

エマルジョン爆薬の爆轟特性(第4報)

気泡の大きさおよび量と爆轟圧力

廣崎義一*, 村田健司*, 加藤幸夫*, 伊東 繁**

平均気泡直径が0.05mm~2.42mmの範囲にある気泡体を含有するエマルジョン爆薬の爆轟圧力を、PVDFフィルム型圧力センサーを用いて測定した。気泡体の大きさおよび量が爆轟圧力に与える影響を検討した結果、気泡体の大きさが大きくなるにしたがって、あるいは気泡量が少なくなるにしたがって、実測の爆轟圧力と理論計算値との乖離が大きくなることが示された。爆轟圧力の実測値と理論計算値との対比から反応領域内での爆薬の反応率を計算した結果、爆轟速度から求められた反応率とよく一致した。空隙率が0.25であるエマルジョン爆薬の爆轟生成ガスの比熱比 γ_{G} は、気泡体の大きさに関係なくおよそ3であった。

1. はじめに

エマルジョン爆薬の爆轟速度に及ぼす爆薬内部の気泡体の大きさや量の影響を前報¹⁾で検討した。爆轟速度とならんで爆轟圧力は爆薬の爆轟性を評価する重要な特性である。エマルジョン爆薬の爆轟圧力の計測例としてはマンガニンゲージでの爆轟圧力測定例²⁾やPVDF(polyvinylidene fluoride, ポリフッ化ビニリデン)ゲージでのポアホール内における爆轟圧力の測定例³⁾などがある。また、非理想爆轟を示す反応性物質の爆轟圧力測定例としては、鋼管に装填された硝酸アンモニウムの爆轟圧力がマンガニンゲージで測定された例がある⁴⁾⁵⁾。しかしながら爆薬中の気泡体に着目してなされた研究例は見当たらない。本研究においては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圧力に及ぼす影響を検討した。

本研究では圧力センサーとしてPVDFフィルム型圧力センサー⁶⁾⁷⁾を用い、エマルジョン爆薬の爆轟圧力を測定することを試みた。爆薬の爆轟圧力は数GPaから数十GPaと極めて高いため圧力センサーに

よる爆轟圧力波形の測定は容易でなく、マンガニンゲージによる測定が過去になされた主流である。しかしながらマンガニンゲージによる圧力測定の原理が圧力によるマンガニン金属箔の微小な抵抗変化に基づくものであるために、電流値が数百アンペアでありながら電流の持続時間が極めて短い特殊な定電流パルス電源が必要となる。また、爆發現象と定電流パルス供給とを時間的に同期させるのは極めて難しく、定電流パルスが他の計測形に大きなノイズを誘起するため測定範囲が限られている。その点、PVDFなどのフッ素系高分子は衝撃圧によって電荷を発生し、測定可能な圧力範囲も数kPaから約40GPaまでと幅広く、応答速度も極めて速いために爆轟圧力のような高速・高圧の現象を捉えるのに有効であると思われる。

2. 実験

2.1 爆薬および気泡体

実験に用いたエマルジョンマトリックスの組成ならびに添加される気泡体は前報¹⁾で使用したのと同じである。すなわち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製気泡体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はアクリロニトリル/塩化ビニリデン共重合樹脂か

2000年7月3日受付

2000年8月24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 nofrdfx@gld.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 91 DE
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

らなる単一殻構造であり、平均粒子径は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、平均粒子径が0.47mmから2.42mmの複合殻構造である。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。以後の図表においては、わかりやすくするために気泡体の区別を平均粒子径で表す場合もある。

2.2 爆轟圧力の測定方法

爆轟圧力の測定にはPVDFを使用した圧力センサーを用いた。5mm角に切断された厚さ10 μ mのPVDF製感圧部分を銅箔電極パターンを形成したポリイミドフィルムで挟み、全面をプレスしながら絶縁性接着剤で接着し、積層フィルム状としたセンサーである。爆薬試料ならびに圧力センサーの設置方法をFig. 1に示す。ポリメタクリル酸メチル(PMMA)ブロックの上にPVDFセンサーをセットし、さらにその上に厚さ1mmのPMMA板を被せて全体を液状樹脂で一体化した。内径51mm、外径60mm、長さ200mmの硬質塩化ビニルパイプ(VP50)に充填されたエマルジョン爆薬試料をその上にセットし、6号電気雷管で起爆した。必要に応じてエマルジョン爆薬約30gをブースタ爆薬として使用した。圧力センサーの出力信号はチャージ変換装置に入力され、その出力をデジタルオシロスコープ(ニコレ社、モデルPro60, DC-200MHz, サンプリング時間間隔5ns/point, サンプルデータ数20000points, 電圧レンジ6V, 分解能8bits, プリトリガー30%)によって圧力に比例した電圧変化として記録した。センサーの圧力較正は既知の油圧パルスを加えた際の発生電荷を測定する方法とあらかじめ較正されたマンガニンゲージとの同時計測比較を行う方法とによった。圧力センサーの上面(爆薬

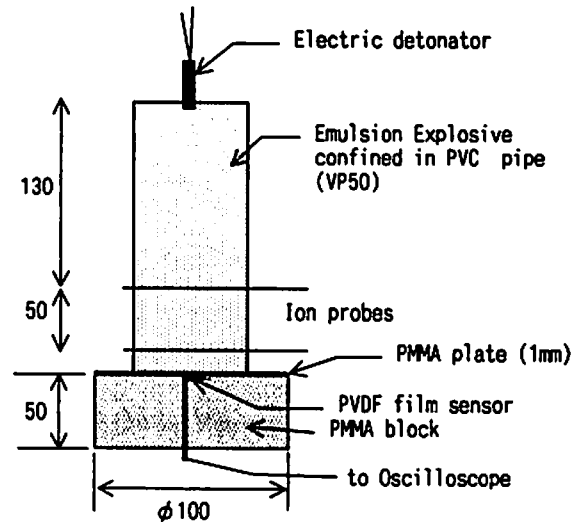


Fig. 1 Experimental setup for detonation pressure measurement

側)には厚さ1mmのPMMA板が介在するので、測定された圧力プロファイルはPMMAへの透過波のそれである。また、爆薬試料の上端から130mmおよび180mmの位置に設置されたイオンギャップにより爆轟速度を同時に測定した。

3. 結果および考察

3.1 気泡の大きさと爆轟圧力の関係

爆薬密度が約1.05g/cm³(空隙率が約0.25)となるように、種々の大きさの気泡体RB-1ないしRB-5を含有する爆薬を調整し試料とした。空隙率 ϕ は次式で計算される値である。

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

ここで、 ρ 、 ρ_B 、 ρ_E はそれぞれ爆薬、気泡体、エマ

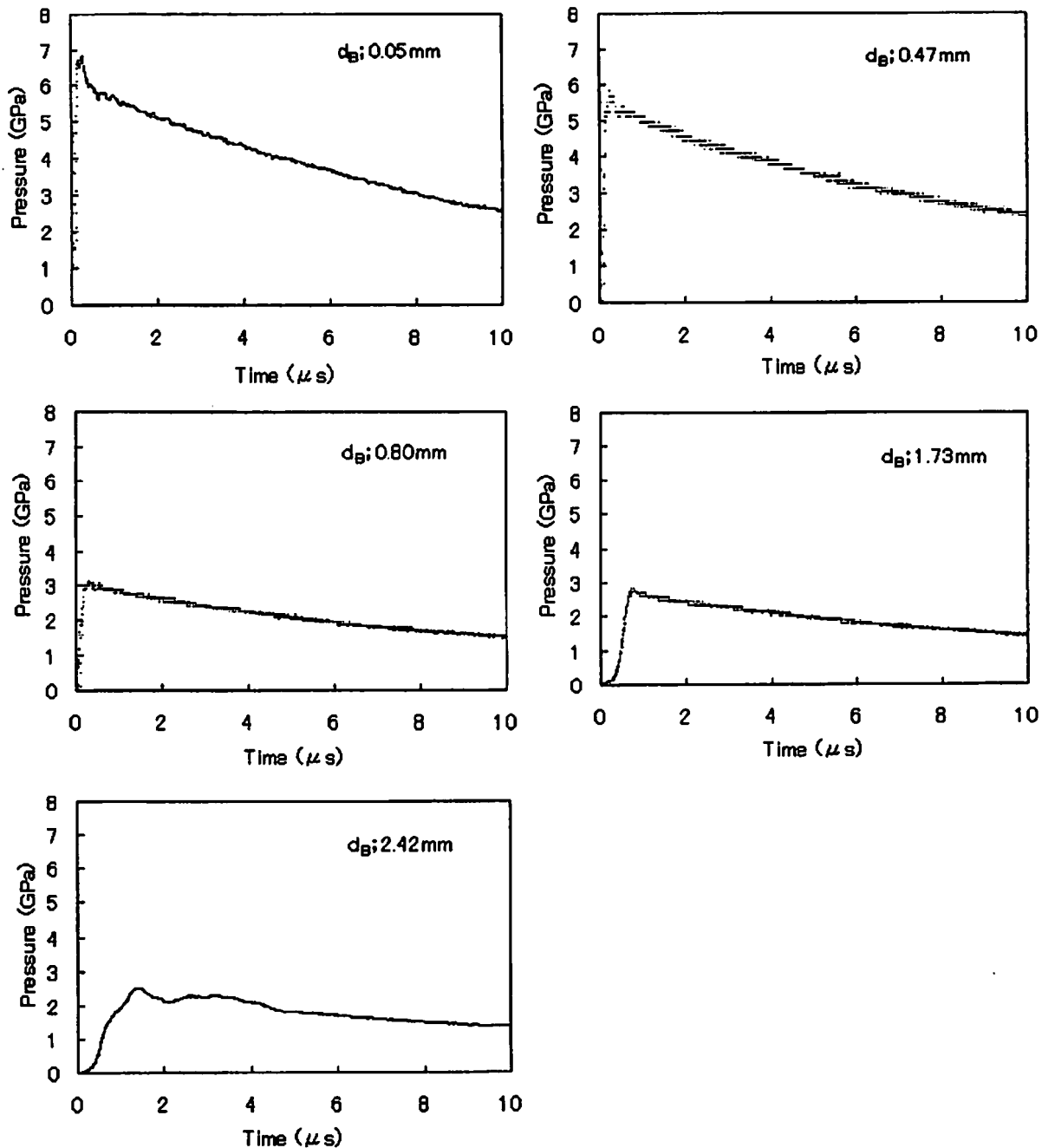


Fig. 2 Pressure profiles induced in the PVDF sensor through the PMMA plate due to the detonation of emulsion explosives sensitized with various size of resin balloons to make the explosive density of 1.05g/cm^3 (voidage of 0.25)

ルシオンマトリックスの密度である。

計測された圧力プロファイルを図.2に、気泡体の大きさごとに示す。また、比較のためにこれらプロファイルの時間軸を拡大したものを図.3に示す。RB-1やRB-2、RB-3など直径1mm以下の比較的小さな気泡体を使用した爆薬の圧力波形は急峻な立ち上がりを見せ、傾きは異なるものこれらはいずれも約75ns(ナノ秒)でピーク圧力に達する。RB-1、RB-2およびRB-3を含有する爆薬のピーク圧力波形に達

する前に圧力の極大が観測されたが、これらは圧力センサー上面にある厚さ1mmのPMMA板が衝撃加圧された際の誘電分極に伴うノイズと思われるので図.3では除外した。ここで、圧力ピークの立ち上がり時間について図.4を参考に考察する。爆轟波面は平面でなくある曲率を持っているが、気泡径がそれぞれ0.05mmおよび0.47mmであるRB-1およびRB-2を含有する空隙率0.25のエマルジョン爆薬の曲率は前報⁹⁾の結果からはいずれも約50mmである。図.4は

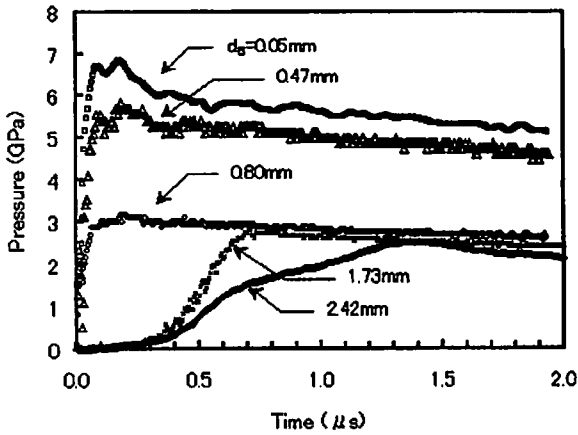


Fig. 3 Detailed profiles for the pressure curves shown in Figure 2

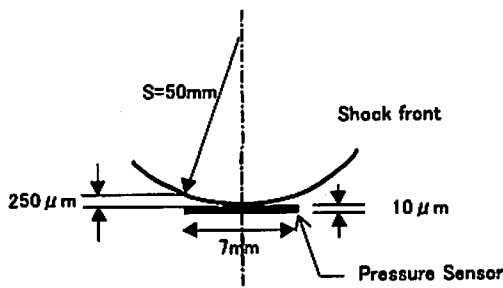


Fig. 4 A model of pressure loading onto the pressure sensor (Explosive density of 1.05 g/cm^3)

この例を示したものである。圧力センサーの大きさは 5 mm 角であるので、爆轟波面が圧力センサー中心に対して軸対称で入射してきた場合には圧力センサーの周辺部分、とくに対角に到達する爆轟波面は圧力センサー中心に比べて時間遅れを生じる。RB-1 を含有する爆薬の爆轟速度は約 5200 m/s であるからその遅れ時間は約 48 ns と計算される。また、圧力センサーの厚さは $10 \mu\text{m}$ であるので波面が通過する時間は約 20 ns である。したがって圧力上昇には 70 ns 程度の時間がかかることが予想されるが、実際には波面の中心と圧力センサーの中心とは位置的なずれが生じるため圧力の立ち上がりにはさらに時間がかかり、立ち上がりからピークまでに 75 ns 程度の時間がかかったものと考えられる。

一方、気泡径が 1.73 mm の RB-4 では約 $0.65 \mu\text{s}$ 、 2.42 mm の RB-5 では約 $1.2 \mu\text{s}$ と、大きな気泡体を含む爆薬ほど圧力はゆっくりとした立ち上りを示し、ピーク圧力も低い。この理由は次のように考えられる。前報⁹⁾において光学的観察から示されたように、気泡が大きくなると爆轟波面先頭 (shock front) の乱れが大きくなり、圧力センサーに到達する爆轟波面は微視的に見れば部分的に遅れを生じ、たとえば直径

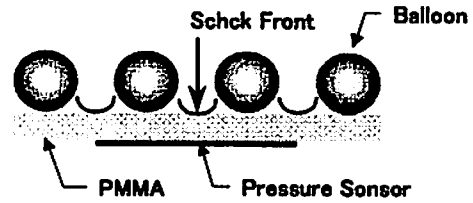


Fig. 5 A model of pressure loading in the pressure sensor induced from the emulsion explosive sensitized with large balloons of 1.73 mm in diameter

が 1.73 mm の RB-3 の場合には明瞭な乱れが観察された。気泡が均一分散しているとの仮定のもとでは、空隙率 0.25 の場合には気泡間隔 (気泡の中心間距離) は気泡直径の 1.44 倍と計算される。すなわち隣り合う気泡との表面間距離は気泡の半径に相当する距離である。PVDF センサーの大きさは 5 mm 角であるので、直径が 1.73 mm の RB-4 の場合を例にこの様子を模式的に示すと Fig. 5 のようになる。PVDF センサーの場合にはその加圧によって生じた電荷を圧力に換算していることから、センサーの全面に一樣に圧力が加わる場合には電荷の発生が急激となり圧力の立上りは急峻となる。気泡が小さく爆轟波面の乱れが小さい場合の爆轟圧力計測がこれに相当するものと考えられる。一方、気泡が大きい場合には爆轟波面の乱れによって圧力センサーは部分的に加圧され、そこから発生する電荷は時間とともに大きくなる。すなわち圧力ピークに達するまでに時間を要するものと考えられる。

次に爆薬の反応性について考察する。実験で得られたピーク圧力ならびに同時に測定された爆轟速度を Table 2 に示す。気泡径が大きくなるほど爆轟速度は小さくなるが、ここで得られた結果のうち、RB-1、RB-2 および RB-3 を含有する試料は、前報¹⁾で求められた値とよく一致する。気泡径の大きな RB-4 および RB-5 を含有する試料は、前報¹⁾で得た値よりも爆轟速度がいずれも 500 m/s ほど大きい。前報では厚さが $100 \mu\text{m}$ のプラスチックフィルムで包装された直径 50 mm の薬幹の爆轟速度が計測されたのに対し、本報告の実験では、厚さ 4.5 mm の塩ビパイプが使用された点が異なる。大きな気泡を含む爆薬ほど爆轟速度が小さく、その爆轟伝播性に対してコンファイメントの影響を受けやすい⁹⁾ ために、プラスチックフィルムよりも強い拘束力を持つ塩ビパイプに装填された今回の実験のほうがより大きな爆轟速度を与えたものと考えられる。

定常爆轟の ZND モデルにおける圧力プロファイルは Fig. 6 のように描かれる¹⁰⁾ が、実際に理想爆轟を呈

Table 2 The effect of balloon size on the detonation properties of emulsion explosives of 51 mm in diameter

Balloon diameter d_b (mm)	0.05	0.47	0.80	1.73	2.42
Explosive density (g/cm^3)	1.05	1.05	1.05	1.03	1.06
Voidage ϕ	0.25	0.26	0.26	0.25	0.26
Detonation velocity D_v (m/s)	5230	4480	3510	3360	2960
Peak pressure measured (GPa)	6.83	5.69	3.15	2.81	2.53
Detonation pressure P (GPa)	6.9	5.3	2.8	2.5	2.1
Calculated pressure P_{CJ} (GPa)	8.21	8.21	8.21	8.21	8.21
Adiabatic exponent γ_{CJ}	3.0	3.0	3.5	3.7	3.4
Fraction of AN reacted at C-J estimated from pressure P	0.88	0.71	0.42	0.39	0.33
Fraction of AN reacted at C-J estimated from D_v	0.87	0.68	0.43	0.39	0.30

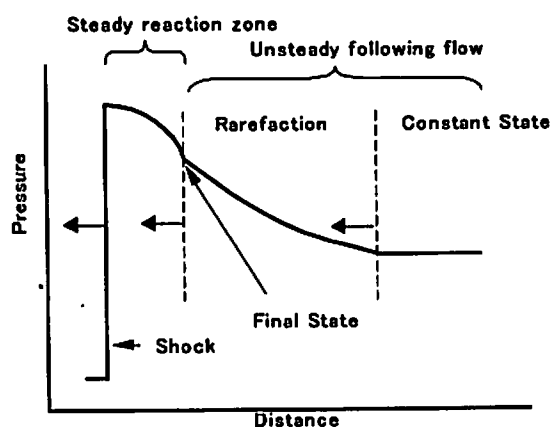


Fig. 6 ZND model of a steady plane detonation reaction zone (after Davis¹⁰⁾)

するような爆薬の圧力プロファイルにおいて、その爆薬の反応領域の長さに相当する部分に圧力の変曲があることが報告されている¹¹⁾。Fig. 2またはFig. 3に示された実験結果において、最も小さな気泡体RB-1を含有する爆薬試料の圧力波形に同様な変曲が認められる。すなわち反応領域内の圧力とそれに続くいわゆるTaylor波とが区別できる。Fig. 3からはその反応領域に相当する時間幅が約0.4 μs であると読み取られる。この爆薬試料の爆轟速度は5230 m/sであるからその反応領域長さは、Chapman-Jouguet (C-J)面における粒子速度が爆轟速度の4分の1であると仮定すれば約1.7 mmと見積もられる。この値は前報¹⁰⁾において爆轟速度の薬径依存性から求められた反応領域長さの値2.0 mmあるいは爆轟波面曲率から求められた1.0 mmとほぼ一致する。その他の大きさの気泡体の場合にはRB-1の場合のような圧力プロファイルにお

ける明瞭な変化は認められなかった。たとえば直径が0.47 mmであるRB-2の反応領域長さは前報¹⁰⁾の結果から約8.5 mmと推定され、その爆轟速度は約4500 m/sであるから反応時間は約2.5 μs となる。Fig. 2にはそのような点に圧力変化は認められない。その他の気泡についても同様である。気泡体が大きくなるにつれて反応領域の長さも長くなり、またのちに示すように爆轟波面先頭からC-J面までの間すなわち反応領域中の爆薬の反応率も低下する。このように爆轟反応が遅いために圧力変化も緩やかとなり、圧力プロファイルにおいて反応領域中の圧力変化とTaylor波との区別がつかないものと考えられる。

本実験で得られたPMMA透過波の圧力測定値をもとに爆薬の爆轟圧力を求めた結果をKHTコード計算値とともにTable 2に示す。爆薬の爆轟圧力はインピーダンスマッチング法によって求めたが、その例をFig. 7に示す。この図においてPMMAのユゴニオは文献¹²⁾により、エマルジョン爆薬のユゴニオは前報¹⁰⁾で求めたユニバーサルユゴニオ¹⁰⁾を適用した。Fig. 7には平均粒子径が0.05 mmの気泡体を含有する密度1.05 g/cm^3 (空隙率0.25)のエマルジョン爆薬の例を示したが、測定値であるPMMAの透過波圧力6.83 GPaから爆轟生成ガスの圧力、すなわち爆轟圧力として6.9 GPaが求められる。ただし爆轟生成ガスのユゴニオが得られていないため、インピーダンスマッチングにおいては爆薬の爆轟速度と密度とから計算された爆轟生成物のレーリー線と爆薬のユゴニオとの交点がいわゆるノイマンスパイク圧力を与え、その値として約10.2 GPaが得られるが、この値はKHT爆轟特性計算コードによるC-J圧

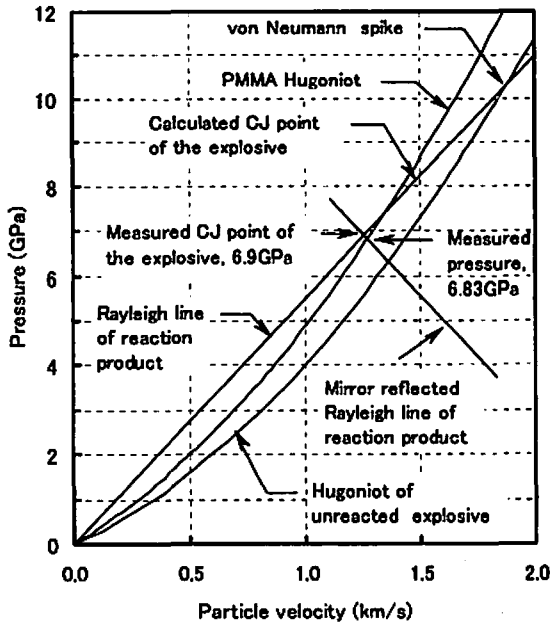


Fig. 7 Impedance matching to determine the detonation pressure in the emulsion explosive of density 1.05 g/cm^3 sensitized with balloons of 0.05 mm in average diameter. The Rayleigh line of reaction product is used as the mirror reflected Hugoniot curve for the detonation product.

力計算値 8.2 GPa の 1.24 倍に相当する。このノイマンスパイク圧力と C-J 圧力との比は TATB¹⁵⁾ の約 1.3 あるいは TNT¹⁵⁾ の 1.25 など考慮すれば妥当な評価だと思われる。Table 2 および Fig. 8 にはこのようにして求められた爆轟圧力を記した。

Fig. 8 によれば、爆轟圧力は気泡が大きいほど理論値に比べて計測値の方が小さくなる。この爆轟圧力をもとに反応領域における爆薬の反応率を求めた。また、爆轟速度からも同様に計算した。その結果を Table 2 および Fig. 9 に示す。爆轟圧力から求められた硝酸アンモニウムの反応率は爆轟速度から計算されたそれとよく一致するとともに、気泡体の大きさが大きくなるにしたがって爆薬(硝酸アンモニウム)の反応率低下が大きくなるがよくわかる。これは、爆薬の空隙率が一定ならば気泡体が大きいほど気泡自体からの希薄波によって反応領域中の圧力および温度が低下し反応領域が長くなること、そのためにさらに爆薬周囲からの希薄波によって反応領域中の温度および圧力が低下するためであると考えられる。

爆轟圧力と爆轟速度ならびに爆薬密度から次式によって爆轟生成ガスの比熱比 γ_{CJ} を求め、その結果を Table 2 に記した。

$$\gamma_{CJ} = \rho_0 \cdot D^2 / P_{CJ} - 1 \quad (2)$$

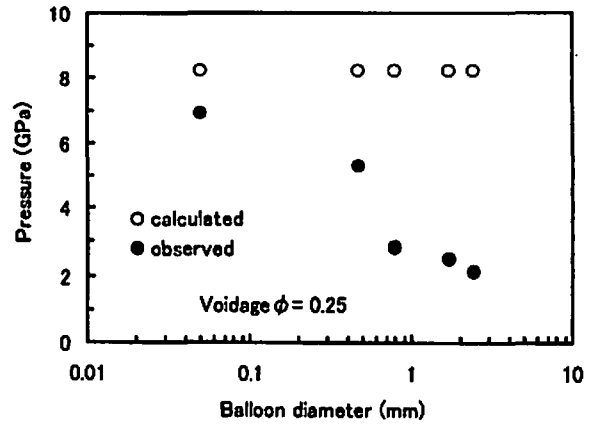


Fig. 8 Detonation pressure of emulsion explosives sensitized with different balloon size

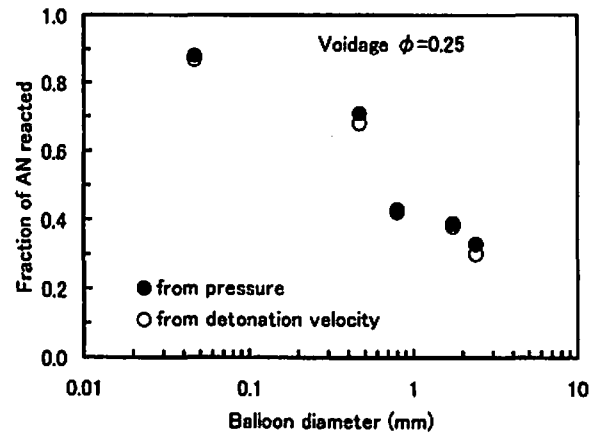


Fig. 9 Fraction of ammonium nitrate reacted in the reaction zone estimated from the detonation pressure or detonation velocity

ここで ρ_0 は爆薬初期密度、 D は爆轟速度、 P_{CJ} は C-J 圧力である。これらの結果からエマルジョン爆薬の爆轟生成ガスの比熱比として約 $3 \sim 3.5$ が得られ、その値は気泡の大きさにはよらない。爆轟状態が非理想的であるときには γ_{CJ} は小さな値をとるが、爆轟圧力が大きくなるにつれて γ_{CJ} も徐々に大きな値をとるようになる¹⁰⁾ が、本研究では圧力と γ_{CJ} との関連は明確でない。

3. 2 気泡の量と爆轟圧力の関係

平均粒子径が 0.05 mm の RB-1 および 0.47 mm の RB-2 を用い、その添加量を変化させて密度を約 0.90 g/cm^3 (空隙率約 0.37)、および約 1.19 g/cm^3 (空隙率約 0.14) に調整した爆薬試料の爆轟圧力および爆轟速度を測定した。3.1 項で得られた密度 1.05 g/cm^3 (空隙率 0.26) の結果と合わせて気泡径 0.05 mm および 0.47 mm の場合の圧力プロファイルをそれぞれ Fig. 10 および Fig. 11 に示す。Fig. 11 では見やすくするために

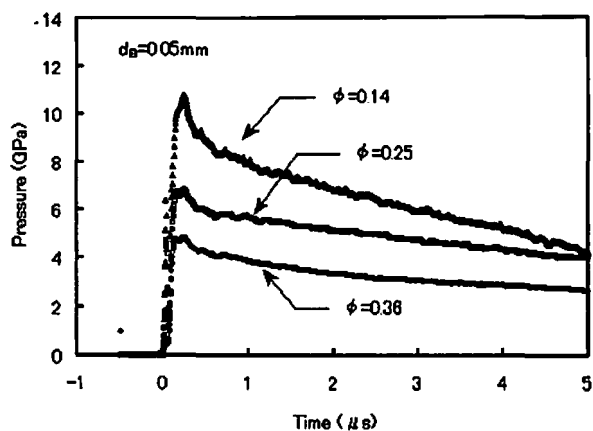


Fig. 10 Pressure profiles through the PMMA plate for the emulsion explosives of different voidage ϕ sensitized with balloons of 0.05 mm in diameter

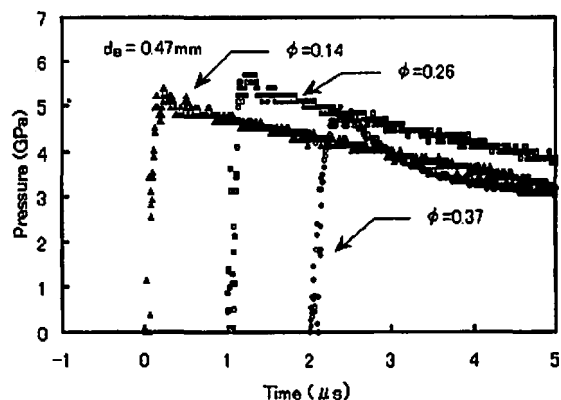


Fig. 11 Pressure profiles through the PMMA plate for the emulsion explosives of different voidage ϕ sensitized with balloons of 0.47 mm in diameter

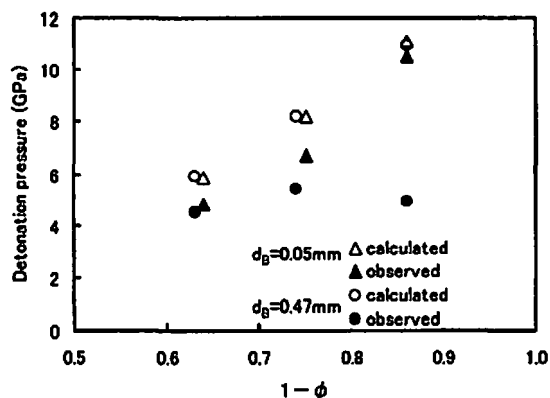


Fig. 12 Detonation pressures of the emulsion explosives sensitized with different amount of balloons of 0.05 mm or 0.47 mm in diameter

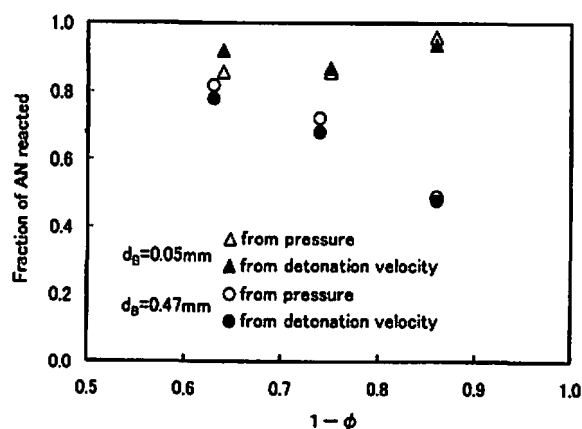


Fig. 13 Fraction of ammonium nitrate reacted in the reaction zone estimated from the detonation pressure or detonation velocity of the emulsion explosives sensitized with balloons of 0.05 mm or 0.47 mm in diameter to obtain the different voidage ϕ

Table 3 The effect of voidage on the detonation properties of emulsion explosive sensitized with balloon of 0.05 and 0.47 mm in diameter

Balloon diameter (mm)	0.05			0.47		
Explosive density (g/cm^3)	0.90	1.05	1.20	0.90	1.05	1.19
Voidage ϕ	0.36	0.25	0.14	0.37	0.26	0.14
Detonation velocity D_v (m/s)	4720	5130	5890	4260	4480	4300
Peak pressure measured (GPa)	4.81	6.83	10.76	4.87	5.69	5.40
Detonation pressure P (GPa)	4.8	6.7	10.5	4.5	5.4	4.9
Calculated pressure P_{CJ} (GPa)	5.87	8.21	11.12	5.93	8.21	10.94
Adiabatic exponent γ_{CJ}	3.2	2.9	2.9	2.6	2.9	3.5
Fraction of AN reacted at C-J estimated from pressure P	0.86	0.86	0.96	0.82	0.72	0.49
Fraction of AN reacted at C-J estimated from D_v	0.92	0.87	0.94	0.78	0.68	0.48

文 献

時間軸をずらして示した。また、測定結果をまとめて Fig. 12 および Table 3 に示す。比較のため Fig. 12 には KHT コードによって求められた理論爆轟圧力 P_{CJ} も併記した。平均直径が 0.05 mm である小さな気泡体を含む爆薬は理想爆轟に近い状態を示すため、爆轟圧力の観測値は計算値に近い。一方、直径が 0.47 mm である比較的大きな気泡体を含む爆薬では空隙率が小さくなるにしたがって、すなわち爆薬密度が大きくなるにしたがって計算値と実測値との乖離が大きくなる。ホットスポットとして作用する気泡体の数が少ないために爆薬の反応率が低下し、圧力が低くなるものと考えられる。3.1 項と同様に爆轟圧力または爆轟速度から求められた、反応領域内での硝酸アンモニウムの反応率を Table 3 および Fig. 13 に示す。気泡量が少なくなるにつれて反応領域長さが大きくなり、爆薬外周からの希薄波の影響を大きく受けるために爆薬の反応性が低下し、爆轟圧力が低下するものと考えられる。

3.1 項と同様にして求められたエマルジョン爆薬の爆轟生成ガスの比熱比は約 3 であり、その値は気泡の量にはよらない。

4. 結 論

平均直径が 0.05 mm から 2.42 mm にあるそれぞれの樹脂製気泡体が添加されたエマルジョン爆薬の爆轟圧力が PVDF 圧力センサーによって測定され、以下のような結果が得られた。

- (1) 気泡体が大きくなるにしたがって、および気泡体の量が少なくなるにしたがって爆轟圧力の計算値と実測値との乖離が大きくなる。
- (2) 爆轟圧力の実測値と理論計算値との対比から計算された反応領域中での硝酸アンモニウムの反応率は、爆轟速度から同様に計算される値とよく一致する。
- (3) 爆轟圧力と爆轟速度の実測値から計算された爆轟生成ガスの比熱比 γ_{CJ} は気泡体の大きさおよび量によらずおよそ 3 であった。

- 1) 廣崎義一, 高橋康博, 加藤幸夫, 濱嶋英樹, 伊東繁, 火薬学会誌, 投稿中
- 2) Granhom, R. H., Proceedings of the Seventh Annual Symposium on Explosives and Blasting Research, pp.35-46(1991)
- 3) Davies, F. W., Smith, E. A., Cruz, C. DeLa., Proceedings of the 13th Annual Symposium on Explosives and Blasting Research, pp.145-159(1997)
- 4) Miyake, A, van der Steen, A. C., Kodde, H. H., Proceedings of the Ninth Symposium on Detonation, pp.560-565(1989)
- 5) 三宅淳己, 小川輝繁, 斎藤修二, 吉田信生, 工業火薬, 53, 67-74(1992)
- 6) 村田健司, 高橋勝彦, 加藤幸夫, 村井幸一, 火薬学会誌, 57, 253(1996)
- 7) 村田健司, 高橋勝彦, 加藤幸夫, 廣崎義一, 火薬学会 2000 年度年会講演要旨集, pp.83-84(2000)
- 8) 廣崎義一, 澤田徹哉, 加藤幸夫, 濱嶋英樹, 伊東繁, 火薬学会誌, 62, 23-31(2001)
- 9) 廣崎義一, 石田俊男, 服部勝英, 酒井洋, 工業火薬, 43, 323-328(1982)
- 10) Davis, W. C., Ramsay, J. B., Proceedings of the Seventh Symposium on Detonation, pp.531-539(1981)
- 11) Song, So-young, Lee, Jun Wung, Proceedings of the Ninth Symposium on Detonation, pp.471-477(1989)
- 12) Marsh, S. P., "LASL SHOCK HUGONIOT DATA", University of California Press(1980)
- 13) 廣崎義一, 石田俊男, 時田和司, 森伸生, 服部勝英, 酒井洋, 工業火薬, 46, 376-383(1986)
- 14) Woolfork, R. W., Cowperthwaite, M., Robert Shaw, Thermochemica Acta, 5, 409(1973)
- 15) Sheffield, S. A., Bloonquist, D. D., Tarver, C. M., J. Chem. Phys., 80, 3831-3844(1984)

Detonation behavior of emulsion explosives (IV)

The effects of void size and quantity on the detonation pressure

Yoshikazu HIROSAKI*, Kenji MURATA*, Yukio KATO*, and Shigeru ITOH**

Detonation pressures were measured with a PVDF film sensor for the emulsion explosives sensitized with resin balloons of five different sizes ranging from 0.05 mm to 2.42 mm in average diameter. The effects of the size and quantity of voids in the emulsion explosive were evaluated to lead the following results. The bigger the void size is, or the smaller the voidage is, the bigger the discrepancy between the pressures observed and theoretically calculated. The specific heat ratio γ_{CJ} of the detonation product was about three for the emulsion explosive of voidage 0.25 and was independent of the void size.

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

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