

are distorted and these caps detonate imperfectly. Consequently, these caps break into large pieces and explosives do not detonate.

(2) When there were a considerable coal dust in a shot-hole.

When considerably dry coal dust exist around the charged cartridge, the large pieces of blasting-caps make a cause of combustion of explosives.

For preventing the above, we recommend the following:

(1) Be careful always to make the intervals of charged holes at more than 45cm.

(2) Be careful always to remove the coal dust from a shot-hole before charging.

(On combustion of explosives and failure of detonation)

## 瞬間陰影写真法による爆薬爆轟の観察

### 第 1 報 クラフト紙筒中および臼砲中の爆薬の爆轟について

吉田 正・赤羽周作・田中雅夫・松本 栄\*

#### I. まえがき

筆者等は前に導爆線を使用した爆発瞬間写真について報告<sup>1)</sup>したが、この場合は導爆線の爆発光輝を使用したものでさらに改良の必要があつた。また陰影写真を得るためには光源の明るさが不足した。

その後、英国の H. C. Grimshaw 氏の考案による「アルゴンフラッシュ光源を使用する瞬間写真法」<sup>2)</sup>が提唱され、この方法により簡易に爆発現象を観察することは爆薬安全度試験結果と併せ考察するに有効なことを認めたのでここに報告する。

#### II. 実験項目

本報告においては、つぎの各項目について観察した。

- (1) 小型臼砲孔口附近における爆薬の爆轟
- (2) クラフト紙筒中の装薬の紙筒開口端付近における爆轟
- (3) クラフト紙筒側面スリット付近における装薬の爆轟
- (4) 木栓スリット付近における装薬の爆轟
- (5) 二枚の木板間における爆薬の爆轟

#### III. 実験方法

アルゴンフラッシュ光源を使用して瞬間写真をとる

には、その光源による反射法とスクリーンを用いた陰影写真法とがあるが、筆者等はここでは主として後者の陰影写真法を用いた。

実験配置については Fig. 1 に示すが、被写体 [A] アルゴンフラッシュ [B], 導爆線 [C, C'], スクリーン [D], カメラ [E] を配置して、まず雷管 [F] の起爆により、導爆線 [C, C'] が爆発し、ある短秒時  $t_0$  後に被写体 [A] が爆発し、さらにある秒時  $t_1$  後にアルゴンフラッシュ光源 [B] が爆発する。その閃光により被写体 [A] の爆発過程における衝撃波および爆発生成ガスの陰影をスクリーン [D] に投影したものを開放カメラ [E] によつて撮影する。

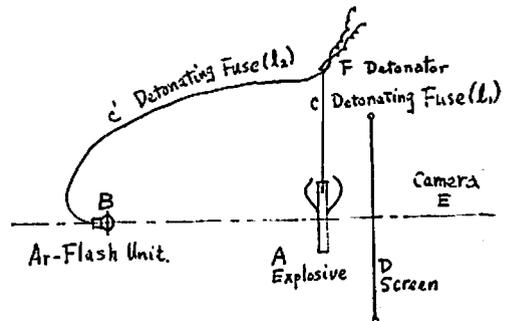


Fig. 1. Testing layout

昭和40年12月9日受理  
\* 資源技術試験所 東京都北区浮間町

この際、 $l_0$ 、 $l_1$  の選択はそれぞれの導爆線 [C, C'] の長さ  $l_1$ 、 $l_2$  をかえることによつて行なわれる。 $l_0$  は導爆線の配線上あまり短かくすることはできないので、その長さにより自然に決まる。したがつて、 $l_1$  は種々の時間変化にともなう状況を撮影するために選択される。ここで導爆線の爆速を  $V_D$  とすれば、 $l_0$ 、 $l_1$  は次の式で示される。

$$l_0 = l_1 / V_D$$

$$l_1 = (l_2 - l_1) / V_D$$

アルゴンフラッシュ光源装置の構造は Fig. 2 に示す。これはアクリル樹脂製の三部品 [1, 2, 3] と木製部品 [4] とからなり、部品 [3] の底部にペンズリット (約 5g) を装てんした紙筒を固定し、外側に木製部品 [4] を接着する。その後、前部部品 [1, 2] を水漏れしないように接着したのを部品 [3] に接着する。部品 [1, 2] の空間に水を入れてレンズになるようにし、部品 [2] と [3] の間にアルゴンガスを封入する。

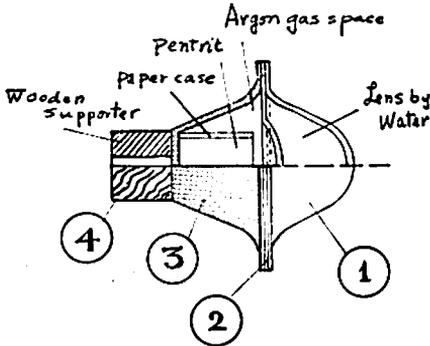


Fig. 2 Argon flash unit

#### IV. 小型白砲内装の孔口付近における爆発現象

安全度試験法に用いられる白砲の口元付近の衝撃波および爆発生成ガスの挙動は以前から種々問題になつており、高速度写真法によつて撮影解析された例<sup>3)</sup>もあるが、これは孔径 5/16", 孔長 5" の小型白砲中に密装てん (Density-1 loading) 状態で、込物と爆発ガスの進展状況について行なわれたもので、わが国のような薬包装てん (File loading) の場合ではない。

そのため筆者は我国の検定爆薬試験法に関連して、ここでは主として逆起爆型ではあるが、孔径と薬包径との差による相違、口元空間距離 (白砲孔口からそれに最も近い装薬包端との間の長さ) の相違による孔口元付近の爆発生成ガス、衝撃波の挙動について、それぞれの組合せによる実験観察を行なつた。

すなわち、

- (a) 孔径 50mmφ, 薬包径 25mmφ の場合
- (b) 孔径 30mmφ, 薬包径 25mmφ の場合
- (c) 口元空間距離  $D=0$  の場合
- (d) 口元空間距離  $D=20\text{cm}$  の場合

である。

これらの条件の組合せによる衝撃波および爆発生成ガスの進展状況を前述の  $l_2$ 、 $l_1$  を調整して  $l_1$  を変えて得た写真により図示すると Fig. 3, Fig. 4 のごとくで、それらの写真の一例を示すと、それぞれ Fig. 5, Fig. 6 である。

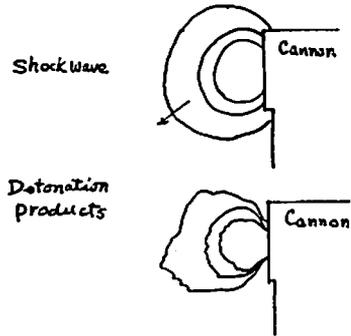
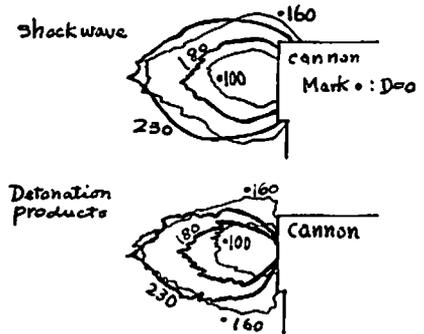


Fig. 3 Development of shock wave and detonation products from the charge in the cannon (Dia. of borehole: 50mmφ, Dia. of cartridge: 25mmφ, and  $D=20\text{cm}$ .)



Number (cm) shows the difference of length between detonating fuses ( $l_2$ ,  $l_1$ )

Fig. 4 Development of shock wave and detonation product from the charge in the cannon. ( $D=20\text{cm}$  or  $D=0$ )

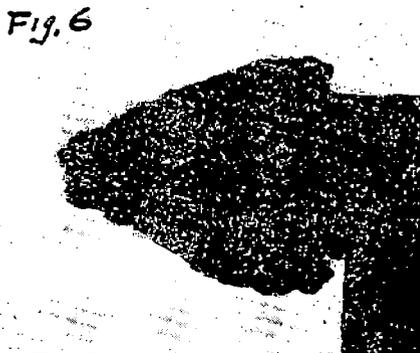
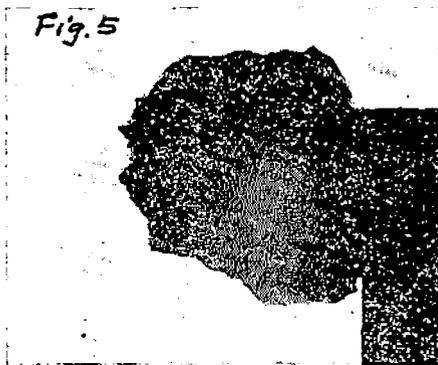


Fig. 5 Detonation of charge (25mmφ) in cannon (50mmφ),  $D=20\text{cm}$ .  
 Fig. 6 Detonation of charge (25mmφ) in cannon (30mmφ),  $D=0$ .

これらの結果を考えると、次のごとくである。

(1) 孔径が薬径に比して大なる時で  $D=20\text{cm}$  [a と b の組合せ] の場合、最初に衝撃波は球面波になり、爆発生成ガスは球形になつて進行するが、これは孔径薬径の差による孔内の半月形空間を先行する衝撃波および爆発生成ガスで短秒時後には装薬包末端からの衝撃波および爆発生成ガスの影響をうけて変形する。[Fig. 3, Fig. 5 参照]

(2) 孔径と薬径がほとんど同じである場合 [b] は白砲では側面変形がほとんどないので、薬包末端の影響が大で、孔口元を出た衝撃波は軸方向に伸びて紡錘状をなす。

(3) 孔径を薬径がほとんど同じで、口元空間距離  $D=0$  の時 [b と c の組合せ]、白砲孔口元から出た衝撃波および爆発生成ガスは口元から上下、前面に拡散するが、 $D=20\text{cm}$  [b と d の組合せ] の時はとくに爆発生成ガスはジェット状に噴出する。しかも、これは白砲孔口面 (軸に垂直面) にそつて拡散しない。 (Fig. 4, Fig. 6 参照)

(4) 孔径と薬径との差が大なる場合 [a] に最初に孔口元にあらわれる衝撃波および爆発生成ガスは孔口元を出て急激に減衰する。

(5) 正起爆型で孔径と薬径との差が大なる場合、口元空間距離  $D=20\text{cm}$  とする [a と d の組合せ] 場合には衝撃波および爆発生成ガスはそれぞれ球面波、球状に近い進展をする。この点逆起爆の場合とことなる。

#### V. クラフト紙筒中の装薬の紙筒開口端付近における爆発現象

筆者等の提唱する「クラフト紙筒を使用する爆薬安全度試験法」<sup>9)</sup>においてその紙筒の開口端付近における爆発現象を明確に把握することは、安全度試験での着火因子の検討に重要なことであるのでこれらの実験が行なわれた。

実験条件としては Fig. 9 に紙筒内爆薬の配置を示すが、何れも逆起爆型であり、前節と同様に

- (a) 紙筒径 55mmφ、薬包径 25mmφ の場合、
- (b) 紙筒径 30mmφ、薬包径 25mmφ の場合、
- (c) 口元空間距離  $D=0$  の場合、
- (d) 口元空間距離  $D=20\text{cm}$  の場合、

について、導爆線長  $l_1, l_2$  を変えて  $t_1$  を調整して瞬間陰影写真を得た。

Fig. 7, Fig. 8 は紙筒開口端に装薬があり、紙筒径 55mmφ の場合 [a と c の組合せ] における瞬間陰

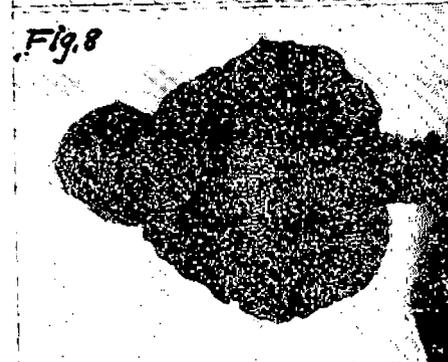
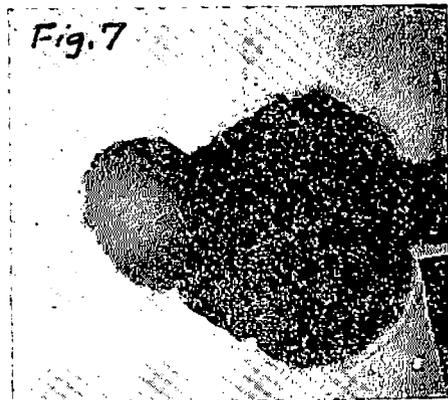


Fig. 7 Detonation of charge (25mmφ) in pipe (55mmφ),  $D=0$ .

Fig. 8 Detonation of charge (25mmφ) in pipe (30mmφ),  $D=0$ .

影写真と、紙筒径 30mmφ の場合 [b と c の組合せ] における瞬間陰影写真である。

Fig. 9, Fig. 10 は紙筒径 50mmφ, 薬包径 25mmφ で、開口端における口元空間距離  $D=20\text{cm}$  の場合 [a と d との組合せ],  $l_1$  をかえた陰影写真から得た衝撃波および爆発生成ガスの進展を表わした図である。

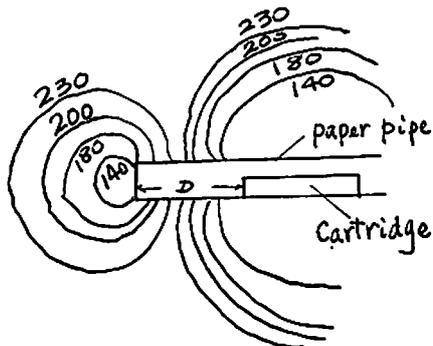


Fig. 9 Development of "shock wave" from the charge in the pipe.  
[Number (cm)  $\Delta l = l_2 - l_1$  in Fig. 1]

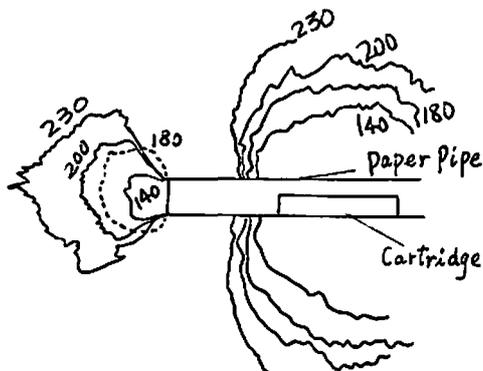


Fig. 10 Development of "detonation products" from the charge in the pipe.  
[Number (cm)  $\Delta l = l_2 - l_1$  in Fig. 1]

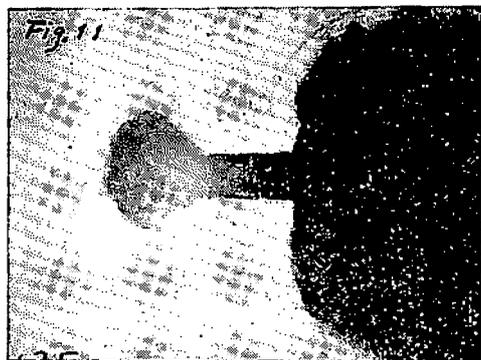


Fig. 11 Detonation of charge (25mmφ) in pipe (55mmφ),  $D=20\text{cm}$ .

また Fig. 11 はこの場合の一例を示す陰影写真である。

これらの陰影写真によつて次のことが観察される。

(1) 紙筒径と薬径の差の大なる時 [a] には、口元空間距離  $D=0$  でも、白砲の場合と同様にそれらの径の差によつて生ずる紙筒内半月形空間を先行する衝撃波および爆発生成ガスが初めに紙筒開口端に現われる。紙筒の場合は、白砲の場合とことなり紙筒側面方向の破碎があり、開口端でクビレたダルマ状になるが先行衝撃波、および爆発生成ガスのために非対称型である。[Fig. 7 参照]

(2) これに対して紙筒径と薬径の差がほとんどない場合 [b と c との組合せ] には、ほとんど対称型である。前項の Fig. 7 と Fig. 8 を重ねると上部の半月形空間から出た衝撃波、および爆発生成ガスの部分の外は同形である。

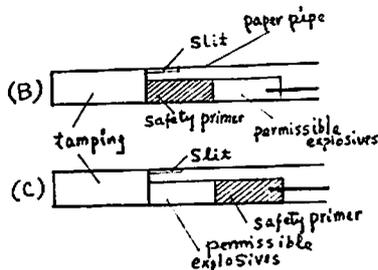
(3) Fig. 9 および Fig. 11 で見られるように紙筒の場合には、白砲とことなり紙筒側面方向の破碎が伴うので、紙筒開口端から出る衝撃波は多少減衰して球面波となつて進展する。紙筒の口元から進展する衝撃波の速度は軸方向前面への速度の方が口元から後部に進展する速度よりも大きいようである。

(4) Fig. 10 と Fig. 11 で見られる爆発生成ガスも白砲孔口の場合に比して減衰している。しかし口元空間距離  $D=20\text{cm}$  の場合には爆発生成ガスは前面軸方向に進み、口元側面方向には拡散しがたい。

#### VI. クラフト紙筒側面スリット付近における爆発現象

さきに筆者等は「クラフト紙筒を使用した安全伝爆薬のガス安全度試験」<sup>6)</sup> について報告したが、これは検定爆薬列中の安全伝爆薬の位置によるメタン着火抑制効果についての究明であつた。その安全度試験結果に対し安全伝爆薬がいかなる爆発状況を示すかについて検討するために陰影写真法を用いた。

その紙筒側面スリットと爆薬列中の安全伝爆薬の位置の関係については Fig. 12 に示すように、(a) ス



(B): Type-B, (C): Type-C.  
Fig. 12 Position of safety primer in the pipe

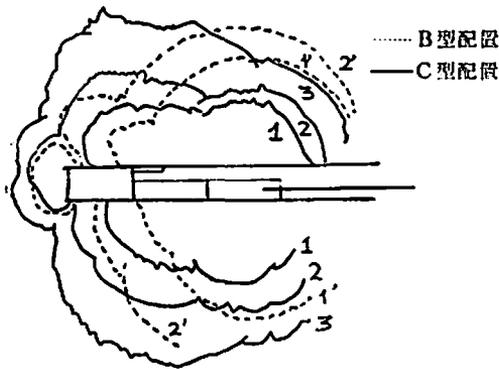


Fig. 13 Development of "shock wave" from the slit and the side of the pipe.

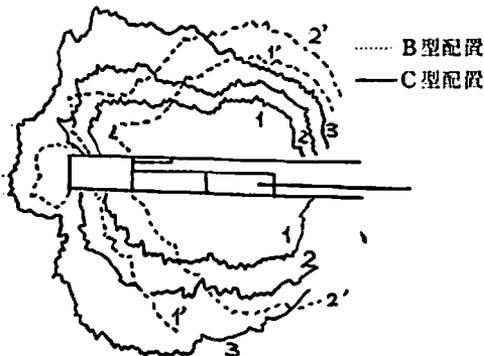


Fig. 14 Development of "detonation product" from the slit and the side of the pipe.



Fig. 15 Detonation of charge in type B (Fig. 12)

Fig. 16 Detonation of charge in type C (Fig. 12)

リットと検定爆薬との間に安全伝爆薬がある場合 (Type-B), と (b) スリットと安全伝爆薬の間に検定爆薬がある場合 (Type-C) について実験した。

これらの配置について導爆線の長さ  $l_1$ ,  $l_2$  をかえて得た 1~3 または 1'~3' の各段階での陰影写真から衝撃波および爆発生成ガスの進展状況を見ると Fig. 13, Fig. 14 のごとくで、またそれらの陰影写真を示すと、Fig. 15, Fig. 16 である。

これらの結果から見ると、

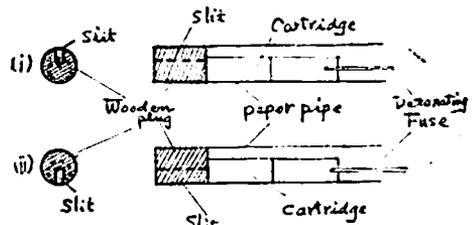
(1) この場合も紙筒径は薬径より大であるので紙筒内部に半月形空間が存在し、その空間を起爆側薬包の衝撃波および爆発生成ガスが先進することは同様である。したがってそれらのものが、まずスリットから外部にあらわれる。

(2) しかし、それらのものは、スリット近くにある爆薬包の爆発による衝撃波および爆発生成ガスにより追越される。

#### Ⅶ. 木栓スリット付近における装薬の爆轟

Fig. 17 に示すようにクラフト紙筒の一端に木栓を入れこれにスリットを付して、スリットの位置と装薬との関係により、スリットから出る衝撃波および爆発

生成ガスの挙動について陰影写真を得た。上部スリット、下部スリットの場合について、それぞれ Fig. 18 Fig. 19 に示す。またそれらの進展状況については、それぞれ Fig. 20, Fig. 21 に示す。これらの結果から見ると、



(i): Upper slit, (ii): Under slit.

Fig. 17 Position of slit on the wooden plug.

(1) 上部スリットの場合は爆薬配置 (Fig. 17) に見るように、紙筒内上部半月形空間を先行する衝撃波や爆発生成ガスがスリットから現われ、その後スリットに最も近い爆薬包からの衝撃波および爆発生成ガスが現われる。この様相はV. クラフト紙筒の開口端

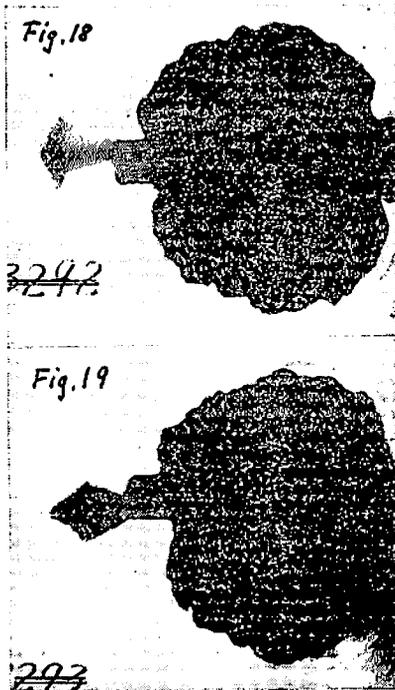


Fig. 18 Detonation of charge for upper-slit (Fig. 17)

Fig. 19 Detonation of charge for under-slit (Fig. 17)

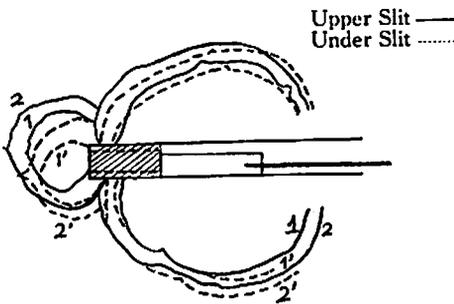


Fig. 20 Development of "shock wave" from the wooden slit and the side of the pipe.

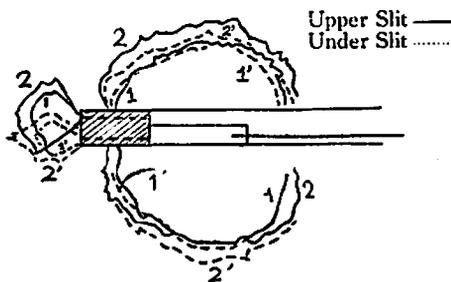


Fig. 21 Development of "detonation products" from the wooden slit and the side of the pipe

付近での爆轟挙動を示す Fig. 11 に近似している。

(2) 下部スリットの場合は爆発終端薬包底部がスリットに接する状態にあり、紙筒内上部半月形空間を先行する衝撃波、および爆発生成ガスはスリットから現われることは少なく、むしろスリットに接触する爆薬包の底部の爆発による衝撃波、および爆発生成ガスが現われる。そして、この形状は、むしろIV. 小型臼砲における薬径と孔径の差が少なく、 $D=20\text{cm}$  の場合の写真 Fig. 4 に近似する。[Fig. 19 参照]

(3) 何れの場合も末端は木栓であるが、側面はクラフト紙筒であるので、その側面方向への衝撃波および爆発生成ガスの進展を伴うので、スリット方向、すなわち軸方向についての進展は臼砲孔口付近の場合に比して少ないことになる。

### VIII. 二枚の木板間における爆薬の爆轟

Fig. 22 に示すような爆薬の配置のもとで爆薬が爆轟した時の衝撃波および爆発生成ガスの挙動について観察した。これは紙筒内爆薬包の爆発による衝撃波および爆発生成ガスの紙筒内部の挙動を考究するために行なわれたものである。しかし、前節までの一連の陰影写真の観察からも大体明らかになっているので単に裏付け資料となつた。

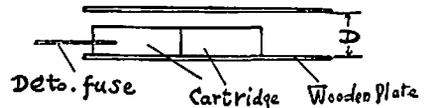


Fig. 22 Cartridges between two wooden plates.

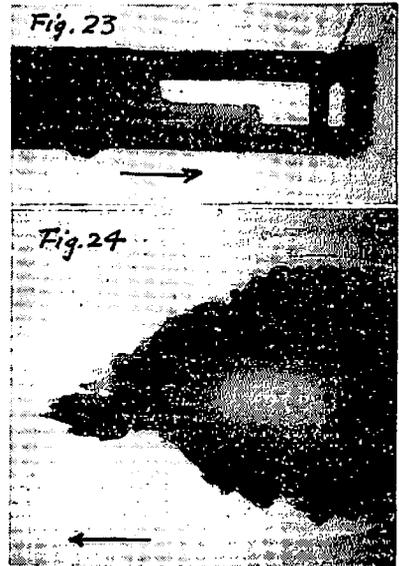


Fig. 23) Detonation of charge between 2 wooden plates. "Arrow→" shows the direction of transmission of detonation

Fig. 23 は Fig. 22 の配置において二枚の木板の間での衝撃波、および爆発生成ガスの進展を示し、Fig. 24 は図中の矢印のように伝爆方向は反対であるが二枚の木板の一端における衝撃波および爆発生成ガスの挙動を示し、これは紙筒開口端付近、白砲孔口付近の衝撃波、爆発生成ガスの挙動に近似する。

この場合の木板の中が 10cm 位であるので木板の間隙から左右に出た衝撃波および爆発生成ガスが、それから拡がり（カメラ側から見て前後）木板上下に進展している状況が見られる。

#### IX. 安全度試験結果と陰影写真との比較考察

以前より安全度試験における着火過程についての考察は高速度写真によつて行なわれた。筆者等はもちろんこれらの必要性には同感であるが、まず白砲孔口付近、または紙筒開口端付近において着火源の形成があるものと考えて、この陰影写真による検討を開始したものである。

(1) 白砲試験における正起爆型、逆起爆型の安全度の相違は爆発生成ガスの進展状況および衝撃波の形状がことなるためである。逆起爆型においては、これらのジェット状噴出によりポケットを形成し着火する機会が多いと考える。

クラフト紙筒の場合も、側面破碎により開口端付近では衝撃波、爆発生成ガスの進展は白砲試験の場合に比して弱いが、当然同様なことが考えられる。

(2) 口元空間距離  $D=0$  と  $D=20\text{cm}$  の場合については、明らかに白砲試験の場合も、クラフト紙筒の場合<sup>4)</sup>にも相違する。したがつて、 $D=20\text{cm}$  の様な状況では、衝撃波および爆発生成ガスの軸方向へのジェット状突進がポケットを形成すると考えられる。クラフト紙筒の場合はこれがあまり顕著ではないことである。クラフト紙筒の場合  $D=0$  では、クラフト紙筒が薬包末端の側面被筒となり末端付近でのメタン着火源を形成し難たい。

もちろん、これは同一薬量の場合であり、薬包数の増加による懸吊試験での側面着火効果等は別の問題である。

(3) 紙筒側面スリット口元付近での爆発現象について陰影写真を撮つたが、この目的は安全伝爆薬のメタン着火抑制効果の検討で、安全度試験<sup>6)</sup>でスリットと検定爆薬の間に安全伝爆薬の存在する場合 (Type-B) はスリットと安全伝爆薬の間に検定爆薬のある場合 (Type-C) に比して安全度が高い。陰影写真から

考察すると、(Type-B) で初めに爆発して検定爆薬の衝撃波および爆発生成ガスが先進してスリットに現われても、安全伝爆薬の爆発生成ガス、不活性粒子がこれを追越して着火源の形成を抑制する。反対に (Type-C) の場合は、安全伝爆薬からの先進衝撃波、爆発生成ガスはスリット近くにある検定爆薬の衝撃波および爆発生成ガスに追越され、それよりも前面に着火源を形成しやすいと考える。木栓スリットの場合における安全伝爆薬の位置、白砲孔口にした木栓スリットに対する安全伝爆薬の位置によつてメタン着火抑制効果を発揮することも同様であろう。

#### X. むすび

以上アルゴンフラッシュを用いた陰影写真観察により、筆者等の提唱した「クラフト紙筒による安全度試験法」による実験結果の考察、安全伝爆薬のメタン着火抑制効果の考察を行なうことができた。もちろんこれは爆薬爆発初期現象であり、メタン着火のおくれ時間等も考えて、さらに高速度写真法により追跡することが望ましい。終りに、本実験に試料を提供して頂いた旭化成工業 K. K. 日本カーリット K. K. に対して、また本期間中、種々御意見、御批判を頂いた鈴木所長、佐々木探鉱保安部長、栗原第一課長に謝意を表します。

#### 文 献

- 1) 吉田, 赤羽, 田中: 導爆線を使用した爆発陰影写真について 工業火薬協会誌, Vol. 15, No. 4, p. 68 (1954)
- 2) H. C. Grimshaw, Argon Flash Unit; their design and application to snap shot photography of detonating explosives, S. M. R. E., Report No. 32 (1951)
- 3) R. L. Grant and C. M. Mason, Mechanism of Ignition of Firedamp by Explosives R. I. 5049 Bureau of Mines (1954)
- 4) 吉田, 赤羽, 田中, 松本: クラフト紙筒を使用した安全度試験 工業火薬協会誌 Vol. 18, No. 4, p. 299 (1957)
- 5) 吉田, 赤羽, 田中, 松本: クラフト紙筒懸吊試験法による高安全度爆薬の安全度試験 工業火薬協会誌, Vol. 20, No. 3, p. 192 (1959)
- 6) 吉田, 赤羽, 田中, 松本, クラフト紙筒を使用した安全伝爆薬のガス安全度試験, 工業火薬協会誌 Vol. 21, No. 6, p. 358 (1960)

## Photographic Investigation of Detonation by Argon-Flash Method.

### Part. 1. Detonation of the charge fired in the craft paper pipe, and in the cannon.

T. Yoshida, S. Akaba, M. Tanaka, S. Matsumoto.

The shadow photographs of the development of the shock waves and detonation products emitted from the charge fired in the craft paper pipe, and in the cannon, were taken by the argon-flash method.

The photographic observations were made at the following positions:

- (1) The muzzle of the cannon. (Fig. 3~6)
- (2) The open end of the craft-paper pipe. (Fig. 7~11)
- (3) The slit in the wall of the craft-paper pipe. (Fig. 12~17)
- (4) The slit in the wooden plug at the closed end of paper pipe. (Fig. 18~21)
- (5) The space between two wooden plates. (Fig. 22~23)

From these shadow photographs the following phenomena were observed.

(1) Some of the experiments in gallery test show that the ignition probability of firedamp increases, as the muzzle space ( $D$ ) is increased. This photographic observation may explain the case of firedamp ignition when  $D$  is increased.

(a) At the muzzle space  $D=20\text{cm}$ , the jet-shape shock wave and jet emission of detonation products appear remarkably.

(b) At the muzzle space  $D=0$ , the above-described phenomena can not be observed.

(2) At the open end of the paper pipe, the developments of shock wave and detonation products expand less violent than that from charge fired in the cannon, because of the lateral expansion of the paper pipe, due to destruction by detonation.

However, authors suppose that the free space ( $D$ ) at the open end affects the ignition of firedamp.

(3) Through the channel space due to the difference between diameter of borehole and of cartridge, the preceding development of shock wave and detonation products appear at the muzzle of cannon, or the open end of the paper pipe, but their velocities decrease rapidly in the free atmosphere.

(4) In the gallery test, the position of safety primer in the cartridge train loaded in the pipe affects the ignition probability of firedamp.

(Resources Research Institute.)