

- 5) T. Marklund and A. Lake, "Experimental Investigation of propellant Erosion" ARS Journal, vol 30. February, 1960, pp 173—178
- 6) R. B. Kershner, "Rochet Fundamentals, Chapter N.D.R.C. Division 3. Section H.

- Ö.S.R.Đ. No 3711 June 15, 1944
- 7) J. Corner, Theory of the Interior Ballistics of Guns, John Wiley, N.Y., 1950
- 8) J.A. Vandenkerckhove "Rocket propulsion, chapter 4" Elsevier publishing Company, N.Y. 1960

Over-all Erosive Burning of Solid Propellants

Tsutomu Murata and Takaaki Fukuda

The erosive burning indicates the dependence of the burning rate of a solid propellant upon the velocity of gas flow parallel to the burning surface.

The effects of gas velocity upon burning rate can be correlated in terms of an "erosion ratio", ϵ expressed as a function of velocity

$$\epsilon \equiv \frac{r}{r_0} f(\text{velocity})$$

where r is the burning rate of propellant under given conditions of pressure, propellant temperature, and gas velocity, and r_0 is the burning rate of propellant under the same conditions, but with no gas velocity.

There are many expressions used to

relate the erosion ratio to the linear gas velocity, but they indicate merely the relationship at one point on the burning surface.

In the case of planning for scale-up of a propellant grain, we must consider that the linear gas velocity and the chamber pressure may vary along the longitudinal direction of flow channel, and that sectional configuration of flow channel may vary during firing.

The purpose of this report is to give a practical expression for the overall effect of erosive burning for the propellant grain.

(Nippon Oil and Fats Co. Ltd.)

坑道試験における炭鉱爆薬によるメタン着火源の形成機構

吉 河 儀 一*

まえがき

この報文は表題に示すメタン着火源の形成機構を、数種の試験方式によつて研究したものである。ここに言うメタンとは厳密には、メタンと空気との混合気すなはち炭鉱坑気 (Firecdamp) を指している、先づ第1報では大型試験坑道での“吊し試験”を扱っているが、そこでは、薬包側面に沿はせたベンスリット溝爆線によつて薬包を起爆する方式で着火試験を試み、

その結果を、通常の電気雷管起爆による着火試験の結果と比較している。なお後の場合では、薬包の起爆端とは反対の端面に、水または食塩を充填したビニールサックを、いわゆる端面被筒として取付けて、FD (Firedamp) に対するその効果を調査した。本文に詳述するように以上2つの着火試験からは、“吊し薬包”による FD 着火は、いわゆる“ポケット着火源”の形成によること、また薬包の燃轟によつて発生するジェットおよびそれが生み出す衝撃波などの直接の作用で着火しがたいこと、これらは主として FD を

昭和36年9月9日受理

* 工業技術院資源技術試験所 埼玉県川口市町町

予熱するといった効果だけをもつことが、大体無理なく結論された。一方導爆線起爆では、ダイナマイト薬包の爆速に関して特異な点が実測された。これは直接本報の着火問題に関係あるばかりでなく、爆轟現象としてみても、またダイナマイトによる着火の点からみても、可成り重要かつ興味ある問題ゆえ、筆者の別の研究を参照してその説明を試みた。

次に第2報では、小型試験坑道における“吊し”、“掘えおき”および“隅角臼砲”(溝切臼砲ともいう)の各試験を扱ったが、端面被筒としては既掲のほかは傘状のボール紙帽を、薬包端面にさかさまに取付けて使っている。これらの諸試験で見出されたFD着火源は、試験方式の変化によつてその形成方法に変化はみられるけれど、本質的にはポケット着火源ばかりのようである。ただこれらの試験では、すべて本邦の典型的な炭鉱爆薬だけを用いている点に留意する必要がある。非炭鉱爆薬を用いた場合には、当然そのFD着火方式は上述のものとは異なるであろう。しかし米国鉱山局でのFD着火の研究には、テトリルなどを用いたものが多く、これについては第3報で考察する予定である。

第3報では第2報に示した着火を高速度カメラで捉えた結果を示し、第1、2報でえられたFD着火に関する見解を吟味した。この点高速度写真は大体において、着火試験での見解と合致しているようである。なお第3報には以上の実験研究の総括の意味で、炭鉱爆薬によるFD着火の一般像ともいふべきものを論議するとともに、この方面の欧米の最近の研究、とくにB. Lewis氏が主宰した米国鉱山局における一連の研究および、隅角臼砲を用いた独乙Dortmond Derneの研究を引用検討した。

さいごの第4報は、最近本邦で流行した耐水化炭鉱爆薬の異常着火性の問題にあてる予定である。これは炭鉱爆薬の正統なあり方を反省するうえにも、また爆薬の爆轟様式を考察するうえにも、興味ありかつ貴重な資料を提供しているように考えられる。

第1～3報は、第10回国際保安研究所長会議(米国ピッツバーグ、1959年)のコロキウムに提出された報文と殆ど同じものであるが、2、3の点でそれより少々詳述されている。この提出報文は、当時出席された東大本山祐徳教授に紹介ならびに説明して頂いたものである。この点ばかりでなく、報文の全研究を通じて、同先生からは何かと御配慮を頂いた。実験にあたっては、殆どいつつよい程の火薬、火工品会社から協力をうけた。また報文作成上、資源技術試験所長馬場有政氏からは、筆者の勤務上多大の便宜があたえられた。ここに以上の方々に対し篤く御礼申上げる次第である。なお実験に協力をうけた試験所の研究員諸氏

については、各報でこのことを銘記した。

附記 上述のコロキウムに提出された報文は、フランスの試験所の要望で、殆ど原報のままその機関誌に発表された。

実験上の一般事項

爆薬の着火性(限界薬量)の決め方

坑気(FD, Firedamp)として、メタン $9.0 \pm 0.3\%$ と空気との混合気を用いた。実際の試験では、試験坑道の爆発室にボンベからメタンを導入し、送風機でメタンと空気の混合気を混ぜ合せて、所定のFDを調製した。着火試験では、連続5回不着火の最大薬量を限界薬量(Limit Charge)と定めた。不着火を表示するにはこれとは、異なる方法もあるが、それについては第3報で比較考察を試みた。

供試爆薬

着火試験では、本邦の炭鉱爆薬。それも主にダイナマイトを使つた(表1.1)。薬包は薬径30mm、薬量100

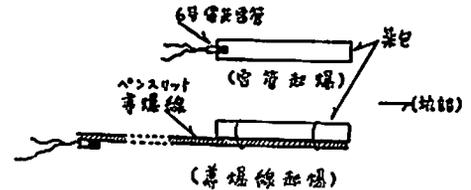


図1.1 起爆方式

表1.1 着火試験の供試爆薬

爆薬	成分				
	ニトロゲル	硝安	食塩	木粉 澱粉	その他
1号特硝安ダイナマイト	8.3	71.2			海藻 20.5
2号SS硝安ダイナマイト	9.12	53.88	30	7.0	
白梅ダイナマイト	34.3	31.5	27	1.2	海藻 6.0
ダイナマイト No.1	34.3	36.4	25	4.3	
同 No.2	26.0	43.8	25	5.2	
同 No.3	15.6	53.0	25	6.4	
安全伝爆薬	12.1	24.3	69.3	2.7	海藻 2.0
新硝安爆薬	TNT 6.0 DNN 2.0	67.0	21.0	4.0	
炭鉱用カーリット	DNN 8.0	57.5	55.0	1.5	硝石 9.0 硝安 12.0
ベンスリット導爆線	ベンスリット 100g/meter, 絹糸と塗薬で外装				

Rで、市販製品同様パラフィン紙で3巻してある。起爆には6号電気雷管を用い、その装薬部分(薬長20m

m) だけを薬包の1端に挿入した。しかし薬包をペン
スリット導爆線で起爆する場合には、薬包端から30cm
長がめに導爆線を取り、その端に6号電気雷管を取り
つけ、これを綿テープで外側を被つてはねさせてい
る。なお薬包発射はすべて爆発室の奥、すなわち坑詰
めに向けておこなわれた(1.1)。

着火判定上の注意

着火試験では、FD が着火して生長し、これが坑道
の爆発室全体に発展し、外部で判然とそれが認知され
る場合を“着火”と見做した。一方爆発室内で着火が
生じて、立ち消える場合は、これを外部の肉眼観測
では捉えることが出来ないで、“不着火”として扱
われている。このような着火の立ち消えは、一般に爆
薬量が上述の判定方式による限界薬量以下のとき起
るようであるが、時にはそれ以上でも見られる(第3報)。
着火過程の基礎研究としては、薬量の増加にともな
つて、先ず立ち消え性の着火が生じ、さらにこれが本
格的な“着火”へ推移する状況を、高速度カメラなど
で捉えることは甚だ望ましいことであるが、これは今後
に残さざるをえなかつた。ただ本研究では、すべて標
準的な炭鉱爆薬について研究を進めており、それら
の爆薬では立ち消えが発生する度合は路々等しいと考
えられるので、上述の着火の判定方式を用いることに重
大な難点はないようである。

(第1報)

I 大型試験坑道における“吊し試験”

内 容

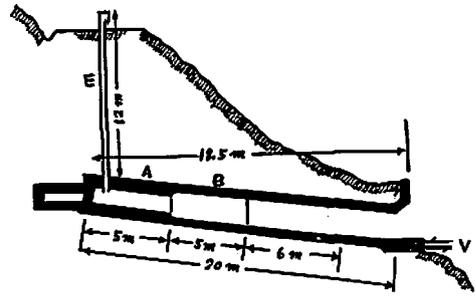
- 1.1 雷管起爆と導爆線とによるFD着火の比較
- 1.2 雷管起爆におけるFD着火
- 補遺 導爆線起爆における薬包爆速の逆転

試験坑道

これは北海道炭鉱汽船KKの新幌内鉱業所所在の施
設で図1.2に見るように、坑詰めに径1.55米、長さ5
米の鋼鉄管の爆発室、これに続いて径1.8米、長さ15
米の鉄筋コンクリート巻きの放爆坑道を配したもの
で、全体を、山の傾斜面を穿つて、時々“のぼり坑道”
として構築した半地下坑道である。

供試薬包の配置

図1.1に見るような薬包あるいは薬包列を爆発室の
中央で坑道軸(殆ど水平)に沿つて吊した。導爆線起
爆に用いたペンスリット導爆線については、あらかじめ
その3米を薬包と同様の着火試験にかけて、連続5
回不着火の結果がえられた。したがつて薬包の限界薬
量(LC)には、導爆線のそれが介入していないもの
とみてよからう。導爆線はただ薬包を起爆する方式を



E 排 気 口
A, B 爆 発 室
a, b 紙 隔 膜
V 換 気 室

図 1.2 大型試験坑道(北炭KK新幌内)

支配し、この方式に依存した薬包のLCが問題となる
と考えればよからう。

1.1 雷管起爆と導爆線起爆とによる着火の比較

1.1.1 着火試験

ダイナマイト白梅と1号特硝とについてこの比較試
験を行つた結果は表1.2と1.3に見る通りである。
表1.2では、白梅は両起爆方式で同じLC65gをあ
たえているが、特硝は、雷管起爆に比べて導爆線起
爆で若しく大きいLCをあたえている。すなわち前者で
3薬包、後者で>14薬包である。ただしいづれの場合
にも、特硝の薬包の端面は相次いで密着させて包列を

表 1.2 吊し試験結果—雷管および導爆線による起爆
におけるダイナマイト薬包の着火性の比較

ダイナマイト	起爆方式	LC (g)
白 梅	雷 管	65
	導 爆 線	65
1号特硝安	雷 管	300(薬包3コ)
	導 爆 線	>1400(# 14コ)

薬包配置～密集包列(端面密着)

表 1.3 吊し試験結果—導爆線起爆におけるダイナ
マイト薬包列: 密集と隙散による着火性の比較

試験例	薬包列中 の薬包数	薬 包 間 隔 (cm)	試験結果
1	8	10cm × 7 = 70cm	不着火
2	10	25cm × 9 = 225cm	#
3	10	20, 20, 25, 20, 20, 15, 25, 30, 30cm (210cm)	着火(3/3)*
4	15	25cm × 14 = 350cm	不着火

* 着火回数/試験回数

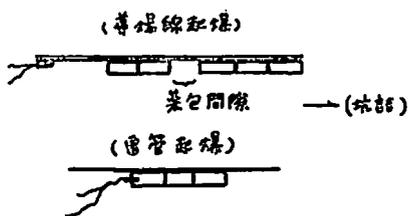
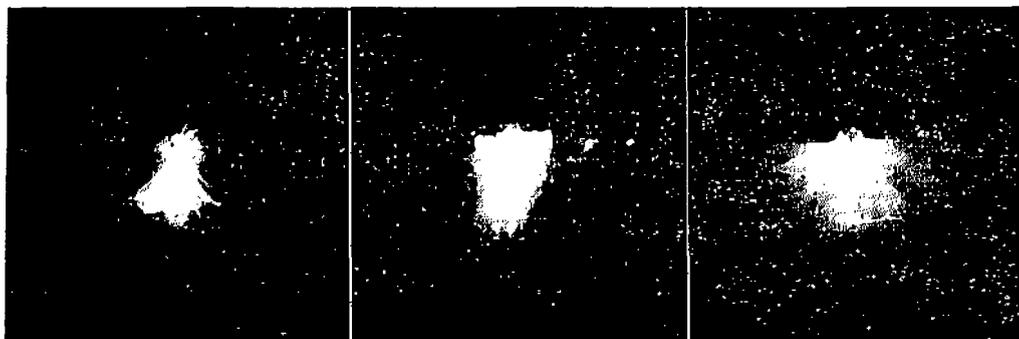


図 1.3 薬包列

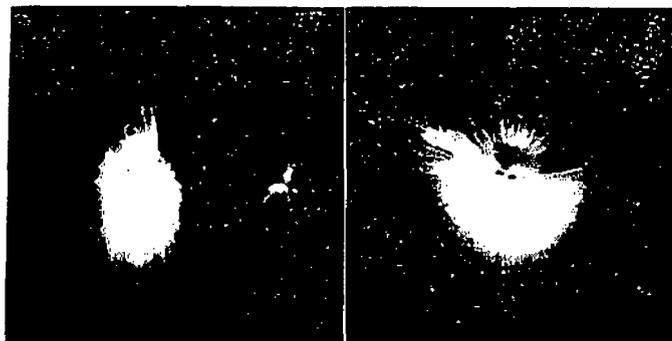
つくつてある(密集包列)。ところで導爆線起爆において特硝の薬包間に間隙をとると(図1.3), その着火状

況が変ってくる(表1.3)。試験例No.2とNo.4は、一様な間隙25cmをおいた場合で、薬包15ケで不着火、しかし間隙長を15~30cmの範囲で不規則に分布させたNo.3では、その間隙長の総和は同一薬包数(10ケ)のNo.2の場合と略々等しいが着火、結局、上述の試験結果を総合判断すると、導爆線起爆では密集包列よりも離散包列の方がFDを着火し易いことになるが、このことは、離散包列内の薬包の間隙に着火源が潜在することを示唆しているようである。換言するとこの包列が爆撃する際には、爆轟ジェットが拡散し



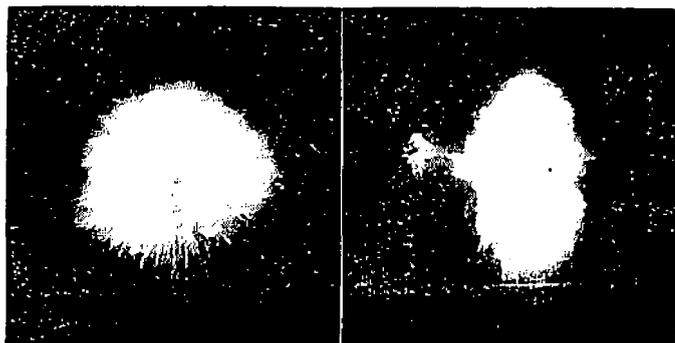
A B C
1号特硝安ダイナマイト

図 1.4 炭鉞用ダイナマイト薬包(100g)の爆轟発光



A : 水平正面
B : 水平側面
C : 垂直

A B
S S 硝安ダイナマイト



A B
白梅ダイナマイト

て生ずる爆轟雲によつて、上述の間隙付近のFDがポケット状に取囲まれ、周囲の爆轟雲によつて活性化されてポケット着火源を形成するものと考えられる。この特硝の場合に比べて、表1.2の白梅の結果からは、白梅ではこれとは別の着火様式が考えられねばならない。この相違はおそらく両ダイナマイトの組成の違いに基因する爆轟様式—導爆線起爆においてとくに一の相違によると推測されるので、以下ではこの点を検討することにする。

1.1.2 爆轟発光

白梅、SS硝、特硝の爆轟発光を、雷管一、導爆線一起爆において撮影した結果(図1.4)から、爆轟ジェットの状態をみると次のようになる。このうち雷管起爆の場合は周知であるから、ただ特硝の場合だけ掲載してあるが、これによるとジェットは薬包の側面および起爆端とは反対の端面から発生している。これは白梅、SS硝でも同様である。導爆線起爆の場合は、先ず白梅では、薬包側面から殆ど一様に側面の周囲にジェットが発射しているが、その端面からは生じていない点が目される。ところが特硝では、薬包の導爆線取付け側のジェットは完全に消失し、その反対側面から見事な半円状に発射している。さらに薬包端面からのジェットが欠けている点は、白梅の場合と同じである。最後の例SS硝のジェットは、大体白梅と特硝との中間的形態をとつていることが分る。すなわち薬包側面からのジェットは、大部分導爆線の反対側に発生しているが、その側にもある程度見られる。

1.1.3 爆速

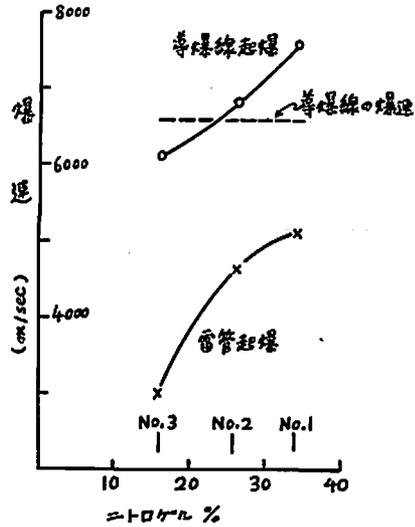
白梅と特硝との組成上の主な違いは、ニトロゲル量にあるとみられる(表1.1)。そこでこの点を一層明白なかたちでもつダイナマイト No.1~3 を新たに調製して、ともに爆速の実測に供した。No.1~3 ではニトロゲルが34.3、26.0 および15.6% と順次に減少し、食塩はすべて25%、他の成分の割合はすべて一定

表 1.4 雷管一、導爆線起爆におけるダイナマイト吊し薬包の爆速
測定：Dautriche法

爆 薬	爆 速 (m/sec)	
	雷管起爆	導爆線起爆
ベンスリット導爆線	6600	
1号特硝安ダイナマイト	2180	5940
SS硝安ダイナマイト	2270	6750
白梅ダイナマイト	5930	7300
No. 1ダイナマイト	2140	7650
No. 2	4730	6730
No. 3	3010	6350

にしてある。

測定は Dautriche 法により、基準導爆線には、起爆用と同じベンスリット導爆線(爆速6600m/sec)を用い、薬包の起爆端から5cmおよび15cmに測点を取り、そのあいだの平均爆速を求めた。導爆線起爆では導爆線の反対側に測点をとつてある。測定結果(表1.4)では、どの爆薬でも雷管起爆に比べて導爆線起爆の場合にそれより高い爆速が実現しているが、これを導爆線のそれ(6600m/sec)と比べると、特硝では5940m/secで少し低目、SS硝では6750m/secで少々高目、白梅では7300m/secで可成り高く、この順位は新設のダイナマイト No. 1, 2, 3でもみられ(図1.5)、前節の爆轟発光の度合にもこの順が存在している。なおダイナマイト No.1~3 では表1.1から分るように、ニトロゲルの含有量が爆速の推移を支配していることになる*。



爆速測定：ドーリッシュ法

図 1.5 導爆線起爆におけるダイナマイト薬包の爆速とニトロゲル量との関係

さて爆轟発光ないしはジェットが発射度合と爆速との対応状況から、導爆線起爆での上掲ダイナマイトの爆轟様式は次のようになる。特硝を例にとると、導爆線から薬包へ相次いで爆轟が伝はると、薬包では両者の接触部分を起点として、爆轟が薬包内に発展するから、薬包の断面についてこれを見ると、その断面は雷管起爆での薬包の縦断面に相当し、その結果爆轟ジェットは断面周辺に垂直な方向よりも少々爆轟伝播方向に偏つた方向へ発射されようそのうえ導爆線に接する

* No.1は円状、No.2は半円状、No.3は矩形であり、この物理的な性状が爆速の推移で問題となることも考えられるが、前述に示すように初状でも導爆線より高い爆速を示すものがあり(導爆線起爆)、この性状は余り問題とならないらしい。

部分では、導爆線の発射するジェットが先行するので、葉包のジェットはこれによつて葉包側へ押され、結果として図 1.4 に示されるような半円状のジェットが現れることになる。ところが白梅では、爆轟開始後まもなく、導爆線より高い爆速をもつので（爆速の逆転）、葉包内には導爆線のそれに先行する爆轟があることになつて、葉包が逆に導爆線を起爆することになる。こうして葉包側面から均等にジェットが発射し、既述の爆轟発光が現れたことになる。SS 硝では、その爆速からみて、白梅でみた爆速の逆転が小さく、これに相当して、導爆線側のジェットも少い筈で、丁度爆轟発光が指示するところと一致する。

爆速逆転の成因。本報の“補遺”には、上掲以外のダイナマイトおよびその他の爆薬数種について、導爆線起爆による爆速を実測し、爆速の逆転の成因を検討した。それによると、この起爆では葉包内には爆轟開始後まもなく、側面から内部に向う爆轟が、葉軸に沿つて進行する爆轟と衝突会合して、爆轟の強化を誘発する。そのさいダイナマイトの場合に適当な組成をもつてると、爆轟強化に便乗してダイナマイト特有の“低→高”型の爆轟遷移が発生して、これが爆速逆転として実測にかかると考えられる。

1.1.4 殉爆

特硝の葉包間の殉爆度（5 回連続完爆）の contour を図 1.6 に示したが、第 1 葉包を雷管で起爆した場合には、contour は同葉包の側面および第 2 葉包と対立する端面の両方向に発達しており、その中間では消失している。既述の爆轟発光はこの中間部分のジェットの消息を明示していないが、その他の点では、殉爆度の contour とジェットの形状とはよく対応している。導爆線起爆では、この対応はすべての点で良好のようである。

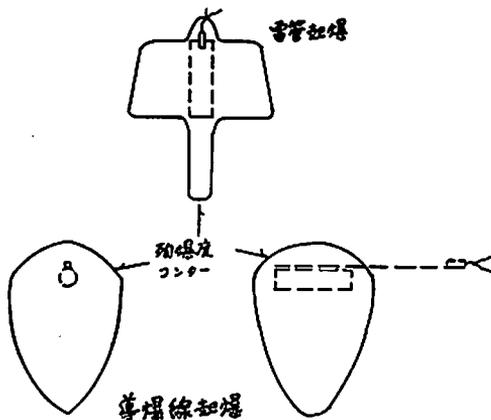


図 1.6 1号特硝ダイナマイト葉包の殉爆度コンター（空中吊し型）

1.1.5 雷管起爆と導爆線起爆における

FD 着火の考察

先ず特硝について、FD 着火が爆轟ジェットの直接作用、たとえばジェットから生ずる衝撃液によつて誘起されるとすると、既述の実測結果からみて次のような不合理な結論に導かれる。第 1 には、密集包列は離散包列よりも濃度の高いジェット、したがつて強力な衝撃波を生ずるにも拘らず、離散包列の方が実際には FD 着火を生じ易い。第 2 には、ジェットは雷管起爆では葉包の側面全体に均等に発生するのに対して、導爆線起爆ではそのジェット全体が葉包の半側面に偏るので、この場合の方が FD 着火を生じ易いとみなくてはならない。しかし実測結果はこれとは逆である。このようにみえてくると、特硝級のダイナマイトによる FD 着火は、既に離散包列の実測結果（表 1.3）で示唆されたような“ポケット着火源”の形成によるのが、普通であると考えられる。ところでこの見方を雷管起爆の場合に移すと、既に爆轟発光と殉爆とで知つたように、この起爆では葉包の側面ジェットと端面ジェットとの中間方向に、ジェットが現れない区域があり、この部分の FD が上記の両ジェットおよびこれから生じる爆轟雲によつてポケット状に取開かれ、ポケット着火源を形成することが、先ずどの場合よりも容易に期待されよう。この推測は既に B. Lewis 氏によつて提示されている⁹⁾。なお同氏の報文⁹⁾によると、雷管起爆の吊し葉包以外について、炭鉱爆薬によるポケット着火源の形成が見出されている。これらの点については第 3 報で考察することにし、ここでは雷管起爆についての上述の推測をさらに突つこんで検討してゆこうと思う。

1.2 雷管起爆における FD 着火

1.2.1 雷管起爆における端局被筒付き葉包による FD 着火

葉包と同径のビニールサックに水 20g または食塩 10g を充填し、これを起爆端とは反対の葉包端面に密着させて着火試験を試みた(図 1.7)。この試験結果(表 1.5) では水包と食塩包とはともに同量の被筒効果 (LC の増加) を、どの供試爆薬に対しても与えているが、水包ではこれ以上の水を用いても、被筒効果が増加しないので、表 1.5 に見る SLC はこの効果の限度をも示していることになる。

さて表 1.5 で扱はれた爆薬は大体炭鉱爆薬の全種類から選ばれているので、これらで例外なく端面被筒の効果を実測されたことは、その FD 着火に共通な特徴があることを予想させる。この特徴を先に言及した、“ポケット着火”とみるならば、表 1.5 の結果は次のように説明されよう。（この見方が妥当なことは、第

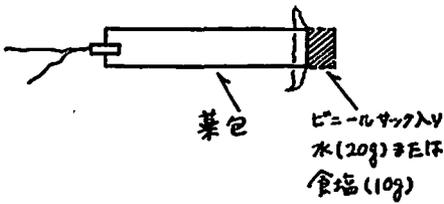


図 1.7 端面被筒 (その 1)

表 1.5 端面被筒の効果

被筒：水 20g または食塩 10g をビニールサック (薬包と同径) に充填し、起爆端と反対の端面に取付ける

爆薬	限界薬量 LC(g)	無被筒 (OLC)	有被筒 (SLC)	SLC-OLC OLC
新硝安爆薬		40(50)*	90(112)	1.25
白梅ダイナマイト		65(65)	120(120)	0.85
炭鉱カーリット		80(100)	130(170)	0.625
1号特硝安ダイナマイト		300(135×3)	400(135×4)	0.33

* () 内の数字は薬長 (mm) を示す。

2報で述べる小型試験坑道における吊し試験の結果によつて略々確かなようである。先ず薬包が爆轟するさいには、端面被筒内の水あるいは食塩は端面ジェットによつて爆発室の奥に向つて投射され、微粒子となつて拡散しよう。一方爆薬量が OLC (無被筒の LC, 表 1.5 参照) を超えて、ポケット着火源を形成し始めると、着火源はこの拡散した水または食塩の雲によつて部分的に包まれて消失されるようである。表中はじめの 2 例、新硝薬と白梅はその他に比べると爆力が少々大きく、OLC ならびに OLC での薬長が小さいが (40, 65mm), この薬長が、爆轟頭 (Detonation Head)* が完成する薬長 120mm あるいはそれに近い 112mm に達するまで (表中の SLC での薬長), 端面被筒の効果が発揮されている点が注目される。この薬長以上になると爆轟頭は定常となり、これを母体として発生する端面ジェットも定常化するので、端面被筒物質がジェットによつて爆轟進行方向に投射される度合も一定する。しかし側面ジェットは略々薬長に比例して増大する。ところで爆轟ジェットが被筒効果を抑えて安定したポケット着火源を形成するためには、端面ジェットが被筒物質をできるだけ遠方に投射するのが有利である。この投射力が一定化する SLC 以上の

* M. A. Eook 氏が提唱したもの。爆轟帯の背後に現れて生長する高圧爆轟ガス塊で、その運動量は爆轟進行方向と同方向をもつ。本報で扱う吊し底筒薬包の爆轟では、薬長 120mm で円錐体の定常型に完成する (爆轟頭モデル)。

着火の再開では、上述の増大する側面ジェットが被筒の無効化で働いていると見られる。換言すると、ますます補強されるこのジェットは一方では端面ジェットと協力して安定なポケット着火源を形成し、他方では坑道壁に衝突反射して戻つた部分が、被筒物質の拡散雲を着火源から遠ざけるように働くと考えられる (図 1.8)。

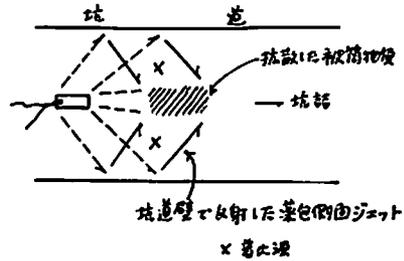


図 1.8 端面被筒付き薬包における着火の状況

(薬包側面ジェットによる被筒物質の放射)

表中のあとの 2 例、炭鉱カーリットと特硝では、OLC での薬長で既に爆轟頭は完成しているから、SLC 以上の薬量での FD 着火の再開には、上述の意味で側面ジェットが働いていると言えよう。このような各 2 例のあいだの着火様式の違いは、その爆力と関連する爆轟ジェットの勢力の違いによると見られる。

1.2.2 導爆線起爆の白梅薬包による FD 着火の考察 (補遺)

雷管起爆でのポケット着火源の形成には、端面ジェットが必要なことが前述の研究で分つたが、導爆線起爆の薬包にはこの端面ジェットが欠けている (図 1.4)。このため雷管起爆同様の着火源の形成が困難である。この点にからいうと、導爆線起爆の白梅の LC は増大することになる。しかし爆速の実測結果 (表 1.4) から分るように、この起爆による白梅の薬包には爆速の逆転が生ずる。これは白梅の爆轟を高型化し、非炭鉱用的高级ダイナマイトの爆轟に近いものにするので、FD 着火もその場合の様式で発生することになる。これはおそらく新硝ダイナマイトによる点源着火、換言すると爆轟ジェットの直接的作用によるようなものと見られる。結局、LC の増減を支配する上掲の 2 因子がある程度相殺することになり、表 1.5 にみられる、両起爆での LC の一致が実測でえられたものと言えよう。

1.2.3 雷管起爆の特硝ダイ薬包列の着火性

標題の特硝の薬包数を LC 以上に増し、その包列中に安全伝爆薬包 (S 薬包) を適当に挿入した場合、どのようにして特硝薬包 (T 薬包) を増加できるかを検討した。図 1.9 はこの薬包列を示したもので、その右

手には試験結果を“着火回数÷試験回数”をもって記してある。

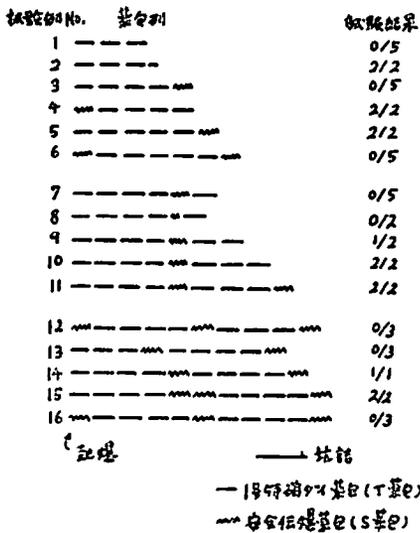


図 1.9 Zebra 型薬包列の着火性

図 1.9 中、試験例 No.1, 2 は特硝の LC が 3 薬包であることを示したに過ぎないが、No.4 では T 薬包 5 ケの起爆端に、No.3 ではその反対端(末端)に、S 薬包 1 コを取付けたもので、前者は着火、後者は不着火である。したがってこの試験に関するかぎり、1.2.1 で見出されたポケット着火源の見解が裏づけられたばかりでなく、S 薬包が食塩被筒と同じ効果をもっていることが分る*。この場合、起爆端の S 薬包に FD 着火を阻止する能力が見られない点は、注目される結果である。次に No.4 で T 薬包をさらに 1 コ増すと着火 (No.5)、しかしその起爆端にも S 薬包を 1 コおくと不着火 (No.6) となる。これは、単独では着火阻止能をもたない起爆端の S 薬包も、末端の S 薬包と協力すればその能力を発揮することを示している。おそらくこの結果は、先行的に爆轟した起爆端の S 薬包が、T 薬包の側面ジェットから発生した爆轟雲に混入懸濁して、一旦形成されたポケット着火源を、その生長の途中で消失するものと考えられる。(これらの結果は、高速度カメラによつて具体的に捉えることが望まれる。)

以上の薬包列は、富は基本型と見るべきもので、これを基として一層包列を延長する工夫を No.7—16 の結果は図解したものである。

補 遺
導爆線起爆における薬包爆速の逆転

* ただし小型試験機での隔角円筒試験 (第 2 報) では、S 薬包だけによる着火の結果がいられている。

本文 (1.1.3) で白梅について見出されたこの逆転現象を、さらに多くの他の爆薬について実測吟味した結果を、表 1.6 に掲載した。これによると、表中下部の 3 種のダイナマイトでは、そのニトロゲルの多少に拘らず逆転がみられる。しかし他の爆薬では、粉状の TNT とピクリン酸では見られず、また水和ペンスリットでも同様である。ところがヘキソゲンや非炭酸用硝安爆薬 D には存在する。なおダイナマイト以外では、逆転の有無がその本来の爆速の高さに関係がないようで、むしろ発生ガス量が多く、それをもつて大きな仕事をなすもの逆転が現れる点が注目される。

表 1.6 雷管起爆と導爆線起爆における各種爆薬の吊し薬包の爆速

測定: Dautriche 法 (基準導爆線: ペンスリット導爆線)

爆 薬	爆 速 (m/sec)	
	雷管起爆	導爆線起爆
黒カーリット	52 (%)*	96 (%)*
TNT (粉状)	69	83
RDX (粉状)	90	89, 111
ピクリン酸 (粉状)	73	83
ペンスリット, 水分 10%	71	91
D 硝安爆薬	57	116, 100
新硝安爆薬	57	91
No. 105 硝安ダイナマイト	48	111
新硝ダイナマイト	52	114
S S 硝安ダイナマイト, 食塩 25%	34	103

* 爆速値は起爆用導爆線の爆速値の百分率で示してある。

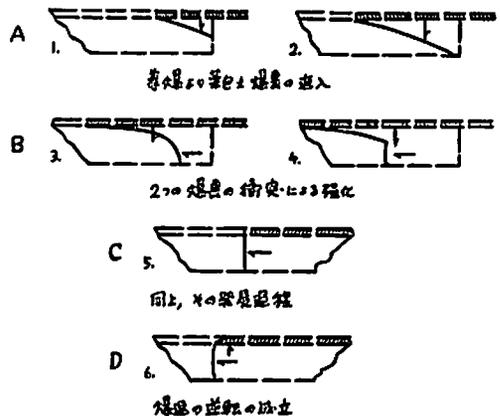


図 1.10 導爆線起爆による白梅ダイナマイト薬包の爆轟状況 (爆速逆転の形成過程)

ところで導爆線起爆では、薬包中の爆轟は図1.10に図解したような経過をとると考えられる。先ず薬包端で導爆線から薬包に伝爆すると、両者が接触する薬包側面に平行して、爆轟が薬包内に広まる(A)。導爆線からは引続きこの方式で接触面を通して、薬包内に爆轟が侵入するが、これがある程度進行するうちには、最初に薬包端に入った爆轟は、接触面の反対側にまで到達して、そこから新たに薬包軸に沿って伝はる爆轟が生れる(B)、したがって薬包内にはこの爆轟と、上述の導爆線から側面に入ってくるそれとにより、全体として薬包軸に対して凹みをもつ彎曲爆轟帯が形成せられる(C)。ただし当然のことながら、以上の考察は、導爆線の爆速は薬包の固有爆速(雷管起爆)より高いことを前提としている。さて上述のように、彎曲爆轟帯は2つの方向(たがいに垂直)の爆轟帯の合併によつてつくられたものであるから、これは爆轟帯の強化を誘発し、その結果薬包軸方向の爆轟速度は増大して、爆速逆転の可能性が生れる(D)。

ここで若し供試爆薬が、その爆轟帯の反応で多量のガスを発生し、かつ大きい爆力をもつような組成のものであれば、逆転は遂行されるであろう。表1.6の実測結果では、ヘキソゲンとD硝爆がこの例と考えられる。しかし水和ペンシリットのように、多量の水分子で爆轟しにくくされたものや、ダイナマイト以外の炭鉱爆薬のように、食塩を多量もち、比較的ガス発生量が少いもの、さらに粉状のTNTとピクリン酸のように、固体炭素を生じて充分の発生ガス量をまたないものにあつては、上述の会合によつても爆轟帯は大して強化されず、その結果逆転を生じ難いと見られる。

さて表1.6の3種のダイナマイトをみると、いづれも逆転を示している。しかし新桐以外の2つは、ニトロゲルの含有量が僅かなうえ、食塩のそれは大きく、これらの点では、上述した逆転の成因に欠けている。しかしダイナマイトでは、その起爆力に応じて低型と高型両様の爆速を示すことがよく知られており、1薬包でも、この2型が爆轟遷移となつて複雑に現れる⁵⁾。たとえば薬包の中途に booster を配すると“低→高”型の遷移が暫定的に発生する。導爆線起爆は、薬長全体に亘つて導爆線を booster として当てがつたものとみられるから、それによつて生ずる逆転は上述と同種類のもつと見られる。別に筆者が研究したところでは⁶⁾、新桐の吊し薬包では、爆轟頭の異常に大きな生長に随伴して、暫定的な低→高型の爆速遷移が現れるが、これは、爆轟頭の生長につれて(爆轟頭、爆轟帯)の反応中で、ダイナマイト特有の酸化反応が増強され、その結果誘発されるものとして、一応説明づけられた。このような自然の遷移はダイナマイトの組成に

も、物理的性状にも敏感で、新鮮な試料において見られ、しかもこれに食塩を15%添加すると消失する。この点では導爆線を booster として現れる逆転は比較的安定であるから、広幅い組成変化に対して起りうると考えられる。したがつて本文(1.1.3, 表1.2)で検討した、ニトロゲルの減少による逆転の消失を示したダイナマイト No. 1~3 はその1例に過ぎないようである。若しニトロゲルが10%前後でも、既述の爆轟帯の会合によつてある程度その増強が可能な場合には、ダイナマイト特有の遷移の原因である爆反応の進展がこれに便乗して発生し、容易に逆転が起りうると考えられる。表1.6の新桐以外のダイナマイトでは、おそらくこのような事情によつて逆転がみられたのであろう。

本報の実験のうち、着火試験は1951—1957に亘つて鉱業技術試験所北海道支所に勤務中実施したもので、その間同支所長波止薫氏(現東北大学教授)にお世話になり、実験では同支所研究員岡田寿徳氏その他の人の協力をうけたことを茲に深謝する。

参考文献

- 1) Yoshikawa, G., Mécanisme d'inflammation du grisou des explosifs de sécurité au charbon : Etude avec charge suspendue et au mortier d'angle (Communication présentée a la 10 Conférence Internationale des Directeurs de Stations d'Essais, Pittsburgh, 28 Septembre-2 Octobre 1961. Extrait de la "Revue de l'industrie Minière", Vol. 43-N 5-Mai 1961.
- 2) Lewis, B., Paper pres. at the 5th International Conf. of Directors of Safety in Mines Research, 1950.
- 3) Grant, R.L., Mason, C.M., von Elbe, and Lewis, B., Experimental Investigation of the Mechanism of Ignition of firedamp by Explosives : Studies with Suspended shots : Pres. 7th International Conf. of Directors of Mines Safety Research, July 7-12, 1952, Buxton, England ; pub. as Paper 31 by the Safety in Mines Research Establishment, Ministry of Fuel and Power.
- 4) Cook, M.A., Application of The "Detonation Head Model" to The Mass Loading by Explosives, Edit : Explosives Research Group, Institute for The Study of Rate Processes, Univ. of Utah, Salt Lake City.

- 5) Cook, M. A., The Science of High Explosives. Edit : Reinhold Pub. Corporation, 1958.
- 6) Yoshikawa, G., The Characteristic Growth

th of Detonation Head in Dynamites, Reported at 8th International Symposium of Combustion held at C.I.T. Pasadena, U.S.A., 1960.

The mechanism of firedamp ignition by coal mine explosives :

I. Studies with suspended shots in the large testing gallery

by Giichi Yoshikawa

In the ignition test, firstly two modes of initiating the charge were employed, namely that by electric detonator and that by penthrite primacord attached to the charge along its whole length. The experimental result shows :

(1) The limit charge of Shiroume dynamite is the same in both initiations, but that of Tokushoan dynamite with primacord initiation (14 cartridges) is far greater than that with detonator initiation (3 cartridges). By the measurement of the detonation velocities of these dynamite charges with primacord initiation it was found that the detonation velocity in Shiroume charge exceeds that of primacord soon after the detonation sets in, but that in Tokushoan charge doesn't so, always below that of primacord. Then it seems very probable that the above result of ignition test has resulted from such characteristic modes of detonation of these two dynamites.

(2) In the case of Tokushoan a train of discrete charges can ignite firedamp

more easily than that of close charges does. This suggests that with such discrete charge trains the stable ignition source may be formed in some interstice of charges ("pocket ignition") more easily than by any other way.

(3) In various kinds of coal mine explosives the limit charge is increased by applying the sheath of water or salt to the end face of the charge, which suggests as the most stable ignition source the pocket-like one formed in the firedamp entrapped between the jets as well as detonation clouds both from the side face of the charge and from the end face of it.

In the addendum some discussion is given about the elevation of detonation velocity of Shiroume charge above that of primacord used to initiate it (mentioned in (1)), and it is thought that this is identical with one of the transient detonation "from low to high" characteristic of dynamites, thereby the primacord itself acting as booster applied to the whole length of charge.