

大断面矩形推進における技術開発と施工実績

清水建設株式会社 鹿島 正彦
天野 圭介
時弘 みどり

1. はじめに

本技術開発は、勝どき東地区第一種市街地再開発事業において、再開発事業としての高層集合住宅と地下鉄大江戸線勝どき駅を結ぶ地下通路工事にて実績を収めたものである。(図-1)

従来、都市部における再開発地区と最寄りの地下鉄駅部を結ぶ地下通路の構築では、土被りが小さいことに加えて、地下に埋設されたインフラ設備の移設ができない場合が多く、主に、矩形シールド工法が採用されている。今回、発進立坑側は集合住宅の建設工事と同時期に施工され工事敷地内での作業が輻輳することや、作業スペースの確保が困難であることから密閉型推進工法（土圧式推進工法）を採用することとし、大断面矩形推進機および掘進制御システムを開発した。



図-1 位置図

2. 矩形推進の課題

従来の矩形推進を円形推進と比べた際には以下のような課題が挙げられる。

- ・円形より構造的に弱く、躯体の壁厚が厚くなる
 - ・円形のカタ回転に比べ、未切削部が残る
 - ・ローリング（左右に回転）が生じたとき、対処が困難であり、建築限界への影響も大きい
- また、シールド工法に比べて集中管理・情報化施工への対応が遅れている点も課題である。

今回の大断面矩形推進の開発・施工にあたっては、上記課題の改善に向けた開発を行い、その効果を確認しながら施工にあたった。

3. 工事概要

本地下連絡通路工事の概要を表-1 に示す。また、発進立坑は図-2 に示すように道路下に構築され、矩形推進工法により A2 棟敷地内地下部と大江戸線勝どき駅地下通路部を結ぶ歩行者用地下連絡通路として計画された。歩行者通路に必要な内空を確保した上で、勝どき駅接続箇所を考慮した平面および縦断位置を決定した。

地下連絡通路		
1	用途	歩行者用地下連絡通路
2	通路断面積	5.50m (幅) × 2.51m (高さ)
3	通路延長	134.23m
4	構造形式	プレキャストコンクリート及び鉄筋コンクリート
5	施工方法	ボックスカルバート推進工法 及び現場施工鉄筋コンクリート工法
6	予定工期	2020年3月～2023年1月（準備調査含む）

表-1 工事概要



図2 路下発進立坑

推進工法が採用された理由は、地上は地下埋設物も多い狭隘な道路であり、発進側の敷地も限られていたことに起因する。

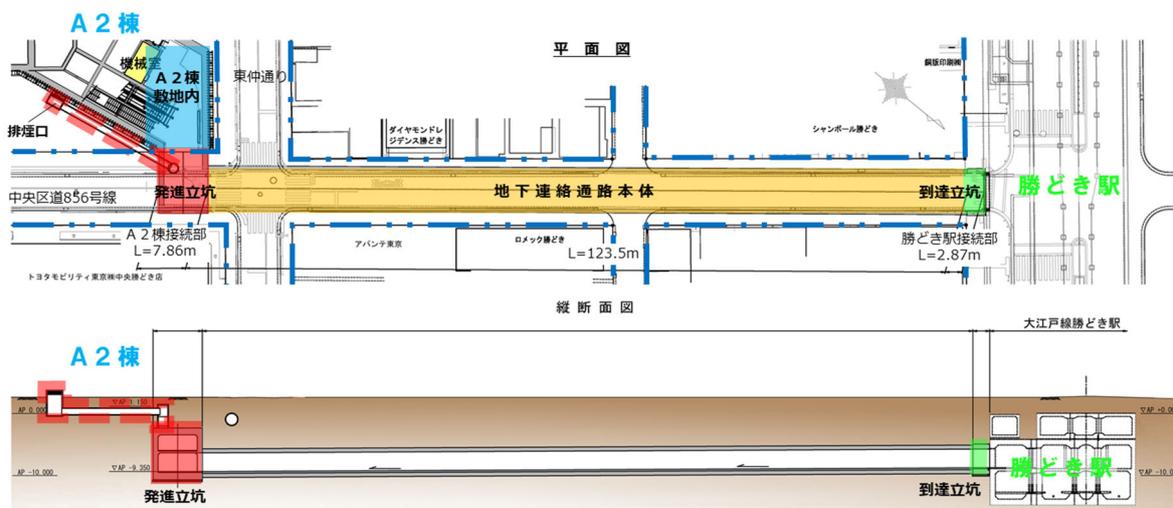


図-3 地下通路平面図・縦断面図

4. 矩形推進管の設計

プレキャスト (PC) 工場から現場までの運搬重量の制約により、矩形推進管は上下2分割とした。分割した側壁部材の継目には、PC 鋼棒でプレストレスを導入して引張応力度を発生させない構造とし、一体化した鉄筋コンクリート製合成ボックスカルバートとして設計を行った。また、継手部荷重が1面に集中しないように、上下のピースの継手位置を300mmずらした千鳥配置となるように B1 組と B2 組とした。(図-4)

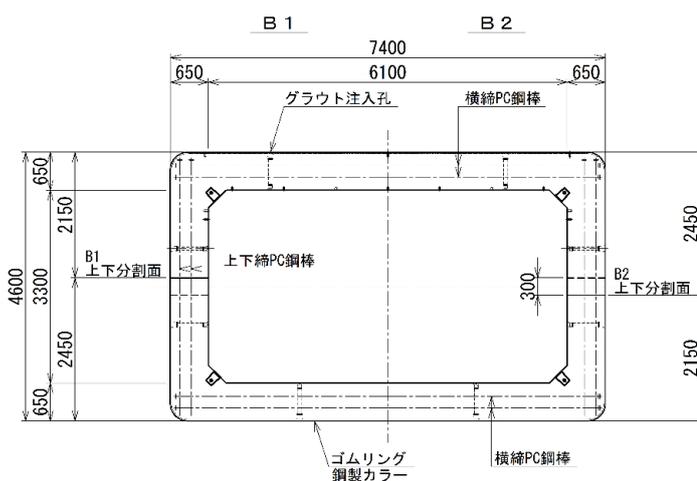


図-4 矩形推進管図

頂版と底版は継目のない部材であるが、供用時のひび割れを制御する目的でアンボンドPC鋼棒によりプレストレスを与えることとした。これにより、矩形推進管の品質と耐久性の向上を図ることができた。

5. 矩形断面の掘削

従来の矩形推進工法は3.0m程度以下のものがほとんどであったが、推進工事としては前例のない横7.4m×縦4.6mの掘削機を開発した。(写真-1)

大断面矩形推進において、隅角部などの未切削部が多くなると切羽面を切削しないで地山を押し付けることにより、周辺地盤の変形(沈下や隆起など)が生じることになる。このため、推進機の上部1/3の範囲にφ1.0mのスポークカッタを7基装備し、掘削断面の下部2/3には遊星歯車機構を有した3軸の偏心カッタと公転回転とを組み合わせた2基の大型カッタを装備し、カッタフレームの形状と切削ビットの適正配置を行った。また、隅角部においても、シールド機

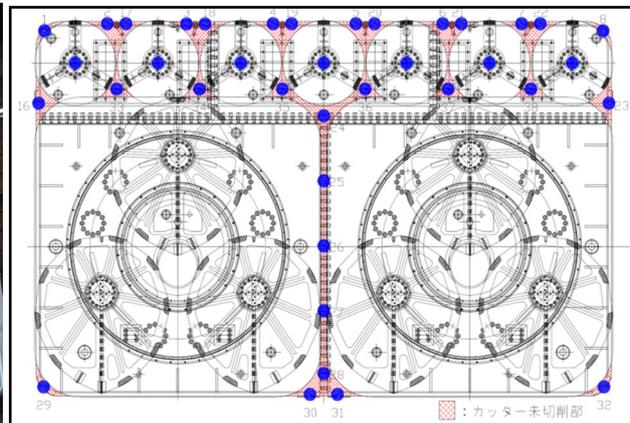
に見られるようなコピーカッタ方式ではなく、偏芯多軸方式により、回転運動しながらコーナー部も掘削することができるため、地盤の安定はもとより、掘削面の推進抵抗を抑制した。

これらの開発により、未切削部 5.3% (掘削断面積 34.08m² に対してカッタ掘削面積 32.26m² の比率) を達成させることで周辺地盤の変状を抑えるとともに推力の抑制を図った。(図-5)

実施工における周辺地盤の変状(沈下)は管理値以内であり、最大推力は装備推力の約 60% であった。



写真-1 矩形推進機全景



赤色部が未切削部：5.3%

図-5 カッタ可動範囲図

6. ローリング防止

矩形の地下連絡通路を構築する場合、トンネルのローリングが生じると側壁や天井などの建築限界を侵すことになる。トンネルの計画線形に対する管理目標値（一次管理値）は、上下・左右共に±50mm としており、トンネル幅 7.4m を考慮したローリング管理値を 0.2 度(±25mm) とした。ローリング対策としては、①カッタの回転方向の変更による修正、②テールボイドへの局所的な注入による修正、③ロッド注入による地盤固結対策による修正、などが挙げられ、それぞれカッタの回転方向を任意制御、推進機内からの滑材注入管（12 か所）および地盤改良用注入管（4 か所）を装備して、ローリングが発生した初期の段階で速やかに対策を実施する計画とした。

(図-6)

実施工では、ローリングの傾向を確認しながら①、②の対策を適宜実施し、最大ローリング量を 0.2 度以下に抑えられ、地下通路の機能確保や品質向上を図ることができた。

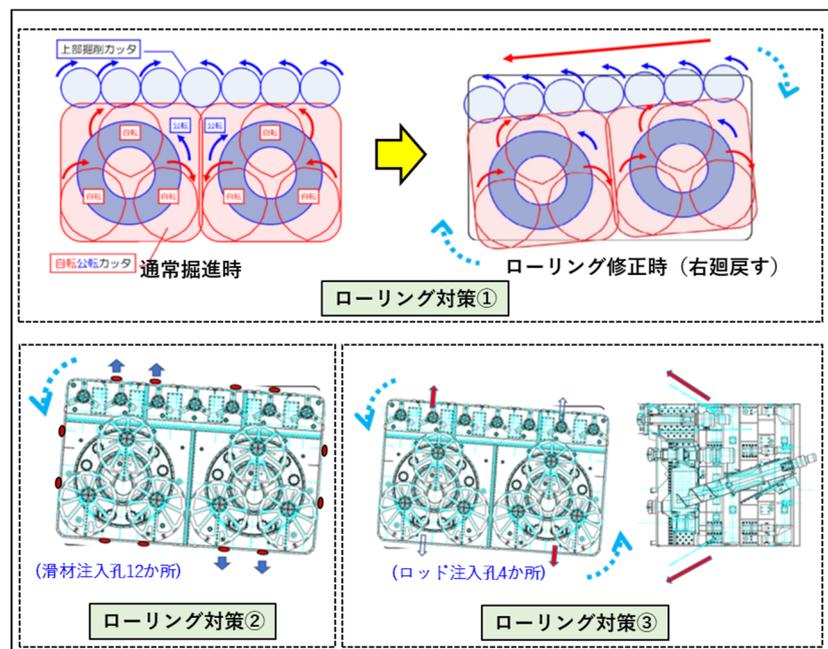


図-6 ローリング対策図

7. 掘進データ管理

推進工事では、掘進時の各種データはほとんどがアナログ表示（電圧や電流）されており、そのデータは保管されることなく、必要な数値のみを手書き記入していた。そのため、デジタル信号にするための変換器や専用の操作盤を装備し、掘進管理値である切羽圧力、各種カットトルク、推力、ジャッキスピード、スクリー回転数、機体姿勢およびチャンバー内の塑性流動性の確認など各種掘進データをモニタ表示にして一元管理できるシステムを開発・適用した。

さらに地上の沈下測量の結果も取り込んで表示して掘進管理を行った。（写真-2）

掘進時の情報をリアルタイムに把握することで、切羽土圧の分布状況の把握、ローリングやピッチングなどの異常を早期に把握でき、掘進オペレータの適切な制御への反映が可能になり、トンネルの線形などの品質向上や推進に伴う周辺地盤への影響抑制に大きく寄与した。

また、各種掘進データを保存することにより、掘進中の異常時にオペレータがどのような操作を行っていたかがデジタル情報として集積されることになり、矩形推進の操作技術の向上や熟練オペレータと同等

の操作支援機能を構築することに繋がるものとする。さらに、この一元管理された掘進情報を本社の専門技術者（シールドなど都市土木技術者）が常時閲覧できるシステムを構築し、現場との打合わせが必要な時には、掘進管理画面を現場と共有してTV会議等で関係者と速やかに対応した。

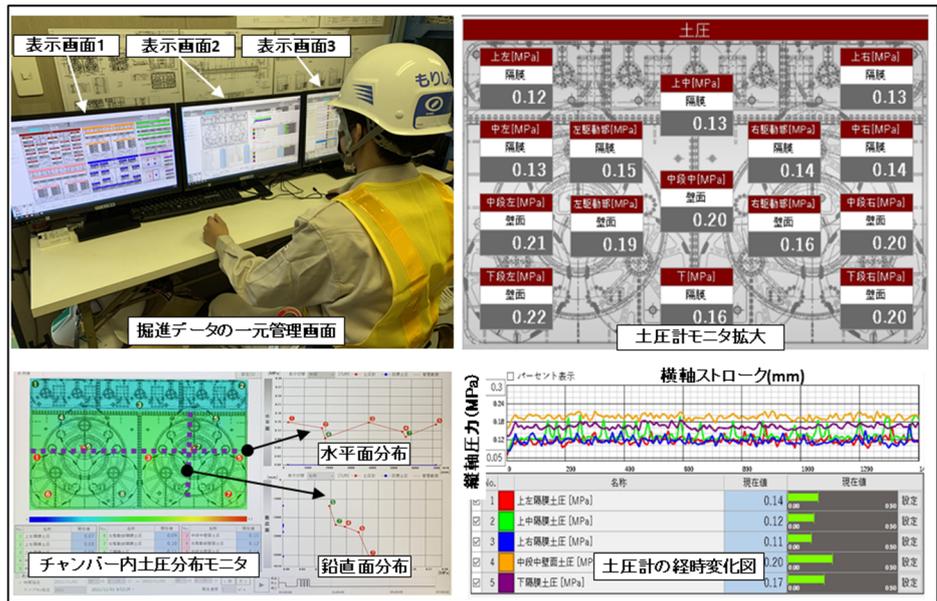
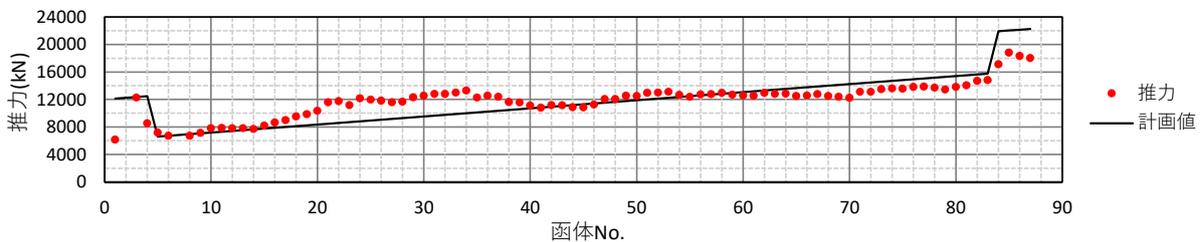


写真-2 掘進管理画面

掘進データの蓄積

により、様々なデータをグラフ化できるようになり、掘進中に過去データを参考にするなど、今後の施工に生かすことができるようになった。（図-7）

・元押しジャッキ推力



・排土量(排土率)

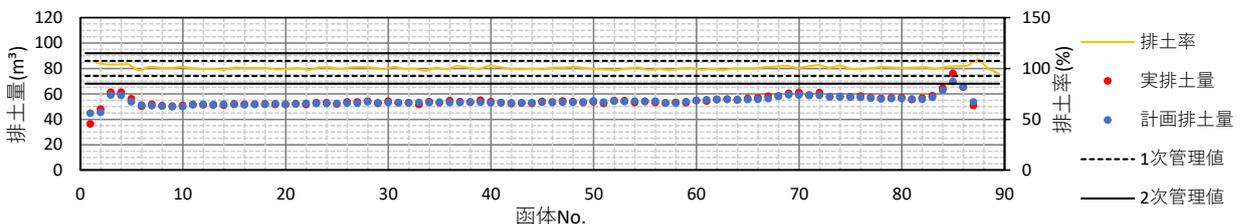


図-7 管理グラフ

8. 推進管の現地組立・立坑側部からの投入

本工事においては、地下埋設インフラの状況から発進立坑に資機材投入に十分な開口を設けることができず、周辺環境条件により発進立坑を常時開放しておくこともできなかつたため、推進管を推進機後方に直接投入することが不可能であった。

そこで、立坑に隣接した再開発エリア内に推進管組立・投入ヤードを確保した。(写真-3) 分割搬入された推進管の組立作業を行い、一体化された推進管をヤード内の開口部より投入し、トラバーサ（電動台車）に一度仮受けした状態で横移動し、推進位置にセットするという一連の流れを計画した。

このヤード内の開口部は切梁の位置関係から、推進方向に対して 90° 回転させた形状でしか設けることができず、トラバーサへの仮受け時に推進管を転回させる必要もあった。(写真-4)

今回の推進管は約 50t もの重量があるうえ、トラバーサによる推進管セットを計画したため、以下の一連の作業を高精度かつ短時間に行う必要があり、非常に難しい作業になると予想していた。(写真-5)

- ・トラバーサを毎回開口下の同じ位置に定着させる
- ・定着したトラバーサ上の規定された位置に推進管を狂いなく仮受けする
- ・推進管が上載されたトラバーサを推進位置にズレなく戻す

実施工では、着工当初は作業ヤードの狭隘さから推進管の組立から開口部での投入、トラバーサへの仮受けや横移動、推進管のセット等全てにおいて想定以上に時間がかかった。しかし試行錯誤を繰り返しながら、如何に効率的にセット完了までできるかを追求し、最終的には作業方法を標準化することができ、サイクルタイムを確立することができた。

本工事のように、都市部での再開発事業においては十分な作業ヤードを確保できないことによる空間的制約に加え、地元への配慮などにより推進工事の準備作業にも多くの時間的制約がある。今回採用したトラバーサによる横移動は、こういった状況下においても有益な選択肢になる。



写真-3 推進管組立

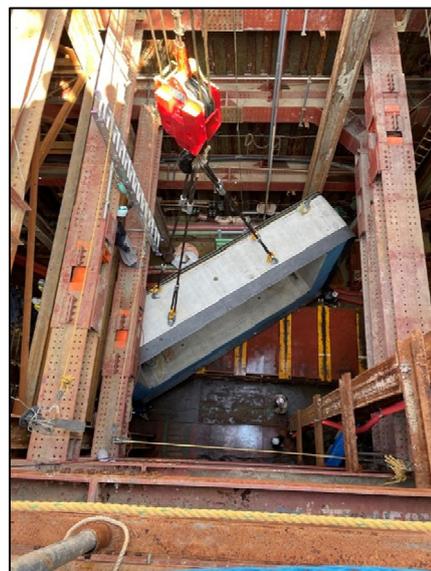


写真-4 推進管転回



写真-5 推進管セット

9. まとめ

都市部において歩行者の利便性・安全性を高めるために、交通の中心となる駅部と商業施設や居住施設を結ぶ地下通路を整備する重要性は非常に高い。各々の環境・条件で違いはあるものの、狭隘なスペースで非開削工法による適用需要は多く、推進工事の適用範囲拡大と工事の安全性向上、周辺環境への影響低減の技術向上が求められている。

また、推進工事ではシールド工法と比較して ICT 技術の導入が進んでいるとは言えない状況にあるが、建設業就業者数の減少傾向や高齢化および技能労働者（熟練労働者）の不足が懸念されておりロボット化や自動化へのニーズは高まりつつあるのが現状である。

このような労働集約型生産体制から脱却するために、産官学が一体となった「i-Construction」の推進や発注の段階で国土交通省などが実施している「新技術導入促進Ⅱ型」および「建設現場の生産性を飛躍的に向上させるための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト (PRISM)」など、土木施工の技術革新が進められており、施工者はこれに 대응していかななくてはならない。特に、大断面矩形推進工事では、円形の推進と異なる新たな施工技術が必要となり、そのための自動化や情報化施工を積極的に推し進める必要がある。

本技術の成果は、矩形推進工事の大断面化を可能とし、各種施工プロセスをデジタル化によるデータの蓄積により熟練オペレータによる推進機の操作と同等以上の操作を AI 技術（シールド工事で実用化している操作支援 AI など）を利用して提供できるところにあり、推進工事の高度化や生産性向上に大いに寄与できるシステムである。

【備考】 本稿は土木学会建設技術研究発表会にて発表済みの内容を含んでいる。