

岩石爆壞ノ經濟的研究

工學士 八 田 嘉 明

緒 言

本誌第一卷第六號ニ於テ工學士坂岡末太郎氏ハ「岩石ノ崩壞ニ要スル錐及孔ニ就テ」ノ題下ニ岩石爆壞ニ關スル一般原理ヲ紹介セラレタリ眞ニ有益ナル論說ニシテ吾人ノ得ルトコロ蓋シ多大ナリ余モ亦同氏カ劈頭述ヘラレタル意見ト偶々其感ヲ同シクスル者ノ一人ナルヲ以テ此機會ニ於テ「岩石爆壞ノ經濟的研究」換言スレハ「如何ニセハ最小ノ費用ヲ以テ最大ノ岩石ヲ爆壞シ得ヘキ乎」ノ問題ニ就テ嘗テ實地ニ於テ聊カ得タル經驗ト研究ノ結果トヲ發表シテ識者ノ高教ヲ乞ハントス

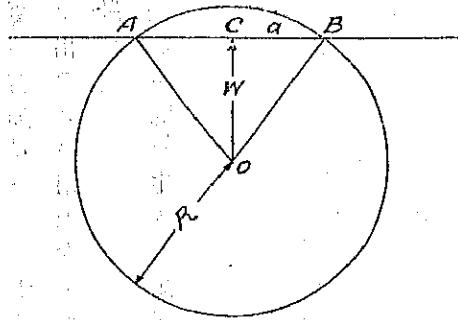
抑モ岩石ノ爆壞ハ岩石ノ硬軟、爆藥ノ種類及裝填方法ニヨリ其結果ヲ異ニスルハ勿論略同質ノ岩石ニ於テモ成層接目及罅裂ノ狀態其他種々ノ事情ニヨリ大差ヲ生ス從テ實際等質ニ近キ岩石ニ對シテハ略理論的ニ爆壞ヲ試ムルコト必シモ難事ニアラサルモ之ニ反シ吾人カ屢々實際ニ遭遇スル如キ層狀接目及罅裂ノ不規則ニ錯綜セル場合ニアリテハ最有效ナル孔ノ位置、方向、深等ハ一ニ從業者ノ經驗ト手腕ニ俟ツモノ多キハ實ニ止ムヲ得サルトコロニシテ又裝藥量ハ爆壞セント欲スル岩石ノ抵抗ニ比例シテ定メ之ニ對スル孔ノ徑及深ハ其必要ナル爆藥量ヲ裝填スルニ適當

ナル様設ケラルヘキモノナレハ實際ノ現狀ニ應シ一々定ムルノ外ナク豫メ各種ノ岩石ニ對シテ定ノ標準ヲ示シ難キ等頗ル捕捉シ難キカ如クナレトモ仔細ニ之ヲ閱スレハ略一般原理ニ從フヘキコト疑ナキヲ以テ層狀、接目、罅裂等ノ原理ニ及ホス關係ハ暫ク之ヲ措キ茲ニハ主トシテ原理ヲ説クニ便ナル等質岩石ニ就テ論セントス

(一) 岩石爆裂ノ原理

等質岩石ノ内部ニ爆藥ヲ裝置シタル場合岩石爆裂ノ作用ヲ論スルニ當リ從來學者ニ依リ所説ヲ異ニスレトモ著者ハ今本論ヲ説クニ Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften ニ記載スル岩石爆裂ノ理論ヲ基トシ研究ノ歩ヲ進メントス而シテ該理論ニ據レル理由ハ採石 (Quarrying) ノ場合ニ於ケル如ク或ル二三ノ比較的規則正シキ面若シクハ石理ニ沿ヒ石材ヲ破壞スルトキ換言スレハ爆裂ニ對スル岩石ノ抵抗カ主トシテ剪斷 (Shearing) ニアルモノト異リ隧道掘鑿ノ場合ニアリテハ導坑ノ如キ殆ント開壁一面ヲ有スルニ過キサルトキハ勿論其他ノ切擴部ニアリテモ爆破ニ際シ多クノ場合ニ岩石カ幾多ノ岩片ニ破碎セラレハトキ換言スレハ爆裂ニ對スル岩石ノ抵抗カ殆ント壓碎 (Crushing) ニアル場合ニ對シテハ該理論カ實驗上略事實ニ近キヲ認メ且ツ著者カ論セントスルトコロハ主トシテ開壁一面ヲ有スル導坑掘鑿ノ場合ニアルヲ以テ之ニ據ルヲ適當且研究上便ナリト信シタレハナリ

今級密ニシテ何等罅隙ヲ有セサル等質岩石ノ内部〇點第一圖ニ一ノ爆力カ發生シタリトセハ抵抗カ等一ナルヲ以テ震動ハ全方向ニ放線狀ニ且ツ同一ノ程度ニ岩石内ニ傳ハルヘシ其震動波及ノ狀態ハ恰カモ靜水面ニ石ヲ投シタルトキ水面運動カ投石點ヲ中心トシテ無數ノ等心圓ヲ畫キツ、傳波スルカ如ク此場合ニ於テハ震動ハ〇點ヲ中心トセル無數ノ球面ヲナシツ、波及シ其震動ノ強度ハ中心ヲ距ルニ從ヒ次第ニ弱マリ遂ニ消滅スルニ至ルヘシ今〇點ヨリ五ナル距離ニ於



第 一 圖

ケル震動ノ強度カ丁度岩石ノ凝聚ヲ破ル(然カモ單ニ破ルノミニシテ破片ヲ飛散スルノ傾ブヨキ)モノトセハRヲ半徑トスル球面ヲ破壞球(Zerstörungskugel)ノ限界ニアリト稱ス岩石ノ外面カ該球ノ外ニアル間ハ震動ハ岩石ノ抵抗ニ征セラレ何等ノ動作ヲ惹起セス換言スレハ爆發瓦斯ハ依然トシテO點ニ閉込メラルト雖モ一旦外面カ破壞球ヲ切ルトキハ忽チ岩石ノ爆壞ヲ來シAOBナル圓錐形ノ火口(Minenschichter)ヲ生ス此圓錐體ノ容積ハ即チ爆壞岩量ニシテ其直軸乃チO點爆發ノ中心ヨリ外面ニ至ル最短距離Rヲ最小抵抗線(Linie vom kleinsten Widerstande)ト稱ス今外面カ一平面ナルトキ破壞球ト外面トノ作ス圓ノ半徑ヲaニテ示セハ圓錐體ノ容積ハ

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

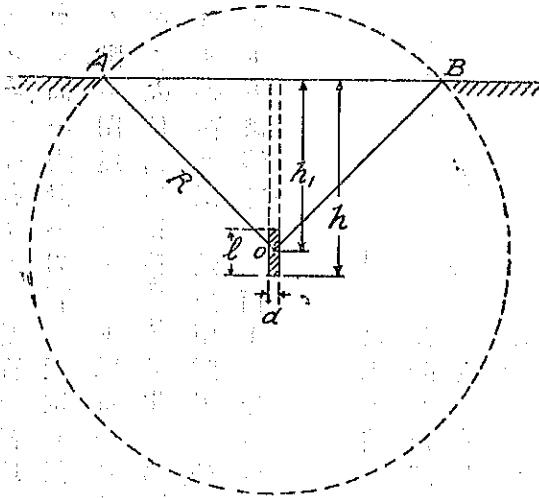
以上ハ該書ニ説クトコロノ岩石爆壞ノ原理ノ内直接本論ニ必要ナル部分ヲ摘註セルモノナルカ茲ニ何人モ問ハント欲スルハ最小ノ爆藥ヲ以テ最大ノ岩石ヲ爆壞センニハ如何ニスヘキカノ問題ナリ是ヨリ本論ニ入ラン

(二) 孔深ト爆藥量トノ適當ナル關係

今閉壁(岩石ノ外面)ニ直角ニ鑽孔シタル場合(第二圖)ニ於テhヲ孔深、dヲ孔徑(裝藥部ニ於ケル)ヲ爆藥裝填長、hヲ閉壁ヨリ爆藥裝填中心迄ノ距離トスレハ爆藥裝填室ノ周圍面積ハ

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

然ルニ此内孔口ニ向フ面乃チ撞固(Tamping)材ニ接スル面ハ比較的有



第 二 圖

更ニ普通のハレノ十分一内外ニ過キサルヲ以テ此式中第二項ヲ省略スルモ百分ノ二五内外ノ差ヲ出テス實用上大ナル不都合ナキヲ以テ計算ノ便宜ノ爲ニ爆藥裝填室ノ周圍面積ハ πR^2 ト見做ス

爆發ニ際シ生スル瓦斯ノ壓力ヲ藥室ノ單位面積ニ付 p ニテ示セハ藥室ニ生セル全壓力ハ

$$P = pA = \pi p R^2 \dots \dots \dots (11)$$

茲ニ考慮ヲ要スルコトハ實際爆藥カレナル長ヲ燃燒スルニハ假令極メテ瞬時ナルニモセヨ爆藥ノ爆速ニ從ヒ相當ノ時間ヲ要スルヲ以テ爆藥ノ全量カ全ク同時ニ爆發セルモノトハ見做シ難ク又 Daw 氏カ説ク如ク壓力カ岩石内ニ傳ハル狀態ハ最初ノ壓力ノ方向換言スレハ藥室ノ形狀ニ由テ異ルコトモ事實ナルヲ以テ此場合ニ於テ P ナル全壓力カ爆藥ノ中心 O 點ニ集中セルモノト假定スルハ妥當ナラス從テ爆藥岩量カ圓錐體ナリトナシ難キ嫌ハ免レサレトモ導坑掘鑿ノ場合ノ如ク殆ント單一ノ開壁ヲ有シ且ツ孔ノ方向カ大體ニ於テ開壁ニ向ヒ傾斜少ナキ場合ニ對シテハ實際ニ於テ甚シキ

$$A'' = \pi R^2 + \frac{\pi d^2}{4}$$

差ヲ見出サ、ルカ故ニ裂ニハ簡單ニ1ナラズ、應力ノ不均等ニ由リテ、今ノ點ヲ中心トシA (radius) ナル球面ヲ有スル小球ヲ想像シ之ヲ藥室ト見做シ其半徑ヲrトセハ第三圖)

$$P = pA = 4\pi r^2 p \quad \text{故ニ} \quad p = \frac{P}{4\pi r^2}$$

次ニO點ヨリR₁ヲ距ル點ニ於ケル壓力(震動)ノ強度(Intensity)ヲiトセハ壓力ノ強度ハO點ヨリノ距離ノ二乗ニ反比例スヘキヲ以テ

$$i = \frac{4\pi r^2}{4\pi R_1^2} p \quad \text{故ニ} \quad i = \frac{p \times 4\pi r^2}{4\pi R_1^2} = \frac{P}{4\pi R_1^2}$$

然ラハ破壊球面(半徑R)ニ於ケル壓力ノ強度ハ $I = \frac{P}{4\pi R^2}$ 而シテIハ其岩石ノ破壊強(Crushing strength) sニ等シカルヘキヲ以テ

$$s = \frac{P}{4\pi R^2} \quad \text{故ニ} \quad R^2 = \frac{P}{4\pi s}$$

(II)式ニヨリ $R^2 = \frac{\pi p d l}{4\pi s} = \frac{p d l}{4s}$ (III)

破壊圓錐體ノ容積ハ(I)式ニヨリ $V = \frac{\pi}{3} W(R^2 - W^2)$ ニシテ此場合ニハ $W = l_0$ ナルヲ以テ

$$V = \frac{\pi}{3} l_0 (R^2 - l_0^2) \quad \dots \dots \dots \quad \text{(IV)}$$

(III)式ニ就テ見ル如ク一定ノ孔徑(d)爆藥裝填長(l)及一定ノ爆壓力(p)岩石ノ破壊強(s)ニ對シテハRハ定數ナルヲ以テ今d、l、p、sノ一定ナル場合ニVノ最大値ヲ與フルR₀ノ値ヲ求ムルカ爲ニハ (IV)式ニ就キ

$$\frac{\partial T}{\partial h} = 0 \quad \dots \quad (I)$$

故ニ

(III) 式ニヨリ

故ニ

從テ

$$\frac{\pi}{3} R^2 - \pi h^2 = 0$$

$$h^2 = \frac{R^2}{3} \dots \dots \dots (II)$$

$$= \frac{pdl}{12s}$$

$$h = \sqrt{\frac{pdl}{12s}}$$

$$h = h_1 + \frac{l}{2} = \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{pdl}{12s}} \dots \dots \dots (VI)$$

(VI) 式ハ即チ一定ノ p 、 d 、 l ニ對シテノ最大ヲ得ルヘキ h ノ値ヲ示スモノニシテ換言スレハ一定ノ爆壓力、岩石ノ強、孔徑ニ對シ孔深 (h)、ト裝藥長 (l)、トノ最有效ナル關係ヲ示スモノナリ而シテ此場合乃チ h 、 l 、トカ適當ナル關係ニアルトキノ破壊岩量ハ (IV) 及 (V) 式ヨリ

$$T_{max} = \frac{\pi}{3} h_1 (3h_1^2 - h_1^2) = \frac{2\pi}{3} h_1^3$$

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

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

茲ニ一考ヲ要スルハ此等ノ式ヲ實地ニ應用スルニ當リ p 及 s ヲ如何ニ定ムヘキカニアリ

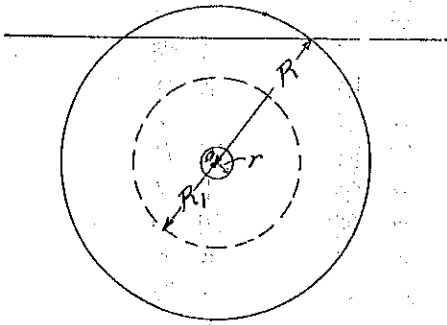


圖 三 第

P ノ値ハ爆藥ノ種類ニヨリ異ルハ勿論同ノ爆藥ニテモ藥室ノ容積ト裝填量トノ關係乃チ孔ノ斷面積ト裝藥ノ斷面積トノ差ニ由リ定マルコト明カニシテ大體ニ於テ爆藥ノ密閉器内ニ於ケル爆壓力ノ一般法則

$$p = \frac{f \Delta}{1 - a \Delta}$$

f = 藥室ノ能率
 Δ = 裝藥比量
 a = 係數

ニ從フヘキモノナルハ疑ヒナキヲ以テ孔徑(d)裝藥ノ直徑(d_1)及裝藥長(l)ニ對シ略テ算定シ得ヘキノ理ナルモ實際吾人ノ遭遇スル岩石ハ罅隙多ク且岩質撞固ノ完否藥室ノ形狀等ニヨリ大差ヲ生シ到底爆藥試驗器ニ於テ壓力ヲ知ルカ如ク正確ニ之ヲ定ムルコト困難ナルヲ以テ一般法則ヲ標準トシ實際ノ事情ニ應シ大體ノ值ヲ想像スルノ外ナシサント此場合ニ各種爆藥ノ絶對的爆力ノ比及裝藥ノ斷面積ト孔ノ斷面積トノ比 $\left(\frac{d_1^2}{l^2}\right)$ ハ p ヲ決定スル第一ノ要件ナリトス日本製爆藥ノ試驗成績ニ依レハ各種爆藥ノ爆壓力ノ比ハ左ノ如シ

爆 藥

爆壓力ノ比値

Blasting gelatine	(Nitroglycerine)	92.5 %	100
Gelatine Dynamite	()	70.0 %	93
" (Gelignite)	()	60.0 %	77
炸藥士 Dynamite No. 1	()	75.0 %	70
"	()	70.0 %	62

又 Daw 氏ノ載スルトコロニ依ルハ

爆 薬	任事ノ比較値
Gum powder (Salpêtre 62%)	1.0
Dynamite (Nitroglycerine 75%)	2.2
Blasting gelatine (92%)	3.2
Nitroglycerine	3.3

而シテにとろノ實用的最大壓力ハ 171,000 磅每平方吋トセルヲ以テだいノ實用的最大壓力ハ 114,000 又ぶらすてんぐぜらちんノ最大壓力ハ 166,000 トナル是ニ依テ觀ルニ吾人カ普通硬岩爆壊ニ際シテ用フル一號だいノ壓力ハ十萬磅内外ぶらすてんぐぜらちんハ十五萬磅每平方吋内外ヲ出テサルヘシ

次ニハ岩質ノ硬軟ニヨリ異ルコト勿論ナレトモ亦同種若クハ硬軟ノ度略同シキ岩石ニアリテモ緻密ノ度乃チ罅裂ノ有無多少ニヨリ大差アリ例ヘハ探石所ニ於ケル岩石ノ如ク緻密ナルモノニアリテハハ大ニシテ吾人カ隧道掘鑿ニ於テ通常遭遇スルカ如キ初メヨリ夥多ノ龜裂ヲ有スルモノニアリテハ遙カニ小ナルコト明カナリ之ヲ要スルニハ岩石ノ破壞抵抗ニシテ緻密ニシテ罅裂ナキ岩石ニアリテハ之ヨリ切り取りタル試験片ノ抗挫強(破碎シ初メノ抗壓強)ニ近ク又無數ノ小龜裂ヲ有スルモノニアリテハ遙カニ之ヨリ小ニシテ恐ラク之ト同種ノ緻密ナル岩石ヨリ切り取レル試験片ノ抗剪強ニ近キモノナルヘシ

主ナル石材ノ抗壓強及抗剪強ニ付 *Hütte* ノ載スルトコロ第一表ノ如シ但抗剪強ハ *Bauschinger* ニ依リ抗壓強ノ $\frac{1}{13}$ ト假定ス

又新庄線鐵道工事ニ使用セル近傍産ノ主ナル石材ニツキ抗壓強(全破壞ノトキ)及抗挫強(破碎シ初メノトキ)ヲ試験セル成績ハ第二表ノ如ク抗壓強ハ 3,325—14,000 磅每平方吋ニシテ略第一表ニ掲ク

第一表 石材ノ強

石	材	抗 壓 強 (磅每平方吋)	抗 剪 強 (磅每平方吋)
Granit	11,400—28,400	877—2,180
Basalt	14,200—45,500	1,090—3,500
Kohlensandstein	7,110—25,600	546—1,965
Keupersandstein	9,960—25,600	765—1,965
Bruch-rund Gander s. t.	4,270—14,200	328—1,090
Kalkstein	5,690—28,400	437—2,180

第二表 新庄礦主試石ノ強

産 地	名 稱	種 類	抗 壓 強(K) (磅每平方吋)	抗 剪 強(K') (磅每平方吋)	$\frac{K'}{K}$	吸 水 率 (百 分)
山形縣東田川郡	石 石	花 安 凝 安 凝 安	13,362	—	—	—
南村山郡	金 大 峯 門 瀧 澤 敷 神 森 塚 風	岩 山 灰 山 岩 岩 岩	14,000	—	—	—
最 上 郡	泡 漆 板 明 笹 狐 屏	石 石 石 石 石 石	6,256	—	—	9.4
”	”	”	5,985	—	—	6.4
”	”	”	4,612	—	—	5.2
”	”	”	4,915	4,865	0.99	4.0
”	”	”	10,342	10,018	0.97	3.1
”	”	”	8,050	7,700	0.96	2.3
”	”	”	11,126	7,027	0.63	0.9

東村山郡	山寺石	12,880	5,040	0.39	—
” 飽海郡	日向石	11,200	2,987	0.27	0.2
宮城縣玉造郡	名生走石	6,440	5,740	0.89	5.6
”	不動澤石	3,825	2,834	0.74	6.1
”	田中石	6,337	3,710	0.59	6.8
平均			0.71		

備考

抗壓強ハ試験片全破壊ノトキ
抗撻強ハ試験片龜裂初ノトキ
上記ノ數ハ試験片數個ノ平均ヲ示ス

ル抗壓強ノ小限ヲ示ス而シテ第二表ニ依レハ是等石材ノ抗撻強ハ抗壓強ニ對シ百分ノ二七乃至九九ニシテ平均七一ニ當ルヲ見ル之ニ依テ視ルニ吾人カ實際隧道掘鑿其他ニ於テ遭遇スル岩石ノ抗撻強ハ3,000—10,000 又抗剪強ハ300—1,000 磅每平方吋内外ニアルヲ推知ス即チ本論ニ於ケル s ノ値ハ堅緻ナル岩石ニアリテハ前者ニ近ク罅裂夥多ナルモノニアリテハ後者ニ近キヲ想像シ得ヘシ

斯クシテ p ノ値ヲ的確ニ想定スルコトヲ得ハ任意ノ p ノ値ニ對シ h ト l トノ適當ナル關係ヲ(VI)式ニ依リ算出シ得ヘキコト勿論ナレトモ上述ノ如ク p ト s ノ値ハ甚タ想定シ難ク殊ニ s カ大ナレハ p ハ割合ニ大ニ s カ小ナレハ(軟質ナルカ又ハ罅隙多キカ故ニ) p ハ割合ニ小ニナリ豫メ各別ニ考フルコトハ困難ナルヲ以テ實際ノ應用ニハ此兩者ノ比乃チ p ノ値ヲ知ルヲ以テ足レリトス乃チ左ノ如シ

(VI) 式ヲ書換フレハ

故ニ

$$h = \frac{l}{2} + \sqrt{\frac{dl}{12} \times \frac{p}{s}}$$

$$p = \frac{3(2h-l)^2}{dl}$$
 (VIII)

實地掘鑿ヲ始メタル後ニ於テ岩質ノ一樣ナル個所ヲ選ミ同様ノ裝填方法ノ下ニ一定ノ d 及 l ニ對シテ變更シ數回試ムレハ略最大爆壞岩量ヲ與フル h ヲ定ムルコトヲ得ヘシ從テ(VIII)式ヨリ其岩質ニ對シ其裝填方法 d ト h トノ關係ヲ變セスニ由ル使用爆藥ノ p ノ値ヲ知ルコトヲ得ヘシ斯クシテ一度 p ノ値ヲ知ルコトヲ得タル後ニ於テハ任意ノ h ニ對シ適當ナル l ノ値ヲ算定スルコトヲ得ルナリ

(VI) 式ヨリ

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

$$\frac{p}{s} = N \quad \text{トセシ}$$

$$l = \frac{dN}{6} + 2h - \sqrt{\left(\frac{dN}{6}\right)^2 + \left(\frac{dN}{6}\right)4h}$$

$$\frac{dN}{s} = n \quad \text{トセシ}$$

$$l = \frac{n}{2} + 2h - \sqrt{\left(\frac{n}{2}\right)^2 + 2nh}$$
 (IX)

一定ノ h ノ値ニ對シ h ト l トノ適當ナル關係ハ(X)式ニヨリ容易ニ算出シ得又實用上ニハ h ノ種々ノ値ニ對スル h ト l トノ關係ヲ線圖ニテ示スヲ便ナリトス一例ヲ舉クニハ第三表ノ如シ以上説クトコロノ h ト l トノ關係ハ曩ニ述ヘタル如ク爆力カ裝填中心ニ集合シテ發生セルモノト假定シタルモ實際ニ於テハ藥室ノ形狀ノ及ホス影響ハ暫ク別トスルモ尙爆藥カ h ナル長ヲ有スルカ故ニ爆壞火口ハ等質岩石ニ於テハ理論上圓錐形ヨリハ寧ロ楕圓體ニ近キ形狀ヲ成スモノ

トスルカ適當ナランモ楕圓體トスルモ圓錐體トスルモ其立積ニ於テハ大差ナク又本論ニ於テハ孔ノ方向ヲ開壁ニ直角トシテ計算シタルカ實際ニハ寧ロ傾斜スル場合多ク從テ $\sqrt{\frac{1}{2}}$ ヨリ小ニシテ斜孔ニ對シテハ自ラ趣ヲ異ニスルモノアルハ明カナルモ導坑掘鑿ノ如ク大體ニ於テ開壁一個ナルトキ之ニ對シ値ニ傾斜セル孔ヲ設クル場合ニ於テハ實用上大過ナキカ如シ

裝藥斷面ノ直徑ヲ d_1 爆藥單位立積ノ重量ヲ g' ニテ示セハ裝藥重量ハ

$$G = \frac{\pi d_1^2}{4} g' \times l = \frac{\pi d_1^2 g' n}{8} + \frac{\pi d_1^2 g' h}{2} - \frac{\pi d_1^2 g'}{4} \sqrt{\left(\frac{n}{2}\right)^2 + 2nh} \quad \dots \dots \dots (IX)$$

又 d_1 ニ對スル單位長ノ裝藥重量ヲ g ニテ示セハ

$$G = g \times l = \frac{gn}{2} + 2gh - \sqrt{\left(\frac{ng}{2}\right)^2 + 2ng^2h} \quad \dots \dots \dots (IX')$$

(三) 最モ經濟ナル孔ノ深

前章述フルトコロニ依リ孔深ト裝藥量トノ適當ナル關係ハ略之ヲ知ルコトヲ得タリ然ラハ更ニ一步ヲ進メテ孔ノ深ハ如何ニ定ムヘキカニ就テ論セントス

導坑掘鑿ノ場合ノ如ク開壁ノ上下左右カ他ノ岩壁ニヨリ遮ラル、トキ換言スレハ開壁ノ大サカ限定セラレタル場合ハ h ノ最大ハ自然之カ爲ニ制限セラル即チ導坑面ノ中央ニ於テ開壁ニ直角ニ一孔ヲ設クル場合(第四圖)ヲ考フルニ (VII) 式ヨリ

$$l = \frac{\pi}{3} \left(h - \frac{l}{2} \right) \sqrt{2 \left(h - \frac{l}{2} \right)^2} \quad \dots \dots \dots$$

故ニ

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

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

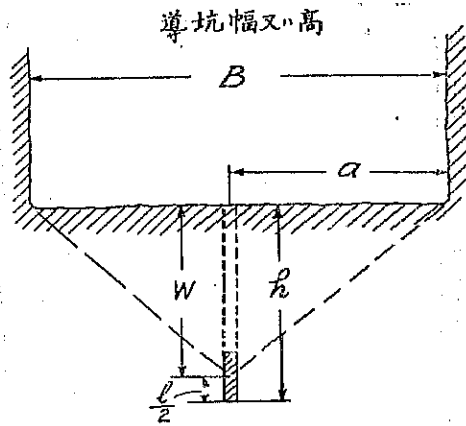


圖 四 第

之ヨリ

例へハ今 $B=7.0$ ナルトキハ

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

$$h = 2.5 + \frac{l}{2}$$

此場合ニ例へハ h ニ對スル l ノ適當ナル値カ $\frac{l}{4}$ ナリトセハ

$$h = \frac{20}{7} = 2.86$$

ナルヲ知ルヘシ導坑ノ中央ナラサル他ノ諸點ニ於ケル孔ニ就キテモ略之ト同様ノ考慮ヲ以テ h ノ適當ナル値ヲ定ムルコトヲ得ヘシ

次ニ他ノ壁ニ遮ラレサルトキ乃チ廣キ開壁(一個ノ)ヲ有スル場合ニ就テ考フルニ此場合ニ於テハ h ヲ増スニ從ヒ之ニ相當スル l ヲ用フレハ V ハ益増加スルハ明カナルカ理論上最モ經濟ナル h ノ値ハ如何ト云フニ抑モ岩石爆壞ノ費用ハ之ヲ大別スレハ(一)破碎岩片取除ノ費用ハ別トシ(二)鑽孔費(三)爆藥ノ費用(四)裝填及撞固ノ費用(四)發火ノ費用(導火線雷管等)ニシテ此内重ナルモノハ(一)ナルヲ以テ此二者ニ就テ考フルニ(一)ハ孔徑ト孔深トニ關係ス換言スレハ孔ノ容積ニ關係ス必シモ簡單ニ孔深及孔ノ斷面積ニ比例スルト斷シ難キ場合モ有之ト雖モ多クノ場合ニ略之ニ比例スルモノト見做シテ差支

640

ナク(二)ハ全ク爆藥量ニ比例スルヲ以テ岩石爆壞ノ費用ハ左ノ式ニテ表ハスコトヲ得

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

但シ

d = 孔ノ直径

h = 孔ノ深

d_1 = 裝藥ノ直径

l = 裝藥ノ長

a = 鑽孔單位立積ノ費用

b = 爆藥

裝藥ノ斷面積ト孔ノ斷面積トノ比ヲ h ニテ示スルナルヲ以テ

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

今此場合ニ h ト l トカ適當ノ關係ニアルトキハ

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

ナルヲ以テ

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

又 h ト l トカ適當ナル關係ニアルトキノ $V = \frac{2\pi}{3} \left(\frac{pdl}{12s} \right)^{\frac{2}{3}}$ ナルヲ以テ單位費用ニ對スル爆壞岩量ハ

$$V = \frac{Q}{3} \frac{2\pi \left(\frac{pdl}{12s}\right)^{\frac{3}{2}}}{\left[\frac{\pi d^2}{4} \left[\frac{a^2}{2} + a \sqrt{\frac{pdl}{12s} + kb} \right] \right]^{\frac{3}{2}}}$$

$\frac{V}{Q}$ ノ値ヲ最大ナラシムル l ノ値ヲ求メンカ爲ニハ

$$\frac{\partial \left(\frac{V}{Q}\right)}{\partial l} = 0 \quad \text{トスレバ} \quad l = \frac{4a^2 pd}{3s(a+2kb)^2} \quad \text{ヲ得}$$

此 l ノ値ヲ(VI)式ニ置ケハ

$$l = \frac{4a^2 pd}{3s(a+2kb)^2} + \sqrt{\frac{pdl}{12s} \times \frac{4a^2 pd}{3s(a+2kb)^2}}$$

$$= \frac{dp}{3s} \times \frac{a(3a+2kb)}{(a+2kb)^2} = n \times \frac{a(3a+2kb)}{(a+2kb)^2} \quad \dots \dots \dots \text{(XI)}$$

$$l = \frac{4a}{3a+2kb} \times l \quad \dots \dots \dots \text{(XII)}$$

從テ (XI) 兩式ハ a b n ノ一定ノ値ニ對シ最モ經濟ナル孔ノ深及之ニ對スル l ノ適當ナル値ヲ與フ

ルモノナリ

今一例ヲ擧グレバ

- $a=1.5$ 每立方呎(鑽孔費)
- $b=3.3$ " (爆藥費)

042

$$\left. \begin{aligned} d &= 1 \frac{1}{2} \text{ 吋} \\ d_1 &= 1 \frac{1}{4} \text{ 吋} \end{aligned} \right\} k = 0.7$$

$$\frac{P}{8} = 200 \quad \text{故} = \frac{n}{3} \times \frac{d}{8} \times \frac{P}{8} = 100$$

$$\begin{aligned} h &= n \times \frac{a(3a+2kb)}{(a+2kb)^2} = 100 \times \frac{1.5(3 \times 1.5 + 2 \times 0.7 \times 3.8)}{(1.5 + 2 \times 0.7 \times 3.8)^2} \\ &= 31.7 = 2.64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l &= \frac{4a}{3a+2kb} \times h = \frac{4 \times 1.5}{3 \times 1.5 + 2 \times 0.7 \times 3.8} \times 31.7 \\ &= 19.3 = 1.61 \end{aligned}$$

$$V = \frac{2\pi}{3} \left(2.64 - \frac{1.61}{2} \right)^3 = 2.09 \times 1.835^3 = 12.9 \text{ 立方呎}$$

$$Q = 1.767(1.5 \times 31.7 + 0.7 \times 3.8 \times 19.3) = 1.745$$

$$\frac{Q}{V} = \frac{1.745}{12.9} = 0.135 \text{ 每立方呎}$$

$$= 29.20 \text{ 每立方呎}$$

(四) 導抗掘鑿ニ應用セル實例

著者ハ嘗テ直接掘鑿ニ從事シタル大嶺線第一鬼ヶ釜隧道ニ於テ第二章ニ論シタルトノ適當ナル關係ヲ實地ニ應用シテ相當ノ成績ヲ得タルコトアルヲ以テ其概要ヲ述ヘントス該隧道ハ

延長僅ニ四八一八^呎ニ過キサリシカ地質極メテ堅硬ナル安山砂岩ニシテ勿論大小ノ罅裂ハ存セルモ充分密實ニシテ隧道ノ地質トシテハ可ナリ堅硬等質ノ部類ニ屬スルモノナリキ導坑掘鑿ニハ全部鑿岩機 (Duisburger type) ヲ使用シ切擴ハ第三切擴ノ大部分ニ鑿岩機ヲ使用シタル外主ニ手掘ニテ施行シ導坑ノ平均進工片口一晝夜三〇^呎ニ當レリ爆藥ハだいなまいとぶらすてんぐぜらちん綿火藥ノ各種ヲ使用シ爆壞ノ比較研究ヲ試ミタルカ導坑ニハ主トシテ前二者ヲ用ヒ綿火藥ハ效果少カリシカ故ニ之ヲ使用セサリキ錐ハ徑一時及一時四分ノ一ノ丸鋼ヲ用ヒ刃形ハ十Z一字形ノ各種トセルカ最多クZ字形ヲ適用シ錐尖ノ直徑ハ孔深ニ從ヒ一時四分ノ一乃至二吋トシ孔底ニ於ケル裝藥部ノ孔徑ハ一時四分ノ一乃至一時二分ノ一ニ止メ裝藥ノ徑ハ孔徑一時四分ノ一ノ個所ニハ直徑一時ノ大形藥筒ヲ其儘孔徑一時二分ノ一ノ個所ニハ小形爆藥ヲ竹筒ニ詰メテ直徑約一時四分ノ一ノモノニ改造シテ裝填シ撞固メハ細砂及粘土粉ヲ用ヒテ之ヲ勵行セリ導坑ハ高幅共ニ約七呎孔數ハ約四十九平方呎ノ導坑全面ニ對シ八個乃至十二個ヲ穿テリ

導坑掘鑿着手後孔深及裝藥量ヲ種々ニ變更シテ比較研究ヲ試ミ孔尻ノ殘深爆壞岩量ノ大略ヲ調査シ東口導坑ニ於ケル p_s ノ值カ大略だいなまいとニ對シ p_{100} ぶらすてんぐぜらちんニ對シテハ 500 内外ニアルコトヲ確メ得タルヲ以テ其以後ニ於テハ p_s ノ該值ヲ基トシ孔深ニ應シテ爆藥ヲ使用スルコトニ努メタリ西口ノ岩質ハ略東口ニ同シカリシモ地形上東口近傍ニハ空氣壓搾機ヲ据付クヘキ適當ノ場所ヲ缺キシヲ以テ便宜上西口ニ近ク之ヲ設ケタル爲メ配氣罐ヨリ坑口ニ至ル距離西口ニ於テハ七四呎ナルニ反シ東口ハ六一四呎ニシテ從テ鑿岩機ノ廻轉數西口ニ於テハ毎分一八〇乃至一八五ナルニ對シ東口ニ在テハ一七〇乃至一七五ニ當リ同時間ニ鑽孔シ得ル孔ノ深ハ西口ニ於テハ東口ヨリ稍大ナリシヲ以テ此餘力ヲ利用シ試驗ノ爲ニ西口ニ於テハ東口ヨリ孔深ヲ比較的大ナラシメ孔徑及裝藥徑ハ略之ト同一ナラシメ爆藥量ハ特ニ増加スルコト

644

ナク從來ノ通り見込ニ依リ任意ニ裝填セシメ導坑貫通迄ノ一定期間ニ於ケル成績ヲ調査セルニ
 第四表ノ結果ヲ得タリ

該表ニ見ル如ク西口ノ平均進行ハ一晝夜三六三ニシテ東口ノ二九五ニ比シ約二割四分タケ大ナルモ(コハ多少西口ノ岩質カ東口ノソレニ比シテ掘壞シ易キ關係モアルヘク思ハレタルカ)一孔ニ對スル平均掘鑿坪(該隧道ニアリテハ導坑ノ岩質堅硬ニシテ爆壞後周圍ノ岩石ヲ甚ダシク弛ムルコトナク從テ掘鑿ハ悉ク爆壞ニノミ依ルモノト見做シテ差支ナキナリ)ハ西口カ東口ニ比シテ孔深ノ大ナルニ係ハラス反テ小ナルヲ見ル又平均一立坪ニ對スル爆藥量モ寧ロ西口ニ於テ大ナルヲ認ム而シテ同表ニ示セル如ク假ニ是等實際ノ孔深ト爆藥量トノ關係カ適當ナリシモノトシテ $\frac{p}{s}$ ヲ計算セルニ東口ニ於テハ466(たしままいと)及547(ぶらすてんぐせらちん)トナリ曩ニ想定シタル400及500ニ近キ値ヲ得タレトモ西口ニ於テハ706及773トナリ想定値ニ比シテ遙カニ大ナルヲ見ル是即チ東口ニ於テハ $\frac{p}{s}$ トノ關係カ略適當ナリシニ反シ西口ニアリテハ此關係不適當ニシテ $\frac{p}{s}$ ニ對シ $\frac{1}{s}$ カ過小ナリシカ或ハ $\frac{p}{s}$ 其モノカ過大ナリシカヲ示スモノニシテ換言スレバ(ハ其モノカ導坑面積ニ比シテ大ニ過キタルカノ疑ヲ除ケハ)西口ニ於ケル $\frac{p}{s}$ トノ關係ハ今少シク岩石カ軟質ナルカ或ハ使用爆藥カ今少シク強力ノモノナリシナラハ適當ナリシヲ示ス更ニ換言セハ假ニ該岩石ノ s ノ値ヲ3500トスルナラハ西口ニ於テハ $\frac{p}{s}$ ノ値カ176,500及193,000ナルヲ要スヘキ計算トナルニ實際ハ $\frac{p}{s}$ ノ値カ東口ニ於テ見ル如ク116,500及136,800ニ過キサリシナリ此適否ノ關係ニヨリ計算上導坑ノ掘鑿費(鑽孔費及爆藥費ノミ)カ東口ニ於テハ平均一立坪ニ付31,500—33,500トナルニ對シ西口ニアリテハ37,200—44,300ニ當リ東口ヨリ一割八分乃至三割二分高價ナルノ結果トナレリ乃チ左ノ如シ

本隧道ニ於ケル鑿岩機使用ノ費用(鑽孔費)ハ坑夫號令及錐運夫ノ給料錐鋼消耗費錐燒費機械運轉

費 壓氣機械裝置、機械損料(原價償却ヲ除ク)其他一切ヲ合セテ孔深一呎ニ付平均五十二錢乃チ一時ニ付四錢三厘孔徑一時二分一トセハ一立方吋ニ付二錢五厘ニ當レリ又爆藥ハ一磅ニ付だいなまいと六十錢ぶらすてんぐぜらちん八十二錢五厘ナリシヲ以テ之ニ依リ兩口ニ於ケル爆壞岩量一立坪ノ費用ヲ計算スルニ

坑口	孔深 λ	鐵孔 每時	鐵孔 費	爆藥 種類	爆藥 重量	爆藥 每磅	爆藥 費	合計 爆藥費	爆壞 岩量	一立方 呎ニ付	一立 坪ニ付
東口 I	26.5 ^M	0.043 ^M	1.14 ^M	porritic 557-Mc	0.65 ^M	0.60 ^M	0.39 ^M	1.53 ^M	9.9 ^M	0.155 ^M	33.5 ^M
東口 II	29.5	"	1.27	"	0.70	0.825	0.58	1.85	12.7	0.146	31.5
西口 III	31.1	"	1.34	"	0.59	"	0.50	1.84	9.0	0.205	44.3
西口 IV	33.5	"	1.44	porritic	0.72	0.60	0.43	1.87	10.9	0.172	37.2

今東口ニ於ケル坑口ノ關係カ畧適當ナリシモノト假定シ西口ニ於ケル孔深ニ對スルノ適當値ヲ見出サンニ (IX) 式ニヨリ

$$l = \frac{n}{2} + 2nl - \sqrt{\left(\frac{n}{2}\right)^2 + 2nl}$$

$$n = \frac{d}{3} \times \frac{P}{s}$$

だいなまいとニ對シテハ

$$n = \frac{1.5}{3} \times 466 = 233$$

ぶらすてんぐぜらちんニ對シテハ

$$n = \frac{1.5}{3} \times 547 = 273.4$$

故ニ

(III) $l = 31.71$ ニ對シテハ

$$l = 10.7(0.0477)$$

046

(IV) $h=33.5$ ヲ經シテ

$l=12.7(0.97)$

然ルニ實際使用セル $h=7.7(0.59)$ $9.4(0.72)$ ナリシヲ以テ明カニ h ニ對シテ不足ナルヲ認ム
 次ニ p ノ値カ 466 及 547 ナルモノトシテ理論的爆壞岩量ヲ算出スルニ左ノ如シ

坑口	孔深 h	適當ナル裝藥長 l	實際ノ裝藥長 l'	理論的爆壞岩量 $V = \frac{2\pi}{3} (h - \frac{l}{2})^3$	實際ノ爆壞岩量 V'	$\frac{V'}{V}$
東口 I	26.5 ^時	8.5 ^時	8.5 ^時	立方呎 13.3	立方呎 9.9	0.745 平均 0.71
西口 II	29.5	9.1	9.1	18.8	12.7	0.675
西口 III	31.1	10.0	7.7	21.7	9.0	0.415 平均 0.43
西口 IV	33.5	12.7	9.4	24.2	10.9	0.452

之ニ依テ見ルニ h ナル比カ東口ニ於テ平均 0.71 ナルニ西口ニテハ 0.43 ニシテ約四割小ナ
 リ是レ西口ニ於ケル h ト l トノ關係カ東口ヨリ不適當ナリシヲ示スモノナリ
 而シテ東口ニ於テハ可及的 h ト l トノ關係ヲ理論的ナラシメタルニ係ラス尙 h カ l ノ七割内外
 ニ過キサハ如何ト云フニ此ハ導坑掘鑿ニ於テハ充分孔ノ位置ヲ適當ニ選フトスルモ上下左右
 ノ壁ニ妨ケラレ壁隅ニ於ケル孔ハ中央部ニ設クル孔ノ如ク有効ナラス本隧道ニテハ導坑面積ニ
 對シ平均十孔ヲ穿テルカ壁隅ニ於ケル孔ノ効率ノ減少ヲ考フレハ平均一孔ノ効率ハ三分ノ二内
 外ニ過キス然レトモ其内或數孔ハ同時發火ニヨリ圓錐體ヨリハ寧ロ角錐體ニ近キ岩量ヲ爆壞シ
 効率一以上ノモノモアリ又實際導坑面ヲ進ムルニ際シテハ成ルヘシ孔ノ効率ヲ大ナラシムル爲

メ開壁ヲ一以上ニナスヘク努ムルヲ以テ此點ニ於テハ前記ト反對ニ効率ヲ増スコト勿論ナレトモ又以上ノ計算ハ孔深ヲ開壁ニ直角ニ計リタルモノトシテノブナレトモ實際ノ孔ハ多少壁ニ對シ斜角ヲナセルヲ以テ W ノ長サハ $\frac{W}{\sin \theta}$ 以內ニアリ是等ノ種々ノ事情カ集リテ効率ヲ或ハ増シ或ハ減スルコト勿論ナレトモ大體ニ於テ斯ル堅硬ナル岩質ニ於テハ導坑一孔ノ平均効率ハ一以下ニアルト見テ大差ナキカ如ク而シテ實際ノ岩石ハ如何ニ緻密ナリト云フモ理論的等質ノモノニアラサルハ言ヲ俟タサルトコロニシテ從テ計算上ノ岩量ニ一致スルコトナキハ明瞭ナルカ本試験ニ於テ東口ノ P/P ナル比カ0.71内外ニ止マリシハ可ナリ理想的ニ掘鑿カ行ハレタルモノト信スルナリ

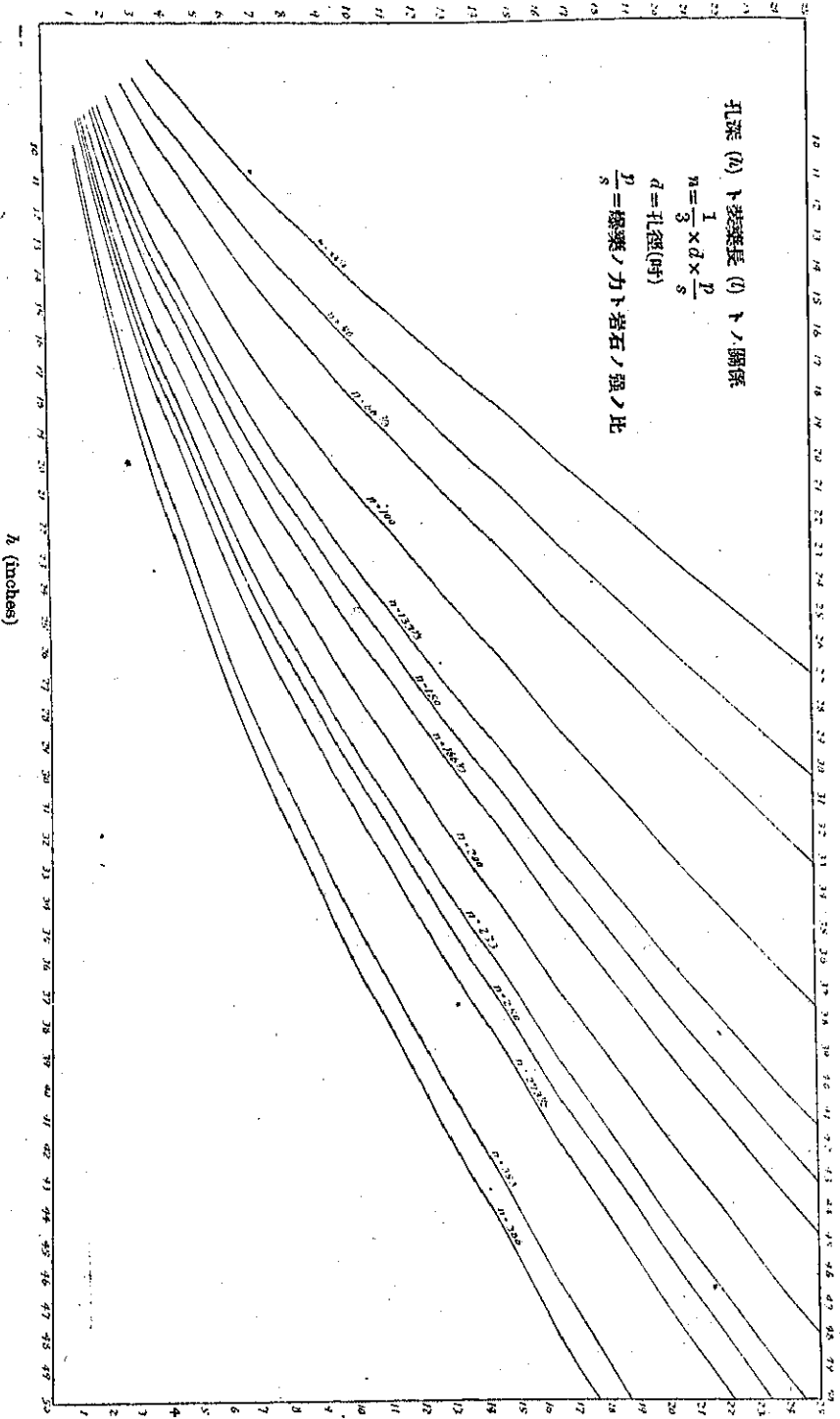
因ニ該導坑掘鑿ニ使用セル No. 1 Dynamite 及 Deutsche Sprengstoff 會社及 Alfred Nobel 製ノ二種 Blasting gelatine 及 Alfred Nobel ノモノニテ價格ハ前者ニ比シ約三割七分五厘高價ナリキ而シテ理論上前者ニ比シ四割内外強力ナルヘキ管ナルカ該隧道ノ場合ニ於テハ左程効果大ナラス第四表ニ見ル如ク s/p ノ值カ西口ニ於テハ約一割東口ニ於テハ約一割七分五厘だいに比シテ大ナリ即チ該隧道ノ岩質ト裝填方法ニ就テ云ヘハ二割以內強力ナルヲ認メタルニ過キス恐ラク尙一層堅硬ナル岩石及完全ナル裝填方法ニ依ラハ更ニ割合ヲ増スコトヲ得ルナラン

(五) 結論

由來如何ニセハ最小ノ費用ヲ以テ最大ノ岩石ヲ爆壞シ得ヘキカノ問題ハ實際工事ニ從事スルニ當リ屢々起ル問題ナルカ著者ノ寡聞ナル未タ之カ適當ナル解決アリシヲ聞カス孔ノ徑、孔ノ深、孔ノ數及配置、爆藥量等一々之ヲ論スレハ多岐ニ分レ其各個ニ就キ充分ナル細密ニ涉ル研究ヲ要スルコト勿論ナレトモ要スルニ結局ハ此問題ニ外ナラス此問題一タヒ解決セシカ孔徑、孔深、孔數其他岩石爆壞ニ關シ實際ニ起ル諸問題ハ之ヲ基礎トシ容易ニ且ツ的確ニ斷案ヲ下スコトヲ得ヘシ

以上論スルトコロハ要スルニ此問題ニ關シテ著者カ明治三十七八年ノ交直接掘鑿ニ從事シタル際導坑ノ如キ一開壁ヲ有スル場合ニ就キ簡單ナル原理ヲ基礎トシテ研究シタル一端ニ過キス從テ本論ニ述フル處ヲ汎ク應用センカ爲ニハ進ンテ二開壁以上ノ場合ニ就キ藥室ノ形狀及孔ノ傾斜度ノ原理ニ及ホス影響岩石ノ剪斷ニ對スル抵抗ノ關係等ニ就キ實地ニ研究ヲ要スルコト明カナレトモ其後適當ナル實驗ノ機會ニ接セス遺憾トスルトコロナレトモ大體ニ於テ此問題ノ一端ヲ窺フコトヲ得ヘシト考ヘ聊カ著者ノ經驗ト攻究トヲ記シテ讀者ノ一樂ニ供セル所以ナリ(完)

l (inches)



（用便巖鑿） 續成鑿掘坑導道隧釜ヶ鬼一第線嶺大 表 四 第

坑口	期 間	作業 日數	工程		鑿 孔		鑿						孔 深		差 類		$\frac{d_1^2}{d^2} = k$	平均 孔 徑 係 數 (%)	$\frac{d_1}{d}$	$\frac{3(2d-d_1)^2}{d^2} = \frac{p}{s}$	孔 尺 殘									
			進行 (呎)	一日 平均 (呎)	掘鑿 全數	一日 平均 付	種 類	個數	一個 ノ 重 量 (磅)	平均 一 付 個數	一 立 方 重 量 個數	平均 一 孔 二 付 個數	全長 (呎)	平均 一 孔 (呎)	孔底 ノ 徑 (d)	孔徑 (d ₁)					長 (μ)	平均 孔 徑 係 數 (%)	$\frac{d_1}{d}$	$\frac{3(2d-d_1)^2}{d^2} = \frac{p}{s}$	全長 (呎)	平均 一 孔 均 寸 (吋)	殘 留 面 積 係 數			
東 I	自 37-10-7 至 " 11-30	55	150.0	2.89	36.092	788	14.3	21.8	なま い な と	4,666	0.11	129.3	14.2	5.9	0.65	10.4	1738.4	20.5	11	11	8.5	0.7	3.2	5.9	5.041	12.75	486	376.6	5.7	9.1
東 II	自 " 12-1 至 " 1-8	8	26.7	3.34	8.052	103	12.9	17.0	ぶら す て ん	655	0.11	108.2	11.9	6.4	0.70	11.2	253.0	20.5	"	"	9.1	"	12.7	7.470	13.85	547	25.4	3.0	8.0	
	計	63	186.7	2.95																										
西 III	自 " 11-11 至 " 1-30	20	71.0	3.55	16.093	385	19.2	23.9	"	2,060	0.11	128.1	14.1	5.4	0.59	9.4	995.6	31.1	"	"	7.7	"	9.0	8.911	11.55	772	141.1	4.3	12.3	
西 IV	自 " 12-1 至 " 1-8	8	30.5	3.82	6.913	137	17.1	19.8	だ い な と	882	0.11	127.6	14.2	6.5	0.72	11.5	382.1	33.5	"	"	9.4	"	10.9	9.953	11.10	706	66.2	5.7	10.7	
	計	28	101.5	3.63																										

備考 爆薬ノ個數ハ直徑約四分ノ三吋長約三吋二分ノ一ノ小形藥筒ニ換算シタルモノヲ掲ク
 爆薬ノ一磅ハ十六立方吋ト見做シテ容積ヲ換算ス
 本表ニ掲クル P ノ値ハ P ラルニ對シテ當適ナルシモノトシテ計算ヲ示ス