

## 抵抗線法による産業用爆薬の爆轟特性の測定

### (2) 抵抗線プローブの検討

黒田 英 司\* 日下部 正 夫\*\*

産業用爆薬の諸爆轟特性の研究に必要な各種抵抗線プローブを得るために、時間応答性、圧力またはイオンに対する応答性、ノイズ等に関して基礎的な実験と検討を行なった。

抵抗線プローブはイオンプローブと圧力プローブとに分けられ、各々のプローブの問題点、各種設計および特徴等を検討し、産業用爆薬の測定に適切なプローブおよび実用したプローブを説明した。

#### 1. 序

産業用爆薬特にスラリー爆薬、アンフォ爆薬等は、連続爆速測定法によって研究さるべき問題がまだかなり残されているように思われる<sup>1),2)</sup>。われわれはそれらの諸問題の研究に抵抗線式連続爆速測定法を適用するために前報<sup>3)</sup>においてまず装置および測定系について検討した。

抵抗線プローブは既によく知られているように<sup>4)</sup>、爆薬中に爆轟波の進行方向と平行におかれ、爆轟波の作用によって瞬時に短絡する一対の抵抗線と接地電極（導線または金属管）から構成されている。

このような抵抗線プローブの設計に関しては既にかんがりの報告があるが<sup>5),6)</sup>、それらのプローブは精密すぎて作製が容易ではない、薬中への挿入および薬中での保持や維持が困難である、国内では適当な材料が入手できない、産業爆薬のように一般にかんがりに長い距離にわたる測定には適当ではない、爆轟波の作用に対する感度が適当ではないといったような欠点をもつものが多い。

われわれは産業用爆薬研究用の各種目的に適合するようなプローブ技術を開発するために、基礎的な実験を行ない諸検討を行なった。当報告には、プローブ設計の際に重要な各種プローブの時間応答性、爆轟波の作用（イオン化および高圧力）に対する応答性に関する実験結果および爆轟ガスの電気抵抗および各種ノイズについての検討結果等について述べる。各プローブ

の適用例および産業用爆薬の爆轟特性の測定結果については次報以下に述べる。

#### 2. 抵抗線および試料爆薬

抵抗線プローブに使用した抵抗線は引張り強度、細工の容易さ、適当な抵抗値ということから、主として0.08 mmφの裸（被覆されていない）および絶縁（エナメル被覆された）ニクロタル線（Nikrothal Lx-Wire, Sweden, Kanthal 社製）を使用した。単位長当りの抵抗値は名目上 264.6 Ω/m（ロットによって少し異なる）で、この線は Ni 75, Cr 20 その他5の合金である。この他に非常に長いプローブには 0.1, 0.15, 0.2 mmφ（抵抗は各々 171.9 Ω/m, 76.39 Ω/m, 42.99 Ω/m）の裸またはエナメル被覆のカンタル線（Sweden, Kanthal 社製）も使用した。

抵抗線の固定、確実な接触、間隙の充填またアルミ電解皮膜形成時の銅線の保護のために、導電塗料シルベスト P255 および導電接着剤シルベスト P357（いずれも徳力商店製で多量の銀粉が混入されている）を使用した。

プローブの応答性を試験するために各種の爆薬、導爆線を試料とした。強い爆薬の代表として圧塊テトリル（密度 1.54）、ペントライト（密度 1.65 PETN/TNT, 50/50）、および PETN または RDX 粉、産業用爆薬の代表として榎および新桐ダイナマイト、および Cap Sensitive スラリー爆薬（日本工機製エナジェル M. A-2）、弱い方の代表として硝酸メチル、昭和化成品製第二種導爆線等を用いた。PETN および RDX 粉は 8 mm O.D., 6 mm I.D. のアルミ管、14 mm O.D., 9 mm I.D. の鉄管または 12 mm O.D., 10 mm I.D. のガラス管に 0.7~0.9 g/cc の装填密度

昭和50年2月10日 受理

\*日本工機株式会社 本社 東京都港区西船場2丁目36番1号 新橋ビル

\*\*東京工機試験所第七部 神奈川県平塚市新宿85番地

で装填した。各々の管の長さは 7~20 cm である。2 号椀ダイナマイトは 25 mmφ, 新桐ダイナマイトおよびスラリー爆薬は 30 mmφ で 100 または 200 g の薬包を使用した。

### 3. 装置と実験方法

前に報告<sup>9)</sup>した真空管式定電流装置を使用し、プローブを取付けた爆薬は密閉型爆発試験室内で爆発させるために、オシロスコープのすぐ側に定電流装置をおき、プローブと定電流装置間は RG-58 A/U, RG-63/U, 3C-2V のいずれかの高周波同軸ケーブル 15~30 m で接続した。この電気測定系は当実験に使用するプローブ抵抗値と爆薬条件の範囲内では十分な時間応答性をもっている。このことは前報に述べた理論および実験によって予め確認した。

トリガーは特に起爆点近傍の現象が重要な場合には 6 号電気留管または試料爆薬の適当な位置にイオンギャップをおき、パルス成形して<sup>9)</sup>信号をオシロスコープの外部トリガー端子に加え単掃引とし、それ以外およびプローブ試験の場合には内部信号による単掃引とした。オシログラムの記録はボラロイドフィルムによる。

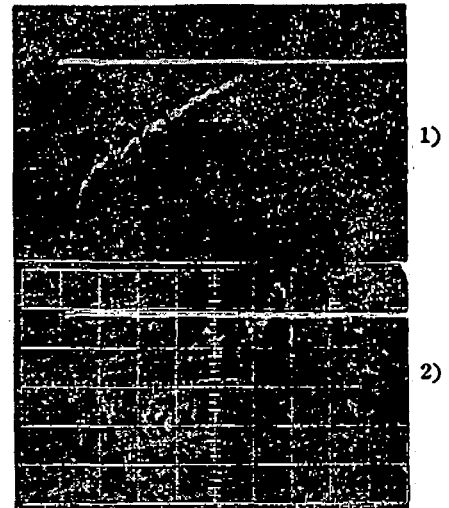
まず考えられるいろんなタイプのプローブを試作し、それらのプローブを導爆線に沿わせるかまたは適当な容器中に装薬した粉状高級爆薬中に挿入して試験を行ない、取扱いの容易さ、実用性、性能等を検討し、次いでこの結果から適当と思われるプローブについて、ダイナマイトやスラリー爆薬等を用いて実験的に吟味した。その他に、三の関連事項について検討を行なった。

### 4. 実験結果と検討

#### 4.1 イオンプローブ試験

イオンプローブは爆薬爆轟時の爆轟帯およびそれによって生じた衝撃波帯が強くイオン化され<sup>10)</sup>、プローブ電極間がほとんど導通状態になっていることを利用する。A. B. Amster<sup>6)</sup>らは Comp B を溶填した 2 in O. D.  $\times$   $\frac{1}{2}$  in I. D.  $\times$  25 in 長の鉄管中に No. 40 AWG ニクロム線のみを挿入した方法で良好な波形を得ているが、PETN, RDX 粉についてのわれわれの実験では導通帯の電気抵抗が無視できず、また非常に大きなノイズが現われた。Fig. 1-1 に RDX を装薬した鉄管の中心部に裸ニクロム線を挿入し、電流 270 mA の時に、Fig. 1-2 に RDX を装薬したアルミ管の管壁近くに裸ニクロム線を沿わせ、電流 60 mA の時に得られたオシログラムを示す。

このような試験から、電極間電気抵抗が抵抗線の単位長当りの抵抗値に比較して無視できないような時に



- 1): Naked nikrothal wire is inserted within container steel pipe. Charge; RDX, Horiz.; 5  $\mu$ s/div, Current; 270 mA
- 2): Insulated nikrothal wire is placed in and near Al container. Charge; RDX, Horiz.; 2  $\mu$ s/div, Current; 60 mA

Fig. 1 Ionization probe test.

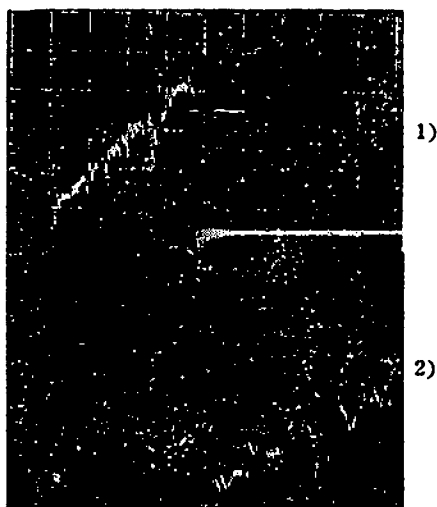
は、オシログラム上で時間遅れを生ずるとともに、その軌跡の勾配が不規則になり、正確な爆速値を知ることができず、またノイズ自体も非常に大きくなるのがわかった。また通電電流を少なくすればノイズが著るしく大きくなる。

金属管壁に絶縁ニクロム線をより接近させて沿わせるほど、粉状高級爆薬の場合には電極間電気抵抗はすぐに無視できるようになり、ノイズも少なくなるが<sup>9)</sup>、十分に近接していないとノイズが現われ良好な軌跡は得られない。絶縁抵抗線を導線または導体板に平行に沿わせてプローブを構成した時も、十分に近接していないと電極間電気抵抗は無視できなくなり、ノイズは大きくなる。なおこのような試験で裸線を使用するか絶縁抵抗線を使用するかで、電気抵抗やノイズ、すなわちオシログラム上の軌跡状態には影響はない。

このようにイオンプローブを粉状高級爆薬中で使用した時には、装填密度が高くなり、プローブ電極間間隙が微小となれば電気抵抗はすぐに無視できるようになり、ノイズも段々と小さくなる。特にノイズは装填密度、電流、電極間間隙等がある限界値に達すると、急に消えてなくなり、良好な軌跡となる。したがって電流を高くし、電極間隙を小さくすれば低密度でない高級爆薬に対しては、イオンプローブによって容易にノイズのない良好な軌跡を得ることができる。実際に

テトリルやベントライト（この場合には抵抗線を加熱することによって都合よくプローブを設置できる）では、厳密に電極間隙を調節することなしにノイズのない良好な軌跡が得られた。低密度の場合や産業用爆薬の場合にはもっと厳密に電極間隙を極微としなければ良好な結果は得られない。

抵抗線と接地導体間に絶縁体をはさめば、一定の微小間隙を得ることができるが、ビニールテープ、セロテープ、ポリエチレンシート、アルミテープ等のプラスチックテープおよび糊剤のついたテープまたエポキシ系接着剤、アロンα、ポンド、セメダイン等を薄く塗って絶縁物とした時には、全然導通が得られないかまたは極端に大きいノイズがあらわれた。薄い油紙、エナメル、ラッカー等は高分子絶縁材よりもわずかに良い結果を与える。



- 1): Insulated nikrothal wire is placed along Al plate. Horiz.;  $5 \mu\text{s}/\text{div}$ , Current; 210 mA, Charge; Detonating Cord.
- 2): Twisted wire probe is inserted into methyl nitrate in glass tube. Horiz.;  $5 \mu\text{s}/\text{div}$ , Current; 230 mA.

Fig. 2 Ionization probe test.

線に塗られた薄いエナメル被覆を絶縁体とすれば、低密度高級爆薬中でも良好な結果を得ることができる。Fig. 2-1 は 1 本の導線とアルミ板間に絶縁ニクロタル線を沿わせた場合に得られた波形で、2ヶ所の大きなノイズは抵抗線を固定したビニールテープのために生じたものである。高分子テープおよび接着剤等は電極間にある時の他、プローブの近傍および囲むようにおかれている時もノイズ源となるようである。線をより確実に密着させるために、裸ニクロタル線

と  $0.2\sim 0.3 \text{ mm}\phi$  エナメル線または絶縁ニクロタル線と  $0.4 \text{ mm}\phi$  銅線をより線（1~3回/cm）とした時には、粉状高級爆薬中では良好な波形が得られたが、スラリー爆薬、ダイナマイト中ではわずかにノイズを生じ、硝酸メチル中では Fig. 2-2 に示すように、電極間電気抵抗がかなり高くなり、著るしいノイズを生じた。絶縁ニクロタル線と  $0.4 \text{ mm}\phi$  銅線のより線プローブを極ダイナマイトに挿入して得た波形を Fig. 3-1 に示す。ダイナマイトの場合にはプローブを挿入した時に、薬とプローブ間にわずかに空隙ができ、その影響によってスラリー爆薬の場合よりもノイズが大きくなる。



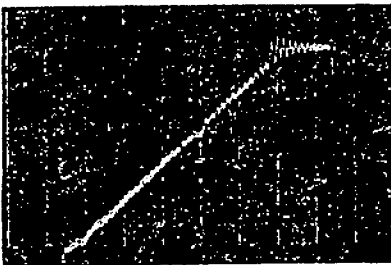
- 1): Twisted wire probe in Enoki dynamite. Horiz.;  $5 \mu\text{s}/\text{div}$ , Vert.;  $5 \text{ V}/\text{div}$ , Current; 250 mA.
- 2): Twisted wire probe painted with Silbest in Energel. Horiz.;  $5 \mu\text{s}/\text{div}$ , Vert.;  $2 \text{ V}/\text{div}$ .

Fig. 3 Twisted wire probe test.

少しのノイズが残ったとしても爆速を算出することはできるが、もちろんノイズのない方が望ましい。またイオンプローブでノイズを生じない時は、時間遅れがないために時間関係を精密に測定する際には、イオンプローブの適用がより望まれる。それで産業用爆薬に対してもうまく適用できるイオンプローブを開発するために、抵抗線プローブの代わりに、2本の  $0.2\sim 0.3 \text{ mm}\phi$  エナメル線（ECW, 3種）をおよび  $0.02 \text{ mm}\phi$

エナメル線と 0.4 mmφ 銅線をより線とし、それを導爆線に沿わせて導通状態を調べた。良好な導通状態を示す水平直線軌跡が得られたために、より大きな線径の薄いエナメル皮膜の抵抗線を使用するかまたはもっと線径の小さい薄いエナメル被覆の抵抗線を使用すれば、産業用爆薬や導爆線の爆速測定に対しても良好な波形が得られると推測される。

0.08 mmφ エナメル被覆抵抗線と 0.4 mmφ 銅線をより線としたプローブにシルベストを塗ると、スラリー爆薬での実験で得られた Fig. 3-2 に示されるような金属接触型ノイズ（後に説明する）となる。Fig. 1, 2 および Fig. 3-1 に示されるような不規則な高周波の比較的大きな振幅のノイズがイオン導通を利用したプローブで生ずるノイズの特徴である。



Horiz. ; 5  $\mu$ s/div, Vert. ; 2 V/div,  
Current; 200 mA, Cable; 3 C-2 V,  
15 m

Fig. 4 Oscillogram obtained with twisted wire probe lapped with Tin foil along a detonating cord.

より線プローブにスズハク（落穂感度試験用のものを使用、アルミハクよりも細工が容易である）を二重巻きとしたプローブで、1本の導爆線に沿わせた場合、ある範囲のより数の時には Fig. 4 に示されるような規則的な振動波形が現われる。これは爆轟波または衝撃波面がプローブに対してある角度をもち、しかも抵抗線がらせん状となっているために、急激な微小な電圧変化が生じ、共振して大きく現われたものと思われる。このプローブを導爆線3本の中心にまた粉状高級爆薬中に挿入した時には、ノイズのないきれいな直線軌跡となる。このような場合には通電電流を例えば 30 mA と少なくともノイズは生じない。またスラリー爆薬やダイナマイト中でもノイズは現われない。ただダイナマイト中でプローブを挿入した時に薬とプローブ間に空隙ができた時にはまきつけたスズハクの厚さが一様でないこともあって金属接触型ノイズが現われることがある。このタイプのプローブではイ

オンの作用というよりも圧力の作用がより重要な役割を演じているように思われる。

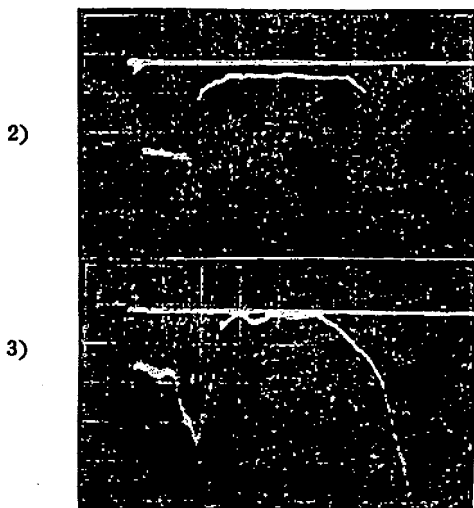
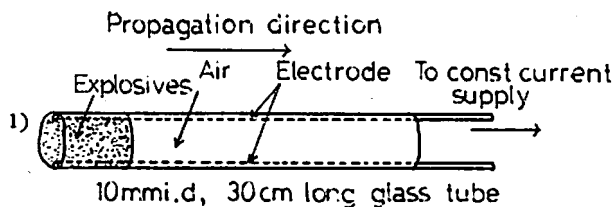
#### 4.2 爆轟ガス電気抵抗とノイズについて

爆轟波帯や空気中衝撃波帯では非常に電気伝導度が高く、したがってそれらの波帯に適当な電極をおいた時には電気抵抗は非常に低い値となるといわれている<sup>9),10)</sup>。爆轟波帯やそれにより周囲空气中に生じる衝撃波帯での電気抵抗のオーグを知るために 10 mm I.D. の長いガラス管に、抵抗線プローブの代りに二本の 0.4 mmφ 銅線を管内で互いに断面の直径両端に位置するように固定し、管の適当な位置まで装填密度 0.8 g/cc で PETN を、そして装填密度 0.9 g/cc で RDX を装薬し電気抵抗の変化を観測した。電極の形状を Fig. 5-1, PETN の実験で得た波形を Fig. 5-2, RDX の実験で得た波形を Fig. 5-3 に示す。電気抵抗は PETN 中で 90~110  $\Omega$ , RDX 中で 35~40  $\Omega$ , 衝撃波中で 3~20  $\Omega$  となっている。

電気抵抗  $R$  ( $\Omega$ ) と電気伝導度  $\sigma$  ( $\sigma/cm$ ) の関係は、 $R=K/\sigma$  によって表わされ、 $K$  は電極の大きさ、形状、配置および爆轟波伝導帯の形状、幅等によって決まる定数である。当実験の場合には、単位長当りの  $K$  を伝導帯が無限平面の場合の  $1/2\sim 1/5$  とし、伝導帯の幅を 1 cm とすれば、 $K=1\sim 2.5 cm^{-1}$  となる<sup>13)</sup>。伝導帯の幅は M. A. Cook<sup>13)</sup> によれば 5.1 cmφ の PETN では 0.5~2 cm であり、R. L. Jameson ら<sup>14)</sup> によれば 2.5 cmφ ベントライトや Comp B では中心部で約 1 cm, 表面部で 0.2 mm で、また田中<sup>10)</sup> によれば PETN 導爆線中では 0.1~0.2 mm と非常に狭くなっている。低密度高級爆薬中での伝導帯の幅を仮に 0.2 cm とすれば、電気伝導度  $\sigma$  は、PETN 中で 0.05~0.13  $\sigma/cm$ , RDX 中で 0.13~0.33  $\sigma/cm$  となる。

電気伝導度は M. A. Cook<sup>13)</sup> によれば大部分の爆薬中で 0.2~0.5  $\sigma/cm$ , R. L. Jameson<sup>14)</sup> 等によればベントライト、Comp B 中で 1  $\sigma/cm$ , 田中<sup>10)</sup> によれば導爆線中で 0.1~0.03  $\sigma/cm$  である。正確な値を得るには  $K$  を正確に定めねばならないが、ここに得た電気伝導度は文献<sup>10),13~15)</sup> に比較して一応妥当な値となっている。

このようなことから、電極間電気抵抗を無視できるようにするためには  $K$  をできるだけ小さくしなければならない。即ち、より高い感度の抵抗線プローブを得るためには、大きな径の抵抗線を使用し、電極間隙をできるだけ微小とし、さらにプローブの形状、抵抗線の配置も併せ考慮しなければならない。またプローブは爆薬の中心部に挿入し、電極間絶縁物は薄くかつ衝撃波に対して非常にもろいものを使用しなければなら



- 1): Detail of resistance probe  
 2): PETN; Charge length; 9.6 cm, Horiz.; 10  $\mu$ s/div, Vert.; 10V/div, Current; 210 mA.  
 3): RDX; Charge length; 13.8 cm, Horiz.; 10  $\mu$ s/div, Vert.; 5 V/div, Current; 210 mA.

Fig. 5 Resistans change in detonation wave and shock wave in air.

ない。これらのことは今までに述べた実験結果と一致している。Fig. 5-2, 5-3 で空气中衝撃波の部分で電気抵抗が低くなったのは、電気伝導度が高くなったためというより<sup>10), 16)</sup>、空气中で衝撃波が比較的幅が一様な一次元波に近くなり、また幅が増したためであると考えられる。

イオンプローブで導通状態となるのは爆轟波の部分のみであり、しかも高導通状態の部分は非常に幅がせまく、かつ高速で通過するためにそのような波がプローブに作用した時に、瞬間にしかも十分な導通がなければ、電極間電気抵抗は高くなり、さらに導通がなくなった場合には信号電圧はプローブ制限電圧にまで変化してしまうために、大きな振幅の高周波ノイズを発生することになる。

電極間隙に絶縁物が狭まっているようなプローブでは、爆轟波が到達したその瞬間に絶縁が破壊されなければ、導通不良による大きな振幅のノイズの他に、絶縁体即ち誘導体への高圧力の作用によって電流パル

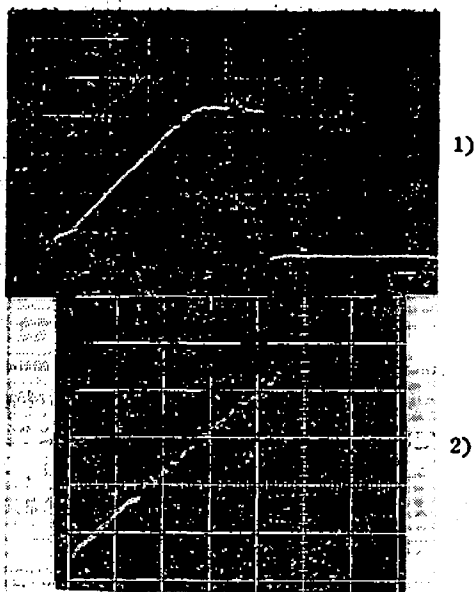
ス<sup>17)</sup>、電荷性ノイズ<sup>18)</sup>等の高周波ノイズをも生ずる。これはプラスチックテープ、糊剤のついたテープおよび高分子接着剤等が衝撃破壊に対して強い抵抗性をもつことによる。これらの高分子剤は電極間隙にある時だけでなく周囲や近傍にある時もノイズの発生源となるようである。エナメル被覆の時は比較的ノイズが少ないから、それは爆轟波によってより容易に破壊されると考えられる。またラセン巻きやより線としたことは密着効果を助けることにも役立つが皮膜に歪を与えてもろくする効果もあるようである。このような目的のための絶縁材は材質特にそのもろさと、対圧力誘電特性およびその厚さが重要な因子である。

### 4.3 圧力プローブ試験

圧力プローブは爆轟波帯または衝撃波帯の高い圧力によって金属板を加速するかまたは金属管を押しつぶすことによって、その金属と抵抗線とが金属接触することを利用する<sup>9)</sup>。まず 2mm 角の亚克力角棒に 1mm 幅、0.5mm 深さの溝をつくり、その底部の中央に探ニクロタル線を沿わせ、0.1mm 厚さのアルミ板でふたをしたタイプのプローブを作った。ふたの面に導爆線を沿わした場合には溝に爆轟ガスが入り込み、イオンによる導通が生じたために、そのプローブをスズハクで二重巻きとした。そうすると Fig. 6 に示すように波形は金属接触タイプとなる。この

プローブは粉状高級爆薬中では良好な波形を生ずるが、スラリー爆薬中では時間遅れを生ずる。ふたの厚さを薄くするかまたは溝の深さを浅くし、溝内空間を減らせば時間応答性、プローブの感度は良くなるが、探抵抗線と接地電極間の絶縁を保つことが困難となる。数 cm 毎に接着剤で固定すると、その部分で波形が乱れ、部分的に時間遅れが生ずるが、非常に長いプローブの場合にはその波形乱れは問題とならず、また大きな棒を使用すれば丈夫であるために実用性がある。

このようなタイプのプローブは各種構成することができる。例えばアルミ板をV形または凹形に曲げ、その内面に絶縁物を塗布するかまたは置いて、探抵抗線をその底部中心に沿わせ、アルミ板のふたをする等である。このタイプのプローブは、短かい長さの測定や薬径が小さい時の測定には、外形が大きくなるためまた時間遅れが生ずるために望ましくない。このようなタイプよりも金属管を使用した方がより望ましい。



1): Horiz.;  $5 \mu\text{s}/\text{div}$ , Current; 200 mA.  
 2): Anodized Al pressure probe. Horiz.;  $5 \mu\text{s}/\text{div}$ , Current; 250 mA.

Fig. 6 Pressure Probe Test.

薄肉、微小径のアルミ管は国内では入手が困難であるために、 $0.01 \sim 0.3 \text{ mm}$  のアルミ薄板を手で巻いて管を作った。わずかな重なり部分をとれば比較的うまく管をつくることができる。このような管または溝の内部での接地金属と抵抗線の絶縁は空気間隙によるものが電気接触の点ではより望ましいが、実際は手製であるために管の肉厚、強度が一様でなく、また曲がりや折れによってすぐに短絡するために実用性は低い。

このような手製のアルミ管に絶縁ニクロタル線のみを挿入したタイプのプロープについて、スラリー爆薬粉状高級爆薬中で圧力応答性および時間応答性を試験した。この試験結果およびプロープの作り易さ、管の強度等から、管の肉厚は  $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$ 、管の内径は  $1 \text{ mm}$  以下、普通は  $0.5 \text{ mm}$  程度が望ましいことが示され、この場合にはスラリー爆薬中でも良好な波形が得られた。管の肉厚また管の内径が大きくなり管内空間が増すと、立上り時間遅れが生じ、短かい長さにわたる測定の際は問題となる。

$1 \text{ mm}$  I.D. の  $0.05 \text{ mm}$  肉厚の管中に絶縁ニクロタル線を  $0.8 \text{ mm}$  鉄線に沿わせて挿入したタイプ、 $0.4 \text{ mm}$  銅線とより線として挿入したタイプ、 $0.5 \text{ mm}$  珐瑯線にピッチ 20 回/cm でまきつけて挿入したタイプ等のプロープは、いずれもスラリー爆薬中でも満足な応答を示した。これらのうちで後者ほど応

答性がよくなった。圧力プロープとしてわれわれが得た実用的なもっとも圧力、時間応答性のよいプロープは  $0.5 \text{ mm}$  鉄線に絶縁ニクロタル線をピッチ 20 回/cm でまき、それにシルベストを塗って固定し、 $1 \text{ mm}$  アルミ管に挿入したタイプのプロープである。このプロープおよび絶縁抵抗線をより線あるいはラセン巻きとして  $0.5 \text{ mm}$  のアルミ管に挿入したタイプの圧力プロープはいずれも弱い爆轟波や固体中衝撃波に対しても十分に応答するようである。

爆発衝撃に対して強い抵抗性をもつプラスチックテープ、糊剤のついたテープおよび高分子接着剤等を絶縁体とすれば、その厚さやアルミ管の肉厚によっても変わるが、悪い条件の時には導通を生じないかまたはイオンプロープタイプの大きな振幅のノイズを生じて真の信号はほとんど見分けられない。また条件が良い時であっても接触抵抗によって比較的低い周波数の不規則なノイズが混入され、また金属接触が不規則となり、真の信号を読みとることはできない。

この他に管の内面に絶縁膜をつくり抵抗線を挿入してプロープを構成した。 $0.5 \sim 1.5 \text{ mm}$  I.D.,  $20 \text{ cm}$  長のアルミ管を約  $20^\circ\text{C}$  の温度に維持した  $1.5$  モル硫酸溶液（活性剤をわずかに添加）に入れ、保護電解膜を付着させた<sup>10)</sup>。印加電圧は  $13 \sim 15 \text{ V}$  である。約 15 分で良好な絶縁皮膜が得られ、その付着状況は赤インク中で沸とうさせ着色することによって点検した。応答性は膜の粗密、厚さにより変り、このプロープは高級爆薬にはうまく適用できるが、スラリー爆薬には膜の粗密、厚さが適当な時のみしか良好な波形は得られず、普通には Fig. 6-2 に示すような接触抵抗に基づくノイズを生ずる。また前に述べた抵抗線のエナメル被覆を絶縁体とした時は、この接触抵抗によるノイズは比較的を生じないが、アルミ管の肉厚を増すと現われてくる。

圧力プロープを使用した時に生ずるノイズには、金属接触が一様でない時に生ずる階段状ノイズ、それにより励起される減衰振動波ノイズおよび接触抵抗により生ずる不規則なノイズ等がある。圧力プロープでは爆轟波の作用によって一度短絡すれば爆轟波が通過したのちでも接触は維持される。したがって圧力プロープから生ずるノイズはイオンプロープノイズに比べて振幅が小さく、周波数も低い。圧力プロープのノイズは導通が金属接触によるものであるために通電電流には無関係である。

絶縁物を使用する圧力プロープは爆薬条件にうまく適合していないと不規則接触や接触抵抗により不規則波形を生じるために、低速および過渡爆轟特性測定に

役立つより圧力感度の高いプローブは空気間隙によって絶縁をとる必要がある。この一例として、裸ニクロタル線に 0.02 mmφ エナメル線をピッチ 20回/cm でまいてスペーサーとし、0.5 mm I. D. アルミ管に入れたタイプのプローブを適当な状態で3本の導爆線の中心部に沿わせて試験を行なった。このプローブは圧力に対しては良い応答性をもっている。しかしながらアルミ管が手製であるために、時々接触状態が一様でなくなり、減衰振動波ノイズを生じた。このタイプのプローブは実際は短かい長さで特別の場合にのみ必要とするのであるが、適当なプローブの作製には適当な材料の入手、加工装置作製等が必要で、このタイプのプローブ技術開発は今後の問題として残された。

#### 4.4 適切なプローブの選択

産業用爆薬用の抵抗線プローブとしては、100 g 1本の薬包長に相当する 15~20 cm から 1 m 程度までの長さの爆発実験室内での測定用と、1~5 m 以上の長さの発破装薬孔内での測定用とが必要であり、また特別の測定用としては 10 cm 以下の短かいプローブも必要となる。短かいプローブは十分な圧力またはイオン応答性および高速時間応答性を必要とするが、長いプローブは厳密な時間応答性を必要としない。圧力プローブを選ぶかイオンプローブを選ぶかは、爆薬条件、測定条件および測定対象現象等によって決まるが、産業用爆薬の一般的測定にはいろいろな感度のものを作れる圧力プローブの方がより適している。

イオンプローブは確実な時間応答性をもつので、精密な時間関係を得たい場合および短かい長さにわたる測定の時に都合が良いが、ノイズをなくすることに工夫を要する。一方圧力プローブはその通電電流がノイズに無関係であるために、非常に長い範囲にわたる測定に特に適当である。これはまた電気雷管を使用する現場に高い電圧電源を持ち込まないこと、また定電流電源をトランジスター回路で簡単に小型に構成できること等の点でも有利となる。

イオンプローブとして実用したのは 1 mmφ 鉄線に、0.08 mmφ 絶縁ニクロタル線をピッチ 20回/cm 以上で巻いてシルベストで固定したタイプのプローブ (Aプローブ) である。小径アルミ管を使用する圧力プローブは手製の管のために、爆薬中に挿入する際またプローブを取付けた爆薬を取扱う際に折れたり曲がったりするために、20 cm 以下の短かい長さにしかなかった。0.5~1 mm I. D., 0.03~0.05 mm の厚さのアルミ管中に 0.08 mmφ 絶縁ニクロタル線と 0.4 mmφ 銅線とピッチ 1~5 回/cm でより線として挿入したタイプ (Bプローブ) および 0.3~0.5 mmφ エナ

メル線または鉄線にピッチ 20回/cm 以上で巻きつけシルベストで固定して挿入したタイプ (Cプローブ) を実用した。

2~10 mmφ アクリル棒に幅 1 mm, 深さ 0.5 mm の溝を作りその底部中心部に裸ニクロタル線を沿わせ、0.05 mm 厚さのアルミ板でまいたタイプのプローブ (Dプローブ) は装薬孔内での測定に用いた。裸線の絶縁保持は数 cm 間隔でシルベストで固定して行なった。その部分で波形が乱れるが大きなノイズとはならないので、測定長が長い場合には十分使用できる。

0.08 mmφ 絶縁ニクロタル線と二本の 0.4 mmφ 銅線 (二本の線とした方が単位長当りのプローブ抵抗値を一定にできる) と 1~3 回/cm の割合でより線としてその上にシルベストを塗りより線を固定し、その上にスズハクを二重巻きとしたプローブ (Eプローブ) が産業用爆薬の一般の測定に最も適当であった。このプローブは数 cm から数 m の長さまで比較的容易に作ることができ、しかも柔軟性があり、取扱も容易でしかも乱暴に取扱っても故障せず、薬包への挿入また薬包中での保持も容易である。短かい薬包および多数の薬包を運ねた長い距離にわたる測定に、また発破現場での数 m 以上の装薬孔内の測定等いろいろな状況にうまく使用することができる。

以上5種類の抵抗線プローブがわれわれが今までに実用に供した代表的なプローブである。Eプローブはあらゆる測定に適し、Dプローブは装薬孔内での、A、BおよびCプローブは爆発実験室内での測定に適している。これらのプローブが最適であるとはいいい難く、さらに改良の余地があろう。その方向はいままでに述べた実験および検討結果によって示されている。

#### 5. 総 括

1. この抵抗線連続爆速測定法は爆速の変化を連続的に追跡できるから、薬包中の爆轟波の進行状況を研究するのに適している。産業用爆薬の諸爆轟特性の測定を行なうには、爆薬の特性と測定現象に応じた適切な抵抗線プローブが、即ちプローブの大きさと長さ、作製および取扱いの容易さ、薬包への挿入および薬包中での保持、折れやまげに対する強さ、圧力またはイオン応答性および時間応答性等各階段のいろいろなプローブが必要である。そのために基礎的な実験と検討を行なって、産業用爆薬の研究に必要なプローブ技術を開発した。
2. 抵抗線プローブには、それを使用して得られたオシログラム上にあらわれたノイズから判定して、爆轟波での強くイオン化された状態を利用するイオンプローブと爆轟波の高圧力を利用する圧力プローブ

ブとがある。阿プローブの各種設計、特徴等を述べた。

3. イオンプローブではノイズが問題となるが、もしノイズがあらわれなければ聴実な時間応答性をもつので、時間関係を精密に測定したい時に有利に利用できる。イオンプローブの感度およびノイズには、爆薬の特性(爆速、装填密度等)の他、電極間隙長通電電流、プローブ形状および電極間隙間絶縁物の材質、誘電特性および厚さ等が関係する。特にノイズおよび電気抵抗に関して検討し、産業用爆薬に適当なプローブの設計について述べた。
4. 圧力プローブは時間応答性が問題となるが、いろんな感度特により低い圧力にまで応答する感度をもつプローブを得ることができ、産業用爆薬の一般の測定にはこの圧力プローブが有利に使用できる。
5. 実用に供した5種のプローブの設計、適用範囲等を説明した。

#### 文 献

- 1) 黒田; 工業火薬協会昭和50年度講演要旨 p.81
- 2) 例えば、伊藤、若園、佐々他; 工火誌 32, 35 (1971), 若園、佐藤、佐々他; 工火誌32, 40(1971), 篠原; 工火誌 28, 88 (1965), 日野、野村、長谷川; 工火誌 24, 129 (1963)
- 3) 黒田、日下部; 工火誌 37, 8 (1976)
- 4) 佐々, G. Larocque; 工火誌 27, 223 (1966)  
伊藤、若園他; 工火誌 25, 70 (1964), 佐々; 工火誌 34, 281 (1973)
- 5) A. B. Amster, P. A. Kendall et al; Rev. Sci. Instr., 31, 188 (1960), NavOrd Rept 6280, March 16 (1959), A. B. Amster; Rev. Soc. Instr., 30, 942 (1959); 31, 219 (1960)
- 6) F. C. Gibson, M. L. Bowser and C. M. Mason;

- Rev. Sci. Instr., 30, 916 (1959), Bureau of Mines RI 6207 (1963)
- 7) J. Ribovich, R. W. Watson and F. C. Gibson; AIAA J. 6, 1260 (1968)
- 8) Locha D. Pitts; 4th Symp. on Deto. p.342 (1968)
- 9) 田中; 工火誌 25, 145 (1964); 28, 335 (1967)
- 10) 田中; 東工試報 61, 12 (1966)
- 11) JIS C 3202 油性エナメル 銅線, 他 JIS C 3211, 3212
- 12) 例えば、霜田、近角; 電磁気学 p.79 (1963) 葦華房
- 13) M. A. Cook; The Science of High Explosives, p.146 (1958), Reinhold, New York
- 14) R. L. Jameson, S. J. Lukasik and B. J. Pernick; J. Appl. Phys., 35, 714 (1964)
- 15) B. Hayes; 10th Symp. on Comb., p.869 (1965), Butterworth London; ONR 3rd Symp. on Deto. 1, 139, Dept. of the Navy, ACR-52 (1960), F. E. Allison; ONR 3rd Symp. on Deto. 1, 112, Dept. of the Navy, ACR-52 (1960)
- 16) L. Lamb and S-C-Lin; J. Appl. Phys, 28, 754 (1957), P. Valentin and C. Fauquignon; Ann. Phys. 1, 27 (1962), D. H. Edwards and T. R. Lawrence, ; Proc. Roy. Soc., A-286, 754 (1965)
- 17) A. R. Champion and W. B. Benedick; Rev. Sci. Instr., 39, 377 (1968)
- 18) G. E. Hauver; J. Appl. Phys., 36, 2113 (1965)
- 19) P. C. Lysne; Rev. Sci. Instr., 39, 754 (1968)

## Observation of detonation behavior of industrial explosives by the resistance wire method

### (2) Research on resistance probes

by E. Kuroda\* and M. Kusakabe\*\*

The resistance wire method is suitable for investigating the detonation in the industrial explosives such as initiation, build-up, and irregular propagation of it, because of its ability of continuous observation of the wave velocity. For this method, we



require adequate resistance probe since their characteristics effect seriously on the correctness and their ecision.

We prepared various probes which were divided into two groups; ionization type and contact type. They were tetsed for their time response, sensitivity and ionization or pressure in detonation wave. For these results, it was found that the time respons was the most important point in designing the contact type probes and the noise caused by resistance variation was the most effective in designing good ionization type probes. Among the tested probes, five types were found to be suitable for practical application.

(\*Nippon Koki Co., Ltd. Shinbashi-Sakura Bldg. 2-36-1, Nishi-Shinbashi, Minato-ku, Tokyo)

(\*\*National Chemical Laboratory for Industry, 7th Division)

## ニ ュ ー ス

### Austin Slurmite 40 スラリーは採石場の 発破を改善する

Indiana 州の St. Paul 採石会社は砕石と石灰の屈指の生産者である。この成功は効果的な発破によるものである。

St. Paul 採石会社は Austin Slurmite 40スラリー, Austinite 30T, Austinite 15 の発破剤, 雷管, Austin 40 Reinforced の導爆線を使用している。

責任員の Leroy Shaw 氏によれば「私達は12年も Austin の火薬を使って発破をしてきたが、何時もよい結果を得ている。しかし最近火薬を選定することで、安くて更により発破ができるようになった。

(岩武)

E/MJ-January 1976

以上