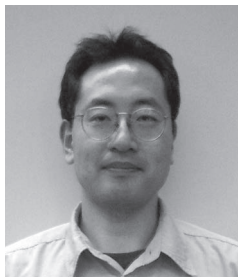


大深度東京礫層に挑む小口径掘進機

宮脇 卓哉

MIYAWAKI Takuya

ハザマ 関東土木支店
土木部 西新宿作業所



皆川 薫

MINAGAWA Kaoru

(株)イセキ開発工機
工事部 主任



1. はじめに

小口径の推進工法の使用用途は近年多種多様化してきている。特に都市部においては用地の問題等で構造物の地下化が進んでおり、その変化に伴い地下構造物の中で使われる事が見られるようになった。また、施工する深度も使用用途の変化に伴い大深度化も進み、更に硬質の砂層や礫層を施工する必要性も現れてきた。

その様な中、今回新たに開発された小口径推進機を用い、シールドトンネル間の特殊な施工状況、硬質な礫質土、および約0.15MPaの高水压下という困難な状況で削孔する事に挑戦した。

2. 工事概要

工事名称：SJ34工区（1-4・2）

西新宿北連結路トンネル工事

工事場所：東京都渋谷区本町3丁目

発注者：首都高速道路公団

施工業者：間・五洋・本間SJ34（1-4・2）西新宿北
連結路トンネル特定建設工事共同企業体

先行切梁推進施工者：(株)イセキ開発工機

工事内容：小口径管泥水式1工程式推進工事

鋼管径 ϕ 355.6mm

（呼び径 ϕ 250mm掘進機
で対応）

土質 東京礫層（Tog）

推進延長 8.06m～12.57m

推進本数 35本

推進総延長 371.09m

土被り 約18.0m

被水圧 0.15MPa

最大礫径 約300mm

発進坑 セグメント外径11.360m
内回りシールドトンネル内

到達坑 セグメント外径11.360m
外回りシールドトンネル内

3. 工事的必要性

現在、首都高速道路公団は、建設中の中央環状新宿線、川崎縦貫線をはじめ、今後中央環状品川線、横浜環状北線など都市部地下への高速道路建設を実施している。このうち中央環状新宿線は、目黒区青葉台4丁目と板橋区熊野町を結ぶ延長11kmの道路で、高速3号渋谷線、4号新宿線、5号池袋線に接続し、6ヶ所の出入口を有している。また、工事に伴う周辺環境、路上交通への影響を低減するため、はじめて全路線で ϕ 12mクラスのシールド工法が採用されており、さまざまな新しい試みが行われている。外側に遮水壁を設置した後、トンネル間を掘削・シールドを切り開きし、躯体を構築する連結路・出入口の分合流部の切り開きについてもその一つである。

トンネル間の切り開き工事の課題としては、掘削・切り開きに伴うトンネルの変状の抑制が挙げられる。特に当工区のように路上を占有しない“非開削切開き工法”を適用する工区では変状は大きく出る傾向にある。そのための対策として掘削前に先行して、切梁構造を設置する“先行切梁工法”を採用した。

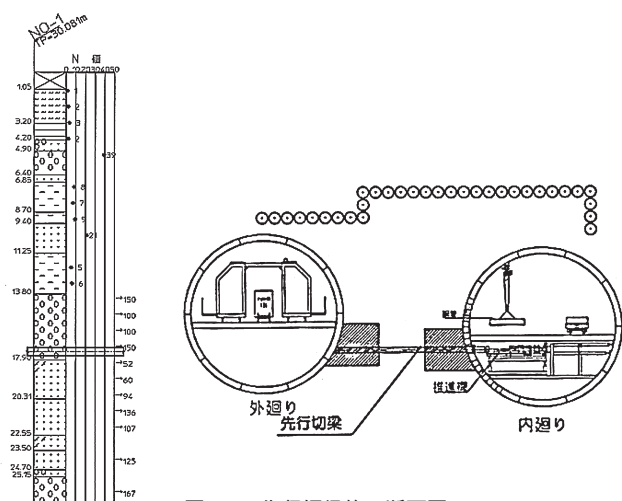


図-1 先行切梁施工断面図

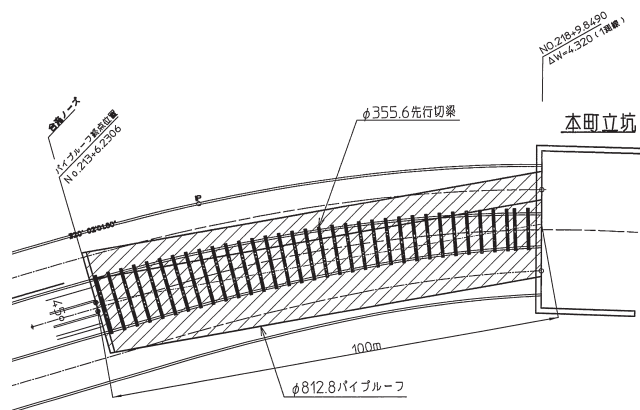


図-2 先行切梁施工平面図

4. 先行切梁工法の概要

本工事は切開き掘削時におけるトンネルの変状を抑制する切梁（ $\phi 355.6\text{mm}$ 鋼管）を掘削前に設置する工事である。

工事はシールド掘進と平行して行うため、トンネル断面の上半はシールド掘進の設備で使用し、下半を本工事で使用する。

土被り約18m（被水圧0.15Mpa）で行う推進工事の土質はTogで礫径150～300mmが確認されており、礫率は50～70%と高く、礫は一軸圧縮強度で165（ MN/m^2 ）である。

内回りシールドから外回りシールドに向け推進する工事はセグメントの鋼殻間に到達させるため、高い推進精度が要求される。

（図-1，図-2参照）

5. 工法の選定

工法としてはオーガー式・土圧式・泥水式の三工法で検討し、以下の項目に於いて判定することにした。

5-1 適用土質：Tog（土被り約18.0m）

礫率・礫径に対して各工法とも対応可能である。しかし、シールド内の施工で土被りも大きいため、地上へのプラント設備までの掘削土搬出は、泥水式が有利である。

5-2 地下水への対応：被水圧 0.15Mpa

被水圧が高い本工事において、被水圧に対応できない掘進機の使用は不可能である。

- ・オーガー式は対応不能、全断面の地盤改良を必要とする

- ・土圧式は被水圧0.06Mpaまで対応、全断面の地盤改良を必要とする
- ・泥水式は被水圧0.2Mpaまで対応、施工可能である

5-3 施工精度：左右3cm

セグメントの中に坑口金物を組込むため、左右の余裕は3cmしかなく高精度が要求される。（図-3参照）

- ・オーガー掘削鋼管式：修正装置が付いてないのでリスクが大きい
- ・土圧式：レーザーターゲット板は掘進機の上部に設けてあるため、操縦者はローリングに対しての補正を行う必要があり、熟練度を要する
- ・泥水式：レーザーターゲット板を中心部に設けてあり、操縦者はローリングに対しての補正を行うことなく推進できる

以上のことから、本工事は泥水式小口径推進工法を選定した。

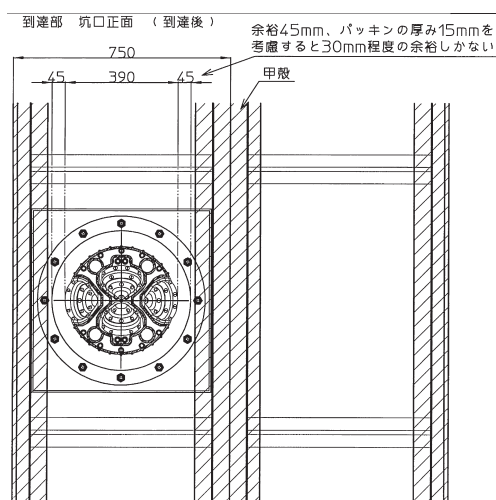


図-3 到達側坑口図

6. アンクルモールエクシード (TCS-Ex250) の概要

アンクルモールエクシードは岩盤、転石、玉石を含む地盤およびこれらの土質に砂質土、粘性土を含む互層地盤を推進する工法である。

アンクルモールドエクシードの掘削システムは、カタヘッドに装着したローラカッタにより岩石を一次破碎し、開口部から機内に取り込み偏心運動を行うコーンクラッシャにより、クラッシャの土砂排出口のスリット通過可能な大きさになるまで順次二次破碎し、流体輸送により坑外に排出する。

アンクルモールエクシードは上記に示すように幅広い土質に同一面板で対応可能であり、本工事のシールド方向100m区間（35スパン推進）と広範囲施工における土質変化に十分適用した掘進機である。（図－4参照）

以下にアンクルモールエクシードの特徴を述べる。

- ①アタッチメントの交換により、1台で呼び径250～300のヒューム管に対応できる

- ②掘進機の分割発進機能と半管の使用により、小型立坑からの推進が可能
- ③掘進機を5分割し、1号人孔からの回収が可能
- ④普通土、砂礫層、玉石層、軟岩まで幅広い土質に対応している

砂礫,岩盤については以下の状態まで対応可能である。

- ・最大礫径は呼び径の100%程度まで
- ・礫率80%程度まで
- ・礫の一軸圧縮強度は、 200MN/m^2 程度まで
- ・岩盤の一軸圧縮強度は、 20MN/m^2 程度まで

また、方向制御機構はアングルモールで定評のある反射型方向誘導装置（RSG）を採用したことと、方向制御機構を改良したことにより、困難な状況下でも高い施工精度を得られる。以下に方向制御の改良について記述する。

従来機より方向修正可動範囲が拡大（当社比176％）された、新規方向制御機構の方向修正ジャッキは取付台数を2本から3本に増やすことで斜め方向への修正が強化されている。（図－5、図－6参照）

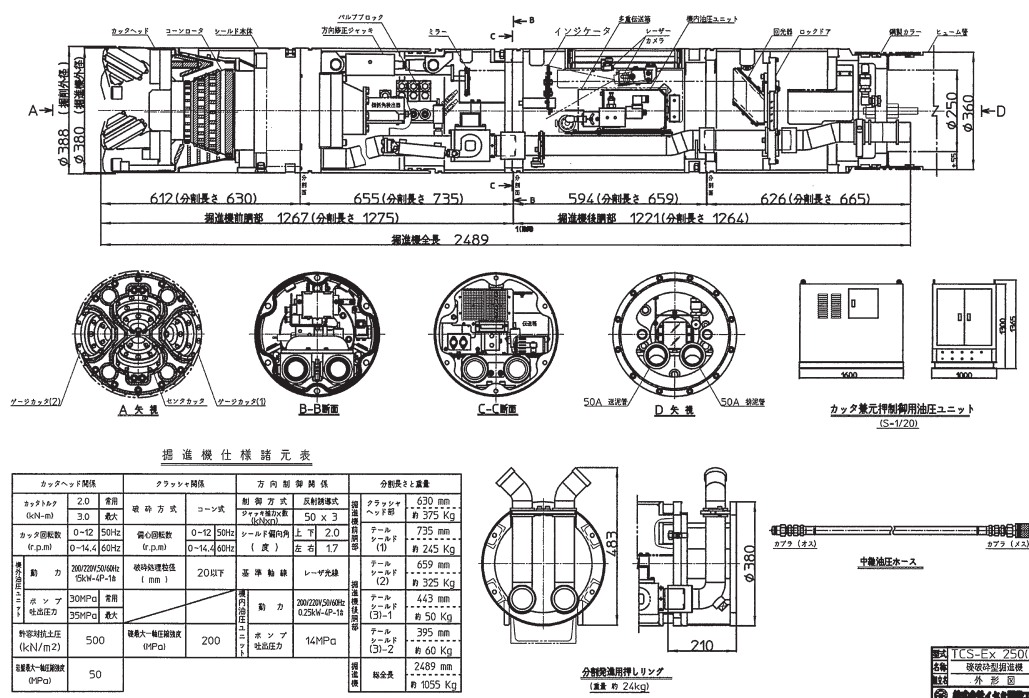


図-4 アンクルモールエクシード外形図

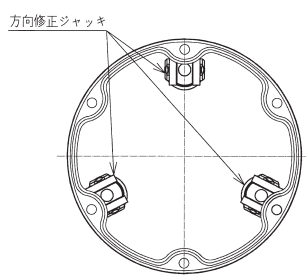
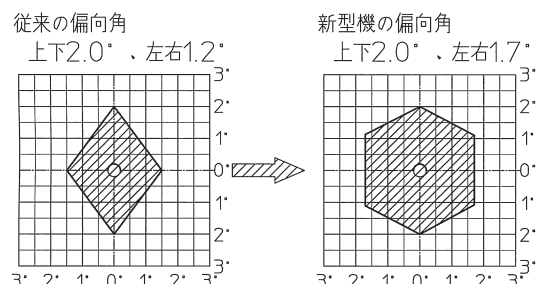


図-5 方向修正ジャッキ取付位置図



図一6 偏向角範囲比較図 斜線部が偏向角範囲

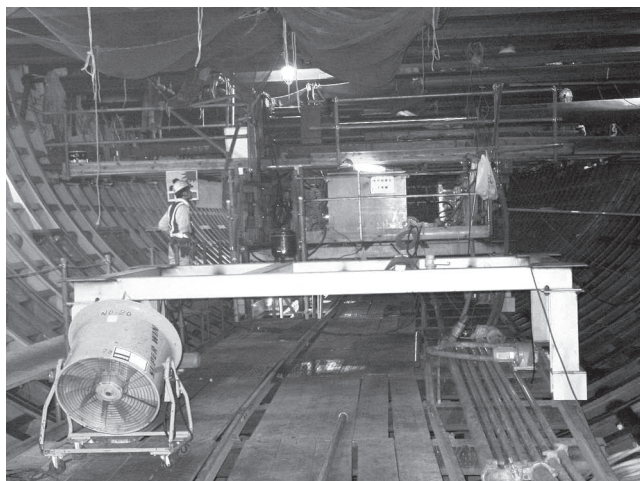


写真-1 移動式架台

7. 付帯設備

7-1 平均推進延長10.6mが35スパン(100m区間)に及ぶシールドトンネル内施工での工夫

推進移設作業を短時間で行うためには推進設備の撤去・設置作業の簡素化が必要である。

そこで、トラバーサ上に推進架台・付帯設備を設置し、シールド坑内に設置したレール軌道上を移動できる方式とした。

移動式架台は3層構造にし、上段に元押し設備、中段に操作盤、排泥ポンプ等の設備、下段に資機材運搬用の空間を設け軌道上を運搬台車が通過出来る構造にした。(写真-1、図-7参照)

7-2 約0.15MPaの高水圧下における発進口および到達口の止水対策

発進口及び到達口はセグメントのリブ内に坑口金物を納めなければならないため、シールド鋼殻間に設置可能な坑口を新規設計した。

坑口パッキンの選定は坑口設計に重要な要素であった。

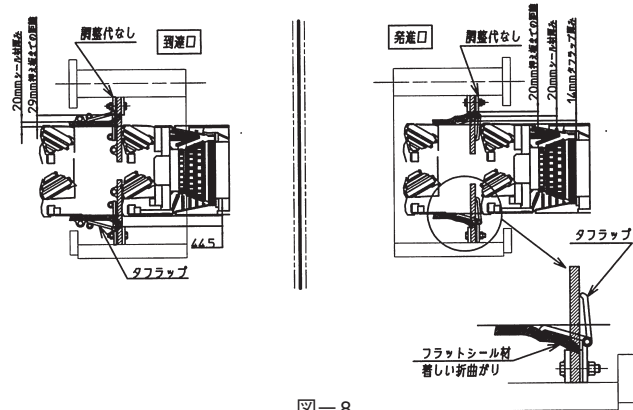


図-8

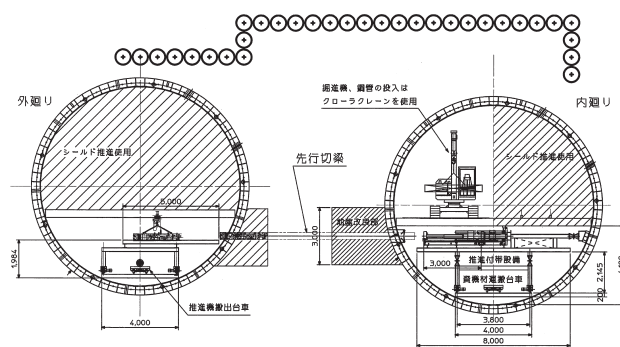


図-7 先行切梁施工図

下記に坑口パッキンの検討を示す。

- ①一般のエントランスリングは対抗水圧0.1MPaのため使用不可能である
- ②フラットシールド材+タフフラップは対抗水圧0.2MPa程度であるが、掘進機通過時にシールド材が著しく折曲がり切れる可能性が高く、危険である
(タフフラップ：シールド材の変形を拘束するための専用金具)
タフフラップ設置時の隙間調整に時間を要する
(図-8)

- ③L型シールド材は対抗水圧0.2MPa程度である。
推進方向にL型に加工されており、シールド材の折曲がり少ないため、セグメント内に収まるエントランスリングを作ることが可能である (図-9)
以上検討より、エントランスパッキンはL型ゴムを採用した。

L型エントランスパッキンの特徴を次に述べる。

- ①弾性シールド材の側面に非伸縮層を一体形成することで、土砂や地下水の圧力が弾性シールド材に作用しても、弾性シールド材が発進坑側にはらみ出すのを効果的に防止出来る

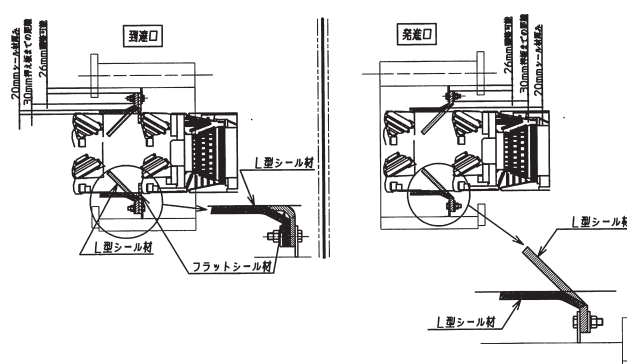


図-9

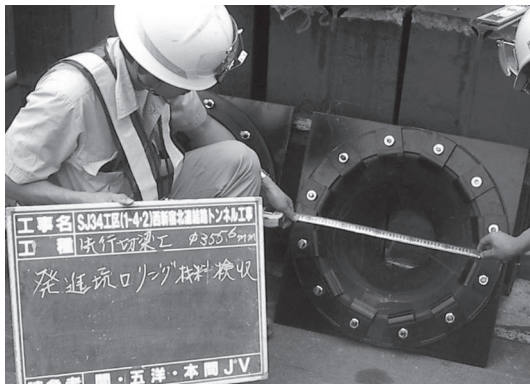


写真-2 L型エントランスパッキン（発進坑口用）

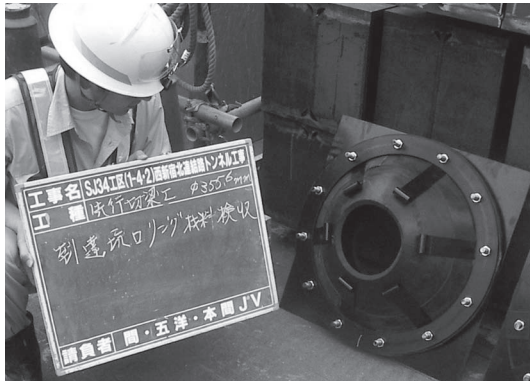


写真-3 L型エントランスパッキン（到達坑口用）

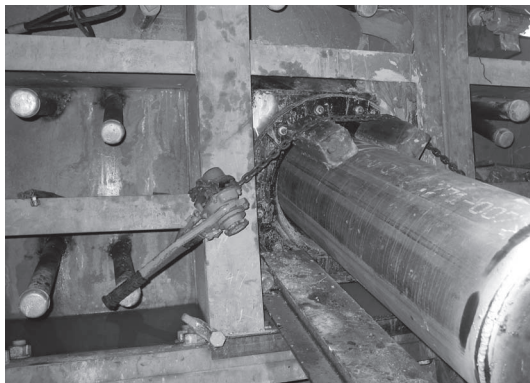


写真-4 発進坑口



写真-5 到達坑口

②従来のような弾性シール材の変形を拘束するための専用金具が不要となるため、エントランス装置の組み立て作業が簡単に行える。

8. 施工結果

- ①今回考案したレールによる移動装置およびトラバーサス式推進架台により反力部の撤去・設置を行うだけで容易に横移動が可能となった。そのため、一本あたりの施工サイクルを3日とすることが出来た。
- ②到達坑口の一部に出水が認められたが、止水材を坑口付近に注入することで止水を行うことが出来た。また、今回導入した坑口金物のL型パッキンについても損傷なく計画通りの止水効果を得ることが出来た。
- ③本工区の地盤が礫率、被水圧共に高いため、泥水濃度を高めに設定した。また、地下水による泥水材の希釈、逸泥にも十分な注意を払った。その結果、切羽の崩壊を防ぎ、高い施工精度を確保することが出来た。
- ④今回新型掘進機に導入した。
 - 1.可動範囲の広い方向修正装置
 - 2.反射型方向誘導装置（RSG）は高い施工精度管理を可能にすることが立証された。

9. おわりに

本工事は狭小なシールドトンネル内の施工空間、礫率の高い土質、および高い被水圧という非常に難易度の高い施工状況にも関わらず、高い精度管理条件を満足し、無事工事を完了することが出来た。

小口径推進工法は、従来口径と同型の礫の取込みは非常に困難であり、また、被水圧下においては切羽の安定も難しかった。しかし、今回の工事で新型推進機は簡易な付帯工事を伴うことによって、それらの地盤に対しても施工可能であることが確かめられた。

今後施工場所の大深度化等が進むことによって、今回より更に複雑な施工状況が現れることが予想されるが、今回開発した推進機はわずかな加工でそれらの状況にも十分に対応出来ると考えられる。