

# 41. 新プレライニング “モノベック (Mono-Bent-Cutter)” 工法の開発

西松建設㈱：\*内田 克巳・磯 陽夫

## 1. はじめに

都市あるいは都市周辺でのトンネル構築については、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、NATM で施工する場合は地表面沈下防止、切羽の安定が最重要課題である。この対策工法の一つに、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。モノベック (Mono-Bent-Cutter) 工法はこのプレライニング工法の一つで、チェーンカッタ式切削機を用いて、切羽前方に形成するライニングのスリットをトンネル進行方向と平行に断面に沿って連続切削し、コンクリートを充填することにより、連続したコンクリートライニングが形成できることを特長としている。

本報告は、単線断面 (25m<sup>2</sup>) を想定し試作したモノベック機の概要と、模擬地盤を対象とした切削・充填実験結果について述べるものである。

## 2. モノベック工法の概要

従来の種々のプレライニング工法は、構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ため、先端部で拡張された円錐形となる。このため、拡張部分はライニング内切羽掘削では常に余掘り量となる。また、このため各ライニングはトンネル進行方向に対して縫地型の不連続であり、前回のライニングにラップして形成する必要がある。また、断面方向に対しても柱列状に形成するものは断面方向にも不連続なライニングである。モノベックは、これらを解決するため、ライニングをトンネル断面方向だけでなく、進行方向に平行に連続して形成することを目的として開発した。

本工法の施工システムは単線断面を対象とした場合、図-1 に示すように 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合せである。プレライニングの形成は、断面形状に合せた形状のガントリーフレームをガイドとして、地山に挿入する伸縮機能、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回転機能を有するチェーンカッタにより地山を掘削し、そのスリットにコンクリートを充填して所定の位置にライニングを施工する。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。今回は、充填材料として最大骨材寸法10mmのコンクリートを用い、型枠材の不要な吹込み方式を採用した。

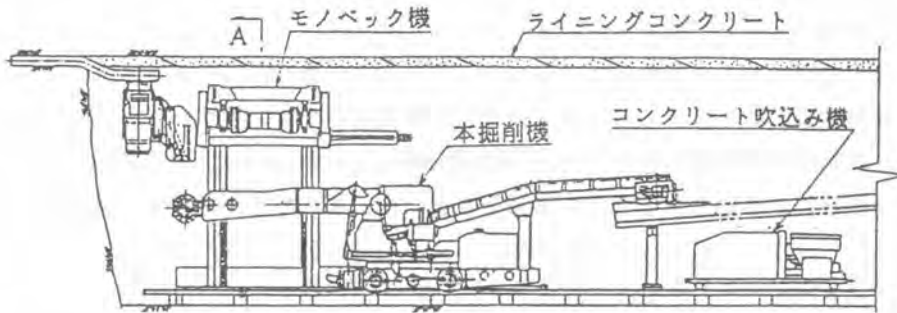


図-1 施工システム



写真-1 モノベック機

### 3. モノベック機の特長

モノベック機は、切削部とガントリーフレームおよび走行部から構成され、切削部はチェーンカッタの伸縮・横移動・旋回の機能がある。チェーンカッタは、S字状のバンド型チェーンカッタ、切削深さ 1000mm、切削幅 165mmおよび切削速度 38.6m/minである。写真-1 参照

モノベック機の特長は、カッタとしてS字状のバンド型チェーンカッタを採用したことである。切羽前方のトンネル進行方向に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後、背面部に装備したビットで地山を切削しながら外周側にカッタ横移動機構により平行移動するものである。

モノベック工法は従来の工法に比較して、以下の特長を有する。

① ライニング面をトンネル進行方向と平行に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、チェーンカッター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（カッターローダ、ロードヘッド等）が移動できる空間を確保できるため、入れ替え作業がなく連続施工が可能である。

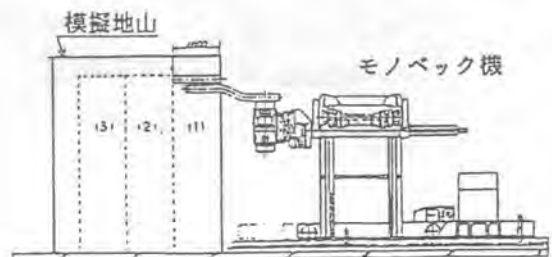
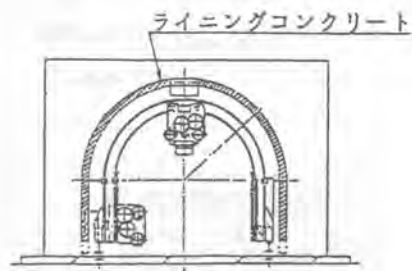
#### 4. 切削・充填実験

エアーマルタルによる模擬地盤を用いて単線断面对応のモノベック機の切削・充填実験を行い、ジブカッターの切削性能や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。

##### (1) 実験装置

実験設備を図-2に示す。

- ①モノベック機
  - ・単線断面对応機
- ②コンクリート吹込み機
  - ・形式：乾湿両用
  - ・エア搬送方式
  - ・吐出量：2~12m<sup>3</sup>/h
- ③急結剤ポンプ
  - ・粉体用
  - ・圧送圧力：1~4kgf/cm<sup>2</sup>



##### (2) 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。

図-2 実験装置

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 <sup>3</sup> )					
					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

表-1 コンクリート配合表

### (3) 模擬地盤

実験に用いた模擬地盤は、エアーモルタルで作製した。

強度： $q_u=60\text{kgf/cm}^2$       寸法：幅 $6.0\times$ 高さ $4.1\times$ 奥行 $3.5\text{m}$

### (4) 切削方法

施工手順にしたがって3リング分の切削を行った。ただし、今回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タにより切削を行い、ライニングと切羽との縁切りを行ってから内部掘削を行った。

### (5) 吹込み方法

実験においてコンクリートの充填は、スランプ $18\text{cm}$ の軟練りコンクリートにノズル先端で急結剤を添加し、吐出圧を $2\text{kgf/cm}^2$ 程度にして、人力により、吹込みノズル口をスリット手前に位置して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みを行った。

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。

### (6) 実験結果

実験結果をまとめると以下のようなになる。

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 $6\text{kgf/cm}^2$ 、3時間後の圧縮強度が $10\text{kgf/cm}^2$ 、24時間後の圧縮強度が $80\text{kgf/cm}^2$ 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。チェーンカッタ構造は、基本的に圧縮強度 $200\text{kgf/cm}^2$ のコンクリート切削は可能であるが、実用化のために自動テンションやカッタビット抜け止めなど基本的機能を装備させるためにカッタ厚、カッタ幅をいまより若干大きくする必要があり、それにより対応する断面寸法が $1\sim 2\text{m}$ 程度大きくする必要もある。また、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ェ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。