

## 57. 効率的なNATMの機械化施工(SMB工法)の開発

佐藤工業(株)：石田 義昭・目時 康男

### 1. はじめに

大断面トンネルにおけるNATMの掘削工法は、一部の硬岩トンネルを除けばトンネルを上半、下半の二つに分割して掘削するベンチカット工法が標準工法であり、一般にはロングベンチカット工法およびショートベンチカット工法による施工例が多い。しかし、従来のベンチカット工法は施工性、安全性、作業環境の面で問題点を抱えているのが現状である。

ここに紹介するSMB工法は、油圧式ホイールジャンボ(3ブーム、2チャージングケーシング装備)および2アーム吹付ロボットを開発することによって、ベンチ長のマイクロ化と上半、下半の並行作業を可能にし、施工性、安全性、作業環境の抜本的な改善を図った効率的な掘削システムである。

この掘削システムは、九州横断自動車道杵島トンネルの上り線(D=1194.5m)で実施し、成果をあげているので、SMB工法の概要と新規に開発した機械について報告する。

### 2. SMB工法

従来、ベンチカット工法は地質、湧水、工期等の諸条件により、ロングベンチカット工法、ショートベンチカット工法、ミニベンチカット工法および多段ベンチカット工法に区分され、施工されている。特に地質の悪い長大トンネルでは、工期等の関係から上下半同時併進によるベンチカット工法を採用する機会が多いが、次のような問題点がある。

#### (1) 従来のベンチカット工法の問題点

- ① 施工性の面では、上半、下半の競合作業による施工効率の低下。
- ② 安全性の面では、上半、下半の輻輳作業による重機車輛との接触災害の発生。
- ③ 経済性の面では、機械や作業員増強によるコストアップ。
- ④ 作業環境の面では、吹付作業およびずり出し中の粉じんや排気ガスの発生が2箇所にまたがり坑内環境悪化の要因となる。
- ⑤ 地質が悪化した場合、早期断面閉合および掘削工法変更への対応力に欠ける。

#### (2) SMB工法の特徴

- ① 上半、下半の並行作業により、作業工程を短縮し施工効率の向上を図ることができる。
- ② せん孔から吹付までの一連の作業が、切羽を1箇所に集約することにより、作業が単純化され安全性が向上する。
- ③ 使用機械の削減、省力化が図られる。
- ④ 換気用風管、電線等の発破による損傷およびこれらの移設作業のムダ、ロスを解消できる。
- ⑤ ずり出し、吹付作業の回数が従来の半分になり、必要な換気量を確保することによって、粉じんや排気ガスの暴露時間が減少し、坑内作業環境の改善を図ることができる。
- ⑥ 地質が悪化した場合、早期に断面閉合が可能であり、また、幅広い地質条件に適用できる。

### (3) SMB工法の概要

図-1に従来工法とSMB工法の比較を示す。以下、SMB工法のシステム概要と施工順序について述べる。

掘削断面は切羽の安定性と作業スペースを確保するために3~4mとした。せん孔からロックボルト、装薬までの一連の作業はSMB工法用に開発した油圧式ホイールジャンボ(3ブーム, 2チャージングケージ装備)によって並行作業できるのが、この工法の大きな特徴である。並行作業の施工順序は以下のとおりである。

① 上半装薬孔とロックボルト孔のせん孔は並行作業で行う。その際、スライド式チャージングケージは2台ともジャンボの最後部に移動しているので、せん孔用の3ブームとの競合がなく、効率的にせん孔することができる。

② 上半のせん孔作業が完了後、油圧式ホイールジャンボは4~5m後退し、下半の装薬孔とロックボルト孔をせん孔する。並行して2台のチャージングケージを上半切羽までスライドさせ、ロックボルトを打設し引続いて装薬をする。

③ 下半も上半と同様、せん孔完了後、ロックボルトの打設、装薬を行う。実績では上半のみ支保工の入るCIIパターンのせん孔準備からロックボルト、発破、換気までのサイクルタイムは平均150分である。

図-1 従来工法とSMB工法の比較



### 3. 新機械の開発

SMB工法のために特別に開発した油圧式ホイールジャンボおよび2アーム吹付ロボットの概要と特徴を以下に示す。

#### (1) 油圧式ホイールジャンボ

油圧式ホイールジャンボ(JTH3R-135)は古河鉱業と共同で開発した3アーム、2チャージングケージを装備したホイール

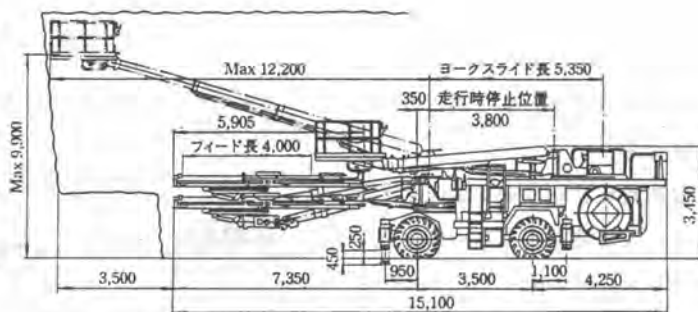


図-2 油圧式ホイールジャンボ(JTH3R-135)

ジャンボで、ミニベンチからロングベンチまで全ての工法に対応でき、硬岩から軟岩に至るまで幅広い地質に対して適用が可能である。また、マーキング、せん孔、ロックボルト、装薬等の作業が十分に安全な環境のもとで並行作業を行うことによって、安全性の向上と作業の効率化を図ったものである。

主な開発項目と実施効果は以下のとおりである。

- ① チャージングケージを2台装備することにより、ロックボルト、装薬の作業時間の短縮と作業効率の向上を図ることができる。
- ② 2台のチャージングケージ本体が前後にスライドするヨーksライド機構およびケージ2段伸縮機構を装備することにより、チャージングケージとせん孔用アームとの競合を防止し、上半と下半の並行作業が可能になる。
- ③ 2台のチャージングケージ間の干渉防止機構を装備することにより、スイング角度が規制され安全作業が可能になる。また、1台だけ使用する場合には規制が解除され、1台で全断面の作業範囲をカバーすることができる。
- ④ チャージングケージに接近警報装置を装備しているため、天端および側壁にケージが接近すると、センサーとリミットスイッチが作動し警報ブザーを発する。

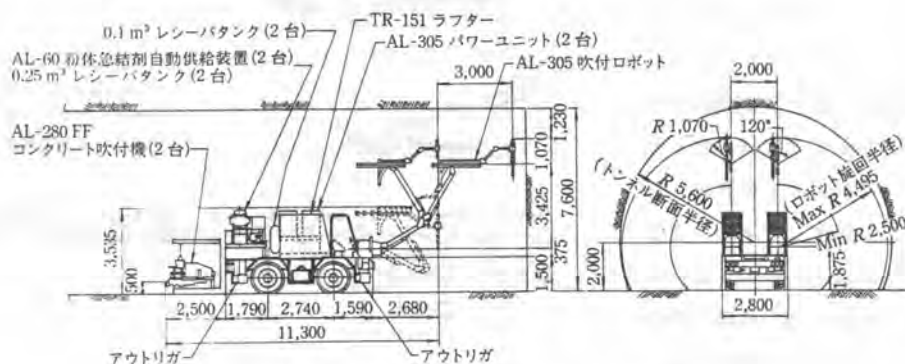


図-3 2アーム吹付ロボット(マンティスSF-2)

## (2) 2アーム吹付ロボット

2アーム吹付ロボット（マンティスSF-2）は、富士物産と共同で開発した機種で、NATMの効率化を進めるうえで重要な課題の一つである吹付時間の短縮、大断面トンネルにおける早期地山の安定化に必要な大容量吹付けおよび粉じんの暴露時間の減少による坑内作業環境の改善を図ったものである。

開発項目と実施効果を以下に示す。

① 2台の吹付機（アリバ280FF）と2基の吹付アーム（アリバ305）をコンパクトに一体化することによって、2系統での吹付けが可能になり、吹付能力が大幅に向上し、吹付時間の短縮を図ることができる。大断面トンネルにおいて地質の悪い場合には大容量吹付けによって、地山の早期安定化が図られ、また、長孔発破時でも短時間に吹付けすることができる。特に吹付け作業時の粉じんは、吹付時間の短縮により暴露時間が減少し、環境改善されている。

② 2基の吹付アーム間に干渉防止機構（電氣的、機械的ストッパー）を装備することにより、同時に操作しても互いに干渉することなく、トンネルの左、右半分を各々のアームで安全に吹付けることができる。また、どちらかのアーム、吹付機が故障した場合にも、残りのアーム、吹付機を用いて全断面吹付けが可能である。

③ 通常は、トラックミキサーを2台並列に並べて吹付けするが、1台でもY字型パイプレータホッパ（強制供給材ホッパシュート）を装備することによって、吐出量を低下させることなく、2系統の吹付けをすることができる。

吹付ロボットの吹付能力の実績は2アームで18~20 $\text{m}^3/\text{hr}$ であり、従来方式と比較して吹付時間は1/2~1/3に短縮されている。吹付け中の粉じんについては時間短縮と大容量換気（風管径1400 $\phi$ 、最大換気量2000 $\text{m}^3/\text{min}$ ）によって早期に排出されているが、一時的に粉じんが多く発生するため、粉じん低減剤を使用して環境改善を図っている。

## 4. 工事実績

トンネルは、坑口から73mは従来のベンチカット工法、残りの1121.5mをSMB工法で施工した。トンネルの地質は想定より悪く、大半が上半のみ支保工の入るCIIパターンで、支保工のないCIパターンはわずか9mであった。CIIパターンの実績進行は、最大日進6m、最大月進144m、トンネル全体の平均月進は105mである。表-1に各パターンの施工実績を示す。

表-1 施工実績表

パターン	CI	CII	CIII	DI	DII	DIII	合計
延長(m)	9.0	970.05	8.1	80.0	24.05	30.3	1121.5
平均日進(m/日)	6.0	4.6	2.3	2.7	1.8	3.0	4.2

## 5. おわりに

SMB工法は、本トンネルのように地質があまり良くない場合でも、新しい機械の開発によって全断面に近い環境のもとで、効率的で安全性に優れた工法であることが実証できたものと評価している。

今後は、硬岩から軟岩、土砂と地質が目まぐるしく変化する我が国の大断面トンネルにおいても、十分に対応できる工法であると確信している。