

Calculation of Combustion Parameters of Lithium Perchlorate Propellants

Tsutomu Hikita and Ken Kubo

Superiority of lithium perchlorate to ammonium perchlorate in its specific gravity and available oxygen content is clear in table 1. However, the performance as a propellant may not be necessarily better. Here we try some calculations with lithium perchlorate propellants. Table 2 shows the result of calculation with equilibrium between lithium chloride and lithium oxide. Formation of lithium oxide is negligible under the ordinary condition of combustion. Table 3 shows the combustion parameters for typical compositions and table 4 shows the compositions of gaseous and solid products.

Against expectations, lithium perchlorate gives no big increase in specific impulse. This is because of its high mean molecular weight of products and because of its high temperature at the nozzle exit in spite of the high combustion temperatures. Solidification of lithium chloride appears on way of expansion and becomes remarkable in case of lower percentage of lithium perchlorate content. In conclusion, as to the lithium perchlorate propellants, a high pressure combustion or a high expansion ratio is desirable in order to fully utilize its enthalpy values. (Faculty of Eng., Univ. of Tokyo)

延時薬に関する研究

(第4報) 延時薬の振動燃焼

中原正二*・疋田 強**

1. 緒 言

延時薬の燃焼伝播には振動燃焼がしばしば観察される。開放状態の延時薬タブレットや両端開放の石英管に充填した延時薬ではこの振動燃焼が明瞭に認められるが、密閉石英管内で燃焼させた場合もムービーなどでよく観察するとこれが見られる。従つて、振動燃焼は延時薬にはかなり普遍的な現象のようである。一方、延時薬燃焼残渣には層状亀裂が認められ、亀裂のピッチは同一延時薬でも燃焼条件によつて異なるが、開放状態は勿論、密閉管体内で燃焼させたものにも亀裂が認められる。米田、疋田¹⁾は亀裂は燃焼波而先端のすぐ背後からできることを報告したが、今回のわれわれの観察でもこれが確認された。更にわれわれの観察では振動燃焼と層状亀裂とは不可分の関係にある。振動燃焼の問題が実用上重要な意義を有することは延時薬の非定常燃焼、立消えの問題、或いは秒時及び秒時精度の問題と振動燃焼が密接な関係を有していることに

よつてわかる。

本報では幾つかの還元剤と酸化剤を組合わせた延時薬のガラス管内での燃焼伝播状況を視察し、又燃焼残渣の層状亀裂のピッチを測定した。次に若干の延時薬について Cine-Kodak や Fastax などを用いて更に細かい観察を行なつた。これに基づいて振動燃焼の機構を説明し、又振動燃焼と秒時精度との関係などについて述べた。

2. 延時薬燃焼伝播状況の観察

2-1 ガラス管開放状態での燃焼伝播

長さ 4cm, 径 7mm 両端開放のガラス管に延時薬を充填し、必要に応じて更に 2mm 厚位の伝火薬を充填し、Fig. 1 のようにして点火玉で点火した。末端は未燃焼延時薬がガス圧で飛散しないよう板でかるく

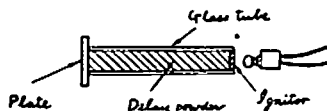


Fig. 1

昭和35年2月20日受理

* 日本化学株式会社東大綜合試験所

** 東京大学総合試験所

おさえた。延時薬は2成分系で還元剤に珪素鉄、マンガ
ン、亜鉛、鉄、アンチモンを選び、酸化剤には鉛丹、
過酸化鉛、過酸化バリウム、過マンガン酸カリ及びク
ロム酸鉛を選んで組合わせた。結果は次の通りである。

(a) 珪素鉄系延時薬

FeSi—Pb₃O₄ (50/50)——振動燃焼。かなり長い間
灼熱状態。全体がとけてはいないが、焼結が行なわれ
ている。層状亀裂ができる。V : 2.1, P : 0.1~0.2,
C : 210~105, 但し, Vは燃焼伝播速度 (cm/sec),
Pは亀裂のピッチ (mm), Cは振動燃焼の周波数であ
る。

FeSi—PbO₂ (30/70)——烈しい燃焼, 火花と焰を
出す。熔融する。

FeSi—BaO₂ (50/50)——烈しく燃え, 熔融する。

FeSi—KMnO₄ (50/50)——火花を発生して烈しく燃
え, 熔融する。

FeSi—PbCrO₄ (50/50)——烈しい火焰と火花をあ
げて燃焼層状亀裂が残る。見掛体積は非常に膨脹する。

(b) マンガン系延時薬

Mn—Pb₃O₄ (50/50)——層状亀裂をつくりながら燃
焼するが、直ちにとけて長時間灼熱, V : 0.53

Mn—PbO₂ (30/70)——カーキ色の煙をあげて烈し
い燃焼, 完全にとける。V : 0.26

Mn—BaO₂ (50/50)——火花をあげて燃焼し, 完全
に熔融する。

Mn—KMnO₄ (50/50)——完全に熔融する。V : 1.3

Mn—PbCrO₄ (50/50)——烈しい光輝と火花を発生
して燃焼。

(c) 亜鉛系延時薬

Zn—Pb₃O₄ (50/50)——伝播せず。

Zn—PbO₂ (30/70)——途中消火。

Zn—BaO₂ (50/50)——規則正しい振動燃焼。長時
間灼熱。熔融し, 体積が減少して中空となるが, 外壁
固着物は内部ほど反応が進行せず層が見られる。V :
0.73, P : 0.2, C : 36.5。

Zn—KMnO₄ (50/50)——熔融し, 30秒位灼熱。熔
融し体積が減少して中空になるが, 外周には層が見ら
れる。燃焼伝播速度は非常に速く, ストップ・ウォッ
チでは測定不可能。

Zn—PbCrO₄ (50/50)——烈しい光輝と火花を発生
して燃えるが, 途中消火。

(d) 鉄系延時薬

Fe—Pb₃O₄ (50/50)——燃焼伝播せず,

Fe—PbO₂ (30/70)——熔融, V : 0.17

Fe—BaO₂ (50/50)——振動燃焼。残渣の外周には
層状亀裂が見えるが, 内部にはとけて空洞がある。

V : 0.196, P : 0.4~0.1, C : 4.9~19.6。

Fe—KMnO₄ (50/50)——熔融して30秒位灼熱, 内部
は中空になるが, 外周には層状亀裂がある。V : 0.42

Fe—PbCrO₄ (50/50)——燃焼伝播せず,

(e) アンチモン系延時薬

Sb—Pb₃O₄ (50/50)——燃焼伝播せず,

Sb—PbO₂ (30/70)——とけながら燃える。

Sb—BaO₂ (50/50)——熔融する。V : 0.66。

Sb—KMnO₄ (50/50)——熔融する。生成物は見掛
け体積を減ずる。薬径小の場合, 管壁附近は反応が十
分進まず, 熔融しない。このときは層状亀裂が見られ
る。しかし中心部は熔融して中空になる。V : 0.75

Sb—PbCrO₄ (50/50)——燃焼伝播せず,

これから次の結論を得る。

(1) 燃焼帯の後方で完全に熔融するものと, ごく
僅かに焼結が行なわれ, せいぜい局所的な熔融しか行
なわれていないと思われるものがある。アンチモン
過マンガン酸カリが前者の例であり, 珪素鉄—鉛丹が
後者のよい例である。小川²⁾によれば, 焼結には液体
が介在する場合としない場合があるが, 珪素鉄—鉛丹
の場合, PbO·SiO₂, PbO·2SiO₂ などの鉛の珪酸塩が
でき³⁾, その融点が600~700°Cであるから, 液体は
介在しているであろう。この両極端の間には生成物
の熔融の程度の色々異なるものがある。アンチモン
—過マンガン酸カリ系でも細い薬径の場合, 熱損失の
ために外周部分は熔融せず, 中心部だけが熔融してい
て, 外側ほど反応の進行程度が少ないことがわかる。
亜鉛—過酸化バリウム, 鉄—過酸化バリウムでも同様
なことが云える。

(2) 燃焼残渣には完全に熔融したものを除いては
層状亀裂が見える。亜鉛—過酸化バリウムのように中
心部の熔融したのも, 外周部の熔融しない部分では
やはり層状亀裂が見える。アンチモン—過マンガン酸
カリ系で薬径の細いものも同様である。完全に熔融し
たものでも燃焼先端附近では熔融しておらず, 亀裂の
認められるものもある。亀裂のピッチは顕微鏡で測定
したが, 同一延時薬では比較的よくそろつていて, 通
常0.1mmのオーダーである。しかし, 鉄—過酸化バ
リウム (30/70) のように1乃至2mm位になるもの
もある。又1箇の残渣の亀裂の幅にも大きいものと小
さいものとが混つてでき, 大きい亀裂がほぼ一定のピ
ッチ (1~2mm) でできることもある。

(3) 振動燃焼が肉眼で認められるものと認められ
ないものがある。層状亀裂の幅の大きいものは振動
燃焼が明瞭に認められる。亀裂のピッチの大きさ及び
亀裂の幅と振動燃焼の周波数及び振幅の間には関連性
があることが後の実験で確認された。

(4) 珪素鉄—鉛丹 (50/50) は密閉管体内で燃焼さ

せると 10~5cm/sec の燃焼伝播速度であるが、この実験では 2.1cm/sec でかなり低い。密閉管体内で燃焼させた場合でも層状亀裂は認められる（特に点火側端面付近では明瞭に認められる）がその幅はガラス管の場合より狭い。

2.2 振動燃焼の観測

以上多数の延時薬について燃焼状況特に振動燃焼と層状亀裂について観察を行つたが、更に細かい観察をクロム酸鉛一過酸化バリウム一ゴム系、鉄一過酸化バリウム系及び桂葉鉄一鉛丹系延時薬について Cine-Kodak や Fastax を用いて行つた。前二者の延時薬は遅い延時薬であるが、典型的な振動燃焼を行ない、亀裂の生成と“息つき”の関係はつきり認められるので選んだ。後者は速い延時薬の代表的なものとして選んだ。

クロム酸鉛一過酸化バリウム一ゴム (40/60/1)

延時薬

内径 7mm の両端開放石英管に充填し、その仮比重を色々変えたものについて燃焼状況を 16コマ/秒の撮影機で撮つた。撮影結果から 1/4 秒ごとの距離と時間の関係をプロットしたのが Fig. 2 である。測定はす

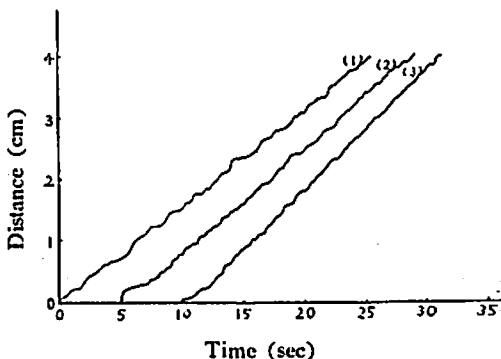


Fig. 2. Oscillatory burning of lead chromate-barium peroxide-crude rubber (40/60/1) delay powders, Loading density: (1) 2.26, (2) 2.56, (3) 3.14g/cm³

べて点火の瞬間から行なつたが、曲線相互の比較の必要上、図上には時間座標をずらして示した。図からこの延時薬が振動燃焼していることがわかる。振動の波長は 1~3mm であるが、仮比重の大きいものほど波長は細かく、振幅も小さい。仮比重の大きいものほど秒時程度のよい理由の一つはここにある。試料の平均燃焼伝播速度は次のとおりである。

仮比重	平均燃焼伝播速度
2.26 g/cm ³	0.158cm/sec
2.56	0.173
3.14	0.197

密閉管体中で燃焼させた場合には仮比重の小さいものほど燃焼伝播速度は速くなるが、開放管の場合にはその逆の結果を得るのが一つの特徴である。この現象は振動燃焼の機構と密接な関係を有することが今回わかつたが、次章に於いて詳述する。

鉄一過酸化バリウム (30/70) 延時薬

コマ写真と短時間の露出による接写 (旭ペンタックス F:1.8) の併用により振動燃焼の観測を行なつた。燃焼先端の位置と時間の関係は Fig. 3 に示した。

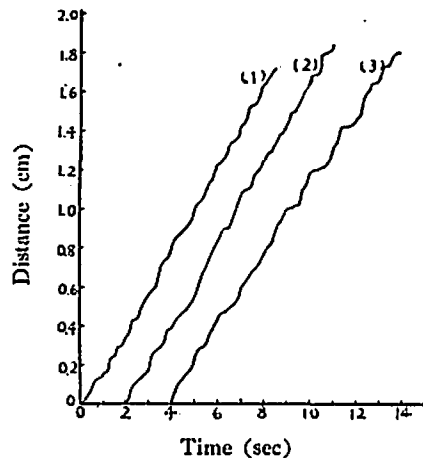


Fig. 3 Oscillatory burning of iron-barium peroxide (30/70) delay powders. Loading density: (1) 3.79 (2) 3.50 (3) 3.21g/cm³

何れの仮比重でも明らかに振動燃焼が見られ、丁度定常燃焼波に準振動の燃焼波が組合わさつていように見える。もつとも波長は一定でなく 1乃至 2mm 位の間を変動している。

燃焼伝播の状況を 16mm Cine-Kodak (24コマ/秒) で撮つた 7枚の写真を Photo 1, に示した。これについて説明する。(1) 0sec, 燃焼途中のある瞬間。左側黒色部分が燃焼部分で、更にその左の白色部分は灼熱帯である。右側灰白色部分が未燃焼部分。物指の最小目盛は 1mm である。(2) 0.042sec, 燃焼先端に輝点が見られる。燃焼部分には層状亀裂が何本か見える。(3) 0.083sec, 輝点は横にふえてゆく。(4) 0.205sec, 最初の輝点は消えたが、更に新しい輝点が横にできていく。(5) 0.250sec, 輝点は全部消えた。この間、燃焼波はほんの僅かしか進行していない。(6) 0.666sec 燃焼波は進み、次の輝点が見われ始めた。(7) 0.708sec 輝点は再び横にふえてゆく。

Photo 2 はともに旭ペンタックスによる接写である。黒色の燃焼部分には約 2mm 間隔に層状亀裂があり、輝点は亀裂と位置が一致している。輝点は亀裂空間と酸化性気体の激しい乱流（特に燃焼先端付近では過酸化バリウムの分解が激しく酸素圧力が大きい）が

あるところでき、丁度消し炭が起こるように輝やく。その後方では過酸化バリウムからなる酸素の速度も遅くなり、気体の流動も弱まってくるので輝点はみられないが、酸化はなお徐々に進行し、温度も次第に高くなり、1cm 位後方で灼熱状態になる。仮比重と平均燃焼伝播速度の関係は次のとおりである。

仮比重	平均燃焼伝播速度
3.21/cm _c	0.180cm/sec
3.50	0.204
3.79	0.208

やはり仮比重の大きいものほど速くなっている。

珪素鉄—鉛丹 (50/50) 延時薬

薬栓を破黄で固定した密閉石英管及び両端開放石英管に薬長 4cm 装填し、点火玉で点火した。燃焼状況は Fastax (約2,000コマ/秒) で撮影し、8.33ms ごとに距離と時間の関係を求めて Fig. 4 にプロットした。

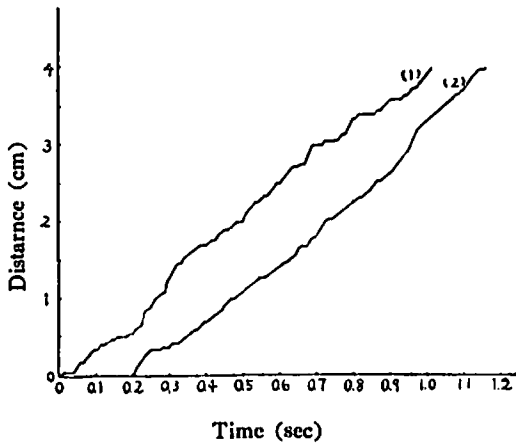


Fig. 4 Oscillatory burning of ferrosilicon-red lead (50/50) delay powders in (1) an open quartz tube, and (2) a closed quartz tube.

密閉、開放とも点火の瞬間からプロットしたが、やはり両者の曲線の比較の便宜上、時間軸はずらした。密閉管では点火直後は比較的速く燃えている。これは点火玉のガス圧の影響である。次にしばらく燃焼が停滞しているが、これは大きな亀裂の生成によるものである。尚点火玉の点火により 0.7mm の厚さが殆んど同時に着火したが、これは第1報の結果とよく一致している。密閉管では比較的均質な燃焼伝播を示しているが、それでも時々短かい“息つき”を行なっている。この延時薬の層状亀裂のピッチは 0.2mm 程度であるが、このような小亀裂による小さな振動燃焼は Fastax でもとらえることができなかった。従って図上の振動は比較的大きい亀裂によるものである。これは開放管の場合も同様である。開放管では点火の際のガス圧不足のため着火に時間遅れがあり、又最初の速

度もおそい。その後の燃焼はかなり不齊で、きわめて速い燃焼伝播の後に長い休息期間がある。開放管では大きな亀裂が燃焼先端で発生するのが認められた。

3. 振動燃焼の機構

3.1 振動燃焼の機構と層状亀裂の生成

層状亀裂は開放状態又は点火側開放のガラス管中の延時薬燃焼の際、特にはつきり現われ、燃焼波面先端のすぐ背後から多くの場合見掛け体積の膨脹を伴って現われる。密閉管体の場合にも点火側端面附近では明瞭に認められるが、その先の方では容易に認められないものもある。しかし燃焼残渣をくずしてゆくと燃焼伝播方向に垂直な面がしばしばはつきりと現われてくるから、ピッチは細かく亀裂の幅は非常に狭いながら、やはり層状亀裂の存在する場合が多いのであろう。従がつて層状亀裂は延時薬にはかなり普遍的に存在するといえる。

層状亀裂は薄層状の燃焼物が一箇の集合体として移動し、隣接の薄層状燃焼残渣との間に小さな間隔をつくるためにできる。ある条件下では集合体全体としては移動しないが、燃焼物の見掛け体積が縮小して隣接集合体との間にある間隔を設けることもある。これらの移動は酸化剤等から発生する気体の圧力によつて行なわれ、抵抗の少ない方向に移動する。密閉管体の場合には点火玉空間部の方へ移動が行なわれる。両端開放のガラス管では最初は点火側に移動するが、末端附近では逆方向に移動し、その勢いで未燃焼延時薬を飛散させることが多い。このことは遅い延時薬では肉眼ではつきりわかる。

これを Fig. 5 により更に詳細に述べる。Fig. 5

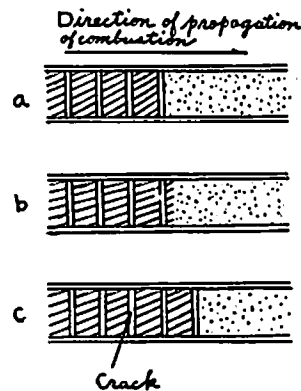
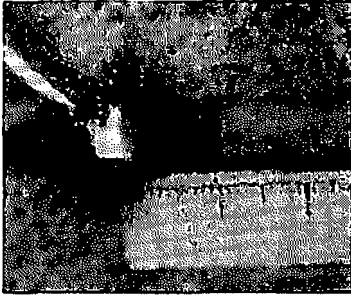


Fig. 5 Scheme of oscillatory burning and growing of layerwise cracks of delay powders. Figures a, b and c correspond to equal time intervals.

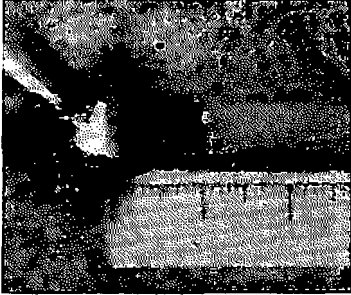
の (a), (b), (c) は等しい時間間隔に対応する。図中のハッチは燃焼部分、ドットは未燃焼部分を表わす。白色部分が亀裂である。亀裂のピッチ及び幅は実際に

Photo 1

(1)
0 sec



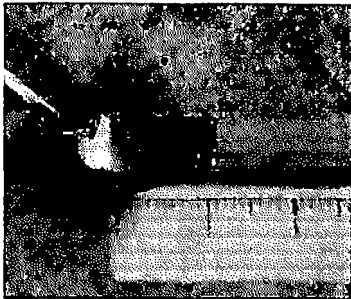
(2)
0,042
sec



(3)
0,083
sec



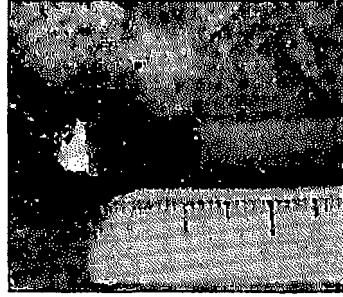
(4)
0,208
sec



(5)
0,250
sec



(6)
0,666
sec



(7)
0,708
sec

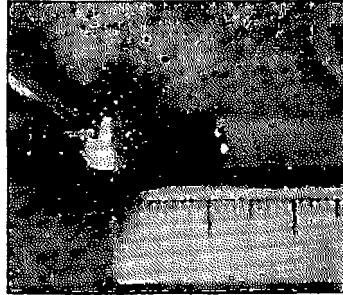
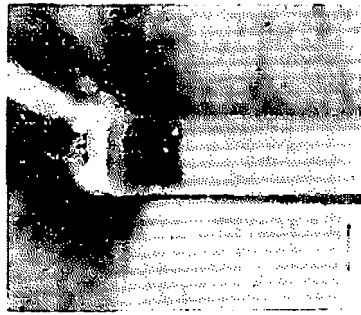


Photo 2

(1)



(2)



はもつと小さいが、説明の必要上大きく書いた。(a)は燃焼波の先端で亀裂ができ、薄層状燃焼物が小距離後方に移動した瞬間である。この薄層部分はある程度燃焼が進行しているの、それ自身の力でその後の燃焼を続けてゆく力がある。しかしその前方の部分は僅かに反応が始まったばかりか、或いは予燃焼のとき亀裂ができ、燃焼部分からの熱エネルギーの供給や酸化力ある流動気体の作用もこの空間の存在で妨害されるので、亀裂がないと仮定した場合より反応速度は遅くなる。特に亀裂生成直後にその低下は著しい。又亀裂の幅が大きいほど著しい。従がつて燃焼伝播速度も遅く、又気体の発生速度も遅い。(b)は亀裂生成直後には燃焼波の進行速度の遅いことを示す。しかしその後は燃焼波面に再び熱が蓄積され、酸化性気体圧力も高くなるので、急激な反応が行なわれ、燃焼波の速度も速くなる。又このとき急激な気体の発生が行なわれ、その圧力で延時薬は通常 0.2~0.4mm の厚さの層が抵抗の少ない方に移動する。燃焼波面先端附近の温度勾配は急なので、ごく薄い部分しかこの急激な反応に入らないうちに亀裂ができる。それが図の(c)である。以上のようにして振動燃焼が行なわれる。亀裂の幅は振動燃焼の振幅に関係し、幅の大きいほど、振幅は大きい。亀裂のピッチは周波数に關係する。ピッチの大きいほど周波数は小さい。同一延時薬でも大きな亀裂と小さな亀裂ができるが、大きい亀裂のときの方が反応速度の低下が大きい。あまり亀裂の幅が大きく 2~3mm となると、そこで燃焼が中断されることもある。燃焼波の先端附近に気体が次第に蓄積されてくることは第2報⁷⁾で述べたが、その結果燃焼伝播速度は次第に加速されてくる筈である。事実密閉器内で燃焼させるとかかる場合が多い。しかし層状亀裂の生成によりその部分で圧力の増大が防止されるので巨視的には一見定常燃焼が行なわれているように見える場合もある。又次第に減速して途中消火する場合もある。装填比重が小さいほど亀裂が大きく不規則になるのは、燃焼圧力が大きくなることと、燃焼物が移動しやすいためである。密閉管体内で燃焼させるときは装填比重の小さいものほど燃焼伝播速度が速くなるのに、開放管の場合は先のクロム酸鉛-過酸化バリウム-生ゴム系及び鉄-過酸化バリウム系延時薬の例でわかるようにかかる傾向がみられず、むしろ逆に装填比重の小さい方が多少遅くなる傾向が見られるのは上述のように亀裂の幅が大きいためその部分で反応速度が遅くなり、結局全体として燃焼伝播速度が遅くなるためである。

又、珪藻鉄-鉛丹(50/50)が開放ガラス管で密閉の場合より遙かに燃焼伝播速度が遅くなる理由は、密

閉管体内では亀裂の幅が狭いのに開放ガラス管では燃焼圧力で残渣が動きやすく、目掛けの体積膨脹が大きくなり、従がつて亀裂の幅が大きいので、亀裂部分で燃焼伝播速度が低下するためである。直挿式が筒管式と比べて珪藻鉄-鉛丹(50/50)で $\frac{1}{2}$ 乃至 $\frac{1}{3}$ 位燃焼伝播速度が遅くなるのは筒管式の方が燃焼生成物が移動し難く、従がつて亀裂の幅が狭いためである。

還元剤粒子が細かいほど亀裂のピッチが細くなり、振動が細くなるが、¹⁾このことは粒度が細かいほど秒時精度がよくなるという従来の経験とも一致している。延時薬の燃焼伝播速度は後報で示すように圧力指数がダブルベース・ロケット推進薬などと比べると遙かに小さいにもかかわらず振動燃焼するのは以上の理由によるものである。その外的原因による一寸した圧力変動や発火の時間おくれなども振動燃焼の原因となり得るが、延時薬ではその影響は極く小さいと思われる。

3.2 振動燃焼と秒時精度

Fig. 2~4 から明瞭なように、振動燃焼は燃焼秒時の不均斉の大きな原因となるから、秒時精度をよくするには振動燃焼ができるだけ起らないか、或いは起つてもできるだけ振幅を小さく一定にすることが望ましい。これを亀裂の方から云うと亀裂の幅をできるだけ小さく一定にし、燃焼波面に作用する圧力をできるだけ一定にしておくことが必要である。それには次のようにすればよい。

(1) 延時薬の装填を均一に、しかもできるだけ装填比重を大きくして空隙率を小さくする。

(2) 密閉管体内で燃焼生成物ができるだけ動かないようにする。直挿式でガス圧の大きい延時薬の場合、点火側端面附近が特に動きやすい。これに対して若園⁹⁾は内管の装着を提唱しているが、これも有効な一方法である。

(3) 還元剤の粒度が細かいほど亀裂は細くなるから、還元剤の粒度は必要な程度に細かく一定にする。

(4) 層状亀裂のできる原因は主として酸化剤の分解生成ガスにあるから、分解生成ガスの量のあまり多くなく、分解速度もあまり速くない方がよい。

4. 総 括

(1) 開放ガラス管で各種延時薬の燃焼状況、特に層状亀裂と振動燃焼について観測した。

(2) クロム酸鉛-過酸化バリウム-生ゴム系、鉄-過酸化バリウム系、及び珪藻鉄-鉛丹系延時薬についてコマ取写真と接写による瞬間写真で振動燃焼に対する更に細かい観測を行なった。

(3) 層状亀裂は延時薬燃焼の際発生する気体の圧

力によつて薄層状燃焼物が一箇の集合体として移動することによつてできる。振動燃焼はこの亀裂の空間により熱エネルギーの供給や酸化力ある流動気体の作用が妨害されるために反応速度が遅くなるので起る。

(4) 従がつて振動燃焼は層状亀裂に伴なつて現われ、亀裂のピッチは振動の周波数に関係し、亀裂の幅は振幅に関係する。

(5) 仮比重の小さいほど、又還元剤粒子の径の大きいほど振動燃焼は激しい。開放管の場合、密閉管より激しい。

(6) 密閉管の場合、仮比重の小さいほど燃焼伝播速度が大きいのに開放管では逆の結果になること、直挿式が筒管式より燃焼伝播速度が遅いことなども上述の理論によつて説明できる。

(7) 振動燃焼を少なくすることが秒時精度向上に必要であるが、それには装填を均一にしかもできるだけ密にし、管体内の延時薬はできるだけ動かないようにし、又還元剤粒子は細かくすることが必要である。分解生成ガスの量はあまり多くなく、又分解速度も遅い方がよい。

文 献

- 1) 米田, 正田: 工火 16 85 (1955).
- 2) 小川: 粉体科学序説 (工業物理学講座 (1957). 日刊工業新聞社.)
- 3) 若園: 工業火薬協会春季講演会 (1957).
- 4) 中原, 正田: 工火 20 356 (1959).
- 5) 中原, 正田: ibid. 20 275 (1959).
- 6) 若園: ibid. 20 50 (1959).

Studies on Delay Powders (IV)

The Oscillatory Burning of Delay Powders.

Shōji Nakahara and Tsutomu Hikita

Oscillatory propagation is observed in the burning of delay powders and at the same time immediately behind the wave front the layerwise cracks are produced which may be intimately related to the oscillation of the burning. Wave lengths and widths of these oscillations change with loading density, diameter of reducing agents, construc-

tions of delay elements and soon. A mechanism of oscillatory burning and reasons of appearance of layerwise cracks or striped patterns are explained here. And relations between the accuracy of delay time and the oscillatory burning of delay powders are also stated.

ロケット火薬の形状に関する考察特に内面等齊燃焼の場合について

清水 武 夫*

I. 緒 言

ロケット火薬の形状の設計については多数の文献があるが、それ等は一般に先づ或る形状を与えてそれが如何なる燃焼特性を示すかを考察したものである。然るに実用に当つてはエンジンの要求する性能に対して如何なる形状が最適であるかを定める必要に迫られ

る。この場合従来の設計理論によれば種々形状や条件を前提として計算しこれ等のうち何れが最適であるかを暗探する等所謂試行錯誤法によらねばならない。

本文の目的は代表的な各種の形状についてその設計理論相互を貫通する相似条件を見出し全体として努めて明快な統一理論を建設し、以つて上記の如き設計上の欠陥を除去するにある。

本文では現在及び将来の実用上の要求を考慮し内面

昭和35年3月8日受理

* 大日本セルロイド株式会社・細谷火工株式会社