

アジ化鉛の爆風圧

生沼仙三*, 椎野和夫*, 田中一三*

1グラム以下の極微量のアジ化鉛の大気中爆風圧を測定した。衝撃波の圧力波形を、爆風からいろいろな距離に設置したピエゾ型圧力計により、オシロスコープに記録した。測定結果から、衝撃波のピーク圧、持続時間、インパルス等を、換算距離との関係でプロットし、一般の高性能爆薬との差異を検討した。アジ化鉛の爆風特性は、高性能爆薬に適用されるスケール法則を、爆発エネルギーの異なる分だけ修正することで、極微量の装薬についても、同様に適用できることを知った。

1. 緒 言

爆薬の主要用途が発破にあることはいうまでもないが、医学界で微小発破を生体に応用しようとする研究がなされており、われわれの一部は尿路結石の破砕を目標にして、すでに研究を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。

現在のところ、医学用に作っている結石破砕用の装薬はアジ化鉛で、使用する薬量も、ミリグラムのオーダーの極微量である。結石を破砕するときの発破の形式は、開放状態の張りつけ発破に似ている。

この研究は、1g以下の極微量のアジ化鉛を空気中で爆発させたときの衝撃波の特性を調べたものである。研究の発端は、上記の医学的用途のための、爆薬の効果を知ることであったが、同時に起爆薬の爆発衝撃波の特性を知る意味でも興味が持たれた。

爆薬を空気中で爆発させたときの衝撃波については多くの報告が出ている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。しかしこれはいずれもキログラム以上のオーダーの実験であり、しかも通常の二次爆薬に関するもので、起爆薬類、および微量爆薬の場合のデータは見当らないようである。

2. 大気中の爆発衝撃波の性質

初めに従来知られている大気中の爆発衝撃波の性質を、簡単に述べておく。

爆源から離れた点で、爆発衝撃波の到達による圧力変化を測定すると、Fig.1のようになる⁴⁾⁷⁾。

横軸 t は、爆発時刻を原点とした時間の経過で、図の T を、衝撃波の到達時間と呼ぶ。縦軸 p は圧力で、図の p_0 は波の到達以前の大気圧レベルを示す。衝撃波圧力の最大値 p_m は、波の到達の直後に現われ、

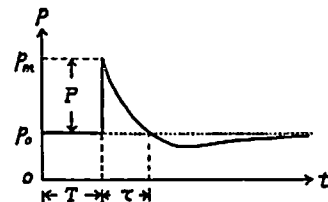


Fig. 1 Typical pressure profile of the blast wave in air.

$P = p_m - p_0$ をピーク圧と呼ぶ。ピーク圧は、衝撃波のマッハ数 M (伝播速度と音速との比) との間に、

$$\frac{P}{p_0} = \frac{2\gamma}{\gamma+1}(M^2-1) \quad (1)$$

の関係を持つ。ここに γ は大気の比熱比であって、通常 $\gamma=1.4$ とする。

衝撃波の強さは、ピーク圧の大きさで表わされるが、物体への作用効果を考えるには、圧力の持続時間が、もう一つのパラメータとなる。ここでは Fig.1 のように、圧力の立上りから $p=p_0$ まで低下する時間 τ を、衝撃波の持続時間と呼ぶ。後の実験で示すように、爆源から離れた点での $p(t)$ 波形では、 $p < p_0$ となるような、いわゆる負圧領域が存在する。

圧力の大きさを表わすのに、大気圧 p_0 から測った差圧 (over pressure 表示) がよく用いられ、先のピーク圧の定義もそれである。この考え方によれば、負圧領域は、文字通り圧力がマイナスになる領域である。そして圧力波形 $p(t)$ を、プラスの期間 τ だけ積分した値 I を、インパルスと呼ぶ。

本文の実験は、極微量の爆薬の爆発衝撃波を測定したものである。上に述べた衝撃波のパラメータは、通

昭和53年10月17日受理
* 東京工業試験所平塚分室 〒254 平塚市四八幡 1-3-4

常の薬量の爆発に対して、薬量の変化に対して次のような形のスケール法則の成り立つことがわかっている⁷⁾。

ある爆薬について、基準薬量 W_0 の爆発に対して、一般的な薬量 W の爆発を考えると、

$$\alpha = (W/W_0)^{1/3} \quad (2)$$

を相似の比率（または縮尺比）と呼ぶ。この値は、両方の装薬が同じ形（相似形）であるときの、長さの比に等しい。

スケール法則によれば、薬量 W の爆発によって生ずる衝撃波の挙動は、基準薬量 W_0 による衝撃波の挙動の、長さ（時間）をそれぞれ α 倍に引き伸ばしたものに等しい。すなわち薬量 W_0 の爆発で、距離を r_0 、時間を t_0 で表わし、薬量 W の爆発でのそれらを r 、 t としたとき、前者の (r_0, t_0) 系での挙動と、後者の (r, t) 系での挙動が、 $r = \alpha r_0$ 、 $t = \alpha t_0$ の関係にあるときに同じ形になる。このことから、薬量 W の異なる爆薬を比較するには、距離を r/α 、時間を t/α にとると、座標をすべて薬量 W_0 のときの (r_0, t_0) 系に換算したことになり、相互の比較が可能になる。特に(2)式で $W=1$ にすると、 $\alpha = \sqrt[3]{W}$ であるから、

$$r_0 = r/\sqrt[3]{W}, \quad t_0 = t/\sqrt[3]{W} \quad (3)$$

となる。 r_0 、 t_0 を換算距離、換算時間と呼ぶ。すなわち実際の r 、 t の代りに、 r_0 、 t_0 で考えると、これは $W=1$ の薬量の爆発と同じ条件に換算したことになる。

上に述べたスケール法則は、衝撃波を記述する基礎方程式が、距離と時間に関して斉次であることを利用し、薬量の変化に対して初期条件が空間的に相似であることを仮定すると得られる。スケール法則は、衝撃波に関する物理量 f を、 $f_0(r_0, t_0) = f(r/\alpha, t/\alpha)$ と書いて、 f と f_0 が同じ関数形を持つことを述べたものであるが、この性質を持つ物理量は、もとの基礎方程式の従属変数であり相似した初期条件を与えられたもの、具体的には圧力 p 、密度 ρ 、そして流速 u に限られる。一般的な物理量は、もしそれがこれらの量に対して距離と時間の n 乗のディメンジョンを乗じて表わされるならば、

$$r = \alpha r_0, \quad t = \alpha t_0, \quad f = \alpha^n f_0$$

より

$$f_0(r_0, t_0) = \alpha^{-n} f(r/\alpha, t/\alpha) \quad (4)$$

としなければならない。

インパルスは、 p に時間を乗じたものであるから、 $1/\alpha$ の形にして W_0 系との比較が可能になる。エネルギー E は、 p に容積（距離の3乗）を乗じたディメンジョンであるから、 $E/\alpha^3 = E_0$ が基準薬量のエネルギーになる。後者から、

$$\alpha = (E/E_0)^{3/4} \quad (5)$$

が得られる。

(5)式は(2)式と同じ形であり、同一薬種についてはエネルギーが薬量に比例することから自明である。しかし薬種の異なる爆薬間の現象では、(2)式のように薬量から α を求めることは無意味である。その場合(5)式が、 α を推定する手がかりを与えるであろう。

異なった爆薬の間には、厳密なスケール法則は成り立たない。それは爆発圧力、密度、装薬の大きさなどの差から、初期条件の相似性が破れるからである。しかし爆源から非常に遠くで、爆心が点源とみなせるような条件のもとで到達する衝撃波を考えると、(5)式から求めた α をもとにしたスケール法則が、一つの目安となるであろう。

次に測定で現われる反射圧の性質に触れておく。

衝撃波の特徴は、圧力 P を得た媒体が、流速 u を持つことである。その場合圧力測定のために、測定器を波の進行方向に対峙させて置くと、測圧器の表面では $u=0$ となるため、瞬間的に P の値が変化してしまう。その場合に生ずる圧力 P_r は、衝撃波が Fig. 1 のように波頭にピークを持つ場合、マッハ数 M から、

$$\frac{P_r}{P_0} = \frac{[(3\gamma-1)M^2-2(\gamma-1)][2\gamma M^2-(\gamma-1)]}{(\gamma^2-1)M^2+2(\gamma+1)} \quad (6)$$

のように計算される⁹⁾。

P_r は反射圧と呼ばれる。それに対して(1)式の P は静圧、または流れを妨げないように側面から測った圧力という意味で、side-on pressure と呼ばれる。以下(1)式の P を P_s と書いて区別する。 P_r は常に P_s より大きく、 $M=1$ の音波になった極限で $P_r/P_s=2$ である。 M の増加と共に、この値は大きくなる⁹⁾。

3. 実験

実験は微小薬量のアジ化鉛試料を空気中で爆発させ、ビエゾ測圧器で衝撃波形を求めることである。

実験に使用した爆薬試料および測定器類は、次のごとくであった。

3.1 爆薬試料

爆薬試料は少量のアジ化鉛をベレット状に成形し、中心に白金線ブリッジを装着して、それに通電して起爆できるようにした。

ブリッジは径 0.06mm、長さ 5mm の白金線を、径 0.25mm のエナメル被覆のリード線にハンダ付したもので、接続部はワニスで被覆されており、ブリッジの電気抵抗は、1.1~1.3Ω であった。

アジ化鉛は、アジ化ソーダと硝酸鉛から製造した純度 93.5% のものをバインダーにボパールを使って成形した¹⁰⁾。ボパール量は 2.1% である。装薬の形状

は円柱状で、高さを直径の約 1/2 にした。

そして、5% のアラビアゴム水溶液をごく少量使って、白金ブリッジの白金部を上記アジ化鉛ペレット 2 個ではさんで固定した。このアジ化鉛ペレットの薬量 W は $0.015 \sim 0.55 \text{ g}$ の範囲のものを作った。試料の形状を Fig. 2 に示す。

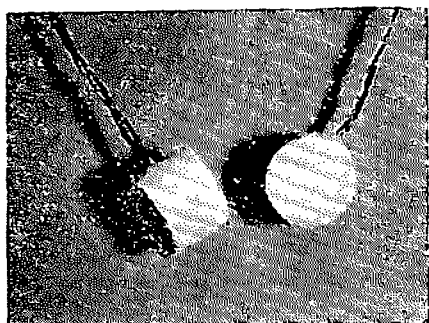


Fig. 2 Explosive charge.

3.2 測定配置

測定は壁からの反射の影響を避けるため、広い爆発室 ($4\text{m} \times 4\text{m} \times 3\text{m}$) の中央で行なった。配置は Fig. 3 のように、上置アジ化鉛試料を地表 1m の高さに吊し

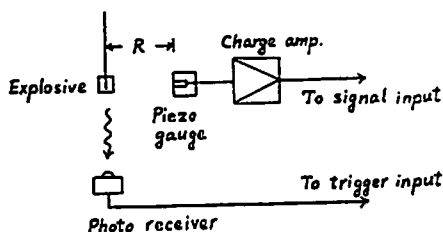


Fig. 3 Arrangement for $p(t)$ measurement

て、ペレットの平面部が測圧ピエゾ面に向くようにした。距離 R は、図のように試料ペレットの中心から受圧面までの長さとした。

波形をオシロスコープで記録するため、爆発光をトリガー信号に用いた。そのための受光装置は、試料から 20cm 以上離し、また装置表面での反射波が記録波形に入らないように、設置場所には十分注意を払った。

3.3 測圧装置

圧力測定には、Kistler 社製ピックアップ 607A を用いた。このものは、水晶を素子とする圧電型ピックアップで、測定圧力は最高 $70,000 \text{ psi}$ ($5,000 \text{ kg/cm}^2$)、分解能 0.5 psi 、感度 0.15 pCmb/psi である。

ピックアップの本体は、直径 1cm 弱、長さ 3cm

の小形のもので、これを鉛ブロック ($10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 3\text{cm}$) にいこんだ直径 2.5cm の鉄製アダプターにはめこみ、さらにそれを中央に直径 1cm の穴のあいている同形の鉛ブロック 2 個にボルトで固定した。その外観を Fig. 4 に示した。

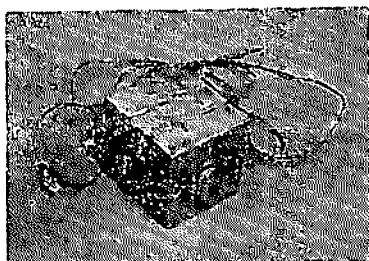


Fig. 4 Mounting of piezo gauge.

測圧ピックアップは、取付法が悪いと衝撃圧を受けた時に振動を生じ、きれいな波形が得られない。予備実験では、二三取付法を変えて測定を試みたが、結局 Fig. 4 の形が最もよいように思われた。

ピエゾ信号の増幅には、Kistler 社製のチャージアンプ 504D 型を用いた。この特性は入力抵抗 $10^9 \Omega$ 、出力抵抗 100Ω であり、周波数帯域は、直流から 100 kHz までである。

波形記録のためのオシロスコープは、岩崎通信機製の SS-4511 型で、外部トリガーによる単掃引として用いた。周波数帯域は DC-50MHz である。トリガー信号を得るための受光素子は、NEC 製フォトダイオード PD-3L を使用した。

4. 実験結果

この試料の点火装置は、電気雷管に使われている点火玉と比べて、通電後の発火遅れがやや長い。今後の実験に同じ白金ブリッジを使う可能性もあり、発火の遅れ時間を測定してみると、電流 1.2A で 70~100 msec、電流 2A で 20~30 msec であった。これは通常の点火玉の約 10 倍であり¹⁰⁾、発火のための熱効率はよくないように思われた。実験に点火玉用のブリッジを使わなかったのは、使いやすい形の半製品が入手できなかったためである。

実験で得られた爆発衝撃波の圧力波形を、Fig. 5 に示す。

図の(a)は、オシロスコープのトリガーに用いた爆発光の信号を、圧力波形と並べて二現象記録としたものである。図からトリガー始点と爆発光の立上りとはよく一致しており、誤差があったとしても、たかだか 5 μsec 以下であることがわかる。測定パラメータの中には、Fig. 1 の到達時間 T が含まれているが、その誤

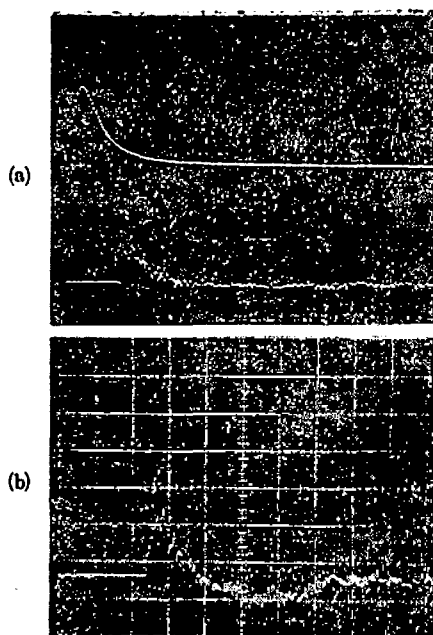


Fig. 5 Examples of shock wave profile.

(a) Upper beam shows explosion light
 $R=0.377g$, $R=10cm$
 Scale: 5.6 atm/div, 50μsec/div.

(b) $W=0.070g$, $R=10cm$
 Scale: 1.12atm/div, 50μsec/div.

差は主にトリガーの始点が爆発時刻に一致しているかどうかできまるであろう。

Fig. 5の圧力波形は、(a)が $W=0.377g$ 、(b)が $W=0.070g$ によるもので、どちらも $R=10cm$ である。これからピーク圧 P は、前者が 11.8atm、後者が 2.7atm と読みとれる。Fig. 1に示した負圧領域が、(a)の波形で見えにくいのは、感度をにぶくしているためである（負圧は最大でマイナス 1atm にしか達しない）。

圧力波形から、Fig. 1で定義した各種の衝撃波パラメータを求めたが、中で最も誤差の大きいものは、インパルス I と思われる。圧力波形の積分は、波形を写し取った紙片の重量から求める方法、および波形によっては簡単な三角波近似による方法をとった。なお距離の遠い点での測定には、遅延掃引を使って波形の主要部を拡大するようにした。

こうして得られた測定値のうち、ピーク値 P の結果をFig. 6の対数グラフに示した。横軸は(3)による換算距離で、 R , W の単位は、cm と g である。横軸の値は、従って 1g 薬量の爆発に換算したときの距離を表わしている。図のプロットは、小薬量 ($W<0.02g$) を△印、中薬量 (0.02~0.5g) を○印、大薬量 (0.5

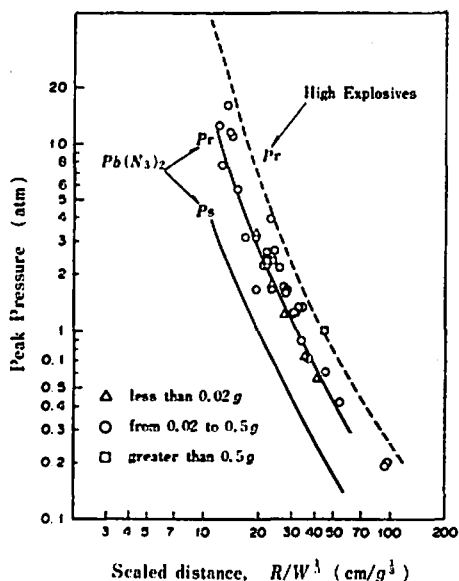


Fig. 6 Peak pressure vs. scaled distance.

Measured values are plotted by the marks depending on explosive weight. P_r and P_s curves are that obtained from shock velocity data.

$g<W$) を□印で区別したが（測定時の実距離 R は、5~45cm であった）、図からわかるように、換算距離を $R/W^{1/3}$ 使って整理したピーク圧 P は、薬量の大小にかかわらず一つの傾向にまとめられ、スケール法則を満足しているといえる（図中に描いた曲線については後に述べる）。

アジ化鉛の爆発衝撃波の、伝播速度を求めるために、距離と到達時間の関係を、Fig. 7にプロットした。スケールはやはり、薬量 1g の規準系に換算してある。図のプロットの中間値を選んで、衝撃波の進行軌跡を実線のように仮定すると、図上微分から各点における波の伝播速度 U が求められる。実験条件での音速を、15℃ での値 340m/sec にとり、空気の比熱比を $\gamma=1.4$ とすると、(1)(6)式から P_s , P_r が求められる。

波の伝播速度から求めたピーク圧は、もともと Fig. 6にプロットされた測定値と一致すべきものである。そこで計算された P_s , P_r のカーブをFig. 6に描き入れると、図の実線のようになった。明らかに波形のピーク値のプロットは P_r 曲線の周囲にあり、この条件での波形のピークは、反射圧を表わしていると思われる。

実験で測圧器をとりつけた鉛ブロックの表面は、10×10cm でかなり大きく、これを受圧面と考えれば、

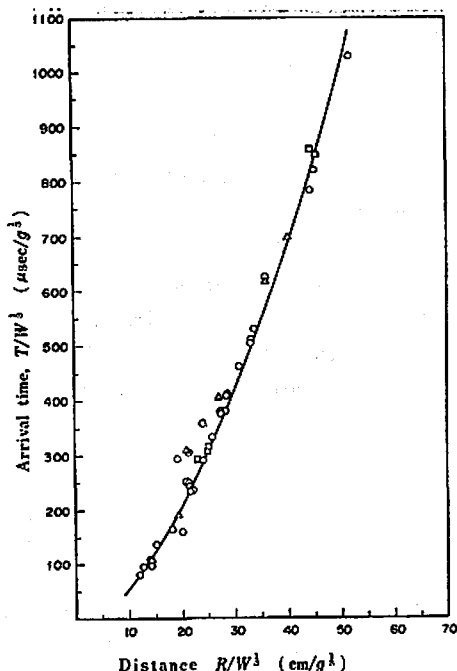


Fig. 7 Arrival time vs. distance.

この程度の高速分解能を持つ測定では、瞬間的な反射圧を捕えることが可能と思われる。

Fig. 6には、このほか Diepold 等⁴⁾が、kg オーダーの高性能爆薬 (TNT, PETN, RDX 等) についてまとめた反射圧のデータを、規準薬量 1g に換算して破線で描き入れた。それがアジ化鉛の測定値より高いのは、爆発エネルギーの差異によるものと考えられる。

衝撃波の持続時間 τ の結果は、Fig. 8 に示した。スケールはここでも薬量 1g の条件に規準化してある。

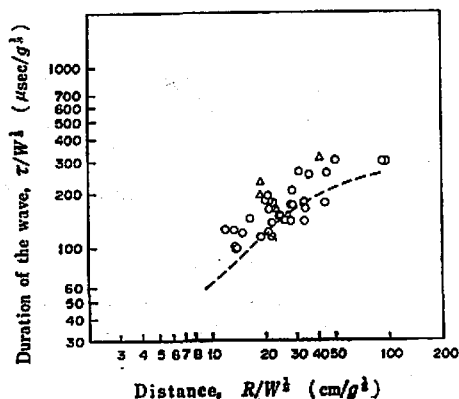


Fig. 8 Shock duration vs. distance.

図中の破線は、Kinney の著書³⁾からとった TNT 1 ton のデータを、このスケールに換算したものである。

波の持続時間は、高性能爆薬の場合でも、距離の変化への依存が小さい。Fig. 8 で見ると、ここで測定した起爆薬と、TNT のような二次爆薬とで、ほとんど同じ傾向を示している。

圧力波形を時間積分したインパルス I は、Fig. 9 に示した。この値は、被積分関数としての $p(t)$ に反射

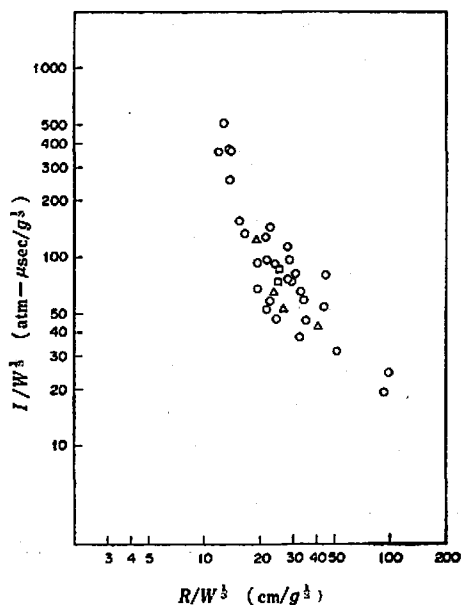


Fig. 9 Impulse vs. distance.

圧を使っている。前述の Kinney の著書に TNT のインパルスを与えたデータがあるが、それは静圧をもとにしているので直接の比較はできなかった。

5. 考 察

スケール法則に則して考えると、大薬量の爆薬を雷管で起爆すると、小量の起爆薬を加熱ブリッジで発火させるのは、ほぼ相似の現象である。従って、前節に見たように、大薬量のデータをそのまま小薬量に延長したものが、起爆薬のデータにある程度似ていることに不思議はない。一方で、高性能爆薬と起爆薬とでは、薬量あたりの爆薬エネルギーに差があるので、スケール法則における相似比を薬量規準の(2)式でとる場合、一致の度合は完全ではないはずである。測定値の中で最も精度がよいと思われるピーク圧において、Fig. 6に見られる高性能爆薬との不一致は、それを表わしていると思われる。

2 節に述べたように、薬種の異なる場合にスケール

法則を適用する方法は、(5)式によってエネルギーの比から α を定義することである。爆発エネルギーとして爆発熱 q を採用すると、Fig. 6 のような $P \sim R/W^{1/3}$ の図において、爆発エネルギーが 1g あたり q_1 と q_0 の 2 種類の爆薬の差は、横軸の値で $(q_1/q_0)^{1/3}$ 倍だけずれることになり、対数グラフでは横軸に沿って平行移動したのに等しい。Fig. 6 で、高性能爆薬と起爆薬の 2 本の P_r 曲線の横軸上のずれは、ほぼ 1.40~1.45 倍であり、これを 3 乗するとエネルギーが約 3 倍違うことに相当する。

高性能爆薬の爆発熱はほとんど 1200~1500cal/g の間にあるので⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、これからアジ化鉛の爆発熱は 400~500cal/g であることになるが、これは実際の値によく一致している。

アジ化鉛の爆発熱は、370~400cal/g とされている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

実際に燃研式熱量計（吉田製作所）を使って、1atm の不活性ガス中で測定してみると、380cal/g が得られた。しかし熱量計のボンベ容積（300ml）に 1atm の空気を入れた状態では、アジ化鉛 1g で 535cal が得られた。これは周囲の空気が反応に関与したためと思われる。そこで 1atm の大気中で、試料の量を変化させて得られた値を、1g あたりの数値に換算して試料ゼログラムに外挿すると 565cal/g となった。この値は、アジ化鉛を十分な量の空気中で爆発させたときの爆発熱に相当する。従って、空気中でアジ化鉛が爆発したとき、衝撃波となるエネルギーが、こうした密閉状態での理想的な爆発熱には至らないにせよ、不活性ガス中での値よりはやや大きい 400~500cal/g の間にくることは十分考えられる（実は同じことが、酸素不足量の大きい TNT のような高性能爆薬でも起り得るであろう。TNT の完全酸化の発熱量は、3600cal/g であるが⁽¹⁵⁾、空気の接触で起る二次炎の現象は、かなり遅いものである。アジ化鉛の空気との反応が、どの程度の時間スケールで起るかは不明である）。

Brode は、空気中に発生した球面衝撃波の挙動のモデル的な数値解析を行なった⁽¹⁶⁾。彼は衝撃波のエネルギーを、ガスの運動エネルギー、ポテンシャルエネルギー、および内部エネルギーの総和として定義した。その場合、初期条件として、有限容積の高圧ガス球から出発した解と、容積を持たない点源から出発した二つの解が、エネルギー値が同じであれば、前者のガス球半径の 6~7 倍の距離まで進んだ波は、点源からの波とほとんど変らないことを示した。

起爆薬と一般の二次爆薬との違いは、エネルギーの差とともに、発生ガス量の差も大きい。そして Brode の上の結果は、爆源からある距離進んだ波について、

初期の高圧ガスの容積は、ほとんど影響しないことを示している。

Brode の計算では、(3) 式の換算距離にあたるものを、

$$\lambda = R/\epsilon \quad (7)$$

で表わしている。ここに ϵ は、爆発エネルギー E と、大気圧 p_0 を使って $\epsilon = (E/p_0)^{1/3}$ で定義され、長さの単位を持った量である。

(7) 式を通常のスケール法則の換算距離と対比するには、次のようにすればよい。爆薬 1g あたりのエネルギーを q (cal/g)、装薬量を W (g) とすれば、 $E = qW$ であり、 $p_0 = 1\text{atm}$ とすると、cm 単位にした ϵ は $(41.29qW)^{1/3}$ になる。従って(7)式は、

$$\lambda = \frac{1}{(41.29q)^{1/3}} \left(\frac{R}{W^{1/3}} \right) \quad (8)$$

に等しく、われわれの換算距離 $R/W^{1/3}$ に比例した量である。

Brode は爆源からある程度離れた点でのピーク圧 P_s を、 λ の関数として

$$P_s = \frac{0.137}{\lambda^3} + \frac{0.019}{\lambda^2} + \frac{0.267}{\lambda} - 0.019 \quad (9)$$

で表わした。この式は P_s が 0.1~10atm の範囲に適用される。

上式は q の値に依存するが、ここで q を変化させて、(8)式を使って横軸に $R/W^{1/3}$ をとり、両対数グラフに描くと、Fig. 10 の点線のようにになる。図には Fig. 6 の高性能爆薬とアジ化鉛のピーク圧を、(1)式と(6)式により P_r から P_s に移した結果を長い点線と実線で示した。ここでも前者の q が 1200~1500cal/g、後者のそれが 400~500cal/g に相当することがわかる。

Brode はピーク圧のほかに、持続時間：およびインパルス I にあたるものの式も作っているが、実験値との一致は、ピーク圧の場合ほどよくなかった。

6. 結 論

極微量のアジ化鉛の爆発による空気中衝撃波の特性を求めた。試料は 0.15~0.55g の範囲であった。測定にはピエゾ測圧器を用い、爆源からいろいろの距離で、ピーク圧、波の到達時間、持続時間、およびインパルスを測定した。結果は次のようにまとめられる。

- (1) 極微量の爆発にもかかわらず、特性値はスケール法則をよく満足し、換算距離、換算時間を用いて整理した結果は、本文中 Fig. 6~Fig. 9 のようにまとめられた。
- (2) これらの距離による変化のカーブは、従来得られている高性能爆薬の結果と、よく似た傾向を示

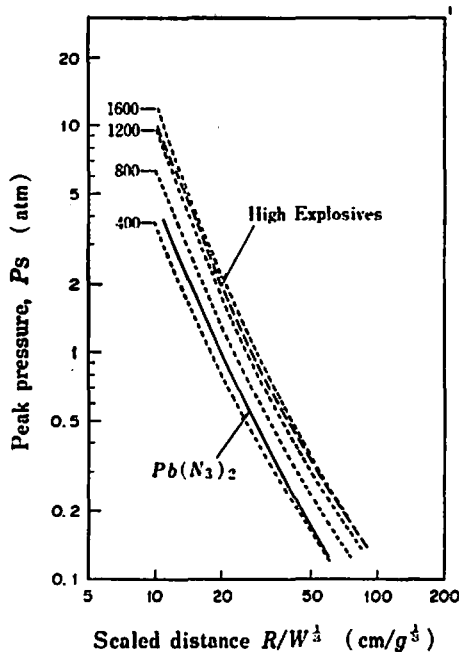


Fig. 10 Dependence of $P_s \sim R$ relation on explosion energy. Solid curve shows the result of measurement.

した。

- (3) ピーク圧については、波の伝播速度から求めた数値と比較して、測圧波形が反射圧を表わしていることを知った。そしてこの値は、同じスケールに換算した高性能爆薬の値よりは小さかった。
- (4) スケール法則の相似比が爆発エネルギーの立方根に比例するとして、爆発エネルギーを爆発熱に等しくとるとここに得られたピーク圧は、アジ化鉛の爆発エネルギーが 400~500 cal/g であることに相当する。実際に、空気中でのアジ化鉛の爆発熱を測定したが、反応に関与する空気量を適当に見込むと、ほぼ上の値になることを知った。
- (5) 波の持続時間、およびインパルスについては、

測定結果を図示するにとどめた。前者の距離による変化は、高性能爆薬の場合とほとんど差がなかった。

付 記

この研究を行なうにあたり、起爆のための白金線ブリッジの製作に便宜をはかっていただいた細谷火工株式会社、細谷理一氏および大森正義氏に深謝する。また爆発熱の数値の一部は、東大工学部吉田忠雄教授より御教示を受けた。ここに付記して感謝の意を表する。

文 献

- 1) 渡辺決, 生沼仙三, 日泌尿会誌, 68, 243 (1977)
- 2) 村田庄平, 渡辺決, 高橋徹, 渡辺康介, 古江治美, 生沼仙三, 日泌尿会誌, 68, 249 (1977)
- 3) 生沼仙三, 金子宏, 古江治美, 渡辺決, 工火誌, 39, 270 (1978)
- 4) G. F. Kinney, "Explosive Shocks in Air", McMillan, N. Y. (1962)
- 5) W. Diepold, H. Pförtner, H. Hommel, Explosivstoffe, 18, 25 (1970)
- 6) 水島容二郎, 工火誌, 31, 361 (1970)
- 7) 須藤秀治, 大久保正八郎, 田中一三, 「火薬と発破」, オーム社 (1977)
- 8) 水島容二郎, 工火誌, 30, 320 (1969)
- 9) 生沼仙三, 藤原修三, 工火誌, 37, 237 (1976)
- 10) 田中一三, 工火誌, 35, 50 (1974)
- 11) B. M. Dobratz, "Properties of chemical explosives and explosive simulants", UCRL-51319 (1972)
- 12) C. H. Johansson, P. A. Persson, "Detonics of High Explosives", Academic Press (1970)
- 13) T. Urbanski, "Chemistry and Technology of Explosives", Pergamon Press (1967)
- 14) A. Vidart, Mém. poudres, 42, 83 (1960)
- 15) H. L. Brode, J. appl. Phys., 766 (1955)

Blast wave of lead azide

by Senzo Oinuma*, Kazuo Shiino* and Kazumi Tanaka*

Blast wave of very small amount of explosive, less than a half gram of lead azide, was measured. The pressure profile of the blast wave in air, was recorded by the piezo gauge and the oscilloscope, with various distances and charge weights. The results were plotted on graphs of peak pressure, time duration of the wave, and impulse, as functions of reduced distance. The disagreement of obtained results with that of high explosives could be explained from the difference of explosion energy per unit weight.

(National Chemical Laboratory for Industry, 1-3-4, Nishi-yahata,
Hiratsuka-shi, Kanagawa-ken)
