

研 究 ・ 報 文

岩石發破法の構成要素

會 員 安 藤 源 次

ま へ が き

工業爆薬の使用には經濟、能率、安全に主眼點を置き爆薬の威力を充分に仕事の上に發揮させなければならない。それが爲めには現代の地雷發破の單純なものより百歩を進め發破構成要素を吟味すべき資料を與へる必要があらう。その資料たるや各要素の大小又は正、不正を測定する標尺に外ならない。標尺はまた數式により與へられ、或は推理に依り與へらるゝこともあらう。

自然岩の不規則さと測り知るべからざる爆薬の猛威を巧に制御して發破百般自由自在となるには學理の外に幾多の試練と體驗を必要とするであらう。

以下述ぶる所は從來の發破法を總動員し聊かの學理と體驗を基礎に取捨選擇を加へたる外新たな理念に立脚して機構の改變を試みたるものにして今後の研究に俟つべき幾多要項の存するを覺ゆる折柄、諸賢各位の御教導を得ば幸とする所である。

岩石發破法の構成要素として大要次の如きものが挙げられる。

(1) 現代科學の最高學理及技術を或る精度を保たしめ、可及的簡易化し一貫した理論の上に體系附け、指導教材として仕事に役立つものでなければならぬ。

(2) 發破作業の多くは繼續作業なると、その主眼とする所は經濟、能率、安全に在るを以て、從來の地雷發破式の形骸より逸脱し、その數値及算式は各發破構成要素に限界を與へ以て理想的發破計畫に役立つものでなければならぬ。

(3) 火藥學に於ける爆薬の威力試験は物料に適材なく、その實測値を求むること困難にして理論的に特徴數を誘導するか又は各種爆薬の比較値を以て威力の大小を示す現狀に鑑み發破法に於ても裝藥量の計算其他總て卑近な理論と比較則を適用することが最も妥當なる方法と思料せられる。

(4) これが爲め發破計畫の頭初に於て簡易な試験發破の施行制度を採用することにする。

(5) 岩石發破法の一の最高目標は最小限の爆薬を使用して最大限の採石量を得るに在る。これは爆薬が爆發により放出するエネルギーを出来る丈仕事としての岩石の破壊と破片の移動に振向けんとするものにして岩石の飛散又は炭坑爆發の未然防止とも合致するものである。

(6) それ故發破計畫の基礎となる裝藥量の計算公式には裝藥量と採石量の關係式を採用する。而して其の企ては以上述べし理由の外に實際作業上に最も簡便と考へられるのである。

(7) 採石量は爆薬の爲した仕事量にして、この仕事は全く靜力學的に考へ、爆破内應力と破岩抵抗が平衡を失ひたる瞬間に岩石の破壊は起るとする。このことは恰も各種爆薬の威力試験に於て鉛壘の擴大容積又は彈道臼砲に於ける臼砲の後退角度を以て比較尺度とする如く、發破の場合は最小抵抗線を考へに入れ種々の裝藥量に對する採石量を以て比較尺度とするのであ

る。それ故こゝで仕事量と云ふは破片の大小、移動岩石の輕重を問はず切取られた爆破孔、(或は漏斗孔)の容積に着眼點をおくのである。

(8) 前項(7)の場合に爆薬が岩石に作用するには所謂仕事効果(推進効果)の外に破壊状況を支配する衝動効果の作用を受くべきもこゝでは之等兩作用が一體として破壊に與つた採石量のみを考へるのである。

(9) 一定量の爆薬に依り採石せらるべき岩石の量は後述する如く適當な條件下に於ては常に一定であり、又岩石一定する場合は種々の装藥量に對する採石量は互に正比例するものである。これを數式で示すと

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

L は装藥量を表はす定數 W は長さのデメンションにして W^3 は容積を示す。 C は比例定數にし適當な條件下では $C=1$ となる。其の數式は、古來装藥量は最小抵抗線の三乗に比例するものとして知られ、又幾多の實驗に依りその正しきを知られてゐる。

(10) 比較せらるべき二發破の比をとる

$$\frac{L_1}{L} = \frac{C_1}{C} \frac{W_1^3}{W^3}$$

この比例式に於て岩石及爆薬を同一とし其の他の條件も適當にとれば $C_1=C$ となり上式は

$$\frac{L_1}{L} = \frac{W_1^3}{W^3}$$

或は

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

$$W_1 = 3\sqrt{\frac{W^3}{L} \cdot L_1}$$

(11) 採石容積の比が一定なる爲めには容積を與へる對應邊が一定割合なる相似形でなければならぬ。

(12) 爆破された岩石空洞が同一形體の相似形を爲すには W 及 W_1 なる二發破孔に於て、爆薬及岩石は同一質なるは勿論、穿孔深・装藥室の形狀及大きさを示す孔徑及装藥長、装藥室の自由面に對する位置、自由面の廣さ、込物長は何れも相似則に適合し且つ自由面の形狀及數、込物の種類、自由面に對する穿孔方向從つて爆破方向は同一なるを要する。(質に關するものは同一、形狀大さは相似則に依ることになる)。

(13) 斯く比較せらるべき二發破孔に就ては幾多の條件を必要とするを以て次に之等條件を満足する爲めの諸要素間の關係式を求めらる。

(14) 普通の岩石爆破に於ては装藥室の一部を頂とする斷頭圓錐體を生ずる。此の場合最も簡單なものとして圓錐體の底面が單一自由面 AB に平行なる場合をとる。而して装藥量、爆薬の種類、爆壓面に關係する孔徑 d 又は藥室より自由面迄の距離 W 等を適當加減して斷頭圓錐體の破壊が漸く起りたる限度を考へる。然る時は爆壓面の全壓 P と破壊斷面 A 單位破壊斷面に誘發せらるゝ内應力の平均値を p とすれば次の關係式が得られる。

$$P = p \cdot A$$

而して爆薬同一なれば藥室の形狀、大きさに拘らずこれが填實された場合の爆發瓦斯の壁面に及ぼす壓力は一定にして爆破方向の全壓は藥室の投射面に壓力を乗じたものに等しく、他方石材その他脆き材料が引張又は壓縮力を受くる時は力の方向と $45^\circ + \alpha$ なる方向に最大應内力

が誘發され且つ材料に依り α なる角度も一定値故大小二以上の發破孔に付ては條件を適當にとれば相似形體の空洞が得られる。二以上の發破孔に付爆壓面に働く全壓 P 及斷頭圓錐體の表面積等を考へ次の關係式が得られる。

$$\frac{P}{S \cdot W} = \frac{P_1}{S_1 W_1} = \frac{P_2}{S_2 W_2} = \dots = K$$

或は

$$P = S \cdot W \cdot K$$

茲に S は爆壓面の周邊にて圖に於ては孔徑 d なる圓周であり W は爆壓面より自由面までの距離にて最小抵抗線に該當する。(拙著岩石發破法第2項参照)

(15) $P = p \cdot A$ なる一般公式より上式は次の如く書換へられる。

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

此の公式は發破法の根柢をなす最も重要なものにして世上喧傳せらるゝハウザー公式も亦裝藥量は採石量に比例すると稱する考へ方も此の公式誘導の基礎觀念及此の公式に立脚した發破計畫に非ざれば成立し得ないのである。試みに此の公式を實際の發破作業に適用すれば次の如き重要事項の決定に役立つのである。

a. (1) 式を書き換へ

$$W = \frac{A}{S} \cdot \frac{1}{K_1}$$

最小抵抗線 W は爆壓面 A 及その周邊に關係する故圖1の場合孔徑 d を變更せざる限り藥室に填實された爆藥の瓦斯壓は一定なる故、如何に裝藥長を延ばし裝藥量を増大するとも全壓 P は大とならず従つて大なる抵抗 W に打勝つことが出来ない。これ裝藥量と採石量は比例しなくなることを示してゐる。依つて穿孔發破に於ては必ず孔徑裝藥長及穿孔角度等を考慮に入れなければならない。

b. また如何に爆壓面 A を増大する目的にて裝藥長を延伸しても W に逆比例する周邊 S が増大したのでは大なる W に打勝つことは出来ない。裝藥長にも一定孔徑に就ては夫々に限度があり、それを超えては單に岩石を細碎するか又は破岩の飛散を招く結果となる。

c. 爆壓面 A を大とするには圖2に示す如く扁平藥室が有利となり、孔徑大なる心状發破孔の代り數孔の小孔徑のものを用ゆればその爆壓面に對して著しく爆藥の節約となる。

d. 同一孔徑の發破孔にても自由面に平行なる時は最も有利にして之れと傾斜する發破孔は角度の大なる程不利となることが知られる。

e. 比較せらるべき二發破孔の一般公式として

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

$$A_1 = S_1 W_1 K_1'$$

より次の比例式が得られる。

$$\frac{A}{A_1} = \frac{S \cdot W \cdot K_1}{S_1 W_1 K_1'}$$

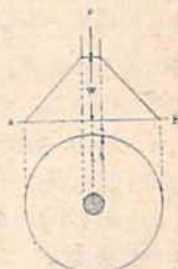


圖1 斷頭直圓錐體

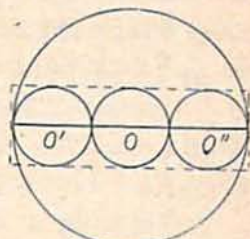


圖2 扁平藥室

此の式にて若し $K_1 = K_1'$ なる條件が満足されるなれば簡単な試験發破に依り容易に發破計畫は樹つのである。而して $K_1 = K_1'$ なる爲めには第 10 項に述べし如く質に関するものは皆同一、形狀、大きさに関するものは凡て相似則に適合する如く選定する外二發破孔の最小抵抗線たる W 及 W_1 を近接して取る程誤差は少なく $W = W_1$ なる極限に達し完全に $K_1 = K_1'$ となるのである。(抵抗は可成近似に採れ)。

f. 第 10 項以下の觀念からも $L = C \cdot W^3$ なる公式即ち装藥量は採石量に比例し又は装藥量は最小抵抗線の三乗に比例する意味の公式が容易に誘導されるのである。

g. $P = S \cdot W \cdot K$; $A = S \cdot W \cdot K_1$ 及 $L = C \cdot W^3$ は何れも装藥量と採石量及最小抵抗線とを與ふる關係式にして、爆壓面の形狀及斷頭圓錐體の形狀如何に拘はらず相似則に適合する或る條件下に於ては一般に成立するものである。

又自由の數により同一装藥量に付採石量は著しく相違するが此の場合にも適用される。

h. これ等諸公式よりは尙多くの要なる算式を誘導し得る外、その正しきことは九州鑛山學會誌第 11 卷第 12 號其の他に發表した、石膏及セメントブロックを用ひ、落錐試験器を利用したクレーター試験及同一材料を鹽刺爆藥を使用した爆破實驗に於ても可成の成績を得た外實地岩石爆破に於てもその正しきことを證明し得たのである。

(16) 以上の諸論を綜合すると發破計畫の最初に行ふ試験發破の參考資料として與へらるゝ表示方法としては各種岩石の強度別に穿孔徑、装藥長、穿孔角度別の最小抵抗線を與へることが最も合理的である。但し爆藥の種類を併記する。

(17) 相似則に依る發破法の特長は不規則極りなき自然岩に對し各要素の絶對値の適用困難なものを、現實に即して破壊現象を把握して計畫基礎とする點に確實性あり又現象界に於て數値の不明なる因子及複雑なる部面に付ては兩者の條件を近接せしめて或は數學的に消去し得る。又諸種の計算式も穿孔徑を單位に取れば簡単に處理し得られる。

(18) 比較せらるべき二發破孔の相似則の適用に關し爆發により生ずる爆藥エネルギーの發破時に於ける配分を次の如く考へる。即ち藥室内に填實された爆藥は瞬時にして瓦斯化し、高温と高壓瓦斯を發生して、先づ藥室の膨脹及壁面の吸熱によりエネルギーを消費し、次で岩石破壊を母岩より押出す爲めに有用な仕事をなし、同時に瓦斯の逸出、振動、衝動波、音響等四圍の岩石又は空氣相にエネルギーが傳はりて浪費せられる。その場合仕事及浪費せらるゝエネルギーの配分は、二發破孔に付夫々同一割合と考へる。この假定の工業的價值としては装藥量は採石量に比例すると云ふ以外に破壊岩石の飛散距離を制限して保安上の目的に副ふ計畫即ち破片の質量とそれの享受した運動のエネルギー及飛散距離の關係、また發破の荷を或る程度軽くして振動を制限し、又衝動波や音響も常に或る程度に制限するに都合よい。殊に瓦斯、炭塵多き炭坑内にては全エネルギーを破壊と移動の有效な仕事に振向け、極力危険な餘剩エネルギーの放出を阻止する上にも要用である。

(19) 以上の考察より次の如き最高度の發破計畫に要する限界數値を與ふる算式が誘導される。

a. 孔徑 d と最小抵抗線 W

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

b. 平行孔の W と傾斜孔の W_1 の關係式

$$\frac{W}{W_1} = \frac{12 + \operatorname{cosec} b}{13} \quad \text{但し } (m=12d)$$

c. 装薬長 m の限界は $A = S \cdot W \cdot K_1$ と $L = C \cdot W^3$ 兩式より $m = 8d \sim 12d$

d. 心抜孔數 G は

$$G = \frac{12 + \operatorname{cosec} b}{13} \times p \quad (\text{但し } m=12d)$$

茲に p は心抜孔と平行孔の最小抵抗線の比, b は最小抵抗線と傾斜孔の角度

e. 弱装薬にて孔尻の残りし場合に之れを標準装薬となすか, 又は装薬量を其の儘とし最小抵抗線の長さを求むる實驗式として $\frac{W}{W_1} = \sqrt{n^2 + 1} - 0.41$

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

茲に W_1 及 L は標準装薬 W 及 L_1 は弱装薬の最小抵抗線と装薬量を示す.

f. 平行孔を二以上近接して設け W を増大する公式

$$q = \frac{NS}{2\{(m + Nd) + N - 1\}K}$$

茲に N は孔數, S は周邊, m は装薬長, d は孔徑, K は發破孔間の距離, q は組合せ發破と單一發破の最小抵抗線の比.

g. 其の他.

(昭和 16 年 9 月 20 日稿)