

産業爆薬のギャップテスト

橋爪 清*, 佐々木信彦*

近年、わが国でも注目されてきた感度試験法としてギャップテストがある。

著者らはドナーとしてペントライト50:50、ギャップ材として P.M.M.A を用いて、二、三の産業用爆薬の限界ギャップ長および最低衝撃波圧力を求めた。

又、GX-1 ダイナマイトについてはアクセプター長を長くとり低爆速爆轟 (LVD) から高爆速爆轟 (HVD) への転移の有無を調べた。

1. 緒言

わが国におけるギャップテストの基礎的実験はすでに東工試、日下部氏らを中心として行なわれており、かなりの実績をあげている。又、ギャップテストのもつ意義および目的については日下部正夫氏らの報告¹⁾ および疋田強教授の解説²⁾ に詳しい。

われわれはドナーにペントライト 50:50、ギャップに P.M.M.A. を用いて 3 号桐ダイナマイト、あかつき爆薬、5 号硝安爆薬、ANFO 爆薬および GX-1 ダイナマイトの限界ギャップ長を求め、これらを起爆するのに要する最低衝撃波圧力を求めた。

又、近年水中発破の普及に伴ない、隣接孔の爆発により水中用ダイナマイトである GX-1 ダイナマイトが殉爆し、所定の遅発発破ができない場合が起こりうる。さらに、斉発発破の場合でも瞬発電気雷管のもつ点爆時間のばらつきのため GX-1 ダイナマイトが雷管で起爆される以前に隣接孔のダイナマイトの爆発によって生じた衝撃圧を受けて殉爆する場合がある。

このような隣接孔の爆発による殉爆現象では伝播してきた衝撃圧が比較的小さく、GX-1 ダイナマイトは所定の高爆速で爆発せず、いわゆる低爆速爆轟 (LVD) を呈することも考えられる。

しかし、仮に低爆速で起爆されても伝播していく過程において、高爆速に転移すれば、所定の発破効果が期待できるものと思われる。

そこでわれわれはギャップ長を適当に選ぶことにより GX-1 ダイナマイトが LVD を生ずる条件をつくり、その伝爆過程で低爆速爆轟 (LVD) から高爆速爆轟 (HVD) への転移が起こりうるかどうかを検討した。

もちろん、この場合アクセプターの長さはギャップテストに用いる通常のアクセプターの長さより長くとした。

これらの結果について報告する。

2. 衝撃波圧力校正曲線

試料爆薬 (アクセプター) を起爆させるに要する最低衝撃波圧力を得るために、ドナーによる一定衝撃圧を受けた P.M.M.A. ギャップ内の衝撃圧減衰特性を得る必要がある。

2.1 実験方法

P.M.M.A. 内の衝撃圧減衰特性は衝撃波伝播時間を測定することによって求めることができる。

Fig.1 に衝撃波伝播時間測定方法の概略図を示す。

図中、ドナーは内径 31.5mm、外径 38mm、長さ 60

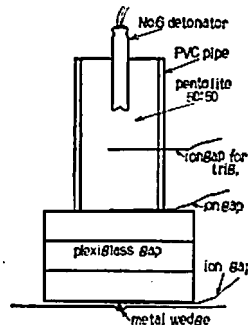


Fig. 1. Schematic of electrical method for measuring the passing time through P.M.M.A. gap.

mm の植ビ管にペントライト 50:50 を溶填したものであり、6 号電気雷管で起爆する。これは密度 1.62g/cm³、爆速 7780m/sec を呈し、約 224 kbar の爆轟圧を示す。ギャップは 50mm²、厚さ 10mm の P.M.

昭和49年10月4日受理

* 日本化薬(株)火薬研究所 山口県厚狭郡山陽町

M. A. を適当枚数重ねあわせ、空気泡がはいらないよう速乾性エスロンではりあわせた。

ドナー下端および P. M. M. A. 下端に電氣的に絶縁状態にした 0.2mmφ のエナメル線をよりあわせたものを挿入した。ドナーが爆轟すればドナー下端のエナメル線は爆薬のイオン化により、又、P. M. M. A. 下端のエナメル線は伝播してきた衝撃波のため金属裂くさびと接触し、回路の絶縁が破壊され電流が流れるようになってくる。これらは Fig. 2 に示したパルス発生回路を通じてユニバーサルカウンター（ナシヨナ

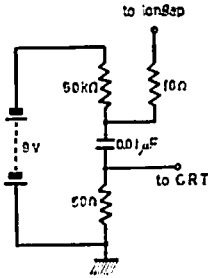


Fig. 2 Pulse forming circuit using for ion gap method.

ル VP-451A) に接続し、二本のエナメル線間の衝撃波伝播時間を測定できる。又、ドナー中央にトリガー用エナメルより線を挿入し、同様の回路を経てシンクロスコープ(岩通 4500-A)で衝撃波伝播時間を測定することもできる。いずれにしても二本のエナメルより線間の衝撃波伝播時間をギャップ内伝播時間とする。

2. 2 実験結果

上述した方法で求めた衝撃波伝播時間 (T) とギャップ長 (L) との関係を Fig. 3 にプロットした。最小二乗法を用いて、 T を L の二次関数として求めると

$$T = 0.001497L^2 + 0.1734L + 0.2298 \quad (1)$$

$$T: \mu\text{sec}, L: \text{mm}$$

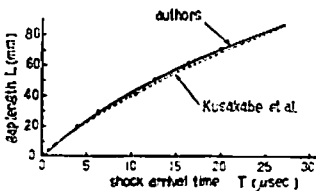


Fig. 3 Relations between P. M. M. A. gap length and shock arrival time.

となり、これを Fig. 3 の実線で示した。

理想的には $L=0$ のとき $T=0$ とならなければならない。しかし、(1) 式からわかるように $L=0$ のとき、 $T=0.2298\mu\text{sec}$ の値をとっている。これはエナメルより線の大きさおよび挿入方法に問題があると考えれば当然生じうる誤差と思われる。しかし、その値は

小さく、無視してもさしつかえない程度である。又(2)式および(5)式を求める場合、(1)式の定数項は意味がない。Fig. 3 には比較のため東工試の結果¹⁾を併記した。

ドナー下端とギャップ上端の接触面から距離 L の点での瞬間的な衝撃波速度 (U_s) は距離を時間で微分した dL/dT で表わされるから(1)式より

$$U_s = \frac{dL}{dT} = \frac{1}{0.002994L + 0.1734} \quad (2)$$

$$U_s: \text{Km/sec} \quad L: \text{mm}$$

となる。これを Fig. 4 に示す。

次にプレキシガラス内を伝播する衝撃波が一次元衝撃波であると仮定すれば、P. M. M. A. を伝播する衝撃波の衝撃波速度 U_s (km/sec) と粒子速度 U_p (km/sec) の間には、次の関係式がある²⁾。

$$\left. \begin{aligned} U_s &= 2.56 + 1.69U_p, & U_s > 3.4 \\ U_s &= 2.95 + 0.85U_p, & 3.4 > U_s > 3.1 \end{aligned} \right\} (3)$$

又、一次元衝撃波の運動量保存則は

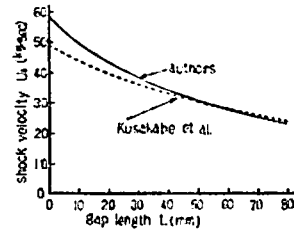


Fig. 4 Relations between shock velocity and P. M. M. A. gap length.

$$P = \rho_0 U_s U_p \quad (4)$$

$$\rho_0: \text{P. M. M. A. の初期密度} = 1.185\text{g/cm}^3$$

P : 衝撃圧

で表わされるから(2)、(3)、(4)式より衝撃圧 P (Kbar) とギャップ長 L (mm) との関係を求めると

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{3.90 - 0.0536L}{(0.002994L + 0.1734)^2} & L < 40.3 \\ P &= \frac{6.81 - 0.123L}{(0.002994L + 0.1734)^2} & 40.3 < L < 49.8 \end{aligned} \right\} (5)$$

(5)式を Fig. 5 の実線で示し、比較のため東工試の結果¹⁾を破線で併記した。

Fig. 4 および Fig. 5 からわかるようにわれわれの結果は衝撃波速度および衝撃圧いずれも東工試の結果より大きくなっている。これはドナーとしてペントライト 50:50 を用いたためである。ペントライト 50:50 の爆轟圧 244Kbar に対し、東工試の用いたドナー (E-25: PETN を含むプラスチック状高性能爆薬) は爆轟圧 165 Kbar であることから妥当な結果である

4	1.46	19.9	60	6.10	6.66(HVD)
			120	13.59	
			180	22.13	
			240	29.79	
			300	40.24	
			360	49.13	
			420	58.89	

又、トリガー点からの距離と所要時間の関係をグラフに示すと任意点の爆速はこの曲線上での傾きとして求めることができる。このようなグラフを Fig.7 に示した。Fig.7 にプロットした測定値はほぼ直線であり、爆速変化はないものと考えられる。傾きから計算

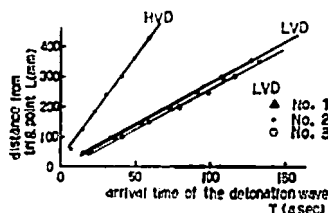


Fig. 7 Relations between distance from trigger point and arrival time of the detonation wave.

するとそれぞれの実験の爆速値は 2790, 2680, 2680m/sec である。これらは明らかに低速爆轟と思われる。比較のため、ギャップ長を 19.9mm にしたときの GX-1 ダイナマイトの爆速変化を Table 2 および Fig.7 に併記した。この場合も爆速変化はみられず、グラフの傾きから求めた爆速は 6660m/sec であり高爆速爆轟で伝播していることがわかる。

5. 考察

今回われわれは産業用爆薬の限界ギャップ長および最低衝撃波圧力を求めたがペンライト 50:50 をドナーにしたギャップテストの報告は見あたらない。又、産業用爆薬の限界ギャップ長の報告もわずかであり³⁾、これらの報告はドナーとして圧搾テトリルを用いている。文献 5) から二、三の産業用爆薬の最低衝撃波圧力を引用すると ANFO 爆薬 9~25 Kbar, 3号桐ダイナマイト 2 Kbar, GX-1 ダイナマイト 2 Kbar である。文献 6) では ANFO 爆薬の限界ギャップ長は 31.8~38.1mm であり圧搾テトリルをドナーに用いているため文献 5) の衝撃波圧力曲線を適用すると 5~8 Kbar となる。

われわれの結果では ANFO 爆薬 6~20 Kbar, 3号桐ダイナマイト <6 Kbar, GX-1 ダイナマイト <6 Kbar を得ている。しかし、今回の実験に用いたギャップの最低厚さが 10mm であり、あまり精度のよい結果は得られなかったが上述の文献値を含む範囲の最

低衝撃波圧力を示しており、実用上さしつかえない結論を得たと考えている。さらに、混合爆薬、特に低速爆轟を示す爆薬は条件、中でも初期密度によって限界ギャップ長が異なり、実験の再現性を考えるとギャップの最低厚さ 10mm はやむを得ない厚さである。今回の産業用爆薬を用いた実験では 10mm 程度の実験誤差があった。USBM⁶⁾ の報告では起爆率 50% のギャップ長を限界ギャップ長とし、統計的な取扱いをしており、限界ギャップ長の再現性について若干のばらつきがあるようである。

GX-1 ダイナマイトを肉厚 3mm の塩ビ管に装填し、薬径 31.5mm, 薬長 450mm とし、ギャップ長を約 130mm で LVD を発生させた今回の実験では安定した LVD が生じ、LVD から HVD への転移は観察できなかった。

6. 結 言

ペンライト 50:50-P. M. M. A. 系でのギャップテスト法でのギャップ長と衝撃波減衰特性を求めた。又、数種の産業用爆薬の限界ギャップ長および最低衝撃波圧を求め文献値と比較し良好な結果を得た。

さらに、GX-1 ダイナマイトについてはアクセプター長を短くとり、LVD から HVD への転移の有無を検討したが、今回の実験結果からは LVD から HVD への転移はみられず安定な LVD のみを観察した。

なお、本研究を行なうにあたり、適切な御助言と御指導を頂いた東工試、日下部正夫氏および藤原修三氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 飯田稔, 藤原修三, 日下部正夫: 工業火薬協会誌 33, 291, (1972)
- 2) 疋田強: 工業火薬協会誌, 30., 267, (1969)
- 3) 文献 1) より引用。原典は T. P. Liddiard: in 4th Symposium of Detonation p. 214, U. S. N. O. L. 1965
- 4) 日下部, 藤原: 5th Symposium on Detonation, 203, (1970)
- 5) 飯田稔, 藤原修三, 日下部正夫: 工業火薬協会, 昭和48年度年会, 講演要旨集, 70頁
- 6) R. W. Watson: U. S. B. M. I. C. 8605

Card gap test of industrial high explosives

By Kiyoshi Hashizume and Nobuhiko Sasaki

Recently, in Japan, a card gap test has been interested about a shock sensitivity test of high explosives. A card gap test on following industrial high explosives are carried out (Table 1); No.3 Kiri dynamite (ammonia gelatine), Akatsuki (ammonia explosive), No.5 Shoan explosive (permissible ammonia explosive), ANFO (ammonium nitrate fuel oil) and GX-1 dynamite (underwater blasting dynamite).

As a donor explosive, we used pentolite 50 : 50 of 31 mm diameter and of 60 mm height, 50 mm square PMMA plates as the shock attenuator and the acceptor of same size as the donor. Both the donor and the acceptor are confined in PVC tube of 3 mm wall thickness.

The relation between shock pressure in PMMA plates and distance from the donor explosives is obtained by measuring the time of arrival of shock front at several points in the plate with an electrical method (Fig.3 to 5).

And then, we determined the critical gap length and the critical shock initiation pressure of above explosives (Table 1).

These results were favorably compared with other experiments.

And the work of the transition from low velocity detonation (LVD) to high velocity detonation (HVD) in GX-1 dynamite was done. The results were shown in Table 2 and Fig. 7. In our experiment, the transition from LVD to HVD in GX-1 dynamite does not occur.

(Nippon Kayaku, Asa Laboratory, Yamaguchi Pre., Japan)