

エマルジョン爆薬の爆轟特性(第1報)

—比較的大きな気泡を含有する爆薬の爆轟速度と反応性—

廣崎義一*, 高橋康博*, 加藤幸夫*,
濱嶋英樹**, 伊東 繁**

硝酸アンモニウムを主成分とするエマルジョン爆薬に含有される気泡体の大きさおよび量が爆轟速度に及ぼす影響を検討した。平均粒子径が0.05mmから2.42mmの樹脂パールンが気泡体として用いられ、爆轟速度と薬径との関係から無限大薬径における爆轟速度が推定され、特徴数計算から得られた理論爆轟速度と比較された。爆薬の空隙率がおよそ0.2以上で、気泡直径が0.5mm以下においては薬径・爆轟速度の関係から外挿によって得られた無限大薬径における爆轟速度は理論爆轟速度とよく一致したが、気泡径が大きくなるにしたがって両者の乖離は大きくなった。気泡径が大きくなるにつれて、気泡からの爆薬への希薄波の影響が大きくなり、そのために反応領域内の硝酸アンモニウムの反応率が低下して爆薬の反応性低下がもたらされたものと推測された。反応領域の長さには気泡体の大きさや量が大きく影響することが示された。気泡体の材質が爆轟速度に及ぼす影響は無視できることも示された。

1. はじめに

産業爆薬は安価でかつ安全性に優れ、破壊効果においても大きなエネルギーを有することが要求される。したがって膠質ダイナマイトやカーリット爆薬などに続いて過去に開発されてきた爆薬は、硝安油剤爆薬、スラリー爆薬、エマルジョン爆薬等、いずれも硝酸アンモニウムを主体にしたものである。硝酸アンモニウムをベースとする爆薬は、その反応速度がいわゆる高級爆薬とは異なって遅いことから、非理想爆轟を呈する爆薬として知られている。非理想爆轟とは、定常的に伝播する爆轟波であるが、その特性値が爆薬の薬径、密閉強度等の条件に依存し、無限大薬径を想定した場合よりも低い圧力、低い速度で進行する爆轟状態である。これは爆薬自身の反応速度の遅さに基づいて爆薬の反応領域が長くなっていること、とくに側方か

らの膨張波の影響によって反応領域の圧力・温度が低下し、反応速度が低下することなどが影響しているものと考えられる。

エマルジョン爆薬に限らずスラリー爆薬、硝安油剤爆薬にも必ず気泡が含まれている。産業爆薬にとって気泡は爆薬としての機能を発揮するのに必須であり、爆薬の感度や性能に及ぼす影響は大きい。エマルジョン爆薬は含有される気泡体の種類や量を選択することによって、その爆薬としての性能を容易に調整することができる大きな特長である。

岩盤に伝わる衝撃圧は爆薬の爆轟圧力に関係するが、エマルジョン爆薬は理想爆轟を呈さないため爆薬の密度や爆轟速度から単純には推定できない。すなわち、定常爆轟においても爆轟速度や爆轟圧力は薬径やコンファインメント等の条件に依存し、無限大薬径を想定した理論値よりも低い値を示すのが通常である。このようにエマルジョン爆薬は非理想爆轟を示すが、その性状が明らかになっているわけではない。硝酸アンモニウムをベースとする産業爆薬の非理想爆轟の性状を理解することは爆薬の特性と発破効果との関係を考察し、発破設計技術に反映させるためにも重要である。とくに気泡の大きさを調整することによって爆轟特性をコントロールするためには、気泡の大きさが爆轟特性に及ぼす影響を把握しておく必要がある。しか

2000年4月21日受理

*日本油脂(株)愛知事業所武豊工場研究開発部
〒470-2398 愛知県知多郡武豊町北小松谷61-1
TEL 0569-72-0921
FAX 0569-73-7376
E-mail nofrd@glg.mmtr.or.jp

**熊本大学衝撃・極限環境研究センター
〒860-8555 熊本市黒髪町2丁目39番1号
TEL 096-342-3299
FAX 096-342-3299
E-mail itoh@mech.kumamoto-u.ac.jp

Table 1 Characteristics of resin balloons used in this study

Name	Average diameter (mm)	Standard Deviation (mm)	Particle density (g/cm ³)	Structure	Material	Note
RB-1	0.053	0.023	0.027	Mono-cell	Acrylonitrile / vinylidene chloride	Expancel 91DE
RB-2	0.472	0.062	0.051	Multi-cell	Polystyrene	Expanded polystyrene
RB-3	0.795	0.129	0.077	Multi-cell	Polystyrene	Expanded polystyrene
RB-4	1.728	0.273	0.032	Multi-cell	Polystyrene	Expanded polystyrene
RB-5	2.420	0.403	0.064	Multi-cell	Polystyrene	Expanded polystyrene
GMB	0.047	0.019	0.212	Mono-cell	Glass	"K-25" made by 3M
SMB	0.496	0.093	0.230	Multi-cell	Silica	Silica balloon "NW"

しながらこれまで行われてきたエマルジョン爆薬の研究においては、気泡体の大きさがおよそ0.1mm以下の比較的小さなガラスマイクロバルーンが含有された組成物が対象とされ、大きな気泡を含有するエマルジョン爆薬の爆轟特性に関してはあまり研究されていない¹⁾。気泡の大きさや量が爆薬の爆轟速度に及ぼす影響に関してはすでにいくつかの報告がなされており^{2)~5)}、気泡が大きくなるにつれて感度が増大し、非密閉系での爆轟速度は小さくなる傾向にあることが示されている。また、気泡体の量が多くなるにつれて、すなわち爆薬の密度が小さくなるにつれて爆轟速度は小さくなる傾向にあることが知られている。このように気泡体の大きさ、あるいは量の違いが爆轟速度に大きく影響するのは、反応領域内での反応性にそれらが影響しているからに他ならないが、その影響度合いが産業爆薬において検討された事例は少ない。本研究においては主として粒子密度の小さな有機質の気泡体を用い、気泡体の大きさや量が爆轟速度に及ぼす影響を検討した。また、気泡体の材質の違いによる爆轟速度への影響についても検討した。

2. 実験

2.1 試料

実験に用いたエマルジョンマトリックスの組成は、硝酸アンモニウム/硝酸ナトリウム/水/油分=77.66/4.68/11.22/5.40(wt.%)であり、酸素バランス0.4g/100g、密度は1.39g/cm³である。このエマルジョンマトリックスに、気泡体としてTable 1に示すような

単一殻構造または複合殻構造の樹脂バルーンを種々の割合で添加し、均一に分散するようによく混和してエマルジョン爆薬を得た。使用した気泡体のうち、RB-1からRB-5までの5種は有機材質からなる樹脂発泡体であり、ガラスマイクロバルーン(GMB)およびシリカマイクロバルーン(SMB)は無機材質からなる発泡体である。樹脂バルーンのうち、RB-1はアクリロニトリル/塩化ビニリデン共重合樹脂からなる単一殻構造であり、平均粒子直径は53 μ mである。他の4種はいずれも発泡ポリスチレン樹脂で、平均粒子直径が0.47mmから2.42mmの複合殻構造である。GMBは平均粒子径が47 μ mの単一殻構造のガラス中空球体であり、SMBは平均粒子径が496 μ mの複合殻構造である、シリカを主成分とする中空球体である。Fig. 1に単一殻構造を有するGMBとRB-1、複合殻構造を有する気泡体の代表としてSMBとRB-2のそれぞれの写真を示す。

気泡体の粒子径は顕微鏡写真あるいは拡大写真から求めた。Table 1にその平均値と標準偏差値を示す。SMBはFig. 1の写真からもわかるように楕円球状をしていることから、同一粒子に対して長方向と短方向の2方向で測定した。平均値に対する標準偏差の割合を粒子径のばらつきとみた場合、樹脂バルーンではRB-1がもっとも大きくその比率が0.43であり、RB-2ないしRB-5は0.13~0.17の範囲でほぼ同じである。GMBのそれは0.40であり、RB-1に近い。SMBのばらつきは0.19であり、RB-2ないしRB-5のそれに近い。

以後の図表においてはわかりやすくするために、気

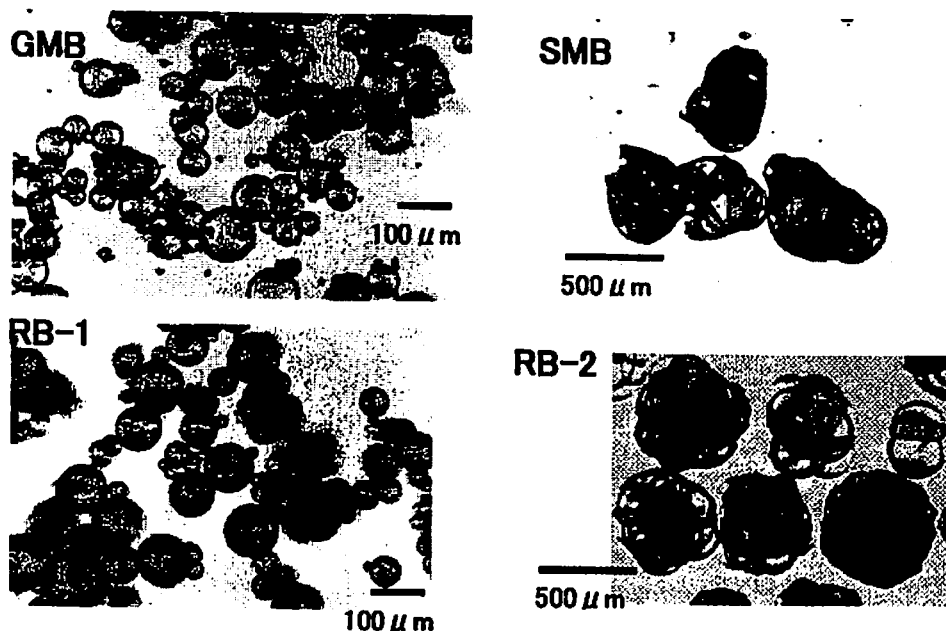


Fig. 1 Microscopic photographs of microballoons; “GMB” and “RB-1” of mono-cell structure (left) and “SMB” and “RB-2” of multi-cell structure (right)

泡体の種類を平均粒子径で表す場合もある。

各気泡体の粒子密度は、エマルジョンマトリックスへの添加割合と混和後の爆薬の密度から求めた。単一般のRB-1は 0.027g/cm^3 、複合殻のRB-2ないしRB-5は $0.032\sim 0.071\text{g/cm}^3$ であった。この粒子密度の違いはスチロール樹脂の発泡倍率が異なることに起因するものである。なお、RB-1の膜厚は約 $0.2\mu\text{m}$ と計算され、RB-2からRB-5も同じ程度と推測される。これら樹脂パールはその発泡時には溶剤が使用されるが、時間の経過とともに内部の溶剤は空気と置換されるので、樹脂パール内部は空気とみなして差し支えないと考えられる。GMBおよびSMBの粒子密度はそれぞれ 0.212 および 0.230g/cm^3 であった。GMBの膜厚は約 $1\mu\text{m}$ と計算され、SMBも同程度と推測される。以後、これらパールを気泡体と称することとする。

2. 2 実験方法

2. 2. 1 爆轟速度の測定

エマルジョン爆薬を、円筒の内径が20, 30, 40, 50mm, 長さが300mm以上の樹脂フィルム(ポリエチレン/ナイロン/ポリエチレン, 厚さ $100\mu\text{m}$)に充填して試料とした。爆轟速度はイオンギャップ法により測定した。予備実験の結果から、イオンギャップの位置として起爆用の6号電気雷管から200mm以上とれば定常とみなせることがわかったので、200mmと300mmの区間平均爆轟速度を測定した。薬温は 20°C とした。

3. 結果および考察

3. 1 爆轟速度

種々の大きさならびに量の気泡体RB-1ないしRB-5を含有する爆薬の爆轟速度を測定した結果をFig. 2に示す。図中において d_B は気泡体の粒子直径を表す。横軸は爆薬の空隙率 ϕ を1から差し引いた値であり、次式で計算される。

$$1 - \phi = (\rho - \rho_B) / (\rho_E - \rho_B) \quad (1)$$

ここで、 ρ , ρ_B , ρ_E はそれぞれ爆薬, 気泡体, エマルジョンマトリックスの密度をあらわす。Fig. 2には比較としてKHT爆轟特徴数計算コードによって計算された理論爆轟速度 D_{cj} を図中に記した。計算にあたっては気泡体は反応に寄与するものとした。同じ空隙率で比較すると、気泡体の大きさが大きくなるにしたがって爆轟速度は小さくなり、計算値からの乖離が大きくなる。気泡体の大きさが約2mmの場合には、爆薬径20mmでは定常爆轟せず、限界薬径は20mm以上であることがわかる。試験を行った30mm以上の薬径では、空隙率約0.3以上において 3000m/s 以下の安定した爆轟速度が得られた。また、不爆となる空隙率は気泡体の大きさが大きいほど小さい。

薬径の逆数に対して爆轟速度をプロットすると、Fig. 3に示されるように両者に良好な直線関係が認められる。ここでは平均粒子径 0.05mm および 1.73mm の気泡体についてのみ例示したが、他の気泡体についても同様な関係が得られた。Fig. 3に示された直線関

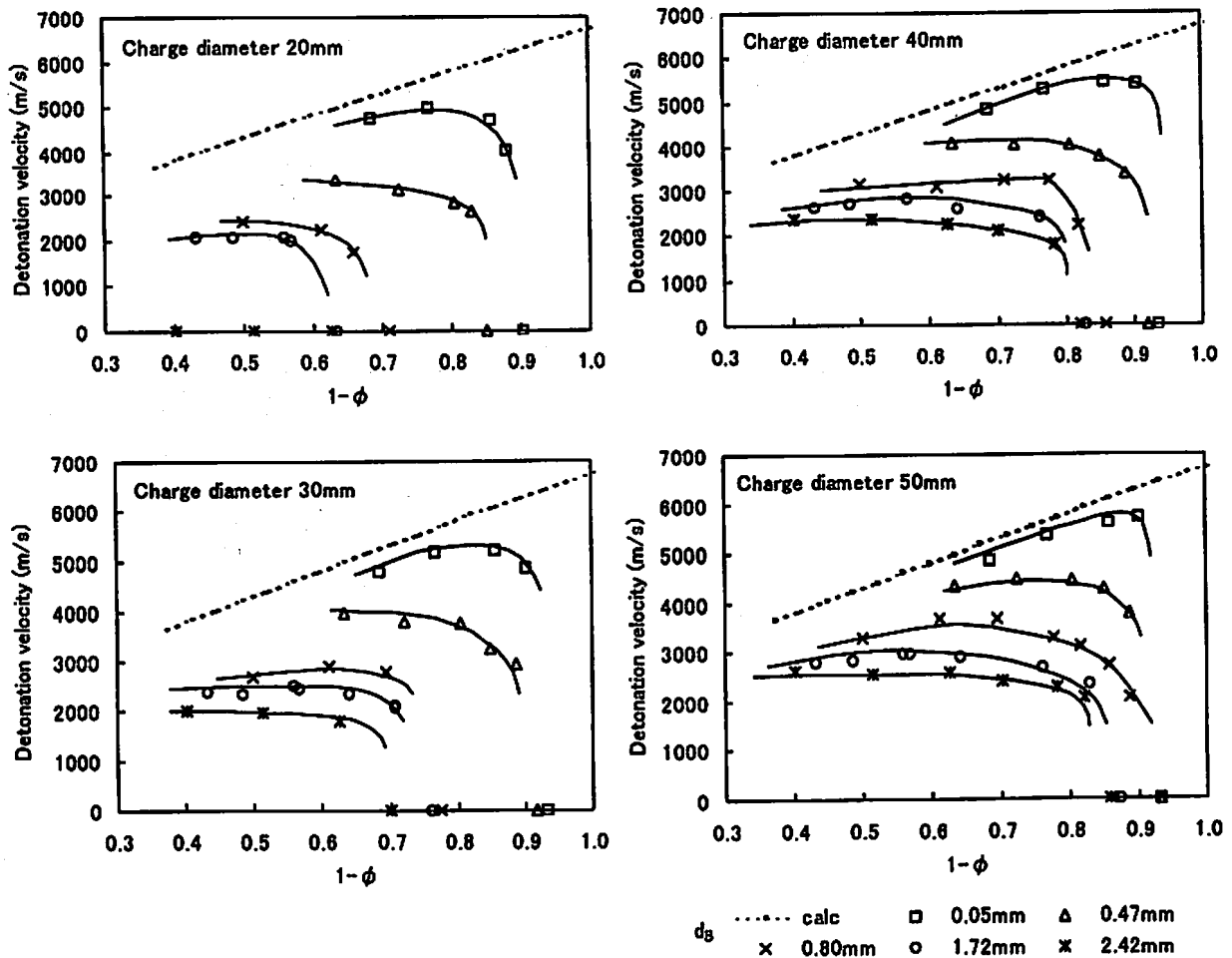


Fig. 2 Detonation velocity of emulsion explosives with charge diameters 20-50mm and sensitized by different size and amount of resin balloons

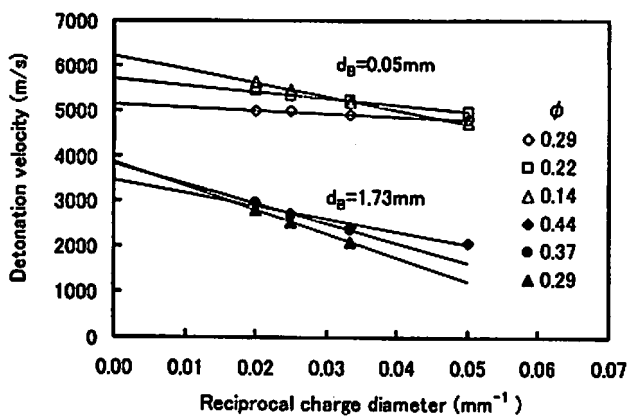


Fig. 3 Relation between detonation velocity and reciprocal charge diameter as example for the emulsion explosives sensitized with resin balloons of diameters 0.05mm and 1.73mm

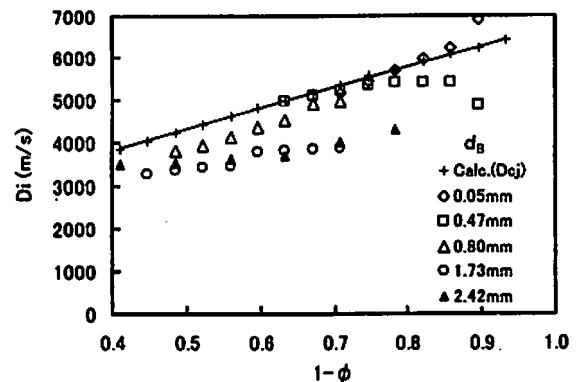


Fig. 4 Detonation velocity of emulsion explosives containing various sizes and volume of resin balloons at infinite charge diameter compared with calculated D_{cj}

係から無限大薬径における爆轟速度 D_i が得られるが、この D_i を空隙率 ϕ に対してプロットして Fig. 4 を得る。比較として理論爆轟速度 D_{cj} を図中に記した。空隙率約 0.2 以上においては、粒子径が小さな 0.05mm

や 0.47mm の気泡体を含む爆薬の D_i は D_{cj} と合致するのに対して、それよりも大きな径の気泡体を用いた爆薬の D_i は D_{cj} よりも小さな値を与える。Yoshida ら⁶⁾ は気泡体の大きさが数十 μm の GMB を用いたエマ

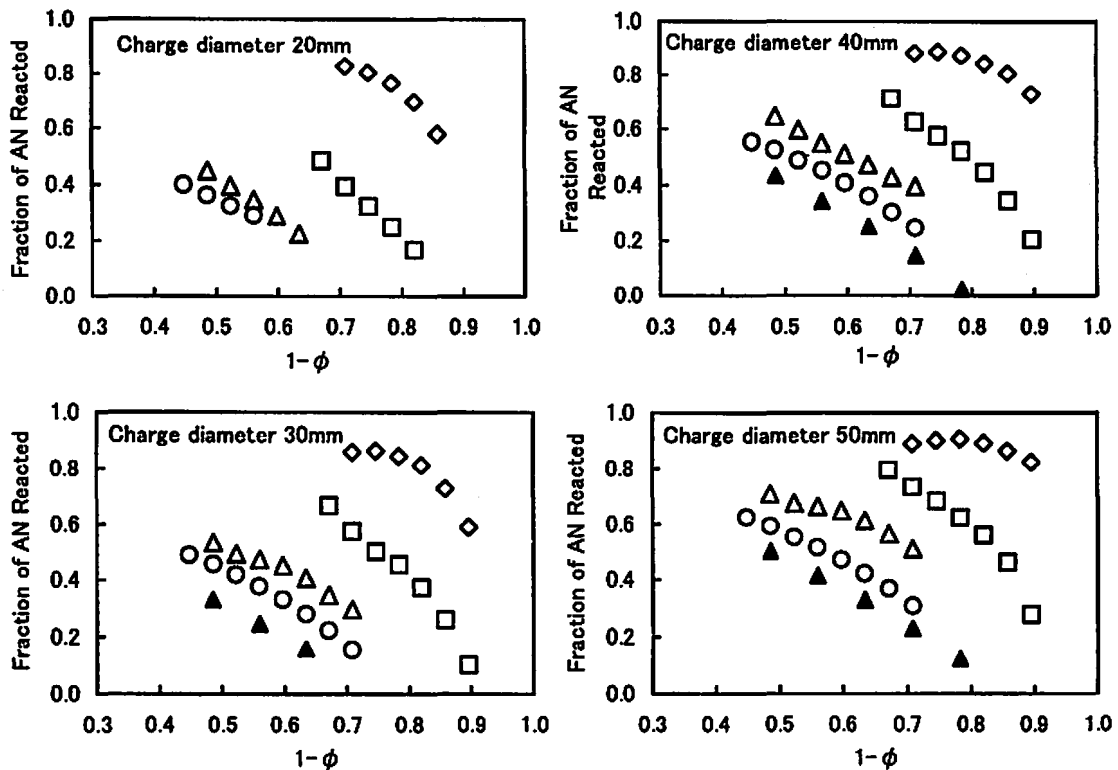


Fig. 5 Fraction of ammonium nitrate reacted in the reaction zone of emulsion explosives charges sensitized with resin balloons of diameters 0.05mm (◇), 0.47mm (□), 0.80mm (△), 1.73mm (○) and 2.42mm (▲)

ルシオン爆薬の無限大薬径に外挿して得られた爆轟速度 D_i はKHT爆轟特徴数計算コードによって計算された理論計算値 D_{cj} に合致することを示し、服部ら²⁾は同じく気泡体直径が $120\mu\text{m}$ 以下の場合には D_i が D_{cj} とほぼ合致することを示した。本研究の結果から、気泡体の大きさが約 0.5mm 以下の場合には空隙率の大きな領域(約 0.3 以上)においては D_i と D_{cj} とがほぼ一致することが示された。気泡体の直径が約 0.5mm を超える場合に D_i と D_{cj} とが一致せず、気泡体が大きくなるにつれてその乖離が大きくなるのは、反応領域にある気泡体自体からの希薄波によって爆薬の温度が低下することや、ホットスポットとして作用する気泡数の減少によって爆薬の反応性低下がもたらされるものと推測される。

3. 2 硝酸アンモニウムの反応性

Fig. 2に示された各爆薬径および気泡体の大きさおよび量における爆薬の反応領域中における硝酸アンモニウムの反応率を計算した。KHT爆轟特徴数計算コードにおいて、硝酸アンモニウム以外の成分の反応率を 100% と仮定した上で、実験から推定された D_i を与える硝酸アンモニウムの反応率を求めた。結果をFig. 5に示す。気泡体の大きさや量などの条件と爆轟

速度との関係(Fig. 2)に対応して、気泡体の大きさが大きくなるにしたがって、また、空隙率 ϕ が小さくなるにしたがって反応領域中での爆薬の反応率が大きく低下することがわかる。理想爆薬であるコンポジション-Bは、CJ点での反応率が 96% を下回ると不爆になるが、非理想爆薬であるヘビーアンホはCJ点での反応率が 15% 程度でも爆轟伝播するとされている⁷⁾。エマルション爆薬はヘビーアンホと同様に、CJ点での反応率が 10% 程度の低さでも爆轟伝播することに特徴がある。

次にFig. 3に示された無限大薬径における爆轟速度 D_i と D_{cj} との比較から、無限大薬径における硝酸アンモニウムの反応率を計算した。先と同様に、硝酸アンモニウム以外の成分の反応率を 100% と仮定した上で D_i を与える硝酸アンモニウムの反応率を求めた。結果をFig. 6に示す。無限大薬径においても、粒子径が約 0.8mm の気泡体を含む爆薬の反応領域中での反応率は空隙率 0.3 ないし 0.5 において 85% から 90% であり、気泡体直径が約 1.7mm および 2.4mm の場合には同様に 60% から 75% 程度である。このような反応率の低下によって反応領域における温度が低くなり、反応領域長の増大がもたらされたものと考えられる。気泡体直径が約 0.5mm の場合でも、空隙率が小さな領域で

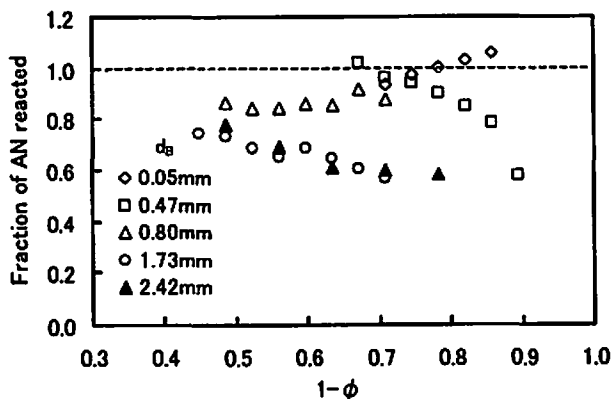


Fig. 6 Fraction of ammonium nitrate reacted in the reaction zone estimated for an infinite charge diameter containing different size and volume of resin balloons

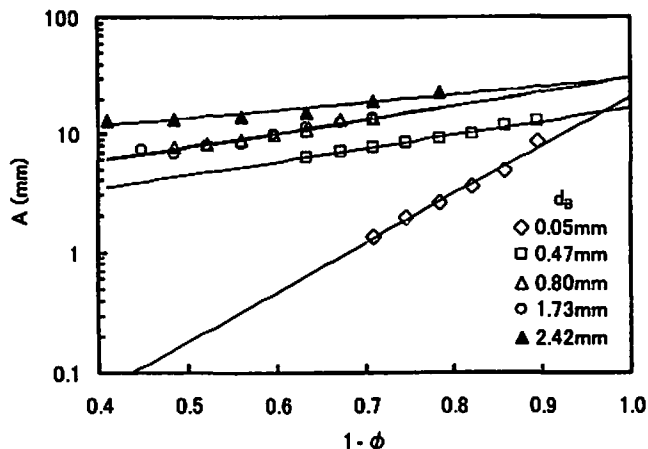


Fig. 8 Relation between reaction zone length A and void fractions in emulsion explosives sensitized with resin balloons of diameters 0.05, 0.47, 0.80, 1.73 and 2.42mm

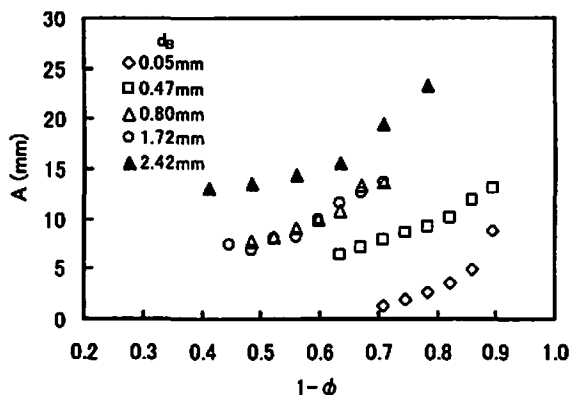


Fig. 7 Reaction zone length A in the emulsion explosives sensitized with different size and volume of resin balloons

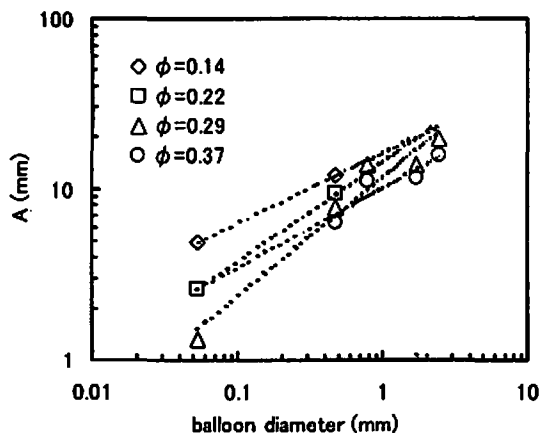


Fig. 9 Relation between reaction zone length A and the size of balloon involved in emulsion explosives with void fractions ϕ of 0.14, 0.22, 0.29 and 0.37

はホットスポットとして作用する気泡の数が少なくなり、結果として反応領域の長さが大きくなり、薬包外周からの希薄波の影響を受けて反応領域での温度が下がり、硝酸アンモニウムの反応率がさらに低下するものと考えられる。

3. 3 反応領域の長さ

Fig. 3で示されるように、薬径の逆数と爆轟速度との関係は次式で示される。

$$D(R) = D(\infty) (1 - A/2R) \quad (2)$$

ここで R は爆薬半径、 $D(R)$ および $D(\infty)$ はそれぞれ爆薬半径 R および無限大薬径における爆轟速度、 A は定数であり、Eyringら⁸⁾によれば反応領域の長さに対応する値である。不均一系爆薬に対しては、Eyringの式が適用されないとされるが、われわれのデータは(2)式で整理された。

大きさの異なる気泡体を含有する爆薬について求められた A を、空隙率 ϕ に対してプロットした結果をFig. 7に示す。同じ空隙率で比較した場合、気泡体の大きさが小さなものほど A は小さく、また空隙率の減少とともに A は急激に大きくなる傾向がみられる。Fig. 7の縦軸を対数表示にしたFig. 8では、 A と $(1-\phi)$ との間に良好な直線性が認められ、それぞれの直線が空隙率0の点に収斂する傾向が見られる。

空隙率 ϕ が0.14, 0.22, 0.29および0.37(爆薬密度はそれぞれ1.2, 1.1, 1.0および0.9g/cm³に相当する)の爆薬について、係数 A の常用対数を気泡体直径の常用対数に対してプロットしたものをFig. 9に示す。 A は気泡の大きさに対してその平方根にほぼ比例して増大するが、空隙率の大きい方が傾きが大きい傾向に

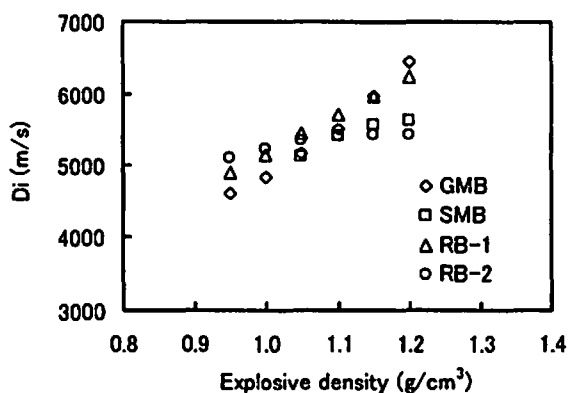


Fig. 10 Detonation velocities at infinite charge diameter of emulsion explosives having various densities controlled with different void materials
The sizes of balloons GMB, SMB, RB-1 and RB-2 are 0.05mm, 0.50mm, 0.05mm and 0.47mm, respectively.

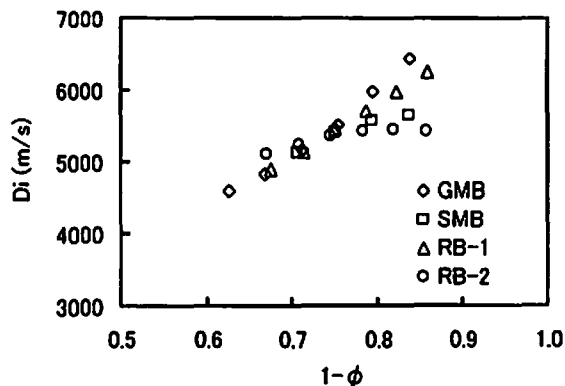


Fig. 11 Detonation velocities at infinite charge diameter of emulsion explosives with various void fraction (re-plotted from figure 10)

ある。また、気泡径が大きくなるにつれて反応領域長さは大きくなることが明瞭である。

3. 4 爆轟速度に及ぼす気泡体の材質の影響

これまでの実験に用いられた気泡体の材質は有機質であった。市販のエマルジョン爆薬には通常GMBなどの無機質の気泡体が多く使用されることが多く、エマルジョン爆薬の研究対象としてGMBが多く用いられてきた。気泡体の材質が爆薬の爆轟速度に及ぼす影響を観察するために、気泡体としてGMBまたはSMBを用いた場合の爆轟速度を測定し、これまでに得られた有機材質の気泡体との比較を行った。3.1項と同様にして無限大薬径における爆轟速度を求めた結果をFig.10に示す。図中にはRB-1およびRB-2の結果を併記した。GMBとRB-1の平均粒子径はそれぞれ0.053mm

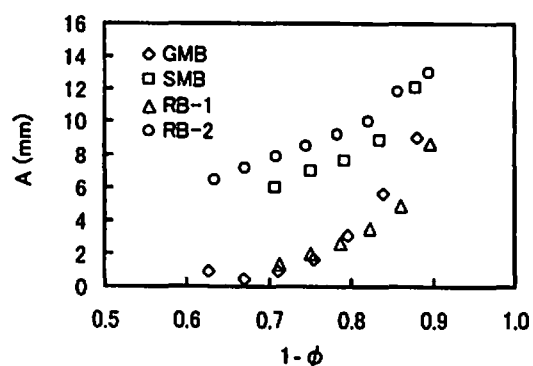


Fig. 12 Reaction zone length A in the emulsion explosives sensitized with various kinds and quantities of void materials
The sizes of balloons GMB, SMB, RB-1 and RB-2 are 0.05mm, 0.50mm, 0.05mm and 0.47mm, respectively.

と0.047mmでありほとんど等しく、またSMBとRB-2の平均粒子径はそれぞれ0.47mmと0.50mmであり、ほぼ同じである。しかしながら無機材質の気泡体と有機材質のそれとは粒子密度が異なるために、同じ爆薬密度を得るには気泡体の添加率が異なる。したがって同じ爆薬密度に対する爆轟速度を比較した場合には、気泡径がほぼ同じであっても有機材質の気泡体を添加したほうが気泡個数(気泡量)が多く、爆轟速度が大きくなるものと考えられる。Fig.10の横軸を爆薬の密度から爆薬の空隙率に変換した結果をFig.11に示す。空隙率が約0.2以上においては気泡体の種類に関係なく爆轟速度はほぼ同じになることがわかる。

GMBのガラス膜厚は $1\mu\text{m}$ 程度と計算され、10%破壊強度は $53\text{kg}/\text{cm}^2$ である。爆轟過程においては極めて高圧であるため、ガラスは流体化し、その強度は無視できるとされている⁹⁾。今回の実験結果からも気泡体の材質(強度)は爆轟過程に影響するものではないことが確認された。また、気泡の大きさが0.5mm程度以下と小さく、かつ空隙率が0.2程度以上ならば、薬包側面からの希薄波の影響が無視できる無限大薬径における爆轟速度は、その爆薬の空隙率によって決まるものと考えられる。

反応領域の長さに対しても同様なことがいえる。GMBおよびSMBを含有する爆薬の反応領域長さAを、3.3項と同様にして爆薬の空隙率 ϕ に対して求めた結果を、RB-1およびRB-2を含有する爆薬の結果とともにFig.12に示す。粒子径がほとんど同じであるGMBとRB-1のAは同じ空隙率 ϕ に対してよく一致したが、粒子径の大きなSMBの方が粒子径の小さなRB-2よりもAが小さい結果となり、先に得られた結果と異なる。これは、SMBの粒子径評価に問題があるた

めと考えられる。SMBはFig. 1に示されたように他の気泡体と違って楕円球の形状をしており、その長方向と短方向の平均を球の直径として計算した球体の体積よりも、実体積の体積の方が小さいためにRB-2との乖離が生じたものと考えられる。

4. 結 論

平均粒子径が0.05mmから2.42mmの範囲にある樹脂バルーンが種々の割合で添加されたエマルジョン爆薬の爆轟速度が測定された。また、無機材質の気泡体を用いた場合の爆轟速度と、有機材質を用いた場合との比較がなされた。爆薬の反応領域の長さは、いわゆるEyringの方法によって爆轟速度の薬径依存性から求められた。実験結果から、以下の知見が得られた。

- (1) 気泡体の直径が約0.5mm以下の場合、無限大薬径に外挿して得られる爆轟速度 D_i は理論計算値 D_{cj} とよく一致するが、それよりも大きい気泡体が含まれる爆薬の D_i は D_{cj} よりも小さい。これは気泡体が大きくなるにつれ、気泡自体から爆薬中への希薄波によって爆薬の反応性が低下するためと考えられる。
- (2) 爆薬の反応領域長さ A と爆薬の空隙率 ϕ との間に相関性が認められ、 A の対数は $(1-\phi)$ に比例する。
- (3) 同じ空隙率の爆薬で比較した場合、反応領域の長さは爆薬に含まれる気泡体の大きさが大きいほど長くなる。
- (4) 爆薬中に含まれる気泡体の大きさが同じ場合、空隙率の大きい方が反応領域の長さは小さい。
- (5) ガラス等の無機材質や発泡樹脂等の有機材質な

ど、気泡体の材質が爆薬の爆轟速度に及ぼす影響は無視できる。爆薬の空隙率が約0.2以上、気泡体の直径が約0.5mm以下の条件下においては、その爆薬の爆轟速度は気泡体の大きさとその量で決まる。

文 献

- 1) Edamura, K., Hirotsaki, Y., Sakai, H., Hattori, K., Proceedings of Journées Scientifiques Paul Vieille, pp.253-258, SNPE, France (1984)
- 2) 服部勝英, 深津嘉章, 酒井洋, 工業火薬, 43, 295 (1982)
- 3) Chaudhri, M. M., Almgren, L. A., Persson, A., Proceedings of the Tenth Symposium on Detonation, pp.741 (1993)
- 4) Cooper, J., Leiper, G. A., J. Ener. Mat., 7, 405 (1989)
- 5) Lee, J., Persson, P. A., Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 15, 208 (1990)
- 6) Yoshida, M., Iida, M., Tanaka, K., Fujiwara, S., Kusakabe, M., Shiino, K., Proceedings of the Eighth Symposium on Detonation, pp.993 (1985)
- 7) Kennedy, D. L., Jones, D. A., Modelling, Proceedings of the Tenth Symposium on Detonation, pp.665 (1993)
- 8) Eyring, H., Powell, R. E., Duffey, G. H., Parlin, R. B., Chemical Review, 45, 69 (1949)
- 9) Marsh, D. M., Proc. Roy. Soc. A, 279, pp.420 (1964)

Detonation behavior of emulsion explosives (I)
—Detonation velocity and reactivity of the emulsion
explosives sensitized with relatively large voids—

Yoshikazu HIROSAKI^{*}, Yasuhiro TAKAHASHI^{*}, Yukio KATO^{*},
Hideki HAMASHIMA^{**}, and Shigeru ITOH^{**}

The effects of size and volume fraction of voids in the ammonium nitrate-based emulsion explosive were examined. Resin balloons sizes ranging from 0.05mm to 2.42mm in average diameter were used as void material. The detonation velocity (D_v) at infinite charge diameter, D_i , was estimated from the linear relationship between the D_v and the inverse charge diameter and it was compared with the ideal D_v calculated with KHT code. D_i coincides well with that calculated provided the void fraction of the explosive is larger than 0.2 and the diameter of the void is smaller than 0.5mm. The greater the void size is the bigger the discrepancy between the D_i extrapolated and the D_i calculated. It was considered that the major reason is the decrease in the fraction of ammonium nitrate reacted in the reaction zone due to the rarefaction wave from the voids themselves. It was shown that the reaction zone length is strongly affected by the void size and void volume fraction. The material of void such as glass or resin will not affect the detonation behavior such as D_v or reaction zone length.

(*Taketojo Plant, NOF Corporation, 61-1 Kitakomatsudani, Taketojo-cho, Chita-gun, Aichi
470-2398, JAPAN

**Shock Wave and Condensed Matter Research Center, Kumamoto University, 2-39-1
Kurokami, Kumamoto 860-8555, JAPAN)