



ダイナマイトの爆発による鋼管破片の速度について

中村 順*, 福田 廣*, 岸 徹*, 雲岡義雄*

鋼管にダイナマイトを0.2~1 kg充填して、爆発させた時に生成される破片の速度を鉛筆の芯を用いた線的法で測定した。線的は鋼管から1 mの距離を離して置き、その間の平均速度として求めた。薬長/薬径比 (L/D) が1, 1.5では最大破片速度は1.4及び1.7km/sであった。L/Dが2以上では2 km/sのほぼ一定速度となった。L/Dが2以下での破片速度の減少は鋼管の密閉していない末端効果によるものと推定される。得られた一定速度からダイナマイトについてのGurney定数を計算した。

1. 緒言

爆発物の威力、性能を評価する際や、爆発事故における容器や隣接しているものの破壊、飛散等による被害について調べる際には、その高速の飛散物の生成及び飛翔についての情報は重要なものである。特に飛翔速度は、その飛散距離、飛散エネルギー、貫通・破壊力等を評価する上で必要となるものである。

しかしながら、爆発による材料の破壊等については多くの研究がなされているが、飛散物の挙動という立場に立つ研究は、軍用の目的を除けばあまり系統的にはなされておらず、瞬間X線写真、レーザーシャドウグラフ法等を用いて、比較的小薬量での実験の報告しかされていない^{1) 2)}。

そこで今回、産業爆薬としてダイナマイトを取り上げ、鋼管に詰め込んだ場合の爆発によって生じる鋼管破片の飛翔速度を、装置も簡単に確実に動作する線的法を用いて測定した。

2. 実験方法

2.1 試料

鋼管は一般構造用炭素鋼鋼管 (JIS G3444 STK41 外径60.5mm, 厚さ2.3mm) を使用し、両端は特に密閉等はせず、使用する薬量で充填できる長さに切断してそのまま用いた。なお、この鋼管は、軸方向にそって

溶接部分があるので、この方向を選けて破片速度の測定を行った。

爆薬は市販の3号桐ダイナマイト (密度1.42 g/cm³) を用い、裸で鋼管に充填した。C/M (爆薬重量/金属ケース重量) 比は1.05である。起爆には6号瞬発電気雷管を用いた。

2.2 線的装置

用いた線的は、幅320mm, 高さ170mmの硬質塩ビ製枠に、直径2mm, 長さ185mmの鉛筆の芯を、15mm間隔で垂直に並べたものを直列に接続して電流を流しておき、破片の通過を芯が折れることによって捕らえるようにしたものである。実際の破片の通過測定範囲は幅280mm, 高さ150mmである。この線的の構成は、破片との衝突に際して、破片の運動にできるだけ影響を与えずに時間遅れなく信号を発するようにするとともに、爆発による爆風、破片以外の微小飛散物及び振動等に対して破断したり、電気的ノイズを出さないように決めた。芯の折れる際の断線信号出力についても漏洩電流、ケーブルの分布容量及び外来ノイズ等の影響を少なくするためにトランジスタを使用したパルス発生回路を用いた。さらに野外実験であるため、原因不明のノイズが入る危険性も考慮し、断線時間の読み取りはすべてデジタルメモリのデータから信号波形を確認して行った。このパルス発生回路からデジタルメモリまでは同軸ケーブル (RG58A/U, 50m) を用いた。デジタルメモリのトリガーは、ダイナマイト中に挿入したイオンギャップの信号を用い、線的からの断線信号を0.1μs/wordのサンプル率で記録し、ダイナマイトの起

1993年4月6日受理

*科学警察研究所爆発研究室

〒102 千代田区三番町6

TEL 03-3261-9986 内線 372

FAX 03-3221-1245

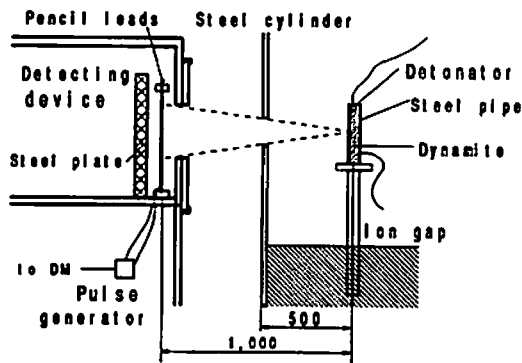


Fig. 1 Schematics of experimental setup

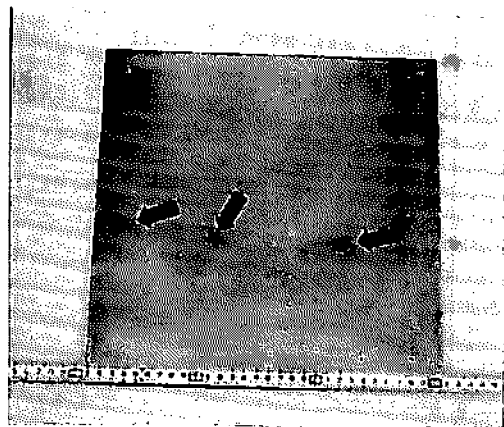


Fig. 3 Picture of 3 fragments hit on the steel target plate (1kg dynamite, $L/D=5.2$)

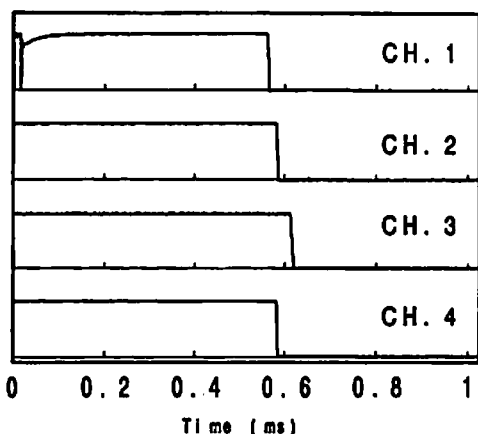


Fig. 2 Example of the output signals of the pulse generator (0.3kg dynamite)

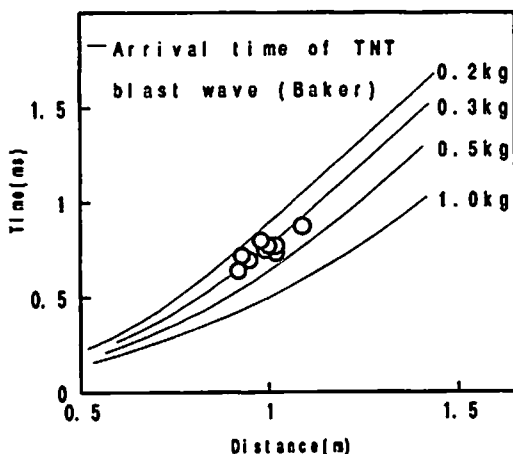


Fig. 4 Arrival time of fragments (0.2kg dynamite, $L/D=1.0$)

爆から線的の破片通過までの時間間隔を求めた。この時間間隔から、破片速度は鋼管表面から線のまでの破片の飛距離1 mにおける平均速度として求めた。

2.3 爆発実験

実験の概略をFig. 1に示す。線的、計測器、ケーブル等の保護及び危害予防のために鋼製円筒容器（直径1 m）内中央に、鋼管に爆薬を装填したものを軸方向に垂直に木製台の上にセットして爆発させた。爆発により生成した破片は、鋼管の中央と同じ高さで円筒容器に水平に90度間隔にあげられた4ヶ所の窓（幅140mm、高さ50mm）から飛び出すようにし、それぞれの窓の外側0.5 mの位置に線的をセットした。1回の爆発実験において、この水平4方向の破片速度を同時に求めた。ダイナマイトの薬量は、0.2～1 kgの範囲とし、管径を一定にしたまま管長をそれに対応させて変化させて、同一の管長について2～4回爆発実験を繰り返して測定した。したがって1つの管長について、8～16点の破片速度を求めたことになる。また、線的を通過した

破片個数を鉛筆の芯の後方に置いた鋼板上の貫通痕、衝突痕数から求めた。

3. 結果

Fig. 2にダイナマイト0.3kgの爆発における断線信号波形の例を示す。起爆直後にノイズの見られる波形もあるが、断線による立下り点だけを読み取ればよいので問題はなかった。

複数破片が線的を通過するケースが多く見られたが、到達時間としては一番速く線的に達したものを測定していることになる。線的後方の鋼板上の衝突痕から判断して、破片1個あたりの面積が0.3～2.5cm²程度の大きさの破片が当たっており、特に微細な破片が鉛筆の芯の間を通過するといったことはみられなかった。Fig. 3にダイナマイト1kgの爆発における鋼板上の衝突痕を示す。

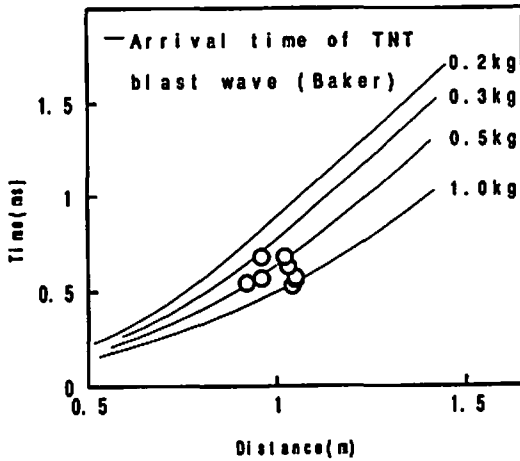


Fig. 5 Arrival time of fragments
(1 kg dynamite, $L/D=5.2$)

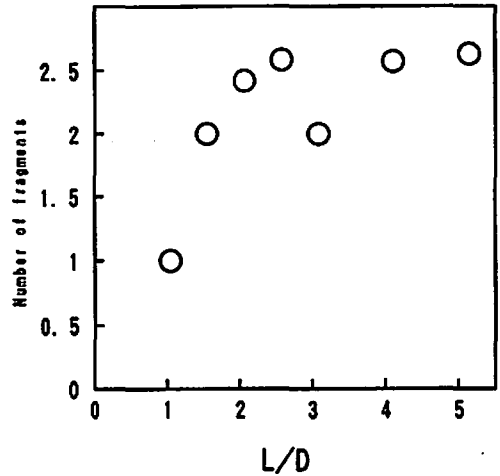


Fig. 7 Relation between L/D and average number of fragments passed the detector

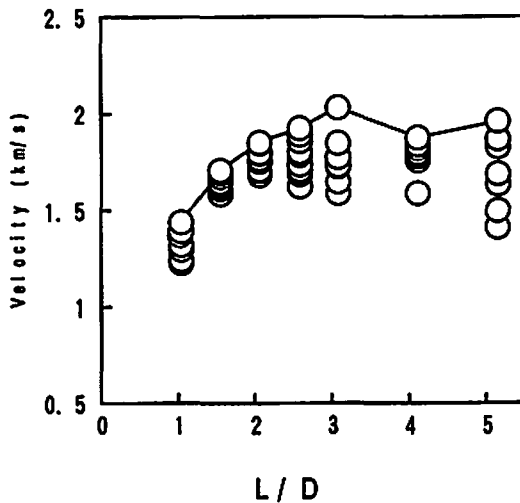


Fig. 6 Relation between L/D (length/diameter) and velocity of fragments

また、爆風や振動の線的に対する影響を調べるため、0.5kg及び0.6kgのダイナマイトを鋼管に詰めずに爆発させる実験をプランクとして行った。この測定条件では、芯は折れないか、折れても破片で折れるよりはるかに時間的に遅いものであった。

Fig. 4に0.2kgのダイナマイトの爆発の場合の距離と破片到達時間の関係を示す。破片の飛翔速度の距離による減衰過程は不明なので、比較参考に図中にBakerのTNTの空中爆発における各薬量での爆風の到達時間曲線³⁾を示す。その結果、破片の到達時間は爆風の到達時間と近似した傾向を示し、破片の速度

のばらつきが小さいものと考えられた。0.3~0.5kgの場合も同様の傾向を示したが、それ以上の薬量では、Fig. 5に示した1kgの場合のように距離に対する時間のばらつきが大きくなった。

Fig. 6に薬長/薬径比 L/D と破片速度との関係を示す。図中の折れ線は各 L/D における最大破片速度を結んだものである。この結果から、 L/D が増していくと破片速度も上昇するが、 L/D が2付近では2 km/sの上限になる。そしてこれ以上 L/D が増加した場合は、破片速度のばらつきが大きくなるが、最大破片速度はほぼ一定となった。

破片の鋼管軸に垂直方向の空間的分布を調べるために、各線の窓1個あたりの通過破片数を数えたところ、1~5個以内であった。Fig. 7に、各線の窓1個あたりの破片の平均通過個数を示す。これより、破片の鋼管軸に垂直方向の空間的分布は、 L/D が2までは増加したが、それ以上では L/D が3を除いて2.6個とほぼ一定となり、破片速度と同様の傾向を示した。

4. 考察

管状容器の爆発物で両端が密閉されていない場合、端に近い部分では希薄波の影響で、破片の速度が低下する末端効果⁴⁾が知られている。今回の測定の結果、ダイナマイトも末端効果により、薬長が短かく L/D が2以下の場合、破片速度の低下を示したのと考えられる。なお、ダイナマイトは薬長が短い場合、一定爆速に達しないので、この影響も多少あるものと考えられる。

金属管内の爆発による破片の飛散速度についてはGurneyの式⁴⁾が知られている。

$$V_0 = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{W_c/W_m}{1+0.5W_c/W_m}}$$

V_0 破片飛翔速度
 $\sqrt{2E}$ Gurney定数
 E 爆薬の内部エネルギー
 W_c 薬量
 W_m 金属重量

今回の実験データで最大破片速度がほぼ一定となった0.5kg以上での最大破片速度の平均値1950 m/sから、Gurneyの式を用いてGurney定数を計算した。Table 1にGurney定数 $\sqrt{2E}$ 、内部エネルギー E 、爆発熱 E_0 、エネルギー効率 E/E_0 (爆薬の持つ爆発エネルギーのうち、破片の飛翔に使用される部分)の値を示した。これからダイナマイトのエネルギー効率 E/E_0 は66%であり、比較に示した他の軍用爆薬とはほぼ同様の効率の値を示した。

Table 1 Gurney constants and energy efficiency of explosive for common explosives

	$\sqrt{2E}$ (m/s)	E (J/g)	E_0 *1 (J/g)	E/E_0	Reference
TNT	2316	2680*2	4520	0.59	5)
Pentolite	2560	3280	5100	0.64	5)
Comp B	2682	3600	5190	0.69	5)
Dynamite	2350	2760	4180	0.66	present data

*1. E_0 : Heat of explosion

*2. $E=2.68 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}^2=2680\text{J/g}$

5. 結 論

ダイナマイトを詰めた鋼管の破片速度を線的方法で測定した。薬量を増加した場合、最大破片速度は管長が薬径の約2倍になるまでは増加したが、それ以上の管長ではほぼ一定速度となった。また、破片の空間分布についても管長が薬径の約2倍になるまでは増加したが、それ以上の管長ではほぼ一定となり、破片速度と同様の傾向を示した。これは、鋼管の両端が密閉されていないための末端効果によるものと考えられる。最大破片速度が一定となった値をGurneyの式にあてはめたところ、爆発熱の66%のエネルギーが破片の飛翔に使用されていた。

実験には、陸上自衛隊吉井弾薬支処の協力を受けた。ここに謝意を表する。

文 献

- 1) 永山邦仁, 藤田昌大, 清田堅吉, 工業火薬, 40, 300 (1979)
- 2) 中村裕一, 松尾日出男, 工業火薬, 41, 106 (1980)
- 3) W. E. Baker, "Explosions in Air", p. 150 (1973), University of Texas Press.
- 4) S. M. Kaye, "Encyclopedia of Explosives and Related Items", Vol. 10, p. V63 (1983), US Army Armament Research and Development Command
- 5) Anon, "Explosive Trains", p. 44, p. 120 (1965), US Army Materiel Command Pamphlet AMCP 706-179

Velocity of the steel pipe fragments produced by the explosion of dynamite

by Jun NAKAMURA*, Hiroshi FUKUDA*, Tohru KISHI*
and Yoshio KUMO - OKA*

The velocities of the steel pipe fragments produced by the explosion of dynamite were determined by measuring the flight time from the explosive to detecting devices with charge weight of 0.2 to 1kg. The mechanical detector, which was made by the lead of a pencil, was placed 1 m away from the steel pipe. The maximum velocity of the fragments for L/D (length/diameter) 1 and 1.5 were 1.4 and 1.7km/s, respectively. In the case of $L/D \geq 2$ condition, their velocities were about 2km/s. The reduction in velocity for $L/D < 2$ due to end-effects of cylinder. The empirical Gurney constant for dynamite was calculated.

(*National Research Institute of Police Science, 6 Sanban-cho, Chiyoda-ku,
Tokyo, 102 JAPAN)
