

(70) 特許情報からみた硬岩トンネルの無発破掘削法

山口大学工学部 正会員 ○ 古川 浩平
(株) 奥村組 正会員 萩森 健治
山口大学工学部 中尾絵理子
山口大学工学部 正会員 中川 浩二

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

Kohei FURUKAWA, Yamaguchi University
Kenji HAGIMORI, Okumura Corporation
Eriko NAKAO, Yamaguchi University
Koji NAKAGAWA, Yamaguchi University

Abstract

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 two categories, namely, preparatory demolition technique, secondary demolition technique. They were discussed from the points of efficiency in actual recent tunnelling and in future development.

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ともなう振動、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見られる。

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基に硬岩トンネルの無発破掘削工法のあり方について検討した。

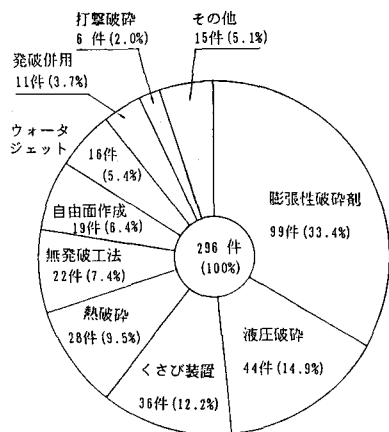


図-1 無発破掘削に関する特許の項目別出願件数

2. 無発破による硬岩トンネルの掘削法に関する特許情報の概要

この硬岩トンネルのいわゆる無発破工法については、筆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、①自由面の作成、②岩盤の節理などを考慮した岩盤の1次破碎、③ブレイカーによる岩盤の2次破碎、に分けられる。本研究においても出願された特許をこれら3段階に分けて検討することが考えられる。しかし、③の岩盤の2次破碎法については破碎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。

無発破による硬岩トンネルの掘削法に関する特許について、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）の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ついて図-1に示す。図によれば関連する特許の出願件数は296件で膨張性破碎剤に関する出願が全体の約1/3を占める。次に液圧破碎、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件となっ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、一つには膨張性破碎剤の開発、実用化にともなって膨張性破碎剤に関連する技術の開発が進んだこと、また一つには発破に対する制限がきびしくなったため、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。

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。

3. 特許内容の分類と検討

(1) 自由面の作成に関連する特許

自由面として、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①単一孔を並設する方法、②多連ドリルを用いる方法、および③揺動式ドリルによる方法とがある。ここでは実用性の高い①、②について述べる。

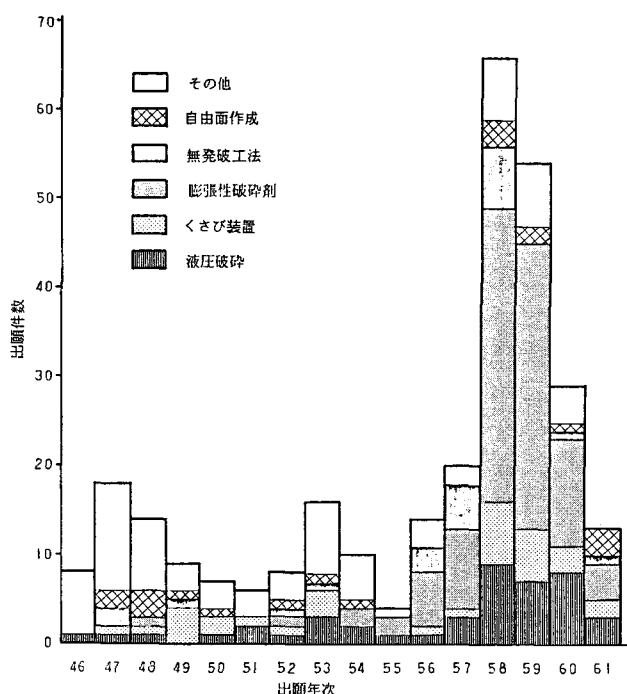


図-2 年次別出願件数

単一孔を並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他)、(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、60-7829 2)が提案されている。

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他)。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) 高エネルギーの油圧ドリルの進歩とあいまって実用化に至っている。

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チェーンソー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) 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あげられたが、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-3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。

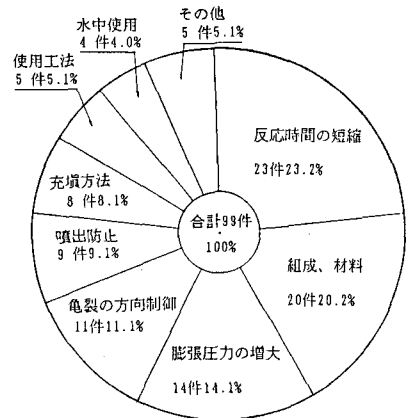


図-3 膨張性破碎剤の特許分類

b) 液圧破碎

液圧破碎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压できる点が長所としてあげられる。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むずかしい、②き裂がある場合にき裂に液体が漏れ、圧力が上昇しにくいことがあげられる。液圧破碎に関連すると思われる特許件数は合計44件であり、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、岩盤の破碎を目的とした特許は58年に最初に出願されている(58-124336、59-125836他)。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他)が出願され、現在2～3商品化されている。

ゴムチューブは、非破碎物のき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出願されている。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。

c) くさび装置

岩石にもともとあるき裂や、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なわれている。このくさびに関する出願件数は合計36件であった。

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呼ばれる）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他）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他）、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、600kg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、破碎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、一本のアームにとりつけたガイドシエルに両装置を設置するもの（52-14561、58-180628他）とアームをそれぞれ別個に設けるもの（57-129122他）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。

4. 実績からみた特許の評価

発破あるいはTBMを用いずに掘削された硬岩トンネルで、文献などに公表されたりあるいは筆者らがなんらかの形で関与し、資料を入手し得たものを表-1に示す。これらのトンネルの内、実施工として行なわれたものは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ない、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、②一次破碎との観点から検討すると以下ようになる。

(1) 自由面作成

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なわれている。すなわち、明確なスロットの作成が行なわれた例は、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はアブレイ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なっており、10は小断面ということもあってレ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碎を行なっている。

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。

(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砕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なわれているが、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、かつては膨張性破砕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砕剤や液圧破砕装置とくらべて破砕力が大きく、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砕工法の位置を確保したと考えられる。

液圧破砕装置等については、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。

5. おわりに

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 一次破砕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 膨張性破砕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、安全に破砕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。

表-1 無発破硬岩トンネル掘削施工実績

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
1	上半34	ボルト群			ブレーカ
2	上半41	大口径孔+くさび(ピッカ)57-230365	ラインドリル+ 膨張性破砕剤58-13790	くさび(ピッカ)+膨張性破砕剤58-25217	同 上
3	上半35	同 上	同 上	同 上	同 上
4	全断36	ソットドリル(多連式) 実用新案58-22738	ソットドリル(多連式) 実用新案58-22738	水圧破砕装置 58-124336 他	同 上
5	上半51	同 上	同 上	無し	同 上
6	上半52	大口径孔+くさび(ピッカ)57-230365	ラインドリル+ 膨張性破砕剤58-13790	くさび(ピッカ)+膨張性破砕剤58-25217	自由断面掘削機
7	上半52	ソットドリル(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	くさび (MAXブリック) 61-68284	ルーカ、自由断面掘削機、発破
8	上半52	大口径孔		くさび (ハイドロクラック)	
9	全断5.4	アルジブ ジェット 60-132495 60-132496	膨張性破砕剤	膨張性破砕剤	ルーカ、ピック
10		親子ビット 60-6479		膨張性破砕剤	ピック
11	全断10.7	ソットドリル(多連式) 実用新案58-22738	ソットドリル(多連式) 実用新案58-22738	膨張性破砕剤 液圧破砕装置 58-124336	ルーカ コンクリート破砕器 発破
12	全断30	同 上	同 上	膨張性破砕剤、液圧破砕装置、油圧くさび 58-124336	ルーカ 発破

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。