

# 大深度地下を利用した東京外かく環状道路 (関越～東名) の建設について

関 信郎<sup>1</sup>・辻 功太<sup>2</sup>・中岡 毅<sup>3</sup>・山崎 洋大<sup>4</sup>

- <sup>1</sup>正会員 所長 国土交通省関東地方整備局東京外かく環状国道事務所  
(〒158-8580 東京都世田谷区用賀四丁目 5-16)
- <sup>2</sup>正会員 所長 東日本高速道路株式会社関東支社東京外環工事事務所  
(〒177-0033 東京都練馬区高野台四丁目 1-23)
- <sup>3</sup>正会員 所長 中日本高速道路株式会社東京支社東京工事事務所  
(〒153-0044 東京都目黒区大橋一丁目 5-1)
- <sup>4</sup>正会員 建設専門官 国土交通省関東地方整備局東京外かく環状国道事務所  
(〒158-8580 東京都世田谷区用賀四丁目 5-16)  
E-mail: yamazaki-y8312@mlit.go.jp

東京外かく環状道路(関越～東名)は、我が国でも初めて大深度地下領域を全面的に活用した道路事業である。本線トンネルは大深度地下と呼ぶ40m以深に片側3車線の道路トンネルを2本構築する計画で、国内最大規模の直径約16mのシールドトンネルによる施工を進めている。また、地下の本線トンネルと地上の高速道路・一般道路と接続するためのランプトンネルは、非開削で地中での切り開きによる地中拡幅工事で構築する計画である。本線トンネルや地中拡幅工事は市街化された地域で地下深くの高水圧・高土圧下において大断面の構造物を構築するため、高度な技術が必要である。

本稿では、大深度地下で施工する本線シールドトンネル工事で検討、採用している最新の技術と、現在まで検討を進めてきた地中拡幅工事の検討状況について紹介するものである。

**Key Words:** Tokyo Outer Ring Road, in the deep underground, shield tunnel, underground joint, cutting obstacle

## 1. はじめに

首都圏3環状道路は、内側から、首都高速中央環状線(中央環状線)、東京外かく環状道路(以下、「外環」という。)、首都圏中央連絡自動車道(圏央道)で形成されており、都心部の慢性的な交通渋滞の緩和や環境改善を図り、首都圏の経済活動と暮らしを支える重要な役割を担うことが期待されている道路である(図-1)。

このうち外環は、都心から約15km圏を環状方向に結ぶ延長約85kmの高速自動車国道である。三郷南IC～高谷JCTまでの約16kmは平成30年6月2日に開通し、現在までに関越自動車道(関越道)と連結する大泉JCT～高谷JCTまでの約49kmが供している。残る建設中の区間である大泉JCT～東名JCT(仮称)までの約16kmの区間(以下、「東京外環」という。)は、国土交通省、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)の3者が共同して事業を進めている(図-2)。



図-1 首都圏3環状道路の位置図

本事業は、平成21年度の事業化、平成24年度の有料事業許可に続き、平成26年度には「大深度地下の公共

的使用に関する特別措置法」により大深度地下使用の認可及び都市計画事業承認・認可がなされている。



図-2 東京外環の平面図、縦断面図

東京外環の本線トンネルは、大深度地下と呼ぶ40m以深に片側3車線の道路トンネルを2本構築する計画で、国内最大規模の直径約16mのシールドマシンによる施工を進めている。地下の本線トンネルと地上の高速道路・一般道と接続するためのランプトンネルは本線トンネル同様、シールド工法により施工し、本線シールドトンネルとランプシールドトンネルは、非開削による地中での切り開きによる地中拡幅工事を行う計画である。

本線トンネル工事や地中拡幅工事は市街化された地域で地下深くの高水圧・高土圧下において大断面の構造物を構築するため、高度な技術が必要である。

本稿では大深度地下で施工する上で本線シールドトンネル工事で検討、採用している最新の技術と、現在まで検討を進めてきた地中拡幅工事の検討状況について紹介する。

## 2. 本線シールドトンネル工事及び本線シールドマシンの概要

本線シールドトンネルは、大断面、長距離、高速施工という厳しい条件下での施工となるため、予期せぬトラブルが発生した場合に対向するシールドマシンの掘進距離を延伸して掘進することが可能となるよう世田谷区の東名 JCT（仮称）側および練馬区の大泉 JCT の両側からの掘進を採用している。

2本の本線シールドトンネルのうち、北行きは中日本高速道路（株）、南行きは東日本高速道路（株）がそれぞれ東名 JCT 側（仮称）側発進と大泉 JCT 側発進に2分割工事発注し、合計4機のシールドマシンで掘進している（図-3）。

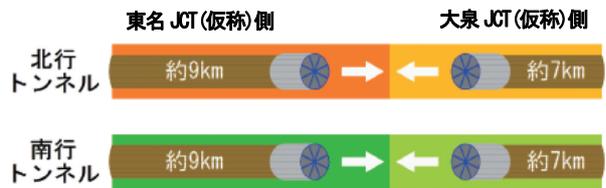


図-3 本線シールドトンネルの工事区分イメージ

本線シールドマシンは、「長距離かつ高速施工となるシールド掘進を安全かつ確実にを行うためのモニタリング技術」や「既設杭の処理技術（大泉側）」を工事発注の条件として求め、既存技術の改良なども含めた技術開発を行っている。

切羽の安定管理においては、チャンバー内の土砂の流動性評価技術、可視化技術や探査装置により、切羽の詳細な現地状況把握に努めている。また、各種センサーを用いた機械設備の健全度把握としてビットの摩耗量や損傷度把握などにより、現状を的確に判断しトラブルを未然に防止することとしている。これらの様々なモニタリング技術を活用して得られたデータを集約、可視化する総合診断システムを用いてシールドマシンを制御しながら安全に施工する技術開発を行っている。

シールドマシンは高速掘進とセグメントへの偏荷重用による損傷防止を両立させるため、掘進と組立を同時にできる工法を採用している。以下、4機のシールドマシンのそれぞれの特徴を紹介する。

### (1) 東名側のシールドマシンの特徴

#### a) 本線トンネル北行工事（東名発進）のシールドマシン

東名 JCT（仮称）から発進する本線トンネル北行きのシールドマシンの特徴として、掘進面のカッター外周部と内周部に分かれる「二重カッター方式」を採用している（図-4）。外周部と内周部の回転数をそれぞれ最適な速度に設定できるため効率的な掘削が可能となる。構造としては、内周部カッターは外周部に比べ約2倍の速度で回転し、加えて内部の内周カッターはトンネル進行方向に30cmスライドさせることが可能である。これにより、内周部の先行掘削による芯抜き効果により更なる効率化につながり、大断面径のカッター面盤を単一駆動方式で回転掘進した場合に比べ約30%の消費電力量の低減が期待される。

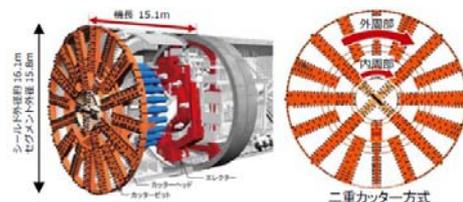


図-4 東名発進北行シールドマシンの特徴

また、カッタービットには靱性が高く衝撃に強い超合金チップと硬度が高く摩耗に強い超硬合金チップを組み込んだロングライフビットを採用している（図-5）。

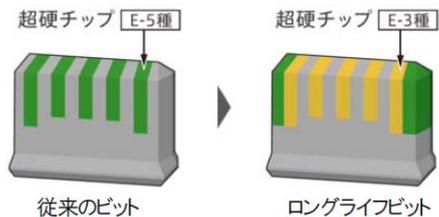


図-5 ロングライフビット（東名北行）

## b) 本線トンネル南行工事（東名発進）のシールドマシン

東名 JCT（仮称）から発進する本線トンネル南行きのシールドマシンの特徴として、先行ビット 242 本全てを何度でも交換できる「リレービット工法」を採用している（図-6）。構造としては、切削するビットを取り付けているカッタースポークの内部に人が入ることができる構造であり、安全にビット背面からスポーク内へ摩耗したビットを引き込み、新しいビットへ交換することを可能としている。



図-6 東名発進南行シールドマシンの特徴

## (2) 大泉側のシールドマシンの特徴

大泉側は浅深度部の地中支障物を切削するため、シールドマシンに次のような特徴がある。

### a) 本線トンネル北行工事（大泉発進）のシールドマシン

大泉 JCT から発進する北行きのシールドマシンは、傾斜型カッターヘッドと特殊強化型先行ビットを装備している（図-7）。傾斜型カッターヘッドは山形の 5° の傾斜をつけることで、断続的な切込みを可能とし支障物切削時の負荷を軽減することができる。特殊強化型先行ビットは耐摩耗性と耐衝撃性に優れた扇型のビットを密に装備し、支障物の直接切削及びビット交換なしの長距離掘進を可能としている。



図-7 大泉発進北行きシールドマシンの特徴

### b) 本線トンネル南行工事（大泉発進）のシールドマシン

大泉 JCT から発進する南行きのシールドマシンは、北行き同様傾斜型カッターヘッド（5°）と耐摩耗性の高い超硬チップを耐衝撃性の高いチップで保護する構造となっている「長寿命化ビット」（図-8）を装備し、長距離掘進を可能としている。



図-8 大泉発進南行きシールドマシンの特徴

### c) 地中支障物の切削結果

切削が必要となった地中支障物は、大泉 JCT 近くの目白通りと白子川の下にあった旧水道管や旧護岸などの既存杭（構造変更により杭としては不要な残存物）であった。

北行きは目白通りと白子川の既存杭 46 本を、南行きは白子川の既存杭 3 本を切削した（図-9）。両方のシールドマシンとも、前述したように傾斜型カッターヘッド（5°）や支障物切削用の特殊なビットを装備することで、鉄筋を短く切断することができ、周辺環境への影響及びマシントラブルを生じることなく、支障物の杭を切削し掘進することができた。

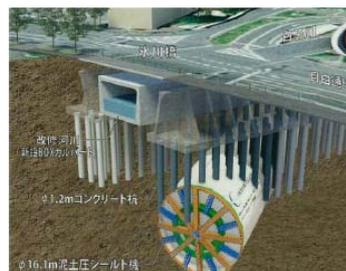


図-9 杭掘削状況図（大泉北行）



写真-1 杭切削時回収鉄筋

### 3. 本線シールドトンネルの掘進状況

4機のシールドマシンは、さまざまなモニタリング技術を使い、掘削土の重量・体積、カッターヘッド内の泥土の圧力、線形等を確認しながら工事を進めている。

東名 JCT (仮称) 側の2機のシールドマシンは平成29年2月に掘進を開始し、令和2年9月末時点で北行きは約3.4km、南行きは約4.4km掘進している(写真-2, 3)。



写真-2 東名 JCT (仮称) 全景



写真-3 東名側トンネル坑内状況

大泉側の2機のシールドマシンは平成31年1月より掘進を開始している。現在、「初期掘進」と呼ばれる段階であり、掘進作業等を進めながら順次、後続設備等の投入・組立を行っており、令和2年9月末時点で北行きは約1.1km、南行きは約0.5km掘進している(写真-4, 5)。



写真-4 大泉 JCT 航空写真



写真-5 大泉側トンネル坑内状況

### 4. 東京外環における地中拡幅部

東京外環の特徴の一つとして挙げられるのが地中拡幅部の施工である。東京外環の JCT・IC 部は、地中で分岐・合流を行う計画であり、本線シールドトンネルとランプシールドトンネルをつなぐ部分が地中拡幅部である(図-10)。東京外環の地中拡幅は、市街化された大深度地下部において地下水を有する地盤内に非開削で構築する必要がある、世界でも類を見ない規模の、技術的困

難さを伴う工事であることから、より確実な施工時の安全性や長期的な構造物の健全性の確保のため、技術的な検討、検証を進めてきている。

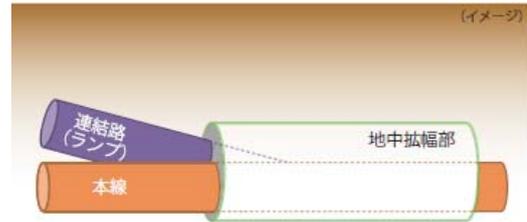


図-10 地中拡幅部イメージ

#### (1) 検討経緯

地中拡幅部は、市街化された地域の地下部において、大規模な非開削による切り拡げ工事となることから、平成17年11月に「大深度トンネル技術検討委員会」を設置し、当時の既存技術であるパイプルーフ併用 NATM (図-11) で施工可能であることを確認した。

一方で、同委員会においては、安全、工期短縮、コスト縮減等のため、新工法の技術開発が望まれるとの意見があり、地中拡幅部の工法等について継続して検討を行ってきた。

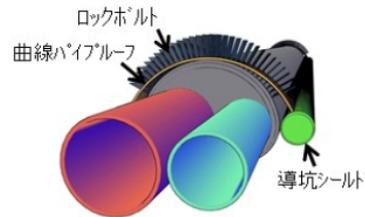


図-11 パイプルーフ併用 NATM イメージ

その後も、平成24年7月に「東京外環トンネル施工等検討委員会」を設置するなど、現況の技術等も踏まえて検討を進めてきた。平成26年6月に「とりまとめ」が公表され、地中拡幅部は「高いレベルの施工時の安全性や、長期的な構造物の健全性が求められる」とされ、より確実な安全性、健全性の確保が可能となる構造として「円形状を基本」とし、「十分な止水領域を確保」すること、また、工事の発注に先立ち、各 JCT・IC (東名・中央南・中央北・青梅街道) の地質・地下水・断面形状等の施工条件に適した工法を選定し、技術の実証等を通じた検証を行う必要性が提言された。

これらの提言を受け、平成26年11月～平成27年9月、「東京外環トンネル地中拡幅部における技術開発業務」により、東名 JCT、中央 JCT 南、中央 JCT 北、青梅街道 IC の4箇所において各3工法を選定し、技術の検証を実施した。技術開発業務を踏まえ、平成27年12月に「地中拡幅部についての留意事項まとめ」が公表された。

## (2) 中央 JCT の地中拡幅部

平成 27 年 12 月に公表した「地中拡幅部についての留意事項まとめ」において、中央 JCT 南、中央 JCT 北、青梅街道 IC の 3 箇所は、東名 JCT と比較して、地山の透水性が高く、地山の自立性が低い地盤での施工となるため、より技術的難易度が高い施工が求められること、地山の施工時の止水性および地山安定性の確保において課題が共通していることから、提案された工法も含め、民間企業が有する有効な要素技術を整理したうえで、各箇所の地質、地下水等の条件に応じた工法の標準化を図って行く必要があると提言された。

これを受け、中央 JCT については、詳細設計・施工に移行するにあたり、技術の検証を行った工法も含め、民間企業が有する要素技術を広く募集し、技術的なヒアリングを実施した。地中拡幅部を施工する段階である「外殻部の施工」、「発進基地の施工」、「躯体の施工」、「棲壁の施工」について、施工時の安全性や品質の確保などの観点から、工法に対する考え方をまとめ、平成 28 年 3 月に「地中拡幅部（中央 JCT、青梅街道 IC）の工法の考え方まとめ」が公表された。一部抜粋し、示すと下記の通りである。

- ・「外殻部の施工」：帯水層下で施工の実績が多く、施工精度確保の確実性が高いシールド工法（外殻シールド）で行うことが望ましい。
- ・「発進基地の施工」：基本的には地山の露出を少なくすることとして、実績がある円周シールドにより構築することが望ましい。

・「躯体の施工」：地中拡幅部の内部を掘削する段階以前に、完全体の躯体を構築しておくことが望ましく、完成体の躯体は、外殻シールドを相互に連結することにより構築することが望ましい。

・「棲壁の施工」：凍結工法などにより、施工時の地山の安定性、止水性を確保し、良好な施工を確保することが重要である。

また、この工法の考え方の中で、「今後、詳細な技術的検討、検証を加えることが必要であり、実際の施工までに、本検討委員会を含め、関係者が協力して更なる技術の研鑽に努めるべきである」との意見が付議された。

現在、東日本高速道路（株）と中日本高速道路（株）の詳細設計業務において、中央 JCT 部周辺での地下水の揚水規制による深層地下水位上昇傾向を踏まえ将来の深層地下水位上昇を見込むなどしながら、工法の考え方まとめに基づき、詳細な技術的検討、検証を進めている（図-12）。さらに、令和 2 年 7 月及び 9 月に開催された関東地方整備局事業評価監視委員会において東京外環事業の継続は承認され、地中拡幅については、より確実な安全性や健全性の確保を踏まえ断面合理化について検討を行いながら、引き続き詳細設計を進めていく。

## 5. おわりに

東京外環では、引き続き環境に配慮し、安全を最優先に一日も早い完成に向けて工事を進めていく。本線シールドトンネル等は引き続き最新のシールドマシンの掘進状況を東京外環プロジェクト WEB サイト (<http://tokyo-gaika-project.com>) に掲載している。

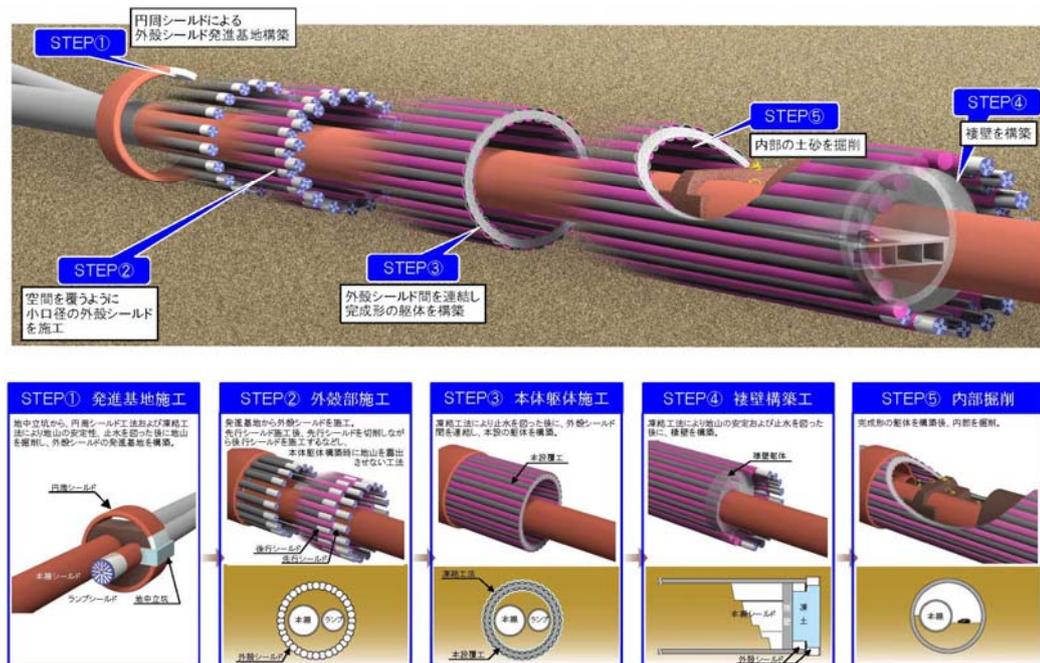


図-12 中央 JCT 地中拡幅部の工法

## CONSTRUCTION OF TOKYO OUTER RING ROAD TUNNEL(KAN-ETSU EXPWY-TOMEI EXPWY) IN THE DEEP UNDERGROUND

Nobuo SEKI, Kouta TSUJI, Tsuyoshi NAKAOKA and Yodai YAMAZAKI

Tokyo Outer Ring Road (specially the section from Kan-Etu Expressway to Tomei Expressway) is the first road project being constructed in 'the deep underground' defined by Law on Special Measures for the Public Use of the Deep Underground in Japan. The project will construct 2 tunnels consisting of 3 lanes each way at a depth of 40 m underground. The main shield tunnel will be the nation's largest shield tunnel with a diameter of approximately 16 m. The lamp tunnels which are connected to the aboveground highway and the road to the main tunnel is planned to be joined underground without using the open-cut method. The main shield tunnel and the construction of tunnel width expansion require advanced technologies due to high underground pressures and high hydraulic pressure at such depths.

This report discusses the use of cutting edge technology in construction, the main tunnel's construction, and the current investigation into the expansion deep underground.