

## ブロック上の爆薬包の爆発について

## —瞬間 X 線写真観察—

松本 栄・田中雅夫・吉田 正

金属ブロックは従来から爆薬の猛度および威力等の簡単な試験法に用いられている。よって、筆者等は各種ブロック上で粉状爆薬または鋳造爆薬を爆発させて爆薬内部で起爆した雷管の管体破片の挙動および各種ブロックの変形について瞬間 X 線写真法を用いて観察した。その結果として次のような知見を得た。

- 1) 雷管底部破片は粉状爆薬中では急速にブロック表面方向に進むが、鋳造ペントライト中では殆んど前進しない。
- 2) 鋳造ペントライト内で爆発した雷管管体は完全に薬の中に存在しないこともあるが、殆んどは爆薬上部方向に進展する。
- 3) 爆薬初期には各種ブロックの変形の相違は殆んど認められないが、後にそれらの物理的性質によって著しい相違を示す。
- 4) 鉛ブロック上の鋳造ペントライトの爆発によりブロックのクレーターの中心に凹部ができるが、これは雷管底部破片の貫通などによるものでなく、反射衝撃波の集中によるものであると考える。
- 5) アクリル樹脂ブロックの変形は粉状爆薬、鋳造爆薬ともに、その爆発の反射衝撃波の集中により同じ形に破壊される。

## I. 緒言

火薬類の試験法には鉛ブロックのような金属ブロック上で爆薬包を爆発させて、その変形により爆薬の威力を検査する機会が多い。筆者等は材質の異なった各種ブロックを用いてブロック上における爆薬包の爆発挙動、薬包内の雷管管体破片の進展状況および各種ブロックの変形過程について瞬間 X 線写真法を用いて観察し、一応の知見を得たのでここに報告する。

## II. 実験項目

この実験は主として次の項目について行なった。

- 1) ブロック上で爆発した爆薬包中の雷管の挙動
- 2) ブロック上の爆薬包の爆発ガスの挙動
- 3) ブロックの材質等による変形過程
- 4) 爆薬の種類による影響

## III. 実験装置および実験諸元

3.1 瞬間 X 線発生装置；Field Emission 社製、FEXITRON 730(～300kV, 2 素子, パルス幅 100nano sec.)

3.2 フィルム；Kodak 社, R. P, Royal X-Omat. Du Pont 社, 増感スクリーン併用。

3.3 露光方式；主として二重露光方式<sup>1)</sup>を用い、第 1 回露光(放電電圧 225kV)は爆発前の原点をとらえ、第 2 回露光(放電電圧 260kV)である時間の爆発変位をとらえる。

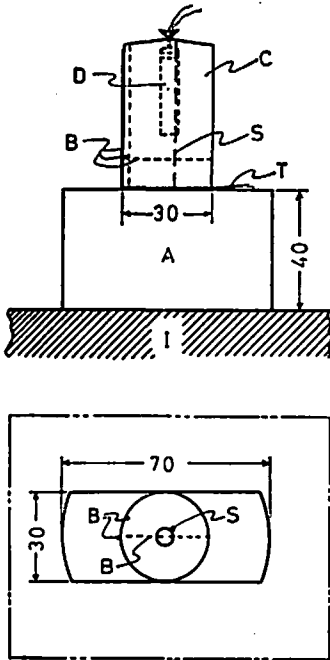
3.4 供試爆薬；主に粉状爆薬(5号黒カーリット, 薬量 30g, 薬径 30mm)を用いたが、他に鋳造ペントライト(TNT:PETN85:15, 薬量 33g, 薬径 30mm, 高さ 30mm 雷管挿入孔,  $\phi 7$ mm, 深さ 15mm)等を用いた。

なお、粉状爆薬の場合は薬包中に BaSO<sub>4</sub> 糸を挿入して薬包中のガス流動状況を観察した。この BaSO<sub>4</sub> 糸の使用目的については既に報告<sup>2)</sup>してあるので、ここでは省略するが、その薬包中の挿入状況および爆薬包の各種ブロック上への設置状況は Fig. 1 に示す通りである。

3.5 同期方法；撮影同期方式はイオン探針方式を用いた。その挿入状況は Fig. 1 に示すように、薬包底部とブロック表面の間隙にイオン探針を挿入して

昭和49年7月1日受理

\* 公害資源研究所 東京都北区浮間 4-26



- A : Al-block
- B : BaSO<sub>4</sub>-thread
- C : Cartridge-Pentolite
- D : Detonator
- I : Iron-block
- S : Iron-wire for supporting detonator (2mmφ)
- T : Trigger

Fig. 1 Arrangement in testing

あるため、雷管起爆後爆薬の爆ごうが爆薬底部に達した時点で同期する。したがって文中に遅れ時間とあるはこの同期時間後の遅れ時間 ( $\mu\text{s}$ ) を言う。

3.6 ブロックの種類：供試ブロックの材質は鉛、アルミニウム、アクリル樹脂、パラフィン等を用いた。

#### IV. 実験経過と写真観察

供試爆薬とブロックとの組合せについては次の表に示す。イオン交換型爆薬は比較試験として行なったも

爆薬名	試験ブロック材質名
5号黒カーリット	アルミニウム A(12), B(33), 水面上
イオン交換型爆薬	アルミニウムB, (つるし試験)
鋳造ペントライト	アルミニウムB, アクリル樹脂(80), パラフィン(2)

- 注 1) 表中各ブロック材質に示すく ) 内の数値は Shore-硬度値である。  
 2) アルミニウムA, Bの硬度の違いは, Aはアルミニウム, Bはアルミ合金によると思われる。

のである。

#### 4. A 粉状爆薬によるブロック試験

##### 4. A. 1 アルミニウムブロック上の5号黒カーリット爆薬包の爆発

Fig. 2 は Fig. 1 に示す実験配置でトリガー作動後の遅れ時間をそれぞれ 4, 10 $\mu\text{s}$  とした場合のX線写真である。また、爆発後のアルミニウムブロックの変形状態は Fig. 3 に示す。

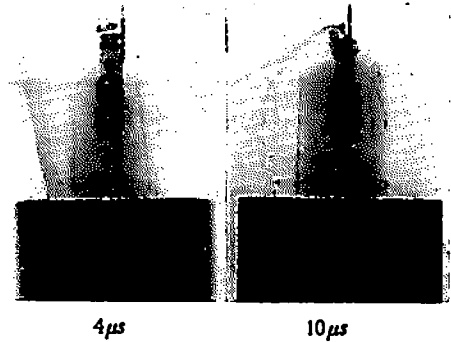


Fig. 2 Detonation of a cartridge of Carlit on aluminium block

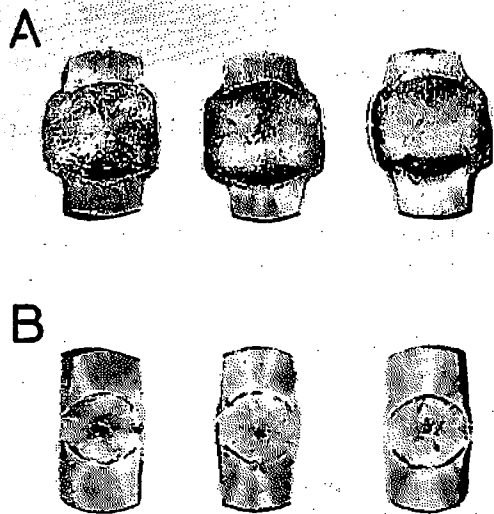


Fig. 3 Deformed aluminium blocks by detonation of Carlit

これらの写真から次のことが認められた。

- 1) アルミニウムブロック表面の変形はトリガー作動後 8~10 $\mu\text{s}$  に観察される。
- 2) 爆薬包内で爆発した雷管管体の底部破片は同期後の遅れ時間の経過につれて前進するが、同期後 10

$\mu\text{s}$  まではアルミニウムブロック表面に到達せず、 $20 \sim 30 \mu\text{s}$  でアルミニウムブロックの表面または変形面に到達する。しかし、Fig. 3 に見られるように多くの場合、その衝突痕はほとんど認められない。(ブロック面上の小さい凹みは雷管とブロック面との距離を一定に保つために雷管に沿わせた鉄線の衝突痕である) このほか鉛ブロック上で5号黒カーリットを爆発させた場合も同様に雷管底部破片の衝突痕は認められない。この点については後述(4. B. 1)の鈎造ペントライトの鉛ブロック上の爆発後の変形と著しく異なる。

3) 爆薬の爆発生成ガスの進展については、その薬包底部付近のガスの変位は薬包底面に平行に挿入した  $\text{BaSO}_4$  系の変位により同期後  $2 \mu\text{s}$  および  $4 \mu\text{s}$  (Fig. 2) の写真でブロック表面で反射するガス状況が認められる。爆薬包側面のガス進展は特に著しい特徴は認められない。

#### 4. A. 2 水面上における5号黒カーリット爆薬包の爆発

Fig. 4 は水面上に置いた爆薬包の爆発挙動を同期後の遅れ時間をそれぞれ  $5, 15 \mu\text{s}$  で撮影したものであ

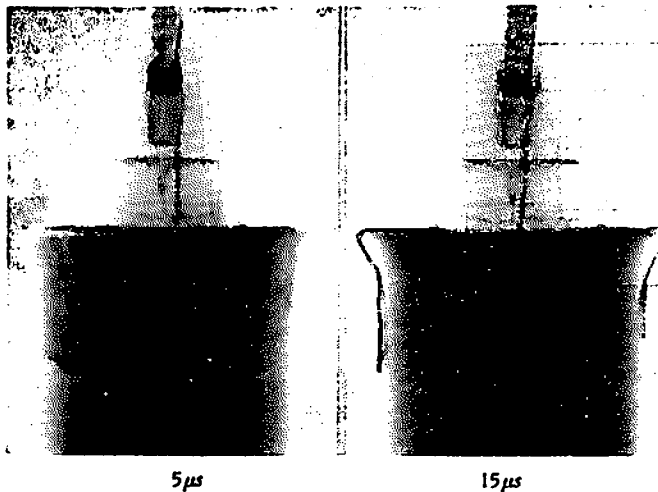


Fig. 4 Motion of water surface by detonation of explosives

る。

1) 水面の変形は  $5 \mu\text{s}$  の写真で認められる。(この場合、水面上に  $\text{BaSO}_4$  を塗布した紙テープを配置した)

2) 雷管管体の底部破片は  $15 \mu\text{s}$  では初めの静水面に到達せず、 $20 \mu\text{s}$  で到達している。水面の爆発ガスによる進展は雷管底部破片よりも先行する。すなわち、爆薬の爆発ガスの影響により雷管のみの空中<sup>2)</sup>、水中<sup>3)</sup> における自由爆発のような底部破片の軸方向への著しい先行は見られない。

3) 爆発生成ガスの進展については、薬包の底部に水面に平行に挿入した  $\text{BaSO}_4$  系の移動状況からアルミニウムブロック上の場合と異なり軸方向に前進する。

水面付近での側面方向へのガスの進展は初期においては水面変化と殆んど時間差はない。

#### 4. A. 3 5号黒カーリット爆薬包のつるし爆発実験

注) 爆発現象写真下の時間はトリガー同期後の遅れ時間を示す。

各種ブロック上の爆発との比較試験として、つるし爆発実験を行なった。

Fig. 5 は同期後の遅れ時間が  $5, 10 \mu\text{s}$  の場合の写真である。これらの写真から次のことが観察される。

1) 薬包中の雷管の爆発状況は変りないが、管体底

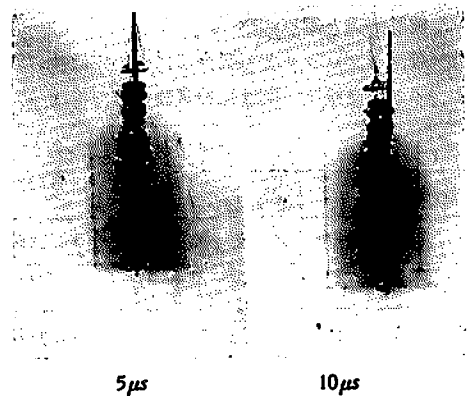


Fig. 5 Detonation of a cartridge of Carlit in air

部破片は  $10\mu\text{s}$  で既に薬包底面位置に到達している。

2) 薬包底面近くに底面に平行に挿入した  $\text{BaSO}_4$  糸の変位は遅れ時間  $2\mu\text{s}$  で前進を開始している。

3) これらの現象は何れも薬包底にブロック類が存在しないために生じた差異である。

#### 4. A.4. イオン交換型爆薬包のアルミニウムブロック上の爆発

薬包内で爆発した雷管の管体破片の変位は周辺爆薬の種類により当然異なることが考えられるので、薬種による影響をしらべるため、同じ粉状ではあるが爆速の小さいイオン交換型爆薬を用いて同様の実験を行なった。この実験での撮影結果の写真の掲載は割愛するが、これらの写真から次のことが観察される。

1) 遅れ時間  $2\mu\text{s}$  ではアルミニウムブロックの変形は認められない。

2) この爆薬の威力が小さいため、管体破片の変位は大きく、遅れ時間  $2\mu\text{s}$  で管体底部破片はすでにアルミニウムブロックの表面に到達している。

#### 4. B 鋳造ペントライトによるブロック試験

4. A においては5号黒カーリットおよびその他の粉状爆薬を用いてブロック上の爆発観察を行なったが、ここでは鋳造した固形爆薬のブロック上での爆発現象の観察結果を示す。

4. B.1 アクリル樹脂上の鋳造ペントライトの爆発実験配置は Fig. 1 に示すものと概ね同様にし、アクリル樹脂ブロック(縦70mm, 横70mm, 厚さ50mm)の上に鋳造ペントライトをおき、同期後の遅れ時間  $10\mu\text{s}$  ~  $200\mu\text{s}$  の間で撮影した。Fig. 6 はそれぞれ遅れ時間 10, 50,  $200\mu\text{s}$  における爆発状況を示す。これらの写真から次のことが考察される。

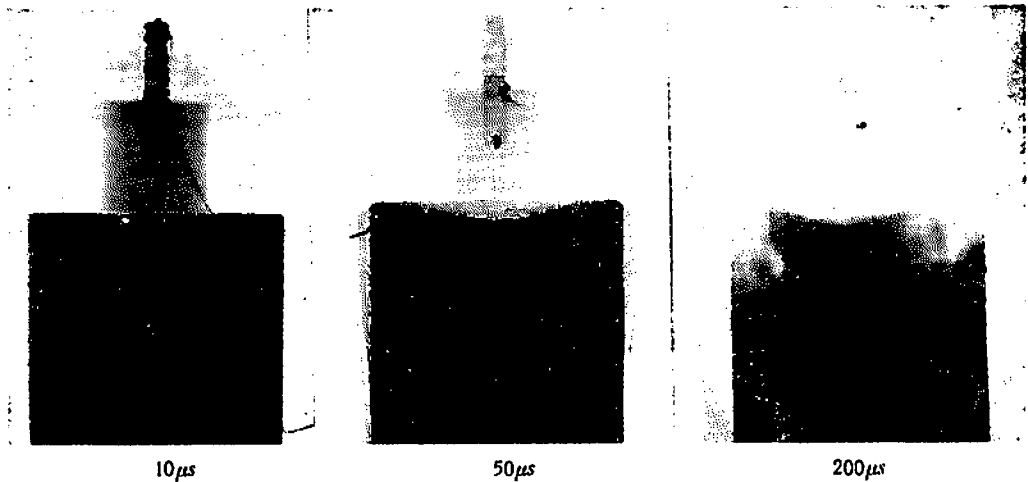


Fig. 6 Deformation of acrylic resin by defonation of cast pentlite

1) アクリル樹脂の変形は同期後  $5\mu\text{s}$  での写真で認められる。

2) 鋳造ペントライト内の爆発雷管の変位は前述の5号黒カーリット薬包内での爆発の場合と異なり、管体底部破片は殆んど軸方向(下方向)に前進しない。管体側面破片は同期後  $10\mu\text{s}$  で撮影した写真で上部に移動しているのが認められる。これらの状況は鋳造爆薬のためであり、また雷管管体の全体が鋳造薬包内に入っていないためとも考えられる。(Fig. 6 参照)。

3) この実験でとくに興味のあることはアクリル樹脂の破碎過程で Fig. 6 の遅れ時間  $50\mu\text{s}$  と  $200\mu\text{s}$  の写真と Fig. 7 に示す爆発後のアクリル樹脂の残存物との関連である。遅れ時間  $50\mu\text{s}$  の写真では破碎状況は放射状であるのに対して、 $200\mu\text{s}$  では中心下部に残

存物の形体をのこし破片は側面方向に進行し、中心上部は皿状を示している。その破碎機構は明らかではな

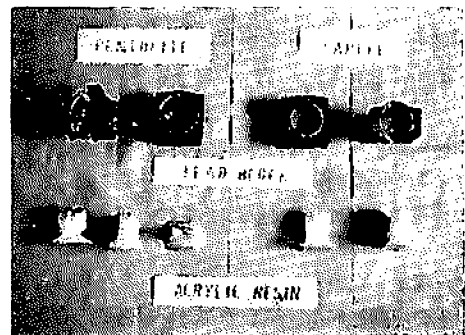


Fig. 7 Deformed blocks by detonation of explosives

いが特殊な形状を示している。なお、Fig. 7のアクリル樹脂の破砕残存物は縦、横、および上部を撮影したものである。

4) 爆薬の爆発生成ガスの進行は同期後  $30\mu\text{s}$  までに撮影した写真に認められる。

4. B.2 パラフィンブロック上の鋳造ペンライトの爆発

実験配置は前項と同じであるが、パラフィンブロック ( $70\times 70\times 40\text{mm}$ ) 上で鋳造ペンライトを爆発させた。パラフィンブロックを用いた理由は、鉛ブロックはアルミニウムブロック等と異なり硬度だけでなく融点も低いので、明らかに融点の低いパラフィンブロックでは鉛ブロックと同じような変形過程を示すものと推定したためである。Fig. 8は左より同期後 10、

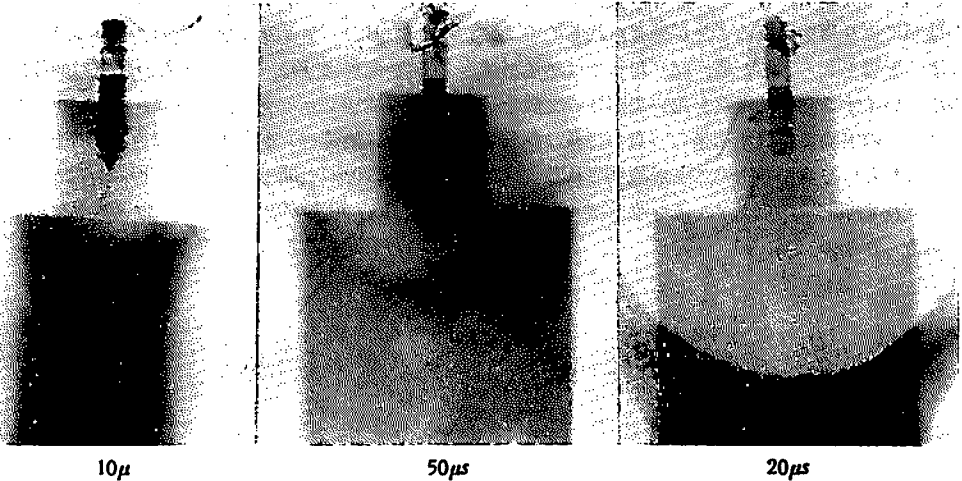


Fig. 8 Deformation of paraffin block by detonation of cast pentolite

50,  $200\mu\text{s}$  で撮影した瞬間写真である。

1) パラフィンブロックの上部表面の変形は同期後の遅れ時間  $10\mu\text{s}$  ではアクリル樹脂の場合と相違がないが、 $50\mu\text{s}$  以後においては変形状況、凹み深度とも相違する。とくに、中心部は溶融しているように見える。

2) 爆発雷管の管体破片の変位は鋳造ペンライト内の爆発であるから、爆発初期には前項のアクリル樹脂の場合と殆んど相違はないが、後期において雷管底部破片はブロックの方向に進行している。これはパラフィンブロックの上部の変形が著しいので、爆発生成ガスの進展状況がアクリル樹脂の場合と異なるためである。

3) 爆発生成ガスのブロック上部での進展は金属ブロック等の場合と異なりパラフィンの硬度および融点等の物理的性質の相違により球状に進展するものと考えられる。

#### V. 考 察

以上の実験結果を総括して考察すると；

1) 爆薬包内で爆発する雷管の管体破

片の進展は周辺爆薬の種類により異なるが、本実験でブロック上におかれた粉状爆薬包内で起爆した雷管底部破片の進展 (Fig. 2 参照) と鋳造爆薬内でのそれらの進展 (Fig. 6 参照) とを比較すると、明らかに前者の方が著しい前進を示す。その両爆薬中で起爆した雷管の底部破片の進展測定結果を Fig. 9 に示す。

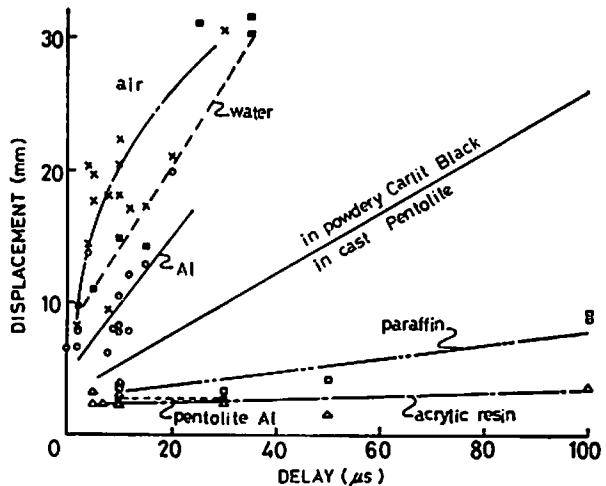


Fig. 9 Development of bottom fragment of exploded detonator

2) 鋳造ペントライト内で起爆した雷管管体破片については、爆薬内に雷管体全体を挿入していないためでもあるが点火玉部および添装薬部の側面管体の破片は爆薬の爆発生成ガスの進展により上部に推進され、管体底部破片も殆んど前進しない。(Fig. 6, 8 参照)

3) 爆薬の爆発生成ガスの進展についてはブロックの抵抗面があるため、当然ガス進行方向が変わることが考えられるが、観察写真中の粉状爆薬内の BaSO<sub>4</sub> 糸の変位、雷管底部破片の進行状況からもこのことが認められる。

4) 同種類の爆薬による各種材質のブロックの変形状況はアルミニウム A, B においては変形が少なく亀裂を生じて破壊される。また、アクリル樹脂では Fig.

6 で見られるように特異な破碎を示すが、パラフィンでは初期変形は前者と余り差はないが、後期において変形の形状、過程および破碎状況を異にする。これはブロックの材質の差によるもので、前記の金属およびアクリル樹脂と異なりパラフィンや水は弾性的強度や抗張力はなく、また衝撃波抵抗もはるかに小さいために Fig. 8 に示すような変形をしたものと考えられる。パラフィンブロックの変形状況は水面変形に似ている。パラフィンブロックの鉛ブロック代用材としては適当でない。

なお、各種材質の表面クレーターの進展状況の測定結果を Fig. 10 に示す。

5) Fig. 7 に示す鋳造ペントライトによる鉛ブロッ

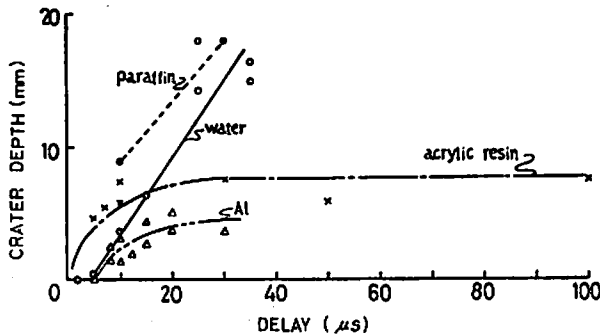


Fig. 10 Crater depth growth on block by detonation of explosives

クの変形 (左側) と粉状5号黒カーリットによる鉛ブロックの変形 (右側) を比較した場合、前者はクレーター中心部にさらに穿孔状凹部を見る。この成因について当初は鋳造ペントライト自体の起爆状況によるか、または、雷管底部の爆発特性によるものと考えたが、各種ブロック (アルミニウム、アクリル樹脂、パラフィン、および水面等) 上の変形過程の瞬間X線写真観察の結果、試験爆薬自体の爆速、反射衝撃波の衝突によるものと考察する。

粉状5号黒カーリットではこのクレーター中心部の穿孔状凹部は見られない。しかし、Fig. 7 に示すように粉状5号黒カーリットによるアクリル樹脂ブロックの破碎残存物の形状は鋳造ペントライトによるアクリル樹脂ブロックの破碎残存物と非常によく似ている点から根本的な相違はないものとする。

## VI. 結 言

以上、主として粉状5号黒カーリットおよび鋳造ペントライトを用いて両薬包内の雷管の爆発挙動、爆発ガスの進展状況および各種材質ブロックの変形過程を瞬間X線写真法を用いて観察した結果、それらの爆発状況について二、三の知見を得た。

### 参考文献

- 1) 田中, 松本, 赤羽, 吉田「瞬間X線写真観察による炭酸爆薬の燃ごう」工業火薬, 32, 252~258 (1971)
- 2) 吉田, 赤羽, 田中, 松本「雷管の爆発現象に関する研究」工業火薬, 31, 319~325 (1970)
- 3) 工業火薬口絵, 31, No. 1 (1970)
- 4) 田中, 吉田, 松本「瞬間X線写真法による爆薬包中の雷管爆発挙動について」工業火薬, 32, 99~103 (1972)

**Detonation of explosives on block.  
by flash radiographic observation**

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

Sometimes, metal block is used as the convenient testing material for brisance or strength of explosives.

The observation for following items is carried out by flash radiographic method:

- 1) detonation of explosives on block,
- 2) development of shell fragments of detonator exploded in a cartridge,
- 3) deformation of a block by detonation of a cartridge on it.

From these photographs and deformed blocks, we find the following facts:

1) The bottom fragments of detonator in a cartridge of powder explosives make rapid progress to the block surface, but those in cast pentlite make slow progress, as shown in Fig. 9.

2) In detonation of cast pentlite, the fragments of detonator's shell moves upward with gas flow as shown in Fig. 6.

This may be partly caused by imperfect insertion of the detonator into the cartridge.

3) In the earlier stage in deformation, the difference in deformation between various blocks is not recognized, but later it becomes remarkable because of difference of each physical property between them, as shown in Fig. 8.

4) In the lead block deformed by detonation of cast pentlite, we can see the cave at the centre of crater, as shown in Fig. 7.

We consider that this cave is not made by the penetration of the bottom fragments of detonator, but by the collision of the reflected shock wave.

5) In acrylic resin block test by the powdery or cast explosives, the deformed blocks show that they are destroyed into similar shape by the collision of reflected shock wave too.

(National Research Institute for Pollution and Resource. Ukima, Kita-Ku, Tokyo.)