

# 孔壁が自立しない地山に対するエアグラウトドリル工法の開発

緒方 健治・宮田 和・菊地 将郎

日本道路公団では切土補強土工法の工事量増加に伴い、本工法をより効率化するため、① 孔壁が自立しない地山の削孔技術、② 補強材が長い場合の削孔技術、③ 狭小な箇所での施工性向上を目指して、新たな技術開発を行う必要が生じた。そこで、日本道路公団と民間7社は、「切土補強土工法の施工の効率化」に関する共同研究を行い、孔壁が自立しない地山に対する新削孔システム「エアグラウトドリル工法」とその専用削孔機である「デュアルモードドリル」の開発を行った。

エアグラウトドリル工法を近畿自動車道紀勢線島田トンネルで試験施工した結果、従来工法の二重管ケーシング削孔方式に比べて工費節減、工期短縮が可能であることを立証した。

キーワード：切土補強土工法、デュアルモードドリル、エアグラウトドリル工法、孔壁崩壊性地山、長尺施工、狭小箇所での施工、二重管ケーシング削孔

## 1. はじめに

近年、急勾配切土や中規模崩壊対策の抑止工、構造物掘削等の仮設のり面の対策工として、日本道路公団（以下、JH という）では、切土補強土工法が数多く採用されている。切土補強土工法は、補強材を多数打設することで地山を補強する工法であり、通常の施工手順は、ドリルロッドで削孔し、グラウトを注入後、異形鉄筋を挿入し、頭部処理を行うことになる。

しかしながら、地山の状態や作業条件によっては、通常の施工が困難になる場合があり、特に孔壁が自立しない地山の削孔方法が問題となっていた。通常、このような場合にはグラウンドアンカー工で用いられる二重管ケーシング削孔方式が採用されるが、孔壁が自立する際のドリルロッドを使用した単管削孔方式に比べ、工費・工期が増大することが課題となっていた。また、作業条件における問題点として、地山を切り始める時に削孔機の足場を確保することができず、人力によるレッグドリル削孔等が行われていた。

さらに、通常用いられている補強材（異形鉄筋）の長さは、2.0～5.0 m までがほとんどであり、グラウンドアンカー工と現在の切土補強土工の中間

的な補強工法の一つとして、10.0 m 程度の長尺な切土補強土工法を可能としたいというニーズがあった。

そこで、JH と民間7社（清水建設（株）、三信建設工業（株）、東興建設（株）、日特建設（株）、日本基礎技術（株）、ヒロセ（株）、ライト工業（株））は、「切土補強土工法の施工の効率化」と題して、以下の3課題を解決できる新工法・新機械の共同研究を行った。

- ① 孔壁が自立しない場合
- ② 補強材が長い場合
- ③ 狭小な箇所での施工性の向上

その成果として、孔壁が自立しない地山での新削孔システム「エアグラウトドリル工法」と、その専用削孔機で長尺補強材と狭小な箇所での施工性を向上させた「デュアルモードドリル」の開発を行った。以下に、デュアルモードドリルの開発に重点をおいて報告する。なお、エアグラウトドリル工法については特徴を概説するが、その詳細については既報文<sup>1)</sup>を参照されたい。

## 2. エアグラウトドリル工法

新たな削孔技術を開発するために、（社）日本建設機械化協会建設機械化研究所の敷地内で孔壁の

自立しない地山を模擬した削孔実験を行った。使用した盛土材は火山性砂礫土であり、締固めすることなく盛りこぼした状態で盛土を構築した。この模擬地山に対し、「削孔手順が複雑にならない」、「特別な材料を使用しない」ことを条件に、9ケースの試験を行い、その中からドリルロッド先端のビットから写真—1に示すようにエアとセメントミルクを同時に噴射させながら削孔するエアグラウトドリル工法が、孔壁の自立を確保し、10 mの長尺施工が可能であることが分かった。



写真—1 セメントミルクとエアの噴射状況

また、この実験結果から、エアとセメントミルクを同時に送るためのスイベル機構の開発と、セメントミルクを低吐出量で送るため、硬化をある時間遅らせる混和剤の開発が必要となった。スイベルの開発は専用削孔機の開発と同時に進行し、一方、混和剤はフロー値9~15秒を4時間まで保持できるものを開発した。

試験後に掘り出した試験体の出来形と半割断面を写真—2、写真—3に示す。半割断面から孔壁の外側に地盤とセメントミルクとの孔壁保護層が形成されていることが分かる。削孔径 $\phi 65$  mmに対して、試験体は2倍以上の直径を有していた。

### 3. デュアルモードドリル

デュアルモードドリルの開発目標は、切土補強土工法の施工性の向上とエアグラウトドリル工法の専用削孔機として以下の5項目を取上げた。

- ① 10 m程度の長尺削孔が可能である。
- ② 狭小な箇所での施工が可能であり、かつ足

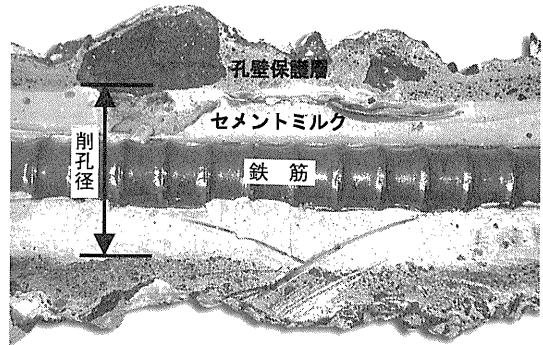


掘り出し状況



半割状況

写真—2 掘り出した試験体



写真—3 半割断面

場幅が十分にある場所では起動性が良い。

- ③ ドリルロッド（単管削孔方式）を使用したエア削孔とエアグラウトドリル工法が可能である。
- ④ エアグラウトドリル工法用の専用削孔機として、エアとセメントミルクを送る機構（スイベル）を有する。
- ⑤ セメントミルクがエアラインに逆流しない防止装置を有する。

#### （1）長尺削孔

補強材の長さを10 mまで打設可能とするには、地山状態によるところが大きい。地山によっては、表土の下に中硬岩クラスの岩が存在することもあるため、ドリフタの削孔能力を比較して空圧ドリフタより油圧ドリフタが適していると判断し、油圧ドリフタを選定した。実際の地山における削孔実験において、表層から約3.0 m深さに中硬岩が存在する条件で、10 mの長尺削孔が可能であることを検証している。

(2) 狭小な箇所での施工性

一般に切土のり面は、切土掘削開始時は足場が確保できず、狭小な場所での施工を余儀なくされる。そこで、削孔機を入替えず1台で作業ができるように、狭小な場所ではスキッドタイプ、作業足場幅が確保される場所ではクローラタイプと、図-1に示すように2通りに切替えができるクローラの着脱可能な削孔機を開発した。

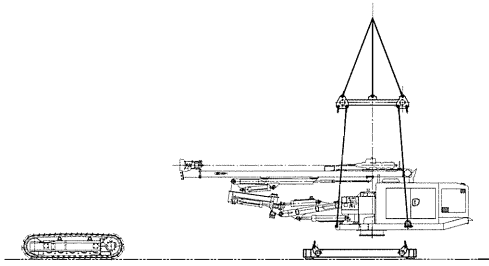


図-1 スキッドタイプへの変更

また、切土のり面の両端部で施工可能とするために、ブームはピンの付け替えで、180度回転できるように工夫を行った。機械寸法を図-2に、機械仕様を表-1に、機械全景を写真-4に示す。

狭小な場所においては、スキッドタイプをクレーンで吊り機械本体の一部を足場に預けて施工

表-1 機械仕様

全長		7300 mm
全幅	クローラタイプ	2430 mm
	スキッドタイプ	2000 mm
質量	燃料含	6800 kg
	機械本体+クローラ部	4340 kg+2460 kg

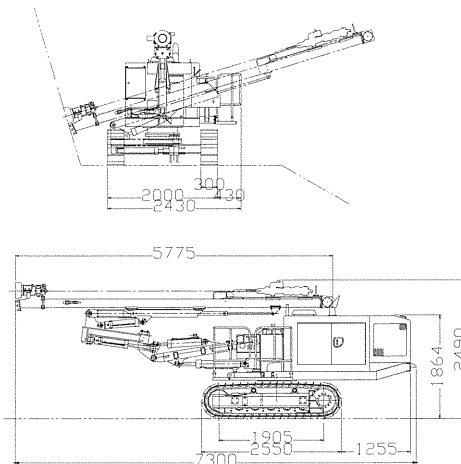


図-2 機械寸法



写真-4 デュアルモードドリル

するため、機械本体の自重を利用した削孔反力とれる最小幅を求める必要があった。そこで、図-3に示すフローに従い現場実験で最小足場幅を求めた。その結果、写真-5に示すとおり1.5mの足場幅があれば10mを十分に削孔が可能であることが分かった。

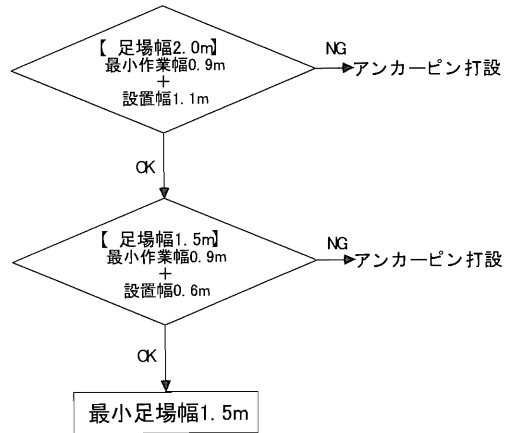


図-3 最小足場幅



写真-5 最小足場幅の現場実験

一方、足場幅が十分確保できる場所では、機動性と削孔能率を確保するため、コンプレッサと油圧ユニットを機械本体に内蔵することとした。

### (3) エア削孔とエアグラウトドリル工法

デュアルモードドリルは、孔壁が自立する地山では通常のエア削孔、孔壁が自立しない地山ではエアグラウトドリル工法と、オペレータの手元で切替えが可能となっている。地山の表層部分の崖錐・崩積土が堆積しているところは、孔壁が自立しないところが多く、その下層にある風化岩、軟岩は孔壁が自立することが考えられる。したがって、削孔途中で孔壁の自立しない地山から自立する地山に変わることが予想されたため、現場実験においては、エアグラウトドリル工法からエア削孔に削孔途中で切替え、10 m 削孔し孔壁が維持されることを立証した。

### (4) スイベル

一般にスイベルは、エアまたは水をドリルロッドに供給する部分である。エアグラウトドリル工法は、エアとセメントミルクを同時に送るため、高温のエアでセメントミルクが硬化しやすく、スイベル内にセメントミルクのかすが溜まり、その影響によりドリルロッドを詰まらせる可能性が考えられた。これに対処するため、ドリフタ内部に格納されているスイベルの清掃と部品交換の作業が容易であることが要求されたため、現場実験において高圧洗浄水を使用した洗浄とスイベルの分解・清掃を行った。その結果、セメントミルクのかすがスイベル内に一部溜まっていたが、分解・清掃が容易にできることを確認した。

また、ビット先端が閉塞してセメントミルクが逆流し、これがスイベルを通じてドリフタ内部へ浸入することも考えられたため、Uパッキンとグリースで浸入を防止する一方、逆流した場合を想

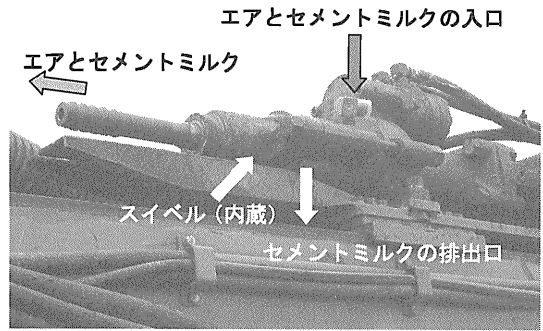


写真-6 ドリフタ

定し、図-4、写真-6 に示すようにドリフタ外にセメントミルクを排出できる開口を設ける対策を行った。

### (5) セメントミルク逆流防止装置

現場実験において、逆止弁を付けていたにもかかわらずセメントミルクがエアラインに逆流するトラブルが発生した。そこで、以下の対策を施した。

(a) ビット先端が閉塞した場合、エアが流れずエア量が0となるので写真-7 に示す操作盤の上にエアフローセルを設置し、オペレータがエア量を目視で確認できるようにした。作業中にエア量が0となった場合は、削孔を止めドリルロッドを引き出してエアが出るまでドリルロッドを前後させることとした。

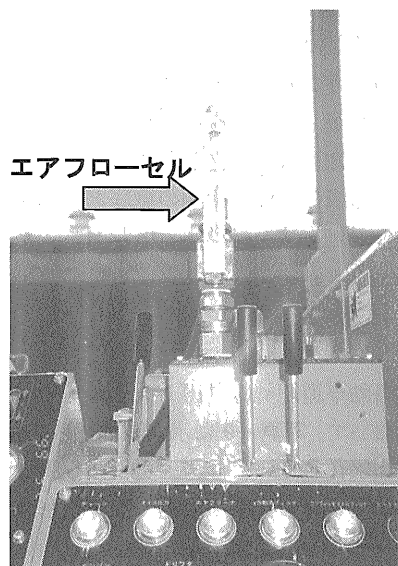


写真-7 エアフローセル

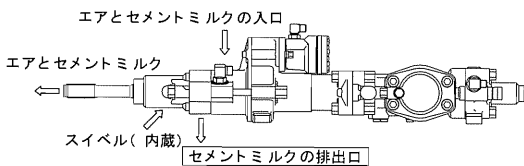
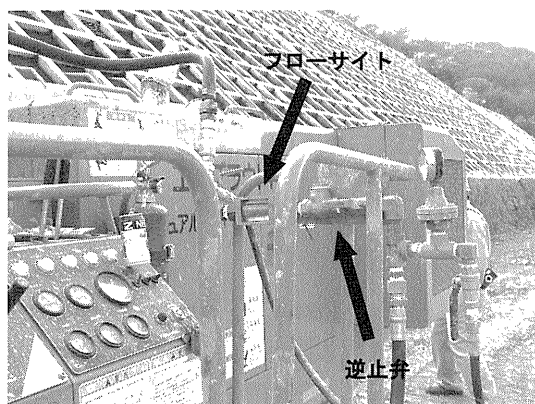


図-4 ドリフタ

(b) コンプレッサの吐出圧力は0.7 MPaであり、グラウトポンプは2 MPaまで圧力を上げることができる。閉塞した場合は、セメントミルクの圧力がエアの圧力を上回って、逆流が開始することが予想されたため、オペレータの近くでセメントミルクの圧力が分かるように圧力ゲージを設置した。

(c) 逆止弁は、本体が傾いている場合、半開きの状態になることがあるため、エアラインの途中に写真—8に示すフローサイト（透明な管）を設置し、オペレータが目視で逆流を確認できるようにした。



写真—8 フローサイト

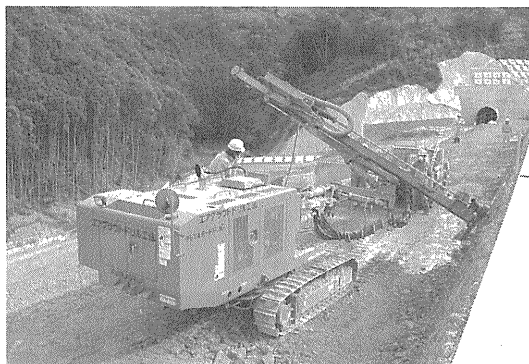
(d) 逆流しフローサイトを通過したセメントミルクがコンプレッサまで到達しないように、エアラインの途中にセメントミルクを溜める圧力タンクを設置した。

以上のような対応でトラブルをほぼ解消することができたが、実作業を行うオペレータに逆流防止対策を周知徹底する必要があったため、施工の手引きを作成し、作業手順の徹底と不具合が生じた場合の対処方法を指導する体制を整えた。

#### 4. 試験工事

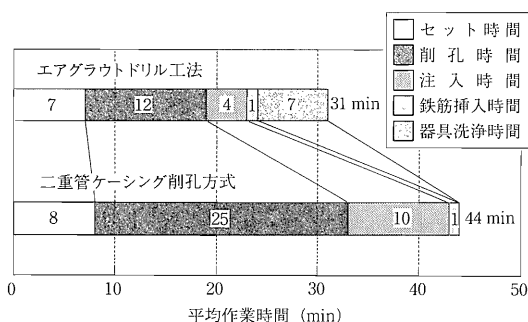
近畿自動車道紀勢線島田トンネル工事の切土のり面において、写真—9に示す試験工事を行った。地山は強風化している砂岩、頁岩の互層であり、砂岩部はハンマの打撃で容易に細片化され、頁岩部はスレーキングを起し、粘土化している。切土のり面は、1:0.5、高さ7.0 mであり、切土補

強土工は長さ3.0 mを5段の逆巻きで施工する仕様であった。事前に行った削孔試験で孔壁が自立しないことが確認されたため、その内の最初の1段92本をデュアルモードドリルを使用してエアグラウトドリル工法で施工を行った。



写真—9 試験施工

施工結果は、図—5に示すとおりである。1本当たりの平均作業時間は、デュアルモードドリルを使用したエアグラウトドリル工法が31分に対し、次段以降行った二重管ケーシング削孔方式では44分必要であることが分かり、工費節減・工期短縮が可能であることを立証した。



図—5 作業時間の比較

図—6に二重管ケーシング削孔とエアグラウトドリル工法の作業手順の比較を示す。この図から、エアグラウトドリル工法が、二重管ケーシング削孔方式と比較して作業手順が少なく、簡易であることが分かる。ただし、図—5に示したようにエアグラウトドリル工法は、1本ごとに洗浄時間が必要であり、さらに時間短縮を図るためには、洗浄作業を効率化する必要がある。

試験工事の結果を受けて、写真—10に示す山陽

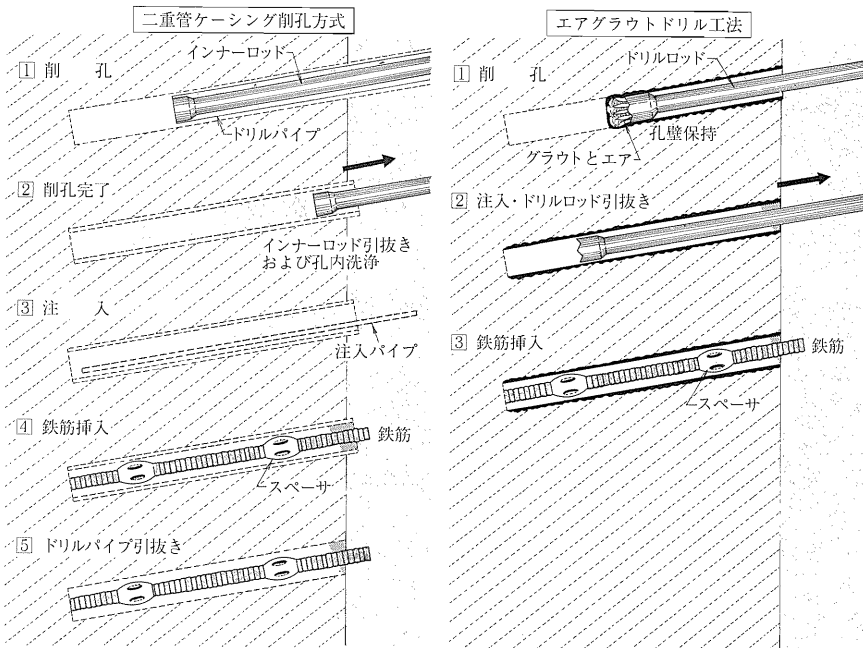


図-6 二重管ケーシング削孔方式(左)とエアグラウトドリル工法(右)の比較

の結果から、従来工法である二重管ケーシング削孔方式に比べ、1mあたりの削孔費を約30%節減することができた。

本報告で示した新工法・新機械の開発が終了しており、今後JHでは、孔壁が自立しない地山に対する一般工法として、エアグラウトドリル工法を採用していく予定である。

最後に、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に誌面を借りて感謝を申し上げます。

J C M A

【参考文献】

- 1) 緒方, 佐藤, 緒方: 切土補強土工法の新しい削孔技術, 土木技術, 56巻7号, pp. 85-90, 平成13年7月(2001.7)

【筆者紹介】

緒方 健治 (おがた けんじ)  
日本道路公団試験研究所  
道路研究部  
土工研究室長



宮田 和 (みやた かず)  
清水建設株式会社  
土木本部技術第一部  
課長代理



菊地 将郎 (きくち まさお)  
三信建設工業株式会社  
技術開発部  
部長



写真-10 本 工 事

自動車道角亀工事の切土のり面において、エアグラウトドリル工法が本工事に採用され、順調に施工を終えることができた。

5. おわりに

孔壁が自立しない地山に対する切土補強土工法としてエアグラウトドリル工法を開発し、狭小な場所での施工と長尺削孔も可能とした専用削孔機デュアルモードドリルの開発を行った。試験工事