



水中爆発を用いた爆発性の評価(V)

水中爆発を用いた工業爆薬の性能評価

劉 栄海*, 細谷文夫**, 金子良昭***

為頼俊文****, 和田有可*****, 松永匡裕*****

田村昌三*****, 吉田忠雄*****

水中爆発を用いて、衝撃波エネルギーおよび気泡エネルギーを測定する方法によって、工業用アンモン爆薬の性能評価を行った。

2種類のアンモン爆薬について、爆発威力、限界薬径、衝撃感度および伝爆性について実験を行った結果、両者の間には有意差は認められなかった。

また、試料量と単位重量当りの気泡エネルギーの間には、試料量の増加に伴って単位重量当りの気泡エネルギーも増加する傾向があることが示された。

1. はじめに

工業爆薬はアルフレッド・ノーベルのダイナマイト発明以来120年の歴史を持っている。その性能は爆発威力と感度の面から評価されてきた。爆発威力は動的威力と静的威力に分けて考えられ、前者は主として爆速によって、後者は弾動臼砲又は弾動振子値によって評価されてきた。又、感度の評価法としては落錘感度試験が最も多く用いられてきた。

しかし、近年になって工業爆薬は鈍感なもの主流となり、従来の方法では十分な評価ができない場合が増えてきた。筆者らは先に全ての工業爆薬に適用できる衝撃感度試験法として弾動臼砲を用いる可変起爆剤衝撃感度試験¹⁾及び小型ギャップ衝撃感度試験²⁾を開発した。そしてこれらの方法を工業爆薬の衝撃感度の測定に応用した³⁾。

筆者らは最近水中爆発を用いた可変起爆剤試験⁴⁾及び小型ギャップ試験⁵⁾を開発した。また、水中爆発によって爆発の衝撃エネルギー及び気泡エネルギーが測

定できる⁶⁾。これらのエネルギーは爆発の動的エネルギーと静的エネルギーにはほぼ対応すると考えられる。

2. 実験

2.1 試料

性能評価の対象としては、由良染料製⁷⁾のアンモン爆薬A及びBを用いた。AとBとの違いは製造方法の違いである。雷管は日本化薬⁸⁾の0,1,2,3及び6号電気雷管を用いた。小型ギャップ試験用内筒、ポリエチレンカードと可変起爆剤試験用試料容器及びプラスチック蓋は文献¹²⁾に示したものと同一である。PETNは日本化薬⁹⁾製粉状PETNを用いた。

2.2 実験方法

水中爆発は前報⁵⁾に準じて細谷火工¹⁰⁾技術開発センターのプールで行なった。砂中爆発も既報¹⁰⁾に準じた由良染料¹¹⁾日比工場の敷地内で行った。

2.3 計測

前報⁵⁾に示した方法と同様である。但し、100gのアンモン爆薬包の実験では水深2m、薬包—ゲージ間距離2mを用いた。

2.4 解析法

爆薬が水中で爆発するとき、爆発エネルギーは二つの形式で放出される。既に水中衝撃波エネルギーと気泡エネルギーである。両方の圧力波波形はトリマリンゲージを使って一度に記録されて、次の式でその動的効果と静的効果を解析できる。

衝撃波エネルギー E_s :

$$E_s = 4\pi R^2 / (\rho_w C_w) \int_0^{3\theta} P^2 dt$$

ここに、 R は測定点から爆源までの距離、 ρ_w は水の密度、 C_w は水中の音速、 p は衝撃波の圧力、 θ は衝撃

昭和63年6月22日受付

*南京華東工学院
中国南京市孝陵衛 200号

**細谷火工株式会社
〒197 東京都秋川市菅生大沢 1874

***日本化薬株式会社
〒757 山口県厚狭郡山陽町大字部 2300

****由良染料⁷⁾
〒640 岡山県玉野市深井町 12-17

*****東京大学工学部
〒113 東京都文京区本郷 7-3-1

*****化学技術研究所
〒305 茨城県筑波郡谷田部町東 1-1

波の $P-t$ 曲線を指数減衰式にあてはめて得られる時間定数である。即ち θ は衝撃波の圧力 p が最大圧力 p_{max} の $1/e$ となるまでの時間であり、

$$p = p_{max} e^{-t/\theta}$$

$$t = \theta \text{ 時に } p = p_{max}/e$$

普通、衝撃波の減衰定数と言われる。

ここでは記録された圧力を衝撃の発生から 5θ の時間までについて次の式

$$\sum_{i=0}^{n-1} \{ [p(I)^2 + p(I+1)^2] / 2 \}$$

を用いて数値積分を行って E_s を求めた。ここに、 N は 5θ をサンプリングタイム ($1 \mu\text{sec}$) で割った数である。

気泡エネルギー E_b :

$$E_b = 6.84 \times 10^7 P_0^{5/2} T_b^3$$

或は

$$E_b = kc P_0^{5/2} T_b^3 \rho_w^{-3/2}$$

ここに、 P_0 は爆発点の静水圧、 T_b は爆発気泡の膨脹収縮運動の第一脈動周期、 k は定数、 ρ_w は水の密度である。 P_0 と T_b の単位をそれぞれ bar と sec にとれば E_b の単位は J (即ち Joule) である。

3. 結果と考察

3.1 爆発威力

アンモン爆薬薬包を水深 2 m のところに垂直に用いて爆発させた時の衝撃波エネルギーと気泡エネルギー測定結果を Table 1 に示した。

アンモン A とアンモン B については有意差は認められない。本実験では衝撃波エネルギーはバラツキが大

Table 1 Results of underwater explosion of ammon explosive cartridges

No.	explosive	diameter mm	length mm	mass g	P_0 kg/cm ²	E_s kJ	T_b msec	E_b kJ	net E_s kJ	net E_s kJ/g	net E_b kJ	net E_b kJ/g
54	ammon A	30	140	100	80.5	76.6	121	192.77	76.4	0.76	191.98	1.92
56	ammon B							196.63			195.84	1.96
58	ammon A							188.01			187.22	1.87
55	ammon A	25	195	100	94.2	68.3	117	174.22	68.1	0.68	173.43	1.73
57	ammon B	25	195	100	80.7	67.3	117	174.22	67.1	0.67	173.43	1.73
49 ^{a)}	ammon A	10	100	6.8	34.6	3.4	52.0	12.20	3.20	0.47	11.41	1.68
50 ^{a)}	ammon B	10	100	6.8	28.1	2.4	50.1	10.90	2.14	0.36	10.11	1.49

a) water depth 1 m

きく、威力性能の評価にそのまま用いるには問題がある。実験 58 は薬包に水が入って不完爆であった可能性がある。気泡エネルギーの方が衝撃波エネルギーよりも再現性が良いが A 及び B の違いを検出していない。

同じ薬量であれば、細長い薬包の方が見かけ上小さい E_b を与えている。これは Bjarnholt⁷⁾ による観測と同じ傾向である。

3.2 限界薬径

これらの爆薬は、内径 10 mm のポリ塩化ビニル管中でも、6 号雷管起爆によって得られる単位重量当りの気泡エネルギーが、可変起爆剤試験で完爆している時の単位重量当りの気泡エネルギーと同等の値を与えているので伝爆しているといえる。したがって、限界薬径は 10 mm 以下である。

3.3 衝撃感度

水中可変起爆剤試験の結果を Table 2 に示した。水中小型ギャップ試験の結果を Table 3 に示した。この二つの感度試験の結果をプロットして Fig. 1 に示した。

Fig. 1 の横軸には小型ギャップ試験のギャップ長の対数と可変起爆剤試験の起爆剤の気泡エネルギーを併用した。この両者の間には理論的な整合性はない。しかしこのような取り方が工業爆薬の感度の比較に便利なので、この様な表示を採用した。本実験の結果、小型ギャップ試験の 0 mm ギャップの値が可変起爆剤試験の起爆剤の $E_b = 0.33 \text{ kJ}$ の結果と似た結果が得られたので、Fig. 1 のような横軸の整合を行った。更にデータが追加されれば変更の可能性がある。

小型ギャップ試験では先端が凹型の 0 号雷管を用いる。また、試料の厚さも 5 mm 程度と薄い。したがって、可変起爆剤試験で 0 号雷管を用いた場合より、小型ギャップ試験で 0 号雷管を用いた場合の方が試料の爆発割合が大きくなる。

Fig. 1 から、アンモン爆薬 A と B との感度に実質的な差のないことが分かる。この結果と文献⁹⁾を比較すると、アンモン爆薬 A 及び B の感度はアイレマイトのそれに近く、ダイナマイト、カーリット、エナゲル

Table 2 Results of underwater variable initiator test for ammon explosive (AE) 5g in a sample container

No.	explosive	diameter	P _s kg/cm ²	E _s kJ	T _b msec	E _b kJ	net E _s kJ	net E _s kJ/g	net E _b kJ	net E _b kJ/g
28	ammon A	no.0	18.8	0.50	32.5	2.98	0.46	0.09	2.76	0.55
29		no.1	25.2	1.45	42.4	6.62	1.36	0.27	6.27	1.25
30		no.2	43.6	2.46	45.3	8.07	2.34	0.47	7.56	1.51
31		no.3	46.0	2.73	46.1	8.50	2.56	0.51	7.85	1.57
20		no.6	39.3	2.64	47.2	9.13	2.43	0.49	8.34	1.67
8	ammon B	no.0			32.6	3.01			2.79	0.56
40		no.1	31.0	1.69	43.1	6.95	1.60	0.32	6.58	1.32
48		no.2	37.0	2.54	45.5	8.18	2.42	0.48	7.67	1.53
42		no.3	32.0	1.83	43.8	7.29	1.66	0.33	6.64	1.33
	without AE	no.0	2.7	0.04	13.6	0.22				
		no.1	3.3	0.06		0.35				
		no.2	5.7	0.12	18.0	0.51				
		no.3	13.6	0.19	19.6	0.65				
		no.6	13.2	0.21	20.9	0.79				

Table 3 Results of underwater small gap test for AE0.3g in a tube ; initiator:no.0 detonator

No.	explosive	gap length mm	P _s kg/cm ²	E _s kJ	T _b msec	E _b kJ	net E _s kJ	RN E _b kJ/5g	net E _s kJ	net E _s kJ/g	net E _b kJ/g
32	ammon A	0	13.4	0.16	19.9	0.68	0.37	6.17	0.05	0.17	1.23
33		1	9.6	0.11	18.1	0.51	0.20	3.33	0.00	0.00	0.67
34		2	9.3	0.10	18.3	0.53	0.22	3.67	-0.01	-0.03	0.73
43	ammon B	0	18.2	0.20	19.8	0.67	0.36	6.00	0.09	0.30	1.20
44		1	16.5	0.17	18.7	0.57	0.26	4.33	0.06	0.20	0.87
45		2	10.7	0.09	16.1	0.36	0.05	0.83	-0.02	-0.06	0.17

MA 7, 黒カーリットより鈍感であり, ハママイト, ANFOより鋭感なことが分かる。

3.4 工業爆薬の可変起爆剤試験結果と伝爆性

可変起爆剤試験で完爆した場合でも伝爆性がない場合がある。例えば, コンポジットロケット推進薬のMKⅢ弾動臼砲を用いた可変起爆剤試験結果はアンモン爆薬とはほぼ類似の正味振れ幅曲線を示す⁹⁾。しかし, 同じコンポジット推進薬は水中50/60鉄管試験で伝爆性を示さない⁹⁾。本研究の可変起爆剤試験では2号雷管で試料アンモン爆薬はほぼ完爆している。この条件

でアンモン爆薬が伝爆性を持つかどうかを見るために, 砂中伝爆性試験¹⁰⁾を行った。この結果をTable 4に示す。その結果, 1号雷管起爆では半爆で, 2号雷管起爆では, 25mmφ及び30mmφのアンモン爆薬A及びBが全て完爆であることが示された。

文 献

- 1) 村永浩太郎, 松永岳裕, 田村昌三, 安部隆幸, 吉田忠雄, 「MKⅢ弾動臼砲の性能と応用(X)弾動臼砲を用いた爆発性物質の衝撃感度」工業火薬 46, 162(1985)

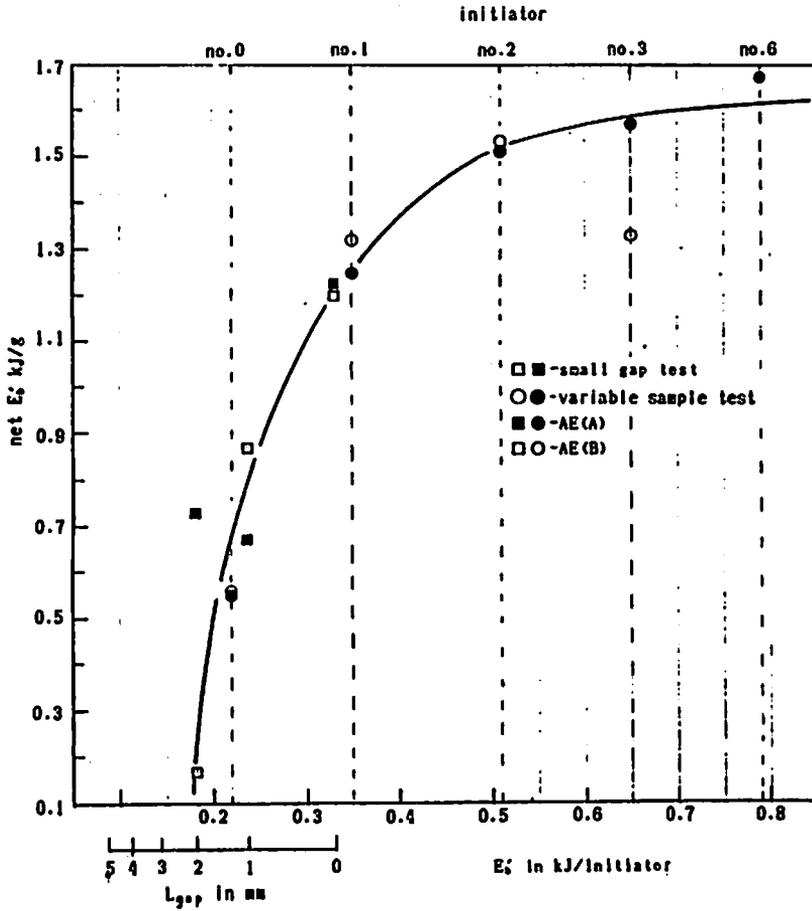


Fig. 1 Plot of net E_0 vs gap length (L_{gap}) and E_0 of initiator

Table 4 Results of undersand explosion test for ammon explosives

explosive	size of explosive cartridge		detonator		
	diameter (mm)	mass (g)	no. 0	no. 1	no. 2
ammon A	25	100	×	△	○
	30	100	×	△	○
ammon B	25	100	×	△	○
	30	100	×	○, △	○

× : no explosion
△ : partial explosion
○ : explosion

- 2) 松永猛裕, 村永浩太郎, 伊藤 葵, 蔵持 勇, 田村昌三, 吉田忠雄, 「MK III 弾動臼砲の性能と応用(XI) 弾動臼砲を用いた小型ギャップ衝撃感度試験法」工業火薬 46, 327(1985)
- 3) 吉田忠雄他, 「工業爆薬の熱分解の激しさと衝撃感度」, 火薬と保安, 19(3), 11(1987)

- 4) 金子良昭, 木村 歩, 吉田信生, 田村昌三, 吉田忠雄, 「水中爆発を用いた爆発性の評価(I), 可変起爆剤試験による衝撃感度」, 工業火薬, 投稿中
- 5) 松永猛裕, 劉 栄海, 金子良昭, 和田有司, 田村昌三, 細谷文夫, 吉田忠雄, 「水中爆発を用いた爆発性の評価(IV) 水中小型ギャップ試験」, 工業火

- 粟, 投稿中
- 6) C.H.Cole, "Underwater Explosions", Princeton University Press (1948)
- 7) G.Bjarnholt and R.Holmberg, "Explosive Expansion Work in Underwater Detonations", 6th Symposium on Detonation, p.441 (1976)
- 8) 松永猛裕, 田村昌三, 岩間 彬, 吉田忠雄, 「HMX入りコンボジット推進薬の衝撃感度及び伝爆性評価法の研究(第1報)—弾動臼砲及び弾動振子による評価—」, 工業火薬, 48, 95(1987)
- 9) 松永猛裕, 田村昌三, 岩間 彬, 斉藤照光, 吉田忠雄, 「HMX入りコンボジット推進薬の衝撃感度及び伝爆性評価法の研究(第2報)—砂中爆発法及び水中爆発法による評価—」, 工業火薬, 48,105(1987)
- 10) 松永猛裕, 村永浩太郎, 黒田英司, 伊藤 葵, 田村昌三, 安部隆幸, 斉藤照光, 吉田忠雄, 「砂中爆発法の性質と応用(1)—漏斗孔容積と伝爆性—」, 工業火薬, 47, 306(1986)

Evaluation of Explosive Properties by Underwater Explosion (V)

Evaluation of Performance of Industrial Explosive by Underwater Explosion

by Rong-Hai LIU*, Fumio HOSOYA**, Yoshiaki KANEKO***, Toshifumi TAMEYORI****, Yuji WADA*****, Takehiro MATSUNAGA*****, Masamitsu TAMURA***** and Tadao YOSHIDA*****

The performance of commercial ammon explosives was evaluated by measuring the shock and bubble energies obtained by using underwater explosions.

Two types of ammon explosives were examined in power of explosion, critical diameter, shock sensitivity and detonation propagation. The results of examinations didn't show much difference between the two explosives.

And we investigated the relationship between the sample mass and the bubble energy on the mass base. There was the tendency that the heavier sample mass was the bigger the bubble energy on the mass base was.

(*Chemical Engineering Department, East China Institute of Technology, 200 Xiao Ling Wei, Nanjing, China.

**Technology Development Center, Hosoya Kako Co., Ltd., 1874 Sugo, Ohsawa, Akiyama-shi, Tokyo 197, Japan.

***Asa Laboratory, Nippon Kayaku Co., Ltd., Sanyo-cho, Asa-gun, Yamaguchi-ken 757, Japan.

****Hibi Factory, Yura Dyestuff Co., Ltd., Japan
12-17 Fukai, Tamano-shi, Okayama-ken 706, Japan.

*****Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering, Tokyo University, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

*****National Chemical Laboratory for Industry. Tsukuba Research Center, Ibaraki-ken 305, Japan)