

BAM 式摩擦試験機による爆薬の摩擦感度について

石塚 孝*・岡崎一正*

爆薬用の BAM 式摩擦試験機を使用して数種の爆薬の摩擦感度を測定し、U-D 法の適用性を検討するとともに、試料の条件変化に伴う測定値の変動を追究した。

その結果、本試験機では、爆薬についての概略の感度比較が BAM で規定された 1/6 爆点法により簡便に行なえること、および U-D 法を適用してより厳密な感度測定のできる事が判明した。また、常法では 0.5mm メッシュ通過の乾燥試料を使用することになっているが、その乾燥の程度によって測定値がかなり変動し、さらに粒径と粒度分布の影響も無視できないことが認められた。したがって、精密測定の場合は試料の条件をより詳細に規定する必要がある。

1. 緒 言

火薬類の摩擦による起爆機構の解明は、Bowden らの研究により大いに進展したが、摩擦感度の実用的な試験方法の開発は、衝撃感度のそれに比してかなり立ち遅れた感があり、わが国においては、摩擦感度試験法の JIS がまだ制定されてない状態である。その主因は起爆薬のようなきわめて鋭感なものから、TNT、硝安系爆薬等の鈍感なものまでの広範囲にわたって、摩擦感度を数値的に再現性よく表示し得る試験装置の設計が予想以上に困難なことにあると考えられる。

しかし、ドイツの材料試験所 (BAM) では、Koenen ら²⁾ が考案した同一機構で荷重範囲の異なる爆薬用と起爆薬用の 2 種類の摩擦試験機により、1/6 爆点を求めて爆発性物質の摩擦感度を比較する方法が規格化されるに至った。この BAM 式試験機はわが国でも、すでに一部で利用されている。

本研究では爆薬用の BAM 式試験機を用いて、PETN, RDX, HMX 等の単体爆薬および 5 号黒カーリットに、BAM の規定に基づく 1/6 爆点法と信頼性ある 50% 爆点を求める U-D 法³⁾ を適用した場合について、若干の実験的考察を行なった。

特に PETN と RDX については、含水率、粒度、混入異物等がそれらの摩擦感度に及ぼす影響を追究した。また、全般を通じて上記の両方法による試験結果の相関性を調べた。

2. 実験方法

2-1 試験機

BAM 式摩擦試験機は、磁器製の摩擦板と摩擦きねとの間に試料をはさんで荷重を加え、摩擦板をモーター駆動によって 10mm だけ定速で往復直線運動させる機構である。さらに詳細な構造、一般操作法等は前記の Koenen らの報告以外にわが国の文献⁴⁾にも紹介されているので、ここでは省略するが、本研究で使用する試験機について、測定値に大きな影響を及ぼすと考えられる摩擦速度が荷重により変動するか否かを予め確認しておく必要がある。また、常法では 9 種類の分銅の一つを荷重碗の I ~ VI の 6 個の溝のいずれかにフック付きの保持リングで吊すことにより、荷重を 0.5 ~ 36.0 kg の範囲で 42 段階に変え得るが、U-D 法を適用するには、荷重を連続的に変化させるように工夫しなくてはならない。

(1) 摩擦速度、すなわち本装置では摩擦板のすべり速度は、荷重碗の溝 VI に分銅を吊したとき、205V の 3 相交流の定圧電源により、摩擦板が 10mm 往復運動

Table 1 Sliding speed of a porcelain plate under different loads

Load (kg)	Average speed (cm/sec)	Load (kg)	Average speed (cm/sec)
1.0	4.86	12.0	4.67
2.0	4.79	16.0	4.78
4.0	4.81	24.0	4.92
6.0	4.85	36.0	4.94
8.0	4.78		

昭和48年1月31日受理

* 防衛大学校化学教室 横須賀市走水 1-10

する時間をカウンターで測定して求めた。その結果は Table 1 のとおりである。なお、時間測定は同一荷重で5回ずつ行ない、その平均値をとった。

Table 1 より、1.0~36.0 kg の荷重範囲で摩擦速度は約 4.7~5.0 cm/sec であり、ほぼ一定とみなされる。

(2) 次に荷重を連続的に変化させるには、Fig. 1 に示すように、摩擦接点にかかる荷重 w と分銅重量 W との間には $lw = LW$ なる関係があり、また、本試験機では $l = 14$ cm であるから、分銅を適当に選定して支点から $L = 14w/W$ のところに吊せばよいことになる。

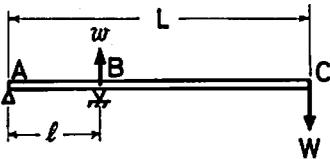


Fig. 1 Illustration of the relation between weight (W) and contact load (w)

U-D 法では、上記のようにして荷重を順次に変えながら所要回数の試行を繰り返せばよい。

2-2 試料

(1) BAM の規定では、試料は乾燥状態で 0.5 mm メッシュのふるいを通したものを使用することになっているので、含水率の影響を調べる実験以外は、単体爆薬の場合には 45°C の常圧恒温乾燥器で約 5 時間乾燥したのち、デシケータ中に 1 週間以上保存したものを使用し、混合爆薬では、そのままデシケータ中に 1 週間以上保存したものを使用した。

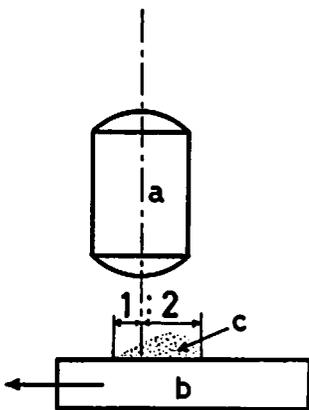


Fig. 2 Position of the test sample on the porcelain plate

- a : porcelain rod
- b : porcelain plate
- c : sample

全体を通じ、1回の試験薬量は BAM の規定どおり 10 mm³ とした。なお、BAM の規定では摩擦板上への試料の置き方が不明確なため、本実験では Fig. 2 に示すように、摩擦板と摩擦きねの接点において、摩擦板の移動方向に対してほぼ 1 : 2 の割合になるように定めた。

(2) PETN と RDX とについての含水率を変化させた場合の感度測定において、所望の含水率の試料をうるため、約 10 g の湿薬を精秤して 45°C の恒温乾燥器で一昼夜乾燥させ、その間に何回か秤量して Fig. 3 に示す乾燥時間-含水率曲線を求めた。乾燥薬量を変えれば乾燥曲線も変化するであろうが、乾燥薬量を 10 g と一定にすることにより、乾燥時間をきめれば、この乾燥曲線から所望の含水率の試料が容易に得られる。

この場合に問題になるのは、乾燥試料が実験中に吸湿することである。そこで、24 時間乾燥した試料を大気中に放置して含水率の経時変化を調べた。その結果

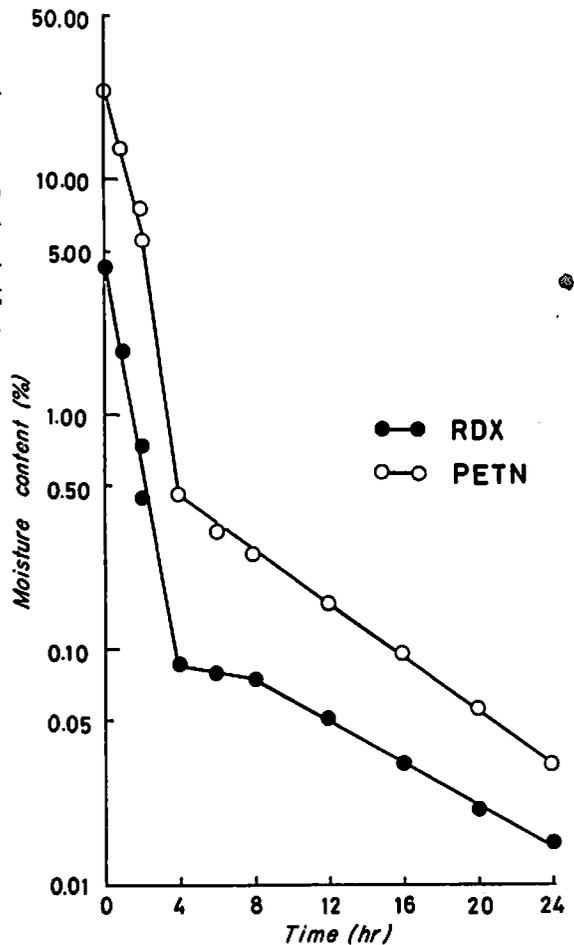


Fig. 3 Relation between moisture content and drying time

は Table 2 に示すように、PETN, RDX とともに高度に乾燥した場合においてさえ、6時間経過後でも含水率の増加はきわめてわずかである。

Table 2 Variation in the moisture content of sufficiently dried explosives as a function of time elapsed

Time (hr)	Moisture content (%)	
	PETN	RDX
0	0.0321	0.0151
1	0.0328	0.0156
2	0.0332	0.0158
4	0.0338	0.0160
6	0.0340	0.0163

一方、乾燥後、感度測定終了までの所要時間は、乾燥後のふるい分け、含水率測定および感度測定で合計2時間程度である。したがって、測定に必要な時間内では、含水率はほとんど変化しないとみなして実験を行なうことにした。

含水率の測定はすべてカール・フィッシャー水分測定装置によった。

(3) 粒度の影響に関する実験では、乾燥状態の PETN と RDX の粒度組成を測定した (Fig. 4 参照) のち、44~74 μ 、105~149 μ 、177~297 μ および未ふるい品の4種類の試料を使用した。

(4) 混入異物の影響に関する実験では、混入異物としてガラス粉を使用し、その粒径 44 μ 以下のものと 105~149 μ のものを外割りで各 5% および 10% 添加したものを試料とした。

2-3 判定法

予備実験により、BAM 規定の5段階の判定区分で

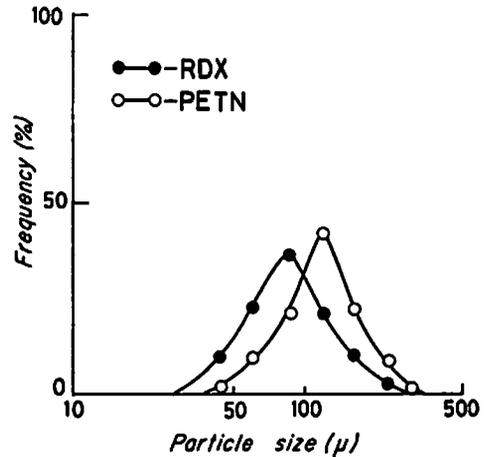


Fig. 4 Size distribution curves

ある無反応、部分反応、発炎、弱爆音、強爆音の内、発炎の例はきわめて少なく、発煙の方が多く認められたので、判定区分を発炎に発煙を含めて、無反応、部分反応(変色、発臭)、発火発煙、弱爆音および強爆音とし、発火発煙以上を爆と判定することにした。

3. 実験結果および考察

3-1 U-D 法と BAM 法との比較

前記の4薬種について、U-D 法ではそれぞれ試行回数を 100 と 50 との 2 通りとして 50% 爆点とその標準偏差を求めるとともに、それらの値から 95% 信頼限界と 1/6 爆点を計算して推定した。また、BAM 法に基づく 1/6 爆点は一試料につき 3 回ずつ測定し、上下の限界荷重で表わすようにした。測定および計算の結果を一括して Table 3 に示す。

Table 3 より、BAM の規定に基づく 1/6 爆点法の結果だけでは摩擦感度の比較判定が不明確なものにつ

Table 3 The results obtained by up and down method and BAM method

Explosive	Up and down method					BAM method
	The number of trials	50% Initiation point (kg)	Standard deviation	95% Confidence limit (kg)	1/6 Initiation point (kg)	1/6 Initiation point (kg)
PETN	100	4.34	0.1357	3.99~4.73	3.21	3.0~3.2
	50	4.43	0.1354	3.92~5.01	3.27	
No. 5 Kuro Carlit	100	9.71	0.1769	8.67~10.88	6.54	6.0~8.4
	50	9.51	0.2021	7.91~11.45	6.06	
RDX	100	10.37	0.1688	9.36~11.68	7.17	8.0~8.4
	50	10.67	0.1764	9.05~12.58	7.19	
HMX	100	11.96	0.1239	11.07~12.92	9.07	6.4~9.6
	50	12.34	0.1205	11.07~13.76	9.43	

いても、U-D 法を適用すればそれが明確となること
がわかる。

なお、この種の U-D 法による実験結果から、50%
爆点よりかなり離れた爆発率の点を推定した場合の精
度は不良といわれている⁷⁾が、本実験で各薬種につ
いて U-D 法で求めた50%爆点とその標準偏差とから計
算推定した1/6爆点は、BAM 法に基づく1/6爆点の
荷重範囲にほぼ含まれている。

3-2 U-D 法の試行回数

次に本試験機に U-D 法を適用して、各薬種につき
試行回数を 100 とした場合と 50 した場合とで得た50%
爆点の信頼性を検討しよう。

それには統計学上の等しい未知の分散をもつ2つの
正規分布の平均の差に関する検定⁸⁾を利用するのが便
利である。すなわち、試行 100 回のときの平均値 (50
%爆点) を m_{100} 、その標準誤差を $\sigma_{m_{100}}$ 、爆または不
爆数を N_{100} 、試行50回のときのそれぞれを m_{50} 、 $\sigma_{m_{50}}$
および N_{50} とし、

$$S_n^2 = \frac{(N_{100}-1)\sigma_{m_{100}}^2 + (N_{50}-1)\sigma_{m_{50}}^2}{N_{100} + N_{50} - 2} \quad (1)$$

とすると、

$$A = \frac{|m_{100} - m_{50}|}{S_n \sqrt{1/N_{100} + 1/N_{50}}} \quad (2)$$

が自由度 $N_{100} + N_{50} - 2$ の t 分布で確率 $\alpha/2$ のとき
の値より小さければ $100 \cdot \alpha\%$ の有意水準で $m_{100} = m_{50}$
とみなしてよい。

ここでは 5% の有意水準で考え、自由度は72~73で
あるから、 t 分布は1.98である。4薬種についての実
験結果から、式(1)および(2)により A を計算すると
Table 4 のようになり、 A はすべて1.98以下である。

Table 4

Explosive	m_{100}	$\sigma_{m_{100}}$	m_{50}	$\sigma_{m_{50}}$	A
PETN	0.6376	0.0184	0.6465	0.0246	1.72
No. 5 Kuro Carlit	0.9874	0.0246	0.9784	0.0392	0.61
RDX	1.0193	0.0239	1.0280	0.0348	1.26
HMX	1.0778	0.0167	1.0914	0.0230	1.46

これから、本試験機によれば、50回の試行でも 5%
の有意水準で 100 回の試行の場合に等しい50%爆点
が得られるものとみなされる。したがって、以後50%爆
点を求める実験では試行回数50の U-D 法を採用し
た。

3-3 含水率の影響

含水率が数%以下の PETN と RDX について 2-2
に述べたように、Fig. 4 の乾燥曲線に基づいて調製
した試料により、含水率をわずかずつ変化させたときの
摩擦感度の変動を調べた。U-D 法と1/6爆点法とに
よったが、両方法による結果はきわめてよく一致し
た。しかし、この場合には感度差が異薬種間のそれの
ように大きくはないので、U-D 法による50%爆点で

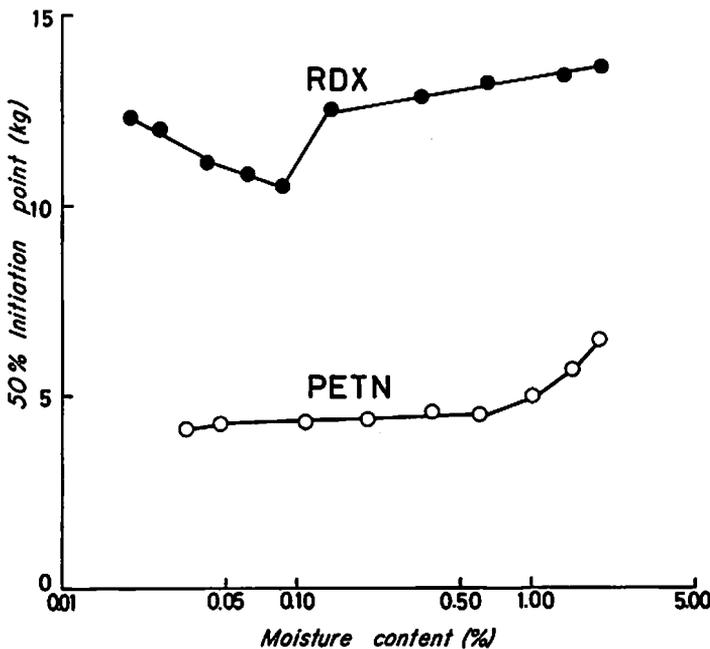


Fig. 5 Effect of moisture content on the friction sensitivity of PETN and RDX

比較する方が明確である。その50%爆点と含水率との関係を Fig. 5 に示す。

PETN では、含水率が0.03%から1.0%までは感度がほぼ一定であり、1.0%以上になると感度曲線は明らかに上昇、すなわち鈍感になってくる。RDX では、含水率が0.02%から増加するにつれて鋭感になり、0.09%付近で極値に達し、さらに含水率が増加すると徐々に鈍感になっている。

このように乾燥状態といっても、その程度によって薬種に特有の感度変化がみられる。

RDX の含水率による上記のような感度変化は、落つ試験においても現われており、勝田¹⁰⁾の測定によれば、RDX は落つ衝撃に対して含水率が0.1%付近のとき最鋭値を示し、PETN よりもむしろ鋭感になることが観察されている。

本実験で摩擦感度について測定した含水率では、PETN の方が明らかに鋭感であるが、RDX は摩擦感度、落つ感度とも、含水率が0.1%付近で最高になるようである。

PETN については、十分に乾燥すれば含水率が多少変動しても感度にあまり大きな変化はみられず問題は少ないが、RDX には上記のような傾向があるので、感度の厳密な測定を要する場合には、含水率を明確に規定する必要がある。また、取扱い上からも高度に乾燥した RDX は注意を要することになる。

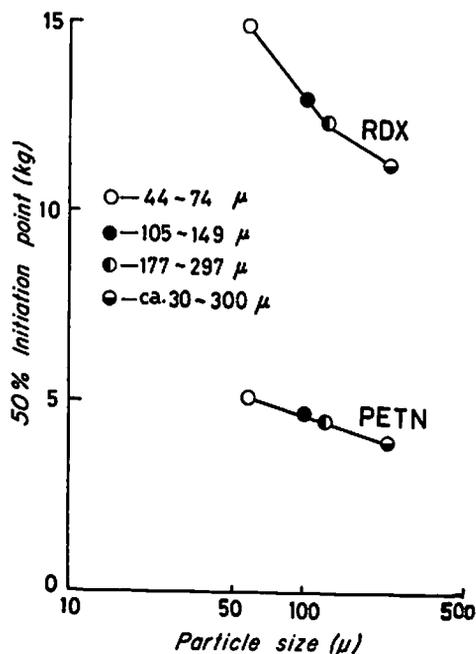


Fig. 6 Effect of particle size on the friction sensitivity of PETN and RDX

3-4 粒度の影響

PETN と RDX についての粒度と50%爆点との関係は Fig. 6 のとおりである。

粒度が44~300 μ の範囲では、一般的に粒度が大きいほど鋭感になっている。これは試験薬量が一定であるから、粒度の大きい方が摩擦接点下の粒子数が少なくなり、したがって摩擦エネルギーの分散が少なく、ホットスポットができやすいためと思われる。

また、異粒度粒子が混合されたままの状態にある試料の感度は、含有率最大の粒度に対応するものの感度に近いことがわかった。

このように、同一薬種でも粒度組成が違えば摩擦感度に差異が生ずる。この現象は厳密な感度測定を行なう際に、ばらつきの原因となると思われるので注意を要する。

3-5 ガラス粉混入の影響

乾燥状態の PETN と RDX に、ショア硬度130の通常の窓ガラスを粉砕して、ふるい分けしたものを添加した場合の添加率と50%爆点との関係は、Fig. 7 のとおりである。

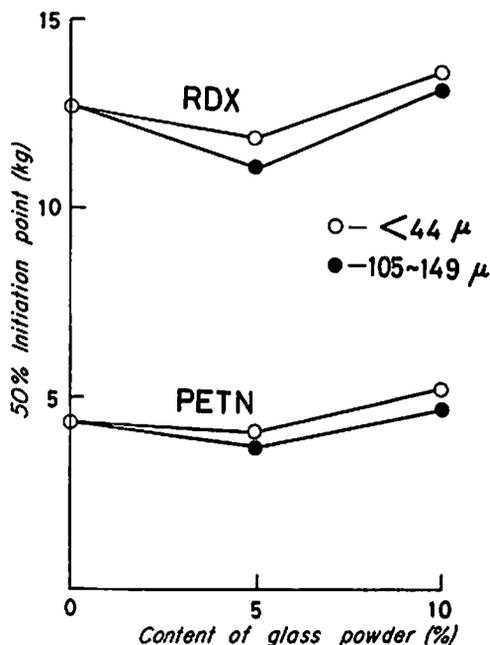


Fig. 7 Effect of glass powder added as grit on the friction sensitivity of PETN and RDX

供試 PETN および RDX の融点と5秒発火点の実測値は、それぞれ138.5°Cと220~225°Cおよび195.5°Cと260~265°Cであり、使用したガラス粉の融点を測定した結果、500°C以上であることが確認された。した

がって、このガラス粉を爆薬に混入すれば、摩擦エネルギーにより、試料を発火させるに必要なホットスポットの形成が容易になるはずである。

Fig. 7 に示した実験結果からは、PETN, RDX とともにガラス粉を5% 添加したときは未添加の場合よりわずかに鋭感になるが、10% 添加すると逆に感度が低下する現象がみられる。これは、ガラス粉を鋭感化に最適な量以上に添加すると、鋭感化作用よりも希釈効果の方がより強く現われるためと考えられる。

また、粒径が 44μ 以下のガラス粉より $105\sim 149\mu$ のガラス粉を混入した方がわずかに鋭感になっているのは、添加量が一定であるから、粒径が大きいと摩擦エネルギーが少数の接触点に集中して発火しやすくなるためと思われる。

本実験においては、グリットとしてのガラス粉の影響は、Bowden らの実験におけるほどははっきりと現われなかった。これは実験装置の相異にもよるが、特に摩擦部に Bowden らが鋼を使用したのに対して、BAM 式試験機では硬度がガラス粉に近似の磁器製品を使用しているため、ガラス粉の効果が強く現われないことが主因であろう。

4. 総括

(1) BAM 式試験機の構造上、荷重を連続的に変化させうることに着目して U-D 法を適用すれば、信頼性のある50%爆点の測定が可能であり、比較的少ない試行回数で爆薬の摩擦感度の厳密な比較判定ができる。

(2) U-D 法の結果から計算した 1/6 爆点は、BAM 法によるそれとよく一致する。

(3) 同一薬種であっても試料の条件によって感度表示値が明らかに変動する。特に含水率と粒度の影響が大きく、含水率を変化させた場合に RDX に最鋭感値

がみられること、および粒径 $44\sim 300\mu$ の間では、PETN, RDX とともに粒径の大きいものの方が鋭感であることが認められた。

さらに上記に基づき、本試験機による摩擦感度測定について考察すると次のようにいえる。

実用的試験法としては、概略の感度比較には 1/6 爆点法を適用すれば経済的であるが、厳密な感度判定には U-D 法を適用して50%爆点を求めるのが適切と思われる。また、試料の条件をより明確に規定すれば、火薬類の摩擦感度を一層精密に比較し得るであろう。

終りに、本研究に御援助下さった本校化学教室伊東威教授、佐藤純一講師、荻原豊講師ならびに研究科学生島津昌夫、田口勉、高山清の各氏に厚く御礼申し上げる。(工業火薬協会昭和47年度年会講演会発表)

文 献

- 1) F. P. Bowden, A. D. Yoffe, "The Initiation and Growth of Explosions in Liquids and Solids", Cambridge (1972)
- 2) H. Koenen, K. H. Ide, Explosivstoffe 3, 57, 89 (1955); 4, 1 (1956)
- 3) Princeton Univ. Statistical Research Group, P. B. 23709 (1944)
- 4) W. J. Dixon, A. M. Mood, J. A. S. A. 43, 109 (1948)
- 5) 岡崎一正, 工火協誌, 24, 308 (1963)
- 6) 伊藤功一, 安全工学, 11, 162 (1972)
- 7) 根元嘉信, 工火協誌, 24, 360 (1963)
- 8) I. Gutman, S. S. Wilks: 石井恵一・堀素夫共訳, "工科系のための統計概論" p. 158, 培風館 (1968)
- 9) 勝田武, 岡崎一正, 工業火薬協会昭和44年度年会講演要旨集 p. 25 (1969)

Friction Sensitivity of High Explosives Tested with the Friction Apparatus of BAM

by T. Ishizuka and K. Okazaki

The sensitivity to friction of PENT, RDX, HMX and No.5 Kuro Carilit was tested under defined conditions between rough porcelain surfaces in a large friction apparatus of BAM (Bundesanstalt für Materialprüfung).

Not only the standard BAM method but also the up and down method, which has been developed by Dixon and Mood, can be applied in conducting the test and

evaluating the results. The 50% initiation point and the standard deviation for these explosives were estimated reliably using the up and down method.

Another series of experiments was carried out to investigate the effects of moisture content, particle size, and grit particles on the friction sensitivity of PETN and RDX. The results obtained are given in Fig. 5, 6 and 7. These experiments demonstrate the pronounced effects of moisture content and particle size of explosives upon their friction sensitivity.

(The Defense Academy, Yokosuka,)

ニュース

oooooooooooooooooooo

ニトログリセリンを使わぬ高性能爆発物

スウェーデンのニトロノーベル社はニトログリセリンを全く使わない新しい高性能プラスチック爆発物レオミットと安全性の高い起爆装置を開発した。レオミットは長さ 200~600mm 直径 25mm 程度の薬包でカートリッジケースはプラスチックである。他の爆発物に比較して有毒ガスの量と濃度ははるかに低い。起爆装置はショックチューブシステムと呼ばれ、これは従来の電流の代りに高速の衝撃波を用いるので雷や外部からの電波によって誤爆が起らない。 日刊工業新聞 48. 2. 1 木村 真

けん銃探知器

従来空港に設置されていたけん銃探知器はあらゆる無害なものでもすべての金属に反応するものであった。これはこの種の探知器は地磁気の乱れを検出できる原理を応用したものであるため、物体の大きさによってけん銃だけを摘発することができなかった。この点新探知器はコンピュータと連動し、探知器が送る信号をコンピュータが判断をして正確に危険物が否かを判定する。メーカーは Westinghouse Electric Corp である。

Business Press より転載

日本工業新聞 48. 2. 14 木村 真

Hercules が EXCOA の製品を販売すること

Hercules Inc と Explosives Corp of America (EXCOA) とは Hercules が Alaska とプエルトリコにある EXCOA の産業用火薬製品を販売する事に同意したと発表した。

EXCOA は Astrolite と称する数種の新爆薬を開発した。

同社ではこの製品は二種の非火薬類を含み混合すると Class A 爆薬になるという点で独創的であるといっている。Hercules ではこの火薬体系の安全

性は取扱い、船積み、貯蔵、および使用の点で合衆国並びに州の法律にも合致していると報告している。

(Chemical Marketing Reporter 6-26-72 p. 3)

木村 真

Nobel-Bozel と PRB が子会社設立

Nobel-Bozel はある期間話し合った結果非軍事用火薬類の分野で、力を結集しようという見地から Pondrieres Reunies de Belgique (PRB) と合意に達した。それは二つの子会社を一つはフランスに、他の一つはベルギーに作ることである。この両会社の持株は Nobel-Bozel が 60% PRB が残り 40% となる。 (Chemie Actualites 6-8-72 p. 24)

木村 真

1970, 71年のフランスの火薬類生産量

1971年はフランスにおいては火薬類合理化と Ste Nationale des Poudres & Explosifs 設立の年であった。産業用火薬類の国内消費は僅かに低下した。1971年 L'Union の年間報告統計によれば製造量は次の通りである。

		1970年	1971年
ダイナマイト	(ト ン)	22,933	23,043
硝安爆薬	(")	13,996	13,503
圧縮黒色火薬	(")	115	78
液体酸素薬包	(単位 100万)	36	33
リモートコントロール雷管	(")	8	4
時限雷管	(")	15	14
マイクロ遅発雷管	(")	16	15
普通雷管	(")	24	18
マイナースフューズ	(km)	8,860	9,291
フレキシブルフューズ	(km)	34,651	39,303

(UIC-Rapport Annuel 1971 p. 41)

木村 真