

$$\times \frac{\{1+k_1 q_0^2 \rho_0 (d_b/d_0)^{10/3}\}^{37}}{\{1+k_2 q_0^2 \rho_0 (d_b/d_0)^{10/3}\}^3} \dots (4)$$

where ρ_0 is the initial density of explosion gases and is regarded approximately as the density A of explosive itself.

As an example, we will calculate the case of some blasting for a rock using a special explosive.

The properties of the explosive are

$$f=8,650 \text{ l-kg/cm}^2$$

$$D=5.4 \text{ km/sec}$$

$$\rho_0=1.45 \text{ kg/l}$$

$$q_0=2.77 \text{ km/sec}$$

And the mechanical properties of the rock are

$$\sigma_t=2.33$$

$$k_1=0.0574$$

$$k_2=0.141$$

Then the blasting coefficients of density loading and file loading are as follows,

$$(1) \text{ density loading } (d_b/d_0=1.0)$$

$$e=1.70$$

$$(2) \text{ file loading } (d_b/d_0=1.2)$$

$$e=2.56$$

The above explosive is a gelatinous dynamite.

In the case of powdery explosive of lower density, the difference between the blasting coefficients of density loading and of file loading is not so much large as in the case of gelatinous dynamite above cited.

1) T. Murata, K. Tanaka: J. Ind. Expl. Soc., Japan, 12, No. 1, 18 (1956)

(Nihon Yushi Co., Ltd. Taketoyo Plant)

電氣雷管に関する研究 (第5報)

(昭和31年5月10日受理)

木下四郎・加藤清視・有村武人

(日本化薬株式会社 折尾作業所火工品研究課)

緒 言

電氣雷管を使用して発破¹⁾, ²⁾, ³⁾, ⁴⁾を行つた際往々にして不発残留となる電氣雷管があるが、この原因は色々あり、大別すれば次の三つに分けられる。その一つは電氣雷管本来の故障、即ち電橋の断線、抵抗の異常、点火玉の故障、耐水性の欠陥等であり、その二は使用上のミス⁴⁾, ⁵⁾ 或は不完全な結線、ボンピングの密着線に傷をつけること等であり、その三は電源不足で発破器の出力不足等であることはよく知られている。

我々が不発残留となつたものを調べてみると電氣雷管は全然異常ない場合が多いのであるが、これは前記のその二、その三の原因に起因する残留が多いからである。このうちその二の潮流電流ある場合については

既に電氣雷管の研究(第4報)⁶⁾に於いて述べたがその三の原因である電源不足の場合の電氣発破について検討した結果を報告する。例えば成山で残留雷管が比較的多かったのでその原因を色々調べてみたが電氣雷管自体には故障は見られず母線、結線法、潮電に対する考慮も充分であつたが、たまたま使用しているコンデンサー式発破器のネオンランプ点灯電圧を測定したところ500Vで点灯するのが定格であるにも拘わらず400V位で点灯するものがあることが分つた。400Vで充電した場合と500Vで充電した場合とはエネルギー的には電圧の自乗の比となるので後者は前者の1.5倍となるので不発残留を生じた主な原因は400Vで点灯する発破器を使用したためだろうと推定される。そこで残留防止対策として400Vで点灯するものは500Vで点灯する様に発破器を調整すれば不発

残留は少くなるであろうことは容易に分る。さてかかる場合不発の発生はどれ位減少するかということは従来は数値的に表わせなかつたのが実情であつた。この問題に数値的な説明^{(6), (7), (8)}をする一方法として次の様な考察と実験を行つた。即ち n 個の電気雷管をアンペアの電流により発火するとき不発残留の確率が $p\%$ であつた場合電流値を $x+y$ アンペアにした場合不発残留の確率は如何程となるかということの数式的並びに実験的に検討して見た。

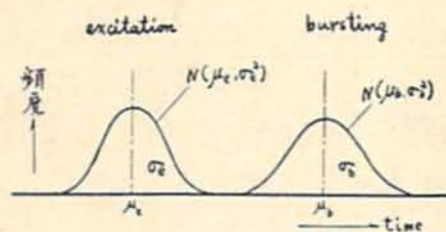
第1章 計算式の誘導と実験結果

電気雷管を使用して直列発火試験を行う場合、点火電流と共に不発残留の確率が如何に減するかを検討して見る。

1) 数式的検討

図1-1は或る点火電流を流した場合の点火時間及び爆発時間の分布を示して居り、これらはいずれも正規分布をなすものと仮定する。

図1-1



今これらの分布が正規母集団 $N(\mu_e, \sigma_e^2)$ 及び $N(\mu_b, \sigma_b^2)$ に属する分布をなすとする。ここに μ_e, μ_b は標本の平均値の期待値で σ_e^2, σ_b^2 はその分散である。今この母集団から n 個の標本をとつた時の範囲と分散とは次の如き関係がある。

$$R_e = w\sigma_e \\ R_b = w\sigma_b \dots\dots\dots(1-1)$$

又 x_1, x_2, \dots, x_n が正規母集団 $N(\mu, \sigma^2)$ からとつた一つの標本なる時、それら標本の平均値 \bar{x} は $N(\mu, \sigma^2/n)$ に従つて分布する。従つてこれの標準偏差 σ' は $\sigma' = \sqrt{\sigma^2/n} = \sigma/\sqrt{n}$

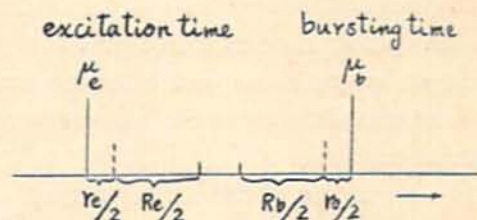
となり、標本平均値の分布範囲を r にて表わすと

$$r_e = w\sigma_e/\sqrt{n} \\ r_b = w\sigma_b/\sqrt{n} \dots\dots\dots(1-2)$$

となる。さて n 個の電気雷管を発火させる場合不発が発生しないためには点火時間の分布は完全に爆発時間の分布と重ならないことが必要である。即ち範囲の分

布と平均値の分布を上の様にと考えた場合図1-2から明らかなる如く

図1-2



$$\mu_b - R_b/2 - r_b/2 \geq \mu_e + R_e/2 + r_e/2 \dots\dots\dots(1-3)$$

なる条件式が成立しなければならない。この式中の μ, R, r は電流値 i に依つて決まる値であつて、ある電流値以下では点火時間の分布範囲と爆発時間の分布範囲は重なり (1-3) 式は成立し得なくなる。さて今 (1-1) 式及び (1-2) 式を (1-3) 式に代入すれば

$$w \geq 2(\mu_b - \mu_e) / (1 + \sqrt{n}) (\sigma_b + \sigma_e) \dots\dots(1-4)$$

となり等号が成立するときの w 値より確率を求めると n 個の発火試験をくり返した場合の不発発生率の確率が求められるわけである。

2) 実験結果及び計算

(1-4) 式の計算を行うために点火電流値 i に対する点火時間の平均値 μ_e 、爆発時間の平均値 μ_b 及びそれらの分散 σ_e, σ_b を求めることにする。

i) 試料

この実験には瞬発電気雷管 2,500 本 (1 箱) を同一ロットよりの試料として使用した。点火部は Bead 式にて第一薬はジニトソソソルシン鉛、第二薬はロマン鉛と植葉酸カリの等量混合物を使用した。電橋は白金イリジウム線、抵抗は 0.7 ± 0.1 オームである。

ii) 測定結果

平均点火時間及び平均爆発時間は第一報¹⁾と同じ方法で測定した。同一電流値に対して点火時間測定には 80 個の試料を使用し確率紙にプロットして平均点火時間及びその分散を求め、爆発時間は 20 個の試料を使用しオツシログラフにて測定して平均爆発時間及びその分散を求めた。電橋抵抗値、点火時間と爆発時間の平均値及びそれらの分散を表示すると第 2-1 表の如くなる。

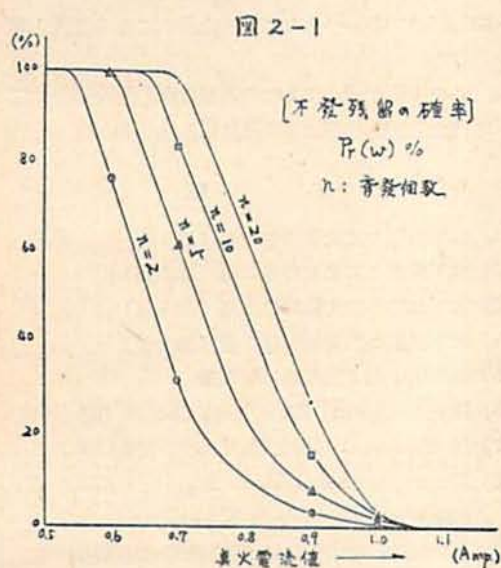
第 2-1 表に得た $\mu_b, \mu_e, \sigma_b, \sigma_e$ 及び発火個数 n を用いて (1-4) 式より w を計算しこの w に対して統計数値表⁹⁾ (範囲の分布) より確率を求めると第 2-2 表の様になる。

第 2-1 表

Firing Current (A)	Resistance of Detonator (Ω)	Bursting time		Excitation time		Reaction time τ (ms)
		mean t_b (ms)	std. dev. σ_b	mean t_e (ms)	std. dev. σ_e	
0.6	0.7	18.16	5.82	14.30	3.00	3.86
0.7	0.7	12.95	1.78	8.30	1.35	4.65
0.9	0.7	7.82	0.47	4.75	0.70	3.07
1.0	0.7	6.60	0.34	3.70	0.57	2.90
1.1	0.7	5.29	0.39	3.25	0.50	2.04

第 2-2 表

i	0.6 A		0.7 A		0.9 A		1.0 A		1.1 A	
	w	P_r (%)	w	P_r (%)	w	P_r (%)	w	P_r (%)	w	P_r (%)
2	0.51	76.6	1.74	31.9	3.08	2.9	3.72	0.9	2.68	6.0
5	0.61	99.3	2.05	61.3	3.63	7.9	4.38	1.7	3.16	21.5
10	0.67	≈ 100	2.26	83.5	3.99	15.6	4.82	2.4	3.48	35.7
20	0.71	≈ 100	2.43	97.8	4.29	27.4	5.18	3.3	3.74	51.3



各電流値及び斉発個数 n に対して不発の確率をプロットすれば図(2-1)のS型曲線を得る。今任意の点火電流値 i 及び斉発個数 n に於て実測値がこの計算値と一致するならば条件式(1-4)が妥当であると言えるわけである。

3) 斉発試験

第2節で求めた計算値が実測値とどの程度まで一致するかを確かめるために n 即ち斉発個数を2, 5, 10, 20と変えて各20回の斉発試験を試み、この n 個の中1個でも不発雷管の出る回数を求めた。その結果は第3-1表の通りである。

試験方法は n 個を直列に結線し直流電源として6ボルト蓄電池2~4個(但し $n=2, 5, 10$ の時は2個, $n=20$ の時は4個)を使用した。尙お漏洩電流をさけるため雨天の試験は行わなかつた。

第 3-1 表

Test Current	$n=2$		$n=5$		$n=10$		$n=20$	
	Observed (%)	Calculated (%)	Observed (%)	Calculated (%)	Observed (%)	Calculated (%)	Observed (%)	Calculated (%)
0.65 A	25	54	80	83	95	98	100	100
0.80 A	5	10	15	23	55	45	90	65

第2章 結論並びに考慮

1) 結論

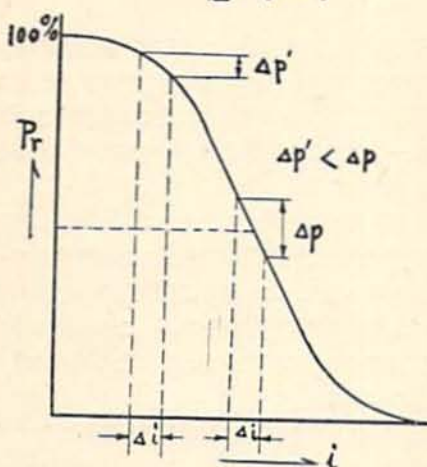
第3-1表に見られる如く計算値と実験値は僅か各20回ずつの実験であつたが比較的よい一致を示して居るので数式的に導いた(1-4)式は一応近似的には妥当であるとしても実用上差支えなからう。

また E. J. Gleim と R. A. Wolf はかれらの報告¹⁰⁾の中に直流またはコンデンサー発破の際には大約1.1アンペアが10発の雷管列の最低電流であると述べているが、このことは4個の雷管を斉発し得る最低電流値として図2-1より得られる結論とよく一致するものである。

2) 考察

i) 実験値の計算値からのはずれは $P_r(w)=50\%$ 附近に於ける程大きくなるが、これは累積函数として表わされる $P_r(w)$ の値が $P_r=50\%$ の附近ほど電流値 i の僅かの違いが大きくひびくためである。

図 4-1



ii) 1.1 アンペアに於ける計算に際して 1.0 アンペア以下の傾向では解釈できない結果を得た。即ち 1.1 アンペアでは 1.0 アンペアの時に比して当然不発残留の確率は小さくなるべきところ逆に増加し相当大

きな値を示していることは第2-1表に示す通りである。その原因は通電電流値 1.1 アンペアに於ける測定値即ち点火時間の平均値及びその分散、爆発時間の平均値及びその分散に相当の誤差があつたためであろう。即ち前報りに述べたごとく爆発時間と点火時間の差即ち点爆時間 τ が $\tau=2.90 \times i^{-0.560}$ と表わせるものと各電流値に対する τ の値は第4-1表の

第4-1表

Firing Current (A)	Reaction Time	
	Observed (ms)	Calculated (ms)
0.6	3.86	3.86
0.7	4.65	3.55
0.9	3.07	3.07
1.1	2.90	2.90
1.1	2.04	2.75

如くなり 0.7 アンペア及び 1.1 アンペアに於て実験値と相当ずれていることが分る。又爆発時間の分散は通電電流値 1.0 アンペアの場合より 1.1 アンペアの方が小であるべきなのに大と出たことも原因と考えられる。

この実験を行うにあたり有益な御指導を賜つた工學博士日野龍雄氏に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) 木下四郎: 工火協15巻1冊(第1報)
- 2) 木下四郎: 工火協15巻3冊(第2報)
- 3) 木下四郎: 工火協16巻1冊(第3報)
- 4) 木下四郎: 工火協16巻3冊(第4報)
- 5) 山田正幸他: 工火協16巻3冊
- 6) Elwyn Jones: Proc. Roy. Soc. A 198 (1949)
- 7) H. P. Stout: Nature, Lond., 166 (1950)
- 8) Elwyn Jones and H. P. Stont: Colliery Engineering. October & November (1948)
- 9) 北川敏男, 増山元三郎: 新編統計数値表第36表
- 10) E. J. Gleim and R. A. Wolf: Safety in Mines Research Establishment Paper No. 6, 4pp.

Series Firing of Electric Detonators

Shiro Kinoshita, Kiyomi Kato, Taketo Arimura

If we can get the values of the mean excitation time and its standard deviation on the one hand and the mean bursting

time and its standard deviation on the other, it is possible to express the critical condition of the series firing of electric

detonators in terms of these quantities. This gives:

$$w \geq 2(\mu_b - \mu_e) / (1 + 1/\sqrt{n}) (\sigma_b + \sigma_e)$$

where μ_b is the mean bursting time, μ_e the mean excitation time, σ_b the standard deviation of bursting time, σ_e the standard deviation of excitation time, n the number of electric detonators and w the value of the range/standard deviation ratio cor-

responding to a small probability of p in a set of n samples. The probabilities of failure in this way for various values of the firing currents and n are given in Table 1.

The observed value in Table 2, representing 20 tests on one batch of detonators may be considered a satisfactory agreement with the calculated value.

Table 1

firing current	0.6A		0.7A		0.9A		1.0A		1.1A	
	w	p%	w	p%	w	p%	w	p%	w	p%
n=2	0.51	76.6	1.74	31.9	3.08	2.9	3.72	0.9	2.68	6.0
n=5	0.61	99.3	2.05	61.3	3.63	7.9	4.38	1.7	3.16	21.5
n=10	0.67	100.0	2.26	83.5	3.99	15.6	4.82	2.4	3.48	35.7
n=20	0.71	100.0	2.43	97.8	4.29	27.4	5.18	3.3	3.74	51.3

Table 2

firing current	n=2		n=5		n=10		n=20	
	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.	obs.	calc.
0.65 A	25	54	80	83	95	98	100	100
0.80 A	5	10	15	23	55	45	90	65

(Orio Factory, Nihon Kayaku Co.)