研究・報文

爆破基準の一試案

會員 山本祐德*

摘要——爆破は古く 17 世紀の初期に工業的應用に入り，軍用地雷の研究と共に進展し，其の基本式 $L=CW^3$ なる關係は 18 世紀以前に旣に判つてゐたやうである．然しこの C なる係數には岩石と爆藥とが錯綜し，理論的に又抽象的に上の關係が嚴存せるに拘らず，實用上の手掛りが全くない有樣である．

本報文には岩石と爆藥とを對（つい）として考慮し，この關係係數 C（之を爆破係數と假に名づく）を一元化して工業爆破の公式化を試みた．

目　　次

I. 緒論

爆破は爆藥を用ひて物料を破壞する工業（作業）である．斯く定義するときは甚だ簡單であるが，爆藥といひ物料と稱するも種類頗る多く，破壞の程度は夫々の目的に應じて一樣ならず，爆藥と物料との相互關係亦複雜を極める．

爆破せらるべき物料は自然物と之を加工せる構築材とに分つことが出來る．自然物には樹木・土壤・石炭・岩石あり，構築材には木材・壁土・石材・煉瓦・コンクリート・鐵材等がある．之を目的に就て見れば

農林——開墾，伐材，拔根，灌漑排水等
鑛工——採石，採炭，採鑛，道路開鑿，隧道掘進，岩盤剝取
軍事——橋梁，鐵道，城砦等の破壞，地雷，機雷等

玆に軍事爆破は破壞第一卽ち確實に破壞することを以て主眼とすれど，農林鑛工の工事工業爆破に在りては保安・能率及經濟の考慮を要し，過ぎたるは一般にその及ばざるものにも劣るのである．破壞の程度は軍事爆破では目的物の粉碎を企圖するも，工事工業爆破では目的物料を運搬可能なる大さに壞せば事足り，特に石材採取は岩石に割れ目を生ぜしめ原位置を僅かに移動せしむればよい．粉碎と移動との間には著しき懸隔が存在し，軍用爆破と採石爆破とを同

* 東京帝國大學助教授

日に論ずることは出來ない.

爆破の規模，方法，様式も亦その目的に應じて一樣ではない. 1 回裝藥量 100 g 以下の小爆破と 10 トン以上の爆藥を一度に用ふる大爆破とでは藥量に於て 10 萬倍の開きがあり. その間には規模に數多の段階が存在する. 爆藥を被爆破物料の內部に裝塡するを內部裝藥といひ，普通の穿孔爆破，擴底爆破，坑道藥室爆破等が之に屬する. 物料の外部に爆藥を接着せしめたるは外部裝藥にしてそのまゝの裸藥を用ふることは稀で多くは覆土を被せる. 水中爆破の原理は地上爆破と變らざれど，その工法は著しく相違する. 方法としては小割·破碎·剝取·開鑿·推進·掘上り·掘下り等々と一々數へ擧ぐの遑がない程である.

斯樣に爆破はその目的及規模頗る廣汎であるが，これを限定すれば爆破の條件は自由面，最小抵抗，裝藥量，塡塞，岩石坑力及爆藥效力等數個の因子によつて抽象化せられ，今日の爆破工學として一應の體系を整ふるに至つた*). 然し爆破體系を構成する上記因子の相關關係は餘りに抽象的に過ぎ，實際の爆破作業は技術的と云はんよりむしろ技能的に行はるゝの觀あり，更に普遍性を求むることが切實である. 即ち我國に於ては既に青山教授[1]，鈴木博士[2]の研究，安藤源次氏[3]の數年に亙る實驗，妹澤博士[4]，西村博士[5]の理論あり，更に西松教授[6]の 20 年に及ぶ東大工學部に於ける講義を始め，深尾博士[7]，中澤治三郎氏[8]，安藤氏[9]，南坊平造氏[10]等の著書講義があつて今更筆者輩の云爲する要もなしと想はれる. たゞ實狀は爆破技術の貧困が叫ばれ，日本學術振興會は工業爆藥の實用に關する基礎研究のために援助せられ，波多野貞夫博士，西松·青山兩教授，西村·福田武雄兩博士等の指導協力の下に筆者は實驗研究を進める機會を得た. 玆にその取り止めなき拙き實驗を骨とし，前記協同研究者を始め多くの著者の優れたる見解によつて肉づけし，爆破の一つの手掛りを纏めんと試みた. 尙筆者の立場からは爆藥は常に製造家の唱へる性能を具備するものとし，且爆藥の消費を經濟的に合理化せんとするを主眼とした. この場合塡塞に關しても觸れる所尠なけれど，これは云ふまでもなく穿孔の裝藥外の殘部は充分に込物を施して爆破するとの假定を了解するものである.

---

1) 青山秀三郎 "Beiträgez. Gesteins Sprengung" 東京帝大工學部紀要 XIX 25~69 (1930). 萬國工業會議, 論文第 67, (1929 年東京).
2) 鈴木富治 "掘鑿作業より見たる岩石の硬さ" 水曜會誌 7, 583.
"爆破に對する岩石の硬さ" 火薬協會誌 2, 211 (昭和 16 年).
3) 安藤源次 "岩石爆破の實際に就て" 火薬協會誌 1, 216 (昭和 15 年)
"岩石發破" 九州鑛山學會誌 11, 12 號 (昭和 15 年)
4) 妹澤克惟 "爆破初期に於ける岩石のプラスチコ彈性體的變形" 應用力學聯合大會提出論文第 32.
5) 西村源六郎 "岩石爆破に關する理論的研究" (太原共著) 火兵學會誌 32, 140, (昭和 13 年).
"岩石爆破に關する研究" 火兵學會誌 35, 1, (昭和 16 年).
6) 西松唯一 爆破學 東大工學部講義.
7) 深尾七郎 工業爆藥及岩石爆破法 (昭和 9 年) 帝國火藥工業株式會社.
爆破法講義 (昭和 11 年) 朝鮮警察協會編 火藥講演集.
8) 中澤治三郎 爆破作業に就て (昭和 10 年) 朝鮮警察協會編 火藥講演集.
9) 安藤源次 岩石發破法 (昭和 14 年) 火藥工業研究會 丸善京城支店發賣.
10) 南坊平造 爆藥と發破 (昭和 14 年) 日本火藥製造株式會社.
*) 下記爆破參考書參照.
Manuel Eissler: The Mo lern High Explosives (Part III. p 229-365); New York, John Willey & Sons. (1914) 3 ed.

II. 一 自 由 面 爆 破

1. 爆破の基本式

被爆破物料が外界と境する表面を自由面といふ．今爆薬 L(kg) が岩石の内部に球狀の集團を示し，その中心 O が自由面 HH より W(m) の距離に在つたとする．この距離 W が最小抵抗線の長さである．爆薬の爆轟によつて破壞せらるゝ部分の形狀卽ち破壞せられた岩石の容積は岩石竝に爆薬の性狀其他の條件によつて異るものであるが，概ね W を軸とし HH 面に底を有する圓錐形或は之に近き形をなす．この圓錐形を爆破漏斗孔，自由面上の漏斗孔半徑 r を漏斗半徑，圓錐の側高 E を爆發半徑と呼ぶ．而して岩石，爆薬及塡塞等の條件が一定なるとき上記漏斗孔を形成するための裝藥量 L(kg) は最小抵抗線 W(m) の略 3 乘に比例する．卽ち

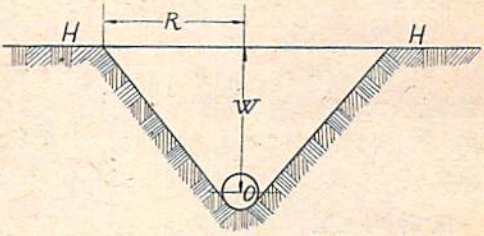

圖 1.

$$L=CW^3$$

而して一般には

$$L=f(n)g.e.dW^3$$

爰に g は岩石抗力係數，e は爆薬效力係數，d は塡塞係數，$f(n)$ は漏斗函數といふ．

岩石が強靱にして爆破され難く，爆薬の效力小にして塡塞も不充分なりとせば，或定まつた容積の岩石を爆破するに多量の爆薬を必要とするは當然である．從つて岩石抗力係數 g は物料が破壞され難き程，爆薬效力係數 e は爆力の小なる程，又塡塞係數 d は込物が不充分なる程大なる値を採らねばならない．然し漏斗函數 $f(n)$ は之等の係數と異り爆破量を指示するものである．

爆破漏斗孔が圓錐形をなし漏斗半徑 R が最小抵抗線Wに等しき裝藥が選ばれたるときを標準裝藥とし，$R>W$ ならば過裝藥，$R<W$ では弱裝藥といふ．$R/W=n$ を漏斗指數と稱し，標準裝藥は $n=1$，過裝藥に $n>1$ 又弱裝藥は $n<1$ である．これは裝藥量によつて爆破漏斗孔の形狀が異ることを意味する．

F. Paul Chalon: Les Explosifs Modernes (4e Parti. p 431-706); Paris, Librairie Polytechnique Ch. Beranger. (1911) 3 ed.

Oscar Guttmann: Handbuch der Sprengarbeit; Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn. (1906). 2 Aufl.

„ : Blasting; London, Charles Griffin Co. (1906). 2 ed.

A. W. Daw & Z. W. Daw: The Blasting of Rock: London, E. & F. N. Spon L'td. (1909). 2 ed.

Attilio Izzo: Gli Esplosivi da Mina; Roma; Pubblicazioni della Livista d'Artiglieria e. Genio. (1931).

Rudolf Fenchtinger: Die Praxis der Sprengtechnik; Wien u. Leipzig, Carl Gerold's Sohn. (1937).

Bruno Zschokke: Handbuch der militärischen Sprengtechnik; Leipzig, Veit-Co. (1911).

Fritz Becker: Aus der Praxis neuzeitlicher Stollenvortriebe in Tiefbau; München, Sonder druck der Zeitschr. f. d. ges. Schieß-u. Sprengstoffw. (1930).

$n=1$ なる標準裝藥を

$$L_1=f_1(n)g.e.d.W^3$$

とすれば，岩石･爆藥竝に塡塞が同一條件にて且同一最小抵抗の下に $n=1.5$ 或は $R=1.5W$ なる漏斗孔を得んとせば

$$L_{1.5}=f_{1.5}(n)g.e.d.W^3$$

を要する．依て

$$\frac{L_{1.5}}{L_1}=\frac{f_{1.5}(n)}{f_1(n)}$$

裝藥量は漏斗指數の函數 $f(n)$ の比にて求むることが出來る．

扨て漏斗函數 $f(n)$ とは如何なるものか．古く Belidor 氏 (1729) は最小抵抗線 W を一定としたるとき裝藥量 L を增加すれば漏斗孔擴がり漏斗半徑 R が大となるを以て，L を E 即ち爆發半徑の函數として表示した．

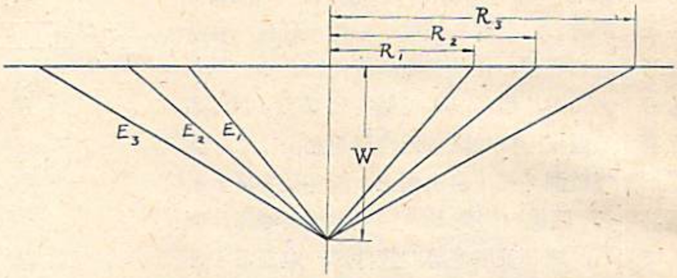

圖 2.

$$L=CE^3$$

$E=\sqrt{W^2+R^2}$ なるを以て

$$L=C(\sqrt{W^2+R^2})^3=C\left(1+\frac{R^2}{W^2}\right)^{3/2}W^3=C(1+n^2)^{3/2}W^3$$

依つて

$$f(n)=(1+n^2)^{3/2}$$

n	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
$f(n)$	2.8	3.3	3.8	4.4	5.1	5.8	6.7	7.7

前述の例式を採り

$$\frac{L_{1.5}}{L_1}=\frac{f_{1.5}(n)}{f_1(n)}=\frac{5.8}{2.8}\doteqdot 2.1$$

即ち $n=1$，$R=W$ なる漏斗孔を得るに要する裝藥量を 1 とすれば，$n=1.5$ 或は $R=1.5W$ なる漏斗孔を作るには 2.1 の裝藥を要すといふことになる．

漏斗函數に就ては多くの著者が實驗式を提示してゐる．

著　者	發表年	$f(n)$ 式
Lebrun	(1812)	强裝藥 $f(n)=(0.1+0.9n)^3$ 弱裝藥 $f(n)=\left(\frac{3n+4}{7}\right)^3$
Hauser	(1850)	$f(n)=n^3$
Bralion	(1873)	$f(n)=\frac{1+4.4n^3}{5.4}$
Dambrun	(1873)	$f(n)=(\sqrt{1+n^2}-0.41)^3$

前にも述べたる如く漏斗函數 $f(n)$ は裝藥量の大小によつて漏斗形狀の異るを說くものであるが，この事實は軍用地雷の如き場合を除き工業爆破では明瞭でない．漏斗孔の形狀を支配する

ものは裝藥量よりもむしろ岩石の岩の目及び之に對する裝藥の形狀等が主のやうである. 勿論裝藥量の大小は明らかに岩石爆碎量を左右することは云ふ迄もないが, 工業爆破では漏斗函數なるものを深く考慮する要はない. 而して岩石抗力·爆藥效力及塡塞效果を纏めて係數 C に包括せしむれば, 最小抵抗 W を爆破するに要する裝藥量 L は

$$L=CW^3$$

にて與へられ, 之が爆破の第一の基本式となる. そしてこの係數 C を假に爆破係數と名づけて置く. これは後に III に於て選定を試みる.

2. 長形の裝藥

爆破裝藥が球狀の集團として用ひらるゝのは比較的特別の場合であつて多くは穿孔内に圓壔狀の長形で込められる. 穿孔は自由面卽ち岩面に對し種々の角度 α を採り得るを以て, 裝藥圓壔の自由面への投影はこの角 α に應じて變る. 球狀裝藥に在つてはこの投影は常に大圓である. L kg の爆藥（その密度を δ とする）が半徑 r の球狀及徑 ϕ, 長さ l $(l=\eta\phi)$ の圓壔を爲す場合には次の關係が存在する.

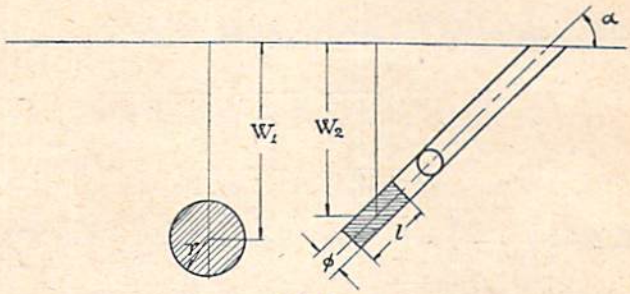

圖 3.

	球狀	圓壔形
藥量は相等しとす	$L=\frac{4}{3}\pi r^3\delta$	$L=\frac{\phi^2}{4}\pi\delta l=\frac{\phi^3}{4}\eta\pi\delta$
容積も亦相等し	$V=\frac{4}{3}\pi r^3$	$V=\frac{\phi^2}{4}\pi l=\frac{\phi^3}{4}\eta\pi$
斷面積は異り	$\sigma_1=\pi r^2$	$\sigma_2=\phi l=\eta\phi^2$
從つて投影は	"	$\sigma_2'=\sigma_2\cos\alpha=\eta\phi^2\cos\alpha$
斷面周邊も異り	$s_1=2\pi r^2$	$s_2=2(\phi+l)=2(1+\eta)\phi$
從つて投影は	"	$s_2'=2(1+\eta\cos\alpha)\phi$
全表面を等しとせば	$S=4\pi r^2$	$S=\pi\phi^2\left(\frac{1}{2}+\eta\right)$

L (kg) の爆藥が V (m³) なる藥室にて爆轟し單位面積上に p なる爆壓を呈したとすれば, 自由面方向への夫夫の全壓は

$$\text{（球狀）}\ P_1'=p\sigma_1, \qquad \text{（圓壔形）}\ P_2'=p\sigma_2\cos\alpha=p\eta\phi^2\cos\alpha$$

岩石の破壞が剪斷によつて起るとせば剪斷應力は一般に

$$P=f_sA=G\theta A$$

こゝに f_s は剪斷應力の單位面積上の强さ, A は剪斷々面積, G は剪斷彈性係數, θ は剪斷歪である. 今 $G\theta=k$, 藥室斷面周邊長を s, 自由面迄の長さ（最小抵抗）を W とすれば

$$P=ksW$$

依て球狀藥包では $P_1=ks_1W_1$ 　　　圓壔藥包では $P_2=ks_2W_2$

$$=2k\pi rW_1 \qquad\qquad =2k(1+\eta\cos\alpha)\phi W_2$$

$$\frac{P_1'}{P_1}=\frac{P'\pi r^2}{2k\pi r W_1}=\frac{P'r}{2kW_1} \qquad \frac{P_2'}{P_2}=\frac{P'\eta\phi\cos\alpha}{2k(1+\eta\cos\alpha)\phi W_2}$$

同様の破壞が起る爲には $\frac{P_1'}{P_1}=\frac{P_2'}{P_2}$ の條件が滿足されゝばよいであらう．即ち

$$\frac{r}{W_1}=\frac{\eta\phi\cos\alpha}{(1+\eta\cos\alpha)W_2} \quad 或=\frac{\eta\phi}{(\sec\alpha+\eta)W_2}$$

或
$$\frac{W_2}{W_1}=\frac{\phi}{r}\cdot\frac{\eta}{\sec\alpha+\eta}$$

然るに $L=\frac{4}{3}\pi r^3\delta$ 或は $L=\frac{\phi^3}{4}\eta\pi\delta$ なるを以て

$$r=\sqrt[3]{(3L/4\pi\delta)}, \quad \phi=\sqrt[3]{(4L/\eta\pi\delta)}$$

之等を上述の (W_2/W_1) 式に代入すれば

$$\frac{1}{W_1}\sqrt[3]{\frac{3L}{4\pi\delta}}=\frac{\eta}{(\sec\alpha+\eta)W_2}\sqrt[3]{\frac{4L}{\eta\pi\delta}}$$

$$\sqrt[3]{\frac{3}{4}}\frac{W_2}{W_1}=\sqrt[3]{\frac{4}{\eta}}\frac{\eta}{\sec\alpha+\eta}$$

假定により $V=\frac{4}{3}\pi r^3=\frac{\phi^3}{4}\eta\pi$, $S=4\pi r^2=\pi\phi^2\left(\frac{1}{2}+\eta\right)$ なるを以て

V 式より $\phi=\sqrt[3]{16/3\eta}\cdot r$, S 式より $\phi=\sqrt[3]{2/(1+2\eta)}\cdot r$

$$\therefore \quad \sqrt{\frac{1+2\eta}{2}}=\sqrt[3]{\frac{3\eta}{2}} \quad 或は \quad \frac{1+2\eta}{2}=\left(\frac{3\eta}{2}\right)^{2/3}$$

之を解いて $\eta\fallingdotseq 2.5$ 即ち藥長が藥徑の 2.5 倍のときにのみ上の假定と (W_2/W_1) 式が滿足されるのであるがもつと廣い範圍まで適用されるとすれば

$$\eta=2.5 \quad \frac{W_2}{W_1}=\sqrt[3]{\frac{16}{3\eta}}\cdot\frac{\eta}{\sec\alpha+\eta}=1.285\cdot\frac{2.5}{\sec\alpha+2.5}=\frac{3.22}{\sec\alpha+2.5}$$

$$\eta=5 \quad \frac{W_2}{W_1}= \quad " \quad =1.02\cdot\frac{5}{\sec\alpha+5}=\frac{5.11}{\sec\alpha+5}$$

$$\eta=10 \quad \frac{W_2}{W_1}= \quad " \quad =0.811\cdot\frac{10}{\sec\alpha+10}=\frac{8.11}{\sec\alpha+10}$$

$$\eta=15 \quad \frac{W_2}{W_1}= \quad " \quad =0.705\cdot\frac{15}{\sec\alpha+15}=\frac{10.58}{\sec\alpha+15}$$

	α	80	70	60	50	40	30	20
	$\sec\alpha$	5.762	2.923	2.0	1.555	1.305	1.154	1.064
$\frac{W_2}{W_1}$	$\eta=2.5$	0.390	0.595	0.715	0.795	0.85	0.885	0.9
	$\eta=5$	0.475	0.645	0.73	0.78	0.81	0.83	0.845
	$\eta=10$	0.515	0.628	0.676	0.7	0.715	0.725	0.76
	$\eta=15$	0.51	0.59	0.622	0.64	0.65	0.655	0.66

球狀集團裝藥 L kg が爆破し得る最小抵抗 W_1 に對し．之と同一量の圓壔狀長形裝藥に適する最小抵抗 W_2 は藥長/藥徑の比 η 及自由面に對する穿孔傾角によつて變化し且 W_1 よりは小である．例へば $\eta=5$ なる藥包を $\alpha=30°$ の穿孔に裝塡するときはその最小抵抗を球狀集團裝藥

の場合の 0.83 程度に採らねばならぬ．又裝藥量及穿孔傾角が同一なるも藥徑が異れば最小抵抗を變へる必要がある．$\alpha=40°$ にて $\eta=10$ なる場合 $\eta=5$ のときの最小抵抗の 0.88(=0.715/0.81) とすべきことになる．

こゝに筆者は如何にも尤もらしきことを述べた．然し根本に於て球狀集團裝藥 L が爆破し得る最小抵抗 W_1 なるものが明瞭でない．又抽象的に $\eta=5$ とか $\eta=10$ とか云ふも實は甚だ漠たる表現である．然し要するに長形藥包に在つては藥徑が重要なる因子となり，これは爆藥の種類，一孔裝藥量，最小抵抗に應じて選ぶべきである．爆藥は種類によつて密度を異にし，傳爆性能に差異がある．密度小なる爆藥は藥量及 η を一定とすれば藥徑自ら大となり，傳爆性能劣れるものは η を餘り大にすることが許されぬ．即ち松·櫻·桐等の膠質ダイナマイトに在つては藥長は藥徑の最大 15 倍以內に，梅·硝安ダイナマイト，カーリット類，硝安爆藥，アンモン爆藥等は η を 10 以內に採るのが穩當であらう．一方藥徑は藥量との關係より塡塞長を變化する．塡塞長は少くも藥長と同等以上に採らねばならない．

筆者は中等硬度の閃綠岩に 50% 櫻ダイナマイトを用ひて一自由面爆破を行つた．穿孔は岩面に對し 45° に可及的近き角を抱く．そのとき漏斗孔の形狀よりまづ滿足と見らるゝものを採れば次の如き關係である．

最小抵抗 W	穿孔長 B	藥徑 ϕ	裝藥量 L
0.3 m	約 0.4 m	19 mm	45 g
0.4	0.55	19	100
0.5	0.7	19	180
0.6	0.85	25	320
0.7	1.00	28	500
0.8	1.15	32	680
0.9	1.25	35	900
1.0	1.40	35	1300

Eisller 氏[1]及 Chalon 氏[2] は二自由面爆破に於て或藥徑に適應する最小抵抗の限界を與へた．

穿孔長 (B) と	藥徑に對應する最小抵抗の限界			
最小抵抗 (W)	藥徑 25mm	30～32	37	44
$B=W$	0.6 m	1.05	1.2	1.5
$B=1.5W$	0.8	1.15	1.5	1.8
$B=2W$	1.1	1.5	1.8	2.1

當時の爆藥即ち珪藻土ダイナマイトに就て實驗的に求めたものであるが，この關係は概ね筆者の實驗にも照應してゐる．

3. 漏斗孔の形狀

爆破に對する岩石坑力の問題は姑く措き，岩層或は岩の目の影響を考察する．岩石は層成岩ならずとも多くは割れ易き方向即ち所謂岩の目を有する．常識的に考ふるも穿孔はこの岩の目に串差しにするのが最も有效であり相であるが，實際の爆破に當つては常に此樣な都合よき岩面にのみ遭遇するのではない．筆者は實驗の結果概ね次の如き爆破漏斗孔を得た．（圖 4）

1) M. Eisller: The Modern High Explosives (1914) Newyork, 3ed. p. 249.
2) P. F. Chalon: Les Explosifs modernes (1911) Paris. 3ed. p. 490.

(a) 岩の目に直角に且自由面にも直角に穿孔する．爆藥の猛度大なるときは自由面上の漏斗孔徑可なり大となるも孔尻を殘し爆碎岩石量は餘り大ではない．裝藥量及爆藥種類の如何に拘らず漏斗圓錐の頂角は 90° より大きくなる．

(b) 岩の目に串差しに自由面に傾角を抱いて穿孔する．爆藥猛度大なるときは 1，小なるは 2 の如き漏斗孔を生ずる．即ち孔尻も爆藥猛度によつて左右される．裝藥量が大になれば岩石の飛散すること甚だしくなる．

(c) 岩の目が自由面に或る傾を有つとき串差しの穿孔をする．この場合も (b) と同樣に爆藥猛度大なれば 1，小なれば 2 の漏斗孔を生ずる．裝藥量小となれば漏斗孔は 3 の如くになる．

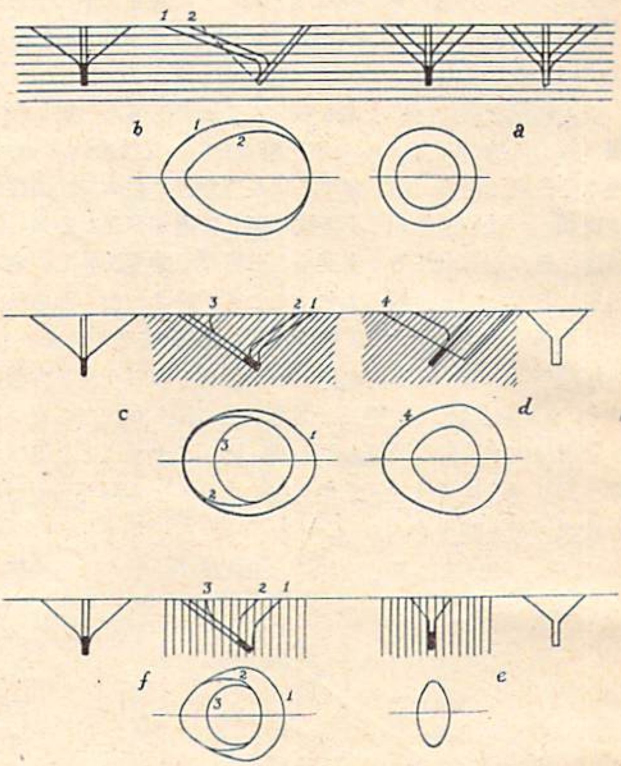

圖 4.

(d) 自由面に傾角を抱き岩の目に並行に穿孔する．對應する漏斗孔は 1，2 であるが爆藥猛度適切にして裝藥量亦充分なるときは 4 の如く圓錐頂點の移行せる相當大なる漏斗孔が生ずる．

(e) 岩の目が自由面に直角に走るとき之に沿ふて穿孔すれば漏斗孔は岩の目の方向に長徑を有し，その垂直方向に短徑を有する楕圓形を成す．孔尻は常に大にして漏斗孔は充分に開かず，最も不都合なる穿孔である．

(f) 自由面に垂直なる岩の目に斜に穿孔する．爆藥猛度の影響は漏斗孔 1，2 等に顯る．藥量小に過ぐれば 3 の如くになること c)，(d) の場合と同樣である．

之を要するに穿孔は (b) 又は (c) を最上とし，已むを得ざる場合と雖も (d)，(f) を選び，(a) 及 (e) は極力避けねばならぬ．尙岩石爆破の實驗では漏斗孔の形狀を左右するが如き標準裝藥・過裝藥・弱裝藥なるものは存在しないやうである．

4. 岩石抗力と爆藥效力

爆破の對象を岩石に限り，而も石材採取の如き場合を除き，岩石を或る大さに破碎する採鑛爆破に就て考察する．概括的に云へば鑿岩し易き（難き）岩石は爆破も容易（困難）であるが，實際的には鑿岩し難きも爆破し易き所謂さくき岩石あり，又鑿岩容易なるも發破の利かぬ所謂しわき岩石がある．岩石の鑿岩強度と爆破強度とは必ずしも竝行するものではない．この性狀即ち岩石抗力を左右する因子は次の如きものであらう．

鑿岩强度—(硬度，剛性率／弾性係數／磨耗率)—造岩鑛物の性質

爆破强度—(凝集力，靱性／脆性，岩層／節理，岩の目)—凝集堆積の狀態

造岩鑛物それ自身の性質と，之が凝集堆積の狀態とは全く別事である．故に鑿岩强度と爆破强度とが平行せざるは亦已むを得ざる所であらう．こゝに鑿岩强度は一先づ考慮の外に置き爆破强度のみを岩石の抗力として推論を進める．

岩石内にて爆薬が爆轟する際は先づ爆轟衝動によつて破壞が起り次で爆發ガスが仕事をなすであらう．この結果 (i) 爆薬の周圍の岩石は粉碎せられ，(ii) 爆破方向に沿ふて割れ目を生じ，(iii) 破壞せる岩石片は移動し，拋擲せらるゝこととなる．岩石が硬く靱きときは衝動大にして破壞效果の著しき爆薬ならでは爆破の效果顯れ難く，かゝる爆薬を軟岩に用ふれば局部的にのみ激しき破壞を起し爆破せらるゝ岩石量の却つて少いことは一般によく知らるゝ所である．こゝに爆破に於ける岩石の抗力は爆薬效力と獨立のものでなく不離の關係を有するものと見ねばならぬ．

爆薬の立場から見れば定性的に猛度大なる爆薬の作用はこの衝動が主として剪斷力として働き，猛度小なるものでは爆發ガスの膨脹による仕事が曲げ即ち引張荷重となるやうである．

圖5はセメントモルタル壜である．h は徑 15 mm，深さ 180 mm の裝薬孔にして，こゝに爆薬約 1g を込め3號雷管を用ひて爆發せしめ壜の破壞狀況を觀察する．猛度大なる爆薬例へばピクリン酸では壜は多數の破片となり，圖に於て $a, b, c\cdots\cdots$ の各方向に飛散する．特に ⇄ の部分で剪斷破壞が起るやうである．猛度の小なる例へば硝安と木炭との混合物に在りては壜は僅か1個乃至數個の大破片を生じ主として l, m 又は n の何れか一方向にのみ飛ぶ．これは ←→ の部分から引張り破壞が生ずるやうである．又 200×200×5 mm の寸法の鋼板を地上に置き爆薬包を載せ爆轟させる．壓縮ピクリン酸では薬包の軸方向に鋼板を剪斷するが，硝安と木粉との混合物では鋼板を曲げるに過ぎない．

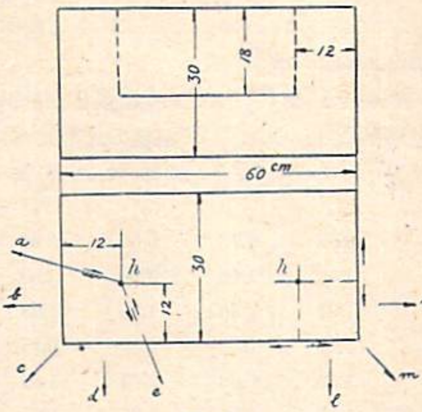

圖 5.

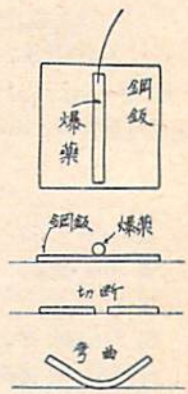

圖 6.

要するに爆薬はその性狀によつて被爆破物料に異る作用を呈することは明らであつて，極端なる場合例へば鐵材の切斷に用ひる爆薬と石材を切り取る爆薬とは本質的に異るべきであり，岩石抗力と爆薬效力とを別々に獨立に考へることは意味がない，更に塡塞效果を含めてさきに假に名づけたる爆破係數とも稱すべきものを一元的に求めねばならぬと考へられる．

III. 爆破係數の選定

5. 爆薬効力係數

爆破に對する爆薬の作用は仕事即ちガスの膨脹によつて物料を壓し出す作用と衝動即ち物料

に振盪的破壊を與へる作用との兩方面から考察される．仕事はエネルギ含有量に關係し，衝動はエネルギ解放の速さに依る．山家博士は前者を爆藥の靜的效果，後者を動的效果として詳述されてゐる[1]．エネルギ含有量は爆發熱として求められるが，爆發ガス容積或は比容 V_0 爆藥 1kg より出るガスの 0°C 1 氣壓に於ける容積)，爆發溫度 T_0 より Berthelot 氏の "火藥の力" $f=1.033 \cdot V_0 T_0/273$ 又は山家博士の "自由エネルギ" $F_a=\frac{f}{\gamma-1}\left[1-\left(\frac{1}{R}\right)^{\gamma-1}\right]$ を誘導する[2]．又仕事の實測方法には Trauzl 鉛壔試驗による擴大容積 V_T, 之より導かれた Neubner の力數 KZ 或は彈道臼砲より求むる全エネルギ E の測定等がある．之等を表示すれば次の如し．

表 1. 爆 藥 靜 的 效 果

	T_0	V_0	f	F_a	V_T	KZ	E
松	4843	712	130.4	548.0	472	520	182.7
櫻 N/G 60%	3878	557	84.7	334.0	302	361	133.0
櫻 50%	2940	618	68.7	261.4			102.6
桐 N/G 40 硝安 50	3500	849	112.5	446.2			164.0
梅 N/G 50 硼砂 25	2928	611	67.7	257.5	253	314	107·2
硝ダイ N/G 20 食鹽 25	2553	644	62.2	219.1	244	305	98.4
硝安爆藥食鹽·20	2483	741	69.6	241.4			108.7
カーリツト黑	4950	620	116.2	410.8	491	528	166.0

（この數値は悉く前記山家博士に依る）

爆藥の效果は同一量の物料を破壊するに要する爆藥量比を以て表はすことが出來る．即ち爆藥效力係數（この場合は靜的效果）は表 1 の數値の逆數比にて示される．（表 2）

表 2. 爆 藥 靜 的 效 力 係 數

	T_0	V_0	f	F_a	V_T	KZ	E
松ダイナマイト	0.80	0.78	0.65	0.60	0.65	0.7	0.73
櫻 N/G 60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
櫻 50	1.31	0.90	1.25	1.28			1.30
桐 N/G 40, 硝安 50	1.11	0.66	0.75	0.75			0.81
梅 N/G 50, 硼砂 25	1.33	0.90	1.25	1.35	1.2	1.15	1.25
硝ダイ N/G 20, 食鹽 25	1.51	0.86	1.35	1.53	1.2	1.2	1.35
硝安爆藥食鹽 20	1.56	0.75	1.20	1.39			1.20
カーリツト黑	0.78	0.90	0·73	0.82	0.61	0.7	0.8

T_0, V_0 を以て直ちに爆力を比較するの早計なるは云ふ迄もないが從來仕事效果に對して與へられた爆藥效力係數は上表の f, V_T 等の比數に見る如く可なり區々であつた．こゝには最も合理的なる値として山家博士の自由エネルギに依ることゝする．

爆藥の破壊效果即ち衝動は所謂猛度 $\mathfrak{B}$ として多くの著者によつて種々の表示が與へられてゐる．例へば

Kast $\mathfrak{B}=f.\Delta.\mathfrak{W}$

Redl $\mathfrak{B}=\Delta\mathfrak{W}$

1) 山家信次："爆藥爆力判定の基準" 火藥協會誌 1, 30（昭和 14 年）
"爆藥の爆發效果" 同 1, 145（昭和 15 年）

2) 式中 γ は定壓及定積比熱の比，R はガスの膨脹比，$R=\infty$ とせば $F_a=f/(\gamma-1)$

Riemann $\mathfrak{B}=\Delta D\mathfrak{W}$

Haid $\mathfrak{B}=\Delta\mathfrak{W}\sqrt{V_0T_0}$

爰に f: 火薬の力, Δ: 裝塡密度, $\mathfrak{W}$: 爆發速度, D: 爆發ガス速度, T_0: 爆發温度, V_0: 比容である.

然し何れの表式も $\mathfrak{W}$ 即ち爆發速度が最も重要なる因子となつてゐる.

筆者は各種工業爆薬を肉厚約 5 mm 長さ約 1200 mm の引拔銅管に塡實し, その一端より 6 號電氣雷管を以て爆轟せしめ, これより 150, 500 及 1000 mm に於ける爆發速度 (m/sec) を測定した. その値は次の如くである.

雷管よりの距離 (mm)		150	500	1000
松ダイナマイト	イ	6500 m/sec	6700	7000
	ロ	2200	2200	2200
櫻ダイナマイト	N/G 75%	5500	6000	6300
	60	3900	5500	6000
	50	3600	5500	5700
	40	3400	5000	5700
	30	2800	5200	5500
桐ダイナマイト	N/G 40, 硝安 50	5300	6500	6500
カーリツト黑		3500	3800	3800
炭礦梅ダイナマイト	N/G 50, 硼砂 25	3500	2500	2500
	N/G 50, 硼砂 35	2600	2200	2200
炭礦硝安ダイナマイト	N/G 20, 食鹽 25	3500	3500	3500
	N/G 8, 食鹽 20	3300	3400	3500
炭礦硝安爆薬	食鹽 20	4000	3800	3300
	食鹽 10	4500	4200	3800

松ダイナマイトは多くの場合ロの如く 2200 m/sec の小爆速が得られる. 液體 N/G に就ても 2000～2500 m/s の値と 6500～8000 m/s の値とが發表せられてゐるが後者の方が一般的である. 然るに N/G を僅か數 % の綿薬にて膠化すれば高爆速が得難く, 殊に製造後數ケ月を經過したるものは殆ど 2200 m/s 程度の低爆速となる. これ即ち所謂老化の現象である. 學者は N/G の構造變態, ダイナマイト内の空氣泡の減少（空氣含有量の減少）或は空氣泡の分布狀況, 密度, 受爆表面等の影響結果であるとしてゐるが理論は未だ定まつてゐない. 元來膠化なる現象は狀態の變化であるから膠化せられたる N/G は N/G そのものではなくなつてゐる筈である. 即ち膠化は時間と共に進行し, 漸次安定なる系に移るものであるから, 斯樣な膠化 N/G 換言すれば松ダイナマイトに强大な爆速を出さしめんがためには强固な密閉狀態（肉厚數 cm の銅管内の如き）にて爆轟せしめるか, 或は强大な傳爆薬（例へば粉狀ピクリン酸, 珪藻土ダイナマイト又は 50% 桐ダイナマイト等約 100 g）を用ひればよい. 要するに肉厚 5 mm 程度の密閉狀態にて 6 號雷管では松ダイナマイト本來の性能を發揮せしむるには初衝動が不充分であらう. 然し松ダイナマイトを硬岩内に裝塡し, 充分なる塡塞を施し, 尙桐ダイナマイト等の傳爆薬を與へるならば必ず 6500～7000 m/s 或は之れ以上の爆發速度が期待される. 表中イの實測値は製造後約 2 週間の新らしき試料にて求めた値である.

櫻及桐ダイナマイトに使用する膠化 N/G は松用のものより膠化度低く遊離 N/G を含むこ

と大である．從つて爆轟の起點に於て既に爆速高く，爆轟波の進行と共に漸次加速せられ，起點より 500 mm 程度で略最高値に達するやうである．櫻では N/G 含有量の減ずるに從つて最初の爆速が著しく低下してゐる．工業爆破にては 500 mm 以上の裝藥を用ひることは常でないから，櫻ダイナマイトの爆速階段は最初 150 mm の値を採用すべきである．又桐ダイナマイトの爆速は最初から相當に大であるが，實用に際しては之を過信すべきでない．即ち吸濕性大なるがため之を攝氏 15°C，相對濕度 85% にて 24 時間放置すれば，爆速は 3000 m/s 以下に低下する（不爆のものも生ず）．

カーリット及硝安ダイナマイトは粉質爆藥の特徴として容易に最高爆速を呈すれど藥長によつても加速せらるゝこと少く，且その値そのものも 3500～4000 m/s 程度である．一方密閉強度が小であればとて爆速はこれ以下に低下することもない．梅ダイナマイト，炭礦硝安爆藥の爆速も略この程度であるが，之等は藥長の延びるに從つて爆速が漸次低下する傾向を示す．但し炭礦爆藥は保安上一孔に餘り多量の裝藥を用ひることなければ爆速は 150 mm の所の値と見れば大なる誤はない．

既述の猛度 $\mathfrak{B}$ の表式に於ける f, V_0, T_0 等は靜的效果の内に含まるゝを以て，爆藥の破壞的衝動（猛度）を爆發速度 $\mathfrak{W}$ と裝塡密度Δの函數と見做し，その猛度逆數比を以て動的爆藥效力係數とする．

表 3. 爆 藥 動 的 效 力 係 數

	爆發速度 $\mathfrak{W}$	裝塡密度 Δ	猛度	猛度逆數比
松ダイナマイト	7000	1.45	10125	0.77
櫻ダイナマイト 60%	5050	1.55	7750	1.00
櫻ダイナマイト 50%	4500	1.6	7200	1.10
桐ダイナマイト 40%	6500	1.4	9100	0.85
梅ダイナマイト	3500	1.45	5250	1.53
カーリツト	4000	1.05	3800	2.04
硝安ダイナマイト	3500	0.95	3320	2.32
炭礦硝安爆藥	4000	0.9	3600	2.15

斯くして我々は爆藥效力係數を靜的並に動的兩方面より求め得たが，之等が如何なる割合で岩石爆破に作用するかを考へねばならぬ．云ふ迄もなく爆藥效力は岩石抗力によつて異るものであるが後述する如く最も適當なる岩石と爆藥の對に於て動的對靜的效果の比は，大略，松 80:20，桐 75:25，櫻 60:40，梅 50:50，カーリット黑 40:60，硝安ダイナマイト及硝安爆藥 20:80 と見做すことが出來る．依つて爆藥效力を綜合すれば次表の如くになる．

表 4. 爆 藥 效 力 係 數

	動的係數	靜的係數	效果比	綜合效力係數 e
松ダイナマイト	0.77	0.60	80:20	0.75
桐	0.85	0.75	75:25	0.85
櫻 60%	1.00	1.00	60:40	1.00
櫻 50	1.10	1.28	60:40	1.20
梅	1.53	1.35	50:50	1.45
カーリツト	2.04	0.82	40:60	1.30
硝安ダイナマイト	2.32	1.53	20:80	1.70
硝安爆藥	2.15	1.39	20:80	1.55

6. 岩石抗力係數と爆破係數

岩石の抗力係數は例へば 1 m^3 の岩石を採掘するに要する爆藥量比として古くより多くの著者によつて與へられてゐる. 就中最も實際に近きものとして青山教授[1]の發表せられしもの及び Lares[2] 氏の 與ふる所が推稱せられる. 又鈴木富治博士は "Crater test" の實驗結果より Blastability 値を提唱した[3]. 今青山, Lares 及鈴木 3 氏の値を表示すると次の如くになる.

表 5. 岩石抗力係數

	青山教授	Dr. Lares	鈴木博士
堅硬珪質角閃片岩			20
極硬粗珪岩	3.26	1.3~1.5	19
珪質角閃片岩			17
堅硬輝綠岩, 閃綠岩, 玄武岩		12	16
硬角閃岩	2.88		14
珪岩, 硬花崗岩	2.68	11	14
紅簾片岩, 玄武岩			13
硬石灰岩	2.46	0.8	
硬砂岩	2.26	0.8	
花崗岩	2.09	0.7~0.9	12
閃綠岩	2.08		
綠泥片岩		0.9~1.0	11
片麻岩	2.07	0.6~0.7	
硬粘板岩	2.16	0.6	
黑雲母質角閃片岩			10
石墨片岩			
軟角閃岩			9
砂岩	1.44	0.7	
石灰岩	1.62	0.5	8
硬安山岩雲母片岩			7
石英粗面岩	2.02		6
安山岩	1.80	0.7	6
軟石灰岩, 軟砂岩		0.4	
粘板岩	1.33		
砂片岩, 軟安山岩		0.3	5
頁岩	1.00		4
凝灰岩	1.28		3
粘土片岩		0.2	2
石炭		0.1	1

3 氏の對象とせる岩石が同一物に非らずとするも尙よく大勢を覗ることが出來る. たゞ之等の係數には爆藥效力の包括せられざるを惜む. 即ち青山値並に Lares 値は特定の爆藥に對する

1) "Beiträge zur Gesteins-Sprengung" 萬國工業會議論文 No. 67. p. 5 (1929).
2) "Zur Frage der genaueren Berechnung bergmännischer Sprengladung." SS. 28, 182, (1933).
3) "爆破に對する岩石の硬さ" 火藥協會誌 2, 221 (昭和 16 年).

ものであり，鈴木値は落錘衝撃によつて求められたのである．そこで筆者は聊か牽强附會の嫌あれども岩石抗力と爆薬効力とを結ばんと試みた．

先づ表 5 に就て岩石抗力を大觀すれば（石炭は除外する）概ね 5 級に分つことが出來る．

		青山教授	鈴木博士
第 1 級	最硬岩	3.0 以上	16 以上
2	硬　岩	2.5~3.0	13~15
3	中等岩	2.0~2.5	10~12
4	軟　岩	1.5~2.0	6~ 9
5	最軟岩	1.5 以下	5 以下

硬き岩石には所謂强き爆薬を，又軟き岩石には弱き爆薬を用ふべきことは今更述ぶる迄もない．然し實際の爆破に於ては岩石と爆薬とは必ずしも互に適應せぬこともある．故にまづこの適應から定めることが必要である．

最も爆破され難き岩石即ち第 1 級の最硬岩に松ダイナマイトを，第 5 級の最軟岩に硝安ダイナマイト或は硝安爆薬を使用することは何人も異議なき所である．而して實際爆破の多數の成績*) を整理し岩石，爆薬の適應及岩石 1 m³ を爆破するに要する平均爆薬量を求むれば次の如くになる．

表 6. 爆薬と岩石との關係數

爆　薬	對應岩石	關係數
松ダイナマイト	最硬岩（例へば硬硅岩）	2.0
桐　〃	硬　岩（珪岩，硬花崗岩）	1.5
櫻　〃　(50%)	中硬岩（花崗岩，閃綠岩）	1.3
硝安爆薬	軟　岩（砂岩，石灰岩）	1.2
硝安ダイナマイト	最軟岩（粘板岩，凝灰岩）	0.8

この數字は岩石と爆薬とを結ぶ重要な係數である．これを關係數 q と名づける．然したとへ爆薬が定まるも岩石爆破の實際はその難易千差萬別である．こゝに揭げた關係數 q は單獨に岩石の性狀より爆薬を選ぶのではなく夫々の爆薬を用ひて 1 m³ の岩石を爆破するには夫々の薬量前後で行ふことが最も適當なるの謂である．而して之が判定には後述する試驗爆破を行ふ必要がある．又若し表記以外の爆薬を代用せんがためには爆薬効力係數 e の相近きものに限り，關係數 q に e の比を乘ずればよい．即ち一般に岩石と爆薬との綜合せられた所謂爆破係數 C は $C=q\times(e$ の比$)$ にて與へられる．例へば最硬岩に桐ダイナマイトを用ひんには $2.0\times0.85/0.75=2.3$ kg，又軟岩に對する梅ダイナマイトは $1.2\times1.45/1.55=1.1$ kg を以て C とする．（表記せられたる爆薬の爆破係數 C は關係數 q そのまゝでよい）．

7. 試驗爆破

岩石抗力と爆薬効力とを綜合連繫して爆破係數 C を決定するために試驗爆破を行ふ．勿論岩石の抗力は未知なれど，その種類，岩層，岩目，節理の有無を視察して假に之に適應する爆薬を定める．例へば花崗岩，閃綠岩等には一應 50% 櫻ダイナマイトを，又砂岩，石灰岩等には硝安爆薬或はカーリットを用ふればよい．岩面に對し 45° 内外にて徑 25 mm，深さ約 60 cm の裝薬孔を穿つ．この際岩の目に串差しに穿孔するやう注意する．又穿孔の際最小抵抗に留意し成るべく 40 cm ならしめる．今花崗岩，櫻ダイナマイトの場合には $C=1.3$ なるを以て，薬

*) 例へば日本鑛業會第 12 回採鑛研究會記錄記載の資料 日本鑛業會誌 56, 674-685（昭和 15 年）．

量は $L=CW^3=1.3\times0.064=0.083$ kg，即ち 83 g の爆藥をこの穿孔に裝塡し丁寧に込物を與へて爆破する．爆破後の點檢が岩石と爆藥の關係を結ぶことになる．

先づ (i) 漏斗孔を點檢する．漏斗孔の形狀大小は，この岩石に對して使用せる爆藥が弱過ぎたか否かの判定を與へる．漏斗孔の半徑が最小抵抗線長より大であればよし，若し著しく小なるは爆藥猛度の不足である．(ii) 岩石の龜裂，裂破片粉碎の程度，孔底狀況より猛度の過ぎたりや否やを知る．漏斗孔は餘り大ならずとも龜裂はげしく，孔底の甚だしく破碎せられたるときは猛度過大とする．斯くして (i) 及 (ii) の判定により若し著しき猛度の過不足の認められたる場合は C の變更即ち爆藥種類を改めねばならぬ．尙 (iii) 孔尻の有無，大小は藥量或は藥徑に支配される所が多い．若し孔尻殘ること多ければ穿孔徑を大にし又は藥量を 20% 以內修正する．即ち爆破係數 C は云ふ迄もなく絕體的のものでないから 50% 櫻ダイナマイトの係數 1.3 は 1.5～1.1 の幅に見ればよく，1.3 は第 1 の手掛りとして與へたるものなるを注意する．

IV. 坑 道 掘 道

8. 二自由面爆破

坑道推進は先づ心拔きにより岩盤面に切り欠け空窩を作り，次でこの空窩に向つて拂ひ落しを行ふ．心拔きは一自由面爆破なれど拂ひは二自由面爆破となる．

二自由面爆破は主爆破面たる一自由面に平行なる穿孔に由るのが最も一般的である．即ち裝藥は主爆破面に平行し，投影最大となるを以て，概念的爆破漏斗孔は圖 7 の如く同一最小抵抗 W に應ずる同一裝藥量に於ける爆破容積は一自由面爆破に比し 80～100% 方大となる．この場合穿孔長 B は最小抵抗 W に對して通常 $B=1.5W$～$2.5W$ に採る．裝藥量は一自由面爆破と同樣に主爆破面への最小抵抗 W を基とし $L=CW^3$ にて與へられる．爆破係數 C は一自由面爆破の場合と同じである．こゝに注意すべきは最小抵抗 W，爆破係數 C が共に同一，從つて裝藥量亦同じき二自由面爆破と一自由面爆破とでは，前者は後者の略 2 倍の岩石を爆破することになるが，これは同一最小抵抗に應ずる裝藥量が半減されることではない．

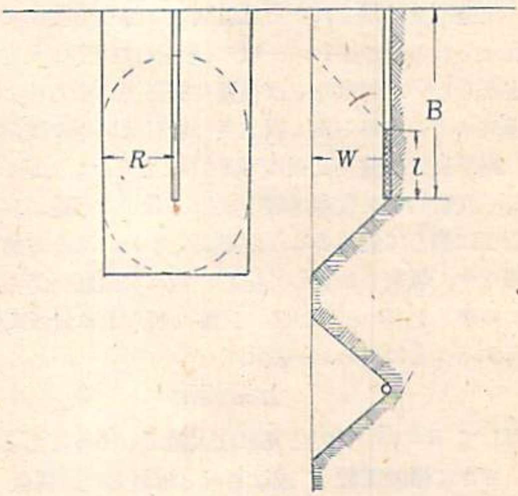

圖 7.

爆破學教科書には往々自由面數と裝藥量關係を與へ[1]，或は又二自由面爆破の裝藥量決定には $L=CW^3$ 式よりもむしろ

$$L'=L/B=C'W^2$$

が適すといふ[2]．L' は穿孔單位長當りの裝藥量であるから

1) 例へば O. Guttmann: Blasting (1906) London. p. 128.
2) Chalon: Les Explosifs modernes (1911) Paris. p. 498.
Guttmann: loc. cit. p. 131.

$$L=C'BW^2$$

$B=2W$ とせば $C'=0.5C$, $B=2.5W$ ならば $C'=0.4C$ となる．然しこれは技能に屬し，爆破の第一歩としては此様なことは考へぬ方がよいと思ふ．

一自由面爆破でも穿孔が爆破の境界を形成するが二自由面爆破に在つては特に明瞭である．藥量が多過ぎると穿孔の後方は爆破され難くたゞ前面岩石の飛散が著しく，藥量小に過ぐれば圖 7 の點線外の部分に破壞が生じない．

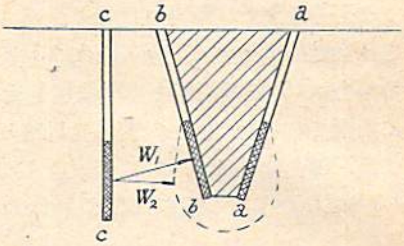

圖 8.

坑道掘進の拂ひは心抜と同時點火の遲發裝藥にて行ふが常である．即ち拂ひは未知の新爆破面を利用するものであるから，その穿孔が新爆破面に平行するや否やは豫測し難い．然し圖 8 に於て aa, bb なる心抜きにより影線を施したる部分を爆破したるときは，點線にて圍みたる部分の岩石は歪みを受け，その性狀は處女岩と著しく相違する．故に cc の拂ひの藥量は最小抵抗を W_1 とするよりむしろ W_2 として計算すべきである．又この場合 aa, bb によつて歪みを生じた點線部が cc より淺いとすれば cc には孔尻を生じ易い．

9. 坑道掘進の條件

坑道掘進は限られたる坑道斷面積即ち加背にて作業せらるゝものなればその大さによつて支配せられる所が多い．一般に掘進長は能率の尺度であつて掘鑿穿孔長に關係するが一元的には定まらない．何故ならば掘鑿は鑿岩機の能力によつて如何程にても深く掘り込み得るも一度の爆破によつて得らるゝ掘進長は岩石及爆藥の種類と加背面積とによつて變るからである．

掘進長は掘鑿穿孔長に可及的に近づくこと即ち孔尻の殘らぬやう掘進することが希望される．實驗的に又實際爆破の成果に徵して掘進が穿孔長に等しくするためには穿孔の掘鑿を坑道斷面に應じて定めることが必要である．又一方加背面積の如何に拘らず，岩石硬きときは掘進渉らず，軟岩では著しく進む．故に坑道斷面即ち加背面積を S，掘鑿長（穿孔底と穿孔口面との距離）を B とすれば，之等は明らかに岩石及爆藥の綜合せられたる爆破係數 C に關係を有することになる．一般に

$$B \propto \sqrt{S}/C$$

而して $B=\sqrt{S}/1.2C$ と見れば大體よいやうである．

さきに爆破係數 C 或は岩石と爆藥との關係數 q はその爆藥を用ひて $1\,\mathrm{m}^3$ の岩石を爆破し得る藥量に近い値であることを述べた（106 頁）．故に S なる加背にて B なる掘進を要する全裝藥量は

$$L=C.B.S.$$

として計算せられる．そしてこの全裝藥量は中央の心抜を始め左右からの拂ひ，上からの落し（冠），下からの起し（踏）等の各穿孔に配分される．心抜きでは最小抵抗 W_a は掘鑿長 B に等しく採ればよいが，拂ひ其他では心抜きによる新爆破面に向つて最小抵抗 $W_l, W_m, W_n \cdots\cdots$ が求められる．從つて

心抜　$L_a=CW_a^3=CB^3$

其他　$L_l=CW_l^3$

$L_m=CW_m^3$　　等々

心抜裝藥 L_a は通常 2〜4 本の抱合せ心抜穿孔に分配されるが, $L_l, L_m \cdots\cdots$ の裝藥は各1孔量である. そこで考慮すべきは穿孔數である.

坑道斷面は大體四角形をなすを以てその各4隅には當然穿孔されねばならぬ. 4 隅の穿孔の間卽ち上下左右の各邊には如何なる程度で穿孔せらるべきか. これは加背の周邊長 s m につき $0.6s$ 本程度が適當である. そして 4 隅周邊上以外の斷面內にはその單位面積につき岩石の硬さに應じて穿孔せらるべきであるが, この方は大體 $C \times S$ 本を見當とすればよい. 結局穿孔總數 N は

$$N=4+0.6s+CS$$

こゝに CS は普通の場合心抜の穿孔數と見ることが出來る.

(**例 1**) 岩石は櫻 (50%) ダイナマイトに適するもので試驗爆破により $C=1.2$ と判定せられた. 坑道は高さ 1.8, 上幅 1.5, 下幅 1.7 m である.

$$S=1.8\times(1.5+1.7)/2=2.88\ \text{m}^2$$

$$B=\sqrt{S}/1.2C=1.70/1.44=1.18\ \text{m}$$

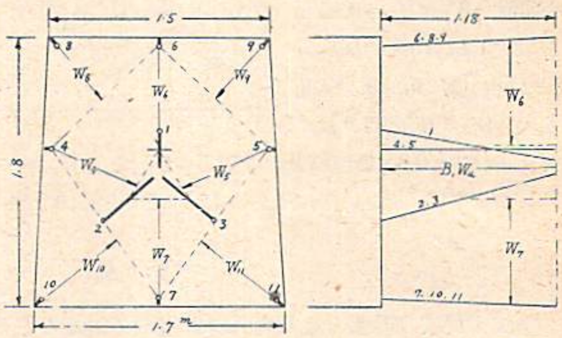

圖 9.

$\therefore$ 全裝藥量 $L=C.B.S.=1.2\times1.18\times2.88=4.1$ kg

扨て心抜 $L_a=CB^3=1.2\times1.65=1.98$ kg これを 3 本の穿孔に配分するとせば各孔の藥量は 660 g となる. 次に加背の 4 隅及その中間に拂ひ落しの穿孔 8 本を穿てば, **圖 9** に於て

第 6 孔$\cdots\cdots$抵抗 0.7 m, $L_6=1.2\times0.343=0.41$ kg

第 7 孔$\cdots\cdots$ 〃 0.65, $L_7=1.2\times0.275=0.33$

第 4, 5, 10, 11 〃 0.6, $L_4=L_5=L_{10}=L_{11}=1.2\times0.212=0.25$

第 8, 9 〃 0.5, $L_8=L_9=0.15$

$$\therefore \quad L_a+L_4+L_5\cdots\cdots L_{11}=1.98+0.41+0.33+1.00+0.30=4.020\ \text{kg}$$

これは最初に $L=CBS$ 式で計算した藥量 4.1 kg に甚だ近い.

尙穿孔數は 11 本としたが $N=4+0.6s+CS$ によれば

$$N=4+0.5\times6.8+1.2\times2.88=11.4$$

大體に於て**圖 9** の計畫にて支障ないやうである.

(**例 2**) 坑道は高さ 2.0, 幅 1.9 m あり, 岩石は硝安爆藥 (關係數 $q=1.2$) に適する軟き岩である. これをカーリット黑にて掘進せんとす.

カーリット黑と硝安爆藥との爆藥效力係數 e は夫々 1.30 と 1.70 なるを以て兩者の比は $1.30/1.70=0.765$ である. 從てこの岩石にカーリットを用ひたる場合の爆破係數 $1.2\times0.765=0.8$ となる.

$$S=1.9\times2.0=3.8\ \text{m}^2$$

$$B=\sqrt{S}/1.2C=1.95/0.96\doteqdot2.0\ \text{m}$$

$$L=C.B.S.=0.8\times2.0\times3.8=6.1\ \text{kg}$$

$$N=4+0.6s+CS=4+3.1+3=11.7\ \text{本}$$

軟岩なれば心抜の掘鑿長を 1.5 m とす. $L_a=CW_a{}^3=0.8\times3.4=2.7$ kg 心抜は $CS\doteqdot3$ 本の

見當でよいが鑿岩し易きときは圖 **10** の如く 6 本の掘鑿を行へば更によい．各孔の裝藥量は $2.7/6=0.45$ kg となる．圖に於て第 7, 8 穿孔の最小抵抗 $W_7=W_8=0.65$ m $\therefore\ L_7=L_8=0.8\times0.65^2=0.22$ kg 第 9, 10 穿孔では $W_9=W_{10}=1.0$ m,

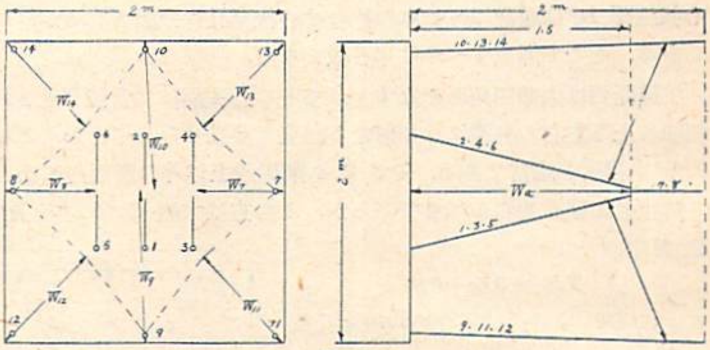

圖 10.

$\therefore\ L_9=L_{10}=0.8\times1=0.8$ kg．第 11-14 孔では $W_{11}=\cdots\cdots=0.8$ m, $L_{11}=\cdots\cdots=0.8\times1.8^2=0.41$kg

$$L_a+2L_7+2L_9+4L_{11}=2.7+2\times0.22+2\times0.8+4\times0.41=6.38\ \text{kg}$$

V. 綜　　說

爆破の實驗は對象となる岩石の樣相が尋常ならざるを以て成果は常に豫期の如くではない．然し一先づ爆藥を岩石に對して考察するならば，歸結する所は差まで區々ならざるを知つた．卽ち

i) 長形の穿孔裝藥の一孔藥量と藥徑との關係は概ね

一孔藥量	200 g 以下	300 g 以下	500 g 以下	700 g 以下	900 g 以下
藥徑	19 mm	25 mm	28 mm	32 mm	35 mm

を目安とし，

ii) 岩石と爆藥とを綜合する所謂爆破係數なるものを設定し，某爆藥が最も適當せる岩石なることを先づ發見するに努め，

iii) 坑道掘進の條件卽ち掘鑿長，穿孔數，裝藥量等を坑道斷面及び爆破係數より計算し，爆破計畫を樹つることを試みた．

斯くして爆破作業基準の一試案を提示するものであるが，この案固より成案ではなく，今後の檢討によつて大修正を加ふべきものなること云ふ迄もない．その意味よりして實驗計畫方針と見るも差支ない．冀はくは先覺諸賢の御叱正により筆者が妄斷に陷らざるを得ば幸である．

本研究は日本學術振興會の援助の下に工業爆藥の實用に關する基礎研究の一部とし行つたものであり，共同研究者として波多野貞夫，西松唯一，青山秀三郎，福田武雄，西村源六郎諸先生の御指導と御鞭撻を與へられた．玆に學術振興會並に前記諸先生の御好意に對し感謝を捧げ敬意を表する．

（昭和 16 年 7 月）