

薄膜破裂型ブラストメーターによる爆風圧の測定

岡崎 一正・柳 沢 剛*

1. まえがき

爆風のピーク圧力やインパルスの絶対値を精密に測定するには、ピエゾ圧力計、ストレンゲージ型指圧計などを要するが、野外実験で多点測定を行なう場合、あるいはこれら計器の使用が困難な場所においては、金属薄板ブラストメーター、とくに鉛板ブラストメーターが便利に使用されている。このブラストメーターの構造は Fig. 1 および Fig. 2 (a), (b), (c) に示す通りである。Fig. 2 の (a) と (b) は、それぞれ受圧面径 50 mm と 30 mm の普通の型式のもので、それぞれ測定圧力範囲が限定されている。これらに対し (c) は 1 個のブラストメーターで面積の異なる多数個の受圧面を備えるようにし、より高圧側への測定範囲を広げた新設計の多孔型ブラストメーターである。

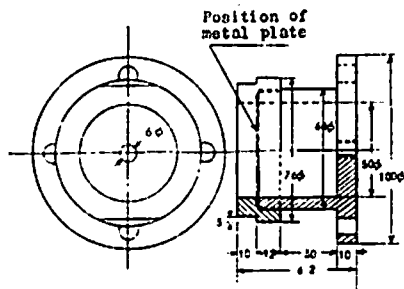


Fig. 1 Structure of ordinary blastmeter

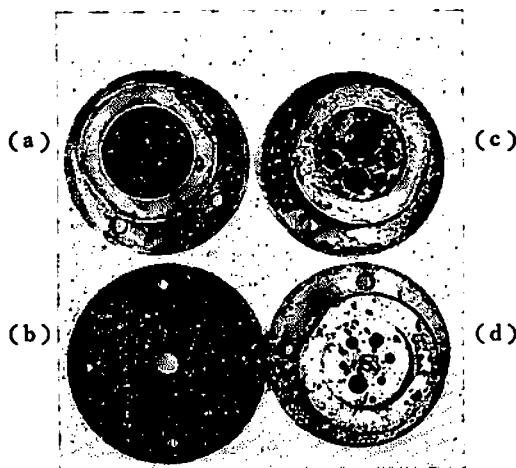


Fig. 2 Various types of blastmeter

しかし、このようなブラストメーターでは、爆風を受けて生じた Fig. 3 の如き金属板のふくらみがピーク圧に対応しているのか、インパルスに対応しているのか明確でないという問題¹⁾のほかに、測定値のバラツキも大きいといわれている。第一の問題は同軸衝撃波による動圧校正²⁾によつてある程度解明されるが、測定値バラツキの原因は、金属板のふくらみが過大または過小のときは、荷重と塑性変形との間の相関に信頼性が低いこと、さらにふくらみの測定に個人差が入りやすいことなどに帰せられる。



Fig. 3 Depression of metal plate

Leisinger³⁾ は紙や鉛箔の如き薄膜を種々の直径の孔をあけた金属板上に張つて、これが爆風を受けて破裂する最小孔径で爆風圧を求める型式のブラストメーターについて述べている。この方法は、薄膜の材質、厚さおよび孔径を適当に選定することによつて、きわめて広範囲の爆風圧測定に適用できると考えられ、しかも測定の個人差は皆無とみなされるが、薄膜材質の均質性に問題があり、結果の再現性に疑問がもたれる。また、得られる値が段階的である点はやむを得ない。この点は、各孔の孔径差をできるだけ小さくして孔数を多くすることにより、かなり解決されようが、孔径差を微小にしておかつ段々くなく最小破裂孔径を求め得るか否かについても疑問が生ずる。

そこで先ず二、三の異なる材質の薄膜を用いて本型式のブラストメーターによる測定値の再現性を確かめ、果して実用可能か否かを検討することを主目的として実験を始めたので、これまでの結果を報告する。

2. 実験方法

Leisinger は径 1.2~30.0mm の 18 孔を有する多孔板を使用した³⁾が、これは非常に大型で取扱い難いので、本実験では Fig. 4 の如き径 1.0~12.0mm の 13 孔をうがつた 2 枚の多孔鋼板からなる、はるかに小型で簡単なブラストメーターを試作使用した。

昭和41年1月12日受理
* 東京大学工学部燃料工学科 東京都文京区本郷7丁目

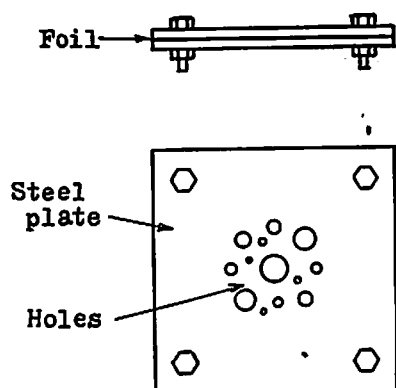


Fig. 4 Bursting membrane blastmeter used in the experiments

薄膜としては、Leisinger は厚さ 0.08 mm と 0.2 mm の紙および 0.1 mm の鉛箔を用い、紙は湿度の影響を受けるため好ましくないと述べているので、本実験では厚さ 0.01 mm のスズ箔とアルミニウム箔とを主とし、参考として 0.1 mm の鉛箔を用いてみた。

3. 実験結果および考察

3.1 再現性の検討

再現性を検討するための予備実験として、スズ箔を厚さ各 4 mm の多孔板間に挟んで固定したブラストメーターを爆薬の直下 1 m の距離に置いて爆薬を起爆したときに薄膜の破裂する孔径をしらべた。破裂孔径を×印で示せば Table 1 の通りである。

Table 1 Result of preliminary test with a bursting membrane blastmeter

Membrane: Tin foil (0.01 mm)

Distance from explosive center: 1 m (downward)

×: Denote the membrane was ruptured

Hole diameter (mm)		12.0	10.0	8.0	6.5	5.5	4.5	4.0	Peak pressure determined by an ordinary blastmeter (atm)
Explosive									
Tokukiri dynamite (Special gelatine)	50 g	×	×		×				
"	"	×	×	×	×				
Kuro Carlit	100 g	×	×	×	×	×			1.55
"	"	×	×	×	×	×			1.20
"	"	×	×	×	×	×			1.65
"	150 g	×	×	×	×	×	×	×	1.70
"	"	×	×	×	×	×	×	×	1.80

このように 7 回の実験中 1 回だけ 1 段のくまりが生じたのみで再現性のよい結果を得た。

3.2 上板の厚さの影響

Table 2 Effect of thickness of upper plate

Membrane: Tin foil (0.01 mm)

Explosive: Kuro Carlit (dia. 47 mm)

Direction	Minimum burst hole diameter (mm)		
	Without upper plate	Upper plate = 1 mm	Upper plate = 4 mm
Horizontal	4.0	4.5	3.5
	3.5	4.5	3.5
		4.0	4.0
Downward		4.0	4.0
		4.0	4.5
		6.5	4.5

次に薄膜上に固定した銅板の厚さが結果に影響を及ぼすのではないかとこの点を吟味するために、上板なしに薄膜を直接下板面にはりつけたものと、厚さ 1 mm および 4 mm の上板を使用したものとで同時測定を行なった。その結果を Table 2 に示す。

実験回数が少ないので断定はできないが、この範囲では上板の厚さの影響はほとんどないようである。ただし、きわめて小さい孔径に対する吟味はできなかったが、上板厚の影響は小孔径の方で強く現われるのではないかと推測される。

3.3 衝撃波管による校正

以上の実験で一応この型式のブラストメーターが使用可能と認められたので、衝撃波管により動圧に対する校正を行なった。主として厚さ 0.01 mm のアルミニウム箔を対象とした。得られた校正曲線は Fig. 5 および Fig. 6 の通りである。

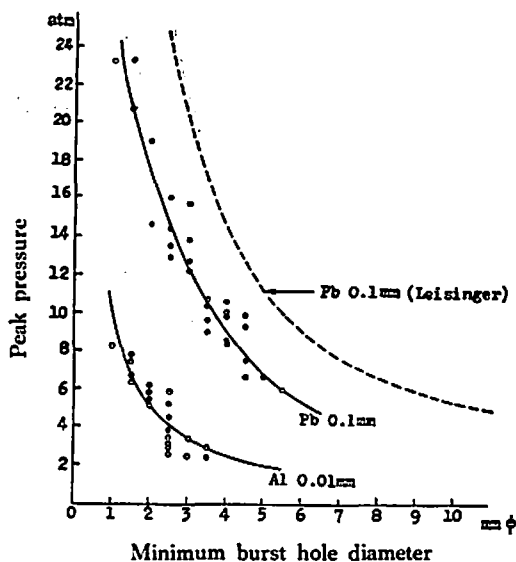


Fig. 5 Calibration curves obtained by shock tube method (I)

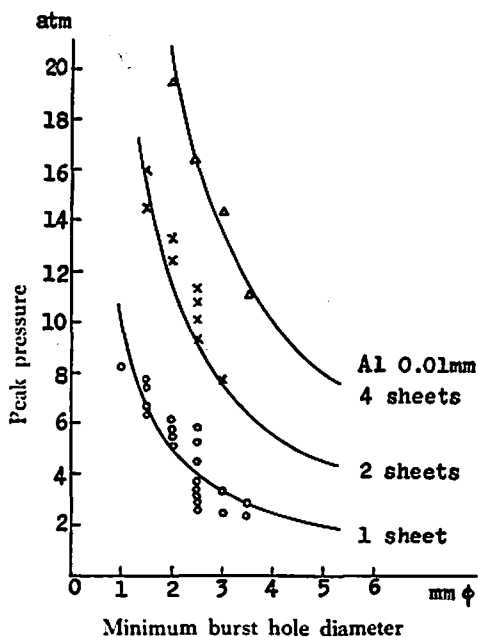


Fig. 6 Calibration curves obtained by shock tube method (II)

厚さ 0.1mm の鉛箔についても試みたが、Leisinger の結果と比較すると若干の相違がみられる。この相違は、同種材質、同厚であつても製法の違い、ならびに校正法の異なることによるものと思われる。

これに反し、厚さ 0.01 mm のスズ箔の校正値はアルミニウム箔のそれとほとんど差異がない。これは使用したスズ箔とアルミニウム箔について実測した破

裂に関する物理的性質の値が次のようにほぼ等しいことから当然である。

	スズ箔	アルミニウム箔
厚さ (mm)	0.009	0.010
引張り強度 (kg/15mm)	0.5	0.6
ミューレン破裂度 (kg/cm ²)	表 1.26 裏 1.06	表 1.06 裏 1.10
ピンホール	なし	なし

また後述の実験例で両者について最小破裂孔径がほとんど同じであることから確認される。

衝撃による薄膜の破壊について理論的に取扱つたものは見当たらないが、静的荷重の場合には、周縁固定のきわめて薄い円板に対しては、最大たわみ δ は

$$\delta = 0.662a \sqrt[3]{qa/Eh}$$

で与えられている。ここに q は単位長当りの荷重、 a は円板の半径、 E はヤング率、 h は厚さである。

衝撃波により薄膜が強く裂ける場合には、破断はたわみに無関係であろうが、最小破裂孔径というような極限においては、この最大たわみ δ がある限界を超えたとき破断が起るとみなしても差支えないものと思われる。すなわち、破断限界におけるたわみ δ_c と a との比を一定と考えれば、

$$\delta_c/a = 0.662 \sqrt[3]{qa/Eh} = \text{const}$$

よつて、一定の材質と厚さの薄膜については

$$qa = \text{const} = K$$

ここで q を爆風圧とみなせば、最小破裂孔径は爆風圧に反比例する。したがつて校正曲線は直角双極線の形をとることになる。動圧に対して上記の関係をそのまま適用することには疑問があるが、衝撃波管による校正値からも、また Leisinger の求めたものからも直角双極線に近い校正曲線が得られる。

なお、アルミニウム箔を 2 枚および 4 枚重ねた場合には、Fig. 6 の如く大体において枚数に比例した、したがつて理論通り全体としての厚さに比例した結果が得られた。

3. 4 特桐ダイナマイトについての実験

特桐ダイナマイト 100~300 g を球形にして中心起爆し、スズ、アルミニウムおよび鉛箔を用いて Fig. 7 のような配置で爆風圧を測定した結果は Table 3 の通りである。従来の鉛板ブラストメーターも並置したので、それによる測定値も附記した。

薬量、測定方向および爆心からの距離と測圧値との関係からみて妥当な結果が得られたものと推測される。ここでも上板厚による有意差は現われてない。

Table 3 Results for spherical charge of Tokukiri dynamite (Special gelatine)

Weight of charge (g)	Direcition	Distance (m)	Membrance	Minimum burst hole diameter (mm)		Peak pressure (atm)	
				U. P. T. 1mm	U. P. T. 4mm	By bursting membrane type	By ordinary type
100	D	1	Sn Al Pb	4.0 3.5~4.0 12.0	4.0 4.0 10.0	2.5~2.9	1.2
	H	1	Sn Al	5.5~6.5 5.5~6.5	6.5 5.5	1.6~1.8	—
	H	2	Sn Al	5.5~6.5 5.5~6.5	— —	1.6~1.8	—
150	D	1	Sn Al	2.5~3.0 2.5~3.0	3.0 3.0	3.3~4.0	2.2
	H	1	Sn Al	4.5~6.5 4.0~6.5	4.5 4.0	1.6~2.5	1.6
	H	2	Sn Al	5.5 6.5	— —	1.6~1.8	—
200	D	1	Pb	6.5	—	4.8	2.4
	H	1	Sn Al	3.0 3.5	3.0 2.5	2.9~4.0	—
	H	2	Sn Al	5.5 5.5~6.5	— —	1.6~1.8	—
300	D	1	Pb	5.5	6.5	4.8~6.0	3.1
	H	1	Sn Al Pb	2.5 2.5 6.5	3.0 2.5 —	3.3~4.8	3.6
	H	2	Sn Al	5.5 5.5	— —	1.8	1.6

D : downward, H : horizontal, U. P. T. : upper plate thickness

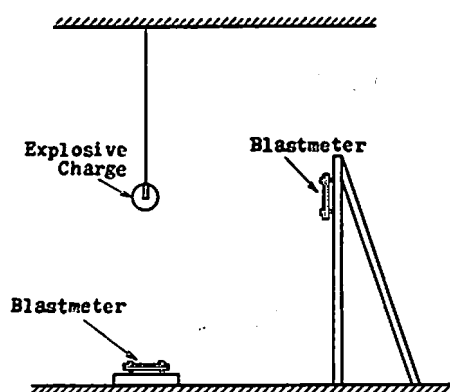


Fig. 7 Arrangement of experiment for measuring the strength of blast wave.

このブラストメーターによる測定値は、全体を通じて鉛板ブラストメーターによる値よりも高くなつてい

る。いずれがより適切な値であるかは将来の研究にまたなくてはならない。

4. あとがき

以上のような結果を得たが、最終的には大型爆発実験などで実用性を判定することが肝要である。そのため Fig. 2 (d) の如き薄膜破裂型ブラストメーターを設計準備している。また爆薬が空中や地上で爆発した場合と衝撃波管の場合とでは衝撃波の形状や測定条件がやや異なるので、実際に爆薬について他の精密測定計器との組み合わせ実験を行ない、較正值に修正を施すことも必要であろう。

なお、衝撃波管による較正にあつては当教室の米田昭氏の協力を得た。また、使用したスズ箔とアルミニウム箔についての引張り強度、破裂度などの値は日本カーリット株式会社保土ヶ谷工場の福田寛雄氏の測定によるものである。ここに両氏に厚く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 山崎尚男・中村 示・木村清茂：工火協誌，25，22 (1964)
- 2) 水島容二郎：工火協誌，26，151 (1965)
- 3) H. Busch: Explosivstoffe 7, 50, 77 (1959)
- 4) K.-F. Leisinger: Explosivstoffe 12, 27 (1964)

Measurement of Blast Wave Pressure with Bursting Membrane Blastmeter

by Kazumasa Okazaki and Takeru Yanagizawa

There are many types of blastmeter for measuring the strength of blast wave induced by an explosive charge.

Here is discussed, a new type of blastmeter which can be measured the peak pressure of blast wave in terms of minimum burst hole diameter. It is a bursting membrane blastmeter as shown in Fig. 4 and has thin membrane such as tin foil, aluminum foil or lead foil to be ruptured by blast wave.

Through the preliminary test, availability of the blastmeter was confirmed to some extent. Then the calibration curves for aluminum foil and lead foil were determined by means of shock tube method.

A series of experiments had been carried out with this blastmeter for measuring the blast wave pressure from a spherical charge of dynamite which was suspended in air and initiated at the center of charge. The results are given in Table 3.

It is necessary to calibrate the blastmeter with practical blast wave from an explosive charge. Fig. 2 (d) shows the configuration of a bursting membrane blastmeter which was designed for routine tests. It will also be suitable for large scale experiments.

ニ ュ ー ス

フランスは Hybrid Rocket を発射

6月に3発中の1発を発射した。モーターは地上テストと全く同じように作動した。32秒間燃焼し、推力は5~1に変化させた。payload 11lb, 総重量170 lb, 高度43mi. 酸化剤は加圧液状酸化剤、燃料はゴム基材の固体推進剤を用いた。酸化剤は自然に出るガス圧によりタンクから供給されながら調節装置は用いられていない。

(Missiles & Rockets August 16, 1965 p. 21)

スエーデンも Hybrid Rocket を発射

SVENSK FLYGMOTOR が HR-3F という Hybrid Rocket を Karlsborg で発射した。発煙硝酸と固体燃料の自然点火系である。

(Missiles & Rockets October 18, 1965 p. 42)

最も多い火薬類の生産

(英国化学工業製品生産高)

英国商務省がこの程まとめた1959年から1963年までの5年間の英国化学工業製品の生産高推移によると

1963年の生産率は火薬・爆薬類が26.9%と最も多く次いで有機化学品類の15%、無機化学品類の9.9%、石けん洗剤の4.8%の順となっている。また生産指数(1958年を100とする)をみると63年は有機化学品類が191、プラスチック原料が190、医薬品類が152、染料が149と目立った伸びをみせている。英国化学工業製品の生産高推移は別表の通りである。

	生産率(%)		生産 指 数				
	1958年	1963年	1959	60	61	62	63年
染料	3.9	4.2	125	141	138	135	149
肥 料	4.2	3.9	108	117	118	119	128
有機化学品類	11.0	15.0	119	148	147	165	191
無機化学品類	10.6	9.9	111	122	121	124	130
火 薬・爆 薬	5.1	26.9	107	116	116	121	128
プラスチック原料	7.8	10.6	123	147	148	167	190
ペイント塗料	9.3	7.4	110	112	112	110	114
医薬品類	10.8	11.7	113	125	138	142	152
化粧品類	3.4	3.1	110	122	125	123	130
石 け ん・洗 剤	6.4	4.8	103	106	106	108	105
動植物性油脂	3.2	2.5	108	106	106	110	110

(日刊工業 40.12.28)