

振子摩擦試験機による火薬類の摩擦衝撃 感度の測定 (第4報)

摩擦衝撃感度の数値化の試み

遊江和夫*, 菊川俊広*, 平野誠司*
小川優一*, 荻岡崎一正*, 中原正二*

振子摩擦試験機による感度試験の結果は, Explosion, Partial Explosion, Snaps, Crackles, Sparks および Unaffected の6段階のうちで, 各回に認められる爆の程度の最も高いものをもって表示してきた。この方法は細かい解析には良いが, 実用的には不便である。そこで分かりやすい表示法として, 数種類の感度値 (Pendulum Friction Index, PFI) を示した。20種類以上の火薬類について PFI を計算し, また, この PFI と摩擦及び落つい感度値との相関関係を調べた。さらに, 落高, 分銅量, 摩擦板の幅などの要因が, 感度に及ぼす影響についても PFI を使用して計算した。

1. 緒言

振子摩擦試験機による実験結果の表示法には, 爆, 不爆の判定方法として, Explosion (E), Partial Explosion (PE), Snaps (Sn), Crackles (C), Sparks (Sp) および Unaffected (U) 6段階を定義し, 最も激しい爆をもって試料の感度とする方法¹⁾および, 爆がその程度にかかわらず, 振れ数の少ない回で発生するものを鋭感とする方法²⁾がある。これらの方法は研究段階において細かい解析を行うには良いが, 実用的には簡単に結果の評価がしにくいという不便さがある。そこで, 摩擦衝撃感度を分かりやすく数値化して表示する方法を試みた。分かりやすく表示する代償として, 大胆な仮定を導入することはやむを得ない。前報^{1) 2)}で試験した20種類以上の火薬類について, 摩擦衝撃感度の数値化を行い, あわせて各数値化方法の比較を行った。摩擦衝撃感度と BAM 式摩擦感度および落つい感度 (5kg) との関係については, 前報²⁾で感度の順位による比較を行い, その相関関係について調べた。本報では, 今回数値化された摩擦衝撃感度と小川等³⁾によって数値化された摩擦および落つい感度の評価点および各爆点における摩擦および落つい感度を用いて相関性について調べた。さらに振子摩擦試験機で試験

条件の異なる場合の実験結果について, 今回の数値化法を適用し, 従来の方法と比較した。

2. 数値化の方法

方法 A~E は, 爆, 不爆を6段階に分けた判定法による結果の数値化法である。数値化した値を摩擦衝撃感度値 (Pendulum Friction Index, PFI) とする。PFI は主として第3報²⁾の Table 2 の落高 2m, 分銅量 20kg, 幅 8cm のステンレススチール摩擦板による結果 (Total swings) について行い, 実験条件の異なる結果 (第2報¹⁾の Table 2 および第3報²⁾の Table 4) の PFI を合計した場合は Σ を付している。方法 F は振れ数の少ない回で爆を発生したものを鋭感とする方法の数値化である。方法 F では第3報²⁾の Table 3 のデータを用い, これに Table 5 のデータを加えたものを ΣF とした。

2.1 方法 A

E, PE を爆として 1, Sn, C, Sp を半爆として 0.5, U を不爆として 0 のウェイトを掛けた。

2.2 方法 B

E, PE を爆として 1, Sn, C, Sp を半爆として 0.1, U を不爆として 0 のウェイトを掛けた。

2.3 方法 C

爆, 半爆の区別をせずに, すべて爆として 1, 不爆に 0 のウェイトを掛けた。

2.4 方法 D

爆を E, PE と Sn と C, Sp の 3 段階に分け, 不爆を

昭和58年7月11日受理

*防衛大学校化学教室

〒239 横須賀市走水 1-10-20

TEL 0468-41-3810

加えた4段階から繰り返しを許して試験回数と同じ10回取り出す組合せは286通りである。これを爆の程度が激しく、数の多いものを鋭感として、鈍感なものより順にならべ、U10回を0番とすると、E, PE 10回は285番目、C, Sp10回は10番目となる。ここでE, PE10回のPFIを10、U10回のPFIを0と決定すると、各段階の爆1回のPFIは、順位の数値を285で割ることで得られ、E, PEは $285/285=1.000$ 、Snは $65/285=0.228$ 、C, Spは $10/285=0.035$ 、Uは $0/285=0.000$ となる。これらのウェイトを爆、半爆または不爆に掛ける。

2.5 方法E

方法Dと同じ求め方であるが、爆をE, PEとSn, C, Spの2段階に分け、簡単にした点が異なる。この場合の全組合せ数は66通りとなり、E, PE1回は $65/65=1.00$ 、Sn, C, Sp1回は $10/65=0.15$ 、U1回は $0/65=0.00$ となる。

2.6 方法F

爆がその程度にかかわらず、振れ数の少ない回で発

生する試料を鋭感とする表示法の数値化は、各振れで等しくエネルギーが試料に与えられたと仮定すると、PFIは次のようになる。

$$PFI = \sum_{n=1}^{18} (B+1-n) \times X_n / B.$$

ここでBは空打ち数(本報では18)、nは振子の振れ数($1 \leq n \leq 18$)、 X_n はn振れ目における爆の回数($0 \leq X_n \leq 10$)である。なお、アンビル上に試料を置くと、振れ数は増すが、18振れ以上で爆を生じた場合は、18振れ目とみなした。

3. PFIの計算結果

3.1 各種火薬類のPFI

方法A~Fで数値化した結果をTable 1に示した。第3報²⁾のTable 2のTotal swingsの結果を、方法A, B, C, Dで数値化しFig. 1に示した。いずれの方法でも感度順位は今までの場合と大体同じであるが、爆、不爆だけの方法Cでは、区別できる火薬類は鈍感なもの4種類に限定され、その他の火薬類はすべてPFI=10となった。方法AとBではPFIは異なるが、傾向は同じで、方法Dは、爆を細分化しているが、PFI

Table 1 Pendulum Friction Indexes of Some Explosives

Sample	Method									
	A	ΣA	B	ΣB	ΣC	D	E	F	ΣF	
1 PETN	10.0	56.0	10.0	37.6	79	10.00	10.00	10.00	20.00	
2 RDX	10.0	50.0	10.0	34.7	73	10.00	10.00	10.00	20.00	
3 HMX	10.0	44.0	10.0	28.5	66	10.00	10.00	10.00	20.00	
4 Kuro carlit	10.0	44.0	10.0	26.4	66	10.00	10.00	10.00	20.00	
5 Gelnignite 75%	10.0	44.0	10.0	26.4	66	10.00	10.00	9.50	19.06	
6 Ammonia gelatine	10.0	44.0	10.0	26.4	66	10.00	10.00	8.83	17.89	
7 Gelnignite 60%	9.5	43.5	9.1	25.5	66	9.23	9.15	9.17	18.39	
8 Tetryl	8.5	42.5	7.3	23.7	66	7.68	7.45	9.00	18.22	
9 Hexal(P-30)	8.0	34.0	6.4	15.6	53	6.33	6.60	7.83	16.89	
10 Propellant	7.0	32.0	4.6	12.0	53	4.38	4.90	9.94	19.94	
11 Comp. B	7.0	33.0	4.6	13.8	53	4.40	4.90	7.44	14.77	
12 Gelnignite 50%	5.5	30.5	1.9	9.3	53	2.67	2.35	9.44	18.66	
13 Comp. C-4	5.0	28.5	1.0	5.7	53	1.12	1.50	5.61	14.67	
14 Comp. A-4	5.0	21.0	1.0	4.2	42	0.93	1.50	6.50	14.61	
15 HC 13.4%	5.0	22.5	1.0	6.9	42	0.54	1.50	9.50	19.06	
16 HC 11.5-12.2%	5.0	21.0	1.0	4.2	42	0.35	1.50	9.56	17.84	
17 Comp. A-3	5.0	21.0	1.0	4.2	42	0.35	1.50	6.22	12.22	
18 Comp. A-3type	4.0	19.5	0.8	3.9	39	0.28	1.20	1.78	7.11	
19 No.5 kuro carlit	3.5	19.5	0.7	3.9	39	0.25	1.05	5.67	13.67	
20 Igniter	3.0	10.0	0.6	2.0	20	0.21	0.90	5.11	10.50	
21 Ammonium perchlorate	0.5	6.5	0.1	1.3	13	0.04	0.15	0.89	4.50	
22 Picric acid		4.0		0.8	8					
23 TNT		4.0		0.8	8					
24 Ammon explosive		3.0		0.6	6					
25 Black powder		1.5		0.3	3					
26 ANFO										
27 Slurry										
28 Ammonium nitrate										

Table 2 Friction sensitivity at Each explosion efficiency and Pf

Sample	Explosion Efficiency (kgf)					Pf
	9/10	5/6	50%	1/6	1/10	
1 PETN	6.6	6.0	4.4	3.3	2.6	45.5
2 RDX	18.0	16.0	10.7	7.2	6.4	40.0
3 HMX	17.6	16.0	12.3	9.4	8.7	36.9
4 Kuro carlit	22.4	20.8	16.2	12.7	11.8	32.4
5 Gelignite 75%						
6 Ammonia gelatine						
7 Gelignite 60%						
8 Tetryl	15.2	14.4	12.6	10.9	10.4	34.8
9 Hexal(P-30)						
10 Propellant	21.2	19.4	15.4	12.1	11.2	33.2
11 Comp. B	16.2	15.0	11.8	9.2	6.4	37.2
12 Gelignite 50%			23.4	19.9		
13 Comp. C-4	29.0	27.4	23.4	19.9	18.8	21.9
14 Comp. A-4	18.0	16.4	12.6	9.6	8.8	36.7
15 NC 13.4%	13.8	12.4	9.2	6.8	6.2	40.5
16 NC 11.5-12.2%	22.6	20.8	15.5	11.6	10.6	33.8
17 Comp. A-3	18.0	16.6	13.8	11.3	10.8	34.3
18 Comp. A-3 type	22.8	22.0	19.5	17.4	16.8	25.9
19 No.5 kuro carlit						
20 Igniter						
21 Ammonium perchlorate						
22 Picric acid						
23 TNT						
24 Ammon explosive						
25 Black powder						
26 ANFO						
27 Slurry						
28 Ammonium nitrate						

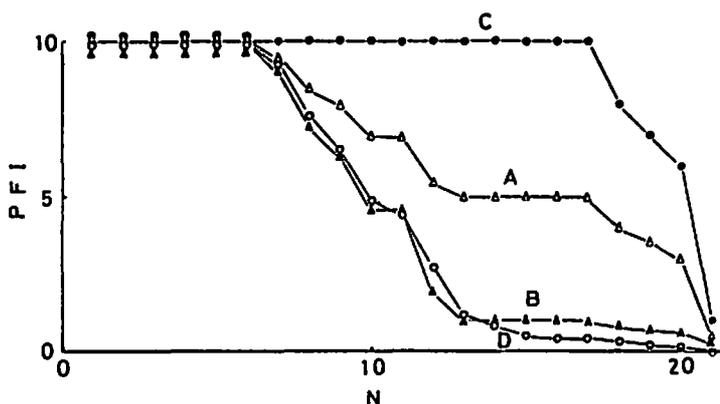


Fig. 1 Pendulum Friction Indexes of Some Explosives
 N: Number of Explosives, in order of Pendulum Friction Sensitivity

の算出が容易な方法Bと結果はほぼ同じであった。

3. 2 摩擦および落つい感度との比較

BAM式摩擦感度試験および落つい感度試験について、小川等³⁾が数値化を行っている。それらは次のよ

うに表わされている。

摩擦感度の評価点 $Pf=50-25M/8$ (Mは1/6 爆点 (kgf) で ≤ 36)。

落つい感度の評価点 $Pa=50-0.5H$ (Hは1/6爆点

Table 3 Impact Sensitivity at Each Explosion Efficiency and Pd

Sample	Explosion Efficiency (cm)					Pd
	9/10	5/6	50%	1/6	1/10	
1 PETH	22.0	20.0	16.0	12.8	12.0	43.6
2 RDX	30.2	27.0	19.7	14.2	13.0	42.9
3 HMX	27.6	24.6	17.9	13.2	12.2	43.3
4 Kuro carlit	31.8	30.0	25.5	21.7	21.0	39.2
5 Gelignite 75%						
6 Ammonia gelatine						
7 Gelignite 60%						
8 Tetryl			100.0	60.0		20.0
9 Hexal(P-30)						
10 Propellant	47.2	44.8	38.3	33.0	31.0	33.5
11 Comp. B				100.0		0.0
12 Gelignite 50%						
13 Comp. C-4			65.0	40.0		30.0
14 Comp. A-4			85.0	50.0		25.0
15 NC 13.4%	39.8	33.3	19.2	11.2	9.2	44.4
16 NC 11.5-12.2%	51.5	37.5	11.9	3.9	2.5	48.0
17 Comp. A-3			100.0	60.0		30.0
18 Comp. A-3 type						
19 No.5 kuro carlit	37.6	35.3	29.2	24.2	22.7	37.9
20 Igniter	87.6	81.2	64.6	51.8	48.2	24.1
21 Ammonium perchlerate	54.5	51.0	40.9	33.0	31.0	33.5
22 Picric acid						
23 TNT						
24 Ammon explosive				100.0		0.0
25 Black powder	29.0	26.3	23.1	20.4	20.0	39.8
26 ANFO						
27 Slurry						
28 Ammonium nitrate						

Table 4 Correlation between Pendulum Friction and Friction Sensitivity

Method		A	Σ A	B	Σ B	Σ C	D	E	F	Σ F
E.E.	9/10 α	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—
	r	0.4160	0.4616	0.4067	0.5162	0.4188	0.3903	0.4129	0.4099	0.3463
5/6	α	—	—	—	0.10	—	—	—	—	—
	r	0.4329	0.4680	0.4186	0.5405	0.4243	0.4019	0.4198	0.4537	0.4157
50%	α	0.10	0.10	—	0.10	—	—	—	0.05	0.10
	r	0.4837	0.4936	0.4606	0.5606	0.4467	0.4407	0.4625	0.5751	0.5025
1/6	α	0.10	0.10	—	0.10	—	—	0.10	0.02	0.05
	r	0.5054	0.4810	0.4752	0.5597	0.4423	0.4541	0.4776	0.6489	0.5740
1/10	α	0.10	0.10	—	0.10	—	—	—	0.02	0.05
	r	0.4984	0.4833	0.4658	0.5442	0.4334	0.4452	0.4684	0.6403	0.5595
Pf	α	0.10	0.10	—	0.10	—	—	—	0.02	0.05
	r	0.5048	0.4877	0.4754	0.5592	0.4393	0.4541	0.3918	0.6456	0.5691

α : significance level r : sample correlation coefficient

Table 5 Correlation between Pendulum Friction and Impact Sensitivity

Method		A	ΣA	B	ΣB	FC	D	E	F	ΣF
9/10	α	0.05	0.10	0.05	0.10	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10
	r	0.7223	0.5622	0.7140	0.6006	0.5217	0.7079	0.7180	0.5014	0.6437
5/6	α	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.10	0.05
	r	0.6970	0.5533	0.6550	0.5711	0.5299	0.6434	0.6620	0.6101	0.6723
50%	α	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	r	0.0525	0.1661	0.3374	0.2831	0.0866	0.3146	0.3318	0.3897	0.3957
1/6	α	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	r	0.1800	0.2913	0.2247	0.3064	0.2948	0.2094	0.2217	0.3566	0.3953
1/10	α	—	—	—	—	—	—	—	0.10	0.10
	r	0.4776	0.4329	0.3457	0.3854	0.4080	0.3187	0.3601	0.6078	0.6146
Pd	α	—	—	—	—	—	—	—	0.10	—
	r	0.3102	0.2813	0.3079	0.2841	0.2954	0.2712	0.3096	0.4701	0.4527

α : significance level; r : sample correlation coefficient

(cm) で ≤ 100)。

各種火薬類について第3報³⁾ Table 2 のデータから求めた Pf と Pa は Table 2, 3 の通りである。また, Up and Down 法による摩擦および落つい試験結果³⁾ より求めた 1/10, 1/6, 50%, 5/6, 9/10 爆点についても表に掲げた。

摩擦衝撃感度と摩擦および落つい感度の相関関係を調べるため, 各方法で求めた PFI と, これらの感度値との有意水準 α と相関係数 r を求め, それぞれ Table 4, 5 に示した。

摩擦衝撃感度と摩擦感度との間では, A, ΣA, ΣB, F, ΣF で, 9/10 爆点と 5/6 爆点を除いて (ΣB は例外) は, 相関性が見られた。方法 B と, これを複数の試験条件結果に用いた ΣB を比較すると, 若干, 相関性は向上した。

摩擦衝撃感度と落つい感度との間では, 方法 F と ΣF では比較的相関性のある場合が多いが, 他の方法では少ない。ただ 9/10 爆点と 5/6 爆点では, どの方法でも相関性があった。

3.3 各種要因による PFI の変化

摩擦衝撃感度および各種要因の影響については, 第2報¹⁾ の Table 4 に落高, Table 4 と 5 に分銅量, Table 6 に摩擦板の幅の影響について示した。これらの結果について, 方法 B および D により PFI を求め, 落高の影響を Fig. 2, 分銅量の影響を Fig. 3, 摩擦板の幅の影響を Fig. 4 に図示した。いずれの図でも, PFI は各種要因の影響を今までの方法と同様の傾向を表わしている。

4. 考察

爆の程度に基づく従来法では, 爆の段階を 5 段階に細分化したが, 結果の評価が一見して分らないという

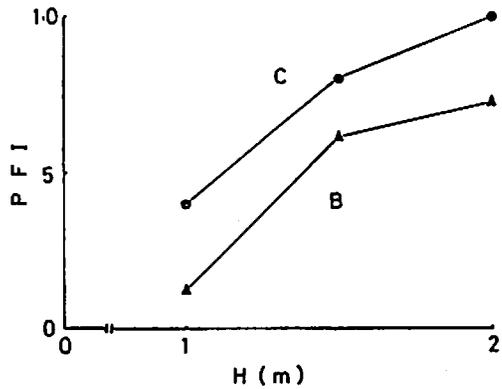


Fig. 2 Effect of Fall Height H on Pendulum Friction Indexes

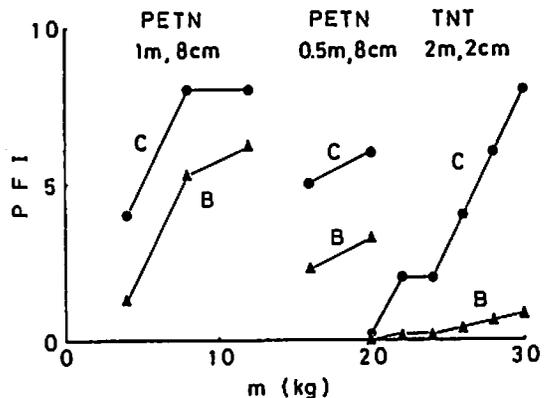


Fig. 3 Effect of Weight m on Pendulum Friction Indexes

欠点があった。本報では 6 種類の数値化方法を選び, 従来法との比較を行った。Fig. 1 に見られるように,

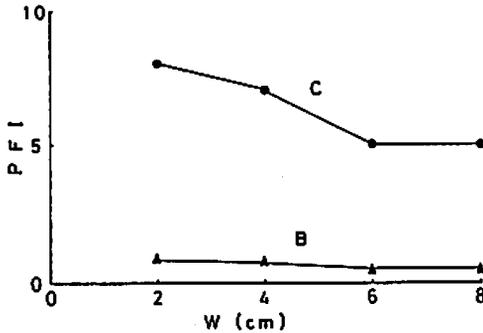


Fig. 4 Effect of Plate Width W on Pendulum Friction Indexes

爆を2段階に分けることで十分感度比較が可能なが分かった。また、PFIの算出が容易でなければ数値化の意味がなくなるので、計算の容易な方法A又はBが適当と思われる。

摩擦衝撃感度との相関性の比較に先だち、摩擦感度および落つい感度の1/10, 1/6, 50%, 5/6, 9/10 爆点の値を推定した。落つい感度曲線の低爆点側は、部分的な爆発生起の確率、すなわち敏感性とか爆発のしやすさを示し、高爆点側の勾配は完全なデトネーションの発生する確率を示し、爆発の確実性を与えると言われており⁴⁾、摩擦感度曲線についても同様のことが言える。Table 4と5を比較すると、摩擦衝撃感度と摩擦感度の相関性は、摩擦衝撃感度と落つい感度との相関性よりも一般的に良い。すなわち、振り摩擦試験は衝撃的要素よりは摩擦的要素の方が働いていると言える。Table 4において、方法FおよびΣFでは、低爆点側で相関性が見られる。振り摩擦試験の爆によらぬ判定法が、試料の発火性によるものであるとの推定²⁾と一致した結果が得られたわけである。

摩擦衝撃感度と落つい感度との関係では、方法A~

Eは、低爆点側では全く相関性はないが、高爆点側で相関性が見られ、振り摩擦試験の爆の程度による判定法は、試料の衝撃による爆轟性と関係の深いことが分かる。

落高、分銅量、摩擦板の幅の影響についての結果を数値化すると、傾向は従来法と変わらないが、感度順位の決定が容易で、結果が分かりやすくなり、数値化の有効性が認められた。

5. 結論

振り摩擦試験機によって得られた感度を分かりやすく数値化する方法について検討した。20種類以上の火薬類についての実験結果を数値化した結果は、同一の試験条件では、感度順位は従来法と同じであり、複数の条件下での感度順位も容易に求められるようになった。

摩擦衝撃感度に及ぼす、落高、分銅量、摩擦板の幅の影響に関する結果は、従来法と傾向が変わらず、PFIの合理性を示した。

摩擦衝撃感度は、落つい感度よりは摩擦感度と相関性がある。

数値化には、爆、半爆、不爆にそれぞれ1, 0.1, 0のウェイトを掛けたもの(方法B)がPFIの計算が容易で、しかも従来法と同じ傾向を示した。

文 献

- 1) 蓮江和夫, 菊川俊広, 平野誠司, 小川優一, 岡崎一正, 中原正二, 工業火薬, 43, 218 (1982).
- 2) 蓮江和夫, 平野誠司, 小川優一, 岡崎一正, 中原正二, 工業火薬, 44, 69 (1983).
- 3) 小川輝繁, 福山郁生, 大次次郎, 八木昇, 清水茂雄, 工業火薬, 41, 345 (1980).
- 4) 山本祐徳, 「一般火薬学」, P.147 (1966), 一橋書房.

Pendulum Friction Tests on Some Explosives (IV)

Digitized Pendulum Friction Sensitivity

by Kazuo HASUE*, Toshihiro KIKUKAWA*, Seiji HIRANO*, Yuichi OGAWA*,
Kazumasa OKAZAKI and Shoji NAKAHARA*

The pendulum friction sensitivity of some explosives has been shown as E, PE, Sn, C, Sp and U in order of explosion strength by the routine method but the rapid comparison of sensitivity of each explosive was not easy by this method. To permit rapid comparison of each explosive's sensitivity, several point systems which gave an appropriate point for each explosion were evaluated and a digitized pendulum friction sensitivity was called a pendulum friction index (PFI).

PFIs of some explosives were compared with several explosion efficiencies of the friction sensitivity and the impact sensitivity. It was found that the friction sensitivity correlation was slightly greater than the impact sensitivity correlation; however, neither correlated well with the PFIs.

Also PFIs made the rapid comparison of relative sensitivity of each explosive easier than the routine method.

Method B, in which E and PE were given 1 point, Sn, C, and Sp were given 0.1 point and U was given 0 points, was recommended because of its simplicity.

(*The National Defense Academy, 1-10-20

Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa, 239, Japan)
