

隧道掘進に於けるバーンカット 心抜法について

北海道大學工學部土木教室

準員 大學院特研生 菅 原 照 雄

1. 概 説

隧道掘進の際の爆破に於ては、少量の爆薬と僅少の勞力を以てなるべく爆破量を大にする必要がある。この爲には出来る限り開壁面（自由面）を大きくしなければならぬ。この目的で心抜孔を作り順次周囲に爆破を及ぼすのである。従来行はれて来た心抜法としては次にあげる數種のものがある。即ち Wedge Cut, Pyramid Cut, Bottom cut, Top Cut, Side Cut, 法等である。これらの心抜法は何れも装薬孔に相當の抱きの角度をもたせ、且孔底に於て相會せしめるものであるが、何れの方法でも孔長が導坑幅の50乃至90%と制限される。従つて一回の爆破量も又小になる。以上の發破法の共通の欠點たる孔長の小なる事、角度を保つことが困難なる事等を除外し且つ能率的な爆破をせんとして生れたのが、ここに述べんとする Burn Cut 法である。

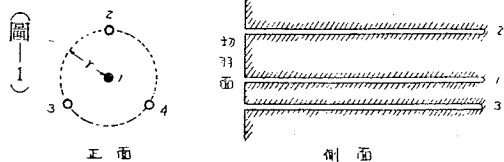
筆者は隧道工學研究の一環として本學部教授板倉博士の御指導を受け、破壊理論、模型實驗、實際應用の各方面につき研究を進めて来たが、模型實驗、破壊理論については後日報告する事として、主として實際應用方面と力學的な解析方法について述べる事にする。なお本稿にて述べる解析方法は實際により、その正確性を確めたものである事を附記する。

2. Burn Cut 心抜

Burn Cut 法は現行心抜法の中その効果最大なるものとされて居るがアメリカでこの方法が用いられるに至つたのは施工機械力が極めて發達したためであると考へられる。Burn Cut 法の他の心抜法と全く異なる點は

1. 全ての孔は平行である事。
2. 自由面には平行に穿孔された孔の中の一乃至數本が空孔のまま残されたものがない事。
3. 應力の傳達は全て平面的に行はれる事。

以上の3點についてのみ考へても従來の方法と比較にならぬ優秀性を持つという事が出来る。



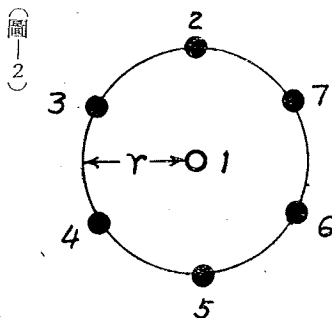
圖—1.に於て説明を加へれば

孔—1.のみ装薬してこれを起爆せしめる事により、2,3,4 の各孔を自由面として破壊を生ぜしめるのである。圖—1.にあげたものは最も基本的な型であつて、2,3,4.を装薬孔として1を空孔とする事も廣く行はれる。半径 r を現場の性質によつていろいろに變化させ又孔數を、適當數に増減せしめる事も自由である。

しかし一般には膨脹型、即ち2,3,4.を空孔として行ふものと、壓縮型、即ち2,3,4.を装薬孔とするものの二つに大別出来る。又こゝで發破する際には膨脹型は問題ないが、壓縮型にては3つ或はそれ以上の装薬孔は完全に齊發されなければ極めて損な發破法となる。

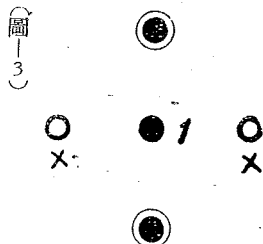
3. 心抜孔の位置の選定及び穿孔長

孔を如何に配置するか、膨脹型をとるべきか壓縮型をとるべきかが、成否に關する重要な問題となる。これらは主として岩質、地質により決定されるべき事であつて一概に論ずる事は出来ない。以下數種の實例につきこれらの事項を説明する。



例—1 ドイワカリ鹽採取鑛山の例

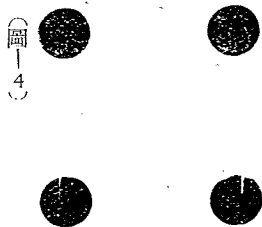
こゝの岩質は不明であるが、相當の硬岩であろうと思はれる。圖—2.に於て、1—無装薬孔、2~7装薬孔、 $r = 10\text{cm}$ 孔深3mである。3mの孔7本を完全に平行に穿孔する事は非常に困難と考へられるがJumkoを使用する事により容易に解決出来る。



例—2 米國オームスチーク鑛山の例

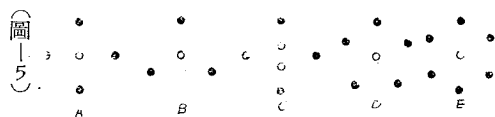
本鑛山にては硬軟兩岩双方に對する方策を考へて次の位置を撰定した。即ち硬軟何れの岩でも圖—3.の如く穿

孔される軟岩の時は標準にとつて發破するが孔-1.は常に100%裝藥されて居る。若し岩が硬くて有効に發破されぬ時は、○印孔の孔尻に4本のダイナマイトを裝藥して第二次の心拔を行う。何れの時でも×印孔は空孔のまま残されて自由面として働く、この方法は硬軟何れに對しても自由で極めて有利な方法と云う事が出来る。裝藥量は普通の心拔の時と同じに入れ、アソコ詰め完全に有る必要がある。



例-3. 米國ユタ州に於ける一例

孔長 2.50m 孔間隔は硬岩のとき小に、軟岩の時大にとるがその差は10cmと開かない。これらは石の質によつて決まるので硬軟は單なる壓縮強度から決める事は出来ない。この方法は先に述べたものとは大分異り1~4が全部裝藥される。孔が平行になる事だけが Burn Cut 法と類似して居るが、筆者の實驗の結果によればこれは全く異つた力の働きであつて Burn Cut 法とは同一視されない事が明らかになつた。動的な効果を相當に期待して居る點もありなお検討を必要とする方法である。穿孔長が大口なる點では火藥量の増加をカバーしてもなお有利である。



例-4. 足尾銅山に於ける實例

足尾銅山に於ては廣く實驗を行い圖-5.の如きものを見出した。即ちA—標準型、中硬岩に用いられる。B—軟岩（比較的脆弱なるもの）。C、D、E—硬岩、硬さを増すに従つてEの方が有利になるという。

以上の如き結果が出て居る。

一般的に云つて頁岩、砂岩を除いては多くの岩に壓縮型が用いられると考へてよい。此處で問題となるのは軟、硬の區別であるが岩石を衝撃破壊する場合にはその岩石の衝撃剪斷強度が大きく響いて来るから、特別に考慮を拂ふ必要がある。俗に軟岩と稱されて居るものの中には脆弱なるものと、軟くて粘性に富むもの即ち、しわいものがある。前者は剪斷破壊のためには小なる力ですむが後者は極めて大となり、破壊後運動に消費するエネルギーも又大となる。

頁岩、砂岩には壓縮型が用いられる。只粘着性の大きな

ものには Burn Cut 法を用いる事が困難な場合がある。何れの場合に於ても r には10乃至15cmにとるのが普通である。

穿孔長は孔が平行であるから、相當に長くとも事が出来、機械力と相俟つて行へば3mを越すことも困難ではない、しかし實際には鑿の長さによつて支配されるが、鑿の長さだけ孔長をとるのがよい。

4. 起爆

各心抜孔が齊發される必要のある事は先に述べたが、この齊發は理論的にも實際問題としても必要でそのためには各裝藥孔間を導爆線を以て連結し、導爆線に雷管をつける。各孔に雷管を入れるときは電氣發破としても百分の一秒を單位とする時間誤差を生じて齊發は不可能である。

5. 從來方法との比較

各種の實例より見て發破の孔數、穿孔長、礫一立方メートルあたり火藥量等につき從來方法と比較すると、孔數では、98.98%で、1.02%の減少、穿孔長は21%増加、掘進延長は22.8%の増加、礫一立方メートル當り火藥量は9.5%の減少となる。この數字は筆者の調査による11ヶ所のもので何れも日本國內のものである。又これらは發破に適當せる礫處理を考へて居ないものであつて、將來は相當に能率を上げる事が可能である。

6. 岩石破壊時の應力狀態

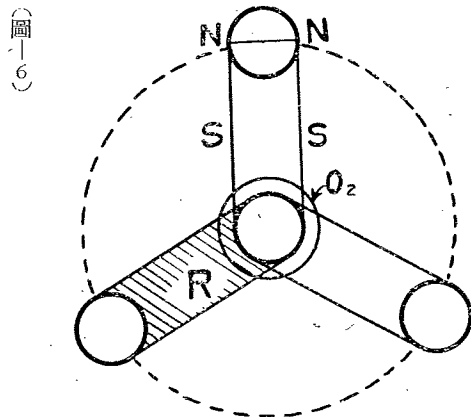


圖-6.に於て

N-N : 有限自由面,

R : 孔-1.の爆破により移動される岩石片。

S面 : 爆破時にRが移動するときの剪斷面。

圖O₂ : 壓縮破砕圈,

N-Nは自由面となるが、普通の發破の際の如く無限大の距離に岩石片が移動可能な程の空間を有しない。よつてこれに有限自由面なる名稱を付けることにする。しかし岩石が剪斷されるためには極微小の變位があれば充分であるから力學的に自由面と見て差支へない。岩石片

Rは發破時の膨張壓により外方に移動せしめられる。それと同時にS面に剪斷力が働く。Rに組織の變化が生じ装藥孔の周圍圓O₂に壓縮が生ず。又理論發破を考へる關係上、穿孔方向に對する力の分布は一應省略して考へる。

7. 破損に要するエネルギー

a. S面の剪斷に要するエネルギー

$$E_1 = 2(x + 2r) \text{ l.e.n.}$$

l : 穿孔長

c : 岩石片の斷面 1 cm²を剪斷破壞せしめるに必要なエネルギー

n : 孔 數

r : 孔半径

b. 岩石の移動に必要なエネルギー,

$$E_2 = \frac{\{2rx + (4 - \pi)r^2\}}{g} \times \frac{v^2}{2} \times n$$

g : 重力の加速度

v : 岩石の移動速度

s : 岩石片の單位體積重量, gm/cm³

c. 岩石の壓縮粉碎に必要なエネルギー

$$E_3 = 2r \times c \times l \times n$$

c : 單位面積の岩石の壓縮粉碎に必要なエネルギー

なお以上の外に、熱、振動、音、噴出の4エネルギーがあるが、これらは解折不能であり、本研究はこれらは無視して理想發破の状態のみを考へた。

上式の外に火藥の面のみからも解折したが紙面の都合上これは省略する。上記のエネルギーのみについて實驗を行い各エネルギーの和と、火藥の所有エネルギーとをequateせしめる實驗も同時に行はれたが次回に譲る。

以上述べたものの理論的形狀(絶對値は出すことは出来ない)をグラフにして示せば、次のグラフに示すものとなる。

圖に於て十方向のエネルギーは有効エネルギー

一方向のものは無効エネルギー

であつて實驗から得られたものはこれらの比は1:3となつて無効エネルギーは極めて大である事が明らかになつて居る。

8. 結 説

Burn Cut 法は以上述べたる如く極めて理論的な心拔法であつて解折も不可能でなく、將來の研究によりもつと能率的に心拔が出来るようになるものと考へられる。この方法よりも進んだものとして、長孔發破法、Spiral Cut 法等も行はれて居るが、これらは根本的には Burn Cut 法と變る事なく合理的な發破法であつてこれらは後日機會を見て報告し各位の御批判を仰ぐこととしたい。

なお、本研究については板倉教授を始めとして、鑛山工學科の各教授、日本油脂株式會社の皆川氏、その他現場關係の各位に御指導を戴いた。茲に深く感謝の意を表する次第である。

