

温測定用熱電対挿入部に切口を入れるので密閉状態ではなくなる。したがって、爆薬包の包装をとり爆薬として半分は切断して重量を計測し、容積は油置換で測定した。

2.4 爆速測定試験

高温状態における各供試爆薬の爆ごう性を試験する方法として、爆薬包を加熱状態で起爆し、その爆ごう速度を測定した。爆薬包の加熱方法としては Fig. 1 に示すように小型空気圧縮機（出力；0.75 kw、吐出し空気量；100 l/min）よりの圧気（ゲージ圧；2 kg/cm²、平均流量；60 l/min）を電熱式予熱器（200 V、2 kw）に送入して加熱し、導管を通して爆薬加熱部の鉄ブロック（350×300×100 mm）内を通し、Fig. 2 に示すようにクラフト紙筒（内径；50 mm、厚さ；

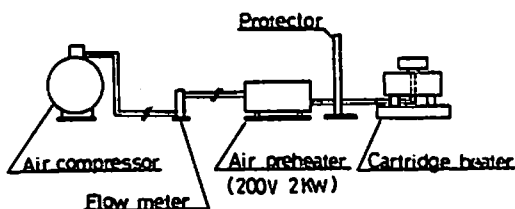


Fig. 1 Schematic diagram of cartridge heating test.

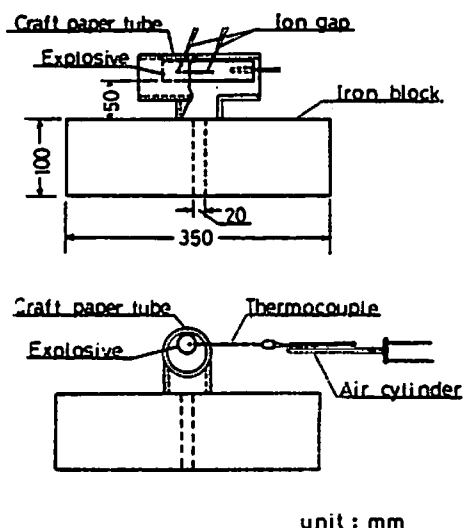


Fig. 2 Schematic diagram of cartridge heater.

5 mm) 内上部にセットした供試爆薬包の中央部に熱風を吹きつけて加熱した。この加熱爆薬の温度測定はクラフト紙筒の外側側面から熱電対（CA、φ1.6 mm 外被管付）2本を差し込み、爆薬包の爆速測定部の中間点と雷管挿入部の薬包中心部まで挿入し、ペンレコー

ダー（理化電機製、2ペン、リニアライザー内蔵）で記録計測した。爆薬包の温度分布は熱風による局部加熱となるため均一でなく、Fig. 3 の温度測定の一例のように雷管挿入部と爆速測定部の温度差は爆速測定部の温度が100℃の場合で約13℃の差が生ずるが、この爆速測定部の薬温を実験温度とした。また、加熱時間は薬温を常温から100℃まで上昇させるに約60分を要した。

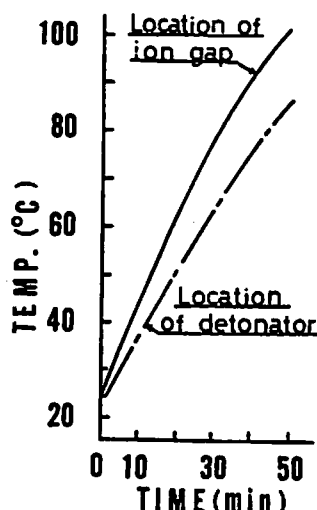


Fig. 3 Relation between rising temperature and measured location in cartridge.

この加熱状態における爆薬包の爆速測定試験にはイオン探針法を用い、イオン探針にエナメル銅線（φ、0.3 mm）を使用して測定間隔を50 mmにとり、スタート用及びストップ用の各探針の先端部を竹ひごに固定しストップ用探針を薬包端から15 mmの点にあてがい薬包の側面に沿わせて密着させ、パルス発生器を介してデジタルオシロスコープ（2 ch、8 bit、4 kword）に接続し、サンプリング速度100 ns/point、入力レンジ±10 Vで計測した。同期方法は供試爆薬の雷管底部から20 mmの点にトリガー用イオン探針をセットし微分回路形式のパルス発生器を通してオシロスコープの外部同期端子に接続し、外部トリガーで行なった。

2.5 殉爆試験

殉爆試験はJIS（K4810）に砂上殉爆試験法で定められているが、本試験においてはFig. 4に示すように溝切鉄ブロック（400×160×50 mm、鉄ブロック中央部の溝、R=16 mm）の溝の上に半円クラフト紙筒（R=18 mm、厚さ、6 mm）を置き、その中に供試爆薬包（薬量、100 g、薬径、φ30 mm）2本を一直

線上に並べる方法で行なった。励爆包の起爆には6号電気雷管を用いた。なお、この殉爆試験においては前節の加熱爆ごう試験の供試爆薬の他にA1系鉍山用含水爆薬を加えて行なった。励爆包と受爆包の薬包間の距離測定はエマルジョン爆薬の場合は薬包が紙包装であるので従来型爆薬と同様に薬包端を基準としたが、その他のポリエチレン包装の含水爆薬は薬包端が球面状となっているため、球面部の薬径が30mmとなる点を基準とした。

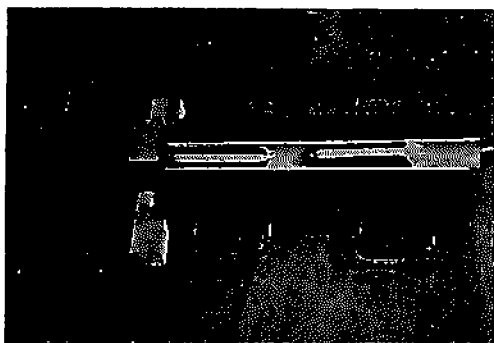


Fig. 4 Arrangement for gap test.

爆薬包の加熱方法は励爆包、受爆包とも薬温55℃までは恒温槽で加熱し、それ以上の温度に上昇させる場合には受爆包のみを前節の爆薬加熱試験装置により受爆部を熱風にて加熱し、所定の温度に達した時点でFig.4に示す半円クラフト紙筒の中に置き、これに恒温槽で55℃付近まで加熱した励爆包を一定間隔の距

離に並べてセットした。受爆包の熱風加熱時の温度測定は薬包の受爆面となる薬包端より2cmの点に熱電対を薬包の中心部まで挿入して行ない、その測定温度を受爆包の実験温度とした。

受爆包の爆否判定はFig.4に示すように受爆包の末端面(受爆面と反対側の端面)に接して置いた鉛ブロック(70×70×40mm)のくぼみの有無で判定し、各

$$dT/dt = 10^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

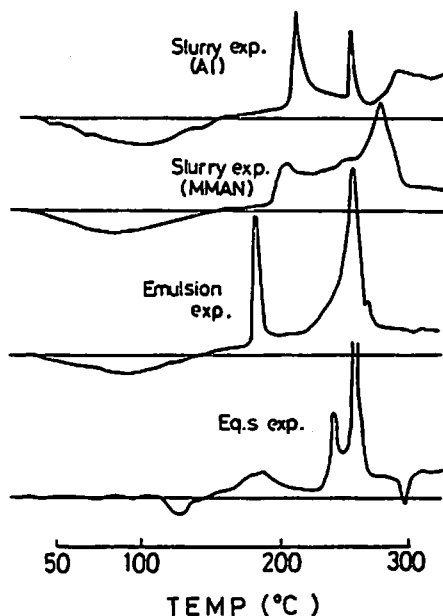


Fig. 5 DTA Curves of explosives.

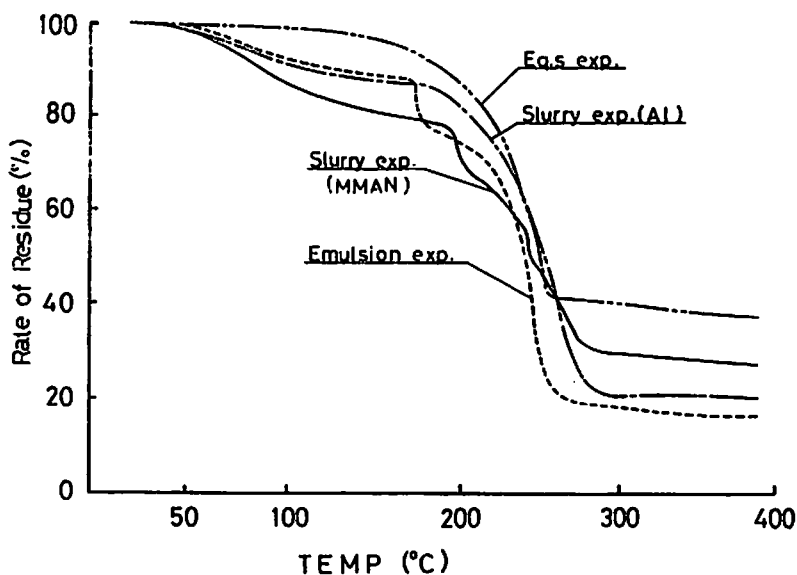


Fig. 6 TG Curves of explosives.

薬温において2回連続して殉爆する最大距離を殉爆距離とした。

3. 実験結果

3.1 耐熱性及び熱安定性

定温加熱発火点試験器による100℃以上の温度に対する熱反応を観察した結果、従来型爆薬は加熱温度110℃で極く微少ではあるが発煙現象が認められ、含水爆薬系のものは130℃以上から発煙が認められたので、実験作業上の安全性の面から実験温度を100℃以下に設定した。

また、各供試爆薬の熱安定性を示差熱分析で調べた

結果、各種含水爆薬の全てにおいて加熱温度40℃付近からFig. 5, Fig. 6, に示すようにDTA曲線及びTG曲線に変化が生じ始めることが認められたので、薬温100℃付近までの爆薬成分中の水分の蒸発に伴う重量変化等による爆薬の爆ごう性及び殉爆性におよぼす影響について検討することとした。

3.2 爆薬の比重測定

A系、MMAN系含水爆薬及びエマルジョン爆薬の3種類について、各々、薬温23℃と100℃において比重測定を行なった。その結果をTable. 1に示す。

Table 1 Density of Slurry explosives.

Explosives \ Cartridge temp.	23℃	100℃	Variation of density
Slurry explosive (A)	1.07	1.05	0.02
" (MMAN)	1.17	1.15	0.02
Emulsion explosive	1.21	1.18	0.03

3.3 爆速測定試験

成分中に水分を含有する含水爆薬の高温時の水分の蒸発に伴う重量変化等の爆ごう性への影響を検討するため、爆薬包の加熱状態における爆速測定試験を行ないFig. 7の結果を得た。この実験結果から供試爆薬の薬温100℃付近までの温度と爆速の関係について比

較した場合、A系及びMMAN系含水爆薬は共に炭鉱用爆薬で同程度の爆速値を示し、ほぼ同じ傾向にある。すなわち、薬温7℃から50℃付近までは温度の上昇に従って爆速値は増加し、それ以上の温度ではやや減少する傾向にある。また、薬温50℃付近から爆速値にバラツキが多くなることが認められる。

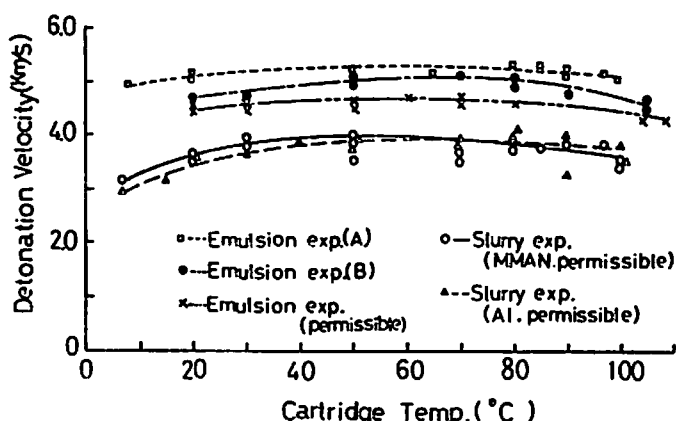


Fig. 7 Relation between cartridge temperature and detonation velocity of slurry explosives.

一方、エマルジョン爆薬には耐熱処理を施した高温用鉱山爆薬(A)と通常の鉱山用爆薬(B)、炭鉱用爆薬の3種類を用いているが、これらと比較した場合高温用爆薬は薬温7℃から50℃までは薬温の上昇により、爆速値は増加する傾向が見られるが余り大き

な変化はなく、また、爆速値のバラツキも少なく他の供試爆薬に比しても薬温100℃までの間では最も安定した爆ごう性を示している。また、他の鉱山用エマルジョン爆薬(B)と炭鉱用エマルジョン爆薬を比較した場合、爆速値は鉱山用爆薬が当然高く出ているが、

両者とも温度による爆速の変化は同じような傾向を示している。すなわち、薬温 20℃から 70℃付近までは温度の上昇に伴ない爆速は増加するが、それ以上の温度では減少する傾向にある。

これらのエマルジョン爆薬は Al 系及び MMAN 系含水爆薬に比して爆速値のバラツキも少なく、總体的に見て安定した爆ごう性を示すことが認められた。

3. 4 殉爆試験

供試含水爆薬の各薬温における殉爆距離を Table.2 に示す。この実験結果から明らかなように、6 種類の供試爆薬中、Al 系鉱山用爆薬は各薬温における殉爆性は最も優れており、また、薬温 14℃から 50℃の間で温度の上昇に従い殉爆距離が増加し、薬温の影響が顕著に表われている。同系の炭鉱用爆薬も他の MMAN 系及び炭鉱用エマルジョン爆薬と比較した場合、殉爆性はやや優れているが、鉱山用爆薬と相異して薬温の殉爆性への影響は殆んど見られず、たゞ、薬

温が 17℃から 25℃の間で 1.5cm の伸びが認められるに過ぎない。その他の炭鉱用爆薬においても MMAN 系炭鉱爆薬は薬温 20℃から 50℃の間と 50℃から 80℃(受爆包温度)との間で温度による 1.5cm 程度の殉爆距離の増減が認められるが、炭鉱用エマルジョン爆薬においては薬温が 20℃から 85℃(受爆包温度)に上昇しても 爆距離に全く変化は認められなかった。

次に、高温用鉱山爆薬(A)、通常の鉱山用爆薬(B)及び炭鉱用爆薬の 3 種類のエマルジョン爆薬を比較した場合、通常の鉱山用爆薬の殉爆性が他に比してやや優れており、高温用と炭鉱用爆薬が同じ殉爆距離を示す。また、薬温の殉爆距離への影響は鉱山用爆薬(B)において薬温 15℃から 35℃の間で 1.5cm の殉爆距離の伸びを示す。しかし、その他のエマルジョン爆薬については薬温 20℃以下での試験を行っていないため比較はできないが、薬温 20℃から 90℃付近までの薬温の変化においては殉爆性に影響をもたら

Table 2 Results of gap test for various slurry explosives

Explosives	Cartridge temperature (°C)		Gap distance (cm)
	Donor	Acceptor	
Slurry explosive (MMAN. permissible)	20	20	6.0
	25	65	7.5
	50	50	7.5
	50	80	6.0
	50	90	6.0
Slurry explosive (Al. permissible)	17	17	7.5
	25	25	9.0
	40	60	9.0
	50	90	9.0
Slurry explosive (Al. non permissible)	14	14	9.0
	30	30	12.0
	50	50	15.0
	50	90	15.0
Emulsion explosive (A). (non permissible)	20	20	7.5
	43	43	7.5
	50	65	7.5
	55	90	7.5
Emulsion explosive (B). (non permissible)	15	15	7.5
	35	35	9.0
	50	50	9.0
	50	75	9.0
	55	90	9.0
Emulsion explosive (permissible)	20	20	7.5
	30	30	7.5
	50	85	7.5

さないことが認められる。

4. 考察

通常の含水爆薬について常温から100℃付近までの薬温と爆速の関係を比較した場合、エマルジョン爆薬及びAⅠ系、MMAN系含水爆薬は共に同じような傾向を示し、前者は約70℃、後者は約50℃付近で爆速値が最も高くなり、それ以上の温度では両者とも爆速は減衰し始め100℃近傍で常温時の爆速値と同程度になる。また、薬温50℃付近から爆速値にバラツキが生じ始めるが、エマルジョン爆薬に比してAⅠ系、MMAN系含水爆薬はバラツキが大きいことが認められる。この爆速値が最も高くなる温度の相違とバラツキの大小の差は含水爆薬中に含まれる気泡の分散状態に変化が起り易いか否かによるものと推察する。すなわち、示差熱分析結果からも明かなように加熱温度40℃付近から爆薬成分中の水分の蒸発によるDTA、TG曲線に変化が生ずることから、これに伴ない爆薬中に含まれる気泡の分散状態に変化が起ることは充分に考えられる。

AⅠ系及びMMAN系含水爆薬は含有する気泡が機械攪拌及び化学的起泡によるものであるため、薬温の上昇に伴ない気泡の膨張による粒径の変化や逸散等が起り易い。一方、エマルジョン爆薬は気泡として固体中に気体を包含した状態のガラスマイクロバルーンを主に用いているので気泡の膨張や逸散等の状態変化は起り難く、そのため、最高爆速値を示す温度もAⅠ系及びMMAN系爆薬に比して高く、また、爆速値のバラツキの程度も少ないものと考察する。これに関しては筆者等が以前に行なった加圧爆ごう試験²⁾においてもAⅠ系及びMMAN系含水爆薬とエマルジョン爆薬とでは今回の加熱爆ごう試験結果以上に爆ごう性に明確な差が表れている。従って、加熱及び加圧等の特殊な条件下では爆薬中の気泡の性状が影響するものと考えられる。

次に殉爆性について考慮すると、Table 2に示す結果から、6種類の供試爆薬中、AⅠ系鉱山用爆薬のみが温度の上昇に伴って殉爆距離の伸びが認められる。

これについては今回の実験にMMAN系鉱山用含水爆薬を用いていないため、鉱山用エマルジョン爆薬との比較になるが、爆薬成分中の鋭感剤の相違によるものと推察する。また、AⅠ系炭鉱用爆薬は同系の鉱山用爆薬ほどの温度による殉爆距離の伸びは認められないが、これは炭鉱用爆薬の成分中に含まれる減熱消炎剤が影響しているものと推察する。

なお、今回の実験方法では全ての供試爆薬において受爆包温度55℃以上では励爆包の温度と異なり、さらに、受爆包温度も薬包全体の均一な温度でなく受爆部の加熱温度を実験温度としているため、受爆包全体を一定温度に加熱した状態での殉爆性とは異なる点もあると思われるが、各種含水爆薬の薬温と殉爆性の関連性についての傾向はつかめたものと考えられる。

5 結論

従来型爆薬と含水爆薬の熱安定性について示差熱分析で比較検討した結果、含水爆薬は成分中に水分を含有するため加熱温度40℃付近から、その水分の蒸発によるDTA及びTG曲線に変化が認められるが、これらは含水爆薬の爆ごう性及び殉爆性に極端な影響をもたらす要因とはならないことが確認された。したがって、耐熱処理を施さない通常の含水爆薬でも薬温、100℃付近までは充分使用に耐えうることが認められた。しかし、鉱山等の岩盤温度が高温状態にある採掘切羽での使用に際しては爆薬が長時間発破孔内に置かれる場合もあるので、これらの点を研究課題として検討を行なっている。

文 献

- 1) 佐藤俊一、椿五男、末永忠雄；工業火薬協会誌，38，5，(1977)
- 2) 池田義之、田辺芳雄、井上篤雄、山本頤一郎；工業火薬協会誌，45，4，(1984)
- 3) 松本栄、田中雅夫；工業火薬協会誌，43，5，(1982)

Thermal Properties of Slurry Explosives.

Sakae MATSUMOTO* and Masao TANAKA*

On the various slurry explosives, Krupp ignition temperature test and differential thermal analysis were carried out to investigate the heat-resisting characteristics and to decide the experimental temperatures in these detonatability tests.

Based on these results, the detonatability and the gap sensitivity in the heating cartridges were estimated on both the slurry explosives and the emulsion explosives, using the test apparatus of heating cartridge.

The following results were obtained by the comparison of the detonatability and the gap sensitivity between the slurry explosives and the emulsion explosives.

- (1) The emulsion explosive tests showed that the fluctuations of detonation velocity were minimum and detonatability was stable until 100 °C of the cartridge temperature compared with other slurry explosives.
- (2) On the relation between the cartridge temperature and the gap distance, only the slurry explosive with aluminum sensitizer for metal mine showed that the gap distance increased as the cartridge temperature rose, but other slurry and emulsion explosives showed a little change in the gap distance between the room temperature and 90 °C.

(*Department of Mining and Safety, National Research Institute for Pollution and Resources, 16-3, Onogawa, Yatabe, Ibaraki, Japan)

新刊紹介

PYROTECHNICS IN INDUSTRY R. T. BARBOUR, McGRAW-HILL BOOK Co.

著者は APOLLO, SHUTTLE の火工品の設計に従事してきた人で彼によると火工品の使用が一般的になったのに、これについて教えている所は殆どない。極めて専門的な文献はあるが一般の技術者に向けたものがない。そこであまり化学に深入せずに、煙火で無い、工学の分野の火工品を説明することにしたとのことである。

本書は索引共 190 頁、内容は、PYROTECHNICS は何に役立つか、爆燃、爆轟、起爆、雷管、導爆線各種、モンロー効果、カートリッジ・アクチュエーター、エンジン起動、推力用、スイッチ、バルブ、閃光源、緊急脱出装置、ガス発生剤、性能試験、ロット受入試験等で広い範囲に渡っている。写真と図面が豊富で分り易い。専門家にも、一般的知識を得んとする人にも良書と思われる。

(水島容二郎)