

- 3) 伊藤一郎, 若園吉一, 藤中雄三, 高速度撮影による岩石爆破の実験的研究 (1955), 京都大学。
- 4) 村田勉: 工火協誌 10, No. 2, 68 (1949)。
- 5) E. Jouguet: Mécanique des Explosifs, Paris, p. 372 (1917)。
- 6) J. F. Roth: Z. Schiess-u., Sprengstoff, 34, 193 (1939)。
- 7) 山本新徳: 産業爆破概論, p. 137 (1947), 誠文堂新光社。
- 8) 伊藤, 若園, 藤中: 前出。
- 9) Bergbau Technik, März (1955): 石炭評論 6, 594 (1955)。
- 10) 大川嶺三: 工火協誌 13, No. 4, 259 (1952)。
- 11) B. J. Kochanosky: Mining Engineering, 861-66, Sept. (1955)。
- 12) 伊藤一郎, 若園吉一, 藤中雄三: ミリセコンド発破の破壊機構に関連せる実験的研究 (1955), 京都大学。

工業雷管の性能に及ぼす低温度の影響

(昭和31年1月24日受理)

木下四郎・福山 仁・網村美義

(日本化薬折尾作業所火工品研究課)

I. 緒 言

工業雷管の性能に及ぼす低温度, 特に液体酸素の温度たる -183°C の影響を検討しておくことは, 液酸爆薬を実用する場合に対して必要なことである。

勿論斯る検討は既に吾国に於ても, 外国に於てもなされている。即ち坂本氏¹⁾は工業爆薬を -183°C に冷却して実験した際, 雷管が斯る低温に於ては半爆現象を呈することを見出した。そこで各種の雷管を -183°C に冷却して試験し, 普通の雷管は殆んど半爆現象を示し, 二重内管のもの及びアルミ雷管のみは半爆とならないことを述べている。須藤, 坂口, 太原の諸氏²⁾は液酸爆薬に就いての各種実験の中で, 液酸中に浸した各種雷管に就いて太半爆率の検討, 最小起爆量試験, 鉛塊試験を行い, 爆粉は液酸の温度では威力が低下するが, 上向内管, 長脚内管, 二重内管を用うれば威力低下を防止し得ること, アルミ雷管は威力低下のないことを示している。太原, 坂本両氏³⁾は従来の下向内管の工業雷管は液体酸素の温度では殆んど半爆現象を呈するが, 雷管の構造如何に依つては完爆するので, この低温度での実験は雷管製造に於て構造上何等か参考になるのではないかと考えられると述べている。Stettbacher⁴⁾も液酸爆薬のエネルギーを安全にしかも充分に利用するためには雷管特にアジ化鉛雷管を用いるべきで, 雷汞を用いたものは低温のために発火しなくなる。その原因は恐らく湿気の凝縮のためであろうと述べている。更に又 L. V. Clark⁵⁾は合衆国

で使用されている各種雷管を電気雷管として用いて, 低温 (-80°C , -183°C) で次記の様な各種実験を行っている。即ち各種雷管を液酸爆薬中に置いた時間と完爆率との関係を検討しマニトール・ヘキサナイトレイトを使用した以外の雷汞爆粉を使用したもの等は時間が長くなるにつれて液酸爆薬包を完爆しにくくなること, 25°C , -80°C , -183°C で各種雷管の鉛板試験を行い, 温度の低下と共に猛度が低下すること, 前記の各種温度で各種雷管のトラウゾル鉛塊試験を行い, その拡大値は温度に依つて影響されないこと, 前記の各温度でメテガンク検速機を用いて雷汞, 雷汞爆粉, テトリール, TNT等各種爆薬の爆速を測定し, 爆速の平均値は低温の影響を受けないがそのバラツキは低温程大きくなり勝ちであること, 前記各種温度で各種爆薬を爆発させるに必要な雷汞量を求め, 低温程その必要量が多くなること, 又並列に結線した2個の電気雷管の間の爆発時間の差が両雷管の温度の相違に依つて如何なる影響を受けるかを検討し一方が常温で一方が -80°C の場合僅かな影響のあることを示している。

吾々は工業雷管 (雷汞爆粉を使用したもの) の性能を完爆能 (半爆率の大小で示す) と起爆能 (鉛板孔径, 鈍性爆薬試験結果等で示す) との二つに分けて考え, 此等性能が -183°C と云う低温で如何なる影響を受けるかを前記文献を参考にして追試し, 低温程完爆能は低下するが長内管を使用し添装薬中に爆粉を凸入させた型式にすると -183°C に冷却しても半爆の

発生を防止し得ること、及びこの型式であれば起爆能の低下は殆んどないことを明かにした。更に雷汞爆粉の至完爆距離とそれを白金電橋に点火玉式に塗布したものに就いてジュール熱で発火する際の臨界エネルギーを -183°C を含む各種温度で測定して低温にすることに依つて、雷管の完爆能が低下する原因に就いても論じ、低温程雷汞爆粉の臨界点火エネルギーが大きくなり、従つて至完爆距離が長くなり終には半爆現象を呈するに至ることを述べた。

II 完爆能について

雷管の性能を二つ即ち完爆能と起爆能とに別けて考えることに就いては前述の通りである。茲に完爆能とは雷管が爆発した時作用する威力の大小に不拘、雷管が完爆するか、完爆しないで半爆になるか、不発になるかと云つた性能を示し、之は完爆率で示すことにする。一方起爆能は爆発した時に作用する威力の大小を示し、鉛板試験、釘試験、鈍性爆薬試験等で比較することにする。勿論此等二つの性能も互に関連があることは云う迄もないが便宜上二分して以下考えることにする。

1. 雷管型式の影響

雷管型式に依つて低温 (-183°C) に依る影響にどの程度の差があるかを完爆能の面から検討した。

(1) 試料

試料としては図1に示す4種類を用いた。雷汞爆粉(雷汞 78%, 塩素 22% (重量比))及び添装薬(主としてテトリール)の水分はいずれも 0.05% で感量 10 mg の天秤を用いて、1本ずつ精秤した。又これらは天秤つきプレスで1本ずつ精圧した(此等の條件は以下の実験に於いても同様である)。

型式	No.1	No.2	No.3	No.4
	下内管	上内管	二重内管	長内管
利丸	0.45 (g)	0.45	0.45	0.45
全	110 (kg)	110	110	110
爆粉	0.4 (g)	0.4	0.3	0.4
全	40 (kg)	40	40	40

(2) 結果

上記試料を点火玉式電気雷管に組立て、液体酸素中

に15分間浸漬した後1本ずつ取出して1分以内に鉛板試験を行い完爆の有無を確認した。(同一試料を30本同時に浸漬したので、一番短いもので15分、一番長いものでは約45分液体酸素中に浸漬していたことになる)。此の結果は表1に示す。

表1 完爆能試験結果 (その1)

試料区分	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
試料数 (ヶ)	30	30	30	30
完爆数 (ヶ)	4	30	30	30
半爆数 (ヶ)	26	0	0	0

尚 No. 1 は常温 (約 5°C) では20発試験し20発完爆している。此の結果から、上内管、二重内管、及び長内管で爆粉を添装薬中に凸入させた形式にすれば低温にしても半爆の発生を防止し得ること及び No. 1 の結果から低温にすることに依つて雷汞爆粉雷管の完爆能が低下することが判明する。

2. 添装薬種に依る影響

雷管用添装薬として今日一般に使用されているテトリール、ヘキソゲン、ペントリットの三者間で低温 (-183°C) にすることに依つて完爆能に如何なる差を生ずるかを検討した。

(1) 試料

雷管の型式としては前記 No. 1 と No. 4 とを用いた。起爆薬種とか薬量とか圧搾圧力は前記図1に示したものと同一である。

(2) 結果

此等試料を点火玉式電気雷管に組立て、前記1の場合と同様な條件で試験した。その結果の詳細は表2に示す。

表2 完爆能試験結果 (その2)

添装薬区分	テトリール		ペントリット		ヘキソゲン	
試料区分	No.1	No.4	No.1	No.4	No.1	No.4
試験数(ヶ)	30	30	30	30	30	30
完爆数(ヶ)	4	30	6	30	7	30
半爆数(ヶ)	26	0	24	0	23	0

尚 No. 1 の型式で添装薬をテトリール、ペントリット、ヘキソゲンの何れにしても常温では20発試験し20発とも完爆している。

此の結果、長内管を使用し爆粉を添装薬中に凸入させた型式 (No. 4) であれば、添装薬がテトリールであろうと、ペントリットであろうと、又ヘキソゲンであろうと、 -183°C の低温でも半爆は発生しない。

然し短内管を使用し爆粉を添装薬中に凸入させない型式 (No. 1) では、上記三種の添装薬の何れの場合にも半爆品が発生しているのが判明する。添装薬の種類に依つて半爆率に差があると云えるかどうかを検定すると危険率1%で三者間の半爆率に差があるとは云えないことも判明する。

3. 添装薬の塊実圧力に依る影響

添装薬としてテトリールを用いた場合に、そのテトリールの圧搾圧力 (即ち塊実密度) を変化させた場合の完爆能が低温 (-183°C) に依つて如何なる影響を受けるかを検討した。

(1) 試料

雷管の型式としては No. 4 を用いた。起爆薬種とか薬量は前記図1に示した通りである。

(2) 結果

此等の試料を点火玉式電気雷管に組立て、前記1の場合と同様な条件で試験した。その結果は表3に示す。

表3 完爆能試験結果 (その3)

添装薬圧搾圧 (kg/ケ)	60	80	110
添装薬密度 (g/cm ³)	1.37	1.42	1.48
試験数 (ケ)	30	30	30
完爆数 (ケ)	30	30	30
半爆数 (ケ)	0	0	0

添装薬の圧搾圧力は実用範囲では大きい方が完爆能が向上することは既に認められているところであるが、 -183°C と云う低温にすることに依つて半爆の発生し易い条件にしても No. 4 の型式では、此の範囲の圧搾圧力の変化は完爆能に差を生ぜしめず何れも 30/30 完爆することがわかつた。

4. 点火法の差に依る影響

爆粉に点火するのに、第2種導火線を用いた場合と、点火玉を用いた場合とで、爆粉の至完爆距離が異なり前者の場合の方が長くなることを既に認めているが、此の両者の点火法に依つて、低温 (-183°C) にした場合に完爆能に如何なる差を生ずるかを検討した。

(1) 試料

雷管の型式としては No. 4 を用いた。起爆薬種、添装薬種、それらの薬量及び圧搾圧力は前記図1に示したと同一である。尙導火線点火の場合には第2種導火線を点火玉点火の場合には第1層にヂエトロソレプレン鉛を、第2層にはロマン鉛を主剤とした点火玉を用いた。

(2) 結果

前記1の場合と同様な条件で試験した。その結果は表4に示す。

表4 完爆能試験結果 (その4)

点火法区分	第2種導火線	点火玉
試験数 (ケ)	30	30
完爆数 (ケ)	30	30
半爆数 (ケ)	0	0

即ち No. 4 の型式であれば、第2種導火線で点火しても、点火玉で点火しても完爆能に差はなく、何れも 30/30 完爆している。

III. 起爆能について

雷管の性能の一面である起爆能に就いては前述の通りであるが、他のもう一つの性能たる起爆能に就いて以下に述べる。雷管の起爆能を判定する試験方法としては色々あるが、取り敢えず茲では鉛板試験、釘試験、鈍性爆薬試験の三種を行い総合判定することにした。

1. 鉛板試験

40mm 平方、厚さ 4mm の鉛板を用いて試験した。孔径と條痕に依つて威力を判定すべきであろうが、以下には孔径の測定値のみを示す。

(1) 試料

試料としては図1に示した No. 1, No. 4 を用いた。尙点火玉式電気雷管に組立て、電気点火を行った。

(2) 結果

液体酸素に浸漬する条件、発火試験の条件等はⅡの1に記したと同一である。その結果の詳細は表5に示す。

表5 鉛板試験結果

雷管型式	No. 1	No. 4	
15°C での試験	試験数 (ケ)	20	20
	平均 (mm)	10.34	10.41
	標準偏差 (mm)	0.12	0.11
-183°C での試験	試験数 (ケ)	4	20
	平均 (mm)	9.77	10.44
	標準偏差 (mm)	0.45	0.12

此の結果を検討すると、前記表1に示した様に低温にすることに依つて半爆の発生している No. 1 の型に於いては、鉛板孔径も低温にすることに依つて分散は大きくなり、平均値は小さくなっているのがわかる。一方低温にしても半爆の出なかつた No. 4 の型に於ては鉛板孔径の低下のないことがわかる。

2. 釘試験

4吋の釘を用い米國鋸山局の図2に示す方法⁹⁾で行った。鉛板試験が雷管の底部軸方向の起爆能を示すとすれば、釘試験は側面方向の起爆能を示すものと考えられる。

図 2



(1) 試料

試料としては図1に示した No.4を用い、之れを点火式電気雷管に組立てて電気点火を行った。

(2) 結果

液体酸素に浸漬する条件、発火試験の条件等はⅡの1に記したと同一である。結果の詳細は表6に示す。

表6 釘試験結果

試験温度 (°C)	試験数 (ヶ)	平均 (度)	標準偏差 (度)
15	15	32	4.5
-183	16	30	3.5

即ち上記結果を検討すると No.4の型式の雷管では危険率1%で標準偏差にも平均値にも両者の間で差があるとは云えないことがわかる。即ち側面方向の起爆力は低温にしても差を生ずるとは云えない。

3. 鈍性爆薬試験

JIS K 4806 に示す要領に従って行った。但し鈍性爆薬の薬量は 28gr であり、鉛板は 70mm 平方、厚さ 20mm のものを用いた。

(1) 試料

試料としては図1に示した No.4を用い、之を点火式電気雷管に組立てて電気点火を行った。

(2) 結果

液体酸素に浸漬する条件、発火試験の条件等はⅡの1に記したと同一である。漏斗孔径の測定結果の詳細は表7に示す。

表7 鈍性爆薬試験結果 (孔径: 耗)

試験温度 (°C)	タルク含有率 (%)			
	20	25	30	35
15	45.1	43.9	41.5	40.0
-183	45.0	43.9	42.4	40.4

(註) 1) 各々10個の平均値を示す。

2) 各々10個試験したが半爆はなかつた。

此の結果漏斗孔径はタルクの含有率の大小に拘らず 15°C と -183°C とで差があるとは云えない。

以上の起爆能に関する各種実験から No.1の様に低温にすることに依つて半爆を発生する型式の雷管では鉛板孔径の分散が大となり且つ平均値は小さくなるが、No.4の様に長内管を使用し添装薬中に爆粉を凸入させた型式の、低温にしても半爆の発生を防止し得る型の雷管では起爆能の低下は無いことが判明する。

IV. 完爆能の低下の原因について

起爆能と完爆能とに二つに雷管の性能を分けて前述の様に検討した結果、次の様なことが判明した。

(1) 雷汞爆粉を用いた雷管では完爆能は低下する。然しその型式を適当にすれば -183°C に冷却しても半爆の発生は防止し得る。

(2) -183°C に冷却した場合に半爆を発生する型式の雷管では鉛板孔径の低下も認められるが、冷却しても半爆を防止し得る型式にした雷管では起爆能の低下も認められない。

此等の結果は前述の各種文献に示された結果と略々一致している。尚これらの結果から -183°C と云う低温にすれば完爆能は低下するが然し半爆の発生を防止し得る型式にすれば起爆能の低下を防止し得るので、以下に完爆能が如何なる原因に依つて低下するかについて考察を進める。

1. 温度と雷汞爆粉の点火エネルギーとの関係について

吾々の内の一人木下はさきに電気雷管について、その点火玉の点火エネルギー等について述べているが、吾々は雷汞爆粉に 5% の強綿素を混じて電橋に塗布し、ピード式点火玉をつくり、木下の述べた方法¹⁰⁾に従つて各種温度での点火電流と平均点火時間との関係を求めた。その結果は表8に示す通りである。但し此の点火玉付試験を空管体に取付けてⅡの1に記したと同様な条件で加熱又は冷却を行った。

表8 各種温度での点火時間

試験温度 (°C)	点火電流 i (A)	電橋平均抵抗 r (Ω)	平均点火時間 t (m.s.)	臨界点火エネルギー E ₀ = E/(joule) × 10 ⁻³
75	0.6	0.7	20.0	5.04
	0.7	0.7	12.5	4.29
	0.8	0.7	8.0	3.58
14	0.6	0.7	22.0	5.55
	0.7	0.7	12.5	4.29
	0.8	0.7	8.8	3.94
-183	0.6	0.7	155	39.9
	0.7	0.7	31.5	10.8
	0.8	0.7	19.0	8.51

此の結果から電橋の抵抗値を用いて即ち臨界点火エネルギー (E) を求めると表8の右端の成績となる。之れから $E-t$ の関係を図示すると図3の様になる。

図3 各種温度での $E-t$ 関係



さて第3図から各温度に於ける実測値はよく直線上に乗るので、かかる広範囲の点火時間に対しても $E = A + Bt$ が成立する。今この式より A, B を求めると表9の様になる。

表9 各種温度での A, B

試験温度 (°C)	A (joule)	B (joule/sec)
75	0.0028	0.120
14	0.0028	0.125
-183	0.0043	0.224

又 A は電橋に保持されるエネルギーを B は電橋よりの熱損失を表わす項である¹¹⁾。

以上から試料の温度が低い程臨界点火エネルギーは大となるがそれは試料の温度が低い程発火に要するエネルギー自体が大となり、尚且つ外囲への熱損失が大となるためであることがわかる。

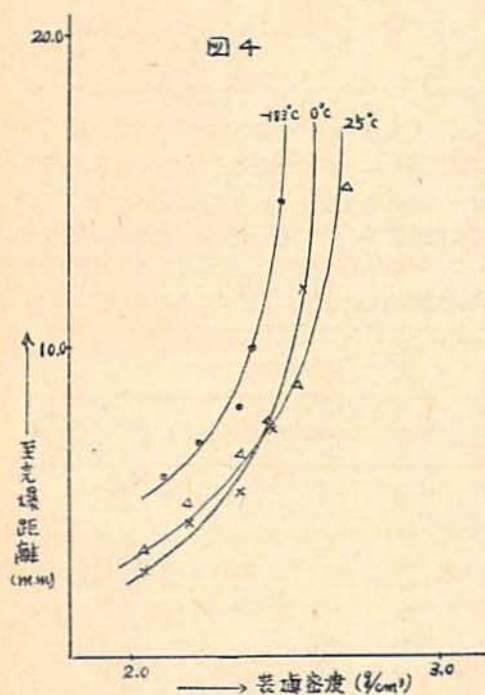
2. 温度と至完爆距離との関係に就いて

雷汞爆粉の至完爆距離については別に報告¹²⁾をしたが、試験時爆粉の温度を変えた場合に至完爆距離が如何に影響を受けるかについて検討した。管体の厚さ 0.15mm, 薬径 6.2mm, 雷汞爆粉量 1.6gr, 電気点火に依つて 25°C, 0°C, -183°C の場合について夫々試験した。試料は電気雷管にしたものをⅠの1に示した条件下で冷却又は加熱した。結果は図4に示す通りであるが、之から爆粉の温度が低い程、装填密度の大小に拘らず至完爆距離が長くなつてゐるのがわかる。尤も 0°C と 25°C の場合では装填密度 2.5 位迄はその差は判然としないが 2.5 以上になると 0°C の場合の方が矢張り至完爆距離が大となつてゐる。

さて、雷汞爆粉に点火する際温度如何に拘らず導火線又は点火玉から雷汞爆粉に作用するエネルギー量は等しいと見ても (実際には低温にする程その量は少くなるのではないかと考える) 低温の場合程雷汞爆粉の臨界エネルギーは大であるので、活性中心の数が少く、爆粉が連鎖反応で燃焼すると考えると活性中心の数が少く程反応速度は小となる。反応速度が小となると共に低温の場合程反応の熱損失が大きく爆轟状態に入る迄に多量の爆粉の反応を必要とし従つて至完爆距離が大となる。更に進んで至完爆距離が大きくなる程同一型式の雷管の場合には半爆発の確率が大となると云える。

V. 結 語

工業雷管の性能に及ぼす低温の影響は液酸爆薬を実用上にも是非検討しておくべき事項である。



此のことは既に吾国でも外国でも為されているところであるが、吾々は雷管爆粉雷管に就いて此等の追試を行うと共に、今迄に行はれていない性能変化、特に低温にすることに依る完爆能低下の原因について考察を行い次の結論を得た。

1. 雷管の完爆能は低下する、然し長内管を使用し、爆粉を添装薬中に凸入させた形式にすると、 -183°C 云々の液体酸素の温度に迄雷管を冷却しても半爆の発生を防止し得る。そしてこの型式であれば添装薬の圧搾圧力、薬種(テトリール、PETN、ヘキソゲン)点火方法が本実験の実験範囲内で変動しても半爆の発生を防止し得る。
2. -183°C と云う低温にしても半爆の発生する様な型式のものでは少くとも鉛板孔径は減少するが、半爆の発生しない上記の様な型式にすると起爆能の低下は防止し得る。
3. 雷管の完爆能低下の原因は、爆粉の臨界点火エネルギーが低温程大となり、ひいては至完爆距離も増大するためであると考えらる。

本実験を行うに当つては勝原折尾作業所所長及び日野博士の御指導のあつたことを記して謝意を表す。又直接実験を担当された松尾、勝原両君にも謝意を表

する。尙本報告の要旨は昭和30年春季火薬協会講演会に於いて発表した。

文 献

- 1) 坂本勝一：工業火薬協会誌 11 (1) (1950) 41.
- 2) 須藤秀治，坂口逸夫，太原正：工業火薬協会誌 12 (1) (1951) 18~23.
- 3) 太原正，坂本勝一：工業火薬協会誌 13 (2) (1952) 101.
- 4) A. Stettbacher; Die Schiess-und Sprengstoffe (Zweite Auflage) (1933) 321.
- 5) L. V. Clark: Z. S. S. 28 (1933) 345~348.
- 6) 又木武一：工業火薬協会誌 11 (1) (1950) 3.
- 7) 福山仁：社内報告 (1953).
- 8) 木下四郎，福山仁，細村美義，未発表
- 9) 浜田顯吉郎：火薬読本 (白亜書房) (1950) 161.
- 10) 木下四郎：工業火薬協会誌 15 (1) (1954) 3~4.
- 11) 木下四郎：工業火薬協会誌 15 (3) (1954) 167~168.
- 12) 木下四郎，福山仁，細村美義：工業火薬協会誌 16 (2) (1955) 80~84.

爆薬猛度の実験的研究

第X報 爆薬による固体内衝撃波速度の電氣的測定

(昭和31年1月25日受理)

桜井武尙

(日本油脂株式会社武豊工場)

I 緒 言

先に、固体のみならず、種々の物質についても同一の方法で行うことが出来、結果の物理的意義もかなり純粋と思われる衝撃波速度測定法を考案、報告した²⁾。然し、この方法は一つの爆薬が鉄に与えた応力波の型を正規の弾性波と仮定することによつて組立てられたものであつて、この仮定の妥当性はさらに吟味する必要があつた。本報告は、第1にこの目的から、鉄、鉛、銅、アルミニウムの諸金属について電氣的に測定し、第2に、純粋に電氣的測定が可能であると思われる空気について上記の補正值の妥当性を調べ、第

3に、衝撃波面又は波内の物質速度測定の基礎を作つておく目的で行つたものである。

II. 爆破の解析に必要な爆源部の 機相の推察と衝撃波の役割り

実際の岩石爆破に當つて、仲々抽象化した理論がたてにくいのは、爆破の諸現象に不明な点が多く、爆源近くの初期の現象にはマイクロ秒のオーダーで観察しなければならぬ実験的困難があり、さらに進んで、ミリ秒のオーダーでより靜的に観察出来る領域に及んだとしても、破壊條件の複雑さには変りないことにある。