

Fig. 2 Static peak overpressure of TNT blast waves measured by blastmeter (Type C) calibrated with the original calibration table

み及び受圧面積は変わらないものの鉛板の保持方法が異なるもので、保持部を鉛板と一体にカセットタイプにしたもの、および鉛板を銅パッキンを用いて保持するものの2種である。区別のために、従来使用されてきたものをブラストメータ (Type A)、カセットタイプのもをブラストメータ (Type B)、銅パッキン保持タイプのもをブラストメータ (Type C) と呼ぶことにする。

ここでは、平成2年度、3年度の通産実験で実施された基準爆薬TNTの爆風圧測定結果をもとに行った鉛板ブラストメータ (Type C) の校正結果について報告する。

ブラストメータ (Type C) は、主に陸上自衛隊において使用されてきたもので、従来、日本製鋼所横浜製作所油圧機械設計課編「爆風圧測定用鉛板凹量-圧力

一覧表」(以下、旧校正表という)を用いて反射過圧に換算されてきた。Fig. 1にその構造を示す。また、Fig. 2に平成2年度、3年度の通産実験のTNT爆発実験において、ブラストメータ (Type C) で測定された鉛板凹量を旧校正表で反射過圧に校正し、これを静水過圧に換算²⁾した値を示す。参考のためにKingery³⁾のデータも示した。Fig. 2から分かるように、旧校正表では特に約30kPa以下の低圧部において圧力を過大に評価している。

2. 校正実験

平成2年度及び3年度の通産実験において、鋳造TNTの25kg~100kgの地上爆発実験を行い、ブラストメータ (Type C) 及びピエゾ圧力素子による爆風圧の測定を行った。実験場所は平成2年度が陸上自衛隊上富良野演習場 (北海道)、3年度が同王城寺原演習場 (宮城県) である。

爆源は直径と高さがほぼ等しい円柱型の鋳造TNT (密度1.56 g/cm³) で、上面に設けた孔にTNTの薬量の2%の重量のペントライト (PETN/TNT=50/50、密度1.60 g/cm³) ブースターを入れ、15mの二重導爆線で起爆した。木製の装薬台を用い、爆薬中心の換算高さは一連の通産実験で採用されている0.18 m/kg^{1/3}とした。実験番号及び実験条件をTable 1に示す。

ピエゾ圧力素子にはPCB101Aを用い、整流板により側圧 (side-on) を測定した。ピエゾ素子の受圧面の地上からの高さは1mである。測定位置は爆源から8m~50mの範囲にとった。測定結果をTable 2に示す。

通産実験で使用されているブラストメータ (Type A) は、地面に立てた杭の平坦面に固定して用いられる。これに対しブラストメータ (Type C) は、Fig. 3に示すように従来陸上自衛隊でとられてきた方法と同じく、地面に垂直に立てた鋼管に、中心のブラストメータの地上高さが60cmになるように、各地点に3個ずつを爆源に正対させて取り付けけた。測定位置は爆源から8m~50mの範囲で、ピエゾ圧力素子の測定方向と約

Table 1 Conditions of TNT surface burst experiments

Exp.No.	Explosive	Charge Weight ^{a)} (kg)	L/D ^{b)}	HOB ^{c)} (m/kg ^{1/3})	Temperature (°C)	Humidity (RH%)	Atmospheric Pressure (kPa)
1 (90-1-1)	TNT	25.35	1.01	0.182	19	50	98.5
2 (90-1-2)	TNT	101.99	1.07	0.181	21	45	98.5
3 (91-1-1)	TNT	25.65	1.03	0.180	17	58	98.8

a) Total charge weight of TNT and pentolite booster

b) Ratio of length to diameter of TNT charge

c) Scaled height of burst

Table 2 Blast characteristics measured by piezoelectric gauges

Exp.No.	Distance (m)	Scaled Distance (m/kg ^{1/3})	Peak Overpressur (kPa)	Positive Duration (ms)	Positive Impulse (Pa · s)
1 (90-1-1)	9.99	3.401	82.03	6.93	209.5
	15.37	5.232	44.50	9.43	140.6
	25.39	8.643	15.22	12.16	87.27
	50.14	17.07	6.617	14.80	43.88
2 (90-1-2)	9.99	2.138	289.3	3.18	332.0
	15.37	3.290	117.1	9.54	299.3
	25.39	5.434	33.65	18.39	204.2
	50.14	10.73	11.88	20.43	107.2
3 (91-1-1)	7.97	2.703	169.3	3.04	180.6
	12.08	4.096	70.36	7.25	166.2
	20.07	6.806	31.87	11.02	111.9
	30.06	10.19	14.06	12.49	76.75
	49.83	16.90	7.896	15.35	46.86

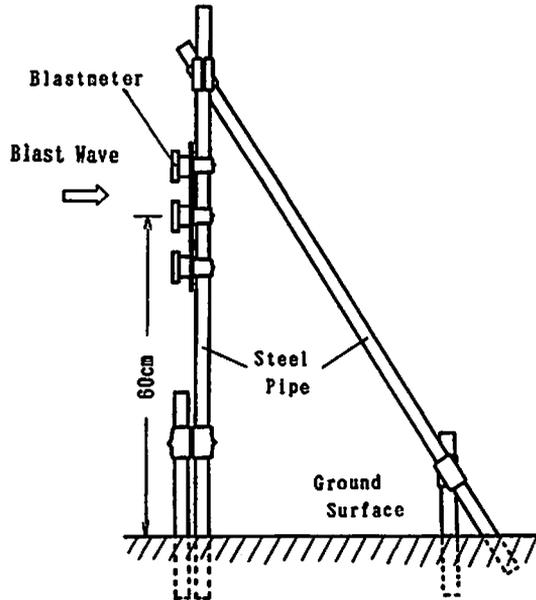


Fig. 3 Setup of blastmeter (Type C)

10度違う方向、または同一地点で爆源方向に直角に約1 m離れた位置である。測定結果をTable 3に示す。

3. 校正曲線

まず、ブラストメータ測定点での基準爆風圧を、ピエゾ素子による圧力測定データの換算距離の関数としての2次フィット式から求める。実験番号1及び2と、実験番号3は実験場所が異なるため、地面の状態による爆風の距離減衰効果、漏斗孔を生成するのに消費されるエネルギー量などが違っていると考えられるため、別々にフィット式を求めると、実験1, 2の場合及び実

験3の場合、それぞれ

$$\log P = 3.40267 - 3.11591 \cdot \log R + 0.825560 \cdot (\log R)^2 \quad (1)$$

$$\log P = 3.27310 - 2.67567 \cdot \log R + 0.598169 \cdot (\log R)^2 \quad (2)$$

となる。ここで、Pはピーク過圧 (kPa)、Rは換算距離 (m/kg^{1/3}) で、対数はいずれも常用対数である。この(1)及び(2)式で計算した各測定点での基準爆風圧をTable 3に示す。

Table 3 Dent depths of blastmeter (Type C) and calculated peak overpressures

Exp.No.	Distance (m)	Scaled Distance (m/kg ^{1/3})	Dent Depth of Lead-Plate (mm)	Peak Overpressure ^{a)} (kPa)
1 (90-1-1)	10.28	3.500	8.09, 7.46, 6.51	89.52
	12.34	4.201	5.21, 4.77, 5.71	60.42
	15.09	5.137	3.98, 4.73, 4.44	40.29
	18.09	6.158	3.27, 3.06, 3.41	28.66
	23.28	7.925	2.47, 2.16, 2.25	18.57
2 (90-1-2)	15.09	3.230	7.78, 8.57, 7.96	107.20
	18.09	3.872	6.11, 5.95, 6.56	71.80
	23.28	4.983	4.21, 4.23, 4.49	42.76
	28.27	6.051	3.76, 3.19, 3.63	29.60
	35.14	7.521	2.29, 2.12, 2.56	20.24
3 (91-1-1)	7.85	2.662	11.57, 11.76, 12.16	175.20
	12.00	4.069	6.02, 6.10, 6.32	73.19
	20.07	6.806	2.97, 3.44, 3.11	28.81
	30.08	10.20	1.75, 1.60, 1.59	15.24
	40.14	13.61	1.23, 1.17, 1.10	10.19
	50.05	16.97	1.07, 0.74, 0.95	7.715

a) Static peak overpressure calculated by equation(1) or (2) at the same distance

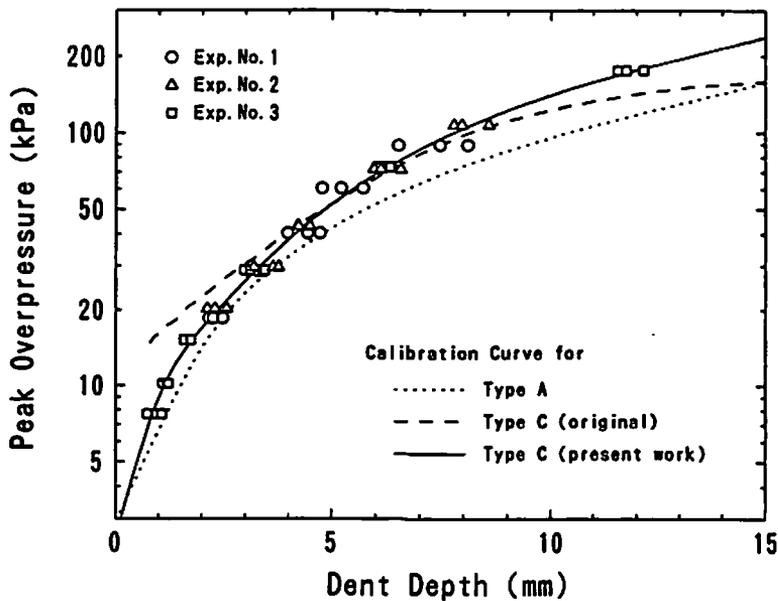


Fig. 4 Peak overpressure vs. dent depth of lead-plate of blastmeter, and calibration curves

Table 3の鉛板凹量とその測定地点での基準爆風圧の全データをFig. 4に示した。比較のために旧校正表を静水過圧に換算した曲線を鎖線で、また鉛板の保持方法のみが異なる従来通産実験で用いられてきたブラ

ストメータ (Type A)の校正曲線を点線で示す。Fig. 4に実線で示したものが、今回Type C用に新規に作成した校正曲線で、Table 3のデータから3次の平滑化自然スプライン関数によりフィットして求めた。フィ

Table 4 Spline coefficients for the new calibration curve for 0.5mm lead-plate blastmeter (Type C)

i	Xk _i	C _i
0	0	-6.66391 E-2
1	1	1.28377 E-1
2	2	-6.12772 E-2
3	6	-2.36686 E-5
4	13	-4.36956 E-4

$$\log_{10}P = 0.398241 + 0.617651 \cdot d + \sum_{i=0}^4 C_i \cdot (d - Xk_i)^3$$

P : Static peak overpressure (kPa)

d : Dent depth (mm)

X_i³ : =X³(if X≥0) or=0(if X<0)

ット式の係数をTable 4に示す。

4. 考 察

今回の校正に用いた爆風の持続時間は、Table 2に示すように3msから20msの範囲であった。水島ら⁴⁾によれば、持続時間が1msより短い爆風に対しては鉛板凹量はインパルスの関数であり、これより持続時間の充分長い爆風に対しては鉛板凹量はピーク圧の関数であるとしている。この報告に従って、今回の校正は鉛板凹量がピーク圧のみで決まるものとして行った。ただし、比較的持続時間の短い爆風を校正に用いた圧力の高い範囲では、仮に同一ピーク値でも持続時間の長い爆風を用いたとすれば鉛板凹量が若干大きくなることも考えられ、従って校正値を大きめに見積った可能性も否定できない。

校正に用いた爆風のピーク圧は6~170kPa、鉛板凹量では0.7~12.2mmの範囲であった。通産実験で従来用いられてきたブラストメータ (Type A)の使用可能範囲は鉛板凹量で約1~12mm、圧力で6~120kPaとされている⁵⁾。同じ鉛板厚みで同じ受圧面積のブラストメータ (Type C)の使用可能範囲もほぼ同じと考えられ、今回の校正で使用可能範囲のほとんどの部分をカバーできたと思われる。新校正曲線の適用範囲は校正に用いた鉛板凹量範囲と同じく0.7~12mmである。また、Fig.4から分かるように、ブラストメータ (Type A)の校正曲線と同様の傾向を持つブラストメータ (Type C)の校正曲線が得られた。Type Aと比較すると、同じピーク圧に対してType Cの方がより凹み易いようである。鉛板の保持方法の差、及び鉛板周辺の縁の部分の高さがType Cの方が若干低いためと考えられる。

Fig.5に、平成2年度、3年度の通産実験のTNT爆発実験において、ブラストメータ (Type C)で測定さ

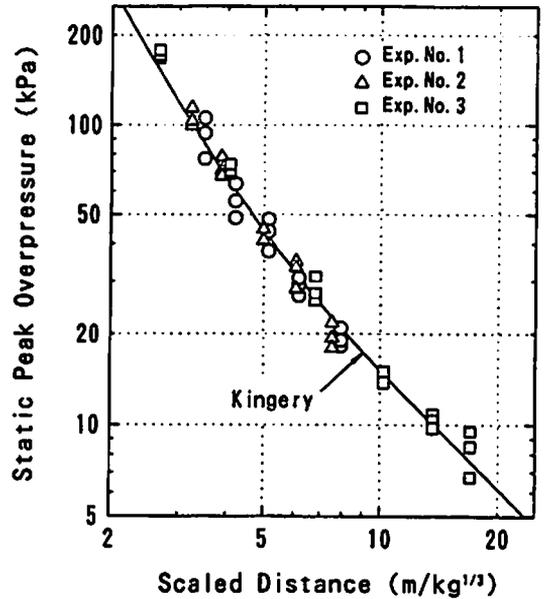


Fig. 5 Static peak overpressure of TNT blast waves measured by blastmeter (Type C) calibrated with the new calibration curve

れた鉛板凹量を、今回新たに作成した校正曲線でピーク過圧に校正した値を示した。旧校正表により校正したFig.2と比較しても、新校正曲線によりKingeryのデータとも良く一致する妥当な値が得られたと思われる。

Fig.4をみれば分かるように、ブラストメータ (Type C)の旧校正表 (鎖線)と新校正曲線 (実線)を比較すると、圧力で約50kPa、鉛板凹量で約5mmを境にこれより小さい圧力範囲または凹量範囲では旧校正表は圧力を過大に校正し、これより大きい範囲では逆に圧力を過小に校正していたと考えられる。これは、Fig.2とFig.5の比較からも明かである。ブラストメータ (Type C)を用いた貴重な実験データも多数有り⁵⁾⁶⁾、これらの校正値の見直しが望まれる。

5. ま と め

TNT 25~100kgの地上爆発実験において、ピエゾ圧力素子で測定した圧力により0.5mm厚の鉛板を用いたブラストメータ (Type C)の再校正を行った。校正に用いたピーク静水過圧-鉛板凹量のデータ組は48個で、校正曲線はピーク過圧の常用対数を鉛板凹量の関数として3次の平滑化自然スプライン関数で表した。新校正曲線で公正したTNTの爆風圧はこれまでに公表されているデータと良く一致した。また、旧校正表では鉛板凹量約5mm以下またはピーク圧約50kPa以下では圧力を過大に評価し、これより大きい範囲では逆

に過小に評価していたことが指摘された。

謝 辞

実験の実施にあたっては、関係諸官庁、産業火薬業界の方々の他多数の方の協力を得た。特に、プラスチックメータの設置、鉛板凹盤の測定に関しては、陸上自衛隊武器補給処吉井弾薬支処の藤岡俊博氏らの支援を受けた。深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 吉田, 角笛, 飯田, 石川, 藤原, 日下部, 工業火薬, 47, 35 (1986)
- 2) G. F. Kinney and K. J. Graham. "Explosive Shocks in Air", p 69, Springer-Velag, New York (1985)
- 3) C. N. Kingery and B. F. Pannill, BRL Memorandum Report No. 1518, Aberdeen Proving Ground (1964)
- 4) 水島, 中野, 工業火薬, 44, 173 (1983)
- 5) 中原, 元場, 加藤, 工業火薬, 46, 219 (1985)
- 6) 蓮江, 岡, 細川, 宗正, 中原, 加藤, 工業火薬, 49, 53 (1988)

Calibration of lead-plate blastmeter using blast wave pressures of TNT

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

Calibration of 0.5mm lead-plate blastmeter was conducted by using blast waves of TNT surface bursts with a charge weight of 25 to 100kg. A new calibration curve was obtained by fitting the relation between dent depths of lead-plate and peak overpressures using the third order smoothing natural spline function. Peak overpressures of blast waves of TNT measured by newly calibrated blastmeters were in good agreement with published data.

(*Safety Chemistry Division, National Chemical Laboratory for Industry, 1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305)