

殉爆に関する実験的研究

(第4報) 固体投射物の作用について

渡 辺 定 五*

1) 従来の研究

殉爆に関しては Abel¹⁾, Berthelot²⁾ 以来多くの人々によつて研究されてきたが、殉爆を誘起する因子としては衝撃波及び高温高圧の爆発生成ガスの作用について主として研究が進められており、第一薬包の爆発によつて発生する未分解粒子、即ち固体投射物の作用に関する研究は少い。

筆者は複殉爆の現象を発見し、第一報、第三報において固体投射物が殉爆の因子として重要である事を明らかにした。即ち

(1) 硝安ダイナマイトの様な粉状系の爆薬では菓包紙に塗布する防湿用パラフィンが殉爆距離に大きく影響している。

(2) 硝安ダイナマイトの様に爆薬成分中酸素供給体として硝安を使用するものは、複殉爆が現われるが硝石を使用すれば複殉爆はない。複殉爆が現われか否かは使用する塩類の融点に関係があり、その限界点は約 250°C である。

(3) 複殉爆の発生は添加塩類の粒度によつても大きく影響を受ける。微粒子のものは硝爆因子の能力を失うばかりでなく、他の硝爆因子の作用を粗害する。

第一報、第三報の研究から固体投射物が殉爆の因子として重要な作用のある事は明らかにしたが、未分解粒子が第二薬包に投射された時、第二薬包が爆発する機構については研究されていないので固体投射物の作用について更に研究を進める事にした。

2) 固体投射物の飛行速度

これ迄の研究では固体投射物として硝安、木粉、パラフィン等を考えてきたがこれらの投射物はその数も多く又その形状質量もまちまちであるから固体投射物の作用を定量的に取扱う事が困難である。従つて菓包の端末に銅球を附着させて銅球を飛ばし、これが第二薬包に投射される時の状態をしらべる事とした。

イ) 固体投射物の投射状況

G-1 の菓包端末に 0.8mm 径の銅球を添附し鉛板上に投射される銅球の状況を調べた。G-1 の菓包断

面が鉛板に投影された 30mm 径の円内に投射される銅球の数(命中数)と爆薬端末に附着された銅球との関係を求めた。爆薬と鉛板との距離 d を 30cm, 40cm, 50cm とした。

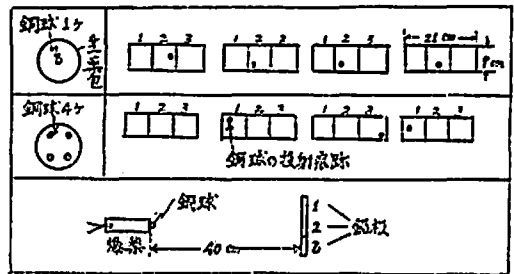


図1 銅球の投射痕跡

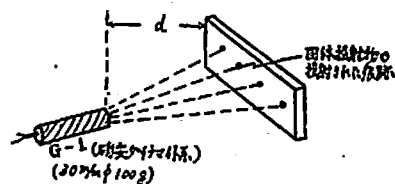
表1 銅球の命中率

附着銅球数 d	10ヶ		20ヶ		30ヶ		
	I 回目	II 回目	I 回目	II 回目	I 回目	II 回目	III 回目
30cm	ヶ 1	ヶ 0	ヶ 2	ヶ 2	ヶ 2	ヶ 1	ヶ 0
40cm	0	0	0	1	1	0	2
59cm	0	1	2	1	0	0	0

表1の結果から $d > 30\text{cm}$ では銅球の命中精度が悪い。従つて第二薬包(ヘネソーゲン)の断面径が 30mm では第一薬包から投射される固体投射物が第二薬包にうまく命中しない事になる。

又、銅球を菓包端末に附着させる時菓包断面の中心におく場合と中心をはづれた位置に銅球をおく場合について銅球の投射分布をしらべた。鉛板は縦 7cm、横 21cm の大きさのものを利用し菓包から 40cm 離れた

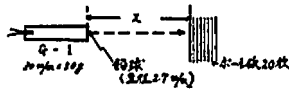
表 2



昭和35年6月11日受理

* 日本油脂株式会社民皇工場 愛知県武豊町

表2 鉛球の変形状態



鉛球飛行前後の変形

xcm	飛行前形状	飛行前の重量 (mg)	ボール紙に投射後形状	ボール紙に投射後重量 (mg)	飛行前後の鉛球の重量差 (mg)
60	球形	108	球形 ○	104	-4
58	〃	127	〃 ○	122	-5
55	〃	124	〃 ○	120	-4
53	〃	119	〃 ○	114	-5
52	〃	126	〃 ○	122	-4
50	〃	118	若干変形 ○	113	-5
43	〃	112	変形 ○	104	-8

位置において鉛板上の銅球痕跡をしらべた。

銅球は薬包断面の中心部においたものが、中央部の鉛板 No. 2 に命中している。銅球を4ヶ附着させても薬包断面の中心部をはづれて附着した場合には銅球は中央部の鉛板に当たらないで、No. 1, No. 3 の両端の鉛板に投射されている。従つて爆薬と鉛板との距離を更に大とすれば銅球は鉛板に命中しなくなる。

以上の結果から薬包端末に固体粒子1ヶを附着させて発煙に及ぼす固体投射物の作用を研究するには第二薬包の断面積を大する事。固体粒子は第一薬包端末の中央部に附着させる事が必要である。このような考慮を払わなければ固体投射物は第二薬包に命中しにくい。

ロ) 鉛球の変形

今表2に示した方法によつて爆薬端末に附着した鉛球が爆薬の爆轟によつて甚しく変形或いは破壊を受けるかどうかを調べてみた。

表2の結果から $x=50\text{cm}$ 及び $x=43\text{cm}$ の実験例を除いては鉛球は殆んど変形していない点から考えて

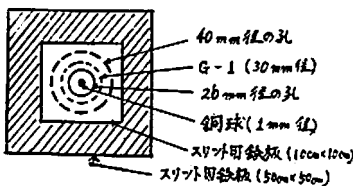
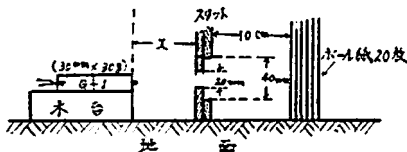


図2 固体投射物の験試

鉛球は爆薬の爆発によつては殆んど変形しないと想像される。重量変化も又わずかである。

ハ) 銅球の飛行速度

図2に示した方法に従つて x を変化させた場合の銅球のボール紙貫通枚数をしらべた。

スリットをもうけると銅球のボール紙貫通枚数が減少する。即ちスリットに

表3 銅球によるボール紙の貫通枚数

x (cm)	0.5	3	3	5	8	スリットなし
貫通枚数	2	5	7	10	15	16

よつて銅球の飛行速度は減少する事になる。爆薬とスリットの間隙 (x) が小さくなるにつれて銅球の飛行速度は益々減少する。

爆薬の爆轟波が薬包端末に達した瞬間に銅球が飛行しないから衝撃波がスリットに達するとその一部はスリットの鉄板から反射するから爆轟生成ガスは自由に膨脹が出来なくなり、銅球に与える投射力はそれだけ弱められるためにスリットをもうける事によつて銅球の速度は減少するものと考えられる。

高速度のペレット空中飛行に関する研究としては A. Allen & Rinehart⁹⁾; A. C. Charters¹⁰⁾, M. H. Resal¹¹⁾; M. E. Valkenburg¹²⁾; R. H. Kent¹³⁾ 等多くの人々の研究が発表されているがこれらの研究に使用したペレットの形状、飛行速度は本研究の値とは大部趣きを異にしているの、銅球の飛行状況について若干の実験を行つた。

銅球の飛行速度を測定するため筆者はシュリーレン写真を用い駝撮り写真のスパーク時間間隔と各フィルムに影ぜられた銅球の位置から銅球の任意地点における速度を計算した。又シュリーレン写真にあらわれる銅球の弾道波の角度から銅球の速度を別に求めて上記の値と比較した。その値は表4に示す如く両者の間には若干の差があるが大きな差異は認められない。

しかしながら弾道波の角度を測定するのは測定誤差を生じ易いのでスパークの時間間隔から銅球の速度を求める事にした。

表4 銅球の飛行速度

回数	速度					平均値 (m/s)
	1	2	3	4	5	
A) スパーク時 間隔から 求める方法	690	680	710	710	680	690
B) 弾道波の角 度から求 める方法	670	660	710	700	680	680

表4の値は G-1 の爆薬々包の端末に直径 1.1mm の銅球を附着させ薬包が爆発した時の銅球の飛行速度を薬包からの距離35~45cm の地点で測定したものである。

平均値は A) 法では 690m/s, B) 法では 680m/s となり、標準偏差 s は A) 法では 14m/s, B) 法では 19m/s となる。5 個の測定値は平均値に対するバラツキが 2s 以内であつて平均値の約 4% にあたるから、同一条件のもとでは爆薬による銅球の飛行速度の各発射時間のバラツキは少ない。

上に述べた方法に従い G-1 の爆薬を用いて銅球及び銅球を飛ばしてその速度を測定し表5にその値を示した。

表5 金属球の飛行速度

速度	薬包端末よりの距離	x (cm)					実験式 (1)より算出した初速 (m/s)	α (m^{-1})
		40	48	60	80	100		
銅球	1.1%φ	690	-	640	590	550	820	0.42
	2.0%φ	540	-	500	-	430	630	0.39
銅球	1.0%φ	-	570	-	500	470	680	0.38
	2.0%φ	-	420	400	370	-	500	0.38

今表5の実験結果から金属球の飛行速度式を次式によつて表わされるものとする。

$$v = v_0 e^{-\alpha x} \dots\dots\dots (1)$$

- v : 任意の距離 x cm における金属球の飛行速度
- v_0 : $x=0$ cm における金属球の飛行速度
- α : 速度減衰係数
- m : 金属球の質量

(1) 式から

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= -v_0 e^{-\alpha x} \cdot \alpha \left(\frac{dx}{dt} \right) \\ &= -\alpha v^2 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

今 $-m \frac{dv}{dt} = DV^2$ とすれば

$$v = \frac{v_0}{1 + \frac{D}{m} v_0 t} \dots\dots\dots (3)$$

が導かれる。即ち $\frac{dx}{dt} = \frac{v_0}{1 + \frac{D}{m} v_0 t}$ となるから

$$x = \frac{m}{D} \ln \left(1 + \frac{D}{m} v_0 t \right) \dots\dots\dots (4)$$

(3) 式から

$$x = \frac{m}{D} \ln \frac{v_0}{v} \dots\dots\dots (5)$$

表5の実験結果から

$x=40$ cm の時 $v=690$ m/s
 $x=60$ cm の時 $v=640$ m/s

この2つの値を (5) 式に代入すれば

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= 800 \text{ m/s} \\ \frac{m}{D} &= 265 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

が得られる。

(1) 式によれば $\log v \sim x$ の関係は図3に示す様に直線となるから、任意の x に対応する v の値は容易に求める事ができる。

今、銅球に加わる外力は次式であらわされるからこれからドラッグ係数を求めてみた。

$$-m \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} K_D A \rho v^2 \dots\dots\dots (7)$$

m : 銅球の質量 K_D : ドラッグ係数

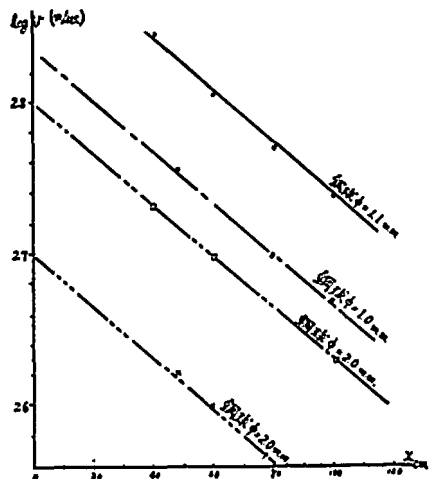


図3 $\log v \sim x$ の関係

A: 銅球の進行方向に直角な面における銅球の投影面積

ρ : 空気の密度

(6), (7) 式から $K_D=3.62$ となる。

Mayfield: Marrison⁹⁾ 等の研究によれば、飛行体の速度をマツハ数 M で表わせば

$$K_D=0.317+0.27(M-1.0) \dots\dots(8)$$

となつているから、本実験の K_D の値とは大きな差異がある。Morrison 等の実験では飛行体の質量は、0.4g~2.0g の範囲のものを使用し、本研究の銅球は

表6 銅球の通過媒体による α の値

αcm^{-1}	媒体	空気	ボール紙	水に浸した濾紙	澱粉(100Méバスの粒度)
1.1mm ϕ 銅球		0.0039 ~0.0042	0.76	0.64	-
2.0mm ϕ 銅球		0.0039	-	0.50	0.42

表7 銅球の投射によるヘキソゲンの殉爆

銅球径	距離 (cm)	第二薬包断面を 3cm ϕ としたものと			第二薬包断面を 10cm \times 10cm としたものと	
		50	40	30	50	40
附着銅球数	0.3mm 径 1ヶ				××○○○	○○×××
	0.8mm 径 10ヶ				○○×○○	○○○○○
	20	×××××	×○○○×			○○○○○
	30	○○○○○	○○○○○			
50	○○○○○		○○○○○			
1.0mm 径 1ヶ				○○○○×	○○○○○	
5					○○	
10	×××××	×××××			×○○○○	
20	○○○×○	××○○×	○			
30	×××××	×○○○○	○○○○○			

表8 硝安粒子の作用

附着物	距離 (mm)	30	49	50
1.0mm 径銅球 1ヶ		○○○○○	○○○○×	○○○○○
0.5mm 径硝安粒 1ヶ			×××○○	
1.0mm	斜	×××	○○×○○○○	○○○
			○○○×	
1.5mm	斜		×○○	
2.0mm	斜		○○×○○	
なし		×××××××	×××××○	×××××
		×○○×		

50mg であるから質量の差によつて K_D に大きな差があるのかそれとも他に理由があるのかは本研究では追究しなかつた。

銅球の飛行に際して媒体によつて α の値がどの様な変化を示すかについて実験したのが表6である。

3) 固体投射物による殉爆

イ) ヘキソゲンの殉爆

第一薬包 (G-1) の爆発によつて銅球を飛行させこれを第二薬包のヘキソゲンに衝撃を与えた場合の殉爆試験を行った。

表7に示す様に第二薬包の断面積が小さいものでは銅球数を30ヶ以上としなければ、距離 40—50cm の遠距離では銅球が第二薬包にうまく命中しない。これに對して第二薬包の断面が 10cm \times 10cm の大きなものとすれば銅球数が1ヶでも第二薬包は十分に殉爆する事がわかる。

第3報、表7、表8にすでに示した様に硝安の未分解粒子は殉爆因子の作用を阻害する事を明らかにした。

第3報に用いた塩類の粒度は24メツシュよりも細かいものを用いたが硝安の粒度を大きくした場合の実験は表8に示すように 1.0mm 径の硝安粒子を爆薬薬包端末に附着すれば殉爆距離は大幅に伸びる事が分る。即ち硝安は微粒子として投射される時はヘキソゲンの殉爆を阻害するが粒子が大きくなると硝安粒子の衝撃によつてヘキソゲンは爆発する。

尚 G-1 を用いて 1.1mm 径の銅球を飛ばしヘキソゲンに衝突した場合の殉爆の可否をしらべてこれを表9にまとめた。即ち、第二薬包のヘキソゲンの前方 10cm の位置にボール紙をおいた場合と、然らざる場合と

の殉爆距離を比較した。第二薬包の前にボール紙をおかない時の殉爆距離は50cmで、ボール紙1枚の場合40cm、2枚の場合30cmとなる。

表9 銅球の衝撃によるヘキソゲンの最大殉爆距離

条件 殉爆距離	1枚	2枚	3枚
50	○○○○○	○○○○○	×××××
40	○○○○○	○○○○○	○××○×
30			○○○○○

ロ) ニトログリセリンの殉爆

ニトログリセリンに銅球を投射した場合の殉爆性を図4のAの方法で試験した。ボール紙の上にボール紙をのせた場合の殉爆距離はヘキソゲンの場合と大差がない。

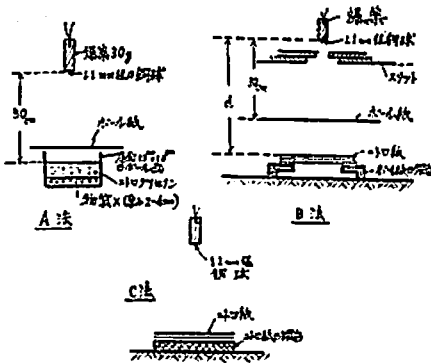


図4 ニトログリセリンの殉爆試験法

表10-1 ニトログリセリンの殉爆試験

物質 X	ボール紙のフタをした場合	ボール紙のフタをしない場合
水ガラス	×××××○× ○○×	○○○○○
C.M.S.	○○××○××	○○○○○
水ケツレ	××○	
バラケイン	○××××○× ×××	○○○○○
硬質ビニール板	×××××○ ×××	○○○○○
亜鉛引鉄板	○×○○○×× ○○○	○○○○○ (×○×××)

() 内の値は銅球を使用しない場合である。

又、濾紙を10cm×10cmの正方形に切り、これをニトログリセリン液に浸す。濾紙にニトログリセリンが約10g(12~9gの範囲)しみこむ。これを仮にニトロ紙と名づけて、このものの固体投射物に対する感度を図4のBの方法で試験した。

この場合はニトロ紙の枚数は3枚以上でなければニトロ紙の爆轟は発生しない。ニトロ紙2枚を重ねてその一端を6号雷管で起爆すれば、他の部分に爆轟は伝播するから、殉爆試験においてニトロ紙2枚の場合に爆轟が発生しないのは、固体投射物による起爆の発生に問題がある。即ち、銅球の衝撃を受けてニトログリセリンが燃焼→爆轟の過程に移行する前に銅球がニトロ紙を貫通してしまうために爆轟の生起が不可能となるためであろう。

表10-3はニトロ紙をのせる台として、鉄板、トタ

表10-2 ニトロ紙の殉爆試験

銅球径 (mm)	ニトロ紙枚数	殉爆試験距離 (cm)					
		40	50	60	80	100	120
1.1	5	○○×××○ ○○×	×××○○○	○○○		○××○×○ ○○×○	×○××○× ×○××
1.1	3	×○×××× ×	××××○× ××				
2	5	×××××○ ○○×					
2	3	××○○○× ○○○		×○×○○○ ○××○	○○○○○× ○○○	××××× ××○○	
2	2	×××××× ××					

表10-3 ニトロ紙の殉爆試験

架台	ニトロ紙枚数	鉄板		トタン板		ボール紙	
		2枚	3枚	2枚	3枚	2枚	3枚
殉爆距離 (cm)	50	○○○○×	○○○○○	×○××××	×○○○ ×○○○	××××	○○×○○ ×○○×○
	60	×○○○○	○○○○○			×××	

ン板、ボール紙を用いた場合で、図4のCの方法によつて試験したものである。この場合はニトロ紙は半密閉状態となつているからボール紙の場合を除いてはニトロ紙2枚の場合でも爆轟が発生している。

4) 固体投射物の作用について

固体の投射によつて爆薬が爆轟に導かれる時には固体の持つエネルギーがどのような形で爆薬に伝えられるものであろうか……?

機械的衝撃によつて爆薬が分解を起すのに必要な活性化エネルギーを求めるのに新美博士は落錘試験器のハンマーの運動エネルギーを利用した。

ハンマーの持つエネルギーが運動エネルギーの形式で爆薬に伝えられるという考え方は Taylor W & Weale A.⁹⁾ も同じである。即ち Taylor は落錘試験における爆薬の爆率はハンマーによつて与えられる銅柱の運動エネルギーによつて決定されると考えた。その後氏は、固体爆薬の起爆について 1) 機械的衝撃、2) 高温の作用、3) 電子、イオンの衝撃等について検討した。——3) の項については Muraour によつて起爆因子として重要な意味をもたない事が明らかであるが——

爆薬の起爆には機械的衝撃→熱エネルギー→化学反応という過程が必要であるとし、落錘試験においては爆率を支配するものはインパルスであるとした。即ちインパルスによつて粒子間にまさつを生じ、それが熱に変じて粒子間に反応が起るものと考えた。このような思想に対して Bowden は固体爆薬中に存在する気泡の断熱圧縮によつてホットスポットが発生し、これが起爆源になるものと考えた。Powell W. J. & Ulbelohde A. P.¹⁰⁾ は、落錘試験におけるハンマーの重さを変化させて起爆薬の試験を行った。

ハンマーの持つエネルギーを運動エネルギーに換算すれば、試験条件によつて爆率の傾斜を異にするがハンマーのエネルギーをモーメントに換算すれば平行線が得られるから、モーメントと爆発率の間には一定の関係式が成立する事が分る。従つて起爆エネルギーはインパルスの形として与えられるものとするのが適当である。しかしながら、Powell の実験は、インパクトを与えている持続時間を考慮していないので、Morrison は衝撃を与える作用時間を求めて実験を行った。

これらの研究から、起爆エネルギーとしては、インパルスの形として爆薬に与えられるものと考えべきである。

イ) 銅球の運動エネルギー

今表9の値を利用して銅球がヘキソゲンに衝撃を与える時のエネルギーを計算してみる。

G-1 の爆薬から投射される 1.1mm 径の銅球が空气中を飛行する時の速度は次式であらわされる。

$$v = v_0 e^{-\alpha s}$$

第二葉包の前方にボール紙等の障害物のない時の殉爆距離は 50cm であるから、銅球がヘキソゲンに衝撃をあたえる時の速度は 675m/s である。

即ち

$$v = v_0 e^{-\alpha s} = 820 e^{-0.0033 \times 50} = 675 \text{ (m/s)}$$

又、第二葉包の前方 10cm の位置にボール紙 1 枚をおいた時の殉爆距離は 40cm であるからヘキソゲンに衝撃を与える時の銅球の速度は次式であらわされる。

$$\begin{aligned} v &= [(v_0 e^{-\alpha s_1}) e^{-\alpha' s_2}] e^{-\alpha s_3} \\ &= [(v_0 e^{-0.0033 \times 50}) e^{-0.76 \times 0.05}] e^{-0.0033 \times 10} \\ &= 675 \text{ (m/s)} \end{aligned}$$

v: 第二葉包ヘキソゲンに衝撃する時の銅球の速度

v₀: 銅球が爆薬の爆発によつて投射される時の速度、即ち初速

α: 空気の減衰係数

α': ボール紙の減衰係数

s₁: 爆薬 G-1 からボール紙迄の距離

s₂: ボール紙の厚み

s₃: ボール紙から第二葉包ヘキソゲン迄の距離

同様に、ボール紙 2 枚の時の殉爆距離 30cm における銅球の速度 v=676m/s となる。

以上の計算によれば、銅球の衝撃によるヘキソゲンの殉爆において、ヘキソゲンの葉包の前にボール紙のない場合、ボール紙 1 枚おいた場合、ボール紙 2 枚おいた場合の殉爆距離を夫々 50cm; 40cm; 30cm とすれば、夫々の条件における銅球の速度 v は、それぞれ 675m/s; 675m/s; 676m/s となり同じ値を示す結果となる。

これらの 3 つの殉爆において、最大殉爆距離における銅球の運動エネルギーはいずれも

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} mv^2 &= \frac{1}{2} \times 5.8 \times 10^{-3} \\ &\times (67500)^2 = 132 \times 10^8 \text{ (エルグ)} \dots (9) \end{aligned}$$

となる。

ロ) 真実運動エネルギー

ヘキソゲンの中を銅球が貫通する時の速度減衰係数が澱粉の中を通過する時の銅球の速度減衰係数と同じ値を示すものと仮定する。ヘキソゲンは銅球の衝

撃によつて殉爆するためには、その厚みが最小 5mm を必要とするから銅球がヘキソゲンに、 v m/s の速度で投射された時、ヘキソゲンの薬包を貫通して出てくる時の速度 v' は次式であらわされる。

$$v' = 675e^{-0.42 \times 0.5} = 547 \text{ (m/s)}$$

故に

$$\begin{aligned} \text{真実運動エネルギー} &= \frac{1}{2} m v^2 \\ - \frac{1}{2} m v'^2 &= 45 \times 10^5 \text{ (エルグ)} \dots (10) \end{aligned}$$

1.1mm 径の銅球の代りに、2mm 径の銅球を用いた時はヘキソゲンの殉爆距離は 40cm であるから銅球がヘキソゲンに衝撃する時の速度は表 5 から 540 m/s であるから銅球がヘキソゲンを貫通した時の速度 v' は次式であらわされる。

$$v' = 540e^{-0.72 \times 0.5} = 438 \text{ (m/s)}$$

故に

$$\begin{aligned} \text{真実運動エネルギー} &= \frac{1}{2} m v^2 \\ - \frac{1}{2} m v'^2 &= 187 \times 10^5 \text{ (エルケ)} \end{aligned}$$

ハ) インパルス; I

銅球がヘキソゲンに衝撃する時のインパルスを計算してみる。

$$I = \int_0^t F \cdot dt = \int_0^t m \frac{dv}{dt} \cdot dt$$

となる。(3) 式から

$$\begin{aligned} I &= \int_0^t D v^2 \cdot dt = \int_0^t D \left(\frac{v^0}{1 + \frac{D}{m} v_0 t} \right)^2 dt \\ &= \left[\frac{-m v_0}{1 + \frac{D}{m} v_0 t} \right]_0^t \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

又 (4) 式から

$$x = \frac{1}{\frac{D}{m}} \ln \left(1 + \frac{D}{m} v_0 t \right)$$

$\alpha = \frac{D}{m}$ であるから

$$\begin{aligned} e^{\alpha x} &= 1 + \alpha v_0 t \\ \therefore t &= \frac{e^{\alpha x} - 1}{\alpha v_0} \dots \dots \dots (12) \end{aligned}$$

ヘキソゲンに銅球を衝撃させた場合、ヘキソゲ

ンが爆発するためには、薬包の厚みが 5mm 以上ある事が必要であつて、薬包の厚みが 5mm 以下では、銅球による十分な起爆エネルギーを与えても、爆轟したり爆轟しなかつたりで、まちまちでかかるから銅球の衝撃によつてヘキソゲンが爆轟を生起するためには銅球がヘキソゲンの中を 5mm 飛行することが必要であると考えらる。

即ち、 $x=0.5$, $\alpha=0.42$ とすれば、(12) 式から、

$$t = \frac{e^{0.52 \times 0.5} - 1}{0.42 \times 67,500} = 8.5 \times 10^{-6} \text{ (秒)}$$

故に 1mm の銅球をヘキソゲンに衝撃させた時のインパルス I_1 は、次の式で算出される。

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{-m v_0}{1 + \frac{D}{m} v_0 t} + m v_0 = \frac{D v_0^2 t}{1 + \frac{D}{m} v_0 t} \\ &= \frac{5.8 \times 10^{-3} \times 0.42 \times (67500)^2 \times 8.5 \times 10^{-6}}{1 + 0.42 \times 67500 \times 8.5 \times 10^{-6}} \\ &= 76 \text{ (ダイン・秒)} \end{aligned}$$

同様にして、2mm 径銅球がヘキソゲンを衝撃する時のインパルス I_2 は次式で求められる。

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{37 \times 10^{-3} \times 0.42 \times (54000)^2 \times 0.00001}{1 + 0.42 \times 54000 \times 0.00001} \\ &= 369 \text{ (ダイン・秒)} \end{aligned}$$

以上の結果をまとめると表 11-1 に示すように銅球の径を変化させた場合のそれぞれの最大殉爆距離において 1.1mm 径銅球と、2.0mm 径銅球とでは、運動エネルギー、真実運動エネルギー、及びインパルスの値が等しくならない。

即ち、銅球がヘキソゲンを爆発させる場合には上述の形としてエネルギーがヘキソゲンにつたおるのではなく、銅球によるヘキソゲンの爆轟は別な機構で発生するものと考えられる。

又、ニトログリセリンを濾紙にしみこませたニトロ殉爆においては、表 10-2 に示す如く最大殉爆距離が判然としないが、1.1mm 径の銅球の場合の最大殉爆距離を 100cm、2.0mm 径の銅球の場合の最大殉爆距離を 80cm とすれば、上述の計算方式に従つて表 11-2 の結果を得た。この場合もヘキソゲンの場合と同じく 1.1mm 径の銅球の値と 2.0mm 径の銅球の値の間には大きな違いがある。

ニ) 銅球による衝撃圧力

銅球の進行方向に直角な面における銅球の投影面積を A とし、この面における銅球の衝撃圧力を P とすれば

表11-1 最大殉爆距離における銅球のエネルギー (第二薬包：ヘキソゲンの場合)

銅球の大きさ	殉爆距離 (cm)	速 度 (m/s)	運動エネルギー (エルグ)	真 実 運 動 エ ネ ル ギ ー (エルグ)	イ ス パ ル ス (ダイン・秒)
1.1mm 径 ボール紙のない時	50	675	13.2×10 ⁶	4.5×10 ⁶	76
ボール紙 1 枚の時	40	675	13.2×10 ⁶	4.5×10 ⁶	76
ボール紙 2 枚の時	30	676	13.2×10 ⁶	4.5×10 ⁶	76
2.0mm 径 ボール紙のない時	40	540	54.6×10 ⁶	18.7×10 ⁶	369

表11.2 最大殉爆距離における銅球のエネルギー (第二：薬包=トロ紙の場合)

銅球の大きさ	殉爆距離 (cm)	速 度 (m/s)	運動エネルギー (エルグ)	真 実 運 動 エ ネ ル ギ ー (エルグ)	イ ン パ ル ス (ダイン・秒)
1.1mm 径	100	530	80×10 ⁶	3×10 ⁶	26
2.0mm 径	80	440	37×10 ⁶	13×10 ⁶	83

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1}{A} m \frac{dv}{dt} = \frac{m_D v^2}{A} \dots (13)$$

1.1mm 径の銅球が飛行距離 50cm において、ヘキソゲンに衝撃する時の圧力を計算する。

A を銅球の中心を通る断面積に等しいとすれば

$$P = \frac{5.8 \times 10^{-3} \times 0.42 \times (67500)^2}{3.14 \times (0.055)^2}$$

$$= 117 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$$

同様にして 2.0mm 径の銅球が、飛行距離 40cm においてヘキソゲンに衝撃する時の圧力は 144×10^7 dyne/cm² となる。

トロ紙の銅球飛行に対する速度係数が漉紙を水に浸したものと同一値を示すとすれば、上述の方法に従ってトロ紙に衝撃する時の銅球の衝撃圧力が計算される。

1.1mm 径銅球による衝撃圧力

$$P = \frac{5.8 \times 10^{-3} \times 0.64 \times (53000)^2}{3.14 \times (0.055)^2}$$

$$= 109 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$$

2.0mm 径銅球による衝撃圧力

$$P = \frac{37 \times 10^{-3} \times 0.50 \times (41000)^2}{3.14 \times (0.1)^2}$$

$$= 88 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$$

第二薬包にヘキソゲン及びトロ紙を使用した場合、その最大殉爆距離における銅球の衝撃圧力は

1.1mm 径銅球の場合と 2.0mm 径銅球の場合とで近似した値を示している。

殉爆距離の決定、銅球の投射速度のパラッキを考慮すれば、これらの値はそれぞれによく附合していると考えてよからう。従って固体投射物による第二薬包の殉爆は固体投射物によって第二薬包が部分的に且つ急激に加圧を受けて分解から爆轟に発展するものと考えられる。

固体投射物の粒子が微粒子の場合による加圧面積が小さいために固体粒子の衝撃によつて、分解が爆轟に発展する事がなく局所的分解にとどまる。固体投射物の粒度が小さくなると殉爆がおこらないのはこのためであろう。

以上の考え方から爆薬が爆発するためには、急激に作用する圧力が、トロ紙の場合には約 100×10^7 dyne/cm²、ヘキソゲンの場合は約 130×10^7 dyne/cm² の値をとる必要がある。

5) ヘキソゲンの落槌試験について

新美博士によれば、ハンマーの重量 2.178kg、銅柱の直径 10mm を使用した場合ヘキソゲンの臨界爆点 (50%爆率) は 39cm である。T. Ulbunsky¹¹⁾ は、2kg のハンマーで銅柱断面積 0.5cm² を用いて 50%爆率を示す落高を 11cm とした。又 A. Stettbacher¹²⁾ によれば、2kg のハンマーによるヘキソゲンの完爆点は 31cm となつている。今、薬温を 20~25°C に保ち、5kg のハンマーを用いて落高を種々変化させた時、ハンマーの反跳高を求めてみた。この場合銅柱及びヘキソゲン試料の断面積を 1.21cm² とする。

表12 ヘキソゲンの落錘感度及びハンマーの反撥高

試験番号	落高 (cm)	反撥高 (cm)	結果	試験番号	落高 (cm)	反撥高 (cm)	結果	試験番号	落高 (cm)	反撥高 (cm)	結果
1	40	6	○	18	20	0	○	35	18	8	×
2	40	1	○	19	20	0	⊗	36	18	8	×
3	40	2	○	20	19	1	⊗	37	18	1	⊗
4	30	1	○	21	19	0	⊗	38	18	2	⊗
5	30	2	○	22	19	8	×	39	18	6	×
6	30	1	○	23	19	1	⊗	40	10	3	×
7	30	1	○	24	19	2	⊗	41	10	2	×
8	30	1	○	25	19	7	×	42	10	1	⊗
9	30	1	○	26	19	8	×	43	10	3	×
10	20	9	×	27	19	8	×	44	10	3	×
11	20	4	⊗	28	19	1	⊗	45	10	3	×
12	20	8	×	29	19	8	×	46	10	3	×
13	20	3	⊗	30	18	0	⊗	47	10	3	×
14	20	1	⊗	31	18	8	×	48	10	3	×
15	20	8	×	32	18	7	×	49	10	3	×
16	20	9	×	33	18	8	×				
17	20	2	⊗	34	18	8	×				

○印：試料が爆発した場合 ⊗印：爆発はしないが部分分解を起している場合
 ×印：分解も爆発もしない場合

表12の成績から分るように、試験試料がハンマーの衝撃を受けて爆発する時は、反撥高は小さくなる。

今、ヘキソゲンの臨界爆点を 5kg のハンマーで 19cm とする。10cm の高さからハンマーを落下した時、銅柱につき当たる速度を v 、銅柱に当つて、はね返る時の速度を v' とする。

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad 980 \times 19 = \frac{1}{2}v^2$$

$$\therefore v = 193 \text{ cm/sec}$$

$$mgh' = \frac{1}{2}mv'^2 \quad 980 \times 8 = \frac{1}{2}v'^2$$

$$\therefore v' = 125 \text{ cm/sec}$$

$$\text{インパルス } Ft = m(v - v')$$

$$= 5000(193 - 125)$$

$$= 1590000 \text{ (cm/sec)} \dots \dots \dots (12)$$

E. K. Rideal, A. J. B. Robertson¹³⁾によると、4kg のハンマーを 59cm の高さから落した時、アンビルとハンマーの間に試料を置かない場合、ハンマーがアンビルをたたいてから、はね上る迄の時間 t は、 $460\mu\text{s}$ 。で試料 (PETN) のある場合は $730\mu\text{s}$ 。である。そして落高が 10cm となれば $460\mu\text{s}$ のものが $690\mu\text{s}$ に増加する。従つて 5kg のハンマーが 10cm の高さから落下する時の t は $730\mu\text{s}$ 。より大である。

今 t が落高の減少に伴い、比例的に増加するとすれば 19cm の落高をもつハンマーの衝撃持続時間

$$t = 730 + \frac{59 - 19}{59 - 20} \times (690 - 460)$$

$$\therefore t = 730 + 180 = 910\mu\text{s}.$$

従つて、ハンマーの衝撃によつてヘキソゲンに加えられる衝撃圧力を p とすれば、(12) 式から

$$v = \left[\frac{1590000}{910 \times 10^{-6}} \right] \sqrt{[\text{銅柱の断面積}]}$$

$$= \frac{1747 \times 10^4}{3.14 \times (0.63)^2} = 140 \times 10^7 \text{ dyne/cm}^2$$

従つて、落錘試験から求めた衝撃圧力の値は、銅球の衝撃によつて爆薬が分解或いは、爆轟する時、ハンマー或いは銅球の運動エネルギー或いは、インパルスの形で爆薬の起爆エネルギーを求める従来の研究では、試験条件によつてその値が変化し、統一されたものを得る事が出来ないが、本研究による衝撃圧力を起爆因子のパラメーターとして採用すれば、試験条件に関係なく、爆薬それぞれの固有値を求める事が出来る。従つて、固体投射物の作用を受けて爆薬が殉爆するのは、固体粒子の衝撃圧力によつて爆薬粒子間の空気が断熱圧縮を受けて爆薬が分解し爆轟に発展するも

のと考える。

6) 結 び

殉爆の一つの因子として、固体投射物があげられているがその作用について今日なお明らかにされていない。

固体投射物の中で硝安等の低触点 (250°C 以下) の塩類は殉爆の阻害作用をもつ事は筆者の殉爆に関する研究第一報及び第三報で明らかにしたが、低触点の硝安、パラフィン等の粒度が大きくなると、これらの固体投射物によって、第二薬包が殉爆する現象については、その理由が明らかでなかつた。

本研究により、固体投射物による殉爆機構の一端が明らかとなり、微粒子の固体投射物は殉爆因子としての機能を失うが、大粒子の投射物は殉爆の因子となり得る事を明らかにする事ができた。

文 献

1) Abel: Sur la force des Matieres explosives p.

123 (1883).

2) Berthelot: Sur la force des Matieres explosives p. 117 (1883).

3) A. Allen & S. Rinehart: J. Appl. Phys. 23 (1952).

4) A. C. Charters & R. N. Thomas: J. Aeronaut, Sci 12 468 (1949).

5) M. H. Resol: Compt, Rend. 120 397 (1895).

6) M. Valkenburg & W. Clay: J. Appl. Phys. 27 1123 (1956).

7) R. H. Keni: J. Appl. Pyys. 13 348 (1942).

8) Morrison: Can. J. Chem. 31 746 (1953)

9) Taylor & Weale: Proc. Roy. Soc. A 138 92 (1932).

10) Powell & Ubbelohde: Phil Trans. Roy. Soc. A 241 287 (1949).

Research on the Sympathetic Detonation (IV)

T. Watanabe

In this paper a part of the study on the mechanism of transfer of detonation across air-gap will be presented.

1) The velocity of a Spherical Cu-ball adhered to the edge of an explosive cartridge was measured.

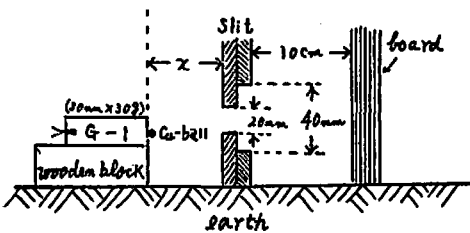


Fig. 1

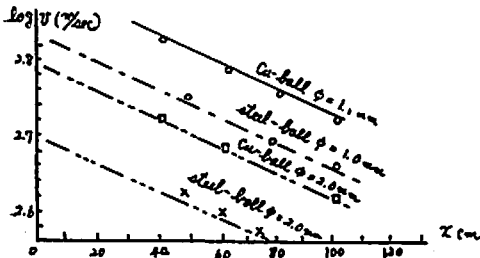


Fig. 2

Fig. 1 shows the arrangement of the measurement.

The results are shown in Fig. 2.

$$v = v_0 e^{-0.00752x}$$

v_0 : initial velocity of the projectile at $x=0$

v : velocity of the projectile at x

x : flight distance from the edge of an explosive cartridge

2) By the impact of projectiles, whose speeds are 600 m/s~800 m/s, nitroglycerine and hexogen are initiated to detonation.

The results are as follows.

Table 1

method	Explosive	Cu-ball	Steel-ball	Steel-ball
distance of air-gap (J)				
50 cm	oooooo	xxxx	oooo	oooo
40	oooooo			
30				

3) From Table 2. the mechanism of sympathetic detonation caused by the impact

Table 2

Diameter of sphere	Explosion	Velocity of projectile	Kinetic energy of projectile	Net kinetic energy of projectile	Impulse of Projectile	Impact pressure of projectile
mm 1.1	cm 50	m/s 675	erg 13.2×10^7	erg 4.5×10^6	dyne sec 76	dyne/cm ² 12×10^8
2.0	40	540	54.6×10^6	18.7×10^6	369	14×10^8

of projectiles may be as follows.

By the impact a part of an explosive is adiabatically compressed, therefore the ignition source is formed.

The impact pressure, which is needed to form the ignition source, is calculated to be 13×10^8 dyne/cm² for hexogen and 10×10^8 dyne/cm² for nitroglycerine.

"Explosion" indicates the maximum distance over which detonation is always pro-

pagated by the projectile, from one cartridge to the other.

- 4) In the case of the drop hammer test, hexogen is exploded when the impact pressure is 14×10^8 dyne/cm².

This value is in good agreement with the impact pressure of the spherical Cu-ball.

(Nippon Oils & Fats Co., Ltd., Takeiyo Plant)

延時薬に関する研究

(第5報) 延時薬の燃焼伝播速度に及ぼす圧力の影響

中原正二*

1. 緒 言

本報では燃焼伝播速度に及ぼす気体圧力の影響を見るため (1) 延時薬柱の末端から発する気体を吸引した場合の燃焼伝播速度の変化。(2) および圧力指数の測定を行った。点火玉薬量のバラツキによる秒時のバラツキ、長い薬長になると次第に燃焼伝播速度が加速される傾向等はいずれも気体圧力の影響であつて、燃焼伝播速度の圧力指数が小さければ、この傾向は小さいはずである。珪素鉄鉛丹系及びアンチモン過マンガン酸カリ系延時薬について2つの方法を用いて、測定を行なつた。又圧力指数に及ぼす還元剤の粒度の影響及び初期温度の影響についても測定した。

2. 末端から発生気体を吸引した場合の燃焼伝播速度の変化

亀石等¹⁾の研究によれば、黑色火薬の燃焼伝播速度

は先行ガス量に比例し、末端からの吸引により先行ガス量が多くなれば、燃焼伝播速度は速くなるという。延時薬の場合もかかる現象が存在するかどうかを実験した。

Fig. 1 の装置で真空中に引きながら長さ 2cm の延時薬を燃焼させ、真空中に引かない場合と燃焼秒時を比較した。真空ポンプの能力は $\frac{1}{8}$ HP, 450rpm, 排気量 20l/min で点火前の装置内の真空度は 3~6mmHg であつた。試料はアンチモン-過マンガン酸カリ系で酸

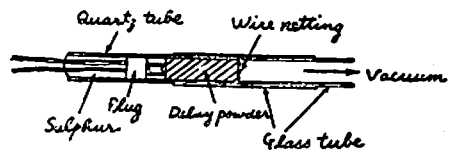


Fig. 1 The arrangements for measuring the effect of suction of the evolved gases by the vacuum pump on burning velocity of delay powders.

昭和35年6月15日受理

* 日本化薬株式会社 折尾作業所火工品研究課