

## エマルジョン爆薬の燃焼特性(第2報)

### —DDT試験—

廣崎義一\*, 鈴木 聡\*, 高橋康博\*, 加藤幸夫\*

気泡保持材としてガラスマイクロバルーン(GMB)または樹脂バルーン(RMB)を含有するエマルジョン爆薬の燃焼から爆轟への転移(DDT)の可能性を調べた。フランス式DDT試験法を参考に、小型化した装置(内容積約330cm<sup>3</sup>)を考案して試験を行った。エマルジョン爆薬の製造工程における安全性評価を目的としたため、すべての実験は爆薬初期温度約100℃で行われた。RMBを含有する爆薬は燃焼が継続せず、GMBを含有する爆薬も燃焼初期の圧力増大によって鋼管の一部が破壊し、爆発は生じなかった。アルミニウム粉の添加された爆薬は着火後、爆燃状態に至ることがあり得ることが黒色火薬を用いた場合との比較で示されたが、爆轟に至るといふ明確な情報は得られなかった。系内の燃焼圧力を開放するための破裂板は短時間で作用することが示され、燃焼から爆燃への転移を抑止する上で有効であることが確認された。

#### 1. 緒言

エマルジョン爆薬の燃焼特性について、主に加圧容器試験での結果を第1報<sup>1)</sup>で報告した。エマルジョン爆薬の製造工程あるいはエマルジョン爆薬のバルク装填におけるポンプ輸送において、ポンプを含めた配管内では密閉空間内であるために、発火あるいは分解が生じると燃焼から爆轟へ転移する可能性がある<sup>2)3)</sup>。われわれはエマルジョン爆薬のポンプによる輸送過程に対する安全性評価の一環として、その燃焼特性を評価する実験を行った。また、配管内における急激な圧力上昇を開放することによって爆発への転移を防止する安全装置として破裂板が用いられることがあるが、その効果についても評価したのでそれらの結果を報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 爆薬試料

実験に用いたエマルジョン爆薬試料の組成をTable 1に示す。試料Aは硝酸アンモニウムと硝酸ナトリウムを主要な酸化剤としたもの、試料BはAの硝酸アンモニウムのうち5.5部を硝酸ヒドラジンで置き換えたもの、試料CはAにアルミニウム粉を添加したもので

ある。気泡保持材として用いられたガラスマイクロバルーン(GMB)は平均粒径が63μmの単一球であり、レジマイクロバルーン(RMB)はポリスチレン樹脂製の平均粒径が470μmの複合球である。またアルミニウムは平均粒径が33μmのアトマイズドアルミニウムである。RMBおよびアルミニウムは酸化還元反応に寄与するものとして、いずれの試料爆薬もその酸素バランスがほぼゼロになるように油分量を調整した。試料A、BおよびCの密度は20℃においてそれぞれ1.16、1.10および1.16g/cm<sup>3</sup>であった。

##### 2.2 DDT試験

DDT試験に用いた試験装置をFig. 1に示す。フランス式DDT試験法<sup>4)</sup>を参考に、試験場の薬量制限の関係からそれを小型(内容積約330cm<sup>3</sup>)にした装置を作製した。試験容器はJIS規格配管用炭素鋼管SGP32Aを長さ320mmに切断し、その両端を32A用高圧キャップでネジ締めした構造である。片方のキャップにニクロム線を配した電極を設けて試料爆薬を着火させた。加熱に使用されたニクロム線は直径0.4mm、長さ15mmで、通電電流6.5Aのときの温度は約700℃である。

試料爆薬を鋼管内に装填したのち、100℃で2時間以上調温した。調温ののちに鋼管と同じ材質からなるキャップを締め、試験に供した。

##### 2.3 破裂板試験

配管内の圧力上昇に伴う破壊を防止する装置とし

1999年9月17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宇北小松谷61-1  
TEL 0569-72-0921  
FAX 0569-73-7376

Table 1 Formulation of emulsion explosives

Ingredient	A	B	C
Ammonium nitrate/Sodium nitrate	80.7	77.9	77.2
Hydrazine nitrate	—	5.4	—
Water	10.8	10.9	10.2
Emulsifier/Wax	5.2	4.8	4.6
Glass microballoon <sup>*1</sup>	3.3	—	3.4
Resin microballoon <sup>*2</sup>	—	1.0	—
Aluminum powder <sup>*3</sup>	—	—	4.6

\*1) Mono-cell sphere of glass balloon with average diameter of 63  $\mu$  m

\*2) Multi-cell sphere of polystyrene balloon with average diameter of 470  $\mu$  m

\*3) Atomized aluminum with average diameter of 33  $\mu$  m

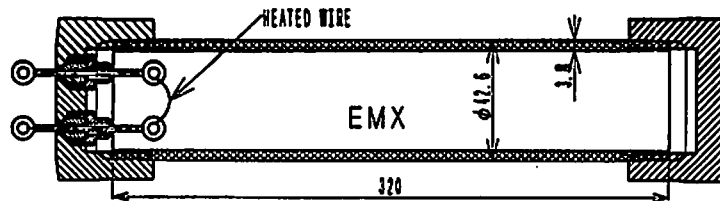


Fig. 1 Apparatus for DDT test

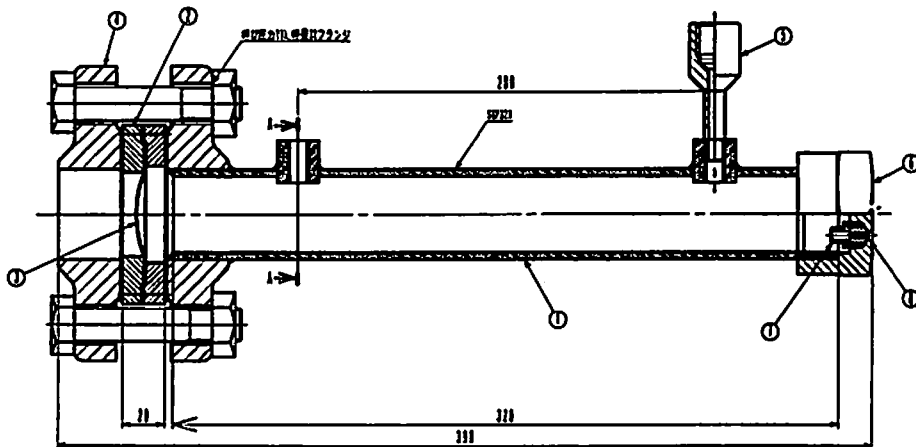


Fig. 2 DDT test equipment which installs a rupture disc for pressure release

- ①steel pipe ②holder for rupture disc ③rupture disc ④flange
- ⑤pressure sensor holder ⑥cap ⑦sealant ⑧heating wire holder

て、所定の圧力で破断する面を有する破裂板がある。この破裂板の効果を確かめるための実験装置をFig. 2およびFig. 3に示す。DDT試験と同じ鋼管(内容積約330cm<sup>3</sup>)を使用し、着火側と反対側には破裂板を装着し、着火点から60mmと260mmの2点に鋼管内の圧力を計測するためのセンサーを設置した。鋼管内部の圧力変化をひずみ式圧力センサー(共和電業製、PGS-

50KA, 0~50kgf/cm<sup>2</sup>)およびアンプ(共和電業製、CDV-230C, 周波数DC~200KHz)で連続的に記録するとともに、容器内に挿入した熱電対(岡崎製, Type-K)およびアンプ(YOKOKAWA製, GT5-TK, 0~1000°C)によって測定された内部温度をデータレコーダ(TEAC製, RD-111T, 周波数DC~5 KHz)およびデジタルオシロスコープ(YOKOKAWA製, DL-

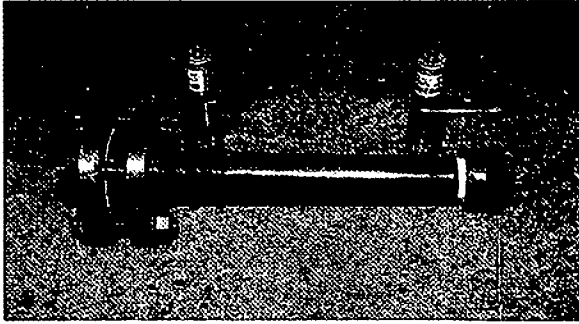
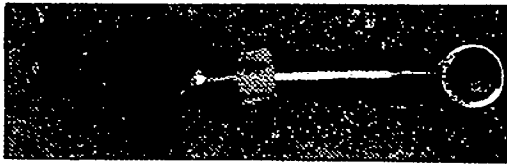


Fig. 3 Photograph of the equipment for DDT test



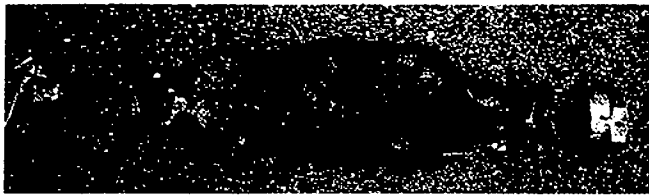
(1) Sample A



(2) Sample B



(3) Sample C



(4) Black powder

Fig. 4 Examples of DDT test results

1200E)によって記録した。

破裂板には岸川特殊バルブ製の40AディスクFS型(設計破裂圧力2.0MPa)を用いた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 DDT試験

各爆薬試料に対する試験結果をFig. 4に示す。比較として黒色火薬に対する常温での試験結果も示した。試料Aは前報<sup>1)</sup>で報告したように、加圧容器試験においてはこれらの試料のうち最も着火性が大きかったも

のであるが、初期の分解生成ガスによると思われる圧力によって鋼管の両端のネジ部が破断し、ほとんどの試料は鋼管内に残存していた。試験を5回繰り返したがいずれも同じ結果が得られた。試料Bは着火せず、鋼管は無変形であった(n=4)。試料Cに対して5回行った試験のうち、2回において鋼管が破壊し、その程度は黒色火薬のそれと同等であった。鋼管の破壊状況からは爆燃と推察される。残りの3回のうち、1回は試料Aと同じく鋼管のネジ部で破断しており、2回は無変形であった。試料Bの方がAよりも反応性が低い理由としては、前報<sup>1)</sup>で示した加圧容器試験においてと同様、エマルジョン爆薬の組成の違いによるものではなく、含まれる気泡保持材の材質による影響によるものである。すなわち試料Aに含まれるGMBと異なり、試料Bに含有されるRMBはヒーター周辺の爆薬成分の分解による圧力上昇に伴って収縮し過度の圧力上昇が妨げられることと、ヒーター近傍に空隙が生じるために以後の反応が進行しなくなるものと考えられる。また、アルミニウム粉を含有する試料Cが最も反応性が激しいのは、含まれるアルミニウム粉の燃焼熱が大きいいため、熱粒子として作用し、エマルジョン爆薬の燃焼が維持されやすいためと推察される。

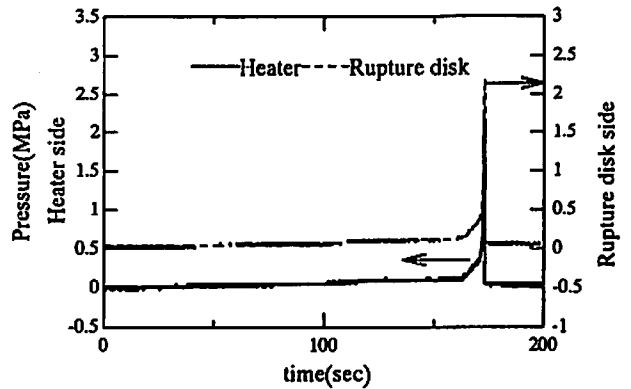


Fig. 5 Internal pressure history of the DDT sample installed with a rupture disc

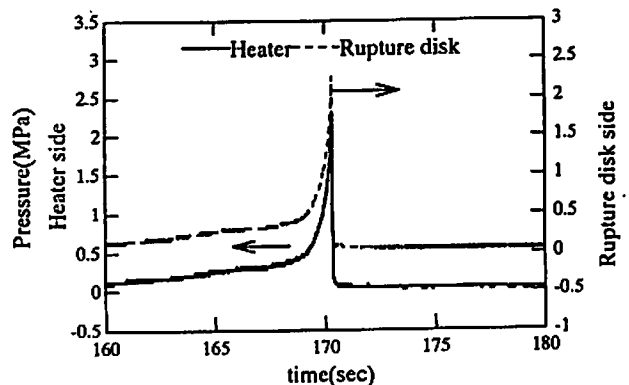


Fig. 6 Detailed pressure-time curve of Figure 5

### 3. 2 破裂板試験

DDT試験の結果から、爆発(爆燃)を生ずる可能性が認められるのは試料Cのみであることから、この試験においては試料Cを用いた。鋼管内の圧力測定結果の一例をFig. 5に、圧力の立ち上がり付近の波形を拡大した図をFig. 6にそれぞれ示す。ニクロム線ヒーターを加熱してから約170秒経過後、試料の分解・燃焼反応に伴う圧力上昇が観察され、圧力は最大約2.3MPaまで上昇した。このとき破裂板は破裂しており、試料爆薬の爆発は生じなかった。破裂板が破裂することによって圧力が開放されるが、破裂板側の圧力測点において圧力が下がり始める時間を基準にした場合、200mm離れた着火側の圧力測点における圧力降下開始は1ms遅れていた。また、破裂板側の測点における最大圧力が2.26MPaであったのに対し、着火側の測点における最大圧力は2.28MPaであり、0.02MPaの差が認められた。同様なほかの試験においても同じ傾向が見られた。破裂板の作動に伴って鋼管内の試料爆薬が破裂板方向に移動する際の運動量が大きいためこのような時間差が生じ、着火側での圧力低下が遅れて圧力差が生じたものと考えられる。

### 4. 結 論

DDT試験および破裂板試験の結果から、以下のことが示された。

- (1) 気泡保持剤としてRMBを含有するエマルジョン爆薬は加圧容器試験と同様、着火から持続的燃焼

には至らなかった。これは爆薬の部分的な加熱分解に伴う圧力上昇によってバルーンが収縮し、継続的な圧力上昇が妨げられることによる影響と思われる。

- (2) アルミニウム粉を含有するエマルジョン爆薬は燃焼から爆燃に至ることがあるが、それによる鉄管の破壊程度は黒色火薬と同等であった。
- (3) 配管に装着された破裂板は、分解による圧力を開放させることによって、爆燃を防止するのに極めて有効であることが確認された。

### 文 献

- 1) 廣崎義一, 鈴木聡, 高橋康博, 加藤幸夫, “エマルジョン爆薬の燃焼特性(第1報)”, 火薬学会誌, 61, pp.35-42(2000)
- 2) H. Perlid, “Pump Safety Tests Regarding Emulsion Explosives”, Proceedings of the 22nd Annual Conference in Explosives and Blasting Technique, pp. 101-111(1996)
- 3) M. Braithwaite, “Thermal Hazard Testing of Aqueous Emulsion Explosives”, International Exchange of Experience on Industry-Connected Accidents of the Explosives Industries, Nice-France, pp. 150-166(1993)
- 4) Recommendation for the transportation of dangerous goods, Manual of tests and criteria, second edition, pp. 138-140(1995)

## Burning characteristics of emulsion explosives (II) —DDT test—

Yoshikazu HIROSAKI\*, Satoru SUZUKI\*, Yasuhiro TAKAHASHI\*  
and Yukio KATO\*

A probability of deflagration to detonation transition (DDT) was evaluated for the emulsion explosives containing glass microballoon (GMB) or resin microballoon (RMB) as the density control material with small sized DDT equipment that has been arranged from the French method. All the tests were performed at the elevated initial temperature of around 100°C to evaluate the safety in the manufacturing process of the emulsion explosives. The emulsion explosives containing RMB showed no steady reaction. The emulsion explosives sensitized by GMB caused partial reaction that lead to the rupture of steel pipe close to the screw cap, followed by the reaction interruption without explosion. The GMB-sensitized emulsion explosives containing aluminum powder of 33  $\mu$  m in diameter showed steady burning or deflagration just like in the case of black powder. No evidence of causing detonation during test was derived. Installing a rupture disc to pipe as safety device is confirmed to be effective to release the pressure induced by the partial reaction and to prevent the violent reaction due to DDT.

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

---