

プレライニング工法による勝田台トンネルの施工 THE CONSTRUCTION OF THE KATSUTADAI TUNNEL USING THE PRE-LINING METHOD

原 隆文*・香川 和夫*・佐藤 正人**・三浦 一之***
Takafumi HARA, Kazuo KAGAWA, Masato SATO and Kazuyuki MIURA

The pre-lining method was developed to stabilize the cutting face and decrease the surface settlement in the thin earth covered and uncohesive ground tunnel.

This method was applied to the KATSUTADAI tunnel project having the above condition. The results were as follows:

- (1) Safe and satisfactory work was achieved because the ground surface settlement was controlled under 40mm by the pre-lining.
- (2) The speed of the pre-lining work was 5-6 hours a cycle, the average excavation speed including the pre-lining work was 1.6m/day.

Keywords: pre-lining, ground surface settlement, uncohesive ground

1. はじめに

東葉高速線は、営団地下鉄東西線の西船橋駅から京成電鉄成田線勝田台駅に至る延長16.2kmの新線で、完成後は地下鉄東西線との相互乗入れにより沿線地域と東京都心部を直結する通勤・通学の足としての利用が期待されている。

勝田台トンネル池上工区は、この東葉高速線の15k780m～16k395mに位置する延長615mのトンネルの内、土被りの小さい起点方および駅部を含む終点方を除く中間部の153mをNATMで施工するものである。

当工事は土被りの極めて浅い未固結砂層を掘削するため、施工にあたっては切羽の安定性確保・地表沈下の抑制が大きな課題であった。そこで、昭和62年以来共同開発を進めてきたプレライニング工法を全国初の試みとして採用することにした。

この工法は掘削に先立って切羽前方地山内にあらかじめアーチ状の薄肉ライニング（以下プレライニングと呼ぶ）を構築した上でトンネルを掘削するものである。

本文は、プレライニング工法の概要およびその施工結果を報告するものである。

-
- * 正会員 株式会社フジタ土木本部技術部
 - ** 正会員 日本鉄道建設公団関東支社
 - *** 正会員 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局

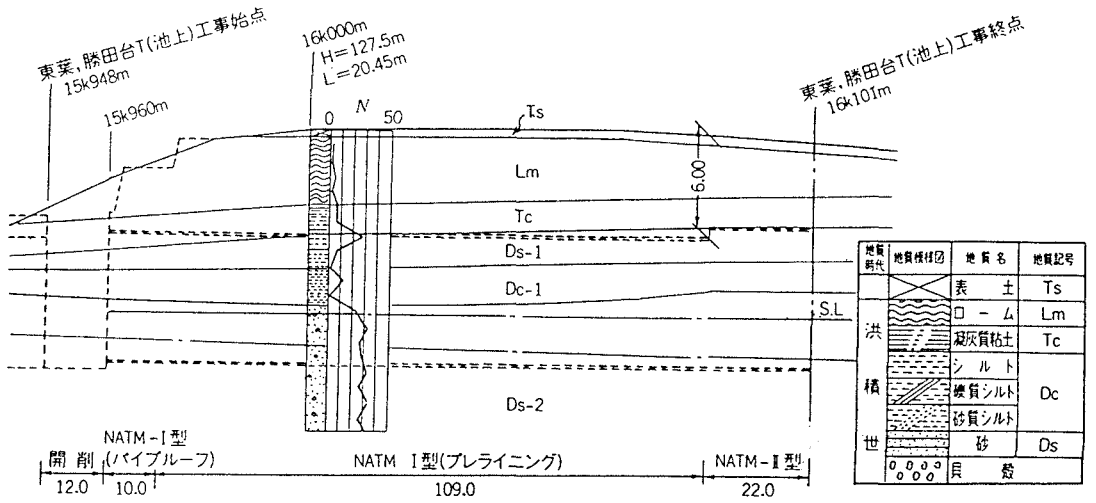


図-1 地質縦断図

2. 地形・地質概要

当工区は京成電鉄勝田台駅の北側に位置しており、地上部は標高30m前後の台地となっている。トンネル土被りは6~7mときわめて浅く、NATMによる施工限界に近い地形条件と考えられる。また、付近は閑静な住宅街が広がっており、トンネルに近接して数件の民家が存在している。

地質も図-1に示す通り、土被り部は関東ローム層および凝灰質粘土層で覆われており、いずれもN値10以下の軟弱な粘性土層となっている。トンネル掘削部は成田砂層および洪積粘土層で構成されており、特に、上半部に出現する砂層はN値10~20と軟弱な上にバインダー分が少ない箇所があり、切羽の不安定化・地表沈下量の増大が懸念された。

地下水については、事前の地質調査結果によれば定常水位はトンネル基面以下と推定され、隣接工区の施工結果からも施工に大きな支障となる湧水は観測されていないが、土被りが浅いため降雨による浸透水の影響を考慮する必要があった。

3. 工法概要

都市NATMにおいては、トンネル掘削に伴う地表沈下の抑制、切羽の安定性確保が大きな課題となっている。

これらの課題を解決する方法の一つとして、先行変位を効果的に抑制するとともに地山アーチの形成を助ける役割を持つ切羽前方地山の補強法の開発が望まれてきた。

PASS工法は、この概念に基づき掘削に先立って切羽前方地山内にアーチシェル状のモルタル製薄肉肉覆工(プレライニング)を構築しながらトンネルを掘削する工法である。

プレライニングは従来のフォアパイリング等と異なり、横断方向にも連続したシェル構造によりトンネル円周方向の地山アーチの形成を助けることに大きな特徴がある。

工法の実用化にあたり、室内模型実験・数値解析・施工性および施工機械の検討を行った結果、1回当たりの施工範囲を切羽前方4mまでとし、専用の5連オーガ式削孔・注入機によりトンネル上半120°範囲にライニングを造成することにした。

(1) 施工順序

プレライニングは以下の手順で構築される。

- ①自動的に制御される測量・位置決めシステムによりオーガを所定の位置にセットする。
- ②5連オーガにより長さ4 m、厚さ17 cm、幅81 cmのスリット状掘削を行う。
- ③オーガの引抜に合わせて、オーガ内管を通して固練りモルタルをスリット内に充填し、密実な1枚のモルタル壁をつくる。
- ④あらかじめ決められた1枚おきの順序で①～③の工程をトンネル周方向に約1孔分ラップしてくり返しアーチシェル状の連続体を構築する。

(2) 施工機械

機械は、プレライニングを正確かつ迅速に構築することのみならず、任意の施工断面に適用できる汎用性を備えていること、また狭い作業空間でも適用可能であることを主なテーマに考案・開発に取り組んだ。その結果、クローラ式ベースマシンに長さ5.6mの削孔用5連オーガ、注入用モルタルポンプ、自動制御機器類を搭載した全長15.5mの自走式マシンとした。

(3) 自動制御システム

プレライニングを正確かつ迅速に構築するために、以下の自動制御システムを開発・実用化した。

①自動測量システム

トンネル内の不動点に設置した自動サーチ機構付き3次元座標測定器によりオーガに取り付けた3点のターゲット座標を測定し、機械本体に搭載したコンピュータに自動送信する。

②自動位置決め制御システム

多関節制御プログラムにより、オーガを設計位置にセットするのに必要な各関節の移動量を演算し、油圧制御により移動・セットを行う。

③自動削孔システム

あらかじめ設定した回転数・推進速度で自動削孔を行う。設定値以上の回転トルクを検知した場合は、自動的に推進速度を落とす。

④自動注入システム

所定の充填率が得られるように注入速度と引抜速度をバランス制御する。

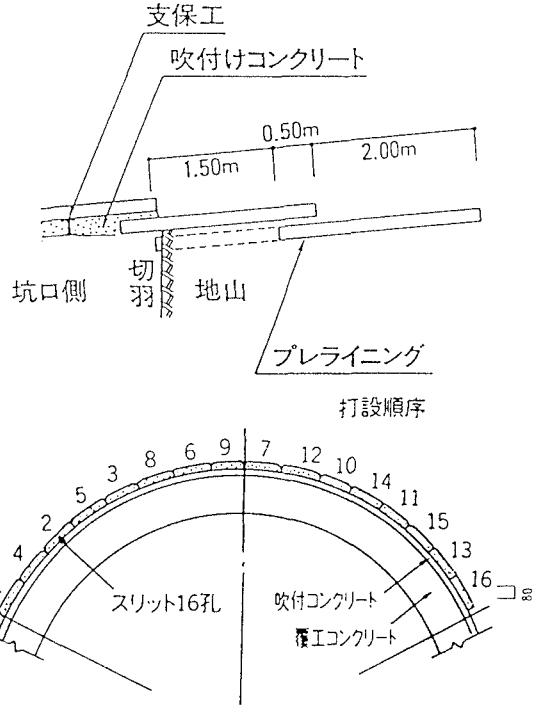


図-2 プレライニング施工順序図

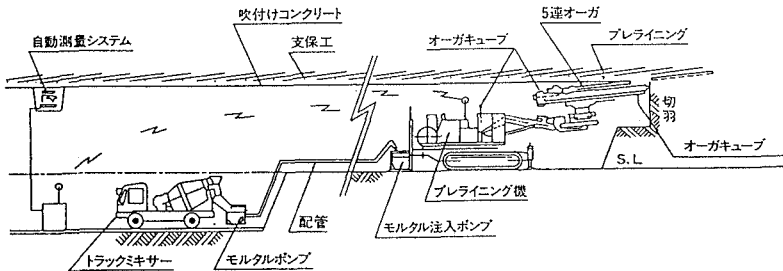


図-3 プレライニング施工システム図

(4) ライニング材料

ライニング材の具備すべき条件は以下の通りである。

- ①安価で圧送性に優れ、取扱いが容易な材料であること
- ②吹付けコンクリートと同程度の初期強度が得られること
- ③終端部が自立する程度の固さを有していること

種々の室内試験結果から添加剤を含まない1:2モルタルを使用することとした。

表-1 プレライニング材の基本配合

基準強度 σ_1 (kgf/cm ²)	スランプ (cm)	セメントの 種類	W/C (%)	S/C
80	10±2.5	普通 ポルトランド	40	2

表-2 プレライニング材の強度試験結果

材 令	10時間	12時間	18時間	24時間	3日	7日
圧縮強度kgf/cm	21	33	83	107	281	455

4. 施工

PASS工法区間(NATMI型)の掘削標準図は図-4に示す通りである。プレライニングは厚さ17cmで、上半部約125°の範囲をカバーするものとした。

支保は、鋼製支保工と吹付コンクリートによる構造とした。

鋼製支保工はH125とし、プレライニングが縦断方向に仰角を持っているため半径の異なる2タイプのものを使用することにした。ただし、下半部では同一断面になるようにプレライニングより下の部分に緩和曲線を入れてSLの継手位置では同じ幅になるようにした。

吹付コンクリートは図に示すように小タイプ支保工の内面まで施工することにしたためその厚さは150~250mmとなった。また、プレライニング部以外の側壁・インバートについては1次吹付と2次吹付の間に補強として異形鉄筋金網(D10 100×100)を設置する構造とした。

プレライニングがその効果を発揮し、トンネル周辺地山のゆるみを極力抑えることができれば支保の軽減をはかるとは考えられるが、施工中の各種計測結果を整理・分析し対応していくことにした。

掘削工法は、できるだけ加背を大きくして機械掘削を主体とした施工形態を可能とするためにショートベンチ工法を採用した。プレライニング機械が全長15mあるため上半盤での掘削機械との離合を考慮してベンチ長は40~50mとした。(図-5)

掘削は切羽の安定性確保の点から核残しとするが、プレライニング施工時はオーガの作動範囲の関係で核を撤去せざるを得ないため、切羽が不安定な場合は鏡ボルトの代わりにプレライニングを鏡に打って対処することにした。

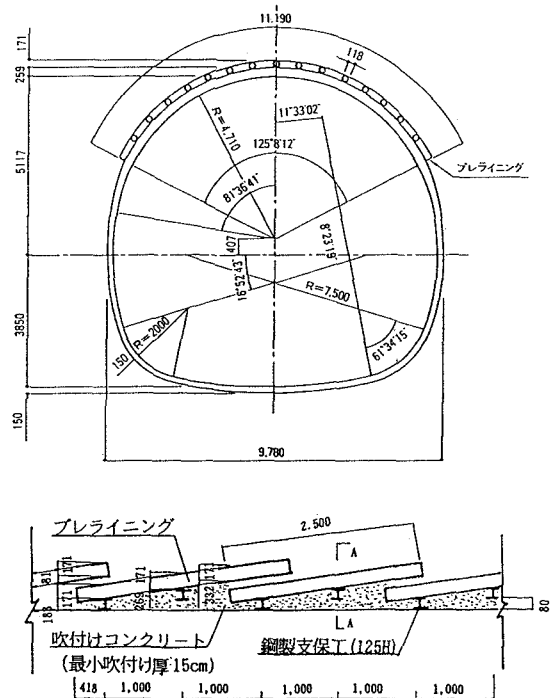
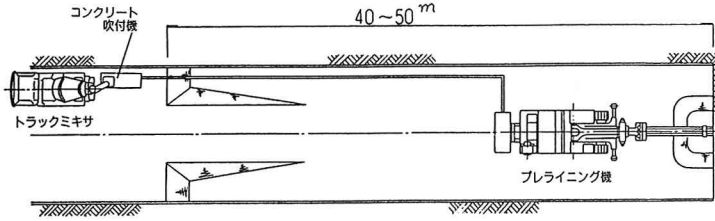


図-4 勝田台トンネル掘削標準図

(プレライニング施工時)



(上・下半掘削時)

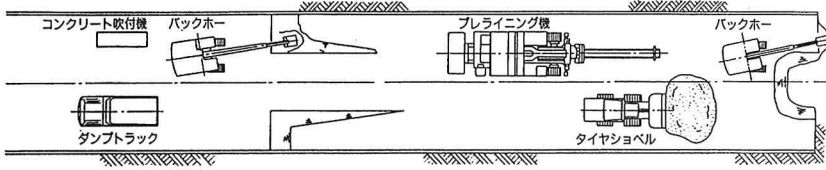


図-5 坑内施工状況図

掘削機械は 0.4m^3 ショートリーチ型バックホウを使用し、ずり出しはトンネル長が短いためタイヤショベルとダンプトラックの併用で発進立坑のずりピットに土捨てする方式とした。

プレライニング用モルタルは立坑横の仮栈橋直下に設置したバッチャプラントで製造し、トラックミキサで坑内運搬し、下半に設置したショットクリートを中継して供給するシステムにした。吹付コンクリートの供給も同じシステムを使い湿式方式で施工することとした。

当工区トンネル部延長 141m の内、NATMI型区間 109m 間をPASS工法により施工した。プレライニングの施工回数は合計54回で、平成3年8月24日無事この区間の施工を終えることができた。

施工初期の段階では削孔位置決めのための自動測量システムが高湿度・粉塵などの坑内環境条件のため作動トラブルを起こしやすく測量に多くの時間を要するという問題が生じたため、測距距離の短縮・自動サーチシステム部分のプログラム改造等により解決した。

その後は大きな問題もなく1回当りのプレライニング構築作業を平均5時間、準備片付け作業を入れても6～7時間程度で終わることができた。

出来形についても掘削時に内空断面測定器により確認したが、当初目標とした連続性をほぼ満足することができた。

トンネル掘削はプレライニングの傘があるため、天端部の安全を確保でき、切羽面の小さな剝落現象は見られたもののおおむね切羽の安定性に問題は生じなかった。また、湧水も滴水程度で施工の支障にはならなかった。この区間の掘削速度は平均すると、 $1.6\text{m}/\text{日}$ であった。しかし、初期トラブル・作業の不慣れ等が解消し順調に施工が進んだ区間では当初目標の $2.0\text{m}/\text{日}$ をほぼ達成することができた。

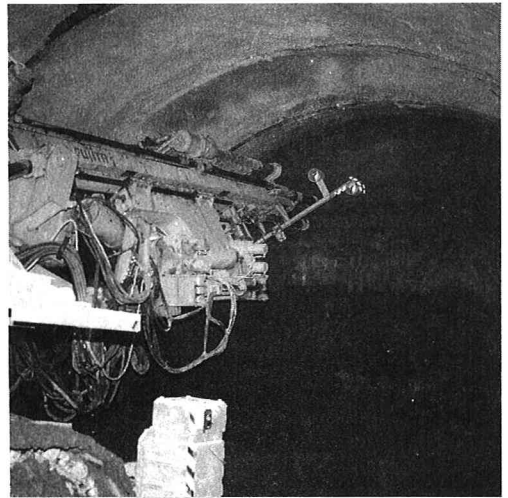


写真-1 プレライニング施工状況

5. おわりに

プレライニングの概念を施工技術として実用化し、勝田台トンネルで実施工を行い、安全性、施工性、経済性において良好な結果を得ている。

この技術は今後需要の増大する都市N A T Mに多大な貢献を果たすものと考えられる。

6. 参考文献

- 1) 太野垣ら：5軸オーガによるプレライニング構築技術とその施工について，土木学会年講VI，1991
- 2) 沼沢ら：プレライニング（P A S S工法）により施工した都市N A T Mの挙動計測，
第1回トンネル工学研究発表会，1991