

(Ⅲ - 29) 東京都心部の大深度地下における多目的トンネルに関する調査研究 (その4)

－ 長距離・高速シールド掘進について －

西松建設(株) 正会員 小林 正典
前田建設工業(株) 正会員 古川 雅宣
早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

東京都心部において大深度地下開発を考える場合、地盤条件として準岩盤に相当する固結粘性土層すなわち土丹層が地下数十mから数百mの所に厚く存在するのが特徴である。今回の東京における大深度地下多目的トンネル計画(新宿～代々木～外苑～丸の内～築地～有明～港南～大井～中防地上基地)では、主としてこの土丹層中の深度にシールドトンネルを設置する計画となっている。土丹層中にトンネルを築造するためには、地盤の特性を適切に評価し、トンネルの合理的かつ経済的な設計・施工法について調査研究する必要がある。本報告はトンネルに関する施工検討項目のうち、長距離・高速シールド掘進について検討を行ったものである。

2. 検討条件

本プロジェクトにおいて計画している第一期ルートは100m程度と大きく、地下水圧が10kgf/cm²近くにもなることが想定されるため、施工の安全性やトンネルの耐久性等の観点から施工法を選定する必要がある。トンネルの掘削はこの高水圧に耐えられることを前提とするため、シールド機種としては密閉型シールド機(泥水式シールド)とする。また、第一期ルートはトンネル総延長は約25kmとなっており、合理的かつ経済的なトンネル計画とするために、表-1に示す施工条件で長距離・高速シールド掘進の検討を行う。なお、平均月進速度350mの場合を高速掘進A型、平均月進速度500mの場合を高速掘進B型として以後の検討を行うものとする。

表-1 検討条件

検討項目	条 件
1. 平均月進速度	350m～500m
2. 基本サイクルタイム	67分/R～47分/R
3. 掘進距離	5～6km/区間
4. 耐水圧	10kgf/cm ²
5. 対象地盤	土丹、滞水土砂
6. セグメント	外径φ10,000mm 内径φ9,300mm 幅 1,500mm 分割数 8等分割

3. 長距離・高速シールド掘進の対策と問題点

シールド掘進のサイクルタイムを検討する場合、掘削時間とセグメント組立時間の関係が重要となる。高速掘進A型、B型の基本サイクルタイムを67分/R、47分/Rと設定し、掘進速度を各々5cm/分、8cm/分とした場合、同時掘進をしない掘進方法では、セグメント組立時間は高速掘進A型で37分/R、高速掘進B型で28分/R程度となる。長距離・高速施工シールド機の対策と問題点を表-2に示す。エレクター速度、シールドジャッキ速度等に関して、従来型(平均月進速度150m程度)シールド機の性能を向上させることにより、高速掘進A型についてはセグメント組立時間、施工実績等から判断して同時掘進をしない掘進方法での可能性も高いものと考えられる。ただし、マシンに関する技術的な問題、セグメント搬送、掘削土の処理・搬出、組立時間を短縮できるようなセグメント構造・形状等について、総合的にシールド掘進システムの検討を行う必要がある。

また、本プロジェクトの地盤特性を考慮した高速施工法として、従来の二次覆工の代わりにECL方式による裏込め注入でセグメントの外側に覆工を築造する工法が考えられる。さらに、土丹層を掘削する場合、カッター回転機構を外側と中央部とに分けた構造が大口径になるほど有効であると考えられる。

表-2 長距離・高速施工シールド機の対策と問題点

ケース 要素	従来型 (150m/月)	高速掘進A型 (350m/月)		高速掘進B型 (500m/月)	
	実施事項	対策	問題点	対策	問題点
① 掘進速度	3cm/min	5cm/min ・カッタービットの増強 ・ビット材質の検討 ・パワーユニット増大	・ビット交換 ・パワーユニットの大型化、 油圧機器、配管の大径化	8cm/min ・カッタービットの増強 ・ビット材質の検討 ・パワーユニット増大	・ビット交換 ・パワーユニットの大型化、 油圧機器、配管の大径化と 油圧機器技術
② カッター回転数	0.545r.p.m (周速17.1m/min)	0.8r.p.m (周速25.7m/min) ・軸受の耐久性向上 ・軸受部土砂シールの増強 ・駆動ユニットの増大	・ユニットの大型化、電源、 ケーブルの増大	1.2r.p.m (周速38.5m/min) ・軸受の耐久性向上 ・軸受部土砂シールの増強 ・駆動ユニットの増大	・軸受部の冷却 ・ユニットの大型化、電源、 ケーブルの増大、スペース
③ アジテータ	50r.p.m	80r.p.m ・軸受の耐久性向上 ・軸受シールの増強 ・駆動ユニットの増大	・ユニットの大型化、電源、 ケーブルの増大	120r.p.m ・軸受の耐久性向上 ・軸受シールの増強 ・駆動ユニットの増大	・ユニットの大型化、電源、 ケーブルの増大
④ テールシール	74r.p.m×3段	74r.p.m×4段 ・74r.p.m段数の増加 ・ブラシ自体の仕様7r.p.m ・充填材の自動給脂	・掘進速度7r.p.mの影響 ・ポンプ能力	74r.p.m×4段 ・74r.p.m段数の増加 ・ブラシ自体の仕様7r.p.m ・充填材の自動給脂	・掘進速度7r.p.mの影響 ・ポンプ能力
⑤ エレクター	ボルト締めセグメント	セグメント (ボルトレスの検討も) ・エレクター速度を速くする (パワーユニット増大) ・シールドジャッキの押引を 速くする (パワーユニット増大)	・脱着部の構造(簡素化) ・マルチアームエレクター ・ユニットの大型化、油圧機 器、配管の大径化	セグメント (ボルトレスの検討も) ・自走式セグメント台車 ・エレクター速度を速くする (パワーユニット増大) ・シールドジャッキの押引を 速くする (パワーユニット増大)	・脱着部の構造(簡素化) ・マルチアームエレクター ・ユニットの大型化、油圧機 器、配管の大径化
⑥ セグメント搬送 供給装置	セグメント台車 及びホイスト	・自走式セグメント台車 ・チェーンコンベア ・積替用ホイスト	・レールレスのため蛇行防止、 曲線部の対応	・自走式セグメント台車 ・チェーンコンベア ・積替用ホイスト	・レールレスのため蛇行防止、 曲線部の対応 ・各装置の速度
⑦ 後方台車	レール走行タイプ	・レール、枕木レスタイプの 検討	・レールレスのため蛇行防止、 曲線部の対応	・レール、枕木レスタイプの 検討	・レールレスのため蛇行防止、 曲線部の対応
⑧ 部品交換 (ビット)	当初から交換地点を 計画	・磨耗検知による	・磨耗検知ビットの信頼性 (切羽の安全性)	・磨耗検知による	・磨耗検知ビットの信頼性 (切羽の安全性)
⑨ 故障の早期発見		・故障診断システム	・技術確立	・故障診断システム	・技術確立
⑩ オペレーション サイクル	掘進 ↓(レール延長) 切り戻し組立 ↓ 掘進準備	掘進 ↓(レール延長なし) 切り戻し組立 ↓ 掘進準備		掘進+切り戻し組立 ↓ 掘進準備	・同時掘進組立型の検討必要 ・機長が長くなる ・方向制御、曲線施工が 難しくなる ・従来のシールド機より 複雑な機構が必要

4. まとめ

当該プロジェクトにおけるシールドトンネルに関する施工検討項目のうち、長距離・高速シールド掘進について検討した結果、高速掘進A型(平均月進速度350m)の場合、ビット等の課題はあるものの、掘進速度、組立時間および施工実績から判断して、現有技術の同時掘進をしない掘進方法での可能性も高いものと考えられる。ただし、マシンにおける技術的問題、セグメント搬送、更に掘削土搬出の問題等を十分に検討する必要がある。また、高速掘進B型(平均月進速度500m)の場合、高速掘進A型以上の問題が考えられ、時間的問題からも同時掘進組立方法の採用が必要となり、マシン構造だけでなく、セグメント構造(組立ボルト本数の少ない構造、ボルトレス構造等)も十分に検討する必要がある。

なお、今回報告した内容は、早稲田大学理工学総合研究センターにおける民間6社との共同プロジェクト『大深度地下インフラに関する調査研究』の研究成果の一部である。