

落槌感度試験機における起爆機構

日下部 正夫・石川 昇*

落槌感度試験機は爆薬の衝撃感度測定機として広く各国で用いられ、我国でも正式に JIS に採用されている。¹⁾試験法は試料 0.05~0.1g を 2 枚の規定厚の錫箔、径約 20mm 及び径約 10mm の 2 枚で包み、これをショアの硬さ 65° 以上の鋼柱(径、高さ共に 12.7 mm)でアンビル上に挟み、重量 5kg の落槌をこの上に落下させるもので、一定の高さから連続 10 回打撃して、10 回共爆発しない場合の最高の高さを不爆点と称し、これで爆薬の衝撃感度を表示するものである。連続 10 回打撃して 10 回とも爆発する最低の落高を完爆点というが、通常この完爆点と不爆点とは大きな違いがあり、完爆点が不爆点の 2 倍以上になるのもめづらしいことではない。爆発率も、この間で連続的に変化するので、10 回程度の打撃で不爆点を精度よく、且つ再現性よく測定することは本質的に困難である。また試料の包み方、その他種々の要因の為測定の再現性が必ずしもよくなく、為に JIS でもピクリン酸を標準薬とし、その標準不爆点を 13cm と定め、測定時には必ずピクリン酸の不爆点 P を試料爆薬の不爆点と同一条件下で測定し、試料の実測不爆点に $13/P$ を乗じてその試料の標準不爆点を算出するよう規定してある。

当所に於いても、昭和 28 年に設置されて以来試験機に使用されて来たが、本機自身の試験精度、及び再現性の向上の為努力して来ており²⁾現在では一応信頼出来る試験機として活用されている。

しかし最近の報告によれば³⁾、薬量を JIS の範囲をこえて 0.01g の小量から 0.075g 程度迄変えて落槌感度を測定すると、小薬量では一般に感度が低くなる。即ち不爆点が高くなる傾向をもち、T. N. T. では薬量 25mg 附近で感度最大となり、これより小量或は大量の薬では感度が低くなることが報告されている。

著者等は初め本試験機の機械的、力学的な特性について調べる目的で以下の研究を初めたのであるが、本試験機で衝撃したときの試料爆薬の爆発過程についてもいくつかの事実が明らかにされた。この結果は爆薬

の起爆という大きな主題の上からも、狭くはこのような試験機の改良という点からも意味があるものと思われるので、現在までの結果をまとめて報告する。

1. 準備

まづ以下の測定を行う前に、落槌の落下を規正するガイドレールの垂直度を調整した。ガイドレールの真下に水銀を満した容器を置き、レールの上方から、レールと水銀面によるその像とが一直線に見えるようにして、レールを鉛直に固定した。

落高測定用尺度を 1mm 目盛毎にカセットメーターで読み、全長にわたって $\pm 0.01\text{mm}$ 以上の誤差のないことを確めた。この程度の精度なら以後の落高値の尺度自身による誤差は無視してよい。

2. 落槌の落下時間

落槌はガイドレールに沿って落下するが、この為の抵抗其他の原因で理論値より遅い落速で落下する⁴⁾。従って落速は本試験機の動作が正常か否かをしらべる上の 1 つの目安となるものであるが、その測定を精度よく行うには相当困難であるので、これに代って落槌の落下時間を測定して理論値と比較した。

重量 5kg の落槌は鋼柱から所定の高さに直流電磁石でつり上げられ、電磁石の電流を切るとガイドレールに沿って落下する。この落高はガイドレールに固定した尺度(1mm 目盛)と落槌に取付けられた指針により測定される。従って上下 2 回の目盛合せで最大 0.2 mm 程度の誤差はまぬかれない。

時間の測定には Hewlett Packard 社製の 524 型 Electronic Counter に 526B Time Interval Plug-in Unit を取付けたものを用いた。この装置の誤差は $\pm 0.2\mu\text{sec}$ であり無視してよいが、現象からの start 及び stop の両パルスの取出し方で測定の精度が左右される。ここでは電磁石鉄心と落槌とを switch の両極として用い、これに電流を通じておき、落槌の落下による両者の離脱により、電流が切れ start pulse を生ずる。又鋼柱頭部に Fig. 1 の如くセロテープを張り、その上に短ざく形の錫箔を 2 枚張りつけ、その間隙を約 1mm 程度にしたものを用意しておく、落槌がこの上を打つと 2 枚が短絡される。このような off 及

昭和 38 年 9 月 10 日受理

* 東京工業試験所第 7 部 平塚市新南

び on の両 switch 作用で夫々約 12 ボルトの正及び負の両パルスを得て、counter を動作させる。このようにして各落高に対する落槌の落下時間を各々 30~50 回測定した。その平均値 $\bar{t}$ を Table 1 の第 2 列に示す。第 4 列にはこの $\bar{t}$ と理論計算値 t_{cals} との差を示してある。 t_{cals} の計算に用いる地球の重力の加速度の値は、国土地理院の測定した当所の所在地平塚市内

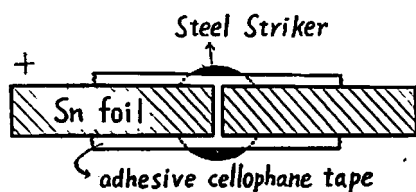


Fig. 1 Device for generating a stop pulse

Table 1 Drop Duration of Hammer

Fall Height h	Mean Drop Duration $\bar{t}$	Standard Deviation s	$\bar{t} - t_{\text{cals}}$	$\frac{\bar{t} - t_{\text{cals}}}{t_{\text{cals}}} \times 100$
50mm	0.10454 sec	0.00106 sec	+0.00351 sec	+3.47%
100 "	0.14795 "	0.00141 "	0.00508 "	3.55 "
200 "	0.20610 "	0.00102 "	0.00405 "	2.00 "
300 "	0.25206 "	0.00108 "	0.00460 "	1.86 "
500 "	0.32410 "	0.00063 "	0.00463 "	1.45 "
750 "	0.39602 "	0.00042 "	0.00475 "	1.21 "
* 50 "	0.10631 "	0.00118 "	0.00528 "	5.23 "
* 100 "	0.14811 "	0.00117 "	0.00524 "	3.67 "
* 300 "	0.25402 "	0.00153 "	0.00656 "	2.65 "

t_{cals} : Calculated drop duration

* : In this case, guide rail is supplied with excess turbine oil

の 2 地点での値⁵⁾ から当所の位地について内挿した値 979.7688gal を採用した。Table の上 6 行はガイドレールと落槌の滑動部から余分の潤滑油を乾布で拭きとった場合であり、次の * 印を附した 3 行は、特 turbine oil をたっぷり施した場合である。この 2 群を比較すると、前者の方が落下時間が短かく、余分の油は潤滑剤よりもむしろ落下抵抗となることが判る。又標準偏差も大きくなっていて、落速のパラツキも大きい。即ち油も多すぎるとかえつて逆効果である。

Table 1 を見ると、落高が増すと理論値との差が増加するが、これの理論値に対する百分率は最右列に示す如く、落高と共に減少する。即ち理論値との差は落速のおそい落下の初期で大きいことが判る。落高の読みの誤差を +0.2mm とした場合、これによる t_{cals} の増加は 50mm 落高で約 0.3%，500mm 落高で約 0.03% であり、測定値の標準偏差のほんの一部をカバーするのみであり、落高の読みの誤差は重大な影響はない。ただ 50mm 以下のものと低い落高ではこの影響も無視出来ない。

尚電磁石で吊り下げた落下待期位置の落槌の姿勢の影響を調べる為、落槌をレールの一方に押しつけ、又は斜に押しつけた姿勢から落下させたが、この影響は認められず、従つて落槌を電磁石に取付ける際の個人

差も影響しないことが認められた。

以上の結果から、落下時間従つて又最終落速は非常によい再現性をもち、衝撃試験機としては、この点に関する限り十分な性能をもつと告える。

3. 加速度計による諸測定

3.1 装置

落槌が鋼柱に衝突するときの、衝撃力の時間的経過を調べる為、東芝製の振動衝撃測定装置 (Photo. 1 参照) を使用した。これのピックアップはチタン酸鉛を圧電素子としている。これを落槌の頂部にネジ穴をあけ垂直にネジ止めした。(Photo. 1 参照) ピックアップ出力は本体増幅器で増幅し、その出力信号を Techtronix 534 型シンクロスコープの垂直軸に入れ (Photo. 1 参照) 単掃引により波形を撮影記録する。ピックアップヘッドを含めての落槌重量は 5kg になるように留意した。またピックアップヘッドと増幅器とはフレキシブルなコードで連絡しているから落下には大きな抵抗にならないと考えられる。

この増幅器の周波数レスポンスを可聴周波発振器及び全波信号発信器を用いて調べると、300 サイクル附近で最大感度を持ち、20 サイクルでその 91.3%，20 kc で 77.3% であり、外挿により 25kc で 3db 感度がおちる。又実例により 200kc では約 40db も低下す

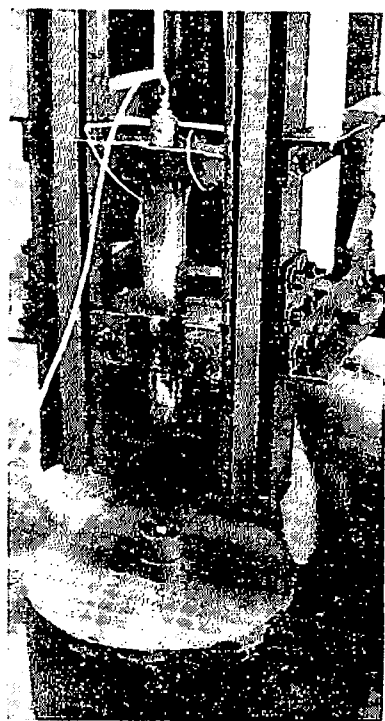


Photo. Experimental arrangement for recording the pressure variation during impact.

る。従つて $1/3 \times 1/25k \approx 13\mu\text{sec}$ 以下の短時間現象は正確には測定出来ない⁶⁾。このことは得られたオシログラムを検討する際、常に留意せねばならない。

頭部にピックアップを装着した落槌の真下及び前面中央部を金槌で打撃したときに得られる波形は Fig. 2 に示すような減衰振動である。

Fig. 2 (a) は落槌の真下を金槌で打撃して得られた波形で初期部分は複雑で解析困難であるが、後半の波形について基本周期を調べると 0.137msec であり、従つてその周波数は約 7.4kc であつた。落槌の材質である鉄及び砲金中の音速と落槌の上下の長さから、音波がこの中を通過する時間を計算すると 0.0726msec であり、基本周期はこれの約 2 倍である。即ちこれは

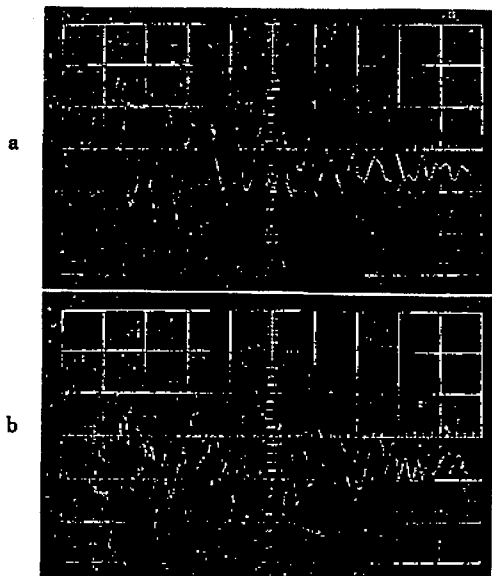


Fig. 2 Oscillograms of the disturbance in the drop hammer caused by impact with a hammer
(Sweep speed: $500\mu\text{sec}/\text{section}$)

- (a) Hit point: Bottom of the drop hammer
- (b) Hit point: Center of the front of the drop hammer

両端自由な棒の縦振動の基本周期に相当し、音波が棒長を往復する時間である⁷⁾。Fig. 2 (b) は落槌の前面中央を打撃して得られた波形で (a) 程の規則性はないが、比較的解析しやすい後半部での平均周波数は約 6.9kc であつた。

3. 2 空打ちによるオシログラム

ピックアップを装着した落槌は既設マグネットで吊すことは出来ない。そこで以後の実験はあらかじめ落槌を紐で所定の高さに吊し、この紐を鉋で切つて落下させた。

まづ試料をアンビルと鋼柱との間に挟まずに空打ちすると、Fig. 3 のようなオシログラムが得られる。

これらの波形は落高を変えても大体同様な形の比較的規則的な減衰振動であり、衝撃が金槌で打撃するよりも理想的な形でなされていることが判る。後半部の波形の基本周波数は、 7.3kc 、 7.4kc 、 7.2kc 等となり、金槌で打つて得られた波形の基本周波数とよく一致している。又減衰率は一周期当り、 0.930% である。従つて落槌の下部の衝撃がピックアップに伝わる時にはもとの値の $0.930\% = 0.964$ に減衰していると考えられる。この値はオシログラムの垂直軸の値を計算する際に補正因子として使用した。

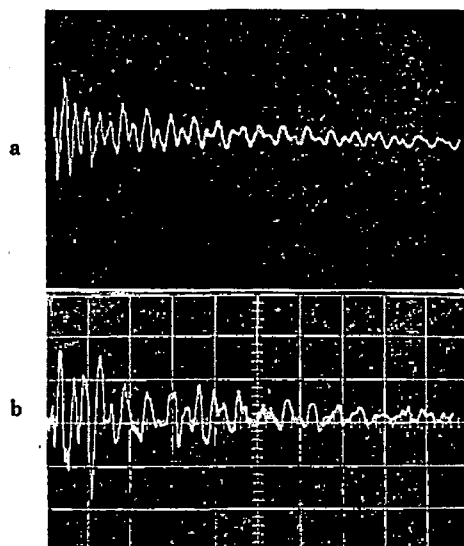


Fig. 3 Oscillograms for blank hit
(Sweep speed; 500 μ sec/section)

- (a) Fall height; 5cm
(b) Fall height; 20cm

以上のような空打の場合には最初の打撃による加速度の変化は、非常に短い時間幅のパルスであり、この測定系では波形として現われない。従つて衝撃時の真の加速度は求め得ないが、一応 Fig. 3 のような波形の最大振幅をとつて見ると、各落高について Table 2 に示すような値を得る。加速度は単位 $G \equiv 980\text{gal}$ を用いて示す。

Table 2

Fall height cm	Acceleration unit : 980 gal $\equiv G$
2	68.6
3	84.9
5	212.1
10	331.9
20	435.1
30	457.1
40	497.1
50	506.3

これを Fig. 4 の如く加速度を落高の対数に対して図示すると、測定点は略々直線上に並ぶ。加速度即ち圧力は落高 h の対数 $\log h$ に比例する。しかしこの値は打撃時の加速度そのものではないことは上記の通りである。

3. 3 不活性試料の打撃

次に試料として、不活性な食塩、硝酸、ペニガラ、

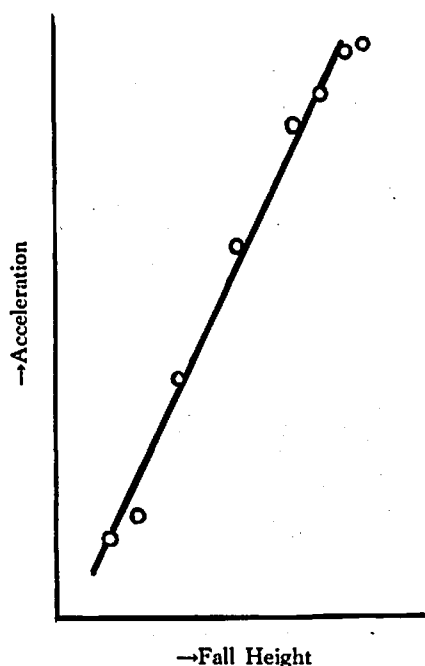
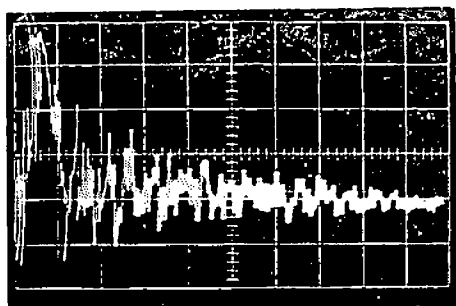


Fig. 4 Acceleration against log-height relation

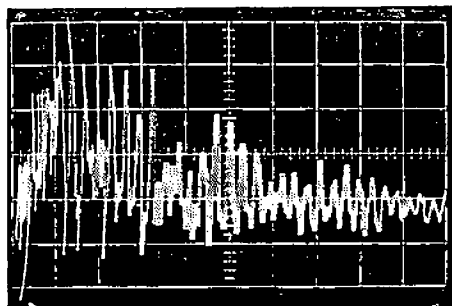
薄片状にけづりとつた固形パラフィン等を取り上げ、これらを夫々 60mg, 90mg, 120mg 秤量し所定的方式で錫箔に包み込んだものを、落高 25cm で打撃して得られたオシログラムを示すと、Fig. 5 の如くである。

5a1~5a3 は NaCl に対するオシログラムで、夫々薬量の異なる場合であるが、いづれの波形も NaCl に特有な形を持ち、一見して他の薬種によるものと区別出来る。Fig. 5b の各々は NaCl 以外の薬種に対するオシログラムである。Fig. 5c のオシログラムは錫箔の外包のみで中に薬を入れなかつた場合に得られるもので、この場合、上ぶたとして入れる錫箔(径10mm)を1枚だけにしたもの、これを5枚にしたものの2種類についてオシログラムを得ている。いづれにしてもこれらの波形は薬種によつて特色ある形を示し、薬量によつてその模様は変らない。

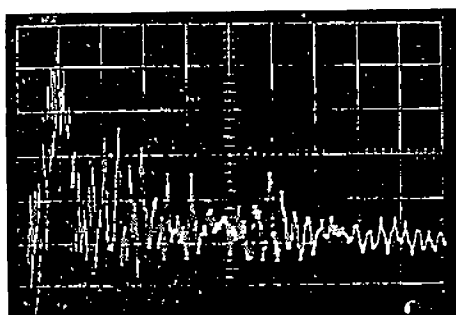
空打ちの場合と異なり Fig. 6 にその典型的な形を示すように、波形の始まりから或る時間 t_m たつた所に G_m なる最高値がある。この t_m の値は Fig 5a の1から3までに見られるように、薬量が大となるにつれて大きくなつてゐる。このことと落高 25cm での終速 221.4cm/sec で試料の厚さを割つた数値とがよく一致することとから、この t_m が落槌により試料が圧縮される時間に關係するものと考えられる。従つて G_m はこの圧縮過程で生ずる最高の加速度である。落



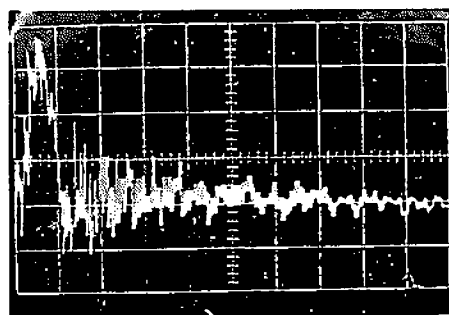
(a₁) NaCl 60g



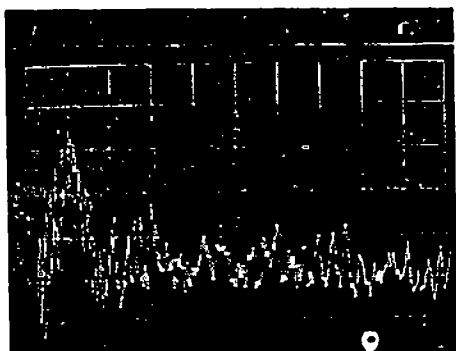
(b₂) Boric Acid



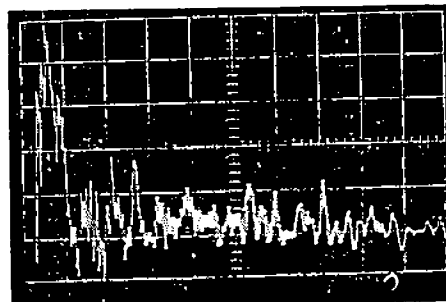
(a₂) NaCl 90g



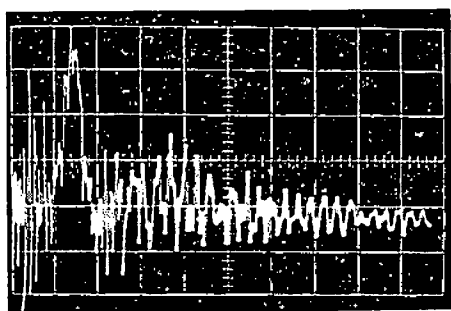
(b₃) Rouge



(a₃) NaCl 120g



(c) Tin foil envelope only



(b₁) Paraffin

Fig. 5 Oscillograms for dummy samples (Fall height: 25cm)

(sweep speed : 500 μ sec/section)
(Y-axis : 86.61G/section)

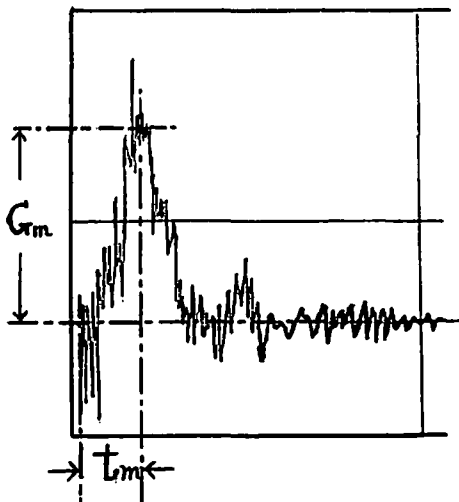


Fig. 6 Typical wave form for dummy samples
The superposed high frequency oscillation may refer to frictional compression.

槌の質量は 5kg 鋼柱の底面積 S は 1.297cm^2 である。又落槌頭部での圧縮波の反射を考えれば、加速度は実際の 2 倍となっている。故に薬に加わった最大圧力 P_m は $P_m = 1/2 G_m \times 5\text{kg 重} / 1.297\text{cm}^2$ で求められる。各試料に対する t_m , G_m 及び P_m の平均値を Table 3 に示す。

表に示すように、最高圧力 P_m は硼酸を除けば、500 気圧前後という高い値となっており、薬量が大となるにつれて、 P_m に達する迄の時間 t_m は大となっているが、 P_m は薬量によって大差はない。硼酸は他の試料と異なり、特異な波形のオシログラムを与えるが、これは硼酸が 100°C で分解して一分子の水を失ってメタ硼酸となり、 140°C では更に水分を放出し、更に加熱されて B_2O_3 にまでなるため、圧縮過程で急激に水蒸気を放出する為波形は乱れ、且つこれらが吸熱反応であるので、最高圧力 P_m も大きく出ないものと考えられる。

今落槌に加わる加速度は薬の圧縮過程で時間 t に比

Table 3 Parameters for compression process for dummy samples
(Fall height; 25cm)

Sample Weight, mg	Paraffin			Boric Acid			NaCl			Rouge			Sn foil envelope	
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	1 lid	5 lids
Parameter														
G_m , G.	295	286	273	229	233	230	334	289	282	269	290	277	372	403
P_m , atm	548	532	508	425	433	427	621	537	524	500	540	516	693	750
t_m μsec	538	725	875	500	625	700	325	400	400	275	300	325	175	200
W, joule	3.6	4.3	4.8	2.7	3.3	3.6	2.6	2.7	2.7	1.7	2.1	2.2	1.7	2.0
$W/E \times 100\%$	28.9	35.3	38.8	22.1	27.0	29.2	21.1	22.3	21.8	14.6	16.8	17.9	13.4	16.2

例して直線的に増加し、これによつて初速 v_0 であつた落槌が時間 T_m 後に停止し、同時に最大加速度 G_m に達すると仮定すると、薬の圧縮された厚み l は

$$l = v_0 t_m - \frac{G_m t_m^2}{6} \quad (1)$$

で求められる。一方落槌によつて薬になされた仕事 $W = \int_{t_0}^t P dV$ (但し P は圧力、 V は試料の容積) は上記の簡単な仮定の下では、

$$W = \frac{S}{8} P_m t_m (4v_0 - G_m t_m) \quad (2)$$

S : 鋼柱の底面積

となる。(1), (2) 両式を用いて、試料に対して、 W を求め同時に落槌の運動エネルギー E に対する百分率 $W/E \times 100\%$ を求めたものを Table 3 の下方の

行に示しておく。これらの値は極く簡単なモデルを用いて得られたもので、単なる参考値に過ぎない。

これから判るように薬量が増加すると薬が吸収するエネルギーは増加している。このことは単位薬量当りに受けるエネルギーが薬の量にあまり関係しないことを意味し、従つてこの感度試験器では或程度の薬量の増減は感度測定値に影響しないという経験的事実と合うものである。パラフィン、硼酸等の W/E 比が比較的大きく出ているが、これは W の計算の元となる仮定が、これら試料のオシログラム波形と合致せず、 W を実際より大きく見積ることになることは、Fig. 5 から明らかであろう。しかしいづれにしてもここに得られた W は一応の目安程度と考えられる。

3. 4 爆薬の打撃

ピクリン酸、テトリル、P.E.T.N, T.N.T. 等を

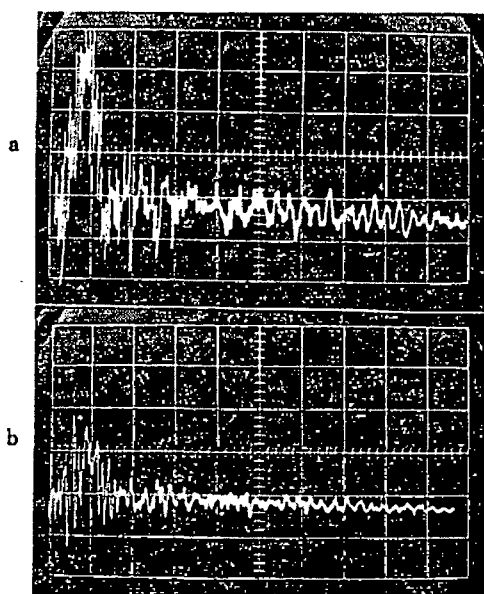


Fig. 7 Typical oscillograms for explosives (misfired) (sweep speed: 500 μ sec/section)

- (a) P. E. T. N. 90mg, fall height 25cm, Y-axis; 86.61G/section
 (b) T. N. T. 90mg, fall height 45cm, Y-axis; 433G/section

打撃したときにも不爆の場合には前節の場合と同様に各薬種に対して特色ある波形のオシログラムが得られる。Fig. 7 に示すものはその代表的波形である。

これらの波形についても G_m , T_m を測り P_m , W , W/E を算出すると Table 4 に示した如くである。

表に見られるように、薬に加えられる最高圧力 P_m は当然落高の高くなるにつれて大きくなっているが、落穂の位置エネルギーのうち試料に加わったエネルギーの比率 W/E はこの程度の測定精度では落高による影響は考察出来ないが、落高による変化はあまりないものと考えてよさそうである。

次に爆薬が爆発すると、オシログラムは非常に振幅の大きな複雑な振動波形となる。Fig. 8 は P. E. T. N. を試料とした場合のオシログラムであつて、Fig. 8 a は落高 25cm で不爆であつた場合の波形で、Fig. 7 に示した P. E. T. N. の波形と当然よく似た形をもっている。他の 8 b, 8 c, 8 d, 8 e はいずれも爆発した場合の波形であり、圧縮過程を示す山の途中から、突然非常に振幅の大きく振動数の高い複雑な振動波形が現われ、ここで試料が起爆したことがわかる。

波形の始まりからこの爆発波形の立上りまでの時間 T_e をこれら 4 つの場合について測ると夫々 590 μ sec, 370 μ sec, 225 μ sec, 210 μ sec である。特に 8 b は多くの実験中で得られた稀な例であつて、圧縮過程を示す

Table 4 Parameters for compression process for explosives

Sample Fall height Parameter	P. E. T. N. (90mg)			T. N. T. (90mg)		
	15cm	25cm	28cm	35cm	45cm	55cm
G_m G.	212.2	320.5	381.1	519.7	585.6	649.6
P_m atm.	395	591	708	967	1,089	1,208
t_m μ sec.	375	375	375	438	413	410
W joule	1.48	2.82	3.48	5.2	7.0	8.6
$W/E \times 100\%$	20.1	23.0	25.8	33.5	31.9	31.8

波形の後段になって始めて起爆している。この波形の特異性に対応して他の例のように完爆でなく、この場合には残薬が相当あつた。

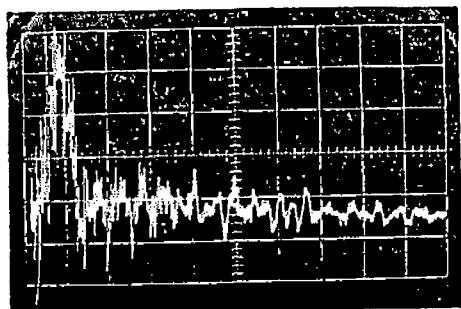
一般に P. E. T. N. は起爆した場合、完爆することが多く、残薬を生ずることは稀であつた。(落高 28cm 附近)

8 f の波形は P. E. T. N. が完爆したときのものでは

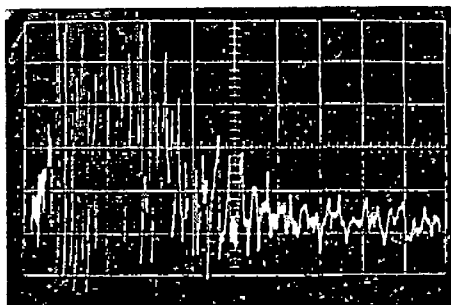
るが、Fig. 8 の他の波形と異なり、オシロスコープの垂直感度を低くした為、圧縮過程の波形ではトリガーされず、爆発振動のみが記録されたものである。そこでこのオシログラムでは T_e は測定されないが、爆発波形は scale out せず、その全般の模様がわかる。生じた最大振幅から算出すると 3,500 気圧以上の圧力が生じていることがわかる*。

8 f のように爆発波形のみのオシログラムを P. A. について記録したものを Fig. 9 に示す。ここに示した爆発波形のうち a 及び b の 2 つは波形に山が 2 つあ

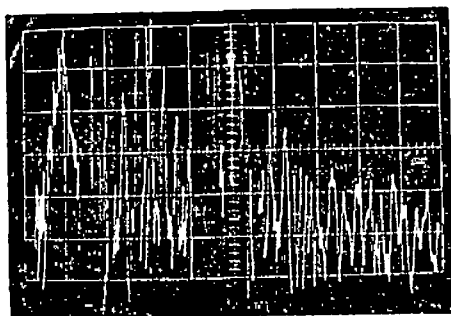
* 測定系の周波数レスポンスを考えると、爆発波形中のスパイク状 peak の垂直方向の値は実際の値より低く出ているものと考えられる。



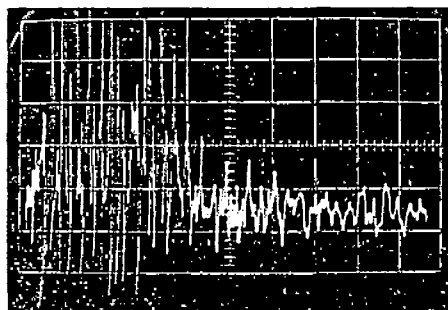
(a) Misfired, fall height 25cm
Y-axis: 86.61G/section



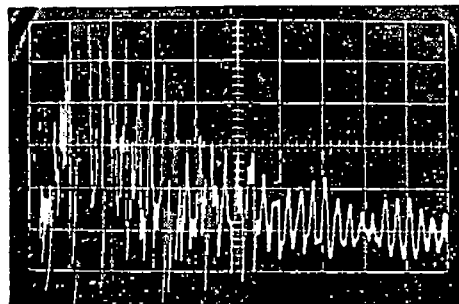
(d) Perfect explosion, fall height 35cm
Y-axis: 217G/section



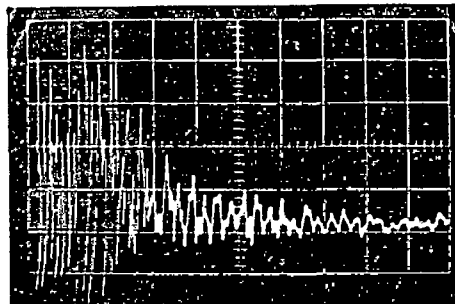
(b) Half exploded, fall height 28cm
Y-axis; 86.61G/section



(e) Perfect explosion, fall height 35cm
Y-axis: 217G/section



(c) Perfect explosion; fall height 28cm
Y-axis; 86.61G/section



(f) Perfect explosion, fall height 35cm
Y-axis; 433G/section

Fig. 8 Oscillograms for P. E. T. N. (sweep speed: $500\mu\text{sec}/\text{section}$)

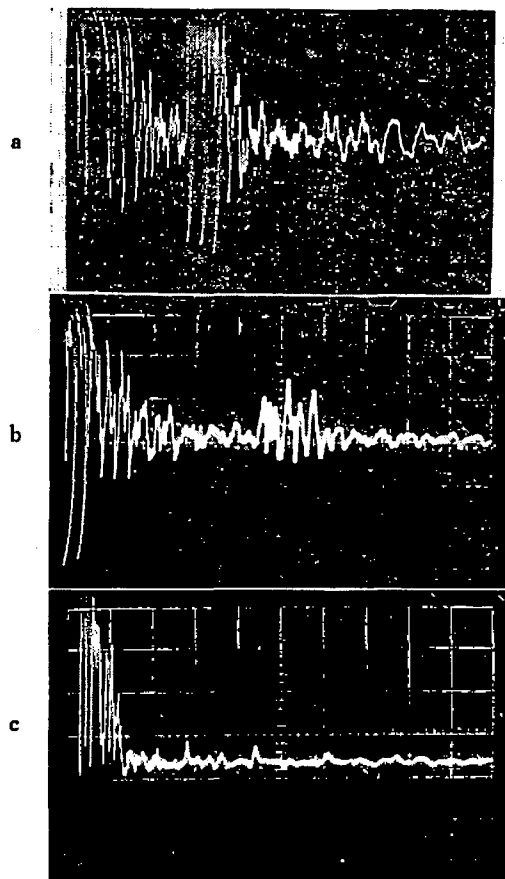


Fig. 9 Oscillograms for picric acid (fired)
(sweep speed: $500\mu\text{sec}/\text{section}$)

- (a) Perfect explosion
- (b) Perfect explosion
- (c) Partly exploded

るが、cはこれが1ケのみである。前2者は共に完爆し、残薬がない場合であり、cでは約 $1/2$ 量の残薬がある半爆の場合の波形である。この場合爆発音も小さい。

このように P. A. では一般に残薬を残し、音も小さいいわゆる半爆の場合には、そのオシログラムは振動の波形が1ケのみであるが、完爆したときのオシログラムは爆発による振動波形が2つ現われている。この2つの波形の夫々の立上りの時刻の間の時間は 9a 9b で夫々 1.3msec, 2.3msec である。このようにこの値は個々の場合で一定していない。

Tetryl の爆発波形は Fig. 10 に示すように、P. A. のそのような完爆、半爆によるきわだった変化を示さない。

しかし他の爆薬の場合と同じく、少しでも反応すれば不爆の場合とは、はつきり差のある大きな爆発波形

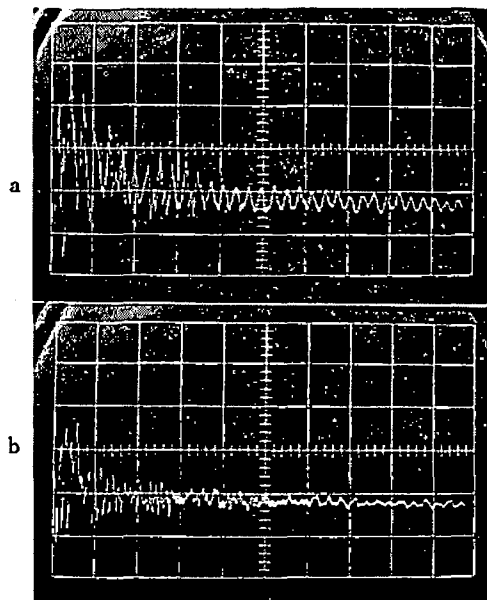


Fig. 10 Oscillograms for tetryl
(sweep speed: $500\mu\text{sec}/\text{sec}$)
(Y-axis: $433\text{G}/\text{section}$)

- (a) Half explosion, fall height 30cm
- (b) Perfect explosion, fall height 30cm

が生じている。10a の場合は試料の錫箔に2ヶ所小さな穴を生じてその部分のみが反応したのみでありその振動波形も振幅は比較的小さいが、この場合でも不爆の場合とはつきり差がある。

4. 考 察

落錐の落下時間測定の結果から見ると、落下速度は調整に注意すれば十分よい再現性をもち、試験結果の再現性を左右するのはこれ以外の多くの要因の影響の方が大切であると考えられる。例えば鋼柱及びアンビルの硬度、これらの試料に接する面の平面度、又打撃の方向の不ぞろい等の試験機自体の問題と、これらよりもつと影響の大きいと思われるものに、試料の作り方即ちその厚さ、面積、錫箔による包み方、又は試料を包まず裸で打撃するか否か等の試料調製の面での不ぞろいがある。薬量については桁違いの薬量を使わぬ限り、60mg~120mg 程度の薬量変化はオシログラム波形から見て余り影響しないようである。爆薬の爆否が刺激値に対して本質上確率分布するものと考えられるから、これら要因が全て制御されても爆否は一定しない筈であるが、ある程度以上多くの試験を行えば、この落高に対する爆発の確率分布が再現性よく求められるであろう。

加速度計によるオシログラムから判るように、少くとも錫箔で薬を包んだ試料に対しては、落錐の打撃に

よりまず試料は圧縮され、(例パラフィン波形の初期)次いで薬種個々に特徴的な経過で断熱的に圧縮を受ける。このときの最大圧力は落高の対数に比例して変り、落高 25cm では各薬種で 500 気圧前後の値である。又圧縮の時間は薬量従つて薬厚の増すにつれて増加している。又薬を入れぬ錫箔容器のみの場合でも、この圧縮波形が現われていて、錫箔容器の使用により密閉度が良くなり、断熱圧縮による内包空気の温度上昇を容易にしているように思われる。断熱圧縮により理想気体の温度は初期温度 $T_1^{\circ}\text{K}$ から $T_2^{\circ}\text{K}$ に上昇しこれらの間には次の関係が成立つ

$$T_2 = T_1 (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

ここに P_1 は気体の初期圧力、 P_2 は最終圧力であり、 γ は比熱比である。この式を用い初期温度 20°C の空気の温度変化を空気に対する比熱比 γ の温度³⁾変化を考慮して算出すると、Fig. 11 のようになる。

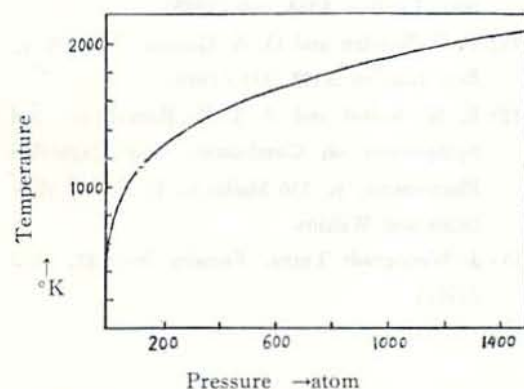


Fig. 11 Temperature variation of air initially at 20°C , one atm. by adiabatic compression

これを見ると 500 気圧程度では内包された空気は、伝導其他による熱損失がないものとするれば $1,200^{\circ}\text{C}$ 前後の高温に達する。一方 Bowden 等の研究によれば、数種の爆薬の断熱圧縮された空気内での起爆温度は 400°C から 690°C の間にあり、特に P. E. T. N. では $460^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ となつて⁹⁾いる。一方 Fig. 8b の最大圧縮圧力 P_m は約 750 気圧、このときの空気温度は損失がないものとして約 $1,490^{\circ}\text{C}$ である。又 8c, 8d では圧力にして約 750 気圧、650 気圧、理想的到達温度にして $1,490^{\circ}\text{C}$, $1,440^{\circ}\text{C}$ の所ではじめて爆発波形が始まっている。勿論これらは Bowden 等のいう最低起爆温度ではなく、又実際の到達温度も、熱が周りの爆薬や鋼柱等に吸収される為、理論値よりもずっと低くなつて¹⁰⁾いるものと思われる。

何れにしても、試料を打撃すると、内包された空気

は断熱的に圧縮されて十分な高温に達し、周囲の既に液化していると思われる爆薬が細滴となつてこの気泡内に飛散し¹⁰⁾、この内部で着火するものと考えられる。

打撃の始まりから着火迄の遅れの時間については、直接比較しうる実験条件の下で得られた測定値はないが、Bowden and Gurton¹¹⁾ は鋼球の落下衝撃による起爆の時間遅れを爆発光のドラムカメラによる記録により測定し、P. E. T. N. に対して、落高により変化するが、 $60\mu\text{sec} \sim 145\mu\text{sec}$ の値を得ている。又 Ridel 等¹²⁾ の実験でも同程度の値が報告されている。Wenograd¹³⁾ は注射針中に試料爆薬を詰め、針を通じて蓄電気をパルス放電して試料を加熱する方式により、各種爆薬の起爆温度並びに起爆遅れを測定した、起爆の遅れは高温になる程短くなつて¹⁴⁾いるが、おくれ時間の対数と試料の絶対温度の逆数との間には広い範囲に亘つて直線関係が成立つて¹⁵⁾いることを示した。彼の P. E. T. N. に対するこの関係を示した曲線を用い我々の 8b, 8c, 8d, 8e の時間遅れ T_e に対する温度を推定すると、 $400^{\circ}\text{C} \sim 450^{\circ}\text{C}$ 程度となる。Wenograd の実験と我々の実験とでは、試料の加熱の方式従つて温度の時間的変化が違ふが、以上によつて推定される $400 \sim 450^{\circ}\text{C}$ 程度の起爆温度は妥当なものと思われる。即ち、実際は伝導其他による熱損失により気泡温度は最大圧力から理想気体の断熱圧縮の仮定を用いて得られた $1,400^{\circ}\text{C}$ 以上の温度には到達していないものと思われる。

ピクリン酸では、完爆すると爆発振動波形に 1~数 msec の時間をへだてた 2 つの山が現われる。第 1, 第 2 の山の間の時間々隔は、第 2 回目の爆発のときには落槌は既に或程度反跳している筈であり、オシログラム上での 2 振動間の時間より幾分短かいものと思われるが、ほぼこの時間に一致するものと考えてよからう。即ちピクリン酸では完爆のときには爆発は前後 2 回に 1~数 msec をへだてて起り、第 2 回目の起爆がうまくいかないと半爆現象がおこるようと思われる。落槌が反跳すると、圧力は減じ、断熱膨脹の為内包された空気は冷却する。もしも着火しても燃速が遅く、分解熱も小さければ、この冷却期間に這入る迄に、反応は self-sustaining なものとなり得ず、残薬が生ずるものと考えられる。ピクリン酸の場合はこのような傾向が強く、その第 2 の爆発は上記の機構と別な機構例えば、流動摩擦などによる hot spot の発生によるものと考えられよう。ピクリン酸の半爆試料の残薬は鋼柱と支持 cap との間隙に流入固化していることが多く、流動摩擦による着火の可能性を示している。

これらオシログラムの垂直方向即ち圧力軸の振幅は、爆発時のそれは、不爆時のそれに比して桁違いに

大きく、これにより爆否の判定は容易に行いうる。試料の錫箔外包に小さな穴があいた程度でも振幅は不爆波形の数倍にもなり、ただこの大振幅の継続時間が短かい丈である。この事実は又ピクリン酸の半爆現象発生の原因についての考え方を支持するものである。

5. 結 び

落槌の落下時間を測定し、落下速度が落槌感度試験機の測定のパラツキの大きな要因とはならぬことを示した。

ビエゾ電気素子を落槌頭部につけて打撃時の圧力の時間的变化を記録し、不活性試料、数種の爆薬について、これら記録を解析し、打撃の経過時間、最高圧力等の諸定数を求めた。尚簡単な仮定を用いて打撃により試料に加えられた仕事 W を計算し、落槌の位置エネルギー E に対する百分率を求め表示した。

又 P. E. T. N. については、打撃の開始から起爆迄の時間遅れを求め、これを文献値と比較考察した。ピクリン酸では完爆の場合、爆発が2回に分れて起つてゐることを示した。尚本実験に用いた方法は爆否の判定法として用いうる。

最後に本研究中終始、御指導戴いた本試験所の水島容二郎氏に厚く感謝する。

文 献

1) JIS K 4810 火薬類性能試験法

2) 大久保：昭和31年4月工業火薬協会講演

飯田：昭和33年4月

飯田：大久保：昭和37年4月

3) 柳沢剛：工業火薬協会誌 21, 249頁

山本、柳沢、鬼塚：昭和35年工業火薬協会講演

4) 柳沢剛：工業火薬協会誌 21, 117頁

5) Bulletin of the Geographical Survey Institute. Gravity Survey in Japan (3)

6) 川上正光著「電子回路第5巻」105頁 共立出版社

7) 坪井忠二：振動論 451頁 河出書房

8) I. I. Glass, W. Martin and G. N. Patterson :

"A theoretical and Experimental Study of the Shock Tube" UTIA Report No. 2 Institute of Aerophysics, University of Toronto, november, 1953

9) F. P. Bowden and A. D. Yoffe : "Initiation and Growth of Explosion in liquids and Solids" Cambridge, at the University Press, 1952

10) C. H. Johansson and Others : Proc. Roy. Soc. London A246, 160 (1958)

11) F. P. Bowden and O. A. Gurnon: Proc. Roy. Soc. London A198, 337 (1949)

12) E. K. Rideal and A. J. B. Robertson : 3rd Symposium on Combustion and Explosion Phenomena, p. 536 Madison, U. S. A.: Williams and Wilkins.

13) J. Wenograd; Trans. Faraday Soc. 57, 1612 (1961)

Initiation of Explosion by Drop Hammer Machine

by M. Kusakabe and N. Ishikawa

Experimental work is performed using our drop hammer machine which is adopted as a standard apparatus for testing the impact sensitivity of explosives.

Sample is prepared in due size by enveloping suitable quantity of test material (60mg, 90 mg, 120mg) with two circular sheets of tin foil. The sample is placed on a steel anvil and covered with a cylindrical steel striker (cross-section; 1.297cm^2). A 5kg drop hammer falls on the assembly from a known height.

Drop durations of the hammer for various fall heights are measured by a 10Mc electronic

counter. The results (Table 1) show that the fall speed of the hammer is reproducible and is not to be a main source of fluctuation of the sensitivity values.

A new technique for recording the pressure variation during the short interval of hitting is developed. Piezo-electric element is fitted firmly to the top of the drop hammer and its out-put is amplified and fed into the Y-axis of an oscilloscope adjusted in single sweep manner (Photo.). The over-all weight of the hammer equipped with the element is adjusted to 5kg.

Oscillographic records for various dummy samples (Fig. 5) show the wave form is characteristic to each sample material and generally has a peak which corresponds to the maximum pressure during the compression of the sample (Fig. 6). The time interval from the onset of the wave to the peak (t_m) is increased with the sample amount (Table. 3). From the peak we can derive the maximum pressure P_m (Table 3). The work done to the sample during this compression process (W) is also estimated assuming a simple model (Table 3).

Induction periods to initiation are known from records for fired P. E. T. N. samples (Fig. 8), from those the initiation temperatu-

res are estimated to be between ca. 400—450 °C. Initiation pressures are also obtained from the records. These data are compared with the data of the previous publications.

Wave forms for perfectly exploded samples of picric acid (Fig. 9) are generally separated into two vibrations (which correspond to two successive explosions). Partly exploded sample has, however, a single violent oscillation in its oscillogram. This peculiar feature is discussed in relation to the mechanism of initiation of explosion.

Oscillations of misfired samples are much less in their amplitudes compared to those of the fired ones. This fact is useful as a criterion of explosion.

危険物質の鉄管試験法(I)

大久保正八郎・飯田稔*

I. 緒 論

従来行なわれてきた火薬類の安全性に関する試験は、各種安定度試験（自然分解に関するもの）、発火点試験等熱に対する感度、落槌試験、摩擦試験等（機械的衝撃に対する感度）等があるが、このうち安定度試験は主として硝酸エステル類に必要なもので今この自然分解による災害を一応除外して考えれば、一般的には災害と関連性のあるのは熱感度と機械的衝撃感度である。すなわち、何かの原因で着火し、燃え広がり、火災となり、又はその熱の蓄積によりついには爆轟となる、という場合と、何らかの原因により危険物の上に重いものが落ちてきて発火、爆轟するとか、混合中に異物が入り摩擦により発火、爆轟する、というようなのが事故の大部分である。このようなことは火薬類と定義されたものでなくとも、例えば過酸化水素とか、低ニトロ化合物（多くは染料中間体）とか、或はその他の一般化学薬品、肥料、農薬等についても起りうる場合が多い。

ここでもう一度事故の過程について解析的に考えてみよう。先づ不幸にして危険物の一部に着火又は小爆発が起つたとする。この時消火してしまうか爆発がその部分で止つてしまえば被害は少なく済むわけである。すなわち火や爆発が伝つて発展するから大事故になるのである。ここで単なる伝火については省略し、爆発の場合のみについて考えてみる。前述の如く先づ一部で爆発が起る。この爆発はその危険物の一部で起る場合もあるし、他の物質である場合もある。そこで一応他の物質が先づ小爆発を起したとする。(1) これに近接している物質がその爆轟を受けて誘爆するか、しないか、が先づ問題になる。これにはその最初の爆発の強さが関係するが、後述の如く我々が試験をする場合には RDX 数 g を 6 号電気留管で起爆する。これは火薬を利用する場合の起爆力としてはそう強い方でもなく、これだけでは完爆出来ぬようなこともあるが一応弱くとも何とか起爆出来る量であり、災害としての起爆力としては割合強い方ともいえる。すなわち、火薬工場以外の所での、又は火薬そのものから起きたものでない災害は大体初めからそう完全な、この

昭和36年12月10日受理
* 東京工業試験所第7部 神奈川県平塚市