

## 研究・報文

# 爆薬爆力判定の基準

山家信次

### 目次

- |                |                          |
|----------------|--------------------------|
| 1) 緒言          | 5) 爆薬の静的効果即ち有効「エネルギー」の計算 |
| 2) Trauzl 鉛鑄試験 | 6) 実験成績に関する考察            |
| 3) 弾道振子試験      | 7) 結論                    |
| 4) 弾道臼砲による爆力試験 |                          |

### 1. 緒言

火薬類の爆力<sup>1)</sup>とは爆発による仕事効果を意味し、猛度とは火薬類の衝動或は破壊効果を言ふのが普通である。而して前者の判定は主として Trauzl 鉛鑄試験の成績により後者は Kast の猛度計の銅柱壓縮長によつて比較されてゐる。一般に無煙火薬の爆発力は爆発生成瓦斯の體積と爆発温度との積よりなる火薬力 $f$ なる形で理論上判然と表はされて居り又實用上もこれによりて合理的に比較されて居るのであるが、爆薬の場合に於ては理論的表現は區々であり又合理的に示されて居らぬ状態である。普通爆薬の爆発力を示すに 1. 爆薬爆発の際発生した熱量<sup>2)</sup>即ち「ポテンシャル」によつて示す場合、2. 無煙火薬と同様比「エネルギー<sup>3)</sup>」 $f$ によつて示さるゝ場合、3. Berthelot の主張せる如く爆発熱量  $Q$  と爆発瓦斯の體積  $V$  の積にて示さるゝ場合等がある。又爆薬を實際上使用した場合の爆破効果と全く比例した爆力を與へる試験法は従來多くの學者又は技術者によつて考案された。例へば 1. Bichel の試験法である。密閉爆發器内に於て、ある裝填比重にて爆薬を爆轟せしめてその發生壓力によつて比較する場合、2. Trauzl の鉛鑄試験によつてその擴大容積を測定して比較する場合、3. 弾道振子試験によつて測定する場合、4. 弾道臼砲の後退振幅により計算する場合等はその主なるものである。これ等の中最後の3つは實際上一般に用ひられて居るが、また試験法の與へる成績と實際の爆破効果とが一致した値を示さない。以下これらの3方法について少しく検討し以て爆力の理論的な計算法及合理的な試験法について比較したいと思ふ。

### 2. Trauzl 鉛鑄試験

この試験法は最も普通に用ひられ又その成績は實際の爆力を示すと考へられてゐるが尙種々の點に於て不合理の場合がある。例へば黒色火薬の如き緩燃火薬は實際上爆破効果は軟質土石には相當の効果があるが Trauzl 鉛鑄試験の擴大値は非常に少である。又これに反して鉛鑄

<sup>1)</sup> 爆力とは力であつて「エネルギー」ではないが慣用語に従ふ。

<sup>2)</sup> 外部に仕事をなさざる場合、熱量を  $\text{kg-m}$  にて示す。

<sup>3)</sup> 火薬では火薬の力といふ。

表 1 Trauzl 鉛錘擴大容積成績

爆薬量 (g)	ピクリン酸	ナイトロール	硝磺土ダイナマイト (N/G 量 75%)	カーリット
3			171	181
4			217	
5	199	225	272	284
7			386	
8		353		464
9			514	
10	356	456		623
11			705	
12	423			
14	468	536		
15.5	571			
16.6	608			

はその大きさより外部抵抗一定のため或程度以上強力なる爆薬の爆発擴大容積はその真爆力以上に大となる。一例として 2, 3 の爆薬につき試験薬量を変化してその爆発による擴大容積を比較すれば表 1 の如くである。この擴大容積に対し温度並に最初の中心孔の容積 61cc を補正したものを圖 1 に示す。

Trauzl 試験法が爆薬の眞の仕事効果を示すものなればその擴大容積は火薬の強さ或はこの場合に於ては火薬量に比例すべきであるが圖 1 から明らかである如く薬量對擴大容積は直線関係を示さずして薬量の増加率より容積の増加の方が大となる。換言すれば Trauzl 鉛錘試験は強力なる爆薬にては眞の効果以上に大なる擴大容積を與ふることを意味する。この成績に Dautriche 及 Burlot が示した擴大容積  $V$  と薬量  $\omega$  との関係式

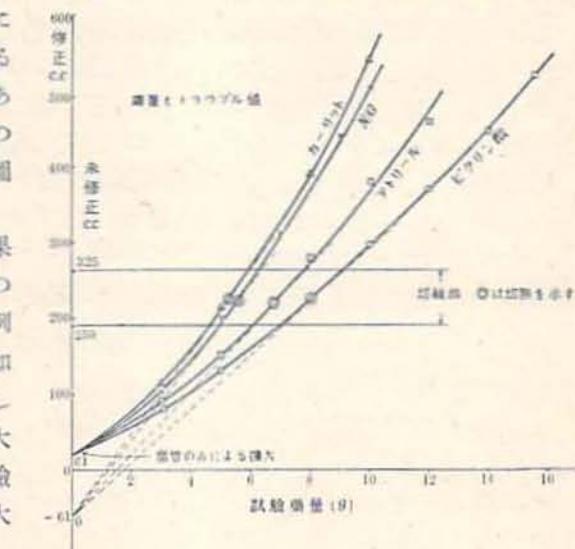


圖 1

$$V = k\omega^m + 61 \dots \dots \dots (1)$$

がよく適合するを見る。

ここに 61 は鉛錘中心孔の容積であり  $k$  及  $m$  は本実験によれば

	$k$	$m$
ピクリン酸 T. N. T.	19.2	12.0
カーリット	24.6	1.34
ニトログリセリン	25.9	1.28

の如く爆薬によつて異つてゐるから  $k$  の價を以て直に爆薬の威力を比較することも困難である。結局 Trauzl 試験法は爆薬の爆破効果を測定する合理的試験法と言ふことが出来ぬ。

これ等の點を考慮して 1928 年に Neubner<sup>1)</sup> は補正せざる擴大容積 250-325 cc を與ふる藥量と擴大容積は比例す。即ち此の範圍内の容積と藥量の曲線に切線を引けば必ず原點を通過すとなし(圖 1 にて Y 軸に -61 cc より切線を引けば Neubner の主張の正しきを知る) 250-325 cc 間の擴大容積を與ふる藥量にてその擴大容積を除きこれを 10 倍して爆力數 (Kraft-Zahl, KZ 値) と稱しこれを以て仕事効果を比較すべきことを發表した。然しこの方法は上記の Dautriche-Burlot 式に於ける  $m$  が一定の場合には<sup>2)</sup>正しいが既に述べた如く  $m$  が一定でないから KZ 値も嚴密には爆破効果を示さない。

今各種爆爆につき Trauzl 鉛鑄試験による擴大容積修正値  $V_r$  (中心孔 61 cc を擴大全容積より差引たるもの) 及 KZ 値 (KZ 値に於ける修正は S. S. 23, p. 53, 1928 による) を表 5 に示す。これらの價の中 KZ 値が實際爆力に比例する値を示すやに關しては更に第 6 節に於て比較検討する。

### 3. 彈道振子試験

英國では認可爆薬の威力の試験に彈道振子試験を行ふ。この試験法は米國 Bureau of Mines では一般爆薬の威力試験にも用ひられその成績は Unit Deflective Charge<sup>3)</sup> (略して U. D. C. と言ふ) によつて比較せられてゐる。この振子の構造及試験法等に關しては西松氏火薬學及 Bureau of Mines, Bulletin 346, p. 40, 1931. その他に記載せられてゐるからこゝに説明しない。Bureau of Mines ではこの試験法が爆薬の實用試験に適當なりとしてゐる。

今 Bureau of Mines で行はれた各種の「ダイナマイト」即ち「ストレイトダイナマイト」「ゼラチンダイナマイト」「アンモニアゼラチン」「アンモニアダイナマイト」の各種の「グレード」のものに就て成分、彈道振子の成績を表 2 及表 3 に掲げる。

表 2. 試験火薬の成分 (%)

火薬名	水分	ニトログ リセリン	硝化綿	硫黄	硝安	硝酸 ソーダ	酸中和劑	炭化物	包紙 100g に付
黒色火薬	—	—	—	11	—	73	—	16	—
40%:									
グールダイナマイト	0.6	35.6	—	—	—	—	30.3	—	6.0
75%	0.4	74.6	—	—	—	—	3.6	—	6.0
20%:									
ゼラチン	0.9	20.2	0.4	8.2	—	60.3	1.5	8.5	4.0
アンモニア	0.8	12.0	—	6.7	11.8	57.3	1.2	10.2	7.0

1) S. S. 23, p. 1, 53, 82, 126, 162, 194 (1928).

2) 擴大容積  $V=300$  cc 附近にて式 (1) から

$$\left(\frac{\partial V}{\partial \sigma}\right)_{300} = mk\sigma^{m-1}$$

$$KZ = 10 \frac{mk\sigma^{m-1}\sigma}{\sigma} = \frac{10m(V-61)}{\sigma}$$

3) Bureau of Mines 標準ダイナマイト (B. S. S. D.) 227 g と同じ振動角度を振子に與へる試験爆薬の量と言ふ。

ストレイト……………	0.9	20.2	—	2.9	—	59.3	1.3	15.4	5.5
30%:									
アンモニアゼラチン	1.5	22.9	0.3	7.2	4.2	54.9	0.7	8.3	4.0
ゼラチン……………	1.0	25.4	0.5	6.1	—	56.4	1.2	9.4	4.0
アンモニア……………	0.8	12.6	—	5.4	25.1	46.2	1.1	8.8	7.0
ストレイト……………	1.0	29.0	—	2.0	—	53.3	1.0	13.7	5.5
40%:									
アンモニアゼラチン	1.4	26.2	0.4	5.6	8.0	49.6	0.8	8.0	4.0
ゼラチン……………	0.9	32.0	0.7	2.2	—	51.8	1.2	11.2	4.0
アンモニア……………	0.7	16.5	—	3.6	31.4	37.5	1.1	9.2	7.0
ストレイト……………	0.9	39.0	—	—	—	45.5	0.8	13.8	5.5
50%:									
アンモニアゼラチン	1.6	29.9	0.4	3.4	13.0	43.0	0.7	8.0	4.5
ゼラチン……………	1.0	40.1	0.8	1.3	—	45.6	1.2	10.0	4.0
アンモニア……………	0.9	16.7	—	3.4	43.1	25.1	0.8	10.0	7.0
ストレイト……………	0.9	49.0	—	—	—	34.4	1.1	14.6	5.5
60%:									
アンモニアゼラチン	1.7	35.3	0.7	—	20.1	33.5	0.8	7.9	4.5
ゼラチン……………	0.9	49.6	1.2	—	—	38.9	1.1	8.3	4.0
アンモニア……………	0.7	22.5	—	1.6	50.3	15.2	1.1	8.6	7.0
ストレイト……………	1.2	56.8	—	—	—	22.6	1.2	18.2	6.0
80%:									
アンモニアゼラチン	1.8	38.3	0.9	—	34.7	19.1	0.9	4.3	4.5
ゼラチン……………	0.7	65.4	2.6	—	—	19.5	1.7	10.1	4.0
100%:									
プラスチングゼラチン	0.1	91.0	7.9	—	—	—	0.8	0.2	5.0

表 3. 爆 力 成 績

(プラスチングゼラチンを 100 とす)

爆 薬	比 重	U. D. C. (平均)	重量比	体積比
黒色火薬……………	1.25	374	42.2	38.5
40% グールダイナマイト……………	1.24	502	31.4	28.5
75%……………	1.24	230	68.7	62.1
20%:				
ゼラチン……………	1.66	300	52.7	63.8
アンモニア……………	1.30	272	58.1	55.1
ストレイト……………	1.36	267	59.2	58.7
35%:				
アンモニアゼラチン……………	1.60	273	57.9	67.5
ゼラチン……………	1.64	281	56.2	67.3
アンモニア……………	1.31	256	64.7	59.0
ストレイト……………	1.32	249	63.5	61.1

40%:				
アンモニアゼラチン.....	1.56	262	60.3	68.6
ゼラチン.....	1.56	260	60.8	69.2
アンモニア.....	1.28	242	65.3	61.0
ストレイト.....	1.32	235	67.2	64.8
50%:				
アンモニアゼラチン.....	1.49	250	63.2	68.8
ゼラチン.....	1.53	240	65.8	73.5
アンモニア.....	1.26	233	67.8	62.4
ストレイト.....	1.32	215	73.5	70.8
60%:				
アンモニアゼラチン.....	1.43	235	67.2	70.2
ゼラチン.....	1.50	222	71.2	77.9
アンモニア.....	1.28	224	70.5	65.9
ストレイト.....	1.30	206	76.7	72.8
80%:				
アンモニアゼラチン.....	1.39	216	73.1	74.2
ゼラチン.....	1.46	192	82.3	84.1
100%:				
プラスチングゼラチン.....	1.37	158	100.0	100.0

表3は各「ダイナマイト」の「グレード」に對して爆力が直線的に變化してゐる。これらの爆薬の特徴数は理論的に計算せられてゐないから<sup>1)</sup>今直ちにこの爆力と爆薬の爆發仕事「エネルギー」を比較することは困難であるが從來振動振子はその試験器としての機構から言つて一種の推進力の試験器であつて實用上の問題と理論的に一致しない點がある。むしろ Trauzl 試験或は他の方法を選ぶべきである如く思はれるが、この試験法による比較に關しては尙研究を要する。

#### 4. 彈道臼砲による爆力試験

米國民間會社特に Du Pont 社に於て彈道臼砲試験器を用ひ爆薬の爆力試験を施行してゐる。筆者の聞いた所によれば Du Pont 社にて爆破の實際的試験を行ひその成績と彈道臼砲による成績が一致したと稱してゐるがその成績を見ることを得なかつたから眞否は不明である。

彈道臼砲試験の詳細に關しては既に Bureau of Mines 發行爆薬の物理試験法<sup>2)</sup>に記載せられてゐるからこゝに記する必要もないが Du Pont 型の臼砲は彈丸の底部に爆薬 10g を雷管に装着して裝填しこれを臼砲内に納め導火線にて點火爆發せしめ振子の後退角  $\alpha$  よりその爆薬の與へた「エネルギー」を計算する。即ち爆薬の爆力を  $E$  とすれば ( $E$  はこの試験にて爆薬のなした仕事である)

$$E = K(1 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2)$$

こゝに  $\alpha$  は振動部の後退角、 $K$  は装置による常數であつて

<sup>1)</sup> 筆者はこれらの理論値を何れ計算する業定である。

<sup>2)</sup> Bulletin 346, 1931, p. 46.

$$K = WS \left( 1 + \frac{gI}{w\gamma^2} \right)$$

ここに  $W$  は弾道臼砲の重量、 $w$  は弾丸の重量、 $S$  は支点軸より重心点までの距離、 $I$  は支点軸に關する慣性能率、 $\gamma$  は支点軸より薬室中心軸迄の距離であるから  $K$  は装置によつて一定でありこの價は計算が出来る。筆者の用ひた装置では  $K=36,600 \text{ kg-m}$  である。故に爆力  $E$  を直ちに機械的「エネルギー」單位で示すことが出来る。尙この臼砲による理論的實驗に關しては Taylor 及 Morris の研究<sup>1)</sup>がある。

然るに本装置から見出した爆力  $E$  は 1) 高温瓦斯の砲腔内壁に於ける冷却、2) 砲腔と弾丸との接觸面及導火線孔より瓦斯の漏出、3) 弾丸の運動及臼砲の運動に對する摩擦抵抗等が存在するため修正を必要とするがこの何れもが爆力の理論値  $E'$  に比例するから、この熱及機械的損失を  $BE'$  で示せば爆力の實驗値  $E$  は次の如く書くことが出来る。

$$E' = E + BE'$$

$$\frac{E' - E}{E'} = B \dots\dots\dots (3)$$

然るに測定爆力  $E$  は火薬 10 g に相當するものより計算せる外に起爆用雷管用傳爆薬（筆者の實驗にては「テトリール」1.3 g）を含むからこれを修正せねばならぬ。この目的のために筆者は薬量を異にした各種の爆薬に關し  $E$  の價を求めこれから「テトリール」1.3 g に對する  $E_0=47 \text{ kg-m}$  を得た。これを  $\varepsilon$  とすれば雷管による薬量を修正した試験爆薬のみによる爆力  $E_0 = E - \varepsilon$  にて示すことが出来るから式 (3) は次の如くなる。

$$E_0 = \varepsilon + (1 - B)E' \dots\dots\dots (4)$$

弾道臼砲による爆力の理論値  $E'$  を計算するには普通の熱力學的斷熱仕事から見出される。即ち、弾道臼砲中に於ける爆薬爆發は瞬間燃焼と見て差支はないからこれを砲内弾道による Resal の熱力學基礎式を用ふれば

$$E' = \frac{f\omega}{n} \left[ 1 - \frac{1}{(R)^n} \right] \dots\dots\dots (5)$$

である。ここに  $n = \gamma - 1$  であり、 $R = \text{全腔容積} / \text{薬室容積}$  即ち膨脹比である。故にある弾道臼砲では  $R$  は一定であり  $n$  は火薬の燃焼瓦斯及温度から計算出来るから今  $M = \frac{n}{1 - (1/R)^n}$  とすれば 2, 3 の爆薬に對する  $E'$  の價は表 4 の如くである。

表 4.  $E$  及  $E'$  の價

爆 薬	$C_v$ (cal/mol)	$n$	$M$	$E'$	$E_0$	$B$
ピクリン酸.....	7.21	0.27	0.69	150.8	110.7	0.27
T. N. T. ....	6.97	0.27	0.69	133	95	0.30
テトリール.....	7.06	0.27	0.69	176	126	0.28
ニトログリセリン..	10.0	0.20	0.64	194	154	0.21
カーリット.....	8.84	0.22	0.66	174	144	0.18 <sup>*)</sup>
黒色火薬.....	9.50	0.21	0.65	48.5	39	0.21
松印ダイナマイト..	8.90	0.22	0.66	182	141	0.23

1) Trans. Faraday Soc. Vol. 28, p. 545 (1932).

火兵學會誌 27, 96 頁, 昭和 8 年.

\*) カーリット系火薬の如きは斷熱膨脹と考へるより一部ボリトループ變化と考へて計算しなければならぬ。この時の  $E'$  は約 20% 大となり  $B=0.3$  近くとなる。

こゝで  $B$  は  $0.18 \sim 0.3$  の間にあつて一定<sup>\*)</sup>でないが大體  $B \approx 0.22$  と考へてよい。一般に彈道臼砲による試験によつて  $E$  を見出しこれより式 (4) によつて  $E$  の補正值  $E'$  を求めるべきであるが  $\epsilon$  及  $B$  が略一定であり又その値が少であるから彈道臼砲の後退角から  $(1 - \cos \alpha)$  を求め式 (2) によつてこれに常數  $K$  を乗じてこれを彈道臼砲試験による爆薬の爆力 ( $E$ ) として示すことが出来る。表 5 の  $E$  はこの値を  $\text{kg-m/kg}$  或は  $\text{kg-m/g}$  の單位で示したものである。

### 5. 爆薬の靜的效果即有效「エネルギー」の計算

爆薬が實用爆破に於て發生せらるる有效「エネルギー」は爆薬それ自身の密度近く迄に填塞せられたる孔内に於て爆發し周囲の抵抗に打勝ちつつその火薬瓦斯が 1 氣壓迄膨脹する時になせる仕事量であるからこの計算は彈道臼砲の仕事量を求める Resal の式 (5) によつて計算出来るがこの場合に於ける初壓力は彈道臼砲に於ける如く少なる密度のものでなく又瓦斯膨脹の最後の壓力は大氣壓迄を取るべきであるが、ある爆薬ではこの膨脹間に於ける溫度の低下により水蒸氣の凝縮を起す場合等を出すからこの場合を考慮し同時に溫度變化に對する比熱  $\gamma$  或は  $\gamma - 1 = n$  の變化を考慮して初期の條件として爆薬 1 kg が 1「リター」中に爆發したる後膨脹せる場合の仕事量を式 (5) によつて計算しこれをその爆薬の自由「エネルギー」とした。これを  $Fa$  にて示す。

然るときは爆薬の自由「エネルギー」<sup>1)</sup>  $Fa$  はその爆薬が裝填密度 1.0 の下に爆發して得らるる最大仕事量に相當するものである。密度の高き爆薬例へば「ニトログリセリン」の如き自己の裝填密度の下に爆發して得らるる  $Fa$  は尙これより遙かに大であるべきであるが高壓下に於ける状態式の不明又實際上高裝填密度で爆發しても爆薬裝填近くの物質は直ちに變形せらるると考へられるから實際に大差はない。尙爆發生成物中に固體を含有するものは膨脹間にその固體より氣體に熱を與へるから斷熱膨脹とならず「ポリトルブ」の膨脹<sup>2)</sup>と考へてよいがこれらも簡單のため省略する。

今彈道臼砲試験を施行した諸爆薬の爆發溫度  $T_0$  (絕對溫度), 比瓦斯體積  $V_0$  ( $\text{l/kg}$ ), 比「エネルギー」 $f$  ( $\text{ton-m/kg}$ ), 自由「エネルギー」 $Fa$  ( $\text{ton-m/kg}$ ) 及び第 2 節による Trauzl 鉛鑄試験補正擴大容積 (全容積より 61 cc を減じたるもの), Neubner の計算による  $KZ$  値, 並に彈道臼砲試験による爆力  $E$  ( $\text{ton-m/kg}$  或は  $\text{kg-m/g}$ ) を表 5 に示す。

表 5. 爆薬成績表

番號	爆薬	成分	爆發溫度 $T_0$	比容 $V_0$	比エネ ルギー $f$	自由エネ ルギー $Fa$	トラウズル値		臼砲 $E$
							$V_T$	$KZ$	
1	ピクリン酸	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}(\text{NO}_2)_3$	3250	874	107.5	318.6	294	354	133.0
2	トリニトロ トルオール	$\text{C}_6\text{H}_2\text{CH}_3(\text{NO}_2)_3$	2960	853	95.6	283.4	291	351	123.5
3	テトリール	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{NCH}_3\text{NO}_2$	3570	914	123.4	378.7	361	415	150.4
4	ニトログリ セリン	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	4884	716	132.3	557.5	554	578	194.0
5	ヘキソゲン	$(\text{CH}_2\text{N-NO}_2)_2$	4273	909	147.0	500.2	433	478	183.0
6	ペンタエリ スリット	$\text{C}(\text{CH}_2\text{NO}_2)_4$	4725	800	139.3	535.1	463	504	182.0

1) 爆薬自由「エネルギー」の計算方法については別に詳細報告する。

2) この點に關しても別に章を更めて報告する積りである。

7	松印ダイナ マイト	{ N/G 92 NC 8	4843	712	130.4	548.0	472	520	182.7
8	櫻	{ N/G 58 N/C 2.5 硝石 31.8 木粉 8	3878	557	84.7	334.0	302	361	133.0
9	桐	{ N/G 40 N/C 1.5 木粉 3.75 澱粉 3.75	3500	849	112.5	446.2	—	—	164.0
10	乙梅ダイナ マイト	{ N/G 54 N/C 2 硝石 16 木粉 3	2940	618	68.7	261.4	—	—	102.6
11	紅梅ダイナ マイト	{ N/G 50 N/C 1.8 硝石 17.2 木粉 2.5	2928	611	67.7	257.5	253	314	107.2
12	硝安ダイナ マイト	{ N/G 20 N/C 0.6 硝安 46 木粉 5	2553	644	62.2	219.1	244	305	98.4
13	硝安爆薬	{ 澱粉 1.5 食鹽 27 硝安 70 木粉 3	2483	741	69.6	241.4	—	—	108.7
14	カーリット	{ DNN 7 食鹽 20 NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> 75 FeSi 16	4950	620	116.2	410.8	491	528	166.0
15	黒色火薬	{ 木粉 6 油 3 KNO <sub>3</sub> 75 S 10 C 15	3024	280	32.0	114.9	88	163	57.6

### 6. 実験成績に関する考察

表 5 に示した如く各種爆薬の Trauzl 鉛錘試験或は弾道臼砲試験の実験値が理論的計算よりなる自由「エネルギー」 $Fa$  と直線的関係にあるなればこの実験値が爆薬の爆力を示すものなるべく又その試験法も合理的と言ふことが出来る。即ち表 5 の成績につき  $Fa$  (単位 kg-m/g) を X 軸とし Neubner  $KZ$  値 (単位, 比較値よりなる数字なるも  $ee$  数に相當す) 或は弾道

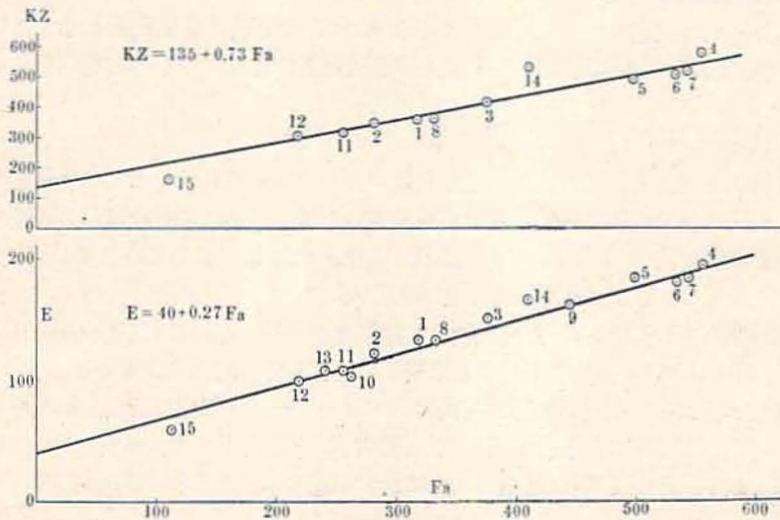


圖 2

臼砲の爆力  $E$  (単位 kg-m/g) を Y 軸として圖 2 に示した。この関係は何れも直線を以て表され  $KZ$  値に関しては

$$KZ = 135 + 0.73 Fa \dots\dots\dots (7')$$

$$Fa = 1.37(KZ) - 185 = 1.37(KZ - 135) \dots\dots\dots (7)$$

又弾道臼砲に於ては

$$E = 40 + 0.27 Fa \dots\dots\dots (8')$$

$$Fa = 3.70E - 148 = 3.70(E - 40) \dots \dots \dots (8)$$

にて示される。この外、比「エネルギー」 $f$ と $Fa$ 、Trauzl 擴大容積 $V_T$ と $Fa$ の關係は直線とならない。殊に $f$ と $Fa$ は式(5)に示す如く爆發瓦斯の $n$ に關するもので火薬の如く $f$ を以てその爆力を示すことは出来ぬ。

自由「エネルギー」と $KZ$ 値の關係式に就いては Trauzl 鉛鑄試験そのものの性質からその式中の數的意味は無いが彈道臼砲爆力に關する式(8')は次の理論的意味を有する。即ち爆發瓦斯の膨脹が高壓力より 1Atm に進む場合に式(5)に於て $R$ は極限に大となり、この場合は爆薬の自由「エネルギー」に相當する場合であるから式(6)から式(5)は

$$E = \frac{n}{M} Fa$$

と書くことが出来る。これを式(4)に代入すれば

$$E = \epsilon + (1-B) \frac{n}{M} Fa$$

である。茲に表4で見ると如く $B=0.22$ であり又 $n/M$ は平均0.34となるから $(1-B)n/M=0.265$ となり大體式(8')と一致しこの式が合理的であることを知る。而して40kg-mは「テトリール」雷管その他による修正量と考へられる。圖2中「カーリット」及黑色火薬の成績が直線より少しく偏位するは前者の膨脹は斷熱膨脹に非ずして「ポリトループ」膨脹なること、この場合は $Fa$ 410.8kg-mより510.7kg-mに増加すること、又黑色火薬はその燃焼が緩漫なため彈丸發射時迄に燃焼未完了なるためと考へられる。

斯くして彈道臼砲試験によつて見出されたる $E$ はその爆薬の爆破效果を示すこととなる。又 Trauzl 鉛鑄試験より見出した $KZ$ 値も亦爆破效果に比例するものと考へられる。

## 7. 結 論

爆薬の爆發效果を實驗的に測定する方法は種々あるが實際的效果を示すべき判定の基準なきため火薬技術者は勿論實用者側にも相當不便が多い。筆者は熱力學的計算から爆薬の特徴數を計算し爆薬が裝填密度1より1Atm迄膨脹する際の仕事量を求めこれをその爆薬の自由「エネルギー」と稱しこれを以て爆薬爆力の基準とした。

一方從來用ひらるゝ Trauzl 鉛鑄試験より計算せる $KZ$ 値及彈道臼砲の後退角より見出した爆力 $E$ と自由「エネルギー」 $Fa$ とを比較して何れも合理的測定法たることを明かにした。殊に彈道臼砲試験はその成績が直ちに機械的「エネルギー」の單位で見出され又その方法も合理的である。而して $KZ$ 値及彈道臼砲による爆力 $E$ と自由「エネルギー」 $Fa$ の關係は單位を $KZ$ 、値は數字、 $Fa$ 及 $E$ は爆薬1kgに對する砲米單位にて示せば夫れ夫れ

$$Fa = 3.70(E - 40)$$

$$Fa = 1.37(KZ - 135)$$

によつて示されるから爆力を示すには理論的計算による自由「エネルギー」によるも、又彈道臼砲試験による爆力 $E$ によつても差支なく又比較値として $KZ$ 値で示してもよい。

本研究は日本學術振興會の援助補助によつて行つたものであつて茲に同會に對し深甚の謝意を表する。