

III-392 硬岩トンネルの無発破掘削におけるスロットの効果

綿奥村組 技術研究所 正会員 本田裕夫

” ” 萩森健治

山口大学 工学部 ” 中川浩二

” ” 古川浩平

1. まえがき

市街地近郊や既設構造物近くのトンネル工事では振動、騒音などの面から発破を使わない掘削工法を要求されることが多い。このような工法は、TBMによるものを除くと基本的には、まず岩盤に引張力を生じさせて人工的にき裂を形成し、みかけの強度を低下させ（一次破碎と呼ぶ）、その後ブレーカで打撃破碎すること（二次破碎と呼ぶ）から成り立っており、これまでの施工例によれば、施工能率を向上させる条件として自由面の存在があげられている。

そこで、本研究は一次破碎、二次破碎におよぼす自由面の効果について、いくつかのトンネルでの現場実験および実施工のデータをもとに検討を行ったものである。なお、自由面を形成する溝（以下スロットと呼ぶ）は筆者らが最近開発した回転打撃式のスロット削孔機によって作成している。トンネルの岩質はいずれも花崗岩で一軸圧縮強度は100 Mpa 以上、弾性波速度は、4.5 ～5.0 km/s程度の硬岩であり、掘削断面はほぼ33～40 m²である。

2. 一次破碎におよぼすスロットの効果

一次破碎の方法は最近種々開発されているが、それらの多くは削孔した孔に内圧を作用させ、おもに引張力により岩盤を破碎するものである。これらのうち、水压破碎器、油圧くさび、膨張性破碎剤の3種類の方法による一次破碎の場合のスロットの効果について検討した。代表的な削孔パターンを図-1に示す。

(1) 水压破碎

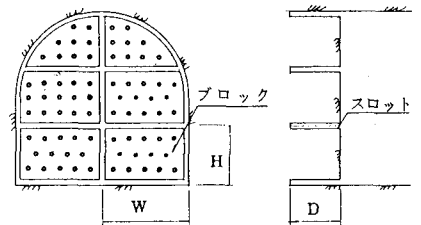
水压破碎装置は孔にゴムチューブを挿入し、チューブを介して高水压を作用させ材料を破碎するものである。実験では内径50mmの孔を40～50cm間隔で配置し、1列にならんだ孔を3～10本同時に加圧してスロットに近い部分から順次破碎した。このとき同時に加圧した孔での破碎圧力の平均値とスロットからの距離との関係について図-2に示す。同図によれば、スロットの近傍では比較的低い圧力で破碎され、スロットからはなれるほど高い圧力で破碎が起っていることがわかる。なお図には示していないがAトンネルでスロットを設けずに加圧したところ、最高加圧力である100Mpaでも破碎できなかった。

(2) 油圧くさび

D社の油圧くさび装置を使用し、孔の内径を46mm、孔間隔を40cmとして3本の油圧シリンダーを同時に加圧した。破碎順序は水压破碎の場合と同様である。図-3にBトンネルにおける破碎時の油圧とスロットからの距離との関係を示すが、水压破碎の場合と同様の傾向がみられる。

(3) 膨張性破碎剤

膨張性破碎剤では破碎時の圧力を直接知ることができないので、単位体積当りの自由面面積と破碎剤の使



ブロックの体積 $V=W \cdot H \cdot D$

ブロックの自由面面積 $S=W \cdot H+2D \cdot (H+W)$
(切端面) (スロット)

単位体積当りの自由面面積 $F=S/V$

図-1 削孔パターン

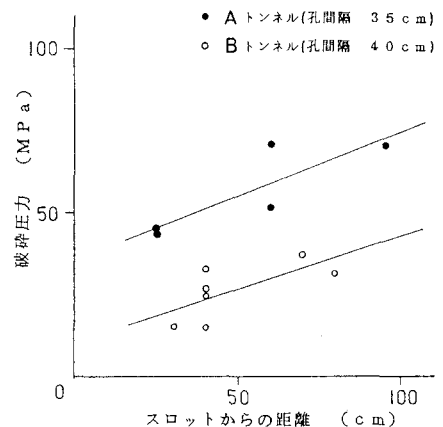


図-2 スロットからの距離と破碎圧力

用量との関係に着目し、これらを変えたいいくつかの削孔パターンについて検討した。結果を図-4に示す。自由面面積は切端面とスロット面をあわせた面積であり、図-1に示す要領で算定した。また、破碎剤によるき裂の発達程度は破碎剤を充填してから15時間経過後にブロックごとにき裂の発生状態を観察し、これを1/4以下の孔間しかき裂が形成されなかった場合から3/4以上の孔間にき裂が形成された場合の4つに大別した。同図によれば、自由面面積が大きいほど破碎剤の使用量は少なくて済むことがわかる。また、図には示していないが、切端面だけを自由面としたトンネルの施工例(自由面面積がほぼ1に相当)では、破碎剤の使用量は80~100kg/m³であったとされている。

3. ブレーカによる二次破碎

ブレーカ重量と破碎能率との関係を図-5に示す。外周部の縁切りをA, B, Cの各トンネルはスロット削孔機により、D, Eトンネルは膨張性破碎剤により実施している。一次破碎の程度や有無は考慮していないが、図よりブレーカ重量が大きくなると破碎能率が著しく大となることがあきらかである。

4. 総掘削能率

無発破掘削の総掘削能率は、掘削する工種の総和で表され、一次破碎は節理の状況、使用するブレーカ重量に応じて適宜省略することもある。総掘削能率をブレーカ重量別に整理したのが図-6である。F, Gはスロット削孔や一次破碎を行わず直接ブレーカ破碎を行った試験施工のデータであるが、他とくらべてとくに能率が悪いといえる。C, D, Eはブレーカ破碎能率はほぼ同じであるが、Cではスロット削孔を行ったことにより、全体の掘削時間がD, Eにくらべて大幅に短くなっている。さらに、Aでは掘削時間が全体的に短くなっているが、この場合ブレーカが大きいいため、スロットは外周の縁切りのみとし、とくに必要な場合のみ一次破碎することで掘削が可能となっているためである。

このようにスロットは一次破碎だけでなく総掘削能率に対しても有効である。

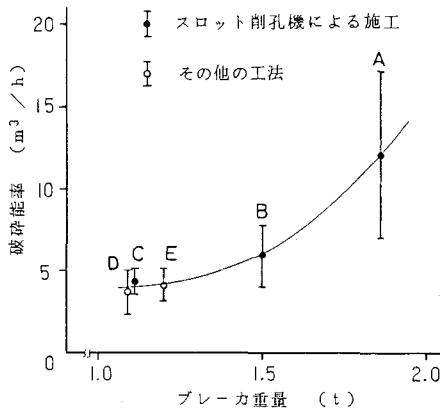


図-5 ブレーカ重量と破碎能率

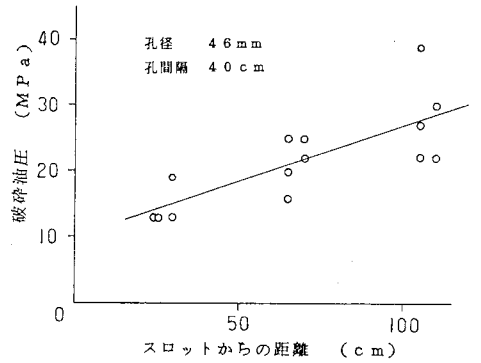


図-3 スロットからの距離と破碎油圧

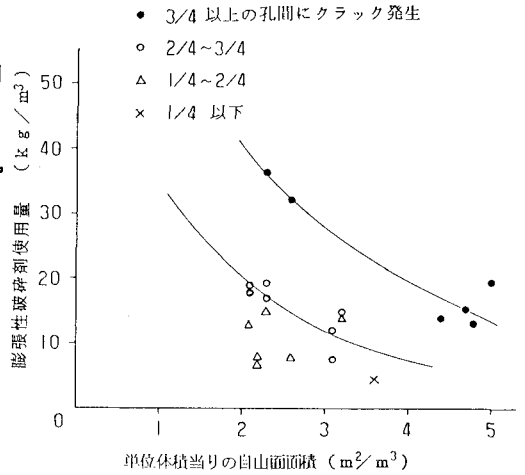


図-4 膨張性破碎剤の使用量と自由面面積

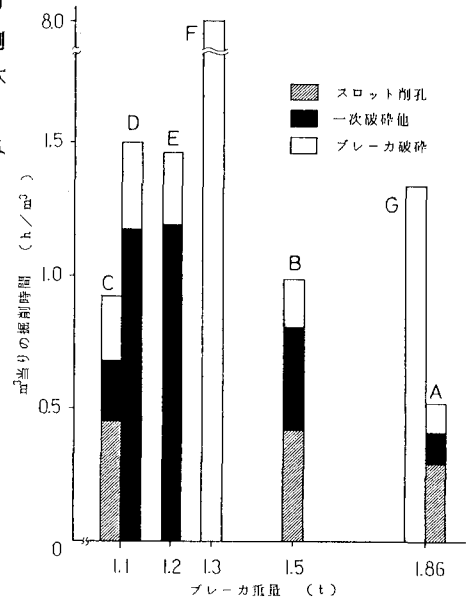


図-6 ブレーカ重量別総掘削能率