

太径曲線パイプルーフ工法の開発と実用化

吉川正¹・白井俊輔²・田辺清³・中村隆良⁴・高村圭一⁵・伊藤康裕⁶・秋山浩志⁷・土橋浩⁸

¹正会員 博(工) 鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部 (〒107-8386 東京都港区元赤坂1-2-7)

²鹿島建設(株)機械部 (〒107-8386 東京都港区元赤坂1-2-7)

³フェロー会員 工修 大成建設(株)東京支店 (〒163-6009 東京都新宿区西新宿6-8-1)

⁴正会員 大成建設(株)土木本部土木技術部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

⁵正会員 鉄建建設(株)土木技術部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

⁶正会員 鉄建建設(株)土木本部新工法推進部 (〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

⁷コマツ地下建機(株)エンジニアリング部 (〒221-0045 神奈川県横浜市神奈川区神奈川2-16-15)

⁸正会員 工修 首都高速道路(株)東京建設局設計第一グループ (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-6-2)

2本の併設するシールドトンネル内部から、φ800程度の大口徑鋼製太径曲線パイプルーフをトンネル軸方向および直角方向に複数本設置し、パイプルーフ間の狭い部分を凍結などの地盤改良で止水する。その後、鋼製のパイプルーフを土圧・水圧に対する支保材として、その内部を土中からのみの非開削工法で掘削し、ランプトンネル分岐合流部を構築する工法を開発した。本工法の実現化に向け実施してきた開発内容のうち主要である太径曲線掘削機および元押し装置の掘進機構、位置計測姿勢制御機構、エントランス止水機構および直接掘削発達到達機構について、開発成果と各種実証実験で得られた知見を報告する。また、世界で初めて本工法を実施している首都高速中央環状新宿線富ヶ谷出入口トンネルへの適用事例の概要を紹介する。

キーワード：太径曲線パイプルーフ、太径曲線掘削機、元押し装置、計測、掘進、セグメント直接掘削

1. はじめに

近年、都市再生事業の一環として大都市の交通機能の向上を図るべく環状道路の整備を推進する事業が計画、施工されている。多くは、過密な都市部であることから地下に計画されるため、地上交通・構造物、地下埋設物への影響が少ないシールドトンネル工法で構築されている。一方、地上へ繋げるランプトンネルと本線トンネルとの接合部の施工には、一般的に開削工法が用いられてきたが、地上交通や大規模な地下埋設物などへの影響の少ない非開削切掘り工法の開発が強く求められてきた。

小規模の非開削切掘り工事では、小口径の放射状直線・曲線鋼管を用いた地盤凍結あるいは薬液注入による地盤改良による山岳トンネル切掘り方式が用いられているが、トンネル切掘り部の大断面化、大深度化、高水圧化のニーズに対しては、土留め止水の信頼性、安全性に課題が残るケースも出てきた。そこで、大口徑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直接切削してトンネル間に設置することで土圧・水圧に抵抗させ、その内部に大空間を構築する工法の開発を進め、実用化の目途がついたので以下に概要を報告する。

2. 太径曲線パイプルーフ工法の概要

本工法は、図-1の施工概念図に示すように道路軸方向のトンネルに対して直角方向に掘進する太径曲線パイプルーフを組合わせて、大深度地下でも土圧・水圧に鋼

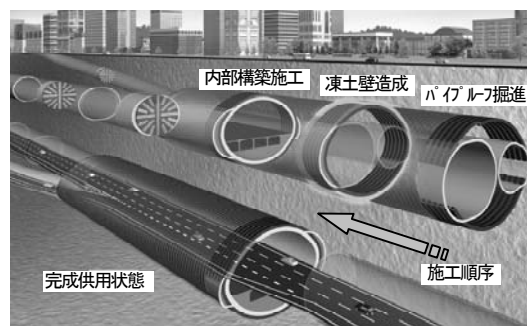


図-1 太径曲線パイプルーフ工法のランプ部施工概念図

製の構造体に抵抗す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狭い部分の土留め止水として凍結工法などの地盤改良工法を用いる。以下に本工法の特徴を、図-2に施工手順図を示す^{1), 2)}。

- ①鋼製の太径曲線パイプルーフで土圧・水圧を支保するので、構造体としての信頼性が高い。
- ②凍結範囲が狭く、凍上、凍着切れなどの凍結工法のリスクと考えられる要因の低減を図ることができる。
- ③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掘進機で覆工を直接切削発達・到達可能である。
- ④太径曲線パイプルーフ管としては、円形あるいは矩形の鋼管を用い、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。
- ⑤太径曲線パイプルーフ管の間の地盤凍結は、鋼管内に任意に配置した凍結管により止水に必要な最小限の厚さの凍土を確実に造成することが可能である。

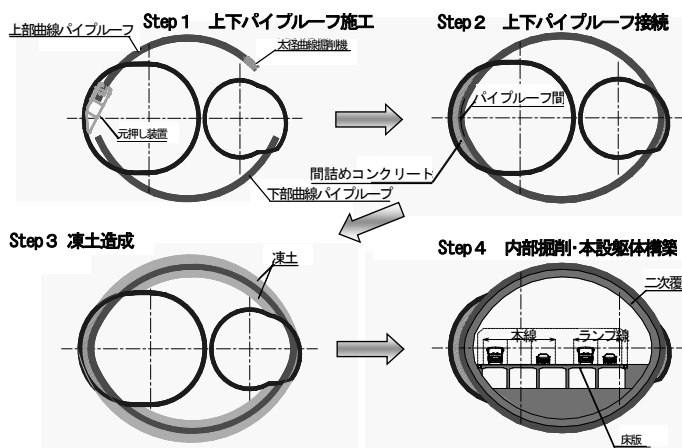


図-2 太径曲線パイプルーフ工法施工手順図

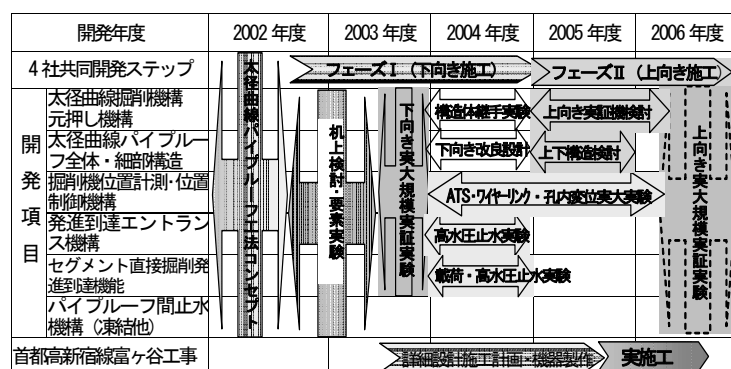


図-3 太径曲線パイプルーフ工法の開発ステップ図

3. 太径曲線パイプルーフ工法の開発の経緯

(1) 開発ステップ

本工法の開発ステップは、図-3に示すように2002年度から開始し、2003年度の下向き実大規模実証実験終了段階で、鹿島、大成、鉄建、コマツ地下建機の開発体制の確立とともに、ほぼ主要技術を確認した。その後、得られた知見から本工法の改良、要素技術の実大規模実験による検証、さらに本工法の技術の高度化を目指して開発を継続し、首都高速中央環状新宿線富ヶ谷出入口トンネル非開削切上げ工事において採用し、施工中である。

(2) 開発の検討課題・技術開発手段・効果確認方法

太径曲線パイプルーフ工法における主にシールド間の切上げ時に必要な構造部材は、2本のシールドの上下にまたがって配置される鋼製の太径曲線パイプルーフ、施工時の支保工（図-19参照）およびセグメントとの接合部材である。さらに、パイプルーフ間の凍土によって止水し、2本のシールド間を掘削する際の曲面状の土留め止水壁を構築して内部掘削を可能とする。

上記の太径曲線パイプルーフを施工する際に必要となる施工機器と構成部材は、図-4に示すように配置され、表-1に示すようにそれぞれの機能を有する³⁾。

太径曲線パイプルーフ施工時の手順を以下に示す。

表-1 太径曲線パイプルーフ工法施工機器と機能

機器材名	機能
太径曲線掘削機	パイプルーフ推進時の地山掘削
元押し装置	掘削機およびパイプルーフの押し出し
下部架台	掘削機およびパイプルーフの支持と位置制御
掘削機位置計測器	掘削機およびパイプルーフの位置把握
発進エントランス	掘削機およびパイプルーフ発進時の止水
到達エントランス	掘削機およびパイプルーフ到達時の止水
到達エントランスルーム	掘削機の到達と到達止水後の掘削機回収
直接発進到達掘削可能部材	掘削機によるセグメント直接掘削

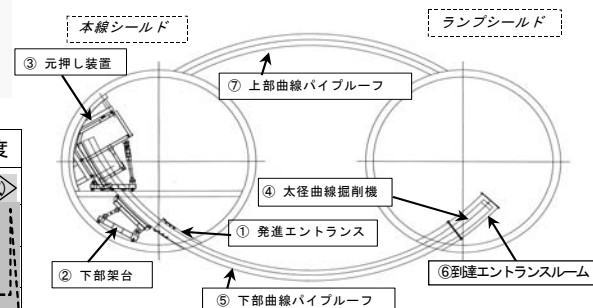


図-4 太径曲線パイプルーフ工法施工機器材と配置状況

表-2 太径曲線パイプルーフ工法の開発項目別の検討課題・技術開発手段・効果確認方法

開発項目	検討課題	技術開発手段と効果確認方法	
		検討段階	実証段階
太径曲線掘削機	掘削性能	解析と同類機構の実績反映	実大規模実証実験による検証
	元押し性能	シミュレーション	実大規模実証実験による検証
太径曲線掘削機による制御性能	揺動掘削機構による制御性能	同類機構の実績反映	実大規模実証実験による検証
	下部架台による制御性能	シミュレーション	実大規模実証実験による検証
掘削機位置計測	絶対位置計性能	要素実験とシミュレーション	実証実験による検証
エントランス止水機能	発進エントランス止水性能	解析と同類機構の実績反映	実大規模高水圧止水実験による検証
	到達エントランス止水性能	解析と同類機構の実績反映	実大規模高水圧止水実験による検証
セグメント直接掘削発進到達機能	切削可能部材掘削性能	要素実験	実大規模実証実験による検証
	切削可能部材セグメント止水性能	解析と要素実験	実大規模実証実験による検証

- ①発進側のシールド内部の所定の位置に発進エントランス、下部架台および元押し装置を設置
 - ②下部架台および元押し装置を用い、掘削機、送排泥管・バルブ類装着の後続管を所定位置に設置
 - ③掘削機で切削可能部材を直接掘削しながら元押し装置で約3m掘進
 - ④約3mの鋼製曲管を②と同様に設置し、鋼管相互を溶接接続し、掘削機で地山掘削しながら元押し装置で約3m掘進(必要掘進長を繰り返す)
 - ⑤到達部の切削可能部材を直接掘削しながら、エントランスルームに掘削機を到達、その後掘削機を回収
- 表-2に示すように検討課題を整理し、要素実験および実証実験でその対応方法の検討と効果の検証を図った。

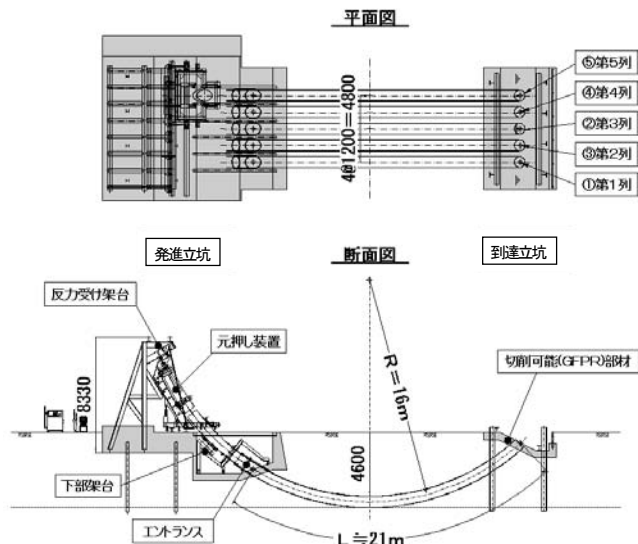


図-5 下向き実大規模実証実験状況図(八王子実験ヤード)

表-3 下向き実大規模実証実験主要所元

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
掘進長	L≒21m/列 (3m 鋼管×7本継ぎ)
鋼管曲率半径	R=16m
施工列数	5列(施工ピッチ1.2m)
元押し装置仕様	ジャッキ総推力 1,470kN×2台 ジャッキストローク 1,785mm×2段階

4. 太径曲線パイプルーフ工法の開発成果の概要

(1) 下向き実大規模実証実験

a) 実証実験の概要

実験装置は、図-5、表-3、写真-1～3に示すように図-4に示した実際のシールド坑内を模擬し、発進立坑部には、鋼管をセットする押し輪や押し輪を押込む推進ジャッキ等から構成される元押し装置、掘削機・鋼管の位置調整および固定を目的とした下部架台、さらに発進坑口部のエントランスで構成される。エントランスは、坑口部の止水を目的とするため、ワイヤーブラシ式とゴムパッキン（押え金物つき）を併用した^{4), 5)}。また、掘進時の反力は、元押し装置背面の反力受け架台で受けることとした。掘進手順は、発進立坑から掘削機、鋼管を順次接続し、元押し装置で押して掘進、到達する。

写真-3に太径曲線掘削機を示す。

b) 実験内容と掘進実績

本実験では、表-4に示す手順で太径曲線パイプルーフの施工を行った。パイプルーフ先行施工の地盤の緩みが掘削機の掘進制御に及ぼす影響は余りなかった。しかし、方向制御については、掘削機の揺動機構、把持装置の使い方が重要であること、また、引戻し掘削による軌道修正も可能であることが知見として得られた。

また、運転制御においては、後述する掘削機および鋼管の位置計測が大きな課題であることも判明した。

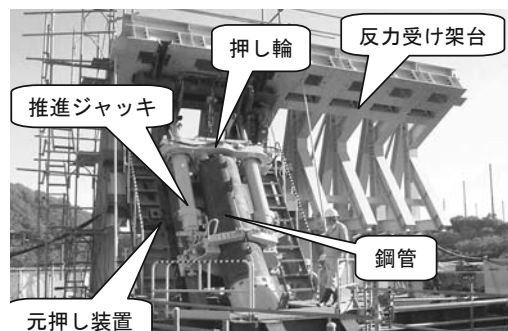


写真-1 実証実験状況（シールド構内枕木上上部模擬）

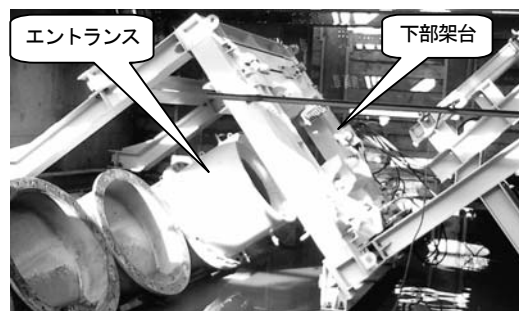


写真-2 実証実験状況（シールド構内枕木下下部模擬）



写真-3 太径曲線掘削機

表-4 パイプルーフ施工順序と施工仕様の違い

施工順序	施工列	パイプルーフ側部の条件	実験条件
1	第1列	両側未施工	方向制御なし
2	第3列	両側未施工	方向制御あり
3	第2列	両側施工済み	方向制御・引戻しあり
4	第4列	片側施工済み	方向制御・引戻しあり
5	第5列	片側施工済み	方向制御・引戻しあり

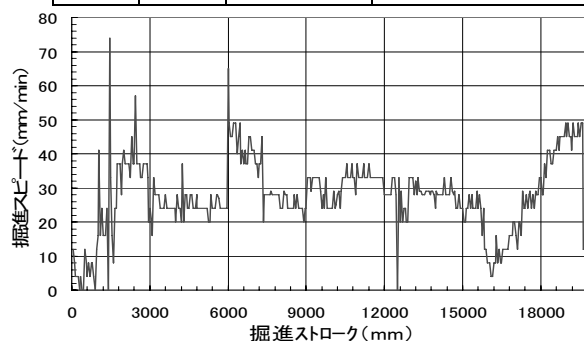


図-6 実証実験掘進スピードと掘進ストロークの関係

運転実績の内、掘進スピードを図-6に示す。

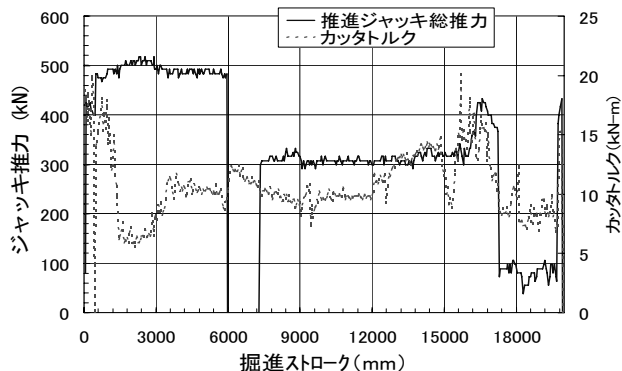


図-7 ジャッキ推力と掘進ストロークの関係

地山掘削時は掘進精度の確保を目的とし、20～30 mm/minの範囲で制御した。また、発進部のモルタルおよび到達部に設置した切削可能(GFRP)部材の切削時は、掘進スピードを約3mm/minで制御した。ジャッキ総推力とカッタトルクの実績を図-7に示す。ジャッキ総推力は、300～500kN、カッタトルクは、10～15kN・mで推移した。

c) 掘進位置の計測手法と適用性

本工法における重要管理項目のひとつとして、太径曲線掘削機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ることから、ジャイロ計測、水レベル計測、レーザー&ミラー計測(写真-4 参照)を試行し、その性能・効果を評価した⁵⁾。

なお、土中における掘進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。

i) ジャイロ計測システム

鋼管内に設けた計測管にレートジャイロを挿入して、角速度を検出・積分処理してパイプルーフの線形を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本分掘進後)となる。

ii) 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で検出される液圧から鉛直方向の相対変位を計測する方法である。

iii) レーザー&ミラー方式

掘削機内にレーザー照射器、パイプルーフ内に反射ミラーを設置し、直進するレーザー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進機の水平変位を計測する方法である。

当初試行したジャイロ計測では運転制御に活かせる精度並びにリアルタイムでの計測結果が得られなかった。そこで、水平方向をレーザー&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結果、計測精度の向上に加えてリアルタイム計測も可能となり、前述の姿勢計測と併用することで掘進機先端での挙動予測および

水レベル計測



レーザー&ミラー計測



写真-4 太径曲線掘削機の位置計測機器類

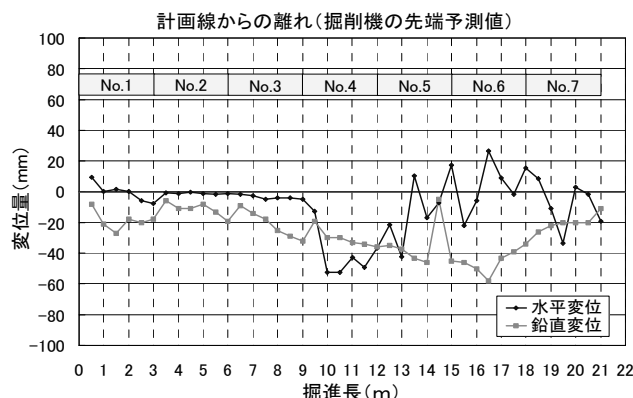


図-8 水レベル計とレーザー&ミラー計測による掘削位置予測例

表-5 施工仕様および計測手法ごとの到達精度実績

	水平方向 (右+, 左-)	鉛直方向 (上+, 下-)	結 果
第1列	-9.0mm (ジャイロ計測)	-22.2mm (ジャイロ計測)	水平・鉛直方向ともNG
第2列	-1.1mm (レーザー&ミラー方式)	-5mm (水レベル)	水平・鉛直方向ともOK
第3列	-25.8mm (ジャイロ計測)	+3.0mm (水レベル計)	水平方向: NG 鉛直方向: OK
第4列	-2.2mm (レーザー&ミラー方式)	-3.5mm (水レベル計)	水平・鉛直方向ともOK
第5列	-1.9mm (レーザー&ミラー方式)	-4.7mm (水レベル計)	水平・鉛直方向ともOK
目標精度	±5.0mm	±1.0mm	—

パイプルーフの線形管理を迅速かつ高精度に行うことが可能となった(図-8)。

d) 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±50mm、鉛直方向で±100mm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°)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(掘削長6m)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が、それ以降の掘進では同様の効果は得られず、②および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、計測精度や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要であるとの知見が得られた。到達精度の実績結果を表-5に、到達状況を写真-5に示す⁵⁾。



写真-5 太径曲線掘削機到達状況

表-6 施工仕様ごとの施工サイクルタイム実績

	第1列	第2列	第3列	第4列	第5列	目標値
推進・鋼管接続	14日	8日	10日	7日	8.5日	7日
掘削機・治具回収	2.5日	1日	1日	1.5日	1日	1日
その他	1.5日 地盤改良	1日 引戻し	1日 切削実験	4日 引戻し	1日 切削実験	—

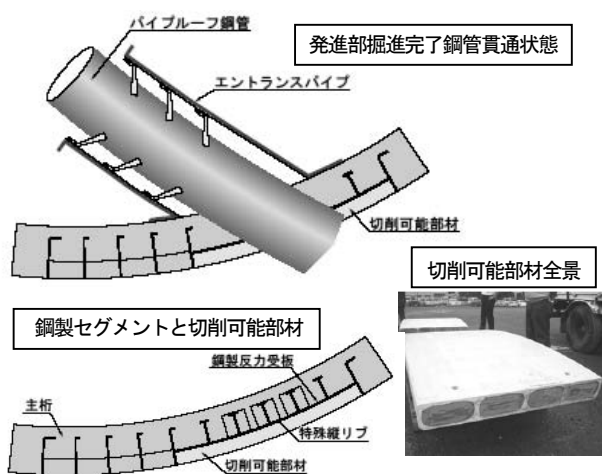


図-9 切削可能部材設置セグメント概要図

e) サイクルタイム

表-6に施工サイクルタイムの実績を示す。各施工本数ごとに、作業手順の見直しやマシン・装置・設備の改良等を実施し、作業の効率化およびサイクルタイムの短縮を図った。その結果、3本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。

f) 切削可能（GFRP）部材の掘削性能

図-4で分かるように掘削機がシールドセグメントに発進到達する角度は、かなり鋭角であり、切削可能部材は、掘削機のビットの食付き性能及び小口径の排泥管を閉塞させない切削性能を有することが必要であった。新たに開発したGFRP製の切削可能な部材⁶⁾を用いた結果、写真-6に示すようにビットの食付き性能も良好で、切削片も細かいチップ状になることを確認した。

(2) 切削可能部材設置実大セグメント載荷止水実験

切削可能部材を設置した鋼製セグメントの高水圧作用時およびシールドジャッキ推力作用時の安全性・止水性を確認するために実大規模の実証実験を行った。結果を以下に示す⁷⁾。



写真-6 下向き実大規模実証実験の切削可能部材切削状況

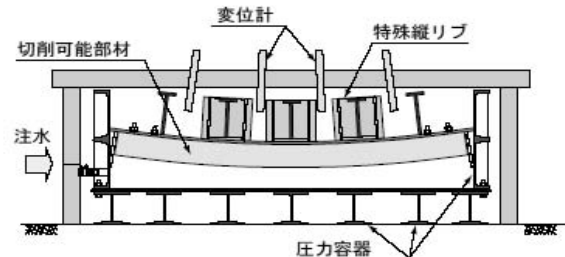


図-10 切削可能部材設置セグメント外水圧作用試験体



写真-7 切削可能部材設置セグメント外水圧作用試験状況

a) 切削可能部材設置セグメントの概要

当該セグメントの概要を図-9に示す。掘削機が通過する部位は、シールドジャッキ推力にも抵抗できるよう取り外し可能な鋼製リブ（以下、特殊縦リブと呼称）とGFRP（ガラス繊維強化プラスチック）製の切削可能部材からなる二重構造になっている⁷⁾。

GFRP部は、中空矩形形状（モルタルで中詰）にし、ガラス長繊維を格子状に配置して2方向版として設計する。また、切削可能部材と主桁・その他鋼材間接合部に接着材を充填することでセグメントの止水性能を満足させることとした。

b) 実大規模止水実験結果

① 外水圧作用時

2ケースの外水圧作用時について図-10の試験体を用いて写真-7のように実験した。

Case1：裏注圧作用時（特殊縦リブ有、水圧0.7Mpa）

CASE2：特殊縦リブ撤去時（水圧0.4～1.0Mpa）

結果概要を以下に示す。

- ・切削可能部材から微かに水が染み出したが、その漏水量は微量であった。

CASE-1：50cc（0.7Mpa、15時間維持）

CASE-2：55cc（0.4Mpa、69時間維持）

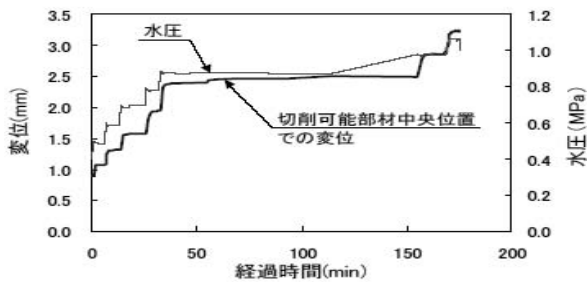


図-11 切削可能部材設置セグメント外水圧作用結果

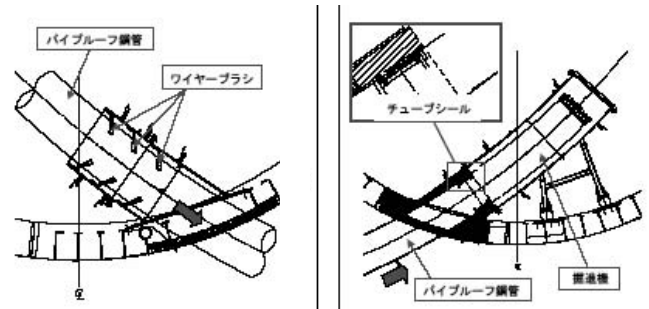


図-12 発進（左）および到達（右）のエントランス構造



写真-8 高水圧に対応した止水エントランス実験

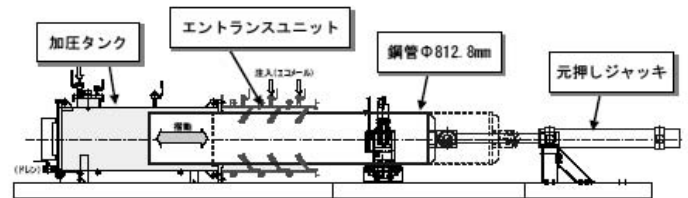


図-13 発進エントランス止水実験装置



写真-9 発進エントランス 写真-10 到達エントランス

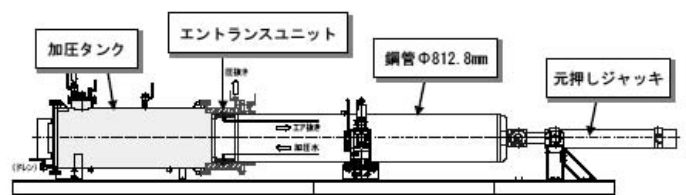


図-14 到達エントランス止水実験装置

- ・0.4～0.8MPa の範囲の水圧作用時，切削可能部材の変位量，鋼材の歪み量は概ね線形関係にあり，1.1MPaでも漏水もなく，外水圧作用時の本セグメントの耐力および止水性に問題はないと判断した．CASE-2 の実験の経時変化を図-11に示す．

②シールドジャッキ推力作用時

ジャッキ推力2850kN を一点載荷で作用させ，推力試験前後で鋼製セグメントと切削可能部材間に注水して止水性を確認した．その結果，水圧0.6MPa まで止水性を確保できることを確認した．

(3) 高水圧に対応したエントランス止水実験

発進エントランスは，多段のワイヤブラシを装備した構造であり，ブラシ間に止水充填材を加圧充填するものである．到達エントランスは，モルタル充填された筒状の鋼管を掘削機が直接切削して到達する方法とし，オーバーカットされたモルタル切削面との止水は掘削機に続くパイプルーフ鋼管先端部に装備したチューブシールを到達後に拡張させて行なう構造である⁸⁾ (図-12)．実験では，これらの条件を模擬し，また，鋼管の押し引きによる摺動実験を容易にするために，図-13，14および写真-8に示す直鋼管（φ812.8mm）の実物大の実験装置を用い，泥水より条件の厳しい清水を用いて加圧した．

a) 実験概要

同工法で用いる発進・到達エントランスに必要な止水性能は，①高水圧下での施工（最大1.0MPa）②修正掘

進に伴うパイプルーフの前後摺動（引き戻し施工）

③曲管の使用に伴って発生する偏心量等の条件下における確実な止水性能と転用可能な耐久性である．

b) 実験方法と結果

i) 発進エントランス

ワイヤブラシ段数（1段～3段），水圧（0.2～1.0MPa）および偏心量（0～45mm）を段階的に変えて，前後の摺動を数回繰り返した時の漏水量とワイヤブラシの損傷を確認した．前後の摺動量は1.0mとし，摺動速度を押し込み時100mm/分，引き抜き時50mm/分とした．

当初，引き抜き時に最後段ワイヤブラシのパネ板が鋼管に引きずられ反転損傷する現象が見られ，その防止対策としてヒンジ式バックアップ金物を最後尾にのみ全周に装備した（写真-9）．その後，摺動の繰り返しによるワイヤブラシの損傷や漏水がなくなり，ワイヤブラシ2段の装備で最大偏心量45mm，最大水圧1.0MPaまでの止水性および耐久性を確保することができた．また，最後尾以外のワイヤブラシは，反転防止対策を施さなくとも引き抜きに伴う反転や損傷は，発生しないことを確認した．

ii) 到達エントランス

到達エントランスは，静止状態でオーバーカットによって生じるモルタル切削面と鋼管とのクリアランス16mmを高圧水で加圧作動させたチューブシールで止水する実験とした（掘進完了時点での止水のため摺動は不要）．発進エントランス同様，水圧（0.2～1.0MPa）および偏心量（0～10mm）を段階的に変えたが，各条件下で十分な止水性を確保することを確認した（写真-10）．

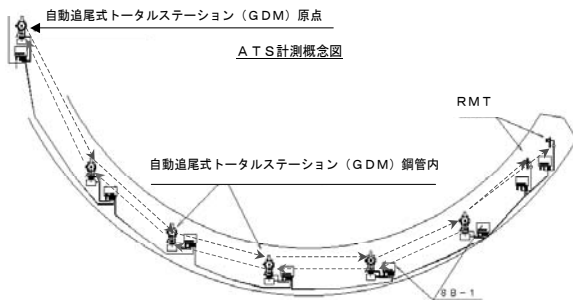


図-15 ATS (Auto Target System) 計測方式概念図

(4) 掘削機位置計測方法の追加開発

下向き実大規模実証実験において、掘削機姿勢制御方法をほぼ確立したが、計測精度の向上が必要であることを痛感し、新規にATS (Auto Target System) 方式 (写真-11)、ワイヤーリンク方式⁹⁾ (写真-12)、孔内変位計方式¹⁰⁾ (写真-13) の3方法の実用化を図った。それぞれの計測システムの概念と実験結果の詳細については省略するが、後述する首都高の実工事へ適用すべく開発したATS方式について開発成果の概要を以下に述べる。

a) システム概念

自動追尾式トータルステーション (GDMと略す) を曲線鋼管内の見通し可能な位置に配置し、掘削機に配置した2箇所のエンドターゲット (RMTと略す) を計測し、そのデータを各GDMで互いに自動計測するものである (図-15)。2箇所RMTの計測データと掘削機のローリングおよびピッチング計の数値を演算処理することで、掘削機の先端位置の掘進基線方向、左右方向、上下方向の各座標 (X, Y, Z) 値を求めるものである。

b) 実験概要

本実験は、鋼管径 $\phi 812.8$ 、曲率半径16.0m、円弧長約21mの実大規模の下向き太径曲線パイプルーフ工法の掘削機および鋼管を模擬し (写真-11)、ATSの計測による掘削機先端位置と外部測量による掘削機位置とを比較し、システムによる測量精度、再現性、操作性、機器の仕様確認などを検証した。

c) 実験方法と結果

写真-11に示すようにブランコ機能を有するブラケットに自動整準台と共にGDMを設置し、最高53度の傾斜角度でGDMを水平に保つブラケットのブランコ機能、ブランコを計測時固定する電磁ブレーキおよび最大 ± 4 度までの自動整準台機能を検証した。

実験の結果、図-16に示すように、掘削機がローリングした状態でも再現した条件下でも計測誤差は、掘進方向で絶対値平均2.0mm、絶対値最大4.0mm、左右方向 (右+左-) で絶対値平均2.0mm、絶対値最大7.0mm、上下方 (上+下-) で絶対値平均4.0mm、絶対値最大8.0mmとなり、掘削機の目標到達精度である ± 50 mmに対して十分高精度であった。実工事においても、掘削機の掘進制御を高精度で行えることを確信した。

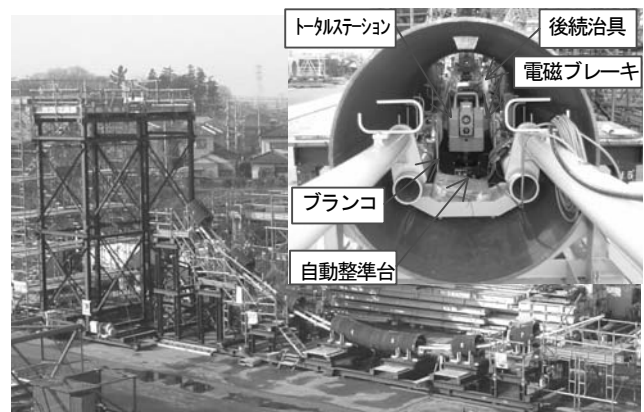


写真-11 ATS下向き実大規模実証実験 (大和実験ヤード)

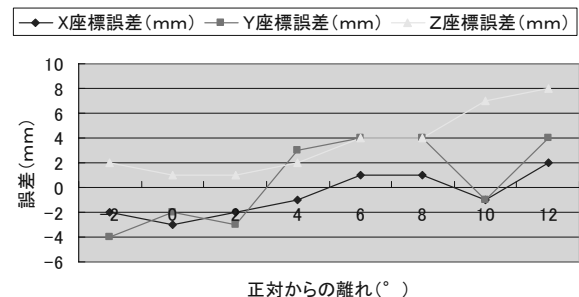


図-16 ATS下向き実大規模実証実験計測誤差



写真-12 ワイヤーリンク式実験 写真-13 構内変位計実験



図-17 富ヶ谷トンネル太径曲線パイプルーフ施工イメージ図

5. 太径曲線パイプルーフ工法の実工事への適用

現在建設中の延長10kmの往復4車線の首都高速中央環状新宿線の富ヶ谷ランプ (仮称) 区間のうち移設困難な大型のライフラインが多数埋設される主要幹線道路と幹線の交差点部、地下横断道路および橋梁架設工事の施工ヤード直下において本工法を適用している¹¹⁾。

2本の併設シールドトンネル (セグメント外径 $\phi 12.38$ m) の延長約160m区間を図-17のように上下に直線および曲線のパイプルーフをそれぞれ設置し、その内部を非開

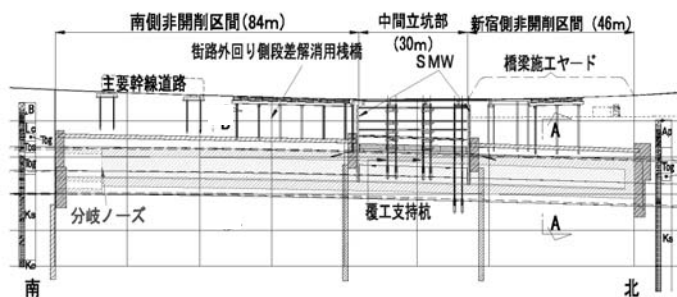


図-18 富ヶ谷出入口トンネル非開削切開き工事縦断面図

削切開きしてランプ分岐合流部を構築する工事である。

そのうちの立坑を除く両側の46mおよび84mの区間でφ1016mm、曲率16m、長さ19.2mの鋼製の太径曲線パイプルーフを76本施工するものである。工事全体の縦断面図、横断面図を図-18、19に施工状況を写真-14に示す。

6. おわりに

太径曲線パイプルーフ工法は、種々の検討、要素実験および実大規模実証実験を経て非開削切開き工法としてほぼ確立され、上述のように実工事においてもその有効性を発揮している。今後、特に都市部において増加が予想される大深度の大規模の同種工事に展開を図るべく、更なる改善改良を加えて用途拡大を図る所存である。

また、現在、図-3に示したように上向きの実証実験を施工総合技術研究所のヤードを借用して実施中である。

なお、本工法の実工事への展開に際して首都高速道路(株)東京建設局工事第一グループ山田総括マネジャー他の皆様のご指導と富ヶ谷出入口トンネル大成・鹿島・鉄建JVの各社代表の深沢氏、林氏、沢木氏他の皆様に多大なご支援を頂いたので紙面を持って御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 吉川正, 加藤誠, 永岡高, 粕谷太郎, 田辺清, 竹内卓: 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), 土木学会第59回年次学術講演会, pp. 255-256, 2004. 9
- 2) 粕谷太郎, 吉川正, 田辺清, 竹内卓: 曲線パイプを活用した非開削大断面地下空間構築技術, 土木学会, 第10回地下空間シンポジウム, 論文・報告集VOL11, pp195-202, 2005. 1
- 3) 白井俊輔, 神尾正博, 渡部 昭一, 藤谷俊実, 伊藤康裕, 中村征史, 秋山浩志, 山本善久: 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技術, 建設機械 No. 489 Vol. 41, pp. 40-43, 2005. 11
- 4) 鶴田浩一, 小野大我, 松井健司, 田辺清, 村上嘉彦, 坂東栄吾: 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2), 土木学会第59回年次学術講演会, pp. 257-258, 2004. 9
- 5) 岩下善一郎, 神尾正博, 十二正義, 江原宏, 山本善久, 清水

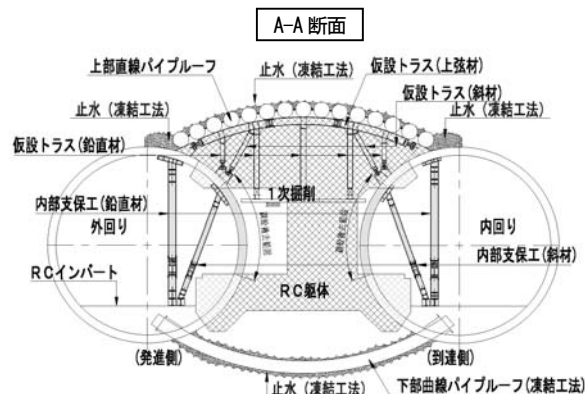


図-19 富ヶ谷出入口トンネル非開削切開き工事横断面図



写真-14 富ヶ谷出入口トンネル太径曲線パイプルーフ施工状況

伸昭: 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3), 土木学会第59回年次学術講演会, pp. 259-260, 2004. 9

- 6) 八木伊三郎, 柴田健一, 糸久智, 吉川正, 鶴田浩一, 吉田健太郎: 任意方向の強度特性を有する GFRP 積層板の開発, 土木学会第60回年次学術講演会, pp. 163-164, 2005. 9
- 7) 土橋浩, 川田成彦, 相沢旬, 鶴田浩一, 小川普史, 高村圭一, 糸久智: 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), 土木学会第60回年次学術講演会, pp. 123-124, 2005. 9
- 8) 土橋浩, 川田成彦, 岩下善一郎, 神尾正博, 安藤哲人, 小川普史, 江原宏, 松井健司, 斎藤広行, 山本善久: 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5), 土木学会第60回年次学術講演会, pp. 125-126, 2005. 9
- 9) 松本三千緒, 宮崎裕道, 近藤高弘, 神尾 正博, 畠中保, 斉藤 博: 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6), 土木学会第60回年次学術講演会, pp. 127-128, 2005. 9
- 10) 齋藤雅春, 伊藤康裕, 中村征史, 白井俊輔, 近藤高弘, 村上嘉彦: 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7), 土木学会第60回年次学術講演会, pp. 129-130, 2005. 9
- 11) 土橋浩, 白鳥明, 深山大介, 福田隆正: 地中トラスを用いたシールドトンネル分岐合流部の設計, トンネル工学報告集第15巻, pp307-314, 2005. 12