

爆薬の爆発に伴う電気信号

第1報 プローブの負荷抵抗と爆薬の接地の影響

田 中 一 三*

1. ま え が き

爆薬の爆発の際に現われる電気信号については、断片的な実験がなされているだけで、現象の本質はまだ把握されていない。この現象をはじめて見出したのは H. Kolsky¹⁾ で、彼は爆薬から離れた位置に張つたアンテナに、爆発後約 $50\mu\text{sec}$ にピークを有するような電気信号の現われることを述べた。その後 A. Takakura²⁾ は、少量の起爆薬に関して、爆発の瞬間に発生する数 10 MHz. 以上の高周波電波を観測した。M. A. Cook の著書³⁾ は、不完全なデータであるが、と断つて、Keyes, Pound 等の行なつた、この種実験の測定オシログラムを載せている。彼等の実験は、Kolsky と同様遅い時間での測定で、この領域では爆発電波というより、爆発生成ガスのアンテナへの接触による信号も含まれると考えねばならぬ。

筆者は爆薬を爆発させたとき、近くに置いたアンテナ——正確にはプローブと呼ぶべきであろう——に捕えられる電気信号に関して、一連の実験を行なつた。そしてこの報告では、予備的に行つた実験として、信号の大きさとプローブの負荷抵抗の関係、および接地のとり方の影響について、調べた結果を述べる。特に後者は重要であつて、爆発ガスがどのように接地されるかによつて、プローブに現われる信号波形が大きく変ることを見出した。

2. 測定装置

爆薬は、鉄板で内張りをした爆発室の中で爆発させる。測定時には、この鉄板は接地され、爆発室は外来電波から遮蔽されることになる。

この実験の爆薬は、6号工業雷管の先端に、長さ 2 cm の第二種導爆線をつけたもので、導爆線は、トリガー用イオンギャップの動作を完全ならしめるためのものである。イオンギャップを使うときは、導爆線の端から 1 cm の位置に挿入した。爆薬の量は、実質的には雷管 1本と考へてよい。

実験の配置は Fig. 1 に示した。爆薬は爆発室の上から吊し、下方に向つて爆発させる。プローブは直径 0.7mm, 長さ 25~100cm の銅線を、アンテナ状に張つたもので、一端は前置増幅器の入力端子に接続する。プローブの位置は、床から 20cm 隔てて平行に保たれ、爆薬への距離はいろいろに変える。

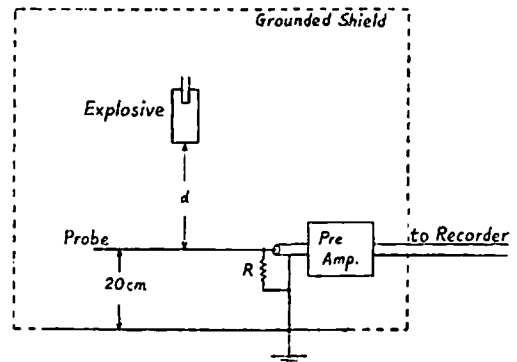


Fig. 1 Scheme of the experiments

前置増幅器は、インピーダンス変換器として働く。この回路は自作で、入力段は FET のソースフォロウである。そして入力インピーダンスは、 $22\text{M}\Omega$ 、出力インピーダンスは約 100Ω とした。測定にあつては増幅器の入力側に、図のように、プローブの負荷抵抗 R を挿入して、その影響を見た。

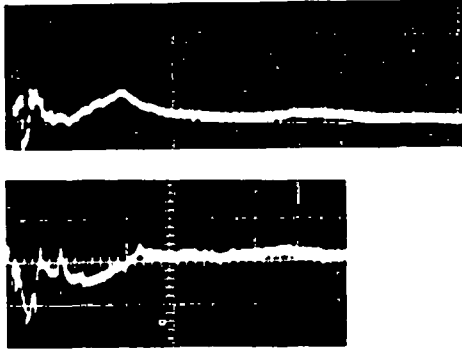
前置増幅器からの出力信号は、同軸ケーブル 3C2V により、オシロスコープまたはデータレコーダに導かれた。オシロスコープは岩崎通信機製 DS 5305 を単掃引で使用した。トリガーは通常のイオンギャップによる方法である。この場合、イオンギャップの導線が、爆発ガスをオシロスコープを通してアースする。接地の影響を調べる実験では、トリガー信号を使わないために、データレコーダに記録する方法をとつた。データレコーダは、Amplex 社の FR 1300 である。

昭和43年9月7日受理

* 東京工業試験所第7部 平塚市新宿 85

3. 実験結果

前述の爆薬について、Fig. 1 の $d=20\text{cm}$ にとり、プローブの長さ 100cm のときの電気信号を、イオンギャップのトリガーでオシロスコープに描かせたものは、Fig. 2 の上のようになる。このとき $R=10\text{k}\Omega$ であった。



Upper : this author's experiment
Lower : referred from Cook's book

Fig. 2 Signals on the probe

それに対して Fig. 2 下は、Cook の本³⁾から引用した爆発電波の写真である。これには爆薬 2~3 lb を、高さ 240cm で爆発させ、距離 100 ft におけるアンテナで捕えたものとの説明がある（負荷抵抗の記述は無い）。筆者の場合とで条件がかなり違うことを考えると、この一致は良好である。縦軸は筆者のものが 0.5 V/cm、Cook のものは 0.2V/cm で、横軸はどちらも 0.5ms/cm である。

Cook は、この種の実験は再現性に乏しいとして、

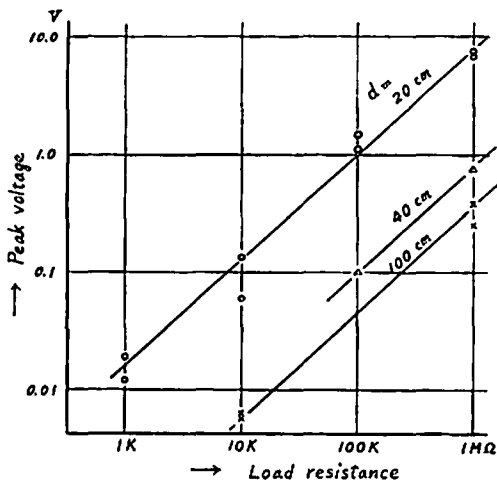


Fig. 3 Effects of load resistance and probe distance on the signal

その実例写真まで挙げているが、後に述べるように、再現性の問題は、接地の方法に注意を払えば、解決できるものである。

この実験を、Fig. 1 の負荷抵抗 R を変えて行なつてみると、信号の大きさは、 R の大きい方が大きくなるのがわかる。ただし波形は、 R が大きくなると、それだけ高周波分のないゆるやかな形になる (Fig. 4参照)。また爆薬からプローブまでの距離は、遠くなるほど、波は小さくなる。この関係をグラフにプロットしたのが、Fig. 3 である。

図の横軸はプローブの負荷抵抗、縦軸は得られた信号波形のピーク電圧値 (Fig. 2 のようにマイナスに出る) の両対数目盛で、この傾斜が 1 であれば、ピーク電圧は負荷抵抗に比例することになる。図にはプローブの距離を 3 種類にとつた結果がプロットされているが、各々について、上記の関係がほぼ成り立っていることがわかる。また距離による減衰は、遠くでゆるやかなことがわかる。

この実験では、プローブの長さは、25cm から 100 cm までいろいろ変えたが、この範囲では差が現われなかつた。また裸線とビニール被覆線との差異も、見られなかつた。

前記の実験は、爆薬中にイオンギャップを挿入して行なつたものである。その場合、爆発ガスはイオンギャップの導線から、オシロスコープを通してアースされる。実験を進めて行くうちに、接地のとり方が、得られる信号波形に大きく影響すること、時には波形の正負が逆転することすら起こることがわかつた。

この点を検討するため、爆薬の接地条件をいろいろ変えて実験を行なつた。その際、接地を全く行なわない条件では、イオンギャップによるトリガーはできないので、この一連の実験は、オシロスコープの代わりに、データレコーダによる波形記録を行なつた。Fig. 4 は、得られた信号波形を示す。縦軸の感度は、各々図に記録した通りで、時間軸は全部に共通で、起点は任意に取つてある。

接地の条件は、図の上から下へと次のように変つていく。

- I : 爆薬全体を電導性塗料で被覆し、丈夫な銅線で接地する。
- II : 爆薬に 0.7mm 径の銅線を巻き、それを接地する。
- III : 爆薬をビニール被覆銅線で吊し、銅線は特に接地しない。
- IV : 爆薬を絶縁物の紐で吊し、近くに金属や電気の良い導体を置かない。

ここで接地とは、Fig. 1 の内張り鉄板と結ぶことを

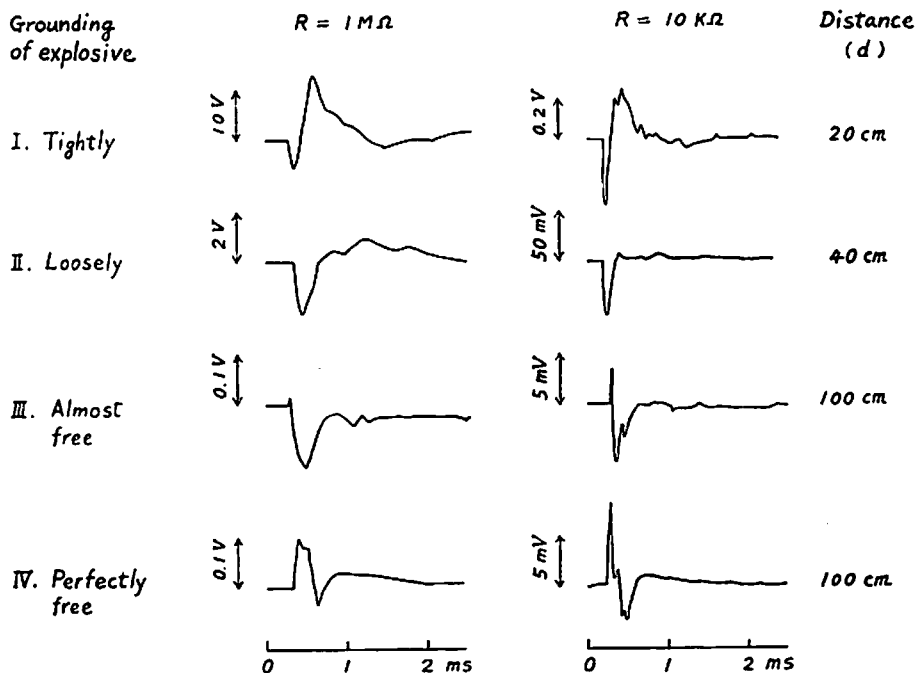


Fig. 4 Examples of signal obtained in various circumstances

意味する。条件 I では、爆発ガスは爆発の瞬間に完全にアースされ、II、III と接地条件がゆるくなつて、IV ではガスは完全に絶縁されている。Fig. 4 の波形は、上から下へと少しずつ変化し、I と IV の比較では、正負がちようど逆転していることに気付く。

図にはなお、負荷抵抗による波形の差異を、 $1\text{ M}\Omega$ と $10\text{ k}\Omega$ について示した。右には測定時の爆薬からプローブまでの距離を記したが、この距離は感度を変えるだけで、波の形にはほとんど影響しない。

Fig. 2 に示した、爆薬にイオンギャップを挿入した条件は、この場合の条件 II に相当する。

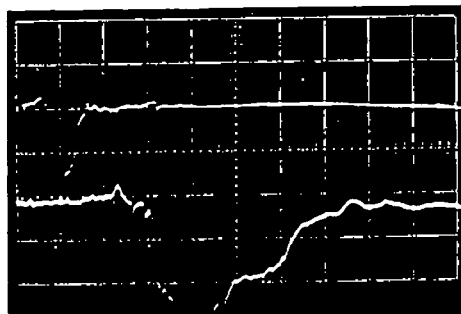
4. 考 察

この種の測定では、結果はプローブの入力抵抗との関係において記述すべきであり、その点さきに引用した Cook の著書⁹⁾に、抵抗値の記載がないのは遺憾である。筆者は以前、爆薬のすぐ近くで、爆発衝撃波中に挿入したプローブに現われる起電力を観察した⁴⁾。その際ピーク電圧は、プローブの負荷抵抗を増せば大きくなることを見出した。同じ傾向が、この実験についても言える。

筆者のさきの実験で観察されたものは、いわゆる電波ではなく、爆発衝撃波または爆発ガスが、プローブに接触して現われるものである。今回の実験も現象的には同じで、これが爆発ガスとプローブとの接触によるものであることは、次報で実験的に示す。このこと

は、イオンギャップでトリガーさせたオツシロスコブの写真で、スタートから信号到達までの、時間遅れからも予想される。Fig. 5 は、その一例である。写真の上下は同じ信号波形で、下は時間軸を拡大して示したものである。

プローブへの信号が、完全に定電流的であれば、Fig. 3 で測定点を結ぶ線の勾配は、1.0 になるはずである。図の勾配は 0.9 であるが、この差は実験誤差の範囲とも考えられる。したがって現象を定電流的とみなすと、プローブ距離が例えば 40cm のところでは、ピーク電流は約 $1\mu\text{A}$ と計算され、これは 1 秒間に 6



$R=10\text{ k}\Omega$, $d=15\text{ cm}$, loosely grounded
Upper: 0.5 V/cm , $200\mu\text{ s/cm}$
Lower: 0.5 V/cm , $40\mu\text{ s/cm}$ (same signal)

Fig. 5 A typical signal on the probe

$\times 10^{12}$ 個の割合で、イオンまたは電子が、流入することにあたる。

プローブの距離による減衰は、Fig. 3 からわかるように、近いところでは、急激で、遠くへ行くとゆるやかになる。図で 40cm から 100cm へ、距離が 2.5 倍になると、ピーク電圧はほ 1/2.5 になっている。電磁波の距離による減衰は、マイナス 1 乗に比例するが、この信号波形も、遠いところでは見かけ上電波と同じく、マイナス 1 乗の減衰を示す。

アースのとり方によつて、得られる信号波形が変わることは、従来見落とされ勝ちであつた。再現性の問題も、主としてこの点にかかると思われる。爆薬中にイオンギャップを挿入して行なう実験では、イオンギャップの切断がアースの切断となる場合は、やはり再現性が悪い。事実 Fig. 4 の、I から IV の接地条件では、IV が最も安定しており、II と III は時に大きく変わった波形の出ることがある。

条件 I から IV の間で、信号波形の極性が、完全に逆転するのは興味深い。その理由は、現在まだすつきり説明することはできない。今後実験を続けることによつて解明できると思う。

5. ま と め

結果をまとめると、次のようになる。

(1) 爆薬から一定の距離をへだててアンテナ状のプ

ローブを張り、爆発時に現われる電気信号を測定した。爆薬は 6 号工業雷管に、短い導爆線を付けたものである。

(2) 得られる信号の大きさは、プローブの負荷抵抗によつて変り、 $1k\Omega$ から $1M\Omega$ の間では、ほぼ負荷抵抗の値に比例した。

(3) プローブの距離による信号の減衰は、爆源の近くで大きく、遠くでゆるやかになつた。

(4) 信号波形は、爆発ガスの接地条件によつて変化し、爆薬が完全に接地されるときと、接地から滯っているときでは、極性が全く逆になつた。

(5) ここに述べた信号は、爆発ガスがプローブに接触したときに生ずるものと思われる。

付記 この内容は、本年度の工業火薬協会春季研究発表会において、報告したものである。

文 献

- 1) H. Kolsky: Nature, 173, 77 (1954)
- 2) T. Takakura: Publ. Astro. Soc. Japan, 7, 210 (1955)
- 3) M. A. Cook: "The Science of High Explosives", Chap. 7, Reinhold Publ. Corp., N. Y. (1963)
- 4) 田中一三; 工火誌, 28, 335 (1967)

Electric Signals Accompanied with Detonation of Explosives

I. Effects of Load Resistance of Detecting Probe and Grounding Geometry of Explosive Charge

by K. Tanaka

The author studied the electric signals on the detecting probe, which was set like an antenna near the detonating explosives. Explosive charge was No. 6 detonator.

Signal voltage, thus derived, was nearly proportional to the load resistance of the probe, in the range of $1k\Omega$ to $1M\Omega$.

The longer the distance between the probe and the explosive charge, the lower the electric signal on the probe. Its decay was faster in shorter distance.

The profile of the signal varied with the grounding circumstances of the detonating charge. The signals had reverse polarity in two extreme cases, of tightly grounded and of not grounded.

The signal seemed to be induced by the explosion gas which reached the detecting probe.

(The Government Chemical Industrial Research Institute, Tokyo, 7th Section, Hiratsuka)