

振子摩擦試験機による火薬類の摩擦衝撃感度の測定

(第2報)火薬類の発火感度に及ぼす要因の検討

遊江和夫*, 菊川俊広*, 平野絨司*
小川優一*, 岡崎一正*, 中原正二*

米国鉱山局及び米国陸軍で火薬類の感度試験に使用されている振子摩擦試験機を、鈍感な火薬類の感度測定が行えるように改良することを主な目的として実験した。米国では、鋼又は硬質ファイバー製摩擦板で、振子の落高1.5mで試験している。本研究では、まず感度に及ぼす各種要因の影響を調べた。その結果、摩擦板をステンレス製とし、落高を2mとすれば、米国法では不爆の爆薬も爆を示すことが分かった。

1. 緒言

最近多く使われているアンホ爆薬及びスラリー爆薬は鈍感で、従来の落つい及び摩擦試験機等では感度が測定できない。そのため種々の方法が試みられている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。本実験で用いた振子摩擦試験機は、米国で感度試験に用いられているが⁵⁾⁶⁾⁷⁾、米国法では鈍感な火薬類の感度比較はできない。そこで火薬類の発火感度に及ぼす各種要因の検討を行い、その結果、装置の改装及び試験方法の変更により、米国法では不爆の爆薬も爆を示すようになるかどうかを調べることを目的とした。また感度の判定基準、結果の表示法も定めた。

2. 実験方法

2.1 試験機

本研究に用いた装置の機械的性能については前報⁸⁾に詳しく述べてあるので省略する。

2.2 試料

含水率及び粒度が摩擦及び落つい感度に影響することが知られているので⁹⁾、本実験では、試験結果の再現性を良くするため、乾燥状態及び粒度は一定のものをを用いた。なお、爆薬はすべて市販品を用いた。粒度は、米国法の50~100メッシュと同じ0.149 (JIS 100メッシュ)~0.297mm (JIS 48メッシュ)とした。乾燥状態は、米国では規定がないが、50°Cで15時間以上真空乾燥後、シリカゲル入りデシケータ中に保存した。PETN, RDX, テトリル, TNT (等級1)は粉碎、乾

燥したものを用い、粉碎できない5号黒カーリット、コンポジションC-4 (以下C-4と略記)、スラリー爆薬は市販品のまま用いた。なお、スラリー爆薬については含水率を変え、感度に及ぼす影響も調べた。

2.3 試験法

2.3.1 空打ち

米国では、摩擦板とアンビルの間の摩擦は試料を置かず振子を1.5mの高さから放った時(空打ち)の振れ数を18±1回としているが、本研究では試験条件を出来るだけ同一にするため、いずれの落高でも空打ち数は18回とした。

2.3.2 試料の置き方

試料量は米国の7.0±0.1gに対し、本研究では、アンビルの溝間隔が狭いためと、安全のため1.00±0.01gとした。試料はアンビルの中央から、初回に摩擦板の当たる側に約3/5、反対側に約2/5の割合で、摩擦板とアンビルの接触部分に薄く広げた。

2.3.3 爆、不爆の判定法

米国では、判定基準をDetonates, Partially Detonates, Explodes, Snaps, Crackles, Sparks, Unaffectedに分けるか¹⁰⁾、あるいは爆をExplosion, Burning, Local cracklingに分け¹¹⁾、10回の試験で、最も判定段階の高い爆を試料の感度としている。

しかし、本実験では、落つい感度試験の判定法も参考とし、さらに数種の爆薬での予備実験により、爆をExplosion (E), Partial Explosion (PE), Snaps (S_n) Crackles (C), Sparks (S_p)の五段階に分け、不爆をUnaffected (U)として、Table 1に示すように定義した。

昭和57年4月23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

Table 1 Explosion Strength Judgment Criteria

Judgment		Criteria
Go	Explosion (E)	Whole sample exploded with exploding sound, flash, and flame. Dents on the anvil and plate were found.
	Partial Explosion (PE)	Part of the sample exploded with exploding sound, flash, and flame. Dents on the anvil and plate were found.
	Snaps (S _n)	Explosion with small exploding sound without flash and flame. Traces of explosion on the anvil could not be cleaned by rubbing with cloth.
	Crackles (C)	Very small exploding sound. No traces of explosion on the anvil and some sample remains unreacted.
	Sparks (S _p)	No exploding sound but flash and no traces of explosion on the anvil.
No-go	Unaffected (U)	No reaction

2.3.4 感度測定法

空打ち数を18回とした後、1.00gの試料をアンビル上に広げ、振子を放ち Table 1 に基づいて、爆、不爆の判定をした。

各試料について、同一条件で10ずつ試験し、結果を Table 1 の E, PE, S_n, C, S_p, U に区分表示した。摩擦板は、10回の試験終了後又は E 及び PE により変形した場合に交換した。アンビルと摩擦板は、未反応物を除いた後、エタノールでふき、120番サンドペーパーで表面を均一にした。

2.4 実験項目

2.4.1 摩擦板の材質

米園で使われている鋼と硬質ファイバーの他に、本実験では、ステンレス及び真ちゅうについて検討した。摩擦板は幅8cm、長さ14cm、厚さ1mmで、曲率半径26.7cmの曲面を有し、4本のネジと接着剤で振子に固定した。

2.4.2 DFV 数

摩擦板とアンビルが接触せずに触れる減衰自由振動 (Damped Free Vibration, DFV) 数は、31~120回程度まで変更できる⁹⁾。最適条件を求めるため落高2m、分銅重量20kg、摩擦板をステンレス又は鋼とし、DFV数が39~60回の範囲で、C-4の感度変化を調べた。なおC-4を使用した理由は、鋼及びステンレス製摩擦板の場合、爆はCだけのため爆の程度を考慮せずに、爆発率が得られるからである。

2.4.3 落高

米園法では、落高は1.5mであるが、本研究では、まず、分銅重量4及び20kgについて落高を変え、

PETNの感度変化を調べた。他の数種の爆薬についても、分銅重量は20kg、摩擦板は鋼又はステンレスとし、落高1.5及び2mについて感度変化を調べた。

2.4.4 分銅重量

PETNでは0.5又は1.0m分銅重量4~20kg、TNTでは落高2m、分銅重量20~30kgにおける感度変化を調べた。

2.4.5 摩擦板の幅

試料に加わるエネルギーを増すため、摩擦板の幅を8, 6, 4, 2, 1cmに変え、TNTの感度変化を調べた。落高2m、分銅重量30kgでステンレス製摩擦板を使用した。試料1gは、摩擦板の幅に応じて、アンビルとの接触部分を覆うように広げた。

2.4.6 水分量

スラリー爆薬は乾燥により鋭感になることが報告されている¹⁰⁾。

まず精秤した約20gのスラリー爆薬をシリカゲル入りデシケータ中に入れ、重量変化より含水率を求めた。また、60日間乾燥試料の含水率について、カールフィッシャー法でも求め比較をした。次に、1~20.5%重量減少した試料の感度を落高2m、分銅重量20kg、ステンレス製摩擦板で測定した。また、50℃15時間乾燥後、粉碎し、粒度を48~100メッシュとして、さらに50℃、15時間真空乾燥した試料の感度測定も行った。

2.4.7 アンビル温度

衝撃試験では爆薬の感度は、温度が上るにつれ鋭感になるとも言われているが¹¹⁾、小型振子摩擦試験機では、影響は顕著ではないという¹²⁾。

Table 2 Pendulum Friction Sensitivity

Fall Height (m)		1.5				2				AMCP ⁵⁾
No. of DFV		36				41		52		
Judgment	Plate Material	Fiber	Blass	Steel	Stainless	Steel	Stainless	Steel	Stainless	
PETN	E		1	2	2					Steel : Crackles Fiber : Unaffected
	PE			1	2					
	S _n				2	—	—	—	—	
	C				3					
	U	10	9	7	1					
RDX	E				1	4				Steel : Explodes Fiber : Unaffected
	PE				1					
	S _n									
	C			1	3	4				
	U	10	10	9	5	2				
Tetryl	PE								3, 3	Steel : Crackles Fiber : Unaffected
	S _n						3	7, 6	4, 5	
	C			1	2	4	6	3, 4	3, 2	
	U	10	10	9	8	6	1			
	Composition C-4	C					4	6	7, 16	
U	10	10	10	10	6	4	3, 4	1, 1		
No.5 Black Carlit	C						5	1, 1	8, 8	—
	U	10	10	10	10	10	5	9, 9	2, 2	
TNT	U	10	10	10	10	10	10	10, 10	10, 10	Steel & Fiber : Unaffected
Slurry	U	10	10	10	10	10	10	10, 10	10, 10	—
Dried Slurry	C	—	—	—	—	—	—	—	2	—
	U								8	

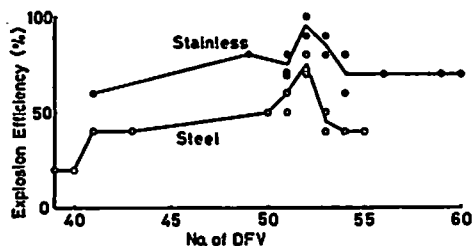


Fig. 1 Explosion Efficiency of Composition C-4 at various No. of DFV
Sample : Composition C-4;
Fall Height : 2m Weight : 20kg.

本実験では、アンビル周囲にリボンヒーターを巻き、表面温度を調節し、C-4とスラリー爆薬の感度を調べた。

3. 実験結果

Table 3 Number of Damped Free Vibration

Fall Height (m)	Weight (kg)				
	4	8	12	16	20
0.5	17	20	23	25	— 27
1.0	24	29	32	35	30 38
1.5	30	35	39	41	36 45
2.0	34	39	44	48	41 52

3.1 摩擦板の材質

分銅重量 20kg, 落高 1.5m とし、各摩擦板で、数種の爆薬について試験した結果を Table 2 に示した。米国の結果⁵⁾も参考のため表の一番右の列に示した。硬質ファイバー<鋼<ステンレスの順に爆を示しやすくなることが分かった。

3.2 DFV 数

Table 4 Effects of Fall Height and Weight on Sensitivity

Fall Height (m)	Weight (kg)	Judgment					
		E	PE	S _n	C	S _p	U
2.0	4	1	6	3			0
1.5	4	5	1	2			2
1.0	12	5	1	2			2
1.0	8	2	3	2	1		2
1.0	4		1		3		6
0.5	20	3	1		1		5
0.5	16	2		1	2		5

Sample: PETN; Plate: Stainless, 8cm.

Table 5 Effect of Weight on Sensitivity

Judgment	Weight (kg)	20	22	24	26	28	30
	S _n					1	1
C			2	2	3	5	7
U		10	8	8	6	4	2

Sample: TNT; No. of DFV: 120; Fall Height: 2m; Plate: Stainless, 2cm.

Table 6 Effect of Plate Width on Sensitivity

Judgment	Plate Width (cm)	8	6	4	2
	S _n				
C		5	5	7	7
U		5	5	3	2

Sample: TNT; No. of DFV: 120; Weight: 30kg
Fall Height: 2m; Plate: Stainless.

C-4の爆発率は、鋼及びステンレス製摩擦板とも、落高2m、分銅重量20kgで、Fig. 1に示すように、DFV数52回で極大を示したので、これを最適条件とした。また、落高と分銅重量を変えた時のDFV数変化をTable 3に示した。

3.3 落高

他の条件を同一とし、落高を変えた時のPETNの感度をTable 4に示した。また、RDX、テトリル、C-4、5号黒カーリット、TNT、スラリー爆薬の感度はTable 2に示した。PETNでは、EとPEの数に逆転があるが、両者の合計数及び爆の総数は、落高の増加とともに増している。また、他の爆薬の場合も、落高増加により爆の総数が増しており、落高を高くすることが、鈍感な爆薬の感度測定に有効であることが分かった。

3.4 分銅重量

PETNについてTable 4、TNTについてTable 5に示した。いずれも分銅重量の増加とともに爆の数が増加している。

3.5 摩擦板の幅

TNTについての実験結果をTable 6に示した。摩擦板の幅が狭くなると、爆の数、段階が上がるが、1cmでは摩耗が激しくなり、実用上は2cmが限界であった。

3.6 水分量

スラリー爆薬の水分量変化をFig. 2に示した。45日程で、ほぼ重量変化がなくなっている。60日間経過した試料の含水率は、カールフィッシャー法では、20.73%で、減少重量測定法では20.50~20.72%で、ほぼ

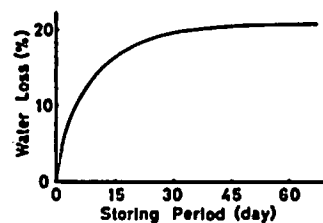


Fig. 2 Water Loss Curve of Slurry Explosive

Table 7 Effect of Steel Anvil Temperature on Sensitivity

Sample	Composition C-4 Commercial			Slurry Explosives Commercial + 5% Sand dried				
	r. t.	36	51	r. t.	36	36	36	51
Anvil Temp. (°C)								
Judgment								
C	9	9	6					
U	1	1	4	10	10	10	10	10

Fall Height: 2m; Weight: 20kg; Plate: Stainless, 8cm; No. of DFV: 52.

同一となったので、減少重量測定法で含水率を推定することにした。

シリカゲル入りデシケータ乾燥のスラリー爆薬は、いずれも不爆であったが、真空乾燥のスラリー爆薬は、Cを2/10示した。

3.7 アンビル温度

C-4とスラリー爆薬の各温度での感度をTable 7に示した。スラリー爆薬は、いずれの条件でも不爆であった。C-4は、36°Cでは室温と変わらず、51°Cでは感度は低下した。

4. 考察

4.1 判定法について

米国では、Explodeの上にDetonateがあるが、本実験では、鈍感な試料を主として使ったこと、量が少ないこともあり、両者の区別が認められた例はない。EとPEは、今回は分けて示したが、爆音の大きさでは区別できず、ほとんど同じと考えてさしつかえないと思われる。またS₀とCの差も小さいようであった。

変色の認められる場合もあったが、試験終了後にアンビル上に残る試料量は少なく、判定も困難なので、摩擦試験に準じて不爆とした。なお、ある条件で、変色する試料は、さらにエネルギーを増すと、爆を示すようになった例もあり、感度の目安にはなると思われる。

爆の区分とその判定法は、予備実験及びその後の実験で一応妥当と思われたものであるが、さらに多くの試料について試験し、不備な点があれば、今後改めたい。

感度表示法は、Table 1のように各区分毎の爆の数で表わしたが、試験結果の詳細な検討が行える反面、摩擦や落ついの50%、1/6、1/10爆点などと比較すると、感度比較が煩雑となる面もあるので、他の表示法も検討する予定である。

4.3 試料量について

試料量は本実験では1.00±0.01gとしたが、各試料及び粒度などで体積が異なるため、アンビル上の広がり

方に差が生じるので、一定体積の試料の感度測定が望ましいように思える。今後体積又は重量変化が感度に及ぼす影響を調べ、最適条件を見つきたい。

4.4 各試料について

試験回数は、米国法に準じ、また爆発率を容易に算出するため10回とした。試験結果の再現性は、Table 2に示したように、テトリル、C-4、5号黒カーリットともに各10回の結果がほとんど同じで、良いことが分かった。

試験に用いる時間、費用、再現性を考えると、試験数は10回で十分と思われる。

4.5 摩擦板の材質の影響

本実験に用いた各摩擦板の硬度、熱伝導率の実測はしていないが、硬度は一般に、ステンレス>鋼>真ちゅうの順で、熱伝導率は、真ちゅう>鋼>ステンレスの順である。硬度が大きければ摩擦板の変型によるエネルギー損失は小さくなり、また熱伝導率が低ければ、熱エネルギー損失が少なくなる。従って、感度は、ステンレス>鋼>真ちゅうの順に鋭感になったものと思われる。

ステンレスより、硬度が高く、熱伝導率の低い材質を摩擦板とすれば、さらに良い結果が期待できる。また、アンビルの材質を変えることも、同様に有効と思われる。

4.6 落高の影響

落高の影響はPETNの場合、EとPEの合計数は落高の増加とともに増しているが、特に顕著ではない。これは分銅重量が軽すぎるか、落高が低すぎて、振子の振れが不安定になったことも原因と思われる。

しかし、Table 2に示したように、1.5mでは不爆のC-4と5号黒カーリットが、2mでは爆を示すようになり、落高の増加は好ましいことが分かった。本装置では2mが最大のため、さらに大きなエネルギーを試料に加えるためには他の条件を検討する必要がある。

4.7 分銅重量の影響

分銅重量の増加により、爆の数は増加するが、分銅

重量の大きいものが、鈍感な火薬類の感度試験に望ましいことが分かった。しかし、本装置は分銅重量20kg用に製作されているので、分銅重量の増加には、多少の補強が必要にならう。

また、試料には、分銅重量の他に、振り棒の重量約20kgと垂直時にはさらに、回転横軸重量約25kgも加わるため、分銅の重量変化は、相対的には小さくなる。

4.8 摩擦板の幅の影響

摩擦板の幅を狭くすることで、試料に加わるエネルギーの増加を試みたが、分銅重量、落高変化に比べると影響は小さかった。これは試料の置き方を、摩擦板の幅に応じて変えたことも影響していると思われる。例えば、2 cmの時の試料の厚さは、8cmの時の4倍となっている。

4.9 水分量の影響

スラリー爆薬は、本装置では通常の方法で爆を示さぬため、乾燥させ、感度測定の可能性を調べた。乾燥スラリー爆薬は、爆を示したが、文献¹⁰⁾ほど顕著ではなかった。乾燥した含水爆薬の性質は、元と異なるので、これをもって中止し、今後は装置の改良を主とする予定である。他の乾燥した材料も、市販品の状態での試験が望ましいが、装置改良の知見を得るため、当分の間は条件を一定とした乾燥試料の感度を調べる予定である。

温度に対する影響は、明確には調べていないが、晴天と雨天の場合には結果が異なるようなので、今後検討したい。なお、本実験では、晴天の日の結果を採用した。

4.10 アンビル温度の影響

米国式と異なり、本装置のアンビルには温度調節器がないため、夏期と冬期には感度測定は行わなかった。アンビル温度の影響は、C-4では常温附近では影響がないが、他の爆薬については、今後の課題としたい。

5. まとめ

米国で使用されている振り摩擦試験機を改良し、試験法の検討を行い、数種の爆薬の感度試験を行った結果、BAM式摩擦試験機及び落つい感度試験機などと

同程度の感度比較ができることが分かった。

他の完成された装置と異なり、改良の余地が十分あり、さらに鈍感な爆薬の感度試験に使用できる可能性がある。例えば、空打ち数の減少、分銅重量を増すこと、摩擦板及びアンビルの材質の変更、DFV数の変更などである。

現在までの段階では、摩擦板はステンレス、落高は2 m、空打ち数は18回、DFV数は52回(落高2 mの時)、試料量は1gが試験条件として最適なことが分かった。

本研究には昭和55年度(第10回)火薬工業技術奨励会研究助成金を使用させていただきました。ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) 松本榮, 田中雅夫, 工業火薬協会春期研究発表会講演要旨集: P. 45 (1979)
- 2) 松本榮, 田中雅夫, 工業火薬協会春期研究発表会講演要旨集: P. 19 (1981)
- 3) 中野雅司, 前田尚哉, 酒井洋, 工業火薬協会秋期研究発表会講演要旨集: P. 39 (1979)
- 4) 飯田光明, 椎野和夫, 吉田正典, 藤原修三: 工業火薬協会秋期研究発表会講演要旨集, P. 63 (1981)
- 5) AMCP 706-177, (1971), United States Army Materiel Command.
- 6) Kirk-Othmer, "Encyclopedia of Chemical Technology", Vol. 8, P. 655 (1967) Interscience Publisher.
- 7) U. S. Bureau of Mines パンフレット
- 8) 蓮江和夫, 菊川俊広, 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)
- 9) 岡崎一正, 古沢典彦: 工業火薬, 35, 75 (1974)
- 10) E. Contestabili: Report No. MRP/MRL 76/128 (TR) (Sept. 1976)
- 11) 山崎尚男, 木村清茂: 工業火薬, 27, 253 (1966)
- 12) T. Nash, W. J. Powell and A. R. Ubbelohde: Phil. Trans A 241, 272 (1948).

Pendulum Friction Tests on Some Explosives (II)
Effects of Some Factors on Explosives' Sensitivity

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

In order to test some less sensitive explosives, some modifications of the U. S. Pendulum Friction Tester were performed. So that proper working conditions could be achieved, certain factors were changed such as weight, fall height, number of damped free vibration, width of plate, plate material, and temperature of anvil. However, certain conditions were predetermined such as, sample weight, number of blank hits, sample's water content, and sample's particle size in order to attain reproducible results.

Concluded from the tests were the following optimal conditions:

- 1) plate material: stainless steel, 2) number of blank hits: 18, 3) fall height: 2m,
- 4) weight of sample: 1.00g, 5) number of damped free vibration: 52, and
- 6) weight: 20kg.

Several explosives' sensitivity were measured under the above mentioned optimal conditions.

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