研究論文

鉛板式ブラストメーターの改良について

改良型鉛板式ブラストメーターの作成

小林直太*，加々美茂*，飯田光明**，黒田英司***

火薬類の爆発実験において鉛板式ブラストメーターはその簡便性によって広く用いられている。しかし，人手や時間などに厳しい制限がある野外実験場などにおいては，その操作時間の短縮が特に要望されてきた。

筆者らはこの要求に応じるため，その着脱操作に人手と時間が掛かる受圧鉛板をカセットにした改良型鉛板式ブラストメーターを作成した。また鉛板着脱操作に次いで時間の掛かる凹み量測定に対して半自動ディジタル方式凹み量測定装置を開発した。このような改良により従来型鉛板式ブラストメーターによる測定の1/2～1/3程度の手数(人手×操作時間)で爆風圧測定を行うことに成功した。

なお，今回，多年にわたる測定データを用いて改良型鉛板式ブラストメーターと従来型鉛板式ブラストメーターとの間の相関性を調べ，相互の測定値間の互換性が十分可能であることを確かめたので報告する。

1. はしがき

爆薬類の爆発実験において，爆風圧の精確な測定はピエゾ素子を用いた測定法によってなされれる。しかしピエゾ素子は取扱いに注意を払う必要があり，またその設置条件も大掛かりである。そこでピエゾ素子程度の精確さは期待できないが，鉛円板を受圧装置とする鉛板式ブラストメーターはその簡便性のために，以前から実験場において広く用いられてきた。

鉛板式ブラストメーターは便宜的に用いられる簡易測定装置で，それ自体で爆風圧の絶対値を測定することはできない。しかし最近工業火薬協会爆発衝撃専門部会[1]によって，ピエゾ素子測定値と鉛板式ブラストメーター凹み変形値との間の変換表が完成されてからは，この簡便測定装置の測定結果を爆風圧に換算できるようになり，その実用性が一段と向上した。

この鉛板式ブラストメーターは歴史が古いので火薬の爆発実験に携わっている技術者にとっては馴染み深いものであり，既に何回か手掛けた経験のある人も多い。確かに鉛板式ブラストメーターはその扱いは手軽ではある。しかし実験場において，実際は取り扱ってみると，そんなに手軽でない面もある。

その第一点は，木柱に取り付けられ地表面に垂直になっている本体の取り付け面に，非常にたわみやすい鉛の薄板をあてがい，これを非常に細かいピッチのねじ蓋を数十回廻すことによって本体に取り付ける作業である。この作業はかなりの熟練を必要とし，また相当熟練してもこの取り付け作業には時間が掛かる。なお測定後鉛板の取り外し作業においても，ねじ蓋の回転には同様な時間が掛かる。したがって実験場の諸作業に歩調を合わせて作業を進めるには，かなりの人手が掛かる。このことは人手や時間的な余裕があまり多くない実験場などでは，かなりの負担になってくる。(Fig. 1-1)

次に時間が掛かるのは，爆風圧によって生じた鉛板の凹量の測定である。この作業ではダイヤルゲージで凹みの最深点を探らなければならない。現在ではダイヤルゲージのプローブをかなり短時間で最深点に当てることができる測定用治具が開発されているので，以前より時間が短縮されるようになったが，それでもなお時間の掛かる作業とされている。

このような点が簡便な爆風圧測定装置といわれる鉛板式ブラストメーターにとっては大きなリスクであった。

このような状態の打開のために，工業火薬協会爆発

1991年11月29日受理

*中央大学理工学部精密機械工学科
〒112 東京都文京区春日 1—13—27
TEL 03-3817-1819
**工業技術院化学技術研究所
〒309 茨城県つくば市東 1—1
TEL 0298-54-4788
***日本工機株式会社 白河製造所
〒961 福島県西白河郡西郷村長坂土生 2—1
TEL 0248-22-3111

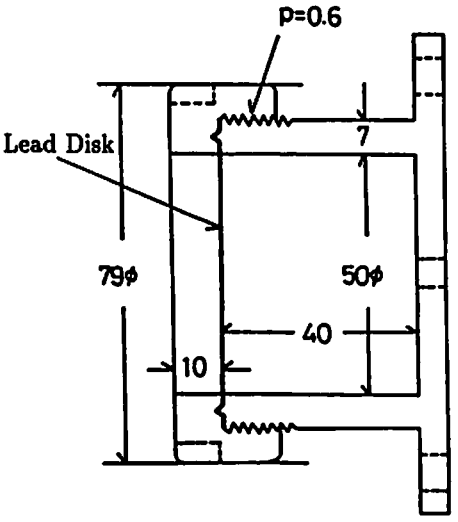

Fig. 1-1 Constitution of the ordinary blastmeter

衝撃専門部会においては，部会の研究課題の一つとして鉛板式ブラストメーターの改良がとりあげられた。改良の対象は主として前述の2点であった。今回の報告はその趣旨に沿って筆者らが数年にわたって行ってきた解決策の結果である。

2. 改良型ブラストメーターの構造

前節において述べたように，従来の鉛板式ブラストメーターの一部を改良して，取扱の簡便化を試みたのが改良型鉛板式ブラストメーターである。主な改良点は

イ．試料鉛板のカセット化

ロ．カセット化試料の本体への取り付け法

ハ．凹み量測定装置の開発

である。

Fig. 1-2に改良型鉛板式ブラストメーターの側面図を示す。Fig. 1-2(a)はカセット化試料を本体に取り付ける外蓋である。外蓋はねじによって容易に本体に取り付けられるようになっている。この部分が試料のカセット化によって改善された一部で，粗いピッチのねじ蓋を数回廻すことによってカセット化試料を本体に確実に取り付けることが可能になっている。この改善によって試料の着脱時間が非常に節約されるようになった。正確な測定を行ったわけではないが，並行作業を行って比べてみた結果から，着脱作業における時間短縮は1/2を優に超えると判断された。

なお，着脱に際して，カセット化試料を本体から取り外すときは永久磁石でカセット状試料の固定リング(軟鋼製)を吸引して外すので，地上に取り落として，試料を破損する心配は全くなくなった。この点も試料保全の点で改良の一つといえよう。

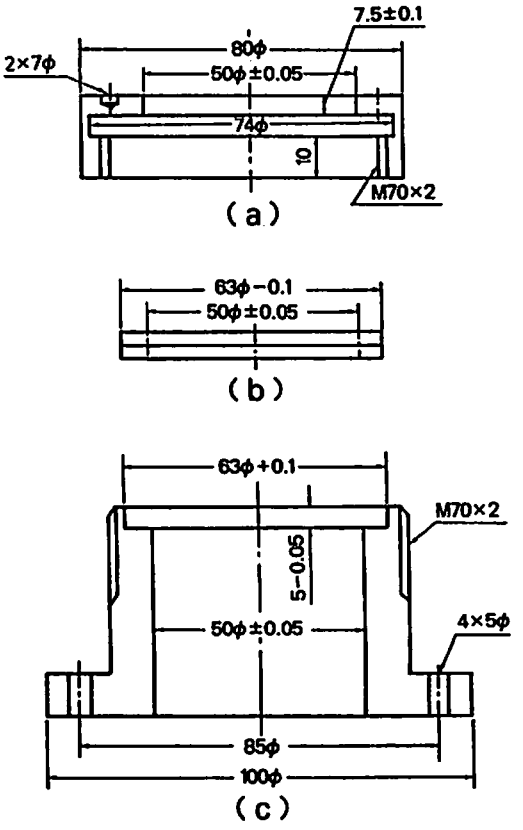

Fig. 1-2 Constitution of the improved blastmeter

Fig. 1-2(b)がカセット化された試料の側面図である。カセットは2つの軟鋼製リングで鉛円盤を挟み込んで接着剤によって固着させたものである。リングの内径が従来型鉛板式ブラストメーターの受圧面と等しくしてあるので，受圧効果は変わらない。ただ，従来型鉛板式ブラストメーターの受圧板固定方式が切り溝による固定方式であったのに対して，改良型においては完全固定方式であるのが相違点として挙げられる。この差が測定結果にどんな有意性差違を与えるかが一つの留意事項である。この問題の扱いが本報告の命題の一つでもある。

さてこのようなカセット化試料は，実験に出発する前に予め作成して置けること，容器に格納して置けば長期保存ができることおよび運搬も容易であることなどに便利さがある。しかし反面軟鋼製リングの作成に費用が掛かることが難点とされる。この点は現在固着用の樹脂を適当な溶剤によって溶かしとり，リングの再生を行うことによって費用低下が可能になった。

Fig. 1-2(c)は改良型鉛板式ブラストメーターの本体の側面図である。図の上部が，カセット化試料をはめ込む場所である。カセットのリング部の厚さは本

体の取り付け部より僅かに厚くしてあり，外蓋をしめたときにカセット状試料がしっかり固定されるようになっている。

以上が鉛板式ブラストメーター自体について行われた改良点である。

鉛板式ブラストメーターにおいて次に重要なのは凹み量の測定である。この作業においては，最大凹み点での凹み量を測定しなければならない。最大凹み量は理想的には受圧面の中心に生ずるはずであるが，場合によってはその位置に若干の変動もありうる。このような場合ダイヤルゲージによって最大凹み点を探りあてるのに時間が掛かり，またダイヤルゲージのプローブの接触によって鉛板の表面を傷つけないようにするために熟練を要したりする。現在では化学技術研究所の新測定治具の考案によって，この点は非常に改良されている。しかしこの作業には若干の熟練を要し，また短縮されたとはいえ，まだ時間が掛かる作業とされている。

改良型鉛板式ブラストメーターにおける鉛板変形量の測定は，従来型とは反対に凸量測定を行う立場にたっている。それは爆風圧を受けて凹んだ鉛円板を水平台状に凸面を上に設置し，凹みの深度を測定する代わりに凸面の最高位置を計り，予めわかっているリングの縁の高度を補正して凸量を算出するのである。この凸量はそのまま凹み量になる。この方法によると，ダイヤルゲージのプローブの先端は常に最も凸出した位置で円板に接触することになる。Fig. 2に筆者らが考案した凹み量測定装置を示す。この装置はディジタル型ダイヤルゲージおよびその駆動装置から成り立っている。駆動装置はデイジタル型ダイヤルゲージを上下方向に移動させる役割を持つ。

この凹み量測定装置の動作は次のように行われる。

1） ディジタル型ダイヤルゲージのプローブの先端に直径6㎜，厚さ2㎜の接触用アダプターを取り付けそれを定位置から駆動装置で下降させる。

2） アダプターの先端は板状なので，円板の中心から最高凸出位置が若干外れていても，必ずその点で円板に接触する。

3） 接触と同時に駆動装置の電源が切断され，ディジタル型ダイヤルゲージのメーターには，それまでの下降量距離がディジタル表示される。

4） この数値を読み取り，先に述べた補正項を差し引けば最大凹み量が得られる。

この凹み量測定の1動作に掛かる時間は10秒程度で済む。実際に測定時間を測ってみた結果によると10分間で50回の測定ができた。したがって，1枚の円板について測定を2度繰り返すとすれば，1枚の試料につ

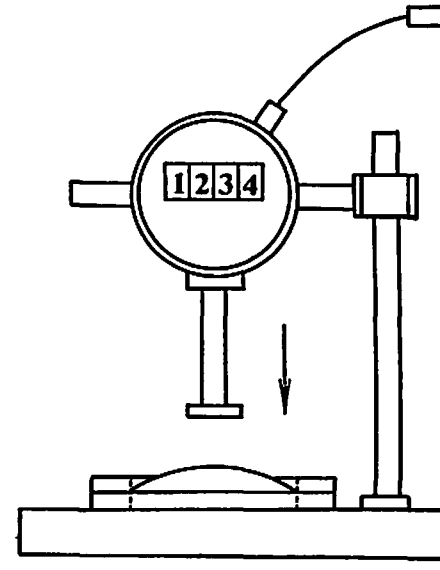

Fig. 2 Instrument system to measure the dent.

いての凹み量測定時間は24秒程度になる。また以上の操作は測定者が2～3回ボタン・スウィッチを押せばよいので，馴れ，不馴れにはほとんど関係しない利点がある。したがって凹み量測定はいまでは骨の折れる仕事ではなくなった。このことは合同実験のように多くの機関からの担当者で行う場合には極めて有利である。

しかしここで問題になるのは，従来型鉛板式ブラストメーターとの間に，試料となる鉛円板の変形による厚さの変形分だけ測定差があることである。この差が鉛板式ブラストメーターに要求される精度の中での有意性に関わりを持つ程度を吟味しなければならない。筆者らは長年にわたる実験結果を用い，両種のメーターによる凹み量の関係を相関性の面から調べてみた。

3. 改良型および従来型鉛板式ブラストメーターによる測定値

改良型鉛板式ブラストメーターを実際の爆風圧測定に使用したのは昭和59年大分県日出生台で行われた通商産業省主催の火薬類保安技術実験(以後，通産実験と呼ぶ)である。実験場では，爆源より同一の位置に従来型，改良型鉛板式ブラストメーターの両者を取り付け，同一爆風圧を受けたときの両者の変形量を測定した。

Table 1はこのような方法で，これまでに従来型鉛板式ブラストメーターと共通のデータを得ることができた実験の年度別一覧表である。これらの実験を通して，両者が比較できるデータ数は92個得られた[5)~8)]。

Table 1 Explosives used in the expriments

Year	Place	Explosives	Weight(kg)	Exp.times
1984	Ohita Pref. Hijuudai	Emulsion	100	2
		TNT	25	1
			40	1
			75	1
1985	Iwate Pref. Iwateyama	Emulsion	100	2
		TNT	2	1
			100	1
1987	Hokkaidou Yausubetsu	TNT	510	1
		Slurry	510	1
1989	Ohita Pref. Hijuudai	TNT	2	1
			35.5	2
			50	1
		H−6	100	1
		Raiyaku	150	1
			250	1

4. 従来型および改良型ブラストメーターによる測定結果の相関性について

先にも述べたように，現在従来型鉛板式ブラストメーターの変計量とピエゾ素子による爆風圧の精密測定値との間には校正表が作業されている。したがって従来型と改良型の鉛板式ブラストメーターの間の相関関係を決めることができれば，改良型鉛板式ブラストメーターを実験場で活用することが可能である。筆者らはこれまでに行われた通産実験において，共通の条件で得られた凹み量測定データ92個(Table 1)を用いて，両者の相関関係の検定を行った。

2つの鉛板式ブラストメーターの相関性を調べるために，横軸に改良型鉛板式ブラストメーターの変形量を，縦軸に従来型鉛板式ブラストメーターの変形量を取り，それぞれに該当する点をグラフ上にプロットした。このようにして得られたのがFig. 3—1である。

図中の実線は，最小自乗法によって求めた第一次回帰線であり，これが両者の相関を示すことになる。この回帰曲線は

$y=1.1002x+0.0156 (x \geqq 0.79\,mm)$

で示された。ここで

y: 従来型鉛板式ブラストメーターの変形量(mm)

x: 改良型鉛板式ブラストメーターの変形量(mm)

である。

この図を見ると，回帰曲線から非常にかけ離れたいくつかの点が存在するのが目だつ。両ブラストメーターの実験状態は同一であるので，実験状態による蓋然誤差の存在は認め難い。また回帰曲線上にある点が圧倒的に多いことから，ブラストメーターの構造の差異から系統的な蓋然誤差が生ずる可能性はあるが，これらは補正処置で処理することができる。そこでこれらのばらつき点がなんらかの偶然誤差によって生ずるものと考えて，棄却検定を行って処理することにした。

棄却検定には，最小自乗法でえられた回帰直線から特に外れたデータを順次棄却していくという簡便法を用いてみた。この方法は多分に直覚的であり，また経験的である。したがって実際の処理は非常に簡単であるが，このような方法は信憑性に欠ける恐れがある。そこで筆者らは，最終結果をGrubbsの有意水準5％の検定法[9]によって行った結果と比較してみた。その結果両者に充分の一致が得られたので，筆者らがここで試みた棄却検定法がこの場合十分役立つことが確かめられた。

このような方法で偶然誤差から生ずるとみなされるばらつき量に棄却検定を施した過程および最終結果をまとめたものがTable 2およびFig. 3—2である。

Table 2からわかるように，数次にわたる検定の引き締めによって，最初92個であったデータのうち棄

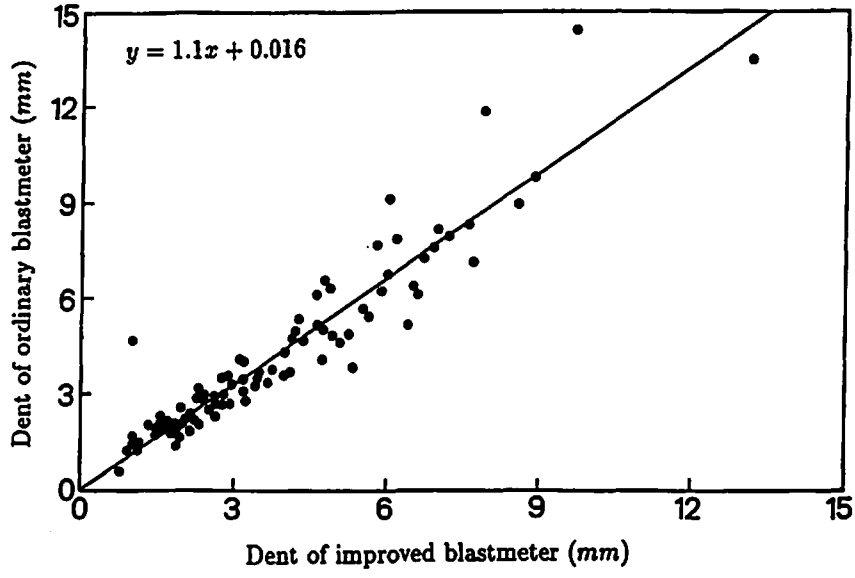

Fig. 3-1 Relation between the dent of ordinary blastmeter and the dent of improved blastmeter.

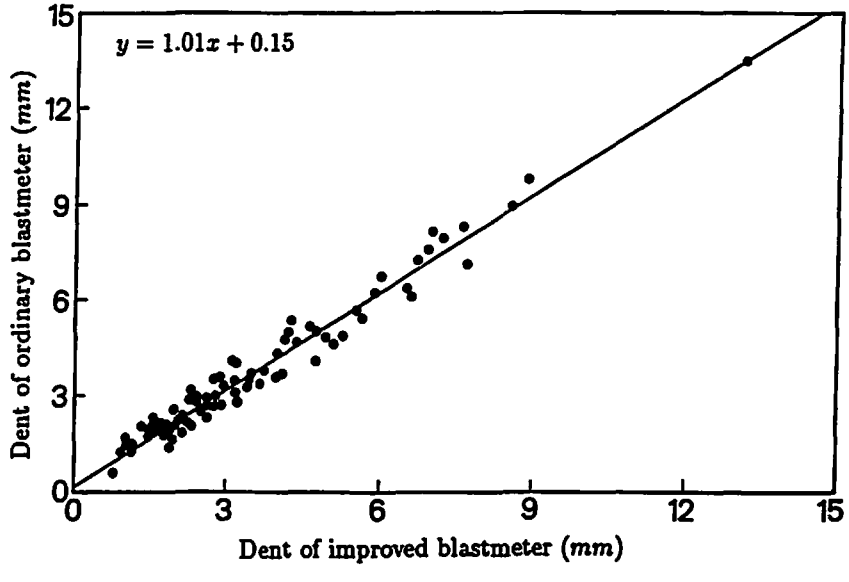

Fig. 3-2 Relation between the dent of ordinary blastmeter and the dent of improved blastmeter.

却されたものは11個におよび，最終的に両ブラストメーターの相関関係を表すのに寄与したものは81個であった。

また，このような操作により両者を結ぶ関係式として

$y=1.0133x+0.1511 (x \geqq 0.79\text{mm})$

が得られた。

上式を用いて筆者らは改良型ブラストメーターの凹み量を従来型ブラストメーターの値に換算し，従来型鉛板式ブラストメーター用校正表を用いて爆風圧の推定を行うことができるようになった。そこで同じ条件のもとで従来型および改良型ブラストメーターによってえられたピーク過圧を比較したのがFig. 4-1およびFig. 4-2である。Fig. 4-1はエマルションについて，またFig. 4-2はTNTについて相似距離と

Table 2 The revolve equation by means of turn down.

Num.of data	Mean of x (㎜)	Mean of y (㎜)	Deviation of x	Deviation of y	Correlation	Revolve equation	Num.of turn down
92	3.8601	4.2625	2.2693	2.6577	0.93941	$y=1.1002x+0.01561$	
89	3.7809	4.0582	2.1589	2.3334	0.96090	$y=1.0386x+0.13155$	1
88	3.7553	4.0005	2.1577	2.2825	0.96737	$y=1.0233x+0.15761$	2
87	3.7370	4.0022	2.1633	2.2955	0.97101	$y=1.0304x+0.15171$	3
86	3.7056	3.9884	2.1560	2.3052	0.97387	$y=1.0413x+0.12979$	4
84	3.6677	3.9137	2.1658	2.2789	0.97796	$y=1.0291x+0.13940$	5
83	3.6372	3.8666	2.1608	2.2517	0.97926	$y=1.0205x+0.15502$	6
82	3.6252	3.8390	2.1712	2.2514	0.98098	$y=1.0172x+0.15139$	7
81	3.6095	3.8086	2.1799	2.2485	0.98241	$y=1.0133x+0.15109$	8

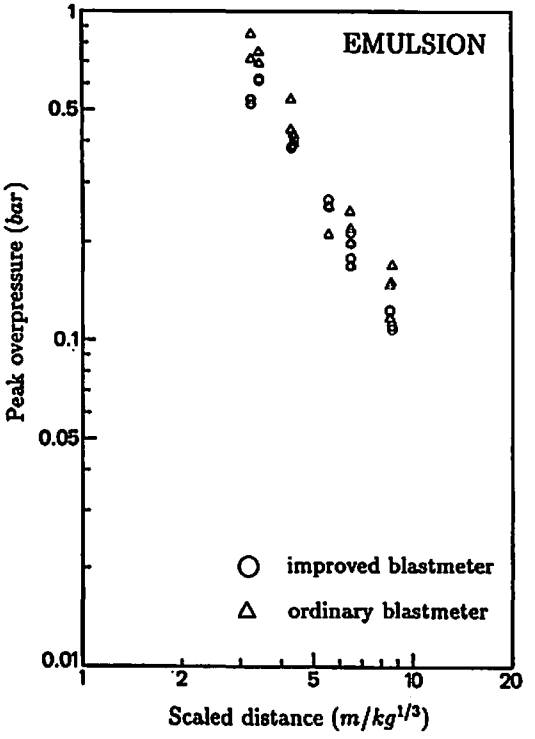

Fig. 4-1 Peak overpressures measured by blastmeter.

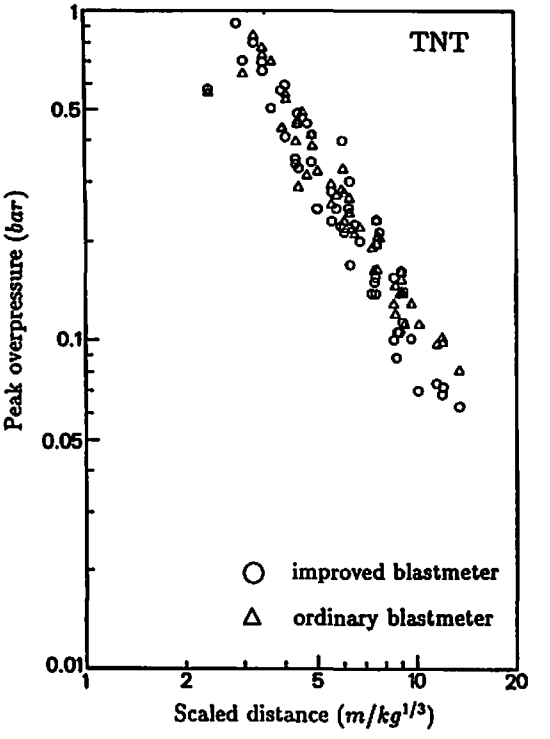

Fig. 4-2 Peak overpressures measured by blastmeter.

ピーク過圧との関係をプロットしたものである。それぞれの図より両者の一致が十分に認められるものと思われる。

6. 結　論

長年にわたるデータに基づいて，改良型鉛板式ブラストメーターの利用可能性をこのような方法で調べた結果，筆者らは次の結論を得た。

1) 改良型ブラストメーターと従来型ブラストメーターとの間には十分信頼しうる相関関係があり，相互の凹み量測定から得た爆風圧を比較することができる。

なお，この際生ずる両者の値の食い違いは，主として鉛板の支持条件から生ずる系統的な差異と考えられる。このような現象については更

に理論的および実験的に追求していくことが一つの課題となるであろう。

2) 実験場における鉛板着脱に要する人手と時間の短縮は改良型ブラストメーターに要求された本来の課題であったが，これについて十分所期の目的を果たし得たものと思われる。

3) 筆者らが開発した新しい凹み量測定装置により，凹み量測定に掛かる手間と時間を大幅に軽減することができた。このことも鉛板式ブラストメーターの有用性を一段と向上させたものと信じている。

7. 謝　辞

本研究は工業火薬協会爆発衝撃専門部会における部会研究として行われたものである。この研究過程において，終始ご討議，ご鞭達を賜った部会員の方々に厚く感謝致します。また実験に際し数々のご便宜ならびにご援助を賜った通商産業省立地公害局保安課ならびに工業技術院化学技術研究所に深く御礼申し上げます。更に研究の遂行に当たって長年にわたってご援助賜った(財)火薬工業技術奨励会，(社)全国火薬類保安協会，日本火薬工業会ならびに(社)日本煙火協会に心より感謝の意を表します。

文　献

1) 鉛板ブラストメーターの校正　工業火薬協会爆発衝撃専門部会(1985)

2) 小林直太，鈴木成彦，栗林　隆，黒田英司，「改良型ブラストメーターの試作とその測定結果」，昭和61年度工業火薬協会春期研究発表講演会講演要旨集(1986)

3) 小林直太，小出浩平，黒田英司，「改良型ブラストメーターによる爆風圧の測定」，昭和62年度工業火薬協会春期研究発表講演会講演要旨集(1987)

4) 小林直太，加々美茂，大友勇人，黒田英司，「改良型鉛板式ブラストメーターによる爆風圧の測定」，平成2年度工業火薬協会春期研究発表講演会講演要旨集(1990)

5) 昭和59年度　火薬類の保安技術実験報告書・日出生台(大分県)通商産業省・立地公害局保安課，工業技術院化学技術研究所

6) 昭和60年　火薬類の保安技術実験報告書・岩手山(岩手県)通商産業省・立地公害局保安課，工業技術院化学技術研究所

7) 昭和62年度　火薬類の保安技術実験報告書・矢臼別(北海道)通商産業省・立地公害局保安課，工業技術院化学技術研究所

8) 平成元年度　火薬類の保安技術実験報告書・日出生台(大分県)通商産業省・立地公害局保安課，工業技術院化学技術研究所

9) 石川　肇，久米　均，藤森利美著，「化学者および化学技術者のための統計的方法」，東京化学同人，p22～24，(1990)

Improvements of the lead plate blastmeter

The test production of the improved blastmeter

by Naota KOBAYASHI*, Shigeru KAGAMI*, Mituaki IIDA**
and Eishi KURODA***

The blastmeter using a lead disk as a pressure sensor is widely used in field experiments of explosive detonation, for its structural and operational simplicity.

Practically, however, it takes fairly long time and much labors for preparation, in setting and disassembling of the lead disk in the blastmeter. This is a serious disadvantage of this type of apparatus, in consideration of various experimental conditions in the field.

Elaborate readings of the bent mark in the tested lead disk is another problem of this type.

From these points of view, we improved the pressure sensor and the measuring apparatus in this system. That is to say, we assembled the lead disk into a cassette type unit, and introduced a semi-automatic digital instrument for mesurement.

The new blastmeter using the lead disk cassette is called the improved blastmeter to distinguish it from the conventional type. Test experiments have proved usefulness of this new type, enabling us to save preparation time and labors considerably. Correlation tests between the new and conventional ones were also successful, proving the reliability of our new blastmeter.

(*Faculty of Science and Engineering, University of Chuo, 13—27 Kasuga 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan.

**The National Chemical Laboratory for Industry, 1—1 Higashi, Tsukuba-shi, Ibaraki 305, Japan.

***Shirakawa Plant, Nippon Koki Co., Ltd., Nishigoh-mura, Nishisirakawa-gun, Fukushima 961, Japan.)