

新プレライニング「モノベック (Mono-Bent-Cutter)」工法の開発

DEVELOPMENT OF A NEW PRE-LINING METHOD - MONOBEC METHOD

磯 陽夫* ・ 内田 克巳**

Akio ISO and Katumi UTIDA

This report presents the outline of the MONOBEC machine experimentally made for an assumed single-track tunnel as well as the results of cutting and filling tests made on a mock ground. The MONOBEC (Mono-Bent-Cutter) method is being developed as a pre-lining method to prevent surface settlements and maintain the stability of the working face when a tunnel is driven by NATM through urban unsolidified grounds in Japan.

The features of this method are as follows: 1) A slot is pre-cut ahead of the face and exactly along the tunnel profile using an S-shaped bend-type chainsaw cutter; and 2) Shooting concrete into the slot, a continuous concrete lining is formed.

Keywords: NATM, urban unsolidified grounds, pre-lining method, S-shaped bend-type chainsaw cutter

1. まえがき

都市部の沖積層あるいは洪積層地盤に掘削する都市トンネルにおいては、従来からシールド工法や開削工法が一般的に用いられているが、近年では経済的に有利であり、断面変化への対応が容易であるなどの理由から NATM の採用が増加している。しかし、市街地周辺では未固結地山で自立性の低い地盤が多く、地表には公共構造物や家屋など重要構造物が存在していることから、都市トンネルに NATM を適用する場合には、地表面沈下や周辺構造物および環境への影響を最小限にとどめるための補助工法が必要となる。

切羽の自立が困難な場合の対策工法の一つとして、トンネル掘削に先立ち切羽前方の防護を事前に行うプレライニング工法がある。プレライニングは、切羽前方にトンネル断面に沿ってあらかじめコンクリートなどで改良体やアーチを構築し、切羽の安定性を向上させるものである。

従来の種々のプレライニング工法は、坑内から切羽前方にトンネル進行方向に対して斜め直線状にプレライニングを形成するので、先端部で拡径された円錐形となる。そのため、各ライニングは前回のライニングとラップして形成することになり、トンネル進行方向に対して縫地型となり不連続である。

モノベック (Mono-Bent-Cutter) 工法は、チェーンカッタ式切削機を用いて、トンネル進行方向と平行に断面に沿って連続切削したスリットにコンクリートを充填することにより、コンクリートライニングがトン

* 正会員 西松建設㈱技術研究所

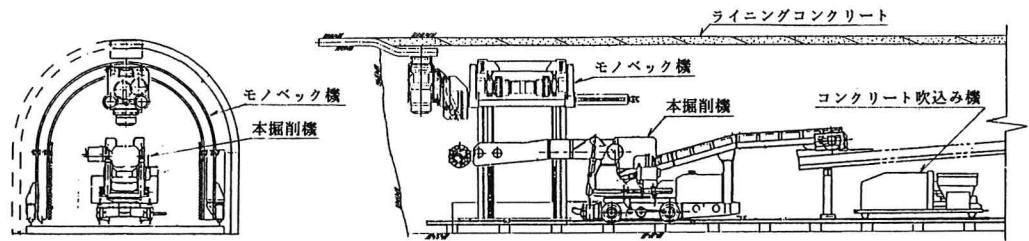
** 西松建設㈱施工本部機材部

ネル断面方向だけでなく、進行方向に対しても平行に連続して凹凸がなく形成することを目的として開発を行っている。本工法の概要と単線断面サイズによる模擬地盤で実施した実験の概要について以下に述べる。

2. モノベック工法の概要

2.1 施工システム

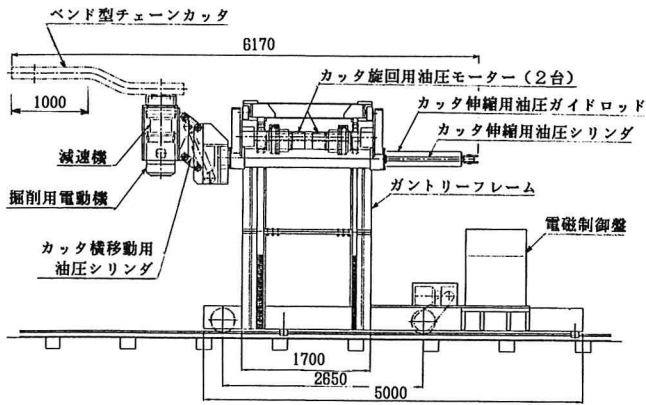
本工法の施工システムは、S字状のベンド型のチェーンカッタを装備したモノベック機とスリットにコンクリートを充填する機器と切羽掘削用の掘削機の組み合わせである。単線断面の場合を例を図－1に示す。



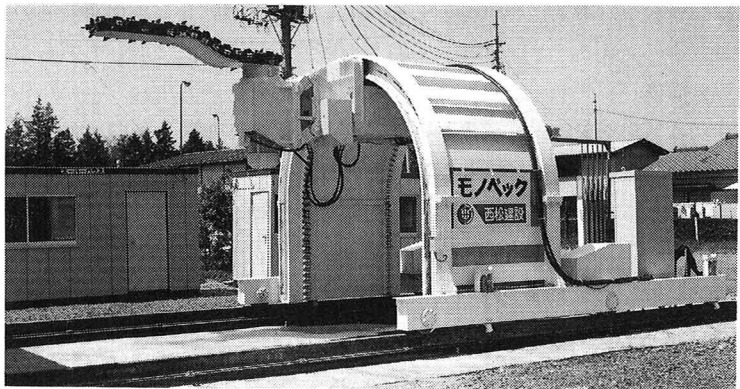
図－1 施工システム

2.2 プレライニングの形成

モノベック機は、地山に挿入するための伸縮機能、断面外周方向への横移動機能、さらに断面方向に移動する旋回機能を有するチェーンカッタにより、ガントリーフレームをガイドとして地山をスリット状に掘削し、そのスリットにコンクリートを充填することにより、所定の位置にライニングを形成する。単線断面用サイズのモノベック機を図－2および写真－1に示す。



図－2 モノベック機



写真－1 モノベック機

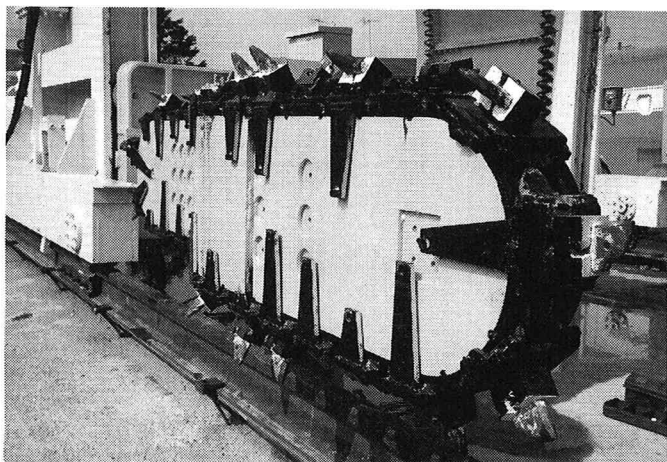
モノベック工法によるプレライニングの形成施工手順は、次に示すとおりである。

- ①モノベック機セット
- ②カッタを切羽へ挿入（サンピング）
- ③カッタをスリット位置に背面掘削し外周方向へ横移動
- ④ガントリーに沿って旋回しスリットを切削
- ⑤カッタを掘削開始位置に旋回して引抜き、モノベック機後退
- ⑥コンクリート充填

切羽前方にトンネル進行方向と平行な所定の切削位置にカッタを坑内からセットする方法は、カッタをライニング内の切羽に挿入し、次に背面部に装備したビット（写真－２）で地山を切削しながらカッタ横移動機構により外周側に平行移動していく。

チェーンカッタの主な仕様は、切削深さ1000mm、切削幅165mmおよび切削速度38.6m/minである。

スリットへのコンクリートの充填は、吹込み方式またはポンプ圧送方式による。吹込み方式は、湿式混合による急結性コンクリートをスリット内に低圧力で吹込み、ポンプ圧送方式は、急結性コンクリートをコンクリートポンプによりスリット内に流し込むものである。



写真－２ S字状のベンド型チェーンカッタ

3. モノベック機の特長

モノベック工法は従来の工法に比較して、

- ①ライニング面をトンネル進行方向と平行に凹凸がなく形成することが可能であるため、ライニング内部掘削時の余掘りが少ない。
- ②スリット切削時に前回施工したライニングコンクリートの先端の一部を斜めに切削するため、断面方向だけでなくトンネル進行方向のライニングコンクリートの付着性を高め連続性が強化される。
- ③連続したライニングを形成できるため、ライニング量が軽減できる。
- ④単線断面において、チェーンカッタの支持機構としてガントリーフレームを採用することにより、フレームの内側にライニング内部掘削機械である一般の汎用掘削機（カッタローダ、ロードヘッダ等）が移動できる空間を確保できるため、入替え作業がなく連続施工が可能である。

等のメリットが得られる。

4. 切削・充填実験

4.1 実験概要

エアームタルによる模擬地盤を用いて、単線断面（25㎡）対応のモノベック機の切削・充填実験を行いチェーンカッタの切削性能とライニングコンクリートの充填性、自立性について検討を行った。

実験設備を図-3に示す。モノベック機は、試作した単線断面対応機。コンクリート吹込み機は、形式が乾湿両用のエア搬送方式で吐出量 2～12m³/hである。急結剤ポンプは、粉体用で圧送圧力が1～4kgf/cm²である。模擬地盤は、幅6.0m×高さ4.1m×奥行3.5mの大きさで、エアームタル（強度：q_u=60kgf/cm²）で作製した。

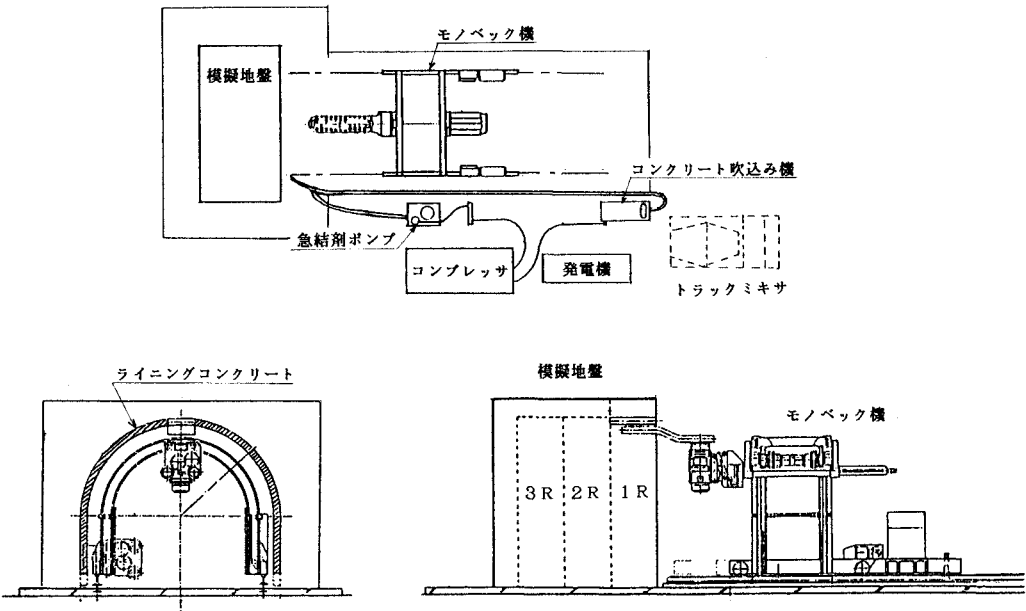


図-3 実験装置

4.3 コンクリート配合

実験に用いたコンクリートの配合は、表-1に示すとおりである。なお、使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント、AE減水剤はリグニスルホン酸化合物・ポリオール系、急結剤はセメント系（粉体）である。

表-1 配合表

骨材の最大 (mm)	スラップの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	急結剤
10	18+2.5	4±1	60.0	65	205	342	1092	572	0.855	20.5

4.4 実験方法

ライニングは1リング長1mで、施工手順にしたがい3リングを形成した。S字状のベンド型チェーンカッタによるスリットの切削状況を写真-3、4に示す。

ライニング内の掘削には汎用掘削機ではなくジャンボブレーカを使用した。ただし、破碎によるライニン

グへの影響を緩和するため、ライニング内周面に沿ってチェーンカットにより切削を行いライニングと切羽との縁切りを行っている。

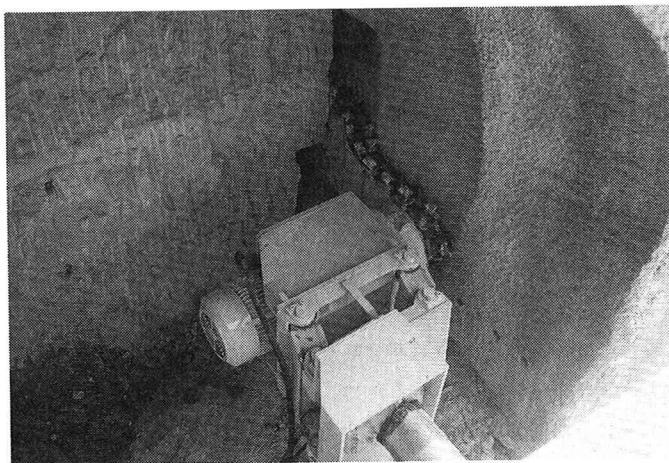


写真-3 スリット切削状況



写真-4 スリット切削状況

コンクリートの充填は、型枠材が不要な吹込み方式を採用し、右左各脚部から天端方向へコンクリートを重ねていくようにスリット内に吹込んだ。コンクリート吐出圧は 2 kgf/cm^2 程度とし、急結剤は吹込みノズル先端で添加した。

吹込みコンクリートの品質管理として、テストピースによる初期強度、充填度の測定およびライニングコンクリートからのコアによる充填度の測定を行った。

4.5 実験結果

実験結果をまとめると以下のようになる。

①切削幅、切削深さは、ほぼ仕様どおりの値であった。

- ②カッタベント部でのライニングコンクリートの切削についても、圧縮強度 $180 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$ でも切削速度は遅くなるが切削可能であった。
- ③コンクリートの初期強度の発現は、吹込み1時間後の圧縮強度が 6 kgf/cm^2 、3時間後の圧縮強度が 10 kgf/cm^2 、24時間後の圧縮強度が 80 kgf/cm^2 でありほぼ満足する結果が得られた。
- ④コンクリートの充填性については、ベースコンクリートテストピースの単位重量に対して吹付けコンクリートテストピース（ $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ m}$ ）からのコアの単位重量が95%、ライニングコンクリート脚部からのコアの単位重量が91%であり、ほぼ満足できる値であった。

5. おわりに

現在は、単線断面を想定した模擬地山を対象にして切削・充填実験によるモノベックの基本的性能を確認した段階である。

今回の実験ではライニングコンクリートの初期強度や吹込みによる充填性はほぼ満足できるものであったが、今後さらにコンクリートの充填性を向上するため、コンクリートの配合や吹込み方法についての検討を行うとともに、コンクリートの初期強度および耐久性を改善する目的で、早強型急結剤の開発、早強セメントやシリカフュームまた各種繊維の使用についての検討を行う予定である。また、施工システムとして切削・同時充填の研究・開発を進めていくつもりである。