

多摩地区の送水管ネットワーク構築

多摩丘陵幹線のトンネル技術

溝口博文・西本 徹・藤井雄輔

東京都水道局では、災害や事故時におけるバックアップ機能の強化や、今後、本格化する送水管の更新に備え、送水管ネットワークを強化することに積極的に取り組んでいる。

このうち、多摩丘陵幹線は、多摩地区の広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として平成9年度に整備を開始し、平成26年度に完成を迎えた。

本稿は、多摩丘陵幹線の整備にあたり、多摩地区の変化に富んだ地形や地質に合わせて施工したシールドトンネルの急曲線施工や巨礫対策、さらには地中接合など多様な施工技術を紹介するものである。

キーワード：シールド、急曲線、巨礫、地中接合、ネットワーク

1. はじめに

多摩地区における送水幹線は、多摩地区北部に位置する東村山浄水場や小作浄水場を起点として南方向に樹枝状に整備されてきた。また、多摩地区西南部においては、都市化の進展に伴う水需要の増大から、既存の送水幹線の能力が限界に達しつつあるとともに、これら管路の老朽化の進行による更新が必要であった。さらには、浄水場や給水所間の相互融通が不十分なため、バックアップが困難な地域が存在するなどの課題を抱えていた。

多摩丘陵幹線はこうした課題を解決し、広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として、全線31.6 kmを2つの整備区間に分割し、シールド工法により整備したものである。

このうち第一次整備区間は、鎌水小山給水所から聖ヶ丘給水所間の延長12.0 km区間で平成9年度から着手し、平成17年度に完成・運用している。

本稿では、平成26年度末に完成した第二次整備区間の概要と、多摩丘陵の地形に合わせた急曲線や礫対策など、多様な工法を用いたトンネル築造工事について紹介する。

2. 第二次整備区間の概要

第二次整備区間は、拝島給水所から鎌水小山給水所間の延長19.6 km区間、拝島給水所、柵田ポンプ所、大船増圧ポンプ所など送水施設、丹木高月支線、川口西寺方支線など送水支線12.2 kmがあり、平成14年

度から着手し、平成26年度末に完成・運用している。

第二次整備区間の完成により、多摩丘陵幹線全線の運用がはじまり、多摩地区西南部約160万人のお客様への給水の安定性が向上した（図—1, 2）。

(1) 第二次整備区間の全体概要

第二次整備区間の整備内容は以下のとおりである（図—3）。

(a) 整備施設

①送水幹線

内径1,500 mm L = 19.6 km

(8工区に分割しシールド工法により施工)

②送水支線

丹木高月支線、中野上町川口線

川口西寺方支線、第二檜原支線

狭間支線、大船支線

③送水ポンプ所等

拝島給水所、柵田ポンプ所

大船増圧ポンプ所

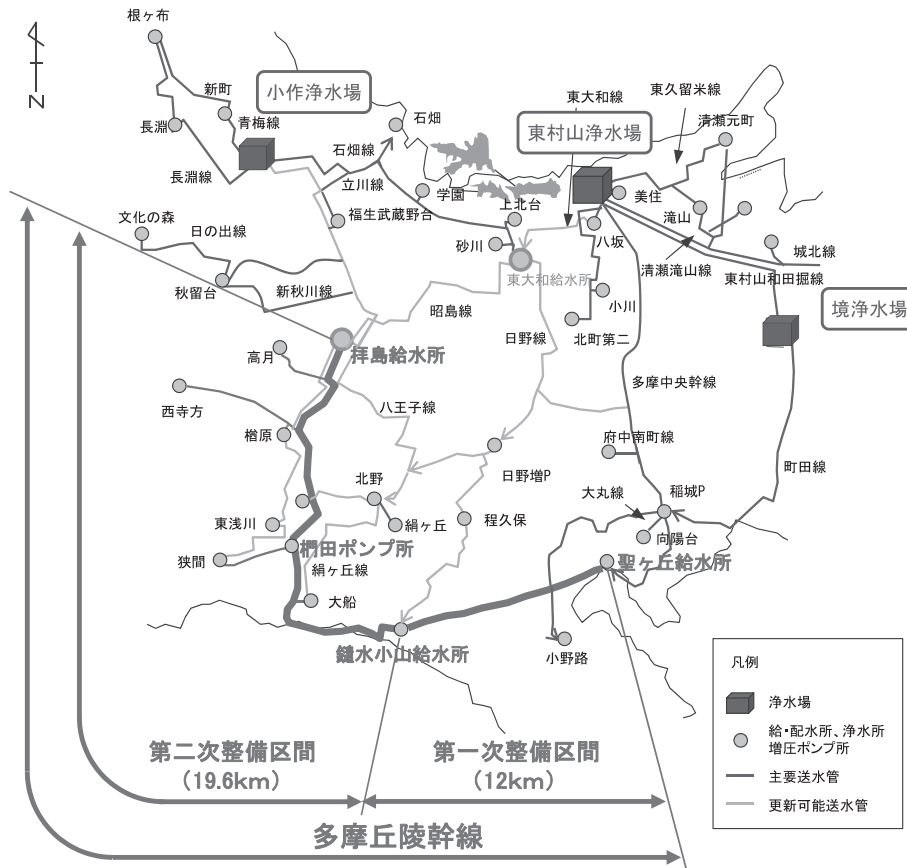
(b) シールド緒元

1工区：複合式シールド（土圧式・泥水式）

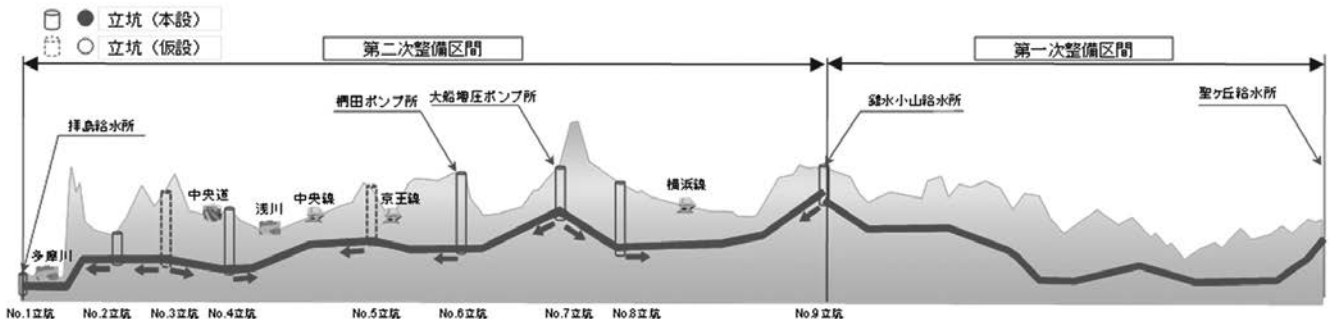
2～8工区：泥水式シールド

3. 各工区における技術的課題と対策

第二次整備区間の特徴的な工区における技術的な対策について、以下に記述する。



図一 多摩丘陵幹線整備図



図二 多摩丘陵幹線縦断面図

(1) 1 工区

本工区は、八王子市丹木町の No.2 立坑を発進し、発進後 20 m 程で急曲線 (R = 20 m) に入り、加住丘陵と呼ばれる丘陵山間部下を通過する。その後、多摩川水道橋直下を掘進しながら多摩川を横断し、拝島給水所内の No.1 立坑へ急曲線 (R = 20 m) で到達する全長 2.4 km の工区である (図一 3)。

(a) シールドの特徴 (複合地盤での急曲線対策)

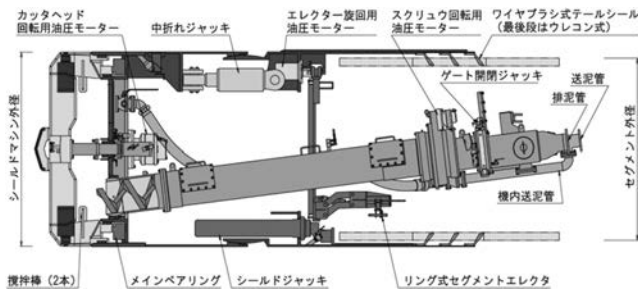
多摩川流域の半固結の粘性土層と、巨礫が点在する半固結の礫層を掘削するため、逸泥やビット摩耗による掘進停止等のリスクがあることから、土圧式・泥水式の双方に掘削モードを切り替えることが出来る「複合式シールド (マシン外径 2,520 mm)」を採用した (写

真一 1)。さらに、路線上の急曲線 (R = 20 m) に対応するため、マシンの面盤には予備を含めコピーカタを 2 基搭載した。テールブラシは、曲線部において大きな負荷を受けるため、より反発性の高いウレコ式を採用した。また、セグメントとマシン間からの地下水流入対策として、テールブラシ自動給脂装置を装備した (図一 4, 5, 写真一 1)。

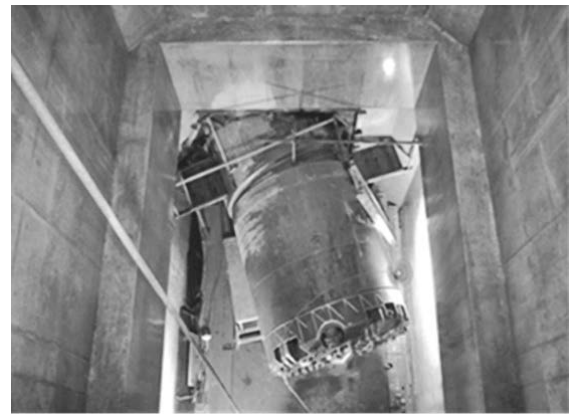
(b) 迎え掘りによる矩形立坑への急曲線到達対策

本工区の到達工は、急曲線を含む線形のため、シールドの面盤が、ニューマチックケーソン工法により築造した矩形立坑へ斜めに到達し、迎え掘りの施工範囲が発生する (図一 6)。

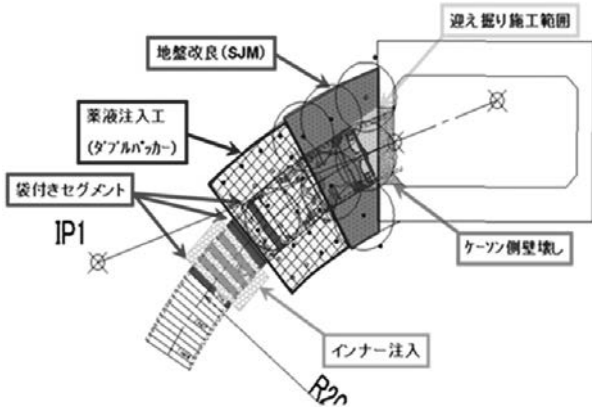
「迎え掘り施工範囲」には、シールドの面盤とケー



図一五 複合式シールド



写真一三 1工区シールド抜き出し状況

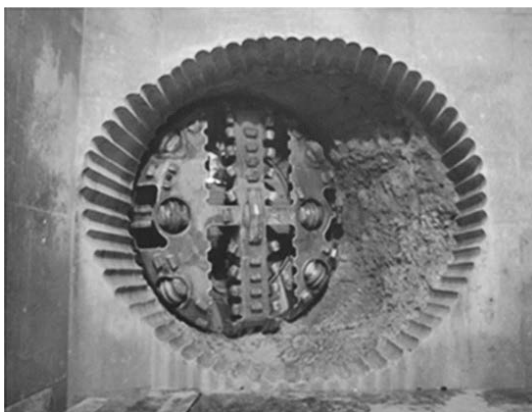


図一六 1工区シールド到達状況

ソン側壁にスペースが生じることや、急曲線施工の余掘りによる空洞が発生するため、地下水の出水事故やそれに伴う地盤沈下、シールドの掘進不能が懸念された。

そこで、止水性を確保するため、No.1立坑（到達）の坑口周辺地盤を高圧噴射攪拌工法（SJM工法）により改良し、背面地盤に薬液注入（ダブルパッカー工法）を行った。また、袋付きセグメントを止水注入ゾーン前後に使用し、掘進時に生じる余掘り部分からの裏込材等の流出を防止した。

止水対策が効果的に機能したことから、シールド抜き出し時における出水もなく、シールドは安全に撤去できた（図一六、写真一三）。



写真一四 1工区シールド到達状況

(2) 2工区

本工区は、八王子市谷野町 210 番地の No.3 立坑を発進し、八王子市丹木町一丁目地先の No.2 立坑に到達する 2-1 工区 1.2 km と同 No.3 立坑を発進し、八王子市中野上町五丁目地先の No.4 立坑に到達する 2-2 工区 1.5 km を合わせた計 2.7 km の工区である（図一三）。

本工区ではコスト削減を図るため、シールドを再利用することとし、2-2 工区を掘進したシールドを引き上げ、シールドの再整備後、2-1 工区の掘進を行った。

(a) シールドの特徴（巨礫、急曲線対策）

カッタビットは、ガラス繊維補強部材（FFU 材）を配置したシールド直接発進到達壁（SEW 壁）の立坑を切削するための特殊先行ビット、巨礫対応のローラカッタを配置した。先行した 2-2 工区掘進完了後におけるシールドの調査で、カッタビットの摩耗が激しかったことから、2-1 工区を安全に掘進できるようビットの交換を行って対応した。

シールド本体は、急曲線（R = 20 m）や最大水圧が 0.3 MPa を超える区間に対応するため、後胴押し方式の中折れ機構に加え、ワイヤブラシ式テールシールドを 3 段設置し、掘進の安定性や止水性能の向上を図った。また、FFU 部を安定した微速度で掘進するため、シールドジャッキのパワーユニットに通常掘進するものとは別に、SEW 壁用の低速パワーユニットを装備した。

(b) 出水リスクを最小限とした到達対策

先に掘進した 2-2 工区における到達工は、地下水位が高く、SEW 壁の No.4 立坑に直接掘削により到達させるため、出水等の事故が懸念された。このため、No.4 立坑内に流動化処理土を充填後、シールドによる SEW 壁直接切削を行った。

一方、2-1 工区の到達立坑は原位置土攪拌工法（SMW 工法）により築造されており、2-2 工区と同様に鏡切

り後のシールド抜き出し時に出水する危険性があった。そのため、流動化処理土の充填を検討したが、No.2立坑内における1工区の発進工が同時期に施工中であったことから、シールドをNo.2立坑直前の地盤改良区域(CJG工法)で停止させた。そのうえで、背面から止水のための薬液注入(ダブルパッカー工法)を行った後、鏡切断、マシン内部の機器類解体、セグメントの空伏せを行い、トンネル掘削を完了させた(写真-4)。



写真-4 2工区シールド到達状況

(3) 3, 4工区(地中接合)

3工区は、八王子市中野上町5丁目のNo.4立坑を発進し、東南方面に掘進する。その後、多摩川水系浅川下部を横断し、八王子市千人町一丁目地先の地中接合地点に到達する延長2.0kmの工区である。

一方、4工区は、八王子市緑町361番地先のNo.5立坑を発進し、八王子市千人町の地中接合地点に到達する延長1.4kmの工区である(図-3)。

(a) 3工区シールドの特徴(複合地盤での長距離、急曲線対策)

礫地盤と泥岩の複合地盤を長距離掘進するため、ビットの摩耗対策として強化先行ビットを装備した。また、急曲線(R=20m)に対応するため、中折れ機構を装備し、急曲線部の余掘りを確保するためにコピーカッタを装備した。

(b) 4工区シールドの特徴(巨礫対策)

掘進する土質が最大径400mm程度の礫が点在する礫層及び粘着力の高い泥岩層それぞれに対応できるようにカッタビット形状・配置、面盤形状、スリット形状を考慮したものとした(図-7)。

初期掘進区間の土質は坑口から約70mが砂層であり、その後は礫層であった。いずれも粘性土分をかなり含んでおり泥水性状(比重、粘性)を確保する上では良好な地質であったが、礫層では巨礫(長径200~300mm程度)による排泥管閉塞が頻繁に発生したため、排泥管内の礫除去作業を行いながら掘進した。

(c) 市街地での高精度な地中接合(MSD工法)

シールド到達箇所は交通量の多い国道20号線(甲州街道)千人町交差点付近であり、JR中央線西八王子駅から200m圏に位置する商店や住宅の密集する市街地である。このことから、到達立坑の築造が不可能であったため、MSD工法による地中接合を採用した。

MSD工法は貫入リングを装備したシールドと受圧ゴムリングを装備したシールドを機械的に正面接合させる工法である。通常MSD工法による地中接合では、相互シールドの地中での位置合わせが重要となる。そのため、地上あるいはシールド内から位置確認し、その確認結果に基づいて接合までの修正掘進を

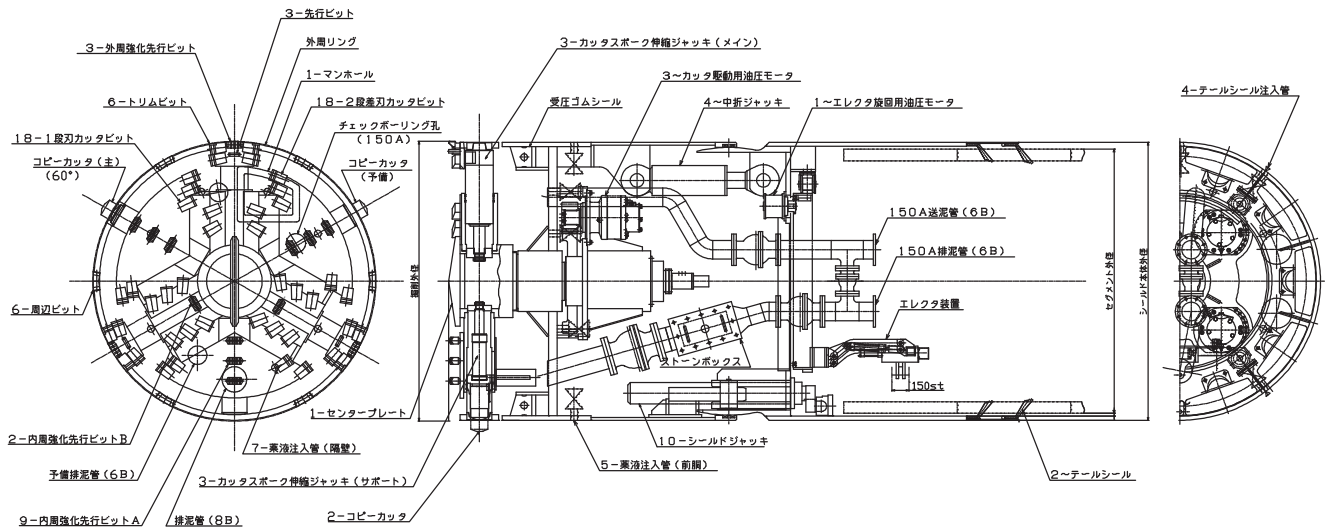


図-7 泥水式シールド(MSD受入側)

行っていく。

しかしながら、4工区の発進立坑となるNo.5立坑用地を地権者に返地する必要があるため、4工区の配管を3工区のシールドが到達する前に行うこととなった。このため、No.5立坑側より水平ボーリング機械の持

ち込みが出来ず、シールド内からの測量による位置確認が出来なくなった。

そのため、地上で3工区と4工区的位置関係をトラス測量で閉合させた後、No.4立坑（3工区）からジャイロコンパスを用いた方向角のチェック測量を地上・地下部で実施した。これにより、精度の高い地中接合を行うことができた（図-8、写真-5）。

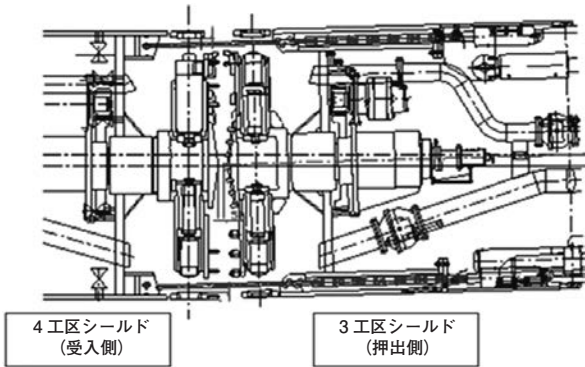


図-8 MSD工法概要図

(4) 7工区, 8工区 (地中接合)

7工区は、町田市相原町2781番地のNo.8立坑を発進し、一般都道506号線（八王子城山線）下を南方面に、また、主要地方道47号線（八王子町田線、町田街道）を東方面に進んだ後、町田市相原町1241番地先の地中接合地点に到達する延長1.5kmの工区である。

一方、8工区は鎌水小山給水所用地内のNo.9立坑を発進し、町田市相原町1241番地先の地中接合地点に到達する延長3.4kmの工区である（図-3）。

(a) 7工区シールドの特徴

急曲線（R = 30 m）の区間を掘削するため、中折れ機構およびコピーカッタを1基装備した（図-9）。また、No.8立坑抗口部は、SEW工法にて施工していたため、低速パワーユニットを装備した。

(b) 8工区シールドの特徴

路線には急曲線（R = 45 m）があることから中折れ機構を装備し、また、到達点では7工区側との地中接合になるため、機械式地中接合装置（受入側）を装備した。

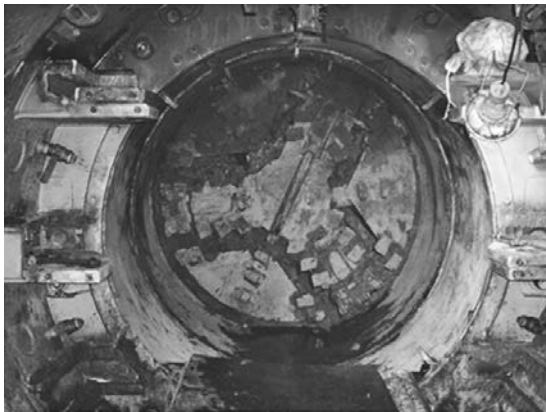


写真-5 シールド到達状況（正面は受入側シールド）

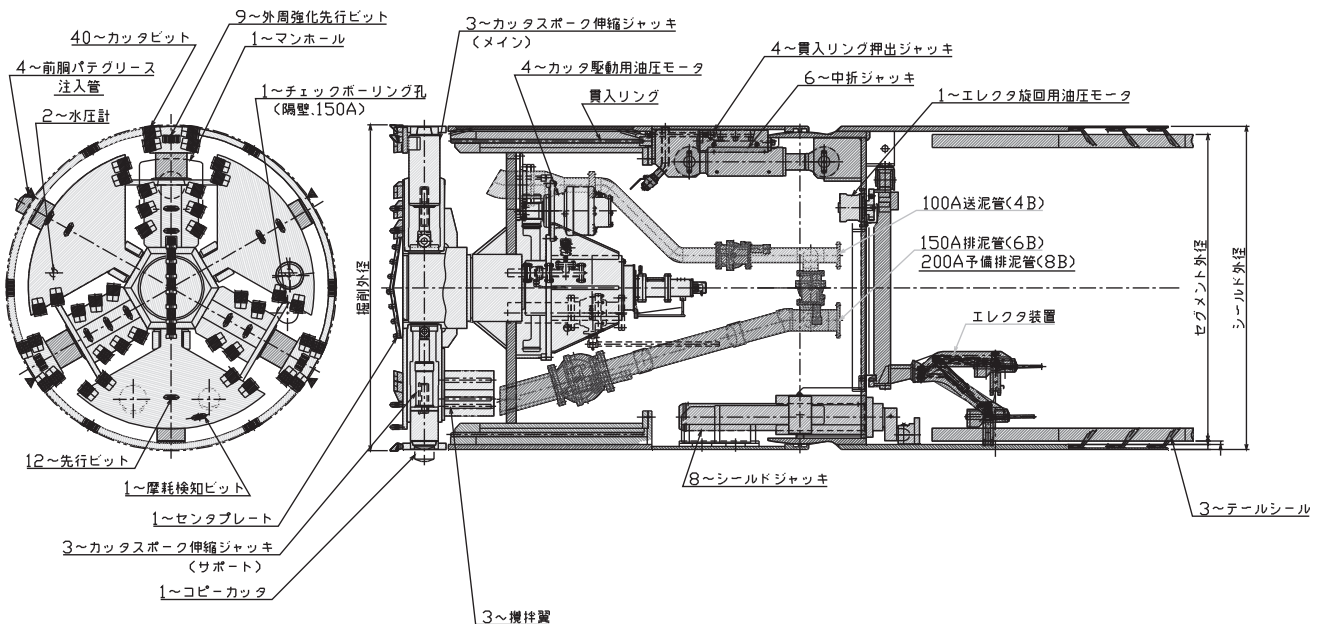


図-9 泥水式シールド

(c) 巨礫層への対応（8工区：シールド発進位置の変更）

当初、No.9 発進立坑の柱列式連続地中壁（ECW 工法）完了後、立坑内掘削を開始する予定であったが、床付け前の GL-17.0 ～ 19.0 m 間において、事前の土質調査で確認できなかった巨礫（最大 750 × 250 mm）が発見された。シールドの改造を検討したが、地中接合機能への影響や、機械断面（内空）縮小によるビット自動交換システムの動作不能が懸念された。そのため、立坑を更に掘り下げ、シールドの発進位置を当初計画より 4.2 m 深い位置に変更することで巨礫層を回避した。

(d) 掘削機（カッタビット）の補修（8工区）

施工段階のボーリング調査の結果、N 値 150 以上の地盤が想定以上に続いた。さらに、7工区の進捗の遅れから、8工区の掘進距離を 990 m 追加することになった。そのため、ビットの摩耗が当初設定値を大幅に超える値となることが予測され、ビット補修・増設の必要が生じた。

ビット補修・増設は、初めに、シールド外部に地盤改良（ダブルパッカー工法）を実施し、地山の安定を確保した。次に、シールド内部より切羽前方に入り、掘削地山をモルタル吹付けで養生後、地山変状を入念に監視しながら行った。

(e) 幹線道路での高精度な地中接合（MSD 工法）

シールド到達箇所は町田市の市街地であり、立坑用地の確保ができなかったため、MSD 工法による地中接合を採用した。

当初、地中接合箇所において、後行シールド（7工区側）が接合地点に近づいた時点で、先行シールド（8工区側：既に停止位置に到達してシールド内設備が解体撤去されている状態）から水平ボーリングにより、位置確認を行う予定であった。

しかしながら、掘削に時間を要していた後行シールド（7工区側）の遅延を取り戻す必要性から、8工区側の先行トンネル（L = 3,380 m）内部に、水道本管（内径 1,500 mm）を敷設していた。そのため、先行シールド内（8工区側）から後行シールド（7工区側）の位置確認ができない状況であった。

接合地点の地上部直上は、交通量の多い片側 1 車線の幹線道路で、接合位置の確認は、沿道の駐車場を利用して行った。初めに、この駐車場から小口径推進

（ベビーモール工法）による斜め削孔を行い、先行シールドのスキンプレート及び先行トンネルのセグメントを削孔・貫通させた。次に、この削孔したボーリング孔を利用し、坑内基準点の設置を行うことで、地中接合位置の測量が可能となり、高精度な地中接合を実施できた。

4. おわりに

多摩丘陵幹線は約 18 年の歳月を経て全線が完成運用され、平成 27 年 4 月には、多摩地区のお客様をはじめ、多くの工事関係者が参加して、盛大に式典が行われた。式典では、広域的なバックアップ機能が確保され、震災時や事故時においても、給水の安定性を飛躍的に向上させる水道施設が完成したことに多くの喜びの声が寄せられ、期待の大きさを実感するとともに、さらなる多摩地区の給水の安全度を向上させていくという思いを強くした。

現在、東京都水道局では、東村山浄水場から多摩丘陵幹線を結ぶ新たな広域送水ネットワークを構築するため、多摩南北幹線の整備を進めている。安全でおいしい水を安定的に供給し続けるために、多摩丘陵幹線の整備により得られたさまざまな経験や技術、あるいは教訓を後進に伝え、着実に整備を図ることでお客様の期待に応えていく所存である。

JICMA

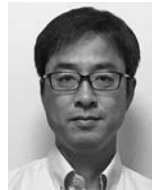
【筆者紹介】



溝口 博文（みぞくち ひろふみ）
東京都水道局多摩水道改革推進本部
施設部 工事課
工事課長



西本 徹（にしもと とおる）
東京都水道局多摩水道改革推進本部
施設部 工事課
工事課長代理



藤井 雄輔（ふじい ゆうすけ）
東京都水道局多摩水道改革推進本部
施設部 工事課
主任