

## 鉛板ブラストメータの校正

吉田正典\*, 角舘洋三\*, 飯田光明\*

石川 昇\*, 藤原修三\*, 日下部正夫\*\*

通商産業省主催の野外爆発実験において爆風圧測定にこれまで主として用いられてきた0.5 mm 鉛板ブラストメータの再校正を行った。校正にはピーク静水過圧0.05—1.43 bar, 正圧相の持続時間8—20 msの爆風を用いた。校正結果は三次の自然スプライン関数により、ピーク静水過圧の常用対数を鉛板凹量の関数としてフィットして表した。新しい校正曲線による TNT 爆風圧はこれまでに発表されているデータと比較的良好一致した。

## 1. 緒言

爆風の計測においては、衝撃波速度・圧力・粒子速度・密度等の諸量が光学的・電氣的・あるいは機械的手段により広い距離範囲で測定されることが多い。機械的測定法は一般に応答速度が遅くまた一部の例外を除けば時間プロフィールが得られないなどの欠点を有するものの、低価格・操作の簡便性・確実性等の長所のため広く用いられている。1961年以来毎年一回行われている通商産業省主催の野外爆発実験（火薬類の保安技術実験）<sup>1)</sup>においても爆風圧力の測定には鉛板ブラストメータが主として用いられてきており、その測定データも既に  $10^3$  点のオーダーに達している。

Fig. 1 にブラストメータの構造を示す。金属板には主として0.5 mm 鉛板が用いられてきた。爆風圧測定の際にはこのブラストメータを爆源に正対させ地上高約1 mとなるよう直径15—20 cmの杭（取り付け位置は平面になるよう削る）に固定する。爆風圧印加後鉛板凹量を測定し圧力—凹量の校正曲線に基づきピーク圧力を求める。校正曲線としては昭和36年度の野外爆発実験報告書に記載されているものが唯一のものであり以来昭和58年度の野外爆発実験までの校正曲線—実際には校正曲線をもとにした校正表（未公表）—が用いられてきた。この校正には内径50 mmの衝撃波管が用いられ、四組の反射過圧—凹量のデータから校正曲線が生成された<sup>2)</sup>。この衝撃波管<sup>3)</sup>は爆風圧波形

と類似の持続時間2 ms程度の三角波が発生できる機構になっており校正には特に適していたと考えられるものの、従来の校正曲線に基づく爆風圧測定値は海外のデータと比して高い圧力値を与える傾向があり、このことはこれまで何度か指摘されてきた<sup>4) 5)</sup>。Fig. 2 に従来の校正曲線を示す。昭和58, 59年度に行われた TNT の地上爆発実験の結果から Fig. 2 の校正曲線に基づき反射過圧を求め静水過圧に換算した。これを換算距離に対してプロットしたものを Fig. 3 に示す。参考のため Kingery<sup>6)</sup> (TNT, 地上爆発), Baker<sup>7)</sup> (TNT の空中爆発) も示す。Fig. 2 による爆風圧は明らかにこれらよりも高い値を示している。

一方、通商産業省主催の野外爆発実験においては近年ピエゾ圧力素子が鉛板ブラストメータとともに使用されるようになり、このため実際の爆風圧を利用して鉛板ブラストメータを再校正することが可能となった。ここでは昭和58, 59年度のピエゾ圧力素子による爆風

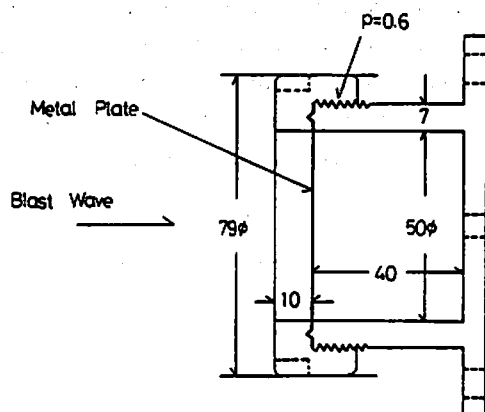


Fig. 1 Cross section of the blastmeter

昭和60年7月5日受理

\*化学技術研究所 保安環境化学部

〒305 茨城県筑波郡谷田部町東 1-1

TEL 0298-54-4789

\*\*ミドリ安全工業株式会社 技術開発事業部

〒340 埼玉県草加市稲荷 5-27-1

TEL 0489-31-8231

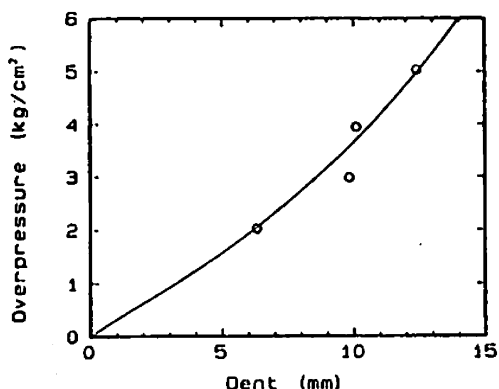


Fig. 2 1961 calibration curve for 0.5mm lead-plate blastmeter. Reflected overpressure vs. Dent.

圧測定結果をもとに行った鉛板ブラストメータの再校正結果について報告する。なお再校正にあたっては水島・中野<sup>5)</sup>の結果に従い、爆風の持続時間が、鉛板凹量がインパルスで決まる領域(約1ms弱)より十分長いので鉛板凹量はピーク圧力の関数であるとした。

## 2. 校正実験及び結果

実験は昭和58年度は陸上自衛隊岩手山演習場で、昭和59年度は同日出生台演習場で行った。爆源としては26.1—101.3kgの5薬量(ブースターとしてTNTの約2%の重量のペントライトを用いた。表示薬量はTNTとペントライトの薬量の和である)の純造TNT及び100kgのスラリー爆薬(エマルジョン爆薬、1kg包×100)2種類を用いた。爆源は直径と高さの比がほぼ1の直円筒で木製の台上に中心の換算高さが約0.

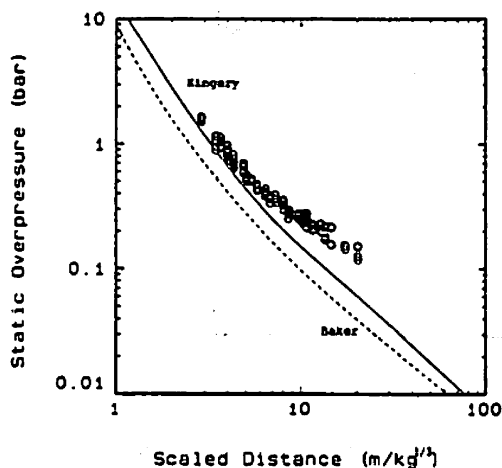


Fig. 3 Blastmeter pressure of TNT by 1961 calibration.

Table 1 Experimental conditions for the re-calibration of 0.5mm lead-plate blastmeter

| Exp. No. | Explosive | Weight<br>kg | Diameter<br>mm | Length<br>mm | HOB<br>mm | Scaled<br>HOB<br>m/kg <sup>1/3</sup> | Shot Date  | Atmospheric pressure<br>mbar | Temp.<br>°C | Humidity<br>RH % | Wind<br>Dir. | Wind<br>Veloc.<br>m/s |
|----------|-----------|--------------|----------------|--------------|-----------|--------------------------------------|------------|------------------------------|-------------|------------------|--------------|-----------------------|
| 58/3-1   | TNT       | 51.7         | 337            | 390          | 645       | 0.173                                | 1983/10/27 | 977                          | 12.7        | 93               | —            | —                     |
| 58/3-2   | TNT       | 101.3        | 437            | 452          | 801       | 0.172                                | 1983/10/27 | 977                          | 11.8        | 67               | N            | 5                     |
| 59/2-1-1 | E Slurry  | 100          | 540            | 545          | 843       | 0.182                                | 1984/10/13 | 955                          | 18.5        | 62               | NW           | 2                     |
| 59/2-1-2 | F Slurry  | 100          | 538            | 537          | 839       | 0.181                                | 1984/10/13 | 954                          | 16.8        | 75               | NNW          | 1                     |
| 59/2-2-1 | TNT       | 26.1         | 275            | 276          | 536       | 0.181                                | 1984/10/13 | 954                          | 19.0        | 66               | NW           | 3                     |
| 59/2-2-2 | TNT       | 42.1         | 330            | 308          | 622       | 0.179                                | 1984/10/13 | 954                          | 18.4        | 68               | NW           | 5                     |
| 59/2-2-3 | TNT       | 70.7         | 375            | 418          | 737       | 0.178                                | 1984/10/13 | 954                          | 15.6        | 83               | WNW          | 4                     |

HOB ; Height of burst.

Charge weight of TNT includes the weight of pentolite booster charge which is about 2% of that of TNT

Table 2 Experimental results

| Exp. No. | Explosive | Weight<br>kg | Distance<br>m | Static<br>Overpressure<br>bar | Dent values<br>mm |       |       |
|----------|-----------|--------------|---------------|-------------------------------|-------------------|-------|-------|
| 58/3-1   | TNT       | 51.7         | 14.8          | 0.750                         | 6.58              | 7.08  | 6.98  |
|          |           |              | 20.1          | 0.302                         | 4.17              | 3.96  | 3.94  |
|          |           |              | 29.8          | 0.235                         | 2.38              | 2.65  | 2.64  |
| 59/2-1-1 | TNT       | 101.3        | 29.8          | 0.309                         | 2.88              | 3.00  | 3.20  |
|          |           |              | 12.2          | 1.373                         | —                 | —     | —     |
|          |           |              | 14.9          | 0.771                         | 9.18              | 9.11  | 8.55  |
| 59/2-1-2 | F Slurry  | 100          | 39.4          | 0.141                         | 2.11              | 2.38  | 2.40  |
|          |           |              | 60.3          | 0.0824                        | 1.36              | 1.27  | —     |
|          |           |              | 12.2          | 1.442                         | 11.89             | —     | —     |
| 59/2-2-1 | TNT       | 26.1         | 14.9          | 0.737                         | 8.49              | 8.83  | 8.95  |
|          |           |              | 39.4          | 0.139                         | 1.83              | 2.42  | 2.81  |
|          |           |              | 60.3          | 0.0828                        | 1.11              | 1.15  | 1.06  |
| 59/2-2-2 | TNT       | 42.1         | 12.2          | 0.572                         | 6.07              | 6.52  | 6.31  |
|          |           |              | 14.9          | 0.337                         | 4.29              | 4.50  | 4.12  |
|          |           |              | 39.4          | 0.0831                        | 1.13              | 1.34  | 1.47  |
| 59/2-2-3 | TNT       | 70.7         | 60.3          | 0.0507                        | 0.80              | 0.75  | 0.98  |
|          |           |              | 12.2          | 0.882                         | 8.80              | 9.34  | 8.63  |
|          |           |              | 14.9          | 0.487                         | 5.69              | 5.86  | 5.56  |
|          |           |              | 39.4          | 0.105                         | 1.43              | 1.58  | 1.38  |
|          |           |              | 60.3          | 0.0659                        | 0.93              | 1.00  | —     |
|          |           |              | 12.2          | 1.434                         | 12.74             | 14.57 | 14.29 |
|          |           |              | 14.9          | 0.749                         | 8.77              | 8.43  | 9.18  |
|          |           |              | 39.4          | 0.131                         | 1.79              | 1.94  | 1.48  |
|          |           |              | 60.3          | 0.0803                        | 1.48              | 1.02  | 1.47  |

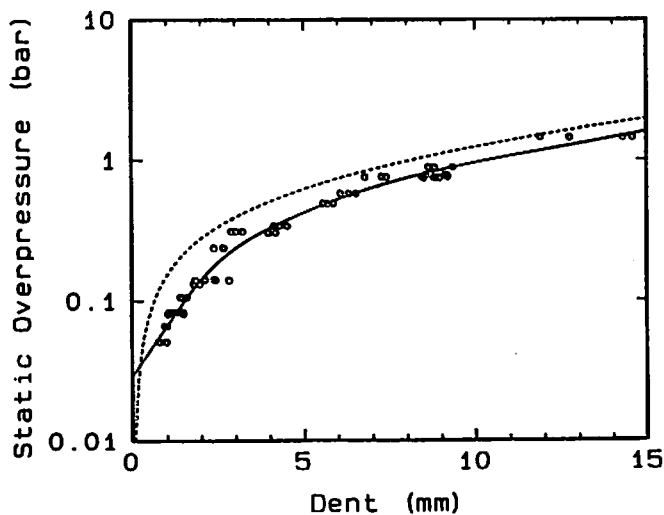


Fig. 4 New calibration curve (solid line) and 1961 calibration curve (dotted line).

18m/kg<sup>1/3</sup>となるよう設置した。Table 1に実験条件を示す。爆源から12—60mの範囲で同一の地点にビ

エソ圧力素子1個、鉛板プラストメータ3個を一組として設置しそれぞれの爆発で最大4ヶ所でピーク静水

Table 3 Spline coefficients for the new calibration curve of 0.5mm lead-plate blastmeter (1984 Calibration)

| $i$ | $X_k(i)$                | $C(i)$                   |
|-----|-------------------------|--------------------------|
| 1   |                         | $3.5607 \text{ E} - 01$  |
| 2   |                         | $-1.5349 \text{ E} + 00$ |
| 3   | $1.0000 \text{ E} + 00$ | $-2.8353 \text{ E} - 02$ |
| 4   | $1.8000 \text{ E} + 00$ | $3.6542 \text{ E} - 02$  |
| 5   | $4.2000 \text{ E} + 00$ | $-7.8158 \text{ E} - 03$ |
| 6   | $1.2300 \text{ E} + 01$ | $-3.7373 \text{ E} - 04$ |

$$\log_{10}(\Delta P_s) = C(1)d + C(2) + \sum_{i=3}^6 C(i)(d - X_k(i))^3$$

$\Delta P_s$  ... Static Overpressure (bar)

$d$  ... Dent (mm)

$C$  ... Spline coefficients

$X_k$  ... Knot positions

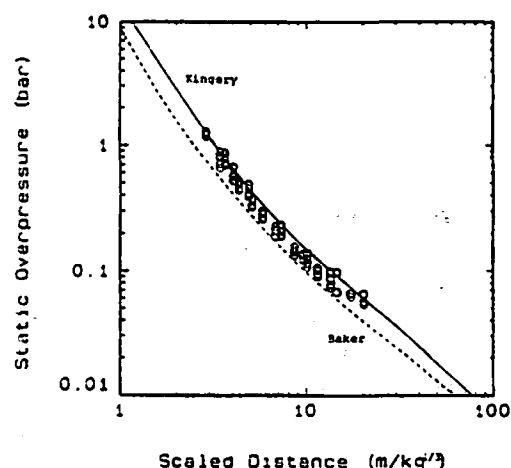


Fig. 5 Blastmeter pressure of TNT by the new calibration curve.

過圧と鉛板凹量を測定した。実験の詳細に関しては昭和58, 59年度の報告書<sup>1)</sup>を参照されたい。Table 2 に実験結果を示す。表中横線は鉛板の破裂もしくは小石等の衝突などのため凹量が測定できなかったものである。

表中には示さなかったが爆風正圧相の持続時間は最小で約8ms, 最大で20ms以上であった。

得られた65組のデータをプロットしたものをFig. 4に示す。図中実線はデータを3次の自然スプライン関数でフィットしたものである。Table 3にフィット式の係数を示す。Fig. 4の点線は従来の校正曲線を、反射圧—静圧の変換をしてプロットしたものである。

### 3. 考 察

#### 3.1 従来の校正曲線との差異

Fig. 4に見られる様に、従来の校正曲線と今回のもののとの不一致は0.1bar付近で著しい。この原因は、旧校正のもととなったデータが静水過圧で1bar近辺でとられており、それより低い圧力領域の曲線は外そうで求めているためであろうと思われる。1bar付近で旧校正曲線が今回のものより高い圧力となっているのは、旧校正に用いられた衝撃波の持続時間(約2ms)が十分長くはなかったためであろう。水島・中野<sup>6)</sup>によれば、凹量は衝撃波の最初の約1ms 弱のインパルスの関数(即ち持続時間の長い場合はピーク圧の関数とみなしてよい)であるので、同一のピーク圧で持続時間の長い爆風に比し、小さい凹量となったのであろう。

新しい校正曲線に基づき昭和59年度のTNT爆発における鉛板ブラストメータによる爆風圧を換算距離に対してプロットしたものをFig. 5に示す。従来の校正

曲線によるもの(Fig. 2)と比べKingeryらのデータと比較的良好に一致している。当然のことではあるが換算距離に対する減衰の挙動はビエツ/圧力素子で求めた結果<sup>10)</sup>とほぼ一致している。

#### 3.2 適用範囲

校正に用いた爆薬量は26.1—101.3kgであり、爆風正圧の持続時間は約8ms—20msであった。従ってこれから著しくはずれる爆風の場合には、Table 3の校正曲線は用いられないであろう。薬量が小さく持続時間の短い場合は凹量はインパルスの関数となるため別途校正を行わなければならない。しかし鉛板ブラストメータのような応答速度の遅い機械的ゲージは本来持続時間の短い爆風に対して用いるべきではないとおもわれる。また持続時間が上記よりも極端に長い場合もFig. 4の実線からははずれてくる可能性も否定できない。

校正に用いた圧力値は0.05—1.43barの範囲であったが、圧力の低い方では測定誤差が大きくなり、圧力の高い方では破裂の問題が生じる。従って0.5mm鉛板ブラストメータの使用可能限界は0.06—1.2bar程度と思われる。この範囲内でも上下限近辺ではブラストメータの数を増して測定する方が良いと思われる。

#### 3.3 鉛板ブラストメータの測定誤差について

鉛板凹量の値自身のバラツキについては、これまで野外爆発実験の報告書<sup>1)</sup>や松田<sup>9)</sup>により検討されている。凹量の測定精度そのものは、凹量が特に小さい場合を除いてはあまり問題はないと思われる。

Table 3のフィット式とデータとの残差を鉛板ブラストメータによる測定誤差とみなして、その分布を求めると約85%がフィット式による圧力の±20%以内におさまっており、実用上はほぼ問題はないと思われる。

が、このバラツキの主な原因としては次のものが考えられる。

①鉛板の締めつけ強度

②鉛板の厚さ

③ブラストメータの取り付け角度

④ブラストメータと杭との密着度

①の締めつけ強度に関しては、これまで一定の方法が無く、実際にどの程度の強度で締めつけられているのか、またこれが誤差にどの程度寄与しているのか全く不明である。できれば何らかの方法で締めつけ強度を一定に保つのが望ましいと思われる。

②に関しては、実験に用いた鉛板の厚さは実測はしていないが、同一ロット品 100 枚について重量を測定した。厚さを均一と仮定すると最小値 0.490mm 最大値 0.524mm、平均値 0.509mm を得た。昭和36年度の報告書には 0.5mm のほかに 1.0mm の鉛板に対する校正曲線も掲載されている。校正の行われた領域では同一の凹量に対して鉛板の厚さが 0.5mm から 1.0mm になると静水過圧もほぼ二倍となっている。従って上記の 0.5mm 鉛板のバラツキは静水過圧値で最大約 4 % の誤差を生じさせるものと思われる。しかし実際の鉛板では厚さは均一ではなく、肉眼で見で判別できる程度の凹凸があり、これに起因する誤差はもっと大きなものとなるであろう。

③については取り付け角度が爆源正対から 5 度ずれても、凹量で 1—2 % の誤差であることが確かめられている。

Fig. 1 ではブラストメータ背面に空気抜き孔が設けられてあるが、設置の際には背面に材木が接触する形となり、これは空気の流出に対して抵抗となる。④のブラストメータ背面と杭との密着度がどの程度影響するかについては、これまでのところ全く不明である。

#### 4. 結 言

26.1—101.3kg の範囲の爆薬の爆風圧を利用して、

0.5mm 鉛板ブラストメータの再校正を行った。65組の実験データをもとにピーク静水過圧値の対数を鉛板凹量の 3 次の自然スプライン関数で表した。新しい校正曲線による TNT 爆風圧は海外で報告されているものと比較的良く一致した。データはその 85% が、中心値の  $\pm 20\%$  以内におさまっているもので、実用上あまり問題は無いと思われる。

これまでの野外爆発実験での爆風圧測定値はそのほとんどが 0.5mm 鉛板ブラストメータによっており、新しい校正曲線を用いて再整理することが必要と思われるが、これについては、別途発表する予定である。

#### 謝 辞

実験の実施に当たっては、関係諸官庁、産業火薬業界の方々をはじめ多数の方の協力を得た。深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 通商産業省立地公署保安課・工業技術院化学技術研究所, “火薬類の保安技術実験報告書”, 昭和 36—59 年度。
- 2) 米田園昭, 私伝
- 3) 疋田強, 浅羽哲郎, 米田園昭, 工業化学雑誌, 64, 42 (1961)
- 4) 全国火薬類保安協会, “通商産業省主催, 爆発実験概要 (その 3)”, (1970)
- 5) 松田幹雄, 工業火薬 43, 253 (1982)
- 6) C. N. Kingery and B. F. Pannill, BRL Memorandum Report No. 1518 (1964)
- 7) W. E. Baker, “Explosions in Air”, University of Texas Press, Austin (1973)
- 8) 水島容二郎, 中野義信, 工業火薬 44, 173 (1983)
- 9) 市田浩三・吉本富士市, “スプライン関数とその応用”, 教育出版 (1979)
- 10) 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, 46, 245 (1985)

# **Calibration of the 0.5 mm Lead-plate Blastmeter.**

by Masatake YOSHIDA\*, Yohzo KAKUDATE\*, Mitsuaki IIDA\*  
Noboru ISHIKAWA\*, Shyuzo FUJIWARA\*, Masao KUSAKABE\*\*

The blastmeter with 0.5mm lead-plate. which has been used in the Field Experiment of Ministry of International Trade and Industry, was re-calibrated using blast waves of 0.05 to 1.43 bar peak static overpressure and 8 to 20 ms positive duration. Blast wave pressures of TNT measured by the newly calibrated 0.5 mm lead-plate blastmeter agreed satisfactorily with published data.

(\*National Chemical Laboratory for Industry

Yatabe, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

\*\*Midori Anzen Kogyo Co., Ltd.

5—27—1 Inari, Soka, Saitama 340, Japan.)

---