

## 煙火組成物の鋼管試験(Ⅱ)

畑中修二\*, 早川 隆\*\*

煙火組成物について、鋼管試験を行い光ファイバー法を用いて伝播速度を求めた。その結果、光ファイバー法は煙火組成物の伝播速度測定に適しており、雷薬は1700 m/s、笛薬2400 m/s、滝剤1100 m/sが得られた。また、鋼管破裂状況と併せて伝爆性を評価した結果、雷薬や笛薬は伝爆性があり、滝剤も爆燃伝播性があることが判った。

鋼管試験は煙火組成物の威力測定法として有望であると思われる。

### 1. はじめに

前回の報告<sup>1)</sup>では、同一試料について鋼管試験の試行回数が1回であり、伝爆性の結果や抵抗線プローブ法を用いた伝播速度の数値の信頼性が低かったが、滝剤は完爆する可能性があることを指摘した。今回は、試行回数を増やすことと、伝播速度(爆速)の測定法に燃焼や爆燃の伝播速度を測定できるとする光ファイバー法<sup>2)</sup>を併用し信頼性のある数値を得ることとした。

また、滝剤の伝爆性を明らかにするために、アルミニウムの含有率を変化させて鋼管試験を行い、伝播速度や破碎状況からアルミニウム含有率の影響を検討した。実用される雷薬や滝剤には着火性の観点から硫黄を添加することが多いので、硫黄の添加の効果についても検討した。さらに、酸化剤として塩素酸カリウムと過塩素酸カリウムを使用し、酸化剤種による威力の比較を試みた。

アルミニウム以外の可燃剤として有機物を用いた“笛薬”についても試験し、標準爆薬としてTNTを用いて比較した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試料

##### 2.1.1 原料薬品

使用した原料薬品は、煙火製造所で使用されている

ものを選んだ。製造メーカーと特性は次のようであった。塩素酸カリウム(KClO<sub>3</sub>): Eka Nobel Elektrokemi社(スウェーデン)製、平均粒径70 μm、過塩素酸カリウム(KClO<sub>4</sub>): 日本カーリット(株) #250パス97.3%、平均粒径20 μm、硫黄(S): (株)軽井沢精錬所 #200パス99.57%、フレークアルミニウム(細)(Al(FF)): 中塚金属箔粉工業(株)純度99.3%、#325パス93.5%、フレークアルミニウム(粗)(Al(FC)): 中塚金属箔粉工業(株)純度99.5%、#10~#20、安息香酸ナトリウム: 伏見製菓(株)

##### 2.1.2 混合

試料はアルミニウムを含む雷薬や滝剤を主とし、塩素酸カリウム-アルミニウム2成分系、過塩素酸カリウム-アルミニウム2成分系ではアルミニウム含有率を変化させた。試料組成をTable 1に示した。1~7の試料は日本煙火協会の検査所で混合準備した。試料は、30 gを1パッチとして可燃剤を予めV型混合機で10分混合した後、最後に酸化剤を加えて再度10分混合した。試料には鋭感な混合物が含まれるので安全のために、スイッチのON, OFFは遠隔で操作した。試料7は、2成分の爆薬であるがアルミニウムの代わりに安息香酸ナトリウムを用いた。これは、“笛薬”と呼ばれる笛音を発する煙火組成物である。

代表的煙火組成物として黒色火薬を2種類使用した。一つは日本化薬(株)製煙火用小粒火薬、他は三州火工(株)製の粉火薬であり、いずれもメーカーで実用されている。また、威力の標準物質としてTNT(中国化薬(株)製結晶性粉末)を用いた。

##### 2.2 装填・設置

一端を紙テープで閉じた鋼管(前報と同じJIS G 3452 32A SGP)に、試料を軽くタッピングしながら充填し、

1996年8月20日受理

\* (社)日本煙火協会検査所

〒441-11 愛知県豊橋市石巻西川町字吉祥 18-17

TEL 0532-88-5581

FAX 0532-88-4795

\*\* 日本油脂(株)愛知事業所武豊工場研究開発部

〒470-23 愛知県知多郡武豊町字北小松谷 61-1

TEL 0569-72-0916

FAX 0569-73-7376

Table 1 Tested compositions

Sample name and composition (wt.%)	Manufactory
1. Cascade 1 KClO <sub>3</sub> /Al(FC)/Al(FF)=55 : 36 : 9	JPABPI*
2. Cascade 2 KClO <sub>3</sub> /Al(FC)/Al(FF)/S=55 : 36 : 9 : 7 (additional)	JPABPI
3. Report 1 (Flash and sound) KClO <sub>3</sub> /Al(FF)/S=71.4 : 21.4 : 7.2	JPABPI
4. Report 2 (Flash and sound) KClO <sub>4</sub> /Al(FF)/S=71.4 : 21.4 : 7.2	JPABPI
5. KClO <sub>3</sub> -Al mixtures KClO <sub>3</sub> /Al(FF)=80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50	JPABPI
6. KClO <sub>4</sub> -Al mixtures KClO <sub>4</sub> /Al(FF)=80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50	JPABPI
7. Whistle KClO <sub>4</sub> /C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COONa (Sodium benzoate)=70 : 30	JPABPI
8. Black powder (Grain for fireworks) KNO <sub>3</sub> /Charcoal/S=74 : 16 : 10	Nippon Kayaku
9. Black powder (Powder) KNO <sub>3</sub> /Charcoal/S=76.9 : 15.4 : 7.7	Sanshu kakou
10. TNT (Trinitrotoluene) Crystal line powder	Chugoku kayaku

\*Japan Pyrotechnics Association, Bureau of Pyrotechnics Inspection Al(FC): Aluminium (flaky coarse), Al(FF):Aluminum (flaky fine)

装薬量から装填密度を計算した。実用の滴剤の装填密度が0.97~1.24 g/cm<sup>3</sup>であったので、装填密度の基準を1.0 g/cm<sup>3</sup>としたが、圧填しなかったため密度の低い試料も存在する。後方から抵抗線プローブを光ファイバーを取り付けた位置の反対側の鋼管内部に沿って挿入した。前回の試験においてブースターがない場合には、伝播速度が低くなる傾向があったので、今回の試験では、すべてブースターを使用した。ブースターとして50gのエマルジョン爆薬(日本油脂(株)製)を半球形になるように成形して、ブースターにトリガー用のイオンギャップセンサーを取り付けた。このブースターを鋼管に取り付けテープで固定した(Fig. 1参照)。

爆発ピット内で7本の光ファイバーを鋼管に30mm間隔で取り付けした後、雷管をブースターに約10mm挿入した。砂上に鋼管を設置して起爆した。

コンクリート上と砂上における漏斗孔の違いを観察するために雷薬とTNT試料をコンクリート板上でも起爆し、コンクリート板の破碎状況と漏斗孔の大きさを比較した。

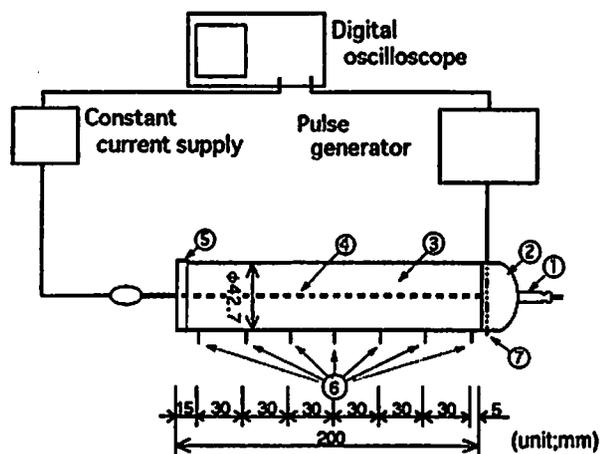


Fig. 1 Block diagram of steel tube test  
1. Electric detonator 2. Booster 3. Steel tube (φ42.7×200, t3.5) 4. Resistance wire probe 5. Sealed tape 6. Optical fiber 7. Ion gap probe

コンクリート板は大きさ300mm×1000mm×t50mm, 成形10日後のテストピース(φ100mm×200mm)の圧縮強度は24.7MPa (252kgf/cm<sup>2</sup>)であった。コンクリー

ト板上での鋼管試験は、強度試験が行なわれた日に行なった。

### 2.3 伝播速度測定

本試験における装置の概要をFig. 1に示した。抵抗線プローブは、抵抗線プローブ法と光ファイバー法との比較のために使用したもので伝播速度の測定には使用しない場合がある。

光ファイバー法による伝播速度の計測には、KON-TINITRO社製の7チャンネル“EXPLONET”を用い、各区間(距離30mm)ごとの伝播速度を測定した。

一方、抵抗線プローブ法は前報<sup>1)</sup>同様であり、ブースターに取り付けたイオンギャップからの信号でトリガーをかけ、抵抗線プローブの電圧変化をデジタルオシロスコープ(Nicolet社製)に記録した。前報では時間距離曲線の傾きが途中から変化する場合があったので、本試験では傾きが変わった後の傾きを伝播速度とした。

本試験で用いた抵抗線プローブも、前報と同じものであるが保護用のスチールチューブが潰れず測定できないおそれがあるために、伝播速度が遅い場合にはアルミニウムチューブを用いた。

### 2.4 観察及び漏斗孔計測

後ガスの排気後、鋼管の破片回収と漏斗孔の大きさの計測を行なった。漏斗孔の大きさは試料軸方向長さ(a)と垂直方向長さ(b)と試験前の表面からの深さ(h)をcm単位で行ない、漏斗孔を楕円錐形とみなして、前回同様に次式で容積(V)を計算した。

$$V = \pi abh / 12$$

## 3. 結果及び考察

### 3.1 伝播速度

#### 3.1.1 測定方法の検討

雷薬2について光ファイバー法と抵抗線プローブ法を併用した測定結果をFig. 2に示した。抵抗線プローブ法で得られた時間距離曲線にはノイズが見られるが、直線に近似できる。求めた近似直線から速度を求めると1740 m/sとなった。一方、光ファイバー法で測定された各区間での伝播速度から、各測定チャンネルが光を捉えた時間を逆算して同一のグラフに示した。No. 1~7は各チャンネルの番号である。No. 1チャンネルの時間座標は求められないので、抵抗線プローブの曲線上にとった。光ファイバー法での伝播速度は1840 m/sとなり抵抗線プローブ法の結果とはほぼ一致する。

全種類の試料について2つの測定法を比較した結果を、Fig. 3に示す。相関係数rを計算すると、 $r = 0.981$ となり良い相関関係があることがわかった。又、抵

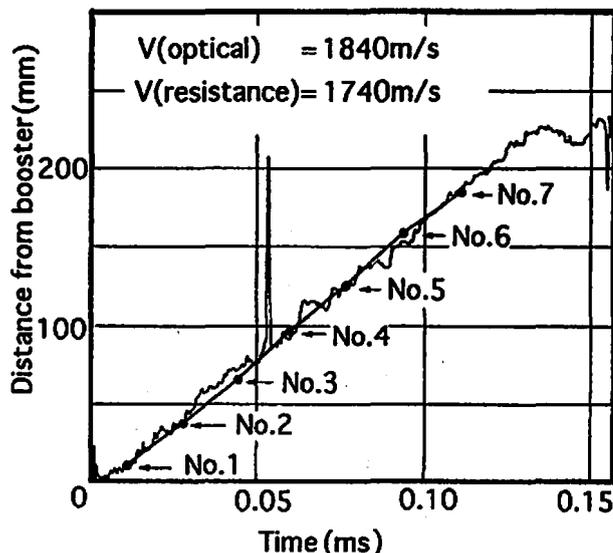


Fig. 2 Examples of two types of velocity measurement

- No. 1-7 show optical fiber positions.
- V(optical) is the propagation velocity by the optical fiber method and V(resistance) is that by the resistance wire probe method.

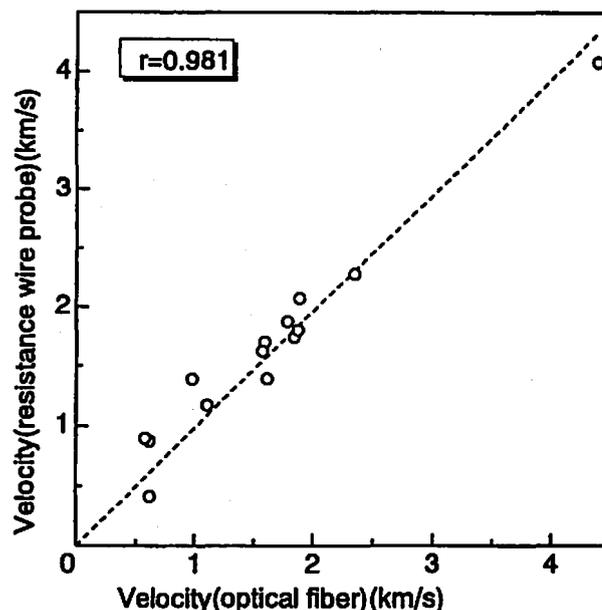


Fig. 3 Comparison between the two types of velocity measurements (r: correlation coefficient)

抗線プローブ法は、1000 m/s以下の低伝播速度では信頼性が低いことを前報<sup>1)</sup>で指摘した。然るに、抵抗線プローブ法より簡便な光ファイバー法が煙火組成物の伝播速度測定に適していると考え、本試験では解析に光ファイバー法での測定結果を用いた。

#### 3.1.2 薬種別の伝播速度変化

光ファイバー法による測定を各煙火組成物について2回~4回試行し、得られた各区間の伝播速度の平均

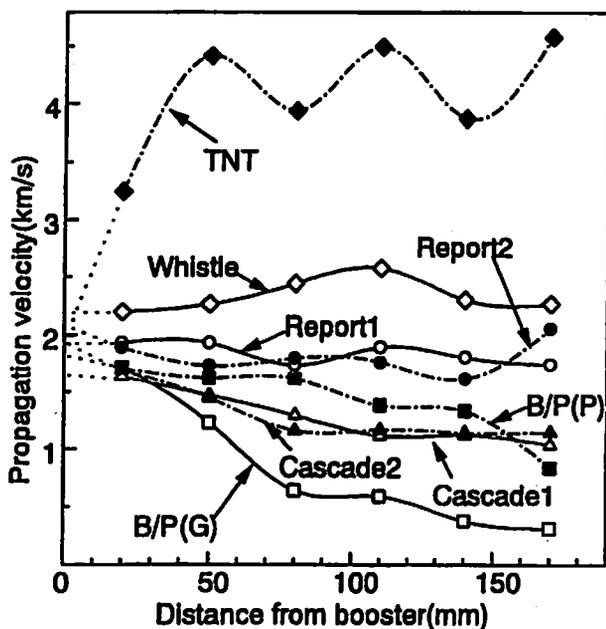


Fig. 4 Propagation velocity of fireworks compositions (by optical fiber method)

値を求めブースターからの距離による伝播速度変化を Fig. 4 に示した。

雷薬、澆剤や笛薬は若干変動しているが、ほぼ一定の伝播速度となり定常的に伝播するものと考えられる。

一方、黒色火薬は小粒火薬、粉火薬ともにブースターから離れるにつれて速度が低下しており一定とならない。

TNTは、大きく変動しており収斂していない。充填密度が0.73~0.78 g/cm<sup>3</sup>と低いこと、鋼管の一端が解放に近いことなどが影響していると考えられる。ブースターの影響が大であると思われる最初の2区間を除いた4区間の平均爆速(n=4)は4100~4400 m/sであり、文献値<sup>3)</sup> 4100 m/s(充填密度0.83 g/cm<sup>3</sup>)とほぼ合致した。

一定の伝播速度になる試料は最後の4区間で一定になるが、ブースターの影響が最初の2区間程度(ブースターから約70mm)に表われることがわかった。

以上のことより、伝播速度の解析として、雷薬、澆剤など定常的に伝播する試料は、最後の4区間の平均値を伝播速度とすることにし、黒色火薬のように非定常的に伝播する試料は、最終区間の伝播速度を伝播速度とした。

各薬種の装填密度、伝播速度、真の漏斗孔容積(3.2項参照)を Table 2 に示した。

### 3.1.3 アルミニウム含有率と酸化剤種の影響

アルミニウムの含有率を変化させた場合の伝播速度変化を Fig. 5 に示した。Al含有率が30wt.%までは定

Table 2 Propagation velocity and crater volume

Sample name	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Propagation velocity (m/s)	Crater volume (cm <sup>3</sup> /g)
1. Cascade1	0.81	1035	18
2. Cascade2	0.83	1150	26
3. Report1	1.01	1770	39
4. Report2	0.97	1753	39
5. KClO <sub>3</sub> /Al(80 : 20)	1.06	1890	22
6. KClO <sub>3</sub> /Al(70 : 30)	1.01	1600	12
7. KClO <sub>3</sub> /Al(60 : 40)	0.94	570	26
8. KClO <sub>3</sub> /Al(50 : 50)	0.91	510	15
9. KClO <sub>4</sub> /Al(80 : 20)	1.02	1850	22
10. KClO <sub>4</sub> /Al(70 : 30)	0.96	1580	11
11. KClO <sub>4</sub> /Al(60 : 40)	0.94	570	19
12. KClO <sub>4</sub> /Al(50 : 50)	0.92	520	16
13. Whistle	0.77	2400	25
14. B/P(G)	1.03	460	16
15. B/P(P)	0.66	840	21
16. TNT	0.75	4220	88

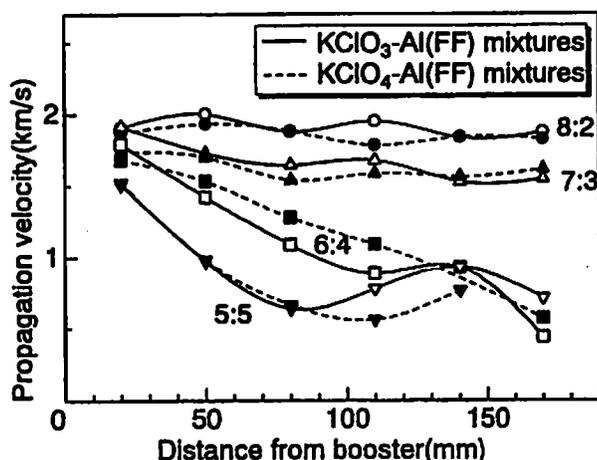


Fig. 5 Effect of Al content on velocity change (figures indicate oxidizer:Al weight ratio)

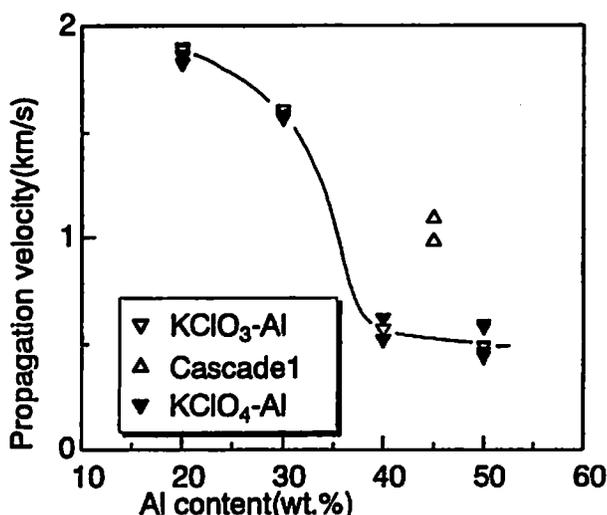


Fig. 6 Effect of Al content on velocity

常的な伝播を示すが、40, 50 wt.%では速度が不安定で概して低下傾向となった。酸化剤は塩素酸カリウムと過塩素酸カリウムであるが、酸化剤種の違いは明確にならなかった。

前項で述べた方法で各試料の伝播速度を求め、Al含有率との関係をFig. 6に示した。滝剤1は塩素酸カリウムとAlとの混合物であるので、併せて示した。

(a) アルミニウム含有率

塩素酸カリウム-Alの2成分の酸素バランスはAl含有率30.6 wt.%で0であり、過塩素酸カリウム-Alの2成分の酸素バランスはAl含有率34.2 wt.%で0となる。本試験では最大の伝播速度はAl含有率20 wt.%であり、各点を結ぶ曲線から推定するとほぼ最大値に近いと思われる。当初、酸素バランスが0付近で最大の速度になると予測したために、最大の伝播速度を与えるAl含有率を求めることはできなかった。

爆発後の鋼管内の残渣をX線回折分析した結果、過塩素酸カリウム-Al系では、Al含有率20 wt.%の場合には2種類のアルミナが検出された。コランダムと $\eta$ -アルミナであり、異なるアルミナの析出形態があると思われる。一方、Al含有率50 wt.%の場合には、前述と同じ2種類のアルミナと未反応のアルミニウムとKClが検出されており、酸素バランスが-21.3%と大きく負であるため、アルミニウムが十分に反応しなかったものと思われる。

(b) 滝剤1

Fig. 6において滝剤1は、同じAl含有率の塩素酸カリウム-Al混合物に較べると、2倍程度伝播速度が速く、塩素酸カリウム-Al混合物は定常的に伝播しないが、滝剤1は定常的に伝播することが示された。滝剤1は、塩素酸カリウム-Al混合物中の微粉末フレークアルミニウムAl (FF)の一部を、粗粉のフレークアルミニウムAl (FC)に置き換えたものであるから、これは粒径の効果であると考えられる。通常、粉末の混合火薬類では粒径が小さいほど均一性が上がり反応性が高くなるとされる<sup>4)</sup>。滝剤の場合は逆の効果となったので原因について検討する。

滝剤1における塩素酸カリウムとAl (FF)との混合比率は55:9であるので、百分率に換算するとAl含有率は14 wt.%となる。滝剤1を顕微鏡で観察すると、塩素酸カリウムは微粉末アルミニウムAl (FF)に覆われて見えないが、粗粉のAl (FC)は別個に存在している。模式的に考えると、大粒径のフレークアルミニウムの間に微粉末のフレークアルミニウムが表面を覆った塩素酸カリウムが存在する状態とすることができる。

Al含有率が14 wt.%の塩素酸カリウム-Al混合物は、Fig. 6から推定すれば1900 m/s近い伝播速度を有すると思われるから、大粒径のAl (FC)が、この混合物を希釈し、伝播速度を遅くしていると考えられる。従って、滝剤1にAl (FF)を加えて塩素酸カリウム:Al (FF)が60:40程度となれば、非定常的な伝播を行なうようになることも考えられる。

滝剤1の鋼管内の残渣をX線回折分析した結果、コランダム、 $\eta$ -アルミナ、KClが検出されアルミニウムは検出されなかった。しかし、鋼管内部にはアルミニウムのフローマークが残っており、前述のモデルを裏付けるものと考えられる。

煙火組成物の危険性を考える場合、見かけの組成だけで判断することは誤りをおかす可能性があ

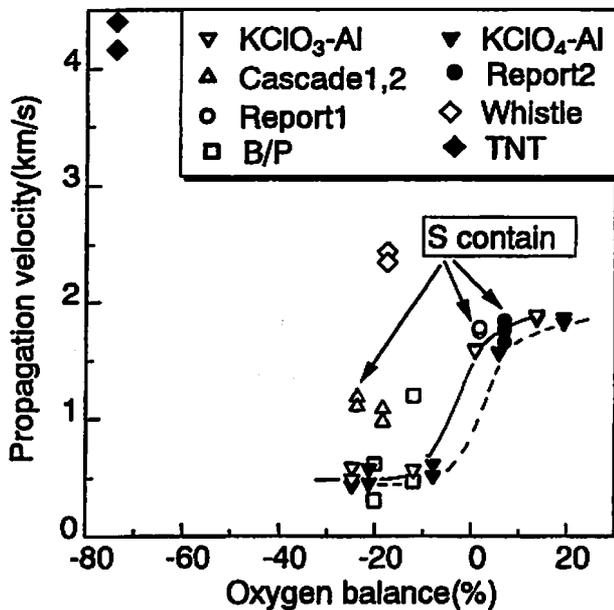


Fig. 7 Effect of sulfur and Al particle size

ることを示す好例である。

### (c) 酸化剤

酸化剤種の影響を見てみると、塩素酸カリウムと過塩素酸カリウムいずれの混合物の伝播速度も殆ど誤差の範囲内で同じであり、最も速い伝播速度は1900 m/sであった。このことは、例えば、雷薬を用いた打揚煙火の一種である雷の音など伝播速度に関わる性能は、塩素酸カリウムと過塩素酸カリウムで同等であることを意味しており、危険性の高い塩素酸カリウムを過塩素酸カリウムに代替する上で重要な意義があると考えられる。

### 3.1.4 酸素バランスと硫黄の影響

酸素バランスを指標として、すべての試料の伝播速度を表わしたのがFig. 7である。酸化剤-Al混合物において微粉末のアルミニウムだけを使った場合、前述したようにAl含有率が40, 50 wt.%, 換言すれば、酸素バランスが負の領域では、本試験条件において定常的に伝播しないことが明らかとなった。

滝剤1については、アルミニウムの粒径の効果を前項で述べた。滝剤2は、滝剤1に硫黄を加えたものである。滝剤1に較べれば、幾分かは酸素バランスが負側に移動しているが、伝播速度は若干速い。雷薬1, 2は、各々塩素酸カリウム-Al混合物に硫黄を加えたものと過塩素酸カリウム-Al混合物に硫黄を加えたものである。各々硫黄を加えることで若干伝播速度が速くなっているように見える。しかし、酸化剤-Alの2成分系の最大速度を超えているわけではない。硫黄は伝播速度に関しては、わずかしは効果が無いといえる。硫黄の添加によって熱反応性、機械的な

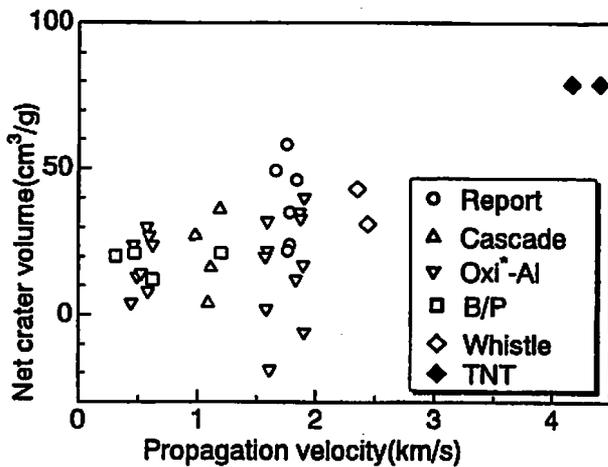


Fig. 8 Correlation between velocity and net crater volume

\*Oxi: Oxidizer (KClO<sub>3</sub> or KClO<sub>4</sub>)

感度や火花着火性、起爆感度などの諸感度が鋭くなる<sup>1), 5)</sup>のとは対照的である。

### 3.1.5 笛薬, TNT

笛薬は、過塩素酸カリウム-Al混合物のAlを安息香酸ナトリウムという有機可燃剤に取り替えたものと見ることができる。笛薬の伝播速度は2400 m/sであり、過塩素酸カリウム-Alに較べると2割以上も速い。

過塩素酸カリウムと木炭の85:15混合物についての報告<sup>6)</sup>では、爆速2300~2500 m/s (装填密度0.68~0.89 g/cm<sup>3</sup>)が得られている。これらは、過塩素酸カリウムと有機物粉末との混合物であり、両者の伝播速度が一致することは、なんらかの原因がある可能性もある。

TNTの酸素バランスは大きく負であるが、化合火薬類であり大きな伝播速度(爆速)を有する。爆轟圧をPとし、密度ρと爆速Vから経験的な式<sup>7)</sup>  $P = 0.25 \rho V^2$ にしたがって、爆轟圧を推測することができる。Table 2の数値を使ってPを計算すると、TNTでは3.35 GPaに対して、過塩素酸カリウム-Al (80:20) 0.87 GPa、笛薬1.10 GPaとなる。爆轟圧は猛度の尺度とされており、笛薬の威力が煙火組成物中、最大となるが、TNTの約1/3である。

### 3.2 漏斗孔

試料の漏斗孔容積からブースターの漏斗孔容積をプランクとして差し引いた真の漏斗孔容積を求め、単位重量あたりの容積に換算した値と伝播速度との関係をFig. 8に示した。ブースターのプランク値は $5.2 \times 10^3 \text{ cm}^3$  (n=3)であった。

漏斗孔容積と伝播速度の間には正の相関がありそうに見えるが相関係数は0.671であり、殆ど相関がない

Table 3 Evaluation of steel tube test

Sample name	Fragment class	Velocity class	Evaluation
1. Cascade1	2)	a)	Deflagration
2. Cascade2	2)	a)	Deflagration
3. Report1	1)	a)	Detonation
4. Report2	1)	a)	Detonation
5. KClO <sub>3</sub> /Al(80 : 20)	1)	a)	Detonation
6. KClO <sub>3</sub> /Al(70 : 30)	1)	a)	Detonation
7. KClO <sub>3</sub> /Al(60 : 40)	2)	b)	Combustion
8. KClO <sub>3</sub> /Al(50 : 50)	2), or3)	b)	Combustion
9. KClO <sub>4</sub> /Al(80 : 20)	1)	a)	Detonation
10. KClO <sub>4</sub> /Al(70 : 30)	1)	a)	Detonation
11. KClO <sub>4</sub> /Al(60 : 40)	2), or3)	b)	Combustion
12. KClO <sub>4</sub> /Al(50 : 50)	2)	b)	Combustion
13. Whistle	1)	a)	Detonation
14. B/P(G)	2), or3)	b)	Combustion
15. B/P(P)	2), or3)	b)	Combustion
16. TNT	1)	a)	Detonation

Fragment class 1) complete split into fine pieces

2) complete split into large pieces

3) partially split about half

Velocity class a) steady velocity

b) tendency to decrease the velocity

ことになった。前報<sup>1)</sup>で述べたように砂上起爆では漏斗孔容積が小さく形状も楕円錐形と異なるので測定誤差が大きくなるためと思われる。

コンクリート板上で雷薬とTNT試料を爆発させた。いずれもコンクリート中心部は細かく割れて砂中にめり込み周囲は飛び散っており、破碎状況は類似していた。TNTの場合は漏斗孔が確認され計測可能であったが、雷薬の場合には計測できないほど浅かった。コンクリート板の破片を取除いて漏斗孔を計測することは、作業中に漏斗孔を壊すためにできなかった。コンクリート板上での漏斗孔の計測には、薬量を増やし大きな漏斗孔を生成する条件で試験を行なう必要がある。

### 3.3 伝爆性の判定

本試験で得られた伝播速度と鋼管の破碎状況から伝爆性を評価する方法について検討した。

火薬類の衝撃感度を試験する雷管起爆試験の22mm鋼管試験<sup>8)</sup>では、鋼管の破碎状態を5段階に分類して、破碎状態と鉛板の爆痕の組合せで爆轟状態を判定している。22mm鋼管試験と本試験法は、起爆方法と鋼

管の大きさの2点で異なるが、鋼管中で起爆した時の鋼管の破碎状況を判定の根拠としており、基本的に類似しているので参考にした。鋼管の破碎状況を一応、5分類とした。プースターのみの試験では、プースター近辺の鋼管が若干膨らむ程度であったが、実際に試験すると、鋼管は必ず一部が破碎するので22mm鋼管試験の上位3分類で十分であった。即ち破碎状況の分類を、1) 鋼管は細かく破碎される、2) 鋼管は全て破碎されるが、破片は大きい、3) 鋼管の半分程度が破碎される、とした。

一方、伝播速度は定常的になるか、低下傾向にあるかのいずれかであるので、伝播速度変化を次の2分類とした。a) 伝播速度がある区間からほぼ一定となっている、b) 伝播速度が低下傾向にある。

判定は、破碎状況と伝播速度値の変化の組合せから、爆轟は1) a)、爆燃は2) a)と3) a)、燃焼は2) b)と3) b)とした。本試験の試料について適用した結果をTable 3に示した。

雷薬や雷薬は、爆轟したことになり伝爆性がある。

塩素酸カリウム-Al,あるいは過塩素酸カリウム-AlではAl含有率20,30wt.%のものは爆轟したと評価できた。勿論, TNTは爆轟したことになった。

滝剤は, 破碎状況が爆轟と異なるので爆燃となったが, 爆燃伝播性があるとされた。

酸化剤-Al混合物はAl含有率40,50wt.%のものは燃焼したことになった。また, 黒色火薬は爆燃伝播物質となっているが, 本試験条件では伝播せず, 伝播速度が低下するので燃焼すると評価された。しかし, 同じ黒色小粒火薬を用いたBAM50/60鋼管試験では600 m/sで伝播しており<sup>9)</sup>, 本試験法で爆燃としない場合でも, 安全性の確認のためには, さらに大薬量の試験を行なう必要があると考えられる。

#### 4. 結 論

アルミニウムを含有する煙火組成物を中心に, 鋼管試験を行い伝播速度を求め, 鋼管の破碎状況を観察した結果, 次のことが判明した。

- 1) 煙火組成物には, 雷薬や笛薬など伝爆性があるものがあり, 本試験での爆速は雷薬で約1750 m/s, 笛薬では2400m/sとなった。
- 2) 滝剤は酸素バランスが-20%であるにもかかわらず爆燃伝播性があった。伝播速度は1100m/sとなった。これは, 微粉末アルミニウム粒子と塩素酸カリウムが爆轟反応を起こす混合比となったものに粗粒子のアルミニウムが希釈している状況を生じたため, 反応は微粉末粒子と塩素酸カリウムとの間で主に進み, その後, 粗粒子のアルミニウムが溶融または燃焼するものと考えられる。粒径が混合物の反応性に及ぼす影響の一例であると同時に, 煙火組成物の危険性は組成だけで判断できないことを示す例でもある。

3) 酸化剤-アルミニウム混合系において塩素酸カリウムと過塩素酸カリウムは, ほぼ同じ最大伝播速度を示し, 伝爆性に関して酸化剤種の影響は小さく, アルミニウム含有率の影響が大きい。

4) 煙火組成物の伝播速度の測定は, 低速度まで光ファイバー法で行えるが, 本試験法ではブースターの影響を避けるためにブースターから, 70 mm以上離れた位置から測定する必要があった。

#### 謝 辞

日本煙火協会宮原章氏や三州火工(株)稲垣昇氏はじめ多数の煙火関係者のご協力で実験を進めることができた。また, 実験の大部分において手伝い, ご助言を戴いた日本油脂(株)武豊工場, 廣崎義一氏はじめ皆様に深甚の感謝を申し上げる。

なお, 本研究は火薬学会1994年度年会で発表したものである。

#### 文 献

- 1) 畑中修二ら, 火薬学会誌, 57, 213 (1996)
- 2) 鈴木輝彦ら, 工業火薬, 41, 367 (1980)
- 3) T. Urbanski, "Chemistry and Technology of Explosives", Vol. 1, p321 (1964), Pergamon Press.
- 4) J. A. Conkling, "Chemistry of Pyrotechnics", p 88, Mercel Dekker (1985)
- 5) 畑中修二ら, 工業火薬, 50, 498 (1989)
- 6) 松村知治ら, 火薬学会1996年度年会講演要旨集, p159 (1996)
- 7) 日本火薬工業会資料編集部, 「一般火薬学」, p 185 (1996), 日本火薬工業会
- 8) 火薬学会, 「火薬学会規格 (IV)」, p83 (1996)
- 9) 全国火薬類保安協会, 「国際化に対応した火薬類の分類体系等の作成成果報告書(平成6年3月)」, p7 (1994)

## Steel tube test for fireworks compositions (II)

by Syuji HATANAKA\*, Takashi HAYAKAWA\*\*

We tried steel tube test for fireworks compositions to obtain the propagation velocity by the optical fiber method. It was found that the optical fiber method was suited for measuring the propagation velocity of fireworks compositions. The velocity of report composition, whistle one and cascade one were 1700m/s, 2400m/s, and 1100m/s, respectively. Considering both propagation velocity changes and steel tube fragmentation, we judged that the report composition and the whistle one possessed detonation propagation, but the cascade one propagated deflagration.

We concluded that steel tube test was good tool of evaluating the detonation propagation of fireworks compositions.

(\*Bureau of Pyrotechnics Inspection, Japan Pyrotechnics Association, 18-17 Kichijyo, Ishimakinishigawa-cho, Toyohashi, Aichi 441-11, Japan

\*\*NOF Corporation, Aichi works, Taketoyo plant, Kitakomatudani, Taketoyo-cho, Chita, Aichi, 470-23, Japan)

---