

(54) プレライニング工法の開発

フジタ工業㈱ 正会員 ○ 原 隆文
同 畑山勝明
同 正会員 松本洋之介

The Development of Prelining Method

Takafumi HARA, FUJITA Corporation
Katsuaki HATAYAMA, FUJITA Corporation
Yonosuke MATSUMOTO, FUJITA Corporation

Abstract

We developed a new method to restrain surface settlement effectively when excavating a tunnel in uncohesive sandy ground with thin covering. The following were concluded:

1. The idea of prelining i.e. to lay a thin arch shell lining in the natural ground in front of the tunnel face was convinced.
2. The laying range and the approximate specification values of prelining were worked out.
3. An experiment for laying arch shell lining in the sandy bank with a special prelining prototype machine was executed and satisfactory results were obtained.

1. はじめに

土被りの浅い未固結な土砂地山を対象とする都市トンネルにNATMを適用する場合、切羽の安定性を確保するとともに地盤変状による地上構造物への影響を極力小さくすることが最重要課題となっている。

筆者らは、これらの課題を解決するための新しい都市トンネル工法として「プレライニング工法」を考案し、その開発を進めている。

本報文は、この工法の内容・設計・施工機械および施工法の開発についてその概要を述べるものである。

2. 背景

トンネルおよび地下空洞の施工技術は、十数年前のNATMの導入以来、めざましい発展を遂げてきた。NATMはその合理性、安全性、経済性のために急速に普及し、現在では、ほとんどの山岳トンネルがNATMで建設されるまでになった。さらに、近年では、その合理性、経済性から東京、大阪などの大都市周辺市街地のトンネルにまでその適用が拡大しつつある。

これらのトンネルは、山岳トンネルと異なり、一般に洪積世以降の未固結な土砂を主体とする地盤を対象としている。土木学会の実績調査によれば、一軸圧縮強度 $q_u=1.0\text{kgf/cm}^2$ 、変形係数 $E_s=100\text{kgf/cm}^2$ 程度の地層が現時点でのNATMの適用限界であるとしているが、これらの地層においては、トンネル土被りが1D(D:トンネル直径)程度以下になると地山アーチの形成が困難になり、地表面とトンネル天端が一緒に沈下するような挙動を示すため切羽の崩壊や著しい地表面沈下現象が起きやすくなると言われている。

一方、これらのトンネルは市街地に位置するため地上に道路、建造物が存在していることが多く、それらの管理者や所有者はトンネル施工による地表面沈下についてきわめて厳しい管理値を設定している。このため、土被りの浅い未固結な土砂地山において、有効に地表面沈下を抑制する工法を開発することがNATMの適用性を拡大するための大きな課題の一つとなっている。(図-1 参照)

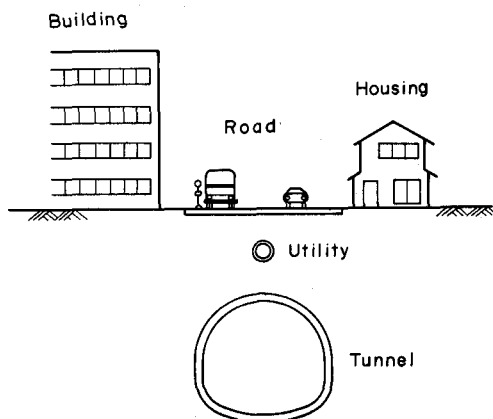


図-1 都市トンネル概念図

3. プレライニングの概念

横山らの実証的研究によれば、土被りの浅い未固結地山においても、フォアパイリング、吹付コンクリートの早期支保によって巨視的には地山を弾性体に保ったまま掘削可能であると述べている。また、同時に、通常の支保工が効果を発揮する以前に、地表面は全沈下量の30-40%、地中は50-70%の沈下が発生するため、地表面沈下を抑制するには切羽前方の補強が重要であるとも述べている。

つまり、早期支保によって地山を弾性体に保つと同時に、切羽前方地山を補強することが地表面沈下対策の要点となる。

そこで、筆者らは、この両機能を合わせ持つ工法として、掘削に先立って切羽前方地山内にトンネル断面に沿ったアーチシェル状の連続体を築造することを考えた。この連続体は正確に築造されることにより、吹付コンクリートに替わる支保工としての役割を持つ点が、薬液注入などの地山改良工法との機能上の大きな相違点である。以下、この連続体をプレライニングと称し、その概念図を図-2に示す。

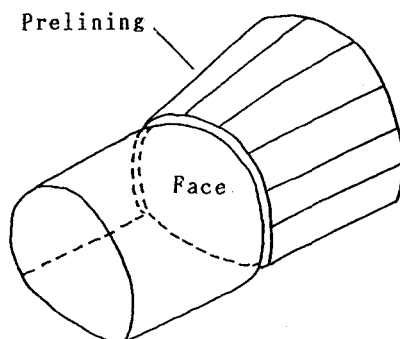


図-2 プレライニング概念図

4. プレライニングの設計

プレライニングは切羽前方地山内に築造される連続体のため、その内圧効果により地山アーチの形成を助けるとともにその剛性によって地山の初期変形を抑制する働きを持つと考えられる。プレライニングの設計仕様はこれらの作用効果に基づいて決められるべきであるが、ここでは、実用性に関する検討および土槽実験による検討結果から基本数値を設定し数値解析によりその効果を検証することとした。

プレライニング材料としては以下の2つの理由から吹き付けコンクリートと同程度の剛性を持つ普通コンクリートを用いることにした。

- 1) 吹付コンクリートに替わって、2次覆工までの主要な支保メンバーとなるため、安全性・耐久性の点から、吹付コンクリートと同程度の剛性が必要である。
- 2) 施工性の点から、扱いやすく柔軟性に富むと同時に、汎用性・経済性に優れた材料でなければならない。

また、プレライニングの設計にあたって、有効かつ最適な施工範囲を決定することはきわめて重要な作業である。この作業は、本来、理論的検討によって行われるべきであるが、現時点では、福島らが行った乾燥砂を用いた模型実験の結果を参考にしたい。その1つは図-3のように、トンネル縦断面をモデル化し、トンネル掘削によるすべり線発生位置を求めたものである。

この結果から、土被りが小さくなるにしたがいすべり線の位置は切羽に近づく傾向にあるが、その範囲は0.4-0.5D程度であることがわかる。この実験は、乾燥砂を用いた縦断トンネル実験のため、起こり得る最悪の状態を再現しているといえる。しかし、設計上の安全性の点から、このすべり範囲を包含する程度の施工長が必要である。

また、トンネル横断方向の施工範囲についても、福島らによる切羽前方部を3次元的にモデル化した模型実験から、施工範囲を大きくするほど地表面沈下が抑制されるという結果が得られている。

上記の検討結果および施工性を考慮した上で以下のような基本モデルについて数値解析により地表沈下抑制効果を検証した。

- 1) トンネル断面は直径10mの円形とした。これは、鉄道・道路トンネルに施工実績の多い掘削断面積80 m^2 程度の規模に相当する。
- 2) トンネル土被りは10mつまり1Dとした。これは施工上、地表面沈下が重要な課題となる標準的な土被りである。
- 3) 土層は単一層とし、その土質定数は、 $E=90\text{kgf/cm}^2$, $\gamma=1.8\text{t/m}^3$, $\nu=0.3$, $c=0$, $\phi=30^\circ$ とした。これは、成田砂層のうちで最も軟弱な層の土性値である。
- 4) プレライニングの仕様は、厚さ $t=20\text{cm}$ 、変形係数 $E=50000\text{kgf/cm}^2$ 、縦断施工長4m、横断施工範囲 180° とした。厚さ及び変形係数は、これらのトンネルの標準的な吹付コンクリートの値を採用し、施工範囲は前述の模型実験結果を参考にした。
- 5) 施工方法は、1掘進長2m、ベンチ長10mのショートベンチ工法とした。

解析方法は3次元弾性FEM解析によったが、比較のために、従来のNATM工法とプレライニング工法の2つのケースを実施した。(図-4)

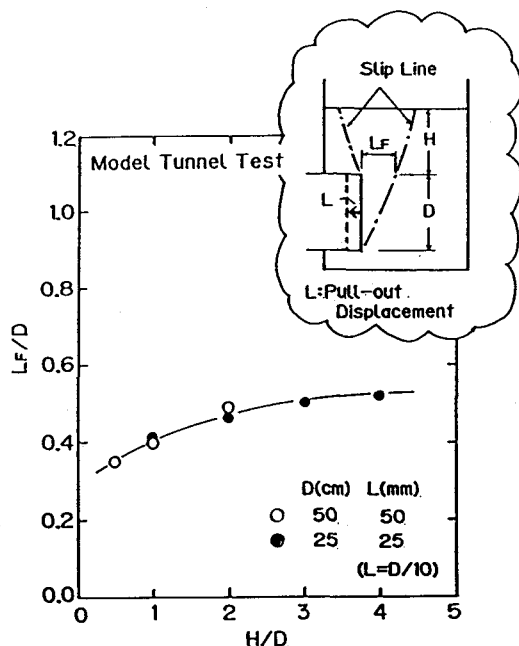


図-3 土被り比とすべり線位置

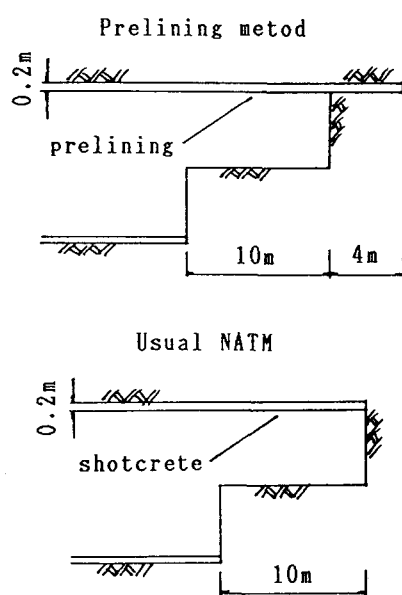
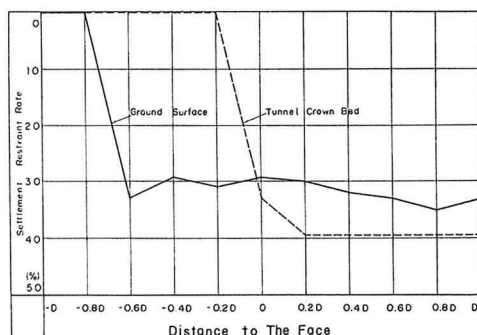


図-4 トンネル縦断模式図

解析の結果をプレライニングによる地表面沈下・トンネル天端沈下の抑制率を切羽距離との関係で表したのが図－5である。この図より、地表で30-35％、トンネル天端で40％程度の沈下抑制効果があることがわかる。また、地表については、切羽前方0.6Dの位置から抑制効果が認められ、プレライニングが先行変位の抑制に効果的であることを示している。

これらの解析結果は、地山が完全弾性体として挙動するという前提条件のもとに得られたものであり、また、いくつかの実際と異なる条件が含まれているが、施工機械・施工法の開発にあたりこのモデルを基本として検討を進めることとした。



図－5 沈下抑制率と切羽距離

4. 施工機械および施工法の開発

施工性・経済性の点から、プレライニングは、通常のトンネル施工サイクルの中で行われるとともに、3章でのべてきた設計思想に合致したものでなければならない。この観点から、プレライニング施工機械に要求される条件は以下の通りである。

- 1) 断面の形状・規模の変化に対応できること
- 2) 確実なスリット状の掘削とコンクリート充填が可能なこと
- 3) 孔壁の崩壊を防止するため、掘削後直ちにコンクリート充填が可能なこと
- 4) 掘削作業と交互施工が可能で、かつ、できる限り短時間で施工し得ること

これらの条件を満たす施工機械及び方法を検討した結果、多軸オーガ式削孔機によりスリット掘削を行い、その引き抜きに合わせて、ロッド内管を通してコンクリート注入を行う方式を採用することにした。また、コンクリートの流出防止と充填性向上のため、注入途中で、数回、ロッドの押し付けによる加圧脱水作業を実施する。

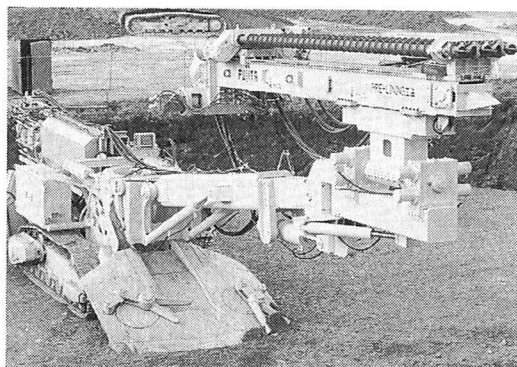
この方式により築造されるライニング体を、トンネル断面に沿ってラップさせながら順次施工することにより、アーチ状のプレライニングが完成する。

写真－1は、上記の条件を詳細に検討した上で製作された試作機である。この機械を用いて現地実験を行った結果、その充填性・連続性・精度について良好なアーチ状ライニングを築造することができた。

図－6に直径10m程度のトンネルに、この機械を用いたプレライニング工法を採用した場合の施工概要を示す。

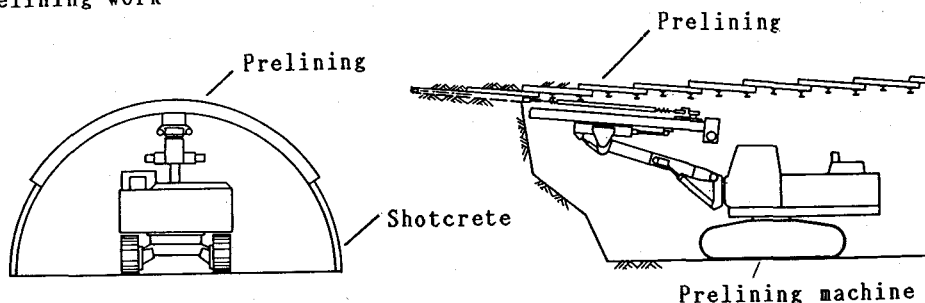
5. 今後の展開

当工法最大の目的である地表沈下の抑制については、今後予定される実施工実験によってその効果を実証して行かなければならない。また、ライニング材の仕様・施工範囲についても施工性・経済性・安全性を考慮してさらに検討を重ねて行かなければならない。

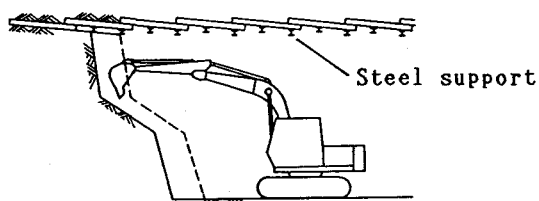


写真－1 プレライニング試作機

1. Prelining work



2. 1m excavation, steel support



3. 1m excavation more

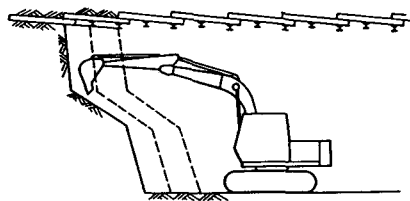


図 - 6 プレライニング施工順序図

6. 結論

土被りの浅い未固結な土砂地山を対象に、地表沈下を有効に抑制する工法の開発を行い以下の結論を得た。

- 1) 切り羽前方地山に薄肉のアーチシェルライニングを築造するというプレライニングの概念を導入した。
- 2) この概念にもとづきプレライニングの施工範囲・仕様の概略値を求めた。
- 3) 5軸オーガ式のプレライニング試作機を製作した。
- 4) この機械を用いて実大のアーチライニングを築造する現地実験を行い、その充填性・連続性・精度について良好な結果を得た。

最後に、当工法の開発にあたり、多くの適切な助言と協力をいただいた日本鉄道建設公団 滝沢氏に深甚の謝意を表したい。

参考文献

- 1) 横山 章、高瀬昭雄：土被りの薄い未固結地山におけるトンネル掘削時の挙動、土木学会論文集第352号、pp87-88, 1984. 12
- 2) 福島伸二、望月美登志、香川和夫：土被りの浅い砂質地山トンネルの縦断模型実験、土質工学会年次講演会論文集pp1887-1888, 1988. 6
- 3) 土木学会関西支部：都市トンネルへのNATMの適用、pp7-9, 1987. 6
- 4) 福島伸二、望月美登志：土被りの浅い砂質地山トンネルの補助工法に関する土槽実験、Fujita Geotechnical Engineering Report FGER-8803、p6, 1988. 3