

## 雷管による爆薬起爆の研究

〔第5報：雷管の熱作用による起爆〕

井田 一夫\*

第1報～第4報に於て、雷管の衝撃作用による起爆、雷管破片の投射作用による起爆について述べたので、第5報に於ては雷管の熱作用による起爆について述べる。

### I. 緒言

雷管の熱作用とは、具体的には、雷管の爆発によつて生じた熱が爆薬に伝達され、これによつて爆薬が起爆するという事である。而して爆発によつて生ずる熱の中には装薬の分解によつて生じた化学的なもの、衝撃波によつて生ずる物理的なもの、両者を含んでいられると思われ。先ず爆薬の熱起爆の理論について考察する。

雷管の爆発温度は内部装薬即ち雷汞、テトリール、ペントリット等の爆発温度に近いと仮定すれば、 $2,000^{\circ}\text{C}$ 以上であり、又工業爆薬の発火温度は $500^{\circ}\text{C}$ 附近であるから、雷管の爆発温度がそのまま爆薬に伝達されれば爆薬は発火する筈であるが、第1報でも述べた如く、雷管の爆発時間は $10\mu\text{sec}$ 以内、火焰持続時間も $200\mu\text{sec}$ 以内と思われ、この様な短時間の間に爆薬はどの程度の熱量を雷管から受取り得るかということが雷管の熱作用によつて爆薬が起爆出来るかどうかを決定すると思われ。

熱起爆の理論は古く、Garner 氏<sup>1)</sup>、Muraour 氏<sup>2)</sup>、Andreev 氏<sup>3)</sup>等は、熱起爆を爆薬分子の分解に必要な活性化エネルギー $E$ と分解によつて生ずる反応熱 $Q$ との熱平衡の問題として考え、活性化エネルギーの分子間の統計的分布や熱損失を考慮に入れても、 $Q$ が $E$ よりも大きい場合には連鎖反応が起り得るので爆薬が生ずると考えた。Semenoff 氏<sup>4)</sup>は熱起爆の問題を爆薬内の熱の発生速度と逸散速度との比較の問題として考え、両者が等しくなつたときが即ち起爆の臨界条件であるとした。Robertson 氏は Frank Kamenetski 氏がガスについて行つた方法を固体爆薬に応用し、熱伝達の行われ得る爆薬層の厚さ等から起爆温度を求める条件式を導いた<sup>5)</sup>。

上記の熱起爆理論は何れも爆薬へ熱を与える熱源の時間的变化については考慮していない。然し乍ら雷管による爆薬の起爆をはじめ、衝撃による起爆、火花による起爆、落穂感度試験等、爆薬の起爆は多くの場合外部よりの作用(Bowden 氏等の熱起爆説によればこれ等の作用は何れも熱エネルギーとして起爆に関与する)は爆薬に長時間連続的に与えられるものではなく、非常な短時間のみしか与えられない。従つて最近短時間の間だけ爆薬層に高温を与えた場合の熱起爆の研究が行われるようになった。

Bryan 氏等<sup>6)</sup>は爆薬試料をとり囲んだガス(ヘリウム或はアルゴン)をピストンで急激に圧縮して数ミリ秒間加熱した場合、爆薬の点火(起爆)を放射する光によつて観察した。そしてガスの圧縮比率によつて単位面積当りの爆薬試料に与えられる熱量を計算し、点火エネルギー(熱量)は TNT で  $0.38\text{cal}/\text{cm}^2$  以上、テトリールで  $0.33\text{cal}/\text{cm}^2$ 、ペントリットで  $0.25\text{cal}/\text{cm}^2$ 、ニトログリセリンで  $0.1\sim 0.2\text{cal}/\text{cm}^2$ 、窒化鉛で  $0.087\text{cal}/\text{cm}^2$  であるとした。そして爆薬の点火はガス圧力がピークに達してから約 10 ミリ秒後に起ること、即ち熱起爆には予備点火反応が必要なことを観察した。又彼は短時間だけ熱量を与えられた場合の表面温度式として Carlsaw 及び Jaeger 氏<sup>7)</sup>による次式を紹介している。

$$\Delta T = 2F \left( \frac{t}{\pi K \rho C_p} \right)^{\frac{1}{2}}$$

茲に  $\Delta T$  は温度上昇、 $F$  は与えられた熱量、 $t$  は加熱時間、 $K$  は熱伝導度、 $\rho$  は比重、 $C_p$  は熱容量である。即ちこの式によれば表面温度は与えられた熱量に比例し、与えられた加熱時間の平方根に比例し、熱伝導度や熱容量の平方根に逆比例する。

Evans 氏等<sup>8)</sup>は Bryan 氏等とほぼ同じ方法によつて、即ち爆薬試料を取囲むガスをピストンで断熱圧縮することにより、短時間加熱した場合に点火の生ずるガス温度を測定した。ガスを理想気体と仮定し、ガス温度は

$$T_2 = T_1 (V_1/V_2)^{\gamma-1}$$

昭和35年12月29日受理

\* 日本化学KK折尾作業所、福岡県若松市校川

なる式によつて計算した。 $T_1$ ,  $T_2$  は初期及び圧縮後の温度,  $V_1$ ,  $V_2$  は初期及び圧縮後のガス容積,  $\gamma$  は比熱比である。この方法による発火点はニトログリセリンで 600°C, ペントリットで 1,500°C, アジ化鉛で 900°C であり, 即ち短時間加熱の場合には通常発火点よりも遙かに高い温度で初めて発火することがわかる。又ピストンによるガスの断熱圧縮の場合の加熱時間は数ミリ秒であると云われる。

然るに雷管の爆発による薬包の加熱時間は, 第1報に於る爆発火焰の持続時間より約0.2ミリ秒以下と推定されるので, 雷管による熱起爆の場合には, 爆薬薬包を発火させる温度は Evans 氏等による値よりも更に高温となることが必要であると思われる。特に硝安爆薬の如くニトログリセリンを含まない爆薬の場合には, Evans 氏等によるペントリットの発火温度 1,500°C よりも遙かに高温とならなければ発火しないと思われるので雷管の熱作用のみで起爆出来るかどうかは疑問であると思われる。

以下の実験に於ては雷管の爆発熱量及び爆発温度等基礎的数値を先ず測定し, 次で爆薬を起爆させるための臨界爆粉量試験を実施し, 雷管の熱作用によつて工業爆薬の起爆が可能であるかどうかを推論する。

## II. 雷管爆発熱量の測定

爆発熱量は雷管の熱効果を論ずるための基礎的な因子であると思われるが, 雷管の爆発熱量を直接測定した報告は未だ見当らない。Sutton 氏<sup>10)</sup> はテトリールのペレットを鉄管に充填して爆発熱量を測定し, テトリールの爆発熱量には装填比重  $d$  によつて三つの段階があり,  $d=0.9$  以下の場合 935cal/g,  $d=1.1\sim 1.3$  の場合 1,070cal/g,  $d=1.45$  以上では 1,160cal/g という値を得ているが, 鉄管は雷管管体より相当厚く, この

値を直ちに雷管に適用することは出来ない。又雷管の爆発熱量は雷管内の装薬の分解に際しての熱化学方程式を利用して計算することは出来るが, これでは管体による熱量変化がわからないし, 又分解方程式は管体の密閉強度によつても若干異なる筈であるから, 計算によつて求めるよりも爆発熱量を直接実測することが望ましい。従つて装薬量や管体材質を変えて爆発熱量を測定した。

### 2-1 測定方法

熱量計としては燃研式 B 型熱量計を使用し, 又爆発室としては砂試験用のポンプに工夫を加えたものを使用した。即ちポンプの蓋にネジを切つて雷管の爆発によつて蓋が動くことのないように固定した。

又雷管の爆発熱量は雷管の周囲に酸素があるかないかによつて異なると思われるので, ポンプの中に食塩を入れ食塩中で雷管を発火させた場合と, 単にポンプの中(空气中)で雷管を発火させた場合と兩者について試験した。

### 2-2 測定結果

雷管試料としては国際規格による 3号, 6号, 8号の標準雷管, JIS による 3号, 6号, 8号のテト

Table 1 The charge of sample detonator

kind of detonator	material and weight of charge	total wt. of charge
fulminate detonator	No. 3 mercury fulminate	0.54 g
	No. 6 " 0.54 g	1.00
	No. 8 " 2.0	2.00
fulminate + tetryl detonator	No. 3 tetryl 0.35 g + fulminate/KClO <sub>3</sub> 0.3 g	0.65 g
	No. 6 " 0.45 g + 0.4	0.85
	No. 8 " 0.90 + 0.5	1.40

Table 2 Explosion heat of a detonator

kind of detonator	explosion heat (cal/piece)		
	in NaCl powder (mean)	in air (mean)	
fulminate detonator (Cu shell)	No. 3	235, 253 (244)	—
	No. 6	536, 512 (524)	—
	No. 8	1060, 1080 (1070)	—
fulminate+tetryl detonator (Cu shell)	No. 3	790, 720, 810 (773)	—
	No. 6	1017, 1011, 1008 (1012)	—
	No. 8	1806, 1668, 1782 (1752)	—
fulminate+tetryl detonator No. 6	Fe shell	984, 1035, 1059 (1028)	990, 1073 (1032)
	Cu >	1048, 1020, 1024 (1031)	1233, 1143 (1188)
	Zn >	1086, 1056, 1056 (1066)	1328, 1381 (1355)
	Al >	1092, 1107, 1131 (1110)	2529, 2558 (2544)
	PVC >	1016, 1056, 1137 (1070)	1241, 1235 (1238)
	Paper >	888, 972 (930)	—

リール混成雷管、及び管体材質として銅、鉄、アルミニウム、硬質塩化ビニール、紙等各種のものを使用した6号雷管を用いたが之等各種雷管の装薬量を表1に示す。又爆発熱量の測定結果を表2に示す。

表2より次のことがいえる。

- ①当然のことではあるが装薬種が同じ場合には装薬量に比例して爆発熱量が大きくなる。
- ②同じ薬量なら雷米爆粉よりテトリールの方が遙かに発熱量が多いので、同じ号数なら混成雷管の方が雷米標準雷管より発熱量が多い。
- ③食塩の中で雷管を発火させた場合（即ち雷管の周囲に酸素のない場合）には、管体の燃焼は余りないので管体の材質を変えても発熱量は余り変わらない。
- ④空気中で雷管を発火させた場合（即ち雷管の周囲に

酸素のある場合）には、管体により爆発熱量の差が表われて次の如くなる。



即ちアルミ管体は他の管体に比べて著しく大きく、又予想外に発熱量の少いのは鉄管体であつて銅管体よりも少い。

### 2.3 考 察

以上の如く空気中で発火させたときは雷管の爆発熱量は管体材質によつても相当異なるので装薬量のみで論ずることは出来ない。

又雷管のメタン着火性は管体材質によつて異り、又雷管から生ずる火花も管体材質によつて異なるのであるが、之等の諸性能を爆発熱量と関連させて考えて見ると表3の如くである。即ちアルミ雷管は火花は出ない

Table 3 Explosion heat of detonator and ignition rate to methane-air mixture.

kind of detonator	explosion heat (in air)	flame	spark	ignition rate to CH <sub>4</sub> -air mixture	
fulminate+ tetryl detonator	No. 8 (Cu shell)	1900 cal	large	nothing	8/10
	No. 6 (Cu shell)	1190	small	nothing	0/10
	No. 6 (Fe shell)	1050	small	much	0/10
	No. 6 (Al shell)	2550	large	nothing	10/10
	No. 6 (PVC shell)	1250	small	nothing	0/10

が爆発熱量が多いのでメタンに着火して居り、鉄雷管は火花が多いが爆発熱量が少ないのでメタンに着火しない。即ち雷管のメタン着火には火花よりも爆発熱量の方が重要な因子であると思われる。

次に熱化学方程式を利用して計算した値と上記の測定値とを比較すると、方程式を利用した計算値では、3, 6, 8号の雷米標準雷管では夫々236, 437, 874cal/本であり、3, 6, 8号のテトリール/雷米爆粉の混成雷管では夫々610, 795, 1,372cal/本であつて、表2の実測値よりも若干小さい値となる。

### Ⅲ. 雷管の爆発温度について

雷管の爆発によつて管体の一部は燃焼するが、管体の燃焼温度は添装薬の爆発温度より低いので、雷管の爆発温度は添装薬の爆発温度と考えることが出来る。

添装薬の爆発温度を検討すると、正田氏等の計算値<sup>1)</sup>では装薬比重 $d=1.6\sim 1.0$ の範囲でペントリットの爆発温度は3,300~4,100°K、テトリールは2,400~3,200°K、TNTは2,200~2,800°Kであり、又Fox氏の実測<sup>2)</sup>ではペントリット( $d=1.63$ )で4,200°K、テトリール( $d=1.62$ )で3,350~3,650°Kとなつている。水島氏<sup>3)</sup>は臼砲内に充填した爆薬の爆発温度をスペクトル線反転法により実測し、爆発温度には衝撃波によつて生ずる温度と爆発火焰自体の温度と両者が含まれていることを述べ、テトリール、ヘキソザ

ン、ペントリットの爆発温度として2,100~2,400°Kの値を得ている。

即ち雷管の爆発温度は添装薬種によつて異なるが以上の結果を総合して2,000~4,000°K程度と推定出来る。

### Ⅵ. 爆薬を起爆させるための臨界爆粉量試験

前項により雷管の爆発温度は2,000~3,500°C程度であることが判明したが、雷管の爆発温度の持続時間は極めて短いので、本報告Iで述べた如く雷管の熱作用だけで爆薬が起爆出来るかどうかは疑問である。従つてこの点を実験的に検討することとした。

#### 4.1 試験の方法

雷管の衝撃作用のみを抽出して爆薬を起爆するには、第2報で述べたSPHF(Schock Pass Heat Filter)を使用する方法があり、雷管の破片作用のみを抽出して爆薬を起爆するには、第4報で述べた如く雷管の衝撃も熱も作用しない程爆薬を雷管から離して管体破片の投射による爆薬起爆試験を行う方法があるが、雷管の熱作用のみを抽出して爆薬の起爆を行うことは極めて困難である。然し乍ら筆者は図1の如き方法によつて雷管の熱作用による爆薬の起爆を検討することが可能であると考え。即ち図1の如く雷米爆粉のみを充填した威力の弱い雷管（これを爆粉雷管と称する）を爆薬中に挿入して爆薬を起爆させる場合、爆粉量の異つた種々の雷管を使用すると爆粉量が或る一定量以上

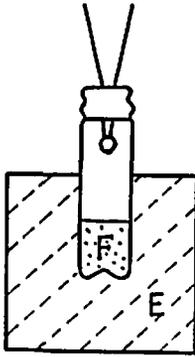


Fig. 1 Critical weight of fulminate to initiate the explosive.

E : Explosive

F : Fulminate/KClO<sub>3</sub> (80/20)

になつたときに初めて爆薬を起爆させることが出来る。即ち図1の如き起爆試験法を臨界爆粉量試験と称することとする。

この臨界爆粉量試験に於て、雷管管体の材質を鉄、銅、アルミ、硬質塩ビ等種々のものに変化させたり、或は管体を全然使用しないで雷管爆粉をタブレットにして爆薬中に挿入して点火玉によつて点火させたりすると、管体の種類や有無によつて爆薬を起爆させるための臨界爆粉量が異ると推定される。臨界爆粉量試験の場合、爆薬は爆粉雷管の衝撃作用、破片作用、熱作用等の綜合作用によつて起爆されているのであるが、管体のない爆粉タブレットによる起爆の場合には破片作用はないので衝撃作用と熱作用のみによつて起爆している。従つて管体のない場合にも爆薬が起爆出来れば、その爆薬は衝撃作用と熱作用のみで起爆可能であり、又管体がある場合に始めて起爆されたり或は管体材質によつて臨界爆粉量が異なるならば、その爆薬は破片の投射作用が加わるることによつて始めて起爆されることが出来る。この様に臨界爆粉量試験によつて起爆に有効な雷管作用を知ることが出来る。

Table 4 Critical weight of fulminate to initiate the explosive.

kind of explosive Shell of detonator Wt. of Fulminate	"Shinkiri dynamite" (ammonia gelatine dynamite)					"Shōan dynamite" (permitted semi-gelatine)					"Shin D shōan bakuyaku" (permitted ammonium nitrate explosive)								
	Fe	Cu	Al (thin)	Al (thick)	PVC	no-thing	Fe	Cu	Al (thick)	Al (thin)	PVC	no-thing	Fe	Cu	Al (thick)	Al (thin)	PVC	no-thing	
0.05 g		x x x																	
0.10	x x x	x x x			x x x														
0.15	x x x	x x x				x x x	x x x												
0.20	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.25	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.30							x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.35							x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.40										x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.45															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.50															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.60															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.70															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.80															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.90															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
1.00															x x x	x x x	x x x	x x x	x x x

note : The mark O means that explosive is detonated, The mark x means that explosive is not detonated.

## 4.2 試験試料

試料として使用した爆薬は新桐ダイナマイト、硝安ダイナマイト、硝安爆薬の3種類であり、雷管としては管体材質を銅、鉄、アルミ厚肉、アルミ薄肉、硬質塩化ビニール、としたもの、管体のないもの、合計6種類を使用した。管体のない雷管とは爆粉タブレットを爆薬中に挿入し、その上に点火玉付塞栓を挿入したもので、点火玉の発火によつて爆粉タブレットに着火し、爆粉タブレットの爆発によつて爆薬が起爆するかどうかを見た。

## 4.3 試験結果

試験結果は表4の如くである。この結果より次のことが云える。

- ①同じ雷管による各種爆薬の臨界爆粉量は新桐ダイナマイト、硝安ダイナマイト、新D硝安爆薬の順に大きくなる。即ち爆薬の感度はこの順に鈍感となる。
- ②同じ爆薬に対する各種雷管の臨界爆粉量は、新桐ダイナマイト及び硝安ダイナマイトに対しては管体の有無や管体の材質によつて差異は認められないが、新D硝安爆薬に対しては管体材質の影響が大きく、管体がアルミや合成樹脂の場合には鉄や銅に比べて臨界爆粉量が多くなり、管体のない場合には最も多く爆粉量1.0gでも起爆することが出来ない。

## V. 雷管による爆薬起爆作用の考察

### 5.1 爆薬の起爆感度について

臨界爆粉量試験は、爆薬が実際に炭坑鉱山等で使用される状態と全く同様に、雷管を爆薬中に挿入して爆薬を起爆させるのであるから、最も実用的な意味での爆薬の起爆感度の測定法であると思われ、Eyring氏等もこの方法による感度試験を推奨している<sup>14)</sup>。この試験法の特徴は、落穂感度試験、摩擦感度試験、殉爆試験の如く、複雑な因子に影響されることがないので、得られた結果の再現性が大きい。従つて例えば貯蔵中に爆薬の感度が鈍化したかどうかを測定したり、又硝安爆薬の日製品の感度検査に於て殉爆試験に代るべき試験法として利用出来ると思われる。

表4の結果によると、銅雷管で起爆した場合の臨界爆粉量(完爆点)は、新桐で0.20g、硝ダイで0.35g、新D硝爆で0.45gであり、又合成樹脂雷管で起爆した場合の臨界爆粉量(完爆点)は新桐で0.20g、硝ダイで0.40g、新D硝爆で1.00gである。即ち上記種類の爆薬の雷管に対する起爆感度の比率は、銅雷管の場合約1:1.8:2.3であり、合成樹脂雷管の場合約1:2:5である(数字の大きい方が鈍感であることを示す)。この数値は最も実用的な意味での爆薬感度の比較値であつて次のことを意味している。銅雷管で工業爆薬を起爆させる際には、硝爆の場合は新桐の場合よりも雷管

の装薬量を2.3倍にして始めて同じ安全率で起爆を行っていることになる。逆に考えれば新D硝爆に対して6号雷管が支障なく使用されているからには、新桐に対しては6号雷管の半分以下の装薬量即ち3号以下の雷管でも充分実用出来ることを意味している。但し爆薬は貯蔵中感度が鈍化するので充分な安全率を見込んで雷管を使用する必要があることは勿論である。現在の6号混成雷管の装薬は、實質上上記の臨界爆粉量と比べて、新桐の場合約6倍以上、新D硝爆の場合でも約3倍以上の安全率を有している。

### 5.2 各種爆薬に対する雷管の起爆作用

雷管の衝撃作用は、衝撃振子や球試験の結果、管体の有無や管体材質によつて殆んど変わらないことが判明して居るが、破片作用は第4報で述べた如く管体材質によつて著しい差異がある。

従つて表4に於て、新桐や硝ダイの場合、管体材質によつて又管体の有無によつて臨界爆粉量に差異がないということは、爆薬は雷管の衝撃作用(即ち爆薬中の気泡の断熱圧縮によるhot spotの生成)及び熱作用(即ち熱の伝達によるhot spotの生成)によつて起爆され、破片作用(即ち破片の投射によつて生ずる擦摩によるhot spotの生成)によつて起爆されていないことを示している。この場合破片作用が表われないのは、0.4g以下の爆粉雷管では破片が細かく粉碎されず破片速度も小さいので固体投射作用が有効に行われなためと思われる。

以上の如く新桐や硝ダイは雷管の衝撃作用(衝撃波による熱の生成も含めて)及び熱作用によつて起爆可能であることが判明したが、第2報に於るSPHF試験の結果、新桐は雷管の衝撃作用のみで起爆可能であり、硝ダイは衝撃作用のみでは起爆不可能であることが判明しているので、結局硝ダイは衝撃作用に熱作用が加わるることによつて初めて起爆に充分なhot spotが生成されると考えることが出来る。この理由は硝ダイの伝爆が新桐よりも悪いこと、即ち硝ダイの中のニトログリセリンは新桐より量が少いので発火のチャンス(確率)が小さいこと、又たとえ発火しても硝ダイではニトログリセリン層が連続していないためhot spotが発展せずに消滅する可能性が大きいと思われる。硝ダイのhot spotは新桐のhot spotより大きい場合に初めて爆轟へと成長すると思われる。

表4に於て、新D硝爆の場合には、管体のないときは爆粉量1.0gでも起爆出来ず、又管体材質によつて臨界爆粉量が異なるので、この場合は破片作用が加わるることによつて初めて起爆可能となり、衝撃作用や熱作用だけでは起爆不可能であることを示している。この理由は、新D硝爆の鈍感剤たるTNT、DNNの瞬間発

火点は 500~550°C であり、新桐、硝ダイの鋭感剤たるニトログリセリンの瞬間発火点 260°C よりも相当高く<sup>10)</sup>、ニトログリセリンを含んだ爆薬と含まない爆薬とでは相当大きい熱感度の差異があるため、新D硝爆では雷管の起爆作用の中では最も有効な管体破片の投射作用が加わって初めて硝爆中でも伝達可能な充分な大きさの hot spot が生成すると考えることが出来る。

Table 5 The initiation sensitivity of the industrial explosives by each effect of a detonator

explosive effect of detonator	"Shinkiri dynamite" (ammonia gelatine) dynamite	"Shōan dynamite" (permitted semi-gelatine)	"Shin D Shōan bakuyaku" (permitted ammonium) (nitrate explosive)
impact effect by shock wave	○	×	×
heat effect	○	○	×
friction effect by fragments of shell	○	○	○

な工業爆薬たる新桐ダイナマイトは雷管の衝撃作用のみで起爆可能であるが、硝ダイは衝撃作用のみでは起爆不可能であり熱作用が加わって初めて起爆する。新D硝爆は最も鈍感であるから、薬量 1.0g 以下の雷管のみの雷管では熱作用が加わっても起爆出来ず、破片作用によって初めて起爆可能となることを示している。これにより雷管による爆薬起爆の概念を明確にすることが出来、又工業爆薬の感度の実用上の意義を明らかにすることが出来たと考える。

#### 要 約

(1) 雷管の熱作用による爆薬の起爆の場合には爆薬の加熱時間が非常に短い、Evans 氏等の実験によれば短時間の加熱による爆薬の発火温度は通常の所謂発火点と比べると相当高くなり、工業爆薬特にニトログリセリンを含まない爆薬の場合には雷管の熱作用によって爆薬が起爆出来るかどうかは疑問であるので実験的に検討した。

(2) 雷管の熱作用を示す基礎的数値たる雷管の爆発熱量は未だ知られていないので、これ等を各種管体の雷管について実測した結果、6号雷管の爆発熱量は 1,000~2,500cal/本であった。又雷管の爆発温度は文献により推定すると 2,000~4,000°K であることが判明した。又管体材質による爆発熱量の差異は Al>Zn>Cu≒PVC>Fe の順序で大→小となった。

(3) 臨界爆粉量試験の結果、新桐ダイナマイト及び硝安ダイナマイトは管体材質の如何に関係なく爆粉量が夫々約 0.2g 及び約 0.4g で起爆出来たが、新D硝爆では管体の材質により臨界爆粉量が 0.4~1.0g と広い範囲に分布した。この結果はニトログリセリンを含む新桐及び硝ダイは爆粉雷管の熱作用によって起爆が

但し、このことは爆粉量 1.0g までの威力の弱い雷管雷管について一応の傾向を示したものであり、混成雷管特に 8号雷管の如く薬量が多くなると衝撃作用や熱作用も大きくなるので、新D硝爆のように鈍感な爆薬でも破片作用なくして起爆可能になるかも知れない。

結論として、各種爆薬に対する雷管の起爆作用の関係を一覧表にすれば表 5 の如き傾向を示す。即ち鋭敏

可能であり、ニトログリセリンを含まない新D硝爆は熱作用では起爆は不可能であり、破片作用によって初めて起爆可能であることを示す。このことは I 項の文献による推定結果と一致する。

(4) 臨界爆粉量試験の結果により、雷管による爆薬の起爆作用を検討し、爆薬の実用上の感度と雷管の三つの起爆作用との関係を考察した。

#### 文 献

- 1) 井田一夫：工火協，21，161 (1960).
- 2) W. E. Garner : Trans Faraday Soc., 34, 985 (1938).
- 3) H. Muraour : Trans Faraday Soc. 34, 989 (1938).
- 4) K. K. Andreev : Chem. Zbl. 1, 489 (1934).
- 5) N. Semenov : "Chemical Kinetics and Chain Reactions" (1935).
- 6) F. P. Bowden & A. D. Yoffe : "The Initiation and Growth of Explosion in Liquids and Solids" (1952) p. 8.
- 7) G. J. Bryan & E. C. Noonan : Proc. Roy. Soc. 167 (July, 1958).
- 8) H. S. Carslaw & J. C. Jaeger : "Conduction of Heat in Solid" p. 56, (1947), London, Oxford Univ. Press.
- 9) J. I. Evans & A. M. Yuill : Proc. Roy. Soc. 176 (July, 1958).
- 10) T. C. Sutton : Trans. Farad. Soc., 34, 992 (1938).
- 11) 疋田強，木原太郎：工火協 13, 106 (1952).
- 12) J. C. Fox : PB 36954 (1945).

- 13) 水島容二郎：工火協講演会 (1960 年 4 月)  
14) E. Eyring, R. E. Powell, G. E. Duffler, R.

- B. Parlin : Chem. Rev. 45, 68 (1949).  
15) 正田強：工火協, 9, 123 (1948).

## Studies on the Initiation of Explosives by the Detonator

### Part V The initiation by the heat effect of the detonator by Kazuo Ida

(1) The explosion temperature of a detonator is higher than the ignition temperature of explosives. But as the heating period of explosion gases of detonator is extremely short, it is doubtful that the industrial explosives can be initiated only by the heat effect of the detonator.

(2) It is supposed that the explosion heat is about 1,000~2,500cal/piece, and the explosion temperature is 2,000~4,000°K. The order of heat effects by the detonator shells :



(3) Industrial explosives were initiated by

the fulminate detonator inserted into explosives. The material of a detonator shell and the weight of fulminate were varied in this initiation test. The result of this experiment indicates that "Shinkiri dynamite" (Ammon-gelatine) and "Shōan-dynamite" (Permitted semi-gelatine) can be initiated by heat effect of detonator, while "Shōan-bakuyaku" (Permitted ammonium-nitrate explosive) failed to be initiated by heat effect of detonator but can be initiated by the effect of fragments from a detonator shell.

## 混合系推進薬の燃焼に関する研究

### IV. 燃速に及ぼす過安粒子並びに組成比の影響

伊 東 威\*

#### 1. 緒 言

著者は第Ⅲ報<sup>1)</sup>の実験において、燃速に対する過安粒子の粒径効果を求めるために、単に粉碎された数種の粒子群の粒径分布を測定し、その分布に基いて計算された平均粒径(平均体面積径)と、その分布の粒子群を用いた推進薬の燃速との関係を調べた。その結果同報において、平均粒径が小さくなる程燃速が増大し、ある粒径で最大となり、再び減少すること、又上記各推進薬の粒子と binder との混り方は相互間で特に異なる点を認められないことを報告した。粒子の反応面積のみを重視した燃焼機構によれば、平均粒径が小なる程反応面積は増加するから、上記の結果には更に吟味の必要が認められる。著者は、上記結果は粒径効果

か以外に何別の効果が働いていることを示すと解釈した。最も妥当と思われる効果は粒径分布に基く粒子の充填効果(以後粒径分布効果と呼ぶ)である。この考えに従えば、燃速に及ぼす粒子の影響を調べる為には、粒径効果と粒径分布効果とを分離する必要がある。すなわち粒径効果を定量化する為には、粒径分布効果を出来る限り小さく而も等しいような条件下に抑えて測定を行なうべきである。

本実験においては、充分注意して篩分された過安粒子について、その分布の均一率を算術四分偏差と Kramer の方法とによつて求め、均一率が高く且略等しい粒径分布の試料について粒径効果を求めることを行なつた。なお、この実験を粒径と同時に過安/ポリエステル<sup>2)</sup>の組成比を変化した場合について行なつた。本報文は以上の実験と結果とについて述べる。

昭和36年5月20日受理

\* 防衛大学校化学教室, 横須賀市