



化合爆薬の衝撃着火性試験

波多野日出男*, 青木憲治**, 原 一男**
彭 金華**, 細谷文夫*, 吉田忠雄**

限界ギャップ法を用いた衝撃着火性試験を粉状のHMX, RDX, テトリル, TNT, PETN及びピクリン酸に適用した。この方法による感度序列は次のようであった。

6号雷管起爆 PETN=HMX>RDX>テトリル>ピクリン酸>TNT

0号雷管起爆 PETN>HMX=RDX=テトリル>ピクリン酸>TNT

この試験はまたBrucetonのUp and Down法を用いてRDXについても行われた。結果の標準偏差 σ は対数単位で0.14であり、他の打撃・衝撃試験のそれと類似であった。限界ギャップ長実験で、試料容器である内径30mm、外形35mm、高さ50mmの鋼管はTNTを除く試料の爆発で破片化した。TNTの場合は底が分離しただけであった。化合爆薬に適用された衝撃着火性試験の結果は、既に酸化剤-可燃物混合物やいくつかの火工組成物について示されたと同様に、結果の判定が容易で信頼性があることが示された。

1. はじめに

火薬類の打撃・衝撃感度は火薬類の取り扱いの安全を確保する上で重要な因子である。従来、落槌試験が代表的な打撃感度試験として用いられてきた。しかし、落槌感度試験にはいくつかの問題点があり、この試験だけによって広い範囲にわたる火薬類の打撃・衝撃感度を知ることは困難である^{1) 2)}。

筆者らは打撃・衝撃感度試験は試験される物質の感度に応じて使い分けるべきであると考え、いくつかの試験法を検討してきた。超高感度物質から鈍感な物質までの広範囲の爆発性物質の打撃・衝撃感度は、落球試験³⁾、小型カードギャップ試験^{4) 5)}、産業爆薬用衝撃感度試験⁶⁾、可変起爆剤試験⁷⁾及び50/60鉄管衝撃感度試験⁸⁾を用いて分類できることを示した。これ

らの試験における爆・不爆の判定は落球試験を除いて、爆発が起こったことを検知する方法として、弾動臼砲、水中爆発又は砂中爆発を用いて行ってきた。起爆薬、爆薬等の爆轟性物質は以上の中の適切な方法を用いることによってかなりの信頼性をもって衝撃感度の相対評価ができる。

一方、黒色火薬、過酸化ベンゾイル、発射薬、推進薬、ガス発生剤のような爆燃性物質は強い衝撃では爆発的に反応するが、弱い衝撃では爆発せず、ゆっくりした燃焼や分解を開始する場合がある。燃焼・分解が大量の爆燃性物質で開始されれば、この緩やかな燃焼・分解は爆発に発展し事故につながる可能性が大きい。ここでは衝撃による着火の起こり易さを衝撃着火性と呼ぶ。筆者らは衝撃着火性を調べる試験法を検討し、予備的な経験を経て、本研究で述べる方法を採用した¹¹⁾。衝撃着火性試験は、衝撃によって起こる燃焼又は爆発を目視で調べる方法である。すなわち、衝撃によって燃焼するものは燃焼が起こったことを直接目視で調べ、爆轟が起こったことは試験容器の破壊状況から間接的に目視で調べる。この試験法は爆轟性物質の

1992年10月14日受理

*細谷火工(株)技術開発センター

〒197 東京都秋川市菅野大沢 1847

TEL 0425-59-2578

**法政大学工学部機械工学科

〒184 東京都小金井市梶野町3-7-2

TEL 0423-87-6132

衝撃起爆感度の測定にも使えるが、特に衝撃により着火・燃焼するものの感度評価に適しているので衝撃着火性試験と名付けた。反応の起こらなかったことは残薬の存在から調べる。すでにこの方法は100%BPO、75%BPO⁹⁾、アジ化ナトリウム¹⁰⁾、黒色粉火薬、アジ化ナトリウム組成物、酸化剤-可燃物混合物¹¹⁾等の爆燃性物質に適用した。ここでは、本方法をPETN、RDX、HMX、テトリル、TNT及びピクリン酸に適用し、化合爆薬に適用した場合の本試験法の性質について調べた結果を報告する。ここで用いた爆轟性物質の打撃・衝撃感度は小型カードギャップ試験や可変起爆剤試験でも測定できるが、衝撃着火性試験の方が試験が簡単であるという利点がある。化合爆薬は落槌感度試験でも試験できるが、TNTやピクリン酸は落槌試験では爆・不爆の判定が困難である。本研究を行った目的の1つは、本来爆燃性物質の衝撃感度試験である本試験法が化合爆薬に対しても適用でき、本試験法を適用できる対象物の範囲が広いことを示すことである。又、第2の目的は化合爆薬は本試験で反応した場合にどのような挙動を示すかを知ることである。第3の目的は試験結果のバラツキを知ることである。

2. 実験

2.1 試料及び試料体

HMX、テトリル及びTNTは中国化薬^(株)製の結晶品である。ピクリン酸はワイ・エス・ケー^(株)製の結晶品を用いた。PETNは日本化薬^(株)製の結晶品を用いた。0号及び6号雷管は日本化薬^(株)製のものを用いた。

RDXは限界ギャップ長法では中国化薬^(株)製の結晶品を用い、Bruceton法では日本工機^(株)製の粉末クラスA (平均粒度297 μ m 80-100%通過)を用いた。

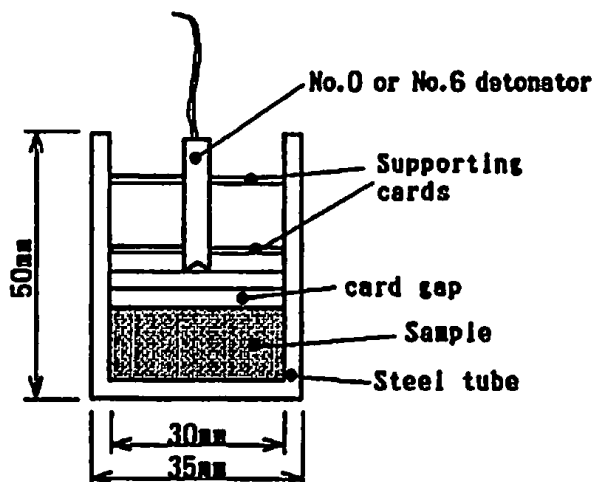


Fig. 1 Sample assembly of the shock ignitability test

衝撃着火性試験の試料体は図1に示すもので、底付鋼管、試料、ポリエチレン・カード・ギャップ(直径29mm、厚さ1mm及び2mm)、雷管及び雷管保持用ポリエチレン・カードから成っている。底付鋼管は限界ギャップ長法とBruceton法では別のメーカーのものを用いた。限界ギャップ長法で用いた鋼管の材質は不明である。Bruceton法で用いた鋼管はJIS-G-3445、STKMである。

2.2 実験手順

- (1) 底付鋼管に爆薬試料5gをとる。
- (2) 必要な厚さのポリエチレン・カードを試料の上に乗せる。
- (3) 2枚の1mm厚さのポリエチレン・カードに6.5mmφの孔を開けて、これに雷管を差し込む。
- (4) 試料体を20cmの深さの砂中に埋める。
- (5) 雷管に通電して起爆し、爆発の有無を鋼管の損傷の状態と残薬の有無から判定する。

2.3 爆・不爆の判定方法

雷管の爆発で試料に衝撃を与えると試料は一般に爆轟、爆燃、緩やかな燃焼を起こすか、又は反応を起こさない。爆轟は試料容器の破片化又は試料の入っていた容器の底の部分の花びら状に開くことでわかる。又、この時は、漏斗孔もできる。試料が爆燃した時は容器は破壊されず、場合によっては容器の一部が膨らんだり、底及び蓋が分離したりする。そして試料は全量反応して残らない。緩やかな燃焼は着火後数秒間燃え続ける。不反応の場合は未反応試料が残る。本試験法の特徴は結果の判定が容易で確実なことである。ここで用いた試料はTNTが爆燃しただけで他はいずれも反応を起こした時は爆轟した。

2.4 衝撃感度の評価方法

2.4.1 限界ギャップ長法

- (1) 試料が爆発したらギャップ長を2倍にし、試料が不爆であったらギャップ長を1/2にする。
- (2) ギャップ長を2倍にして爆発が止まったら、ギャップ長を3/4倍にする。ギャップ長を1/2倍にして爆発したら、ギャップ長を1.5倍にする。
- (3) (1)及び(2)の操作を繰り返し、爆・不爆のギャップ長の差が1mmとなったら実験を止め、その時の爆・不爆のギャップ長をそれぞれ爆発の限界ギャップ長及び不爆のギャップ長とする。あるいは爆・不爆のギャップ長の差がlog単位で0.1になったら実験を止める。

2.4.2 BrucetonのUp and Down法

- (1) 厚さ2.0、2.5、3.2、4.0、5.1、6.4及び8.0cm

- のポリエチレン・カード（直径29mm）を用意する。
- (2) 適当な厚さのカードギャップで実験をスタートさせ、爆のときには次の厚いカードを、不爆のときは次の薄いカードをギャップ材として用いる。
 - (3) 爆・不爆又は不爆・爆の結果が続けて得られてから20回 Up and Downの実験を行う。
 - (4) 常法にしたがって50%ギャップ長 l_{50} 及びその対数の標準偏差 σ を求める。

3. 結果と考察

3.1 実験結果

実験結果を表1～3及び写真1～3に示した。

3.2 化合爆薬の衝撃着火性試験による衝撃感度の序列（限界ギャップ長法）

HMX、テトリル、ピクリン酸及びTNTの衝撃着火性試験を用いた衝撃感度を表2に示した。

6号雷管起爆による衝撃着火性試験では化合爆薬の衝撃感度は、

$$\text{PETN}(16\text{mm}) = \text{HMX}(16\text{mm}) > \text{RDX}(14\text{mm}) > \text{テ}$$

Table 1 Results of the shock ignitability test for high explosives

Run	Explosive	Detonator	Gap	Result
1	HMX	No. 0	4	detonation
2	HMX	"	5	no explosion
3	Tetryl	"	4	detonation
4	Tetryl	"	5	no explosion
5	TNT	"	2	"
6	TNT	"	1	"
7	TNT	"	0	deflagration
8	Picric acid	"	2	"
9	Picric acid	"	3	no explosion
10	PETN	"	5	detonation
11	PETN	"	6	no explosion
12	HMX	No. 6	16	detonation
13	HMX	"	24	no explosion
14	HMX	"	20	"
15	HMX	"	18	"
16	HMX	"	17	"
17	Tetryl	"	16	"
18	Tetryl	"	12	"
19	Tetryl	"	10	detonation
20	Tetryl	"	11	no explosion
21	TNT	"	4	deflagration
22	TNT	"	6	no explosion
23	TNT	"	5	"
24	Picric acid	"	8	"
25	Picric acid	"	6	detonation
26	Picric acid	"	7	no explosion
27	PETN	"	24	"
28	PETN	"	20	"
29	PETN	"	18	"
30	PETN	"	16	"
31	PETN	"	16	detonation

Table 2 Critical gap length of high explosives by the shock ignitability test

Explosives	Detonator	Max. gap for explosion (mm)	Min. gap for no explosion (mm)
PETN	No. 0	5	6
HMX	"	4	5
RDX	"	4	5
Tetryl	"	4	5
Picric acid	"	2	3
TNT	"	0	1
PETN	No. 6	16	17
HMX	"	16	17
RDX	"	14	16
Tetryl	"	10	11
Picric acid	"	6	7
TNT	"	4	5

Table 3 Results of the shock ignitability test for RDX(class A) by the Bruceton method
(1) Initiation by a No.0 detonator

Gap		Judgement															Frequency						
(mm)	logl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	○	×
6.3	0.8	○	○							○											3	0	
8.0	0.9	×	○				○	×	○								○	○			5	2	
10.0	1.0				×		×				○	○				×	×				2	4	
12.6	1.1											×	○			×					1	2	
16.0	1.2													×							0	1	
		(○ : detonation, × : no explosion)															Sum.	11	9				

$\log l_{50} = 0.97$; $l_{50} = 9.4\text{mm}$; $\sigma = 0.14$

(2) Initiation by a No.6 detonator

Gap		Judgement															Frequency						
(mm)	logl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	○	×
12.6	1.1	○																			1	0	
16.0	1.2	×	○	○			○					○	○								5	1	
20.0	1.3			×			×	○				×	×			○	○	×			3	5	
25.0	1.4								○		×					×	×				1	3	
32.0	1.5									×											0	1	
		(○ : detonation, × : no explosion)															Sum.	10	10				

$\log l_{50} = 0.29$; $l_{50} = 19.5\text{mm}$; $\sigma = 0.11$

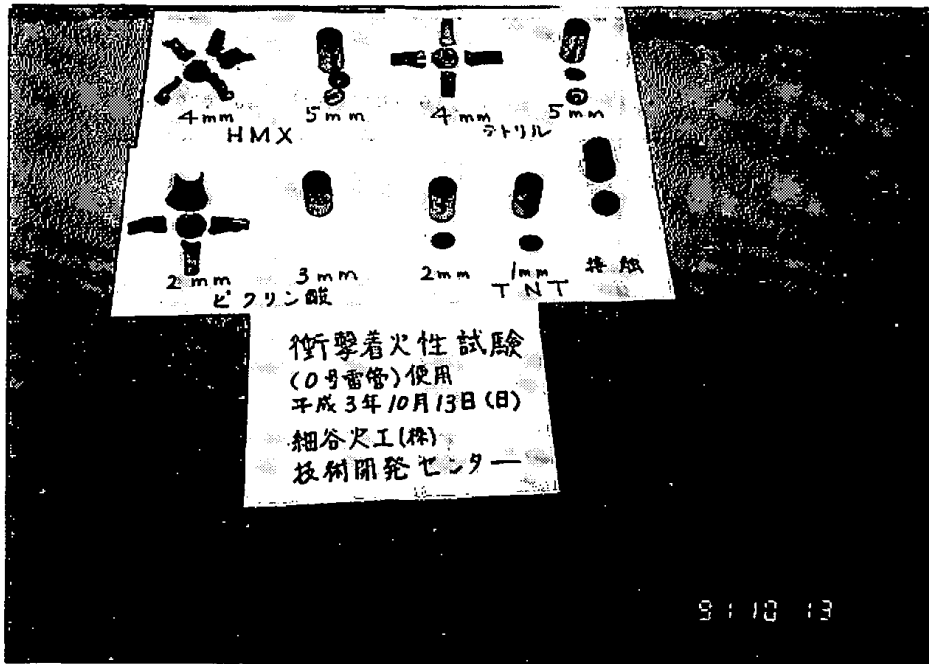


Photo. 1 Results of shock ignitability test for high explosives using a No. 0 detonator



Photo. 2 Results of the shock ignitability test for high explosives using a No. 6 detonator

トリル (10mm) > ピクリン酸 (6mm) > TNT (4mm) となった。括弧内は最小起爆ギャップである。

一方、0号雷管起爆による衝撃着火性試験では化合物の衝撃感度は、

PETN (5mm) > HMX (4mm) = RDX (4mm) = テトリル (4mm) > ピクリン酸 (2mm) > TNT (0mm) :

接触) となった。

実験を行なった化合物の範囲では0号雷管起爆では、RDX、HMX及びテトリルの感度には差がなかった。ピクリン酸及びTNTは低い感度を示した。0号感度を用いる衝撃着火性試験ではRDX、HMX、テトリル、PETNのような比較的高感度のグループとピ

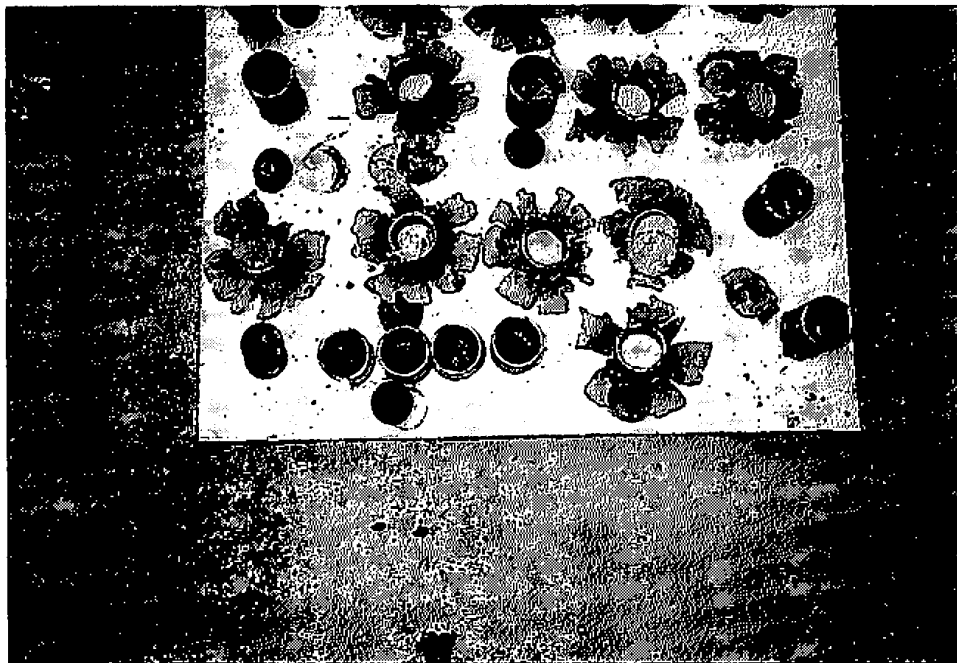


Photo. 3 Results of the shock ignitability test for RDX (class A) using different sample container

クリン酸やTNTのような比較的低感度のグループを区別できる。一方、高感度グループの中の感度差を区別することはできない。しかし、6号雷管起爆による衝撃着火性試験ではPETNとHMXを除いては試験した全ての爆薬の感度を区別することができた。

3.3 RDXの衝撃着火性試験の結果のバラツキ

RDXの衝撃着火性試験をBrucetonのUp and Down法で行った結果のまとめを表4に示した。RDXは限界ギャップ長を求める実験では中国化薬製製の結晶品を、Up and Down法では日本工機製製のクラスA品を用いた。限界ギャップ長から推定される l_{50} は4.5 mmでUp and Down法では9.4 mmとなった。試料の粒度差による感度の違いが考えられる。この実証は今後の課題である。

衝撃着火性試験の結果と落球及び落錘試験の結果との比較では σ が類似の値を示している。落球試験では2つの実験の σ の間にかかなりの差が見られた。一応各試験で得られた値の平均値を採用すると打撃・衝撃感度試験の σ は0.1~0.2である。RDX以外の爆薬について行われた目視による小型ギャップ試験¹¹⁾や産業爆薬用衝撃感度試験¹²⁾でも σ は0.15程度の値を示している。すなわち、打撃・衝撃感度試験の結果のバラツキは今までの著者らの得てきた実験結果からは類似であり、 $\sigma=0.15$ 程であった。打撃・衝撃感度試験を行うに当たってはこの程度のバラツキがあることを理解しておく必要がある。

3.4 化合爆薬の衝撃による着火又は爆発

RDX, HMX, PETN, テトリル及びピクリン酸は本衝撃着火性試験で反応するときは必ず爆轟して試料容器は破片になるか花びら状に開いた (Photo 1 及び 2)。TNTの場合はプラスの結果を与える場合でも試料容器は破片とならず又はめくれることなく膨れた。TNTは他の高性能爆薬に比べて反応性に乏しく、本実験の条件下では、雷管起爆の衝撃による誘発爆発だけが観察され、爆轟には発展しなかったと思われる。表1ではTNTの爆発を爆燃と分類した。

今回試験したTNTを除く5種の爆薬は限界ギャップ長で起爆しても爆轟して鋼管を破片化した (Photo 1 及び 2)。多くの化合爆薬の1つの特徴を示す性質と思われる。一方、Up and Down法による実験ではRDXが爆轟しても鋼管の底の部分が花びら状にめくれるだけで破片にはならなかった (Photo 3)。おそらくこれは用いた鋼管の違いによるものであろう。即ち、前者ではより脆い鋼管が使われたためと思われる。鋼管に原因があると推定したのはTNTを除く他の化合爆薬に比べて爆速の小さいピクリン酸の場合も限界ギャップ長法の衝撃着火性試験で反応が起こった時は鋼管が破片化しているからである。

3.5 衝撃着火性試験の利点と問題点

衝撃着火性試験は中間感度の爆燃性の火工品組成物の着火性を調べるのに適した方法である。ここでは一応黒色粉火薬以上の衝撃感度を持つものを高感度物質、それ以下で現在使われているコンポジット固体推進薬以上の衝撃感度をもつ物質を中間感度物質と考えてい

Table 4 Results of various shock sensitivity tests for RDX using the Bruceton Up and Down method

Test	$\log I_{50}$	$\log E_{50}$	σ	Ref.
Shock ignitability (No.0 detonator)	0.97		0.14	This work
Shock ignitability (No.6 detonator)	1.29		0.11	"
JIS drop hammer (without Sn foil)		0.74	0.08	12)
Small drop ball (indirect impact)		0.24	0.26	13)
"		0.53	0.12	13)
Small drop ball (direct impact)		-0.44	0.09	13)
"		-0.02	0.24	13)

る。本試験結果、衝撃着火性試験は中間感度の化合爆薬に対しても適用できることがわかった。

利点は試料量が5gと比較的少ないことである。落球試験や小型ギャップ試験ではより少ない試料量で試験できる。しかし、中間感度の物質は、本試験法では着火するが落球試験や小型ギャップ試験では着火しないものがある。すなわち、落球試験や小型ギャップ試験では中間感度物質の危険性を正しく評価できない場合がある。不利な点としては、本試験法を化合爆薬に適用すると爆発が起こった時は試料容器が損傷を受けて再使用できないというコスト上の問題がある。又、試料容器が破片となる場合があるので破片が飛散しないように試料体を砂中に埋めて試験するか閉鎖爆発室で試験するかして試験実施者の安全をはかる必要がある。

本試験では用いなかったが、TNTより感度の低い物質を試験する場合には雷管を試料量に挿入して試験する必要がある。又、更に感度の低い物質に対しては挿入、蓋付きで実験を行う。本試験の試料量は5gと少ないので、雷管を試料に挿入しても雷管の爆薬部分が完全に試料中に埋没せず、雷管を試料に接触させた場合に比べて試料に与えられるエネルギーはそれ程増大しない。したがって雷管挿入の実験をするときには試料を雷管の爆薬部分を覆う程度に増やしてやる必要がある。現在は挿入の場合の試料量は20gを標準とし、比重の小さい試料で20gでは容器に入りきらない場合ではそれより少ない試料量で試験している。

起爆薬のように高感度でDDTの性質を持ち、5gでも危険なものは0.2gで試験できる目視小型ギャップ試験¹⁷⁾か数mgで試験のできる落球試験が良い。産業爆破薬のように比較的安価であり、伝爆性も問題となるものは産業爆薬用衝撃感度試験^{6) 8)}を行った方が良い。これらの方法で爆発しない鈍感な爆発性物質は50/60鋼管感度試験⁹⁾を用いるべきであろう。

謝 辞

本試験を行うに当たり爆薬試料の御提供を戴いた、中国化薬株式会社、ワイ・エス・ケー株式会社、日本工機株式会社及び日本化薬株式会社に謝意を表します。

実験に協力された吉川利雄、山下俊、長森敬二、鈴木康弘、鈴木良博の各氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 吉田忠雄, 田村昌三, 和田有司, 矢橋英郎, 委沢俊雄, 細谷文夫, 「エネルギー物質の打撃・衝撃感度試験に関する考察」, 災害の研究, 21, 154 (1990)
- 2) T. Yoshida, J. Wu, X. Zhou, F. Yoshizawa, F. Hosoya, and H. Hatano, "Correlation of Shock and Impact Sensitivity Test Results", Proc. 17th IPS combined with 2nd ISPE, Beijing, Oct. 28-31, 1991, p.987
- 3) 波多野日出男, 吉沢二千六, 矢橋英郎, 和田有司, 田村昌三, 細谷文夫, 吉田忠雄, 「高感度物質の安全性評価(I)高感度物質の着火性, 落球及びSC-DSC試験」, 工業火薬, 51 (2), 70 (1990)
- 4) 波多野日出男, 矢橋英郎, 和田有司, 委沢俊雄, 細谷文夫, 田村昌三, 吉田忠雄, 「高感度物質の安全性評価(II)起爆薬の水中小型ギャップ試験」, 工業火薬, 51 (6), 390 (1990)
- 5) 和田有司, 松永猛裕, 劉崇海, 金子良昭, 細谷文夫, 田村昌三, 吉田忠雄, 「水中爆発を用いた爆発性の評価(III)水中小型ギャップ試験」, 工業火薬, 51 (2), 83 (1990)
- 6) Y. Wada, H. Yabashi, T. Matsuzawa, M. Tamura, F. Hosoya and, T. Yoshida, J. Energetic Materials, 9, 105 (1991)
- 7) 村永浩太郎, 松永猛裕, 田村昌三, 安部隆幸, 吉田忠雄, 「MkIII 弾動臼砲の性能と応用(IX) 弾動臼

- 砲を用いた爆発性物質の衝撃感度の測定法」, 工業火薬, 46, 162 (1989)
- 8) T. Okitsu, J. Suzuki, K. Aoki, K. Hara, and T. Yoshida, "Shock Sensitivity Tests for Commercial Explosives and Their Ingredients", 9th Symp. on Chemical Problems connected with the Stability of Explosives, Margaretetorp, Sweden, 23-27 Aug. 1992
- 9) 和田有司, 矢橋英郎, 姿沢俊雄, 金子良昭, 池田義之, 平井靖男, 吉田忠雄, 工業火薬, 51 (6), 372 (1990)
- 10) 姿沢俊雄, 和田有司, 矢橋英郎, 金子良昭, 池田義之, 田村昌三, 吉田忠雄, 工業火薬, 52 (3), 200 (1991)
- 11) K. Aoki, K. Hara, J. Peng, T. Yoshida, H. Hatano, and F. Hosoya, "Shock Ignitability Test for Medium-Sensitive Pyrotechnic Compositions", Proceeding of the 18th ISP, Breckenridge, U. S. A., 12-17 July 1992, p. 1
- 12) 原一男, 鹿住孝, 吉田忠雄, 「 KClO_4 -赤燐混合物及びRDXのBrucetonのup and down法によるJIS落槌試験機を用いた感度試験」, 日本工機実験報告書 (18), 平成4年4月23日
- 13) 吉田忠雄, 田村昌三編著, 「反応性化学物質と火工品の安全」, 大成出版社 (1988), p. 124
- 14) K. Hara, K. Aoki, J. Peng, T. Yoshida, H. Hatano, and F. Hosoya, "Visual Small Gap Test for High-Sensitive Pyrotechnic Compositions", Proceedings of the 18th ISP, Breckenridge, U. S. A., 12-17 July 1992, p. 367
-

Shock Ignitability Test of Explosive Compounds

by Hideo HATANO*, Kazuo HARA**, Kenji AOKI**
Jinhua PENG**, Fumio HOSOYA*, and Tadao YOSHIDA**

The shock ignitability test using a certain detonator with the critical gap method has been conducted on different explosive powders such as HMX, RDX, tetryl, TNT, PETN and picric acid. The sensitivity orders by this method were as follows:

For the initiation by no. 6 detonator

PETN = HMX > RDX > tetryl > picric acid > TNT

For the initiation by no. 0 detonator

PETN > HMX = RDX = tetryl > picric acid > TNT

This test was also carried out with RDX using "the Bruceton Up and Down method" resulting in the standard deviation σ of 0.14 in logarithm, which is as equivalent as those obtained by other impact and shock sensitivity tests. Throughout the study steel tubes of 30 mm ϕ (i. d.) \times 35 mm ϕ (o. d.) and 50 mm in length were used as sample container. In the experiments with critical gap method, all of the materials tested other than TNT detonated when initiated by the shock and broke the steel container into pieces, while TNT ended up with the separation of its bottom from the container.

The test results applied to explosive compounds, showed that the judgement of results is easy and reliable as previously proved in the case of mixtures of oxidiser and combustible substance, and some pyrotechnic compositions.

(*Technology Development Center, Hosoya Kako Co. Ltd., 1847 Osawa, Sugao, Akikawa-shi, Tokyo 197, Japan

**Department of Mechanical Engineering, Hosei University, 3-7-2 Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo 184, Japan)