

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） ～上向き曲線パイプルーフ工法φ600mm・R=8m 専用掘進機と推進設備～

鉄建建設(株)* 正会員 ○中村 征史
鹿島建設(株) 白井 俊輔
大成建設(株) 正会員 藤谷 俊実
コマツ地下建機(株) 正会員 山本 善久

1. はじめに

開発を進めてきた曲線パイプルーフ工法のうち、現在まで未施工である上向き曲線パイプルーフ工法の実証実験を行なった。掘進機はより厳しい小口径化、小曲率化へのニーズに対応すべく、外径φ600mm、曲率半径8mの曲線パイプルーフを対象とした、実験専用機を設計・製作し検証を行った。

2. 専用掘進機と推進設備

表 2-1 推進架台仕様

項目	細目	仕様
最大総推力		686kN
推進ジャッキ	推力×st×本数	343kN×1785mm×2本
押し板ストローク		3533mm
適合鋼管	外形×厚さ	φ609.6×16mm
適合鋼管長		2800mm
適合曲率半径		R=8.0m
重量(概算)		17t

表 2-2 掘進機仕様

項目	細目	仕様
寸法	外形×全長	φ625×3000mm
適合曲率半径		R=8.0m
重量(概算)		2.7t
掘削方式		泥水式
排土方式	流体輸送	送排泥方式
方向修正装置	前胴揺動	±2.6°(全方向)
カッター回転方向		左右両方回転
回転速度		～12.5rpm
カッタートルク		19.6kNm
α値		74.7



図 2-1 推進架台・発進架台



図 2-2 泥水処理設備



図 2-3 掘進機

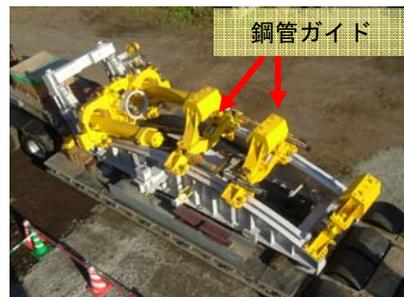


図 2-4 推進架台

今回の実験では、模擬トンネルの強度条件より、推進架台を同架して支持する発進架台を介してすべての反力をインバートに伝達するよう構造設計を行った。また全体の転倒に対するカウンターウェイトの水槽（40m³）と、滑動防止用のピースをインバートにアンカーで固定し全体構造の安定を図った（図 2-1）。図 2-4 に示す推進架台の仕様を表 2-1 に示す。下向き実施工と基本的な構造は対称的であるが、曲線鋼管の曲げ応力を分散し、推力を鋼管軸方向へ伝達するための鋼管ガイドを今回新たに追加している。図 2-3 に掘進機を、表 2-2 に掘進機の仕様を示す。

泥水処理設備は、粒径を調整した模擬地盤（流動化処理土）内を掘削し、全掘削土量（約 11m³）も少ないこと等を勘案して、通常の泥水プラント設備に採用される一次分離機を使用しない設備とした。流体輸送は、掘進作業がプラントより高い位置で行われるため、排泥負荷設備図 2-2 を設置し配管抵抗を増すことで流速を安定させ、掘削管理システムモニター図 2-5 と流体中央操作盤図 2-6 で管理した。



図 2-5 掘進管理システムモニター



図 2-6 流体中央操作盤

キーワード 太径曲線パイプルーフ, NEW TULIP 工法, 推進機, 掘進機, 泥水式

*連絡先 〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1 鉄建建設株式会社 エンジニアリング本部 TEL 0476-36-2359

3. 開発の状況

実験は3列のパイプルーフを設置する方法で行った。1列目は実施工が完了している下向き曲線パイプルーフ工法の実績を参考とした手順で作業を進め、「安全性」「施工性」「施工時間」を重点検証項目とし実験を行った。作業手順は架台設置・掘進機据付・鋼管据付配線配管・流体運転調整・推進機操作・掘進・掘進機回収、後続治具回収を順次行い、各手順を確認し問題点・改善点を加えながら作業を行った。2, 3列目では1列目で確認した不具合に対する改善点の盛り込み、前述の重点検証項目に対する評価を行った。

4. 推進機の操作性評価

本実験の施工条件(鋼管外径 ϕ 609.6mm、曲率8m)で、高精度で方向制御を行う必要条件は、計測システムで正確な位置情報を得た上で、掘進機に搭載されたローリング計で掘進機の姿勢の変化を確認しながら、こまめに揺動操作を行うことが挙げられる。また、泥水プラントと掘削作業箇所的位置関係上、切羽圧の調整が難しくなっているため、掘進管理上、データ収集と推進架台・掘進機・流体設備(中央操作盤)の操作の簡素化を図った結果、オペレーターが使い易い内容に仕上がっていることが確認できた(図4-2)。到達精度は計測データに基づき揺動操作を行い、3列目には満足行く精度を確保できた(表4-1)。

但し、今回高い到達精度が確保できた要因として、前に実施した下向きパイプルーフ施工の経験者による作業であったことを付け加える。

表 4-1 到達精度

	左右	上下
1列目	右61mm	下11mm
2列目	左53mm	上1mm
3列目	左23mm	左23mm



図 4-1 到達状況



図 4-2 掘削管理システム

5. まとめ・今後の課題

掘進機及び推進装置は下向き実施工での改善点をフィードバックし、上向用に新規に設計製作したもので、基本的に問題なく実験を終えることが出来た。本実験工事に使用した推進設備は、重力に逆らった上向施工であるため、施工性の低下が懸念された。鋼管接続・押板盛り替え等、各工程に落下防止装置の装備と作業手順の徹底を図る必要があった。細かな改善点はあったものの、安全面・作業面とも概ね当初の計画通りであった。

本実験工事では、曲率半径が小さいため推進反力により鋼管に過大な曲げ応力が発生する。鋼管ガイド(図2-4)を装備することで解決できたが、この場合でも最大推力載荷時には、ローラと鋼管の接触部で鋼管に局部座屈が発生する。このため今回は鋼管の肉厚は施工時の条件から決めた。従って施工条件(曲率・管径)に応じてガイド方法、ガイド数及び鋼管の肉厚を適宜検討する必要がある。掘進速度については当初、20~30mm/minを想定していたがカッター回転数を調整することで、40~50mm/min程度まで可能であった。切羽水圧は排泥負荷設備(図2-2)の製作、設置することで排泥側圧力が安定し、切羽水圧も0.07Mpa前後を保持しながら掘進することが出来た。水平揺動操作について、揺動操作直後は揺動修正と同じ方向をローリング値は示すが、揺動修正効果が現れると、ローリング値は反対方向を示す傾向があることが確認された。このため、早目の揺動操作・揺動戻し操作が要求された。垂直揺動操作については、掘進機自重・余掘り量・掘進機の形状等の影響で、先端が下がる傾向が強い。据付外部測量値を参考に、発進時から上向き姿勢で掘進を開始することが効果的であったと言える。その他、揺動操作では勾配・鋼管剛性・掘進長・泥水状況・切羽圧・地質など、常に変化する複雑な条件により敏感に影響を受ける。これまでの知見を元に実施工に備え整理しておきたい。

最後に、本実験に際して多大なご協力を頂いた(社)日本建設機械化協会・施工技術総合研究所に深く感謝の意を表します。