

## 2号複ダイナマイトの砂中殉爆試験に関する考察

和田有司\*, 矢橋英郎\*, 黒田英司\*\*, 加々美茂\*\*\*

斉藤照光\*\*\*\*, 小林直太\*\*\*, 吉田忠雄\*

2号複ダイナマイトを用いた砂中殉爆試験を統計的に解析して、少量火薬類貯蔵庫に採用されたカプセル貯蔵方式における殉爆率の推定を試みた。砂中殉爆試験における殉爆率の密度が、励爆薬の中心から受爆薬の表面までの距離（換算距離）の対数に対して正規分布すると仮定したとき、Up and Down法による薬包入り個装容器の殉爆率が50%と推定される換算距離は8.08 cm, 換算距離8.78cmにおける50回試験による殉爆率は2%と推定された。これらの結果から、カプセル貯蔵方式における薬包中心間距離15cmのときの殉爆率を推定すると、 $3.40 \times 10^{-37}$ となり、殉爆の可能性は非常に低いことが推測された。

## 1. はじめに

筆者らの一部は、先に、少量火薬類の安全な一時貯蔵を目的として、カプセル貯蔵方式による少量火薬類貯蔵庫を開発した<sup>1)</sup>。この少量火薬類貯蔵庫は、薬包中心間距離が15cmになるように砂中に埋められた個装容器（カプセル）に火薬類の薬包を入れて貯蔵する。事前に行われた砂中殉爆試験の結果から、15cmの薬包中心間距離で薬包を砂中に分散配置すれば、万一、1本の薬包が爆発しても、他の薬包には殉爆しないと想定した。この少量火薬類貯蔵庫の性能は、平成2年度産産省爆発実験で、公開実験によって確認される予定である。

一方、6号電気雷管の安全貯蔵または輸送のための容器を開発する目的で、6号電気雷管の樹脂発泡体中での殉爆実験を行った<sup>2)</sup>。この実験では、2通りの結果が得られた。最初の実験では、Up and Down法による殉爆率が50%と推定される距離のパラッキがかなり大きく、第2の実験ではそれ程大きくなかった。第1の実験のパラッキの原因は、雷管と雷管を装填する

孔の間の隙間の影響と推測された。

このような新しい経験から、殉爆距離のパラッキを考慮して、砂中で15cmの薬包中心間距離における殉爆率を推定する必要が生じた。そこで、現在流通している爆破薬の中で、最も衝撃起爆感度が高く、殉爆性の高い2号複ダイナマイト<sup>3)</sup>を用いて砂中殉爆試験を実施し、統計的に解析して、カプセル貯蔵方式における殉爆率を推定した。

## 2. 実験

## 2.1 試料

爆破薬薬包は、薬量100g、薬包径30mmの2号複ダイナマイト（日本化薬㈱製）の薬包を用いた。起爆は、6号電気雷管（日本化薬㈱製）で行った。

## 2.2 試料容器

個装容器は、内径31mm、外径38mmのVP-30塩ビ管を長さ200mmに切断し、縦方向に半分に切断した内筒（図1（A））、同じくVP-30塩ビ管を長さ150mmに切断した砂筒（図1（B））および内径40mm、外径48mmのVP-40塩ビ管を長さ350mmに切断した外筒（図1（C））を図1（D）のように組み合わせたモデル個装容器を用いた。

## 2.3 試験場

砂中殉爆試験は、日本工機㈱白河製造所内の爆発試験場に設けられた図2に示すような2種類の形状の砂山で行った。砂山（A）は、砂の飛散を防ぐために周囲を砂袋で囲ってあるが、砂山の形状の相違が2号複ダイナマイトの殉爆に与える影響は無視できるものとして実験を進めた。用いた砂は川砂で、含水量の測定値は、試験前の砂山の中心付近で約8.7%であった。実際の含水量は、2号複ダイナマイトの爆発熱や自

1990年8月21日受理

\*東京大学工学部反応化学科  
〒113 東京都文京区本郷7-3-1  
TEL 03-3812-2111 (Ext. 7291)\*\*日本工機株式会社白河製造所  
〒961 福島県西白河郡西郷村長坂土生2-1  
TEL 0248-22-3111\*\*\*中央大学理工学部精密機械工学科  
〒112 東京都文京区春日1-13-27  
TEL 03-3817-1826\*\*\*\*社団法人全国火薬類保安協会  
〒102 東京都千代田区九段北1-12-4  
TEL 03-3264-8751

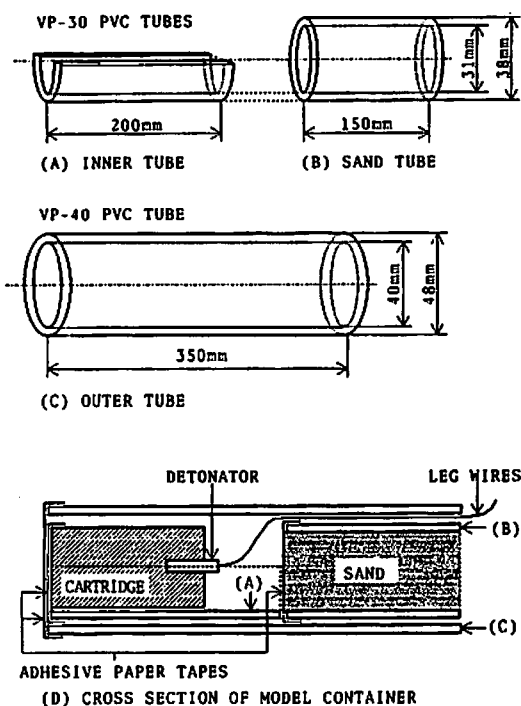


Fig. 1 Structures of model container for cartridge.

然乾燥によって、試験中にわずかに減少している可能性が高い。

#### 2.4 試験方法

砂中殉爆試験は、殉爆率の密度が薬包中心間距離に対して正規分布すると仮定して、Up and Down法<sup>3)</sup>によって、裸薬包または薬包入り個装容器の殉爆率が50%と推定される距離とその標準偏差を求めた<sup>3)</sup>。また、薬包入り個装容器については、Up and Down法で求められた殉爆率が10%と推定される距離で50回試験を行い、その距離での殉爆率を求めた。

#### 2.5 試験手順

砂中殉爆試験は以下の手順で行った。

- (1) モデル個装容器の内筒に、6号電気雷管を差し込んだ2号履ダイナマイトを紙粘着テープで固定する。
- (2) 内筒を外筒に挿入し、内筒が回転しないように固定し、内筒の方向が判別できるように印をつける。
- (3) 内筒の上から、6号電気雷管の脚線に注意しながら砂筒を挿入し、これを励爆個装容器(図1(D))とする。
- (4) 同様にして、6号電気雷管を取り付けない受爆個装容器を作成する。
- (5) 砂に孔を掘り、2号履ダイナマイトが下方にく

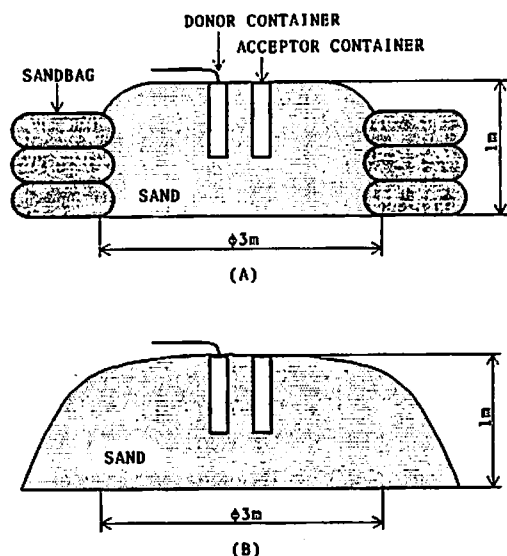


Fig. 2 Sand piles for undersand communication test.

るようにして、励爆個装容器を所定の深さに垂直に埋める。

- (6) 内筒の方向に注意して、励爆個装容器から所定の距離に受爆個装容器を埋める。その際、個装容器間の距離を正確にとるために、正確な幅のボール紙の短冊を用意し、それを個装容器間に挟んだ状態で埋め、後で抜き取る。
- (7) 6号電気雷管を結線し、発破する。
- (8) 受爆個装容器の破壊状況および残薬の有無から殉爆したかどうかを判定し、残薬を回収する。

ただし、裸薬包の砂中殉爆試験の場合には、6号電気雷管を取り付けた励爆薬包と6号電気雷管を取り付けない受爆薬包を用いて同様の試験を行った。

試験手順(6)において、砂に埋める際の個装容器または裸薬包の配置は図3に示すように定めた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 個装容器が殉爆に及ぼす影響

2号履ダイナマイトの裸薬包および薬包入り個装容器のUp and Down法を用いた砂中殉爆試験の結果を表1に示した。ここでは、裸薬包中心間または薬包入り個装容器内の薬包中心間の距離の刻みを等間隔にとってUp and Down法の解析を行った。

殉爆率が50%と推定される薬包中心間距離は、裸薬包の場合は9.30cm、薬包入り個装容器の場合は9.64cmと推定された。また、それらの標準偏差は、裸薬包の場合は0.63cm、薬包入り個装容器の場合は0.50cmと推定された。したがって、実験誤差を考慮すると両者の差はほとんど無視できるので、個装容器が殉爆に及ぼす影響は小さいと推測される。

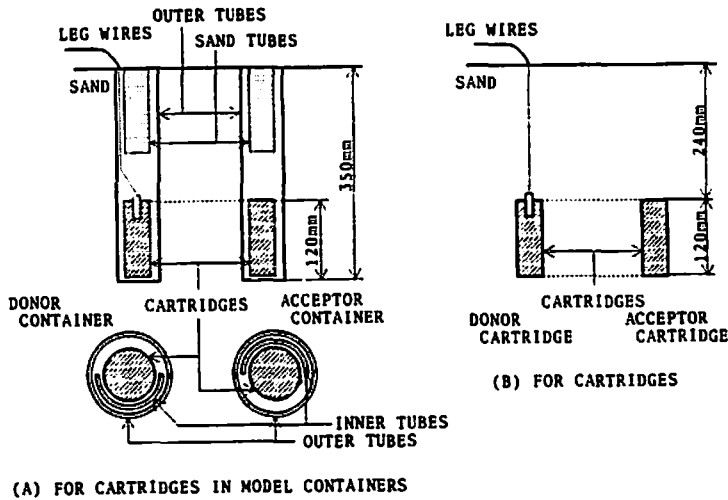


Fig. 3 Arrangements of experiments.

### 3.2 薬包中心間距離15cmの場合の殉爆率の推定

本研究の具体的な目的は、火薬類の安全な一時貯蔵方法として開発されたカプセル貯蔵方式による少量火薬類貯蔵庫の殉爆率を推定することである。この殉爆率はかなり小さいことが予想される。

Up and Down法<sup>3)</sup>は、少ない試験回数で効率的に爆発(殉爆)率が50%となる点を推定できる点で優れた試験法であるが、Up and Down法の試験結果だけから生起確率の低い現象の確率を論ずるのは危険である。

そのために、最初のUp and Down法の結果から10%の殉爆率を与えると推定された薬包中心間距離10.28cmで50回の殉爆試験を行った。その結果、50回中1回だけ殉爆した。すなわち、10.28cmの薬包中心間距離における殉爆率は2%と推定された。

落ついたり落球式打撃感度試験のように、打撃感度を測定しようとする物質に対して、理論的には0から $\infty$ まで打撃エネルギー( $E$ )を変化させることのできる試験では、打撃による試料の爆発率の密度は、打撃エネルギーの対数値( $\log E$ )に対して正規分布することが知られている<sup>3,4,5)</sup>。本砂中殉爆試験も、衝撃波によって爆発が起こるか起こらないかを調べる試験なので、類似の考え方を適用できる可能性がある。ここで用いた考え方のモデルを図4に示した。

実際の砂中殉爆試験では、励爆薬(I)の表面(B)で発生した衝撃波(D)は、砂中空間(III)を減衰しながら伝播し、受爆薬(II)の表面(C)に到達する。そこで、受爆薬の表面(C)に到達した衝撃波(D)が十分なエネルギーを持つ場合に、受爆薬が殉爆する。

励爆薬の表面(B)における単位体積当りの衝撃波の

Table 1 Results of undersand communication test for No. 2 Enoki dynamite using up and down method.

No.	(A) Cartridge		(B) Cartridge in container	
	L' [cm]	Communication Yes or No	L' [cm]	Communication Yes or No
1	9.0	No	8.8	Yes
2	8.0	Yes	9.5	No
3	9.0	No	8.8	Yes
4	8.0	Yes	9.5	Yes
5	9.0	Yes	10.2	No
6	10.0	No	9.5	Yes
7	9.0	Yes	10.2	No
8	10.0	No	9.5	Yes
9	9.0	Yes	10.2	No
10	10.0	Yes	9.5	Yes
11	11.0	No	10.2	No
12	10.0	No	9.5	No
13	9.0	Yes	8.8	Yes
14	10.0	No	9.5	Yes
15	9.0	Yes	10.2	Yes
16	10.0	No	10.9	No
17	9.0	No	10.2	No
18	8.0	Yes	9.5	No
19	9.0	Yes	8.8	Yes
20	10.0	No	9.5	No
	$L'_{50\%}$	9.30cm	$L'_{50\%}$	9.64cm
	$\sigma$	0.63	$\sigma$	0.50

L' : Intercenter distance between donor cartridge and acceptor cartridge  
 $L'_{50\%}$  : Intercenter distance at 50% communication probability  
 $\sigma$  : Standard deviation of  $L'_{50\%}$

エネルギー( $E_B$ )は、有限の値を持つ。しかし、励爆薬の中心(A)における単位体積当りの仮想的な衝撃波のエネルギー( $E_A$ )は無量大となる。ここで、受爆

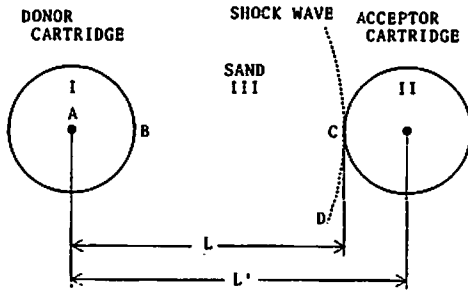


Fig. 4 Analytical model.

薬の中心からの距離( $L$ )の点での衝撃波エネルギー( $E(L)$ )を、

$$E(L) = aL^{-n}$$

と近似すると、殉爆率の密度は距離の対数( $\log L$ )に対して正規分布する可能性がある。

ここで、薬包入り個装容器の薬包中心間距離の刻みを等間隔にとったUp and Down法のデータを利用して、薬包中心間距離を励爆薬の中心から受爆薬の表面までの距離(換算距離:  $L_{cm}$  = 薬包中心間距離 - 薬包半径 (= 1.5 cm))に換算してその対数を取り、換算距離の対数の刻みを等間隔に近似してUp and Down法の解析を試みた。解析の結果、殉爆率が50%と推定される換算距離の対数は0.907(8.08cm, 薬包中心間距離9.58cm)となった。さらに、50回試験の結果から得られる殉爆率が2%と推定される換算距離(8.78cm)の対数(0.943)を求め、この値と殉爆率が50%と推定される換算距離の対数(0.907)から、正規分布の確立密度曲線の片側のすその占める面積が全体の2%となるのは、 $\mu + 2.054\sigma$ 以上の範囲であることを利用して標準偏差を求めた。ここで、 $\mu$ は平均値、 $\sigma$ は標準偏差である。

$$\log L_{2\%} = \log L_{50\%} + 2.054\sigma$$

$$0.943 = 0.907 + 2.054\sigma \quad \therefore \sigma = 0.018$$

その結果、標準偏差は0.018と推定された。

以上の結果から、殉爆率の密度が換算距離の対数に対して正規分布すると仮定した場合の薬包中心間距離15cmのときの殉爆率の推定を試みた。この正規分布では、換算距離( $L_{cm}$ )の対数値が $x$  ( $x = \log L$ )の点における殉爆率( $P(x)$ )は、ガウスの正規分布関数( $f(x)$ )を用いて、以下のように表される。

$$P(x) = \int_x^{\infty} f(x) dx = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} dx \dots\dots (1)$$

ここで、 $\sigma$ はこの正規分布の標準偏差(0.018)、 $\mu$ は殉爆率が50%と推定される換算距離の対数( $\log L_{50\%} = 0.907$ )である。

薬包中心間距離が15cm(換算距離13.5cm,  $x = 1.13$ )

Table 2 Intercenter distance ( $L'$ ) of dynamite cartridges and communication probability ( $P$  or  $P'$ ).

$L'$ [cm]	$P$	$P'$
10.0	$1.04 \times 10^{-1}$	$1.97 \times 10^{-1}$
11.0	$3.05 \times 10^{-5}$	$3.39 \times 10^{-3}$
12.0	$4.56 \times 10^{-11}$	$6.01 \times 10^{-6}$
13.0	$1.29 \times 10^{-19}$	$1.87 \times 10^{-9}$
14.0	$1.96 \times 10^{-27}$	$1.59 \times 10^{-12}$
15.0	$3.40 \times 10^{-37}$	$5.16 \times 10^{-16}$

$P$ : Communication probability calculated from result of 50 times test method

$P'$ : Communication probability calculated from result of up and down method

の場合を式(1)に代入して数値積分を行うと、 $P(1.13) = 3.40 \times 10^{-37}$ となり、殉爆の可能性が非常に小さいことが推測される。

実際の貯蔵の際には、薬包中心間距離のバラツキが予想されるので、薬包中心間距離が10~15cmのときの殉爆率の推定値を表2に示した。

### 3.3 Up and Down法の結果との比較

換算距離を用いたUp and Down法で得られた結果( $\mu = 0.907$ ,  $\sigma = 0.026$ )から推定した薬包中心間距離が10~15cmのときの殉爆確率( $P'$ )を表2に併記した。前項での推定値と異なった数値が得られているが、15cmの薬包中心間距離では、どちらの方法でも殉爆率は非常に小さいと推定される。

また、以上の2通りの解析の結果を正規確率紙を用いて図5に表わした。

### 4. まとめ

カプセル貯蔵方式による少量火薬類貯蔵庫は、従来の火薬類貯蔵庫に比べて格段に安全な貯蔵庫(カプセル貯蔵方式は輸送にも応用できる)である。すなわち、何かの原因で1本の薬包が爆発した場合に他の薬包に殉爆する可能性が非常に低いと推定される。また、1本の薬包の爆発で外部に漏れる爆発音は小さく、火災の際に爆発する可能性も低いことが示されている<sup>1)</sup>。

しかし、無制限に安全なものではない。その理由の1つは、取り扱い上の問題である。例えば、薬包を個装容器に入れなくて容器の前に置いてあるときに爆発が起これば殉爆が起こる。また、扉が開いているときにそのような爆発が起これば、付近のものを破壊し、爆発音は遠くまで伝わり社会問題となるであろう。したがって、カプセル貯蔵方式を生かすためには、少量火薬類貯蔵庫使用者の正しい取扱いの認識が不可欠で、そのための教育が必要である。

また、他の理由は構造上の問題である。少量火薬類貯蔵庫では、個装容器間の空間に砂があるために殉爆

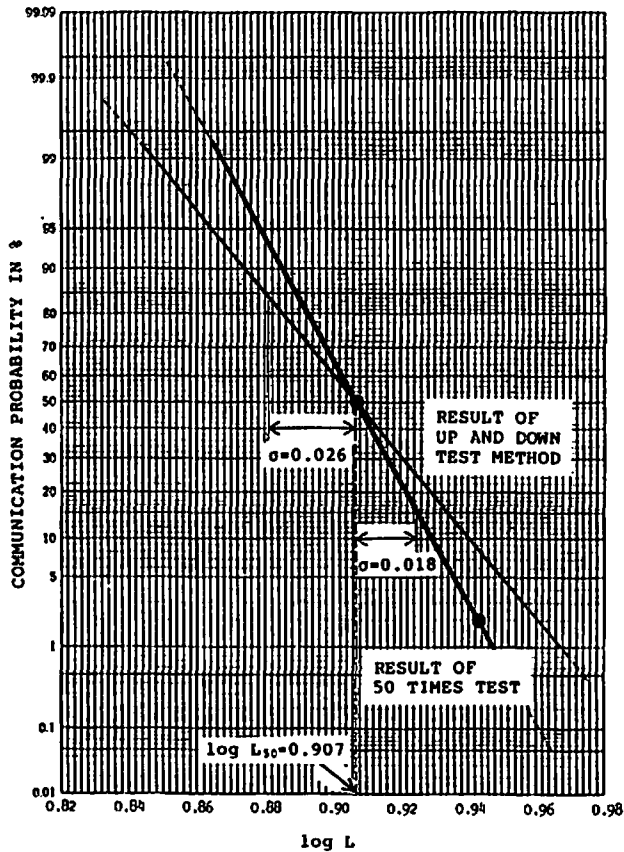


Fig. 5 Results of statistical analyses.

が起こらないのであって、砂が無くなり、空気の空間となると15cmの薬包中心間距離でも殉爆する可能性がある。個装容器間に砂が充填されていることを確認できることが必要である。また、個装容器が互いに接近していると殉爆する恐れがある。したがって、少量火薬類貯蔵庫の建設の際には、これらの点に充分配慮する必要がある。

#### 5. 謝 辞

本研究の実験に御協力いただいた、日本工機株式会社 鈴木博氏、中央大学理工学部精密機械工学科の鈴木寿幸、鈴木裕二、大友勇人の各氏に謝意を表す。

#### 文 献

- 1) (社)全国火薬類保安協会,「カプセル方式による火薬類貯蔵法の研究」,火薬と保安(特集号),19(3),1-77(1987)

- 2) 斎沢俊雄,「フェノール樹脂発泡体を用いた電気配管のギャップ試験」,未発表データ
- 3) W. J. Dixon, A. M. Mood, "A Method for Obtaining and Analyzing Sensitivity Data", J. Am. Stat. Assoc., 43, 109(1948)
- 4) 松永猛裕,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)
- 5) 劉策海,吉沢二千六,田中則章,金子良昭,和田有司,田村昌三,吉田忠雄,「酸化剤及び酸化剤組成物の反応性及危険性評価(VII),塩素酸カリウム-可燃物接触混合物の落球式打撃感度試験」,工業火薬,50(2),106(1989)

## A Study on Undersand Communication Test of No. 2 Enoki Dynamite

by Yuji WADA\*, Hideo YABASHI\*, Eishi KURODA\*\*, Shigeru KAGAMI\*\*\*  
Terumitsu SAITO\*\*\*\*, Naota KOBAYASHI\*\*\* and Tadao YOSHIDA\*

The communication probability of cartridges of No. 2 Enoki dynamite in the containers which would be used in the new type of warehouse for small quantity of explosives were evaluated statistically by the undersand communication test. If the distribution of the density of the probability formed the normal distribution against the logarithms of the distances between the center of donor cartridges and the surface of acceptor cartridges, the distance at which detonation would communicate in 50% probability was presumed 8.08 cm by the up and down method, and the probability at 8.78 cm was presumed 2% by the 50 times test. From these results, the communication probability at 15cm of intercenter distance which would be used in the warehouse was presumed about  $3.40 \times 10^{-37}$ . Therefore, the possibility that a detonation of a cartridge would communicate with the other cartridges must be very small in this case.

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

\*\*Shirakawa Plant, Nippon Koki Co., Ltd., Nishigoh-mura, Nishishirakawa-gun, Fukushima 961, Japan.

\*\*\*Faculty of Science and Engineering, University of Chuo, 13-27 Kasuga 1-chome, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan.

\*\*\*\*All Japan Association for Security of Explosives, 124 Kudankita 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 102, Japan.)