



建設工事 發破工法(上)

Blasting Pattern on Construction Works

許 墳*

Huh, Ginn

1. 岩石의 破壞理論

(1) 岩石內에 發生하는 Shock 波

爆藥이 起爆되면 高溫高壓을 隨伴하는 爆轟波가 發生하고 이것이 爆藥全體에 傳播한다. 이 傳播하는 速度가 爆轟速度라고 불리어지는 것이다. 爆轟波의 後方에서는 化學反應이 일어나 爆藥은 分解되나 이 反應에 의해 생긴 生成 gas는 膨脹한다.

이 爆轟波 및 生成 gas의 膨脹이 外部의 物體에 대하여 破壞等の 일을 하는 것이다.

지금 水中에서의 爆發의 例를 생각해 보자. 爆藥이 水中에서 爆轟하여 爆藥中에 發生한 爆轟波가 물과의 境界面에 到達하면 水中에 shock 波가 發生하여 이것이 水中을 傳播한다. 다시 그 후 生成 gas의 膨脹에 의하여 水中에 2次壓力波가 發生하여 똑같이 水中을 傳播한다.

그림 1은 水面下 50 ft인 곳에서 300 LB의 TNT 爆藥이 爆發했을 때 爆心에서 60 ft 떨어진 곳에 設置된 壓力計가 表示한 壓力의 時間的 變化를 나타낸 것이다. 이것에 의하면 爆發後 어떤 時間(극히 짧은 시간)이 經過하면 壓力計는 1,770 LB/in²라는 극히 높은 壓力을 感知하였다. 이 壓力은 극히 짧은 時間內에 消滅하고 約 0.7 秒後에 壓力計는 다시 80 LB/in²의 壓力을 感知하였다. 이때의 壓力의 持續時間은 앞의 때에 비하면 길고 雙方의 運動量은 거의 같은 값을 나

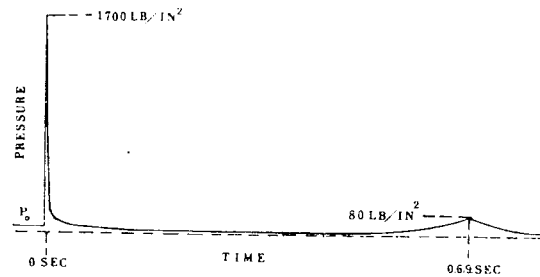


그림 1. 水面下 50 ft에서 300 LB의 TNT 爆藥이 爆發했을 때 60 ft地點에서의 壓力 (Cole 著 "Underwater Explosion"에서)

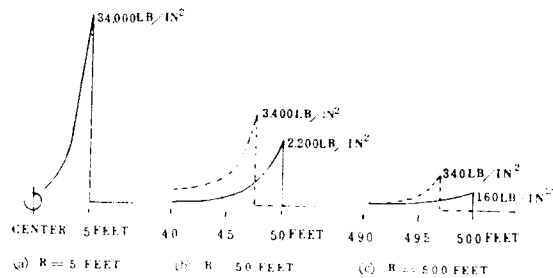


그림 2. 水中에서 300 lb의 TNT 爆藥이 爆發했을 때의 Shock 波의 傳播狀況(同前)

타낸다.

最初에 感知한 높은 壓力이 shock 波의 壓力이며, 後에 感知한 낮은 壓力이 生成 gas의 膨脹에 의해 생긴 2次 壓力波의 壓力이다.

이번에는 壓力計를 爆心에서 5 ft, 50 ft, 500 ft로 距離를 바꿔 設置했을 때 이것이 表示하는 壓力을 썬보면 그림 2와 같이 된다.

* (株) 三中엔지니어링 會長.

위의 2개의 그림에서 알 수 있는 바와 같이 shock 波는 2次 壓力波에 비해 그 壓力은 극히 크므로 水中에 있는 物體를 破壞하는 것은 주로 shock 波인 것을 알 수 있다.

또한 shock 波는 傳播距離가 길어지면 길어질수록 그 壓力이 작아진다.

岩石中에서 爆藥이 爆發했을 때도 水中에서와 똑같이 우선 shock 波가 發生하고 繼續하여 生成 gas의 膨脹에 의한 壓力波가 發生한다. 이 경우에도 물론 shock 波의 壓力은 gas 膨脹에 의한 壓力에 비해 극히 크므로 岩石의 破壞에 寄與하는 것은 주로 shock 波이다. shock 波의 特徵은 1회의 發破에 의해 단지 한번 發生하는 것 (single pulse), 壓縮波로 그 形狀은 先端이 날카로운 傾斜로 깎아내어 거의 3角形을 이루고 있다.

Shock 波는 岩石中을 傳播함에 따라 차차 그 壓力은 減衰한다. 그 減衰하는 樣式은 集中裝藥과 같이 3次元的으로 傳播할 때가 長裝藥時와 같이 2次元的으로 傳播하는 경우에 비해 격심하다.

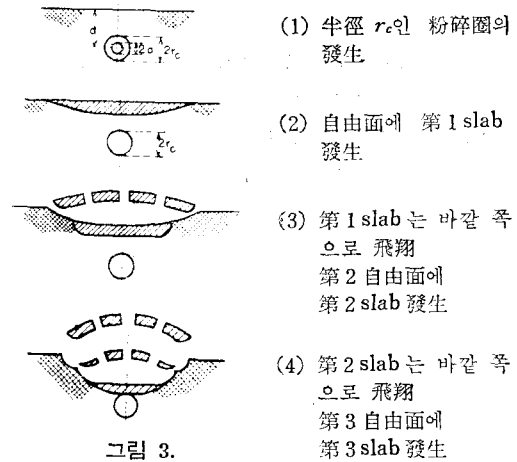
Shock 波의 壓力은 使用爆藥의 爆轟速度가 빠를 때일수록 또한 比重이 높을 때일수록 크다. 高爆速, 高比重인 爆藥이 威力이 크다고 말하여지는 것은 이 때문이다.

(2) 爆藥에 의한 岩石의 破壞

岩石中에 爆藥을 裝藥하여 爆發시키면 岩石은 破壞되어 所謂漏斗孔(crater)가 생긴다. 漏斗孔이 생길 때의 모양을 寫眞으로 촬영하여 보면 그림 3과 같은 狀態로 破壞된 岩石이 飛散하고 있는 것을 알 수 있다.

破壞된 岩石은 거의 一定한 크기로 破壞되어 이것이 몇개의 群으로 나뉘져 飛翔한다. 各群의 飛翔速度를 測定하면 第1群의 速度가 가장 빠르고 第2群이 이것에 이어 차례로 늦어진다.

이와 같이 比較的 規則 바르게 一定한 크기로 破壞된 岩石片을 slab 라고 부른다. 岩石이 破壞될 때 이와 같은 slab가 形成되는 것, 爆藥에서 먼 位置에 있는 slab일수록 飛翔速度가 빠른 理由는 岩石이 shock 波에 의해 破壞되기 때문이며 그 破壞機構는 다음과 같다.



Shock 波가 岩石中을 傳播하는 過程에서 爆藥에 가까운 곳에서는 그 壓力이 매우 크다(10萬 氣壓 또는 그 以上), Shock 波는 前述한 바와 같이 壓縮波이므로 이와 같이 큰 壓力을 나타내는 爆藥의 가까이에서는 岩石은 壓縮破壞를 받는다.

그러나 shock 波는 이 破壞에 의해 energy를 消費하고 다시 멀리 傳播함에 따라 그 壓力을 減衰시키면서 드디어는 shock 波의 壓力과 岩石의 壓縮強度가 같게 된다. 이 範圍는 岩石이 壓縮破壞를 받아 산산조각이 나므로 粉碎圈(Crushed zone)이라 부른다. 粉碎圈은 실체는 극히 근소한 範圍이고 漏斗孔 全體에 대해서는 극소 부분에 지나지 않는다.

粉碎圈을 通過한 shock 波는 드디어 岩石을 壓縮破壞할 힘을 갖지 않으나 다시 減衰하면서 멀리 傳播하여 간다. shock 波가 岩石과 空氣와의 境界面에 있는 自由面에 到達하면 빛이 거울에 反射되는 것 같이 反射하여 方向을 바꾼다. 入射前의 shock 波는 壓縮波였으나 反射된 후는 引張波로 變換된다.

岩石과 같이 부서지기 쉬운 物體는 壓縮強度에 비해 引張強度가 현저하게 작으므로 壓縮強度 以下로 減衰하여 反射에 의해 引張波로 된 shock 波라도 岩石을 引張破壞할 수 있는 可能性이 있다.

岩石은 이와 같이 反射波에 의해 破壞되는 것이므로 反射面인 自由面이 없을 때는 극히 若干의

範圍의 粉碎圈만이 破壞될 뿐으로 거의 破壞를 받지 않게 된다.

shock 波는 前述한 바와 같이 그 형태가 3角形을 하고 있으므로 壓縮波에서 反射에 의해 引張波로 變換되어 岩石을 破壞할 때는 어떤 距離를 두고 몇개의 破壞面을 만들고 slab 를 形成하는 것이다. 또한 反射한 후 처음으로 破壞가 行하여지므로 自由面에 가까우면(爆藥에서 먼) slab 일수록 많은 energy 를 얻게 되어 飛翔速度가 빠르다.

2. 發破設計上의 諸原則

(1) 自由面

爆藥에 의해 岩石이 破壞되는 것은 裝藥附近의 極히 小範圍의 粉碎圈을 除外하면 自由面에서 反射한 引張波에 의해 破壞되는 것이므로 發破는 自由面이 存在하므로써 비로서 可能하게 되는 것이다.

發破設計에 있어서는 恒常 自由面이 어디에 存在하는가를 檢討한 후에 行하지 않으면 잘못을 犯할 수 있다.

그림 4는 어느 炭鑛에 있어서 長壁探炭 막장에 있어서 穿孔 그림이다. 이 炭層에 있어서는 150g의 硝爆에 대해 最少抵抗線 1m가 適當하므로 MS 段發을 使用하여 이와 같은 2自由面 段發發破가 設計되었다. 이 경우 #1의 裝藥은 主自由面에 대한 最少抵抗線이 1m이므로 發破는 可能하고 #2의 裝藥은 #1의 裝藥에 의해 새로 생긴 主自由面에 대하여 最少抵抗線이 1m이므로 이것도 發破가 可能하다.

이와 같이하여 #1...#5의 段發發破는 成功하나 萬一 #5를 #1으로 하고 逆으로 #1을 #5

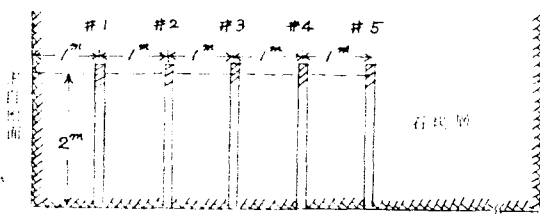


그림 4.

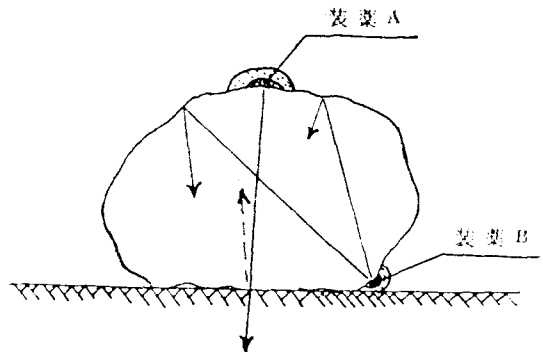


그림 5.

로 하면 發破는 失敗한다. 이 경우 原來의 副自由面이 #1의 主自由面이 되므로 그 最少抵抗線은 2m가 되어 150g의 裝藥으로는 明白히 弱裝藥이 되기 때문이다.

그림 5와 같은 覆土小割發破일 경우 裝藥 A와 같이 覆土하면 shock 波의 大部分은 地下로 傳播되고 말아 岩石塊의 內部로 反射되는 것은 적으므로 發破의 效果는 현저하게 나쁘다. 이것은 自由面이 없는 代表的인 例이다. 裝藥 B인 경우는 反對側에 自由面이 存在하므로 이 方向으로 進行한 shock 波는 全部 反射하여 引張波가 되므로 極히 效果의인 發破를 行할 수가 있다.

(2) 最少抵抗線과 裝藥量

一定한 最少抵抗線에 대하여 裝藥量을 바꿔 發破할 경우 그림 6과 같은 結果가 된다.

裝藥量이 극히 적을 경우에는 岩石은 거의 破壞되지 않고 目地만 날아간다. 소위 空發이 일어난다.

裝藥量을 增加하면 岩石은 破壞되나 그 量이 적을 때는 自由面의 부근에 작은 漏斗孔(crater)가 생기고 殘孔이 남는다. (點線과 같은 漏斗孔이 생기는 것 같은 그림을 볼 수 있으나 이러한

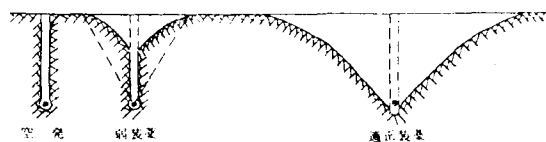


그림 6.

現象은 일어나지 않는다) 이 경우 裝藥은 最少抵抗線에 비해 지나치게 작으므로 弱裝藥이라고 부른다.

다시 裝藥量을 增加하면 漏斗孔은 擴大하여 그 孔底는 내려가고 드디어는 裝藥의 中心部까지 達한다. 이 경우에는 最少抵抗線과 裝藥量의 關係가 適切하고 이와 같은 裝藥을 適正裝藥이라고 한다. 다시 裝藥을 增加하면 漏斗孔은 擴大하나 이와 같은 裝藥은 效果의 이 아니고 過裝藥이라고 부른다. (이 경우 漏斗孔은 擴大하나 漏斗孔의 깊이는 適當裝藥인 경우와 바뀌지 않고 똑같은 殘孔이 남는다)

爆藥에 의한 岩石의 破壞(發破)에는 相似律(比例關係)이 成立한다. 具體的으로 말하면 最少抵抗線 1m에 대하여 裝藥의 半徑 5cm가 適正하면 最少抵抗線이 2m일 때는 裝藥의 半徑을 10cm로 하면 適正裝藥이 된다.

즉 同一岩石, 同一爆藥인 경우 最少抵抗線 d 와 裝藥의 半徑 a 의 比 d/a 는 d 의 길이에不拘하고 一定한 값을 취하면 適正한 發破가 行하여진다.

集中裝藥과 長裝藥에서는 shock 波의 減衰方式이 다르므로 d/a 의 값은 현저하게 다르다. 集中裝藥인 경우에는 d/a 를 18~24, 長裝藥일 경우에는 80~100으로 잡으면 適正한 發破가 行해진다.

裝藥量 L (kg)와 最少抵抗線 W (m)로 하면

$$L = CW^3 (C \text{는 係數})$$

라는 Hauser의 公式이 실제로 사용되나 이것은 集中裝藥일 경우에는 上記한 「 d/a 가 一定하다」고 똑같은 것을 意味하므로 有效한 公式이다.

但, Hauser의 公式은 어디까지나 1自由面 集中裝藥일 경우만 成立하는 것이고 이 式을 變形한 $L = CDHW$ 와 같은 公式을 長裝藥發破에 適用하는 것은 意味가 없다.

(3) 被破壞體의 크기

發破에 의해 생기는 岩石塊(被破壞體)의 크기는 最少抵抗線에 比例한다.

물론 岩石은 均一物體는 아니고 또한 飛散기타에 의한 2次 破壞도 行하여 지므로 실제의 岩

石塊의 크기는 一定하지 않다. 그러나 上記한 바와 같이 1次破壞의 被破壞體는 理論的으로는 最少抵抗線에 比例하는 것이고 例를 들면 最少抵抗線이 10~15m라는 大發破에 있어서는 大塊의 發生을 避한다는 것은 絶對로 있을 수 없다.

(4) 齊發發破

몇發인가의 裝藥을 一齊히 點火하여 發破하는 것을 齊發이라고 하나 이것은 個個에 點火하는 것보다 效果가 있는 發破法이다.

그림 7과 같은 경우 一齊히 點火하면 漏斗孔의 底部는 깨끗이 破壞되나 따로따로 點火하면 點線과 같이 裝藥과 裝藥사이가 完全히 破壞되지 않는다.

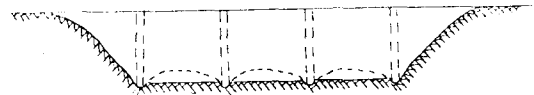


그림 7.

齊發일 경우 孔間隔 S_c 를 어떻게 취하면 좋은가가 問題이다. S_c 가 지나치게 크면 齊發效果는 나타나지 않고 또한 지나치게 작으면 裝藥이 效果가 없다.

集中裝藥일 경우에는

$$S_c = 1.0 \sim 1.3 d (d \text{는 最少抵抗線})$$

長裝藥일 경우에는

$$S_c = 1.0 \sim 1.4 d$$

로 하면 좋다. 따라서 段發發破를 할 경우에는 齊發發破인 경우보다 孔間隔 S_c 를 짧게 취할 必要가 있다.

(5) 2自由面 發破

그림 8과 같은 2自由面 發破일 경우 主自由面에 대한 最少抵抗線 d 와 副自由面에 대한 最

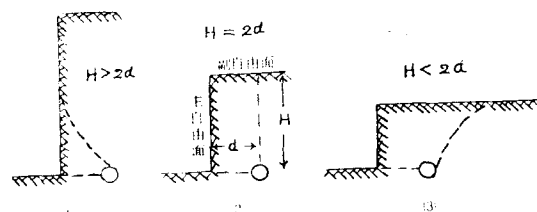


그림 8.

少抵抗線 H 와를 如何히 하는가가 問題가 된다.

d 에 대하여 H 가 현저하게 클때는 그림 (1) 과 같이 예를들면 Bench 인 경우에는 over hang 이 생기고 또한 그 逆인 경우에는 그림 (3)과 같이 Back break 가 생긴다. 그림 (2)와 같이

$$H=2d$$

인 경우가 原則的으로 適正한 設計라고 할 수 있다.

3. 具體的 發破設計

(1) 發破法의 種類

採石發破로 使用되는 代表的인 發破法에는 다음의 4가지가 있다.

- 長裝藥 Bench 發破
- 坑道式 大發破
- 下透發破
- 擴底發破
- 小割發破

(2) 長裝藥 Bench 發破

① 概說

극히 安全確實하고 더구나 有效한 것으로 採石場에는 最適의 工法이다. Bench 의 上部에서 下部로 穿孔하므로 落石의 危險도 없고 安全하게 作業이 行해진다.

一定한 Cycle 로 規則 바르게 標準化된 作業을 할 수 있으므로 一定한 需要가 있는 採石場에는 特히 有效한 工法이다.

設計는 長裝藥發破理論을 그대로 適用하면 된다.

② 長裝藥發破의 設計標準(그림 9 참조)

H : Bench 高 l_n : 目地깊이

L : Bench 幅 l : 裝藥長

d : 最少抵抗線 l_s : sub drilling

(補充穿孔長)

a : 裝藥半徑 S_{c_1} : 穿孔間隔(2 自由面)

l_h : 全穿孔長 S_{c_2} : 穿孔間隔(3 自由面)

이라 하면

$$d/a=80\sim 120 \quad (1)$$

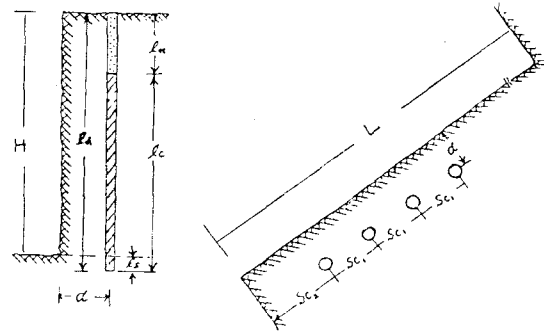


그림 9.

$$l_s=0.35d \quad (2)$$

$$l_n=1.0\sim 1.65d \quad (3)$$

$$l_h=H+l_n \quad (4)$$

$$l_c=l_h-l_n \quad (5)$$

$$S_{c_1}=1.0\sim 1.4d \quad (6)$$

$$S_{c_2}=2d \quad (7)$$

(1)~(7)式을 사용하면 設計가 完成된다.

③ 設計順序

가. Bench 高의 決定; 地形, 穿孔能力에 따라 나. 使用爆藥의 品種; 3號桐, 曉, ANFO 다. 爆藥의 치수; bit 徑에 따라 決定한다. 라. d/a 의 決定; 爆藥, 岩石의 種類에 따라 決定한다.

一般的으로 軟岩일 경우 100~120

中硬岩일 경우 90~110

硬岩일 경우 80~100

(3號桐의 경우에는 큰 數字를, 曉인 경우에는 中間의 數字를, ANFO의 경우에는 작은 數字를 취한다.)

바. 最少抵抗線; 藥徑과 d/a 에서 算出한다.

나. 穿孔長, 裝藥長; 式(4), (5)에서 算出한다.

사. 穿孔間隔; 式(6), (7)에서 算出한다.

아. 裝藥量; $W=\pi a^2 \cdot l_c \cdot \Delta$ (Δ 는 爆藥의 比重)

자. 爆藥原單位(F): $F=\frac{\text{爆藥使用量}}{\text{岩石破碎量}} \text{ (g/m}^3\text{)}$

爆藥原單位는 一般的으로 200~300 g/m³ 정도가 된다.

④ 注意事項

가. 長裝藥 Bench 發破는 Bench 上部에서 穿孔 기타의 作業을行하므로 表土를 除去하고 機械類의 搬入 및 操作에 支障이 없도록 整

地하는 것이 適用의 第1條件이다.

나. 裝藥長은 原則적으로 穿孔長의 1/2 以上으로 한다. 裝藥長이 짧을 경우에는 長裝藥發破理論의 適用範圍外가 되고 前記한 順序로는 適正한 設計를 할 수 없다.

다. 穿孔角度는 60~90 度로 막장面과 平行하게 한다.

라. 根切이 나뉠 때는 下部에 威力이 강한 爆藥을 裝藥한다. 根切을 좋게 함에는 Snake hole 을 使用하는 것도 한가지의 方法이나 作業效率에서 될 수 있으면 이것을 避하는 것이 要望된다.

마. Bench 上部의 部分이 大塊가 될 경우에는 裝藥長을 增加시킬지라도 $l_n \geq d$ 즉 最少抵抗線보다 目地를 짧게 할 必要는 없다.

바. ANFO 를 使用할 경우에는 起爆藥(Booster)에 強力한 膠質 dynamite 를 使用한다. 그 藥量은 全藥量의 5% 以上 使用한다.

사. 發破振動을 輕減시킴에는 다음의 方法이 있다.

- MSD 에 의해 時間적으로 energy 의 分散을 도모함과 함께 振動相互의 干涉을 利用하여 輕減시킨다.
- 保安物件과 막장과의 사이에 미리 破碎帶를 만들어 놓고 振動을 減衰시킨다.

⑤ 設計例

가. 條件

- bit gauge : 65 mm (crawler drill 使用)
- 使用 爆藥 : 噴爆藥(50×750)藥長43 cm
- Bench 高 : 10 m
- Bench 幅 : 50 m
- 岩 質 : 安山岩

나. 設 計

- d/a : $d/a=90$
- 最少抵抗線 : $d=2.5 \text{ cm} \times 90$
 $=2.25 \text{ m} \rightarrow 2.2 \text{ m}$
- Sub drilling : $l_s=2.2 \text{ m} \times 0.35$
 $=0.77 \text{ m} \rightarrow 0.8 \text{ m}$
- 穿 孔 長 : $l_k=H+l_s=10.8 \text{ m}$
- 填 塞 長 : $l_n=d=2.2 \text{ m}$
(大塊의 發生을 防止할 目的으로 $l_n=d$ 로 하였다)

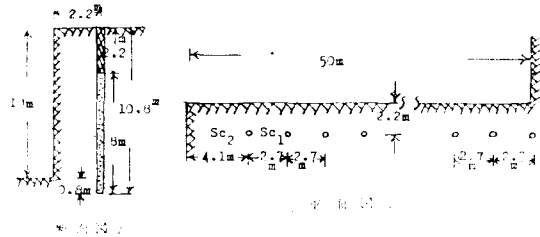


그림 10.

裝 藥 長 : $l_c=l_k-l_n=8.6 \text{ m}$

1 孔當裝藥量 : $W=(8.6 \text{ m}/43 \text{ cm}) \times 750 \text{ g}$
 $=20 \text{ 個} \times 750 \text{ g}=15 \text{ kg}$

穿 孔 間 隔 : $S_c=1.3d=2.86 \text{ m} \rightarrow 2.7 \text{ m}$
 $S_r=2d=4.4 \text{ m} \rightarrow 4.1 \text{ m}$

$(L=(2.7 \text{ m} \times 17)+4.1 \text{ m}=50 \text{ m}$
가 되도록 하였다)

穿 孔 數 : 18 孔

1 列當裝藥量 : $W=15 \text{ kg} \times 18 \text{ 孔}=270 \text{ kg}$

〃 岩石破碎量 : $V=2.2 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 50 \text{ m}$
 $=1100 \text{ m}^3$

爆藥原單位 : $F=\frac{270 \text{ kg}}{1100 \text{ m}^3} \approx 250 \text{ g/m}^3$

(3) 坑道式大發破

① 概 說

1 回의 發破로 多量의 採石을 얻을 수 있으므로 一時的으로 多量의 碎石을 必要로 할 때 또는 큰 막장의 整備를 行할 때 採用되는 工法이다.

大規模의 工法이므로 萬一 失敗하면 保安上 重大한 問題가 일어나고 또한 經濟적으로도 극히 큰 損害를 받게 된다. 따라서 有經驗者에 立案시키고 施工도 慎重히 行할 必要가 있다.

機械力을 集中할 수 없는 것, 大塊가 나오므로 小割發破의 回數가 많아지는 것 등의 缺點이 있다.

設計는 集中裝藥發破理論을 適用하면 된다.

② 發破의 pattern

基本的인 發破의 pattern 은 그림 11 과 같다.

③ 設計順序

가. 산의 狀況 check

發破가 可能한가 어떤가를 檢討한다. 可能하면 crack, 粘土層의 有無, 附近의 保安物件

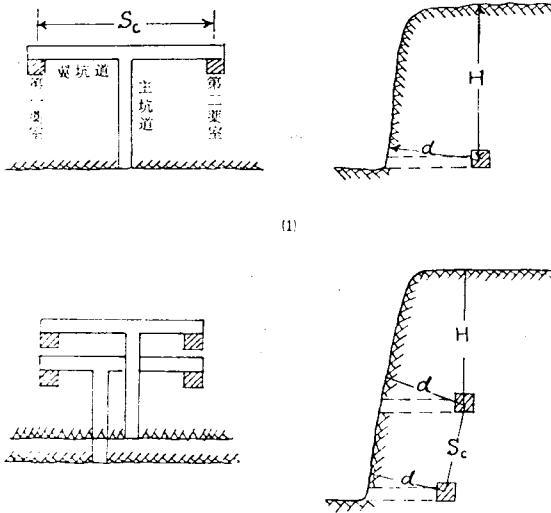


그림 11.

의 點檢을 行한다.

나. 測量

1/100~1/200의 測量圖를 作成한다.

다. 斷面圖의 作成

測量圖에서 斷面圖를 作成한다.

라. 最少抵抗線의 決定

一般의으로 10~15 m가 適當하다.

극단적으로 큰 것 또는 작은 것은 避해야 한다.

最少抵抗線 d 와 藥室부터 上部의 山の 높이 H 가

$$H \leq 2d$$

이면 좋으나

$$H > 2d$$

일 경우에는 그림 11의 (2)와 같이 上下 2段 以上の 藥室을 設置할 必要가 있다.

(이 경우 上下의 藥室間隔은 左右의 藥室間隔과 똑같이 생각하면 좋다)

마. 藥室間隔의 決定

$$S_c = 1.0 \sim 1.3d$$

바. 發破係數(d/a 또는 Hauser의 公式의 C)의 決定

$$d/a = 18 \sim 23$$

軟岩 : 21~23 中硬岩 : 20~22 硬岩 : 19~21
使用爆藥이 大發破일 경우에는 큰 數字를 ANFO의 경우에는 작은 數字를 採用한다.

사. 裝藥量의 決定

最少抵抗線 d 와 d/a 가 決定되면 裝藥量 (W)는 다음 式에서 算出할 수 있다.

$$W = 4/3 \cdot \pi a^3 \Delta (\Delta \text{는 爆藥의 比重})$$

集中裝藥이므로 裝藥量은 Hauser의 公式으로 求해도 좋다.

d/a , 最少抵抗線(d), 裝藥量(W)의 관계, 및 d/a 와 C 의 관계는 第1表와 같다.

第 1. 表

$\Delta = 0.95$

d/a	19	20	21	22
10	580	497	429	373
11	772	662	572	497
12	1,002	859	742	645
13	1,274	1,092	944	821
14	1,591	1,364	1,178	1,025
15	1,957	1,678	1,449	1,261

d/a	19	20	21	22
C	0.580	0.497	0.429	0.373

아. 採石豫定量

採石豫定量은 測量圖에서 다음과 같이 算出한다.

順序 1. 崩壞豫定線의 決定

1) 山側의 崩壞豫定線은 그림 12와 같이 藥室 Level에 대하여 一般的으로 70度 정도로 한다.

2) 平面圖上, 主自由面에 대한 崩壞豫定線을 생각할 때 集中裝藥일 경우의 漏斗半徑과 最少抵抗線과의 比, 즉 R/d 는 1.5 이나 大發破에서는 大體로 $R/d=1$ 로 하여 計算한다.

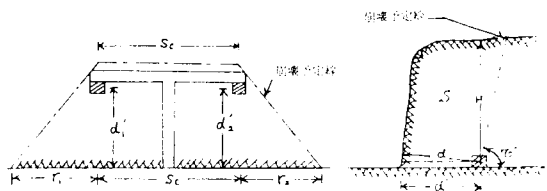


그림 12.

順序 2. 計算方法(그림 12 참조)

1) 各 藥室의 位置에 있어서의 斷面積 S_1, S_2 를 計算한다. 斷面의 形狀에 의해 다음과 같이 計算한다.

- 地形이 Bench 狀으로 斷面이 平行四邊形이라고 생각할 경우

$$S_1 = d_1' H \doteq d_1 H$$

$$S_2 = d_2' H \doteq d_2 H$$

- 地形의 緩傾斜로 斷面이 平行四邊形으로는 되지 않을 경우에는 斷面圖上에 몇개의 三角形으로 分割하여 計算한다.

2) 中央部の 體積計算

左右兩藥室間의 體積은 다음과 같이 計算한다. 中央部體積 = S_c 及 S_2 의 平均斷面積 × 藥室間隔

$$V_c = 1/2 S_c (S_1 + S_2)$$

3) 左右兩 side 의 體積計算

直方體를 경사지게 자른 三角體라고 생각하여 計算한다.

$$V_s = 1/2 (S_1 r_1 + S_2 r_2)$$

4) 體積集計

$$V = 1/2 [S_c (S_1 + S_2) + (S_1 r_1 + S_2 r_2)]$$

注: 上述한 計算順序로 $d_1 = d_2 = r_1 + r_2$

$$S_c = 1.0 d \text{ 라고 假定하면}$$

$$V = 2d^2 H \dots\dots (1)$$

이 式을 變形하여

$$d = \sqrt{\frac{V}{2H}} \dots\dots (2)$$

이 (1), (2) 式은 採石量의 計算, 또는 逆으로 採石量으로 부터 最少抵抗線을 求하는데 便利하다.

자. 爆藥原單位

$$F = \frac{\text{爆藥使用量}}{\text{岩石破砕量}} \text{ (g/m}^3\text{)}$$

爆藥使用量은 막장 整備, 坑道掘進, 大發破裝藥 등을 綜合한 것으로 計算한다.

爆藥原單位는 一般的으로 150~300 g/m³ 정도가 된다.

④ 注意事項

가. 大規模的인 發破에 失敗한 경우에는 重大한 損害를 받으므로 充分하고 安全하다고 생각되는 計劃設計를 行하고 또한 施行도 甚

중히 行할 必要가 있다.

나. 소위 double-wing 法은 段發發破가 되고 1 段이 失敗하면 2 段째는 반드시 失敗한다. 따라서 이와 같은 設計는 採用하면 안된다.

다. 從來의 經驗에서 失敗의 原因으로 測量誤差가 생기게 되므로 設計時 및 坑道掘進後에 있어서 特히 慎重히 測量할 必要가 된다.

라. 起爆方法은 安全確實한 導爆線起爆法을 採用한다. 導爆線은 1 藥室에 대하여 2 幹線을 兩側에 設置하고 幹線間을 다시 數 m 間隔으로 支線으로 結合하여 萬一의 不發을 避한다. 導爆線의 敷設은 나무통이나 枕木에 넣어 坑道 上部에 設置하여 切斷됨을 防止한다.

마. 산의 勾配가 완만한 경우에는 山의 밑을 멀리 除去할 必要가 있다(根切)

막장面이 극히 不整立한 경우에는 準備發破를 行하여 막장面을 깨끗이 完成한다. 또한 崩壞部分의 立木은 伐採한다.

바. 坑道斷面은 幅 1 m, 높이 1.2 m 정도가 適當하다. 坑道形은 原則的으로 丁字形(單一翼)으로 하고 分岐個所는 直角으로 한다.

사. 翼坑道의 先端의 막장側에 藥室을 만든다. 藥室은 翼坑道와 主坑道의 分岐點에서 멀리 한 눈으로 내다 보이지 않는 位置에 만들어야 한다.

아. 藥室 바닥에는 敷石等을 깔아 10 cm 정도 높게하고 床板을 나란히 깎는다.

側壁에는 vinyl sheet 等을 쳐서 爆藥이 浸水되지 않도록 한다.

자. 되메우기는 정성스럽고 또한 充分히 행한다.

藥室口에 板子를 치는 等하여 이것을 통나무로 支持한다. 藥室 附近은 작은 岩石을 쌓아 정성스럽게 填塞한다. 藥室에서 3~4 m 는 岩石, 모래 및 粘土로 交代로 잘 다져 틈이 없도록하고 그 후에는 發破머럭 等으로 坑口까지 되 메운다.

차. 發破後에는 落石이나 gas 噴出의 危險이 있으므로 30 分間은 絶對로 發破地區에 들어 가지 않는다.

不發 또는 不完爆일 경우에는 出入을 禁止

하고 充分히 檢討한 後 適切한 措置를 講究한다.

⑤ 設計例

그림 13 과 같은 臺地가 있고 坑道式 大發破로 8,000 m³정도의 採石을 行한다.

가. 最少抵抗線(d), 藥室間隔(S_c)의 選定
採石必要量이 約 8,000 m³이므로

$$d = \sqrt{\frac{V}{2H}} = \sqrt{\frac{8,000}{50}} \approx 13$$

따라서 最少抵抗線 13 m 인 藥室을 2 藥室設置하고 藥室間隔을 15 m 로 한다.

$$\frac{S_c}{d} = 1.15$$

나. 平面圖 및 斷面圖의 作成

測量圖로부터 平面圖를 만들고 圖上에 藥室位置崩壞豫定線, 坑道位置를 記入하면 그림 13 과 같이 된다.

(斷面圖는 하나만 表示한다)

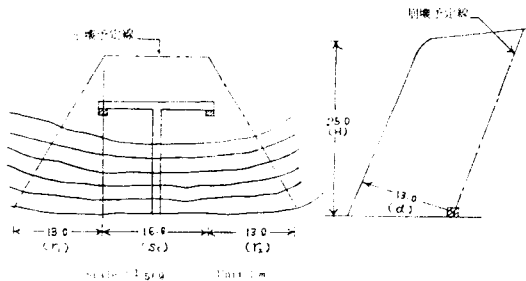


그림 13.

다. 崩壞豫定量의 計算

$$\begin{aligned} S_1 = S_2 = dH &= 13 \text{ m} \times 25 \text{ m} = 325 \text{ m}^2 \\ V &= 1/2 [S_c(S_1 + S_2) + (S_1r_1 + S_2r_2)] \\ &= 1/2 [15(325 + 325) \\ &\quad + (325 \times 13 + 325 \times 13)] \\ &= 9050 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

라. 藥種, d/a , 裝藥量의 計算

① 爆藥은 大發破用爆藥을 使用한다.

$$\Delta = 0.95$$

② 硬岩이므로

$$d/a = 2.0$$

로 한다.

③ 裝藥量은

$$\begin{aligned} d/a &= 20, \\ d &= 13 \text{ m}, \\ \Delta &= 0.9 \end{aligned}$$

이므로

第 1 表에서

$$W_1 = W_2 = 1035 \text{ kg}$$

2 藥室의 合計는

$$W = W_1 + W_2 = 1035 \text{ kg} \times 2 = 2070 \text{ kg}$$

④ 爆藥原單位(1 次發破만)

$$F = \frac{W}{V} = \frac{2070 \text{ kg}}{9050 \text{ m}^3} = 218 \text{ g/m}^3$$

<다음호에 계속>