



Mk III弾動臼砲の性能と応用 (XVIII)

—弾動臼砲値と水中ガスエネルギーとの比較—

松永猛裕*, 飯田光明*, 中山良男*

村永浩太郎***, 吉田忠雄**, 田中一三*

Mk III弾動臼砲試験における弾動臼砲値を解釈するために、同じ試料アセンブリで水中爆発試験を行い、得られた水中ガスエネルギーと比較した。その結果、両者の間には良好な相関が得られた。これより、Mk III弾動臼砲試験が静的爆発威力を測定する試験として、簡便で信頼性の高いものであることが示された。また、水中爆発試験に比べ、密閉度が良く、残さの処理が簡単で、地震動が少ないなどの長所があり、反応性物質の爆発危険性評価に適していることがわかった。また、Mk III弾動臼砲で用いられる試料量や試料容器についてもいくつかの知見が得られた。

1. はじめに

火薬類などの爆発時の静的威力を測定する試験としては、従来、トラウズル鉛とう試験、弾動臼砲試験および弾道振子試験などが用いられてきた¹⁾。

筆者らの一部は、これまでに、反応性物質の爆発威力を測定する目的で、英国RARDEで開発された小型のMk III弾動臼砲²⁾を用いて火薬類³⁾、酸化剤⁴⁾、有機過酸化化合物⁵⁾の爆発危険性を評価してきた。また、このMk III弾動臼砲の特性を検討し⁶⁾、条件を変えることにより反応性物質の衝撃起爆感度⁷⁾¹²⁾および伝爆性⁸⁾を調べられる可能性を見いだした。しかしながら、Mk III弾動臼砲では爆発時に臼砲に与えられた運動エネルギーを測定しているものの、それが試料の何に相当するのか、あるいは、弾動臼砲値が何を意味するのかが不明瞭だった。

一方、近年、爆発性物質の性質を調べるために水中で起爆し、その生成ガスの挙動を調べる、水中爆発試験⁹⁾が盛んに行われている。この試験では衝撃波によるエネルギーと爆発生成ガスの膨張によるエネルギー

をそれぞれ求めることができる。また、この2つのエネルギーはそれぞれ動的威力、静的威力に対応するといわれている。

そこで本報告では、水中爆発試験を行い、得られたガスエネルギーとMk III弾動臼砲値とを比べ、弾動臼砲が示す威力について考察した結果を述べる。

2. 実験

2.1 用いた試験および試料容器

用いた試料はPETN, TNT, RDX, HMX, 過酸化ベンゾイル(BPO)および液体爆薬である硝酸ヒドラジンの抱水ヒドラジン溶液¹⁰⁾(HN/HHと略す。混合比はHN/HH=75/25wt%)である。HN/HH以外はすべて工業製品である。

試料は、Fig.1(a)に示す市販のサンプルビン(内容積10mlまたは15ml)に一定量詰める方法と、比較のため、クレラップ(呉羽工業製)製、ポリ塩化ビニレン製薄膜)で包んだ方法(Fig.1(b))を用いた。

2.2 水中爆発試験

水中爆発試験は化学技術研究所にある水槽を用いた。この水槽は直径8m、深さ5mの円筒型である。

試料はそれぞれ6号雷管(日本化学製)を差し込んだ後、浮かび上がらないようにおもりをつけ、水深2mの位置にセットした。

水中ガス脈動周期は以下のようにして測定した。すなわち、試料から水平位置で1mの地点にトルマリンゲージ(NSWC製)を置き、爆発ガスの脈動の際に放出される衝撃圧を検出した。その信号をチャージアンブ(Kistler製, 503)で増幅した後、デジタルメモリー

昭和63年7月6日受理

*化学技術研究所安全化学部
〒305 茨城県つくば市東 1-1
TEL 0298-54-4792**東京大学工学部反応化学科
〒113 文京区本郷 7-3-1
TEL 03-812-2111(内7291)***日本カーリット(株)保土ヶ谷工場
〒240 横浜市保土ヶ谷区仏向町 1625
TEL 045-331-3042

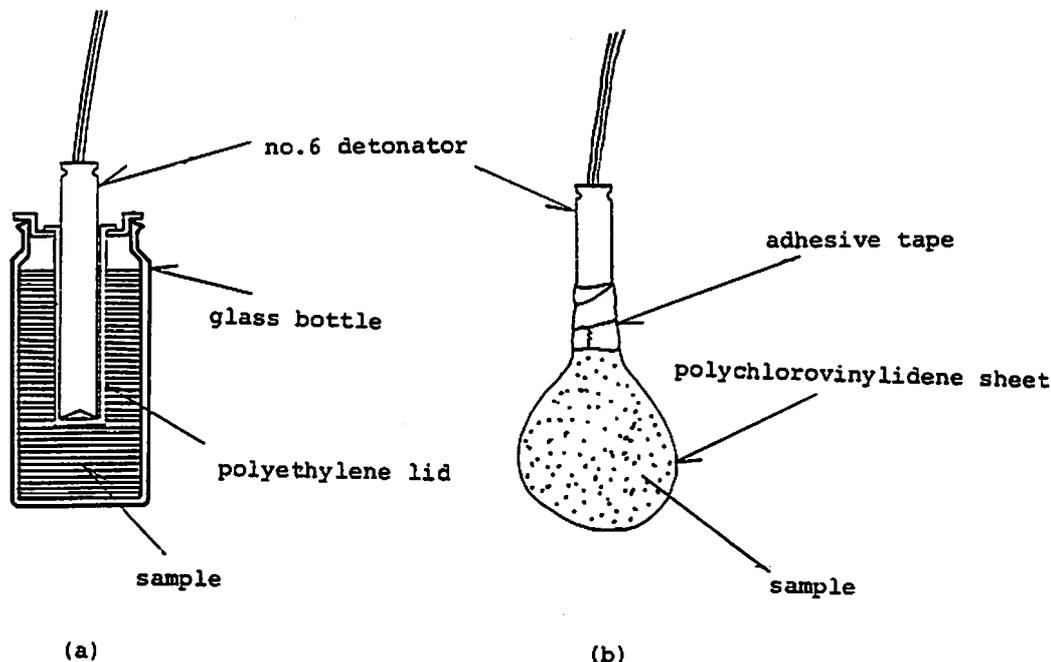


Fig. 1 Sample assembly for the underwater explosion test.

(岩通錘, DM-703)でA/D変換して周期の値を讀んだ。

水中ガスエネルギーは次の式により、求めた⁹⁾。

$$E_b = 6.84 \times 10^4 P_0^{5/2} T_0^3 \text{ [kJ]} \quad (1)$$

P_0 : 静水圧[bar]

T_0 : 脈動周期[sec]

試料自身のガスエネルギーは実験で得られた E_b から6号雷管のガスエネルギー(E_b^0)を差し引いたものとし、それを試料量で割ったものを e_b [kJ/g]とした。

3. 実験結果

水中爆発試験の結果をTable 1に示した。また、これに対応するMk III弾動臼砲の結果をTable 2に示した。

4. 考察

4.1 水中ガスエネルギーにおける試料容器の影響

Fig.3にガラスビンの中に入れた場合の試料量と水中ガスエネルギーとの関係を示した。また、Fig. 2にはクレラップで包んだ場合を示した。図中の γ 切片はそれぞれ6号雷管のものである。これを見るとクレラップで包んだ場合、水中ガスエネルギーは試料量に対してよい比例関係を示すが、ガラスビンに詰めた場合、TNTやBPOのように試料量の少ないところで直線関係から下にずれる物質がある。この原因は、1つには少量のため、ビン内の試料の位置が偏り、その物質が完全に反応(完爆という意味ではない)していないことと、もう1つには、少量ではガラスビン内に空間

が多くエネルギーがビン内の空気に吸収されてしまうということが考えられる。しかしながら、反応性のよいPETNやHN/HHでは少量で空間が多くてもよい直線性を示すことから後者の要因はないか、あるいは無視できる程度であると考えられる。

一方、Mk III弾動臼砲では、水中より密閉度が高いため、TNTやBPOでもよい直線関係が得られる。しかしながら、ANFOのように少量では完全に反応しない物質もある⁶⁾⁸⁾。

このことは、ガラスビンを用いて爆発威力を調べる試験の場合、従来のように重量一定ではなく、ガラスビンがある程度一定に満たすように試料を詰め、形状一定、即ち、容量一定で試験する方がよいことを示している。

Fig. 4にガラスビンに詰めた場合と、クレラップに包んだ場合の水中ガスエネルギーの違いを示した。この値は試料を変えた実験で1g当りのガスエネルギーが最大のものを取り、プロットしたものである。一般にガラスビンに詰めた場合、起爆時にガラスビンを破壊するのにエネルギーを要するため、クレラップに包んだものよりもガスエネルギーが低くなることが考えられる。6号雷管やPETN, RDXおよびHMXなどはこのため、クレラップで包んだ場合の方が大きなエネルギーを示す。しかしながら、MAN, BPOなどはガラスビンに詰めた方がエネルギーは大きい。これには、次の理由が考えられる。即ち、ガラスビン

Table 1 Results of the underwater explosion test
(1) A No.6 detonator

Vessel [ml]	T_b [msec.]	E_b [kJ]
—	21.4	1.06
—	21.6	1.09
—	21.8	1.12
—	22.0	1.15
—	21.25	1.04
—	21.7	1.10
—	21.4	1.06
—	21.35	1.05
		1.08 (Average= E_b^0)
10	20.05	0.87
10	20.00	0.86
		0.87 (Average= E_b^0)

(2) Explosives and others

Material	Weight [g]	Vessel [ml]	T_b [msec.]	E_b [kJ]	e_b [kJ/g]
PETN	1	—	32.8	3.81	2.73
	2	—	39.3	6.55	2.74
	2	—	39.8	6.80	2.86
	5	—	52.3	15.44	2.87
	5	—	52.0	15.17	2.82
	5	—	52.3	15.44	2.87
	10	—	65.4	30.18	2.91
	10	—	65.1	29.77	2.87
	2	10	38.4	6.11	2.62
	2	10	38.0	5.92	2.53
	2	15	37.1	5.51	2.32
	5	10	50.2	13.65	2.56
	5	10	50.1	13.57	2.54
	10	10	63.3	27.37	2.65
	TNT	2	—	33.6	4.09
4		—	41.3	7.60	1.63
5		—	44.99	9.77	1.74
10		—	56.3	19.20	1.81
1		10	26.9	2.10	1.24
2		10	31.15	3.26	1.20
3		10	37.0	5.47	1.54
4		10	35.1	4.67	0.95
4		10	38.9	6.35	1.37
5		10	44.9	9.77	1.78
10	15	56.5	19.46	1.86	
HMX	5	—	49.6	13.17	2.42
	5	10	47.6	11.64	2.16
	8.91	10	58.4	21.49	2.31

Material	Weight [g]	Vessel [ml]	T_b [msec.]	E_b [kJ]	e_b [kJ/g]
RDX	5	—	49.9	13.41	2.47
	5	—	49.6	13.17	2.42
	10	—	60.3	23.66	2.26
	5	10	48.5	12.31	2.29
	5	10	48.6	12.39	2.31
	10	10	60.3	23.66	2.28
HN	1	—	31.3	3.31	2.23
	2	—	36.8	5.38	2.15
	5	—	48.2	12.08	2.20
	10	—	59.6	22.84	2.18
	5	15	47.8	11.78	2.18
	5	10	48.0	11.93	2.21
MAN	2	—	30.3	3.00	0.96
	5	—	38.4	6.11	1.01
	10	—	47.8	11.78	1.07
	5	15	41.07	7.47	1.32
HN/HH(I)	5.06	10	44.1	9.25	1.66
	7.08	10	49.0	12.69	1.67
	10.07	10	54.8	17.76	1.69
BPO	1	—	23.7	1.44	0.36
	5	—	31.0	3.21	0.43
	7	—	34.2	4.32	0.46
	2	10	25.7	1.83	0.48
	3	10	27.6	2.27	0.47
	4	10	29.4	2.74	0.47
	5	10	30.0	2.91	0.41
	5	15	31.6	3.40	0.51
	7	15	35.1	4.67	0.54

に詰めの方はガラスビンがすぐ壊れるために爆発エネルギーは気泡エネルギーにすぐ変換されるが、クレラップでは弱い爆発物の場合、破壊され難く爆発エネルギーの放出が遅れて、その間に冷えてエネルギーが減少するためと思われる。

従って、ガラスビンに試料を詰める場合、ガラスビンを破壊するためにエネルギーを費やされるが、一方、反応性の低い物質ではクレラップで包んだときにはクレラップがすぐに壊れないためにエネルギーが減少する。したがって、エネルギーは、この2つが相互に作用した形で得られる。

4.2 水中ガスエネルギーとMk III弾動白砲値との相関

Mk III弾動白砲試験は英国RARDEで開発された小型弾動白砲試験でオリジナルの試験法²⁾は、10gの試料と8号雷管をスズ箔で包み、白砲内に詰め、石英砂57gの入った紙筒でタンピングした後、起爆し、その振れ幅から威力を求めるものであった。その威力の計算は(2)式に従い、TNT比で求められる。

$$B = \frac{d^2 - d_0^2}{d_1^2 - d_0^2} \quad (2)$$

ここで、 d : 6号雷管+試料10gの振れ幅

d_1 : 6号雷管+TNT10gの振れ幅

d_0 : 6号雷管のみの振れ幅

我々は、この試験機の耐久性および試験の再現性を向上させ、また、試験の単純化を図るために、次のよ

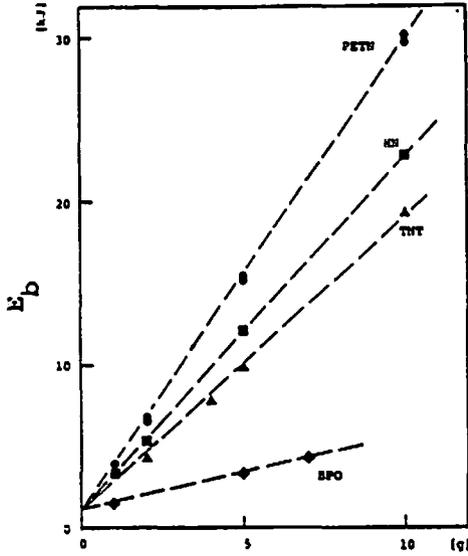


Fig. 2 Variation of bubble energy (E_b) with weight of sample wrapped.

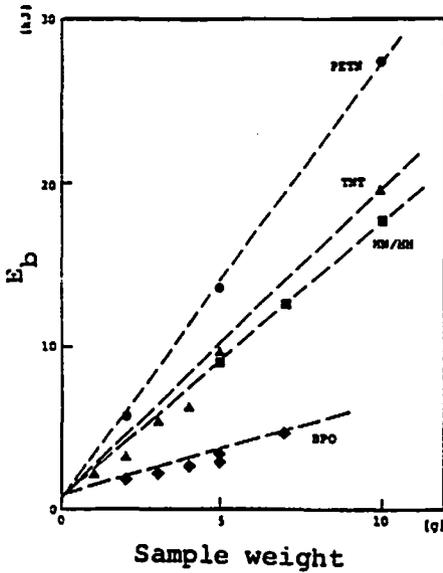


Fig. 3 Variation of bubble energy (E_b) with weight of sample in a bottle.

うな改良をした。まず、耐久性をよくするために、臼砲内の構造を変え、試料量を5gとした。また、結果の再現性、及び試験の簡便化のために試料をガラスビンに入れ、砂によるタンピングではなくて、1.98kgの鋼鉄性の投射物で臼砲のフタをした。また、爆発威力の計算も振れ幅の2乗で計算するB値よりも振れ幅そのもので計算するB'値(3式)の方がもっともらしい

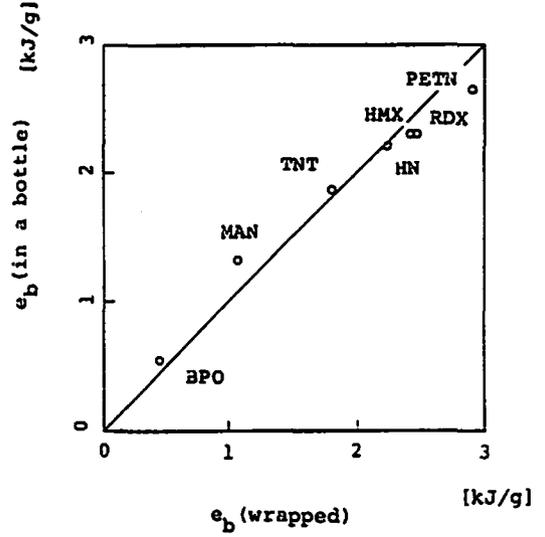


Fig. 4 Difference between e_b (wrapped) and e_b (in a bottle)

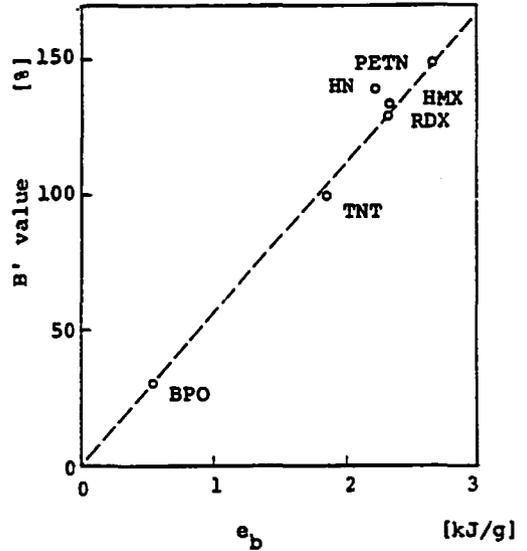


Fig. 5 Correlation of e_b (in a bottle) with B' values.

答えを与えることがわかった⁶⁾。

$$B' = \frac{d-d_0}{d_1-d_0} \quad (3)$$

Fig.5にB'値と水中爆発試験で得られた単位質量当りのガスエネルギー e_b との相関を示した。データ数は少ないが非常によい比例関係がある。これはB'値が静的威力を示す指標として適当であること、また、Mk III弾動臼砲試験が爆発威力を測定するのに信頼性のある試験であることを示している。この比例関係は、

(4)式で示され、これにより、Mk III弾動臼砲値(B' 値)より、水中ガスエネルギーを推定できる。

$$e_0 = 1.73 \times 10^{-2} B' \quad (4)$$

4.3 Mk III弾動臼砲の長所

Mk III弾動臼砲による爆発エネルギーが水中のガスエネルギーとよく一致していることから、弾動臼砲の結果から水中爆発試験の予測ができる可能性があることがわかった。このことは、これまで意味の不明瞭だった弾動臼砲値に定量的な意味を与えた。しかしながら、火薬類のような物質の爆発威力を正確に測定しようとするならば、水中爆発試験の方が優れている。

そこで、Mk III弾動臼砲を用いる利点について考えてみると、第1に爆発するかしないかのわからない反応性物質の危険性評価に適している。実験は水中爆発実験よりもはるかに簡単で、試料が爆発しなかった場合もその後処理が簡単である。第2に、Mk III弾動臼砲の方が試料のまわりの密閉度が良く、反応性の弱い物質でも爆発する可能性が水中より高い。第3に、水中爆発試験では爆発に伴う地震動が激しいが、Mk III弾動臼砲ではそれが殆どない。ただし、爆発音は水中より大きい。

5. まとめ

水中爆発試験を行うことにより、Mk III弾動臼砲について以下のことが明らかにされた。

•Mk III弾動臼砲値(B' 値)は水中ガスエネルギーと良い相関があり、このことから、Mk III弾動臼砲は静的威力を測定するには簡便で、定量的な装置であることがわかった。

•Mk III弾動臼砲は水中爆発実験に比べ密閉度がよく、残さの処理が簡単で、地震動が少ないことから、反応性物質の爆発危険性を評価するのに適している。

•試料量や試料容器を変えると得られるエネルギーは、若干異なる。このことは、危険性評価という立場ではそれほど問題にならないが、水中爆発試験を行うことにより、詳細な知見が得られた。

謝 辞

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(奨励研究(A)特別研究員)の援助により行われた。謝意を表す。

文 献

- 1) 工業火薬協会編、「火薬ハンドブック」、共立出版、

(1987)

- 2) B.C.Turner, "The Mk I and Mk III Ballistic Mortar Tests. Part I", RARDE, Branch Memorandum, EM/2/2/73 (1973).
- 3) 安部隆幸, 村永浩太郎, 大内博史, 林 維明, 弘文禮, 伊藤 葵, 田村昌三, 吉田忠雄, 「弾動臼砲 Mk III Dの性能と応用(I)—火薬類への応用—」, 工業火薬, 44, 236(1983)
- 4) 武井秀一, 伊地知哲朗, 大内博史, 村永浩太郎, 安部隆幸, 田村昌三, 吉田忠雄, 「弾動臼砲 Mk III Dの性能と応用(III)—酸化剤及び酸化剤混合物の爆発威力—」, 工業火薬, 45, 204(1984)
- 5) 松永猛裕, 村永浩太郎, 田村昌三, 北川 宏, 吉田忠雄, 「Mk III弾動臼砲の性能と応用(IV)—有機過酸化物のMk III Eによる弾動臼砲値—」, 安全工学, 23, 202(1984)
- 6) 松永猛裕, 村永浩太郎, 蔵持 勇, 安部隆幸, 田村昌三, 吉田忠雄, 「Mk III弾動臼砲の性能と応用(V)—Mk III弾動臼砲の特性—」, 工業火薬, 46, 64(1985)
- 7) 村永浩太郎, 松永猛裕, 田村昌三, 安部隆幸, 吉田忠雄, 「Mk III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の測定法—」, 工業火薬, 46, 162(1985)
- 8) 吉田忠雄, 村永浩太郎, 松永猛裕, 萩井英彦, 村門 徹, 田村昌三, 「Mk III弾動臼砲の性能と応用(一)—有機過酸化物の衝撃感度, 伝爆性と爆発近力の試験法—」, 安全工学, 24, 256(1985)
- 9) R.H.Cole, "Underwater Explosions", Dover Publ. Inc. (1965)
- 10) 日下部正夫, 「均質液体爆薬の爆ごうに関する研究」, 博士論文, (1986)
- 11) W.Taylor and G.Morris, "The Absolute Measurement of the Available Energy of High Explosives by the Ballistic Mortar", Trans. Faraday Soc., 28, 545 (1932).
- 12) 松永猛裕, 村永浩太郎, 伊藤 葵, 田村昌三, 蔵持 勇, 吉田忠雄, 「Mk III弾動臼砲の性能と応用(K)—弾動臼砲を用いた小型ギャップ衝撃感度試験」, 工業火薬, 46, 327(1985)

Performance and Application of the Mk III Ballistic Mortar (XVIII)

—Relationship between the Mk III Ballistic Mortar Values and the Bubble Energy Values in the Underwater Explosion Test—

by Takehiro MATSUNAGA*, Mitsuaki IIDA*, Yoshio NAKAYAMA*
Kotaro MURANAGA**, Tadao YOSHIDA*** and Kazumi TANAKA*

The underwater explosion test has been experimented with using the Mk III ballistic mortar sample assembly. And the bubble energy values have been compared with the Mk III ballistic mortar values. As the results, a good correlation has been obtained. It is shown that the Mk III ballistic mortar test is a simple and reliable one and has some better merits than the underwater explosion test in order to evaluate the hazard potential of reactive chemicals.

(*National Chemical Laboratory for Industry, 1—1 Higashi, Tukuba-shi, Ibaragi, 305

**Hodogaya Factory, Nihon Carlit Co., Ltd., 1625 Bukkou-cho, Hodogaya-ku, Yokohama 240

***Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering,
The University of Tokyo, 7—3—1 Hongou, Bunkyo-ku, Tokyo 113)
