

太径曲線パイプルーフ工法の実証実験

十二 正義^{*1}・伊藤 康裕^{*2}江原 宏^{*3}・松井 健司^{*3}

概 要

在来線地下鉄の複線化・長距離地下鉄での増線や駅・関連施設の築造，地下道路の合流・分岐，立坑，シールドの地中接合，地下での拡張，ならびに大断面地下空間の築造等の建設において，止水・土留めとして安全で確実な先行支保技術が求められている。特に大深度において非開削で大規模地下空間を構築する際に必要な要素技術の1つとして適用拡大が要望されている。

そこで本実証実験では，2本のトンネル間にアーチ形のパイプルーフを軸直角方向に多数本施工した後，パイプルーフを利用して地盤改良を行い，それらを止水・土留め工として非開削で地下空間を構築するための先行支保技術を開発することを目的とする。

キーワード：太径曲線パイプルーフ，非開削，先端位置計測

DEMONSTRATION TESTS OF LARGE-DIAMETER CURVED PIPE ROOF METHOD

Masayoshi JUNI^{*1} Yasuhiro ITO^{*2}Hiroshi EHARA^{*3} Kenji MATSUI^{*3}

Abstract

Safe and efficient pre-supporting technologies are demanded for water sealing and earth retaining in various projects. Examples of such projects are doubling of tracks in conventional railway lines and subways, track addition, expansion of stations and related facilities of long-distance subways, merging and branching of underground roads, underground joining and extending of shafts and shield tunnels, and construction of large-section underground spaces. The large-diameter curved pipe roof method is expected to be applied more extensively as an element technology necessary, among others, for constructing large underground spaces at a very deep location by the non-open cut method.

In the demonstration tests, many arch-shaped pipe roof components were installed in the direction normal to the axis between two tunnels, and using this pipe roof the ground was improved. Through these tests, we intend to develop a pre-supporting water-seal and earth-retaining technology for efficiently constructing underground spaces by the non-open cut method.

Keywords: large-diameter curved pipe roof, non-open cut, measurement of end position

*1 New Business Promotion Group, Civil Engineering Business Department, Civil Engineering Division

*2 Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

*3 Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

太径曲線パイプルーフ工法の実証実験

十二 正義^{*1}・伊藤 康裕^{*2}

江原 宏^{*3}・松井 健司^{*3}

1. はじめに

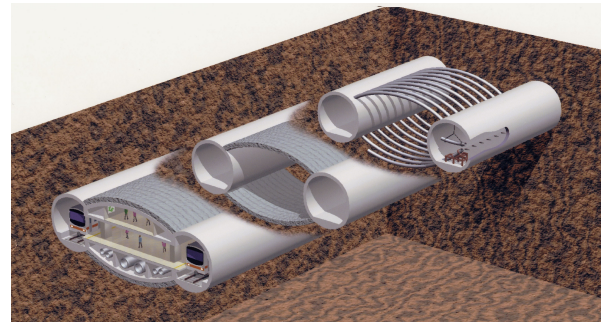
近年、都市再生事業の一環として都市機能の向上を図るべく環状道路あるいは放射線状道路を地下に構築する工事や計画が進められている。地下空間構築に際しては、道路直下を利用し、地上交通や地下埋設物へ影響が少ないシールド工法を用いてトンネルを構築する傾向にあるが、地上へ繋げるランプトンネルのうち特に本線トンネルとの接合部には一般的に開削工法が用いられてきたが、地上交通など影響が少ない非開削工法の開発が強く望まれてきた。

非開削工法としては、小口径の鋼製曲線管を施工済みのシールドから掘進設置し、それを凍結管として地中に凍土を形成する凍結工法、あるいは薬液注入による地盤改良ゾーンを造成して、内部を山岳トンネル工法で切り拓げる工法等があるが、トンネル切拓げ部における大断面化、大深度化に伴って、それらの地盤改良工法だけでは土留め止水の信頼性、安全性の面で問題が生じるケースも出てきている。

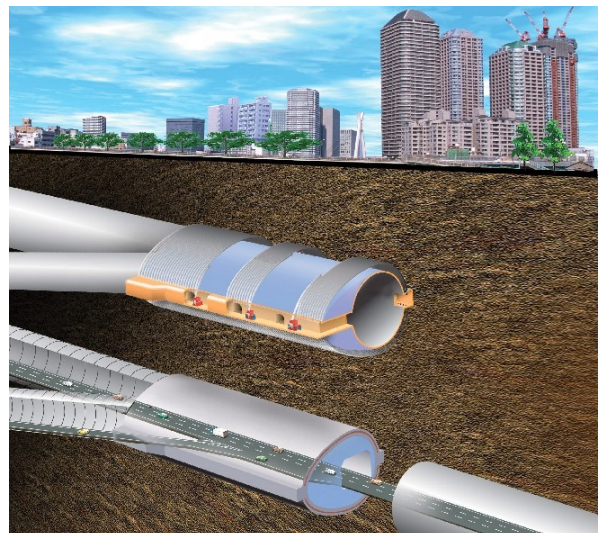
そこで、図一1に示すような大口径の鋼製曲線パイプルーフをシールドトンネルのセグメントを切削してトンネル間にアーチ状に設置し、土圧水圧に抵抗させてその内部に大空間を構築する新工法を開発した。新工法は、シールドトンネル工法だけでなく図一2に示すように山岳トンネルによる非開削地下大空間構築など幅広い範囲に適用が可能である。

2. 太径曲線パイプルーフ工法

2. 1 工法概要



図一1 シールドトンネル工法による非開削地下大空間構築



図一2 山岳トンネル工法による非開削地下大空間構築

本工法は、図一1に示すように長手方向のトンネルと直方向に掘進する太径曲線パイプルーフを組み合わせ、大深度地下でも土圧水圧に鋼製の構造体として抵抗できる信頼性の高い覆工構造を構築するものである。パイプルーフ間に残る部分の土留め止水には、凍結工法を用いるが、凍結範囲が狭く、主として止水機能を期待すればよく、凍上凍着切れなどの凍結工法の

*1 土木本部 土木営業部 新事業推進グループ

*2 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループ

*3 エンジニアリング本部 土木技術部

リスクと考えられる要因の低減を図ることができる。以下に本工法の特長を示す。

- ①太径曲線パイプルーフで土圧・水压を支保し、凍土で完全止水することで、大断面地下空間を非開削で構築可能である。
- ②太径曲線パイプルーフは、施工済みのシールドトンネル、山岳トンネルから円形あるいは矩形のリターン回収型の推進機で覆工を貫通することにより一方向からの施工が可能である。
- ③太径曲線パイプルーフ管としては、円形あるいは矩形鋼管を用い、任意の半径・断面寸法に対応でき、かつ曲率半径も自由に選定可能である。
- ④太径曲線鋼管の間の地盤凍結は、鋼管内に任意の数と位置に配置した凍結管で止水に必要な所定の厚さの凍土を確実に造成可能である。

2. 2 施工手順

太径曲線パイプルーフ工法の施工手順を図一3に示す。

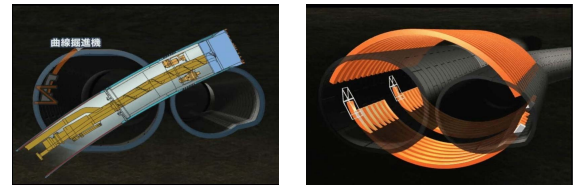
2. 3 装置と施工方法

太径曲線パイプルーフ工法のシールド坑内での施工状況を図一4に示す。セグメント組立済みのシールド坑内において、さらに前方のシールド掘進に必要なスペースを除く部分に、枕木の下部に①発進エントランス、②下部構台（パイプ固定・位置制御装置）、枕木の上に③元押し装置（掘削機およびパイプルーフを正規の位置にセットし推進させる装置）を設置し、④太径曲線掘削機、⑤下部パイプルーフ（数mの長さ分割）を押し出し、掘進・接続を繰り返してランプシールドの⑥到達エントランスルームに到達させる。到達エントランスでは、パイプルーフにセット済みのチューブシールなどで止水後、掘削機を到達部から、あるいはリターンして発進側から回収する。上向きも同様である。

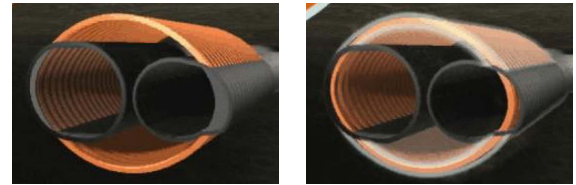
3. 実証実験

3. 1 実験概要

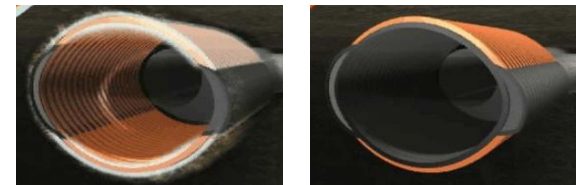
本実験では、太径曲線掘進機を用いた「太径



Step 1 曲線パイプルーフの推進



Step 2 凍土の造成

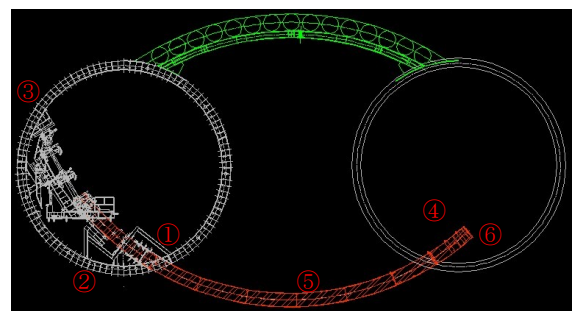


Step 3 内部掘削・覆工



Step 4 供用開始

図一3 施工手順図



図一4 施工状況図

曲線パイプルーフ工法」における技術的課題の抽出と解決を目的に、実物大モデルでの実証実験をおこなった。特に大規模道路トンネルの主としてランプ合流部、非常駐車帯などに非開削の切り上げ工事に適用するための基盤技術を確立することを主眼とした。

同工法の適用例（首都高：富ヶ谷工区）の施工を模擬して表一1に示すような条件で実物大

モデルでの下向き太径曲線パイプルーフの掘削実験を行った。

3. 2 実験装置について

実験装置は図―5に示すように、発進立坑部には、鋼管をセットする押輪やこれを押込む推進ジャッキなどから構成される元押し装置、掘進機、鋼管の位置調整および固定を目的とした下部架台、さらに発進坑口部にはエントランスを設置した。エントランスは、坑口部の止水を目的とするため、ワイヤーブラシ式とゴムパッキン（押え金物付き）を併用した。また、掘進時に発生する推進反力は、反力受け架台で受けることとした。掘進は、発進立坑から掘進機、鋼管を順次接続し、元押し装置で推進した。

3. 3 実験施工順序

本実験では、表―2に示す手順で太径曲線パイプルーフの施工を行った。

3. 4 運転実績

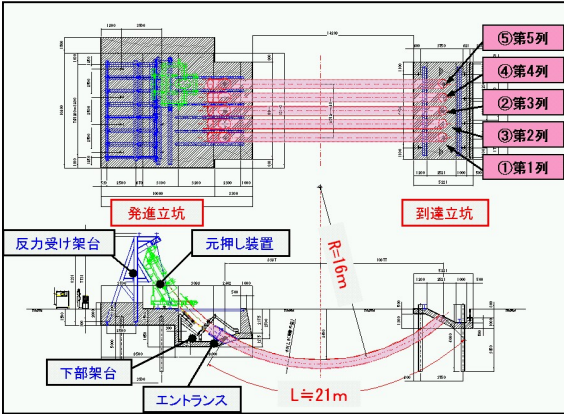
本実験における2列目（第3列）の掘進データを図―6、図―7に示す。

3. 5 サイクルタイム

作業手順の見直し、掘削機・計測装置・架台等設備の改良・工夫により、作業の効率化および施工サイクルタイムの短縮を図った。その結果、3列目以降では目標とした所要日数を満足する結果が得られた。

表―1 施工条件

項目	概要
実験場所	八王子実験ヤード
工法	泥水式曲線推進工法
鋼管径	外径φ812・8mm
推進長	L≒21m/列 (3m/本×7本)
縦断曲率半径	R=16m
施工列数	5列(列間離隔1・2m)



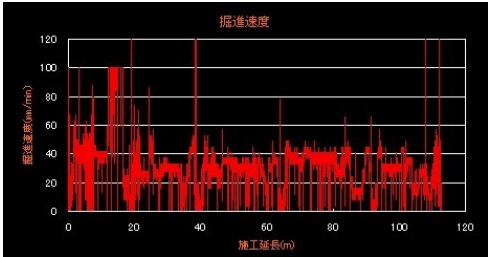
図―5 実験装置図

表―2 実験施工順序

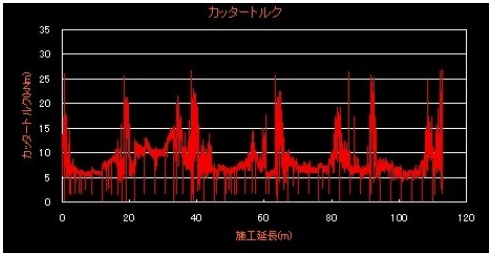
順序	列名	状況	制御
1列目	第1列	周辺に何もない状態での施工	方向制御なし
2列目	第3列	同上	方向制御あり
3列目	第2列	両側に施工済みのパイプルーフがある場合	方向制御・引戻しあり
4列目	第4列	片側に施工済みのパイプルーフがある場合	方向制御・引戻しあり
5列目	第5列	同上	方向制御・引戻しあり

表―3 サイクルタイム実績

	掘進・鋼管接続	掘進機・治具回収	その他
1列目実績	14日	2・5日	1・5日 地盤改良
2列目実績	10日	2日	1日 切削実験
3列目実績	8日	1日	1日 引戻実験
4列目実績	7日	1・5日	4日 引戻実験
5列目実績	8・5日	1日	0・5日 切削実験



図―6 掘進速度



図―7 カッタートルク

3. 6 計測手法の検証

本工法における重要管理項目のひとつとして、パイプルーフ掘削機（写真—1 参照）の姿勢および位置の把握が挙げられる。これらをより高精度に計測して計画線形を確保することが、本工法の成否を左右するものと考えられ、種々の計測方法を試行し、それぞれの適用性を検証した。

(1) 姿勢計測

土中における掘削機の姿勢を計測する目的で、推進工法やシールド工法において一般的に採用されている「傾斜計」および「ローリング計」を掘削機の先導管中折れ部の後方に装備した。

(2) 位置計測

土中における掘削機の位置を計測する手法として、以下に示す計器・方法を試行し、その性能・効果を評価した。

① ジャイロ計測システム（写真—2 参照）

パイプルーフ内の計測管に機械式ジャイロを走行させて走行軌跡を3次元計測する方法である。計器設置スペースの関係上、計測頻度は3m毎（鋼管1本推進毎）とした。

② 水レベル計

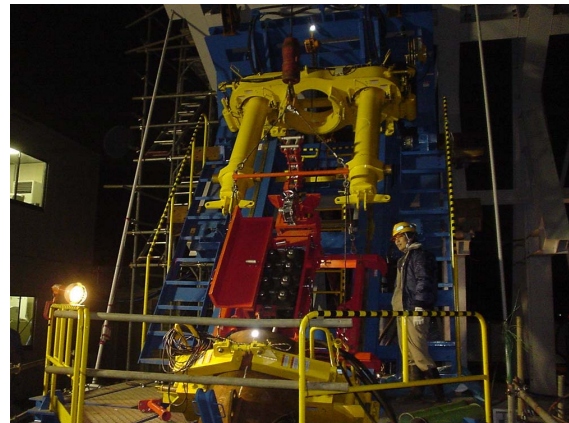
発進立坑側に基準タンクを設け、掘削機内に設置した圧力計（写真—3 参照）で検出した液圧から鉛直方向の相対変位を計測する方法である。

③ レーザ&ミラー方式計測システム

掘削機内にレーザ照射器（写真—4 参照）、パイプルーフ内に反射ミラーを設置し、直進するレーザ光を反射させて発進側の元押し装置後方まで導くことで、掘削機の水平変位を計測する方法である。開発の経緯としては、当初試行したジャイロ計測においては運転制御に活かせるリアルタイムの計測結果を得ることがシステム上でできなかった。そこで、水平方向をレーザ&ミラー方式、鉛直方向を水レベル計による計測手法に変更した。その結果、計測精度の向上には成功したものの、計測時間に要する時間が長いという事から、リアルタイム計測という点



写真—1 パイプルーフ掘削機



写真—2 ジャイロ計測



写真—3 水レベル計



写真—4 レーザ照射器

では課題を残すこととなった。また、鋼管のローリングにより、レーザの反射に悪影響を及ぼすなどの欠点もあり、前述の姿勢計測と併用するなど掘削機先端での挙動を正確に把握することが今後の課題として考えられる。

(3) 掘進制御と到達精度実績

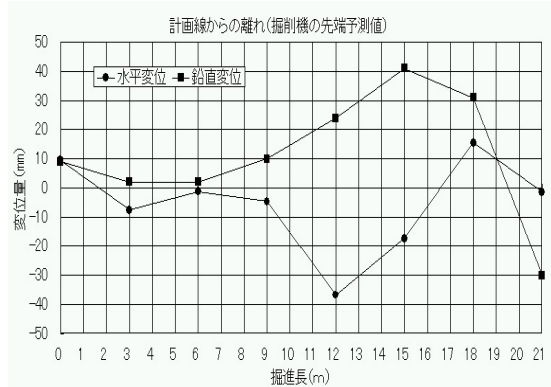
本実験では、パイプルーフの目標到達精度を水平方向で $\pm 50\text{mm}$ 、鉛直方向で $\pm 100\text{mm}$ とした。これを満足するための掘進制御方法として、①下部架台の方向制御装置およびローリング防止装置 ②掘削機の中折れ機構（全方向 ± 3 度）による姿勢制御 ③鋼管引き戻し・再掘削を複合的に組み合わせた。

鋼管2本（推進長6m）程度までの掘進初期では、①を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が、それ以降の推進では同様の効果は得られなかったため、②および③の手法を用いたローリング修正ならびに蛇行修正を行って、計画線形および目標到達精度を確保することができた。特に、掘進機のローリングは、計測精度および線形に大きく影響を及ぼすため、線形を確保する上でこれを抑制・修正する掘進制御および掘進管理が重要であるとの知見を得ることができた。掘進精度の実績表を図一8、到達精度の実績結果を表一4、到達状況を写真一5に示す。

4. おわりに

本実験により「太径曲線パイプルーフ工法」の実用化に向けた様々な知見を得ることができた。しかしながら、現状の位置計測方法では、リアルタイムに先端位置を把握できないことから、新規位置計測方法を開発しなければならない。また、本実験にて確認できた事柄、掘進管理におけるノウハウをできるだけマニュアル化し、水平展開を図る。

なお、本報告は、鹿島建設(株)、大成建設(株)、



※ 水平変位の記号は、プラス(右) マイナス(左) である。

図一8 掘進精度実績（第5列）

表一4 到達精度実績

	水平方向 (mm)	鉛直方向 (mm)
①第1列	左 9 0	下 2 2 2
②第3列	左 2 5 8	上 3 0
③第2列	左 1 1	下 5
④第4列	左 2 2	下 3 5
⑤第5列	左 1 9	下 4 7
目標精度	± 50	± 50



写真一5 掘進機到達状況

(株)小松製作所、コマツアイエムエンジニアリング(株)の5社による共同開発の成果の一部を取り纏めたものである。

参考文献

吉川 正ほか：太径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1～3)，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，VI-128～130，pp. 255-260，2004.9