

研究・報文

岩石爆破の實際に就て

會員 安 藤 源 次*

目 次

- | | |
|---|---|
| 1. 最も有利な岩石發破法
A. 緒論
B. 電氣齊發發破實施例
C. 擴底發破實施例
D. 隧道の擴底發破
E. 京城中學校々庭地均し工事 | F. 遂道及坑道發破
2. 發破施行の順序及法則的事項
3. 岩石破壞の法則的事項
A. 脆き材料に於ける破壞法則
B. 岩石破壞の諸法則 |
|---|---|

1. 最も有利な岩石發破法

A. 緒 論

(1) 導 火 線 發 破

現今鮮内各金屬鑛山及土木工事場に於て施行せられてゐる發破の大部分は圖1に示す最も原始的な導火線を使用する發破にして、有利な電氣雷管に依る齊發々破法を採用せざるは誠に遺憾とする處である。次に此の導火線發破と電氣齊發々破及更に有利なる擴底發破の電氣齊發の場合とを比較し、總ての點に於て後者は如何に導火線發破より有利なるかを述べやう。圖1のIは單一自由面の發破平面圖を示し、同IIは2自由面の場合の導火線發破の斷面圖を示してゐる。

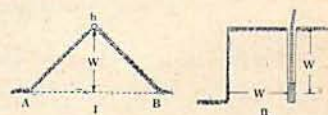


圖 1. 導火線發破法

(2) 電 氣 齊 發 々 破

圖2に示す如く階段を有する上面に h_1, h_2, h_3 の3發破孔を穿ちこれを導火線點火により各個に爆破すれば、破壊されるのは孔口に於て凡そ 90° の角度をなす點線内の部分に止まるも、若しこの3發破孔が電氣齊發に依る時は、これ以外に影線を施せる部分も同時に爆破される故、導火線發破に比し次の如き有利な點を挙げ得る。

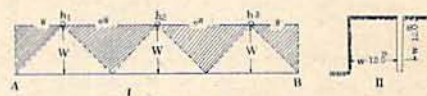


圖 2. 電氣發破法

發 破 孔 數	1/2
裝 藥 量	1/2
採 石 量	2 倍
掘 進 速 度	2 倍

* 朝鮮總督府技師

道路の開鑿及地均し工事の岩石切取りには階段掘りとなし電氣齊發に依る時は切取地盤まで完全に破壊され、導火線發破の如く凹凸を生ぜずして作業の經濟及進捗の上に著しく有利となる。

(3) 擴底發破

齊發電氣發破の應用として最も有利な發破方法は擴底發破である。大幅の岩石を爆破するには發破孔の孔徑を大とし藥室容積を増大しなければ爆破されるものではなく、假令孔口まで裝藥を増してもそれは不可能である。圖3の II の h 孔は孔徑 30 mm, 孔深 2.30 m 乃至 2.50 m の孔底に 25 mm 徑の樓印 1 號ダイナマイト 1 本を新聞紙若干を込物として爆發せしめ藥室部を徳利型に擴大した圖を示してある。これを圖3Iの如く h_1, h_2, h_3 及 h_4 と爆破方向の岩壁から 2.2 m 孔間の距離も同じく 2.2 m にとり、一擴底發破孔の裝藥量は最小抵抗線の實測値に依り 1.680 kg 乃至 2.500 kg を裝填し、充分粘土及砂にて填塞を施して、電氣雷管を用ひて齊發したのである。岩石は目の多い花崗岩の風化した軟岩であるが孔口の部が約 50 cm も下方に崩壊し、 $A h_1 h_4 B$ の部分が完全に崩壊された。これを普通の擴底を施さぬ 30 mm (八分) 孔徑で齊發するとすれば II 圖の如く二段に 4 回爆破を繰返す結果となり、孔深 1.1 m の發破孔が總計 32 孔を要する。此の場合の發破孔の配置は爆破方向の岩壁より 1.1 m, 發破孔間の距離を同じく 1.1 m に取る。

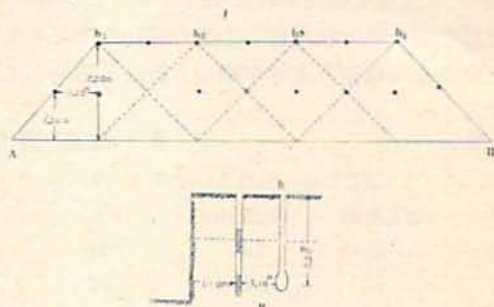


圖3. 擴底電氣發破法

次にこの兩發破を比較して見ると、

	普通電氣齊發々破	擴底電氣齊發々破
發破孔數	32 孔	4 孔
孔深總長	35.2 本	8.8 m
裝藥量	11.20 kg (350 g × 32 孔)	6.720 kg (1.680 g × 4 孔)
掘進速度	1	4 倍以上
採石量	兩者同一	

以上の如く擴底發破に在りては發破孔の穿孔長が僅か 1/4 で足り、裝藥量も凡そ半減し、仕事の仕上りも運搬に馬力をかければ 4 ヶ月を要するものが 1 ヶ月で仕上る計算となり、作業の經濟及能率の上に尠なからぬ懸隔が生じ、如何に擴底發破の有利なるかは一見明瞭であらう。

週つて現今普通行はれて居る導火線發破と此の擴底發破とを比較すれば次に示す如く格段の開きを生ずるのである。

	導火線發破	擴底發破
孔數	64 孔	4 孔
孔深總長	70.4 m	8.8 m
裝藥量	22.400 kg	6.720 kg
掘進速度	1	8 倍以上
採石量	兩者同一	

即ち發破孔數の比較に於て一方は 2 倍の深さのものでも僅か 4 孔で足るものが、64 孔も次

ぎ次ぎと穿つことは非常な手數と時間を要する。孔深總長が導火線發破では正に 8 倍長となり、装藥量は 3.3 倍強、掘鑿速度も運搬に全力を挙げると 8 倍のスピード・アップが可能との計算結果を示す。

上記擴底發破は本年 5 月全州神社造營工事場で施行された作業記録に準據した假想的計算例であるが、岩壁の高さが更に高ければ最小抵抗線及發破孔間の距離を更に延長し 3m 迄は充分に擴底發破に依り最も手頃に施行し得る。表土のある風化軟岩の穿孔には長さ 12 尺の 8 角鋼の 8 分鑿を使用すれば手搦によりて容易に 3m 迄の孔深は得られる。斯くすれば普通の 8 分鑿の導火線發破に比して遙に有利なる効果を挙げ得るのである。

次に全州神社及京城中學校に於ける地均し工事の發破事例の詳細を掲げ參考に供することとする。

B. 電 氣 齊 發 々 破 實 例

施行日時	昭和 14 年 5 月 19 日		場所	全州神社造營地均し工事場		
穿孔番號	孔深 (m)	W (m)	W ²	計算量 (本)	試験量 (本)	
1	0.93	0.86	0.636	2.2	2.0	
2	1.05	0.85	0.614	2.1	2.0	
3	1.05	0.77	0.457	1.6	2.0	
4	1.08	0.95	0.857	3.0	3.0	
5	1.23	1.05	1.158	4.05	3.0	
6	1.22	1.00	1.000	3.5	3.5	
7	1.23	1.00	1.000	3.5	3.5	
8	1.05	0.95	0.857	3.0	3.0	

發破孔の位置 圖 4 の I に示す如く、岩壁をなす前面の自由面に平行して凡そ 1m 幅に取れる直線上に垂直穿孔 (8 分鑿) をなし、各發破孔間の距離は軟岩にては最小抵抗線 W と同長、硬岩に在りては W の凡そ 2 倍長に取るのである。

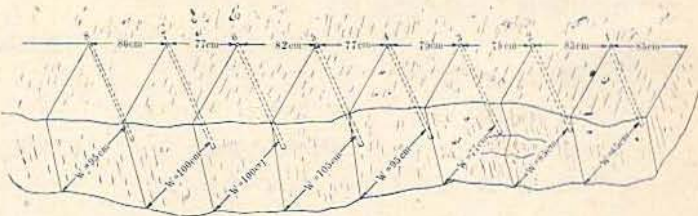


圖 4. I.

孔 深 藥室中心より各自由面に至る距離は同一長にとるを原則とする故、孔深は次式により定める。

$$D = W + \frac{m}{2}, \quad D \text{ 孔深, } W \text{ 最小抵抗線, } m \text{ 装藥長}$$

然し實際には上方に岩石の飛散するのを防止する爲及採石量を増大する爲上式の計算に依るより深めとする。従つて破壊狀況は前面の方は小破片となり上面は大塊となる差を生ずる。尚ほ孔深は切取地盤より孔尻の殘留を見越し 5~7cm 深くとる。

發破孔間の距離 本試験發破は 2 列を齊發々破をなしたるもの故、前列に該當する本設計に於ては、後列の發破を抵抗少くし有利に導く爲、本來ならば發破孔間の距離を W と同長とすべきを 20cm 内外短縮したのである。然る時は各孔の破壊半径の交錯部大となり孔間の岩石は完全に破壊されるのみならず、破片は著しく前方に押出される。

装藥量及装藥長 装藥長は孔径の 8 倍乃 12 至倍を最も適當範圍と見られ且つ從來の經驗よ

り此の程度の軟岩にては孔径 30 mm 最小抵抗線 1 m に對し 10 cm 薬包 75 g もの、黒印カーリット 3.5 本=263 g を適當と認めるので、各發破孔の装薬量は次式の一般公式により前表に掲ぐる如く夫々計算し更に各孔の特殊事情を斟酌して加減してある。

$$L = C \cdot W^3 \quad L \text{ 装薬量}$$

C 岩石と爆薬に關する係數

W 最小抵抗線

上式を用ひ各抵抗線に該當する装薬量を算出するには、標準發破の最小抵抗線 1 m に對し 75 g の黒印カーリット 3.5 本を取れば岩石と爆薬に關する係數とは共通故消去せられ

$$\frac{L}{L_1} = \frac{W^3}{W_1^3}, \quad L = \frac{W^3}{W_1^3} \times L_1, \quad L = \frac{W^3}{1^3} \times 3.5 \text{ 本}$$

上式より前表の各最小抵抗線に相當する装薬量は算出されたものである。

計算量と試験量 圖 4 及前表に於て實際の装薬量が計算量と多少の相違する理由を概説すると、

第 3 番孔が計算量より 0.4 本多く装薬せるは、圖に示す如く上面と前面に對する最小抵抗線は可なり不均齊であり、抵抗大なる上面の爆破を考慮に入れたもので、この場合前面に於ける爆破狀況は多少過装薬たるを免れない。

第 5 番孔の最小抵抗線 $W=1.05$ m は計算量 4.05 本なるを 3 本に減じて試験したるは隣接發破孔たる第 4 番孔及第 6 番孔との距離は本來ならば 1 m に取るべきを各 77 cm 及 82 cm の近距離に取りし爲其の影響を考慮したのである。

試験結果 爆破は電氣雷管により直列に連結し全抵抗を測定して計算抵抗數と合致し且つ連結の完全なるを確め 50 發掛け發破器にて點火したるに拋出されし岩塊の距離 15 m のものあり多少過装薬の傾向ありしが、これと齊發したる後列發破の前驅としての發破としては理想的のものと認められたのである。

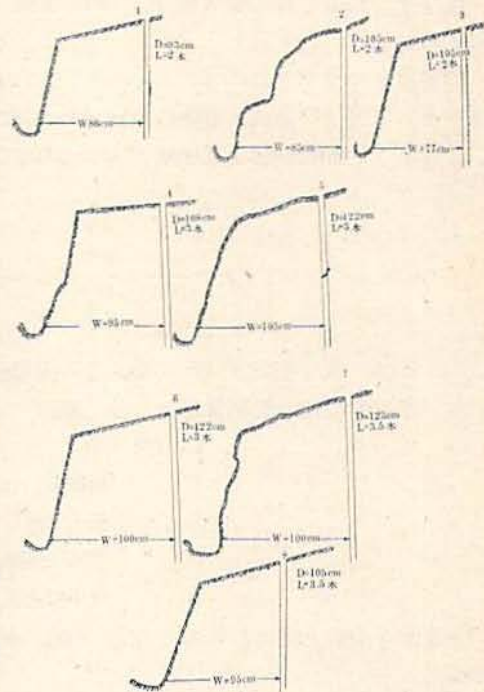


圖 4. II

C. 擴底發破實例

施行日時 昭和 14 年 5 月 22 日 場所 全州神社造營地均し工事場 (圖 5 參照)

穿孔番號	孔深 (m)	最小抵抗線 (m)	擴大孔径 (cm)	装薬量 (kg)
1	2.52	2.45	17	2.500
2	2.29	2.35	13	2.182
3	2.32	2.30	11.5	1.920
4	2.30	2.20	11.5	1.680
5	2.52	2.30	14	1.920
6	2.50	2.20	14	1.680

爆 薬 擴底には山櫻 1 號徑 25 mm, 重量 75 g の 1 本を使用し新聞紙を填塞し電気點火法に依る。

装藥量 ハウザー公式 $L=f(n).CW^3$ を引用し $f(n)$ の値として 0.6 を採用し算定基礎の装藥量として同一の岩質及爆藥の場合 1 m の最小抵抗線に對し黒印カーリット 263 g を計上す。

計算例 1 番孔の最小抵抗線 2.45 m に就ては

$$\frac{L}{L_1} = \frac{f(n)}{f(n')} \times \frac{W^3}{W_1^3}$$

$$L = \frac{f(n)}{f(n')} \times \frac{W^3}{W_1^3} \times L_1 = \frac{0.6}{1} \times \frac{(2.45)^3}{1^3} \times 263$$

$$= 2,500 \text{ kg}$$

$f(n)$ 函數 最小抵抗線 W の長大なる大發破に在りては單なる龜裂崩壊に依り破壊が行はるゝ故、採石量に比し装藥量は次の如く漸減すると謂はれてゐる。

$$L=f(n).CW^3$$

L 装藥量

$f(n)$ 漏斗半徑と最小抵抗線の比 n の函數

C 岩石と爆藥に關する係數

W 最小抵抗線

普通漏斗指數と謂はれてゐる $f(n)$ 函數の値が次表に示す如く W の長大に連れ漸減するのである。

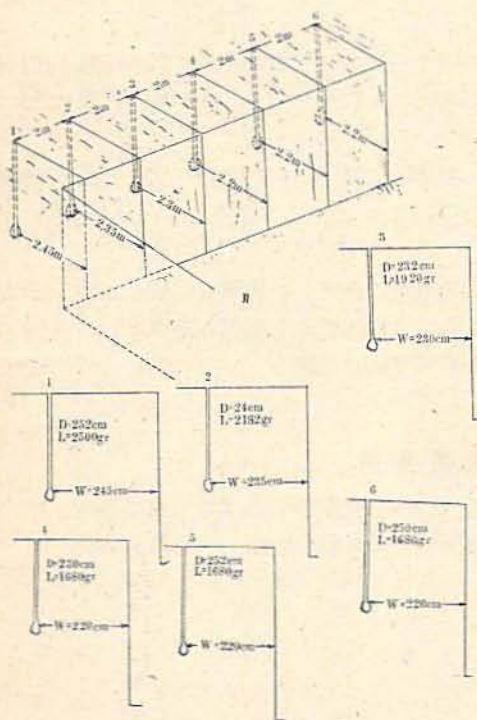


圖 5.

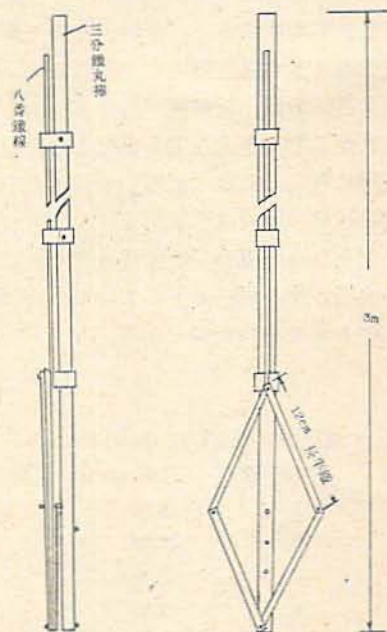


圖 6.

$W(m)$	1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0	30.0	40.0	50.0
$f(n)$	1	0.68	0.53	0.46	0.41	0.39	0.36	0.31	0.30	0.27	0.23	0.24	0.24	0.22	0.21	0.21

結果 爆破は電氣齊發に依りたるが、孔口附近の岩石は約 50 cm 漸落し極めて良好の結果を得たり。

擴底孔測定器 長さ 12 cm の平鐵 4 枚を銼止めして菱形のものを造り 1 端を 3 分丸鐵棒に固定し相應する他端は 8 番鐵線に連結し、2 本の鐵棒と鐵線は鐵板輪に依り平行して摺動する装置とする(圖 6 参照)。用法は丸鐵棒を固定し 8 番鐵線を押下ぐれば菱形は開き擴底藥室の内徑を示すことになる。夫れ故用法としては初め閉ぢた儘擴底發破孔の底部に下し、丸鐵棒を固定して 8 番鐵線を押下げて得る點まで下げて、何種下りしかを測り、次に測定器を閉ぢて引揚げ、前と同一の何所まで 8 番線を押下げて置き、菱形の開きを實測する。丸鐵棒の下端は 3 cm 間隔に孔を穿ち置き菱形の部を取付け替へて各高さに於ける擴底の内徑を測定し得るのである。

D. 隧道の擴底發破

擴底發破の有利な點は鑿孔費の節約と鑿孔時間の短縮及 $1 m^3$ 當りの藥量の節減竝に掘鑿能率の増大に在ることは前述の通りであるが、これを隧道發破に應用したらどうかと云ふ點に着眼し二三實驗したのを御照會することにする。當研究所の隧道は花崗岩の風化した軟岩の部に屬するが俗に云ふ鬼御影で頗るシワイ發破の利かぬ所謂土木屋泣せの強岩で、從來鑿岩機で 30 mm 徑の黒印カーリット(陸上發破試験との關係上)を使用し 1 m 乃至 1.2 m 孔深にて 12 孔乃至 20 孔を穿ち掘鑿してゐるものであるが今回同一加荷を發破孔數を半減して能率と經濟を計つたのである。

圖に示す如く試験發破孔 4 孔の内、心拔發破孔は水平 10° 、垂直 20° に穿孔し、他の左右及上部の拂ひは何れも掘進方向に水平に穿てり。 $W=88$ cm なる心拔發破の裝藥量算定は黒印カーリット $75 g \times 10$ cm $\times 30$ mm を用ひ拂ひ發破の標準裝藥量は $W_1=42$ cm に付 2 本 $=150$ g なる故、 $G=\frac{12+\operatorname{cosec} 20^\circ}{13} \times \frac{88}{42}=2.4$ 孔なる公式より心拔發破に要する孔數 2.4 孔を求め 2.4×2 本 $=5$ 本 $=375$ g を得た。他の拂ひの藥量は藥室の直徑は約 2 倍に擴大される故ハウザー公式の $L=f(n) \cdot CW^2$ に於ける $f(n)=0.5$

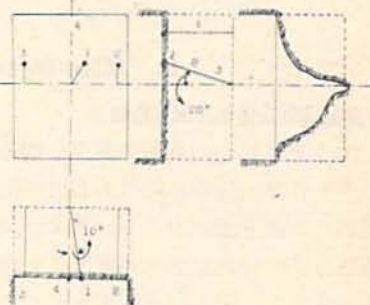


圖 7.

とし即ち計算量の $1/2$ の藥量を取つたのである。爆破の結果 3 番孔を除いては豫想外の良成績を得た。圖は心拔の破壊断面である。3 番孔は鑿岩工の不慣れと抵抗測定に 20 cm 以上の誤差があり且つ目の影響も多少考へられ稍、不結果に終つた。擴大方法はカーリット 1.5 本に藥長の 3 倍長の粘土を填塞したのである。

例 1.

掘上り孔徑	3.8 cm
孔 深	98 cm
孔 の 方 向	左 10° 、下 20°

藥包の次に粘土を込めると、擴大部は太く短きものとなる。横断面は 3.8 cm、孔徑が 85 cm 徑となり石目の方向に楕圓形を呈する。

例 2.

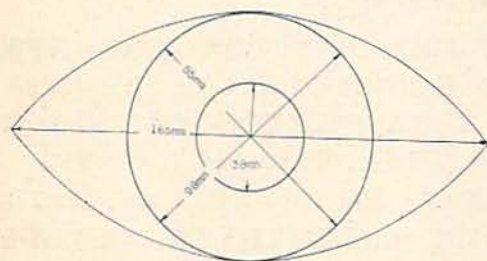
掘上り孔徑……………38 mm
 孔 深……………98 cm
 孔 の 方 向……………左 10° 上 20°

薬包の次に新聞紙を入れ緩衝發破とすれば此の部も擴大され薬室は 1 の場合より長く擴大され、孔口より 81 cm 以下が實際に擴大された。

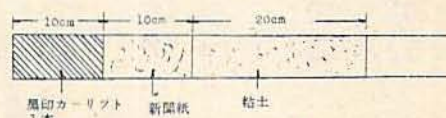
擴大薬室の横断面は 7 cm 直径の圓形となり、外に石目の方向に稍橢圓形を呈してゐる。込物の新聞紙及粘土は全部爆發の際吹出され孔底部には破碎岩石屑が緑粉の如く殘存する。



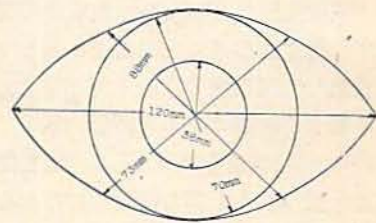
例 1.



例 1.



例 2.



例 2.

E. 京城中學校々庭地均し工事 (昭和 14 年 7 月 31 日)

電氣齊發及擴底發破實施例

本工事は學生の夏季休暇中一週間勤務奉仕として裏庭山地帯の地均し工事に取掛りしものなるが、作業の後半に於て岩石層の出現に遭ひ到底鶴嘴にては採石不能となりたるを以て、岩石爆破の依頼を受けたものなるが、期間は可成奉仕期間内に完了したとの希望ありしを以て、爆破作業の穿孔は疎々測量もせず穿孔の位置を決定して學生に搗鑿にて手當り次第穿孔せめたものである。従て穿孔配置も必しも合理的とは申されない。

穿孔の配置 1. 岩石層は目に立つ程の節理等なき岩塊を形成し傾斜は圖 7 に示す如く 15° と 4° 、従て發破孔の孔深は 1m~2.77m の間に在る。

2. 市街地内建造物が接近する所では最小抵抗線よりも孔深を可なり深くし上方に岩石の飛散せざる如くする。

3. 爆破の目的は地盤切取りの外破碎岩を敷均し畑とするに在る故出来る丈粉碎するを要し、この爲に發破孔間の距離を最小抵抗線より小となして互に近接せしめた。又所々に補助孔を設けてある。

岩 質 鬼御影の風化したもので、穿孔は軟岩とは謂ひシワク硬岩よりも著しく進まぬのみならず、發破も見掛けによらず利かぬこと夥しきものがあつた。

爆破方向 普通土木方面では山の高い方に向ひ掘鑿するがこれは最も發破の利かぬ逆目發破である。本工事は石目に平行して掛けたのである。

側方の切取面に位置する發破は剪斷破壊を主にして然も自由面狹小なる故中間孔より装藥量の割合を増大するか又は隣接孔の距離を接近せしむべきである。

第二回發破

第一回の發破は再爆破を要する程度の不成績ならざりしも弱装藥なりし故装藥量の基準を前回 $W=1\text{m}$ に對し 3.5 本なりしを 4 本に増量して装藥量を計算し、次の如く装藥したのである。

穿孔番號	D 孔深 (m)	W 抵抗線 (m)	L' 計算藥量 (本)	L 装藥量 (本)	f(n) 數	擴大装藥量 (本 g)	m 装藥長 (cm)
17	2.02	1.56	12.1	12	0.8	1 (75)	35
18	1.83	1.30	8.8	9	—	$\frac{1}{2}$ (37.5)	38
19	1.43	0.85	2.45	3.5	—	$\frac{1}{3}$ (25)	17

17 番孔は最小抵抗線長大なるを以て第 221 頁 $f(n)$ 函数を考慮に入れ且つ自由面の狹小による岩石抵抗を斟酌し $f(n)$ 函数を 0.8 として計算した。19 番孔は側方の自由面の抵抗大なる故 1 本多く装藥したのである。

結 果 前回と同様全面的に弱装藥で只 19 番孔のみ完全に爆破が起つた。之れは 17 番孔の左側方の抵抗絶大なりしと藥室は圖示の通り自由面より 34cm 以上沈下状態にありし爲なるべし。18 番孔は隣接 17 番孔の補強力を受くることなく弱態を呈したものである。然し市街地内の發破は先づ第 1 に飛散物及震動、音響等を避け安全を考慮すべきもの故全部完全に破碎さるゝ過装藥發破よりも弱装藥を本則とすべきであらう。殊に當所の如き軟岩にては振動により岩質著しく脆弱となり鶴嘴にて爆破の處理が容易に行はるゝ如き場合は尚更のことである。

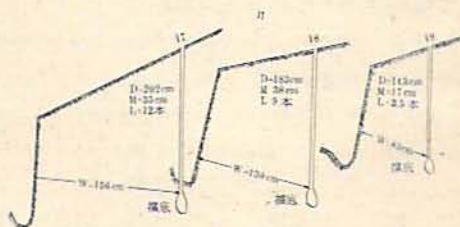
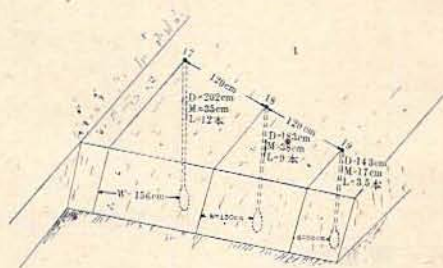


圖 9.

第三回發破

圖 10 の 14 番孔、15 番孔、16 番孔は全部擴大した。その藥量前二者は各 1 本宛後者は半本を以てしたのである。

前二回の試験成績思はしからざるより充分自由面の大きさを廣くし、且つ基準の装藥量は前回 $W=1.00\text{m}$ に付 4 本なりしを、同じく前回の 19 番孔の好成績を標準に取り $W=85\text{cm}$ に付 3.5 本の割合、之れを $W=1.00\text{m}$ に換算すると 5.7 本 ($75\text{g} \times 5.7 = 427.5\text{g}$) となる。

装藥量其の他次表の如し

穿孔番號	D 孔深 (m)	W 抵抗線 (m)	L' 計算藥量 (本)	L 装藥量 (本)	f(n) 數	擴大装藥 量 g	擴大孔径 (mm)	m 装藥長 (cm)
14	2.18	1.55	14.8	16	0.7	75	63	60
15	1.88	1.35	10.0	20	0.7	75	74	60
16	1.65	1.35	11.4	11	0.8	37.5	—	60

結 果 爆破は完全に行はれた。殊に 15 番孔は前表に在る如く計算藥量 10 本なるべきを 20 本即ち 2 倍の装藥をなした爲過装藥となり抛出された破岩は約 30m のものがあつた。

過装薬となつた理由は隣接の 14 番孔は始めの抵抗 1.86 m に装薬量 25 本となるが、装填途中装薬長 60 cm 以上となり、上面に対する抵抗小となり吹上ぐる虞ありし故、計算量 25 本を

16 本迄装填し、代りに岩壁を 30 cm 削り取り W を小とした。爲に 15 番孔の $W=1.55$ が $W=1.35$ に短縮せられたるが既に時遅く装填後の事故、過装薬の儘爆破するに至つたものである。

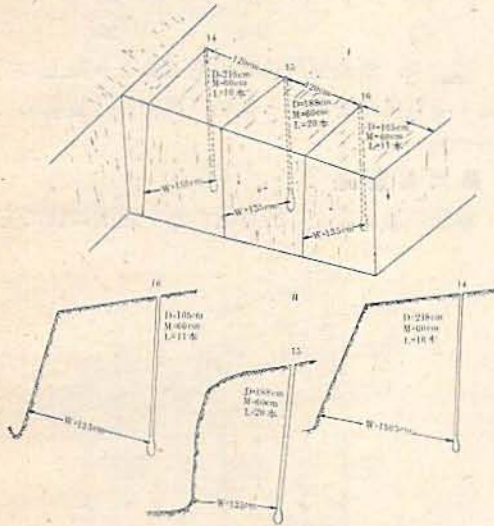


圖 10.

第四回發破

圖 11 に示す如く擴大底孔は 8 番孔, 9 番孔, 10 番孔にして他は適宜補助孔を設けたのである。装薬量の計算は $W=1.00$ m に付 427.5g を基準とした。次表に明かなる如く補助發破孔の装薬量は概して計算量より多きは、數量少くして危険の尠なきと發破孔間の距離の大なること後列の發破を有效ならしむる爲岩石を前方に抛出する事等の爲である。

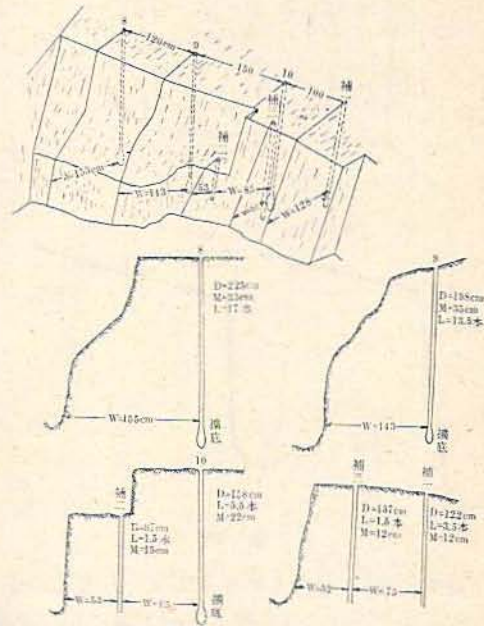


圖 11.

穿孔番號	D 孔深 (m)	W 抵抗線 (m)	L' 計算藥量 (本)	L 裝藥量 (本)	f(n) 數	擴大裝藥量 (本 g)	m 裝藥長 (cm)
8	2.25	1.55	17	17	0.8	1 (75)	65
9	1.98	1.43	13.36	13.5	0.8	1 (75)	35
10	1.58	0.85	3.5	5.5	—	1/2 (37.5)	22
補 1	1.22	0.75	2.4	3.5	—	—	12
補 2	0.97	0.53	0.85	1.5	—	—	15
補 3	1.37	0.52	0.8	1.5	—	—	12

結 果 著しき岩石の抛出を見ざりしも極めて容易に破壊岩石の取り片付が出来大體に於て良好の成績を挙げ得た。

第五回發破

昭和 14 年 8 月 3 日警察官講習所本科生の見學資料に供したのものにして、装薬量は情況により適宜斟酌し加減を行ふた。

穿孔番號	D 孔 深 (m)	W 抵抗線 (m)	L' 計算藥量 (本)	L 裝藥量 (本)	m 裝藥長 (cm)
補 4	1.00	0.80	2.9	3.5	35
補 5	0.90	0.85	3.5	2.5	25

結 果 爆破箇所は比較的上部より表土に接近する風化の進みたる軟岩の爲聊か過装氣味であつた。

第六回發破

最終の發破なりし故危険のない範圍に於て充

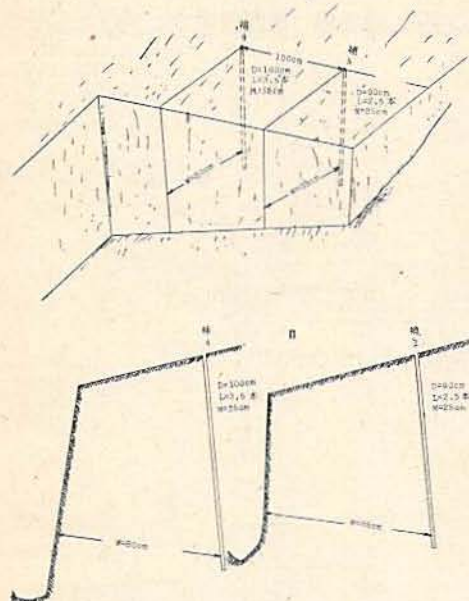


圖 12.

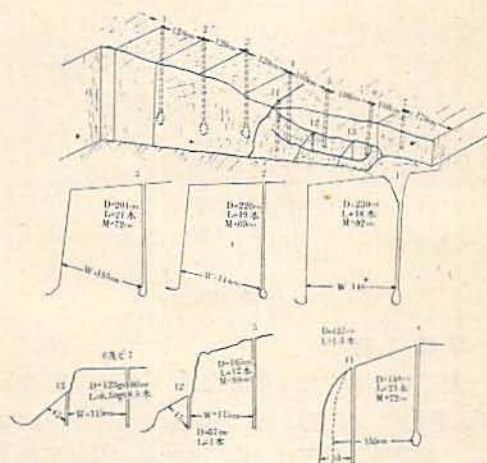


圖 13.

分装藥を施し 岩塊を出来る丈少くし盛土により平坦なる畑地たらしむる爲 $f(n)$ を 1 に取り、發破孔間を抵抗も自由面も充分考慮に入れ次表の如く計算量其の儘を装填した。

穿孔番號	D 孔深 (m)	W 抵抗線 (m)	L' 計算藥量 (本)	L 裝藥量 (本)	$f(n)$ 數	擴大裝藥量 (本 g)	m 裝藥長 (cm)
1	2.30	1.46	17.7	18	—	1½ (100)	62
2	2.22	1.48	18.4	19	—	〃	69
3	2.04	1.55	21.2	21	—	〃	72
4	1.84	1.55	21.2	21	—	〃	72
5	1.65	1.15	8.6	12	—	—	60
6	1.23	1.15	8.6	8.5	—	—	41
7	1.06	1.15	8.6	8.5	—	—	23
11	1.37	0.55	—	1.5	—	—	15
12	0.57	0.45	—	1.0	—	—	10
13	0.53	0.45	—	1.0	—	—	10

結 果 稍過装氣味なるが實に良好なる成績にて完全に破碎され採石の目的に合致する結果を得た。

軟岩の爆破は硬岩の場合の如く破壊面より瓦斯の迸出すること少なく、エネルギーは殆んど岩石を細碎するに費やさるゝを以て、多少過装藥にても岩石の飛散少いものである。

F. 隧道及坑道發破

これは單一自由面にして同一装藥量に依る採石量の最も少なき不經濟な發破となる故、普通心拔發破を掛け、生じた空洞面即ち新自由面を主たる爆破方向として發破は進行するのである。それ故心拔以下の切掛け發破は2自由面の發破となるのである。この場合新自由面の廣狹及形狀並に新自由面に對する發破孔の位置、方向從て最小抵抗線の大小は單に該發破孔の成否に係るのみならず後續發破引いては全體の發破の使命を制する重大な影響を與ふるもの故、鑿孔に當りては穿孔の位置、深さ及方向角度は、設計圖に與へられた數字其の他の條件が嚴密に保持されなければならない。これ等諸影響の中穿孔の角度と装藥量のみの點に付て以下論述することとする。

今隧道の掘進長を圖14に示す如く1.20mに取り、心拔發破孔は25°の角度に穿れたとす。而して拂ひの發破は硬岩の爲最小抵抗線 $W=30\text{ cm}$ を取り、 h_1 孔が設計に依り與へられたとする。これが鑿孔の際角度の測定を誤り、5°丈大きな開きを以て h_2 孔を穿ちたりとすれば、 $W=41\text{ cm}$ となり装藥量は次式に示す如く2.6倍に増量するを要し、若し10°の開きあれば $W=52\text{ cm}$ となり装藥量は5.2倍の多量を要する著しき結果を見るのである。

$$\frac{L}{L_1} = \frac{W^3}{W_1^3} = \frac{(41)^3}{(30)^3} \quad L = 2.6 \times L_1 \dots\dots 5^\circ \text{の開き}$$

$$\frac{L}{L_1} = \frac{W^3}{W_1^3} = \frac{(52)^3}{(30)^3} \quad L = 5.2 \times L_1 \dots\dots 10^\circ \text{の開き}$$

隧道及坑内發破では心拔次に拂ひと遂次内方より外方に向ひ發破を掛けて行くが、内何れが一發の失敗は後續發破の障害となるか次回の發破作業に支障を來すので、心拔や拂ひは勿論全體的に過装藥となし、殆んど岩石を細粉して作業を進め居るものが大部分の様に見受けられる。從つて振動や音響は物凄くばかりで、標準装藥量の2倍乃至4倍も多く使ひ過ぎてゐる觀がある。其の必然の結果として採石單價の昂騰を來すのみならず、隧道坑道の岩壁に無數の龜裂を生じ落盤を誘致し支柱工作の増強を餘儀なくされる不利も免れぬ處である。

これが救済方法としては先づ第一に穿孔の配置、孔径、孔深及角度等の設計を理論的なものとし、次に圖15に示す程度の精密度を示す穿孔の位置、方向及深さを容易に測定し得る方向指針器を絕對必要

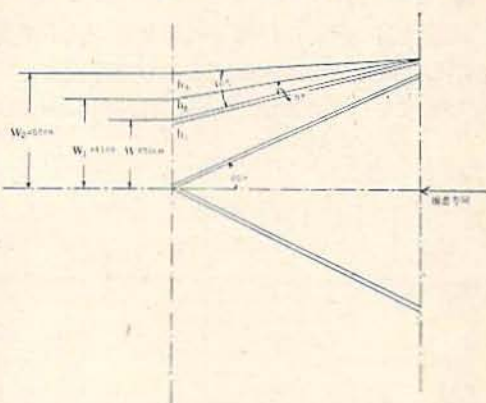


圖 14.

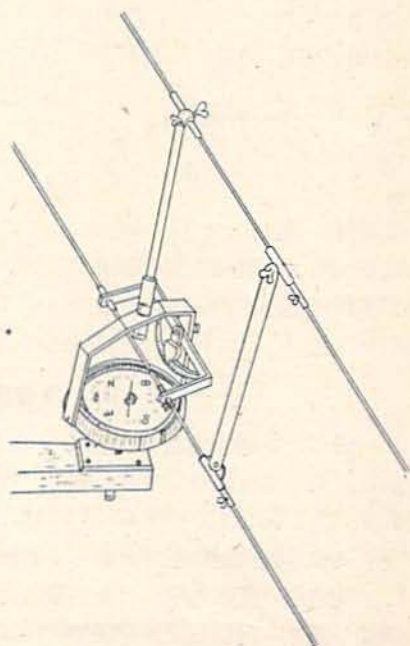


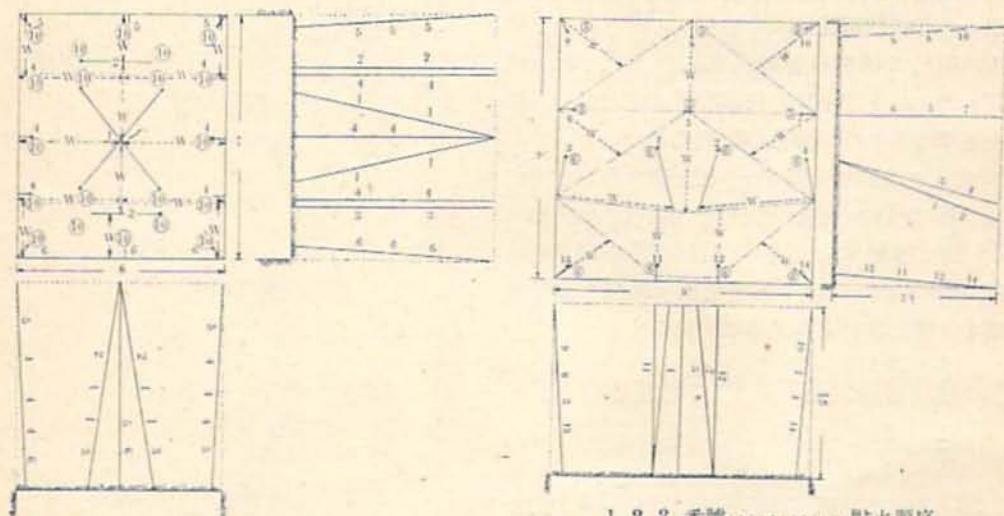
圖 15.

と思ふのである。

その原理極めて簡単で、掘面より 30cm 乃至 40cm の掘進方向の中央に支柱1本をジャッキで固定し、これに腕木を上下に摺動する如く設け、この腕木の一端に水準器と水平及垂直分度盤並に方向指針を有する測定器を取付けて上下左右の發破孔の位置、掘鑿方向及孔深を出来る丈精密に指示せんとする構造である。本器は當發破研究所に於て試作試験中であるが各位に於かれても前項掘底發破と同様これ等の點に留意せられ作業を進めらるるならば、經濟、能率及保安の上に影響すること尠なからざるものと存する次第である。

例 1.

坑道發破の設計は作業の根源をなす最も重要なもの故、充分慎重に計劃さるべきである。各穿孔の裝藥量を同一とするならば各抵抗線は同一長に取り、抵抗不同の已むなき場合は裝藥量を増減すべきは勿論である。尚ほ有利な電氣齊發々破も導火線と併用することを御奨めする。



例 1.

例 2

破壊線は點線 (.....) で示され、これは孔尻附近の切取面に現はれた平面圖にして、心拔發破より點火順序に新破壊線が生ずるのである。

最小抵抗線 W は孔尻より新破壊線に至る距離を取り矢は爆破方向を示してゐる。

1. 2. 3. 番號.....點火順序
(5) (6) 括弧内の數字.....裝藥本數
W.....最小抵抗線
←.....(矢).....爆破方向

例 2.

2. 發破施行の順序、法則的事項

1. 岩石、爆藥、孔徑及裝藥長が一定する場合は藥室中心より爆破方向たる自由面迄の最短距離なる最小抵抗線の長さは一定すべきものである。依て先づ發破を掛けんとする場合は岩石發破法(以下單に岩法と呼ぶ)第20節に掲ぐる方法に依り試験發破を行ひ、標準發破に於ける裝藥量及最小抵抗線の長さを求め本發破の計算基礎となすのである。

2. 實施中の發破に付ては豫め自由面の廣狹を察し、孔徑、孔深、裝藥長、裝藥量、最小抵抗線を測量し置き、尚ほ石目、節理等特殊事情も調査し置き爆破後に於ける狀況が岩石が著しく粉碎されて遠距離に飛散し且つ大音響と激しき振動を伴ふ過裝藥にもあらず、又反對に弱裝藥に

して所期の目的を達し得ざりし發破にも非ざる所謂標準裝藥量を求めて爾後の發破の計算基礎とする。尚ほ外部より觀察し得ざる岩質の不均一性より来る各發破の特異なる結果を考慮し、數個の標準發破の平均値を求め計算基礎とすれば爾後の發破は一層理想發破に近きものとなる。茲に理想發破とは最も經濟的であり能率的であり安全性に富む發破を指稱するのである。

3. 藥室中心より各自由面に至る最小抵抗線は平等の長さなるを原則とする（岩法第8節参照）。

4. 大なる最小抵抗線を爆發する爲には孔径を大とするを原則とする（岩法第7節及第8節参照）。

岩石及爆藥を同一にする時は標準發破の藥室に對し相似則を適用して孔径及藥室容積を増大するのである。

即ち孔径2倍となりし時の藥室の對應邊の長さは何れも2倍となり、對應斷面積は何れも2乗比となるが藥室容積は3乗比となる。

面積比

$$12d \times d : 12 \times 2d \times 2d, \quad d : (2d)^2$$

容積比

$$\frac{d^2}{4} \times 12d : \frac{(2d)^2}{4} \times 12 \times 2d, \quad d^3 : (2d)^3$$

5. 同一條件下に在る2發破孔に付ては採石容積は裝藥量に比例し、其の容積は各對應邊の3乗に比例する故次の比例式が成立する。

$$\frac{L_1}{L} = \frac{C_{a1} W_1^3}{C_a W^3} \quad \text{即} \quad L_1 = \frac{C_{a1} W_1^3}{C_a W^3} L$$

茲に L, L_1 は各裝藥量, C_{a1}, C_a は各岩石と爆藥に関する係數, W 及 W_1 は各2發破孔の最小抵抗線を表はしてゐる。若し岩石及爆藥が同一なれば

$$C_a = C_{a1}$$

なる故上式は簡單となる。即ち

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

これより既知なる L 及 W と實測より W_1 を知れば裝藥量は決定し得るのである（岩法第18、第19節及第20節参照）。

6. 岩石の飛ばぬ發破は藥室より自由面迄の距離の選定を過らぬこと及爆破方向に於ける岩石抵抗を可及的均等にすることである。市街内及構造物附近の安全を必須要件とする發破に在りては弱裝藥氣味とし尙濡漬及金網にて全面を蔽ひ岩石の飛散を防遏するのである。

7. 普通の穿孔發破に於ける圓筒藥室に在りては藥室の側方が最も爆破力強大なるを以て、主たる爆破方向の自由面に對し藥長を平行せしむる如く穿孔するを原則とする。2自由面にては圖18のIの如くする。また1自由面の場合もIIの如く45°以内の角度に傾



圖 16.



圖 17.

AC=r 漏斗半徑
OA 破壞半徑
O 藥室
W 最少抵抗線

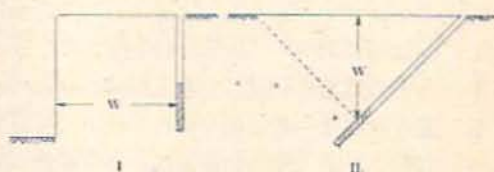


圖 18.

斜せしめて穿孔するのが最も有利であり若し此の場合垂直孔を設ける如きは稍もすれば所謂鐵砲となりて吹出し、失敗に歸し、縱令破壊起るとしても破壊効果は可なり著しく減殺されるのである。

8. 填塞即ち爆藥裝填後の込物は孔口迄充分に施す習慣が肝要である。鉛壘試験の成績では込物を施したと施さぬとでは、4 割以上の差異を示してゐる。

9. 自由面の數の多い程同一の裝藥量に付採石量は多く凡そ次の如き割合と謂はれてゐる。

1	自由面	$1\frac{1}{3} W^3$,	4	自由面	$3 W^3$
2	"	$1\frac{2}{3} W^3$,	5	"	$4 W^3$
3	"	$2\frac{1}{2} W^3$,	6	"	$8 W^3$

茲に W は最小抵抗線を示す。

自由面を多くすることは採石量を大にする外大塊を得るに便利なるが、新自由面を造る爲に經費と勞力と時間を要することになる故、普通の發破では自由面と看做し得べき節理又は層理を見出して破壊効果を大ならしむるに努むべきである。

3. 岩石破壊の法則的事項

穿孔發破に於ては岩石の破壊は如何なる状態に起るものであるか、或は如何なる方向に最も破壊が起り易きかを知ることは發破理論の基礎をなすものとして甚だ重要なことである。

これが研究材料として比較的均等質と看做し得るセメント、石膏及内部の破壊状況迄透視し得る氷を用ひ、これに種々の形狀を與へ且つ穿孔の位置及方向を異にし、裝藥量を變更して爆破を試みたるに、岩石の破壊方向に關する理論及實驗結果は既に材料強弱學方面で研究せられた材料の外部より加へられた引張又は壓縮の場合の破壊状況と類似することが觀察せられたのである。

次に岩石破壊の起る自由面の廣狹、穿孔の位置及深さ竝に最小量の裝藥量を以て最大限の採石量を得る爲の條件等發破計劃に必要な部門に付其の一端を述べることにする。

A. 脆き材料に於ける破壊法則

材料強弱學に於て概して脆き材料（鑄鐵、石、煉瓦、セメント、コンクリート、硝子等）に物體の外より力の加はりたる場合の破壊の中比較的爆破に關係する諸法則及實驗結果を示せば次の通りである。

1. 材料の破壊は外力に耐ゆる能力の最も弱き斷面に沿ふて起る。
2. 脆き材料は概して張力に對し最も弱く、剪斷力之れに亞ぎ、壓縮力に對し最も強い。
例へばコンクリートの試験に於ける破壊内力は引張は 18 kg/cm^2 、剪斷は 28 kg/cm^2 、壓縮は 215 kg/cm^2 の平均値を與へてゐる。
3. 材料の破壊は引張、剪斷及壓縮の合成内力の作用に依り起る。
4. 脆き材料は一般に壓力に對し極めて強堅なる故、剪斷内力の最大に起る斷面、即ち外力に對し凡そ 45° の傾斜面に沿ふて破壊が起る。

この第4の壓縮に依り起る破壊方向が外力に對し正確に 45° ならざる説明として、剪斷力と

摩擦力との二力の合成の結果であるとし次の如く説明してゐる。

圖 19 に於て

- P 外力
 A AB 断面積
 α 外力の方向と任意の傾斜面のなす角度
 N $A'B'$ 断面に垂直に働く分力
 T $A'B'$ 断面に平行に働く分力
 f_s $A'B'$ 断面に働く剪断内力

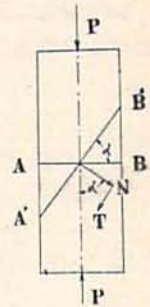


圖 19.

とすれば

$$\text{平行分力 } T = P \sin \alpha, \quad \text{垂直分力 } N = P \cos \alpha$$

而して $A'B'$ 断面にて示す剪断破壊は面に平行に働く力と垂直に働く力の合成が考へらるゝが、この垂直分力の代り破壊面に起る摩擦力を取入れても計算も説明も容易なる故、今摩擦係数を μ とすれば摩擦力は $\mu \cdot P \cos \alpha$ となる故、剪断内力 f_s は

$$f_s = P \sin \alpha - \mu P \cos \alpha = P(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

AB 断面の面積を A とすれば $A'B'$ 断面の面積は $A/\cos \alpha$ なる故

$$f_s = \frac{P(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{A/\cos \alpha} = \frac{P}{A}(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \cos \alpha$$

摩擦係数 μ に該當する摩擦角を φ とすれば

$$\mu = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}$$

これを上式に代入すると

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{P}{A} \left(\sin \alpha - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cos \alpha \right) \cos \alpha \\
 &= \frac{P}{A} (\sin \alpha \cos \varphi - \cos \alpha \sin \varphi) \frac{\cos \alpha}{\cos \varphi} \\
 &= \frac{P}{A} (\sin(\alpha - \varphi)) \frac{\cos \alpha}{\cos \varphi}
 \end{aligned}$$

然るに

$$\sin(\alpha - \varphi) \cos \alpha = \frac{\sin(2\alpha - \varphi) + \sin(-\varphi)}{2} = \frac{\sin(2\alpha - \varphi) - \sin \varphi}{2}$$

これを上式に代入すると次の結果を得る。

$$f_s = \frac{P}{2A \cos \varphi} [\sin(2\alpha - \varphi) - \sin \varphi]$$

この算式に於て $\sin(2\alpha - \varphi)$ の最大値は 1 で、 $2\alpha - \varphi = 90^\circ$ なる時にその値が最大である。夫れ故摩擦角 φ が一定なる時は、 $2\alpha - \varphi = 90^\circ$ なる断面に働く剪断内力は最大で、その値は次の通りである。

$$f_s = \frac{P}{2A \cos \varphi} (1 - \sin \varphi)$$

かゝる断面は $2\alpha - \varphi = 90^\circ$ なる故、この断面の傾斜角 α は

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

即ち實際に脆き材料が剪斷破壊する断面は、摩擦の爲 45° に摩擦角の $1/2$ を加へた傾斜をなすものである。次に實驗により傾斜角 α を求め、上式を用ひて q を算出すると次の如くなる。

剪斷破壊の傾斜角度

種 類	α (實驗値)	q (計算値)	2α
鑄 鐵	$53.4^\circ \sim 55.3^\circ$	$16.8^\circ \sim 20.6^\circ$	$106.8^\circ \sim 110.6^\circ$
石 灰 岩	61.7°	33.4°	123.4°
アスファルト	58.6°	27.2°	117.2°
煉 瓦	58.5°	27.0°	117.0°

尚ほ P/A は外力 P が AB 断面に及ぼす壓縮内力なる故之れを f にて表はせば上式より次の式が得られる。

$$f_s = \frac{1 - \sin q}{2 \cos q} \cdot f$$

この式は剪斷内力と壓縮内力の關係にして、前記の方法に依り摩擦角 q の値が知らるれば破壊に與かり剪斷内力は壓縮内力の何分の一に該當するかを知ることが出来る。

茲に注意を要するは上記壓縮破壊の計算は引張破壊の場合もこれと同様に取扱ひ得ることである。

B. 岩石破壊の諸法則

材料強弱學に於ける脆き材料に付ての破壊法則より推理に依りこれを岩石の爆破の場合に當嵌めると尚ほ次の如き法則的事項が導き得る。

1. クレーター試験に於て鐵棒の上部より鎚を以て破壊の起る最小限度の P なる力を加ふると P の方向と破壊断面のなす角 α は

$$\alpha = 45^\circ + \frac{q}{2}$$

これは先年内地日立鑛山に於て火薬類の感度試験に供する落鎚試験器を利用し大要圖 20 の裝置の下に種々の岩石に付破壊の起る最小限の高さより鎚を落下せしめ別に各種岩石に付ダイナマイトを用ひて爆破試験を行ひ打撃に依る外力の破壊とダイナマイトに依る爆破力の間には密接な關係があることを發表されてゐるが、その際のクレーターの開きは何れも上記 $45^\circ + \frac{q}{2}$ なる角度を呈してゐるのである。クレーターの開きは物質に依り異なるが凡そ 90° 以上 120° 以内の角度を持つ。

之れに少量の爆藥例へば鹽剝爆藥又はカーリットの如き單に導火線又は電橋に依り點火し得る爆藥を選び破壊の起る最小量を裝填すれば爆壓の影響を受け前同様のクレーターを生ずる。

即ち之等の場合に於ては斷頭圓錐體の頂部に衝撃又は衝動壓なる壓縮作用を受け剪斷破壊が起るのである。而して公式

$$f_s = \frac{P}{2A \cos q} (\sin(2\alpha - q) - \sin q)$$

にて示さるゝ剪斷内力 f_s の値は $\sin(2\alpha - q)$ に於て $2\alpha - q = 90^\circ$ の時最大値を取り $(2\alpha - q)$ が 90° より小なるに従ひ f_s の値は小となる。

この事は破片たる斷頭圓錐體の頂角が $(2\alpha - q) = 90^\circ$ より小なる如き破片は生じ難く、強い破壊せんとする爲には外力 P を更に増大せねばならない。

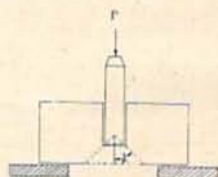


圖 20.

爆破の場合に於ては自由面を $(2\alpha - \varphi) = 90^\circ$ より小として爆破するには更に装薬量を増さなければならぬことになる。即ち岩石容積の小なるものを破壊するのに却つて多量の爆薬を要することになり一寸矛盾した結果となるのである。夫れ故爆破するに自由面は出来る丈廣く最小限 $\sin(2\alpha - \varphi) = 90^\circ$ たる開きの角度を保つ如く發破設計を樹つべきである。

彼の隧道發破に於ける心拔發破の次に來る拂ひ發破の新自由面は多く三角形を爲し狭小なる自由面を有するを以て、最小抵抗線を小に取るか或は装薬量を増大して爆砕することとなるのである。

クレーター試験の鐵棒又は爆薬を用ひて斷頂圓錐體の生ずるのは材料強弱學方面の壓縮により起る剪斷破壊と趣を異にする。前者の自由面たる底面は空氣と接觸し抵抗微小なるも、後者は臺の上に在りて物を壓搾する如き状態を取るのである。故に自由面のある爆破の場合は藥室の壁面を瓦斯壓により押出すと看するより自由面の方向より前方に張力により抽出すと看做す方が遙に合理的と思はれる。即ち最小抵抗線の方に引張力が働きて岩石内部に剪斷破壊が起り或は此の力の方角と直角の方角に引張破壊が起ると考ふるのである。

2. 破壊は最も薄弱な斷面に沿ふて起り易き故、岩石爆破の際は最も割れ易き石目の方向に沿ふて破壊面は走り易く、節理あれば節理面に沿ひ、又藥室に裂罅あれば内部に發破は吹出し不結果に終ることを経験するのである。

3. 爆薬及岩石を同一にする場合は、装薬量小なるか又は岩石抵抗大なる時は引張破壊が起り、装薬量大なるか又は岩石抵抗小なれば剪斷破壊が起る。

セメント及石膏のブロックを圖 21 の如き裝置に依り、これに鹽剝爆薬を種々の量に取り電氣點火法に依り爆破すれば圖 23 及圖 24 に示す如く種々の破壊状況を呈するものである。最も斯くの如き小規模の試験にては僅の條件の相違も可なり顯著に影響する事は豫め覺悟すべきであり、且つ主なる實驗誤差はブロックの硬度其の他の物理的諸性質が不均等なること及同一成分の爆薬にても粒の大小、配合狀況及時日の経過に依り威力に差違を生じ、又装填の際藥包の藥室に密着せる部分と多少の間隙の存する部分とにては破壊線の方に變化を來す等の事は常に念頭に止むべきである。

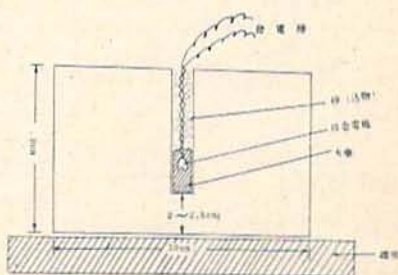


圖 21.

溯つて前記の岩石抵抗同一なるも装薬量少き爲、引張破壊の起りし例は圖 23 の實驗 9 及圖 24 の實驗 3 である。又氷爆破の實驗に於ても装薬量少なきか、カーリットの濕氣を帶び不完全爆發を爲し鐵砲となつて吹出した様な場合は常に引張破壊が行はれるのである。

これに反し装薬量大なるか又は岩石抵抗小なる時剪斷破壊の起る例は圖 23 及圖 24 に於て 3 個以上に破壊されてゐるのは全部此の部に屬し、破壊線は 90° 乃至 $90^\circ + \frac{\varphi}{2}$ の角度を有してゐる。尙ほこれ以上に装薬量を増せば引張破壊は勿論剪斷破壊も各部に起り細破されて破片は飛散するのである。

4. 岩石の破壊斷面積は装薬量に比例する。同一の岩石と爆薬にても装薬量が増せば破壊斷面積は大となる。圖 23 の實驗 1, 2, 8 及圖 24 の實驗 4 は其の例で何れも他の實驗より装薬量が多い時の破壊狀況である。

5. 破片の移動方向は破壊断面に働く内力の合成力の方向である。

圖 22 に於て割線は破壊線 $P_1, P_2, P_3, \dots$ 等は破片の移動する所謂爆破方向を取るのである。若し強力な過装發破なれば破片は放射狀をなして飛散するはよく見る處である。この場合爆發瓦斯の働く壓力は爆破方向に直角な藥室の投射面に垂直に働くもののみが其の方向の破壊に與るものと考へられる。

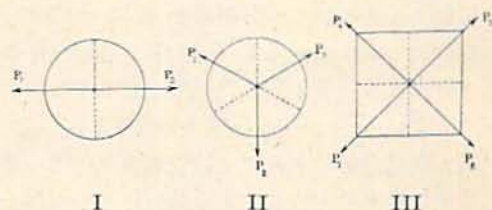


圖 22.

6. 大なる最小抵抗線即ち大幅の岩石を爆破するには孔徑を大とするか、同一孔徑なれば組合せ發破なる 2 個乃至 4 個の平行孔を接近して設けるか、或は擴底發破に依り藥室部を擴大して集團裝藥を用ふるか等あるも此の外孔徑同一にても比重大なる爆藥を用ひ單位面積の破壊半徑を大とすればよい。夫れ故堅硬、強靱なる岩

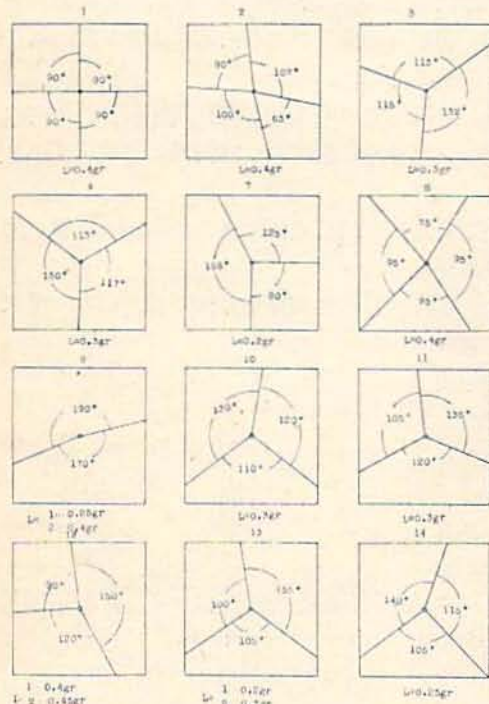


圖 23.

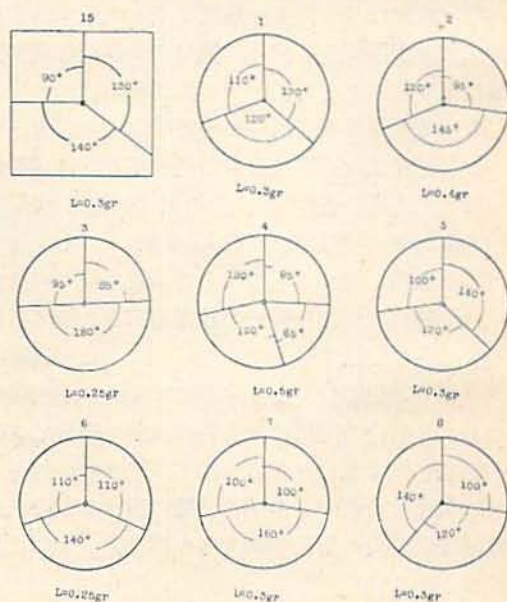


圖 24.

石の爆破にはダイナマイトの如き比重の大なる然も猛度の大なる爆藥を適當とする。若し比重小にして猛度小なる黑色火藥又は硝安系爆藥の如きものなれば充分大孔徑の發破孔とせざれば破壊半徑大となし得ず穿孔費及能率に於て損失を免れない。

實驗例を掲げて論據の一端を示すならば次の如くである。

花崗岩の極硬部に近き材料を採り圖 25 の如き各 35 cm の角材 3 個に孔徑 1 cm, 孔深 20 cm 最小抵抗線 17.5 cm に取り; これに「ダイナマイト」1 號品及硝安爆藥の或る量を以て爆破試験を行ひ比較するに、ダイナマイト 1 號品 1 g に 6 號雷管にて爆破した時の破壊状況は硝安爆藥を 2.5 g 用ひし時と同一状況となつた。圖 26 及 27 に示す通りである。他の 1 個には硝安爆藥 2 g を使用したるに圖 28 に示す如き弱裝藥を呈したのである。前二者の裝藥長を示せばダ

イナマイトの容積は装薬長にて 1cm, 硝安爆薬は 4cm ある。これは硝安爆薬は比重の小なると威力弱小なる爲容積は尤大となり 4 倍となる計算である。更に實際の例を取れば極硬岩の花崗岩を爆破するに径 30mm, 孔深 1m に掘りダイナマイト 1 號品, 薬長を孔径の 12 倍即ち 36cm 長に取りし時標準發破なりしとすれば之れに相當する量の硝安爆薬ならば装薬長 $36 \times 4 = 1.44\text{m}$ となり孔口外に溢れることになるので孔径を太くせざれば装填し得ざることとなる。以上は單に 1 實驗より導きしものにて實際は如何になるか精密なる研究を要すべきも、岩石の硬い軟い場合には猛度大にして比重の大なるものが最も有利であり、軟岩や層理の多い様なものは硝安系又は黒色火薬等有利なるべく、要は破壊の目的により適材適所主義たるは勿論なるが爆薬には夫々特性を有する故、出来る丈實驗的に又試験發破により各火薬類の性能を知り置くこと肝要である。

附. 花崗岩の供試體

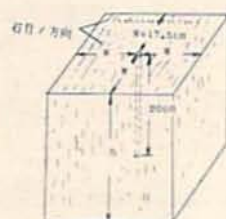


圖 25.

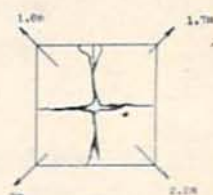
width
17.5cm
depth
17.5cm
height
20cm

破壊状況



I

破片の移動方向及距離

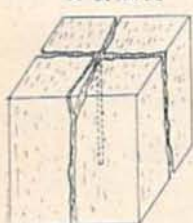


II

圖 26.

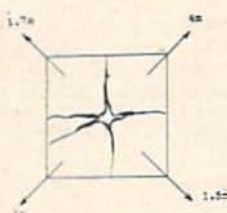
硝安爆薬 2.5g により破壊されたもの、装薬長 4cm

破壊状況



I

破片の移動方向及距離

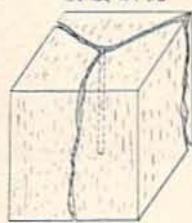


II

圖 27.

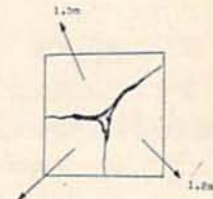
標印ダイナマイト 1g により破壊されたもの、
装薬長 1cm

破壊状況



I

破片の移動方向及距離



II

圖 28.

硝安爆薬 2g により破壊されたもの、
装薬長 3.5cm