6.1	4.7
0.24	♠	0.91	1.83	8.3	4.1
0.25	0.66	0.91	♠	8.2	4.1

0.26	0.92	1.84	8.3	5.0
平均	0.665	-	7.7	4.5

初電流 1A 迄は雷管の炸裂によつて断線し従つて電機断線時間と雷管作動時間とが一致するが、1A を越えると断線は雷管作動に先行する。

実験 3; 点火時間の測定

表 3 鉛冠式電気雷管の点火時間・点爆時間・点火力積

i) 初電流 0.7 A の場合 (電源=2V (2.06V))

雷管抵抗 $r(\Omega)$	電流変化			点火時間 $t(\text{ms})$	点爆時間 $\tau(\text{ms})$	断線時間 $\delta(\text{ms})$	点火力積 $K(\text{mWs}/\Omega)$	平均電流 $\bar{i}(\text{A})$	室温 $T_r(^{\circ}\text{C})$
	I_1	I_2	I_3						
1.11	0.7	0.61	0.55	14.3	14.5	28.8	5.31	0.61	29
1.09	0.64	0.64	0.56	12.2	23.2	35.4	4.84	0.63	29
1.14	0.65	0.65	0.56	11.0	15.6	26.6	4.50	0.64	29
1.05	0.63	0.63	0.56	11.6	19.4	31.0	4.60	0.63	28.5
1.10	0.54	0.54	0.54	14.0	15.4	29.4	5.38	0.62	29
1.05	0.57	0.57	0.57	9.3	25.0	34.3	3.69	0.63	29
平均	平均			12.1	18.9	31.0	4.72	0.63	-

ii) 初電流 1.2 A の場合 (電源=6V (6.2V))

$r(\Omega)$	I_1	I_2	I_3	$t(\text{ms})$	$\tau(\text{ms})$	$\delta(\text{ms})$	$K(\text{mWs}/\Omega)$	$\bar{i}(\text{A})$	$T_r(^{\circ}\text{C})$
0.96	0.96	0.96	0.91	4.7	12.7	17.4	4.33	0.960	29
1.07	0.93	0.93	0.93	9.9	9.9	14.6	4.51	0.980	29
1.09	0.97	0.97	0.94	4.4	10.1	14.5	4.14	0.970	28.6
1.02	0.93	0.93	0.93	4.5	10.6	17.3	4.23	0.97	29
1.10	0.93	0.93	0.93	4.3	10.6	1.49	4.05	0.97	29
平均	平均			4.7	10.8	15.9	4.45	0.97	-

iii) 初電流 1.2 A の場合 (電源=6V)

$r(\Omega)$	I_1	I_2	I_3	$t(\text{ms})$	$\tau(\text{ms})$	$\delta(\text{ms})$	$K(\text{mWs}/\Omega)$	$\bar{i}(\text{A})$	$T_r(^{\circ}\text{C})$
1.13	1.11	1.11	1.00	3.2	10.0	13.2	3.87	1.10	29
1.01	1.15	1.15	1.04	3.0	8.8	11.8	3.89	1.13	29
1.11	1.11	1.11	1.00	2.9	10.0	12.9	3.51	1.10	29
1.20	1.08	1.08	0.97	2.8	8.4	11.2	3.64	1.14	29
平均	平均			3.0	9.8	12.8	3.86	1.10	-

今この測定結果を観察するに 0.7A の場合の点火時間の最大値は 14.3 ms であり、1.0A の場合の断線時間の最小値が 14.5 ms であるから、此の型の電気雷管は直列回路内で漏電その他の原因で一部は 1.0A が流れ、一部が 0.7A になつても齊発することが判る。これを従来型筒薬式電気雷管と比較すると、0.55A の点火時間が平均値で 32.6 ms 最大値 42.0 ms に対し、0.8A の断線時間は平均値で 21.3 ms 最小値は 19.6 ms 程度で全く齊発圏外であつたのである。

更に 1.0A の場合と 1.2A の場合の結果を対照するに、此の型の電気雷管は尙相当大幅の齊発範囲を有することが想像される。しかしこの方法でその結果を知ろうとしても、電流が大きくなるに従つて温度上昇に

本誌第 10 巻第 4 号岡崎一正氏発表の点火薬の燃焼熱に依つて電橋の電気抵抗変化が急になり初める点を見出して点火時間を直接にオシログラムから求めたのが次表である (本成績は東大岡崎教室にて得たものである。)

よる電流減衰の状況が判然しなくなるのでこれ以上の実験は困難である。

IV 実用電流に対する齊発性の検討

実験 3 では 1.0A 附近の電気雷管の作動状況は観察出来るが、実際に使用するには更に強電流である場合が多く、これに対し筆者は以上の実験結果を基礎に各電流に対する断線時間・点火時間・点火力積等を計算により求め、それぞれの電流値に於ける齊発可能範囲を算出して見た。

(1) 断線時間

表 1 から断線時間の平均は

0.8A 36.6 ms

1.0 μ 20.6 μ 2.0 μ 4.8 μ

白金電橋の断線を焼断 1750°C と見做し、温度上昇の経過を温度上昇に伴う電気抵抗の変化による電流減衰からオッシュログラムにより求め、各電流値に就て焼断迄に費された熱量を次式により算出して見ると

$$Q = \frac{r}{J} \int_0^{\theta} I^2 dt$$

電流 (A) 熱量 (cal.)

0.8 17.9

1.0 15.8

2.0 14.5

これをグラフに採りその各点を基礎に各電流値に対する各断線時間を次式により求めたが表4である。

$$Q = \frac{r}{J} \int_0^{\theta} i_1^2 dt$$

$$\theta = \frac{JQ}{ri_1^2} \quad J=0.86 \quad r=0.66$$

表 5

電気雷管抵抗	1.28	1.36	1.25	1.46	1.37	1.34	1.30	1.35	1.23	平均
放電々圧	98.7	98.0	97.7	97.3	97.5	97.8	97.8	87.3	95.7	-
発火抵抗	44	43	48	36	41	44	42	43	44	-
点火力積	3.32	3.35	2.99	3.95	3.48	3.26	3.42	3.38	3.16	3.37
電流	2.24	2.30	2.03	2.70	2.37	2.22	2.33	2.25	2.20	2.29

と点火力積の曲線図を作り各電流値の点火時間を $K = I^2 \theta$ により算出したのが表6である。

表 6 各電流値の点火時間

電流の大きさ (A)	点火力積 (mWs/Ω)	点火時間 (ms)
0.6	4.9	13.6
0.7	4.5	9.2
0.8	4.3	6.8
1.0	4.0	4.0
1.5	3.6	1.6
2.0	3.4	0.85
3.0	3.3	0.37

各電流の大きさによる白金電橋の温度上昇曲線を作り、これに今算出した点火時間を載せて見るに、何れも 230°C 附近となり、Krupp 発火点試験器にて求めた本点火種の発火温度 227~229°C と合致することから、以上の計算が概ね近似値を示したものと見ることが出来る。

(3) 計算値から見た齊発可能な範囲

i_1 を異状のない電流とし i_2 をリークに会つた小電流とすると、 i_2 を i_1 の断線時間内に点火せしめるには $K = I^2 \theta$ の関係から i_1 の断線時間を θ とすると次

表 4 各電流値の断線時間

電流 (A)	断線時間 θ (ms)	電流 (A)	断線時間 θ (ms)
0.7	52.0	5.0	0.68
0.8	36.6	6.0	0.45
1.0	20.6	7.0	0.32
1.5	8.4	8.0	0.24
2.0	4.8	9.0	0.18
3.0	2.0	10.0	0.14
4.0	1.1		

(2) 点火時間

表3から

電流 (A)	点火力積 (mWs/Ω)
0.63	4.72
0.97	4.14
1.10	3.86

強電流の場合の点火力積として、蓄電器の放電による直接法から求めた値は表5の如くて、電流の大きさ

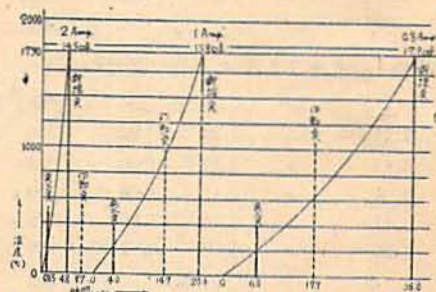


図 1 鉛冠式電気管の作動経過

式を満足せしむればよい。

$$i_2 = \sqrt{\frac{K}{\theta}}$$

従つて表7が得られる。

表 7 各電流値の齊発可能な範囲

i_1 (A)	θ (ms)	K (mWs/Ω)	i_2 (A)
0.7	52.0	-	-
0.8	36.6 (作動時間 17.9ms)	-	-
1.0	20.6 (作動時間 14.7ms)	5.0	0.58
1.5	8.4	4.5	0.74

2.0	4.8	4.3	0.95
3.0	2.0	4.0	1.42
4.0	1.1	3.6	1.81
5.0	0.68	3.5	2.26
6.0	0.45	3.4	2.74
7.0	0.32	3.3	3.21
10.0	0.14	3.3	4.86

(4) i_1, i_2 の齊発点実測

図2にて r_3 (分流器) の値を種々に変えて r_1 に r_2 より大なる電流を通し、その際に r_2 が点火する限界を求めその時の r_1 の電橋切断に至る時間並に電流値

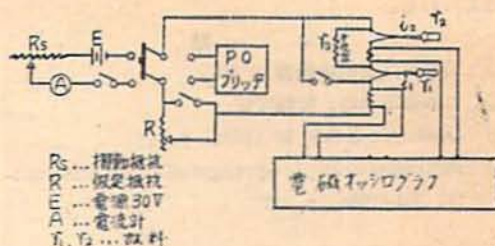


図 2

及び r_2 に流れた電流値を求めた。

表 8 i_1, i_2 の齊発点実測値

r_1 (試料)	r_2 (試料)	r_3 (分流器)	全抵抗	i_1 (r_1 の電流)	i_2 (r_2 の電流)
Ω	Ω	Ω	Ω	A	A
1.26	1.26	2.032	2.14	1.5	0.92
1.26	1.25	〃	〃	1.4	0.86
1.25	1.25	〃	2.13	〃	〃
1.26	1.24	1.392	2.03	1.7	0.90
1.26	1.26	〃	〃	1.8	0.95
1.24	1.24	〃	〃	1.8	〃
1.22	1.22	〃	1.99	1.8	0.94
1.29	1.29	0.902	1.93	3.6	1.48
1.22	1.22	〃	1.86	〃	1.53
-	-	-	-	3.85	2.00
-	-	-	-	5.00	2.41

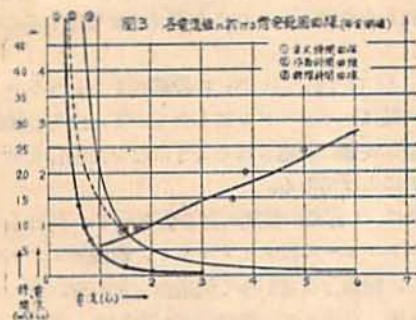


図 3 各電流値に於ける齊発範囲曲線(実測値)

(5) 使用現場に於ける漏電の一例

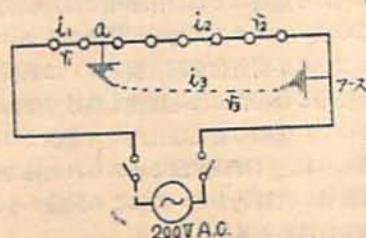


図 4

200 V A. C. を電源として一直列 50 発の一齊発破を行い、a 点取りに起点より 20 発の所に漏電箇所を想定した場合、 r_1 に 3A を通じたとすれば i_2 は a 点よりアース間の抵抗 r_3 と a 点以降の回路の抵抗 r_2 との逆比に分流する。 r_3 はこの場合電氣雷管 30 発となり約 30 Ω で、 r_2 は最悪の場合概ね 100 Ω として、 i_3 が約 1A となり i_2 には約 2A の電流が流れることになり、図3から齊発可能の範囲であることが判る。

V 総 括

直列連結での齊発の場合の不発原因の大きな部分が漏電或は短絡から起る電流差にあることから、 i_1 の断線時間と i_2 の点火時間の関係を二、三の実験から計算により求め、電氣雷管の齊発能はその型式特に点火劑の性質に大いに影響を受けること、而して鉛冠式電氣雷管の各電流値に於ける齊発範囲の一つの結論を得た。これによつて従来極めて困難であつた電位差のある齊発が、實際現場で起り得る条件にも齊発可能であることを明らかにした。但し一個の雷管自体の脚線相互間の短絡の場合は漏電の上限がないので之を絶無ならしめるためには現行の被覆強度では不充分の場合が

考えられる。

文 献

- 1) 山本：産業爆破概論 p. 107
- 2) 日本標準規格：雷気雷管
- 3) Drekopf: Z.S.S. 30 (1935) p. 129
- 4) Beyling-Drekopf: Sprengstoffe und Zündmittel 204 (1936) p. 187
- 5) 疋田：火薬協会誌第3巻第4号(昭和17年3月) p. 279
同誌：火薬協会誌第9巻第3.4号(昭和24年3月) p. 110
- 6) 岡崎：火薬協会誌第10巻第4号(昭和25年3月) p. 71
- 7) 旭化成延岡工場東島氏の測定値

尿素系爆薬 (N爆薬) の研究 (第一報)

(昭和25年8月25日受理)

日野熊雄・佐藤淳一

(日本化薬株式会社厚狭作業所)

硝酸尿素がそれ自体良好な爆発性を有すること、塩素の如き有毒成分を含まぬこと、吸湿性のないこと、尿素、硝酸アンモンとも共融物を作り膠質ダイナマイトの可塑性に寄与し得ること、空気と水と石炭より純合成的に経済的に多量製造し得ること等の利点を有することを利用して硝酸尿素を成分とする、(1) 低ニトログリセリン膠質ダイナマイト、(2) 粉状ダイナマイト、(3) 粉状爆薬を試製し性能良好なるものを得た。

I 緒 言

工業用爆薬の主成分は硝酸アンモンであるが、之自体は(1) 可塑性が無いから膠質ダイナマイトの成分としてその含有量に限度があり(2) それ自体の爆発性は余り大でない(3) 吸湿性がある、等の欠点がある。然し硝酸アンモンは空気と水からその成分を取つて純合成的に製造し得て安価である長所がある。この長所を備えて且(1)(2)(3)の欠点を補い得るものとして筆者は硝酸尿素の利用に著目して工業用爆薬としての利用に付研究を行った。

II 基礎的性質

多数の試製爆薬に付て基礎的研究を行ったが、此処にはその内の代表的の例に付てのみ述べる。

組成を表1に示す。 N_1 は尿素、硝酸尿素、硝酸グアチンが硝酸アンモンと共融物を作りそれ自体で可塑性を呈すること、及び之等の混合物が爆発性を有することを利用して、ニトログリセリンの含有量を極度に減じた膠質ダイナマイトである。

表1. 内の N_2 はニトログリセリンを鋭感劑とする粉状ダイナマイトで、桂ダイナマイトを更に経済的にしたものである。

表1. 内の N_3 は鋭感劑として最も経済的なデニト

ロナフタリンを使用することに依り、最も経済的な粉状爆薬を得ることを目的として居る。

N_2, N_3 共に多量の硝酸尿素を含有するが、塩素を含まぬから塩化ガスの如き有毒ガスを発生することが無い。

N_4, N_5 はそれぞれ N_3 の鋭感劑をトリニトロトルオール又はヘキサゾゲンにしたもので、之等の鋭感劑が多量に安価に製造されるようになった場合を考慮して参考的にあげてある。

表2に N 爆薬の性能の計算値を示す。何れもその爆発エネルギーは桂ダイナマイト、新桐ダイナマイトに近く、窒素含有量が多く炭素含有量が少い事は発破後ガス中に有毒ガス—酸化炭素が生起する可能性を減ずるに寄与すると思はれる。

表3に N 爆薬の爆発性能に関する基礎試験の結果を示す。 N_1, N_2 爆薬はそれ自体単味では比較的鈍感であり、この点アメリカの大発破用爆薬たる Nitramon に類似しているが雷管付薬包(親ダイ)に新桐ダイナマイトを使用した場合には殉爆性も良好で燃焼速度も大となるので、実際の岩石穿孔内での発破力は良好であると考えられ之は発破試験で確かめられた処である。ヘッス猛度値が比較的小さいのはこの試験が小薬量で開放状態で行はれる為である。