

報 文

工業雷管の基礎的研究

(第 二 報)

(昭和 30 年 1 月 12 日 受理)

木下 四郎・福山 仁・網村 美義

(日本化薬折尾作業所火工品研究課)

I. 緒 言

第一報¹⁾に於いて筆者等の内の一人、木下が雷管を鉛板上に横臥させ、更に鉛板上の基準線と雷管内薬面とを一致させて点火すると、鉛板上に生じた爆痕には燃焼部分と爆轟部分との限界が明瞭に認められることを見出した。そして基準線からその限界迄の距離を至完爆距離 (Anlauf-Strecke) とし、それが点火方法、爆粉の密閉度、爆粉の装填比重、爆粉の水分等に依つて如何に変化するかを実測し報告した。

本報告に於いては、本実験方法に依つて得られた結果の精度、信頼度の検討を先ず行い、次いで爆粉の装填比重、管体の厚さ、爆粉の薬径、導火線未端と爆粉面との距離が至完爆距離に如何に影響するかを実測したので、その結果を報告する。

II. 実験条件

実験方法は前記第一報で述べた通りであるが、本実験に使用した鉛板、雷管等の諸元は下記の通りである。

- 鉛板 厚さ 4mm. 長さ 40mm. 平方
- 雷管 雷管爆粉雷管で底上げのない管体を使用した。又爆粉は 0.4g. づつを先端の平らな杵を用いて種々の圧力で分填して種々の装填比重 ($\Delta g./cm^3$) の試料を作製した。全薬量 ($\omega g.$) は 0.4g. と分填回数 (n) との積から求められる。
- 雷管爆粉 雷管と植薬酸カリとの重量比 78 : 22 のもので、水分は 0.06~0.05% であつた。
- 管体 前述の様に底上げのない銅管体で、管体の内径 (薬径) を $\phi mm.$ 、管体中心の厚さを $t mm.$ とした。

尙点火には第二種導火線を用いた。

III. 実験結果の精度と信頼度

新しい実験方法を考案した際に、その実験方法で得られたデータの精度、信頼度、正確度を検討しておくことは欠くべからざることである。茲に精度とは、同じ測定方法で繰返して測定して得られた箇々のデータの、その平均値からのバラッキの程度を示し、信頼度とは実験の度に現われる精度の変動の程度、平均値の変動の程度を示す。実験の度に精度、平均値の何れの変動も小さい方が信頼度が高く、何れか一方でも変動の大きい場合には、信頼度はそれだけ低いことになる。最後に正確度とは測定に依つて得られた平均値の真の平均値からのカタヨリを云うのである。

本報告に於いては精度及び信頼度を検討した。正確度は、それに関係のある真の値が光学的乃至電氣的な方法をも併用しないと確認出来ないと考え、本実験の目的上比較値を得れば足りるので検討しなかつた。本実験方法のみでは真の値は確認出来ないが、然し比較的簡便に、しかも日製品に近い型式の試料を用いて試験出来、尙得られた結果も以下に述べる様に比較値として使用出来る点に本実験方法の特色が在る。

1. 実験条件

$$\phi = 6.2 \text{ mm. } t = 0.17 \text{ mm. } \omega = 1.6 \text{ g.}$$

2. 結果

同一試料について 19 回測定を行つて得られた結果の平均値、精度 (標準偏差 σ で示す) 及び信頼度 95% での平均値の信頼限界を表 1 に、異なる実験者が試料を作製し発火試験をして得られた箇々のデータ及びその平均値 (\bar{x}) 並びに範囲 (R) を表 2 に夫々示した。

表 1. 標準偏差及び平均値の信頼限界

試 験 数 (箇)	$\Delta (g./cm^3)$	d (mm.)		
		\bar{x}	σ	平均値の 信頼限界
19	2.32	5.9	0.6	5.9 ± 0.3

(註) 表中 d mm. は至完爆距離を示す以下同じ。

表 2. 異つた実験者に依る結果

実験者	圧搾圧 (kg/ケ) (g./cm ³)	Δ (g./cm ³)	d (mm.)						
			1	2	3	4	5	\bar{x}	R
A	60	2.48	7.3	6.3	6.0	6.7	6.2	6.5	1.3
B	60	2.50	7.4	6.5	6.7	7.2	-	7.0	0.9
A	80	2.62	7.5	7.2	7.5	7.6	7.8	7.5	0.6
B	80	2.62	7.6	7.0	7.9	7.0	8.2	7.5	1.2

3. 考 察

此の実験条件下では平均値 5.9mm. に対して標準偏差は 0.6mm. であった。尙信頼度 95% での平均値の信頼限界は 5.9 ± 0.3mm. であった。精度に関してその他の実験条件のものを検討して見ると (表 3 ~ 表 5 参照) 平均値 18mm. 位に対して標準偏差 0.2mm. 平均値 10mm. 位に対して標準偏差 0.7mm. であった。

一方異なる実験者に試料を作製させた場合に出来た試料の装填比重は略一致しており、その試料を用いて各実験者が試験して得たデータから求めた範囲及び平均値について、装填比重が両実験者の試料に対して同一であったところの表 2 の下二段の場合の値の有意差の検定を行うと、分散にも平均値にも危険率 1% で差があるとは云えないことが判明する。之れから本実験で得られたデータの信頼度の一端がうかがえる。

以上綜合するに本実験方法で得られるデータの精度及び信頼度は、以下に述べる実験結果をも併せ考える時、本実験に対しては充分であると考えられる。

IV. 装填比重の影響

雷管の半爆発生率に雷薬爆粉の装填比重が大きな影響を及ぼすことは従来から多くの人々に依つて確認されている²⁾。雷管の半爆現象即ち爆粉部分は爆発しているのに添装薬部が残留している現象は次の様に考えられる。即ち雷薬爆粉は何等かの方法で点火されると先ず燃焼過程に入り次いで爆轟過程に入る。此の爆轟過程に於いて爆粉が添装薬に与えるエネルギーが或る限界以上であれば雷管は完爆し、さもなければ半爆となるであろう。然して雷管には一定量の爆粉しか填装されていないのであるから、何等かの条件に依つてその燃焼過程が多くなればそれだけ爆轟過程は減少し半爆となり易くなるわけである。此の燃焼過程の長さが本報告で述べる至完爆距離であつて、至完爆距離と最小起爆量との関係に就いては別に報告の予定であるが、両者は正比例的な関係にあるものと見做して差支えあるまい。然して最小起爆量は爆粉の圧搾圧即ち装填比重に依つて変化する³⁾。従つて至完爆距離も爆粉の

装填比重に依つて変化するであろうことが予想される。故に至完爆距離の装填比重に依る変化の状況を検討すれば雷管の半爆現象の解析に役立つものと考えられる。

1. 実験条件

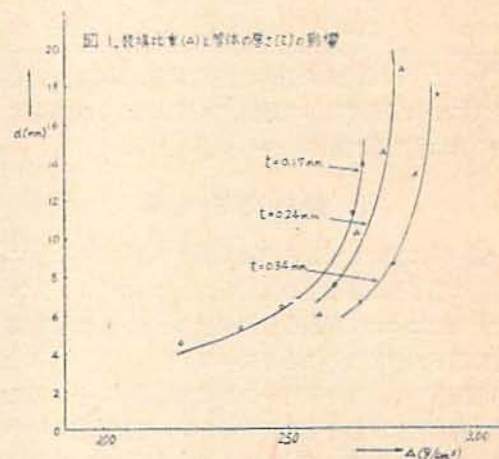
$$\phi = 6.2 \text{mm.} \quad \bar{\omega} = 1.6 \text{g.}$$

2. 結 果

厚さ 0.17mm. 0.24mm. 0.34mm. の三種類の管体を用いて、それに夫々各種の装填比重で雷薬爆粉を填装した試料を作製して試験した。その結果を表 3, 図 1. に示す。

3. 考 察

此の実験条件の範囲内では、管体の厚さに依つて程度の差こそあれ、装填比重の大きいもの程至完爆距離は大きくなっていて、雷管の半爆が爆粉の装填比重の大きいもの程発生し易くなることを裏付けしている。又三種類の厚さの管体に於いて、何れの場合にも装填



比重が或る程度以上大きくなると、至完爆距離は急激に増大し所謂死圧現象の在ることを示していると共に K. K. Andreev⁶⁾ が雷薬の死圧はその量との間にも関係があると述べているが、管体の厚さの変化も死圧になる装填比重に影響を及ぼしているのが判明する。即ち $t = 0.17, 0.24, 0.34 \text{mm.}$ に於いて夫々 $\Delta = 2.7, 2.8, 2.9$ 以上に於いて死圧となるようである。

以上装填比重の増大と共に至完爆距離が大きくなり、終には死圧現象を呈すること、及び管体の厚さ、即ち爆粉の補強効果の増大に依つて死圧現象を呈する装填比重が大きくなる傾向にあることは次の様に説明される。即ち前記 K. K. Andreev⁶⁾ は「雷薬の死圧は爆薬粒子間の空所の減少に帰せられ⁷⁾、ある手段、たとえば内圧を高めると云う様な手段に依つて燃焼速度を高めれば打勝つことが出来る」と述べているが装填比

表 3. 装填比重と管体の厚さの影響

t (mm.)	d (g./cm ³ .)	d (mm.)		
		試験数(ヶ)	F	R
0.17	2.21	4	4.6	0.2
	2.37	5	5.4	0.5
	2.48	5	6.5	1.3
	2.62	5	7.5	0.6
	2.67	4	11.3	1.6
	2.70	3	13.9	1.2
0.24	2.58	5	6.0	1.0
	2.68	5	10.2	1.4
	2.75	3	14.5	1.0
	2.80	2	18.9	0.2
0.34	2.69	5	6.7	1.0
	2.78	5	8.7	1.0
	2.84	3	13.4	0.8
	2.90	1	17.5	-

重を大にすれば爆粉粒子間の空隙は減少し、補強効果を大にすれば爆粉自体の燃焼ガス圧は高まり燃焼速度もそれに相当して高まるからであると考えられる。

V. 管体の厚さの影響

第一報に於いて管体の強度の影響を検討するために、管体に薬が見える程度の割目を入れたものと、入れないものについて試験し管体強度の小さいもの程至完爆距離が大きくなることを述べた。

縦雷管管体外を何等かの方法で補強すると、例えば管体外部に鉄板を巻き付けるとか、鉛帯を取り付けるとかすると半爆率が減少することは既に経験しているところである。従つて同一材質を用いた管体の厚さを変化させると補強効果が変化し至完爆距離も変化するであろう。

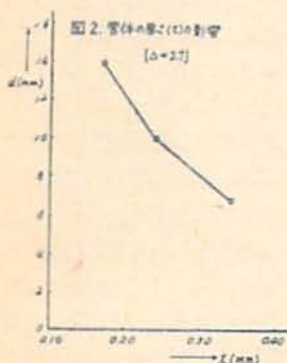
1. 実験条件

$$\phi = 6.2 \text{ mm.}$$

$$\bar{w} = 1.6 \text{ g.}$$

2. 結果

結果は表3に示したが、之れを前記図1を用いて $d = 2.70$ の場合の管体の厚さと至完爆距離との関係として示すと図2の様になる。



3. 考察

図2から明らかな様に管体の厚さの厚いもの程至完爆距離は小さくなっていて、補強効果が大きくなる程半爆が発生しにくくなることを示している。これは前記 K. K. Andreev の説から補強効果の増大に依つて燃焼ガス圧が高まり燃焼速度が大になると解釈すると肯定出来ることであると思う。

VI. 薬径の影響

工業雷管の内径即ち薬径とは、6号では6.2mm. であると云う単なる先入観念からか、或いは6.2mm. のものが雷管としては使用上も製造上も適当であるからか、その理由はわからないが、工業雷管の薬径を同じ号数のものについて色々変化させて半爆率の検討をしたデータは見当らない。然しながら山本教授⁸⁾及びその他の人々も述べている標準雷管の寸度を見ると、号数が大きくなる程その内径も増加している。此の理由は分らないが、要するに内径を増加させる事は雷管の性能を号数に比例して増加させる一手段として採られたものであると推定する。又前述の様に K. K. Andreev は何等かの手段に依つて雷管の燃焼速度を高めると死圧に打勝つると云っているし、M. Patry⁹⁾は種々の断面積の雷管堆積物を用いて堆積物初端から爆轟波の発生層迄の距離及び燃焼平均速度を写真的に求め、断面積の増大と共に前者は短小となり後者は増大することを示している。従つて薬径に依つても至完爆距離は影響を受けると推定される。

1. 実験条件

$$t = 0.17 \text{ mm.}$$

分爆回数とか全薬量は薬径に依つて変えたが、その詳細は表4に示す。

2. 結果

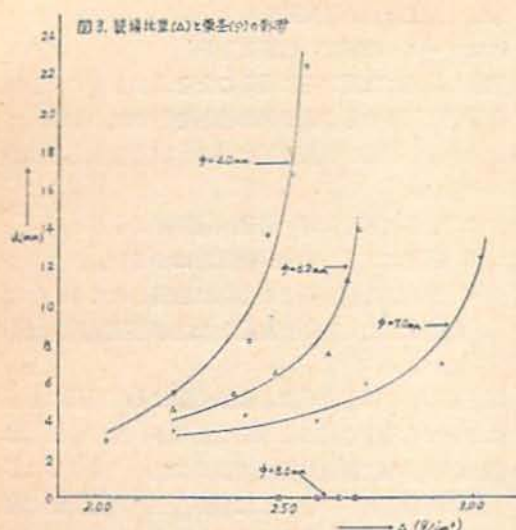
結果の詳細は表4及び図3、図4に示す。

3. 考察

図3、図4から判明する様に薬径の増大と共に至完爆距離は小さくなり、その影響は装填比重が大きい程著しい。薬径が8.0mm. になると $d = 2.69$ 迄は本実験方法では至完爆距離は0となつている。又薬径が大きくなる程死圧になる装填比重も大きくなる様である。これは K. K. Andreev 及び M. Patry の説から想像された通りである。

VII. 点火源と爆粉面との距離の影響

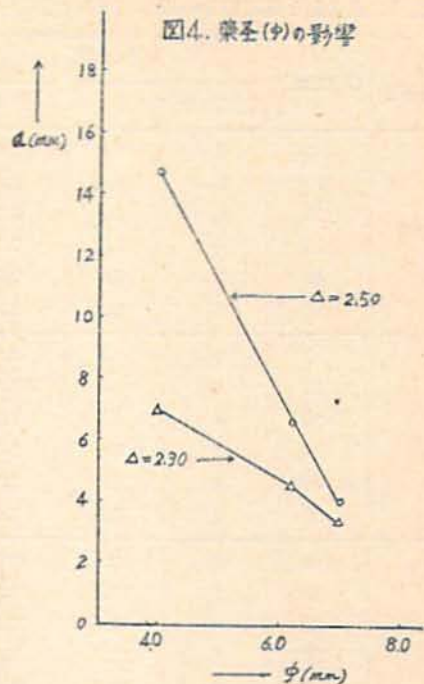
雷管爆粉に今回の試験では第二種導火線を用いて点火したのであるが、点火条件に依つて、例えば点火に



使用する導火線の太さに依つて最小起爆量が異つて来ることは又木氏¹⁰⁾も認めているし、導火線末端と爆粉面との距離に依つて雷管の起爆性が左右されることは坂巻氏等¹¹⁾も実験に依つて明らかにしている。尙強精

表4. 薬径の影響

φ (mm.)	n (個)	m̄ (g.)	d (g./cm³.)	d (mm.)		
				試験数 (ヶ)	\bar{x}	R
4.0	4	0.8	2.03	4	3.0	2.0
			2.21	4	5.5	1.0
			2.41	3	8.1	2.0
			2.46	4	13.6	1.5
			2.52	4	16.8	2.2
			2.56	2	22.4	1.2
6.2	4	1.6	2.21	4	4.6	0.2
			2.37	5	5.4	0.5
			2.48	5	6.5	1.3
			2.62	5	7.5	0.6
			2.67	4	11.3	1.6
			2.70	3	13.9	1.2
7.0	5	2.0	2.21	5	3.5	0.6
			2.40	5	4.3	0.3
			2.59	5	4.0	0.9
			2.72	5	6.0	1.1
			2.92	5	7.0	0.7
			3.02	5	12.5	2.3
8.0	5	2.5	2.49	5	0	-
			2.59	5	0	-
			2.65	5	0	-
			2.69	5	0	-



案を使用した電気点火の場合の点火条件の至完爆距離への影響は既に第一報で述べた。依つて導火線の端末火焰が吹出される端面、即ち点火源と爆粉面との距離に依つて至完爆距離も影響を受けると考えられるので以下に検討をした。

1. 実験条件

$$t=0.17\text{mm} \cdot \phi=6.2\text{mm} \cdot \bar{m}=1.6\text{g.}$$

2. 結果

結果は表5及び図5に示す。尙強精比量は 2.50, 2.62, 2.70 の三種類とした。

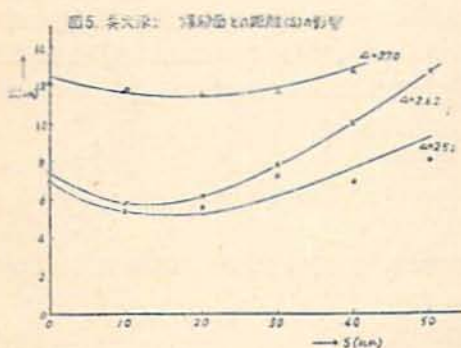
3. 考察

本実験条件の範囲内では点火源と爆粉面との距離と至完爆距離との間の関係は極小点を有する曲線で示される。その極小点はどの装填比の場合にも点火源との距離 10~20mm. のところにある様である。但し装填比に依つて曲線の形は多少異つている。

導火線を爆粉面に密着させるよりも、或る程度離した方が雷管の起爆性は良くなることを先述の坂巻氏等も認めているが、至完爆距離も導火線を爆粉面に密着させた場合よりも、或る程度離れた場合に極小になっている。此の原因に関しては導火線端末火焰の状況等を解析した後でないと説明出来ないが、爆粉が燃焼を始めるに当つて、単位容積中の活性中心の数が点火源と爆粉面との距離を変えることに依つて影響を受け、従つて点火されて後の燃焼速度が左右され結局至完爆

表5. 点火源と爆粉面との距離(S)の影響

d (g./cm ³ .)	S (mm.)	d (mm.)		
		試験数(ヶ)	\bar{x}	R
2.50	0	4	7.0	0.9
	10	5	5.4	0.8
	20	4	5.6	0.2
	30	4	7.3	0.8
	40	5	7.0	0.6
	50	5	8.2	1.3
2.62	0	5	7.5	1.2
	10	5	5.8	1.1
	20	4	6.2	1.0
	30	5	8.0	0.9
	40	4	10.1	1.8
	50	4	12.8	1.6
2.70	0	5	12.1	0.7
	10	5	11.8	1.9
	20	4	11.5	0.8
	40	3	12.9	1.4



距離が変つて来るのではないかと推定する。

Ⅷ 結 言

日製品に近い状態の試料を用い、而も比較的簡単な

方法で雷薬爆粉の至完爆距離を測定し、その結果得られたデータの精度、信頼度を検討し本実験方法が本実験の目的には用いられ得ることを示すと共に、至完爆距離に影響する各種要因の検討を行った。即ち、

1. 雷薬爆粉の装填比重は小さい程至完爆距離は小さい。
2. 管体の厚さは厚い程至完爆距離は小さい。
3. 薬径は大きい程至完爆距離は小さい。
4. 点火源と爆粉面との距離は密着させて0にした場合よりも、或る程度離した方が至完爆距離は小さい。

以上四項目の結論を得た。尙本実験は他の要因の影響についても検討を続ける予定であるが、上記の成績は昭和29年秋季工業火薬協会講演会に於いて発表した。

尙本実験を行うに当つては榊原所長、日野博士の御指導のあつたことを記して謝意を表する。

文 献

- 1) 木下二郎：工業火薬協会誌 32 (1951) 7~11.
- 2) 榊原周，石川正治，江上良雄：工業火薬協会誌 23 (1949) 104~105
- 3) 又木武一：工業火薬協会誌 28 (1950) 2~4
- 4) R. Wallbaum：Z. S. S. 34 (1939) 197~200
- 5) K. K. Andreev：Compt. rend. acad. sci. U. R. S. S. 31 (1941) 456~458；C. A. 37 (1943) 1269
- 6) K. K. Andreev：同上
- 7) 之れと同じことを H. Muraour も述べている。H. Muraour：Mém. artillerie franc. 18 (1939) 895~897；C. A. 34(1940) 4905
- 8) 山本祐徳：産業爆破概論 (誠文堂新光社)(1947) 46.
- 9) M. Patry：Z. S. S. 32 (1937)：工業火薬協会誌 13 (1943) 237
- 10) 又木武一：工業火薬協会誌 28 (1950) 4
- 11) 坂巻喬，三井志郎，西村満登：社内報告 (1949)

以上