

## 炭鉱用含水爆薬に関する研究（第1報）

## 白砲試験（正起爆）のメタン着火要因と爆薬の設計

鈴木輝彦\*, 植村敬一\*, 盛満行夫\*, 佐藤俊一\*

正起爆の白砲テストに於けるメタン着火要因として、砲口近傍の衝撃波速度、爆焰の測定を行ない検討を加えた。正起爆では、爆焰を支配的要因と考え爆発熱、爆発温度等を考慮することにより、食塩のような減熱消焰剤がなくても定格600g程度の安全度を確保できる。

## 1. 緒言

我が国に於いては、炭鉱用含水爆薬の一部がすでに実用化されており、従来爆薬にはない長所が目立つつつある。現在炭鉱用含水爆薬として認可されているものには、硝酸モノメチルアミン、金属アルミニウム粉等を鋭感剤とするものがあるが今回は、硝酸モノメチルアミンを用いた炭鉱用爆薬について検討を加えた。従来より、爆薬によるメタンガス及び炭塵への着火要因については広く研究がなされており、従来型炭鉱爆薬の設計に当っては基本的な思想が確立されていると考えて良い。しかしながら含水爆薬においてはまだ歴史が浅く不明な点も多々ある。炭鉱用含水爆薬の特徴の一つは、定格400g、600gの安全度のものは、食塩のような減熱消焰剤を含有しなくても、従来の炭鉱爆薬と同等の安全度を有するものが得られることである。これは爆薬中に成分として存在する水の減熱効果と考えられる。そこで、定格400gと600gの従来爆薬と含水爆薬について、メタンガス着火の主要因と考えられる衝撃波と爆焰の測定を行ない炭鉱用含水爆薬のメタンガス着火要因と爆薬設計の考え方について検討を加えたのでここに報告する。

## 2. メタン着火要因について

爆薬によるメタン着火の要因としては、一般に次の4項目があげられる。

- (1) 衝撃波
- (2) 爆 焰
- (3) 熱粒子
- (4) 生成ガスの2次反応

しかし白砲試験では、衝撃波と爆焰がメタン着火の主要因として論ぜられてきている。例えば、J. Plant<sup>1)</sup>

は、白砲口元付近の衝撃波速度とメタン着火の関係について白砲口元からの距離と衝撃波速度の関係から着火率曲線を示し、又、村田<sup>2)</sup>はメタン着火に対する衝撃波の速度と厚さの関係式を導き、更にメタン空気混合ガスの点火の活性化エネルギーを求め、点火に要する衝撃波の速度は1600m/s以上であると推論している。また、坑道内壁の衝撃波の反射衝突する点が有力な点火源になると述べている。

一方日野<sup>3)</sup>は、白砲によるメタン着火は爆轟温度が支配的であり、消焰剤の有無よりも爆発温度の影響を重視している。

熱粒子、生成ガスの2次反応については、白砲試験の場合支配的な要因となり得るかどうかも不明である。本報では、定格400g、600gの白砲試験（正起爆）におけるメタン着火要因を白砲口元付近の衝撃波速度と爆焰の双方から検討した。

衝撃波速度と着火率の関係については、筆者らの実験結果とJ. Plantの着火率曲線を対比検討してみた。J. Plantによれば、白砲の孔から衝撃波面が現われた後50 $\mu$ sの時間で衝撃波速度が2,300m/sの値にまで減じる速度の衝撃波面を生ずるならば、その条件では50%のメタン着火率を持つであろうと述べ、4種類の爆薬について99%、50%及び1%の着火率曲線を示している。但しこの場合はすべて逆起爆の実験であり、筆者らが実施した正起爆の場合に比べると同程度の薬量で衝撃波速度が1,000m/s近く高い値を示している。逆起爆にすると衝撃波速度が大きくなることは筆者らが別におこなった実験でも同様な結果が得られているが、正逆いづれの起爆法にしる衝撃波速度とメタン着火率の関係は同じ着火率曲線で検討可能である。1%着火率曲線は爆薬の種類にかかわらず類似しており、衝撃波速度がある値以下になると着火し難いと考

昭和55年2月13日 受理

\*旭化成工業株式会社 宮崎県延岡市水尻町304

れる。従って定格薬量（着火率0/10）の場合は当然1%着火率曲線より低い領域の衝撃波速度を示すことが予想される。

爆焰については、爆焰の温度、大きさ、持続時間がメタン着火に影響する主な因子と考えられる。爆焰の大きさ、持続時間は写真や光電管等で測定可能であるが、温度の測定は困難である。しかし爆焰の比較的高温部分と低温部分がある程度、分離して観測することは可能であり、今回は静止写真の絞りを変えて2種類とし、光電管も高、低温用の2種類を使用した。

### 3. 実験方法

#### 3.1 衝撃波速度の測定方法

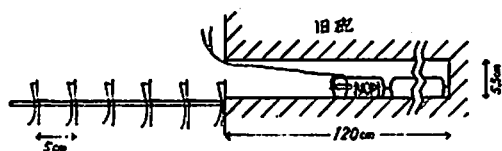


Fig. 1 砲口近傍の衝撃波測定方法

Fig. 1に白砲砲口付近の衝撃波速度測定装置を示す。内径55mm、孔長120cmの白砲に30mmφ×100gの薬包を装薬し、正起爆にて発射する。衝撃波の測定は、5mm四方の角材にピンとアルミ箱を固定したピンコンタクト法でピンを5cm間隔に固定し、白砲砲口より25cmの範囲で測定した。又、計測器は多点式のデジタルカウンターを用いた。測定は全て空気中に発射したもので、それぞれ3回づつ行なった。又、測定値は5cm間の平均衝撃波速度を示している。

#### 3.2 爆焰の測定

爆焰測定装置の配置図をFig. 2に示す。光電管の測定回路図は基本的には既報<sup>4)</sup>のものと同じであるが、応答速度を10μs以内に改良した。光電管は最大比感度波長が400nm（光電管Ⅰ）、800nm（光電管Ⅱ）の真空管タイプの2種類を用いた。光電管Ⅰは比較的短波長の高温部の光に対して鋭感であるが、長波長の低温

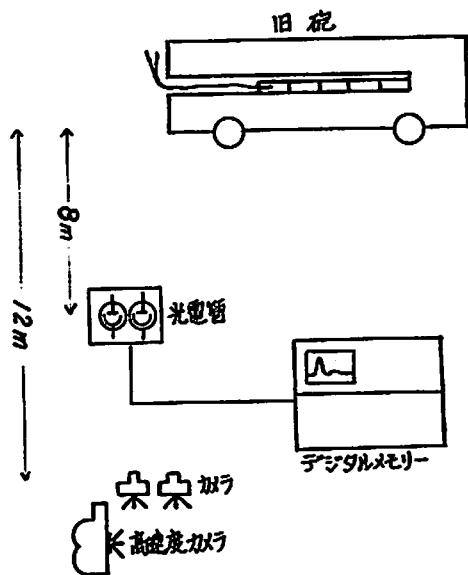


Fig. 2 爆焰測定装置配置図

部の光に対しては鈍感である。又、光電管Ⅱは逆に長波長の低温部に鋭感であるが、400nm付近でもある程度の感度を持っている。光電管により発生したパルスは、デジタルメモリーDM-902（岩崎通信）にインプットした。静止写真は2台のカメラを用い、絞りをそれぞれ $f=22$ 、 $3.5$ とした。 $f=22$ は砲口近傍の爆焰（高温部）を観測するため光電管Ⅰに対応し、 $f=3.5$ は2次爆等の比較的低温の爆焰をとらえるためのもので、光電管Ⅱに対応する。高速度写真は砲口近傍の爆焰の噴出状況を観測し、光電管により得られた波形と対比するため、高速度カメラ16-HS形（日立）を用い、毎秒2500~4000コマとした。

#### 3.3 実験に用いた試料

Table 1, 2に実験に用いた試料の配合組成と性能を示す。薬包は全て30mmφ×100gであり、薬量は定格薬量を基準にし、それより100g増加、200g減少の薬

Table 1 実験試料の配合組成

従来系									
薬種	定格	NG	C/C	AN	DNT	でん粉	木粉	食塩	不活性物
3号白梅	400g	18.0	0.8	49.4	3.0	3.8	—	25.0	—
G硝爆	600g	6.0	0.2	69.8	—	6.0	3.0	15.0	—
試製3梅	—	18.0	0.8	49.4	3.0	3.8	—	—	25.0
スラリー系									
薬種	定格	MMAN	AN	SN	水	グアーガム	パーライト	活性剤	
サンベックス 300	400g	36.9	31.5	14.3	13.6	1.0	2.5	0.2	
サンベックス 301	600g	30.0	34.1	17.0	13.2	1.0	4.5	0.2	

Table 2 実験試料の性能

種類	特徴数				DV m/s	メタンガス着火率					
	OB	$V_i$ /kg	TC	$f_{kg \cdot m/kg}$		100g	200g	400g	500g	600g	700g
3号白梅	+1.8	703	2010	60700	3700~3800		0/5	0/5	2/5		
G硝爆	+2.0	792	2180	73400	1750~1850			0/5		0/5	0/5
試3製梅	+1.8	720	2210	67500	3000~3200	0/5	5/5				
サンベックス 300	-0.6	877	1820	69400	3600~3800		0/5	0/5	1/5		
サンベックス 301	+3.5	846	1630	60900	3300~3500			0/5		0/5	2/5

量について実験を行なった。試製3梅は食塩の代りに不活性物（アタパルガスクレイ）を置き換えたもので100gと200gの薬量で実験した。

4. 実験結果

4.1 衝撃波速度

4種目の検定爆薬について定格薬量における砲口からの距離と、衝撃波速度の関係をFig. 3に示す。定格

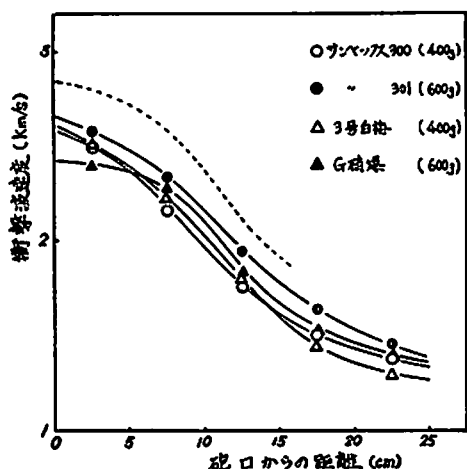


Fig. 3 砲口からの距離と衝撃波速度（定格薬量）

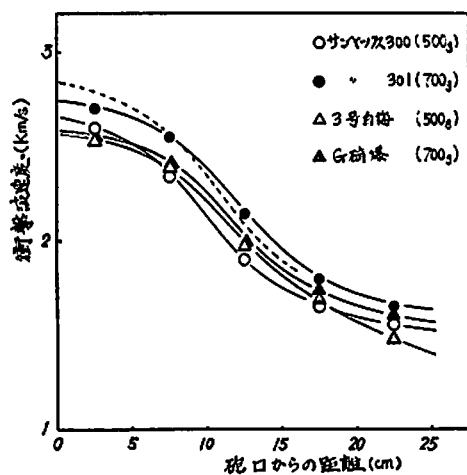


Fig. 4 砲口からの距離と衝撃波速度（定格薬量+100g）

薬量では、4種目ともJ. Plantの1%着火率曲線（点線で示す）以下に入っており、爆速、薬量が異っても、砲口からの衝撃波速度にはあまり差がなく、砲口近傍で2,500~3,000m/sであり、以後急激に減衰することがわかる。次に定格薬量以上にした場合、即ち、メタン着火率が $\frac{1}{5}$ ~ $\frac{2}{5}$ を示す装薬量の場合の関係をFig. 4に示す。4種目とも薬量を100g増加したにもかかわらず、衝撃波速度は、100~200m/s程度の上昇しかみられない。この関係はFig. 5の砲口から10cmにおける衝撃波速度で比較してみると薬量によって差程の増加は認められず、この程度では未だ衝撃波がメタン着火の支配的要因にはなり得ないと思われる。しかしFig. 4でJ. Plantの1%着火率曲線を越えるものがあることは、薬量増加によって衝撃波による着火の可能性もわずかではあるが増加していることを示している。

一方、定格薬量より100g増量した場合のメタン着火率はTable 2に示すようにサンベックス300、3号白梅ではそれぞれ $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{2}{5}$ 、サンベックス301では700gで $\frac{2}{5}$ であり、比較的高い着火率を示している。この場合は衝撃波速度が小さいことから考えて、爆焰が着火の要因と考えられる。爆焰による着火と思われる代表的

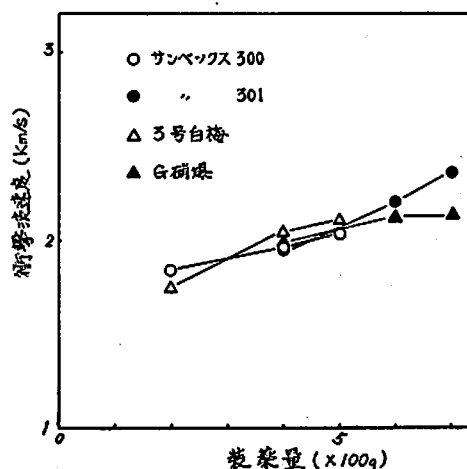


Fig. 5 装薬量と衝撃波速度（砲口より10cm）

な例は試製3梅の場合である。試製3梅はTable 2に示すように3号白梅の食塩を無機不活性物質（アタルガスクレイ）に置換しただけで両者の性能は、ほとんど差がない。

しかし、試製3梅の場合は、Fig. 6に示すように、薬量200gのときの値は1%着火率曲線を遙かに下まわっているにもかかわらず5%の着火率を示し、この場合は爆焰によって着火したと考えるのが妥当であろう。

#### 4.2 爆 焰

光電管及び静止写真による測定結果の一例をFig. 7に示す。爆焰の高温部を測定することを目的とした光電管I及び静止写真（ $f=22$ ）で得られた結果をみると、装薬量の増加に伴ってむしろ爆焰が小さくなっていることがわかる。

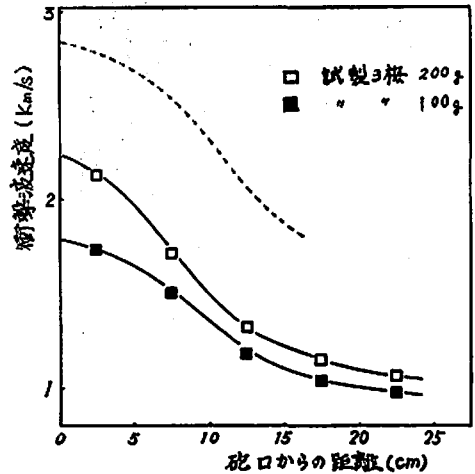


Fig. 6 砲口からの衝撃波速度（試製3梅）

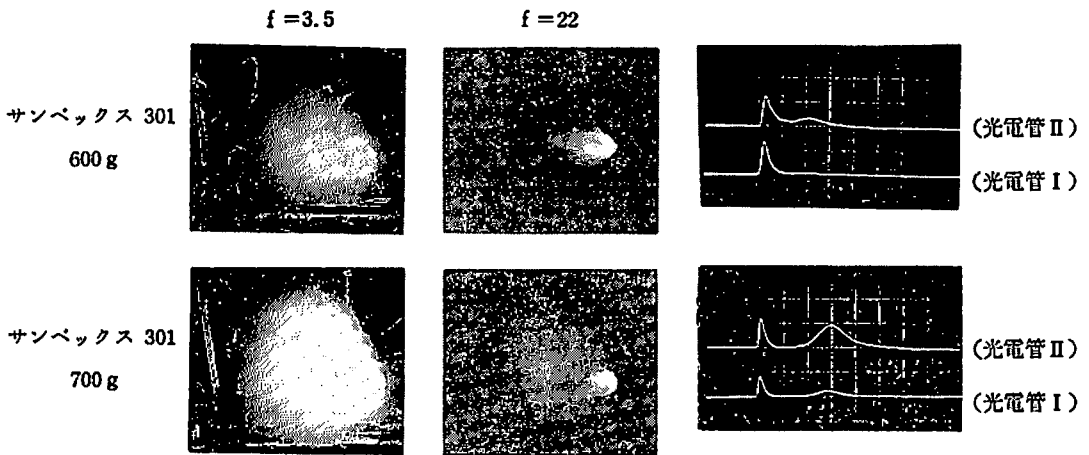


Fig. 7 静止写真と光電管による測定例

逆に、低温部の観測を目的とした光電管IIと静止写真（ $f=3.5$ ）からは、薬量の増加とともに爆焰も大きくなっていることが認められる。

また、光電管IIの波形から薬量が増加すると2次爆が発生することがわかる。2次爆は1次爆よりも若干遅れてその発生が認められる。これは、Fig. 8の高速撮影の結果からも裏付けられ、Fig. 8では、1次爆が完全に消滅してから約0.5ms後に臼砲の砲口より相当離れた位置で発光が始まっているのが認められる。従って2次爆の発生は、爆発生成ガスの空気中における2次的な反応と考えられるが、光電管Iではほとんど感知されないの1次爆に比し温度は相当低いようである。

次に光電管波形のピーク値と装薬量の関係をプロットすると、Fig. 9, Fig. 10のようになる。Fig. 9は光電管Iの1次爆のピークと装薬量の関係であり、装薬量の増大とともにピーク高さが減少するが、Fig. 10の

光電管IIによる2次爆ピークでは、逆に増大することがわかる。

臼砲試験（正起爆）では、装薬量の増大に伴って爆焰が小さくなることは、過去に筆者らも経験し、報告もされているが、爆焰とメタン着火の関係は明らかにされていない。今回も1次ピークでみる限り、装薬量増加に反して爆焰は小さくなり、メタン着火率とは逆の関係がでているが、2次ピークでは、薬量に比例して爆焰も増大し、メタン着火率も上昇していることが認められる。2次爆は、持続時間は長い比較的低温と推定され、メタン着火の支配的要因になりうるのか否かは不明である。

#### 5. 考 察

定格400g及び600gの炭鉱用爆薬について、臼砲孔口より空気中に発射した時の衝撃波速度の測定値は、J. Plantが実験的に求めている1%メタン着火の限界衝撃波速度と比較すると低い値を示している。これは

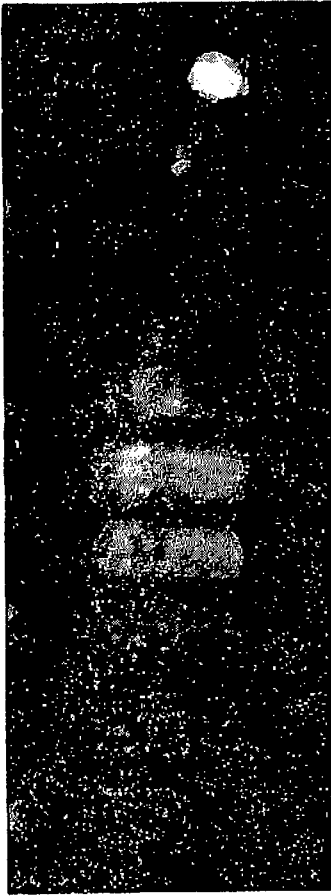


Fig. 8 高速度写真  
サンペックス301, 600g  
2500コマ/秒

正起爆に於いては衝撃波がメタン着火要因として支配的ではないことを示している。定格薬量以上に増量した場合でも衝撃波速度の上昇は僅かであり、衝撃波による着火の確率は極めて小さいと考えられる。従ってこの薬量で $f=3.5$ の着火率を示すことは爆焰が着火の支配的要因と考えるのが妥当である。爆焰による着火の顕著な例は、試製3梅の場合で、薬量200gではかなり低い衝撃波速度であるにもかかわらず、 $f=3.5$ の着火率を示している。試製3梅の爆焰（光電管及び高速度カメラでは一次焰と二次焰の区別は明確でない）は他の炭鉱用爆薬に比して大きく明らかに爆焰により着火していると考えられる。

正起爆に於ける装薬量と爆焰との関係については、装薬量の増加につれ、爆焰が減ずるという報告があるが、 $f=22$ で撮った静止写真及び光電管Iによる一次ピークに関する限り同一結果を得た。しかしながら、 $f=3.5$ の静止写真及び光電管では逆に装薬量の増加

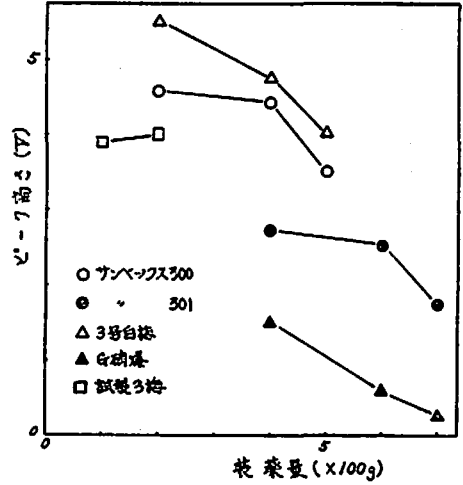


Fig. 9 装薬量と一次ピーク（光電管I）

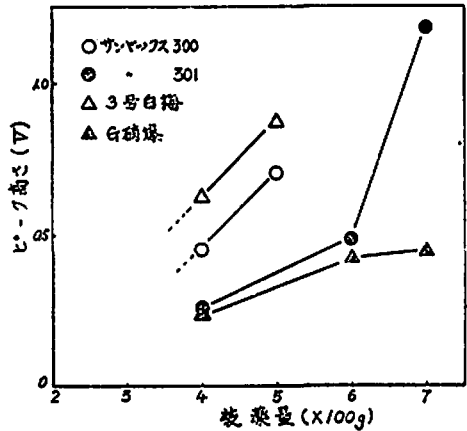


Fig. 10 装薬量と二次ピーク（光電管II）

につれて爆焰が増大しており、これは光電管II及び高速度写真の結果から二次焰の発生によるものと思われる。薬量増加に伴い一次焰が減少し、二次焰が増大するのは装薬量増大に伴ないタンピング効果等で臼砲内での不完全爆燃の未反応ガス等が空気中で再反応すると考えられる。

二次焰がメタン着火の要因としてどの程度影響するかは今後更に検討する必要があるが、二次焰の発生防止策として爆薬の感度や酸素バランスも考慮する必要があるだろう。いずれにしても正起爆の場合は衝撃波よりも爆焰（一次、二次を含む）がメタン着火要因として重要であることは間違いないであろう。

定格400g及び600gの炭鉱用含水爆薬の設計については、爆焰に影響する生成熱量、爆発温度、酸素バランス等に特に着目する必要がある。含水爆薬は10~20%の水分を含有し、一般に爆発温度も低いので更に可燃剤である硝酸モノメチルアミンの量をコントロール

して発生熱量を抑えることにより、Table 2に示すように食塩のような減熱消焰剤を使用しなくとも、定格600g程度の安全度の爆薬を得ることは可能である。

参考文献

- 1) J. Plant, Explosivstoffe 10, 231 (1970)
- 2) 村田, 工業火薬協会誌, Vol. 11, 17 (1950)

- 3) 村田, 工業火薬協会誌, Vol. 11, 224 (1950)
- 4) 日野, 初見, 工業火薬協会誌, Vol. 14, 163 (1953)
- 5) 福井, 佐藤, 松田, 工業火薬協会誌, Vol. 39, (1978)
- 6) 山本, 工業火薬協会誌, Vol. 11, 215 (1950)

---

**Experimental Studies on the Safety of Permissible Slurry  
Explosives (I)  
The Primary Factor of Methane-Air Mixture Ignition  
at Mortar Tests and the Design of the Explosives**

by Teruhiko SUZUKI\*, Keiichi UEMURA\*, Yukio MORIMITSU\* and  
Shunichi SATO\*

The velocity of the shock front and the flame produced at the mouth of the bore of a cannon were observed to investigate the safety of permissible explosives.

A certain relationship was found between the safety and the intensity of the flame in direct shot. And a charge mass of 600g permissible slurry explosives without sodium chloride did not ignite the methane-air mixture by decreasing the heat of combustion and the detonation temperature.

(\*Asahi Chem, Ind, Co. Ltd. Explosives plant, 304 Mizushiri-cho, Nobeoka)

---