

爆薬の爆發效果に就て

會員 山 家 信 次

目 次

- | | |
|------------|------------|
| 1. 緒言 | 4. 爆薬の静的效果 |
| 2. 爆發效果の分解 | 5. 爆薬の動的効果 |
| 3. 爆薬特徴数 | 6. 總括 |

1. 緒 言

爆薬の定義に關しては、從來爆薬はその分解に際し多量の熱と氣體を發生し、その氣體は熱のために高温高壓の状態となり、所謂爆發現象なるものを起し得るものとせられた。即ち爆薬の爆發は熱の遊離と氣體の發生を伴ふのが普通であるが必ずしも爆發の必要條件ではない¹⁾。火薬類の定義を掲げる場合、必須條件として特徴づける問題はエネルギーの集中性といふことである。今水素瓦斯、ベンゾール及木炭の各 1kg を取り、此等の物質が酸素と化合して發生する熱量、或は此等の物質と完全酸化に必要な酸素の量との和が 1kg なる時に化合して發生する熱量と、ニトログリセリン及ピクリン酸の如き強力なる爆薬 1kg が爆發する際發生する熱量とを比較すれば、表 1 に示す如く前者は前者の數分の一に過ぎないが、若しこれを單位體積の物質、即ち 1 氣壓の下に於ける水素酸素混合物 1l より發生する熱量と、火薬 1l の爆發による熱量とを比較すれば、同表に示す如く前者は 1l につき 2~4 キロカロリーに對し、後者は 1000 キロカロリーを超過してゐる。これは明かに爆薬は空間に於けるエネルギー密度が如何に大なるかを示して居る。且爆薬の爆發速度は毎秒數千米に達するから、爆薬はその含有する高密度のエネルギーを極めて短時間に遊離することになる。即ち爆薬はエネルギーの空間的並に時間的に高密度に集中した物質であるといふことになる。又この性質が爆薬として性能上必要な條件でなければならぬ。従つて爆薬の利用も亦この點に基いてゐることはいふまでもない。

表 1. エネルギー集中度

名 稱	爆 發 熱 量		密 度	kcal/litre (酸素共)
	kcal/kg	kcal/(物質及 O ₂)kg		
水 素	29,100	3,230	—	1.7
ベ ン ゾ ー ル	10,700	2,330	—	4.4
炭 素	7,860	2,140	—	4.1
ニトログリセリン	1,520	—	1.60	2,430
ピ ク リ ン 酸	756	—	1.65	1,250

2. 爆 發 效 果 の 分 解

爆發を其の利用の見地から今少しく検討して見たい。軍用方面の用途について彈丸炸薬の如きは、砲腔内に於ける彈丸の抵抗及甲鉄侵徹の際に於ける衝突に耐へるべく、充分安全度の高

1) 山家、火兵學會誌 23, 429 (1929).

い必要がある外、その炸裂に對する爆風效果及彈丸の破片飛散效果の大なるものを必要とする。爆彈に於ても殆どこれと同様と考へてよい。又水雷用炸藥の如きは、炸裂による艦船破壊仕事效果の大なるもの、爆雷の如き水中衝撃波の大なる爆發を必要とする場合もある。或はレール、鐵脚の破斷の如き直接の衝撃作用によるもの等がある。又産業方面の用途に關しても同様隧道の掘鑿、鑛石、石炭の採掘、樹木の伐採、石材の切取り、鐵塊の破壊等その用途により仕事效果を主とするもの又は衝撃作用を利用するもの等の別あり、加ふるに、土質岩石の軟硬粗密によつては、各種の用途の爆藥を必要とするのは勿論である。一方現用爆藥も此等の用途に應じて、黑色火藥の如き低爆速のものより、ピクリン酸の如き高猛度のものに至り、又ダイナマイト類にありても、松級より硝安系に至る各種爆藥を用ひて、所要の用途に適合する如く製造されてゐる。従つて爆藥の爆發效果を論ずるに當つても、單にその爆藥による仕事效果のみを論ずる場合と、又時間的效果を利用した衝撃力に重點を置く場合もある。

從來爆藥の威力試験法としては、Trauzl 鉛鑄試験、Kast 猛度試験、彈道振子試験、彈道臼砲試験及 Hopkinson 壓搾試験等種々の試験法が用ひられてゐるが、此等の試験法はその方法の種類により爆藥の一方的效果を特に顯著に表示するから、決して各爆藥につき一致した價を與へない。筆者は前號に於て爆藥の爆力判定基準として、Trauzl 鉛鑄試験と彈道臼砲試験との成績を比較して、理論的爆力試験と一致することを述べたが、これは主として仕事效果に關する問題であつて、本稿に於ては爆藥の一般的效果を少しく分析的に研究して見たい。

爆藥はその爆發效果を次の三つに分られる。

- (1) 靜的效果或は仕事效果
- (2) 動的效果或は衝動效果
- (3) 距離的效果或は波動效果

(1) の靜的效果とは爆藥の爆發瞬時の状態から、時間函數を消去して、靜力學的にその爆發熱と氣體並に固體殘渣よりなる爆發生成物が、高壓下に斷熱膨脹をなすつゝ、その周圍の物質に仕事をなすべき作用をいひ。(2) の動的效果とは、爆發面に於ける爆轟によつて發生した爆發波の衝動作用によつて、破壊作用を生ずる效果を言ふ。即ち前者はエネルギー量なる一種の量的性質を有するに對し、後者は衝撃作用或は力積で測られるもので、強度の性質を有するものである。従つて一般爆破の如きはこの二者の效果の協同作用によるもので、所謂爆發威力なるものは、爆藥を用ふる對象物質の性質、爆破後の所要状態即ち破碎片の大小等によつて、これに相當した爆藥を用ふることによつて初めて最高能率の爆發威力が發揮出来ることになる。(3) の距離的效果とは、主として外界の媒質に及ぼす遠隔作用であつて、水雷炸藥の爆發がその波動壓力によつて遠距離の物體を破壊する如き、又殉爆作用の如き效果を與へる場合を言ひ、又彈丸、爆彈の如き、炸裂によりその破片の飛散による效果等もこの中に含める。此等の距離效果は爆發による衝動波の媒質による傳達による作用であるから、これは爆發の威力そのものにも關係することは勿論であるが、これは(1)及(2)の效果で示されるから(3)の問題は主として媒質によるもので、爆藥の性質から論ずれば第二次的函數の性質を有することになる。殊に彈體の飛散速度及飛散距離等の如き尙更のことである。故に爆藥の距離的效果に關する爆藥の作用を論ずる場合は別として、一般に爆藥の本質上より爆發威力を論ずる場合には(1)及(2)即ち爆藥の靜的效果と動的效果を論ずればよい。

3. 爆薬特徴数

爆薬爆発効果の決定には、先づ爆薬の爆発瞬時に於ける爆発生成物及瓦斯の成分、爆発瓦斯の體積、爆発熱量、爆発温度等を求めねばならぬ。此等を火薬類の特徴数と稱してゐる。この目的のためには、爆発瞬時に於ける爆発系の化學的平衡を決定して、高壓下に於ける氣體の狀態式及爆発生成物の比熱を知ることによつて、靜力學的状態に於ける火薬類のエネルギー状態が完全に決定せられるのであつて、この計算は相當複雑な理論と面倒な計算によつて行はれるのであるが、斯くして見出される特徴数は、次の諸項目よりなる。

(1) **爆薬の生成熱**：爆薬を構成せる物質の生成熱を爆薬 1 kg に對しその成分の割合に對する和を言ふ。この生成熱は種々の火薬類に對して既に測定せられてゐるものが大部分である。

(2) **爆発熱**：爆薬 1 kg が體積一定の下に爆発した際に發生する熱量 (kcal) であつて、普通化學でいふ實熱量に相當する。即ち爆発瓦斯が爆発瞬時の状態から、その成分を變化しないで常温まで冷却した時に、外界に失はれた熱であるが、この場合普通に水は常温でも水蒸氣のまま存在するものとして爆発熱を計算する。

(3) **爆発生成物の成分**：爆発状態に於ける反應氣體の化學平衡恒數の助けによつて、各氣體及固體殘渣の比熱が既知なれば、爆発熱と成分が決定される。即ち爆薬 1 kg の爆発生成物の氣體の體積割合及固體殘渣及全部の重量割合が計算出来る。

(4) **爆発温度**：爆発生成物の各成分が決定せられ又生成物の比熱が明かとなれば爆発温度 ($T^{\circ}K$) が決定される。

(5) **比容**：爆薬 1 kg が爆発した際發生したる瓦斯體が標準状態 ($0^{\circ}C$ 1 氣壓) に於て占める體積 (l) であつて、水蒸氣の如きものもこの温度に假想的に氣體の狀態に存在するとして計算する；これは各氣體及固體の成分が知られてゐれば求められる。

(6) **コポリウム**：爆発瓦斯が高壓になれば理想氣體の狀態式から偏差する。即ち爆発瓦斯の分子の大きさに比例する量をその氣體から差引かねばならぬ。この量をコポリウムと言ふ。若し固體殘渣があればこれをその密度で除した體積をコポリウム中に加へる。氣體のコポリウムはその壓力の函數であつて裝填密度の高い爆薬の爆発の如き場合は、相當論議のある問題であるが、普通砲内彈道で用ひられる位の壓力では、比容の千分の一を以てその瓦斯のコポリウムとする。然し爆薬爆轟の際に於ける如き高密度に於てはコポリウムは壓力の函數であつて、比容の千分の一よりも相當小である。A. Schmidt¹⁾ は Riemann-Jouguet の爆発式を用ひ實測爆速より逆にコポリウムを算出した。筆者は α_{Δ} を高壓下のコポリウム α_0 , A, B を常數とすれば α_{Δ} と壓力 P との關係は

$$\log(\alpha_{\Delta} - \alpha_0) = A - BP$$

なる關係を導いた。こゝに α_0 は終局コポリウムと言ふべきものである。表 4 に示す α_{Δ} はこの裝填密度に於けるコポリウムを示す。

これらの特徴数は實驗的に見出すことも出来る。即ち爆発熱は火薬を耐高壓のポンプカロリメーター内で爆発せしめ、その熱量を測定し、又その生成物を瓦斯分析することによつて瓦斯及固體殘渣の成分を見出し、比容を求めることが出来る。以前は専ら實驗的方法のみによつて火薬の特徴数が求められたのであるが、事實上この實驗的に見出した生成物は冷却後の成分で

1) S.S. 31 (1936) 13, 40.

あるから、氣體間の化學平衡は溫度によつて變化し、爆發瞬時の成分と相當差があり、實驗の結果は事實から遠ざかることになり、最近には熱力學的理論による計算法のみが採用されてゐる。以上は普通に爆薬特徴と稱せられるもので、數種の爆薬についてこの特徴數を表 2¹⁾ に示す。

表 2.

番號	名 稱	成 分 (分子式)	生 成 熱 (kcal/kg)	爆 發 熱 量 (kcal/kg)	ポ テ ン シ ヤ ル E (Ton-m/ kg)	爆 發 溫 度 T_0 (K)	比 容 V_0 (l/kg)	コ ボ リ ウ ム (l/kg)
1	ニトログリセリン	$C_3H_5(NO_2)_3$	423	1520	649.3	4884	716	0.537
2	ピクリン酸	$C_6H_2OH(NO_2)_3$	206	756	323.0	3250	874	0.657
3	トリニトロロール	$C_6H_2CH_3(NO_2)_3$	66.7	822	351.2	2960	853	0.696
4	ヘキソゲン	$(CH_2N \cdot NO_2)_3$	-91.0	1260	538.3	4273	909	0.682
5	松ダイナマイト	N/G 92 N/C 8	439	1530	653.8	4843	712	0.534
6	櫻ダイナマイト	{N/G 58 N/C 2.5 硝石 31.8 木粉 8	784	1135	484.9	3878	557	0.526
7	硝安爆薬	{硝安 70 木粉 3 DNN 7 食鹽 20	807	701	299.5	2483	741	0.648
8	カーリット	{NH ₄ ClO ₄ 75 FeSi 16 木粉 6 油 3	666	1447	618.2	4950	620	0.592
9	MDC 無煙粉狀爆薬	{N/G 30 M/J 5 G/C 65	544	1001	427.6	3360	879	0.572
10	黒色火薬	{KNO ₃ 75 S 10 C 15	806	754	322.0	3024	280	0.55

この外尚、

(7) 有毒瓦斯量及酸素不足量：爆發瓦斯 1 l 量中の有毒瓦斯量を見出す。有毒瓦斯とは普通一酸化炭素、硫化水素及鹽素であつて、爆薬には包装紙をも計算に入れる。この瓦斯成分は爆發瞬時よりも寧ろある程度冷却した瓦斯の成分について考へる方がよい。又酸素不足量は爆薬 1 kg が完全酸化をなすに必要な酸素の量をいふ。

(8) 爆發速度：爆薬の爆轟速度は衝撃効果の計算に必要な因子である。爆轟速度はその容器及爆薬の密度に關係するが、容器が相當強固なもので傳爆薬が強力であれば、爆速は裝填密度のみの函數である。

この外爆薬の特徴數としては尙殉爆距離、猛度、火薬の力等種々擧げられるが、以上の諸項目が明瞭になれば、これから靜的並に動的効果の計算が出来る。

4. 爆薬の靜的效果

火薬類の靜的エネルギー効果とは、既に述べた如く、火薬の爆發に際して時間的函數を除外して、靜力學的に火薬の爆發に際し發生せるエネルギーを論ずるものである。爆薬の爆發の靜力學的エネルギーを論ずる場合、第一に考へられるのは爆薬の全エネルギーである。即ち爆薬の爆發熱量そのものであつて、カロリー單位を用ふる代りに仕事單位を用ひて示される。これを従來火薬のポテンシャル E と稱せられてゐる。爆薬の爆發によつてなし得る仕事は爆發瓦斯の高壓力の膨脹によるのであるから、發生した氣體の量が關係することは勿論であつて、唯熱量のみを以て火薬の爆發力を比較することは一方的見地であることが直ちに首肯出来るのである。これに對し Berthelot は爆發熱量 Q に比容 V_0 を乘じ、この QV_0 の積を特徴積と稱し

1) 各種爆薬の特徴數は號を改めて表記する積りである。

て爆力の比較數値とした。これは當時の新しい考へ方ではあるが、科學的に意味は有しない。その後 Sarrau は火薬の爆發溫度を T_0 (絶對溫度) とし、比容を V_0 とすれば、理想氣體の標準状態に於ける常數と T_0 の積 $\frac{1 \times V_0}{273} T_0$ (l.atm) $= \frac{1.032 V_0 T_0}{273}$ (l.kg/cm²°C) を火薬の力と稱し f を以て示した。 f は無煙火薬の砲彈彈道計算には重要な特徴數であるが、そのヂメンションが示す如く、 f はエネルギーであるから爆薬を論ずる場合はこれを比エネルギーと稱して、一般に爆薬の靜的エネルギー量を示すことになつてゐる。以上二つの價は表3に掲げてある。 f は黑色火薬は特に小で硝安爆薬之に次ぎニトログリセリン及ヘキソゲンは最大である。火薬力 f と特徴數 QV_0 との關係は $f = \frac{1 \times V_0}{273} T_0 = \frac{1}{273} \frac{1}{CP} (QV_0)$ 即ち生成物の平均比熱が各火薬に對して大體同一であるなれば、 f は特徴數に比例することになる。

然し火薬類の合理的なる靜的效果の決定は熱力學上から導いた有效エネルギーの計算に依たなければならぬ。換言すれば爆發瓦斯が爆發時の状態から、斷熱膨脹によつてなし得る仕事の量によつて測られねばならぬ。即ち火薬が爆發状態から大氣壓迄の氣體の膨脹による仕事量を計算すればよい。今爆薬がある裝填密度に於て爆發した瞬間の壓力を P_0 及溫度を T_0 とし、これが大氣壓迄斷熱膨脹をなした時の仕事量 F_a は、若し氣體の状態式が知れて居れば熱力學から求められる。即ち既に述べた¹⁾如く單位重量の火薬に對する有效エネルギー F_a は

$$F_a = \frac{f}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{1}{R} \right)^{\gamma - 1} \right] \dots \dots \dots (1)$$

である。こゝに γ は定壓及定積比熱の比、 R は爆發瓦斯の最初と最後の膨脹比である。この有效エネルギー F_a は式(1)から明かなる如く、 R が極限に大となる時即ち火薬が出来るだけ小さい空間に充滿されておつて、その氣體が無限に膨脹すれば $F_a = \frac{f}{\gamma - 1}$ となるから、若し定壓比熱と定積比熱の比 γ が各火薬の生成物について同一であれば F_a は比エネルギー f に比例すべきものである。

斯くして爆薬の爆發に於ける有效エネルギー即ち靜的工作效果は、最初の裝填密度即ち火薬が裝填せられてある容積に關係することになるから、火薬を最も有効に用ふるには最も高い密度に裝填する必要がある。従つて爆薬が爆發に於て發生せられる有效エネルギーは爆薬それ自身の密度近くまでに填塞せられたる腔内に於て爆發し、周囲の抵抗に打勝ちつゝその火薬瓦斯が最早仕事をなし得ざるまで即ち1氣壓まで膨脹する際の仕事量を見出すにあるが、自己の裝填密度下に於ける爆發状態ではその氣體状態式の決定が困難であり、又實際に起り得る場合も稀であるから、裝填密度1即ち爆薬1kgが1リットル中に爆發した際に得らるゝ最大仕事を見出した。この計算に當りては氣體の状態式として $P(V - \alpha) = RT$ なる Amagat 式を採用した。この式はコポリウム α_Δ (3章コポリウムの所で述べた如く) を適當に撰ぶことによつて高温高壓に於ても相當實際と一致する。又比熱は溫度の直線式として、この假定の下に斷熱變化に於ける状態式を熱力學的に導き有效エネルギー F_a を kcal/kg で見出した。勿論火薬瓦斯が膨脹する場合はその熱が仕事に變化するから溫度の低下を來たし水蒸氣の凝縮を起す等の場合がある。又爆發生成物中に固體殘渣があればこの熱を氣體に與へることによつてボルトロープ膨脹をなすから、その計算は相當困難であるが表2の火薬について計算した價が表3に示

1) 火薬協會誌創刊號 p. 35.

2) 火薬協會誌創刊號 爆薬爆力判定の基準.

してある。又この計算結果が Neubner の KZ 値及彈道臼砲の成績と一致することは創刊號²⁾

表 3.

番號	名 稱	比 ニ エ ル ギ ー ($\frac{kg}{cm^2}$)	特 徴 ($\frac{kg}{cm^2}$)	膨 脹 指 數 γ	有 効 エ ネ ル ギ ー ($\frac{kg}{cm^2}$)	爆 發 効 率 η_p	膨 脹 指 數 γ_p	有 効 エ ネ ル ギ ー ($\frac{kg}{cm^2}$)	爆 發 効 率 η_p
1	ニトログリセリン	13230	109×10^4	1.192	557.5	85.9	1.192	(557.5)	85.9
2	ピクリン酸	10750	66	1.290	318.6	98.6	1.296	321.7	99.5
3	トリエトローロール	9560	70	1.295	283.4	80.7	1.240	344.6	98.1
4	ヘキサゲン	14700	115	1.262	500.2	92.9	1.262	(500.2)	92.9
5	松ダイナマイト	13040	109	1.192	547.9	83.8	1.192	(547.9)	83.8
6	櫻ダイナマイト	8470	63	1.205	320.7	66.1	1.155	382.3	78.8
7	硝安爆薬	6960	52	1.245	241.4	80	1.206	272.5	91.0
8	カーリット	11620	90	1.245	410.8	66.5	1.180	510.7	82.6
9	MDC 無煙粉状爆薬	11180	88	1.252	389.0	91.0	1.243	399.8	93.5
10	黒色火薬	3200	21	1.15	114.9	35.6	—	—	—

に述べた通りである。これを爆發の際遊離した全エネルギー Q 即ちポテンシャル E との比を
求める時には

$$\eta = \frac{F_a}{E} \dots \dots \dots (2)$$

即ち爆薬のこの状態に於ける爆發による利用効率を示すことになる。

爆薬の中にはその爆發生成物と固形物を含有する場合には、この物體は直接膨脹による仕事をしないが、高温にあるため氣體の膨脹期間に熱を與へるため、その瓦斯は斷熱膨脹をなさずしてポリトロップの膨脹をなし、爲にその有効エネルギー F_p は F_a に比し大となり、表 3 に見る如くこの仕事効率 η_p も斷熱の場合の効率 η_a よりも大となる。表 3 に示したものは既に述べた如く、装填密度 1 よりの膨脹を考へたから、比重の大なる爆薬には不利であるが、この價が示す如く火薬によつてその効率に相當偏差があることが知られる。従つて火薬の製造から言へば最も利用効率のよい様な配合成分を必要とし、又使用者側からいへば最高能率を發揮せしむべき状態に於て使用することである。

5. 爆薬の動的効果

靜的效果は主として爆薬の仕事効果を標準とし、時間函数を第二次的なものとして取扱つたのであるが、衝撃効果を利用する場合には時間函数が第一次的問題となり爆發速度が問題となる。火薬の爆發は非常なる短時間内に終結するものであるから、これが爆發速度の測定には技術的に精巧な方法と熟練とを要するものである。これには種々の方法がある。一般に爆薬の爆速はその爆薬の密度に關係する、即ち爆薬を壓搾したり又は鑄造してその密度を増加すると、その爆速も一般に増加するが、密度を或程度以上に増加すると逆に爆速が減少し、又爆發を起さざる點がある。今實用範圍に於ける各種爆薬の爆速を掲ぐれば表 4 に示す如くである。即ち各種爆薬は黒色火薬を除き毎秒數千米の速度で爆發が進行するのであるから、1 本の装填藥長を 1 m としても爆薬は數千分の一秒間内に非常な量のエネルギーが遊離されることになる。

火薬の動的効果は從來猛度 (Brisanz) なる語で示されてゐる。猛度とは單位時間に於ける壓力の上昇の割合に比例する數字であつて絶對値を以て示すことは出來ないが、爆薬の破壊作用

を示す基準とされてゐる。これには Hess 及 Kast の猛度計¹⁾その他 Hopkinson の壓桿試験法²⁾等が用ひられるが、斯かる短時間にしかも爆発時に於ける如き強大なる壓力に抵抗し得る物質は、地球上に存在しないから、何れも比例値を得るに止まる。理論的解説による猛度の數的表示に關して色々の提案がある。C. E. Bichel³⁾ は猛度 B は火薬の單位體積内の質量 Δ と爆發速度 D の自乗の半分即ち $B = \frac{1}{2} \Delta D^2$ と定義した。H. Kast⁴⁾ は比エネルギー f 、裝填密度 Δ 爆發速度 D の積 $B = f \Delta D$ で示した。即ち猛度は比エネルギーの時間的、空間的集中密度と解釋せられる。又 Cl. Herlin⁵⁾ は $B = Q \Delta^{1+k} D^2$ として k は實驗的に決定する常數としてゐる。

猛度の理論的表示は Riemann による不連續衝動波の理論に基いたものである。混合氣體或は爆薬の爆發は急激であるから、總ての變化は斷熱的に行はれ、反應面から非常な高速度壓縮波が起る。この壓縮衝動波の進行速度を水力學的及熱力學的の基礎から、Riemann は壓縮衝動波の解析を行つたが、Hugoniot はこれを氣體の爆發變化に應用し、後 Jouguet 及 Chapmann は混合氣體並に火薬の爆發の一般理論を完成した。次に示すは Jouguet⁶⁾ によつて導かれた火薬の爆發に關する式であつて、 P を爆發波面に於ける壓力、 W を爆發瓦斯の流速、 Δ を裝填密度、 α_Δ をコポリウム、 D を爆速、 γ を膨脹指數とすれば、

$$P = \frac{2f\Delta}{1-\alpha_\Delta\Delta} \dots\dots\dots (3)$$

$$D = \frac{\sqrt{2(\gamma+1)f}}{1-\alpha_\Delta\Delta} \dots\dots\dots (4)$$

$$W = \sqrt{\frac{2f}{\gamma+1}} \dots\dots\dots (5)$$

この式はコポリウム α をその壓力の函數 α_Δ として撰ぶことによつて、實驗と一致する値を與へてゐる。而して Riemann によつて爆發波による衝動量 i は運動量の變化として $i = \Delta \cdot D \cdot W$ で示されるから、猛度 B は

$$B = \Delta \cdot D \cdot W \dots\dots\dots (6)$$

にて示さるべきである。これは猛度を理論上から求める式であつて、 B は式 (3) に示す P に等しい。裝填密度 Δ 、爆速 D は實測から見出せるが W の測定は實際上困難であるから式 (5) で求める代りに Heid は $W = \sqrt{T_0 V_0}$ (V_0 は比容) を置き換へ

$$B = \Delta \cdot D \cdot \sqrt{V_0 T_0} \dots\dots\dots (7)$$

とした。斯くして爆薬の動的効果が計算から求められることになる。表 4 は爆薬の實用範囲内に於ける相當高き裝填密度に於ける各種の式による猛度の價を示してゐる。表 4 による種々の

- 1) 西松唯一著 火薬學 p. 138 共立社。
- 2) 火兵學會誌 22, 430, 昭和 3 年。
- 3) Testing Explosives 56 (1905).
- 4) Kast, Spreng- u Zundstoffe p. 67 (1921).
- 5) Artil. Monat. 300 (1916).
- 6) Jouguet, Mechanique des Explosifs p. 372, 1917.
- 7) 表 4 にて式 (6) より計算した B が式 (4) より求めた P に一致しないのは α_Δ による差に基づく。 B の計算は式 (6) から求めた方が正確である。

猛度の計算値を比較すれば Bichel の猛度を除き他は何れも大同小異である。

6. 總 括

爆薬の爆發效果の判定には、これを静的效果及動的効果の二つに分類するのが最も合理的である。これには爆薬の基礎常數から爆發瞬時に於ける爆薬の特徴數を求め、爆薬の静的效果判定の基準として有効エネルギー量を計算し、次に爆薬の動的效果の尺度として理論より導か

表 4.

番號	名 稱	装 填 密 度 Δ (kg/l)	爆 速 D (m/sec)	Kust 猛 $f \cdot \Delta \cdot D$ $\times 10^3$	Bichel 猛 $\frac{\Delta \cdot D}{\sqrt{\Delta}}$ $\times 10^3$	Heid 猛 $\frac{\Delta \cdot D \cdot \sqrt{V_0}}{V_0}$ $\times 10^3$	高 壓 コ ボ リ ウ ム $\alpha \Delta$	猛 度 P (式 3) (kg/cm ²)	流 速 W (式 6)	猛 度 B $\Delta \cdot D \cdot W$ (式 6) $\times 10^3$
1	ニトログリセリン	1.6	7450	1576	444	223	0.40	117,600	110	131
2	ピクリン酸	1.64	7069	1247	410	195	0.43	115,700	97	112
3	トリニトロトル	1.6	6910	1057	382	176	0.443	105,100	91	101
4	ヘキソゲン	1.2	9211	1625	509	218	0.557	106,000	114	126
5	松ダイナマイト	1.63	6640	1411	359	201	0.40	122,000	109	118
6	櫻ダイナマイト	1.63	5810	802	275	138	0.42	87,540	89	84
7	硝安爆薬	1.0	3710	258	69	50	0.533	29,810	79	29
8	カーリット	1.05	3885	463	79	71	0.401	41,020	104	42
9	MDC 無煙粉状爆薬	1.2	800(?)	107	4	17	0.49	65,280(?)	100	10
10	黒色火薬	1.2	400	154		4	0.45	6,300	61	3

れた Riemann-Jouguet の猛度を比較すべきであることを述べたが、表 3、表 4 にて見る如く火薬によつて夫々異つた特徴を有することを見る。勿論ニトログリセリンの如く何れにも強力なるもの又黒色火薬の如く何れにも弱力のものはあるが、カーリット及ヘキソゲンの如きは有効エネルギー大なるも猛度は比較的小である。これに反して芳香系爆薬は有効エネルギーは前者の約五分の三であるが、猛度はカーリットより遙かに大である。

爆薬の實用上の問題としては此等の點以外に、その取扱安全性、保存安定性、吸濕性その他種々の物理的、化學的性質を考慮しなければならないが、實際上ピクリン酸その他芳香系硝化物は高猛度を利用して各般の破壊作業等に用ひられ、ダイナマイト、黒色火薬の如きは抗道探掘等の仕事效果に用ひられてゐるが、従來は唯漠然たる體驗或は實驗的見地によるのみで、未だ理論的考察を行つたのを聞かない。然し實用的見地よりする爆薬の威力は有効エネルギーと猛度との和でも又相乗積でもなく、使用條件によつて異なる函数で示さるべきである。一般に爆薬の用途及破壊物の性質即ち岩石の硬軟剛脆その他の條件によつて、この二者が如何なる函数であるかは尙將來の實驗と研究に俟たねばならぬことは勿論であるが、差し當つての問題は爆薬の使用に當つて、この二因子の何れに重點を置くかを充分考慮することによつて、より合理的なる爆薬の選擇が行はれ又有效なる使用法が見出されると確信する。(終)