

In marble high-order plastic deformation occurs more intensely than in cement mortar or sandstone.

The decaying of pressure is very rapid, and shows the fact that the difference of pressures by various explosives appears only within distance of few centi-meter from impact surface and brisance of explosive exhibits at rather near region from impact surface.

The pressure of wave produced by Shingiri-

dynamite is higher than the case of Murasaki carlit.

Further the author introduced the relations between pressure and volume change of rock from his present experimental results and discussed on their connection to blasting.

(Nippon Oils and Fats Co.,

Taketoyo Plant.)

## 爆薬によるメタン空気混合ガスの着火性に関する研究

### 第1報：高速度カメラによるメタン着火の観察

(昭和33年7月1日受理)

篠原昌史

(日本油脂株式会社武豊工場)

#### 1. 緒言

爆薬によるメタンガスの着火については多くの研究がなされ、その着火機構については爆発で生じた高温ガス、衝撃波あるいは灼熱固体粒子等が考えられる。しかし実際の現象は、これらの個々の単独因子によるよりも、それらの共同作用によるものであると考えた方が妥当である<sup>1)</sup>。また、着火限界薬量は同じ爆薬についても試験条件、即ち、白砲試験、懸吊試験、あるいは溝切り白砲試験等によつて異なり<sup>2)</sup> 薬種によつてもこれらの試験法の影響が異なる事も認められている。この理由は爆薬の置かれる条件で前記各因子の作用機構の強弱があるためと考えられ、我々は上記の個々の試験法の実験結果を基にして、実際発破における安全度を推定するわけである。従つて、この問題はかなり複雑なものであるが、筆者は、第一段階として、現象として最も研究しやすい懸吊試験について、高速度カメラによる観察を行ったのでその結果を報告する。

#### 2. 実験装置および方法

試験坑道としては直径43cm, 70cm, 120cm, 爆発室の長さ夫々150cm, 100cm, 250cmの三種を使用し、カメラは(1)福原式高速度カメラ(レンズ, F 1.7 タ

イマーは水晶発振器利用)(2)流し式回転カメラを用いることとした<sup>3)</sup>。

使用爆薬は表1に示す如くである。

表1 使用爆薬

薬種	薬径	仮比重	爆速 (紙筒)	爆発 温度	火薬力	写真 No.
硝爆A (含NG)	40	0.96	2,700	2,073	7,206	2
同上	30	0.96	2,500	2,073	7,206	5, 10, 11.
硝爆B	32	1.02	3,500	2,010	6,220	4, 7.
硝ダイC	30	0.97	2,250	2,030	7,400	3.
硝ダイD	30	1.00	2,100	1,950	6,200	6, 8.
新桐ダイ ナマイト	32	1.45	5,300	2,540	9,290	9

まづ、坑道軸と薬軸が一致する様に爆薬を吊し、爆発室にメタンガス 9±0.2% を含む空気を充し、よく攪拌して後セロファンを透過して爆発状況を撮影する。坑道よりカメラまでの距離は径43cm, 70cm, 120cmの各坑道につき夫々4, 5, 10mとした。

#### 3. 流し写真による実験結果

直径43cmの坑道に爆薬を懸吊試験と同様な条件に

\* フィルムは ASA 100

吊し、爆発状況を正面より水平スリットを通して撮影する。爆薬は表1の新硝以外の全種目につき行つた。結果は写真2の様になり、この解析図は図1に示す。これより次のような事がわかる。

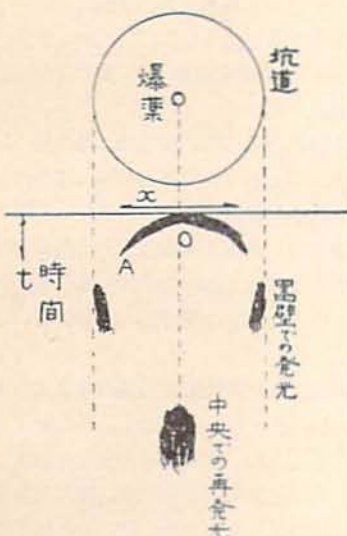


図 1

まず、像は爆頭よりある距離後には消滅するが、器壁でまた光りさらに、若干のある時間経過後、再び中央部で発光している。そこで例を硝爆 A 30mmφ にとって、爆頭の進行距離（装軸に垂直な成分）と時間の関係をしらべると  $\log t \sim \log x$  は直線的に

$$x = Kt^n \dots\dots\dots(1)$$

の関係があり、図2から  $n$  と  $K$  を求めると、 $n=0.72$ ,  $K=96$  となつている。同様にして他の爆薬について求めてみるとこれらの値は表2の様になつた。

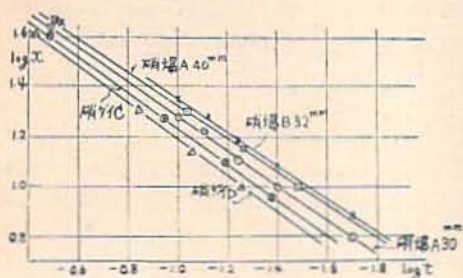


図2  $\log x \sim \log t$  の関係

即ち  $n$  は薬種に関係なく 0.70 の値となり、 $K$  は薬種薬種によつて変化しているとみることが出来る。そこでこの式により、 $x=43$  即ち「爆頭」が器壁にて反射し中央に戻つたと仮定すれば、 $t=1.64\text{ms}$  であり、フィルム上の像から測定した  $t(=1.63\text{ms})$  と大体一致



写真1 流し写真 硝爆 A φ 30mm 100g

表2 各種爆薬についての(1)式の  $n$  と  $k$  の値

薬	種	薬包の直径 $n$	$k$	$n$
硝	爆 A	40	109	0.70
硝	爆 B	32	115	0.70
硝	ダイ C	30	83	0.70
硝	ダイ D	30	74	0.70

(但し  $x$ ; cm  $t$ ; ms にとる)

する。

中央部での再発光は、筆者は反射衝撃波が、衝撃波に続いてある巾をもつて流動する高温ガス帯を突切る時に、ガスの温度を高めて発光させたと考える。高温ガスの先端と思われる  $OA$  から誘導した式が衝撃波と思われる中央での発光に適合するという事は、 $OA$  程度の距離では衝撃波と、高温ガスの分離が大でなく、近似的に衝撃波面を目安にして、その速度を計つた事になつたためと思う。再発光までのフィルム上の時間と計算時間に差が若干あつたのはこのためとも思われる。

尚、この式は爆頭附近には使えない。然しメタン着火は時間的に 1ms の桁の遅れがあり、其の頃の衝撃波高温ガスの進行状況が知ればよいので後程利用する。

#### 4. 高速度写真による実験

先述の方法で撮影した写真は別に掲げる。この写真



図3 高速度写真の分類

を分類すると図3のI~Vの様な型があるが高速度写真は瞬間写真の連続であるからI, IIは同じ現象を違った瞬間に捕えたための見掛け上の違いであり、恐らくV図の様な現象であつたものと思う。尚各写真につき、着火源がはつきりと認められる駒に★をつけておいたが、これは必ずしも着火源発生時の駒ではない。着火因子の着火位置えの、到達はその直前であると考えて時間解析はその前の駒で行つた。

尚着火源の生成される待時間を高速度カメラで求め流し写真による計算値と併記すると、次表3の通りである。この内、写真(8)は坑道径70cm, 他はすべて120cmであつた。尚、1駒目までの経過時間は火炎の広がった距離を(1)式に代入して算出した。

この写真および表よりまず次の事がいえる。

1) 新桐によるメタン着火と炭鉱爆薬による着火現象は異なり、前者は爆薬の爆発直後広範囲に亘り引火

し始めるが、後者は中央での明るい再発光と共に、一箇所あるいは数箇所から局部的に引火し順次拡大されて行く。ただし新桐では実験薬量がはるかに着火限界量を上まわつており、それに対して、炭鉱用爆薬は、その差が小さいことも考慮する必要がある。

2) 流し写真から誘導した(1)式から計算した衝撃波の中央部への到達時間は、高速度カメラによる着火待時間とほぼ一致する。

3) 着火待時間は薬種、薬径により異なり、爆薬が高爆速程待時間が短く、又同一薬種の場合は、坑道径が小さい程着火待時間が短い。

以上の事実は、高爆速の薬種また坑道径の小さな程衝撃波の反射集中までの時間が短い事を考えれば、反射衝撃波が大きな役割を果たす事を意味していると思つてよい。

しかし一方、この実験程度の爆薬を開放で爆発させた場合、衝撃波は1mも進行する中かなり減衰すると考えられるから、中央部の再発光も単にこのような衝撃波同志の衝突のみと考えず、更に高温爆発生成ガスの作用も含めて考察に巾を持たせる事が必要と思われる。

次に重要な現象は引火した時の写真に見られる大きな再発光である。写真10,11のごとく不引火の時は、大きな再発光はない。ただ10は4駒目より小さな再発光が認められるが、これは流し写真からの実験式を用いる衝撃波の反射集中時間と一致しているので、単なる衝撃波同志の衝突と考えて良いと思う。従つて引火不引火はこの中央での明るい再発光が生ずるか否かに

表3 高速度写真解析表

写真	爆薬サイズ mm g	フィルム 速度	一駒目ガスの 進行距離 cm	同左迄の 時間 ms	着火源 生成 時間	同左 待時間 ms	流し写真による Shockの到達		点火位置 中心より cm
							坑道中心 迄 $t_1$	点火位置 迄 $t_2$	
2	硝爆 A 40×100	2,500	45	0.30	3	0.7~1.1	1.16	0.80	28
3	硝ダイ C 30×200	2,000	23	0.15	4	1.15~1.65	1.69	0.87	16
4	硝爆 B 32×150	*(3,000)	31	0.17	4	0.83~1.16	1.08	0.81	20
5	硝爆 A 30×200	*(1,800)	24	0.14	3	0.84~1.54	1.38	1.03	23
6	硝ダイ D 30×175	2,250	22	0.16	4	1.04~1.48	2.00	1.46	24
7	硝爆 B 32×100	1,350	33	0.20	3	0.94~1.68	1.08	0.81	21
8	硝ダイ D 30×125	3,000	16	0.11	3	0.44~0.77	0.92	0.70	13
9	新桐	2,000	-	-	4	-	-	-	-
10	硝爆 A 30×150	2,800	30	0.20	不	(0.92~1.28)**	1.36**	-	-
11	硝爆 A 30×75	2,450	-	-	不	-	-	-	-

\* タイマーでなく、撮影機の手動指示ターターによる。

\*\* 中央における小さな再発までの時間を示す。

★

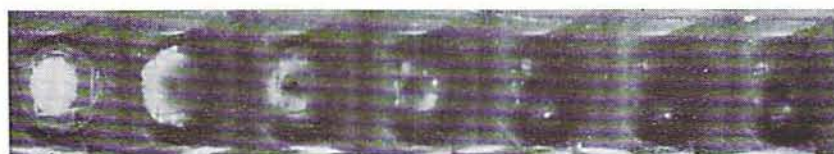
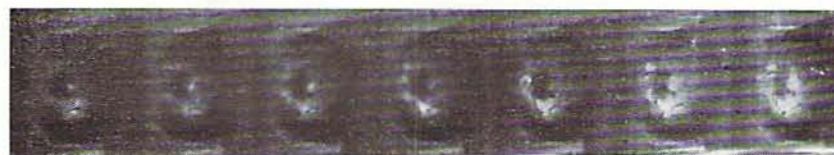


写真 2

硝爆 A  
φ 40mm  
100g



1~7 駒  
11~17駒

★

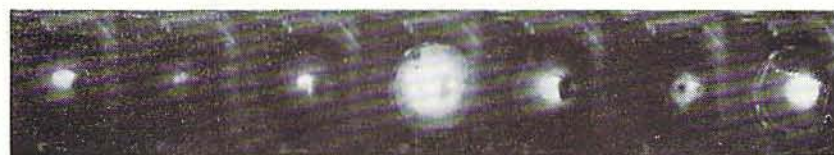
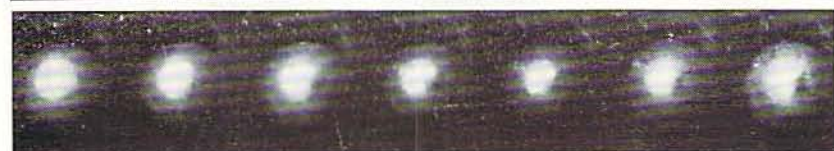


写真 3

硝ダイ C  
φ 30mm



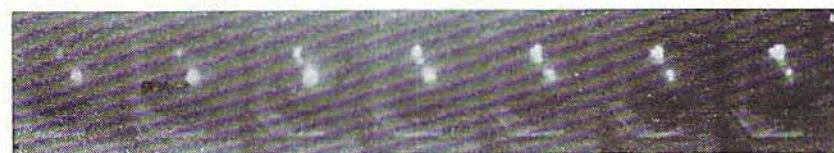
200g  
1~14 駒

★



写真 4

硝爆 B



φ 32mm  
150g



1~21 駒

★

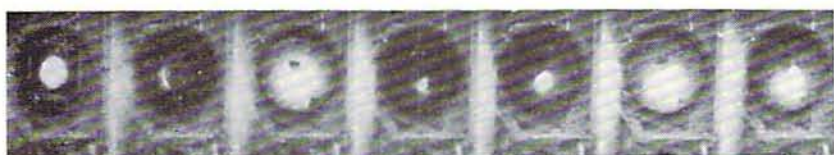


写真 5

硝爆 A  
φ 30mm  
200 g  
1~7 駒

★

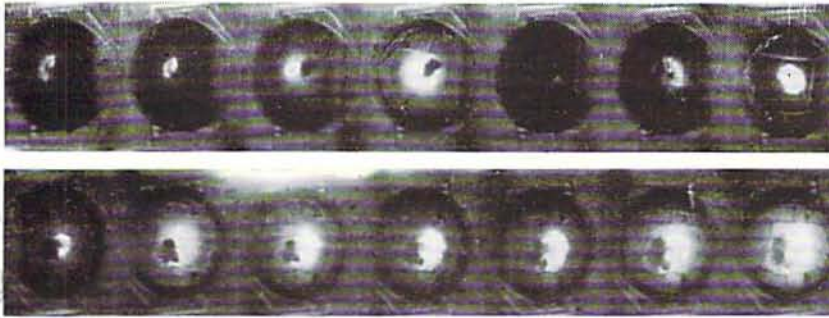


写真 6

硝ダイ D

φ 30mm

175g

1~14 駒

★



写真 7

硝爆 B

φ 32mm

100g

1~7 駒

★

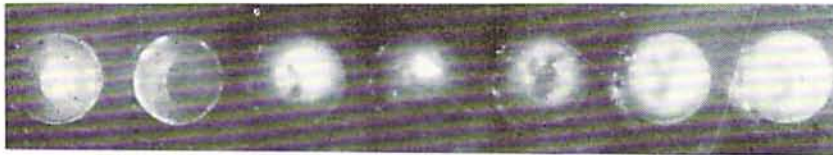


写真 8

硝ダイ D

φ 30mm

125g

1~7 駒

★

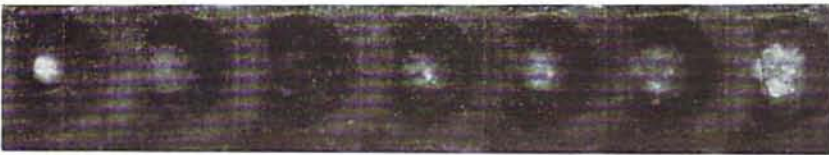


写真 9

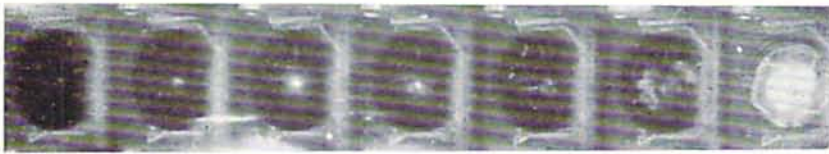
新桐

φ 32mm

50g

1~7 駒

写真 10



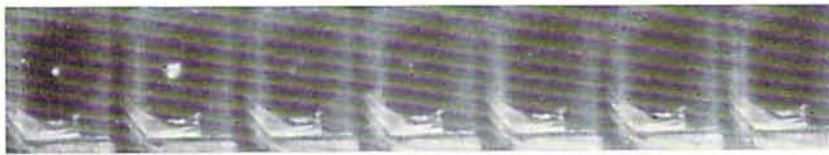
硝爆 A

φ 30mm

150g

1~7 駒

写真 11



硝爆 A

φ 30mm

75g

1~7 駒

(註) ★印は点火源を示している駒。

よつて定まっているようで、写真10の小さな弱い発光と引火時の強い再発光は本質的な差異があると考えられる。ただし、坑道径の小さな場合は流し写真でも示した様にすべて明るく再発光するが、これは衝撃波の減衰の度合が違いためであろう。写真5,10の試験薬種、薬量を考えても、この再発光の違いは単なる量的なも

のとしては説明出来ず、引火現象と深い関係があると思われる。

このような引火の重要条件である再発光を生ずるには、高温ガスの状態が大いに関係しており、言わば活性化された高温ガスの存在が母体となり、反射衝撃が「火付役」になっているのではあるまいか。

この高温ガスの活性過程については尚研究されねばならぬが、温度の因子が強いと考えるのは自然である。すなわち高温ガスの温度がある限界以上の時に、メタン着火の火付人たる衝撃波が到達し、これらの写真に現れたような高エネルギー帯（再発光）を生ずると考えられる。これら二因子は爆発毎に微妙な差があるので、それによるメタン着火も確率に支配されると解釈される。

尚、点火源が中心より坑道径の  $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$  ずれているが、これは以上のような高エネルギー帯の内部は必ずしも均一なものではなく特に点火に適した場所の存在は確率的なものになつている事を予想させるがこれについては今後 Bureau of mines 報告のガスポケット<sup>2)</sup>等も考慮して検討する必要がある。

## 5. 結 論

懸吊試験条件における爆薬のメタン着火を高速度カメラで捕え、流し写真と併用して着火機構の解析を試みた。その結果次のような事が明らかになつた。

1) 坑道径、爆速により着火待時間が異なる事は反射衝撃波の影響のあることを示す。

2) 新桐の場合は直ちに着火するのでこれに対する考察はさておき、炭鉱爆薬の場合は必ず坑道中央部の明るい再発光の後に引火し、中心に小さな再発光しか

見られぬ時は不引火である。この再発光の違いは試験薬量から考え、本質的な差をもつものと信ぜられる。この再発光は反射衝撃波と、高温ガスとの衝突によるのに反し、不引火のときの小発光は衝撃波同志のみの衝突にもつづくものと推定した。

3) 再発光を起す場所が随率的に見えるのは、主に高温ガス内の温度の空間分布が一樣でないためと思われる。

結局ここに行つた実験条件では爆発膨張ガスの周辺またはメタンをまきこんだ高温ガスが母体となり、これに反射衝撃波が衝突して点火の主となると考えられる。尚、点火源の位置を考慮に入れた考察は次報に譲ることとする。

絶えず温情溢るる御教示を賜つた日本油脂村田勉博士、渡辺定五研究課長代理、桜井武尚係長並びに本実験に協力された植田武雄氏に感謝する。

## 文 献

- 1) 村田勉：工火 15, No. 1, p. 22 (1954)
- 2) 村田勉、友石尚之：工火 14, No. 1, p. 38 (1953)
- 3) B. Lewis: Bureau of Mines, Report No. 4,667 (1953)  
(昭和32年度西部支部研究発表会にて講演)

## Methane Ignition by Explosives in Suspension Test

By Masashi Shinohora

The mechanism of  $\text{CH}_4$ -air ignition by explosives, especially by powdery coal mining explosives, suspended in testing galleries is studied with a high speed camera. The higher is the detonation velocity of explosive and the smaller is the diameter of a gallery, the shorter is the induction period of  $\text{CH}_4$  ignition. This shows that  $\text{CH}_4$  ignition is strongly influenced by reflected shock waves. But it is questionable whether collisions of only attenuated shock waves are able to ignite  $\text{CH}_4$ -air mixture.

When a bright luminescence is found reappeared in the central part of a gallery,  $\text{CH}_4$  is always ignited. This is because a high energy zone is formed there by collisions of reflected

shock waves with gaseous products of explosion. Even if we try with the same amount of explosive,  $\text{CH}_4$  is not ignited when only very small luminescence is found. This small luminescence will be perhaps brought back from collisions of only shock waves attenuated.

Appearance of the bright luminescence, related to ignition, may be conditionally determined by the strength of shock and the temperature of gaseous products. And as they are changeable delicately case by case, the relation between the bright luminescence and  $\text{CH}_4$  ignition may be subjected to the law of probability.

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