

(97) 打撃くさび式岩盤掘削工法の開発

日本国土開発 正会員 ○宮地明彦
日本国土開発 正会員 生木泰秀
山 口 大 学 正会員 古川浩平
山 口 大 学 正会員 中川浩二

1. まえがき

岩盤（リッパによる掘削が不可能な硬岩）を掘削する工法としては、発破によるものが一般的であるが、民家周辺や重要構造物の近辺では、発破作業に伴う騒音、振動、飛石の問題から発破の使用が制限される事例も近年増えてきた。その対策として、発破にかわるいくつかの岩盤破砕法が開発されている。

その中で、筆者らは大規模な岩盤掘削工事において大きい施工能力を持つ無発破岩盤掘削工法として、日本の石工達の使う伝統的な割岩道具であるセリ矢に着目し、その機械化、大規模化を行った。このセリ矢による岩石、岩盤の破砕機構については、未だ不明な点も多いが、現在のところ実用面から良好な評価が得られている。本研究はその開発における問題点の検討とその解決の過程について述べたものである。

2. 打撃くさび式岩盤掘削法

図-1にセリ矢の割岩原理を示す。セリ矢はくさび（以下PW：パワーウェッジ）と当て板（以下CW：カウンターウェッジ）からなっており、PWの貫入によりCWは打撃に垂直な方向に一樣に変位する。これにより岩盤中には孔を通るクラックがまず発生することになる。CWの変位量は打ち込みストロークに比例するため、ストロークを一定値以上とれば、CWの下端より自由面に向けてのせん断破壊（根切り）も可能となる。

打撃くさび式岩盤掘削法はこの根切りを十分行えるだけの破砕力を持っている。その理由をあげると

- ① PWの貫入に重錘による打撃衝撃を用いるので、静的圧入に比べて貫入力大きい。
- ② 一打一打の打撃エネルギーが、PWの貫入量として蓄積される。すなわち、衝撃的貫入の蓄積により大きな水平方向破砕力を得ることができる。
- ③ 数個のセリ矢を同時に使用する（打撃は必ずしも同時に行う必要はない）ことにより、その合力で岩を破砕できる。

等である。

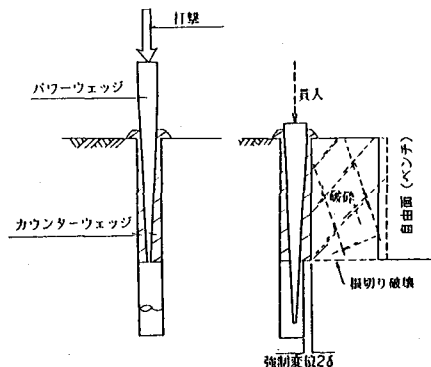


図-1 打撃くさび工法の概略

3. セリ矢を機械化する上での技術的課題

技術的課題は主として、材料、機械の開発といったハード面での課題と、実施システムといったソフト面での課題とが考えられる。

(1) セリ矢の材質

打撃くさび式岩盤掘削法では、打撃を繰り返して、PWを所定のストロークだけ貫入させれば、たいていの硬岩なら破砕できることは前述したとおりであるが、これはセリ矢が破損しないこと、という条件のもとにおいて可能である。したがって、本工法は、“鉄が壊れるか、岩が壊れるかの競争”ともいえ、“いかに強い鋼を造るか”が技術開発上の根本的な課題である。

(2) PWとCWの接触面の潤滑

PWが打ち込まれるとき、CWは、打ち込み方向には移動せず、直角方向に変位するのみである。した

がってPWとCWの接触面は大きな圧力の作用下ですり合されることになり、局部的な焼き付きによるいわゆる“かじり”という現象が起きる。これは、PWとCWの間の摩擦係数を増加させ破砕力を減少させるのみならず、PWの引抜き抵抗を大きくし、極端な場合には引抜き不能という事態を引き起す。このような状態における有効な潤滑剤の開発が必要である。

(3) PW、CWの形状

PW及びCWの形状はセリ矢をモデルにしたものであるが機械化にあたってまず問題となるのはPW及びCWの勾配である。更には、PW、CWの取り扱いのために、いくつかの工夫をする必要がある。

(4) 打撃方式

伝統的なセリ矢は、玄翁を用いて人間が打撃した。本工法では、これを何らかの方法で機械により行うものである。更にこの打撃機は打撃後の引抜き、移設等の工程についても十分考慮したものでなくてはならない。以上の点を総合的に考慮した打撃方式の開発が必要となる。

(5) 穿孔

岩盤破碎工法のうち、岩盤の表面を打撃するブレーカ工法以外の方法では、すべて岩盤に孔を穿ち、その孔壁に圧力を加えて岩盤を破碎しようとするものである。そのため、穿孔作業は不可欠のものであるが、本工法の場合は、とりわけ、次の点が問題となる。

- ① PW、CWの挿入を容易に行うため、孔の直線性に高い精度を持っていないとてはならないこと
- ② 後述するように根切りを可能にするだけのくさびの強制変位量を確保するため、穿孔径は作業全体のバランスの取れる範囲で大口径であること

(6) 掘削方式

上述の材料、機械の問題に加えて、もう1つの基本的な問題は掘削方式の検討である。掘削方式は ①盤下げ方式 ②ベンチカット方式 に分けられるが各々によって、PW、CWの形状、施工機械等に大きな制約を受ける。

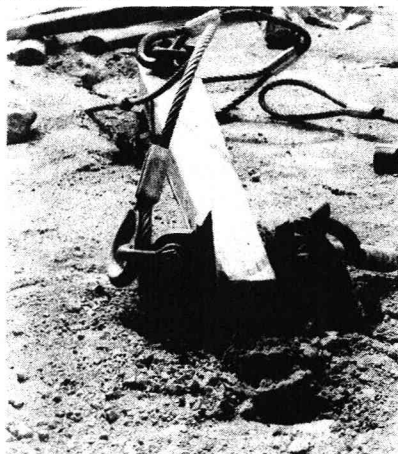


図-2 折れたPower Wedge

4. 技術的課題の克服

(1) PW、CWの材質

図-1に示すように本工法においては岩盤中に建て込んだPWの頭部を2ton程度の落錘を数mの高さから落下させ打撃することになる。従ってPW、CWには衝撃的に非常に大きな力が作用し、通常材質の鋼材を用いる場合には、PWが簡単に降伏あるいは折れ曲ってしまうことになる。打撃により折れたPWの例を図-2に示す。本工法の開発の主たる問題点であったPW、CWの材質的な開発に関しては多数回の試行を繰り返した結果、主として鍛造比を特に大きくするなどにより所定の目的を達成している。

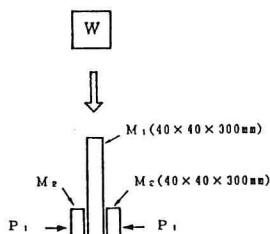


図-3 (a) 落錘衝撃実験

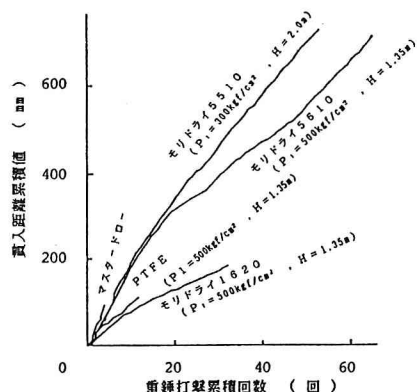


図-3 (b) 重錘打撃衝撃回数と貫入距離累積値の関係

(2) 減摩剤

高性能な潤滑剤として ①粘ちゅう性油状物(商品名マスタードロー) ②固体潤滑剤である二硫化モリブデン(商品名モリドライ) および ③ポリテトラフルオロエチレン(以下PTFE)が有効であることが認

められた。しかし、①の粘ちゅう性油状物は作業性が悪く汚れやすい等の理由により必ずしも作業上適切な潤滑剤とはいえない。そこで②の二硫化モリブデンおよび③のPTFEを組み合わせた潤滑剤システムを開発した。図-3(a)のような落錘式摩擦試験装置を用いて打撃回数と貫入量を記録したものを図-3(b)に示す。これによると二硫化モリブデンの有効性が特に認められる。

(3) PW、CWの形状

セリ矢の勾配が大きいと短い打ち込み量に対して与える変位量が大きくなり、それに対し破碎深度は浅くなる。一方、勾配が小さければ破碎深度は深くなるが、同じ打ち込み量に対して変位量が小さいため有効な破碎効果が得られない場合も生じる。また勾配の大きい場合には、打ち込みに要する打撃力が大きいことが必要となるが、本工法において大きい打撃力を得ることは比較的容易であるため特に大きな問題点とはならない。

従ってセリ矢の勾配は、穿孔径、穿孔長（打ち込み量）及び有効変位量の三要素から定まる。穿孔径は、汎用クローラドリルを用いて穿孔するという条件から、種々試験の結果φ150mmが最大であると考えられた。穿孔長については、ロッドを接続すれば長孔穿孔は可能であるが、直線性および作業性という点で問題が残る。市販の一本もののロッド $l=3.60m$ を用いる場合、地盤の不連続性を考えると穿孔長は最大3.0mを考えるのが妥当である。ここで有効変位量を40mm、打込みストロークを1.0mとすると、勾配として1/25程度が標準型となる。

(4) リーダ

本工法の主たる作業はPWおよびCWの 打撃→引抜き→移設 という三つの工程を繰り返すことである。また、これらの工程を複数のPWおよびCWで行わなければならない。これらの工程のうち、ホイールクレーンをベースマシンとするリーダで打撃と移設という工程は容易に行いうる。しかし40mmというCWの相対変位で岩盤はリッピング可能なまでに破碎されてはいるが、それでもなお前述のように貫入したPWを強く捕捉するだけの力を残している。この捕捉されたPWを油圧リムーバで引抜きながら実測した引抜き力の分布例を図-4に示す。これによると実測された引抜き力は最大70ton程度であるので引抜きに必要な力を100tonと設定し適当な倍力機構によりリーダにこれを持たせることにした。これにより専用リーダは、打撃、引抜き、移設の三つの機能を持つことになる。

(5) ビット

本工法の場合孔曲りが大きいとPWおよびCWの挿入が困難になる。このため特に孔の直線性は重要な問題である。孔の直線性を向上させるために有効と思われることは、まずロッドの剛性を上げることであるがロッドの剛性を上げることは必ずしも容易でないため、ビット形状を親子ビットとして高剛性の部分を長くす

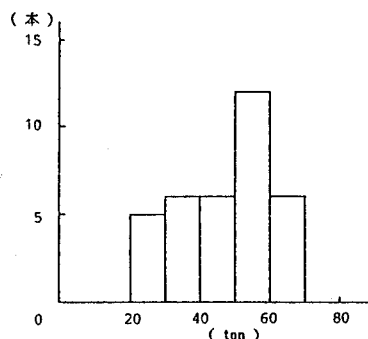


図-4 引き抜き力の分布

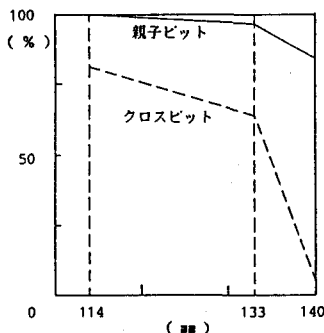


図-5 パイプ挿入百分率

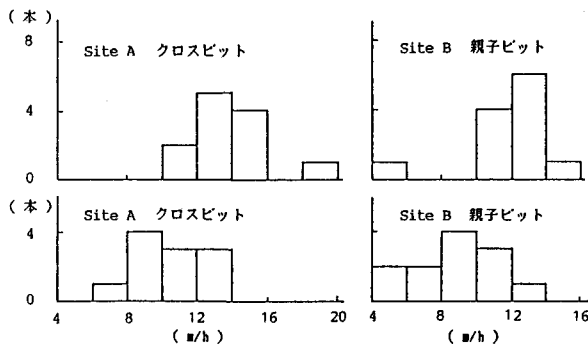


図-6 のみり下り速度の分布

ることによりこの問題を克服することとした。市販の150mm 径のクロスビットと同径の親子ビットの二つのビットを用いて直線性に関する穿孔試験を行った結果を図-5に示す。ここでは2ヶ所の現場においてクロスビットと親子ビットでそれぞれ穿孔された長さ5.5mの孔の直線性の判断のため 140mmφ、133mmφ、114mmφの3本の塩化ビニールパイプを孔に挿入し、その挿入の不可をもって直線性の判定規準とした。これによると親子ビットにくらべてクロスビットによる孔は著しく直線性が低下することが認められた。一方図-6に両ビットを用いた場合の穿孔速度の比較を行っている。これによると明らかにクロスビットの方が穿孔速度は大きく、その程度は30~40% 増となる。しかし前述の直線性から総合的に判断して親子ビットを採用している。

5. 施工性の検討

(1) 掘削形態

岩盤掘削において自由面の存在が有効であることは言うまでもない。このことから掘削形態は特別な場合を除き盤下げ(1自由面)ではなく、ベンチカット(2自由面)を標準としている。

リッピング作業は、ベンチ下段から行えるようベンチ高をH=2.0mとし、一列打撃ごとにリッピングして、自由面が常に打撃孔の近傍に位置する方法とした。これにより穿孔機、打撃機、リッパが待機時期なく連続した作業をすることが可能である。

(2) 強制変位量と抵抗線距離

図-7はモルタル供試体を用いたモデル実験における強制変位量と拘束力との関係を示しているが、孔を通る破壊の発生後は強制変位量の増加とともに拘束力が小さくなることが認められる。実際の現場においてもこれと同様な関係があると考えられるが、岩盤強度にくらべてCWによる岩盤への作用荷重が著しく大きくなるため、抵抗線距離が大きすぎる場合、根切りが十分に行われる前に孔の周辺が圧潰すると、強制変位はその圧潰部分に吸収され、ベンチカット破碎に対して有効な働きを示さないことがある。本工法において抵抗線距離は実績から判断して1.5~2.0m程度を用いている。この値は岩盤の状況により変化すると考えられるが本工法の強制変位量40mm(油圧くさび式破碎機では20mm程度)に対してどの程度の抵抗線距離が妥当か検討の余地が残されている。また孔間隔(Spacing)は抵抗線距離の1.2 倍程度が施工の基本となっている。

(3) 振動、騒音対策

くさびを重錘で打撃し、岩盤掘削を行う以上振動、騒音が発生する。騒音についてはリーダを遮音材で囲うことによりほぼ問題が解決される。振動についてもその大きさは発破とくべると著しく小さい。周波数特性については距離が10m程度と近くかつ岩盤上で計測しても40~50Hz付近が卓越するようである。

6. あとがき

本文では打撃くさび式岩盤掘削工法の開発に伴う技術的課題とその解決の過程について述べた。本工法の開発は実施工における問題点とその解決に力点があったため実施工においてはその目的を十分に達成したと考えるが、基礎的問題それも岩盤力学的な問題点を多く残している。これらの点を解明していくことがこの工法の今後の発展のみならず、岩盤掘削工法の今後の発展に重要であると考えている。

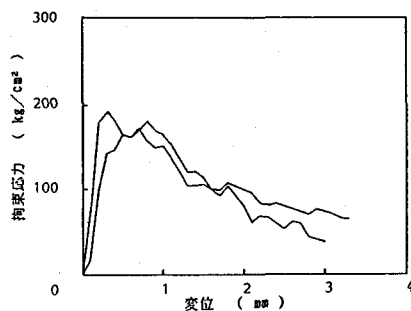


図-7 モルタル供試体におけるCWの強制変位と平均拘束応力

(97) DEVELOPMENT OF WEDGE-STRIKING BENCH CUT METHOD

Akihiko Miyaji *
Yasuhide Oiki *
Kohei Furukawa **
Koji Nakagawa **

Abstract

In recent years, various regulations in construction have become more urgent. Therefore, in rock excavation work near residential area, sometimes there are cases where blasting is difficult.

Rock excavation methods of low noise and low vibration instead of blasting include hydro wedge method, static demolition method and breaker method. We have proposed and developed a more effective fracturing method which is called wedge-striking bench cut method and have successfully implemented the method at several sites.

In this report the circumstances of developing this wedge-striking method is explained and the mechanism of rock fracturing is studied through the laboratory experiment.

* Japan Development and Construction Corporation

** Yamaguchi University