

関越自動車道の建設

ー谷川連峰を貫き日本有数の豪雪地帯を通過して太平洋側と日本海側を結ぶー

はじめに

東京都練馬区～新潟県長岡市間 約 246km の関越自動車道（以下関越道）は、列島の脊梁山脈を横断して太平洋側と日本海側を結ぶ、初の列島横断高速道路である。技術的には谷川連峰を貫通する、



図 1 関越道の路線図

高速道路で当時日本最長の関越トンネルの建設、群馬県沼田地区の高橋脚橋梁群の建設、新潟県湯沢地区等の日本有数の豪雪地帯での雪氷対策等、過去に例のない様々な技術的課題に直面した。これらをいかに克服したかを中心に、開通後の取組等と合わせて紹介する。

1. 路線概要と計画の経緯



図 2 関越トンネルのルート案

群馬県と新潟県境にある脊梁山脈を越える道路は三国峠と清水峠を通るルートがあり、峠付近は豪雪地帯で、冬季の通行は極めて困難であった。関越道のルート案としては、三国峠案、清水峠案、湯沢案があった。ただし、三国峠案は、延長が長くなり工費が多いため不採用になった。清水峠

案と湯沢案も、道路勾配が急になりすぎるため不採用になり、長大トンネルと湯沢案の一部を組み合わせたルートが検討された。トンネルの換気所や工事用仮設備等の確保の問題、雪崩の発生状況、環境問題及び工費等に関する各界の有識者の検討を経て、最終的に延長 11 km の関越トンネルを含む現ルートに決定された。

東京の起点側は、1967(S42)年に一般有料道路の東京川越道路として着工され、その後、1973(S48)年に関越道に編入された。

関越道としての最初の着工は、1968(S43)年の川越 IC～東松山 IC 間で、以後、順次着工され、関越トンネルを含む月夜野 IC～湯沢 IC 間が最後で、1972(S47)年に着工された。

開通は、東京川越道路が初めて 1971(S46)年 12 月、最後は、前橋 IC～湯沢 IC 間で、1985(S60)年 10 月で太平洋側と日本海側を結ぶ初的高速道路となった。

月夜野 IC～土樽 PA 間（関越トンネル含む）のみは、当初暫定 2 車線だったが、1991(H3)年 10 月に 4 車線化が完成した。関越トンネルは、6 年間にわたり 1 本のトンネルを対面通行で運用された。

2. 関越トンネルの建設

関越トンネルは、延長が約 11km あり、当時、世界でも最大級のトンネルで、我国では経験のない長大道路トンネルであった。今田徹東京都立大学名誉教授は、「関越トンネルの建設は、当時の技術を結集し、従来の横流換気方式ではない立坑送排縦流換気方式の採用、海外の油圧削岩機を使った大型ガントリージャンボによる効率的な掘削等、

「我が国のトンネル設計、施工に新たな流れを作った」と言っている。

地質は、国鉄の上越線の清水トンネル、新清水トンネル、新幹線の大清水トンネルの施工実績から、良好な花崗閃緑岩とホルンフェルスと想定された。

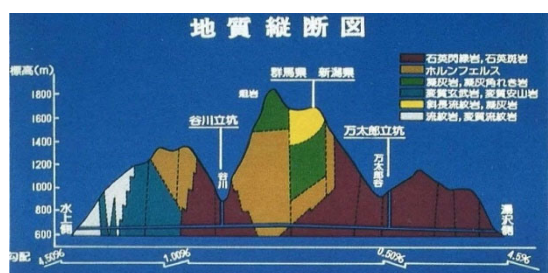


図 3 関越トンネル地質図

掘削は、本坑に先行して補助坑を掘削し、地質の確認と湧水処理をすることとし、完成後は、避難坑として使用することとした。

課題は、長大自動車トンネルが故の換気方法と、

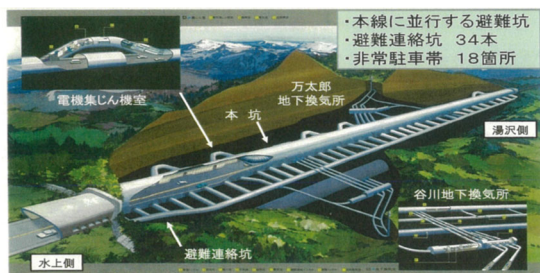


図 4 関越トンネルの構造

地形の厳しい国立公園内の 200m 弱の立坑の掘削方法、および、本坑の高速掘削を可能にする大型機械の開発だった。

換気については、当時、一般的には横流換気方式が採用され、トンネル本坑断面に新鮮な空気を流す断面と汚れた空気を排出する断面を確保して、ある間隔で空気の入れ替えをしていた。この方式だと、トンネル断面が 3 割強大きくなり不経済になる。そこで、換気のための余分な断面を省略できる縦流換気方式を採用する方策が検討された。立坑は 2 か所設置することとしたが、解決できなかったのは、煤煙の処理だった。そこで、当時、工業用に使用されていた電気集塵装置を参考に、トン

ネルの煤煙処理用の新たな電気集塵機の開発に世界で初めて挑戦することになった。関越トンネルの建設にあたっては、多くの外部専門家による技術検討委員会が設置されたが、電気集塵機の開発に関しても、機械工学の専門家を入れた委員会を設置して検討が行われた。処理速度が速く、故障が少なく、メンテナンスが容易であるという条件で開発が行われ、1973(S48)年には実験機による現地試験が実施され、実用化の目途がついた。先行して 1980(S55)年に北陸自動車道敦賀トンネル(下り線)に、初めて採用され、関越トンネルにも採用された。

立坑の施工については、設置場所が、地形の厳しい場所であることと国立公園の中ということもあり、地上から工事用道路を作っての施工ができないため、地上で必要な資機材を運ぶため、2.3m 角

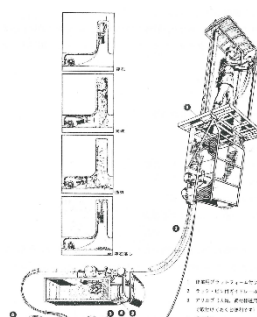


図 5 アリマッククライマー

の作業立坑を、別途下から切り上げる方法で施工することになった。この完成までは、高額なヘリコプター搬送が必要だった。

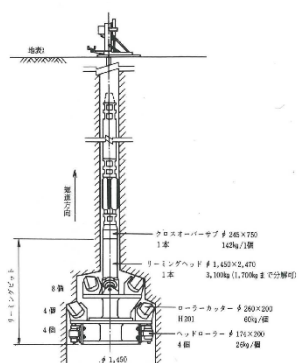


図 6 レーズボーラー工法

作業立坑は、鉾山で採用されていたアリマッククライマー工法で掘削した。これは、上向きに設置したガイドレール上を移動できる台車に人が乗り、上方の切羽に移動して装薬し、発破

で掘削する方法である。本立坑は、内径 9.7m で、掘削したずり搬出は地上からできないので、下に落とせるようずり出し用導坑を下から掘削した。

万太郎立坑はアリマックで掘削したが、谷川立坑は途中破碎帯が確認されたため、レーズボーラー工法を採用した。これは、地上から直径 20 cm 程度の垂直ボーリングをして、地上から鉄の棒を差し込み、下にドリルマシーンをつけ地上の回転装置で上に牽引しながら掘削する方法である。その後、両坑共、上部からシャフトジャンボという機械で切り広げていった。掘削に合わせて 1 次覆工を施工し、坑底からスリップフォームで上部に向かって 2 次覆工をした。

本坑の掘削については、ボーリングの結果、大清水トンネル等の実績や先進坑の掘削などを考慮し、坑口部以外は、全断面掘削工法を採用出来ると考

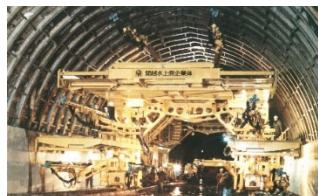


写真 1 トンネル全断面掘削用ガントリージャンボ

えた。当時、施工を担当した水上側 JV の間組は、掘削速度を上げるために国内初となる高性能な油圧式削岩機をヨーロッパから輸入し、8 ブームの大型ガントリージャンボを製作した。ガントリーなので、作業足場が確保でき、支保工の建て込みや装薬作業も容易となった。これ以降、削岩機は油圧式が主流となっていく。

ずり出しは、世界最大級のロードホールダンプ (7.6 m³) で切羽から仮置場まで搬出し、そこから 20t ダンプトラックで坑外に搬出した。これにより坑内換気が必要になったが、連絡坑に送風機を設置し、本坑から入気し、作業坑から排気する坑道換気とした。

ずり出しをスピードアップするために、7.5 cm 厚のアスファルト仮舗装を行い、使用後は撤去した材料からアスファルトを除去して粒度調整後、路盤材の一部として活用した。

掘削に際しては、湯沢側で山はねが多発した。作業員に危険が及ぶのを防ぐため、発破後、AE セン

サーで山はね発生の前兆である弾性波を計測して山はねを予測する新たな手法を導入した。水上側では、作業坑・本坑共に大量の湧水が発生し、本坑



写真 2 補助坑口での湧水状況

では、最大 40t/分という予想以上の湧水が発生した。16m の掘削に 2 か月を要した区間もあった。し

かし、総じてみれば、全断面掘削方式の採用は、ほぼ期待通りで平均月進は 100m を超えた。湯沢側の岩盤の固いところでは長孔発破 (1.5~3m) を採用して平均月進は 130m 弱となった。



写真 3 関越トンネル入り口坑門

トンネルの入り口坑門については、ベルマウス形式とし、デザインを工業デザイナーの柳宗理氏にお願いした。

端部がブルーの特徴的なデザインで、関越トンネルであることが容易に認識できる。

関越トンネルを含む区間は、当初暫定 2 車線で建設されたが、開通 1 年後には、4 車線化が始められた。掘削は最新鋭の大型機械を用いた NATM で効率的に掘削され、工期を 3 割以上短縮した。

3. 沼田地区高橋脚橋梁群の建設



図 7 沼田地区高橋脚橋梁群

関越道は、渋川伊香保 IC から関越トンネルまでの約 40 km の間、利根川やその支流の片品川等により深く浸食された幅の広い河岸段丘や U 字谷、V 字谷

を通過する。高低差は大きいところで 100m にもなり、この間で橋脚高 50m を超える橋梁は 7 橋(図 7)、橋長 100m を超える長大橋は 21 橋にも及ぶ。特に長大橋になると、その安定性が問題となるため、高速道路調査会に「関越自動車道沼田地区長大構造物の設計、施工に関する調査研究委員会」を設置して、外部専門家を交えて検討を行った。特に橋脚高の高い沼尾川橋、永井川橋、片品川橋の 3 橋について概説する。

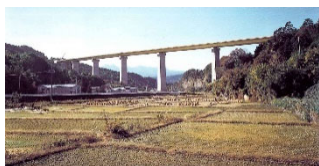


写真 4 沼尾川橋

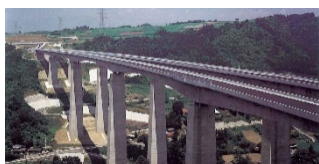


写真 5 永井川橋

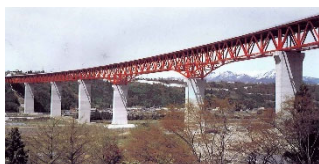


写真 6 片品川橋

最も重要な耐震設計では、動的解析を行った結果、長周期型構造物の特徴を示した。全径間連続形式とすると、橋長 600m 程度までは橋台 1 点固定で対応可能だが、より橋長が長くなると、橋脚と桁をヒンジ結合とし水平力を分散させ、温度応力には高橋脚であることの可撓性を活用した形式が有効とされた。沼尾川橋と片品川橋は、U 字谷に位置し、ほぼ等しい高さの橋脚を持つので、高橋脚の可撓性を活かした多脚固定形式を採用した。沼尾川橋は 5 橋脚のうち 4 橋脚を、片品川橋は 8 橋脚のうち 7 橋脚をヒンジにした。永井川橋は、V 字谷に位置し、橋脚の高さが変化するので、一般的な片橋台固定とした。

橋長は、沼尾川橋が 610m、永井川橋が 490m、片品川橋が 1030m で、形式としては、長大橋の実績の多い桁形式が選定された。特に、片品川橋は、地盤に数 10m の河川堆積物層があるため、軽量で上下部構造の接点を低くできる上路式鋼トラス橋とした。

橋脚の形状は、自重が小さく抑えられる中空矩形とした。沼尾川橋と永井川橋では、上に向かって断面が連続的に小さくなる、工業デザイナーの柳宗理氏のデザインを採用している。また、高さ 40m 以上の橋脚には、終局耐力と施工性を考慮して鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 構造を採用した。

上部工は、沼尾川橋を鋼 6 径間連続箱桁橋、永井川橋を PC5 径間連続箱桁橋、片品川橋を鋼 3 径間連続トラス橋 3 連の形式として、静的及び動的耐震設計、1/100 スケールの模型実験による耐震性のチェック、長周期地震の照査も行った。

基礎はオープンケーソン、杭基礎、直接基礎で、オープンケーソンの施工では、沈下コントロールに苦労した。

橋脚の施工では、施工の効率化を図るため、コンクリートポンプ車の使用を検討した。当時、40m を超える高所へのコンクリートポンプ打設の施工例がなかったため、改良が進んだ最新のコンクリートポンプ車を使用して、都内の建設中の高層ビルで、最大 80m の高さへの圧送実験をした。結果は使用可能となった。また、上方に向かって断面が小さくなる高橋脚の施工については、安全性・精度・迅速性・経済性を考慮し、施工の工夫をした。



写真 7 永井川橋の施工

永井川橋を担当した西松建設は、コンクリートに反力を取る柱式起重機で足場と型枠を平行して上昇させ、足場は上昇につれて断面に対応させるようスライドさせ、型枠は打設ごとのテーパーに合わせたものを準備して施工した。鉄骨・鉄筋作業とコンクリートの打設・養生に 3.5 日かかり、次の施工のため 2~3 時間かけて足場を上昇させた。これを連続して施工した。

上部工の施工では、沼尾川橋で、先駆的な試みで、

マイクロコンピュータで集中管理をして、全径間 600m を連続送り出し、鋼重 3,000t の桁を一括横取り架設する前例のない架設を行った。永井川橋では、ディビダーク式カンチレバー工法で架設した。片品川橋では、大型ペントを中央径間以外の径間中央に設け、2 基のトラベラークレーンで両側から片持ち張り出し工法で架設した。片品川橋は、当時、トラスの道路橋で日本一の規模だった。

なお、この 3 橋は 1985(S60)年の土木学会田中賞を受賞している。

4. 日本有数の豪雪地帯の雪氷対策

高速道路の積雪、雪崩、凍結等の雪氷対策の検討は、1966(S41)年に東北道と北陸道に施行命令が出されてから始められた。高速道路調査会に気象対策委員会を設け、設計積雪深の決め方、降雪地域の道路構造のあり方、雪崩対策等を検討し、雪氷マニュアルを作成した。しかし、関越トンネル北側の湯沢地区は、我国でも有数の豪雪地帯であるため、個別の検討が必要になった。



写真 8 1次除雪



写真 9 2次除雪

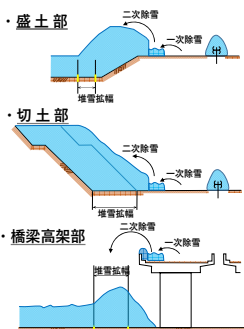


図 8 堆雪拡幅

積雪の処理については、機械除雪が基本であり、除雪トラックで路面の雪を路肩に寄せて仮置きし、その後、ロータリー除雪車で仮置きした雪を路外排除する方法がとられる。問題は、仮置きのためのスペースの取り方で、現地検証のため、1976(S51)年と 1977(S52)年の冬に、国道 291 号で往復 2 車線の道路を片側 2 車線道路として除雪をする実験を行った。その結果、堆雪幅として、切土部では

4~5m を、盛土部ではマニュアルの最低値 7m に加え 1~2.5m の用地を確保することとした。橋梁高架部では、高さに応じて 7~10m の側方堆雪敷の確保を基本とした。IC や JCT では、本線とランプの除雪が必要なので、北陸道での経験から、迅速な除雪をするための除雪車用の U ターン路を我が国の高速道路で初めて作った。

大規模な雪崩斜面はルート選定の時点で避けたが、数日にわたる冬季の航空写真判定、現地踏査、地元古老への聞き取り等で、本線敷まで雪崩が到達した斜面については、対策が必要となった。対策をした代表的な斜面は、湯沢町土樽の大ナデ沢地区、ミナミ沢地区、石打トンネル両坑口部の 3 斜面

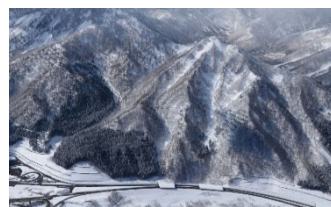


写真 10 大ナデ沢スノーシェッド



写真 11 ミナミ沢減勢群杭

で、スイスでの対策や専門家からの助言をもとに検討した。大ナデ沢については、斜面の谷筋にあたる区間の道路を構造物で覆って防護するスノーシェッドを設置した。ミナミ沢では、雪崩防護擁壁と減勢群杭を設置し、雪崩防止に効果があると思われる樹林斜面の買収もした。石打トンネル南坑口部では、明り巻により坑口を斜面から離し、また、防護擁壁を組み合わせで対策した。関越トンネルの万太郎立坑については、開通前の表層雪崩で立坑内隔壁が破壊されたこと受け、当初設計より 10m 嵩上げして、高さ 38.5m とした。これに合わせ、谷川立坑も 10m の嵩上げをした。

切土のり面の崩落雪対策は、小段の幅を拡幅して予防柵を設け、全体として盛土材が不足したため、安定性が低い斜面では、のり面勾配を緩くした。

関越トンネル内はチェーン走行ができないため、

両坑口手前にチェーン脱着場を設け、坑口との間にはトンネル湧水を活用した散水式融雪施設を設けた。他のトンネルにも、坑口付近にトンネル内への雪の持ち込み防止のための融雪施設を設けた。料金所周辺もスペースの関係で除雪できないので、融雪施設を設けた。

北陸道の経験から、雪の沈降力による立入防止柵の倒壊・変形を防ぐため、国道 17 号と国道 291 号で 1976(S51)年~1978(S53)年に実地試験を行い、強化型の立入防止柵を開発して設置した。その他、標識への着雪防止策として、前傾させたり、ヒーターや、屋根を付けた。キロポスト・デリニエーター(反射板)も、雪に埋まらないよう高さ調整できるようにした。これらは、以後の多雪地域における高速道路設計の指針となった。

5. 整備効果と開通後の取り組み

練馬〜新潟間の道路での所要時間は、関越道がない場合は 9 時間かかったが、関越道を使うと 3 時間 40 分で 5 時間 20 分も短縮された。1985(S60)年の全線開通時に約 20,000 台/日だった平均交通量は増加し続け、月夜野 IC〜土樽 PA 間の暫定 2 車線区間は、1991(H3)年には 4 車線化され、交通量も約 35,000 台/日となった。また、渋滞が日常化していた大泉 IC〜前橋 IC 間の 6 車線化が完了した 1996(H8)年時点では、約 43,000 台/日となった。

関越トンネルの断面で、関越道と並行する国道 17 号の交通分担割合は、9:1 となっており、冬季に国道が通行止めになった場合は、並行区間の関越道の通行料金を無料にするなどして、安定した通行の確保に貢献している。

広域の貨物流動量を見ると、関越道全通の 1985(S60)年から 2020(R2)年までに、東京・神奈川・千葉地域と新潟間は、約 10%増加し、埼玉・群馬地域と新潟間は、約 90%増加した。新潟の生鮮食料品・花卉類が、東京でも手軽に入手できるよ

うになった。

渋滞対策については、前述の 6 車線化のほかに、渋滞個所に順次付加車線を追加している。



写真 12 LED の道路幅の明示

また、近年の大雪対策として、LED ライトを設置して道路幅を明示し、脱輪事故を減少させた。

また、利便性を向上させるために、追加 IC の整備や休憩施設の改良を順次実施している。



写真 13 中越地震の被害

2004(H16)年 10 月 23 日のマグニチュード 6.8、最大震度 7 の中越地震の際には、六日町 IC〜長岡 JCT 間が被災し、盛土が大規模崩壊したが、19 時間後には緊急車両の通行を可能とし、地震発生 13 日後の 11 月 5 日には一般車両の通行も可能とさせ、物流・経済の停滞を最小限に食い止めた。首都圏の休憩施設は、直下型地震の防災拠点となり、高坂 SA(上り)などには、井戸、自家



写真 14 改良後の三芳 PA

発電装置、防災倉庫、緊急出入り口等が設けられている。



写真 15 橋梁床版取り替え

日本道路公団の民営化後は、休憩施設の改良が順次行われ、利便性が向上している。また、近年は、老朽化や大型車両の増に対応した高速道路のリニューアル工事を順次実施している。高速道路の信頼性・利便性を更に向上させるための努力は、今後も継続して実施していく。

出典；図 1~8、写真 1~15；東日本高速道路㈱