

産業爆薬のカードギャップテスト

松本 栄, 田中雅夫, 吉田 正*

現在, わが国において爆薬の衝撃波感度試験の一方法として研究されつつあるカードギャップテストにおける励爆薬として産業爆薬をとりあげ, その適用性について検討するため基礎実験を行なった。

その結果, 産業爆薬を励爆薬としたカードギャップテスト法は実用的簡易な感度試験法として適用可能なことを確認した。

1. 緒言

従来, わが国では爆薬の衝撃波感度試験法としては一般に JIS, K-A 810 による 砂上殉爆試験法が用いられているが, 最近欧米諸国で実用化されているカードギャップテストと呼ばれる新しい感度試験について研究が進められつつあり, 幾つかの報文¹⁾²⁾も出されている。これらは主として励爆薬に圧縮テトリールまたは, 鋳造ペントライト等のような高爆速を有する特殊な爆薬が用いられているため一般消費者側での感度試験としてはこれら爆薬の入手が容易でないため現場的でないと考えられる。よって, 筆者等は爆薬消費者側が現場で行なえる試験方法として産業爆薬を励爆薬とする, 同一薬種によるカードギャップテスト³⁾⁴⁾を検討するため基礎実験を行なった。

励爆薬には鋳造ペントライトの他に産業爆薬として 5号黒カーリット, あかつき爆薬および含水爆薬を用い, これら各種爆薬についてギャップ材として用いたアクリル樹脂板内における衝撃波減衰特性をギャップ材内を通過する衝撃波の速度から求める方法¹⁾により算出した。

受爆薬としては上述の産業爆薬を使用し, その爆発限界ギャップ長および爆発限界衝撃波圧力を求め, 各供試爆薬について比較検討した。

2. 衝撃波圧力較正曲線

励爆薬の爆轟によって生ずる衝撃波がギャップ材を介して受爆薬に入射し起爆させるに必要な衝撃波圧力を求めるために, 各励爆薬のアクリル樹脂板内における衝撃波減衰特性を求める必要がある。

2.1 衝撃波のアクリル樹脂板内通過時間測定

アクリル樹脂板中の衝撃波減衰特性は衝撃波通過時間を測定することにより, その速度から求めることができる。

その通過時間測定方法は Fig. 1 に図示するように鉄ブロック (300×250×50mm) 上にギャップ材としてのアクリル樹脂板 (住友化学製, スミベックス) 厚さ 5mm と 10mm のものを 40mm 角とし適当枚数重ね合せ, その上下端面に径 0.3mm のエナメル線 2本をより合せ電氣的に絶縁状態にした, いわゆるイオン探針を接着して設置し, その上に励爆薬をセットして 6号電気雷管で起爆させる。

この励爆薬の爆轟によりアクリル樹脂板上端面すなわち, 励爆薬下端に接するイオン探針は爆薬のイオン化により, また, アクリル樹脂板下端のイオン探針は伝播してきた衝撃波による圧縮でエナメル線の絶縁破壊がおこり, それぞれの回路に電流が流れる。その上下のイオン探針の通電時間差をパルス発生回路を通じてユニバーサル・カウンタ (タケダ理研, TR-5578)

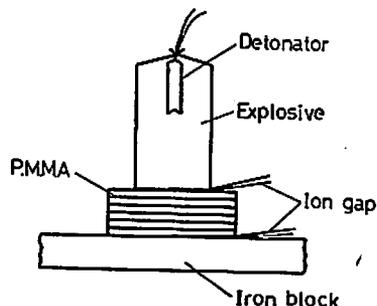


Fig. 1 Schematic of electrical method for measuring shock passing time

昭和51年6月1日受理
* 公害資源研究所, 資源部4部
東京都北区浮間4-26-10

で測定した。

励爆薬としては鋳造ペントライト (50:50, 薬量, 33g, 薬径 30mm, 高さ 30mm, 雷管挿入孔 6mmφ, 深さ 15mm) と産業爆薬として5号黒カーリット, あかつき爆薬および含水爆薬 (Cap sensitive slurry) をそれぞれ薬量 100g, 薬径 30mm で薬包包装の状態 (Unconfined state) で使用した。なお, 実験時の

$$\left. \begin{array}{l} \text{ペントライト} \quad t = -0.0926 + 0.209 \cdot l + 0.001456 \cdot l^2 \\ \text{含水爆薬} \quad t = 0.1826 + 0.2534 \cdot l + 0.00108 \cdot l^2 \\ \text{5号黒カーリット} \quad t = 0.2223 + 0.2645 \cdot l + 0.000915 \cdot l^2 \\ \text{あかつき爆薬} \quad t = 0.16 + 0.2712 \cdot l + 0.000862 \cdot l^2 \end{array} \right\} (1)$$

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

この(1)式から各供試爆薬について, $t-l$ の関係をプロットしたのがFig. 2である。

ギャップ上端面からの距離 l 点における瞬間衝撃波

$$\left. \begin{array}{l} \text{ペントライト} \quad U_s = dl/dt = \frac{1}{0.209 + 0.002912 \cdot l} \\ \text{含水爆薬} \quad U_s = dl/dt = \frac{1}{0.2534 + 0.00216 \cdot l} \\ \text{5号黒カーリット} \quad U_s = dl/dt = \frac{1}{0.2645 + 0.00182 \cdot l} \\ \text{あかつき爆薬} \quad U_s = dl/dt = \frac{1}{0.2712 + 0.00172 \cdot l} \end{array} \right\} (2)$$

U_s : 衝撃波速度 (km/sec) l : mm

(2)式をプロットしたのが Fig. 3 である。

次にギャップ材の亚克力樹脂板中を通過する衝撃波を一次元に近似と仮定すれば, 亚克力樹脂の一次元衝撃波特性式(3)式が適用できる。

爆薬は全て常温で使用した。

2.2 衝撃波圧力較正曲線算出方法¹⁾

衝撃波が亚克力樹脂ギャップ (l) を通過するのに要した時間 (t) の実測値から $t-l$ の関係を $t = \alpha + \beta l + \gamma l^2$ の放物線式で最小二乗法を用いて $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ を求めると(1)式が得られる。

速度 (U_s) は(1)式から距離を時間で微分し, $dl/dt = U_s$ とおくと(2)式が得られる。

$$\left. \begin{array}{l} U_s = 2.56 + 1.69 U_p \quad U_s > 3.4 \\ U_s = 2.59 + 0.85 U_p \quad 3.4 > U_s > 3.1 \\ U_s : \text{衝撃波速度 (km/sec)} \\ U_p : \text{粒子速度 (km/sec)} \end{array} \right\} (3)$$

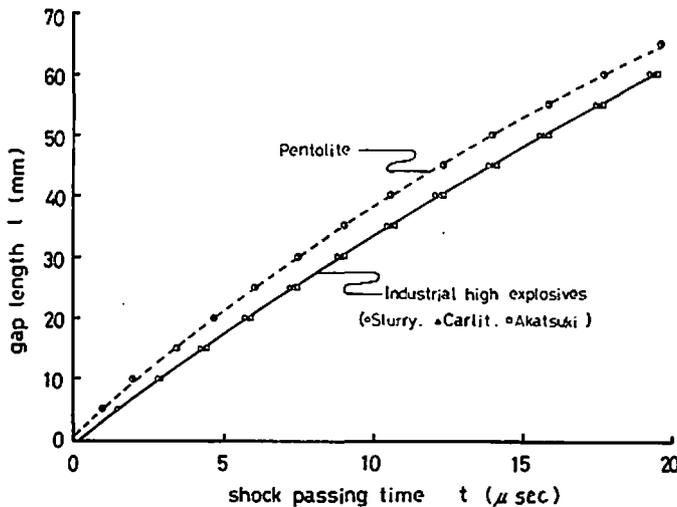


Fig. 2 Relation between gap length and shock passing time in the detonation of various explosives.

この(2), (3)式と、一次元衝撃波の運動量保存式
(4)式を用いて、衝撃波圧力; p (kbar) とギャップ
長・ l (mm) の関係式(5)式を求める。

$$P = \rho_0 U_s U_p$$

ρ_0 : アクリル樹脂の密度 = 1.185 g/cm³ (4)
 P = 衝撃波圧力 (kbar)

ペントライト	$P = \frac{3.262 - 0.0523 \cdot l}{(0.209 + 0.00291 \cdot l)^2}$	$l < 29.2$	(5)
	$P = \frac{5.345 - 0.1198 \cdot l}{(0.209 + 0.00291 \cdot l)^2}$	$29.2 < l < 39.1$	
含水爆薬	$P = \frac{2.464 - 0.0389 \cdot l}{(0.2534 + 0.00216 \cdot l)^2}$	$l < 18.8$	
	$P = \frac{3.519 - 0.0888 \cdot l}{(0.2534 + 0.00216 \cdot l)^2}$	$18.8 < l < 32.0$	
5号黒カーリット	$P = \frac{2.264 - 0.0328 \cdot l}{(0.2645 + 0.00183 \cdot l)^2}$	$l < 16.2$	
	$P = \frac{3.062 - 0.0753 \cdot l}{(0.2645 + 0.00183 \cdot l)^2}$	$16.2 < l < 31.7$	
あかつき爆薬	$P = \frac{2.145 - 0.0309 \cdot l}{(0.2712 + 0.00172 \cdot l)^2}$	$l < 13.3$	
	$P = \frac{2.787 - 0.0709 \cdot l}{(0.2712 + 0.00172 \cdot l)^2}$	$13.3 < l < 29.8$	

この(5)式から、各供試爆薬の衝撃波圧力とギャップ長の関係をプロットしたのが Fig. 4 である。

Fig. 3 および Fig. 4 に示す結果から、鋳造ペントライトと産業爆薬を比較する場合、その間には衝撃波速度および衝撃波圧力ともに差が認められるが、これは高爆速と高い爆轟圧を有する特殊爆薬と一般産業爆薬の差から見て妥当な結果と考えられる。

この Fig. 4 または(5)式により後述するカードギャップテストにおいて求める受爆薬の爆発限界ギャップ長から、その受爆薬に入射する衝撃波圧力を求めるこ

とができる。

3. カードギャップテスト

産業爆薬の励爆薬としての適用性の可否と前節で求めた各励爆薬の衝撃波圧力校正曲線の信頼性を確かめ

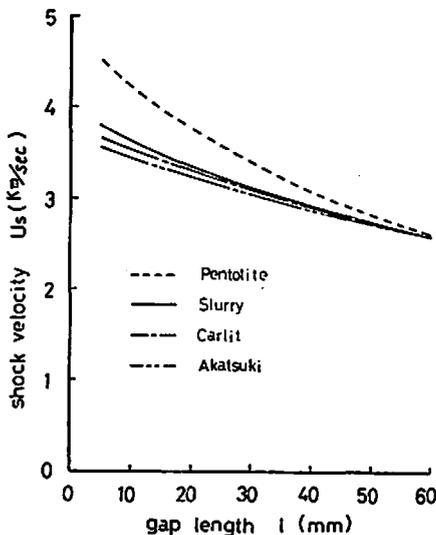


Fig. 3 Relations between shock velocity and gap length

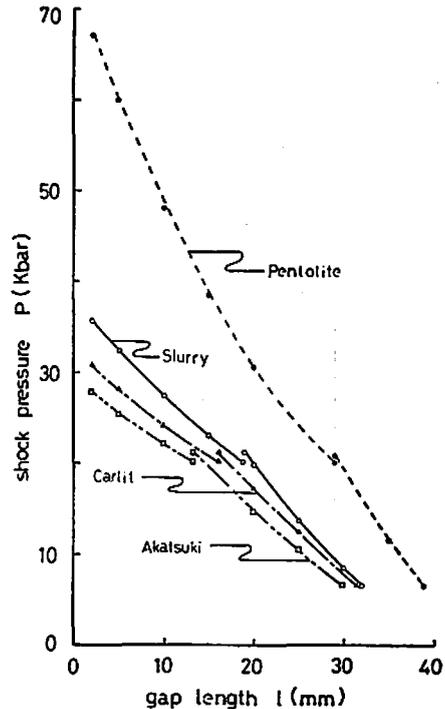


Fig. 4 Relations between shock pressure and gap length

るために次の方法でカードギャップテストを行なった。

3.1 実験方法

Fig. 5 に実験方法の概略図を示す。

この実験に用いた励爆薬およびアクリル樹脂板は前節の衝撃波通過時間測定に用いたものと同一規格のものである。受爆薬としては5号黒カーリット、あかつき爆薬および含水爆薬 (Cap sensitive slurry) をそれぞれ、薬径 30mm, 薬量 50g で、励爆薬と同様に薬包紙包装状態 (Unconfined state) で使用した。受爆薬の爆否判定には鉛ブロック (70mm□×40mm) に

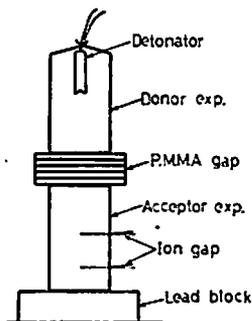


Fig. 5 Schematic arrangement in Card gap test

よる爆真で判定する方法と受爆薬の爆速測定を併用した。この爆速測定はイオン探針法を用い、受爆薬の上端面、すなわちギャップ材との接触面より 3cm の点に起点をとり測定間隔を 2cm として、その間の平均爆速をユニバーサル・カウンタで測定した。

受爆薬の爆発限界ギャップ長は Up-down 方式にてギャップ長を増減して、受爆薬の爆発率が 2/3 以上

の点を取り、受爆薬の限界ギャップ長とした。

3.2 実験結果

Table. 1 に各励爆薬による各種受爆薬の爆発限界ギャップ長と、その限界ギャップ長より Fig. 4 または (5) 式から求めた爆発限界衝撃波圧力を示し、また、受爆薬の装填密度および限界ギャップ長近傍における爆速測定結果を併記した。なお、表中に示す各受爆薬の定常爆速とは薬径 30mm, 薬量 100g の爆薬包を Unconfine の状態で常温にて 6 号電気雷管で起爆し、イオン探針法によりユニバーサル・カウンタで測定したもので、その測定位置を雷管管底より約 4cm の点を起点とした、4cm または 5cm 間隔の平均爆速である。

この定常爆速と限界ギャップ長における爆速を対比すると定常爆速が各爆薬とも多少高い値を示すが、その差からみて限界ギャップ長における爆速も実験誤差を考慮すれば定常爆速に至っているとみてさしつかえないと思われる。

Table. 1 の実験結果から、励爆薬としての 鑄造ペンタライトと産業爆薬を比較した場合、受爆薬の爆発限界ギャップ長では 10mm 以上の差を示し、これを限界衝撃波圧力で表わすと、その差は最大値で 2.9 kbar, 最小値で 1.7kbar である。また、これを産業爆薬間で比較すると、限界ギャップ長では殆んど同じ値を示し、限界衝撃波圧力でもその差は最大値で 1.2 kbar である。

次に供試受爆薬の衝撃波感度を比較すると、5 号黒カーリットと、あかつき爆薬では限界ギャップ長および限界衝撃波圧力ともにその差は殆んど認められないが、含水爆薬は限界ギャップ長で 10mm 以上の差があり、限界衝撃波圧力でも Fig. 4 の校正曲線の最小

Table. 1 Critical initiation values of acceptors by detonation of various donors.

Donor exp.	Acceptor exp.	Density (g/cm ³)	Critical gap length (mm)	Critical shock Pressure (Kbar)	Detonation velocity at critical gap length (m/sec)	Sterdy state detonation velocity (m/s)
Pentolite	No.5 Kuro Carlit	1.10	37.4	8.6	3,400	3,700
	Akatsuki exp.	1.01	37.4	8.6	3,400~3,500	3,700
	Slurry exp.	1.17	50.0	<6.5	3,500~3,700	3,900~4,000
No.5 Kuro Carlit	No.5 Kuro Carlit	1.10	27.0	10.4	3,400	3,700
	Akatsuki exp.	1.01	27.0	10.4	3,400~3,500	3,700
	Slurry exp.	1.17	40.0	<6.5	3,500	3,900~4,000
Akatsuki exp.	No.5 Kuro Carlit	1.10	25.0	10.3	3,400~3,500	3,700
	Akatsuki exp.	1.01	25.0	10.3	3,400	3,700
Slurry exp.	No., Kuro Carlit	1.10	27.0	11.5	3,500	3,700
	Slurry exp.	1.17	38.4	<6.5	3,400~3,700	3,900~4,000

値以下と非常に低い値を示している。

この実験における受爆薬の爆否判定には前述したように鉛ブロックとイオン探針法による爆速測定を併用して行なったが、受爆薬が完爆した場合には鉛ブロック上に直径約 50~60mm、深さ約 10~20mm のクレーターができ爆速も測定できるが、不爆の場合は鉛ブロックは変形せず多くの場合、その上面に残薬ができ当然爆速も測定不能である。なお、5号黒カーリットにおいてのみ限界ギャップ長近くでは鉛ブロック上に黒色のもえかすが残る場合が多くみられる。これは明らかに燃焼であるが、鉛ブロック上面にクレーターは認められず爆速も測定不能であり、その判定は不爆とした。

4. カードギャップテストの瞬間 X 線写真観察

カードギャップテストにおける受爆薬の爆発限界ギャップ長近傍でのギャップ材を通しての衝撃波の受爆薬への入射による爆轟および不爆状況ならびに励爆薬爆轟の衝撃圧によるギャップ材の破壊状況等を瞬間 X 線写真法で撮影し観察した。

4.1 実験方法

X 線写真撮影のためのカードギャップテストの様式および供試爆薬、ギャップ材等は殆ど前節の実験方法と同様であるが、受爆薬の爆否判定には鉛ブロックは用いずイオン探針法による爆速測定のみで行なった。

また、5号黒カーリットを励爆薬とした場合、薬量は 50g と 100g で行なった。

4.2 実験装置および実験諸元³⁾

a) 瞬間 X 線発生装置; Field Emission 社製, FEXITRON 730 (~300KV, 2素子, パルス幅 100 nanosec)

b) フィルム; Kodak 社 R.P.Royal X-Omat Du Pont 社増感スクリーン併用

c) 露光方式; 主として二重露光方式を使用

d) 同期方法; 撮影同期方法はイオン探針方式を用い、そのトリガー用イオン探針をギャップ材の上端面と励爆薬底部の間隙に挿入してあるため、励爆薬が 6号雷管により起爆し、その爆轟が爆薬底部に達した時点で同期する。したがって、後述の Fig. 6, 7 に示す delay はこの同期後の遅れ時間を言う。

4.3 写真観察

Fig. 6, Fig. 7 に X 線写真撮影結果の一例を示す。

Fig. 6 は励爆薬に含水爆薬 100g, 受爆薬に含水爆薬 50g を使用したカードギャップテストの撮影結果である。この場合の爆発限界ギャップ長は Table. 1 に示すように 38.4mm であるから、そのギャップ長を 36mm と 45mm にとり、トリガー作動後の遅れ時間をそれぞれ 20 μ s, 25 μ s, 35 μ s として受爆薬の完爆および不爆の状況を撮影したものである。

Fig. 7 は励爆薬と受爆薬に 5号黒カーリットをそれ

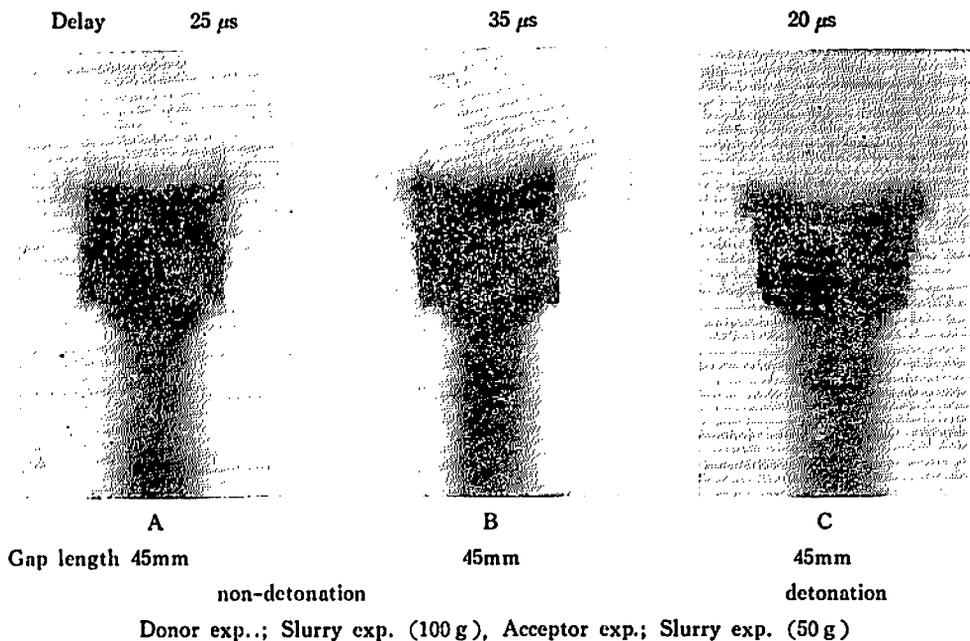
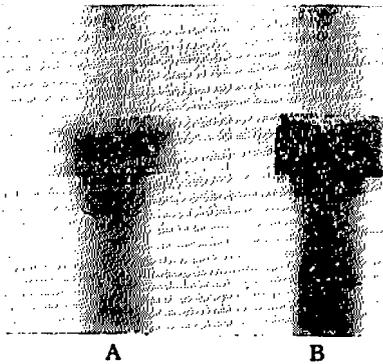


Fig. 6 Transmission of detonation to the acceptor in the Card gap test by slurry explosives.

Delay; 25 μ s Gap length 24mm.



A B
non-detonation detonation
Donar and acceptor: Carlit (50g)

Fig. 7 Transmission of detonation to the acceptor in the card gap test by No. 5 kuro Carlit.

それ 50g 使用し、その限界ギャップ長* における受爆薬の爆轟進展状況を視察するため、トリガー作動後の遅れ時間を 25 μ s にて撮影したものである。

これらの写真から次のことが認められた。

1) Fig. 6 においてギャップ長 45mm の場合、写真 A では遅れ時間が 25 μ s で衝撃波が受爆薬中に入射しているが、写真 B で遅れ時間が 35 μ s でもその衝撃波の進展は少なく、受爆薬が爆轟するに至っていない状況が観察される。一方、写真 C はギャップ材中の衝撃波の通過時間を考慮して撮影遅れ時間を早め、20 μ s で撮影したものであるが、その爆轟波面が明らかに進展し爆轟に至っている状況が観察される。

2) Fig. 7 においては写真 A, B ともギャップ長、遅れ時間も同じであるが、写真 B は A に対して、受爆薬中の爆轟波面が進展しており爆轟に至っている状況が観察される。

5. 考察

カードギャップテストの励爆薬として 4 種類の爆薬について、その衝撃波圧力校正曲線を求めてカードギャップテストを行なった結果、今回使用した 3 種類の産業爆薬すなわち 定常爆速が 3,700 m/sec 以上のもので、薬量、100g で使用した場合には衝撃波圧力校正曲線を求める計算式が適用できた。

* この場合の限界ギャップ長は励爆薬の薬量が 50g であるため Table. 1 に示す値とは異なる。

この衝撃波圧力校正曲線について産業爆薬間で比較した場合、それぞれに若干の差は認められるが殆んど似た傾向にある。したがって、これらを励爆薬としたカードギャップテストにおいて受爆薬が同一の場合には限界ギャップ長および限界衝撃波圧力とも殆んど同じ値を示している。産業爆薬と鋳造ペントライトを比較した場合、衝撃波圧力校正曲線では明らかに相違があり、また、カードギャップテストにおいても各受爆薬の爆発限界ギャップ長で 10mm 以上の差がある。これを限界衝撃波圧力で表わすと、その差は 1.7~2.9 kbar となる。理想的には励爆薬の薬種の違いにより限界衝撃波圧力に差が出ないはずであるが、実験誤差ならびに受爆薬の感度のバラツキ等を考慮するならば妥当な結果と考えられる。

本実験における限界ギャップ長の求め方は前述したように受爆薬の爆発率 2/3 以上の点をギャップ長 5mm の増減で求めたが、これを一般に行なわれているように限界ギャップ長を 10mm の範囲で表わす方法¹⁰⁾をとるならば上記の限界衝撃波圧力での差は無視出来るものと考えられる。すなわち、Fig. 4 の衝撃波圧力校正曲線からも明らかのように、ペントライトの校正曲線でギャップ長 10mm の差は約 15kbar であり、産業爆薬においても、その差は約 10kbar である。

以上の点から、産業爆薬の衝撃波圧力校正曲線の正当性を立証するものと考えられる。

6. 結論

3 種類の産業爆薬と鋳造ペントライトについてギャップ材中の衝撃波通過速度から衝撃波減衰特性を求め各爆薬の限界ギャップ長および限界衝撃波圧力を比較検討した結果、産業爆薬を励爆薬としたカードギャップテスト法は実用的簡易な感度試験法として適用可能なことを認めた。

文 献

- 1) 飯田、藤原、日下部、工業火薬協会誌、33、291 (1972)
- 2) 橋爪、佐々木、工業火薬協会誌、36、34 (1972)
- 3) E. Eitz, Explosivstoffe, Nr 5/6 S.69 (1971)
- 4) W. L. Murray, Explosivstoffe, Nr. 5/6 S.116 (1972)
- 4) 松本、田中、吉田、工業火薬協会誌、35、284 (1974)

Study of card gap test for industrial explosives.

by S. Matsumoto, M. Tanaka, and T. Yoshida.

In the card gap test, cast pentlite or pressed tetryl is used as a donor usually, but it is difficult to use such a donor explosives at working places in mines or civil engineering works because these are of special explosives.

For the sensitivity test of popular industrial explosives, the modified card gap tests have been treated with both a donor and an acceptor in same explosives ingredient.

1) Since the minimum initiation pressure for the testing (acceptor) explosive is constant as shown in Table.1, the popular explosives cartridge can be used as a donor in this test practically.

2) By the flash radiographic method, the transmission of detonation to the acceptor in the card gap test was observed as shown in Fig.6, and 7.

It is recognized that this modified card gap test using popular explosives as a donor can be applied as the practical sensitivity test in working places.

(National Research Institute for Pollution and Resources, Ukima, Kita-ku, Tokyo, Japan)

ニュース

CIL 社のブリル塔の完成

Canadian Industries Limited の硝安工場が建設中であるが、高さ 203 フィートのブリル塔が近く完成される。

この塔は低比重のブリ硝安を製造する、硝安爆薬製造の工程である。工費 5 億ドル、年間 25 万トンの製造能力があり、カナダの西部市場に向けられる。

高価な航空送貨と、容積制限のために東部カナダ、米国からの出荷はできないからである。

コンクリート製の塔は直径 40 フィート、壁の厚さ 9 インチで、吸集塔として十分の大きさであり、完成されるときにはエレベータ堅坑が取付けられた。

Canadian Mining Journal March 1976 (岩武)

CIL の火薬工場建設

Canadian Industries 社は現地向けの火薬工場を建設する計画のあることを発表した。年間 55,000,000 ポンドまでの製造能力があり、Quebec, Catier 鉱山会社にバルクのスラリー爆薬を供給するものである。

H. J. Burchell 副社長はこの工場は 1976 年の当初に完成し、全設備が稼働したときには鉱山の火薬の需要の 100% を供給することができると言っている。

さらに、付属設備、建物を建て、ポンプトラック機材、運転員を配置する。

この Mount Wright 火薬工場はカナダでは、CIL の 21 番目の現地工場となる。

Canadian Mining Journal April-1976 (岩武)