

た。表1に昭和25以降5年毎の国内の工業雷管及び導火線の生産量を示す⁶⁾。

昭和25年から昭和50年迄の間で、導火線1m当りの工業雷管の数をみると、0.77から1.11個の間で推移しているが、昭和55以降は、この範囲から大きくはずれている。これは、工業雷管と導火線を組み合わせる使用方法が、極度に減り、従来ウェイトの大きくなかった石切発破(直接黒色火薬に導火線に点火する)や花火への導火線の使用の比率が相対的に増大した為と思われる。因みに日本化薬の平成1年度の導火線の生産量は、約800kmであり、この内花火用の親コード・雷コードと呼ばれる導火線は、約60%を占めている。

2. 導火線の種類と構造

大正3年発行の火薬学⁷⁾には、導火線の項目に安全導火線(Safety Fuse)と速燃導火線(Quick Burning Fuse)の2種が挙げられている。安全導火線は別名緩燃導火線とも呼ばれ、更には発明者の名前を採って、ピクフォード導火線と呼ばれる事もあった。その他、性能面から微煙導火線、焼切導火線、微焰導火線、耐水導火線と呼ばれる種類も存在した⁸⁾。

2.1 鉱工業用導火線

2.1.1 第1種、第2種、第3種導火線

昭和16年に工業用火薬類の規格が定められたが、その際各社から出されている各種の導火線も規格統合され第1種、第2種、第3種導火線の3種類となった。

第1種導火線は、主として炭鉱用である。心薬量は一番少なく(4.5~5.0g/m)、ガス・炭塵への着火を防ぐ為に、心薬を麻糸による第1被覆、第2被覆の2重被覆としている。この上に防水処理を施し、更に綿糸被覆をした上で仕上げ塗装となるので線径が5.0mm以上と一番太い。被覆が厚い為に、外側迄燃える事は無く、燃焼後も被覆はそのままの形で残る。発煙量は少ない。微煙導火線及び微焰導火線が該当する。後者は特に始発時の火焰、火花を抑える様工夫されたものである。

第2種導火線は、一般鉱工業用で心薬量は第1種より多い(5.0~6.0g/m)。麻糸による第1被覆の上を綿糸で第2被覆とする。防水処理後の綿糸の数も第1種より若干少なく、従って線径は、4.8mm以上と若干細くなる。

第3種導火線は、心薬量が一番多く(5.5g/m以上)麻糸による第1被覆の上を綿糸で交叉して巻き、黒色塗料仕上げしたもので、防水処理も施されていない。この為、価格は安かったが発煙量が多く耐水性も悪い。主として坑外用として使用された。焼切導火線はこれに含まれると思われる。

現在、実際に国内で生産されているのは、第2種導

表1 工業雷管及び導火線の生産量

| 年 度 | 工業雷管(万個) | 導火線(km) | 導火線1m当りの工業雷管の数(個) |
|-------------------|----------|----------|-------------------|
| 昭和25年 | 3,808 | 46,876 | 0.81 |
| (昭和28年) (ビーク時) | (7,739) | (82,346) | 0.94 |
| 昭和30年 | 4,948 | 63,893 | 0.77 |
| 昭和35年 | 5,427 | 60,962 | 0.89 |
| 昭和40年 | 3,881 | 36,276 | 1.07 |
| 昭和45年 | 1,980 | 17,866 | 1.11 |
| 昭和50年 | 343 | 4,163 | 0.82 |
| 昭和55年 | 68 | 1,606 | 0.42 |
| 昭和60年 | 13 | 1,015 | 0.13 |

表 2 導火線の構造及び性能

| | 第1種導火線 | 第2種導火線 | | 第3種導火線 |
|---------|----------------|----------------|----------------------|--------------------|
| | | 規 格 | 実際の製造条件 | |
| 心 薬 量 | 3.5g/m以上 | 3.5g/m以上 | 6.0g/m | 3.5g/m以上 |
| 第1被覆 | 麻糸10本以上 | 麻糸10本以上 | 麻糸(#14)13本 | 麻糸10本以上 |
| 第2被覆 | 麻糸6本以上 | 綿糸5本以上 | スフ糸(#20, 3本撚り)6本 | 綿糸10本以上で 交叉して巻く |
| 防水処理 | 施す | 施す | ブロンアスファルト塗装 紙テープ巻 | |
| 上 糸 | 綿糸10本 | 綿糸8本 | スフ糸(#20, 3本撚り)8本 | |
| 表面仕上げ | 白色塗装 | 白色塗装 | 白色塗装 | 黒色塗装 |
| 線 径 | 5.0mm以上 | 4.8mm以上 | 4.9mm | 4.6mm以上 |
| 耐 水 性 | 水深1mで 2時間以上 | 水深1mで 2時間以上 | 水深1mで 2時間以上 | 水深1mで 1時間以上 |
| 燃 焼 秒 時 | 100~140秒 | 100~140秒 | 100~140秒*1 | 100~140秒 |
| 発 煙 量 | 微煙 | やや少ない | やや少ない | 発煙大 |

*1 導火線の燃焼秒時は1箱内の5本の試料の実測平均値を5秒単位で箱の外側に表示されている。

火線だけである。第1~3種導火線の構造・性能と、日本化薬の第2種導火線の実際の製造条件を表2にまとめた。

2.1.2 耐水導火線

導火線の外側を、古くはゴム被覆、最近では塩化ビニルで被覆し耐水性を付与したものを、耐水導火線あるいはビニル導火線と呼んでいる。一時輸出等の為に、相当量製造された事もあるが、現在は製造されていない。

2.1.3 ユニバーサル導火線

昭和30年前後、従来のビックフォード式導火線被覆機と心薬の被覆方法が異なるユニバーサル式被覆機が導入された。ビックフォード式では、3本の心糸で粉火薬が引き出され乍ら、第一被覆の麻糸で被覆が行なわれるのに対し、ユニバーサル式では、粉火薬は直接紙テープの上に落され、紙テープの外側を第一被覆の麻糸が被覆する様になっている。ユニバーサル式の方が被覆能力が大きく、又心薬が油分を含む麻糸と直接触れないので、秒時の変化が少ない。ユニバーサル式で製造された導火線をユニバーサル導火線と呼んだ。

しかし、麻糸の喰い込みが無い為、切断面に於る薬落ちが多い事や心薬の被覆強度が弱く空隙が生じ易いので異常燃焼発生の確率が高くなる等の理由で、現在は製造されていない。

2.1.4 電気導火線

導火線に電気的に点火する装置で、底の無い管体に電気雷管の点火玉だけが付いた様な構造になっている。安全な場所から導火線に通電点火できる事、その為に導火線長を著しく短くでき経済的であるという事で普及したが、電気雷管が広がると需要が減って、現在は生産されていない。

2.2 花火用導火線

打上げ花火の割薬等に火を伝える花火用の導火線は、もとは花火業者が自ら手工業的に製造したものが使用されていた。昭和30年代後半に、工業的な製品が開発され(例えば、実用新案公報 昭41-10720号)市販される様になった。鉱工業用の導火線の使用が大幅に減り、逆に各地の隆盛な花火大会という状況下で、日本化薬の場合、現在では、全導火線生産量の60%近くがこの花火用導火線となっている。

2.2.1 親コード

親コードは、親みち(みちび)とも称せられる。打上げ花火の玉の外側に一端を出し、中心の割薬まで配置される。打ち上げ薬により、玉の外側の親コードに着火し、丁度花火が最高点に達した時に割薬に火が入る様に伝火する役割を果す。

親コードは、玉の開く高度を決定する重要な役目を果す。低い位置で開発したり、不着火、立ち消え等割

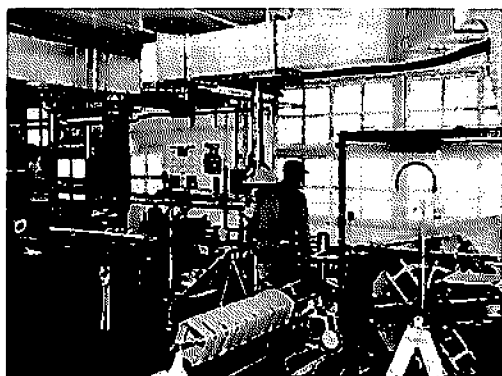


写真1 速火線製造装置

親コード及び雷コードは、鉱工業用の導火線に比べて短い秒時の中で高い秒時精度を要求され、しかも或る程度のコード長も要求される。この為、心薬は鉱工業用導火線とは異なり、黒色小粒火薬の粉火薬を使用している。小粒火薬の方が、硝石の配合量が多く硫黄の配合量が少ない。従って、燃焼秒時が短くなり、着火力も大きくなる。

花火用導火線、特に親コードはその要求性の為に鉱工業用導火線と構造が異なっている。表3に親コード・雷コードの構造及び性能を示す。

2.3 速火線類

かつて、黒色火薬を圧縮成型した有孔円柱あるいは綿糸束に黒色火薬を塗付したものを、綿テープで被覆し、更に麻糸・木綿糸を巻き、その外側を防水被覆した速燃導火線(Quick Burning Fuse)と呼ばれるものが、軍用途等に用いられた。これは、火薬と空気の接触面が広いので伝火が速く、30~300 m/secの燃速を示した¹²⁾。

現在、これとは大分構造が異なるが、仕掛花火等の点火に速燃導火線の種である速火線及びロングフューズが使用されている。日本化薬では、平成1年度の速火線及びロングフューズの生産量は、約2700kmであった。写真1は速火線の製造装置である。

2.3.1 速火線

仕掛花火で多くのランスに一齐に点火したり、あるいは連発打上げの時に各打ち上げ筒に点火したりする目的で使用されているのが、速火線である。黒色火薬を、溶剤やニトロセルローズと混合した泥状の薬としておき、この中を心糸を通して棒状の火薬を引き出した後、その周囲をクラフト紙で一重巻きとしてパラフィンで防湿処理し、乾燥仕上げしたのが速火線である。火薬とさやになった紙の間に空隙がある為、燃焼速度(伝火速度と言う方が良いかも知れない)は20~30 m/secとかなり速い。

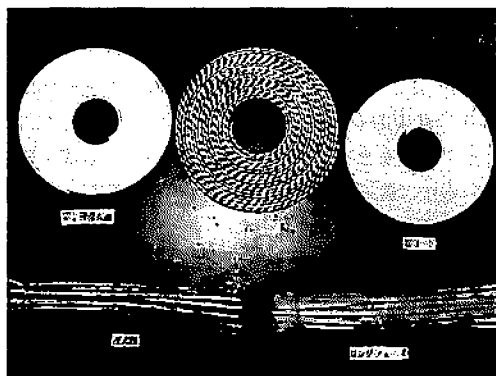


写真2 現在生産されている導火線類

表4 速火線・ロングフューズの構造

| | 速火線 | ロングフューズ |
|---------|------------|------------|
| 心 糸 | 麻糸5本 | 混紡紙8本 |
| 心 薬 量 | 8g/m | 8g/m |
| 第1被覆 | クラフト紙1巻 | クラフト紙1巻 |
| 第2被覆 | — | クラフト紙1巻 |
| 糊 付 け | あり | あり |
| 防 水 塗 装 | パラフィン | なし |
| 秒 時 | 10~15m/sec | 10~15m/sec |

2.3.2 ロングフューズ

元々は、輸出用に丈夫な様に速火線の紙被覆を2重にしたものであるが、現在では国内で速火線と同じ用途に用いられている。被覆が2重なので、その分ランスへの着火力は劣るが、速火線より丈夫な事と、燃焼速度も少し速い事から、ロングフューズが好まれて、用いられる事もある。生産量は、速火線3に対して、ロングフューズ1程度である。

速火線・ロングフューズとも短秒時の燃焼速度とより強い着火力を要求される為、親コード類と同様に黒色小粒火薬の粉火薬が用いられる。

速火線及びロングフューズの構造と性能を表4に示す。写真2は、現在生産されている第2種導火線、親コード、雷コード、速火線、ロングフューズである。

3. 導火線類の問題点と今後の展望

導火線は、一端から点火された火を伝播し他端から他のものを点火し、速火線は側面から他のものを点火すると言う目的で使用される。いずれも点火の伝播手段として用いられている。この為、導火線類は(1)火付きが良い事、(2)秒時精度が良い事、(3)点火力(着火力)が強い事、(4)確実な事(異常燃焼の無い事)が求め

られる。

火付き、燃焼秒時、点火力等は黒色火薬の配合組成(一般に硝石が多くなり、硫黄が減ると燃焼速度は上がり、点火力も強くなるが、火付きは悪くなる。)によって影響を受けるので、目的によって、組成を変えているのは既述の通りである。この他、原料である硝石の粒度、純度、木炭の種類や炭化度も、火付きや秒時に影響を与える。更に混和時間や方法も、勿論これらに影響を与える。

導火線の心糸及び第1被覆の麻糸の油分は、特に秒時精度への影響が大きい事が指摘されている。導火線類の被覆材料及び被覆方法によっては、速燃・遅燃・横吹き・立消え等の異常燃焼が生じ、確実性が問題となる。例えば、心薬量にムラができ、薬量の少ない部分があると(薬細)そこで速燃が生じるし、薬切れとなると立消えてしまう。又被覆に隙間があるとその部分で伝火が生じ速燃となってしまう。薬量が多すぎたり被覆が弱いと火薬の力で被覆が破れ横吹きを生じる¹⁾。

この様に導火線類は原材料、被覆材料、配合組成、配合方法、被覆方法等多数の要因を個々に管理しかつ総合的に考慮する必要がある。しかし、この様に多くの項目を厳密に管理しても、例えば第2種導火線ではプラスマイナス数秒以上の秒時誤差は避け得ない。この事が、現代の様な高度技術、ハイテクノロジーの社会では、時代遅れという感覚を呼び起こす大きな要因であろう。電気配管が、電気に対して弱い、電気に対して不安全としても、誰一人導火線発破に立ち返ろうと思わないのは、他の要因も有るとしても、精度の問題も極めて大きいと思われる。

従って、この問題で何らかの大きな進展が無い限り、発破に導火線を使用する事は、特殊な場合を除いて今後も期待し難い。むしろ、煙火関係の伝火・点火の道具として、今後も広く使われるものと考えられる。黒色火薬の伝火・燃焼と言う現象を応用したのが、導火線類であり、技術的には陳腐に属すると感じる人も多いと思われる。しかし秒時精度が飛躍的に向上したり、

任意の秒時が簡単に取れる様な技術が開発されるなら、その用途も、又、大きく広がり展けるのではなかろうか?古い技術を見直して、新しい技術へと飛躍・発展させる発想の転換が、導火線にも望まれる時期である。

謝 辞

この解説を作成するに当って、津久見協同アンホ働の鶴丸邸氏に御指導・御助言を賜りました。ここに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 工業火薬協会編「新・発破ハンドブック」山海堂 1989年1章, 1. 1発破の歴史
- 2) 山本裕徳著「火薬学通論」日本産業火薬会資料編集部出版1976年第1章第3節発破
- 3) 山本裕徳著「火薬学通論」日本産業火薬会資料編集部出版1976年第1章第2節発射薬
- 4.5) 日本産業火薬会編「日本産業火薬史」日本産業火薬会出版1967年第2編第4章第3節導火線、導爆線等
- 6) 日本産業火薬会編「日本産業火薬史」日本産業火薬会出版1967年第8章統計資料日本産業火薬会編「日本産業火薬史(続)」日本産業火薬会出版1984年第9編統計資料日本産業火薬会「産業火薬時報」1986年第8巻第1冊統計
- 7) 西松唯一著「火薬学」丸善1915年第11章導火線
- 8.12) 南坊平造著「採鉱火薬学」産業図書1948年第2編第3章第3節導火線類
- 9) 須藤秀治、大久保正八郎、田中一三著「火薬と発破」オーム社1971年第6章, 6. 2火工品
- 10) 清水武夫著「花火」一橋書房1966年第7章打揚花火
- 11) 日本産業火薬会資料編集部「産業火薬(新版)」日本産業火薬会資料編集部出版1985年第12章煙火
- 13) 木村 真「導火線の異常燃焼について」工業火薬協会誌199巻114頁1967年

Safety Fuse ; Historical Vicissitude and Present Situation

by Yoshiyuki IKEDA*

In former times safety fuse was a leading ignition tool for blasting, but today it has declined according to the technological progress and popularization of electric detonator. Main products of safety fuse have become for the purpose of fireworks.

Some kinds of safety fuse for blasting and fireworks manufactured in present time are described on their structure and performance.

It is desired that quite new improvement in the technology of safety fuse would be developed from the base on the principle of burning phenomena of safety fuse.

(* Explosive Technical Section of Asa Factory, Nippon Kayaku Co. Ltd.,
Sanyo-cho, Asa-gun, Yamaguchi-ken 757, Japan)
