研究・報文

試驗發破と發破計畫

會員 安藤源次

目次

Ⅰ ダンブラン式の再檢討
Ⅱ ダンブラン式と一般公式
Ⅲ ダンブラン式の適用限界
Ⅳ 試驗發破例
Ⅴ 岩石係數と最小抵抗線

Ⅰ ダンブラン式の再檢討

Dambrun の計算公式は 1873 年佛の M. Dambrun の研究に係はるもので，それは古來裝藥量の計算公式として知られてゐる

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

なる實驗式より出發し，總ての發破の種類に適用せらるるものとして發表されたものである．その基本原理はハウザー公式に於て述べたる如く漏斗孔が爆源を頂點として 90° に開いた時を標準發破の裝藥量及最小抵抗線と考へそれより角度の小なる時は弱裝，大なる時は過裝發破とするのである．圖 1 に於て L_1B なる破壞半徑は最小抵抗線 W_1 と漏斗半徑 r は等しくして標準發破，L_1B' なる破壞半徑 E_1 は夫々 $\frac{r_1}{W_1}\leqq 1$ にして弱裝又は過裝發破を表示すると考へる．而して標準發破の各因子を L_1, W_1, r, R とし弱裝（過裝）發破のそれを L, W, r_1, R_1, とする．

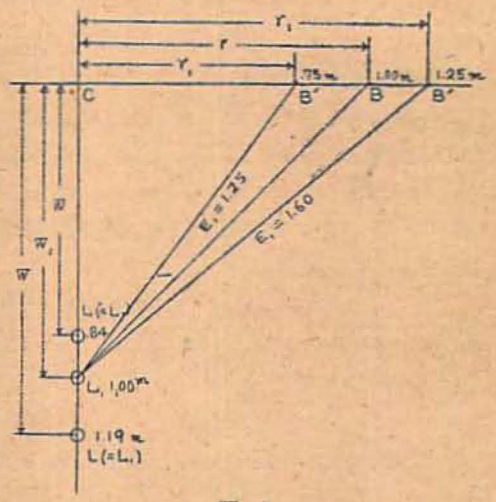


圖 1

然るときは幾何學的に $E_1^2=W_1^2+r_1^2$

漏斗指數 $n=\frac{r_1}{W_1}$ $r_1=nW_1$ 故 上式は

$$E_1^2=W_1^2+n^2W_1^2=W_1^2(n^2+1)$$

$$\therefore\ E_1=W_1\sqrt{n^2+1} \quad\cdots\cdots(1)$$

前後 28 回の實驗により Dambrun は破壞半徑 E_1 に對し次の實驗値を與へた．

$$E_1=W+0.41\,W_1 \quad\cdots\cdots(2)$$

(1) と (2) を等しとおき

$$W\sqrt{n^2+1}=W+0.41\,W_1$$

$$\frac{W}{W_1}=\sqrt{n^2+1}-0.41 \quad\cdots\cdots(3)$$

茲に W_1 は弱裝（過裝）發破の最小抵抗線，n は $n=r_1/W_1$ にして r_1 は弱裝（過裝）發破の漏斗半徑故弱裝（過裝）發破の結果を得たるに對し，裝藥量をその儘とし標準發破の最小抵抗線 W を求めるには漏斗半徑 r_1 を知れば足るのである．又逆に標準發破の最小抵抗線と裝藥量より若し漏斗半徑 r_1 が與へらるれば弱裝（過裝）發破の最小抵抗線が求められる．

計算例

弱裝發破　圖1に於て深さ 1 m の個所に L_1 kg の爆藥を裝し爆破したるに漏斗半徑 $r_1=75$ cm を得たとする．然る時は

$$n=r_1/W_1=75/100=.75$$

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

$$W=100\times\sqrt{(.75)^2+1}-0.41=84$$

$$W=84\text{ cm}$$

裝藥量 L kg をそのまゝとし $W=84$ cm の個所に配すれば標準發破が得られる．

過裝發破　深さ 1 m 即ち $W_1=1$ m の個所に前例の如く爆藥 L_1 kg を裝し爆破したるに漏斗半徑 $r_1=1.25$ m を得たとする．然る時は

$$n=125/100=1.25$$

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

$$W=\sqrt{(1.25)^2+1}-0.41=1.19$$

$$W=1.19\text{ m}$$

裝藥量を過裝發破時のそのまゝを取り $W=1.19$ m の深部に裝すれば標準發破が得られる．

これ等の例に於て，若し $W_1=1$ m で L_1 kg にて漏斗半徑 $r=1$ m なる B 點なれば標準發破なるは勿論である．尙 Dambrun 公式誘導の初めに於ける (2) 式

$$E_1=W+0.41\,W_1$$

の正しき事は圖 1 にて弱裝及過裝發破の破壞半徑 E_1 は夫々 $E_1=1.25$ m 及 $E_1=1.60$ m ありて上式とよく一致する．

$$E_1=1.25=84+100\times0.41$$
$$=1.25\text{ m}$$

$$E_1=1.60=119+100+0.41$$
$$=1.60\text{ m}$$

以上は裝藥量を一定とし最小抵抗線を變更して標準發破を求むる計算式なるが，次に最小抵抗 W を一定に保ち裝藥量 L を變更して標準發破を得る爲めの計算公式を誘導する．

圖 1 に於て求められし標準發破の因子 $L, W, r_1(=W), R_1$ と，始めの標準發破の因子 L_1, W_1, r, R の二發破

$$L=C_1W^3 \qquad L_1=C_2W_1^3$$

に於て若し質及方向に關するものは凡て同一，形狀及大さに關するものは總て相似則に適合するならば

$$C_1=C_2 \quad \text{となり，上式は}$$

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

となる．而して Dambrun 公式は標準裝藥發破間にも亦標準と弱裝（過裝）發破間にも成立する故上式に (3) 式なる

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

を代入する．即ち L をその儘とし W を變更する．

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

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

玆に L は求むる標準裝藥量，L_1 は弱裝（過裝）の裝藥量 $n=\frac{r_2}{W_1}$ にして r_2 は弱裝（過裝）發破の漏斗半徑，W_1 はその最小抵抗線である．上式に依り最小抵抗線 W_1 をそのまゝとする時の標準裝藥量 L が求め得られるのである．

II　ダンブラン公式と一般公式

一般公式

$$L=CW^3$$

にダンブランの實驗式

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

を代入する．玆に $n=r_1/W_1$ で W_1 は弱裝（過裝）發破の最小抵抗線，r_1 はその漏斗半徑，W は標準發破の最小抵抗線である．

$$L=C\cdot(\sqrt{n^2+1}-0.41)^3W_1^3$$

若し，$r_1=W_1$，$n=1$ なる時は上式は

$$L=C\cdot W_1^3$$

なる一般公式となる．

今

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

とおけば

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

ハウザー公式では $f(n)=n^3$ であり，C は更に g 及 e の岩石係數及爆藥係數に分けてある．即ち

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

故に，ダンブラン公式がハウザー公式より更に一般的であるとして，これを採用すれば次の如くなる．

$$L=(\sqrt{n^2+1}-0.41)^3\cdot g\cdot e\cdot C\cdot W^3$$

或は

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

玆に C は比例恒數で發破の各種條件に依り異なるものである．尙，岩石係數 g に付ては工業發破に付ては多少の意見あるも別項に記載することにする．

一般にダンブラン式は次の如く表示し得る

$$L=f(n)\cdot C\cdot W^3 \quad 但し \quad f(n)=(\sqrt{n^2+1}-0.41)^3$$

W 及 W_1 なる二發破に付その比をとる

$$\frac{L}{L_1}=\frac{f(n)\cdot C\cdot W^3}{f_1(n_1)\cdot C_1\cdot W_1^3}$$

比例恒數 $C=C_1$ なる如く二發破の條件を選び，且つ $W=W_1$ とした場合を考へる．尙玆に $f(n)$ 函數は $n=\frac{r}{W}$，$f_1(n_1)$ 函數では $n=\frac{r_1}{W_1}$ でありとする．而して W なる最小抵抗線の發破を標準發破とし弱裝（過裝）發破の漏斗半徑を r' とする時は上式は，

$$\frac{L}{L_1}=\frac{1}{\left(\sqrt{\left(\frac{r'}{W_1}\right)^2+1}-0.41\right)^3}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

これを書換へ

$$L_1=\left(\sqrt{\left(\frac{r'}{W_1}\right)^2+1}-0.41\right)^3 L\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

(2) 式より裝藥量 L，最小抵抗線 W_1 なる發破に於て，漏斗半徑 r' なる弱裝（過裝）發破を得たる時は W_1 なる抵抗線に付ての標準裝藥量 L_1 を求め得られる．

(2) 式よりは又 L, W 及 r なる因子を有する標準發破の結果より r' を任意與へて $n=r'/W_1$ を得．而して弱裝（過裝）發破の裝藥量が求められる．

之れが標準裝藥と弱裝（過裝）發破の關係式である．次に

$$\frac{L}{L_1}=\frac{f(n)\cdot C\cdot W^3}{f_1(n_1)\cdot C_1 W_1^3}$$

に於て $C=C_1$ 條件，$L=L_1$ なる時 W 又は W_1 を變更して標準發破又は弱裝（過裝）發破關係を求むると

$$\frac{W_1^3}{W^3}=\frac{f_1(n_1)}{f(n)}=\frac{\left(\sqrt{\left(\frac{r'}{W_1}\right)^2+1}-0.41\right)^3}{\left(\sqrt{\left(\frac{r}{W}\right)^2+1}-0.41\right)^3}$$

W 抵抗線の方の發破を標準發破とし，弱裝（過裝）發破の漏斗半徑を r' とすれば

$$\frac{W_1}{W}=\sqrt{\left(\frac{r'}{W_1}\right)^2+1}-0.41\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

これを書換へ

$$W_1=W\sqrt{\left(\frac{r'}{W}\right)^2+1}-0.41\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

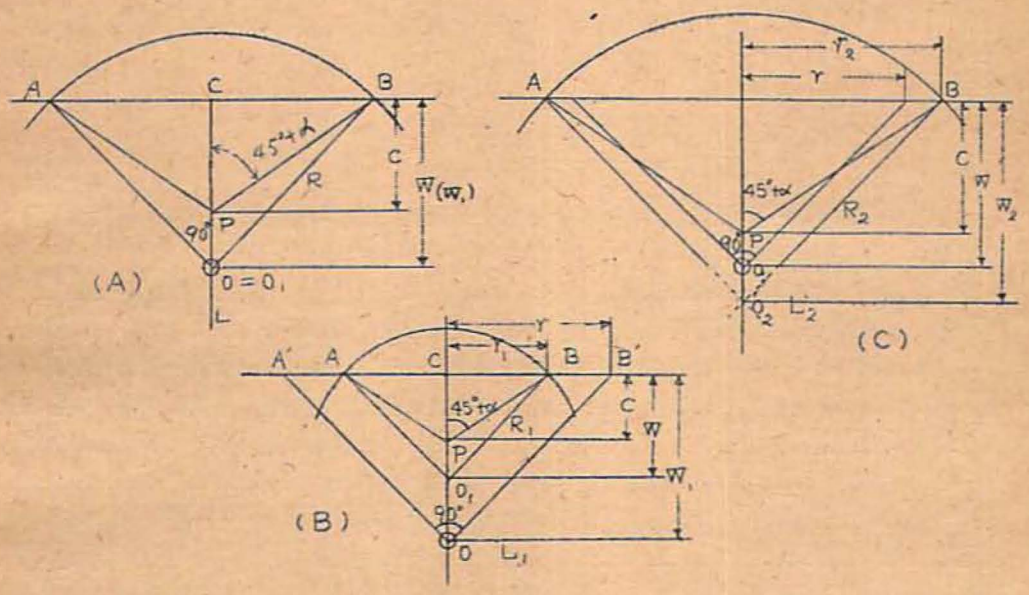
(2) 式より W で $L=L_1$ の裝藥にて漏斗半徑 r' なる弱裝（過裝）發破を得たる時藥量はそのまゝとする時の標準發破の W を求めることが出來る．

(2) 式よりは W_1 で $L=L_1$ の裝藥にて標準發破なる時漏斗半徑 r' を任意與へられると抵抗線 W なる弱裝（過裝）發破が得られる．

III ダンブラン式の適用限界

(1) 相互關係

圖 2 (A), (B) 及 (C) に於て裝藥量を夫々 $L_1<L<L_2$ にとり最小抵抗線を夫々 $L=C\cdot W^3$ 式に應ずる如くとれば，若し L 及 W を標準發破とすれば他の L_1 及 W_1 及 L_2 及 W_2 發破も標準發破となる．



(A) 標準裝藥　(B) 弱裝藥　(C) 過裝藥

圖 2

その時の爆源を O, O_1 及 O_2, 漏斗半徑を r, r_1 及 r_2, 破壞半徑を夫々 R, R_1 及 R_2 とする. 且つ藥室は球狀であり, 各發破孔の條件を同一にとりて比例恒數 C が皆等しくなる如くすれば, 爆發に依り岩石內部に誘發せらるゝ最大應力は爆破方向（均等質岩石に於ては最小抵抗と一致する）と $45°+\alpha$ なる一定値なる故各漏斗孔は相似形を呈し次の關係式が成立する.

$$\frac{L}{L_1}=\frac{W}{W_1}=\frac{r}{r_1}=\frac{R}{R_1}$$

$$\frac{L}{L_2}=\frac{W}{W_2}=\frac{r}{r_2}=\frac{R}{R_2}$$

$$\frac{L_1}{L_2}=\frac{W_1}{W_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{R_1}{R_2}$$

從て標準發破孔間では

$$\left\{\frac{L}{L_1}=\frac{W^3}{W_1^3},\quad \frac{L}{L_2}=\frac{W^3}{W_2^3},\quad \frac{L_1}{L_2}=\frac{W_1^3}{W_2^3}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

L_1, W_1 及 L_2, W_2 が弱裝又は過裝發破なれば

$$\left.\begin{aligned}\frac{L}{L_1}&=\frac{1}{\left(\sqrt{\left(\frac{r_1}{W}\right)^2+1-0.41}\right)^3} \quad \text{但し}\quad W_1=W\\ \frac{L}{L_2}&=\frac{1}{\left(\sqrt{\left(\frac{r_2}{W}\right)^2+1-0.41}\right)^3} \quad \text{但し}\quad W_2=W\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{W}{W_1}&=\frac{\sqrt{\left(\frac{r_1}{W}\right)^2+1}-0.41}{1}\quad \text{但し}\quad L=L_1\\ \frac{W}{W_2}&=\frac{\sqrt{\left(\frac{r_2}{W}\right)^2+1}-0.41}{1}\quad \text{但し}\quad L=L_2\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

圖2では爆源を大小の球狀藥室を取りたるが穿孔發破の圓壔形藥室に在りては爆壓面を考へ定常藥長の中心附近と見ればよい.

玆に注意すべきは發破計畫の基礎となる Crater test（クレーター試驗）の重要性は (1) クレーターなる漏斗孔は爆破方向と $45°\times\alpha$ なる一定値を取り相似形をなすことで，その條件として (2) 比較せらるべき各發破の構成要素たる爆藥，岩石，込物の種類は同一質又自由面の形狀及數，自由面に對する穿孔方向，爆破方向は同一尙ほ穿孔深，藥室の形狀及大さを定むる孔徑，裝藥長及藥室の自由面に對する位置，自由面の廣さは相似則に適合することである．即ち (1) なくしては Crater test の重要性も亦 (2) の要件を完備せずには Hauser, Dambrun, Daw 等の一般式より誘導せられた計算式も嚴密には成立し得ないのである．それ故 Dambrun 公式の適用に就ても，上記 (1), (2) 及 (3) の諸式は總て嚴密に成立するかに見ゆるが，其の實標準發破と他の藥量及抵抗線を異にする標準發破間に，また弱裝發破は他の藥量及抵抗線を異にし狀況同一なる弱裝發破間に，同樣に過裝發破は過裝發破間に正確に成立するに止まり，標準發破と弱裝（過裝）發破間ではその構成要素を異にする故 $L=C\cdot W^3$ 系統の公式と共に近似的に正しい程度に過ぎないのである．尙ほまた Dambrun 公式の弱裝と過裝發破間に成立しないことは謂ふまでもない．而して自然岩は不規則なる故同一破壞狀況を見ること困難にして，その爲めに理想的發破の施行には多くの體驗とその作業は平均業績を目標として行はるべきものである．

(2) 裝藥量を一定に保ち最小抵抗線の變化する場合

圖3に於て裝藥量 L は三發破孔共同一，而して最小抵抗線 W なる (A) 圖の時を標準發破とすれば $r=W$, $\angle CLB=45°$, 破壞半徑 R となる.

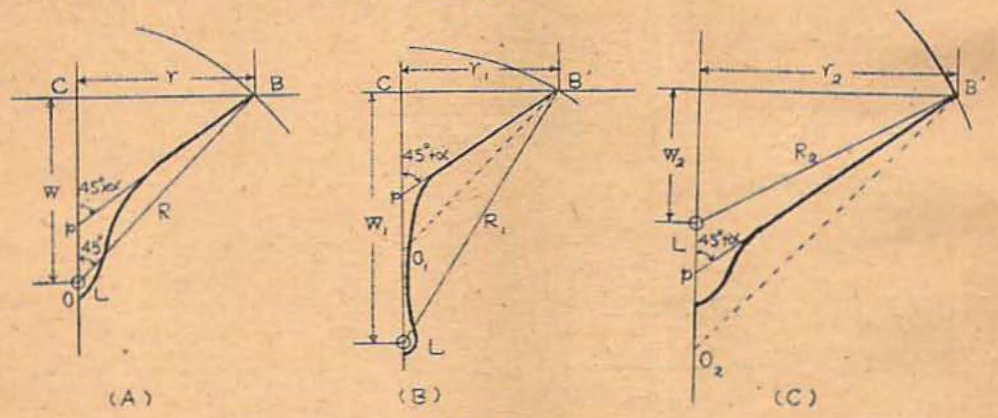


圖 3

(B) 圖は $W_1>W$ にして藥量同一故 $L=C\cdot W^3$ 式より $r_1/W_1=n<1$ にて弱裝發破となり漏斗孔の頂點は爆源より遙か上方に位し破壞半徑は R_1 にして LB' は假想破壞線と見得らる.

(C) 圖は $W_2<W$ にして $r_2>W_2$ 從て $r_2/W_2=n>1$ で過裝發破，而して漏斗孔の頂點 p は爆源の下方に在りと見られ R_2 はその破壞半徑である．

Crater test の結果弱裝又は過裝發破を得たる場合にこれを標準發破に變換するには，次式

$$\frac{W}{W_1}=\sqrt{\left(\frac{r_1}{W_1}\right)^2+1}-0.41$$

の示す如く (B) 圖及 (C) 圖に於て $\frac{r_1}{W_1}$ 及 $\frac{r_2}{W_2}$ を知ることである．而して W_1 及 W_2 は裝塡の際實測により既知數故結局爆破後の漏斗孔より r_1 又は r_2 を測定により直接に或は間接の方法にて求め，上式により計算して最小抵抗線が W に等しく取ればよいと云ふことになる．但しこれは裝藥量 L には變化を與へぬ場合のことである．それ故試驗發破の結果弱裝又は過裝發破を得た場合，藥量をその儘にとるなれば，圖面に於て O_1 又は O_2 點を見出し爆源とすることになる．この O_1 又は O_2 點を實驗結果より見出すには二つの方法がある．

(1) 漏斗孔なる圓錐體の底面の直徑又は爆破方向なる中軸よりの漏斗半徑を測定して求める．

(2) また岩石內部に誘發せらるゝ最大內應力は爆破方向と $45°+\alpha$ 而して α も岩種により一定値故自由面よりの距離を測り又は圓錐體の頂點と殘留孔口とは凡そ一致するそれを測り p 點を知れば，B 點が作圖上又は計算により求められる．

以上により弱裝（過裝）藥發破の漏斗半徑 r が知られる故ダンブラン公式

$$\frac{W}{W_1}=\sqrt{\left(\frac{r_1}{W_1}\right)^2+1}-0.41=\sqrt{n^2+1}-0.41$$

に於て $n=\frac{r_1}{W_1}$，及 W_1 が既知數となる故標準發破の最小抵抗線 W が得られる．

過裝藥の (C) 圖に付ても同樣にして L に相當する r_2/W_2 を求め W が得られる．

(3) 最小抵抗線を一定とし裝藥量を變更して標準發破を得る法

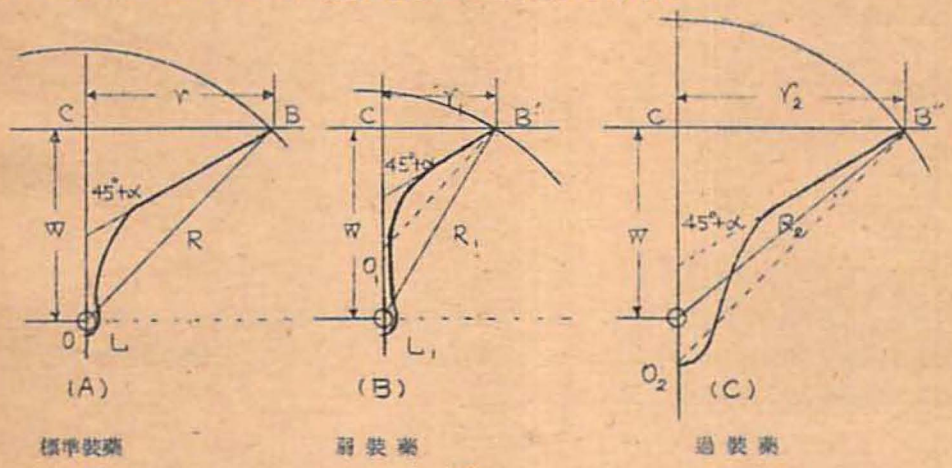


圖 4

弱裝又は過裝發破に於ける漏斗半徑が試驗の結果前述の如くして求め得られるならば W を一定に保ち標準裝藥量の計算は $L=C\cdot W^3$ 式より誘導されたダンブランの公式

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

より容易に求められる．玆に

L：求むる標準裝藥量

L_1：試驗に用ひし藥量

n：漏斗指數で $n=\frac{r}{W}$

r：弱裝（過裝）の漏斗半徑で試驗の結果求められしもの

W：試驗の際取りし最小抵抗線にて既知數

圖4に付て說明を試みるならば (A) は標準發破，(B) は弱裝發破，(C) は過裝發破とすれば W は皆等しく，$L_1<L<L_2$，$r_1<r<r_2$ 從つて $r_1/W<r/W<r_2/W$ となる．Crater test に於て (B) 又は (C) 圖の如き弱裝又は過裝發破を得た時 r_1 又は O_1C を測定し或は r_2 又は O_2C を測定し上記ダンブラン公式より L_1 を增し又は L_2 を減少して標準裝藥量 L を求められるのである．

IV 試驗發破例

以下述ぶる實驗例は昭和 16 年10月29日より翌月20日迄23日間に亘り種々實驗した時の記錄の一部にして場所は磐城炭坑，當所員井上工學士及滿田技手の協同實驗である．旅行途上の粗稿故何れ歸城後再檢討を加へ明解を期する次第である．

例 1　標準發破（昭和16年11月6日）

爆破個所	壓道坑口より約20 m
使用爆藥	山桐 (32 mm × 20 cm × 500 g)
裝藥量	250 g＝1 本
裝藥長(充塡)	17.5 cm
計算藥徑	34 mm
塡塞物	砂交り壤土
穿孔角度	30°（自由面と 60°）
孔深	91 cm
自由面數	單一自由面
孔底より自由面迄	79 cm(＝91 cos 30°)

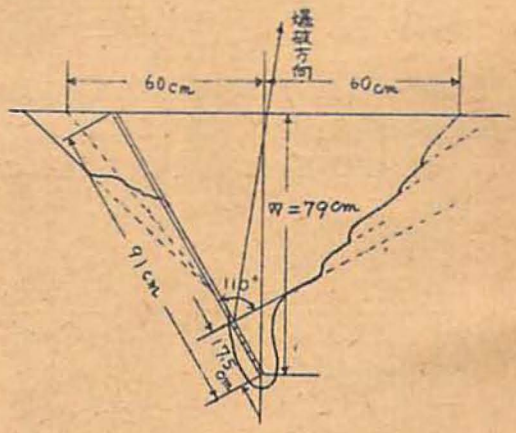


圖 5

6 號電管と導火線にて爆發したるに圖5の如き稍不規則なる破壞起りたるも徑 30 cm 以上の大塊多く，飛散距離も 3 m 內に大部分止まり殘孔 18 cm ありたるも普響其の他漏斗孔內壁は平均して凹凸少なく標準發破と認められた．

こゝに或る程度の殘留孔を生ずるは當然にして

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

なる式に於て明かなる如く最小抵抗線 W は爆破方向に於ける藥室の投射面 A の大小が W を司配する故，孔底部を考ふれば A は極めて小にして孔徑を充分に大とせざる限り孔尻の殘らぬ發破は考へられない．殊に傾斜穿孔に於て然りである．

これの最小抵抗線として藥長中心より自由面迄の距離 $W=70$ cm をとる.

また最小抵抗線と 30° をなす傾斜穿孔を拂ひ發破の自由面と平行なる穿孔の最小抵抗線に換算するのであるが，一般に最小抵抗線と $a°$ 及 $b°$ なる穿孔の最小抵抗線 W 及 W_1，それの孔徑 d 及 d_1 裝藥長が m 及 m_1 なる二發破孔に付ての抵抗比は次式により示さる（拙著岩石發破法 44 頁參照）

$$\frac{W}{W_1}=\frac{dm\sin a}{m\sin a+d}\times\frac{m_1 d\sin b+d_1}{d_1 m_1\sin b}$$

玆に $m=m_1=17.5\div3.4\text{ cm}=5.1\fallingdotseq5$

$$\frac{W}{W_1}=\frac{5d^2\sin a}{5d\sin a+d}\times\frac{5d_1\sin b+d_1}{5d_1^2\sin b}$$

$a°=90°$, $\sin a=1$ とすれば上式は

$$\frac{W}{W_1}=\frac{5d^2}{5d+d}\times\frac{5d_1\sin b+d_1}{5d_1^2\sin b}=\frac{5d^2}{6d}\times\frac{d_1(5\sin b+1)}{5d_1^2\sin b}$$

$$\frac{W}{W_1}=\frac{d}{d_1}\cdot\frac{5+\operatorname{cosec}30°}{6}$$

$d=d_1$ なれば

$$\frac{W}{W_1}=\frac{5+\operatorname{cosec}30°}{6}\qquad W=\frac{7}{6}\times70\fallingdotseq81$$

即ち平行孔の最小抵抗線 $W=81$ cm.

而して最小抵抗線は裝藥長の延長により增大するを得，その最も有利なる限度は裝藥 m を孔徑 d の $m=8d\sim12d$ とせらるゝ故，今 $m=12d$ の發破計畫の下に試驗發破の 250 g=1 本 (32 mm×20 cm) を 500 g の 2 本を裝藥することにする.

$$\frac{L_1}{L}=\frac{W_1^3}{W^3}\quad\text{より}\quad\frac{500}{250}=\frac{W_1^3}{81^3};\quad W_1=1.03\text{ m}$$

また 30° 傾斜の心拔孔に付ては

$$\frac{L_1}{L}=\frac{W_1^3}{W^3}\quad\text{より}\quad\frac{500}{250}=\frac{W_1^3}{70^3};\quad W_1=88\text{ cm}$$

要するに　30° 穿孔の心拔 $\begin{cases}L=250\text{ g}, & W=70\text{ cm}\\ L=500\text{ g}, & W=88\text{ cm}\end{cases}$

平行孔の拂ひ $\begin{cases}L=250\text{ g}, & W=81\text{ cm}\\ L=500\text{ g}, & W=1.03\fallingdotseq1.00\text{ m}\end{cases}$

概算的には W は 70 cm, 80 cm, 90 cm, 1.00 m となつてゐる.

斯くして求めたる $L=500$ g, $W=88$ cm（心拔），$W=1.00$ m（拂ひ），$d=32$ mm, $m=12d=40$ cm, 孔深を 1.5 $W=1.50$ m として與へられたる加脊に當嵌めて坑道掘進の本格的試驗に移し更に狀況を見て理想に近き作業に仕上げるのである.

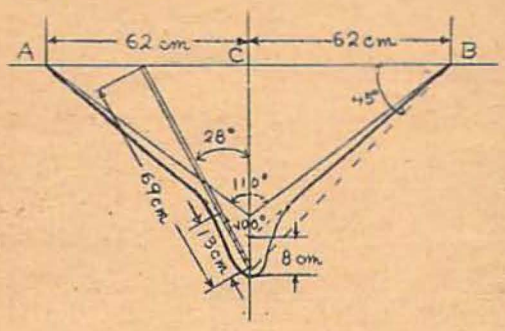
玆に注意すべきは作業現場では，設備又は爆破個所等種々の制限ありて理論的な試驗は甚だ困難なことで，それが爲めに發破因子の彼此適當考慮斟酌して眞を掴むことに心懸くる必要がある.

圖 6 のクレーターは坑內隧道の下盤に掛けたものにて，孔深，裝藥量等圖面に附記しある通りにしてクレーター頂部は孔尻と一致し爆源は藥長の中心に，また Dambrun の標準發破とし

ての要件たる 90° の頂點は孔底近くに存する．即ち

$$W=r,\qquad n=\frac{r}{W}=1$$

と看ることが出來る．



$D=69$ cm　　$m=18$ cm
$L=250$ g　　$d=36$ mm
$b=28°$　　坑内 No. 1 Crater test (16.11.10)

圖 6　標準裝藥

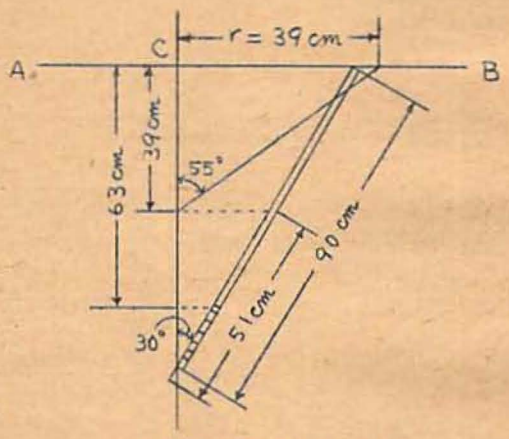


圖 7　弱裝藥（試驗坑道側壁）

例 2　弱裝藥發破

軟質砂岩の坑道壁面にクレター試驗せる所，孔深 91 cm に山桐 250 g を裝塡せる發破が殘孔 51cm の意外なる結果を得たので，念の爲め隣接壁面に同樣な發破を掛けたるに，略々前と同じに 49 cm の殘孔を生じた．圖 7 の如く自由面よりクレーターの頂點距離を 39 cm 即ち $r=39$ cm，而して W_1 を藥長の頭部迄 $W_1=63$ cm に取つた．

$$f(n)\ \text{函數の}\quad n=\frac{r}{W_1}=\frac{39}{63}=0.62$$

裝藥量 L_1 をその儘とし，W を變更して標準發破とする爲めの計算式は次式による．

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

$$\frac{W}{63}=\sqrt{(.62)^2+1}-0.41$$

$$W=0.76\times 63=48.8\fallingdotseq 49\ \text{cm}$$

孔底迄を最小抵抗線にとれば

$$49+14\ \text{cm}=63\ \text{cm}$$

$$\text{孔深}\ D=63\ \sec 30°=63\times 1.15=72\ \text{cm}$$

前掲弱裝藥の抵抗線を藥長の中心を取らず藥頭迄としたは發破計畫では藥長 $m=12d=40$ cm に取る積り故，その時は藥長の中心をとれば恰もこの發破の藥包頭を爆源とおくことになる下心からである．

尙 $n=0.62$ なる漏斗指數の弱裝發破より，W_1 をそのまゝとする標準裝藥量 L を求むるに次の如くして計算した．

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

$$L=\frac{250}{(\sqrt{0.62^2+1}-0.41)^3}=\frac{250}{0.44}=568\,\mathrm{g}$$

即ち 568 g の多量を要する計算である.

Dambrun 公式より求めし計算最小抵抗線及裝藥量を以て近接個所を選び試驗したるに各二回づゝの結果はよく標準發破に近きものを得たのである. これの精細な測定圖及び寫眞あるも整理を要しこゝに省略する.

例 3 過裝發破

穿孔發破の過裝藥は圖 8 の如く爆源と看らるゝ點及び漏斗孔の頂點が孔底近く迄降下した場合で, 裝藥量の割合に採石量は多く得られず, 岩石の飛散其の他エネルギーの損失大なる場合を謂ふのである.

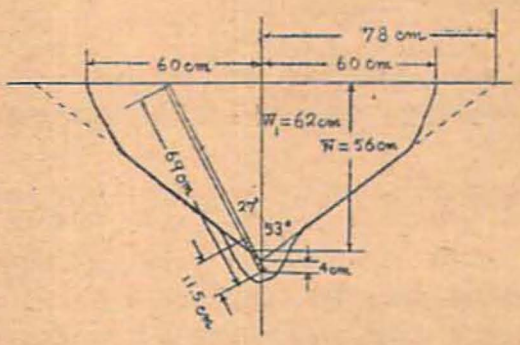
圖 8 はその一例で過裝發破の最小抵抗線を藥長の中點をとり $W_1=56$ cm とし, また漏斗孔の頂點は自由面より 60 cm, 漏斗半徑 $r=78$ cm なる故

(1) 裝藥量をその儘とする標準發破の抵抗線 W は次の如くして求められる

$$n=\frac{r}{W_1}=\frac{78}{56}=1.39$$

$$\frac{W}{W_1}=\sqrt{(1.55)^2+1}-0.41$$

$$W=56\times1.30=73\,\mathrm{cm}$$



$D=69$ cm　　$m=11.5$ cm
$L=200$ g　　$d=45$ mm
$b=29°$
坑内 No. 2 Crater test (16.11.10)

圖 8 過裝藥

(2) また W_1 をその儘とし裝藥量を減少して標準發破を得る爲めの換算は次の如くなる

$$n=\frac{r}{W_1}=\frac{78}{56}=1.39$$

$$\frac{L}{L_1}=\frac{1}{(\sqrt{(1.39)^2+1}-0.41)^3}$$

$$\frac{L}{L_1}=\frac{1}{(1.3)^3}$$

$$L=\frac{200}{22}=91\,\mathrm{g}$$

即ち, 藥室中心を爆源とする發破に於ては $W=56$ cm, $L=91$ g にて標準發破となる. 但し穿孔角度は同一の $b=27°$ 藥室形狀は藥量の減少に準じ相似則に適合せしむるが合理的である.

V 岩石係數と最小抵抗線

發破計畫に先行する試驗發破に於て, 豫め各種岩鑛石別の爆藥の種類, 數量, 穿孔角度, 孔深, 孔徑, 藥長等の發破因子を知ることが頗る便宜が多い. それで從來提示されてる岩石係數の逆數をとりて各岩鑛石別の最小抵抗線の比を求め或る一二種の岩石に付標準發破の因子を求めこの目的に副はんとする計畫の例を以下示したのである.

Hauser 公式 $L=f(n)\cdot e\cdot g\cdot W^3$ に於て

(1) $f(n)$ 函數 $n=\frac{r}{W}=1$ なる標準裝藥をとり

(2) 爆藥係數 e は他の爆藥に對し $e=1$ の場合を取り

(3) 最小抵抗線 $W=1\,\mathrm{m}$ に取り $W^3=1\,\mathrm{m}^3$ とする

然る時は上式は $L=g$ となり岩石係數は裝藥量に等しくなる．即ち各種岩石 $1\,\mathrm{m}^3$ 當り裝藥量はラールの調査に依れば，次表掲載の數字を示す．

此の表示は球狀藥室には便利であるが，穿孔發破の圓壔藥室には不便が多い．例へば普通花崗岩にては $g=2.6$ にて W を $1\,\mathrm{m}$ にとれば球狀なれば支障なきも 32 mm 孔徑なれば裝藥長はダイナマイトにて $0.18\times\frac{2600}{250}=1.87\,\mathrm{m}$ となり，穿孔徑，裝藥長の處理に困難を感ずる．或は $W=50\,\mathrm{cm}$ とすれば

$$L=2.6\times0.5^3=326\,\mathrm{g}$$

32 mm ダイナマイト 250 g 1 本＝18 cm とすると $326\div250=1.3$ 本となる．1.3 本では裝藥等手數故 2 本とし W を增大せんとすれば更に計算して

$$500\,\mathrm{g}=2.6\,W^3$$

$$W^3=\frac{0.5}{2.6},\quad W=\sqrt[3]{\frac{0.5}{2.6}}=\sqrt[3]{0.192}=52.5\,\mathrm{cm}$$

即ち漸くにして $L=500\,\mathrm{g}$ $W=52.5$ 孔徑 32 mm を得た．斯く探りを入れるに手數を要する．且つ同一岩石と爆藥とでも，自由面の數により $1\mathrm{m}^3$ 當の採石量が著しく異なる．また圖の如く W_1/W の比を最大限迄取つたか否か，例へば前例の普通花崗岩で 32 mm 孔徑で W_1/W が 1.5 でも 2 でも 2.5 でも完全破壞が起る場合に掘進を

$$52.5\times1.5=79\,\mathrm{cm}$$

$$52.5\times2=1.05\,\mathrm{m}$$

$$52.5\times2.5=1.31\,\mathrm{m}$$

の中，最後のものを取りしや否や，また單一自由面の場合でも穿孔角度に依り採石量を異にするが之れも皆標準發破を掛けたものか，又爆破方向や加脊の大さ及形狀に依つても影響ある等種々の凝念が起るのである．それで發破計畫に直ちに役に立つ概念的の數字を與ふるものとして次の表示方が勝つてゐると思はれる．

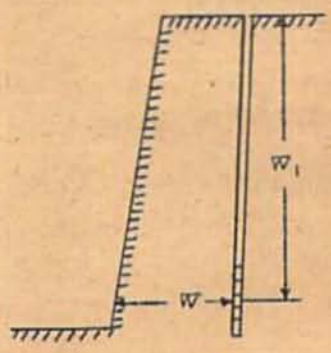


圖 9　二自由面圖

本項最頭に述べし條件の二發破に付比例恒數を入れ

$$L=g\cdot CW^3,\qquad L_1=g_1\cdot C_1W_1^3$$

玆に C 及 C_1 は，藥量と採石量間の比例恒數で發破條件を適當にとれば $C=C_1$ となる．上式は

$$L=g_1W^3,\qquad L_1=g_1W_1^3$$

或は

$$g=\frac{L}{W^3},\qquad g_1=\frac{L_1}{W_1^3}$$

或は

$$\frac{1}{g}=\frac{W^3}{L},\qquad \frac{1}{g_1}=\frac{W_1^3}{L_1}$$

最後の式は岩石係數の逆數で，1 kg 當りの採石量を與ふる．而して發破は同一の技能により一樣な方式により施行されたものと假定すればこの逆數は W に比例する數字を與へる．

それ故，何れか一岩石に付標準發破を掛けて發破因子を與ふれば他の岩石は計算によりてその最小抵抗線及び各因子が得られる．例へば前項に於て述べし軟砂岩が，桐 32 mm ダイナマイト 500 g にて平行孔の拂ひの水平爆破にて最小抵抗線 $W=1.00$ m を得たとするとラールの表は次の如くして表はされ，尙穿孔徑及角度別の桐爆藥の藥量と W が計算より求められる．

岩鑛石別最小抵抗線表

岩種	g kg/m³	$W\left\{\begin{matrix}L=500\,\mathrm{g}\\ d=32\,\mathrm{mm}\end{matrix}\right.$			$W_1\left\{\begin{matrix}L=238\,\mathrm{g}\\ d=25\,\mathrm{mm}\end{matrix}\right.$			$W_2\left\{\begin{matrix}L=122\,\mathrm{g}\\ d=20\,\mathrm{mm}\end{matrix}\right.$		
		90° cm	30° cm	20° cm	90° cm	30° cm	20° cm	90° cm	30° cm	20° cm
1	3.2～3.6	31.3～27.8	—	—	—	—	—	—	—	—
2	2.8	36	33	31	28	26	25	22	21	19
3	2.6	39	56	34	30	28	26	24	22	21
4	2.3	44	41	38	34	32	30	27	25	24
5	2.2	46	43	40	36	33	31	29	27	25
6	1.8	56	52	49	43	40	38	35	32	30
7	1.6	63	59	55	49	46	43	39	36	34
8	1.4	72	67	62	56	52	49	45	42	39
9	1.2	84	78	73	65	61	57	52	49	45
10	1.0	100	93	87	78	73	67	63	57	55
11	0.8	125	116	109	98	91	85	77	72	67
12	0.6	170	155	145	130	121	113	104	97	91
13	0.2	500	—	—	—	—	—	—	—	—

上表中番號と岩種

1 極硬緻の硅岩
2 同上玄武岩，安山岩，輝綠岩，閃綠岩，灰色火成岩
3 硬花崗岩，硅岩，粗面岩
4 普通片麻岩，玄武岩，玢岩，角閃岩
5 同上花崗岩，閃綠岩，輝綠岩
6 硬石灰岩，砂岩
7 硬菱鐵鑛，菱苦土鑛，普通砂岩，軟花崗
8 石灰岩，片麻岩，粗面岩，黃鐵鑛，片板岩
9 大理石，石灰石，白雲岩，菱鐵鑛，黃鐵鑛
10 軟石灰岩，軟砂岩
11 砂片岩
12 粘土片岩，硫酸石灰岩
13 石炭

本表作製に注意すべきは (1) $W=\dfrac{A}{CaS}$ 式にて，A は藥室の爆破方向への投射面積，S はその周邊にて孔徑を d とし且つ發破條件を司配する係數 Ca を各發破共同一とすると

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

$$W=\frac{nd^2}{2(n+1)d}=\frac{n}{2(n+1)}d \quad 又 \quad W_1=\frac{n}{2(n+1)}d_1$$

故

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

即ち，最小抵抗線は相似形をなす 2 發破に付ては孔徑に比例する．(2) 藥量を藥包單位に換算し W に異動を生じた時は孔徑及藥長 ($n\times$(孔徑)) も變更するを原則とする．(3) 心抜孔の角度變更による場合も發破因子の變更を要する．

本稿は日本學術振興會の援助に依り研究を進めつつある中間報告にして，今回の委員會の席上發表する爲め取急ぎ，實驗の攻究に杜撰の點有るは免れざるを重ねて陳謝する次第である．

昭和 16 年 12 月 6 日