

⑧ ストレートダイナマイト (Grade 20~60%) を外挿して 60%~100% で示すべき Relative Bulk Strength と Grade との関係性を推考した。この曲線を満足するストレートダイナマイトの仮比重を仮設した。

8. 文 献

- 1) 此の理解を助ける説明の文献として次の文献が適切である。R. Peele, John A. Church : Mining Engineer's Hand Book, 3rd. ed. Vol. I, 5~17.
- 2) 工業爆薬の % Strength 測定法の制定に就いて (第一報), 工業火薬, 17 (昭和31年) 76~84.
- 3) Bureau of Mines, Bulletin 346, 40~46.
- 4) 須藤秀次 : 工業火薬, 21 (昭和35年) 53, 村田 勉 : 欣栄出張報告 (昭和33年5月) (日本油脂報告)
- 5) Expl. Eng., 3 (1925) 385.
- 6) A. Marshall : Explosive. Volume III 107.

- 7) 工業火薬, 17 (昭和31年) 79.
- 8) 工業火薬, 17 (昭和31年) 79.
- 9) 火薬協会誌, 創刊号, 30~38.
- 10) Grade Strength は計算に依らず, 直ちに R. W. S. から図3を用いて求める。
- 11) B. L. Lubelsky : Explosive Eng. 14 (1936) 361~365.
- 12) 米岡 Olin Mathieson Chem. Corp. の Price List No. 5 (1955) によれば, Blasting Gelatin 100% 22.5kg の Cartridge Count は108本である。これから d を計算すると $d = \frac{22500}{154cc \times 108} = 1.37$ となる。この爆薬の TNT に対する R. W. S. が分かれば興味がある。
- 13) 図9に於ては Straight Dynamite と Gelatin Dynamite が不連続になつているので, 図8の Relative Weight Strength の場合の如く連続直線にするという意味。

延時薬に関する研究

(第8報) 延時薬の燃焼秒時精度

中原 正二*

1. 緒 言

段発電気雷管の延時秒時のバラツキを小さくするためには、秒時精度に関係すると思われるあらゆる因子について個々にできるだけよい方向にもつてゆこうという手法が従来とられている。若園¹⁾は還元剤の粒度、酸化剤の純度及び粒度、延時薬の混合時間、配合比、装填圧力、薬量、延時薬の吸湿、内管の有無、点火電流の大小等が秒時及び秒時精度に与える影響について本誌に報告している。しかし、もう一つの方法として、多くの因子のうちどれがバラツキに大きな影響をもっているか、換言すればどれがバラツキに対して寄与率が大きいかを知り、寄与率の大きいものに勢力を集中して秒時精度をよくするという方法も大切である。

延時薬の秒時精度に影響すると思われる各因子(要因)の秒時のバラツキに対する寄与率をあまり多くない実験数でしかも信頼度よく出す方法に直交配列²⁾がある。

この方法自体は決して新しいものではないが、延時薬の秒時精度向上の研究には有効な方法である。直交配列を適用するに当つて注意しなければならないことは、第一にこの方法はある程度研究が進んで、主要要因のわかつた延時薬に用いなければならないこと。第二に各水準は基礎研究で見られるように極端な値をとらずに、実際用いられる可能性のある範囲でとらなければならないことである。

本報ではまず各種要因が秒時精度に及ぼす影響について述べるが、既に若園によつて発表された要因については同様な結果を得たので省略した。次に直交配列による秒時精度の検討について一例を挙げて述べる。

2. 種々の因子の秒時精度に及ぼす影響

2.1) 還元剤の純度の影響

アンチモン-過マンガン酸カリ-クロム酸鉛 (27.5—50—22.5) 延時薬でアンチモンの粒度の影響ができるだけ入らないようにして純度だけ変えた場合につき実験した。アンチモンは純度 96.3%, 99.0% 及びこの2つを同量混合したものを使用した。試料の水波荒

昭和36年7月21日受理

* 日本化薬株式会社折尾作薬所研究課 若松市浅川

Table 1 Relation between purity of antimony and delay time of antimony-potassium permanganate-lead chromate (27.5—50—22.5) delay elements (No. 1)

No.	Purity of antimony (%)	Distribution of particle sizes of antimony					Delay time (sec)	
		~3 μ	3~5 μ	5~7 μ	7~10 μ	10 μ ~	\bar{X}	R
1	96.8	50.6%	11.1	8.0	8.0	22.4	3.78	0.32
2	99.0	52.4	10.6	4.7	5.8	26.5	2.80	0.22
3	No. 1+No. 2						3.22	0.28

Table 2 Relation between purity of antimony and delay time of antimony-potassium permanganate-lead chromate (27.5—50—22.5) delay elements (No. 2)

No.	Purity of antimony (%)	Distribution of particle sizes of antimony					Delay time (sec)	
		~3 μ	3~5 μ	5~7 μ	7~10 μ	10 μ ~	\bar{X}	R
1	96.3	50.6	11.0	8.0	8.0	22.4	3.62	0.34
2	96.9	52.4	10.6	4.7	5.8	26.5	3.62	0.32
3	97.1	53.0	10.5	7.1	7.0	22.4	3.17	0.27
4	99.0	48.6	18.4	6.8	5.8	20.4	2.77	0.25
5	99.2	47.6	19.8	5.4	7.5	19.3	2.75	0.14

Table 3 Effect of particle sizes of copper phosphide on delay time of ferrosilicon-red lead copper phosphide delay elements.

Composition			Particle sizes of copper phosphide	Diameter of powder train (mm)	Delay time (ms)	
ferrosilicon	red lead	copper phosphide			\bar{X}	R
5%	30%	65%	80~100 μ	2.5	44.0	8.0
			100~150		59.6	14.3
			150~250		67.5	20.7
10	35	55	80~100	2.5	24.8	3.4
			100~150		27.9	4.9
			150~200		29.5	2.4
30	30	40	80~100	3.4	25.0	3.3
			100~150		25.5	4.6
			150~250		35.7	7.2

Table 4 Effect of mixing order on delay time of antimony-potassium permanganate-lead chromate (27.5—50—22.5) delay elements.

No.	First mixing	mixing time (min.)	Second mixing		Delay time (sec)	
	composition		composition	mixing time (min.)	\bar{X}	R
1	KMnO ₄ +Sb	30	+PbCrO ₄	30	2.82	0.13
2	KMnO ₄ +PbCrO ₄	//	+Sb	//	2.80	0.12
3	Sb+PbCrO ₄	//	+KMnO ₄	//	3.09	0.25
4	KMnO ₄ +Sb+PbCrO ₄	//	—	//	2.97	0.22

川式自動粒度測定器で測定した粒度分布及び葉径0.43 mm, 葉長 10mm における燃焼秒時とバラツキは Table 1 に示した。純度がよい方が燃焼秒時が速くなり、バラツキも小さくなる。混合物は両者中間の燃焼

秒時とバラツキを有している (n=10)。

又 Table 2 に示す5種類のアンチモン純度のものにつき同じ組立条件で実験したが、やはり純度のよいものほど燃焼秒時が速く、バラツキも小さい (n=

10)。

2.2) 稀釈剤の粒度の影響

ここでいう稀釈剤とは主剤の還元剤又は酸化剤の外に秒時調整のために入れる物質で、不活性物質や弱い酸化剤又は還元剤などが用いられる。

珪素鉄・鉛丹・燐銅系延時薬で燐銅(銅84.2%, 燐14.3%, その他1.5%)を篩で粒度を分けたものにつき試験した。配合組成, 燐銅粒度分布, 及び $n=20$ の秒時成績は Table 3 に示した。ただし薬長は5 mm である。

燐銅が細くなるほど燃焼秒時は長くなり, 秒時精度は低下する。燐銅は燃焼秒時の抑制作用をもっているが重量が同じでも細くなるほど酸化剤と還元剤の間に入つて, その接触を妨げる作用が大きくなる。したがって細かいことは多量に入ることと同じ効果であつて燃焼秒時は長くなり, 秒時精度も低下する。勿論粗い方がよいといつても程度問題で, あまり粗いものは使えないであろう。

2.3) 配合順序の影響

アンチモン-過マンガン酸カリ-クロム酸鉛(27.5-50-22.5) 延時薬について実験した ($n=20$)。

No.1, No.2 と No.3, No.4 とを比較すると燃焼秒時, バラツキとも前者の方が小さい。過マンガン酸カリと他成分の攪混がよく行なわれているためであろう。その外の実用延時薬でもこのような配合順序による燃焼秒時とバラツキの変化が見られる。

2.4) 点火玉薬皿の影響

アンチモン-過マンガン酸カリ(70-30) 延時薬, 直填式についてロダン鉛-塩素酸カリ(50/50) 点火玉の薬量を変えて燃焼秒時とバラツキを測定した ($n=10$)。

ただし表中の分子は \bar{x} , 又分母は R (ともに m.s.) である。点火玉の薬量が多くなると燃焼秒時が速くなることは第5報³⁾の圧力指数に関する議論から当然である。バラツキは總括的に見て点火薬量 11.4 mg で最小で, 点火薬量がそれ以上でもそれ以下でもバラツキは大きくなる。このような現象は他の延時薬にも見られ, それぞれの延時薬に個有の最適薬量がある。

2.5) 点火玉の種類の影響

点火玉は次の3種類を使用した。

- No.1 第1薬: ジントロソレゾルシン鉛 2mg
 第2薬: ロダン鉛-塩素酸カリ(50/50) 7mg
 No.2 ロダン鉛-塩素酸カリ(50/50) 2mg
 No.3⁴⁾ 第1薬: ジアゾジトロフェノール 2mg
 第2薬: 珪素鉄-過酸化鉛(20/80) 15mg

延時薬はアンチモン-過マンガン酸カリ-クロム酸

鉛を使用し, 薬径 4.3mm, 筒管式, 薬長 10mm における燃焼秒時を測定した。結果は Table 6 のとおりである ($n=10$)。i

延時秒時は点火玉の種類によつて変らないが, 秒時精度は No.3 が最もよく, No.1 がそれに次ぎ, No.2 は若干劣つている。したがつて段発電気雷管には点火玉の選択も大切である。

2.6) 被覆材料の影響

PB リポート⁵⁾によれば, アンチモン-過マンガン酸カリ系延時薬で延時装置用筒管材料の延時秒時に及

Table 5 Effect of weight of the ignition composition on delay time of antimony-potassium permanganate (70-30) delay elements.

Weight of the charged delay powders (g)	Weight of the ignition composition (mg)				
	3.1	6.1	9.1	11.4	14.6
0.1	142/21	124/39	116/34	108/10	102/25
0.2	256/51	248/52	211/28	206/15	191/19
0.3	365/54	331/41	301/31	281/12	273/8

Table 6 Effect of species of ignition compositions on delay time of antimony-potassium permanganate-lead chromate delay elements

Composition of delay powder			Species of ignition composition	Delay time (sec)	
Sb	KMnO ₄	PbCrO ₄		\bar{x}	R
40	50	10	No. 1	1.51	0.19
			2	1.52	0.13
			3	1.54	0.10
30	50	20	1	2.38	0.29
			2	2.36	0.30
			3	2.36	0.19
27.5	50	22.5	1	3.16	0.29
			2	3.09	0.40
			3	3.00	0.30

ぼす影響は Table 7 のように熱伝導度の大きい材料ほど延時秒時が短い。

筒管式における外部への熱損失は (1)延時薬から筒管への熱伝達, (2)筒管内の熱伝導, (3)筒管から銅管体への熱伝達, (4)銅管体内部での熱伝導, (5)銅管体表面から空気又は爆薬への熱伝導の5つの過程を通つて行なわれる。そのうち一番遅い過程は(5)で次が(1)である。(2)の過程における多少の熱伝導度の差は問題にならないと思うが, 若し問題になるとすれば, 熱伝導度のよいほど熱損失は大きいから, 延時秒時は長くなり

なければならない筈である。Table 7 はその逆に出ている。

Table 7 Effect of materials of metallic tubes on delay time of antimony-potassium permanganate delay elements

Materials of metallic tube	Thermal conductivity (kcal/mhr°C)	Delay time (sec/25.7 mm)
zinc	97	4.94
brass	96	4.92
iron gilt with copper	45	5.01

この矛盾は次のように説明される。延時薬より金属筒管の方が熱伝導度ははるかによいため、燃焼直前の部分では未燃焼延時薬より筒管の方が温度が高く、筒管が延時薬を加熱してその温度を高める効果がある。その効果は熱伝導度のよい筒管ほどよく、又遅い延時薬ほど顕著にその影響が現れ、これが燃焼伝播速度に影響を与えるのであろう。この仮説の確認のために、速い延時薬と遅い延時薬を用いて、鉄とポリエチレンの被覆材により延時秒時を測定した。薬長は 8 mm、薬径は 4.5 mm で延時薬には MSD 用の珪素鉄—鉛丹—燐銅 (15—45—40) 延時薬と DSD 用のアンチモン—過マンガン酸カリ—クロム酸鉛 (27.5—50—22.5) を用いた。結果は Table 8 に示した。

燃焼伝播速度の速い MSD 用延時薬では被覆材が鉄でもポリエチレンでも燃焼秒時にあまり差はない。このような速い延時薬では鉄を伝わる熱による延時薬の予熱効果も少ないからであろう。しかし DSD 用延時薬では鉄の方が速い。これは先の仮説の通りである。秒時精度はいずれも鉄の方がよい。

通常燃焼先端の形状は Fig. 1 の (a) 又は (b) のように凸形か平面かである。しかし延時薬の場合、米田、正田⁹⁾の研究に見られるように壁面が延時薬より熱伝導度のよい物質では (c) のような凸形や (d) のような周囲と中央が先に出ている形状となることもある。これは上述の理由によるものである。

3. 直交配列による燃焼秒時精度の検討

1 例として珪素鉄—鉛丹(50/50) 延時薬、直填式、薬量 0.3g を用い

て $L_8(2^7)$ (実験数 8, 水準 2, 要因 7) の実験を行なった。要因には A. 還元剤粒径, B. 点火玉薬量,

Table 8 Relation between materials of tubes and delay time.

Delay powder	Materials of tubes	Delay time (ms)	
		\bar{X}	R
FeSi-Pb ₃ O ₄ -Cu-P	iron	83	15
	polyethylene	74	26
Sb-KMnO ₄ -PbCrO ₄	iron	2,460	280
	polyethylene	2,510	610

C. 肉厚, D. 圧搾圧力, F. 空間長, G. B×D (B と D の交互作用) の 6 を取上げ、第 7 列を誤差項 e とした。各要因の水準は次の通りである。

A. 還元剤粒径

同径ロットの珪素鉄を風篩によって分けて用いた恒

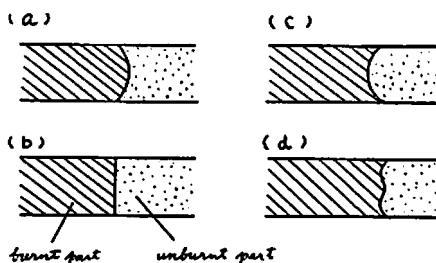


Fig. 1 Shapes of reaction fronts of delay elements.

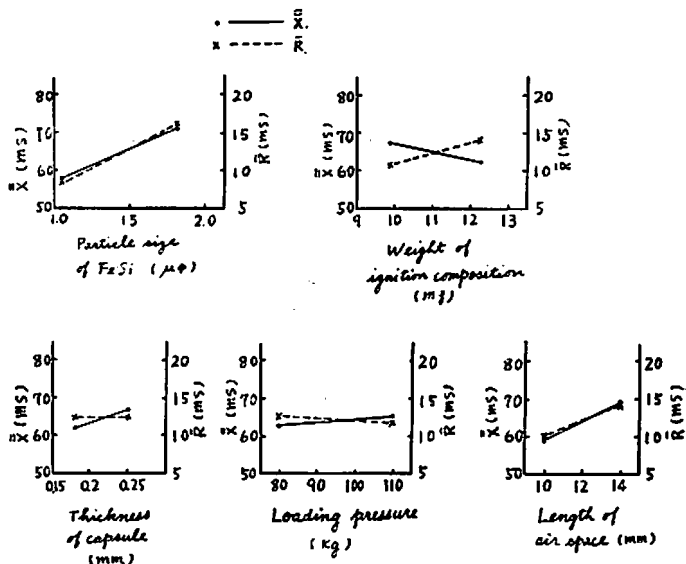


Fig. 2 Relation between various factors and mean delay time of ferrosilicon-red lead (50/50) delay elements.

圧通気式粉作比表面積測定装置（島津製）により平均粒径を測定した。

大 1.80 $\mu\phi$ 小 1.06 $\mu\phi$

B. 点火玉重量

ロダゲル鉛一塩素酸カリ（50/50）点火玉を用いた。

n=10 の薬量測定結果は次の通りである。

大 \bar{X} =12.22mg, X_{max} =13.3mg, X_{min} =11.0mg

小 \bar{X} =9.92mg, X_{max} =11.3mg, X_{min} =9.3mg

C. 管体内厚

大 0.25mm 小 0.18mm

D. 圧搾圧力

大 110kg 小 80kg

F. 空間長

大 14mm 小 10mm

各実験番号に対する水準の組合せは Table 9 のとおりである。表の右側の 2 列は n=10 での延時秒時の \bar{X} と R である。これから各水準について \bar{X} と R を計算すると Fig.2 のようになる。延時秒時は珪素鉄が細かく、点火玉の薬量が多く、管体内厚が薄く、圧搾圧力が小さく、又空間長が短い方が速くなる。パラツキは珪素鉄が細かく、点火玉薬量が少なく、管体の肉厚が厚く、圧搾圧力が大きく、又空間長

が短い方が小さい。R について検定を行なうと次のとおりである。

誤差項が大きいので有意差のあるものはなかつたが一番寄与率の大きいのは珪素鉄の粒径である。誤差項には秒時測定誤差、点火玉薬量のバラツキによる誤差ここに取上げなかつた多くの要因によるもの、更に点火玉薬量と空間長及び肉厚と圧搾圧力の交互作用も入っている。そこで寄与率が大きくなつた。そこで誤差項より寄与率の少ない項はすべてまとめて、これを誤差とすると、自由度 5, S.S.=51, M.S.=10.2 となる。これにより F 検定すると珪素鉄の粒径が有意差 5% で、他は有意差なしとする。

以上は秒時精度研究方法の一例として示したのであるが、この手法は新しい延時薬を研究する場合、多数の要因についてそれぞれ最適条件を求めたいときには数少ない実験でできるので非常に便利である。例えば 31 の要因でも 2 水準で 32 回の実験を行なえばよい。

4. 結 論

以上第 2 章、第 3 章及び若園¹⁾の実験から次の結論が得られる。秒時精度をよくするに還元剤の粒径、粒径分布、形状、純度等に特に注意する必要がある。粒径はある程度以下に細かくし、粒径分布は小さくし、形状は均一に、純度はよい方が秒時精度はよくなる。又点火玉には最適薬量があり、薬量のバラツキの小さい方がよい。その外、希釈剤はある程度粗くて粒径分布の狭いこと、混合時間はある程度以上長くすること、最適の配合順序を選ぶこと、装填圧力の大きいこと等が必要である。もつとも装填圧力は管体強度の点から考えて、又起爆薬にあまり圧力がかけられないことによりおのずから限度がある。酸化剤の粒度、純度は秒時精度に対して比較的影響が少ないが、それでも細かくなり、純度よくなると、若干秒時精度がよくなる。

要 因	自由度	S.S.(=M.S.)	寄与率 (%)
A	1	120	55.5
B	1	21	9.7
C	1	0.2	0.1
D	1	0.5	0.2
F	1	45	20.8
BXD	1	1	0.5
e	1	28.3	13.1
計	7	217	

Table 9 Design of the experiment and the consequent delay time.

No.	A Particle size of FeSi	B Weight of ignition composition	C Thickness of capsule	D Loading pressure	F Length of air space	G BxD	e Error	Delay time (ms)	
								\bar{X}	R
1	S	L	L	S	S			47.5	3
2	S	L	L	L	L			68.5	11
3	S	S	S	S	S			56.4	10
4	S	S	S	L	L			59.9	10
5	L	L	S	S	L			65.7	19
6	L	L	S	L	S			67.3	10
7	L	S	L	S	L			85.1	19
8	L	S	L	L	S			66.8	17

L: large S: small

本研究につき終始懇切丁寧な御指導を賜った東京大学工学部疋田教授に対して心から感謝の意を表します。又本研究とその発表につき許可して下さいた日本化薬株式会社上野常務殿、南坊火薬部長殿、取締役折尾作業所長山田氏、元折尾作業所長髙原氏にも感謝致します。更に、種々討議に応じて下さった日本化薬株式会社厚狭作業所技師長、工学博士日野熊雄氏及び折尾作業所研究課長、工学博士木下四郎氏にも併せて感謝致します。

文 献

- 1) 若園：工火，20，46，51 (1959)
- 2) 例えば，田口：“実験計画法”上，下，丸善，(1957)
- 3) 中原：工火，21，239 (1960)
- 4) 木下，中原：特願，昭31—31810，特公 昭35—5491.
- 5) PB. 74697. Prt 1
- 6) 米田，疋田：工火，16，85 (1955)

Studies of Delay Powders (VIII) On the Accuracy of Delay Time

by Shoji Nakahara

Two methods of improving the accuracy of delay time of delay electric detonators have been described. Using these methods the following results have been obtained. To have good accuracy of delay time, particle size distributions, shapes and purities of reducing agents should especially be taken care of. That is to say, the particles are to be fine, the particle size distribution is to be narrow, the shapes of the particles are to be uniform, and the purity is to be high. There exists the

most suitable weight of ignition composition, and the weight distribution is to be narrow. Besides, the particle sizes of diluents are to be coarse to some extent, the mixing orders of the ingredients are to be selected properly and the loading density is to be large. Effect of oxidizing agents on the accuracy of delay time is relatively small; but the finer and the purer the oxidizing agents, the better the accuracy of the delay time.

ニュース

直線加速器でロケット検査

米海軍コンコードの弾薬補給所では最近世界最強力の工業ラジオグラフ用直線加速器を据えつけた。これまで大型のロケットまたはエンジンの検査には200万ボルトのX線装置2台が使われていたが、新設の直線加速器を使うと検査時間と検査費が数分の1になる。

この加速器は1000万ボルト、出力7万キュリーでラジウム70kgに相当している。これを使うと厚さ6ftの固形推進薬または厚さ14inの鋼を通して数分で、また太いロケットエンジンを通じて数秒でラジオグラフまたはX線写真を撮ることができる。

(日刊工業 36-7-4) (Ordnance 5, 6月 p.822)

固形燃料の進歩

アメリカの Atlantic Research 社は「ボラリス」用に新固形燃料を完成したが、これは従来のものより優れ、ゲル状で硬化することなくまた安価である。このゲル燃料は固体燃料と同様の簡単さ、信頼性、融通性を備えており、しかも複雑な混合、製造、硬化および切削の必要がないので製造が容易である。タンクカーからロケットの中へポンプで押込み組立てる。

もう一つの固形燃料の進歩は小型の固形燃料モーターを組合せた集成式のものである。大きなブースターを作るには、多数を組立てるだけでよい。現在の固形燃料技術をもつてすれば、推力300万ポンドのものができ、アメリカの巨大な経済的ロケット完成への最良の方法と考えている。

(日刊工業 36-7-20) (Chemical Engineering 5月15日 p.64)