

注入式ロックボルトの開発

DEVELOPMENT OF "INJECTION TYPE ROCK BOLT"

山本 稔*・木川 富男**

By Minoru YAMAMOTO and Tomio KIGAWA

"Injection type rock bolt" has been finally succeeded in actual use after repeating tests and improvements under many kinds of the natural ground at the tunnel construction sites.

The principal components of this rock bolt are the bolt provided with a cloth bag fitted on one end of the bolt, injection tube and ventilation tube.

Advantage of "Injection type rock bolt" ① Even long size bolt can be used. ② The grout can be filled into the hole without any void. ③ It can be checked easily. ④ A high pullout resistance can be obtained quickly. This is explanation for the process of the development, component of the rock bolt, injecting material, grout pump units (both in the manual and automatic method), the pullout test, the working procedure and the execution.

まえがき

全面接着式のロックボルトとして、従来モルタル定着型とレジン型が多く用いられているが、前者については充填されたモルタル中にボルトを挿入するため、長尺のボルトは挿入が難しく、また短時間に強度をだすことができないし、後者については、レジンの攪拌トルクに問題があり、挿入できるボルト長さに制約があるなどの欠点がある。また両者に共通する問題点としては、削孔内に空隙が残り易く、充填度の確認ができないことなどがある。

この度、これらの欠点を除き、長尺物でも簡単に施工でき、空隙も残さず充填され、その充填度も確認でき、短時間に引抜き強度が得られる注入式ロックボルトを開発した。

注入式ロックボルトは、注入装置やボルト孔口の密封方法および施工性などに問題があり、国内は勿論、海外でもその技術はなく、全く未知の分野であった。すなわち、早強性を有する適当な注入材がなかったこと、充填度を良くするには流動性の良い注入材を使用する必要があるが、これを簡単な施工により密封する方法がなかつ

たこと、注入装置についてはトンネル工事現場の狭い場所での使用であるため、コンパクトで取扱い易く、耐久性に優れ、しかも簡単に補修できるなどの条件を具備するものがなかったことによる。

注入式ロックボルトの開発は、ロックボルトの構成、注入材の選定および注入装置の製作などすべての関連技術の確立をまたねばならないが、試行錯誤の結果、多くの工事現場での試験施工の繰り返しにより、一応満足すべきロックボルトとその施工システムを完成し、かなりの実績も上げてきたのでここに報告する。

1. 開発の経過

注入式ロックボルトは、基本的にはボルトの一端に装着された孔口を密封するためのシール装置とボルト軸にそって設けられた注入材を送りこむための注入用チューブと密封された孔内の排気のための排気用チューブからなる。削孔内にボルトを挿入し、シール装置により孔口を密封し、注入用チューブから注入材を圧入する。排気用チューブからは注入材に置換された空気を排出し、最後に注入材のリターンにより充填が完全に行われたことを確認して、注入用ならびに排気用チューブを閉じて、注入作業を完了する。

注入式ロックボルトの開発に当り、まず問題となったのはボルト孔口におけるシール装置であった。シール装

* 正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科
(〒158/東京都世田谷区深沢 2-1-1)

** 正会員 久保田鉄工(株) 建設関連技術部部长
(〒130/東京都中央区日本橋室町 3-3-2)

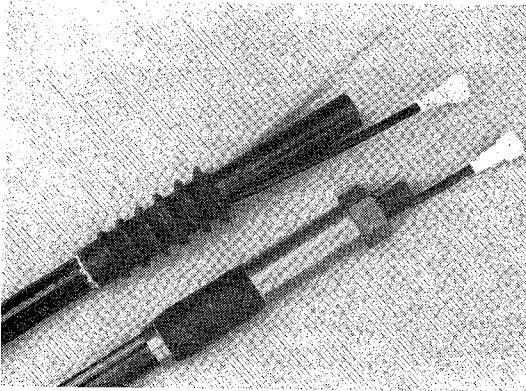


写真-1 シール装置, ゴム栓方式 (上) とゴムパッカー方式 (下)

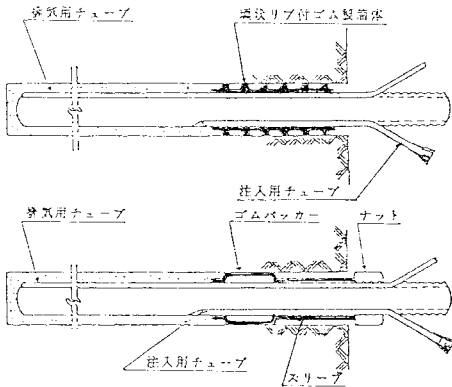


図-1 使用状況, ゴム栓方式 (上) とゴムパッカー方式 (下)

置としてまず始めは、ゴム弾性を利用したゴム栓方式とゴムパッカー方式を考案した。これらの構造を写真-1と図-1に示す。

ゴム栓方式は、ゴム製筒体に断面が台形状の環状リブを軸方向に数段設け、その外径は軸方向に漸次拡大し、削孔径の大小に対して自在に適応し、孔壁に密着できる構造とした。ゴムの硬度、形状寸法をかえ、透明樹脂管や鋼管を使用して挿入の状況、挿入力、引抜き力など種々試験をし、その結果一応満足するものを得たが、実際のトンネル工事現場における試験において、充填材をシールできない場合が生じた。すなわち、崩れ易い地山において、孔口の形状が円形でなく星形のように凹凸がある場合で、押圧されたゴムの変形がそれになじみにくく、密封できないことによる。

ゴムパッカー方式¹⁾はボルトの一端にゴム製筒体を通し、それにつながる可動ワッシャー、スリーブを介してナットを締付けることにより、ゴム製筒体を押圧膨張させてちようちん状にし、それを孔壁に密着させてボルトを地山に定着すると同時に密封する構造である。その構造を写真-1と図-1に示す。

注入用ならびに排気用チューブは、締付用ナットならびにシール装置を貫通してボルト軸にそって設けるため、締付け力の影響を受けないようにボルト軸に2条の溝を切る必要があり、それだけ断面積は減少し、引張強度は低下する。

ゴムパッカー方式はシール性能においてゴム栓方式と比較するとゴムの筒体の変形能が大きく、地山に対する適用の範囲も広いが、やはり一部の地山においてはゴム栓方式と同様、削孔口の凹凸になじまず、密封できない場合が生じた。この場合、ゴムの地山への密着性を補完する方法として、紐状の粘土をゴム製筒体に数条巻きつけて使用すれば良いこともわかったが、工事現場における作業を複雑にすることになり、施工性に劣り実用的でなかった。

ゴム栓方式とゴムパッカー方式の孔壁へのなじみ難さによるシールの不完全性、ボルト断面欠損によるボルトの強度低下の2つの欠点を改良したのが布パッカー方式である。すなわち、この方式は布パッカーが充填材で膨らんで孔口を密封する場合、その孔壁へのなじみが良く、しかも注入用ならびに排気用チューブを布パッカーに通すのも簡単でボルト軸に溝を設ける必要もなく、断面欠損によるボルトの強度低下もない。布パッカー方式については次章で詳述する。

次の問題になったのは注入材とその注入装置である。注入材は早強性と連続注入の必要性から2液性とし、ポルトランドセメントと急硬材とをそれぞれ水と混合したグラウトを2:1の容積配合比で、1.5ショット注入することとした(図-6参照)。一液性の急硬性セメントもあったが、練り置き時間などに問題があり、連続注入に適さないと判断したことによる。したがって、注入装置は2液を2:1の割合で送りこむ能力のものを開発せねばならなかった。無段変速機付スクルー型ポンプ2台を設置し、2液の注入量を調整できる機構とした。しかし、この注入装置は注入量の調整はうまくいくが、かさが大きく重い実用的でなく、軽量化する必要があった。種々検討した結果、モーターを一台にしてベルト伝導により2台のポンプを動作させることとし、そのプーリーの直径の大きさを変えることにより、ポンプの回転数を調整して注入量を2:1にするようにした。これにより大幅に軽量化、コンパクト化できたが、やはり運搬には機械力にたよらざるを得なかった。

注入装置は吹付、削孔、ボルトセットなど一連の作業工程の中で、それに合わせて速やかに移動できることが必要である。しかし、切羽ではクレーンがないため、トラックシャベルなどの機械力を利用せねばならない不便さがあり、人力で簡単に移動できる注入装置が必要となってきた。そこで、人力により移動できる手動式の注入

装置の開発にとりかかることとした。

手動式のポンプはダイヤフラム型とし、2台が連動して動き、しかも2液の注入量が2:1になるように調整できる機構を開発した。これらの詳細については第4章で述べる。

2. 布パッカー方式によるボルトの構成

布パッカー方式によるボルトの構成りを図-2と写真-2に示す。布製のパッカーをボルトの一端に通し、注入用、吐出用および排気用チューブをパッカーとボルトの間を通してシールした上、パッカーの両端を絞りこんでボルトにテープを巻いて固定する。

注入用チューブは注入ガンと接続するため、その一端にねじ付継手をつけ、他端は布パッカーの中で解放する。吐出用チューブは布パッカーに充填された注入材を密閉された孔内に吐出するものでパッカー奥他端にとりつける。排気用チューブは孔内の空気を排出するもので布パッカーを貫通して、ボルト軸にそってとりつける。

注入用チューブから注入材を注入するとまず布パッカーに入り、これを膨らませ、地山にボルトを固定し孔口

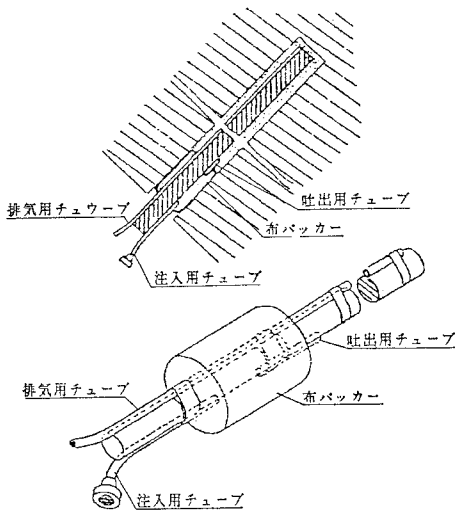


図-2 布パッカー方式の構成と使用状況

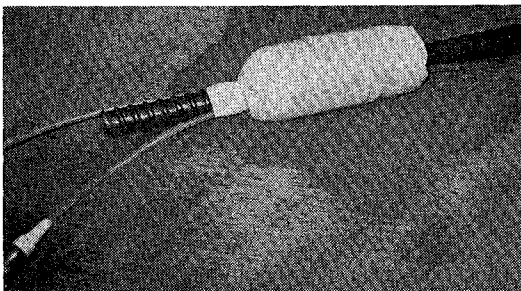


写真-2 布パッカーの水による膨らみ状況

を密閉する。それと同時に吐出用チューブからこの注入材を密閉された孔内に吐出し、空間を充填していき、空気を排気用チューブから排出する。終りに排気用チューブからの注入材のリターンを確認し、注入用チューブと排気用チューブを閉じて注入作業を終了する。

布パッカーの主な役割は、ボルト孔口において注入材をシールし、布パッカーの膨圧によりロックボルトを地山へ固定して落下を防止し、2液性の注入材を混合、攪拌するミキサーのはたらきをすることである。

布パッカーの寸法、布の密度、布の引張り強さ、チューブの寸法などは、その使用条件を満足するようにきめなければならない。布の密度の選定に当っては、セメントミルク中の水がにじみ出る程度のもので、引張り強さは注入圧 3 kg/cm^2 (0.294 MPa) に耐えるものを標準にした。布パッカーの大きさは削孔径ならびに孔口の荒れ具合にもよるが、経験によれば、一般には直径 100 mm 、長さ 150 mm 程度が良いと思われる。チューブの寸法は太くすると削孔内へのボルトの挿入が難しくなり、逆に細くするとセメントミルクがつまり易くなるのでこれらを考慮して決める。一般にはチューブ内径 $6 \sim 8 \text{ mm}$ 、外径 $7.5 \sim 9.5 \text{ mm}$ が良い成績であった。

布パッカー方式によるロックボルトの特長をあげれば次のようになる。

- ① パッカーが布製であるため、削孔時に生ずる孔口の荒れにも自在に適應し、密閉が確実にできる。
- ② ゴムパッカー方式などと異なり、ボルト断面に2条の溝をつくる必要はなく、したがって断面欠損による強度の低下もない。特にねじふし鉄筋を用いれば、そのねじを利用してボルトを坑壁へ固定できるので、ねじ切りの必要はなく、全断面を有効に利用できる。
- ③ 上向き施工の場合でも、下向きの場合と同様、注入材を削孔内に確実に充填でき、空隙をつくらない。
- ④ 他工法で問題となるボルト挿入力や挿入に伴うモルタルの分離などの問題がない。
- ⑤ パッカーの膨圧により、ボルトを地山へ固定するため、上向き施工でもボルトが落下することはない。
- ⑥ 少々湧水地盤においても、湧水を排気用チューブから排出しながらセメントミルクを孔内に充填していき、しかも亀裂などに浸透し、湧水を封ざることができる^{2),3)}。
- ⑦ 完全充填が排気用チューブからの注入材のリターンにより確認できるなどである。

3. 注 入 材

トンネル掘削後、できるだけ早く山を支え、ゆるめな

いたために注入材の早強性を必要とする場合が多い。注入直後に発破をかけてトンネルを掘削する場合や、崩れ易い地山で施工する場合などに特に必要である。しかも、注入は多数のロックボルトを一まとめにして、連続して行うのが普通であり、そのため注入材の適当な練り置き時間が必要となる。これらの早強性と連続注入の必要性から2液性の注入材を1.5ショット注入することとした。すなわち、2液を別々に混練し、2台のポンプで別途に圧送し、ボルトの注入口ではじめて合流し、布パッカー中で混合させ、削孔内に充填し、硬化させるものである。

注入材として必要な条件をあげれば次のようになる。

- ① 早強性を有すること。
- ② 連続注入が可能であること。
- ③ 硬化時の収縮がないこと。普通のセメントミルクは硬化時に収縮するが、この場合孔壁と注入材との間にわずかの隙間を生じ、ボルト引抜き抵抗が低下する。注入材は地山を破壊しない程度に膨張性を有する方が良い。

④ 流動性が良く、つまりにくいこと。注入材は細いチューブを通して注入するため、流動性が良いことが必要である。流動性が良いと地山の亀裂や空隙を容易に埋めることができる。つまりを防止するため骨材を使用せず、セメントミルクを主材とした。

⑤ ゲルタイムを調整できること。地山の条件、ボルトの長さ、施工性を考慮してゲルタイムは決定しなければならない。経験からすれば5分前後が適当のようである。長尺物の場合や削孔径が大きい場合など、注入量が多く注入時間が長くなる場合は、ゲルタイムは長い方が良く、湧水地盤や亀裂の多い地山においては逆に短い方が良い。また、どの季節においてもゲルタイムが一定であるように調整する必要がある。注入材料の温度や水温に注意し、夏期にはゲルタイムをやや長めに、冬期には逆に短めに設定するのが良い。

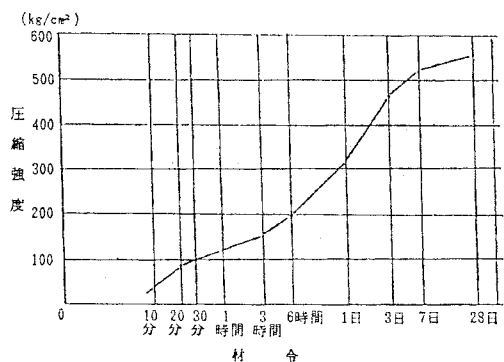
これらの諸条件を満足するものとして、ボルトランドセメントと急硬材からなる2液性の注入材を用いることとした。急硬材はボルトランドセメントの急硬性セメント鉱物を主成分とする材料である。この急硬材はボルト

ランドセメントと混合して水和反応すると急激に硬化する性質を持つため、遅延剤の添加により、水和反応を抑制し、ゲルタイムの調整を行う必要がある。急硬材とボルトランドセメントの配合により、圧縮強度は変化するが、早期強度が高く、しかも長期的にも安定した強度を有する配合を試験により求めた。その結果、標準配合として表一に示すものを決めた。

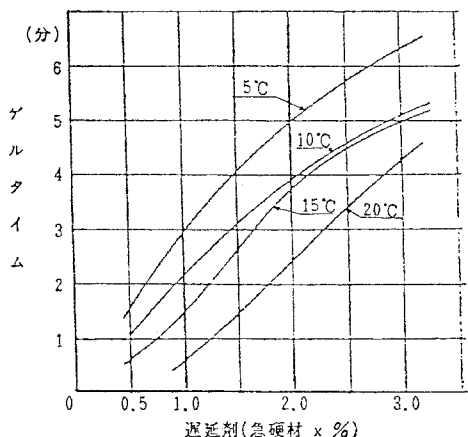
この標準配合における注入材の材令と圧縮強度との関係を図一に示す。なお、試験はJIS R5201セメントの物理試験方法に準じて行った。すなわち、供試体はモルタル供試体成形用型(4×4×16cm三連型枠)を用いて温度20°C、湿度80%で打設し、その30分以後20°C水中養成とした。

また注入材のゲルタイムは遅延剤の添加量により調整できるが、温度による影響も大きいので、これらの関係を図二に示す。通常は急硬材に対して2%の遅延剤をボルトランドセメントと急硬材の2液に分割添加しているが、季節によりその添加量を調整する必要がある。すなわち、冬期には1%程度、夏期には3%程度が適当である。

Jロートによって、注入材の粘性を2液の混合前後に



図一 注入材の材令と圧縮強度



図二 遅延剤の添加量とゲルタイム

表一 注入材の標準配合

A 液	B 液	遅延剤	混合液
水・急硬材比 (%)	水・ボルトランドセメント比 (%)	(%)	(%)
$\frac{W_1}{H} = 55$	$\frac{W_2}{C} = 48$	2	$\frac{W_1+W_2}{H+C} = 50$ $\frac{H}{H+C} = 30$

注：① W_1, W_2 : 水 H : 急硬材 (比重 2.93) C : セメント
 ② 比率は重量比率による。
 ③ 遅延剤の添加量は急硬材に対する重量比率である。
 ④ A液とB液を容積比で1:2に混合した場合に相当する。

表-2 注入材のJロートによる粘性

遅延剤の添加量 (%)	A液. 急硬材 (秒)	B液. ポルトランドセメント (秒)	混合液 (秒)
0	—	7.5	—
1	4.5	5.2	5
2	4.6	5.7	—
3	4.7	5.8	5.3

注：① 遅延剤の添加量は急硬材に対する比率である。
 ② Jロートによる水の粘性：3.9 秒

おいて試験した結果を表-2に示す。水の粘性と比較すればわかる通り、かなり流動性が良いといえる。

注入材に早強性を必要としない場合は、ポルトランドセメントミルクだけを使用すれば良いが、この場合硬化時の収縮をなくするため、膨張性の材料を添加すればポルトの引抜き強度は向上すると思われる。

4. 注入装置

開発した注入装置には電動式と手動式の2通りがある。

(1) 電動式注入装置

この装置は図-5と写真-3に示すように、1台のモーターの左右に設置した2台のポンプをベルト伝導で駆動させ、そのプリーの直径をかえることによりポンプの回転数を調整して、注入材の吐出量が2:1になるような機構になっている。ポンプはスクリー型を使用し、ポンプから吐出された液は2本のホースにより別個に圧送し、ホース先端の注入ガンで合流し、直ちにロックボルト孔へ注入することができる。なお、この装置には2

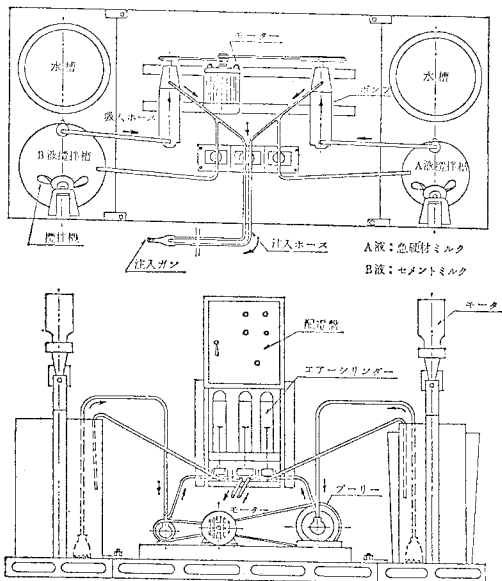


図-5 電動式注入装置

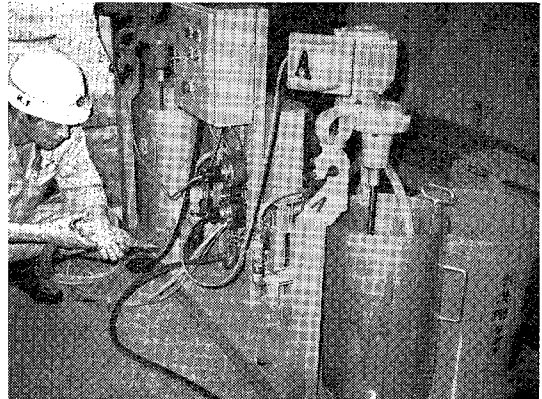


写真-3 電動式注入装置

液の混練用の撈拌槽2個と水洗用の水槽2個を併設し、注入材の混練から、注入後のポンプやホースの水洗まで、連続して作業ができるような装置になっている。

注入作業は注入ガンに切換えスイッチを取付け、手で遠隔操作できるようにし、注入しない時はこの切換えスイッチにより、両液はそれぞれの撈拌槽とポンプの間を循環させ、ポンプやホース内で液が固まらないようになっている。また、注入ホースのつまりを防止するため、回路の開閉には、コック式のバルブは使用せず、エアシリンダーの作動によりホースを押えたり、開放したりする機構を用いている。

この電動式注入装置には次のような問題がある。一つは既に述べたように注入装置が300kgと重く、移動には機械力を必要とすることである。もう一つは注入途中における注入ホースやチューブ中につまりを生じた場合の応答の遅れで、モーターに過負荷がかかり易いことである。

(2) 手動式注入装置

電動式注入装置は機械力によらざるをえない不便さがあり、狭い工事現場には適さない場合も多いので、手動式注入装置を開発することとした。手動式注入装置を図-6と写真-4に示す。ポンプは手動のダイヤフラム吸込型とし、2台のハンドルを連結してひと漕ぎで2台のポンプが同時に作動するようになっている。2台のポンプの吐出量は2:1に調整できるようダイヤフラムシャフトのストロークをねじ調整により加減できる機構としてある。ホースの長さは約10mとし、ホース先端の注入圧は3kg/cm²が確保できるようになっている。

手動式注入装置の特長は次の通りである。

- ① コンパクトで軽量であるため、人力で簡単に移動できる。
- ② ポンプの吐出量をシャフトのストロークのねじ調整により加減できる。

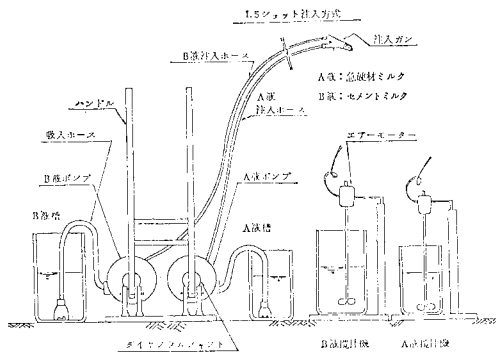


図-6 手動式注入装置

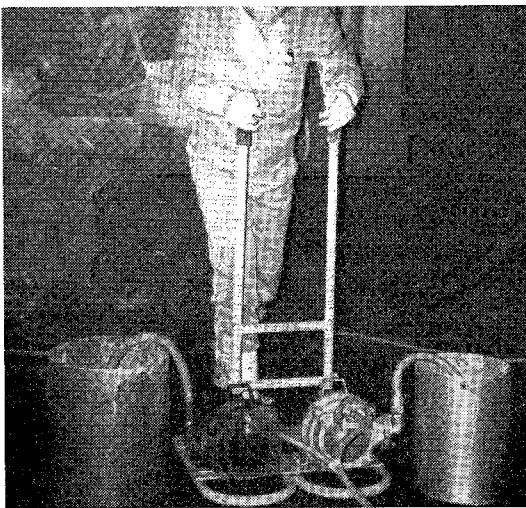


写真-4 手動式注入装置の使用状況

③ 注入の状況をポンプを漕ぐ手加減で容易に判断できる。特にホースやチューブにつまりを生じた場合などは、これをいち早く知り、対応策をとることができる。

④ ポンプは耐久性に優れ、メンテナンスが簡単で、故障した場合でも容易に補修できる。

⑤ 攪拌装置もエアモーターを使用し、コンパクト化を図り、簡単に取扱えるようになっている。

5. 施工順序

一般にトンネル工事現場は狭く、足元が悪く、作業に著しく制約を受ける。かかる悪環境下でも、誰れでもが簡単にしかも確実に施工できることを目標に、試験施工を繰り返しながら、ロックボルトや注入装置などの改良を行い、効率的な施工法の開発を行ってきた。その結果、布パッカー方式のロックボルト、標準配合の注入材および手動式注入装置の組合せによる施工法が実用的で良いことがわかった。次に示す施工順序はこれらの組合

せについてのものである。

注入式ロックボルトの施工順序を図-7とその概要で以下に示す。

① 注入装置などの設置：注入装置と攪拌装置を切羽の作業場所に設置し、攪拌装置と導通確認のためのエアブロー用の圧搾空気の配管を行う。

② ロックボルトの挿入：削孔後の、エアブローにより孔内に残存する練り粉やスライムなどを孔外に排出し、ロックボルトを挿入する。孔壁が崩れ易い場合は、肌落ちによりボルトの挿入が困難になるので、ボルト挿入は削孔後早い方が良い。トンネル頂部で上向きにボルトを挿入する場合は、その落下を防ぐため、木製の楔を打ちこみ注入まで仮保持しても良いし、注入直前にボルトを挿入し手で保持しながら注入しても良い。

③ 注入材の混練：ボルトランドセメントと急硬材を2台の攪拌装置により、それぞれ別個に混練する。

④ 排気用チューブの導通確認：排気用チューブをエアブローし、導通を確認する。ボルト挿入時に排

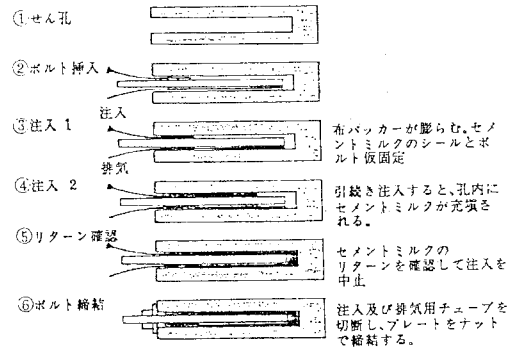


図-7 施工順序

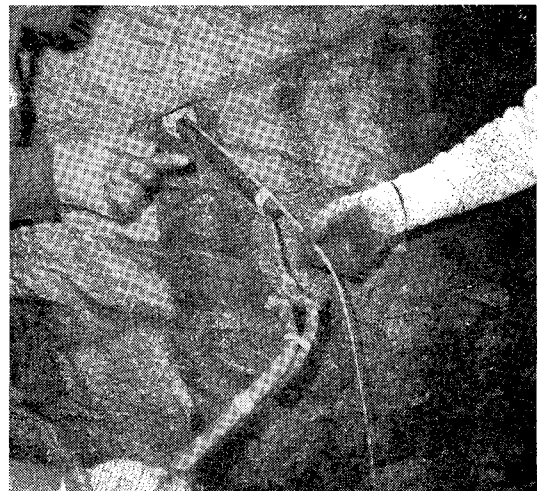


写真-5 注入状況、セメントミルクのリターン確認

気用チューブ内に入りこんだ練り粉やスライムをエアブローにより吹き飛ばし、つまりの原因をなくする。

⑤ 注 入：注入ガンの先端とボルトの注入用チューブをねじ接続し、注入を開始する。注入によってまず、パッカーが膨らみ、続いて削孔内の空隙が充填されていく。排気用チューブからの注入材のリターンを確認した後、排気用と注入用のチューブを閉じれば注入作業は終了する。

⑥ ポンプ、ホースなどの水洗：注入作業終了後はポンプ、ホースなどを速やかに水洗し、次の使用に備える。

6. ロックボルトの挙動に関する基礎的調査

ロックボルトの施工性と性能を調査するために、地山の硬い場合と軟らかい場合を想定して製作した2通りの供試体にボルトを打設し、引抜き試験を行った。さらに実際のトンネル工事現場において、各種の岩質に対し同様の調査を行った。

基礎的調査の内容は次の通りである。

- ① 注入状況とボルト孔内での注入材の混合、充填、ボルトへの付着
- ② 注入材の材令と引抜き抵抗の関係の調査
- ③ 地山の強度と引抜き抵抗の関係の調査

(1) コンクリート製供試体による調査

硬い地山を想定したコンクリート製の供試体にロックボルトを打設し、ボルトの引抜き強度とその変位を計測した。試験条件を表-3、引抜き試験結果を図-8に示す。

引抜き試験結果は、材令 2.5 時間、24 時間とも、ボルトの規格上の降伏荷重 17.7 トンを上回る 19.5 トンまで載荷したが抜けなかった。なお、材令 24 時間のボ

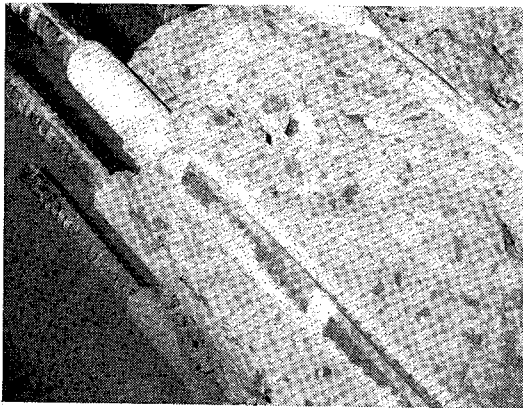


写真-6 コンクリート供試体における注入材の充填状況

ルトについては材令 2.5 時間のものを再引抜き試験したものであるが、このことから引抜き抵抗力は上昇していると考えられる。

引抜き試験後、コンクリート供試体を壊し、注入材の充填状況を調べた。この状況は写真-6 に示す通り、空隙はなく、よく充填されていた。

(2) 砂製の供試体による調査

軟らかい地山を想定した砂製の供試体にボルトを打設し、ボルトの引抜き強度とその変位を計測した。供試体は砕砂に水ガラスを混ぜて固めたもので、ボルト軸にそって2つ割りができる構造とし、引抜き試験後、注入材の充填状況とボルトならびに孔壁への付着状況を調査できるようにした。

試験条件を表-3、引抜き試験結果を図-8に示す。コンクリート製供試体の場合と比較し、ボルトは長いにもかかわらず引抜き強度は 12 トンと低く、変位も大きい。試験後、試験体を2つ割りにして観察したところ、ボルト孔口より先端まで空隙なく充填されており、注入材の付着状況も良かった。

引抜き時のボルトの滑りはボルトと注入材との間で生じた形跡もないことから、注入材と砂の境界付近で起きたものと推定される(写真-7 参照)。

表-3 引抜き試験条件

供試体の種類	コンクリート	砂 製
圧縮強度 kg/cm ² (MPa)	150 (14.7)	10 (0.98)
孔の直径 mm	42	42
ロックボルトの寸法	D25×2m	D25×3m
注入材の材令時間	2.5 24	1.5

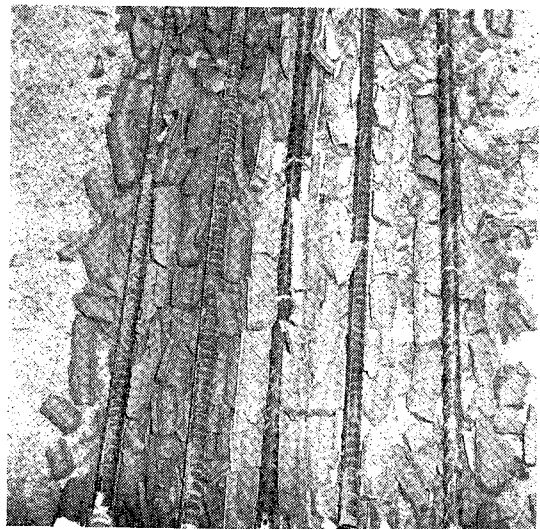


写真-7 砂製供試体における注入材の充填状況

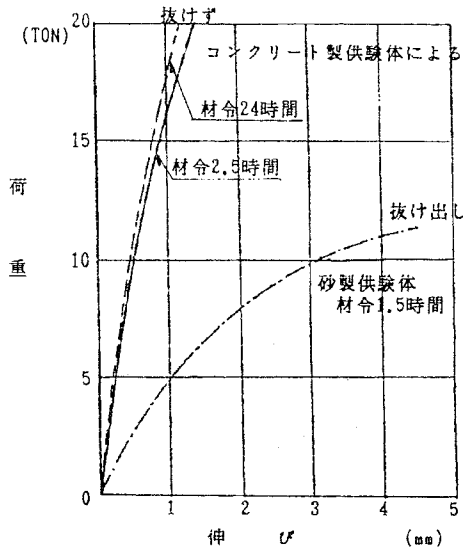


図-8 供試体における引抜き試験

(3) トンネル現場での調査

花崗岩、凝灰岩、千枚状片岩、泥岩やそれらの風化岩など、硬い地山から軟らかい地山まで色々な種類の地山において、試験施工を実施した。これらのうち、代表的な地山における引抜き試験結果を 図-9 に示す。

硬い地山の場合は、材令1時間で 20 トン載荷しても引抜くことができなかつたりが、砂山の場合は 図-9 と同様な傾向であるが、材令1時間で 8 トン載荷で抜け出し、材令2時間の再引抜き試験でも 13 トンで抜けた。ボルトの引抜き抵抗は地山の強度によって大きく左右さ

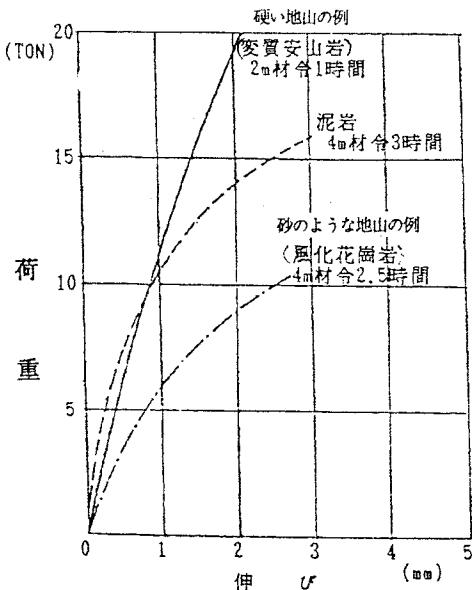


図-9 トンネル現場における引抜き試験

れることがわかる。なおボルトの施工性については岩質による差異は認められなかつた。

7. トンネル現場における施工性

施工性の良否はロックボルトの性能に関連するきわめて重要なことである。誰でも簡単に施工できて、その性能を確実に発揮させることが必要である。手動式注入装置による施工性の計測結果の一つをここに掲げる。

試験施工は大断面を油圧ジャンボ使用による2段ベンチカット工法によるトンネルで、実際のシステムボルトとして実施し、作業の開始から終了までの時間経過、注入材の使用量などを計測、計量した。

トンネル断面とロックボルト位置は 図-10 に、試験結果は 表-4 に示す。注入時間と各ボルト間の足場移動などの注入つなぎの時間はボルト1本当りそれぞれ約 60 秒であるが、注入材料や注入装置の搬入など注入作業の準備時間とその後片付けにそれぞれ 17.5 分と 5 分かかっており、施工時間の約半分がこれらに費やされたことになる。なお準備時間は材料などの搬入開始からボルト注入開始までの時間で、削孔後のエアブローによる緑り粉やスライム除去、ボルトの挿入、注入材の混練などの作業時間も含む。また後片付け時間はボルト打設終



写真-8 トンネル現場における注入状況

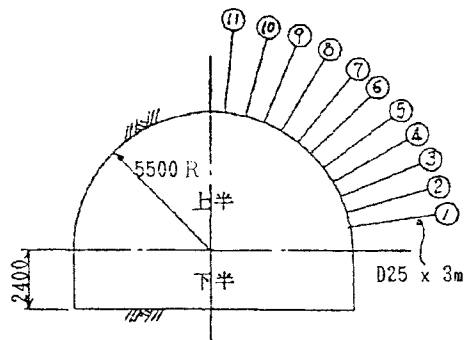


図-10 トンネル断面とロックボルト位置

表-4 施工時間

ボルト No.	準備時間	注入時間(秒)	注入つなぎの時間(秒)	ボルト小運搬の時間*	後片付け時間
1	17分30秒	30	10	5分10秒	5分
2		40	60		
3		70	30		
4		60	175		
5		55	50		
6		60			
7		55	70		
8		75	85		
9		90	60		
10		100	20		
11		30			
小計		665	560		
ボルト一本当たり		60.5	50.9		

注*：ボルト小運搬時間：No. 7~11 の5本のボルトを地上よりジャンボ上段への小運搬の時間。

了から装置などの水洗、撤去までの時間をいう。これらの時間はボルトの増減にほとんど関係ないため、ボルト本数が多くなれば、それだけ1本当りの時間は短縮されることになる。一般に使用しているモルタルアンカーでもボルト打設とそのつなぎの時間はボルト1本当りそれぞれ約60秒前後であり、表の例からわかるように施工性については、他種のロックボルトと遜色がなかったと判断している³⁾。

なお、注入材の使用量は全部で37*l*、ボルト1本当り3.4*l*で設計値の約1.2倍を使用したことになる。設計値はφ42×3mの孔内にボルトD25×2.9mを挿入した場合の孔内の空隙の容積とした。

結 び

ここに開発した注入式ロックボルトは、試行錯誤による各種の試験を重ねて改良し、実用化に成功したものでセメントミルクを注入主材とする布パッカー方式の新しいタイプのロックボルトである。布パッカーは孔壁とのなじみがよいし、また注入用、排気用チューブの取付けにも特別な工作を必要とせず、この種のロックボルトには最適であると判断している。また、注入材はセメント系材料であり、早期強度の発現や耐久性など材料に対する信頼性は、吹付けコンクリートの使用が定着するにつれて評価が定まっている。これらを組み合わせ、簡便な注入装置を製作できたことが実用化の鍵になっていると思

う。

ロックボルトは NATM を構成する主要な要素である。NATM の普及によってロックボルトの使用はますます増加すると考えられる。さらにロックボルトの作用効果に対して理解が進めば、その適用範囲が拡大するのも当然のことである。このような事情から、ロックボルトの使用条件が複雑かつ多様化する傾向は避けられず、ますます難しい条件を克服する必要に迫られることになると予想される。この点、開発した注入式ロックボルトは、引抜き強度の早期発現に伴う施工上の問題点を解決し、長尺ボルトの打設を可能にしている。これは、在来タイプのロックボルトの性能を補うもので、新たな使用条件を開拓するのに役立つと思われる。なお砂のような自立性の乏しい地山に対しては、注入材それ自体が地山によく密着しその安定を助けるなど付加的な働きも考えられる。

地山を力学的に安定させる材料としてロックボルトがすぐれた性能を有することはすでに認められているところである。切り取り斜面や自然斜面に対する鉄筋挿入工法は、ロックボルトを新しい分野に応用する試みの一つである。NATM を中心とし、ロックボルトが種々の方面に幅広く利用されるよう期待する。

おわりに、注入式ロックボルトの開発に当り示唆を与えて載いた東京都立大学工学部今田徹教授をはじめ、試験施工ならびに実施工に色々と助力をして下された日本道路公団、新潟県土木部、(株)福田組、(株)青木建設、鹿島建設(株)、(株)熊谷組、(株)間組をはじめ関係の皆様は厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 山本 稔・今田 徹・木川富男：注入式ロックボルトとその注入装置，土木学会第35回年次学術講演会，講演概要集第3部，pp. 556~557，1980年。
- 2) 辻 久雄：湧水地山における NATM の施工。第9回施工体験発表会，日本トンネル技術協会，p. 61，1982年。
- 3) 山本 稔・木川富男：湧水地盤用ロックボルト，土木学会第36回年次学術講演会，講演概要集第3部，pp. 454~455，1981年。
- 4) 日本トンネル技術協会：ロックボルトの引抜き試験報告書，p. 28，1979年。
- 5) 日本トンネル技術協会：ロックボルトの引抜き試験報告書，p. 17，1979年。

(1985.3.28 受付)

● ご案内 ●

——土木学会論文集編集委員会第VI小委員会

『土木学会論文集・第VI部門』は、3月と9月の年2回発行です。論文を投稿ご希望の方は、別掲の投稿要項等をご覧のうえ、委員会あてお寄せ下さい。なお、不詳点は事務局編集課(電話 03-355-3441 番、内線 156) あてお願いします。