

黒色火薬の爆風圧

飯田光明*, 松永猛裕*, 中山良男*, 田中克己**

黒色小粒火薬の爆風パラメータおよびTNT換算率を求めるために、50kg～400kgの黒色小粒火薬および鑄造TNTの地表面爆発による爆風圧を鉛板ブラストメータおよびピエゾ圧力素子により測定した。その結果、ピーク圧から求めた黒色小粒火薬のTNT換算薬量比は、爆発薬量の増加とともに増加する薬量効果がみられ、最大で40%前後になることが分った。

1. 緒言

黒色火薬は最も歴史の古い火薬類であり¹⁾、現在でも石材用の爆破薬、煙火の打掛け用火薬、軍需用特殊火工品、導火線用粉火薬等に使用されている²⁾。いずれも、点火が容易で保存性がよく爆力が穏やかであるという黒色火薬の特徴を生かした利用法であり、今後ともこれらの分野で継続して使用されるものと思われる。黒色火薬の爆発威力に関しては、爆発熱が2.9～3.1MJ/kg^{3,4)}、トラウズル鉛とう試験でTNTの10%^{3,4)}、弾動振子試験でTNTの42.5%⁴⁾、弾動白砲試験でTNT比50%⁴⁾が知られている。また、国内では黒色小粒火薬のMkⅢ弾動白砲試験が実施されており、TNT比約90%⁵⁾(他の文献⁶⁾のTNT値を参考にした)、TNT比55%⁶⁾が得られている。

ここでは、黒色火薬の爆発威力を知ることを目的に、通産省主催の火薬類の保安技術実験(以下、通産実験)で実施した大量の黒色小粒火薬の地表面爆発による爆風圧の測定結果を、過去の実験結果を含めて総括する。

2. 実験方法

黒色小粒火薬100kg, 400kg, および基準爆風圧測定用の鑄造TNT 25kg, 200kgの地表面爆発による爆風圧を、鉛板ブラストメータおよびピエゾ圧力素子を用いて測定した。また、過去の通産実験で黒色小粒火薬50kg, 100kg, 300kgの爆風圧が鉛板ブラストメータで測定されている。

1997年7月23日受理

*物質工学工業技術研究所 極限反応部

〒305 つくば市東1-1

TEL 0298-54-4793

FAX 0298-54-4783

**物質工学工業技術研究所 基礎部

〒305 つくば市東1-1

TEL 0298-54-4697

黒色小粒火薬の組成は、硝酸カリウム74wt%, 木炭16wt%, イオウ10wt%である(過去の通産実験の黒色火薬の組成は不明)。本実験(1991および1993年の通産実験)では、木製装薬台上の15mm厚の板で作成した木箱中に黒色小粒火薬を装薬し(密度0.96～0.98g/cm³)、点火玉3個と黒色小粒火薬の10wt%の黒色粉火薬を用いて点火した。黒色火薬中心の換算高さは0.17～0.18m/kg^{1/3}であった。過去の通産実験では、地上に置いた15mm厚の板の木箱(1968年の100kg)、地面に掘った深さ0.4mの四角形の穴に敷いたポリエチレンシート上(1968年の300kg)、地中に半分ほどを埋めた木箱(1969年の50kgと100kg)に装薬し、いずれも少量の黒色粉火薬と2～8本の点火玉で点火している。

鑄造TNT(密度1.54～1.58g/cm³)は上面に伝爆薬孔のある直円柱形で、伝爆薬にTNTの2wt%のペントライト(PETN/TNT=50/50, 密度1.54～1.57g/cm³)を用いて起爆した。TNT(ペントライトを含む)の薬中心の換算高さは0.18m/kg^{1/3}である。

爆風計測用の0.5mm鉛板ブラストメータは、換算距離3～10m/kg^{1/3}の4～6点に打ち込んだ杭の片側平坦面に、1991および1993年の実験では各測定点3ないし4個、1968および1969年の実験では1個を爆源方向に正対させて釘を用いて固定した。ブラストメータの地表面からの平均高さは約1.0mである。

ピエゾ圧力素子はPCB 101Aを用い、架台に固定した整流板を用いて側圧を測定した。測定点は換算距離2～17m/kg^{1/3}の4～6点で、受圧面の地上高はすべて1mとした。圧力素子からの信号は、アンプを通して数百メートル離れた観測地点の波形記憶装置およびデータレコーダーに記録した。

3. 結果と考察

ピエゾ素子で測定された黒色火薬の爆風の到達時間と測定点の爆源からの距離から点火玉の発火遅れを合

Table 1 Blast wave properties measured by lead-plate blastmeters and piezoelectric gages in the case of surface explosions of black powder

Year	Experimental site	Charge weight (kg)	Measuring device	Distance (m)	Scaled distance (m/kg ^{1/3})	Dent of lead-plate (mm)	Positive duration (ms)	Positive impulse (Pa.s)	Peak overpress. (kPa)	TNT equiv. (%)	
1968	Hijudai	100	lead-plate blastmeter	10	2.15	7.45	—	—	68.0	17.8	
				15	3.23	5.08	—	—	42.9	31.7	
				20	4.31	4.04	—	—	32.9	50.8	
1968	Hijudai	300	lead-plate blastmeter	10	1.49	11.73	—	—	114.3	11.8	
				15	2.24	10.78	—	—	103.8	35.2	
				20	2.99	9.02	—	—	84.9	64.0	
				25	3.73	4.79	—	—	40.0	44.3	
				30	4.48	3.40	—	—	27.1	42.3	
				50	7.47	2.07	—	—	14.7	62.8	
1969	Iwateyama	50	lead-plate blastmeter	10	2.71	5.22	—	—	44.3	19.7	
				20	5.43	2.10	—	—	15.0	25.2	
				30	8.14	1.29	—	—	8.41	20.9	
1969	Iwateyama	50	lead-plate blastmeter	10	2.71	5.14	—	—	43.5	19.2	
				20	5.43	2.78	—	—	21.3	50.0	
				30	8.14	0.71	—	—	5.24	5.7	
1969	Iwateyama	100	lead-plate blastmeter	10	2.15	5.42	—	—	46.3	10.5	
				20	4.31	3.08	—	—	24.1	31.0	
				30	6.46	1.63	—	—	10.9	20.4	
				40	8.62	1.29	—	—	8.41	24.8	
1991	Ohjoji	100	lead-plate blastmeter	9.8	2.12	7.66	—	—	70.3	20.4	
				12.0	2.58	5.37	—	—	45.8	21.0	
				14.9	3.21	3.99	—	—	32.5	24.8	
				17.8	3.84	2.99	—	—	23.3	24.9	
				23.9	5.16	2.07	—	—	14.8	25.5	
				29.8	6.42	1.49	—	—	9.85	18.5	
			piezoelectric gage	8.0	1.72	—	5.6	224	106.4	13.2	
				12.1	2.60	—	7.4	176	64.9	21.5	
				20.1	4.32	—	10.6	112	32.9	31.9	
				30.1	6.48	—	13.1	76.2	14.6	23.2	
				20.9	2.84	6.27	—	—	55.2	35.1	
				20.9	2.84	6.63	—	—	59.1	39.3	
1993	Kamifurano	400	lead-plate blastmeter	29.6	4.02	3.56	—	—	28.6	33.0	
				29.7	4.04	3.39	—	—	27.0	30.4	
				46.7	6.33	2.09	—	—	14.9	40.3	
				46.8	6.35	2.04	—	—	14.5	38.8	
				69.4	9.42	1.27	—	—	8.28	43.3	
				69.7	9.46	1.26	—	—	8.21	43.2	
				piezoelectric gage	10.9	1.49	—	9.1	630	268	21.9
					11.0	1.49	—	8.8	733	264	21.9
			22.1		3.00	—	—	—	61.7	27.2	
			22.2		3.01	—	—	—	84.6	43.3	
			42.8		5.80	—	—	—	25.6	45.7	
			42.9		5.82	—	21.1	183	24.2	41.4	
			70.0	9.51	—	24.6	107	10.9	31.8		
			70.3	9.54	—	25.6	114	11.1	33.3		

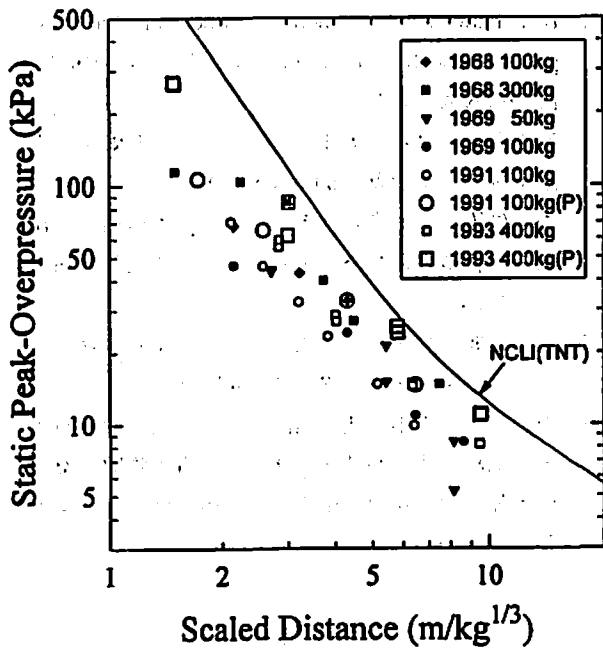


Fig. 1 Static peak overpressure measured by piezoelectric gages (P) and lead-plate blastmeters vs. scaled distance for black powder explosions

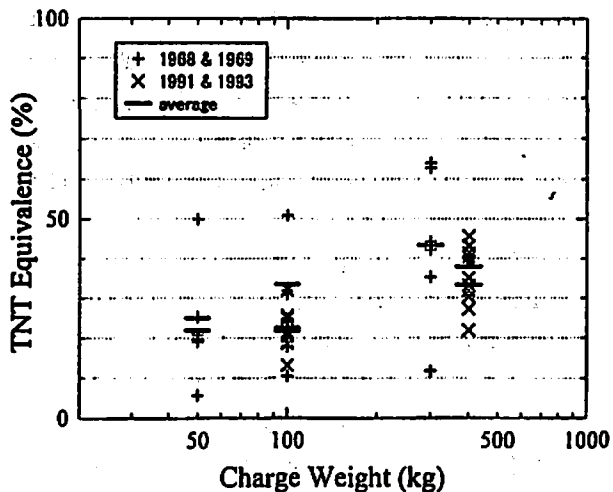


Fig. 2 TNT equivalence of black powder on the basis of peak overpressures

んだ爆風形成までの時間を推算すると、1991年の薬量100kgの実験では約45ms、1993年の薬量400kgの実験では約90msであった。爆風波形はTNT等の爆薬と相似形であり、黒色火薬特有の特徴は見られなかった。

1991および1993年の実験での鉛板プラストメータの凹量は新校正表⁷⁾によりピーク静水過圧に変換した。1968年および1969年の実験の場合は、各年度の通産実験報告書の圧力値から旧換算表によって相当する鉛板凹量を求め、これを新換算表によりピーク静水過圧に変換した。

これらの鉛板プラストメータで測定されたピーク圧、およびピエゾ素子で得られた爆風パラメータをTable 1に示す。また、Fig. 1にピーク圧を換算距離に対してプロットした。Fig. 1には、1984~1986年度にわたり通産実験で実施したTNTの爆風圧測定結果をまとめた曲線(NCLI)⁸⁾を併記した。

測定されたTNT及び黒色火薬のピーク圧から、黒色火薬のTNT換算薬量比(TNT換算薬量を黒色火薬の装薬量で除した値)を求めた。1991および1993年の実験での基準TNT爆風圧は、ピエゾ素子と鉛板プラストメータの測定結果がかなり違っているために、同じ実験場で、しかも対象となる測定値を得たのと同じセンサーで得られたTNT爆風の測定値の2次フィット式とした。また、1968および1969年の実験の場合は、基準爆薬TNTの爆風圧測定は行われていないため、同じ実験場でのTNT測定データ(NCLI)を基準としてTNT換算薬量比を計算した。この場合、(1)同一実験場では

あっても、爆発点が同一点ではないこと、(2)鉛板プラストメータの鉛板凹量の測定方法が異なっている可能性があること、(3)前述のように黒色火薬はほぼ地表面爆発であるのに対し、TNT(NCLI)は換算高さ0.18m/kg^{1/3}を持った爆発データであることなどに伴う誤差はかなり大きいものと考えられる。

このようにして得られた黒色小粒火薬のTNT換算薬量比をTable 1の最右列およびFig. 2に示した。各ショットでのTNT換算薬量比の平均値を薬量の少ない順に列記すると、50kgで22%、25%、100kgが33%、22%、22%(1968, 1969, 1991年の順)、300kgが43%、400kgが36%となった。Fig. 2に示すように1968および1969年のデータは非常にばらつきが大きい。各測定点1個だけのプラストメータ値を用いているためと考えられ、1991および1993年の実験のように各測定点3~4個を設置して、その平均値を用いると精度の高い信頼できるデータが得られるようである。

これらの過去の実験結果と本実験の結果、および1968年の実験で段ボール箱入りの黒色小粒火薬20kgの場合は爆発音さえも観測されなかった事実から、以下のことが結論づけられる。黒色小粒火薬は、

- (1)少量で密閉度が弱いと爆風を生起しないが、少なくとも50kgで木箱に装薬すれば爆燃により爆風を形成し、
- (2)その爆風圧の大きさは、Fig. 2から分るように、少なくとも400kgまでは薬量の増加とともに増大する傾向がみられ、いわゆる薬量効果があり、
- (3)300kg~400kgでは爆風圧の大きさは、TNT換算薬量比40%前後に達する。

4. 結 語

50kg~400kgの黒色小粒火薬の地表面爆発による爆

風圧を鉛板ブラストメータおよびピエゾ圧力素子により測定し、同時に測定した基準爆薬TNTの爆風圧または過去のTNT実験データを基にTNT換算薬量比を求めた。その結果、黒色小粒火薬の爆風圧の大きさには薬量効果がみられ、TNT換算薬量比は実験範囲では最大40%前後になることが分った。

謝 辞

本実験は通産実験の一部として、関係諸官庁、大学、火薬業界の方々の多数の方の支援のもとに実施された。ここにあらためて深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 中原正二, 工業火薬, 46, 333(1985)
- 2) 丸井康盛, 工業火薬, 50, 267(1989)
- 3) T. Urbanski, "Chemistry and Technology of Explosives", Vol.3, p.340(1983), Pergamon Press.

- 4) B. T. Fedoroff, O. E. Sheffield, "Encyclopedia of Explosives and Related Items", Vol.2, B165(1962), Picatinny Arsenal
- 5) 和田有司, 村永浩太郎, 田村昌三, 国友繁明, 吉田忠雄, 工業火薬, 50, 558(1989)
- 6) 杵沢俊雄, 金子良昭, 市川航也, 塚本浩和, 吳建洲, 伊藤葵, 新井充, 田村昌三, 工業火薬, 55, 222(1994)
- 7) 吉田正典, 角館洋三, 飯田光明, 石川昇, 藤原修三, 日下部正夫, 工業火薬, 47, 34(1986)
- 8) 中山良男, 吉田正典, 角館洋三, 飯田光明, 石川昇, 加藤一成, 酒井洋, 薄葉州, 青木勝敏, 桑原仁太郎, 田中克己, 田中一三, 藤原修三, 工業火薬, 50, 88(1989)

Blast characteristics of black powder

by Mitsuaki IIDA*, Takehiro MATSUNAGA*, Yoshio NAKAYAMA*
and Katsumi TANAKA**

Air blast experiments for black powder (grain) with charge weight of from 50kg to 400kg and for cast TNT charges as standard explosives were conducted to obtain the blast properties and TNT equivalence of black powder. Data were acquired by piezoelectric gages and lead-plate blastmeters, and TNT equivalence of black powder were determined on the basis of measured static peak overpressures. Resulted TNT equivalence increased when the explosion mass of black powder increased, and reached about 40% of the charge at the explosion with 400kg in weight.

(*Dept. of Advanced Chemical Technology, National Institute of Materials and Chemical Research, 1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

**Dept. of Physical Chemistry, National Institute of Materials and Chemical Research, 1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan)