

マイクロバルーン粒径によるエマルジョン爆薬の 限界薬径及び感度への影響

服部勝英*, 深津嘉章*, 石田俊男*
森 伸生*, 酒井 洋*

粒度の調整の容易なガラスマイクロバルーン及びシリカバルーンを使用して、マイクロバルーン粒径による限界薬径及び感度への影響について観察した。その結果、マイクロバルーン粒径が大になる程、限界薬径は大となるが、銃撃感度、カードギャップ感度等は、逆に鋭感になるということを見出した。

限界薬径については、爆速へのマイクロバルーンの影響と同様に、マイクロバルーンの粒径が大になる程反応帯が長くなるということを仮定して説明し、感度については、マイクロバルーンの保有する内部エネルギーと熱逸散速度との比を考慮して推察を行なった。

1. 緒言

高級爆薬、産業用爆薬を問わず、又理論、実験を問わず、気泡による爆轟特性への影響についての報告は多く見いだされる。

爆薬中での気泡の影響因子は大別して、気泡含有量、気泡ガスの性状、そして気泡径に分けられると思われる。過去、気泡含有量による爆速への影響¹⁾、気泡含有量による感度への影響²⁾、気泡ガスの性状による感度への影響等³⁾等について多くの報告が見られる。

又、気泡径については爆速への影響⁴⁾、着火遅れの観察及び理論計算⁵⁾等がある。

著者等は以前、気泡径による爆速への影響⁶⁾を観察し、一つの推察をこころみた。

今回は限界薬径と幾つかの感度試験により、気泡径による起爆感度への影響を観察した。

近年、含水爆薬の範ちゅうでスラリー爆薬とは異なったエマルジョン爆薬が製品として市場に供せられるようになってきた。

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、ワックス等で包み込んだ謂ゆる油中水型エマルジョンに微小中空球体が均一に混和された組成物である。

そこで、均一系組成物に近いと思われる油中水型エマルジョンに粒径の調整が容易な無機質中空球体を混和して、試料爆薬とし気泡径による限界薬径への影響

と起爆感度への影響を観察した。

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%

Table 1 に実験に供したエマルジョン組成物を示す。

2.2 マイクロバルーンの調整

マイクロバルーンのうち、粒度の小さいものは3M社製のガラスマイクロバルーンを使用し、粒度の大きなものについては劍路石炭乾溜機製のシリカバルーンを使用した。ガラスマイクロバルーンとしては、B 15/250を篩分し、2つの粒度に分け、水洗、乾燥した後、使用した。シリカバルーンとしてはSPW-3及びNLというグレードのものを若干のタンピングを加え、上部に浮いたシリカバルーンを使用した。それらの平均粒径及び標準偏差を Table 2 に示し、顕微鏡写真の一例を Fig. 1 及び Fig. 2 に示す。

Table 2 Particle size of Microballoons

Average diameter (μ)	Standard deviation (μ)
33	7
125	8
281	59
566	109

昭和59年1月12日受理

*日本油脂株式会社 武豊工場 化学研究所
〒470-23 愛知県知多郡武豊町西門 82
TEL 05697-2-1221

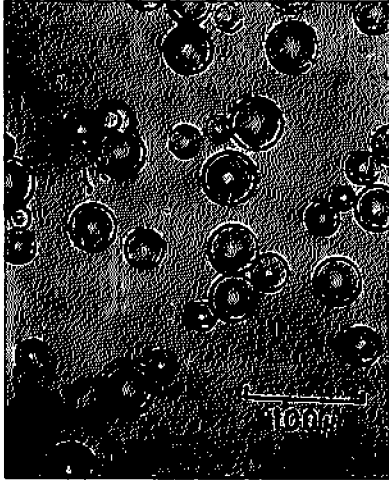


Fig. 1 Glass microballoons Average diameter 33 μ

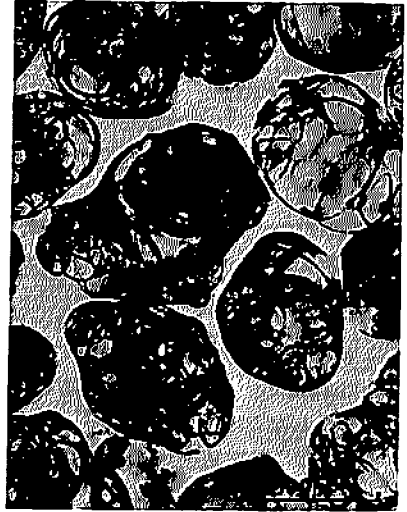


Fig. 2 Silica balloons Average diameter 566 μ

シリカバルーンにおいて、標準偏差が大きい理由は、Fig. 2より明らかな如くシリカバルーンが球形ではなく、いびつな形状をしており、そのため、縦と横で寸法が異なることによる。又成分的には、ガラスマイクロバルーンと比較し、シリカバルーンは、ケイ酸アルミニウムが多く、ホウ酸ナトリウムが少ないという特徴を有している。

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マイクロバルーンを必要量加え、乳鉢中で手で混和し、比重を調整してエマルション爆薬試料とした。

2.4 測定方法

2.4.1 限界薬径

プラスチックシートで、コーン形状を有する筒を作成しこれに試料爆薬を充填する。そして連続抵抗線プローブを爆薬中に挿入し、+20℃に調温後薬径大の側より6号電気雷管により起爆させ、爆轟中断位置を計測、限界薬径を求める (Fig. 3参照)。

2.4.2 殉爆感度

薬径 25mmφ、薬量 100gの試料爆薬を +5℃に調温した後、各々、励爆薬、受爆薬とし、砂上に置き、6号電気雷管により励爆薬を起爆させ、受爆薬が試験回数 2回の中、2回共爆発する最長距離及び2回共不爆となる最短距離を、薬径の倍数で求める (Fig. 4参照)。

2.4.3 弱雷管感度

内径 31mmφ、長さ 100mm lの塩ビパイプに試料爆薬を充填し、+20℃に調温後、各種弱雷管⁷⁾により起爆させ、試験回数 3回の中、3回共爆発する最小弱雷

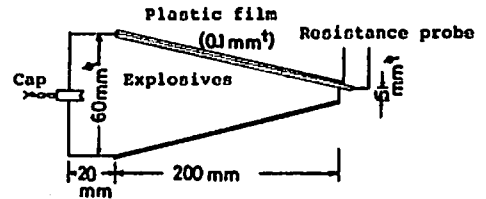
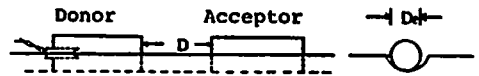


Fig. 3 Cone size in the critical diameter test



$$\text{Gap Sensitivity} = D / D_e$$

Fig. 4 Air gap test

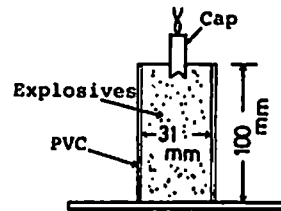


Fig. 5 Initiation test with caps

管号数を求める (Fig. 5参照)。

2.4.4 カードギャップ感度

径 30mmφ、長さ 30mm lのベントライト (中国化学薬機製) を励爆薬、PMMA板 (商品名スミベックス)

を緩衝材、内径31mmφ、長さ50mmの塩ビパイプに試料爆薬を充填して受爆薬とする。受爆薬を+20℃に調温後、PMMA板の厚さを変え、試験し、試験回数3回の中、3回共爆発するPMMA板の最大厚み及び3回共不爆となるPMMA板の最小厚みを求める (Fig. 6 参照)。

2. 4. 5 銃撃感度

内径40mmφ、長さ50mmの塩ビパイプに試料爆薬を充填し、+20℃に調温後、径15mmφ、長さ15mmの軟鋼製の平頭弾を弾速を変え、試料爆薬に衝突させ、爆発する最低弾速、不爆となる最高弾速を求める (Fig. 7 参照)。

3. 結果及び考察

3. 1 限界薬径

各種粒径のマイクロバルーンにより比重が1.10~1.13及び1.18~1.21に調製された爆薬試料をプラスチックシートで、作成されたコーン状筒に充填し、限界薬径を求めた。その結果を Fig. 8 に示す。比較的低比重の試料に関する試験結果ではマイクロバルーン粒径による限界薬径への影響は小さいが、比較的高比重の試料に関する試験結果ではマイクロバルーン粒径が大になるにつれ、限界薬径は大きく増大した。この試験結果は、以前報告したマイクロバルーン粒径による爆速への影響の試験結果⁹⁾及び次の如き追加の確認試験により、以下の(1)及び(2)の如く推論することが出来る。即ち、以前報告した試験結果では、非密閉下における試験では33μから125μ迄、直線的に爆速が低下していたが、今回使用したシリカバルーンの281μそして566μを含有させると直線的ではないが爆速が更に低下するという結果を得た (Fig. 9 参照)。又密閉系においては、前回54μから125μ迄で爆速が殆んど変わらないという結果を得たが、更に大きな粒径であるシリカバルーン (281μ) を含有させると鉄管内径42mm (管厚3.5mm) でも低い爆速が得られた (Fig. 10 参照)。即ち、これは、気泡粒径が大になるにつれ、反応帯が長くなり、たとえ、42mmの鉄管で密閉していても膨張波の影響を大きく受けていることを示しており、気泡粒径により反応帯の長さを変えることを示しているものと考えられる。

従って、限界薬径に関する本試験結果は次の如く考察することが出来る。

(1) マイクロバルーンの粒径が大になるにつれ、反応帯が長くなり、膨張波の影響をより大きく受けるようになる。従って薬径が大きくなり爆轟伝播しにくい。即ち、限界薬径が大となる。

(2) 高比重の試料では、爆轟温度が低くなり、反応帯が長くなるものと考えられる。加えて、マイクロバ

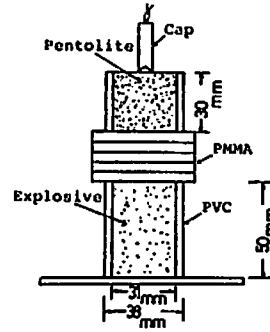


Fig. 6 Card gap test

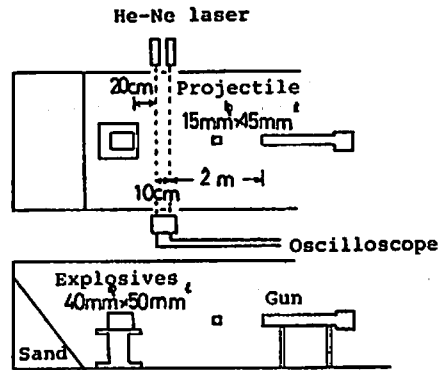


Fig. 7 Arrangements of test instruments in the projectile impact test

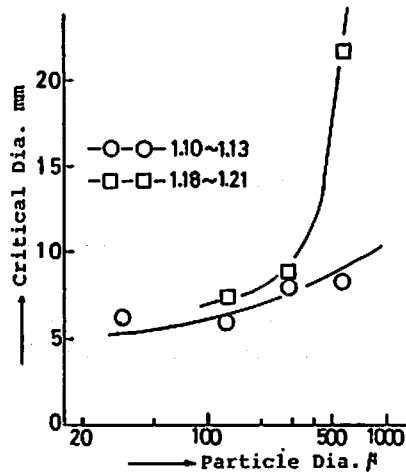


Fig. 8 Variation of critical diameter with particle diameter of microballoons

ルーンの粒径が大きくなると、更に反応帯が長くなるものと思われ、高比重の試料ほど膨張波の影響をより受け、従って薬径が大きくなければ爆轟伝播しにくくなるものと考えられる。即ち、限界薬径は大

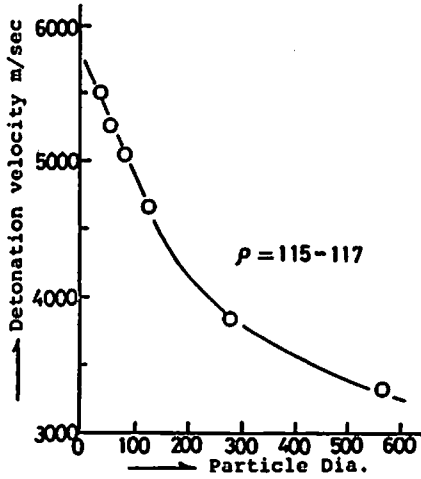


Fig. 9 Variation of detonation velocity with particle diameter of microballoons

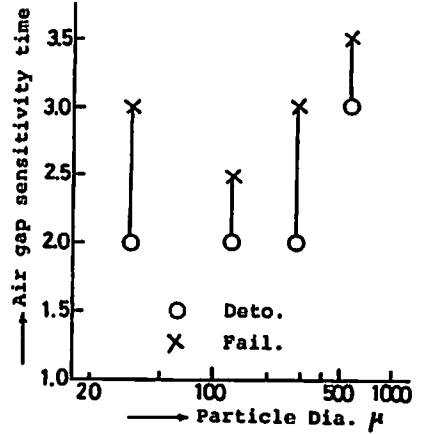


Fig. 11 Variation of air gap sensitivity with particle diameter of microballoons

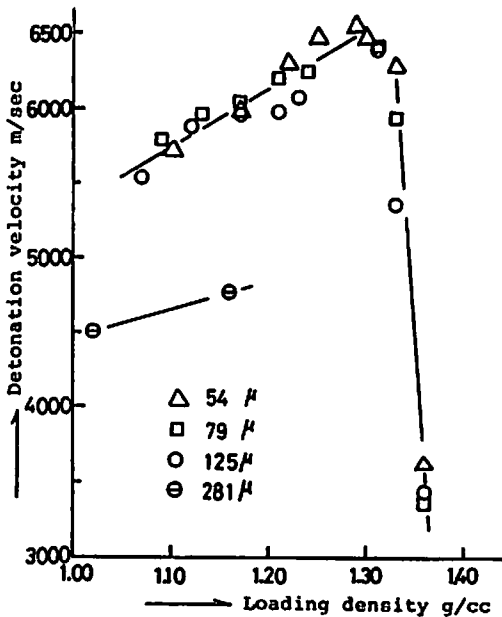


Fig. 10 Variation of detonation velocity with loading density in the confined state (42mm ID, 3.5mm Iron tube)

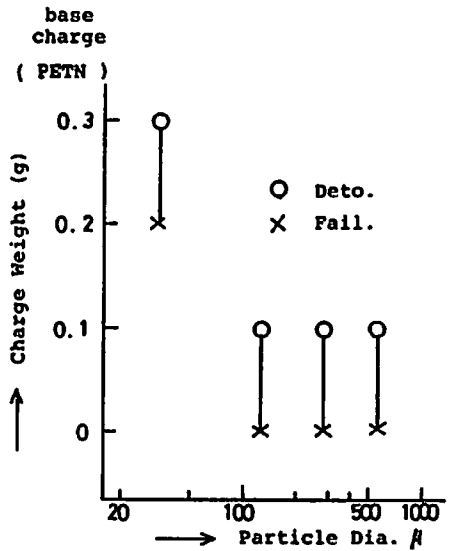


Fig. 12 Variation of cap sensitivity with particle diameter of microballoons

となる。

3. 2 起爆感度

試料爆薬は各種粒径のマイクロバルーンにより、比重を略ぼ 1.10 に調整した。

3. 2. 1 殉爆感度

砂上殉爆感度試験法により、殉爆感度を求めた。その結果を Fig. 11 に示す。

粒径が 281 μ 迄は殉爆における倍数に変化はないが、

566 μ と更に大きくなると、3 倍に迄上昇して、傾向としてはマイクロバルーン粒径が大になるほど殉爆感度は上昇するようである。

3. 2. 2 弱雷管感度

弱雷管感度試験法により弱雷管感度を求めた。その結果を Fig. 12 に示す。

粒径が 33 μ のものでは 3 号で爆であるのに対し、125 μ 以上では差は見られないが、1 号で爆となり、傾向として、やはり、粒径が大きくなるほど感度が上昇しているようである。

3. 2. 3 カードギャップ感度

カードギャップ感度試験法によりカードギャップ感

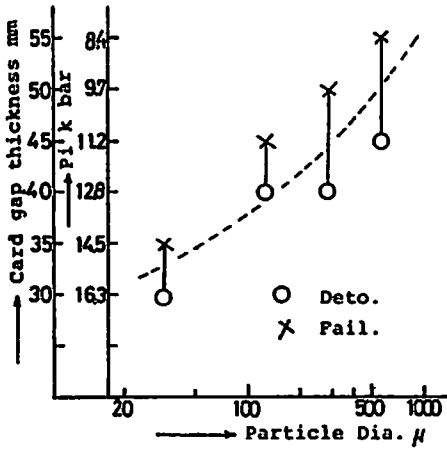


Fig. 13 Variation of card gap sensitivity with particle diameter of microballoons

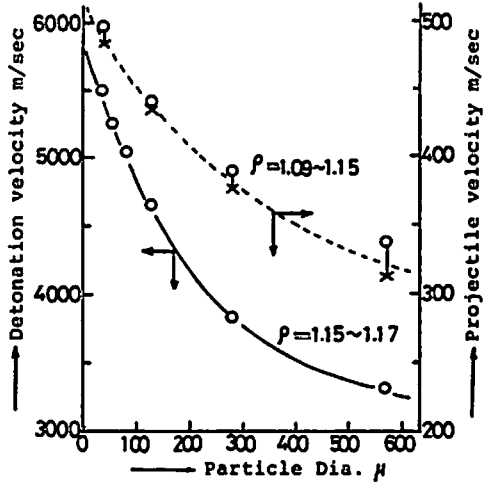


Fig. 15 Variation of detonation velocity and projectile impact sensitivity with particle diameter of microballoons

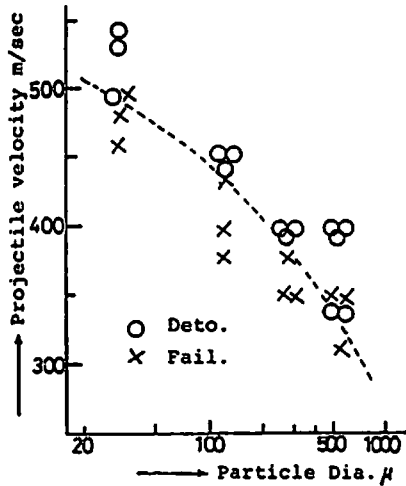


Fig. 14 Variation of projectile sensitivity with particle diameter of microballoons

度を求めた。その結果を Fig. 13 に示す。前述 2 つの試験結果に比べ更に明瞭に、マイクロバルーン粒径による感度への影響が示されている。即ち粒径が大になるにつれて、カードギャップ感度は上昇している。

3. 2. 4 銃撃感度

銃撃感度試験法により、銃撃感度を求めた。その結果を Fig. 14 に示す。

本結果もカードギャップ感度と同様に、明瞭に粒径により銃撃感度が上昇することを示している。

3. 2. 5 考察

マイクロバルーン粒径が大になるにつれ、起爆感度が高くなる理由として以下の如く推論し得る。

起爆点として 1 ケの気泡に着目すると、外部からのエネルギーにより、気泡が圧縮された際、圧縮により気泡の保持する内部エネルギー (Q : cal) は、

$$Q \propto D^3$$

ここで、 D は気泡径である。一方、気泡から気泡—爆薬界面を通して爆薬中への熱の逸散速度 (q : cal/sec) は

$$q \propto D^2$$

従って

$$Q/q \propto D \quad (Q/q: \text{sec})$$

即ち、気泡径が大になる程、反応爆薬層は長い時間、高温にさらされ、その結果、発火、爆発に至るものと考えられる。

又、一方、本感度試験は、同一比重で試験を行なっていることから、マイクロバルーンの粒径が大になる程、爆薬中の単位体積あたりの個数が少くなる。マイクロバルーンの粒径が大きいものは一定の Shock wave が爆薬中へ入射した時、マイクロバルーンの粒径が小さいものに比べ、爆薬中の単位体積あたりの不均一点の数が少くなり、hot spot へ与えられるエネルギー量 (Q) は多く、高温となり、起爆しやすくなることも考えられる。以上の起爆メカニズムについては更に研究し、検討する必要がある。

本研究で使用したマイクロバルーンは、各々嵩比重が異なるため、試料爆薬中のその含有率は、試料爆薬の比重を 1.10 程度に調整したことにより、各々異なっている。即ち、 33μ 、 125μ 、 281μ 、 566μ における含有率は重量%で、各々 3%、2%、6%、5% となった。従って、爆発熱量的には、 125μ のマイクロバル

ーンを含有した試料爆薬が最も高く、281 μ を含有したものが最も低くなっている。然し乍ら感度はこれには依存しておらず、粒径に依存していることから、この程度のマイクロバルーンの含有率の差（爆発熱量の差）は無視出来るものと考えられる。

マイクロバルーンの殻の厚みによる感度への影響については、現在、検討中で機会を得て発表する積りである。

本研究の結果として、気泡粒径が大になる程、感度が高くなるという結果が得られたが、勿論、感度が最も高くなる気泡粒径が存在すると思われる。それは、ドナー、弾丸径、試料爆薬の大きさ等の試験方法により変るものと考えられる。

4. 結 論

マイクロバルーン粒径による爆速、限界粒径、及び起爆感度への影響について観察した。その結果、マイクロバルーン粒径が大になる程、限界粒径は大となり、そして起爆感度は高くなるということを見出した。限界粒径については、マイクロバルーン粒径による爆速への影響と同様にマイクロバルーン粒径が大になる程、反応帯が長くなるということを仮定して説明した。ここでマイクロバルーン粒径による反応帯長さの測定は、今後の課題となる。

起爆感度については、内部エネルギー/熱逸散速度

α 気泡径ということにより説明したが、一方、気泡径が大になることにより、不均一点が少くなり、hot spotに与えられるエネルギー量が大きくなるという見方も示した。参考のため、Fig. 15 に非密閉下での爆速と気泡粒径及び弾速と気泡粒径との関係を併せて示しておく。

マイクロバルーン粒径による爆轟特性への一連の研究の成果として、その粒径のコントロールにより、使用用途に応じて、適切な爆速、感度等を有した爆薬の開発が可能になるものと考えられる。

文 献

- 1) 山本祐徳, 火薬協会誌, 3, 285 (1942)
- 2) 広崎峻一, 石田俊男, 服部勝英, 酒井洋, 工業火薬, 43, 323 (1982)
- 3) V. K. Mohan, J. E. Hay, 7th Symp. on Detonation, 190 (1981)
- 4) 服部勝英, 深津嘉章, 酒井洋, 工業火薬, 43, 295 (1982)
- 5) A. W. Compbell, W. C. Daois, J. R. Traois, The Physics of Fluids, 4, 498 (1961)
- 6) H. J. Bruckman, Jr, J. E. Guillet, Canadian Journal of Chemistry, 46, 3221 (1968)
- 7) 工業火薬協会規格, 29 (1982)

Effect of Particle Size of Microballoons on Critical Diameter and Sensitivity of Emulsion Explosives

by Katsuhide HATTORI*, Yoshiaki FUKATSU*,
Toshio ISHIDA*, Nobuo MORI*,
and Hiroshi SAKAI*

Effect of the microballoon particle size on critical diameter and sensitivity characteristics of emulsion explosives were investigated.

Increase of the microballoon particle size resulted in increase of critical diameter and increase of sensitivity.

Effects on critical diameter can be explained by the assumption that the reaction zone length increases with the greater microballoon diameter, while the increase of sensitivity with the increase of microballoon particle size can be explained by the assumption that the ratio of internal energy gain to heat loss is proportional to the diameter.

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