

火薬実験に対する再吟味

(昭和27年4月30日受理)

太原 正・坂本 勝一

旭化成延岡工場

工業爆薬の主要原料がニトログリセリン及び硝安又は硝石である限り、それに対する種々の実験は多くの人達によつて一応は達成されて居り、筆者等の行つた実験も殆どそれを重複した様なものである。しかし発表されて居る多くの報告の中には筆者等が行つて再現性に乏しいものもあり、又実験回数が足りないために実験値内のばらつきを一つの現象として観察されて居る場合もある様に思われる。以下述べることは火薬協会誌等に発表された報告等に就き筆者等が実験を繰返して得た結果である。中には筆者等の観察が誤つて居ないとも限らない故、読者の御批判を仰ぐ次第である。

(1) 雷管の感応試験

雷管の起爆力の一試験法として感応試験⁽¹⁾があり、図1の如き感応曲線にて表わされて居る。この試験法に就いては火薬協会誌⁽²⁾にて前に一寸触れたか再検討して見る。雷管の底部が如何なる破片となつて飛散するかを見るに、之を鉛板にて受けた場合は破片の分布の状況と同時に鉛板に生じた孔の大きさと鉛の熔融状態により、破片の持つて居るエネルギーを定量的に比較することが出来る。実験して見れば容易に解る様に破片の分布は全く不規則であり、又底部は多数の様な小破片とはならず、必ず1ヶ乃至数個の大きな破片が非常な高速で飛出して居る。これ等の破片が筆者等の実験では1米の距離に於いて2mmの鉄板を打抜いて居り、6米に於いて10mmの鉛板を打抜いて居る。そしてこの試験には爆薬包は雷管の衝撃波にて起爆されるとは勿論考えられない故、破片の命中に依つて起爆される訳である。試験的に底無し6号雷管を造り、雷管軸上の新柄の殉爆の成否を試験した処、2cmでは $\frac{1}{5}$ 、3cmでは $\frac{2}{5}$ 、4cmでは $\frac{1}{2}$ 、5cmでは $\frac{3}{10}$ の成績を示した。即ち雷管の衝撃波による殉爆は数種に過ぎず、薬量から考えても当然この程度の値に過ぎない。従つて直径が僅か32mmの普通の爆薬包にて感応試験を行うことは、不規則に飛んで居る破片の命中する確率が問題であり、異なる距離に於ける殉爆度を論ずることは意味を持たな



雷 1

いものと考えられる。筆者等の実験では径15cmの薬包を作り、3米の距離に於いて低、新柄、硝マイ、予担薬、ヘキソゲン⁽³⁾を破片が命中するまで根気よく実験を繰返して絶て起爆させて居る。そして鉛板の真を見れば容易に解る様に破片は更に遠距離に於いてこれ等の爆薬を起爆するだけのエネルギーを持つて居ることが推察出来る。以上の様にこの試験はむしろ爆薬の射撃感度試験の性質を帯びて居る様であり、感応試験と云う意味に疑問を持つものである。尙管体側部の破片の持つて居るエネルギーは底部に比べ、遙かに小さいことは鉛板の真を見れば容易に解る。

(2) 雷管の低温に於ける完爆性

雷管が液体酸素の低温(-182°C)に於いて半爆すると云う現象はS. S. (1933)にL. V. Clarkの報告があるが、我国の従来の報告では完爆すると発表されて居る。この場合如何なる雷管を用いたかは不明であるが、筆者等の実験では従来の下向内管の工業雷管は殆ど半爆現象を呈する。尙雷管の構造(例えば二重内管式)によつては完爆するので、この低温実験は雷管製造に於いて構造上何等か参考になるのではないかと考えられる。

(3) 雷管起爆力が励爆能に及ぼす影響

爆薬は雷管の起爆力が不充分の場合は半爆や不爆に終ることは周知の事実である。しかし反対に起爆力が大きくなればそれに比例して第一薬包の励爆能が増大するか否かに就いては必ずしも同じ結果⁽⁴⁾報告されて居ない。かように之等の結果は異つて居るが、筆者等が硝爆及び硝マイを試料として3号及び6号の工業用雷管(二重内管)に就いて数百回の殉爆実験を行つたが、この結果を推計学的に考察すると95%以上の確率を以て3号、6号の間に励爆能に就いて有意な差は認められなかつた。次に新柄に就いては次の様な実験を行つた。即ち、(イ)6号雷管を第一薬包に普通に装填した場合と、(ロ)6号雷管を第一薬包より20cm離して雷管の底部の破片にて起爆した場合、に就いて並行して殉爆試験を行い表1の如き成績を示して居る。

表1 試料 32mm, 113g

方法	殉爆距離 25 cm	距離					計
		30	25	25	25	30	
(イ)	7/12	7/5	7/5	7/5	7/5	7/5	21/24
(ロ)	9/12	7/5	7/5	7/5	7/5	7/5	21/24

表中の数字は分母は試験回数、分子は殉爆した回数を示して居る。この場合(ロ)は第一薬包は雷管の破片のみで起爆されて居るからその起爆力は非常に小さいに係らず(イ)と同じ様な殉爆能を示して居る。次に板に就いては表2の如き成績を示して居る。

表2 試料: 32mm, 113g

雷管	殉爆距離 20 cm	距離						計
		20	25	30	30	35	35	
6号	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	14/28
3号	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	17/28

即ち普通経験される様に板の殉爆度の完爆点(32mm, 113g)は通常7~10倍程度であり、実験中には時には15~20倍の距離に殉爆することもあるが、これは煙薬の本質的性能に起因するものではなくて二次的原因によつて起つたものと考えられ、報告にある如く18倍もの完爆点(薬量は不明であるが)は筆者等の経験では出会つたことは無い。更に同報告によれば導火線の火焔長によつても雷管の起爆力が異つて来て殉爆度が差異を示す結果を得て居るが、雷管の起爆力による殉爆度の差異を見出すことさへ容易でないのに導火線の火焔長によつて雷管の起爆力に差異を生ずることは考えられない。此處で注意すべきことは工場では日常試験として製品の殉爆試験を行つて居る筆者等が常に経験することであるが、薬温、薬の比重や固さ、包装状態、地盤の硬さ等種々の原因や条件によつて同じ煙薬でありながら殉爆が常にばらついて居てその範囲が非常に広いと云うことである。従つて殉爆度を以て通常の工業用雷管の起爆力の差異を求めることは困難な問題であると考えられる。最後に6号、8号の差異に就いても各工業煙薬につき殉爆試験を行つて見たが、殉爆能に差異を示す程の成績は何等示して居ない。

(4) 殉爆試験に於ける雷管の影響

殉爆試験に於ける雷管の影響に就いての報告がある。この実験では第二薬包に煙薬その他の工業煙薬を用いて雷管による殉爆試験を行つて居るが、(1)に述べた如くこの試験は破片が命中する確率の問題であり、表中の数字は完爆距離及び不殉爆距離を表わすものではないと考える。次に普通の殉爆試験に於いて第一薬包の薬量が70g以下になると雷管の影響が現れると述べて居るが、筆者等の実験では32mm, 56gの

薬量にても雷管底部の破片の影響はない。即ちこの報告では図2にて $l=25\text{mm}$ 以下になると雷管の影響が表われるとあるが、筆者等の実験では5mm以下では管底の破片が殉爆の因子となるようであるが、10mm以上になればその影響は見られない。これは第二薬包の位置に鉛板を置いて破片の痕を見れば理解出来るし、又実際に実験して見ても知る事が出来る。又 $l=0$ の場合は雷管単体の場合より殉爆距離が小さいのは破片速度が衝撃波により阻害されると説明して居るが、筆者等の実験では $l=0$ の場合の雷管底部の破片の飛散状況は雷管単体の場合と全く同じであり、従つてこの場合の殉爆は破片の命中に支配される。即ち破片は衝撃波にて加速されても阻害されることは無いと考えられる。

(5) 複殉爆に対する考察

複殉爆の現象が一時的であるならば殉爆に對する実験はその考えを根本的に変えなければならぬことになる。しかしこの報告は第二薬包にヘキソゲンを用いた特種の実験であり、筆者等はこの実験を再現すべく種々試みたが次の諸表に示す様な結果を得て居る。尙実験は第二薬包には隠してヘキソゲンを用いて行つた。

表3 第一薬包(32mm, 56g)

第一薬包	殉爆距離	距離					
		20 cm	30	40	50	60	70
新板	例	7/8	7/8	7/10	7/10	7/8	7/8
		7/8	7/8	7/10	7/10	7/8	7/8
硝石	爆	7/8	7/8	7/10	7/10	7/8	7/8
	爆	7/8	7/8	7/8	7/8	7/8	-
硝石(NaClナシ)	イ	7/8	7/8	7/10	7/10	7/8	7/8
	イ	7/8	7/8	7/8	-	-	-
予担薬	イ	7/8	7/8	7/10	7/10	7/8	-
	イ	-	-	7/10	-	-	-
ヘキソゲン	イ	-	-	7/10	-	-	-
	イ	-	-	7/10	-	-	-

備考 第一、第二薬包の互に面して居る端面は全部露出

表4 第一薬包(32mm, 113g)

第一薬包	殉爆距離	距離		
		50cm	60	70
新板	例	7/8	7/8	7/8
		7/8	7/8	7/8
硝石	イ	7/8	7/8	7/8
	爆	7/8	7/8	7/8
予担薬	イ	7/8	7/8	7/8
	イ	7/8	7/8	7/8

備考 第一、第二薬包の互に面して居る端面は全部露出

表5 第一薬包 (32mm, 56g)

殉爆距離			5cm	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	25	備考
第一薬包																				
硝	ダ	イ	-	2/2	-	1/2	-	1/2	1/2	1/2	0/2	0/2	1/2	-	0/2	2/4	1/2	-		第二薬包端部露出
硝	ダ	イ	-	2/2	2/2	1/2	1/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	-	0/2	-	-	0/2	*	包む
硝	ダ	イ	2/2	2/2	1/2	1/2	0/2	1/2	0/2	0/2	-	-	0/2	-	0/2	-	-	0/2	*	包む

表6 第一薬包 (32mm, 113g) 吊し

殉爆距離			5cm	7	8	10	15	20	25
第一薬包									
★硝	ダ	イ	10/10	-	-	0/10	0/10	2/21	0/10
硝	ダ	イ	0/5	-	1/5	1/5	0/5	0/5	-
硝	ダ	イ	0/5	-	1/5	4/5	0/5	0/5	-
硝	ダ	イ	0/5	-	-	2/5	0/5	0/5	-
硝	ダ	イ	2/5	2/5	-	0/5	0/5	-	-

備考★第一薬包 56g

以上の成績で表3, 4, 5は、砂上に於ける試験であり、表6は吊しの成績である。又表5は第二薬包の端面は包装紙にて普通の状態にて包んだ場合である。表6の第二薬包の端面は露出の場合である。

以上の結果を見るに表3, 4にはヘキソゲンには広い範囲に亘つて不規則に殉爆して居る。これは通常の工業爆薬には見られない現象である。何故にこの様に殉爆範囲が広いかに就いてはヘキソゲンは割合に敏感な爆薬であるので、それが直接露出して居る場合は二次的に飛んで来る砂の粒子等により起爆されるのではないかと考えられる。表5にて第二薬包を包装紙にて包んだ場合は殉爆範囲がずつと狭くなり、通常見られる殉爆成績を示して居る。これは砂等の二次的因子が包装紙により、その助燃能を弱められ、衝撃波が主として助燃に与かるためと考えられる。表6の吊しの場合にも殉爆のばらつきは見られず、砂上殉爆に於いて飛散する砂が殉爆のばらつきに影響を持つのではないかと考えられる。

以上の実験結果より見て筆者等は複殉爆に疑問を持つものであり、この現象は一般的に存在しないものとする。即ち飛散砂は助燃を助勢する因子となつても助燃を阻害する因子とはならないと考える。

(6) 爆薬の完燃性と相互殉爆

爆薬が状況によつて燃焼状態を異にすることは周知の事実であり、種々の性能試験に於いて測定値のばらつくのもこれが原因であるが、これ等の実験も爆薬が一応完燃するものとして行われて居る。従つて硝煙が膠質爆薬に比べ、一般に助燃能が大きいと云う矛盾

したように見える現象も、普通の考え方では一寸説明がつきにくい。これは筆者等の実験にて解るように膠質爆薬を液酸で冷した場合は硝煙より大きい助燃能を示す事実より、空間に於いては硝煙は完燃性が大きく、膠質爆薬は完燃性が小さいために起爆して居ると考えられる。ピクリン酸の如きも完燃(発煙が黒いか黄いかにより容易に判定出来る)した場合は硝煙より遙かに大きい助燃能を示して居る。当工場に於ける過去2カ年に亘る各爆薬の殉爆試験(砂上)の結果の記録を拾つて見ても完燃点の最大値と最小値との差を見ると表に示す如く大きくばらついて居るが、それが助燃能に起因するか感燃能に起因するか、又両者の相互作用によるかは容易に判定し難い。工業爆薬が高温、膠化状態、装薬比重、地盤の砂の固さ等種々の状況により殉爆距離がばらつくのは吾々が常に経験する処である。かように同種爆薬間にも殉爆距離が大きくばらつくため、異種爆薬の相互殉爆に就いては互に関連性のない助燃能と感燃能との関係が全く複雑なものとなつて、系統立つた結果を出すことは不可能なことと考えられる。

表7

試料	差
硝	8cm
硝	10
新	25
桜	12
白	18

(7) 起爆能と助燃能

爆薬を起爆するに起爆力が不充分の場合には半燃に終る故、鈍感な爆薬には大きな起爆力を必要とする。この大きな起爆力は何を意味するかに就いて次の様な実験を行つた。即ち図3に示す如く鋳造した方形ピクリン酸(陸軍97式)を(1)の場合の如く起爆薬包(33mm, 113g)に並行して抱合せた場合と、(2)の如く底部に置いた場合の起爆の成否を試験した。判定は完燃した場合は黒い煙を生じ、不完燃の場合は黄い煙を



図3

生ずるので容易に判定出来る。

表8 (1)の場合

起爆薬	ピクリン酸の試験回数	完爆回数	備考
新 柄	1/5 2/5 3/5	-	
桜	1/5 2/5 3/5	-	
硝 爆	1/5 2/5 3/5	2/5	
3号雷管のみ	1/5 2/5	-	二重内管
6号雷管のみ	1/5 2/5 3/5	2/5	二重内管

表9 (2)の場合

爆 薬	ピクリン酸の試験回数	完爆回数	備考
新 柄	1/5	1/5	2/5
桜	2/5	0/5	2/5
硝 爆	1/5	2/5	-
硝 爆 イ	0/5	-	-

実験結果を見ると新柄、桜の如き膠質爆薬はピクリン酸を薬包に並行して附けて起爆した場合には容易に起爆出来ないが、硝爆は可成りよくピクリン酸を起爆して居る。これは膠質爆薬が空間にて完爆しないために起因して居るものと思う。硝爆が硝爆試験にて一般に大きい起爆能を示すことと関連して面白い現象である。尙鈍化したピクリン酸が工業用6号雷管にて殆んど確実に起爆され、3号雷管にても可成り起爆されることは猛度が起爆力の大きな要素であることを示して居る。一面から見れば落離感度のみで感爆能を論ずることは不充分の場合もあることを示すものである。

(8) ドートリッシュ爆速測定法に対する考察

ドートリッシュ爆速測定法では一般に測定管に挿入する導爆線の先端に雷管を取付けて行つて居る様である。(JISにはこの規定は無いが)火薬実験法⁽¹⁾には爆薬は8号にて起爆し、導爆線の先端には7号を附けると記載されて居る。しかるに(3)(7)の実験にて解る様に最も大きい起爆力を持つて居るのは雷管であり、又我々の場合では工業爆薬を起爆するには3号、6号、8号、何れも起爆力には殆ど差異を示さない。従つて普通に爆速を測定する場合はこの方法にて何等差支えないが、爆速測定管を長くして爆速の加速性を測定する場合には不合理な場合を生ずることが考えられる。即ち爆速に加速性があると仮定して測定する場合、爆速が定常か、増加する場合は問題とならないが、低下する場合には次の様な不合理な結果を生ずることとなる。即ち図(4)に於いて(1)の測定点にて測定された爆速が次第に低下して(2)に達しても(2)の測定点に於いて導爆線の先端に附してある雷管により再び起爆されて(1)の測定

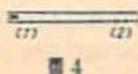


図4

点に於ける値と同じ爆速値を示す筈である。従つてこの方法にては爆速の加速性を示す眞の値は示してくれないことになる。

(9) 爆速の加速性

爆速の加速性については爆速が定常のもの、長の様には漸次加速するものと硝爆の様には漸次低下するものとがあると考えられて居る。この現象に就いて実験を行い表10表11の如き成績を示して居る。尙この測定には導爆線の先端には雷管を附けないでそのまま挿入した。次に長い鉄管中に薬を充填する場合、桜は膠質であるため比重を均一に充填することは容易であるが、硝爆は粉状であるため比重を均一に充填することは中々困難であり、この比重の不均一による爆速のばらつきも考慮に入れなければならないが実験に際しては出来るだけ比重の均一化につとめた。

表10 試料：硝爆

距離 回数	← 1 m → ← 1 m → ← 1 m →		
	(1)	(2)	(3)
1	4,400m/s	4,400m/s	-
2	4,500	4,600	-
3	4,400	4,400	-
4	3,900	4,600	-
5	4,200	4,200	-
6	4,200	4,300	-
7	4,100	3,700	-
8	-	3,500	3,500m/s
9	-	4,100	3,500
10	4,600	4,800	4,100
11	4,500	3,700	-
12	4,200	-	4,300

表11 試料：桜

距離 回数	(1) (2) (3)		
	1	5,600m/s	-
2	5,600	-	5,600
3	5,700	-	5,800
4	5,700	-	5,700
5	4,800	-	6,800
6	2,400	2,100	2,400
7	不明	導爆線 起爆せず	不明
8	2,600	導爆線 起爆せず	2,700
9	6,200	4,200	6,200
10	3,900	5,000	8,600
11	2,800	3,900	6,300

12 2,900 3,400 2,900

以上の結果より見れば硝薬に就いては爆速の低下は見られない様である。即ち起爆点及び1米、及び2米の距離に於ける爆速値を見るに総て爆速のばらつきの範囲内にある。桜に就いては定常の爆速を示す場合が多く、時には爆速の加速性を示す場合もある。実際の発破孔内には深部に行く程抵抗は大となり、従つて条件も異つて来て爆速の変化も考えられるが、通常のドートリッシュ法には各測定点に於ける外部抵抗は一様であるから、爆速の加速性は常に存在するものではないと考えられる。我々が常に経験する処であるが、通常の性能試験に於いて桜の測定値が広くばらつくのはN/Gの含有量が多いため、膠化状態により爆轟状態を異にしたり、又老化の現象等に起因するためと考えられる。参考までに昭和26年度に於ける当工場の硝薬に就いて定例試験の爆速は表12の通りである。

表 12

測定年月日	爆速	測定年月日	爆速
26. 1. 18	4,200m/s	26. 7. 16	3,900m/s
2. 9	4,400	8. 15	4,000
3. 13	4,600	9. 14	4,100
4. 12	4,500	11. 7	4,000
5. 14	3,700	12. 16	4,600
6. 12	4,100		

(10) メタン着火に対する NaN_3 及び C_2Cl_6 の効果

炭坑爆薬にはメタン着火防止剤として NaCl が広く用いられて居るが、これは従来減熱消焰剤と云う名称で呼ばれてその熔融蒸発潜熱を利用して爆力を低下さ

せ着火を防ぐと云う考え方であつた。しかるに近年はアルカリ及びハロゲンがメタン着火防止に触媒的作用を持つと云う考え方が取入れられて来た。当延岡工場に昨年秋メタン坑道が完成したので、これ等の考えに基づき実験を行つて居る。先づアルカリ金属は直接酸素に結合して居る場合はその触媒的消焰効果が小さいと云う説に従い、酸素結合を持たない NaN_3 (固体) を食塩の代りに硝薬に40%まで加へて見たが完全に引火して居る。又一分子中にハロゲンを多量に含む C_2Cl_6 (固体) を食塩の代りに白梅に30%加えて見たが完全に引火して居る。引続きその他の有効と思われる物質につき実験して居るが、減熱消焰効果と云う考え方は必ずしも大巾に否定すべきものでは無い様に思われる。

文 献

- (1) (イ) 火兵学会誌 (昭10.9) 157頁
(ロ) 工業爆薬 (山本祐徳) 77頁
- (2) 火薬協会誌 (26年9月) 28頁
- (3) (イ) 液体空気爆薬 (国米輝夫) 139頁
(ロ) 探鉱火薬学 (南坊平造) 17頁
- (4) 火協誌 (11巻・1号) 41頁
- (5) (イ) 火協誌 (2巻・3号) 230頁
(ロ) * (創刊号) 63頁
- (6) 火協誌 (2巻・3号) 230頁
- (7) * (26年12月) 37頁
- (8) * (25年9月) 111頁
- (9) * (11巻, 1号) 41頁
- (10) 火薬実験法 (山本祐徳) 57頁

Remarks on Some Experiments of Commercial Explosives

by T. Ohara and K. Sakamoto.

Experimental results on commercial explosives hitherto published were reexamined and we got the following results.

1. The initiating power of the detonator has little effect on the detonating power of the cartridge. 2. Ordinary detonators do not detonate completely at -182°C , but detonators with 2 inner caps do completely. 3. Gelatine dynamites do not detonate completely in the open. 4. To find the relation on the sympathetic detonation between different commercial explosives is a very difficult problem. 5. It is rather difficult to detonate picric acid with commercial explosives. 6. We were not able to detect the 2 zones of detonation in sympathetic detonation. 7. The transition of the detonation velocity in commercial explosives were not so clear as expected. (Asahi Kasei KK)