

TULIP 工法を用いた先行支保工の施工

— 鉄道に近接した飛鳥山下に建設する道路トンネルの作業基地の築造 —

小山 宏・粕谷 太郎・関山 貢・竹田 茂嗣

本報文は、鉄道駅構内 8 線下を土被り 2~6 m で横断する高速道路の並列トンネル新設工事における地中接合部造成のために、TULIP 工法（曲線ボーリング技術：Tekken & Tone Underground Liberty Install Piping）を用いて事前に支保工（曲線管）を敷設した施工事例である。また、施工場所は飛鳥山公園下の NATM で施工したトンネルの延伸・拡幅部であり、最小土被り 3 m 程度の急斜面及び鉄道駅構内である。このため、トンネル掘削に先立ち注入孔付き曲線管を約 17 m にわたり推進、先行支保工を設置したものである。ここでは、工事の概要、TULIP 工法、施工法の概要等について述べる。

キーワード：トンネル、TULIP 工法、曲線ボーリング技術、地中拡幅、先行支保工

1. はじめに

近年、建設分野での技術革新は、目覚ましい進歩を遂げている。このなかで、都市圏におけるトンネル等の地中構造物の構築に際しては、地上部の構造物や輻輳する地下施設に対して影響を及ぼすことなく、また地域の道路交通等の都市機能や周辺環境等への阻害を最小限にとどめ、かつ、効率よく建設することが大きな課題となっている。

さらに、平成 13 年 4 月に施行した「大深度地下の公共使用に関する特別措置法」の実施に伴い、地下空間の利用範囲は、今後ますます拡大することが予測される。このため、トンネル等の大断面・複雑化、大深度化、長距離化等に対応できる技術開発も重要な課題である。

このようなニーズのなか、シールドトンネル、立坑等の地中構造物やトンネル先進導坑の内部から曲線ボーリングを円弧状に施工し、既存工法との組合せにより大断面の地下空間構築や部分拡幅が可能な曲線ボーリング技術（TULIP 工法；Tekken & Tone Underground Liberty Install Piping）を用いた施工の事例を報告する。

2. 工事の概要

本工事は、図-1 に示すように首都高速道路中



図-1 施工位置平面図

央環状王子線（板橋・足立線）の新設工事に伴い、JR 東北線王子駅構内地下に飛鳥山トンネルを建設するものである。

事業主体は首都高速道路公団、委託施工は東日本旅客鉄道株式会社である。

TULIP 工法の適用箇所は、NATM で施工したトンネルとエレメントけん引工法（HEP & JES 工法；High Speed Element Pull & Jointed Element Structure）により構築される線路下横断トンネルとの地中接合部（兼作業基地）において、トンネルを延伸・拡幅する工事である。

3. TULIP 工法の採用

地中接合部のトンネルは NATM により施工完了しており、本工事において延伸・拡幅する部分は、図-2 に示すとおり、東北貨物線等をはじめとする営業線 8 線に近接している。また、飛鳥山公園の法面で低土被りでもあるため、安全に施工できる工法が必要であり、かつ開通を 2 年近く繰り上げるための施工工程の大幅な短縮が求められていた。

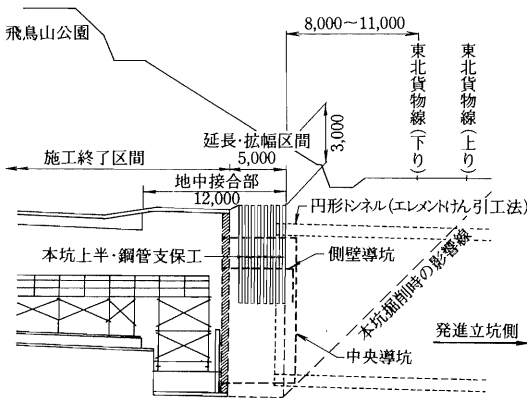


図-2 施工位置側面図

このため、水平ジェットグラウト工法、長尺鋼管フォアパイリング工法等との比較検討を行った。その結果、図-3 に示すように NATM 施工時に設置された中央導坑（現状は、エアモルタルが充填した状態）を再利用する曲線ボーリング工法による先行支保方式が、安全に、かつ工期の短縮が可能になるとの判断があり、採用された。

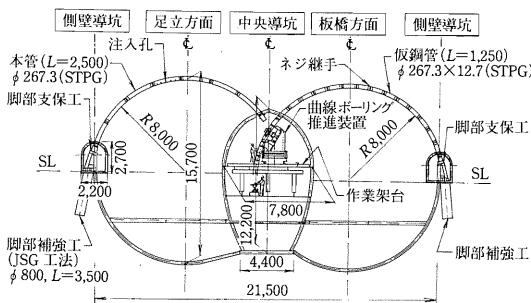


図-3 施工位置断面図

4. TULIP 工法の概要

(1) 開発の経緯

都市部においては地上部からの作業が限定されることが多く、トンネル構築技術、特にシールド工法が注目され、各種の技術開発が進められていた。これらシールド工法に関連して、

- ① 地中接合、
- ② 部分拡幅、
- ③ 分岐・合流、
- ④ 立坑発進・到達、

等のための要素技術の開発が必要不可欠である。本工法は、これらの要素技術に対応するため、開発されたものである。また、最近では、トンネルの先行支保工としての利用の検討が進められていた。

(2) 技術の概要

(a) 概要とシステム

在来のボーリングは、ボーリング機械により、鋼管の刃先に特殊ビットを付けて鋼管を回転し、直線的に地山に挿入するケーシング方式が代表的であり、地下水位以下の地点からの施工には課題があった。また、特殊刃先付き内管を回転し、地山に掘進する二重ケーシング方式は、直線な方向での施工に限られていた。本工法は、このような在来の課題を解決し、円弧状のボーリングを可能としたものである。

また、曲線管を埋設するための本システムは、先端駆動のビットを装着した先端装置、先端装置を収納する先導外管、接続用曲線管（外管と内管）、推進装置および一定曲率を保持する架台、そして、送水ポンプと排泥処理設備等の後続設備より構成されている。

(b) 特徴

- ① 単心円の円弧形状をした曲線管を精度良く埋設できる。また、推進装置を据付ける角度により任意の方向に曲線管を埋設できる。
- ② 各種材質の管の使用が可能であり、曲率、管径の自由度が大きい。埋設曲線管を利用した地盤改良工である凍結工法、注入工法や管自体で地盤を支える支保効果等を組合せるこ

とができ、適用範囲が広い。

- ③ 地下水位以下での施工が可能である。
- ④ 曲線管を非開削で埋設でき、最小限の改良範囲で施工することが可能で、シールドの地中接合やトンネルの拡幅等を施工する場合、工期短縮が可能である。
- ⑤ 坑内から管の埋設、凍土の造成、維持管理が可能であり、地上の既設構造物や地中埋設物等の影響を回避して、部分拡幅が可能である。
- ⑥ TULIP凍結工法では、掘削部分に凍結管がなく、凍結管の盛替えが不要で、凍土の機械掘削ができるため、大幅な工期の短縮が可能となる。
- ⑦ 最小曲率は、ボーリング先端装置のオイルモータの大きさで決定されるので、現状では、曲線管径は8B(管外径φ216.3mm)、曲率半径は、一般的な管の曲げ加工上、 $R=3m$ である。

(3) 曲線ボーリング先端装置

(a) I型先端装置

先端装置(図-4参照)は所定の曲率を有した二重管構造であり、内管外径190.7mm、外管外径216.3mmで、その先導部分に、ビット駆動用オイルモータを内蔵した掘削機構がある。

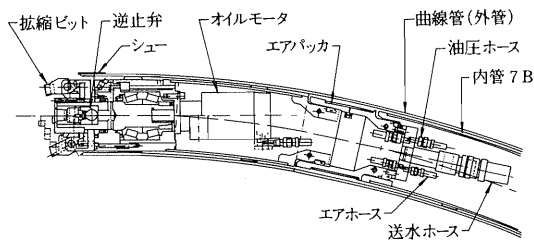


図-4 I型先端装置

ビットは拡縮型で、拡縮量と余掘量は調整可能であり、回転は左右可能である。掘削時は先端部より水等を噴射、掘削した土砂は後方設備のバキューム等によって内管と外管のクリアランス(約7mm)を利用して排出する構造となっている。先端装置は、オイルモータ等の大きさにより最小管径、曲率が決定される。現状では、外管外径216.3mmにおいて、最小曲率半径が $R=3m$ で

ある。

(b) II型先端装置

図-5、写真-1に示すII型先端装置は、先端装置と外管の固持に4箇所の油圧チャックを用い、回転によるずれが生じない対策を取っている。また、高水圧対策として、止水パッキンを油圧で締付ける構造とし、排土用吸入孔は止水パッキンの切羽側に設けており、ここから、掘削土砂は内管に入り後方に排出している。内管が小さくなったため、狭隘な空間での機能性、作業効率が上がっている。

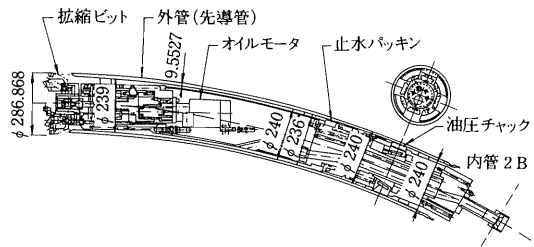


図-5 II型先端装置

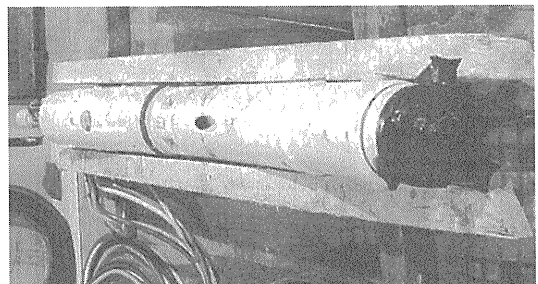


写真-1 II型先端装置

(4) 曲線ボーリング推進装置

(a) I型推進装置

図-6に示すI型推進装置は外管を油圧ホルダで固定して、一定の曲率をもった曲線管の接線方向に推進を繰返す油圧シリンダフィード方式である。

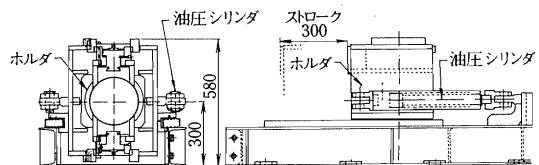


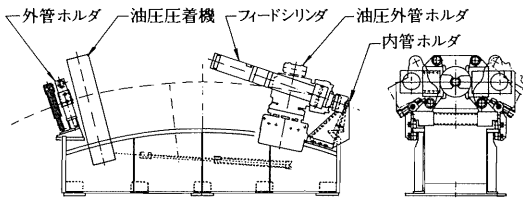
図-6 I型推進装置

この油圧ホルダは方向制御のために、曲線管と

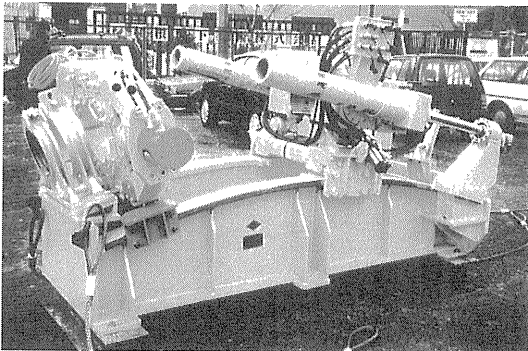
同一平面内で $\pm 5^\circ$ の回転および $\pm 7\text{mm}$ のスライドが可能である。推進架台には曲率に合わせて推進装置とガイドローラが配置されており、推進装置が小さく、垂直部（下部から上部方向）・水平部施工に適している。

(b) II型推進装置

II型推進装置（図—7、写真—2参照）は、油圧外管ホルダが上部開閉式で、かつ、そのホルダが所定の曲率をもつ推進架台（ベース）上を油圧シリンダでスライドする方式で、架台とガイド機構が一体となった構造である。



図—7 II型推進装置



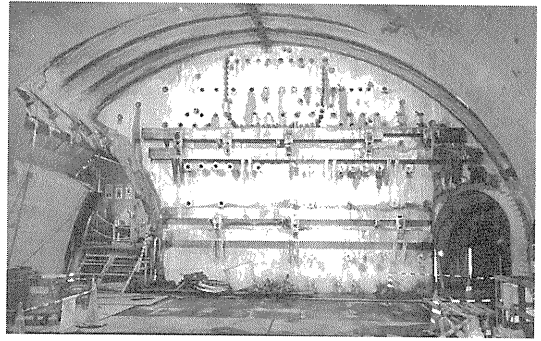
写真—2 II型推進装置

I型に比較して、小さな空間（トンネル内径3.0m程度）でも作業が可能であり、曲線管のセットを上方から行うので、管長を長くすることができる。また、ホルダの盛替え作業が少なくなり、作業効率向上を図ることも可能となる。

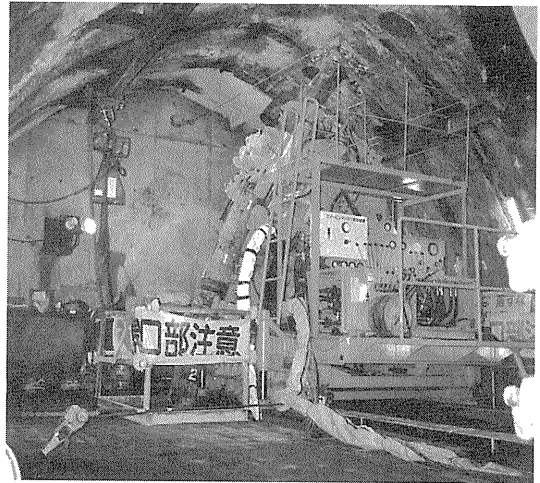
5. 施工法の概要

(1) 曲線管の敷設

曲線管は、図—3に示すように中央導坑内にセットした曲線ボーリング先端装置、曲線ボーリング推進装置を用いて、掘削断面上半部に約17m（1.25m@14本）の長さで敷設した。写真—3に



写真—3 施工場所（左側が中央導坑、右側が側壁導坑）



写真—4 施工状況

施工場所、写真—4に施工状況を示す。

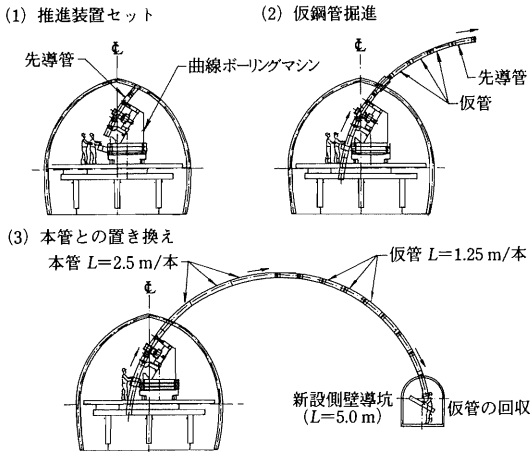
今回施工箇所には、既工事の段階で先受け工としてロジンジェットが施されており、さらに切羽安定や止水を目的とした薬液注入工施工時の注入



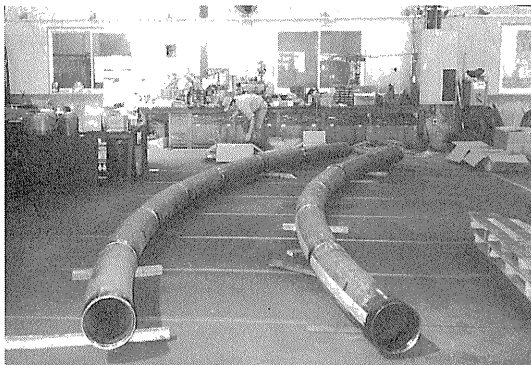
写真—5 先端装置と交換用ヘッド

管（塩化ビニル管）が存置していることが判明した。このため、曲線管敷設の掘進不能時に引戻し、写真—5に示すように、先端部のヘッド（塩化ビニル管切削用）を交換後、再施工を可能とするため、取外しが可能な仮鋼管（ $\phi 267.3$ mm, $t = 12.7$ mm, ねじ継ぎ）を利用した推進を行い、その後、本管に置換えることとした。

図—8に主な施工順序図を、写真—6にねじ付き曲線鋼管仮組み試験状況を示す。



図—8 主な施工順序図



写真—6 ねじ付き曲線鋼管仮組み試験状況

1 工程目に仮鋼管（1.25 m）で推進を行い、ねじ継手による接合（13 箇所）を繰返し、側壁導坑に到達する。

2 工程目では、側壁導坑内で仮鋼管を取外し、仮鋼管後端に本管（2.5 m）を接続（溶接）し推進、この繰返しにより順次本管に置換えた。この本管には薬液注入工を行うため、逆止弁付き注入孔が取付けてある。



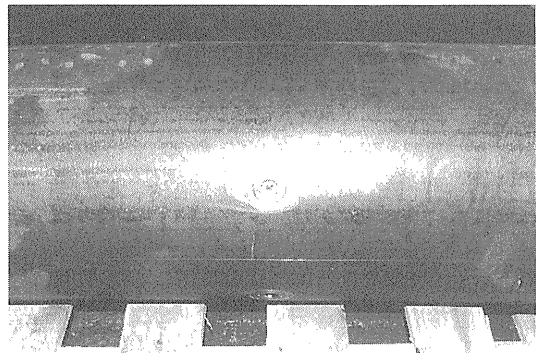
写真—7 側壁導坑への到達状況

写真—7に側壁導坑への到達状況を示す。

（2）地盤改良工

曲線ボーリング工法では、先行支保として曲線管敷設後、トンネル本坑掘削時に隣り合う曲線管の間から土砂が抜け落ちることを防止するため、薬液注入工を行うことが可能である。

しかし、本工事においてはトンネル施工延長が5 mと短く、既工事において先受け工として造成されたロジジェットにより外周部がほぼ覆われていたことから、抜け落ちの可能性は低かった。そのため、曲線管周囲のオーバカット部分から発



写真—8 曲線管の逆止弁付き注入孔



写真—9 ダブルパッカー

生ずる、ゆるみ防止を目的に、曲線管周囲を確実に充填できるダブルパッカー工法によるCB (Cement Bentonite) 注入を行った。

写真-8 に注入に使用した曲線管の逆止弁付き注入孔、写真-9 にダブルパッカーを示す。

(3) 施工結果

本工事における推力は約 50~70 kN、最大値は 150 kN、カットトルクは平均で 1.2 kN・m、最大で 1.5 kN・m であり、その時の掘進速度は平均 30 mm/min であった。

また、注入数量は、曲線管周囲のオーバカット分を 1 cm と仮定し、設計数量は曲線管 1 本あた

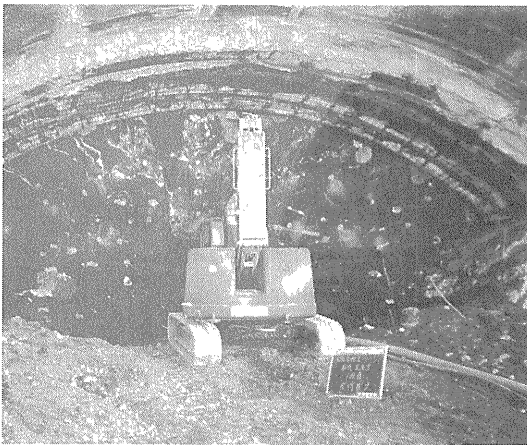


写真-10 トンネル上段部の掘削状況

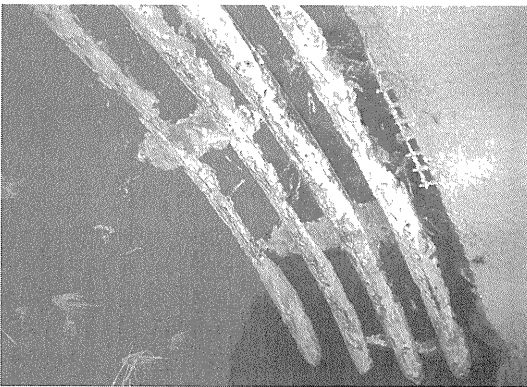


写真-11 先行支保工及びロジンジェットと注入状況

り 104 L に対して、実績は平均で 140 L であった。

写真-10 に、トンネル上段部の掘削状況、写真-11 に掘削時に確認できた先行支保工及びロジンジェットと注入状況を示す。

6. おわりに

道路、鉄道をはじめとする都市部のインフラストラクチャの整備に当たっては、地下の狭隘な空間での施工機会が増大するほか、既に施行した「大深度地下の公共使用に関する特別措置法」に対応する技術として、プロジェクト実現のためにも、TULIP 工法は、必要不可欠な技術の一つである。

今後は、都市の制約された地下空間での課題を解決すべく、さらなる技術の深度化が必要と考える。

J C M A

【筆者紹介】

小山 宏 (おやま ひろし)
東日本旅客鉄道株式会社
東京工事事務所
池袋工事区
区長



柏谷 太郎 (かすや たろう)
鉄建建設株式会社
エンジニアリング本部
エンジニアリング企画部
担当部長



関山 貢 (せきやま すすむ)
鉄建建設株式会社
東京支店
王子作業所
所長



竹田 茂嗣 (たけだ しげつぐ)
鉄建建設株式会社
エンジニアリング本部
技術部
主任

