

エマルジョン爆薬におけるガラスマイクロバルーン 粒径による爆速への影響

服部勝英*, 深津嘉章*, 酒井 洋*

油中水型エマルジョンと四種類の異なった粒径を有するガラスマイクロバルーンとを混和して爆薬試料とし、ガラスマイクロバルーンによる爆速への影響を観察した。

非密閉系での実験結果では、粒径により爆速が異なるが、無限大粒径に相当する密閉系での実験では、粒径により爆速が異ならないという結果が得られた。これは、ガラスマイクロバルーン粒径により爆速に影響する反応領域の巾が変り、外からの膨張波の影響が異なる、即ち、粒径が小さくなるにつれ反応領域の巾が狭くなり、従って、膨張波の影響が小さくなり、爆速が高くなるということにより説明し得るものと考えられる。

1. 緒言

含水爆薬の出現以来、含水爆薬が従来からの爆薬に比べ、感度的に鈍感であるが故に、産業用爆薬において気泡の意味する所は極めて重要なものとなった。即ち、気泡の有無多少により、起爆性及び起爆から定常爆轟迄の爆轟特性が大きく異なることとなり、使用上からも、安全上からも気泡を注視する必要が生じた。

気泡による影響を考える場合、それは気泡量、気泡ガスの性状、そして気泡径に分けられると思われる。気泡量による爆速への影響については多くの研究が行われているが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾、後二者については、起爆現象に関する研究は、多くの報告を見い出せるが⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾、爆速への影響については皆無に等しい。

従来、ダイナマイト、スラリー爆薬においては、気泡を混入させる場合、界面活性剤、化学発泡剤等が主に使用されているため、所望の気泡径に調整するのは、まず不可能と見てよい。

近年、含水爆薬の範疇でスラリー爆薬とは異なったエマルジョン爆薬が注目されるに至った。このエマルジョン爆薬とは、濃厚酸化剤水溶液を燃料である油又はパラフィン等で包み込んだ、謂ゆる油中水型エマルジョンにより構成された含水爆薬である。濃厚酸化剤水溶液よりなる分散相のドロップレットの径は、産業用爆薬として使用されているエマルジョン爆薬では、1ミクロン以下であるため、結晶析出の臨界半径との

関係から、その溶液はかなりの低温迄、過飽和溶液になっているものと推察される。このエマルジョン爆薬においては、比重を調整する場合、通常、無機質微小中空球体が使用されている。

この無機質微小中空球体のうち、ガラスマイクロバルーン（以下 GMB と略す）は球形であるため、粒径の調整は極めて容易である。

そこで、気泡径による爆轟特性への影響を観察するため、均一系物質として考えても差しつかえがないと思われる W/O 型エマルジョンと粒径の調整が容易な GMB とを混和して爆薬とし、気泡径による爆轟特性の一つである爆速への影響を観察することとした。

2. 実験

2.1 エマルジョン組成

Table 1 Formulation of emulsion

Oxidizer	Water	Fuel
83.1%	11.4%	5.5%

* Oxidizer : Ammonium nitrate
Sodium nitrate

**Fuel : Emulsifier

Table 1 に実験に供したエマルジョン組成物を示す。

2.2 GMB の調整

GMB は、3M 社製の B 15/250 を篩分し、4つの粒度に分け、水洗、乾燥した後、使用した。それらの平均粒径及び標準偏差を Table 2 に示し、顕微

昭和57年2月26日受理

*日本油脂㈱ 武豊工場化薬研究所
〒470-23 愛知県知多郡武豊町西門 82
TEL 05697-2-1221

Table 2 Size of glass micro balloons

Average diameter (μ)	Standard deviation (μ)
33	7
54	6
79	10
125	8

鏡写真の一例を Fig. 1 に示す。

2.3 エマルション爆薬試料の作成

Table 1 に記されたエマルション組成物に粒度を調整した GMB を必要量加え、乳鉢中で手で混和し、比



Fig. 1 Glass micro balloons ($\times 200$) Average diameter 54 μ

Table 3 Effect of cartridge length on detonation velocity in the unconfined state (@ 20°C)

GMB size (μ)	Density (g/cc)	80—140 (mm)	140—200 (mm)	200—260 (mm)	260—320 (mm)	320—380 (mm)
33	1.22	5500	5450	5450	5450	—
54	1.03	4880	4880	4880	4840	—
	1.25	4800	5080	5170	5130	—
79	1.04	4760	4800	4800	4880	4720
	1.26	3900	4110	4170	4200	—
125	1.09	4620	4640	4600	4690	—
	1.26	3550	3850	3870	3800	—

重を調整してエマルション爆薬試料とした。

2.4 爆速測定方法

2.4.1 イオンギャップ法

0.2mm 径のエナメル線をより合わせたイオン探針を試料の所定の位置に 60.0mm の間隔で挿入し、カウンターにより、0.1 μ sec の桁迄、探針間の爆轟波通過時間を測定し、探針間の平均爆速を求めた。

2.4.2 抵抗線法

内径 0.5mm の注射針に、ナイロンガラセン状に巻かれた外径 0.07mm のニクロム線を挿入する。注射針の一端をニッパーにより切断し、注射針とニクロム線とを接触させる。この注射針を試料中に挿入し、ニクロム線に定電流を流す。試料の爆発により注射針がつぶれるため、抵抗が減少し、定電流を流していることにより、時間による電圧変化を観察することが出来る。従ってその電圧変化をニコレー社製デジタルオシロスコープにより観察し、その傾きから爆速を求める。

3. 結果

3.1 非密閉系における実験

3.1.1 定常爆轟となる薬長の決定

エマルション爆薬試料を厚さ 0.085mm、外径 25mm

の所定の長さのプラスチックチューブに装填し、恒温槽で調温後、20 \pm 1°C の範囲の試料温度で 6 号雷管により起爆させ、イオンギャップ法により薬長による爆速変化を観察した。その結果を Table 3 に示す。

この結果より薬長を 200mm とし、140mm から 200mm の間の平均爆速を測定すれば、定常爆轟速度を得ることが出来ると判断し、以後イオンギャップ法による爆速測定においては、140mm から 200mm 間の平均爆速を求めた。

3.1.2 比重による爆速変化

粒径の異なる GMB により種々の比重に調整されたエマルション爆薬試料を、厚さ 0.085mm、外径 25mm、長さ 220mm のプラスチックチューブに装填した。そして、これら試料を恒温槽に入れ、調温し、20 \pm 1°C の範囲の試料温度で、6 号雷管により起爆させ、イオンギャップ法により爆速を測定し、比重による爆速変化を観察した。その結果を Fig. 2 に示す。この実験結果は、粒径が小さくなるにつれ爆速が高くなり、最高爆速を与える比重が高比重側へずれることを示している。

3.2 密閉系における実験

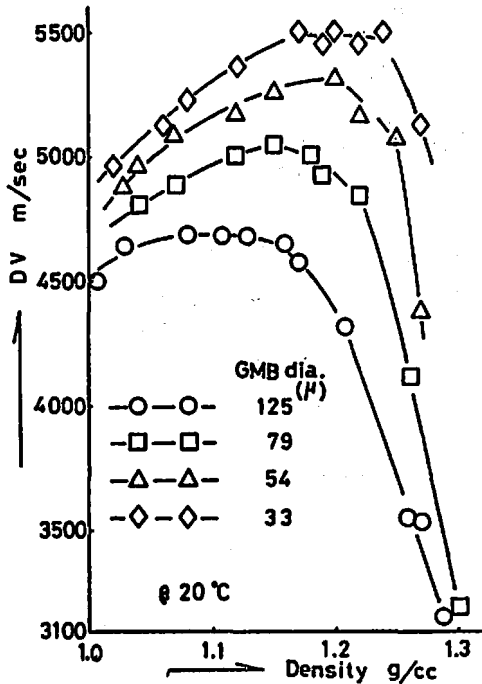


Fig. 2 Variation of detonation velocity with density in the unconfined state

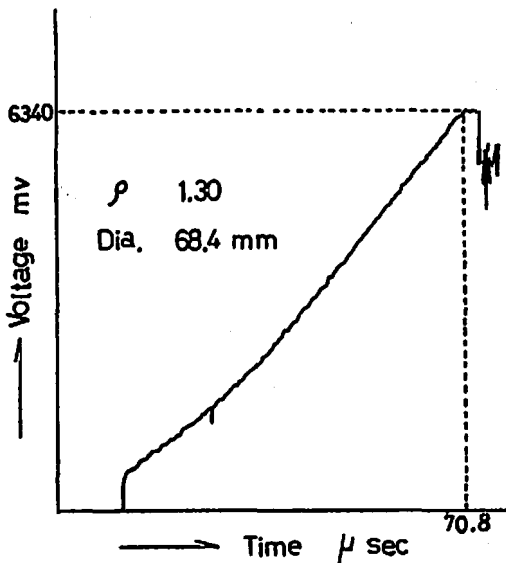


Fig. 3 Voltage vs Time

3.2.1 管径及び管長の決定

エマルジョン爆薬試料（本試料のみ篩分していない GMB を使用）を管長 200mm の管径を変えた鉄管に装填し、抵抗線法により爆速を測定したところ、高比重側においては、未だ定常爆轟に至っていなかったため、

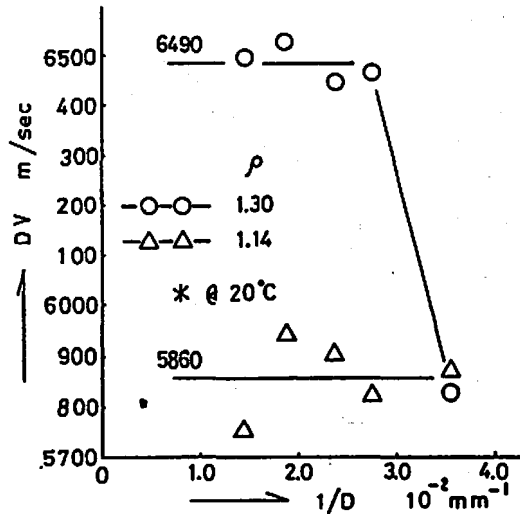


Fig. 4 Effect of reciprocal of cartridge diameter on detonation velocity in the confined state

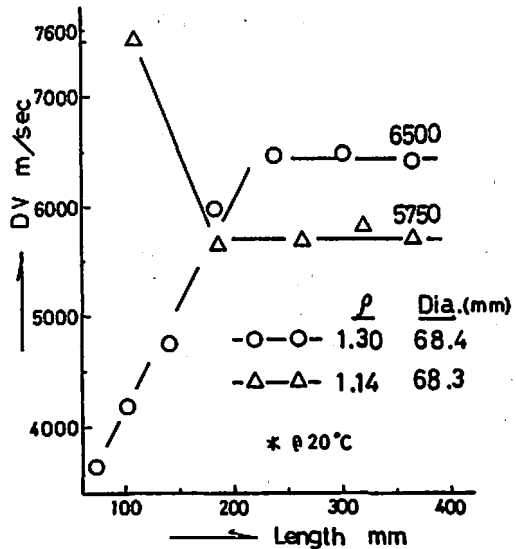


Fig. 5 Effect of cartridge length on detonation velocity in the confined state

管長を 400mm にして管径を変え実験を行なった。その結果管長を 400mm、管内径を 36mm 以上にすれば定常爆轟が得られることが判明した。そのデータの一例を Fig. 3 に示し、実験結果を Fig. 4 及び Fig. 5 に示す。

Fig. 5 において、装填比重 1.14 のものの爆速が爆轟初期において異常に高い値を示しているが、これは、以下の理由により真の爆速ではなく見掛けの爆速であ

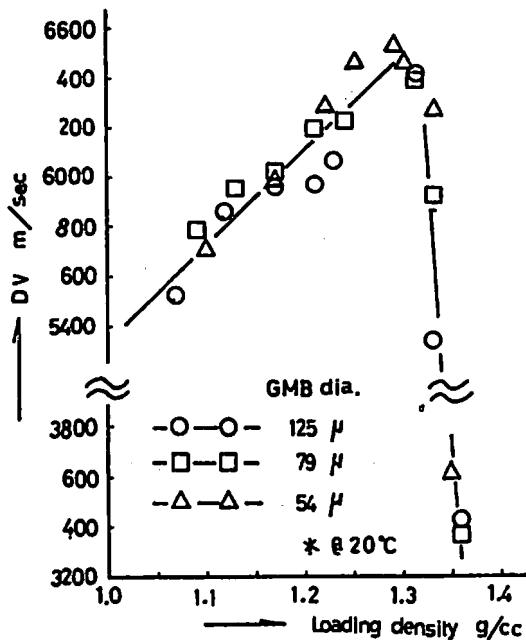


Fig. 6 Variation of detonation velocity with loading density in the confined state

ると考えられる。

- (1) 抵抗線は爆轟中心ではなく、爆薬と管壁との境に挿入している。
- (2) この傾向は、管内径が大きくなるにつれ、大きくなり、管内径が53mm以上で顕著に観察される。
- (3) この現象は、起爆後、直ちに定常爆轟に至る低比重において観察される。

以上により、管内径が太い場合には、抵抗線が管壁の所にあるため、雷管により起爆された際、発生した爆轟波が雷管を中心とした球面波に近いものであると

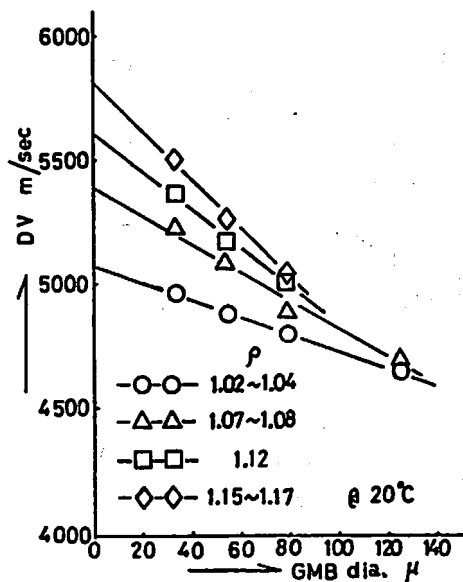


Fig. 7 Variation of detonation velocity with GMB size in the unconfined

すると、抵抗線はすぐにはつぶれず、爆轟波が試料中心線上で、管内径の半分、即ち、試料薬砕半径分だけ進行した時点で、初めて抵抗線がつぶれることとなり、その後、爆轟の進行と共に、球面波が平行波に近づくにつれ、急速に抵抗線がつぶれていくため、定常爆轟値より高い値が観察されることとなる。

3.2.2 装填比重による爆速変化

管径及び管長を変えた実験を考慮して、管内径を42mm、管長を400mmとして本実験を行なった。実験は、エマルジョン爆薬試料を鉄管に詰め、装填比重を測定し、抵抗線を挿入した後、恒温槽に入れ調温した。そして、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の範囲の試料温度で6号雷管により

Table 4 Comparison of detonation velocity extrapolated to GMB diameter = 0 in the unconfined state with observed detonation velocity (see Fig. 6) and calculated one by Kihara-Hikita equation of state corresponding to infinite diameter of explosive

Density g/cc	DV (extrapolated) m/sec	DV (observed) m/sec	DV (calculated) m/sec
1.02—1.04	5070	5420	5540
1.07—1.08	5390	5610	5790
1.12	5610	5800	6040
1.15—1.17	5820	5910	6190

@ 20°C

起爆させ、抵抗線法により爆速を求めた。その結果を Fig. 6 に示す。

Fig. 6 は、非密閉系における実験結果 (Fig. 2 参照) と大きく異なり、粒径が変わっても、爆速が変わらず、且、各粒径共、略同一比重 (約 1.30) で最高の爆速値が得られている。

4. 考察

非密閉系で得られた実測値を用いて、GMB 粒径と爆速とをほぼ同一比重でプロットすると Fig. 7 が得られる。粒径と爆速との間には、ほぼ直線関係があり、粒径が小さくなるにつれ、爆速は高くなる。GMB 粒径を零に外挿した時に得られる爆速と無限大粒径での爆速に相当するものと思われる本実験での密閉系の爆速 (Fig. 6 参照) 及びその計算値との比較結果を Table 4 に示す。計算値は、木原一正田状態式を用い、解離を考慮せずに得られたものであるから、解離を考慮した場合には、これらよりは低い値となる筈である。

以上、本実験より得られた結果をまとめると以下の如くなる。

- (1) 非密閉 (横からの膨張波の影響を受ける) 系では、GMB 粒径により爆速が異なり、同一比重で比較した場合、粒径が小さくなるにつれ、爆速が高くなり、その極限 (GMB 粒径を零に外挿) では、無限大粒径での爆速に相当した値にかなり近似してくる。又最高爆速を与える比重は高比重側へずれる。
- (2) 無限大粒径に相当した系 (本実験での密閉系) では、GMB 粒径により爆速は変わらず、非密閉系での爆速より高い値が得られ、装填比重が、ほぼ 1.30 程度で約 6500m/sec の最高爆速が得られる。膨張波の影響を受けない無限大粒径に相当した実験では、GMB 粒径により爆速が変わらず、一方、膨張波の影響を受ける非密閉系の実験では、粒径により爆速が変わり、即ち、粒径が小さくなるにつれ、爆速が高くなり、その極限では、無限大粒径に相当した爆速に近似してくるという結果が得られた。これは次の如く推察される。

- (1) GMB 粒径により、爆速に直接的に影響する反応帯の厚みが変わる。
- (2) GMB 粒径が小さくなるにつれ、その反応帯の厚みは小さくなる。

ここで爆轟が、hot-spot により維持されているものとすれば、単位容積当りに存在する hot-spot の個数が、その反応帯の厚みに関係してくるであろう。即ち、hot-spot の個数が多いもの程、反応帯は薄くなるものと考えられる。そこで、GMB を hot-spot と考え、本実験で使用した試料中の hot-spot の個数を計算してみ

る。

試料爆薬中に含有される GMB の重量%を X とし、GMB の粒子密度を ρ_G 、エマルジョンの密度を ρ_E (1.42)、試料爆薬の密度を ρ_0 とすると

ρ_0 は、

$$\rho_0 = \frac{X + (100 - X)}{\frac{X}{\rho_G} + \frac{100 - X}{\rho_E}}$$

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{1}{\rho_E} + \left(\frac{1}{100} \right) \left(\frac{1}{\rho_G} - \frac{1}{\rho_E} \right) X$$

$1/\rho_0$ と X とをプロットし、回帰線を求め (Fig. 8 参照)、その傾きから粒子密度 ρ_G を求める。そして粒径より、粒子重量を求め (Table 5 参照)、GMB の重量含有率 X とから、試料爆薬 100g 当りの GMB の個数を求めた。その結果を Fig. 9 に示す。

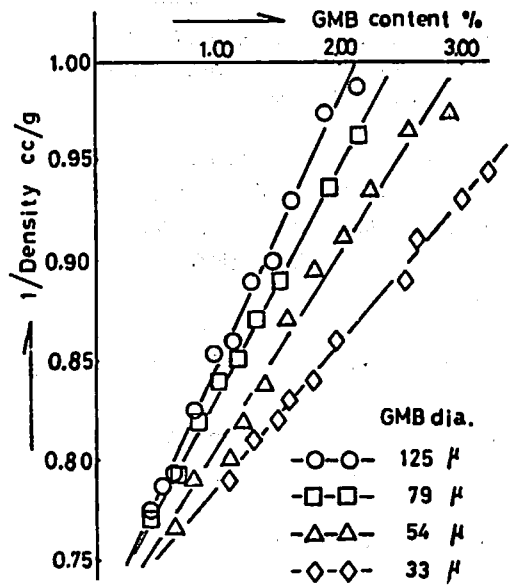


Fig. 8 Variation of reciprocal of density with GMB content

Table 5 Weight of GMB particle

Particle diameter (μ)	$\frac{1}{\rho_G} + \frac{1}{\rho_E}$ (cc/g)	Particle density (g/cc)	Particle weight ($\times 10^{-9}$ g)
33	7.3	0.12	2.3
54	9.8	0.096	7.9
79	11	0.085	22
125	13	0.073	75

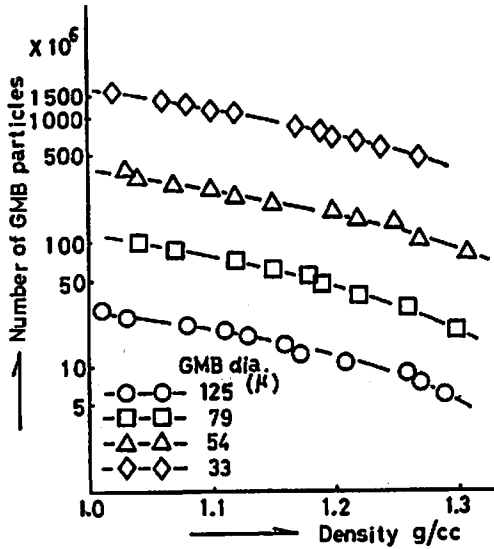


Fig. 9 Variation of number of GMB particles (/100g explosives) with density and GMB size

これによると、同一比重で比較した場合、GMB 粒径により個数は異なり、GMB 粒径が小さくなる程、その個数は急激に増加する。即ち、GMB 粒径が小さいもの程、同一比重で比較した場合、hot-spotの個数は多いということとなる。

又、非密閉系では、GMB 粒径が大きいもの程、最高爆速を与える比重が低比重側へずれるが、その理由は次のように考えられる。

比重が高くなるにつれ、hot-spotの個数が減少するため、反応帯の幅は厚くなる。そして、GMB 粒径の大きいもの程、その幅はより厚くなり、横からの膨張波の影響をより受けやすいものと考えられる。従って、

ある比重以上になると比重による爆速の増加よりも、膨張波の影響による減少の方が強くなり、粒径の大きいもの程、より低比重で爆速の低下をもたらすものと考えられる。

本研究は気泡径による爆速への影響を考察することを目的に便宜上、GMB を使用したため、考察においては GMB の殻の厚みを考慮しなかった。GMB の殻の厚みは、粒径により変り、本実験の粒径の範囲では、計算上、粒径の 0.5%~1.0% 程度であった。

5. 結論

非密閉系において、GMB 粒径を小さくするにつれ、爆速は高くなり、その極限においては、無限大粒径での爆速に相当する値にかなり近似することを示した。又、無限大粒径に相当する実験では、GMB 粒径により爆速が変わらないことから、粒径が小さくなるにつれ、爆速に影響する反応帯が薄くなることを推論した。

文 献

- 1) 日野熊雄, 火薬協会誌, 8, 63 (1948)
- 2) 日野熊雄, 工業火薬協会誌, 9, 9 (1948)
- 3) 日野熊雄, 工業火薬協会誌, 9, 47 (1948)
- 4) 山本祐徳, 火薬協会誌, 3, 285 (1942)
- 5) M. M. Chaudhri and J. E. Field, Proc. R. Soc. A 340, 113 (1974)
- 6) V. K. Mohan and J. E. Hay, 7th Symp. on Detonation, 190 (1981)
- 7) A. W. Campbell, W. C. Davis and J. R. Traois Phys. of Fluids, 4, 498 (1961)
- 8) H. J. Bruckman, Jr. and J. E. Guillet, Canadian J. of Chem., 46, 3221 (1968)
- 9) Morton H. Friedman, 9th Int. Symp. Comb. 294 (1962)

Size Effect of Glass Microballoon on Detonation Velocity of Emulsion Explosive

by Katsuhide HATTORI*, Yoshiaki FUKATSU*,
and Hiroshi SAKAI*

The size effect of glass microballoons (GMB) on detonation velocity were observed using an emulsion explosive containing GMB of different sizes (33 μ , 54 μ , 79 μ , 125 μ).

Under unconfined conditions, the detonation velocity showed a strong dependence on the size of GMB, whereas the detonation velocity in confined cases, corresponding to infinite explosive diameter, turned out to be independent of the size.

The dependence in the unconfined cases can be explained by considering that the effect of lateral rarefaction on the reaction zone is altered by the size variation of GMB, because the thickness of reaction zone strongly depends on the size.

(*Taketoyo plant, Nippon Oil & Fats Co. Ltd., 82 Nishimon,
Taketoyo-cho, Chita-gun, Aichi-ken, Japan)