

実施工からみた硬岩トンネルの無発破掘削法に関する 特許情報の検討

STUDY ON NON-BLASTING TUNNELLING TECHNIQUES PATENT INFORMATION IN HARD ROCK

中川浩二*・古川浩平**・萩森健治***・村上 進****

By Koji NAKAGAWA, Kohei FURUKAWA, Kenji HAGIMORI and Susumu MURAKAMI

Non-blasting tunnelling methods in hard rock have become increasingly important especially in urban areas in Japan.

In this study, information about 296 patents concerning the tunnelling technique during the last 16 years was reviewed and discussed. The information was classified into three categories, namely, preparatory demolition technique, secondary demolition technique and a combination of these two. They were discussed from the points of efficiency in actual recent tunnelling and in future development.

Keywords: patent information, non-blasting tunnelling, hard rock

1. ま え が き

硬岩トンネルの掘削は発破によることが経費の点からも、また工期の点からみても著しく有利であることはよく知られている。しかし最近では発破に伴う振動、騒音などのため、発破そのものが許可されず、硬岩トンネルを無発破で掘削する機会がしばしばみられる。発破が不許可となる理由の最たるものは発破地点近くの住民に対する振動公害によるものであるが、時には重要構造物の直近をトンネルが通過するために無発破掘削が要求されることも少なくない。

発破を用いずに硬岩を掘削することの必要性については以前からみられたようであるが、その必要性が特に強調されてきたのは比較的最近のことと思われる。硬岩を無発破で掘削するという作業は、そこに装置あるいは工法としての工夫が必要なため技術者、研究者の創意、工夫がみられるところである。これらの創意、工夫は多くの場合、特許、あるいは実用新案として登録申請されて

いる。そのため、この工法の現状を理解し、将来の技術開発を考えるにあたっては、特許情報を調査、検討することが必要と考えられる。しかし、一方では今日いくつかの実施工された結果からこれらの特許情報を検討するとき、出願された特許(特許権を取得するために出願された技術の総称であり、以下まとめて特許という)に対して多くの反省事項がみられる。このことはまた、今後の技術開発に対して有益な示唆を与えるものと考えられる。

以上のことから本研究では、最近16年間における硬岩トンネルの無発破掘削工法に関する特許情報を整理し、その結果を実施工の状況と比較することにより評価し、これらの特許情報をもとに硬岩トンネルの無発破掘削工法のあり方、将来の技術開発動向について検討した。

2. 特許情報を検討するうえでの問題点

技術情報としての特許情報は学協会誌や報告書等にもられる一般情報や新聞情報とならんで技術開発を考えるうえに重要である。実際に技術開発を試みる側からすれば特許情報はそれを参考にして技術改良を試みるための対象とされる。また、特許情報の技術論理の書き方を丁寧に読めば問題とすべき技術背景、問題点を解決するための技術思想が明確となる部分が多い。しかし、特許が

* 正会員 工博 山口大学教授 工学部建設工学科
(〒755 山口県宇部市常盤台 2557)

** 正会員 工博 山口大学教授 工学部土木工学科(同上)

*** 正会員 工修 (株)奥村組技術研究所主任研究員
(〒559 大阪市住之江区浜口西 3-5-8)

**** 正会員 (株)奥村組技術研究所次長(同上)

企業等の研究成果として存在している以上、そこには検討に際して知っておくべきいくつかの問題点がある。これらを列挙すると次のようなものがある。

1) 特許にはアイデアだけを述べたものと実用化を目的として具体的に論じたものがある。このどちらとなるかはその新しい技術を裏付けるだけの基礎技術の成熟度と採算性による。

2) 企業がある特定の技術について多数の特許を出願するのは主として次の理由による。すなわち企業には本来基本特許があり、第三者がその特許権を回避して競合する模倣技術を実施するのを防ぐ目的で基本特許の周囲にある類似技術を多数出願する。これによって企業は基本特許の独占的地位を確保することを目的とする。

3) 企業等の特許戦略にもよるがアイデアだけのもの出願件数は1件、あるいは数件にとどまるが、実用化を考えたものでは特定の技術について数十件に至るものもある。

4) したがって、特許は必ずしも実施されるものとは限らず、また実施工で有用なものとは限らない。

5) 特許は出願された時点では実施工における効果の確かさが明らかでない場合が多く、特許の良否の判断には時間が必要である。

このような状況を考えて特許情報の取り扱いはずいぶん容易ではないと考えられるが、ここではあえて特許件数とその内容の流れに視点を置き、かつ実施工の立場から出願された特許の総括的な検討を行うこととする。

3. 無発破による硬岩トンネル掘削法と特許情報の概要

山岳トンネルの掘削法としては発破工法、TBM工法、自由断面掘削機工法によるものおよびいわゆる無発破工法とよばれているものがある。しかし、対象が硬岩の場合には自由断面掘削機による掘削には問題がある。またTBM工法は断面形状が限定されることや、トンネル延長が短いときには著しく不経済になるなどの問題点を有している。したがって、硬岩トンネルを発破やTBMを用いずいわゆる無発破工法で掘削する場合には、与えられた制約の中で種々の工夫が必要とされることになる。

この硬岩トンネルのいわゆる無発破工法については、著者らによりその概要が実施工データをもとに検討されている¹⁾。これによると硬岩トンネルの無発破工法は、基本的にはなんらかの処理を施して岩盤切羽面の見掛けの強度を低下させようえ、ブレイカーで打撃、破砕することから成り立っている。この方法で本格的に掘削された最初のトンネルは国道33号線の舟戸トンネルと思われる、その施工実績については日本トンネル技術協会の「硬

岩の低振動、低騒音掘削に関する調査研究報告書²⁾」(昭和53年)に詳しくまとめられている。

著者らはこの報告書に述べられた施工能率を上げるための条件である「岩盤の節理」、「物理的性質-圧縮強度」および「自由面」のほかに「ブレイカーの能力」を加え、これらの要因を実施工の観点から、①自由面の作成、②岩盤の節理などを考慮した岩盤の1次破砕、③ブレイカーによる岩盤の2次破砕、に分けて検討を行った。本研究においても出願された特許をこれら3段階に分けてそれぞれについて検討することが考えられる。しかし、③の岩盤の2次破砕法については破砕装置がブレイカーやピックハンマーあるいは自由断面掘削機に限られ、今回の特許情報の検討になじまないためこれを省いた。一方①、②の組合せ方法、施工の手順、装置の使い方などである工法特許も多数出願されていることからこれも検討の対象とした。

以上のことから、本研究では主としてこの分野の特許情報について調査、分析することとしTBMや自由断面掘削機についての特許は省略する。

これらの装置や方法は国際特許分類(IPC)ではおもにE21C9/00、E21C27/14、E21C37/00、E21D9/10、F42D3/04に分類されている。これについて表—1にその内容を示す。

これらの分類に属する特許につき、昭和47年1月から、昭和63年3月までの間に公開されたもの(出願は昭和46年6月から昭和61年9月までの間になされたもの)を特許情報検索システムによりリストアップ(651件)し、内容を検討して、硬岩トンネルの無発破掘削に関連すると思われるもののみを選び出した。リストアップした特許に関連した項目ごとに分けて図—1に示す。

図—1によれば関連する特許の出願件数は296件で膨張性破砕剤に関する出願が全体の約1/3を占める。次に

表—1 無発破掘削に関連する特許分類

サブクラス	グ	ル	—	ブ
E21C 採鉱、または 採石	9/00	ボーリングロッドの支持、ガイド、心出し装置		
	27/14	層から鉱物を完全に掘り出す機械(27/00)のうち溝の側面に力または圧力を加えることにより効果的に破砕するもの		
	37/00	積込装置を有するかまたは有しない掘り出しのための他の方法または装置		
E21D 立坑、トンネル、坑道	9/10	ライニングを有するか有しないトンネルまたは坑道、それらを作るための方法または装置(9/00)のうち掘削または切削機械を使用して作成するもの		
F42D 爆破	3/04	爆破技術の特別な応用(3/00)のうち岩石爆破に用いる場合		

液圧破碎，くさび破碎装置が多く，これらの3つを合わせた主たる一次破碎に関する特許は全体の60%を占めることになる。

図-2はこれらの特許を出願年次割りに整理したものである。図-2によれば昭和46年～57年の間は年間の出願件数が4～20件で推移しているが，58，59年で急増しており，58年は66件，59年は54件となつてその後は減少傾向にある。この両年で出願件数が急増した理由としては，1つには膨張性破碎剤の開発，実用化に伴って膨張性破碎剤に関連する技術の開発が進んだこと，また1つには発破に対する制限が厳しくなったため，無発破掘削に対する社会的な要請が高まったことが挙げられる。

膨張性破碎剤は昭和54年4月にセメントメーカーO社から販売開始されたが，それ以降，主として他のセメントメーカーにより相次いで同種のものが開発された。昭和56年度にはこれが建設省技術評価制度の課題として取り上げられ，破碎剤のメーカーがいずれもこの評価を受けるため種々の技術開発を進めた。その結果としてこのような出願件数の増加が生じたものと思われる。さらにこの過程において破碎剤を使う工法や，代替工法としての液圧破碎，くさび装置の開発が進んだことを図-2は裏付けている。

昭和60年になって，後述するように実施工件数が増加したにもかかわらず全体の出願件数が減少しているのは，膨張性破碎剤とそれを用いる工法がすでに実施工段階に達しており，技術的に特許として出願するような問題が少なくなったためであろう。

以下に特許内容の検討を行うが，特許出願のおもなものには検索の便を考え出願番号を記した。

4. 特許内容の分類と検討

(1) 自由面の作成に関連する特許

無発破掘削を能率よく行うためには，掘削すべき岩盤をいかに拘束の少ない状態，すなわち自由面が多い状態にするかが重要となる。この自由面として，図-3に示すように①連続溝，②大口径孔，③多数孔集中といったものが考えられる。②③は，実施工ではよく使われるが，特許性に乏しいためか，出願リストにはなかった。連続溝を形成して自由面とする方法について，回転打撃式ドリルによるものと，回転切削式カッターによるものとに大別される。

a) 回転打撃式ドリル

基本的には従来の回転打撃式削岩機を溝掘削に応用するものである。これには単一孔を併設する方法，多連ドリルを用いる方法，および揺動式ドリルによる方法とがある。

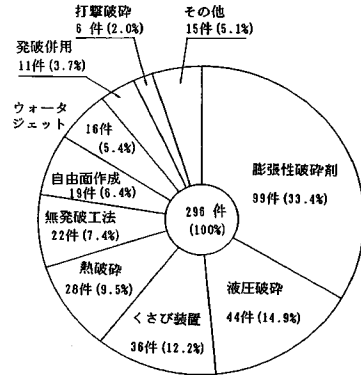


図-1 無発破掘削に関連する特許の項目別出願件数

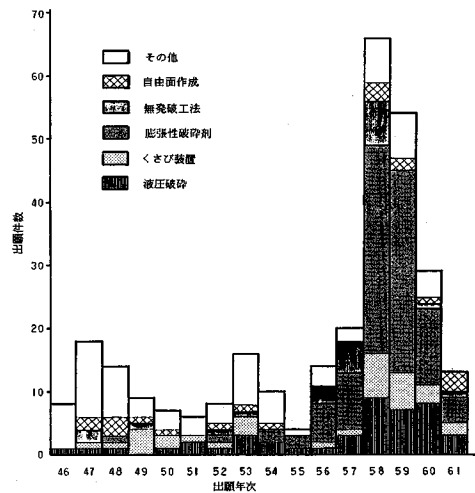


図-2 年次別出願件数

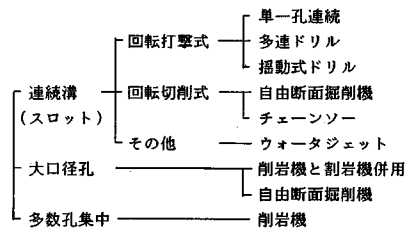


図-3 自由面作成方法

単一孔を併設して溝を形成する方法には (a) 削孔した孔にガイドロッドを入れて隣接する孔を次に削孔してラップさせるもの (56-191601, 61-82283 ほか), (b) 平行移動機構を備えたドリルによるもの (61-90082), (c) 円形孔を近接して削孔したのち，これをリーミングすることによりラップさせるもの (60-6479, 60-78292) が提案されている。(a)の方法は，試験的に使用されているが，削孔の手間や円形孔をラップさせる面で問題があ

り、実用性に乏しいと思われる。(b) (c) を組み合わせた方法は、実施工で用いられている³⁾。

多連ドリル方式は、複数のドリルまたはビットを接するように配置して、円形孔が連続した形状の溝を一度に掘削するものである(51-61319, 53-34219, 56-2656ほか)。この装置は基本的にドリルとビットが同数となっており、円形孔をラップさせるためには、ドリルの幅(D)は、ビット径(B)とロッド径(R)で規制され、 $D < 2B - R$ を満たす必要がある。実用化を考えるとときビット径は50~100 mm程度以内とすることが削孔能率の面から有利であるが、これに適用できる100~200 mm幅のドリルの製作が困難であったことから、実用化にはいたらなかった。その後1台のドリルで複数本のロッドを打撃するようにしたものが考案され(実用新案, 出願番号58-22738)高効率の油圧ドリルの進歩とあいまって実用化に至っている^{4), 5)}。

揺動式ドリルは、ビットを打撃するとともに揺動させることにより、溝を掘削するものである。ロッドを介して打撃する方法(52-63350, 52-53701)では、ロッドに曲げがかかる状態で打撃が加えられることになり、ロッドの耐久性の面で問題がある。一方、ダウンザホール方式のドリル(58-233823)では、この問題が少ないので、実用化の可能性はある。

b) 回転切削式カッター

一般的に回転切削式の方が溝掘削には適しているように思われるが、硬岩を対象とする場合、現状では打撃式に比べて能率が劣る。

回転切削式カッターには、①トンネル断面形状に沿うガイドレールに1台または複数の自由断面掘削機を搭載して、カッターを回転させながらガイドレール上を動かすもの(47-56751, 47-56036)、あるいは振動させるようにしてリングカットするもの(48-52629)、②チェーン状のカッターを同様のガイドレールに搭載してスリットを切削するもの(52-141458, 54-137021)がある。

②は、軟岩トンネルにおいて外周部を切削し、これにコンクリートなどを充填することによって、中央部の掘削に先立って支保を行う工法として実用化されている。

その他の方法として、ウォータ・ジェットで数条の細溝を切ったあと、ドリル等で破碎して大溝を形成させる動作を反復することにより溝を掘削する方法(50-23539, 53-35317, 61-139165)も考えられている。

このほか、今回の調査ではリストアップされなかったが、アブレイシブジェットによりスリットを作成する方法も実施工で採用されている⁶⁾。

(2) 1次破碎装置に関する特許

1次破碎法に関する特許として主なものは、①膨張性破碎剤に関するもの、②液圧破碎に関するもの、③くさ

び装置に関するもの、④その他、と分けるのが妥当であろう。

a) 膨張性破碎剤

膨張性破碎剤は、生石灰の粉末が水と反応して膨張する性質を利用して岩石やコンクリートを破碎するものである。これに関する最初と思われる特許は、今回調査対象とした出願年次より以前の昭和43年9月に出願されている(43-69083)。

市販された当初の問題点として、①孔内に充填してから膨張圧発現までに10~20時間を要する、②破碎剤が孔口から噴出するいわゆる鉄砲現象が起きる可能性があるなどが挙げられたが、その後の改良によりこれらの問題はかなり解決されてきている。

膨張性破碎剤に関する特許全99件を主に問題点の改良目的別に分けて図-4に示す。これらの内容は、上記の問題点を改良するためのものが多い。中でも膨張圧発現時間の短縮に関する問題はトンネル掘削作業のサイクルの点から重要な意味を有し、出願割合からみても最も多く、23件を数えている。その方法としては、主として生石灰(CaO)の水和反応は加熱することによって促進されることを利用したもので、加熱方法は以下に示す種々の工夫をして出願されている。

- i) 発熱反応する促進剤を口元に充填したり(58-126976)、発熱剤を点火具で発火させる(58-247767)。
- ii) 孔内にパイプを挿入し、破碎剤充填後このパイプに加温した流体を通す(59-137940)。
- iii) 断熱性のチューブに破碎剤を入れ、破碎剤の反応熱が周囲に放散しないようにする(59-168742)。

これらのうちi)の方法が効果および作業性の面で良好と思われる。

なお、加熱に際して未反応部の水が蒸気化して、スラリーが噴出することが多いので、このための対策もあわせて考えられているものもある。

破碎剤の膨張圧を高めるための方法として、孔尻に爆

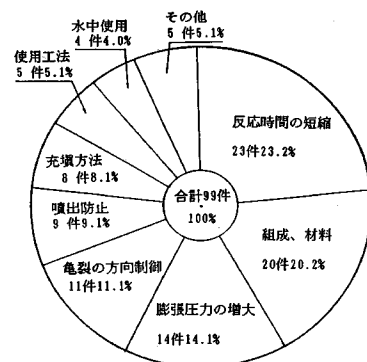


図-4 膨張性破碎剤の特許分類

裂物を入れる(59-156958 ほか)、孔内に拘束板を入れて膨張圧が逃散しないようにする(56-165528)などの特許が14件出願されているが、トンネル掘削の目的からは必ずしも有用としたいものが多い。

実際に破砕剤をトンネル掘削で使用する場合は作業性からは破砕剤の充填方法は重要である。破砕剤は通常粉末で、これに水を加えてスラリー状にして、孔内に充填する方法が一般的である。この方法では、横孔や上向きの孔には充填しにくい。そこで、破砕剤をカプセル化するもの(56-66197 ほか)、別のカートリッジに入れこれとともに孔内に挿入してカートリッジのみを引き抜くもの(58-66876)、ボアホール削孔後、削孔に使用したロッドを利用してロッド孔から注入する方法(59-267517)などがある。この中で、カプセル化の方法は現場での作業が簡素化されることから、すでに製品化され広く用いられている。

組成材料に関する特許はユーザーの側からは特に参考となることは少なく、破砕効果の改良や亀裂の方向制御の方法に関しては興味のあるものもみられるが、実施工の面からはさらなる工夫が必要と思われる。

b) 液圧破砕

液圧破砕では通常液体に水を用いているため、材料としては、どこでも安価に入手でき、さらに圧縮性が小さいためかなりの高圧まで加圧できる点が長所として挙げられる。短所としては、①液体であるために横方向あるいは上向きの孔に対して液体の充填が難しい、②亀裂がある場合に亀裂に液体が漏れ、圧力が上昇しにくいことが挙げられる。液圧破砕に関連すると思われる特許件数は合計44件であり、その内容を分類して図-5に示す。図からもみられるように①、②の問題を解決するための工夫が主として特許の主題となっている。中でも孔内にチューブを挿入し、これに高圧水を送ってチューブを介して孔壁に載荷する方法は、かなり実用化されており、チューブにはゴムチューブがおもに用いられている。従来、孔内載荷試験用のものがあったが、岩盤の破砕を目的とした特許は58年に最初に発願されている(58-124336, 59-125836 ほか)。その後、ゴムメーカー等から同種のもの(59-239275, 60-170329, 60-238669, 61-112732 ほか)が発願され、現在2~3商品化されている。

ゴムチューブは被破砕物の亀裂にくい込んで破損する問題があり、この対策としてチューブに補強材を入れたり、補強材でカバーする方法が発願されている。しかし、補強材を強固なものにすれば、孔壁に載荷される有効圧が減少し、またコストアップにもなるなどの問題が残る。

孔内に満たした液体に衝撃力を与えて高圧を発生させる方法は51年前後に外国から発願され(50-49218 ほか)それ以降継続的に計10件の発願がある。この方法は外

国では一部実用化されているようである⁷⁾。また、水に高分子系の増粘剤を添加して高粘性液体とし、亀裂からの液体の漏洩を防止する方法(53-74830, 54-144341 ほか)などみられるが岩盤の破砕に必要な50~100 MPa程度の高圧力下では、漏洩防止効果はほとんどないと思われる。

その他、破砕効果の改良方法として、孔に切欠きを設けたり(51-73093)、孔の一部を拡幅したりする方法(57-230414)がみられる。また、注水した孔中に放電装置を入れ、通電することにより水を膨張気化させて破砕する方法(58-58703)の出願がある。

また、液圧破砕の分類としては、多少異なるが、ウレタンゴムなどでできた円筒状の弾性体を孔内に入れ、軸方向の圧縮に伴う側方への膨張による押圧力を利用して破砕する方法(57-94119)がある。これは、最初フィンランドのT社が57年に日本に出願したもので、その後、国内のゴムメーカー、ゼネコンと同様のものが共願(58-202234 ほか)されている。この方法は実用化され、明りのベンチカット、トンネルにおいて試験的に使用されている。

c) くさび装置

岩石にもともとある亀裂や、人工的に穿った孔や溝の中にくさびを打ち込んで岩石を割ることは古くから行われている。このくさびに関する出願件数は合計36件であり、図-6のように分類した。

装置としての岩掘削用のくさびについては、約20年前に西ドイツのD社で開発された。これは、2枚のフェザー(カウンターウエッジともよばれる)の間に、主として油圧ピストンを利用してウエッジを押し込み、フェザーを押し開くことにより割岩するものである。また、逆にウエッジを引き抜くことによってくさびを広げる装置(59-263617 ほか)もあり、一部で実用化されている。特許としてはこの種の油圧くさびの割岩効率を上げるための工夫に関するものが多く(48-69661 ほか)、約半数がこれに分類されている。

油圧くさび装置は、鋼製のシリンダーやウエッジ等から構成され、一般に重量が大きく、作業性に欠ける問題がある。さらに、最近では大きな割岩力を得るため、600 kg以上の大型のくさび装置も作られるようになった。そこで、破砕作業の能率化をはかるため、このような大型のくさび装置を支持するための自在に動くアームに関するもの(58-25217)や、さらには削孔装置とくさび装置とを同一の機械に設置したものがある。これには、一本のアームに取り付けたガイドシエルに両装置を設置するもの(52-14561, 58-180628 ほか)とアームをそれぞれ別個に設けるもの(57-129122 ほか)とがある。前者は、削孔後くさび装置をボアホールに対して軸方向の

(a) チューブ式	ゴムチューブ	56-124336, 60-238669, 61-112732 他
	袋	48-53857, 59-143233
	金属チューブ	48-52223
(b) 動的加圧	高速給水	51-109930, 52-75633, 58-241506他
	給水後打撃	47-127942, 50-49218, 59-235279他
	ガス発生剤の燃焼	61-13191
(c) 水の流動性を小さくする (増粘剤)		53-74830, 54-144341, 58-135794
(d) 注水方法	削孔後ドリル孔から注水	53-132505, 59-58643
	ウォータージェットで削孔後注水	58-234941
(e) その他	スリット切削併用	51-73093
	孔の一部拡張	57-230414
	弾性体の軸方向圧縮	57-94119, 58-225355, 60-98434 他
	注水後通電	58-58703

図—5 液圧破碎方法の分類

(a) 油圧くさびの構造	削岩幅の拡大	47-6092
	削岩時の偏圧防止	48-69661
	ウェッジの押込み量の減少	50-67048
	ウェッジ引き抜き式くさび	49-141045, 59-263617 他
	削岩ボールの押込み式くさび	59-72271
	孔尻の破碎の効率化	58-80025
	砂を入れてくさびを押し込む	60-48137
	その他	49-25617, 53-50275 他
(b) くさび保持装置	移動自在式アーム	58-25217
	軸周り回転式	58-94439
	その他	50-100357
(c) 削孔装置との併用	ビットとくさびを同軸に設置	51-125587, 49-83344他
	同一のガイドシエルに併設	52-14561, 58-180828他
	別個のガイドシエルに設置	57-129122, 61-71593
(d) その他のくさび	打撃くさびとその構造	56-194476 他
	半径方向に押出すシリンダー	56-72414, 58-119956
	孔口のシリンダーで押し抜け	60-98582

図—6 くさび装置の分類

ずれがなくなるようセットできるよう工夫されており、割岩操作が容易である。

打撃によりくさびを貫入させる方法を大型化、機械化した方法が明りのベンチカットで用いられている (56-194476 ほか)。この方法は現在のところトンネルでは用いられていないが、はなはだ強力であり、参考にする価値が認められる。

(3) 無発破掘削工法

特許には在来装置、材料等を組み合わせた実際の施工法についての工法特許がある。岩盤の無発破掘削法についても多くの工法特許が申請されている。

これらは基本的に自由面をどのように作成、あるいは配置するかという考え方と、配置された自由面に対しど








ういう装置で自由面周囲の岩盤を掘削するかという考え方から成り立っている。この考え方に基づき工法特許19件を分類すると表—2となる。

自由面の作成工法としては削孔した孔間をウォータージェットで切断するものや、スロットを掘削するものがある一方、スロット掘削の装置を必要としない汎用機を用いるものとして大口径ボアホールを連結させるもの、あるいは集中させて弱い部分を作り、心抜き孔の代用とするものなどがみられる。

また、形成された自由面の近傍岩盤を掘削する方法としては、ウォータージェットによる切断あるいはくさび装置で破断することにより自由面で囲まれた岩盤をブロック状に掘削するものや、自由面の外側をブレーカやくさび装置で順次小割破碎してゆくものがある。前者は、方法としては理想的であるが、現在の技術からしてウォータージェットの切削速度が遅く、切削深さが浅いため実用化には問題が残されている。後者は、能率の面を別にして、実施工で用いられている^{3), 4), 6), 8) - 11)}。

また、硬岩トンネルの無発破掘削において特に問題となる周縁部との縁切りのために外周部をラインドリリン

表—2 無発破掘削工法の分類

自由面配置	自由面作成方法	一次、二次破碎	出願番号
全	 機械カット、水力併用カット スロットドリル	ジャッキ	47- 72607
		くさび、ブレーカ	58-101331 58-108750
	 機械カット	ジャッキ	47- 52184
面	 スロットドリル	くさび	56-128678
		フラットジャッキ	58-198927
	スロットドリル	ボルト引き抜き	58-108751
中	 大口径削孔のラップ 特に定めない 特に定めない	破碎機	56-207523
		くさび	57-222615
		膨張性破碎剤	57- 59064
央	 大口径削孔群+くさび	特に定めない	57-230385
		 大口径削孔+周辺孔くさび	特に定めない
部	液圧破碎装置	特に定めない	61-112733
そ	 外周ラインドリリング+膨張性破碎剤	特に定めない	58- 13790
		 ボアホール集中削孔	ブレーカ
の	 削孔+ウォータージェットによるブロックカット		52- 20121
			53- 63387
			55- 33681
他	削孔+くさびによるブロックカット		58-124130

グシ、膨張性破砕剤を用いて亀裂を作成し、縁切りとする工法があり、実施工においても用いられている^{3), 8)~10)}。

5. 実績からみた特許の評価

著者らは前報¹⁾において、そのときまでに発破あるいはTBMを用いずに掘削された硬岩トンネルのうち、文献などに公表されたりあるいは著者らがなんらかの形で関与し、資料を入手し得たものをまとめて示した。その後、無発破硬岩トンネル掘削の需要に伴い、さらに数件の試験掘削あるいは施工実績が発表されているので、これをまとめて示したものが表—3である。前報からさらに5本以上のトンネルについての資料が追加され、また前回の資料においても、そのうち3本が施工中であったことを考慮すると、最近においていかに無発破硬岩トンネル掘削が大きな意味を有していたかが明らかである。

表—3に挙げたトンネルのうち、実施工として行われたものは1~9である。そのうち7および8は掘削の心抜き部分を無発破で行い、払い部分には制限発破を用いたものであり、厳密な意味では無発破掘削とはいえない。しかし、これらの心抜き部に用いられた無発破工法は若干の工夫をすれば基本的には全断面の掘削に応用可能と考えられるためここに挙げている。また表中には用いられた装置あるいは工法に対応すると思われる特許を出願番号で示した。

これらの施工実績を先に示した①自由面作成、②一次破砕、③無発破掘削工法、④二次破砕との観点から検討すると以下ようになる。

(1) 自由面の作成

自由面を作成することなしに、多数のボアホールを有する切羽をブレイカーの打撃によって掘削した舟戸トンネル²⁾を除けば、なんらかの形で自由面あるいは弱部の作成が行われている。すなわち、明確なスロットの作成が行われた例は、4, 5, 7, 9, 10, 11, 12であり、これらのうち4, 5, 11, 12は5連のスロット削孔機により、7, 10は親子ビットを用いた単孔の連結により、また9はアプレシブウォータージェットを用いてスロットを作成している。また親子ビットを用いる方法についても7はそのための装置の開発を行っており、10は小断面ということもあって、レッグハンマーを基本とした親子ビットによっている。

それに対して2, 3, 6, 8では、切羽の中央部に大口径孔を集中し、これを心抜き弱部とすることにより次の一次破砕を行っている。

自由面作成方法には前述のような各種の特許がみられるが、実施工結果を考察すると切羽面積が10m²程度より大きい場合、施工の規模、あるいは速度からしてスロット削孔機による連続したスロットの作成あるいは、大口径孔の集中による心抜き弱部の作成が有効と考えられる。

表—3 無発破硬岩トンネルの掘削施工実績

番号	断面積(m ²)	中央部自由面	外周部縁切り	一次破砕	二次破砕	工法全体	参考文献
1	上半34	ボアホール群			ブレイカー	49-80319	2)
2	上半41	大口径孔+<シ>(ビツカ)57-230365	ラインドリル+膨張性破砕剤58-13790	<シ>(ビツカ)+膨張性破砕剤58-25217	同 上	57-222615	8)
3	上半35	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	9)
4	全断36	ドリフト(多連式)実用新案58-22738	ドリフト(多連式)実用新案58-22738	水圧破砕装置58-124336 他	同 上	58-109750 58-101331	
5	上半51	同 上	同 上	無し	同 上	同 上	4)
6	上半52	大口径孔+<シ>(ビツカ)57-230365	ラインドリル+膨張性破砕剤58-13790	<シ>(ビツカ)+膨張性破砕剤58-25217	自由面掘削機		3)
7	上半52	ドリフト(親子ビット)60-78292, 61-82283, 61-82282	ラインドリル+膨張性破砕剤58-13790	<シ>(MAスクリュー)61-68284	丸ノコ、自由断面掘削機、発破		10)
8	上半52	大口径孔		<シ>(パイロスタック)			
9	全断5.4	アプレシブジェット60-132495 60-132496	膨張性破砕剤	膨張性破砕剤	丸ノコ、ビツカ	52-20121 55-33681	6)
10		親子ビット60-6479		膨張性破砕剤	ビツカ		11)
11	全断10.7	ドリフト(多連式)実用新案58-22738	ドリフト(多連式)実用新案58-22738	膨張性破砕剤 液圧破砕装置58-124336	丸ノコ コンクリート破砕器 発破	58-109750 58-101331	5)
12	全断30	同 上	同 上	膨張性破砕剤、液圧破砕装置、油圧<シ>58-124336	丸ノコ 発破	58-109750 58-109751 58-101331	5)

(2) 一次破碎

膨張性破碎剤は9, 10, 11, 12の小断面トンネルあるいは試験施工において主工法として用いられているが, 2, 3, 6の大断面の掘削においては主たる一次破碎を油圧くさびにより, 膨張性破碎剤は外周部岩盤との縁切りに用いられているのみである。このことは膨張性破碎剤の発現膨張圧が限られていることと, 膨張圧発現まで長時間を要することが問題となり, 大断面掘削の主工法としては問題があるためと思われる。圧力発現時間の短縮のための工法の開発は種々行われているが, いずれも安全性の問題等で十分とはいえず, 実際のトンネル施工において用いられるにはいま一步の開発が期待されるところである。

また, 油圧くさびについては当初, 大重量のくさび装置を重機に釣り下げる方法で用いられていたが, 適当な支持装置の開発により, その汎用性が増大し, かつては膨張性破碎剤を用いていた周縁岩盤との縁切りにも使用可能となってきたように思われる。特に油圧くさびは現在のところ膨張性破碎剤や液圧破碎装置と比べて破碎力が大きく, 取り扱いやすさの向上により大断面トンネルの主たる一次破碎工法の位置を確保したと考えられる。

液圧破碎装置等については4, 11, 12のトンネルで一部用いられたが, ゴムスリーブの保護などに今後解決すべきいくつかの問題があり, トンネル掘削への実用化にはまだ問題点があると考えられる。

(3) 無発破掘削工法

無発破掘削工法は開発された装置等をどのように組み合わせるか, であるとみることもできる。特に種々の装置, 材料の長所を組み合わせることによって短所を補うアイデアは素晴らしいものがみられる。この工法の工夫により特別に新しい装置を開発せずとも十分な効果を挙げている例がみられる。たとえば強力な油圧くさびの操作が容易な切羽中央部は油圧くさびを用いて掘削し, これと併行して油圧くさびの操作が困難な縁切り部に膨張性破碎剤を用いて, 膨張圧発現までの時間を有効に活用する工法などはアイデアとして興味のあるものである。また切羽中央部に大口径孔を集中させ, これらの孔間の岩を強力な油圧くさびで破碎し自由面に代わるものとする工法も大いに有用である。

(4) 二次破碎

二次破碎法としては, プレーカー, 自由断面掘削機, およびピックハンマーによるものがほとんどである。ピックハンマーが用いられるのは小断面トンネルに限られ, 重機の使用が可能な場合にはプレーカーあるいは自由断面掘削機が用いられると考えられる。特に岩盤の二次破碎における重機の能力は掘削効率を高めるうえで非常に重要であり, このことは重機の能力が向上すれば一

次破碎の程度を小さくすることが可能となる。しかし一方, たとえば二次破碎時のプレーカーの打撃が振動あるいは騒音としての公害源となり, 夜間の作業が限定されるなどの問題も起こっており, 静かで強力な二次破碎法の開発も望まれるところである。

6. おわりに

以上のように硬岩トンネルの無発破掘削工法を対象として, 岩盤の無発破掘削に関する特許情報の検討を行ってきた。特許情報には実に多種多様なものがあり, それを出願された時点で有効に判定することの困難さが, 後になって判断するとよくわかるように思われる。本研究では特許情報の評価を一応実施工でどのような成果を収めたかを基本として行っている。しかし, トンネル掘削という性格上その工法などの試験には多大の費用を要するため, 実施工に用いられなかった工法が必ずしも良い工法ではないということにはならない。これらの工法の中にも関連技術の開発に伴って将来実用化が期待できる工法もみられる。

検討結果をまとめると以下のとおりである。

① 施工実績は最近になって増加しているが, 特許出願件数はそれ以前の58, 59年に急増し, その後減少している。このことから工法がすでに実施工段階に移行し, 技術的な改良段階に入ったものと推察される。

② 自由面作成に関連して実用化された特許は, 従来の回転打撃式削孔装置の延長線上にあり, この方法が今後とも自由面作成の基本と考えられる。

③ 一次破碎では油圧くさびが実用化された有力な工法である。削孔装置と組み合わせた最近のくさび装置の基本的な構造は今後とも変わらないと考えられるが, トンネルへの適用を目的として今後の改良が期待される。

④ 膨張性破碎剤に関連して非常に多くの特許が出願されているが, 防衛的な意味あいの特許が多く実用性の面から特に重要と思われるものはわずかである。短時間で, 安全に破碎できる製品とするまでにはいま一步の開発が期待される。

⑤ 液圧破碎のうち, 最近になって出願件数が増加しているゴムチューブ方式は, 今後も改良が進むと思われるが, くさび装置などの代替案と比較すれば実用化の可能性は低い。

本研究では触れなかったが, 二次破碎にプレーカーを用いることは, 振動, 騒音の面からは望ましくなく, 何らかの工夫が望まれる。

最後に本研究をまとめるにあたり, 奥村組技術研究所 藤原 洋氏から多くの助言を得た。記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 本田裕夫・萩森健治・古川浩平・中川浩二：硬岩トンネルの無発破掘削に関する研究，土木学会論文集，第379号/VI-6，pp.55～64，1987年3月。
- 2) 日本トンネル技術協会：硬岩の低振動・低騒音掘削に関する調査研究報告書，1978年。
- 3) 向 正・岡清一郎：中硬岩を自由断面掘削機で掘る山陽自動車道武田山トンネル，トンネルと地下，Vol.18，No.11，pp.13～20，1987年11月。
- 4) 吉田美隆・満留隆雄：新鮮花崗岩の機械掘削について，第17回日本道路会議，pp.198～199，1987年10月。
- 5) 梶本 正・村上 進・本田裕夫・萩森健治：トンネル無発破掘削「OSD工法」の開発，建設の機械化，No.422，pp.34～39，1985年4月。
- 6) 石田豊祐・和田嘉朗・蓮井昭則・松本浩一：無発破トンネル掘削工法の施工，アブレイシブジェットと膨張性破砕剤による，建設の機械化，No.451，pp.11～16，1987年9月。
- 7) Rock splitting techniques：Construction Industry International，pp.30～31，1985.6.
- 8) 山口梅太郎：硬岩における無発破掘進，トンネル技術講演会，pp.1～18，1987年2月。
- 9) 名倉 隆・市丸 宏・寺坂典正：トンネル工事と環境保全対策，本四備讃線蟻峰山，下村トンネルの場合，トンネルと地下，Vol.17，No.4，pp.293～302，1986年4月。
- 10) 川上 裕：無発破トンネル工法“KOMETシステム”，建設機械，Vol.24，No.3，pp.61～65，1988年3月。
- 11) Fukuda, K., Kumasaka, H., Ohara, Y. and Ishijima, Y.：Tunnel excavation by combination of static demolisher with slit cut drilling，Proc. 6th Int. Congress on Rock Mech., Montreal，pp.625～628，1987.
(1988.9.16・受付)