

施工中の周辺水環境に配慮したウォータータイトトンネルの設計・施工

大成建設株式会社関西支店箕面トンネル東工事作業所	正会員	○加藤	宏征
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所	非会員	田村	央
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所	非会員	平田	大輔
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所	非会員	高森	治

1. はじめに

首都圏中央連絡自動車道(以下、圏央道)は、都心から半径およそ 40～60km の位置に計画された、延長約 300km の高規格幹線道路である。圏央道は、横浜、厚木、八王子、川越、つくば、成田、木更津などの都市を連絡し、また、放射状に延びる東名高速、中央道、関越道、東北道、常磐道、東関東道、館山道などと接続することで、首都圏の広域的な幹線道路網を形成し、首都圏全体の道路交通の円滑化や環境改善、沿線都市間の連絡強化、地域づくり支援、災害時の代替路としての機能など、多くの期待が寄せられている。

すでに開通している桶川北本 IC～八王子 JCT 間に続いて、平成 24 年 3 月 25 日に高尾山 IC から八王子 JCT までの 2km が開通した。今回供用した区間は、高尾山をはじめとする自然豊かな地域を通過するため、これらに十分配慮しつつ事業を推進してきた。高尾山トンネルは、圏央道と中央自動車道が接続する八王子 JCT の南に位置する全長約 1.3km の上下線 2 本のトンネルである。トンネルの南側には高尾山 IC があり、国道 20 号、八王子南バイパスと接続する(図-1, 2)。

高尾山トンネルは全線「明治の森高尾国定公園」内に位置しており、南側坑口より約 270m 地点では、土かぶり約 20m で「前の沢」と交差する。前の沢の上流には高尾山薬王院の修験場になっている「琵琶滝」があり、トンネル施工中および完成後の前の沢の表流水をはじめとする水環境や植生環境の保全が重要な課題であった。そこで、これらの課題に対する技術的な助言を得ることを目的とした学識経験者からなるトンネル技術検討委員会(委員長：今田徹・東京都立大学名誉教授、以下、「委員会」という)を設置し、施工方法などについて検討を行った。

委員会において、前の沢交差部周辺において一部トンネルフォーメーション付近まで割れ目の褐色化がみ

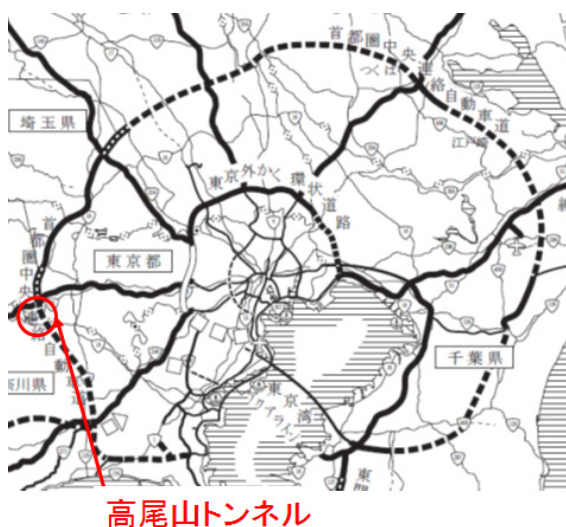


図-1 高尾山トンネル位置図

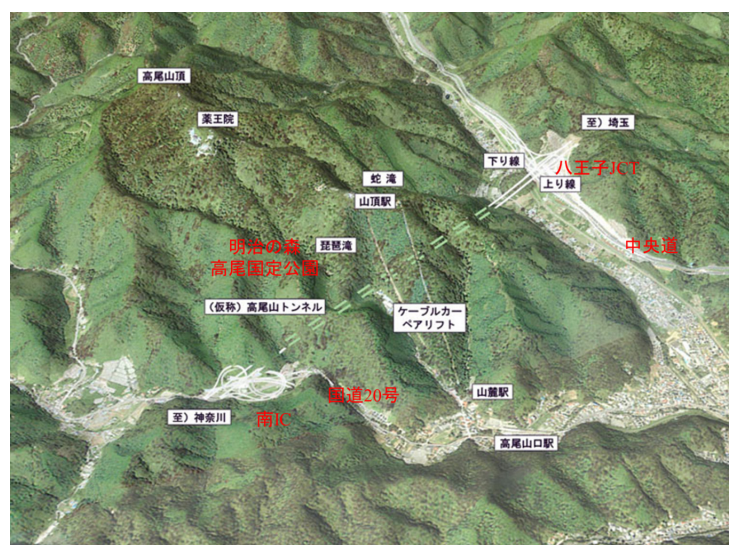


図-2 高尾山トンネル区間全景

キーワード 水環境保全, 覆工止水構造, 泥水加圧式岩盤シールド, RCセグメント覆工

連絡先 〒568-0095 大阪府茨木市大字佐保 3409 大成建設(株)関西支店箕面トンネル東工事作業所 TEL 072-648-5690

られることから、トンネル内に水を引き込まず、他流域に水が流出しないよう、この周辺を十分カバーする区間(上下線各々約 500m)を覆工止水構造とした。

本報文では、高尾山の自然環境の保全を最重要課題と認識し、水環境を保全するための覆工止水構造構築方法として採用した、先進導坑をシールドで掘進し止水注入を施工した後、NATM(機械掘削)で標準断面に切り拓げ、さらに RC セグメントで覆工を行う新技術・工法について報告する。

2. 工事概要

路線名称 : 一般国道 468 号首都圏中央連絡自動車道
トンネル名称 : 高尾山トンネル
工事場所 : 東京都ハ王子市南浅川町～裏高尾町
工期 : 平成 17 年 3 月～平成 24 年 1 月(舗装・内装・設備工事を除く)
工事内容 : トンネル延長 上り線 1,348m/下り線 1,329m
覆工内空 : 97m² (止水構造区間標準部, 図-3)
掘削断面 : 107m² (止水構造区間標準部)

3. 水環境保全のための対策

(1) 止水構造の採用

高尾山トンネルの位置する地質は、中生代白亜紀の小仏層群を基盤としており、頁岩優勢の砂岩・頁岩の互層で構成される。事前の地表踏査、弾性波探査などの地質調査により、破碎帯を伴う大規模な断層は存在せず、おおむね新鮮・堅硬であり透水性は低いものと評価されたが、前の沢付近の岩盤に割れ目の褐色化がみられることが観察された。

これら事前の水文・地質調査の結果を踏まえ、委員会において慎重にその施工方法を検討し、止水構造区間については、先進導坑をシールドで掘進し止水注入を施工した後、NATM(機械掘削)で標準断面に切り拓げ、さらに、RC セグメントで覆工を行う工法を採用した(図-4)。

先進導坑による小断面での地山止水注入は、完成形の大断面による地山止水注入より短時間で作業を完了することかでき、効率的な地山止水作業が可能である。また、地山止水注入を先行することで、拡幅掘削後早期に覆工止水工事を可能とした。

(2) 掘削時の水環境対策

掘削時の水環境保全対策として、事前に掘削断面の周りに 5m の止水注入を施工し、掘削時にトンネル内へ流入する湧水を抑制する工法を採用した。

この地山止水注入においては、延長が長く(上下線各々 500m)、工程が大幅に伸びることか懸念されたため、事前に導坑を掘削し導坑内から地山注入を行う先進導坑注入方式を採用した(図-4)。

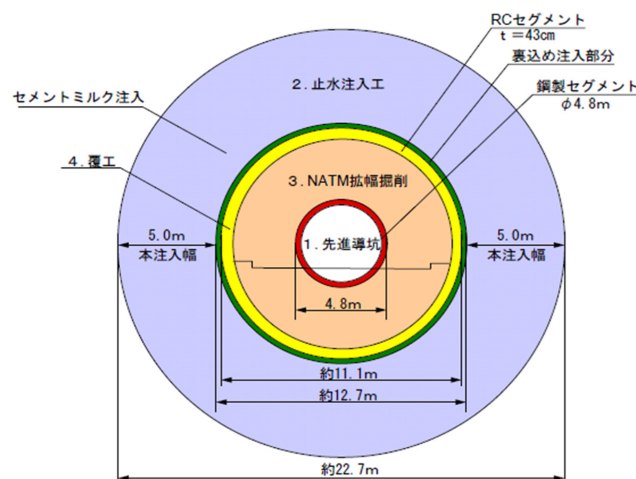


図-3 止水構造区間標準断面図

① 先進導坑掘削

先進導坑の掘削においては、水環境を考慮した泥水加圧式岩盤対応シールドを採用した(シールドを用いることで、先進導坑は防水構造となる)。

掘削径はφ約5mで、セグメントは注入後の解体を考慮して鋼製セグメントを採用した(写真-1)。

② 地山止水注入

地山止水注入においては、導坑内からの施工効率を上げるため、360°回転式の削孔機を上下線各々10台ずつ配置し、全線同時に施工を行った(写真-2)。

さらに、注入作業においては、上下線合わせて140台の注入装置を設置し、導坑入口の中央プラントから導坑内全線にパイプラインで注入材を搬送し、施工効率を高めた。注入材は、1孔あたりの累計注入量とその時点の注入速度によって濃度を段階的に上げていくため、濃度の異なる多数の注入箇所に対応する必要があった。そのため、中央プラントから高濃度注入材を常時パイプライン内に流し、サブプラントの希釈装置で希釈し各注入箇所へ送るシステムを採用した。

止水注入作業においては、狭い導坑内を有効に利用するため、削孔土砂をバキューム装置により搬送し、削孔・注入時の多数の施工データを光ケーブル網により集積した。

また、超微粒子セメントを含む排水は通常の濁水処理設備での処理が困難なため、高機能濁水処理設備を併設し対応した。

止水注入後の品質確認は、チェック孔による透水試験を行い、改良目標値($5 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下)に達していないものがあれば再注入を実施し、すべての区間で目標値を確保した。

③ NATM 拡幅掘削

拡幅掘削においては、岩盤の堅さから発破掘削が一般的であったが、事前に止水注入を行っているため、発破振動による注入品質の劣化を防ぐため、機械掘削を採用した。

④ 水文モニタリング

トンネル施工中および完成後の水環境や植生環境の保全のため、トンネル工事施工前から、高尾山の沢流量、地下水位、土壌水分、降雨量などを測定し、委員会の助言を得つつ、一連の工事で周辺水環境に影響がでないか確認をしながら慎重に工事を進めるとともに、モニタリング結果は相武国道事務所ホームページに公開した。

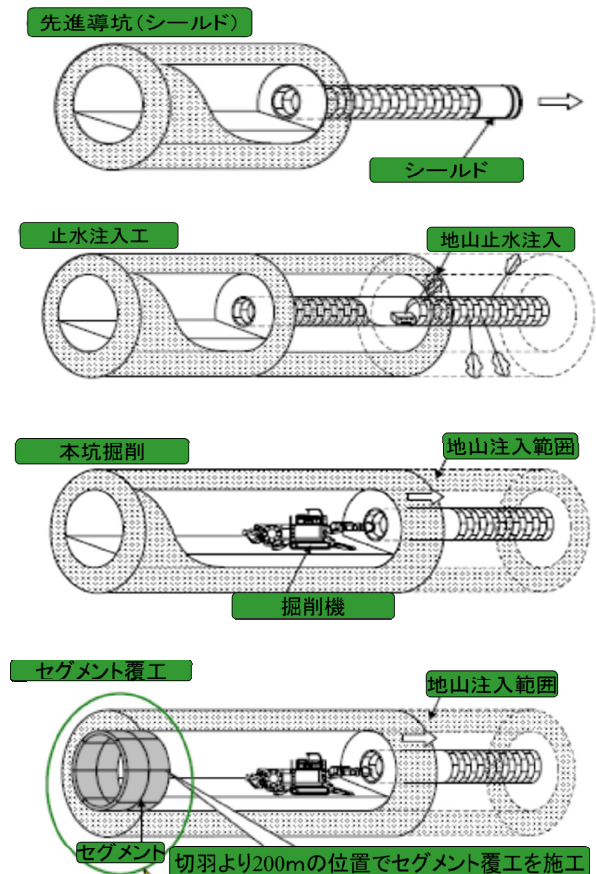


図-4 止水構造区間の施工方法



写真-1 泥水加圧式岩盤シールド



写真-2 削孔状況

(3) RC セグメント覆工による水環境対策

覆工止水構造については、従来の防水型トンネルより高度な施工技術・構造物を選定することで、より止水性の高い防水構造を早期に完成させることが重要であった。さらに、最大設計水圧が 0.8MPa という高水圧であったこともあり、早急に覆工を完成させる目的で、現場打ち鉄筋コンクリートでの覆工をやめ、工場製作による RC セグメントでの覆工とした。

①セグメントの設計

本工事の RC セグメントに必要な条件は以下のとおりである。

- ・設計水圧に対して、所定の安全率を持ち、耐えうる構造を持つこと
- ・施工時に作用する応力に耐えうる構造を持つこと
- ・坑内へ地下水が浸入しない構造を持つこと

②セグメントの仕様

- ・内径 11,120mm, 外径 11,980mm, 10 ピース/1 リング, 総重量約 60t/リング
- ・厚さ 430mm, 幅 1,500mm, 外周約 3,900mm/ピース
- ・コンクリート設計基準強度： $\sigma_{ck}=54\text{N/mm}^2$
- ・鉄筋(SD345)： 2,938kg/リング
- ・ピース間継手金物：フック継手(SS400)
- ・リング間継手金物：長ボルト継手（トルシア付き鉄筋貫通ボルト式， $\phi 29$ ）
- ・シール材：加硫ゴム系水膨張 1.5, 2.5 倍型（二重に設置）

③セグメント組立てシステムの構成

NATM によるトンネル断面内での RC セグメント組立てでは、専用の組立てシステムを検討した。

セグメント組立てシステム(以下、システム)として必要な条件は、NATMと覆工の組み合わせの中で、施工速度が速く掘削から覆工までの期間(距離)を極力短くできること、セグメント組立て作業と並行して行う掘削作業の動線を確保できること、そして重量物であるセグメントを正確に組立てできることである。

また、セグメント組立て作業と裏込め注入作業かできる専用設備や、他作業に支障をきたさない独立したセグメント搬入ルートの確保も必要である(図-5)

システムは、前方よりインバート施工部、セグメント組立て部(自走式エレクタと中央栈橋からなり、各々独立して稼働)、セグメント搬入部の3セクションに分けられ、全長は約 170m となる。

全システム重量は、自走式エレクタが 655.8t/基、インバート施工部～セグメント搬入部が 1,123.2t/基で、全体では約 1,780t/基となる。

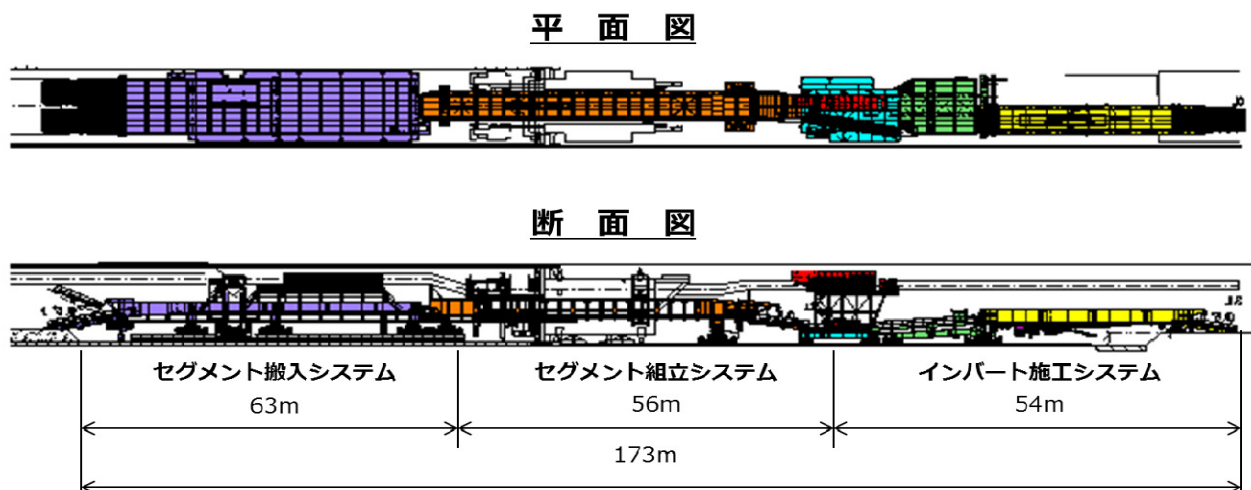


図-5 セグメント組立てシステム



写真-3 自走式エレクトラ装置

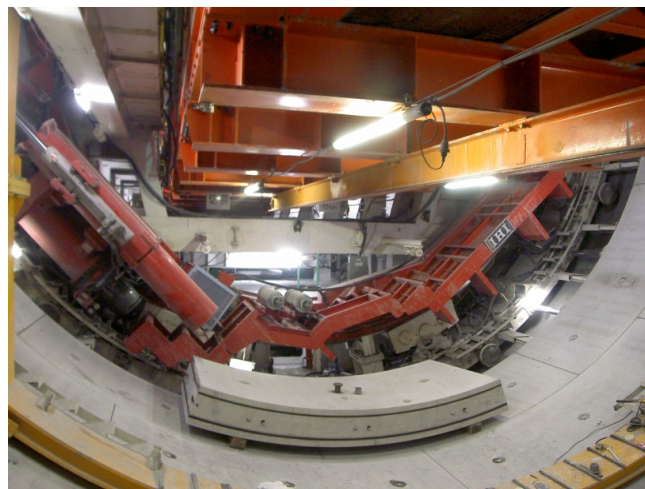


写真-4 セグメント組立て状況



写真-5 セグメント組立て状況（中央栈橋）



写真-6 セグメント覆工完了状況

インバート施工部は、上下半切羽への動線となる栈橋の下で、インバートの施工を左右交互に行い、円形断面を仕上げる。変電設備、風管・集塵機台車を備えている。

セグメント組立て部は、動線となる中央栈橋とセグメントを組立てる自走式エレクトラ装置から成り、別々に稼働できる。自走式エレクトラの移動はレール方式である(写真-3)。

セグメント搬入部は、システムを通過する車両と干渉せずにセグメントを栈橋下に下ろして、栈橋下のテルハクレーンで組立て部分まで搬入できる。

④セグメント組立て

覆工止水構造の機能を確保するためには、セグメント同士のせりを防止し、真円精度を向上させ、セグメント組立て時間を短縮化し、掘削切羽との離隔を最短にすることが重要である。真円精度の向上のため、組立て時には自動計測を採用し、リアルタイムに仕上がり精度を確認した。

また、フック継手や端部エア型枠の採用により組立て時間を短縮化した。その結果セグメント組立ての進捗を、トンネル掘削の進捗に遅れることのないよう確保できた(写真-4, 5, 6)。

⑤裏込め注入

裏込め注入材は、可塑性グラウトを採用した。本工事ではNATMトンネル断面内でのセグメント組立てとなるため、可塑性グラウトに急硬材を添加し、妻部脱枠に必要な強度を毎回確認した後、次のサイクルに移行した。トンネル内は施工ヤードが限られているため、混練プラントは坑口に設置し、裏込め注入材を配

管で圧送した。

また、セグメント背面に遮水ゾーンを形成するため、一定の間隔で特殊裏込め材を採用した。

4. 止水効果の確認

地山止水注入については、先進導坑からの透水試験の結果、すべての断面において改良目標の $5 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下を満足していることが確認された(図-6)。

また、水文モニタリングの結果、平成 19 年 11 月の先進導坑掘削の開始前後、施工中および平成 23 年 2 月のセグメント覆工完了後で、前の沢流量の変動に変化が生していないことから、止水槽造は有効に機能していると考えられる。

さらに、高尾山トンネルの湧水量は、工事施工に伴う作業用水を含んでも 1 m あたり、おおむね $0.02 \sim 0.96 \text{m}^3/\text{日}$ であり、トンネルの深さ・透水性などによっても変化するが、一般的に通常の地山では 1 m あたり $0 \sim 2 \text{m}^3/\text{日}$ であることから、比較的少ないものと考えている。

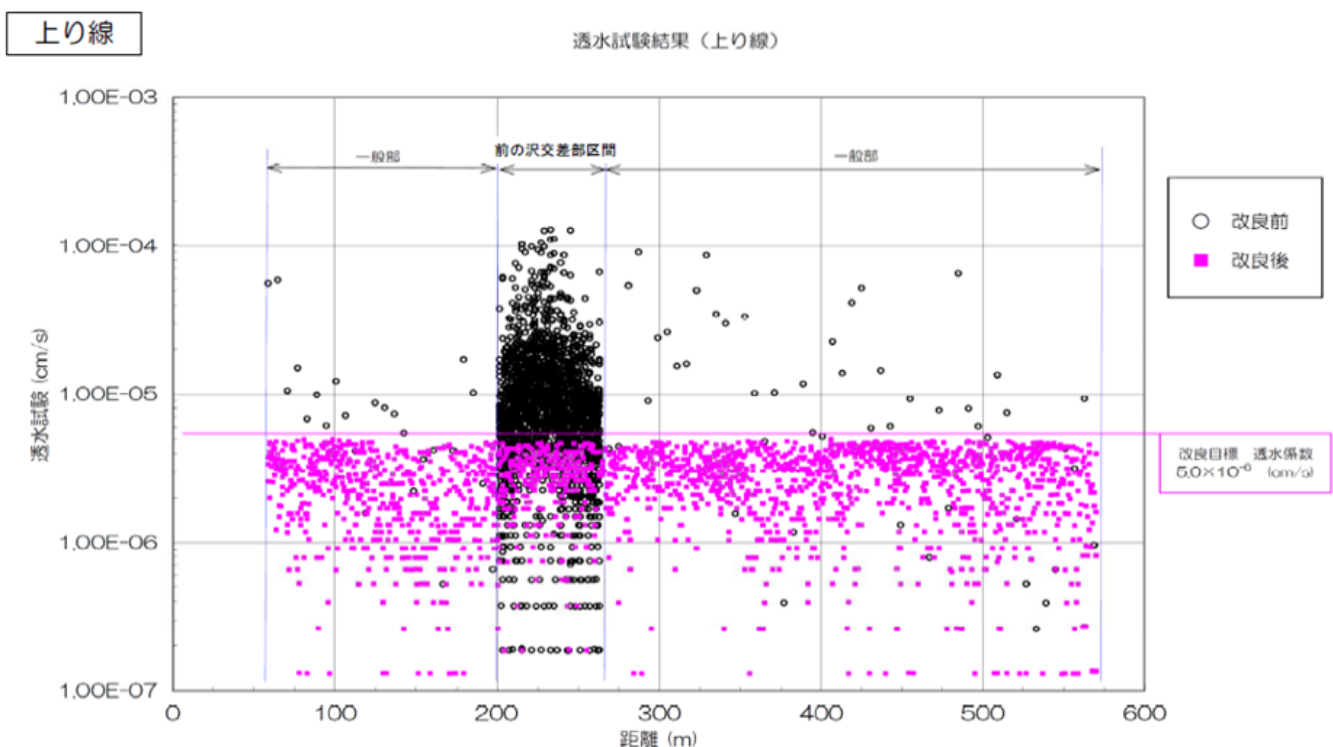


図-6 透水試験結果

5. おわりに

本工事は、トンネルの全線が国定公園内の直下に位置し、高尾山の水環境の保全が最重要課題であった。そのため、覆工止水構造区間を含むトンネル全区間について、さまざまな工法などについて検討を重ね、それらを実施することにより水環境(沢流量や地下水位など)や植生環境(土壌水分)などの自然環境を保全しつつトンネル工事を完了し、平成 24 年 3 月 25 日に無事に開通することができた。

この工事に採用された工法が今後の山岳トンネルの環境対策として参考になれば幸いである。