

## 22. NTL 工法

～トンネル一次覆工の機械化施工～

日本道路公団：東 保彦・大嶋 健二  
鴻池組・一宮建設共同企業体：\*酒向 龍實

### 1. はじめに

現在、山岳トンネルの施工法の主流となっている NATM の一次覆工としての吹付コンクリートには、粉塵の発生による作業環境の悪化・リバウンドによる材料ロスが多いといった問題が指摘されている。これらの問題を解消し、一連の作業の機械化・自動化を目的とした新しい一次覆工工法—NTL (New Tunnel Lining) 工法—が開発されている。NTL 工法とは、移動もしくは、固定式の特製の型枠と地山の間に流動性と急硬性を有するコンクリートを打設し平滑な一次覆工面を形成するものである。本報文は、東海北陸自動車道小瀬子トンネル (L=671m) のほぼ全線を施工した NTL-1 機および試験施工状況について述べたものである。

### 2. 小瀬子トンネルの概要

小瀬子トンネルは、東海北陸自動車道のほぼ中央、岐阜県郡上郡八幡町に位置している。小瀬子トンネル周辺の地形は、白山系の山地で形成される。その中を長良川が南北に流れており、両岸には標高 400m 程の峰々が河道に急な斜面でせり出している。流域には浸食谷の発達した小規模河川が多数存在している。

小瀬子トンネルの地質は、美濃帯に属する中生代ジュラ紀の小駄良川層の頁岩が主体となっている。



図-1 小瀬子トンネルの地質

### 3. NTL 工法

山岳トンネル施工の主流となっている NATM では、一次覆工は吹付コンクリート・ロックボルト・鋼アーチ支保工によって形成されている。吹付コンクリートは掘削直後の地山を被覆・保護するとともに変形を抑制する機能を果たしており、もっとも重要な支保部材となっている。しかしながら、吹付コンクリート施工時の粉塵発生による作業環境の悪化や、跳ね返りによる材料ロス、さらには、地山の凹凸に沿った仕上がり形状となる部分での応力集中が発生するといった問題がある。そのため、吹付工法に替わる合理的で経済的、かつ、安全環境に配慮した一次覆工工法を求める方向にある。

NTL 工法は、吹付工法に比べ以下のような利点がある。

① 掘削後早期に覆工できるため、掘削面の風化・劣化を抑制できる。また、初期強度発現に優れ、支保機能の即効性が得られるため地山のゆるみを最小限に抑えることができる。

- ② 地山に密着した平滑な仕上がり面の覆工体ができるため、掘削壁面の応力集中を緩和できる。
- ③ 特殊な型枠を用いるため、コンクリートの跳ね返りロスがない。
- ④ 作業の自動化・ロボット化をはかれるため、危険・苦渋作業を解消できる。
- ⑤ 粉塵の発生が無く、良好な作業環境が得られる。

NTL工法による一次覆工は、上記①②に加え、長期強度も高いことから、吹付コンクリートの代替にとどまらず、将来的には鋼製支保工やロックボルト等の支保部材の簡素化・省略が期待されるものである。

#### 4. NTL-1機

##### (1) NTL-1機の開発条件

現在、NTL工法には、エンドレスベルトによる円周方向移動型枠方式・全周セントル型枠方式・部分セントル型枠方式・コテ型枠方式が提案されているが、NTL工法実用機の1号機であるNTL-1機の開発は、以下の条件の下に行った。

- ① 対象トンネル断面は、日本道路公団暫定2車線トンネル（仕上がり内空R=5.6m）とする。
- ② 上半先進発破掘削工法とし、地山等級のB～Dまでに対応できるものとする。
- ③ 移動・セット・コンクリート打設・養生・脱型と続くサイクルタイムの短縮がはかれること。
- ④ 一次覆工作業時の安全性を確保すること。
- ⑤ 機械の一体化・コンパクト化を図ること。
- ⑥ 機械の自動化を図ること。

##### (2) NTL-1機の特徴

今回開発したNTL-1機には、施工性を考慮して、部分セントル型枠方式を採用した。タイヤ方式のベースマシンに、起伏可能なブームを取り付け、ブーム先端に円形レールフレームと天端固定型枠を配置し、このレールフレーム上を移動可能な左右一対の走行型枠を装備した。妻型枠は伸縮シリンダーにより放射状に上下する連続弾性体方式を採用した。この型枠と掘削地山とで形成された空間内に、NTLコンクリートを流し込み、左右の側壁部、天端部の順に一次覆工を行う。

以下に各部の特徴を列記する。

- a. ベースマシン：機動性・耐久性に優れるトンネル機械専用のタイヤ式ツールキャリアを採用し、コンクリートポンプ・急硬材供給装置・作業足場等の必要設備をすべて搭載した。
- b. レールフレーム：コンクリート側圧に対する反力フレームの機能を兼ね、4箇所の関節により、移動時にはコンパクトに折畳み、収納できる構造とした。
- c. 位置調整機構：ブーム先端にて、ピッチング・ヨーイング・スライドの動作が行え、ブームの起伏・旋回と併せてレールフレームのセットが容易に行えるようにした。
- d. 型枠：各部分型枠は、それぞれ4本の油圧伸縮ジャッキで支持され、型枠表面には特殊なゴムライニングを施しコンクリートの剥離性を高めた。型枠の走行は、ピンラック・ピニオンギヤ方式の油圧モータ駆動とした。妻型枠は、5～45cmの地山の凹凸に追従できる構造とした。

e. 各種センサー：施工性の向上・自動化を図るために各種のセンサーを装備した。

f. 安全性の向上：地山の肌落ちに対し、天端型枠及びプロテクタを設置し、すべての操作を遠隔式とした。NTL-1機の概略仕様を表-1に、外形図を図-2に、センサー配置図を図-3に示す。

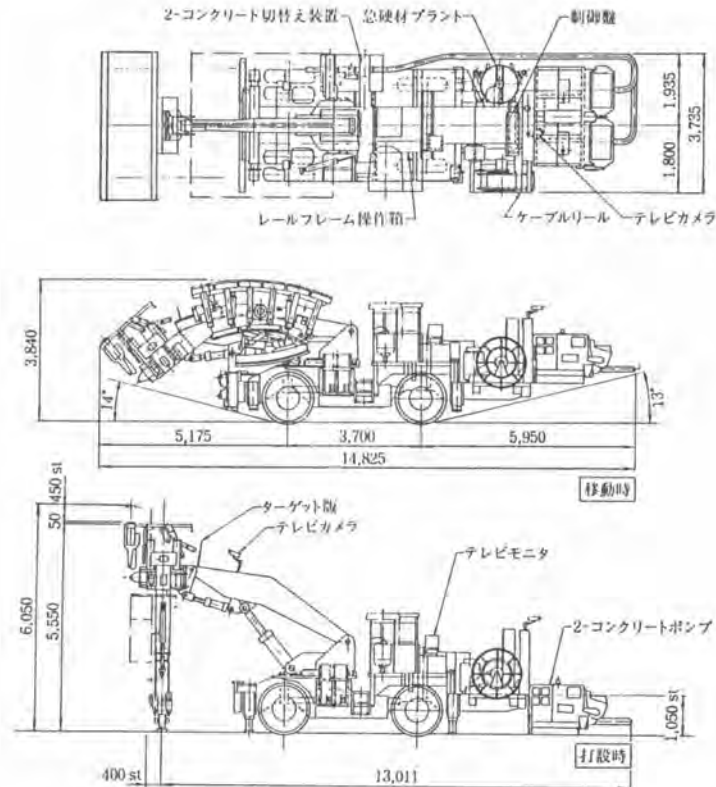


図-2 NTL-1機外形図

表-1 NTL-1機概略仕様

種別	項目	仕様	備考
全体仕様	全幅	12,000 mm	折畳み走行時 3,945 mm
	全高	6,000 mm	折畳み走行時 3,840 mm
	全長	14,091 mm	折畳み走行時 14,825 mm
	総重量	54 t	
	総電容量	113 kW	400 V / 440 V 50 Hz / 60 Hz
型枠部	型枠形式	スライド式部分型枠 走行スライド式部分型枠	上部 1/5 型枠×1 下部走行式 1/5 型枠×2
	型枠幅	W = 1,600 mm	打設スパン 1,500 mm
	型枠半径	R = 5,900 mm	
	妻型枠	地山凹凸追従弾性体式	50 ~ 450 mm の地山の凹凸に対応
コンクリート打設部	打設方法	流込み方式	コンクリートポンプにより圧送
	打設装置	コンクリートポンプ×2台 急硬材供給装置 先端構件装置（連続式）	1 ~ 15 m <sup>3</sup> /h/台 定置型ポンプ（2 ~ 12 t/min）2台 各型枠に1箇所（計3台）
走行部	走行方式	タイヤ式	180 PS
	走行速度	5 km/h	前進・後退共
	登坂能力	13 度	

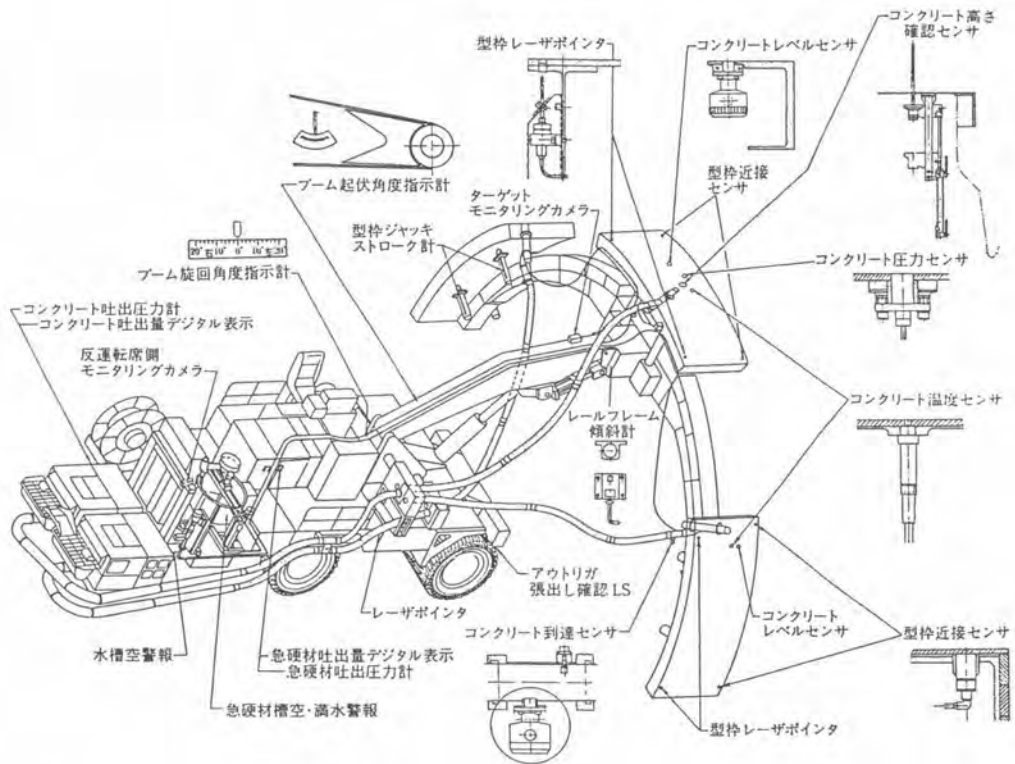


図-3 各種センサー配置図



写真-1

### (3) NTLコンクリート

使用したコンクリートは、型枠内に充填されるまでは流動性を保ち、その後、脱型可能強度まで急速に硬化する特性が要求される。そのため、コンクリートに急硬性を付与する混和材として急硬材（主剤）を、逆に硬化時間を調整する混和材としてセッター（調整剤）を用いる。今回のコンクリート打設は、ポンプ圧送（2ピストン・シリンダスライド式・2台）とし、急硬剤の添加混合は、先端攪拌方式とし、粉体の急硬剤を水に混ぜポンプにてコンクリート打設孔直前の先端攪拌装置まで圧送し、コンクリートと混合させる方式とした。

### 5. 試験施工状況

小瀬子トンネルにおけるNTL-1機による試験施工は、平成6年6月～7年6月まで実施し、施工延長は、両坑口部を除く635m（531スパン）であり、そのほとんどが鋼製支保工・ロックボルトを省略したパターンにて施工した。以下にその施工状況を示す。

#### (1) 地山状況

小瀬子トンネルの地質概要および支保パターン実績を図-4に示す。NTL施工区間の地質は、頁岩と風化頁岩が主体であり、部分的に砂岩が貫入している程度であった。頁岩は黒灰色をしており、節理が非常に発達している。褶曲作用は著しく、粘土の介在する破砕帯が至る所（10m程度毎）で出現した。トンネル全体の湧水量は毎分200～300ℓ程度であり、切り羽部での局所的な湧水量は毎分20～50ℓ程度であった。



地山等級		D	C								D	C	D	C	D
設計パターン		DII	CII				CI	CII	DII	CII	DII	CII	DII	DI	DI
区間長(m)	10.8	110.4	25.2	38.4	27.0	97.2	42.0	136.8	13	45.6	20	34.8	20	17	24.8
区間最大土盛り厚(m)	4.2	65	78	82	66	88	113	133	125	105	67	55	34	23	12
支保工法	吹付・おけり工法														
	N														
	T														
	L														
	掘進延長延伸														
設計地厚減															

図-4 小瀬子トンネル地質概要・支保パターン

## （２）施工状況

機械関係の初期故障・取り扱い未熟によるトラブル等により当初は目標のサイクルタイムをなかなか達成できなかったが、施工回数が増えN T L工法の作業に習熟するにつれトラブルの回数も減り、90回（約90m）を越える頃から穿孔～発破～ずり出し～一次覆工の全体サイクルタイムは安定し、一次覆工のサイクルタイムは小さなトラブルを含め120分程度（最短80分）となり、当初想定した目標サイクルタイムをほぼ達成した。

しかしながら、破砕帯等で切羽が肌落ちするような場合において、N T L-1機の構造上ほとんど核残しができないこと、および、妻型枠のジャッキストロークが及ばなくなることから、コンクリートによる一次吹き、あるいは、人力による間詰め作業に予想以上の時間を要した。

## （３）作業環境の改善

N T L工法の一次覆工時の平均粉塵濃度は、吹付コンクリートに比べきわめて微少であり、施工時の発生粉塵は、ミキサー車等からの煤煙が主であった。セメント系の浮遊粒子状粉塵がほとんどないことから、N T L工法の当初の目的の一つは達成できたといえる。

## （４）N T L-1機の評価

N T L-1機設計時の開発条件はほぼすべて満足したものと考えられるが、軟弱地山における核残しへの対応、さらには、N T Lに適したその他の補助工法の確立が今後の課題である。

今回、すべての装置を1台の車両に搭載し、一体化・コンパクト化を図ったが、限られたスペースにすべてのものを乗せたことによる配置的な不都合や、特殊な機器の使用により、メンテナンス上不利になったといえる。今後は、ある程度の装置の分割を検討する必要がある。

また、種々のセンサーを設置し自動化を図ったが、実施工において作業員が使いこなせないものが多かったため、必要最小限のセンサーの設置にとどめ、操作の容易なものにする必要があると思われる。

## 6. おわりに

小瀬子トンネルにおけるN T Lの試験施工に際し、ご指導・ご協力賜りました、（社）日本トンネル技術協会とN T L特別小委員会の方々をはじめとする関係各位に厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1）（社）日本トンネル技術協会（日本道路公団名古屋建設局美濃工事事務所委託）：東海北陸自動車道小瀬子トンネルN T L施工検討報告書，平成7年3月
- 2）広谷繁樹・東保彦・榎戸靖暢：N T L工法の試験施工 東海北陸自動車道小瀬子トンネル，トンネルと地下，V o l . 2 5，N o . 1 0，1 9 9 4年1 0月
- 3）東保彦・榎戸靖暢・酒向龍實：トンネル一次覆工工法の機械化－N T L工法の紹介－，建設の機械化，1 9 9 4年1 1月