

工業爆薬の爆速に関する實驗的吟味

會員 山 本 祐 徳

摘 要

種々の工業爆薬に就て爆速を實測し併せて殉爆、感度等の實驗により各爆薬の爆性的特徴を吟味考察し、爆薬の動的特徴としての爆速に関する知見を新たにした。即ち爆薬の部分爆發の可能性(起爆の確否)、完全爆發の可能性(爆轟の難易)等の性能より切り離して爆速の概念を實驗的に確めたものである。

目 次	
緒 言	285
第 1 章 爆 速	285
1 爆速の一般	285
2 ダイナマイトの爆速	287
3 爆速の測定	290
4 工業爆薬の爆速	292
第 2 章 爆速に及ぼす効果の觀察	296
5 爆性傾向の推定	296
6 爆速の加成性	300
7 點爆の効果	301
8 ダイナマイトの老化	304
第 3 章 殉 爆	306
9 殉爆の一般	306
10 殉爆距離	308
11 殉爆傳播速度	309
12 殉爆と衝撃感度	313
13 爆轟の抵抗通過	315
第 4 章 爆薬動的特徴の吟味	317
14 猛度と爆速	317
15 爆速の吟味	318
終 説	319

緒 言

爆薬の用途は破壊に存し、破壊効果は實驗的に猛度の概念にて與へられ、エネルギー・密度及爆速間の數的考察は 1912 年 H. Kast 氏によつて行はれた。而て一方 Jouguet 氏は Riemann, Hugoniot 氏等の衝動波理論を爆薬の爆轟に應用を試みた (1917)。この實驗的考察と理論的推理とは爆速の計測に於て合流したるも (A. Schmidt 氏, 1935)、爆速殊に工業爆薬のそれが實測には多くの支配因子の含まるゝあつて本質が明らかでない。極端に云へば工業爆薬の爆速なるものは一種の概念的數値に過ぎぬ感すらあつた。著者は年來この方面の實驗を試み、之が考察により聊か知見を新にすることを得た。

凡そ爆發の實驗は精密を要するに拘らず兎角粗笨に流れ易く、結果の取捨に迷ふこと尠しとしない。されば著者は簡單なる手段を選び之が精確なる運用を期することを試みた。即ち Dantriche 氏檢速法の活用が之である。幸にして之が實用價値を高め得たるを以て更に應用を擴大した。而して殉爆其他に関する實驗は他の觀點より爆速の意義を確認するために補足的に實施したものである。

第 1 章 爆 速

1 爆速の一般

爆薬塊の 1 點に爆轟が生起すれば或る速さを以て全爆薬塊に傳播する。この爆轟の傳播する速さが爆速である。長さ藥條の 2 點間を爆轟が通過する時間を測定すれば爆速は知るゝを以

て、これは容易に實測可能なる爆藥特數として古來多くの研究者により測定せられ且吟味せられた。

氣體爆發混合物の爆發傳播は主として、最初の壓及溫度によつて影響せらるゝことは、古く Mallard 及 Le Chatelier 氏等の研究により明らかにせられた所であるが、M. Berthelot 及 P. Vieille 兩氏は之を固態又は液態の爆藥に應用せんと試みた¹⁾。然し之等の場合には氣體に於ては考慮せられざりし幾多の未知因子に妨害せられ、初壓の影響は明らかならず、且油狀液態爆藥にては僅に溫度效果を感知したれども之はむしろ液態の粘度變化に歸すべきものとされた。

其の後 C. E. Bichel 氏はニトログリセリン (N/G) 爆藥及硝酸アンモニウム (硝安) 系爆藥に就て 30m の長さ薬包を用ひ、Le Boulengé 氏檢速機により薬徑の増大による爆速の變化を觀測し、爆速は薬徑と共に上昇するもその上限値が前者にては徑 30 mm に、後者にては 50 mm に在るを認めた²⁾。H. Dautriche 氏も亦有名なる同氏の考察に係る檢速法によつて壘索酸カリ爆藥 (Cheddite) に就て薬徑増大に伴ふ爆速の變化を測定した³⁾。H. Kast 氏の實驗によればピクリン酸、トロチル等のニトロ化合物は薬徑 10 mm にて既に爆速の上限値に達し、更に薬徑を 300 mm まで増大するも何等本質的の爆速變化を認めなかつたといふ⁴⁾。これニトロ化合物が導爆線の導爆藥として既に古くより利用せらるゝ所以である⁵⁾。一方 A. Comey 氏は N/G が徑 6 mm 以下では 1.5 g 裝藥の雷管にて點爆せられざれど、9 mm では約 650 m/sec、25 mm となれば 1500 m/sec 或は 7700 m/sec の爆速を示し、更に徑 38 mm となれば 8000 m/sec の大爆速を呈すること(この最後の場合と雖も 0.8 g 雷管では 2000 m/sec の低爆速しか得られなかつた)、又松ダイナマイトも徑 50 mm に於ては常に 8000 m/sec にて爆速の傳播するを認知した⁶⁾。

爆速に及ぼす密度の影響には特に著しいものがある。爆藥の密度が高まれば之と共に爆速の増進する事實も既に Berthelot 及 Vieille 兩氏によつて觀測せられ⁷⁾、ピクリン酸、トロチルの如きニトロ爆藥に在りては密度と共に爆速が最大の上限値に向つて増大するとせられた。前述の Kast 氏が求めたる薬徑と爆速との關係は高密度のニトロ爆藥に関するものなれど、R. Förg 氏⁸⁾によれば低密度の爆速——その値は高密度の場合より小——は更に太き薬徑例へば 50mm 以上に於て始めて上限値を現はすといふ。然るに Dautriche 氏は Cheddite の如き混合爆藥を強く壓縮して假比重を高むれば、最初は爆速の上昇を示すも、或假比重に達するときこゝに爆速の極大値を呈し、爾後假比重の増加により爆速が漸進線的に低下するを認めた⁹⁾。この現象はニトロ爆藥には存せざるも珪藻土ダイナマイトには見受けられる⁹⁾。これに關して Cl. Herlin 氏は爆藥混合體の物理抵抗説を提唱した⁹⁾。即ちこの抵抗とは分解生成ガスによつて豫

1) Ann. Chim. Phys. (6) 6, 556 (1835), 23, 485 (1891). Mém. Poudr. Salp. 4, 7, 210 (1891).

2) Glückauf 40, 1040 (1904).

3) Compt. Rend. 143, 641 (1906), 144, 1030 (1907). Mém. Poudr. Salp. 14, 215 (1906/7). Zs. Schiess- u. Sprengst. 2, 74, 313 (1907), 4, 204 (1909).

4) Zs. Schiess- u. Sprengst. 8, 135 (1913).

5) 鉛管にトロチルを熔填し、之を引伸して導爆線とする方法は 1904 年以前に Lheure 氏によつて提案せられた。(D.R.P. 182081, 1904).

6) 第 7 回萬國應用化學會戰報告 (1909, 倫敦). Zs. Schiess- u. Sprengst. 4, 256 (1909).

7) Zs. Schiess- u. Sprengst. 11, 17, 38 (1916).

8) 同上誌 8, 448 (1913).

め壓縮せられたる爆薬體がその後に来る爆轟波に抵抗するを意味する。一般に爆薬は假令ニトロ爆薬と雖も極度に壓縮せらるゝときはその爆速の大小は別問題として容易に爆轟し難くなる(即ち死壓に達する)。従つて爆速は之の假比重よりもむしろ爆轟波に對する抵抗によつて變化すと云ふべく、爆薬は點爆せられし瞬間にはその密度の如何に拘らず確に或る爆速を呈するも、爆薬條の抵抗變化によつて之が進行が或は速まり或は遅ると論じた。Herlin 氏の所説は爆轟の難易と爆速の大小と自ら異なる性能を同時に錯綜して論じたる嫌あれど、空氣泡の分布、含有量或は密閉強度に關し支持せられ或は實驗的に是認せらるゝ所があつた¹⁾。

然し密閉強度と爆速との關係は鈴木富治博士の實驗によつて明らかにせられた²⁾。即ち同博士は肉厚 45, 90 及 135 mm の鋼管或は鋼筒を用ひて爆速の變化を觀測し、その結果大氣中にて 2300 m/sec の小爆速を示すに過ぎずと目せられし櫻ダイナマイトが肉厚 45 mm 管にて 4400 m/sec, 90 mm 管にて 5000 m/sec, 135 mm 管にて 6950 m/sec の如く密閉強度と共に爆速の著しき上昇を呈するを認めた。然しカーリットの如き混合爆薬に在りては密閉強度の影響殆ど顯れず、これは混合爆薬に對する一般の見解と一致するものである。ニトロ爆薬も亦密閉による爆速の變化顯著ならざれど、之が高密度特に熔融鑄型せられたるものは點爆に困難が伴ふ。既述の如く點爆の難易と爆速の變化とは自ら別問題とすべきも、A. Comey 氏の實驗にも見る如く膠化ダイナマイトはその N/G 含有量に拘らず點爆様式により明瞭に爆速値を異にするは注目に値する³⁾。

斯くして爆薬の爆速はそれ自身の固有の性質に基くの外、聚合狀態、密度或は假比重、藥條の太さ(藥徑)、之を容るゝ物料の密閉強度並に點爆機構等によつて變化する。而してニトロ爆薬共の他の化合物類は爆速に關する限り密度以外の條件に左右せらるゝこと少しとするも、工業用爆破藥たるダイナマイト、硝安爆薬、カーリット等の爆速變化は、之を支配する因子多きを以て爆速を爆薬特徴として抽出せんがためには尙幾多の吟味を必要とする。

2 ダイナマイトの爆速

珪藻土ダイナマイトは假比重によつて爆速値を異にし且極大上限値を與ふといふも⁴⁾、事實これが假比重は通常 1.62 前後にしてその場合に最高の爆速 6800 m/sec を呈するのである。其の他の可塑性(粉質に非らざる)ダイナマイトも製造上之が實用の假比重は略一定なる⁵⁾を以

1) S. Nauckhoff, Zs. Schiess- u. Sprengst. 26, 450 (1931) 等。

2) 火薬協會誌 2, 221-43 (昭和 10 年)。尙鈴木博士の實驗は肉厚 4 mm 以上 135 mm に及ぶ各種鋼管に於て櫻ダイナマイトは點爆位置より遠隔に従ひ漸次爆速を増大し、1 m に至つては 6050~7350 m/sec に達した。これは後述する著者の實驗と全く合致するものである。

3) H. Kast, Zs. Schiess- u. Sprengst. 8, 156 (1913) 引用

膠化ダイナマイトの N/G %	30	40	50	60	70
管管にて點爆せる爆速 m/s	2484	2278	2279	2104	2165
木粉ダイナマイトにて點爆	5122	5544	5862	6006	6999

著者の用ひし膠化ダイナマイトなる語は N/G を液狀のままではなく縮薬 (N/C) と膠化せしめたるものを使用せるダイナマイトの謂。敢て膠質ダイナマイト——今日我國にては可塑性ダイナマイトの意味に用ふ——と區別した。

4) Dautriche, Mém. Poudr. Salp. 14, 215 (1906/7)。

珪藻土ダイナマイト (N/G 75% 珪藻土 25%)								
假比重	0.63	0.79	0.85	1.34	1.54	1.62	1.69	1.71
爆速	1991	2397	2563	3670	5230	6794	4207	2460

5) 可塑性ダイナマイトと稱したるは通常膠質ダイナマイトと呼ぶるゝものにして、壓伸機にて成形せられ機械的に一定密度が與へられる。例へば

名稱	松ダイナマイト	75% 櫻	00% 櫻	50% 櫻
假比重	1.42	1.45	1.55	1.60

て、特に密度の考慮を要しない。更に又密度變化の最も少なかるべき液體の N/G が充分に太き藥徑(約 40 mm)にては 8000 m/sec 以上の大爆速を出し、藥徑細きとき或は雷管強度の小なるときに 2000 m/sec 以下の低爆速を與ふる事實は¹⁾、明らかに區別せらるゝ 2 群の爆速値の存在とダイナマイトの爆速變化の原因とを暗示するものである。

扱て N/G の結晶にはスタビール型及ラビール型なる 2 つの異性體の存することは古くより知らるゝ所であるが²⁾、Hibbert 氏は之が生成、變移及爆性等に就いて詳細なる研究を行つた³⁾。未だ凍らざる新鮮なる N/G を木粉、綿或は特にガラス綿粉末と混じ、攪拌しつゝ -40°C に過冷すれば常にラビール型に結晶し、又木粉と硝酸ソーダ若は硝酸アンモニウムと混すればスタビール型を生ずる(硝酸カリにはこの作用なし)。ラビール型結晶はその儘スタビール型に變移すれど後者は一度液態に歸るに非らざれば前者に戻らず。但し兩種異性體を夫々 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ に温めたる後冷却すれば再び夫々の結晶を生ずるが故に、液態としても兩種異性體の存在が假定せらるゝとして Hibbert 氏は化學構造式をも推定した。尙爆性はスタビール型がラビール型よりも大なりと云ふ。其の後 A.A. Dserschkowitch 及 K.K. Andrew 兩氏⁴⁾は Hibbert 氏の研究を追跡し、硝酸カリ或は硝酸アンモニウムと木粉との混合物は常にラビール型を生ずること、固態ラビール型 N/G は 8 號雷管にて點爆されざれど(爆速は 0)スタビール型結晶は 9150 m/sec、液態は雷管のみでは 1165 m/sec なれど 10~15 g のスタビール結晶にて點爆すれば 8750 m/sec に達したと報告した。此くして N/G の變態及之が爆速は明らかにせられたれどダイナマイトの爆速變化は尙複雑である。例へば異性體の認められざるニトログリコールを以てせるダイナマイトにも後述する老化の現象が起る。

N/G に少量(N/G の約 8% 内外)の綿藥 N/G を加へて膠化したる松ダイナマイトは、一般に製造直後ならでは 8000 m/sec の爆速を示さず、多くは 2000 m/sec 前後を呈するに過ぎぬ。この貯藏中に爆速が低下する現象を老化といひ松ダイナマイト以外の膠化ダイナマイトに廣く認めらるゝ所である。老化の原因に就ても多く假設が提示せられたれど未だ判然たるものではない。

Hargreaves 氏は膠化の進行即ち遊離の N/G が減少するを老化の最大原因⁵⁾としたが、遊離 N/G の跡方もなき無煙火藥粉末も容易に高爆速にて爆轟し得る。こゝに粉末藥粒間の空氣間隙

1) N/G の爆速測定値は甚だしく不揃である。

Berthelot, Mém. Poudr. Salp. 4, 7 (1891). 徑 3~6 mm の鉛管及錫管にて 1100 m/s.

Blockmann, Zs. Schiess- u. Sprengst. 1, 80 (1906). 液態 1525 m/s, 膠化 7000 m/s, 珪藻土 25% 入 6820 m/s.

A.M. Comey & F.B. Holmes, 同上誌 8, 306 (1913).

徑 25 mm, 長 3 m 鐵管, 1.5 g 入雷管	1463	1539	1783	7877	8400 m/s.
------------------------------	------	------	------	------	-----------

徑 37.5 mm, 長 3 m 鐵管, 0.8 g 入雷管	1627	2203	3846	4212	
--------------------------------	------	------	------	------	--

" " " " 1.5 g 入雷管	1288	8527			
-------------------	------	------	--	--	--

Kast, 同上誌 15, 197 (1920) 肉厚 5 mm, 徑 30 mm 引抜鋼管, 燐燐藥テトリール 50 g, 7400 m/s.

栗田茂策, 加納元市兩氏, 火兵學會誌 25, 473 (昭和 7 年)

見掛比重 1.65 の液態 N/G , 10200 m/s.	同	1.71 の凍結 N/G , 13980 m/s.
----------------------------------	---	-----------------------------

2) S. Nauckhoff, Zs. Angew. Chem. 18, 11 (1905).

H. Kast, Zs. Schiess- u. Sprengst. 1, 225 (1906).

3) 同上誌 9, 83, 126, 306, 321 (1914).

4) Zs. Schiess- u. Sprengst. 25, 353, 400 (1930).

5) Mann, Arms & Explos. 19, 150 (1911).

が爆轟波傳播に都合よき表面を生ずといふ説¹⁾は一應多くの事實の説明に役立つ。即ち松ダイナマイトは最初無数の空気小泡を分散含有して色調白濁を呈するも、貯藏中逐次之を逸散して透明度を増すと共に爆速を低下する。故にかゝるものに約 10% の珪藻土を均一に混入すれば爆轟容易にして且爆速亦大となる。再練するも同様の効果を得る。但し珪藻土の混入は爆力の低下を來し、再練薬は新製品よりも遙かに速かに復老化を示すを以て共に實用的の回生法ではない。之に關して著者はさきに空気泡の分布の均一とその保持に關する實驗を報告したが、老化は空気間隙のみにて解決せられ得るものではない²⁾。然し S. Nauckhoff 氏の實驗は頗る興味深きものである³⁾。

Hermann Selle 氏は N/G 62.5, 綿薬 2.5, 木粉 8.4, 炭酸ソーダ 0.3% 及び (A) 硝酸ソーダ 26.25 若くは (B) 硝酸カリ 26.25% より成る試験ダイナマイトを肉厚 3~4 mm 徑 25 mm の引抜鋼管に填めて爆速を測定したるに、A 及 B 共に製造後 2~3 週間の製品は 8 號雷管のみにては 2000~2300 m/sec, 10 g の壓搾ピクリン酸を傳爆薬として 6300~6600 m/sec の爆速を得、又 A に就て製造 2, 8 及 20 日後のものを徑 30 mm 鋼管にて 8 號雷管を用ひ點爆すれば爆速値は夫々 6150 m/sec, 5400 及 2750 であつた。この實驗値は極めて一般的な膠化ダイナマイトの性状を代表するものである⁴⁾。A. Stettbacher 氏は夙にダイナマイトが短期貯藏後に之が本來の爆速 6000~8000 m/sec を 1/3~1/4 に低下する説⁵⁾をなせるも、適々氏が之の老化防止法⁶⁾を提案強調したるに對して Ph. Naoum 氏は激しき反駁論を發表した⁷⁾。Naoum 氏は St 氏の引用せる老化し易きダイナマイトがドイツ品と同日に論じ難き(劣等なる)スキス品にして、前者が N/G 50% に對し通常 2% の弱綿薬を以て膠化するを、後者はその 3 倍の 6% を用ひたれば固より爆轟感度の鈍きこと論を俟たず、ドイツのダイナマイトは常溫貯藏にて爆轟感度を低下することなく、たゞ輸出向高膠化品と長く高溫に貯藏せる場合にのみかゝる現象を呈するに過ぎずと述べた。N 氏はダイナマイト製造の大家なるが他を稱駁して言はず語りに本音を吐きたる感あり、氏のダイナマイトには遊離 N/G の多分に存するを言外に含め、既述の Hargreaves 氏の説を認承するものと推察せられる。又 Karl Trantz 氏は從來未發表なりし O. Schulze 氏の實驗値を引用して N 氏の説に賛意を表した⁸⁾。即ち 65% 膠化ダイナマイトは製造直後、1, 5, 9, 16 日、1, 2, 7 月及 1 年後に互つて 30 mm 鋼管内にて 8 號雷管は勿論 1 號にても常に 6400~6700 m/sec の高爆速を得、而もベントリット傳爆薬包 (St 氏推稱)

1) Aubert, Chem. Ztg. 37, 212 (1913).

2) 吉川英吉氏と共著、火兵學會誌 29, 143 (昭和 10 年)。ダイナマイの空気泡が充分に存し且分布が均一なるときは確に爆轟が容易である。その結果見掛け上では速に最高爆速に達し易くなるやうである。

3) Zs. Schiess- u. Sprengst. 26, 45 (1931)。新鮮なるとき假比重 1.38 程度のアンモニアダイナマイト(その爆速 6810 m/s)を真空處理にて脱氣し、假比重を高むれば爆速を低下した(例へば $\Delta = 1.54$ にて 2160 m/s) 試料が老化し難きアンモニアダイナマイトであること及脱氣して密度が著しく高まりしことを思へば直ちに老化の説明には應用し難きも興味は深い。尙脱氣して $\Delta = 1.56$ としたる前記アンモニアダイナマイトも穿孔内にては 6200 m/s の高爆速を呈し得たと報じてゐる。

4) Zs. Schiess- u. Sprengst. 24, 469 (1920).

5) Schiess- u. Sprengstoffe, Leipzig. 48, 133, 139 (1919).

6) Chem. Ztg. 55 653 (1931), 58 719 (1934), Nitrocell. 6, 43 (1935)。萬能爆薬と稱してベントリットの效用特に傳爆効果を述べ、又之を N/G と混合してダイナマイトの老化防止を強調した。

7) Zs. Schiess- u. Sprengst. 26, 188 (1931), Chem. Ztg. 58, 959 (1934), Nitrocell. 6, 161 (1935)。後の 2 篇はベントリット及ベントリットの無用論よりダイナマイト老化防止の不用論に發展した。

8) Zs. Schiess- ugs. Spän. 130, 178 (1935).

を用ふるも何等の特效を認めなかつたといふ。依つてダイナマイトは正常の貯蔵に在りては1ヶ年後と雖も何等爆速を低下することなく且傳爆薬を要せずと結論した。尙 Trautzl 氏は製造直後のダイナマイトに銅管等の密閉を用ひざるときは8號雷管を以てするも3000 m/sec以上の爆速を得ざりし實驗より雷管の影響を低く密閉強度の効果を高く評價した。既述の鈴木博士の實驗に見る如く密閉の効果は頗る顯著である。尙 S. Nauckhoff 氏は膠化ダイナマイトの脱氣したるものを岩石穿孔内にては最高爆速にて爆轟せしめ得たと報じてゐる¹⁾。

3 爆速の測定

爆速の測定は一條の長さ藥包上に採りたる2點間を爆轟波が通過する時間を測ることに歸結し、古く Bichel 氏は Le Boulengé 氏の落桿檢速機を應用し²⁾、其の後火花檢速機³⁾、蓄電器檢速機⁴⁾等の考案あり、或は火花寫眞⁵⁾の利用も試みらるゝも爆轟による發光を回轉フィルム上に撮影する方法が最も精確なるものとして推稱せられてゐる⁶⁾。

然し一方 Dautriche 氏の考案に係る檢速法⁷⁾は操作簡便にして且隨時隨所に實用し得るを以て捨て難きものがある。この方法は圖1に依つて周知の如く、雷管 D より爆轟波が A→B の方向に爆藥 Z 内を進行するとき、導爆線 ΔMB に A より入れる爆轟と B より入れるそれとが合合する點 P を鉛板 C 上に求め、導爆線の中點 M と P との距離を測定することにより爆藥の爆速 V を $V = AB \times (\text{導爆線の爆速}) / 2MP$ として算出するのである。故に本法は間接法にして精度は全く基準とする導爆線の爆速によつて左右せらる。

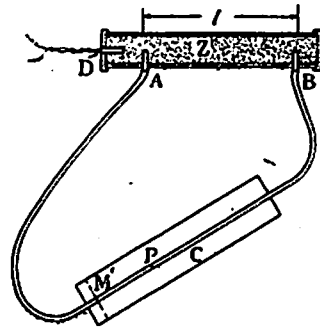


圖1 Dautriche 氏檢速法

著者は Mettegang 氏火花檢速機によつて基準導爆線の爆速を測つた。本機の價値は既に多くの研究者によつて批判せらるゝ所であるが⁸⁾、爆藥の爆轟に際して生ずる高量子化せる爆發生成ガスの影響も細き導爆線にては差したること無かるべく、且は手許に他の適當なる装置なきを以て敢て本機の活用を試みたのである。これによつて測定した値は最初全く不規であつた。導爆線端の點爆用雷管と第一測線との距離は鋭敏に測定値に影響したが、之を定量する術が無い。然し考案の末幸にして甚だ簡單なる方法によつてこの誤差を消除することを得た。即ち導爆藥と同種の粉狀爆藥約 30g

- 1) Zs. Schiess- u. Sprengst. 26, 45 (1931). 前頁註 3)
- 2) Glückauf 40, 1040 (1909).
- 3) Mettegang 檢速機.
- 4) J.E.P. Wagstaff, Proc. Roy. Soc. 105 A, 282 (1924).
E. Jones, Safety in Mines Res. Board., Paper No. 22 (1926).
Hans Rumpff, Zs. Schiess. u. Sprengst. 24, 13 (1929).
J.F. Roth, 同上誌 28, 42 (1933).
- 5) J.E. Smith, Phys. Rev. 25, 870 (1925).
- 6) H. Rumpff, Zs. Schiess- u. Sprengst. 24, 55, 99 (1929).
H. Selle, 同上誌 420.
M. Patry, Combustion et Détonation, Paris. 61-98 (1933).
M.A. Parisot, Mém. Artil. Fran, 18, 500-507 (1939).
- 7) Compt. Rend. 143, 041 (1906). Mém. Poudr. Salp. 14, 215 (1906/7).
- 8) 柳喜來雄氏, 火兵學會誌 15, 21 (大正 10 年).
H. Selle, Zs. Schiess- u. Sprengst. 24, 420 (1929). W. Friederich, 同上誌 26, 221 (1916).

を傳爆薬として用ひる試みである。導爆線は單に雷管を裝着したるのみにて、その爆速が固有値を呈すると否とに拘らず容易に爆轟し得るを以て、從來之が點爆機構には考慮が拂はれなかつたのであらう。然し導爆線特に爆速小なるトロチル導爆線を Dautriche 檢速法の基準とするとき、爆薬の種類により誤差甚だしきことは既に知らるゝ所である¹⁾。これ畢竟點爆機構の相違にして、上述の如き方法により導爆線の點爆を行ひ、Mettegang 氏檢速機によりその爆速を測定したるに誤差は僅かに 0.55~0.65% の範圍に止まり概ね機差と認むることを得た。即ち次の如くである。

導爆線の爆速測定値

	平均爆速 (5~7 回)	公	差
ピクリン酸導爆線	6900 m/sec	±40 m/sec	±0.58 %
ペントリット導爆線	6960	±45	±0.65
トロチル導爆線	5400	±35	±0.64

傳爆薬を鋼管に充填すれば圖 1 に於て AB (=約 10 cm) はノギスにて 0.1 mm 以内に測定可能である。導爆線 AMB は通常 1.0~1.5 m なるを以てその中點の決定は鋼製物指にても 0.2 mm 以内の誤差に止め得る。鉛板上の爆轟波合點は顯著なりと雖も 1 mm 内外の幅を生ずるが故に、その中心の決定には 0.3 mm 程度の誤差を免れず、結局 MP の測定誤差は 0.2+0.3 = 0.5 mm であらう。依つて爆速計算値は

$$dW = W \left(\frac{0.1}{100} + \frac{45}{6960} + 2 \frac{0.5}{1000} \right) = 0.0067 W$$

の誤差範圍に在り得る。

【實驗 1】 假比重を異にするピクリン酸及ペントリットの爆速

本研究は主として工業爆薬の實驗と之が吟味を目的とするも隨所に參考としてピクリン酸及ペントリットを引用した。之等の爆速は既述の如く薬徑、密閉強度等に影響せらるゝ所少なけれど假比重の効果は著しい。

試料の内ピクリン酸は由良染料會社日比工場製品を精製して融點 120°C とし、又ペントリットは日本合成化學大垣工場製のペンタエリスリットールを火薬學教室にて硝化し、純度 99.1% (窒素量 17.55%) たらしめたものである。

何れも藥量 30 g 宛を徑 30 mm の圓筒に壓搾成形し——その高さより假比重を算出した——これをパトロン紙筒内に竝べ、Dautriche の常法により爆速を測定した。基準導爆線は淺野カーリット會社製錫管入ピクリン酸導爆線 (爆速 6900 m/sec) である。

假比重	ピクリン酸	ペントリット	假比重	ピクリン酸	ペントリット
0.75 kg/l	— m/sec	4000 m/sec	1.35 kg/l	6800 m/sec	6850 m/sec
0.90	—	5200	1.40	6550	7000
0.95	4950	—	1.45	6700	—
1.20	5840	6250	1.50	6900	7400
1.25	6000	—	1.55	7000	—

1) R. Förg, *Zs. Schiess u. Sprengst.* 11, 21 (1910).
Kast u. Günther, *同上誌* 14, 120 (1919).

この値は W. Friederich¹⁾, J.F. Roth²⁾ 氏等の測定値に基だ近似するを以てまづ測定法も一般的であると認められる。著者は單なる紙筒を Roth 氏はペークライト筒を又 F 氏は紙、ガラス及銅管を用ひたるも爆速値には大差なく、之等爆薬は密閉に影響さるゝ所少きこと明瞭である。

又之等爆薬の爆速は Taffanel-Dantriche 式³⁾

$$W = 6.41\sqrt{f}/(1-\alpha\Delta)$$

(爰に f : 火薬の力, α : コポリウム, Δ : 假比重或裝填比重)

R. Schwob 氏の修正式⁴⁾

$$W = 1/(m-n\Delta^{1/3})$$

m : ピクリン酸	0.6171×10^{-3} ,	ベントリツト	0.5100×10^{-3}
n : ピクリン酸	0.4084×10^{-3} ,	ベントリツト	0.3200×10^{-3}

及 Albert Schmidt 氏の水力學熱力學式⁵⁾

$$W = \frac{v}{v-\alpha} [\mu\sqrt{k \cdot f}]$$

(v : 爆薬容積, $k = C_p/C_v$, $\mu = (k+1)/k$)

等によく合致するが、著者の實驗範圍の Δ に在つては W は殆ど Δ と共に直線的に變化してゐる⁶⁾。

4 工業爆薬の爆速

著者は昭和5年以來爆薬製造工場の好意により各種工業爆薬の提供を受けて爆速の測定を繼續した。供試試料の種類及成分(分析値の1例)概ね次の如くである。(爆薬名稱の後の數字は櫻, 桐及硝安ダイナマイトでは N/G , 梅では硼砂, 硝安爆薬では食鹽の含有率)

a 膠質ダイナマイト

		N/G	総薬	硝石	硝安	硼砂	木粉	澱粉	水分
1	松ダイナマイト		92.9	6.95	—	—	—	—	0.15
2	櫻ダイナマイト	75%	74.13	3.67	16.61	—	4.82	—	0.57
3	〃	60	57.00	2.25	31.91	—	7.90	—	0.85
4	〃	50	49.10	1.53	39.40	—	8.22	0.84	0.91

1) *Zs. Schiess- u. Sprengst.* 28, 2, 51, 80, 113 (1933).

2) 同上誌 43.

3) *Compt. Rend.* 155, 1221 (1912).

4) 同上誌 198, 1990 (1934).

5) *Zs. Schiess- u. Sprengst.* 30, 364 (1933).

6) Wöhler u. Roth 兩氏も亦 1) 及 2) の實驗値を以て爆速 W は裝填比重 Δ に比例するらしい $W = K\Delta + C$ と推論してゐる。(Zs. Schiess- u. Sprengst. 29, 9, 1934). 試みに諸氏の實驗値を對比すれば圖3の如くなる(直線部分のみをとる).

- | | | |
|--------|---|---------------|
| ピクリン酸 | { | 1. Kust |
| | | 2. Friederich |
| | | 3. Roth |
| | | 4. 著者 |
| ベントリツト | { | 5. Friederich |
| | | 6. Roth |
| | | 7. 著者 |

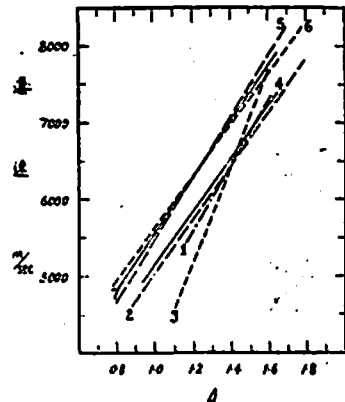


圖3 諸氏爆速値の比較

		N/G	純薬	硝石	硝安	硼砂	木粉	澱粉	水分
5	櫻ダイナマイト	40	39.81	1.24	44.54	—	0.98	6.17	1.26
6	〃	30	30.42	1.01	31.84	—	—	15.42	1.31
21	桐ダイナマイト	40	39.53	1.24	—	31.45	—	9.59	1.09
22	〃	35	34.63	1.15	—	55.66	—	7.21	1.85
31	梅ダイナマイト	25	53.61	1.50	12.49	—	25.16	5.89	1.37
32	〃	35	49.69	1.69	9.91	—	35.55	2.02	1.14

b 硝安系爆薬

		N/G	純薬	硝安	DNN	食鹽	木粉	澱粉	水分
41	硝安ダイナマイト	20%	19.63	0.53	45.05	—	28.55	4.84	0.76
43	〃	8	7.82	0.59	63.06	—	21.78	6.75	0.25
51	炭酸硝安爆薬	20	—	—	69.65	7.52	20.48	1.55	0.29
52	〃	10	—	—	78.74	8.51	10.42	2.17	0.16

DNN: (ヂェトロナフタリン)

c カーリット

			NH ₄ ClO ₄	珪素燐	木粉	重油	水分
61	カーリット	黒	74.45	16.21	6.52	2.82	0.21
62	〃	紫	83.64	11.41	2.42	2.08	0.45

【実験 2】 新鮮なる工業爆薬の爆速

爆薬を肉厚 4 mm 内径 35 mm 長さ約 1200 mm の引抜鋼管に充填し、一端より 8 號テトリール電気雷管にて點爆し、これより 150, 500 及 1000 mm の距離に於ける爆速を Dantrich 法により測定する。

爆薬試料は製造後 2 週間以内の新鮮なるもの。実験は爆發試験坑道内にて行ふを以て氣温、薬温共に 15~18°C 範囲である。尙この実験は數年に亙つて實施せるものなれば甲乙爆薬相互間の關係は餘り嚴密では無いが同一爆薬の性状を主として追求したものである。

装置の概略は圖 3 に示す如くである。

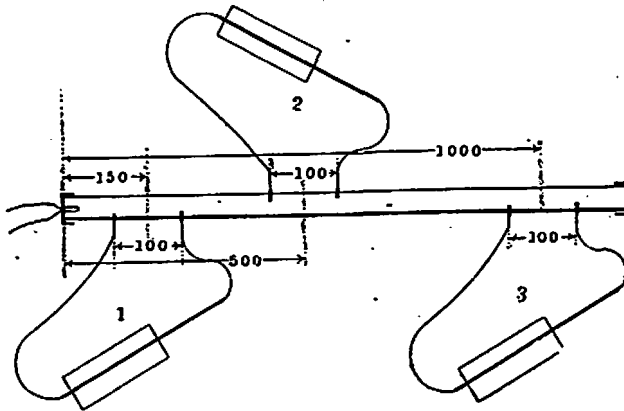


圖 3 爆速變化測定装置概略圖

供試爆薬		雷管よりの距離 (mm)		
		150	500	1000
1	松ダイナマイト (イ)	6500 m/s	6700 m/s	7000 m/s
	" (ロ)	2200	2200	2200
2	櫻ダイナマイト 75 %	5500	6000	6500
3	" 60	3900	5500	6300
4	" 50	3600	5300	6000
5	" 40	3400	5200	5700
6	" 30	2800	5200	5500
21	桐ダイナマイト 40	5600	6500	6500
22	" 35	5300	6000	6000
31	梅ダイナマイト 25	3500	2500	2200
32	" 35	2600	2200	2000
41	耐安ダイナマイト 20	3500	3500	3500
42	" 8	3300	3400	3500
51	炭酸耐安爆薬 20	4000	3800	3300
52	" 10	4500	4200	3800
01	カーリット 黒	3800	3800	3800
02	" 紫	3600	3600	3600

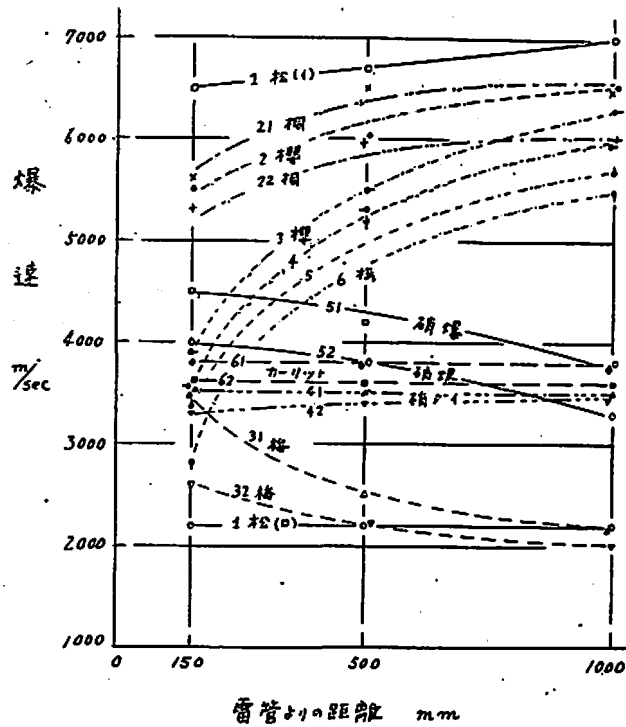


図4 爆速變化測定値

実験結果の考察

1° 全般 実験結果を圖 4 上に見れば明らかなる如く點爆位置よりの距離に對する爆速の變化は概ね 3 つの類型に分類される。(i) は殆ど變化なきもの、(ii) は次第に爆速の上昇を呈するものにして (iii) は逆に之が低下を示すものである。爆速本來の意義は定常状態となれる爆轟波の傳播速度なれば (i) の相を常態とする。而して (ii) は瞬時に爆轟が定常化し難きものにして後述する如くその場合恐らくは點爆が不充分なのに因るであらう。又 (iii) は點爆が充分なりや不足なりやは別として内部抵抗に起因する現象と考察せられる。

2° 松ダイナマイトは組成最も單純にして直ちに定常状態に入り得れど或は 2200 m/sec の低爆速を或は 6500~7000 m/sec の高爆速を示した。(イ) 及 (ロ) の両者は組成殆ど同一なれど製造者異なるため製法及副産物並に N/G それ自體も性質を異にすと想像せられ、尙外貌上にも差異が認められた。爆速高き(イ)は比較的柔軟にして假比重稍低く(1.38)、空氣泡は細かく分布するものの如く色調淡白にして光澤亦鈍けれど、(ロ)は弾性に富み屈撓に耐へ假比重 1.42、色及艶の調子は前者よりも強かつた。外貌より(イ)の爆速大なる理由を求むれば空氣泡多くその分布精細なる點より Aubert, Nauckhoff 氏等の主張に合致するものがある。

3° 櫻ダイナマイトは何れも雷管より遠隔るに従つて爆速は次第に増大した。 N/G 75% のものは最初からかなり高爆速を出せども 60% 以下となれば最初の爆速は一般に低い。然し櫻ダイナマイトの爆速が略 N/G 含有量と共に變化するを見れば之が爆轟は 2 階段に行はれ、第一段には主として $N/G-N_2C$ 膠化物の爆轟が起り、次で第二段として硝石、木粉等所謂ドープが爆轟に加擔するものと推察される。斯くして爆轟の進行と共に波頭壓が高まり加速度的に急速に爆速を増大する傾向を採ることは、極大なる爆速(爆速の固有値)が強き點爆によつて得らるゝことを意味するものであると考へる。

4° 桐ダイナマイトは櫻ダイナマイトと異り硝酸アンモニウムも亦最初から爆轟に參與する。従つて始め抵抗となり次第に爆反應に加入する部分少なければ爆速が距離と共に加速せらるゝこと僅少である。この理由は硝安と硝石との夫々分解自由エネルギー變化の比較より了解されるであらう。

5° 第 3 類型に屬する梅ダイナマイト及炭酸硝安爆薬に在つては減熱劑たる 硼砂或は食鹽が爆轟波進行の抵抗として終始すること明らかである。之に關しては後述する爆速の加成性に就ての實驗を試みた。

6° 硝安ダイナマイト及カーリットは共に薬包長に従ふ爆速の變化を示さない。然し兩爆薬に於ける爆轟の實相は自ら異なるものがあらうと想像される。即ちカーリットの配合成分間には一段の爆反應が起り、これがそのまま固有爆速として進行すべきも、硝安ダイナマイトに於ては爆薬成分の爆轟が食鹽に妨礙せられたる結果としての爆速が出現するものと推察せられる。

【實驗 3】 薬種及薬包抵抗の小なる場合の爆速

方法は實驗 2 と同様。内徑 25 及 20 mm の引抜鋼管及紙筒を使用する。

供試爆薬	管 徑 mm	雷管よりの距離 (mm)		
		150	500	1000
3 櫻ダイナマイト 60%	紙 35	3500	3500	3500
	鋼 25	2670	2850	3400
	鋼 20	1940	1940	1960

	供試爆藥	%	管徑 mm	雷管よりの距離 (mm)		
				150	500	1000
32	梅ダイナマイト	35 %	銅 25	1780	1900	2000
41	硝安ダイナマイト	20 %	〃 〃	3000	2180	2300
51	炭酸硝安爆藥	20 %	〃 〃	1800	2010	2040
61	カーリット 黒		〃 〃	2200	2640	3050
	同		紙 35	3250	3300	3300

考 察

1° 全體として藥徑及抵抗の影響が現はれてゐる。藥徑が小となるに従つて爆速は低下し、鋼管の場合は點爆位置を隔るに従ひ僅かに爆速を増大した。紙筒では點爆位置からの距離での爆速變化は殆ど認められない。この場合個々の爆速値そのものは大して考慮に價せぬ。

2° 梅ダイナマイトは藥徑小となれば衝動の集積遅く爆速は促進され難い。然し前實驗と對照すれば或は密閉強度を大にし又は點爆を強めなば急速に固有爆速に傾向すべきことが想像される。密閉弱きとき又は藥徑が甚だ小となればこの傾向にも限界が存するやうである。

3° 第2類型の硝安ダイナマイト及カーリットが漸次固有爆速に近づくことは當然の勢と考へられるが、梅ダイナマイト及硝安爆藥も亦點爆位置を隔るにつれて逐次爆速を増大した。この後者の場合は最初爆速の小なる間は兩砂、食鹽等の抵抗も亦小なるに依るであらう。

第2章 爆速に及ぼす効果の觀察

6 爆性傾向の推定

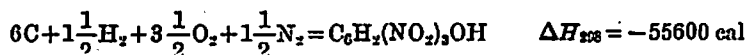
實驗第2の考察に於て梅ダイナマイトの爆速は2階段を以て行はれ、之に反して桐ダイナマイトは主として1段に爆速するであらうことを述べた。これは前者の基劑たる硝酸カリと後者の硝酸アンモニウムの性能に歸屬するものである。

N/G, ピクリン酸等の如く化學的に單體化合物なる爆藥は、その一部に分解起らばこゝに生じたる發熱が直ちに反應の促進に作動するものにして、爆性は一般に熱力學函數の變化によつて指示せられる。即ち自由エネルギー及熱函數の増加の大なる方向に系は安定なる状態を保つべく、上記の爆藥は分解によつてこの状態に移行するものである。

今熱函數を H , 自由エネルギーを F , エントロピを S , 絶對溫度を T , 夫々の増加を Δ にて記號し、且符號は G.N. Lewis 氏一派に従ふこととする。然るとき之等の關係は次式にて結ばれる。

$$\Delta F = \Delta H - T\Delta S$$

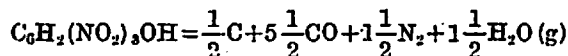
ピクリン酸 $C_6H_2(NO_2)_3OH$ の生成熱は實測せらるゝも



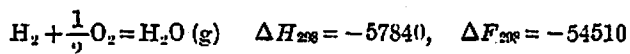
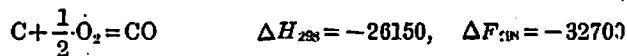
この式に於ける自由エネルギー増加は實驗的に求められてゐない。然し、吾々はフェノール C_6H_5OH の生成自由エネルギー ($\Delta F = -11000$) 及 $-NO_2$ 基の自由エネルギー効果 ($\Delta F = 7000$) を知るを以て前者に後者の3倍を加へて略近的にピクリン酸の生成自由エネルギーと假定する。即ち

$$\Delta F_{298} = -11000 + 3 \times 7000 = 10000$$

ピクリン酸の分解方程式は複雑なれど簡單のため次式と假定する。



然るに分解生成化合物たる一酸化炭素及水蒸気の生成熱力學函数變化は



なるを以てピクリン酸の分解に於ける熱力學函数の變化が計算される。

$$\Delta H = -26150 \times 5.5 + (-57840 \times 1.5) + 55600 = -175000$$

$$\Delta F = -32700 \times 5.5 + (-54510 \times 1.5) - 10000 = -275000$$

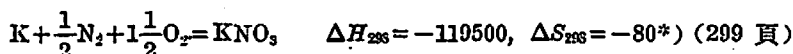
斯くして分解の熱函数及自由エネルギー變化は共に著しく大なる負値を呈し之が分解の爆發的なるを示すのである。

其他 2~3 の化合爆薬に就きて略近計算を行へばピクリン酸と同様の性質を認める。

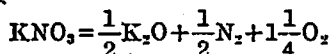
爆薬	分子式	分解式	ΔH cal/モル	ΔF cal/モル
ピクリン酸	$C_6H_2(NO_2)_3OH$	$\rightarrow \frac{1}{2}C + 5\frac{1}{2}CO + 1\frac{1}{2}N_2 + 1\frac{1}{2}H_2O$	-175000	-275000
トロチル	$CH_3C_6H_2(NO_2)_3$	$\rightarrow 3\frac{1}{2}C + 3\frac{1}{2}CO + 1\frac{1}{2}N_2 + 2\frac{1}{2}H_2O$	-226000	-266000
ニトログリセリン	$C_3H_5(ONO_2)_3$	$\rightarrow 3CO_2 + 2\frac{1}{2}H_2O + 1\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{4}O_2$	-342000	-326000
ニトログリコール	$C_2H_4(ONO_2)_2$	$\rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + N_2$	-245000	-231000
ニトロマンニツト	$C_6H_4(ONO_2)_4$	$\rightarrow 6CO_2 + 4H_2O + 3N_2 + O_2$	-618000	-602000
ペントリツト	$C(CH_3ONO_2)_4$	$\rightarrow 3CO_2 + 2CO + 4H_2O + 2N_2$	-412000	-491000

次に他の爆薬基劑の 2~3 につき考察する。

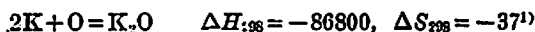
硝酸カリ(硝石)の生成は



にしてその分解は



と假定する。ここに酸化カリ K_2O の生成は



1) $K + \frac{1}{2}N_2 + 1\frac{1}{2}O_2 = KNO_3$ に於て $\Delta F_{298} = -94900$ は知られてゐるが $2K + \frac{1}{2}O_2 = K_2O$ では生成自由エネルギーの計測が見當らない。依つて K. K. Kelley 氏の酸化物エントロピ計算式 (Bulletin 350, Bureau of Mines, U. S. 1932, p. 40)

$$S_{298} = \frac{3}{2}Ra \ln Am + \frac{3}{2}Rbr \ln 16 + (a+b)S_0$$

より先づ K_2O の S_{298} を計算した。式中 Am : 金属原子量, a 及 b : $MaOb$ 式に於ける金属及酸素の原子数 $r = (C_{p_{298}} - 6a)/6b$ にして S_0 は常数である。Kelley 氏は MO, MO_2 に $S_0 = -3.5$ を與へてゐるから M_2O にも同じ値を假定した。 K_2O の $C_{p_{298}}$ は Neumann-Kopp の法則より $C_{p_{298}} = 6.3 \times 2 + 4 = 16.6$ とすれば $r = 0.77$ となり斯くして

$$S_{298}(K_2O) = 17.7$$

を得る。 K_2O の生成エントロピ變化

$$\Delta S_{298}(K_2O) = S_{298}(K_2O) - S_{298}(2K) - S_{298}(O)$$

Kelley 氏によれば $S_{298}(K) = 15.2, S_{298}(\frac{1}{2}O_2) = 24.5$ なるを以て

$$\Delta S_{298}(K_2O) = 17.7 - 15.2 - 24.5 = -37.2$$

なるを以て、硝酸カリの前式による分解に就て熱力學函數の變化が計算され得る。

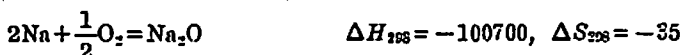
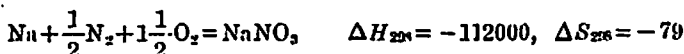
$$\Delta H = -86800 \times 0.5 - (-119500) = 76100$$

$$T\Delta S = 298(-37 \times 0.5 + 80) = 18327$$

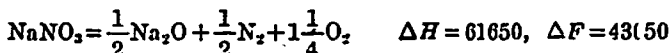
$$\Delta F = \Delta H - T\Delta S = 76100 - 18330 = 57770$$

斯くして硝酸カリ1モルが分解するには系外から $\Delta H = 76100$ cal の受入を必要とし著しく吸熱的にして、自由エネルギーも亦著しく減少するを以てこの分解の方向に系は安定であり得ない。云ふ迄もなく爆發的分解は不可能であると推定される。

硝酸ソーダに就ても同様に



を用ひて計算すれば

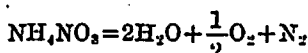


を得る。然るに

硝酸アンモウムは



完全分解を



とすれば

$$\Delta H = -57640 \times 2 - (-88100) = -27580$$

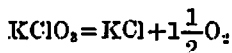
$$\Delta F = -54510 \times 2 - (-45400) = -63620$$

斯くして硝酸アンモウムの分解は ΔH , ΔF を共に増大し、之が爆發的に推移すべきことが豫想せられる。

鹽素酸カリにては



依て



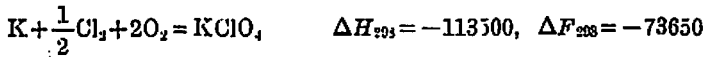
なる分解式に於ては

$$\Delta H = -105600 - (-94800) = -10800$$

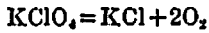
$$\Delta F = -98430 - (-69250) = -29180$$

即ち自由エネルギーは可なり増加を示せども熱函數變化は差程でない。爆發的分解は ΔH , ΔF 共に大なるを條件とするを以て鹽素酸カリは單獨には爆發し難きことが推論される。

過鹽素酸カリは



なるを以て、その分解式を



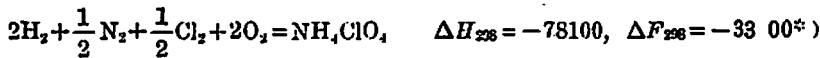
とすれば

$$\Delta H = -105600 - (-113500) = +7900$$

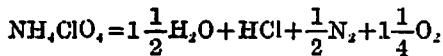
$$\Delta F = -98430 - (-73650) = -24780$$

自由エネルギー変化は相當大なる増加を與ふれど熱函數は減少方向を示し $KClO_4$ の分解が稍吸熱的なるを意味する。最後に

過鹽素酸アンモニウムに就ては



なるを以て



に於ては

$$\Delta H = -57.40 \times 1.5 - 22000 - (-78100) = -30660$$

$$\Delta F = -54510 \times 1.5 - 22690 - (-33000) = -71455$$

過鹽素酸アンモニウムの生成自由エネルギーは註記の如く大なる假定の下に計算せられたるが故に、こゝに求めたる ΔF の數値には疑はしきものがある。然しその數字の桁及方向(符號)には大なる誤は無いであらう。依つてこの分解は爆發的に行はれ得る可能性が豫想せられる。

上述の熱力學的考察により N/G と硝酸カリの混在する場合後者の分解には先づ前者の爆發エネルギーの受入を要する。これ櫻ダイナマイトの爆發が2階段に行はるべしと推察する所以である。然るに硝酸アンモニウム及過鹽素酸アンモニウムはピクリン酸、 N/G 等に比すれば桁違ひではあるが爆發的分解の傾向を保有し、桐ダイナマイト及カーリットは1段の爆發を進むべ

*) 硝酸カリに就ては既述の如く $\Delta F_{298}(KNO_3) = -94900$ を知るが故に ΔS_{298} は $\Delta S = (\Delta H - \Delta F)/T$ より逆算される。即ち $\Delta S_{298}(KNO_3) = -82$ となるが試みに W.M. Latimer 氏 (J. Am. Chem. Soc. 43, 818 1921) の照類エントロピ計算式

$$S_{298} = \frac{3}{2} R \ln .1_1 .1_2 \dots .1_n + nS_0$$

より計算する。式中 n は分子式中の原子數、 $.1_1, .1_2, \dots, .1_n$ は各元素の原子量、 S_0 は常數にして L 氏は KCl に $S_0 = -0.04$ を與へたがこゝにもそのまゝを採用する。

$$S_{298}(KNO_3) = 31.8$$

$$\Delta S_{298}(KNO_3) = 31.8 - 15.2 - 24.5 \times 3 = -79.7$$

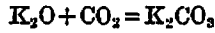
を得る。

NH_4ClO_4 のエントロピ變化を Latimer 式より求むれば $\Delta S_{298} = -167$ となり大に過ぎる感がある。之を用ひ $\Delta F = \Delta H - T\Delta S$ に従つて $\Delta F_{298} = -28330$ が得られる。然し一方 NH_4^+ 及 ClO_4^- イオンの ΔF_{298} は夫々 -18930 及 -20480 、 NH_4ClO_4 の溶解熱 $\Delta H = 6360$ ならば溶解の自由エネルギー變化を略近的に $\Delta F = 6400$ と置けば

$$\Delta F_{298}(NH_4ClO_4) = -18930 - 20480 + 6400 = -33010$$

故に本文には NH_4ClO_4 の生成自由エネルギー變化を $\Delta F_{298} = -33000$ と採つた。

しと考へられる。但し櫻ダイナマイトに於ては硝酸カリの分解によつて生じたる酸化カリ K_2O と N/G 、木粉等に由來する炭酸ガス CO_2 の間には



なる反應が行はれる。即ち之等の生成熱力學的函數變化は

	ΔH_{298}	ΔS_{298}
K_2O	- 86800	-37
CO_2	- 94250	+ 1
K_2CO_3	-281100	-61

なるを以て

$$\Delta H = -281100 - (-86800 - 94250) = -100050$$

$$T\Delta S = 298(-61 + 37 - 1) = -7450$$

$$\Delta F = \Delta H - T\Delta S = -100050 - (-7450) = -92600$$

従つて上の反應は爆發的に移行するものと考へられ、硝酸カリは恒に爆發の進行を妨碍するものに非ざること明らかである。

6 爆速の加成性

A. Comey 氏はさきに N/G 含有量の異なる種々の木粉ダイナマイト (木粉と N/G との混合物) の爆速を發表してゐる¹⁾。即ち

N/G %	30	33	35	40	45	50	60	70
爆速 m/sec	4172	4266	4695	4848	5032	5348	5973	6265

この場合 N/G と木粉との比率によつて混合物の假比重は一様ではないが、 N/G の減少と共に爆速は低下し、その傾向は圖5に示すが如く概ね2次曲線的である。著者は嘗て雷管の鈍性爆藥體試験に關聯してピクリン酸、ペントリット等の化合爆藥を滑石粉と混合し、徑 15 mm のガラス管に填めて爆速の測定を試みた。但し密度大なる (2.7) 滑石の混入により混合爆藥體の假比重を調整すること煩はしきを以て之を度外視し、全體として $\Delta = 0.98 \sim 1.03$ 範圍にて實驗

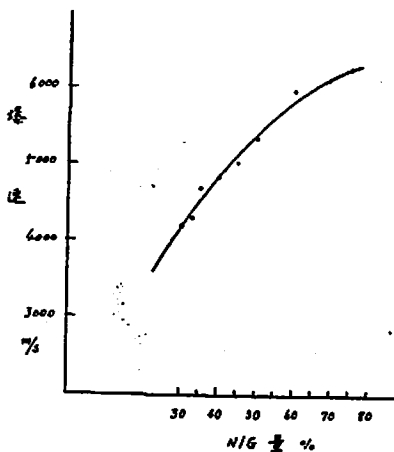


圖5 木粉ダイナマイトの爆速變化

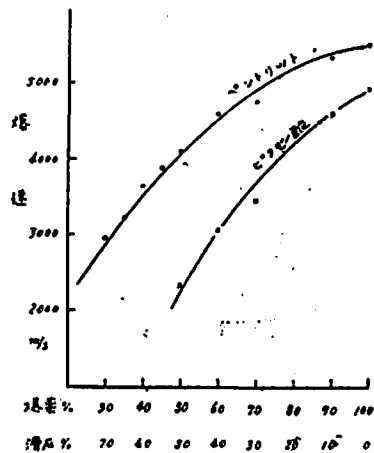


圖6 鈍性化爆藥の爆速變化

1) Zs. Schiess- u. Sprengst. 4, 256 (1909).

したものである。その結果は次の如し。

滑石	%	0	10	30	40	50	55	60	65	70	75
爆薬	%	100	90	70	60	50	45	40	35	30	25
ピクリン酸		4950	4600	3450	3080	2340	—	—	—	—	—
ペントリット		5500	5340	4750	4600	4100	3900	3650	3240	2950	2500

この傾向は圖 6 によつて知られる。即ちペントリットの爆速低下の有様は大略上述の Comey 氏の實驗と同様に 2 次曲線的であるが、ピクリン酸の場合は——滑石 50% 以上にては爆轟不規——略直線的である。

この事實より考察して次の推定が下される。

1. N/G , ペントリット等は少量の異物混入によつて爆性を低下すること少い。
2. ピクリン酸は異物の混入により直線的に爆性を低下する。
3. N/G , ペントリット等も多量の異物混入せる場合に於ける爆性の低下はピクリン酸の場合に近似する。

1 の現象は珪藻土ダイナマイトに於て或は水の侵入せるペントリット導爆線の爆轟に於て確認せられる。又 2, 3 の現象は混合爆薬の鋭感剤の性状に對應するものである。尙之等の事實は M. A. Parisot 氏が爆薬と硝安との混合物に就て試みた實驗¹⁾とも略一致するものであつて比較的簡單なる爆速の加成性を示すものである。

然るに T. Urbanski 及 T. Gales 兩氏²⁾はペントリット・ヘキソゲン等の爆薬に種々の液體を混合したる場合の爆速を測定し、ペントリットには約 20% 又ヘキソゲンには約 30% のクロロホルム・イソアミルアルコール・ヒマン油或はグリセリンを加へたるとき爆薬それ自體よりも大なる爆速を得、その増大は夫々の液體內の音波速度に関するものの如くであると述べてゐる。然し氏等も爆薬自體の爆速 W と混合體の爆速 V が液體內音波速度に關係する定數 C との間に $V=C+W$ なる關係が成立すと云ひ、部分的に考ふれば爆速の加成性を承認するものと旨へやう。即ち著者の見解に於ては爆薬の爆速なるものは多元的に種々の効果によつて左右せらるゝと雖もこゝに加成性ありて僅の異物混入により著しき爆速の増大は期待し得ざれども又著しき爆速低下を招來することなしとするものである。

7 點爆の効果

爆薬の爆轟に點爆様式が著しき影響を有つことは夙に論ぜられ³⁾、又雷管の點爆能は鈍性化爆薬に就ては審に研究せられたれど⁴⁾、優秀なる今日の工業爆薬に就てはこの點殆ど關心が拂はれてゐない。これは雷管の點爆能を誤つて高く評價し過ぎ、或は爆薬の爆轟を餘りに簡單に考へる結果であらう。然し恐らくは雷管の作用が弱き場合であらうが、爆薬が爆轟せずして燃焼する事例は數々吾人の經驗する所である⁵⁾。固より雷管は有力なる起爆薬なれど廣く點火薬の基劑として利用せられ、又火焰による誘爆に在つては或る燃焼期を過經したる後爆轟に移るも

1) Mem. Artil. Franç. 18, 500 (1930).

2) Compt. Rend. 209, 558 (1939).

3) 例へば A. M. Comey 氏の實驗, 287 頁註 3).

4) K. Esop, Mittell. Artil. u. Geniew. 30, 644 (1899). L. Wöhler, Za. Schless- u. Sprengst. 20, 145 (1925). A. Haid & H. Koenen, 同上誌 25, 393 (1930). L. Wöhler & J. F. Roth, 同上誌, 29, 9, 46, 74 (1934). J. F. Roth, Darmstadt, Dissertation (1928).

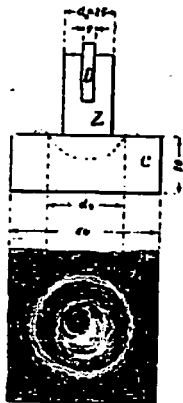
5) 鑛山爆薬研究委員會, 爆薬の空發不發殘留燃焼の原因とその防止法 (日本鑛山協會資料第 74 輯昭和 14 年 12 月).

のなれば、雷管が爆薬の燃焼原因たることは何等怪しむに足らぬものである。然らば雷管の機能によつて爆薬の爆轟機構に差異の生ずるであらうことも亦想像に難くない。従つて爆薬の完全爆轟を期待せんとせば雷管の選擇に思を致さねばならぬ。

雷管強度の工業爆薬に及ぼす影響は鈴木富治博士によつて研究せられた²⁾。これは爆薬の爆轟程度を殉爆距離によつて判定したるものにして、櫻ダイナマイトの殉爆距離は標準雷管の 2 號乃至 8 號間に著しき差異あり、各種の工業爆薬は或は 6 號といひ 8 號と呼ぶるも多くは標準 8 號と同等以上の効果あるを認めたるも、同博士は更に強力なる工業雷管の出現を希望した。著者もさきにダイナマイトの殉爆に關して實驗を行ひ³⁾、雷管の影響を認知した。殉爆距離、衝動波及爆速等の相互關係を考察すればこの間の消息を明らかにすることを得るであらう。然し雷管の形狀大さには實用上著しき變形を施し難く又殉爆距離より見たる雷管の効果は間接的なれば他の實驗考察を行ふこととした。

先づ雷管の點爆能については鈍性化爆薬試驗⁴⁾を試みた。即ちトロチルと滑石とを混合し、その 30g を径 25mm の薬包に壓縮成形せる鈍性化爆薬體を厚 30mm の鉛板上にて爆發せしめ、鉛板上の爆痕と滑石混合率によつて雷管強度を比較するものである。その結果の大略は次の如し。

雷管の種類	雷管				工業テトリール雷管		
	3 號	6 號	8 號	10 號	3 號	6 號	8 號
爆發の最大滑石量 %	6	15	19	24	21	30	30
爆痕徑の増加 mm	13.5	11	10.5	10	2	2	2



Z: 爆薬體
D: 雷管
O: 鉛板
爆痕徑の増大は $d_1 - d$

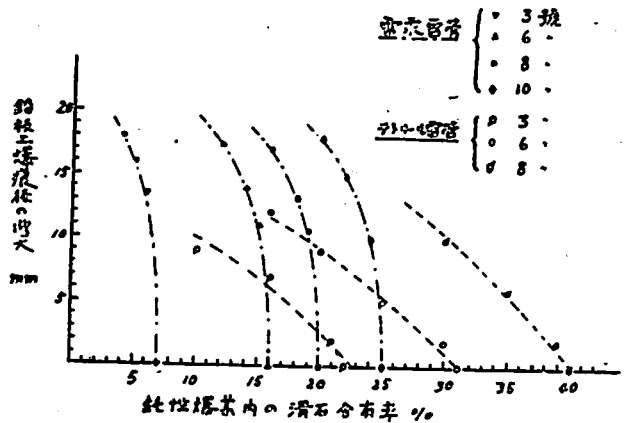


圖 7 鈍性化爆薬試驗

圖 8

この狀況は圖 8 によつて大観出来る。これは横軸に鈍性化爆薬體の滑石含有率を、縦軸には鉛板上に生じたる爆痕徑の増加を採つた。爆痕徑の増加とは正しくは爆痕徑より試驗體の徑 25mm を控除せる長さである。而して爆痕徑が試驗體の徑に等しきときを不爆と見做した。図 8 に於て明らかなる如く工業 テトリール雷管は雷管雷管に比して滑石量の大なる鈍性化爆薬を爆發せしめ得た。このとき試驗體の爆薬量は減少し居ることに原因すれど爆痕は小であ

1) A. Mejrlich, Chimie & Industrie 29, Numero Special 926 (1933). J. Barckowski & J. Kiel czewski. 同上誌 930. M. Patry, Combustion et Detonation, Paris (1933) 15-98.

2) 火薬協會誌 2, 211 (昭和 16 年).

3) 太原正氏と共著, 火兵學會誌 31, 40 (昭和 12 年) 尙第 3 章 (308 頁) に述べる.

4) Haid & Koenen 兩氏法 (前頁註 4) に依る.

る。例へば6號テトリール雷管は滑石 30% まで爆發せしめられたれど爆痕径は 27 mm, 又 20% の試験體にても爆痕は 34 mm に過ぎぬ。然るに雷汞 6 號雷管は滑石 10% にて不爆なるにも拘らず, 15% での爆痕がすでに 36 mm である。この結果から兩者を比較すれば確に後者が弱勢ではあるが兩雷管の特徴は次の如く要約することを得やう。(i) 雷管はその装薬, 結構により點爆の範圍と點爆の強さ(或は深さ)とも云ふべき異なる性能を呈するやうである。(ii) テトリール雷管即ち混成雷管は廣範圍の爆薬に點爆し得るもその強さは一樣でない。然し(iii) 雷汞雷管では點爆範圍は狭けれどこの點爆は完全爆轟を期待し得る。

廣く工業爆薬が鈍性化爆薬に對比して如何なる位置に在るかは即斷し得ざれども, 須らく雷管は雷汞 10 號雷管の如く確實に而も工業 8 號以上に廣範圍の點爆能を有することが望ましい。然し 8 號工業雷管の點爆はこれにて必要且充分であるか或は鈴木博士の如くより強大を希望すべきであらうか。これは他の點爆方法を試みて検討せねばならない。即ち著者は傳爆薬による爆速の變化を實測した。

【實驗 4】傳爆薬による爆速の變化

實驗の方法は概ね實驗 2 に同じ。爆薬を肉厚 4 mm, 徑 35 mm 長約 260 mm の鋼管に充填し, 點爆雷管の周圍に約 5g の傳爆薬を添へ, この雷管より約 150 mm に於ける爆速を測定した。雷管は 8 號テトリール電氣雷管, 導爆線はペントリツト導爆線(爆速 6960 m/sec)。本實驗に用ひたる試料は實驗 2 のものと全く同一ではなく又必ずしも新鮮でもない。従つて傳爆薬を用ひざる爆速は前實驗値と多少相異してゐる。

爆 薬	傳 爆 薬					
	なし	ペントリツト	桐ダイナマイト 4	桐ダイナマイト 22	カーリツト黒 61	
1 松ダイナマイト	2200	7500	5500	6500	6500	
4 桐ダイナマイト 50%	3500	6000	—	5200	6000	
22 桐ダイナマイト 35%	4800	6000	4800	—	5000	
31 梅ダイナマイト	2800	3300	2800	3200	3600	
41 硝安ダイナマイト	3200	3500	3200	3300	3500	
52 炭酸硝安爆薬	3400	3400	3300	3400	3300	
61 カーリツト黒	3800	4200	3300	3800	—	

考 察

1° 松ダイナマイト, 桐ダイナマイト, 梅ダイナマイトはペントリツト, 桐ダイナマイト及カーリツト黒の何れを傳爆薬とするも爆速の増大を結果する。

2° 桐ダイナマイト, 硝安ダイナマイト, 硝安爆薬及カーリツトには傳爆薬の効果が明らかでない。

3° 傳爆薬としてはペントリツトが有效なることは云ふ迄もないが桐ダイナマイト及カーリツト黒も相當の効果がある。

4° 傳爆薬として桐ダイナマイト及カーリツト黒が相當の効果を呈するも感應爆薬を最高爆速に達せしめ難きことは點爆の機構の單純ならざるを意味するものである。

之を要するに工業爆薬は他の爆薬を傳爆薬として用ふれば單に雷管のみに依るよりも點爆が容易且確實となることあり, この機能は爆薬の性状によつて差異がある。即ち傳爆薬の効果を受け易き爆薬は實驗 2 に於て容易に固有の最高爆速を呈し難かりし類型に屬し, 其他のものに

は傳爆薬の影響が少い。又桐ダイナマイトは容易に大なる固有爆速を呈すること、カーリツド黒は固有爆速小なれど爆發温度高きことが傳爆薬たるの機能であらうと推測される。

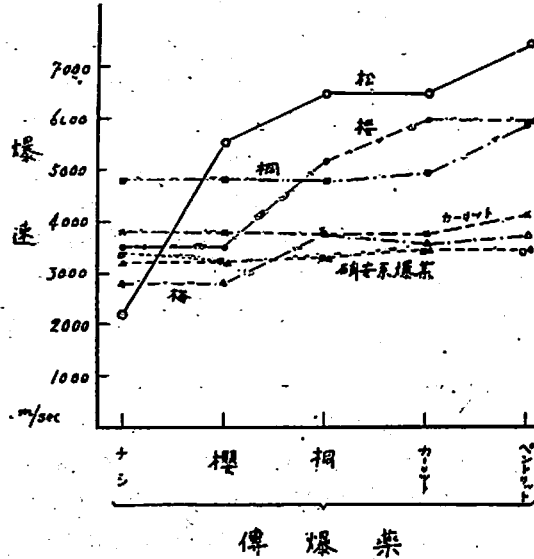


図9 傳爆薬による爆速の變化

8 ダイナマイトの老化

さきにダイナマイトの爆速を説くに當り(第2節)老化にも言及したが、こゝに稍詳細に考察を試みることにした。老化とはダイナマイトが製造後時日を経過したる後尋常の工業雷管のみにては固有の最大爆速を呈し難くなる現象にして、而も膠化ダイナマイトに限られ混合ダイナマイト¹⁾には顯れない。例へば 60% ダイナマイトといふも 60% ゼラチンダイナマイトは爆速忽ち 2400 m/sec 程度となるに對し 60% ストレートダイナマイトは依然として 5800 m/sec を示す²⁾といふのが常識である。我國のダイナマイトはその膠質たると粉質たるを問はず何れも膠化ダイナマイトに屬するが故に老化を考慮する用意が必要となる。然し實驗上老化の著しきは松・桜及梅ダイナマイト等にして、桐及粉質の硝安ダイナマイトにはこの意味での爆速低下は殆ど認められず。

老化の原因³⁾としては空氣泡の量及分布、膠化の進行、N/G の變態等が挙げられ夫々の實證も試みられた。然し原因と爆薬とを對比すれば決して單純ではない。

【實驗 5】貯藏による試製ダイナマイトの藥質變化

試製品の配合

記號	a	b	c	d	e	f	g	h
N/G	92	—	73.5	46	87.5	—	87.5	—
N/g	—	92	18.5	46	—	87.5	—	87.5
N/C	8	8	8	8	7.5	7.5	—	—
木粉	—	—	—	—	5	5	12.5	12.5

1) 混合ダイナマイトとは膠化ダイナマイトに對し、液態 N/G をそのまま用ひたダイナマイトの謂。

2) この例は W.C. Holmes, J. Franklin Inst. 203, 555 (1927) の實驗値。

3) Mann, Arms & Explos. 19, 150 (1911).

Kast, Zs. Schiess- u. Sprengst. 8, 175 (1913), 15, 187 (1920).

Howell & Crawsher, Rept. invest. No. 2436 (1923). Bureau of Mines U.S.

記號	k	l	m	n	p	q
N/G	60	—	48	30	60	—
N/g	—	60	12	30	—	60
N/C	2	2	2	2	—	—
木粉	7	7	7	7	9	9
硝石	31	31	31	31	31	31

實驗方法 試料は多量に試製し難きを以て各 50 g 餘宛を準備せしに過ぎぬ。従つて Kast 氏猛度計による銅柱壓縮と落錘感度の測定を行ふこととした。猛度試験の數字は爆發による衝動を銅柱上加へられたる荷重 (kg) と見做したる數値にして、感度は各記載せる落高に於ける爆發率を示すものである。

猛度試験	製造即日	30~32 日後	115~117 日後	175~177 日後
a	1355 kg	1226 kg	1184 kg	1180 kg
b	1380	1200	1190	1192
c	1366	1232	1187	1183
d	1374	1215	1185	1184
e	1292	1254	1223	1204
f	1320	1262	1235	1197
g	1370	1386	1384	1374
h	1385	1380	1335	1370
k	1256	1251	1235	1238
l	1260	1256	1242	1240
m	1252	1255	1236	1231
n	1265	1258	1238	1234
p	1366	1360	1356	1354
q	1368	1355	1357	1360

感度試験 落高 cm	製造即日		35~37 日後		121~123 日後	
	20	35	20	40	20	40
a	50%	98%	24%	100%	27%	100%
e	52	92	22	100	22	100
h	38	83	43	98	42	97
k	42	66	42	96	52	96
p	46	87	44	96	42	99

考 察 この實驗は回数少く且餘りにも定性的なれど次の考察が與へられる。

1° a と b, c と d, e と f の如く相隣る 2 種は N/G と N/g (=ニトログリコール) のみを異にせるが、この N/G と N/g との間には差が現れなかつた。

2° 膠化せざる N/G (N/C を含まず) を以てせる g, h, p 及 q は貯藏 175 日には大なる變化を生じなかつた。

3° 膠化 N/G の N/C 率多きもの (a-f) は然らざるもの (k-m) に比して猛度及感度の低下が速かである。

4° 木粉を加へ空氣泡の加減を試みたるもの (e 及 f) の猛度低下は稍遅いやうである。

上の考察よりダイナマイトの老化原因のうち最も顯著なる効果を與ふるものは N/G の膠化なりと推定せられる。空氣泡の如きも畢竟膠化 N/G 内に於ける第二義的因子たるに過ぎぬ。 N/G が N/C によつて膠化せられるればこゝに N/G にも非ず又 N/C にも非らざる新たなる状態が生じ蓋然的に自由エネルギーの變化を伴ふであらう。而して膠化はこの系の安定方向なるを以て第5節に考察したる如く點爆に對し鈍感を加へるものであらう。此様に老化を爆性の傾向より考察すれば桐ダイナマイトが貯藏中に著しき爆速低下を來たさざるは之が膠化 N/G の變化せざるにあらずして硝酸アンモニウムの効果と目すべきである。著者はこの見地より櫻ダイナマイトに硝酸アンモニウムを加へ老化せる櫻ダイナマイトの爆速を高むることを得た¹⁾。尙この實驗は爆速の加成性を示すものにして老化の現象の主原因の探索は兎も角として之の防止法の如きも無益に非ざるを思はしむるに足る。

第3章 殉爆

9 殉爆の一般

爆薬の殉爆は爆發距離效果即ち火薬庫、火薬工室等の保安対策の見地から古くより實驗研究が行はれた²⁾。特にフランスに於ては1890年頃より夫の有名なる爆發委員會³⁾の一事業として繼續せられたが1928年 E. Burlot 氏の名に於て綜合報告⁴⁾が發表せられた。

殉爆は雷管付第一薬包の爆轟に感應して之と若干距離を隔つる第二薬包が爆轟する現象にして、從つて殉爆の距離は雷管、第一薬包、第二薬包及中間媒體の性状によつて變化する。特に第一薬包の薬量は絶對的にして、之を O kg とすれば殉爆距離 d m は $d = KO^n$ (K は爆薬の性状によつて定まる常數、又通常 $n=1/2$) として表示せらる。故に距離を目度とする殉爆は一般に爆薬の特數に非らずと信ぜられてゐる。又殉爆距離を増大する條件として Burlot 氏の結論せる所は (i) 第一薬包の薬量及比重の大なること (ii) 雷管の強度大なるものを薬包の軸方向に用ひること (iii) 第二薬包は比重小にして水分等の含有少きこと (iv) 第一薬包と第二薬包との中間媒體は壓縮係數大なること等に要約せられる。尙圍繞の條件によつて殉爆距離は著しく變化する。爆薬を大氣中に懸吊したる場合よりも之を紙筒、鋼管等に收めたる方が、更に穿孔内に裝填すれば殉爆距離の増大することも多くの研究者によつて發表せられた。

然しながら爆發の感應は單一なる性能ではない。第一薬包が第二薬包を爆轟に誘はんとする

1) 爆速低き櫻ダイナマイトに硝安を混じたる試料につき爆速を測定した。

	N/G 及 N/C	硝石	木粉	硝安	爆速 m/s
4 櫻ダイナマイト 50%	52.15	33.23	9.82	—	3200
硝安を外割 5% 混入	49.67	36.41	9.16	4.76	3300
同 10	47.40	34.75	8.74	9.11	3530
同 15	45.37	33.26	8.37	13.00	3740

本實驗は圖1の要領により雷管より凡そ 150mm に於ける爆速を測つたものである。從つて櫻ダイナマイトそのものでは未だ未だ定常値には達せざる部分であるから、硝安の混入を以て爆速を増大し得たと考察するわけにはいかぬ。たゞ爆轟が容易になつたと見るべきのみで、老化の概念も畢竟爆轟が困難となることであらう。決して爆力の低下乃至は眞の爆速値の減少までも指すべきでない。

2) M. Berthelot, Sur la force des matieres explosives, Paris (1883) I, 117; Explosives and their Power, London (1892) p. 75. C.E. Munroe, J. Am. Chem. Soc. 15, 10 (1893).

3) 研究は Sevran, 實驗は Gâvre 射場にて行はれ、多くは L. Lheure 氏の名に於て報告せられてゐる。

4) Etude expérimentale de la détonation par influence. Mem. Artil. Franc 9, 799-980 (1930).

る。爆速値は爆薬特数として之を判断し難きものすら生ずる。或は又減熱劑を多量に包含する炭酸爆薬の或種のもの定常的なる固有爆速を與へず、初期爆速より漸次低下の経過を辿る。然し此の如きもその爆薬の特数として觀察すべきである。

爆薬特数としての爆速は充分強大なる點爆を用ひて測定するを要する。(換言すれば相當に長き薬包を用ひ雷管より充分遠隔りし點にて測定する。強固なる圍繞密閉も亦點爆を強大ならしむる所以。)工業雷管の衝動は爆薬を爆轟せしむるに足れど充分なる爆速を與へざらず。このことは例へば櫻ダイナマイトが雷管附近に於て低爆速を示すに拘らず、殉爆の實驗にて雷管よりも強き衝動に感應して確實に且迅速に點爆する事實からも察知せられる。

こゝに點爆の確實性は爆轟の難易とは異なる概念である。櫻ダイナマイトは工業雷管のみてては完全爆轟が期待され難きも或程度の爆轟は常に確に生起せられ得る。之に反して桐ダイナマイトは爆轟容易なれど點爆は必ずしも確實ならず雷管弱きときは不爆燃焼等を生起し易い。爆轟の難易は換言すれば完全爆轟に要する最小エネルギーに關聯しこれは落錘感度試驗に於ける完爆點近傍の狀況より推察せられる。又點爆の確實性は部分爆發の感度にして臨界エネルギーに依存すべく、これは不爆點附近の傾向より考察され得る。この點爆の確實性は種々の殉爆の實驗及爆轟の抵抗通過の實驗からも推測せられ得る。

點爆が確實なりや否や、或は爆轟の生起が容易なりや否やの問題は、この際の雷管の性能を無視すると否とに拘らず極めて重要なるものに屬するも、爆薬の動的特数たる猛度従つて爆速を論ずるに當つては自ら別個の取扱をなすべく、而して爆速は充分強大なる點爆(特に傳爆薬を用ふ)の下に測定せるものを以て爆薬特数と見做すべきである。

綜 説

本研究の結論的事項は第4章に總括記述したが爆薬の動的特数即ち猛度を支配する爆速を中心として行ひたる實驗上の知見を要約すれば次の如くである。

- 1° 工業爆薬はその組成、状態により爆轟の難易及點爆の確否がある。
- 2° 點爆不確なるものは不發、燃焼等を生起し易く、爆轟容易なる爆薬は速に定常の爆速値を呈する(例桐ダイナマイト)。
- 3° 爆轟の容易なる爆薬の爆速値は必ずしも大なるものではない(例カーリット)。
- 4° 爆速の定常値(理論的に考察する場合の爆速値)は充分満足なる點爆によつて始めて得られる(例松ダイナマイト)。
- 5° 點爆不充分なるとき爆速は第二次的因子によつて左右せられる(ダイナマイトの老化もこの第二次的因子と考ふべきである)。
- 6° 感度試驗に於て落高に對する爆發率の曲線を描けばこれより爆轟の難易及點爆の確否を推定し得る。
- 7° 殉爆の實驗は殉爆距離のみならずその傳播速度或は爆轟の抵抗通過速度を測定することにより爆薬の性能を更に深く考察することを得る。

本研究は長年に亘つて行ひたる實驗を吟味考察せるものにして、或る部分は日本學術振興會の援助により、又或る部分は文部省科學研究費により實施することを得た。茲に謹みて敬意を表し感謝を捧げる。著者は斯く研究に甚大の便宜を與へられたる學振學術部次長故波多野貞夫閣下の懇情と絶えず鞭撻激勵を與へられたる恩師西松唯一、山家信次兩先生の恩愛に感泣を禁

し得ざるものである。又常に惜しみなく試料を提供せられたる日本火薬製造株式会社厚狭作業所、日本油脂株式会社武豊火薬工場、日本窒素火薬株式会社延岡工場及淺野カーリット株式会社保土ヶ谷工場に對し甚深なる謝意を表す。とりわけ本實驗の大部分は東大保土ヶ谷火薬實驗所にて行ひたる所なるがその間淺野保土ヶ谷工場の各位により寄せられたる並々ならぬ厚意と著者を助けて實驗に従事せられたる東大火薬學教室菊池正三郎、須永忠男兩君始め多くの諸君の勞に衷心より感謝するものである。

昭和 16 年 12 月

勵爆能と第二薬包が第一薬包の爆轟を感受する感爆能とによつて支配せられる。勵爆能は云はば第一薬包の爆轟の強さに反映する性質にして、こゝに強さとは量的にはエネルギー、質的にはその解放速度、従て衝動或は爆轟壓等の所謂猛度を意味する。又一方感爆能は爆薬の感受性或は鋭さ即ち感度に關係し活性化エネルギーに依存する性能である。猛度と感度とは全く無關係の性質である。殉爆はこの相關なき性質の複合せる現象なれば、既述の如く一般に爆薬特徴となし難しとするも、夫々を分離解析すれば爆薬の個々の特徴を推知し得るものと考へられる。

爆轟が第一薬包の末端より第二薬包の先端に移行する殉爆の傳播速度は略近的に衝動波の進行速度と見做され、薬間空隙の擴大するに従つて次第にその速さを減ずる。A.M. Comey氏は N/G 含有量異なるダイナマイトに就て之を測定した¹⁾。

爆薬強度 N/G %	爆速 m/sec	殉爆傳播速度 m/sec			
		間隙 10吋	20	30	40
60	5600	5200	4300	3850	2770
40	4800	4200	3540	2700	2250
30	4300	3500	3160	—	—
25	3350	3500	2940	—	—
20	3300	3100	2670	—	—

この値は N/G 25% の爆速と空隙 10 吋の傳播速度との間に不整を認むるの外まことに自然的である。然るに P. Laftite 氏は 1-號ダイナマイトを 0.95 の假比重にて 5 mm のガラス管に填めたるものにつきその爆速値より大なる衝動波速度 3500 m/sec を觀測し、氏の採用せる寫眞法にては爆薬より發する衝動波がその波頭に在る空氣柱を壓縮して發光に至らしめたる結果と説明した²⁾。又 W. C. Holmes³⁾ 氏は大約確安 80, N/G 10 及木粉其他 10 なる確安爆薬(その爆速 2300 m/sec) 及 60% ゼラチンダイナマイト(爆速 2500 m/sec) は共に第一薬包の直後 5~10 吋の空隙内に夫々の爆速より大なる衝動波速の均一領域(その速度 2500 m/sec) の存在を唱へ、尙 H. Selle 氏は 62.5% ゼラチンダイナマイトが爆速 2100 m/sec なるにも拘らず網管内空隙 10, 20, 40 及 1.0 cm に於ける殉爆傳播速度は夫々 2200, 2500, 2700 及 3000 m/s と次第に増進する顯著なる例を報告した⁴⁾。其の他 G. St. J. Perrot 及 D.B. Gawthrop 兩氏は 7 種の低級確安ダイナマイトの殉爆傳播を Mettegang 氏檢速機及爆焰寫眞機にて記録し、何れも爆速より大なる値を得⁵⁾、南坊平造氏は密閉管内に收めたる殉爆薬を水中に沈めて圍繞の強度を増し

爆薬名稱	爆速 m/sec	衝動波速度	
		間隙 195 mm	250
山櫻ダイナマイト	2780	3560	3480
山桐ダイナマイト	4700	4000	3480
紅梅ダイナマイト	2250	3530	2900
確安ダイナマイト	2560	2840	2780
二號確安ダイナマイト	2130	2550	2340

1) Zs. Schiess- u. Sprengst. 4, 256 (1909)

2) Compt. Rend. 178, 1277 (1924).

3) J. Franklin Inst. 203, 549 (1927).

4) Zs. Schiess- u. Sprengst. 24, 473 (1923).

5) J. Franklin Inst. 203, 337 (1927).

なる値を測定し、工業爆薬(山桐を除く)の發する衝動波速度は爆速より大なりと結論した¹⁾。

尙同氏は密閉管内にては殉爆距離の著しく延伸することを報告したが、この圍繞物料の效果は E. Kayser 氏²⁾, T. Urbanski 氏³⁾ 等の實驗によつても明らかである。

之を要するに多くの研究者によつて觀測せられたる殉爆の傳播速度は比較的狭範圍に在り、爆速大なる爆薬にてはそれより遅く爆速小なるものに在りてはそれより速である。これは實驗的事實であるがその理由に就ては餘り考察せらるゝ所がない。爆轟が第一薬包の末端より第二薬包の先端に移行する殉爆の傳播速度は所謂衝動波と全く等しくはない。第一薬包末端は衝動波の出發前に爆轟し了り第二薬包先端は衝動波頭の到達後に爆轟を生起する。衝動波は固より爆速の函数なれど第二薬包の感應はその爆速とは關係が無い。

10 殉爆距離

工業爆薬は通常圓錐形薬包に成形せられあるを以てこの殉爆試験は一般に徑 25 mm 或は 30 mm, 藥量 50 g の薬包にて行はれ、最大殉爆距離を薬徑の倍數として之を殉爆度といふ⁴⁾。殉爆度は恐らくは我國の先覺者によつて案出せられたものであらう、外國の文獻には相應する術語を見出さぬ。然しまことに要を得たる概念にして殉爆は薬量の外に薬形の影響あるを指示するものである。

著者は曩にダイナマイト薬包の殉爆に關して實驗を行ひ、第一薬包の形狀により之が周圍の最大殉爆點を結ぶ曲線——これを殉爆線と名づけた——は特異の形を示すことを報告した。その結果殉爆距離が同一薬量にては薬徑、同一薬徑にては薬量と共に増大する一般的事實の外次の知見を得た。それは殉爆線の形狀が第一薬包の表面の狀況に對應することである。即ち殉爆距離は第二薬包の受爆面が直面する第一薬包の表面が凸なる程小である。而もこの事實は第一薬包の薬量薬徑の小なるときに特に著しい。その一般的狀況は圖 10 に示す如くであつて、之にては雷管の位置の影響は餘り大ならざれど、前にも一言せる如く(第 1 節)雷管強度は著しき效果を與へる(圖 10)。殉爆度の試験は雷管を指定し且薬軸(雷管軸も之に一致する)方向の殉爆距離を測定することに係ればこゝに述べたる特

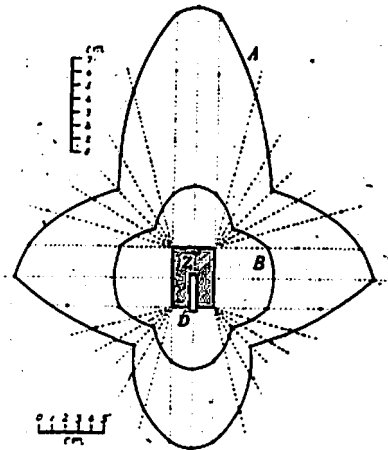


圖 10 櫻ダイナマイト(4)の殉爆線

Z: 徑 32 mm, 57.5 g 薬包

D: 雷管,

A: D を 6 號工業雷管とせるとき。

B: D を 3 號工業雷管とせるとき。

1) 火兵學會誌, 31, 28 (昭和 12 年)。

2) Zs. Schiess- u. Sprengst. 16, 9 (1921)。

3) 同上誌. 21, 111 (1926)。

4) 我國の工業爆薬の殉爆度は通常次の如く稱せられてゐるが、低い方の値の方が普通のやうである。

爆薬種類	殉爆度	爆薬種類	殉爆度
1 松	5-7	41 硝ダイ 20	7-9
3 櫻 60	7-8	42 硝ダイ 8.	3-6
4 櫻 50	6-7	51 硝爆	2-3
21 桐 40	6-7	61 カーリット黒	3-4
22 桐 35	6-7	62 カーリット紫	3-4
32 梅 25	5-6		

殊の條件は考慮する要が少い。然し度外視し難きは温度の効果である。

殉爆距離に及ぼす温度効果はダイナマイトに於て著しい。次にその例を示す。

N/G 50% 櫻ダイナマイトの殉爆距離

薬量 温度		50 g		100 g	
		10°C	30°	10°	30°
薬径 ●	25 mm	40 mm	150	—	—
	28	45	—	—	—
	30	60	180	80	200
	32	—	—	85	—
	40	—	—	110	240

然し混合粉質爆薬特にカーリットの如きものではこの温度効果が明瞭でない。

カーリット黒の殉爆距離

薬量 温度		50 g		100 g	
		10°C	30°	10°	30°
薬径	25 mm	70 mm	75	90	100
	30	95	100	110	120
	40	120	130	150	170

温度の影響は主として第二薬包の感應性を左右するものと考へられる。するとダイナマイトが温度に鋭敏にしてカーリットの然らざることも推測せられ得る。

11 殉爆傳播速度

殉爆は第一、第二兩薬包の夫々異なる方面の性能を受け點爆雷管、圍繞物料、温度等の効果によつて左右せらるゝも、之が傳播速度は A. Comey 氏の實驗の如く爆速の函数なるを示したるものの外、爆速の大小に拘らず比較的狭範圍の傳播速度を保持すといふ説の有力なるものがある。この事情を明らかにせんがため 1~2 の實驗を試みた。

實驗方法 第一、第二薬包共に薬量 30g を径 30mm の圓筒に成形し、内径 30mm の模造紙筒内に兩薬包を距離 s mm の間隔にて收め、移動せざるやう外部より紐にて縛りたる後、兩薬包の内側端面より夫々 m, n だけ外方に径 7.5mm 深さ 10mm の孔を穿ち導爆線の装着口とする。第一薬包の外端に 8 號電氣雷管を附し、圖 11 の如く裝備して Daurtiche 法により兩薬包間を爆轟が移行する速度を測定する。圖 11 に於て W_1, W_2, v 及 W は夫々第一薬包、第二薬包、導爆線の爆速及空間の傳播速度である。今 A から B への傳播速度を W' とすれば

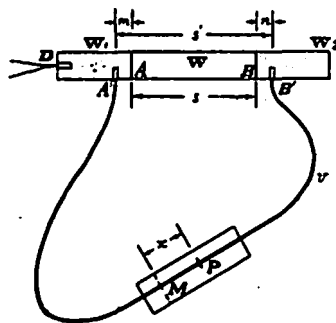


圖 11 殉爆傳播速度の測定

$$\frac{s'}{W'} + \frac{B'M - MP}{v} = \frac{A'M + MP}{v}$$

$$\therefore \frac{s'}{W'} = \frac{2MP}{v} = \frac{2x}{v}$$

然るに $\frac{s'}{W'} = \frac{m}{W_1} + \frac{s}{W} + \frac{n}{W_2}$ なるを以て

$$\frac{m}{W_1} = \frac{n}{W_2} = K \quad \text{と置けば}$$

$$\frac{2x - vK}{v} = \frac{s}{W}$$

$$\therefore W = \frac{vs}{2x - vK}$$

但し s/W なる殉爆時間には第二薬包の感度の遅れが含まれてゐる。

【實驗 6】 第二薬包を一定としたる殉爆の傳播

第一薬包を變へ第二薬包としては殉爆の確實なる $\Delta=0.75$ のペントリット(その爆速 $W_2=4600$ m/sec) を用ひ、爆速 6900 m/sec なる鋸管入ピクリン酸導爆線を基準とする。 m 及 n を夫々 1.0 cm とし、 s を變へ之に應ずる x を測定し、これより傳播速度 W を計算した。下記の W の値は 3 個の實驗値の平均にして、誤差は 4% 以内である。實驗溫度 18~21°C

第一薬包	s cm	x cm	W m/sec	第一薬包	s cm	x cm	W m/sec
ピクリン酸	10	7.73	5400	ペントリット	10	6.26	6840
$\Delta=1.2$	20	15.42	4900	$\Delta=1.5$	20	12.92	6280
$W_1=5840$ m/sec	30	24.60	4550	$W_1=7400$	30	18.92	5850
	40	35.50	4040		40	26.48	5470
	50	41.35	3880		50	35.65	5000
ピクリン酸	10	7.25	5800	櫻ダイナマイト	5	6.90	3340
$\Delta=1.35$	20	14.20	5350	N/G 50%	10	12.50	3200
$W_1=6360$	30	21.82	5050	$\Delta=1.54$	15	19.38	2930
	40	30.05	4700	$W_1=3600$	20	27.32	2700
	50	40.80	4420		25	36.47	2520
ピクリン酸	10	6.75	6280	桐ダイナマイト	5	5.25	4550
$\Delta=1.47$	20	13.30	5900	N/G 35%	10	9.63	4230
$W_1=6800$	30	16.60	5400	$\Delta=1.46$	15	13.00	3950
	40	28.80	5000	$W_1=4800$	20	19.90	3750
	47.6	35.45	4800		25	25.77	3550
ペントリット	10	6.74	6280	カーリット黒	5	5.84	3100
$\Delta=1.37$	20	13.26	5750	$\Delta=1.00$	10	13.81	2850
$W_1=6850$	30	21.06	5230	$W_1=3400$	15	21.14	2580
	40	30.13	4780		20	30.52	2400
	50	40.45	4400		25	39.86	2280
	55	45.48	4290		30	50.17	2140
ペントリット	10	6.58	6500		33	58.70	2000
$\Delta=1.4$	20	12.95	5900	カーリット黒	5	6.45	3600
$W_1=7000$	30	19.90	5550	$\Delta=1.05$	10	12.76	3420
	40	28.65	5040	$W_1=3800$	15	17.94	3180
	50	38.00	4700		20	24.66	3000
					25	31.56	2850

上の結果を圖示すれば圖 12 となる。

考 察

1° 本実験は第二薬包即ち感應薬を一定としたるを以て、之が衝動を受けたる後爆轟生起までの遅れ時間は考慮すべきも、感應薬の性状に起因する誤差は除外せられたと見るべきである。従つて殉爆の傳播速度は先づ第一薬包の性状特にその爆速に依つて左右せられる。

2° 第一薬包の爆速に従つて殉爆距離は略直線的に変化する。然し殉爆傳播速度と殉爆距離との関係は複雑である。これは第二薬包の爆轟生起の遅れ時間が衝動によつて異なるからであらう。

3° 何れの場合にも殉爆傳播速度は爆速よりも小にして距離と共に漸減し、均一速度領域の存在は認められない。

【實驗 7】異なる第二薬包に対する殉爆の傳播

前實驗に用ひたる 2~3 の爆薬につき下記爆薬を第二薬包として夫々殉爆の傳播を測定した。但し薬包間隙は $s=10$ cm に一定せる外の條件は實驗 6 に同じ。

(E 1)	ベントリット	$\Delta=0.75$	$W_2=4600$ m/sec
(E 2)	ベントリット	$\Delta=0.90$	5200
(E 3)	ベントリット	$\Delta=1.20$	6250
(P 1)	ピクリン酸	$\Delta=0.95$	4950
(P 2)	ピクリン酸	$\Delta=1.20$	5840
(4)	楢ダイナマイト	50%	3600
(22)	楢ダイナマイト	35%	4800
(61)	カーリット黒	$\Delta=1.05$	3800

第一薬包	第二薬包	x cm	W m/sec
ベントリット $\Delta=1.40$ $W_1=7000$	E 1	6.56	6500
	E 2	6.75	6170
	E 3	7.12	5880
	P 1	6.82	6130
	P 2	7.02	5810
	4	6.65	6030
	22	7.23	5730
ピクリン酸 $\Delta=1.35$ $W_1=6380$	E 1	7.25	5750
	E 2	7.43	5540
	E 3	7.54	5350
	P 1	7.36	5840
	P 2	7.45	5460
	4	7.30	5950
	22	7.68	5380
	61	7.50	5700

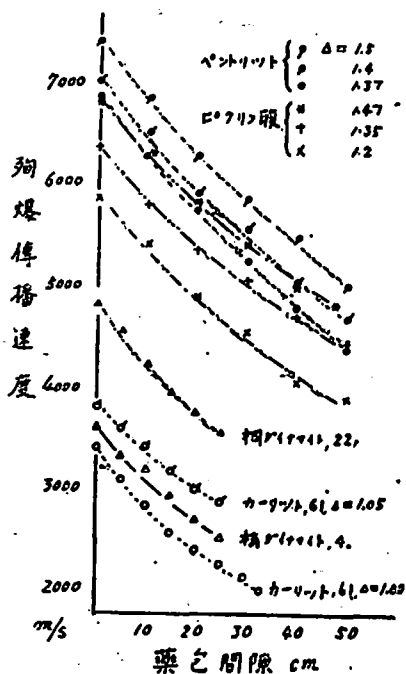


図 12 第二薬包を一定とし第一薬包の夫々につき種々の距離を離しての殉爆傳播速度

第一薬包	第二薬包	x cm	W m/sec	
櫻ダイナマイト N/G 50% $W_1=3800$	E 1	12.50	3200	
	E 2	12.57	3150	
	E 3	12.61	3120	
	P 1	12.80	3110	
	P 2	13.05	3000	
	4	11.24	3700	
	22	13.17	3000	
	61	12.66	3190	
	桐ダイナマイト N/G 35% $W_1=4800$	E 1	9.63	4230
		E 2	9.80	4100
E 3		9.92	3990	
P 1		9.64	4200	
P 2		9.71	4110	
4		9.73	4280	
22		10.06	4000	
61		9.92	4170	
黒印カーリット $W_1=3800$		E 1	11.26	3600
		E 2	12.07	3280
	E 3	12.96	3000	
	P 1	11.75	3400	
	P 2	12.65	3090	
	4	10.99	3770	
	22	12.92	3060	
	61	12.02	3380	

上の實驗結果を圖示すれば圖 13 が得られる。

考察

1° 第二薬包の如何に拘らず第一薬包の爆速が大なる程一般に殉爆傳播速度は大である。圖 13 に於て $W_1=7000$ m/sec のペントリットの線圖が常に $W_1=6360$ m/sec なるピクリン酸のそれよりも上に在る。

2° 殉爆傳播速度は第二薬包の種類状態によつて變化する。これは第一薬包が同一なるに拘らず線圖の波がこの事實を物語る。然し桐ダイナマイトではその差が著しくない。

3° 第二薬包の假比重 Δ が小なる程傳播速度が速であるが櫻及桐ダイナマイトを第一薬包としたときは餘り明らかでない。

4° 櫻ダイナマイトが第二薬包なるときは一般に傳播速度が著しく大に顯

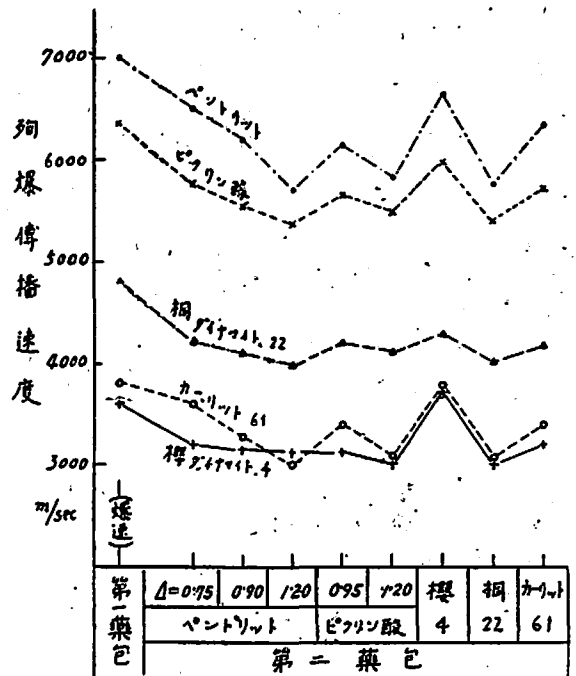


圖 13 第一薬包の夫々につき第二薬包をかへ距離 10 cm に於ける殉爆傳播速度

れ、櫻ダイナマイト及カーリットの第一薬包に對しては空隙 10 cm 間は Holmes 氏の均一速度領域に在るやうである。上の事實は明らかに第二薬包としての櫻ダイナマイトの性能に歸屬する。而して殉爆傳播の均一速度領域は第一薬包の爆速が小にして而も第二薬包の感應性大なるとき生ずるものやうである。

5° 概括してペントリット、ピクリン酸等爆速の大なる爆薬にては殉爆の傳播は速かであるが、ピクリン酸の假比重大なるものは感應が鋭くない。一方ダイナマイトの或ものは爆速小、殉爆の傳播遅けれども感應が確かであると推察される。

12. 殉爆と衝撃感度

従來硝安ダイナマイト (N/G 20%) の殉爆距離は特異なるものとして知られてゐる¹⁾。これは爆速 3000 m/sec 程度なるに拘らず、徑 25 mm, 50 g 薬包が 200 mm 以上の殉爆距離を示し、工業爆薬中最たるものである。獨り我國の硝安ダイナマイトに限らず Perrot 及 Gawthrop 兩氏²⁾も N/G 約 10% の硝安ダイナマイト (徑 32 mm) を以て 300 mm に殉爆せしめ得た。かかる大なる殉爆距離は他の工業爆薬には認められざる所である。

著者は實驗 7 の考察に於て殉爆が第二薬包としての櫻ダイナマイトの性能に歸屬すべしと推定した。硝安ダイナマイトも亦同様と考へられ、畢竟第二薬包の感應性に係るが故に、殉爆感應と感度との關係を明らかにすれば此の間の消息を察知し得るであらう。爆薬の衝撃感度は近時 W. Taylor 及 A. Weale 兩氏の理論的考察³⁾と O. Wenzelberg 氏⁴⁾或は T. Urbanski 氏等の實驗的考察によつて展開せられ、特に新美政義博士⁵⁾は細密なる實驗を試みて精銳なる理論を建設した。斯くて化合火薬類に關しては感度の全てが明らかにせられたるも、ダイナマイト及混合爆薬に對しては未だきものがある。これは爆薬それ自體の不均整に因るが、尙實驗機具たる落錘試験機就中鋼柱の不良性質の爲實驗困難なる結果とも考へられる。

さきに著者が改造せる落錘試験機は自らも試み又數所の實驗室の依頼によつて製作せる何れもが概ね良好なる機能を表はしてゐる⁷⁾。こゝに用ひし鋼柱は著者の最も苦心せる所である。従來鋼柱の指定は硬度 Shore 氏の 60° 以上とあるのみなれば、硬度は大なりと雖も衝撃に對する抵抗を缺き、脆くして破損することが甚だしかつた。過大なる衝撃抵抗に耐へる鋼柱材料には硬度の外に靱性を考慮せねばならぬ。然し靱性に富むものは一般に變形を起し易い。こゝに望ましき性質は表面が充分硬くして大なる衝撃抗力を有し、内心部は

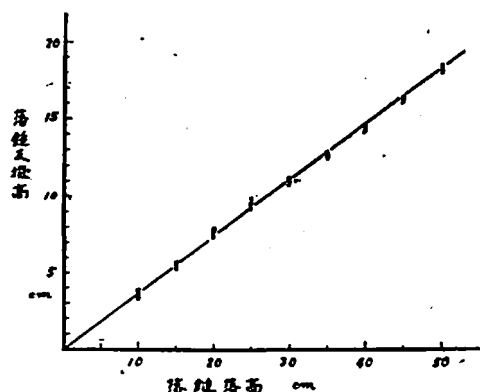


圖 14 落錘鋼柱の性状

- 1) 第 308 頁 註 4) 参照
- 2) J. Franklin Inst. 203 387 (1927).
- 3) Proc. Roy. Soc. 138 A, 92 (1932).
- 4) Darmstadt Dissertation. (1930), 20. Angew. Chem. 46, 173 (1933).
- 5) Zs. Schless-u. Sprengst. 33, 41 (1938).
- 6) 火兵學會誌 32, 396 (昭和 14 年)
- 7) 朝鮮總督府警務局警務課研究室, 日本火工株式会社戸塚工場實驗室等尙鋼柱は日本火薬製造株式会社厚狹工場研究室にても使用せられ性能良好と報告せられた。

靱性を保有して折損に堪えることである。斯様な性状はタングステン鋼に依つて得られるやうである。即ちこの方針の下に市販のタングステン工具鋼材料を求め我流なれども表面焼入を行ひ、5 kg 重錘 1.5 m 落高にて 10 回連続打撃するも折損せざる鋼柱を試作し得た。この上に 5 kg 重錘を落すとき反撥高は落高に對し廣範圍に直線關係を有し性状の満足すべきを示した(圖 14)。

【實驗 8】ダイナマイトの衝撃感度

落錘試験機により落高變化に對する不爆より完爆に至る爆發率を求む。爆發率は同一落高にて繰返し 50~100 回の實驗を試みて統計的に決定する。落錘重量は正 5 kg, 實驗時の室温及藥温は 14.2~16.8°C なれば温度の影響は度外視した。

落 高 cm	爆 發 率 %		
	粗ダイナマイト N/G 50%	粗ダイナマイト N/G 35%	耐安ダイナマイト N/G 20%
7	0		
8	1		
9	2		
10	4		
11	6		
15	28		0
17	—	—	9
20	54	—	29
22	—	0	—
24	—	1	—
25	—	2	53
26	—	3	—
27	—	5	—
30	82	14	71
35	—	41	75
40	90	58	82
45	98	—	—
50	99	74	87
55	100	—	—
60	—	86	93
70	—	97	95
80	—	99	97
90	—	—	98
100	—	—	98

上の値を圖示すれば圖 15 となる。線圖は何れも落高の横軸に對し S 字形を描き極めて一般的の形狀を示した。但し各爆藥何れも曲線の上下部分の形態を異にし對稱をなさず、化合火藥類の場合と頗る趣を異にする。不爆點及完爆點そのものの値は大なる意義を有するものには非らざれど不爆點附近は輕微なる衝擊に感應して爆發を生起する感受性を又完爆點附近は完全

1) 後藤正治博士, 合金學第 3 卷, 695 (富山房, 昭和 6 年)

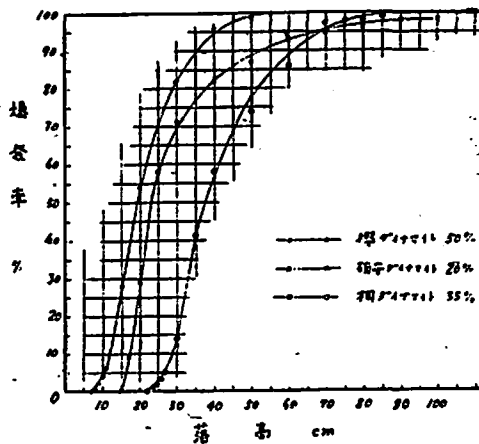


図 15 ダイナマイト類の感度曲線

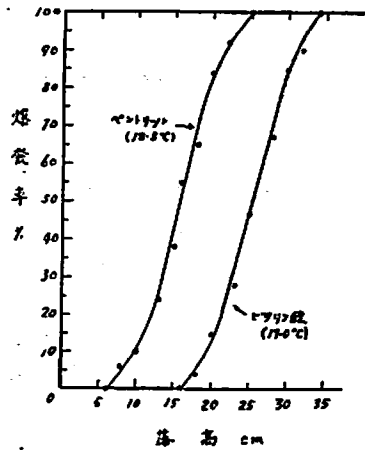


図 16 化合物爆薬類の感度曲線

爆発に要する最小エネルギーに關聯し爆発の確實性を示すものであると考へる。例へば硝安ダイナマイトの完爆側の勾配緩なるは爆轟の確實性に乏しきを示すも、不爆側の急なることより部分爆発の感度は大にしてこれ殉爆度が大なりといふ 1 原因と思考せられる。

櫻ダイナマイトが第二薬包として頗る鋭敏なる感應性を與へたるは畢竟圖 15 の線圖にて不爆側勾配の急なるに基づくものならんも、實驗 7 に於ては殉爆度に非ずして殉爆の傳播速度を求めた。之が爲には第二薬包は唯に感應性のみならず爆轟の確實性を保有せねばならぬ。櫻ダイナマイトは桐ダイナマイトに比して完爆側勾配が遙に大なるは爆轟の確實、從つて殉爆傳播の確實を指示するものと考察する。

殉爆の確實性にまた土中殉爆の如き實驗よりも認められる。櫻ダイナマイトを地中(粘土)にて殉爆せしむれば距離近きときは第二薬包部分の擴大が第一薬包部分より遙に大である¹⁾。これ第二薬包が第一薬包よりも有效確實に爆轟せるを示すものにして、爆薬は雷管の衝動より大なる衝動によりその確實性を發揮するものであらう。即ちこの事實は上記の考察を裏書するものである。

13. 爆轟の抵抗通過

實際の爆破作業に於ては爆薬を紙包の儘穿孔に裝填するを常とする。薬包紙は厚さ約 0.05 mm の硫酸紙を用ひ、薬包の側面は概ねこの紙 2 重巻となれど、端面は 3 回の折返しによつて大略 10 重となりその厚さは約 0.5 mm である。故に薬包 2 本が相接續するときは厚さ約 1 mm の紙抵抗が挟まる。實際問題としてはこの抵抗は度外視出来るものであるが試みに薬包の途中

1) Peter Rauch 氏は Ammonit 5 にて實驗した。Zs. Schiess-u. Sprengst. 22, 197 (1927).
 尙野原孝夫・故仙波國彦兩氏はカーリットにて次の結果を得た(昭和 6 年未發表)。

薬 間	$S=nd$	5d	10d	15d	20d	25d
	mm	150	300	450	600	750
空高徑	D_1	350	321	300	327	332
	D_2	350	226	240	177	200

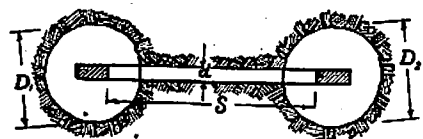


圖 17.

に紙板を挟みて爆轟傳播に及ぼす効果を測定した。

【實驗 9】 紙板抵抗を通過する爆轟の傳播

圖 18 の如く内徑 35mm, 長さ約 230mm の引抜鋼管 E 内にダイナマイト Z を裸にて充填し, 檢速距離 l の略中間に軟き日本紙を壓填して抵抗 R を作り, この厚さを變へて距離 l を爆轟が傳播する速度を Dautriche 法によつて測定した。供試爆薬には 50% 櫻ダイナマイト及 35% 桐ダイナマイトを用ふ。共に製造後 3 ヶ月餘を経過したものである。

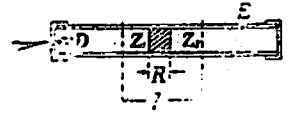


圖 18

紙抵抗の厚 R cm	櫻ダイナマイト		桐ダイナマイト	
	x (實測値) cm	假速 w m/sec	x (實測値) cm	假速 v m/sec
0	10.72	3210*	7.18	4800*
0.5	10.82	3150	7.21	4780
1.0	11.08	3110	7.40	4660
1.5	11.52	3000	8.18	4220
2.0	12.68	2720	12.04	2870
2.5	15.50	2310	傳爆せず	
3.0	16.06	2030		
3.5	傳爆せず			

假速とは抵抗を含む l 距離を爆轟が通過せる平均の速度にして $l=10$ cm $v=6900$ m/sec にて $w=vl/2x$ より計算したものである。

但し*は該爆薬の爆速値である。

上の結果より兩ダイナマイト共に抵抗の増大に従つて假速は漸減し遂に傳爆せざるに至る。この假速低下の傾向は圖 19 に見るが如く桐ダイナマイト頗る著しい。而してこゝに云ふ假速なるものは全く観念的のものにして事實爆轟は l なる距離をこの假速 w にて傳播するものには非ず, 圖 18 に於て Z_1 及 Z_2 なる爆薬部分は夫々の爆薬の爆速 V (或は之に近き値) を以て爆

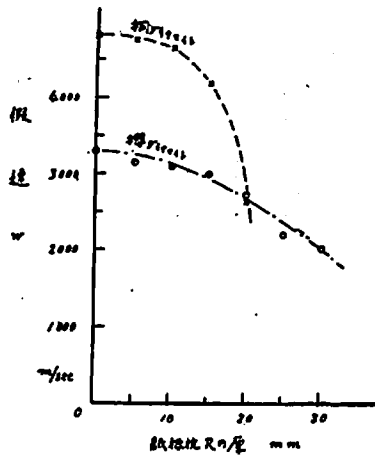


圖 19 抵抗を挟みての爆轟傳播速度

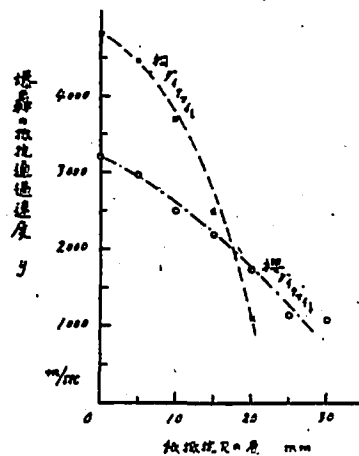


圖 20 爆轟の抵抗通過速度

轟し、 R なる抵抗を通過する際に時間的遅れを生ずると見るべきである。抵抗 R を経て爆轟が傳播する速度を y とすれば

$$2 \frac{x}{v} = \frac{l-R}{W} + \frac{R}{y}$$

$$\frac{1}{y} = \frac{2x/v - (l-R)/W}{R}$$

依つて櫻ダイナマイトの爆轟が抵抗 R を通過する速度は

R cm	0.005	0.010	0.015	0.02	0.025	0.030
y m/sec	2960	2500	2200	1730	1150	1100

又桐ダイナマイトに在りては

R cm	0.05	0.01	0.015	0.02
y m/sec	4480	3700	2500	1100

櫻ダイナマイトと桐ダイナマイトとを比較すれば單に 8 號工業雷管のみでの爆速は後者の方が遙に大である。殉爆傳播速度は爆速に關係し、又中間に抵抗を挟みたる場合も亦同様にして共に後者の方が大であつた。然るに前者即ち櫻ダイナマイトは克く 3 cm の紙板抵抗を通過したるに後者桐ダイナマイトは 2.5 cm には傳爆し得なかつた。而して紙板通過速度はこの抵抗通過能力に關係するが如く櫻ダイナマイトが大である。このことは紙板抵抗後に存在する部分即ち或意味での第二薬包の性状に關係するものと考へらる。

第 4 章 爆薬動的特数の吟味

14. 猛度と爆速

爆薬の動的効果即ち破壊粉碎の作用は猛度の概念の下に古來火薬學者の最も究明に是れ力めた所である。古く Bichel 氏が有名なる壓力計を製作し、フランスにてはまた彈道振子の應用を試みたが之等は共に破壊作用の測定には餘りに間接的に過ぎた¹⁾。其の後 Hess 氏の鉛柱壓潰 (1879 年) 及 Kast 氏の銅柱壓縮 (1913) による猛度計が考案せられたが、此くして發展せる猛度の概念は Redl²⁾、Herlin³⁾ 氏等によりエネルギー、裝填比重及崩壊速度——仕事密度の時間微分——等の函數として定義せらるるに至つた⁴⁾。Kast 氏は之に數的意義を與へ猛度

$$B = f \Delta W$$

として表示した⁵⁾。

一方 Jouguet 氏はガス爆發の理論的考察を固體爆薬に應用し⁶⁾、爆發壓を

1) Bichel の猛度 $B = \frac{1}{2} m W^2$, m は爆發生成物の質量にして W 即ち爆速は分子放射速度に等しとの推論に基くものである。(Testing Explosives, London (1905) 56). 同氏の壓力計は分解壓の勾配といふよりもむしろ爆發生成ガス壓の膨脹を計測し、彈道振子によつては運動量變化が求められるものなれば共に直接の猛度計測ではない。

2) Kriegstechn. Zeitschr. 14, 395 (1911).

3) Zs. Schiess-u. Sprengst. 8, 448 (1913).

4) L. Wöhler: Zs. Angew. Chem. 24 2093 (1911).

5) Zs. Schiess-u. Sprengst. 8, 67 (1913).

6) Mécanique des Explosifs, Paris (1917) pp. 370.

$$P = \Delta WS$$

と置いた(爰に S は爆發生成ガスの流動速度である)。同様の見解は又 Becker¹⁾ 氏の導く所にして

$$B (= \text{爆發波面の壓}) = \Delta WS$$

又略近的に $S = \sqrt{T_0 v_0}$ と置換し

$$B = \Delta W \sqrt{T_0 v_0} \quad \text{とせられる。}$$

(爰に T_0 は爆發温度, v_0 は爆發生成ガスの比容である)。

兎も角猛度表示の根柢をなすものは爆速にして而も之は近時 A. Schmidt 氏一派によつて理論的に導かるゝ所がある²⁾。即ち先づ爆發生成ガスに理想氣體律を適用して観念的爆速 W_i を求め、之に Abel-Noble 氏式を斷熱的に用ひて實際的爆速 $W = W_r$ を計算するものである。

$$W_i = \mu \sqrt{kRT_0}$$

$$W = W_r = W_i / (1 - \alpha \Delta)$$

式中 $k = c_p/c_v$, $\mu = (1+k)/k$, R : 氣體恒數, α : コポリウムである。

尙爆發生成ガスの速度は

$$S = \sqrt{RT_0/k}$$

斯くして爆藥猛度は理論的計算による爆速より誘導する可なり、爆藥の動的特徴は理想的に抽象化せらるゝことを得た。然し實驗的に之を観察すれば即ち現象としての爆速引いては破壊作用は此様に観念的なるものではない。尙爆藥の爆轟に於ける氣體狀態方程式の確定せられざる今日に在りては未だコポリウムの理論的誘導に到らず、爆速の實驗値より逆算して之を求むる方法を採らねばならぬ³⁾。故に正確なる爆速値の測定は爆藥の動的效果判定上最も重要なものに屬する。

15. 爆速の吟味

従來爆藥の爆速は爆轟の難易と混同して論ぜらるゝ所があつた。爆轟の現象に於てこの兩者は共存するも觀念上は嚴然と區別せらるべきである。而して理論的爆速は爆轟の難易と全く無關係に抽象化せられたるものである。次に敘上の實驗結果より爆速及之に關聯する性状の吟味を行ふ。

爆轟の難易は爆藥の初状態によつて異なる。化合火藥類例へばニトロ爆藥の假比重が増せば點爆困難となりその結果見掛け上の爆速の低下(極端なる場合は死壓 $W=0$)を來すも、強力なる點爆の下には云ふ迄もなく Δ の大なる程爆速は大である。ダイナマイトの老化の現象も本來の爆力減退或は爆速低下を來すものに非ずして N/G の膠化等の状態變化により點爆の困難に由來すと思ふ。即ちダイナマイト藥包をもみほぐして空氣泡分布を良好ならしめ、或は硝安を混入すれば點爆は容易となるも本質的に爆速を増大する所以ではない。

爆速は爆藥の化學組成によつて一次的に定まる。このことは爆速の理論的誘導に於ける根本をなすものである。従つてこゝに加成性が存在し、又組成の均一性は爆速のそれを左右する。故に工業爆藥の如く組成複雑なるものに在りては第二次的因子の影響甚だしく、通常測定せら

1) Zs. Physik 4, 398 (1921), 8, 325 (1922).

2) Zs. Schiess- u. Sprengst. 27, 145 (1932), 30, 304 (1935).

3) J. P. Roth: 同上誌 34, 148 (1939).