

## カードギャップテストによる含水爆薬の衝撃圧起爆感度

松平重勝\*, 伊藤功一\*

含水爆薬の衝撃圧起爆感度に、その含水率、AI 粉の配合量、および薬温がいかに寄与するかをしらべるために、最も簡単な組成の硝安 (AN)-AI 系スラリー爆薬について、カードギャップテストを用いてしらべた。

その結果、含水率はその温度における AN の飽和溶液に相当するとき、AI 粉は 5~10% のとき、それぞれ最大の感度を与えることがわかった。また、含水爆薬の感度は一般に温度依存性が強いといわれているが、薬温は高いほど感度を良くすることもあらためて確認された。

## 1. 緒言

爆薬の感度は足田の提案によると<sup>1)</sup> 次の 2 種に分けられる。

第 1 種感度：火災、高温固体表面、火花放電、摩擦、落錘等による燃焼、または燃燃の起こり易さの尺度で、発火点、容器加熱、摩擦感度、落錘感度等の各試験法によって測定される。

第 2 種感度：爆轟に対する感度で、雷管のような極めて強い衝撃で直接に爆轟を起こす性能を見るもので、雷管起爆、殉爆等の各試験法によって測定される。

爆薬の製造から消費までの取扱い上において起こる事故の大部分はこの第 1 種感度の大きいことによるものであるとされている。また、消費においては雷管起爆感度や殉爆感度等の第 2 種感度は適当な大きさを持つことが望まれる。

現在、各地の発破現場で、従来のダイナマイト、カーリット等に代って使用されている各種の capsensitive な含水爆薬は、一般に第一種感度は低いといわれており、これらの含水爆薬の研究においては、いかにして適当な大きさの第 2 種感度を与え、低温下、加圧下、長期貯蔵後などにおいて、一定に維持させるかについての努力が行なわれて来たものと思われる。

この第 2 種感度の測定法の中に、先に述べた、雷管起爆試験や殉爆試験の他に、これらの様に、破片等の飛散粒子の影響を受けない、純粋な衝撃圧に対する感度のみを求める、カードギャップテストがある。このカードギャップテストの意義、および各種の実験例については、すでに目下部ら<sup>2)</sup>橋爪ら<sup>3)</sup>吉田ら<sup>4)</sup>によって

報告されている。

我々はこのカードギャップテストを用いて、含水爆薬の衝撃圧起爆感度におよぼす、含水率の効果、および AI 粉を鋭感剤に使用した時のその配分比の効果をしらべるために、AN-水-AI 粉よりなる最も簡単な組成の含水爆薬について、実験を行なった。また、含水爆薬の衝撃圧起爆感度は一般に、温度依存性が強いといわれているので、その事についても調べた。

## 2. 衝撃圧減衰特性

我々は、donor に薬径 20mmφ、薬量 20g の、50 : 50 pentolite を用いたが、この場合のメタクリル樹脂板中での衝撃圧減衰特性は、文献に見あたらなかったため、吉田ら<sup>4)</sup>によって行なわれたものと同様の方法を用いて、衝撃圧減衰特性を求めた。

## 2.1 実験方法

メタクリル樹脂板中の衝撃波通過時間測定法の概略図を Fig. 1 に示す。図中の donor は、VP-20 (JIS K 6741、内径 20mmφ、肉厚 3mm) に 50 : 50pentolite

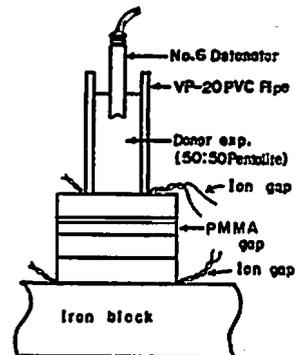


Fig. 1 Schematic of electrical method for measuring shock passing time.

昭和54年2月8日 受理

\*日本カーリット(株)保土ヶ谷工場  
〒240 横浜市保土ヶ谷区弘向町1625

(比重 1.60) を 20g 溶填したもので、上部に雷管挿入孔(直径 7mm, 深さ 10mm)を設けてある。全業長は 41mm, 雷管底部から donor 底部までの長さは 31mm である。ギャップ材は、ポリメチルメタクリレート (PMMA) 板 (商品名: スミベックス, 住友化学工業製) で、厚さ 10mm, 5mm, 2mm の 3 種類を 50mm 角に切り、必要枚数を組合せて使用した。

衝撃波通過時間の測定は、Fig.1 に示すように、donor とギャップ材の間、およびギャップ材と鉄ブロックの間に、0.1mmφ のエナメル縫い線を挿入し、エナメル縫い線—パルス発生器—ユニバーサルカウンタ—(岩崎通信機 UC-8151) の組合せによる、通常のイオンギャップによる爆速測定と同じ方法を用いて測定した。

## 2.2 実験結果

2.1の方法により、実測した衝撃波通過時間 ( $t$ ) とギャップ長 ( $l$ ) の関係を  $t = \alpha + \beta l + \gamma l^2$  の放物線式に近似可能として、 $\alpha, \beta, \gamma$  を求めると(1)式が得られる。

$$t = 0.3377 + 0.1988l + 0.002100l^2 \quad (1)$$

$$t: \mu \text{ sec}, l: \text{ mm}$$

さらにこの(1)式から、距離を時間で微分して衝撃波速度  $U_s$  を求めた。

$$U_s = \frac{dl}{dt} = \frac{1}{0.1988 + 0.004200l} \quad (2)$$

ここで PMMA 板中を通過する衝撃波を一次元に近似と仮定して、PMMA 板中の一次元衝撃波特性式(3)を適用し、

$$\left. \begin{aligned} U_s &= 2.56 + 1.69U_p & U_s > 3.4 \\ U_s &= 2.95 + 0.85U_p & 3.47U_s > 3.1 \\ U_s &: \text{衝撃波速度 (km/sec)} \\ U_p &: \text{粒子速度 (km/sec)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

さらに、一次元衝撃波保存式(4)を用いて(2)式を処理すると、

$$\left. \begin{aligned} P &= \rho_0 \cdot U_s \cdot U_p \\ \rho_0 &: \text{PMMA 板の密度} = 1.185 \text{ g/cm}^3 \\ P &: \text{衝撃波圧力 (kbar)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

衝撃波圧力  $P$  とギャップ長  $l$  の関係式(5)が得られた。

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{3.443 - 0.0754l}{(0.1988 + 0.004200l)^2} & l < 22.7 \\ P &= \frac{5.765 - 0.1727l}{(0.1988 + 0.004200l)^2} & 22.7 < l < 29.5 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

この結果を Fig.2 に示す。なお Fig.2 には比較のため、やはり donor に 50:50 の pentolite を使用した吉田ら<sup>4)</sup>によるものも併記した。この文献では薬径 30mmφ の donor を使用しており、これに比し、今回の我々の実験に供した薬径 20mmφ のものはギャップ長が長くなるにつれて、著しい衝撃圧の減衰を示して

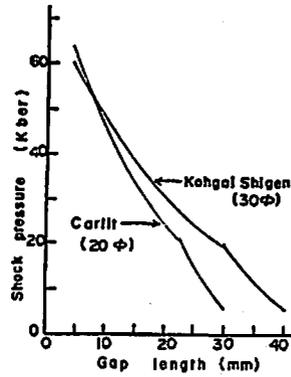


Fig. 2 Shock pressure vs gap length.

いる。

## 3. 含水爆薬の衝撃圧起爆感度

### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 カードギャップテスト法

Fig.3 に、カードギャップテスト法の概略図を示す。donor およびギャップ材は、衝撃波通過時間の測定に使用したのと同じものを使用した。acceptor は、donor と同じ VP-20 の塩ビパイプで、長さが 50mm のものに、それぞれ必要な爆薬を填装して使用した。acceptor の爆否の判定は、厚さ約 2mm の鉄板で、100×100(mm) の正方形の板を、acceptor の下に置き、その変形の具合を見ることによって行なった。限界ギャップ長は、acceptor が 2/3 以上の爆発率を示す、最大の長さとした。

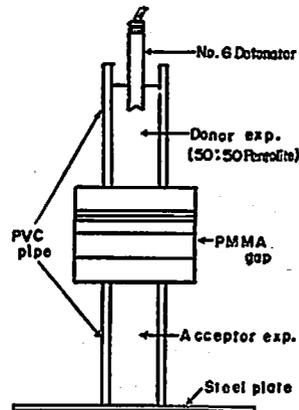


Fig. 3 Schematic arrangement in card gap test.

#### 3.1.2 試料用含水爆薬の調整

試料の含水爆薬は、AN, 水, Al 粉および少量のグアム (Gum), エチレングリコール (EG) からなる、最も簡単な組成である。このうち、鈍感剤、および燃料として用いられる Al 粉は、東洋アルミ製製の PO 100 を使用した。そしてその配合は、

Table.1 Explosives composition and effect of water content on it characteristics.

Composition (%)				Crystallization point (°C)	Density (g/ml)	*Critical gap length (mm)	**Detonation Velocity (m/sec)
Water	AN	Al	EG+Gum (2:1)				
0	82	18	—	—	0.58~0.67	40	—
10	73.91	15.70	0.39	85	1.29	25	—
20	65.83	13.40	0.77	49	1.24	40	3420
25	61.79	12.45	0.96	33.5	1.03	44	—
30	57.74	11.09	1.15	20.5	1.06	47	3720
35	53.71	9.94	1.35	10	1.08	49	—
40	49.68	8.72	1.53	1.0	1.06	42	3420

\* Temperature of explosive=20~23°C

\*\* Initiated by No.6 electric detonator in VP-20 pipe

Table.2 Explosives composition and effect of Al powder content on it characteristics.

Composition (%)				Oxygen Balance (mole/kg)	Density (g/ml)	*Critical gap length (mm)	**Detonation Velocity (m/sec)
Al	Water	AN	EG+Gum (2:1)				
1.5	33.8	63.2	1.50	3.211	1.27	—	—
3.0	33.3	62.2		2.464	1.18	47	2890
5.0	32.6	60.9		1.106	1.11	59	—
8.0	31.9	58.6		0.911	1.01	60	3860
10.0	30.3	57.7		0.237	1.00	60	—
12.0	29.6	56.7		-0.369	0.98	57	—
16.0	28.2	54.3		-1.644	0.95	50	—
20.0	27.3	51.2		-2.949	0.90	40	3320
30.0	23.8	44.7		-6.135	0.70	35	—

\*, \*\* Refer to Table.1

(1) ANとAl粉の比を一定(酸素バランスを0付近に設定)にして、水の量を変えたもの (Table. 1)

(2) 水とANの比を一定(ANの晶出温度を一定)にして、Al粉の量を変えたもの (Table.2)

の2系列とした。

なお、Table.1に示されている水が0%の場合、ANは背カーリットなどに使用されている、乾燥、粉碎したものを使用した。

### 3.1.3 実験条件

実験はいずれも、試料製造1日後に行なった。実験

時の薬温は20~23°Cである。また、一つの配合のものについて、限界ギャップ長におよぼす、薬温の影響を調べた。

### 3.1.4 爆速の測定

水の配合比を変化させたもの、およびAlの配合比を変化させたもののうち、それぞれ代表的な限界ギャップ長を示したものについて、爆速を測定した。(Table.1, Table.2)その方法は、試料を長さ200mmのVP-20塩ビパイプに填薬し、雷管で起爆して、イオンギャップ法で測定した。この時の薬温は、いずれも20~23°Cである。

### 3.2 実験結果

#### 3.2.1 水の配合比の効果

AN と Al の比を一定にして、水の量を変えた場合の結果を、Table. 1, Fig. 4 に示す。これらによると、水の量が30~35%のものが、最も感度が高く、また、水が20%以上から今回実験を行なった範囲内の40%までのものは、水を全く含まないものより高い感度を示した。また、爆速値は、水が30%の場合に、差はわずかではあるが最も高い値を示した。

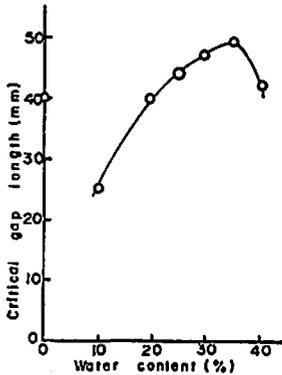


Fig. 4 The effect of water content for critical gap length.

#### 3.2.2 Al の配合比の効果

AN と水の比を一定にして、Al の量を変えた場合の結果を、Table. 2, Fig. 5 に示す。これらによると、限界ギャップ長は、Al が3~5% で急激に増加しており、5~10%では、ほぼ一定で最高の感度を示しており、それ以上の Al 量では、漸減している。また、Al が1.5%のものは、donor を直接接触させても、起爆できなかった。爆速値は、限界ギャップ長の最も長い、Al 粉の配合比8%のものが、最も高い値を示した。

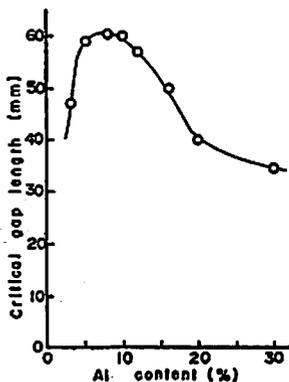


Fig. 5 The effect of Al content for critical gap length.

#### 3.2.3 薬温の影響

一つの組成のものについて、薬温を変えた場合の結果を Table. 3, Fig. 6 に示す。

Table. 3 Relation between temperature and critical gap length.

Temperature of explosives (°C)	-7~-5	8~10	15~17	40~42
Critical gap length (mm)	29	39	52	65

composition : AN 62.8, Water 25, Al 8, EG 3.7, Gum 0.5(wt.%) Density 1.03, at 20°C, O. B. 0.021 mole/kg, Crys. P. 34°C

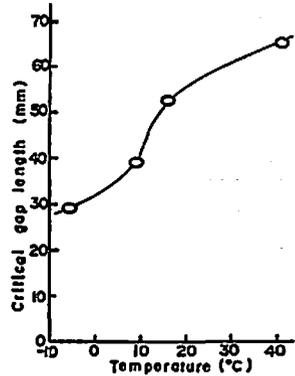


Fig. 6 Relation between temperature and critical gap length.

これらによると、この含水爆薬の限界ギャップ長は、-5~+40°Cの間では、36mmも変化しており、また、一般に常温として取扱われている範囲内の10~15°Cの間でも、13mmもの差が見られた。

### 4. 考察

含水率と限界ギャップ長との関係では、水が30~35%のものが最も高い感度を示したが、この場合、薬温が20~23°Cでは、水が30%のものは、AN水溶液が飽和の状態にあり、この結果に何らかの関係があるものと思われる。また、爆速は、水が30%のものが最も高い値を示したが、この実験によるものとはほぼ同じ結果は、伊藤ら<sup>3)</sup>によっても示されている。

Al粉の配合比と限界ギャップ長との関係では、Al粉をわずか5%加えただけで、最高の感度に達した。この事により、このAl粉の鋭感剤としての優秀さがうかがえるとともに、含水爆薬を鋭感化するために使用したAl粉の量的な特性がよく示されているものと思われる。

さて、以上のように、AN-Al系含水爆薬の御野庄

起爆感度に影響をおよぼす要因として、含水率、Al 粉配合比、および薬温をとりあげて、その関係を究明したが、これらの要因のほかに、酸素バランス、および爆薬の比重等、いくつか考えられるが、今後、それらについて、検討を加える必要があるであろう。また、含水爆薬の衝撃圧起爆感度は、かなり薬温の影響を受けることが示された。このことにより、含水爆薬について、カードギャップテストを行なう場合は、薬温は重要な実験条件の一つになるものと思われる。

今回我々は、donor, acceptor とも薬径 20mmφ の規模で実験を行なったが、donor の PMMA 板中での衝撃圧波衰減特性を求めた結果、29.5mm 以上の限界ギャップ長を示すものについては、衝撃圧力値による感度の評価ができないことがわかった。しかし、我々が試料とした含水爆薬は、いずれも感度が高く、ほとんどがこの長さ以上の限界ギャップ長を示したため、やむなく、限界ギャップ長のみによって、結果の評価を行なった。

#### 5. 結論

カードギャップテストを用いて、AN-Al 系の最も簡単な組成の含水爆薬について、その含水率、および Al 粉の配合比と、衝撃圧起爆感度の関係を調べた。その結果、含水率は、その温度における飽和溶液に相

当する時、また、Al 粉の配合比は、5~10%の時、それぞれ最も高い感度を示した。また、一般に温度依存性が高いと言われている含水爆薬の衝撃圧起爆感度と薬温の関係を調べた結果、薬温が高くなるに従い、感度が高くなることが、あらためて確認された。そして、本実験に使用した、カードギャップテストは極めて再現性の良い結果が得られる方法であり、今後、含水爆薬の酸化剤水溶液の配合、あるいは鋭感剤の効果を調べる研究に、有力な手段の一つになりうるものであることがわかった。

本研究に際し、実験に協力していただいた、熊正昭氏に深く感謝の意を表する。

(本研究は昭和53年度工業火薬協会春季研究発表会で発表したものである。)

#### 文 献

- 1) 疋田強：工業火薬協会誌, 36, 188 (1976)
- 2) 飯田稔, 藤原修三, 日下部正夫：工業火薬協会誌, 33, 291 (1972)
- 3) 橋爪着, 佐々木信彦：工業火薬協会誌, 36, 34 (1975)
- 4) 松本栄, 田中雅夫, 吉田正：工業火薬協会誌, 32, 18 (1971)
- 5) 伊藤功一, 酒井洋：工業火薬協会誌, 32, 18(1971)

---

## The shock sensitivity of slurry explosives by card gap test

by S. Matsudaira\* and K. Itoh\*

We studied the shock sensitivity of slurry explosives which were simply formulated Al powder, AN and water, by the method of card gap test.

As regards the effects of water content, Al powder content and temperature of explosives, the following results were obtained.

Slurry explosive has the highest sensitivity, when AN solution was saturated and Al powder content was 5 through 10%.

Moreover, it became apparent that the sensitivity of slurry explosive was largely dependent on temperature, as well known.

(\*The Japan Carlit Co., Ltd. Hodogaya Factory, 1625 Bukko-cho Hodogaya-ku Yokohama, 240)