

Table 2

Diameter of sphere	Explosion	Velocity of projectile	Kinetic energy of projectile	Net kinetic energy of projectile	Impulse of Projectile	Impact pressure of projectile
mm 1.1	cm 50	m/s 675	erg 13.2×10^7	erg 4.5×10^6	dyne sec 76	dyne/cm ² 12×10^8
2.0	40	540	54.6×10^6	18.7×10^6	369	14×10^8

of projectiles may be as follows.

By the impact a part of an explosive is adiabatically compressed, therefore the ignition source is formed.

The impact pressure, which is needed to form the ignition source, is calculated to be 13×10^8 dyne/cm² for hexogen and 10×10^8 dyne/cm² for nitroglycerine.

"Explosion" indicates the maximum distance over which detonation is always pro-

pagated by the projectile, from one cartridge to the other.

- 4) In the case of the drop hammer test, hexogen is exploded when the impact pressure is 14×10^8 dyne/cm².

This value is in good agreement with the impact pressure of the spherical Cu-ball.

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

延時薬に関する研究

(第5報) 延時薬の燃焼伝播速度に及ぼす圧力の影響

中原正二*

1. 緒 言

本報では燃焼伝播速度に及ぼす気体圧力の影響を見るため (1) 延時薬柱の末端から発する気体を吸引した場合の燃焼伝播速度の変化。(2) および圧力指数の測定を行った。点火玉薬量のバラツキによる秒時のバラツキ, 長い薬長になると次第に燃焼伝播速度が加速される傾向等はいずれも気体圧力の影響であつて, 燃焼伝播速度の圧力指数が小さければ, この傾向は小さいはずである。珪素鉄鉛丹系及びアンチモン過マンガン酸カリ系延時薬について2つの方法を用いて, 測定を行なつた。又圧力指数に及ぼす還元剤の粒度の影響及び初期温度の影響についても測定した。

2. 末端から発生気体を吸引した場合の燃焼伝播速度の変化

亀石等¹⁾の研究によれば, 黑色火薬の燃焼伝播速度

は先行ガス量に比例し, 末端からの吸引により先行ガス量が多くなれば, 燃焼伝播速度は速くなるという。延時薬の場合もかかる現象が存在するかどうかを実験した。

Fig. 1 の装置で真空中に引きながら長さ 2cm の延時薬を燃焼させ, 真空中に引かない場合と燃焼秒時を比較した。真空ポンプの能力は $1/6$ IP, 450rpm, 排気量 20l/min で点火前の装置内の真空度は 3~6mmHg であつた。試料はアンチモン-過マンガン酸カリ系で酸

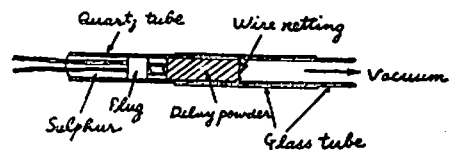


Fig. 1 The arrangements for measuring the effect of suction of the evolved gases by the vacuum pump on burning velocity of delay powders.

昭和35年6月15日受理

* 日本化薬株式会社 折尾作業所火工品研究課

化剤過剰と不足の配合比のもの、及び現用段発延時薬を選んだ。各試料の $n=5$ の平均秒時は Table 1 の通りである。

Table 1

Delay powders	Porosity (%)	Condition	Burning time (sec. 2cm)
Sb-KMnO ₄ (50/70)	23.6	vacuum	3.9
		not vacuum	3.2
Sb-KMnO ₄ (60/20)	32.8	vacuum	2.3
		not vacuum	2.1
HS delay powder	35.5	vacuum	9.5
		not vacuum	10.4

どの延時薬も吸引により燃焼伝播速度が速くなることはない。末端の圧力が1気圧と3~6mmHgとでは一見かなり差があるようだが、燃焼圧力は数気圧乃至10数気圧になるから、燃焼波面と末端との圧力差は吸引の場合とそうでない場合とであまり差がない。又真空ポンプで引いても、気体の流動はあまり自由でない²⁾から、引かない場合と、流動速度にあまり差がでないであろう。更に後で述べるように延時薬の燃焼伝播速度は圧力に比較的鈍感である。以上の諸効果により差異がでなかつたのであろう。これは黒色火薬などと全く異なるところであつて、延時薬燃焼の特徴の一つである。

3. 延時薬燃焼伝播速度の圧力指数

3.1) 実験方法

無煙火薬の場合、圧力指数の決定は密閉ポンプ中の試料を色々な圧力の下で燃焼させることによつて行なうが、これを延時薬に適用するには注意しないと、実際の使用条件の場合とかなり異なる結果を得る。留管管内で密閉状態で燃焼させるときは燃焼後残渣の位置があまり動かないが、開放状態で燃焼させると燃焼圧力のためはかなり移動し、ときには四散することもある。この場合、燃焼伝播速度は全く異なってくる。延時薬の圧力指数決定を簡単に行なえる方法として次の2方法を採つた。

第1の方法：薬量の種々異なる点火玉を所定の空間容積内で燃焼させてその圧力を測り、点火玉薬量とガス圧の関係を出しておく。次にそれぞれの薬量の点火玉を圧力測定のとく同じ空間容積に取付けた試料延時薬の燃焼秒時を2, 3の短かい薬長で測定し、薬長0mmにおける燃焼伝播速度を外挿法により出す。この圧力と速度から関係式を出す。

第2の方法：第2報²⁾に示したように、延時薬の燃焼圧力は薬長によつてかなり変つてくるので、これを

利用する。まず試料延時薬の色々な薬長における燃焼圧力をオートダインで測定しておく。次に各薬長における延時秒時を測定して、薬長と秒時のグラフを置き、曲線の接線から各薬長における燃焼伝播速度を出す。この速度と圧力の関係から圧力指数を求める。

第1の方法では点火玉の薬量だけが異なる場合、延時薬の初期燃焼伝播速度は点火玉のガス圧のみの函数となるという仮定が成立しなければならない。この方法は点火玉の薬量のバラツキによる秒時のバラツキという問題と直接関係があるから極めて現実的な方法である。

第2の方法では燃焼圧力にガス圧のみでなく、固体の膨潤圧も加わるので通常の圧力関係式とは異なるものとなる。この方法は薬長が長くなると、次第に秒時が加速される傾向を表わす

無煙火薬では燃焼伝播速度 V と圧力 P の関係は次のように表わされる。

$$V = aP^n \dots\dots\dots (1)$$

又は

$$V = a + bP \dots\dots\dots (2)$$

ここに a, b 及び n は常数である。圧力指数 n は1に近い値である。この外にも色々な表示法があるが、ここでは(1)式により延時薬の圧力指数を求めた。

3.2) 第1の方法による圧力指数

ロダゲル-塩素酸カリ (50/50) 点火玉を用いて珪素鉄-鉛丹 (50/50) 及びアンチモン-過マンガン酸カリ (50/20) の直挿式及び留管式の圧力指数を求めた。点火玉薬量と圧力との関係は空間長10mmでオートダインを用いて測定したが次の通りである。

点火玉薬量 (mg)	3.1	6.1	9.1	11.4	14.6
圧力 (kg/cm ²)	5.35	22.5	33.25	49.4	50.9

延時秒時は試料遅発電氣留管の点火から爆発までの時間をカウンターで測定し、同じ方法で測定した各点火玉薬量の瞬発電氣留管の点火から爆発までの時間を差引いて出した。薬長と延時秒時 ($n=10$ の平均値) との関係の一例を珪素鉄-鉛丹 (50/50) 直挿式の場合で示したのが Fig. 2 である。この薬長0mmにおける勾配から、その位置の燃焼伝播速度を出す。これを各延時薬、各点火玉について廻めると Table 2 のようになる。

これから圧力と燃焼伝播速度との関係を両対数グラフ上にとればよい。Fig. 3 は珪素鉄-鉛丹系を例示したものである。図から(1)式の常数を決定することができる。かくて計算すると次のようになる。

珪素鉄-鉛丹 (50/50)

Table 2

Weight of a fuse head (mg)	3.1	6.1	9.1	11.4	14.6	
Delay powders						
FeSi-Pb ₃ O ₄ (50/50)	direct loading	(cm/sec) 3.12	4.63	5.55	5.75	6.95
	metallic tube	11.0	14.7	15.2	15.6	16.9
Sb-KMnO ₄ (80/20)	direct loading	0.519	0.635	0.997	1.03	1.14
	metallic tube	0.640	0.814	1.02	1.22	1.38

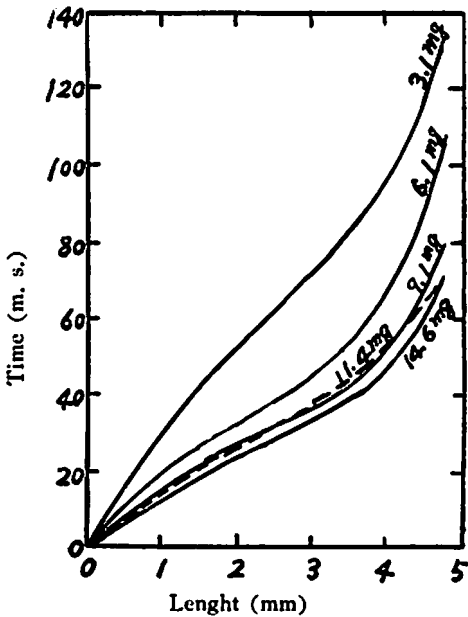


Fig. 2 The delay time vs. distance curves of the directly loaded FeSi-Pb₃O₄ (50/50) delay powders ignited by various weight of fuse heads.

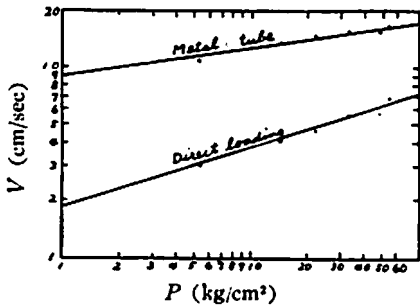


Fig. 3 The relations between the gaseous pressure and the burning velocity of the FeSi-Pb₃O₄ (50/50) delay powders.

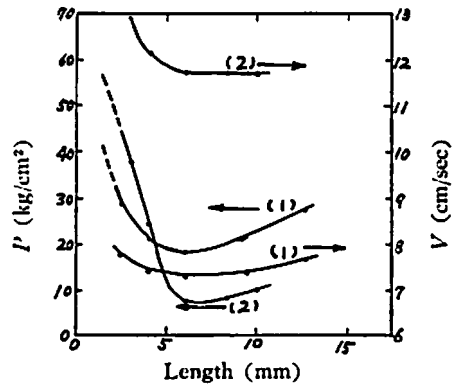


Fig. 4 The combustion pressure and the burning velocity vs. distance curves of the FeSi-Pb₃O₄ (50/50) delay powders. (1) directly loaded in copper capsules and (2) in metallic tubes.

筒管 $V=9.0P^{0.143}$ (3)

直填 $V=1.9P^{0.106}$ (4)

アンチモン-過マンガン酸カリ (80/20)

筒管 $V=0.35 P^{0.114}$ (5)

直填 $V=0.22 P^{0.116}$ (6)

ただし V は燃焼伝播速度 (cm/sec), P は圧力 (kg/cm²) である。

3.3) 第2の方法による圧力指数

珪素鉄-鉛丹 (50/50) の直填式と筒管式について薬長と燃焼圧力及び燃焼伝播速度の関係を求めると Fig. 4 のようになる。この圧力と燃焼伝播速度の関係を前項と同様対数グラフにプロットし、(1) 式の常数を求めると次のようになる。

珪素鉄-鉛丹 (50/50)

筒管 $V=9.8P^{0.077}$ (7)

直填 $V=4.6P^{0.154}$ (8)

圧力指数はいずれの延時薬でも無煙火薬よりずっと小さい。このことは燃焼伝播速度が圧力に比較的鈍感な

ことを示す。又 (3), (4), (7) 及び (8) 式を比較すると、第 1 法は第 2 法に較べて圧力指数が約 2 倍である。第 2 法で測定した圧力は気体の圧力と固体の膨潤圧の和である。このうち気体の圧力だけ分離すれば、Fig. 4 の圧力変化はもつと小さい筈である。従つて (7) 及び (8) 式の圧力指数はもつと大きくなる。このような理由から第 2 法は第 1 法より常に圧力指数が低くなる。

直挿式と筒管式を比較すると、いずれの測定法及び試料でも直挿式の方が圧力指数は大きい。このように圧力指数は遅発雷管の組立条件によつても変つてくる。

(3)~(6) 式を用いて、点火玉薬量が 10mg を中心として ± 1 mg のバラツキがあるため起る燃焼秒時のバラツキを求めてみる。圧力の多少の変化 ΔP に対する燃焼伝播速度の変化 ΔV は (1) 式から

$$\begin{aligned} \Delta V &= anP^{n-1} \Delta P \\ &= nP^{-1} V \Delta P \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

となる。又燃焼秒時のバラツキ R は秒時の一番速いものと一番遅いものとの差である。薬長 1cm 当りの秒時は燃焼伝播速度の逆数であるから、 R は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{V-\Delta V} - \frac{1}{V+\Delta V} \\ &= \frac{2\Delta V}{V^2 - \Delta V^2} \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

薬量 10mg のとき、 $P=40\text{kg/cm}^2$ で、 ± 1 mg の薬量変化に対して $\Delta P=\pm 4.5\text{kg/cm}^2$ である。珪素鉄-鉛丹 (50/50)、アンチモン-過マンガン酸カリ (80/20) の筒管及び直挿について、Table 2 を用いて点火玉薬量 10mg に対する V を出し、それと (3)~(6) 式の n を (9) 式に代入して ΔV をそれぞれ求める。次に (10) 式により R を計算する。 V , ΔV , 燃焼秒時及び R について計算結果をまとめると Table 3 のようになる。

表のように筒管式の方が直挿式より秒時精度がよ

い。しかしこれをもつて筒管式の方が優つていと断定することはできない。ここに用いた延時薬は筒管式として適するものであつて、直挿式には不向きである。一方直挿用延時薬は筒管式として使用すると不着火、途中消火となることが多い。従つて筒管と直挿の優劣を比較するならば、実用されているもので大体同じ秒時のものにつき比較するのが妥当であろう。現用の直挿式延時薬では (3) 式程度の圧力指数のものが多い。結局、直挿式を選ぶか筒管式を選ぶかは必要な秒時精度、製造コスト等総合的見地から決定しなければならない。

以下の実験ではすべて第 1 法により圧力指数を求めた。

3.4) 圧力指数に及ぼす還元剤の粒度の影響

珪素鉄-鉛丹 (50/50) とアンチモン-過マンガン酸カリ (70/30) の直挿式延時薬で珪素鉄及びアンチモンは同一ロットで粒度の粗いものと細かいものにつき圧力指数を求めた。粒度は恒圧通気式粉体比表面積測定装置 (島津製品) により測定したが次の通りである。

	平均粒径 (μ)
珪素鉄 (粗)	2.7
(細)	1.3
アンチモン (粗)	28.0
(細)	6.2

使用した点火玉は第 2 項と同じである。実験時の温度は 15°C であつた。薬長 0mm における燃焼伝播速度は各延時薬及び各点火玉について Table 4 のようになる。

これから圧力指数を求めると、次のようになる。

珪素鉄-鉛丹 (50/50)

$$\text{珪素鉄 (粗)} \quad V=2.5P^{0.509} \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{同 (細)} \quad V=3.5P^{0.348} \dots\dots\dots(12)$$

アンチモン-過マンガン酸カリ (70/30)

$$\text{アンチモン (粗)} \quad V=0.28P^{0.057} \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{同 (細)} \quad V=0.68P^{0.172} \dots\dots\dots(14)$$

Table 3

		FeSi-Pb ₃ O ₄ (50/50)		Sb-KMnO ₄ (80/20)	
		Metallic tube	Direct loading	Metallic tube	Direct loading
V	(cm/sec)	15.4	5.6	1.1	1.0
ΔV	(cm/sec)	0.25	0.19	0.040	0.047
Burning time	(m. S.)	65	178	910	1,000
R	(m. s.)	2.1	13	65	94

Table 4

Delay powders	Weight of a fuse head (mg)					
	3.1	6.1	9.1	11.4	14.6	
FeSi (coarse)-Pb ₃ O ₄ (50/50)	(cm/sec) 3.83	6.10	7.35	8.62	10.0	
FeSi (fine)-Pb ₃ O ₄ (50/50)	5.10	11.5	12.6	14.6	15.1	
Sb (coarse)-KMnO ₄ (70/30)	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	
Sb (fine)-KMnO ₄ (70/30)	0.98	1.04	1.14	1.28	1.42	

両種の延時薬とも還元剤の粒度が細かくなると、燃焼伝播速度が速くなり圧力指数も大きくなる。この傾向は現用延時薬にも見られた。

3.5) 圧力指数に及ぼす初期温度の影響

前項の珪素鉄(粗)-鉛丹(50/50)の直挿式と筒管式及びアンチモン(細)-過マンガン酸カリ(70/30)の直挿式を使用した。点火玉も同じものである。実験の初期温度は-10°C, 50°C及び前項の15°Cである。試験時に所定の温度に保ち、管体の周囲の媒体が空気であるという条件を保つために次のようにした。ポリエチレンの小袋をふくらまして、その中に試料の雷管を脚線だけ出して入れ、口をひもで閉じる。次にポリエチレンの大袋に50°Cの温水又は-10°Cの食塩入氷水を十分に入れ、先の小袋を液中に沈めてから大袋の口を閉じる。このとき脚線は出して置く。大袋は更に所定温度の恒温箱に入れる。延時薬が十分所定温度になったなら、大袋のまま取出して秒時試験をする。このようにすれば恒温箱から取出して秒時を測定するまでに試料が冷えたり暖まつたりすることはない。測定はn=10で行ない、短薬長で3点取り、薬長0mmまで外挿してその位置での燃焼伝播速度を出した。結果はTable 5にまとめた。

これから今迄と同様にして圧力指数を求める。なお比較の便利のために前項の15°Cにおける値も再び掲げた。

珪素鉄-鉛丹(50/50)

直挿	50°C	$V=2.8P^{0.309}$(15)
	15°C	$V=2.5P^{0.309}$(11)
	-10°C	$V=2.5P^{0.306}$(16)
筒管	50°C	$V=6.2P^{0.199}$(17)
	-10°C	$V=6.9P^{0.124}$(18)

アンチモン-過マンガン酸カリ(70/30)

直挿	50°C	$V=0.72P^{0.192}$(19)
	15°C	$V=0.68P^{0.172}$(14)
	-10°C	$V=0.62P^{0.162}$(20)

いずれの延時薬でも初期温度が高くなると僅かながら圧力指数は大きくなる。

4. 総括

延時薬の燃焼伝播速度に及ぼす圧力の影響について実験を行ない、次の結果を得た。

(1) 延時薬柱の末端から発生する気体を真空ポンプで吸引した場合、燃焼伝播速度は吸引しない場合と変化ない。

この現象は黒色火薬と全く異なる点で、延時装置内の気体の流動があまり自由に行なわれぬこと、及び燃焼伝播速度が圧力に比較的鈍感なことに基因する。

(2) 2つの方法により延時薬燃焼伝播速度の圧力指数を測定したが、無煙火薬よりずっと小さい値を得

Table 5

Delay powders	Weight of a fuse head (mg)					
	Temperature (°C)	3.1	6.1	9.1	11.4	14.6
FeSi-Pb ₃ O ₄ (50/50) Direct loading	50	(cm/sec) 4.46	7.58	8.77	9.26	10.1
	-10	3.42	5.10	5.68	6.10	6.41
FeSi-Pb ₃ O ₄ (50/50) Metallic tube	50	8.57	10.9	11.9	14.3	15.2
	-10	8.48	10.0	10.4	10.6	10.9
Sb-KMnO ₄ (70/30) Direct loading	50	0.99	1.03	1.38	1.71	2.12
	-10	0.80	0.98	1.07	1.16	1.28

た。

(4) 実験の範囲では筒管式は直筒式より圧力指数が小さかった。

(5) 還元剤の粒度が細かくなると、圧力指数は大きくなる。

(6) 初期温度が高くなると、圧力指数は大きくなる。御指導を得た疋田教授に感謝する。

文 献

- 1) 亀石, 野村: 工業火薬協会秋季講演会 (1959).
- 2) 中原, 疋田: 工火 20 356 (1959).

Studies on Delay Powders (V)

The Effects of the Pressure on the Burning Velocity of Delay Powders

S. Nakahara

In our previous reports it was revealed that considerable quantity of gases evolved in the reaction zone of delay powders, and those gases might play an important role on the combustion reaction. In this paper, the effects of the gaseous pressure on the burning velocity of delay powders have been examined. The burning velocity remains unchanged whether the evolved gases are

sucked by the vacuum pump or not. The constants a and n in $V=ap^n$ are determined by two methods, where V is the burning velocity (cm/sec) and P is the gaseous pressure (kg/cm^2). Pressure index n of the delay powders is usually much smaller than that of smokeless powders. n is affected with the particle sizes of reducing agents and with the initial temperatures of the delay powders.

ニ ュ ー ス

爆発成形用の電解電池

酸素-水素混合物を発生する実験的電解ガス電池が金属の爆発成形作業や高温溶接及び切断トーチ用の燃料源として期待されている。

この燃焼ガスは、溶接や切断トーチに用いられるとき 200°C 以上の熱を生ずる。爆発するときは、最初の圧力より10倍大きい圧力を生ずる。

固体、又は液体爆薬の場合には数百ポンドの圧力で数マイクロ秒以内で金属を成形するが、衝撃波は反射して次の波を強め被加工物が割れることがある。しかしガス爆発の場合は、数ミリ秒の間継続しそれから次第に弱まるから前者のようなおそれはないという。

(A. M. M., June 30 1960) (木村 清茂)

水力採炭の実用試験始まる

北海道空地炭田の明豊炭鉱において、水力採炭、水力輸送の総合実験が、石炭技術研究所(理事長三菱鉱業社長西島直己氏)の手で行なわれることになった。この実験は高圧水をモニターから放射して石炭層を崩し地上に運び上げるもので、既に昨年より資源技術試

験所などで基礎実験が繰返されていたが実際に炭鉱内で行なわれるのはこれがはじめてである。実験費は約1億円、期間は8月18日から10月中旬まで。実験は引続き11月から炭層の薄い九州佐世保炭田岳下鉱、12月から炭層の堅い常磐炭田好間鉱でも行なわれる。この方法が成功すれば、明後年あたりから実用化でき、石炭のコストは現在の約1/2まで下げられる上、落盤、爆発などの事故も防止できるので成果が目ざされている。(日本経済 35-8-17)

大爆発の再現法

広島の大原爆がTNT 2万tに相当するといわれるが、これと同じ爆発をTNT 450kgで再現する方法が、米海軍兵器研究所で完成された。少量の爆薬を円錐の頂点で爆発させると、空中で大量を爆発させた時発生する球状衝撃波の1部を表わすというのである。理論的倍率を16万倍、効率を25とすると、頂角の半度で高さ500mの円錐の頂点において、450kgを爆発させると、空中または水中での2万tの爆発効果を再現する。(エビエーション・ウィーク 7月11日 p. 23) (日刊工業 35-8-17)