

## 40. 新しい山岳トンネルライニングシステムの開発(K-NTL)

(株)鴻池組：\*緑田 正美・西川 博之

### 1. はじめに

NATMトンネルの一次覆工における吹付けコンクリート工法は、コンクリート吹付け時の材料の跳ね返りロスやそれとともに発生する多量の粉塵のため、悪環境のもとでの苦渋作業となる。このような従来の吹付けコンクリート工法の問題点を解決し、かつ新しいトンネル覆工の可能性を提案する工法が『K-NTL工法』である。本報においては、K-NTL工法機の機械システムについて述べると共に実トンネルにおける実証実験結果について報告する。

### 2. 従来工法とNTL工法

#### 1) 従来工法

山岳トンネル施工法の主流となっているNATMは、合理的・経済的な施工ができるという特徴を有する工法であるが、吹付けコンクリートの施工は以下に示す問題点も指摘されている。

- ①粉塵や跳ね返りコンクリート等の発生により作業環境が損なわれる。
- ②跳ね返りロスが多く不経済である。
- ③地山の凹凸に沿った支保形状となる部分では、応力集中が発生する可能性がある。

#### 2) NTL工法(New Tunnel Lining 工法)

これらNATMの抱える問題点を解決するため、吹付けコンクリートに代わる新しい一次覆工工法としてNTL工法が提案されている。これは急結性の吹付けコンクリートに代わり、移動式もしくは固定式の型枠と地山との間に流動性、急硬性を有するコンクリートを打設することにより、一次覆工を行おうとするものである。



図-1 吹付け工法とNTL工法

これにより、表面の平滑な高品質の支保を形成することが可能となる。図-1に吹付け工法とNTL工法の違いを示す。

### 3. K-NTL工法機の概要と特徴

本工法は、コンクリートを吹付ける代わりに、トンネル断面の1/2をカバーする一対の部分型枠と地山との間に急硬性コンクリートを流し込み、側壁部・天端部と、型枠を走行移動させ2回に分けて覆工を行うものである。

本工法の特徴を列記すると次の通りである。

- ①コンクリート打設に伴う材料の跳ね返りや粉塵がまったく発生しない。
- ②跳ね返りによる材料ロスがない。
- ③地山凹凸に関係無く平滑な表面に仕上がる。
- ④操作が容易で機動性が高く作業時間が短い。(80~100分)
- ⑤大きな地山凹凸にも対応できる。(50~400mm)
- ⑥全ての操作は遠隔式となっており安全に作業ができる。
- ⑦リングカット工法への対応もできる。
- ⑧下半施工、ミニベンチ工法への展開も可能である。

K-N T L工法機の全体外形図を図-2に、また概略仕様を表-1に示す。

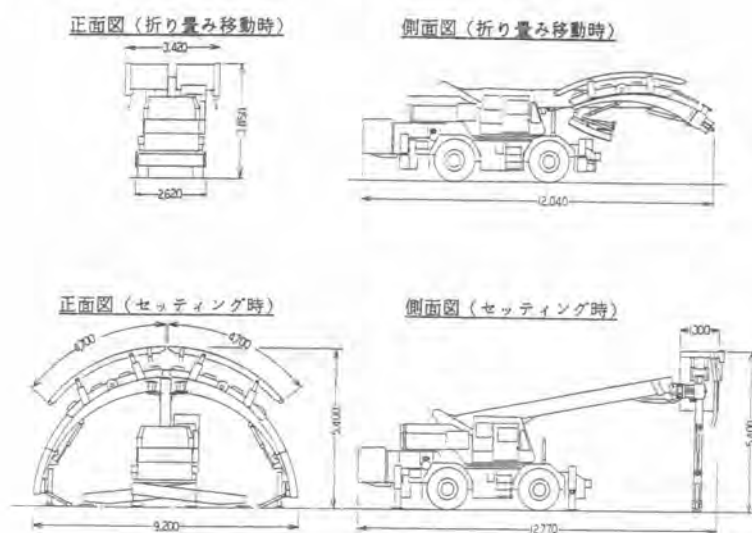


図-2 K-N T L工法機全体外形図

表-1 K-N T L工法機仕様

種別	項目	仕様	備考
全体仕様	全幅	10800 mm	折畳み走行時 3420 mm
	全高	5400 mm	” 3850 mm
	全長	12770 mm	” 12040 mm
	総重量	約 36 ton	
	総電気容量	15 kw	
型枠部	型枠方式	走行式部分型枠	走行式 1/4 型枠
	型枠幅	1300 mm	
	妻型枠	地山凹凸追従型	50~400mmの地山の凹凸に対応
コンクリート打設部	打設方法	流し込み	コンクリートポンプにより圧送
	打設装置	先端攪拌装置(連続式)	左右型枠に各1箇所
走行部	走行方式	タイヤ式	185 PS
	走行速度	27 m/min	前進・後退共
	登坂能力	15°	

図-3 に型枠構造図を示す。型枠は4本の油圧伸縮ジャッキにて支えられ、ジャッキは4本同調、2本同調、個別作動が可能で、これにより、短時間で型枠がセットできる。妻型枠は二層構造の弾性体と、妻型枠伸縮ジャッキ群、エアバッグ、及び反力フレームにより構成されている。二層構造の弾性体の下層部の弾性体は地山の大きな凹凸に、上層部の弾性体は小さな凹凸に対応する。

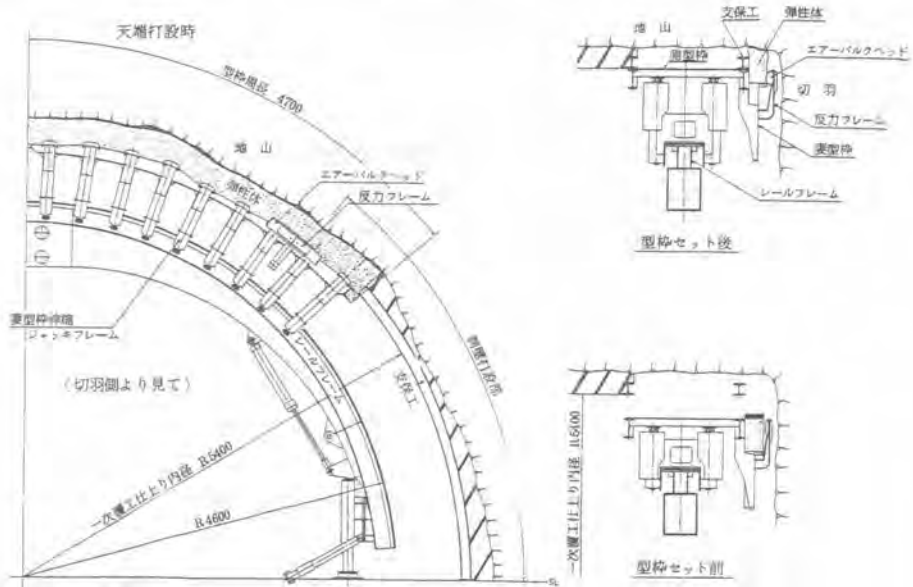


図-3 型枠構造図

レールフレーム・型枠の位置決め操作の容易化を図るために、各種のセンサーシステムを装備しまた、運転室内および遠隔にて操作が可能な操作システムを装備した。図-4 に位置決め用センサーシステムを示す。

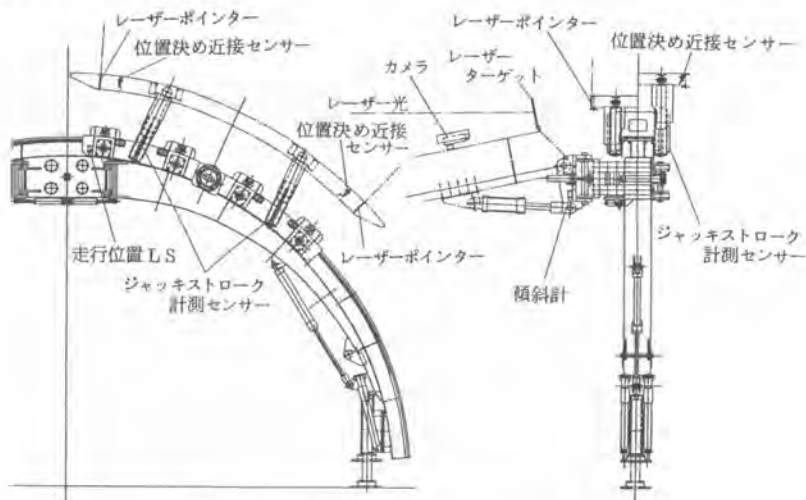


図-4 位置決めセンサーシステム

#### 4. 施工システム

##### 1) 施工順序

図-5にK-N T L工法の施工順序を示す。

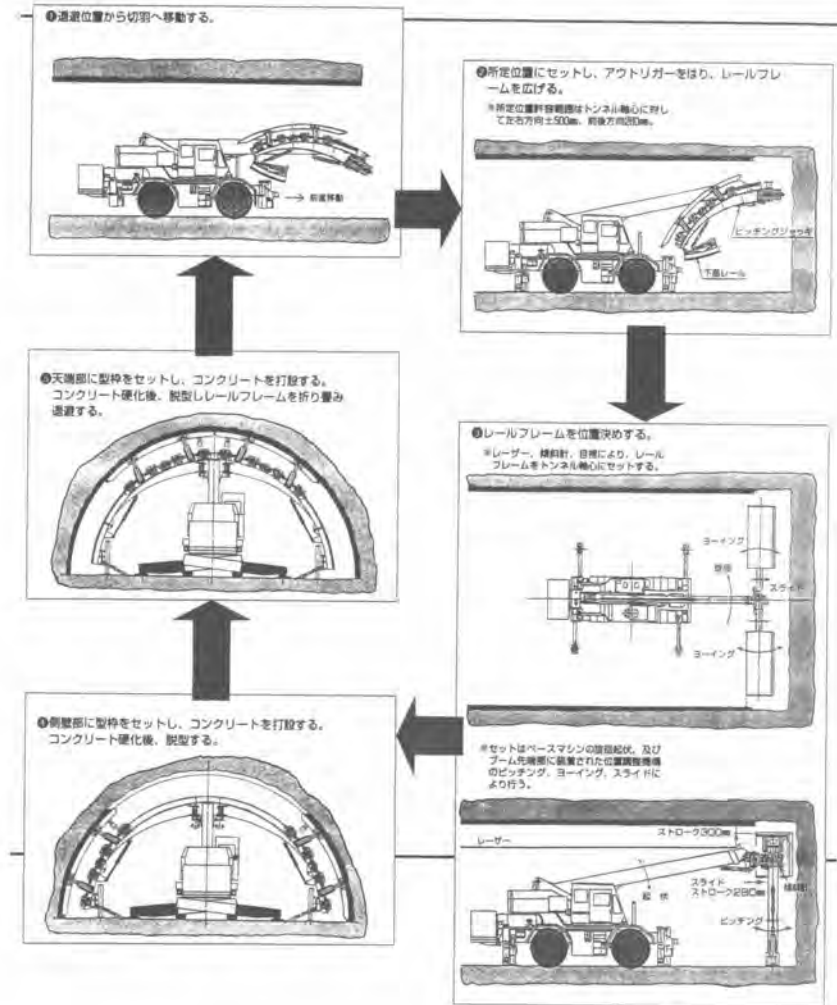


図-5 K-N T L工法施工順序

##### 2) コンクリート打設システム

図-6に本システムにおいて採用した主なセンサー及び急硬材注入システムを示す。先端攪拌装置の手前に取付けたコンクリート検出センサーにコンクリートが圧送到達したことをセンシングすると、予め入力設定された急硬材量が注入開始される。

##### 3) 急硬性コンクリート

本工法では、型枠と掘削地山との間に、流動性と急硬性を備えたコンクリートをポンプにより流し込む。図-7にコンクリート性状図を示す。

急硬性コンクリートの条件

- ・ 可使時間（コンクリートが流動化状態を保っている時間）…………… 5分
  - ・ 必要脱型強度発現時間（ $5.0\text{kgf/cm}^2$ ）…………… 可使時間終了後 5分
- 以上のように急硬材添加後 10 分で必要脱型強度が発現するコンクリートとした。

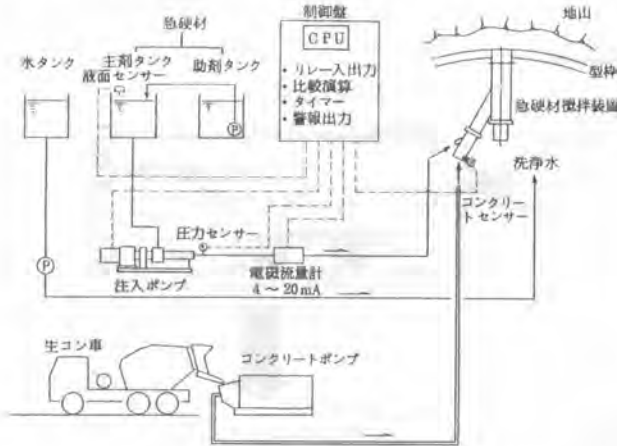


図-6 コンクリート打設システム

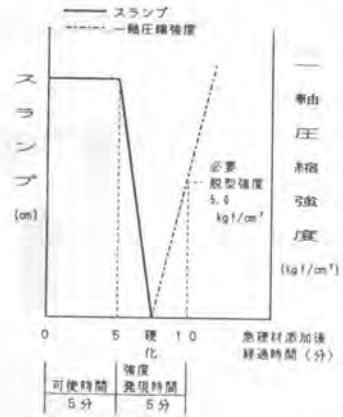


図-7 コンクリート性状図

5. 現場実証実験

1) 期間及び場所

期間は平成 4 年 9 月から 12 月まで松山自動車道の早川トンネル工事（<sup>はいかわ</sup> 榑鴻池組・東急建設（株）共同企業体）にて行った。

2) 施工方法

実験は早川トンネルの東坑口から約 110m の地点より 15.6m の区間に試験施工区間を設けて実施した。その区間の地山等級は C であった。

3) 急硬性コンクリート

急硬性コンクリートの配合を表-2 に示す。

なお、急硬性コンクリートの性状は、コンクリート温度、外気温により変化するため、ベースコンクリートの性状等により急硬材の添加量を変更した。

表-2 急硬性コンクリートの配合  
【ベースコンクリート配合】

粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				A E 減水剤 C × %
					セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	
13	10	4.0	58.5	53.0	364	213	844	772	0.25

【スラリー急硬材配合】

急硬材（主剤）	セメント量×16%	364kg × 0.16 = 58.24kg
凝結調整剤	(セメント+急硬材)×0.3%	(364+58.24) × 0.003 = 1.267kg
水	急硬材量×70%	58.24kg × 0.7 = 40.768kg

#### 4) 実験結果

##### ① 施工サイクルタイム

表-3 に早川トンネル実証実験のサイクルタイムを示す。

##### ② 一次覆工の出来形

K-N T L 工法による一次覆工の仕上り面は全体的に平滑で、非常に良好な仕上り面が得られた。

##### ③ 圧縮強度及び付着強度

圧縮強度

$$\sigma_{1d} = 58.6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (平均)}$$

$$\sigma_{7d} = 254.6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (平均)}$$

$$\sigma_{28d} = 354.0 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (平均)}$$

付着強度

$$\text{材令7日 } 17.0 \text{ kg/cm}^2, \text{ 材令28日 } 26.5 \text{ kg/cm}^2$$

試験結果は上記の如く、共に吹付けコンクリートと同等以上の結果を得た。

写真-1 に K-N T L 工法機の走行姿勢を、写真-2 に施工状況を示す。

表-3 実証実験サイクルタイム

(単位：分)

作業内容	スパン 月 日 作業班	① 10. 15 A	② 10. 23 B	③ 10. 27 A	④ 10. 30 A	⑤ 11. 4 B	⑥ 11. 11 A	⑦ 11. 18 B
K-N T L 機 前 進		17	10	5	3	3	3	2
K-N T L 機 セット		163	25	28	21	19	15	18
コンクリート圧送準備		34	2	8	2	0	5	1
右側壁コンクリート打設		14	11	10	17	11	9	15
配管ライン切り替え		2	3	3	3	2	3	2
左側壁コンクリート打設		14	11	9	23	9	11	9
養生及び配管洗浄		12	7	10	13	9	8	8
脱型上部移動セット		24	49	18	11	11	8	7
コンクリート圧送準備		1	10	0	1	4	3	1
天端コンクリート打設		54	20	18	29	18	16	15
養生及び配管洗浄		15	13	19	10	9	9	8
脱型及び機械折畳		25	25	13	10	12	11	11
K-N T L 機 後 退		10	4	5	2	2	2	3
合 計		355	190	148	145	109	103	100



写真-1 K-N T L 工法機走行姿勢



写真-2 K-N T L 工法機施工状況

#### 6. おわりに

建設工事における労働者の高齢化や若年層の建設業離れを背景に労働者不足が深刻な問題と成りつつある中、危険作業や苦渋作業はますます敬遠される傾向にある。そのような状況の中において、本工法は良好な作業環境を提供する工法として大きな一石を投じたと確信する。

N T L 工法の開発はその緒についたばかりであるが、今回の実証実験で得られた成果は、K-N T L 工法が吹付け工法に代わり得る可能性を実証したという意味で、大変意義深いものであった。また、本工法が単なる吹付け工法の代替工法と言うのではなく、山岳トンネルにおける新しい覆工工法として位置づけられるよう努力する所存である。