

「地下水を引き込まない」という課題に挑んだ八王子城跡トンネル ～国道 468 号（首都圏中央連絡自動車道）の東京都区間の整備～

関東ブロック主査
石原 康弘

1. 首都圏 1 都 4 県を繋ぐ全長 300 km の大環状道路

1-1. 圏央道とは

圏央道（首都圏中央連絡自動車道（C4 又は E66）、以下「圏央道」）は、東京都心から約 40 ～60 km を環状に連絡し、神奈川県、東京都、埼玉県、茨城県、千葉県を繋ぐ全長約 300 km の高規格幹線道路（自動車専用道路）であり、東名高速（E1）、中央道（E20）、関越道（E17）、東北道（E4）、常磐道（E6）、東関東道（E51）等の放射状の高速道路及び首都圏内の主要都市を連絡し、中央環状線（C2）、外環道（C3）と 3 環状道路として首都圏の広域的な幹線道路ネットワークを形成している。

1-2. 計画から開通に至る経緯

昭和 30 年代のモータリゼーションの進展と東京都市圏の過密による交通渋滞等の道路交通環境の悪化に対して、昭和 38 年（1963 年）、首都圏基本問題懇談会中間報告書にて「都市間高速道路整備構想」が発表され、その後、首都圏の道路交通の骨格としての 3 環状 9 放射の道路交通ネットワークが計画された。圏央道は、そのネットワークの一部を構成するものであり、その後、昭和 62 年（1987 年）、第四次全国総合開発計画においてほぼ現在の計画となった。

圏央道の都市計画決定は、昭和 44 年（1969 年）4 月 16 日、神奈川県藤沢 IC から茅ヶ崎 JCT 約 5.4km 区間が最初となり、平成 20 年（2008 年）1 月までに全区間で計画決定がなされた。

最初の開通区間は、平成 8 年（1996 年）3 月 26 日の東京都青梅 IC から埼玉県鶴ヶ島 JCT 間（19.8 km）であり、以来四半世紀を経て、約 9 割、270 km が開通している。（図-1）東京都内では、平成 14 年（2002 年）3 月 29 日に日の出 IC から青梅 IC 間（8.7 km）が、平成 17 年（2005 年）3 月 21 日にあきる野 IC から日の出 IC 間（2.0 km）が、平成 19 年（2007 年）6 月 23 日に八王子 JCT からあきる野 IC 間（9.6 km）が、平成 24 年（2012 年）3 月 25 日に高尾山 IC から八王子 JCT 間（2.0 km）が、平成 26 年（2014 年）6 月 28 日に相模原愛川 IC（神奈川県）から高尾山 IC 間（14.8 km）がそれぞれ開通した。（図-2）

石原 康弘

1987 年（昭和 62 年）建設省入省。国土交通省相武国道工事事務所長、近畿地方整備局道路部長、大臣官房技術調査課長、関東地方整備局長などを歴任。現在、東京海上日動火災保険株式会社顧問。

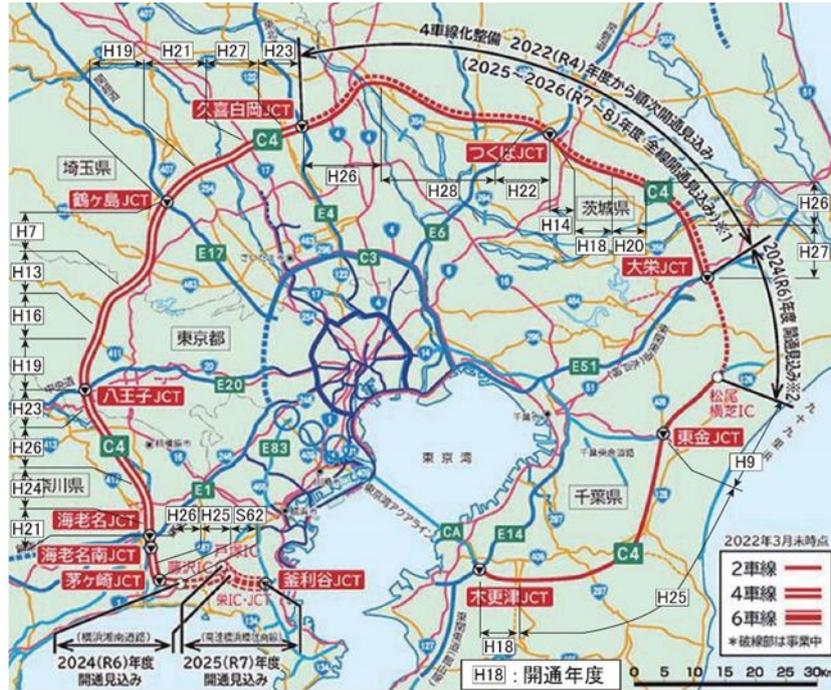


図-1 圏央道の位置図

出典) 国土交通省関東地方整備局 HP を基に作成

- ※1 借地契約等が速やかに完了する場合
- ※2 用地取得等が順調な場合



図-2 圏央道 東京都区間の位置図

出典) 国土交通省相武国道事務所 HP

1-3. 構造規格

圏央道の構造規格は、第1種第2級又は第3級の自動車専用道路、車線数は4又は6車線、設計速度は80又は100 km/h、IC・JCT数は56箇所（ほかスマートIC：4箇所（令和4年1月末現在の事業中箇所含む））となっている。（表-1）

表 1. 圏央道の構造規格

区間 (延長)	所在地	計画交通量 (台/日) ※区間最大	種級区分	車線数 (完成)	設計 速度	接続する 主な道路
釜谷JCT～ 栄IC/JCT～戸塚IC (8.9km) 【高速横浜環状南線】	神奈川県 横浜市	57,900	第1種 第3級	6車線	80km/h	横浜横須賀道路、 横浜湘南道路、国道1号
栄IC/JCT～ 海老名IC (18.8km) 【横浜湘南道路】	神奈川県 横浜市～ 海老名市	55,600	第1種 第3級	4車線	80km/h	高速横浜環状南線、 新湘南バイパス、 東名高速道路、 新東名高速道路、 国道1号
海老名IC～ 高尾山IC (24.9km)	神奈川県 海老名市～ 東京都 八王子市	46,300	第1種 第2級	4車線	100km/h	厚木秦野道路、 国道20号
高尾山IC～ 川島IC (49.8km)	東京都 八王子市～ 埼玉県 川島町	55,100	第1種 第3級	4車線	80km/h	中央道、関越道、 国道16号
川島IC～ 木更津IC (196.2km)	埼玉県 川島町～ 千葉県 木更津市	54,500	第1種 第2級	4車線	100km/h	東北道、常磐道、東関東道、 千葉東金道路、館山道、 東京湾アクアライン、 国道4号、6号、17号

出典) 国土交通省関東地方整備局 HP を基に作成

2. 渋滞緩和、所要時間の短縮等の様々な効果が発現

圏央道をはじめとする環状道路の整備により、複数の経路の選択肢が確保されることによって、交通転換による都心部の交通集中が分散され、広域・地域交通の渋滞緩和の効果が現れた。平成 26 年の相模原愛川 IC から高尾山 IC 間の開通により、それまで東名高速から関越道へ連絡する経路として約 9 割が都心経由であったのに対して、開通 3 ヶ月後には圏央道経由が約 8 割となり、都心部の交通渋滞の緩和に寄与するものとなった。また、圏央道と並行する国道 16 号では、朝夕の交通量が減少し、通勤等のために余裕を見込んでいた所要時間が短縮され、定時性の向上が図れたものとなった。(図-3)

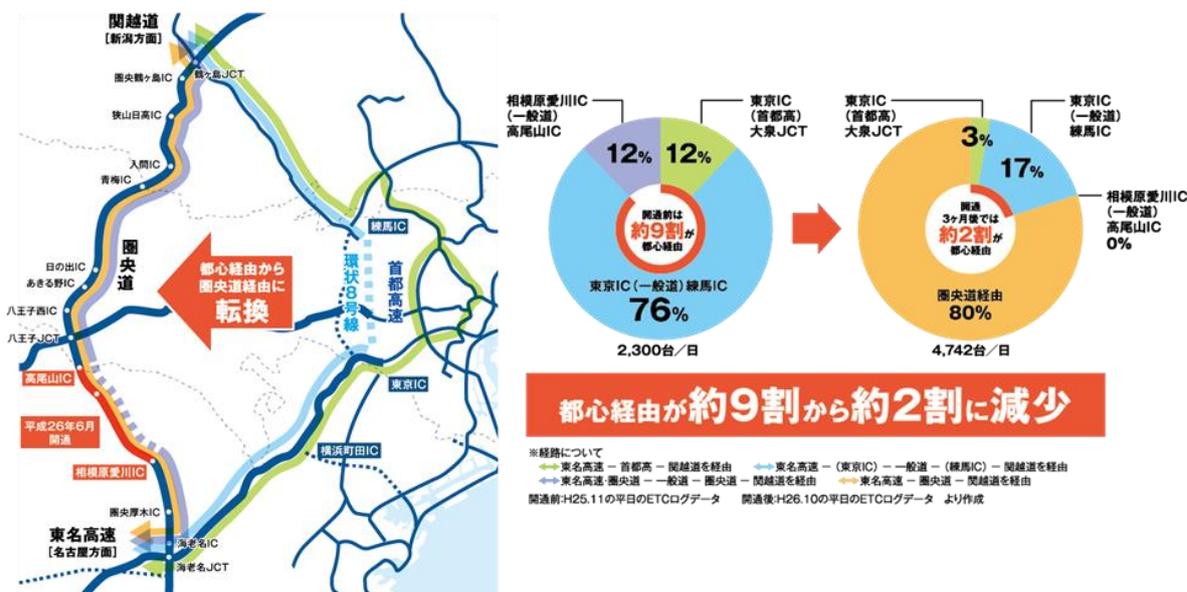


図-3. 相模原愛川 IC から高尾山 IC 開通後における東名高速から関越道間の乗り継ぎ交通の状況
出典) 国土交通省関東地方整備局 HP

この他にも、材料や製品等の配送時間の短縮、トラックの稼働率の向上など企業活動の活発化や物流等の生産性の向上、沿線地域における大規模物流・生産施設の立地等の民間投資の拡大、新規求人数の増加等の雇用の創出などの効果が発現するものとなった。

3. 「地下水を引き込まない」という課題に挑んだ八王子城跡トンネル

東京都区間の圏央道は、自然豊かな多摩地域を通過するため、自然環境との共生を目指して事業を推進した。また、多摩丘陵部を南北に縦貫するルートとなったことから、区間延長 22.5km のうち、約 3 割の 7.2 km がトンネル構造となっている。このうち、通過地域の水環境の保全を図るため、国内でも事例の少ない先進導坑を用いるなど新技術等の活用による止水対策を施し、約 8 年（平成 11 年（1999 年）3 月から平成 19 年（2007 年）3 月まで）に及ぶ大工事となった八王子城跡トンネル（以下、城跡トンネル）について記述する。

3-1. 歴史、自然環境等へ配慮の必要性

城跡トンネルは、八王子 JCT と八王子西 IC 間にあるトンネル延長約 2,400m（上り線 2,383.5m、下り線 2,379.5m）の上下線（それぞれ 2 車線）分離した構造を有する大規模トンネルである。また、城跡トンネルは都立高尾陣馬自然公園を南北に縦貫するとともに、トンネル上部には関東地方屈指の戦国時代の山城であり、国指定の史跡である八王子城跡があって、古井戸（坎井（かんせい））と滝（御主殿（ごしゅでん）の滝）が史跡として重要な位置を占めることから、当該地域の水環境の保全はトンネル工事における重要な課題であった。加えて、都心部をはじめとして交通渋滞は慢性化し、環状道路の早期整備に対する経済界や地域住民の要請は大きいものがあつた。

3-2. 「地下水を引き込まない」止水構造の検討

城跡トンネルの地盤には、透水層（浅層）と不透水層（深層）の間に不透水層がある 2 層構造であり、両者の地下水位は 50m 以上の差が生じていた。そのため、トンネル施工にあたっては、浅層の地下水位には大きな影響を与えず、深層の地下水位には施工に伴って一時低下するものの、工事完了後には水位が徐々に回復し、地下水を引き込まない構造とする工法が必要であった。

また、事前に施工した滝ノ沢止水構造区間（土被りの浅い区間）では、止水注入を行いながら NATM 工法により進めたものの、掘進速度が著しく低下することとなり、事業効果の早期発現を目指すためには、一層の施工効率化を図るための工法が必要であった。

工法の検討にあたっては、地質・水文に関する事前調査に基づき 3 次元モデルによる水収支予測解析を行うとともに、有識者による「トンネル技術検討委員会」（今田徹 東京都市大学名誉教授）における議論を踏まえ、河水（城山川）の集水域を対象とする止水構造が必要な区間約 1,000m に対して先進導坑によって地盤に止水注入を行ったのち、NATM 工法で断面を切り広げる工法を採用することを決定した。（図-4）

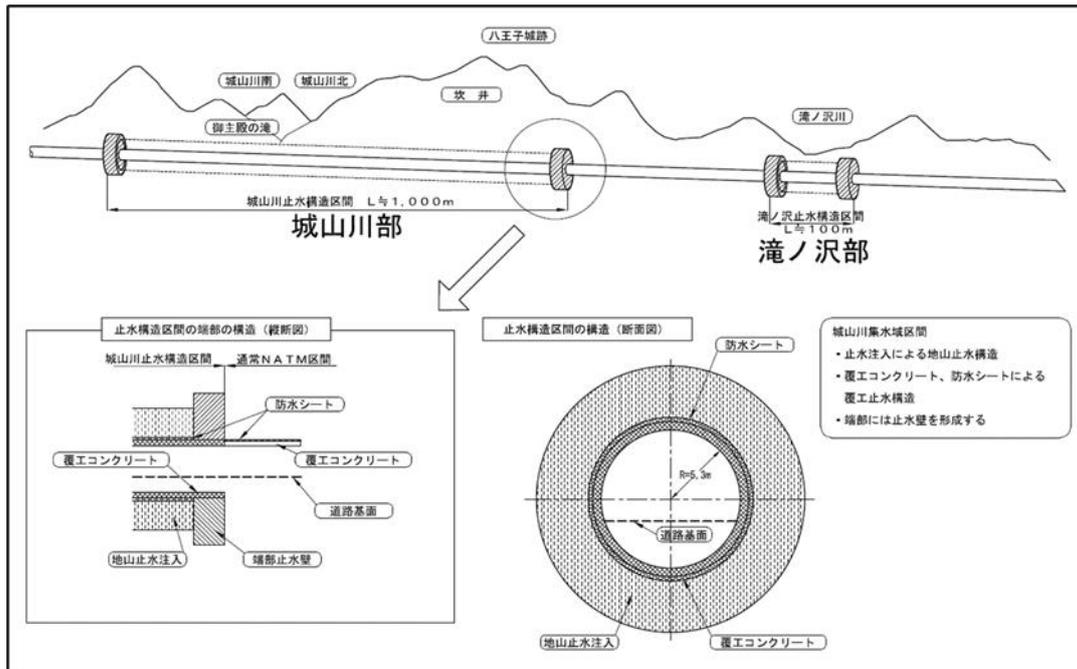


図-4. 地山止水技術の概要
出典) 土木施工「圏央道のインパクトと技術」

3-3. 新技術等を活用したトンネル施工

止水構造区間の施工は、まず、直径 5m の先進導坑を『密閉型トンネルボーリングマシン』にて掘削し、そこから周辺地盤へ同時に 360° 方向へ止水材料を注入する工法とした。止水材料と注入方法は、岩質に応じて、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とした。止水注入にあたっては、このために開発製作した『360° 回転式削岩機』を上下線合わせて 20 機配置した。これにより改良目標透水係数は $5.0 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ に対し注入後は $1.0 \times 10^{-7} \sim 5.0 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ の値を示し、十分な品質が確保される結果となった。

(NATMによる拡幅掘削)

止水注入後の断面拡幅は全て機械掘削としたが、城山川直下区間(約 870m)は、一軸圧縮強度が 150~200MPa と高強度であったため、通常機械では掘削が困難であると判断し、国内では大断面かつ水平抗の実績はない『リーミングトンネルボーリングマシン』を採用した。この機械は、先進導坑内の内側に支持して推進反力を確保し、坑内をジャッキで伸ばしながらカッターヘッドを回転させて拡幅掘削するものである。

(止水覆工)

止水構造区間の覆工は、トンネル壁面の全周に防水シートとコンクリート(水圧に耐えるための高強度鉄筋コンクリート構造)とし、このうち、城山川直下区間の地下水圧は 0.6~1.25MPa と国内の他の事例と比べて 4~6 倍の高圧であることから、断面を円形とするとともに、防水シートの破損に対応するため国内初(当時)となる『リペアシステム』を採用した。このシステムは、予め防水シートの内側(シートと壁面の間)に注入用ディスク(インジェクションディスク)を設置し、覆工完成後、水圧が上昇し始めると、このディスクから低粘度(高浸透性)無発泡の樹脂を内側に注入充填するものである。(図-5)

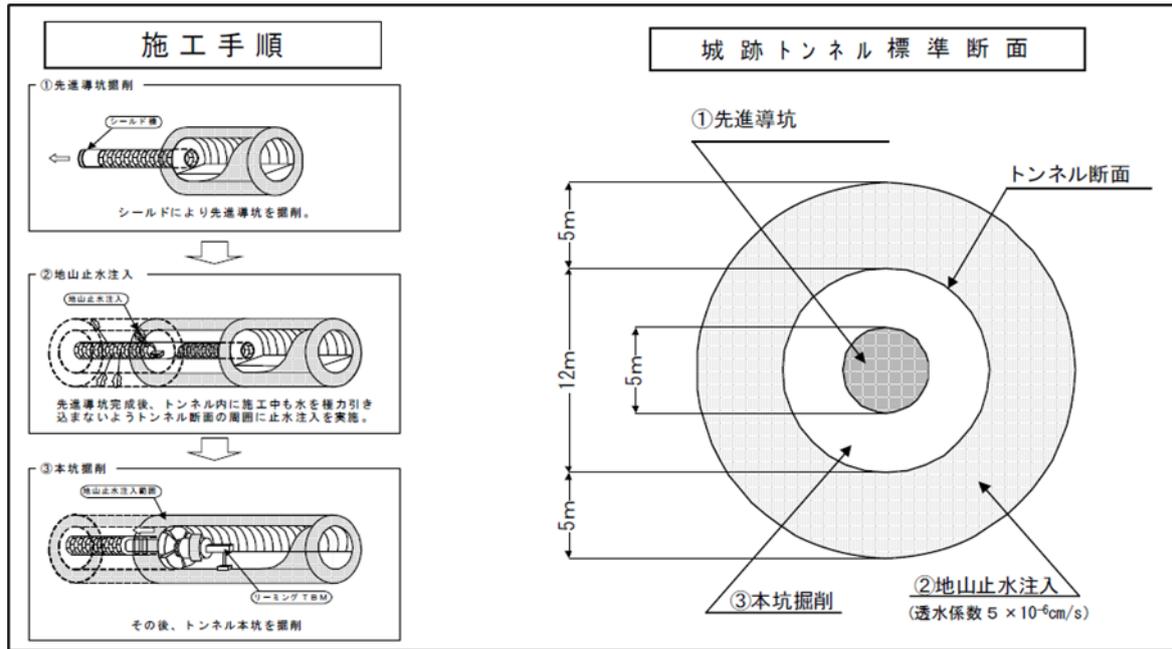


図-5. 施工手順と標準断面
出典) 土木施工「圏央道のインパクトと技術」

3-4. 止水構造完成より地下水位回復

城跡トンネル施工中及び施工後の期間の古井戸と古井戸近傍の観測孔2の水位の時系列変化を見ると、浅層の地下水位は期間中大きな変化はなく、深層の地下水位は施工中に一時的な水位低下を示すものの、止水覆工後には上昇に転じた。また、トンネル外側の全ての水圧測定箇所水圧が上昇する結果となった。(図-6)

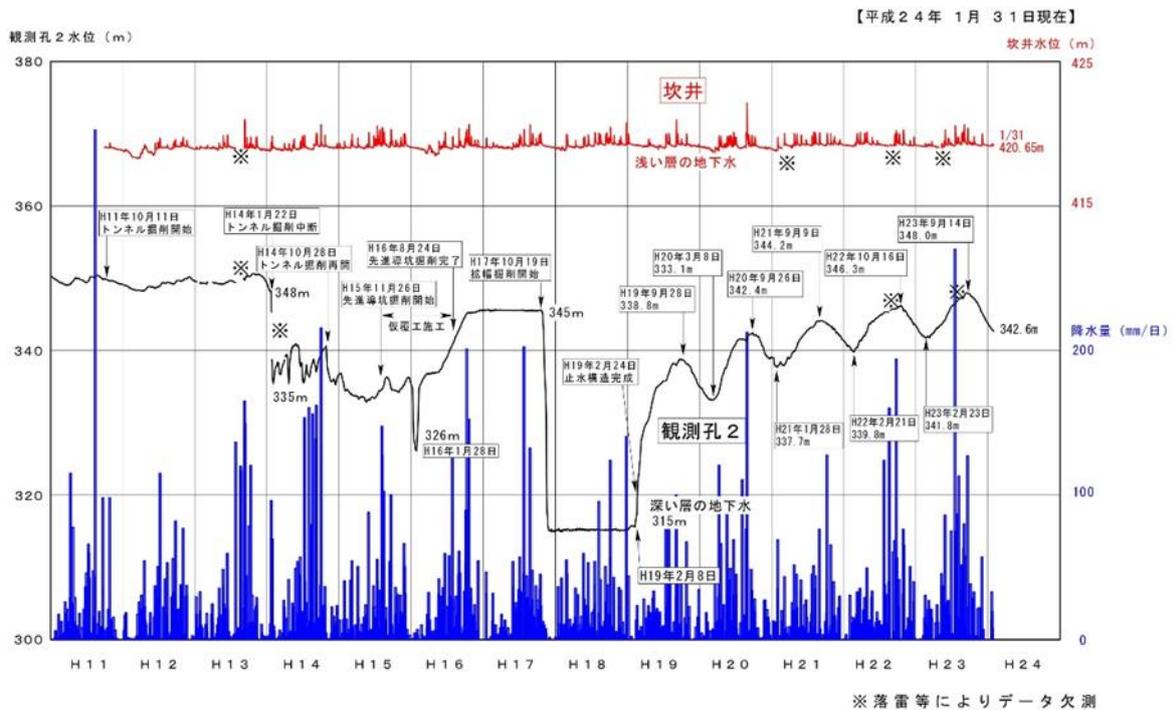


図-6. 観測孔2、古井戸（坎井）の水位変化

出典) 国土交通省相武国道事務所「平成23年度 第2回 トンネル技術検討委員会」

4. 技術の積極的な活用による課題の克服

近年、社会資本の整備や管理に関しては多くの難しい課題があるが、城跡トンネルのプロジェクトに関わって、改めていかなる課題に対しても、既存技術の改良と合わせて新技術・新材料・新工法の適用は課題解決の道程であり、積極的に取り組むことが重要であると感じた次第である。

最後に、本プロジェクトに関係したすべての皆様のご努力に改めて敬意を表するとともに、本稿の執筆にあたり多くの資料提供の労を頂いた、国土交通省関東地方整備局道路部、相武国道事務所をはじめ多くの皆様に深く感謝する。

【協力】 国土交通省関東地方整備局道路部、相武国道事務所

【参考資料】

- 1) 国土交通省関東地方整備局 首都圏3環状道路
https://www.ktr.mlit.go.jp/road/shihon/road_shihon00000131.html
- 2) 国土交通省関東地方整備局相武国道事務所 事業の軌跡 圏央道（国道468号）
https://www.ktr.mlit.go.jp/sobu/sobu_index036.html
- 3) 土木施工 「圏央道のインパクトと技術」 2007. Jun. Vol. 48 No. 6