

## エマルジョン爆薬のカードギャップテスト

広崎義一\*, 石田俊男\*, 服部勝英\*, 酒井 洋\*

油中水型エマルジョン爆薬についてカードギャップテストを行なった。アクセプター容器の長さを20cmにとり、衝撃起爆感度に及ぼす温度の影響、密度の影響、ならびに爆轟伝播性に及ぼすアクセプター容器材質の影響等を観察した。その結果、(1)エマルジョン爆薬は、W/O型エマルジョンの粒径が小さいことから酸化剤水溶液の結晶化がおこらないため、少なくとも-20℃から+100℃の範囲では感度の温度依存性はほとんどない。(2)エマルジョンと混和するガラスマイクロバルーンの量を変化させて密度を変えた場合、密度の大きなものほどカードギャップ感度が高くなる傾向を示す。(3)爆薬の密度が大きくなるにしたがい、その伝播性はアクセプター容器の材質の影響を受け、とくにエマルジョン単体の場合には鉛管よりも鉄管の方がConfinementの効果が大きいことがわかった。

## 1. 緒言

昭和38年に正田<sup>1)</sup>によりカードギャップテストという衝撃波起爆感度測定法がわが国に紹介されて以来、数多くの研究がなされ<sup>2)</sup> 現在では標準的な衝撃起爆感度試験法として広く用いられるに至っている。この方法によれば爆薬の衝撃波感度を定量的に評価できることから、その実用化が進められてきたといえよう。また、含水爆薬は通常の落錘感度試験法では起爆しないために、カードギャップテストを用いることにより含水爆薬の衝撃感度を比較評価できるようになった<sup>3)</sup> ことも、本方法が広く応用される理由であろう。

今回われわれは、近年開発が行なわれるようになったW/O型エマルジョン爆薬についてカードギャップテストを行ない、エマルジョンと混和するガラスマイクロバルーン(以下GMBと略す)の量を変化させた場合の感度の変化、感度の温度依存性等を観察し、またアクセプター容器の材質による爆轟伝播性への影響についても若干の考察を加えたので、それらの結果を報告する。

## 2. 実験

カードギャップテストは爆薬の感度を定量的に評価するための実験方法であるが、感度のみを取り出して評価できるものではなく、爆轟の伝播性も同時に関与するものである。したがって受爆薬を入れる容器の材質や大きさ・薬長により、評価される感度は影響を受

Table 1 Formulation of emulsion

| Oxidizer* | Water | Fuel* |
|-----------|-------|-------|
| 83.3%     | 11.4% | 5.3%  |

\* Ammonium Nitrate and Sodium Nitrate

\*\*Emulsifier and Paraffin

けると思われる。われわれはアクセプターの薬長を、従来のものよりも長い20cmとし、20cmまでの伝播性も含めて評価した。

## 2.1 試料

Table 1に示す組成のW/O型エマルジョンに、3M社製GMB B-15/250を適当量混和し、種々の密度に調整したエマルジョン爆薬(GMBを加えないものも含む)を作り、試料とした。

## 2.2 実験方法

ドナー爆薬は、RDX-ニトログリセリン-ニトロセルロース系よりなる膠質系爆薬を用い、内径31.6mm長さ50mmの塩ビ管に装填して用いた。この爆薬の装填密度は、 $1.60 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ 、爆速は約7700m/secである。

衝撃波の減衰剤としては、PMMA板(商品名スミベックス)を用い、50mm角に切断した厚さ10mmおよび5mmのものを適当枚数空気泡が入らないように接着して使用した。

アクセプター容器には4種類のものを用いた。すなわち、内径30mm、肉厚2mmの鉄管、内径36mm、肉厚3mmの鉄管、内径29.5mm、肉厚3mmの鉛管、および内径31mm、肉厚3.5mmの硬質塩ビ(PVC)管であり、長さはすべて200mmとした。アクセプター容器の下方

昭和57年8月3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

(下端から 5mm および 55mm) 50mm 区間にイオンギャップを設け、試料が爆発した場合の爆轟波通過時間を測定しギャップ間の平均爆速を求めた。またアクセプターの下には鉛板を置き、爆否の判定に用いた。とくに塩ビ管の場合には、試料が完全に伝爆しないときでも容器が破壊され、イオンギャップも切断されることがあるが、鉛板の爆痕および残薬の有無により爆否の判定を容易に行なった。

限界ギャップ長は、PMMAの厚さを 5mm ずつ増減させ、3回の実験で3回とも爆発するギャップ長と、3回とも爆発しないギャップ長の幅を示した。たとえば限界ギャップ長が、40~50mm と記されているのは、ギャップ長 40mm では爆発率 3/3、45mm では 1/3~2/3、50mm では 0/3であることを意味する。限界衝撃圧力についても同様である。また、以後に示す表の中で爆速の欄の数字は、爆発率 3/3 のときの爆速を示したものである。Fig. 1 に実験方法の概略図を示す。

### 3. 実験結果

#### 3.1 衝撃波圧力較正曲線

われわれの実験系における、PPMA ギャップからアクセプター爆薬への入射衝撃圧力を求める較正曲線を、従来<sup>3)</sup>の方法<sup>3)</sup>に基づいて作製した。

PMMA 板の厚さ  $l$  (mm) と、衝撃波通過時間  $t$  ( $\mu$ sec) との間の関係式として(1)式が得られた。

$$t = -0.3253 + 0.2284l + 8.065 \times 10^{-4}l^2 \quad (1)$$

PMMA 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) の関係式としては、Halpin and Graham<sup>4)</sup> の式

$$U_s = 2.67 + 2.00 U_p \quad (3 < P < 20 \text{ kbar}) \quad (2)$$

を用いた。(1) (2) および(3)式で示される一次元衝撃波の運動量保存則とから、 $l$  と  $P$  の関係を求めた衝撃波圧

$$P = \rho_0 U_s U_p \quad (3)$$

$$\rho_0: \text{PMMA の初期密度} = 1.185 \text{ g/cm}^3$$

$P$ : 衝撃圧

圧力較正曲線を Fig. 2 に示す。

#### 3.2 管径の影響

カードギャップテストでは、ドナー爆薬とアクセプター爆薬の径は緻密には同一にしなければならないが、われわれの行なった実験のうちアクセプター容器として鉄管を用いて行なったものは、肉厚の関係から、便宜上主として内径 36mm、肉厚 3mm の鉄管を使用した。この場合でも Table 2 に示すように、内径 30mm、肉厚 2mm の鉄管を使用した場合と比較して、感度評価には差は生じないものと思われる。なお受爆薬としては、アクセプター容器の影響が大きい(後述)と思われる密度の大きなもの (1.26g/cm<sup>3</sup>) を用いてある。したがって鉄管については、アクセプターの内径がドナーの径よりも若干大きくても、本実験において爆薬の感度を評価する上で不都合はないものと考えられる。

#### 3.3 温度の影響

エマルション爆薬のカードギャップテストによる衝撃起爆感度に対する温度の影響を、-20°C、25°C、100°C で観察した。試料としては、密度 1.13g/cm<sup>3</sup> のエマルション爆薬を、内径 36mm の鉄管に装填したものをを用いた。結果を Table 3 に示す。-20°C から +100°C まで、起爆感度に対する温度の影響は全く見られない。

#### 3.4 受爆薬密度ならびにアクセプター容器材質の影響

エマルションと混和する GMB の量を適当に変化させ、密度を 0.95~1.39g/cm<sup>3</sup> の範囲に調整したエマルション爆薬を、鉄管(内径 36mm)、鉛管、塩ビ管にそれぞれ装填し、25°C で試験を行なった。結果を Table

Table 2 The effect of inner diameter of acceptor container (steel) on the shock sensitivity of emulsion explosive ( $\rho = 1.26 \text{ g/cm}^3$ ) at 25°C

| Inner Diameter (mm) | Gap length (mm) | Judge | Detonation Velocity (m/sec) |
|---------------------|-----------------|-------|-----------------------------|
| 30                  | 45              | O O O | 5200—5500                   |
|                     | 50              | X X X |                             |
| 36                  | 45              | O O O | 4350—5300                   |
|                     | 50              | O X   |                             |
|                     | 55              | X X X |                             |

O : Detonated

X : Non-Detonated

**Table 3** The effect of temperature on the shock sensitivity of emulsion explosive

Acceptor container: Steel tubu (35mmφ×200mm)

| Loading Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Temp. (°C) | Critical Gap Length (mm) | Critical Shock Pressure (Kbar) | Detonation Velocity (m/sec) |
|--------------------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1.13                                 | -20        | 40-50                    | 15.0-10.9                      | 5300-5500                   |
|                                      | 25         | 40-50                    | 15.0-10.9                      | 4850-5700                   |
|                                      | 100        | 40-50                    | 15.0-10.9                      | 5200-5400                   |

**Table 4** Shock sensitivity of emulsion explosive in some acceptor containers

at 25°C

| Acceptor Container | Loading Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Critical Gap Length (mm) | Critical Shock Pressure (Kbar) | Detonation Velocity (m/sec) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Steel              | 0.95                                 | 35-40                    | 17.5-15.0                      | 4630-4720                   |
|                    | 1.13                                 | 40-50                    | 15.0-10.9                      | 4850-5700                   |
|                    | 1.26                                 | 45-55                    | 12.8- 9.0                      | 4850-5300                   |
|                    | 1.39                                 | 55-75                    | 9.0- 3.3                       | 950-2070                    |
| Lead               | 0.95                                 | 35-40                    | 17.5-15.0                      | 4670                        |
|                    | 1.26                                 | 50-55                    | 10.9- 9.0                      | 5300-5400                   |
|                    | 1.39                                 | 45-55                    | 12.8- 9.0                      | 1930-2670                   |
| PVC                | 0.95                                 | 35-40                    | 17.5-15.0                      | 4500-4720                   |
|                    | 1.26                                 | 40-50                    | 15.0-10.9                      | 4070-4200                   |
|                    | 1.30                                 | 35-45                    | 17.5-12.8                      | 3130-3230                   |
|                    | 1.33                                 | 0                        |                                |                             |
|                    | 1.39                                 | 0                        |                                |                             |

4 および Fig. 3 に示す。

鉄管に装填したものは、爆薬の密度が 0.95, 1.13, 1.26, 1.39g/cm<sup>3</sup> と大きくなるにつれ限界ギャップ長は大きくなり、低い入射圧力で起爆する傾向があることがわかる。

鉛管を用いた場合には、 $\rho=1.26\text{g/cm}^3$  と  $\rho=1.39\text{g/cm}^3$  とで限界ギャップ長はほとんど変わらず、 $\rho=1.39\text{g/cm}^3$  では鉄管中よりもギャップ長は短くなっている。

塩ビ管の場合は、密度の小さなおとこ ( $\rho=0.95\text{g/cm}^3$ ) では鉄管あるいは鉛管と同じ限界ギャップ長を示すが、密度が大きくなるにしたがい、鉄管による塩からのずれが生じ、密度が  $1.26\text{g/cm}^3$  と  $1.30\text{g/cm}^3$  とでは、後者の方がギャップ長が 5mm 小さくなる。さらに  $1.33\text{g/cm}^3$  になると塩ビ管は破損してしまっているが、鉛板上に残薬が認められることから 20cm までは爆轟伝播していかないことがわかった。

#### 4. 考察

##### 4.1 感度の温度依存性

エマルジョン爆薬は、濃厚な酸化剤水溶液を燃料であるパラフィン等で包み込んだ W/O 型エマルジョンであり、その粒径は 1 ミクロン以下であると推測されている。したがってエマルジョン爆薬を冷却しても、エマルジョンの個々の粒子はその温度における臨界半径以下であるために酸化剤水溶液の結晶化が起こらず、依然として溶液状態のままにあると思われる。

Table 3 に示したように、エマルジョン爆薬の起爆感度が少なくとも  $-20^{\circ}\text{C}$  から  $+100^{\circ}\text{C}$  まで変わらないのは、上に述べたように酸化剤水溶液相と燃料相とが隣接しているため、低温から高温まで反応性に大きな差がないことによるものであろう。比較として、Al 系スラリー爆薬である「チタゲル」について行なった実験結果を Table 5 に示す。これらの実験系は本報告のそれとは異なるために、いずれも衝撃波圧力較正曲線より求めた限界衝撃圧力で比較した。Table 5 からわかるように、Al 系スラリー爆薬では衝撃起爆感度の温度依存性が顕著であるが、これは他の爆薬についても

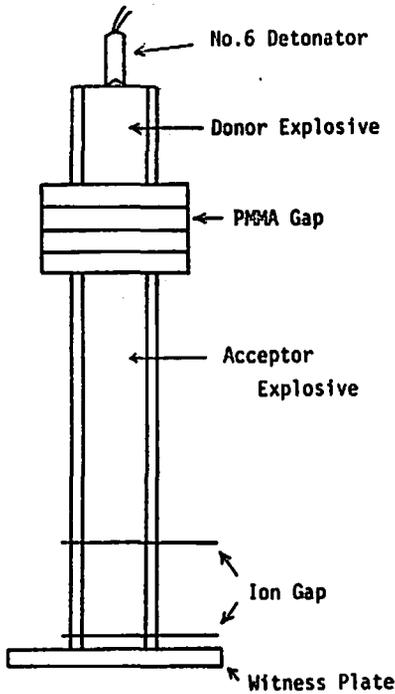


Fig. 1 Experimental setup

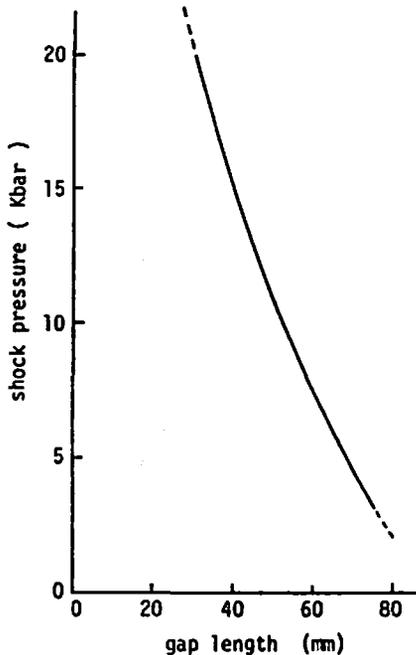


Fig. 2 Relation between gap length and shock pressure

一般に言えることであり、エマルジョン爆薬の衝撃感度の温度依存性がほとんどないことは特異な現象といえよう。

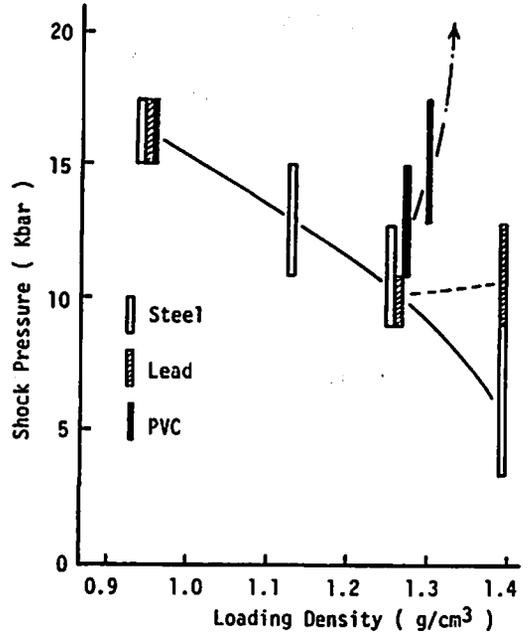


Fig. 3 Variation of shock sensitivity of emulsion explosive with density in various acceptor containers.

#### 4.2 アクセプター容器材質の影響

アクセプターの長さを大きくとった場合には、爆・不爆の判定にアクセプター容器の材質の影響が如実にあらわれる。すなわち、Table 4およびFig. 3でわかるように、塩ビ管では受爆薬の密度が大きくなると横からの希薄波の影響も大きくなるために、 $\rho=1.30\text{g/cm}^3$ を越えると、薬長20cmまで爆轟を維持できず中断する。鉄管あるいは鉛管の場合には、エマルジョン単独のものでも20cmまでは爆轟伝播するが、鉛は鉄に比して、より大きな入射衝撃圧が必要とされる。

エマルジョン単独の場合に、鉛管よりも鉄管の方がconfinementの効果が大きい理由については次のように推察する。著者ら<sup>9)</sup>が示したように、鉄管(内径36mm)中でのエマルジョン爆薬の爆速は密度約 $1.3\text{g/cm}^3$ で最大となり、それより密度が大きくなるにつれ爆速は低下する。また他の実験によると本組成のエマルジョン単独の場合は安定な爆轟を呈さず、しだいに減衰していくことがわかっている。エマルジョン爆薬の密度が大きくなるにつれ爆轟速度は低下し、反応速度が小さくなることからreaction zoneの巾は大きくなるものと予想されるが、エマルジョン単独のものでは、その巾は極めて大きいであろう。したがってエマルジョンは金属中に装填された場合においてもreaction zoneへの横からの希薄波の影響があらわれ、爆轟波が減衰していくものと考えられる。金属中に爆薬

Table 5 Critical shock pressure for "Chitagel" at various temperature  
( $\rho=1.03\text{g/cm}^3$ )

| Temp. (°C) | Critical Shock Pressure (Kbar) | Donor Explosive           | Acceptor Container        |
|------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0          | 8.4-7.1                        | Pentolite                 | PVC                       |
| 20         | 4.9-3                          | (31mm $\phi$ ×30mm $l$ )  | (31mm $\phi$ ×50mm $l$ )  |
| 50         | <3*                            | RDX-NG-NC                 | Steel                     |
| 80         | <3*                            | (32mm $\phi$ ×100mm $l$ ) | (36mm $\phi$ ×200mm $l$ ) |

\* Critical gap length at 50°C < at 80°C

\*\*Trade name of Aluminized Slurry explosive

を装填した場合の confinement の効果に差異をもたらせる要因としては、簡単には (1) 金属の慣性<sup>6)</sup> (2) 管中の衝撃波速度 (3) 金属の対衝撃強度等が考えられる。本実験結果において、エマルジョン単独の場合に鉄管と鉛管とで confinement の効果の差が生じたのは (1), (2) では説明できず、(3) の理由によるものと推測される。鉄管の衝撃圧に対する破断圧力<sup>7) 8)</sup> は大きいとされているのに対し、鉛のそれは小さいと予想されるために、エマルジョン単独の爆轟という不安定な条件下においては密閉強度が効いてくるものと思われる。

#### 4.3 密度の影響

3種類のアクセプター材質のうち最も密閉効果の大きかった鉄管については、Table 4およびFig. 3から明らかのように、受爆薬の密度が大きくなるにしたがい限界衝撃圧力が小さくなる傾向を示している。塩ビ管や鉛管についても  $\rho=1.3\text{g/cm}^3$  くらいまではそれと同様の傾向を示すと思われる。

Price<sup>9)</sup> は硝安あるいは過安 (Price のいう Group 2 に属する) は、密度の増大とともに限界衝撃圧力は大きくなると述べているが、硝安系含水爆薬<sup>10)</sup> あるいは過塩素酸塩系のスラリー爆薬<sup>11)</sup> については、それらの起爆感度はわれわれの結果と類似したものとなっている。気泡量が減少するにつれ衝撃起爆感度が増大する理由については、受爆薬の密度が大きいかほど衝撃インピーダンスが大きく、PMMA 板からの透過波圧力が大きいことや、気泡が含まれることにより衝撃波が減衰されやすい<sup>12)</sup> ことによるものだと推察される。

なお、エマルジョン単独のものでも乳化時に気泡が抱き込まれることは避けられず、若干の空気泡が含まれていることにも留意すべきであろう。また、ガラス自体の衝撃起爆感度に及ぼす影響も考慮する必要があ

らう。

#### 5. 結論

エマルジョン爆薬の衝撃起爆感度は、少なくとも -20°C から +100°C までの温度範囲では、その温度依存性はほとんどみられないという特異な性質が示された。また密度が大きくなるにつれ起爆感度が高くなる傾向が示されたが、これはインピーダンスの相違および気泡による衝撃波の減衰等で理由づけられるものと推察する。エマルジョン単独の場合には、鉛管よりも鉄管の方が confinement の効果が大きかった。これは reaction zone の巾が極めて大きいために金属の破断圧力の差が関係するためであると推察する。

#### 文献

- 1) 疋田強, 工業火薬, 24, 44 (1963)
- 2) たとえば 飯田稔他, 工業火薬, 33, 291 (1972)
- 3) 松本栄他, 工業火薬, 37, 173 (1976)
- 4) W. J. Halpin and R. A. Graham, Proc. 4th Symp. on Det., 222 (1965)
- 5) 服部勝英他, 工業火薬投稿中
- 6) J. Taylor, Detonation in Condensed Explosive, CLARENDON PRESS, London, (1952)
- 7) 高橋清, 兵藤申一, 工業火薬, 27, 280 (1966)
- 8) 古川浩他, 工業火薬, 42, 24 (1981)
- 9) Donna Price, Proc. 11th Symp. on Combs, 693 (1967)
- 10) 米田圀昭他, 工火協, 昭和55年度春季講演会前刷集,
- 11) 安部隆幸他, 工火協, 昭和57年度春季講演会前刷集
- 12) 米田圀昭他, ibid,

## Card Gap Test of Emulsion Explosive

by Yoshikazu HIROSAKI\*, Toshio ISHIDA\*,  
Katsuhide HATTORI\* and Hiroshi SAKAI\*

Shock sensitivity of an emulsion explosive containing a different amount of glass microballoons was measured by a card gap test. Acceptor explosives confined into 20 cm length-pipe of steel, lead and PVC were shocked by RDX-NG-NC system donor explosive through the shock attenuator of PMMA plates.

Temperature doesn't almost affect shock sensitivity of an emulsion explosive at least in the range of  $-20\sim 100^{\circ}\text{C}$ , because the small droplet diameter of W/O type-emulsion prevents oxidizer solution from precipitating even at low temperature circumstance.

Shock initiation pressure values of emulsion explosive were decreased as the density increased in the confined state. Emulsion in a lead pipe needs shorter gap length than that in a steel pipe for detonation wave to propagate over the distance as long as 20 cm. This results from smaller rupture stress of lead than that of steel.

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

---