

振子摩擦試験機による火薬類の摩擦衝撃感度の測定（第6報）

—センサーによる感度区分の決定—

蓮江和夫*

振子摩擦試験機のアンビル上に爆薬を置き、加速度計及びひずみゲージを用い、爆発までの時間遅れ、爆発の強弱、衝撃力などに関する知見を得た。その結果、爆発の強弱をセンサーで測定することで、従来の主観的な感度試験の判定を客観的に行えることが分った。

1. 緒言

筆者らは振子摩擦試験機を用いて火薬類の感度測定を行っている。第5報¹⁾では火薬類が爆発しないときに加えられた衝撃力を、加速度計及びひずみゲージを用いて測定した。振子摩擦試験の結果は、Explosion (E), Partial explosion (PE), Snaps (Sn), Crackles (C), Sparks (Sp), Unaffected (U) の6区分²⁾又は爆、半爆、不爆の3区分³⁾に分けて表されるが、いずれも測定者の主観に基づいている。本報では火薬類が爆発した時の衝撃力を、加速度計及びひずみゲージで測定し、爆の区分をセンサーによって客観的に判定することを試みたので報告する。

本報における記号は次の通りである。

A_c : 接触面積 (cm²)

A_n : ひずみ波形の面積 ($N \cdot s / \text{div}^2$)

a_{mx} : 爆を示した時の接線方向加速度の最大振幅
(G)

div : オシログラムの1目盛

 H : 落高 (m)

i : 振れ数

M : 荷重の質量 (分銅等+振子棒等) (kg)

P_{master} 1 : レバー式万能材料試験機の荷重を kg
で表示 (kg)

Parameter 2: レバー式万能材料試験機の荷重を N
で表示 (N)

P_n : 法線方向の最大圧力 (N/mm²)

P_n : 法線方向の力積 ($= A_n \times Y_{div} \times X_{div}$)
(N・s)

T_{10} : 衝撃開始から爆までの時間 (ms)

X_{div} : オシログラムのX軸1目盛 (s/div)

Y_{div} : オシログラムの Y 軸 1 目盛 (N/div)

W : 摩擦板の幅 (cm)

 ϵ_{max} : 振子による法線方向の最大ひずみ (μ) ϵ_{me} : 法線方向の爆の最大ひずみ (μ) ϵ_e : 爆を示した時の法線方向のひずみ (μ)

2. 実験

2.1 試料

コンポジション A-3 (Comp. A-3) とコンポジション C-4 (Comp. C-4) は市販のものをそのまま用いた。2, 4, 6-トリニトロフェニルメチルニトラミン (テトリル), シクロテトラメチレントラニトラミン (HMX), シクロトリメチレントリニトラミン (RDX), 過酸化ベンゾイルは粉碎後, 48~100 メッシュにふるい分けし, 45℃で24時間真空乾燥した。TNT はフレーク状のまま又は粉碎後, ~32, 32~48, 48~100, 100~メッシュにふるい分けし, 45℃で24時間真空乾燥した。

2.2 測定装置

振子摩擦試験機の詳細は、第1報⁴⁾に述べたので省略する。振子の接線方向の加速度及びアンピルの法線方向のひずみの測定方法は第5報¹⁾と同様にして行った。試験条件は特に断らぬ限り $M42.11\text{kg}$, $H2\text{m}$, $W8\text{cm}$ で行った。

3. 結果

3.1 振子摩擦試驗結果

試料の感度試験結果を1振り目と全振れについて6区分表示法で Table 1 に示す。各区分の定義は第2報²⁾に述べた。

3.2 爆発振動波形の観測

衝撃を加えられ試料が爆を示したときの加速度とひ

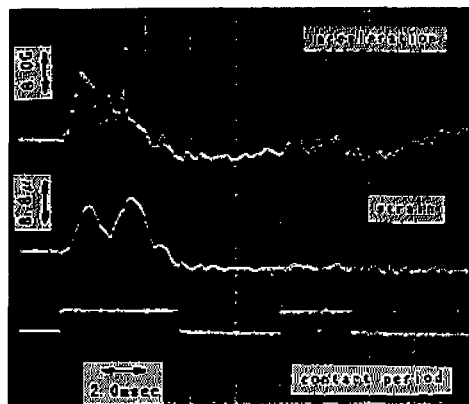


Fig. 2 Typical blank hit oscillogram for acceleration, strain and contact period.
Experimental conditions : $M=42.11\text{ kg}$;
 $H=2\text{ m}$; $W=8\text{ cm}$.



Fig. 3 Typical oscillogram for acceleration with TNT (48~100mesh) and explosion occurring.
Judgment : Crackles (at 1st swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{ kg}$; $H=2\text{ m}$; $W=8\text{ cm}$.

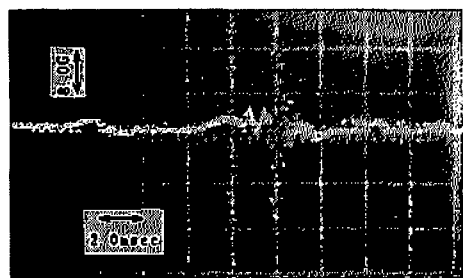


Fig. 4 Typical oscillogram for acceleration with composition A-3 and explosion occurring.
Judgment : Crackles (at 6th swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{ kg}$; $H=2\text{ m}$; $W=8\text{ cm}$.

目の C の例を Fig. 5 に示す。試料はプラスチック状

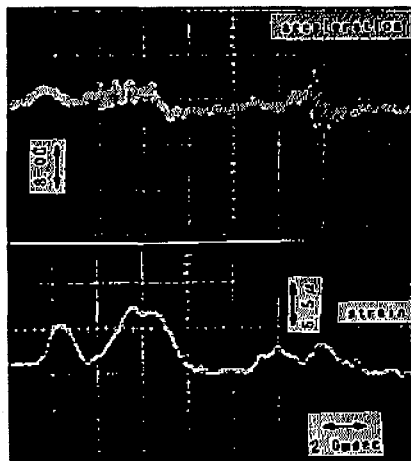


Fig. 5 Typical oscillogram for acceleration and strain with composition C-4 and explosion occurring.
Judgment : Crackles (at 5th swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{ kg}$; $H=2\text{ m}$; $W=8\text{ cm}$.

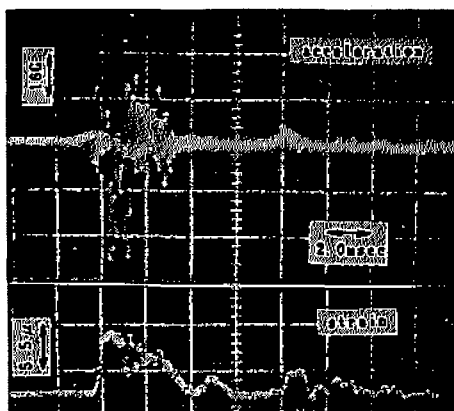


Fig. 6 Typical oscillogram for acceleration and strain with tetryl and explosion occurring.
Judgment : Snaps (at 3rd swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{ kg}$; $H=2\text{ m}$; $W=8\text{ cm}$.

でアンビルに付着するため、加速度、ひずみ変化は比較的小さかった。1 振り目に爆を示した例はなかった。

テトリルでは爆の区分 Sn と C が観察された。3 振り目の Sn を Fig. 6 に示す。Sn と C の加速度波形は明白に異なり、また、Sn では、ひずみ波形に爆発による乱れが見られた。 M の増加により、1 振り目に爆が発生するようになったが、同じ Sn あるいは C では加速度波形はそれぞれ似ていた。

HMX では、爆の区分 E, PE, Sn, C が 1 振り目に

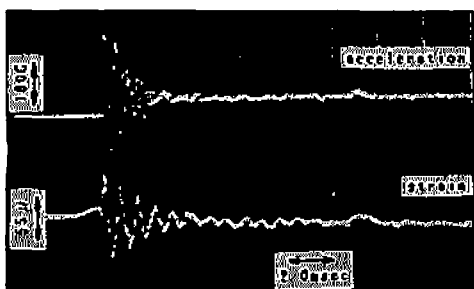


Fig. 7 Typical oscillogram for acceleration and strain with HMX and explosion occurring. Judgment : Explosion (at 1st swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{kg}$; $H=2\text{m}$; $W=8\text{cm}$.



(a)



(b)

Fig. 8 Typical oscillograms for acceleration and strain with RDX and explosion occurring. (a) Judgment : Explosion (at 1st swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{kg}$; $H=2\text{m}$; $W=8\text{cm}$ (b) Judgment : Unaffected (at 1st swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{kg}$; $H=2\text{m}$; $W=8\text{cm}$.

観察された。Eの例をFig. 7に示す。加速度波形において、EとPEでは T_{ie} を除き、振幅の大きさなどの差はほとんど認められなかった。EとPEの差はアンビルと摩擦板が摩擦を始めてから爆発までの経過時

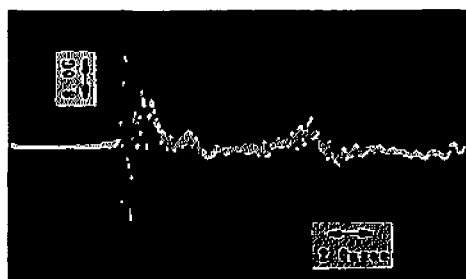


Fig. 9 Typical oscillogram for acceleration with benzoyl peroxide and explosion occurring. Judgment : Partial explosion (at 1st swing), Experimental conditions : $M=42.11\text{kg}$; $H=2\text{m}$; $W=8\text{cm}$.

間の差として示されるようである。すなわち、 T_{ie} が長くなると、摩擦板の通過後にアンビル上に試料が残され、この部分は爆発が起きてても爆轟が伝播しにくいため残り、判定がPEとなるのであろう。EとPEではひずみ波形にも明白な爆発による高周波振動が認められた。ひずみ波形は、E, PEの方がSn, Cより大きいとは言えなかった。

RDXの爆の区分はE, Sn, Cで、1振り目の結果をFig. 8(a)に示す。波形上でEが生じる前にSnが認められた。このSnが発生した時の e_e およびCやUの時の e_e はEの e_e よりも大きく、 e_e と爆の程度の相関性は見られなかった。不爆例をFig. 8(b)に示す。不爆の場合には、爆のときのような高周波振動は認められなかった。

過酸化ベンゾイルの爆の区分はPEで、結果をFig. 9に示す。加速度波形の振幅は、小さく、火薬類のC程度であった。ひずみ測定例はない。

加速度計で得られた2次爆薬の爆発振動を試験条件

Table 2 Maximum amplitude of acceleration at explosion

a_{me} (G)	Number of explosions	Judgment
~ 10	2	C
10 ~ 30	16	C
30 ~ 50	9	C
50 ~ 100	14	Sn
100 ~ 200	7	Sn
200 ~ 300	1	Sn
300 ~ 400	0	
400 ~ 500	3	E
500 ~	2	E, PE

a_{me} : Maximum amplitude of acceleration at explosion

Table 3 An analysis of strain and acceleration

M (kg)	Explo- sives	Judg- ment	i at ex- plosion	ε_m (μ)	ε_e (μ)	ε_{me} (μ)	a_{me} (G)	T_{ie} (ms)	P_m (N/mm ²)	P_n (N · s)	$P_{ameter\ 1}$ (kg)	$P_{ameter\ 2}$ (N)	A_e (cm ²)	No. of Fig.
42.11	Comp. C-4	C	5	6.9	1.9	0	10.2	14.6	1.42	16.1	361	3540	25.0	5
		U	5	8.6		0			0.40	15.3	104	1020	25.8	
	Tetryl	Sn	3	8.3	5.2	1.1	107.8	3.2	1.77	10.3	449	4410	24.9	6
		Sn	3	7.2					1.70	13.1	432	4240	25.0	
		Sn	3	7.2	7.2	5.0	85.4	0.8	1.06	3.7	272	2670	25.1	6
		Sn	3	6.2					1.47	10.9	375	3680	25.0	
	HMX	Sn	3	6.2	4.8	3.5	126.3	1.8	1.47	2.0	375	3680	25.0	6
		C	3	9.1					1.27	11.8	324	3180	24.0	
		C	3	8.0	2.3	0	34.1	10.8	0.98	3.9	251	2460	25.1	7
		E	1	5.2					1.87	13.9	475	4660	24.9	
		PE	1	17.6	6.3	—	524.3	4.2	0.46	11.6	121	1190	25.6	
		Sn	1	12.7					1.65	13.3	421	4130	25.0	
	RDX	C	1	15.4	10.0	0	129.7	3.4	1.08	3.7	275	2700	25.1	7
		E	1	15.4					3.62	3.9	917	8990	24.8	
		(Sn)	1	4.4	2.2	4.4	92.2	0.2	1.28	16.9	328	3220	25.0	7
		E	1	6.2					2.60	18.0	660	6480	24.9	
		E	1	10.6	8.8	0	87.4	0.8	2.06	15.0	523	5130	24.9	8a
		(Sn)	1	8.8					3.17	22.8	802	7870	24.8	
	RDX	Sn	7	11.6	5.5	4.4	56.6	4.6	3.17	6.8	802	7870	24.8	8a
		C	1	18.9					0.91	15.1	232	2280	25.2	
		U	1	17.6	14.5	0	11.2	1.6	0.45	0.1	118	1160	25.6	8a
		U	1	17.6					1.27	13.4	324	3180	25.0	
		U	1	17.6	14.5	0	11.2	1.6	2.17	12.5	552	5410	24.9	8a
		U	1	17.6					2.70	18.6	684	6710	24.9	
		U	1	17.6	14.5	0	11.2	1.6	1.81	2.2	461	4520	24.9	8a
		U	1	17.6					2.38	19.3	603	5920	24.9	
		U	1	17.6	14.5	0	11.2	1.6	1.13	17.4	290	2840	25.1	8b
		U	1	17.6					3.90	23.1	986	9670	24.8	
		U	1	17.6	14.5	0	11.2	1.6	2.99	9.4	757	7430	24.8	8b
		U	1	17.6					3.62	22.9	917	8990	24.8	
52.17	Tetryl	Sn	1	15.8	15.0	1.8	82.9	1.2	3.26	21.4	826	8100	24.8	
		Sn	1	14.1					3.08	5.2	780	7650	24.8	
		Sn	1	14.1	11.4	0	61.9	0.6	2.90	17.7	735	7200	24.9	
		C	1	14.1					2.36	1.6	598	5860	24.9	
		C	1	14.1	14.1	1.8	37.6	1.2	2.90	21.3	735	7200	24.9	
		C	1	13.1					2.90	5.1	735	7200	24.9	
		C	1	13.1	6.6	0	17.1	3.4	2.70	18.6	684	6710	24.9	
		C	1	13.1					1.36	13.8	347	3400	25.0	

$H = 2$ m, $W = 8$ cm A_e : Contact area i : Number of swing $P_{ameter\ 1}$: Pressure in kg $P_{ameter\ 2}$: Pressure in N P_m : Maximum pressure

P_n : Impulse T_{ie} : Initiation time ε_e : Strain when sample exploded ε_m : Maximum strain ε_{me} : Maximum strain of explosion

(Sn) : Sn was observed before E at the same swing — : The result was not obtained.

を考慮せずに、振幅の大きさにより整理すると、Table 2 のようになる。これより試験条件にかかわらず爆の区分 E, PE は 400G 以上, Sn は 300~50G, C は 50G 以下に分類されることが分った。不爆の場合は、E~C と明確に区別できる。

Table 3 に各爆薬の加速度とひずみ波形が同時に測定できた代表例について ε_m , ε_e , ε_{me} , a_{me} 及び力積等の結果を示した。ひずみゲージの測定値は爆を示した位置が隠れている場合には不正確になるので、 ε_e は爆発した粒子に加わった力、 ε_{me} では爆発による振幅を正確に示していない場合もある。また、1 振り目に爆を示した場合以外は、試料は爆を示すまでの振れ数に応じた摩擦衝撃を受けているので、その履歴が感度に影響を及ぼし、小さな摩擦衝撃で爆発することもあり得る。

4. 考 察

各爆の区分を、目と耳で判断するのは、個人差があり、また結果の再確認はできないため、境界付近の判定、特に Sn, C, S_p の区別は難しい場合がしばしばある。本実験では、加速度計とひずみゲージを用いて、爆の各区分の区別を試みた。Table 2 に示したように、加速度測定により E, PE と Sn と C の区別ができた。 a_{me} は爆薬の種類、荷重、振れ数、摩擦板の幅などとは相関性がないように思われる。爆の区分を爆発音の大小を目安にして定義したため、爆発音が大きければ、爆発が強く、振動も大きくなるため、 a_{me} と爆の区分に相関性が見られるであろう。PE と Sn の中間或 400~300G に相当する a_{me} が認められなかったのは、この範囲が完爆と半爆の境目となっているためであろう。主観的な判定で困難の生じる Sn と C の区別は加速度の振幅 50G を境とすればよいであろう。 S_p についてはデータがないが、定義より、爆発振動は伴わぬであろうから、加速度計による検出はできないであろう。過酸化ベンゾイルの PE の a_{me} は火薬類の C 程度であった。2 次爆薬ではないので、このような結果になったのであろう。加速度計によって爆の区分を判定する場合、加速度測定系の感度を E, PE を測定するように設定すると、Sn, C の振動は極端に小さくなり識別が困難となるので、あらかじめ予備実験を行って振幅を予想しておけば、判定に困ることはないであろう。また、工業火薬協会規格による爆、半爆、不爆²⁾の判定のためには、全振れについて記録する必要があるが、その場合、大記憶容量のトランジエントレコーダを使用しなくてはならない。

Table 3 に示したように、テトリル, HMX, RDX

では爆の区分と ε_e の相関性はないようである。 ε_{me} については E の平均値は 95.9 μ (標準偏差 5.7 μ)、Sn の平均値は 2.2 μ (標準偏差 2.0 μ)、C の平均値は 0.4 μ (標準偏差 0.7 μ) であった。Sn と C の区別は加速度測定のように明確にできなかった。しかし、E と Sn の差は歴然としていた。PE は測定系の最大値を超えたため測定できなかった。Table 3 に TNT, Comp. A-3 のデータが記載できなかったのは、共に 1 振り目での爆がなかったため、ひずみ測定ができなかったからである。また、過酸化ベンゾイルのひずみ測定は行わなかった。

Fig. 8 (a) に見られるように、RDX では 3 回の E のうち 2 回、Sn が E の前に生じ、E に発達せずに消滅する現象が見られた。ひずみ波形で Sn の振動がほとんど認められず、加速度波形で 400~300G に空白ができたように、Sn と E の間には大きな差があると思われる。爆発はほぼ数 ms 以内に起き、強弱は ε_m , ε_e , T_{10} とは相関性がなかった。爆薬に加えられた ε_m , P_m , P_n は前報¹⁾と大きな差はないので、爆薬に加えられた摩擦衝撃力は一定とみなせ、試験条件の差はないであろう。また、爆の区分による違いも認められなかった。

5. 結 論

振子摩擦試験機で、感度の異なる爆薬について、試料が爆発したときの衝撃を加速度計とひずみゲージで測定し、センサーによる爆、不爆判定の可能性について検討した。

その結果、加速度計で各爆の区分の区別が可能ながわかった。また、法線方向の爆の最大ひずみ測定によっても、ある程度区別可能である。爆の区分とえられた摩擦衝撃力の相関性はなかった。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、御協力いただいた自衛隊吉井弾薬支処小川優一氏、防衛大学校中原正二教授に感謝いたします

文 献

- 1) 蓬江和夫, 工業火薬, 47, 224 (1986)
- 2) 蓬江和夫, 菊川俊宏, 平野誠司, 小川優一, 岡崎一正, 中原正二, 工業火薬, 43, 218 (1982)
- 3) 工業火薬協会感度部会, 工業火薬協会規格 (II), pp. 35-37 (1985)
- 4) 蓬江和夫, 菊川俊宏, 平野誠司, 小川優一, 森田寧, 門馬達也, 中原正二, 岡崎一正, 工業火薬, 43, 83 (1982)

Pendulum Friction Test on Some Explosives (VI)

Determination of Divisions of Sensitivity by Sensors

by Kazuo HASUE*

The explosion delay time, explosion strength and impact force of TNT, composition A-3, composition C-4, tetryl, HMX, RDX and benzoyl peroxide were measured by means of an accelerometer and a strain gauge. The divisions of sensitivity were defined by means of an accelerometer as follows: a maximum amplitude of acceleration was higher than 400G for explosion and partial explosion, 300 G-50G for snaps and lower than 50G for crackles. The impact force was not related to either divisions of sensitivity or explosion delay time.

(*The National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa, 239, Japan)

新刊紹介

T. Urbanski : Chemistry and Technology of Explosives Vol. 4 (1985) Pergamon Press

著者はワルソー工科大学の著名な火薬学者で、説明を要しない位の人で、日本に先年来訪しました。同名のVol. 1~3の大型の総説的教科書は1964~1967の間に、原語および英語で発刊されて世界中で読まれて来ました。今回発行されたVol. 4は20年間の進歩、新文献を主として述べたもので、内容は極めて広範囲、例えば、硝化一般、その実技、実験室的

また工業的製法、ニトロ化合物の構造反応性、その光化学、耐熱爆薬、脂肪族ニトロ化合物、エステル等のNMR, ESR, NGの連続製法にも新法出現、ニトロポリマー、腐酸、ヒドラジン系爆薬、起爆薬、液体爆薬、新しいコンボジット推薬、保安、毒性についても述べてある678頁の本である。本来合成化学の見地よりの本で、その方面の新文献は凡て採用されているかと思われます。

(水島容二郎)