

### 岩石爆壞の經濟的研究 (工學士 八田嘉明氏所論)

「如何にせば最小の費用を以て最大の岩石を爆壞し得べきか」の問題は實際に當り屬々起るところにして之が解決の爲には孔の徑、深、數及配置並に爆藥量等の各箇に就き充分細密なる研究を要することとなるが茲には隧道導坑の如き一開壁を有する簡單なる場合に就き論述すべし。

岩石の爆壞は岩石の硬軟、爆藥の種類及裝填方法により其の結果を異にするは勿論同質の岩石に於ても成層、接目及罅裂の状態其他の事情により差異を生ず、從て等質に近き岩石に對しては略理論的に爆壞を試むると必しも難事にあらざるも吾人が屢々遭遇する如き岩石の層狀、接目及罅裂の不規則に錯綜せる場合にありては最有効なる孔の位置、方向、深等は一に從業者の經驗と手腕に俟つもの多きは實に止むを得ざるるところにして豫め各種の岩石に對し一定の標準を示し難きが如くなれども仔細に之を閱すれば略一般原理に従ふべきものなること疑なし。

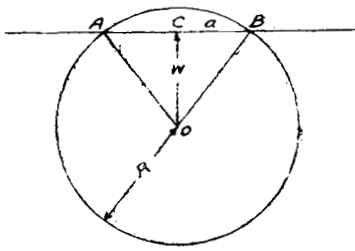
岩石爆壞の原理は從來學者により所説を異にすれども本論にはヘーファー氏(Hofer)の所説と同じく「爆力の強度は爆發中心を去る距離の二乗に反比例するものなり」と前提し研究の歩を進めんとす蓋し隧道導坑の如き殆んど開壁一面を有するに過ぎざるときは爆破に際し多くの場合に岩石が幾多の岩片に破碎せらるゝとき換言すれば爆壞に對する岩石の抵抗が略壓碎にありと見做し得る場合に對しては該理論が實驗上事實に近きを認めればなり。

今緻密にして何等罅隙を有せざる等質岩石の内部O點(第一圖)に一の爆力を發生したりとせば震動は全方向に放線狀

に且つ同一の程度に岩石内に傳はるべし此場合に於て震動はO點を中心とせる無數の球面をなしつゝ波及し其の震動の強度は中心を距るに従ひ次第に弱り遂に消滅するに至るべし今O點よりRなる距離に於ける震動の強度が丁度岩石の凝聚を破る(然も單に破るのみにして破片を飛散するの餘力なき)ものとせばRを半徑とする球面を破壞球の限界にありと稱す而して岩石の外表面が該球の外にある間は震動は岩石の抵抗に征せられ何等の動作を惹起せずと雖も一旦外面が破壞球を切るときは忽ち岩石の爆壞を來しAOBなる圓錐形の火口を生ず此圓錐體の容積は即ち爆壞岩量にして其直軸乃ちO點(爆發の中心)より外面に至る最短距離Wを最小抵抗線と稱す今外面が一平面なるとき破壞球と外面との作す圓の半徑をaにて示せば圓錐

$$V = \frac{1}{3} \pi a^2 W = \frac{\pi}{3} W(R^2 - W^2) \dots \dots \dots (1)$$

の容積は



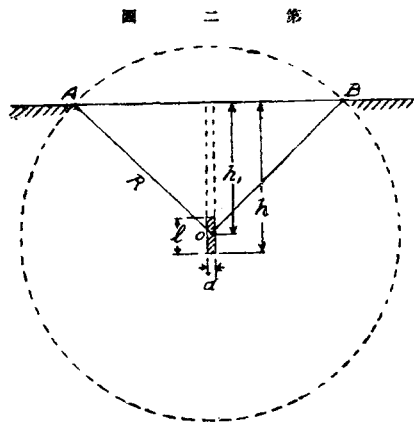
第一圖

今開壁(岩石の外面)に直角に鑽孔したる場合(第二圖)に於てhを孔深、dを孔徑(裝藥部に於ける)。Lを爆藥裝填長さhを開壁より爆藥裝填中心迄の距離とすれば爆藥裝填室の周圍面積は

$$A' = \pi d h + \frac{\pi d^2}{2}$$

然るに此内孔口に向ふ面乃ち撞固材に接する面は比較的有效ならざるを以て之を除け

ば  $\frac{A \cdot \pi d^2}{4} + \frac{\pi d^2}{4}$  更に普通  $d$  は  $l$  の十分一内外に過ぎざるを以て此中第二項を省略するも百分の二。五内外の差を出てす實用上大なる不都合なきを以て計算の便宜の爲に爆薬装填の周囲面積は  $A = \pi d l$  と見做し爆發に際し生ずる瓦斯の壓力を藥室の單位面積に付  $P$  にて示せば藥室に生ずる全壓力は  $P = ka = \pi d l P \dots \dots \dots (II)$



く又「L. J.」(Dav) 氏が説く如く壓力が岩石内に傳はる状態は最初の壓力の方向換言すれば藥室の形状に由て異なることも事實なるを以て此の場合に於て  $P$  なる全壓力が爆薬の中心  $O$  點に集中せるものと假定するは妥當ならず従て爆薬岩量が圓錐體なりとなし難き嫌は免れざれども導坑掘鑿の場合の如く殆んど單一の開壁を有し且つ孔の方面が大體に於て開壁に向ひ傾斜少き場合に對しては實際に於て甚しき差を見出さざる

前 録

茲に考慮を

要することは

實際爆薬力

なる長を燃燒

するには假令

極めて瞬時な

るにもせよ爆

薬の爆速に従

ひ相當の時間

を要するを以

て爆薬の全量

が全く同時に

爆發せるもの

とは見做し難

く

と

は

見

做

し

難

く

と

は

が故に茲には簡單に  $P$  なる全壓力が  $O$  點に發生せるものと假定す  $O$  點を中心とし  $A$  (或は  $B$ ) なる球面を有する小球を想像し之を藥室と見做し其半径を  $r$  とせば(第三圖)  $P = pa = 4\pi r^2 p$  故に  $p = \frac{P}{4\pi r^2}$

次に  $O$  點より  $R_1$  を距る點に於ける壓力(震動)の強度を  $i$  とせば壓力の強度は  $O$  點よりの距離の二乗に反比例すべきを以て

$$i = \frac{4\pi r^2 p}{4\pi R_1^2} = \frac{P}{4\pi R_1^2}$$

然らば破壊球面(半径  $R$ ) に於ける壓力の強度は  $i = \frac{P}{4\pi R^2}$  破壊強  $s$  に等しかるべきを以て  $s = \frac{P}{4\pi R^2}$  故に  $R^2 = \frac{P}{4\pi s}$

$$R^2 = \frac{\pi p d l}{4\pi s} = \frac{p d l}{4s} \dots \dots \dots (III)$$

破壊圓錐體の容積は (I) 式により  $V = \frac{\pi}{3} \omega (R^2 - \omega^2)$  にして此場合には  $V = \frac{\pi}{3} (R^2 - \omega^2) \dots \dots \dots (IV)$

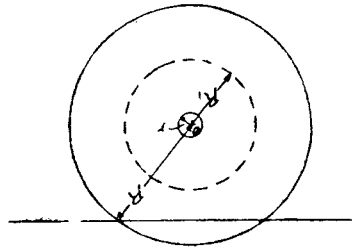
(III) 式に就て見る如く一定の  $d, l, p, s$  に對しては  $R$  は定數なるを以て  $V$  の最大値を與ふる  $\omega$  の値を求むるが爲には (IV) 式に就き  $\frac{2V}{2\omega} = 0$  とせば  $\frac{\pi}{3} R^2 - \pi \omega^2 = 0$  故に  $\omega^2 = \frac{R^2}{3} \dots \dots \dots (V)$

(III) 式により  $\omega^2 = \frac{p d l}{12s}$  故に  $\omega = \sqrt{\frac{p d l}{12s}}$

$$R^2 = \omega^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p d l}{12s}} \right) \dots \dots \dots (VI)$$

從て  $R = \omega + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{p d l}{12s}} \right) \dots \dots \dots (VI)$

第三圖



VI式は即ち一定の爆壓力、岩石の強。孔徑に對し孔深( $h$ )と裝藥長( $l$ )との最有効なる關係を示すものなり而して此場合破壊岩量は[V]及[V']式より

$$V_{max} = \frac{\pi}{3} h_i (3h_i^2 - h_i^2)$$

$$= \frac{2\pi}{3} h_i^2 = \frac{2\pi}{3} \left( h - \frac{l}{2} \right)^2 \quad \text{VII}$$

$$= \frac{2\pi}{3} \left( \frac{pd}{12s} \right)^2 \quad \text{VII'}$$

茲に一考を要するは此等の式を實地に應用するに當り $h$ 及 $s$ を如何に定む可かにあり。

$p$ の値は爆藥の種類により異なるは勿論同一の爆藥にても藥室の容積と裝藥量との關係(乃ち孔の斷面積と裝藥の斷面積との差)に由り定まると明かにして大體に於て爆藥の密閉器内に於ける爆壓力の一般法則に従ふべきものなるは疑なきを以て孔徑( $d$ )、裝藥の直徑( $d_1$ )、及裝藥長( $l$ )に對し $h$ を算定し得べきの理なるも實際吾人の遭遇する岩石は罅隙多く其性質撞固の完否。藥室の形狀等により大差を生じ到底爆藥試驗器に於て壓力を知るが如く正確に之を定むること困難なるを以て一般法則を標準とし實際の事情に應じ大體の値を想像するの外なしされど此場合に各種爆藥の絶對的爆力の比及裝藥の斷面積と孔の斷面積との比( $\frac{d^2}{d_1^2}$ )は $p$ を決定する第一要件なりとす。

次に $s$ は岩質の硬軟により異なること勿論なれども亦同種若

くは硬軟の度略同じき岩石にありても緻密の度乃ち罅裂の有無多少により大差あり例へば採石所に於ける岩石の如く緻密なるものにおいて $s$ は大にして吾人が隧道掘鑿に於て通常遭遇するが如き初めより夥多の龜裂を有するものにおいて遙かに小なること明かなり要するに $s$ は岩石破壊抵抗にして緻密にして罅裂なき岩石にありては之より切取りたる試験片の抗強(破碎し初めの抗壓強)に近く又無數の小龜裂を有するものにおいて $s$ は恐らく之と同種の緻密なる岩石より切り取れる試験片の抗剪強に近きものなるべし。

若し又吾人が $p$ の値を的確に知るとを得ば任意の $p$ に對し $h$ と $l$ との適當なる關係をVI式に依り算出し得べしと雖上述の如く $h$ 、 $s$ の値は甚だ想定し難く殊に $s$ が大なれば $p$ は割合に大に又 $s$ が小なれば $s$ 軟質なるか又は罅隙多きが故に $p$ は割合に小となり豫め各別に定むること困難なるを以て實際の應用には此の兩者の比( $\frac{p}{s}$ )の値を知りて他を求むるの方法を案出せざるべからざるが爲には

$$\text{VI) 式を書換ふれば } h = \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{2l}{12} \times \frac{p}{s}} \quad \text{故に } \frac{p}{s} = \frac{3(2h-l)^2}{2l} \quad \text{VIII}$$

實際掘鑿を始めたる後に於て岩質の一樣なる個所を選び同様の裝藥方法の下に一定の $d$ 及 $l$ に對し $h$ を變更し數回試みれば略最大破壊岩量を與ふる $h$ を定むることを得べし從てVIII式より其岩質に對し其裝藥方法( $d$ と $l$ との關係を變せず)に由る使用爆藥の( $\frac{p}{s}$ )の値を知をことを得べし斯くして一度( $\frac{p}{s}$ )の値を知ることを得たる後に於ては任意の $h$ に對し適當なる $l$ の値を算定することを得

$$\text{VI) 式より } l = \frac{d}{6} \times \frac{p}{s} + 2h - \sqrt{\left( \frac{d}{6} \times \frac{p}{s} \right)^2 + 6 \times \frac{p}{s} \times 4h}$$

一定の \$n\$ の値に對し \$h\$ と \$l\$ との適當なる關係は IX 式により容易に算出し得又實用上には \$n\$ の種々の値に對する \$h\$ と \$l\$ との關係を線圖にて示し置くを便なりとす。

$$h = N \pm \frac{1}{2} \left( \frac{2N}{3} + 2l - \sqrt{\left(\frac{2N}{3}\right)^2 + \left(\frac{2N}{6}\right) 4l} \right)$$

$$\frac{2N}{3} = n \pm \frac{1}{2} \left( \frac{2n}{3} + 2l - \sqrt{\left(\frac{n}{3}\right)^2 + 2nl} \right) \dots \dots \dots (IX)$$

以上説くところの \$h\$ と \$l\$ との關係は爆力が裝填中心に集合して發生せるものと假定したるも實際に於て藥室の形狀の及ぼす影響は暫く別とするも尙爆藥がなる長を有するが故に爆壞火口は等質岩石に於ては圓錐形よりは寧ろ楕圓體に近き形狀を成すの理なるも何れにするも其立積に於ては大差なく從て實用上大過なきが如し。

裝藥斷面の直徑を \$d\_1\$。爆藥單位立積の重量を \$g\$ にて示せば裝藥重量は

$$Q = \frac{1}{4} \pi d_1^2 g \times l = \frac{\pi d_1^2 g^2 n}{8} + \frac{\pi d_1^2 g^2 l}{2} - \frac{\pi d_1^2 g^2}{4} \left( \frac{n}{2} \right)^2 + 2nl \dots \dots \dots (IX)$$

又 \$d\_1\$ に對する單位長の裝藥重量を \$q\$ にて示せば

$$Q = g \times l = \frac{gn}{2} + 2gl - \sqrt{\left(\frac{ng}{2}\right)^2 + 2ng^2 l} \dots \dots \dots (IX')$$

以上述べるところに依り孔深と裝藥量との適當なる關係は略知るとを得たり更に最經濟なる孔の深さに就て論せんに坑導掘鑿の如く開壁の上下左右が他の岩壁により遮らるゝときは \$h\$ の最大は自然之が爲に制限せらる即ち導坑面の中央に於て開壁に直角に一孔を設くる場合(第四圖)を考ふるに VII 式より

$$V = \frac{\pi}{3} \left( h - \frac{l}{2} \right) \sqrt{2 \left( h - \frac{l}{2} \right)^2} \text{ なるを以て } a = \sqrt{2} \left( h - \frac{l}{2} \right)$$

故に之より

$$B = 2 \sqrt{2} \left( h - \frac{l}{2} \right)$$

$$l = \frac{B}{2 \sqrt{2}} + \frac{l}{2}$$

例へば \$B=7.0\$ なるときは \$h=2.5 + \frac{l}{2}\$

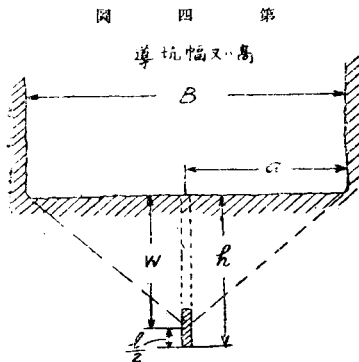
此の場合に例へば \$h\$ に對する \$l\$ の適當なる値が \$\left( \frac{h}{2} \right)\$ なりとせば

$$h = \frac{30}{7} = 2.86 \text{ なるを知る}$$

次に他の壁に遮らるゝるときを考ふる

此場合に於て \$h\$ を増すに従ひ之に相當する \$l\$ を用ふれば \$V\$ は益増加するは明かなるが理論上最も經濟なる \$h\$ の値は如何と云ふに

岩石爆壞の費用は大別すれば(破砕岩片取除の費用は別とし)(一)鑽孔費(二)爆藥の費用(三)裝填及撞固の費用(四)發火の費用(導火線雷管等)にして此内重なるものは(一)(二)なるを以て此二者に就て論ずるに(一)は孔徑と孔深とに關係す乃ち孔の容積に比例す(二)は爆藥量に比例するを以て岩石爆壞の費用は左式にて表はす事を得



$$C = \frac{\pi d^2 h}{4} \times a + \frac{\pi d^2 l}{4} \times b$$

但し

- $d$  = 孔の直径
- $h$  = 孔の深
- $a$  = 装薬の直径
- $l$  = 装薬の長
- $a$  = 鑽孔單位立積の費用
- $b$  = 爆薬 同

$$\frac{d^2}{d^2} = h \text{ により示せば}$$

$$C = \frac{\pi d^2}{4} (ah + kbl) \dots \dots \dots (X)$$

此場合  $h$  と  $l$  が適當なる關係にあれば

$$h = \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{pdl}{12s}}$$

又  $h$  と  $l$  とか適當なる  $V = \frac{2\pi}{3} \left( \frac{pdl}{12s} \right)^{\frac{2}{3}}$  なるを以て單位費用に對する關係にあるとせば

$$C = \frac{\pi d^2}{4} \left[ \frac{al}{2} + a \sqrt{\frac{pdl}{12s}} + kbl \right]$$

### 日本の水力 (工學士森忠藏所論)

水力は國家の新光源にして古來水力利用は尠少なりしが、近年水車及發動機の進歩と送電法の完成等により水力の開発を促進し、從來従らに山間に放擲されし河水は茲に偉大なる價值を示し、其潛勢力は各都市及工業地に現はれ、經濟界の一大勢力を占むるに至れり。

一 利用水力 利用水力とは現時の經濟狀態に於て石炭に依る火力電氣に匹敵し有利に計畫發達し得る程度のものにして即先年逓信省が此の目的により調査せる水力及使用目的により

$$V = \frac{2\pi}{3} \left( \frac{pdl}{12s} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$C = \frac{\pi d^2}{4} \left[ \frac{al}{2} + a \sqrt{\frac{pdl}{12s}} + kbl \right]$$

V/C の値を最大ならしむるの値を求めんが爲には

$$\frac{2(V)}{C} = 0 \text{ として } \frac{4a^2 pd}{3s(a+2lb)^2}$$

此値を(V)式に置けば  $h = \frac{4a^2 pd}{6s(a+2lb)^2} + \sqrt{\frac{pd}{12s} \times \frac{4a^2 pd}{3s(a+2lb)^2}}$

$$= \frac{pd}{3s} \times \frac{a(3a+2lb)}{(a+2lb)^2} = n \times \frac{a(3a+2lb)}{(a+2lb)^2} \dots \dots \dots (XI)$$

$$l = \frac{4a}{3a+2lb} \times h \dots \dots \dots (XII)$$

從つて 此兩式は  $a$  及び  $h$  の一定の値に對し最も經濟なる孔の深及之に對するの適當なる値を與ふるものなり。(完)

(土木學會誌第二卷第三號(八頁))

許可せし許可水力之れなり。而して許可水力中には既に使用し居るものあるは勿論なり。然れども此の水力たるは決定的にあらざるなり、即一河川中にも利用せんとせば全川に亘り利用し得らるべく亦調査其人によりても利用地點に相違あるべく、或は有利なるも調査に洩れしものあるべく、亦調査水力中にも交通不便のものは其調査を後年に譲りたるものもあるを以てなり。故に時の經濟狀態利用方法に依り取捨選擇せらるべきものとす。