

雷管による爆薬起爆の研究

〔第3報：管体破片による起爆（その1）〕

井田 一夫*

I 緒 言

雷管による爆薬の起爆作用としては、①雷管爆発時の衝撃による起爆作用、②管体破片の投射による起爆作用、③爆発熱の伝達による起爆作用の三つが考えられるが、第1報第2報に於ては雷管衝撃力による起爆について検討したので、第3報第4報に於ては管体破片の投射による起爆現象について述べることにする。

1.1 破片による起爆効果

雷管破片の投射による起爆作用が非常に有効なものであることは次の報告によつても知ることが出来る。即ちMajridi氏¹⁾によれば、底方向に管体のない雷管は、1cmの距離で導爆線を起爆させることが出来ないが、管体の破片によれば200cmの距離で起爆可能である。又太原氏等²⁾も底なし管体を使用した6号雷管（底方向）で新桐ダイナマイトを起爆させると、2cmの距離で完爆率 $\frac{1}{5}$ 、3cmで $\frac{2}{5}$ 、4cmで $\frac{1}{5}$ 、5cmで $\frac{9}{10}$ であるが、底のある普通の6号雷管ならば、桜ダイナマイト、新桐ダイナマイト、硝安ダイナマイト、ヘキソゲンの何れでも、300cmの距離までは破片が命中すれば必ず起爆すると報告している。

この様に管体の破片によれば2~3mの距離でダイナマイトを完爆させることが出来るが、これは所謂固体投射による起爆である。固体投射による起爆作用が効果的であることは殉爆試験に於るパラフィン紙筒の問題³⁾第一薬包末端の金属板の効果⁴⁾等で種々論ぜられているが、固体投射による起爆が飛散する固体粒子の運動エネルギーによるのか、或は粒子による衝撃であるか摩擦であるかについては未だ明らかになつていないと思われる。

1.2 固体投射による起爆の理論

A.L. Roux氏⁵⁾は直径8mm、重量8.1gの真鍮球を250~1,100m/secの速度で銃より発射し、25m離れた爆薬に命中させて、各種爆薬に対する真鍮球の臨界起爆速度（即ち固体投射による各種爆薬の感度）を求めた。その結果によると真鍮球による臨界起爆エネルギーと落雷試験による落雷エネルギーとが相関があるの

で、Roux氏は固体投射物の運動エネルギーが起爆に関与すると考えた。

Spells氏等⁶⁾は空中殉爆試験に於る第一薬包の末端に直径5mm、高さ3mmの小さい鉄の円盤を置き、80cm離れたところに第二薬包を吊し、第一薬包の爆轟によつて投射された鉄円盤による第二薬包の起爆現象を廻転カメラで観察した結果、鉄円盤（飛行速度1,750m/sec）の命中地点より直ちに起爆し、時間の遅れは全く認められず、若しあつたとしても1 μ sec以下であつた。従つて氏は第一薬包よりの投射物の熱によつて第二薬包が起爆するという熱伝達説はあり得ず、それよりもむしろ第二薬包に鉄円盤が突入した際の局所的なエネルギー変換（energy transformation）によるのであろう、と推定している。

又Fripiat氏等⁷⁾は銅管体の破片による起爆効果が有効であることを確認した後に、固体投射による起爆機構を解明する目的で、白砲内に雷管付きの薬包を入れ、薬包の前面に鉄、鉛等の霰弾を置き白砲内の爆薬の爆轟による霰弾の発射試験を行った。受爆薬包（炭坑用SGP爆薬）は白砲から約2mの距離に置き、霰弾粒子の大きさと白砲内の爆薬量とを変えることによつて投射エネルギーを変えた。試験結果より各種霰弾について50%の起爆率を与える粒子の運動量と運動エネルギーとを計算して見ると、各々の場合に運動エネルギーの方がよりよい一致を示すので、Fripiat氏は固体投射による起爆には投射物の運動量ではなく運動エネルギーが関与すると考えた。

以上は何れも投射物の運動エネルギーが起爆に関与するとの説であるが、Roux氏が8mmの真鍮球の投射によつて測定した臨界起爆エネルギーは爆薬によつて差はあつても36~200kgmであり、Fripiat氏が霰弾の投射によつて求めた臨界起爆エネルギー1.0~1.2kgmと比較すると大きな差がある。即ち臨界起爆エネルギーは固体粒子の大きさ、形、材質等によつて変わるものと思われ、Fripiat氏等の報告で三種類の霰弾について大体一致したのは霰弾の重量の差異が著しくなかつたためと思われる。

Zippermayr氏⁸⁾は管体の底をなくした雷管の底方

昭和35年10月5日受理

* 日本化薬株式会社新尾作業所、若松市浅川

向の衝撃によつて、直径 1~4mm 程度の各種の球を液体爆薬（ジトロベンゾールと硝酸との混合物）の中に打込む試験を行った。球の速度は球と爆薬との距離を変えることによつて調節した。

その結果によればエネルギーの大きい直径 4.4mm 及び 1.0mm の鉄球の場合には起爆せず、エネルギーの小さい直径 1.0mm のアルミ球の場合に起爆している。即ち Zippermayr 氏は固体投射による起爆は投射物のエネルギーによるのではなく、起爆するためには爆薬の中に侵入後投射物の速度が或る程度減衰することが必要であるとした。同じ 1.0mm の球でも比重の大きい鉄の場合は爆薬中に侵入後の減衰が少いので起爆せず、アルミ球の場合は比重が小さく減衰が大きいので起爆する。鉄でも球でなしに雷管の破片のように形状の不規則なものは抵抗が大きく減衰が大きいので起爆する。然しガラス破片のように減衰が余りに大きいと又起爆出来なくなると述べた。そして投射物の侵入前後の速度比を示す W. Bawer 氏の式

$$\ln(v_a/v_e) = (3/4)(\rho_e/\rho_k)(c_0/d) \dots\dots(1)$$

〔 v_a : 侵入速度, v_e : 侵入後の速度, ρ_e : 爆薬比重
 ρ_k : 球の比重, d : 球の直径, c_0 : 抵抗係数〕
 を利用し、この式に実験結果をあてはめて

$$\ln(v_a/v_e) = \ln(600/200) = 1.1$$

$$= 3/4(\rho_e/\rho_k)(c_0/d)$$

即ち

$$(\rho_e/\rho_k)(c_0/d) = 1.5 \dots\dots\dots(2)$$

のときが起爆の最適条件であるとした。

以上が Zippermayr 氏の考え方であるが、これは固体投射による起爆が単なる投射物のエネルギーの問題でないことを指摘している点に興味がある。然し彼は Bowden 氏等の熱起爆説を否定しているので、Schmidt 氏も指摘しているように⁹⁾ 摩擦による局所的な温度上昇を考えていない点に疑問があると思われる。

以上種々の報告を総括すれば、雷管破片による爆薬の起爆効果は非常に大きく、雷管威力（起爆力）の中でも主効果をなすものと思われるが、破片即ち固体投射による起爆機構については未だ定説はない。

以下実験により雷管破片による起爆現象を検討する。

II 破片による起爆効果の实例

管体破片が爆薬の起爆に有効であることを確認するために次の実験を行った。

2.1 添装薬と爆粉との境界に薄板を置いた場合の最小爆粉量試験

図 1 に示すような雷管を試製し、テトリールを完

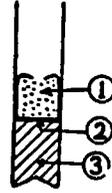


Fig 1. Structure of sample detonator.

(minimum charge test of fulminate/KClO₃ to initiate tetryl completely)

- ①: fulminate/KClO₃ (8/2),
 ②: disk, ③: tetryl.

させるための雷汞爆粉の臨界量（最小爆粉量）を求めるのであるが、雷汞爆粉とテトリールとの境界に鉄板鋼板の如き薄板を置き、鉄板試験により完爆するかどうかを見たところ表 1 の如くであつた。爆粉への点火は第二種導火線を使用した。

即ち雷汞爆粉とテトリールとの境界に置いた薄板は、一見爆轟の伝達に対して障害物となるように思われるが、表 1 の結果によれば逆に薄板のあるものはないものに比べて何れも完爆率がよくなつている。特にボール紙やビニール薄片の如き軟質なものでも起爆の促進に役立つことは注目される。

Table 1 minimum charge test of detonator which has a disk between priming charge and base charge.

Weight of priming charge	Kind of disk				
	Iron (th=0.28 mm)	Copper (th=0.13 mm)	Card board (th=0.49 mm)	Sheet of PVC (th=0.08 mm)	nothing
0.16 g	4/20	3/20	5/20	4/20	1/20
0.17	11/20	13/20	5/20	11/20	1/20
0.18	16/20	19/20	11/20	16/20	13/20
0.19	17/20	20/20	17/20	20/20	17/20

Note: Denominator means the number of test. Numerator means the number of detonation.

2.2 爆薬の中に爆粉雷管を挿入した場合と爆薬を雷管添装薬として使用した場合との最小爆粉量の比較

Fig 2 Structure of sample. (minimum charge test of fulminate/KClO₃ to initiate tetryl completely)

- ①: copper shell,
 ②: fulminate/KClO₃ (8/2),
 ③: tetryl

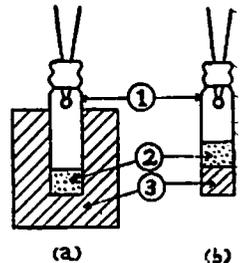


図 2 (a) のように爆粉雷管（管体は銅平底、内管なし）をテトリールの中に挿入した場合と、(b) のようにテトリールを雷管添装薬として使用した場合（この場合も内管を使用しない）とで、種々の爆粉量に於る爆薬の完爆率を比較すると表 2 の如くである。

Table 2 Initiation test of tetryl which is used as cartridge and as base charge of detonator (refer Fig 2)

Weight of priming charge [g]	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60
(a) tetryl used as cartridge	0/5	2/5	4/4	5/5			
(b) tetryl used as base charge				0/5	0.5	3/5	4/5

Note / Inner capsule of detonator is not used.

即ち同じ爆粉量ならば (a) の方が遙かに起爆効果
 が大きい。このことは (a) の場合には雷汞爆粉の周
 囲にある銅管体が雷汞爆粉の爆発によって管体周囲の
 テトリールの中に投射され、管体破片が起爆に有効に
 作用することを示している。

Ⅲ 管体破片の飛散方向と貫通能力

雷管が爆発した場合に管体の破片は周囲に一樣に飛
 散するものか、或は特定の方向にのみ飛散するの
 かを知ることは、破片による起爆作用の方向性を
 知るために重要である。又破片の貫通能力も起爆
 作用の強さを踏るための基礎的資料となる、この
 意味で以下の試験を実施した。

3.1 破片の飛散方向

底上管体と平底管体との底方向に於る破片の分布
 状況については須藤氏等の報告¹⁾があるが雷管横
 方向の分布については知られていないので、雷管
 各方向の種々の距離に於る破片の分布を視察した。

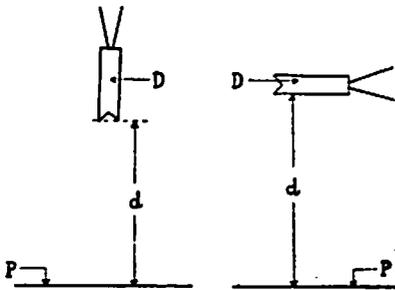


Fig 3 Measurement of scattering direction of fragments from the detonator shell.

D : detonator, *d* : distance (variable),
P : paper.

即ち図3の如く紙から一定の距離 *d* を隔てて雷管を
 爆発させ、管体破片による紙の貫通孔の分布を見る
 ことよつて破片の飛散方向及び飛散密度を知ること
 が出来る。

6号雷管 (装薬量テトリール0.45g, 雷汞爆粉0.40
 g, 管体銅) を使用して測定した結果から破片の飛
 散方向を推定すれば図4の如くであつて、これによ
 ると底方向の破片は底上管体の方が平底管体に比
 べて破片が集中する傾向が認められ、又横方向の破
 片は斜後

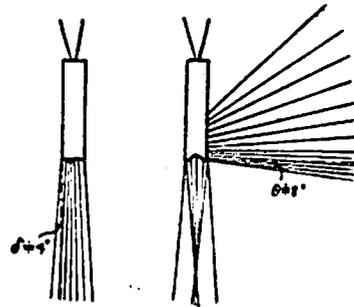


Fig 4 Scattering direction of fragments from a detonator shell.

方には飛散するが斜前方には約 8° の角度を以て飛散
 し、これより前方には飛散しないことがわかる。

S. Singh 氏の報告¹¹⁾によれば、爆薬を鉄管に入れ
 て爆発させた場合、鉄管破片の横方向への飛散角度を
 θ (図4に於る θ)、爆薬の爆速を *D*、破片速度を *V₀*
 とすれば、

$$\theta = \sin^{-1}(V_0/2D) \dots\dots\dots (3)$$

が成立し、爆薬に Composition B を用いた場合には
 計算値は $\theta = 7.2^\circ$ となり実測値は $\theta = 7.5^\circ$ であつ
 た。雷管の場合装薬の爆速 $D = 5,000\text{m/sec}$ 、横方向の
 破片速度 $V_0 = 1,590\text{m/sec}$ ¹²⁾ とすれば、式 (3) より
 $\theta = 9^\circ$ となり、これは実測値 8° に近い。

又図4に於る飛散方向の線の疎密は破片の飛散密度
 を示すが、これにより破片は底方向よりも横方向に数
 多く飛散すること、斜後方に飛散する破片の数は少
 いことがわかる。

3.2 破片による新聞紙貫通試験

破片速度の絶対値の測定については後述するが、管
 体破片の材質形状等が同じ場合には、図5の如き方法
 で破片による新聞紙の貫通枚数を測定することによつ
 て、破片速度の距離による減衰傾向を知ることが出
 来る。又管体材質の異つた雷管を使用することによつ

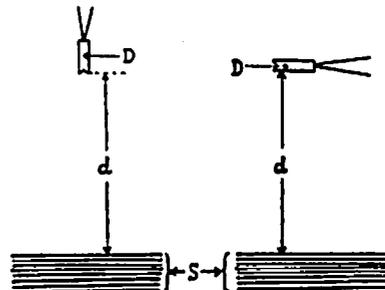


Fig 5 Measurement of the penetration ability of fragments from a detonator shell.

D : detonator, *d* : distance (variable),
S : several hundred sheets of papers.

Table 3 Structure of sample detonator

detonator shell					inner cap			priming charge	base charge	
material	thickness (mm)		length (mm)	weight (g)	reakeage pressure (kg/cm ²)	material	thick-ness (mm)	length (mm)	(fulminate)	(tetryl)
	side	bottom								
Cu	0.20	0.26	40.1	1.53	226.7	Cu	0.26	7	0.40 g	0.45 g
Al (thick)	0.37	0.87	37.5	0.88	276.7	Al	0.44	7	0.40	0.45
Al (thin)	0.17	0.49	42.6	0.81	117.5	Al	0.44	7	0.40	0.45
PVC	1.47	1.45	37.3	1.93	173.3	Cu	0.26	7	0.40	0.45

Note: Concave type and flat type were both used in Cu and Al shell, but in case of PVC shell only flat type shell was used.

管体材質による破片効果の差異を推定することが出来る。

試料として使用した雷管の諸元は表3の如くである。

(a) 銅雷管の底方向横方向の貫通能力比較

雷管の衝撃効果は第1報で述べた如く横方向が底方向より大きかったが、管体破片の貫通能力及びその減衰傾向は、横方向底方向について比較したところ図6の如くであった。

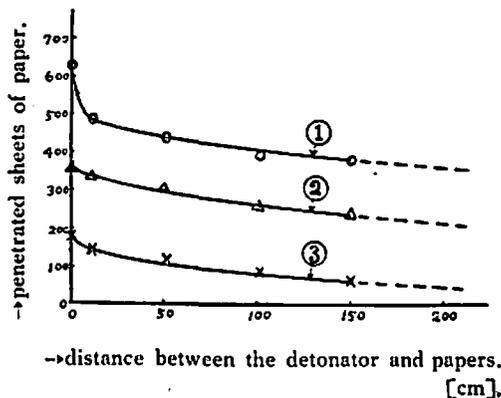


Fig 6 Penetration ability of the fragments from the bottom and the side of a copper shell.

- ①: by the fragments from the concave bottom of detonator.
- ②: by the fragments from the flat bottom of detonator
- ③: by the fragments from the side of detonator.

即ち破片の貫通能力は衝撃力とは逆に、横方向よりも底方向が遙かに強く、底上雷管では横方向の雷管近傍に於る貫通能力が新聞紙で100~200枚であるが、底方向ならば雷管近傍では500~600枚の貫通能力があり、雷管より数メートルの距離に於ても尚100~200枚の貫通能力を有している。又底上管体は平底管体よりも同じ距離に於て約150枚程度貫通能力が大きくなっている。

(b) 管体材質の異なる雷管の底方向貫通能力の比較
銅、アルミ、硬質塩ビ等の各種管体について底方向の貫通能力を比較したところ図7の如くであった。

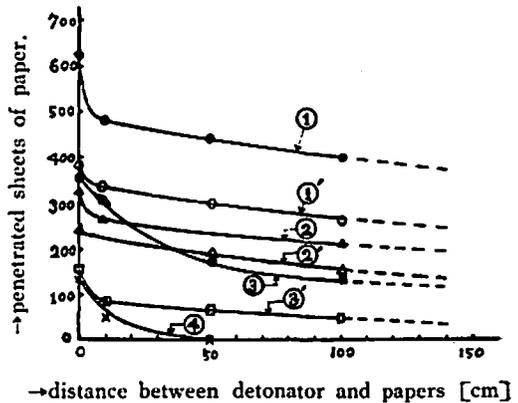


Fig 7 Penetration ability of the fragments from the bottom of several kinds of detonator shell.

- ①: copper shell of concave bottom.
- ①': copper shell of flat bottom.
- ②: aluminium shell (thick) of concave bottom.
- ②': aluminum shell (thick) of flat bottom.
- ③: aluminum shell (thin) of concave bottom.
- ③': aluminum shell (thin) of flat bottom.
- ④: PVC shell of flat bottom.

即ち破片の貫通力は Cu 管体 > Al 管体 > PVC 管体の順に小さくなり、又 Al 管体は雷管と新聞紙とが接触しているときには厚肉と薄肉とで余り差はないが、両者の距離が大きくなるに従つて厚肉の方が薄肉より貫通能力が大きくなる。即ち薄肉の方が厚肉より減衰が大きい。

雷管底方向の破片の重量は後述(第4報)するように Cu 管体 ≒ Al 厚肉管体 ≧ Al 薄肉管体であるから、管体破片の重量が同じならば比重の大きい方が貫通能力が大きく、又比重が同じならば重量が大きい程貫通能力の減衰が少ない、PVC 管体は比重も破片重量も

小さいので貫通能力が小さく又減衰もはげしい。

又同じ管体ならば底上げがあると平底の場合よりも遙かに貫通能力が大きい、この理由は破片速度や破片の形状とも関係があるので後に考察する。

IV 管体破片の速度

固体投射による起爆に於ては既述の如く投射物の速度が重要な役割を演ずるので、管体破片による起爆の場合には破片速度が重要な因子となる。然し前項の新聞紙貫通能力によつて示される如く、最も大きい飛行速度を有する破片は雷管底方向の破片である。従つて本報に於ては底方向の破片速度について検討する。

管底破片速度の測定値は種々報告されているが必ずしも一致していない。Majridi 氏¹⁾は雷管 TNT の 6 号混成雷管について管底より 1cm の距離に於る破片速度を導爆線の起爆遅れ時間によつて測定し、底上げ管体の場合に 3,000~4,000m/sec、平底管体の場合に 2,000~2,500m/sec という値を得ている。日下部氏等²⁾は 8 コマ取りのシュリーレン写真の解析によつて雷管近傍に於る管底破片の速度を測定し、3号、6号、8号、底上げ銅雷管で夫々 1,950, 2,250, 2,450m/sec を得ているし、又カウンターによる測定³⁾では 6 号テトリール雷管で雷管よりの距離が 1~10m で 2,200~6,000 m/sec の値を得ている。又 Fripiat 氏等の報告⁴⁾では 1,700m/sec となつてゐる。

4.1 衝撃振子による破片速度の計算値

本報告第 1 報⁵⁾で述べた如く雷管底方向の衝撃力は雷管よりの距離が 10cm までは減衰するが、それ以後は 20cm まで減衰していない。然し雷管のすぐ近傍では底方向の二倍以上ある横方向の衝撃力が雷管から 20cm の距離ではゼロにまで減衰しているのに、底方向の衝撃力のみが 10~20cm の間で減衰しないのは、この間では振子の振れは衝撃力によらず管底破片の衝突によつて起つてゐること及びこの間の破片速度の減衰は極めて小さいことを示していると思われる。又管底破片は振子と衝突した場合に反撥されることなく振子の中に喰込むことが実験的に判明しているので、破片の運動量は損失なしに振子の運動量となると考えてよい。

従つて雷管底より 10cm 以上離れた点に於る振子の運動量（即ち衝撃の減衰が認められなくなった後の運動量）を Mv_0 とし、管底破片の質量を m 、速度を v とすれば、

$$Mv_0 = mv \dots\dots\dots (4)$$

が成立するので、これより管底破片の速度 v を計算することが出来る。又この式が成立するためには管底破片の質量 M が全部振子に衝突し、管体横方向の破片

が振子に全然衝突しないことが必要であるが、前述の管体破片の飛散方向によつても又予備試験によつてもこの条件が満足されることが明らかであつた。

テトリール混成 6 号銅雷管の管体底上げのある場合とない場合について雷管底よりの距離が 10~20cm の範囲に於て振子の振れを実測し、それより振子の運動量を求めた結果表 4 の如くである。

Table. 4 Momentum of Pendulum according to impact of fragments of a detonator shell (base direction)

Type of shell	swing of pendulum β				corrected swing α	momentum Mv_0
	*10 cm	*15 cm	*20 cm	(mean)		
concave	11°	13°	11°	(12°)	13.5°	2.3×10^4
flat	15°	11°	14°	(13°)	14.5°	2.5×10^4

Note: Mark* indicates the distance between pendulum and detonator.

次に管底破片の全重量 m は、実測によれば約 0.1 g であるから（詳細は後述）之等の値を (4) 式に代入すれば底方向 10~20cm に於る破片速度 v は次の如くなる。

底上管体の場合：

$$v = Mv_0/m = 23,000 [g \cdot cm/sec] / 0.1 [g] = 2,300 [m/sec]$$

平底管体の場合：

$$v = Mv_0/m = 25,000 [g \cdot cm/sec] / 0.1 [g] = 2,500 [m/sec]$$

4.2 破片速度の実測値

図 8 の如く雷管より一定距離の点 d を中心として 10 cm 間隔に第 1 線第 2 線を置く、例えば管底より 50cm の点の速度を測定する場合には 45cm と 55cm の位置に線的を置く、雷管の爆発破片による二つの線的の切斷時刻を第 1 パルス第 2 パルスとしてシンクロスコープに記録し、その時間間隔より速度を算出する。

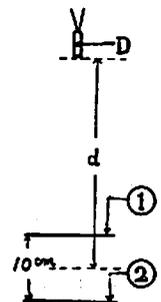


Fig. 8 Measuring method of velocity of the fragments from a shell

D : detonator,
d : distance (variable)
① : 1st mark, ② : 2nd mark.

試料雷管としては6号混成雷管(テトリール0.45g, 雷汞爆粉0.40g)を使用した。破片速度の測定結果は図9の如くである。

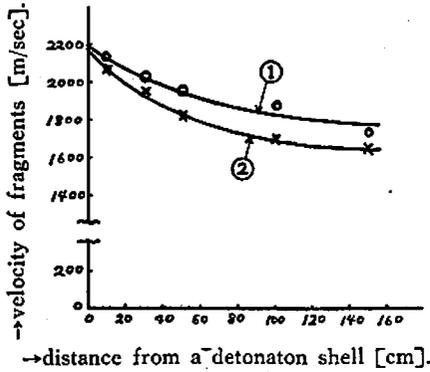


Fig. 9 Velocity of the fragments from a bottom of the detonator shell.

- ①: copper detonator of concave bottom.
- ②: copper detonator of flat bottom.

即ちこの結果によれば6号銅雷管の底方向の破片速度は雷管近傍では2,100~2,200cm/secであり、底上管体と平底管体とは殆んど差はないと思われる。又破片速度の減衰は衝撃力の減衰(第1報図7参照)に比べると遙かに小さく、衝撃力は20cmでゼロとなるが破片速度は1.5mの距離でも約20%しか減衰しない。又破片速度の減衰は平底管体の方が底上管体より若干大きい傾向が認められるが、これは平底管体の破片は底上管体の破片に比べて形状に凹凸が多く重量も小さいので(次項で詳述)破片の飛行中に受ける空気抵抗が底上管体より大きいためと思われる。

上記破片速度の測定値は日下部氏等の測定値¹³⁾とほぼ一致し、Majridi氏の測定値とは底上管体の場合には一致しない。又衝撃振子の振れによる計算値とは大体一致している。

前項で述べた管底破片の新聞紙貫通能力やMajridi氏の報告などから、底上管体が平底管体より破片速度

が速いことも予想されたが、実測の結果は雷管の近くでは両者の間に差は見出せなかつた。

V 管体破片の重量、エネルギー及び形状

破片速度と共に破片の重量や形状が雷管の起爆作用に重要な影響を与える。即ち同じ速度を有する破片でも重量が大きい程破片の運動エネルギーは大きいし、又破片の形状が丸いものより凹凸のある不規則なものの方が摩擦係数が大きいので起爆には有利な条件となる。この意味で破片の重量や形状を測定することとした。

雷管を空气中で発火させるか或は水中で発火させるかによつて、破片の大きさや形状は写真1の如く非常に異なるのであるが、雷管を爆薬の中で発火させた場合には水中よりも空气中で発火させた条件に類似していると推定される。又保安上の見地からは常に雷管の空中発火が問題となる。即ち雷管のみの水中発火が行われることは殆んどないので実用上の見地からは雷管破片の形状や重量は空中発火の場合が重要である。従つて以下の実験では空中発火について検討する。

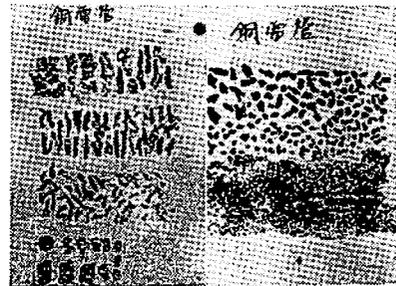


Photo 1 Fragments of copper detonator which exploded in water and in air.

5.1 破片の回収方法

固い密閉容器の中で雷管を爆発させると器壁との衝突によつて破片が変形するが、爆発時の破片の形状をそのまま回収するために、水の入った容器の上方で

Table 5 Weight of the fragments from a detonator shell (Unit: milligram)

	base direction						side direction (concave type shell)			
	from concave type shell			from flat type shell			large fragments from "A part"*	large fragments from "B part"*	total of other small fragments	total
	largest three fragments	total of other small fragments	total	largest three fragments	total of other small fragments	total				
1st test	32,16 10	37	89	14,11 11	46	82	35,27 27,15	18,11 7,7	235	338
2nd test	58,30 11	14	105	10,5 4	59	78	25,18 14,12	14,13 8	240	344
3rd test	40,14 17	21	92	7,3 3	64	77	—	—	—	—

Note: *"Apart" indicates the shell which doesn't contact with inner charge, and "B part" indicates the shell which contacts with inner charge.

雷管を爆発させると、図4の如く破片は一定の方向にのみ飛散するので、これによつて底方向横方向の破片を別々に回収することが出来る。

5.2 破片の重量

写真1に示した如く空中で発火させた場合の雷管破片の大きさは数mmのものから微粉状のものまでであるが上記の方法によつて回収した破片の重量を測定したところ表5の如くであつた。

表5より次のことがいえる。

- ①雷管底方向の破片は底上管体の場合には30~60mgの割合大きい破片を生ずるが、平底管体の場合には最大破片でも15mg以下であり、底上管体に比べて一様に小さい破片となる。
- ②雷管横方向の破片は、装薬と接触していない部分のものは割合大きく20~30mgのものがあるが、装薬部分の破片は内管破片を除くと最も大きいものでも10mg以下である。

5.3 破片の運動エネルギー

既述の如く固体投射物(破片)の運動エネルギーと起爆能力とは必ずしも一致しないが、破片の重量と運動エネルギーとの両者を併せ考えることにより起爆能力の尺度とすることが出来るので、雷管破片の中で最も起爆力の大きい雷管底方向の最大破片について運動エネルギーを計算する。

底上管体の場合：

破片速度 $v \approx 2,100$ [m/sec] (図9より)

破片重量 $m \approx 50$ [mg] (表5より)

$$\begin{aligned} \text{運動エネルギー} &= \frac{1}{2}mv^2 \approx 110.5 \text{ [kg. m}^2\text{/sec}^2\text{]} \\ &= 11.15 \text{ [kg. m]} \end{aligned}$$

平底管体の場合：

破片速度 $v \approx 2,100$ [m/sec] (図9より)

破片重量 $m \approx 14$ [mg] (表5より)

$$\begin{aligned} \text{運動エネルギー} &= \frac{1}{2}mv^2 = 31.0 \text{ [kg. m}^2\text{/sec}^2\text{]} \\ &= 3.16 \text{ [kg. m]} \end{aligned}$$

即ち破片速度は同じでも破片の重量が異なるので底上管体の方が平底管体よりエネルギーが大きい。(然し破片の形状が異なるので後述する如く両者の起爆能力は変わらない)

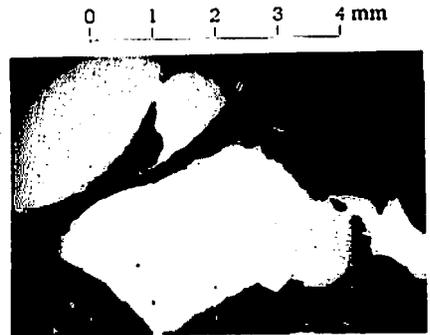
この値は Roux 氏の報告⁷⁾に示された固体投射物による臨界起爆エネルギー 30~40 [kg.m] (投射物の重量8g) より小さく、Fripiat 氏⁷⁾による臨界起爆エネルギー1.1 [kg.m] (投射物の重量0.08~0.1g) より大きい。これらは管体破片とは重量が異なるので同一に論ずることは出来ない。然し固体投射物の重量が小さい程臨界起爆エネルギーは小さくなる傾向にあるので、雷管の最大破片の重量が0.05gであることを考え

ると、破片の場合の臨界起爆エネルギーは1 [kg.m] 以下と思われ、上記管底破片の運動エネルギー 11.15 [kg.m] 及び 3.16 [kg.m] は爆薬を起爆させるのには充分余裕のある値と考え得る。

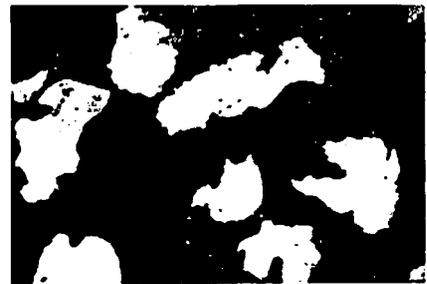
即ち雷管破片がすぐれた起爆能力を有することは、破片の重量が小さいにも拘らず運動エネルギーが大きいことによつても推定される。

5.4 破片の形状

破片の形状は既述の写真1によつても概略知ることが出来るが、雷管底方向の破片について底上管体と平底管体とを比較しつつより詳細に観察することとする。



(a) Fragments from a concave bottom



(b) Fragments from a flat bottom

Photo 2 Shape of fragments from the bottom of a detonator shell.

写真2は雷管底方向の破片(銅管体)を万能投影機によつて拡大したものである。この写真により次のことがいえる。

- ①底上雷管の破片は、大きさは約4mmであつて管体表面の凹凸が割合少ない。特に左上方に米粒のような形をした破片が見られるが、これは底上雷管の場合にのみ見られる著しい特徴である。恐らくjet先端部の高温のために一度熔融して球状となつた銅管体が飛散中に再び凝固したものと思われ、平底管体ではこの様な米粒形破片は存在しない。
- ②平底雷管の破片は、大きさも最大2mm程度で底上雷管より小さく、破片表面の凹凸が著しい。破片速度は等しいのに平底雷管が底上雷管より新聞紙に対

する破片の貫通能力が小さいのは、平底雷管の方が破片重量が小さく且つ凹凸がはげしいので、新聞紙貫通中により大きい抵抗を受け破片速度の減衰が大きいためであると思われる。

上述の如く平底雷管と底上雷管とでは破片の大きさも形状も異なるのであるが、これが爆薬の起爆作用にどの様に影響するかについては次報で述べる。

要 約

(1) 雷管体破片の投射による起爆作用は Majridi 氏、太原氏等の報告によつて非常に有効なものであることがわかるが、固体投射による起爆の問題は投射物の運動のエネルギーによるという考え方と投射物の速度の減衰が重要であるという考え方とがある。

(2) 破片による起爆が効果的であることの実例として、①添装薬と爆粉との境界に各種薄板を置いた雷管の最小爆粉量試験、②爆薬の中に爆粉雷管を挿入した場合と爆薬を雷管添装薬として使用した場合との最小爆粉量のちがいについて実験した。

(3) 管体破片の基礎的性質を知るために、次の点について実験した。

①管体破片の飛散方向と破片による新聞紙の貫通能力について試験した結果、雷管底方向の破片は底上管体の方が平底管体に比べて中央に集中する傾向があること、横方向の破片は斜後方には飛散するが斜前方には飛散しないことがわかつた。又管体破片の貫通能力は横方向よりも底方向がすぐれていること、又管体材質では銅、アルミ、PVC の順に貫通能力が小さくなることが判明した。

②管体破片の速度は雷管底方向で約 2,000m/sec であること、雷管近傍では底上管体と平底管体とで底方向の破片速度に差はないが、平底管体の方が減衰がやや大きいこと、が判明した。但し第1報で述べた雷管衝撃力の減衰に比べると管体破片速度の減衰率

は非常に小さく、雷管から 1~2m の距離で約20% である。

③管体破片の重量を測定した結果、最も大きいものでも数 10mg であり、底方向の破片は底上管体の方が平底管体より重量が大きい。又底方向破片の運動エネルギーは 3~11[kg.m] 程度であつて爆薬を起爆させるのには充分のエネルギーと思われる。雷管底方向の破片の形状は底上管体より平底管体の方が凹凸が多い。

文 献

- 1) A. Majajidi: Z. S. S. **31**, 357 (1936); 火協 **5**, 139 (1943).
- 2) 太原正, 坂本勝一: 工火協, **13**, 101 (1952).
- 3) 渡辺定五, 竹内信市郎: 工火協, **11**, 112 (1950).
須藤秀治, 福山郁生: 工火協, **12**, 172(1951).
- 4) 野原彝夫: 石灰石, 53号, 45 (1958).
M. Wippenbeck & W. Wild: DRP 904389 (1954).
- 5) A.L. Roux: Mém. Poudre, **33**, 283 (1951).
- 6) K. E. Spells & D. W. Woodhead: Nature, No. 4553, 251 (1957).
- 7) J. Fripiat & H. Callut: XXXIe Congrès International de Chim. Ind. (1958).
- 8) M. Zippermayr: Explosivstoffe, **3**, 25(1955).
Chimia, **13**, 56 (1959).
- 9) A. Schmidt: Explosivstoffe, **3**, 25 (1957).
- 10) 須藤秀治, 福山郁生: 工火協, **12**, 169 (1951).
- 11) S. Singh: Proc. Phys. Soc., Sect. B, **69**, 1089 (1959).
- 12) 日下部正夫, 井田一夫: 工火協, **19**, 353(1958).
- 13) 日下部正夫, 水島容二郎: 工火協, **21**, 113 (1960).

Studies on the Initiation of Explosives by the Detonator

Part III The effect of fragments produced from a detonator shell (1)

Kazuo Ida

In the initiation effect of a detonator, the important effects are the impulsive effect of shock wave, the friction or impact effect of the fragments from a shell and the heat effect produced by the explosion of a deto-

nator. This paper relates to the effect of fragments.

By the minimum initiation charge test of fluminate, it was found that the fragments from a detonator shell had the superior effect

to initiate a explosive.

To investigate the fundamental property of the detonator shell, the scattering direction, penetrating ability, the velocity, the weight, the kinetic energy and the shape of the fragments were measured. These properties were compared as to Cu, Al, PVC shell, and the properties of fragments from the concave bottom was compared with that from the flat bottom of a detonator.

The results obtained were as follows :

1. The fragments from a Cu shell have the strongest penetrating ability, the next is Al shell and the weakest is the PVC shell.
2. The velocity of the fragment from the

bottom of a detonator is about 2,000m/sec and the decreasing rate of the velocity is much less than that of shock produced from a detonator.

3. The weight of the largest fragment from a concave bottom is about 30~60mg, but in case of a flat bottom the weight is about 10~15mg. The shape of fragments from a concave bottom is less rugged than that from a flat bottom of a detonator. Therefore the penetrating ability of a fragments from a concave bottom is much superior to that from a flat bottom. The velocity of the both fragments is the almost same in the neighbourhood of a detonator.

メタンの可燃限界におよぼす組成、圧力、温度の影響

望 月 昌*

§ 1. 緒 言

メタンの爆発危険性の傾向を知るため、メタン-空気混合気の可燃限界におよぼす組成、圧力、温度の影響をしらべた。これらに関する実験報告の数は、非常に多いが、各人が件1件1件を別の実験として行つて来たようである。一般に、気体の可燃限界値は、実験装置によつて、大きくちがつたものが得られる。ここでは、実験装置が同一、または、ほぼ近似の装置で、可燃限界をえて、立体図にまとめた。これによつて、危険性の所在のおよその見当をつけることができる。

実験を御指導下さつた山本祐徳教授、御助力を与えられた横山信男、徳永脩両氏に、厚く御礼を申し上げる。

§ 2. 組成と圧力の影響

メタン-酸素-窒素の三成分系の可燃限界を、室温で測定する。圧力は、760mmHg~0mmHgの間。実験装置は、図1に示す。

爆発管は、内径 50mm、長さ 350mm のパイレクスガラス製。下端から 80mm のところに点火用放電

棒を位置させる。火花間隙は、4mm。電源はネオントランスで、一次側 100V、3.5A、二次側 15,000V、22mA のもの。放電時間は、内容物の発火をみるまであるいは、最大 5 秒間とする。発火すると、爆発管下端のテフロン蓋がはねる。通常のグリスは、メタンの吸収が大きいので、りん酸のグリスを用いてこの蓋をはりつけておく。低圧の場合は、発火しても、蓋がは

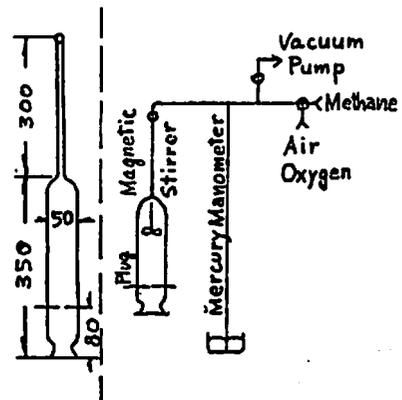


Fig. 1 Schematic diagram of apparatus for Section 2

昭和35年10月17日受理

* 航空技術研究所 東京第三支部