

エマルジョン爆薬の耐衝撃性について

衣沢俊雄*, 村上正治*, 池田義之*, 山本顕一郎*

エマルジョン爆薬の衝撃圧力下での爆轟性を調べるため、水中における耐衝撃試験を実施した。これらの試験は爆源となる励爆薬包と試料の受爆薬包との距離、および受爆薬包の点火時間を変化させることにより、試料爆薬の爆発限界を調べる方法を用いた。同時にダイナマイト、スラリー爆薬（アイレマイト）についても行ない、それらの耐衝撃性を比較した。エマルジョン爆薬の完爆性は起爆源からの距離と受爆薬包の点火時間に影響され、その度合はエマルジョン爆薬に含まれるガラスパプルの強度により異なることが判明した。即ち、エマルジョン爆薬の場合は空気泡を保持しているガラスパプルの物理的強度が爆轟性の維持と強い相関性を有することが判った。

1. 緒 論

含水爆薬の技術が日本に導入され、各種の発破において含水爆薬が実用化され始めて約7年が経過する。50mm以上の比較的大きな薬包径の含水爆薬を使用する発破では、問題はそれほど見られないが、25~30mm径の薬包を用いる発破、特に隧道掘進等の段発破では現在でもダイナマイトに較べ威力が弱い、あるいは不発残留が多い等の問題が指摘されており、このためダイナマイトから含水爆薬への転換速度は当初考えられていたより著しく遅いものとなっている。

含水爆薬はその成分中に水を含んでいる事が特徴であり、このため、その単位重量当りの発生エネルギーはそれが完全に反応するとしても計算上はダイナマイトに比較して低くなる。しかし小薬包径の含水爆薬を用いる発破でしばしば指摘される低性能の実情を考えると、これらの発破で含水爆薬が計算上のエネルギーを放出しているとは考えられない場合がある。何らかの原因で含水爆薬が一部不発残留、ないしは完全に全エネルギーを放出しないため、全般的な発破効果が悪いと考えられる。もし少くとも不発残留が起らないようにするか、あるいは全エネルギーが完全に放出できるようにすれば、小薬包の含水爆薬の評価もダイナマイトに近いものとなるであろう。

この考えに基づいて、我々は含水爆薬の不発残留の原因について以下に整理すると、

1° 発破操作における過誤

……雷管脚線のリーフ、結線もれ等

2° 雷管に原因があるもの

……雷管の不発残留

3° 含水爆薬に原因があるもの

A. カットオフ

B. チャンネル効果

C. 段発破による隣接孔からの衝撃による死圧現象、不完全爆轟

である。これらの不発残留の原因は夫々どの程度のウェイトがあるかは今後の詳細な研究に待たねばならないが、今回は特に上述の3°-Cの隣接孔からの衝撃による死圧現象に的を絞って実験を実施した。

スラリー爆薬のように強力な鋭感剤を保有しない低感度爆薬にあつては、その爆轟性を維持するためには小さい気泡の存在が必要であり、その割合はきわめて重要であることが知られている。それ故、スラリー爆薬はその種類によって多少異なるが、小さい気泡を爆薬内いかに導入するかが爆薬製造上のノウハウであると言っても過言ではない。ある種のものには化学反応の発泡による適当な中空を形成させたり、その他のものはエマルジョン爆薬のように空気泡をガラス中空球体の中に固定密封して導入する方法もある。このような導入方法の差によっても隣接孔からの衝撃に対する挙動が異なることも予想されるので、本実験では含水爆薬アイレマイトについても隣接孔に模した水中衝撃試験を実施し、その耐性も比較検討した。又参照資料として、2号板ダイナマイトについても同じ試験を実施した。加圧下（静圧と動圧の2種の条件）における上述3種の爆薬の爆速を測定し、衝撃を受けた場合の威力低下の度合を観測した。

昭和57年8月26日受理

*日本化薬㈱ 火薬研究所

〒757 山口県厚狭郡山陽町厚狭2-300

TEL 08367-2-1234

エマルジョン爆薬については強度の異なる3種類のガラス中空球体（以後ガラスバブルと呼ぶ）を用い、気泡の強度とエマルジョン爆薬の耐衝撃感度に関係があるかどうかを調べた。

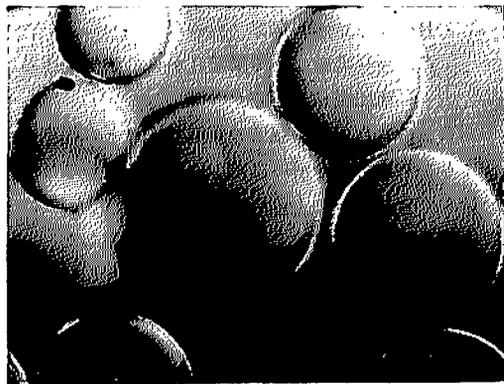
2. 実験

2.1 爆薬とガラスバブル

本実験に供した爆薬は、ダイナマイトとして日本化薬製2号楯ダイナマイト、また、従来の含水爆薬とし

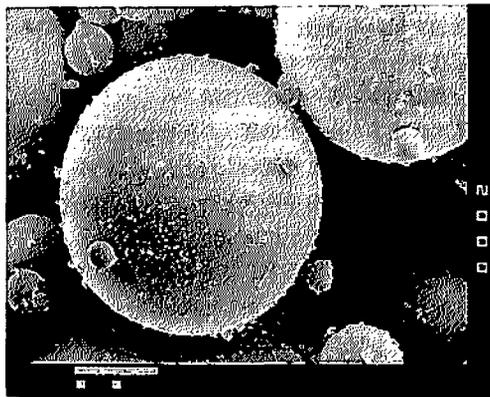
てアルミ粉を鋭感剤とした日本化薬製アイレマイト、又新しいタイプの含水爆薬として、エマルジョン爆薬を使用した。エマルジョン爆薬は、比重と強度のみを変更した3M社製のガラスバブル3種を用いて夫々の爆薬を調整した。3種のエマルジョン爆薬のガラスバブルを除いたエマルジョンの組成は同一のものを使用した。これらの供試爆薬を一覧表にして下記に示す。

記号	爆薬名	備考								
A	日本化薬製2号楯ダイナマイト	ニトログリセリン/ニトログリコール含有量22%，比重1.35								
B	日本化薬製含水爆薬（アイレマイト）	鋭感剤としてアルミ粉を使用，化学発泡剤により比重を調節，比重1.05~1.10								
C-1	エマルジョン爆薬 ガラスバブル B 15/250*	エマルジョンの組成（重量%） <table border="1"> <thead> <tr> <th>AN</th> <th>SN</th> <th>水</th> <th>燃料質</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70.0</td> <td>9.6</td> <td>14.1</td> <td>6.3</td> </tr> </tbody> </table>	AN	SN	水	燃料質	70.0	9.6	14.1	6.3
AN	SN		水	燃料質						
70.0	9.6		14.1	6.3						
C-2	エマルジョン爆薬 ガラスバブル B 23/500*									
C-3	エマルジョン爆薬 ガラスバブル B 28/750*	C-1~C-3の比重は1.10になるようにガラスバブルの添加量を調整								



10μ

写真1. ガラスバブル B28/750
（3M社製）の顕微鏡写真
微分干渉型顕微鏡による倍率
2,000倍



10μ

写真2. ガラスバブル B28/750
（3M社製）の走査型電顕による
表面状態の観察（倍率2,000倍）

3M社製のガラスバブルは次はような特徴をもっている。またB28/750についての通常の顕微鏡写真と走査型電子顕微鏡写真を写真1, 2, に示した。

B15/250; 比重0.15 10%の破壊圧力=250psi
B23/500; // 0.23 // =500psi
B28/750; // 0.28 // =750psi

粒径は10μ から大きいもので100μ まで分布しており、完全密閉型である。

2.1 水中衝撃試験

水中において爆源となる薬包（ドナー）、および受爆包（試料薬包、アクセプター）をFig. 1に示すように配置した。ドナーにはエマルジョン爆薬B28/750（サイズ25mm径×100g）を常に使用した。アクセプターとしては各種の試験爆薬（サイズ30mm径×100g）を使用した。ドナーは6号瞬発電気雷管で起爆し、アクセプターは次の5種の段発電気雷管で起爆する。両方

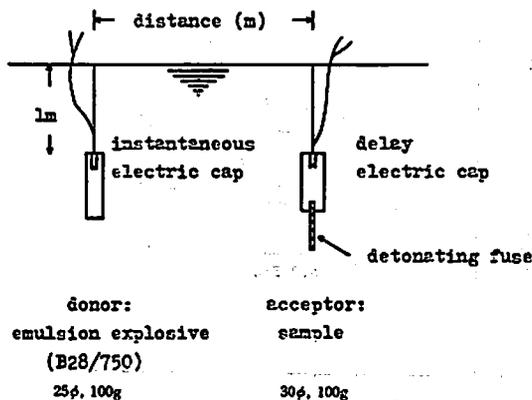


Fig. 1 Dynamic Shock Test in Water

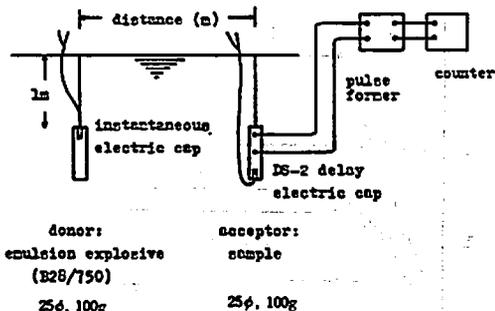
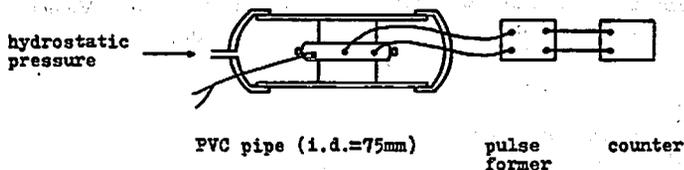


Fig. 2 Detonation Velocity Measurement Under Dynamic Shock



の通電は同時に行った。又アクセプターの爆・不爆の判定はアクセプターの下部に長さ 30cm の導線線を取りつけ、これの爆・不爆によって判定した。

アクセプターに取り付けられた段発電気雷管とその遅発秒時

段数	平均秒時
MS-3 段	40msec
MS-5 "	80 "
MS-7 "	125 "
DS-2 "	250 "
DS-4 "	750 "

実験では各種爆薬、各種遅発秒時についてそれぞれ 3 回の試験でアクセプターが 3 回とも完爆する最少の距離を求めて、限界爆発距離とした。

2.2 動圧下の爆速測定

水深 1 m の位置にドナー及びアクセプターを Fig. 2 に示すように配置し、ドナーとしてはエマルジョン爆薬 B 28/750 (25mm 径×100g) を使用した。アクセプターは試験爆薬 3 種、ダイナマイト、アイレマイト、エマルジョン爆薬 B 28/750 (C-3) とし、薬包サイズは 25mm 径×100g を用いた。ドナーに装着した雷管は瞬発で、アクセプターは DS-2 段 (250ms Delay) の段発雷管で同時通電したが、アクセプターの雷管は爆速測定時にイオンギャップの線を不用意に切断しない

よう薬包尻に装着した。実験はドナーからの距離を変化させ、各々の距離における爆速を測定した。

2.3 静圧下の爆速測定

内径 75mm の塩ビ製加圧容器 (耐圧 12kg/cm² まで) に供試爆薬 (エマルジョン爆薬及びダイナマイトは 25mm 径×100g 紙巻き、アイレマイトは 30mm 径×200g を使用した) に 6 号瞬発電気雷管を取り付けてセットし、窒素ガスにより水媒体を加圧して所定の圧力にしながら発火し、イオンギャップ法で爆速を測定した。(Fig. 3 参照)

3. 結果と考察

3.1 水中衝撃試験

試験の結果を纏めて Fig. 4 (1) に示す。また、あらかじめ行った起爆源ドナー薬包の水中での圧力を富士フィルム社製の感圧紙 (プレスケール高圧用および中圧用) を用いて測定し、一方、水中の各距離における衝撃圧力を Kirkwood-Bethe の式¹⁾,

$$P = K(W^{1/3}/R)^n$$

(ここで、 W = 爆薬量 [kg], R = 爆源からの距離 [m])

K = 係数 524, $n = 1.13$ と仮定した)

を用いて求めた距離-圧力曲線と共に Fig. 4 (2) に示す。

Fig. 4 (1) には、ダイナマイトの場合、DS-2 段のデータのみが記載されているが、ダイナマイトではす

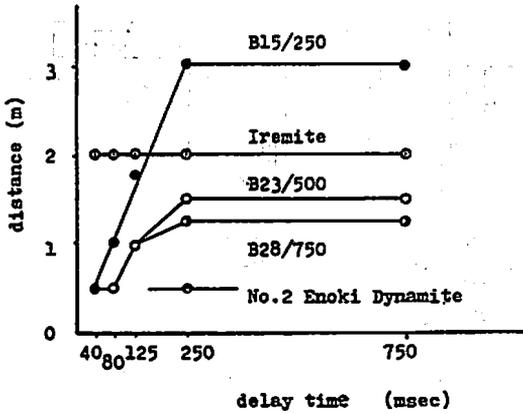


Fig. 4. 1 Dynamic Shock Test in Water

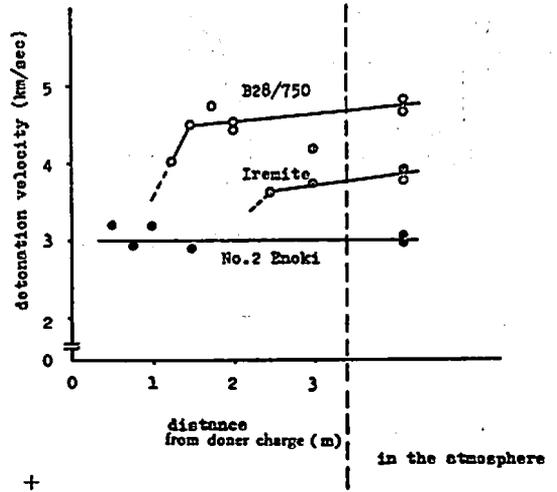


Fig. 5 Detonation Velocity Under Dynamic Shock

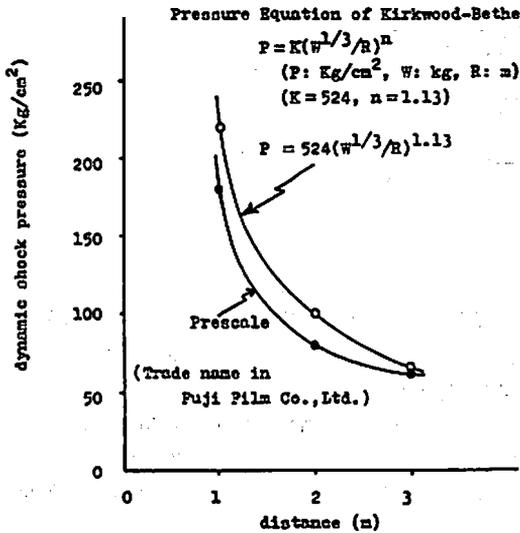


Fig. 4. 2 Dynamic Shock Pressure of Emulsion Explosive E28/750 (25×100g) in Water

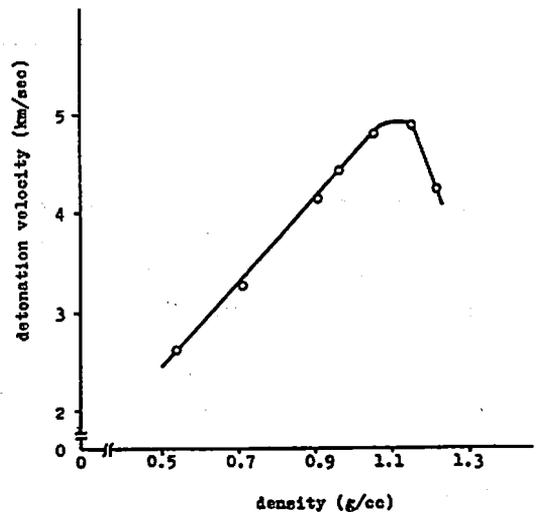


Fig. 6 Density vs. Detonation Velocity for Emulsion Explosive B28/750 (25×100g) in the atmosphere

すべての段発秒時25cmの距離でドナーの段発によりアクセプターは殉爆し、50cmの距離ではドナーの影響を受けず、どの秒時でもすべて完爆した。

アイレマイトの場合、段発秒時に無関係ですべての秒時で限界爆発距離は一定で2.0mを示した。

エマルジョン爆薬の場合は段発秒時が40msecから250msecまではその限界距離が秒時とともに変化した。250msecより長い秒時では限界距離は一定となり、最も弱いガラスバブルを含むエマルジョン爆薬 B15/250 (C-1) は3m、ついで B23/500 (C-2) 爆薬は1.5m、最も強いガラスバブルを含む B28/750 (C-3) 爆薬は1.25mとなった。

エマルジョン爆薬の実験結果から、ガラスバブルが

起爆機構の所謂ホットスポットとしての役割を果たしていると理解される。即ち比較的短い250msec迄の段発秒時には、爆発の限界距離と段発秒時との間に一種の比例関係が見られる。これはアクセプターに含まれるガラスバブルが爆源ドナーからの衝撃により破壊されるのにある有限時間が必要であることを示している。即ち、B15/250では40msec、B23/500とB28/750では80msecで破壊が始まり、これら3種とも250msec附近でその破壊は完了するものと考えられる。

ダイナマイトおよびアイレマイトがその爆発限界距離に大小の差はあるにしても、両者共秒時に無関係に

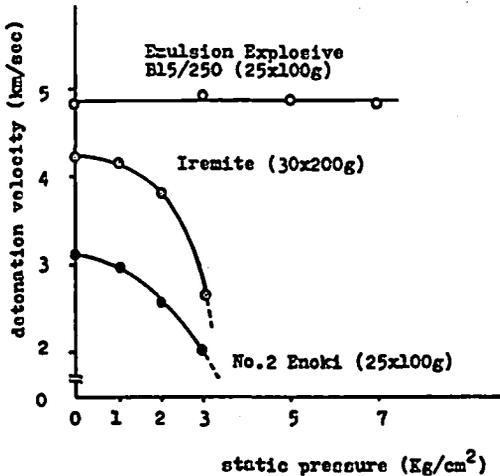


Fig. 7 Detonation Velocity Under Static Pressure

一定値を示す事は、非常に興味深い。これはダイナマイト、アイレマイトの両者の場合もホットスポットとして気泡が作用するが、この気泡はドナーからの衝撃でほとんど瞬間的に圧縮されるためと考えられる。ダイナマイトの爆発の限界距離が非常に短いのは、ドナーからの衝撃の影響を受け難いことを示し、この場合はダイナマイトの中に含まれる高感度のニトログリセリンが完爆性を維持するのに役立っていると考えられる。これに対し、アイレマイトに含まれるアルミ粉の鋭感剤としての効果はかなり低いものと思われる。

3.2 動圧下の爆速

測定結果を Fig. 5 に示した。DS-2 の段発電気雷管で起爆したダイナマイトはドナーからの距離に関係なく、約 3,000msec の爆速値を示した。この値が通常言われているダイナマイトの JIS 爆速に比べ相当低いのは、水中での条件が開放条件に近い事を意味している。

アイレマイトではドナーからの距離が減少すると 2 m 迄は爆速値は徐々に減少し、2 m 以下に接近すると不爆となる。

エマルジョン爆薬 B 28/750 (C-3) では 1.5 m 迄は

爆速値は徐々に減少する程度であるが、その爆発の限界距離 1.25 m 付近で急速に減少し不爆に至る。この事はガラスバブルの強度が粒子径や厚みに依存し、その値は比較的広い範囲で分布しており、弱いバブルは比較的弱い衝撃で破壊されて、それだけ爆速は低くなる。限界距離付近では、もはや大部分のバブルは破壊され、破壊率を実測すると、50%以上となっており、その時のエマルジョン爆薬の比重は 1.25 以上となって、6号雷管による起爆の限界に達するものと考えられる。大気圧下でのエマルジョン爆薬の比重と爆速との関係を求めて Fig. 6 に示したが、同様な関係が、動圧によって部分的に破壊されたガラスバブルを含有するエマルジョン爆薬についても求められるものと考えられる。

3.3 静圧下における爆速

測定結果を Fig. 7 に示す。ダイナマイトやアイレマイトの耐圧性は 4kg/cm² 前後であり、密封されない空気泡によってその感度を維持する爆薬は静圧の影響を著しく受けると解釈できる。これに対しエマルジョン爆薬の場合、ガラスバブルにより保護された密封型の気泡を含有しているため、ガラスバブルの破壊強度以下の静圧では感度、爆速に影響がないものと考えられる。

以上の実験と考察から、ダイナマイト、スラリー爆薬、エマルジョン爆薬いずれもそれらの爆薬の起爆と爆轟伝播のためには気泡の存在が不可欠であり、特に低感度爆薬であるスラリー爆薬やエマルジョン爆薬ではその気泡がホットスポットとして大きな役割を果たしていると推測される。実際の発破現場で隣接孔ショックによる後段発破不発残留の現象を静圧、動圧のように単純に分類することはできないが、これを回避するための爆薬の設計は少なくとも①含有成分に高感度の物質を使用すること、②含有する気泡の強度を向上させることであり、特に②は動圧に抗する性能を左右しているものと考えられる。

文 献

- 1) Cole, R. H. : Underwater Explosions Princeton University Press, p 241~242(1948)

Detonability of Emulsion Explosives under Dynamic Pressure

by Toshio MATSUZAWA*, Masaharu MURAKAMI*
Yoshiyuki IKEDA*, Kenichiro YAMAMOTO*

We have examined the detonability of emulsion explosives under dynamic pressure in water, comparing that with those of dynamite and slurry explosives. Dynamic pressures were generated by underwater explosions of donor charges. In these tests, dynamic pressures were varied by varying the distance between donor and acceptor (sample) charges and the delay times of initiation of acceptor charges were also varied by the use of several kinds of delay caps. Three kinds of emulsion explosives containing B15/250, B23/500 and B28/750 as glass bubbles have been tested.

In these emulsion explosives, there was a proportionality between the strength of air bubbles in the charges and the critical pressure for the detonability under dynamic shock loading. It was confirmed that air bubbles play an important role as hot spots in the initiation of the explosives.

(*Nippon Kayaku Co., Ltd. Explosives Division, Explosives Laboratory,
2300, Ohaza-Kohri, Sanyo-cho, Asa-gun, Yamaguchi Pref. 757)
