

文 献

1) 米田, 疋田: 工業火薬協会誌 48, (1955) p. 19

2) J. W. Mellor: Comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry vol. VI p. 885

Study on the combustion mechanism of the delay element

Masayuki Yamada, Junji Yonezawa

To study the combustion mechanism of the delay element, the ignition temperatures were measured on the mixture of oxidizing and reducing agents.

The six oxides, PbO_2 , Pb_2O_3 , PbO , BaO_2 , $PbCrO_4$, and CuO were chosen as the oxidizing agents and Fe-Si and Si as the reducing agents.

The main results obtained are the followings,

1) The ignition temperature is related with the thermal dissociation temperature of the oxide chosen. The ignition occurred at a low temperature for the

oxide with low dissociation temperature.

2) The heating rate has also an effect on the ignition. The mixtures containing such oxides with high dissociation temperatures, as BaO_2 , $PbCrO_4$ and CuO , do not ignite by slow heating, but do by rapid heating.

3) Fe-Si and Si are hardly oxidized at about $500^\circ C$ but easily ignite when PbO is mixed.

$PbO \cdot xSiO_2$ is formed on the surface of Si when Pb_2O_3 is mixed. These results are discussed in this paper.

炭礮爆薬の孔内殉爆について

福田 寛雄・宮崎 茂

(日本カーリット株式会社ケ谷工場)

1. 緒 言

多数の薬包を孔に装填し装薬長を長くして発破した場合、時として残留薬包を発生し、使用爆薬の殉爆不良とされることがある。この不発残留薬包の発生原因については、古くから研究されているが、その発生機構に関しては尚詳かでないので、孔内における複雑な伝爆現象解明の一助とすべく、鉄管内における連続した多数薬包の殉爆及び伝爆試験を試みた。

この実験によつて炭礮用カーリットや硝爆のような低爆速の爆薬の場合は、鉄管内では連続接触した薬包

列は無制限に殉爆伝爆するものでなく、条件によつてはほぼ一定の長さだけ伝爆し、ここで爆轟の中断が起るといふ興味ある事実が見出された。但し鉱工業用のカーリットやダイナマイトではこの現象が起り難いので、この中断現象を容易に発生させる為、実用面とはややかけ離れるが、殊更に薬径の細い炭礮爆薬を使用して実験した。

2. 砂上殉爆と孔内殉爆との差

鉄管内で普通の意味の殉爆試験を行えば、殉爆距離は砂上で行う時よりも数倍大きくなる事が知られてい

るが⁽¹⁾ 一度に多数の薬包を用い各薬包端面を接触させて試験すると雷管より速く離れた所で薬包の爆轟が中断し、残りの薬包が不発残留することがある。

例えば径 30mm 薬量 100g の 2号緑カーリットの薬包12本を、砂上で、端面を接触させて一直線上に並べ(全長 1.62m)、一端から起爆すれば全薬包が完爆するが、この薬包を内径 35mm の鉄管中に薬包端を接触させて装薬する場合は、4~5 本迄は完爆するが 6 本以上になると残留薬包を発生する。然るに、薬包間の距離を薬径の 3 倍~5 倍離して実験すると、8 本の薬包でも完爆する。

一方、砂上で 5 本の薬包をそれぞれ薬径の 3 倍離して並べ、端末の薬包に雷管をつけて爆発させると、始めの 2 つの薬包は爆発するが、残りの 3 薬包は残留し、薬包間の距離が増大するにつれて殉爆し難くなるのが普通である。

即ち砂上で行う殉爆と鉄管内の殉爆、2 つの薬包の場合の殉爆と多数薬包の殉爆とはそれぞれ区別して考える必要がある。

3. 残留薬包発生の状況

如何なる場合に残留薬包を生ずるかについて、種々実験を試みたが、前述の如く普通の鉱工業用爆薬では実験室的にはこの現象は見られないので、硝安を主とする炭酸爆薬に関して実験し、薬径と孔径が甚しく異なり、そこに間隙があるとこれが中断現象の大きな因子となることを確めた。

(1) 薬種および爆速と爆轟長

内径 35mm 肉厚 3.5mm、底部を溶接した 1m の鉄管内に、薬径 25mm 薬長 200mm の薬包 5 本を、薬包端末はそのままとし、つなぎ目に粘着テープを巻いて、全体を 1 本の棒状としたものを装薬して試験した。鉄管は深さ約 30cm の砂中に埋め、6号電気雷管で起爆し、鉄管の破壊状況、残留薬包等から見て起爆点より何 cm 爆発したか、その長さ(以下爆轟長という)を求め、表 1 の成績を得た。

表 1 によれば試験回数の少ない憾みがあるが、硝安を主とする炭酸爆薬は、このような条件では、何れも起爆端より 400~600mm 内外の処で爆轟中断の現象を起すが、爆轟長と爆速とは必ずしも比例していない。試みに粉状 TNT を各種の比重につめ、爆速の低いもので試験したが、TNT では中断現象は認められず、薬種によつて中断の難易が存在する事が予想される。然し今回の実験は硝安を主とするものに限つた。

(2) 装薬長、孔径の影響

表 1

薬種	仮比重	紙筒爆速 (25mm) (m/sec)	鉄管内の 爆轟長 (mm)
2号緑カーリット	1.00	2,880 2,840	410 370
3号緑カーリット	1.05	3,160 3,140	520 560
3号新緑カーリット	1.05	3,100 3,140	490 570
A 社 硝 爆	1.00	2,920 2,930	350 360
B 社 硝 爆	1.00	3,070 3,130	460 480
C 社 硝 爆	1.00	2,210 2,210	390 430
A 社 硝 ダイ	0.92	2,090 2,300	520 520
C 社 硝 ダイ	1.00	1,850 1,880	570 510
TNT	0.80		3,450 970(完爆)
	0.90	3,770 3,840	3,810 970(完爆)
	1.10	4,420 4,520	4,520 970(完爆)

内径 35mm の鉄管に薬径 30mm 薬量 100g の 3号新緑カーリット薬包(以下特に断らない限り 3号新緑カーリットで実験した) 7本~10本を装薬した場合 7本までは完爆するが、8本以上になると残留薬を発生する。この場合 7本分の長さ迄爆発しようとするものであるが、表 2 に示す如く実際の爆轟長は約 5 本分である。そこで、衝撃波の鉄管の孔底からの反射が妨害作用を及ぼすのではないかと考え、底のない鉄管を用いたり、底部に木粉を入れて衝撃のクッションとしてみたが、中断を防ぐ事は出来ず、一応底部の有無には無関係と考えられた。

表 2

鉄管径 (mm)	薬径 (mm)	薬包数 (本)	装薬長 (mm)	鉄管底部 の状況	爆轟長 (mm)	残薬長 (mm)	爆発率 爆発本数 使用本数
35	30	7	945	鉄板を 溶接	945	0	7/7
35	30	7	945	△	945	0	7/7
35	30	10	1,350	△	680	670	5/10
35	30	10	1,350	△	680	670	5/10
35	30	10	1,350	底なし	540	810	4/10
35	30	8	1,080	底に木粉 100g を 入れる	800	280	6/8
35	30	7	1,005	底に粉薬 60g を入 れる	1,005	0	7/7

(3) 薬包端末の薬包紙の影響

薬包端末では多数の薬包紙が重なっているために爆力が弱められ、遂には爆轟中断に至るのではないかと考え、1本の薬包の長さを2倍にした場合や、端末を除き裸薬面を接触させて全体を1本の薬包とした場合につき試験した。その結果を表3に示すが、端末薬包紙の影響は明確でなく、中断の主原因は他にあるものと思われる。尚使用した鉄管は内径35mm、肉厚3.5mmのものである。

表 3

薬包寸度	薬包数 (本)	装薬長 (mm)	爆轟長 (mm)	残薬長 (mm)	爆発率
30mm/100g (1本の薬長 135mm)	7	945	945	0	7/7
	7	945	945	0	7/7
	10	1,350	680	670	5/10
	10	1,350	680	670	5/10
30mm/200g (1本の薬長 270mm)	2 (100g 4本分)	540	540	0	4/4
	4 (100g 8本分)	1,080	660	420	5/8
	5 (100g 10本分)	1,350	890	460	6.5/10
30mm/100g の薬包端末を 除き粘着テ ープでつなぎ 本とする	1 (100g 7本分)	945	945	0	7/7
	1 (100g 10本分)	1,350	690	660	5/10
	1 (100g 10本分)	1,350	810	540	6/10

(4) 雷管の位置および起爆力による影響

薬包列の一端に雷管を置かず、中央部附近に雷管を置き所謂“中管”の状態にすると、100g薬包10本中雷管を中心として8本位は爆発し、全爆轟長はやや長くなる。この場合雷管底部の向いている方向の爆轟長の方がやや長い。又“尻管”の状態では10本中5.5本爆発し普通の正起爆の場合と異なる。又第1薬包に強力な黒カーリットを用いた場合も差異を認めず、雷管の強弱も中断の主原因とは考えられない。

(5) 鉄管径と薬径との隙間の関係

この場合、管壁と薬包間との空隙の大きさが爆轟中断に大きな影響をもつことは当然予想されるので、全薬長を約1mとし3号新緑カーリットを用いて空隙と爆轟長の関係を試験し、表4の成績を得た。

表4によれば、同一鉄管径に対しては、薬径の大なるもの程即ち隙間の少ないもの程爆轟長は長くなり、又同じ隙間の隙間の場合には、薬径の大なるもの程爆轟長が長い。

表 4

薬径 (mm)	爆轟長 (mm)	
	鉄管径 35mm	鉄管径 27mm
15	平均 280 } 285	平均 230 } 230
	290 } 285	230 } 230
20	400 } 395	310 } 310
	390 } 395	310 } 310
25	490 } 530	1,000 } 1,000 (完爆)
	570 } 530	1,000 } 1,000 (完爆)
28	700 } 630	
	600 } 630	
30	945 } 945 (完爆)	
	945 } 945 (完爆)	

尚本実験に於ては薬径の極めて細いものを使用しては、3号新緑カーリットに就ては、薬径15mm、薬長2mの長い薬包(1本の長さ20cmの薬包10本を粘着テープで結合したもの)を砂上に置いた場合、空中に水平に吊した場合を試験し、何れも完爆する事を確めている(表5)。その場合、最後迄完爆したか否かは、薬包端に導爆線を結びつけ、導爆線を鉛板上に置きその条頭により確認した。

4. 管径と薬径に差のある場合で爆轟中断を起さぬ実験例

炭酸爆薬に於ては1孔中の装薬本数は比較的少なく又孔径と薬径との間の隙間も極端に大きい事はないと思われる。従つて隙間に起因する残留薬包は実験問題としては余り起らないであろうが、中断現象解明の意味で、どうすれば中断を防げるかについて二、三の実験を試みた。

(1) 管壁と薬包間の空隙を少なくする方法

隙間の大きさを少なくすれば爆轟長が長くなる事は、前述表4の通りであるが、隙間を防ぐ意味で、直接鉄管内に装薬すれば勿論完爆する。一例として、内径21mm、長さ2mの鉄管内に、新緑カーリットを裸薬のまま直接装薬して試験したが、2m全部完爆した。又内径35mmの鉄管内に、薬径25mmの3号新緑カーリットを装薬する場合、薬包の側面をナイフで切り裂き、薬包を押しつぶして出来るだけ管いっぱい装薬した場合、又装薬後隙間に水を入れた場合、砂で充填した場合等何れも装薬長1m以上でも完爆した。

但し隙間が極端に大きくなった場合(開放された砂上で爆発させる場合は隙間が無限大となった場合と考え得る)は、中断現象が起らないから、爆轟長が極小となる如き隙間の大きさがあると思われるが、現在まだその関係を求めるに到っていない。

(2) 薬包の装填状況を工夫する方法

表4に示すように、内径35mmの鉄管内に薬径20mmの薬包(薬量27.5g 薬長108mm)を連続して装填すれば、約400mmの所で中断現象が見られるが、この際4本目毎に薬径28mmの薬包を挿入すると中断が起らない。薬径28mmでもこれを連続して装填すれば600~700mmで中断現象が起るのに、大小二種の薬径のものを混合すれば中断を防止出来るという事は、興味のある現象である。又装薬全体を1本の棒のようにせず、各薬包が互いに喰い違う様に、即ち隙間が鉄管の中心軸に対しアトランダムにある様に装薬すれば、薬径20mmの薬包のみを用いても、長さ1mに亘つて完爆する。つまり爆発方向に対し直角な薬面が所々にあれば中断を起さないようである。但しこの際、各薬包が管側から順次に爆発しているか、それとも途中の薬包が時間的に早く爆発しているかどうかについては疑問もあるが、未測定である。

(3) 導爆線を併用する方法

全装薬長に沿つて導爆線を併用した場合は勿論完爆するが、導爆線を沿わせた薬包を数本目毎に置いたのでは中断が起る。小径管(外径3mmの紙管)にPETNを入れたものを各薬包内に長軸方向に入れておけば、これらの薬包を連続装填した場合、このPETNの小

径管が端面で接続してなくとも、即ち偏心的に挿入されていても全薬包は完爆する。

(4) 薬包被覆を工夫する方法

紙筒薬包の代りにブリキ管入薬包を鉄管内に入れた場合は、鉄管とブリキ管との間に隙間があつても完爆し、又錫箔薬包を使用すれば、爆轟長を若干長くする事が出来る。

(5) 薬包間隔をあける方法

同一本数の薬包を爆発させる場合、各薬包を連続接触させて装薬するより、寧ろ薬包間の距離を離して空間をあけた場合の方が爆発本数が多くなる。例えば35mm鉄管内で薬径20mm 薬量37.5gの3号新緑カーリットを互に接触させて装薬した場合は4本程度しか爆発しないが、薬包間の距離を80~100mm即ち4~5薬径倍離すと5~6本でも完爆する。これはクッションプラスチングに対しての良い参考資料を与えるものと思われる。

(6) 管壁の反射を防ぐ方法

爆轟中断の機構に就ては尚不明であるが、前記の諸実験の結果から見て、管壁からの衝撃波その他の反射が問題となると思われるので、管壁面に綿、濾紙等の緩衝物を置いて試験した処、爆轟長を伸ばす事が出来たが、これを表5に示す。

表 5

鉄管径 (mm)	薬 径 (mm)	装薬長 (mm)	試 験 状 況	爆 轟 長 (mm)	残 薬 長 (mm)
なし	15	2,000	伝爆の確認試験(砂上)	2,000	0
			伝爆の確認試験(空中)	2,000	0
			伝爆の確認試験(砂上1mに水平に懸吊)	2,000	0
35	15	600	爆轟中断の確認(砂上)	300	300
				320	280
				310	290
				300	300
35	15	600	管内に脱脂綿(厚さ約4mm)の内張り	600	0
				600	0
40	20	600	"	600	0
50	20	600		600	0
35	15	600	管内にフェルト濾紙(厚さ0.9mm)の内張り	600	0
				600	0
		1,200	"	1,200	0
				420	180
		600	管内に厚さ0.17mmクラフト紙 1.2巻	545	55
				505	95
440	160				
		5巻(厚0.9mm)	510	90	

5. 爆轟中断の流し写真

Shepherd, Grimshaw 氏³⁾が行った様に、側面に
一列の孔をあけた内径 35mm 長さ 600mm の鉄管
内で、薬径 15mm および 20mm の 3 号新緑カーリ
ットを爆発させ、その中断状況を流し写真で撮影した。
(図 1)

その一例 (薬径 15mm の場合) を写真 1 に示す。

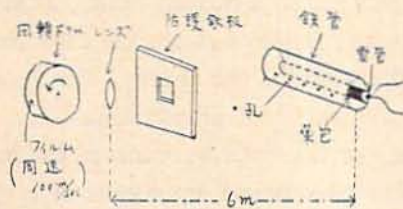


図 1

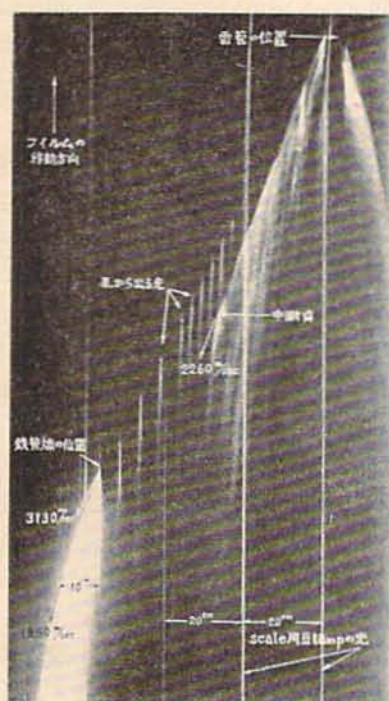


写真 1

写真から次の様な結果が得られた。

i) 爆発に先行してフィルムに感光する発光現象が
あり、衝撃波に基づく発光と思われる。これは管中を
定速で進むが管を出ると急速に減衰する。一例を挙げ
れば管中では 3,130m/sec のものが、管端から 10cm
離れた処では 1,250m/sec となる。

ii) 爆轟中断は、徐々に爆速が低下して起るもの
ではなく、一定爆速で進行する爆轟が突然中断する様

思われる。

iii) 衝撃波速度および爆速を写真から求め、別にド
ートリッシュ法により求めた紙筒爆速と対比すれば表
6 の様になり、爆速の大小に依り衝撃波速度も変化し
ている。

iv) 但し写真に現れた光像が果して管中を進行する
衝撃波に相当するものかどうかには疑問もあり、
従つてこれに就ては尚検討の余地があると思われる。

表 6

鉄管径 (mm)	薬 径 (mm)	管中の衝撃 波 速 度 (m/sec)	写真から求め た 爆 速 (m/sec)	ドートリッシュ 法により求め た紙筒爆速 (m/sec)
35	15	3,200	2,210	2,310
		3,130 3,300	2,260 2,480	2,280 2,250
		平均 3,210	平均 2,320	平均 2,280
35	20	3,660	2,800	2,770
		3,630	2,850	2,690
		平均 3,650	平均 2,830	平均 2,630

6. 結 論

鉄管内における爆轟中断現象につき、その発生機構
を解明しようとしたが、薬種による中断の難易の外に
管壁と薬包間の隙間が重要な因子である事が見出され
た。何故隙間があると中断現象が起るかに就ては尚不
明である。然し鉄管内壁に綿、フェルト濾紙等の緩衝
物の内張りをするると中断を防ぐことが出来るという実
験事実から、管壁による衝撃波等の反射が伝爆に対し
妨害作用を及ぼすのではないかと推定される。今後引
続いて実験を行い、更に理論的な解明に進みたいと思
う。

本研究を行うに当り、種々有益な助言を賜つた日本
カーリット株式会社顧問小川寛一氏に対し、深く感謝
の意を表す。

又本報告の一部は昭和32年11月23日、化学関係学協
会連合秋季研究発表大会で発表した。

文 献

- 1) 32-7-8 発破委員会資料
- 2) 辛島, 福山, 植田, 32-4-20 工業火薬協会
研究発表会における
講演
- 3) Shepherd W. C. E. and Grimshaw H. C.:
Trans. Inst. Min. Eng. 109, 889 (1949~50).

On The Interruption of Detonation In The Bore-hole

By Hirowo Fukuda. and Shigeru Miyazaki

With the aim to study about the interruption of detonation of series of explosive cartridges in the long bore-holes, some experiments were made using several species of permissible explosives. Series of cartridges or specially made long cartridges were packed in a steel pipe, primed from one end by No. 6 electric detonator and the length of series detonated was measured. In these experiments the diameters of steel pipes and of explosive cartridges were selected so as to change the magnitude of the clearance between the inside wall of the pipe and cartridge. It was found that, 1) under certain conditions most of permissible explosives had each definite length of propagation of detonation (Table I), for example, 20mm diameter cartridges of ammonium nitrate explosive packed in series into a steel pipe of 35mm inner di. and 2m long open at the both ends, failed to propagate detonation at a point about 400~500mm apart from the initiation end, 2) the smaller the clearance, the longer was the length of propagation, so that the length of propagation continued to practically infinite at a narrow

clearance despite of the diameter of the charge (within a certain limit), 3) at the same magnitude of clearance, the smaller the diameter of the charge, the shorter was the length of propagation.

Further the authors observed the interruption phenomena by means of a rotating drum camera and made clear that the interruption occurred almost suddenly after constant rate detonation without being preceded by a slowing down of detonation.

Though the reason why this interruption occurred could not be explained quantitatively, it is very probable that some disturbance caused by shock waves reflected on the pipe wall plays a role in this phenomena. As the basis of this reasoning, the result of the following experiments must be mentioned.

In the series of experiments, the authors succeeded to get a complete propagation until the end of cartridge series at a wide clearance, covering the inside wall of steel pipe with a layer of fibrous material like absorbent cotton, capable of absorbing any shock waves.

(Hodogaya Factory, Nihon Carlit Co.)