

## 10. 太径曲線パイプルーフ工法の開発－下向きパイプルーフの実大施工試験

鹿島建設株式会社 機械部 : ○ 白井 俊輔  
大成建設株式会社 機械部 機械技術室 : 藤谷 俊実  
鉄建建設株式会社 土木本部 新工法推進部 : 伊藤 康裕  
コマツ地下建機株式会社 エンジニアリング部 : 秋山 浩志

### 1. はじめに

近年、都市交通機能の向上及び環境保全への配慮を目的に幹線道路の地下トンネル化が進められている。本線トンネルは地上交通などへの影響が少ないシールド工法で施工されるが、ランプと本線との接合部については開削工法による施工が一般的であり、地上交通への影響は避けられない。一方、非開削工法で施工する場合、トンネルの大断面化、大深度化に伴い従来の凍結工法、薬液注入工法のみでは、土留め止水性能の信頼性、安全性に課題が残る。

これらの問題を解決するため、大口径の曲線鋼管を連続して敷設し土水圧に対抗させ、その内部に大空間を構築する工法（太径曲線パイプルーフ工法）の開発を進めてきた。

図-1にシールドトンネル、図-2に山岳トンネルの合流部の構造を示す。また、図-3はシールドトンネル内で太径曲線パイプルーフを施工中の状態を示したものである。

太径曲線パイプルーフ工法の特徴を以下に示す。

- ① 太径曲線パイプルーフで土圧に対抗し、大断面地下空間を非開削で構築できる。
- ② 止水が必要な場合は、パイプルーフ内から凍結工法等で施工して止水する。
- ③ 太径曲線パイプルーフ管は、概ね外径500 mm以上の円形を基本とし、任意の曲率半径・断面寸法に対応できる。

本工法を実際の工事に適用するのはこれからであるが、昨年実施した実大規模の施工実験及び高水圧に対応するエントランスの止水実験により、実施工に適用できることが確認できたので紹介する。

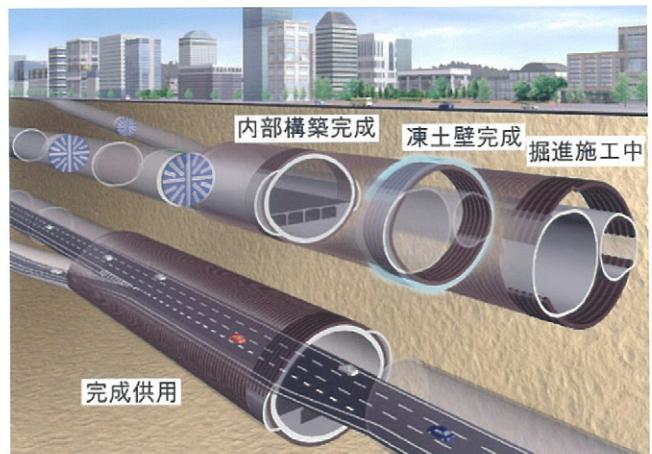


図-1 シールドトンネル合流部施工イメージ

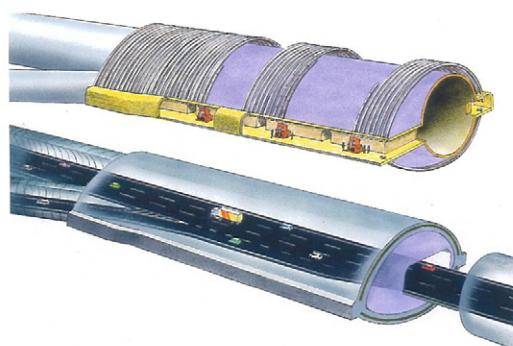


図-2 山岳トンネル合流部施工イメージ

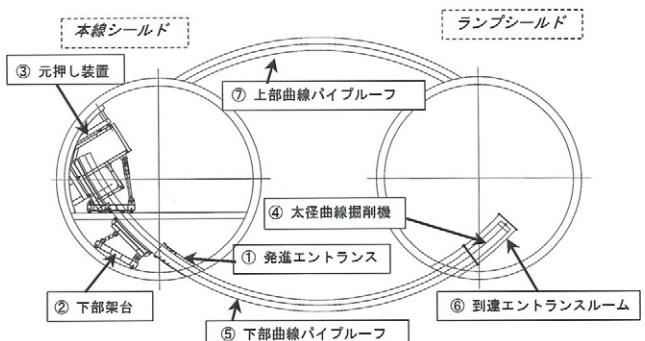


図-3 太径曲線パイプルーフ施工イメージ

## 2. 太径曲線パイプルーフ実大実験

### 2.1 実験の目的

本実験では、太径曲線パイプルーフ工法の核となる姿勢制御技術確立のほか、潜在的な技術的課題を顕在化し、その解決を図ることを目的とした。

### 2.2 実験の概要

実験全体図を図-5に、装置概観を写真-1に、また、発進エントランス部分を写真-2に示す。

本工法では太径の鋼管を密に施工するため、先行敷設した隣接する鋼管が施工精度にどのような影響を及ぼすかを確認する目的で1→3→2→4→5列(切羽に向かって右から)の順で実験を行った。

実験の主な仕様を以下に示す。

地 質：ローム、粘性土、礫混じり粘性土  
N値3~10

工 法：泥水式曲線推進工法

掘進機外寸： $\phi 830 \text{ mm} \times 2674 \text{ mm}$

装備トルク： $25.4 \text{ kNm}(7.0 \text{ min}^{-1})$

元押装置仕様： $1470 \text{ kN} \times 1785 \text{ mmst} \times 2\text{本}$

鋼 管 径：外径 $\phi 812.8 \text{ mm}$

推 進 長： $L=21 \text{ m}/\text{列} (3 \text{ m}/\text{本} \times 7 \text{ 本})$

縦断曲率半径： $R=16 \text{ m}$

施 工 列 数：5列

施 工 間 隔： $1.2 \text{ m}$

### 2.3 実験状況及び結果

発進立坑部には、鋼管をセットする押し輪やこれを押込む推進ジャッキ等から構成される元押装置、掘進機・鋼管の位置調整及び固定を目的とした下部架台、更に発進坑口部にはエントランスを設置する。エントランスは、坑口部の止水を目的とするため、ワイヤープラシ式とゴムパッキン(押え金物付き)を併用した。

掘進時に発生する反力は、実施工においてはトンネル内壁で受けるため、実験ではトンネル内壁を模擬した反力受け架台を設置した。

掘進は、実施工で想定される手順どおり、発進立坑から掘進機、鋼管を溶接で順次接続し、元押し装置で推進した。掘進スピードを図-6に、推力及び

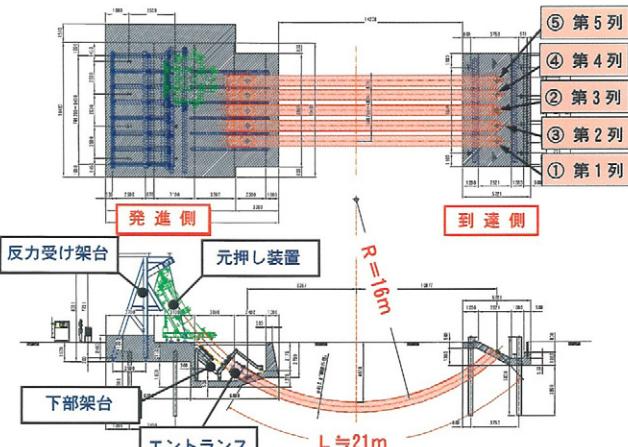


図-5 実験全体図



写真-1 実験装置全景



写真-2 エントランス、下部架台

カッタトルクを図-7に示す。

掘進スピードは掘進精度の確保を目的とし、 $20 \sim 30 \text{ mm/min}$  の範囲で制御した。また、ジャッキ総推力は $300 \sim 500 \text{ kN}$  の間を、カッタトルクは $10 \sim 15 \text{ kN}\cdot\text{m}$  の間を推移した。

本実験では、パイプループの目標到達精度を水平方向で±50 mm、鉛直方向で±100 mmとした。

この目標値は、シールドトンネル間の拡幅を行う場合を想定し、掘進機到達側トンネルのセグメント主桁を損傷しないために必要な値である。

この目標値を満足するための掘進制御方法として、以下の①～③の装置及び方法を複合的に組み合わせた。

- ① 下部架台の方向制御装置及びローリング防止装置
- ② 掘進機の揺動機構（全方向±3°）
- ③ 鋼管引き戻し・再掘削

実験の結果を以下に示す。

図-8に到達精度計測の例を示す。

施工途中では、先端位置は水平-50～30 mm、鉛直-60～0 mm程度振れたが、到達時変位は水平、鉛直方向とも0～-20 mm程度であった。

姿勢制御方法に関して実験で得られた知見は以下のとおりである。

鋼管2本(掘削長6 m)程度までの掘進初期時には、①を主体に用いることで地山貫入部での線形確保・蛇行抑制が可能である。しかし、それ以降の掘進では同様の修正効果は得られず、②及び③の手法を用いたローリング修正並びに蛇行修正を行い、計画線形及び目標到達精度を確保することができた。

したがって、特に発進側エントランス装置には基本的性能である止水性を確保する必要があるのは当然であるが、引き戻し操作に対する追従性及び耐久性が求められる。

## 2. 4 実大実験のまとめ

本実験においてφ812.6 mmの鋼管×曲率半径16 m×施工延長21 mの下向き施工実験で以下のことが確認できた。

- ・ 高精度の施工が可能（実験では鉛直、水平とも±20 mm程度の到達精度）
- ・ 姿勢制御方法は、掘進機の揺動機構による修正及び引き戻し後再掘削による修正が有効である。



写真-3 到達状況

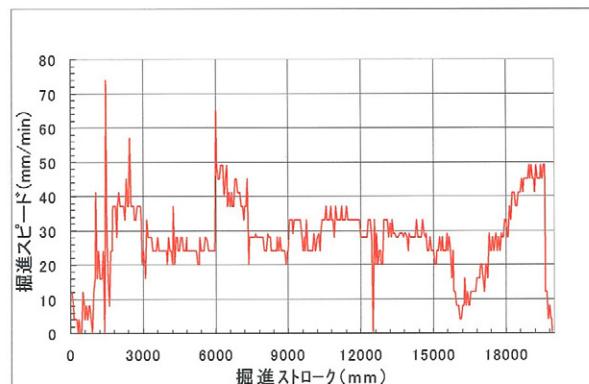


図-6 掘進ストロークと掘進スピード

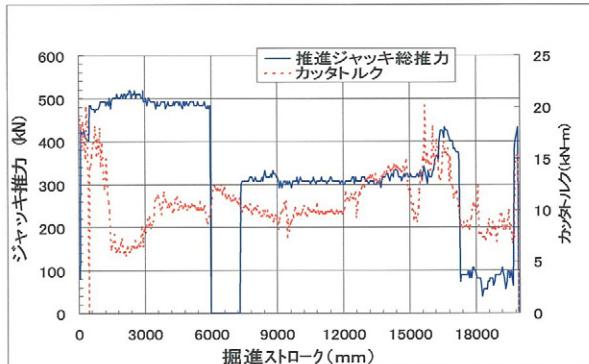


図-7 ジャッキ推力とカッタトルク

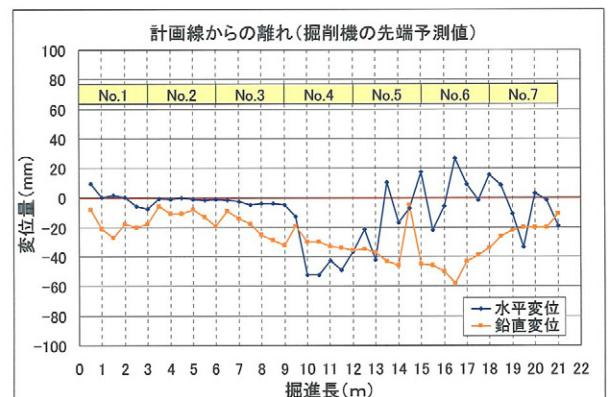


図-8 施工精度

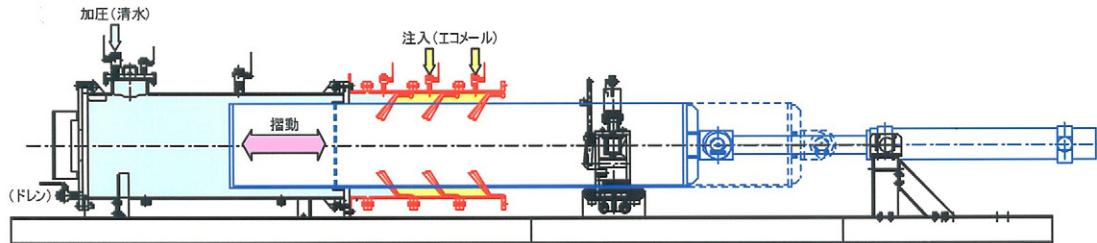


図-10 実験装置

### 3. エントランス止水実験

#### 3. 1 実験の目的

エントランスの止水性能及び姿勢制御のための引き戻し操作に対するエントランスの追従性及び耐久性確認を目的とする。

#### 3. 2 エントランスの構造

エントランスは図-9に示すようにワイヤーブラシを多段装備し、ブラシ間にテールシール用充填材を充填することで止水ゾーンを形成し止水する構造である。ワイヤーブラシの柔軟性により、施工誤差を吸収し引き戻し施工に追従できる。

#### 3. 3 実験の概要

図-10に実験装置全体図を示す。

清水を満たし最大1.0 MPaの水圧を作成させた加圧容器に鋼管( $\phi 812.6\text{ mm}$ )を挿入し、油圧ジャッキで1,000 mm往復させながら、エントランスの止水状況を確認する方法で実験を行った。

鋼管の移動速度は50 mm/minとした。

なお、施工精度を考慮して、エントランス部のクリアランスを $73\text{ mm} \pm 50\text{ mm}$ の範囲で変化させた。

写真-4は偏心量50 mm、1.0 MPa加圧時の実験状況を示す。写真から止水性能が確保されているのがわかる。なお、最も外側のブラシには、最も大きな差圧が作用するため、反転を防止する目的で簡易的なフッパーを装備した。

#### 3. 3 エントランス止水実験のまとめ

多段ワイヤーブラシ式エントランスの止水実験で以下のことが確認できた。

- 1.0 MPaの水圧下で施工できる。(フッパー装備)
- 引き戻し作業に対応できる。
- 施工誤差を考慮し、鋼管の偏心量、最大50 mmに対応できる。

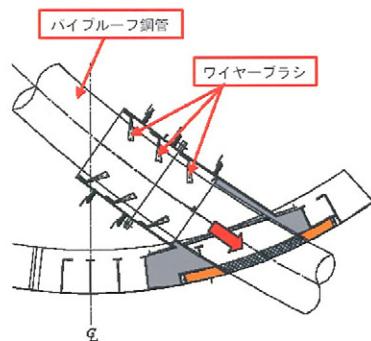


図-9 エントランスの構造



写真-4 止水状況(1.0 MPa、偏心50 mm)

#### 4. おわりに

今回紹介した実験を通して太径曲線パイプルーフ工法を実施工に適用できることが確認できた。また、姿勢制御方法、止水エントランスの構造等、種々の知見が得られた。今後、実施工に適用して更に完成度を高めるため首都高速道路株式会社と協議の上、研究を進めているところである。

#### 参考文献

吉川 正、加藤 誠、永岡 高 他：太径曲線パイプルーフ工法による非開削大断面地下空間構築工法（その1）～（その3），土木学会第59回年次講演会，2004.9

土橋 浩、川田 成彦、相沢 旬 他：太径曲線パイプルーフ工法による非開削大断面地下空間構築工法（その4）～（その5），土木学会第60回年次講演会，2005.9