

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10)

～太径曲線パイプルーフ工法上向き実証実験～

鹿島建設株式会社* 土屋 健二 正会員 ○滝本 邦彦
 大成建設株式会社 高橋 俊幸 正会員 中村 隆良
 鉄建建設株式会社 前田 智宏 正会員 伊藤 康裕
 コマツ地下建機株式会社 斉藤 広行

1. はじめに

本工法は図1-1に示すように、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と止水のための凍結工法を組み合わせ、大深度地下でも土圧・水圧に抵抗できる土留め構造を構築し、非開削で大断面の構築を可能とするものである。図1-2に示すように開発はまずフェーズⅠとして最初に下向き工法の確立を目指した。ATS（自動追尾トータルステーション方式）による高精度の計測方法の実大規模実験などで、多くの課題をクリアし下向き工法を確立した。その後、下向き曲線パイプルーフをφ800mm曲率16mで実現場にて施工し、2006年10月に全76本を無事完了した。次に、フェーズⅡとしての上向き曲線パイプルーフ工法の施工方法の確立を目指し、施工時の作業性の検証、掘進制御・施工精度の検証、掘進機位置計測（ワイヤーリンク方式）の検証、計測機器の使用環境影響の検証を図るため2006年9月より、(社)日本建設機械化協会・施工技術総合研究所の模擬トンネルにて実証実験を行なった。

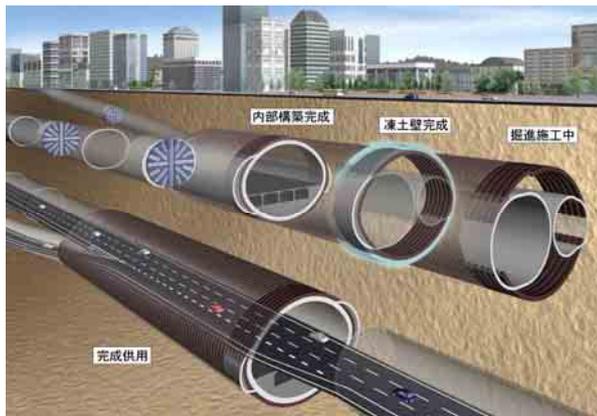


図1-1 シールドトンネル切掘げ工法イメージ

開発年度	2002年度	2003年度	2004年度	2005年度	2006年度
4社共同開発ステップ	太径曲線パイプルーフ工法コンセプト	フェーズⅠ(下向き施工)	フェーズⅡ(上向き施工)		
開発項目	太径曲線パイプルーフ元押し機着 太径曲線パイプルーフ全体・細部構造 掘削機位置計測位置 掘削機着 掘削機到達エントランス セグメント直交掘削機 掘削機性能 パイプルーフ閉止機 機着(兼着)	机上検討・要素実験 下向き実大規模実験	下向き改良機 構造検証実験 ATS-ワーカー・孔内位置実大実験 高水圧水実験 載荷・高水圧水実験	上向き改良機 構造検証実験 鋼管継ぎ手 ATS-ワーカー・孔内位置実大実験 高水圧水実験 載荷・高水圧水実験	上向き実証実験
下向き実施工		詳細集施工個・機器製作	実施工		

図1-2 太径曲線パイプルーフ工法開発経緯

2. 実験概要

今回の実験は、下向き施工の実績を始め、これまでに蓄積されたノウハウを取り込み、更に改良を加えて実験計画を立てている。実験設備の標準断面図および写真を以下に示す。

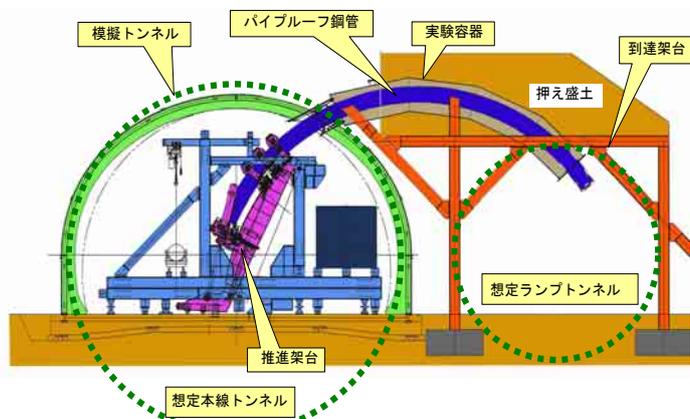


図2-1 標準断面図



図2-2 実験設備全景

キーワード 太径曲線パイプルーフ, NEW TULIP 工法, 大断面非開削, ワイヤーリンク式計測

*連絡先 〒107-8388 東京都港区元赤坂1の2の7 鹿島建設株式会社 土木管理本部 TEL 03-6406-7355



図 2-3 到達側(正面)

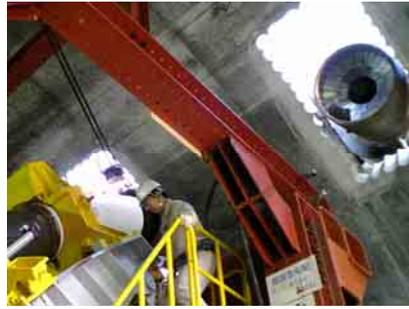


図 2-4 発進口

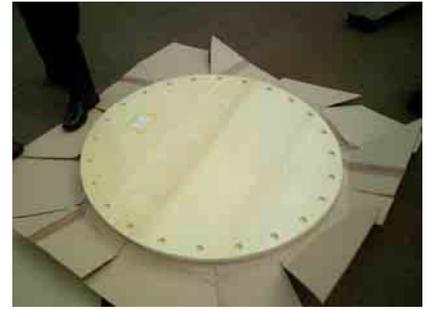


図 2-5 切削可能部材

実験は、大深度での洪積粘性土地盤を想定して掘進のための模擬地盤を設けることとしたが、今回使用する掘進機が泥水式であるため、上向き実験における切り羽水圧保持を確実にを行うために、鋼管に流動化処理土を注入して人工地盤を構築した。流動化処理土の一軸圧縮強度は 2.0N/mm^2 とした。模擬地盤への発進坑口(エントランス)は下向き施工での実績を参考に、ワイヤブラシ2段+簡易フラッパーによるものとした。また到達坑口に当たる部分は、掘進機で切削可能な、ガラス長繊維強化プラスチック発泡体で製作された円盤を設置した。掘進距離は円弧長で 10.426m とし、実験は3本施工して精度等の確認を行うこととした。

3. 実験結果

実験は1本づつ施工手順等を修正しながら実施した。到達時の出来形を図3-1に示す。1列目は「安全性」「施工性」「ワイヤーリンク式計測」などを数多く検証しながらの施工であり、また問題があれば改良・改善を行ないながら実験を進めた。推進ジャッキスピードも $20\sim 30\text{mm/min}$ 程度で慎重に掘進した。外部からのチェック測量も参考に方向制御(揺動操作)を行なうが、掘進機の挙動が敏感過ぎ、最終的には目標の $\pm 50\text{mm}$ の到達精度には至らなかった。掘進長が短いことも、制御距離を減らすことになった。2列目は施工内容・作業手順に改善を加えた効果が現れ、施工期間は大幅に短縮できた。揺動操作角は1列目より少なめに、ローリング値を観察しながら慎重に行った。精度は上がったものの目標には至らなかった。また2本目では掘進機ローリング値と水平方向の姿勢が揺動操作に関係が深いことが明らかとなった。

3列目は外部計測孔も追加し掘進機の位置確認を行いながら揺動操作を行なった。

1・2列目で発進時は掘進機自重で先端が下がる傾向にあったため、少し上向き姿勢で掘進作業に入った。また、左右揺動操作もより細かく操作頻度を上げることで、目標の到達精度内に到達させることができた。

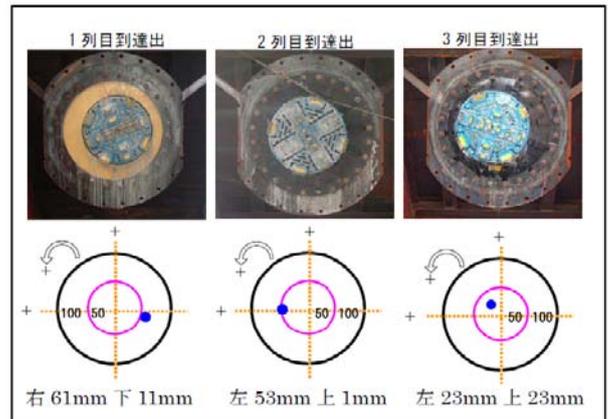


図 3-1 出来形

4. 開発成果とまとめ

今回の実験中には掘進機の大きなトラブルはなく、現時点で掘進機本体は実施工に十分対応できる基本性能を有していると考えられる。掘進機の姿勢制御については下向きのみの実績で望んだため、手探り感があったが、外部測量と下向き施工ノウハウの意見を取り入れることで、大きなトラブルや蛇行、制御不能といった事態はなかった。しかしパイプルーフの鋼管径が $\phi 600\text{mm}$, $R=8\text{m}$ と下向きでの実績 ($\phi 800\text{mm}$, $R=16\text{m}$) に比し小さいこともあり、揺動操作による掘進機の動きが非常に敏感であった。管径と曲率が方向制御に与える影響は予想以上に大きいと考えられる。作業性について、上向き推進であるため、重力に逆らった作業が中心となり、固定・バックリング防止措置といった手順が全工程に追加される。しかし、作業員の慣れや設備の改良、手順の明確化を行えば、それほど効率を落とすものではないと考えられる。施工サイクルタイムについても、1本目から3本目にかけて徐々に短縮された。

ワイヤーリンク式計測システムとのマッチングについて、数十秒で計測データが更新されるため、リアルタイムに計測データをオペレーターが確認できる点は非常に良い。計測データと掘進機の位置(Rに対してどの位置にいるか)を同時に視覚的にモニターに表示できれば、掘進機に重力がどのように働いているかもイメージでき、操作性を向上させることが出来るのではなかと考える。

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。