發　破　の　要　點

會員　安　藤　源　次

はしがき

岩石發破は複雜多岐，千態萬容として放棄せられた態にして何等經濟，能率的發破法の系統附けられた發表もなく且つ專門的な指導乃至研究機關の存在せぬことを甚だ遺憾とする次第である．

以下作業現場に於ける發破狀況を資材として，三の參考事項に付摘錄した．先輩諸家の叱正と現業諸氏の討論を與へられ本稿が漸次改訂されて日本的發破への一つの礎石とならば筆者の光榮之に過ぐるものはない．

目　次

1. 現代發破法の不備の點
2. 發破成績の優劣
3. 裝藥量計算公式の諸條件
4. 破壞法則
5. 爆破孔（漏斗孔）
6. 最少抵抗線の意義
7. 平行孔と傾斜孔
8. 平行孔と傾斜孔の抵抗比
9. 裝藥長の限界
10. 發破孔の位置及角度
11. 穿孔作業
12. 心拔發破の增强諸項
13. 發破の手順

1. 現代發破法の不備の點

歐米及日本などでも最も多く行はれてゐると見らるゝ發破法には末項揭載の如く理論が伴はず單にハウザー公式とそれに岩石係數及爆藥係數の概數を與へてゐるに過ぎない．若し此の係數が 1 乃至 3 を與へておき精確な計算基礎を示してなければ正に必要量の 3 倍の藥量が裝填される危險がある．それは頭初一，二回の試驗的小發破には好個の資料となるが連續作業に於て，經濟，能率及安全を第一義とする工業發破としては幾多不備の感あるは免れない．換言すれば一發破の爆破容相を制約すべき幾多の要素に缺くる爲め普遍性に乏しい．所謂十人十色で市街の眞中で安全發破は望まれず，坑內では藥量を節減し尙且つ極度に掘進を伸長せしむる手段に苦しむ次第である．

ハウザー公式と發破の施行

ハウザー公式と夫れと岩石係數及爆藥係數を知つて，發破作業の實施に直面し如何なる疑念と困惑に遭遇するか二，三の例を擧げて見る．

$$L=f(n)e\cdot g\cdot W^3$$

(1) 岩石の爆破は標準裝藥量にして圖 1 に於て $\frac{r}{W}=n=1$ なる時とする．

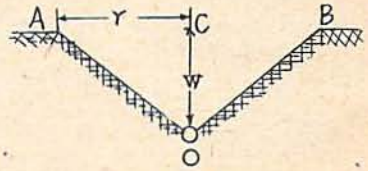


圖 1.

今最小抵抗線 W が大となり裝藥量 L は上式に於て假に 5 割增しとなつた場合に，之れを如何なる形狀及大さの藥室に裝填すべきであらうか，穿孔發

破ならば孔徑を其の儘として孔深凡そ裝藥長の3倍位に延長して裝塡するものか或は孔徑をどの程度に太くして裝塡すべきか.

(2) 裝藥量さへ一定であれば穿孔深，裝藥長及孔徑はこれを勝手に定めても同一の爆破が起るであらうか.

(3) 岩石係數を定むるに當り單一自由面にても二自由面にても亦自由面の廣狹，形狀を考慮に入れざるも，裝藥量が不變であれば採石量は常に一定であらうか. 換言すれば坑外廣場の岩石發破と坑內の心拔と拂ひ發破などでは採石量は著しく相違し從つて q なる $1\,m^3$ 當の採石量は當然異なる値を取るではなからうか.

(4) 同一岩石にても爆破方向により裝藥量に差異ある筈で，それは岩石重量の影響に依るもので下向き，上向き，水平爆破では上向きは最も不利で，鑛山の坑道掘鑿に於ても踏へ發破が最も孔尻の多いのを見ても明かな所であらう. これも裝藥量に關係するでなからうか.

(5) 自由面に對する穿孔角度を任意に定めても同一爆破は起るであらうか又自由面に對する平行孔と傾斜孔との爆破力に及ぼす相違は如何なる關係を有するか.

(6) 拂ひ發破に於ける各二自由面に對する抵抗比は如何に定むるが有利であるか. これは穿孔長を定むる上に相當重要因子となるではなからうか.

(7) 同じ岩石でも石目の方向と逆目の方向では恰も丸太を縱に割るのと橫に叩切るとの相違を生じ，藥量と採石量の間に相當の開きを生ずることが明かであらう.

(8) 其の他隧道及坑道發破に在りては穿孔徑と藥包徑，塡塞物と込方，穿孔配置と穿孔方法，點火方法と點火順序，孔徑と發破孔間の距離，適性爆藥の選定等檢討を加へらるべき重要案件が無數にある.

以上略說した如く岩石爆破の成果を司配する因子は無數に在る. 而して眞に理想的の發破乃至經濟的發破たるには之等無數の因子が最適の條件に於て組立てられた發破計畫でなければならない. 且つ其の施行も簡易に，勞少なく，手取早く然も仕上りは極上のものでなければ工業價値あるものとは云はれない. これによつて見るもハウザー公式と數項の施行上の注意丈では如何に原始的作業に終るかが想像に難くないであらう.

2. 發破成績の優劣

何故山の發破に對し指導發破では採石 $1\,m^3$ 當の爆藥が $\frac{1}{2}$～$\frac{1}{3}$ に減少し，一發破で 2～3 倍の採石量が得られ，然も進行が 2～3 倍伸び，穿孔總長が $\frac{1}{5}$ 位まで切下げ得るか？

次に例示した實驗表はほんの通りがかりの有合せの材料で只1回同一切羽の比較成績であるが，發破に關する各因子を總動員して 2 回 3 回と回を重ねて試驗と改良を施せば表の數字よりは遙かに有利な理想に近き發破が掛け得られるであらう.

山の發破は何故成績が揚らぬか，第一に各坑道別の發破計畫が調整されてをらない. 只加脊に合せた穿孔配置圖があるが，圖 9 及表 10 に示す如き穿孔の位置，方向及深さを嚴密に研究されたものがない. また大略出來てゐても邪が非でも計畫通りの穿孔をする簡易な方法を授けてゐぬ. その爲に發破は思ふ樣にかゝらない. 次に山の發破孔を精細測量して圖面に表はしてると圖 2 及表 3 の如きもので頗る亂雜で，同一裝藥量に對し各發破孔最のて小見抵抗線は著

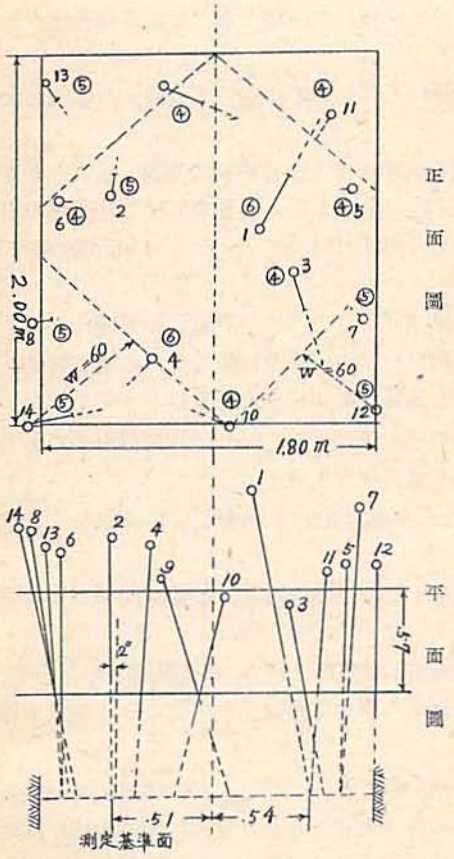


圖　2

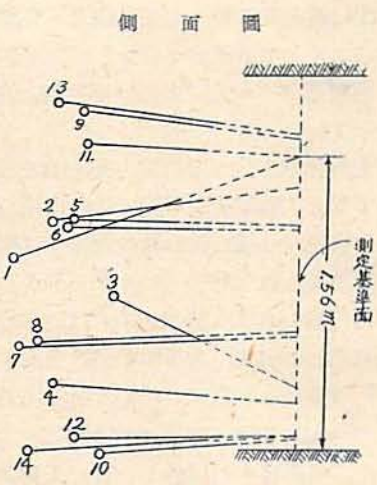


圖　2

[例 1]　表 1.　發破成績比較表

種別	山の發破	試驗發破	比率
爆藥量 (kg)	4.95	3.60	27% 減
採石量 (m³)	2.3	4.03	1.75 倍增
1 m³ 當藥量 (kg)	2.16	0.85	1/2.54 減
進行 (m)	0.80	1.40	1.75 倍增
穿孔總長 (m)	1.48	1.38	7% 減
進行 1 m 當穿孔長 (m)	18.5	9.4	1/2 減

[例 2]　表 2.　發破成績比較表

種別	山の發破	試驗發破	比率
爆藥量 (kg)	4.43	9.20	1.24 倍增
採鑛量 (m³)	1.90	5.05	2.66 倍增
1 m³ 當藥量 (kg)	3.90	1.85	1/2.12 減
平均進行 (m)	0.57	1.40	2.46 倍增
穿孔總長 (m)	11.59	5.84	1/2 減
1 m 進行當穿孔長 (m)	22.00	4.17	1/5.3 減

しく相違し，それが3乘倍として裝藥量が加增する故孔尻ばかり殘つて少しも進行しないのである．

穿孔發破の第一要件は第 11 項詳述の如き穿孔の位置方向及深さを計畫通り容易に穿孔せしむるにある．

次は穿孔徑を藥包に合致せしむること又填塞を充分にすること，穿孔を清掃し且つ不發等絕對に出さぬこと，之れ丈實行した丈でも幾倍か有利な發破となるであらう．

表 3.　穿孔測定明細表

孔番	位置 高さ	位置 左右	方向 水平	方向 上下	孔深測定 全長	孔口迄	孔深	裝藥 裝藥	裝藥長	込物長	殘留孔底 長さ	擴大	岩質
10	8	左 135	右 10°	下 5°	110	36	74	4,450.0	36	38	8	8×8	鐵鑛
14	8	〃 66	左 14	〃 4	151	46	105	5,562.5	45	60	45		母岩
12	8	右 89	0	〃 2	123	42	81	5,562.5	45	36	23		〃

7	62	右	72	右	3	下 2	155	63	92	5,562.5	45	47	29		母岩
5	122	〃	72	〃	2	0	144	66	78	4,450.0	36	42	0		〃
11	165	〃	58	〃	2	上 4	119	55	64	4,450.0	36	28			〃
9	178	〃	8	左	16	〃 6	121	66	55	4,450.0	36	19	12	長 6cm 11×9.5	鑛鐵
13	179	左	73	〃	7	〃 6	135	43	92	5,562.5	45	47	32		母岩
6	120	〃	78	〃	2	0	131	46	85	4,450.0	36	49	22		〃
8	59	〃	74	〃	9	下 2	146	53	93	5,562.5	45	48	29		〃
1	156	右	54	〃	11	〃 18	176	76	100	6,675.5	54	46	28	10 cm 8×8	鑛鐵
2	142	左	51	右	2	〃 8	140	56	84	5,562.5	45	39	24	11×11 11×8	〃
4	22	〃	40	〃	3	上 5	135	42	93	6,675.0	54	39	21	5 cm 7×9.5	〃
3	23	右	62	左	12	〃 29	121	59	62	4,450.0	36	26			〃
合計									11.59	66,742.5	594				

3. 裝藥量計算公式の諸條件

玆には最小抵抗線の餘り相違せぬ手掘又は鑿岩機使用の小發破の範圍に付述べることにする.

發破法の根底をなすものとして古來ハウザー公式其の他に示さるゝ如く，裝藥量 L は最小抵抗線 W の 3 乘に比例すると云ふのである．卽ち

$$L=C\cdot W^3$$

玆に C は比例恒數で岩石及爆藥の種類其の他の條件が異ると違つた値をとる．而して L 及 W は普通 kg，m 又は g，cm で表はさるゝものである.

この公式に依れば，或る工事場の花崗岩を櫻 1 號品で 1 m³ 破壞するに 2 kg の爆藥を要したとすれば 4 kg の爆藥にては 2 m³ の採石量が得らるゝことを示す．但し岩石及爆藥の種類及其の他の條件は適當に取つたものでなければならない，尙又上式は最小抵抗線が 2 倍となれば裝藥量は 8 倍量に急增することを示してゐる.

玆に注意を要することは比例恒數 C が前の試驗發破で豫め知られてゐることで，さすれば W 又は L を與へて何れか他の一を求め得るのである．それ故 (1) 裝藥量の計算公式は條件を適當に取る二發破の比較値を求むるのが最も現實的である．(2) 又二發破の比較値である以上この二發破の諸條件は裝藥と最小抵抗線其の他の關係に付ては比較則（相似則）に適合するを要する.

(1) の場合に付說明すれば，今岩石，爆藥を同一とし其の他の條件を適當に選んだ L, W 及 L_1, W_1 なる二發破孔ありとする．これの爆破狀況が全く類似してゐるとすれば

$$\frac{L}{L_1}=\frac{W^3}{W_1^3};\quad L=\frac{L_1}{W_1^3}\times W^3;\quad L=C\cdot W^3$$

が成立する．それ故 C の値を試驗發破にて理想的な場合に付豫め求めおけば他は種々の最小抵抗線に該當する L が求められ，逆に L が與へられるとそれに該當する W の値が計算に依り求められるのである.

(2) の場合に付說明すれば裝藥量及最小抵抗線を異にする二發破孔が適當條件下に在るとは岩石や爆藥の種類の同一なるは勿論，裝藥室の形狀及大さ，卽ち孔徑及裝藥長，孔深又自由

面の廣さ込物長も同一割合に夫々他より大きく，自由面の數及その形狀，込物の種類も同一，又自由面に對する穿孔の位置，方向も同一條件たるを要する．然る時は近似の狀態に在る二發破孔は同一狀況の破壞が起る．即ち相似則に適合する爆破孔を生じ從つて破壞岩石の移動も類似することになると云ふ所迄考へが及ぶのである．これを二セメント塊に付圖示すれば次の如くである．

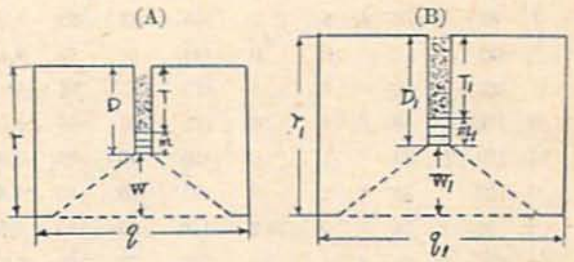


圖 3.

$$d_1 = nd \qquad m_1 = nm$$
$$(d_1, d \text{ は孔徑}) \quad W_1 = nW$$
$$T_1 = nT \qquad r_1 = nr$$
$$D_1 = nD \qquad q_1 = nq$$

凡て圖 3 の B 圖は A 圖を同一倍數 n 丈擴大した形態をとる．

4. 破 壞 法 則

爆破による岩石の破壞には剪斷破壞と引張破壞及之等合力の三樣式が考へられ，前者は容積を後者は截斷平面積を爆破抵抗の計算基礎に持つ．最も普通起る爆破は主として剪斷破壞を過分に持つ引張破壞との合力によるものにして爆破孔が漏斗狀を呈する場合である．而して爆破に密接な關係あるものとして材料力學は次の三つの法則的事項を數ふる．

(1) 岩石破壞は外力により生ずる岩石內部に起る合力が岩石の凝集抵抗と等しき時起る．

(2) 脆き材料の破壞は引張，壓縮，剪斷の物體內部に起る合內力の作用に對し最も薄弱な面に沿ふて起る．

(3) 脆き材料を壓縮すれば剪斷內力の最大に起る，即ち力の方向と 45° の方向に破壞が起り易く，これに壓縮內力も同時に働き結局剪斷と壓縮の二合力の方向たる 45°+α に破壞が起り，クレーター（漏斗孔）の開きは材料により異るも普通 110°～120° 內外である．この項に付てはさきに發破實驗報其の他に於て脆き材料及岩石爆破に就ての基礎實驗に於て述べた所である．

5. 爆 破 孔（漏斗孔）

岩石の爆破は普通剪斷破壞に依り起り且つ引張破壞も起る．而して材料力學に於ては概して脆き材料は外力の作用に依り岩石內部に起る剪斷と引張の合內力を生じこれが外力と 45°+α 方向に働き最も破壞の起り易きものとされてゐる．即ち最小限の裝藥量を以て最大の採石量が得らるゝ一條件である．それ故穿孔費を考へず破壞丈に付最も有利な發破は單一自由面に在りては穿孔角度は破壞面に沿ひ且つ 2×(45°+α)

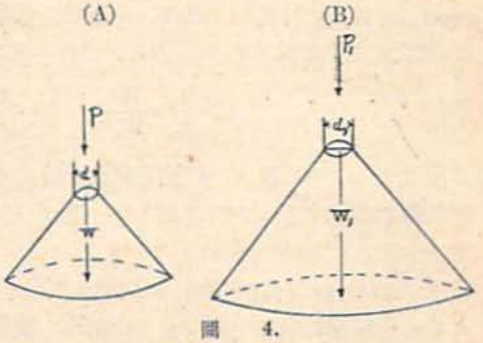


圖 4.

なる斷頭圓錐體を生ずるに充分な自由面の廣さを有する時である．坑道の心拔發破が加脊の廣狹に支配され一發破の掘進長に或る程度の制限あるのも此の點を考慮に入れるからである．

圖 4 に於て比較せらるべき二漏斗孔を A 及 B とし孔徑 d 及 d_1 に作用する全爆壓を夫々に P 及 P_1 とし，破壞單位面積に誘發される平均內應力及破壞斷面積を考へ次の關係式が導出される．（拙著岩石發破法第 2 項參照）

$$\frac{P}{S\cdot W}=\frac{P_1}{S_1W_1}=K$$

玆に
$$\begin{cases} P\cdot P_1 \cdots\cdots\cdots\cdots 全爆壓 \\ S\cdot S_1 \cdots\cdots\cdots\cdots 爆壓面の周邊 \\ W\cdot W_1 \cdots\cdots\cdots\cdots 最小抵抗線 \end{cases}$$

卽ち
$$P=S\cdot WK \qquad P_1=S_1W_1K$$

此の式は相似則に適合する二漏斗孔の爆破力と破壞斷面積の關係式である．次に流體力學を適用し藥室の單位面積に働く力を p とし爆破方向に直角な藥室の投射面を夫々 A 及 A_1 とすれば之等と全壓 P 及 P_1 の間には次の關係が成立つ．

$$\frac{P}{P_1}=\frac{pA}{pA_1};\quad \frac{p}{p_1}=\frac{A}{A_1}$$

依つて前式は

$$A=S\cdot W\cdot K_1' \quad A_1=S_1W_1K_1'$$

これより

$$\frac{A}{A_1}=\frac{S\cdot W\cdot K_1}{S_1W_1K_1'} \quad \frac{A_1}{S_1W_1}=K_1 \quad とおくと$$

$$A=S\cdot W\cdot K_1$$

此の式を書換へると

$$W=\frac{A}{S}\cdot K_1$$

となり W を最大にする爲めには藥室の爆破方向に直角な投射面を出來る丈大きくし且つその周邊を出來る丈小にせよと云ふことを教へる．換言すれば圓筒藥室に於ては穿孔方向は自由面に對し平行孔を有利とし又孔徑をそのまゝとし裝藥長を延伸しても，A は大となるが S が同時に大となる爲め W は大とならない．普通荷の勝つた發破に徒らに藥長を伸ばす惡習慣あるが，それは表面の岩石が破碎されるに止まり肝腎な切取面が一向破壞されず仕事にはならないのである．

此の $A=S\cdot W\cdot K_1$ 公式も $L=CW^3$ と合致すること次の如くして說明し得る．孔徑 d を單位にとれば

$$A=d\times nd, \quad S=2(d+nd)$$

$$W=\frac{A}{S}\times K_1=\frac{d\times nd}{2(d+nd)}K_1=\frac{nK_1}{2(n+1)}\times d,$$

これは最小抵抗線 W が孔徑 d に比例することを示す．

次に裝藥量 L は藥室容積に爆藥の比重 g を乘じたもので

$$L=\pi\frac{d^2}{4}\times nd\times g=\frac{\pi\cdot n\cdot g}{4}\times d^3$$

比例恒數を C とすれば

$$L=C\cdot d^3=C\cdot W^3$$

即ち證明し得たのである.

二つの相似形に於ては面積は對應邊の2乘に比例し，容積はその3乘に比例する故 $L=C\cdot W^3$ は裝藥量は採石量に比例すると云ふことが出來る.

6. 最小抵抗線の意義

爆藥の爆發現象が熱力學と流體力學を基礎として說明し得らるゝならば圖5に示す圓壔藥室が自由面 AB に對し 90° より小なる或る角度 b を有する場合に藥室より自由面に直角な nr の方向と藥室に直角な nq 方向と何れに爆破方向を取るかを考へ，而して，nr の方向が自由面に對する爆壓投射面が小なるに拘らず此の方向に外力が働いたとき最も破壞が起り易きことを次に證明するのである.

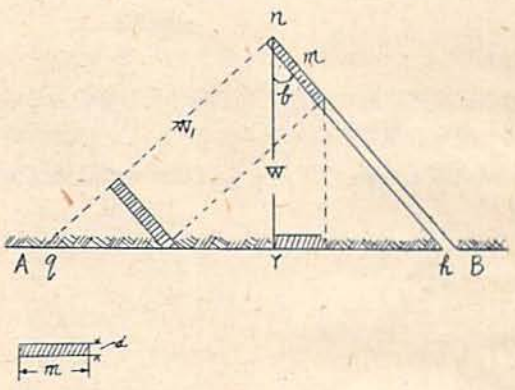


圖　5.

裝藥室の直徑を d 長さを m とし，藥室投射面の單位面積に働く爆壓を Q とすれば，その全壓 P は次式にて表はさる.

$$P=md\cdot\sin bQ \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

次に W_1 に直角な面への爆藥の投射面を考へると前同樣にして，これの全壓 P_1 は次式にて表はされる.

$$P_1=md\cdot Q \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

又，應內力 P 及 P_1 に對應する岩石抵抗力を夫々 R 及 R_1 とし比例恒數を K_1 とすれば，岩石破壞は之等對應する力の等しき時起る故次式が成立つ.

玆に W は漏斗孔の最小抵抗線に該當し S は投射面の周邊長を表はす.

$$R=S\cdot W\cdot K_1 \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

$$R_1=S_1\cdot W_1\cdot K_1 \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

然るに

$$S=2(m\sin\alpha+d)W\cdot K_1 \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

$$S_1=2(m+d)W_1\cdot K_1 \quad \cdots\cdots\cdots(6)$$

(1) 式と (5) 式又 (2) 式と (6) 式の比をとり

$$\frac{P}{R}=\frac{md\sin b}{2W(m\sin b+d)}\cdot\frac{Q}{K_1} \quad \cdots\cdots\cdots(7)$$

$$\frac{P_1}{R_1}=\frac{mdQ}{2W_1(m+d)}\cdot\frac{Q}{K_1} \quad \cdots\cdots\cdots(8)$$

然るに

$$W=W_1\cos(90^\circ-b)=W_1\sin b$$

$$W_1=\frac{W}{\sin b}$$

(8) 式にこれを代入すると

$$\frac{R_1}{R_1}=\frac{md\sin b}{2W(m+d)}\cdot\frac{Q}{K_1} \quad \cdots\cdots(9)$$

$\sin b<1$ 即ち b が 90° より小なる範圍では

$$\frac{md\sin b}{2W(m\sin b+d)}>\frac{md\sin b}{2W(m+d)}$$

即ち兩式の比較に於て分子は等しく，左邊の分母は小なる値をとる爲め上の不等式が成立つ．依つて

$$\frac{P}{R}>\frac{P_1}{R_1}$$

之れは單位岩石抵抗力に對する，全壓の割合を示すものにして全壓の方向として自由面に直角な $nr(=W)$ の方向へは $nq(=W_1)$ の方向より破壞の起り易きを示してゐる．即ち破壞は W を圓錐體の軸として漏斗孔を生じ易きことを示してゐる．而して傾斜角 b が大となるに從ひ q 點は r に接近し nq と nr の中間線が得られるのである．

依つて最小抵抗線とはこれ等多數の爆破方向中 $\sin b>1$ なる間は $nr(=W)$ に最も爆破が起り易いとの意である．nr 線に沿ひ又はその附近は岩石抵抗が最小にして，破壞は起り易き意味ではない．

7. 平行孔と傾斜孔

拂ひ發破の平行孔と心拔の傾斜孔の抵抗線關係を知ることは坑道發破に重要である．

圖 5 に於て直角と b 角度の特殊な場合を述べたが一般に a 角度と b 角度をなす二穿孔に付ても前項同樣にして次式が得られる．

$$\frac{P_1}{R_1}=\frac{md\sin a}{2W(m\sin a+d)}\cdot\frac{Q}{K_1} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\frac{P_2}{R_2}=\frac{m_1d_1\sin b}{2W_1(m_1\sin b+d_1)}\cdot\frac{Q}{K_1} \quad \cdots\cdots(2)$$

爆藥の種類及岩石の質同一にして穿孔角度を異にし，從つて最小抵抗線 W 及 W_1 孔徑 d 及 d_1，裝藥長 m 及 m_1 を異にする二發破孔に付ては爆破狀況を同一とする爲めには，單位岩石抵抗に對する爆壓比は等しかるべきである．即ち

$$\frac{P_1}{R_1}=\frac{P_2}{R_2}$$

依つて (1) 及 (2) 式より

$$\frac{md\sin a}{2W(m\sin a+d)}=\frac{m_1d_1\sin b}{2W_1(m_1\sin b+d_1)}$$

$$\frac{W_1}{W}=\frac{m_1d_1\sin b(m\sin a+d)}{md\sin a(m_1\sin b+d_1)}=\frac{mm_1d_1\sin a\sin b+m_1dd_1\sin b}{mm_1d\sin a\sin b+mdd_1\sin a}$$

分母分子を $\sin a\sin b$ で除し

$$=\frac{mm_1d_1+m_1dd_1\operatorname{cosec}a}{mm_1d_1+mmdd_1\operatorname{cosec}b}$$

各裝藥長を孔徑の n 倍に取れば

$$m=nd, \quad m_1=nd_1$$

$$\frac{W_1}{W}=\frac{n^2dd_1^2+ndd_1^2\operatorname{cosec}a}{n^2d^2d_1+nd^2d\operatorname{cosec}b}=\frac{nd_1+d_1\operatorname{cosec}a}{nd+d\operatorname{cosec}b}=\frac{d_1(n+\operatorname{cosec}a)}{d(n+\operatorname{cosec}b)} \quad \cdots\cdots(3)$$

今 a 角=90° とすれば自由面に平行孔となり他は b 角度の穿孔となる.

$$\operatorname{cosec}a=\operatorname{cosec}90^\circ=1$$

$$\therefore \quad \frac{W_1}{W}=\frac{d_1(n+1)}{d(n+\operatorname{cosec}b)} \quad \cdots\cdots(4)$$

而して裝藥長は孔徑 d の 8～12 倍長が最も有利と云はれるので今 $n=12$ とすれば上式は

$$\frac{W_1}{W}=\frac{d_1\times13}{d(12+\operatorname{cosec}b)}$$

玆で二發破孔の孔徑等しく $d=d_1$ なれば

$$\frac{W_1}{W}=\frac{13}{12+\operatorname{cosec}b} \quad \cdots\cdots(5)$$

(3) 式より試驗發破により求めた標準發破の孔徑 d 穿孔角度 a 及最小抵抗線 W を知り他の任意の心拔などの穿孔角度 b は他の要素 W_1 及 d_1 を與へて計算し得られ, また d_1 及 W も夫々他の二つを與へれば夫々計算より求め得る.

又二發破の抵抗線が等しければ $W=W_1$ にて

$$\frac{d}{d_1}=\frac{13}{12+\operatorname{cosec}b} \quad \cdots\cdots(6)$$

(5) 式によれば孔徑を同一とし, 且つ爆藥及岩石の種類も同一にして其の他の條件も適當に取り, 尙破壞狀況も同樣な平行孔と b 角度の二發破孔の抵抗線關係を示すもので試驗發破に依り何れか一方拂ひか心拔かの抵抗線を知れば (5) 式により他の發破の抵抗線を計算して求められる.

又 (6) 式よりは $W=W_1$ の時自由面に平行孔及最小抵抗線と b 角をなす二發破孔の一方を知り他方の孔徑を求め得られる. また孔徑が異なれば裝藥長も裝藥量も違つて來るのである.

以上の二公式の引用に付最も注意を要することは自由面の廣狹及形狀にして心拔の自由面は廣きも拂ひ及助其の他心拔に近き發破孔は著しく新自由面狹く殊に長尺掘の場合は, 益々心拔などの自由面は漏斗半徑大となりて狹小を感ずるに至るのである. この條件の異なる點を充分に考へねばならない.

以上の如く心拔と拂ひ發破の如き傾斜孔と傾斜及傾斜孔と平行孔の關係式に於て角度, 孔徑又は最小抵抗線を求むる算式は次の如きものがある.

$$\frac{W_1}{W}=\frac{n+\operatorname{cosec}a}{n+\operatorname{cosec}b}\cdot\frac{d_1}{d}$$

$$\frac{W_1}{W}=\frac{d_1(n+1)}{d(n+\operatorname{cosec}b)} \quad \operatorname{cosec}a=\operatorname{cosec}90^\circ=1 \text{ の時}$$

$$\frac{W_1}{W}=\frac{13}{(12+\operatorname{cosec}b)}\cdot\frac{d_1}{d} \quad n=12 \text{ に取りし時}$$

$$\frac{W_1}{W}=\frac{13}{12+\operatorname{cosec}b} \quad d=d_1 \text{ の時}$$

$$\frac{d}{d_1}=\frac{13}{12+\operatorname{cosec}b} \quad W=W_1 \text{ の時}$$

これ等穿孔發破に要用な算式も裝藥量と最小抵抗線の一般公式

$$L=C\cdot W^3$$

とは異形同體のものである．

卽ち孔徑 d を單位とすれば裝藥長 $m=nd$ となり裝藥量は藥室容積に 1 cm³ の爆藥の重量卽ち比重 g を乘じたものである．

$$L=\pi\frac{d^2}{4}\cdot nd$$

$$L_1=\pi\frac{d_1^2}{4}nd_1$$

$$\frac{L}{L_1}=\frac{d^3}{d_1^3}$$

而して相似形をなす比較せらるべき 2 爆破孔に付ては

$$W=md \quad W_1=md_1$$

とおき得る故上式より

$$\frac{d^3}{d_1^3}=\frac{W^3}{d_1^3} \text{ 又は } \frac{d}{d_1}=\frac{W}{W_1}$$

依つて

$$\frac{L}{L_1}=\frac{W^3}{W_1^3} \quad \text{となる，卽 } L=C\cdot W^3$$

此の孔徑と最小抵抗線が比例するもの故，次式

$$\frac{W_1}{W}=\frac{n+\operatorname{cosec} a}{n+\operatorname{cosec} b}\cdot\frac{d_1}{d}$$

は $a=b$ なる時は

$$\frac{W_1}{W}=\frac{d_1}{d}$$

と合致するが a 角及 b 角の等しからざる時は前者の恒數は 1 なるに對し後者は或他の恒數を取り W_1 及 W と d_1 及 d とが比例することを示してゐる．他の諸算式も一般公式 $L=C\cdot W^3$ に牴觸せざることを證明し得る．

8. 平行孔と傾斜孔の抵抗比

心拔發破孔の藥室部の自由面となす角は大なる程爆破方向に對する爆壓面大となり孔尻を殘存すること少なくなるが，漸次角度を小とするに從ひ孔尻の殘存多く，遂に垂直の極端に達すると硬岩では破壞が起らずして吹くことが多い．

この場合の爆壓面は孔徑の圓面にして最小限を示す．尙單一自由面の發破一般には孔口のある自由面に於ては裝藥長を伸ばせば，藥室は漸次自由面に接近し W は小となる爲め孔口方面より見れば破壞は起り易くなるが採石量其の他破壞狀況が變つて來ることは注意を要する．また平行孔と傾斜孔は條件が異なる故，採石量及爆破狀況は異なるは勿論である．

傾斜孔は平行孔に比し抵抗線に付て何程の差違あるかを知る爲次表を揭げる．

次表は

$$\frac{W_1}{W}=\frac{13}{12+\operatorname{cosec} b}$$

なる式の W_1 の値にして，W を 1 とした時の比率を示す．

表 4. 抵抗線比率表

$b°$	W_1/W	$b°$	W_1/W	$b°$	W_1/W
1°	0.19	20°	0.87	50°	0.98
2°	0.32	23°	0.89	60°	0.99
3°	0.42	25°	0.91		
5°	0.56	27°	0.92		
10°	0.73	30°	0.93		
15°	0.79	35°	0.95		
15°	0.82	40°	0.95		
18°	0.86	45°	0.97		

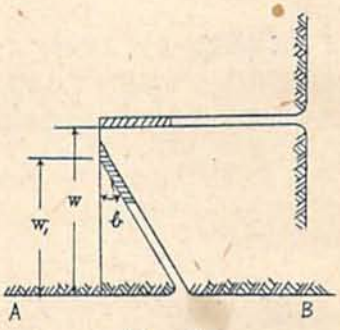


圖 6.

圖 6 に於て W は自由面の廣き拂ひ發破，W_1 は抵抗線と b なる角度を有する同一孔徑の穿孔とする．前表は垂直孔に近き 1°, 2°, 3° 邊は 6 割から 8 割も抵抗線を短く取るべきを示し，其の後角度の增加に連れ漸次比は大となり 10° より 20° 邊は急勾配にて比率は增大し 25° で一割減 45° で 3 分減，60° では僅か 1 分減に過ぎざるに至る．依つて心拔孔は 15° から 30° の間に於て加脊の許す範圍出來る丈 b 角を大にすれば有利となる．

9. 裝藥長の限界

經濟的發破を企圖する上に裝置長の限界を知ることは重要である．

$$A=K_1\cdot S\cdot W;\quad W=\frac{A}{S\cdot K_1}$$

後の式に於て W を大となし採石量を增す爲めには爆壓投射面 A 及其の周邊長 S に於て，A は可成大にして S は可成小なる藥室を要求する．而して A 及 S は孔徑 d 裝藥長 nd とは次の關係に立つ故裝藥長 $m=n\cdot d$ とおけば

$$A=md\quad S=2(d+m)$$

$$W=\frac{md}{2K_1(m+d)}\qquad\cdots\cdots(1)$$

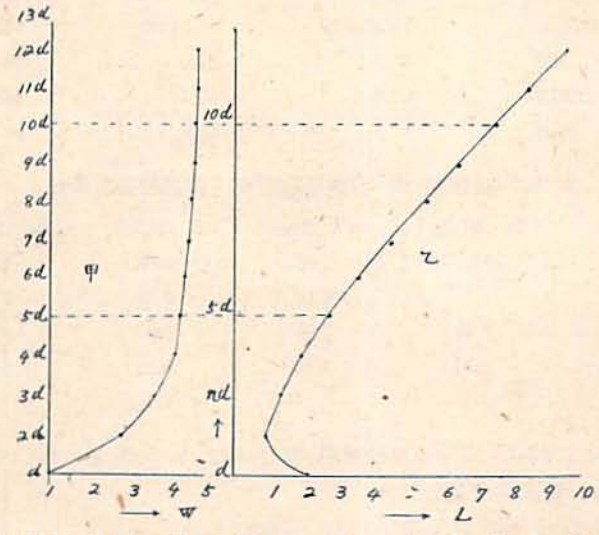
裝藥長として最も大なる W に打勝つ圓筒藥室としては藥量を一定すれば孔徑 d と同一長の裝藥室である．

それ故 A 及裝藥量 L に一定値を保たしめ d を細くして漸次裝藥長を延長することは S が增大する故 W の値は漸次小となり，或る經濟極限に達することが想像される．（岩石發破法 63 頁參照）．

また一方裝藥長を餘り短かくして W を增大すること穿孔徑の增大を來し，穿孔費其の他に於て許されない．それで普通行はれる穿孔發破の孔徑 20 mm 32 mm 40 mm 等に付裝藥長を漸次增すことにより次式より W は如何なる割合に變化するかを見ると同時に裝藥量が如何なる割合に變化するかの經濟關係を見る．この裝藥量 L の方は一般公式 $L=C\cdot W^n$ に於て高さ孔徑に等しい單位容積の重量 Q g を考へ $L=Q\cdot m$ とおき

$$C=\frac{Q\cdot m}{W^n}\qquad\cdots\cdots(2)$$

とする．C は採石量 $1\,m^3$ 當の裝藥量を表はす．



裝藥長と最小抵抗線の增加率　　裝藥長と裝藥量の增加率

圖　7.

(1) 式及 (2) 式の m に d, $2d$, $3d$……を代入し W 及 C の變化の割合を求め圖示すると圖 7 の如くなる．

甲圖の W は $2d$ より $8d$ 位迄は可なり急勾配に增加するがそれ以上は曲線は棒立ちとなり W の增加率は僅少である．然るに乙圖の裝藥量に付ては $8d$ 以上になると寧ろ不經濟な急速なる藥量の增加を示す．而して裝藥長の延長は孔口方面の W を短縮して採石量を增すと云ふ有利な點もある故裝藥長としては $8d$～$12d$ を標準裝藥量としてゐる．

10. 發破孔の位置及角度

現場では最も重要な筈の穿孔作業が案外無造作に行はれてゐる樣だが，穿孔の位置及角度が如何に重要なるかは裝藥量の一般公式

$$L=C\cdot W^3$$

が示す所に依り明かである．圖 8 に於いて心拔後の拂ひ發破孔 $a\,o$ 方向に穿孔すべきを 5°, 10°, 等 α 角丈外方に誤つて穿りし時，掘進長別に W_1 は如何程延びるか，その增量は圖面の上又は $W_1=a\,o\tan\alpha$ なる三角法より求められる．

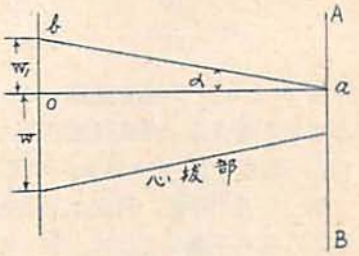


圖　8.

次表（表 5）に於いては角度と掘進長に比例して抵抗線の增大するを見る．

次にこの角度と掘進長別の增量 W_1 が抵抗線別に如何に裝藥量に影響するか，これを掘進長別の表（表 6）を揭げる．

表 5. 角度及穿孔長別 W_1 の增量

角 度 値	1.20 m tan α	1.50 m × tan α	1.80 m × tan α
tan 5°=0.0875	11.2 cm	13.3 cm	15.8 cm
tan 10°= .1763	21.2	26.4	31.7
tan 15°= .2679	32.2	40.5	48.8
tan 20°= .3640	43.6	54.5	65.5

表 6. 抵抗線 W 別藥量增加率（掘進長=1.20 m）

角 度	W=40 cm	W=60 cm	W=70 cm	W=80 cm
5°	2.13	1.06	1.58	1.45
10°	3.60	2.50	2.18	1.90
15°	5.94	3.60	3.09	2.44
20°	9.18	5.18	4.32	3.28

[計算例]

表 6 の W=40 cm の時 5° 丈大なれば增量 W_1=11.2 cm となる. 依つて全抵抗線は 40+11.2=51.2 cm となり, 藥量と抵抗比

$$\frac{L_1}{L}=\frac{W_1^3}{W^3};\ \frac{L_1}{L}=\frac{(51.2)^3}{(40)^3}=2.13$$

卽ち藥量は 5° の違ひで 2.13 培も多く要することになる.

表 7. 孔深=1.50 m

角 度	W=40 cm	W=60 cm	W=70 cm	W=90 cm
5°	2.34	1.83	1.67	1.51
10°	4.84	2.98	2.60	2.03
15°	8.13	4.65	4.00	1.64
20°	13.3	6.75	5.65	3.09

表 8. 孔深=1.80 m

角 度	W=40 cm	W=60 cm	W=70 cm	W=90 cm
5°	2.72	2.08	1.27	1.64
10°	5.75	3.32	3.03	2.44
15°	10 9	6.05	4.96	3.42
20°	18.7	9.26	7.3	4.25

表 6 より表 8 迄を通覽するに硬岩なるか, 孔徑小なる爲めか又は心拔孔に接近して W を小に取る場合は, 角度及掘進長の大なるに從ひ, 裝藥量は W=40 cm に於て 2.13 倍より 18.7 倍迄の增量を見 W=70 cm の所で 1.6 倍より 7.3 倍迄の增量を見る.

斯く穿孔の位置, 角度は破壞效果に如何に重大性を有するか一見明瞭であらう. これに各穿孔の孔尻の不揃ひも加はり益々等閑視し得ざることが知られる.

11. 穿 孔 作 業

鑿岩機の穿孔作業が整に衝打を與へすスラスラと進行し, 與へられた設計通りの位置, 方向,

深さに然も未熟練工にでも尺曲も精密な分度器も使はず，敏速に穿孔し得るには如何にすれば宜いか．これには種々の方法があらうが，その重點及要領を示せば次の如きものであらう．

(1) 鑿先の徑　現場の狀況を注意して視ると 1 番鑿，2 番鑿，3 番鑿と徑 3 mm 落ちの長短の鑿を使用してゐるのに甚しくビット徑が不揃ひである．次表は某鑛山の實例を示すものである．

表 9. 番數別ビット徑

番數	1 番鑿				2 番鑿				3 番鑿			
ビット徑	54	53	52	51	48	47	45	44	48	46	45	43 41
本數	1	1	5	1	1	4	3	1	2	2	2	各 1

穿孔終りて抽出したビットの徑と次の番數のビット徑が僅か 1 mm の差にて普通の硬岩穿孔では手では回轉しない．然るに上表に示す如き種々雜多な徑の大さでは如何にして圓滑な鑿岩機の回轉は期待し得ようか，又中には殊に大孔徑の 1 番鑿などには刃先の角度が 90° より鋭角にして磨滅し易く，組合作業に不適當なものも含まれてゐる．

(2) 鑿岩機の位置及角度　鑿岩機は圓柱狀のコラムとアームに取付けられ，位置及方向は多くのネヂに依り自在である．この便利ある爲めに一面圓滑なる運轉を妨ぐる缺點を持つ．而して鑿の廻轉せぬ原因として何人も鑿と鑿岩機の方向が一致せぬ時に起ることは承知し居る所なるに實際の作業にはヂヤツキを緖め他の多くのネヂを締直す等，鑿岩機と鑿の角度が 1 度違へば 1 m 先の鑿先にて 36 mm の方向轉換することが念頭に置いてないやうである．前述の如く硬岩の穿孔では 1 mm の徑を爭ふことから見れば穿孔開始後は絕體にヂヤツキやネヂの締直しは禁物である．但し一番ボールト丈は長尺の鑿の抜き差しに締替へは必要で，これとて運轉開始後暫く調子を見て固く締付ける如くする．穿孔の位置と角度の確實なる施行と能率的ならしむるやう始めから設計に織込んで置くのである．

(3) 穿孔配置　以上詳述せる如く穿孔の位置等の穿孔配置は極めて重要なもの故凡有る角度より檢討を加へ計畫せらるべきである．その要領としては先づ試驗發破に依り與へられたる爆藥と岩石に付て最小抵抗，裝藥量を定め自由面の廣狹，形狀を考へ同一孔徑の穿孔の位置，角

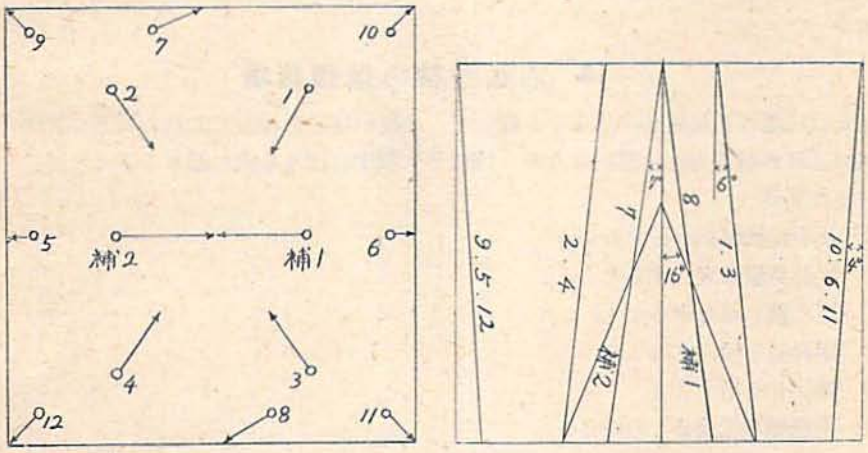


圖　9.

度，深さを製圖と計算より定める．而して心拔は全力を傾注して必ず拔くやう强力なものに仕組まなければならない．前の圖9は單に設計の表方を配置明細と共に揭げしものにして，實際現場にて試驗したものでも亦理論的に組立てしものでない，

次の明細表は切羽面より 90 cm の位置にこれと平行して假想切羽面を考へ中央にコラムを立てた時の高さ及位置，深さを示す．

(4) 穿孔方法 圖9及明細表に依り正確な穿孔を施行する方法種々あるべきも，薄暗がりの坑內作業としては別紙說明圖（省略）の如きその一方法と思料せられる．

(5) 工具類 往時鑿とハンマーにて掘つた狸掘式に今日の鑿岩機にて掘ることは長尺な鑿と機械を使用する爲め却つて困難を感ずる次第なるが事實鐵押坑道などでよく見る所である．然

表 10. 穿孔配置明細表

番號	位置		方向		孔深
	高さ	左右	左右	上下	
補 1,2	90 cm	左右 52 cm	左右 16°	0	92 cm
1	1.58	右 44	左 6°	下 6°	2.40 m
2	〃	左 〃	右 〃	〃	〃
3	2.20	右 〃	左 〃	上 〃	〃
4	〃	左 〃	右 〃	〃	〃
5	90	左 59	左 4°	0°	〃
6	〃	右 〃	右 〃	〃	〃
7	1.64	左 31	右 7°	上 4°	〃
8	16	右 〃	左 〃	下 〃	〃
9	1.64	左 59	左 4°	上 〃	〃
10	〃	右 〃	右 〃	上 〃	〃
11	16	〃	右 〃	下 〃	〃
12	〃	左 〃	左 〃	下 〃	〃

し前揭の設計通りの穿孔には殆んど作業不可能である．加之此の方が凡ての點に於て遙に有利である．それが爲めには機械使用上，又岩石を整理する上に諸種の工具を取揃へ置くことが必要である．

12. 心拔發破の增强諸項

隧道又は坑道の孔尻殘孔に依る不成績は多く心拔が拔けぬ場合でこれの實害は範圍が最も廣い．次にこれが增强方法と思料せらるゝ諸項を列擧すれば凡そ次の通りである．

a. 穿孔關係

(1) 最小抵抗線を小とすること．
(2) 穿孔角度を大とすること．
(3) 穿孔數を增加すること．
(4) 穿孔徑を增大すること．
(5) 補助孔を增すこと．
(6) 藥室部を近接せしむること．
(7) 孔尻を一點に會合せしむること．

(8) 組合せ穿孔とすること.
(9) 組合せと抱合せ併用すること.
(10) 前項の場合片側の組合發破孔を短く且つ太き藥室とすること.
(11) 心拔穿孔の方向及位置を石目又は節理を考慮し變更を試みること.
(12) 中拔掘，角型掘，側掘等狀況により變更すること.
(13) 孔深，孔徑の大小組合せ穿孔すること.
(14) ビット徑に注意し藥室部の孔徑を小とせぬこと.
(15) 穿孔藥室部の距離を齊發せぬ程度に近接せしむること.
(16) 新自由面を可成廣くし且つ其の中央部に自由面に平行して穿孔を配置すること.
(17) 心拔の抵抗線を中心に各穿孔の均齊を保たしむること.
(18) 心技の穿孔作業には各穿孔の位置，角度，深さ，孔徑等最も嚴重施行のこと.

b. 爆藥及發破關係

(1) 更に强力な爆藥を使用すること.
(2) 穿孔徑に塡實し空隙を存せぬこと.
(3) 補助孔の徑を太く且つ深くして他の藥室に接近せしめること.
(4) 爆藥及岩石の種類，穿孔徑，裝藥長に應じ込物長及込物の固さに依り增强を圖ること.
(5) 電氣齊發を試みること. 但し心拔方法を心拔と拂ひ併用とした場合の設計には其の點考慮すること.
(6) 爆藥，火工品は可成新品を使用のこと.
(7) 高級爆藥又は導爆線の類にて爆速を高むること.
(8) 8 號雷管の試用.
(9) プライマーの位置變更.
(10) 石目及節理の方向により破壞し易き順序に點火すること.
(11) 擴底發破に依り裝藥室を大とすること. 此の際穿孔の淸掃，平滑化を圖り裝塡には軟質の爆藥を使用する等技術に熟練せぬと危險である.
(12) 掘進長を大とせる場合は穿孔に 2 段，3 段の裝藥をなし自由面の擴大に努むること. 但し導火線の使用，藥室間の距離及塡塞の方法等使用爆藥の種類及岩石の性質破壞狀況に依り充分研究の上施行のこと.
(13) 拂ひ併用の心拔に對しては爆破方向及自由面の廣狹，位置及形狀に依り千鳥掛けを試みること.
(14) 長尺掘の 2m 內外の穿孔に對しては 2 段裝藥及 2 回發破の方法を試みること.
(15) 以上各種方法の組合せにより最も有利な心拔法を確立すること.
(16) 心拔發破合理化の爲め坑內岩壁を利用して計算基礎となる試驗發破を次の如くして行ふこと.

岩壁適當の個所に h h_1 h_2 孔を圖 10 の如く穿ち $W=60$ cm.

$W=50$ cm.

$W=40$ cm.

に取り，裝藥長は孔徑の 8～12 倍長とし藥量は各孔同一とし次式より計算に依り求められる.

$$\frac{W}{W_1}=\frac{12+\operatorname{cosec} b}{13}$$

尙試驗中孔尻殘留の弱裝藥に就ては過裝藥と同樣漏斗半徑と W より次のダンブランの公式を利用すれば一層便宜多い.

$$\frac{W}{W_1}=\sqrt{n^2+1}-0.41 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$\frac{L}{L_1}=(\sqrt{n^2+1}-0.41)^3 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

玆に W_1 及 L は標準裝藥, W 及 L_1 は弱裝又は過裝藥の最小抵抗線と裝藥量を示す.

(17) 岩石の破壞法則と照合し岩石の爆碎, 孔尻の擴大及破片の大小, 飛散, 音響, 振動等より爆藥の種類選定の再吟味.

(18) 坑內には硝安系爆藥の存置及雷管, 導火線の裝備作業等吸濕による性能減退を嚴に戒めること.

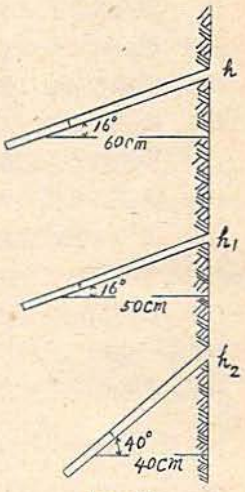


圖 10.

13. 發破の手順

以上述べた所で發破の法則は了解されたものと思ふ. 然しこれだけでは直ちに實用に供することが出來ぬ. そこで發破を計畫する手順が必要である.

爆藥の藥種と藥徑は甚だしく無茶な現場の外は一般に適當なものが用ひられてゐるからこれはそのままとする. 一孔の裝藥長は藥徑の 8～12 倍とすると, これから藥量が決定される.

岩壁面に上下左右各 20～30° に約 70 cm を穿孔して試驗發破を行ひ, その結果から岩目の方向, 破壞の難易を判定して岩石係數が與へられる. 此くすれば各孔の抵抗に應じての裝藥が決定されることになる.

發破計畫の實例に就ては又稿を新たにして述べることゝする.

(昭和 16 年 9 月 20 日 京城光化門寓居に於て)