

り、爆・不爆を判定する。

- (6) 試行を繰り返し、爆から不爆または不爆から爆へ変化する落高を見出す。落高 H (cm) の間隔は $\log H=0.1$ である。
- (7) 爆から不爆に変化したら、1段高い落高を選んで実験する。不爆から爆へと変化した時は落高を1段下げて実験する。以後爆となれば落高を1段下げ、不爆となれば落高を1段上げて実験を続ける。
- (8) 爆・不爆の変化が起こった。2つの実験を含む計20回の実験を行う。

2.4 打撃感度のデータ処理⁴⁾

得られたデータからup and down法⁵⁾の解析手順にしたがって、50%爆点(H_{50} (cm))の対数値($\log H_{50}$)を求め、同時に $\log H_{50}$ の標準偏差(σ)を求めた。さらに下の式を用いて50%爆点エネルギー(E_{50} (J))を求めた。

$$E_{50}=0.098 \times M \times H_{50}$$

ここに、 M (kg)は落球または落つい質量である。

2.5 感圧紙を用いた打撃圧力分布調査実験

落球試験の間接打撃法で、試料の置かれた打撃面に圧力分布が生じるかどうかを調べるために、感圧紙を用いた実験を行った。用いた感圧紙は富士フィルム特製(商品名プレスケール)で、低圧用(A+C)のものである。2枚のシート(AとC)を重ねて、2つの円筒コアの間にはさみ、上の円筒コアの上に適当な質量の落球を適当な高さから落した。その結果感圧紙上に発生する赤色濃度の分布を調べた。

3. 結果と考察

3.1 実験結果

落球式打撃感度試験と落つい試験の実験結果を表1、表2に示し、水中小型ギャップ試験との比較を表3に示した。

3.2 落球式打撃感度試験の直接打撃法との間接打撃法の比較

トリシネートおよびテトラセンについて間接打撃法で落球式打撃感度試験を行い、さらにテトラセンは直接打撃法で落球式打撃感度試験を行った。前回の実験¹⁾ではテトラセンは打撃感度が鈍感過ぎて測定不可能

Table 1 Results of drop ball test

No. of trial	Sample Ball mass(kg) Impact method	Tetracene	Tetracene	Tricinate
		0.261 direct	0.261 indirect	0.261 indirect
1		N(0.3)	Y(1.4)	Y(1.4)
2		Y(0.4)	N(1.3)	N(1.3)
3		N(0.3)	N(1.4)	N(1.4)
4		N(0.4)	Y(1.5)	N(1.5)
5		Y(0.5)	N(1.4)	N(1.6)
6		Y(0.4)	Y(1.5)	Y(1.7)
7		N(0.3)	N(1.4)	Y(1.6)
8		N(0.4)	Y(1.5)	Y(1.5)
9	Y=go	N(0.5)	Y(1.4)	N(1.4)
10	N=no go	Y(0.6)	N(1.3)	Y(1.5)
11	numeral=logH	Y(0.5)	Y(1.4)	N(1.4)
12		Y(0.4)	N(1.3)	Y(1.5)
13		N(0.3)	Y(1.4)	Y(1.4)
14		N(0.4)	N(1.3)	Y(1.3)
15		N(0.5)	Y(1.4)	N(1.2)
16		Y(0.6)	Y(1.3)	N(1.3)
17		Y(0.5)	N(1.2)	N(1.4)
18		Y(0.4)	N(1.3)	Y(1.5)
19		N(0.3)	N(1.4)	N(1.4)
20		Y(0.4)	Y(1.5)	Y(1.5)
log H_{50} *		0.42	1.38	1.44
log E_{50} *		-1.17	-0.21	-0.15
σ of log H_{50}		0.104	0.071	0.181

*H: drop height in cm ; E: energy in J

Table 2 Results of drop hammer test

No. of trial	Sample Hammer mass (kg) Impact method	Tetracene	Tricinate	DDNP	PbN ₆	Tetryl	RDX	HMX	KPC	PETN
		11.39 indirect	2.02 indirect	2.02 indirect	11.39 indirect	11.39 indirect	5.0 indirect	5.0 indirect	2.02 indirect	5.0 indirect
1		N(1.0)	N(1.3)	N(1.5)	Y(1.2)	Y(1.5)	Y(1.3)	Y(1.3)	N(1.8)	N(1.1)
2		Y(1.1)	Y(1.4)	Y(1.6)	N(1.1)	N(1.4)	N(1.2)	N(1.2)	Y(1.9)	Y(1.2)
3		N(1.0)	N(1.3)	Y(1.5)	N(1.2)	Y(1.5)	Y(1.3)	N(1.3)	Y(1.8)	Y(1.1)
4		Y(1.1)	Y(1.4)	N(1.4)	N(1.3)	N(1.4)	N(1.2)	Y(1.4)	Y(1.7)	N(1.0)
5		Y(1.0)	Y(1.3)	Y(1.5)	Y(1.4)	Y(1.5)	N(1.3)	N(1.3)	N(1.6)	Y(1.1)
6		Y(0.9)	N(1.2)	Y(1.4)	N(1.3)	Y(1.4)	Y(1.4)	Y(1.4)	N(1.7)	Y(1.0)
7		N(0.8)	N(1.3)	Y(1.3)	Y(1.4)	N(1.3)	Y(1.3)	N(1.3)	Y(1.8)	N(0.9)
8		Y(0.9)	N(1.4)	Y(1.2)	N(1.3)	N(1.4)	N(1.2)	Y(1.4)	Y(1.7)	N(1.0)
9	Y=go	N(0.8)	Y(1.5)	Y(1.1)	N(1.4)	N(1.5)	Y(1.3)	N(1.3)	N(1.6)	N(1.1)
10	N=no go	Y(0.9)	Y(1.4)	N(1.0)	Y(1.5)	N(1.6)	Y(1.2)	Y(1.4)	Y(1.7)	Y(1.2)
11	numeral=logH	Y(0.8)	N(1.3)	N(1.1)	Y(1.4)	Y(1.7)	Y(1.1)	N(1.3)	N(1.6)	Y(1.1)
12		N(0.7)	N(1.4)	N(1.2)	Y(1.3)	Y(1.6)	N(1.0)	Y(1.4)	Y(1.7)	Y(1.0)
13		Y(0.8)	Y(1.5)	Y(1.3)	N(1.2)	Y(1.5)	Y(1.1)	Y(1.3)	Y(1.6)	N(0.9)
14		N(0.7)	N(1.4)	N(1.2)	N(1.3)	N(1.4)	N(1.0)	N(1.2)	N(1.5)	N(1.0)
15		N(0.8)	N(1.5)	N(1.3)	Y(1.4)	Y(1.5)	N(1.1)	Y(1.3)	N(1.6)	Y(1.1)
16		Y(0.9)	Y(1.6)	N(1.4)	N(1.3)	N(1.4)	Y(1.2)	N(1.2)	Y(1.7)	Y(1.0)
17		N(0.8)	Y(1.5)	Y(1.5)	N(1.4)	N(1.5)	Y(1.1)	Y(1.3)	N(1.6)	Y(0.9)
18		Y(0.9)	N(1.4)	N(1.4)	Y(1.5)	Y(1.6)	N(1.0)	Y(1.2)	Y(1.7)	N(0.8)
19		Y(1.0)	N(1.5)	Y(1.5)	N(1.4)	N(1.5)	Y(1.1)	N(1.1)	N(1.6)	N(0.9)
20		N(0.9)	N(1.6)	N(1.4)	Y(1.5)	Y(1.6)	N(1.0)	Y(1.2)	N(1.7)	Y(1.0)
logH ₅₀ *		0.89	1.40	1.33	1.35	1.49	1.16	1.29	1.68	1.01
logE ₅₀ *		0.94	0.70	0.63	1.40	1.54	0.85	0.98	0.98	0.70
σ of logH ₅₀		0.173	0.126	0.335	0.149	0.108	0.201	0.081	0.104	0.131

*H: drop height in cm ; E: energy in J

Table 3 Results of the underwater small gap and different kinds of $\log E_{50}$ for high-sensitive materials

Sample	$\log E_{50}$		critical gap length lc (mm)	
	drop ball direct	drop ball indirect		drop hammer indirect
Tetracene	-1.17	-0.21	0.94	91 ^d
PbN ₆	-1.01 ^a	-0.13 ^a	1.40	64 ^d
DDNP	-0.86 ^a	-0.10 ^a	0.63	45 ^d
Tricinate	-0.62 ^a	-0.15	0.70	54 ^d
PETN	-0.18 ^b	0.34 ^b	0.70	18 ^c
RDX	-0.44 ^a	0.20 ^b	0.85	11 ^c
HMX	-0.47 ^b	0.39 ^b	0.98	10 ^c
Tetryl	0.03 ^b	0.13 ^b	1.54	10 ^c
KClO ₃ +P	-2.53 ^b	-2.08 ^b	-1.10 ^c	
NaClO ₂ +P	-2.87 ^b	-2.12 ^b	-1.10 ^c	
KBrO ₃ +P	-2.84 ^b	-1.80 ^b	-1.51 ^c	
NaClO ₃ +P	-3.17 ^b	-2.32 ^b	...	

^a Ref. 1. ^b Ref. 4 and Ref. 6. ^c Ref. 7. ^d Ref. 2.
^e Unpublished results

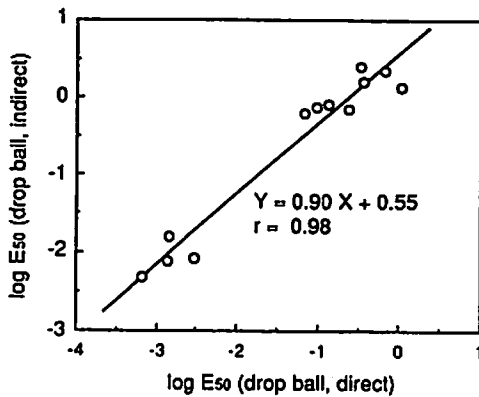


Fig. 1 Plot of $\log E_{50}$ (direct) vs $\log E_{50}$ (indirect) for drop ball test

であったが、今回は鋭感であるという結果が得られた。前回の試料には何らかの問題があったものと思われる。その結果を表1に示す。各起爆薬の両方法での $\log E_{50}$ の値を従来の研究の結果^{4) 6) 7)}と併せて表3及び図1に示す。

図1に見られるように、落球式打撃感度試験では同じ試料について直接打撃法の方が間接打撃法の場合より、低い落高(約1/10の落高)で起爆または発火する。すなわち、直接打撃法の方が間接打撃法より見かけ上高い感度を与える。

1つの理由は間接打撃法では試料の上に円筒コロを置くために、その円筒コロに落球の打撃エネルギーが吸収され、試料に加わる打撃エネルギーが小さくなる

ためである。これは上に置く円筒コロの数を増すと50%爆点は更に高くなることで示されている⁴⁾。

もう1つの理由は、落球による直接打撃法では打撃面が小さく、同じ質量の落球による打撃では間接打撃法に較べて試料の打撃面積がより小さいことである。したがって、同じ落高で打撃した場合には、直接打撃法の方が間接打撃よりも高い単位面積当りのエネルギーを打撃を受けた部分の試料に与える。

起爆薬や高感度二次爆薬の打撃感度試験としては直接打撃法の落球式打撃感度試験を用いることができる。小さい落球で試験ができ、爆発音も間接打撃法に比べて小さいので便利である。しかし、より低感度の二次爆薬や爆発威力の小さい過酸化ベンゾイルなどに対しては、この方法は適用できない。例えば、過酸化ベンゾイルの場合は直接打撃法では爆発音が小さすぎて爆・不爆の判定が困難だからである。低感度の爆薬の場合も直接打撃法では爆発音が小さすぎ、又小さい落球を用いた落球式打撃感度試験の打撃エネルギーでは間接打撃法では爆発しないものが多いからである。一方打撃感度の非常に高いハロゲン酸塩と赤リン混合物の場合は、直接打撃法では非常に小さい落球を用いなければならず、そのために試験の精度が落ちる。したがって、超高感度物質の場合は間接打撃法が望ましい。この考え方は日本の消防法第5類危険物の判定試験法に採用されている。

3.3 落球式の間接打撃試験と落つい式の間接打撃試験の比較

落球式の間接打撃試験の結果に対して落つい式の間

接打撃試験の結果(表1)をプロットしたのが図2である。落球式打撃感度試験の方が落つゝ式の打撃感度試験に比べて小さい50%爆点エネルギー (E_{50}) を与える。すなわち、落球式打撃感度試験の方が落つゝ感度

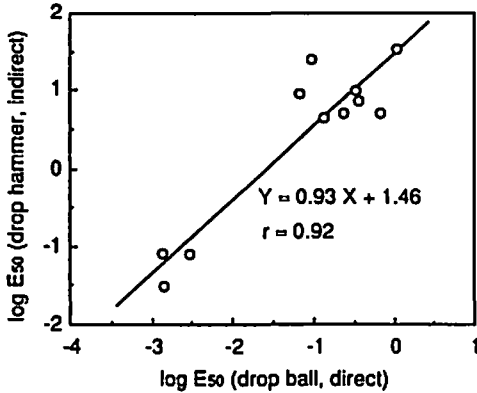


Fig. 2 Plot of $\log E_{50}$ (indirect, drop hammer) vs $\log E_{50}$ (indirect, drop ball)

試験より見かけ上敏感な結果を与える。間接打撃試験において落球式では落球が円筒コロの上面を点で打撃し、その結果上部円筒コロの下面に円形の部分的な高圧部分ができ、そのためにそこにエネルギーが集中して試料を爆発し易くしている可能性がある。その想定のもとに、感圧紙を円筒コロの間に置いて落球試験を行ったところ、感圧紙には局部的な円形の強い打撃の跡はみられなかった。したがって、落球式打撃感度試験と落つゝ式打撃感度試験の結果の違いの原因は別にあることになる。真の原因は現在のところ不明である。

アジ化鉛やテトリルは落つゝ感度試験では特に見かけの感度が低く評価される。この理由についてはまだ明らかではないが、このような場合には感度の高い物質を感度が低いと判断して取扱いが複雑となり事故を起こすおそれがある。これらの物質に対しては密封セル-示差走査熱量測定 (SC-DSC)¹⁾、摩擦感度試験²⁾、微量着火性試験³⁾ 及び微量加熱試験⁴⁾ を適用し、これらの試験の結果危険性の高い可能性があれば、落球式打撃感度試験によって真の感度を確認することが必要であろう。

3.4 水中小型ギャップ試験と機械的打撃感度試験の比較

水中小型ギャップ試験は、0.1gまたは0.3gの試料をポリエチレンカードのギャップを介して水中で0号雷管を用いて起爆し、気泡エネルギーから試料の爆・不爆を判定し、試料が起爆される限界のポリエチレン

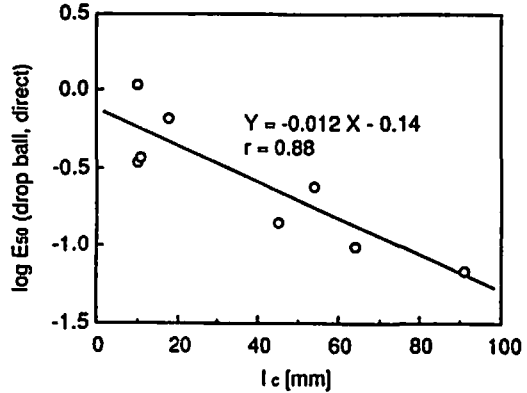


Fig. 3 Plot of $\log E_{50}$ (indirect, drop ball) vs l_c (underwater small gap)

カードのギャップの長さ (限界ギャップ長: l_c , mm) を衝撃に対する感度の指標とする。この限界ギャップ長に対して直接打撃法による落球式打撃感度試験における50%爆点エネルギーの対数をプロットしたのが図3である。この図より最小自乗法により直接打撃法による落球式打撃感度試験の50%爆点エネルギーと水中小型ギャップ試験の限界ギャップ長との間の回帰式を求めると次のようになる。

$$\log E_{50} = -0.012 l_c - 0.14$$

データ数 (n) は8個、相関係数 (r) は0.882である。この結果、0号雷管接触での起爆エネルギーは、 $\log E_{50} = -0.1$ 程度と推定される。

図3の中で起爆薬類 (アジ化鉛, DDNP, トリシネート, テトラセン) と高感度二次爆薬類 (RDX, HMX, PETN, テトリル) とを比較すると、起爆薬類の方が良い相関を示している。これは起爆薬類は水中小型ギャップ試験においても落球式打撃感度試験においても爆・不爆の判定が非常に明確であるためと思われる。一方、高感度二次爆薬類の相関が良くない理由は現在までのところ明らかではない。

筆者らの考えでは、起爆薬類の打撃感度評価には安全面を考慮して、試料量が少ない落球試験が望ましい。一方、高感度二次爆薬の衝撃感度評価には水中小型ギャップ試験が精度の面で優れているものと思われる。

3.5 衝撃・打撃試験結果の解釈上の問題点

爆発性物質の取扱い危険性を評価する試験法として落つゝ感度試験が長い間使われてきた。この試験では爆・不爆が明確である物質については相対的な危険性を評価することができる。しかし、間接打撃法による落つゝ感度試験と直接打撃法による落球式打撃感度試験では試験の結果に大きな開きがある。直接打撃法の方が実際に起る危険な打撃現象に近い。したがって、

落つい感度試験で得られた打撃エネルギーを実際の打撃発火や打撃爆発の危険性の推定にそのまま使うことには問題があることが本研究の結果から明らかとなった。

文 献

- 1) 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)
- 2) 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)
- 3) 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, 154-163 (1990)
T. Yoshida, M. Tamura, Y. Wada, H. Yabashi, T. Matsuzawa and H. Hosoya, "A Consideration on Impact and Shock Sensitivity Tests for Energetic Substances", Presented at the Meeting of a Working Group of OECD-IGUS at BAM, July 1990
- 4) 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)
- 5) W. J. Dixon and A. M. Mood, "Method for Obtaining and Analyzing Sensitivity Data", J. Am. Stat. Assoc., 43, 109 (1948)
- 6) 松永匡裕, 金子良昭, 吉沢二千六, 井上吉勝, 田村昌三, 蔵持 勇, 吉田忠雄, 「落球式打撃感度試験機による高感度物質の打撃感度」, 工業火薬, 49 (1), 3(1988)
- 7) 井上吉勝, 吉沢二千六, 金子良昭, 田村昌三, 安部隆幸, 平山 達, 吉田忠雄, 「酸化剤の反応性と危険性の評価 (II) 酸化剤-赤リン混合物の落球感度試験」, 安全工学, 26 (4), 205(1987)
- 8) 日本工業規格, 「火薬類性能試験方法」, JIS K 4810-1979
- 9) 委沢俊雄, 金子良昭, 池田義之, 周 興喜, 波多野日出男, 細谷文夫, 吉沢二千六, 田村昌三, 吉田忠雄, 「高エネルギー物質のスクリーニング試験としての微量加熱試験」, 工業火薬, 51 (6), 390(1990)

Safety Assessment of High-Sensitive Materials (IV)

The Comparison of Some Impact and Shock Sensitivity Tests

by Xing Xi ZHOU*, Hideo HATANO**, Yuji WADA***, Toshio MATSUZAWA****
Fumio HOSOYA**, Masamitsu TAMURA*** and Tadao YOSIDA*****

The drop ball tests (direct and indirect impact methods), the drop hammer test and the underwater small gap test have been carried out to evaluate the sensitivities of high-sensitive materials. In this paper the results of these tests are compared. These show the following order for various $\log E_{50}$'s of a sample : drop hammer (indirect) > drop ball (indirect) > drop ball (direct). Some explanations and problems of on these tests are given.

(*Department of Chemical Engineering, Beijing Institute of Technology, 100081 Beijing, China

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

***Department of Reaction Chemistry, Faculty of Engineering, the University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

****Explosive and Catalysts Division, Nippon Kayaku Co., Ltd., 1-2-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

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