

超高水圧、硬岩地山を克服した八王子城跡トンネルの止水構造について

相武国道事務所 設計第五係長 工務課 千場 洋

はじめに

圏央道（首都圏中央連絡自動車道）は都心から半径約40～60kmに位置し延長約300kmの自動車専用道路で、東京都内を約25km通過し、そのうち、あきる野IC～八王子JCT間（約9.6km）が本年6月23日に供用が開始されたものである。

東京都区間は多摩地域の自然豊かな地域を通過するため、自然環境と共生を目指して、圏央道事業を推進してきたものである。

八王子城跡トンネル（以下「城跡トンネル」という）は、八王子JCTの真北に位置する延長約2400mのトンネルであり、その上部には国指定の史跡である「八王子城跡」が位置している。また、史跡にとって重要な「坎井」（古井戸）が山頂に近い尾根部に、「御主殿の滝」が谷部を流れる城山川の下流部に、それぞれ位置しており、城跡トンネルは城山川の上流部の地下を通過している。

施工にあたっては、八王子城跡の自然環境の保全を重要な課題と認識し、水環境を保全するための新技術・工法を採用し、その新技術・工法、施工及び結果について報告するものである。

1. 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：八王子城跡トンネル

工事場所：東京都八王子市裏高尾町～下恩方町

工期：平成11年3月～平成19年3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 2386m
下り線 2382m

覆工内空 60m²（標準部）



2. 止水構造の検討

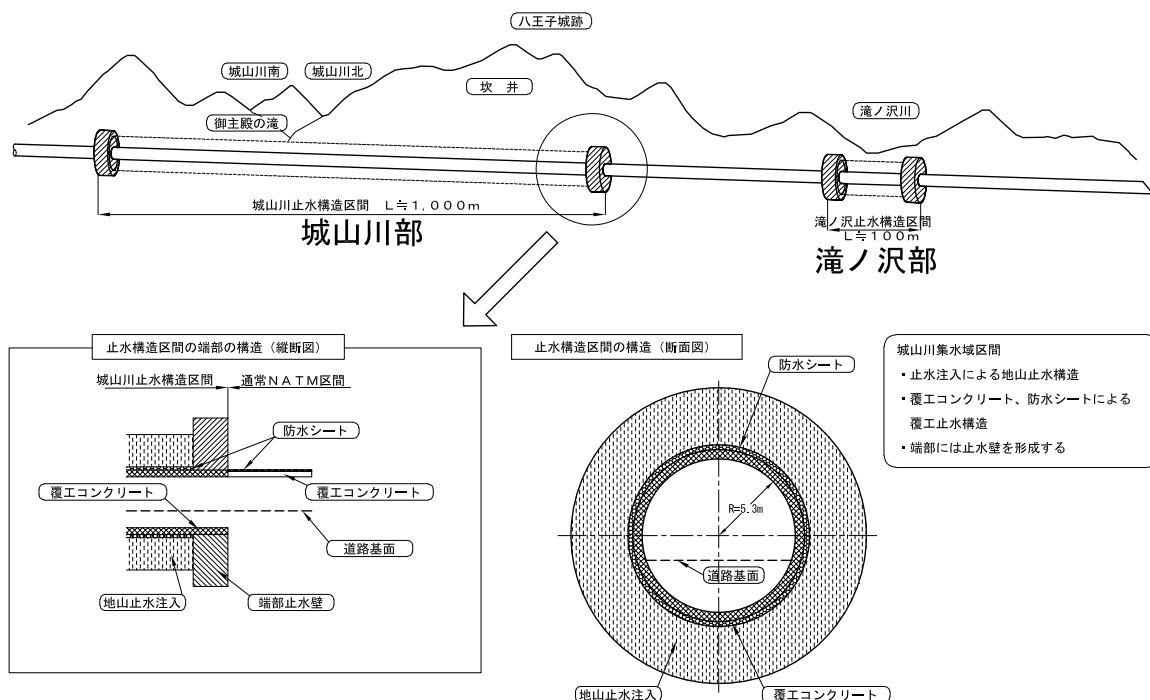
2.1 先進導抗（シールド掘削）+ NATM（機械掘削）の採用

これまでの水文・地質調査の結果を踏まえ、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）において慎重にその施工方法を検討し、覆工止水構造区間約1000mについては先進導抗をシールドで掘削し、止水注入を施工した後、NATMで標準断面に切り拓げる工法を採用した。なお、通常の施工区間約1400mについてはNATMとした。

2.2 止水注入区間・範囲の設定

城跡トンネル掘削中、トンネル内への湧水を抑制するため、掘削前にトンネル周辺地山に標準断面から5m外側の範囲までセメントミルクを1m間隔で注入した。セメントミルク

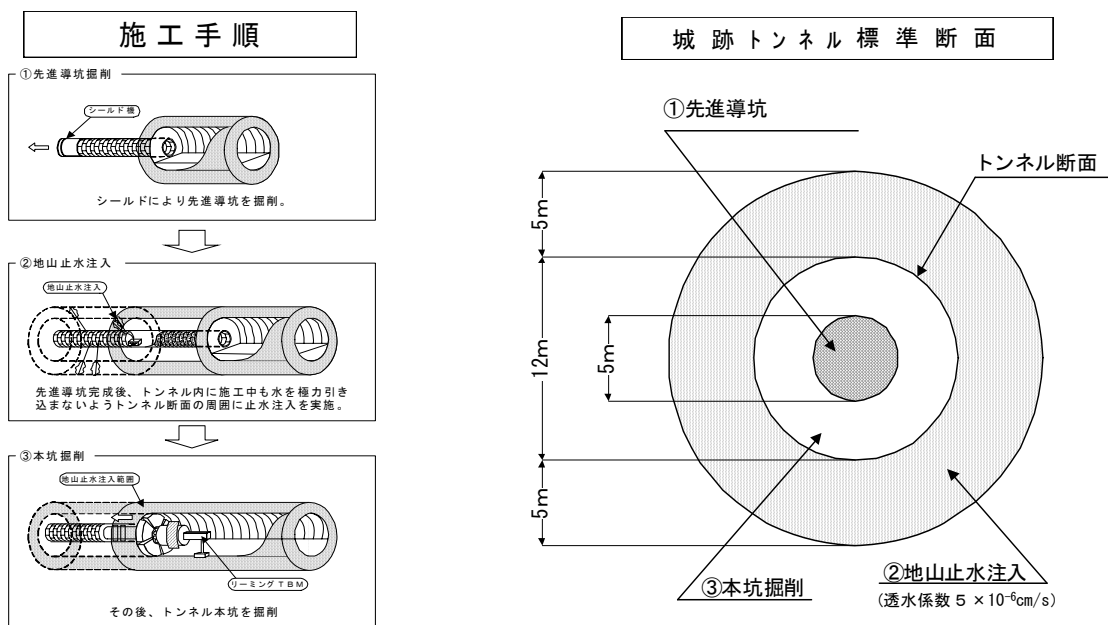
ク注入後の透水試験においても周辺の地山が $5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ という改良の目標値を満足していることが確認された。(図1)



(図1)

止水注入材料は地質条件により、硬岩・軟岩部は超微粒子セメントミルクによる割裂注入、岩錐砂礫部は水ガラス薬液による浸透注入を採用した。(土被りが浅い区間はリークの虞があったことからゲルタイムのある水ガラス薬液を採用)

城山川部の止水方法は、先進導坑注入方式(図2)で施工した。



(図2)

止水対策範囲は、事前調査による地質・水文状況により三次元岩盤モデルを作成して城跡トンネル施工に伴う水収支予測解析を行った結果、範囲としては城山川部約1000m

を計画し設定した。

2. 3 止水覆工の選定

城山川流域では、国指定史跡に係る水環境を万全を期して保全するため、トンネル内に水を引き込まない構造とすることとした。具体的には、城山川流域の約1000mの区間についてトンネル壁面の全周を防水シートとコンクリートで巻く止水覆工（ウォータータイト覆工）構造とした。防水シート厚さは2mm、覆工コンクリートは水圧に耐えるための高強度鉄筋コンクリート構造で、特に城山川部は0.6～1.25MPaという山岳工法としては過去に例のない超高水圧のため、トンネルの断面形状が真円形となった。

加えて、防水シートの破損に対応するため、リペアシステムを採用し、水環境保全に万全を期した。

3. 止水構造の施工

3. 1 先進導坑

止水構造区間の施工は、まず直径5mの先進導坑をシールドにて掘削し、その先進導坑から周辺岩盤への止水注入を実施する工法を採用した。

先進導坑を掘削する機械は、ア) 地質が土砂でなく硬い岩盤であること、イ) 施工に際し地下水を坑内に引き込んでほしくないことから、泥水加圧式の硬岩対応シールドマシン（密閉型）を採用し、セグメントは、削孔注入孔の設置と拡張掘削時の解体のし易さを考慮し鋼製とした。

通常の立坑発進式シールドと異なりトンネルの中間位置から発進するため、鋼材による反力壁の構築等、工夫し施工した。

3. 2 止水注入

止水注入は全長1000mの全範囲を同時施工することにより大幅な工期短縮を実現した。注入材料としては、強度と止水性を兼ねた超微粒子セメントミルクを採用、また、注入するために開発製作した360°回転式削孔機（左写真）を上下線合わせて約20台配置し、全線同時施工を行った。



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、改良目標値に達していないものがあったため再注入を実施し目標値を確保した。

3. 3 拡張掘削

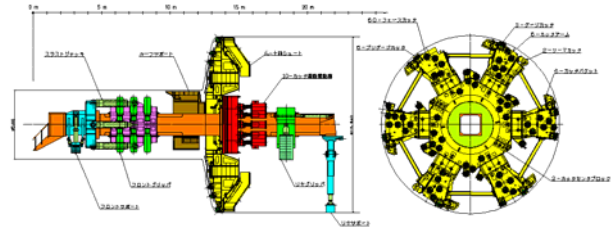
止水注入区間では、発破振動による注入品質劣化を防ぐため掘削は全て機械掘削とした。ところが、城山川ウォータータイト覆工部は先進導坑掘削時のシールドマシンデータ及び導坑内からコア採取した岩石の試験データより、一軸圧縮強度が150～200MPa以上あることが判明した。

通常の機械掘削に用いられる自由断面掘削機でこの硬さの地山を掘ることは困難であることから、掘削の高速化のため、リーミングTBM（TBM＝トンネルボーリングマシン）を採用することにした。

リーミングTBMは、国内では発電所斜坑の切り上げ掘削等で用いられることはあった

が、今回のような直径 10m 以上の大断面かつ水平坑は実績がなく、海外メーカーの仕様や性能を検討した結果、採用したものである。

リーミング TBM は、先進導坑内の内側にグリッパを張って推進反力を確保し、導坑内のジャッキを伸ばしながらカッターヘッドを回転させて拡幅掘削（平均 120m/月）する工法である。



リーミング TBM 仮組状況・概念図

3. 4 拡幅掘削

国内の山岳ウォータータイトトンネルの水圧は最大でも 0.15~0.2MPa 程度であり、城跡トンネル城山川部の 0.6~1.25MPa という過去に例のない超高水圧である。そこで、同様の高水圧条件下で施工実績のあるウォータータイト先進地域・欧州の技術を比較検討し、国内初となるリペアシステムを採用したものである。

このシステムの概要は、ア) 覆工完了後に生じる漏水を止めるため、あらかじめ防水シートの内側に注入ディスクを設置する、イ) ウォータータイトが完成し作用水圧が上昇し始めてから、防水シートと覆工コンクリートの間に低粘度（高浸透性）無発泡の樹脂を注入充填する、ことで止水構造を完成させるシステムである。

4. 止水対策効果の検証

深部と浅部の地下水位経時変化及び覆工裏面水圧の経時変化については、下記の検証結果が得られた。

- ア) 浅部地下水位はトンネル施工の影響を受けていない。
- イ) 深部地下水位はトンネル施工に伴い水位低下が確認されたが、ウォータータイト覆工完成に伴い、掘削前の水位に回復しつつある。
- ウ) ウォータータイト覆工の完成に伴い、トンネル外側に設置している全ての水圧測定箇所水圧が上昇している。

これらは事前解析予測と符合しており、城跡トンネル工事における止水対策が適切であったものと考えられる。

まとめ

城跡トンネル工事は山岳トンネル工法では過去に例がない超高水圧の条件下で、水環境など自然環境の保全が求められるという稀に見る難工事であったが、様々な工法等の可能性について検討を重ねそれを実現することにより、無事にトンネル工事を完了させることが出来た。

しかし、これらの止水対策等には、莫大なコストを要することから、今後は自然環境の保全と併せて、コスト削減を可能とする方法等を考えていく必要がある。