

角柱型薬包の爆ごう現象の観察

—瞬間 X 線写真法による—

田中雅夫*, 松本 栄*
赤羽周作*, 吉田 正*

炭酸爆薬（ここではイオン交換型爆薬）の爆ごりに対する瞬間 X 線写真観察に角柱型薬包の適用性を検討する実験を行なった。この写真観察には爆薬の爆ごう生成ガスの流動を知るためにとくに流動性線造形剤 BaSO₄ を木綿糸または紙テープに塗布、乾燥したものをを用いた。

本実験の結論として次のことが考えられる。

(1) 角柱型爆薬包の四平面および四隅の適当な所に BaSO₄ 糸を配置することによつて、かつて Farady シャツタによつて得られたと同様に、爆ごう生成ガスの進展は薬包断面において十字花状をなす。

(2) 爆ごう生成ガスの進展に伴う BaSO₄ の変位について測定し、薬包側平面とその隅との位置による変位を比較した。

(3) 鉱山爆薬の爆ごうの X 線観察には、複雑な爆ごう生成ガスの進展をなす角柱型爆薬包よりも円柱型薬包の使用が簡易で適当である。

1. まえがき

炭酸爆薬のうち特にイオン交換型爆薬の爆ごうについては、密閉状態と非密閉状態において相当の相違があることが知られており、反応状況の異なることが言われている。このような爆ごう状態を知るために、瞬間 X 線写真法を用いて観察するが、予備試験としてまず爆薬包の形状による爆ごう現象への影響の観察を行つた。ここではイオン交換型爆薬を用いて角柱型爆薬包の爆ごう状況を観察した。

2. 試験方法

2.1 瞬間 X 線写真装置と実験配置

ここで使用した瞬間 X 線写真装置は米国の Field Emission 社製 Series 730 で、最高電圧 300KV、閃光時間 100nanosec (10⁻⁷sec) のものである。この装置については既に述べたのでここでは省略する¹⁾。

実験配置については、Fig. 1 に示すように X 線管

(T) とフィルム枠 (F) との間に大体図に示すような距離 (2.7~3.0m) で爆薬包 (O) をおき、その両側には爆発によつてフィルム枠 (F) と X 線管 (T) が破損しないように、防禦板 (P₁, P₂) をおく。この防禦板 (P₂) はドイツ²⁾ ではプラスチック板を数枚、数 cm 間隔でおくが、筆者等は 2 mm のベニヤ板 (plywood, or veneer) を 3~4 板おき、さらにフィルムに近い側には 3 mm のアルミニウム板をおく。ベニヤ板は実験時に破砕されるのでその都度取換えなければならない。しかしこの方法は安価で作業も簡便である。

防禦板 (P₁) は X 線管 (T) と爆薬包 (O) との距離が大であるからベニヤ板 1 枚を用いる。これは時に電管体の破片等が到達することがあるために設置する。

2.2 使用爆薬と薬包の作成

ここで使用された爆薬はイオン交換型爆薬でその成分については Table 1 に示す。

角柱型薬包の作成には凹型木枠を用いて成型するが爆発生成ガスの進展を求めするために筆者等は胃の検査に使用する液状 X 線造影材である硫酸バリウムを用いて、木綿糸に塗布し乾かしたもの (以下これを BaSO₄ 糸と云う)、または紙テープに塗布して乾かしたもの (以下これを BaSO₄ テープという) を成型中、また

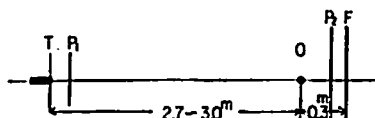


Fig. 1 Arrangement for Test.

* 公害問題研究所 東京都北区浮間町 4-26

成分名	成分率
NG	9.7%
綿葉	0.3
NH ₄ Cl	34.4
NaNO ₃	54.6
ステアリン酸カルシウム	0.5
グァーガム (F225)	0.5
鉄管爆速	1,900m/sec

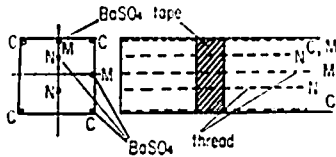


Fig. 2 Position of BaSO₄ tape or thread

は成型後の薬包に添加する。その位置については Fig. 2 に示すように C は薬包の隅においた糸、M は薬包面の中央においた糸、N は薬包中に成型後挿入した糸で、BaSO₄ テープの場合は成型薬包完成後外部に巻いた。時には C の位置に銅脚線を附したこともある。(Fig. 6 参照)

ここで粉状 BaSO₄ を BaSO₄ 糸の代りに使用する方法も考えられるが、その作業が困難なため検討中である。

3. 実験

このような角柱型爆薬包の爆ごうについてはさきに Faraday Schutter による角柱ベントリットの爆ごう写真³⁾がある。筆者等はこの現象と同じであることを予期するが、ここでは瞬間 X 線写真の特性を用いて、

BaSO₄ の影を把える。これは多少爆発生成ガスの進展に比して遅れるであろうが、これは将来補正する積りで各種の配置 [すなわち Fig. 3(1~3) に示すようなフィルム面と爆薬(E)軸との角度が垂直、45°、平行] を変えて、イオンギャップ (S) 方式により同期させて瞬間 X 線写真を撮り、BaSO₄ の進展を観察した。

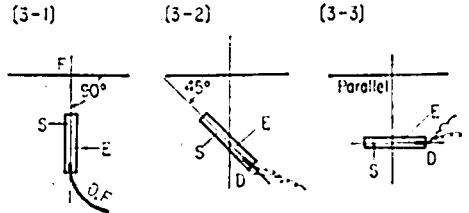


Fig. 3 Arrangement of Cartridge to Film

3.1 実験 I 角柱型薬包軸がフィルム面に垂直の場合の実験

この実験は角柱型薬包の爆ごうで爆発生成ガスの進展は軸方向から見て十字花状に進展するであろうことは予想されるから、先づ薬包軸がフィルム面に垂直の場合について観察した。

この時の BaSO₄ 糸、BaSO₄ テープの配置は Fig. 2 に示すとおりであるが BaSO₄ 糸の N は存在しない。

爆発包 (E) は Fig. 3-1 に示すように懸吊された。図の S はイオンギャップ方式による同期点である。

この起爆には、軸方向からの投影で雷管を用いると雷管破砕片も投影されるので、導爆線 (D・F) により起爆した。その爆発写真は Fig. 4 に示す。

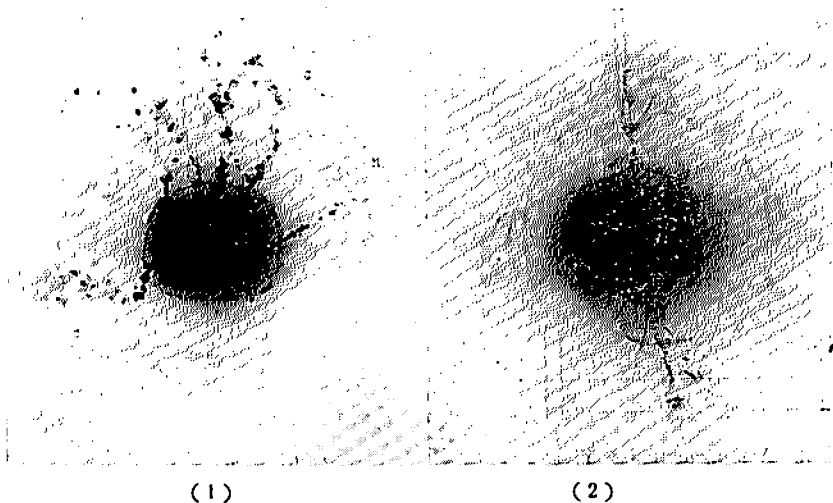


Fig. 4 Photographs for Arrangement in Fig. 3-1

この時 Fig. 4(1) は BaSO_4 糸(C, M)をあまり多く配置したので混乱しているが、 BaSO_4 テープの進展は明らかに爆発生成ガスの十字花状進展をあらわしている。すなわち、角柱側面の四平面の中央部 (Fig. 2におけるMの部分) で爆発生成ガスは最も早く進展し、角柱の隅角部 (Fig. 2でCの部分) は最もおそいことが BaSO_4 テープの投影によつて認められる。その原位置からの変位は Table 2 に示す。

3.2 実験 II 薬包軸とフィルム面は 45° の場合

その薬包の配置は Fig. 3-2 に示す。この時の BaSO_4 糸、 BaSO_4 テープの薬包における配置は Fig. 2 に示す。(Nは存在せぬ)

この時の爆薬の起爆 (E) は 6号電気雷管 (D) を用いた。

イオンギャップ (S) 方式で同期して得た爆発写真は Fig. 5 に示す。この場合も BaSO_4 糸が余り多く、 BaSO_4 テープの進展を見るには混乱するが、爆発生



Fig. 5 Photograph for arrangement in 3-2

成ガスは十字花状進展を 45° に向けた投影図と同様の様子を示す。

3.3 実験 III. 薬包軸とフィルム面とが平行である場合の実験

前述の2つの実験を考慮に入れて Fig. 3-3 に示すように薬包軸とフィルム面が平行になるように爆薬包を配置し、薬包中の BaSO_4 糸を Fig. 2 に示すように添加した。(図中のNはない) この場合の瞬間写真を Fig. 6 に示す。

前の実験から Fig. 2 の M 部では爆発生成ガスが最も早く進展し、C 部ではおそい筈である。Fig 8 に示すように C 部の進展 (L_0) はこれを側面から見るので、Fig 8 の L になるから L_0 に換算して見るとやはりおそいことに示す。(Table 2 参照)

この写真で 2ヶ所の C 部にそれぞれ BaSO_4 糸と銅脚線を添加したが、銅脚線の進展は糸の進展に比しておそい。写真中で上下の変位角は銅脚線で $7\sim 8^\circ$ 、 BaSO_4 糸で $12\sim 15^\circ$ である。またその進展は Fig. 9, 10 に示す。われわれが爆発生成ガスの進展を追跡するためには遅れの少ない材料を用いる必要があり、さらに検討している。

筆者等がこの鉱山用爆薬包の爆ごうの研究を行なう目的のためには爆発生成ガスがかように複雑に進展するものは好ましくない。むしろ円柱型爆薬包が適当で、作業も簡便であると考える。

3.4 実験 IV 爆薬包中の軸に平行な BaSO_4 糸の爆発時の挙動について

筆者等は別に円柱型爆薬包中の BaSO_4 糸の挙動について研究しているが、ここでは角柱型爆薬包中の糸

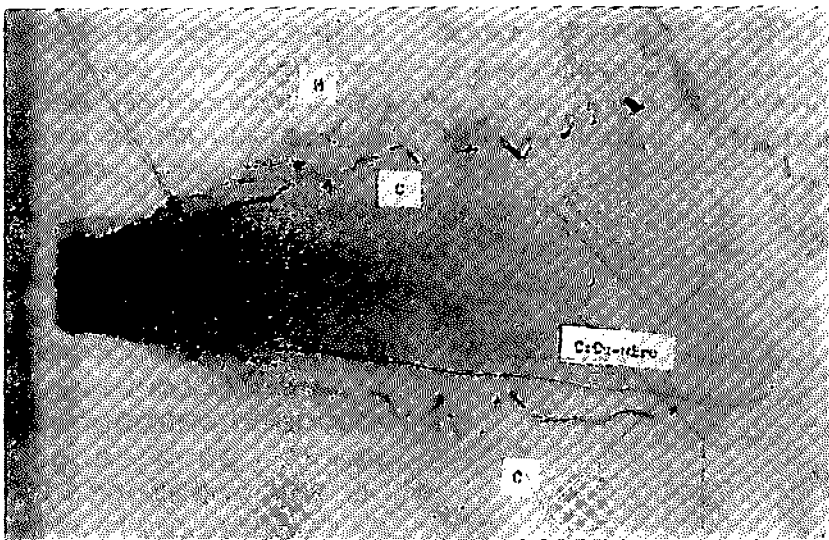


Fig. 6 Photograph for arrangement in Fig. 3-3

の爆発時の進展について扱えた。

BaSO₄ 糸の配置は Fig. 2 の M と N である。爆薬包のフィルム面に対する配置は Fig. 3—3 と同様であった。

その爆発写真は Fig. 7 に示す。

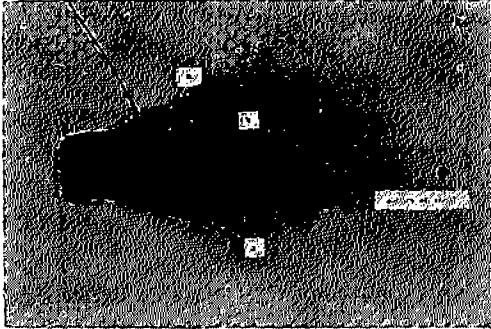


Fig. 7 BaSO₄-thread in cartridge

この BaSO₄ 糸の進展については将来爆ごう頭 (detonation front) 付近の研究において考えるつもりである。

4. 考 察

筆者等がここで疎めたいことは、円柱型薬包と角柱型薬包の爆ごう時の生成ガスの進展で、何れが鉱山爆薬の爆ごう現象の観察に有利であるかを求めるため、まず角柱型薬包型の爆発現象とくに爆発生成ガスの進展を検討するにある。

これらの角柱形薬包の爆発によるガス進展を見るために実験 I ~ III の写真から BaSO₄ の薬包面に垂直な方向 (Fig. 8 の H) とこれに 45° の方向 (Fig. 8 の L₀) および L₀ の投影長 (Fig. 8 の L) を測定し、Table 2 に示す。Fig. 8 に示すように垂直方向 H の 4 測定値を a, b, c, d とし、例えば a, b の間にある L との比較には (a+b)/2 として mean H を求めた。(b+c)/2 等もこれに準ずる。これは (a+b+c+d)/4

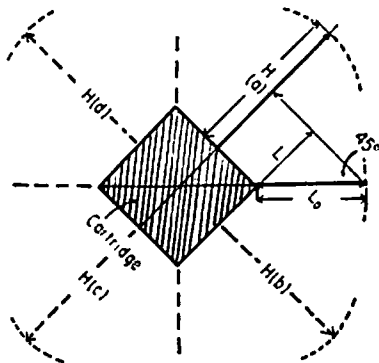


Fig. 8 Model of Expanded BaSO₄ Powder

とするほど実験では均一でないためである。実験 I は垂直投影であるから、L₀ を測定して $L=L_0/\sqrt{2}$ を求め、実験 III の場合は $L_0=\sqrt{2} \cdot L$ を求めた。H に対する L, L₀ を図示すれば Fig. 9, Fig. 10 となる。図の H=L₀ とは円柱形薬包で考えられるよ

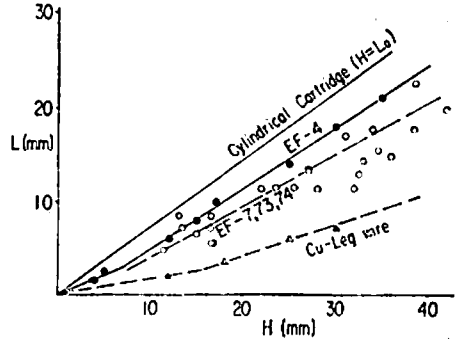


Fig. 9 Displacement of BaSO₄

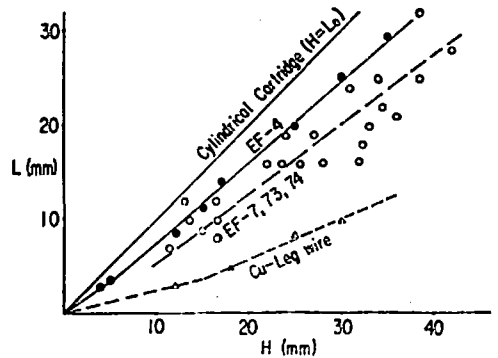


Fig. 10 Displacement of BaSO₄

うな同一進展とする時の限界であり、角柱型薬包においては $H > L_0$ であることを示す。

Fig. 9, Fig. 10 に示す EF4 の線は BaSO₄ 糸による測定値で ● で示し、EF7, 73, 74 の線は BaSO₄ テープによる測定値で ○ で示す。EF-4, EF7, 73, 74 は実験番号である。

これらの実験結果を見ると;

(1) 角柱型薬包の爆ごうは円柱型薬包の爆ごうに比して、とくに爆発生成ガスの進展は複雑である。すなわち十字花状進展を示し、これの側面方向観察することはあまり好ましくない。われわれの研究にはむしろ実際に使用される円柱型薬包の方が実験準備や作業が簡単であり、適当であると考えられる。

(2) BaSO₄ 糸の使用については Fig. 6, Fig. 10 に示すように銅脚線など使用するよりも爆ごう生成ガスに対しての進展のおくれが少ない点で適当と考える。

Table 2 Displacement of BaSO₄

Testing Code No.	H	mean* H	L ₀	L	Remark
EF74 [外] [内]	a) 30mm	28mm	16mm	11.4mm	L ₀ : measured value. L = L ₀ /√2 : Calculated
	b) 26	32	16	11.4	
	c) 38	31	24	17.0	
	d) 24	27	19	13.5	
	a) 9	11.5	7	4.9	
	b) 14	13.0	12	8.5	
	c) 12	15.0	9	6.4	
	d) 18	13.5	10	7.1	
EF73 [外] [内]	a) 37	38.5	25.0	17.7	
	b) 42	42.0	28.0	19.9	
	c) 42	38.5	32.0	22.6	
	d) 35	36.0	21.0	14.8	
	a) 24	25.5	16.0	11.4	
	b) 27	27.0	19.0	13.4	
	c) 27	23.5	16.0	11.4	
	d) 20	22.0	16.0	11.4	
EF 7 [外] [内]	a) 32	33.0	20.0	14.2	
	b) 34	34.5	22.0	15.6	
	c) 35	34.0	25.0	17.7	
	d) 33	32.5	18.0	12.8	
	a) 17	16.5	8.0	5.7	
	b) 16	16.5	10.0	7.1	
	c) 17	16.5	12.0	8.5	
	d) 16	16.5	8.0	5.7	
EF 4	5		2.8	2.0	L : measured value. L ₀ = L·√2 : Calculated
	12		8.5	6.0	
	15		11.3	8.0	
	25		19.6	14.0	
	30		28.2	20.0	
	35		29.4	21.0	
EF 4 Cu-wire	12		2.8	2.0	
	18		4.9	3.5	
	25		8.4	6.0	
	30		9.8	7.0	

* mean H shows (a+b)/2, (b+c)/2, (c+d)/2, or(d+a)/2 respectively

なお、さらに適当な材料については探究中である。

(3) 爆薬の爆ごうで薬包内固体層とガス層の比較観察を行なう場合も円柱型薬包の方が使用上簡便であり、実験に充分支障のないものとする。

(4) この瞬間X線写真法でも、高速度写真法の観察のごとく、角柱型薬包の爆ごうによる爆発生成ガスの進展が十字花状進展をなすことを明らかにした。

5. 結 論

以上の考察から、筆者等は鉾山爆薬の爆ごう現象の

瞬間X線写真法による研究において実際現場で使用される円柱型爆薬包により行うことは適当であると考える。

この際、瞬間X線写真法において BaSO₄ を用いて角柱型爆薬包の爆発状況を観察することが出来た。

BaSO₄ 系、BaSO₄ テープの使用により一応爆発生成ガスの進展を求むるに成功したが、さらによりよい方式を検討したい。

この予備実験としての役割は他種爆薬との爆発現象

の比較実験の基礎となるであろう。

参 考 文 献

- 2) 吉田, 赤羽, 田中, 松本「雷管の構造が爆発に及ぼす影響に関する研究」探鉱と保安 15 p. 393~400 (1969)
- 2) H. Rodewald: Beispiel für eine Versuchsprojektion in der Röntgenblitztechnik; Explosivstoffe S 223~226 (1966)
- 3) 正田:「爆轟理論の進歩 III」工火 13, 221~227のうち p.227 の写真

Observation on Detonation Phenomena in Rectangular Cartridge by X-ray Flash Method.

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

We observed detonation of ion exchanged explosives in rectangular cartridge by X-ray flash method. Thread or tape painted by BaSO_4 was used to show the development of detonating gaseous products in the radiograph.

1) Like the photograph taken with Faraday shutter, the displacement of BaSO_4 powder attached on the cartridge shows the cruciform shape (four petal shape), and the gaseous products at the middle part of lateral face are the most rapid, and at the rim (corner) are not so rapid, as shown in Fig.4 and Fig.10.

2) BaSO_4 -thread or tape attached on the side of cartridge is more suitable for the observation of gaseous products than Cu-leg wire, since the latter moves slower than the former, as shown in Fig.6 and Fig.10.

We are selecting the more suitable materials for this purpose, though they have some delay time at the start of gas expansion in detonation.

By these photographs, the development of gaseous products is estimated by the displacement of BaSO_4 in expanding direction, as shown in Table 2,

3) The cylindrical cartridge is more suitable and convenient for testing of mining explosives than the rectangular cartridge.

(National Research Institute for Pollution and Resources.)